マイクロフィルム用資料

ＩＳＳＮ　0386—5878
土木研究所資料第3828号

土 木 研 究 所 資 料

平 成 12 年 度
土木研究所重点研究プロジェクト成果報告書

平成13年３月

国土交通省土木研究所

Copyright © (2001) by P. W. R. I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted into a machine language without the written permission of the Director General of P. W. R. I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全文又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

建設省は、平成13年1月6日付けで国土交通省に再編

土木研究所資料
第3828号 2000年3月

平成12年度
土木研究所重点研究プロジェクト成果報告書

要旨

本資料は、平成12年度に実施した土木研究所重点研究プロジェクト15課題について、重点研究プロジェクトを構成する個別課題の研究成果をとりまとめたものである。

キーワード：
国土マネジメント　耐震設計　水質リスク管理　自然との共生
社会資本整備（CO 削減、地域ニーズ）　リサイクル　ヒートアイランド現象
走行支援道路（AHS）　コスト縮減　外部コスト　品質管理
冬期交通の確保　流域土砂管理

まえがき

土木研究所は、21世紀における真に豊かな国民生活と社会の実現に貢献するため、次の三つの使命の下に活動を行っている。

① 中核的研究機関として、行政との密接な連携の下、国土マネジメント政策の適切な展開に必要な技術を提示し、研究体制を構築する（研究開発の体系と体制のコーディネーション）。

② この中で関係機関との連携を保ちつつ自ら行うべき研究を実施し、国土マネジメント政策の展開に貢献する（研究活動）。

③ これらの活動によって得られた知識・成果を基に関連機関に対して技術支援を行う（技術支援活動）。

このうち、自ら行う研究については、全研究課題を

(a) 重点研究プロジェクト：行政と一体となって重要な社会的課題を解決する政策提言を行うため、ソフト面の対応も含めた総合対応型の研究

(b) 基盤研究：国土・社会資本の整備・利用・保全に係わる技術を高度化し、行政の事業分野・研究部門毎の課題を解決するための研究

に分類し、前者の重点研究プロジェクトについては、外部の有識者からなる土木研究所研究評価委員会において評価を受けながら、組織横断的かつ重点的に研究を進めている。

平成12年度は、以下に示す課題1、4、10を新たに加え、15の重点研究プロジェクトを実施している。

1. 国土マネジメントの方向性に関する研究
2. 先端技術の国土マネジメントへの応用に関する研究
3. 耐震設計の体系化に関する研究
4. 総合的な流域土砂管理に関する研究
5. 水環境における水質リスク管理に関する研究
6. 河川・湖沼の整備及び管理における自然との共生技術の開発
7. 社会資本整備におけるCO_2削減に関する研究
8. 公共事業におけるリサイクル材利用技術の開発
9. 地域のニーズを反映した社会資本整備技術の開発
10. 快適な冬期交通を確保するための道路管理水準に関する研究
11. 都市空間におけるヒートアイランド現象の軽減に関する研究
12. 走行支援道路システム（AHS）に関する研究開発
13. 建設事業のコスト縮減に関する研究
14. 外部コストを組み入れた建設事業コストの低減技術の開発
15. 建設事業の品質管理体系に関する研究

本報告書は、平成12年度における重点研究プロジェクトの研究成果をとりまとめたものである。

なお、中央省庁等の改革の一環として、平成14年度から当研究所は国土交通省国土技術政策総合研究所と独立行政法人土木研究所に分割移行することになるが、これら重点研究プロジェクトはそれぞれの研究所に確実に引き継がれることになっている。引き継がれた重点研究プロジェクトは、それぞれの研究所において、より効率的な形で進められていくものと確信している。

平成13年3月

土木研究所　研究調整官

中村 亮

重点プロジェクト研究課題　総目次

1．先端技術の国土マネジメントへの応用に関する研究

1.1　ＧＩＳを活用した河川流況予測システムの研究開発……（水文研究室）…6
1.2　洪水氾濫被害の最小化のための氾濫源管理システムの研究開発……（都市河川研究室）…8
1.3　総合的な震災対策支援システムの研究開発……（防災技術課）…10
1.4　震災対策体制の評価技術に関する研究……（防災技術課）…12
1.5　生態情報の統合化及び活用に関する研究……（緑化生態研究室）…14
1.6　ＧＩＳを利用した統合情報基盤の開発……（施工研究室）…18
1.7　人工衛星利用技術を活用した流域水文情報収集技術に関する研究開発……（水文研究室）…22
1.8　人工衛星による流域の土砂環境把握と危険度評価手法の開発に関する研究……（砂防研究室／地すべり研究室／建設システム課）…24
1.9　大規模岩盤斜面の長期的変形調査……（急傾斜地崩壊研究室）…30
1.10　災害復旧作業における高分解能衛星データの利用に関する研究……（機械研究室）…32
1.11　衛星通信技術の道路分野への適用可能性に関する研究……（道路研究室）…34
1.12　都市緑地調査における人工衛星技術の活用に関する研究開発……（緑化生態研究室）…36
1.13　リモートセンシングデータを活用した流域土砂管理に関する研究……（砂防研究室／地すべり研究室）…38
1.14　数値標高モデル地図を用いた地すべり地の抽出技術に関する調査……（地すべり研究室）…40
1.15　道路防災マネジメントに関する研究……（道路研究室）…42
1.16　電子地図（DM）データとＣＡＤデータの交換技術……（施工研究室／建設システム課）…44
1.17　建設行政におけるＧＩＳデータの交換技術……（施工研究室／水文研究室／道路研究室）…46
1.18　流通可能な行政情報項目の検討及びその流通方法に関する検討及び技術開発…（建設システム課）…50

2．耐震設計の体系化に関する研究

2.1　大規模地震を想定した設計地震動の設定手法に関する研究……（振動研究室）…58
2.2.1　地震ハザードマップの作成手法の開発に関する研究（その１）……（地質研究室）…60
2.2.2　地震ハザードマップの作成手法の開発に関する研究（その２）……（振動研究室）…62
2.3.1　耐震設計の性能規定化に関する研究（その１）……（基礎研究室）…64
2.3.2　耐震設計の性能規定化に関する研究（その２）……（耐震研究室）…68
2.4　地盤－基礎系を含む全体系を考慮した構造物の耐震性能の実験的検証技術に関する研究……（振動研究室）…70
2.5.1　土木構造物の耐震性能評価方法に関する国際共同研究（その１）……（基礎研究室）…72
2.5.2　土木構造物の耐震性能評価方法に関する国際共同研究（その２）……（耐震研究室）…78
2.6　公共土木施設の耐震性水準の横断的整合に関する研究……（防災技術課）…80

3．水環境における水質リスク管理に関する研究

3.1　環境ホルモン生成物質の水環境中での挙動に関する研究……（水質研究室）…88
3.2　下水中の微量化学物質の新しい検出技術に関する調査……（水質研究室）…90
3.3　下水汚泥中内分泌かく乱物質の消長に関する調査……（汚泥研究室）…92
3.4　水循環健全化のための環境ホルモン等リスク対策の調査検討……（三次処理研究室）…94
3.5　内分泌かく乱物質等の発生源と処理対策手法の調査……（三次処理研究室）…96

3.6　下水道での未規制物質対策技術に関する調査……（水　質　研　究　室）…98
3.7　病原性微生物の下水処理過程での制御に関する研究……（汚　泥　研　究　室）…100
3.8　病原性微生物の発生源および対策に関する調査……（三次処理研究室）…102
3.9　下水中病原性微生物の同定方法に関する研究……（汚　泥　研　究　室）…108
3.10　水系における病原性微生物の挙動に関する研究……（三次処理研究室）…110

4．河川・湖沼の整備及び管理における自然との共生技術の開発

4.1　水系土砂動態変化に伴う河川の自然形成システムの変質とその再生手法に関する調査……（河　川　研　究　室）…118
4.2　河川のハビタットに関する調査……（河川環境研究室）…120
4.3.1　新素材・新工法を用いた防御工の開発（その１）……（河　川　研　究　室）…122
4.3.2　新素材・新工法を用いた防御工の開発（その２）……（緑化生態研究室）…124
4.3.3　新素材・新工法を用いた防御工の開発（その３）……（コンクリート研究室）…126
4.4　渓畔林を活用した流路整備に関する調査……（砂　防　研　究　室）…130
4.5　中小河川における天然河岸の保全手法に関する研究……（河川環境研究室）…132
4.6　ダム湖における生物生息空間の整備技術の開発……（緑化生態研究室）…134
4.7　魚類の生息空間の保全・創出手法の開発……（河川環境研究室）…140
4.8　水域のネットワーク保全手法に関する研究……（河川環境研究室）…146
4.9　自然共生実験施設を用いた河川の自然環境の保全に関する基礎調査……（河川環境研究室）…148
4.10　変動を加味した正常流量に関する基礎調査……（河川環境研究室）…150
4.11　浮島による湖沼の自然回復と水質浄化に関する研究……（河川環境研究室）…152

5．社会資本整備におけるCO_2削減に関する研究

5.1　都市型総合廃棄物を原料とした環境負荷低減型セメントの建設事業への適用技術に関する研究……（化　学　研　究　室）…160
5.2　省エネルギー型セメントを用いたダム用コンクリートの利用技術に関する調査……（ダム構造研究室）…162
5.3　低公害大型車等の導入が都市交通環境に与える影響に関する調査……（交通環境研究室）…164
5.4　戦略的環境アセスメントに関する研究……（交通環境研究室）…166
5.5　都市内緑地による温室効果ガス削減に関する検討その他……（緑化生態研究室）…168
5.6　下水道システムのＬＣＡに用いる原単位に関する調査……（汚　泥　研　究　室）…170
5.7.1　建設事業におけるCO_2算定評価システムの開発に関する研究……（機　械　研　究　室）…172
5.7.2　建設事業におけるCO_2算定評価システムの開発に関する研究……（化　学　研　究　室）…174
5.8　大気汚染等の低減技術の評価に関する調査……（交通環境研究室）…176
5.9　都市緑地調査における人工衛星技術の活用に関する研究……（緑化生態研究室）…178
5.10　人為的活動による都市緑地における炭素収支変動の評価に関する研究……（緑化生態研究室）…180

6．公共事業におけるリサイクル材利用技術の開発

6.1　リサイクル新材料の利用技術に関する研究……（新材料開発研究官）…188
6.2　他産業リサイクル材利用のマニュアル検討調査……（新材料開発研究官）…190
6.3　一般廃棄物の焼却灰溶融固化物の舗装用骨材としての利用に関する調査……（舗　装　研　究　室）…192
6.4　廃木材を活用した大気汚染対策用舗装の開発……（化　学　研　究　室）…194

7．地域のニーズを反映した社会資本整備技術の開発

7.1　地域のニーズを反映した社会資本整備手法に関する研究……（都市河川研究室／建設ﾏﾈｼﾞﾒﾝﾄ技術研究室）…202
7.2　地域特性を活かした地域計画及び施設設計の手法に関する研究……（環境計画研究室）…204
7.3　河川に関する歴史・文化資源を活用した川づくりに関する調査……（都市河川研究室）…206
7.4　地域社会特性の分析による社会資本整備の評価に関する研究……（建設ﾏﾈｼﾞﾒﾝﾄ技術研究室）…208

8．都市空間におけるヒートアイランド現象の軽減に関する研究

8.1　都市気候の動植物への影響に関する調査……（緑化生態研究室）…216
8.2　都市気候の数値シミュレーションに関する研究……（都市河川研究室）…218
8.3　都市気候緩和と地下水涵養に効果的な環境共生型舗装に関する研究……（都市河川研究室）…220
8.4　社会基盤等を活用した省エネ及び都市の気候緩和に関する研究（1）……（化学研究室）…222
8.5　社会基盤等を活用した省エネ及び都市の気候緩和に関する研究（2）……（都市河川研究室）…224
8.6　都市内緑地による温室効果ガス削減に関する調査……（緑化生態研究室）…226
8.7　都市内歩行者系道路舗装の総合評価に関する調査……（舗装研究室）…228

9．走行支援道路システム（ＡＨＳ）に関する研究開発

9.1　ＩＴＳ全般に関する調査（その1）……（高度道路交通ｼｽﾃﾑ研究室）…236
9.2　コンセプト及びアーキテクチャの設計と評価に関する調査……（高度道路交通ｼｽﾃﾑ研究室）…240
9.3　道路状況把握道路システムに関する調査……（高度道路交通ｼｽﾃﾑ研究室）…242
9.4　路面状況把握道路システムに関する調査……（高度道路交通ｼｽﾃﾑ研究室）…244
9.5　車両誘導制御支援道路システムに関する調査……（高度道路交通ｼｽﾃﾑ研究室）…246
9.6　走行車両位置検出支援道路システムに関する調査……（高度道路交通ｼｽﾃﾑ研究室）…248
9.7　最先端の通信方式を利用した道路システムに関する調査……（高度道路交通ｼｽﾃﾑ研究室）…250
9.8　システムの設計に関する調査……（高度道路交通ｼｽﾃﾑ研究室）…252
9.9　システムの評価に関する調査……（高度道路交通ｼｽﾃﾑ研究室）…254

１０．建設事業のコスト縮減に関する研究

10.1.1 建設事業のコスト構造の分析に関する調査（その1）……（建設システム課）…262
10.1.2 建設事業のコスト構造の分析に関する調査（その2）……（建設システム課）…264
10.2　軽量盛土材の活用に関する調査……（土質研究室）…266
10.3　橋面舗装の合理化に関する調査……（舗装研究室）…268
10.4　深層混合処理工法の合理化に関する調査……（土質研究室）…270
10.5　揚排水機場の設計合理化に関する研究……（機械研究室）…272
10.6.1 プロジェクトマネジメント手法の検討に関する調査（その1）……（建設ﾏﾈｼﾞﾒﾝﾄ技術研究室）…274
10.6.2 プロジェクトマネジメント手法の検討に関する調査（その2）……（建設ﾏﾈｼﾞﾒﾝﾄ技術研究室）…276
10.6.3 プロジェクトマネジメント手法の検討に関する調査（その3）……（建設ﾏﾈｼﾞﾒﾝﾄ技術研究室）…278
10.7　管路施工法の合理的な評価・選定手法に関する調査……（施工研究室）…280

１１．外部コストを組み入れた建設事業コストの低減技術の開発

11.1　外部コストの概念整理、計測、評価手法の開発……（環境計画研究室）…288
11.2　内部コストの実態把握、外部コストの内部化手法調査……（建設システム課）…290
11.3　道路事業における外部コストの実態把握、評価手法の開発……（道路研究室）…292
11.4　維持補修事業における外部コストの実態把握、評価手法の開発……（施工研究室）…294
11.5　トンネル施工法における外部コストの実態把握、評価手法の開発……（トンネル研究室）…296
11.6　総コストの計測及び評価手法の開発に関する研究……（建設システム課）…298
11.7　建設汚泥、建設発生木材等リサイクル促進技術の開発……（施工研究室）…300
11.8　低品質骨材・再生骨材の利用用途拡大技術の開発……（コンクリート研究室）…302
11.9　環境にやさしい塗料技術の開発……（化学研究室）…304
11.10　建設技術情報流通システムの構築に関する調査……（建設ﾏﾈｼﾞﾒﾝﾄ技術研究室）…306

１２．建設事業の品質管理体系に関する研究

12.1　要求性能と品質レベルの相関性の検討
　（構造物の性能に与える品質の影響度）……（構造研究室）…314
12.2　要求性能と設計・材料・施工・維持管理の品質管理レベルの相関性の検討…（橋梁研究室）…316
12.3　品質規格の性能規定化手法の開発……（化学研究室）…318
12.4　コンクリート材料・構造物の品質検査技術の開発
　（非破壊検査・高知能検査等）……（コンクリート研究室）…322
12.5　鋼構造物の品質検査試験技術の開発（非破壊検査・溶接検査・塗膜検査等）…（橋梁研究室）…326
12.6　鋼構造物の品質検査試験技術の開発（非破壊検査・溶接検査・塗膜検査等）…（化学研究室）…328
12.7　土構造物の品質管理技術の開発……（施工研究室）…330
12.8　施工情報活用による品質管理・検査の合理化技術の開発（シールド工）……（機械研究室）…332
12.9　公共土木工事の発注体系に関する調査研究……（建設ﾏﾈｼﾞﾒﾝﾄ技術研究室）…334
12.10　公共土木工事の性能発注に関する調査研究……（建設ﾏﾈｼﾞﾒﾝﾄ技術研究室）…336

１３．快適な冬期交通を確保するための道路管理水準に関する研究

13.1.1 冬期路面管理水準策定に関する試験調査
　（冬期道路管理の経済効果に関する研究）……（交通安全研究室）…344
13.1.2 冬期路面管理水準策定に関する試験調査
　（冬期の路面性状および交通状況に関する研究）……（新潟試験所）…346
13.2　路面性状把握道路システムに関する調査……（高度道路交通ｼｽﾃﾑ研究室）…348
13.3　新熱源を利用した道路消融雪技術……（機械研究室）…350
13.4.1 降雪時における路面凍結等の対策に関する試験調査
　（新型凍結防止剤の開発に関する研究）……（化学研究室）…352
13.4.2 降雪時における路面凍結等の対策に関する試験調査
　（凍結防止剤の散布方法、散布効果に関する研究）……（新潟試験所）…354

１４．国土マネジメントの方向性に関する研究

14.1　国土マネジメント方向性に関する研究　……（国土管理技術研究官）…362

１５．総合的な流域土砂管理に関する研究

15.1　リモートセンシングデータを活用した流域土砂管理に関する研究……（砂防研究室／地すべり研究室）… 374
15.2　流砂系の総合的な土砂管理に関する調査……（砂防研究室）… 376
15.3　流砂系一貫とした土砂移動予測モデルの作成に関する研究……（砂防研究室）… 382
15.4　流域レベルでの微細土砂対策手法とその効果評価手法の開発……（砂防研究室）… 384
15.5　水系土砂動態変化に伴う河川の自然形成システムの変質とその再生手法に関する調査……（河川研究室）… 386
15.6　河口域における土砂・環境管理手法の開発……（河川研究室）… 388
15.7　粒径集団別供給土砂量のマクロ予測手法に関する研究……（河川研究室）… 390
15.8　貯水池堆砂の予測手法に関する調査……（水工水資源研究室）… 392
15.9　貯水位低下時の堆積土砂の侵食・流出過程に関する基礎的研究……（水工水資源研究室）… 394
15.10　土砂輸送トンネル水路の設計手法に関する調査……（水工水資源研究室）… 396
15.11　貯水池内の流動現象に関する調査……（水工水資源研究室）… 398
15.12　水路の摩耗・損傷負荷に関する研究……（水工水資源研究室）… 400
15.13　底質の粒度組成を考慮した海浜安定化手法に関する調査……（海岸研究室）… 402
15.14　流域総合土砂管理のもとでの海岸保全計画に関する調査……（海岸研究室）… 404

先端技術の国土マネジメントへの応用に関する研究

1．先端技術の国土マネジメントへの応用に関する研究

研究期間：平成 11～14 年度
プロジェクトリーダー：情報技術総括研究官
二階堂　義則

1. 研究の背景：

多発する自然災害や地球規模での環境問題、社会経済活動の構造変化などに対応し、少子高齢化や財政構造問題からの投資余力の制約の下で、豊かで安全、快適な国土を構築するためには、従来までの個別事業の整備水準の向上を目指した「国土建設」から社会資本ストックの有効活用や自然環境の保全などを含めた国土を総合的に整備・利用・保全する「国土マネジメント」への政策転換が求められている。

国土マネジメント施策の展開においては、国土の自然環境、国民の生活環境、災害の発生状況や被災の状況、さらには我が国の社会・経済活動など国土の現状を広範囲にわたって的確、迅速に把握する必要がある。そのためには先端技術を応用して広範囲な国土情報の収集技術、収集・蓄積された情報を一元的管理して利用・提供する技術及び防災・環境保全・国土計画などに利用・応用する技術等の研究開発が不可欠である。

2. 研究の目的：

本研究は、国土マネジメントの主要課題である防災・環境保全などを事例に、先端技術として情報通信、リモートセンシング、GIS（地理情報システム）などを活用した応用技術の研究開発を行い、その成果を国土マネジメント施策の展開に資することを目的とする。

①情報の利活用技術の研究として、国土情報を迅速に収集し、情報の解析・シミュレーション技術などを応用したシステムの開発により防災計画、災害対策支援計画、環境管理計画などに利活用する。

②情報システム構築手法の研究として、国土管理データの一元的整備、ネットワーク上での共用・利用を目的とする GIS を利用した統合情報基盤技術を開発する。また、国土交通省と地方自治体などが整備するデータを GIS 基盤上で相互利用について実証しながら、その手法を開発する。

③人工衛星利用技術に関する研究として衛星リモートセンシングデータなどによる広域的な国土情報の収集技術及び環境監視、危険度評価、道路交通分野などへの適用技術に関する研究開発を行う。

3. これまでの研究成果：

①情報の利活用技術の開発としては河川流況予測システム、氾濫源管理システム、震災対策支援システム、生態情報統合化などの課題において GIS の活用手法、衛星データ利用手法の検討、関連技術の調査およびモデル地域でのデータ整備、モデルの構築、シミュレーションなどを行った。

河川流況予測システムでは、遠賀川流域をモデルとして 500m メッシュ標高データによる疑似河道網を作成し、土地利用区分毎に流出係数を設定して、レーダ雨量計の降雨データと修正合理式による流出予測システムを構築して、モデルの妥当性の検証並びに計算結果の表示・伝達方式を検討した。氾濫源管理システムでは、岐阜県大垣市をモデルとして GIS 上に氾濫解析結果（浸水域、浸水域の時間変化）などをオーバーレイし、避難情報伝達、避難行動のモデル化を行った避難支援システム及び浸水データと資産データを重ね合わせた浸水被害想定システムを構築した。総合的な震災対策支援システムでは、危機管理の要素機能の検討として、地震による被害の検知、情報収集・伝達のための資機材や要員の配置などに関する震災対策体制の評価手法の検討及びリモートセンシングデータの震災対策への活用として、鳥取県西部地震をケースとして

航空機レーザプロファイラーによる、岸壁の沈下、落橋などの計測を行った。

また、生態情報の統合化としては、GIS 上に生物生息情報、植生・地形等の生態基盤情報、開発事業情報などを統合化し、環境アセスメントに必要となる自然環境の類型化区分、生物分布データとの重ね合わせ機能や表示、リスト出力などのデータ集計・解析機能を持つ生態情報活用システムを構築した。道路防災マネジメントシステムに関する調査では高精度の GIS データを整備する手法として航空機搭載レーザプロファイラーにより DEM 及びデジタルオルソフォトの作成を行った。

②情報システム構築手法の研究としては空間データの評価手法の調査、メタデータ作成・検索手法の検討などを行い、GIS をプラットホームとする国土管理情報基盤の概念、構想、標準化方針などを検討するとともに、岐阜県を実証フィールドとした国および自治体による実験システムの検討、電子地図（DM）とＣＡＤデータの交換、情報流通に関する技術開発を行った。

統合情報基盤の開発では、国土管理の業務モデルと国土管理情報の利活用モデルの検討を行い、道路管理、河川管理、防災、環境保全における標準化すべき国土管理情報の抽出するとともに、情報の流通、共用における課題の整理を行った。

建設事業における GIS の実証実験の準備として、岐阜県をフィールドに中部地方整備局、岐阜県及び大垣市等の参加による河川分野と道路分野における対象業務を抽出してモデル化するとともに、実験計画の作成とシステムの設計を行い、必要となるデータの収集・整備を行った。ＤＭとＣＡＤデータの交換技術では、道路事業をモデルに必要な情報項目を整理し、空間データ応用スキーマを作成した。また、情報流通技術の開発では、リアルタイムデータや画像データをＧＩＳ上に展開する場合の付加情報、属性情報の定義を行い、既存システム接続手法について検討した。

③人工衛星利用技術に関する研究としては流域水文情報収集、土砂管理、斜面管理、災害復旧、道路交通及び都市緑化調査などへの適用に関する課題において、既存の衛星データに加えて高分解能光学センサーおよび合成開口レーダ（SAR）を含む衛星データの評価、モデルサイトにおけるデータ解析などを行い利用の可能性、適用性の検討を行った。

流域水文情報の収集においては高分解能衛星データの画像処理により、河川敷土地被覆分類（水域、植生、裸地、人工物等）、流域における緑地分布、水田湛水などについて解析を行った。土砂管理においては 1999 年の台湾地震などにおける SAR（合成開口レーダ）および光学センサーによる斜面崩壊地の抽出を行い、光学センサーでは解析値と実測値が一致した。また衛星搭載センサーの技術動向調査を行い ALOS の評価、データ蓄積、配信システムの設計を行った。岩盤斜面の長期的変形調査においては、InSAR データから精度のよい結果が得られる計測条件の検討を行った。災害復旧への利用では、過去の災害事例および衛星データの精度等について調査を行い、災害復旧支援における必要情報の分析から、土砂災害における衛星データの効果的な利用方法、データ取得方法について検討した。また、道路分野への適用性に関する研究では、衛星データと航空機搭載センサデータとのインテグレーションを検討し、航空機搭載のスリーラインセンサー、エリアセンサー及びアナログ空中写真の特性について調査した。

都市緑化調査への適用では、高分解能衛星による緑地抽出精度の検証を行い、高い精度の抽出を確認した。２時期（夏、冬）の衛星画像における常用樹・落葉樹のスペクトル季節変化パターンから自動区分処理を行い、航空写真判読結果に近い精度での分類を確認した。

－先端技術の国土マネジメントへの応用に関する研究－

個別研究課題目次

1.1 ＧＩＳを活用した河川流況予測システムの研究開発…… （水文研究室）… 6

1.2 洪水氾濫被害の最小化のための氾濫源管理システムの研究開発…… （都市河川研究室）… 8

1.3 総合的な震災対策支援システムの研究開発…… （防災技術課）… 10

1.4 震災対策体制の評価技術に関する研究…… （防災技術課）… 12

1.5 生態情報の統合化及び活用に関する研究…… （緑化生態研究室）… 14

1.6 ＧＩＳを利用した統合情報基盤の開発…… （施工研究室）… 18

1.7 人工衛星利用技術を活用した流域水文情報収集技術に関する研究開発…… （水文研究室）… 22

1.8 人工衛星による流域の土砂環境把握と危険度評価手法の開発に関する研究…… （砂防研究室／地すべり研究室／建設システム課）… 24

1.9 大規模岩盤斜面の長期的変形調査…… （急傾斜地崩壊研究室）… 30

1.10 災害復旧作業における高分解能衛星データの利用に関する研究…… （機械研究室）… 32

1.11 衛星通信技術の道路分野への適用可能性に関する研究…… （道路研究室）… 34

1.12 都市緑地調査における人工衛星技術の活用に関する研究開発…… （緑化生態研究室）… 36

1.13 リモートセンシングデータを活用した流域土砂管理に関する研究…… （砂防研究室／地すべり研究室）… 38

1.14 数値標高モデル地図を用いた地すべり地の抽出技術に関する調査…… （地すべり研究室）… 40

1.15 道路防災マネジメントに関する研究…… （道路研究室）… 42

1.16 電子地図（DM）データとＣＡＤデータの交換技術…… （施工研究室／建設システム課）… 44

1.17 建設行政におけるＧＩＳデータの交換技術…… （施工研究室／水文研究室／道路研究室）… 46

1.18 流通可能な行政情報項目の検討及びその流通方法に関する検討及び技術開発… （建設システム課）… 50

1.1　　ＧＩＳを活用した河川流況予測システムの研究開発

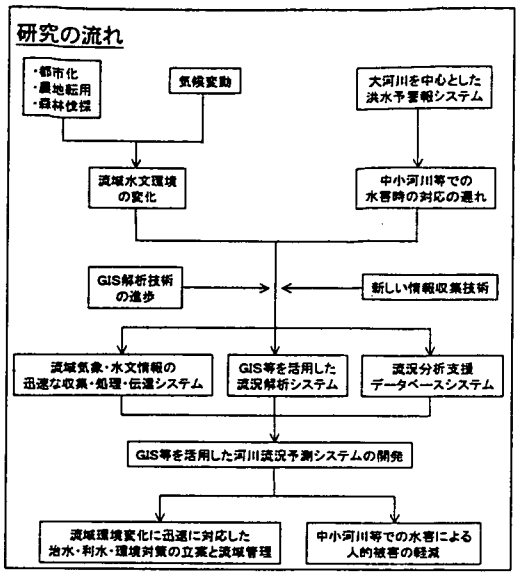
研究期間：平 11～14

担当：水文研究室

【要旨】

頻発する中小・都市河川流域における局地的集中豪雨による河川・土砂災害を防止・軽減するためには，気象・水文状況の現況を迅速・的確に把握するとともに，それによる出水規模を迅速に予測するための河川流況予測システムが必要である．また，健全な水循環系の確保の概念からも，低水や中小規模洪水をも含む河川流況の高精度での予測が必要とされている．

本研究は，GIS やリモートセンシング等の先端技術を活用して，河川流況予測技術の高度化を図るとともに，河川管理の視点から見た国土管理統合基盤情報への要件を明らかにすることを目的としている．12 年度は，11 年度に構築したレーダ雨量データと擬似河道網，修正合理式を活用した河川流況予測システムの精度向上を目的としたモデルの改良と，計算結果の分かりやすい表示・伝達方法等に関する検討を実施した．



1. 調査方法

本研究で開発を行った河川流況予測システムは，「レーダ雨量データと擬似河道網，修正合理式を活用した河川流況予測システム」である．このモデルは，500m メッシュ標高データをもとに作成した擬似河道網から各メッシュ毎の洪水到達時間を計算し，その時間差を考慮に入れて，メッシュレーダ雨量の移動平均から合理式により評価地点のハイドログラフを算出するものである．擬似河道網は，国土地理院発行の「数値地図 50m メッシュ標高」をもとに作成した 500m メッシュ標高データにおいて，各メッシュ毎に最急勾配方向(周囲 8 方向のうち)に落水線を引くことにより作成している．12 年度は，11 年度に構築した本モデルの精度向上のために，主に以下の 3 つの項目について改良を行った．

表－1　土地利用分類による流出係数の設定(遠賀川流域)

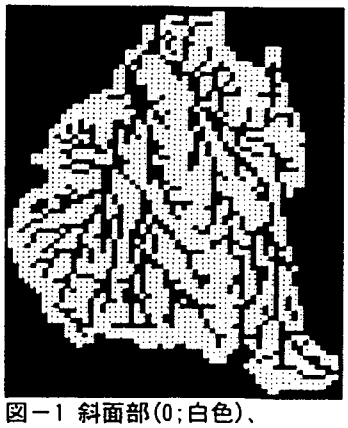
	土地利用分類	物部のピーク流出係数		採用値 f
		想定する地形形状	fp	(中間値)
各評価地点上流域	田	平らな耕地	0.45～0.60	0.525
	畑			
	果樹園			
	その他の樹木畑			
	森林	起伏のある土地および樹林地	0.50～0.75	0.625
	荒地			
	建物用地	平らな耕地	0.45～0.60	0.525
	幹線交通用地			
	その他の用地			
	湖沼	平地小河川	0.45～0.75	0.600
	河川地	流域の半分以上が平地である大地河川	0.50～0.75	0.625
	海浜・海水域	－	－	－

a)流出係数 f の値を，土地利用データをもとにメッシュ毎に計算．

11 年度の段階では，流出係数の値は，流域の大半が平地の水田であることから一律の値(f=0.5)として与えていたが，12 年度は，流出過程をより正確に表現するために，土地利用分類ごとの係数を与えた(表－1)．

b)河道部と斜面部毎に流下時間を計算．

洪水到達時間の算出精度を向上させるために，計算対象流域を河道部と斜面部に区分し，流下時間の計算式を別々に設定し与えた．河道部メッシュについては，Kraven 式と Rziha 式，土研式とを比較のうえ，本ケースにおいて最も適合度の高かった Kraven 式を採用した．また，斜面部メッシュについては，



図－1 斜面部(0;白色)、河道部(1;黒色)メッシュ

日野・砂田式を用いて流下時間を算定した．ここで河道部メッシュは，1/2.5 万地形図上において河道線が含まれるメッシュを基本として，図－1 の様に設定した．

c)入力レーダ雨量データの補正による精度向上検討．

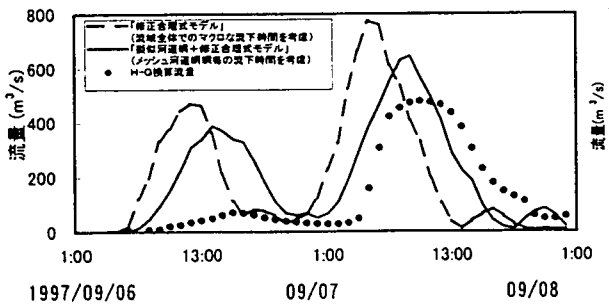
本モデルの入力値となるレーダ雨量データを，地上雨量計値を用いて補正する手法に関して検討を実施した．補正係数 f1 の値は，地上雨量計値(mm/hr)とその直上メッシュのレーダ雨量計値(mm/hr)との比とし，前時刻(1h 前)の補正係数を用いて現時刻のティーセン分割した対象メッシュ毎のレーダ雨量を補正した．ここで，地上雨量値とレーダ雨量値の差が大きい場合には，次時刻の補正の精度を逆に悪化させる場合があるため，補正係数には降雨強度帯別にトライアル計算して求めた上限値(閾値)を設定した．

上記改良モデルを段階的に計算対象流域(遠賀川流域)に適用し，実測水位と H-Q 式から求めた換算流量および，時々刻々の流域平均雨量を洪水到達時間内で移動平均してハイドログラフを算出する「修正合理式モデル」による計算結果と比較することによりモデルの妥当性を検証した．また，流出計算結果を的確に分かり易く表示・伝達するための手法に関しても検討を行った．

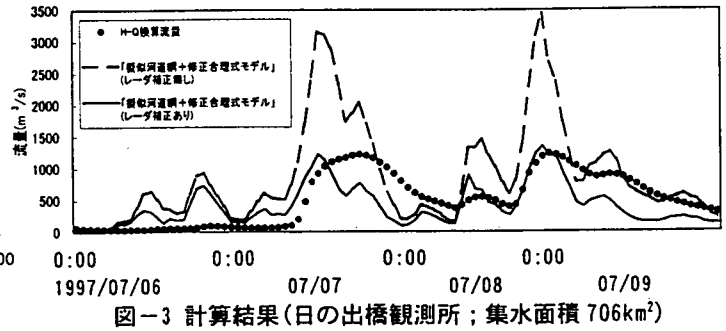
2. 調査結果

2.1 レーダ雨量と擬似河道網、修正合理式を用いた流出解析結果

図－2 に，計算結果の一例を示す．この図より，今回改良を加えた「擬似河道網＋修正合理式モデル」による計算結果は「修正合理式モデル」よりも精度が高く，一山目のピークは H-Q 換算流量を大きく上回っているものの，二山目のピークでは生起時刻，ピーク流量値とも，ほぼ表現できていることがわかる．ちなみに，図－2 に示した降雨においては，もともとレーダ雨量と地上雨量の適合性が高かったため，レーダデータのキャリブレーションは行っていない．図－3 は，レーダデータをキャリブレーションすることにより精度向上の可能性があることを示した例である．図－3 に示した様に，もともとのレーダ観測値と地上雨量値が大きく異なり計算精度が劣るケースでは，本研究で用いたレーダ補正方法により，本流出解析手法を用いて良好な計算結果を得られることがわかった．



図－2 計算結果(中島観測所；集水面積 315km²)

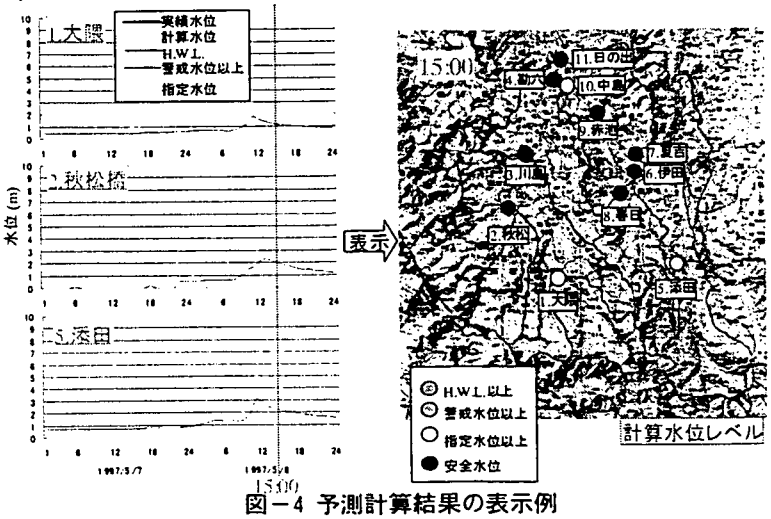


図－3 計算結果(日の出橋観測所；集水面積 706km²)

しかしながら，依然として，流出に対する降雨の初期損失量を正確に見積もれていない課題は残されており，さらに検証事例を増やして検討を継続していく必要がある．

2.2 計算結果の表示･配信手法に関する検討

現況の気象・水文状況とともに，本システムで予測計算した結果を分かり易く表示するための方法に関して検討を行い，図－4 の様な表示方法を検討した．



図－4 予測計算結果の表示例

(金木，深見，松浦)

1.2　洪水氾濫被害の最小化のための氾濫源管理システムの研究開発

研究期間：平 11～平 14
担当：都市河川研究室

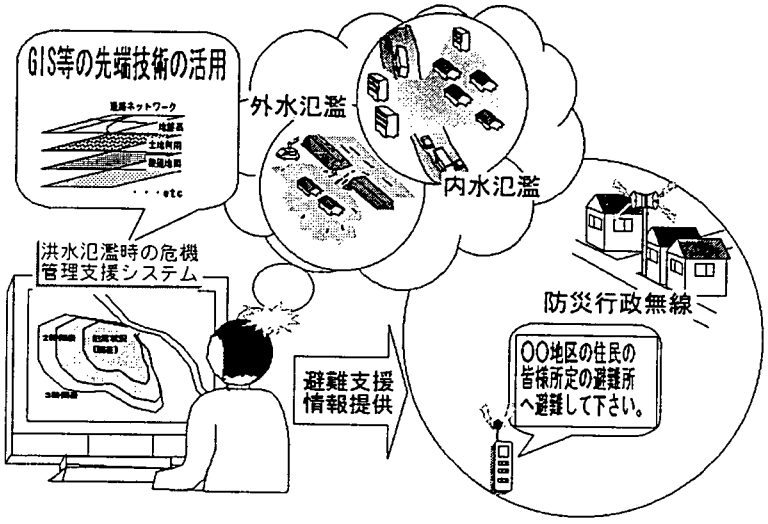
【要旨】

本研究では、水害時の危機管理支援システムの開発を行うことを目的としている。12 年度は、GIS をベースにした危機管理支援システムの一部である避難支援システムならびに浸水被害想定システムを構築した。避難支援システムは、水害時の最適な避難所・避難経路・避難情報発信のタイミングやエリアの設定を支援するものであり、浸水被害想定システムは、治水経済調査マニュアルの手法に準じて、想定被害額を算出するシステムである。

1．研究目的

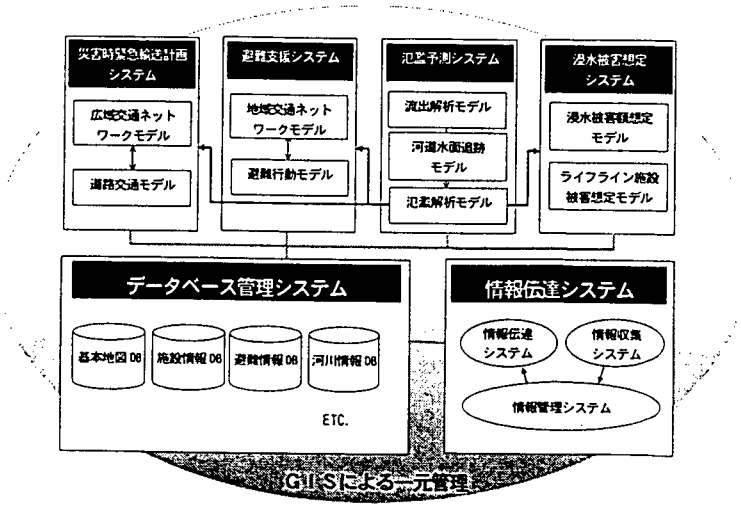
近年、突発的な集中豪雨の発生および都市化による浸透域の減少に伴い、内水氾濫および中小河川の氾濫など、都市機能を損なう水害が頻発している。

このような水害による被害の最小化のために、迅速かつ的確な危機管理対応を必要とされており、浸水域の予測や、それに基づく被害想定、住民避難情報の発信を支援するシステムの構築が望まれている。本研究では、GIS をベースにした水害対応の危機管理支援システムの開発を行うことを目的とする。危機管理支援システムの構成例を図―1 に示す。



2．研究方法

12 年度は、岐阜県の大垣市を対象地域として、図―1 の危機管理支援システムのうち、避難支援システムならびに浸水被害想定システムを構築した。システムは、他流域への適応性やデータの扱いの容易さ、データの汎用性、情報の共有の容易さ等を考慮し、GIS をベースにした汎用的なシステムとした。GIS ソフトは、Arc View を使用し、アドインソフトとして、Spatial analyst および Network analyst を使用した。

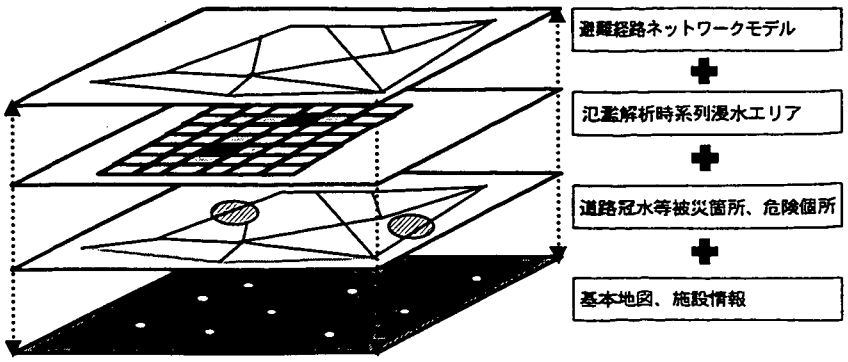


図―1　GIS ベースの洪水時危機管理支援システム

3．研究内容

3．1　避難支援システムの構築

ネットワーク解析により得られる避難経路の解析結果と氾濫解析結果(浸水域､浸水深の時間変化)、道路冠水などの情報をGISのオーバーレイ解析を利用して重ね合わせ、避難の可否等を検討する。また、情報伝達の発令方法や媒体を変えることによる避難情報の伝達効果の違いを検討する。モデル構成のイメージを図―2に示す。



図―2　避難解析モデル構成図

（1）氾濫外力

今後、洪水氾濫解析モデルを組み込み、降雨条件、ハイドロパターンを自由に設定することを想定するが、今回は既往の氾濫解析結果（浸水域、浸水深の時間変化）を対象外力として与えた。

（2）避難行動に関する条件

①避難情報伝達のモデル化

避難勧告・指示の発令情報が、広報車、防災行政無線、CATVなどの伝達手段を通じて伝搬していく過程をモデル化した。

②避難行動のモデル化

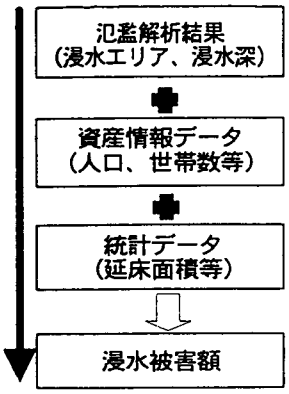
避難勧告・指示の発令から、各戸が避難を開始するまでの時間を、洪水実績、アンケート結果、文献などから調査し、避難時間を設定した。

③避難経路のモデル化

各戸から避難所までの最短の避難経路をGISのネットワーク解析を用いてモデル化を行った。

④住民の歩行速度のモデル化

年齢に応じた初期歩行速度を設定した。また、疲労、道路の混雑状況などによる歩行速度の変化を考慮した。



図―3　浸水被害想定システム

3．2　浸水被害想定システムの構築

GISを用いて浸水区域内における浸水被害額の推定を行うシステムを構築した。氾濫解析より得られる浸水域、浸水深と各資産データを重ね合わせ、浸水被害額の算出を行う。被害額の算定方法は、治水経済調査マニュアル（案）に準拠し、家屋被害や家庭用品被害、農作物被害などの直接被害額、営業停止損失や家庭および事業所における応急対策費用などの間接被害額を求める。浸水被害想定システムのイメージを図―3に示す。

4．今後の方向

今回、避難の解析に既往の氾濫解析結果を用いたが、将来的には洪水氾濫解析モデルを組み込む予定である。また、今後、避難誘導システムに改良し、災害時における避難勧告・指示を発令するタイミング・エリアの判断支援等を行い、リアルタイムの避難誘導の支援を行うことができるようにする予定である。

（吉谷、舘、武富）

1.3　総合的な震災対策支援システムの研究開発

研究期間：平 11～平 14
担当：防災技術課

【要旨】

本研究は、国土管理の主要課題である所管施設の震災対策について、震前・震後の対策活動を支援する震災対策支援システムの検討を行うものである。システムの検討に際しては、情報通信技術や航空宇宙技術等の先端技術を活用する方法、及び、対策活動に即して要素技術に要求される機能・性能・精度等を明らかにすることに重点を置く。平成 12 年度は、リモートセンシング技術を利用した被害検知の手順に関する調査、被害推定の精度向上のための基礎的調査として過去の地震における施設被害の実態調査、及び、鳥取県西部地震等における道路管理者の情報収集・伝達・管理に関する実態調査を実施した。

1．研究目的

最近、震災対策に利用可能あるいは有効とされる新しい情報通信技術が非常に速いペースで開発、提供されている。本研究は、それらの先端的な技術を調査し、これらの技術を応用することによって効果的な震災情報システムを整備するための、留意事項および震災対策の面から各種技術に要求される機能、性能、仕様等をまとめるものである。

2．研究方法

本研究では、以下の４つのサブテーマに分けて検討を実施している。

（1）震災予防のための要素技術の検討

想定される地震により発生する被害の推定方法、被害により生じる損失の評価手法、被害や損失を最小化するための計画策定技術に関する検討

（2）危機管理のための要素技術の検討

地震による施設被害の検知、検知した情報等の収集及び伝達のための技術、資機材や要員の配置等を考慮した適切な震災対策の遂行のための技術、震災対策体制の有効性を事前評価する技術に関する検討

（3）リモートセンシングデータの震災対策への活用

施設被害を検知するための、プラットフォーム、センサへの要求性能、リモートセンシングを利用する手順に関する検討

（4）分散共有型震災情報システムアーキテクチャの構築

情報の伝送・共有のための技術、情報システムの耐災害性能など安全性に関する検討

平成 12 年度は、(1)について施設被害推定のため被害関数の検討、(2)について震災対策体制の評価手法の検討、(3)について各種リモートセンシング技術の特徴及び適用可能性の検討を実施した。

3．研究成果

3．１各種リモートセンシング技術の適用可能性の検討

橋梁等の道路構造物、堤防等の河川施設等の地震による被災の検知にリモートセンシング技術を利用するには、施設管理者等が要求するリモートセンシングデータの精度、検知までの所要時間等の条件への適合が必要である。このため、現在利用可能又は今後利用が想定されるリモートセンシング技術を対象に、データ精度、データ処理技術、データ処理時間等を検討し、適用可能性及び適用にあたっての利用手順を検討した。検討対象のリモートセンシング技術は表-1 の通りである。

3．2レーザープロファイラーによる施設被害検知可能性の検討

表-1 に示す検討対象のセンサのうち、平成 11 年度は光学系センサについて検知に必要な画像の地上解像度に関する検討を行った。平成 12 年度は、上空から地上の３次元形状を取得できるレーザープロファイラーによる計測を鳥取県西部地震の被災施設を対象に実施し、地震時の落橋、崩落等による路面、地表面高さの変化の検知への適用性を検討することとした。計測条件を以下に示す。

表-1 検討対象のリモートセンシング技術

プラットフォーム	センサ
・人工衛星 ・気球・飛行船 （成層圏プラットフォーム） ・航空機 ・ヘリコプター ・UAV (Unmanned Air Vehicle)	・光学系センサ カメラ ビデオカメラ スキャナ ・合成開口レーダー ・レーザープロファイラー

飛行条件
対地高度：975m
飛行速度：185km/h（約 51m/sec）

計測時の天候、計測時間帯
計測時の天候：風速 4km/hr
計測時間帯　：午後１時～午後４時５分

レーザープロファイラー計測条件
レーザーパルス発射頻度：15,000 回/秒
スキャン頻度：25.2 回/秒、スキャン角度：8°
地上での計測幅：136.4m
レーザー計測密度：１点／約 2m×0.5m 四方
水平計測誤差：±30cm、垂直計測誤差：±15cm

図-1 に計測対象とした被害の一例を示す。岸壁エプロン部分のケーソンと背後地盤の間に 60cm 程度の段差が岸壁に沿って約 270m にわたり生じたものである。図-2 は岸壁端平均高さとの高低差を色相段階で示したものである。白色部分は接岸中の船舶や図-1 に見られる岸壁上の荷揚げ装置である。岸壁端より 10m 程度あたりから色相の変化が確認でき（高低差が 60cm 程度となる白黒トーンのエリアが広がっており）、ここに段差が生じていることが推定できる。図-3 は、岸壁断面（図-2 中 A-A'断面）の標高の現場測量結果とレーザープロファイラー計測結果を比較して示したものである。レーザープロファイラー計測点は、厳密には、ある一断面上に存在しないため、断面近傍の計測点を利用し内挿により断面上の標高を得た。そのため、計測結果は折れ線状になっている。図-3 中の①から②までの沈下が生じていないエリア、②から③の段差が生じ岸壁エプロンが傾斜しているエリア及び③から④までの沈下したエリアともに、レーザープロファイラー計測結果は測量結果に一致している。このように、高低差を示すことで目視で被災状況を検知することが可能であると思われる。

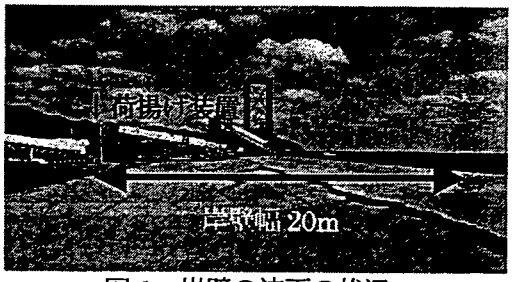


図-1　岸壁の沈下の状況

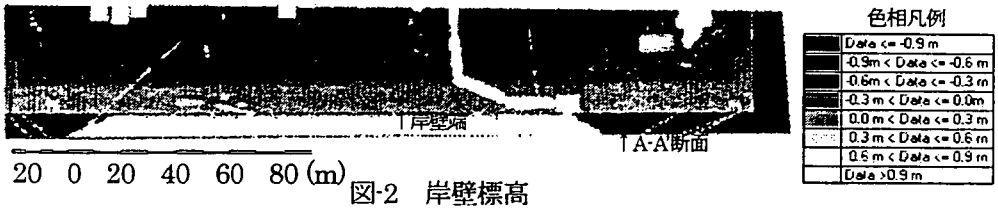


図-2　岸壁標高

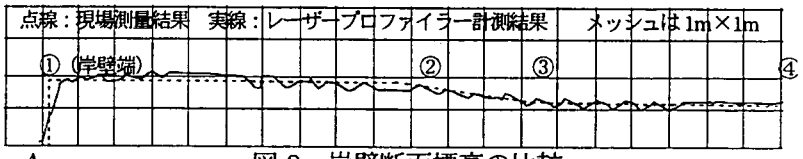


図-3　岸壁断面標高の比較

4．主な研究成果物

・村越潤・真田晃宏、航空機レーザープロファイラーを用いた地震被害施設の検知、土木学会第 56 回年次学術講講演会概要集、2001.10

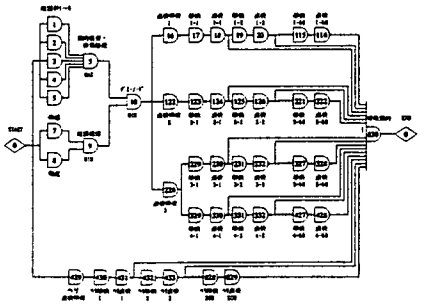
（村越、真田）

1.4　震災対策体制の評価技術に関する研究

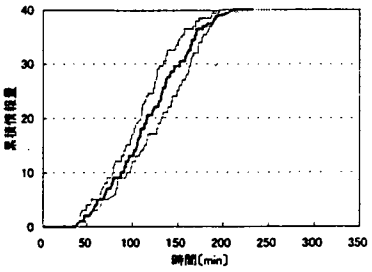
研究期間：平11～平14
担 当 者：防災技術課

【要旨】

公共土木施設を管理する国土交通省工事事務所、地方公共団体において、地震発生時に所管施設等に関する被害・点検・復旧情報を迅速に収集し処理することは、震災対策にとって必須の事項である。本研究では、防災計画に基づく震災対策体制の活動をシミュレートし、体制の参集方法、点検ルート、班構成等を変化させながら、迅速かつ的確に活動可能な体制計画を立てることができるツールを開発し、その結果によって、事務所等における震災対策体制の妥当性の評価を行うことを目的としている。平成12年度には、過年度に理論構築した体制評価プログラムについて、震災時に発生しうる体制活動のリスクを組み込むことができるように改良を行った。



震災対策体制のモデル化とシミュレーション



被災情報の収集状況を評価

1．研究目的

本研究では、定量的な評価が難しい現場事務所等における地震直後の点検等の震災対策体制について、その体制をネットワークで表現し、仮想の地震被害を発生させることで、その体制の情報収集・処理・集約に関するパフォーマンスを定量的に評価する技術について検討するものである。

2．研究方法

2．1　リスク評価手法を組み込むにあたっての課題の整理

平成11年度は、震災対策体制におけるリスク（情報の収集を遅延させる要因）についての検討を行った。そ平成12年度は、それらのリスクを過年度に作成した体制評価プログラムに組み込む際の課題について整理を行った。

2．2　体制評価プログラムの改良

2．1で明らかとなった課題について解決方法を検討し、それに従いプログラムの改良を行った。

3．研究結果

3．1 リスク評価手法を組み込むにあたっての課題の整理

図1は、具体例として4つの点検ルートを3つの出張所で管理する事務所を想定し、ゲートを用いたネットワークで表現したものである。図1では、地震発生後、地震計からの情報や体感、報道等により地震を感知した職員が参集し、体制準備、施設の点検を行い、点検後に被災情報が本部に集約されることを表している。図に示すように評価プログラムは、時間を要する事象等をゲートにより表現し、各ゲートにおける時間経過とそれに伴う情報の収集状況に着目して評価するものである。

本評価プログラムに組み込む必要があるとした震災時の主要なリスク要素を表1に示す。これらのリスク要素を既存のプログラムに組み込むにあたって、以下のとおり課題を整理した。

・職員の参集については、既存プログラムでは参集のゲートに参集時間の増加は入力条件として考慮できるが、次のステップに進めるには全員の参集が必要条件となっており、一部の職員が参集不能の場合を考慮できるようにする。

・点検時の移動経路が被災により閉塞している場合には、あらかじめ代替路を設定しておくことが必要であり、そのためには閉塞が考えられる「移動」のゲートの前後に分岐・合流のゲートを設けられるようにする必要がある。

・防災無線等の専用連絡施設が被災した場合について、専用連絡手段、一般通信手段（携帯電話等）、点検要員の帰還等の複数の連絡手段による、情報の収集状況を評価できるようにする必要がある。

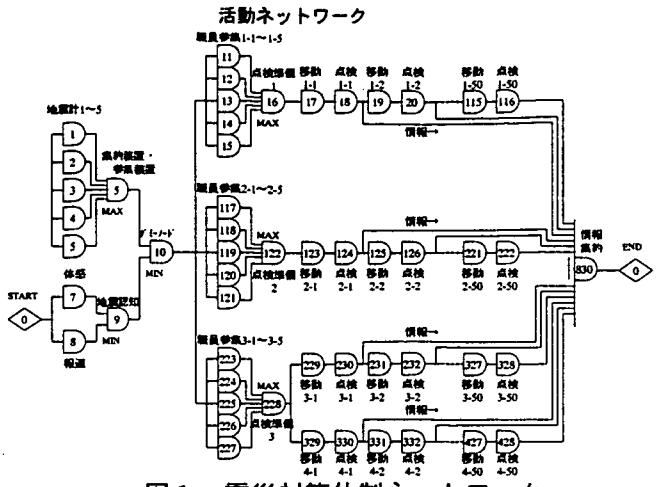


図１　震災対策体制ネットワーク

表１ 震災時に発生しうる主なリスク要素

対象ゲート	リスク要素
職員参集	要員の被災による参集不能
点検時等の移動	移動経路の閉塞
情報集約	専用連絡施設の被災

また、上記の他にも、参集状態や被害予測等により、点検班の班編制を変更可能な仕様とするとともに、点検班の編制により、点検の所要時間の変化を適切に考慮できるプログラムに改良する必要がある。

３．２　評価プログラムの改良

既存プログラムは、情報そのものに着目し各ゲートの時間経過を表現しており、表現がシンプルで分かりやすい構造となる反面、一度設定したゲート間の関係について各ゲートの処理に要する時間以外を変更することが難しい。３．１で整理した課題を解決し、より現実に即した体制評価を行うためには、現場における職員の活動に着目したプログラムに改良することが必要である。そこで、既存プログラムでは、情報ベースで各ゲートにおける時間経過と情報収集量を表現していた点について、人の活動ベースで点検班（点検要員）が事務所、点検場所及びそれらを結ぶ移動経路を移動し、情報発信する状況をシミュレートできるプログラムに改良することとした（図２参照）。

改良後のプログラムの特徴を以下に示す。

・事務所における班の編制を自由に変更することができる。

・ネットワーク上での迂回路の設定について、班の移動経路の変更として考慮することができる。

・班に情報の発信手段を設定することにより、効率的に手段の追加が可能である。

・班編成と点検等の時間を関係づけることが容易である。

今後、改良プログラムを用いて、リスク要素等の影響についてのケーススタディーを行う予定である。

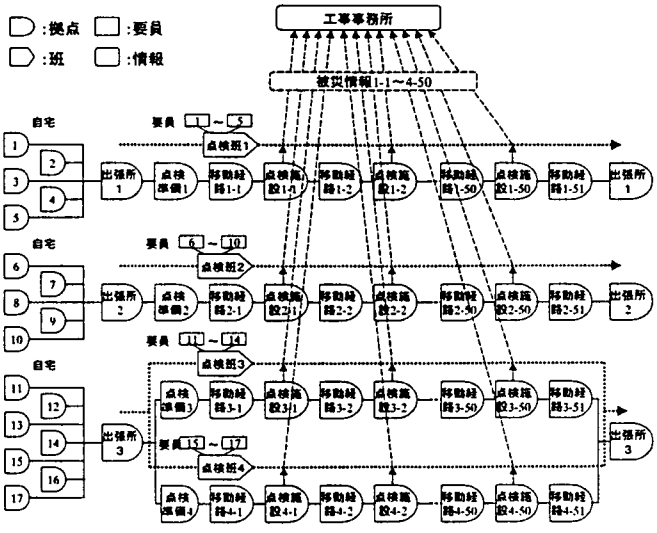


図２　改良プログラムによる評価イメージ

４．主な成果物

・大谷康史，杉田秀樹，野﨑智文：震災情報の収集体制の効率性評価に関する検討，土木学会第 55 回年次学術講演会講演概要集 I-B，pp.580-581，2000,9

（村越、大谷）

1.5　生態情報の統合化及び活用に関する研究

研究期間：平11～平14年
担当：緑化生態研究室

【要旨】
本研究は環境アセスメントの効率化のため、既存自然情報やリモセン技術等により把握した地域の自然概況をGISデータベースとして整備し、アセスの各段階で必要な情報を提供するシステム（生態情報活用システム）の開発を目的としている。12年度は、システムの詳細仕様を検討するとともに、1）生物分布データの入力・集計と図示、2）自然環境の類型化区分等と生物分布データの重ね合わせ機能、3）確認種等のリスト出力、等の主要な機能についてGIS上で動くプログラムの試作と、システムの基盤となるGISデータベースの構造設計を行った。

1．研究目的

環境アセスメントを効率的に実施するためには、法令で定められた地域の指定状況に関する情報や植生、動物の分布などの環境情報を一元的に管理・活用することが必要である。近年、河川水辺の国勢調査等の河川環境に関する情報をGIS化するための検討が行われている（文献1）ほか、一部の自治体等において、GISを用いて自然環境データベースを整備する（文献2，3）など、環境分野におけるGISの活用が試みられている。しかしながら、公共事業においては自然環境情報を一元的に管理・活用するためのシステムがないため、各現場で広域かつ基礎的な調査を行うことを余儀なくされており、調査期間の長期化や調査コストの増大といった問題を生じている。本研究では、生態情報（本研究では生物の生息や環境に関する情報、自然関係地域指定情報等の総称としてこの語を用いる）を、ＧＩＳ（地理情報システム）を活用して一元的に提供・活用するシステムの開発を目的としている。研究のフローを図1に示す。

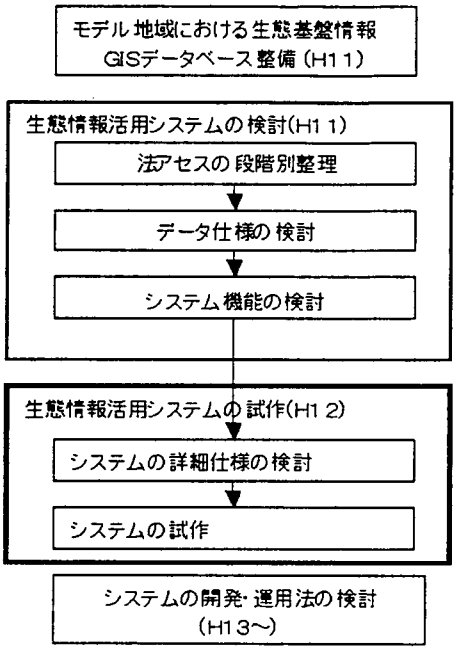


図1　本研究のフロー

2．研究方法

環境アセスメント（動植物・生態系分野）の処理の流れ、及び環境アセスメントを支援するための生態情報活用システムの概略的な機能に関する関する検討結果を元に、同システムの詳細仕様を検討・作成した。また、一部の機能については、栃木県宇都宮地域で整備したＧＩＳデータを模擬データとして実際に試作した。

3．研究結果

3．1　システムの全体的な構成

生態情報活用システムの基本的な考え方は、自然環境を調査・解析する上で基礎的なデータとなる現存植生図や地形・地質などの自然環境に関する基礎情報、既存の動植物調査などの結果、および人口統計などの既存データを情報基盤としてGIS上に整備し、その上に環境アセスメント等で得られた自然環境調査の結果（生物の分布など）を重ね合わせて、GIS

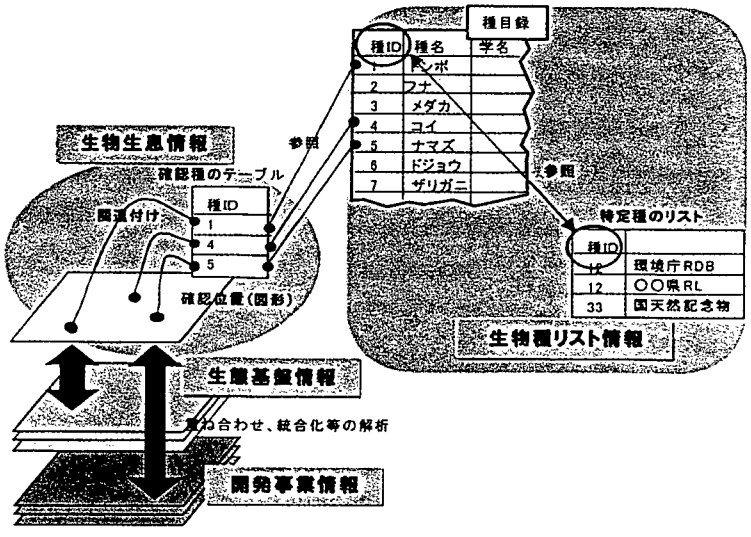


図2　システムの基本的構造

の空間解析機能を用いて集計、分析を行い、結果を出力するものである（図２）。

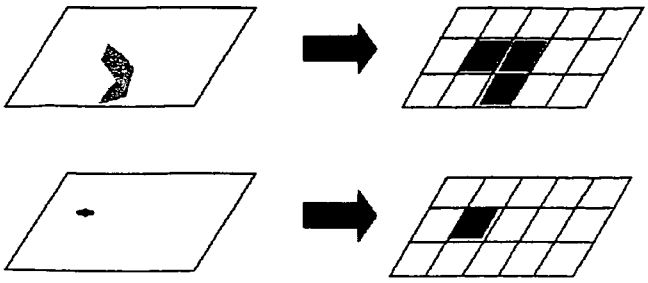


図３　形式・精度の違うデータの統合の考え方

３．２　システムの基本機能

システムの基本機能としては、大きく分けてデータの入力・集計、環境情報と生物情報の重ね合わせ解析、リスト・分布図の出力、の３つが考えられるため、これらの機能を中心に仕様の設計を行った。

１）　生物分布データの入力・集計と図示

環境アセスメントでは、概査段階における既存の動植物等の調査結果、地元有識者等からの聞き取り情報、および本調査における詳細な調査結果など、様々な形式、精度を持つ情報を統合して集計・解析する必要がある。そのため、こうした様々な情報を入力データとして取り込み、一定サイズのメッシュ（グリッド）や、調査者が定義したブロック、地形・植生などの解析結果に基づくエコトープ区分（後述）などを単位とした分布情報として統合する機能が必要となる（図３及び表１参照）。また、このようにして整備した生物の分布データは、地図上の分布図として容易に出力可能である必要がある。

２）　自然環境の類型化区分等と生物分布データの重ね合わせ機能

地形などの土地的条件と植生などの生態的条件の重ね合わせにより抽出した、環境的に同一な土地単位をエコトープと呼ぶ（文献４）。環境アセスメントの指針（文献５～９）では、同様の手法で自然環境の類型化を行い、その結果を用いて事業影響の予測・評価を行うこととされている。こうした区分結果と生物の分布情報を重ね合わせることで、事業計画範囲の環境影響評価を客観的に行うことが可能となる。例えば、希少種の在否、生物の多様性等により重み付けした評価式により、エコトー

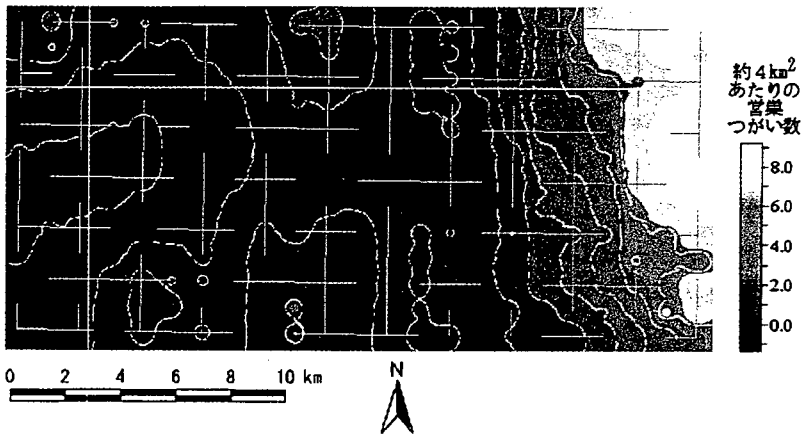


図４　生態系上位種である猛禽類（サシバ）の生息環境選好性を指標としてモデル調査地を再評価した結果。色の薄い地域ほど、サシバの営巣環境として好適である事を示す（文献１０より）。

表1　異なる形式の生態情報の統合方法の詳細

		生物生息情報			
		動物生息地点（点）	動物生息区域（面）	現存植生（面）	特定植物群落（面）
生物生息情報・生態基盤情報・事業に関する情報	点データ	点から任意の距離についてバッファを生成し、その領域に含まれる確認種数の集計	点から任意の距離についてバッファを生成し、その領域に含まれる種の生息区域面積に基づく生息の確率	点から任意の距離についてバッファを生成し、その領域に含まれる各群落の面積	点から任意の距離についてバッファを生成し、その領域に含まれる各特定植物群落の面積
	線データ	線から任意の距離についてバッファを生成し、その領域に含まれる確認種数の集計	線から任意の距離についてバッファを生成し、その領域に含まれる種の生息区域面積に基づく生息の確率	線から任意の距離についてバッファを生成し、その領域に含まれる各群落の面積	線から任意の距離についてバッファを生成し、その領域に含まれる各特定植物群落の面積
	面データ	当該面データに含まれる確認種数の集計	当該面データに含まれる種の生息区域面積に基づく生息の	当該面データに含まれる各群落の面積	当該面データに含まれる各特定植物群落の面積
	メッシュデータ	メッシュデータを属性に基づいて絞込み、抽出されたメッシュにより生成される領域に含まれる確認種数の集計	メッシュデータを属性に基づいて絞込み、抽出されたメッシュにより生成される領域に含まれる種の生息区域面積に基づく生息の確率	メッシュデータを属性に基づいて絞込み、抽出されたメッシュにより生成される領域に含まれる各群落の面積	メッシュデータを属性に基づいて絞込み、抽出されたメッシュにより生成される領域に含まれる各特定植物群落の面積

プ毎に「自然度」のようなものを定義し、その値によって調査地を色分けする、といった方法が考えられる。図４には、生態系上位種である猛禽類の1種を指標として、生物の生息環境選好を予測するモデルを作成し、これによってモデル調査地を再評価した結果を図示した。

また、事業計画区域と調査（評価）結果の重ねあわせにより、事業計画、もしくは保全計画のシナリオ毎に影響を受ける地域の面積や「自然度」の総和を計算し、比較検討の材料とすることなどが可能となる。

3） 確認種等のリスト出力

一定の調査範囲、例えば事業の計画範囲内においてこれまでの調査で確認されている種をリストアップすることは、環境アセスメントに限らず自然環境調査における基礎的な作業である。環境アセスメントの場合、リストの項目として、希少性等に関わる属性（例えばレッドデータブックのカテゴリー等）を付加するか、こうした属性で絞込み検索を行えるようにする必要がある。また、個々のデータの出典が容易に明らかにできるような履歴の管理及び出力機能も必要となる。さらに、属性によるデータの絞込みだけでなく、同時に空間的な検索（事業計画地から一定の距離にある地域）や時間的な検索（鳥類の繁殖期のみのデータに限定）も併用して利用者の必要とする情報の抽出が容易に行える機能が必要である。

3．3 データベースの設計

3．2の各機能を実現するためにデータベースの設計を行った。GISデータベースは、位置情報と属性情報（テーブル）の組合せによって構成される。この内、属性情報部分は通常のデータベースと同様の設計要件を持つことが多い。また、間接的に参照されるテーブル類も含めて、データベースの設計はシステム構築において重要な部分である。本システムでは、運用時には情報インフラとして一括整備される部分と現場で追加すべき部分の仕分け、あるいは情報整備主体毎の分散型データベースの構築など、検討すべき課題は多いが、本年度の段階では、すべてがローカルに存在するデータベースであると仮定して設計を行った。

本システムで扱うデータベース（テーブル）の一覧（一部）を表２に示した。これらのテーブルは必要に応じて相互参照される。例えば、生物生息情報の一部である「動物確認地点」というGISレイヤーは「動物生息状況テーブル」と名づけられた属性テーブルを持つが、この中の「種ID」というフィールドを手がかりに、生物種リストが必要に応じて検索される。例えば、種の学名等が必要であれば「種目録マスター」が参照され、その種がレッドデータブックの特定のカテゴリーに属する種であるかどうかは、「特定種マスター」を参照することによって知ることができる（図２参照）。

表２ 生態情報活用システムで扱う各種 データベース（一部）

	feature	テーブルの種類	マスタ/トランザクション
生物生息情報	動物確認地点	動物生息状況テーブル	トランザクション
	動物生息領域		
	動物移動経路		
	現存植生群落	植物生息状況テーブル	トランザクション
	特定植物群落		
生態基盤情報	地形区分	地形区分テーブル	トランザクション
	地形要素	地形要素テーブル	トランザクション
	土地利用	土地利用テーブル	トランザクション
	気候要素	気候要素テーブル	トランザクション
	人口	人口テーブル	トランザクション
	グリッド	グリッドマスタテーブル	マスタ
開発事業情報	開発事業	開発事業テーブル	トランザクション
生物種リスト	種目録マスタ	種目録マスタ	マスタ
	特定種マスタ	特定種マスタ	マスタ
	群落マスタ	群落マスタ	マスタ

3．4 システム開発及び今後の課題

本システムの試作版開発は、原則として、米国ESRI社の普及型GISソフ

トである「ArcView」を用い、マクロ言語「Avenue」により記述したが、機能的に問題（制約）がある場合は、上位ソフトの「Arc/Info」を用い、各機能をArc/Info上で動作する「AML」という言語によって開発した。最終的なデータ形式としてどのようなものを採用するかについては、今後GISデータの標準化などの動向も踏まえつつ判断していく予定である。また、今後は、実際のアセスの現場において試験運用を行っていただくことにより、システムの問題点の洗い出し及び改良を行うとともに、システムの運用形態についての検討も進める予定である。

4　参考文献

1　林尚・小川鶴蔵・南城利勝・工藤容子 2000. GISに対応した河川環境情報の標準化に関する研究. リバーフロント研究所報告第11号 pp. 98-106. 東京：(財) リバーフロント整備センター.

2　中優 2000. MEC環境情報システムの紹介. 第9回バイオリージョンGIS研究会「環境マップとGIS」講演資料集. 東京：地理情報システム学会.

3　原慶太郎・高橋一之・中村俊彦 2000. 市町村スケールの自然環境GIS. '99日本ARC/INFO. ERDASユーザ会予稿集. pp. 23-26.

4　Troll, C. 1966. Okologische Landschaftsforschung und Vergleichende Hochgebirgsforschung. Erdkundliches Wissen. Schriflenfolge fur Forschung und Praxis. Heft II. Wiesbanden: Frants Steiner. (Cited in Forman, R.T.T. & Godron, M. 1986. Landscape Ecology. Nye York: Wiley)

5　環境庁　1999. 生物の多様性分野の環境影響評価技術検討会中間報告書　生物の多様性分野の環境影響評価技術(Ⅰ)スコーピングの進め方について.　生物の多様性分野の環境影響評価技術検討会.

6　環境庁　2000. 生物の多様性分野の環境影響評価技術検討会中間報告書　生物の多様性分野の環境影響評価技術(II)生態系アセスメントの進め方について.　生物の多様性分野の環境影響評価技術検討会.

7　環境庁　1999. 自然環境のアセスメント技術(Ⅰ)生態系・自然とのふれあい分野のスコーピングの進め方.　環境庁環境影響評価技術検討会中間報告書.

8　環境庁　2000.　自然環境のアセスメント技術 (II) 生態系・自然とのふれあい分野の調査・予測の進め方.　環境庁環境影響評価技術検討会中間報告書.

9　建設省 2000. 道路環境影響評価の技術手法 (財) 道路環境研究所編. 東京：丸善.

10　百瀬浩・植田睦之・藤原宣夫・石坂健彦・森崎耕一 準備中. サシバ *Butastur indicus* の生息環境選好性を予測・評価する重回帰モデル.

（藤原、武田、百瀬）

1.6　ＧＩＳを利用した統合情報基盤の開発

研究期間：平 11～14
担当：施工研究室

【要旨】

社会資本ストック、土地利用、自然環境や生態系、地盤、地質などの国土管理情報は地球上の位置に関連していることから、これらを表現、蓄積・管理するための基盤として、GIS をベースとした情報基盤が有効である。本研究は、GIS を活用した統合的な情報基盤の開発をめざしたものである。平成 12 年度は、国土交通省で想定される国土管理の業務モデルを検討してそこで扱われるデータ項目を精査するとともに、国土管理情報の流通、共通利用を実現するための課題を検討した。

1．研究目的

国土管理情報を多くの利用者で共有できることがデータの収集、作成のための重複投資のむだを省き、コスト負担を軽減するために重要であり、このための情報ネットワークによる国土管理情報の管理、運用の仕組みの確立や情報の標準化が必要である。このため、本研究では以下の成果を得ることを目的として実施するものである。

①GIS をベースとした国土管理情報基盤の基本構想、全体システムとその運用方法の提案
②国土管理情報の基盤的空間データの標準化方針と標準データ作成方法の提案
③利用、運用面を考慮したメタデータの標準化方法の提案

2．研究方法

平成 12 年度は国土交通省で想定される国土管理の業務モデルを検討してそこで扱われるデータ項目を精査するとともに、国土管理情報の流通、共通利用を実現するための具体的な内容を検討した。

3．研究結果

3.1　国土管理の業務モデルと国土管理情報の利活用モデルの検討

21 世紀の望ましい国土形成や国土管理総プロの情報基盤 WG で検討した国土交通省における主要な国土管理業務を表－１に整理する。表より現状における道路、河川分野における国土管理業務は「維持管理」、「防災」、「環境保全」に大別される。このため、国土管理に関する代表的な業務を表－２に示すように分類した。この分類で、各の業務モデル及び情報フローを整理した。図－１(1)は道路防災、図－１(2)は河川防災について整理したものである。道路防災、河川防災ともに、業務を行う上で多くの情報元を収集し、自らが蓄積して、これらの情報を分析して必要な対応をとるとともに、一部は国民や関係機関に情報を提供されている。国土管理に必要な情報は、管理する対象である直轄の道路、河川の情報（設計図書、工事の竣工図書、維持管理に収集される情報、防災計画等）は、当然のことであるが自らが収集し、蓄積・管理しているが、直轄の管理対象以外の道路、河川あるいは、自然環境や社会、経済に関する情報は、他の機関で蓄積、管理されている情報を利用することが理解できる。また、道路防災、河川防災の業務主体の組織が異なっているが、地形、地質、道路、河川等の国土を形成している主要な情報や、植生、気象等の自然環境に関わる情報、土地利用等の社会経済に関する情報など、共通に利用されている情報も業務モデルと情報の利活用モデルから分析することができる。また、情報の利活用モデルは概略的なものになっているが、情報の所在、蓄積、管理された情報の種類、形態、情報の解析処理、情報の提供等解析、処理の方法分析形態等を詳細に分析することにより、国土管理データモデルの構造、形式が明らかになっていくと思われる。今回、維持管理、防災、自然環境保を限定して、それぞれの管理者の現状業務から分析したが、将来の IT、情報共有化の進歩や新たな国民へのサービス提供などを見

込んだ将来の国土管理の情報利活用モデルを図－２に示す。この図は、防災に焦点を絞った概略的なモデルであるが、防災に関する役割は、国、地方公共団体、民間、国民と多く主体によって役割をもつことから、将来の国土管理の情報利活用モデルをそれぞれの分野で構築していくことが必要と考えられる。また、将来の情報利活用モデルを基にした国土管理情報の抽出と標準化すべき情報を明らかにしていく必要がある。

３.２　標準化すべき国土管理情報の抽出

道路情報道、河川の維持管理、防災、環境保全の国土管理利活用モデルかによって抽出された国土管理情報群とその所在を整理すると表-3 のとおりである。表-3 で抽出された情報群のうち、多くの業務で利用される情報群は、国土管理で共通に利用される情報項目として標準化すべきものとして位置づけることができる。

３.３　国土管理情報の流通、共通利用を実現するための課題

図－２に将来の業務モデル、情報利活用モデルから、国土管理情報の流通、共通利用における課題を抽出し、以下に示す。

（情報収集）
- リモートセンシング技術の開発
- 情報収集における国、自治体の負担軽減
- 国民から情報を収集するための受け皿

（情報蓄積・交換）
- 国土管理データモデルの構築
- メタデータの標準化
- クリアリングハウスの開発・運営
- 基盤情報の一元管理方法の検討
- 主題情報の分散管理方法の検討

（情報処理）
- シミュレーション技術の向上及びそれに必要な情報の明確化

（情報提供）
- 迅速な情報提供のための新しい技術
- 簡単で分かりやすい情報提供技術

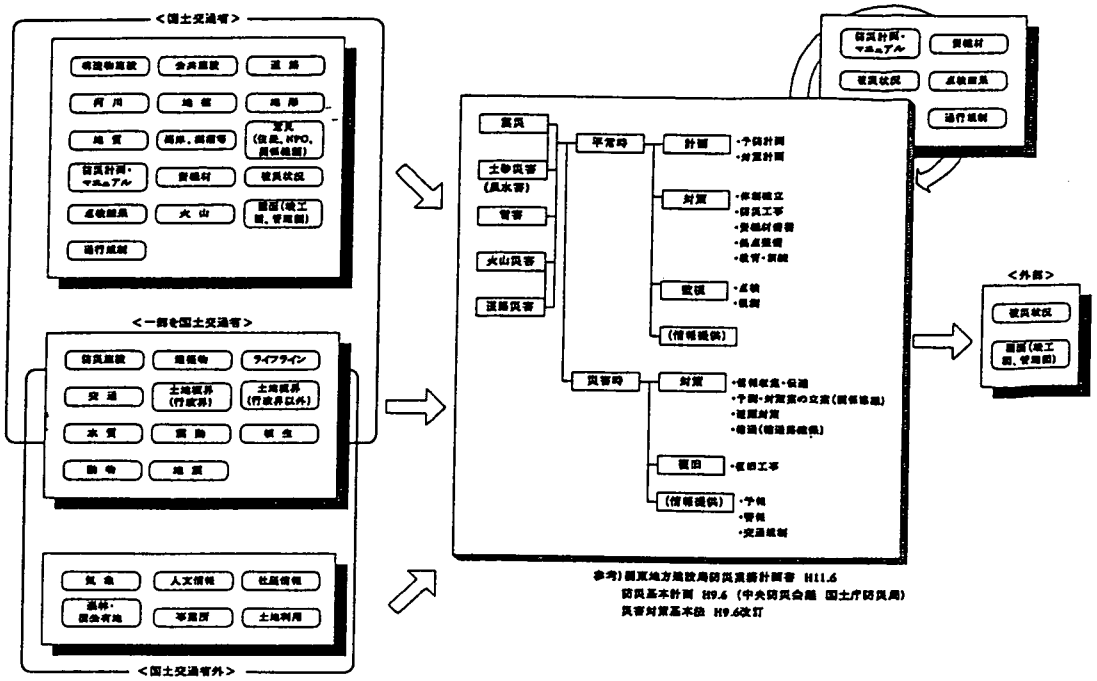
（情報活用）
- 国土管理情報を有効活用するためのアプリケーション開発
- 効果的な通報／連絡方法の検討

表－１　国土管理情報の利活用場面

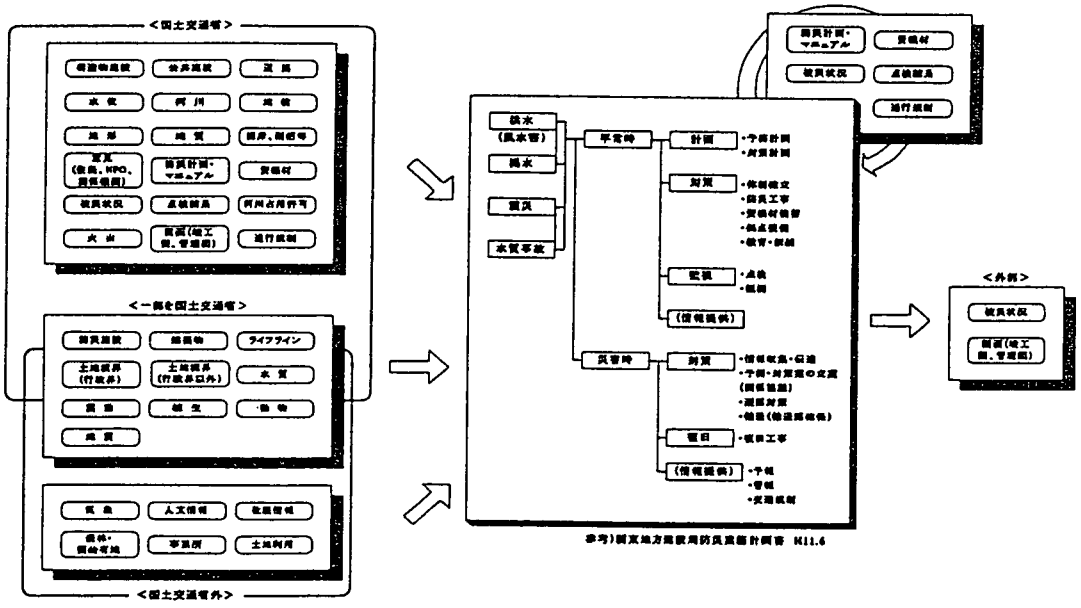
21世紀の望ましい国土形成[*1]		
目的	目標	手段
災害に強い国土	災害の起きにくい国土	災害危険箇所の把握
		土地利用の適正化
	災害時の被害低減	住宅・社会資本の強化
		リダンダンシーの向上
		的確な被災状況の把握
		災害情報流通の円滑化
		避難地・避難路の確保
		救護・救出活動の円滑化
	復旧・復興の迅速化	的確な被災状況の把握
		復旧・復興計画の迅速な策定
		合意形成の円滑化
		住宅・社会資本整備の迅速化
経済活力の維持と環境保全を両立できる国土	産業・経済の活性化	都市機能の拡充
		地域の特性に応じた経済基盤の整備
		供給・処理の安定
		モビリティの向上
	自然環境の維持保全	自然環境の現状維持
		生態系の保全
		自然資源の回復
	環境共生型社会の確立	水循環の維持保全
		都市のポテンシャルの把握
		環境影響を考慮した国土利用
		循環型社会システムの確立
国民の多様な価値観等を踏まえた国土	個性豊かな地域づくり	地域資源の把握
		自然・歴史・文化資源の保護と活用
		新たな地域イメージ形成
	バリアフリー社会の実現	バリアフリーの現状把握
		重点対策箇所の抽出
	国土づくりの住民意見の反映	ＰＩの導入促進
		政策広報の充実
多様な連携・交流を可能とする国土	連携・交流基盤の拡充	交通ネットワーク整備
		情報通信ネットワーク整備
	連携・交流拠点の形成	交流施設の整備
	連携・交流気運の醸成	地域連携の促進
		地域間情報交流の促進

表－２　国土管理業務の分類

		業務の性格		
		維持管理	防災	環境保全
業務分野	道路	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ
	河川	Ⅳ	Ⅴ	Ⅵ



図－１（１）国土管理業務における情報フロー（道路防災）



図－１（２）国土管理業務における情報フロー（河川防災）

記課題のうち、GIS を用いた統合情報基盤しとして関係するものは、「国土管理データモデルの構築」、「メタデータの標準化」、「基盤情報の一元管理方法の検討」などが挙げられる。これらは、異なる組織間で GIS 情報の流通、交換、利用を円滑に行うための技術である。

4　今後の課題

本年度は、国土管理の業務モデル、及び情報利活用モデルを検討し、標準化すべき国土管理情報の抽出を検討してきたが、本手法による国土管理モデル作成の妥当性を議論していくとともに、また、都市、住宅といった分野は未整理であり、今後整理してしくことが必要である。また、本年度の検討で、国土管理における国土管理情報基盤の全体構成が明確になってきたが、将来の具体的な業務モデルを提示するには至っておらず、今後の課題である。さらに、国土管理情報基盤の実装レベルでのモデル化を検討し、国土管理が効率的に行える適用モデルを提言していきたい。

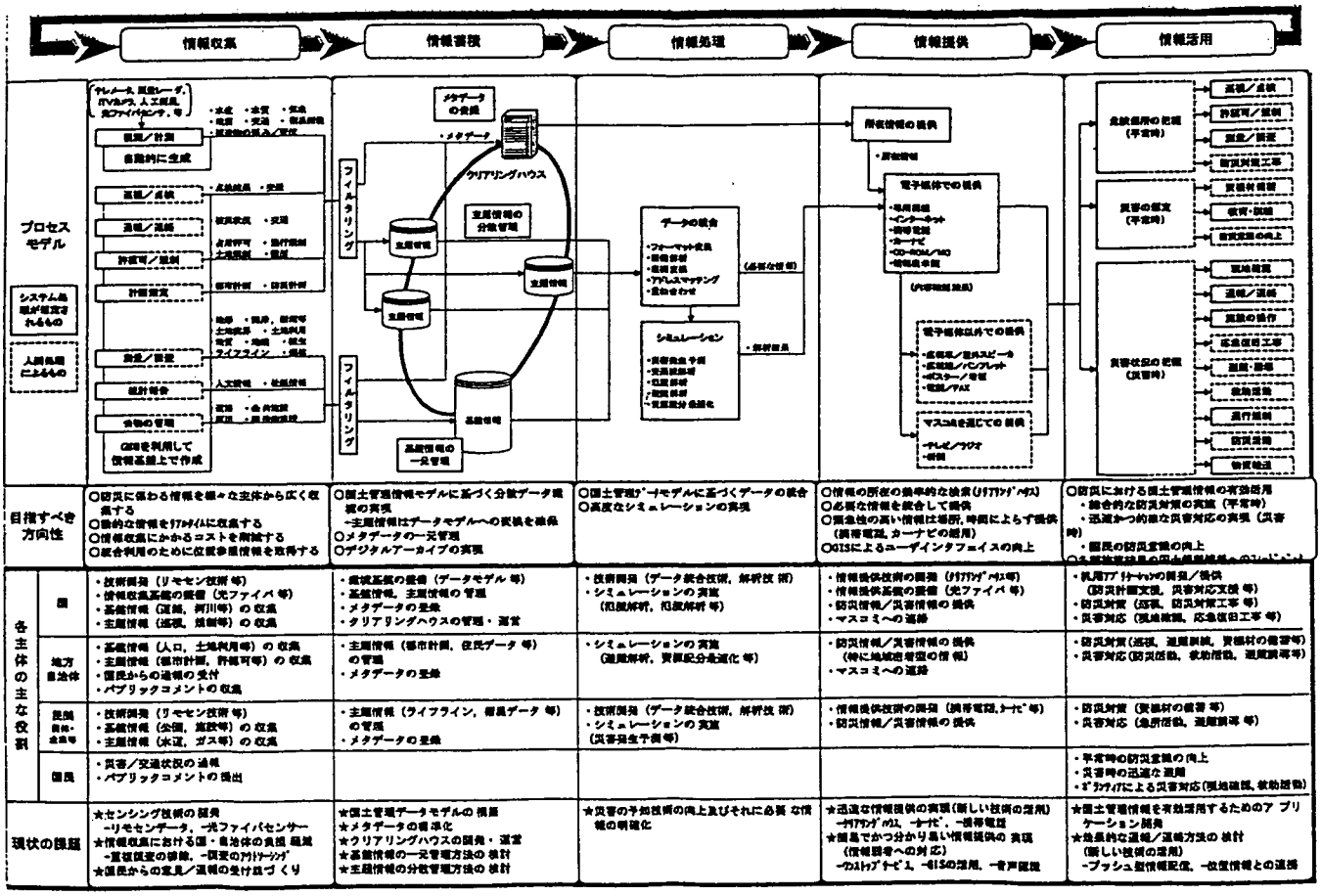
表－3　抽出された国土管理情報とその所在

分類	情報群	道路 維持管理	道路 防災	道路 環境保全	河川 維持管理	河川 防災	河川 環境保全
自然環境	地形	◎	◎	◎	◎	◎	◎
	大気	○		○	○		○
	気象	□	□	□	□	□	□
	河川		◎		◎	◎	◎
	地盤		◎	◎		◎	◎
	地質		◎	◎		◎	◎
	海岸、湖沼等		◎	◎		◎	◎
	火山		◎			◎	
	景観			◎			◎
	日照			◎			◎
	水質		○	○		○	○
	植生		○	○		○	○
	動物		○	○		○	○
	地震		○			○	
	森林・国公有地		□	□		□	□
	水位				◎	◎	◎
社会環境（社会制度等）	通行規制	◎	◎			◎	
	土地規制	◎			◎		
	人文情報	□	□	□	□	□	□
	社会経済情報	□	□	□	□	□	□
	文化財			◎			◎
	環境基準			□			□

分類	情報群	道路 維持管理	道路 防災	道路 環境保全	河川 維持管理	河川 防災	河川 環境保全
社会基盤	構造物施設	◎	◎	◎	◎	◎	◎
	道路	◎	◎	◎		◎	
	ライフライン	○	○		○	○	
	公共施設		◎	◎		◎	◎
	被災状況		◎			◎	
	防災施設		○			○	
	点検結果	◎	◎		◎	◎	
	維持作業報告	◎			◎		
	道路占用許可	◎					
	竣工図書（図面以外）	◎			◎		
	図面（竣工図、管理図）	◎	◎		◎	◎	
	河川占用許可	◎			◎	◎	
	環境影響評価書			◎			◎
都市空間建築	建築物	○	○	○	○	○	○
	土地境界（行政界）	○	○	○	○	○	○
	土地境界（行政界以外）	○	○	○	○	○	○
	事業所		□	□		□	□
人間活動	廃棄物	◎		◎	◎		◎
	住民苦情・要望	◎		◎	◎		◎
	意見（住民,NPO,関係機関）	◎	◎	◎	◎	◎	◎
	防災計画・マニュアル	◎	◎		◎	◎	
	資機材	◎	◎		◎	◎	
	交通	○	○	○			
	土地利用	□	□	□	□	□	□
	振動		○	○		○	○
	騒音			○			○

◎：国土交通省が保有する情報群，○：一部を国土交通省が保有する情報

□：国土交通省外にある情報群



図－2　国土管理情報の概略利活用モデル（防災）

（大下、青山、光橋）

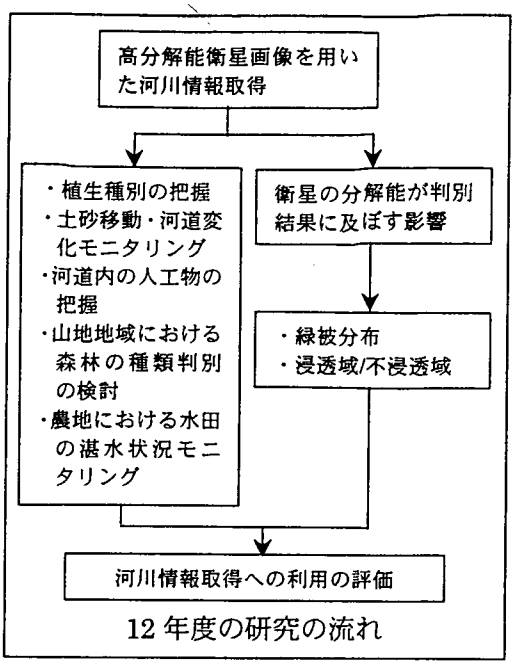
1.7　人工衛星利用技術を活用した流域水文情報収集技術に関する研究開発

研究期間:平１１～平１３

担当：水文研究室

【要旨】

本研究は、国土マネジメントにおいて重要な、流域全体を対象とした効率的・効果的かつ迅速な流域水文情報や河川管理情報の収集技術開発を目的として、人工衛星利用技術の有効活用に関する検討を行うものである。12 年度は、高分解能衛星の画像処理による河川情報取得の可能性についての解析と、衛星の分解能の違いによる判別結果の影響についての検討を行った。高分解能衛星の利用では、河川敷の植生種別の把握、土砂移動・河道変化のモニタリング、河道内の人工物の把握、山地地域における森林の種類判別、農地地域における水田の湛水状況把握について、各検討項目に適したテストサイトにおいて解析を行った。また、衛星の分解能の向上が、緑被分布や浸透・不浸透域調査へ及ぼす影響を定量的に把握した。



12 年度の研究の流れ

１．研究目的

本研究は、国土マネジメントにおいて重要な、流域全体を対象とした効率的・効果的かつ迅速な流域水文情報や河川管理情報の収集技術開発を目的として、人工衛星利用技術の有効活用に関する検討を行うものである。12 年度は、高分解能衛星の画像処理による河川情報取得の可能性検討と、衛星画像の分解能の違いによる緑被率や浸透域・不浸透域面積率への影響についての検討を行った。

２．研究方法

２．１　高分解能衛星画像を用いた画像処理等による検討

検討項目は、(1)植生種別の把握、(2)土砂移動・河道変化モニタリング、(3)河道内の人工物の把握、(4)山地地域における森林の種類判別、(5)農地地域における水田の湛水状況モニタリング、とした。各項目について適切な対象地域を選定し、数種類の衛星画像（LANDSAT TM、SPOT HRV、RADARSAT SAR 等）又は空中写真を検証データとして、IKONOS 画像の利用可能性を検討した。

２．２　衛星の分解能が判別結果に及ぼす影響の検討

都市を対象とした緑被率、浸透域/不浸透域面積率の調査では、中解像度の衛星画像では把握できなかった小規模な緑被地等が抽出されると期待されることから、高分解能衛星画像の利用が有効であると考えられる。ここでは、IKONOS、LANDSAT TM、SPOT HRV の３つの衛星画像を用いて、衛星の分解能が面積率に及ぼす影響を検証した。対象とした地域は、埼玉県熊谷市の市街地を中心とした約 5km 四方である。使用した衛星画像は、LANDSAT TM（2000.8.3 撮影）、SPOT HRV（2000.7.31 撮影）、IKONOS（2000.8.11 撮影）である。検証用のデータとして、国土地理院撮影のカラー空中写真（1998.10.4 撮影、縮尺約 1/30,000）を用いた。緑地の抽出方法は、衛星画像では正規化植生指数（NDVI）を用い、空中写真は目視判読を行った。

３．研究結果

3．1　高分解能衛星画像を用いた画像処理等による検討

植生種別の把握では、画像判読を行った結果、「形状と大きさ」「色調」「模様」「きめ」「陰影」「反射」によって針葉樹、広葉樹、芝地、雑草地等が判別可能であった。ISODATA 法を用いた自動分類では、樹木、芝地、雑草、畑、水面等が概ね区分されたが、芝地と雑草地、樹木と芝地または雑草地、裸地と道路の相互の区分は困難という結果となった。

土砂移動・河道変化モニタリングの可能性検討では、空中写真画像や可視域３バンドを用いた IKONOS 画像で、植生域や裸地等が水域に誤分類されている箇所が目立った。IKONOS の近赤外域を加えた画像では、そのような誤分類は減少した。画素単位の微細な誤分類は、３×３の多数決フィルタ処理を施して除去し、1998 年と 2000 年の河川敷の土地被覆変化と河道変化を抽出した。表－１には、土地被覆の変化項目別の 1998 年と 2000 年の変化面積を示す。空中写真画像では、IKONOS 画像のように近赤外域のデータがないため、フィルタでは除去しきれない誤分類が残るが、土地被覆のおおむねの変化をとらえることは可能である。また、新旧の土地被覆画像を重ね合わせて表示し、河道変化を明確に捉えることができた。

山地地域における森林の種類判別は、スギ・ヒノキを主体とする人工林と天然の落葉広葉樹林を対象に自動分類を試みた。衛星画像に地形効果補正（コサイン法による）を施した結果、常緑樹、落葉樹、裸地、水域が区分できた。

3．2　衛星の分解能が判別結果に及ぼす影響の検討

面積を集計した結果は表－２に示す。検証に用いた空中写真の判読結果と比較すると、LANDSAT TM 画像との差は 6.3%、SPOT HRV 画像との差は 5.7%、IKONOS 画像では 0.4%となり、今回の検証では IKONOS 画像を用いた場合の値が空中写真の判読結果と最も近い値となった。緑地の分布域では、とくに小規模な緑地が IKONOS 画像でよく抽出されていることがわかった（図－１）。したがって、小規模な緑地が多い市街地では、IKONOS 画像を用いることによってより空中写真の判読に近い結果が得られると言える。

4．主な研究成果物　　なし

表－１　IKONOS 画像と空中写真画像を用いた河川敷土地被覆の変化面積（1998 年～2000 年）

1998年航空写真	2000年IKONOS (4bands)	変化パターン毎の面積と比率		total
		km²	%	%
水域	水域	0.23	50.0	10.3
	植生域	0.06	13.5	2.8
	裸地等	0.17	36.5	7.5
	(小計)	0.47		
植生域	水域	0.01	4.5	0.5
	植生域	0.22	83.2	9.9
	裸地等	0.03	12.2	1.4
	(小計)	0.27		
裸地等	水域	0.15	9.7	6.5
	植生域	0.60	39.1	26.4
	裸地等	0.79	51.3	34.6
	(小計)	1.54		
計		2.28		

表－２　衛星画像を用いた緑地面積集計結果

		全域(5.1km四方)		中心部(2.3km四方)		写真判読結果との差
		ピクセル数	%	ピクセル数	%	%
IKONOS	緑地	667153	41.0	51636	15.6	0.4
	非緑地	942464	58.0	269133	81.1	0.1
	(雲域)	16008	1.0	10977	3.3	
	計	1625625		331746		
SPOT	緑地	26061	40.1	1389	10.3	5.7
	非緑地	38316	58.9	11610	86.3	5.3
	(雲域)	648	1.0	457	3.4	
	計	65025		13456		
LANDSAT	緑地	11484	39.5	593	9.7	6.3
	非緑地	17312	59.5	5294	87.0	6.0
	(雲域)	284	1.0	197	3.2	
	計	29080		6084		

＊写真判読の結果：緑地　16.0%、非緑地　81.0%



図－１　衛星画像の NDVI を用いた緑地分布（白い部分が緑地）

(左) LANDSAT TM
(中) SPOT HRV
(右) IKONOS

（金木、深見、松浦直、廣瀬）

1.8　人工衛星による流域の土砂環境把握と危険度評価手法の開発に関する研究

研究期間：平11～平14年

担当：砂防研究室・地すべり研究室・建設システム課

【要旨】

平成12年度は、国内外における土砂災害事例を取り上げて、災害発生後の迅速な崩壊地分布の把握手法として人工衛星データを用いた崩壊地の自動抽出に関する検討を行うとともに、リモートセンシングのセンサー及び画像取得・蓄積技術の動向について調査検討を行った。その結果、以下のことが明らかになった。1)SARの差分強度画像は湛水地や顕著な地形変化を伴う大規模崩壊の抽出には適応可能だが、崩壊の規模に関わらず表層崩壊の抽出を行うことは難しい。2)光学系センサ画像は土砂災害の監視へある程度適応可能である。しかし、薄雲や画像のひずみ、空間分解能の乏しさ等の原因から誤分類を招く。また、技術動向調査の結果，以下の点が明らかになった。1)センサーの空間分解能は、光学センサーで数十cm, SARで1m程度まで向上する。2)地方整備局等の多数のユーザーに情報を提供するには、拡張Web型モデルが適している。3)現実的な運用方法を考慮すると、衛星データ共用システムのデータ蓄積容量は4～10TBを要する。

1．研究目的

本研究は衛星リモートセンシングデータを用いた流域土砂環境の効率的かつ迅速な把握手法と危険度評価法を確立し、国土交通行政における危機管理能力の向上と被災地における意思決定支援、迅速な災害対策の実現を目指すものである。

1．1　土砂災害発生後の迅速な崩壊地等の分布把握手法の検討（以下、「土砂災害把握手法の検討」という）

毎年、世界の至る地域で地震や豪雨による土砂災害が頻発している。時に、災害は広域にわたることから散在する崩壊の発生源や被害状況を迅速に把握することは容易でない。従来から行われてきた災害調査手法である空中写真判読や現地調査のように、得られる情報は詳細であるが広域を対象とした調査への適用には時間、コスト、安全性等の面において課題もある。これらの問題点に対応可能と考えられる技術の1つとして衛星リモートセンシングが挙げられる。衛星リモートセンシングデータを利用することで、流域全体のデータ取得にかかる費用の低減、データの定期取得などの利点から山地環境変化の効率的なモニタリングを実施することが可能になると考えられる。本研究は衛星リモートセンシングデータを活用した土砂災害発生後の迅速な崩壊地等の分布把握手法の検討を行うものである。

1．2　リモートセンシング関連技術動向調査（以下、「技術動向調査」という）

広域災害における状況の迅速な把握、危険度評価、被災地への的確な情報提供を行うために、人工衛星により観測した被害画像データなどのオンラインによる収集、蓄積及び管理技術の研究開発を行うと共に、インターネット等を活用した情報配信システムの開発を行うことを目的とする。

2．研究方法

2．1　研究方法（土砂災害把握手法の検討）

本年度は流域全体にわたり土砂災害が多発するケースへの衛星リモートセンシングデータの活用手法とその適応性について調査を行った。具体的には、1999年9月に発生した台湾中部地震及び1994年7月姫川流域で発生した豪雨による土砂災害を、広域多発土砂災害の事例として取り上げ、流域全域を対象とした崩壊地の自動抽出手法について検討した。人工衛星に搭載されているセンサは機能的に二種類に分類される。衛星LANDSATのTMに代表される光学系センサは地表面から反射･放射される太陽光の強度を観測するものである。一方、マイクロ波センサは自ら電波を地表面に照射し、その反射波から画像を合成するものであり、天候に左右されること無く観測が可能なセンサである。RADARSAT衛星等に搭載されている合成開口レーダ（SAR）はその代表的なものである。ここでは、この二種類のセンサデータそれぞれについて崩壊地の自動抽出を下記の方法により行った。

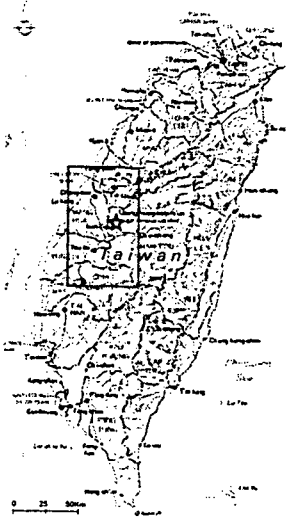


図-1　対象エリア（台湾中部）
赤枠内が調査範囲

（1）合成開口レーダ画像を用いた崩壊地の抽出

合成開口レーダ（SAR）の後方散乱強度画像を用いて、災害前後の画像から地形の変異箇所を崩壊地として抽出することを試みた。

SAR は直線的に進行する衛星から斜め下方へ連続的にマイクロ波を照射し地表面から後方散乱されて衛星へ戻ってきたマイクロ波を受信することでデータを取得する。後方散乱されたマイクロ波の強度は後方散乱強度といい、これは物体の形状や表面状態等によって変化する。また、センサ自身の仕様や観測時の状況（マイクロ波の波長、地表への照射角など）によっても影響を受ける。本検討では、崩壊の発生による地表面粗度の変化に着目し、後方散乱強度画像中に現れると考えられる画像の濃淡のコントラストを地表の変異箇所として抽出することとした。地表面粗度の変化とは、例えば、山地流域のように森林で被覆された地域で崩壊が発生した場合、崩壊地の表面の粗さは森林と比較して滑らかとなると考えられることから、森林と崩壊地では後方散乱に大きな差が生じることを想定した。

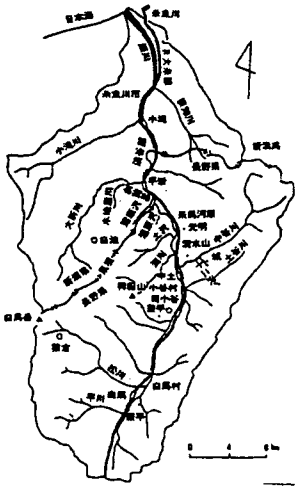


図-2 対象エリア（姫川流域）

本検討で用いたSARデータはRADARSAT／SAR－Cバンド（波長37.5－75mm）により得られたものである。このセンサは植生の樹冠表面からの表面散乱及び葉、枝などからの体積散乱の強度を観測することが可能なことから、この観測データを選定した。

強度画像の作成の手順は次の通りである。使用したデータは未処理のもの（シングルルックコンプレックス形式）であることから、先ず画像の再生処理を行った。次に、Gamma-map フィルタによりスペックルノイズを除去し、画像同士の位置あわせを行うために幾何補正を施した。

（2）光学系センサデータを用いた崩壊地の抽出

光学系センサデータを用いて土地被覆分類図を作成し、災害前後の土地被覆状況の変化から崩壊地を抽出することを試みた。

光学系センサは物質表面の太陽光の反射強度を可視光域から赤外域の間を複数の波長帯に分けて観測する。物質は種類、含水量、表面粗度、色などにより異なる反射強度を示すことから、この特性を利用することで、地表の被覆物を複数のカテゴリー（水域、都市部、水田など）に区分することが可能となる。ここでは、災害前後の光学系センサ画像から各時期の土地被覆分類図を作成し、災害後に植生が失われた箇所を災害により発生した崩壊地と見なして、崩壊地布図を作成することとした。

崩壊地分布図の作成手順は次の通りである。まず、衛星データに幾何補正を施した後、教師付き分類を行う。教師付き分類とは現地に関する情報が存在する場合にそれを参考資料として、画像を構成する画素をそれぞれのカテゴリーへ区分していく手法である。教師付き分類により土地被覆分類図を作成した後、災害前後で、植生地から裸地に変化したカテゴリーを崩壊地とした。

2．2　研究方法(技術動向調査)

搭載センサの主要諸元や建設分野に関連する事例や課題等のリモートセンシングの技術動向について調査し、リモート・センシング技術センター(RESTEC)等の国内配信機関における衛星データのオンライン入手の可否、データレベル、取得までに要する時間等を整理した。そして、衛星データの蓄積に必要な性能、方式、管理手法について検討を行い、衛星データの管理すべき属性情報について整理した。また、衛星データの提供及び公開に関するネットワークの検討を行うとともに、インターネット等で衛星データを提供する際に必要なデータの圧縮方式と圧縮によるデータの視認状態について整理した。最後に、衛星データの取得、補正、蓄積及び提供を行うための全体システムについて概略設計を行うとともに、土木研究所における衛星データの解析や研究を支援するためのプロトタイプシステムの設計を行った。

3．研究結果

3．1　研究結果(土砂災害把握手法の検討)

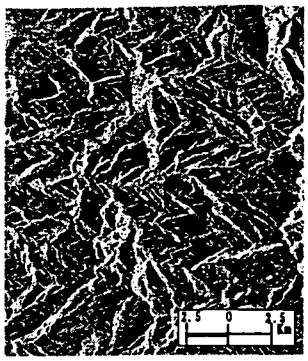
3．1．1　台湾921集集地震による土砂災害への適用

（1）台湾921集集地震による土砂災害の概要

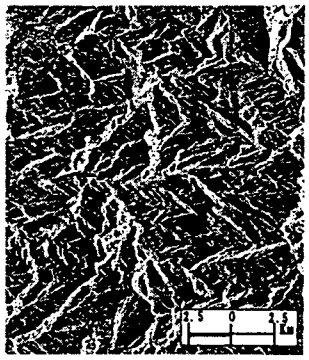
1999年9月21日に、台湾中部の南投縣の集集市より東に10km付近でM7.3（台湾中央気象局）の大地震が発生した。この地震により、都市部での災害のほか、山間地でも崩壊や地すべりが多発した。特に南投縣と台中縣の県境では、30～50km²の広い範囲内で表層崩壊による禿げ山が発生したり、九分二山、草嶺山などの山岳地帯においては地震による土砂災害規模としては最大級に相当する崩壊土量10^7～10^8m³級の大規模崩壊が発生している。

表-1　使用した衛星画像(1)

Acquisition date	Satellite	Mode	Scene center	Beam type	Note
04/09/99	RADARSAT	WIDE	23° 52′ 02″ N 120° 48′ 00″ E	W2(31-39°)	Before the erthquake
10/18/99	RADARSAT	WIDE	23° 51′ 02″ N 120° 45′ 08″ E	W2(31-39°)	After the earthquake

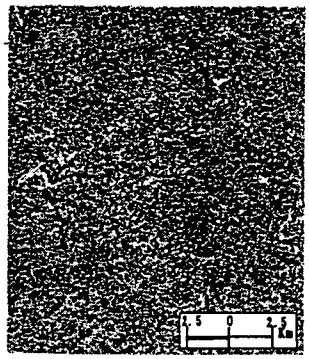


1999年4月9日

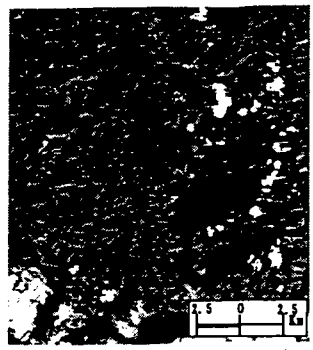


1999年10月18日

図-3 RADARSAT/SAR 強度画像（清水渓周辺）



2時期の差画像



SPOT/HRV 画像(1999年9月27日)

図-4 清水渓周辺の2時期の差画像と SPOT 画像

（2）合成開口レーダ画像を用いた崩壊地抽出結果

表−1 に使用した衛星データの仕様を、図−3 に 1999 年 4 月 9 日（地震前）及び同年 10 月 18 日（地震後）の RADARSAT/SAR 強度画像を示す。SAR の強度画像の濃淡は後方散乱係数の強弱を表している。しかし、この 2 画像を判読により比較し崩壊地を抽出することは困難なことから、二時期の変化をより明確に示すために差画像を作成した（図−4 左）。

画像中央より西側の草嶺村付近に暗い箇所、すなわち、後方散乱係数の低下した箇所が見られる。ここは、大規模な地すべり性崩壊が発生し、その崩土により清水渓が堰き止められて天然ダムが形成された場所である。また、草嶺の北東部にも明るい箇所が見られるが、ここも崩壊が発生した場所である。

しかし、光学系センサ SPOT/HRV のフォールスカラー画像（1999 年 9 月 27 日撮影　図−4 右）と比較したところ、SPOT の画像で確認できる多数の大規模崩壊地を SAR の差画像から判読することが困難であることがわかる。以上のことから崩壊地あるいは地形変化箇所が抽出されなかった原因として樹冠の粗度と崩壊地の表面粗度の差異が小さいため、後方散乱強度にも変化が見られないことが考えられる。

（3）光学系センサ画像を用いた崩壊地抽出結果

表−2 に使用した衛星データを示す。そして、これらを元に、地震前後の画像でそれぞれ土地被覆分類図を作成し、既存の崩壊地分布図と合わせて推定崩壊地分布図を図−5 に示す。

表 - 2　使用した衛星画像(2)

Acquisition date	Satellite/Sensor	Path/Row	Note
09/01/99	LANDSAT/TM	117/ 34	Before the
09/01/99	LANDSAT/TM	117/ 44	earthquake
09/27/99	SPOT/HRV-XS	299/302	
09/27/99	SPOT/HRV-XS	299/303	1 week later
10/12/99	SPOT/HRV-XS	299/302	
10/12/99	SPOT/HRV-XS	299/303	3 weeks later

この図によると、実測と推定の崩壊地分布状況が非常に良く一致するエリアが幾つか見られる(図 - 5 中の小さい丸印内)。しかし、一方で、非崩壊地が崩壊地として誤分類されている箇所も多い。その主な理由として、①雲の存在が非植生地として分類されていること、②僅かな位置ずれが誤分類を招いていること等が考えられる。

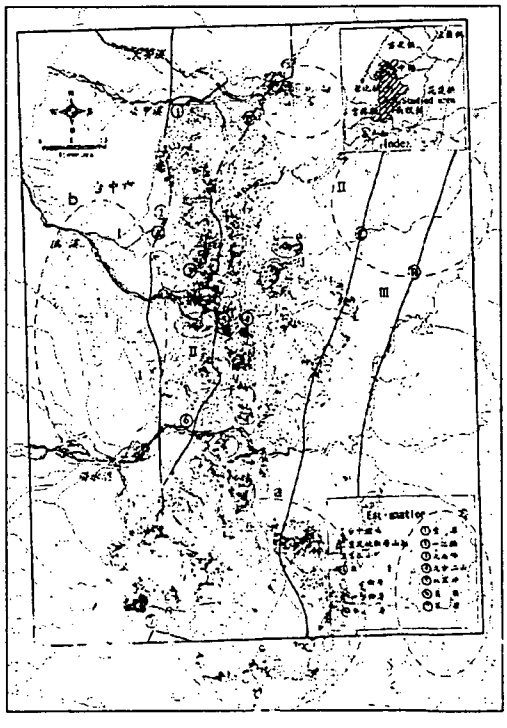


図 - 5　台湾中部の崩壊地分布図

①のケースは、地震前の画像中の雲の無いエリアにおいて、地震後の画像では雲が存在すると、分類上そのエリアは非植生地へ変化したものとみなされてしまうために発生する問題である。そして、そのような誤分類は雲の周辺及び薄雲のかかるエリアにおいても引き起こされる傾向にあることが分かった。②については、地震前後で比較をした画像が、異なる衛星から得られたものであることが大きな原因と考えられる。すなわち、ポインティング機能によりセンサを傾けて観測する SPOT の画像は幾何学的なひずみを含むことから、直下視で観測する LANDSAT と位置の整合をそのままとることはできないためである。

3．1．2　平成 7 年姫川豪雨による土砂災害への適用

（1）平成 7 年姫川豪雨災害による土砂災害の概要

長野県、新潟県をまたがり糸魚川ー静岡構造線に沿う様に流れる姫川は流域面積 722km², 本線流路延長 60km、平均河床勾配 1/80 の急流河川である。1995 年（平成 7 年）7 月 11 日から 12 日にか

けての集中豪雨により、流域各地で山腹崩壊、土石流、地すべり、がけ崩れなどが多発し、構造物の破壊、河床の著しい上昇などの甚大な被害が生じた。

（2）光学系センサ画像を用いた崩壊地抽出結果

前節の検討結果から、大規模な崩壊であってもマイクロ波センサ画像ではその把握が困難であることが分かった。しかし、光学系センサ画像による崩壊地抽出においては有効性が見られたことから、ここでは、前節（3）の手法について国内の土砂災害事例に適用し、詳細な検討を行った。

表－3 に使用した衛星データを、図－6 に災害前後（1994 年 8 月 26 日及び 1995 年 8 月 29 日）の LANDSAT/TM 画像を用いて作成した崩壊地分布図を示す。

表 - 3　使用した衛星画像(3)

Acquisition Date	Satellite/Sensor	Path/Row	Note
08/26/94	LANDSAT/TM	109/34	Before the Rainstorm
08/29/95	LANDSAT/TM	109/34	After the Rainstorm

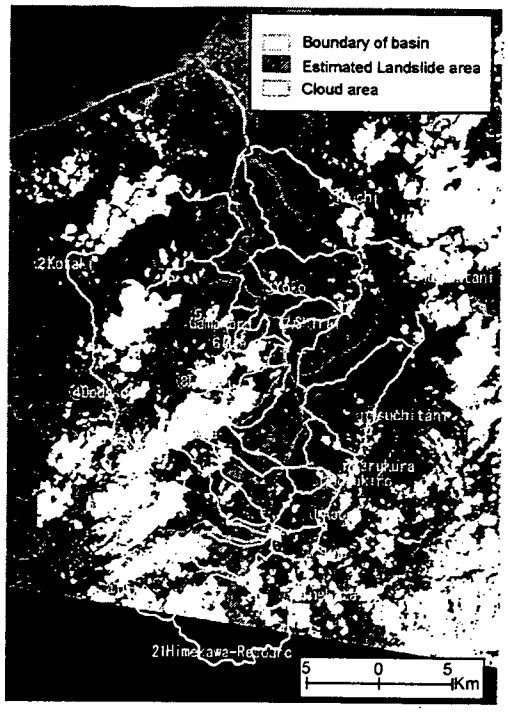


図-6　LANDSAT 画像より作成した崩壊地分布図

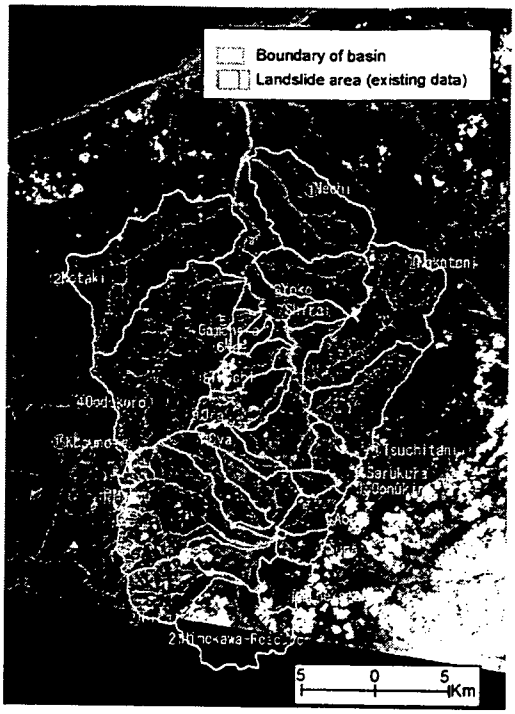


図-7　崩壊地分布図（既存資料）

表 - 4　姫川支川流域の実測及び衛星による推測崩壊面積

Sub-drainage basins		Area(A)	The Previous Report*1		This Report		Cloud Cover*2 (C)	Percentage of Cloud Cover(C/A)	Notice
			Total Area of Landslides(L1)	Percentage of Landslide Area(L1/A)	Total Area of Landslides(L2)	Percentage of Landslide Area(L2/A)			
		(km^2)	(km^2)	(%)	(km^2)	(%)	(km^2)	(%)	
Nechi-river	1	48.1	4.41	9.2	1.75	3.6	4.52	9.4	
Kotaki-river	2	71.8	0.52	0.7	1.13	1.6	13.30	18.5	
Yoko-river	3	27.25	0.25	0.9	0.82	3	2.11	7.8	
Oodokoro-river	4	98.7	6.66	6.7	2.52	2.5	30.24	30.6	Problem of clouds distribution
Gamahara-river	5	3.6	0.33	9.2	0.29	8.2	0.26	7.3	
Mae-river	6	3.9	0.12	3.1	0.23	5.9	0.65	16.6	
Shirai-river	7	4.85	0.06	1.3	0.20	4.1	0.05	1	
Tsuchi-river	8	11.75	0.08	0.7	0.33	2.8	7.06	60	Cloud cover 50% over
Ura-river	9	21	6.31	30	0.67	3.2	10.43	49.7	Cloud cover 50% over
Nakaya-river	10	58.05	2.58	4.4	2.39	4.1	5.47	9.4	
Tsuchitani-river	11	32.25	1.93	6	1.54	4.8	1.46	4.5	
Sarukura-river	12	11.4	0.32	2.8	0.75	6.6	1.58	13.8	
Onuki-river	13	4.9	0.09	1.9	0.39	8	0.41	8.4	
Oya-river	14	9.75	0.27	2.8	0.54	5.6	2.82	28.9	Problem of clouds distribution
Kusunoki-river	15	16.5	0.39	2.4	0.54	3.3	5.48	33.2	Problem of clouds distribution
Aooni-river	16	10.2	0.11	1.1	0.69	6.8	0.81	7.9	
Suga-river	17	6.5	0.06	0.9	0.87	13.3	1.06	16.3	
Matsu-river	18	58.9	1.04	1.8	1.78	3	33.09	56.2	Cloud cover 50% over
Minekata-river	19	13.05	0.09	0.7	0.72	5.5	4.10	31.4	Problem of clouds distribution
Hira-river	20	22.85	1.06	4.6	0.92	4	12.09	52.9	Cloud cover 50% over
Himekawa resorce area	21	40.2	0.12	0.3	1.63	4.1	10.22	25.4	Lack of Imagery

*1 After Erosion and Sediment Control Div, PWRI(1996)

*2 The cloud area in 1994 and/or 1995

また、既存の崩壊地分布図から作成したデジタルマップを図－7 に示す。

流域全体については、抽出した崩壊地の分布傾向を概観することができることが分かる。そこで、小流域毎についても分布傾向の把握が可能であるのかを調べるために、衛星画像を用いて作成した崩壊地分布図から崩壊面積率を求め、既往調査による実測値との比較を行った（表-4）。その結果、小滝川、蒲原沢、前沢、中谷川、土谷川において実測値に近い面積率が得られた。これらの流域では、雲の被覆率が低い、また、崩壊規模が大きいことが特徴として挙げられることから、雲の存在と、崩壊の規模が抽出精度に大きく関与していることが考えられる。

3．2　研究結果(技術動向調査)

3．2．1　センサー技術動向調査

センサに関するリモートセンシングの技術動向としては、空間分解能の向上に向けて開発が進められており、図－9に示すように光学センサ(OPS)・電波センサ(SAR)の空間分解能は光学センサで数十cm程度、SARで1m程度まで向上すると予想される。

3．2．2　衛星データの蓄積・管理に関する検討

衛星データの蓄積に必要な性能、方式、管理手法について検討を行い、衛星データの管理すべき属性情報のとりまとめを行った。また、衛星データの提供に関する検討を行った結果、解析処理後等の衛星データを地方整備局、工事事務所等の多数のユーザへ提供することを考慮すると、拡張Web型モデルが適していることがわかった。

3．2．3　衛星データ管理・提供システムの設計

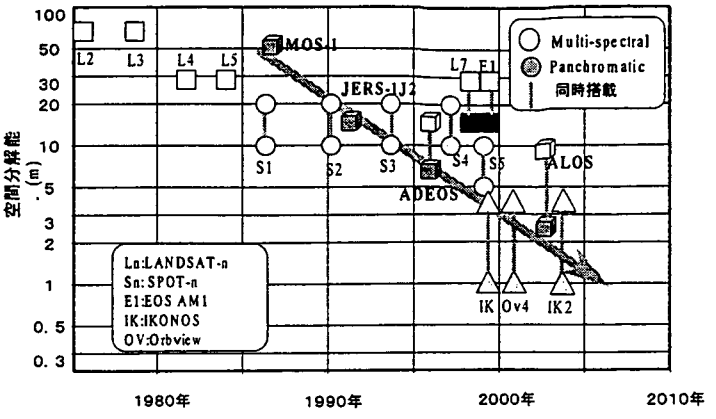
衛星データ共用システムの設計に必要な収集や蓄積に関する基本コンセプトをまとめると次のようになる。

1)日本全土を月1回のOPS及びSARにより観測し、解析処理のための基礎データを収集する。

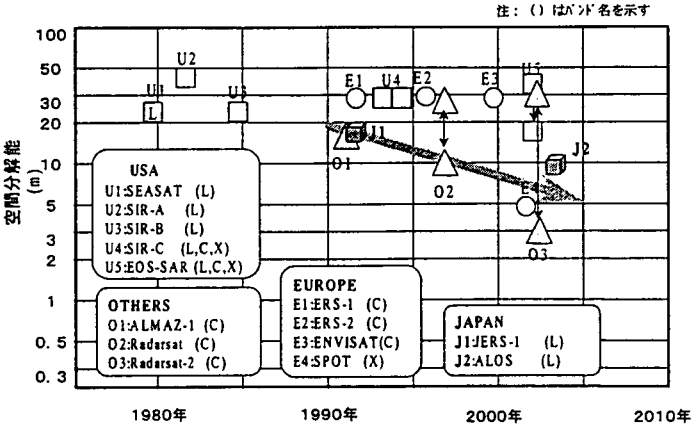
2))収集時の衛星データは、レベル0及び補正済みデータとする。

3)先月分を基礎データとしてディスクアレイに蓄積し、2ヶ月毎にデータ更新を行う。

4)蓄積する基礎データは、補正前のレベル0データ等については配布機関で蓄積管理されていることから、GIS上に展開できる補正済みデータとする。



光学センサと空間分解能の推移



SARと空間分解能の推移

図－8　光学・電波センサの空間分解能の推移

上記のコンセプトをもとに、衛星データ共用システムの設計条件と蓄積に関する要求性能についてとりまとめた結果を表-5に示す。

表-5　衛星データ共用システム設計条件と要求仕様

センサ種別	分解能 (m)	観測範囲 (km^2/シーン)	データ量 (MB/シーン)	観測対象 (km^2/月)	シーン数 (シーン)	蓄積量 (TB/月)	更新間隔 (月)	最大蓄積量 (TB)
OPS	1	10x10	400	500,000	5,000	2	2	4
SAR	1	10x10	1,000	500,000	5,000	5	2	10

4．　まとめ

本研究では、衛星リモートセンシングデータを活用して、広域にわたり発生した斜面崩壊等の抽出手法の検討を行うとともに、同関連技術の動向調査を行った。その結果、以下の知見が得られた。

・ SAR画像は湛水地や顕著な地形変化を伴う大規模崩壊の抽出には適応可能だが、崩壊の規模に関わらず表層崩壊の抽出を行うには難しい。

・ 光学系センサ画像は土砂災害の監視へある程度適応可能である。しかし、薄雲や画像のひずみ、空間分解能の乏しさ等の原因から誤分類を招く。
・センサーの空間分解能は、光学センサーで数十 cm，SAR で 1 m 程度まで向上する。
・地方整備局等の多数のユーザーに情報を提供するには、拡張 Web 型モデルが適している。
・現実的な運用方法を考慮すると、衛星データ共用システムのデータ蓄積容量は 4～10TB を要する。

流域全体を対象とした崩壊地の抽出は土砂災害による被害を最小限にとどめるための重要な情報をもたらすものである。今回の調査ではある程度の把握可能性が示されたが、さらに十分な結果を得るために、今後は、各種センサ画像の組み合わせによる手法や波長帯バンド演算による新しい指標の検討、また SAR の差分干渉処理といった新しい技術の活用など、最新の衛星リモートセンシングの動向をふまえながら、崩壊地の抽出精度を高める方法について調査を進めていきたい。

主な研究成果物

"Applicability of Satellite Remote Sensing Technique for Investigation of Sediment Disasters Caused by Landslide and Debris Flow", Workshop on Natural Disaster Monitoring By Satellite, Paris, 2001
「リモートセンシングの動向と国土管理への展開について」、建設電気技術 2000 技術集、2000 年 10 月

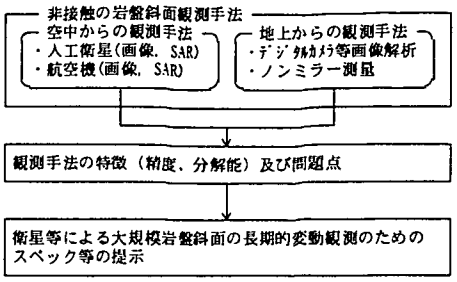
(仲野，清水，山越，福嶋，二階堂，金藤，有江)

1.9　大規模岩盤斜面の長期的変形調査

研究期間：平 11 ～平 13 年
担当：急傾斜地崩壊研究室

【要旨】

大規模岩盤斜面は、地形の急峻さや規模の大きさから、計測機器による経年的な監視は困難を伴い、長期観測が可能な非接触型の観測手法の開発が必要である。非接触型の観測手法として人工衛星や航空機による空中からの観測手法、３Ｄレーザキャナー等による地上からの観測手法が考えられる。平成１１年度には、雲仙・普賢岳の溶岩ドームを対象に、人工衛星(InSAR) の計測誤差についての検討を行った。平成１２年度は、雲仙普賢岳の溶岩ドームを対象にして精度のよい結果が得られる計測条件を検討した。



研究イメージ

１．研究目的

大規模岩盤斜面の崩壊は、発生の頻度は低いものの、崩壊が発生した場合には甚大な被害が生じる。このような大規模岩盤斜面に対しては、その地形の急峻さや規模からハード的な対策を実施することは困難を伴い、斜面監視等のソフト的対策も併せて実施していく必要がある。しかしながら、広範囲に分布する大規模岩盤斜面の経年的な変状の監視は計測機器の設置やその管理が困難な場合があり、広範囲を長期間にわたり効率的に観測することが可能な非接触方式の監視手法の開発が望まれている。このため、衛星等を用いた岩盤斜面の長期的変状を監視するための観測手法を検討するものである。

２．研究内容

１１年度は雲仙普賢岳の溶岩ドームを対象にして InSAR の計測結果と光波測量の計測結果との比較検討を行った。その結果、数 cm ～数 10cm の精度で変動量が得られた。一方、既往文献によると、InSAR の計測では理論的に数 cm 程度の精度で計測できるが、実質は数 m ～数 10m の精度であると言われている[1]。そこで、１２年度は精度がよい結果を得ることができる計測条件を検討した。

３．研究方法

計測精度を向上させるには、高い干渉性のある画像が得られること、画像処理をしやすくすることが必要である。干渉性の程度に影響する要因として、地表面の植生の被覆状況、基線長、２画像の撮影時期の相違等が考えられる。上記条件のうち基線長に注目して計測精度や画像の干渉性の整理を行い、その結果を比較検討した。また、画像処理のし易さに影響する要因は、場所の特定をしやすい地理的条件が考えられることから、地理的条件についても検討した。

３．１　対象地及び使用データの選定

地表面が植生に覆われていると植生自体からの散乱、地表面からの散乱、植生と地面の相互作用による散乱（体積散乱）が起こると考えられている。この影響を含めて検討すると、現象が複雑になるため解析が難しくなる。そこで、植生の影響がない雲仙普賢岳の溶岩ドームで光波測量により計測が行われている約 600m × 400m の区域（９測点）を検討の対象地とした。

4　検討結果

4．1　計測状態

使用したデータはJERS-1　SARデータ（波長：23.5cm　Lバンド）であり、観測日及び計測状態は表－1のとおりである。

表－1　使用データと計測状態

番号	観測日	①との基線長(m)	2画像の干渉状態	計測精度
①	1996/6/12	—	—	—
②	1997/3/3	261	9測点全て干渉	数cm
③	1998/5/17	302	3測点で干渉しない部分がみられる	数10cm
④	1998/6/30	1,101	全ての計測点で干渉しない	—

4．2　比較検討結果

（1）基線長

JERS-1 SARにおける臨界基線長（1アンテナ繰り返し観測方式InSARの最大基線長の理論値）は、約6 kmであり、ディファレンシャルインターフェロメトリックによる干渉画像から良好な干渉縞を得るには、軌道間距離が500 m以下であることが望ましいと言われている。基線長と精度及び画像の干渉状況との関係をみると、基線長が260 m（①と②のペアー）の場合、すべての測点で干渉する良好な画像（数 cmの精度）が得られているが、基線長が302 m（①と③のペアー）場合、一部干渉しない画像（数10cmの精度）となり、さらに基線長が1,101m（①と④のペアー）の場合、すべて干渉しない画像であった。このことから、基線長が長くなるほど、精度や干渉性が悪くなり、1,102mになると臨界基線長を越えていることがわかる。このように基線長が計測精度の上で大きな要因となることがわかる。

（2）撮影時期

観測日と干渉性の良否を比較すると、観測日の相違よりも基線長の長さの方が大きい。これは、季節や気候の変化による被覆物の状況変化が干渉性を左右すると言われているが、今回の対象地が溶岩ドームであり地表植生が被覆されていない条件であったことから、撮影時期の相違による影響が小さくなったためと考えられる。

（3）地理的条件

精度のよい画像処理を行うためには、2枚のSAR画像を精度の良く位置合わせすることが必要であり、そのためには干渉画面上での位置の特定が重要となる。雲仙普賢岳の場合、画像全体にわたって島原半島の海岸線が存在し、比較的均等に位置の特定を行えたため、位置の特定をし易かったと言える。

5　まとめ

（1）計測対象地が溶岩ドームであり、数km^2以上にわたって地表面に植生等の被覆物がないこと

さらに、（1）の条件下で、精度のよい計測画像を得るための条件を検討した結果、下記のことがわかった。

（2）基線長が短いこと

（3）撮影時期は地表の植生状況の影響を受けるため同時期が良いが、（2）の基線長の条件の影響が大きい

（4）海岸線等のように位置が特定しやすい特徴が画像全体にわたって存在すること

6　今後の課題

衛星に対する斜面の向き、斜面勾配の影響を今後検討する必要がある。

（寺田、千田）

（参考文献）

1）飯坂譲二：合成開口レーダー画像ハンドブック、日本写真測量学会編 、朝倉書店、1998

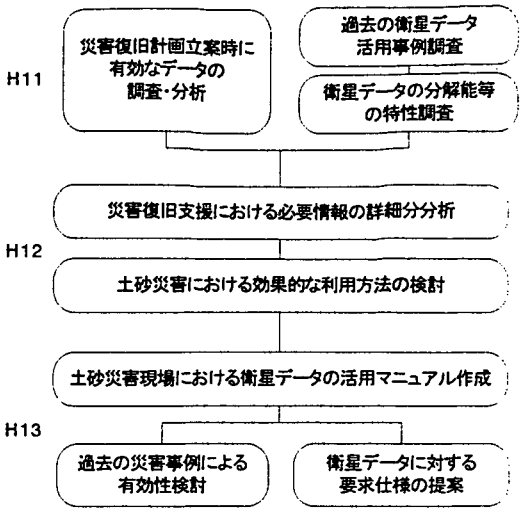
1.10　災害復旧作業における高分解能衛星データの利用に関する研究

研究期間 ： 平 11～平 13

担　当 ： 機械研究室

【要旨】

土砂災害等の災害発生時には、被災規模など様々な情報を短時間で収集・把握し、復旧作業を安全かつ速やかに行う必要がある。また、最近では衛星リモートセンシングデータの精度が向上し、広範囲かつ高精度な地表のデジタル情報が取得可能となってきた。このため本研究では、現在用いられている現場写真などに加え、衛星データを利用することで、より的確に現場状況を把握し、二次災害を防止するとともに効果的な災害復旧計画を立案することを目的とする。12 年度は、災害復旧支援の詳細分析、効果的な利用方法検討を行った。今後は、現場向け活用マニュアル作成を行い、その有効性の検討、衛星データへの要求仕様の提案をとりまとめる予定である。



図－1 全体計画

1.研究目的

近年、衛星リモートセンシング技術の向上により、高精度の衛星データが取得可能となったが、災害復旧対策への利用はほとんど無い。本研究では、過去の災害事例および衛星データの精度等について調査を行い、衛星データの利用方法や有効性の検証、および衛星データに対する要求仕様をまとめることを目的とする。

2.研究方法

2.1 災害復旧支援における必要情報の詳細分析

災害復旧支援における必要情報を整理するために、表-1 に示す 3 災害を対象に、災害復旧に携わった関係者（工事事務所・出張所・施工会社）へヒアリングを行い、災害発生後に求められるサービスを整理した。空間分解能に関する項目には、必要となる分解能を整理した。

表-1 ヒアリング対象災害

災害発生日	災害名称（箇所）	担当事務所
H10.9.15 頃	国道52号光子沢地滑り災害（山梨県南巨摩郡身延町）	関東地方整備局 甲府工事事務所 峡南国道出張所
H11.10.27	国道51号斜面崩壊災害（茨城県行方郡牛堀町）	関東地方整備局 常陸工事事務所 鹿嶋国道出張所
H12.9.16	国道52号清水端土砂押し出し（山梨県南巨摩郡鰍沢町栄町）	関東地方整備局 甲府工事事務 峡南国道出張所

表-2 災害復旧サービスと空間分解能

必要時間	災害復旧サービスの内容	対象物のサイズ	最低限必要な空間分解能	充分な空間分解能
災害直後（3 時間以内）	災害規模（全体の状況）	5m	0.5m	1m
	災害規模（土砂量）	1m	0.2m	0.1m
	沈下量・移動量の抽出	0.1m	0.02m	0.01m
	道路の亀裂	0.05m	0.03m	0.01m
復旧活動開始（12 時間以内）	ストックヤード（駐車スペース）	20m 以上	5m	1m
	道路状況（搬入路）	5m	1m	0.5m
	食堂の場所	———	———	———

2.2 土砂災害における効果的な利用方法の検討

衛星データの利用が効果的な土砂災害パターンと支援内容を整理した。その上で、土砂災害発生時の連絡体制に衛星データ利用の場合を想定し、情報配信・共有プロセスの提案を行い、土砂災害で活用する場合の要求事項を整理した。

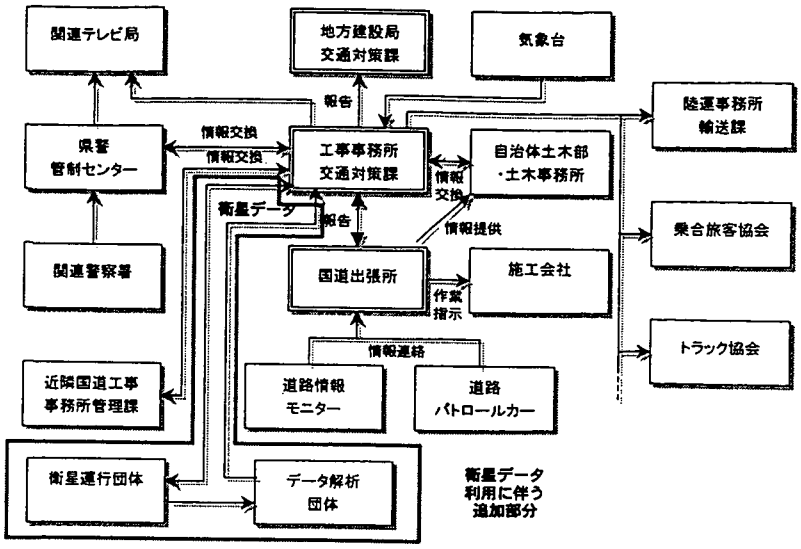


図-2 災害発生時の連絡体制

3.研究結果

3.1 災害復旧支援における必要情報の詳細分析

災害発生後に求められるサービスを表-2 に示す。災害発生直後には、災害の状況を把握するために、災害規模・変動量・道路の状態などが必要となる。また、災害復旧活動開始時には、ストックヤード・搬入路に関する情報が必要となる。

また、災害外復旧活動中は、現場で寝泊まりする事が多く十分な栄養・休養を取ることが難しい。そのため、安全な災害復旧作業には、現場近辺での食堂の有無が重要である。

空間分解能の検討結果より、現在利用されている高解像度衛星(空間分解能 1m 程度)は、災害規模の把握・ストックヤード検討・搬入路検討には有効であることが得られた。

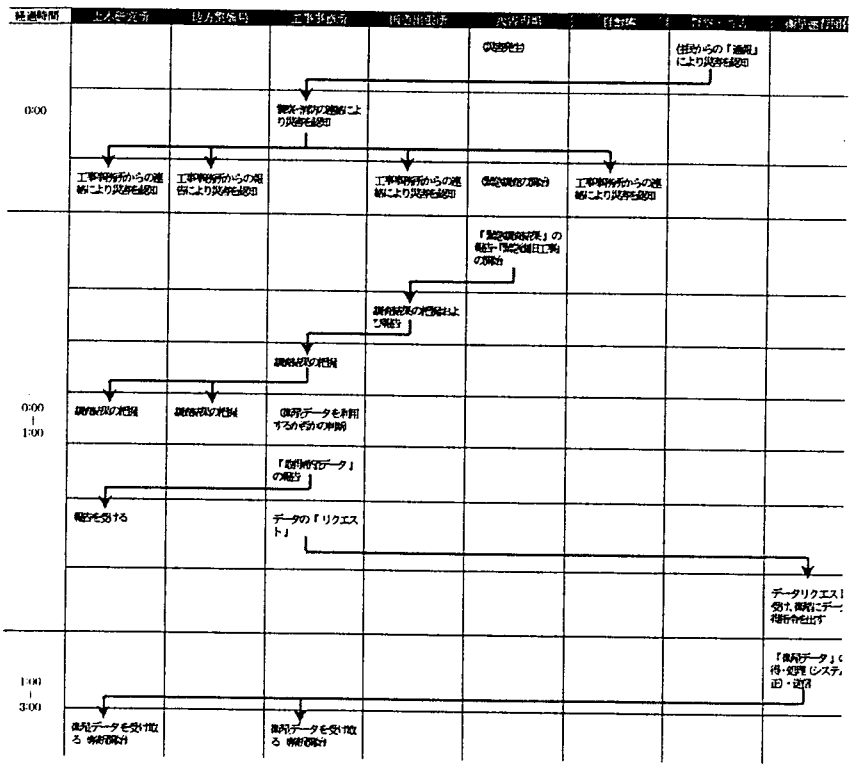


図-3 情報配信・共有プロセスの提案

3.2 土砂災害における効果的な利用方法の検討

衛星データの利用が効果的な土砂災害のパターンは、大規模災害・同時多発災害・アクセス経路遮断型災害である。衛星データを用いることにより、従来の地上からの写真やヘリコプターからの映像では、困難な災害の全貌を把握し最適な対応が可能となる。

衛星データを用いる場合には、工事事務所から衛星運行団体へデータ撮影依頼を行い、データ解析団体から受け取ることが最適と言える。(図-2 参照)また、3.1 で得られたように 3 時間以内に衛星データを入手するための情報配信・共有プロセスを図-3 に示す。土砂災害で活用するには、複数の衛星を利用した常時監視体制で、リクエストから処理(システム補正)済みデータを受け取るまでの時間が 2 時間であることが必要となった。

(江本平、服部達也、水上紀明)

1.11　衛星通信技術の道路分野への適用可能性に関する研究

研究期間：平12～平13
担　当：　道路研究室

【要旨】
本研究は、衛星通信技術を道路分野に適用して新しいサービスがどのように提供できるのか、また道路管理等の分野へどのようなインパクトがあるのかを調査し、衛星情報通信と道路システムのインテグレーションよって、より高度な道路交通システムの構築に適用していくことを目的としている。
12年度は、昨年度に引き続き、高解像度衛星画像の利用方法について、その画像処理の有意性の検討を行うと同時に、移動通信の高度化とカメラのデジタル化による高精度 GIS について調査した。その成果、GPS システムとリンクした道路用の高精度 GIS が必要であり、今までの航空機による写真画像からのデジタル化ではなく、スリーラインスキャナなどのデジタルセンサによる直接的な高精度 GIS 構築が望ましいこと、高精度 GIS と衛星通信技術とのインテグレーションによる新たな道路サービスの提供が必要なことが分かった。

1．研究目的

高度情報社会の進展に伴い、サービスレベルが高く、より効率的で経済的にも低コストな最適な道路マネジメントが益々求められている。一昨年、商用化が始まった高解像度衛星のデータは、車両の判別が一応可能となった商用衛星写真であり、社会的にも上空からの観測技術への関心が高まった。最近、デジタルセンサ等の IT 技術や航空宇宙工学の発達により、数センチレベル地上のセンシング技術が開発され、それらのデータを用いた高精度のＧＩＳを構築する手法が実用化されつつあり、これらの最先端技術を活用した新しい道路マネジメントシステムが期待されている。このように、日進月歩で進展する衛星通信技術を地上の道路交通マネジメントに応用していくことにより、上空からの計測データと地上データとの階層的なインテグレーションを図り、より高度な道路交通システムを構築していくために必要な基本技術の開発を目的とする。

2．研究方法

１１年度の研究成果から高解像度衛星のみによる１m程度の解像度では、車両を正確に把握するのは難しいことが判明しており、飛行船プラットホームについても実用化における技術的課題の解決が遅れ、実用化が遅れているため、１２年度は、衛星や飛行船プラットホームより地上に近く、より高精度なデータ取得が可能な航空機搭載センサの活用について検討を行う。
道路交通分野においては、他の分野に比べて、格段の精度が求められる要素があり、広域的なデータ取得が可能な衛星データと狭域ではあるが、高精度なデータ取得が可能な航空機搭載デジタルセンサによる、取得データの組み合わせによる広域性と高精度を兼ね備えた GIS の構築を検討する。
航空機などによる上空からのセンシング技術については、最近レーザ計測技術の応用や高精度な姿勢制御、補正技術が進展し、デジタルデータとして直接取得可能なシステムが開発されつつあるため、まず、実用化に近い段階にある各々のシステムの基本構成や技術水準、分解能などについてグラフ化により、大枠での特徴を把握することにし、主要なセンサーについて、道路マネジメントに必要となる高精度 GIS 構築のデータ取得手法への適用について研究を行うものとする。
従来の航空写真測量の分野においても、デジタル技術の導入が急激に進展してきており、アナログ航空カメラとデジタル型センサーとして、技術開発が進んでいる、ライン型センサとエリア型センサについて中心的に調査を行い、比

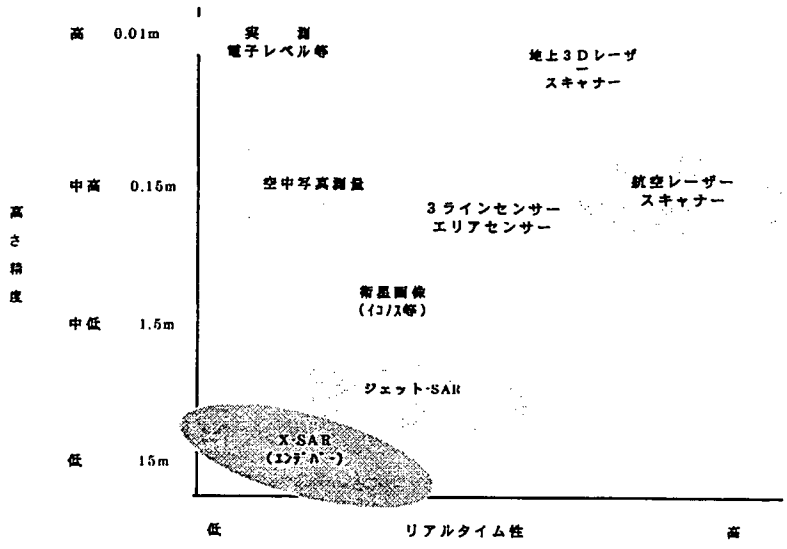
較により、それぞれの特徴及び適用性について検証した。

3．研究結果

3.1　各種センサの整理

各種航空機搭載型センサの計測精度及びリアルタイム性などの特徴をグラフ化したものを図―1に示す。

各センサの特徴について、幾つか整理すると、航空レザースキャナ方式が最も、リアルタイム性が高く、高さ精度も高いものが得られる。但し、レザースキャナ方式は、点の集合体であるので、全体像を把握しにくいという欠点があるので、何らかの形式で全体情報を集めることが望ましい。



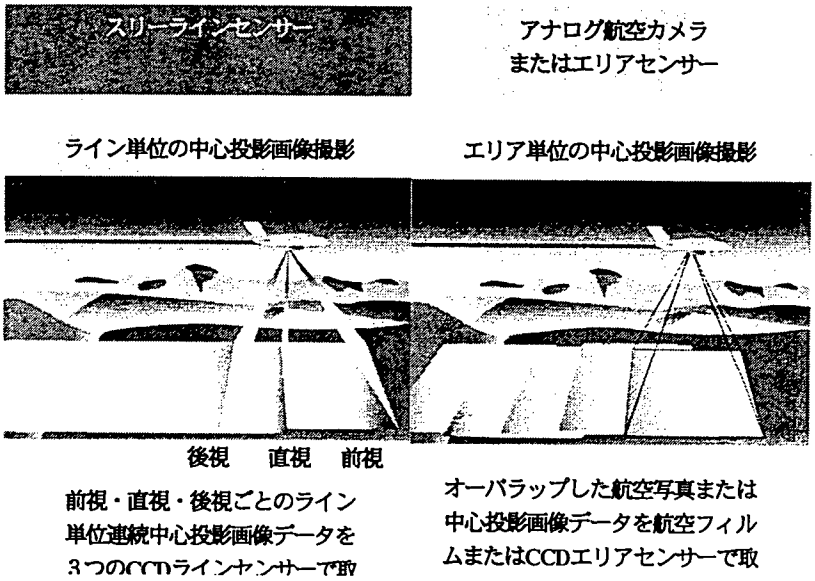
図―1　各々の測定手法とその特徴

3.2 ラインセンサーとエリアセンサー

ラインセンサとエリアセンサーの比較を摸式的に示したものが図―2である。

このことから分かるようにラインセンサでは、何らかの補正を行わなければ、像が歪んでしまう可能性があり、スタビライザなどで予め、像が歪まないようにしておく必要がある。

エリアセンサは、シャッター速度などによって得られる画像データが違ってくる。



図－2ラインセンサとエリアセンサのデータ取得イメージ

3.3　結論と今後の方向

デジタルセンサの技術的進展は、非常に大きなものがあり、取得データをそのままGIS等に展開することが可能で、補正や既存データとの整合や重ね合わせ処理が容易などの特徴があり、精度的にも十分実用領域であるが、コスト的には、アナログの航空カメラが、未だ優れており、今後、広範囲にデータ取得を行う場合のセンサーの選定につ詳細な検討が必要である。

（瀬尾、水上）

表－1　航空機搭載センサの比較

カメラ タイプ	アナログ航空カメラ	エリアセンサー	スリーラインセンサー
ピクセル トラック横断方向	25400 (相当.)	4000	12000
視野角,トラック横断方向	74º	62º	52º
飛行距離 (マイル)	160	990	340
フレーム数 (シーン)	136	5000	224
コース数	8	50	17
飛行高度(フィート)	11200	2200	8100
観測幅(マイル)	3.2	0.5	1.5
飛行時間(h)	0.7	4.4	1.5
コース変更の時間(h)	0.3	2.5	0.9
トータル飛行コスト(比率)	1	6.9	2.4

1.12　都市緑地調査における人工衛星技術の活用に関する研究開発

研究期間:平１１～平１３
担当：　緑化生態研究室

【要旨】
本研究は、都市における緑地総量の把握や緑地の活力度評価、CO_2固定量算定など、都市緑地の様々な調査・解析における人工衛星データの活用手法を開発することを目的として実施しているものである。
平成12年度は、練馬区内のケーススタディーエリア及び練馬区全域を対象に、高分解能人工衛星IKONOS画像より緑地を抽出し、その精度を航空写真判読結果および練馬区緑の実態調査結果と比較することにより検証した。さらに、２時期（夏季、冬季）の衛星画像における常緑樹・落葉樹のスペクトル特性の相違による常緑・落葉の区別、現地調査結果（樹種、本数、樹高、胸高直径等）を加味してのCO_2固定量の算出等、IKONOSおよびLANDSAT画像を用いて人工衛星データの多目的活用手法の検討を行った。

１．研究目的

本研究は、都市における緑地総量の把握や緑地の活力度評価、CO_2固定量算定など、都市緑地の様々な調査・解析における人工衛星データの活用手法を開発することを目的として実施するものである。
平成 12 年度は、都市緑地調査において、航空写真による調査に代わるものとしての高分解能人工衛星IKONOS 画像の利用可能性および常緑・落葉の区別、都市緑地の CO_2 固定量算定など、人工衛星データの多目的活用手法の開発を行うことを目的とした。

２．研究方法

２．１　対象地域

東京都練馬区石神井公園周辺の 1km×1km を LANDSAT のケーススタディーエリアとし現地調査等の詳細な解析を行い、さらにその結果を練馬区全体に反映し、試算等を行うこととした。

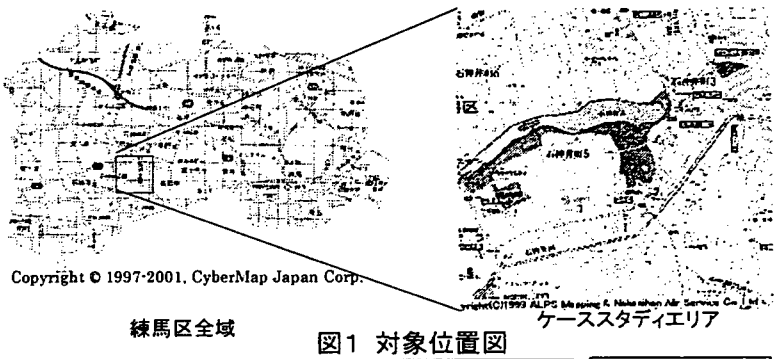


図1 対象位置図

２．２　研究方法

研究の流れを図２に示す。

（１）IKONOS による都市緑地の抽出

IKONOS ﾃﾞｼﾞﾀﾙｵﾙｿ画像の教師つき分類により緑被地（樹林地、草地、農地）の抽出を行った。抽出結果は、1／2,500（ケーススタディーエリア）及び 1／10,000（練馬区全域）の DM データと重ね合せ緑被分布図及び小樹林地分布図を作成した。なお、小樹林地とは面積 300m² 以上のまとまりをもった樹林地を指す。

（２）IKONOS による緑地抽出精度の検証

ケーススタディーエリアについては、航空写真判読結果と練馬区全域については、「練馬区みどりの実態調査(H8)」の結果と比較することによって、IKONOS 画像により抽出された緑被地の精度を検証した。

（３）衛星画像の多目的活用の手法検討

２種（LANDSAT、IKONOS）２時期（夏、冬）の衛星画像を用いて常緑樹・落葉樹の区分抽出を行い、航空写真判読結果と比較検討を行った。

（４）ケーススタディーエリアにおける現地調査の実施

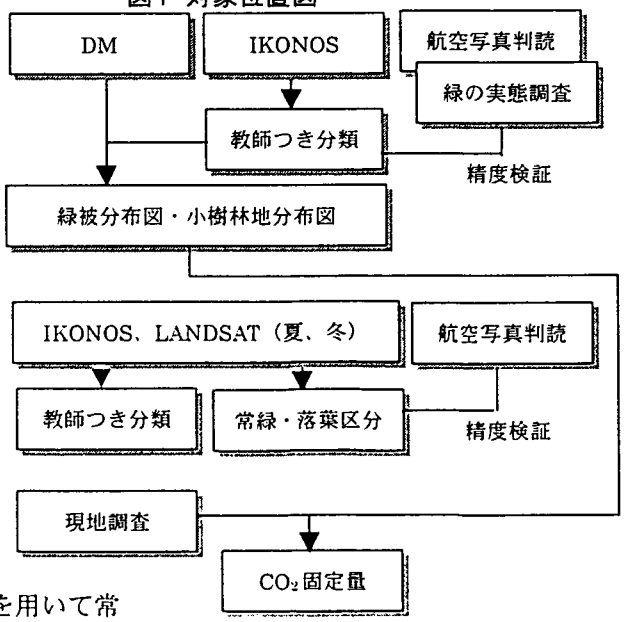


図2 研究の流れ

ケーススタディーエリアにおいてLANDSATによる6つの土地被覆ごとに2箇所（計12箇所）の現地調査箇所(30m×30m)を選定し、①樹種、②本数、③樹高、④胸高直径、⑤枝張りについて現地調査を行った。

（5） 都市緑地のCO_2固定量の把握

現地調査結果より土地被覆ごとに緑被率、本数、樹高、胸高直径、枝張りの平均値を求め、公表されるCO_2固定量原単位を用いてケーススタディーエリア及び練馬区全域のCO_2固定量を算出した。

3．研究結果

（1） IKONOSによる緑地抽出精度の検証

航空写真判読結果（図3、図5）を基準にIKONOSより作成した緑被分布図、小樹林地分布図（図4、図6）を検証した。

本研究ではIKONOSﾃﾞｼﾞﾀﾙｵﾙｿ画像を使用したため、背景画像との空間誤差は皆無に等しく、高い位置精度を示している。緑被地の抽出精度は空間分解能が4mと高いため、小規模な緑被地も比較的適切に抽出されているが、影の影響が残っている。今後実用化へ向けて判読による補完、あるいは高い精度での影の除去処理手法の開発が必要であると考えられる。面積300m²以上の小樹林地分布図の場合、影の影響が相殺されており、緑被分布図よりも小さい誤差で抽出されている。



図3 緑被分布図(航空写真)



図4 緑被分布図(IKONOS)

（2） 常緑樹・落葉樹区分結果の検証

図3の航空写真判読結果を基準に、2時期(夏、冬）の衛星画像における常緑樹・落葉樹のスペクトルの季節変化パターンを調べ、それぞれの特性を利用し、自動処理による常緑樹と落葉樹の区分を試みた（図7）。


図5小樹林地分布図(航空写真)

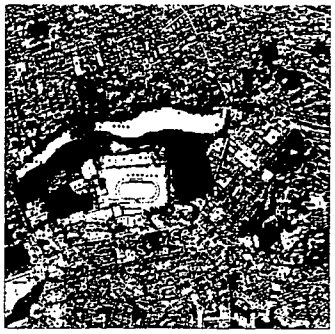

図6小樹林地分布図(IKONOS)

図7をみると、おおむね航空写真判読結果に近い精度で区分されており、2時期の衛星画像を用いる手法の妥当性がおおむね認められた。これより、より多数の時期の衛星画像を用いることによって、さらに細かい樹種が区分できる可能性が考えられる。一方、図7に存在する誤差は、落葉によって露出する樹下のスペクトル特性が場所によって異なることに起因すると考えられる。すなわち、落葉によって分光反射率の小さい土壌が露出するケース以外に、分光反射率の大きい家屋やコンクリートが露出するケース、常緑低木が露出するケースなどがあるため、これらが誤差を生じさせていると考えられる。

（3）都市緑地のCO_2固定量の把握

LANDSAT及びIKONOSの分類結果と現地調査により求められた土地被覆分類ごとの平均樹木被覆面積、各樹高・胸高直径毎の平均樹木本数を用いて、ケーススタディーエリア及び練馬区全域のCO_2固定量を試算した。試算結果は手法による分散が大きく、改めて精度を検証する必要があると思われる。



図7 常緑樹・落葉樹区分図(IKONOS)

4．今後の課題

本研究では、IKONOSを用いて作成した緑被分布図と小樹林地分布図の精度検証、2時期（夏、冬）の衛星画像を用いた常緑樹・落葉樹の区分検討、およびCO_2固定量の算出を行った。今後は実用化へ向けて、解析手法および誤差補正手法の体系化を行っていく必要がある。

（藤原、山岸）

1.13　リモートセンシングデータを活用した流域土砂管理に関する研究

研究期間：平11～平13
担当：砂防研究室・地すべり研究室

【要旨】
今年度は、JERS-1 が運用期間中に撮像した日本国内の全 SAR 画像の内、基線長の短い画像ペアを日本全国で検索し、地すべりの含まれていると思われる画像ペアに対して InSAR 処理を施し、滑動中の地すべりの抽出を試みた。その結果，以下のことが明らかになった。1)日本国内で、基線長が 200m 未満かつ画像間隔が半年以上の画像ペアを検索すると、その大部分のペアにおいて画像間隔が 3 年となる。2)変位インターフェログラムにおけるノイズは、平坦地より山地において甚だしく、山地ではほとんど干渉性を有していない。3)複数の画像によって平均化処理を行うことにより確かにノイズは低減されたが、山地において、滑動中の地すべり地と正常な斜面の区別をつけ得るほどには低減することはできなかった。

1. 研究目的

土砂災害による被害を最小限にとどめるには、予測理論の研究や現場での詳細な調査に加えて、地表面の変化を広域にモニタリングできる技術によって、迅速に正確な流域の変化情報を把握する必要がある。

人工衛星データを利用することで、流域広範囲のデータ取得にかかる費用を低減し、広範囲のデータを定期的に取得できるというメリットがある。この人工衛星のセンサには、大きく分けて光学系とレーダ系があり、前者は受動系センサとも呼ばれ、地表の電磁波（主として太陽光）の反射強度を観測するものである。この場合は天候等に左右され、雲の影響を受ける。一方、後者は能動系センサとも呼ばれ自ら照射したマイクロ波が地表面から反射する強度等を観測するもので、マイクロ波が雲を透過して地表に到達することから対象地域が雲に覆われていても、また夜間であっても観測が可能である。能動系センサの一つである合成開口レーダ(SAR)のデータを利用した干渉 SAR 技術は、地表面の面的な変動状況を直接観測できる技術として注目されている。

前年度は、長野県、新潟県にまたがる 1 級水系姫川流域において、JERS-1 の合成開口レーダ(SAR)画像の差分干渉技術を利用することにより斜面崩壊等の土砂移動現象発生域の抽出を試みた。その結果、同流域を含む JERS-1 SAR 画像には、InSAR 処理に供し得るような基線長の短い画像ペアが少なかったため、同流域内の地すべりを抽出することができなかった。そこで、今年度は、基線長の短い画像ペアを日本全国で検索し、地すべりの含まれていると思われる画像ペアに対して、InSAR 処理を施し、滑動中の地すべりの抽出を試みた。

2. 研究方法

本研究で解析に用いた JERS-1 の SAR は L バンド(波長 23.5cm)である。このバンドは、波長が長いため、植被状態の変化の影響を受け難く、地盤高の変化によってのみ位相の変化が生じるものと期待される。したがって、地すべりによって、衛星の視線方向の地表面高が、波長と同等程度変化すれば、InSAR 処理をして、位相変化インターフェログラム(以下，変位画像と呼ぶ)を作成した際に、位相変化箇所として抽出されるものと考えられる。

はじめに、JERS-1 が運用期間（1992～1998 年）中に撮像した日本国内の画像全ての中から、本研究の目的にあった画像のペアを、以下の条件に従って選択した。すなわち、InSAR 技術で検出可能な程度(数 cm 以上)に地すべりが滑動するために、1)撮像時期の間隔が半年以上であること、昨年度の検討結果より、基線長が 200m 以上の組み合わせでは干渉し難いことが明らかになっているので、2)基線長が 200m 未満であること、そして、北海道、東北地方、中部地方などの積雪地帯においては、3)無積雪期の画像であること、等である。以上の条件のもとで検索した結果、929 ペアが条件を満たした。検索された画像ペアの撮像間隔は、3 年程度のものが約 80%、半年以下のペアが約 20%を占めており、極めて偏っている。しかも、基線長 100m 以下のものはほとんど全てが 3 年程度撮像時期の離れたペアであった。

検索されたペアの中から、大規模な地すべりが含まれていると考えられるペアとして、表 1 に示すペアについて InSAR 処理を行った。なお、SAR 画像の干渉性は時間とともに劣化することが予想されるため、3 年離れたペアについ

表1　解析に供した画像ペア

	パス/ロウ	マスター画像	スレーブ画像	画像間隔(日)	基線長(m)	地域名
①	73/244	03/09/96	10/15/96	220	140.73	安芸
②-1	64/235	09/18/94	08/09/97	1056	53.17	湯沢
②-2	64/235	07/05/93	05/26/96	1056	122.77	〃
②-3	64/235	08/05/94	09/22/97	1144	91.77	〃
②-4	64/235	08/05/94	06/26/97	1056	188.42	〃

ては、4シーンずつ平均した変位画像を作成することにより干渉性の劣化に伴うノイズの軽減を試みた。

3．研究結果

図1は、高知県東部安芸市周辺のSAR強度画像及び変位画像である。吉野川沿い及び徳島平野等の平坦地には，同系色が分布し、位相に変化が無いことを示している。すなわち、地形変化は無かったことを意味する。一方、山地では、色彩の変化が大きく、このペアの画像取得日の間に位相の変化が生じていることを示す。この色彩の変化は、強度画像と比較するとほぼ山地の地形とよく対応しており、地形の変化が生じたというよりは、別の理由と考えるべきである。すなわち、急峻な地形のために、2枚の画像の重ね合わせ誤差が平坦地と比較して大きいこと、変位画像を作成する際に用いたDEMの精度が不足していること等がその理由として考えられる。図1の白丸中に、善徳地すべり(幅 2km×長さ 0.9km)があるが、地すべりによる変位縞を確認することはできなかった。仮に、地すべり滑動に伴う地表面高の変化による位相の変化が観測されていたとしても、前述の誤差等によって覆い隠されてしまっているものと考えられる。

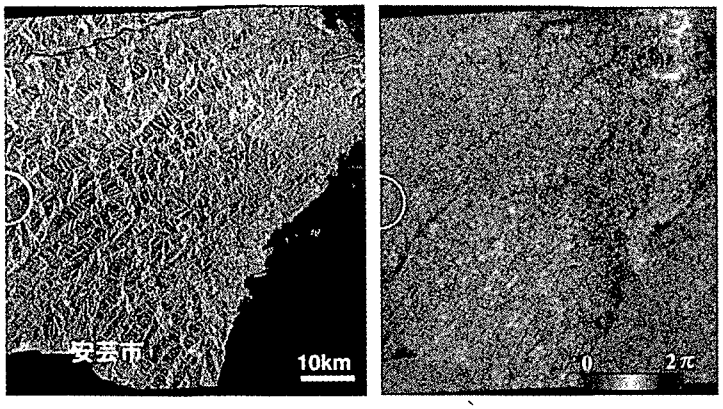


図1　安芸市周辺のSAR強度画像(10/15/96)と変位画像
(Master:03/09/96, Slave:10/15/96)

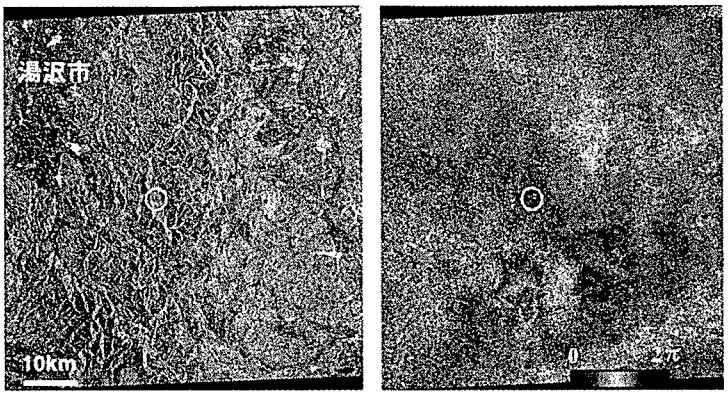


図2　湯沢市周辺のSAR強度画像(09/18/94)と変位画像
(Master:09/18/94, Slave:08/09/97)

図2は、秋田県湯沢市周辺のSAR強度画像及び変位画像である。この変位画像では、安芸市の変位画像と比較して色彩の変化が緩やかであることが分かる。図2左の強度画像と比較しても、安芸の場合のように地形と関係が深いとは考え難い。したがって、湯沢の変位画像に見られる縞は，2時期における上空の水蒸気賦存量の違いや3年間の地表面状態の変化に伴うレーダー波反射特性の変化に起因するものであると考えられる。図2中の白丸内には、谷地地すべり(幅 0.95km×長さ 1.3km)が存在しているが、右図の白丸内に地すべりの滑動を反映したと考えられるような地形変化縞は見られない。安芸の場合と同様に、誤差等によって覆い隠されてしまっているものと考えられる。

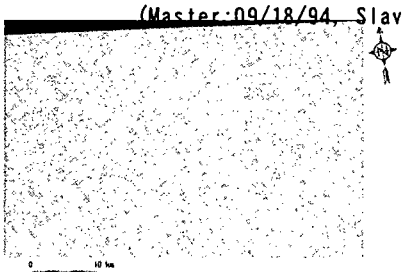


図3　ノイズ低減処理後変位画像
(白丸の位置は、図2と対応)

次に、湯沢では、画像単独で地すべりの検出はできなかったが、複数の変位画像を重ね合わせて平均値を取ることによりノイズの低減を図り、再度、地すべりによる地形変化縞の抽出を試みた。重ね合わせた画像は、②-1～4の4組のペアによる4枚の変位画像である。この重ね合わせの結果，複素画像の標準偏差は，1.756～1.776であったものが、0.816へと半減した(表2)。重ね合わせた画像(図3)では、単独ペアによる変位画像では見られた地形変化以外の要因に起因する縞は見られなくなった。しかし、同時に地すべり等に伴う地形変化によると考えられる縞も確認することができなかった。

表2　画像②-1～4を用いたノイズ低減処理による標準偏差の変化

観測日		標準偏差
ﾏｽﾀｰ画像	ｽﾚｰﾌﾞ画像	
09/18/94	08/09/97	1.769
07/05/93	05/26/96	1.773
08/05/94	09/22/97	1.776
08/05/94	06/26/97	1.756
ノイズ低減後		0.816

4．主な研究成果物

平成12年度砂防学会研究報告会発表，2000年5月，鹿児島

平成12年度日本ﾘﾓｰﾄｾﾝｼﾝｸﾞ学会秋季学術講演会発表，2000年10月，奈良

(仲野、清水、福嶋、山越)

1.14　数値標高モデル地図を用いた地すべり地の抽出技術に関する調査

研究期間：平 11～平 13
担当：地すべり研究室

【要旨】
本研究は、斜面の危険度評価を目的として、数値標高モデル地図を用いた地すべり地の自動抽出を行うものである。平成 12 年度は、平成 11 年度に行った斜面ユニットへの区分結果に対して、地表面傾斜、地表面開度を抽出指標として地すべりの移動ブロックである斜面ユニットの抽出を試みた。その結果、滑落崖がはっきり移動ブロックを取り囲むような典型的な形状の地すべり移動ブロックについては抽出することができた。今後、地すべり地形のタイプを考慮した抽出アルゴリズムの改良を行うことによって抽出精度の向上が期待できる。

1．研究目的

地すべり地形の分布図は、災害予防や合理的・経済的な防災・開発計画の基礎資料のひとつとなるものである。現在、地すべり地形の抽出は、熟練した技術者が空中写真を判読して行っている。しかし、この方法は、判読者の熟練度や経験によって結果が異なり、また、広域を対象とした場合に膨大な時間と労力が必要となる。一方、最近のコンピュータの性能向上によって、数値標高モデル(DEM)の作成と取り扱いが容易となり、DEM による地形解析を行う環境が整ってきている。地形解析に DEM を用いた場合、地形を定量的に扱うために客観性が高く、また、一度アルゴリズムを作成すれば広範囲を自動で解析できる利点がある。平成 12 年度は、DEM を用いた地すべり地形の自動抽出手法の検討を目的として、地表面傾斜、地表面開度を抽出指標として地すべり地形の自動抽出を試みた。

2．研究方法

2．1　地すべり地形抽出方法

地すべりが発生した斜面は、移動して緩傾斜になった斜面の一部（移動ブロック）と移動ブロックを取り巻く急斜面（滑落崖）が組み合わさって特徴的な地形（地すべり地形）を呈する。このような地形要素の組み合わせを抽出することができれば、地すべり地形の抽出が可能である。特に、周りを滑落崖に取り囲まれている、傾斜の緩い移動ブロックは比較的面積が広く、抽出が容易と考えられる。

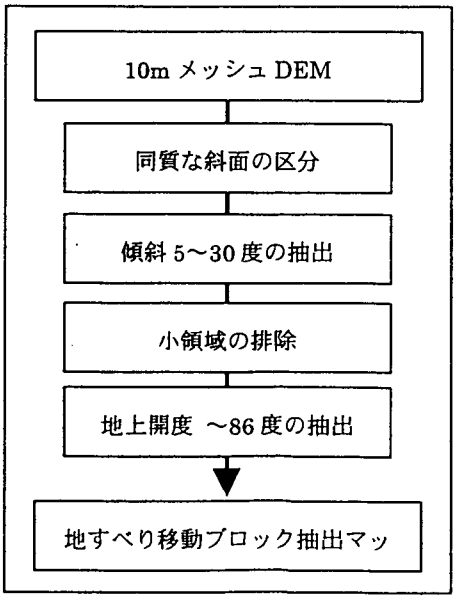


図 1　抽出フロー

調査範囲は平成 11 年度に引き続いて岩手山西方の南北 9,000m、東西 8,000m の地域とした。地質は主に第四紀火山岩である。DEM は格子間隔 10m のものを使用した。DEM を用いた地すべり地形の抽出は次のような手順で行った（図 1）。まず、平成 11 年度に行ったモフォロジカルマッピングの考えに基づいた斜面区分アルゴリズムを用いて、調査範囲を斜面傾斜・斜面方位がほぼ同質な斜面ユニットに区分した。区分のしきい値は隣接するピクセルの法線ベクトルの差が 3 度未満とした。次に、斜面ユニットの平均傾斜が一般に地すべりの傾斜と考えられる 5～30 度の斜面ユニットを抽出した。さらに、処理を簡単化するために、面積が 400 ピクセル未満の斜面ユニットを除いた。最後に、地上開度（上方に向

かってどれだけ開けているかの指標）を用い、しきい値よりも地上開度が小さい、すなわち、周りを斜面に取り囲まれている斜面ユニットを抽出した。しきい値はトライアンドエラーで決めた。これらの処理によって、周りを斜面に取り囲まれている、傾斜の緩い斜面ユニットを抽出した。

2．2　抽出結果の評価

2．1で抽出した傾斜の緩い斜面ユニットは、調査地域においては、その殆どが地すべりの移動ブロックと考えられる。この抽出結果の評価は、従来どおりの人手による空中写真判読によって作成した地すべり分布図と比較することによって行った。これらの比較を容易にするため、GIS上で重ね合わせをすることとし、地すべり分布図はGISデータにした。

3．研究結果

調査範囲を斜面傾斜・斜面方位がほぼ同質な斜面ユニットに区分した結果を図2に示す。調査地域が約19万の斜面ユニットに分割され、それらを白黒8階調でランダムに塗り分けた。これらの斜面ユニットから傾斜、地上開度を指標として地すべりの移動ブロックと考えられる斜面ユニットを抽出し、空中写真判読によって作成した地すべり分布図と重ね合わせたのが図3である。自動抽出された斜面ユニットはほぼ地すべりブロックと対応する。しかし、調査範囲の境界線付近では調査範囲外の地形が正確に考慮されないためか、抽出できていないものがある。また、それ以外にも自動抽出されなかった地すべりブロックがあった。これらの地すべりは規模が小さいか、滑落崖が不明瞭な浅い地すべり地形などが多い。今回使用した抽出アルゴリズムは典型的な地すべり地形を想定して作成しているため、それらの地すべり地形に対応できなかったものと考えられる。今後は、滑落崖が不明瞭な地すべり地形も抽出するために、地すべりの形状タイプを考慮した抽出アルゴリズムの改良を行う必要がある。

（綱木、山越、杉本）

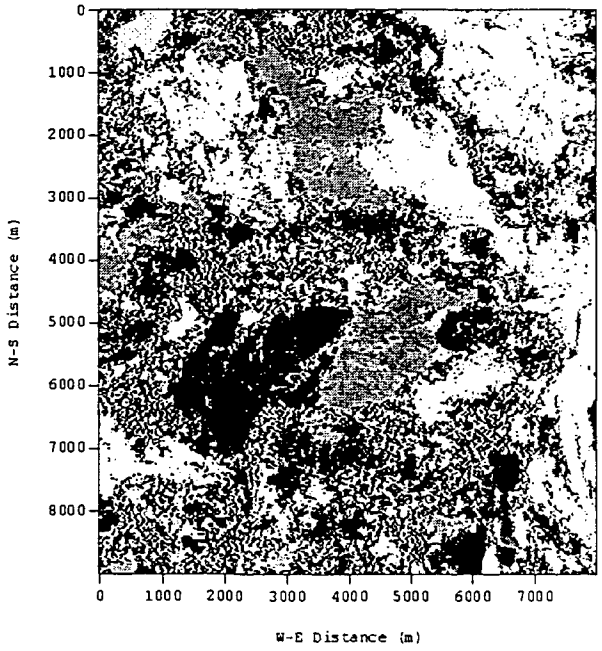


図2　斜面ユニット区分結果

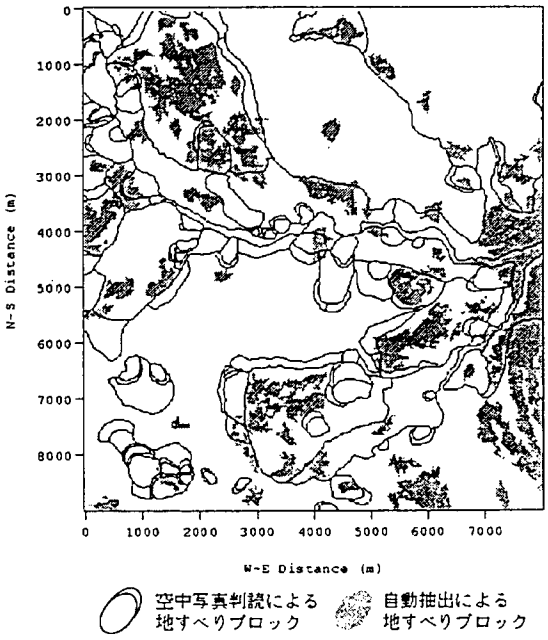


図3　地すべりブロック抽出結果

1.15　道路防災マネジメントに関する研究

研究期間：平12～平14
担　当：　道路研究室

【要旨】
本研究は、道路防災管理といった非常に即時性が求められるマネジメントにおいて、より高度な道路管理システムを構築することを目的として、高精度GISデータ取得システムを開発して道路防災マネジメントの高度化を目指すものである。
12年度は、レーザプロファイラーを用いて上空からのデジタルセンサによる直接的な広範囲の高精度GISデータを取得し、DEM及びデジタルオルソフォトを作成した。その結果、レーザプロファイラーの取得データは、高精度GISデータとして利用できることが分かった。

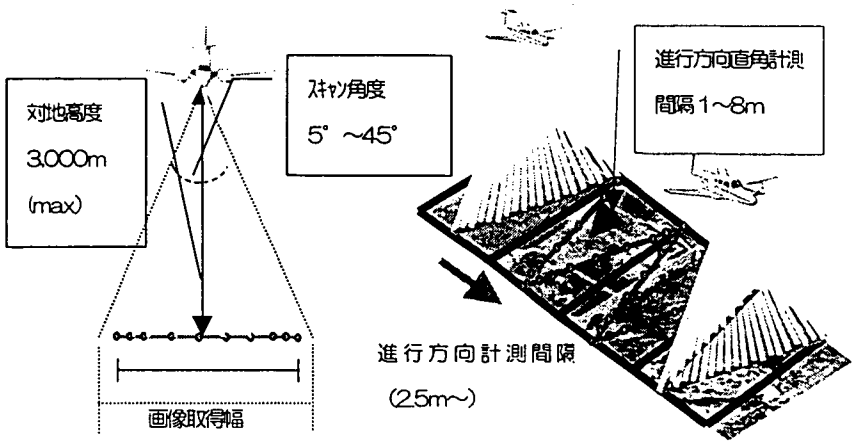
1．研究目的

即時性が求められる道路防災マネジメントにおいて必要となる道路管理システムを構築するための高精度GISデータの取得手法を開発することを目的とする。

2．研究方法

下記のキャリブレーションフローに従い、レーザプロファイラーを利用した、高精度GIS用のDEM構築手法について研究を行った。

①使用器械を用いてキャリブレーション用地を複数回にわたり対向方向・直行方向コース に計測を行う。
②各計測コースのレーザーデータからそれぞれ 面データ（Tin）を生成する。
③②で生成したTinからコンター（等高線）を自動発生します。2.で生成したTinから断面図を発生させ、既存の実測数値との検証もおこなう。（ただし、平均二乗誤差の検証）
④各計測コースのデータから生成したコンターと断面図同士でレーザーデータ間の相対的な位置関係を検証する。
⑤地上の実測データ（GPSを用いたRTK測量）からもTinを生成します。GPSデータからもレーザーデータ同様に面データができるので実測データとレーザーデータ間の面同士で比較・検証する。
⑥レーザーデータと地上の実測データ（GPSを用いたRTK測量）間の相対的位置で最終的に水平位置±３０ｃｍ・垂直方向±１５ｃｍとなる設定値を求めて使用器械の固有値として計測毎に使用する。ここで言う固有値とはレーザーヘッド（レーザー発光部）の器械的なオフセットになる。この設定値を解析時に用いる事により計測データの精度が保持できる。
⑦レーザー計測データは解析処理の結果、公共座標系（平面直角座標）への座標投影が可能である。
⑧既存のDM（ディジタルマッピング）との比較・検証を行って、今後のレーザーデータとDMのデータを併用した活用が期待できることになる。



図－１レーザプロファイラーデータ取得の概念図

3．研究結果

3.1　レーザプロファイラーによるＤＥＭの作成

研究方法に示す手順によりＤＥＭを作成した結果、以下の一般的項目について結果を得た。

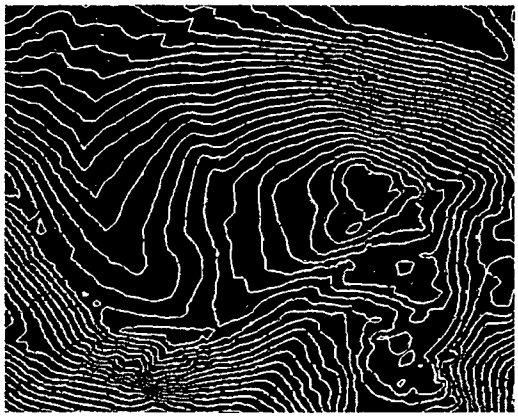
① 行機の進行方向のデータ取得間隔は2.5mからとなる。

② 進行方向のデータ取得間隔は飛行機の対地速度により異なる、偏西風等の季節風や計測時の気象条件により飛行機の対地スピードが速くなった場合はそれに比例して進行方向のデータ取得間隔も広くなる。

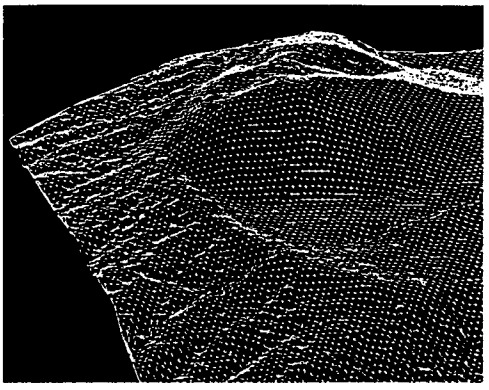
③ 照射されたレーザーが地上のどの位置で反射するかを特定する事はレーザーデータが15khzのパルスデータ（ランダムデータ）である性質上できない。

④ 従って地上の既知点上に正確にレーザーの１パルスを当ててその既知点の絶対座標とレーザーデータ間で比較するといった精度検証はできない。

⑤ レーザーデータの精度は設定されたデータ取得間隔で計測されたランダムデータの平均二乗誤差となります。精度検証として以下に述べる手法で公称精度が計測できる固有値を算出し、その値を用いてデータ解析する事により精度を保持できる。



図－２

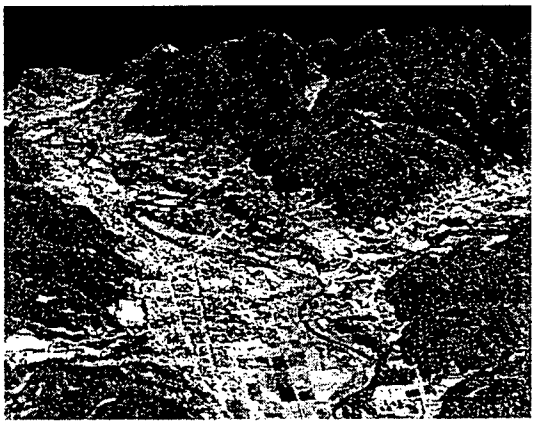


図－３

図－１及び図－２にレーザプロファイラーデータの処理で得られた等高線図及び３次元図を示す。

3.2　デジタルオルソフォト作成

デジタルオルソフォトとは、空中写真の持つ比高差によるズレを補正し、単写真を連続的な写真につなぎ合わせる事で、地図と同様に一定の縮尺を保持した面的な画像データを言い、レーザーデータから生成された高密度なDEMを使用するので高精度のデジタルオルソフォトが作成できるようになる。デジタルオルソフォトをさらに３次元立体視化したものを図－４に示す。



図－４

今年度の研究結果から以下が判明した。

・レーザプロファイルを用いると、高精度な道路防災用GISが構築できることが判明した。

・ただしレーザプロファイラーデータは、点の集合体なので、より面的な情報と組み合せて利活用する等の検討が必要である。

（瀬尾、水上）

1.16　電子地図（DM）データとCADデータの交換技術

研究期間：平 12～平 14

担当：施工研究室，建設システム課

【要旨】

12 年度は，道路事業における設計・施工・維持管理段階の業務モデルをもとに道路事業に必要な空間データの情報項目を整理し，空間データ応用スキーマを作成した。また，測量成果の製品仕様書（素案）をもとに空間データを試作し，設計段階への測量データの適用可能性を検証した。

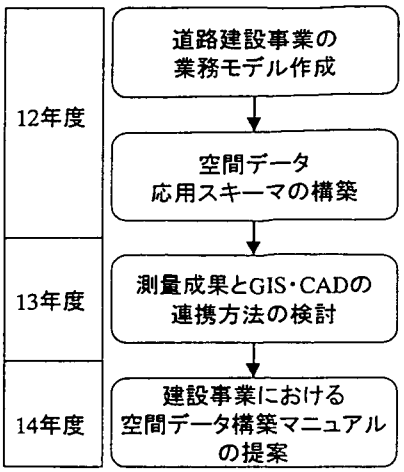


図-1　研究の全体フロー

1．研究目的

本課題は，現在 JIS 化作業が進められている地理情報標準に準拠した測量データを建設事業で効率的に活用するため，公共測量において取得すべき地物及びその精度を提案することを目的とする。

2．研究方法

2．1　道路事業の業務モデル作成

既存の業務分析資料をもとに，道路事業の設計・施工・管理段階における空間データの利活用イメージを整理して業務モデルを作成した。検討にあたっては，業務モデルが業務の効率化･高度化に資するように CAD，GIS，CG などの情報技術の活用を想定した。

2．2　空間データ応用スキーマの構築

業務モデルをもとに，道路事業の設計・施工・管理段階で必要とされる空間データ項目を整理し，空間データ応用スキーマを構築した。

2．3　空間データの試作

空間データ交換仕様及び製品仕様書(案)をもとに空中写真測量データから空間データを試作し，GIS/CAD に読み込んでデータの可読性を調査した。

3．研究結果

3．1　道路事業の業務モデル作成

まず，道路事業者が提供すべきサービスを表-1 のように整理した。次に，各サービスを実現するための現行業務を機能として定義し，図-2 のような業務モデルを作成した。業務モデルでは，各機能で必要となる入力情報(I)，出力情報(O)を整理した。

表-1　道路事業者が提供すべきサービス定義の例

事業段階	サービス 1	サービス 2	サービス 3	アクティビティ
道路建設	良質な道路を建設する	災害に強い道路を提供する	災害に影響されない道路網を提供する	道路内外の災害に影響されない道路網を検討する
			災害に影響されない道路構造を提供する	道路内外の災害に影響されない道路構造を検討する

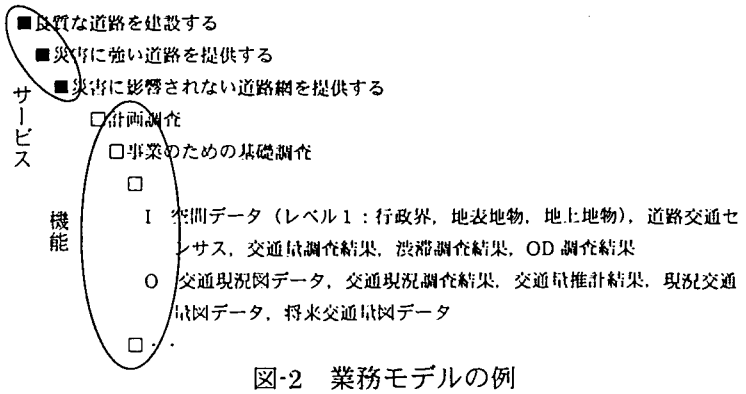


図-2　業務モデルの例

3．2　空間データ応用スキーマの構築

業務モデルをもとに，道路設計に関する空間データ項目を「土地利用」，「設置物」，「地形」，「行政界」の４つのカテゴリに大別し，道路事業の設計段階（概略・予備 A・予備 B）

で必要とされる空間データ項目（地物）を，(1)名称，(2)情報の精度（位置精度，時間精度，相対位置精度），(3)形状（ポイント，エッジ，サーフェス），の視点で表-2 のように定義し，空間データ応用スキーマを作成した。

表-2　空間データ項目整理例

分類	名称	主題属性	水平位置精度(m)	高さ精度(m)	時間精度(m)（但し，更新があった場合は最新の情報が	形状
道路		・名称 ・管理者				
	道路区域		4	−	数年	
	道路構造物					
	道路面					
	車道部					
	車道		0.7	0.3	1	サーフェース
	中央帯		0.7	0.3	1	サーフェース
	歩道部		0.7	0.3	1	サーフェース
	土工	・擁壁有無 ・法面保護工有無 ・法面保護工種別（植生，コンクリート，ブロック，石，網，モルタル，コンクリート吹） ・切盛種別（盛土，切土）	0.7（擁壁） 2（法面）	0.3（擁壁） 1（法面）	数年	サーフェース
	トンネル	・名称				
	トンネル本体		2	1	数年	サーフェース
	坑口		0.7	0.3	数年	サーフェース
	橋梁	・橋梁種別（道路橋，鉄道橋，歩橋） ・材質種別（鉄・コンクリート，木） ・名称				
	上部工		0.7	0.3	数年	サーフェース
	下部工					
	橋台		0.7	0.3	数年	サーフェース
	橋脚		0.7	0.3	数年	サーフェース

今回定義したスキーマは，現行の公共測量作業規程で定義する地物のうち道路・鉄道・法面など道路設計において重要な地物を再定義・再区分する一方，建物記号及び小物体など道路設計に詳細すぎる分類を見直した。その結果，公共測量作業規程において取得すべき地物項目数に比べて全体として取得すべき地物項目数が減少した（概略設計 79 項目，予備設計 A149 項目，予備設計 B163 項目）ため，道路事業における測量業務費用の縮減や工期の短縮を図ることが可能になると考えられる。また，精度については現在は概略設計で 1/2,500，予備設計 A は 1/1,000 というように取得する地物の全てに一様な精度を与えているが，地物によって高い精度が要求されるものと精度が要求されないものを区別して取得することも考えられる。さらに，各設計段階で共通する地物の取得方法を工夫することにより，設計段階における空間データの再利用性を高めることが可能であると考えられる。



図-3　空間データの表示イメージ

表-3　空間データの GIS・CAD への読み込み結果

試験項目	結果 GIS	結果 CAD	備考
読み込めたか	○	×	
位置正確度は保たれているか	△	△	品質評価方法が確立していない
地物の幾何形状は保たれているか	○	○	
地物の位相構造は保たれているか	×	×	使用したソフトでは3次元の位相構造が扱えないため
属性は保たれているか	○		

3．3　空間データの試作

3．2で定義した空間データ応用スキーマから国土地理院企画部測量指導課が作成した製品仕様書（素案）をもとに，1/2,500DM データ及び 1/10,000 航空写真を用いて空間データを試作した。空間データの表示イメージを図-3，GIS 及び CAD に読み込んだ結果を表-3 に示す。現在は地理情報標準を扱うことができる CAD ソフトウエアが市販されていないため，隣接する地物の位相関係が表現できないなど不具合な点も存在する。今後は位相関係を表現できるよう CAD ソフトウエアを改良し，設計における空間データ利用効果の検証を行う予定である。

（大下，光橋，河上）

1.17　建設行政におけるＧＩＳデータの交換技術

研究期間：平 11～平 14

担当：施工研究室，水文研究室，道路研究室

【要旨】

12 年度は，中部地方整備局（本局，木曽川上流工事事務所，岐阜国道工事事務所），岐阜県，大垣市，日本道路公団に対して，システム環境基盤アンケート調査及び河川管理・道路管理業務ヒアリング調査を実施した。その結果をもとに，GIS データの連携活用効果が高い業務として河川管理では水文情報の共有及び内水氾濫予測，道路管理では通行規制情報の共有を選定し，GIS を利用した業務モデルを作成した。また，既存のデータ及びネットワークを活用した実験システムの概略仕様と実験シナリオを作成した。

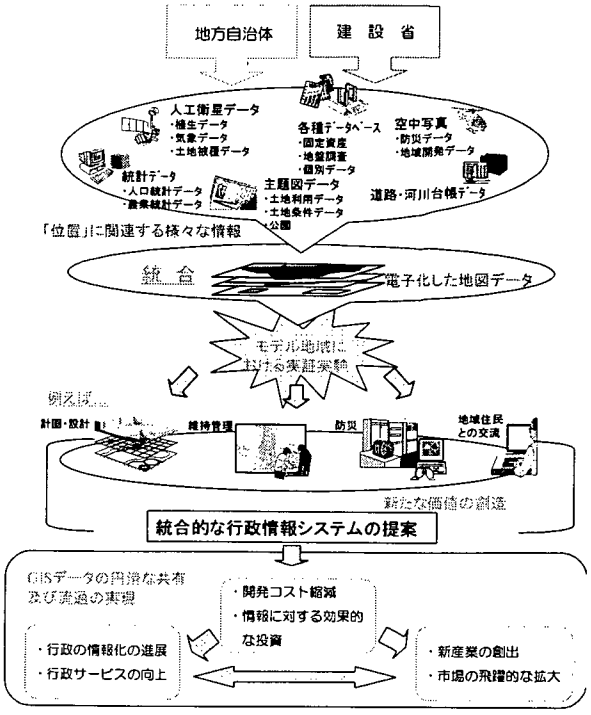


図-1　研究の全体概要

1．研究目的

地理情報システム（GIS）関係省庁連絡会議が定めた「国土空間データ基盤標準及び整備計画」では 11 年度からを GIS の普及期と位置づけており，地理情報標準等の技術的な標準の整備の推進によって GIS が本格的に普及しつつある。しかし，現状では GIS データの相互利用が進まないためにそのメリットが十分発揮できず，行政の高度化には必ずしも結びついていない。

本課題は，国土交通省と地方自治体が整備したデータを GIS 基盤上で相互利用することにより，GIS データの連携活用効果を具体的に検証するとともに，建設事業の実現場における GIS の効果的な整備活用手法，利用範囲等を提案することを目的とする。

2．研究方法

2．1　GIS データの共有・連携効果が高い業務の抽出

実証実験の対象機関に対して，システム環境基盤アンケート調査及び河川管理・道路管理業務ヒアリング調査を実施した。その結果をもとに，GIS の連携活用により高度化可能な業務を選定した。

2．2　実証実験対象業務のモデル化

選定した業務において GIS を活用した業務モデルをヒアリング調査により作成した。

2．3　GIS データの収集整理

実証実験で必要な GIS データ項目を整理し，国，地方自治体及び民間が作成する GIS データを収集した。

3．研究結果

3．1　GIS データの共有・連携効果が高い業務の抽出

中部地方整備局（本局，木曽川上流工事事務所，岐阜国道工事事務所），岐阜県，大垣市，日本道路公団のヒアリング調査結果をもとに，GIS データの共有・連携効果が高い業務として，河川分野では水文情報の共有及び内水氾濫予測，道路分野では通行規制情報の共有を選定した。

表-1　水文情報の共有及び内水氾濫を想定した防災訓練（河川）

業務項目		対象業務項目における情報連携及びGISの利用場面
Ⅰ-1	水文情報の観測・監視	各機関が所有する水文情報を一元化し，GIS上で監視する
Ⅰ-2	洪水予報の発令	中部地方整備局が発令する洪水予報を関係機関に通報する
Ⅰ-3	水防警報の発令	木曽上，岐阜県が発令する水防警報を関係機関に通報する
Ⅰ-4	災害状況の把握	各機関の巡視結果や住民からの通報情報を一元化し，GIS上で確認する
Ⅱ	情報の公開	地図上に表示した情報をインターネットで公開する
Ⅲ-1	内水氾濫予測	水文情報／災害状況により氾濫解析を行い，結果をGIS上で確認する
Ⅲ-2	水防活動指示	災害状況や必要資機材等をGIS上に展開し，水防活動の判断に利用する
Ⅲ-3	避難誘導	災害状況や避難所等をGIS上に展開し，避難誘導の判断に利用する

表-2　通行規制の共有（道路）

業務項目		対象業務項目における情報連携及びGISの利用場面
Ⅰ-1	通行規制の発令	国，県，市が発令する通行規制を関係機関に通報するとともに，通行規制情報を一元化しGIS上で確認する
Ⅰ-2	通行規制の解除	国，県，市が解除する通行規制を関係機関に通報する
Ⅱ	通行規制情報の公開	地図上に表示した通行規制情報をインターネットで国民に公開する

注）表中のⅠ，Ⅱ，Ⅲは実証実験の実施段階を示す。13年度に第Ⅰ段階，14年度に第Ⅱ，Ⅲ段階を実施する。

3．2　実証実験対象業務のモデル化

実証実験対象業務について，国土交通省と地方自治体間で共有・連携すべき情報を整理し，業務モデルを作成した。業務モデルの作成にあたり，そのモデルが管理業務の効率化に寄与すること，国民への迅速な情報提供による行政サービスの向上に寄与すること，を必要条件とした。

河川分野では，表-1をもとに次のような業務モデルを作成した。

（1）水文情報の観測・監視

木曽川上流工事事務所の河川情報システムから，水位，雨量，排水機場の開閉状況，ダム情報等を取得するとともに，岐阜県の河川情報システムから排水機場の開閉状況，ダム情報等を取得し，実験用サーバに自動的に更新する。更新された情報は，各機関のクライアントからGISをインデックスとして参照できるとともに，インターネットを通じて外部にも公開する。

（2）洪水予報の発令

中部地方整備局が洪水予報を実験用サーバに登録する。登録時に，実験対象機関の担当者に洪水予報の発令が一斉に通知される。実験用サーバに登録された洪水予報は，各機関のクライアントからGISをインデックスとして参照できるとともに，インターネットを通じて外部にも公開する。なお，洪水予報を確認した大垣市は，水防団に電話で洪水予報の発令を連絡し，水防団は実験システムを利用して洪水予報を確認する。

（3）水防警報の発令

木曽川上流工事事務所もしくは大垣土木事務所が水防警報を実験用サーバに登録する。登録時に，実験対象機関の担当者に水防警報の発令が一斉に同報される。実験用サーバに登録された水防警報は，各機関のクライアントからGISをインデックスとして参照できるとともに，インターネットを通じて外部にも公開する。なお，水防警報を確認した大垣市は，水防団に電話で水防警報の発令を連絡し，水防団は実験システムを利

用して水防警報を確認する。

（4）災害状況の把握

木曽川上流工事事務所，大垣土木事務所，大垣市で，出水時の河川巡視を行ったものと想定し，災害状況を実験用サーバに登録する。大垣市に関しては，実験モニタ（住民）からの通報を電話で受け付け，担当者がサーバに登録する。実験用サーバに登録された災害状況は，水文情報や洪水警報／水防警報等と重ね合わせて GIS 上で参照できるとともに，インターネットを通じて外部にも公開し，実験モニタや水防団が参照する。

（5）内水氾濫予測

サーバ内に格納されている水文情報や災害状況により，内水氾濫解析を行う。内水氾濫解析は木曽川上流

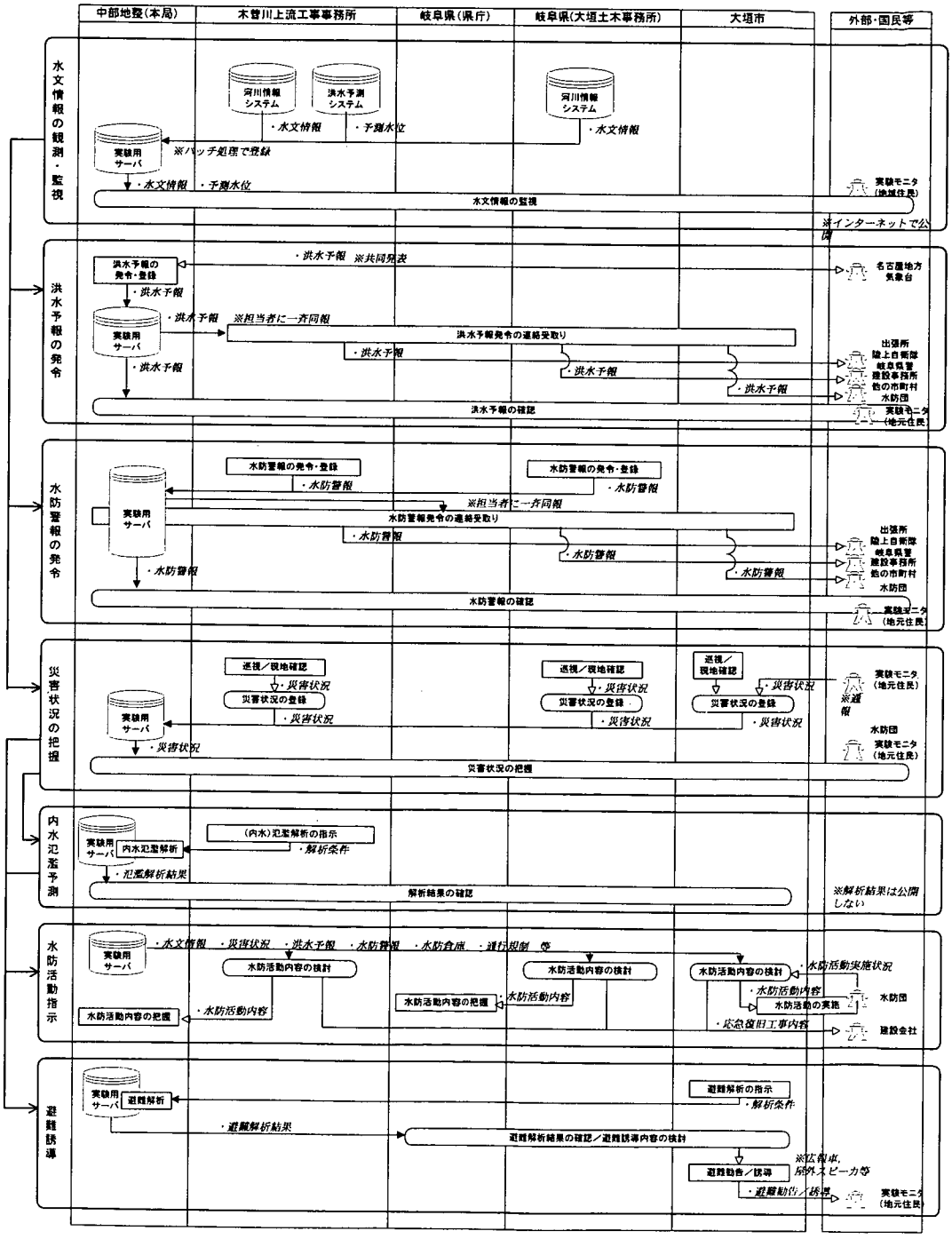


図-2　業務モデル（水文情報の共有及び内水氾濫を想定した防災訓練）

工事事務所からの指示によりサーバが行い，解析結果として登録される浸水深は，クライアントがGIS上で参照する。

（6）水防活動

水文情報，災害状況に併せて，あらかじめ実験用サーバに登録された水防体制／施設や資機材の情報をGIS上で参照して，水防活動内容を検討する。また，それにしたがって水防活動（訓練）を実施し，迅速かつ効果的な水防活動が実施できるかどうかを検証する。

（7）避難誘導

あらかじめ実験用サーバに登録された住民情報や避難所の情報，道路ネットワークを利用し，避難解析システムにより避難経路／避難時間などを出力する。避難解析は大垣市からの支持によりサーバが行い，解析結果として登録される避難経路，避難人数，避難時間は，クライアントがGIS上で参照する（外部には公開しない）。また，大垣市はその結果をもとに，地域住民に対して避難勧告や避難誘導（避難訓練）を実施する。

3．3　GISデータの収集整理

実証実験で必要なGISデータ項目を表-3のように整理し，これらの項目を含むGISデータを旧国土庁，国土地理院，中部地方整備局，岐阜県，大垣市，民間企業等から収集した。これらのデータをGISソフトウエア上で重ね合わせ，必要に応じて加工修正を行った。

表-3　GIS実証実験で取り扱うデータ項目及び利用データ一覧

			水文観測所	ダム	公共施設	土地利用	行政区域（街区）	河川中心線	道路中心線	行政区域（市町村）	行政区域（都道府県）	河川区域	鉄道	鉄道駅	2万5千分の1地形図（画像）	地盤高	三角点	水準点	植生指標（画像）	排水機場	堤防	実績氾濫区域	想定氾濫区域	河川キロ杭	中小河川（排）（用）水路	橋梁	ダム湛水域	砂防区域	流域界	重要水防箇所	トンネル	交差点	避難距離標	避難場所	土石流危険区域	土地分類
基盤的な背景として利用							○	○	○	○	○	○																							
実験業務上利用する			○	○				○	○											○	○														
実験業務上参照する					○																	○	○	○								○	○	○	
内水氾濫解析に必要						○										○									○										○
避難解析に必要									○													○											○		
参考程度に利用／データ共有を実証													○	○	○		○	○	○							○	○	○	○	○	○			○	
空間形状			P	P	A	A	A	L	L	A	A	A	L	P	—	M	P	P	—	A	A	A	A	P	L	L	A	A	A	L	L	P	P	A	A	A
データソース																																			
国のデータ																																			
国土数値情報	※1	国土庁	○	○	○	○																													
街区レベルの位置参照情報	※1	国土庁					○																												
数値地図2500（空間データ基盤）	※2	国土地理院			○		○	○	○	○	○	○	○	○																					
数値地図25000（行政界・海岸線）	※2	国土地理院								○	○																								
数値地図25000（地名・公共施設）	※2	国土地理院			○																														
数値地図25000（地図画像）	※3	国土地理院													○																				
数値地図50mメッシュ（標高）	※2	国土地理院														○																			
三角点成果	※4	国土地理院															○																		
水準点成果	※4	国土地理院																○																	
植生指標	※5	国土地理院																	○																
河川GIS	※6	木曽上	○	○	○			○				○								○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○					
DRMデータ	※7	中部地整							○																	○					○	○	○			
都道府県のデータ																																			
防災	※8	岐阜県																															○		
土石流危険渓流	※8	岐阜県																																○	
避難場所	※9	岐阜県																															○		
土地分類基本調査	※8	岐阜県																																	○
市町村のデータ																																			
都市計画基本図	※8	大垣市				○																													
住民基本台帳	※10	大垣市																																	
民間のデータ																																			
衛星画像	※11	三菱商事																																	
その他																																			
初期データとして別途作成		—	△	△				△								△				△	△				△										
実証実験時に生成される		—																																	

※1：国土数値情報統一フォーマット，shape
※2：数値地図フォーマット
※3：tiff
※4：EXCEL形式
※5：画像データ
※6：河川GISフォーマット
※7：DRMフォーマット
※8：shape
※9：CSV
※10：TEXT形式
※11：GeoTIFF

A：範囲で示すもの
L：線で示すもの
P：点で示すもの
X：値で示すもの
—：画像で示すもの

（大下，青山，光橋，深見，水上）

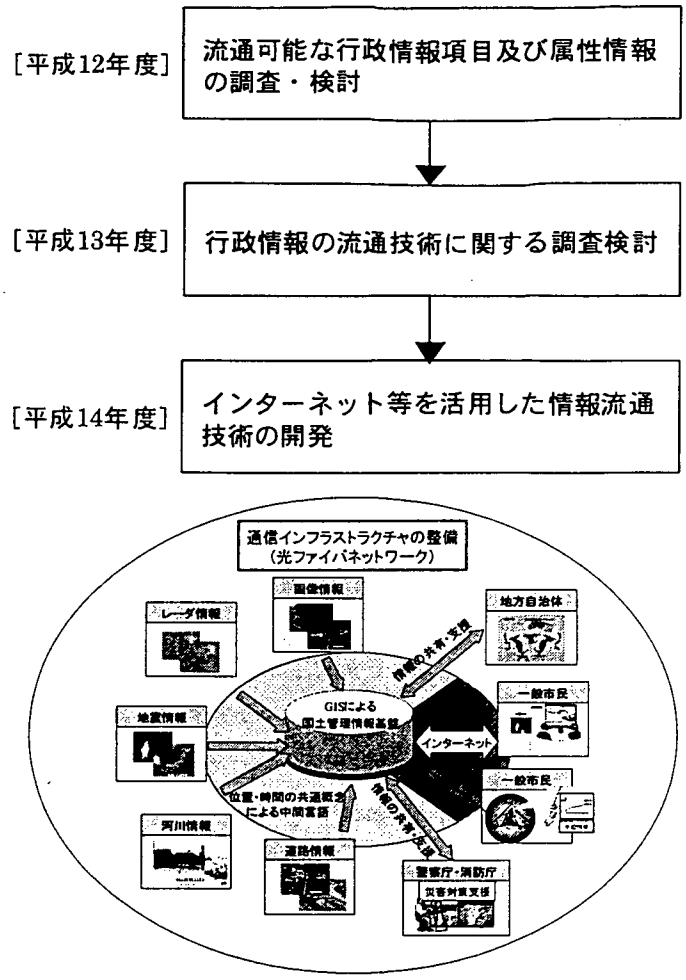
1.18　流通可能な行政情報項目の検討及びその流通方法に関する検討及び技術開発

研究期間：平 12～平 14
担 当：建設システム課

【要旨】

GIS は空間データを同一基盤上で取り扱うシステムであり、今後、国土マネジメント施策を実施する上では、多種・多様な空間データを GIS 上に展開し、データの連携を図ることが必要である。

12 年度は、テレメータ、CCTV 等の既存の専用システムで取り扱うリアルタイムデータを GIS 上に展開するための属性情報の考え方の整理及び専用システムと GIS とのデータ連携手法について検討を行った。



図－1　全体研究フローと利用イメージ図

1．研究目的

本研究は、リアルタイムデータを含む建設行政における流通可能な行政情報項目と流通方法に関する検討を行うと共に、インターネット等を活用した情報流通技術の開発を行うことを目的とする。

2．研究方法

2．1 リアルタイムデータの属性の調査･検討

国土交通省で整備している河川情報、道路情報等の専用システムにおける観測データの空間・時間属性を調査検討し、リアルタイムデータを GIS に展開する上で必要な属性情報の統一的な考え方を整理した。

2．2 専用システムへとのデータ連携手法の検討

専用システムで取り扱うリアルタイムデータを GIS 上に展開するために必要となるデータ連携手法の検討を行い、各連携手法について、データ管理、応答性能、専用システムへの影響及びシステムの柔軟性の 4 つの視点から評価を行った。

3．研究結果

3．1 リアルタイムデータの属性の調査･検討

現在、国土交通省で整備している主要な専用システムには、河川情報、道路情報、地震情報、レーダ雨量計及び CCTV システムがある。これらの専用システムで取り扱うリアルタイムデータを GIS 上に展開するには、システムの持つリアルタイムデータの空間的･時間的範囲を空間属性、時間属性として記述を統一（システムによっては新たに付加）すると共に、主題属性には観測値の精度の情報を新たに付加する必要が生じる。これらは、いずれも専用システムでは問題とならなかった事象であり、統一した考え方が必要となる。

(1) 空間属性

雨量、水位、地震等の数値データは地点観測値であり、観測地点を示すポイント要素を持つ。一方、画像データについてはその撮影対象によって、ポイント要素かエリア要素かのいずれかを有することとなる。

(2) 時間属性

テレメータ装置で観測する水位は観測時における値であり、ポイント要素としての時間属性を持つが、時間雨量は観測時の値であると同時に前1時間の累計値であり、ポイント要素とライン要素を併せ持つことになる。

(3) 主題属性

主題属性は観測値、観測名称のほか、観測地点における警戒値、管理者情報、観測方法、精度情報、観測機器情報などの情報を持つ必要がある。

(4) 地物間関係

地物間関係にはセンサの設置場所（局舎、トンネル等の地物）との関係、基準点（道路始点、河口）からの距離などを地物間関係として記す。

3．2 専用システムとのデータ連携手法の検討

専用システムのリアルタイムデータを GIS 上に展開するために必要となるデータ連携手法には、以下の3つの方法が考えられる。

(1) データベースの仕様統一

データベースの仕様統一とは、専用システムのデータベース・アクセス様式を統一（少なくとも、道路情報・河川情報などの専用システム毎に統一）し、GIS アプリケーションが直接各専用システムを参照する手法である（図－2参照）。

(2) データベースの集約

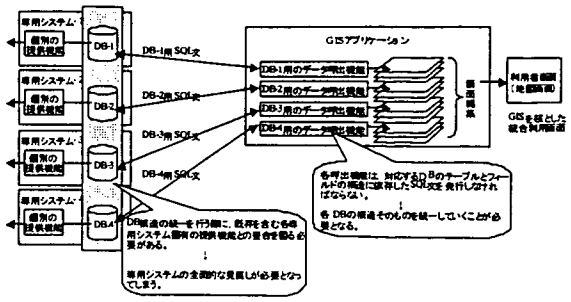
データベースの集約とは、専用システム側が GIS のレイヤに合わせた様式でデータを出力し、GIS アプリケーション向けの集約データベースを構築する手法である（図－3参照）。

(3) インデックス情報によるデータベースの相互連携

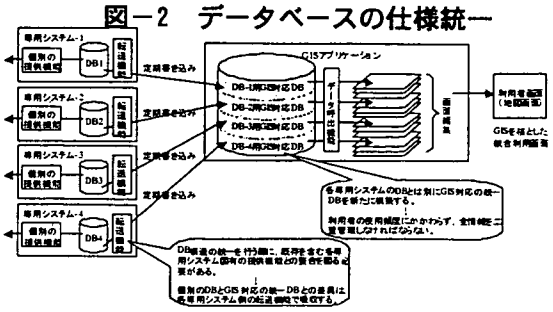
インデックス情報によるデータベースの相互連携とは、位置と時間について統一した概念の中間言語を定め、各専用システムと GIS アプリケーションの連携方法を統一する手法である（図－4参照）。

(4)評価

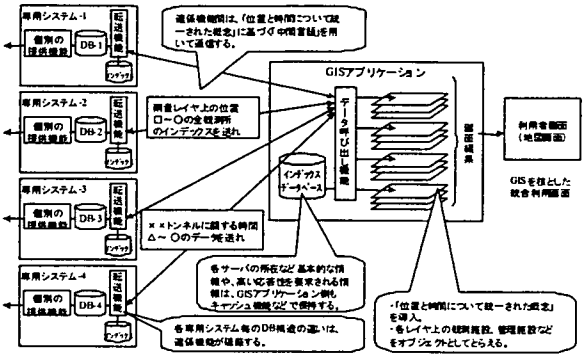
表－1に示すように、これまで述べてきたリアルタイムデータを GIS 上に展開するために必要となるデータ連携手法について評価を行った結果、インデックス情報によるデータベースの相互連携が優れていることが判明した。



図－2 データベースの仕様統一



図－3 データベースの集約



図－4 ｲﾝﾃﾞｯｸｽ情報によるﾃﾞｰﾀﾍﾞｰｽの相互連携

表－1 専用システムとのデータ連携手法の評価

評価項目	データベースの仕様統一	データベースの集約	インデックス情報によるデータベースの相互連携	評価指標
データ管理	○	×	○	データの整合性
応答性能	△	○	△	応答時間の長短
専用システムへの影響	×	△	△	専用システムでの変更
システムの柔軟性	△	×	○	専用システム増に対する対応
総合評価	△	△	○	

4．主な研究成果物

・ 「建設行政におけるﾘｱﾙﾀｲﾑﾃﾞｰﾀの GIS への展開手法」、第 25 回土木情報シンポジウム、2000 年 10 月
・ 「画像情報の効果的な管理手法の確立について」、第 39 回土木研究所発表会論文集、2000 年 12 月

（二階堂、金藤、有江、小又）

耐震設計の体系化に関する研究

2．耐震設計の体系化に関する研究

研究期間：平成 10～14 年度
プロジェクトリーダー：耐震技術研究センター長
常田賢一

1. 研究の背景：

わが国は世界でも有数の地震国であり、これまでに関東大震災（1923 年）、新潟地震（1964 年）、宮城県沖地震（1978 年）、日本海中部地震（1983 年）、阪神淡路大震災（1995 年）を始めとする数多くの大きな地震被害を受けてきている。そして、これらの地震被害の経験に基づいて、国土形成の基幹となる社会基盤については、耐震設計基準の整備、地震防災計画の策定等に資する研究開発が積極的に進められ、耐震性あるいは防災性の向上が図られてきている。しかし、近年、阪神淡路大震災、トルコ地震（1999 年）あるいは台湾地震（1999 年）で活断層の重要性が再認識され、このため、活断層の影響を考慮した上で大規模な地震に対して安全な社会基盤を構築していくことが求められている。また、経済性を考慮した公共構造物の震後の効果的な運用のためには、個々の構造物の耐震性向上のみならず、各種の構造物間の防災機能の連携がとれた都市あるいは地域としての防災機能の向上が求められている。

しかしながら、現在の公共構造物の耐震設計においては、活断層の影響（地震動、断層変位等）を定量的に予測して、設計に反映するまでには至っていない。また、各構造物間においても、設計で考慮すべき地震動さらには構造物の重要度に応じた耐震性能の水準について横断的整合がとられていないため、地域的な防災の観点から統一的な取り扱いが困難となっている。さらに、社会基盤の整備におけるコスト縮減等の行政ニーズも高く、それに対応した合理的な耐震設計基準への展開が必要とされている。

このため、本重点研究プロジェクトでは、各種の公共構造物の耐震設計において、工学的な視点から活断層を認定すること、また設計地震動に対する活断層の影響を評価すること、さらに配筋方法などを細かに規定している現在の仕様規定型の設計基準をコスト縮減や技術者の創意工夫を考えて設計の自由度を高めた性能規定型の基準に発展させることといった各種の構造物の耐震設計における共通的な課題を体系的な視点より解明することが必要である。また、各種の構造物の耐震性の水準を同じ視点で評価できるようにするといった各種の土木構造物の耐震性水準の横断的かつ体系的な整合を図ることが必要である。

2. 研究の目的：

①活断層の定量的認定基準を提示し、これに基づいて活断層の特性等を考慮した設計地震動の設定手法を提示するとともに、歴史地震と活断層の両者を考慮した地震ハザードマップの作成技術を提示し、試案を提示する。

②道路橋における性能規定型の耐震設計基準の試案を提示し、さらに国際整合化を図った耐震設計基準の試案を提示する。

③各種構造物の耐震性能の水準を横断的に評価する手法を提示し、これに基づいて構造物の重要度に応じて耐震性能の水準の横断的整合を図る手法を提示する。

3. これまでの研究成果：

(1)活断層を考慮した地震動特性および地震危険度（ハザードマップ）

①大規模地震を想定した設計地震動の設定手法に関する研究

将来発生する地震を想定した断層モデルの設定手法を提案するとともに、実用的な地震動推定手法を開発し、

これらの手法に基づく大規模地震による地震動の試算を行うことにより、手法の適用性を明らかにした。

②地震ハザードマップの作成手法の開発に関する研究（その１）

深部地盤の物性把握の手法として、S波微動探査法が有効であることを確認した。また、地盤深部までの沖・洪積層の堆積形状(基盤の形状)と物性分布によって、地震動の振幅分布が大きく変化することと、表層部の非線形効果が増幅特性に影響を与えることが明らかとなった。

③地震ハザードマップの作成手法の開発に関する研究（その２）

過去の地震記録及び活断層の双方を考慮可能な基礎的な地震危険度解析手法を開発し、関東地方及び中部地方を対象とした地震ハザードマップの試算を行うことにより、当該手法の妥当性を確認した。

(2)耐震設計の性能規定化

①耐震設計の性能規定化に関する研究（その１）

構造物に求められる耐震設計上の要求性能ならびに限界状態を安全性、修復性および脂溶性の観点から示し、限界状態を照査するための指標を明らかにした。また、部分安全係数の試算に先立ち、載荷試験データ数による信頼性を考慮した基礎の支持力推定式の作成方法を示した。

②耐震設計の性能規定化に関する研究（その２）

道路橋橋脚を対象に、材料強度のばらつきと、応答解析の不確定性、部材強度推定法の不確定性を考慮して、２次モーメント法により信頼性解析を行い、現行道路橋示方書により設計された橋脚の信頼性指標を算出した。その結果、レベル２地震動に対して終局限界状態の信頼性指標は、地震力を確定値として試算した場合1.3～5.0程度となることがわかった。

③地盤－基礎系を含む全体系を考慮した構造物の耐震性能の実験的検証技術に関する研究

構造物全体系の耐震性能を実験的に検証するための技術としてハイブリッド振動実験を実施することにより、地盤の塑性化及び上部構造の非線形応答の影響を考慮した地盤－基礎構造系の地震時挙動を系統的に明らかにした。

④土木構造物の耐震性能評価方法に関する国際共同研究（その１）

基礎の性能の評価を行う場合には、地盤定数の設定が重要であるが、地盤定数の設定方法は個々の技術者の判断に大きく依存するものであり、国際的にも地盤定数の定義は統一されていない。そこで、国際地盤工学会の限界状態設計法に関するTask Committeeと協力して、技術者に対して地盤定数の設定に関する実態調査を日本を含めた数カ国で行うこととし、アンケート項目を共同で作成した。

⑤土木構造物の耐震性能評価方法に関する国際共同研究（その２）

ＲＣ橋脚の耐震性能の評価において多用されている正負交番載荷実験の試験方法について、様々な条件下における非線形動的応答解析の結果をもとに、非線形域での応答の繰り返し回数について検討を行った。その結果、タイプⅠの地震動では塑性率が大きくなるにつれ、その繰り返し回数が減り、5～6の塑性率の繰り返し回数は3回程度であること、またタイプⅡの地震動ではそれが1回程度となることがわかった。

(3)耐震性水準の横断的整合化および合理的設定（パフォーマンスマトリクス）

①公共土木施設の耐震性水準の横断的整合に関する研究

各道路施設が各地震レベルに対して要求される通行機能に関する性能と、各道路施設の損傷状態を定量的に結びつけることにより性能評価に基づく耐震設計体系の根幹を構築した。さらに想定される各損傷状態を復旧するために必要な期間を試算し、各施設の耐震性水準の設定に関するケーススタディーを行った結果、道路施設の性能評価指標として交通規制期間が使えることがわかった。

－耐震設計の体系化に関する研究－

個別研究課題目次

2.1　大規模地震を想定した設計地震動の設定手法に関する研究…… （振　動　研　究　室）… 58

2.2.1 地震ハザードマップの作成手法の開発に関する研究（その１）…… （地　質　研　究　室）… 60

2.2.2 地震ハザードマップの作成手法の開発に関する研究（その２）…… （振　動　研　究　室）… 62

2.3.1 耐震設計の性能規定化に関する研究（その１）…… （基　礎　研　究　室）… 64

2.3.2 耐震設計の性能規定化に関する研究（その２）…… （耐　震　研　究　室）… 68

2.4　地盤－基礎系を含む全体系を考慮した構造物の耐震性能の実験的検証技術に関する研究…… （振　動　研　究　室）… 70

2.5.1 土木構造物の耐震性能評価方法に関する国際共同研究（その１）…… （基　礎　研　究　室）… 72

2.5.2 土木構造物の耐震性能評価方法に関する国際共同研究（その２）…… （耐　震　研　究　室）… 78

2.6　公共土木施設の耐震性水準の横断的整合に関する研究…… （防　災　技　術　課）… 80

2.1　大規模地震を想定した設計地震動の設定手法に関する研究

研究期間：平10～平14
担当：　振動研究室

【要旨】

東京湾口、伊勢湾口等において超長大橋の建設が計画されているが、これらの地域は過去の大地震の震源近傍に位置し、極めて厳しい地震環境下にあるため、大規模地震を想定して設計地震動を設定する必要がある。一方、震源断層の破壊過程をモデル化して強震動を合成する、断層モデルを用いた地震動推定手法が提案されてきており、大規模地震の震源近傍で発生する強震動についてもその有効性が認識されつつある。本課題は、断層モデルを用いた地震動推定手法の実用性を高め、その推定地震動に基づく設計地震動の設定手法を提案することを目的としている。１２年度は、将来発生する地震を想定した断層モデルの設定手法を提案するとともに、実用的な地震動推定手法を開発し、これらの手法に基づく大規模地震による地震動の試算を行うことにより、手法の適用性を明らかにした。

１．研究目的

対象地点周辺で発生する地震を想定し、その地震が発生した場合の地震動を精度よく推定することにより、合理的な設計地震動の設定を行うことが可能である。１２年度は、将来発生する地震を想定した断層モデルの設定手法を提案し、設定した断層モデルに基づく地震動の推定手法を開発することを目的とする。

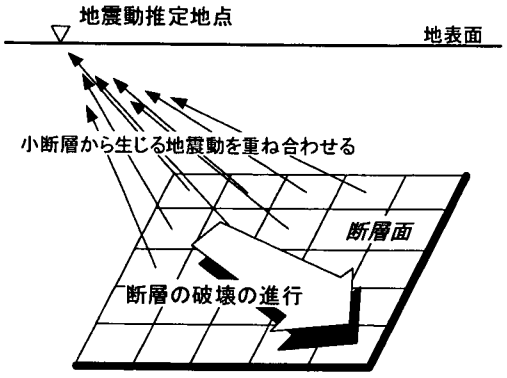


図-1　断層モデルを用いた地震動の推定

２．研究方法

２．１　断層モデルの設定手法

内陸活断層による地震（内陸地震とよぶ）と海溝などのプレート境界で発生する地震（海溝型地震とよぶ）では、例えば断層面積と地震モーメントの関係など、各断層パラメータ間の関係が異なる。そこで、内陸地震と海溝型地震に分けて、それぞれの地震が将来に発生する場合を想定した断層モデルの設定手法を提案した。

２．２　地震動の推定手法

地震動の推定には、比較的必要なデータが少なく任意の地点に適用できる、統計的グリーン関数法を用いる。この手法は、地震記録の統計解析を行うことにより、中小規模の地震による地震動（統計的グリーン関数）を地震規模と震源距離等から推定し、それらを大規模地震の断層モデルに従って重ね合わせることによって大規模地震の地震動を合成するものである。

内陸地震と海溝型地震では、例えば、同じ規模の地震でも地震動の特性が異なることから、本研究ではこれら２種類の地震に分けて統計解析を行うことにより、中小規模の地震による地震動の推定式を地震の種類別に新たに作成し、それらの推定式を用いた大規模地震による地震動の推定手法を開発した。

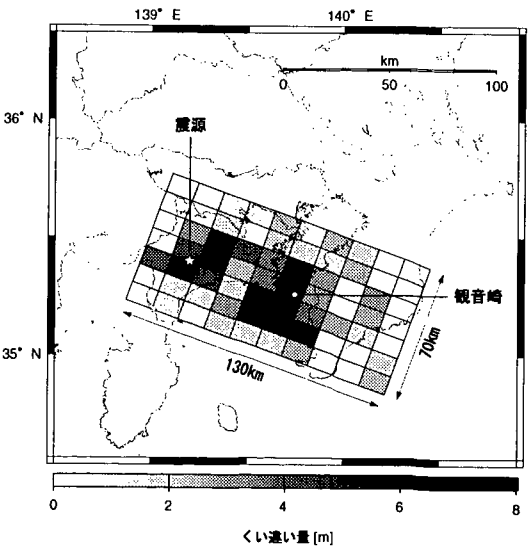


図-2　1923年関東地震の断層モデル

2．3　大規模地震を想定した地震動の試算

1923年関東地震を対象として、2．1の手法を用いて断層モデルを設定した。ただし、震源位置とアスペリティ（断層面の中でも特にくい違い量が大きい領域）の位置については事前に想定することが困難なため、断層面内で系統的に設定した。また、設定した断層モデルに基づき、2．2の手法を用いて観音崎地点における地震動の試算を行った。1923年関東地震に対して推定されている断層モデルと観音崎地点の位置を図-2に示す。

3．研究結果

3．1　設定した断層モデル

表-1に設定した断層パラメータを示す。表中の走向、傾斜角、断層長さ、断層幅は図-2に示した1923年関東地震の断層モデルと同一にしているが、その他のパラメータについては海溝型地震についての平均的な関係式に基づいて設定した。また、図-3に示す5ケースの震源位置、6ケースのアスペリティ位置を用い、計30ケースの断層モデルを設定した。

3．2　大規模地震を想定した地震動の試算結果

3．1で設定した30ケースの断層モデルを用いて地震動の試算を行った結果、最大加速度は330～1100 [cm/s^2]の範囲となった。これらのうち、最大加速度が最も大きいケース（図-3のアスペリティ位置2、震源位置中央）の加速度波形を図-4に示す。また、図-5には30ケースの加速度応答スペクトル（減衰定数5％）を、各固有周期において非超過確率90％のスペクトルとともに示す。これらの図から、試算結果は周期0.1～5秒の範囲で周期が長くなるとほぼ単調に加速度応答が小さくなっているが、長い継続時間や周期約1秒より長周期側でも大きな加速度応答を示すなど、全体的には海溝型巨大地震による地震動の特徴を示していることが分かる。

表-1　設定した海溝型地震の断層パラメータ

パラメータ	設定値
走向 ϕ[deg]、傾斜角 δ[deg]	290, 25
断層長さ L[km]	130
断層幅 W[km]	70
地震モーメント Mo[dyne·cm]	1.06×10^{28}
平均くい違い量 D[cm]	303
立ち上がり時間 τ[s]	4.35
破壊伝播速度 v[km/s]	3.0
アスペリティ(大)面積 S_{a1}[km^2]	1517
アスペリティ(小)面積 S_{a2}[km^2]	758
アスペリティ(大)くい違い量 D_{a1}[cm]	673
アスペリティ(小)くい違い量 D_{a2}[cm]	476
背景領域くい違い量 D_b[cm]	202
アスペリティ応力降下量 σ_a[MPa]	16
背景領域応力降下量 σ_b[MPa]	2

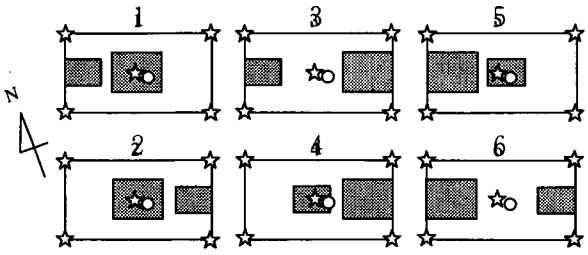


図-3　アスペリティ位置を変更した断層モデル（☆：震源位置、○：試算地点）

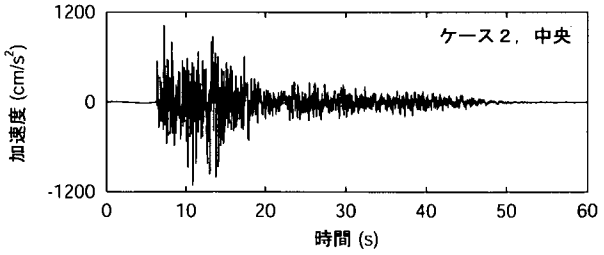


図-4　試算した加速度波形の例

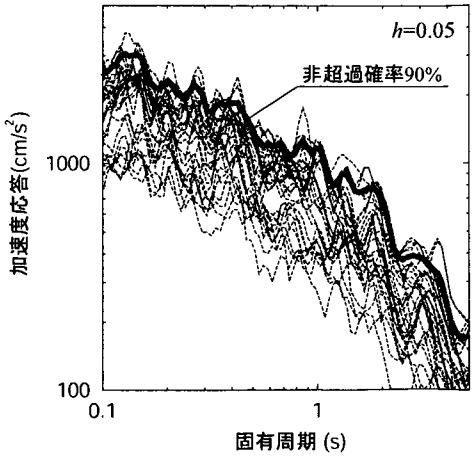


図-5　全30ケースの試算結果

4．主な研究成果物

1) 片岡正次郎・田村敬一: 断層モデルを用いた震源近傍における地震動の推定, 土木技術資料, 42, 8, 44-49, 2000.

2) Tamura, K. and Kataoka, S.: A procedure for setting up level 2 earthquake motions for seismic design of bridges, 16th Bridge Engineering Workshop, UJNR, 2000.

（田村、片岡、中尾、松本）

2.2.1　地震ハザードマップの作成手法の開発に関する研究（その１）

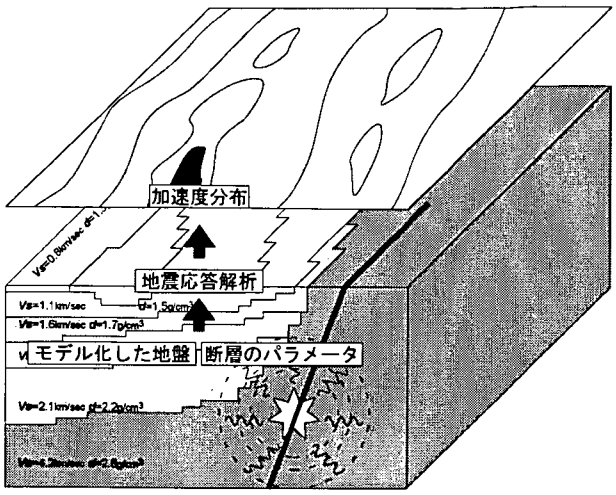
研究期間：平１１～平１４

担当：地質研究室

【要　旨】

本研究は地震防災対策に必要な地震ハザードマップの作成手法の開発を目指している。活断層を起源とする地震動を予測する手法の一つに活断層から発生する地震を設定し、伝播経路の地盤特性による増幅減衰を計算する方法がある。この方法を用いるには一度に動く断層の推定と地盤モデルの構築が必要である。一度に動く断層の推定を断層末端の形態を指標として行った結果、断層末端の屈曲や分岐がある程度指標となることがわかった。また、地盤モデルの構築に当たっては物理探査から得られる地盤構造の誤差が地震動の増幅特性に与える影響について検討した結果、深部地盤構造の推定誤差は増幅特性には影響せず、表層部の非線形効果の影響の方が大きいことがわかった。

地震ハザードマップのイメージ



１．研究目的

地上構造物や地下埋設物に対する地震防災対策を的確に実施するためには、あらかじめ、災害因子となる地震動が、どのように分布するのかを想定しておく必要がある。過去に発生した地震の記録に基づくハザードマップは従来から種々提案されているが、現在のところ、起震断層としての活断層の評価法、深部地盤のモデル化手法、活断層の活動度の評価法等が確立されていないため、活断層を考慮したハザードマップは作成されていない。本研究は、前記の諸要因を明らかにした上で、過去に発生した地震および活断層の両者を考慮したハザードマップ作成手法を開発することを目的とするものである。

２．研究方法

2.1 断層のセグメント認定

活断層を考慮した地震動を予測するためには、活断層の静的パラメータとして断層セグメントを設定する必要がある。ここでは、断層セグメントの設定手法に関して、活断層の地形的な解析からセグメントを認定することを目的に、国内の主要な断層系について空中写真判読を行い、その断層トレースの形態とそれを構成する地形の検討を行った。セグメントの指標としては、断層トレースの屈曲や分岐、直線谷や鞍部などの組織地形の分布状況を用いた。

表-1　検討の対象とした断層系

断層系	断層系の延長
阿寺断層系	80km
柳ヶ瀬-養老断層系	140km
糸魚川-静岡構造線	150km
山崎断層系	87km

2.2　地震応答計算

地質特性と地震動の関係について、表層地盤、深部地盤構造、および２次元の深部基盤形状による地震動増幅効果について、追加計算を行った。表層地盤および深部地盤は１次元の重複反射理論を用いて、２次元については、前年度と同様擬似スペクトル法を用いて実施した。基盤モデルの構造（形状）の妥当性の検討は、既知の地

盤構造をもとに、基盤形状および堆積構造（地層の枚数）を考慮した。

3．研究結果

3.1 断層のセグメント認定

断層セグメントごとの活動性がある程度把握されている糸魚川－静岡構造線についてみてみると、4つのセグメントの末端部では北部の1箇所で平行する断層トレースがセグメント境界に向かって収斂する形態を、その他の4箇所では断層トレースがセグメント境界に向かって互いに分岐する形態となることが判読された。このような形態に着目することで、トレンチなどのデータが不足している断層系についても、セグメントを認定することが可能であると考えられる。

3.2 地震応答計算

既知の深部地盤モデルを基に、構造を変化させてもその増幅特性はあまり大きな変化を示さない。むしろ、表層部の非線形効果の影響が著しく、非線形効果を考慮する深度が大きく影響することがわかった。すなわち、非線形効果によりS波速度が減少し、減衰効果が大きくなるが、表層地盤の工学的基盤が浅い場合は、S波速度の減少に伴って増幅度が増すが、深くなると減衰効果が大きくなり、増幅度が減少する。この事はすでに前回の研究でも指摘した結果である。

擬似スペクトル法の結果では、主に深部基盤のエッジ効果が議論の対象となるが、正断層型と逆断層型の違いは顕著に示されるが、それらの角度を多少変化させても大きな違いは見られなかった。ただし断層の食い違いの段数等は、エッジ付近で増幅度の複雑な山谷を生み出す。

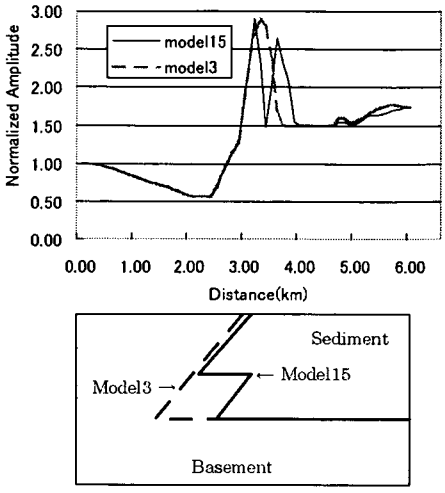


図-1　断層の食い違い段数と増幅度

4．主な研究成果物

1) 久保田・趙・脇坂・梶川，深部および表層地質特性と地震動，土木学会第25回地震工学研究発表会講演論文集，pp.193-196, 1999年7月.

2) 久保田・趙・脇坂・梶川，地震応答特性と地質構造探査の精度について，物理探査学会第101回学術講演会論文集，pp.64-68, 1999年.

3) 梶川，阿南，脇坂，周期S波微動探査法の探査精度および限界の検討，日本応用地質学会平成12年度研究発表会講演論文集，pp.237-240,2000年10月.

（脇坂、阿南、品川）

2.2.2　地震ハザードマップの作成手法の開発に関する研究（その２）

研究期間：平１０～平１４
担　当　：振動研究室

【要旨】

合理的な地震防災計画の策定や設計地震動の設定のためには、地震動特性の地域性を適切に考慮する必要がある。現行の各種耐震設計基準類では、既往のハザードマップにより地震動特性の地域性を考慮し、設計地震動を定めている。既往のハザードマップ作成には、過去千数百年程度の地震記録が用いられてきたが、数百年から数千年以上とされる活断層の地震発生間隔を考慮すれば、十分な期間の記録が用いられてきたとは言えない。そこで、本課題は過去の地震記録とともに、近年、蓄積されつつある活断層の情報を考慮した合理的なハザードマップ作成手法を開発することを目的としている。12年度は、過去の地震記録及び活断層の双方を考慮可能な基礎的な地震危険度解析手法を開発し、関東地方及び中部地方を対象とした地震ハザードマップの試算を行った。

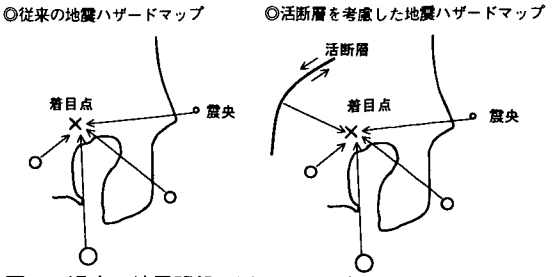


図-1　過去の地震記録と活断層を考慮した地震危険度解析

１．研究目的

既往の地震ハザードマップの作成には過去の地震記録が用いられているが、過去の地震記録の収録期間は活断層の地震発生間隔に比べて短く、十分な期間の記録が用いられているとは言えない。そこで、12年度は、過去の地震記録及び活断層の双方を考慮可能な基礎的な地震危険度解析手法を開発するとともに、当該手法に基づく地震危険度の試算を行うことにより、活断層の考慮が地震危険度に及ぼす影響について検討することを目的とした。

２．研究方法

２．１　過去の地震記録を考慮した地震危険度の評価

我が国周辺の地震地体構造等に基づき、地震の発生状況が一様とみなすことが可能な地域ごとにサブゾーンを設定し、過去の地震記録を用いてサブゾーン内の年平均地震発生確率やマグニチュードの分布特性を評価した。地震動強度の推定には、地震の規模、距離等から最大加速度を推定する距離減衰式を用い、平均値回りのばらつき（$\pm 2\sigma$、σは標準偏差）を考慮した。

２．２　活断層を考慮した地震危険度の評価

地震危険度解析では、既存の文献に基づいて、長さ10km以上の活断層を考慮することとした。活断層の平均活動間隔やマグニチュードは、活断層に関する最近の調査結果を参考に設定したが、調査結果のない活断層については、活断層の長さ等のパラメータを用いて平均活動間隔やマグニチュードを推定した。活断層の地震発生確率の算定では、最新活動時期が特定されている場合は活動間隔が対数正規分布に従うものとし、最新活動時期が未特定の場合は地震の発生がポアソン過程に従うものとした。また、地震動強度は２．１と同じ距離減衰式により推定し、活断層と試算地点の最短距離を距離減衰式の距離の指標として用いることとした。

２．３　プレート境界地震を考慮した地震危険度の評価

プレート境界地震としては、相模トラフ沿いの地域で繰り返し発生する関東地震と駿河トラフ～南海トラフ沿いの地域で繰り返し発生する東海・南海地震を考慮した。関東地震及び東海・南海地震の平均発生間隔は過去の地震を参考に、それぞれ、220年及び119年とした。ここで、東海・南海地震の平均発生間隔の算定において、概ね同時期に発生した安政東海地震（1854.12.23）と安政南海地震（1854.12.24）、及び東南海地震（1944）と南海地震（1946）については、同時に発生した地震とみなした。関東地震及び東海・南海地震の発生確率は、地震の発生間隔が対数正規分布に従うものと仮定し、最新発生時期からの経過時間を考慮して算定した。また、関東

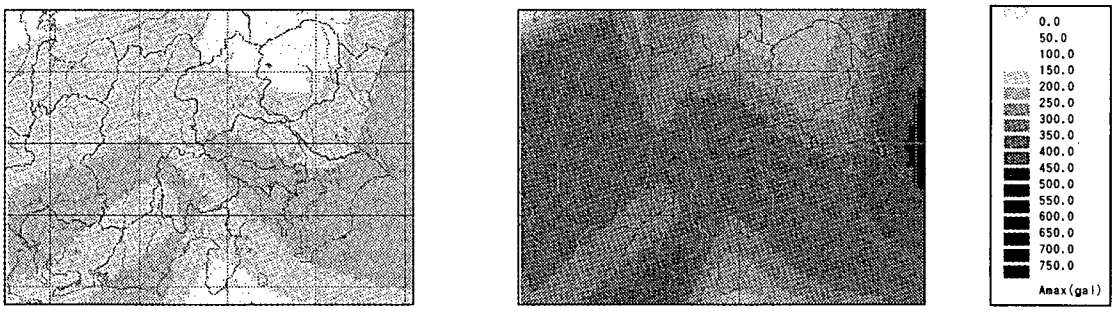
地震及び東海・南海地震の断層位置等の幾何学的な条件やマグニチュードについては、過去の地震の発生パターンを想定し、いずれのパターンも同等な確率で発生するものと仮定して地震危険度の評価を行った。地震動強度は2．1と同じ距離減衰式により推定し、断層面と試算地点の最短距離を距離減衰式の距離の指標として用いることとした。プレート境界地震の断層面が複数ある場合には、複数の断層面と試算地点の最短距離の中で最も小さい最短距離を距離の指標として用いることとした。

2．4　過去の地震記録、活断層及びプレート境界地震を同時に考慮した地震危険度の評価

過去の地震記録、活断層及びプレート境界地震のそれぞれに起因して発生する地震は独立であると仮定して、2．1、2．2及び2．3で評価した地震危険度を組み合わせることにより、それらの3者を同時に考慮した地震危険度の評価を行った。

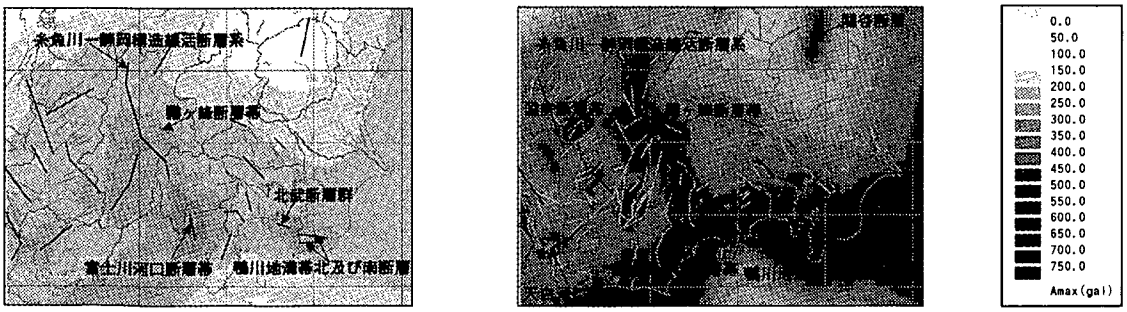
3．研究結果

関東地方及び中部地方を対象として50年超過確率39.5%（再現期間100年相当）及び500年超過確率39.4%（再現期間1000年相当）の最大加速度の期待値マップを試算した。過去の地震記録のみを考慮した場合の試算結果と過去の地震記録、活断層及びプレート境界地震を同時に考慮した場合の試算結果を、それぞれ、図-2及び図-3に示す。図-2（a）及び図-3（a）の期待値マップでは、過去の地震記録に加えて活断層を考慮することにより、期間50年の地震発生確率が比較的高い富士川河口断層帯等の一部の活断層の周辺において期待値が大きくなっている。また、図-2（b）及び図-3（b）の期待値マップでは、過去の地震記録に加えて活断層及びプレート境界地震を考慮することにより、期間500年の地震発生確率が高い活断層の周辺や東京湾、駿河湾、遠州灘で期待値が大きくなっており、活断層やプレート境界地震の影響が支配的になっている。以上から、過去の地震記録、活断層及びプレート境界地震を考慮した期待値マップでは、再現期間を1000年とした場合に地震発生確率が高い活断層やプレート境界地震の影響が支配的となること、また、再現期間を活断層の地震発生間隔に比べて短い100年とした場合でも、一部の活断層の周辺で期待値が大きくなることが明らかとなった。



（a）50年超過確率39.5%（再現期間100年相当）（b）500年超過確率39.4%（再現期間1000年相当）

図-2　過去の地震記録を考慮した期待値マップ（最大加速度）



（a）50年超過確率39.5%（再現期間100年相当）（b）500年超過確率39.4%（再現期間1000年相当）

図-3　過去の地震記録、活断層及びプレート境界地震を考慮した期待値マップ（最大加速度）

4．主な研究成果

・　地震ハザードマップ作成手法（試案）、第6回レベル2地震動の設定手法に関する技術検討会、H13.3

2.3.1　耐震設計の性能規定化に関する研究（その１）

研究期間：平11～平14

担当研究室：基礎研究室

【要旨】

本研究は，新しい技術の開発導入や建設コストの縮減が実現可能な設計基準体系の開発を目的として，構造物に要求される性能および要求性能を設計に反映させるための限界状態を明確に規定するとともに、部分安全係数法を用いた耐震性能の照査法を導入した次世代の耐震設計基準の開発を行うものである．部分安全係数の試算には，個々の抵抗要素の不確定性を評価する必要があるが，基礎の支持力は施工法に依存するものであり，支持力推定式は工学的判断の下に載荷試験数に応じて定められている．そこで，12年度は，確率・統計に基づいて，限られた試験データから多数の載荷試験を行った場合と同等の信頼性を持つ支持力推定式を簡便に作成する方法を提案した．これにより，新工法も，提案法により支持力推定式を作成することで、既存工法と同一の安全係数を適用して設計を行うことが出来るようになる．

	供用 限界状態	修復 限界状態	安全 限界状態
高頻度 小荷重	○　△		
中頻度 中荷重	○　△		
低頻度 大荷重		○	△

○: 重要構造物，△: 標準的な構造物

性能照査マトリクスの概念図

研究イメージ図

1．はじめに

道路橋の基礎は，杭基礎が半数を占める．杭基礎の支持力推定式は，載荷試験結果と地盤定数の相関式により設定されるのが一般的であるが，新工法が開発された際には，その載荷試験データ数が少ないことや実績が少ないことなどから，経験的に支持力を小さく設定することが行われてきた．しかし，今後，部分安全係数の試算を行う際には，様々な工法間で一定の安全余裕度を確保するようにしておくのがよい．

そこで，従来，新工法に対して経験的に行われてきた安全側の配慮を，確率・統計を援用することにより，簡便，かつ機械的に行ない，一般的な工法で，かつ十分な実績のある場所打ちコンクリート杭と打込み鋼管杭の支持力推定式と同等の信頼性を有する支持力推定式を作成する方法を検討した．

2．載荷試験データ数の影響を考慮した杭の支持力推定式と設計法体系

一般に杭の極限支持力 R_u は，次式のように極限先端支持力 R_{pu} と極限周面摩擦力 R_{su} の合力として評価できる．

$$R_u = R_{pu} + R_{su} = q_d A + \sum f_i U_i L_i \tag{1}$$

ここで，A は杭先端の断面積，U_i，L_i は各土層の杭周長と杭長，q_d は先端支持力度，f_i は各土層の最大周面摩擦力度 (以降，単に f と表現) である．この q_d と f は，標準的な地盤調査である標準貫入試験のN値との相関性を用いて評価されることが多い．相関式が支持力推定式と呼ばれるものであり，ここでは原点を通る線形回帰式 $y = a'x + \varepsilon$ のみを対象とする．y は先端支持力度 q_d または最大周面摩擦力度 f，x はN値，a' は回帰係数，回帰誤差 ε は回帰誤差である．なお，ここでは標準貫入試験を適用することの是非は検討しないものとする．

部分安全係数設計法における支持力の設計値の算出は以下の手順で行う．まず，N値を計測値として，支持力推定式から q_d や f を算出する．そして，それを安全係数で除すことにより設計値が求まる．したがっ

て，支持力推定式により算出される値は，支持力の特性値である．

N値からの線形回帰式によりq_dやfを推定するときは，回帰誤差に加えて，載荷試験データから確率モデルを推定する統計的推定誤差を考慮する必要がある．最尤法にしたがって母集団の確率モデルを推定すると，推定された確率モデルのパラメータは平均的な値として評価されるが，載荷試験データの数が少ないと偏りを持つ可能性がある．これは，得られたデータが母集団からのサンプルであることに起因している．このような統計的推定誤差は，データ数が多くなるにしたがって小さくなる．

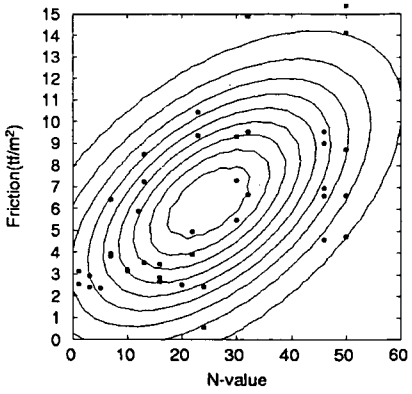


図-1 載荷試験データと確率モデル (SPP砂質土)

そこで，載荷試験データ数による回帰係数a'の統計的推定誤差は，モンテカルロ法に基づくパラメトリック・ブートストラップ法[1)]により評価するものとする．しかし，問題点は，最初にどの程度の信頼区間を考慮した線形回帰式を用いるかという判断である．このような信頼区間をたとえば片側95％とすると，特性値は載荷試験データ数の影響を考慮して設定される．

さらに，これを実用的にするために，載荷試験データ数に応じた係数により平均値の推定の偏りを一定の水準に補正する方法を提案する．この補正係数を，ここでは単に補正係数γ_0と呼び，γ_0はサンプルの平均値 (サンプル推定値) を回帰係数の信頼区間の下限値で除した値と定義する．fを例に式で表すと以下のようになる．

$$f_d = f_k / \gamma_i = f_{\mathrm{ave}} / \gamma_0 / \gamma_i , \quad f_k \equiv f_{\mathrm{ave}} / \gamma_0 \tag{2}$$

ここで，設計値f_dは特性値f_kを部分係数γ_iで除したものであり，またf_kは線形回帰式から求まる平均値f_{ave}を補正係数γ_0で除したものである．

支持力推定式と回帰誤差，さらに荷重が設定されると安全性余裕を定量的に評価できるので，部分係数は逆に目標とする安全性余裕を考慮して設定することになる．統計的推定誤差と回帰誤差は独立に生起すると仮定されるが，新技術や新工法でも従来と同様に施工管理は十分になされているから，回帰誤差は載荷試験データ数の影響を受けないものと考える．

3. 載荷試験データ数と支持力推定式のばらつき

ここでは，一般的な在来工法である場打ちコンクリート杭 (CCP) と打込み鋼管杭 (SPP) を対象として，載荷試験から得られた最大周面摩擦力度fと地盤のN値との回帰分析を行う．

載荷試験データ数が少なくなれば，支持力推定式のばらつきは大きくなる．そこで，この統計的推定誤差について，母集団の推定確率分布として2変量正規確率分布を用いて，ブートストラップ法によるデータ数を3, 5, 10と変化させたときの，線形回帰式の信頼区間を検討する．手順を以下に示す．

(1) 載荷試験データm個より**図-1**に示すように確率モデルを設定する．

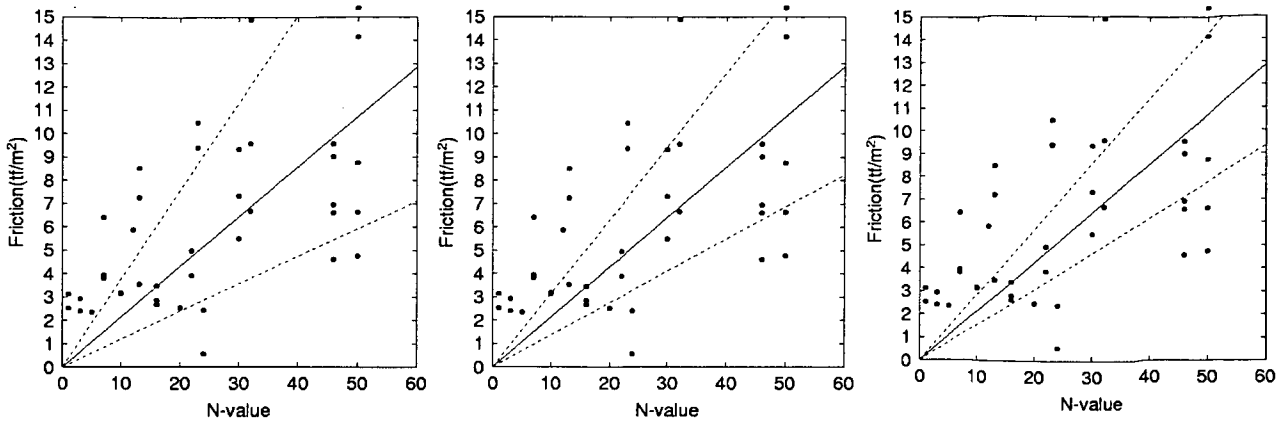
(2) 乱数でf ～N 関係を z 個発生させる．すなわち，疑似的に z 個の載荷試験結果を得る．

(3) 疑似載荷試験サンプル z 個より回帰式を算定．

(4) 2., 3.を n 回行う．ここでは，n=1000 とした．したがって，1000 個の回帰係数a'が求まる．

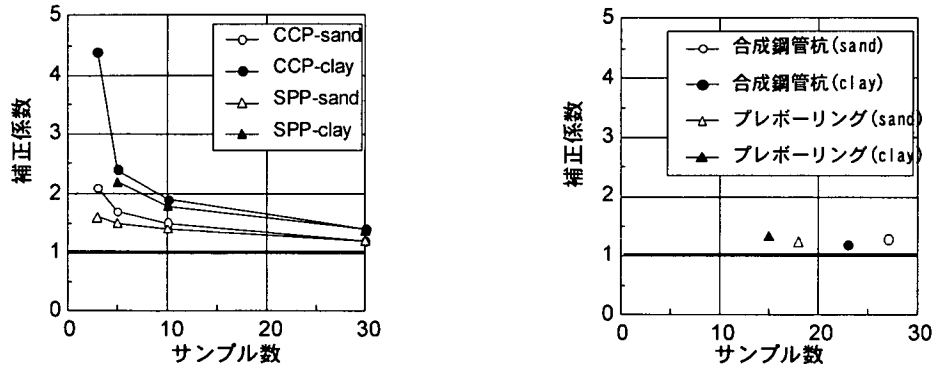
(5) n個の回帰係数a'の統計解析を行う．

解析結果の一例として，砂質土における SPP の結果のうち**図-2** にブートストラップ法におけるデータ数zを3, 5, 10 のときの線形回帰式の片側 95％信頼区間を示す．**図-2** の信頼区間において，実線は載荷試験から求められた線形回帰式を表している．データ数が多くなると線形回帰式のばらつきが小さくなる様子がわかる．このように，線形回帰式が平均的な関係を表現しているため，データ数の変化による精度はこの信頼



データ数 3　　データ数 5　　データ数 10

図-2 片側95%信頼区間 (SPP砂質土)



在来工法　　新工法

図-3 データ数による補正係数

区間で考慮すればよいと考えられる.

したがって，一般には，以下の方法により支持力推定式の特性値を設定することを提案する．載荷試験データ数が m 個あるときは，z を載荷試験データ数として，すなわち $m=z$ としてブートストラップ法により線形回帰式の信頼区間を検討し，片側90%や95%などの安全側の関係式を支持力推定式の特性値する.

4. 経験的な補正係数による載荷試験データ数を考慮した支持力推定式

ここではサンプルの単純な回帰係数 (平均値) の a' を片側 95%信頼区間の下限値の a' で除した値である γ_0 を検討する．**図-3** に在来工法である SPP と CPP の周面摩擦力の推定式に関してブートストラップサンプルのデータ数 z と γ_0 の関係を示す．工法や材料の違い，また土質の違いで若干差があるが，載荷試験数が10以上になると土質ごとに 1 に近いほぼ一定の値となる傾向を持っている.

また，現在の道路橋示方書[2] には支持力推定式が記載されていない合成鋼管杭工法とプレボーリング工法を対象として，**3.** で提案したように載荷試験数 m をサンプルデータ数 z として γ_0 を算定した結果を併せて**図-3**に示す．また，載荷試験数が 10 以上あるため補正係数は 1 に近い値となっている．したがって，これらの工法の場合は，回帰係数の平均値を用いることで既存工法の支持力推定式と同等の信頼性を有する支持力推定式となる.

3. で提案した方法は，汎用性のある方法であるが，新工法やあるサイトの支持力推定式を設定する際などでは，実務上，煩雑である．今後，十分な施工管理がなされた新工法で載荷試験データ数が少ないものに対

して，3.で提案した方法により支持力推定式を算出した結果と図-3で在来工法のデータを用いて算定した補正係数γ_0の値を用いて式(2)の特性値f_kを算定した結果を比較し，両者が近い値になることが確認できれば，所定の信頼性を持つ支持力を式(2)により簡便に算出できるようになる．

表-1 部分係数

土質	Case	α_i	V_i	γ_i
砂質土	常　時	0.7	0.08	1.20
	地震時	0.5		1.14
粘性土	常　時	0.7	0.12	1.34
	地震時	0.5		1.22

6. 部分係数の設定

ここでは設計値に基づく方法によって部分係数の設定を行うことを試みる．一般に，基本変数X_iの設計値は，限界状態に対する目標信頼性指標β_tと性能関数を基本変数X_iで線形近似するFORM (First Order Reliability Method) から算定される感度係数α_iを用いて与えられる．最大周面摩擦力度fを対象とした回帰分析から回帰誤差εと変動係数V_iが算定されれば，特性値から設計値を求めるための部分係数γ_iは下式により算定することができる．

$$\gamma_i = \frac{1}{1-\alpha_i \beta_t V_i} \tag{3}$$

目標信頼性指標β_tを3.0，感度係数α_iは数基の既存構造物のキャリブレーションから常時0.7，地震時0.5とし，また，2. の回帰分析結果より，砂質土の変動係数を0.08，粘性土の変動係数を0.12と扱うことすれば，周面摩擦に関する部分安全係数は表-1のように求まる．

7. まとめ

杭基礎の部分安全係数の試算の準備として，載荷試験数を考慮して一定の安全余裕度を持つ支持力推定式の作成方法を開発した．今後は，基礎の設計に用いる部分安全係数の試算を積極的に進めていきたい．

8. 主な研究成果

- 松井謙二，奥村文直，白戸真大，木幡行宏：Eurocode7 (地盤・基礎設計)の現状と課題，第45回地盤工学シンポジウム，pp. 175-180, 2000.
- 岡原美知夫，福井次郎，西谷雅弘，松井謙二：各国の橋梁に関する技術基準における「要求性能」の比較，第45回地盤工学シンポジウム，pp. 187-192, 2000.
- 白戸真大，鈴木誠，松井謙二：載荷試験数を考慮した杭の支持力推定式の検討，第45回地盤工学シンポジウム，pp. 205-210, 2000.
- 鈴木誠，白戸真大，松井謙二：統計的不確実性を考慮した杭の支持力推定式，第35回地盤工学研究発表会，pp. 1829-1830, 2000.
- Honjo, Y., Kusakabe, O., Matsui, K., Kikuchi, Y., Kobayashi, K., Kouda, M., Kuwabara, F., Okumura, F. and Shirato, M.: National report on limit state design in geotechnical engineering: Japan, *LSD2000: International workshop on limit state design in geotechnical engineering, Melbourne, Australia,* pp. 217-240, 2000.
- Fukui, J., Matsui, K., Sakata, T. and Iwasaki, T.: Comparative study on seismic design of bridge foundations, 土木学会年次学術講演会講演概要集，共通セッション，pp. 444-445, 1999.

参考文献

1) Efron, B.: Bootstrap methods: Another look at the jackknife, Annuals of Statistics, Vol. 7, No.1, pp. 1-26, 1979.

2) 日本道路協会：道路橋示方書 IV 下部構造編，1996.

3) Ditlevsen, O. and Madsen, H.O.: Structural Reliability Methods, John Wiley&Sons, 1996.

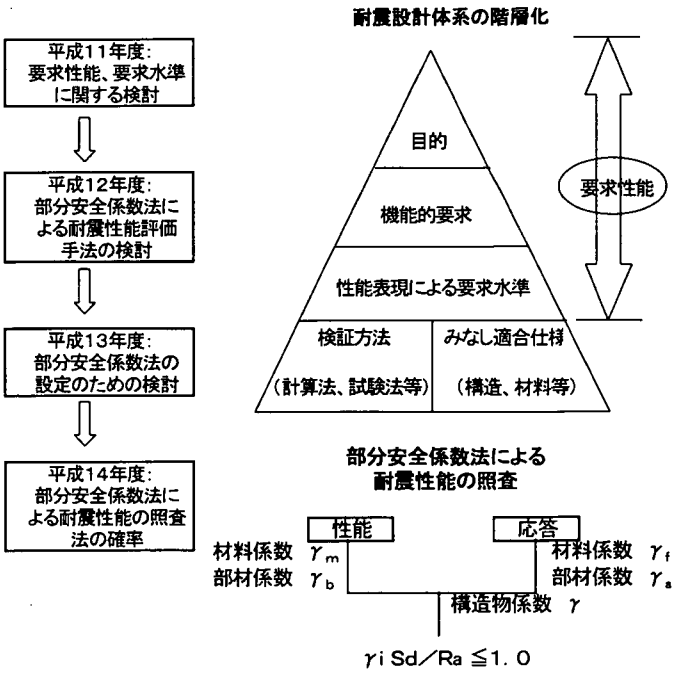
(福井，大塚，白戸)

2.3.2　耐震設計の性能規定化に関する研究（その２）

研究期間：　平１１～平１４
担　　当：　耐震研究室

【要旨】

現行の道路橋示方書は、設計法を詳細に規定した仕様規定型の構成となっているが、このことが設計の自由度を抑制する結果となり、新しい技術の開発導入や建設コスト縮減、ＶＥ制度の普及推進が図りにくくなっていうことが問題となっている。このような背景から、設計の自由度を高め、設計者の創意・工夫を出来るだけ反映することが出来るような設計規準体系の導入が強く求められている。12年度は、道路橋橋脚を対象に、材料強度のばらつきと、応答解析の不確定性、部材強度推定法の不確定性を考慮して、２次モーメント法により信頼性解析を行い、現行道路橋示方書により設計された橋脚の信頼性指標を算出した。その結果、レベル２地震動に対して終局限界状態の信頼性指標は、地震力を確定値として試算した場合1.3～5.0程度となることがわかった。



１．研究目的

本研究では構造物に要求される性能を明確にし、要求性能を設計に反映させるための限界状態を設定するとともに、部分安全係数法による耐震性能の照査式を導入し、次世代型の耐震設計法の整備を行うことを目的とする。

表－１　曲げ破壊型ＲＣ橋脚の確率変数

ばらつき要因	基準値	平均値	標準偏差	変動係数
コンクリート強度	24.0 N/mm²	126%	3.51 N/mm²	11.2%
コンクリート弾性係数	2.5×10⁴ N/mm²	100%	-	1%
鉄筋降伏点強度	345 N/mm²	114%	16.7～21.6	4.5%
鉄筋断面積	公称値	97%	-	1%
鉄筋弾性係数	2.0×10⁵ N/mm²	97%	-	1%
作用軸力	死荷重反力	100%	-	5%
断面寸法	設計寸法	100%	-	1%
配筋位置	設計寸法	100%	-	1%
終局δu評価式	設計δu	110%	-	31.9%

※エネルギー一定則のばらつきは、対象とする固有周期とリダクションファクターに対し、非線形地震時応答解析で算出された213成分の応答塑性率をそれぞれ線形補完したものの平均値と変動係数から正規あるいは対数正規分布を仮定した。

２．研究方法

道路橋橋脚を対象に、コンクリート、鉄筋の材料強度のばらつきと、応答解析の不確定性、部材強度推定法の不確定性を考慮して、２次モーメント法により信頼性解析を行い、現行道路橋示方書により設計された橋脚の信頼性指標を算出した。試算対象とした橋脚は、曲げ破壊型のＲＣ橋脚12基、せん断破壊型のＲＣ橋脚6基、コンクリート充填鋼製橋脚4基であり、いずれも平成8年の道路橋示方書に基づいて設計された断面となっている。また、本信頼性解析において設定した確率変数の一例を示すと表－１のとおりである。なお、本解析では、地震動強度は平成8年の道路橋示方書に規定されている値を確定値として扱い、その変動は考慮していない。したがって、本解析による結果は、地震動強度に関する条件付きの信頼性が評価されることになる。

信頼性解析を行うにあたり設定した性能関数は式(1)に示すとおりとした。

$$g=R/S-1 \geqq 0 \qquad (1)$$

ここに、g：性能関数、R：曲げに対しては終局塑性率、せん断に対してはせん断耐力、S：曲げに対しては応答塑性率、せん断に対しては作用せん断力である。

3．研究結果

本信頼性解析により求められた橋脚の信頼性指標をそれぞれ表－２～４に示す。解析の結果、信頼性指標がばらついているが、これは固有周期によってリダクションファクターの平均値や変動係数が異なっているためと考えられる。また、解析ケースの中には、水平震度の下限値規定により断面が決定しているものもあり、このような場合には信頼性指標が相対的に大きくなっている。また、せん断破壊型の場合と比較すると曲げ破壊型の橋脚の信頼性指標は相対的に小さく、またそのばらつきも大きい。これは、せん断破壊型の場合には、ばらつきの主要因がせん断耐力だけであり、またそのせん断耐力も安全側に評価されているのに対して、曲げ破壊型の場合は終局変位とリダクションファクターの推定法に関する変動係数が大きいためと考えられる。

本解析の結果、橋脚の信頼性指標は1.3～5程度であることが分かった。耐震設計においてどの程度の信頼性を有していれば妥当であるかという点については、現状では確たる論拠がないが、例えば日本建築学会の建築物の限界状態設計指針(案)のように、地震に対する50年間の目標信頼性指標は、終局限界に対して$\beta T=1.5$を例示しているものもある。本論文における信頼性指標は地震荷重を確定値として取り扱っているため、再現期間の概念が入らないが、取り扱っている地震動はレベル２地震動であり、この地震動の再現期間が数百年以上であることを考慮すると、50年間で評価するともう少し大きな信頼性指標を有していると考えられる。

表－２　曲げ破壊型ＲＣ橋脚の信頼性指標

ケース	地震動	躯体断面	固有周期 (sec)	終局(u)	
				β	Pf
1	タイプⅡ	壁式	0.57	1.767	0.0386
2			0.33	2.225	0.0131
3		正方形	0.59	1.712	0.0435
4			0.32	1.878	0.0302
5		円形	0.59	1.370	0.0853
6			0.30	1.277	0.1008
7	タイプⅠ	壁式	0.62	2.086	0.0185
8			0.33	2.617	0.0044
9		正方形	0.61	2.001	0.0227
10			0.32	2.380	0.0087
11		円形	0.60	1.955	0.0253
12			0.32	1.844	0.0326

表－３　せん断破壊型ＲＣ橋脚の信頼性指標

ケース	地震動	躯体断面	β	Pf
1	タイプⅡ	壁式	2.393	0.008
2		正方形	2.345	0.010
3		円形	2.230	0.0129
4	タイプⅠ	壁式	2.265	0.0118
5		正方形	2.225	0.0130
6		円形	2.222	0.0131

表－４　コンクリート充填鋼製橋脚の信頼性指標

ケース	地震動	躯体断面	β	Pf
1	タイプⅡ	正方形	3.642	1.4×10^{-4}
2		円形	3.461	2.7×10^{-4}
3	タイプⅠ	正方形	5.058	2.1×10^{-7}
4		円形	5.350	4.4×10^{-8}

4．主な研究成果物

1) 大住道生、運上茂樹、足立幸郎、星隈順一：道路橋の耐震信頼性評価に関する研究、第４回地震時保有耐力法に基づく橋梁の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集、2000.12

2) 運上茂樹：性能設計と道路橋示方書Ⅴ耐震設計編の改訂動向、第３回橋梁構造等の耐震設計法に関する講習会、土木学会、pp.1-15、2000年10月

3) 星隈順一：鉄筋コンクリート橋脚の耐震性能とその評価法、第３回橋梁構造等の耐震設計法に関する講習会、土木学会、pp.17-43、2000年10月

（運上、星隈、大住）

2.4　地盤－基礎系を含む全体系を考慮した構造物の耐震性能の実験的検証技術に関する研究

研究期間：平11～平14

担当：振動研究室

【要旨】

従来、橋梁などの土木構造物では、上部構造と地盤－基礎構造系を分離して、それぞれが十分な安全性を有するように耐震設計がなされてきた。これは主として、上部構造の応答を考慮に入れた基礎構造の地震時挙動については解明されていないことによるものである。構造物全体系として十分かつ合理的な安全性を有するような設計体系を指向するためには、上部構造と地盤－基礎構造系の一体としての地震時挙動を把握することが必要である。また、合わせて構造物全体系の耐震性能を評価できる実験技術の確立が求められている。12 年度は、上部構造を数値モデル、地盤及び基礎構造を実際の模型とするハイブリッド振動実験を実施することにより、地盤の塑性化および上部構造の非線形応答の影響を考慮した地盤－基礎構造系の地震時挙動を系統的に明らかにした。

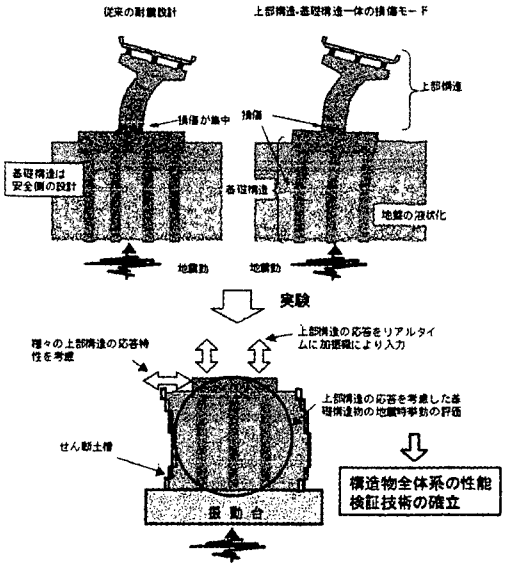


図-1　研究の概要

1．研究目的

地盤及び基礎構造を含めた構造物全体系としての地震時挙動については未解明の部分も多く、従来より構造物の耐震設計では、上部構造及び基礎構造がそれぞれ十分な安全性を有するよう配慮されてきたが、今後の合理的な耐震設計を確立するためには、上部構造と地盤－基礎構造系の一体としての地震時挙動を把握することが必要である。このような観点から、12 年度は、地盤の塑性化および上部構造の非線形応答を考慮に入れた基礎構造の地震時挙動を把握することを目的に、以下の振動実験を行った。

2．研究方法

2．1　ハイブリッド振動実験の概要

図-1 に示すようにハイブリッド振動実験では、振動挙動を明らかにする必要がある部分のみを模型化し、それ以外の部分は数値モデルで置換えるため、大縮尺で精度の良い模型を作成することが可能である。

2．2　実験対象とする実橋梁

実験対象橋脚としては、昭和46年道路橋耐震設計指針（以下、S46指針）および平成８年道路橋示方書（以下、H8道示）に準じ、図-2に示すような２種類を設定した。基礎は場所打ち杭、地盤はⅡ種地盤である。

2．3　実験対象模型及び数値モデル

実験対象とした模型は前述した実橋梁を0.3倍にスケールダウンしたものである。ハイブリッド振動実験では、加振直角方向に対して配置される杭4本の内1本分を取り出し、1列×2本の地盤－杭基礎系の部分模型を対象とした。そのため、フーチング底面へ作用させる外力は、2列×4本の杭基

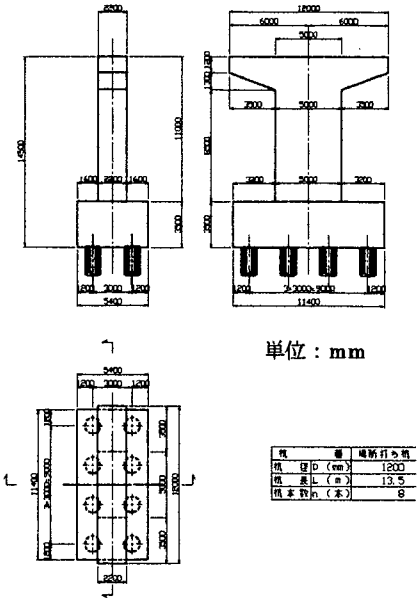


図-2　実規模橋脚－基礎の形状

礎に載荷するフーチング底面の地震力の1/4となる。また、今後、塑性域における構造物の挙動解明を予定していることを考慮して橋梁基礎模型はRC構造とした。模型杭の鉄筋は、鉄筋の断面積比が実杭と模型杭で同じになるように径及び本数を決定した。地盤模型には乾燥硅砂7号を使用し、表層の2.5mをN値6、それ以深をN値10の2層構成とした。

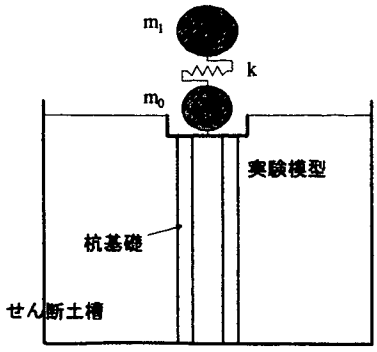


図-3　数値モデル部

本研究で行うハイブリッド振動実験では、図-3に示すように地盤、杭基礎を実験模型、フーチング、橋脚、上部構造を数値モデルとした。具体的には、振動台上にせん断土槽を据付け、地盤及び杭基礎模型を作成した。ここで、杭先端部とせん断土槽底面の接続部はヒンジ構造とした。また、橋脚の塑性化の影響を考慮するために、橋脚部のバネ剛性は非線形バイリニア型モデルとした。

ハイブリッド振動実験の手順は次のとおりである。

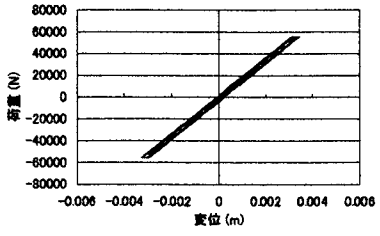
①杭基礎模型の上部にアクチュエータを接続するとともに、せん断土槽を所定の入力波形で水平方向に加振する。

②フーチング上面の反力を測定し、その値を入力として上部構造部－フーチング部からなる数値モデルの振動応答数値解析を行う。

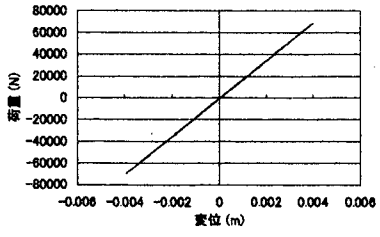
③計算されたフーチングでの応答変位をアクチュエータで入力し、橋梁全体系の応答を再現する。

3．研究結果

橋梁全体系の2次の固有振動数に相当する正弦波5波（前後に1波ずつテーパを加えたもの）100gal を入力した場合の橋脚部の荷重-変位関係および各部の変位応答時刻歴をそれぞれ図-4、5 に示す。事前に行った実験対象模型に対する FEM 固有振動解析では、2次の固有振動モードはフーチング部と上部構造部が逆位相のモードとなっていたが、実験（図-5 参照）でも、その傾向が現れており、実験と解析は整合している。また、図-4 によると、S46 指針のケースでは、橋脚が若干、塑性化していることが認められる。この塑性化の影響により、上部構造部の応答が H8 道示のケースと比べて小さくなっており、さらにフーチング部の応答も小さくなっている。これより、橋脚部に塑性化が生じると、上部構造部の応答が低減するとともに、基礎構造に作用する地震力も低下することが分かる。これは、橋脚の耐力を大きくすると、その分基礎構造に作用する地震力も増加する可能性を示唆するものであり、橋梁全体系の設計において留意が必要である。

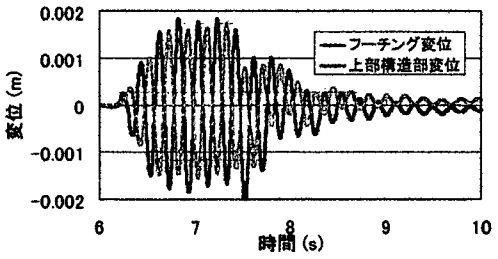


(a) S46 指針

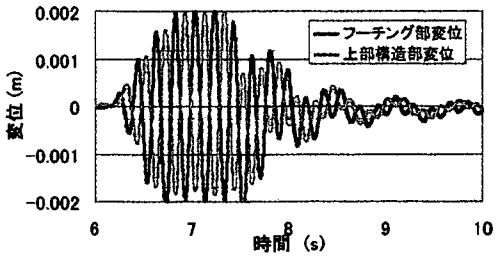


(b) H8 道示

図-4　橋脚の荷重-変位関係



(a) S46 指針



(b)H8 道示

図-5　変位応答時刻歴

4．主な研究成果物

・小林 寛、田村 敬一：地盤－基礎系模型を用いたハイブリッド振動実験，第 2 回構造物の破壊過程解明に基づく地震防災性向上に関するシンポジウム，2001.3

（田村、小林）

2.5.1　土木構造物の耐震性能評価方法に関する国際共同研究（その１）

研究期間：平 12～平 14
担当：基礎研究室

【要旨】

現在、設計基準の国際化への対応を図るべく、道路橋示方書に部分安全係数の導入が予定されている。部分安全係数法の導入に際しては、安全係数だけでなく、設計定数の特性値を適切に設定することが重要であるが、基礎の設計に用いる地盤定数に関しては、国際的にその定義は統一されていない。そこで、国際地盤工学会の限界状態設計法に関する Task Committee と協力して、日本および欧米の数カ国において地盤調査や基礎の設計に用いる地盤定数の設定を技術者がどのように行っているのかについて実態調査を行うものとし、１２年度は、そのアンケート項目を共同で作成した。

１．目的

現在の道路橋示方書は、設計のコンセプトとして限界状態設計法を採用しているものの、設計計算形式には安全率法を用いている。ここで言う安全率法とは、荷重または抵抗のそれぞれに安全係数を定めるのではなく、構造安定を一つの安全率で保証しようとするものである。

一方、ISO2394（General principles on reliability for structures、構造物の信頼性に関する一般原則）では、構造物設計は限界状態設計法によることとし、設計計算形式は確率論的方法か部分安全係数法に基づくことを規定している。また、米国基準（例えば AASHTO）や欧州基準（例えば Eurocode）では、荷重と抵抗のそれぞれに、または、荷重と抵抗の様々な要素それぞれに部分安全係数を設定している。このように、部分安全係数法による設計計算形式に採用は、国際的な主流となってきており、我が国の基準においても整合が求められる状況となってきている。また、地盤定数に部分安全係数法を導入する利点の一つとして、安全係数の設定に地盤調査の質と量を反映させることができることが挙げられる。すなわち、地盤調査を十分に行った場合には、安全係数を小さくすることができ、地盤調査結果が合理的に設計結果に反映されることとなる。

しかし、地盤定数に対する部分安全係数法の導入にあたっては、以下のような問題点がある。部分安全係数法では、信頼性理論により安全性を確保するため、安全係数や安全係数で除す前の設計定数である特性値は統計的手法により決定することが原則である。しかし、基礎の設計を支配する地盤材料の場合には、自然材料であるため構造材料とは異なり、ばらつきが大きいのみならず、試験方法・調査方法により得られる値の質が異なること、土質・地質自体に地域性があること、岩盤のように不均質性が著しく大きい材料であるにも係わらず材料試験を多数行うことができない材料があることなど、統計的な手法がなじみにくいと考えられている。

実務的な問題として、設計に必要な調査が必要かつ十分に行われているのかという問題もある。また、設計に用いる地盤定数の種類が基礎の設計計算に用いるモデルに依存するため、地盤調査と基礎の設計の間には相互関係があり、それぞれに十分な情報交換が行われる必要がある。したがって、合理的な設計結果を得るためには、調査と設計の間において十分な情報交換が可能な環境を作ることが大切である。

そこで、以上の問題を解決するために、実際に地盤調査、基礎の設計に係わる技術者に基礎の設計に用いる地盤定数をどのように設定しているのか調査するためのアンケートを作成した。

2. アンケート概要

アンケートは、地盤調査、基礎の設計に係わる技術者を対象に、支間 200m 以下の一般的な規模の道路橋に対して、以下に示す①～⑥の内容で試行して、アンケートの内容を吟味した。

① アンケート対象者の職種、年齢等

② 調査計画に関する質問

各設計・施工段階において調査計画が何に基づいて立案されているか（また、計画時点では、設計がどの程度、または、どのようなことが考慮されているのか）を把握することを目的とした質問である。

③ 調査の妥当性に関する質問

地盤調査の現状にそれぞれの立場の技術者が満足しているか否か、また、不満足である場合にどのように対応しているかを把握するための質問である。特に、地盤に関する情報の質と量について、満足する結果が得られているかどうかを把握することを目的としたものである。

④ 詳細設計時の具体的な調査方法に関する質問

ある地盤定数を得るために、アンケート対象者が実際に行っている調査方法と、理想と考えている調査方法の両者を把握し、実際には時間やコストの点からどのような妥協を行っているのか、現在の道路橋示方書の地盤の抵抗特性の算出方法の問題点が何かを把握する質問である。さらに、これらの結果より、部分安全係数法の導入にあたって、基礎の設計に用いる地盤定数の質と量を反映させるために、どのような地盤調査方法を対象に抵抗係数を検討するべきかを目的としたものである。

⑤ 詳細設計に関する質問

この質問では、各技術者の立場間における作業分担を把握し、また、地盤定数の設定に統計的な手法がなじむか否かを把握することを目的としている。部分係数法では安全係数や特性値は統計的な手法で設定することが原則であり、特性値を統計的に定義しておかないと、安全係数を設定することが困難となる。一方、地盤定数の場合には、統計的な処理を前提に特性値を設定することがなじまない場合があり、そのような場合には技術者の判断も可能なように、特性値を定義することが必要であると考えられる。

⑥ その他の質問

その他に、より合理的な基礎の設計を行うために、現在の地盤調査と基礎の設計の作業の流れをどのように改善していけば良いのかを把握するための質問を行った。

3. アンケート内容

以下に、実際に作成したアンケートの内容を示す。

1. 一般事項に関する質問

1.1 あなた（回答者）の職種は主にどの立場ですか？ 次の「A.～E.」の中から選んで回答欄に記入してください。

A. 発注者　B. 調査者　C. 設計者　D. 施工者　E. その他

1.2 あなたの年齢についてお伺いします。あなたはどの年齢世代になりますか？ 次の「A.～E.」の中から選んで回答欄に記入してください。

A. 20～29才　B. 30～35才　C. 36～40才　D. 41～45才　E. 46才以上

1.3 あなたの専門分野はどの分野になりますか？ 次の「A.～C.」の中から選んで回答欄に記入してください。また、A、Bの場合も可能であれば、より詳細な専門分野名を記入してください。

A. 地盤工学　B. 構造工学　C. その他

2. 調査計画・立案に関する質問

2.1 地盤調査の計画*)は、ⅰ）どの立場の方が立案する**)ことが多いですか？ また、ⅱ）どの立場の方が立案するのがふさわしいと思いますか？ 次の「A.～E.」の中から選んで回答欄に記入してください。

*) 「計画」とは、調査法、数量、位置など調査に係わる全般の作業の立案をすることです。

**)「立案」とは、実質的に計画を立てることです。承認することではありません。

A. 発注者　B. 調査者　C. 設計者　D. 施工者　E. その他

2.2 「2.1」のⅰ）で選んだ立場と「1.1」で選んだあなたの立場が一致する方は、次の「2.2.1」の質問にお答えください。一致しない方は「3.」の質問にお進みください。

2.2.1 詳細設計時の調査段階において調査計画（調査法（室内試験および原位置試験）の種類、調査位置、調査数量（サンプリング数等））は、主に何に基づいて立案していますか？ 別表－1の「A.～I.」の中から優先する順番に回答欄に記入してください（すべて選ばなくても結構です）。

別表－1

A. 事業体作成の基準類	F. 類似の工事例
B. 道路橋示方書	G. 解析モデル、解析法
C. 学会基準類	H. 経験
D. 構造物の規模	I. その他
E. 対象近傍地域の既往調査結果	

3. 調査の妥当性に関する質問

調査が「不十分である・あった」、「不足している・いた」と感じたことはありますか？ その場合には以下の「3.1」および「3.2」の質問にお答えください。そうでない場合には「4.」の質問にお進みください。

3.1 不適切、不足と感じた項目を、次の「A.～F.」の中から選んで回答欄に記入してください（複数回答可能です）。また、不適切、不足と感じた具体的内容（品質、数量、調査位置、方法等）を回

答欄に記入してください。

A. ボーリング　B. サンプリング　C. 室内試験　D. 原位置試験　E. その他

3.2 上記の具体的内容に対して、どのような対応をしましたか？ 次の「A.～F.」の中から選んで回答欄に記入してください。

A. 追加調査の実施　B. 既存データの活用　C. 未対応（発注者の指示）

D. 未対応（時間的理由）　E. 未対応（経済的理由）　F. その他

シート4－1

4. 詳細設計時の具体的な調査方法に関する質問

常時および地震時の設計について 4.1～4.3 の質問にお答えください。また、地震時の液状化の判定について 4.4 の質問にお答えください。

4.1 直接基礎の鉛直支持力の算出について

i) 一般の設計実務においては、直接基礎の鉛直支持力の算出に用いる強度定数（粘着力 c、内部摩擦角 ϕ）の設定は、どの調査方法の結果をよく用いますか？ 「粘性土」「砂質土」「軟岩」「硬岩」のそれぞれの地盤において、別表－2の「A.～K.」の中からよく用いる順番に回答欄に記入してください（すべて選ばなくても結構です）。また、選んだ理由を回答欄に記入してください。

ii) 直接基礎の鉛直支持力の算出に用いる強度定数（粘着力 c、内部摩擦角 ϕ）を得るために適しているのは、どのような調査方法であると考えますか？ 「粘性土」「砂質土」「軟岩」「硬岩」のそれぞれの地盤において、別表―2の「A.～K.」の中から適していると思われる順番に回答欄に記入してください（すべて選ばなくても結構です）。また、選んだ理由を回答欄に記入してください。

4.2 杭の水平支持力の算出について

i) 一般の設計実務においては、杭の水平支持力（または、水平地盤反力度の上限値）の算出に用いる強度定数（粘着力 c、内部摩擦角 ϕ）の設定は、どの調査方法の結果をよく用いますか？ 「粘性土」「砂質土」「軟岩」「硬岩」のそれぞれの地盤において、別表－2の「A.～K.」の中からよく用いる順番に回答欄に記入してください（すべて選ばなくても結構です）。また、選んだ理由を回答欄に記入してください。

ii) 杭の水平支持力（または、水平地盤反力度の上限値）の算出に用いる強度定数（粘着力 c、内部摩擦角 ϕ）を得るために適しているのは、どのような調査方法であると考えますか？ 「粘性土」「砂質土」「軟岩」「硬岩」のそれぞれの地盤において、別表－2の「A.～K.」の中から適していると思われる順番に回答欄に記入してください（すべて選ばなくても結構です）。また、選んだ理由を回答欄に記入してください。

別表－2

A. 一軸圧縮試験	G. コーン貫入試験
B. 三軸圧縮試験（UU）	H. 平板載荷試験
C. 三軸圧縮試験（$\overline{\text{CU}}$）	I. 孔内水平載荷試験
D. 三軸圧縮試験（CU）	J. 基礎の載荷試験
E. 三軸圧縮試験（CD）	K. その他
F. 標準貫入試験	

4.3 杭の変位の算出について

i) 一般の設計実務においては、杭の水平変位量の算出に用いる地盤の変形に関するパラメータ（せ

ん断弾性係数、弾性係数、変形係数、地盤反力係数等）の設定は、どの調査方法の結果をよく用いますか？　「粘性土」「砂質土」のそれぞれの地盤において、別表－３の「A.～L.」の中からよく用いる順番に回答欄に記入してください（すべて選ばなくても結構です）。また、選んだ理由を回答欄に記入してください。

ii)　杭の水平変位量の算出に用いる地盤の変形に関するパラメータ（せん断弾性係数、弾性係数、変形係数、地盤反力係数等）を得るために適しているのは、どのような調査方法だと考えますか？　「粘性土」「砂質土」のそれぞれの地盤において、別表－３の「A.～L.」の中から適していると思われる順番に回答欄に記入してください（すべて選ばなくても結構です）。また、選んだ理由を回答欄に記入してください。

別表－3

A. 一軸圧縮試験	G. 平板載荷試験
B. 三軸圧縮試験（UU）	H. 孔内水平載荷試験
C. 三軸圧縮試験（CU）	I. PS 検層
D. 三軸圧縮試験（$\overline{\text{CU}}$）	J. LDT
E. 三軸圧縮試験（CD）	K. 基礎の水平載荷試験
F. 標準貫入試験	L. その他

4.4　地盤の地震時挙動について

i)　一般に設計実務において、地盤の液状化判定時にどの調査方法をよく用いますか？　別表－４の「A.～H.」の中からよく用いる順番に回答欄に記入してください（すべて選ばなくても結構です）。また、簡単に選んだ理由を回答欄に記入してください。

ii)　地盤の液状化判定に適しているのは、どのような調査方法だと考えますか？　別表－４の「A.～H.」の中から適していると思われる順番に回答欄に記入してください（すべて選ばなくても結構です）。また、簡単に選んだ理由を回答欄に記入してください。

別表－4

A. 標準貫入試験（N 値）	F. 三軸せん断試験
B. PS 検層	G. 中空円柱ねじり試験
C. 粒度試験（F_c、D_{10}、D_{51}）	H. その他
D. コンシステンシー試験	
E. 相対密度試験	

5.　詳細設計に関する質問

5.1　基礎の設計に係わる地盤定数の設定*)は，ｉ）通常どの立場の方がすることが多いですか？　また、ii）どの立場の方が設定するのがふさわしいと思いますか？「A.～E.」の中から選んで回答欄に記入してください。

*)「設定」とは、実質的に設定することです。承認することではありません。

A. 発注者　　B. 調査者　　C. 設計者　　D. 施工者　　E. その他

5.2　「ばらつき」のあるデータについての質問です。

5.2.1　下記の①、②の場合において、「ばらつき」のあるデータ*)から設計計算で用いる地盤定数を

どの方法で設定しますか？　別表－５の「A.～F.」の中から選んで回答欄に記入してください。

*) データとは、測定値のことです。

① 十分なデータ数がある場合には、どのように設定していますか？

② データ数が不足気味の場合には、どのように設定していますか？

別表－5

A. 全データから機械的な平均値を採用
B. 不適切なデータを取り除いてから平均を取る
C. 設計が安全側になるように最大値あるいは最小値を採用
D. 設計が安全側になるようにばらつきの程度を考慮（平均値±標準偏差など）
E. 経験または工学的根拠（具体的な方法を回答欄に記入してください）
F. その他

5.2.2　「5.2.1」で「B.」を選択された方にお聞きします。取り除く不適切なデータとはどのようなデータですか？回答欄に記入してください。

5.2.3　地盤定数の設定について統計的手法はなじむとお考えですか？　次の「A.～C.」の中から選んで回答欄に記入してください。また、その理由も回答欄に記入してください。そのほか，関連することで何かご意見をお持ちでしたら，併せてご記入ください。

A.なじむ　　B.なじまない　　C.その他

5.3　設計計算で用いる地盤定数を設定するときに「ばらつき」以外に主に何を考慮しますか？　別表－６の「A.～K.」の中から考慮する順番に回答欄に記入してください（すべて選ばなくても結構です）。

別表－6

A. ばらつき以外には考慮しない	G. 地盤に生じると想定する変位・ひずみ・応力レベル
B. 計算法・解析法の違い	
C. 基礎の施工方法の違い	H. 残留強度とピーク強度の違い
D. 調査・試験法の違い	I. 排水条件
E. サンプリング方法の違い	J. 対象地点近傍の既往の情報
F. 構造物の規模・重要度	K. その他

5.4　複数の種類の調査・試験法からそれぞれのデータが得られている場合に設計計算で用いる地盤定数を設定するときに、それぞれの調査・試験方法の違いを考慮しますか？考慮する場合には、回答欄にどのように考慮するのか記入してください。

6.　現在の地盤調査と設計の発注形態、作業の流れに関して、あなたが思う問題点（私見で結構です）があれば、ご意見を回答欄に記入してください。

7.　「あなたの立場」から「その他の立場の方」に対して、地盤調査と橋梁基礎の設計の観点から、改善した方がよいと思うこと（私見で結構です）があれば、ご意見を回答欄に記入してください。

8.　道路橋示方書・同解説の地盤調査、地盤定数の設定、その他地盤に係わる事項に関する内容・記述に関してコメント（私見で結構です）があれば、ご意見をお聴かせください。

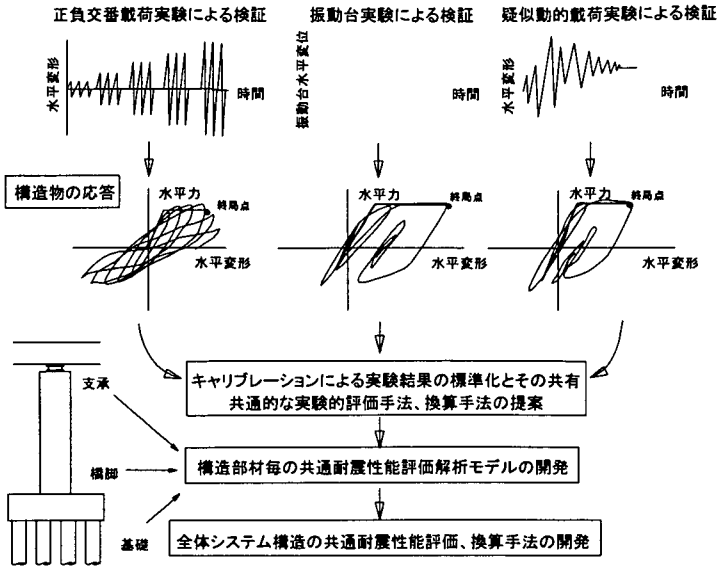
（福井、白戸、秋田）

2.5.2　土木構造物の耐震性能評価方法に関する国際共同研究（その２）

研究期間：　平１２～平１６
担　　当：　耐震研究室

【要旨】

本研究は、橋梁や基礎構造物、土構造物などの土木構造物に対する国際的な製品規格や試験方法規格、構造物の設計・施工に関わるシステム規格の整備を図ることを目的として、土木構造物の耐震性能評価方法の開発を日米欧で協力して実施しているものである。12 年度は、ＲＣ橋脚の耐震性能の評価において多用されている正負交番載荷実験の試験方法について、様々な条件下における非線形動的応答解析の結果をもとに、非線形域での応答の繰り返し回数について検討を行った。その結果、タイプⅠの地震動では塑性率が大きくなるにつれ、その繰り返し回数が減り、5～6 の塑性率の繰り返し回数は 3 回程度であること、またタイプⅡの地震動ではそれが 1 回程度となることがわかった。



１．研究目的

本研究では世界的な設計法の性能設計法への指向を踏まえるとともに、ＩＳＯ規格への提案をも視野に入れた土木構造物の耐震性能評価方法の開発を日米欧で協力して実施することを目的とする。12 年度は、ＲＣ橋脚の塑性変形性能の検証に用いられている正負交番載荷実験の試験方法を取り上げ、試験結果に有意な影響をもたらす要因である載荷繰り返し回数について検討を行った。

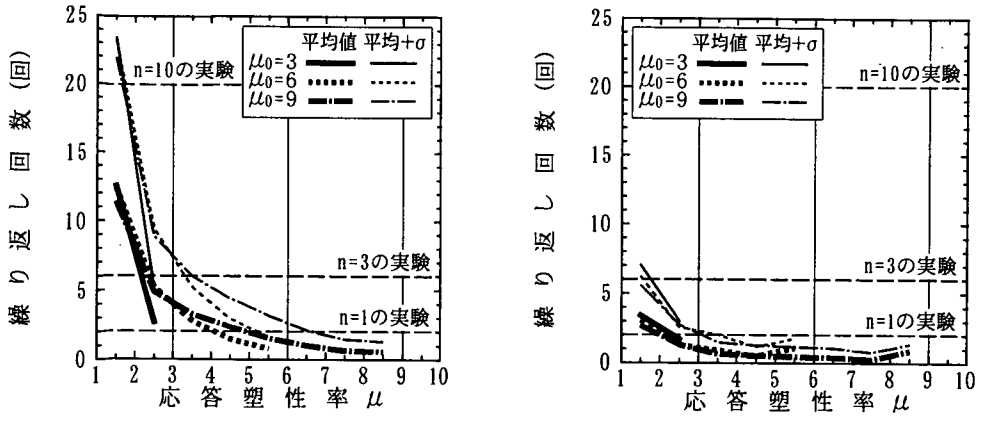
２．研究方法

一般に、鉄筋コンクリート橋脚に対する正負交番載荷実験では、降伏変位を基準変位として、その整数倍の変位を順次与える方法が採用されているが、その載荷方法の設定根拠に関しては明確でない。そこで、本研究では、振幅の繰り返し特性や継続時間の異なる幾つかの強震記録を用いて非線形時刻歴応答解析を行い、鉄筋コンクリート橋脚に生じる塑性応答の繰り返し回数特性について検討を行った。

表－１　解析で考慮した地震の震源地と震源特性

プレート境界付近で生じた海洋型地震	越前岬沖	日向灘	東北東方沖
	青森県東方沖	岩手県沖	愛媛県西部沿岸
	宮城県沖	襟裳岬沖	八丈島東方沖
	根室半島沖	伊豆半島南部沿岸近海	
	大島近海	宮城県沖	伊豆半島付近
	日本海中部	釧路沖	北海道南西沖
	北海道東方沖		
内陸直下型地震	ノースリッジ	兵庫県南部	鳥取県西部

本解析では、鉄筋コンクリート橋脚を１自由度系にモデル化し、その基部に地震動を作用させて時刻歴応答解析を行った。本解析に用いた入力地震動は、既往の地震により実測された 77 成分と、耐震設計用として作成された模擬地震動 18 成分の合計 95 成分である。ここで、実測波の 77 成分は、マグニチュードが 6.5 以上の 25 の地震により観測されたものであり、その地震の震源地と震源特性を整理すると表－１の通りである。また、系の固有周期として、0.1, 0.15, 0.2, 0.3, 0.5, 0.7, 0.95, 1.0, 1.5, 2.0 秒の 10 ケース、また、最大応答塑性率は、3.0, 6.0, 9.0 の 3 ケースをそれぞれ設定した。

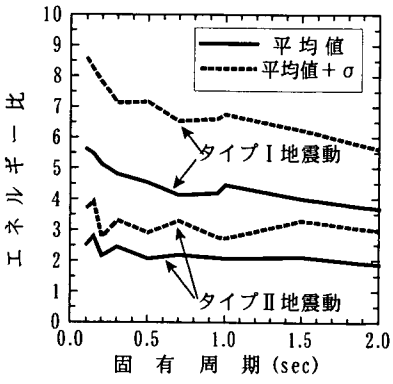


(a)タイプⅠの地震動　　(b)タイプⅡの地震動

図－1　塑性応答の繰り返し回数

3．研究結果

図－1は、最大応答変位が生じる前までの時間における応答塑性率の度数分布を全ての解析ケースに対して求め、その平均値と標準偏差を示したものである。これより、タイプⅠの地震動では、標準偏差の1倍のばらつきを考慮すると、1～2δ_yの応答が23回前後作用するが、3～4δ_yの応答は6回前後、5～6δ_yの応答は3回前後となっている。これは、繰り返し回数を10回とする正負交番載荷は、タイプⅠの地震動が作用した時の実際の挙動よりも非常に多い繰り返し回数を与えていることを示している。また、応答変位の増大に伴って、その繰り返し回数が徐々に少なくなっている点も特徴的である。このように、本解析結果からは、タイプⅠの地震動に対しては、載荷変位の増大に伴って、徐々に繰り返し回数を減らす方が実挙動に近いと言える。



図－2　エネルギー比の比較（μ_0=6）

一方、タイプⅡの地震動に対する繰り返し回数は、明らかにタイプⅠの地震動の場合よりも少ない。すなわち、1～2δ_yの応答は6回前後作用しているが、3δ_y以降の応答変位は、各カテゴリーとも1回程度ずつしか作用していない。これは、タイプⅡの地震動に対しては、正負交番載荷実験において、3δ_y以上の載荷ステップの繰り返し回数は1回でも十分であることを示している。

また、図－2は、最大応答塑性率を6.0とした場合のエネルギー比の平均値とそのばらつきを地震動のタイプで比較して示したものである。ここで、エネルギー比とは、最大応答変位が生じる時刻までに鉄筋コンクリート橋脚が吸収したエネルギーE_Dとその最大応答変位まで一方向に単調載荷した場合の吸収エネルギーE_Sの比として定義している。これより、解析結果のばらつきとして標準偏差の1倍を見込むと、タイプⅠ地震動の場合、鉄筋コンクリート橋脚に6～8E_Sのエネルギーが与えられた後に、またタイプⅡの地震動の場合、3～4E_Sのエネルギーが与えられた後に最大応答変位が生じることがわかる。別途行われている鉄筋コンクリート橋脚に対する繰り返し回数が3回の正負交番載荷実験では、6δ_yの載荷の前までに試験体に与えたエネルギーは、6δ_yの水平変位を一方向に単調に与えた場合のエネルギーのおよそ7.8倍であったことと比較すると、繰り返し回数を3回とした載荷方法は、いわばタイプⅠの地震動に対する挙動の方に近い。

4．主な研究成果物

1)星隈順一、運上茂樹：入力地震動の特性とＲＣ橋脚に生じる塑性応答回数、コンクリート工学年次論文報告集、第23巻、2001年

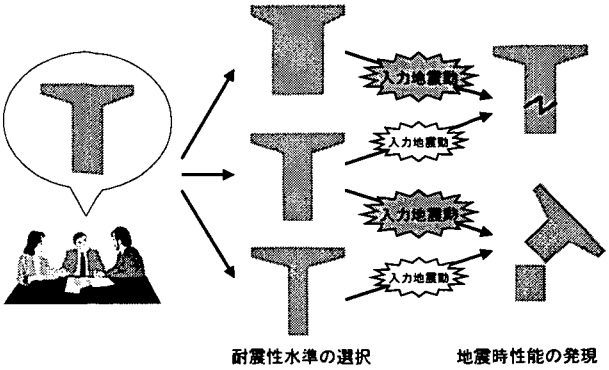
（運上、星隈、塩島）

2.6　公共土木施設の耐震性水準の横断的整合に関する研究

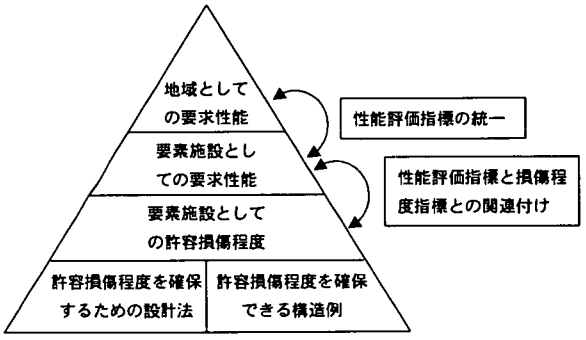
研究期間：平10～平12
担　　当：防災技術課

【要旨】

社会基盤施設の耐震対策に際しては、地域で想定される地震動に対する地震時性能が国や地域の要求を満たすとともに、適切な投資配分のもとでリスクが最小化される必要がある（図－１参照）。しかしながら、現在のところ各施設の耐震設計には施設毎に異なる基準が用いられており、また、各々の基準では構造物の重要度等を与件として地震時性能の目標が設定されているため、地域全体として耐震対策投資が最適化されているかどうかが不明確である。本研究は、地域に存在する複数の社会基盤施設の耐震性水準を、相互の整合性を明確にしながら、合理的に設定するための手法について検討するものである。これまでに、現状の各種施設の耐震設計体系の比較分析を行い、耐震性水準のパフォーマンスマトリクスによる表現方法及び、耐震性水準と対策コストを勘案しながら耐震対策を選択するためのIOCカーブの概念を提案している。平成１２年度は、特に道路施設に着目して、各道路施設が各地震レベルに対して要求される通行機能に関する性能と、各道路施設の損傷状態を定量的に結びつけることにより、性能評価に基づく耐震設計体系の根幹を構築した。さらに想定される各損傷状態を復旧するために必要な期間を試算し、各施設の耐震性水準の設定に関するケーススタディーを行った結果、道路施設の性能評価指標として交通規制期間が使えることがわかった（図－２参照）。



図－１　耐震性水準、地震時性能の概念



図－２　性能設計体系ｲﾒｰｼﾞと本研究課題の関係

１．研究目的

社会基盤施設の耐震対策では、適切な投資配分のもと、地域で想定される地震動に対して各種施設の地震時性能が整合している必要がある。本研究は、複数の社会基盤施設の耐震性水準を、相互の整合性を明確にしながら、合理的に設定するための手法を検討するものである。これまでに、現状の各種施設の耐震設計体系の比較分析を行い、様々な入力地震動に対する施設の地震時性能や耐震対策コストを表現する方法を提案している。各種施設についてこれらの表現方法を適用し、耐震性水準の横断的整合性を確認するためには、各種施設間で共通化された地震動レベルと性能レベルの表示方法を具体化する必要がある。このため、平成１２年度は、道路施設を対象に、性能レベルと施設の損傷程度との関係を試算により求め、具体化された性能マトリックスを作成する事を目的とした。

２．研究方法

２．１　パフォーマンスマトリックスの性能軸の整理

各種施設の耐震性水準を比較するためには、各施設の性能を同じ指標で表現しなければならない。例えば道路施設は車を通行させることがその基本的な機能であるから、例えばその性能はある出発地点から到着地点までのアクセス時間で表現することができる。しかし、アクセス時間は道路ネットワークに依存するので、各道路施設を直接的に評価する指標とはならない。従って、アクセス時間を算出するための施設毎の指標が必要である。本研究では地震時性能に着目しているため、施設が被災した場合の交通規制期間をアクセス時間算出のための指標とした。交通規制期間は、施設の補修にかかる総期間とし、補修期間は実工事の実積によった。

2．2　地震動強度に応じた道路施設の試設計

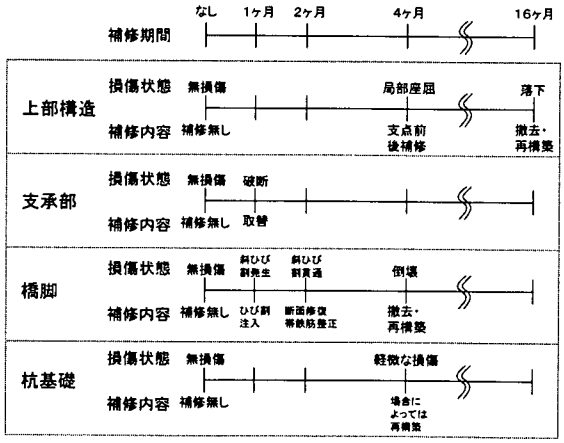
地域としての要求耐震性能を実現するためには、その前段階として地域で想定される様々なレベルの地震動に対して、統一された指標で表現された要素施設の耐震性能を実現する設計体系を構築する必要がある。しかし、現状の耐震設計法はほとんどが仕様設計に基づいており、統一された指標で表現された耐震性能を実現する設計法が整備されていないだけでなく、許容損傷程度を演繹的に実現する設計法も整備されていないものが多い。そこで、本研究では道路施設を表－１に示す３つのレベルの目標耐震性能を目安に設計し、それがそれぞれ４段階の地震動を受けた場合の損傷程度を試算することにより、統一された指標で表現された要素施設の耐震性能と各道路施設の損傷指標を定量的に関連付けた。

表－１　試算に用いた目標耐震性能

①	レベル１地震動に対して健全性を保持できる
②	レベル２タイプⅡ地震動に対して致命的な被害を防止できる
③	レベル２タイプⅡ地震動に対して限定的な損傷に留めることができる

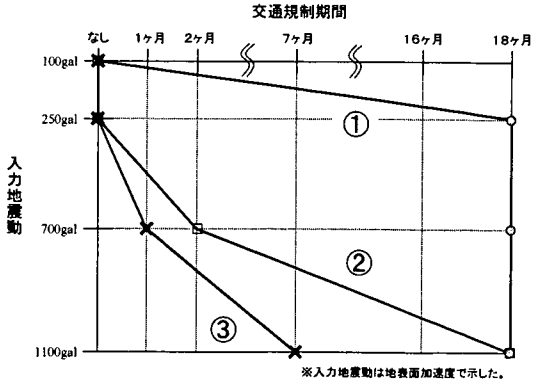
3．研究成果

一例として道路橋が被災したときの、各部材の損傷状態、補修内容、補修期間の関係を図－３に示す。ここで試算対象とした橋梁はＲＣ橋脚を有する鈑桁橋である。これを見ると、損傷する部材により補修期間が著しく異なること、および各損傷状態を補修期間により表すことが可能であることがわかった。この結果を用いて、パフォーマンスマトリックスの性能軸を交通規制期間として入力地震動との関係を示した実現レベルのパフォーマンスマトリックスが図－４である。ただし、入力地震動は地表面加速度で示してある。他の道路施設についても同様の表示方法が可能であり、これにより、施設の設計結果、部材の損傷程度、施設の性能が定量的に関連づけられたことになり、異なる種類の道路構造物を、統一された指標である交通規制期間により表すことができた。



図－３　損傷状態と補修期間の関係

この指標化手法を用いて道路施設を統一された指標（交通規制期間）により表現することにより、想定する道路ネットワークにおいてネットワーク解析を行い、各施設の最適耐震性水準を算定することが可能となる。



図－４　道路橋の実現レベルのパフォーマンスマトリックス

4．主な研究成果物

1）大住、村越、杉田、大谷：性能評価に基づく耐震性水準の合理的設定手法に関する基礎的研究、第 56 回土木学会年次学術講演会概要集、2001.10

（杉田、村越、大谷、大住）

水環境における水質リスク管理に関する研究

3．水環境における水質リスク管理に関する研究

研究期間：平成１０～１４年度
プロジェクトリーダー：新下水処理研究官
高橋正宏

１．研究の背景

わが国では水の安全性の指標として大腸菌群と２６の物質が用いられているが、これらでは把握できない新しいタイプの汚染が出現している。平成８年に埼玉県越生町でおきた原虫クリプトスポリジウムの集団感染、多摩川のコイなどの異変から問題が指摘されている内分泌かく乱物質（環境ホルモン）などがその好例である。このように公共用水域等において、水質に起因するリスクの増大が懸念されている。

こうした病原性微生物や化学物質は、その検出方法、下水道における処理の可能性、環境水中での挙動、魚類などの生物への影響など分かっていないことが多い。安全で安心して利用できる水域を確保するために、水質に起因するリスクの実態を把握し、リスクのレベルを適切に管理する手法を開発する必要がある。

２．研究の目的

本研究は、リスクの原因として、近年になって感染や汚染の実態が明らかにされつつあるクリプトスポリジウムその他の病原性微生物と内分泌かく乱物質をとりあげ、水環境における水質リスクを把握、評価、制御する手法を開発することを目的としており、次の４項目から構成される。

① 試験・監視技術の開発
② 処理過程及び自然界における実態の把握
③ リスク評価手法の開発
④ リスク制御技術の開発

３．これまでの研究成果

クリプトスポリジウムについては、活性汚泥処理により下水中の濃度を２桁、凝集剤の使用によりさらに１桁さげることができることが分かった。また、脱嚢試験による判定では、不活化率９０％に達するまでの時間は水温６０℃では５分であるのに対し、３０℃では４２日と温度の影響を強く受けることが分かった。オーシストに特異的に反応する蛍光抗体染色試薬によりオーシストを検出することができるが、試料中の夾雑物による妨害を抑制する必要であることが明らかとなった。クリプトスポリジウムの水や汚泥からの検出方法は、高度な技術を要し煩雑であること、顕微鏡によって検出できたとしても、宿主への感染性を有するかどうかは、特別なネズミを使った試験を経なくては分からないなどの問題がある。このため、フローサイトメトリーを用い機械的に試料中から分離し、クリプトスポリジウムなどの遺伝子を検出するＰＣＲ法を用いる手法の検討を行った。また、ネズミの替わりにヒト由来の培養細胞を用いて感染性を判定する方法が簡易に行えることを示した。

その他の病原性微生物としてポリオウィルスを対象とし塩素消毒、オゾン消毒、紫外線

消毒の効果を検討した。また、ろ過の有無やアンモニアの残留など下水処理の程度が、各種消毒法の効果に与える影響を評価した。

内分泌かく乱物質については、機器分析や抗原抗体法を用いた測定法、組み換え酵母とコイ、メダカを用いた女性ホルモン作用の測定法について調査した。組み換え酵母法は下水試料には有効であることが示唆された。機器分析と抗原抗体法、組み換え酵母を用いた方法の測定値を比較することによって、処理水、河川水中の女性ホルモン様物質には、未だ同定されていないものがかなり多いことが推察された。

内分泌かく乱物質の下水処理における挙動について、活性汚泥処理、オゾン処理、活性炭処理、塩素処理、凝集沈殿＋ろ過、逆浸透膜について実験を行い、処理特性について調査した。その結果、活性汚泥処理でかなりの部分が分解されている可能性があること、オゾン及び活性炭処理によりかなり除去されることが分かった。また、塩素処理での分解にはかなりの時間を要し効率も低いこと、凝集沈殿＋ろ過ではノニルフェノールはある程度除去されるが、女性ホルモンの除去効率は低いことが分かった。逆浸透膜では高い除去効率が得られた。実河川の底泥からの内分泌かく乱物質の溶出を調査した結果、ノニルフェノール、ノニルフェノールエトキシレートとも溶出は認められなかった。活性汚泥微生物から女性ホルモンやノニルフェノールを分解する微生物を単離することに成功し、複数の微生物がこれらの分解に関与していることが示唆された。

－水環境における水質リスク管理に関する研究－

個別研究課題目次

3.1 環境ホルモン生成物質の水環境中での挙動に関する研究…… (水 質 研 究 室) … 88

3.2 下水中の微量化学物質の新しい検出技術に関する調査…… (水 質 研 究 室) … 90

3.3 下水汚泥中内分泌かく乱物質の消長に関する調査…… (汚 泥 研 究 室) … 92

3.4 水循環健全化のための環境ホルモン等リスク対策の調査検討…… (三 次 処 理 研 究 室) … 94

3.5 内分泌かく乱物質等の発生源と処理対策手法の調査…… (三 次 処 理 研 究 室) … 96

3.6 下水道での未規制物質対策技術に関する調査…… (水 質 研 究 室) … 98

3.7 病原性微生物の下水処理過程での制御に関する研究…… (汚 泥 研 究 室) … 100

3.8 病原性微生物の発生源および対策に関する調査…… (三 次 処 理 研 究 室) … 102

3.9 下水中病原性微生物の同定方法に関する研究…… (汚 泥 研 究 室) … 108

3.10 水系における病原性微生物の挙動に関する研究…… (三 次 処 理 研 究 室) … 110

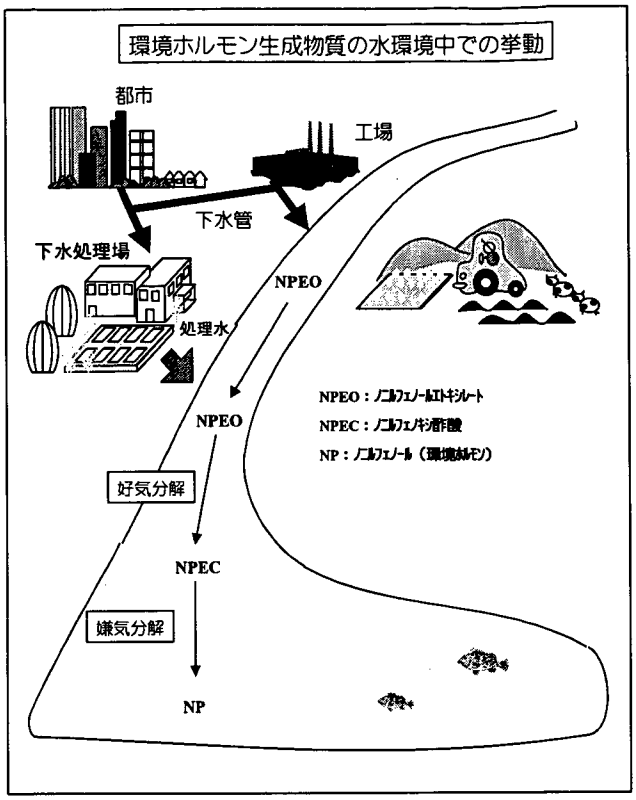
3.1　環境ホルモン生成物質の水環境中での挙動に関する研究

研究期間：平１１～平１４
担　　当：水質研究室

【要旨】

人や生物へ、内分泌攪乱作用を引き起こす化学物質（いわゆる環境ホルモン）の問題が指摘されているが、それらの物質の中には、ノニルフェノール（ＮＰ）のように水環境中での分解により生成する物質もある。このため、ＮＰを生成するノニルフェノールエトキシレート（ＮＰＥＯ）等の水環境中での挙動を把握する必要がある。

１２年度は、ＮＰＥＯの生物分解実験を行い、分解生成物の把握と分解速度の把握を行った。また、綾瀬川の底泥を用いた溶出実験を実施し、溶出速度の把握を行うとともに溶出実験前後において底泥中のＮＰＥＯ、ＮＰの変化を調査した。



１．研究目的

非イオン界面活性剤の一つであるＮＰＥＯは、下水処理過程或いは河川の流下過程において好気・嫌気の生分解を受けＮＰを生じることが知られている。ＮＰは、内分泌攪乱作用が疑われる物質であることから、下水処理過程或いは放流先の水環境におけるＮＰＥＯ、ＮＰの挙動に関心が集まっている。本研究は、水環境中でのＮＰＥＯ、ＮＰの挙動把握を目的としている。

２．研究方法

２．１　ＮＰＥＯの生分解性試験

ＮＰＥＯの生分解性の確認と分解副生成物の有無について確認することを目的に以下の試験を行った。

ＮＰＥＯの代表として東京化成のポリエチレングリコールモノ-4-ノニルフェニルエーテル（ＮＰｎＥＯ、ｎ≒１０）を供試物質とした。生分解性試験方法は、「化学物質の審査及び製造等の規制に関する法律」による方法に準じた。密閉ガラス容器内にＮＰｎＥＯのみを炭素源とし、活性汚泥を３０ｍｇ／ｌになるように植種して密閉ガラス容器内で起こる酸素消費量を測定した。また、同時にＮＰｎＥＯとＴＯＣを測定した。

酸素消費量、ＮＰｎＥＯ、ＴＯＣの測定結果から以下の方法により分解度を求め分解性を評価した。

①酸素消費量から分解度を算出する方法

分解度（％）＝（ＢＯＤ－Ｂ）／ ＴＯＤ×１００

ＢＯＤ：供試物質１００ｍｇ／ｌの生物化学的酸素要求量（ｍｇ／ｌ）… 測定値

Ｂ：基礎培養基に活性汚泥を接種したものの酸素消費量（ｍｇ／ｌ）… 測定値

ＴＯＤ:供試物質１００ｍｇ／ｌが完全に酸化された場合に必要とされる理論酸素要求量(ｍｇ／ｌ)… 計算値

②ＮＰｎＥＯ、ＴＯＣ直接定量から分解度を算出する方法。

分解度（％）＝（Ｓｂ－Ｓａ）／ Ｓｂ×１００

Ｓａ：分解度試験終了時のＮＰｎＥＯ、ＴＯＣの残留量（ｍｇ／ｌ）… 測定値

Ｓｂ：水にＮＰｎＥＯのみを添加した空試験におけるＮＰｎＥＯ、ＴＯＣの残留量（ｍｇ／ｌ）… 測定値

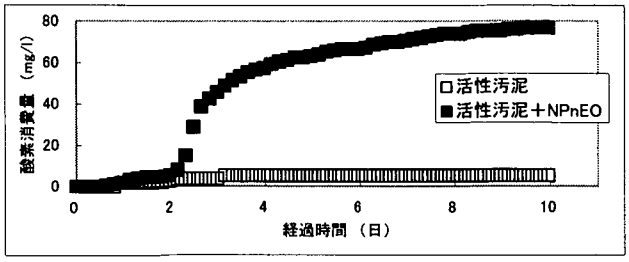
２．２　ＮＰ、ＮＰＥＯの底泥からの溶出実験

綾瀬川の底泥を用いた溶出実験を行った。底泥をアクリル製のカラムにつめ、河川水を静かに加え、その後の水質変化を調査した。本試験は、空気ばっきによりＤＯを約６ｍｇ／ｌに保った好気条件と窒素ガスばっきによりＤＯを０．５ｍｇ／ｌ以下に保った嫌気条件で行った。水質測定は、０、１、３、５、７、１０、１５、２０、３０日目に試料を採取し、ＮＰＥＯ、ＮＰの分析を行った、

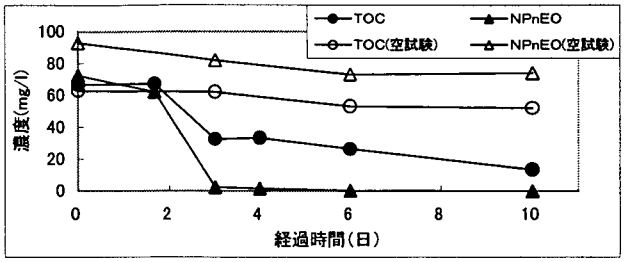
３．研究結果

３．１　ＮＰＥＯの生分解性試験

酸素消費量、ＮＰｎＥＯ、ＴＯＣの経時変化を図-１、図-２に示した。酸素消費量の変化は２日目までは、活性汚泥のみのコントロールとほぼ同じ変化を示しているが、２日目以降急激に酸素消費が増えている。これは、活性汚泥中の微生物によりＮＰｎＥＯが酸化分解を受けていることを示唆している。また、酸素消費量が急激に増加すると同時にＮＰｎＥＯは減少している。



図－１　生分解性試験における酸素消費量の経時変化



図－２　生分解性試験におけるNPnEO、TOCの経時変化

１０日後の酸素消費量から１０日間の分解度を求めると３３％となる。また、ＮＰｎＥＯ、ＴＯＣの測定結果から分解度を求めると１００％、７４％となるが、酸素消費量から求めた値と異なっている。１０日間の生分解性試験においてＮＰｎＥＯが０ｍｇ／ｌとなってもＴＯＣが１２ｍｇ／ｌ残留していることから、ＮＰｎＥＯの分解副生成物が生成していることが示唆された。

ＮＰｎＥＯは、好気性条件下で親水基の酸化エチレン鎖の重合度が小さくなり、最終的にノニルフェノールモノエトキシレート（ＮＰ１ＥＯ）、ノニルフェノキシ酢酸（ＮＰ１ＥＣ）まで分解されることが知られている。本試験の試験期間１０日間でＮＰｎＥＯがＮＰ１ＥＯ、ＮＰ１ＥＣまで分解したと仮定して理論酸素消費量を計算すると１１２ｍｇ／ｌとなる。また、エチレン鎖が２、３、４のように分解が途中の場合を仮定し理論酸素消費量を計算するとその値は更に小さくなり、本試験で得た酸素消費量の７２ｍｇ／ｌに近い値となる。このことから、本試験での分解副生成物は、エチレン鎖の重合度の小さいＮＰｎＥＯの可能性が示唆された。

３．２　ＮＰ、ＮＰＥＯの底泥からの溶出実験

綾瀬川の底泥を用いた底泥からの溶出試験を行った結果、好気条件、嫌気条件の両試験系においてＮＰＥＯ、ＮＰとも底泥から水への溶出は見られなかった。また、溶出試験前後に行った底質の分析でも、両者に大きな差はなくＮＰＥＯ、ＮＰが溶出したことを示す結果はみられなかった。

４．主な研究成果物

・小森行也、田中宏明、竹歳健治；活性汚泥処理プロセスにおけるＮＰ、ＮＰＥＯの挙動、第３７回下水道研究発表会講演集、pp.713-715（2000）

（田中、小森、石井、高橋）

3.2　下水中の微量化学物質の新しい検出技術に関する調査

研究期間：平 11～12
担当：水質研究室

【要旨】
現在、下水中には、人や生物に対して、内分泌かく乱作用や毒性作用を示す微量化学物質が含まれている可能性が指摘されている。現在、これらの物質の測定は、特殊な分析機器を必要とし、高度な技術が要求される。本調査では、微量化学物質の検出方法の簡易化、迅速化を図ることで、広範囲にわたって下水中の微量化学物質の監視を可能とし、下水道の適切な維持管理に資することを目的とする。12 年度は、硝化細菌を用いたバイオアッセイによる、代表的な硝化阻害物質の濃度レベルを調査した。また、バイオセンサの実下水処理施設への適用を検討した。内分泌かく乱化学物質の検出手法としては、従来からの GC/MS、LC/MS 等の機器分析に代わり、簡便に測定ができる ELISA 法の適用性を検討し、機器分析との相関性を検討した。

1．研究目的

下水処理プロセスにおいて、処理生物の生育環境を安定に保つことは極めて重要である。しかし、慢性的あるいは突発的な水質事故等による下水道への化学物質の流入は、これらの物質にダメージを与える可能性がある。このため、下水道へ流入する化学物質が下水処理へ与える影響の評価手法や、有害化学物質の下水道施設への流入に対する連続監視技術の確立が必要である。処理生物の中でも特に、生物学的窒素除去の硝化工程を担う硝化細菌は化学物質の影響を受けやすいことがわかっている。この性質に注目し、下水中の毒性物質の検出への硝化細菌を用いたバイオアッセイの利用を検討している。12 年度は、純粋培養硝化細菌を用いたバイオアッセイ系[1]により硝化阻害が報告されている物質の、硝化細菌の阻害濃度の把握および硝化細菌を用いた毒物センサの実下水処理施設への適用を検討した。また、近年、生物の内分泌作用を攪乱し、悪影響を及ぼす外因性の内分泌攪乱物質（EDs）への関心が高まっており、その環境汚染が懸念されており、下水道では現在調査されている物質の中でヒト女性ホルモンの 17β-エストラジオール（E2）の内分泌攪乱作用が、他の化学物質に比べて非常に高いことが報告[2)3)]されており、下水試料の内分泌攪乱作用に占める E2 の割合が非常に大きいとの報告[3)]もある。しかし、上記の実態調査において、E2 の測定に使用している ELISA 法は GC/MS 等の機器分析に比べて試料の前処理や測定が簡易という利点があるものの、抗原抗体反応を利用しているため、類似物質による影響と、機器分析による結果との相違を確認する必要があると考えられた。そこで 12 年度は、実際の下水試料を対象として、ELISA 法及び LC/MS/MS 法により E2 の測定・比較を行った。

2．研究方法

2.1．硝化細菌を用いたバイオアッセイ

純粋培養硝化細菌（*Nitrosomonas europaea* ATCC25978）を用いたバイオアッセイ系[1)]では、既に、硝化過程へ阻害影響を与える物質として報告のあるフェノール[4)5)6)]、芳香族アミン[4)]、チオカルボニル基を有する有機化合物[4)]などの中から供試物質を選定し、これらの物質の阻害レベルを検討した。感受性の違いについては、24 時間培養後の NO_2^--N 生成量の 50%硝化阻害影響濃度により評価した。

2.2．ELISA 法

E2 の測定については、主に生活系の排水を処理する 5 ヶ所の下水処理場の流入下水と二次処理水を対象とした。試料の前処理は、ELISA 用試料については下水道の測定マニュアル案[8)]に従い、10000 倍の測定試料を得た。LC/MS/MS 用試料については、検討の結果確立した方法[7)]により測定試料を得た。ELISA 法は Assay Designs,Inc.製の Correlate-EIA 17β-Estradiol Enzyme Immunoassay Kit を使用し、下水処理場における EDs の実態調査で用いた方法[6)]に従い測定した。LC/MS/MS の測定条件は文献[7)]に示すとおりである。

3．研究結果

3.1．硝化細菌を用いたバイオアッセイ

各供試物質に対する純粋培養硝化細菌バイオアッセイ系の感度の結果を表-1 に示す。供試物質の中では、チオカルボニル基を有するチオ尿素が最も阻害レベルが低く、続いて芳香族メチル、芳香族アミン、アルデヒドの順に阻害レベルが上がっていった。また、別途行った、実下水処理場の生物処理に近い条件における系による試験

c) と比較すると、感受性が20倍程度高い（阻害レベルが20倍程度低い）ことがわかった。このことは、実処理系において処理阻害が発生するよりも低濃度で硝化阻害物質の存在を、本試験系は検出できることを示唆している。

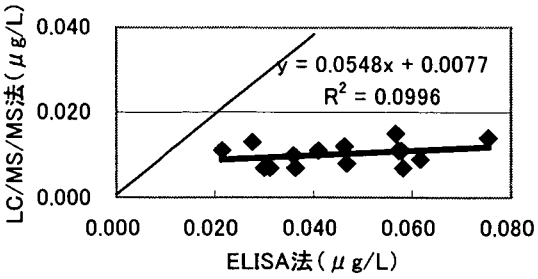
また、同一の硝化細菌を用いた毒物センサを、実下水処理施設で流入下水の水質監視に適用する検討を行ったところ、約1ヶ月の期間であれば、安定的に連続稼働することがわかった。今後、より維持管理の頻度を小さくするように、システムを改良していく必要があると考えられた。

表－1 純粋培養バイオアッセイの感度

供試物質	EC_{50} mg/L
チオ尿素	1.80E-02
m-クレゾール	1.00E-01
m-アミノフェノール	9.40E-01
アニリン	2.30E+00
o-フェニレンジアミン	1.40E+00
m-フェニレンジアミン	1.60E-01
o-クロロアニリン	2.10E+00
m-クロロアニリン	4.30E-01
p-クロロアニリン	9.10E-01
ホルムアルデヒド	2.60E+01
アセトアルデヒド	4.10E+01

3.2. ELISA法

流入下水中のE2濃度の、ELISA法およびLC/MS/MS法による測定結果を図-1に比較して示す。図から分かるように、すべての流入水試料において、ELISA法の測定結果が高く、その比率（ELISA法／LC/MS/MS法）は2.0～8.3倍（平均4.7倍）であった。このことから流入下水において、ELISA法の測定結果は測定対象物質であるE2以外の物質の影響によりLC/MS/MS法の結果よりも高くなることが推察された。また、ELISA法とLC/MS/MS法の測定結果の相関係数はR^2＝0.0996と低く、さらにELISA法とLC/MS/MS法の比率と調査対象処理場及び試料採取時期の間にも明確な傾向が認められなかった。



図－1 E2のELISA法とLC/MS/MS法の比較（流入下水）

放流水中のE2についてはELISA法の結果に比べLC/MS/MS法の測定結果はほとんどが0.001μg/L未満と非常に低かった。流入下水と同様、ELISA法の測定結果は測定対象物質であるE2以外の物質の影響を受け高くなることなどが推察される。

表－2 放流水の測定結果

処理場	ELISA法（μg/L） 7月	8月	9月	LC/MS/MS法（μg/L） 7月	8月	9月
A	0.020	0.019	0.025	0.001	<0.001	<0.001
B	0.036	0.017	0.019	0.001	<0.001	<0.001
C	0.015	0.010	0.008	0.001	0.001	<0.001
D	0.024	0.022	0.013	0.001	<0.001	<0.001
E	0.006	0.006	0.004	0.001	<0.001	0.001

参考文献

1) 磯部ら(1999)下水道研究発表会講演集, **36**, pp.1038-1040
2) 建設省都市局下水道部(2000) 平成11年度下水道における内分泌攪乱化学物質に関する調査報告書
3) 矢古宇ら(1999) 環境工学研究論文集, Vol.**36**, 1999
4) Nisikawa, J. *et al.* (1999) *Toxicology and applied pharmacology*, Vol.**154**, pp.76-83
5) Tomlinson, T.G. *et al* (1966) *J appl. Bact.* **29**, 2, pp.266-291
6) D.A.Stafford (1974) *J appl. Bact.* **37**, 75-82
7) H. Tanaka et al (1997) Proceedings of the 7th Japanese-German Workshop on wastewater and sludge treatment, 110-121
8) 小森ら(2000) 環境科学討論会講演集, **9**, 346-347
9) 建設省都市局下水道部(1999) 下水道における内分泌攪乱化学物質水質調査マニュアル，日本下水道協会

4．主な研究成果物

a) 高橋, 小森, 矢古宇, 岡安, 斉藤, 東谷, 田中（2000）下水試料中の女性ホルモン測定法の課題－LC/MS/MSとELISAの比較から－, 日本水環境学会シンポジウム講演集, **3**, 175-176
b) 岡安, 小森, 田中; 硝化細菌バイオアッセイによる水中有害有機物の検出, 日本水環境学会年会講演集, **35**, 234, 2000.3
c) 小森, 岡安, 竹歳, 山口, 田中; 活性汚泥処理性能に及ぼす化学物質の影響評価, 日本水環境学会年会講演集, **35**, 286, 2000.3

（田中，小森，高橋，岡安）

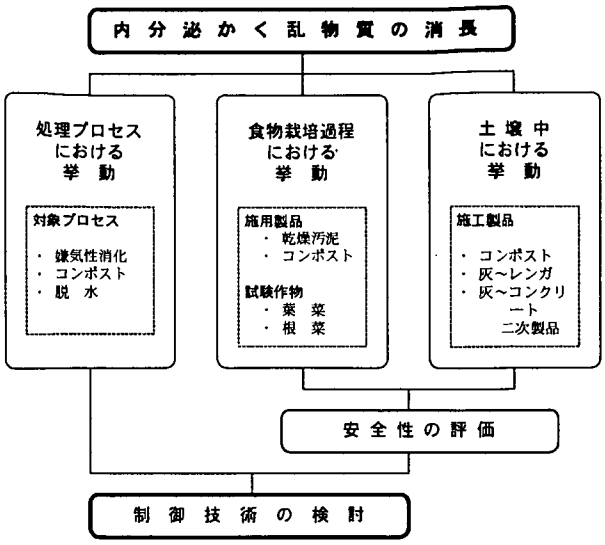
3.3　下水汚泥中内分泌かく乱物質の消長に関する調査

研究期間：平１１～平１３
担　当：汚泥研究室

【要旨】

我が国の下水処理場にも内分泌かく乱物質の流入が確認されており，それが水処理系から汚泥処理系へ移行した際の挙動・消長を明らかとする必要がある。

１２年度は、下水汚泥試料中の内分泌かく乱物質の分析手法を開発するため汚泥からの内分泌かく乱物質の抽出方法の検討を行い、Pressurized Fluid Extraction（ＰＦＥ）を用いた比較的良好な抽出条件を見いだした。また、下水汚泥処理系における内分泌かく乱物質の挙動に関する調査として、嫌気性消化による内分泌かく乱物質の消長を把握するための実験を継続した。下水汚泥製品の施用先における内分泌かく乱物質の挙動に関する調査としては、ライシメータを用いたコンポスト施用土壌からの内分泌かく乱物質浸出実験を継続して行い、内分泌かく乱物質の浸出状況を調査した。



１．研究方法

１．１　分析方法の検討

多量の有機物からなる泥状試料を対象とした内分泌かく乱化学物質の分析方法は確立されておらず、本課題の目的達成のためには分析方法の開発・確立が欠かせない。分析手法を工程ごとに見ていくと、特に汚泥からの目的物質の抽出については十分な検討が進んでいるとはいいがたい状況にあり、より高い回収率で安定した結果が得られる抽出手法、抽出条件の開発が必要である。ここではＰＦＥ[1)]を下水汚泥製品からのノニルフェノール(NP)、ノニルフェノールエトキシレート(NPEO)、１７βエストラジオール(E2)等の抽出に応用することを試みた。ＰＦＥとは、土壌、汚泥等から難水溶性の化学物質を抽出する方法であり、高温（100～180℃）、高圧（10.3～13.8MPa（1500～2000psi））の条件下で抽出を行うものである。試験には余剰活性汚泥を風乾したものを用い、抽出液の分析方法は１１年度と同様であるが、固相抽出操作は省いて行った。

表－１　ライシメータ仕込み条件

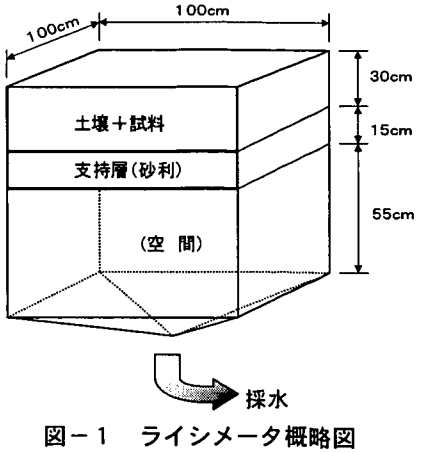
ケース１	土壌	（対照系）
ケース２	土壌　＋(NP)＋(E2)	
ケース３	土壌＋(コンポスト)	
ケース４	土壌＋(コンポスト)	採泥毎耕転
ケース５	土壌＋(コンポスト)＋(NP)＋(E2)	
ケース６	土壌＋(コンポスト)＋(NP)＋(E2)	採泥毎耕転

１．２　嫌気性消化実験

実下水を用いた活性汚泥法の連続実験より得られた最初沈殿池汚泥、余剰活性汚泥を供試汚泥として、５Ｌの反応槽を用い消化温度35℃、55℃、消化槽滞留時間20日、40日の条件で連続実験を行った。

１．３　ライシメータ実験

下水汚泥製品の緑・農地利用に際して、施用先での挙動・消長を明らかとするために、ライシメータ６台を屋外に設置した長期実験を平成１１年１０月より継続している。各ライシメータの構造の概略を図－１に、設定条件を表－１に示す。



図－１　ライシメータ概略図

表－２　余剰活性汚泥からのＮＰ、ＮＰＥＯ回収量におよぼす抽出溶媒の影響

使用溶媒		メタノール	アセトン	nヘキサン	アセトニトリル	ｱｾﾄﾝ：ｼﾞｸﾛﾛﾒﾀﾝ(1:1)	酢酸エチル
ＮＰ	平均回収量 [μg/g-dry]	20.2	17.0	13.3	13.0	17.5	12.1
	変動係数［%］	2.3	5.3	4.0	7.0	4.2	8.8
ＮＰＥＯ (n≦4)	平均回収量 [μg/g-dry]	43.6	31.5	28.3	28.6	34.4	22.0
	変動係数［%］	2.3	7.3	3.3	6.9	5.8	8.1
ＮＰＥＯ (n≧5)	平均回収量 [μg/g-dry]	44.3	31.5	16.7	24.1	27.1	28.7
	変動係数［%］	3.2	12.2	7.7	6.4	3.1	6.7

２．研究結果

２．１　分析方法の検討実験

抽出溶媒の違いが回収量におよぼす影響について検討した。使用した溶媒はメタノール、アセトン、ヘキサン、アセトニトリル、アセトン：ジクロロメタン(1:1)、酢酸エチルである。抽出のための静置は 10 分静置後抽出溶媒を入れ替え再び 10 分静置するという設定とした（10 分×２と表記）。また、圧力は 13.8MPa、温度は 100 ℃とした。結果を表－２に示す。メタノールを抽出溶媒とした場合の NP、NPEO の回収量が他の抽出溶媒での回収量よりも多かった。また、１１年度に行った振とう抽出での結果と比較すると、NP、NPEO ともにＰＦＥで比較的短時間の操作で同等以上の回収量が得られることが明らかとなった。

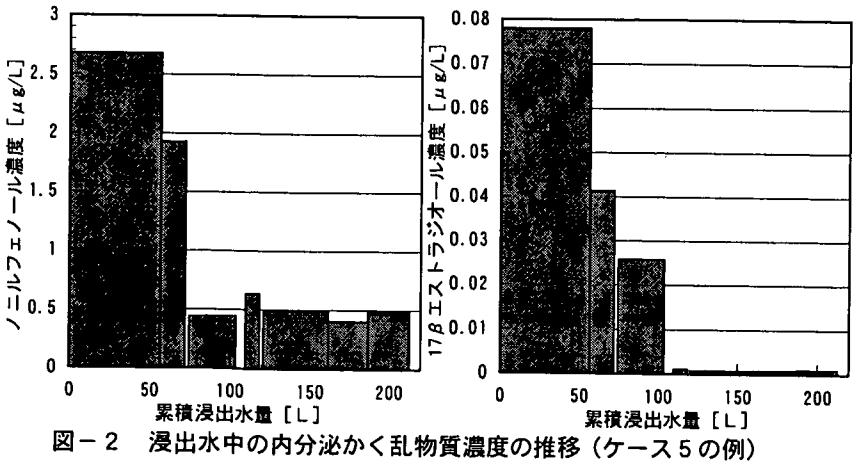
表－３　静置時間が回収量に及ぼす影響[μg/g-dry]

静置時間	5 分	5 分 ×2	30 分	60 分
ＮＰ	25.6	21.7	19.9	17.7
ＮＰＥＯ（n≦4）	50.2	49.7	48.6	41.5
ＮＰＥＯ（n≧5）	28.2	32.1	31.5	29.9

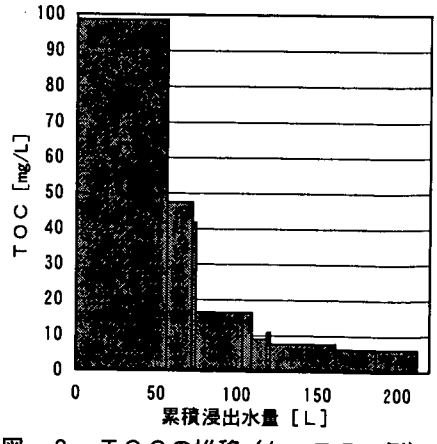
静置時間の違いが回収量におよぼす影響について検討した。設定した静置時間は、５、30、60 分及び５分×２である。抽出溶媒はメタノール、圧力は 13.8MPa、温度は 100 ℃とした。結果を表－３に示す。NP、NPEO(EO 基数ｎ≦４)は静置時間が短い方が回収量が多くなる傾向にあった。

２．２　ライシメータ実験

実験途中の浸出水中の内分泌かく乱物質濃度の推移の例を図－２に示す。E2 については ELISA によって得た値である。NP も E2 も実験初期に比較的高濃度での浸出が見られたが、累積浸出水量にして 100 Ｌ程度からは低濃度で推移していた。この傾向は図－３に示した浸出水中のＴＯＣと類似の傾向であった。なお、図に示した時点までに各ライシメータから浸出した NP、E2 の累積量は、初期土壌内含有量の 0.22 ～ 6.7 % (NP)、0.32 ～ 4.7 %(E2)であった。



図－２　浸出水中の内分泌かく乱物質濃度の推移（ケース５の例）



図－３　ＴＯＣの推移（ケース５の例）

参考１）U.S.EPA: Test Methods for Evaluating Solid Waste Physical/Chemical Methods, Method 3545A, (2000)

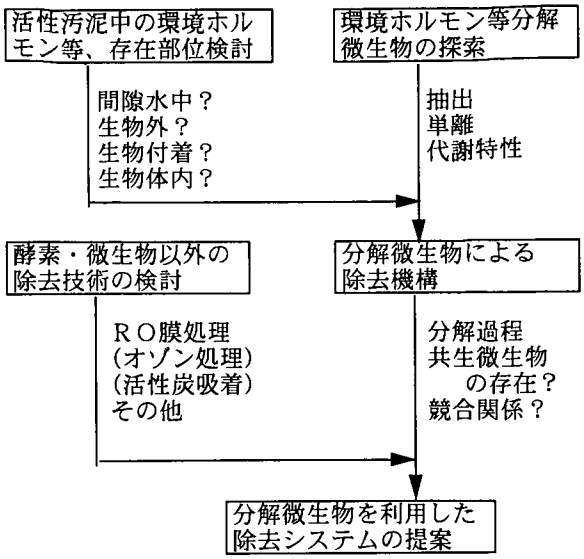
（森田、落、南山）

3.4　水循環健全化のための環境ホルモン等リスク対策の調査検討

研究期間：平１１～１２
担当　　：三次処理研究室

１．研究の背景：

環境水中で女性ホルモン作用を発現する物質のうち、ノニルフェノールと女性ホルモンである１７βエストラジオールは、下水処理水中でも検出頻度が高く、除去が十分に行われていない可能性がある物質である。今後の排出規制等の動向によっては下水処理施設でこれらの物質を高度に除去する必要が生じる可能性があると考えられる。



２．研究の目的：

これらの２物質を対象として下水処理過程における除去機構を明らかにし、処理条件の改善によって除去率を向上させる手法や分解能力の高い微生物等を用いてより効率的な除去を行う方法について基礎的な検討を行うことを目的としている。

３．これまでの研究成果：

３．１．女性ホルモン様物質等資化微生物の探索

３．１．１　調査方法

下水処理場活性汚泥から、これら２物質または女性ホルモンの分解生成物であるエストロンの何れかを分解する微生物を探索した。探索方法は単一基質とする集積用培地を用いる集積培養法によった。分解性を示した集積培養液から複数の微生物株を単離して再び単一基質の培養液で増殖させ、分解能力の有無を調べた。このような二次にわたるスクリーニングを行い、女性ホルモンそのものである１７βエストラジオール、その一次分解生成物であり高い女性ホルモン活性を有するエストロン及びノニルフェノールの３物質を分解する能力を有する微生物を単離した。各段階における分解性の判定は集積培養液の薄層クロマトグラフィーを行い基質の存在を示すバンドの濃淡や位置の変化によって行った。

３．１．２　調査結果

（１）　女性ホルモン分解微生物　女性ホルモンの分解が認められた集積培養液からは400株以上の微生物株が分離された。このうち単一株で１７βエストラジオールの分解性を示したものは14株であった。また、エストロンの分解性を示すものも複数見出された。１７βエストラジオールの分解性を示したものは、全て、１７βエストラジオールをエストロンに分解する微生物であった。エストロン分解微生物は１７βエストラジオールの単一基質で集積された微生物の中から分離され、１７βエストラジオール分解微生物と共生しているものと考えられる。これらの微生物のうち、代表的なもの各２種について形態学的及び生化学的特性から同定を試みた結果、１７βエストラジオール分解微生物は *Rhodococcus sp.*、*Chandida.sp* であり、エストロン分解微生物は、*Micrococcus sp.* と *Rhodococcus sp.* であった。１７βエストラジオールを分解する *Rhodococcus sp.* とエストロンを分解する *Rhodococcus sp.* は硝酸還元能力や耐塩性等が異なっており、同

属異種の株であると考えられる。

（2）ノニルフェノール資化細菌　ノニルフェノールの分解が認められた集積培養液からは300株以上の微生物が分離された。分離された株のうち単一株でノニルフェノールの分解性を示したものは6株であった。ノニルフェノールの分解株の分解能力は最大で初期濃度の60％程度までの分解に留まっており、女性ホルモン分解株に比較するとその能力が低いと考えられた。これは基質として用いたノニルフェノールが様々な異性体を含むものであり、異性体の中に分解され難いものが存在していることや微生物種によって分解する異性体のタイプが異なっていることによるものと考えられる。ノニルフェノール分解微生物のうち代表的な2種について女性ホルモン分解微生物と同様に同定を試みた結果、*Micromonospora sp.*及び*Moraxella sp.*であり、何れも硝酸還元能を有する種であった。

3．2．活性汚泥中の環境ホルモン等の集約部位に関する検討

3．2．1　調査方法

湖北総合実験施設の高度処理プラント返送汚泥を採取し、遠心分離によって間隙水と汚泥に分離した。分離された汚泥について4段階の抽出（温水、食塩水、キレート剤、ｸﾛﾛﾎﾙﾑ-ﾒﾀﾉｰﾙ）を行い、抽出液中の17βｴｽﾄﾗｼﾞｵｰﾙ、ﾉﾆﾙﾌｪﾉｰﾙ及びﾉﾆﾙﾌｪﾉｰﾙｴﾄｷｼﾚｰﾄの濃度を測定した。

3．2．2　調査結果

１７βエストラジオールは特異的に高い濃度を示した抽出液はなく、速やかに分解されて消失しているものと推定された。ノニルフェノールはｸﾛﾛﾎﾙﾑ-ﾒﾀﾉｰﾙ抽出液中に最も高濃度で検出され、汚泥中の脂質に吸着されているものと推定された。

3．3．活性汚泥処理、活性炭吸着及び逆浸透膜による環境ホルモン等物質の除去性

3．3．1　調査方法

膜分離活性汚泥法による室内実験と日東電工㈱製 RUA-5W 型逆浸透膜実験装置を用いる室内実験によって活性汚泥処理、活性汚泥処理水の活性炭吸着処理及び逆浸透膜処理による除去性を検討した。活性汚泥処理では環境ホルモン物質量はエストロジェン活性としてエストロジェンレセプタに対する競合結合反応を利用し蛍光偏光度で検出する試験方法によって評価した。

3．3．2　調査結果

膜分離活性汚泥処理（硝化内生脱窒法）では90％程度以上のエストロジェン活性除去率を示した。エストロジェン活性除去率と比較的相関性の高い項目は全窒素除去率であり、分解微生物に硝酸還元能を有する種が見出されていることから、脱窒反応の促進はエストロジェン活性の除去性を高めると考えられる。膜分離活性汚泥処理水の粉末活性炭処理(下水汚泥原料炭；添加率25mg/l)では残留エストロジェン活性が更に1ｵｰﾀﾞｰ低下し、添加率が低下すると除去性も低下した。湖北総合実験施設の高負荷活性汚泥処理水を対象とした逆浸透膜処理では操作圧力0.5MPa で塩阻止率50％以上のＮＦ膜を用いることによって95％以上のエストロジェン活性阻止率を示した。

4．今後の課題

活性汚泥中でエストロジェン活性は微生物によって分解され除去されている。これらは複数の微生物群の作用によって段階的に行われており、その活性を高める一つのプロセスは脱窒過程であることが示唆された。今後は、これらの微生物群の作用を高めて処理効率を高める実用的な方法の検討を行うと共に、活性炭吸着や低圧逆浸透膜処理の付加によって除去効果を高める方法の実用性についての検討が必要である。

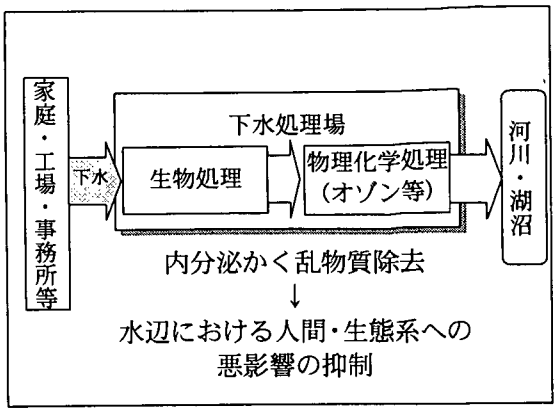
（鈴木、小越）

3.5　内分泌かく乱物質等の発生源と処理対策手法の調査

研究期間：平11～平13
担当：三次処理研究室

【要旨】

近年、内分泌かく乱物質による人の健康や生態系への影響が危惧されており、社会的な問題にもなっている。下水処理施設においても、処理水中の内分泌かく乱物質を考慮した、適切な処理方式および運転方法を確立する必要がある。12年度は、標準活性汚泥法について、SRT、HRT等の運転制御パラメータを変えた場合の内分泌かく乱物質の除去性能について検討した。また、三次処理としてオゾン分解、活性炭吸着、塩素処理、凝集沈殿処理等の物理化学処理方法による内分泌かく乱物質の除去性能について検討した。



1．内分泌かく乱物質の生物処理による除去の検討

1．1　目的

通常下水処理場で行われている生物処理における、SRT(固形物滞留時間)・HRT(水理学的滞留時間)等の運転制御パラメータと内分泌かく乱物質の除去性能の関係を把握する。

1．2　方法

実下水を用いた標準活性汚泥法処理実験装置(反応槽容量：100L)を3系列用意し、各系列のSRT及びHRTを変えて内分泌かく乱物質の除去率を調査した。対象物質であるノニルフェノール(NP)、ノニルフェノールエトキシレート(NPEO、但し酸化エチレン鎖の重合度n≧5のものはNPnEO)、17βエストラジオール(E2)の分析方法は、各々「下水道における内分泌撹乱物質調査マニュアル(案)」[3]に準じてガスクロマトグラフ法、高速液体クロマトグラフィー法、ELISA法により行った。

1．3　結果

（1）SRTに関する検討

HRT一定（4.1h）の下でのSRTと除去率の関係を図-1に示す。(除去率の定義は、式-1を参照。) E2は90%程度、NPは80%程度、NPEOは90%程度、NPnEOはほぼ100%の除去率が得られ、いずれの物質の除去率もSRTとの明確な関係は見出せなかった。

$$除去率(\%)=\frac{流入水中濃度(\mu g/l)-処理水中濃度(\mu g/l)}{流入水中濃度(\mu g/l)} \quad (式\text{-}1)$$

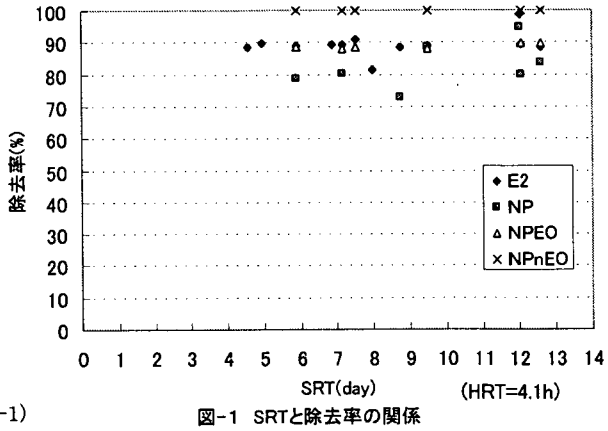


図-1　SRTと除去率の関係

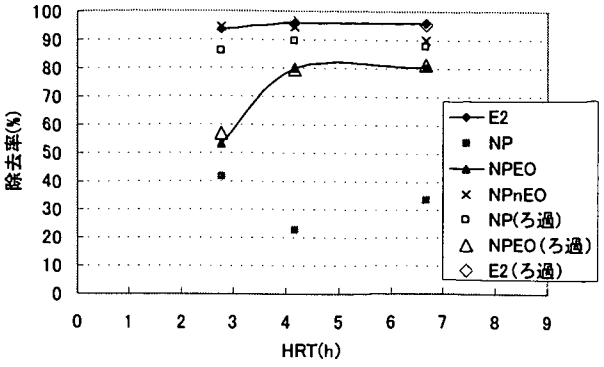
（2）HRTに関する検討

SRT一定（10day:流出SS無視）の下でのHRTと除去率の関係を図-2に示す。E2、NPEOはHRTが短い系で除去率が若干悪くなる傾向が見られた。また、（1）の検討に比べNPの除去率が若干悪かったので、試料をGF/Bろ過してSSを除去した後に再測定すると、90%近い高除去率が得られ、処理水中に存在するNPのうちSSに付着している分のウエイトが多いことが示唆された。また、SS除去後の試料ではHRTが短い系で除去率

が若干悪くなる傾向が見られた。なお、E2 についても同様に SS 除去して再測定したが、通常の測定手法とほぼ同様の値が得られ、処理水中に存在する 17β のうち SS に付着している分のウエイトが無視できるほど小さいことが示唆された。

（3）今後の課題

溶解性の E2、NP ともに HRT が短いと除去率が若干悪くなることから、除去性能が水処理系内での活性汚泥との接触時間に依存していることが示唆された。今後はばっ気時間の検討、エストロン等の他の微量物質の除去傾向の調査も行う予定である。



図－2 HRTと除去率の関係

2．内分泌かく乱物質の物理化学処理による除去の検討

2．1 目的

生物処理後に通常行われている塩素殺菌や、オゾン分解、活性炭吸着、凝集沈殿処理等の三次処理としての物理化学処理により、内分泌かく乱物質を生物処理よりさらに高度除去する方法を検討する。

2．2 方法

本実験では、まず塩素殺菌により、内分泌かく乱物質がどのように変化するのかを、塩素の注入率および接触時間を変えて、ビーカーテストにより検討を進めた。その後、凝集剤(PAC)を用い、凝集沈殿＋ろ過処理による除去特性を、ジャーテストにより評価した。また、オゾンおよび活性炭についても、連続実験装置で評価を試みた。なお、塩素および凝集沈殿＋ろ過処理については実下水処理場の生物処理水を、オゾンおよび活性炭処理については、実下水処理場の三次処理水（生物処理＋砂ろ過水）を原水とした。

2．3 結果

（1）塩素処理

塩素処理実験では、接触時間を 15 分、24 時間、塩素注入率を 0～20mg/L として実験を行った。原水の NH_4^+-N 濃度は 3.6mg/L であった。NP については、15 分接触ではいずれの塩素注入率においてもほとんど濃度に変化がみられなかったが、24 時間接触することにより最大で約 40%分解した。また E2 についても、分解率が最大で約 20%と低いものの、分解していることが示唆された。

生物処理水の塩素処理により、変異原性が増加すること等が知られており、むしろ生態系へはこちらの影響が懸念される。今後こういった観点と併せて塩素処理を評価する必要がある。

（2）凝集沈殿＋ろ過処理、オゾン処理、活性炭処理

表―1 に、各処理工程における NP および E2 の除去率を示し、以下実験より明らかとなった事項をまとめる。

表―1 各処理工程における NP,E2 除去率

	NP除去率	E2除去率
凝集＋ろ過	40%	15%
オゾン	60%	95%
活性炭	40%	80%

※ オゾン注入率は 5mg/L

※ 生物処理水又は三次処理水に対する除去率

① 凝集ろ過について、NP 類は溶解性有機物と同様に除去されたが、女性ホルモン類については、あまり除去されなかった。

② 溶解性有機物のオゾンによる分解は化学構造を変換するものが主であるが、NP、女性ホルモン類の分解に有効であり、ホルモン活性自体の低減にも効果があった。

③ 活性炭処理について、NP 類、女性ホルモン類は、短期間（3 ヶ月）の運転期間においてかなり除去できるようであるが、長期間運転した際の挙動についてはさらに検討する必要がある。

（鈴木、山縣）

3.6　下水道での未規制物質対策技術に関する調査

研究期間：平１２～平１２
担　　当：水質研究室

【要旨】
現在規制対象となっていない種々の未規制物質が、下水道に流入している可能性があり、放流先の水環境への影響など、解明すべき課題がある。また、Ｈ１１年７月に公布されたＰＲＴＲ法では、未規制物質についても対象となっており、それらの下水道での挙動把握が急がれている。

１２年度は、人畜由来の女性ホルモンである１７β－エストラジオール（Ｅ２）の生物影響が懸念されていることから、下水試料に対する分析手法の検討を行い良好な結果を得た。また、下水中の化学物質の挙動把握に関し、揮発性有機化合物の数理モデルによる解析を行った。

１．調査目的

正常なホルモン作用に影響を与えることが疑われている外因性の物質（内分泌攪乱化学物質）による環境汚染問題が顕在化してきている。これらの物質の他に天然のエストロゲンである１７β－エストラジオール（Ｅ２）、エストロン（Ｅ１）等による水生生物への影響が懸念されている。Ｅ２、Ｅ１のホルモン作用は、内分泌攪乱化学物質のエストロゲン様活性に比べ非常に強いことが知られており[1)]、下水処理場での実態調査あるいは環境への影響評価においてＥ２、Ｅ１の定量は重要である。国土交通省の実態調査では、Ｅ２の定量法として酵素抗体法（ＥＬＩＳＡ法）を採用しているが、ＥＬＩＳＡ法は交差反応性があり、類似の物質も合わせて測定するなどの問題があるため、新たな方法の開発が望まれる。

ここでは、下水試料を対象としたＥ２、Ｅ１の分析について、ＬＣ／ＭＳ／ＭＳを用いた方法の検討を行い、良好な結果を得た。また、下水中の化学物質の挙動把握に関し、揮発性有機化合物の数理モデルによる解析を行った。

２．調査方法

２．１　エストロゲンの分析方法及び下水試料の分析

本方法は、環境庁の暫定マニュアル[2)]を参考に種々の検討を行い提案[3)]した方法（バージョン１）を改良したものである。バージョン１では、試料をろ過した後固相抽出し、フロリジルカートリッジと薄層クロマトグラフによるクリーンアップを行いＬＣ／ＭＳ／ＭＳ分析を行ったが、試料前処理が煩雑であることから簡易化の検討を行ったものである。薄層クロマトグラフによるクリーンアップを止め、酢酸エチルによる液液抽出によるクリーンアップを付加した。

２．２　揮発性有機化合物の下水道における挙動の把握

揮発性有機化合物の活性汚泥処理における運命を、ベンチスケールの活性汚泥処理実験装置を利用して、実測により把握した。数理シミュレーションモデルを開発し[4)]、実験装置における現象を解析し一般化することを試みた。未規制化学物質のうち、PRTR 第一種指定化学物質について、物性情報を整理し、ある代表的な運転条件の下水処理場の活性汚泥処理で、一定の流入濃度、生分解性が行われないと想定した場合について、挙動の推定、運転条件パラメータによる感度解析を行った。

３．調査結果

３．１　エストロゲンの分析方法及び下水試料の分析

標準溶液のＬＣ／ＭＳ／ＭＳ測定の繰り返し精度は良好であり、繰り返し試験のバラツキを標準偏差（σ）で表し、３σを定量下限値とすると約０．０００５μｇ／ｍｌとなった。下水試料の分析では、前処理段階で１０００倍濃縮することから下水試料の定量下限値は０．０００５μｇ／ｌである。

また、精製水、二次処理水、一次処理水を用いた添加回収試験の回収率は、それぞれ平均で９２～１１３％であり良好な結果であった。

３．２　揮発性有機化合物の下水道における挙動の把握

揮発性物質に分類される物質でも、それぞれ水、大気、汚泥への分配は大きく異なることがわかった。また、同一の揮発性物質、運転条件等で実測された分配の傾向も大きく異なることがわかった。

ベンチスケール活性汚泥実験装置における実測結果と、シミュレーションモデルにより再現した計算結果とは、図Ｘの例に示すように、完全には一致せず、測定値の代表性、測定誤差、モデルの機構について検討、改良の余地があると推察された。

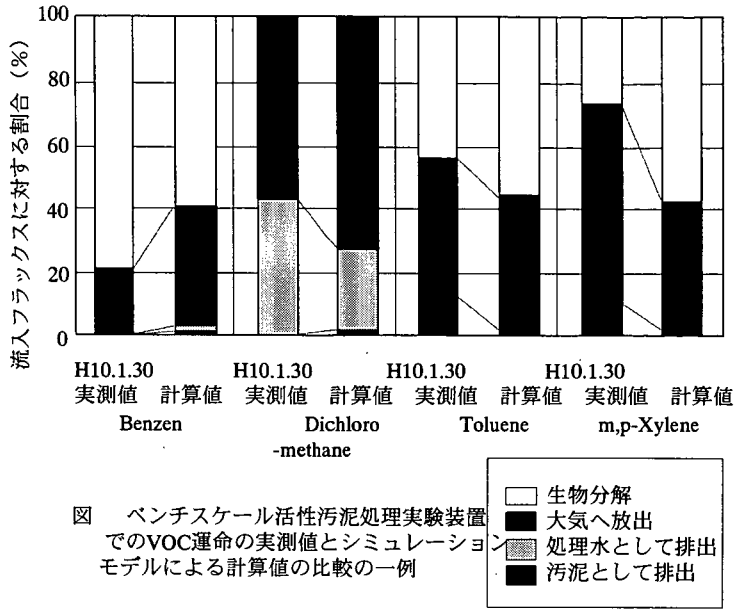


図　ベンチスケール活性汚泥処理実験装置でのVOC運命の実測値とシミュレーションモデルによる計算値の比較の一例

PRTR第一種指定化学物質については、標準活性汚泥法において、HRT、送風倍率、MLSS 濃度について、全国データの平均値±標準偏差の運転状況について感度解析を実施した結果、送風倍率およびHRT を大きく設定することが、大気側への排出を促進し、また、MLSS を高く設定することが汚泥処理系への移行を大きくすることが示唆された。また、オキシデーションディッチ、酸素曝気法などの処理方式の相違により、移行先媒体が大きく変化する可能性があることが推定された。

４．主な成果物

１）安祐司，小森行也，竹歳健治，田中宏明(2000) ベンチスケール活性汚泥処理実験装置と数理モデルを用いた揮発性物質の挙動，環境工学研究論文集，第 37 巻，pp. 299-310

２）小森行也、高橋明宏、田中宏明；LC/MS による下水試料中の 17β－エストラジオールの分析、第９回環境化学討論会、pp.346-347(2000)

３）高橋明宏、小森行也、矢古宇靖子、岡安祐司、斉藤正義、田中宏明；下水試料中の女性ホルモン測定法の課題－LC/MS/MS と ELISA の比較から－、日本水環境学会シンポジウム講演集、Vol.3、pp.175-176(2000)

４）小森行也、高橋明宏、田中宏明；下水試料中のエストロゲンの分析、第３回環境ホルモン学会研究発表会要旨集、p.125(2000)

５）田中宏明；PRTR 制度等下水道での化学物質管理の強化への取り組み、環境システム制御学会、2001

６）岡安祐司；下水処理場の活性汚泥処理における有害有機物の挙動推定、新技術研究発表会講演集、Vol.6、pp.59-64(2001)

【参考文献】

１）矢古宇靖子、高橋明宏、東谷忠、田中宏明；組み換え酵母を用いた下水中のエストロゲン活性の測定、環境工学研究論文集、第 36 巻、pp.199-208(1999)

２）環境庁水質保全局；外因性内分泌攪乱化学物質調査暫定マニュアル（水質、底質、水生生物)、環境庁水質保全局水質管理課(1998)

３）小森行也、高橋明宏、田中宏明；LC/MS による下水試料中の 17β-エストラジオールの分析、第９回環境化学討論会講演要旨集、pp.346-347(2000)

４）岡安，小森，竹歳，田中；ベンチスケール活性汚泥処理実験装置と数理モデルを用いた揮発性物質の挙動，環境工学研究論文集，第 37 巻，pp. 299-310(2000)

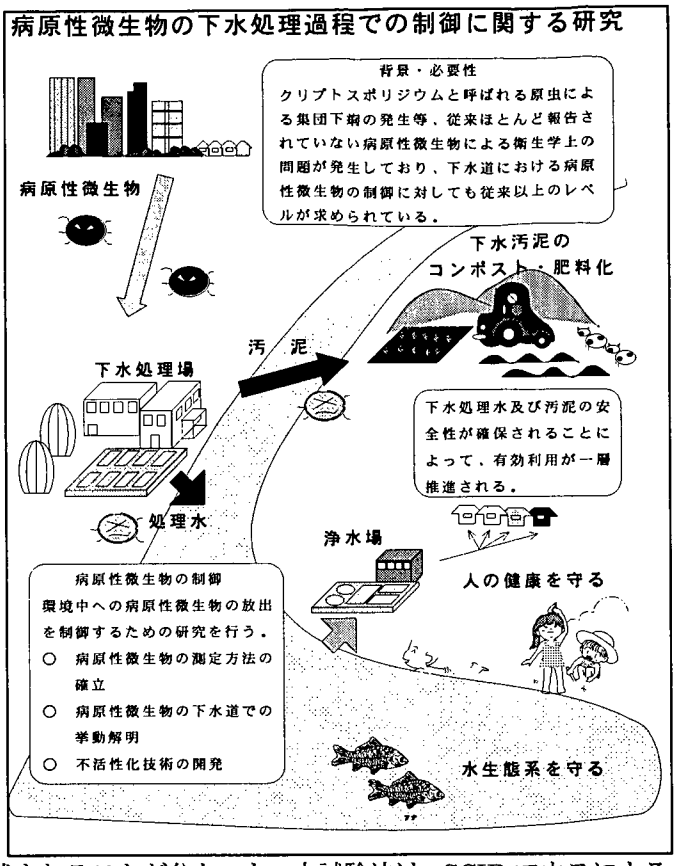
（田中、小森、岡安、竹歳）

3.7　病原性微生物の下水処理過程での制御に関する研究

研究期間：平成9～平成12
担　　当：汚泥研究室

【要旨】

クリプトスポリジウム原虫による集団下痢の発生が大きな社会問題となっている。こうした病原性微生物は、下水道施設に流入してくることが懸念されるが、下水処理過程での病原性微生物の挙動は十分に解明されていないため、その挙動の解明と対策に関する研究を行う必要がある。下水処理過程でのクリプトスポリジウムオーシストの感染性の消失効果を確認するためには、オーシストの感染性を判定する方法が必要となる。そこで、１２年度は、オーシストの感染性を簡便に判定できると考えられるSCID マウスによる感染実験とヒト由来細胞による感染実験についてその試験条件、操作の簡便性および問題点を検討した。その結果、SCID マウスによる感染実験では、糞便から排出されるオーシストが10^6個に達するまでに20日程度要し、糞便からオーシストを確実に検出する場合は、マウスを15日以上飼育する必要があった。また、マウス間で個体差も有ることから、１条件当たり3匹以上のマウスを試験に使用する必要があった。本試験法はマウスの飼育、糞便の回収、糞便からのオーシストの検出に相当の労力と時間を要し、簡便・迅速な方法ではなかった。細胞培養法では、48時間程度の培養でヒト由来細胞上にクリプトスポリジウムの発育ステージが形成されることが分かった。本試験法は、SCID マウスによる感染試験に比べ容易にオーシストの感染性を判定できることが分かった。



1．研究目的

クリプトスポリジウムオーシストのヒトへの感染リスクを評価する場合、クリプトスポリジウムオーシストの感染性を判定する必要がある。しかし、クリプトスポリジウムオーシストの感染性を簡便に判定する方法は確立されていない。そこで、クリプトスポリジウムの感染性を簡便に判定できる試験方法を検討した。

2．研究方法

2．1　SCID マウスによる感染試験

本実験では、マウスに感染力のあるオーシストを投与した場合、どれくらいの期間を経て、糞便中にオーシストが排出され始めるのか、また、感染が成立するために必要な投与オーシスト量に関する基礎的な条件を集めた。実験では、感染が成立しやすいと考えられる免疫不全型であるSCID マウスを使用し、10^4, 10^5, 10^6個に調整したオーシスト液を各ケース 3 匹のマウスに投与した。その後、経日的に糞便を回収し、糞便中のオーシストを計数した。

2．2　ヒト由来細胞による感染試験

本実験では、ヒト回盲腺癌由来細胞株であるHCT-8 細胞を使用し、脱嚢操作により脱嚢させたスポロゾイトを細胞に接触させる方法で行った。脱嚢条件及び感染試験手順は次の通りである。はじめに、感染性を評価するオーシストをﾀｳﾛｺｰﾙ酸ﾅﾄﾘｳﾑとﾄﾘﾌﾟｼﾝの混合溶液中で37℃、60分間の脱嚢処理を施した。次に、脱嚢したスポロゾイトを細胞に接種し、接種した細胞を37℃、炭酸ガス5%の条件で90分間培養した。その後、培地を吸引除去し、新しい培地を加え、37℃、炭酸ガス5%の条件で48時間培養した。48時間の培養を終えた細胞上にクリプトスポリジウムの発育ステージが形成されているかどうかを顕微鏡により観察した。

3．実験結果

3．1　SCID マウスによる感染実験

図－1は、オーシスト投与後のマウスの糞便中に排出される1日当たりのオーシスト量の経日変化を示した。本実験では 10^4、10^5、10^6 個とオーシストの投与数を変化させたが、マウスからのオーシストの排出パターンに顕著な違いはみられなかった。10^4 個のオーシストを3匹のマウス投与したが、3匹ともクリプトスポリジウムに感染しており、最小感染量は、10^4 個より低いと考えられた。オーシスト投与後20日でマウスの糞便中に含まれるオーシスト量は 10^6 個に達した。糞便中のオーシスト数が 10^4 個以下では、糞便中のオーシストを確実に検出することが困難であった。糞便中に存在するオーシストから確実に感染性を判定するには、オーシストを投与した後15日以上飼育する必要がある。また、マウス間で個体差は生じることから、1条件1匹での判定は危険であると判断された。マウスによる感染試験はマウスの飼育、糞便の回収、糞便からのオーシストの検出に相当の労力と時間を要した。

3．2　ヒト由来細胞培養法による感染試験

写真-1にHCT-8細胞上に形成されたクリプトスポリジウムの発育ステージの顕微鏡観察像を示す。本観察像は、スポロゾイトを細胞に接触させてから48時間培養した後、観察したものである。写真にはメロントと判断されるクリプトスポリジウムの発育ステージが観察された。細胞に侵入したスポロゾイトは、48時間程度の培養でもメロントを形成するステージまで発育することが分かった。本試験法は、SCID マウスによる感染試験に比べ容易にオーシストの感染性を判定できることが分かった。

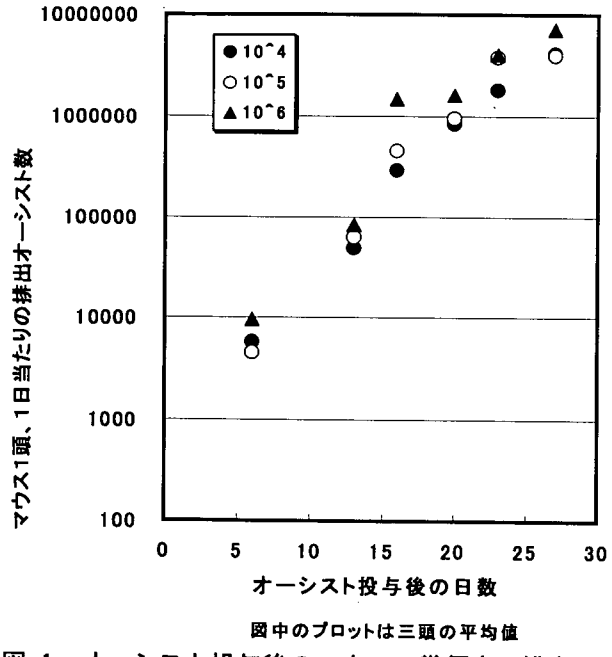


図-1　オーシスト投与後のマウスの糞便中に排出される1日当たりのオーシスト量の経日変化

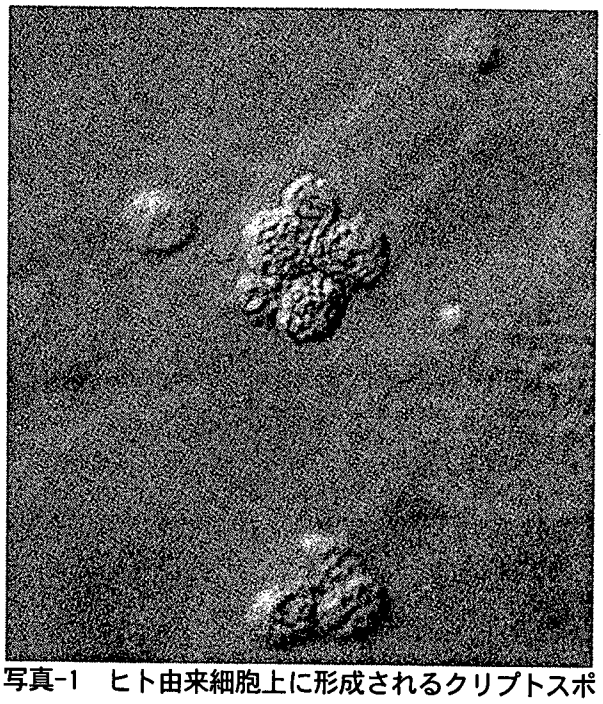


写真-1　ヒト由来細胞上に形成されるクリプトスポリジウムの発育ステージの顕微鏡観察像

4．主な研究成果物

(1)北村友一，尾崎正明：下水汚泥中のクリプトスポリジウムオーシストの検出方法に関する基礎的検討,下水道協会誌，Vol.35，No.431,pp.136～145,1998

(2)北村友一，尾崎正明：下水汚泥からのクリプトスポリジウムオーシストの回収方法に関する検討,第35回日本水処理生物学会講演要旨集,p.20,1998

(3)北村友一,尾崎正明：下水処理におけるクリプトスポリジウムオーシストの諸特性,下水道協会誌，Vol.36，No.444,pp.127～136,1999

(4)北村友一，森田弘昭：脱嚢-フローサイトメトリー試験から観た *Cryptosporidium parvum* オーシストの生存力に及ぼす温度の影響,環境工学論文集,Vol.37,pp.359-360,2000

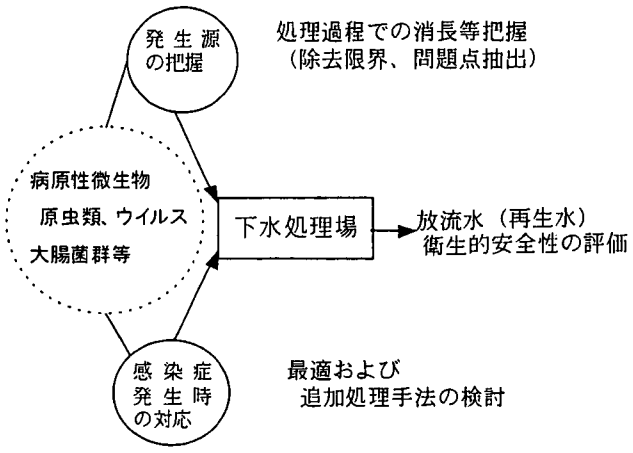
（森田、北村）

3.8　病原性微生物の発生源および対策に関する調査

研究期間：平１０～平１３
担　　当：三次処理研究室

【要　旨】

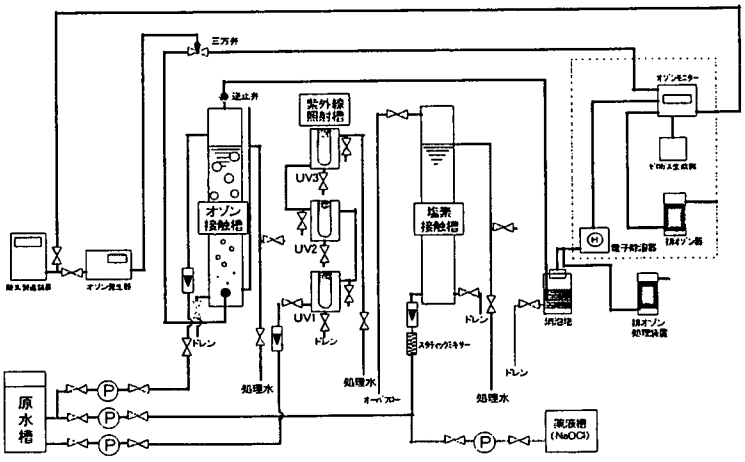
一般的にウイルスや原虫類などの病原性微生物は、現行の消毒指標とされている大腸菌群などよりも消毒耐性が強いと言われている。それらが下水処理場に流入してきた場合には、活性汚泥処理により除去が行われ、多くは削減されると考えられるが、通常の消毒レベルでは不活化しきれない病原性微生物の存在により、放流先下流域への感染リスクが増大する可能性がある。本調査においては、このような病原性微生物等に関して発生源を明らかにするとともに、その対策さらには、集団感染症発生時における除去能力の向上を目的として負荷削減手法の検討を行うものである。12年度は、パイロットプラント等を用いてウイルスの消毒耐性の把握および、砂ろ過による除去に関して検討を行った。



１．実験方法

１．１ 消毒実験

1）パイロットプラント：本実験では、図－１に示す消毒パイロットプラントを用い塩素、紫外線、オゾン消毒について、ウイルスの不活化能力を評価した。塩素消毒は、原水と次亜塩素酸ナトリウム溶液をスタティックミキサーにより混合させた後、高さ４ｍの反応塔へ流入させた。オゾン消毒は、ＰＳＡ酸素富化装置を用いたオゾン発生装置によりオゾンを発生させ、水深４ｍの反応塔において、原水と対向流で接触させた。紫外線消毒は、16W低圧水銀ランプを３本設置しており、水量および点灯ランプ本数により紫外線照射量を調整した。



図－１ パイロットプラント

2）消毒レベル：平成10年度の下水道統計によれば、塩素消毒での注入濃度(次亜塩素酸ナトリウム)は、２mg/ℓの処理場件数が最も多い。同様にオゾン消毒の場合では、４mg/ℓ、紫外線消毒は、紫外線照射量が20mW･s/cm²であった。このため、各々の消毒法の消毒レベルの範囲は、塩素消毒で最小注入濃度を２mg/ℓとし、最大注入濃度は20mg/ℓ、同様にオゾン消毒では、４～20mg/ℓ、紫外線消毒では、実験装置の制約により、最小照射量を100mW･s/cm²とし、最大照射量を2,000mW･s/cm²程度とした。

なお、接触時間は塩素、オゾン消毒の場合15分間、紫外線消毒は約19～280秒とした。

3）消毒原水：使用原水は、実下水処理場内に設置してある生物処理パイロットプラントの二次処理水と実下水処理場の三次処理水(砂ろ過水)の２種類を用いた。

4）使用ウイルス：原水に添加したウイルスは、ポリオウイルスⅠ型(ワクチン接種に用いられているもの)である。ポリオウイルスは、Hela細胞により増殖させ、細胞変性効果が出現する直前に細胞維持液を除去しＰＢＳを加え冷凍後、添加直前に融解し４℃･3,000rpm･30分間遠心分離を行い、その上澄液を添加ウイルス液とした。細胞維持液を除去しＰＢＳに変換することで、添加ウイルス液中の有機物濃度を低下させ、有機物による消毒剤の消費量を極力抑えた。

添加ウイルス液量は、１m^3の原水に対し500mℓ程度であり、この時の原水中のウイルス濃度は1.6×10^3～1.2×10^4PFU/mℓの範囲となった。

5）ウイルス定量法：ウイルス濃度は、プラーク法により定量した。定量に用いた細胞はHela細胞であり、試料の接種量は0.2～５mℓとした。

6）水質分析項目：水質分析項目は、水温、ｐＨ、ＳＳ、BOD、CODcr、K-N、NH_4-N、NO_2-N、NO_X-N、濁度、紫外線透過率、大腸菌群数、ふん便性大腸菌群数、腸球菌群数とした。

また、塩素消毒実験の処理水は、遊離および全残留塩素をDPD法により測定した。オゾン消毒実験の処理水は溶存オゾン濃度、さらに、反応塔からの排オゾン濃度も測定した。

１．２ 砂ろ過実験

本実験では、砂ろ過プラントを用い、ウイルスの除去能力を評価した。ろ過塔は内径150mm、高さ3,000mmであり、ろ砂は硅砂を用い、充填厚や粒径、均等係数は“高度処理施設設計資料”[1]を参考として、ろ砂は１mm,100cm、支持砂利は各々2-3mm、3-6mm、8-12 mm,20cm、20-35mm,10cmとした。ろ過速度は100、200m/ｄの２段階とし、上向流ろ過方式とした。使用した原水は、上記3)の生物処理パイロットプラントの二次処理水にウイルスを添加したものを用い、約２～３時間ろ過を継続後、試料を採取した。

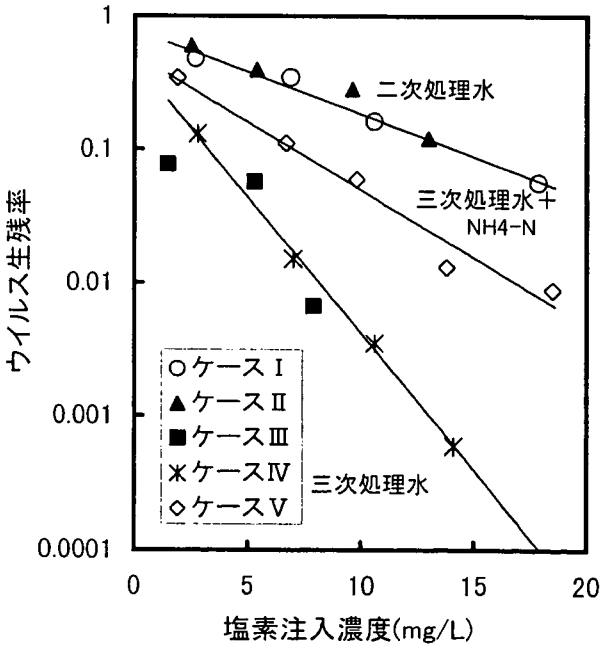
２． 実験結果

２．１ 消毒実験

1）消毒原水の水質：二次処理水のｐＨの平均値は6.62、ＳＳ3.6mg/ℓ、濁度3.6、CODcr17mg/ℓ、NH4-N 0.10mg/ℓ、NO2-N 0.011mg/ℓであった。同様に三次処理水はｐＨ6.51、ＳＳ0.6mg/ℓ、濁度0.7、CODcr9mg/ℓ、NH4-N 0.11 mg/ℓ、NO2-N 0.008mg/ℓであり、消毒原水の二次、三次処理水とも良好に有機物やＳＳなどが処理されているが、二次処理水のＳＳ、濁度、CODcr濃度は三次処理水と比較すると若干高い。

添加ウイルス液の水質に関しては、CODcr(20mg/ℓ)、K-N(5.7mg/ℓ)濃度が若干高いが、添加量は１m^3の原水に対して500mℓ程度であり大幅に希釈されるため、添加による有機物の消毒剤の消費は無視できるものと考えられる。

2）塩素消毒：塩素消毒の実験結果を図－２、残留塩素の測定結果を表－１に示す。消毒原水は、実験ケースⅠ・Ⅱは二次処理水、ケースⅢ・Ⅳは三次処理水、ケースⅤは三次処理水にNH4-Nを10mg/ℓ添加したものとした。塩素注入濃度とウイルス生残率の関係を各々プロットすると、消毒原水別にウイルス生残率の傾向に違いが見られた。塩素注入濃度とウイルス生残率の関係から得られた回帰直線で最も傾きの大きなものはケースⅢ・Ⅳの三次処理水であり、次いで、三次処理水にNH4-Nを添加したケースⅤ、ケースⅠ・Ⅱの二次処理水の順となった。これらの回帰直線から90、99、99.9%(1,2,3 log)不活化させるための必要塩素注入濃度を求めると、三次処理水で各々約2.5、7.9、13.2mg/ℓとなった。同様に三次処理水(NH4-N添加)は、90、99%で7.0、16.9mg/ℓ、二次処理水は90%で14.5mg/ℓとなった。ポリオウイルスを90 %不活化させるための必要塩素注入濃度は、消毒原水の三次処理水を基準にして比較すると、三次処理水(NH4-N添加)では2.8倍量、二次処理水では5.8倍量必要であった。



図－２ 塩素注入濃度とポリオウイルス生残率の関係

一方、大腸菌群数などの細菌数は、各ケースの塩素注入濃度が1.9～2.8mg/ℓの範囲で不活化率は97.2%～不検出(分析水量：100mℓ)であり、ポリオウイルスよりも塩素耐性は小さかった。

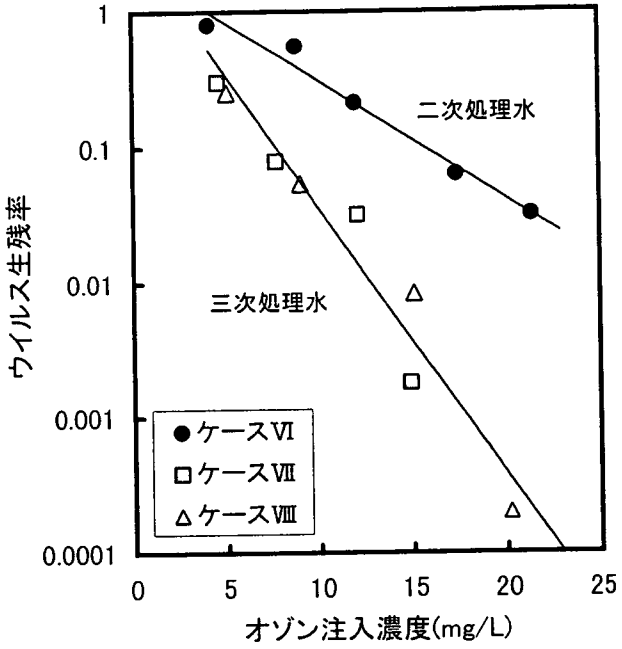
表－1　各ケース毎の塩素注入濃度と残留塩素濃度の関係

消毒の対象水	塩素濃度（mg/ℓ）					
二次処理水 ケースⅠ	注入濃度	2.7	6.9	10.6	17.9	－
	残留濃度	0.16, 1.00	2.40, 3.35	5.60, 6.80	12.3, 13.4	－
二次処理水 ケースⅡ	注入濃度	2.5	5.4	9.6	13.0	－
	残留濃度	0.12, 0.33	1.15, 2.10	5.30, 6.25	9.50, 10.5	－
三次処理水 ケースⅢ	注入濃度	1.5	5.3	7.9	－	－
	残留濃度	0.24, 0.53	2.15, 2.50	5.20, 5.70	－	－
三次処理水 ケースⅣ	注入濃度	2.8	7.0	10.6	14.1	－
	残留濃度	0.56, 1.01	3.00, 3.80	6.65, 7.25	10.8, 11.7	－
三次(NH4-N) ケースⅤ	注入濃度	1.9	6.7	9.8	13.8	18.5
	残留濃度	0.07, 1.30	0.62, 4.70	1.05, 7.65	1.20, 12.4	7.6, 14.5

※ 残留濃度の左値：遊離残留塩素、右値：全残留塩素

3）オゾン消毒：オゾン消毒の実験結果を図－3、オゾン処理水中残留オゾンおよび反応塔内の排オゾン濃度の測定結果を表-2に示す。消毒原水は実験ケースⅥは二次処理水、Ⅶ･Ⅷはともに三次処理水である。オゾン注入濃度とウイルス生残率の関係を各々プロットし、得られた回帰直線から90、99、99.9%(1、2、3log)不活化させるための必要オゾン注入濃度を求めると、接触時間が15分間の場合、三次処理水で各々約7.6、12.7、17.8 mg/ℓとなった。また、二次処理水では90%(1log)の不活化で約15.7mg/ℓとなった。所定の不活化率を達成させるためのオゾン注入濃度は、同様の消毒原水を用いた塩素消毒実験の注入率と比べ高めであった。また、ポリオウイルスを90%不活化させるための必要オゾン注入濃度は、消毒原水の三次処理水を基準にして比較すると、二次処理水では2.1倍量必要であった。

大腸菌群数などの細菌数は、二次処理水を消毒対象とするとオゾン注入濃度が4.1mg/ℓで99.9%以上の不活化率、三次処理水では5.1mg/ℓで不検出(分析水量：100mℓ)となり、ポリオウイルスよりもオゾン耐性は小さかった。



図－3 オゾン注入濃度とポリオウイルス生残率の関係

表－2　各ケース毎のオゾン注入濃度と残留オゾンの関係

消毒の対象水	オゾン濃度（mg/ℓ）					
二次処理水 ケースⅥ	注入濃度	4.1	8.8	12.0	17.4	21.4
	残留濃度	0.0 , 0.0	0.42 , 0.0	0.94 , 0.0	1.90 , 3.0	3.0 , 4.80
三次処理水 ケースⅦ	注入濃度	4.6	7.7	12.1	14.9	－
	残留濃度	0.0 , 0.0	0.14 ,0.10	0.37 ,1.80	0.33 ,3.40	－
三次処理水 ケースⅧ	注入濃度	5.1	9.0	15.1	20.2	－
	残留濃度	0.19 ,0.0	0.63 ,1.50	1.50 ,4.60	2.35 ,7.90	－

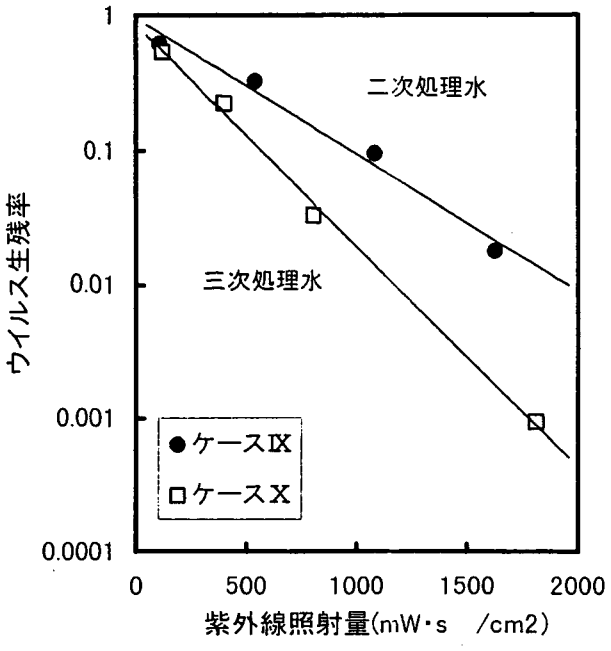
※ 残留濃度の左値：処理水中溶存オゾン濃度、右値：反応塔内排オゾン濃度

4）紫外線消毒：紫外線消毒の実験結果を図－4に示す。また、消毒原水の平均紫外線透過率は、二次処理水では76.7%、三次処理水では81.4%であった。消毒原水は、実験ケースⅨは二次処理水、実験ケースⅩは三次処理水とした。紫外線照射量とウイルス生残率の関係を各々プロットすると、実験ケース毎に回帰直線が得られた。これらの回帰直線から90、99、99.9% (1、2、3log)不活化させるための必要紫外線照射量を求めると、三次処理水で各々約570、1,170、1,780 mW･s/cm²となった。同様に二次処理水は、90、99%で970、1,960mW･s/cm²となった。ポリオウイルスを90、99%不活化させるための必要紫外線照射量は、消毒原水の三次処理水を基準にして比較すると、二次処理水はともに1.7倍量必

要であった。

大腸菌群数などの細菌数は、二次処理水を消毒対象とすると紫外線照射量が108mW・s/cm²で99.9%以上の不活化率、三次処理水では121mW・s/cm²で不検出(分析水量：100mℓ)となり、ポリオウイルスよりも紫外線耐性は小さかった。

上記の各消毒実験結果から、下水処理水中のポリオウイルスの消毒耐性が明らかとなった。消毒対象とする原水の水質性状により、その消毒効果は大きく左右される。よって、より消毒効果を高めるためには、下水処理水中のＳＳ・濁度および有機物濃度等を低下させなければならない。



図－４ 紫外線照射量とポリオウイルス生残率の関係

5) 組み合わせによる消毒：上記2)～4)の実験によりポリオウイルスの塩素、紫外線、オゾンの各消毒法に対する耐性が明らかとなった。その結果、ウイルス不活化率を高めるためには、消毒剤の注入濃度等をかなり高濃度としなければならないと考えられる。このため、より現実的な注入濃度でウイルス不活化率を高めることを目的に、各消毒法を組み合わせて不活化実験を行った。実験ケースは、二次処理水を消毒原水とする紫外線＋塩素(ケースⅪ)、オゾン＋塩素(ケースⅫ)および三次処理水の紫外線＋塩素(ケースⅫ)、オゾン＋塩素(ケースⅫ)とした。

実験結果を表－３に示す。ウイルス生残率の計算値は、上記2)～4)の実験から得られた結果を基に消毒強度から生残率を算出し、各々の消毒法による生残率を乗じて求めたものである。また、実験値は組み合わせ消毒を行った処理水のウイルス濃度を測定し算出した。実験ケースによって多少のバラツキは見られるが、ウイルス生残率の計算値と実験値で大きな違いはなかった。

よって、組み合わせ消毒によるウイルス不活化の相乗効果はないものと考えられた。しかし、単一の消毒法のみで対応するのと比較して、同様の不活化率を得るために必要となる消毒剤注入濃度等は、組み合わせ消毒を行うことで各々低減できるため、消毒副生成物生成の観点からは有効であるものと考えられる。

表－３ 組み合わせ消毒によるウイルスの不活化効果

消毒の対象水	実験ケース	消毒強度 (mW・s/cm², mg/ℓ)	ウイルス生残率（%）	
			計算値	実験値
二次処理水	紫外線＋塩素(ケースⅪ)	470(UV), 7.2(Cl)	9.3 (0.32×0.29)	6.8
	オゾン＋塩素(ケースⅫ)	10.1(O_3), 6.1(Cl)	10.5 (0.30×0.35)	19.2
	〃	5.0(O_3), 2.9(Cl)	46.5 (0.83×0.56)	45.8
三次処理水	紫外線＋塩素(ケースⅫ)	296(UV), 2.0(Cl)	3.4 (0.28×0.12)	10.9
	オゾン＋塩素(ケースⅫ)	5.0(O_3), 2.0(Cl)	3.8 (0.32×0.12)	4.5

6) ウイルスの不活化に及ぼす接触時間の影響：上記2)の塩素消毒実験は、接触時間を全て15分間とし採水後直ちに中和処理を行ったが、通常、下水処理水の再利用において塩素消毒を行った場合には残留塩素の保持された状態で再生水は再利用施設へ送水されるため、消毒剤との接触時間は15分間以上となることが想定される。このため、残留塩素の保持された状態がウイルスの不活化に及ぼす影響の把握を目的に、消毒後に行っていた中和処理までの時間を可変させた場合のウイルス濃度変化について調査を行った。調査方法は、上記2)の塩素消毒実験の方法とほぼ同一であるが、塩素注入濃度を２mg/ℓ程度とし、接触時間が15分間の消毒処理水を水槽に貯留して各々１～５時間後に亜硫酸ナトリウムで中和行い、ウイルス濃度を測定した。

なお、消毒原水は二次処理水(添加ウイルス濃度12,000PFU/mℓ、塩素注入濃度を2.4mg/ℓ)と三次処理水(11,000PFU/mℓ、2.0mg/ℓ)および三次処理水にNH4-N(9,500PFU/mℓ、1.9mg/ℓ)を添加したものとした。

各ケース毎のウイルス減少率および残留塩素濃度の測定結果を表-４に示す。ウイルス減少率は、接触時間が15分間の消毒処理水中のウイルス濃度を基準に、各経過時間毎のウイルス濃度から算出した。遊離、全残留塩素は全てのケースで保持されていた。消毒原水の二次処理水中のウイルス減少率は、１～５時間経過後で約10～50％であった。また、三次処理水、三次処理水＋NH4-N添加では、３時間後のウイルス減少率は約10～20％であり、二次処理水の３時間経過後の減少率と比較すると、減少率は若干低かった。

このため、再利用施設等までの送水過程を考慮して、残留塩素との接触時間を相当長時間としても、ウイルスの減少率は大幅に高くならないと考えられる。

表－４ ウイルス濃度の減少率と残留塩素濃度

原水 / 測定項目	二次処理水				三次処理水		三次+NH4-N	
	１ｈ	２ｈ	３ｈ	５ｈ	１ｈ	３ｈ	１ｈ	３ｈ
ウイルス減少率(%)	13	31	38	56	0	22	0	11
遊離残留塩素(mg/ℓ)	0.09	0.09	0.10	0.07	0.10	0.08	0.13	0.08
全残留塩素(mg/ℓ)	1.22	1.18	1.15	1.14	0.59	0.19	1.38	1.33

２．２ 砂ろ過実験

砂ろ過の実験結果を表－５に示す。ろ過原水の二次処理水のＳＳ濃度は3.4mg/ℓ、濁度は3.5であった。ろ過速度100m/ｄでのウイルス除去率は56％、200m/ｄでは28％であり、ろ過速度が２倍になることにより、除去率は半減した。この時の濁度除去率は、ろ過速度が100、200m/ｄともに70％程度であった。

大腸菌群数などの除去率は、ろ過速度が100m/ｄでは65～84％(平均：77％)、200m/ｄでは58～83％(平均：72％)であり、ポリオウイルスの除去率よりも高かった。

表－５ 砂ろ過によるウイルスの除去率

項目 / 試料	ｳｲﾙｽ濃度 (PFU/mℓ)	除去率 (%)	濁度 (－)
原　水	9,000	－	3.5
ろ過水(100m/d)	4,000	56	1.1
ろ過水(200m/d)	6,500	28	1.2

３．まとめ

以上の実験結果から、ポリオウイルスの消毒（塩素、オゾン、紫外線）耐性が明らかとなった。また、砂ろ過によるポリオウイルスの除去能力を把握することができた。

各消毒法による不活化率と消毒強度の関係について整理したものを表-６に示す。消毒対象水の水質性状の違いにより、必要となる消毒レベルは大きく異なった。今回の実験では、塩素消毒の効果に及ぼす影響は、ＳＳ・濁度および有機物濃度によるものが最も大きく、次いで、NH4-N濃度であった。同様の不活化率を得るために必要となる塩素注入濃度は、三次処理水を基準とすると二次処理水では5.8倍量、三次処理水+NH4-N10mg/ℓ添加では2.8倍量となった。オゾン消毒では、消毒原水の三次処理水を基準にして比較すると、二次処理水では2.1倍量必要であった。また、紫外線消毒では、ＳＳ･濁度の上昇に伴い紫外線透過率が約５％低下することで、同様の不活化率を得るために必要となる紫外線照射量は、1.7倍量となった。

表－６ 各消毒法による不活化率と消毒強度の関係

消毒方法	消毒の対象水	主な水質性状 (mg/ℓ)				不活化率 (%)		
		CODcr	ＳＳ	濁度	NH4-N	90(1log)	99(2og)	99.9(3og)
塩素 (mg/ℓ)	二次処理水	14	3.8	3.3	0.08	14.5	－	－
	三次(NH4-N)	14	0.4	0.7	10.5	7.0	16.9	－
	三次処理水	10	0.6	0.5	0.05	2.5	7.9	13.2
オゾン (mg/ℓ)	二次処理水	24	3.7	3.8	0.12	15.7	－	－
	三次処理水	11	0.5	0.5	0.13	7.6	12.7	17.8
紫外線 (mWs/cm^2)	二次処理水	21	3.4	3.5	0.05	970	1,960	－
	三次処理水	6	0.4	0.6	0.07	570	1,170	1,780

また、砂ろ過のウイルス除去率は28～56％であり、ろ過速度を100～200m/ｄに２倍とすると除去率は半減した。大腸菌群数などの除去率と比較しても低いため、除去率を向上させるために今後、凝集剤添加砂ろ過法に関して検討が必要であろう。

一方、我が国の下水処理場で通常行われている消毒レベルは各々、塩素(次亜塩素酸ナトリウム）２mg/ℓ、オゾン４mg/ℓ、紫外線照射量20mW･s/cm²の処理場件数が最も多い。これらの消毒レベルを三次処理水にあてはめたとしても、ポリオウイルスを90％不活化させるためには不充分であると考えられる。

消毒原水に三次処理水、供試ウイルスとしてポリオウイルスを用いた矢野ら[2) 3) 4)]の同様な調査例では、90、99％不活化させるための必要な塩素注入濃度は1.86、5.89mg/ℓ、オゾン約3.0、10mg/ℓである。紫外線消毒では、99.99％不活化させるために4,500～7,200mW･s/cm²の照射量が必要であるとしている。

従って、下水処理水の再利用にあたり、目標とするウイルスの許容感染リスクを達成するためには、消毒対象水の水質性状やそのウイルス濃度および消毒レベルを十分考慮しなければならないと考えられる。いずれにしても、ウイルスの不活化率を高めるためには、通常行われている消毒レベルよりも高いものにしなければならない。消毒レベルを高める場合には、消毒副生成物生成の観点から、組み合わせ消毒を行うことも有効な手段であるものと考えられる。また、消毒効果をより高めるためには、下水処理水中のＳＳ･濁度、有機物およびNH4-N濃度等を低下させる必要がある。

おわりに、本実験を進めるにあたり、多くの便宜をはかっていただいた自治体の方々に、深く感謝いたします。

４．主な研究成果物

① 下水道におけるクリプトスポリジウム検討委員会最終報告、日本下水道協会、平成12年
② クリプトスポリジウム緊急検討委員会資料、日本下水道協会、平成13年３月
③ 土木研究所資料第3733号、「下水処理過程におけるｸﾘﾌﾟﾄｽﾎﾟﾘｼﾞｳﾑの除去効果等」、平成12年６月
④ M.Suwa and Y.Suzuki, Occurrence of *Cryptosporidium* in Japan and countermeasures in wastewater treatment plant, 1st World Water Congress of the International Water Association(ＩWA), Paris 3-7 July 2000
⑤ 諏訪守、鈴木穣、第44回高度処理会議資料、「連続処理実験による活性汚泥法および砂ろ過法のクリプトスポリジウム除去効果」、平成13年２月
⑥ 国土交通省･高度処理会議、再生水質検討マニュアル(案)「パイロットプラントを利用したウイルスの消毒および除去実験」、平成13年２月
⑦ 諏訪守、鈴木穣、「連続処理実験による活性汚泥法のクリプトスポリジウム除去効果の評価」、第35回日本水環境学会年会講演集、平成13年３月
⑧ ＰＷＲＩニュースレター「Countermeasures of the Wastewater Treatment Plant against *Cryptosporidium*」No.84
⑨ 土木研究所資料、下水道関係調査研究年次報告書集（平成12年度）
⑩ 諏訪守、鈴木穣、「下水処理のクリプトスポリジウム除去効果およびその向上方策」、下水道協会論文集投稿中

【参考文献】

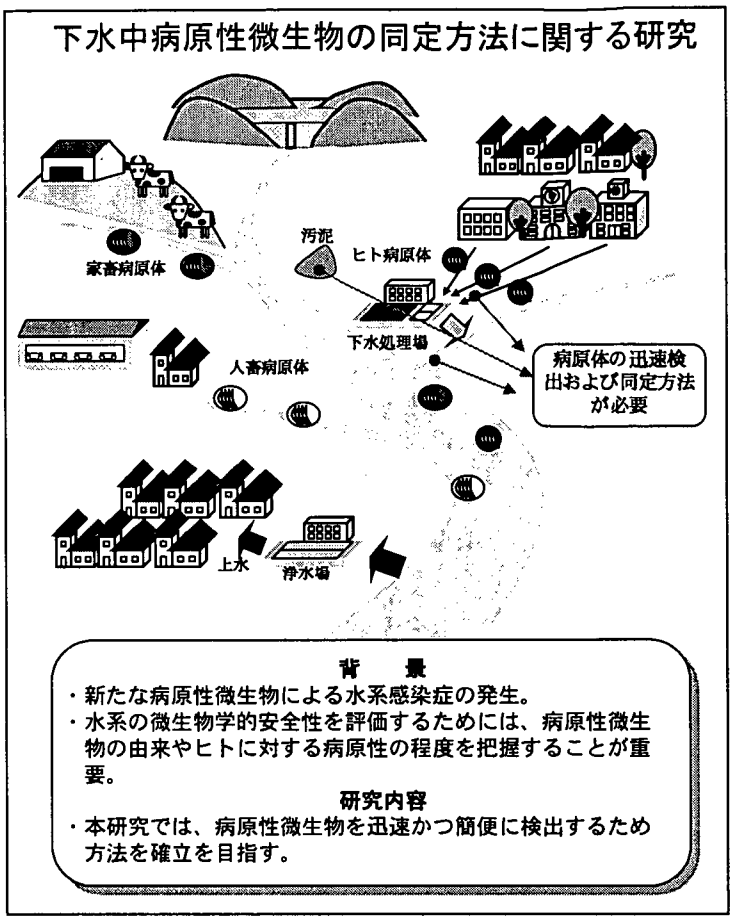
1) 建設省･高度処理会議「高度処理施設設計資料」,平成6年2月
2)矢野一好ら、「下水中のウイルスの消毒とその不活化に関する研究」－ 第2報 紫外線によるポリオウイルスの不活化 －、用水と廃水,Vol.27, No.6 (1985)
3)矢野一好ら、「下水中のウイルスの消毒とその不活化に関する研究」－ 第3報 塩素によるポリオウイルスの不活化 －、用水と廃水,Vol.27, No.7 (1985)
4)矢野一好ら、「下水中のウイルスの消毒とその不活化に関する研究」－ 第4報 オゾンによるポリオウイルスの不活化 －、用水と廃水,Vol.27, No.12 (1985)

（鈴木、小越、諏訪）

3.9　下水中病原性微生物の同定方法に関する研究

研究期間：平成11～平成14
担　　当：汚泥研究室

【要旨】水系の微生物学的安全性を評価する上で、下水や下水処理水及び汚泥中の病原性微生物を確認することは重要で緊急を要する。下水処理が不完全な場合、病原性微生物は下水処理水とともに、河川、湖沼、海域に放流され、ヒトに対して重大な健康影響を及ぼす可能性がある。このことから病原性微生物を常時モニタリングする必要があるが、病原性微生物の迅速測定方法は未だ確立されていない。本研究では、迅速かつ簡便に極微量の病原性微生物を検出するための方法を確立することを目的とする。12年度は、クリプトスポリジウムオーシストとジアルジアシストのフローサイトメトリーによる同時検出法とクリプトスポリジウムオーシストをＰＣＲ検出するために必要となるプライマーの検索を行った。その結果、クリプトスポリジウムオーシストとジアルジアシストのフローサイトメトリーによる同時検出は可能であり、蛍光強度と前方散乱強度の差異からオーシストとシストを判別できることが分かった。最も感度が高いプライマーは、Wu らの SB012 であった。SB012 では 10^0 オーダーのオーシスト検出が可能であった。今後、様々な株を用い特異性を検討する必要がある。さらに、一連の検出方法を確立する必要がある。



1．研究目的

水の微生物学的安全性を評価する場合、水環境中の病原性微生物の存在量を迅速に把握する必要がある。しかし、微生物の迅速検出方法は確立されていない。本研究ではフローサイトメトリー及びＰＣＲ法を適用し水中の病原性微生物の迅速検出方法の開発を目指す。

2．実験方法

2．1　フローサイトメトリーによるクリプトスポリジウムオーシストとジアルジアシストの同時検出方法

汚泥中のクリプトスポリジウムオーシストとジアルジアシストが、フローサイトメトリーにより同時検出可能かどうかを検討した。実験では、汚泥にオーシストとシストを添加し、この試料を Waterborne 社製の FITC 直接蛍光抗体試薬(Aqua-glo)により染色処理した。染色後、ナイロン製メッシュにより夾雑物を除去し、ろ液をフローサイトメトリーにより分析した。

2．2　ＰＣＲ法によるクリプトスポリジウムオーシストの検出

クリプトスポリジウムを PCR 検出するためには、クリプトスポリジウム遺伝子に特異的に反応するプライマーが必要となる。クリプトスポリジウムのプライマーは、現在までに国内外においていくつか開発されてきている。そこで、これまでに開発されているプライマーの検出感度を比較し、高感度検出可能なプライマーを検索した。比較したプライマーは、Wu, Laxer, Awad, Rochelle らが開発したもである。実験に使用したクリプトスポリジウムは HNJ-1 株、DNA 抽出は、Qiagen 社製の Dneasy Tissue kit により行った。PCR 反応液性状は、1×PCR Gold buffer, 3mM $MgCl_2$, 0.2mM dNTP, ﾌﾟﾗｲﾏｰ 50pmol, 1.5U AmpliTaqGold である。PCR 条件は、95℃10 分加熱後、熱変性 95℃30 秒、ｱｰﾆﾘﾝｸﾞ 50～55℃30 秒、伸長反応 72℃1 分の条件で 40 サイクル行い、最後に 72℃10 分の伸長反応を加えた。表-1 にプライマー配列、ﾌﾗｸﾞﾒﾝﾄｻｲｽﾞ及び各プライマーのｱｰﾆﾘﾝｸﾞ温度を示した。

表-1 実験に使用したプライマーの性状

開発者	標的遺伝子	プライマー名	プライマー配列	フラグメントサイズ	アーニリング温度
Wu	RAPD	SB012F: SB012R	5'-CTCCGTTCGATGATGCAGATG-3' 5'-CGGCCCCTGTAGAAATAAGTCA-3'	458	51℃
Laxer	Chromosomal gene	LAX469F LAX869R	5'-CCGAGTTTGATCCAAAAAGTTACGAA-3' 5'-TAGCTCCTCATATGCCTTATTGAGTA-3'	451	52℃
Awad	18SrRNAgene	AWA772F AWA1235R	5'-AGTGCTTAAAGCAGGCAACTG-3' 5'-CGTTAACGGAATTAACCAGAC-3'	556	50℃
Rochelle	Hsp70gene	cphsp2423F cphsp2764R	5'-AAATGGTGAGCAATCCTCTG-3' 5'-CTTGCTGCTCTTACCAGTAC-3'	361	55℃

3．実験結果

3．1 フローサイトメトリーによるクリプトスポリジウムオーシストとジアルジアシストの同時検出方法

図-1 に分析結果を示した。オーシストはシストより蛍光強度と前方散乱強度が低くなった。この蛍光強度と前方散乱強度の差異からオーシストとシストを判別できることが分かった。オーシストとシストを分取し検鏡した結果、オーシストとシストの他に非特異反応した粒子も観察されたことから、下水試料から確実にオーシストを検出する場合は、オーシストとシストと判断される粒子を分取した後、PCR 法での確認が必要と考えられる。

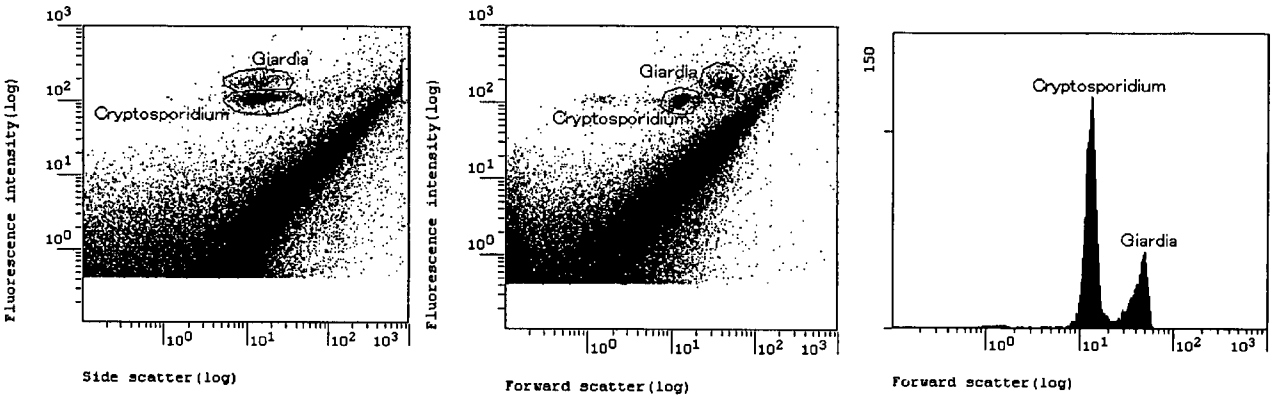
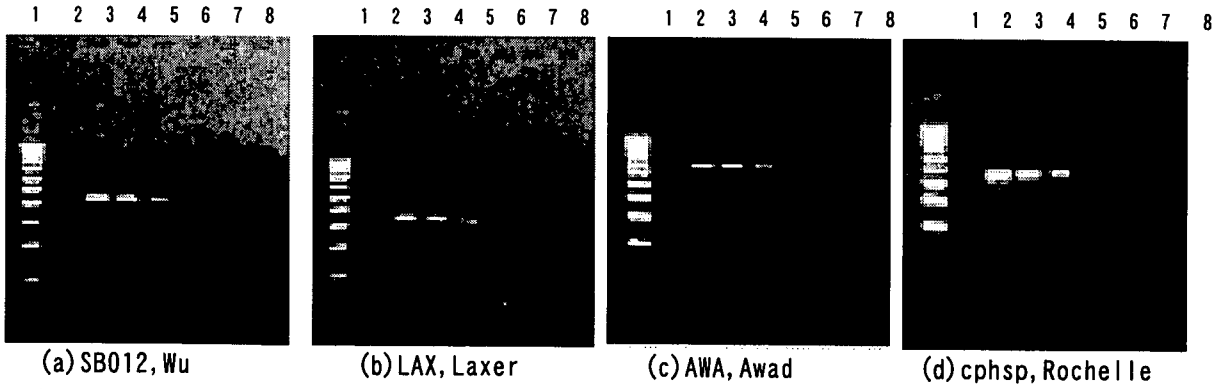


図-1 汚泥中のクリプトスポリジウムオーシスト、ジアルジアシストのフローサイトメトリーによる検出結果

3．2 ＰＣＲ法によるクリプトスポリジウムオーシストの検出

最も感度が高いプライマーは、Wu らの SB012 であった。SB012 では 10^0 オーダーのオーシスト検出が可能であった。今後、様々な株を用い特異性を検討する必要がある。



(a) SB012, Wu　(b) LAX, Laxer　(c) AWA, Awad　(d) cphsp, Rochelle

レーン 1：100-1000 マーカー，レーン 2：ネガティブコントロール，レーン 3：2.4×10^5 オーシスト，レーン 4：2.4×10^4 オーシスト，レーン 5：2.4×10^3 オーシスト，レーン 6：2.4×10^2 オーシスト，レーン 7：2.4×10^1 オーシスト，レーン 8：2.4×10^0 オーシスト

図-2 PCR 法によるクリプトスポリジウムオーシストの検出結果

4．主な研究成果

1）北村友一，森田弘昭：フローサイトメトリーセルソーターによる汚泥中のクリプトスポリジウムオーシストの迅速検出方法の開発，土木技術資料，Vol.41，No.9，pp32-37，1999

（森田，北村）

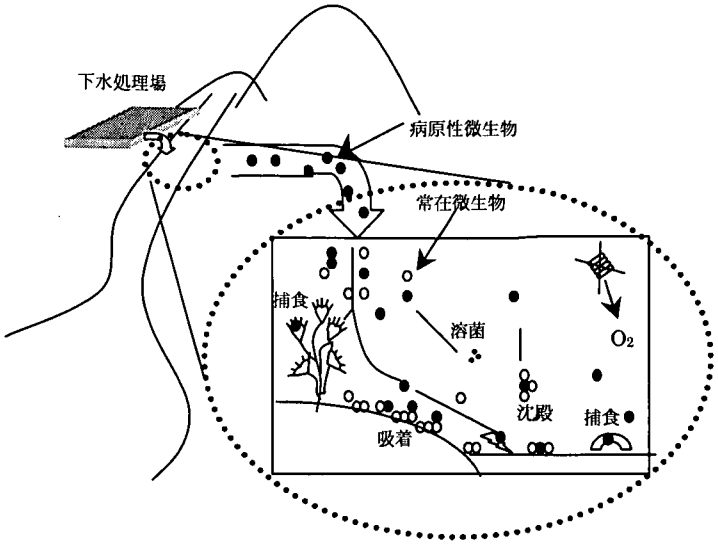
3.10　水系における病原性微生物の挙動に関する研究

研究期間：平 10～平 13
担 当：三次処理研究室

【要 旨】

本研究は、衛生学的基準についての判断資料とすべく、消毒方法や水系状況の相違に伴う下水処理水中の病原性微生物の水系での挙動について調査を行うものである。

平成 12 年度は、下水処理水放流先河川を模擬した実験水路を用いて、指標細菌の挙動について検討を行った。その結果、水路床が SUS の場合,水路内での細菌の減少は見られないが、水路床が砂利の場合,細菌が減少し、その除去率は水理学的滞留時間が長い方が大きくなった。また、水理学的滞留時間 14 分,水路床が砂利の場合、三次処理（砂ろ過）水中の大腸菌は水路内で 35％除去され、生物膜や堆積物へ移行し、移行した大腸菌の 99.97％は、死滅や被捕食により減衰することが明らかになった。



1. 研究目的

上水道取水源上流域での下水道普及の進展や国民の水辺回復要求の高まり、水の循環・再生利用の必要性増大等の現状を受けて、水系の衛生学的基準のあり方について再検討する必要が高まってきている。しかし、放流先水系での病原性微生物の挙動についてはいまだ不明な部分が多い。本研究は、このような衛生学的基準についての判断資料とすべく、消毒方法や水系状況の相違に伴う下水処理水中の病原性微生物の水系での挙動について調査を行うものである。

2. 研究方法

実験に用いた水路は、原水槽、原水供給ポンプ、循環水槽、循環水供給ポンプおよび水路から構成されている。水路 A の長さは 30m であり、一過式で供試水が流下する。水路 B は長さ 30m の水路を 2 本 直列に接続しており、一過式もしくは循環式で供試水を流下することが可能である。

表－1　連続水路実験の実験条件

		RUN 1	RUN 2	RUN 3
実験期間		0～59 日	63 日～90 日	91 日～104 日
水路 A	水路形状	30,000mm^{L}×200mm^{W}×100mm^{H}		
	水路床	玉砂利、粒度 8－12mm　粒径内 75%／85%、空隙率：36.7%		
	流入水量［L/min］	15		7
	循環水量［L/分］	0（一過式）		
	堰高［mm］	30		
	勾配	120/30000＝0.004		
	容量［L］	130		98
	滞留時間［分］	8.7		14
水路 B	水路形状	30,000mm^{L}×200mm^{W}×100mm^{H}	水路部：30,000mm^{L}×200mm^{W}×100mm^{H}×2 水槽部：1,000mm^{L}×1250mm^{W}×450mm^{H}	
	水路床	SUS	玉砂利、粒度 8－12mm　粒径内 75%／85%、空隙率：36.7%	
	流入水量［L/min］	15		7
	循環水量［L/分］	0（一過式）	100	100
	堰高［mm］	20		
	勾配	120/30000＝0.004		
	容量［L］	86	水路部：353 水槽部：562	水路部：353 水槽部：562
	滞留時間［分］	5.7	61（循環時間 8.0 分/回）	131（循環時間 8.6 分/回）

2.1　連続実験

連続的にK下水処理場三次処理水（砂ろ過水）を水路に供給し、流入部および流出部での水質を測定した。実験条件を表－1に示す。測定項目は、指標細菌として大腸菌、大腸菌群および一般細菌とし、一般水質項目として水温、pH、DO、CODcr、溶解性CODcr、SS、各態窒素およびりんを測定した。

2.2　水路床付着物および堆積物の測定

通水104日目(水路Bは砂利設置後43日目)において、水路内の水路床付着物および堆積物の測定を行った。

3. 研究結果

3.1　連続実験

通水開始日は水路内での細菌の増減はほとんど見られず、水路内での細菌の沈降、吸着や捕捉は無視しうる程度と考えられた。6日経過後では、水路Aにおいて大腸菌および大腸菌群除去率が25％程度となり、その後、変動はあるものの水路内で指標細菌が減少する傾向にあった。一方、水路Bにおいては、水路床がSUSの場合（RUN1）では、水路内での指標細菌の変動は、ほとんど見られなかったが、水路床を砂利にすることによって、指標細菌が水路内で減少する傾向が見られた。これは、連続的に供試水に接している部分に生物膜が形成され、形成された生物膜に接触した細菌等が吸着・除去されたためと考えられる。

各指標細菌の除去率を表－2に示す。

水路AのRUN1、RUN3を比較すると、水路内の滞留時間が長いほど、除去率が高くなる傾向が見られた。水路BのRUN2、RUN3を比較すると、有意な差とは言えないが、水路内の滞留時間が長いRUN3の方が、若干、除去率が高かった。

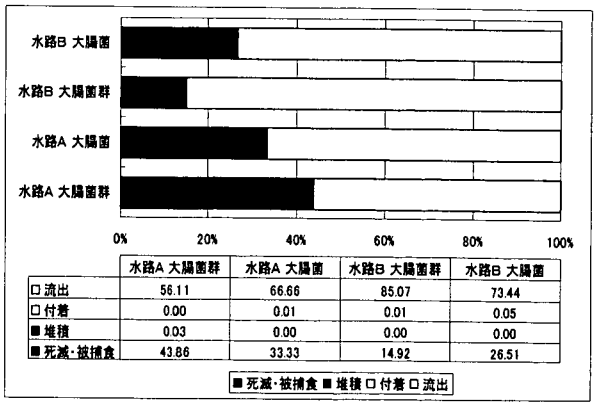
表－2　指標細菌の除去率

	水路A		水路B		
	RUN 1,2	RUN 3	RUN 1	RUN 2	RUN 3
	砂利,HRT8.7分	砂利,HRT14分	SUS,HRT5.7分	砂利,HRT61分	砂利,HRT131分
大腸菌除去率［%］	20.6	45.3	-0.3	18.6	27.3
大腸菌群(特定酵素)除去率［%］	20.5	50.3	4.9	34.3	34.8
大腸菌群(DESO)除去率［%］	18.8	37.5	-3.1	24.9	30.5
一般細菌除去率［%］	20.0	56.9	6.2	49.3	43.9
データ数	24	32	18	8	13

3.2　水路床付着物および堆積物の測定

実験が経過するにしたがい、水路床表面に茶褐色の付着物が生成するとともに、活性汚泥状のものが堆積した。この堆積物は流下方向に進むにしたがい増加した。また、水路Bにおいて、循環式とし水流を激しくした場合には、堆積物が少なかった。

得られた水路内の指標細菌総数および流入水細菌累積数、処理水細菌累積数をもとに、指標細菌の収支を検討した。図－5は大腸菌および大腸菌群の収支を百分率で示すものである。なお、水路Aは104日間の累積値、水路Bは砂利設置後の43日間の累積値とした。累積値より算出した水中からの大腸菌移行率は、水路A：33.3%、水路B：26.6%であり、移行した大腸菌の大部分（水路A：99.97%、水路B：99.81%）が不活化していることとなった。



図－1　大腸菌および大腸菌群の収支

（鈴木、畑津）

河川・湖沼の整備及び管理における自然との共生技術の開発

4．河川・湖沼の整備及び管理における自然との共生技術の開発

研究期間：平成10～14年度
プロジェクトリーダー：生態保全技術研究官
佐合純造

1．研究の背景：

近年、国民の自然環境に対する関心が高まっており、生物とのふれあいや自然環境の保全に対する要望が強くなっている。国土交通省では平成 6 年環境政策大綱を発表し、「環境」を建設行政において内部目的化し、さまざまな公共事業において、自然環境の保全に積極的に取り組んできた。特に、河川事業においては平成 9 年度に河川法を改正し、環境の整備と保全をその目的に位置づけ、自然との共生を目指した河川整備を行うことになった。このような中で、河川・湖沼の整備・管理を積極的に進める上で、生物が生息・生育できる環境を備えた空間を確保でき、自然との共生を図ることが可能な技術が必要とされている。

2．研究の目的：

本研究は、河川・湖沼における自然との共生を図るため、生物生息状況と環境条件との関係や、河川・湖沼の環境条件の変化機構を把握した上で、①河川において自然環境の保全を計画的に行うための「生物の生息生育に適した河川計画・管理技術」、②河川改修・ダム建設・砂防事業等で人為的影響を受ける河川・湖沼に対して、生態系の保全・創出を図る「河川・湖沼での生物の生息生育空間の保全・創出技術」、③生物の生息生育空間にとって望ましい水量や水質を保つための「水環境の保全・制御技術」、の 3 種類の技術開発を目的としている。

3．これまでの研究成果：

①生物の生息生育に適した河川計画・管理技術

1）生態系"システム"を保全するための手法(河道地形･地被予測モデル)と基本構想(流域スケールでの土砂管理、新しい河道計画）の提案を目標にして、本年度は既往最大規模の出水による樹林帯の破壊発生予測技術の開発(千曲川鼠橋地区)、ジャヤナギの引き倒し試験と土砂堆積年代の推定(北川本村地区)、堰周辺の河床変動計算の改善を行った。

2）田川（栃木県）において、河川改修後の長期的な生物生息の回復・変化を解明するために生息調査を実施した。河川改修後、直線化した河川は種数、個体数ともに回復があまり見られなかったのに対し、曲線が残っている河川は岸寄りに州が形成され、種数、個体数ともに優位な結果となり、以前は個体数が少なかったギバチなどの回復も見られた。

3）自然共生実験施設を用いて、河川の自然環境を保全する際に必要となる河川の形状及び流量と生物との関係、そして、植物や形状の変化が水理量に及ぼす影響を調査した。本年度は、前年度までの予備実験で得られた河川の形状の相違による水質・生態系の異同に従い、流量変動の有無が水質・生態系に及ぼす影響について調査・分析を行った。

②河川・湖沼での生物の生息生育空間の保全・創出技術

1）侵食防止シートやポーラスコンクリートを利用した侵食防止工の開発を行うとともに、それらの活用基準等の提案を行った。侵食防止シートについては、1)その製品化と各種マニュアル(案)の作成、2）河岸侵食の現地観測と機構解明、3)ふとんかごの新設計法の提案を行った。ポーラスコンクリートについては、実際の河川を念頭にして基礎性状、河川護岸への適応方法、品質管理法等を明らかにした。凍結融解試験では劣化は認められなかったが、乾湿繰り返し試験では物性が低下する傾向が認められた。また、ポーラスコンクリート基盤上でも多くの野生植物が生育できることが示された。しかし基盤内には根系が侵入しにくく、植物が流速に対して安定しない可能性もあることが示唆された。

2）山腹・渓流・山麓の一連の砂防空間の整備に際しても、コンクリート等の堅固な構造物だけではなく、生物の生息環境を形成している渓畔林等の植生を活かした手法を導入するため、現在の調査手法に対して改善策を提案した。

3）天然河岸の持つ機能を明らかにすると共にその保全のための手法を研究・開発することを目的として、天然河岸の形態の分類および神奈川県境川を対象に天然河岸の詳細な形態の把握、掘削のみによる天然

河岸改修手法の提案を行った。また、これに基づき県によって工事がなされた。

4）栃木県東荒川ダム湖畔の水位変動域に造成したビオトープ池の環境整備効果を調査した。その結果、コウホネ、ミクリなど 15 種の植物が、冬期の数ヶ月間水没する立地で生存し翌年生育可能であること、また、水没期間が短く水没時の水深が浅い池のほうが植物の生育が良好であり、トンボ羽化殻も多数見られたが確認された。水没時期や水深などの条件の違いにより、植物の生育は可能であっても、動物の生息地としての機能は大きく異なる可能性があることが示唆された。

5）階段式魚道において、ウグイの遊泳行動や流況は魚道隔壁頂部の形状（丸型、斜型 45°、斜型 30°）とプール規模（プール水深、プール延長）に関連していることを示した。

6）平成 12 年 6 月と 9 月の出水時に、信濃川水系千曲川のワンド群において出水時魚類調査を行った。その結果、魚類は新たにできた出水時流路や閉鎖されていたワンド等へ移動していることを確認した。また、移動した魚類の各個体は十分な産卵可能性を持っていることが確認された。

③水環境の保全・制御技術

1）出水の河川生態への役割を明らかにするため、自然共生研究センターおいて、流量を一定とした河川（河川Ｂ）と定期的に出水を与える河川（河川Ｃ）を設定し、両者を比較した。付着藻類の現存量においては有意な差は認められなかった。底生動物においては淵において種構成が異なっていた。魚類においてはシマドジョウが河川Ｃで現存量が小であった。これは河川Ｃに細流土砂が堆積したことが要因として考えられる。植物では、水際植生、主にアメリカセンダングサの生育状況が河川Ｂで大であった。これは、種子分散及び実生の定着の違いによるものと考えられる。

2）湖沼の沿岸環境の復元と非点源負荷対策として川尻川の河口に設置した人工内湖の効果を調査した。雨天時には、SSの11～54%、窒素の7～17%（懸濁態窒素：21～51%）、リンの10～35%（懸濁態リン：31～99%）を削減する効果があった。また、流入河川からの流入負荷の年間負荷削減量を推定し、流入負荷量に対しSSの191%，窒素の19%、リンの83%が人工内湖に堆積していると推定された。SS除去率が100%以上となったことは人工内湖が河川の流入負荷だけでなく、霞ヶ浦のSSも除去していることが原因と推察された。このことは静穏な湖沼沿岸帯の復元が、湖沼全体の水質浄化に大きく役立つことを示唆したものである。また、窒素の除去率が低いのは、脱窒により見かけ上低くなったと考えられる。

－河川・湖沼の整備及び管理における自然との共生技術の開発－

個別研究課題目次

4.1　水系土砂動態変化に伴う河川の自然形成システムの変質とその再生手法に関する調査……（河　川　研　究　室）…118

4.2　河川のハビタットに関する調査……（河川環境研究室）…120

4.3.1 新素材・新工法を用いた防御工の開発（その１）……（河　川　研　究　室）…122

4.3.2 新素材・新工法を用いた防御工の開発（その２）……（緑化生態研究室）…124

4.3.3 新素材・新工法を用いた防御工の開発（その３）……（コンクリート研究室）…126

4.4　渓畔林を活用した流路整備に関する調査……（砂　防　研　究　室）…130

4.5　中小河川における天然河岸の保全手法に関する研究……（河川環境研究室）…132

4.6　ダム湖における生物生息空間の整備技術の開発……（緑化生態研究室）…134

4.7　魚類の生息空間の保全・創出手法の開発……（河川環境研究室）…140

4.8　水域のネットワーク保全手法に関する研究……（河川環境研究室）…146

4.9　自然共生実験施設を用いた河川の自然環境の保全に関する基礎調査……（河川環境研究室）…148

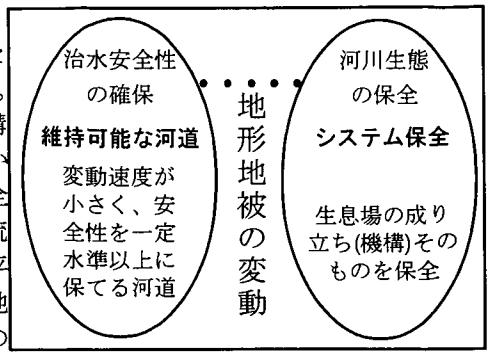
4.10　変動を加味した正常流量に関する基礎調査……（河川環境研究室）…150

4.11　浮島による湖沼の自然回復と水質浄化に関する研究……（河川環境研究室）…152

4.1　水系土砂動態変化に伴う河川の自然形成システムの変質とその再生手法に関する調査

研究期間：平11～平14
担　　当：河川研究室

【要旨】
出水時における河道地形・構成材料の変化がきっかけとなって、河川生態系全体が変質したことがわかっている。本研究では、変質の直接的原因となった河道地形と地被構成材料の変化を特定するとともに変質のプロセスを明らかにし、その成果に基づき生態系という"システム"を保全するための手法(河道地形・地被予測モデル)と基本構想(流域スケールでの土砂管理、新しい河道計画)を提案する。平成12年度は、近年、礫河原の樹林化が生じた多摩川永田地区を事例として、樹林化の原因の一つである河床低下への具体的な対策(礫供給と低水路拡幅)を提案するとともに、治水安全性の確保および"システム"保全のためのポイントを整理した。



1．研究方法

多摩川の永田地区およびその上流区間を対象にして、実績の河床変動の分析と一次元河床変動計算によって、河床低下への対策(礫供給と低水路拡幅)について検討を加える。なお、以下に示す礫の量は、空隙を除いた実質体積である。

2．研究結果

2.1　礫収支と礫供給の有効性

永田地区とその上流区間での平均河床高の縦断分布を図-1に示す。なお、1920,40年代は旧版地形図から判読したものである。河道掘削が行われていた1921～1967年では場所によって2mを越える河床低下が生じている。また、河道掘削が禁止された1967年以降では、小作堰の上流(掘削によって河床勾配が減少した区間)で河床上昇が生じるのに対して、永田地区(51.6～53.6km)では河床低下が生じている。永田橋地区の河床低下の原因は、河道掘削によって生じた縦断的な礫流送量の不均衡である。

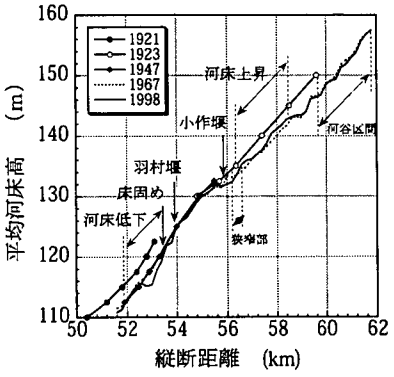


図-1　永田橋地区の河床縦断形

次に、永田地区への礫供給量が現況でどの程度、不足しているのか1975～1999年での河床変動の実績と一次元河床変動計算から推定を試みる。まず実績について調べると、小作堰上流の堆積区間(56.4～58.4km)では年平均堆積量7,150m³/年であるのに対して、永田地区での年平均侵食量5,560m³/年であった。また上記の河床変動量を最も良く再現するように河床変動計算を行うと、直轄上流端(61.8km)からの供給量が11,700m³/年、永田地区への土砂供給量4,870m³/年と推定された。以上の結果を総合すると、直轄上流端からの供給量約10,000m³/年に対して永田地区への供給量が約半分(5,000m³/年)と推定できる。

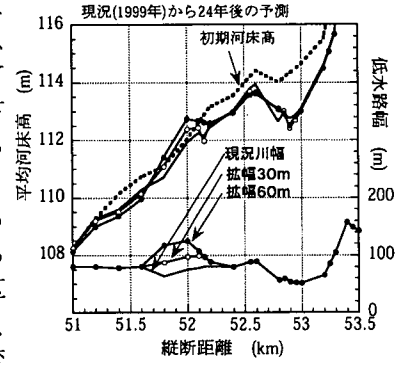


図-2　拡幅後の河床高予測結果

上記の不足量を補う対策として、小作堰の直上流に堆積した礫を永田地区に供給することが考えられる。小作堰における礫掘削量(1993～1998年)では平均で8,300m³/年であるとともに、その粒度分布は永田地区のものとほぼ同一であることが分かっている。以上より小作堰に堆積した礫全量を永田地区に供給すると、礫流送量の不均衡が大幅に是正されて、河床低下に対する抜本的対策になりうる。

2.2　川幅拡大の有効性と副作用

永田地区では、河床低下に伴って低水路が形成され、川幅が約1/3(250m→80m)に減少した。川幅拡大は、礫供給による効果をより早期に発現させるとともに、川幅縮小によって失われた「川原」を保全することにも効果がある。51.6～52.4km区間において川幅を現況、30mおよび60m拡幅した場合について、現況(1999年)から24年後の河床変動を計算した結果(礫供給なし)を図-2に示す。現況川幅では、さら河床低下が進行するが、30m拡幅だと拡幅した区間では現況河床高が概ね維持できること、また60m拡幅だとさらに河床高を上昇できることが分かる。しかし、拡幅範囲より下流では、拡幅量の増加

に伴って河床低下量が大きくなるという「副作用」が生じる。図-2に示した計算条件は、礫供給なしであるが、礫供給ありでは低下量を抑えられると考えられる。

2.3　拡幅および礫供給による対策のポイント

拡幅量と礫供給量をバランス良く調整すれば、下流への副作用を生じさせずに永田地区の河床低下を抑えることが出来る。しかし、そのような調節を行いつつ、さらに最終目的である礫河原が保全できる河道への修復が行えるかについて検討を行う必要がある。その際のポイントを以下にまとめて示す。

●礫河原が持続的に形成可能な(礫河原が保全できるシステムに改変できる)拡幅の検討

拡幅した場所では、礫の移動頻度の減少(掃流力の低下)する。その場合上記したような河床変動が生じない場所があると、そこに植物群落の形成および急速な拡大に適した細粒土砂が堆積し、最悪の場合には拡幅前と同じように樹林化することが懸念される。つまり、細粒土砂が堆積しにくく、かつ仮に植物群落が形成されても出水時に破壊されるような水理量および河床変動状況になるように拡幅する必要がある。上記の条件を満たす水理量および河床変動特性を検討のための基礎的知見として、植物の粗度や破壊機構に関する服部・瀬崎ほか[1,2,3]の知見が挙げられる。

●永田地区上流端での礫供給(河床上への礫敷設)に関する検討

永田地区上流端に設置されている床固工の直下流に礫を敷設することで礫供給を行う。礫供給を行うことで永田地区への供給量は倍増することになる。

1)安全に、かつ十分な量が供給できる礫の敷設方法

床固工下流に礫を敷設(供給)する際には、永田地区において有意な河床変動が生じる(河道区間全域で礫移動が生じる)最小規模の出水時(河床変動計算によるとピーク流量が500m³/s:概ね平均年最大流量程度)に年平均不足量5,000m³/年とほぼ同量の礫が流送されるとともに、その過程で河岸部などに流れが集中するなど危険個所が発生しないように配慮する必要がある。

2)礫堆積に伴う水衝部の形成に対する安全性の確保

礫供給を始めて間もない時期に中小規模の出水が続いて生じると、床固工直下流に供給した礫がそのすぐ下流にあたる永田地区の上流区間に集中して堆積すると思われる。その際、礫床河川の河岸侵食原因と一つとして良く挙げられるように、堆積区間には高さの大きい砂礫堆が形成され、その結果として堤防近傍に局所洗掘や流れの集中が生じる危険性があると考えられる。

●拡幅量と供給量のバランスがとれた河道修復計画の検討

拡幅区間より下流において副作用が生じないようにする(つまり河床低下量を抑える)ためには、下流区間での礫流送量とほぼ同程度の供給量が拡幅区間の下流端で確保されねばならない。つまりマクロに考えた場合、拡幅区間に堆積させられる礫の量は、(永田地区への供給土砂量)-(下流区間での礫流送量)となる。この堆積量になるように、拡幅量(幅と縦断距離)を設定すればよい。ところがある時点で設定しても、その後拡幅区間では土砂堆積の進行に伴って河床勾配が大きくなるため、拡幅区間での礫流送量が徐々に大きくなっていく。その結果として、拡幅区間での堆積量が減少するが、下流区間への供給量が増加する。したがって、ある程度まで堆積量が減少したら拡幅区間を拡大して、堆積量を上記設定値まで回復させる。以上のように拡幅を段階的に行うことで、副作用なしで礫川原を広くすることが可能となる。上記のような河道修復を行うための手法を提案する必要がある。

特に河床変動に関しては現状の技術では力学的に妥当な検討が困難である(流砂量式の適用性の問題)。したがって永田地区と同様の課題を有する他の河川への適用できるように、水理量、河床変動特性に基づいて上記検討が行えるように成果をとりまとめるためにも模型実験を行う必要がある(現地での拡幅・礫供給に関わる調査が必要なのはいうまでもない)。

謝辞：本研究の一部は、河川生態学術研究会多摩川グループの調査・研究の一環として実施したものである。横断測量および河床材料調査の成果については、関東地方整備局京浜工事事務所から提供していただいた。また、多摩川の一次元河床変動計算は（財）リバーフロントセンターと共同で実施した。ここに記して感謝の意を表する。

参考文献

1)瀬崎智之・服部　敦ほか:礫州上草本植物の流失機構に関する現地調査と考察，水工学論文集，第44巻，pp.825-830,2000.

2)服部　敦・瀬崎智之ほか:礫床上に繁茂するハリエンジュ群落の出水による破壊機構とその河道修復への応用，河川技術に関するシンポジウム - 河川技術論文集，Vol.7, 投稿中，2001.

3)服部　敦・瀬崎智之ほか:ヨシ群落上流れに関する大型水路実験と抵抗則の検討，年次学術講演会概要集，第55巻，2000.

(末次，服部，瀬崎)

4.2　河川のハビタットに関する調査

研究期間：平成10年～12年、
担当：河川環境研究室

【要旨】
田川（栃木県）において、河川改修後の長期的な生物生息の回復・変化を解明するために、１９９０年から２０００年にかけて生物生息調査を実施した。調査地点は河川改修工事前後や環境の相違が対比できる２地区を設定した。２地区のうち、１地区は河道がショートカットされ、直線河川となっている。もう１地区は河道は緩やかに曲線を描いている。12 年度は、直線河川は種数、個体数ともに回復があまり見られなかったのに対し、曲線が残っている河川は岸寄りに州が形成され、種数、個体数ともに優位な結果となり、以前は個体数が少なかったギバチなどの回復も見られた。

1. はじめに

筆者らは河川改修前後における、生物生息環境の回復、変化の把握を目的に、1990 年から 1993 年にかけて栃木県田川において、生物生息環境調査を実施した[1)]。本調査においては、この河川改修後、すでに 10 年が経過しており、その後、生物生息環境及び生物がどのように回復あるいは変化したかを調査した。なお、1998 年栃木県では記録的な豪雨に見舞われた。

2. 方法

(1)調査場所

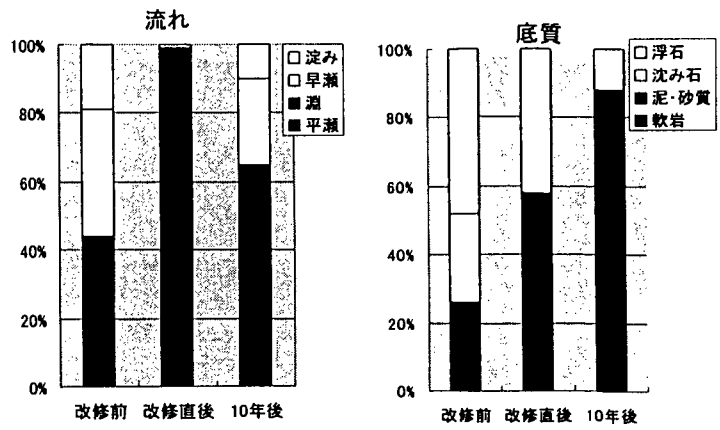
鬼怒川の支川の田川（流域面積２５２ｋｍ^2、幹線延長６４ｋｍ）は①河道の直線化②川幅の拡幅③護岸の設置④河床の敷均しと掘削等による疎通能力の増大、河岸の強化等を目的に、河川改修が行われた河川である。

対象区間は鬼怒川合流点より上流３１ｋｍ付近における、1990 年にショートカットが行われた 200m区間（以下、ショートカット区間とする）を設定した。設定区間は河道延長が改修前１２５０ｍから改修後８００ｍに短縮された直線河川である。河岸には護岸（低水、高水）が設置されている。

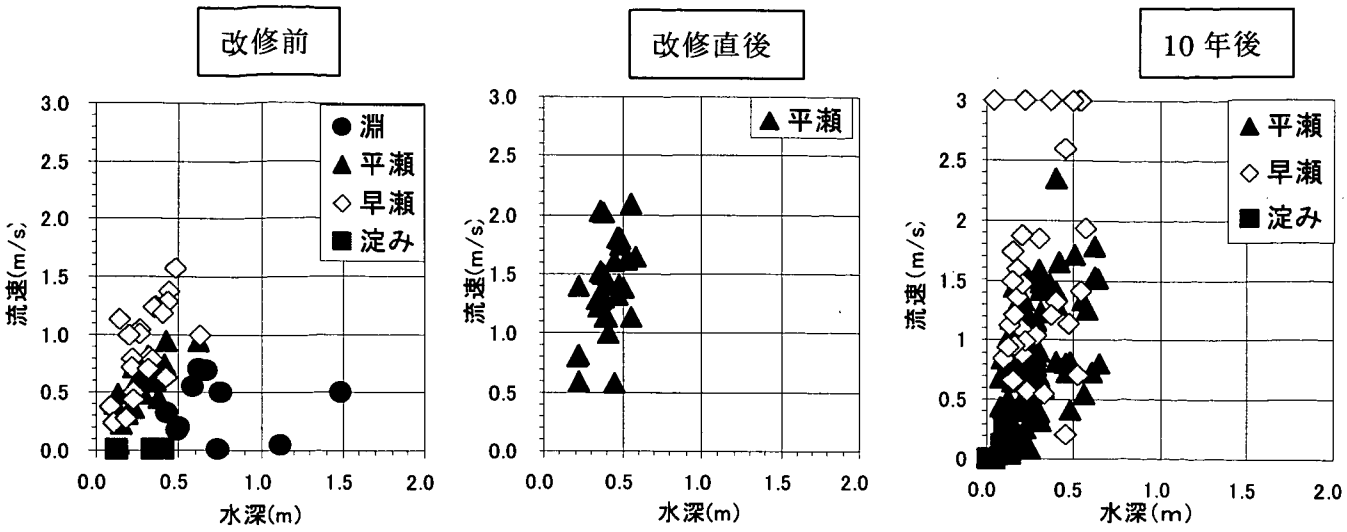
(2)調査方法　魚類を投網とたも網を用いて採捕を行った。努力量は調査時期に関わらず概ね同一になるようにした。調査は 1990 年 7

表―１　採捕魚種、採捕尾数一覧表

魚種		改修前		改修後												
		1990	1990	1991	1991	1992	1992	1993	1993	1994	1994	1994	1995	2000	2000	2000
		7月	9月	1月	6月	7月	11月	8月	12月	6月	8月	10月	3月	4月	6月	11月
遊泳魚	フナ	8	7			1		5			3	5			1	1
	オイカワ		4	1	3		37	7	2	10	12	11	14	2		1
	アブラハヤ		1	1		1										1
	タモロコ	33	19	2	15	6	2	5	2	13	2			8	3	1
	モツゴ		2			1		1				1				2
	カワムツ											1				
底生魚	カマツカ	3	1		4		1	1	2	6	4	8	2	2	3	2
	ナマズ		4													
	シマドジョウ	22	95			1				1	2	1				
	ホトケドジョウ	12	17													
	ドジョウ	20	25	4	2			3	1		1	2	4		1	
	ヨシノボリ		2		5	1		6		13	4	10	17			2
	スナヤツメ															1
放流魚	アユ	2			3	4		10		7	1				7	
	ウグイ	11	8	48	48	89	52	150	12	148	50	17	36	189	126	118
	コイ		1	1		1			2							
	ヤマメ													4		
合計魚種		8	13	6	7	9	4	9	6	7	9	9	5	5	6	9
採捕合計尾		111	186	57	80	105	92	188	21	198	79	56	73	205	141	129
放流魚(%)		12%	5%	86%	64%	90%	57%	85%	67%	78%	65%	30%	49%	94%	94%	91%
底生魚(%)		51%	77%	7%	14%	2%	1%	5%	14%	10%	14%	38%	32%	1%	3%	4%



図―１　改修前後及び 10 年後の生息空間の変化



図—2　改修前後及び10年後の流れと水理量の関連

月から2000年11月の間で合計15回行った。物理環境に関する調査は2000年11月に縦断方向に20mピッチ、横断方向に2mピッチで川幅、水深、流速及び河床材料の判別を行った。

3. 結果

（1）魚類相の変化：改修前後における採捕魚種・採捕尾数の変化を、遊泳魚、底生魚、放流魚に分けて表—1に示す。改修前の採捕魚種数は8種、13種だったものが、改修直後6種と大幅に減少し、その後、最低が4種で平均7種であった。また、改修前によく見られたナマズ、ホトケドジョウは一度も採捕されていない。また、改修前、多く採捕された底生魚は改修直後から激減し、改修から4年後の1994年後にはカマツカ、ヨシノボリなどが少し増加しているが、2000年の調査ではそれらの魚類は激減している。また、2000年の調査では放流魚の割合が90%を越えている。以上のように改修後10年が経過しても魚類相はほとんど回復していない。

（2）改修前後における生息空間の変化:魚類相の変化要因を魚類の生息空間との関連から分析するために、特に重要であると考えられる底質、流れの変化の状況を図—1に示す。底質では、軟岩が改修前0%だったものが、改修直後58%、10年後87%と増加した。また、浮石、泥・砂質がほとんど見られなかった。

流れでは、改修後に平瀬化したまま、10年後も回復せずに平瀬化が続いていることが解る。また、早瀬の分布が増し、流速が2m/s以上ある箇所も見られた。

改修前後と10年後の流れの状況と水理量の関係を図—2に示す。改修前は流れの状況が多様であるが、改修後の分布域は相対的に狭くなり、10年後もその傾向は変わらない。河床の深掘により淀みが見られるようになったが、流速は相対的に大きくなっている。当初予測したように、中規模河床波は発生せず、淵は回復していない。さらに1998年の大洪水により、河床の砂礫は掃流され、殆どが軟岩となっている。

4、まとめ

田川の調査対象区間では、改修後10年経っても魚類相は回復せず、近年、改修直後よりもさらに単調な魚類相になっている。それは、河川改修による河床掘削により沖積層の厚さが非常に薄くなり、1998年洪水により、残りの堆積物もほとんど、掃流され軟岩が露出し、河道内の流速が相対的に増加したためと考えられる。このような軟岩が露出するような河床掘削は多くの中小河川で見られ、魚類の生息空間への配慮という観点からは注意を要する。尚、改修にあたり、緩やかな蛇行を残した区間では寄り州が形成され、改修以前には殆ど、採捕出来なかったタナゴ類、ギバチ、スナヤツメなどが近年の調査では採捕されている。また、アブラハヤ、モツゴ、カワムツなどもそれぞれの採捕数が大幅に増加し、順調に回復状態にある区間もある。このように改修後生息環境がどのように変化するかが魚類の回復にとって重要である。

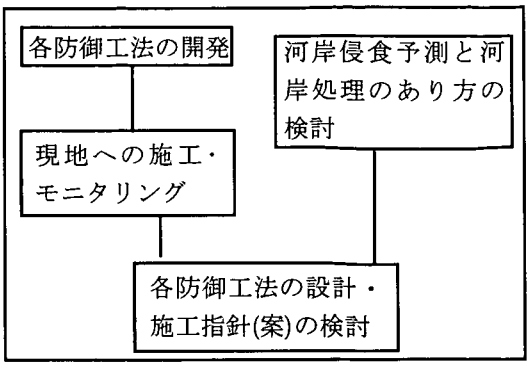
5、主な研究成果物

・林田寿文、本田隆秀、島谷幸宏、萱場祐一：田川における河川改修10年後の魚類生息環境及び魚類相の変化、土木学会年次講演、2001

4.3.1　新素材・新工法を用いた防御工の開発（その１）

研究期間：平9～平12
担　　当：河川研究室

【要旨】



河岸および堤防のり面の防御工に対する最近の要望事項として、従来と変わらない治水安全性を確保しつつ河川環境保全に資する機能を備えていること、かつ低コストであることが挙げられる。また、防御工設置についても、より早期に治水効果が向上でき、かつ必要最小限の設置で済むように計画的に行うことが、従来にもまして強く求められている。本研究は、上記の要望に適合した防御工とともに、防災的観点から設置必要性を説明する際のツールとなる河岸侵食の予測手法を開発することを目的としたものである。12年度には下記の検討をそれぞれ行った。
侵食防止シート：シート(最終版)と施工・歩掛マニュアル（案）を作成した。それらを利用して8河川で試験施工を行い、その状況の調査するとともにシートおよびマニュアルの改善を行った。さらに、上記シートを用いて、1)透過係数の簡易測定手法の開発と2)透過係数を用いた耐侵食力の評価方法を侵食実験に基づいて提案した。
ふとんかご：中込材の移動に伴うかごの変形を許容しない従来の設計法に変えて、金網が本来有する変形抑制性能を設計にとりこんで、許容される変形量に達する限界流速(掃流力)を中込材の粒径や形状(玉石か割栗石)、かご材の剛性及び密度などによって評価する新しい設計法を提案した。
河岸線予測手法：11年度に引き続き、小貝川49.2kmの湾曲部外岸の侵食量観測を実施した。また、昭和40年初期に実施された掘削によって平水位からの比高が小さくなっていた高水敷に出水時の土砂堆積で新たに形成された土層に対してオーガボーリングおよび粒度分布調査を行った。下層は表層に比較して(つまり比高が小さい時期)シルト質を多く含む細粒土砂で構成される傾向が認められた。
以下では、侵食防止シートについて研究結果の概要をまとめて示す。

１．侵食防止シート

1.1　研究方法

制作したシートは、11年度に作成したシート作成マニュアルに定めた性能(侵食防止・施工性・強度・耐久性など)を、概ね満足する良好な結果が得られている。ここでは、それらシートの実用的課題である「実際の工事担当者がマニュアルに基づいて実堤防のり面への施工が問題なくできるか」、また「実験では再現し得なかった大きな施工面積で施工上の問題があるか」について、8河川で試験施工を実施して検討を加えた結果をまとめて示す。

1.2　研究結果

1.2.1　シート施工法

(1)　機器と施工法

施工法は、敷設工、土砂充填工、植生工の3工程からなる。敷設工では、幅2m、長さ約10m以上(種類によって異なる)のシートを、流れ方向には20cm、堤防天端～のり尻方向には15cmの重ねしろで重ね合わせて、ピン(φ10mm程度の異形鉄筋を長さ30cm程度の「コの字」に加工)を1m間隔で打設して固定する。植生工は、通常の堤防のり面と同様の方法で行う。土砂充填工は、シート工法特有の工程であり、シートの空隙に土砂を充填するものである。この工程が施工の実用性をきめると考え、重点的調査の対象とした。土砂充填工は高含水比土砂の配合、運搬、充填の3工程からなる。以下では、この工程を1)配合・運搬と2)充填に分けて、各工程で使用する機器と施工法について説明する。なお、土砂充填に用いる施工機器は、高含水比土砂の充填装置(写真-2a)参照)を除きすべて既往の機器を活用した。

1)配合・運搬工

写真-1に高含水比土砂の配合・運搬に用いた機器を示す。いずれの機器もコンクリート用のものであり、配合には2槽式の撹拌機、運搬には高粘性用のグラウトポンプを利用した。これらの機器を用いた

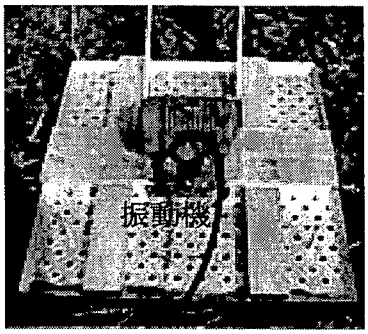
工程は以下のとおりである。1)撹拌機内に、スランプ値が23～27cmになるように土砂と水を供給し、次に撹拌して高含水比土砂とする。2)高含水比土砂を撹拌槽に設けられた流出口からグラウトポンプの貯留槽に流し込む。3)グラウトポンプにより貯留槽からシート上に高含水比土砂を圧送する。圧送管の出口を作業員が持ち歩いて、シート上にまんべんなく積載する。



写真-1　撹拌機と圧送ポンプ

2)充填工

上記工程が終了した後、高含水比土砂に振動を加えるが、その作業に用いる充填装置を写真-2a)に示す。この装置は、一辺が1mの鋼製充填板とその中央に設置された振動機(コンクリート型枠に振動を加え、締め固めるのに用いる自振モーター)によって構成される。この装置を写真-2b)に示すようにバックホウに取り付け、振動機を作動させながら充填板をシート面から離れないように(写真-2a)に示した状態を保ちながら)斜面下部から持ち上げていく。



a)充填装置



b)充填作業状況

写真-2　土砂充填装置

1.2.2　施工法の現地適用性

いずれの工程ともは、大きな問題はなく、また予定どおりの工期でもって完成させることが出来た。しかし、そこまでに至るのに各現場でほぼ共通した質問があったのでそれを以下にまとめる。

(1)　充填用土砂の選定

充填用の土砂としては細粒分(粒径0.075mm以下)を多く含有する砂質土は、充填終了後、水分が乾燥すると収縮ひび割れなどが発生し、シートと地面の間に隙間が生じる場合には使用不可とすることをマニュアルに示した。しかしながら現地で調達した土砂の多くがかなり細粒分の多い土砂である場合が多かったため(その理由として高水敷の掘削土砂を再利用する場合が多かったことが挙げられる)、実際に小規模な重点を行ってひび割れ発生の有無について確認する必要が生じた。マニュアルでは、その確認試験の方法を明確にしていなかったため、土砂選定を困難にしていた。

(2)　充填工

スランプ値が23～27cmになるように含水比を調整した流動性の高い土砂である高含水比土砂を作成するのは問題がなかった。しかしその効率が良くない場合があった。その原因は撹拌槽への土砂供給に時間がかかるためであることが分かった。多くの場合、バックホウではなくベルトコンベアーを利用して、供給することで改善できることが分かった。またグラウトポンプでの高含水土砂の運搬は、ポンプが詰まるなどの機械的トラブルがなく、安定して作業が行うことが出来た。ただし、施工面積が大きくなると、ポンプから伸ばすホースの延長が大きくなり、これがかなりの重量であったため、ホースのとり回しのための労力が大きくなるという課題が分かった。その対策として、シート敷設範囲の天端に沿ってあらかじめ鋼製管を配管しておき、その先にホースをつなげて、ある範囲の施工が終了するごとに管を短くしてホースをつなぎ直すという方法でホースを短くしてとり回しを良くすることが行われた。今後はさらに機械化による労力軽減を図る必要があり、その一例としてバックホウのようなアームの先にホース排出口を付けたグラウドポンプ車の転用が考えられる。

主な研究成果物

藤田、諏訪、東、平林：流れによる変形特性に着目した新しいふとんかご設計の試み，河川技術に関する論文集 Vol.6, 土木学会水理委員会河川部会 pp357-362,2000.

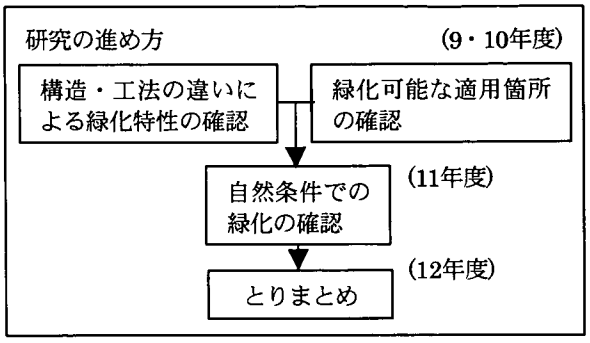
藤田、服部：植生の耐侵食機能を活用した侵食防止シートの開発，土木技術資料，Vol.42,No.7,pp.20-25,2000.

(末次、諏訪、服部、東)

4.3.2　新素材・新工法を用いた防御工の開発（その２）

研究期間：平９～平１２
担当：緑化生態研究室

【要旨】
本研究はポーラスコンクリートを用いた河川護岸について、緑化が可能な条件および緑化に適した構造や工法を明らかにすることを目的としている。12年度には、ポーラスコンクリート護岸における自然植生復元の可能性を明らかにするために、河川敷の表土をポーラスコンクリート上に覆土し、野生植物の発生・成長を調べる実験を行った。その結果、水流の影響が少ない実験条件であればポーラスコンクリート基盤上でも多くの野生植物が生育できることが示された。しかし基盤内には根系が侵入しにくく、実河川で同様の工法を用いた場合には植物が流速に対して安定しない可能性が示唆された。



1　研究目的

ポーラスコンクリート基盤上における、多様な野生植物の生育可能性を明らかにするとともに、植生復元手法の開発に関する基礎的知見を得ることを目的とする。

2　研究方法

2．1 試験区の設定

土木研究所にあるフレーム付き実験水路施設内の試験区にポーラスコンクリート基盤を設置し、平成11年9月に茨城県小貝川の河畔から採取した表土を基盤上に撒き、そこから発生する植物の成長を調べた。

試験区には2種類のポーラスコンクリート基盤（4号および5号骨材使用、4号骨材使用のものの方が空隙率が高い）を設置し、対象としてポーラスコンクリートを設置せずに赤玉土をいれた場所（土壌区）を設けた。また基盤の設置位置は水分条件が異なる3通りの高さとした（水面からの高さ：0cm、20cm、40cm）。これらの基盤上に採取した表土を、よく攪拌した後に5cmの厚さに撒いた。

2．2 発生植物の調査

発生植物の調査は、平成11年9月から平成12年11月まで、1ヶ月に1回の頻度で行った。各調査日には、各試験区で発生した植物について、全種名、種毎の被度および群度、植物の高さに基づく送別の植被率・植生高を測定、記録した。

2．3 根系発達状況の調査

平成12年11月の「発生植物の調査」が終了した直後に、根系発達状況の調査を行った。調査では、基盤上の土壌を取り除き、植物の根系の基盤への侵入状況、基盤裏面への根の貫通状況を記録した。また基盤の表裏面の根系を切り取り、乾燥重量を測定した。

3 研究結果

3．1 発生植物の調査結果

調査期間中に121種の植物が確認された。発生した植物のほとんどは、1年生であれば開花するまで成長し、多年生であれば最終調査まで生育していたことから、表土まきだしにより定着に成功したとみなすことがで

きた。

種組成には、ポーラスコンクリートを設置した試験区と土壌区との間で顕著な違いは見出されなかった。各試験区において最も高い被度を示した種を「優占種」として解析したところ、大抵の調査区で優占種となったのは春にはミゾコウジュ、スズメノトウガラシ、キツネアザミ、秋にはヒメムカシヨモギアメリカセンダングサ、セイタカアワダチソウ、アゼナであり、この傾向はポーラスコンクリートの有無や基盤の種類に依らず共通していた。

一方、水面からの高さによる発生植物種の違いについては、水面から20cmの高さの試験区と40cmの高さの試験区との間では顕著な違いが認められなかったものの、水面からの高さが0cmの試験区は他の高さと大きく異なっていた。水辺植生の主要な構成種であるクサヨシやガマ類は0cm区でのみ認められた。優占種も異なっており、高さ0cmの試験区の多くでは、春にはスズメノトウガラシ、秋にはアゼナとアメリカセンダングサが優占していたが、20・40cmの高さの調査区にはこれらの種が優占種となったものはなかった。

3．2 根系発達状況の調査結果

ポーラスコンクリート基盤を設置した試験区と、土壌区を比較した結果、基盤の存在により植物の根系の発達様式が変化することが明らかになった。たとえばガマ類では、土壌区では15～20cm程度の深さで地下茎を伸長させ、越冬芽を形成していることが確認されたが、ポーラスコンクリート試験区では基盤上の表土内でのみ根系が発達し、地下茎は基盤内には侵入していなかった。同様に、メマツヨイグサ、ギシギシ、アメリカセンダングサ、ヒメムカシヨモギなど、直根を発達させる植物では、大抵の場合、太い直根は基盤内に侵入できず、ポーラスコンクリート上の表土内で横走していた。そのため、地上部を引っ張ると容易に引き抜くことができる状態になっていた。

これに対し、カズノコグサなどのイネ科植物は、表土中に複雑に細根が伸長し、ポーラスコンクリート基盤の骨材にもよく絡み付き、簡単には引き抜くことができなかった。カヤツリグサ科の植物も同様な傾向がみられた。

4．まとめ

本研究により、河畔で採取した表土をまきだすことにより、ポーラスコンクリート上でも多様な植物を発生させることができることが示された。ただし、ポーラスコンクリート上で発生した植物は、大抵の場合、撒きだした表土のみを利用して根系を発達させていたことから、多様な植物を生育させるには撒きだす土壌の厚さを十分にすることが重要であることが示唆された。

一方、イネ科植物やカヤツリグサ科植物以外の植物では、根系とポーラスコンクリート基盤との結合力が弱いため、掃流力が働く実河川条件では植生がはがされてしまう可能性があると考えられる。ポーラスコンクリート河川護岸では、土砂や植生の流出を防止する形状や工法を検討することが重要であることが示唆された。

（藤原、西廣）

4.3.3　新素材・新工法を用いた防御工の開発（その３）

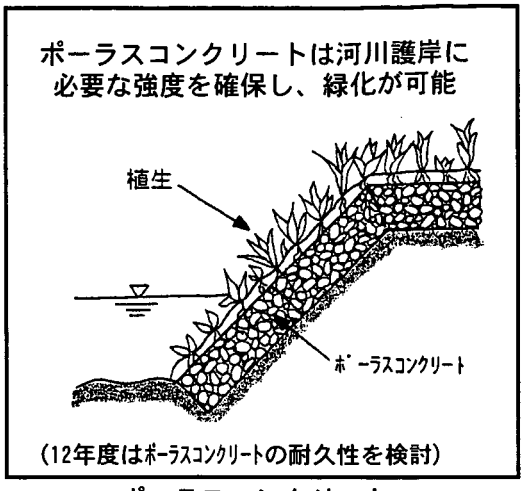
研究期間：平９～平１２
担当：コンクリート研究室

【要旨】

「自然を生かした川づくり」を目指した河川整備事業の推進が求められているが、この実現には治水面での安全性が高く、かつ豊かで多様な動植物の生息・生育の可能な低コストの護岸工法の確立が急務である。

ポーラスコンクリートは比較的高い強度を有し、また空隙部に植生基盤材を充填することで緑化や微小生物の生息が可能となるため、多自然型河川護岸への適応に期待が高まっている。本研究はポーラスコンクリートの基礎性状、河川護岸への適応方法、品質管理法等について検討を行うものである。

12 年度は実際の河川環境を考慮した凍結融解試験および乾湿繰り返し試験を実施し、ポーラスコンクリートの耐久性について検討した。



ポーラスコンクリート

１．実環境を考慮した凍結融解耐久性の検討

1.1　ポーラスコンクリート供試体の作製方法

ポーラスコンクリートの配合は一般的な配合を想定し、表－１に示すとおりとした。使用した材料の物性は表－２に示すとおりである。

練り混ぜは 50 ﾘｯﾄﾙの二軸強制練りミキサを使用し、２分間の練り混ぜを行った。

練り上がったポーラスコンクリートについて、圧縮試験用供試体（φ 15 × 30cm）３本と、凍結融解試験用供試体（10 × 10 × 40cm の角柱）６本を作成した。ただし、凍結融解用供試体については河川護岸模型内に設置する関係から図－１に示すようにハンチを有する形状とした。作製した供試体は脱型後、材齢 28 日まで 20 ℃の水中養生を行った。養生終了後、凍結融解試験用供試体３本に対して緑化充填材を充填した。

材齢 28 日に行った圧縮強度試験の結果では 21.9N/mm^2 の強度を示した。

表－１　ポーラスコンクリートの配合と圧縮強度試験結果

W/C (%)	空隙率 (%)	粗骨材	単位量 (kg/m^3)				圧縮強度
			水	セメント	粗骨材	混和剤	(N/mm^2)
25	25	５号砕石	79	317	1,513	2.95	21.9

表－２　材　料　物　性

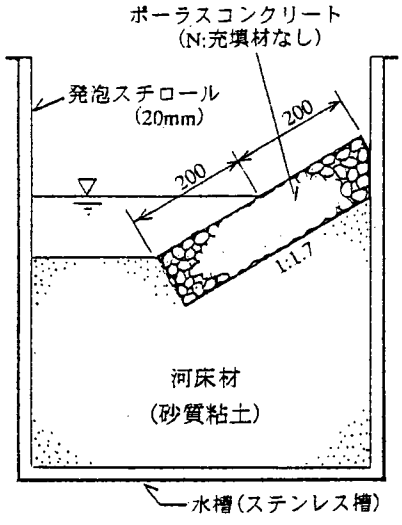
セメント	高炉セメントＢ種，密度：3.04g/cm^3，比表面積：3,720cm^2/g
５号砕石	笠間産硬質砂岩，13-20mm，密度：2.67g/cm^3，吸水率：0.46 %，実積率：59.0 %
混和剤	高性能ＡＥ減水剤
緑化充填材	性状：粉体，成分：珪石粉にパーライト、ゼオライト、有機質肥料を混入したもの

1.2 河川護岸模型の作製

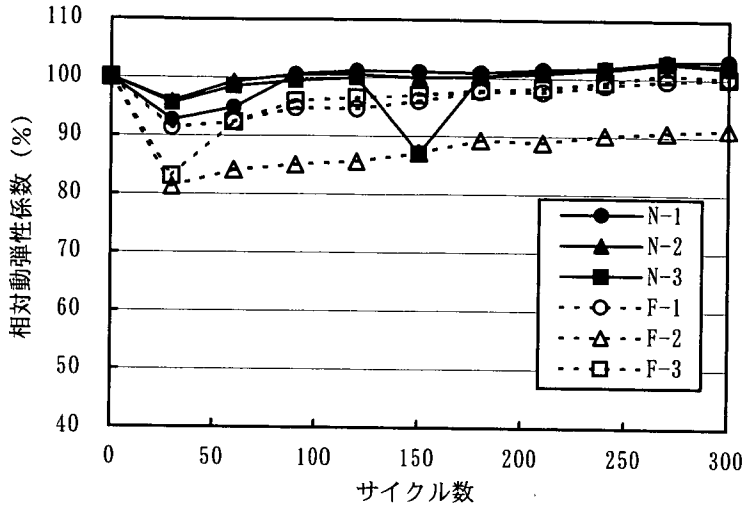
河川護岸模型の作製は図－１に示すようにステンレス水槽の内側に厚さ 20mm の発泡スチロール板を貼り、その中に河川護岸を想定した模型を作製し、表面にポーラスコンクリートの供試体を布設し、湛水した。

河床材には一般的な土質材料(砂質粘土)に崩落防止のための繊維を混入したものを使用し、自然含水状態で平板バイブレータを用いて締固めた。盛土の斜面勾配は 1:1.7 とした。

ポーラスコンクリート供試体は充填材を含まないN供試体３本と粉体の緑化充填材を含むＦ供試体３本とし、N供試体は護岸の表面に設置し、Ｆ供試体は設置後に表面に厚さ約２ cm の覆土を行い、この覆土面とN供試体の表面が一致するように設置した。湛水面はN供試体表面の 1/2 の高さとした。



図－１　河川護岸模型



図－２　相対動弾性係数の変化

1.3 凍結融解試験の方法

河川護岸模型をプログラム式恒温恒湿槽に入れ、槽内の気温を変化させることにより、河川護岸模型に凍結融解作用を与えた。槽内の気温変化の設定は、実質的な河川護岸の環境条件を考慮して最低温度を-10 ℃とし、24 時間を１サイクルとして凍結と融解が繰り返される条件を模索し、結果として最低温度-10 ℃、最高温度+18 ℃の正弦波形(１サイクル 24 時間)とした。この温度設定によって、河川護岸模型は表面から氷結し、湛水面での氷結厚は２～３ cm となった。

30 サイクルごとに供試体の相対動弾性係数を測定することとし、300 サイクルまで試験を実施した。

1. 4 実験結果

凍結融解試験から得られる相対動弾性係数を図－２に示す。この結果ではいずれの供試体も 30 サイクルでの相対動弾性係数がやや低下しているが、その後は相対動弾性係数は上昇する傾向を示した。300 サイクル終了時点の相対動弾性係数はほぼ 100 %であり、目視による観察でも供試体の欠損はほとんど認められず、N供試体の水面付近のペーストがわずかに剥がれ落ちているのが認められただけであった。

30 サイクルで相対動弾性係数が低下した理由としては、この現象が充填材を施したＦ供試体で顕著なことや、その後は除々に回復していることから判断して、ポーラスコンクリートの劣化によるものではなく、充填材を含む供試体の湿潤状態の違いが測定結果に影響したものと考えられる。

1. 5 まとめ

河川護岸の実際の環境条件を想定し、１日１回の凍結融解を 300 サイクル繰り返した実験の結果、ポーラ

スコンクリートの劣化は認められなかった。

2．乾湿繰り返しに対する耐久性の検討

2.1 ポーラスコンクリート供試体の作製方法

ポーラスコンクリートの配合は河川護岸に使用する一般的な配合を想定し、表－３に示す３配合を設定した。使用した材料の物性は表－４に示すとおりである。

練り混ぜは 50 ﾘｯﾄﾙの二軸強制練りミキサを使用し、２分間の練り混ぜを行った。

練り上がった各配合のポーラスコンクリートについて、φ 15 × 30cm の円柱供試体９本と、10 × 10 × 40cm の角柱供試体６本を作成した。作製した供試体は脱型後、材齢 28 日まで 20 ℃の水中養生を行った。養生終了後、各配合ごとに円柱供試体３本について圧縮強度試験を実施した。得られた強度は表－１に示すとおりであった。

表－３　ポーラスコンクリートの配合と養生終了後の圧縮強度試験結果

配合名	W/C (%)	空隙率 (%)	粗骨材	単位量 (kg/m³)				圧縮強度
				水	セメント	粗骨材	混和剤	(N/mm²)
４号配合	25	25	４号砕石	79	316	1,501	2.84	16.3
５号配合	25	25	５号砕石	79	316	1,513	2.84	18.0
６号配合	25	25	６号砕石	79	316	1,524	3.10	20.9

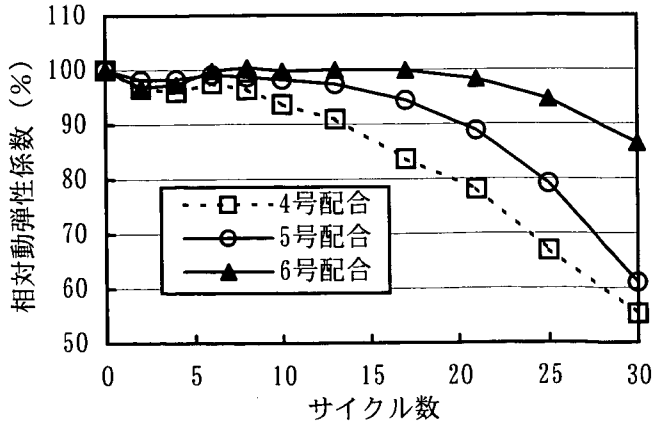
表－４　材　料　物　性

セメント	高炉セメントＢ種，密度：3.04g/cm³，比表面積：3,720cm²/g
４号砕石	笠間産硬質砂岩，20-30mm，密度：2.67g/cm³，吸水率：0.43 %，実積率：58.5 %
５号砕石	笠間産硬質砂岩，13-20mm，密度：2.67g/cm³，吸水率：0.46 %，実積率：59.0 %
６号砕石	笠間産硬質砂岩，5-13mm，密度：2.67g/cm³，吸水率：0.68 %，実積率：59.6 %
混和剤	高性能ＡＥ減水剤

2.2 乾湿繰り返し試験の方法

各配合ごとに作製した 10 × 10 × 40cm の角柱供試体６本のうちの３本とφ 15 × 30cm の円柱供試体６本に対して乾湿繰り返し試験を実施した。乾湿繰り返し試験の条件は実際の自然環境を配慮し、湿潤は 20 ℃の水中、乾燥は 40 ℃の乾燥炉内に置いた。サイクルタイムは湿潤１日、乾燥２～３日として１週間で２サイクルとした。試験開始材齢は 28 日とし、30 サイクルまで実施した。角柱供試体については２～５サイクルごとに相対動弾性係数を測定した。円柱供試体については 21 サイクル終了時、30 サイクル終了時にそれぞれ３本ずつ圧縮強度試験を実施した。

角柱供試体の残り３本づつについては気温 20 ℃，湿度 40 %の室内にて気乾放置し、相対動弾性係数の変化を測定した。



図－３　乾湿繰り返し試験での相対動弾性係数の変化

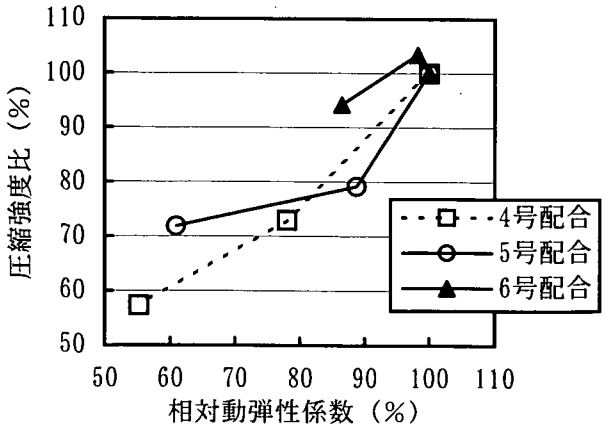
2.3 実験結果

乾湿繰り返し試験から得られる相対動弾

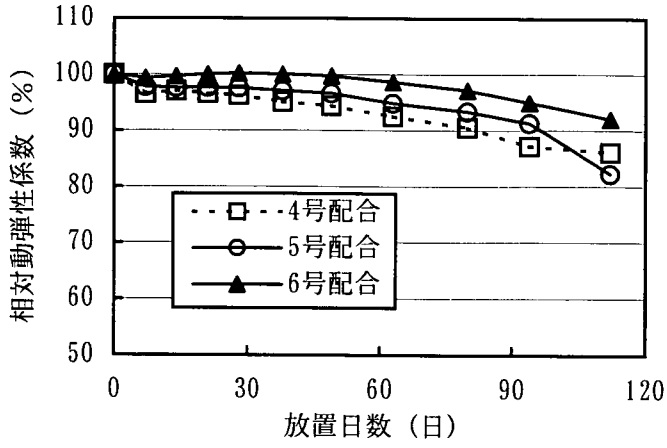
性係数の変化を図－３に示す。相対動弾性係数は 10 サイクル程度以降から除々に低下していく傾向を示した。低下の傾向は粗骨材寸法の大きいものほど大きく、30 サイクル終了時点の値としては６号配合では 87 %、５号配合では 61 %、４号配合では 55 %程度まで低下した。

圧縮強度試験の結果について、試験開始時点の圧縮強度を 100 %とした圧縮強度比で表し、相対動弾性係数と比較した結果を図－４に示す。双方の値は良い対応を示しており、相対動弾性係数の低下はポーラスコンクリートの力学性状の低下を比較的良く反映しているといえる。

図－５は気乾放置した長方形供試体の相対動弾性係数の変化を示したものである。試験期間は 110 日間であったが、その間にも相対動弾性係数は除々に低下する傾向を示た。



図－4 相対動弾性係数と圧縮強度比の関係



図－5 気中放置試験での相対動弾性係数の変化

2.4 乾湿繰り返し試験のまとめ

(1)ポーラスコンクリートは乾湿繰り返しによって物性が低下する。この傾向は粗骨材寸法の大きい配合はど顕著であった。

(2)相対動弾性係数の低下と圧縮強度の低下とは良い相関を示した。

(3)気乾放置の条件でもポーラスコンクリートの物性は除々に低下する傾向を示した。

3．主な研究成果物

・片平博，河野広隆：ポーラスコンクリートのフレッシュ性状迅速判定マニュアル(案)，土木研究所資料，第 3765 号，2000.12

・片平博，河野広隆：ポーラスコンクリートの強度および耐久性試験報告書，土木研究所資料，第 3799 号，2000.12

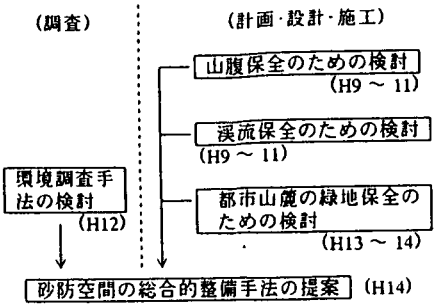
（河野、片平）

4.4　渓畔林を活用した流路整備に関する調査

研究期間：平成　９年度～平成１４年度
担当：急傾斜地崩壊研究室
砂防研究室

【要旨】

事業実施時の自然環境への配慮という観点から、砂防事業においては土砂生産・流出に直結しない事柄（たとえば鳥類の生息調査などで、ここでは「環境調査」と称することとする）についても調査し把握することが必要である。しかしながら、土木研究所が行った「環境調査の実態に関するアンケート調査結果」によると、環境調査に関して今後の方針を明確に持たない実態があることがわかった。これは調査成果がその後の事業の実施段階においてあまり有効に機能していないことが原因ではないかと考えられた。



そこで、平成１２年度は、調査成果がその後の事業実施段階に有効に機能していない原因を抽出し、その改善策を提案した。

１．研究方法

砂防工事現場における環境調査の実態（調査目的、調査項目の設定理由、調査内容、事業への反映度合い、データ管理（更新作業を含めて））について、アンケート調査により把握し、現状の課題を抽出し今後の調査方法についての提案を行った。

２．アンケート調査の内容及び回答結果

環境調査の実施時期によるアンケート様式の区分	様式１	様式２	様式３	様式４
	長期的な傾向を把握するための定点調査	事業実施予定箇所の事前調査	事業実施中の箇所調査	事業実施済みの箇所の事後調査
アンケートの内容	①調査内容（対象、手法、時期、頻度）、②調査の背景（動機）、③調査にあたって参考としたマニュアル等、④調査成果の整理方法、⑤調査成果の活用（調査の目的）、⑥調査成果の公表について方針、⑦調査についての問題点、課題等、⑧今後の調査方針			
回収事例集　件（全体５９５件）	２９２件	１６２件	１１４件	２７件
回答に見られる特徴	調査の背景については、国立公園・貴重種の存在が際だち、調査にあたり参考としているマニュアル等については、「水と緑の渓流づくり調査マニュアル（案）」が多く挙げられる。４様式見ると、様式１をとおして、長期的な傾向を把握する調査が項目は程度では多いが、様式２では、今後の調査予定が無く、長期的な傾向を把握するまた様式３では、調査予定が読みとれる。			

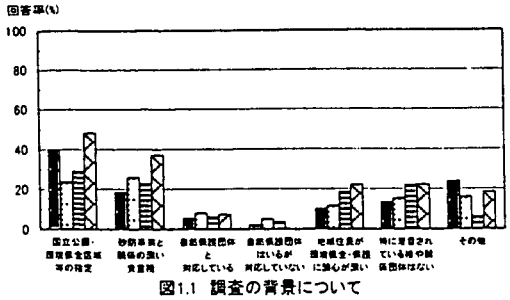


図1.1　調査の背景について

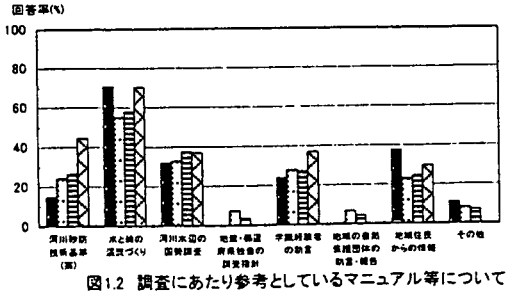


図1.2　調査にあたり参考としているマニュアル等について

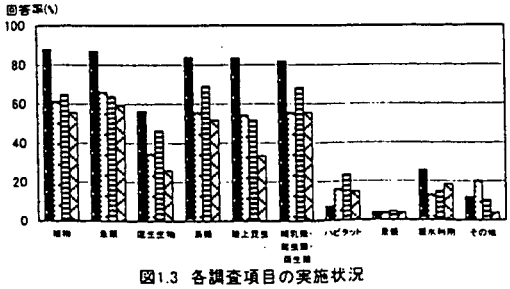


図1.3　各調査項目の実施状況

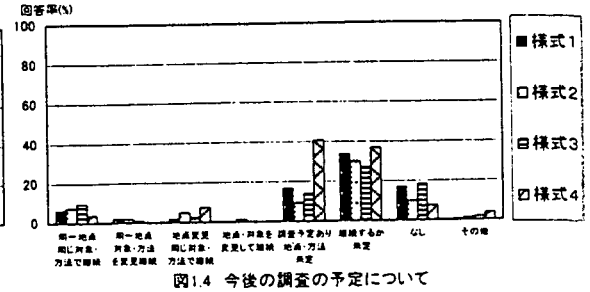


図1.4　今後の調査の予定について

3．現在の環境調査の問題点及び特徴

回答では、調査実施動機として以下の３つの特徴が見られた。

1)従来型

特定種（貴重種）の保護を目的としたもの、または、既存の環境関係の法指定（国立公園など）に基づくもので、自然環境の保全に対する砂防事業者の主体性を特に必要としない調査の実施を「従来型」と定義した。

2)近年型

特定種（貴重種）に限定せず、生息種、生息に関わる要素、景観等を地域住民や専門家らの助言を得ながら主体的に行う調査の実施を「近年型」と定義した。その地域に特別な環境特性はなくても、自然そのものに対する地域の関心が高いことが背景にある場合が多く、事業者側もたとえば「工事に伴う既存樹木の伐採は極力行わない」[1]「魚が最上流域まで遡上できる川づくり」[2]など具体的な環境方針を持っている。

3)上記1)、2)のいずれにも当てはまらない

特定種（貴重種）もなく環境関連の法指定もないなど、地域に特別な環境特性がなく、また、自然環境の保全ということに対して地域の要請も低く、事業者が環境に対する意志決定を行うための動機が弱い。

全体としては、環境調査そのものが土砂生産・流出に直結する性格を有さないために、砂防事業における環境調査の位置づけが明確でなく、環境調査を行う目的・方針を砂防事業者が特定しにくい現状があるようである。

4．今後の調査方針に関する提案

事業者側が明確な環境方針を持つことに加えて、今後の環境調査には以下のような改善を加えていくべきと考えられる。

1)調査項目・手法の見直し

生息種のリストアップに重点を置くのではなく、生息種の棲み場所（ハビタット）や相互関係も意識した調査を行う。

2)事業実施箇所への対応の強化

広域的な基礎データの収集とは別に、事業内容にフィードバックさせていくことを前提に、事業実施個所において目的を絞った（ここで言う目的とは、環境　方針への具体的な対応策である）継続的な調査を行う。

3)継続的な調査体制の維持

環境の変化の把握は、環境方針や対応手法の検討、見直しを行う際に必要な基礎資料となることから、継続的に調査を行うための体制づくりが必要である。

4)調査データの整理

調査結果を計画・設計・施工時、またその後の環境の変化の把握に活用するためには、地図情報として整理され管理（更新）されることが必要である。

5)調査データの公表

このような知的財産は検索しやすいように電子データ化し、誰でもアクセスできる形で情報を公開していくことが望まれるが、不法採取に対する生物保護の観点から「公表しない」ことを求められる場合も多いことが今回の調査で明らかになった。

5．主な研究成果物

・「自然と共生するために－砂防工事ガイドブック－」、平成１２年３月

（寺田、冨田、竹崎）

4.5　中小河川における天然河岸の保全手法に関する研究

研究期間：平11～平14
担当：河川環境研究室

【要旨】
近年都市化が進行した地域では、河川改修に伴い、土や岩などの天然材料で構成された河岸やそれに付随する河畔林が減少・消失している。これら天然河岸は河川周辺に生息・生育する生態系にとって重要な役割を果たしている。本研究は、天然河岸の持つ機能を明らかにすると共にその保全のための手法を研究・開発することを目的とする。
平成11年度は神奈川県を対象地域とし、地質図・地形分類図等既存の資料を用いて県内の地勢を整理し、空中写真を利用して天然河岸の分布を把握する方法を検討した。また、境川をケーススタディ河川として、天然河岸が残されている区間における地質・植生・生物種等を把握し、天然河岸の形状について分析を行った。

1．研究目的
天然河岸の環境機能および強度の把握及び天然河岸の保全手法の確立を図る。

2．研究結果
本年度は神奈川県の境川を対象にケーススタディを行った。

2．1　境川の概要
境川は津久井郡城山町付近に谷頭があるが、水源に山地を持たず、そのほとんどが相模野台地を刻む谷の中を流れて、相模湾に注ぐ。流路延長は約50kmの二級河川である。
境川は、相模原段丘から西方に転流する前の相模川の流路跡と考えられており、次の様な特徴を持つ。

- 直線的な縦断面形を持ち、勾配の変化がない
- 横断面形は函型で樋状を示す
- 谷地形の蛇行と流路の蛇行を見ると、流路の方が細かく曲がりくねっている。

一般に流量が大きいほど曲率半径，波長が大きいことから、谷は相模川がつくり、流路は境川がつくったものと考えられる。
境川の谷底は、上流部（橋本付近から上流）では礫層にまでは達せずテフラの部分にあるが、相模原駅東方付近から大和市南部までの区間では礫層頂面にほぼ一致し、そこから下流では礫層およびその下位の地層まで谷底が切り込むようになる。谷壁の比高は、相模原面をおおうテフラ層の厚さである16～18mに大略ひとしく、ちょうどテフラ層の分だけ谷が刻んでいることになる。つまり、縦断形が直線的になるという現象は、台地を構成する礫層にコントロールされているためと考えられる。一方、相模野台地をおおうテフラは、段丘礫層に比べれば、細粒でしかも軽い物質からできているので、流水によって浸食されやすい。加えて1回の噴火で堆積したテフラの厚さは薄いことから、境川の「谷」は、台地が流水で掘られてできた谷ではなく、まわりの台地がテフラの堆積で高まっていったために取り残された流路跡だと考えられている。[7)]

2．2　形態・材質・植生の調査
天然河岸が残されている境川上流において、天然河岸を含む河道全体を対象として平面ハビタット調査、代表断面における横断面調査、三次元地形調査を実施した。
ハビタットとは生物の生息場所を示す言葉であり、ハビタットの種類そして各ハビタットの形態、材質、植生の繁茂状態等がハビタットの特性を支配する重要な要素となる。平面調査では河道を水域と水際域に分け、ハビタットの種類や各ハビタットの材質等が平面的にどのように分布しているかを調査し、その特徴を

明確にすることとした。水域は流れと河岸、水際域は河岸と植生の状態を現地踏査により判読し、ハビタットマップとして整理した。横断面調査では、調査区間における代表断面を選定し、ここでの横断地形測量と天然河岸を構成する材料、植生が高さ別にどのように変化するかを調査し、その特徴を明確にすることとした。また、天然河岸に生育する樹木の樹齢と河道内の照度の測定を実施した。三次元地形調査は、天然河岸が有する形態的な特徴を立体的に把握するために実施した。調査区間は国道 16 号両国橋上下流で、調査区間長は 100～200m 程度である。

河床材料は砂礫、粘性土であり、平均粒径は 20～50mm 程度である。河床勾配は約 1/300 で水衝部が淵となり、淵への流入部と流出部が瀬になっている。水衝部は洗掘が進み、ケヤキ、エノキ、シラカシ等の根が露出している。

植生はケヤキ、エノキ、オニグルミなどを主体とする夏緑広葉樹林やシラカシを主体とする常緑広葉樹林、または、これらが混在した樹林であり、崖地上の急傾斜地から上端の平坦部にかけて生育している。河川幅は狭く、両岸に生育している高木によって覆われているために、崖面上や河川には植物は生育していない所が多い。陰湿立地を好むと思われるベニシダ、ヤブソテツ、クマワラビ、イヌワラビ、イノデなどのシダ植物や、ジャノヒゲ、ネコノメソウ、セキショウ、キヅタ、ユキノシタ、アオキ、ニリンソウ、カテンソウ、ドクダミ、コクサギ、ヤマブキ、テイカカズラ、セリバヒエンソウなどがやや土壌の積もったところに生育している。人工構造物上の隙間にはトラノオシダ、コバノヒノキシダ、ヤブソテツなどのシダ植物が生育している。相観から見ると、ケヤキ、チドリノキ、ケンポナシ、ヤマブキ、シュロ、イヌワラビ等の種が主な構造種となっているようで、暖湿帯の渓谷地に成立するケヤキ林の特徴を呈している。ケヤキ林は河岸の急傾斜地に成立する夏緑広葉樹林である。ケヤキの根張りは河岸の土砂流出を防ぐとともに早春～春の林床は落葉していて比較的明るい。このため春植物のイチリンソウ、アズマイチゲ、レンプクソウ、コイワザフラ、アマナ、ヒメニラ等の生育する立地としても重要であるといえる。

崖地の高さは 4.2～4.4m 程度であり、地層は大きく壌土、ローム、粘土に分けられる。基質はロームであり、火山灰により形成された河岸となっている。・壌土は基本的にはローム質であるが、黒ぼく状で落葉、草植物等の腐植が混じった壌土となっている。壌土の厚さは直線区間が 2.4m、蛇行区間で 1.3～1.7mの厚さである。水際に近い層は水分が多く、圧密され粘土質となっている。また、ローム層は砂礫混じりの互層となっており、境川の出水で形成されたものと考えられる。粒径は平均 10～30mm 程度である。

天然河岸の形態のさらに詳細な把握のため、調査地点において３Ｄレーザースキャナを利用して河岸形状を測定した。これは、回転するミラーからレーザービームを発することにより対象物をスキャンし、距離や角度位置を測定することで地形を三次元的に把握するものである。

以上の結果から、境川における天然河岸及びその周辺の自然環境の特徴をまとめると、次のようになる。

- 河岸は一部に礫が混じるが土主体であり、岩盤は見られない。そのため基本的に河岸は流水の浸食により形成されている。土壌の粘性が高いため河岸の傾斜は急であり、上部に樹木の根が存在して浸食が抑えられている部分ではオーバーハングの形状となっており、この河川の河岸形状の大きな特徴となっている。
- 河道内には瀬と淵が交互に存在し、湾曲部の内岸側には洲が、外岸側には淵が形成され、水域の生物の生息環境として多様なハビタットが存在する。水中の倒木の周囲に形成された淵も存在する。

植生は常緑または夏緑広葉樹林で、河道がこれらの樹木で覆われているため河岸上には植物が少なく湿性の植物が存在する。樹木のカバーにより河道内の照度は周辺と比較して非常に小さい。樹齢は大きいもので 50～60 年と推定され、樹木の根張りは河岸の土壌流出を防ぐ役割を果たしている。

（島谷、田中、萱場、皆川）

4.6　ダム湖における生物生息空間の整備技術の開発

研究期間：平10～平14年
担当：緑化生態研究室

【要旨】

本研究は、ダム湖の生物生息空間としての機能を向上させる技術開発を目的としている。12年度は、栃木県東荒川ダム湖畔の水位変動域に造成したビオトープ池の環境整備効果を調査した。設置した池に各種水生植物を植栽し、冬期の水没後翌年まで生残し生育するか調査した結果、コウホネ、ミクリなど15種の植物が、冬期の数ヶ月間水没する立地で生存し翌年生育可能であることが示された。設置標高を1m変えた2個所の池の結果を比較すると、水没時期が短く水没時の水深が浅い上側の池のほうが植物の生育が良好であったが、下側の池でも植物の生育は可能だった。しかし、両池でトンボ羽化殻数を調査したところ、上側の池の方には多数見られたのに対し、下側の池では少数しか発見されなかった。このことから、水没時期や水深などの条件の違いにより、植物の生育は可能であっても、動物の生息地としての機能は大きく異なる可能性があることが示唆された。

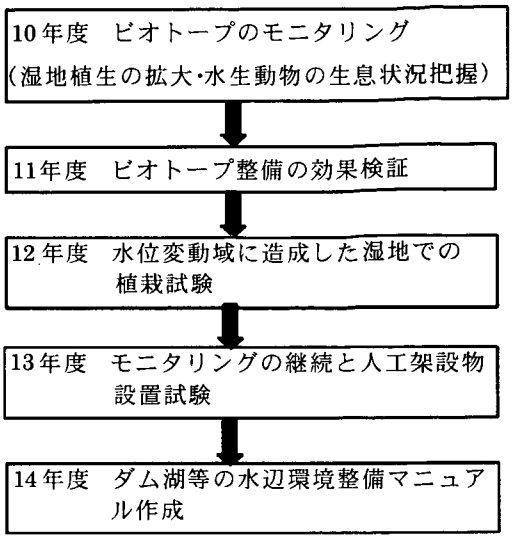


図1　研究のフロー

1．研究目的

自然湖沼に見られる湖岸の植生推移帯は、生物の多様性が高い地域であり、生物生息空間として貴重な場所であることが指摘されている1)。一方、日本の山地に建設されたダム湖の多くは、湖岸が急峻で水位変動が大きいため、湖岸に植生推移帯が発達しにくく、ダム湖の生物相を貧弱なものとしている。ダム湖は人工的な空間ではあるが、生物の生息空間が減少しつつある現在、ダム湖のような場所であっても、積極的な環境整備により生物生息空間としての質を高めていくことが重要であると考える。ダム湖の湖岸は、前述の理由から湿地植生が定着しにくく、自然湖沼と比較して単調な植生となる傾向がある2),3)4)。多くのダム湖では、水位変動のため植物の生育適期である夏期の湖岸は、冬期には完全に水没してしまう場合が多く、水位変動域の湖岸は冬期の水没と夏期の乾燥に曝されることとなる。このようなダム湖岸に湿地環境を創成するための手法として、湖岸堤を造成し水をためる手法5),6)や、池の造成（緩傾斜湖岸に穴を掘ってシート防水を施す）により水をためる手法7)が提案されている。しかし、湿地の植物が、冬期の水没に耐えて生育できるかどうかを研究した事例は少ない。また、動物がこのような環境に適応して生息できるか、どのような工法で整備を行うべきかについても、充分研究されていない。本研究は、こうした背景を踏まえ、ダム湖の湖岸に湿生植生帯を安定的に定着させるための手法として、水位変動域におけるビオトープ池の造成

表1　実験池と東荒川ダム湖の水質

測定場所	栃木県塩谷郡塩谷町東荒川ダム（那珂川水系東荒川上流）			
測定項目	A池（上池）夏季		ダム湖夏季	ダム湖冬季
水温（℃）	27.6	22.8	22.0	2.2
pH	7.7	7.9	8.5	7.2
BOD（mg/l）	1.8	1.1	1.1	1.0
COD（mg/l）	3.6	2.5	2.8	0.8
SS（mg/l）	2	1	1	1
大腸菌群数（MPN/100ml	1400	3300	4	33
溶存酸素DO（mg/l）	9.0	9.9	10.0	11.0
全窒素（mg/l）	0.17	0.2	0.24	0.27
全りん（mg/l）	0.012	0.008	0.017	0.016
濁度（度）	2	-	2	1
測定日	1999年8月11日	2000年8月21日	1997年7月7日	1998年1月20日

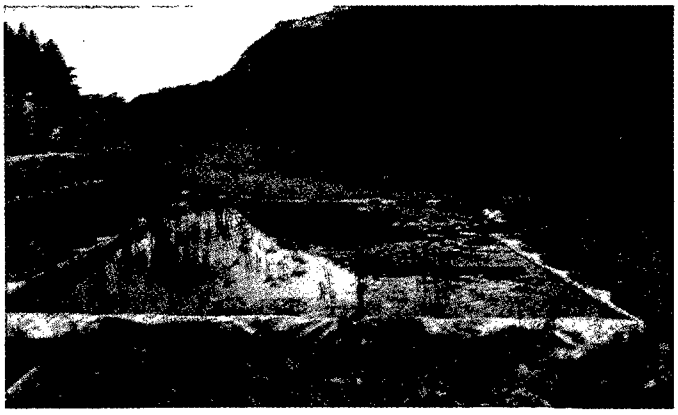


写真1　B池（下池）の様子。2000年8月撮影

に着目し、施工方法を検討したほか、実際に各種湿生植物を植栽して、動植物の生育・生息の可能性を検討したものである。

2．研究方法

2．1　調査地の概要とビオトープ池の造成

調査地とした東荒川ダムは、栃木県那珂川水系東荒川の上流部に位置しており、周囲に水質汚濁負荷源が少なく貧栄養的な水質を有する（表1）。平成11年3月に、ダムの水位変域にビオトープ池を設置した。池の概要を図1に示す。池は水位変動域に標高を1m変えて2個同じ大きさのものを造成した（以後上側の池をA池、下側の池をB池と呼ぶ）。各池は水深5cm、15cm、25cmの3段階の水深域を設け、それぞれの水深域を木製の板で0.75×0.8mの区画24個ずつに仕切った。したがって一つの池での区画数は合計72個となった。堤の部分は上下の池の湖岸側半分ずつを用いて土羽、板柵、フトンかご、ジオグリッドの4工法で造成した（図2）。土羽の傾斜勾配は1:2.0程度とした。板柵は、1～2mピッチに木製あるいはコンクリート等の杭（松丸太）を打設し、その間を横矢板（雑板）で抑えた。フトンかごは、鋼製のカゴに栗石等を詰めて積み上げたものである。ジオグリッドは、急傾斜盛土をするために開発されたポリエステル繊維の資材で、本実験では、ジオグリッドで土嚢を筒状に巻き込んだものを重力式擁壁状に積み上げた。

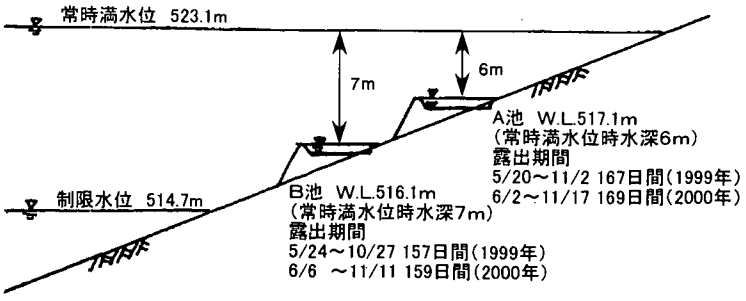


図1　実験池の配置

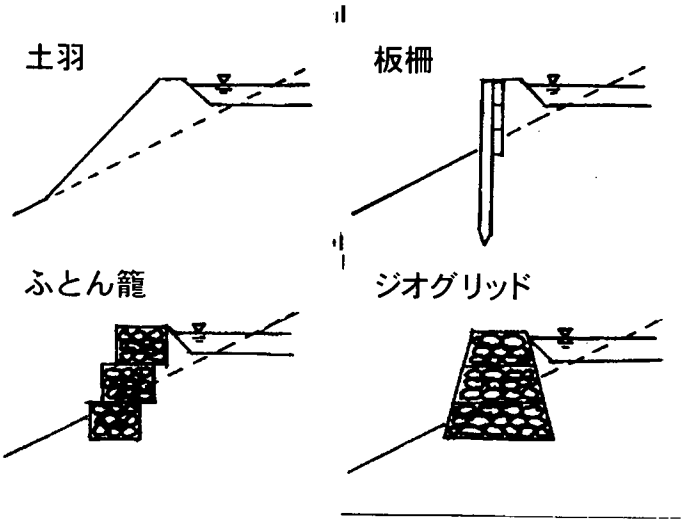


図2　堤の造成に用いた4種類の工法

池の防水には当初ベントナイト防水（ベントナイトが水と接触したときに膨潤する性質と覆土の重量を利用して防水する方法）を採用したが、施工後の夏に雨が多く防水性能を維持できなかったため、シート防水で再度施工した。

実験池には付近の常時満水位より高い位置に設置した別のビオトープ池からパイプで導水した。流入量は1999年5月31日現在で毎分14.85Lであった。池の水温をA・B池の中央付近の各2箇所で1999年8月18日から9月27日にかけてデータロガー（温度とり）で連続測定したほか、ダム管理者が計測したダム湖の水温と水質、池の水質のデータを入手した。

2．2　植物の植栽と生育状況の調査方法

1999年6月下旬に植物の植栽を行った。植栽

水深25cm		水深15cm		水深5cm	
ヒルムシロ	ヒツジグサ	ミクリ	コウホネ	クサレダマ	ワサビ
ジュンサイ	スイレン	コガマ	フトヒルムシロ	表土	ミソハギ
ガガブタ	表土	表土	ミツガシワ	ミクリ	ハナショウブ
イトモ	ナガエミクリ	ヒツジグサ	セキショウ	ミソハギ	ツルヨシ
スイレン	ヒルムシロ	ミツガシワ	ミクリ	ワサビ	キショウブ
ヒツジグサ	表土	コガマ	コウホネ	ミクリ	クサレダマ
ナガエミクリ	ジュンサイ	表土	フトヒルムシロ	ハナショウブ	ツルヨシ
スイレン	イトモ	ヒツジグサ	セキショウ	表土	ミソハギ
ガガブタ	ヒツジグサ	ミツガシワ	表土	キショウブ	ワサビ
ヒルムシロ	ガガブタ	コガマ	ヒツジクサ	クサレダマ	ミクリ
表土	ジュンサイ	フトヒロムシロ	ミクリ	ハナショウブ	表土
イトモ	ナガエミクリ	セキショウ	コウホネ	キショウブ	ツルヨシ
←ダム湖		対象区	対象区	対象区	対象区

A池（上池）とB池（下池）の区画と植栽植物は同じ配置になっている。
「表土」は植栽をせず、表土播き出しのみの区画。対照区は陸上に設置したコドラートで植栽は行っていない。
1区画に各4株づつ植栽した。

図3　実験池の調査区画と植栽した植物の配置

種の配置を図３に示した。植栽した種は近隣に自生する種は苗を採集、園芸種は購入し、ポット苗で養生後各区画に１種ずつ植栽した。1999年９月10日と、冬期の水没を一度経験した翌年の2000年８月17～18日に植物の生育状況を調査した。調査方法は、各コドラート毎に、植栽種とそれ以外の侵入種（もしあれば）各種の被度と高さを測定し、写真撮影を行った。

２．３　水生動物の調査方法

植生調査コドラート内の水生植物に付着しているトンボの羽化殻をコドラート毎にすべて採集し、持ち帰って種の同定と計測を行った。また、水面より目視によって確認された水生動物についても記録した。

３．研究結果

３．１　池の工法別の耐久性についての結果

実験区設置後１年間が経過した段階で、本実験で採用した工法の中で構造的に安定していたのは、フトンかごと板柵であった。土羽は波浪と流水による土砂の流出が見られた。ジオグリッド堰堤では、土嚢が水分を多く含み、天端が沈下した。シート防水は１年間では問題が生じなかった。

また、他の知見として、水没後池が水面上に出てきた時、流木が池に取り残されたほか、池の周囲にはシルト様の土砂が約1.5cm程堆積しているのが観察された。

３．２　植栽試験の結果

表２に両池の各試験区における、水没前と水没後の植物の生育計測の結果を示す。また、表３に水深別、標高別に、各種植物の生育状況をまとめた。生育状況は、植物が水没前まで生存したかどうか（消失の場合－で示した）、水没に耐えて翌年まで生存したかどうか（死亡した場合×）、生存したが生育は良くなかったか(○)、あるいは生存し良好な生育を示したかどうか（◎）、に分けて示した。

３．３　水生動物の調査結果

トンボの羽化殻は設置標高の高いＡ池で多数確認され、設置標高の低いＢ池ではごくわずかであった。羽化殻は同定の結果、すべてシオカラトンボ *Orthetrum albistylum* (Uhler)のものであった。（表４）。また、Ａ・Ｂ池共に、オイカワ *Zacco platypus* (Temminck et Sclegel)、トウヨシノボリ *Rhinogobius* sp. OR等の幼魚やサカマキガイ *Physa acuta* (Draparnaud)等の水生動物が目視によって多数確認された。

表2　植栽した植物の生育状況

A池(上池)		1999年9月の調査						2000年8月の調査			
	植栽種名	水深(cm)	生育株数	n	植被率(%)	n	高さ(cm)	n	植被率	n	高さ(cm)	n
	沈水植物											
1	イトモ	25		0	26.7	3	13.3	3		0		0
	浮葉植物											
2	ガガブタ	25		0	43.3	3	22.0	3	10.0	3	22.0	3
7	ジュンサイ	25		0	23.3	3	23.7	3	20.0	3	18.7	3
8	スイレン	25		0	76.7	3	17.7	3	86.7	3	31.0	3
13	ヒツジグサ	15	1.00	1	36.7	3	16.0	3	23.3	3	16.0	3
14	ヒツジグサ	25		0	46.7	3	19.3	3	21.7	3	21.7	3
15	ヒルムシロ	25		0	86.7	3	23.0	3	76.7	3	24.3	3
16	フトヒルムシロ	15		0	16.7	3	20.5	2	1.0	1	15.0	1
	抽水植物											
3	キショウブ	5	4.33	3	40.0	3	58.3	3	33.3	3	92.7	3
5	コウホネ	15	3.67	3	33.3	3	14.3	3	76.7	3	33.0	3
6	コガマ	15	5.67	3	33.3	3	51.7	3		0		0
10	ツルヨシ	5	4.00	3	26.7	3	33.3	3	3.0	2	18.5	2
11	ナガエミクリ	25	1.00	2	0.7	3	20.0	1		0		0
17	ミクリ	5	4.67	3	26.7	3	59.3	3	23.3	3	98.0	3
18	ミクリ	15	6.33	3	46.7	3	110.0	3	36.7	3	108.3	3
20	ミツガシワ	15	4.00	3	10.0	3	27.0	3	16.7	3	33.0	3
	湿生植物											
4	クサレダマ	5	4.00	3	23.3	3	28.3	3	5.0	3	43.0	3
9	セキショウ	15	3.67	3	23.3	3	40.0	3	3.7	3	35.0	3
12	ハナショウブ	5	4.00	3	23.3	3	50.0	3		0		0
19	ミソハギ	5	4.00	3	30.0	3	75.0	3	43.3	3	79.3	3
21	ワサビ	5	0.00	3	0.0	3		0		0		0
	その他											
22	表土	5		0	10.0	3		0		0		0
23	表土	15		0	2.3	3		0		0		0
24	表土	25		0	33.3	3		0		0		0
B池(下池)												
	沈水植物											
1	イトモ	25		0	36.7	3	7.7	3	10.0	3	6.7	3
	浮葉植物											
2	ガガブタ	25	4.00	3	11.7	3	26.7	3	2.3	3	24.3	3
7	ジュンサイ	25	4.33	3	11.7	3	25.7	3	21.7	3	25.3	3
8	スイレン	25	4.00	1	63.3	3	26.3	3	63.3	3	26.3	3
13	ヒツジグサ	15	3.67	3	8.3	3	19.7	3	13.3	3	16.7	3
14	ヒツジグサ	25	3.50	2	18.3	3	27.7	3	20.0	3	26.0	3
15	ヒルムシロ	25		0	20.0	3	26.3	3	83.3	3	30.7	3
16	フトヒルムシロ	15	3.67	3	2.3	3	13.3	3	1.0	1	5.0	1
	抽水植物											
3	キショウブ	5	5.67	3	6.7	3	63.7	3	15.0	3	67.0	3
5	コウホネ	15	4.00	3	16.7	3	19.7	3	23.3	3	20.7	3
6	コガマ	15	5.33	3	3.7	3	56.5	2		0		0
10	ツルヨシ	5	4.00	3	10.0	3	46.0	3	6.7	3	31.7	3
11	ナガエミクリ	25	2.67	3	0.7	3	11.0	2		0		0
17	ミクリ	5	8.67	3	13.3	3	76.0	3	5.0	2	51.5	2
18	ミクリ	15	8.33	3	8.3	3	82.7	3	5.0	3	68.7	3
20	ミツガシワ	15	4.33	3	5.0	3	43.0	2	10.0	3	32.0	3
	湿生植物											
4	クサレダマ	5	4.00	2	5.0	3	27.7	3	6.7	3	46.0	3
9	セキショウ	15	4.00	3	1.0	3	40.0	3	4.0	3	34.0	3
12	ハナショウブ	5	4.00	2	3.7	3	43.7	3		0		0
19	ミソハギ	5	4.00	3	7.5	2	77.3	3	26.7	3	58.7	3
21	ワサビ	5	0.00	3	0.0	3		0		0		0
	その他											
22	表土	5		0	2.3	3		0		0		0
23	表土	15		0	2.3	3	18.0	1		0		0
24	表土	25		0	1.0	3		0	1.0	1	4.0	1

4　考察

4．1　水位変動域でのビオトープ池造成に適した工法について

表-5に今回試用した各工法の比較検討結果を示す。ダムは環境圧が非常に厳しい場所なので、そこに設置する池はその環境に耐えうる構造にする必要がある。以下に水位変動域に池を設置する場合の留意点をあげる。1）ダムの水位が上昇したときに段差吸収壁の中で最もレベルが低い地点から集中的に水が池内に流入する。その部分が水流によって削り取られると、水深を確保することができなくなり、さらに集中的に水が流入するようになる。そのため天端の構造と高さの管理が重要である。2）段差吸収壁として最も適しているのがフトンかごであったことは、この方法が河川工法における護岸の構造として一般的に用いられていることからも妥当と考えられ、景観的な調和を考えると現地で算出される石材を用いるとより効果的である。3）施工中に集中豪雨があり、池が瞬時に水没し、多くの土砂と流木が堆積した。こられの流木は池の防水層を貫く恐れがあり、流入した土砂は水生植物を埋めてしまう可能性がある。実施設計段階において「流木や土砂を池内に流入させない対策」と「堆積した流木や土砂を撤去するための管理用通路の設置」等を検討する必要がある。

4．2　水位変動湖岸における植物の生育

かなり多くの種が、冬期の水没に耐えて生育可能であることがわかった。中でも、ヒルムシロ *Potamogeton distinctus* A.Benn.、ヒツジグサ *Nymphaea tetragona* Georgi、スイレン *Nymphaea* ssp. などの浮葉植物が良好な生育を示したほか、抽水植物ではミクリ *Sparganium erectum* Linnaeus の生育が良好であった。

表3　植栽試験の結果　◎は水没後平均植被率30%以上に生育。○は同じく30%未満。×は水没後死滅。－は水没前に死滅。

植栽種名	A池（上池）水深 5	15	25	B池（下池）水深 5	15	25
沈水植物						
イトモ			×			○
浮葉植物						
ガガブタ			○			○
ジュンサイ			○			○
スイレン			◎			◎
ヒツジグサ		○	○		○	◎
ヒルムシロ			◎			◎
フトヒルムシロ		○			○	
抽水植物						
キショウブ	◎			○		
コウホネ		◎			○	
コガマ		×			×	
ツルヨシ	○			○		
ナガエミクリ			×			×
ミクリ	○	○		○	○	
ミツガシワ		○			○	
湿生植物						
クサレダマ	○			○		
セキショウ		○			○	
ハナショウブ	×			×		
ミソハギ	◎			○		
ワサビ	－			－		
その他						
表土	－	－	－	－	－	－

表4　実験池で確認されたトンボの羽化殻の数

和名	学名	羽化殻数 A池	B池
シオカラトンボ	*Orthetrum albistylum* (Uhler)	58	3

調査年月日　2000年8月17日

4．3　水生動物の生息環境として見た、水位変動域ビオトープ池の特性

シオカラトンボの幼生期間は室内飼育した場合、最短で卵期7日、幼虫期55日であり、このことは産卵から約2ヶ月で羽化する能力があることを示している[8]。調査地では5月中旬には成熟個体が観察され、夏季には羽化直後の個体から成熟した個体に至るまで、さまざまな段階の成虫が同時に観察されることから、おそらく年2世代を経過していると考えられる。以上からA池とB池の羽化殻の数に大きな差が生じた理由として、いち早く陸上に姿を現し、池として成立する期間の長いA池では1世代目の成虫の産卵がより早く行われ、羽化に至るまでの成長期間が十分取れるのに対し、遅くまで水没した状態のB池では産卵も遅く十分な成長期間が取れないために羽化に至る個体数が少ないことが考えられる。また、調査地に隣接する東荒川ダム公園では22種のトンボ（表り、特に止水性の種を中心に沈む池にも飛来、産卵した可能性がある。しかし、その中でシオカラトンボのみが沈む池で繁殖した理由としては、年2世代を繰り返すことが可能であることに加え、水面に直接打水産卵を行うため、多くのトンボの産卵対象物である水生植物

表6　東荒川ダム公園で確認されたトンボ類　「和名」「学名」は1997年９月から2000年９月の間に確認された種を示す。「生息環境」の欄の●は、その種が生息する一般的な環境を示す。「生息環境」は文献９の記述を基に区分した。「確認ステージ」の「成虫」の欄の●は成虫が確認された種を示す。「確認ステージ」の「幼虫」の欄の●は公園内上池で幼虫が確認された種を示す。「産卵形態」は文献９の記述を基に最も一般的と思われるものに区分した。「産卵期」は文献９の記載と現地での観察を基に月区分で示した。

和名	学名	生息環境			確認ステージ		産卵形態	産卵期
		止水	湿地	流水	成虫	幼虫		
アキアカネ	*Sympetrum frequens* (Selys)	●			●	●	打水	9-11
オオアオイトトンボ	*Lestes temporalis* Selys	●			●	●	植物組織内	9-11
オオルリボシヤンマ	*Aeshna nigroflava* Martin	●			●	●	植物組織内	8-10
オゼイトトンボ	*Coenagrion terue* (Asahina)	●			●	●	植物組織内	6-7
クロスジギンヤンマ	*Anax nigrofasciatus* Oguma	●			●	●	植物組織内	5-6
シオカラトンボ	*Orthetrum albistylum* (Uhler)	●			●	●	打水	5-10
ショウジョウトンボ	*Crocothemis servilia* (Drury)	●			●	●	打水	6-8
ホソミオツネントンボ	*Indolestes peregrinus* (Ris)	●			●	●	植物組織内	4-6
マルタンヤンマ	*Anaciaeschna martini* (Selys)	●			●	●	植物組織内	7-8
ウスバキトンボ	*Pantala flaevescens* (Fabricius)	●			●		打水	7-10
キイトトンボ	*Ceriagrion melanurum* Selys	●			●		植物組織内	7-9
ギンヤンマ	*Anax parthenope* Brauer	●			●		植物組織内	6-10
ナツアカネ	*Sympetrum darwinianum* (Selys)	●			●		打空	8-11
ノシメトンボ	*Sympetrum infuscatum* (Selys)	●			●		打空	8-11
ヤブヤンマ	*Polycanthagyna melanictera* (Selys)	●			●		接泥	6-9
タカネトンボ	*Somatochlora uchidai* Foerster	●				●	打水	7-9
マユタテアカネ	*Sympetrum eroticum* (Selys)		●		●	●	打泥	8-11
ルリボシヤンマ	*Aeshna juncea* (Linnaeus)		●		●	●	植物組織内	8-10
シオヤトンボ	*Orthetrum japonicum* (Uhler)		●		●		打水	5-6
オニヤンマ	*Anotogaster sieboldii* Selys			●	●		抽泥	8-9
ハグロトンボ	*Calopteryx atrata* Selys			●	●		植物組織内	8-9
ミヤマアカネ	*Sympetrum pedemontanum* (Selys)			●	●		打水	8-10
確認種数		22	16	3	3	21	12	

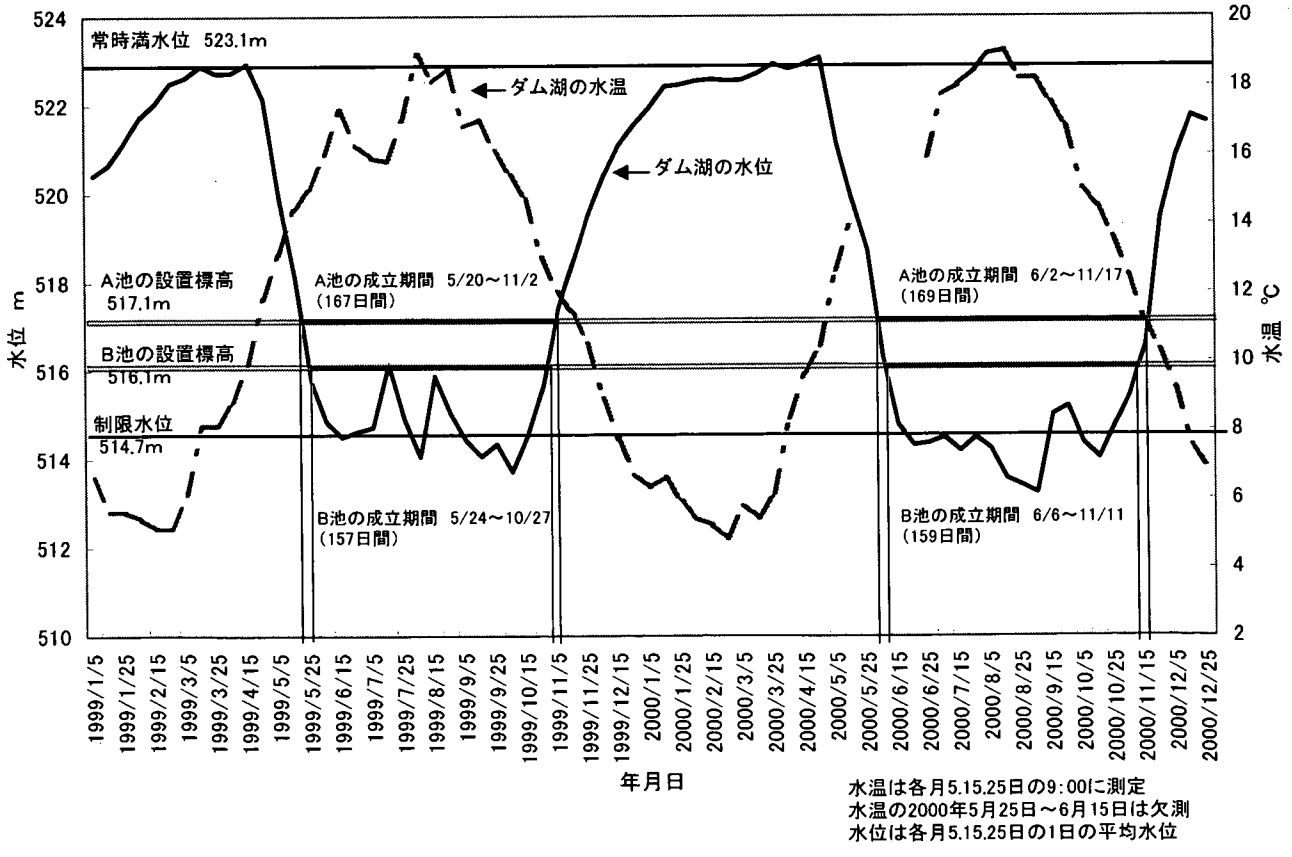


図４　東荒川ダム湖の水温と水位の年変動と実験池の成立期間

の生育を待たず、他種に先駆けて産卵可能であることと、止水域であれば広範な環境に生息可能であることが挙げられる[9]。さらに多くのトンボは幼虫または卵の状態で越冬し、１世代に１～数年を要する。越冬後の幼虫が活動を開始し、孵化の時期であると考えられる４月頃は最もダムの水位の高い時期にあたり、Ａ池で最大６ｍ、Ｂ池で最大７ｍの水深となる。また、水温も平均８℃前後と低いことから（図４）、これらの種の成長に大きな障害となっていると考えられ、このことが多くのトンボの繁殖地として機能しない原因になっていると推測される。

Ａ・Ｂ池共に確認されたオイカワ、トウヨシノボリ等の幼魚やサカマキガイ等の水生動物は、ダム湖に生息していたものが水位の低下と共に池に取り残されたものと考えられた。

栃木県那珂川水系ダム管理事務所には、ビオトープ池を造成していただいたほか、現地調査において便宜を図っていただいた。また、アジア航測㈱の太田望洋氏・土木研究所環境部緑化生態研究室（現所属：福井県雪対策建設技術研究所）の藤本政裕氏には現地調査を手伝っていただいた。応用生態学研究所の桜井善雄博士には、文献をご教示いただいた。ここに記して深くお礼申し上げる。

５．引用文献

1） 桜井善雄（1998） 続・水辺の生態学－再生への道をさぐる．新日本出版社，
2） 藤原宣夫・百瀬浩・田畑正敏・半田真理子・田中隆（1998）ダム湖におけるカモ類の行動と環境選択，環境システム研究，26：37-44
3） 舟久保敏・百瀬浩・木部直美・藤原宣夫（1998）鳥類の生息環境としてのダム湖の特性 —自然湖沼との比較—，環境システム研究，27：45-53
4） 井本郁子･藤原宣夫･三瀬章裕･大江栄三･麻生薫･北川淑子（1998）ダム湖における水位変動による水辺の環境区分と植物群落に関する研究，環境システム研究，26：623-633
5） 桜井善雄（1998） ダム湖における沿岸帯ビオトープの創造－御所ダム湖（岩手県）の事例から，日本陸水学会甲信越支部会報 第24号（第24回研究発表会講演要旨），47
6） Bayerisches Landesamt fur Wasserwirtschaft (1991)Stutzkraftstufe Landau a.d. Isar. Entwicklung der Pflanzen- und Tierwelt in den ersten 5 Jahren. Schriftenreihe des Bayer. Landesamtes fur Wasserwirtschaft Heft 24.
7） 日置佳之・須田真一・水谷義昭・大田望洋・裏戸秀幸(1999)ダム湖の水位変動域に造成した池に成立した池沼—湿地生態系，環境システム研究 27：477-487
8） 近畿のトンボ編集委員会編（1984）近畿のトンボ，関西トンボ談話会，奈良，162,166
9） 杉村光俊・石田昇三・小島圭三・石田勝義・青木典司（1999）原色日本トンボ幼虫・成虫大図鑑，北海道大学図

（藤原、武田、百瀬）

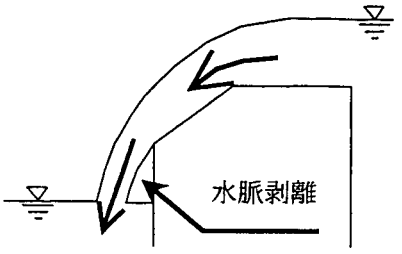
4.7　魚類の生息空間の保全・創出手法の開発

研究期間：平成10年～12年
担当：河川環境研究室

（要旨）
治水・利水を目的とした河川構造物による河川の分断化がおき、その対策として魚道が設置されている。その中で階段式魚道が最も実績があり、研究も多く行われている。階段式魚道はプール規模・流量変化により、プール内流況が大きく変化し、大きく2つに分けて、表面流(Plunging Flow)、落下流(Streaming Flow)状態を形成することが過去の研究で確認されている。一方、隔壁頂部形状の変化により、魚の遡上率に強い影響を受けることも確認されている。本研究ではウグイの遊泳行動と流況がこの隔壁頂部の形状（丸型・斜型45°・斜型30°）とプール規模（プール水深・プール延長）に関連していることを示した。

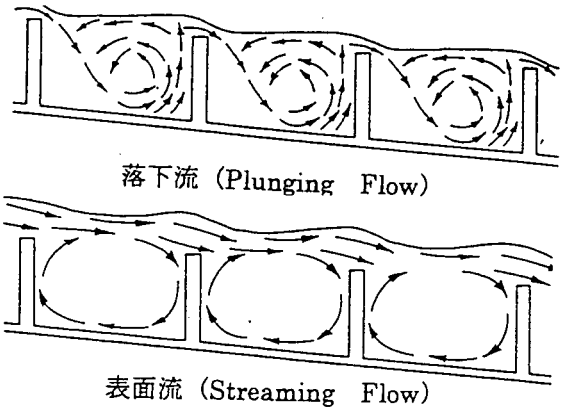
1. 研究目的

階段式魚道の設計上の注意事項として、①隔壁頂部における水脈が剥離せず安定する構造であること（図－1）②表面流が発生しないこと③隔壁頂部より突入する水脈の流速が、魚類の突進速度より大きくならないことなどが挙げられている。[1)～5)]



図－1　水脈の剥離

近年ではこれらの問題点を軽減させた隔壁形状として標準越流頂近似タイプが考案され、使用されている。しかし現状は、未だ様々なタイプの隔壁形状が用いられていることが多い。その中で隔壁頂部形状の変化により、魚の遡上率が大きく影響を受けることが過去の研究[6)]で確認されているが、魚類の遊泳行動と流況に関連付けて十分に研究されている訳ではない。



図－2　流況の状態

また、プール規模（形状）や隔壁頂部の形状、流量変化等の要因により、表面流(Plunging Flow)、落下流(Streaming Flow)のいずれかが魚道内に形成され[3) 4) 5) 7)]（図－2）、隔壁に沿って水が流下する落下流が、魚道として魚類の遡上にとって好ましい流況とされてきた。しかしながら、どのような要因により落下流が形成されるのか、そして、魚類の遡上にとって何故、落下流が好ましいのか、といった基礎的な研究[8) 9) 10)]は十分行われていない。

本研究では、以上を背景として、次の2点について実験を行い、階段式魚道の設計、評価手法の向上に資することを目的とした。

①階段式魚道のプール内流況、プール規模、隔壁頂部形状の関係を明瞭にする。

②魚道として好ましいとされる隔壁頂部形状により形成されるプール内流況とウグイの遊泳行動の関係を把握するとともに①で得られた流況に対する魚の遡上行動を考察する。

2. 実験方法

(1)実験施設及び測定方法

実験施設の概要を図－3、4に示した。施設は幅60cmの二次元水路に厚さ20cmの隔壁2個及び1つのプールからなり、プール延長（L）、プール水深（H）、隔壁形状を変化させることが出来る。隔壁間落差は10cm

で固定とした。測定は水路中央部の流速を 5～10cm メッシュで三次元流速計により計測した。

(2)実験内容

a)隔壁形状、プール規模、越流水深と流況特性との関係に関する実験

この実験は２つの実験シリーズより構成される。

①実験シリーズ１：越流水深、プール規模を変化させた実験

越流水深、プール規模とプール内流況の関係を把握するため、隔壁形状を準越流頂タイプ（以下丸型とする）に固定し、プール延長と水深を表－1、越流水深を表－2のように変化させ全２７ケースの実験を行った。越流水深は 5cm・10cm・15cm に変化させた。

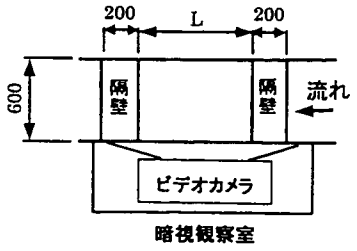
②実験シリーズ２：隔壁形状、プール延長、プール水深を変化させた実験

本シリーズでは隔壁形状、プール規模とプール内流況との関係を把握するため、越流水深を 10cm に固定し、隔壁形状を図－5、プール延長とプール水深を表－1 のように変化させて全２７ケースについて実験を行った。隔壁形状は丸型、45° タイプ(以下 45° とする)、30° タイプ(以下 30° とする)の種類である。

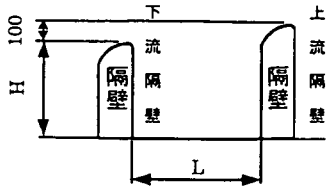
③実験シリーズ１及び２における条件の設定について

隔壁頂部形状が魚の遡上率に影響を及ぼすことは和田の研究 [6) 9)] で報告されている。本実験ではこの研究から遡上率が異なるとされる３タイプの形状を参考に選定し実験に用いた。

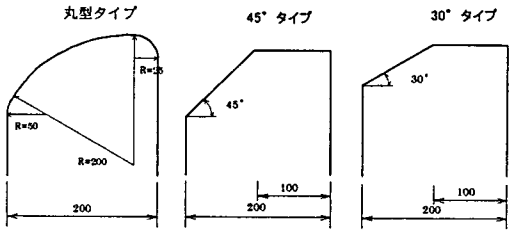
越流水深については、柏井ほか[3)]が水理的に落下流を形成しやすい隔壁形状として提案した、丸型の越流水脈を比較的安定させる 10cm と設定した。また、この水深は和田の実験[6)]で比較的遡上率の良好な水深でもある。本実験ではこれらの報告を鑑み 10cm の水深を基準とし、水深を±5cm 変化させた計３パターンの条件において実験を行った。



図－3 実験施設平面図（単位：mm）



図－4 プール部断面図（単位：mm）



図－5 隔壁形状（単位：mm）

表－1 実験ケース

プール延長 / プール水深	50cm	100cm	200cm
20cm	○	○	○
50cm	○	○	○
80cm	○	○	○

表－2 実験ケース（越流水深の変化）

隔壁形状 / 越流水深	丸型
5cm	○
10cm	○
15cm	○

表－3 実験条件

供試体の平均体重	20.5ｇ
供試体の平均体長	11.4ｃｍ
実験時刻	15時～19時
水温	25～30℃
実験時の照度	曇り 0～4500lx
	晴れ 0～25000lx

b)ウグイの遊泳行動に関する実験(隔壁形状:丸型、越流水深:10cm、表－1 の 9 ケース)

ウグイの遊泳行動を把握するため、それぞれプール内にウグイを各ケース 15 尾程度放流し、遊泳行動を観察した。実験条件は表－3に示す。観察時間は和田の実験等による日周期行動報告[2)]から活動ピークをはさむ 15～19 時とした。遊泳行動の観察は目視、ビデオカメラで行った。

水路側面に魚類の遊泳行動が観察できるよう暗視観察室及び観察窓を設けた。魚の遊泳行動を把握するため、観察窓には 10cm 間隔メッシュを施した。

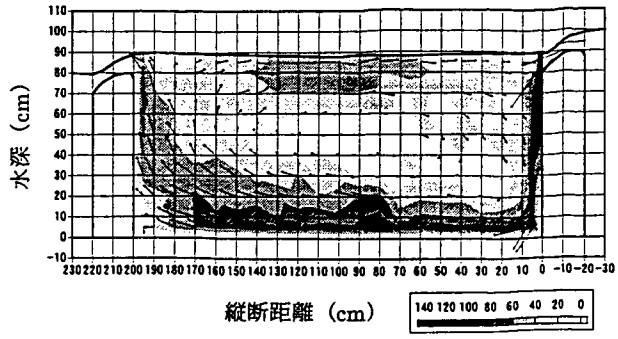
3. 実験結果及び考察

(1)隔壁形状、プール延長及び水深、越流水深と流況特性との関係に関する実験結果

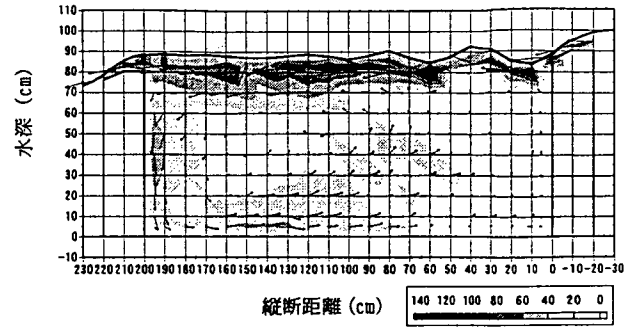
a)流況の分類

本実験結果は、３つの流況に分類することができる。図6～8はプール形状・越流水深を固定、隔壁形状のみの変化により、代表的な３つの流況が確認されたケースである。

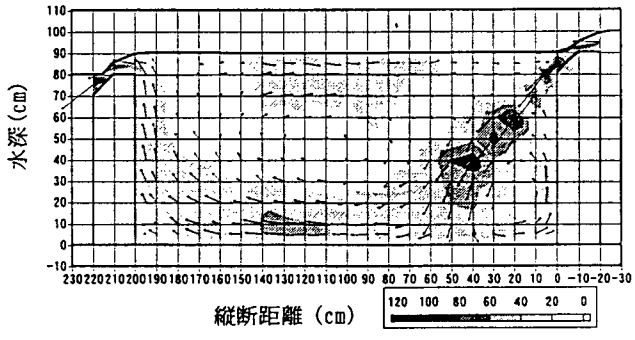
流況パターン1(図－6　以下、落下流と呼ぶ)：隔壁頂部からの水脈が上流隔壁、プール底面、下流隔壁に沿って流下し、プール内で時計回りの流れを形成する。



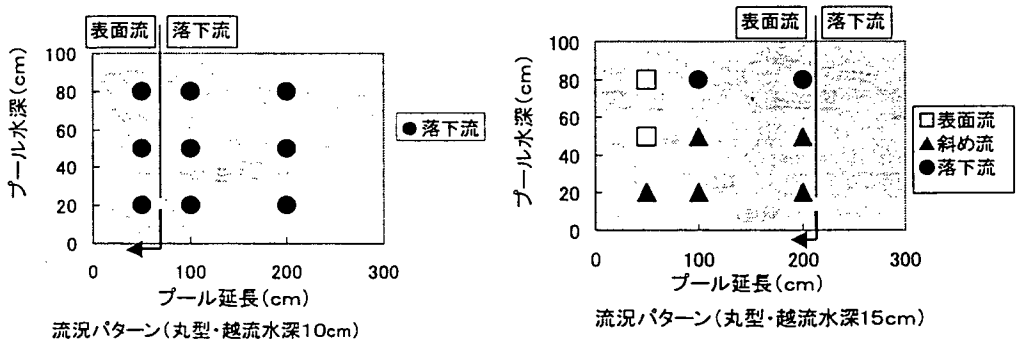
図—6　流速コンター図.(落下流)



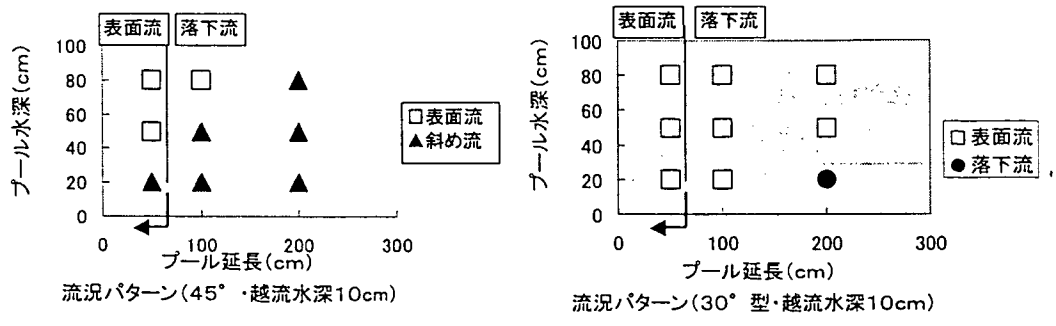
図－7　流速コンター図（表面流）



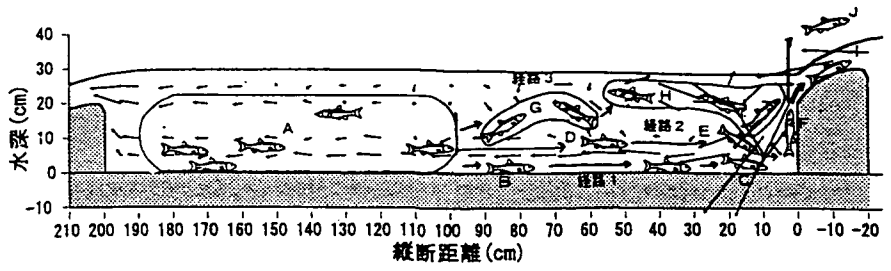
図－8　流速コンター図（斜め流）



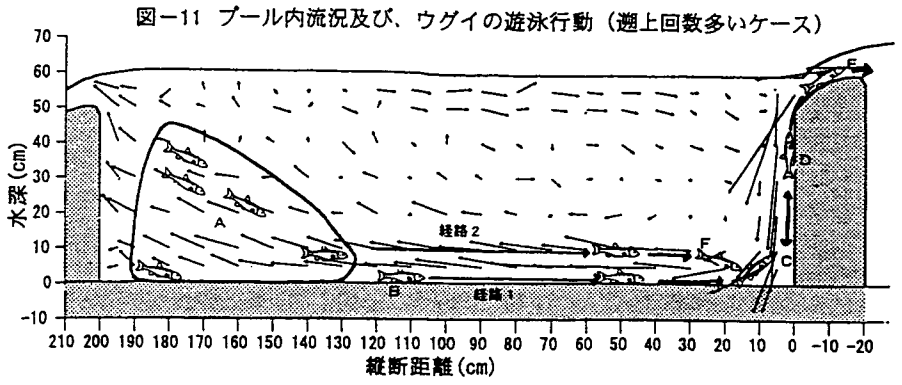
図－9　プール規模に対する流況パターン（越流水深別）
（図中の線は（B）式の結果を示す。）



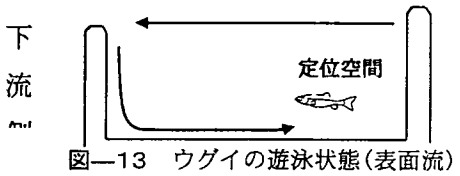
図－10　プール規模に対する流況パターン（隔壁形状別）
（図中の線は（B）式の結果を示す。）



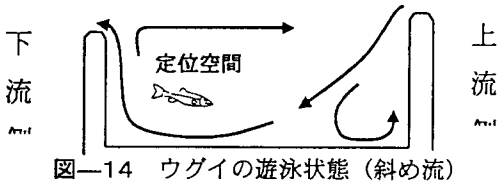
図－11 プール内流況及び、ウグイの遊泳行動（遡上回数多いケース）



図－12 プール内流況及び、ウグイの遊泳行動（遡上回数少ないケース）



図—13 ウグイの遊泳状態（表面流）



図—14 ウグイの遊泳状態（斜め流）

流況パターンⅡ（図－7 以下、表面流と呼ぶ）：隔壁頂部からの水脈がプール表面を走ってプール内に反時計回りの流れを形成する。

流況パターンⅢ（図－8 以下、斜め流と呼ぶ）：隔壁頂部からの水脈が越流水脈が隔壁背面に沿って鉛直下方に流下せず、プール内に流下する流れを形成する。水脈の上側には時計周りの流れが形成され、下側には反時計周りの流れが形成される。

b)各流況の発生状況

図－9、10は縦軸にプール水深、横軸にプール延長として、実験結果をａ）で分類した落下流・表面流・斜め流をプロットしたものである。

実験シリーズ１の結果を図－9に示す。越流水深 5cm・10cm では全ケースとも落下流となり 5cm のケースを省略した。越流水深 15cm では斜め流が５ケース、落下流が２ケース、表面流が２ケースとなった。これらから流況はプール延長だけでなく、越流水深にも支配されていることがわかる。

実験シリーズ２の結果を図－10に示す。隔壁形状が 45° の場合斜め流が６ケース、表面流が３ケースに、隔壁形状が 30° の場合落下流が１ケース、表面流が８ケースになり、プール内流況が隔壁形状により大きく影響を受けることがわかる。

落下流及び表面流の発生する遷移状態は Rajaratnam ほか[8] により、以下の（A）式が与えられている。

$$C_b = Q / (b S L^{3/2} \sqrt{g}) = 0.22 \sim 0.31 \quad (A) \qquad (平均的には 0.25)$$

ここに、C_b: 実験で得られた定数（無次元流量）、Q:流量（m^3/s）、g:重力加速度、S:勾配（$\Delta h/L$）、b:水路幅、L:プール長、Δh:隔壁間落差

（A）式は、次の関係で示すことができる。

$$L = Q^2 / (C_b b \sqrt{g} \Delta h)^2 \qquad (B)$$

（B）式に本実験条件である隔壁間落差Δh=10cm、水路幅 b=60cm、流量 Q=0.012m^3/s（越流水深 5cm）0.037 m^3/s（越流水深 10cm）0.087m^3/s（越流水深 15cm）、また C_b を平均的な値の 0.25 として、それぞれを代入すると、プール長 L が求められる。

図－9の左図は約 60cm 以上で落下流、以下で表面流が発生し、右図ではプール延長 200cm 以上で落下流、以

下で落下流になることを示している。
図－10はプール延長が約 60cm 以上で落下流、以下で表面流になることを示している。
本実験は２つの隔壁からなるプールという最も単純な構造で行ったが、本来の魚道ではプールが連続しているため、この水面形の乱れは下流に伝播し助長され表面流になりやすいと考えられる。
このように、従来魚道を設計する際、簡便に用いられる計算式の結果と異なり、隔壁頂部の形状に大きく影響を受けることがわかった。

(2)実験内容b)における遊泳行動の結果

ここでは、遡上回数が比較的多いケース（以下、多いケースとする）と比較的少ないケース（以下、少ないケースとする）の２ケースを示す。

a)多いケースのプール内流況及び、ウグイの遊泳特性(図－11)

①流況

上流隔壁、底面に沿って流れるが、プール中間で減勢し、プール下手半分では穏やかな一様流が形成された

②遊泳行動

Ａで群をなし自由遊泳した。以下の３つの経路をたどり遡上した。

経路1 ＡからＢに移動した個体は底面に腹部を付けるようにＣへ移動した。Ｃで頭部を下降流に押され姿勢を崩し、定位したままＡまで流下した。

経路2 底面より 10cm 程度の中層ＡからをＤ、Ｅへ移動し隔壁沿いの下降流に遭遇した。流れに頭部を向け定位し隔壁沿いを遡上した。頭部を下降流に押され姿勢を崩し遡上に失敗、流下することがあった。

経路3 表層～中層Ｇで循環流に定位しながら後退した個体は、Ｈで下降流に尾部を押されるように頭部を流れに向け、隔壁沿いに遡上を試みた。流れに押し戻され遡上に失敗、流下するケースがあった。

③まとめ

上流部の流れは乱れるがプール底部に越流水脈が水叩き状態となり減勢し、遡上しやすくなり遡上回数が多くなっていると考えられる。

b)少ないケースのプール内の流況及び、ウグイの遊泳特性(図－12)

①流況

上流隔壁沿い、底面沿いの流れは途中で減勢され、プール上手～中間に循環流、下手には比較的一様な流れが下流隔壁に向かって形成された。

②遊泳行動

Ａで群れをなし定位した。以下の２つの経路をたどり遡上を試みた。

経路1 ＡからＢに移動した個体は底面に腹部をつけるように短時間でＣまで移動しようとした。多くの個体は遊泳速度が低下し、定位したままＡまで後退、又は流下し、遡上に失敗した。

経路2 底面より 10～20cm 程度上層をＡからＦへ速い速度で移動した。Ｆで下降流に遭遇すると頭部を流れに向け定位し、隔壁に沿ってＤ，Ｅと遡上した。

③まとめ

強い下降流が生じ，中層に比較的一様な流れが形成できず遊泳空間が出来ずウグイの遡上回数が少なくなっていると考えられる。

以上のように典型的なパターンを例に挙げた。階段式魚道のプール内におけるウグイの行動特性を以下にまとめる。

定位：プール内の中底層で、流速がある程度遅い（60cm/s 程度以下）空間に定位する。循環流の規模が大きい場合、循環流の内側に分布する流向・流速が一様でない低流速空間をウグイは利用せず、流向が比較的一

様な空間に定位する。

遡上経路：ウグイは、上記定位空間から遡上を開始し、上流隔壁背面沿いの水脈（以下、下降流とする）に進入し隔壁沿いに遡上する。

遡上に失敗するパターン：２タイプの失敗パターンが見られた。

Ⅰ：遡上経路における下降流から底面流への突然の流向の変化する空間において、頭を流れに向けることが出来ない場合。

Ⅱ：局所的な上昇流，下降流といった乱れによって遊泳力が一瞬低下し、姿勢が崩され押し戻される場合。

このように、ウグイはプール規模の変化による、異なった流況に順応し遊泳行動（定位、経路）をとると考えられる。

参考までに、表面流状態（図－7）、斜め流状態（図－8）のプール内におけるウグイの遊泳行動を観察した。

表面流でのウグイはプール中央から上流隔壁にかけての中底層部に定位した（図－13）。そのウグイの姿勢は下流を向き、その定位空間から遡上行動を起こした。ウグイは頭部を流れに向けながら下流隔壁側へ移動し、下流隔壁沿いの下降流に突入した。しかし、ウグイは流向が一様でない下流隔壁頂部付近で流向の突然の変化に対応出来ず姿勢を崩し、再び元の定位空間に移動し定位した。このウグイの下流方向へ向かう行動は、本来川の上流へと魚が遡上する行動とは正反対の向きである。ウグイはプール全体の流れが把握できない状態にあり、逆方向へ遡上行動を起こしたものと考えられる。

斜め流でのウグイは落下流の場合と同じくプール中央から上流隔壁にかけての中底層に定位した（図－14）。ウグイは姿勢が上流を向き、その定位空間から遡上行動を起こした。頭部を流れに向けながら上流側へ移動したウグイは、①プール底面付近の水脈の変化点で姿勢を崩し、元の定位空間に移動し定位する個体と②そのまま上流隔壁付近に到達し、水脈下側の逆流域空間に取り込まれ、鉛直下向きや下流側向きの姿勢で遊泳する個体が見られた。

このように流況の変化に伴い、ウグイはプール全体の流れが把握出来ない状態にあると考えられ、遊泳行動は大きく変化した。今後、階段式魚道だけではなく、様々なタイプの魚道での“流況と魚の遊泳行動の関係”を把握することは重要である。

4. 結論

本研究で得られた結果を以下のように要約する

（１）落下流と表面流の形成条件は、流量、プール水深、プール延長以外に、隔壁形状にも影響する。

（２）プール内流況は現場で設計上簡便に使用されている計算式の結果と大きく異なり、隔壁頂部の形状に影響を受ける。

（３）隔壁形状が丸型の場合、45°、30°と比べ落下流が発生しやすい。

（４）魚道内の流況の変化により魚類の行動特性が大きく異なる。

本研究は、階段式魚道のプール内における流況測定を中心に行った。今回の実験で得られたデータを基に、プール内での魚類の遊泳行動を、今後研究する予定である。

5. 主な研究成果物

・林田寿文、本田隆秀、萱場祐一、島谷幸宏：階段式魚道における落下流と表面流の発生特性とウグイの遊泳行動、環境システム研究論文集、ｐｐ３３３～３３８、２０００年１０月

・本田隆秀、林田寿文、傳田正利、萱場祐一、島谷幸宏、効率的な魚道開発に関する基礎研究、投稿中

4.8　水域のネットワーク保全手法に関する研究

研究期間：平 10～平 13
担当：河川環境研究室

【要旨】
12 年度は出水にともなう、水域ネットワークの形成時に、魚類がどのように水域ネットワークを移動するかを把握するための調査を行った。12 年度の 6 月、9 月の出水時に、信濃川水系千曲川のワンド群において出水時魚類調査を行った。魚類調査は土研式定置網、投網を用いた直接魚類採捕調査を行った。その結果、魚類は水域のネットワーク形成とともに、新たに出来た出水時流路や閉鎖されていたワンド等へ移動しているのが確認された。また、移動した魚類の各個体は十分な産卵可能性を持っているのが確認された。

1．研究目的

大規模な河川改修、捕縄整備等が行われる以前は、春～秋の灌漑期に河川と水田の間に形成される灌漑用水路網等の水域ネットワークは、魚類の産卵場、産卵場への移動経路として利用されていたと言われている。しかし、高度経済成長期の大規模な河川改修、捕縄整備時に作られた取水堰や床固工等の横断模構造物等により水域ネットワークは分断され、水域ネットワークに依存して産卵行動を行っていた魚類の産卵行動が近年阻害されているといわれている。

しかし、実際の直轄河川のような大河川において、水域ネットワークが形成時に魚類がどのように移動し、そのときの状態、行動について調査された事例は少ない。

このような背景から、本課題においては、魚類が出水時にどのように移動し、水域ネットワークが形成時に魚類がどのように移動し、そのときの状態、特に産卵可能性について調査を行ったものである。

2．研究方法

本課題では、信濃川水系千曲川のワンド群（直轄区間 96km～98km）を水田等の氾濫原環境とし、出水時の水域ネットワークが形成時に直接魚類採捕調査を行った。

2．1　梅雨出水時の直接魚類採捕調査

平成 12 年 6 月の梅雨前線出水時に本川とワンド群の間に形成される流路内に土研式定置網を設置し、出水中に移動する魚類の直接採捕調査を行った。

2．2　台風出水時の直接魚類採捕

平成 12 年 9 月の台風出水時に本川とワンド群の間に形成される流路内を投網による直接採捕を行い、出水中に移動する魚類の直接採捕調査を行った。調査状況をに示す。



写真―1　出水時のワンド調査

3．研究結果

3．1　梅雨出水時の直接魚類採捕調査

梅雨出水時、本川とタマリの間に出来た流路で採捕した魚類の生殖腺発達状況を表-1 に示す。魚類の生殖

腺発達状況の評価にはGI値（gonad index）を用いた。GI値とは（生殖せん重量×100）/体重で算出され生殖腺の発達状況を示す指標で、採捕時の産卵可能性を概略的に把握することができる。

ワンド4、ワンド8へ出来た流路、両地点で採捕したギンブナ、ナマズともに十分な産卵可能性が確認された。また、ワンド4ではウグイ、オイカワ、ワンド8では、カマツカのGI値が高く、産卵可能性があると考えられる。このことから考えると、出水により本川とワンドの間にできた流路を移動する魚類には、産卵する可能性が高い個体が含まれることが推測される。出水により出来た流路がなくなり、移動してきた魚類がワンド内へ取り残された場合、ワンド内で産卵場に適した環境を探し、ワンド内で産卵する可能性があり、本川のほかにもワンド・タマリを産卵場として利用する可能性が示唆された。

表—1 採捕魚類の生殖腺発達状況

種　名	ﾜﾝﾄﾞ4	ﾜﾝﾄﾞ8
ｱﾌﾞﾗﾊﾔ	0.22	0.5777273
ｳｸﾞｲ	5.6075	0.09
ｵｲｶﾜ	2.35	1.53
ｷﾞﾝﾌﾞﾅ	18.496	6.382
ﾀﾓﾛｺ	0.79	0
ﾅﾏｽﾞ	6.8675	0
ﾓﾂｺﾞ	0.075	0.11
ｶﾏﾂｶ	0	5.11

3．2　台風出水時の直接魚類採捕調査結果

表—2に平成12年9月における、出水前、出水中（本川とタマリの間に出来た流路で採捕）、出水後の魚類採捕調査結果を示す。出水中にできた本川とワンドの間の流路では、ウグイ、オイカワ、ギンブナ、ニゴイの個体数が多く、また、採捕個体の平均体長も大きいのが確認された。この結果から推測すると出水中には、本川から魚類が一時的に出水中にできた本川とワンドの間の流路に1時的に魚類が移動し、出水の流量の減少とともに本川へ移動する可能性があると考えられる。ワンドを一時的な空間として利用していることが推察できる。

以上のようなことから魚類は出水等のイベントを利用して本川とのワンドの間を移動し、産卵場、避難場としてワンドを利用していることが推察される。

表—2　採捕魚類の生殖腺発達状況

魚種	出水前	出水中	出水後	総計
アカザ	0	0	3	3
アブラハヤ	0	7	4	11
アユ	0	2	0	2
ウグイ	1	58	2	61
ウナギ	1	0	0	1
オイカワ	2	124	3	129
カマツカ	0	6	2	8
ギンブナ	18	38	1	57
タモロコ	0	6	1	7
ドジョウ	0	1	0	1
ナマズ	0	1	0	1
ニゴイ	0	67	10	77
ビワヒガイ	0	1	0	1
モツゴ	1	14	1	16
総計	23	325	27	375

4．主な研究成果物

・傳田正利, 島谷幸宏，平成12年度応用生態工学研究会，第4回研究発表会講演集, pp29-pp31

（島谷幸宏、傳田正利）

4.9　自然共生実験施設を用いた河川の自然環境の保全に関する基礎調査

研究期間：平 10～平 14
担当：河川環境研究室

【要旨】
本調査では、自然共生実験施設を用いて、河川の自然環境を保全する際に必要となる、河川の形状及びそれに伴う流れと生物との関係を明らかにする。平成１２年度は、単調な環境の河川を復元する手段として河道を大規模に変更しないマイナーレストレーションの手法を提案し、自然共生研究センターの実験河川に復元工法を実施してその効果を検証した。
魚類調査を行った結果、復元工法実施区間は実施前に比べて現存量が 5～10 倍になるとともに魚種数も増えており、環境の多様化が生物の生息状況を改善することが確認された。今後は流砂の実験等を通して、川の浸食・堆積作用による効果を把握する必要がある。

１．研究目的

中小河川改修は河道の大幅な変更を伴うため、直線化による流れの単調化・拡幅による水深減少・周辺との連続性遮断など、河川の自然環境に直接的な影響を与えやすい。このようなインパクトを軽減する手法として、蛇行や旧河道の復元のといった大規模な手法（メジャーレストレーション）とともに、河道内微地形をコントロールする小規模な手法（マイナーレストレーション）が考えられる。本研究では後者の手法について、自然共生実験施設を用いて復元技術の提案及びその効果の検証を行う。

２．研究方法

本研究で扱う復元手法の基本的な考え方は次の通りである。①河川自らの力で微地形を形成・維持する手助けをする、②そのため、工法は骨格のみをつくり、最終形は流水・流砂・植生の相互作用で形成する、③微地形の形成には水理学の知見を最大限生かす、④現状の河川スペースの大規模な変更を伴わない、⑤治水機能に対して影響が小さい。
自然共生研究センター実験河川Ｂ・Ｃの自然河岸形成ゾーン（延長 100m、勾配 1/800）は、他の区間に比べ川幅が３倍広く直線状であるため、水深が浅く流れも一様で単調な区間である。この区間に、望ましいと考えられる川の姿を図１のように想定し、自然作用によりこれが形成・維持されるよう図２のように構造物を配置する。

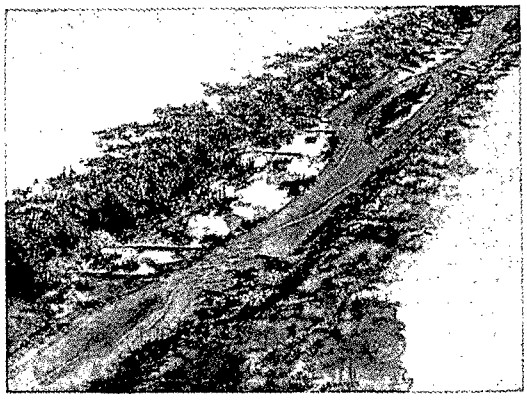


図１　復元後のイメージ

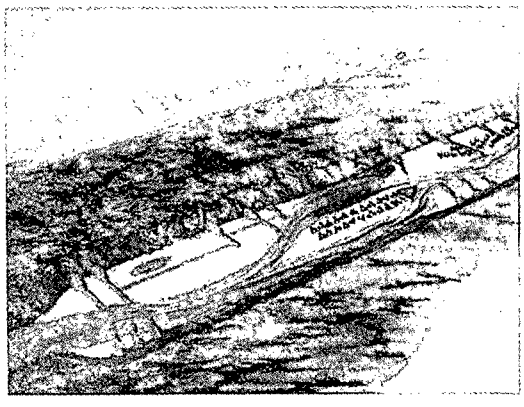


図２　構造物の配置計画

工法の基本原理となる川の自然作用は、①堆積作用の促進、②侵食作用の促進、③流れのコントロール、

④堆積の抑制に分けられる。これらの作用を生かす工法として、木杭（透過型水制）、ベーン工、デフレクター（不透過水制）、丸太工、早瀬工等の構造物を配置した。

3．研究結果

実験河川では現在のところ土砂を流下させる実験を実施していないため、堆積に関する検討を行うことはできない。しかしながら上記のような復元工法の構造物を設置することにより、流水環境が変化し、生物の生息状況にも変化を与えている。ここでは、構造物を設置する前(H11)と後(H12)の魚類調査の結果を通して、その効果を検証する。

魚類調査は実験河川B・Cの自然河岸形成ゾーン内で設置前は2区間、設置後は4区間で実施した。延長15m、川幅6mの区間の上下流端を網で仕切り、電気ショッカー2分間程度の採捕を3回繰り返した。また、調査区間の水深及び流速を2mメッシュで測定した。調査区間B1は流れを集中させるデフレクターと淵を形成した区間、B2はベーン工による淵・杭水制・デフレクターを設置した区間、C1はデフレクター・杭水制があるが他と比較して深みが少ない区間、C2は丸太工の淵と早瀬工がある区間である。

図3に採捕魚類個体数を示す。採捕個体数、湿重量の平均値はいずれの区間においても設置前に比べ、設置後は5～10倍になっており、有意水準5%で有意差ありと判定された。ただし、実験河川上流の蛇行部に瀬と淵が形成されているハビタット研究ゾーンと比べると小さな値となっている。

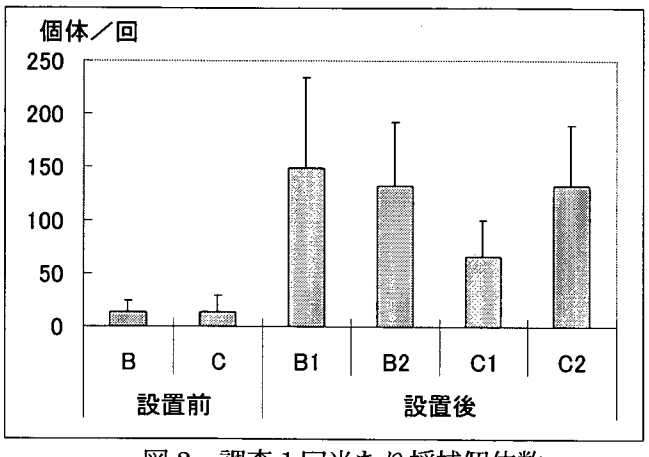


図3　調査1回当たり採捕個体数

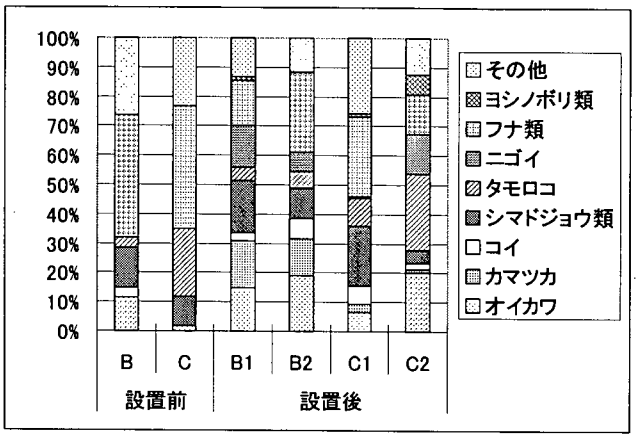


図4　採捕魚類の種構成

採捕魚種の種構成を図4に示す。設置前はフナ類、タモロコ、シマドジョウ類で70%を占めていたが、設置後は種構成が多様になっている。B1、B2ではオイカワ、ニゴイ、カマツカなどが見られるようになり、C1は、設置前とよく似た魚種構成比を示すがシマドジョウが多いのが特徴である。C2は唯一、早瀬工を設置した区間で他の区間と異なりタモロコ、オイカワの構成比が高く、ヨシノボリも比較的多い。水深・流速測定結果によれば設置前に比べて設置後は値が広く分散しており、多様な環境が創出されたことが伺われる。

4　まとめ

以上、中小河川におけるマイナーレストレーションの効果を自然共生実験施設において復元工法を実施することによりある程度把握することができた。実験河川では現在のところ給砂を行っておらず、今回の結果は流速と水深の多様化に限定された効果である。今後、土砂との相互作用も考慮することにより、自然作用を活用した手法はさらに効果を発揮する可能性があると考えられる。

（島谷、萱場、田中）

4.10　変動を加味した正常流量に関する基礎調査

研究期間：平9～平14
担当：河川環境研究室

【要旨】
本研究は、変動を加味した正常流量に関する基礎的知見を得ることを目的としている。12年度は、出水の役割を明らかにするため、自然共生研究センターおいて、流量を一定とする河川と定期的に出水（最大流量1.5m³/s）を与える河川を設定し、両者の比較した。付着藻類の現存量においては有意な差は認められなかった。底生動物においては、淵において種構成が異なっていた。魚類においては、シマドジョウの現存量に差異が生じていた。これらの差異は、出水を起こした河川に細流土砂が堆積したことが要因として考えられた。植物では、水際植生、主にアメリカセンダングサの生育状況に違いが見られた。これは、種子分散及び実生の定着の違いによるものと考えられた。今回の出水は規模が小さいものであったため、水域では土砂の堆積が卓越し、掃流効果は低かったことが推測される。今後、出水の規模や継続時間を再検討した上で、流量変動の有無による生物への影響を明らかにしていく予定である。

1．目的

近年、河川生態系や水質の保全の観点から、「流量変動方式」の流量管理の考え方が必要となってきている。しかしながら、河川の流量変動が生態系や水質への寄与や意義や、河川流量・河道・生物の相互関係は明白ではない。本研究では流量変動が生態系に果たしている役割を定量的に明らかにすることにより、今後の河川流量管理に資することを目的とする。12年度は、定量化へ向けての第一段階として、常に流量を一定に与える河川と１週間～１ヶ月に一度出水を与える河川を設定し、これらの違いが、水質、生物にどう影響を及ぼすかを定性的・定量的に把握することを目的とする。なお、ここでは、生物への影響について記述する。

2．方法

自然共生研究センター実験河川において、流量を一定とする河川（実験河川Ｂ）と定期的に出水（最大流量1.5m³/s）を与える河川（実験河川Ｃ）を設定し、両者を比較することにより、出水の役割をみる。調査期間は、通水を開始した平成12年3月～12月とし、付着藻類、底生動物、魚類、植生について調査した。両河川の基底流量は、3月～10月は0.1m³/s、11～12月は0.05m³/sとし、実験河川Ｃのみに、1週間～１ヶ月に一度の頻度で出水を与えた。出水規模は0.3～1.5m³/sでﾋﾟｰｸ継続時間60～120minである（図-1）。なお、出水の与え方については、当該地域の過去の降雨量及び取水河川である新境川の流量を考慮し設定した。しかし、2000年9月11日-12日に生じた東海豪雨により、実験河川天端から20～70cm冠水し、実験がリセットされたこと、計画では出水ピーク流量を最大3m³/s流下させる予定であったが、河岸植生や沈水植物の繁茂による水位の上昇により、最大1.5m³/sの流量しか与えられなかったことを付記しておく。

3．結果

（1）付着藻類

付着藻類の現存量の評価はChl-a量、質の評価にはフェオフィチン率%=（フェオフィチン(μg/m²)／クロロフィルａ（μg/m²）＋フェオフィチン(μg/m²)×100)、有機物率%=（有機物量(g/m²)／乾燥重量(g/m²)）×100を用いて把握した。ハビタット研究ゾーン（河床勾配；

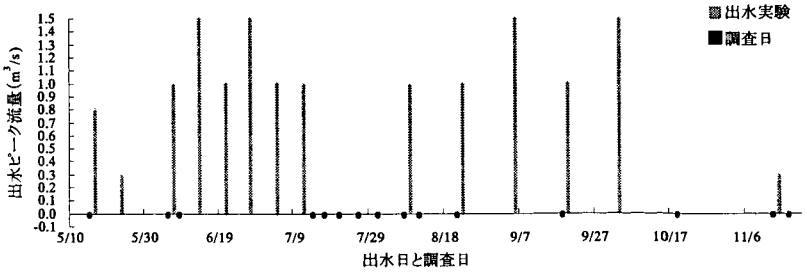


図-1　出水日及び出水規模

1/300~400）における Chl.a、フェオフィチン率及び有機物率において明瞭な違いはみられなかった。B と C 間で差について、河川と調査日の組み合わせによる一元配置分散分析を行った結果、ハビタット研究ゾーンでは、B と C で、現存量及び質ともに有意な差は得られなかった。また、冠水頻度ゾーン（河床勾配；1/800）では、7月と8月に Chl-a 量と強熱減量で有意な差が認められたが、これは中流部における沈水植物の繁茂状況の差異による影響と考えられ、流量変動の有無による効果ではないと考えられた。今回の出水は規模や継続時間が小さく、付着藻類の現存量、質に十分な役割を果たしていないことが推察された。

（2）底生動物

実験河川で確認された底生動物は 40 分類群であり、採集方法による確認分類群数の違いから、水際や石表面に生息する種が多く、砂泥中に棲む種は少ないことが分かった。各河川上流部と中流部で採集したデータから、分類群数は水深が大きい淵のデータを含む上流部よりも全般に浅い中流部の方が有意に多かったが、河川間の流量変動の有無による個体数・湿重量の差異は見られなかった。

優占種についてみると、石表面では遊泳型から造網型へという一般的な遷移の傾向が見られ、流量変動の有無による河川間の違いは認められない。砂泥中では、流量変動のある実験河川Ｃではイトミミズ科が優占し続けるのに対し、流量変動のない実験河川Ｂではかわってトビケラ目が多くなり、Ｃではマシジミも徐々に増加する。流量変動の有無により底質の粒度組成に差異が生じ、それが遷移の違いとなった可能性がある。

（3）魚類

実験河川で確認された魚介類は 27 種であり、昨年より 5 種増加した。個体数は8月から9月にかけて急激に増加しており、平成 12 年 9 月の東海豪雨で実験河川全体が冠水したことにより大量の魚介類が実験河川に流入したことが伺われる。河川別の種数はほとんど差がないが、実験河川Ａの冬期の減少が著しい。個体数・湿重量についても、実験河川ＡとＢ・Ｃの差異は大きいが、流量変動の有無によるＢとＣの差異はほとんど認められなかった。

優占種について魚種ごとに湿重量を用いて比較すると、砂泥質を好むシマドジョウ類で実験河川Ｃの方が湿重量が大きかったが、その他の種についてはオイカワ、タモロコが一部の区間で有意な差を示した以外は河川間の有意な差は認められなかった。流量変動が実験河川の底質に差異をもたらした可能性がある。

（4）植物

実験河川ＢとＣではほぼ同数の植物群が確認された。植生の占有面積を比較すると、流量変動のない実験河川Ｂではアメリカセンダングサが優占した。特に水際部のｱﾒﾘｶｾﾝﾀﾞﾝｸﾞｻの植生高は、Ｂの方がＣよりも高く、種子分散及び実生の定着の違いによるものと考えられた。

4．まとめ

以上、12 年度の結果の概略を示した。全体を通じてみると、流量変動の有無による河川間の明瞭な差異は認められなかったが、一部の底生動物や魚類の結果から砂泥の堆積という面で流量変動の影響が示唆された。これは、出水規模が小さく、水域では土砂の堆積が卓越し、掃流効果が低く、実験河川ＢとＣの生物相に明瞭な差異をもたらすにはいたらなかったことが示唆される。なお、詳細については、成果（1）を参照して頂きたい。13 年度は実験河川に 2 年以上通水を継続させるとともに出水の規模や継続時間を再検討した上で、流量変動の有無による生物への影響を明らかにしていく予定である。

5．主な研究成果

(1) 自然共生研究センター：平成 12 年度　自然共生究センター報告書（案）、2001.
(2) 皆川朋子・清水高男・島谷幸宏：流量変動が生物に及ぼす影響に関する実験的検討、河川技術に関する論文集、Vol.6、2000.
(3) 島谷幸宏：河川における正常流量設定手法に関する近年の動向と課題－動植物の保全を中心に－、河川技術に関する論文集、Vol.6、2000.

（島谷幸宏、皆川朋子、田中伸治）

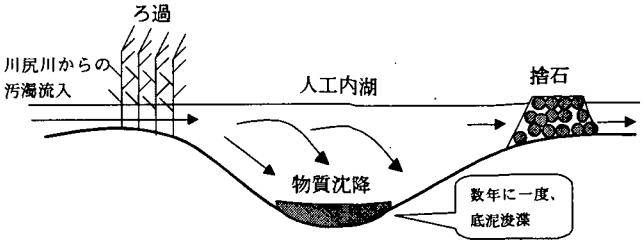
4.11　浮島による湖沼の自然回復と水質浄化に関する研究

研究期間：平9～平12担当

河川環境研究室

【要旨】

本研究は、人工浮島などを用いて湖沼の自然回復と水質浄化を同時に成し遂げることを目的としている。12年度は、霞ヶ浦に流入する川尻川の河口に浅い閉鎖性水域である人工内湖を設置し、湖内に流入する面源負荷の除去効果について調査した．その結果，年間流入負荷量に対する年間堆積量の割合は，SS（浮遊物質）：191%，窒素：19%，リン：83%となった．ただし，堆積物には河川からの流入物だけでなく，湖内から流入したものも多く含まれると推定される．



1．研究目的

湖岸植生帯の復元と流入支川の面源負荷の削減を目的として、霞ヶ浦に流入する川尻川河口に人工内湖（表－1）と名づけた閉鎖性水域を設置し、その効果を検討している。12 年度は堆積した底泥量を明らかにし，その効果を検証した．

表－1　人工内湖の諸元

	沈殿ピット（深場）	一般沈殿域（浅場）
対象水量 max	6 m³/s（出水時）	6 m³/s
滞留時間	0.5 hr	1.0 hr
水深	2.0 m	0.5-1.0 m
容量	10,800 m³	21,600 m³
面積	7,350 m³	約 21,600 m²
幅	平均 45 m	平均 296 m
長さ	165 m	70~165 m

2．調査方法

2．1　人工内湖の構造

人工内湖の構造は、出水時のピーク流量を 6 ㎥/s（70㎜ の降雨に相当）と設定し、全リンの除去率を 50%程度になるように設計した（図－1）。河口の沈殿ピット（水深 2m）と一般沈殿池（水深 0.50 m-1.0 m）から構成される。沈殿ピットは数年に 1 回堆積した汚泥を除去することを前提としており、後段の一般沈殿地は、細粒分を除去するとともに霞ヶ浦で減少著しい浮葉植物や沈水植物の復元の場となることを期待している。

2．2　人工内湖堆積量調査方法

人工内湖に堆積した懸濁物量をあきらかにするために，人工内湖の地形測量を実施した．測量は沈殿ピットで横断方向に 2 測線，縦断方向に 1 側線行ない，一般沈殿域は 10 m 毎に 35 測線測量した．また，測量実施地点において透明アクリル管（φ=50 ㎜）を用いて，目視により人工内湖が完成した後の堆積泥厚を測定した．

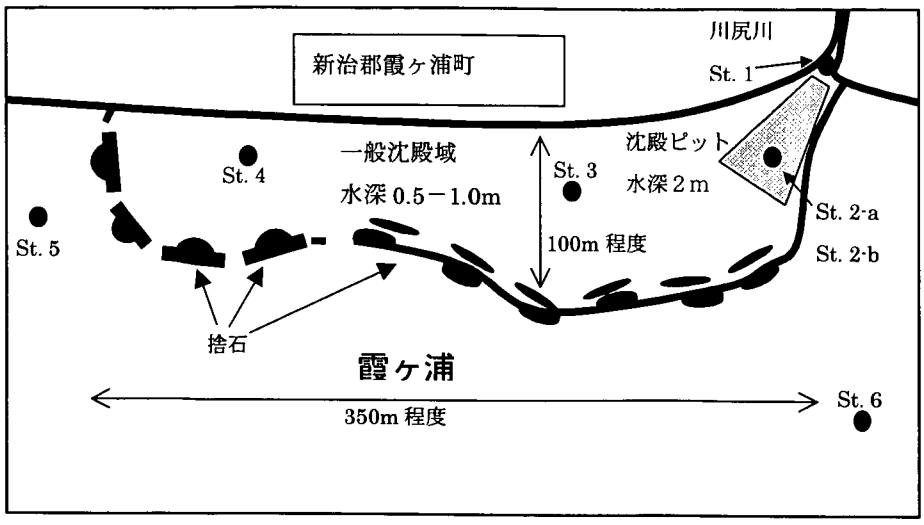
2．3　流入負荷量の推定方法

人工内湖における年間の流入負荷量と人工内湖堆積量調査による堆積状況の結果より，人工内湖の年間負荷削減効果について検討してみる．まず，実際の平常時，出水時の実測水位と実測流量より H-Q 式を求めた．自動測定の水位結果ををこの H-Q 式に当てはめ毎時流量を求め，これより日平均流量を求めた．これに土浦降水量を代入し，日平均流量を得た．これらより検討期間中の年間流量は，1,440,000 ㎥ となった．一方，平常時及び出水時の水質調査と日平均流量の関係より日平均流量と負荷量の関係式 L-Q 式をもとめる．これより，日平均負荷量を

算出し，検討期間における流入量を推定した．

3．研究結果

堆積量は以下のように推定した．底泥調査の結果より，堆積は主に沈殿ピットで発生していると考える．そこでアクリル管を用いた泥厚の測定結果より，沈殿ピットに堆積している汚泥量は 870 m^3 と計算された．汚泥量と含水比，堆積土土粒子密度，水密度などより堆積汚泥質量は 170×10^3 kg となる．これに，底質調査の結果得られた汚泥含有量の平均値を乗ずることにより，TOC，T-N，T-P の堆積量が計算される．表－２に年間流入負荷量，堆積負荷量，そこから計算される除去率を示す．これより，人工内湖の沈殿ピットには流入量の約 2 倍 SS が堆積しており，リンに関しても流入量の 83％にあたるリンが堆積していることが分かる．最も保存性が高いと考えられる SS が流入量の倍近く堆積したことは興味深い結果である．この原因としては，1)一般沈殿池にもともと堆積していた堆積物が巻上げによって，再浮上し沈殿ピットに堆積した．2)人工内湖の開口部を通じて湖内に流入した SS が堆積した．3)出水時の湖水位が高い時に流入した湖水の SS 分が堆積した．4)内部生産による植物プランクトンの堆積，などが挙げられる．この汚泥堆積量を人工内湖の面積当たりにすると 5,900 g/m^2/y となり，これは霞ヶ浦における底泥堆積速度の 7～10 倍である．リンに関しては堆積物が河川由来とは限らないが，川尻川の 1 年間の流入量に匹敵する量を堆積できたことは本施設の大きな成果と言える．窒素の除去率が低いのは沈殿ピットにおいて脱窒が起こっており，見かけ上低くなったものと考えられる．脱窒によって，流入負荷の 20％が除去されている事例も報告されている．



図－１　人工内湖模式図及び調査地点

表－２ 年間流入負荷量，堆積量，除去率

	流入負荷量(kg/年)	堆積負荷量(kg/年)	除去率(%)
SS	89,000	170,000	191
TOC	12,000	3,800	32
T-N	3,800	730	19
PT-N	740	-	-
T-P	480	400	83
PT-P	140	-	-

4．主な研究成果物

・中村圭吾，島谷幸宏（1999)：人工浮島の機能と技術の現状，土木技術資料，Vol.41，NO.7，pp. 26-31.
・中村圭吾，門倉信行，宗像義之，島谷幸宏，宇多高明（1999)：消波浮島による湖岸植生帯の復元に関する研究，環境システム研究-全文審査部門論文-，Vol. 27，pp.305-314.
・K. Nakamura, N. Sakai, H. Sakamoto, N. Kadokura et al(1999): Restoration of Lake Shore Vegetation by the Artificial Floating Island (AFI), Lake99.
・中村圭吾，森川敏成，島谷幸宏（2000)：河口に設置した人工内湖による汚濁負荷制御，環境システム研究論文集，Vol. 28，pp.115-123.

（島谷、中村）

社会資本整備におけるCO_2削減に関する研究

5．社会資本整備におけるCO2削減に関する研究

研究期間：平成 11 ～ 14 年度
プロジェクトリーダー：生態保全技術研究官
佐合純造

1．研究の背景：

平成 9 年 12 月の地球温暖化防止京都会議において日本の地球温暖化ガスの排出削減目標は 6%とされた。温暖化ガスの主体は CO_2 で最終消費ﾍﾞｰｽの発生量は産業、民生、運輸部門の順に多い。国土交通省の関連では、道路やダムなどの建設時において使用するセメント等の資材や建設機械等の稼働から直接的・間接的に CO_2 が発生するとともに、道路の供用時に運輸部門の自動車交通から発生し、その合計量は日本全体の総排出量の約 30 %を占めている。一方、各種事業よって植栽された緑化植物により CO_2 は吸収される。

以上の背景から、建設分野においても COP3 の削減目標の達成のために CO_2 発生量削減・吸収対策を積極的に推進することが求められている。

2．研究の目的：

①建設段階における CO_2 の発生量の効率的削減を図るための CO_2 発生量の少ないエコセメントの活用技術の開発
②道路交通から発生する CO_2 を削減するための各種施策の効果のシナリオ別推算と評価
③戦略的環境影響評価（以下「SEA」）の制度化に向けて、その評価項目、評価指標、予測手法の検討
④緑地の CO_2 吸収量の算定評価と管理手法の提案
⑤社会資本整備・管理・利用段階における CO_2 ガス発生量を把握・評価し、発生量のより少ない事業展開を可能にする支援システムの開発とシナリオ別の削減量の算定

3．これまでの研究成果：

①省エネルギー利用技術の開発

1）都市ごみ焼却灰、下水汚泥等を主原料とした環境負荷低減型セメント（エコセメント）の土木構造物用コンクリートや土質改良用固化材への適用性を検討した。その結果、塩化物イオン量が 0.1 %以下に低減された普通形エコセメントを用い、生コンクリートやコンクリート製品への適用を想定した各種試験、現場施工試験等をを実施し、普通ポルトランドセメントを使用したコンクリートとほぼ同等の性状を有することが判明した。しかし、普通形エコセメント単独では土質改良材として不適であると判断された。

2）セメントの一部を高炉スラグ、フライアッシュ等の混和材で置換した省エネルギー型セメントのダム用コンクリートへの利用を可能性を検討した。混和材として高炉スラグ微粉末 8000、フライアッシュⅣ種（以下それぞれ「BF」「FA Ⅳ」という。）を用いて、所要の圧縮強度を満足する置換率の単位セメント量について比較・検討した。その結果、3 日材齢強度を満足する配合において、BF 置換率=75%、FA Ⅳ置換率=30%のときにそれぞれ単位セメント量が最小となり、CO_2 総排出量が、BF 置換では約 48%、FA Ⅳ置換では約 2%削減できる可能性があることがわかった。

②低 CO_2 型交通体系の研究

省エネ法による燃費改善及び低公害車導入による自動車からの CO_2 排出量の推移の将来予測を行った。その結果、2010 年度末の燃費改善による CO_2 削減効果は、対策なしと比較して約 5.7%と推計された。また、自動車をすべて電気自動車化した理想的条件では、対策なしと比較して約 58%の削減効果と推定された。しかし、これらの効果は自動車走行台キロの伸びで減殺されるため、現在より CO_2 排出量を削減するためには、低公害車の導入だけでなく他の施策との組合せが必要であるという結果が得られた。

③戦略的アセスメントに関する研究

戦略的環境影響評価（以下「SEA」）を日本に導入する場合の課題や問題点を明らかにするため、諸外国の制度と事例を調査・整理した。また道路整備 5 箇年計画（以下「五計」）に対してSEAを実施する場合を想定して、評価項目、評価指標、予測方法の検討を行った。その結果、欧州ではSEA指令案が現在調印手続中で2001年中に終了する見込みであり、加盟国は同指令発効後3年以内に制度化の予定となっている。また、アメリカでは国家環境政策法だけでなく主要投資調査により主要交通施設について早期の段

階での環境評価を実施していることが分かった。また、五計にSEAを実施し、CO2排出量を評価指標とした場合、今回提案した予測方法による推計値は実績値とおおむね対応がとれており、予測方法が概ね妥当であることを確認した。

④吸収源対策の技術開発・推進

1）シラカシ、クスノキ、マテバシイの常緑樹3樹種を対象に、樹木の形状寸法（樹高、胸高直径）と累積 CO_2 固定量との間の相関式を作成した。その結果、胸高直径と累積 CO_2 固定量とは、高い相関が得られた。また、前年度に実施した落葉樹3樹種（ケヤキ、イチョウ、プラタナス）のデータも含めた場合でも高い相関が得られ、常緑樹と落葉樹の差異は認められなかった。

2）街路樹管理により発生する剪定枝の全国総量を把握するため、剪定枝発生実測調査やアンケート調査から街路樹総本数を把握することにより、剪定枝総発生量を試算した。

⑤社会資本整備における発生 CO_2 最小化支援システムの構築

1）下水道システムの環境負荷低減策や下水道による環境負荷と環境改善効果の比較検討等に「ライフサイクルアセスメント(LCA)」を用いる際に必要となる環境負荷原単位や負荷量算定手法を検討した。また、下水道システムの計画、建設、管理段階における LCA の目的とそれに応じた入出力データの種類・精度の検討、各インベントリー要素の寄与率・感度分析をもとに、インベントリーモデル作成手法の提案を行った。

2）土木事業におけるライフサイクル別排出 CO_2 原単位のうち、材料別原単位及び事業別原単位について具体的な作成方法を提案すると共に、本作成方法に基づいた原単位の算出を行った。また、建設機械について前年度に策定した排出量原単位算定手法の信頼性と適応性を確認するため、クラスの異なるバックホウ及びブルドーザ等の建設機械主要4機種１０事例について検証し、算定手法が妥当である結果を得た。

3）大気汚染等の低減に資する施策のうち、走行パターンを的確に反映した自動車の排出ガス量推計モデルの検討を行った。具体的には、走行パターンの変化を反映させるため、加減速を考慮した排出ガス量推計モデルを提案し、シャシダイナモ試験から得られた時系列データを用いてパラメータ設定、モデルの精度検討などを行った。

4）都市における緑地総量の把握や緑地の活力度評価、CO_2 固定量算定などの調査解析に人工衛星データの活用手法の活用を目的として、練馬区内のケーススタディーエリア及び練馬区全域を対象に高分解能人工衛星 IKONOS 画像より緑地を抽出し、その精度を検証した。また、スペクトル特性の相違による常緑・落葉の区別、C O_2 固定量の算出等、IKONOS および LANDSAT 画像等人工衛星データの多目的活用手法の検討を行った。

－社会資本整備における CO_2 削減に関する研究－

個別研究課題目次

5.1　都市型総合廃棄物を原料とした環境負荷低減型セメントの建設事業への適用技術に関する研究……（化学研究室）…160

5.2　省エネルギー型セメントを用いたダム用コンクリートの利用技術に関する調査……（ダム構造研究室）…162

5.3　低公害大型車等の導入が都市交通環境に与える影響に関する調査……（交通環境研究室）…164

5.4　戦略的環境アセスメントに関する研究……（交通環境研究室）…166

5.5　都市内緑地による温室効果ガス削減に関する検討その他……（緑化生態研究室）…168

5.6　下水道システムのＬＣＡに用いる原単位に関する調査……（汚泥研究室）…170

5.7.1　建設事業におけるCO_2算定評価システムの開発に関する研究……（機械研究室）…172

5.7.2　建設事業におけるCO_2算定評価システムの開発に関する研究……（化学研究室）…174

5.8　大気汚染等の低減技術の評価に関する調査……（交通環境研究室）…176

5.9　都市緑地調査における人工衛星技術の活用に関する研究……（緑化生態研究室）…178

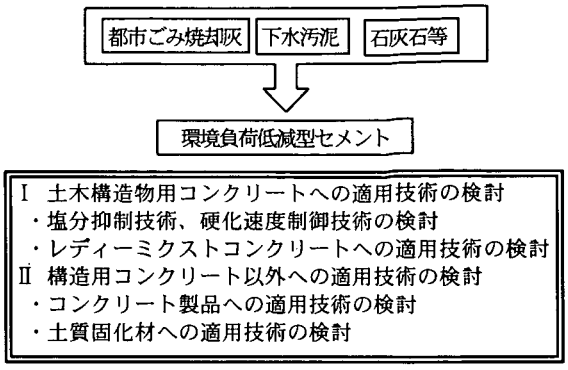
5.10　人為的活動による都市緑地における炭素収支変動の評価に関する研究……（緑化生態研究室）…180

5.1　都市型総合廃棄物を原料とした環境負荷低減型セメントの建設事業への適用技術に関する研究

研究期間：平11～平13
担　　当：化学研究室

【要旨】

都市ごみ焼却灰、下水汚泥等を主原料としたセメントの製造技術が開発され、ごみを資源として有効利用する一方策として期待されている。本研究では、この環境負荷低減型セメントの土木構造物用コンクリートや土質改良用固化材への適用性を検討する。12年度は、生コンクリートおよびコンクリート製品への適用を想定し、コンクリートの基本的な物性を調査するとともに、試験施工により施工性等を評価した。また、本セメントを土質固化材として利用した場合の効果を検討した。



1．研究目的

環境負荷低減型セメントを建設資材として活用可能とすることを目的とし、コンクリートや土質固化材としての適用技術の検討を行う。12年度は、塩化物イオン量が0.1%以下に低減されたセメント（普通形エコセメント）を用いて、コンクリートとしての基本的な物性の評価、試験施工による施工性の評価等を行った。

2．研究方法

2.1 生コンクリートへの適用技術の検討

普通形エコセメント(E)を用いたコンクリートの性状として、これまで十分に明らかにされていない鉄筋腐食、中性化、重金属類の溶出特性を明らかにするため、室内における促進試験、屋外暴露試験（つくば市および親不知）を行った。また、試験施工として園路舗装および調節池の越流堰に適用し、生コンクリートとしての施工性および耐久性の検証を行った。

2.2 コンクリート製品への適用技術の検討

コンクリート製品への適用性を評価するため、蒸気養生を施したコンクリートの基本的な特性を室内試験および屋外暴露試験により調査した。また、製品工場における側溝、境界ブロック等の製造、現場施工を通じ、作業性、耐久性等の検証を行った。

2.3 土質固化材への適用技術の検討

普通形エコセメントの土質固化材としての適用性を評価するため、数種の土質に対しセメント添加量を変えた改良土を作製し、土質改良効果を検証した。

3．研究結果

3.1 生コンクリートへの適用技術の検討

図1にスランプ8cmの配合の促進中性化試験結果を示す。同一水セメント比(W/C)では、普通ポルトランドセメント(N)よりEの方が中性化深さが大きくなった。その差はW/Cが大きくなるほど、大きくなる傾向がある。ただし、同一W/Cでの強度はEの方が低いため、同一強度レベルで比較すると、中性化深さの差は小さくなり、問題となるレベルではないと考えられる。

鉄筋腐食促進試験を、オートクレーブ法および乾湿繰返し法により行った。乾湿繰返し法の場合、最大５％、平均１～３％程度の僅かな発錆が認められたケースがあったが、セメント種類、かぶり深さによる影響は認められず、成型不良に起因する発錆と考えられた。暴露試験１年後においても、同様に成型不良に起因する発錆が最大１％認められた程度であった。

材齢 28 日経過後の硬化コンクリートを用いて、環告 46 号法により溶出試験を行ったが、重金属類はいずれも検出されなかった。

東京都の園路舗装工事および調節池工事にＥを適用した。生コンプラントでの製造、アジテータ車による運搬、ポンプ打設の一連のコンクリート工事において、Ｎと同様な取扱いが可能であった。フレッシュ時に若干粘性が高く、スランプロスが大きくなる傾向が認められるが、乾燥収縮、中性化、凍結融解抵抗性はＮとほぼ同等であることが確認された。

3.2 コンクリート製品への適用技術の検討

コンクリートのフレッシュ時の性状として、スランプロスがＮより若干大きいこと、混和剤によって空気量の低下が大きい場合があること、水の中の塩化物イオン量は 0.05～0.07kg/m³ と小さいこと等の結果が得られた。蒸気養生を施したコンクリートの圧縮強度は、Ｎとほぼ同等で、セメント水比則が成立つ(図２)。また、静弾性係数、曲げ強度ともにＮと同等であった。乾燥収縮量はＮよりも若干小さくなる傾向が認められた(図３)。凍結融解試験の結果、Ｎと同様所定の空気量を確保することにより十分な凍結融解抵抗性が得られた。促進中性化試験の結果、生コン配合と同様、ＥはＮより若干中性化速度が速かったが、生コン配合の場合より、全般に中性化速度は遅く(図４)、空隙構造の違いが考えられた。

鉄筋腐食性状、重金属類の溶出は、いずれも生コン配合の場合と同様の結果で問題は認められなかった。

東京都および千葉県において、道路用コンクリート製品を製品工場で製造し、現場に適用した。工場における製品の製造はＮと同様の方法で行うことができ、フレッシュ性状、硬化性状ともに問題は無かった。

3.2 土質固化材への適用技術の検討

有機質粘土、シルト、粘土質砂、火山灰質粘性土の４種の土質に対する改良効果を調べたが、いずれもＥの強度発現性は悪く、Ｅを単独で土質固化材として利用することは困難であると判断された。

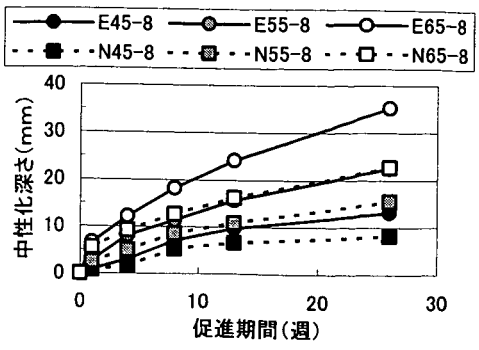


図1. 促進中性化試験結果(生コン配合)

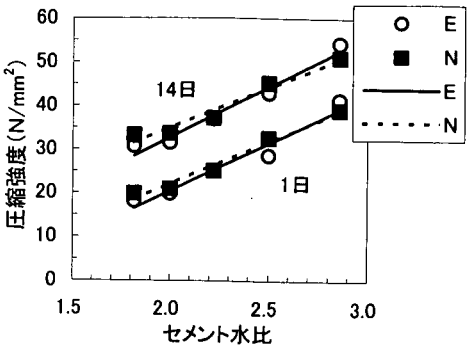


図2. セメント水比と圧縮強度の関係

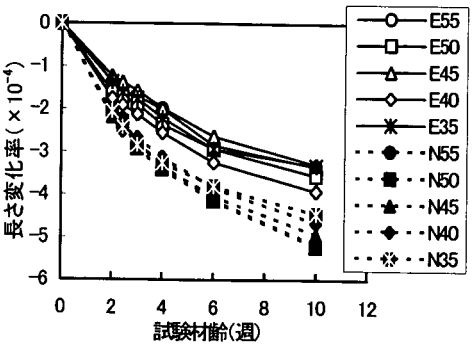


図3. 乾燥収縮試験結果

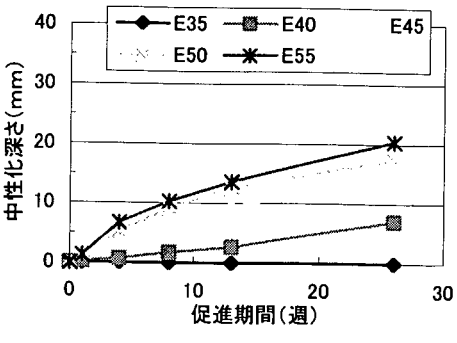


図4. 促進中性化試験結果(製品)

4. 主な研究成果物

・土木研究所共同研究報告書第 259 号(H12.12)

・第 55 回土木学会年次学術講演会講演概要集、V-132、V-136、V-137 (いずれも H12.9)

(明嵐、中村)

5.2　省エネルギー型セメントを用いたダム用コンクリートの利用技術に関する調査

研究期間：平 11～平 14
担当：ダム構造研究室

【要旨】

本調査はフライアッシュや高炉スラグなど産業副産物によるセメントの置換がダム建設時の CO_2 排出量削減への効果を明らかにするために、これらの混和材を用いたコンクリート実験を行い検討したものである。

その結果、混和材置換によりコンクリートダム建設工事において発生する CO_2 総排出量は高炉スラグ微粉末 8000 置換では約 48%程度、フライアッシュⅣ種置換では 2%程度削減できることが分かった。

二酸化炭素の排出抑制技術の開発
▼
省エネルギー型セメントがダム用コンクリートの諸特性に与える影響の把握
▼
省エネルギー型セメントを用いたダム用コンクリートの利用技術に関する検討
▼
ダム建設における二酸化炭素排出量の削減

1. 調査目的

コンクリートダム建設で発生する CO_2 排出量の主なものは、工種別ではセメントや骨材の製造及び練り混ぜ等からなるコンクリート工に起因するものであり、その中でもセメント製造時の発生量が約 6 割程度を占めている。従って、CO_2 排出量の削減にはセメント消費量の低減が効果的であるが、セメントの一部を混和材で置換した場合、ポゾラン反応等により長期材齢の強度は期待できるが、単位セメント量の減少に伴う早期強度の低下が懸念される。また、高置換時における混和材の影響からのフレッシュ性状の変化についても把握が必要となる。

本調査は、混和材で置換されたコンクリートを置換率毎に圧縮強度と配合との関係を整理し、コンクリートダム建設で発生する CO_2 排出量を削減可能な、省エネルギー型コンクリートの性状について把握するものである。

2. 調査方法

調査で使用した材料及び物性値の一覧を表－1 に示す。12 年度は、高炉スラグ微粉末 8000 とフライアッシュⅣ種（以下それぞれ BF, FAⅣという）をそれぞれ表－2 の試験ケースで表－3 の配合条件のもと配合決定試験及び 3 日材齢圧縮強度試験を行った。

3. 調査結果

3．1　結合材水比と単位ペースト容積の関係

表－1　使用材料及び物性値

使用材料		種類及び物性
セメント		中庸熱ポルトランドセメント (比重=3.21,比表面積=3,200cm²/g)
混和材		高炉スラグ微粉末 8,000 (比重 2.9、比表面積 8,360cm2/g) フライアッシュⅣ種 (比重=2.27,比表面積=3,630cm²/g)
混和剤		高性能減水剤、ﾌﾗｲｱｯｼｭ用 AE 剤
細骨材		岩種：砂岩(比重=2.58,吸水率=2.13%,粗粒率=2.91)
粗骨材 (mm)		岩種：砂岩
	40-30	(比重=2.68,吸水率=0.38%)
	30-20	(比重=2.70,吸水率=0.39%)
	20-10	(比重=2.69,吸水率=0.74%)
	10-05	(比重=2.67,吸水率=1.10%)

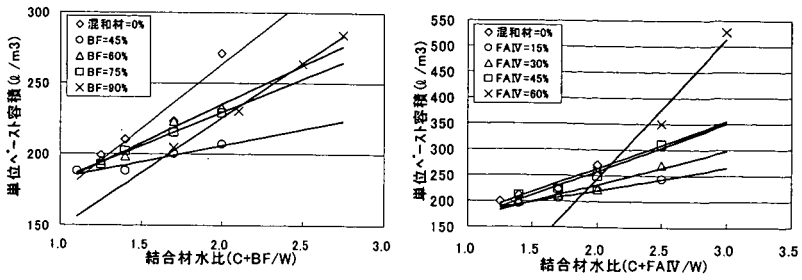
表－2　試験ケース

混和材置換率 BF/(C+BF) FAⅣ/(C+FAⅣ)	0 45,60,75,90(%)　BF 15,30,45,60(%)　FAⅣ
結合材水比 (C+F)/W,(C+FAⅣ)/W)	混和材置換率の 1 試験ケースにつき4種類を設定
圧縮試験材齢	3 日

表－3　配合条件

粗骨材最大寸法	40mm
目標スランプ値	4±1cm
目標空気量	4±1%
細骨材率	39%
高性能減水剤	(C+F)×1.0%
ﾌﾗｲｱｯｼｭ用 AE 剤	目標空気量を満足する量

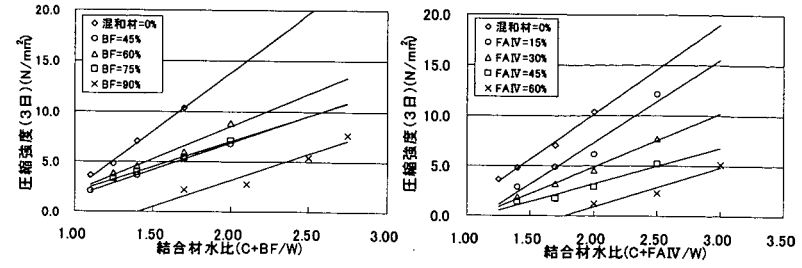
図－1に３日材齢の結合材水比と単位ペースト容積の関係を示す。結合材水比と単位ペースト量の関係は直線近似できる。



図－１　結合材水比と単位ペースト容積の関係

３．２　結合材水比と圧縮強度の関係

図－２に結合材水比と３日材齢の圧縮強度の関係を示す。圧縮強度も結合材水比と直線近似できる関係にある。

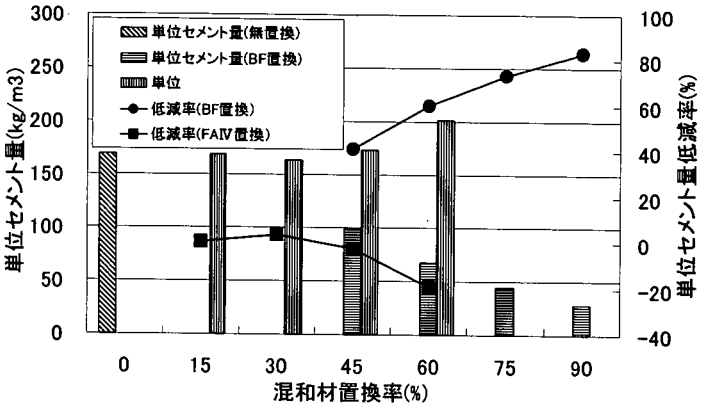


図－２　結合材水比と圧縮強度(3 日材齢)の関係

４．セメント使用量の低減効果の検討

前述の直線近似関係から、早期強度としてコンクリートダムの標準の脱型強度である 3.5N/mm² における結合材水比及び単位ペースト容積を推定した。

この強度を満足する置換率 0%時のコンクリートと、混和材で置換したコンクリートとの単位セメント量の比較と単位セメントの低減率の関係を示したものが図－３である。単位セメント量が最小となるのは BF 置換率=90%（結合材水比=1.31）、FA 置換率=30%（同=1.74）の配合となることが分かる。



図－３　混和材置換率と単位セメント量及び低減率の関係

５．コンクリートダム建設工事における CO_2 削減効果の試算

11 年度の手法に準拠し、コンクリートダムの建設における CO_2 排出量の削減率について試算した。想定ダムの主な試算条件を表－４に示す。試算では、FAⅣ置換では置換率 30%を使用し、BF 置換では置換率=90%は配合試験時のフレッシュ性状が不安定で、調整が困難であったことから、実用性を考慮し置換率=75%を採用した。試算結果を表－５に示す。これにより、CO_2 総排出量は置換率０%と比較して、BF 置換では 47.9%程度、FAⅣ種置換では 1.8%程度削減できることが試算できた。

表－４　主な試算条件

項目		単位	数量	備考
各諸元	堤高	m	100	
	堤頂長	m	250	
	堤体積	m^3	508,000	
	単位セメント量	kg/m^3	210	外部
			140	内部
	単位骨材量	kg/m^3	2,100	外部
			2,180	内部
	外部コンクリート	m	2.0	

表－５　各混和材における CO_2 削減率

項目	単位	低減前	低減後	
			BF	FAⅣ
置換率	%		75	30
コンクリート1m³あたりの排出量	C-kg	63.4	33.0	62.2
総排出量	C-t	36,100	18,794	35,423
削減された Co2 排出量	C-t		17,306	677
削減率	%		47.9%	1.8%

６．まとめ

同一のフレッシュ性状において、CO_2 排出量削減の効果は高炉スラグがもっとも高くなったが、置換率が上昇すると粘り気が増し、練り返し等の作業性が悪化することなど注意を要するため、今後とも引き続きこれら混和材の特性の把握を調査する必要がある。（吉田、市原、金子）

5.3　低公害大型車等の導入が都市交通環境に与える影響に関する調査

研究期間：平11～平13
担当：交通環境研究室

【要旨】
本研究では、低公害車等の導入による環境改善効果の定量的把握、それに基づく望ましい都市交通体系のあり方の提案を目的としている。12年度は、省エネ法による燃費改善及び低公害車導入による自動車からのCO_2排出量の推移の将来予測を行った。その結果、2010年度末の燃費改善によるCO_2削減効果は、対策なしと比較して約5.7%と推計された。また、自動車をすべて電気自動車化した理想的条件では、対策なしと比較して約58%の削減効果と推定された。しかし、これらの効果は自動車走行台キロの伸びで減殺されるため、現在よりCO_2排出量を削減するためには、低公害車の導入だけでなく他の施策との組合せが必要であるという結果が得られた。

1．研究目的

近年、窒素酸化物(NO_x)や粒子状物質(PM)、二酸化炭素(CO_2)の排出量削減などの環境問題に対応して、発生源対策として低公害車の導入・普及施策が実施されている。本研究は、低公害車等の導入による都市の大気環境の改善効果を検討し、望ましい都市交通整備手法の提案を行うことを目的としている。

2．研究方法

12年度はCO_2排出量の削減を取り上げ、削減施策のうち自動車単体の燃費改善と低公害車（ハイブリッド車・天然ガス車・電気自動車等）の導入によるCO_2排出量効果の推計を行った。

エネルギーの使用の合理化に関する法律（以下「省エネ法」）に基づく通商産業省・運輸省告示により、乗用自動車及び貨物自動車（車両総重量2.5t以下）の基準エネルギー消費効率（以下「燃費」）の目標値が表１のように定められている。この目標値に従って燃費が改善されるに従い、日本国内での将来の自動車によるCO_2排出量がどの程度削減されていくかを予測した。また、低公害車が普及した場合の排出量についても、数ケース設定してCO_2排出量を予測した。

表１　省エネ法による将来の燃費改善目標

車種	燃料	目標年度及び燃費改善目標		
		H5.1告示	H8.3告示	H11.3告示
乗用自動車	ガソリン	2000年度 90年度比 約8.5%	－	2010年度 95年度比 約23%
	軽油	－	－	2005年度 95年度比 約15%
貨物自動車	ガソリン	－	2003年度 93年度比 約5%	2010年度 95年度比 約13%
	軽油	－	－	2005年度 95年度比 約7%

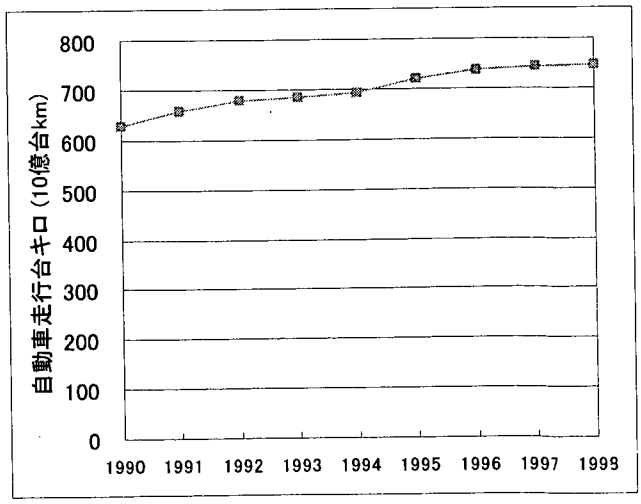


図１　自動車走行台キロの推移

表-2　年式別車両構成比　（単位：%）

車種	基準年	1年前	2年前	3年前	4年前	5年前	6年前	7年前	8年前	9年前	10年前	11年以前	合計
小型車類	15.99	14.79	13.40	12.10	10.60	9.17	7.63	6.06	4.46	2.93	1.84	1.03	100.0
大型車類	17.53	15.83	14.14	12.45	10.73	9.02	7.32	5.57	3.83	2.27	1.08	0.23	100.0

3．研究結果

自動車走行台キロは1990年から1998年にかけて1.21倍に増加しており、これに比例して運輸部門のCO_2排出量も21.1%増加している（図１）。ここでは、今後も自動車走行台キロが同様のペースで伸びることを想定した。

省エネ法の燃費基準は新車にのみ適用されるため、2010年度基準を確実に達成していると考えられる自動車は2010年度末に対象車種のうち16～17%程度しか存在しない（表２）。そのため、年式毎に適用される燃費基準を考慮する必要がある。そこで、小型車・大型車の車種別と年式別に燃費を算出し加重平均することにより、その年度の代表燃費を算出した（図２）。この算出結果によれば、小型車については2010年度末に1995年度末と比較して、省エネ法に基づく燃費改善効果が全体で8.7%あると推定される。ただし、大型車については省エネ法の燃費基準が設定されていないため、燃費改善効果は見込めない。

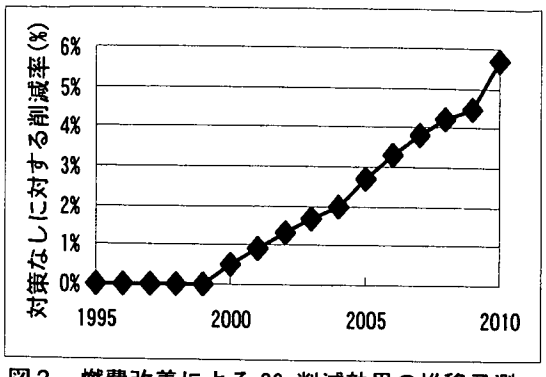


図２　燃費改善によるCO_2削減効果の推移予測

1995年度の小型車と大型車の年間走行台キロの比は85.9%、14.9%、40km/hでの排出係数の比が49.2、160.2(g/km･台)であることから、1995年度の小型車と大型車のCO_2排出量の割合は、それぞれ65.2%、34.8%と推定された。これらの結果より、全体では2010年度の燃費改善効果は5.7%と推定される。そのため、自動車走行台キロの伸びを考えると、2010年度のCO_2排出量は2000年度と比較して14.2%増加している。

低公害車の導入については、①小型車をすべてハイブリッド化、②大型車をすべてCNG（天然ガス）車化、③①と②を同時実施、④すべてを電気自動車化、の４ケースを設定し、2010年における各ケースのCO_2排出量削減効果を推計した（図３）。その結果、対策なしと比較して①では8.5%、②では7.2%の削減効果があり、③では２ケースの和の15.7%である。しかし、2000年比でみると走行台キロが増加するので、それぞれ10.3%、11.8%、1.6%のCO_2排出量の増加であり、現在の排出量を下回るまでには至っておらず、③のケースでようやく2000年とほぼ同水準といえる。2010年度末までにすべての自動車が電気自動車化された④のケースでは、対策なしと比較して56.0%の削減と推計された。

これらの結果から、CO_2排出量を現在よりも削減するには、交通流の円滑化、公共交通機関の利用促進等、上記以外の施策の検討が必要であることがわかった。

（大西、松下、大城）

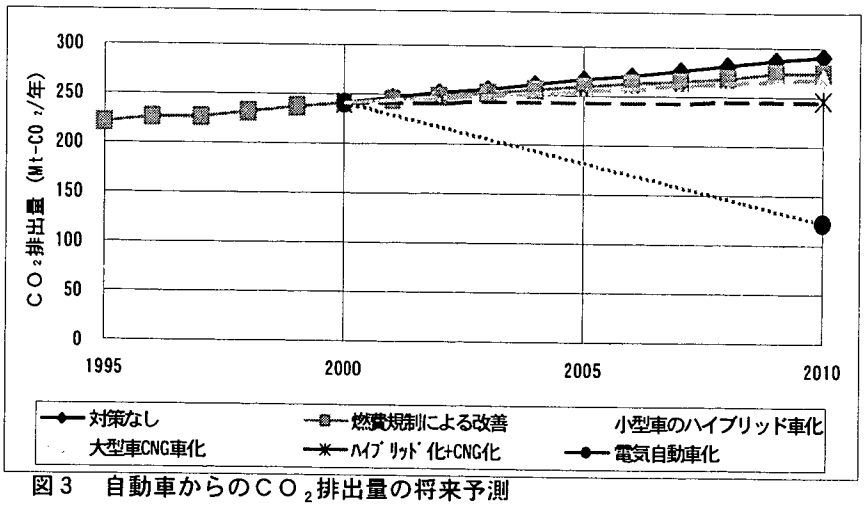


図３　自動車からのCO_2排出量の将来予測

5.4　戦略的環境アセスメントに関する研究

研究期間：平成11～13年
担当：交通環境研究室

1．研究の背景

わが国においては、環境影響評価法案採決時にSEAの制度化に向けて早急に検討を進めることとされており、また個別事業に対する環境影響評価（以下「EIA」）については複数の事業の累積的な影響が検討できない等の限界が指摘されいる。

2．研究の目的

本研究では諸外国の制度・事例等を参考にSEAの手続、技術的手法を確立することを目的とする。

3．これまでの研究成果

3．1　諸外国におけるSEAの動向

（1）欧州の動向

ドイツ、フランスは、SEAを定める包括的な法制度はないが、いずれの国も道路事業に関して代替ルート選定の段階でEIAを行っている。オランダでは、「環境テスト」と呼ばれる閣議命令により、環境に影響があると認められる法案や政策を議会に提出する際に提案する機関は環境への影響に関する説明を記載することが義務づけられている。欧州では、上記のように、道路事業の初期計画段階から環境への影響を評価する仕組みが出来つつあり、EUは各国の事例整理、ケーススタディ等を通して、1999年にSEAマニュアルを作成した。さらには、EUによれば、SEA指令案が現在調印手続中で2001年中に終了する見込みであり、 加盟国は同指令発効後3年以内に制度を整備することが義務づけられる予定となっている。

（2）アメリカの動向

アメリカでは、1969年にすべての連邦活動に対して環境に配慮することを定めた国家環境政策法（NEPA：National Environmental Policy Act）が制定されており、同法に基づき環境影響報告書（以下「EIS」）の作成が義務づけられている。同制度は事業を行わない場合を含めた複数の代替案についてEIAを行うものである。

また近年は交通計画策定において、早期の段階で必要に応じて環境への影響が評価されている。アメリカの交通計画は、全国レベルの計画と州・都市圏レベルの計画から構成され、全国レベルの道路計画は1995年に可決されたNHS（National Highway System）により決定されている。州・都市圏レベルの計画はこのNHSに調和するように、各州および都市圏が作成することになっており、２０年以上の広域長期計画と２～６年程度の短期計画（交通改善プログラム）が策定される。この広域長期計画策定段階において、必要に応じて、主要投資調査（MIS：Major Investment Study）が実施される。MISは、ハイウェイや交通ターミナル施設など主要交通施設について、積極的な公衆関与、早期の段階での環境への配慮を行い、交通計画のよりよい決定を行うための柔軟かつ総合的なプロセスである。MISでは、環境への重大な影響が予想される場合には、事業を行わない場合を含めた複数の代替案について環境評価が求められ、また、以上のプロセスを通じて、計画主体は積極的な公衆関与を実施することが法的に求められている。なお、MISでEIAを実施した場合には、MISをもってEISに替えることができるとされている。

3．2　SEAを我が国の五計に適用する場合の評価指標、計算方法の検討

五計を対象としてＳＥＡを行う場合を想定し、評価項目、計算方法について検討を行った。

(1)評価指標

ＳＥＡにおいてはＥＩＡで対象とされている標準項目以外に以下の視点から評価指標を採り上げる必要がある。このような評価指標の一つとしてCO_2が挙げられる。

・影響が時間的に累積される
・複数事業により影響が累積される
・事業実施による影響の回避が困難である

また、ＥＩＡで対象とされている標準項目の中でも、影響の予測が困難な項目もある。このうち影響の回避・低減が比較的容易（道路構造の変更等）な項目については、ＥＩＡの段階で実施した方が効率的である。このような項目の例としては、振動、日照などが挙げられる。

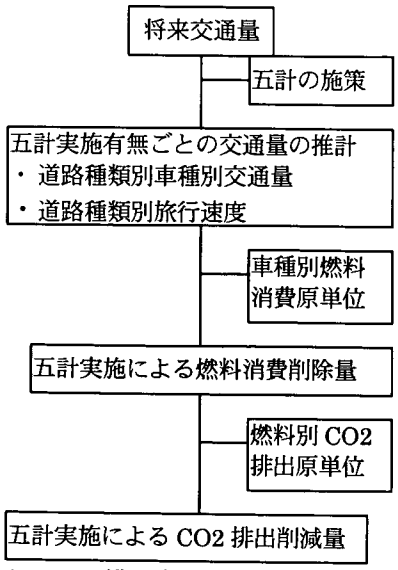


図　CO_2排出削減効果の計算ﾌﾛｰ

(2)計算方法の検討

計算方法は、計画、施策の内容、影響の地域差の大小、蓄積効果の有無等によってマクロ的な推計とミクロ的な推計を使い分けることが必要となる。今回五計のケーススタディとして、全国累計値が問題となるCO_2を選定し、マクロ的な方法による推計と実績値による検証を行った。以下にその結果を示す。

(3)CO_2を対象としたケーススタディによる推計及び検証

五計の計画策定時に道路整備効果を推計するために、五計の整備により、道路延長等をもとにした総走行時間や走行経費の削減量などが推計されている。本検討では、CO_2排出量計算のマクロ的な手法として、整備効果推計時に用いられたデータを用いて、整備有り整備なしの燃料消費量を計算し、そこからCO_2の排出量を推計した。CO_2の削減効果の計算フローは図に示し、推計結果を表に示す。

また、この試算結果を検証するため、平成10年度の燃料消費量と平成9年度のCO_2排出量の実績値との比較を行ったが、推計値は実績値の８～９割とやや過小に推計されるもののおおむね対応がとれており、予測方法が妥当であることが確認された。

表　11次五計（Ｈ４～９）実施によるCO_2排出量削減効果の試算結果

	燃料消費量（億リットル）			CO_2排出量（百万トン-CO_2）		
	整備無し	整備有り	五計実施による削減量	整備無し	整備有り	五計実施による削減量
試算結果	845.0	813.8	31.1	209.7	201.9	7.8
実績値	993.0*1		－	221.0*2		－

*1：出典、運輸省「自動車輸送統計年報」
*2：出典、運輸省「運輸関係エネルギー要覧」

5.5　都市内緑地による温室効果ガス削減に関する検討その他

研究期間：平11～平13
担当：緑化生態研究室

【要旨】本課題では、都市緑化によるCO_2削減効果を評価するため、緑化樹木のCO_2固定量算出方法の検討を行っている。平成12年度は、シラカシ、クスノキ、マテバシイの常緑樹3樹種を対象に樹幹解析を行い、形状寸法とCO_2固定量、樹齢との関係式を作成した。その結果、3樹種とも胸高直径にCO_2固定量、樹齢との高い相関が見られ、3樹種全てのデータを用いた関係式でも、高い精度でCO_2固定量の算出が可能とされた。このような傾向は、11年度の落葉樹3樹種（ケヤキ、イチョウ、プラタナス）の解析結果と同様であり、6樹種全てのデータを用いた場合でも比較的相関がよく、共通の式を用いて簡便にCO_2固定量を算出することも可能と考えられた。

1. 目的

都市緑化によるCO_2削減効果を評価するため、特定の大きさの樹木が、特定の1年間に、植物体内に蓄積するCO_2量を推定する算定式を作成することを目的とした。

2. 方法

樹木の木質部乾燥重量の50%は、大気中のCO_2に由来するCであるため、木質部乾燥重量の年間成長量を算出することによりCO_2固定量は容易に得られる。ここでは、都市緑化に多用されているシラカシ、クスノキ、マテバシイ、各5本を対象に樹幹（年輪）解析を行い、その成長過程を明らかにし、木質部（幹・枝・根）の乾燥重量成長の予測式を作成する。その手順は以下の通りである。なお、昨年度において、ケヤキ、イチョウ、プラタナスを対象に同様の検討を行っている。

① 樹幹解析：幹の樹齢別材積量(cm^3)の算出
② 樹木部位別分解・生乾燥重量測定：生・乾燥重量比と部位別乾燥重量比の算出
③ 樹齢別木質部乾燥重量の算出
④ 木質部乾燥重量（Y）と形状寸法（X：樹高、胸高直径など）の関係式作成・・・・・・・$Y=aX^b$
⑤ 形状寸法（X）と樹齢（Z）の関係式作成・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・$X=cZ+d$
⑥ 年間成長量算定式の作成・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・$Y=a\{(X+c)^b-X^b\}$

3. 結果

木質部乾燥重量と形状寸法の関係式作成において、最もよい相関が得られた項目は胸高直径であるため、以下では胸高直径を用いた検討の結果を述べる。

3.1　常緑樹3種の年間木質部乾燥重量成長の算定式

樹種別および3樹種全データを用いた関係式を図-1に示す。全ての関係式が非常に高い決定係数を有しており、この式から樹木が特定の胸高直径に達するまでに累積した木質部乾燥重量が予測可能であるといえる。

次に胸高直径と樹齢の関係式を求めたものを図-2に示す。樹種別および3樹種全データの場合とも高い決定係数を有しており、この式から樹齢20～30年程度の樹木であれば、胸高直径の成長量は毎年一定と考えてよいといえる。2つの式を組み合わせ、ある胸高直径の時点での累積成長量と翌年の累積成長量との差を求めることにより、年間成長量算定式としたものが表-1である。

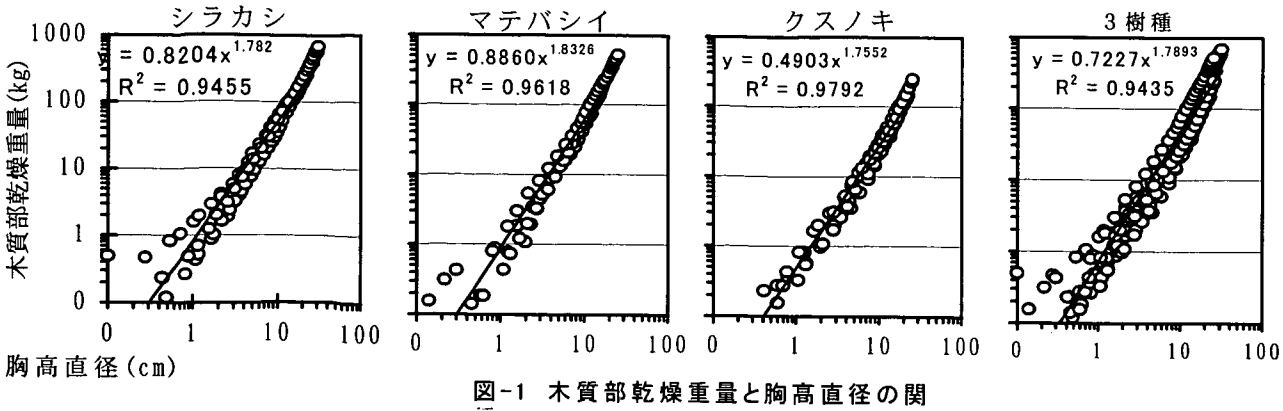


図-1 木質部乾燥重量と胸高直径の関

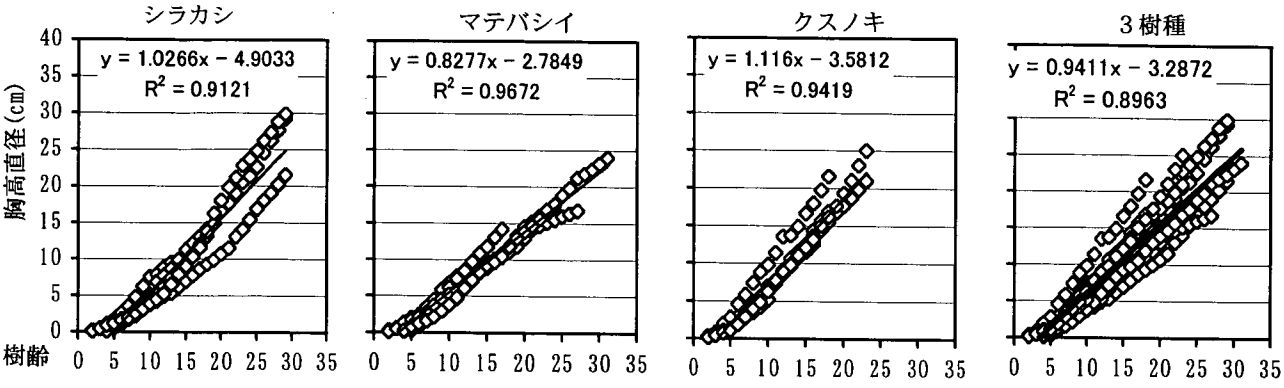


図-2 樹齢と胸高直径の関係

3.2 落葉樹3種との比較

昨年度の検討において作成した落葉樹3種全データを用いた場合の、木質部乾燥重量と胸高直径の関係式は $y=0.4122x^{1.9160}$（$R^2=0.9564$）、樹齢と胸高直径の関係式は $y=1.0653x-3.4542$（$R^2=0.9456$）であった。ここでは、常緑樹3種を加えて6樹種全データを用いた両関係式を作成した。結果を図-3、4 に示す。図中に示した2つの関係式の決定係数は、依然として高い数値を有している。したがって、緑化樹木の CO_2 固定量(木質部成長量)の算定にあたっては、この6種については、共通式で簡便に推定してもいいと考えられる。

両式から共通算定式・・・・

$Y=0.5298\{(X+0.9210)^{1.8552}-X^{1.8552}\}$

が得られた。

表-1 年間木質部乾燥重量成長予測式

調査対象木	胸高直径による予測式
シラカシ	$Y=0.8204\{(X+1.0266)^{1.7820}-X^{1.7820}\}$
マテバシイ	$Y=0.8860\{(X+0.8277)^{1.8326}-X^{1.8326}\}$
クスノキ	$Y=0.4903\{(X+1.1160)^{1.7552}-X^{1.7552}\}$
3 樹種	$Y=0.7227\{(X+0.9411)^{1.7893}-X^{1.7893}\}$

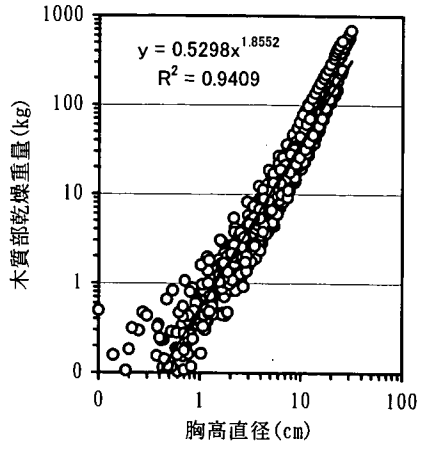


図-3 木質部乾燥重量と胸高直径の関係(6樹種)

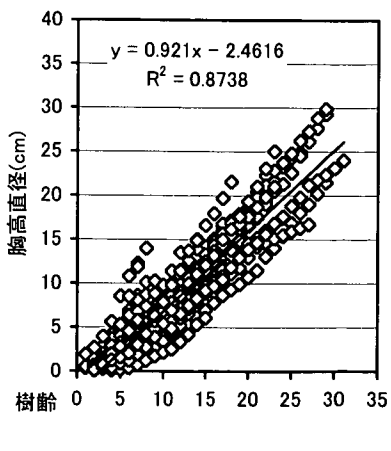


図-4 樹齢と胸高直径の関係(6樹種)

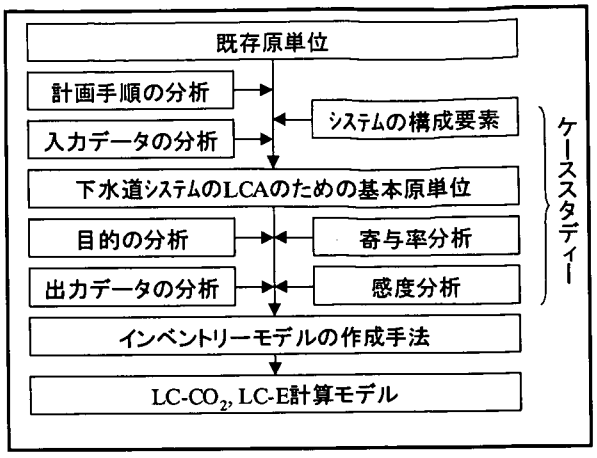
(藤原、山岸)

5.6　下水道システムのＬＣＡに用いる原単位に関する調査

研究期間：平 10 ～平 12
担当：汚泥研究室

【要旨】

本研究は、下水道システムがもたらす環境影響をライフサイクルアセスメント(LCA)手法を用いて評価する際に必要な負荷量原単位と負荷量算定手法を、二酸化炭素発生量およびエネルギー消費量を対象に検討を行ったものである。12 年度は、10 ～ 11 年度に行った既存原単位の検討、ケーススタディーをもとにした下水道システムの構成要素、計画手順およびそれぞれの段階で得られる入力データの量と質に関する分析結果等をもとに、下水道システムの LCA に用いる基本原単位の体系および作成手法を整理した。また、下水道システムの計画、建設、管理段階における LCA の目的とそれに応じた入出力データの種類・精度、さらにシステムの構成要素の寄与率等の分析を行い、下水道システムの LCA におけるインベントリーモデル作成手法の提案を行った。



1．研究目的

本研究は、下水道システムの環境負荷低減策の検討あるいは下水道による環境負荷と環境改善効果の比較をライフサイクルアセスメント(LCA)手法を用いて行う際に必要な、下水道施設の環境負荷原単位と負荷算定手法を提案するものである。

2．研究方法

2．1　下水道における基本原単位の体系・作成手法の検討

10 ～ 11 年度の調査では、CO_2 発生量およびエネルギー消費量に係る既存原単位の調査を行い、その特長を整理した。また、ケーススタディーにおいて、既存処理場（管渠を含む。）の実施設計図書をベースに得られるインベントリー分析用入力データと既存原単位の体系との比較を行い、下水道システムの LCA のための原単位群（以下、基本原単位という）を作成した。

2．2　下水道システムの構成要素と感度分析・寄与率分析

過年度に行ったケーススタディーのデータをもとに、下水道における LCA を行う際のインベントリーモデルを構成する要素を、処理施設（標準活性汚泥法およびオキシデーションディッチ法）ならびに管渠施設を例に、時間軸、空間軸、社会軸に分類し整理した。また、これを用いてそれぞれの要素の寄与率分析および感度分析を行った。

2．3　インベントリーモデル作成手法の検討

基本原単位の体系に関する検討から、下水道システムの LCA は、基本設計または実施設計における工事費算定に用いる数量データをインベントリー分析の基礎データとし、これに対応する基本原単位を整備することが適当であることが示された。一方、LCA による検討は、それより上位の計画策定時においても実施される。そこで、このような段階で LCA を行うために必要となるインベントリー要素の複合化，簡素化を含むモデル化の手法を検討した。

3．研究結果

3．1　下水道における基本原単位の体系・作成手法の検討

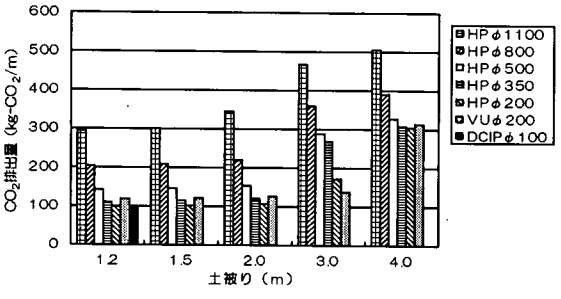
表－1は、下水道システムの計画・設計の各段階におけるインベントリー入力データの種別、対応する原単位等について整理した例で、既存原単位の多くは表中のVまたはIVの分類に対応している。一方、入力データは、実施設計段階でも分類IV程度の精度で、電気・機械設備の場合、実施設計でも分類III程度である場合も多い。このような場合、一次原単位から複合原単位を作成する方法が考えられるが、複合化の過程で様々な仮定や推定を包含することになり、その精度は著しく低下する。このため、本研究では、基本設計または実施設計段階で得られる入力データに対応する原単位群を整備することとし、これを下水道システムにおけるLCAのための基本原単位とした。

表－1　下水道におけるインベントリー入力データの分析例

分　類	I	II	III	IV	V
データの精度	低い ←				→ 高い
入力データ	(処理区単位) 処理水量 施設能力	(施設単位) 処理方式 施設配置 池　数 汚泥発生量	(設備単位) 設備種類 設備能力 主要機器 仮設備画	(機器単位) 機器種類 機器能力 機器重量 使用電力量	(素材単位) 使用素材
マスタープラン	○	△	×	×	×
認可設計	○	○	△	×	×
基本設計	○	○	○	△	×
実施設計	○	○	○	○	△
原単位	水量あたり	容積あたり	設備あたり	機器あたり	素材あたり
ケース分け	多様で、一般化は困難			ほぼ一意的に定まる	
算定手法の区分	インベントリーモデルの領域			二次原単位	一次原単位

3．2　下水道システムの構成要素と感度分析・寄与率分析

上に述べた基本原単位の定義に基づき、これより上位の段階におけるLCAでは、一定の手順に従ったインベントリーモデルを作成する。モデル作成に当たっては、得られるデータの種類や数に応じた簡素化（単純化）が必要となる。この時、それぞれのインベントリー要素がLCAの結果に与える影響を分析し、影響が微少な要素群を主要要素に対する構成比で表す等の操作を行う。なお、この感度分析や寄与率分析の結果は、環境負荷低減対策の対象やその効果を推定する上でも重要な指針となるものである。



図－1　管渠施設単位延長当たりCO_2発生量

図－1は、管渠施設を例に単位延長当たりのCO_2発生量を算定した例である。これを見ると、φ 500mm 以下かつ平均土被り2m以下では管径および土被りの変化にともなう影響は小さいものの、平均土被りが3mになると急激に負荷量が変化している。これは、モデルにおいて土被り3.5mで土留め工法を変えたことが計算結果に影響したためで、この結果は、管渠のLCAでは、土質およびそれにともなう土留め工法の設定に留意する必要のあることを示している。

3．3　インベントリーモデル作成手法の検討

本研究では、下水道システムのインベントリーモデルの基本を基本原単位に対応した分類IVに設定し、これより上位の段階では与えられるデータの数や精度に応じた複合化を行うこととした。この過程は、工事費積算における一位代価表から全体工事費を計算する過程と良く類似している。そこで本研究では、工事費積算作業の分析を行い、工事費積算の体系化が進んでいる土木・建築施設については、これと連携するインベントリーモデルの作成手法を示した。また、電気・機械設備については、日本下水道事業団の標準仕様およびメーカーに対するアンケート結果から得られた標準的な構成を用いてモデル化する手法を示した。

（森田、川嶋）

5.7.1　建設事業におけるCO_2算定評価システムの開発に関する研究

研究期間:平11～13

担当:機械研究室

【要旨】

地球温暖化防止京都会議(COP3)で合意された我が国の削減目標である温室効果ガス6%を達成するには、今後一層の省エネ努力、技術開発が必要である。本研究では、建設事業のライフサイクルにおける総CO_2排出量を算出し、CO_2削減対策立案を支援するエキスパートシステムの作成を目標とする。12年度は前年度に策定した排出量原単位算定手法の信頼性と適応性を検証するため、クラスの異なるバックホウ及びブルドーザ等の建設機械主要4機種10事例について算定した。この中で、前年度の課題であった材料の歩留まりや種類別の感度分析、他の算定手法事例と比較・分析した結果、本算定手法は概ね妥当であるとの評価が得られた。

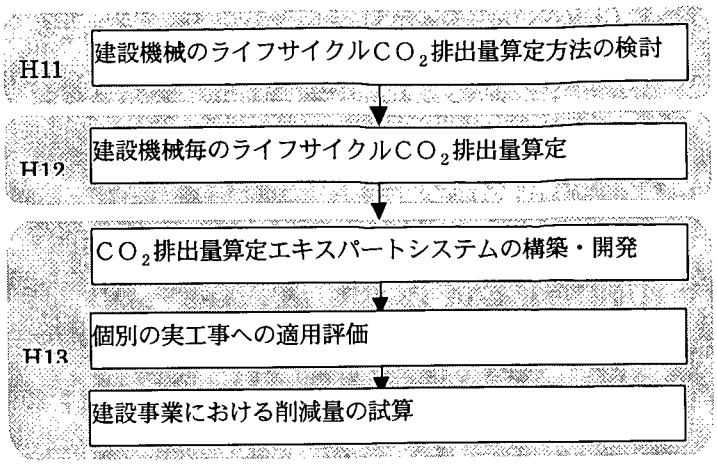


図1　研究フロー

1. 研究目的

現在、建設事業における資材生産から施工までに排出するCO_2排出量の評価手法は数例報告されている。しかし、建設事業における温室効果ガスの計画的な削減を行うためには、製造から廃棄までのライフサイクルにおける総CO_2排出量を算出し、評価するシステムが必要とされている。本研究では、建設事業におけるCO_2の排出源である工事材料と建設機械のうち、建設機械の $LCCO_2$ 総排出量を算定する手法と、排出量原単位を整理するものである。(図-2)。

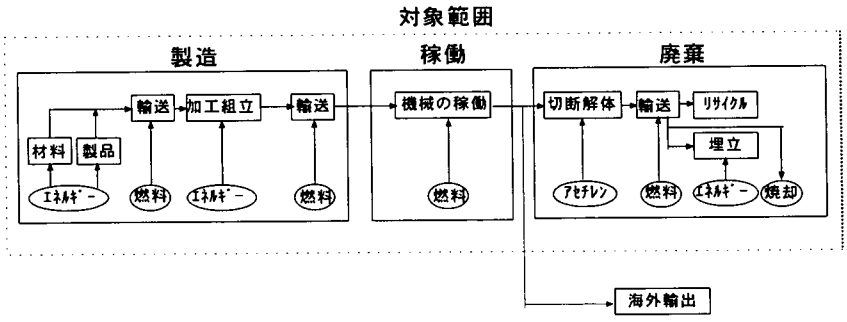


図2　対象範囲

2. 研究方法

前年度、バックホウを例に策定した $LCCO_2$ 排出量原単位算定手法に残された課題に取り組み、信頼性と適応性の検証を行った。具体的には、信頼性について建設機械の製造段階における材料の歩留まりや種類別の感度分析、製造工程上の内作・外作・製品区分の明確化、他の既存算定資料との比較・分析を行うことで原単位の精度向上を図った。適応性は、建設工事における主要機器であるブルドーザ、ホイールクレーン、トラクタショベルの3機種とクラスの異なるバックホウを加え、計10事例について調査・算定を行った。

3. 研究結果

3. 1算定手法の信頼性、原単位の精度向上

(1)材料種別による感度分析

前年度は製作材料を7種類に区分し、建設機械の約80%以上を占める鋼材の区分は鉄のみとした。しかし、産業連関表における鋼材のCO_2排出量原単位は普通鋼、鍛鋼、鋳鋼の3種類が設定されており、鉄:普通鋼:鍛鋼:鋳鋼=1:1:2:3の原単位比であるため無視できない。そこで鋼材を3種類の感度に区分し、重量比の再調査によりCO_2排出量を算定した結果、4,960kg-CO_2/台の増加がみられ、約22%の材料による排出原単位の精度向上を図った。

(2)歩留まりの感度分析

製造過程における歩留まり(投入した原材料に対する算出した製品の重量比率のこと)の影響度を検討するため、主要メーカに歩留まり率を調査した結果、メーカ毎に差異が見られたが、平均として70～80%であった。この歩留まり率におけるCO_2排出量を算定したところ、製造時の影響度では20～35%となるため、算定手法には歩留まりを考慮する必要があることが確認された。

(3)内作・外作・製品の区分整理

建設機械の材料購入から部品組立までの部品毎の製作工程は、製造原単位の算定上から自社工場制作(内作)と外注(外作、製品)に区分されるが、前年度は各工程の1部が自社製作である部品を内作としたため、各メーカ間の内作・外作率のバラツキが大きく、原単位の精度に疑問が生じていた。そこで、内作・外作・製品の区分をより明確にすべく、材料購入から切断や熱処理、鋳造、溶接、塗装などの主要な工程別CO_2排出量比率を求め、全工程の3割の排出量を占める溶接及び機械加工について自社工場で行っている部品を内作とした。一方、外作と製品の区分は排出量原単位を算出する方法の特性から、自動車部品やバッテリーなど産業連関表に記載されている部品を製品として、その他の内作にも該当しない部品を外作とした。その結果、内作・外作率に関するメーカ間の変動係数を40%から20%に逓減できた。

(4)既存算定資料との比較

本研究で算定した製造時のCO_2排出量原単位を「日本建築学会」及び「総合技術開発プロジェクト(土木分野)」の結果と比較した。総プロ結果と本算定結果を比較すると材料の感度分析及び歩留まりを考慮した本年度の数値は、前年度に比べて約40%の増加となり、価格を評価軸とする総プロの結果とほぼ同程度の値となった。これにより、本算定手法の妥当性を示すことが可能となった。

3．2適用性の検討

バックホウにより策定したCO_2排出量原単位算定手法が他機種およびクラスの差への適用可能性を検討するため、他3機種10事例について同様の算定を行った。この結果小型機種の製品率上昇やブルドーザの鋳鋼、鍛鋼の使用比率が異なることによる排出量増加傾向があったものの、製造のCO_2排出割合は10～20%であると評価でき、本算定手法の他機種への適応は十分可能であると判断される。

(江本平、平下浩史、水上紀明)

表-1　排出量原単位比較

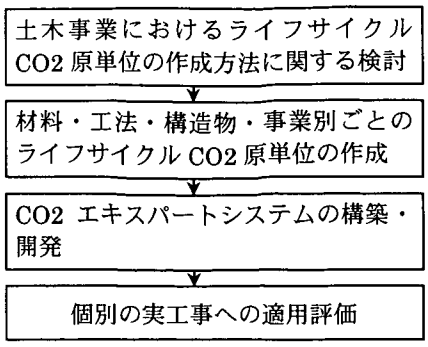
機種	項　目	データ①(建築学会)	データ③(総プロ:換算値)	本検討結果
20tクラス	CO2排出量(t-CO2/台)	79.1 (1.00)	45.0 (0.57)	45.7 (0.58)
バックホウ	CO2排出割合 (%)	18.3	11.3	11.42
6tクラス	CO2排出量(t-CO2/台)	25.4 (1.00)	19.6 (0.77)	18.6 (0.73)
バックホウ	CO2排出割合 (%)	19.8	16.0	15.29
35tクラス	CO2排出量(t-CO2/台)	133.3 (1.00)	77.8 (0.58)	83.9 (0.63)
バックホウ	CO2排出割合 (%)	24.3	15.8	16.82
17tクラス	CO2排出量(t-CO2/台)	69.6 (1.00)	67.6 (0.97)	71.2 (1.02)
トラクターショベル	CO2排出割合 (%)	16.4	16.0	16.75
7tクラス	CO2排出量(t-CO2/台)	30.0 (1.00)	19.8 (0.66)	31.8 (1.06)
トラクターショベル	CO2排出割合 (%)	17.6	12.4	18.44
20tクラス	CO2排出量(t-CO2/台)	82.1 (1.00)	74.2 (0.90)	80.3 (0.98)
ブルドーザ	CO2排出割合 (%)	22.4	20.7	22.01
25tクラス	CO2排出量(t-CO2/台)	109.5 (1.00)	94.5 (0.86)	89.6 (0.82)
ホイールクレーン	CO2排出割合 (%)	14.1	12.4	11.82

5.7.2　建設事業におけるCO_2算定評価システムの開発に関する研究

研究期間：平 11～平 13
担当：化学研究室

【要旨】

地球温暖化防止京都会議（COP3）で合意された温室効果ガス 6%の削減目標を達成するためには、6000 万トンのCO_2削減が必要である。建設事業において CO_2 の計画的な削減を行うため、本研究では、材料・事業・構造物・工法別ごとの原単位を作成すると同時に、資材生産から運搬・施工・維持管理及び廃棄までのライフサイクル総 CO_2 排出量評価手法を確立する。また、建設事業のライフサイクルにおける総 CO_2 を把握するシステムの構築を行う。12 年度は、土木事業におけるライフサイクル総 CO_2 原単位のうち、材料別原単位及び事業別原単位について具体的な作成方法を提案すると共に、これらの原単位を実際に算出した。



1．研究方法

11 年度に研究を実施したライフサイクル総 CO_2 排出量評価方法および原単位作成方法に関する概略検討結果に基づいて、CO_2 原単位の具体的な作成方法の提案を行う。さらに、本提案に基づいて、材料別および事業別の原単位を作成する。

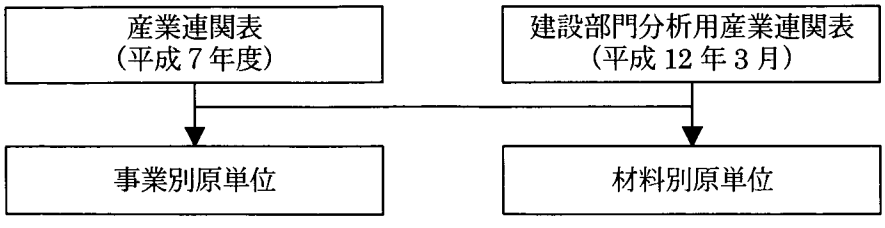
2．研究結果

2．1　CO_2 排出原単位の作成方法

CO_2 排出原単位の作成方法として、産業連関法、積上法、および両者の長所を取り入れたハイブリッド法が提案されている。本研究における CO_2 原単位の作成にあたっては、ハイブリッド法を用いることとし、以下のデータを参照した。

①エネルギー別直接 CO_2 排出係数（地球温暖化対策推進法施行令：環境庁（現環境省））
②産業別エネルギー使用量（総合エネルギー統計：資源エネルギー庁）
③産業連関表（平成 7 年度：総務庁（現総務省））
④標準積算システムコードブック（建設省関東地方建設局（現国土交通省関東地方整備局））
⑤建設部門分析用産業連関表（平成 11 年度：建設省（現国土交通省））

CO_2 原単位として、土木事業で使用される個別材料を対象とした CO_2 原単位（材料別原単位）、河川・道路等の建設事業計画を対象とした CO_2 原単位（事業別原単位）、道路工事の区分（土工、トンネル・橋梁等）ごと、ダム形式等を対象とした CO_2 原単位（構造物別原単位）、工法を対象とした CO_2 原単位（工法別原単位）を考える。原単位の作成フローとしては、図－1 に示すように、産業連関表および建設部門産業連関



図－1　CO_2 原単位の作成フロー

表を用いて、材料別原単位、事業別原単位を作成する。

CO_2 排出原単位作成にあたっては、まず、エネルギーの CO_2 排出量および産業連関表に基づいて産業別 CO_2 排出量を算出する必要がある。エネルギーの CO_2 排出量は、エネルギー別直接 CO_2 排出係数（環境庁政令データ）、産業別エネルギー使用量（総合エネルギー統計）から算出される。

材料別 CO_2 排出原単位は、建設省関東地方建設局（現国土交通省関東地方整備局）の標準積算システムコードブックに記載されている土木材料を対象として作成する。標準積算システムコードブックの土木材料については、産業連関表で示された分類項目を適宜当てはめて同定を行った。材料別 CO_2 排出原単位は、上記で算出した産業別 CO_2 排出量と標準積算システムコードブックの価格を用いて算出される。

事業別 CO_2 排出原単位は、建設部門分析用産業連関表に示された主要な事業を対象として作成する。作成にあたっては、材料別原単位の場合と同様に産業別 CO_2 排出量を用いるが、産業連関表として、一般産業連関表と建設部門分析用産業連関表を組み合わせた連関表を用いる。

2．2　材料別・事業別の CO_2 原単位

コンクリート、アスファルト混合物、鋼材、木材等、土木事業で用いられる材料を対象に作成された CO_2 原単位（材料別原単位）の一例を表－1に示す。算出に用いた材料価格は、2000年11月のものである。

表－1　材料別原単位

分類	規格	CO_2 排出原単位
セメント 生コン 骨材	セメント（普通ポルトランド）	940.05（kg-CO_2/t）
	生コンクリート（24-8-25（20））	271.96（kg-CO_2/m^3）
	コンクリート用骨材（砂（洗い））	25.30（kg-CO_2/m^3）
道路用舗装材	改質アスファルト　密粒アスコン（AC-100(20)）	690.33（kg-CO_2/t）
	アスファルト合材（再生密粒度アスコン(20)）	516.66（kg-CO_2/t）
鉄鋼	平鋼（SS400　9×50～75）	1,358.1（kg-CO_2/t）
	中厚板　規格エキストラ（SS400）	33.953（kg-CO_2/t）
	鉄筋コンクリート用棒鋼（SD295A D10）	775.70（kg-CO_2/t）
木材	正割材（杉1等 3000×45×45mm）	91.458（kg-CO_2/m^3）
	平割材（杉2等 4000×45×105mm）	85.361（kg-CO_2/m^3）

また、建設産業連関表に示された主要な事業に対する CO_2 原単位（事業別原単位）の一例を表－2に示す。CO_2 排出量の多いセメント等を使用する道路・区画整理・空港部門等において、CO_2 排出原単位が大きくなっていることが分かる。

表－2　事業別原単位

事業部門	投入額（百万円）	CO_2 排出原単位（kg-CO_2/円）
治水	3,048,185	3.77
下水道	3,781,834	3.45
道路	9,732,517	4.35
区画整理	289,616	4.33
港湾・漁港	1,237,210	3.86
公園	831,740	3.52
空港	236,651	4.10

今後、構造物別・工法別原単位の具体的な作成方法について検討を行っていく予定である。

（明嵐、木嶋）

5.8　大気汚染等の低減技術の評価に関する調査

研究期間：平12～平14

担当：交通環境研究室

【要旨】

本研究は、大気汚染等の低減効果の予測・評価手法の確立を目的として実施している。12年度は、大気汚染等の低減に資する施策のうち、走行パターンの変化が見込まれる交通施策の予測・評価のために、走行パターンを的確に反映した自動車の排出ガス量推計モデルの検討を行った。具体的には、走行パターンの変化を反映させるため、加減速を考慮した排出ガス量推計モデルを提案し、シャシダイナモ試験から得られた時系列データを用いてパラメータ設定、モデルの精度検討などを実施した。その結果本モデルは、適用範囲に制限があるものの、一般道路等の加減速を伴う短い区間の排出ガス量推計モデルとして適用の可能性が高いと考えた。

1．研究目的

本研究は、大気汚染等の低減に資する施策の効率的な実行を図るため、低減効果の予測･評価手法を確立することを目的としており、大気汚染等の低減に資する様々な交通施策に関して、交通施策に伴う交通量の削減、交通の円滑化等交通状況の改善及びそれに伴う大気汚染物質の変化を評価するための交通モデルを検討し、施策の評価を行うものである。

2．研究方法

12年度は、走行パターンの変化を反映させるため、加減速を考慮した排出ガス量推計モデルについて窒素酸化物(NOx)を例にとり自動車排出ガス量推計モデルの提案を行った。

大気汚染等の原因物質のひとつであるNOxの自動車からの排出量は、燃焼温度の上昇とともに増大する傾向があることが知られており、トルクを得るためにエンジン１回転あたりの仕事量を増大させると燃焼温度が上昇するため、NOx排出量も増加する傾向にある。一方、エンジンの回転数に比例してNOxの排出量も増加することから、トルクとエンジンの回転数の積に比例する「エンジン出力」に着目し、NOxの排出量はエンジン出力に比例するとの仮定に基き、加減速を考慮したNOx排出量の推計モデルを提案した。

提案した推計モデルのパラメータについて、１２台のディーゼル重量車を対象として、シャシダイナモ試験から得られた排出ガスの時系列データから推定した。用いたデータは、数種類の走行モードにおける0.2秒毎のデータであり、合計６時間程度の走行分を100m毎に集計して抽出した。また本推計モデルによる排出量(以下、モデルからの値と称す)と、平均走行速度による排出係数からの排出量(以下、速度式からの値と称す)を、集計距離別に実測の排出量と比較し、本モデルの精度を確認した。

3．研究結果

本研究において提案した推計モデルでは、次の式で排出量Ｆが求まるとした。

$$F = c_1 \int \delta \cdot v dt / X + c_2 \int \delta \cdot v^3 dt / X + c_{31} \int \delta \cdot \alpha v dt / X + c_{32} \int \delta \cdot \alpha dt / X + c_4 \cdot T / X$$

ここで、Ｆ:単位距離あたりの排出量、$c_1, c_2, c_{31}, c_{32}, c_4$：パラメータ、$\delta$：定数(1 or 0)、v：速度、Ｘ：走行距離、$\alpha$：車両加速度、Ｔ：走行時間

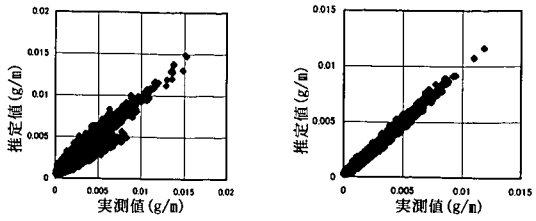
この式の右辺の第3項と第4項において、車両加速度を考慮している。

また、重回帰分析からパラメータを推定し、排出量の実測値と推定値との関係を見ると、重相関係数は0.879～0.987、標準誤差は0.00019～0.00198g/mの範囲となり、概ね良好な結

果が得られた。推定した結果の例を表-1に、また排出量の実測値と推定値の関係の例を図-1に示す。

表-1　パラメータ推定結果例

車両記号	F	Y
重相関係数R	0.932	0.987
標準誤差	0.00072	0.00021
観測数	3809	5460
c_1	0.00187	0.00103
c_2	-2.02E-07	2.57E-06
c_{31}	0.00608	0.00589
c_{32}	0.00112	0.00277
c_4	0.00752	0.00362



車両記号＝F　　車両記号＝Y

図-1　排出量の実測値と推定値の関係

図-1から、車両Yについてはバラツキが小さく、精度よく推定できているのがわかるが、車両Fについてはバラツキが比較的大きく、またパラメータc_2も負の値となった。この実測値と推定値の関係を、実測値が得られたシャシダイナモ試験の走行モードにより、「高速モード」と「その他のモード」とに区別して表したものを図-2に示す。

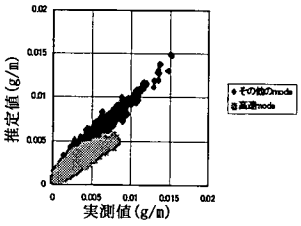


図-2 走行ﾓｰﾄﾞ別実測値と推定値の関係

表-2　車両Fのﾊﾟﾗﾒｰﾀ推定結果

車両番号	F
重相関係数R	0.972
標準誤差	0.00054
観測数	2129
c_1	0.00152
c_2	4.04E-07
c_{31}	0.00424
c_{32}	0.00431
c_4	0.00643

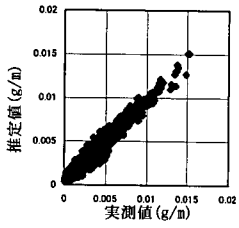


図-3　その他のﾓｰﾄﾞだけの相関

この図より、「高速モード」に関する相関が低いために全体としても特異な結果となったと判断し、「その他のモード」だけでパラメータを推定し直した結果を表-2に、実測値と推計値の相関を図-3に示す。これから、「その他のモード」つまり一般道路の走行モードだけであると、相関が高まることがわかる。また、今回のパラメータ推定にあたっては、シャシダイナモ試験から得られた排ガスの時系列データを100mごとに集計しているが、この集計距離別にモデルからの値と速度式からの値とを、実測の排出量と比較した結果の例を図-4及び5に示す。図-4は、集計距離を5000mとしたもので、モデルから及び速度式からの値両方ともバラツキが小さく、実測値との相関が高いと言える。しかし図-5に示すように、集計距離が100mの場合は、モデルからの値のバラツキが小さいのに比べ、速度式からの値のばらつきは大きく、短い距離の場合、速度だけでは排出量の再現が難しいことがわかる。以上から、本モデルは、一般道路等の加減速を伴う短い区間の排出ガス量を推計しようとするものであるが、今後は、排出ガス低減対策を施した車への適用性についても検討する必要がある。

（大西、松下、大城）

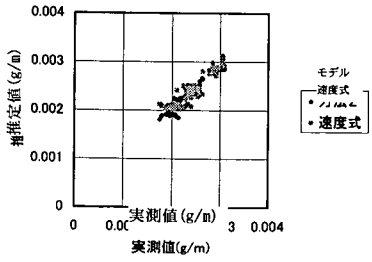


図-4　推計値と実測値の関係
（集計距離 5000mの場合）

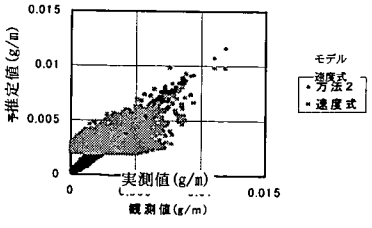


図-5　推計値と実測値の関係
（集計距離 100mの場合）

5.9　都市緑地調査における人工衛星技術の活用に関する研究

研究期間:平１１～１３
担当：緑化生態研究室

【要旨】
本研究は、都市における緑地総量の把握や緑地の活力度評価、CO_2固定量算定など、都市緑地の様々な調査・解析における人工衛星データの活用手法を開発することを目的として実施しているものである。
平成12年度は、練馬区内のケーススタディーエリア及び練馬区全域を対象に、高分解能人工衛星IKONOS画像より緑地を抽出し、その精度を航空写真判読結果および練馬区緑の実態調査結果と比較することにより検証した。さらに、２時期（夏季、冬季）の衛星画像における常緑樹・落葉樹のスペクトル特性の相違による常緑・落葉の区別、現地調査結果（樹種、本数、樹高、胸高直径等）を加味してのCO_2固定量の算出等、IKONOSおよびLANDSAT画像を用いて人工衛星データの多目的活用手法の検討を行った。

１．研究目的

本研究は、都市における緑地総量の把握や緑地の活力度評価、CO_2固定量算定など、都市緑地の様々な調査・解析における人工衛星データの活用手法を開発することを目的として実施するものである。
平成 12 年度は、都市緑地調査において、航空写真による調査に代わるものとしての高分解能人工衛星IKONOS 画像の利用可能性および常緑・落葉の区別、都市緑地の CO_2 固定量算定など、人工衛星データの多目的活用手法の開発を行うことを目的とした。

２．研究方法

２．１　対象地域

東京都練馬区石神井公園周辺の 1km×1km を LANDSAT のケーススタディーエリアとし現地調査等の詳細な解析を行い、さらにその結果を練馬区全体に反映し、試算等を行うこととした。

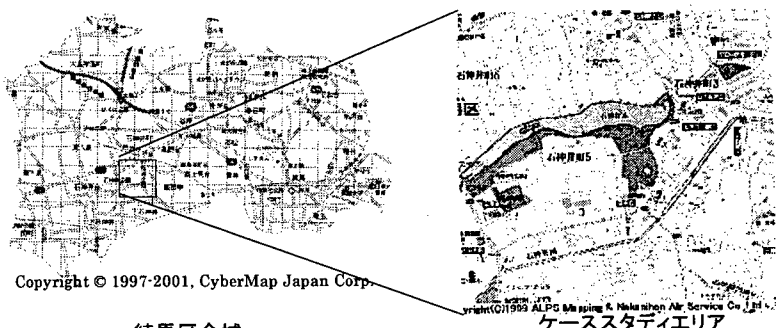


図1 対象位置図

２．２　研究方法

研究の流れを図２に示す。

（１）IKONOS による都市緑地の抽出

IKONOS ﾃﾞｼﾞﾀﾙｵﾙｿ画像の教師つき分類により緑被地（樹林地、草地、農地）の抽出を行った。抽出結果は、1／2,500（ケーススタディーエリア）及び1／10,000（練馬区全域）のDM データと重ね合せ緑被分布図及び小樹林地分布図を作成した。なお、小樹林地とは面積 300m² 以上のまとまりをもった樹林地を指す。

（２）IKONOS による緑地抽出精度の検証

ケーススタディーエリアについては、航空写真判読結果と練馬区全域については、「練馬区みどりの実態調査(H8)」の結果と比較することによって、IKONOS 画像により抽出された緑被地の精度を検証した。

（３）衛星画像の多目的活用の手法検討

２種（LANDSAT、IKONOS）２時期（夏、冬）の衛星画像を用いて常緑樹・落葉樹の区分抽出を行い、航空写真判読結果と比較検討を行った。

（４）ケーススタディーエリアにおける現地調査の実施

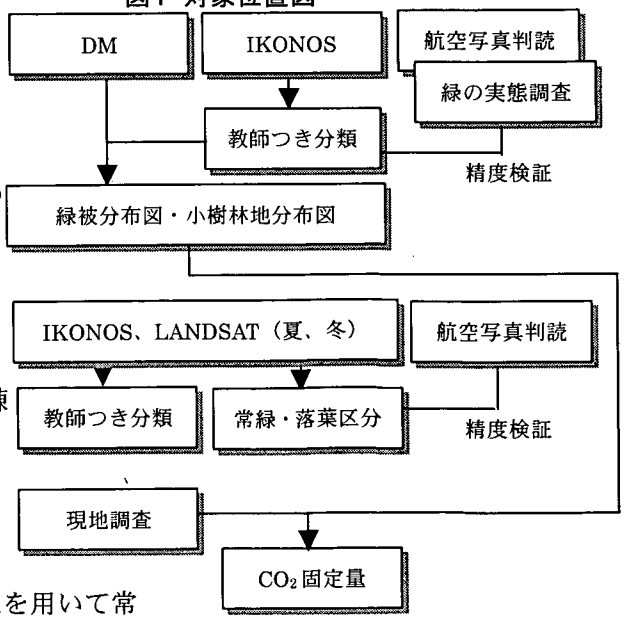


図2 研究の流れ

ケーススタディーエリアにおいてLANDSATによる6つの土地被覆ごとに2箇所（計12箇所）の現地調査箇所(30m×30m)を選定し、①樹種、②本数、③樹高、④胸高直径、⑤枝張りについて現地調査を行った。

（5） 都市緑地のCO_2固定量の把握

現地調査結果より土地被覆ごとに緑被率、本数、樹高、胸高直径、枝張りの平均値を求め、公表されるCO_2固定量原単位を用いてケーススタディーエリア及び練馬区全域のCO_2固定量を算出した。

3．研究結果

（1） IKONOSによる緑地抽出精度の検証

航空写真判読結果（図3、図5）を基準にIKONOSより作成した緑被分布図、小樹林地分布図（図4、図6）を検証した。

本研究ではIKONOSﾃﾞｼﾞﾀﾙｵﾙｿ画像を使用したため、背景画像との空間誤差は皆無に等しく、高い位置精度を示している。緑被地の抽出精度は空間分解能が4mと高いため、小規模な緑被地も比較的適切に抽出されているが、影の影響が残っている。今後実用化へ向けて判読による補完、あるいは高い精度での影の除去処理手法の開発が必要であると考えられる。面積300m²以上の小樹林地分布図の場合、影の影響が相殺されており、緑被分布図よりも小さい誤差で抽出されている。

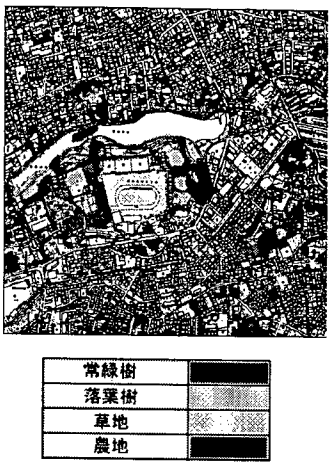


図3 緑被分布図(航空写真)



図4 緑被分布図(IKONOS)

（2） 常緑樹・落葉樹区分結果の検証

図3の航空写真判読結果を基準に、2時期(夏、冬）の衛星画像における常緑樹・落葉樹のスペクトルの季節変化パターンを調べ、それぞれの特性を利用し、自動処理による常緑樹と落葉樹の区分を試みた（図7）。


図5小樹林地分布図(航空写真)


図6小樹林地分布図(IKONOS)

図7をみると、おおむね航空写真判読結果に近い精度で区分されており、2時期の衛星画像を用いる手法の妥当性がおおむね認められた。これより、より多数の時期の衛星画像を用いることによって、さらに細かい樹種が区分できる可能性が考えられる。一方、図7に存在する誤差は、落葉によって露出する樹下のスペクトル特性が場所によって異なることに起因すると考えられる。すなわち、落葉によって分光反射率の小さい土壌が露出するケース以外に、分光反射率の大きい家屋やコンクリートが露出するケース、常緑低木が露出するケースなどがあるため、これらが誤差を生じさせていると考えられる。

（3） 都市緑地のCO_2固定量の把握

LANDSAT及びIKONOSの分類結果と現地調査により求められた土地被覆分類ごとの平均樹木被覆面積、各樹高・胸高直径毎の平均樹木本数を用いて、ケーススタディーエリア及び練馬区全域のCO_2固定量を試算した。試算結果は手法による分散が大きく、改めて精度を検証する必要があると思われる。



図7 常緑樹・落葉樹区分図(IKONOS)

4．今後の課題

本研究では、IKONOSを用いて作成した緑被分布図と小樹林地分布図の精度検証、2時期（夏、冬）の衛星画像を用いた常緑樹・落葉樹の区分検討、およびCO_2固定量の算出を行った。今後は実用化へ向けて、解析手法および誤差補正手法の体系化を行っていく必要がある。

（藤原、山岸）

5.10　人為的活動による都市緑地における炭素収支変動の評価に関する研究

研究期間：平 11 年～ 13 年
担　　当：緑化生態研究室

【要旨】
街路樹に固定される CO_2 の一部は、剪定枝として廃棄され、大気中に還元する。そのため、CO_2 固定促進の視点からは、剪定枝を適切にリサイクルし、還元を防ぐことが有効と考えられる。本研究は、剪定枝の発生量を推定するとともに、剪定枝の処理形態別に CO_2 排出量と時間を算出し、リサイクルによる CO_2 固定への貢献の程度を評価しようとするものである。平成 12 年度は、街路樹管理により発生する剪定枝の全国総量を把握するため、剪定枝発生実測調査により街路樹 1 本当たりの剪定枝発生量を算出し、アンケート調査により典型的剪定頻度を調べ、既存統計資料により街路樹総本数を把握することにより、剪定枝総発生量を試算した。

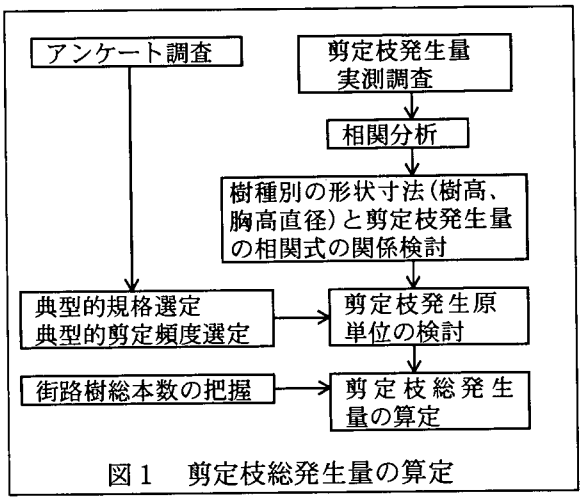


図 1　剪定枝総発生量の算定

1．研究目的

本研究は、剪定枝の発生量を推定するとともに、剪定枝の処理形態別に CO_2 排出量と時間を算出し、リサイクルによる CO_2 固定への貢献の程度を評価しようとするものである。平成 12 年度は、街路樹管理により発生する剪定枝の総量を推定することを目的とした。

2．研究方法

2．1　街路樹管理者に対するアンケート調査の実施

国・自治体等の街路樹管理者に対してアンケートを行い、街路樹の管理本数、形状寸法、剪定頻度・強度等の実態を調査し、その中から典型的規格及び典型的剪定頻度を選定した。

2．2　剪定枝葉発生量実測調査及び剪定枝発生原単位の検討

1 回の剪定により、街路樹 1 本からどのくらいの剪定枝が発生するかを把握するため、東京都内の国道においてプラタナス(25 本)、イチョウ(20 本)、埼玉県の国道においてケヤキ(11 本)を対象に、剪定枝の実測調査を行った。そして、剪定枝の発生量と樹木の形状寸法との関係を求め、これらの結果から、剪定枝の発生原単位を求めた。

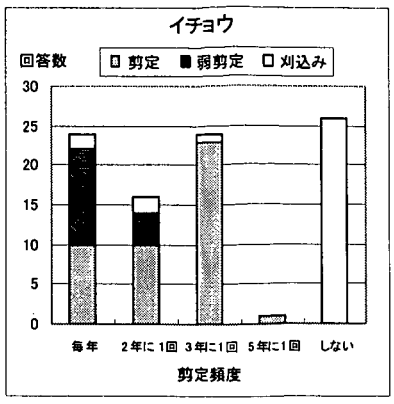
2．3　剪定枝総発生量の把握

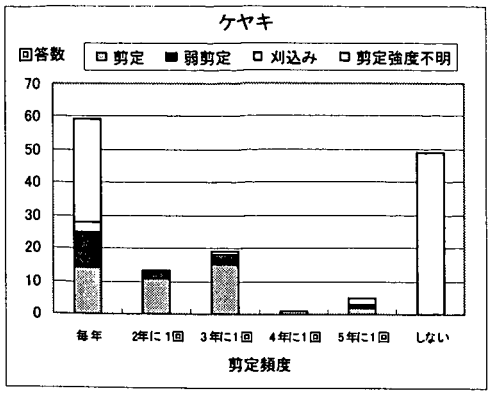
アンケート調査より選定した典型的規格及び典型剪定頻度に、剪定枝発生原単位及び街路樹総本数を乗ずることにより剪定枝総発生量を試算した。

3．研究結果

3．1　典型的剪定頻度の選定

アンケート調査では、全国の多用される高木 30 種を対象にしたが、ここでは、剪定枝発生量の実測調査を行った 3 樹種イチョウ、ケヤキ、プラタナスの剪定頻度を図 2 に示す。3 樹種とも剪定をしないものが 2 割から 4 割程度あるが、イチョウ、ケヤキは毎年から 3 年に 1 回の割合で、剪定が行われており、プラタナスは、ほぼ毎年剪定が行われている。剪定頻度と剪定強度との関係をみると、イチョウでは、剪定頻度が低い（時間間隔が長い）場合は、強い剪定が行われる割合が高い。プラタナスは、毎年強い剪定が行われる割





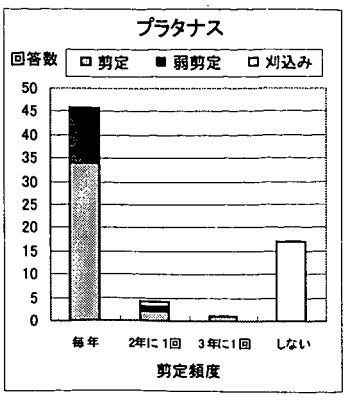


図２　３樹種の剪定頻度

合が高いが、これは、プラタナスが枝の伸長生長及び萌芽力が旺盛であるためといえる。

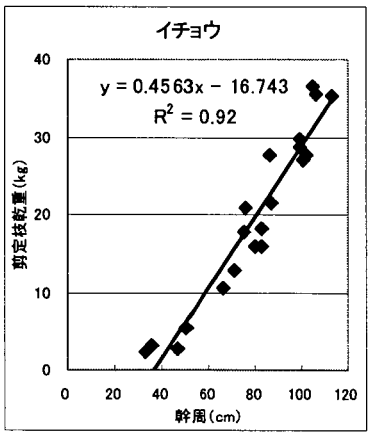
３．２　剪定枝発生原単位の検討

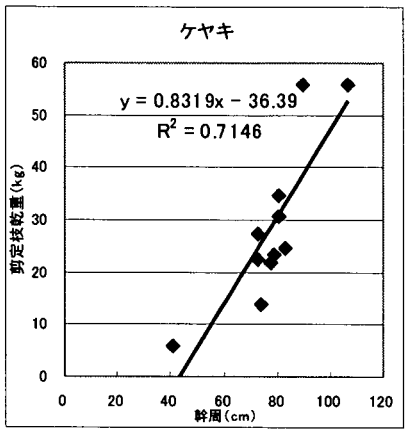
イチョウ、ケヤキ、プラタナスの、形状寸法と剪定枝の発生量との相関係数を表１に示す。

表１　樹木の形状寸法と剪定枝重量との相関係数

樹種＼項目	樹高	幹周	枝張
イチョウ	0.91	0.96	0.91
ケヤキ	0.67	0.85	0.79
プラタナス	0.82	0.70	0.77

このように、３樹種について樹木の形状寸法と剪定枝重量との間に、正の高い相関が見られた。また、樹木の幹周と実測した剪定枝乾重との関係を図３に示す。





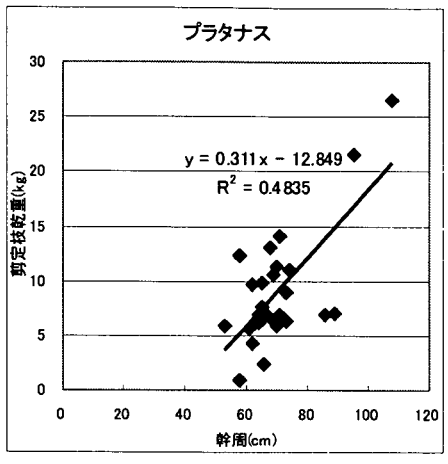


図３　幹周と剪定枝乾重との関係

３．４　剪定枝総発生量の推定

全国量を推定するにあたり、ここでは、イチョウのデータを用いて行う。すなわち、全国すべての街路樹が、イチョウであるとの仮定のもとに行う。形状寸法は、剪定枝発生量と相関の高い幹周とし、そのサイズはアンケート調査のイチョウの回答(91 件)の平均である 62cm とする。樹木１本の１回の剪定枝発生量(乾重)は、図３の近似式より幹周 62cm の場合は、11.5kg である。次に、剪定頻度は、同様にアンケート調査の平均である 2.3 年に１回とする。そうすると、年間剪定枝発生量(乾重)は、11.5kg × 1 /2.3 ＝ 5.0kg となる。全国の年間剪定枝発生総量(乾重)は、我が国の街路樹の高木本数（高速道路は除く）の 621 万本をかけると、11.5kg × 1 /2.3 × 621 万本＝ 31,050,000kg、約 31,050 ｔとなる。木質部乾燥重量の約 50 %がＣ(炭素)であるので、CO_2 固定量に換算すると、約 56,915 ｔとなる。また、幹周 62cm（胸高直径 19.7cm）のイチョウの木質部乾燥重量の増加を、11 年度調査結果より試算すると年間約 8.5kg となる。年間剪定枝発生量(乾重)は、その約６割にあたる。つまり、剪定枝が焼却によって処分されるとすれば、街路樹が、毎年固定する CO_2 の約６割は、大気中に CO_2 として還元されてしまうこととなる。それゆえに、街路樹管理では、剪定枝の処理方法が、CO_2 固定促進を考えるうえで重要な意味をもつといえる。　（藤原、山岸）

公共事業におけるリサイクル材利用技術の開発

6．公共事業におけるリサイクル材利用技術の開発

研究期間：平成11～17年度
プロジェクトリーダー：新材料開発研究官
三木博史

1．研究の背景：

一般廃棄物、産業廃棄物を問わず廃棄物のリサイクルの推進は、環境問題への対応やリサイクル社会の構築の観点から、産業間にまたがる重要課題となっている。

公共事業においては、建設分野から発生する廃棄物のリサイクルの推進に鋭意取り組んでいるところであるが、建設分野以外からの廃棄物についても、製品内でのリサイクルが困難なものについては、産業間の連携による資源循環型システムの形成の観点から、建設分野での利用を可能な限り図っていくことが求められている。

2．研究の目的：

本重点研究プロジェクトは、他分野からの廃棄物を用いたリサイクル材の開発や、既に開発されているリサイクル材の性能や環境安全性等の評価手法の検討を行い、これらの建設分野への利用技術を確立することを目的として実施しているものである。

3．これまでの研究成果：

これまで、建設分野以外からのリサイクル材の現場適用のためのマニュアル（案）を作成するとともに、リサイクル材を用いてパイロット事業を行った現場から、各種データを取り、リサイクル材の評価手法の検討を行った。また、再生資材の需要と供給に関する情報交換を効率的に行う情報システムの検討、一般廃棄物の焼却灰を溶融固化して得られるスラグを舗装のアスファルト混合物もしくは路盤材として用いた場合の特性調査、廃木材を活用した大気汚染対策用舗装の開発を目的とした炭化骨材の強度試験などを行ってきている。

１２年度は、他産業リサイクル材を評価する際の視点をとりまとめるとともに、公共事業における試験施工状況の調査を行った。その結果、評価の視点にそって各種他産業リサイクル材の評価データが蓄積されつつあることが明らかになった。今後、これらのデータをふまえて、他産業リサイクル材の評価マニュアルを提案していく予定である。

また、他産業リサイクル材についてのメニューやその基礎データがまだ十分に整えられているとはいえない現状をふまえ、他産業廃棄物の中から社会的に大きな問題となっ

ているものとして一般廃棄物焼却灰、石炭灰、廃木材、製紙スラッジ焼却灰（PS灰）、廃ガラスの５種類を選び、これらのリサイクル材を対象に土木資材としての利用可能性の調査を行った。その結果、上記５種類の産業廃棄物ごとのリサイクル材のメニューとそれらの基本的な性状や実用化の状況が把握でき、土木資材としての利用可能性の高いリサイクル材の絞り込みを行うとともに、それぞれのリサイクル材の適用可能用途ならびに今後の課題と留意点を明らかにした。

一般廃棄物の焼却灰溶融固化物の舗装用骨材としての利用技術については、これまでの結果から、アスファルト混合物への混入量が大きくなるほど性状が低下する傾向が認められたことをふまえ、焼却灰溶融固化物をアスファルト舗装用骨材の一部として用いた試験施工を行い、施工性の確認を行うとともに、促進載荷試験による耐久性の確認を行った。さらに、重金属等の溶出の有無を調べた。その結果、徐冷スラグでは転圧時に骨材が割れることもあったが、Ａ交通程度の交通条件であれば通常のアスファルト舗装に比べて大きな差がないことを確認した。また、周辺土壌への環境影響もほとんどないことを確認した。

さらに、木材炭化物（ウッドセラミックス）を大気汚染対策用舗装の骨材として利用する技術を開発することを目的として、光触媒作用を有する二酸化チタンの炭化骨材への被覆方法を検討するとともに、二酸化チタンを表面被覆した炭化骨材の窒素酸化物除去能力について調べた。その結果、表面に５μm程度の厚さで二酸化チタンを被覆した炭化骨材を製造することだ可能であること、また二酸化チタンを被覆した炭化骨材は大気中の窒素酸化物除去能力が非常に大きいことが明らかになった。

－公共事業におけるリサイクル材利用技術の開発－

個別研究課題目次

6.1　リサイクル新材料の利用技術に関する研究……（新材料開発研究官）…188

6.2　他産業リサイクル材利用のマニュアル検討調査……（新材料開発研究官）…190

6.3　一般廃棄物の焼却灰溶融固化物の舗装用骨材としての利用に関する調査……（舗装研究室）…192

6.4　廃木材を活用した大気汚染対策用舗装の開発……（化学研究室）…194

6.1　リサイクル新材料の利用技術に関する研究

研究期間：平11～13

担当：新材料開発研究官

【要旨】

循環型社会の実現にむけて、リサイクルのための技術開発やシステムづくりが進められている。その中でも他産業産業廃棄物は処分場の逼迫や処分費の高騰を背景に土木材料への適用性を模索しており、リサイクル促進のためそれら他産業リサイクル材の工学的特性や環境安全性などを評価し、公共事業における利用可能性を明らかにすることが求められている。

そこで、平成12年度は、他産業リサイクル材を評価する際の視点をとりまとめるとともに、公共事業における試験施工状況の調査を行った。その結果、評価の視点にそって各種他産業リサイクル材の評価データが蓄積されつつあることが明らかになった。

1．研究目的

他産業リサイクル材を公共事業に用いるための評価方法を明らかにするとともに、試験施工とその追跡調査結果などにもとづき、他産業リサイクル材の評価・利用技術マニュアルを作成することを目的としている。

2．研究方法

平成12年度は、他産業リサイクル材についてのデータがまだ十分に整えられているとはいえない現状をふまえ、他産業リサイクル材の評価の視点について検討するとともに、公共事業における試験施工（パイロット工事など）の状況について調査を行った。

3．研究結果

評価の視点として、表－1の6項目について現状と課題をとりまとめた。また、調査の結果、表－2に示すようなパイロット工事が進められており、評価データが蓄積されつつあることが明らかになった。今後はこれらの評価の視点をもとに、試験施工とその追跡調査を継続して行っていく予定である。

表－1　他産業リサイクル材の評価視点

	視点	現状と課題
1	工学的特性	基本となる工学的特性については、材料に応じた各種の評価項目があり、それに応じた試験方法が用いられている。評価項目によっては、既存の試験方法がないため、新しく試験方法の開発が求められる例もある。また、耐久性などは、過去の経験（実績）があまりない時点での評価になるため、実験的検討に頼ることになるが、その手法が十分に確立しているとはいえない面があり、データが少ないことと相まって、評価を難しくしている。
2	環境安全性	環境安全性については、環境庁告示の土壌の汚染に係わる環境基準（以下、土壌環境基準と呼ぶ）に適合することが原則的に求められる。そして、その際、代表試料の評価結果のみでは不十分で、環境安全性の保証体制の整備がどの程度いきとどいているかという観点からの評価が肝要である。
3	品質の変動特性	多くの材料は品質がある幅のなかで変動するのが一般的な姿なので、その幅を把握したうえで、適切な品質保証体制が整えられていることが評価の大前提である。この点に疑問を感じるようでは、その材料はまだ評価に耐えるレベルに達しているとは言い難い。
4	経済性	経済性については、開発段階での大前提のはずであるから、直接の評価項目として取り上げないことが多い。しかし、よく吟味してみると、市場での競争性やトータルコストの面からの優位性があまり認められないケースもあるので、評価の前段階でのチェックが必要である。実際への適用にあたっては、そもそもリサイクルにそこまでお金をかけることが社会システムとして最適かどうか、という根本的な問いかけを常に忘れないようにすることが肝要である。
5	実施例	ある程度まとまった数の実施例により、種々の条件下での性能や品質の検証がなされていないと、実際に使用してみて初めてわかる思わぬ欠陥を見落とすこともありうる。したがって、実施例は評価にあたって極めて重要な情報となる。
6	設計・施工あるいは使用マニュアル	上記(1)から(5)の材料特性や実施例をふまえて、調査法、設計・施工法、施工上の留意点、施工管理方法がしっかりと記述され、それに従っておればユーザーが安心してその材料を使用できるマニュアルが整えられていることが評価の際に不可欠である。

表－2　平成12年度　他産業リサイクル材を利用したパイロット工事一覧

No.	リサイクル材	リサイクル材の用途	工事内容	担当部署
1	再生ウール(回収衣料品)	防草シート	舗装維持修繕工事	山形工事事務所
2	洗剤等容器の製造過程から発生する残材(ポリエチレン材)	プラスチック擬木柵	ｵｰﾄｷｬﾝﾌﾟ場内防護柵設置工事	みちのく湖畔公園工事事務所
3	カキ殻ホタテ殻	植樹帯及び交通島の防草舗装	舗装維持工事	三陸国道工事事務所
4	籾殻またはウッドチップ	園路の舗装材に籾殻またはウッドチップを混合して利用する	高水敷整備の一環としての園路整備	利根川上流工事事務所
5	下水道汚泥のコンポスト	発生土に混ぜて、植樹帯の植生基盤として利用	緑化工事	横浜国道工事事務所
6	廃タイヤゴムチップ	透水性舗装材料として利用	街路整備	大宮国道工事事務所
7	廃タイヤ	歩道舗装の表層	歩道改良工事	千葉国道工事事務所
8	古紙、ガラス、プラスティック等、一般廃棄物	コンクリート型枠、重力式擁壁、擁壁下敷材	改良工事	宇都宮国道工事事務所
9	古紙	路側擁壁のフーチング型枠	改良工事	甲府工事事務所
10	下水汚泥	レンガ(歩道舗装)	庁舎建築工事(外構歩道部分)	長野営繕工事事務所
11	廃タイヤゴムチップ	凍結抑制舗装	拡幅舗装工事	長岡国道工事事務所
12	廃タイヤゴムチップ	多機能舗装	舗装修繕工事	富山工事事務所
13	下水道汚泥	植樹帯の保水材	中央分離帯改修工事	富山工事事務所
14	古タイヤ	砂防ダムの間詰護岸の緩衝材	砂防ダム工事	神通川水系砂防工事事務所
15	下水道汚泥	山腹緑化工の土壌改良材	山腹緑化工事	立山砂防工事事務所
16	廃タイヤ(ゴム)	弾性舗装	多孔質弾性舗装の実用化に向けたフィールド試験(一般国道23号)	三重工事事務所
17	廃プラスチック	ドレーンパイプ	橋面舗装又は排水性舗装の集水ドレーンとして活用	名古屋国道工事事務所
18	コーヒー豆等の麻袋	植生用ﾏﾙﾁﾝｸﾞ材	一般国道27号の法面工事	福井工事事務所
19	間伐材	木製枠工(しがら組)	山腹工事	木津川上流工事事務所
20	フライアッシュ	セメントと混合し気泡モルタルとして使用	湖岸道路改良工事	苫田ダム工事事務所
21	石炭灰	スタビライザで路床土と混合し安定処理を行い路床を構築	一般国道9号安来道路舗装工事	松江国道工事事務所
22	銅水砕スラグ	S.C.P(サンドコンパクションパイル)材として、利用	岩国港岸壁工事	運輸省第四港湾建設局宇部港湾工事事務所
23	廃ガラス	廃ガラスを混合させたアスカーブを施工し、ドライバーの視認性・誘導に利用	一般国道56号舗装工事	高知工事事務所
24	一般焼却灰(細溶融徐冷スラグ)	一般国道56号の歩道舗装の表層に使用予定	一般国道56号舗装修繕工事	土佐国道工事事務所
25	リサイクル木材	土留法枠にリサイクルウッドを利用	護岸工事	中村工事事務所
26	ガラスカレット(擬石)	堰改築工事の魚道及び護床工になる部分に植石や詰石の表面部材として利用	長清堰改築工事	菊池川工事事務所
27	ベルトコンベアーのベルト部分(廃材)	廃ベルトを加工し、現道工事における保安施設として使用(体感マット)	情報BOX、舗装修繕工事	佐賀国道工事事務所

(三木)

6.2　他産業リサイクル材利用のマニュアル検討調査

研究期間：平11～13

担当：新材料開発研究官

【要旨】

循環型社会の実現にむけて、リサイクルのための技術開発やシステムづくりが進められている。その中でも他産業産業廃棄物は処分場の逼迫や処分費の高騰を背景に土木材料への適用性を模索しており、リサイクル促進のためそれら他産業リサイクル材の工学的特性や環境安全性などを評価し公共事業における利用可能性を明らかにすることが求められている。

そこで、平成12年度は他産業リサイクル材についてのデータがまだ十分に整えられているとはいえない現状をふまえ、他産業廃棄物の中から社会的に大きな問題となっているものとして一般廃棄物焼却灰、石炭灰、廃木材、製紙スラッジ焼却灰（PS灰）、廃ガラスの５種類を選び、これらのリサイクル材を対象に土木資材としての利用可能性の調査を行った。その結果、これらのリサイクル新材料の適用可能用途が明らかになった。

１．研究目的

本研究は、他産業リサイクル材を公共事業に用いるための利用技術マニュアルを作成することを目的としている。

２．研究方法

平成12年度は、他産業リサイクル材についてのデータがまだ十分に整えられているとはいえない現状をふまえ、他産業廃棄物の中から、1)比較的簡単な加工で利用できる可能性がある、2)再生利用が比較的進んでいない、3)現在再生利用のための研究が進められている等の観点から、一般廃棄物焼却灰、石炭灰、廃木材、製紙スラッジ焼却灰（PS灰）、廃ガラスを選び、これらの処理技術、物理的・化学的性状、品質評価、環境影響評価、経済性等の調査を行い、各種リサイクル材の土木資材としての利用可能性を明らかにした。

３．研究結果

上記５種類の産業廃棄物のリサイクル材の処理技術、物理的・化学的性状、品質評価、環境影響評価、コスト等を調査し、それらの結果をもとに土木資材としての適用可能用途と今後の予想される動向および適用する際の留意点をとりまとめた。（表－1.1～1.2）

表－1．1　他産業リサイクル材の適用可能用途（その1）

産業廃棄物	処理技術	適用可能用途		今後の動向および留意点
一般廃棄物焼却灰	溶融固化	舗装の路盤材料	上層・下層路盤	大量の利用が期待できる 酸性雨対策などの安全性を確認する必要あり
		ｱｽﾌｧﾙﾄ舗装の表基層骨材	ｱｽﾌｧﾙﾄ混合物の細粗骨材	
		ｺﾝｸﾘｰﾄ骨材（現場施工）		高強度の領域には確認の必要あり
		ｺﾝｸﾘｰﾄ骨材（工場製品）		
		ﾌﾞﾛｯｸ舗装	①ｲﾝﾀｰﾛｯｷﾝｸﾞ	
			②歩道平板ﾌﾞﾛｯｸ	
	焼成処理によるエコセメント化	普通型エコセメント	①生ｺﾝｸﾘｰﾄ	大型部材や高強度領域には、確認の必要性がある
			②ｺﾝｸﾘｰﾄ製品	
		速硬型エコセメント	①生ｺﾝｸﾘｰﾄ	
			②ｺﾝｸﾘｰﾄ製品	

表－1．2 他産業リサイクル材の適用可能用途(その2)

産業廃棄物	処理技術	適用可能用途			今後の動向および留意点
石炭灰	溶融固化	ｱｽﾌｧﾙﾄ舗装骨材		細骨材	川崎重工が開発
	ｾﾒﾝﾄ固化粉砕	路盤材		下層路盤材(ｱｯｼｭﾛﾊﾞﾝ)	中部電力が開発
		地盤改良材		SCP材	H12年から販売中
	ｾﾒﾝﾄ混合固化	人工地盤材料		頑丈土破砕材	技術審査証明済
	石灰混合固化	ﾎﾟｿﾞﾃｯｸ		路盤材、遮水ﾗｲﾆﾝｸﾞ、地盤改良	
	水熱固化	路盤材			
	焼成	人工軽量骨材		駐車場の透水平板、ﾋﾞﾙの外壁	需要増大の見込
		ｾﾒﾝﾄ原料		粘土代替	
		ｾﾗﾐｯｸｽ		断熱煉瓦、舗装ﾀｲﾙ	
		濾材		ｾﾗﾐｯｸﾎﾞｰﾙ(CB)濾材	
	ｱﾙｶﾘ水熱処理	人工ｾﾞｵﾗｲﾄ		生態系支援ﾌﾞﾛｯｸ	
	無処理	ｾﾒﾝﾄ混合材、ﾌﾗｲｱｯｼｭｾﾒﾝﾄ			
		ｱｽﾌｧﾙﾄﾌｨﾗｰ材			利用件数少ない
		盛土材		軽量盛土材	他工法より経済的
		中詰め材		築島中詰め材	
		裏込材		擁壁裏込め材	
		土質改良材			Geo Seed販売中
		路盤材(ｸﾘﾝｶｰｱｯｼｭ)		下層路盤材	
		路床材		凍上抑制層	北海道で需要大
		ｺﾝｸﾘｰﾄ混和材			
廃木材	そのまま	永久型枠材、土木用資材		砂防ﾀﾞﾑ永久型枠、杭、土留矢板	
	ﾁｯﾌﾟ化	そのまま	のり面吹き付け材	造成ののり面(植物生育基盤)	
			ﾏﾙﾁﾝｸﾞ材、ｸｯｼｮﾝ材、	公園、ｱｽﾚﾁｯｸ広場、歩行者専用	
			歩行者路舗装、歩道	路他	
		堆肥化	のり面吹き付け材	造成ののり面(植物生育基盤)	
			歩行者路舗装	歩行者専用路	
		木粉+ﾌﾟﾗｽﾁｯｸ	再生木材(木粉をﾌﾟﾗｽﾁｯｸと混合溶融)	型枠材	転用回数が増え性能向上
	炭化	土壌改良剤、護岸用土留材、油吸着材		軟弱地盤・粘土質地盤、河川護岸、河川や海洋での油処理	
製紙スラッジ(PS灰)	再焼成処理	汚泥処理		ｼｰﾙﾄﾞ排泥処理、各種汚泥処理	需要増大の見込
		軟弱地盤改良		軟弱地盤の表層改良工法	需要増大の見込
		水質浄化		海水及び池の浄化	
		消臭		産廃処理場等	
	造粒セメント固化	軽量骨材		骨材、路盤材、コンクリート骨材	安定量の需要
		細骨材(海砂代替材)		コンクリート骨材、SCP材	海砂代替需要増大の見込
	汚泥混合醗酵	のり面吹き付け		造成法面、林野植生	実用性大
	焼成	軽量骨材		二次製品骨材	
	未処理	ｾﾒﾝﾄ混合材		ｾﾒﾝﾄ	
		ｱｽﾌｧﾙﾄﾌｨﾗｰ材		ｱｽﾌｧﾙﾄ	利用件数少ない
		盛土材		軽量盛土材	他工法より経済的
		中詰材		軽量中詰材(軽量ﾓﾙﾀﾙ代替)	他工法より経済的
		裏込め材		擁壁裏込め材	
廃ガラス	溶融・発泡	緑化保水材		保水材(連続気泡)	
		湧水処理材		湧水処理材(連続気泡)	
		地盤改良材		地盤改良材	
		盛土材		軽量盛土材(独立気泡)	
		軽量骨材		粗骨材	天然骨材より軽量
		軽量ﾎﾟｰﾗｽ骨材		粗骨材	

(三木)

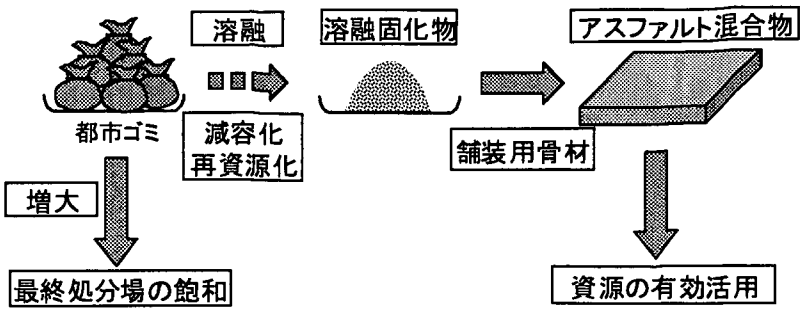
6.3　一般廃棄物の焼却灰溶融固化物の舗装用骨材としての利用に関する調査

研究期間：平11～13

担当：舗装研究室

【要旨】

本課題では、他産業から発生するリサイクル材の一つである一般廃棄物の焼却灰溶融固化物について、舗装用骨材としての適用性について検討を行っている。これまでの結果から、アスファルト混合物に混入させた場合、混入量が大きくなるほど性状が低下する傾向を示すものの、大きな影響はなく、使用量を制限することで利用は可能と考えられた。そこで、焼却灰溶融固化物をアスファルト舗装用骨材の一部として用いて試験施工を行い、施工性、供用性等の調査を行った。



一般廃棄物の焼却灰溶融固化物の舗装用骨材としての利用のイメージ

1．研究目的

近年、産業から排出される副産物の建設資材としての利用が強く求められている。本検討では、他産業リサイクル材として、一般廃棄物の焼却灰溶融固化物をとりあげ、舗装用骨材としての適用性の確認を行うことを目的としている。12年度は溶融固化物をアスファルト混合物用骨材の一部として用いて試験施工を行い、施工性の確認を行うとともに、促進載荷試験を行い耐久性の確認を行った。さらに重金属等の溶出の有無について確認を行った。

2．研究方法

2．1　使用材料

溶融固化物は、冷却方法が異なる徐冷スラグと水砕スラグを用いた。粒度分布は表－1に示すとおりである。粒度分布から、徐冷スラグは6号砕石の代替に、水砕スラグは細骨材の代替に使用することとした。

表－1　溶融固化物の粒度分布

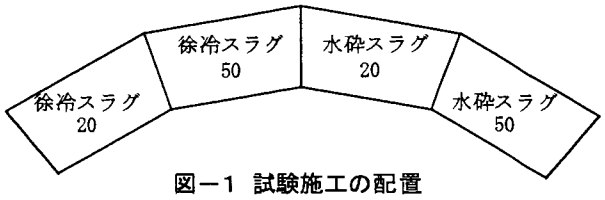
ふるい目の呼び寸法 mm	19	13.2	9.5	4.75	2.36	1.2	0.6	0.3	0.15	0.08
徐冷スラグ	100.0	93.6		1.8						
水砕スラグ				100	99.2		36.9	15.7	7.1	3.8

表－2　配合割合

混合物種類	スラグの代替割合	配合割合（%）						
		6号	7号	粗砂	細砂	石粉	徐冷スラグ	水砕スラグ
標準	代替なし	37.0	17.0	25	15	5	－	－
徐冷スラグ20	6号砕石の20%を代替	28.0	20.0	25.0	15.0	5.0	7.0	－
徐冷スラグ50	6号砕石の50%を代替	17.5	20.0	25.0	15.0	5.0	17.5	－
水砕スラグ20	細骨材の20%を代替	40.0	19.5	18.0	10.0	5.5	－	7.0
水砕スラグ50	細骨材の50%を代替	40.0	19.5	10.0	7.5	5.5	－	17.5

2．2　試験施工

試験施工は、表－2に示すようにスラグの代替割合を変えて4種類の混合物を用いて行った。徐冷スラグは6号砕石の 20,50%代替、水砕スラグは細骨材の20,50%代替とした。試験施工の配置は図－1のようである。



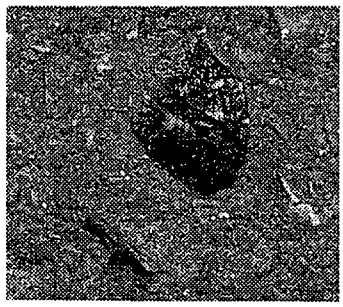
図－1 試験施工の配置

2．3　促進載荷試験

促進載荷試験は、輪荷重が6トンになるように調整した実大のトラックを 72,500 周（49kN 換算輪数約 15 万輪相当）するようにして行った。

2．4　環境安全性

使用したスラグは、骨材の状態で重金属の溶出がないことを確認しているが、屋外で施工した場合の周辺土壌への影響を調べるために、施工６ヶ月後に周辺土壌を採取し、重金属溶出量について調査した。



図－２　徐冷スラグの割れ

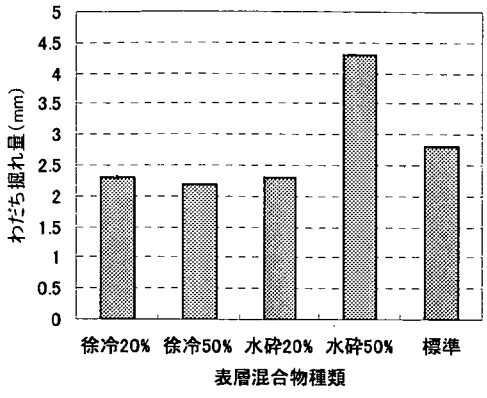
3．研究結果

3．1　施工性

施工性は通常のアスファルト混合物と比べてほとんど違いはなく、通常の工程でほぼ施工可能であることが確認できた。ただし、徐冷スラグの場合は、マカダムローラで転圧する際に極わずかな数であるが割れるものがあり（図－２）、注意が必要と考えられた。

3．2　促進載荷試験

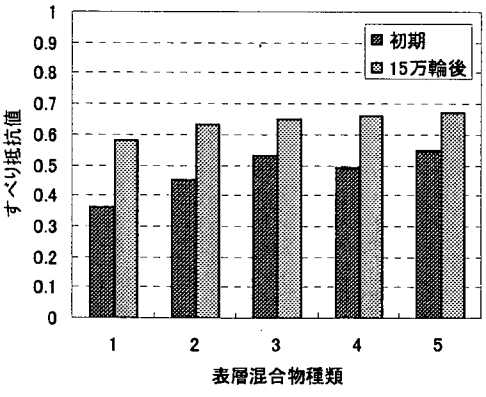
施工直後と大型車 72,500 回の載荷後の路面性状の代表的なものを図－３，４に示す。わだち掘れに関しては、若干標準の舗装に比べて大きいものがあるが、供用上著しく劣る面は認められなかった。すべり抵抗性については、初期に若干低いものもあるが、供用後は標準のものと差がなくなった。その他の性状においても標準の舗装と比べて著しく劣るものはなかった。従って、現在までの試験結果から、Ａ交通であれば大きな問題はないことが確認された。



図－３ 15万輪通過後のわだち掘れ量

3．3　環境安全性

溶融固化物を用いたアスファルト舗装の周辺土壌と、実験現場近くで溶融固化物の影響を受けない場所の土壌を採取して、重金属の溶出量を確認したところ、土壌からの重金属の溶出は認められず、全ての箇所で表－３のような結果となった。これにより、溶融固化物を用いたアスファルト舗装は概ね安全であることが確認できた。



図－４ すべり抵抗値

4．まとめ

今回、焼却灰溶融固化物を舗装用骨材の代替として用いた場合の試験施工を行った結果、徐冷スラグでは転圧時に骨材が割れることもあったが、Ａ交通程度の交通条件であれば通常のアスファルト舗装に比べて大きな差がないことを確認した。また周辺土壌への影響もほとんどないことも確認した。

表－３　分析結果の例

分析項目		分析結果
カドミウム	mg/L	<0.001
鉛	mg/L	<0.005
六価クロム	mg/L	<0.01
砒素	mg/L	<0.005
総水銀	mg/L	<0.0005
セレン	mg/L	<0.002

5．主な研究成果物

・新田、木村、吉田：溶融固化物の舗装用骨材への利用の検討、土木技術資料、vol42(5)、2000,5

（吉田、新田、寺田、木村）

6.4　廃木材を活用した大気汚染対策用舗装の開発

研究期間：平 11～平 13
担当：化学研究室

【要旨】
木材炭化物（ウッドセラミックス）を道路舗装用骨材として利用するための技術開発を行っている。12 年度は、光触媒作用を有する二酸化チタンの炭化骨材への被覆方法を検討するとともに、二酸化チタンを表面被覆した炭化骨材の窒素酸化物除去能力について調べた。その結果、表面に 5μm 程度の厚さで二酸化チタンを被覆した炭化骨材を製造することが可能であった。また、二酸化チタンを被覆した炭化骨材は、大気中の窒素酸化物除去能力が非常に大きいことが分かった。

1．研究目的

建設事業から排出される廃棄物のうち、廃木材はそのリサイクルが低迷しており、対策が急務となっている。また、大都市地域の幹線道路周辺においては、自動車排出ガスによる大気汚染が依然として深刻な問題である。そこで、本研究では木材炭化物（ウッドセラミックス）を道路舗装用骨材として利用するための技術開発を行っている。炭化骨材は比表面積が大きいことから、舗装用骨材として利用することにより、自動車から排出される大気汚染物質の効果的な吸着媒体となることが考えられる。ここでは、光触媒作用を有する二酸化チタン（TiO_2）の炭化骨材への被覆方法を検討するとともに、自動車排出ガスで問題となっている窒素酸化物（NOx）を取り上げ、炭化骨材が持つ窒素酸化物除去能力を評価するための試験を行った。

2．実験方法

2．1 試料の作製

（1）炭化骨材の作製

炭化骨材の原料として、密度 0.62g/cm^3、厚さ 15mm の中質繊維板（MDF）を使用した。はじめに、MDF から直径 12～13mmの球状木片を作製した。次に、この球状木片にフェノール樹脂を含浸した。樹脂含浸後、130℃の乾燥炉で樹脂を硬化させ、さらに、真空炉を用いて 800℃で炭化した。このようにして得られた炭化骨材の直径は約 10mm であった。

（2）炭化骨材への TiO_2 の被覆

使用した TiO_2 は平均粒径 20nm で、硝酸酸性溶液中に分散させたゾルである。炭化骨材を 5 分間ゾルに浸漬した後、余分な TiO_2 を遠心分離機により取り除いた。その後、室内で約 15 時間乾燥し、さらに 200℃で真空焼成した。

2．2 NOx 除去能力の測定方法

NOx 除去能力の評価は、骨材を設置した反応セルに試験ガスを導入し、反応セル通過前後の NOx 濃度を測定することにより行った。反応セル内部は、舗装構造をモデル化して骨材を 5 段積みとした（Fig.1）。試験ガスの NOx 濃度は 90ppm（NO≒81～84ppm、NO_2≒6～9ppm）、流量 4 L/min、紫外線強度 1.0mW/cm^2、相対湿度 50%とした。

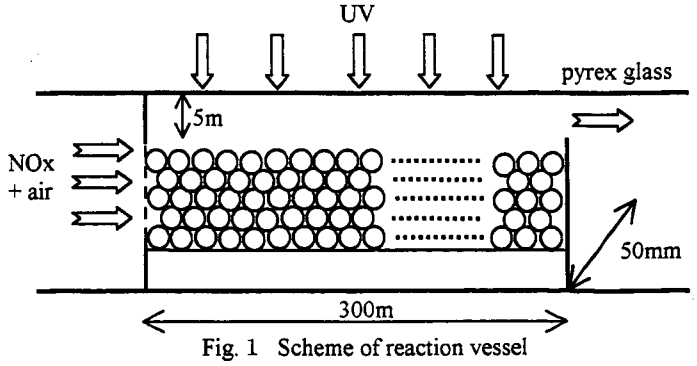


Fig. 1　Scheme of reaction vessel

測定は、反応セル内の TiO_2 被覆骨材の積層状態を変えた 5 ケースについて検討した（Table Ⅰ）。ケース 4 では直径 10mm のアルミナ球を使用し、TiO_2 被覆条件は、炭化骨材と同様とした。

Table Ⅰ. Experimental cases of NOx removal performance

case No.	five layers formation of aggregates in reaction vessel
case1	WC for all 5 layers
case2	upper 1 layer : TiO_2-WC lower 4 layers : WC
case3	upper 1 layer : WC lower 4 layers : TiO_2-WC
case4	upper 1 layer : Al_2O_3 aggregates with TiO_2 lower 4 layers : WC
case5	TiO_2-WC for all 5 layers

* WC: woodceramic aggregates without TiO_2
TiO_2-WC: woodceramic aggregates covered with TiO_2

3．実験結果

3．1 炭化骨材への TiO_2 被覆

Fig.2 に TiO_2 被覆炭化骨材の破断面の電子顕微鏡写真を示す。骨材表面全体を平均 5μm 程の厚さの TiO_2 で被覆することが可能であった。

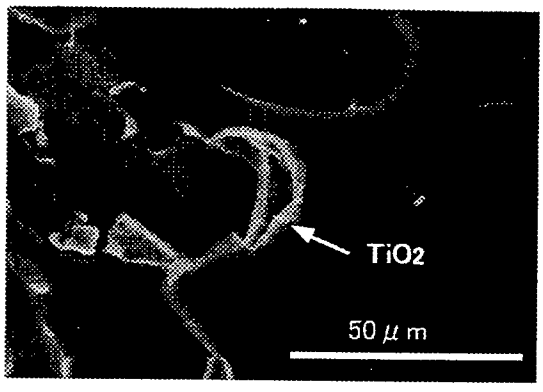


Fig.2 SEM photograph of woodceramic aggregate covered with TiO_2

3．2 NOx 除去能力

反応セル通過前後の NOx 濃度の減少率を NOx 除去率として整理した結果を Fig.3 に示す。いずれのケースとも紫外線を照射しない時間において高い NOx 除去能力を示したことから、炭化骨材による NOx の吸着効果が大きいものと考えられる。また、NOx 除去率は時間と共に僅かずつ低下する傾向が認められた。

紫外線照射時の NOx 除去率は、全段を TiO_2 被覆骨材としたケース 5 が最も大きかったが、TiO_2 による NOx 除去率の上昇は、全体の除去能力と比較すると小さかった。最上段のみを TiO_2 を被覆したアルミナ球としたケース 4 の除去率は、他の 4 ケースの半分程度であることから、最上段の炭化骨材による吸着効果が大きく寄与しているものと考えられる。

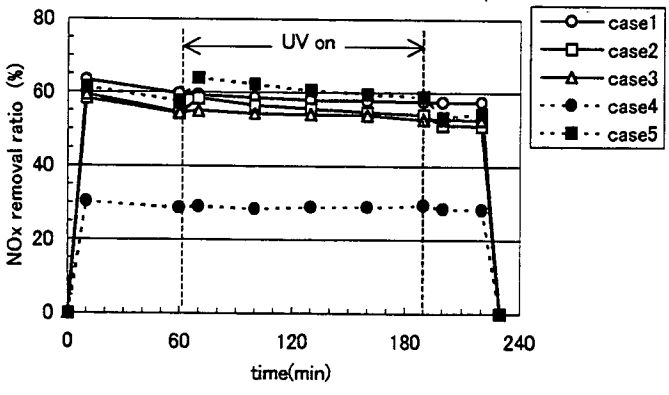


Fig.3 Variation of NOx removal ratio during experiment

4．道路における排出量と除去量との比較

実際の道路上で自動車から排出される NOx の量を以下の仮定により試算した。すなわち、道路幅員 3.5m、走行速度 60km/h、大型車混入率 30%、車頭間隔 2 秒、大型車排出量 1.9g/km、小型車排出量 0.226g/km として、単位面積、時間当りの NOx 排出量を求めると 8.1mmol/m^2·h となった。

一方、本実験結果より、紫外線照射時の 70 分後から 190 分後までに測定された 2 時間の平均 NOx 除去率をもとに見積った NOx 除去量は 18.3～39.1mmol/m^2·h と非常に大きいことが分かった。したがって、本骨材を舗装材料として利用することにより、効果的に自動車から排出される NOx を除去できる可能性がある。

5．主な研究成果物

第 12 回日本 MRS 学術シンポジウムにて発表

（明嵐、中村）

地域のニーズを反映した社会資本整備技術の開発

7．地域のニーズを反映した社会資本整備技術の開発

研究期間：平成 11～14 年度
プロジェクトリーダー：建設マネジメント技術研究室長
山下武宣

1．研究の背景：

国民のライフスタイルの変化、価値観の多様化等を背景に、社会資本整備に対し量的充足から質の重視への転換が求められている。これまでも、国民のニーズに配慮し、社会資本整備への反映に努めてきたところであるが、現在の施策制度では対応に限界がある。身近な生活空間を構成する中心的要素である社会資本は、家庭、職場、社会の様々な場面で活動を展開する住民の多様なニーズに対応し、地域の特性を活かした将来に継承されるべきストックとなることが必要である。

このため、施策立案、事業計画策定段階を中心に、住民意向の把握、反映を可能とする新たな事業手法の導入が重要な課題となっている。

2．研究の目的：

地域特性、住民ニーズの適切な評価を踏まえ、事業プロセスにおける住民とのコミュニケーションの確保を重視し、地域のニーズに対応した新たな社会資本整備手法を確立する。

(1) 地域特性に応じた効率的な社会基盤整備を進めていく上で必要な地域住民等のニーズを反映し、異なる主体の意見を調整する「合意形成」を適切に行うために、地域特性や事業特性に応じた合意形成手続きのあり方を明らかにする。

(2) 地域の個性を活かした魅力ある地域づくりをすすめる観点から、それぞれの地域の特性を抽出評価し、地域らしさを踏まえた質の高い社会資本整備に地域の特性を総合的に活かしていくための手法を確立する。

(3) 今日の社会資本整備で求められている住民ニーズとの整合性を確保する手段として、国民の実感に沿った社会資本整備効果の評価を行うための手法を開発する。

3．これまでの研究成果：

(1) 平成１１年度は、事業の段階に応じて合意形成手続きに用いられる各種手法について整理した。また、国内外の先進的な事例を調査することにより各種手法の適用性を検討するとともに、合意形成の具体的場面について調査し、合意形成の円滑化のための要因を分析した。平成１２年度は問題の詳細な検討を行うために市民委員会の会議録の分析を行った。その結果、時間価値

に関する認識の違いがコンフリクトの要因となっていることが分かった。また、米国内務省開拓局の意思決定ガイドブックを用いて、日米の意志決定プロセスの比較を行い、日本への適用可能性を検討した。

(2) 平成１１年度は、地域の個性を活かした魅力ある地域づくりの事例である「手づくり郷土賞」から特に地域特性を活かした325事例について基礎的な整理を行い、そのうち103事例を取り上げ、市町村に対しアンケート調査を行った。その結果に基づき、地域特性を活かした地域計画および施設設計の分類ならびに計画づくり及びデザイン化の過程における地域特性活用のポイントについて整理を行った。12年度は「精選　手づくり郷土賞」やその他文献より、地域特性を活かした町作り・施設設計の事例として、37事例を取り上げ各市町村にアンケート調査を行ったうえで、各事例の計画、デザイン化における地域住民及び外部専門家の参画状況について調査し、フロー図等を用いて整理した。

(3) 平成１１年度は、河川に関わる地域の歴史・文化資源を積極的に活用した河川事業の事例を収集・分析し、地域に密着した川づくり、住民参加の川づくりの素材として歴史・文化資源を活用するための手法を検討した。まず、歴史・文化資源を有する河川の20事例を収集し、川づくりの特徴と取り組み過程を整理し、それをもとに、これらの資源を地域に密着した川づくりに活用する手法についてまとめた。平成１２年度は、欧米での事業および日本の河川整備計画に関連する意思決定過程の事例を収集・整理した。英国からはメイデンヘッド・ウィンザー・イートン水害防止事業等の事例を、米国からは開拓局意思決定ガイドブックを、日本からは、現在、河川整備計画の策定が進められている河川等の事例を対象に、それぞれの成功要因、問題点、課題を整理し、欧米方式の日本への適用性を検討した。さらに、これらの経験を広く共有できるようにするための文書化様式を分析した。

(4) 平成11年度は海外文献を含む文献調査を行い、既存関連研究の収集及び研究動向、研究レベルを把握した。地域特性構成要素を分析したのち、モデル地域を設定し、社会資本整備の効果を的確に把握するために地域特性評価モデルの開発準備を行った。また、モデル地域において社会資本整備に対する住民意識調査を行い、住民ニーズの構造及び特性把握を行った。平成12年度は前年度の成果を活用し、５つの地域特性を設定した。各地域特性毎にモデル地域を設定し、そこで社会資本整備と住民満足度の因果関係を分析するためのアンケート調査を行った。アンケート調査に先立ち、社会資本整備に対する住民の満足感を構成する要因の選定を行った。満足感構成要因は多岐に渡るため、12年度は社会資本整備と直接的に関係する部分のみを分析対象とした。なお、分析手法には共分散構造分析を用いた。

－地域のニーズを反映した社会資本整備技術の開発－

個別研究課題目次

7.1　地域のニーズを反映した社会資本整備手法に関する研究……（都市河川研究室／建設ﾏﾈｼﾞﾒﾝﾄ技術研究室）…202

7.2　地域特性を活かした地域計画及び施設設計の手法に関する研究……（環境計画研究室）…204

7.3　河川に関する歴史・文化資源を活用した川づくりに関する調査……（都市河川研究室）…206

7.4　地域社会特性の分析による社会資本整備の評価に関する研究……（建設ﾏﾈｼﾞﾒﾝﾄ技術研究室）…208

7.1　地域のニーズを反映した社会資本整備手法に関する研究

研究期間：平１１～１２年度
担当：都市河川研究室
建設マネジメント技術研究室

【要旨】
地域特性に応じた効率的な社会資本整備を進めていくためには、地域住民等のニーズを反映したり、異なる主体の意見を調整したりするための「合意形成」が適切に行われなければならない。そのためには、地域特性や事業特性に応じた合意形成手続きのあり方を明らかにする必要がある。12 年度は前年度に引き続き国内の各種手法の事例について調査するとともに、米国内務省開拓局米国の流域マネジメントで用いられている多様な関係者間で有効に働く意思決定プロセスに関して日本での適用可能性を検討した。

1. 研究目的

事業の計画策定、実施の円滑な実施のために住民等の意見を反映し、異なる主体の意見を調整したりすることが必要となっている。本研究では地域の特性を取り入れつつ合意を形成していく手法を提案することを目的とする。

2. 研究方法

12 年度は、引き続き国内事例の調査と対話プログラムに関する会議録の分析を行った。また、意思決定プロセスに関して、米国内務省開拓局の社会学者との研究交流により社会的意思決定のプロセスの日米比較を行った。

3. 研究結果

3.1　市民委員会の会議録分析

国内事例の内、参加型 PI プログラムの運営面における課題の抽出を目的とし、会議での発言データの分析を実施した。

事業の性格とは関係なく各事業共通的に現れる現象に着目し会議目的や運営に関する議論を分析する中で、誤解や感情的対立などのコンフリクトの芽が見られた。事業そのものの内容に理解を示しつつも対立が起きることから、時間価値に関する認識と対応が対立の一要因であるとの仮説をたて、議事録データ間の類似性を比較し表－１に示す５つに分類した。これらの制約が、十分な議論を行う機会を妨げ、参加者間の信頼関係を損なう原因の一つとなっていることがわかった。

3.2　公共事業の意思決定プロセスの日米比較分析

開拓局では、多様な利害関係者との対立を経験する中で問題の認識から、有効な解決策を作り出すまでの１０段階のステップを提示している。実現可能な解決策を作り出すためには、各ステップは一度のみ通過するものではなく、プロジェクトが進展する中で螺旋状に何度も辿るものとされている。一般的に理想形として示される直線的な意思決定プロセ

スとは異なり実態に則し袋小路に入り込まないための柔軟なコンセプトである。

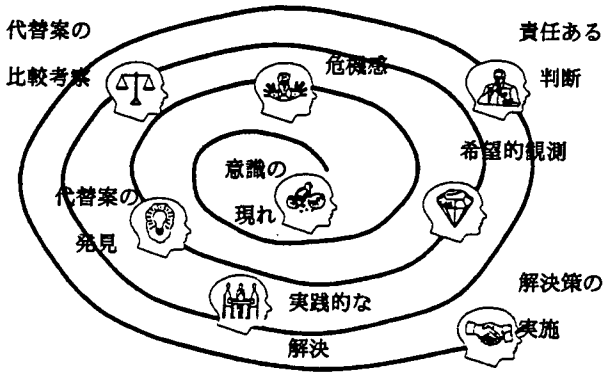
日本の建設行政においても長期間停滞しているプロジェクトが見られるが、これらの関係者間の意見対立を解消させ再開するための検討時に有効な考え方であると思われる。

表－1　市民委員会の中で時間制約に関してなされた発言

分類		付与コード
会議時間の制限	行政リソースの不足	「有志による分科会」「担当者への一任」「開催頻度」「資料の準備」「議長との事前の相談」「議長の知らない案件」「言い残した意見は手紙で」「多忙な議長」「事務局の役割、位置付け」
	参加者の時間	「先に解決すべき問題」「現実的対応スケジュール」「時間延長の確認」「不在者からのメッセージ」「結論が期待できず放棄する議題」「欠席者による再検討要求」「長すぎる説明」「開催時刻」「先送り」「ワークショップ手法による効率化」「議題が多い」「議論が不十分」「経過時間報告」「有志による分科会」
	相互理解のための助走期間	「議論がないなら会議ではない」「関係者間の関係の理解」「３回目くらいでまとめればよい」「基礎勉強会」「現地見学会」「会議が熟さないと運営方法の議論はできない」「グループ討議と全体討議の併用」「関心なき話題にはつきあえない」「委員間交流」「対立のため議論できず」
意思決定までの期間	行政・議会での決定プロセスとの整合	「検討時間にゆとりの有無の理由」「スケジュール変更の原因：不可抗力」「事業者の都合によるスケジュール」「言いづらいことも早めに言えば誤解にならない」「機関内での連絡体制」「行政プロセスとの疎外感」「行政内決定プロセスへの重荷」「既決定事項」「他ルートからの情報」
	行政年度スケジュール	「工事、検討の各スケジュールのリンク」「期限付き議題の確認」「時間切れによる決定要求」「唐突な新規案件」「短期 10 年・長期 50 年と定義」「短期的な成果の必要性」

4. まとめと今後の研究課題

開拓局のガイドブックでは、意思決定プロセスの明確化が重要な課題の一つになっていた。また、事例分析に見られた対話プログラムで時間を要する要因に、参加者と行政側の担当者間での相互理解の基礎の不足がある。これの材料となる公共事業の意思決定プロセスを説明する資料を作るためにも、今後日本における意思決定プロセスの実態を分析して文書化する必要がある。



図－1　参加者の意識のスパイラル模式

5. 主な研究成果物

・末次，都市・人、そして川（５），－新たな潮流「合意形成」「受益と負担」－，雨水技術資料，第 33 号，pp.47-53，1999.7

・末次，河川事業における合意形成，平成 11 年河川講習会，建設コンサルタンツ協会，1999.9.10

・都市河川研究室，住民参加の川づくり，九州地建における一日土研資料，土研資料第 3673 号，1999.10

・意思決定作業の進め方，土木研究所資料第 3779 号，2001.3

・臼田、藤本、山下、青木、松田，ＰＩプロセスにおける時間制約の影響，建設マネジメント論文集 Vol. ８，土木学会建設マネジメント委員会，2000.12

・臼田、藤本、山下，質的研究法によるパブリックインボルブメントプロセスの分析，土木学会(第 55 回)年次学術講演会，2000.9

（都市河川研究室：吉谷、舘）（建設マネジメント技術研究室：山下、臼田）

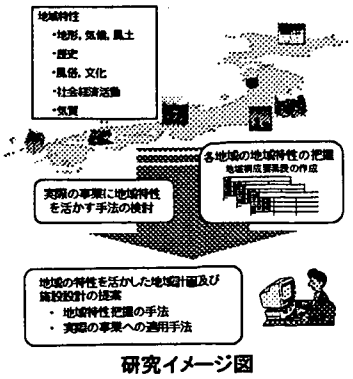
7.2　地域特性を活かした地域計画及び施設設計の手法に関する研究

研究期間：平12～平13
担当：環境計画研究室

【要旨】

魅力ある地域づくりをすすめる上で、地域の個性をどのように活かしていくかが重要な課題となっている。今後、地域らしさを踏まえた質の高い社会資本整備を図っていくためには、それぞれの地域の特性を抽出評価し、それを総合的に社会資本整備に活かしていくための手法を確立する必要がある。

12年度は、「精選　手づくり郷土賞」やその他文献より、地域特性を活かした町作り・施設設計の事例として、37事例を取り上げ各市町村にアンケート調査を行ったうえで、各事例の計画、デザイン化における地域住民及び外部専門家の参画状況について調査・整理した。



研究イメージ図

1．研究目的

これまでも地域らしさを演出する社会基盤整備が行われているが、種々の問題から、必ずしもその地域にとってふさわしいものが整備されてきたとはいえない状況にある。そこで本研究では、地域特性を活かしたまちづくり・施設設計についての整理及び、各事例の計画やデザインのプロセスについての調査により、現状におけるまちづくり・施設設計の問題点を明らかにすることを目的とする。

2．研究方法

調査対象事例候補は、平成 11 年度調査を踏まえ、「手づくり郷土賞」(建設省(現国土交通省)建設経済局)受賞事例のうち、公園･広場、橋梁、河川･水辺整備の事例を中心に、1)計画づくりやデザイン化に地域住民や専門家の関わりが読み取れる事例、2)地域特性を活かした整備が行われたと読み取れる事例、を選定した。また、手づくり郷土賞受賞事例中、橋梁整備に関する事例数が少ないことから、それ補うために、「日本のワンダースケープ」(日経 BP 社,1995)にて取り上げられている事例からも選定を行い、合計 37 事例を選定した。

そのうえで、調査対象事例の抽出と事例調査に先立つ資料収集を目的として、選定した調査対象事例候補に対して、1)計画づくりやデザイン化のプロセス、2)関連資料の入手可能性や行政担当者及び設計に関わった専門家の所在、についてアンケート調査を実施した。その結果を受けて、11事例(公園・広場・街路４事例、橋梁３事例、河川・水辺４事例)について、まちづくり・施設設計における地域住民及び外部専門家の参画状況についてのヒアリングを実施し、参画状況とその成果が、一目できるような形で、フロー図にまとめた（図１参照）。

3．研究結果

3.1 事例調査結果

事例調査の結果、地域住民や外部専門家の関与について、以下の点が明らかになった。

①地域住民は、住民説明会やワークショップへの参加、現地調査や自然観察会等への参加、整備へのイベント的な参加、整備にあたって組織される委員会・協議会などへの参加などにより、上位計画策定の段階、整備構想･整備計画の策定段階、設計段階、施工段階、維持管理段階等の様々な段階で参加している。早い段階から住民が継続的に関わりを持った事例のほうが、計画･設計に住民意見がより反映され、また住民の整備への参加意識も高い。

②外部専門家のうち、学識経験者は委員会や現地調査への参加等が多く、コンサルタントは計画の取りまとめ、住民意見の把握と計画･設計への反映等に関与している。コーディネーターとして地域住民の意見集約を行っている事例もある。

③地域住民・行政・専門家が時間をかけて協議を行い、相互の意見を理解しあうことで、整備への理解が深まり、また参加意識も高い事例が多い。

④地域特性の把握とデザイン化に関しては、上位計画の段階から地域特性に対する配慮がなされている事例では、計画策定や設計段階を通して一貫した地域特性への配慮がなされており、地域住民や学識者が整備に関わる機会をより多く設けている事例では、地域住民や学識者による意見交換や協議の中から地域特性の把握が行われている。また、把握された地域特性のデザイン化にあたっては、ガイドラインなどを活用していない事例が多く、計画者・設計者の蓄積された経験の中からデザイン化が行われている。一方で、計画者や設計者の経験によるデザインを、学識者を交えた委員会や地域住民との協議会・説明会などの場で議論していくことで、設計者によるデザインに学識者や地域住民の意見が反映させることが行われている。

3.2 「地域特性を取り入れた景観整備を行う際に配慮すべきポイント」の評価

11年度にまとめた「地域特性を取り入れた景観整備を行う際に配慮すべきポイント」を、今回の調査対象事例から評価を行ったところ、本年度の調査対象事例が11年度より多様化していることもあり、平成11年度に作成されたポイント表の改良点が見出された。まず、地域の歴史的環境に対する配慮のうち、「地域の歴史」に対する配慮が多くの事例でなされている。さらに、「地域の自然環境」に対する配慮がなされている事例も多い。これらの事例調査から得られた配慮ポイントは、専門家の視点と地域住民の視点が凝縮された配慮ポイントであることから、文献からまとめられた配慮ポイントに加えて、地域特性を取り入れた景観整備に際して配慮すべきポイントとする必要があると考えられるため、配慮ポイントとして追加した。

3.3 地域特性を配慮した施設設計手法についての整理

以上より、地域特性を配慮した施設設計手法について、以下のような整理を行った。

◆地域住民の参加◆

○上位計画策定段階から、計画・設計、運営・維持管理に至るまで、継続的な住民の関わりをすすめる。

○参加目的を明確化と参加意識の統一を図り、整備や運営・維持管理への住民の主体的な関わりを促進する。

◆専門家の関与◆

○多様な分野の学識者や地域有識者の整備への関わりを進める。

○コンサルタントなどは、多様な手法により幅広い住民意見や学識者の意見の把握を行い、専門的な解釈を加えつつ、きめ細かな計画・設計に対する意見の集約・反映を行う。

◆地域住民・行政・専門家の協働◆

○地域住民・行政・専門家といった多様な立場の人々、あるいは多様な専門知識を有する人々が、できる限り議論する場を設け、協働で、時間をかけてそれぞれの理解を得つつ、整備を進めていく。

◆地域特性の把握とデザイン化◆

○整備を位置付ける上位計画の段階から、地域特性に対する配慮を行う。

○文献のみではなく、地域住民や学識者の意見もふまえ、多様な視点・手法により地域特性を把握していく。

○ガイドラインなどが存在しない場合、地域特性のデザイン化は設計者の蓄積された経験に依るところが大きいため、公共施設の設計にあたっては、デザインや設計意図に関する地域住民や専門家に対する説明とそれに対する意見の集約・反映を、専門的な解釈を加えつつ時間をかけて充分に行っていく。

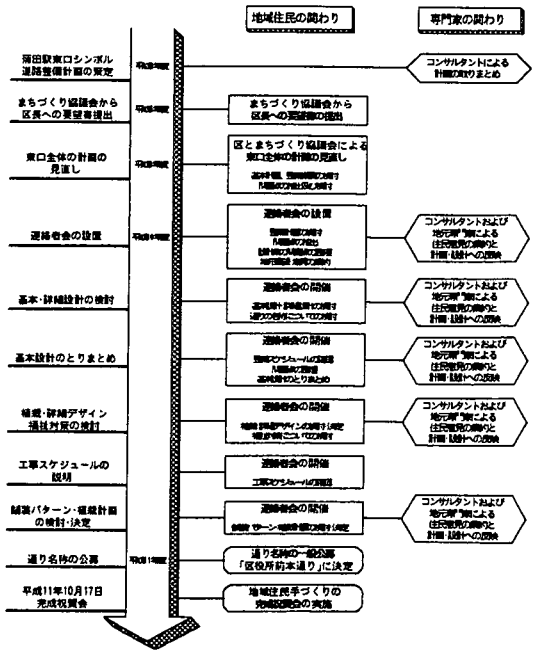


図1 住民・専門家関与フロー例

（安田、小栗、齋藤）

7.3　河川に関する歴史・文化資源を活用した川づくりに関する調査

研究期間：平 11～平 13
担当：都市河川研究室

【要旨】

本調査は、地域の歴史・文化等の地域の特性に配慮した住民との意思決定プロセスに関する検討を行うものである。12 年度は、欧米での事業および日本の河川整備計画に関連する意思決定過程の事例を収集・整理した。英国からはメイデンヘッド・ウィンザー・イートン水害防止事業等の事例を、米国からは開拓局意思決定ガイドブックを、日本からは、現在、河川整備計画の策定が進められている河川等の事例を対象に、それぞれの成功要因、問題点、課題を整理し、欧米方式の日本への適用性を検討した。さらに、これらの経験を広く共有できるようにするための文書化様式を分析した。

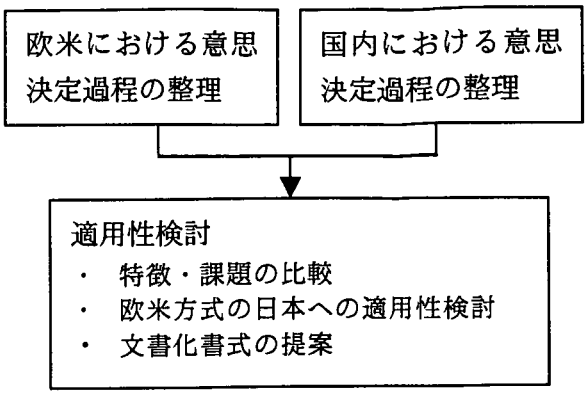


図 1　研究の全体像

1．調査目的

河川整備計画策定のプロセスにおいて住民や関係機関の意見聴取が義務付けられている。そのプロセスの詳細をマニュアル化しすべての河川にあてはめるのは、歴史・文化等に起因する地域毎に異なる社会的制約条件性のため、困難であり、個別に対応しなければならない。従って、一般化しようとするアプローチより、各地で進められている住民参加による意思決定の成功や失敗の経験を共有できるシステム作りが重要と考え、成功あるいは失敗要因を担当者から引き出し、それを文書化する方策つくりを現実的な目的とした。

2．調査方法

英国の事例として、「河川事業と自然保護：総合評価マニュアル」（ガーディナー著、1991）及びメイデンヘッド水害防止プロジェクトを調査した。米国の事例として、開拓局の「意思決定ガイドブック」を調査した。日本の事例として、河川整備計画が全国に先駆けて策定されたA川、河川公園の保存が問題となっているB川をインタヴューにより調査した。

3．調査結果

3．1　英国の事例

英国では、1990 年代、地方の自主性を尊重するため、ボトムアップ式の意思決定プロセスの構築による合意形成手法の確立に向かったが、意思決定プロセス自体に多くの時間を要することとなった。このため、近年、事業者が早期段階から関係機関と協議し、住民参加による計画策定を事業者主体で進め地方政府が認可するというボトムアップ式とトップダウン式を兼ね備えた意志決定プロセスの構築に向けた取り組みを行うようになった。さらに、英国には、審問官制度という公に認められた最終決定権限が存在し、その最終決定には基本的に従うという公共のルールが確立されている。特に、英国では、公開審問会が多くの時間と費用を要し、公開審問会の結論がある意味で最後通告になるため、可能な限り多くの関係者間で公開審問会を開催せずに解決しようとする素地が見受けられる。

以上のような背景を下に、特に中央政府では意思決定プロセスについて以下の取り組みを重点的に実施している。

① 地方政府の自主性を尊重するため、意志決定プロセス上のルールを多様かつ柔軟にし、あえて細部のルールを提示せず、業務遂行時における複数の選択肢を用意した指針（Guidance）をできるだけ提示すること。

② 国家レベルの手続の作成段階から民意を反映することにより、一般への周知を実施し、計画の初期段階から住民参加が可能になる環境づくり。

③ 代替案の提示、経済効果、時間スケジュール等の明確化。

④ 早期に法定協議者以外の関係者との協議の奨励。

3．2　米国の事例

開拓局では、多様な利害関係者との対立を経験する中で問題の認識から、有効な解決策を作り出すまでの１０段階のステップを提示している。実現可能な解決策を作り出すためには、各ステップは一度のみ通過するものではなく、プロジェクトが進展する中で螺旋状に何度も辿るものとされている。一般的に理想形として示される直線的な意思決定プロセスとはことなり異なり実態に則し袋小路に入り込まないための柔軟なコンセプトである。

3．3　日本の事例

日本では、平成９年の河川法改正を機に、河川整備基本方針、河川整備計画の２段階の基本計画を策定することとされた。また、河川整備計画の策定に際しては、必要に応じて学識経験者から意見を聴いたり、公聴会の開催等により住民の意見を反映したりすることとされた。

現在、いくつかの水系で河川整備計画の策定が進められている。しかし、確立された住民参加の方法はないため、各事務所がそれぞれの実状に応じて進めているといえる状況である。今回ヒアリング調査した事例につき、それぞれの過程にみられる特徴点を示す。

・A川：原案を提示し、それに対する意見を住民説明会で聴取するという方法を中心に、住民参加が進められた。策定過程は円滑に進められたが、その理由として、従来から懸案となっていた施設計画を白紙にしたうえで計画策定に着手したため、多くの地域住民の信頼を得られたこと、近年にも水害が発生していることから、計画対象規模程度の洪水の危険性への理解が得やすかったことなどが考えられる。ヒアリングでは、隠しごとせず誠心誠意話を聞くこと、地域の歴史・文化を理解すること等が、住民と接する際の重要な点であるとの指摘を受けた。

・B川：幅広な分野の人材からなる流域代表による公開の議論により、流域全体の意見を公平に汲み取るという方法で進められており、同時に住民説明会が開催されている。また、策定過程のはじめの段階で、住民アンケート調査により河川に関する評価、意見を集めている。複数の代替案が提示された上で議論が進められている点が特徴的である。一部、改修方法についての反対論が出ているが、早期段階からの住民参加や、行政不信の払拭等重要性が示されているといえる。

3．4　文書化書式

現在、上記の教訓を引き出せるような調査書式を分析中である。

4．主な研究成果物

・意思決定作業の進め方，土木研究所資料第 3779 号，2001.3

（吉谷、舘）

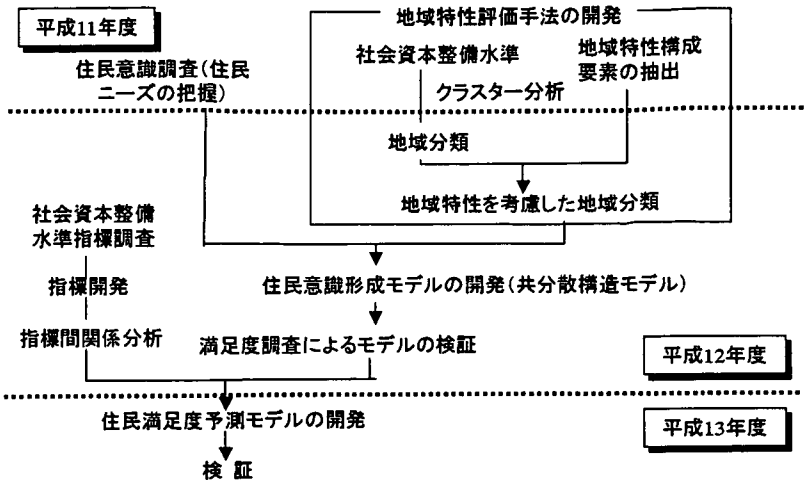
7.4　地域社会特性の分析による社会資本整備の評価に関する研究

研究期間：平 11～平 13
担当：建設マネジメント技術研究室

【要旨】

今日の社会資本整備では国民の実感に沿った事業評価も求められている。本研究はそのための手法を開発することを目的とする。

12年度は前年度の成果を活用し、５つの地域特性を設定した。各地域特性毎にモデル地域を設定し、そこで社会資本整備と住民満足度の因果関係を分析するためのアンケート調査を行った。アンケート調査に先立ち、社会資本整備に対する住民の満足感を構成する要因の選定を行った。満足感構成要因は多岐に渡るため、12年度は社会資本整備と直接的に関係する部分のみを分析対象とした。分析手法には共分散構造分析を用いた。



図－1　研究概要

1．研究目的

社会資本整備の質的向上を図るには、国民の実感に沿った評価を実施する必要がある。本研究は社会資本整備に対する住民満足度評価手法の開発を目指す。

平成12年度は、社会資本整備に対する住民満足度の形成メカニズムを明らかにするため、住民満足度構成要因の再検討と共分散構造分析による因果関係の構造化を行い、満足度形成に関する仮説の提示を行った。

2．研究方法

2．1　研究手順

まず、１１年度の研究成果を踏まえ、住民満足度構成要因と地域特性の再検討を行った。欲求構造はERG理論に基づき、仮説を再検討した。地域特性は５つに再分類した。次に、再検討後の満足度構成要因を用いて満足度形成の仮説を構築し、アンケート調査によってその実証を試みた。アンケート結果に対して、共分散構造分析及びAHP分析を適用し、各要因の重要度及び因果関係を示した。

2．2　住民ニーズの欲求構造の評価指標

前年度は欲求階層説に基づいて住民ニーズを４段階に分類した。しかし、欲求階層説は各欲求の発現が段階を通じて行われ、上位欲求が発現した後に下位欲求が発現することはないと仮定されている。また、欲求階層説では欲求発現のメカニズムに個人差がないことを仮定している。さらに、この理論は実証が極めて難しく、かつ、実証研究により支持されることが少ないことから、多くの批判もある。そこで、本研究では欲求階層説をより柔軟に改善したERG理論を採用した。ERG理論は、「人間にとって基本的な存在」、「人間関係」、「人間らしく生きたい成長」の３欲求からなる。本研究では社会資本整備と関係の深い「人間にとって基本的な存在」に着目し、これが安全、安心、利便から構成されると仮定し、この３要素に関して満足度の形成要因をＫＪ法により選定した。

２．３　地域特性に基づく地域分類とモデル地域の設定

地域特性は社会資本整備レベル以上に都市規模に強く規定されるという１１年度の結果を踏まえ、１２年度は大都市地区、農山村地区、高意識地区、郊外地区の４地区を設定した。具体的には大都市地区として東京都世田谷区、仙台市を、農山村地区として茨城県真壁町、高意識地区として東京都大田区田園調布、郊外地区として茨城県取手市をモデル地域として選定した。市町村域内全体を対象として調査を行った場合、住民意識が平均化され、地域特性毎の考察が困難になることから、対象地域内の都市機能に着目し、モデル市町村内の特定地区を調査対象とした。

２．４　AHP 分析法と共分散構造分析による満足度形成過程の分析

分析に先立ち、住民満足度形成の仮説を構築した。そのうち、安全に関するものを図―２に例示する。安全の場合と同様、安心、利便に関する意識も多層構造となっているため、第一層の重要度の算出には AHP 分析法を用いた。第二層以下の要素間の関係については共分散構造分析を適用し、その因果関係を分析した。

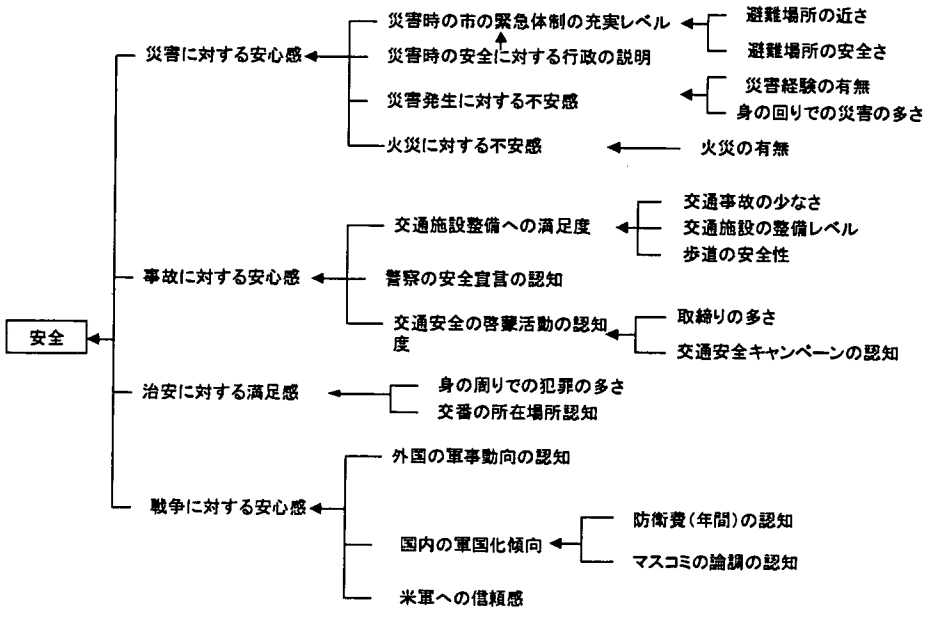
３．研究結果

３．１　回収結果

住民基本台帳からランダムサンプリングを行い、仙台、取手、真壁については 2000 枚の調査票を郵送配布した。平均回収率は 28.4%であった。

３．２　住民満足度の形成メカニズム

今回の分析では、満足度形成メカニズムの一般モデルの検討および満足度形成メカニズムの地域差、性差、年齢差毎の比較を行った。その結果、満足度形成仮定のマクロモデルを構築できるだけの基礎的知見を得ることができた。ただし、公正研究で知られている手続き的公正や相対的剥奪が満足度形成に与える影響は今回の分析では対象外とした。



図－２ 安全に対する満足度の形成に関する仮説

３．３　今後の課題

今回の調査では、社会資本整備に対する住民満足度の形成メカニズムに関する仮説提示を行った。今後は、今回は考慮外とした要因が住民満足度の形成に与える影響を明らかにするために更なる調査が必要である。

４．主な研究成果物

- 青木・栗原・山下：社会資本整備に対する住民ニーズの把握，日本都市計画学会論文集，No.35，pp.997-1002，2000 年
- Toshiaki Aoki, Masayuki Kurihara and Takenori Yamashita: Psychological Analysis of Public Requirement for Infrastructure Development in Japan, the 36th international planning congress Working Book, International Society of City and Regional Planners, pp. 209215, 2000

（山下、栗原、臼田、青木）

都市空間におけるヒートアイランド現象の軽減に関する研究

8．都市空間におけるヒートアイランド現象の軽減に関する研究

研究期間：平成１０～１４年度
プロジェクトリーダー：河川管理総括研究官
益倉克成

１．研究の背景：

近年，都市の気温が郊外より高くなるヒートアイランド現象が顕在化している．このヒートアイランド現象は，真夏の熱帯夜の増加にみられるように，都市住民の生活環境を劣化させるとともに，冷房などのエネルギー消費の増加により地球温暖化にも影響を与えている．

ヒートアイランド現象の原因として，人工排熱の増加やコンクリート・アスファルト化の進行，熱調整機能を有する水辺や緑地などの減少等が挙げられているが，その原因と対策の中には，建設省が所管する事業に関連するものが多く，事業実施上での工夫や技術開発により，都市のヒートアイランド現象を軽減できる可能性を有している．

都市活動の基礎となる生活環境を保全したり改善することは，今後の都市の維持や発展に必要である．また，ヒートアイランド現象の軽減により化石燃料の消費抑制とともにＣＯ2の排出量の削減にも寄与することができる．

２．研究の目的：

本研究では，都市域のおけるヒートアイランド現象を軽減するため，気候緩和施策の効果を総合的に検討する都市熱環境評価手法を提案し，緑被，水域，保水性舗装等の気温緩和効果の定量的な評価を行う．また，未利用エネルギーの活用技術の検討・評価を行う．最終的には，各種対策の効果と費用の検討を行い，気温を１℃から３℃程度低下させる具体的な施策を提言する．

３．これまでの研究成果：

平成１０年度は，ヒートアイランド現象に関する既往の文献を調査し，実態調査，シミュレーションモデル，現象の形成原因，都市温暖化の影響，ヒートアイランド対策の別に分類・整理した．都市河川や緑地の気候緩和効果に対しては，これまでの調査事例の再整理を行った．また，都市域の複雑な土地利用の影響を表現するシミュレーションモデルを整備し，事前評価としてモデルの妥当性を確認した．また，東京都２３区を対象に人工排熱の時空間分布を推定し，建物排熱，自動車交通排熱の占める割合が高いことを示すとともに，水熱エネルギー利用の地域冷暖房システムを導入した場合の省エネ，排熱・排ガス削減の効果を算定した．さらには，路面発電システム REGS の性能について基本的な確認実験を行った．

平成１１年度には，ヒートアイランドが生物季節に与える影響の調査，メソスケールモデルの改良による適用性向上の検討，舗装の表面温度高温化を防止するための新しい舗装の開発に係る検討，路面発電システム（REGS）の性能に関するフィールド実験と数値計算の実施，水熱エネルギーの利用に伴う温冷排水が河川水温に及ぼす影響の推定，ヒートアイランドの軽減のための都市緑地による CO2 削減効果の評価手法の検討を実施した．

ヒートアイランドが生物季節に与える影響については，アメダスデータから算出したヒートアイランド強度の経年変化と生物季節の経年変化を比較した結果，ヒートアイランドが発生している都市では，イチョウ，カエデの紅葉開始日が遅れていることを確認した．

メソスケールモデルの改良による適用性向上に関しては，基本となるメソスケールモデルに地表面の水文過程モデルを取り入れるとともに，サブグリッドスケールのパラメータ化を導入し，関東平野に適用した．

舗装の表面温度高温化を防止するための新しい舗装の開発に係る検討においては，放射と対流が共存する場における各種多孔質体の熱と水分移動に関する基本特性を把握するための室内風洞実験を行った．

路面発電システム(REGS)の性能に関するフィールド実験と数値計算の実施においては，地中の温度分布，REGS による発電量に関して，実験値と数値計算値とは比較的よく一致し，REGS の性能が数値計算により評価できることを確認した．

水熱エネルギーの利用に伴う温冷排水が河川水温に及ぼす影響の推定に関しては，感潮域への適用が可能な水温予測モデルを作成して温排水による河川水温の上昇量を推定したところ，今回の検討条件で最大 0.4℃程度の水温上昇が生じることを明らかにした．

ヒートアイランドの軽減のための都市緑地による CO2 削減効果の評価手法の検討では，緑化樹木の CO2 固定量の算出方法を検討し，特定の樹齢あるいは大きさの樹木１本が，1年間に固定する CO2 量を算出する式を導き，緑化した樹木の本数と大きさが解れば，緑化事業による CO2 削減効果の評価が可能となる手法を提示した．

－都市空間におけるヒートアイランド現象の軽減に関する研究－

個別研究課題目次

8.1　都市気候の動植物への影響に関する調査……（緑化生態研究室）…216

8.2　都市気候の数値シミュレーションに関する研究……（都市河川研究室）…218

8.3　都市気候緩和と地下水涵養に効果的な環境共生型舗装に関する研究……（都市河川研究室）…220

8.4　社会基盤等を活用した省エネ及び都市の気候緩和に関する研究（1）……（化学研究室）…222

8.5　社会基盤等を活用した省エネ及び都市の気候緩和に関する研究（2）……（都市河川研究室）…224

8.6　都市内緑地による温室効果ガス削減に関する調査……（緑化生態研究室）…226

8.7　都市内歩行者系道路舗装の総合評価に関する調査……（舗装研究室）…228

8.1　都市気候の動植物への影響に関する調査

研究期間：平11～平12
担当：緑化生態研究室

【要旨】本課題では、ヒートアイランドが生物の年間生活サイクルに与える影響を明らかにするため、気象庁の生物季節データおよび気温データを用いて、サクラ開花・ウメ開花・イチョウ黄葉・モミジ紅葉の初見日の経年変化とヒートアイランド強度との関係を、ヒートアイランド現象が顕著な4都市を対象として解析した。その結果、ヒートアイランド現象の特徴とされる冬季最低気温の上昇により、開花日が早まる傾向と、黄紅葉日が遅くなる傾向がみられたが、1986年以降、我が国は全国的に冬季最低気温の上昇が観測されており、ヒートアイランドの関与の程度は明確とはされなかった。

1. 目的と方法

本課題では、ヒートアイランドが生物季節に与える影響を確認することを目的として検討を行っており、昨年度は、1980以降のデータを用いた解析により、黄紅葉の開始日の遅れが、人口増加の著しい鹿児島、宇都宮において、ヒートアイランド強度と連動する傾向があることを報告した。今年度は、使用データを1960年以降、対象都市を冬季平均最低気温の上昇が顕著な都市とし、ヒートアイランド強度と生物季節の変化との相関分析を行うことにより、両者の関係を明確にすることを目指した。

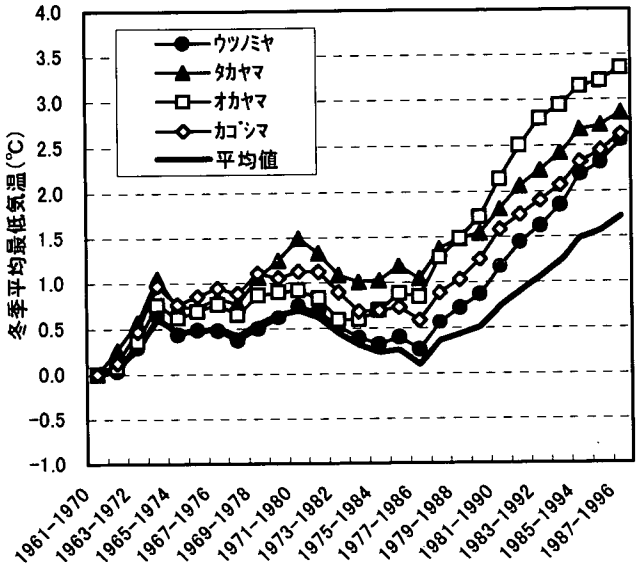


図-1 冬季最低気温の変化
（10年間隔－移動平均）

2. 結果と考察

2.1 冬季平均最低気温の変化

生物季節観測が行われている本州・四国・九州の57都市を対象とし、各都市の冬季平均最低気温について、1960年代から10年間隔の移動平均を算出した。対象全都市の平均値と平均を大きく上まわった4都市（宇都宮、高山、岡山、鹿児島）について、その結果を図-1に示す。図では1961-1970の値を0として示した。我が国では1986年以降、冬季の最低温度が上昇傾向にあることが解る。

2.2 4都市のヒートアイランド強度

対象都市の市街部の冬季平均最低気温と、その近傍の畑・水田などの農村的土地利用内の観測値とを比較し、その差を持ってヒートアイランド強度とした。4都市では、いずれも80年代以降ヒートアイランドが強くなる傾向にある。

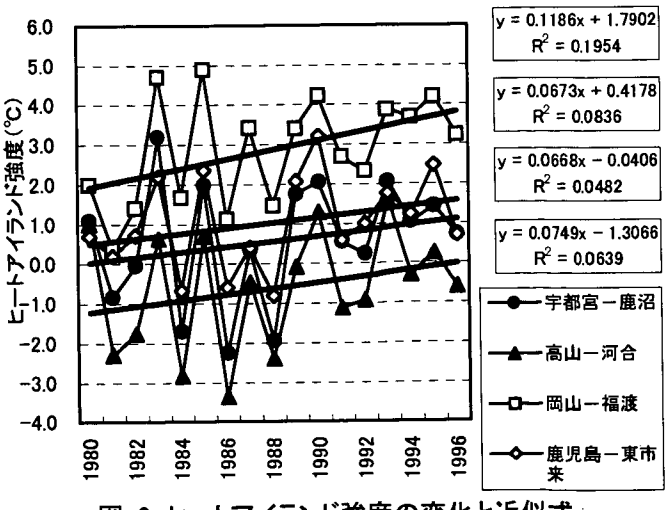


図-2 ヒートアイランド強度の変化と近似式

2.3　4都市の生物季節の変化

生物季節観測種目の中から、ヒートアイランド現象に特徴的な冬季の気温上昇により、影響を受け易いと考えられる種目として、サクラ開花日、ウメ開花日、イチョウ黄葉日、カエデ紅葉日を選定した。各種目の4都市での変化を図-3に示す。冬季平均最低気温が上昇傾向となる86年以降、開花日については早まる傾向が、黄・紅葉日については遅くなる傾向が伺える。

表-1 冬季最低気温平均値と生物季節変化値の単相関

	宇都宮	高山	岡山	鹿児島
サクラ開花	−0.850[**]	−0.764[**]	−0.352[ ]	0.335[ ]
ウメ開花	−0.581[*]	−0.799[**]	−0.470[ ]	−0.543[*]
イチョウ黄葉	0.434[ ]	0.337[ ]	0.470[ ]	0.215[ ]
カエデ黄葉	0.160[ ]	0.188[ ]	0.421[ ]	0.411[ ]

*有意水準 0.05　**有意水準 0.01

表-2 ヒートアイランド強度と生物季節変化値の単相関

	宇都宮	高山	岡山	鹿児島
サクラ開花	−0.525[*]	−0.458[ ]	−0.188[ ]	0.027[ ]
ウメ開花	−0.244[ ]	−0.544[*]	−0.355[ ]	−0.191[ ]
イチョウ黄葉	0.312[ ]	0.343[ ]	0.521[*]	0.126[ ]
カエデ黄葉	0.083[ ]	0.225[ ]	0.403[ ]	0.304[ ]

*有意水準 0.05　**有意水準 0.01

表-3 ヒートアイランド強度と<生物季節変化値−全国平均>の単相関

	宇都宮	高山	岡山	鹿児島
サクラ開花	−0.392[ ]	−0.219[ ]	0.310[ ]	0.598[*]
ウメ開花	0.139[ ]	0.143[ ]	−0.242[ ]	0.173[ ]
イチョウ黄葉	−0.073[ ]	−0.023[ ]	0.129[ ]	−0.119[ ]
カエデ黄葉	−0.218[ ]	−0.193[ ]	−0.154[ ]	0.051[ ]

*有意水準 0.05　**有意水準 0.01

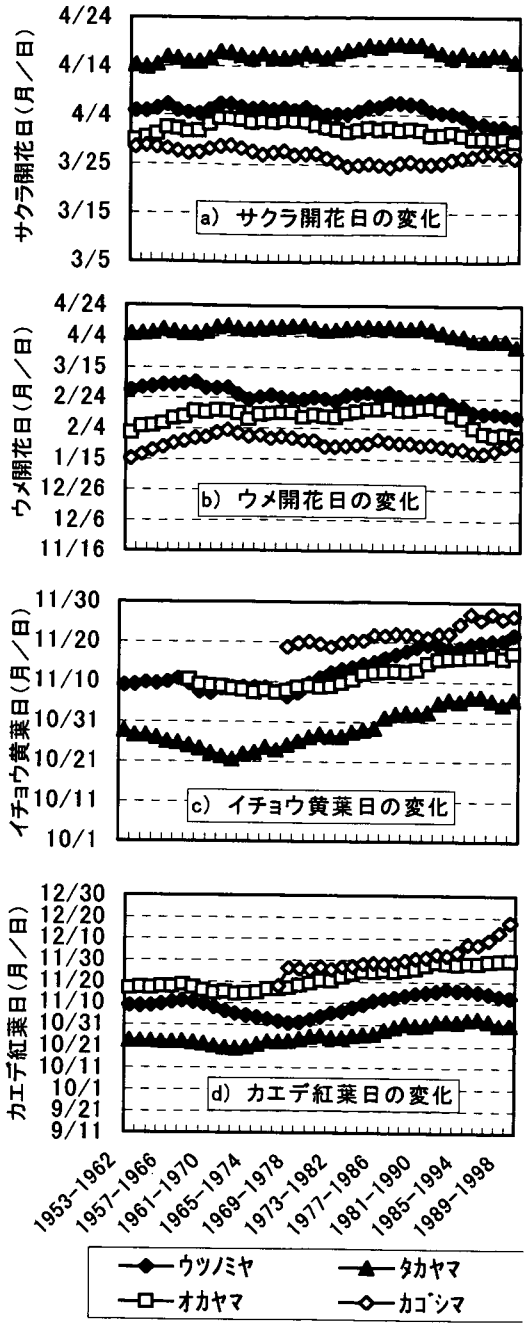


図-3 生物季節の変化(10年間隔一移動平均

2.4　相関分析

冬季平均最低気温と生物季節の変化値の相関を表-1に示す。開花日のいくつかに有意な負の相関が認められる。表-2はヒートアイランド強度と生物季節の変化値の相関であるが、有意な相関を示す箇所が減っている。これは、冬季平均最低気温の上昇がヒートアイランドだけではなく、地球温暖化による全国的な変化のためではないか考えられる。そこで、全国的な温暖化の影響を排除するため、各都市の生物季節変化値と全都市の変化値との平均値の差を用いて相関をみたものが表-3である。この場合、有意な相関があるのは、鹿児島のサクラ開花日のみであり、ヒートアイランドが生物季節に与える影響は、地球温暖化の影響に比べ小さいものであると推察される。なお、鹿児島でのサクラ開花日の相関は正の値であり、ヒートアイランドはサクラの開花を遅くしていることとなる。これは、サクラの休眠の覚醒に必要とされる十分な低温の発生をヒートアイランドが阻害している可能性がある。

(藤原)

8.2　都市気候の数値シミュレーションに関する研究

研究期間：平 10～平 14
担当：都市河川研究室

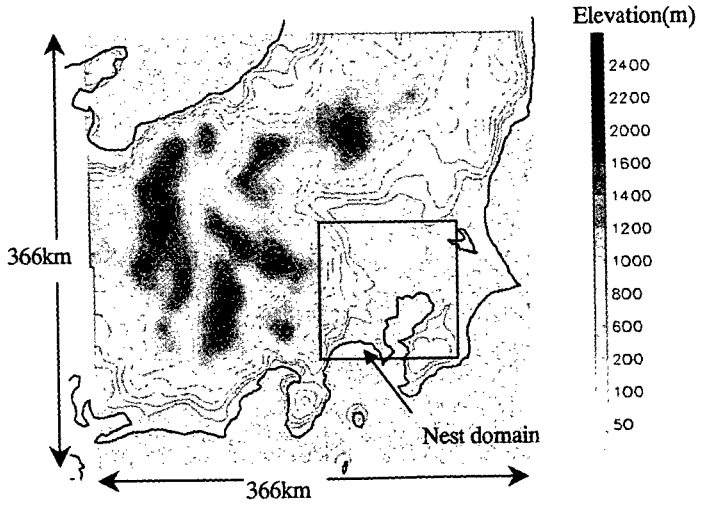
【要旨】
本研究は都市空間におけるヒートアイランド現象の効果的な軽減策を提案することを目的として、メソスケールの都市気象を解析するためのシミュレーションモデルの開発と改良、各種対策の効果の算定を行うものである。12 年度は大都市を多く抱える首都圏エリアに本モデルを適用し、地上気温や風系の再現性について検証を行った。また、自然環境を活用した対策として都市河川等の水面再生、屋上緑化、保水性舗装の導入を対象とし、東京 23 区内で重点的に対策を実施した場合の気温低減効果をシミュレーションにより試算した。その結果、何れの対策においても夏期の最大気温を約 0.5 度以上低下させる効果があることが明らかとなった。

1．研究目的

本研究は都市空間におけるヒートアイランド現象の効果的な軽減策を提案することを目的として、都市気象を解析するためのシミュレーションモデルの開発と改良、各種対策の効果の算定を行うものである。12 年度は大都市を多く抱える首都圏エリアに本モデルを適用し、地上気温や風系の再現性について検証を行った。また、自然環境を活用した対策として都市河川等の水面再生、屋上緑化、保水性舗装の導入を対象とし、東京 23 区内で重点的に対策を実施した場合の気温低減効果をシミュレーションにより試算した。保水性舗装は 23 区の道路面積の 20%に導入した場合を想定し、舗装面からの蒸発効率を 30%の一定値を与えた。

2．研究方法

本研究では，米国ペンシルバニア州立大学で汎用の気象計算モデルとして開発され，その後，NCAR（米国大気研究センター）においてさらに改良された MM5 を基本モデルとしている。12 年度には、新たに都市キャノピーの放射環境を表す簡易モデルを組み込むとともに、首都圏の土地利用に関する細密数値情報を用いることができるようにした。また、土地利用ごとの人工排熱量に見直しを加えるとともに、地表面モデルのパラメータの変更を行った。

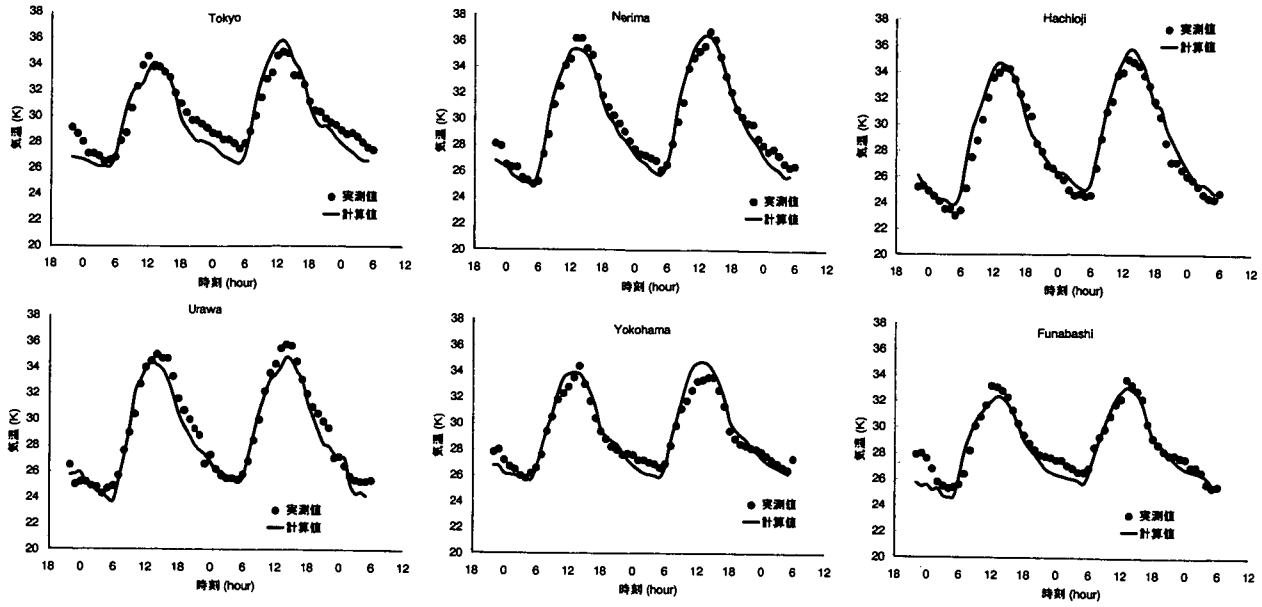


図―1　領域 1 の計算範囲と標高分布

屋上緑化の効果の試算にあたっては、東京 23 区内の建物用地の 50%が緑化されて、緑被率が 1998 年時点の 28.6%から将来は 45%に増大すると仮定した。緑化された土地は、計算上、数値モデルで用いる 13 の土地利用分類のうち「公園・緑地」に算入した。また、河川等の水面再生効果の試算にあたっては、東京 23 区内で水面積が 5%増加し、約 10%になると仮定した。数値計算は、1995 年 8 月 23 日 21 時から 26 日 5 時までを対象に行った。計算対象の母領域は関東平野を含む 366km 四方の領域で、ネスティングの手法を用いて東京 23 区を含む 114km 四方の気象を 2km の解像度で再現した（図―1）。

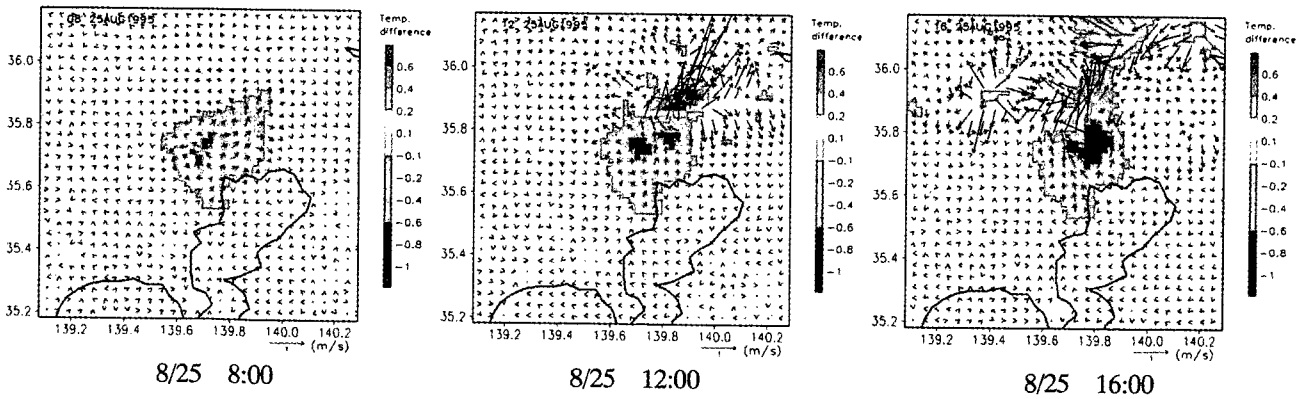
3．研究結果

首都圏の各地点における AMeDAS の実測気温と地上 1.5m の気温計算結果の比較例を図—2 に示す。東京大手町で夜間の計算値が実測を下回る傾向が見られる。土地利用の変化の激しい都心部も 2km メッシュの解像度で計算しており、計算結果もメッシュの平均値であることが大きく影響していると考えられる。それ以外の地点では、最高気温、最低気温、日変動の様子を概ね良好に再現していることがわかる。



図—1　実測の地上気温と計算結果の比較（上段左から東京、練馬、八王子、下段左から浦和、横浜、船橋）

図—2は，屋上緑化の推進による気温の低減効果の計算結果を示したもので、屋上緑化導入後の気温、風速ベクトルから屋上緑化導入前の気温、風速ベクトルの計算結果を差し引いた値を図示している。25 日の正午で最大 0.5 度以上の低減効果があり、16 時でも 0.8 度以上低減するエリアも存在している。一方、都心部の緑化により風系に影響が生じて、気温が逆に上昇する地域も出現していることがわかる。河川の水面再生や保水性舗装の効果についても定性的には同様の気温低減効果が表れており、いずれも最高気温発生時前後において 0.5 度以上の気温低減効果があることがわかった。



8/25　8:00　　8/25　12:00　　8/25　16:00

図—2　屋上緑化による地上気温と風速ベクトル変化量の計算結果

4．主な研究成果物

1)木内，Jasinski，末次：土壌条件が都市と郊外の晴天時気象に及ぼす影響の数値計算，水文・水資源学会 2000 年研究発表会要旨集, 12-13, 2000.，2)Kinouchi and Jasinski: Mesoscale modeling of urban-rural complex with the inclusion of land surface processes, Preprints of Third Symp. on the Urban Env., 74-75, AMS, 2000.，3)吉谷，木内：都市空間におけるヒートアイランド現象の軽減に関する研究（2），土木研究所資料第 3783 号（吉谷、木内）

8.3　都市気候緩和と地下水涵養に効果的な環境共生型舗装に関する研究

研究期間：平 11～平 13
担当：都市河川研究室

【要旨】
本研究は，ヒートアイランド現象の緩和とともに，水循環や都市型洪水の抑制，雨天時汚濁の削減に寄与することを目的として，透水性と保水性の双方を兼ね備えた環境共生型の舗装を開発するものである．12 年度は，透水性と保水性の双方を兼ね備えた舗装の配合に関する検討を行い，配合を様々に変えた舗装の供試体を試作し，透水性能，保水量，舗装の強度などを比較した．また，人口気候室を用いた実験により舗装供試体の表面温度の低減効果や蒸発量を定量化した．その結果，適切な配合により保水量は体積含水率で 10%以上を確保し，表面温度は 10 度以上低減できることが明らかとなった．

1．研究目的

都市の人工地覆は大気－地表間における水と熱・エネルギーの相互作用に大きく影響を及ぼしており，都市気候の悪化をもたらす．また，夏期の熱中症発生率は道路空間で相対的に高く，人間に及ぼす熱ストレスの悪影響も懸念される．さらに，人工地覆の改善により地下水涵養による水資源の確保，河川の基底流量の維持，流出抑制に貢献することも重要である．そこで，本研究では，ヒートアイランド現象の緩和とともに，水循環の再生や都市型洪水の軽減，雨天時汚濁の削減に寄与することを目的として，透水性と保水性の双方を兼ね備えた環境共生型の舗装を開発するため，各種の検討を実施する．

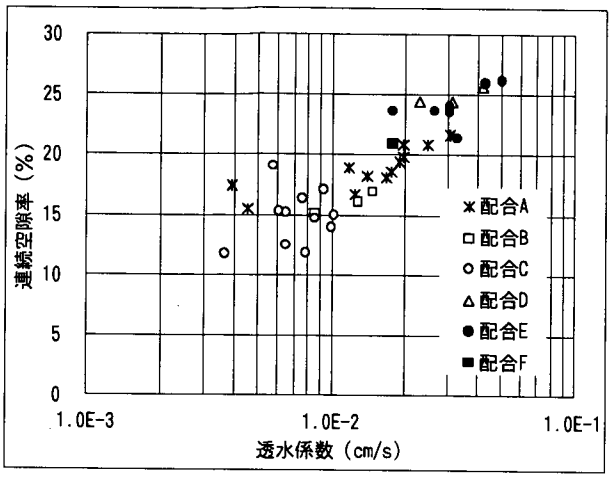
2．研究方法

12 年度は，粗骨材，細骨材の種類や粒径を様々に変えた供試体を作成し，透水性，保水性，せん断強度，連続空隙率などについて比較を行うとともに，供試体を恒温人工気候室に静置して，温度変化や蒸発量を測定した．透水性は舗装試験法便覧（1988）の透水試験方法により得られる透水係数により評価した．保水性に関しては，24 時間水没させた供試体を自然排水状態で 1 分間ほど静置した後の体積含水率を保水率として算出した．その際，供試体側面からの蒸発等を抑制するため，供試体周囲を粘着テープで覆った．連続空隙率は舗装試験法便覧別冊により算出した．せん断強度はマーシャル安定度試験により求めた．表面温度と蒸発量測定に用いた人工気候室の寸法は高さ 3.4m，平面形状は 3.7m×3.6m で，室内の壁面はすべて反射板で覆われている．人工気候室内の気温は 30℃の一定値に設定した．また，供試体上の放射量を一定値に調節するため，合計 64 灯のハロゲン灯（500W）を点灯させた．人工気候室内には一度に 4 体の供試体を置いた．供試体表面は床面から 15cm の高さにあった．各供試体中心点において放射量を測定したところ，1190W/m^2～1250W/m^{2}の範囲（平均値からのずれ分で最大 2.5%）で放射量のむらがあった．強制的な風は発生させていないが，気温を一定値に保つための空調機能により，供試体表面から約 10cm（床面から 25cm）の高さにおいて，およそ 0.7～0.9m/s の風が常に吹いていた．

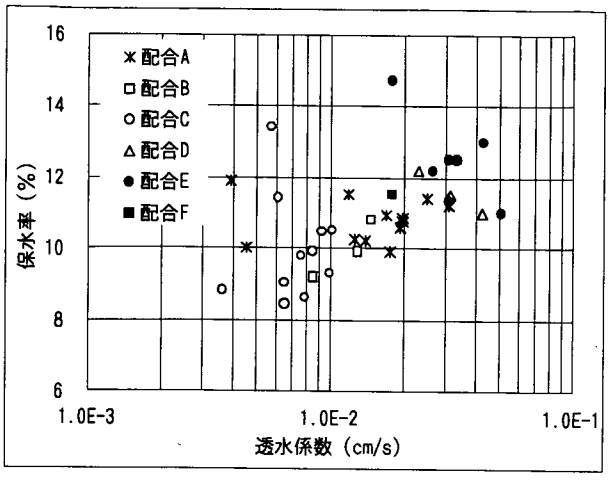
3．実験結果

図－1，図－2は試作したアスファルト舗装供試体の透水係数と連続空隙率の関係及び透水係数と保水率の関係を表している．なお，供試体は配合によって類型化し，類型化されたグループごとに同じ記号を用いて表示している．に分けて，従来の透水性舗装は，連続空隙率で 15%程度，透水係数は 1.0×10^{-1}cm/s 以上が基本性能であるが，今回の供試体の場合は連続空隙の大きさの割に透水性は小さい．このことは透水性舗装

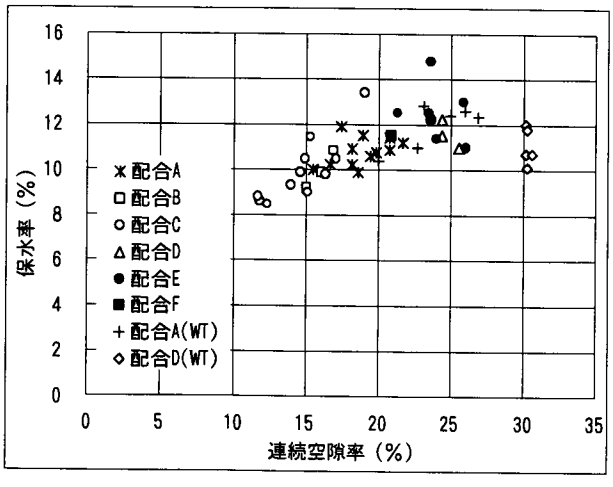
よりも微細な空隙が多数連続していることを意味している．図－１では透水係数は概ね連続空隙率と相関があるものの，個別にみると，連続空隙率は小さいにも関わらず，透水係数が低い場合もあることがわかる．また，浸水後の初期状態における保水率は従来の保水性舗装の値（10%程度）と同等程度かそれ以上の値を示した．図―３は連続空隙率と保水率の関係を示したものである．なお，図中 WT とはホイールトラッキング供試体であることを意味する．連続空隙率が 20～25%までは連続空隙の増加に伴い保水率も概ね増大する傾向がみられるが，さらに連続空隙が大きくなっても必ずしも保水率は増大しないことがわかる．



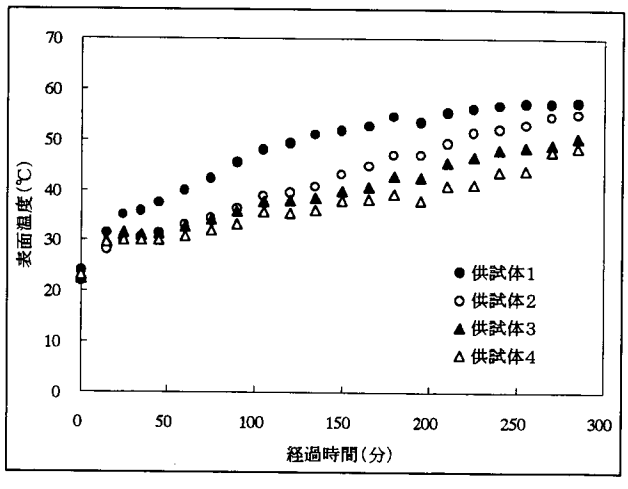
図－１　舗装供試体の連続空隙率と透水係数の関係



図－２　舗装供試体の保水率と透水係数の関係



図－３　舗装供試体の保水率と連続空隙率の関係



図－４　舗装供試体の表面温度の時間変化

図－４は，人工気候室にて測定した，異なる配合を持つ４種類の供試体の表面温度変化を示している．この実験は，30cm 四方×高さ 5cm の供試体を断熱容器に入れ，底面は不透水とし，実験開始時には空隙を水がほぼ充填している状態で行ったものである．供試体１は密粒アスファルト舗装，供試体２は従来の透水性アスファルト舗装，供試体３，４は配合の異なる保水・透水性舗装である．実験開始後約５時間経過した時点において，供試体１と供試体４の表面温度の違いは約９度であった．供試体４では，実験初期の含水率約 19%のうち，約 5%が潜熱輸送に伴い蒸発していることがわかった．また，別の配合の供試体実験では５時間経過後に供試体間で約 14 度の表面温度差が確認された．

（吉谷，木内）

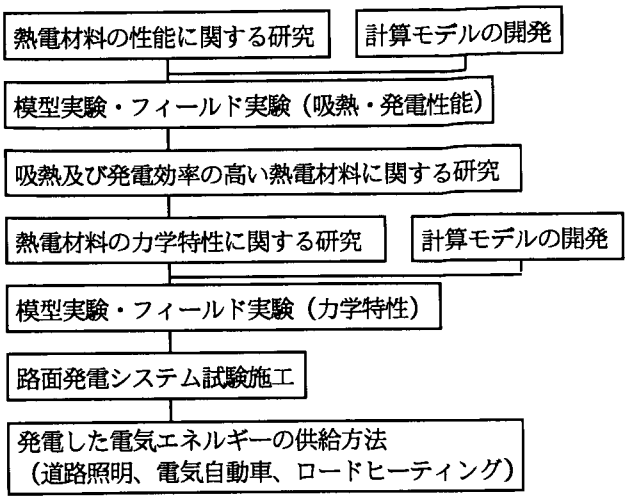
8.4　社会基盤等を活用した省エネ及び都市の気候緩和に関する研究（１）

研究期間：平 10～平 14

担当：化学研究室

【要旨】

我が国では、情報化社会の進展及び生活の快適性を求めた国民の生活様式の変化等により、エネルギー消費量が増大している。特にエネルギー消費量の多い大都市圏では、ヒートアイランド現象が顕在化し、さらに今後拡大することが予想されており、ヒートアイランド現象の緩和策が期待されている。本研究では、路面に与えられた熱を吸収することでヒートアイランド現象を緩和し、同時に吸収した熱を電気として利用する路面発電システム（Road Electric Generation System、以下本文では REGS という）の性能を明らかにする。



12 年度は、REGS の実用化に向けた展開を図るため、REGS を構成する熱電素子の現状および将来の動向について、文献調査ならびに熱電素子メーカーおよび熱電変換利用システムの開発機関に対するアンケート調査を行った。調査の結果、REGS の実用化に向けて、REGS の性能を支配する熱電素子の性能指数、ならびに REGS 本体の強度を向上させることが必要であると認識された。

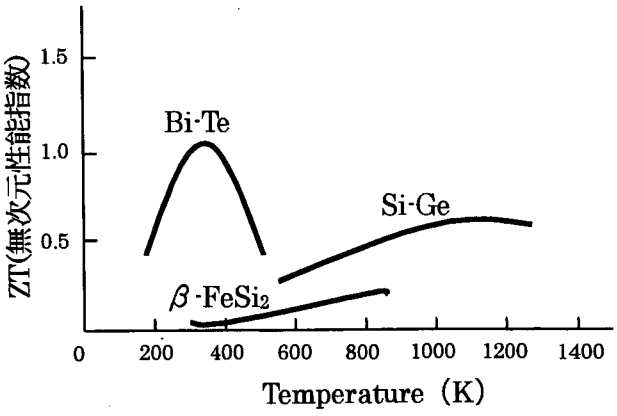
１．研究方法

REGS の性能を正確に把握するためには、現時点での熱電素子の性能を認識しておくことが必要である。そこで、熱電素子の現状と将来動向について、文献調査および熱電素子メーカー等に対するアンケート調査を行い、REGS の実用化に向けた展望を得るものとした。

２．研究結果

２．１　熱電素子の現状および将来動向

REGS が常温付近で使用されることを考慮して、常温付近で性能を最大限に発揮する熱電素子について調査することとした。図－１は、現在までに開発されている熱電素子の無次元性能指数を示したものである。図－１を見ると、常温付近で性能を最大限に発揮する熱電素子は Bi-Te（ビスマステルル）系であり、その値は１程度となっていることが分かる。近年、無次元性能指数が３に達するような Bi-Te/Sb-Te 系の薄膜超格子構造素子が開発されている。しかし、積層構造の厚さは 10μm 程度であり、REGS として使用する場合には、十分な温度差を形成するのが困難と考えられる。また、将来においても膜厚を厚くする可能性が見られないため、本材料により REGS で必要とされる温度差を得ることは不可能と考えられる。



図－１　熱電材料の性能指数

代表的な熱電素子材料に関する性能指数は下記の通りである。

①Bi-Te 系熱電材料（性能指数：約 3～4×10^{-3}）

現在、室温から数 100℃の温度範囲で最も多く使用されており、他の熱電素子材料に比べて性能指数が一桁高い。

②β-$FeSi_2$ 系熱電材料（性能指数：0.3～10^{-3}）

耐熱性があるため性能指数は低いが、高温度領域で使用されている。

③SiGe 系熱電材料（性能指数：0.25～0.4×10^{-3}）

耐熱性・機械的強度があり、高温域の熱電性能が高い。

現在、開発に重点がおかれている熱電素子は数 100℃の高温で動作するものが中心となっている。常温付近で作動する熱電素子は、Bi-Te 系が中心となっており、最良の素子は、無次元性能指数が 1.2 程度、性能指数が 4×$10^{-3}K^{-1}$ 程度である。Bi-Te 系熱電材料の当面の開発目標は、性能指数を今後 5 年以内に現在の 2～3 倍に増大させることとなっている。

一方、Bi-Te 系熱電材料は、毒性が強いために環境に及ぼす影響が懸念されている。さらに、Te（テルル）の埋蔵量が少ないために資源的にも問題があると考えられている。REGS への適用にあたっては、これらの点を十分に踏まえ、場合によっては代替案も考えることが必要である。

また、熱電素子の強度については、圧縮強度で 100MPa、曲げ強度で 50MPa 程度と低くなっている。さらに、熱電素子と電極との接合部の強度も非常に低い。従って、REGS として使用する場合には、強度が十分に確保されるような構造を詳細に検討することが必要である。

2．1　REGS への適用に関する課題

Bi-Te 系熱電材料は、毒性が強い上に資源的な問題も存在するため、これらの問題を同時に解決するβ-$FeSi_2$ 系熱電材料の使用も視野に入れる必要がある。β-$FeSi_2$ 系熱電材料は、Bi-Te 系熱電材料のように毒性の問題が存在せず、安価で供給することが可能なため、使用面・供給面での問題は生じないと考えられる。しかし、性能指数が Bi-Te 系材料に比べて一桁低いために、発電量・吸熱量等の結果に与える影響について詳細に検討を行うことが必要である。

一般に、発電量・吸熱量と熱電材料の性能指数および REGS 上下面の温度差との間には、下記のような関係式が成立する。

$$[\text{発電量}] \propto [\text{性能指数}] \times [\text{システム上下面の温度差}]^2$$

$$[\text{吸熱量}] \propto [\text{性能指数}] \times [\text{システム上下面の温度差}]$$

発電量・吸熱量を増大させるためには、性能指数を向上させると同時に、システム上下面の温度差を増大させることが重要である。現状では、性能指数の向上に限界があるため、システム上下面の温度差を増大させることが当面の課題である。REGS として使用する熱電素子の大型化を図り、システム上下面の温度差を増大させることが必要である。システム上下面の温度差を Bi-Te 系材料に比べて 10 倍以上に増大させると、性能指数の低いβ-$FeSi_2$ 系熱電材料でも十分供用に耐え得ると判断される。

3．まとめ

以上の結果をまとめると次のようになる。

①Bi-Te 系熱電材料を使用する場合には、毒性および資源的な問題を解決することが必要である。

②熱電材料の種類によらず、システム上下面の温度差を増大させる方策を講じることが必要である。

③REGS としての強度が十分確保されるような構造を開発することが必要である。

（明嵐、木嶋）

8.5　社会基盤等を活用した省エネ及び都市の気候緩和に関する研究（2）

研究期間：平 10～平 14
担当：都市河川研究室

【要旨】
本研究では都市域におけるヒートランド現象を軽減するため，社会資本整備に関連する各種対策の効果や費用を定量化する．12 年度には，将来（2010 年）における熱需要予測に基づき，東京都 23 区内において水熱エネルギー利用の地域冷暖房システムを導入した場合における，省エネルギー量，CO2 排出削減量，NOx 排出削減量，人工排熱削減量，節水量の定量化を行った．また，水熱エネルギー利用システム（集中型熱供給）と比較システム（個別分散型の熱供給）における LCC（ライフサイクルコスト）と LCE（ライフサイクルエネルギー），$LCCO_2$（ライフサイクル CO_2）を算出し，両者におけるライフサイクルで見た水熱エネルギー利用効果の比較を行った．以上の結果，下水処理場，ポンプ場，河川水，地下水の水熱エネルギーを利用する地域冷暖房システムは比較システムに対して，東京 23 区全体で最大 10%以上，水熱エネルギー利用地区では最大約 30%の LCC 削減効果があることが明らかとなった．

1．研究目的
本研究では都市域におけるヒートランド現象を軽減するため，社会資本整備に関連する各種対策の効果や費用を定量化するものである．

2．研究方法
東京都 23 区を対象として，3 ケースを設定して熱の需要量と供給量を算出する．ケースＡでは水源の周囲 1 メッシュのうち開発メッシュ又は DHC（District Heating and Cooling）メッシュのみを需要地とした．ケースＢ，Ｃでは水源の周囲 1 メッシュの範囲内にある全てのメッシュを需要地とした．ケースＡでは下水処理場，ポンプ所，河川のみを熱源とするのに対して，ケースＢ，ＣではケースＡの熱源に加えて下水幹線，地下水も対象とした．ケースＣでは，河川水，地下水の利用量と水熱エネルギー利用地区における省エネ率との関係についての感度分析等に基づき，それぞれの利用量を定めた結果，河川水についてはほぼ需要が頭打ちとなる量（ケースＢの 2 倍，荒川，隅田川，神田川，日本橋川，渋谷川あわせて 4,008GJ/日）とした．地下水は面的な水源であるため，利用量がケースＢの 100 倍までの範囲では利用量の増大に伴い省エネ効果も増大するが，地下水環境への影響を考慮してケースＢの 10 倍（揚水井戸 1 箇所あたり 53GJ/日）とした．

ライフサイクルから見た水熱エネルギー利用効果の検討は以下のように行った．各ケースにおけるエネルギー供給システムの環境負荷及びコストを評価する指標としては，評価期間における建設・修繕・改修・廃棄ならびに運用のプロセスを通じたエネルギー消費量 LCE，及び CO_2 排出量 $LCCO_2$，費用 LCC を用いる．これらの算出にあたっては製造熱量あたりの原単位を設定した．ライフサイクルコスト等の定量化手法としては産業連関表を用いる手法に基づいた．また，水熱エネルギー導入に伴う社会的効果（社会的費用削減量）として，CO_2 削減効果，NO_x 削減効果，冷却水補給水削減効果を費用に換算した．CO_2 排出コストは，CO_2 排出量に応じて税を課す炭素税が仮に導入された場合を想定し，原単位を 6500 円／t-c に設定して算出した．NO_x の排出コストは脱硝設備設置コストの原単位を 30,000 円／t と設定した．冷却水補給の費用は上下水道費の原単位として 760 円/m^3 を用いて算定した．

3．研究結果
水熱エネルギー利用地区における LCE と $LCCO_2$ の算定結果を表―1，表―2 に示す．「個別」とは水熱

エネルギー利用なしの個別の熱源方式，「プラント」とは水熱エネルギーを利用した熱供給プラントを意味し，それぞれ「建設」は建設，更新，修繕，廃棄時までを含む．LCE，$LCCO_2$ ともに運用期間中の割合が98%を占めている．ケースAでは削減率は大きいが，量的にはB，Cの効果が大きい．東京都23区全体では，個別システムの場合に対して，LCEの削減率はケースAで1.3%，ケースBで4.4%，ケースCで5.1%，LCO_2ではそれぞれ1.8%，5.5%，6.9%であった．

表—1　ライフサイクルエネルギーの比較（利用地区）

	個別(Aに対応)	ケースA	個別(B,Cに対応)	ケースB	ケースC
ﾌﾟﾗﾝﾄ建設(TJ)	—	9,284	—	34,623	90,868
個別建設(TJ)	8,609	2,599	78,815	53,249	48,813
運用(TJ)	877,980	646,271	8,238,360	7,451,769	7,271,603
合計(TJ)	886,589	658,154	8,317,175	7,539,641	7,411,284
削減率(%)	—	25.8	—	9.3	10.9

表—2　ライフサイクルCO_2の比較（利用地区）

	個別(Aに対応)	ケースA	個別(B,Cに対応)	ケースB	ケースC
ﾌﾟﾗﾝﾄ建設(千t)	—	1,000	—	5,049	9,268
個別建設(千t)	562	170	5,144	3.485	3,195
運用(千t)	40,997	25,124	383,500	332,063	316,804
合計(TJ)	41,559	26,294	388,644	340,597	329,267
削減率(%)	—	36.7	—	12.4	15.3

ライフサイクルコストに関しては，水熱エネルギー利用地区ではケースAでは30%以上のLCC削減効果が出ているが，ケースCではケースBよりも削減効果が減少している．この理由としては，「プラント建設」及び「個別建設」におけるエネルギー消費量やCO_2排出量が運用時の量に比べて非常に小さいのに対して，建設・更新・修繕・廃棄のコストは運用時のコストと同じオーダーであること，および地下水熱利用プラントの建設・更新・修繕・廃棄に係る供給熱量あたりの原単位が他に比べて大きいことによるものである．23区全体におけるLCCは，個別システムの場合に対して，ケースAで1.2%，ケースBで4.9%，ケースCで4.5%の削減となっており，利用地区で見た場合と同様，ケースCの削減率がケースBを下回る．

表—3　ライフサイクルコストの比較（利用地区）

	個別(Aに対応)	ケースA	個別(B,Cに対応)	ケースB	ケースC
ﾌﾟﾗﾝﾄ建設(百万円)	—	377,858	—	1,572,883	2,762,358
個別建設(百万円)	988,534	292,669	9,040,121	6,004,547	5,500,086
運用(百万円)	436,103	467,941	4,096,123	1,555,918	1,932,426
合計(百万円)	1,424,637	488,142	13,136,244	9,953,721	9,158,664
削減率(%)	—	32.6	—	13.9	12.7

社会的効果として，東京23区全体の60年間におけるCO_2削減効果，NO_x削減効果，冷却水補給水削減効果を算定した結果を表－4に示す．今回設定した炭素税等の原単位条件においては，CO_2削減効果と冷却水補給水削減効果が同程度で，NO_x削減効果はそれよりも2〜3オーダー小さいことがわかる．以上のように，水熱エネルギーを積極的に利用することにより，LCE，$LCCO_2$，LCCともに削減することができるとともに，水資源の節約にもつながることが明らかとなった．

表—4　23区全体における社会的コストの比較　(単位:百万円)

	ケースA	ケースB	ケースC
CO_2削減効果	27,060	85,174	105,259
NO_x削減効果	272	909	1,161
冷却水補給水削減効果	47,887	126,484	167,033
合計	75,219	212,567	273,453

（吉谷，木内）

8.6　都市内緑地による温室効果ガス削減に関する調査

研究期間：平11～平13
担当：緑化生態研究室

【要旨】本課題では、都市緑化によるCO_2削減効果を評価するため、緑化樹木のCO_2固定量算出方法の検討を行っている。平成12年度は、シラカシ、クスノキ、マテバシイの常緑樹3樹種を対象に樹幹解析を行い、形状寸法とCO_2固定量、樹齢との関係式を作成した。その結果、3樹種とも胸高直径にCO_2固定量、樹齢との高い相関が見られ、3樹種全てのデータを用いた関係式でも、高い精度でCO_2固定量の算出が可能とされた。このような傾向は、11年度の落葉樹3樹種（ケヤキ、イチョウ、プラタナス）の解析結果と同様であり、6樹種全てのデータを用いた場合でも比較的相関がよく、共通の式を用いて簡便にCO_2固定量を算出することも可能と考えられた。

1. 目的

都市緑化によるCO_2削減効果を評価するため、特定の大きさの樹木が、特定の1年間に、植物体内に蓄積するCO_2量を推定する算定式を作成することを目的とした。

2. 方法

樹木の木質部乾燥重量の50%は、大気中のCO_2に由来するCであるため、木質部乾燥重量の年間成長量を算出することによりCO_2固定量は容易に得られる。ここでは、都市緑化に多用されているシラカシ、クスノキ、マテバシイ、各5本を対象に樹幹（年輪）解析を行い、その成長過程を明らかにし、木質部（幹・枝・根）の乾燥重量成長の予測式を作成する。その手順は以下の通りである。なお、昨年度において、ケヤキ、イチョウ、プラタナスを対象に同様の検討を行っている。

① 樹幹解析：幹の樹齢別材積量(cm^3)の算出
② 樹木部位別分解・生乾燥重量測定：生・乾燥重量比と部位別乾燥重量比の算出
③ 樹齢別木質部乾燥重量の算出
④ 木質部乾燥重量（Y）と形状寸法（X：樹高、胸高直径など）の関係式作成・・・・・・・$Y=aX^b$
⑤ 形状寸法（X）と樹齢（Z）の関係式作成・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・$X=cZ+d$
⑥ 年間成長量算定式の作成・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・$Y=a\{(X+c)^b-X^b\}$

3. 結果

木質部乾燥重量と形状寸法の関係式作成において、最もよい相関が得られた項目は胸高直径であるため、以下では胸高直径を用いた検討の結果を述べる。

3.1 常緑樹3種の年間木質部乾燥重量成長の算定式

樹種別および3樹種全データを用いた関係式を図-1に示す。全ての関係式が非常に高い決定係数を有しており、この式から樹木が特定の胸高直径に達するまでに累積した木質部乾燥重量が予測可能であるといえる。

次に胸高直径と樹齢の関係式を求めたものを図-2に示す。樹種別および3樹種全データの場合とも高い決定係数を有しており、この式から樹齢20～30年程度の樹木であれば、胸高直径の成長量は毎年一定と考えてよいといえる。2つの式を組み合わせ、ある胸高直径の時点での累積成長量と翌年の累積成長量との差を求めることにより、年間成長量算定式としたものが表-1である。

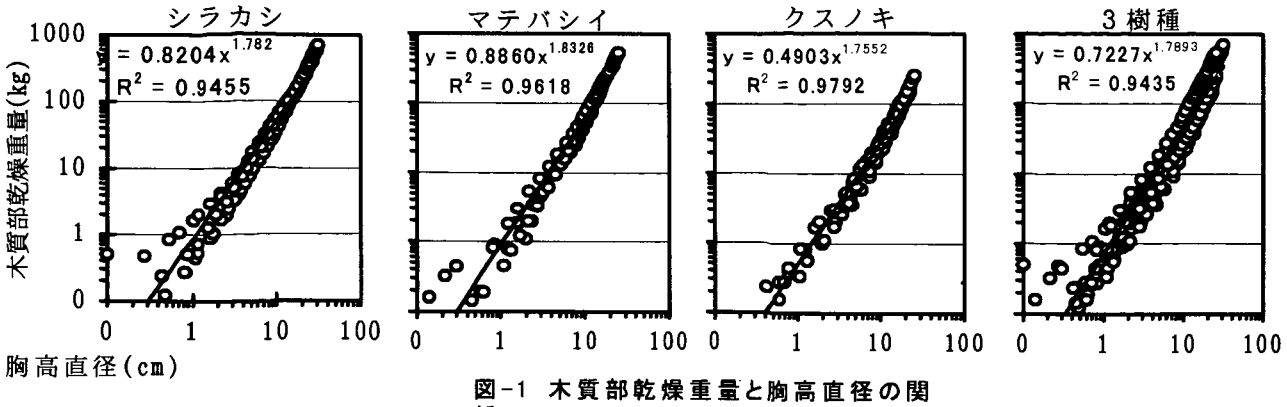


図-1 木質部乾燥重量と胸高直径の関

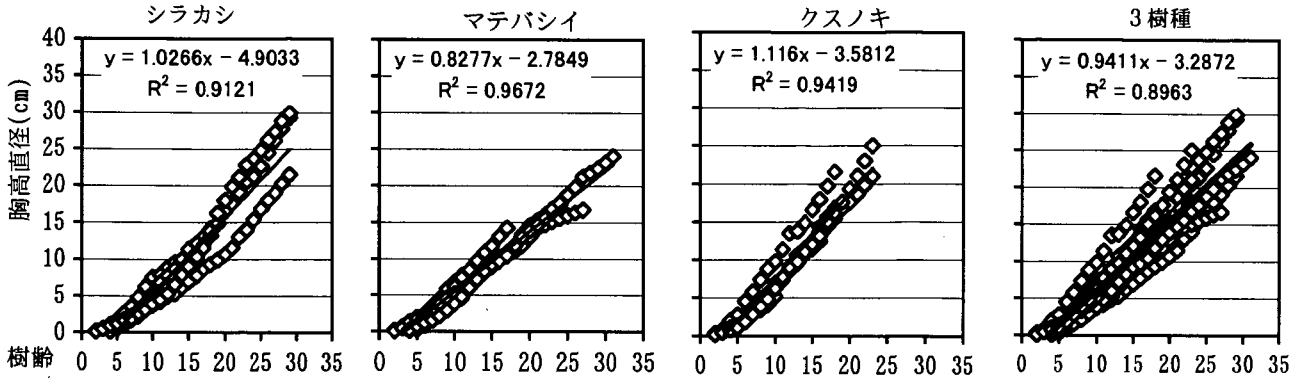


図-2 樹齢と胸高直径の関係

3.2 落葉樹3種との比較

昨年度の検討において作成した落葉樹3種全データを用いた場合の、木質部乾燥重量と胸高直径の関係式は $y=0.4122x^{1.9160}$ ($R^2=0.9564$)、樹齢と胸高直径の関係式は $y=1.0653x-3.4542$ ($R^2=0.9456$) であった。ここでは、常緑樹3種を加えて6樹種全データを用いた両関係式を作成した。結果を図-3、4に示す。図中に示した2つの関係式の決定係数は、依然として高い数値を有している。したがって、緑化樹木の CO_2 固定量(木質部成長量)の算定にあたっては、この6種については、共通式で簡便に推定してもいいと考えられる。

両式から共通算定式・・・・

$Y=0.5298\{(X+0.9210)^{1.8552}-X^{1.8552}\}$

が得られた。

表-1 年間木質部乾燥重量成長予測式

調査対象木	胸高直径による予測式
シラカシ	$Y=0.8204\{(X+1.0266)^{1.7820}-X^{1.7820}\}$
マテバシイ	$Y=0.8860\{(X+0.8277)^{1.8326}-X^{1.8326}\}$
クスノキ	$Y=0.4903\{(X+1.1160)^{1.7552}-X^{1.7552}\}$
3樹種	$Y=0.7227\{(X+0.9411)^{1.7893}-X^{1.7893}\}$

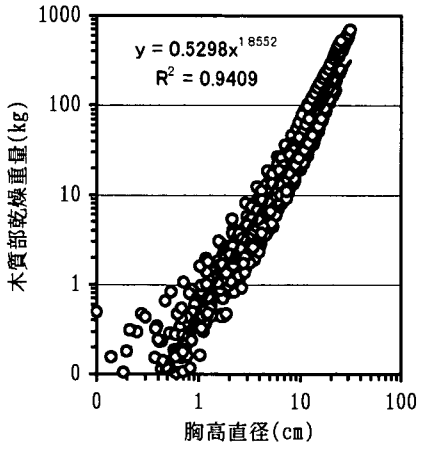


図-3 木質部乾燥重量と胸高直径の関係(6樹種)

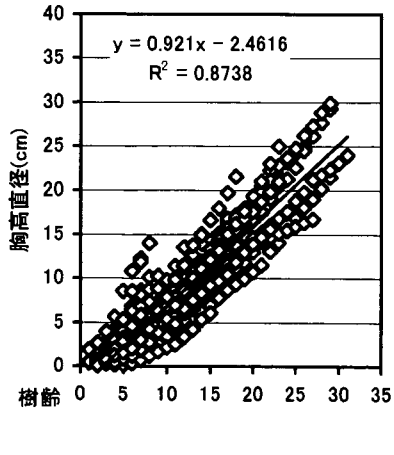


図-4 樹齢と胸高直径の関係(6樹種)

(藤原、山岸)

8.7　都市内歩行者系道路舗装の総合評価に関する調査

研究期間：平12～平14

担当：舗装研究室

【要旨】

都市化の進展、土地利用の変化などの影響により、ヒートアイランド現象、洪水、渇水、水環境の悪化等の様々な問題が発生している。そこで、社会資本の整備にあたっては、これらの問題解決のための機能向上が求められている。

本研究では、歩行者系道路の多機能化を目的として、歩行者系道路への環境改善機能（保水性）および防災機能（透水性）の付加に関する検討を行い、都市における環境に対する負荷の軽減、健全な水循環の確保に努めるものである。



1. 研究目的

本研究の目的は、歩行者系道路舗装に新たな機能を付加し、その効果を総合的に評価することである。本年度は初年度にあたり、歩行者系道路の表層材料・路盤材料・舗装の全層に関する透水試験、路盤材料の粒度分布を変化させた供試体を用いた耐久性試験、表層材料の温度低減効果評価試験を実施し、舗装の付加的機能に関する検討を行った。

2. 研究方法

（1）温度低減効果評価試験

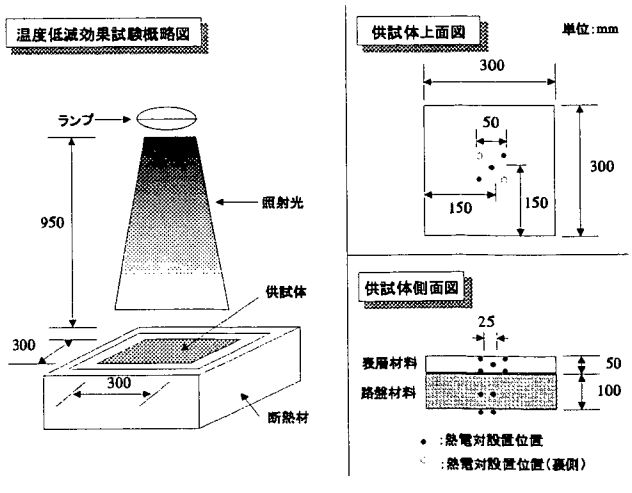
温度低減効果評価試験は、図－1に示すように、供試体表面をランプによって照射することによって行った。試験条件を表－1に、供試体作製条件を表－2に示す。

表－1　温度低減効果評価の試験条件

試験条件			備考
温度		30（℃）	理科年表を参考に東京の夏季の気象を模した
湿度		70（%）	
輻射総量		0.959（kW/㎡）	
散水量		100（ml）	
光の照射時間	乾燥時	30℃から飽和温度到達まで	
	湿潤時	飽和温度時散水後から飽和温度回復まで	

（2）透水試験

表層材料に関する透水試験は、直径 10cm 供試体用定水位透水試験器により実施した。供試体作製条件を表－2に示す。また、路盤材料および全層に関する透水試験は、直径 19.6cm 供試体用定水位透水試験器によりを実施した。供試体作製条件を表－3に示す。



図－1　温度低減効果評価試験装置の概略

3. 研究結果

3.1　温度低減効果評価試験

温度低減効果評価試験は、図－2に示すようなパターンで行った。結果を表－4に示す。透水性セメントコンクリート舗装（以下 CO 舗装）は、空隙率が高いほど平衡温度が低くなるものの、透水性アスファルト舗装との差は、あまりなかった。一方、半たわみ性舗装および CO 舗装（空隙率 20 %＋淡緑）は、いずれも 10 ℃以上低い平衡温度を示し、散水後は AS 舗装よ

りも長時間温度低減を示した。

3．2　透水試験

（1）表層材料透水試験

表層材料に関しては、図－3に示すとおり空隙率が高い作製条件の供試体の方が、より大きな透水係数を示した。また、同一の空隙率を持つ AS 舗装と CO 舗装では、どちらの舗装においても同等の透水係数を示した。

（2）路盤材料透水試験

表－3　路盤材料および全層透水試験の供試体作製条件

表層種類	空隙率（%）	最大粒径（mm）	路盤材料	路盤材の最小粒径（mm）
セメントコンクリート舗装	25	13	M-40	0
			クラッシャラン	4.75
			クラッシャラン	13.2

路盤材料に関しては、0～40.0mm の粒度範囲を持つ材料で 2.68×10^{-1} の透水係数を示した。また、1.75mm 以下の細粒分を取り除いた路盤材料は、測定限界（10L/min）以上の透水量を示した。このことから、路盤材料に含まれる細粒分を取り除けば、比較的大量の雨水を路盤内に保持することが可能であることが分かった。

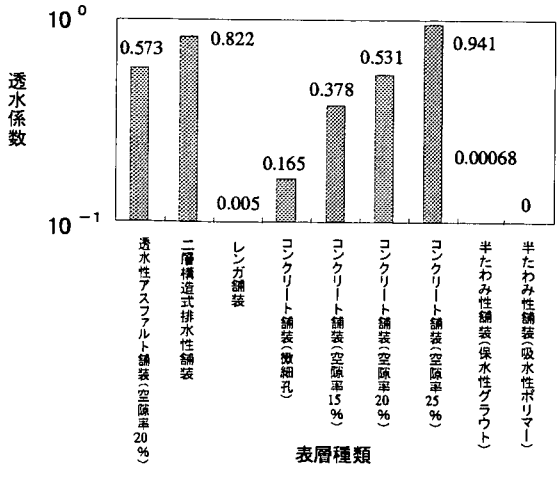
（3）全層透水試験

全層の透水係数に関しては、図－4に示すとおり、表層および0～40.0mm の路盤材料と同等の桁数を示し、路盤材料に比較的近い透水係数を示した。

4．まとめ

1）舗装構造全体の透水性能の評価は、表層の透水係数のみでは、不十分である。

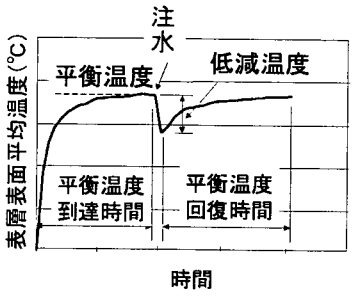
2）表面が黒色のAS舗装の散水後の表面温度は、淡色のCO舗装の乾燥時の温度と同程度である。



図－3　表層材料透水試験結果

表－2　表層材料透水試験・温度低減効果評価試験の供試体作製条件

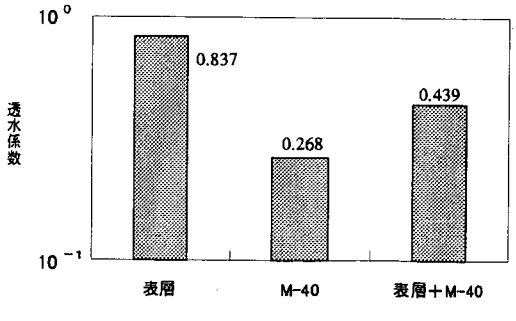
供試体番号	表層種類	空隙率（%）	最大粒径（mm）	表層色	試験実施（実施：○） 透水試験	温度低減効果試験	備考
1	透水性アスファルト舗装	20	13	黒	○	○	
2	二層構造式排水性舗装				○		舗装底面に排水用の樹脂プレート設置
3	レンガ舗装	微細孔	5	ベージュ	○		
4	透水性セメントコンクリート舗装			灰色	○		
5		15	13		○	○	
6		20			○	○	
7				淡緑		○	
8		25		灰色	○	○	
9	半たわみ性舗装	20		白	○	○	開粒度アスファルト混合物に保水性グラウトを注入
10					○	○	開粒度アスファルト混合物に吸水性ポリマーを注入



図－2　温度低減効果評価試験の基本パターン

表－4　温度低減効果評価試験結果

舗装種類	平衡温度（℃）	平衡温度到達時間（h）	低減温度（℃）	平衡温度回復時間（h）
透水性アスファルト舗装（空隙率20%）	67.05	19	9.25	21
透水性コンクリート舗装（空隙率15%）	65.30	24	8.90	25
透水性コンクリート舗装（空隙率20%）	63.65	21	5.40	23
透水性コンクリート舗装（空隙率20%＋淡緑）	52.50	24	4.65	15
透水性コンクリート舗装（空隙率25%）	61.85	21	6.10	17
半たわみ性舗装（保水性グラウト）	54.45	21	10.05	13
半たわみ性舗装（吸水性ポリマー）	55.85	24	7.20	21



図－4　全層透水試験結果

（吉田，新田，小森谷）

走行支援道路システム（ＡＨＳ）に関する研究開発

9．走行支援道路システム（ＡＨＳ）に関する研究開発

研究期間：平成１０年～１２年
プロジェクトリーダー：高度道路交通システム研究室長
森　昌文

１．研究の背景

わが国の自動車による交通事故死亡者は年間１万人に達し、その社会的な損失は約４．４兆円と試算されており、交通事故に対する抜本的改善が要請されている。特に、近年高齢者ドライバーの交通事故が増加の傾向を示しており、その傾向は６５歳以上のドライバーが約２０００万人になると推定される２０年後にはより一層顕著になるものと予想され、高齢化社会の到来を前にした安全走行支援への要請も高くなっている。

このような背景の中で、事故分析に基づく交通安全対策がとられているところであるが、人と道路と車を一体的システムによる安全性の飛躍的な向上が期待されている。１９９６年より、建設省、運輸省、通商産業省、郵政省、警察庁による最先端の情報通信技術を活用したＩＴＳ開発への取り組みが展開され、その中に安全性向上を図るシステムとして走行支援道路システム（ＡＨＳ）が位置付けられている。また、道路整備五箇年計画においても、走行支援道路システム(ＡＨＳ)の一部実用化が目標とされている。

２．研究の目的

交通事故死亡者のうち、約５０％はドライバーの発見の遅れが原因であり、また約３０％はドライバーの操作・判断ミスが原因である。これらドライバーに起因する事故を未然に防止する目的として、情報提供や危険警告を行うシステムを開発する。また、実証実験による評価を行い、この結果を踏まえて技術資料を作成する。さらに、当該技術基準の国際標準化計画を策定し、ＩＳＯ等の国際標準化機関への提案を行う。

３．これまでの研究成果

本重点プロジェクトで得られた主要な成果は次のとおりである。

①国民からのパブリックコメントを踏まえ、ＩＴＳシステムアーキテクチャを策定した。

②システムアーキテクチャに基づき道路通信標準を構築した。

③ＡＨＳに関するリクワイアメントからシステムを開発し、実道へ導入するためのシステム機能要件・性能要件を記載した技術資料をとりまとめた。

④開発されたシステム等について国際標準化を図るべく、ISO／TC204 の
WG１４にて、日本の路車協調システム（ECCS）を提案、
WG７・９にて、一部システムについての道路通信標準案を提案した。

⑤カーブ区間における安全性向上を目指し、対向車接近並びに前方障害物検知を可能とする走行支援パイロットシステムに関する基準案を作成した。

⑥現時点で、約２００件の特許を出願（含む出願手続き中）し、既に３５件は特許を取得した。

⑦過去５年間の研究成果に対する外部評価として、平成１２年１１月に国内外の学識経験者、国会関係者、道路管理者、マスコミ等が参加して公開実験を行い、システムの有効性を実証した。

４．今後の課題

①本プロジェクトではテストコースでの実証実験を行ったが、さらに実道フィールド実験において、種々の道路条件・交通条件におけるシステムの妥当性、サービスの有効性、ドライバ受容性、要素技術性能評価等を行う必要がある。

②これまでは、ＡＨＳによる安全性向上の研究開発を進めてきたが、ＡＨＳの実用化においては、道路利用者の利便性・快適性の向上、道路管理の効率化といったより一層のサービスを可能とするシステムを導入する必要がある。そこで、これまでに開発したシステムについて、道路管理や新たな道路行政サービスに活用するためのマルチ機能化を図る。

－走行支援道路システム（ＡＨＳ）に関する研究開発－

個別研究課題目次

9.1　ＩＴＳ全般に関する調査（その１）……（高度道路交通ｼｽﾃﾑ研究室）…236

9.2　コンセプト及びアーキテクチャの設計と評価に関する調査……（高度道路交通ｼｽﾃﾑ研究室）…240

9.3　道路状況把握道路システムに関する調査……（高度道路交通ｼｽﾃﾑ研究室）…242

9.4　路面状況把握道路システムに関する調査……（高度道路交通ｼｽﾃﾑ研究室）…244

9.5　車両誘導制御支援道路システムに関する調査……（高度道路交通ｼｽﾃﾑ研究室）…246

9.6　走行車両位置検出支援道路システムに関する調査……（高度道路交通ｼｽﾃﾑ研究室）…248

9.7　最先端の通信方式を利用した道路システムに関する調査……（高度道路交通ｼｽﾃﾑ研究室）…250

9.8　システムの設計に関する調査……（高度道路交通ｼｽﾃﾑ研究室）…252

9.9　システムの評価に関する調査……（高度道路交通ｼｽﾃﾑ研究室）…254

9.1　　ＩＴＳ全般に関する調査

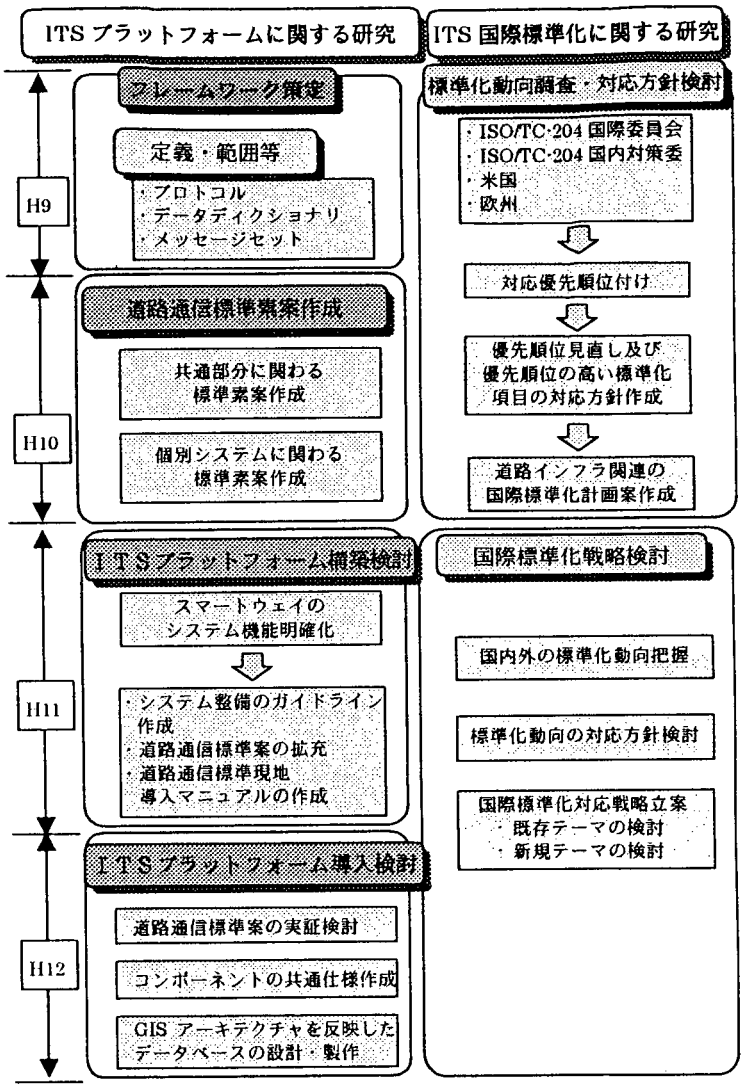
研究期間：平９～平１２
担当:高度道路交通システム研究室

【要旨】

本研究は、道路管理者個々のＩＴＳシステムに共通に適用可能な通信標準や設計モデルなどのＩＴＳプラットフォームを検討し、システムの互換性、相互運用性、相互接続性を向上させ、また、ＩＴＳ関連の国際標準との整合性を高め、ＩＴＳ技術を用いた道路インフラ整備の効率的、経済的な推進に資することを目的とする。

１２年度は、ＩＴＳ全般に関する調査の最終年度であり、１１年度に構築した道路通信標準案を実際に現地で適用し、その実用性を検証するとともに、検討過程で明らかとなった修正・追加項目を抽出し、通信プロトコル、データディクショナリ及びメッセージセットの標準案へフィードバックを行った。

また、ＩＳＯや欧米の標準化動向の把握を行うとともに、インフラステアリング委員会、国際標準化戦略検討チーム、インフラ標準化戦略検討ＷＧを開催し、国内外の標準化動向への対応に係る戦略検討を行った。



１．研究目的

各道路管理者が独自で構築した情報システムは、システム構成や扱う情報の定義、通信規約等が異なるため、道路管理者間の情報交換の調整に多大な時間を要するなど、道路管理の効率化や国民サービスの充実に支障となりつつある。この問題に対応し、道路管理者個々のＩＴＳシステムの統合的、効率的、経済的な整備推進に資するため、本研究は、各道路管理者のＩＴＳシステム共通に適用できる通信標準や設計モデルなどのＩＴＳプラットフォーム（システム共通基盤）について、国際標準との整合性に留意しつつ検討し、ＩＴＳシステムの互換性、相互運用性、相互接続性の向上を図ることを目的とした。

２．研究方法

２．１　ＩＴＳプラットフォーム導入に関する研究

２．１．１　道路通信標準案の実証検討

平成１１年度に構築された道路通信標準案を、道路管理者が実際に現地調達する１２のシステムに対して適用し、この実用性を検証した。検証に際しては、現地のＩＴＳ関連システム調達において、道路通信標準案の適用に関する技術的支援を行うことで、標準案の適用効果を把握するとともに、標準案の実装上の課題を抽出した。

２．１．２　コンポーネントの共通仕様の作成

ＩＴＳアプリケーションに係るシステムを構成する基本的な通信機能を実現する機器を当該通信機能のコンポーネントと定義し、各コンポーネントの機能仕様、機器仕様、その他配慮すべき事項等を取りまとめた。

２．１．３　ＧＩＳアーキテクチャを反映したデータベースの設計、製作

静的情報を統括的に表現するＧＩＳメタデータ表記法等を用いて、道路ＧＩＳデータベースの詳細設計を行うこととし、国土交通省が保有する既存のベースデータのうち道路管理データベース、交通事故マッチングデータ、道路交通センサスデータ、および情報ターミナルから得られるデータを一括して、当該ＧＩＳデータベース用の入力データとして変換したものを作成し、具体的にデータベースで稼動することの確認を行った。

２．２　ＩＴＳ国際標準化に関する研究

２．２．１　国内外の標準化動向把握

ＩＴＳの標準化に係る国際・国内会議の審議内容、欧州、米国等の標準化機関や国内関連機関での検討状況については、４９のワーキングについて最新情報を収集し動向把握を行った。ＩＴＳ関連プロジェクト及び各種コンソーシアムの動向に関しては５のプロジェクト（コンソーシアム）を選定し、動向把握を行った。

２．２．２　国内外の標準化動向への対応に係る方針検討

国内外の標準化動向に関して、インフラステアリング委員会、国際標準化戦略検討チーム、インフラ標準化戦略検討ＷＧに諮った上で対応方針を策定し、対応活動を実施した。

２．２．３　国際標準化対応戦略の立案

ISO/TC204 における既存テーマに関して整理と評価を行い、評価に関してインフラ標準化戦略検討ＷＧに諮った上で重要テーマを選定し、対応戦略の立案を行った。さらに標準化が行われていない領域を明確化し、道路インフラ側から新規に提案すべき標準化テーマを抽出した。

３．研究結果

３．１　ＩＴＳプラットフォーム導入に関する研究

３．１．１　道路通信標準案の実証検討

平成１１年度に構築した道路通信標準案の効果の把握、実装上の課題抽出を図るため、関連道路管理者が平成12 年度に調達を計画していたＩＴＳアプリケーションにおいて１２のシステムに道路通信標準案を実際に適用した。

検証の結果、データディクショナリについては、道路通信標準案を適用できた要素と新しい要素とがそれぞれ確認され、新しく必要性が確認された要素については標準案に反映した。メッセージセットおよびプロトコルについては、適用事例の実装を通じて実用性を十分検証することができた。

３．１．２　コンポーネントの共通仕様の作成

道路管理者が導入するＩＴＳアプリケーションを収集系、提供系、路側処理系、中央処理系に分類してコンポーネント単位に詳細化し、それぞれの機能仕様、設置条件等を既設および技術動向より明確化した。さらに、これらコンポーネントを道路管理者が調達する観点から特記仕様書、システム仕様書に記述すべき項目を挙げ、コンポーネント共通仕様書案としてとりまとめることにより、道路管理者がＩＴＳアプリケーションに係るシステム及びその一部を設計・調達する際に設計書あるいは仕様書の作成に係る負荷の軽減を図ることが可能となった。

３．１．３　ＧＩＳアーキテクチャを反映したデータベースの設計、製作

(財)日本デジタル道路地図協会において検討が進められている新ＤＲＭフォーマットに関して、システム毎に必要とする地図情報の要件（測地座標系、基準座標、座標精度等）をメタデータ定義ファイルにおいて定義し、運用規定を定めることにより、多目的利用可能なＧＩＳ共通フォーマットとして適用できるものであることが確認できた。また、事故分析、道路管理、AHS 等のむ実際のアプリケーションについて、実際のデータを新ＤＲＭフォーマットに変換することで、新フォーマットのデータベースが運用可能であることを確認できた。

３．１．４　今後の課題

道路通信標準案については、平成１２年度に実証検討を行うことで完成度とその実用性を確認し、基準類の整備に向けての準備が整った。今後は「道路通信標準」としての基準化を速やかに実施すると共に、安定的かつ効率的な標準の運用管理への対応を行っていく必要がある。

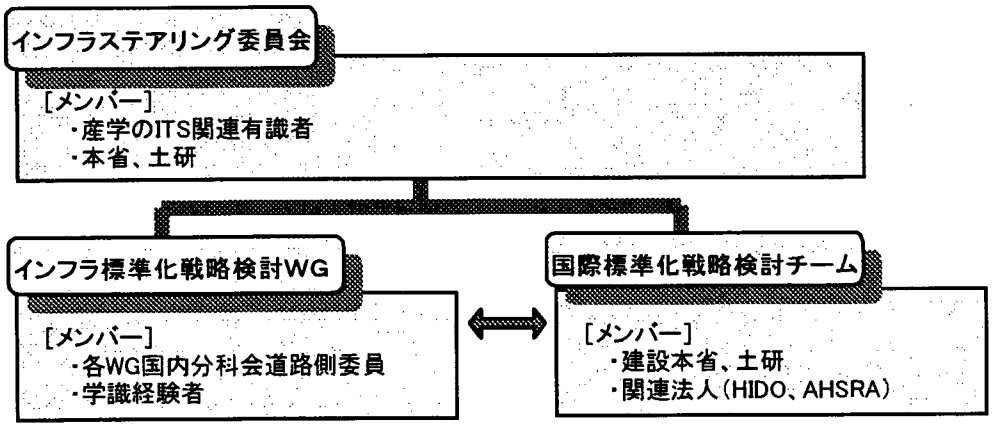
３．２　ＩＴＳ国際標準化に関する研究

３．２．１　国内外の標準化動向把握

ＴＣ２０４、米国、欧州及び国内の標準化検討組織における標準化の動向、ＩＴＳ関連プロジェクト及び各種コンソーシアムの動向を把握した。これにより、道路インフラ関連の国際標準化戦略立案に必要な周辺状況等を的確に把握できたほか、機敏な対応が必要な動向に対し適切に対応することができた。

３．２．２　国内外の標準化動向への対応に係る方針検討

インフラステアリング委員会、国際標準化戦略検討チーム、インフラ標準化戦略検討ＷＧを開催し、国内外の標準化動向への対応に係わる方針を迅速に検討・対応するという体制が整った。また本体制によって、モバイルＧＩＳおよびデジタル情報を用いたＩＴＳサービス等の新規国際標準化動向に対して、迅速に道路インフラ側としての対応方針を決定し、対応することができた。



３．２．３　国際標準化対応戦略の立案

（１）現在の検討テーマの分析と対応戦略の検討

インフラ標準化ＷＧにおいて検討ＩＳＯ／ＴＣ２０４で検討されている既存テーマの整理と評価を行い、重要テーマとして１０テーマを選定、対応戦略の立案を行うことで、**テーマ毎に今後取り組むべき課題および戦略が明確にされた。**

WG	選定されたテーマ名称および検討概要	立案された対応戦略
3	①Location Referencing 異なる地図データベース間で相互に位置情報を交換する方式	・モバイルGISとの関連が予想され、道路インフラから積極的に標準化に参加する
	②Extended Geographic Data File モバイル環境に対応した地図データベースに適用可能な地理情報ファイル	

WG	選定されたテーマ名称および検討概要	立案された対応戦略
7	③Data Dictionary and Message Sets for Electronic Placarding of Hazardous Materials/Dangerous Goods Transportation 危険物輸送の輸送物の内容等を電子的に表示するためのデータディクショナリ及びメッセージセット	・特殊車両管理との関連が予想される ・4月ハワイ会議で日本の意見提出が予定されているため、道路インフラ側として課題を整理し、国内WG7に提案 ・ハワイ会議で提出されたWDを精査し、修正等のコメントを準備する
9	④Data Interfaces between Centers for TICS - Message Definition Requirement センタ間通信における通信プロトコル パート1ではメッセージ構造の要件を規定	・道路通信標準は既にDATEX-ASNに準拠しており、DISドラフトに賛成する ・現DISドラフトにおいて、ASN表記が間違っている等の箇所があるため、FDIS化に際して修正コメントを提出する
	⑤ Data Interfaces between Centers for TICS - DATEX-ASN Application センタ間通信における通信プロトコル パート2ではDATEX-ASNを規定	
10	⑥Medium-Range Pre-information DSRCによる旅行者情報収集・提供のメッセージ、プロトコル	・CD 投票ドラフトの提出段階で以下の観点でチェックを行い修正等のコメントを出す AHS、プローブカーでの利用可能性、VICSとの整合性
	⑦TTI over High Data-rate Broadcast Digital Bearers デジタル放送による旅行者情報提供のメッセージ、プロトコル	・日本案を提出しながら悪影響防止に努める ・道路インフラも積極的に参加する
14	⑧Lane Departure Warning Systems 車線脱線警告システムにおいて警告を発する規準(白線との相対位置など)についての規格化	・将来、システムの試験方法まで発展した場合、道路インフラを利用する場合の試験方法を定めることが予想される
	⑨Enhanced Cruise Support Systems 「ACC」、「Stop & Go」、「インフラからの情報提供」の3つを統合したシステムの性能要件	・インフラ協調部分について、道路インフラ側から標準化に積極的に参加する
15	⑩DSRC Resource Manager DSRCとアプリケーションのインターフェース マルチアプリケーションに対応したインターフェースを想定	・道路インフラ側としては、Resource Manager 単体ではなく、「ETC の普及を考慮した将来のマルチアプリケーションインタフェースへの活用方法等」について、標準化に積極的に参加する

（2）新規検討テーマの検討

インフラ標準化戦略検討WGにおいて、ＴＣ２０４に対して道路インフラ側から新規に提案すべきテーマを抽出することができ、検討テーマ抽出のための体制が確立できた。

－ＡＨＳの各サービスの論理／機能アーキテクチャ、システム性能規定、メッセージセット、データディクショナリ

－放送による情報提供のメッセージセット、データディクショナリ

－歩行者系ＩＴＳの地図データベース

３．２．４　今後の課題

ＩＴＳに関するＩＳＯ等の場における標準化に関する議論は、国際的に相次ぐ新技術の開発を背景に継続的かつ活発に行われており、常に動向が変化しつつある。従って、道路インフラ整備者たる道路管理者が実施するインフラ調達に際して発生が想定される国際問題を回避し、円滑なインフラ整備を進めていくためには、今後とも国内外の標準化動向を継続的に把握するとともに、道路インフラに影響がある動向に対しては、機敏かつ的確に必要となる対応を実施していく必要がある。又、今年度の検討によって抽出した新規検討テーマに関して、今後、標準化活動を実施する必要がある。

４．主な研究成果物

1）Tadashi Okutani, Ryo Akasaka, Hitoshi Ariga, “Protocol Standard For Road Communication Standards”, Seventh World Congress on Intelligent Transport Systems, Torino , 2000.11

2）Tadashi Okutani, Shuichi Ikeno, Hidenori Oda “Development of Communication Standards for Road Management Systems”, 10th REAAA Conference, Tokyo, 2000. 9

（奥谷、池野）

9.2　コンセプト及びアーキテクチャの設計と評価に関する調査

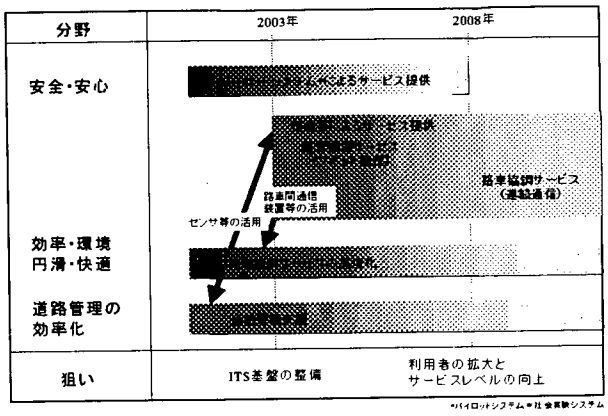
研究期間：平成８年～平成１２年
担　　当：高度道路交通システム研究室

【要旨】

本研究では、走行支援システム（ＡＨＳ）の実用化に向け、システムに対する社会ニーズに基づいたシステム開発に対する基本的、共通的な必要条件を定めたリクワイアメントについて検討を行っている。１２年度は、2003年から2007年の実道への配備という視点にたち、安全性の向上のみでなく、道路管理の効率化、さらには副次的に達成される渋滞緩和や環境改善まで係わる実用リクワイアメントを策定した。その中で、早期導入を図るサービスが明確になり、導入段階から普及促進及びサービスの向上までの進化するシナリオを描いた。また、これらの実用化に向け、導入の基本的考え方を整理し、車載器普及率に応じた適切なインフラ整備量を試算した。

１．目的

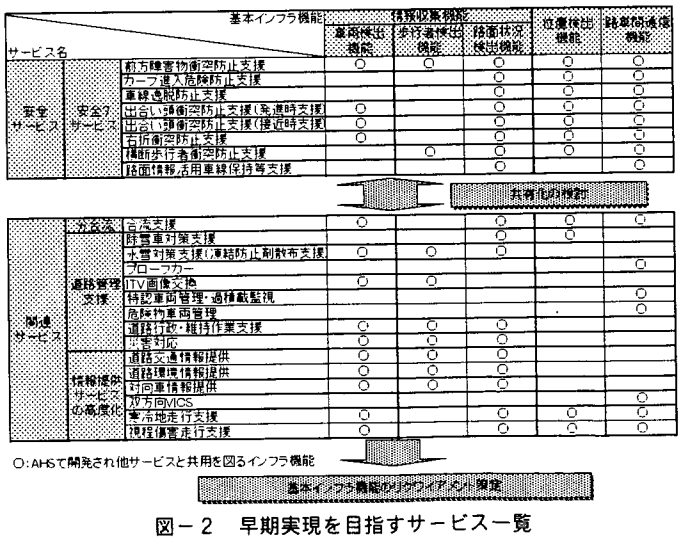
これまでもシステム開発のためのリクワイアメントの検討は行ってきたが、実用化するにあたり、導入初期段階での技術の水準を見極めるとともに、普及促進の観点からリクワイアメントを整理する必要がある。



図－１　進化のシナリオ

２．研究方法

技術動向を踏まえた進化のシナリオを想定し、AHSの機器との共有化が可能なサービスの整理を行い、ＡＨＳ関連アプリケーションの中から早期導入を図るサービスとして、安全サービスの他に分合流支援サービス、ＩＴＶ画像交換や除雪車対策支援等の道路管理支援サービス、道路交通情報や道路環境情報提供等の情報提供サービスを選定し、それらサービスの機能、性能等の要件を明らかにするとともに、費用対効果の検討を行った。



図－２　早期実現を目指すサービス一覧

３．研究結果

ここでは、実用リクワイアメント作成にあたって想定したＡＨＳの進化のシナリオと、整備の基本的考え方の検討として、B/C 試算結果を紹介する。なおB/Cについては、効率的なインフラ整備という視点からの試算であり、安全と渋滞緩和に特化している。したがってここでの試算結果はドライバの快適性や利便性などの様々な効果は考慮されていない。

（１）ＡＨＳ及びＡＨＳ関連サービスの進化及び早期実用化サービスの選定

進化シナリオのイメージを図－１に示す。関連サービスの導入初期から2002年頃までは、ＩＴＳ基盤整備を目的としてインフラセンサ、路車間通信、および各種データベース等の普及促進を図り、道路管理支援や情報提供サービスの中で早期実用化が可能なサービスの導入を行う。次に2003年から2007年頃までは、安全サービスについて、道路管理支援に用いたセンサや情報提供サービスに用いた双方向通信ビーコンを活用し、インフラ単独のサービス及び路車協調サービス（情報提供）を実現する。さらに2008年以降はさらなるサービス向上と利用促進を目指す。通信については、複数の路側無線機により連続した無線ゾーンを形成する連続通信による路車協調サービ

スを実現する。このシナリオを想定し、早期実用サービスを選定した。(図－２)

（２）システム導入の基本的考え方の整理

車載機及び道路インフラ導入による費用対効果算出の前提として、①車載機は費用対効果の高い車種・車両から搭載する。②インフラは見通しが悪くなる状況や交通が輻輳する状況などにより事故が多発しているか所から導入するとした。実際に導入を考えるにあたり、車両単独と路車協調の適用範囲を考慮した無駄のない効率的なインフラ整備が必要となる。このことから以下のように整理検討を行った。

表－１　サービス対応表（短期、長期）

対象サービス			短期		長期	
			インフラ単独	車両単独	路車協調	車両単独
単路系	前方障害物衝突防止支援	直線	△	△	○	○
		カーブ	△	－	○	－
	車線逸脱防止支援		－	△	○	○
	カーブ進入危険防止支援		△	△	○	○
	路面情報活用車間保持等支援		△	○	○	○
交差点系	出会い頭衝突防止支援	接近時	－	△	○	○
		発進時	△	△	△	△
	右折衝突防止支援		－	－	△	－
	横断歩行者衝突防止支援		－	－	△	－

○：操作支援まで対応
△：情報提供、警報まで対応
－：サービスの適応なし

1)対象事故の整理

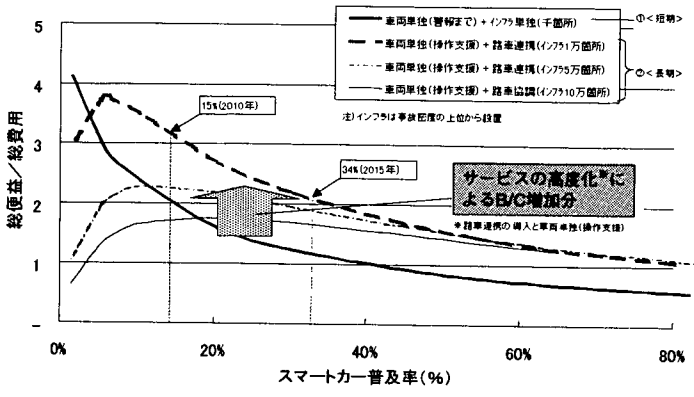
フェーズ（短期、長期）別に各サービスが対応可能な事故の整理を行う。(表－１)

2)フェーズ別の B/C 算定

短期においては車両単独（警報まで）＋インフラ単独による B/C の算定を行い、長期においては車両単独（操作支援まで）＋事故が多発する箇所への路車協調導入による B/C 拡大の算定を行う。

3)効率的なインフラ整備量の抽出

路車協調(インフラ導入)の有効性を確認し、普及率に応じた効果的なインフラ整備量を抽出する。



図－３　費用対効果試算結果

この計算結果を図－３に示す。この図から短期において車両単独、インフラ単独によるサービスが長期においてはサービスが高度化することにより、B/C が向上することがいえる。また、ある普及率に応じ、適したインフラ整備規模を挙げることが出来た。例えば、普及率 15%（電技審では 2010 年と想定）におけるインフラ整備は５万箇所まで B/C>2.0 という結果を得た。なお、算出における前提条件は以下のとおりである。

(1)対象範囲：①車載器は自動車、インフラは幹線道路（センサス対象道路）に導入したときの費用と効果を算出。

(2)費用の算出：①インフラは箇所ごとに発生した事故類型に応じたシステム組合せを設定。また、インフラ単価はシステムの組合せごとに機器共用分を考慮して設定。②インフラ及び車載機単価は独自設定（インフラの維持管理コストは単価の 5%／年と設定）。

(3)便益の算出：①事故減少便益とサグ渋滞解消便益について算定。②事故減少便益＝サービス別車種別対象死傷者数×システム対象範囲×システム有効率×システム普及率×事故損失額原単位。③渋滞解消便益＝サグ渋滞総損失時間×渋滞解消効果×時間価値原単位

４．今後の課題

今回紹介した費用対効果の検討例には、前述したように便益として直接的な事故削減と渋滞緩和しか含まれていない。実際にはシステムの普及に伴い様々な波及効果が期待できるため、今後はその効果を考慮して検討する必要がある。

また実道配備において、特に安全サービスに関してはシステムの信頼性の確保が重要な課題であるため、信頼性の考え方を整理して実用リクワイアメントに反映させる必要がある。

（森、田中、鈴木、鳥羽、下田）

9.3　道路状況把握道路システムに関する調査

研究期間：平８～平１２

担当：高度道路交通システム研究室

【要旨】

道路上の車両挙動や障害物の存在、歩行者の位置を検出するために開発された道路状況把握センサ（以下「道路センサ」という）の実用化のためには、実環境において道路センサの性能を阻害する要因と考えられる自然環境、道路構造、交通環境の影響度合いを定量的に把握することが必要である。１２年度は各道路センサに対する到達目標を定め、その目標の達成評価と各々のセンサ毎の課題解決に向けて、可視センサ、赤外センサ、ミリ波センサを時間交通量が多く多彩な車種が走行している実道の重交通環境下に設置し検証評価を行った。また、レーザセンサを積雪寒冷地試験走路に設置してデータ収集し、センサのアルゴリズム改良とパラメータ調整を行い、到達目標の達成度を評価した。

1.　研究方法

1.1　重交通環境実験

可視センサ、赤外センサ、ミリ波センサを時間交通量が多く多彩な車種が走行している重交通環境下にある東名高速足柄ＳＡに設置し、表１に示すとおり、各課題に対して基準値（ループコイルを利用したリファレンス計測装置）と、各センサの計測データを比較して評価を行った。

1.2　横断歩行者検出実験

レーザセンサを積雪寒冷地である開発土木研究所の石狩吹雪実験場に設置し、積雪による悪視程環境下での検出特性を評価した。また、土木研究所の実証実験施設を用いて検出速度向上の確認と車両と歩行者の識別評価を実施した。

表１　課題と評価方法

センサ	課　題	場所	フィールドデータの評価方法
共　通	信頼性，耐久性の評価	足柄／石狩	１年間を通じた故障率、センサ各部の劣化状況を評価する。
	検出性能および速度計測精度の評価	足柄	＜長期連続評価＞ 自然交通流におけるセンサの車両検出性能と速度計測精度を、ループコイルによる計測結果をﾘﾌｧﾚﾝｽ(Ref)として評価する。 ・車両検出性能は検出率（ｾﾝｻ検出台数／ﾙｰﾌﾟｺｲﾙ計測台数）で評価 ・速度計測精度は単位時間当たりの通過平均速度で評価
	シャドウイングの影響評価		＜短期集中評価＞ 各阻害要因が顕著に表れている画像を抽出し、検出率と速度精度への影響を詳細評価し、未検出車両の要因分析を行う。 ・評価軸　ｼｬﾄﾞｳｲﾝｸﾞ；走行パタン、大型車混入率 影；天候、照度、時間 薄暮夜間；照度 悪天候；雨量、視程 大型、色；天候 ・評価基準データ（リファレンスデータ） ①　原画像、計測データ重畳画像、スナップショット画像(Web) ②　通過速度、時間平均速度、通過時刻（ループコイル位
	大型車検出特性評価		
	悪天候の影響評価		
可視センサ	車色の影響評価		
	影の影響評価		
	薄暮・夜間検出性能評価		
赤外センサ	低コントラスト車両検出特性評価		
	画質補正時の検出率評価		検出率低下時の要因分析として記録画像を用いて評価する。
ミリ波センサ	ノイズ、クラッタレベルの影響評価		設置場所の道路構造、構造物による影響を気象状況の変化も踏まえて計測、評価する。（以１２年度も継続）
レーザセンサ	寒冷環境化での評価	石狩	積雪による悪視程条件化での検出率で評価する。
	検出速度の向上	石狩／土研	検出速度を向上させた装置を試作し、実験により確認する。
	車両と歩行者の識別	土研	アルゴリズムの開発し・実験により評価する。

2.　研究結果

2.1　重交通環境下実験

表－２に重交通環境下における達成目標と評価結果を示す。検出率は、数値的に見れば、各センサとも目標値

に未達成となっているが、未検出要因のほとんどがシャドーイングによる隠蔽車両の検出漏れであり、この隠蔽車両を車群として検出することをシステム的に許容できれば、赤外センサ、ミリ波センサでは99%以上の検出率の達成が見込まれる。今後は、車群としての定義を明確にし、車群検出率についても評価を行う必要がある。可視センサは影や西日の影響で検出率が極端に低下する時間帯があるため、検出信頼性向上のためには、アルゴリズムの多様化やセンサの複合化も検討する必要がある。実験評価の結果から、赤外センサの検出性能がもっとも安定し、かつ優れていることが明確になった。ミリ波センサは、センサ設置高さが５ｍ（画像系センサは１０ｍ程度）のために、シャドーイングに対しては不利であるが、安定した計測が可能であることが実証された。

表2　重交通環境下における達成目標と評価結果

センサ	計測条件	検出率（%）（ループ位置）					速度誤差(%)（ループ位置）		計測範囲（m）		耐環境性能	
		晴・曇			雨						雨天時の計測性能(mm/h	<参考データ>降雪時に計測可能な視程限界(m)
		昼間	薄暮	夜間	昼間	夜間	普通	大型	普通	大型		
		9-16	16-18	18～	9-16	18～						
可視センサ	目標	96	90	93	90	85	±10%		100		30	1000m以下
	結果	84	83	89	90	87	±7.5	±15.7	100	100	1mm/hまで良好確認	約1000m
赤外センサ	目標	96			90		±10		100		30	500m以下
	結果	95			95		±2.1	±4.6	115	115	1mm/hまで良好確認	約400m
ミリ波センサ	目標	96			94		±10		100		50	100m以下
	結果	93			95		±3.7	±3.8	90	100	1mm/hまで良好確認	300mまで良好確認

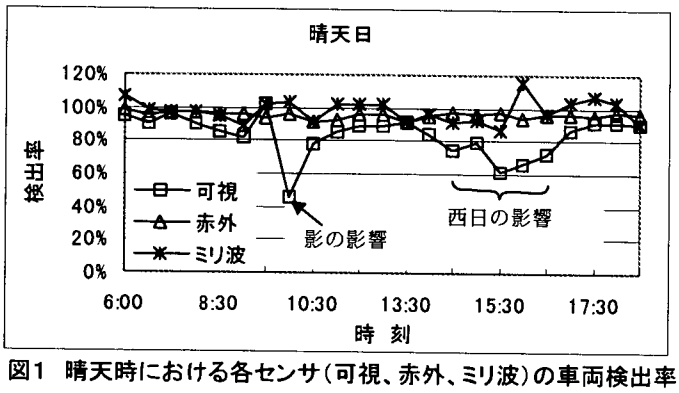


図1　晴天時における各センサ（可視、赤外、ミリ波）の車両検出率

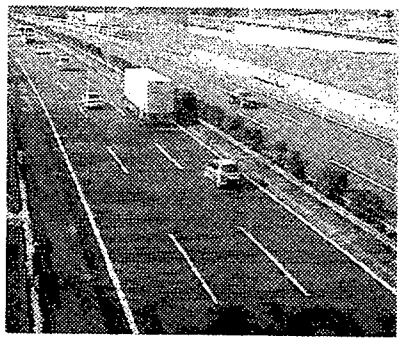


図2　足柄SAの可視センサ画像

2.2　横断歩行者検出実験

最も過酷な条件である降雪環境下において、計測可能距離と視程の関係が明確になった。また、歩行者と車両識別アルゴリズムの有効性を土木研究所のテストコースで確認できた。今後は、実道における様々な交通環境下での検出特性を評価していくことが必要と考えられる。

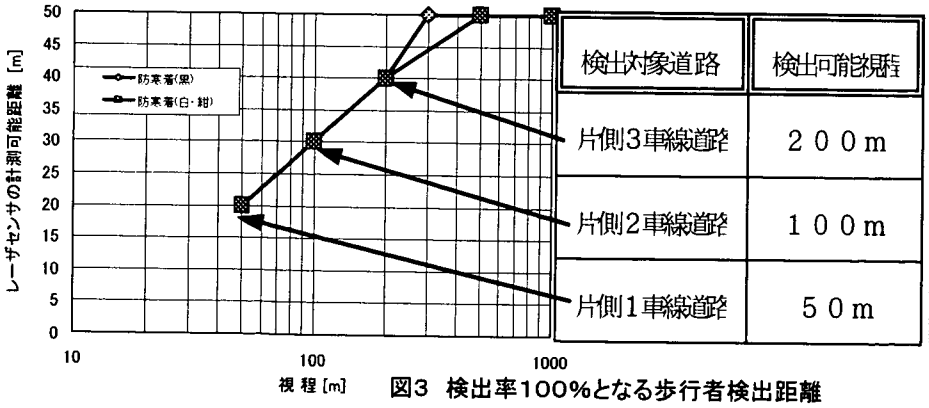


図3　検出率100%となる歩行者検出距離

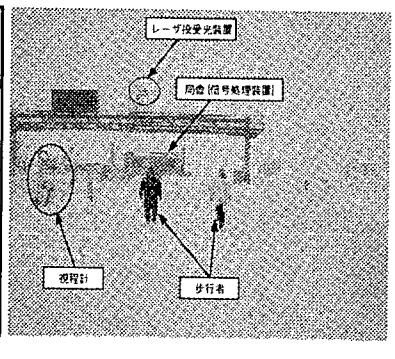


図4　石狩吹雪実験場における
レーザセンサ歩行者実験風景

9.4　路面状況把握道路システムに関する調査

研究期間：平8～平12
担当：高度道路交通システム研究室

【要旨】

走行支援システム（AHS）の全ての基本ユーザサービス（前方障害物衝突防止支援、カーブ進入危険防止支援、車線逸脱防止支援、出合い頭衝突防止支援、右折衝突防止支援、横断歩道歩行者衝突防止支援、路面情報活用安全車間保持等支援）の実現に必要な路面状況を把握するため、および、道路管理用として必要な路面状況把握センサの実用化のための機能検証と改良を行った。

1. 研究方法

12年度は、これまで路面状況判別アルゴリズムの開発を行ってきたレーザレーダ式センサ、電波放射計式センサ、可視画像式センサおよび光ファイバ式センサの機能検証を北海道中山峠(図1)と関が原伊吹PA（図2）にて短期間データではあるが、目視による路面判定結果とセンサ出力結果を比較検証した。また、信頼性向上のための対策（案）を検討した。

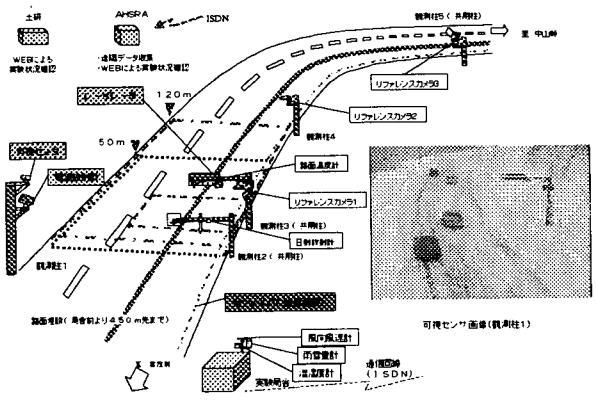


図1　中山峠実験イメージ図

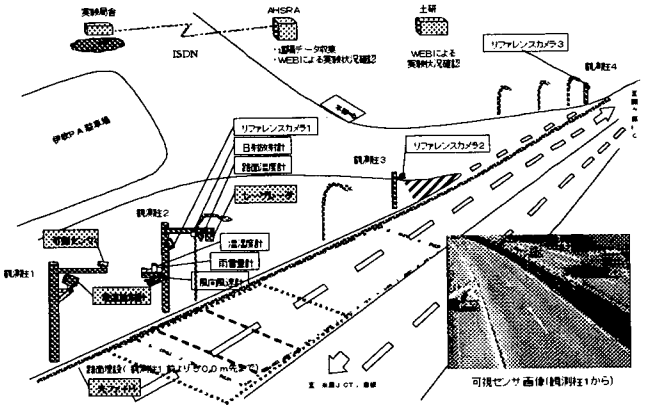


図2　伊吹PA実験イメージ図

表1 実験場所

実験場所	北海道地区(中山峠)	関が原地区(伊吹PA)
路線名	一般国道230号(上り・下り)	名神高速道路(上り車線)
道路構造	3車線(片側1車線＋片側2車線)	4車線(片側2車線)
交通量	約 1万台／日	約 5万台／日
平均気温(℃)	12月 1月 2月 3月	12月 1月 2月 3月
	−1.4 −4.6 −4.0 −0.1	5.7 3.1 3.4 6.1
年間降雪日数	97日	38日
年間降雨日数	137.8日	134.2日
実験センサ	レーザレーダ式、電波放射計式、可視画像式、光ファイバ式	
実験検証方法	実道路の路面状態とセンサ出力との比較・検証および耐環境性の検証	
実験システム	センサおよびリファレンス装置を実道に設置	

表2 実験日程とデータ数

				一般国道230号 中山峠		名神高速道路 伊吹PA		合計	
実験日程	設置開始			H12 11 13		H12 12 4		−	
	調整完了			H12 11 24		H12 12 22		−	
	データ収集開始			H12 11 25		H12 12 23		−	
	評価期間			H13 1/23 14 00 ～1/27 2 00 H13 2/14 8 00 ～2/18 8 00		H13 2/5 14 00 ～2/10 2 00		312時間 (10分間隔)	
データ数	路面状態	S状態	B状態	S状態	B状態	S状態	B状態	S状態	B状態
		乾燥	乾燥		1		1060	1061	1061
		湿潤	湿潤	109	109	187	187	296	296
		水膜	水膜	19	19	51	51	70	70
		積雪	シャーベット	1344	313	0	0	1344	313
			新雪		67		0		67
			圧雪		964		0		964
		凍結	圧雪氷板	691	429	0	0	691	429
			氷膜		262		0		262
	合計			2164		1298		3462	

2. 研究結果

2.1 各センサの機能検証

レーザレーダ式センサ、電波放射計式センサ、可視画像式センサおよび光ファイバ式センサの性能を評価した結果は表3に示す通りである。

表3 各センサの評価結果

8状態		センサ出力(検出率:%)										
センサ名	全データ数	乾燥	湿潤	水膜	積雪			凍結		欠測	故障	総合
					シャーベット	新雪	圧雪	圧雪氷板	氷膜			
レーザレーダ式	3438	80.2	85.5	21.4	83.4	7.5	69.4	91.6	71.5	なし	なし	76.1
電波放射計式	1176	79.0	54.5	38.7	18.2	0.0	58.2	52.8	30.0	4.8	なし	64.2
可視画像式(HSB)	1432	80.5	61.0	47.9	46.6	0.0	90.0	27.1	58.3	6.7	なし	71.2
可視画像式(RGB)	982	90.9	79.8	76.3	65.6	48.1	51.9	65.9	63.9	3.0	なし	78.6

5状態		センサ出力(検出率:%)							
センサ名	全データ数	乾燥	湿潤		積雪	凍結	欠測	故障	総合
			湿潤	水膜					
レーザレーダ式	3438	80.2	85.5	21.4	75.9	89.9	なし	なし	79.6
電波放射計式	1176	78.9	54.5	0.0	58.0	55.6	4.8	なし	64.3
可視画像式(HSB)	2308	91.5	58.6	77.2	54.2	86.7	3.6	なし	80.8
可視画像式(RGB)	2309	91.5	77.2	64.0	54.2	86.7	3.7	なし	80.7
光ファイバ式	1731	95.1	61.9	37.2	88.1	64.8	なし	なし	80.5

ＡＨＳ（走行支援道路システム）のリクワイアメント規定の路面の５状態と積雪・凍結の詳細化を行った８状態について、目視による１０分毎の路面判定結果とセンサ出力結果とを比較した。１２年度は、短期間の実験でありデータ数も少ないことから、センサ性能を十分評価できていないと考えられるが、現段階での各センサの特徴と課題は以下のとおりである。レーザレーダ式センサは「凍結」の検出率は高いが、「水膜」、「積雪」の検出率が低い。電波放射計式センサは「積雪」、「凍結」と、「水膜」の検出率が低い。可視画像式(HSB 方式)センサおよび可視画像式センサ（RGB 方式）は良好な結果であったが、「積雪」、「凍結」の検出率が低い。光ファイバ式センサは「乾燥」、「積雪」は良いが、「水膜」、「湿潤」の検出率が低い。

2．2 センサ検出率向上のための方策

上記の結果の通り11年度までの、試験走路等での人工的に造り出した路面とは違い、実道フィールドでの自然環境では検出率も下がる事が分かった。検出率を低下させている要因を分析し、実道環境下での検出率向上のための方策とそれによる予想効果を表4の通り設定した。

表4 センサ検出率向上の方策

検出率向上の方策	予想効果(%)
1．個々のセンサの検出率向上 (現状性能64～78%)	
(1)アルゴリズムの改良	10～25
(2)検出状態数の減少(8状態検出を3状態検出に)	10～20
(3)検出時間(現在1分)、検出エリアの見直し	電波放射計式:5程度
(4)危険側の誤検出をなくす(安全側検出はOKとする)	5 程度
2．気象情報(気温、降雨降雪、凍結予測、気象予報)の利用	5 程度
3．センサの組合せによる信頼性の向上	5 程度

3．今後の課題

実道環境下において信頼性向上のために上記に示した方策を実施することはもちろんのこと、現在も継続的に取得している多くの検出データ解析し、センサ単体の性能向上を目指ものである。

（森、鈴木、佐々田）

9.5　車両誘導制御支援道路システムに関する調査

研究期間：平8～平12

担当：高度道路交通システム研究室

【要旨】

車両誘導制御支援道路システムは、走行支援システム（AHS）において、道路に設置されたセンサから道路状況や路面状況を収集し、ドライバーが安全にかつ安心して走行支援サービスを受けることができるように、交通状況に応じて情報提供や警報を行い、車両を適切に制御するための情報を生成する役割を有している。

１２年度は、複数同時サービスを対象とした組合せ走行支援情報作成アルゴリズムの設計、およびそのアルゴリズムの有効性検証を実施した。

1. 研究方法

本年度の研究開発では、７つの安全に関する基本ユーザサービスに対応する走行支援情報作成アルゴリズムについて、車両の危険事象を道路構造要因、自車両挙動要因、他車両挙動要因の組合せにより単純化し、実用化する上で不可欠となる複数同時サービスを実現する組合せ走行支援情報作成アルゴリズムの開発を行った。また、アルゴリズムの有効性を検証するために、走行支援情報作成アルゴリズムの実交通環境を想定した実験を実施し、個別の基本ユーザサービスに対しては事故の発生しない場面でのアルゴリズムの有効性と限界を明らかにした。更に、複数同時サービスに対応する組合せ走行支援情報作成アルゴリズムを対象として、事故の発生する場面を対象とした基本的な検証と事故の発生しない場面を対象とした実交通を想定した検証を実施し、アルゴリズムの有効性と限界を明らかにした。

2. 研究結果

2.1　複数同時サービスを対象とした組合せ走行支援情報作成アルゴリズムの概要

本研究開発項目では、個別に設計された７つの安全に関する基本ユーザサービスのアルゴリズムを複合動作させるために、はじめに、基本ユーザサービス毎の設計結果と施設製作物を解析する中で、センサ等からの入力データを用いて周囲状況を認知する機能、周囲の状況がどのように変化するかを予測する機能、予測した状況から事故に至る危険の発生を判定する機能、危険を回避するための走行支援情報を生成する機能などに分類して、微細な処理動作内容を確認した。この結果をもとに、機能の共通化を視点に入れた走行支援情報作成アルゴリズムとして、一連の全体処理をその役割毎に分割したユーザサービス運用機能、事故に至る危険な事象に対してそれぞれ回避する必要性を判定し、走行支援情報を作成する個別危険事象回避機能、そして個別の危険事象を中心として判定と回避策作成に分けて詳細化した個別応用機能を設計した。

2.2　走行支援情報作成アルゴリズムの有効性検証の概要

2.2.1　基本ユーザサービス毎の実験シナリオ作成と有効性検証

11年度の実験では事故が発生する基本的な場面をシナリオとして想定した実験を実施しているため、まず、本研究開発項目では、７つの安全に関する基本ユーザサービスにおける走行支援情報作成アルゴリズムの実交通環境を考慮した実験シナリオとして、事故が発生しない場面を対象とした。次に、その実験シナリオに基づき、１車両モデルを想定したAHS交通シミュレータを用いて実験し、実験結果を走行支援情報出力の有無や安全性に関する評価指標値の変化の視点で分析した。ここで、実験条件の設定や結果の考察では、ヒューマンファクタ評価装置によって得られたデータや一部実証実験によって得られたデータを参照した。その結果、開発したアルゴ

リズムにより、事故の発生しない多くの場面では走行支援情報が出力されないこと、比較的高い減速度で危険を回避する運転者に対しては情報が出力されるが、安全性は向上していることを確認した。図１に障害物に対する停止挙動例を示す。図は比較的高い減速度で停止する運転者が走行支援情報により、手前から低めの減速度で停止する様子を示している。

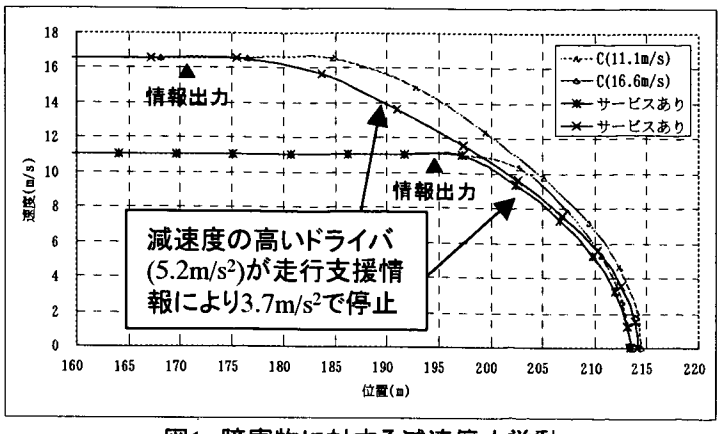


図1　障害物に対する減速停止挙動

2.2.2　複数同時サービスにおける実験シナリオ作成と有効性検証

実験条件としては、事故が発生する基本的場面と実交通環境における事故の発生しない場面を実験シナリオとして検討した。また、シナリオとしては危険な事象が相互に影響する場面を選択して、アルゴリズムの効果を評価した。次に、その実験シナリオに基づき、交通場面を走行シナリオとして設定できる実験ツールを用いて有効性検証のための実験を実施した。上記と同様な分析の結果、本年度設定した事故の発生する実験シナリオと事故の発生しない実験シナリオの両方において、組合せ走行支援情報作成アルゴリズムの安全性向上に対する有効性を確認した。

図 2 に組合せアルゴリズムの実験シナリオとその結果のグラフを示す。これは単路において前方車、カーブ、障害物が危険な対象として現れる複数同時サービス場面を示しており、衝突や追突が発生する場面や事故を回避する場面を設定して実験した。アルゴリズムの設定としては、アルゴリズムがない場合、単純に個別の基本ユーザサービスを組合せた場合、相互的に組合せた場合を設定した。右のグラフは、有効性評価として、事故や危険を回避するために必要な潜在的な減速度を指標として定義し、その値を用いて実験場面やアルゴリズムの設定の違いを示している。結果は、事故が発生する場面では単純にサービスを組合せても効果があるが、更に相互的に組合せることでより効果が高くなることを示している。

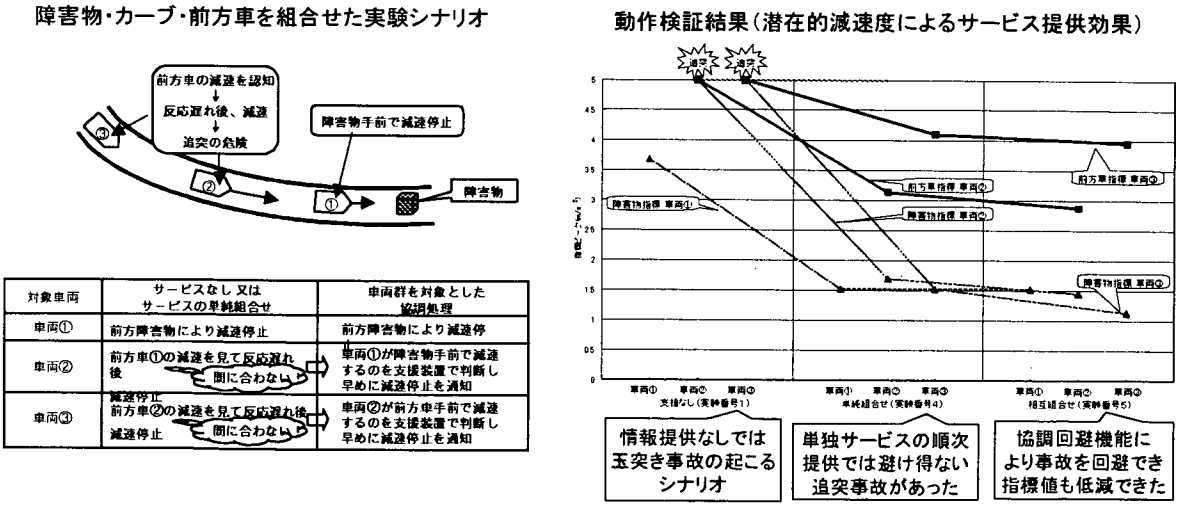


図２　複数同時サービスにおける組合せアルゴリズム実験例

3.　今後の課題

今後の課題としては、実用化を前提とした実道における交通挙動に基づく走行支援情報作成アルゴリズムのパラメータ調整や改良が挙げられる。

（田中、鈴木、佐々田）

9.6　走行車両位置検出支援道路システムに関する調査

研究期間：平8～平12
担当：高度道路交通システム研究室

【要旨】
本研究の目的は、道路システムと車両システムの強調による安全で効率性の高い車両走行を実現する走行支援システム（ＡＨＳ）において、道路上の車両位置のリアルタイムな検出並びに基点等の位置情報検知を行う位置検出支援道路システム（レーンマーカ）の開発を行うものである。
12年度は、11年度に配備した実証実験方式等の機能検証と、電波マーカ方式の改良を進めるとともに、実証実験以外の方式についても現在までの研究知見等を基に再度整理し、マーカを広く実道に配備するための研究を目的とする。

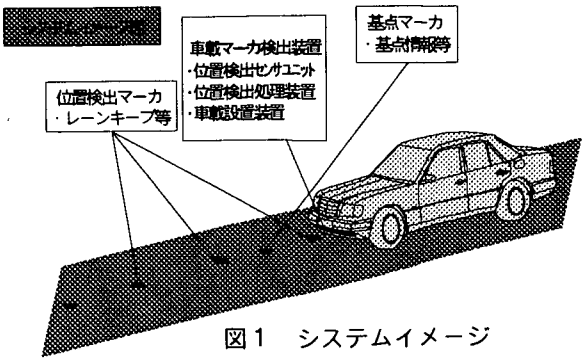


図1　システムイメージ

1．研究目的

本課題は、11年度に配備した実証実験方式等が、様々な気象・道路交通下においても車両が走行位置を検出することの機能検証と、電波マーカ方式の改良を進めるとともに、実証実験以外の方式についても現在までの研究知見等を基に再度整理し、マーカを広く実道に配備するための研究を行ったものである。

2．研究方法

2．1　レーンマーカシステムの性能・信頼性の検証

積雪寒冷地の試験ヤード及び土木研究所試走路等に敷設された基点マーカと位置マーカを用いて、以下に示す特性を把握するためのレーンマーカシステムの性能・信頼性の検証を実施した。

- 低温時におけるマーカの磁界及び電界分布の変化
- 薬剤や雪氷付着による基点マーカ及び検出器への影響
- 検出器が受信する基点マーカからの提供情報の誤検出率
- 検出器における磁気式、電波式位置マーカの誤検出率
- 検出器を搭載した車両の位置検出範囲と検出精度

2．2　実証実験以外の方式に関する基礎検討

実証実験とは異なる、車両に対して高精度に位置情報を提供する下記の方式について実験や机上検討にて評価し、実証実験システムのレーンマーカ方式とともに、機能・性能、対環境性、車載性、設置保守性、コスト、拡張性、景観等の視点から実用化の可能性について比較した。

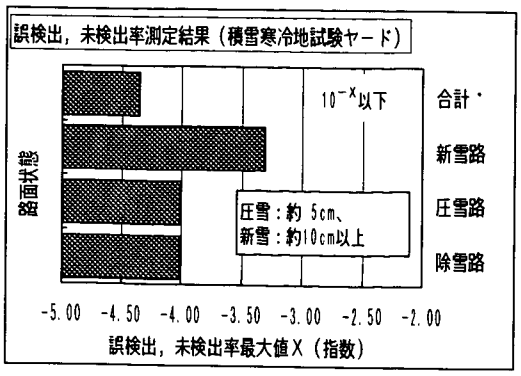
3．研究成果

3．1　レーンマーカの性能・信頼性の検証結果

土木研究所試験走路、積雪寒冷地の試験ヤードに敷設された磁気式・電波式位置マーカの誤・未検出率を測定した。また、土木研究所試験走路に敷設された磁気式位置マーカ上を検出器を搭載した実験車両で走行し、横位置検出範囲と横位置検出精度を測定した。土木研究所試験走路に敷設された電波式基点マーカ上を検出器を搭載した実験車両で走行し、検出範囲と縦位置検出精度を測定した。

- 磁気式、電波式位置マーカともに路面上の積雪等によらず、誤・未検出率は10^{-4}以下であることを確認した。（図2）
- 横位置検出範囲は、検出器高さ及び測定時の車速を変えて行った結果、全ての検出器高さにおいて±1,500mm以上となり、原理的な限界以上の検出範囲を越え、検出器の検出幅が実際には1m以上であることを確認した。図3に示すように、横位置検出精度は、外乱磁界強度による差は小さかったが、検出高さとの依存性が認められ、設置高さが高いほど悪化の傾向があった。

基点マーカの検出範囲は約±1,500mm であることが確認できた。今回試験を行った試験走路の車線全幅は、3,500mm であるため、検出器の受信アンテナの搭載位置より検出範囲としては、問題なかった。縦位置検出精度は、全てのマーカについて１ｍ以内であることを確認した。ただし、縦位置検出精度を規定するマーカアンテナ電界強度の距離に対する低下率が小さく、実用時には検出器の受信感度バラツキも考慮する必要があるため、縦位置精度を実用時に±１ｍ以内とすることは困難と考えられる。



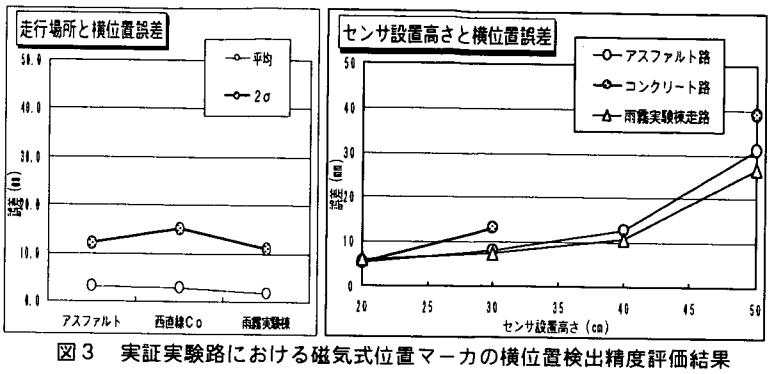


図３　実証実験路における磁気式位置マーカの横位置検出精度評価結果

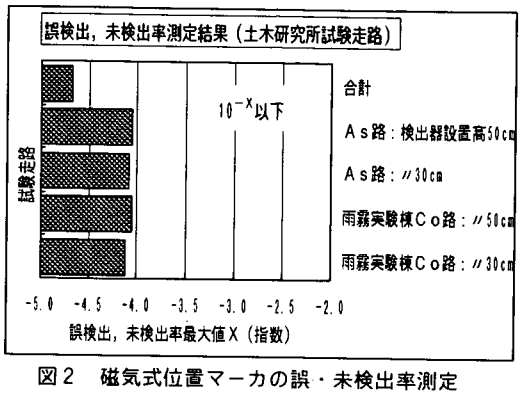


図２　磁気式位置マーカの誤・未検出率測定

３．２　各方式の実用化可能性比較

実証実験用レーンマーカの評価結果を踏まえるとともに、車両に対して高精度に位置情報を提供することが可能な他の方式についても、その後の技術動向や評価知見を加えて再度比較整理を行った。位置検出方式では磁気マーカとパッシブ電波式マーカが性能や信頼性、対環境性の点ではほとんど同程度である。ただし、磁気マーカに対し、パッシブ電波式マーカは車側に送受信双方のアンテナを必要とするため、検出器の車載性の点で不利である。

表１　位置検出方式比較表

		磁気マーカ（1.7G）	パッシブ逓倍型電波マーカ
性能	横位置検出範囲	△：マーカ１列、○：マーカ２列以上	△：マーカ１列、○：マーカ２列以上
	横位置検出精度	○：　2σ≦15mm at　H=30cm、　2σ≦40mm at　H=50cm	○：　2σ≦25mm at　H=30cm、　2σ≦30mm at　H=50cm
	応答性	◎：≦20msec	◎：≦20msec
	未検出率	○：≦１０-4 at　H=50cm	○：≦１０-4 at　H=50cm
	誤検出率	○：≦１０-4 at　H=50cm	○：at≦１０-4 at　H=50cm
	対応可能車速	◎：140km/h確認	◎：140km/h確認
車載性	車載高地上高	○：H=50cm	○：H=50cm
	検出部大きさ	○：（Ｌ：3×H：3×D：5)cm×5個【幅方向】	△：送信（Ｌ：4×H：4×D：8）cm、　受信（φ1×10）cm×3個【幅方向】
	検出部装着性	○：センサ取付角、構造物離間	○：アンテナ間干渉、構造物離間
	消費電力	○：約5W以下	○：約5W以下
対環境性	耐用年数	◎：半永久的	◎：電池レス
	温度	◎：高温側：耐熱350℃、低温側：問題なし	○：高温側：リフロー温度230℃、低温側：問題なし
	振動	◎	○：ケース、基板に耐振性要
	路面条件	◎：検出部高さ5cm変化OK、雪氷、散雪剤に依存せず	◎：雪氷、散雪剤に依存せず
	気象条件	◎：磁気は全天候	◎：中長波の電波は全天候
	サービス提供場所	◎：使用場所の制約無し	◎：使用場所の制約無し
設置保守性	マーカ大きさ	○：磁気ネイル；φ70×H40mm、　磁気プレート；φ100×H15mm	○：φ120×H30mm
	施工性	○：7cm程度まで可能、橋梁部は薄型磁気プレート	○：厚さ30mmで橋梁部設置可能
	保守性・管理性	○：磁性減下物チェック	○：走行による故障チェック
	撤去性	○	○
拡張性	他用途への波及性	◎	◎
	国際標準化の容易性	○	△
安全性		○：静磁界ガイドライン以下	○：電波防護指針に適応
セキュリティ		◎：NS着磁状態変更不可能	◎
見鏡		◎	◎
総合		○：1	○：2
基点マーカとの組合せ	アクティブ電波マーカ	○	×
	パッシブ電波マーカ	△	◎
	DSRC＋磁気マーカ	◎	△

基点検出方式では、ＤＳＲＣ＋磁気マーカの組合せが、車載性や縦位置検出精度が良いこと、基点情報提供はＤＳＲＣに依存し提供情報量の制約が少ないという利点もあり、ＤＳＲＣを基点用に共用化できればＡＨＳシステム用の基点検出方式としては、最も実用的な方式となる可能性があるものと考えられる。パッシブ電波式基点マーカでは、マーカへの給電を車両側から行う電波タグの形式とすることで、車両側での送信・給電アンテナの大きさや消費電力は大きくなるが、逆にマーカ側を安価、かつ小型にできる。車側給電によるパッシブ電波式基点マーカは、車載性の点で一般車両に搭載するのは無理であるが、上記利点や、位置マーカとの共用ができることから、車載性に一般車ほどの制約のない道路管理用途として適している。

また、この実験結果を反映して、レーンマーカを実配備するための機能要件・性能要件を記載した技術資料をとりまとめた。

（森、鈴木、佐々田、下田）

9.7　最先端の通信方式を利用した道路システムに関する調査

研究期間：平８～平１２

担当：高度道路交通システム研究室

【要旨】

走行支援システムは、情報通信技術の活用により従来不可能だった障害物情報や路面情報等を車輌へ提供することにより、事故の大幅な削減を図ることを目的としている。本研究では、走行支援システムに必要な路車間通信技術の開発を行っている。

１２年度は、将来の実用化が見込まれている、複数の狭域通信（DSRC：Dedicated Short Range Communication）を用いた連続通信について、実証実験施設を用いて実験を実施し路車間通信の評価を行った。また、早期実用化の方式である単一の無線機を用いたスポット通信について、走行支援システムへの適用性を評価した。

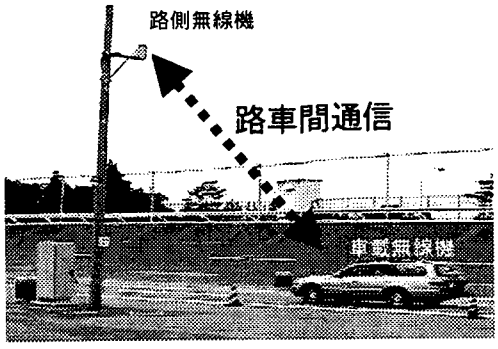


図１　路車間通信の概念図

１．研究方法

1.1　実証実験施設による路車間通信システムの評価

実証実験施設は、１１年度に作成された仕様に基づいて１２年度に製作された。本施設の無線通信部は、スポット状に電波を放出するセル方式と線状に漏洩導波管（LWG：Leaky Wave Guide）を布設した漏洩方式の DSRC が製作されており、複数の DSRC を連続して設置して連続した無線ゾーンを形成する。これらの設備を用いて以下のデータを取得し課題の抽出を行った。

①100m 無線ゾーン内の電波の受信レベル
②大型車両の影（シャドウイング）の影響
③周辺車両による電波の反射の影響
④データ誤り率
⑤無線ゾーンに入って通信開始までの時間
⑥無線ゾーンの切り替え時の特性

表１．実証実験通信仕様

項　目	仕　様
通信周波数	5.8GHz　5 波
アクセス方式	TDMA/FDD
通信チャネル	同報 1ch（送）＋個別 12ch（送受）
変調方式	π/4 ｼﾌﾄ QPSK
伝送速度	512kbps
無線出力	200mW（路側）、10mW（車側）
情報更新周期	0.1s
情報量(/0.1s)	同報 1400Byte、個別 200Byte/ch
無線ゾーン長	100m
誤り制御	CRC による誤り検出・ﾃﾞｰﾀの廃棄
チャネル割当	ｽﾛｯﾃﾄﾞｱﾛﾊ方式による割当
ハンドオーバ	同期外れ検出→次ｿﾞｰﾝ周波数に切替

1.2　スポット通信 DSRC による走行支援システムの適用検討

走行支援システム初期導入の無線方式は、ETC や民間サービスとの車載器の共用を狙いとした電気通信技術審議会（以下電技審という、平成１２年１０月２３日答申）による仕様を用いることが決定した。これを受けて、電技審仕様のスポット通信 DSRC を用いて走行支援システムを実現するための無線ゾーン配置方法を検討し想定した。また、連続通信を用いた路車間通信システムへ移行する方策について検討した。

表２　電技審仕様（抜粋）

項　目	仕　様
無線周波数	5.8GHz（ETC との共用図る）
キャリア周波数間隔	5MHz
変調方式	ASK、QPSK
変調速度	ASK:1024kbps QPSK:4096kbps
無線ゾーン長	30m 以下

2．研究結果

2.1　実証実験施設による路車間通信システムの評価

実証実験施設を用いて取得したデータの例を図２に示す。実験により路車間通信での無線ゾーンの範囲内における通信品質の状態を確認でき、シミュレーション結果とも整合する結果が得られた。課題として以下のことが挙げられる。

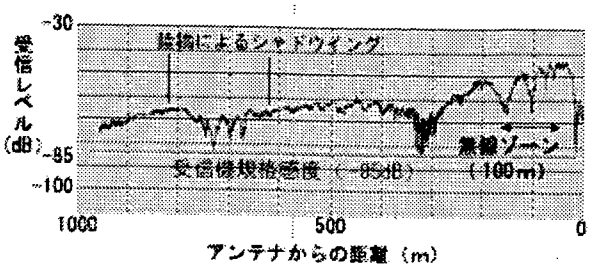


図２　実験結果の例（セル方式）

- 電波が飛びすぎる（他目的の無線通信に混信等の影響を与える可能性がある）。
- シャドウイング（大型車輌・陸橋等の周辺環境等）やマルチパス（トンネル内部等）の影響により通信品質が大きく変動する。
- 無線ゾーンの切り替え（ハンドオーバ）に0.3s程度かかり、通信断が発生する。

これらの課題に対してはシャドウイング、マルチパスに強い新たな変調方式の開発や新たなハンドオーバ方式の開発等の対策が必要である。また、トンネル部では電波の反射の影響が大きく、現状の無線仕様では適用が難しいことがわかった。

2.3　スポット通信 DSRC による走行支援システムの適用検討

電技審答申を受けたスポット通信 DSRC の仕様を考慮して、無線ゾーン構成例を①多用途単路用、②走行支援単路用、③交差路用、④基点用の４種について検討した。また、スポット通信と連続通信を共存させるための方策について検討し、無線ゾーンの配置案を検討した。無線ゾーン構成例を図３に示す。

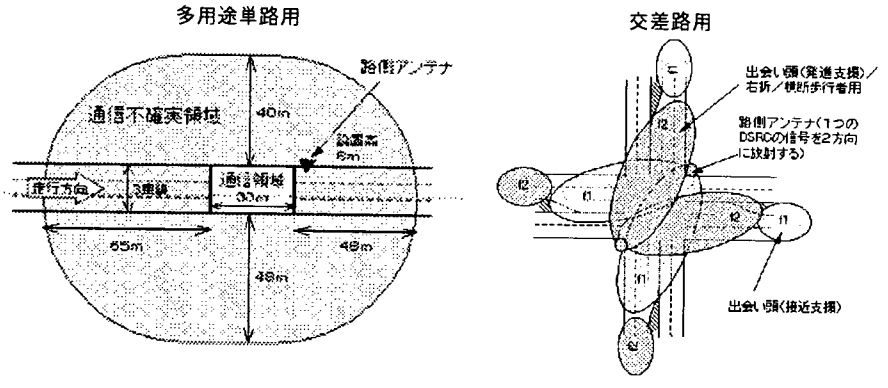


図３　スポット通信 DSRC による無線ゾーン構成例

これらの課題として、

- 無線ゾーンの形成にあたっては、各 DSRC について混信を避けるため狭い範囲に正確な通信領域を形成する必要がある。
- スポット通信から連続通信への移行にあたっては、同一箇所にスポット通信と連続通信を併存させることが想定され、移行を考慮した周波数の割当が必要である。

3．今後の課題

スポット通信DSRCについては、１２年度の検討結果の適用性確認及び周辺環境（遮音壁等）の影響確認のため試験走路・実道で性能確認実験を行い、配備に向けたスポット通信DSRCの仕様を策定する。また、将来の連続通信DSRCについても、１２年度に抽出された課題を考慮し連続通信DSRCの規格化作業に向けた技術資料の作成を行う。

（森、田中、酒井）

9.8　システムの設計に関する調査

研究期間：平 8～平 12
担当：高度道路交通システム研究室

【要旨】
走行支援システム（ＡＨＳ）は、情報・通信技術の活用により、従来不可能だった前方の見えない障害物や交差車両等の情報をリアルタイムにドライバーへ提供することにより、事故の大幅な削減を図ることを目的としている。
12 年度は、実用システムを構成する機器の機能・性能・信頼性に基づいた実用システムの安全性・信頼性設計を行った。また、走行支援システムを評価するための実証実験システムの改良設計、及び実際の道路交通環境下における実用システムの信頼性を評価するための実道フィールド実験システムの基本設計を行った。

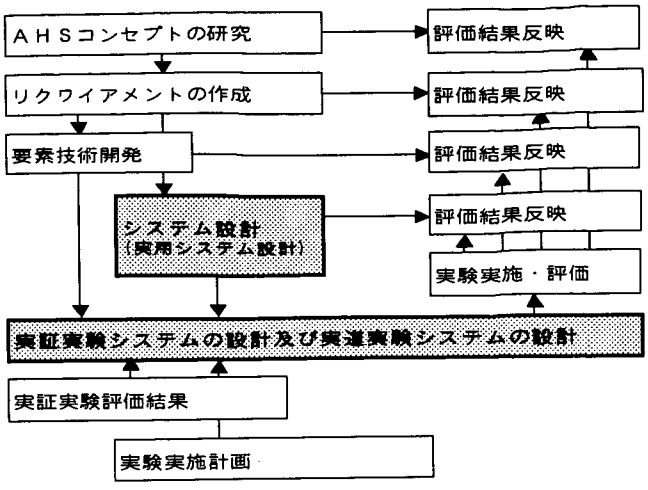


図１　本研究の位置付け

１．研究目的

本課題は、要素技術の検討結果や実証実験の結果、あるいは実用リクワイアメント等を反映するため、システム設計の改良を行うとともに、実用システムの安全性と信頼性を確保するため、個別のシステム構成機器の有する機能・性能・信頼性に基づいた実用システムの安全性・信頼性設計を行うものである。また、車路車通信を利用した走行支援システムや情報板を利用して情報提供を行う走行支援システムを評価するための土木研究所試験走路における実証実験システムの改良設計、及び実際の道路交通環境下における実用システムの信頼性を評価するための実道フィールド実験システムの基本設計を行うものである。

２．研究方法

２．１　走行支援システムの改良設計及び実用システムの設計

11 年度実施した走行支援システムの設計に対して、要素技術検討結果の反映、現地調査による設置環境条件の反映、実証実験結果の反映を行い、走行支援システムの改良設計を実施した。

一方、実用システムにおける安全性、信頼性、セキュリティを損なう要因を抽出し、事故のシナリオを作成して各々の要因に対する対策を検討した。また、進化のシナリオを想定して設計条件を整理し、システム設計の前提条件としてサービスの支援レベルを定めた。上記検討結果を整理して実用システムの設計を実施した。

２．２　実証実験システムの改良設計及び実道実験システムの設計

12 年度の車路車間通信に関する評価実験、及び情報板を活用した走行支援システムに関する評価実験を実施するため、実証実験システムの改良、追加設計を実施した。また、13 年度以降に土木研究所試験走路で実施する実験の実施計画書に基づき、実証実験システムの求められる機能、性能を整理し、システム機器の追加やアルゴリズムの変更等の改良設計を行った。また、2001 年度より実施する走行支援システムに関する実道フィールド実験システムの設計を行った。

３．研究成果

３．１　走行支援システムの改良設計及び実用システムの設計結果

要素技術検討結果や実証実験結果等による走行支援システムの改良設計について、その主な反映結果を図2に示した。また、実用システムの設計では、サービス毎の機能設計、システムを構成する各設備のハードウェア設計、路側処理設備及びセンタ設備のソフトウェア設計、各設備間のインタフェース設計、システムの保守・運用・検査方法の各項目について検討を行った。

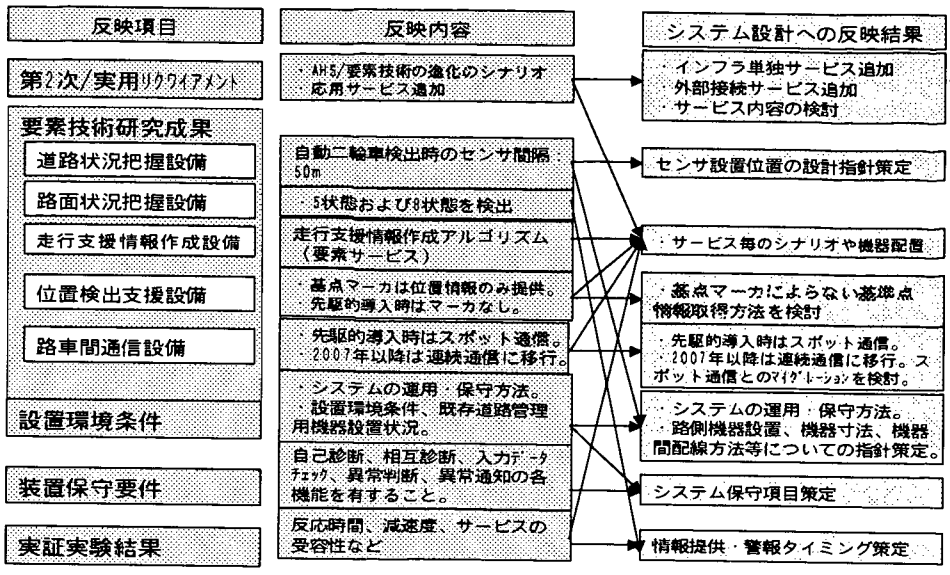


図2　走行支援システムの改良設計

実用システムの安全性・信頼性の設計については、各要素機器側にて対策できなかった故障に関して、路側処理設備のソフトウェア機能による対策と、ハードウェアの構成・配置による対策を検討し、これらの検討結果を実用システム設計に反映した。

また、これらの検討結果を実用システムの機能配置、装置構成、システム機能要件、システム性能要件を記載した技術資料をとりまとめた。

3．2　実証実験システムの改良設計及び実道実験システムの設計結果

12年度、13年度に実施する評価実験で、当該実験を実施するために用いる各実証実験設備に必要な機能と設備を設計した。その結果、既存の実証実験設備に対して改良が必要となる機能、改良あるいは追加が必要となる設備を整理し、表1にまとめた。上記結果の基づいて、システム機器の追加やアルゴリズムの変更等を行った。

また、実道フィールド実験システムの設計については、走行支援システム本来の機能の他、実験で収集すべきデータを取得するための機能や実験パラメータを操作するための機能を具備させた。図3には単路系のシステム構成図を示した。

表1　実証実験設備の改良追加設備一覧

実証実験設備	改良機能	改良設備／追加設備
一般道障害物衝突防止実証実験設備	情報板による情報提 対向車情報提供機能	路側処理装置改良 表示装置追加 道路状況把握装置追加
高速道障害物衝突防止実証実験設備	情報板による情報提 車路車通信機能 複数台情報提供機能	路側処理装置改良 表示装置追加
出合い頭衝突防止実証実験設備	情報板による情報提 車路車通信機能 第2当事者サービス機能	路側処理装置改良 表示装置追加 道路状況把握装置追加 路車間通信装置追加
交差点事故防止実証実験設備	情報板による情報提	路側処理装置改良 表示装置追加

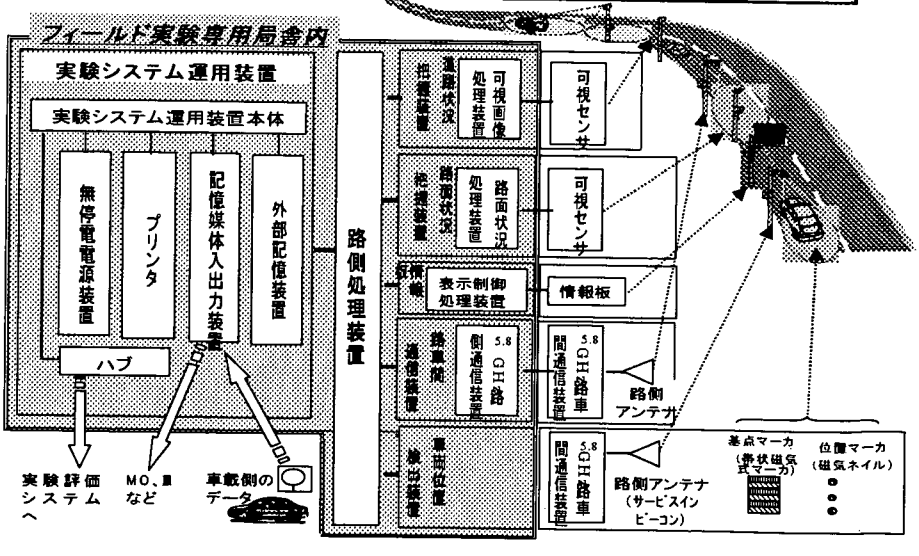


図3　実道実験システム構成図(単路系)

（森、田中、鳥羽、下田）

9.9　システムの評価に関する調査

研究期間：平8～12
担当：高度道路交通システム研究室

【要旨】
本研究は走行支援システム開発において、開発プロセスと結果が目的と目標に照らしあわせて妥当であるかを評価し検証することを目的としている。12年度は11年度に作成した実験計画書を基に実機実験の実施計画書を作成した。そして、実機実験計画に基づいて土木研究所内の模擬道路コース内に設計した実機システムを用いてシステムの妥当性（リクワイアメントの検証、システム設計の妥当性）、システムの有効性、ドライバの受容性等について評価し、実用リクワイアメントの作成への反映、システム設計への反映およびヒューマンファクタ等に関する基礎データを取得した。

1.研究方法

1.1 リクワイアメントの検証

多様な、車種・サービス形態を用いた実験によりドライバの運転挙動データを取得し、得られたデータとリクワイアメントの設定値を比較することで評価した。

1.2 システム設計の妥当性

基本ユーザサービスを提供する実証実験システムを構成するインフラ機器の員数や配置およびサービスの提供タイミングを変化させ、システム設計の妥当性を評価した。

1.3 システムの有効性

設計された路車協調のインフラシステムがサービスを路車協調で行う場合、車両単独で行う場合、サービスがない場合と比較して事故回避性能において、より有効であるか否かをドライバの運転挙動データを比較し評価した。

1.4 ドライバの受容性

情報提供・警報・操作支援の有無、タイミング・頻度、情報や警報の提供方法や操作方法等がドライバに受容されるかをドライバの生理的変化の計測、運転挙動ならびにアンケートによって評価した。

1.5 被験者数

被験者は一般男性（20～64才）15名、一般女性（20～64才）15名、高齢者（65才以上）15名で実験を実施した。

2.研究結果

2.1 リクワイアメントの検証

情報提供に対するドライバ反応時間は、サービスにより異なるが、カーブ進入以外は概ね3秒以内で反応、現状リクワイアメント2.65秒では1σあるいは90%値をカバーできないサービスが有ることが明確となった（図1）。警報に対するドライバ反応時間は、カーブ進入、車間保持、車線逸脱以外は、1.7秒以内で全ての被験者が反応し、現状リクワイアメント1.0秒より長いことが明確になった（図2）。減速度は、情報提供、警報とも、現状リクワイアメント値より小さい値となった。警報に対する修正ヨーレートも現状リクワイアメント値より小さい値となった。操作支援における車載システムの応答時間は、0.3秒であり、従来のリクワイアメントと同一の値であった。インフラの有用性（通信の有用性）は、通信範囲に左右され、その通信範囲は、情報提供が遅いとの評価から範囲が不足していると考えられる結果が出た。

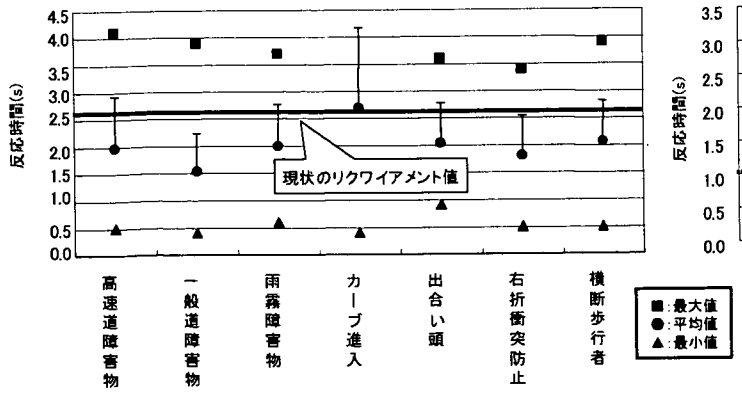


図1　情報提供に対する反応時間

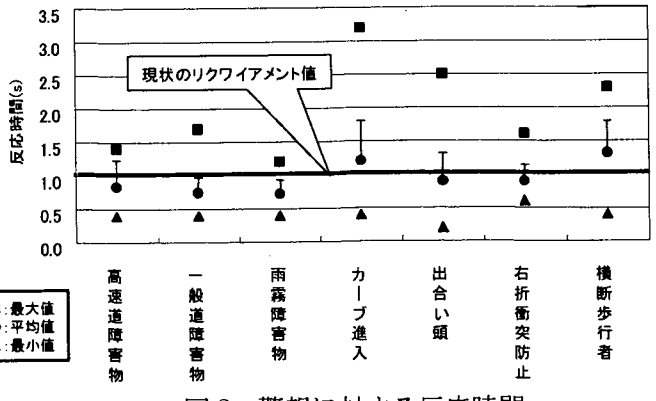


図2　警報に対する反応時間

2.2 システム設計の妥当性

サービス提供タイミング変更時の走行挙動は、高速道障害物では、タイミングをある程度早めると余裕時間として費やされる傾向がある。提供タイミングの検証は今後も継続する必要があると考えられる。レーンマーカの配置評価は、道路縦方向の設置間隔は、2mで想定していたが、直線で8m、カーブ区間でも4m程度であってもサービスの提供が可能であるとの結果を得た。また、現状のリクワイアメントに従った車線逸脱防止支援に必要な検出幅は2m以上必要と判った。双方向個別通信の評価は、障害物での複数車両（2台）実験で、双方向個別通信を行った結果、後続車の減速度が穏やかになった。

2.3 システムの有効性

全てのサービスともサービスの無い場合と比較し、事故回避性能において有効であることが分かった。一例として前方障害物衝突防止支援の結果を図3に示す。サービス無しで最大減速度 5.0m/s^2（システムが想定する緊急回避時の減速度）以上のブレーキングが、サービスを行うことにより、当該減速度がほぼ消失した。5.0 m/s^2 以上で事故の危険があると想定すれば、事故の危険が95%減少する可能性があると言える。カーブ進入支援では、サービスがある場合に、ない場合よりもカーブ進入速度が5.8km低減され、安全性が向上した。アンケートでは、出合い頭は被験者の73%が役立つと回答、右折では全被験者の88%、横断歩行者では全被験者の 92%がサービスを有効と感じている。また、車線逸脱は91%がサービスを有効と感じていることが判った。車間保持は、サービスを提供することにより、車間時間が空き安全性が向上した。

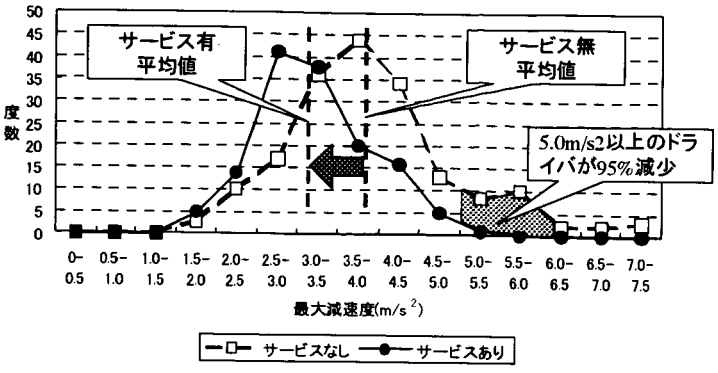


図3　サービス有無の最大減速度の比較

2.4 ドライバの受容性

図4にドライバ受容性の結果の一例として情報提供に対する安心感についてのアンケート結果を示す。ほとんどのサービスにおいて概ね安心感があり余裕を持って運転できたと回答した。雨霧障害物サービスはサービス有無に関わらず、環境そのものが過酷な条件であったことが受容性の低い原因と推測される。操作支援のドライバ受容性評価は、緊急時のブレーキとして考えても、受容できるのは4.0m/s^{2}以下との回答が多い結果となった。サービス提供に対するドライバ認知率評価は、各サービスで認知率は高い。しかし、雨霧環境では、運転に集中するため通常環境より低下する結果となった。サービス提供に対するドライバ活用率評価は、各サービスで概ね活用率は高い。しかし、交差点（右折、横断）サービスでは、被験者独自の判断でブレーキするため、活用率は低い結果となった。

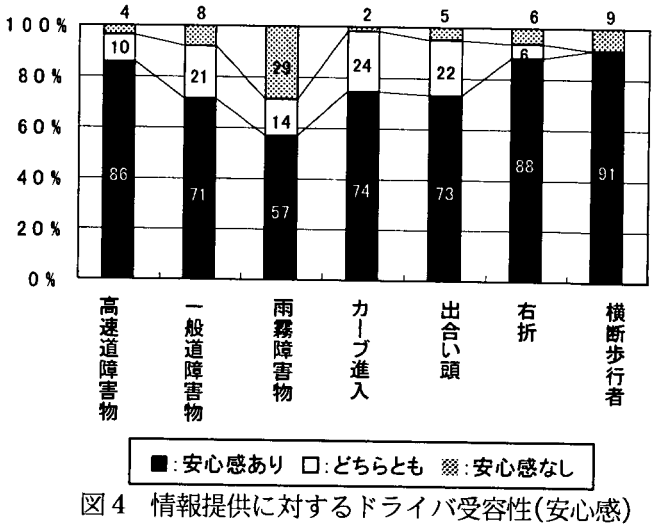


図4　情報提供に対するドライバ受容性(安心感)

3．今後の課題

現状リクワイアメントがサービス毎に異なる測定値となったため、さらなる被験者の走行挙動の詳細な検討と、種々の実道でのデータの蓄積が必要である。更にサービスの有効性やドライバ受容性は有益な成果を得たが、実道に即した複合交通でもデータの蓄積が必要である。

（森、田中、鈴木、横地）

建設事業のコスト縮減に関する研究

１０．建設事業のコスト縮減に関する研究

研究期間：平成 10～13 年度
プロジェクトリーダー：建設マネジメント技術研究官
藤本　聡

１．研究の背景：

平成９年４月に「公共工事コスト縮減対策に関する行動指針」が関係閣僚会議において策定されるなど、建設事業のコスト縮減は政府全体で取り組むべき重要な課題となっている。土木研究所においてもマネジメント技術を含む多様な領域において、直接、間接に公共工事のコスト縮減に資する研究に取り組んでいる。

しかしながら、これらの研究開発は、必ずしも建設事業のコスト構造を踏まえて戦略的、重点的に行われているとは言えない部分もあり、個々の要素技術の開発も全体コストをどれほど縮減するものかが曖昧なまま取り組まれているものも少なからずある。

従って、コスト縮減を効率的、効果的に進めるためには、まず建設事業のコスト構造の解明が必要である。さらに、これを踏まえて、重点的に研究開発を進めるべき分野の提示等が必要となっている。

2. 研究の目的：

① 建設事業のコスト構造の解明と要素技術の開発およびそれらのコスト縮減効果の予測
② 土木研究所における技術開発指針（案）の作成
③ 民間に対する技術開発ニーズの提示
④ プロジェクトマネジメントシステムの開発

３．これまでの研究成果：

①建設事業のコスト構造の解明と要素技術の開発およびそれらのコスト縮減効果の予測

「建設事業のコスト構造の解明」については、直轄事業の代表工種である道路および河川工事のコスト構造の実態把握を行った。その結果、道路工事・河川工事とも、土木工事積算システムの工事工種体系におけるレベル４（工種細別）工種全体の金額シェア上位１割程度の工種数で工種金額全体の約７割を占めていることが判明し、これらの工種細別に重点を置いた研究開発の方向性が示唆された。

「軽量盛土材の活用」については、動的遠心力模型実験の結果等を基に、気泡混合土盛土の耐震設計法を提案した。「橋面舗装の合理化」については、採石マスチックアスファルト混合物の試験施工を行った結果、従来の材料と比較して水密性が若干劣るため、さらに水密性を高めた混合物の配合を検討する必要があることが分かった。「深層混合処理工法の合理化」については、試設計を行った結果、低改良率深層混合処理工法の適用可能な範囲は広く、コスト縮減を目指した対策工として有効であることが確認できた。「揚排水機場の設計合理化」については、高流速化吸水槽の模型実験の成果を揚排水ポンプ設備技術基準（案）同解説へ記載した。「管路施工法の合理的な評価・選定」については、推進工法を適用条件別に分類・整理し、コスト縮減のための改善項目を整理するとともに、地方自治体に対するアンケートアンケート及びヒアリングを行い、コスト縮減に対する取り組み等の実態を調査した。

②プロジェクトマネジメント技術の開発：

工事事務所の抱える課題からＰＭ手法を導入するケースを類型化するとともに事務所運営管理に対

応したＰＭツールの構築を図った。また、ＰＭツールを用いた事業執行の効率性等の評価手法について提案を行った。

－建設事業のコスト縮減に関する研究－

個別研究課題目次

10.1.1 建設事業のコスト構造の分析に関する調査（その１）…… （建設システム課）…262

10.1.2 建設事業のコスト構造の分析に関する調査（その２）…… （建設システム課）…264

10.2 軽量盛土材の活用に関する調査…… （土質研究室）…266

10.3 橋面舗装の合理化に関する調査…… （舗装研究室）…268

10.4 深層混合処理工法の合理化に関する調査…… （土質研究室）…270

10.5 揚排水機場の設計合理化に関する研究…… （機械研究室）…272

10.6.1 プロジェクトマネジメント手法の検討に関する調査（その１）…… （建設ﾏﾈｼﾞﾒﾝﾄ技術研究室）…274

10.6.2 プロジェクトマネジメント手法の検討に関する調査（その２）…… （建設ﾏﾈｼﾞﾒﾝﾄ技術研究室）…276

10.6.3 プロジェクトマネジメント手法の検討に関する調査（その３）…… （建設ﾏﾈｼﾞﾒﾝﾄ技術研究室）…278

10.7 管路施工法の合理的な評価・選定手法に関する調査…… （施工研究室）…280

10.1.1　建設事業のコスト構造の分析に関する調査（その１）

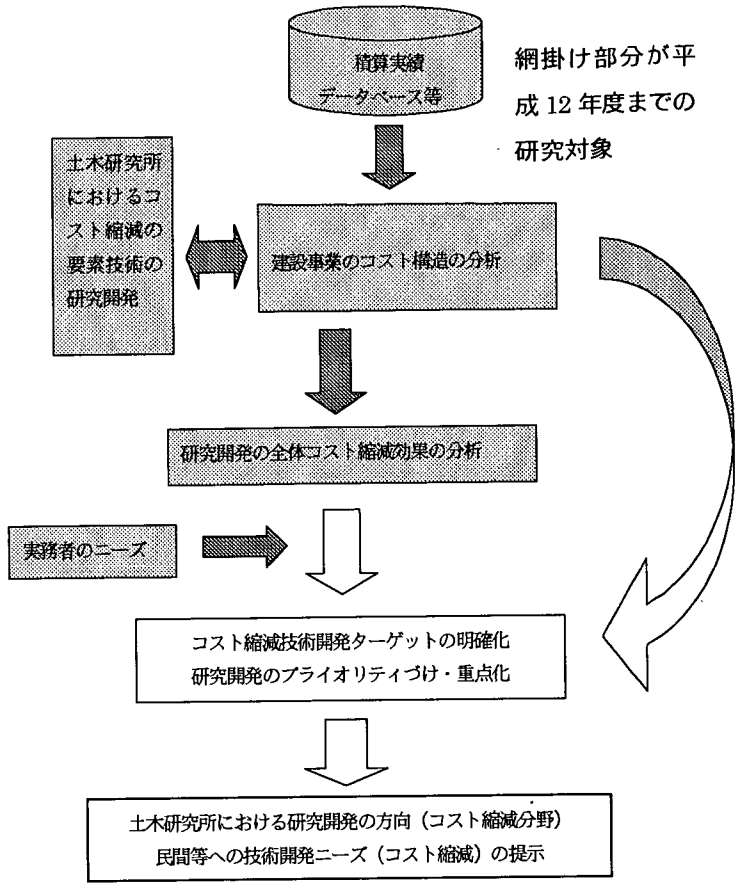
研究期間：平 11～平 13
担当：建設システム課

【要旨】

公共工事のコスト縮減に対する社会的要請に適切に応えていくためには、縮減効果をできる限り定量的に把握し、目に見える形で公表するとともに、コスト縮減のための技術開発や施策検討を効果的に行っていくことが重要である。

このため、本研究では、積算実績データベースを利用して建設工事のコスト構造を明らかにし、コスト縮減に向けた取り組みを支援するとともに、土木研究所の個々の研究開発が全体コストに与える効果を試算し、コスト縮減の視点からみた効果的な技術研究・開発のあり方について提言を行うものである。

平成 12 年度は、土木研究所で研究開発を進めているコスト縮減施策と工事コストとの関連付けを行い、コスト縮減施策が全体コストに与える影響度（縮減効果）を試算した。



図－１　研究全体フロー

１．研究目的

本研究では、積算実績データベースを利用して河川事業における建設工事のコスト構造を階層的に明らかにし、コスト縮減に向けた取り組みが効率的に行えるよう支援するとともに、土木研究所の個々の研究開発が全体コストに与える効果を試算・評価し、コスト縮減の視点からみた効果的な技術・研究開発のあり方について提言を行うものである。

２．研究方法

コスト縮減施策と工事コストの構成要素との関連づけについては、新土木工事積算大系における体系ツリーに基づく構成要素と、土木研究所で研究開発を進めているコスト縮減関連の要素技術開発との結び付けを行った。この結果に基づき、平成 11 年度に実施した、建設省直轄工事事務所の築堤・護岸工事（平成 10 年度）の積算実績データベースによるコスト構造の実態把握結果から、全体コストに与える影響度を試算した。

３．研究結果

３．１　コスト縮減施策と工事コストの構成要素との関係付け

土木研究所においては、コスト縮減に通じる個々の要素技術の研究開発に取り組んでいるが、これらの研究開発が、工事コストのどの構成要素に結び付いているか（縮減効果がどこに現れるか）、その関連付けを行

った。一例として、深層混合処理工法の合理化のうち、従来の改良率50%を（改良率約20%+ｼﾞｵｸﾞﾘｯﾄﾞ施工）とした場合の関連づけ結果を表－1に示す。

表－1　深層混合処理工法の合理化（盛土高8m，軟弱層圧20m）

レベル2	レベル3	レベル4	使用材料（37.2m当たり）		工事費（万円）		コスト縮減率
			従来	低改良	従来	低改良	
地盤改良工	固結工	盛土（m3）	9,347	11,425	1,122	1,371	1.22
		ｻﾝﾄﾞﾏｯﾄ（m3）	891	891	178	178	1.00
		DMM縦（本）	281	159	3,243	2,295	0.71
		SD（本）	311	0	963	0	0.00
		DMM横（本）	677	295	7,005	4,272	0.61
		ｼﾞｵｸﾞﾘｯﾄﾞ（m2）	0	3,631	0	1,017	－
		合　計			12,511	9,133	0.73

この表から分かるとおり、このケースにおける低改良率の深層混合処理工法の採用は、新土木工事積算大系における体系ツリーに基づく構成要素（レベル4）において、約27%のコスト縮減となっている。

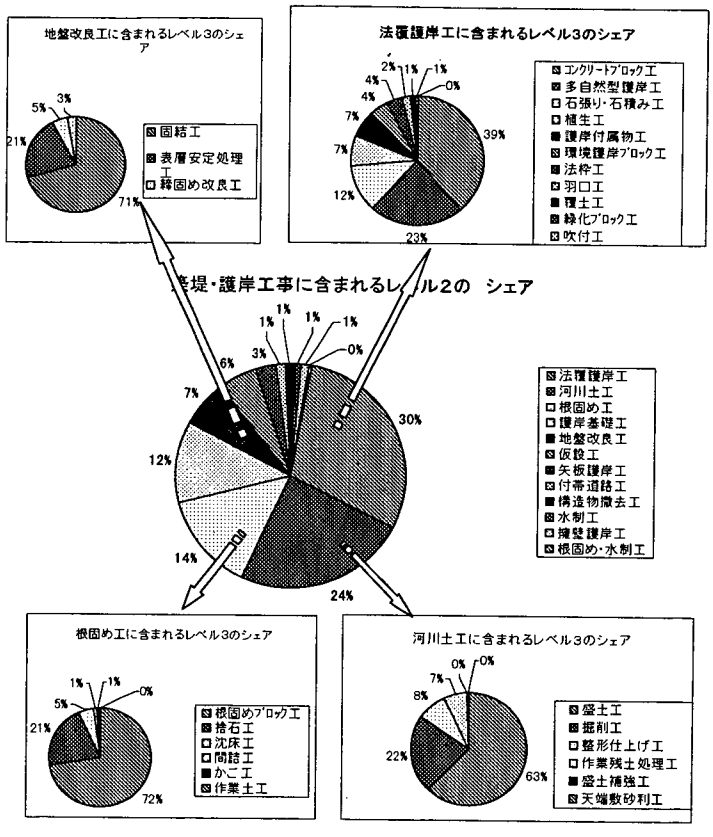
3．2　全体コストに与える影響度（縮減効果）の試算

平成11年度に実施した築堤・護岸工事（レベル1）のコスト構造の分析結果を図－1に示す。この図から分かるとおり、築堤・護岸工事に含まれる地盤改良工（レベル2）のシェアは7%、地盤改良工に含まれる固結工(レベル3）のシェアは71%となっている。

以上の結果を用いて、上記条件の低改良率深層混合処理工法を採用した場合の治水工事の全体工事費に対する縮減効果を試算した。

なお、固結工（レベル3）に占める深層混合処理工法の採用割合が不明なため、採用割合を想定し、平成11年度治水事業費における縮減効果を試算した。試算結果を表－2に示す。

試算結果から、低改良率深層混合処理工法が採用できれば、約8億円～30億円（平成12年度治水事業のコスト縮減実績の約0.9%～3.3%相当）を超える効果が期待できることが明らかとなった。これは、単独での縮減率が27%と大きいだけでなく、固結工の採用割合が71%と非常に大きいことに起因している。このように、シェアの大きな分野に重点的に取り組むことで大きな縮減効果が期待できることが明らかとなった。



図－1　築堤・護岸のコスト構造

表－2　縮減効果

採用割合（%）	縮減効果（%）	縮減額（億円）
5	0.097	8
10	0.194	16
15	0.291	24
20	0.388	32

4．主な研究成果物

・杉谷康弘，藤本聡，松井健一，神山守：建設ﾏﾈｼﾞﾒﾝﾄ問題に関する研究発表・討論会　講演集，pp23-30，2000.12

（松井、神山、杉谷、澤田）

10.1.2　建設事業のコスト構造の分析に関する調査（その２）

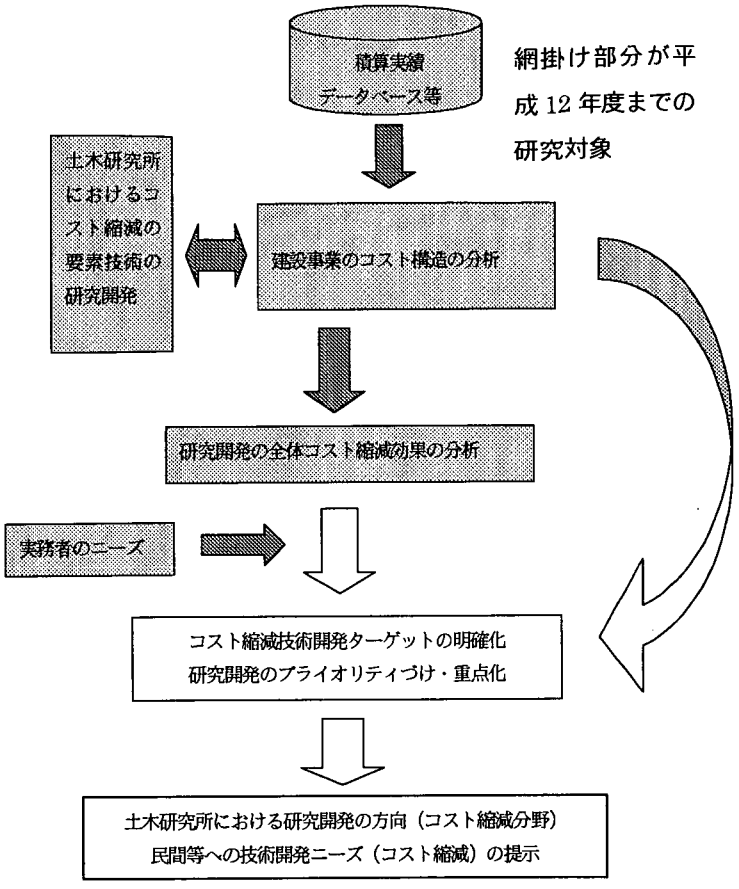
研究期間：平 11～平 13
担当：建設システム課

【要旨】

公共工事のコスト縮減に対する社会的要請に適切に応えていくためには、縮減効果をできる限り定量的に把握し、目に見える形で公表するとともに、コスト縮減のための技術開発や施策検討を効果的に行っていくことが重要である。

このため、本研究では、積算実績データベースを利用して建設工事のコスト構造を明らかにし、コスト縮減に向けた取り組みを支援するとともに、土木研究所の個々の研究開発が全体コストに与える効果を試算し、コスト縮減の視点からみた効果的な技術研究・開発のあり方について提言を行うものである。

平成 12 年度は、土木研究所で研究開発を進めているコスト縮減施策と工事コストとの関連付けを行い、コスト縮減施策が全体コストに与える影響度（縮減効果）を試算した。



図－１　研究全体フロー

１．研究目的

本研究では、積算実績データベースを利用して道路事業における建設工事のコスト構造を階層的に明らかにし、コスト縮減に向けた取り組みが効率的に行えるよう支援するとともに、土木研究所の個々の研究開発が全体コストに与える効果を試算・評価し、コスト縮減の視点からみた効果的な技術・研究開発のあり方について提言を行うものである。

２．研究方法

コスト縮減施策と工事コストの構成要素との関連づけについては、新土木工事積算大系における体系ツリーに基づく構成要素と、土木研究所で研究開発を進めているコスト縮減関連の要素技術開発との結び付けを行った。この結果に基づき、平成 11 年度に実施した、建設省直轄工事事務所の道路工事（平成 10 年度）の積算実績データベースによるコスト構造の実態把握結果から、全体コストに与える影響度を試算した。

３．研究結果

３．１　コスト縮減施策と工事コストの構成要素との関係付け

土木研究所においては、コスト縮減に通じる個々の要素技術の研究開発に取り組んでいるが、これらの研究開発が、工事コストのどの構成要素に結び付いているか（縮減効果がどこに現れるか）、その関連付けを行

った。一例として、標準設計の最適化（逆Ｔ型擁壁）の関連づけ結果を表－１に示す。

表－１　標準設計の最適化（逆Ｔ式擁壁、Ｈ＝７ｍ）

レベル２	レベル３	レベル４	使用材料（１ｍ当たり）		工事費（円）		コスト縮減率
			従　来	コスト縮減	従　来	コスト縮減	
擁壁工	現場打擁壁工	ｺﾝｸﾘｰﾄ（ｍ３）	6.27	6.24	101,323	102,710	1.01
		鉄筋（ｔ）	0.439	0.568	40,388	52,256	1.29
		型枠（ｍ２）	14	14	104,020	84,140	0.81
		足場（掛ｍ２）	14	14	33,460	33,460	1.00
		合　計			279,191	272,566	0.98

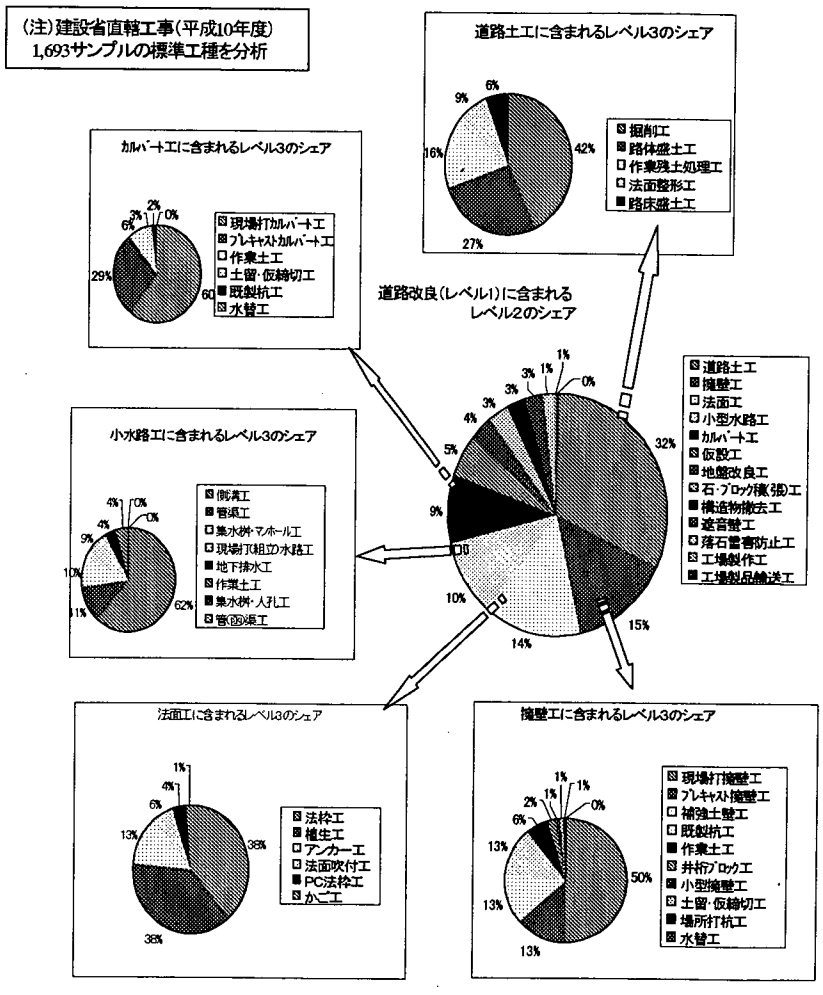
この表から分かるとおり、このケースにおける標準設計の逆Ｔ型擁壁の採用は、新土木工事積算大系における体系ツリーに基づく構成要素（レベル４）において、約２％のコスト縮減となっている。

３．２　全体コストに与える影響度（縮減効果）の試算

平成 11 年度に実施した道路改良工事（レベル１）のコスト構造の分析結果を図－１に示す。この図から分かるとおり、道路改良に含まれる擁壁工（レベル２）のシェアは 15%、擁壁工に含まれる現場打擁壁工（レベル３）のシェアは 50%となっている。

以上の結果を用いて、標準設計の逆Ｔ型擁壁（Ｈ＝７ｍ）を採用した場合の道路改良工事の全体工事費に対する縮減効果を試算した。なお、現場打擁壁工（レベル３）に占める逆Ｔ型擁壁（Ｈ＝７ｍ）の採用割合が不明なため、採用割合を想定し、平成 11 年度道路整備事業費における縮減効果を試算した。試算結果を表－２に示す。

試算結果から、逆Ｔ型擁壁のみの採用でも、約２億円～10 億円（平成 11 年度道路整備事業のコスト縮減実績の約 0.2%～0.8%相当）を超える効果が期待できることが明らかとなった。これは、単独での縮減率は２％と大きくないものの、現場打擁壁工の採用割合が 50%と大きいことに起因している。このように、シェアの大きな分野に重点的に取り組むことで大きな縮減効果が期待できることが明らかとなった。



図－１　道路改良工事のコスト構造造

表－２　縮減効果

採用割合（%）	縮減効果（%）	縮減額（億円）
10	0.018	2
30	0.053	6
50	0.089	11
70	0.125	15

４．主な研究成果物

・杉谷康弘，藤本聡，松井健一，神山守：建設ﾏﾈｼﾞﾒﾝﾄ問題に関する研究発表・討論会　講演集，pp23-30，2000.12

（松井、神山、杉谷、村椿、澤田）

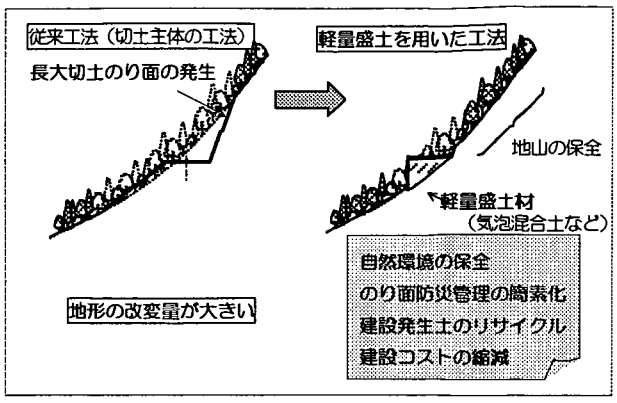
10.2　軽量盛土材の活用に関する調査

研究期間：平９～平13
担当：土質研究室

【要旨】

急峻な斜面上の道路建設において道路中心線を谷側にシフトし軽量材料などを用いた盛土主体工法とすることにより、大規模切土などによる自然環境の改変を最小限にとどめ、かつ建設コストを抑制することが可能となる（図-1）。

そこで軽量盛土を活用した山岳道路工法の確立のため、12年度は動的遠心力模型実験の結果と既存の気泡混合土盛土の設計結果を比較し問題点を検証し、その結果をもとに気泡混合土盛土の耐震設計法を提案した。



図－１　地形改変を低減する軽量盛土工法のイメージ

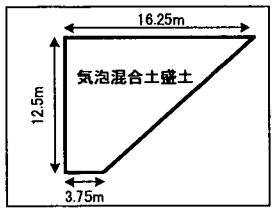
１．研究目的

本研究は、自然環境やコスト縮減への意識の高まりを背景に、急峻な斜面上の道路建設において切土による地形改変を出来る限り低減する観点から、軽量材料を用いた盛土主体工法の確立を目的とする。そのため軽量盛土工法が適している条件を明らかにするフィージビリティスタディとともに、急峻な地形にも柔軟に対応できるよう気泡混合土を用いた高盛土の建設を可能にする耐震設計手法の検討を行うものである。

２．研究方法

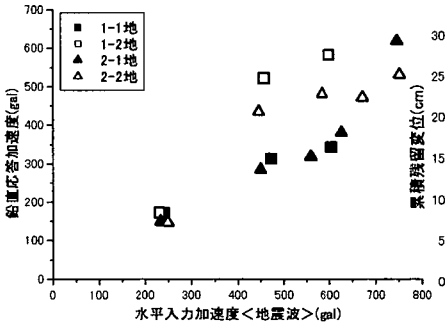
10,11年度において行った急傾斜斜面上に高盛土となる場合の気泡混合土盛土（図－２）の動的遠心力模型実験の結果は以下のようになった。

1)　水平入力加速度の最大で1.0倍程度の鉛直応答加速度が生じる（図－３）
2)　抵抗杭などの対策工の設置により大きな残留変形を抑制することが可能（図－４）

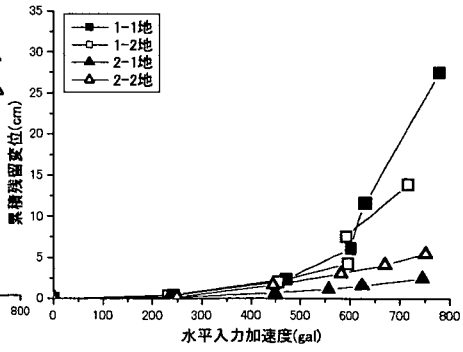


ケース	設計強度	対策工	入力波
1-1地	150kN/m²	なし	地震波
1-2地	〃	抵抗杭	〃
2-1地	250kN/m²	なし	〃
2-2地	〃	抵抗杭	〃

図－２　実験概要



図－３　鉛直加速度



図－４　残留変位

これらの実験結果と既存の気泡混合土盛土設計法の結果を比較し、問題点を検証した。既存の設計法としては、擁壁工指針（ｺﾝｸﾘｰﾄ擁壁）によるものと道路公団によるものの２種類を検討した。ただ両者とも耐震設計法が確立していないため、耐震性の検討の際には道路土工擁壁工指針に示されている水平方向のみ考慮した震度法を鉛直方向にも拡張して用いた。設計条件は表－１のとおりである。

表－１　設計条件

設計震度: Ⅲ種地盤 大規模地震動対応	水平設計震度:Kh=0.24 （道路土工指針より）	
	鉛直設計震度:Kv= Kh =0.24 （実験結果より）	
安定条件(常時) （道路土工指針より）	滑動(μ=0.5)	1.2
	転倒	偏心＜底辺長/6
	内部応力	3.0
安定条件(地震時) （道路土工指針より）	滑動(μ=0.5)	1.0
	転倒	偏心＜底辺長/3
	内部応力	2.0

3．研究結果

動的遠心模型実験結果を表－2、試設計結果を表－3、4に示す。

表－2 実験結果

強度 kN/cm²	常時	200gal	400gal	500gal	600gal	800gal
150	○	○	○	○	×	×
250	○	○	○	○	○	○

○:変位5cm以下、×:変位5cm以上(50G場換算)

表－3 試設計結果(擁壁工指針(ｺﾝｸﾘｰﾄ擁壁)による設計法)

強度 kN/cm²	常時			地震時(Khのみ考慮)			地震時(Kvも考慮)		
	転倒	滑動	内部	転倒	滑動	内部	転倒	滑動	内部
150	○	○	△	○	○	×	○	○	×
250	○	○	△	○	○	×	○	○	×
500	○	○	○	○	○	△	○	○	△
1000	○	○	○	○	○	○	○	○	○

○:安定条件以上、△:安全率1以上安定条件以下、×:安全率1以下

表－4 試設計結果(日本道路公団による設計法)

強度 kN/cm²	常時			地震時(Khのみ考慮)			地震時(Kvも考慮)		
	転倒	滑動	内部	転倒	滑動	内部	転倒	滑動	内部
150	○	○	△	○	○	△	○	○	△
250	○	○	○	○	○	○	○	○	○

○:安定条件以上、△:安全率1以上安定条件以下、×:安全率1以下

3．1内部応力

擁壁工指針（ｺﾝｸﾘｰﾄ擁壁）による設計法では常時・地震時ともに安全率1以上を確保するためには設計強度を500kN/m²以上にしなければならなく、実験結果と比較すると内部応力をやや過大に評価し安全側になる可能性がある。一方、道路公団の設計指針では常時・地震時ともに安全率1以上を確保するためには設計強度を150kN/m²以上にすればよく、実験結果と比較すると内部応力を過小に評価し危険側になる傾向がある。

また内部応力は鉛直設計震度Kvを考慮した場合や地震時にかかる地震力により合力の作用点が移動した場合、常時において安定条件を満足していても地震時には満足しない可能性がある。

3．2転倒・滑動

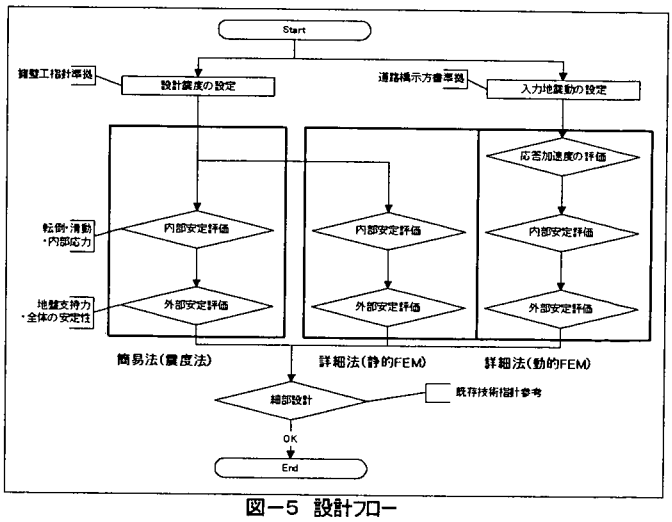
転倒・滑動に関しては今回検討した盛土形状および条件では全て安定条件を満たしていた。しかし形状によっては地震時にかかる水平方向への地震力により、常時において安定条件を満足していても地震時には満足しない可能性がある。その場合、実験において効果が見られた抵抗杭などの対策工の設置により安定を確保する必要がある。

3．3まとめ

以上から、気泡混合土盛土の耐震設計には水平設計震度Khと鉛直設計震度Kvの両方を考慮した震度法を用い擁壁工指針（ｺﾝｸﾘｰﾄ擁壁）にしたがって設計を行うことが現段階では最も合理的であると考えられる。

安全を確保しつつより経済的な施工を可能にするため、気泡混合土盛土の耐震設計においては図－5のようなフローを提案し、その適用性について現在検討をすすめている。これは、上記の簡易法（震度法）、形状がやや複雑なとき震度法に弾性有限要素法を適用し耐震設計を行う詳細法（静的FEM）、実際の地震波を与える動的解析の結果から耐震設計を行う詳細法（動的FEM）の三方法から現場の要求に応じて設計方法選択するものである。

耐震設計法を確立することにより8m以上の高盛土となった場合道路土工指針で必要とされる耐震性の検討に対応でき、山岳道路の計画地域の地形に合わせたより柔軟な気泡混合土盛土の設計が可能になると考える。



図－5 設計フロー

4．主な研究成果

1) 中野、三木、小橋「急傾斜斜面上の軽量盛土の耐震性に関する実験的考察」第35回地盤工学研究発表会,pp.2169-2170,2000.6

2) 森、恒岡、中野「気泡混合土の耐震性に関する実験的考察」第36回地盤工学研究発表会発表予定,2001

(恒岡・中野・森)

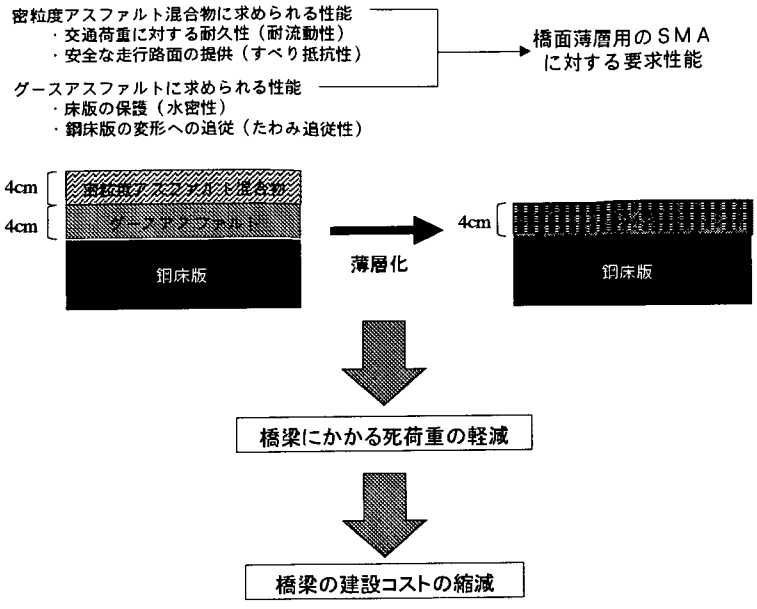
10.3　橋面舗装の合理化に関する調査

研究期間：平10～平13
担当：舗装研究室

【要旨】

橋梁の建設コスト縮減のために構造物全体の死荷重の軽減が求められている一方で、２５トン車対応等による床版の上面増厚の際の建築限界の問題等が発生しており、これらの両立が可能な対策技術が必要となっている。そこで本検討では、この対策技術の一つとして橋面上の舗装の薄層化が期待されている。

橋面舗装の薄層化には、従来の橋面舗装の機能を保持した上で舗装厚を薄くする技術の確立が必要であり、これに期待できる舗装技術として砕石マスチックアスファルト（SMA）混合物による一層施工を取り上げ、実用可能性について試験調査を行っている。



橋面薄層舗装の開発イメージ

１．研究目的

鋼床版上の橋面舗装の薄層化技術の開発を目的として、ＳＭＡ混合物による一層舗装の検討を行っている。通常の橋面舗装は、基層と表層の二層構造であり、基層はたわみ追従性・水密性、表層は安全な走行の提供・荷重に対する耐久性といった機能をはたしている。橋面舗装を一層で行う場合、基層、表層両方の機能を併せ持つ必要がある。11年度までに、室内における検討により、たわみ追従性や水密性、耐久性、すべり抵抗について検討している。12年度は、室内試験による検討を元に、試験施工を行い、施工方法、出来形などの確認を行った。

２．研究方法

２．１　混合物

ＳＭＡ混合物は、標準的な混合物（SMA-1）と昨年度までの検討によりすべり摩擦係数の高い混合物（SMA-2）の２種類とした。いずれも最大粒径 13mm であり、バインダには改質アスファルトII型、植物繊維を添加した。SMA 混合物の配合を表－１に示す。

表-1　ＳＭＡ混合物の配合

項　目			SMA-1	SMA-2
最大粒径		(mm)	13	13
粒度％	4.75	(mm)	30	40
	2.36	(mm)	20	30
	0.075	(mm)	10	10
アスファルト量		(%)	6.7	7.0
植物繊維		(%)	0.5	0.5

２．２　施工

試験施工は、舗装走行実験場内の試験用鋼橋上で行った（図-１）。ＳＭＡ混合物は、施工方法により仕上がりが異なることが予想されたため、締固めは①タイヤローラ

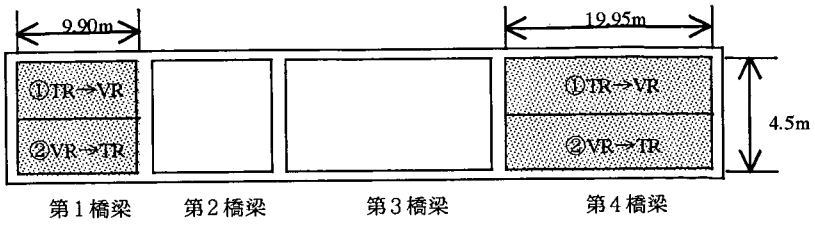


図-1　施工場所と締固め方法

（TR）後に振動ローラ（VR)、②振動ローラ後にタイヤローラ、という２種類の方法をとった。また、橋面上では排水溝などが設けられていることが多いため、模擬排水溝を設置し、密度等のばらつきを確認した。

表-2　試験項目

試験項目	試験方法
舗装厚測定	水糸による下がり
平坦性試験	舗装試験法便覧
温度測定	−
目視観察	目視観察
コア採取	−
締固め度測定	舗装試験法便覧
引張接着試験	〃
加圧透水試験	〃
すべり抵抗性	〃
路面の粗さ試験	〃

２．３　試験項目

調査は、出来形管理に関する項目に加えて、性能試験（すべり抵抗性試験、付着性試験、透水試験）を行った。試験項目は、表－２のとおりである。

３．研究結果

試験施工後の混合物性状の測定結果を表-3に示す。また、模擬排水溝の廻りの混合物性状を表-4に示す。

表-3　測定結果（一般部）

試験項目		SMA-1		SMA-2		目標値
		① TR → VR	② VR → TR	① TR → VR	② VR → TR	
締固め度　%		97.8	98.0	97.6	97.7	96 以上
空隙率　%		5.8	5.7	5.4	5.3	−
接着強度 MPa		0.79	0.76	0.76	0.75	−
すべり摩擦係数	μ_{60} ※	0.69	0.61	0.61	0.61	0.4 以上
	BPN	77	73	75	74	60 以上
路面粗さ　mm		0.74	0.65	0.50	0.53	−
透水係数　cm/s		3.4×10^{-6}	3.2×10^{-6}	2.7×10^{-7}	3.2×10^{-7}	1.0×10^{-7} 以下

※ DF テスターにおけるすべり抵抗値で、60km/h のときの値

表-4　測定結果（排水桝廻）

試験項目	SMA-1		SMA-2		目標値
	① TR → VR	② VR → TR	① TR → VR	② VR → TR	
締固め度　%	97.3	97.7	97.4	97.3	96 以上
空隙率　%	6.3	5.9	5.6	5.7	−
接着強度 MPa	0.74	0.75	0.71	0.73	−
透水係数　cm/s	4.7×10^{-6}	3.9×10^{-6}	2.9×10^{-7}	3.5×10^{-7}	1.0×10^{-7} 以下

(1)締め固め方法の比較

表-3 に示したとおり、締固め方法を変えた場合でも、路面粗さ以外の項目は、SMA-1,2 ともに大きな差がなかった。従って、締固め方法による混合物性状の差はあまりないものと考えられた。

（２）混合物種類の比較

混合物種類の違いでは、粗骨材の多い混合物 SMA-1 では空隙率が若干大きく、透水係数も大きくなった。透水係数は SMA-1,2 ともに目標値を上回る結果となり、このままでは橋面薄層舗装には適用できないことが分かった。室内試験では、両者ともに全ての目標値をクリアしていたので、今後現場での施工状態を考慮した配合設計を検討する必要があることが分かった。

（３）排水溝の影響

排水溝の設置により、機械施工できず手作業の敷きならし、締固めになったが、表-3 と 4 を比較しても大きな差は見られなかった。13mmTop の骨材を用いた SMA でも角までよく骨材が回り込んでいることが分かった。

４．まとめ

今回の試験施工では、透水係数に課題を残す結果となった。今回の試験施工は、気温が低い時期に行っており、これが混合物性状に影響を与えていることも考えられるため、今後施工温度の規定、締固め度の規定の検討の他、締固め度が 96%付近でも要求性能を出せる配合についてさらに検討する必要があると考えられた。

（吉田、新田）

10.4　深層混合処理工法の合理化に関する調査

研究期間：平 10～平 12
担当:土質研究室

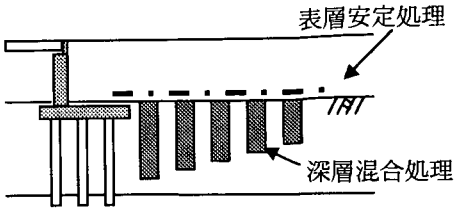
【要旨】

本研究では、軟弱地盤上の構造物と取付盛土との間に生じる段差を解消するための対策(すりつけ対策)について、コストを縮減し合理的な設計法を提案することを目的としている。

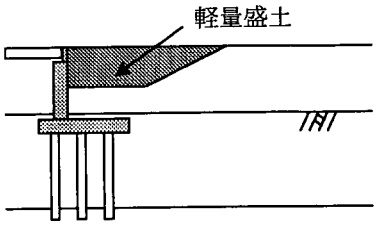
平成 12 年度は、さまざまな施工条件のもとで従来広く採用されてきたすりつけ対策工から、これまであまり施工実績の多くない対策工まで 8 パターンを設定して試設計を実施した。

試設計の結果、新工法の適用可能な範囲は広く、コスト縮減を目指した対策工として有効であることが確認できた。

・深層混合処理工法によるすりつけ対策



・軽量盛土工法によるすりつけ対策



1. 研究目的

土木研究所土質研究室ではこれまで、軟弱な地盤条件での橋台すりつけ部の基礎対策についての試設計を行ってきた[1)]。本研究では、そのとりまとめおよび橋台すりつけ部の新工法として「表層安定処理を併用したフローティング式深層混合処理工法」の模型実験を行い、その支持機構の特徴について考察した。

2. 研究方法

2.1 試設計

本研究では、10 年度の成果を基に①橋台部の杭基礎の検討、②積算条件の見直しを行い、その結果を基に新工法の適用性について考察した。

2.2 対策工法と検討ケース

試設計では、新工法として、①盛土の荷重を抑える「荷重軽減工法」(EPS、発泡 B) ②セメント系固化材による改良で基礎の変形を抑える「固結工法」(DMM(F),DMM(着)) を採用している。表-1 に試設計の対象とした対策工法を示す。また、盛土高さ H_E および軟弱層厚 H を変えたケースについて試設計を行い、橋台部およびすりつけ部の工費および工期を積算した。表-2 および図-1 に、それぞれ検討ケースおよび橋台すりつけ部の概念図を示す。すりつけ部延長の決定方法に関しては、比較した工法のなかで、どのケースにおいても EPS 工法がすりつけ部延長最大となるため、他工法に関しても EPS 工法のすりつけ部延長を用いて積算を行った。

表－1　対象とした対策工法

対策工法				記号
従来工法	ﾊﾞｰﾁｶﾙﾄﾞﾚｰﾝ工法	ｻﾝﾄﾞﾄﾞﾚｰﾝ	押さえ盛土併用	SD
	ｻﾝﾄﾞｺﾝﾊﾟｸｼｮﾝﾊﾟｲﾙ工法	ｻﾝﾄﾞｺﾝﾊﾟｸｼｮﾝﾊﾟｲﾙ	押さえ盛土併用	SCP
	載荷重工法	ﾌﾟﾚﾛｰﾄﾞ	ｻﾝﾄﾞﾄﾞﾚｰﾝ併用	PL+SD
			ｻﾝﾄﾞｺﾝﾊﾟｸｼｮﾝﾊﾟｲﾙ併用	PL+SCP
新工法	固結工法	深層混合処理・柱状改良+ｼﾞｵｸﾞﾘｯﾄﾞ	着底型	DMM(着)
			着底型+ﾌﾛｰﾃｨﾝｸﾞ型	DMM(F)
	荷重軽減工法	ＥＰＳ	ｻﾝﾄﾞﾄﾞﾚｰﾝ併用	EPS
		発泡ﾋﾞｰｽﾞ混合軽量土	ｻﾝﾄﾞﾄﾞﾚｰﾝ併用	発泡 B

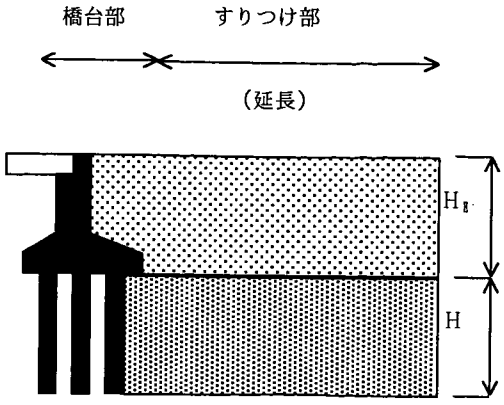
表－2　検討ケース

H / H_E	5m	10m	15m	20m	30m
2m	1	2	3	4	5
6m	6	7	8	9	10
10m	11	12	13	14	15
15m	16	17	18	19	20

2.3 新工法の適用性

表-3 に、試設計の結果を示す。棒グラフ左軸(黒ぬり)は工費(千円)、右軸(白ぬき)は工期(日)を表す。

低盛土（盛土高さ 2m）の場合、従来工法では全工費に占める路面補修費の比率が 14～28%と高く、路面補修費を必要としない発泡 B、DMM(F)が安価な対策となった。発泡 B は、盛土高が大きくなり、必要置換え体積が増加すると割高な対策工となった。また、盛土高さが 10m を超えるような場合、軟弱層厚の大きさによらず広い範囲で DMM(着)が工費・工期とも有力な工法となった。盛土高さ、軟弱層厚ともに大きいような施工条件の厳しい場合、従来工法は適用外となる。また、EPS は施工単価が割高であるため盛土高さ、軟弱層厚とも極端に条件の厳しいような場合にのみ有力な対策工といえる。

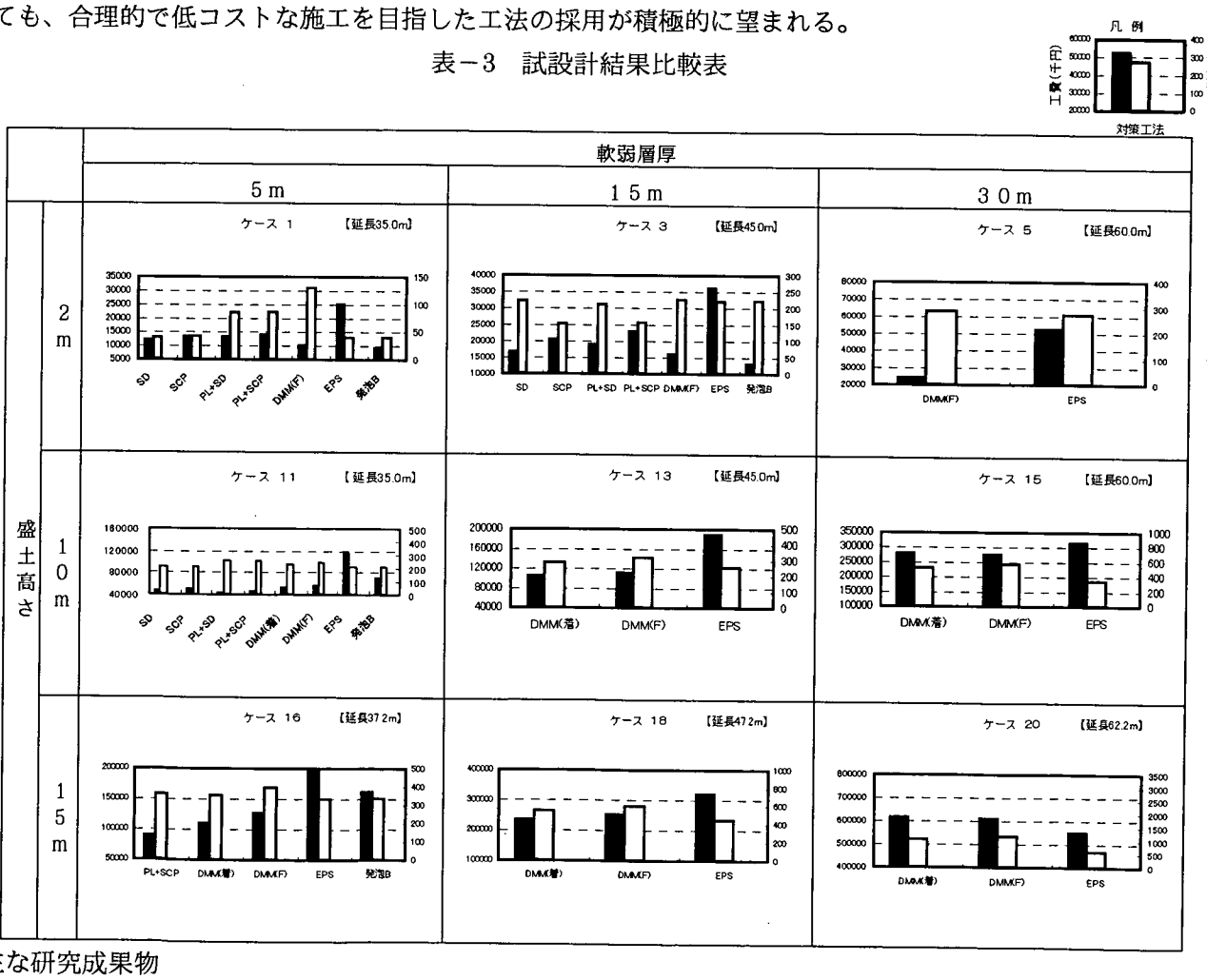


図－1　すりつけ部概念図

3.　まとめ

以上のように新工法の適用範囲は狭くない。特に「固結工法」については、非常に広い範囲で適用性が高く、従来工法と比べて工費・工期とも有力な比較対策工となりうる。軟弱地盤におけるすりつけ対策においても、合理的で低コストな施工を目指した工法の採用が積極的に望まれる。

表－3　試設計結果比較表



4.主な研究成果物

三木、古本、大野、井戸、清水、表層安定処理を併用したフローティング式深層混合処理工法に関する実験（その 1・その 2)、第 55 回土木学会年次学術講演会講演概要集、3－B、pp442～443、2000.9

（恒岡、古本、大野）

10.5　揚排水機場の設計合理化に関する研究

研究期間：平成11～13
担当：機械研究室

【要旨】
１２年度は、昨年度提案した高流速化吸水槽の模型実験を行い、シミュレーション結果との比較を行った。また、これらの成果を基に揚排水ポンプ設備技術基準（案）同解説への記載を行った。揚排水機場は設備の機能確保とともに、公共事業に対するコスト縮減が求められている。その具体策の一つとして、大型の揚排水機場では吸水槽からポンプまでの水の流れを高速化することによって、土木構造物の規模を縮小し、コスト縮減を図る取組みが行われている。本研究では、この吸水槽内流速の高速化を小・中規模の揚排水機場への適用を研究するものである。今後は、既設排水機場への適用手法検討および高流速化設計手法の提案を行う予定である。

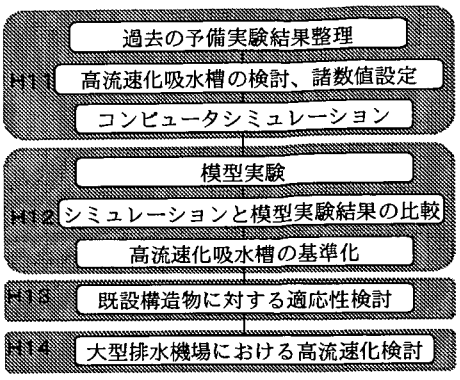


図-1　研究フロー

１．研究目的

洪水等の水害から人命や資産を守るため、日本各地で排水機場の整備が進められてきた。一方、最近では公共サービスに対するコスト縮減が社会的要請になっており、中・小規模の排水機場についても建設コストの縮減の努力が求められている。その１案として吸込流速を速めることにより従来と同様の排水能力を確保しつつ吸水槽の小型化を行い、建設コスト縮減および既設機場の排水能力向上手法の提案および高流速化設計手法の提案を図ることを目的とする。

２．研究方法

平成１２年度は、高流速化吸水槽のシミュレーション結果の確認と問題点の確認を行うため、模型実験を実施し、それらの結果を元に揚排水ポンプ設備技術指針（案）同解説への記載を行った。

３．研究結果

３．１　模型試験方法

吸水槽の模型試験は、日本機械学会基準「ポンプの吸水槽の模型試験」ＪＳＭＥ　Ｓ００４－１９８４に準拠して実施した。模型試験は始めに吐出管口径100㎜のベルマウス形状した吸込管を用いた実験により吸水槽形状の確認を行い、その結果を元に高流速化吸水槽のポンプ軸動力等への影響を確認するため吐出管口径300㎜の模型ポンプを用いた試験を行った。なお、吸水槽形状の合否は発生危険性が模型と実機との差異が少ないとされる流速を相似則より導き、実験を行った。各試験による相似条件を下記に示す。

また、今回用いた試験装置は、測定中には水位が一定に保たれ、かつ各条件に合わせた水位設定な回流式（吸込管から吸上げた水量を水槽の上流に戻す方式）を採用した。

空気吸込渦確認試験：　$Vm/Vp=(Lm/Lp)^{0.2}$、$Qm/Qp=(Lm/Lp)^{2.2}$

水中渦確認試験　　：　$Vm=Vp$、$Qm/Qp=(Lm/Lp)^{2}$

３．２　高流速化吸水槽形状試験結果

昨年度のシミュレーションおよび過去の予備実験の整理結果より設定した、オープンピット及びセミクローズドピット吸水槽の水路幅Ｗ、ボトムクリアランスＣ、バッククリアランスＦ、没水深さＳの限界値、渦

流防止対策、マウンド角度等は、ほぼ同等の実験結果が得られた。これより昨年度に設定したポンプ口径毎の諸数値に対する確証が得られた。

(1) オープン形吸水槽

1)ポンプ性能への影響

オープン形吸水槽の場合、ポンプへの接近流速も $V_1 \fallingdotseq 0.4$ m／Sと遅くかつ断面変化も小さいことから水路損失も無視できる程度であることが確認できた。従って、高流速変化吸水槽を採用してもポンプ性能への影響はないと考えられる。

2)マウンドの影響

今回の種々の実験でマウンドを設けた場合、開発目標流速 $V_0 = 0.6$ m／Sを満足できず、0.5m／Sが限界であることがあった。

$V_0 = 0.6$ m／Sを達成するためには、突込整流板の形状を垂直タイプから傾斜タイプにすることによりクリアできることが確認された。傾斜タイプは土木構造が複雑となるため今回の標準化には適用しなかったが、更なる高流速化のための今後の課題である。

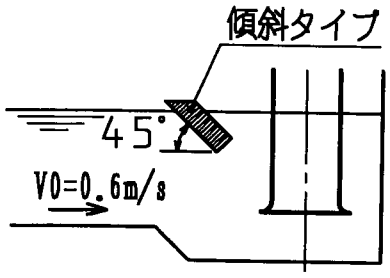


図-2　突っ込み整流板の傾斜化イメージ

3)施工精度の影響

底面バッフルなどがポンプ中心に対して土木施工上から芯ずれを起こした場合、水中渦などの発生が懸念されるため、施工精度に関する実験も行った。結果は、ポンプ口径２０%相当のずれでも水中渦の発生しないことが確認でき、施工精度の影響は無視できると考えられるが、品質管理上芯ずれ量はポンプ口径５%とした。

(2) セミクローズ形吸水槽

1)ポンプ性能への影響

セミクローズ形吸水槽の場合、ポンプへの近寄速度 $V_2 = 1.2$ m／Sと速く、かつ断面変化が大きいことから水路損失が大きくなることが確認された。模型ポンプを使用しての実験よりこの水路損失は約0.1mと測定された。従って、高流速化吸水槽を採用する場合、ポンプの全揚程には吸込水路損失として $Hf = 0.1$ m を加算する必要がある。

またポンプ性能の傾向については、約４０%以下の小水量で約５%程度の全揚程や軸動力に増加傾向は見られるが、実機での運転範囲外となる部分でありポンプ運転に影響を与えないと考えられる。

2)ポンプ抜出穴のすきまと施工精度の影響

ポンプ抜出穴とベルマウスのすきまの大小で、空気吸込渦の発生及び水中渦の発生がみられた。このすきまの管理はベルマウス寸法がポンプの仕様や比速度で同一口径においても異なってくること及びポンプ抜出穴の土木施工精度で異なる。従って、このすきまを一律に寸法を規定することは困難なことから、空気吸込渦対策としては没水量S＝1.0D以上とし、水中防止対策としてはベンド部にバッフルを設けることが、有効な方法として新たに追加する必要性が確認できた。これより、すきまが0.05～0.20Dの間になっても問題ないと考えられる。

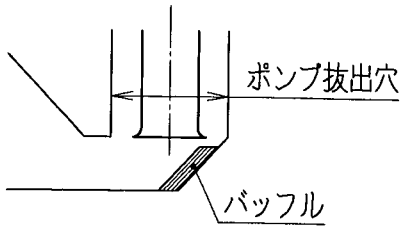


図-3　バッフル追加位置

4．主な成果物

・揚排水ポンプ設備技術基準（案）同解説に標準形状として掲載予定

（江本平、荒井猛、水上紀明）

10.6.1　プロジェクトマネジメント手法の検討に関する調査（その１）

研究期間：平 11～平 12

担当：建設マネジメント技術研究室

【要旨】

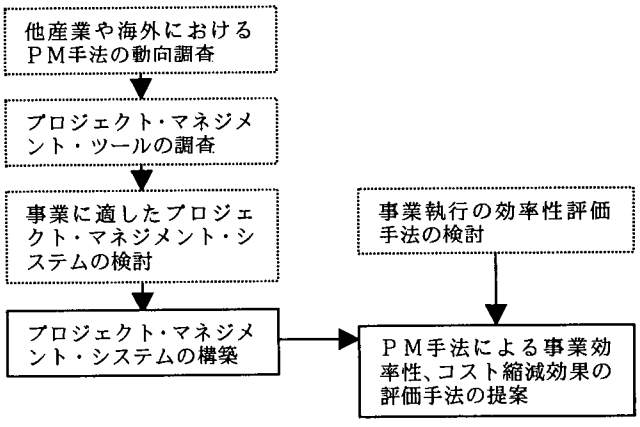
本調査は、プロジェクト管理の手法のグローバルスタンダードとなりつつあるプロジェクト・マネジメント（ＰＭ：Project management）手法について、公共事業への適用性を調査するものである。１２年度は前年度に引き続き工事事務所の抱える課題からＰＭ手法を導入するケースを類型化するとともにＰＭシステム（ＰＭツール）の構築を図り、ＰＭツールを用いた事業執行の効率性等の評価手法について検討・提案を行った。

１．調査目的

事業への住民参加や情報公開などを背景に、事業を円滑に進めるためのマネジメント技術も高度化している。プロジェクト管理の手法として、プロジェクト・マネジメント（ＰＭ）と呼ばれる手法体系が海外の様々なプロジェクトなどを通してグローバルスタンダードとなりつつある。本調査は、ＰＭ手法の公共事業への適用性を調査するものである。

２．調査方法

調査は前年度に引き続き、国土交通省（旧建設省）工事事務所を対象に事務所が事業を執行する上で抱えている課題等をヒアリングした結果から、公共事業への適用が考えられるプロジェクト・マネジメントを類型化するとともに、事業に適したＰＭシステム（ＰＭツール）の構築を行う。また、ＰＭ手法を用いた事業効率性等の評価手法について検討を行う。



図－１　調査概要

３．調査結果

３．１　工事事務所の抱える課題とプロジェクト・マネジメントの類型化

工事事務所を対象に事務所が事業を執行する上で抱えている課題等をヒアリングした結果、事務所が抱えている課題は各々異なり、これら課題の解決を図り事業の効率性を向上するためにＰＭ手法を導入することが考えられる。ＰＭ手法を導入するパターンを類型化すると以下のとおりである。

・「特定事業工程管理対応型」：特定の（一連の）事業に対してＰＭを導入することで、事務所の内部工程及び外部工程の進捗管理を確実に行い、所定の工期までに事業を滞りなく確実に完成させることを目的としたパターン。

・「事務所運営管理対応型」：特定の事業を対象とするのではなく、事務所が管轄する事業全般を対象に、予算管理や用地交渉等の協議記録等の確実な保存等を行うなど、事務所管轄事業の全容を容易に把握できることを目的としたパターン。

・「特定課題対応型」：事業遂行上、前例のないような外的要因に起因する課題に直面している場合を対象に、円滑な事業を進めるための方策としてＰＭ手法を導入するパターン。

なお、特定課題対応型の場合には、個々の課題別に適切なＰＭ手法を検討した上で導入を図る必要がある。

3．2　PMツールの構築

PMツールの開発にあたっては、事務所全体の管轄事業に係わる執行状況についてPM手法を導入することを目的（「事務所運営管理対応型」）に以下の機能を具備するものとし、各データ間の連携を視野に Visual Basic で構築するものとした。構築したPMツールの活用イメージを図-2 に示す。

・予算管理（費目毎の執行管理）:各課毎の執行予定と執行状況をシステム上に保存し、予算管理者の執行率（実績）と執行予定を把握する。

・事業進捗管理：各調査、測量、設計、施工の状況（発注済み、工事完了、用地買収済み、設計完了）を把握する。また設計ストック、用地ストック等の状況把握する。

・交渉記録管理：用地交渉や施工協議などで住民との間でなされた約束事、交渉経緯などをシステム上で保存し、発注段階など、後に担当者が閲覧することにより、確実に情報伝達を行う。

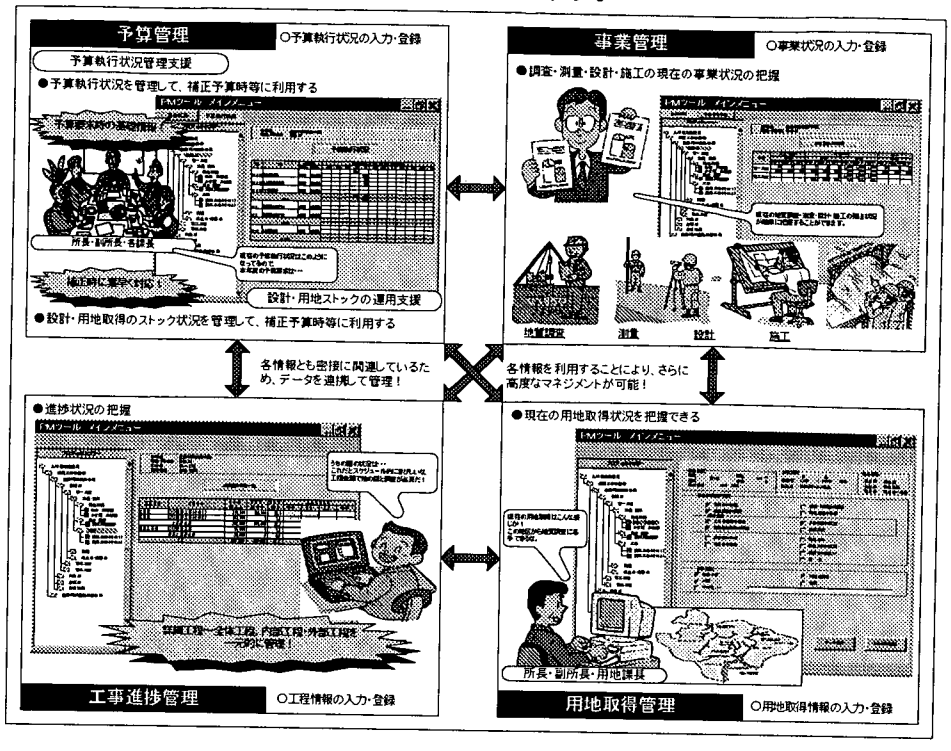


図-2　PMツールの活用イメージ

なお、PMツールを工事事務所に適用するにあたっては次のような課題が考えられ、具体の適用にあたってはこれら課題に対する対応を示していく必要がある。

・現行システムで扱っているデータについて二重入力が生じることによる、職員の負荷の増大

・PMツールに依存する範囲と、従来方式との棲み分け

3．3　事業効率性等の評価手法

PM手法の導入により事業が円滑的かつ効果的に行うことが求められる。PM手法を導入することにより事業の効率性等の評価手法として、ここでは評価者に対して個別面談（ヒアリング）を行い、定性評価（5段階評価）することを提示する。具体的な評価指標は表-1 に示すとおりであり、具体の評価者としては事務所長、副所長、担当課長、またPMツール担当職員が考えられる。

表-1　PM手法の評価指標

分類	評価項目
①全体評価	-1.導入目的の明確さ
	-2.適用対象業務の妥当性
	-3.適用対象業務の事前分析
②事前準備	-1.システム環境整備
	-2.職員への教育・訓練
③運用評価	-1.業務軽減への寄与
	-2.費用対効果
	-3.事業進捗度（定量化が可）
	-4.予算執行度（定量化が可）
	-5.外注コスト（定量化が可）
	-6.日々のデータ運用
	-7.トラブル発生時の対応措置
④ツール評価	-1.ニーズの反映のされ方
	-2.使い勝手

4．今後の展開

国土交通省では現在PM手法を複数の工事事務所で試験的に導入する試みを始めた段階にある。今後、検討した成果をもとに、国土交通省版PM手法の確立を図っていく必要がある。　　（山下、安原）

10.6.2　プロジェクトマネジメント手法の検討に関する調査（その２）

研究期間：平 11～平 12

担当：建設マネジメント技術研究室

【要旨】

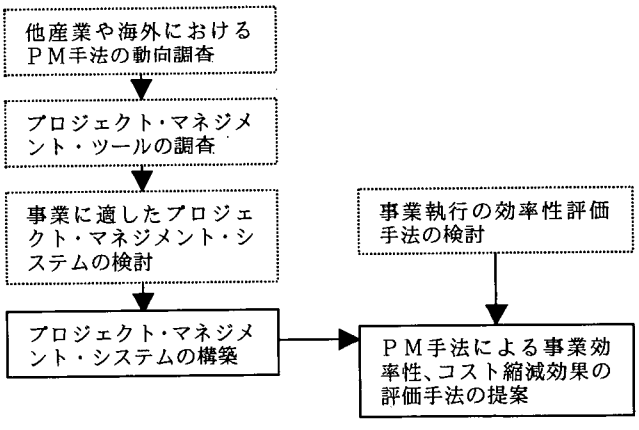
本調査は、プロジェクト管理の手法のグローバルスタンダードとなりつつあるプロジェクト・マネジメント（ＰＭ：Project management）手法について、公共事業への適用性を調査するものである。１２年度は前年度に引き続き工事事務所の抱える課題からＰＭ手法を導入するケースを類型化するとともにＰＭシステム（ＰＭツール）の構築を図り、ＰＭツールを用いた事業執行の効率性等の評価手法について検討・提案を行った。

１．調査目的

事業への住民参加や情報公開などを背景に、事業を円滑に進めるためのマネジメント技術も高度化している。プロジェクト管理の手法として、プロジェクト・マネジメント（ＰＭ）と呼ばれる手法体系が海外の様々なプロジェクトなどを通してグローバルスタンダードとなりつつある。本調査は、ＰＭ手法の公共事業への適用性を調査するものである。

２．調査方法

調査は前年度に引き続き、国土交通省（旧建設省）工事事務所を対象に事務所が事業を執行する上で抱えている課題等をヒアリングした結果から、公共事業への適用が考えられるプロジェクト・マネジメントを類型化するとともに、事業に適したＰＭシステム（ＰＭツール）の構築を行う。また、ＰＭ手法を用いた事業効率性等の評価手法について検討を行う。



図－１　調査概要

３．調査結果

３．１　工事事務所の抱える課題とプロジェクト・マネジメントの類型化

工事事務所を対象に事務所が事業を執行する上で抱えている課題等をヒアリングした結果、事務所が抱えている課題は各々異なり、これら課題の解決を図り事業の効率性を向上するためにＰＭ手法を導入することが考えられる。ＰＭ手法を導入するパターンを類型化すると以下のとおりである。

・「特定事業工程管理対応型」：特定の（一連の）事業に対してＰＭを導入することで、事務所の内部工程及び外部工程の進捗管理を確実に行い、所定の工期までに事業を滞りなく確実に完成させることを目的としたパターン。

・「事務所運営管理対応型」：特定の事業を対象とするのではなく、事務所が管轄する事業全般を対象に、予算管理や用地交渉等の協議記録等の確実な保存等を行うなど、事務所管轄事業の全容を容易に把握できることを目的としたパターン。

・「特定課題対応型」：事業遂行上、前例のないような外的要因に起因する課題に直面している場合を対象に、円滑な事業を進めるための方策としてＰＭ手法を導入するパターン。

なお、特定課題対応型の場合には、個々の課題別に適切なＰＭ手法を検討した上で導入を図る必要がある。

３．２　ＰＭツールの構築

ＰＭツールの開発にあたっては、事務所全体の管轄事業に係わる執行状況についてＰＭ手法を導入することを目的（「事務所運営管理対応型」）に以下の機能を具備するものとし、各データ間の連携を視野に Visual Basic で構築するものとした。構築したＰＭツールの活用イメージを図-2 に示す。

・予算管理（費目毎の執行管理）:各課毎の執行予定と執行状況をシステム上に保存し、予算管理者の執行率（実績）と執行予定を把握する。

・事業進捗管理：各調査、測量、設計、施工の状況（発注済み、工事完了、用地買収済み、設計完了）を把握する。また設計ストック、用地ストック等の状況把握する。

・交渉記録管理：用地交渉や施工協議などで住民との間でなされた約束事、交渉経緯などをシステム上で保存し、発注段階など、後に担当者が閲覧することにより、確実に情報伝達を行う。

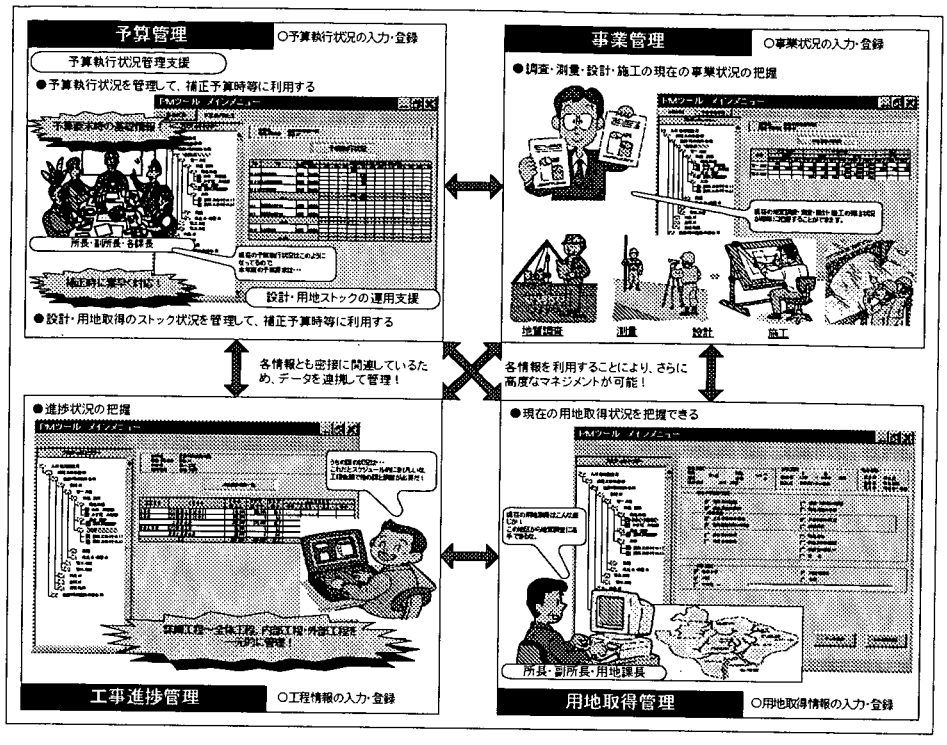


図-2　ＰＭツールの活用イメージ

なお、ＰＭツールを工事事務所に適用するにあたっては次のような課題が考えられ、具体の適用にあたってはこれら課題に対する対応を示していく必要がある。

・現行システムで扱っているデータについて二重入力が生じることによる、職員の負荷の増大

・ＰＭツールに依存する範囲と、従来方式との棲み分け

３．３　事業効率性等の評価手法

ＰＭ手法の導入により事業が円滑的かつ効果的に行うことが求められる。ＰＭ手法を導入することにより事業の効率性等の評価手法として、ここでは評価者に対して個別面談（ヒアリング）を行い、定性評価（5 段階評価）することを提示する。具体的な評価指標は表-1 に示すとおりであり、具体の評価者としては事務所長、副所長、担当課長、またＰＭツール担当職員が考えられる。

表-1　ＰＭ手法の評価指標

分類	評価項目
①全体評価	-1.導入目的の明確さ
	-2.適用対象業務の妥当性
	-3.適用対象業務の事前分析
②事前準備	-1.システム環境整備
	-2.職員への教育・訓練
③運用評価	-1.業務軽減への寄与
	-2.費用対効果
	-3.事業進捗度（定量化が可）
	-4.予算執行度（定量化が可）
	-5.外注コスト（定量化が可）
	-6.日々のデータ運用
	-7.トラブル発生時の対応措置
④ツール評価	-1.ニーズの反映のされ方
	-2.使い勝手

４．今後の展開

国土交通省では現在ＰＭ手法を複数の工事事務所で試験的に導入する試みを始めた段階にある。今後、検討した成果をもとに、国土交通省版ＰＭ手法の確立を図っていく必要がある。　　（山下、安原）

10.6.3　プロジェクトマネジメント手法の検討に関する調査（その３）

研究期間：平 11～平 12

担当：建設マネジメント技術研究室

【要旨】

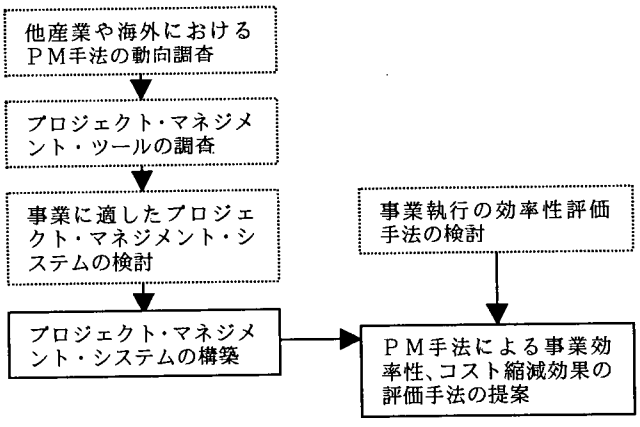
本調査は、プロジェクト管理の手法のグローバルスタンダードとなりつつあるプロジェクト・マネジメント（ＰＭ：Project management）手法について、公共事業への適用性を調査するものである。１２年度は前年度に引き続き工事事務所の抱える課題からＰＭ手法を導入するケースを類型化するとともにＰＭシステム（ＰＭツール）の構築を図り、ＰＭツールを用いた事業執行の効率性等の評価手法について検討・提案を行った。

１．調査目的

事業への住民参加や情報公開などを背景に、事業を円滑に進めるためのマネジメント技術も高度化している。プロジェクト管理の手法として、プロジェクト・マネジメント（ＰＭ）と呼ばれる手法体系が海外の様々なプロジェクトなどを通してグローバルスタンダードとなりつつある。本調査は、ＰＭ手法の公共事業への適用性を調査するものである。

２．調査方法

調査は前年度に引き続き、国土交通省（旧建設省）工事事務所を対象に事務所が事業を執行する上で抱えている課題等をヒアリングした結果から、公共事業への適用が考えられるプロジェクト・マネジメントを類型化するとともに、事業に適したＰＭシステム（ＰＭツール）の構築を行う。また、ＰＭ手法を用いた事業効率性等の評価手法について検討を行う。



図－１　調査概要

３．調査結果

３．１　工事事務所の抱える課題とプロジェクト・マネジメントの類型化

工事事務所を対象に事務所が事業を執行する上で抱えている課題等をヒアリングした結果、事務所が抱えている課題は各々異なり、これら課題の解決を図り事業の効率性を向上するためにＰＭ手法を導入することが考えられる。ＰＭ手法を導入するパターンを類型化すると以下のとおりである。

・「特定事業工程管理対応型」：特定の（一連の）事業に対してＰＭを導入することで、事務所の内部工程及び外部工程の進捗管理を確実に行い、所定の工期までに事業を滞りなく確実に完成させることを目的としたパターン。

・「事務所運営管理対応型」：特定の事業を対象とするのではなく、事務所が管轄する事業全般を対象に、予算管理や用地交渉等の協議記録等の確実な保存等を行うなど、事務所管轄事業の全容を容易に把握できることを目的としたパターン。

・「特定課題対応型」：事業遂行上、前例のないような外的要因に起因する課題に直面している場合を対象に、円滑な事業を進めるための方策としてＰＭ手法を導入するパターン。

なお、特定課題対応型の場合には、個々の課題別に適切なＰＭ手法を検討した上で導入を図る必要がある。

３．２　ＰＭツールの構築

ＰＭツールの開発にあたっては、事務所全体の管轄事業に係わる執行状況についてＰＭ手法を導入することを目的（「事務所運営管理対応型」）に以下の機能を具備するものとし、各データ間の連携を視野に Visual Basic で構築するものとした。構築したＰＭツールの活用イメージを図-2 に示す。

・予算管理（費目毎の執行管理）:各課毎の執行予定と執行状況をシステム上に保存し、予算管理者の執行率（実績）と執行予定を把握する。

・事業進捗管理：各調査、測量、設計、施工の状況（発注済み、工事完了、用地買収済み、設計完了）を把握する。また設計ストック、用地ストック等の状況把握する。

・交渉記録管理：用地交渉や施工協議などで住民との間でなされた約束事、交渉経緯などをシステム上で保存し、発注段階など、後に担当者が閲覧することにより、確実に情報伝達を行う。

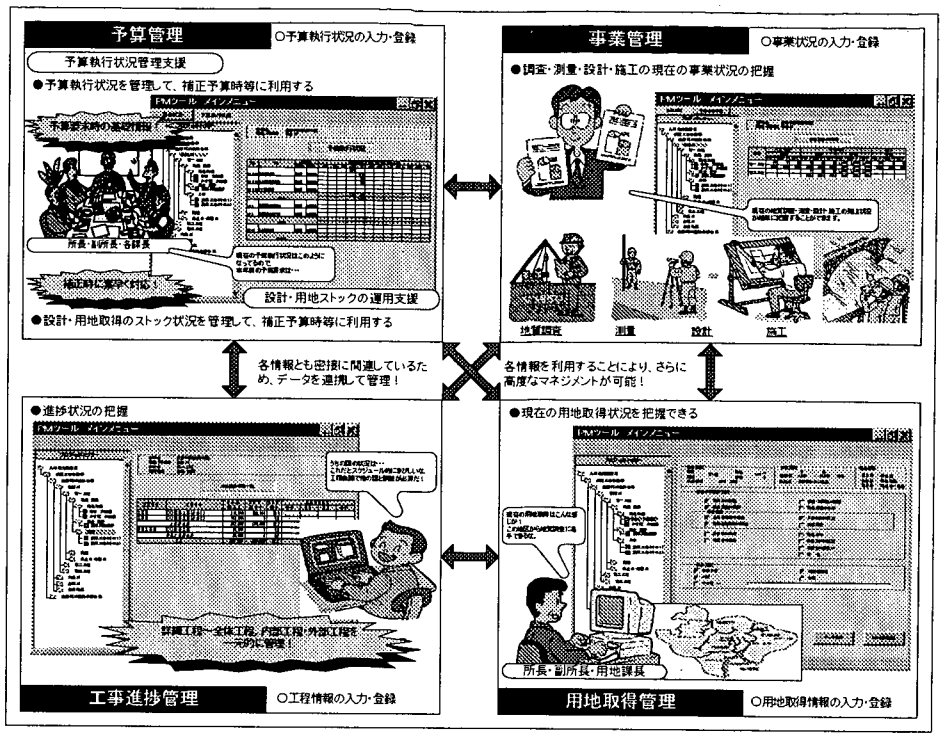


図-2　ＰＭツールの活用イメージ

なお、ＰＭツールを工事事務所に適用するにあたっては次のような課題が考えられ、具体の適用にあたってはこれら課題に対する対応を示していく必要がある。

・現行システムで扱っているデータについて二重入力が生じることによる、職員の負荷の増大

・ＰＭツールに依存する範囲と、従来方式との棲み分け

３．３　事業効率性等の評価手法

ＰＭ手法の導入により事業が円滑的かつ効果的に行うことが求められる。ＰＭ手法を導入することにより事業の効率性等の評価手法として、ここでは評価者に対して個別面談（ヒアリング）を行い、定性評価（5 段階評価）することを提示する。具体的な評価指標は表-1 に示すとおりであり、具体の評価者としては事務所長、副所長、担当課長、またＰＭツール担当職員が考えられる。

表-1　ＰＭ手法の評価指標

分類	評価項目
①全体評価	-1.導入目的の明確さ
	-2.適用対象業務の妥当性
	-3.適用対象業務の事前分析
②事前準備	-1.システム環境整備
	-2.職員への教育・訓練
③運用評価	-1.業務軽減への寄与
	-2.費用対効果
	-3.事業進捗度（定量化が可）
	-4.予算執行度（定量化が可）
	-5.外注コスト（定量化が可）
	-6.日々のデータ運用
	-7.トラブル発生時の対応措置
④ツール評価	-1.ニーズの反映のされ方
	-2.使い勝手

４．今後の展開

国土交通省では現在ＰＭ手法を複数の工事事務所で試験的に導入する試みを始めた段階にある。今後、検討した成果をもとに、国土交通省版ＰＭ手法の確立を図っていく必要がある。　　（山下、安原）

10.7　管路施工法の合理的な評価・選定手法に関する調査

研究期間：平 12～13
担当：施工研究室

【要旨】

本調査は、超小口径や超長距離の推進工法、止水性や耐食性の機能を維持した二次覆工省略型のシールド工法などの新技術・新工法を含めた下水管路施工法に関して、建設費だけではなく、維持管理費も含めたトータルコストによる評価を行い、現場条件に適合した合理的な施工法の選定手法を確立するとともに、コスト縮減方策を提案することを目的としている。また、トータルコストには、施工に伴う振動・騒音、路上占有による交通渋滞、掘削残土の発生、グラウト注入による土壌や地下水汚染などの周辺環境に及ぼす影響をコスト換算したものも含めて、評価することとした。12 年度は、推進工法を対象に適用条件別に分類・整理を行い、コスト縮減のための改善項目を整理した。また、地方自治体に対するアンケートおよびヒアリングを行い、コスト縮減に対する取り組みと維持管理の実態を調査した。

1．推進工法の分類・評価

表－1は、各種推進工法の適用範囲を整理したものである。礫質地盤への対応や長距離・曲線推進などコスト縮減に有効と思われるものについては、近年いくつかの新工法が開発されている。しかしながら、施工実績は少ないのが現状で、今後はより一層の長距離化、機械損料の低コスト化、積算基準の確立などが必要と思われる。また、周辺環境への影響をみると、泥水式がすべての項目について不利なものとなっている。

表－1　適用条件別推進工法分類表

工法名＼項目			適用管径	推進延長	適用土質			長距離・曲線推進	周辺環境への影響				
					粘土	砂	礫		道路占有	地下埋設物等への影響	騒音・振動	建設副産物	地下水汚染、地盤沈下等
小口径管	高耐荷力	圧入方式一工程	φ200～300	30m程度	○	△	×	×	○	△	○	○	○
		圧入方式二工程	φ250～700	50m程度	○	△	×	×	○	△	○	○	○
		オーガ方式	φ250～700	60m程度	○	△	△	×	○	△	△	○	○
		泥水方式一工程	φ250～700	100～140m程度	○	○	△	×	×	△	×	×	×
		泥水方式二工程	φ250～500	120～160m程度	○	○	△	○(新工法)	×	△	×	×	×
		泥土圧方式	φ250～700	60～80m程度	○	○	△	○(新工法)	△	△	△	△	○
	低耐荷力	圧入方式一工程	φ200～300	40m程度	△	×	×	×	○	△	○	○	○
		圧入方式二工程	φ150～450	50m程度	△	△	×	×	○	△	○	○	○
		オーガ方式	φ150～450	50m程度	○	△	×	×	○	△	△	○	○
		泥水方式	φ200～300	50～60m程度	○	○	△	×	×	△	×	×	×
		泥土圧式	φ200～450	50～60m程度	○	△	×	×	△	△	△	△	○
	鋼管さや管方式	圧入方式	φ400～800	10～30m程度	△	△	△	×	○	△	○	○	○
		オーガ方式	φ400～800	50～60m程度	○	△	△	×	○	△	△	○	○
		ボーリング方式二重ケーシング	φ400～800	50～60m程度	○	△	△	×	○	△	△	○	○
		ボーリング方式二重ケーシング	φ400～800	50～60m程度	○	△	△	×	○	△	△	○	○
		泥水方式	φ400～800	50～60m程度	○	○	△	×	×	△	×	×	×
中・大口径管	推進	刃口推進	φ800～3000	70～200m程度	△	△	△	×	△	×	○	○	○
	セミシールド	泥水式	φ800～3000	100～500m程度	△	○	○	○(新工法)	×	×	×	×	×
		土圧式	φ800～3000	70～350m程度	△	○	○	×	△	×	△	△	○
		泥濃式	φ700～2000	600m程度	△	○	○	○(新工法)	×	×	×	×	×

*適用土質等　○:適用可、△:条件により適用可、×:適用不可

**周辺環境への影響　○:小さい、△:やや大きい、×:大きい

これは、泥水処理設備を設置しなければならないため、作業ヤードが大きくなること、騒音・振動の発生源になること、掘削土砂が泥水となることなどによる。泥水式は、推進延長が他工法に比較して長く、また適用できる地盤条件も広いため、施工条件だけで見た評価は高いが、周辺環境への影響を外部コストとして計上した場合には、泥水式の総合評価が下がる可能性がある。

2．自治体に対するアンケート調査結果

調査対象は、東京都、横浜市、大阪市など全国各地の 24 自治体とした。調査の結果、維持管理コストの縮減のために望まれる項目として、以下のものが挙げられた。

・維持管理台帳の電子化
・簡易 TV カメラによる事前調査で、異常箇所を把握
・ライニング材の一元化
・更正管工法の基準化
・中・大口径管に対する更正管工法の開発

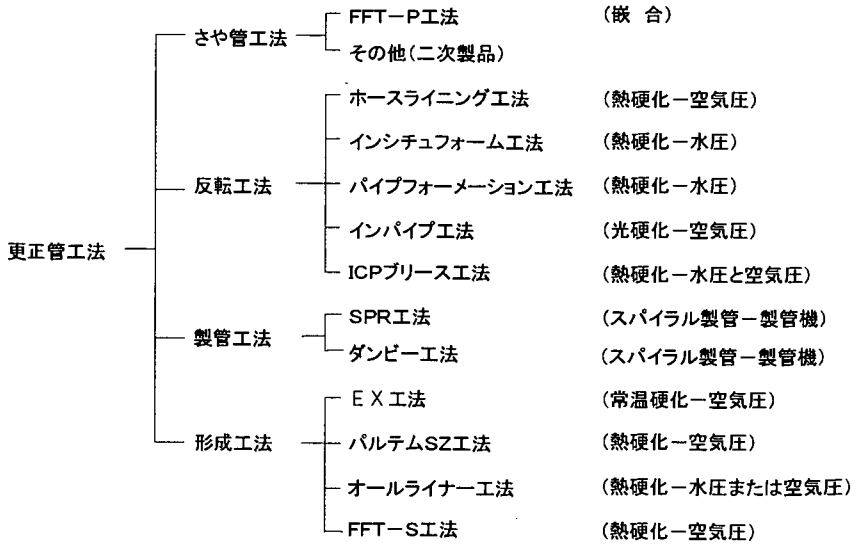
維持管理台帳の電子化については、すでに 10 ヶ所の自治体が実用化しており、そのうちの８ヶ所がコスト縮減効果があると回答している。また、管路の調査方法については、簡易 TV カメラによる事前調査で異常箇所を事前に把握し、通常の TV カメラによる調査コストを押さえる方法が望まれている。そのためには、精度の高い簡易 TV カメラの開発が必要となる。更正管工法に関しては、図－１に示すように様々な工法があり、ライニング材の一元化や既設老朽管の耐久性評価方法の基準化、中・小口径管への対応など多くの要望が挙げられている。更正管工法は、路上工事縮減に有効な工法であり、開削工法に替わって今後実績が増加すると予想され、基準化によるコスト縮減効果は大きいと考えられる。

また、外部コストを縮減する方策として、建設発生土のリサイクルに関する回答が多かった。具体的には、建設発生土の相互利用情報のネットワーク化、現場で改良できる処理装置の開発などが挙げられた。さらに、特殊な例であるが、発生土を船で運搬し、従来のダンプによる運搬に伴う騒音、排気ガスの削減がなされた事例もあった。一方、最近は抗菌剤を添加したコンクリートや下水汚泥のリサイクル材料を用いた下水管路も開発されており、建設段階で維持管理コストや外部コストも考慮した材料の選定評価を行うことも重要である。

3．今後の課題

下水道工事に付随して発生する交通渋滞などの外部コストについては、現状では評価した事例がない。今後は、環境影響評価のために提案されている各手法の適用性を検討し、外部コストを精度良く定量化する手法の開発が必要である。また、既設老朽管の耐久性の評価や維持管理コストの定量化を図り、ライフサイクルコストを算定する手法の開発も必要となる。

（大下、市村、井谷）



図－１　更正管工法の分類

外部コストを組み入れた建設事業コストの低減技術の開発

１１．外部コストを組み入れた建設事業コストの低減技術の開発

研究期間：平成 10～14 年度
プロジェクトリーダー：建設マネジメント技術研究官
藤本　聡

１．研究の背景：

建設コストの縮減は政府全体で取り組むべき重要な課題である。一方、建設活動による地球環境や生活環境への影響が問題視され、建設事業における適切な対応が喫緊の課題となっている。また、国民の建設事業に対するニーズが多様化するなか、合意形成に向けた取り組みも益々重要な課題となっている。このため、建設事業を国民の理解を得ながら進めていくに際しては、単に内部コストの縮減だけでなく外部コストを含めた総合的なコストの評価を行うことが重要である。しかし、建設事業における外部コストの実態は十分把握されておらずその評価手法も確立していない。

以上のことから、今後の建設事業の実施にあたっては、外部コストを適切に評価し、環境への影響等を低減させる技術などの普及により総合的に最適な工事・工法の選定を可能とするコスト縮減を推進して行くことが求められている。

２．研究の目的：

①外部不経済の実態把握とそのコスト換算手法の開発
②総合的な建設事業コストの評価手法の開発
③外部コストを低減する新技術の開発
④新技術を有効活用するシステムの提案

３．これまでの研究成果：

①外部不経済の実態把握とそのコスト換算手法の開発

建設事業における外部コスト評価の手順を整理した。その結果、選択肢の明確化、外部コスト項目の選定、外部コストの評価方法の決定、外部コストの計測という手順を設定した。また、各段階における外部コスト評価の考え方や具体的方法について整理した。

②総合的な建設事業コストの評価手法の開発

外部コストの内部化調査、道路事業コストの算出、維持修繕工事の外部コスト試算、トンネル工事の外部コスト試算、総コストの計測試算を行った。その結果、内部コスト化によるコスト変化の定量的把握等ができた。道路事業コストの算出では、機会損失を考慮したバイパス事業の費用便益の推計が可能であることが明らかとなった。維持修繕工事の外部コスト試算では、多車線道路が多く存在する市街化された地域では、信号交差点の影響を含めた外部コスト評価が必要であることが明らかとなった。トンネル工事の外部コスト試算では、外部コストを考慮するとトンネル延長、土被りに関係なく山岳工法が最も安価であることが明らかとなった。総コストの計測試算では、道路事業における概略設計段階における最適路線の設定を試みた。

③外部コストを低減する新技術の開発

建設発生木材、コンクリート用骨材、環境にやさしい塗料について調査・検討を行った。その結果、建設発生木材の調査では、リサイクル推進のための施策を検討する資料が得られた。コンクリート用骨材の調査では、砕砂を使用した場合に増加する単位水量を低減させる方法を明らかにした。環境にやさしい塗料の耐

久性調査では、塗料の耐久性検討及び従来塗料に含まれる鉛などの有害重金物を含むケレンダストの飛散防止策について検討した。

④新技術を有効活用するシステムの提案：

現状の新技術情報提供システム（NETIS）に登録されている民間の技術開発目標毎に、発注者側での活用実態を調査し、技術開発目標と活用実態の対比し、分析を行った。さらに、これまでの研究成果を受け、有効な新技術情報流通システムの提案を行った。

－外部コストを組み入れた建設事業コストの低減技術の開発－

個別研究課題目次

11.1　外部コストの概念整理、計測、評価手法の開発……（環境計画研究室）…288

11.2　内部コストの実態把握、外部コストの内部化手法調査……（建設システム課）…290

11.3　道路事業における外部コストの実態把握、評価手法の開発……（道路研究室）…292

11.4　維持補修事業における外部コストの実態把握、評価手法の開発……（施工研究室）…294

11.5　トンネル施工法における外部コストの実態把握、評価手法の開発……（トンネル研究室）…296

11.6　総コストの計測及び評価手法の開発に関する研究……（建設システム課）…298

11.7　建設汚泥、建設発生木材等リサイクル促進技術の開発……（施工研究室）…300

11.8　低品質骨材・再生骨材の利用用途拡大技術の開発……（コンクリート研究室）…302

11.9　環境にやさしい塗料技術の開発……（化学研究室）…304

11.10　建設技術情報流通システムの構築に関する調査……（建設ﾏﾈｼﾞﾒﾝﾄ技術研究室）…306

11.1　外部コストの概念整理、計測、評価手法の開発

研究期間：平成10～12年度
担当：環境計画研究室

【要旨】
外部コスト評価のガイドラインの作成を想定し、評価手順を整理するとともに、各段階における評価の考え方や具体的方法について検討し、ガイドラインのたたき台を作成した。

1. 研究目的

本研究は、建設事業の各段階において、事業者が負担していないが社会全体として負担しているコスト(外部コスト)を適切に考慮した意思決定を行うことを目的として、外部コストを定量的に評価する手法を開発するものである。

平成12年度は、外部コスト評価のガイドラインの作成を想定し、外部コスト評価の手順を整理するとともに、各段階における評価の考え方や具体的方法について検討した。

2. 研究方法

建設事業の各種意思決定場面において外部コストを評価するときの評価手順について検討し、**図1**に示す手順を設定した。

これに従い、各段階における評価の考え方や具体的方法について検討し、ガイドライン案として整理した。

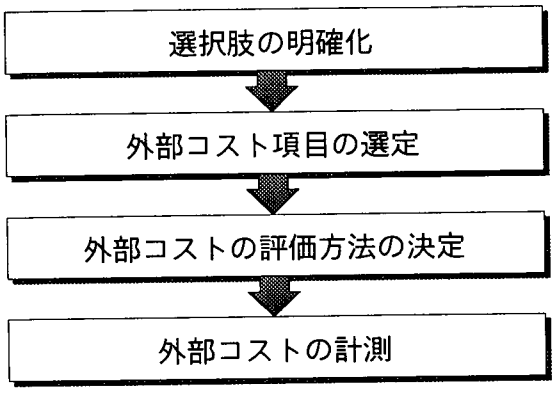


図1　外部コスト評価の手順

3. 研究結果

以下に、設定した外部コストの評価手順に従い、ガイドラインとして規定すべき内容について述べる。

(1) 選択肢の明確化

事業に実施に係る意思決定は、複数の選択肢から1つを選択することである。したがって、意思決定場面において外部コスト評価を行う際には、選択の対象となる選択肢を明確化しておく必要がある。選択肢は、次の事項に留意して設定する。
・実現可能かつ一定の合理性を持つ複数の選択肢を設定する
・選択肢の基本的諸元や特徴などを対照しやすいように整理する
・選択肢の評価結果を踏まえて選択肢の内容を修正していく

事業を遂行する上での意思決定には大小様々なものがあるが、外部コスト評価を行う場面としては、

・費用や効果が異なる複数の代替案から1つの案を選択する場合
・何らかの効果を狙った対策や新技術の採用・不採用を決定する場合

などが考えられる。評価にあたっては、複数の選択肢を明示し、比較対象を明確化することが不可欠である。また、選択肢の設定にあたっては、当該選択肢が実現可能であり、かつ一定程度の合理性を備えているかなどの観点から、選択肢を絞り込んでおくことが望ましい。

(2) 外部コスト項目の選定

評価すべき外部コスト項目の選定にあたっては、必要な項目が漏れることが無いよう幅広く検討するとともに、実際に評価作業を行うべき項目を、事業の特性、地域の状況等の条件を踏まえて、選択肢の選択に影響すると思われる項目を選定する。

評価を行う外部コスト項目は、適切な意思決定を行うために考慮すべき項目であり、当該事業の特性、地域の状況等の条件を踏まえて、選択肢間で差異が生ずる項目を選定するものとし、漏れがないように体系的に整理する。

(3) 外部コストの評価方法の決定

外部コストの評価は、内部コストと合わせた総合的な評価を容易にするため、可能な限り貨幣価値で評価することが望ましいが、貨幣価値による評価が困難な場合や不適切な場合は貨幣価値によらない評価もありうる。また、貨幣価値で評価する場合には、外部コストが多段階にわたり波及していくことがあることに十分留意し、波及プロセスの分析を踏まえて適切な計測事象と計測手法を選定することが必要である。

外部コストの評価方法の決定フローを**図2**に示す。外部コストの性質によっては、慎重に貨幣換算を実施すべきものがある。例えば、唯一性(唯一無ニの資源に影響する内容)を持つ外部コスト項目については、貨幣化並びにその結果の合意形成が困難な場合もあることから、評価方法―貨幣価値でない定量的評価とすべきか、定性的評価とすべきか―などを十分に検討する必要がある。

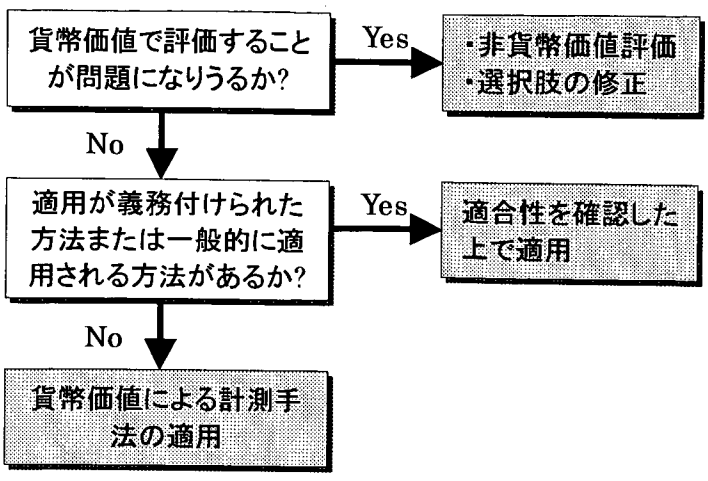


図2 評価方法の決定フロー

計測事象及び計測手法の選定にあたっては、外部コストの波及プロセスの検討にもとづき、波及プロセス内の各事象について、どのような計測方法で計測可能かを検討し、計測事象と計測手法の最適と思われる組み合わせを選定する(**図3**)。

計測事象と計測手法を選ぶ際の選択基準としては、大きく「手法適合条件」と「調査制約条件」に分けられ、それらを勘案した総合な評価に基づき選定することになる。手法適合条件としては、①非利用価値が計測できるかどうか、②直接計測なのか便益移転なのか、③バイアスや恣意性の余地はどの程度か、④計測精度はどの程度か、などがある。調査制約条件としては、①調査期間、②調査費用、②情報流出の可能性、などがある。

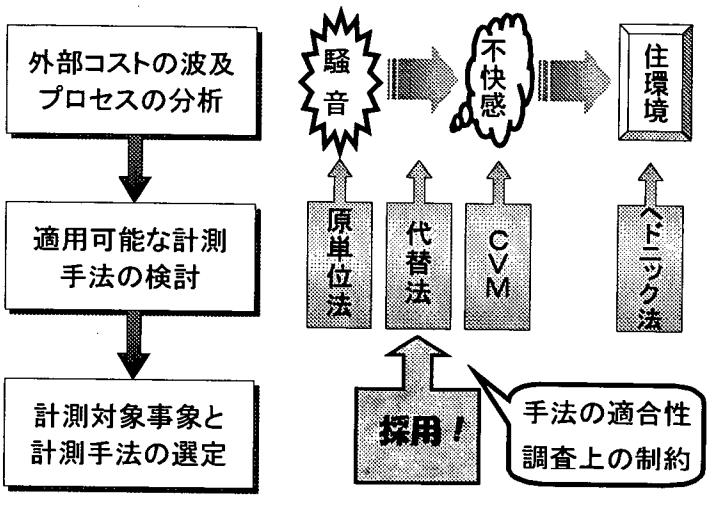


図3 計測事象と計測手法の選定フロー

なお、社会的関心が高い項目や、選択肢間の計測値の差が小さい場合などで、複数の計測対象事象や計測手法が適用可能な場合には、複数の方法で計測を実施し、最終的な意思決定材料として幅を持たせた結果を提示することも考慮すべきである。

(4) 外部コストの計測

外部コストの計測にあたっては、計測手法の手順を十分に理解し、必要データを収集したうえで、手順にしたがって実施する。

具体的な計測の方法は個別の事例によって千差万別であるが、一般的な注意事項としては、①供用段階のコスト算定に必要となる社会的割引率や物価上昇率、また供用期間等は各事業分野(あるいは個別事業)ごとに設定して明示すること、②計測結果は、総コストによる代替案比較、代替案ごとの外部コスト項目別構成比、異なる外部コスト項目ごとの算定精度の違い等に留意しながら評価をおこなうこと、等が挙げられる。

(安田、小路、齋藤)

11.2　内部コストの実態把握、外部コストの内部化手法調査

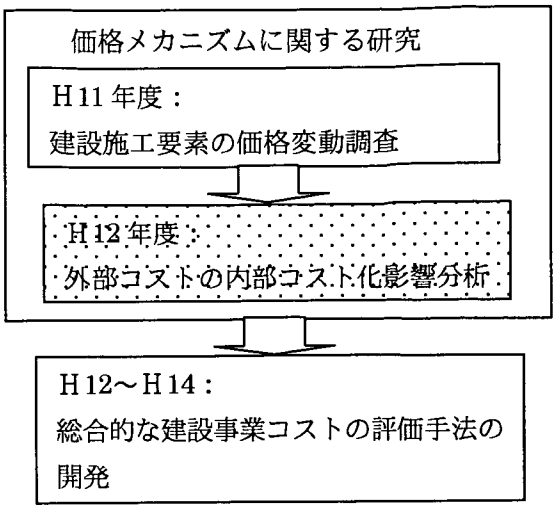
研究期間：平11～平12
担当：建設システム課

【要旨】

本研究は、総合技術開発プロジェクト「外部コストを組み入れた建設事業コストの低減技術の開発」の一環として実施したもので、総合的な建設事業コストの評価手法の開発への活用を目的としている。

12年度は、築堤護岸工事について、直轄工事の積算データを用いて外部コスト対策費用のコスト実態把握を行うとともに、排出ガス対策型の建設機械について内部コスト化費用を試算し建設コストへの影響の把握を行った。

その結果、外部コスト対策費用と内部コスト化によるコスト変化の定量的把握ができた。



図－1　研究フロー

1.研究目的

建設コストは、機械・材料・労務の各費用を市場価格や損料などの形で積算し、入札を経て確定されるため、外部コスト低減努力やコスト縮減努力の評価にあたっては、建設コストを構成する価格要素のメカニズムを把握する必要がある。また、価格を構成する要素の種類によっては、価格決定にあたり他の影響要因が大きく外部コスト低減努力やコスト縮減努力が評価されない問題がある。このことから、本研究では、総合的なコスト評価を行うに当たり、外部コストに対応した価格構成要素の実態と建設コストへの影響の把握を目的とし、代表的な機械等に着目して、外部コスト対策費用の実態把握、内部コスト化費用の試算などを行ったものである。

2.研究方法

2.1 外部コスト対策費用の実態把握

実態把握は、国土交通省地方整備局工事事務所の平成10年度工事積算実績データ（積算担当者が任意に作成した固有データは含まず）を用いて、外部コスト対策費用項目のコスト分析を行った。対象は工事工種体系レベル1工事区分の築堤護岸工事とし、作成済みの外部コスト整理シートと積算項目の関連付けを検討した上で、レベル4工種、レベル6の建設機械（指定機械）及び材料（リサイクル材料）の集計を行った。

2.2 内部コスト化費用の試算

外部コストの内部コスト化が建設コストにどの程度影響を与えているかを把握するため、築堤護岸工事の環境対策型建設機械（排出ガス対策型建設機械）を対象として内部コスト化費用の試算を行った。試算は、平成10年度工事積算実績データを用いて、従来機種の価格と対策型機種の価格差を使用して行った。

3.研究結果

3.1 外部コスト対策費用の実態把握

築堤護岸における指定建設機械（排出ガス対策型）のうち、積算データより抽出可能な機種はバックホウ・ブルドーザ・トラクタショベルである。それぞれの機種における排出ガス対策型の金額シェアは、バックホ

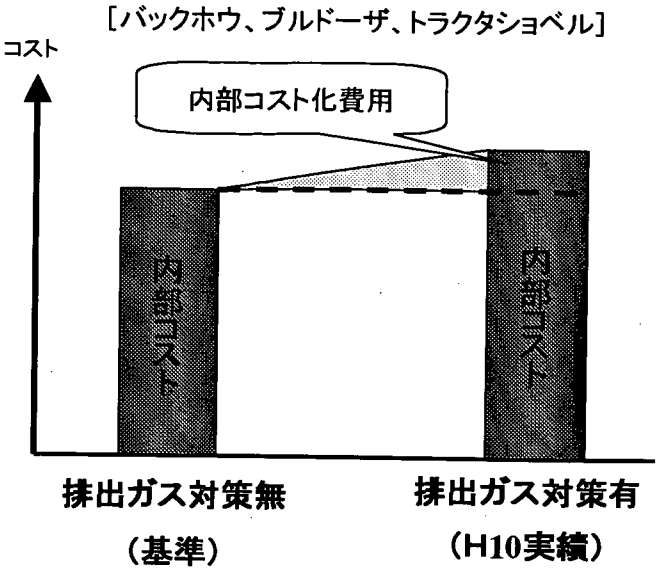
ウで99.6%、ブルドーザで95%、トラクタショベルで89%となっており、対策型の使用が定着している。

これらの対策型機械は、地盤改良工、矢板護岸工、法覆護岸工、擁壁護岸工、水制工の5工種で使用されており、築堤護岸工事を構成するレベル2工種の約半数に該当する。

築堤護岸工事全体に占める排出ガス対策型建設機械の金額シェアは、約3.7%で、費用は約12億円という結果であった。また、①の築堤護岸工事に含まれる機械全体の金額においては、約24%のシェアであった。

3.2 内部コスト化費用の試算

築堤護岸工事の指定建設機械のうち排出ガス対策型機械が採用されているバックホウ、ブルドーザ、トラクタショベルの3機種を対象に、平成10年度工事積算実績データの実績数量を用いて内部コスト化費用を試算した。試算は、実績数量が全て従来機種価格であった場合を基準とし、H10年度の実績費用との価格差をもって内部コスト化費用とした。(図-2)。平成10年度実績におけるバックホウ、ブルドーザ、トラクタショベルの3機種全体の排出ガス対策型の採用率は、金額ベースで98%を占めており、普及が進んでいる状況である。



図－2　内部コスト化費用

試算の結果、この条件下での内部コスト化費用(内部コストの増加費用)は、7600万円であった。この内部コスト化費用は、バックホウ、ブルドーザ、トラクタショベルの3機種が全て従来型であったとした場合の合計費用に対して6.5%の増加にあたる。また、排出ガス対策型を全く採用していないとした場合の全機械費用に対しては1.5%の増加に当たり、築堤護岸工事全体額に対しては0.2%の増加であった。

本試算は、単年度だけをケースとした部分的なものであるが内部コスト化費用の把握が可能であったことから、積算実績データ(データベース)は総コスト評価を行う場合の内部コスト化費用の分析に有用なツールと考えられる。しかし、現在の積算実績データ(データベース)は、例えば、騒音対策型建設機械のように従来機種と騒音対策型機種の損料が同額のものは分類してデータ抽出できないこと、積算担当者が任意に作成したデータは集計が困難であることなどの問題もあるので、今後、外部コスト関連項目のデータ抽出に関する改善を図り、継続的に内部コスト化量を検証して行くことが必要である。また、新しい技術はその普及とともに価格が低減することから、総合的なコストとして内部コストを評価する場合、特にライフサイクルを考慮し評価する場合には、内部コストの価格経年変動の影響を把握することも必要である。

4.主な研究成果物

・河上、松井、神山:「外部コストの内部化による価格変動について」、土木学会第18回建設マネジメント問題に関する研究発表討論会、2000.12

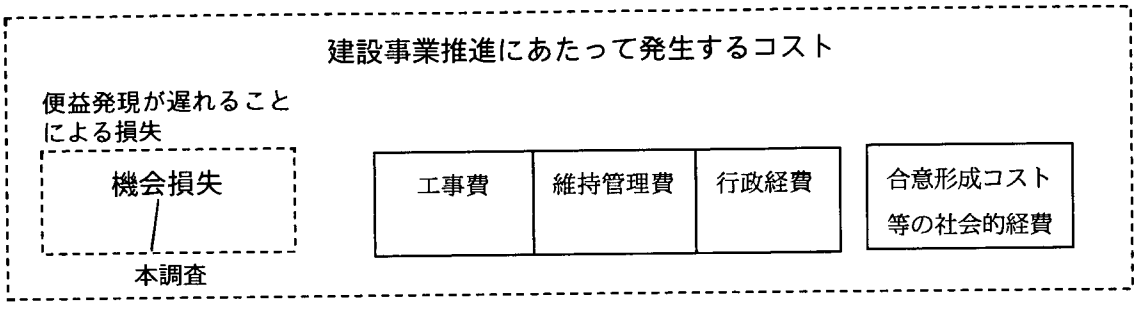
(松井健一、神山守、河上誠)

11.3　道路事業における外部コストの実態把握、評価手法の開発

研究期間：平 10～平 12
担当：道路研究室

【要旨】
本研究では、平成 10 年度から道路事業実施における直接経費以外の行政経費、合意形成等に要する社会的経費の推計に関する研究を行ってきたが、平成 12 年度は、国道 1 号静清バイパスをモデルケースとして、機会損失（事業遅延による逸失便益）を推計するための前提条件として、事業遅延の要因分析を行ったものである。その結果、用地買収の遅れや埋蔵文化財発掘による調査の延長等の要因を細かく分析することにより、機会損失を考慮したバイパス事業の費用便益の推計が可能であることがわかった。

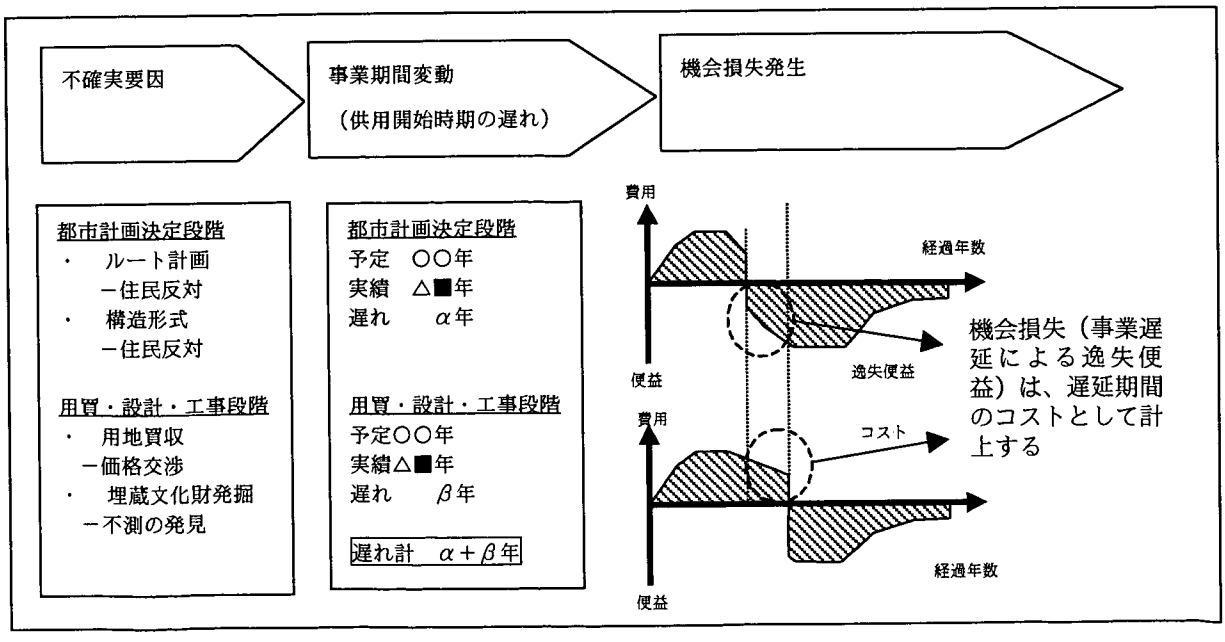
1．研究目的
一般に、公共事業における「機会損失（事業遅延による逸失便益）」は、本来、事前に予測でき、コントロール可能であった要因をうまくコントロールできない（例えば、住民反対、埋蔵文化財発掘）ことによって計画事業期間と比べ実際の事業期間が長期化し、便益の発現が遅れることによって生じる。
本研究では国道 1 号静清バイパス事業をモデルケースとして、①事業期間延長の実態とその要因を把握するとともに、②機会損失の定量評価を実施し、このうち今回のモデルケースに特有の埋蔵文化財発掘を要因とする機会損失を抽出することにより、今後の費用便益推計手法検討の基礎資料とすることを目的とする。



2．研究方法
研究は以下の方法による。

① 事業期間延長の実態とその要因把握
・静岡国道工事事務所発行の工事誌、静岡県埋蔵文化財研究センターの事業記録、事業実績等による情報収集を実施
② 機会損失の定量評価（推計すべき機会損失の概念を図－1に示す）
・①のデータをもとに機会損失を推計する
・このうち、埋蔵文化財発掘を要因とする機会損失を抽出する

図－1　本研究の枠組（概念図）



３．研究結果

３．１　国道１号静清バイパス事業の概要

昭和４３年度に事業化され、沿線公害を理由とする住民反対、用地買収交渉難航、埋蔵文化財発掘の不測の発見による事業の遅れを経て、平成９年３月に清水市興津東町～静岡市丸子二軒家間の延長24.2kmの全線暫定供用となった。

＜事業経緯＞

昭和３８年	**４月**	**調査開始**
昭和４１年	１１月	ルート発表
昭和４２年	１月	住民がルート変更を要求
昭和４３年	**４月**	**事業化**
昭和４６年	**３月**	**路線計画都市計画決定**
昭和４８年	７月	環境を考慮したバイパス構造案を地元に提示
昭和４９年	１２月	反対同盟協議会発足（一本化）
昭和５０年	６月	環境悪化を理由にルート変更で地元と対立
昭和５１年	３月	「掘割」「高架」の道路構造案を地元に提示
昭和５４年	２月	千代田地区測量再開
昭和５５年	１０月	千代田地区に買収価格提示→地権者反発
昭和５７年	**３月**	**都市計画変更（清水市八坂～静岡市伝馬町　高架）**
昭和６１年	７月	静岡市千代田地区の交渉難航
平成元年	１０月	土地収用法による事業認定申請
平成４年	３月	上土遺跡／岳美遺跡が新たに発掘対象に→調査期間延長
平成５年	１月	千代田地区土地明渡の自主撤去完了
平成６年	**７月**	**全線用地買収完了、未供用区間全線着工**
平成９年	**３月**	**全線暫定供用**

３．２　計画当初の事業期間設定と工程管理の考え方

静清バイパスでは、迂回路線のない渋滞ボトルネック区間を早期に改善（早期部分供用）することを目的として、清水側起点からバイパス事業を着手する等、事業目的からみて最も事業効果の高い区間から事業に着手している。

ただし、用地買収、住民反対にかかる期間については、不測の事態として扱われ、事業期間に与える影響は明示的に取り扱われてこなかった。その背景には、これらの不測の事態を未然に防止もしくは最少化するためのソフト技術（情報公開、住民の計画参加、パブリックインボルブメント等）が従来の道路事業では未成熟であったことが挙げられる。

３．３　計画当初からの事業期間変動の実態と要因分析

事業全体の遅れは、当初予定からみれば、計１５年程度であると推計した。主たる遅れの要因は、①公害を理由とした沿線住民のルート反対（変更要求）と、②住民意向を踏まえた構造形式（興津～八坂、清水～昭府）変更、③用地価格交渉、④不測の埋蔵文化財発掘が挙げられる。これらの要因については、住民反対による事業長期化が用地買収価格交渉難航をもたらすといった、「遅れが遅れを呼ぶ」といった要因間の連鎖関係も認めることができる。

３．４　埋蔵文化財発掘が事業期間に与える影響の分析

都市計画決定時期と変更時期との間の期間を、不測の事態による期間延長と捉えることができる。この点に注目し、事業期間変動要因別に、事業期間の遅れへの影響度合いをはかると、①、②については、都市計画変更に要した期間から計１１年程度と推計、③、④については、都市計画変更後に工事事務所で設定した供用予定年次と実際の供用年次の差分から計４年程度の遅れをもたらしたと推計される。

また、事業費については、完成の遅れによって、物価上昇の大きい平成元年以降の供用時期間近に事業量が集中したことに加え、難工事区間が多く事業費がかさみやすい区間であったことから、国道のバイパス事業としては全国でもトップレベルの事業費となった。

４．まとめと今後の研究課題

以上の要因分析を基に、機会損失を考慮したバイパス事業の費用便益の推計を行うことが可能であることがわかった。

今後は静清バイパスをケーススタディとして、これらの具体的推計を行うこととする。なお、推計に際しては、機会損失をコストとして計上する手法を採用するが、参考として便益にマイナス計上する手法でも推計し、それら手法の推計値の違いについても検証を行う。

（瀬尾、見坂）

11.4　維持補修事業における外部コストの実態把握、評価手法の開発

研究期間：平成 10～14 年
担当：施工研究室

1．研究の背景

過去の研究成果より、舗装維持･補修工事における工事費の割合が大きいものは、オーバーレイと表面処理工である。また、工事における外部コストを含めた総コストを低減するためには、工事形態や規制方法の改善等によって、交通渋滞を抑えることがポイントになることが分かっている。12 年度の研究は、渋滞が予想される 2 車線道路および多車線道路の舗装修繕工事を対象に、交通渋滞による影響をコスト化してトータルコストを算出し、工事費との相関を検討した。

2．現場計測

2．1　計測概要

実際の舗装工事における外部コストを算出するために、交通量および走行速度について現場で計測した。

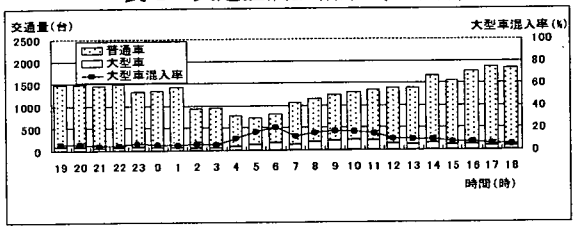
交通量調査は、車線別、4 車種別で 15 分ごとの集計により 24 時間実施した。走行速度調査は、工事区間とその前後区間で、1 時間に 2 回実車を走行させて 24 時間実施した。対象現場は都内の多車線道路 4 箇所・地方部の 2 車線道路 2 箇所で行われ、多車線道路は松原遮音壁設置工事、2 車線道路は杉崎舗装工事（杉崎）を示す。

2．2　多車線道路の調査結果

2．2．1　交通量調査結果

松原遮音壁設置工事の最多交通量は約 1,500 台(22 時台)であった。しかし、当該工事において 22 時台に渋滞は発生しなかった。大型車混入率は、5 時前後をピークに深夜から早朝にかけて高い値を示している（表-1)。

表-1　交通量調査結果（4 車線）

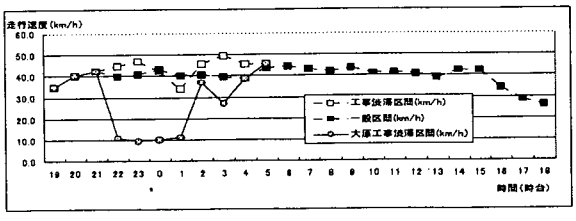


松原遮音壁設置工事

2．2．2　走行速度調査結果

一般区間の走行速度の分布は、路線により異なった傾向を示している。松原遮音壁工事における夜間帯の一般区間の走行速度は、ばらつきがみられ、概ね 30～50㎞/h である。また、夜間帯の時間当たりの最大交通量（約 1,500 台）を計測したが、走行速度の低下がほとんどみられなかった。これは当該工事の交通規制より手前にて別の工事規制があり、そこで交通渋滞が生じていたためと考える（表-2)。

表-2　走行速度調査結果（4 車線）



松原遮音壁設置工事

2．2．3　多車線道路の外部コスト検討結果

舗装工事による損失費用計算プログラムを用いて、車線規制による交通渋滞を解析した結果（表-3)、実際に観測した状況と異なっていた。松原遮音壁設置工事は、現場状況から当該工事部での渋滞は発生せず、解析結果と異なる結果となった。これは、約 1㎞ 手前の別途工事部で渋滞が確認されており、ある時間内に流入する交通量の密度の違いが、交通渋滞に影響を及ぼしたためと考える。

表-3　多車線道路外部コスト検討結果

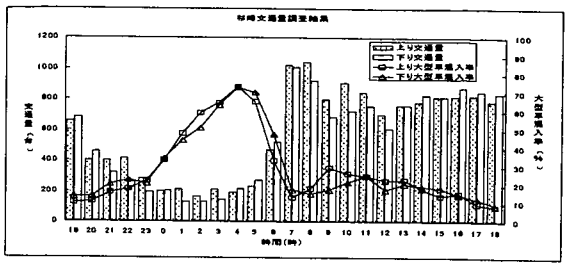
調査対象箇所	車線規制の解析結果							実際の状況
	交通容量(pcu/h)	総遅れ時間(h)	最大遅れ時間(min)	渋滞台数 pcu	渋滞台数 乗用車(台)	渋滞台数 大型車(台)	平均渋滞長(m)	
新町歩道環境整備工事	1100	794	22	3597	2817	390	823	渋滞長は100m程度(一時的)。
常盤台路面復旧工事	1100	0	0	0	0	0	0	規制部手前(約200m)の別途工事の影響で渋滞は生じない。別途工事部は本工事との間にある交差点の影響で渋滞が発生。
保木間歩道整備工事	1100	747	13	5284	3214	1035	857	規制部末より前方の信号交差点の影響で渋滞発生。
松原遮音壁設置工事	1100	7851	79	9843	8190	827	4513	規制部手前(約1km)の別途工事の影響で渋滞は生じない。別途工事部は渋滞が発生。

2．2．4　多車線道路の外部コスト検討における今後の課題

多車線道路での舗装工事における走行時間損失に関する外部コストをより正確に評価するためには、今後、次の事柄を検討する必要があると考える。①他車線道路の多く存在する市街化地域は、工事交通規制前後に

信号交差点が存在する。従って、信号交差点の影響を評価対象とする手法を検討する。②渋滞の発生予測は、最終的に交通容量に影響されることから、基本交通容量を適切に定めて解析を行う必要がある。

表-4　走行速度調査結果（2車線）



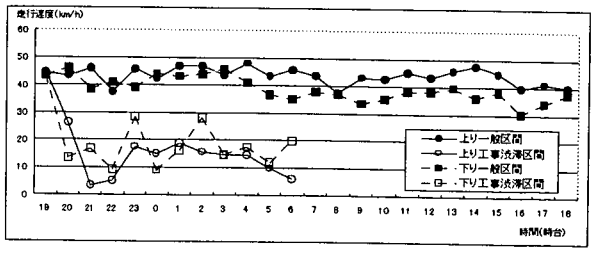
杉崎舗装工事（杉崎）

2．3　2車線道路の調査結果

2．3．1　交通量調査結果

夜間帯20時～翌6時までの時間当たりの最大交通量(上下合計）は、約850台（20時台）となっている（表-4)。なお、上りの渋滞長の最大は22時頃で約1200m、下りの渋滞長の最大は21時頃で約400mとなった（規制長は約200m)。この結果、交通渋滞長は交通量とともに規制長にも大きく影響することが確認できた。

表-5　走行速度調査結果（2車線）



杉崎舗装工事（杉崎）

2．3．2　走行速度調査結果

一般区間の走行速度の分布は、ほぼ同様の傾向を示している。夜間帯の一般区間の走行速度は35～45km/hとなっている。工事時間帯の渋滞区間で走行速度が最も低下したのは、40km/h程度（21時台）の低下がみられた。これは、渋滞長の最大(1,200m)が観測された時間帯であった(表-5)。

2．3．3　2車線道路の外部コスト検討結果

舗装工事による損失費用計算プログラムを用いて、車線規制（片側交互通行）による交通渋滞を解析した結果を表-6に示す。実際の工事では交通渋滞が観測されたが、解析では交通渋滞は小さい結果となった。これは、1サイクルの青時間内（人の合図による誘導）にそれぞれ処理可能な交通量であったため、解析上、時間当たりで平均化された交通量では、渋滞が低く算出すると考える。

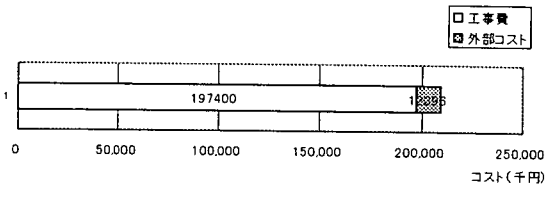
表-6　外部コスト検討結果（2車線）

対象工事	総遅れ時間(h)	最大遅れ時間(min)	渋滞台数			走行時間損失費用(千円)			観測された渋滞の最大長さ
			pcu	乗用車（台）	大型車（台）	合計	乗用車	大型車	
杉崎舗装工事（杉崎）	673.39	11.1	6,906	3,839	1,534	3,099	1,934	1,165	上1,200m、下400m
杉崎舗装工事（大足）	0	0	0	0	0	0	0	0	上200m、下600m

2．3．4　2車線道路の実工事費と外部コスト

解析により外部コストが発生する結果となった杉崎舗装工事（杉崎）における、実工事費と外部コストの構成は表-7のとおりである。今回計測した杉崎舗装工事（杉崎）の外部要因（速度低下、渋滞損失）をコスト化した結果、工事費に対して6%程度の外部コストが発生することが分かった。

表-7　実工事費と外部コスト構成（杉崎分）



2．3．5　2車線道路の外部コスト検討における今後の課題

以上のことから、2車線道路での舗装工事における走行時間損失に関する外部コストをより正確に評価するためには、今後、以下の事柄を検討する必要があると考える。

①本解析における交通量の評価（入力）単位は1時間であり、解析上その1時間の交通量は平均化するため、実際の現象において1サイクルで解消可能な程度の交通渋滞は、本解析方法では交通渋滞として評価できないことがわかった。したがって、これを評価する手法を検討する必要がある。

②多車線道路と同様に、交通渋滞の発生予測は、最終的に交通容量に決定されることから、基本交通容量を適切に定めたうえで解析を行う必要がある。

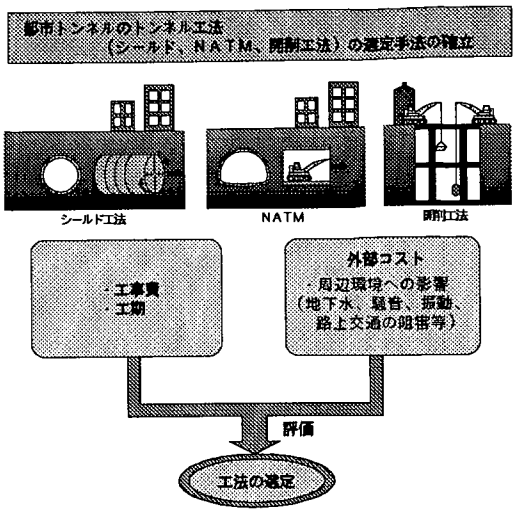
（大下、青山、橋本）

11.5　トンネル施工法における外部コストの実態把握、評価手法の開発

研究期間：平１１～１２
担当：トンネル研究室

【要旨】

本研究は、都市トンネルの建設工法（山岳工法、シールド工法、開削工法）の選定にあたり、これまでコストとして考慮していなかった地上部での交通規制、騒音等の周辺環境に与える様々な影響を「外部コスト」として評価し、外部コストを含めた評価方法を提案することを目的としている。１２年度は、対象トンネルを想定したケーススタディを実施し、直接工事費に外部コストを加えた値を用いて比較・分析を行った。その結果、工事費では土被りが浅い場合は開削工法が最も経済的であるが、外部コストを考慮するとトンネル延長、土被りに関係なく山岳工法が最も安いことが分かった。また、開削工法とシールド工法では、距離が短い場合は開削工法が有利であるが、距離が長い場合は、ある土被り以上になるとシールド工法が有利となることが分かった。



1.研究目的

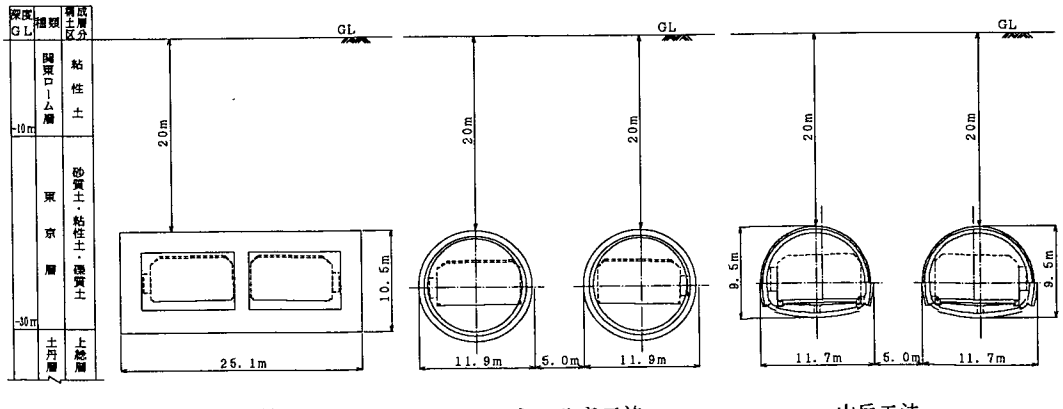
本研究は、都市トンネルの建設工法（山岳工法（NATM)、シールド工法、開削工法）の選定にあたり、これまでコストとして考慮していなかった地上部での交通規制、騒音等の周辺環境に与える様々な影響を「外部コスト」として評価し、外部コストを含めた評価方法を提案することを目的としている。

表－１　ケーススタディの試算条件

掘削方法	延長(m)	地上部規制条件	土被り(m)	備考
開削工法	200 500 1000	工事区間全線で交通規制(2車線を1車線に規制)	5	山留め:SMW
			10	
			20	
			30	山留め:連壁
			40	
シールド工法		立坑工事期間のみ交通規制(2車線を1車線に規制)	5	200,500mはシールド機1台で施工、1000mはシールド機2台で施工
			10	
			20	
			30	
			40	
山岳工法			5	補助工法:先受工(AGF)、脚部補強、地盤改良
			10	
			20	補助工法:地盤改良、脚部補強
			30	補助工法:地盤改良
			40	

2.研究方法

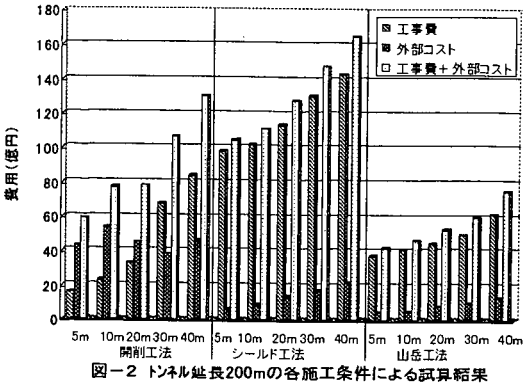
都市トンネルを想定したケーススタディを実施し、直接工事費に外部コストを含めた比較・分析を行い都市トンネルの工法選定手法の検討を行った。ケーススタディは、２車線規模の道路トンネル（上下線）を想定し、表－１に示すように掘削方法として山岳工法、シールド工法、開削工法の３工法について、それぞれトンネル延長、地上部の規制条件、土被りを設定して実施した。図－１に各掘削工法を採用した場合のトンネル断面の例を示す。各条件毎にそれぞれのトンネル工事費および外部コストを算出し、



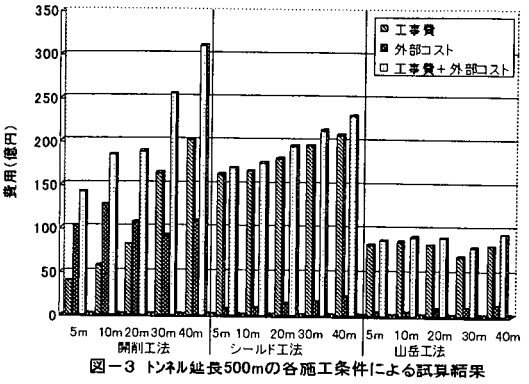
開削工法　　シールド工法　　山岳工法

図－１　ケーススタディに用いたトンネル断面（土被り20mの場合）

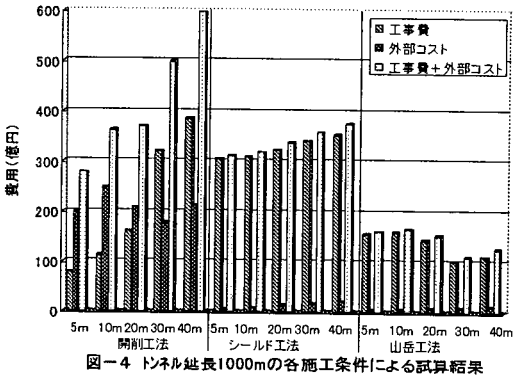
都市トンネルにおいて外部コストを考慮した場合の工法選定について検討した。なお、想定した土質条件は、図－１に示すような関東西部の台地部地層とし、GL-10mまでは関東ローム層、その下部GL-30mまで東京層、GL-30m以深は自立性の高い固結粘性土とした。また、地下水位はGL付近とした。なお、外部コスト試算方法は、１１年度と同様に「道路投資の評価に関する指針（案）」[1]に準拠した。



図－２ トンネル延長200mの各施工条件による試算結果



図－３ トンネル延長500mの各施工条件による試算結果



図－４ トンネル延長1000mの各施工条件による試算結果

３.研究結果

図－２～４に今回試算を行った条件毎の工事費、外部コスト、工事費＋外部コストの試算結果を示す。

工事費は、開削工法の土被りが小さい10m以下の場合は他の工法に比べて最も安いが、土被りが大きくなるにしたがって高くなる傾向を示す。土被り20mから30mの間で工事費の増加が大きいのは土留壁がSMWから連壁になったことによる。

一方、シールド工法は他の工法に比べて全体に高い結果となっている。これは、シールド機等の設備費が大きく影響するためである。また、シールド工法は開削工法に比較して工事費の増加傾向が少ないが、延長200mでは土被りが大きくなると工事費の増加が大きくなっている。これは延長が短い場合は、立坑費用が工費に占める割合が高いためである。

山岳工法は、延長500m、1000mでは土被りが大きい場合に安くなる傾向がある。これは補助工法採用の程度によって工事費に大きな影響を受け、本試算条件では土被りが小さい場合に補助工法を多用することを想定したためである。また、延長200mの場合はシールド工法と同様に立坑費の割合により、延長が長い500m以上の場合に比べて土被りが大きくなると工事費の増加が大きくなっている。

外部コストは、開削工法がシールド工法、山岳工法に比べて高い結果となっている。これは、１１年度で交通規制が外部コストに極めて大きく影響することが明らかとなっているように地上部の交通規制状況が大きく影響したものと考えられる。すなわち、シールド工法、山岳工法は立坑工事実施時期の交通規制ですむのに対して、開削工法の場合は工事区間全線で工事開始から終了までの期間で交通規制を必要とするためと考えられる。また、シールド工法、山岳工法の場合で立坑工事が交通規制を伴わない位置の場合には外部コストがさらに低くなると考えられる。

外部コストを含めた総計は、トンネル延長、土被りに関係なく山岳工法が最も安くなることが分かる。開削工法とシールド工法では、距離が短い200mの場合は開削工法が有利であるが、距離が長くなると土被り20m以上になるとシールド工法が有利となることが分かる。

４.主な研究成果物

なし

参考文献　1)（財）日本総合研究所「道路投資の評価に関する指針（案）」平成10年6月,pp45～pp89

（真下、石村）

11.6　総コストの計測及び評価手法の開発に関する研究

研究期間：平 12～平 14
担当：建設システム課

【要旨】

社会資本の整備は、我が国の経済成長や国民生活の向上に寄与するなど、豊かな生活を着実に実現してきた。しかし一方で、事業の実施に伴う生態系への影響や騒音・振動・交通渋滞の発生など、地球環境や生活環境に様々な負荷を与えている側面も存在する。

これらのことから、今後とも着実に社会資本整備を図るためには、建設コストの縮減のみならず、環境への影響等にもこれまで以上に配慮しながら事業を進めて行くことが極めて重要な課題となっている。

このため、現在、建設事業者が負担しているコストに加えて、原因者である建設事業者が負担せず、広く社会一般が負担している環境負荷などを「外部コスト」として捉え総合化した新たなコストの概念を構築し、その低減を図る手法について検討する。

平成 12 年度は、外部コストを含めた「総合的な建設事業コスト（総コスト）」の概念を明らかにするとともに、総コスト評価よるケーススタディにより道路事業における概略設計段階の最適路線の選定を試みた。

1．研究目的

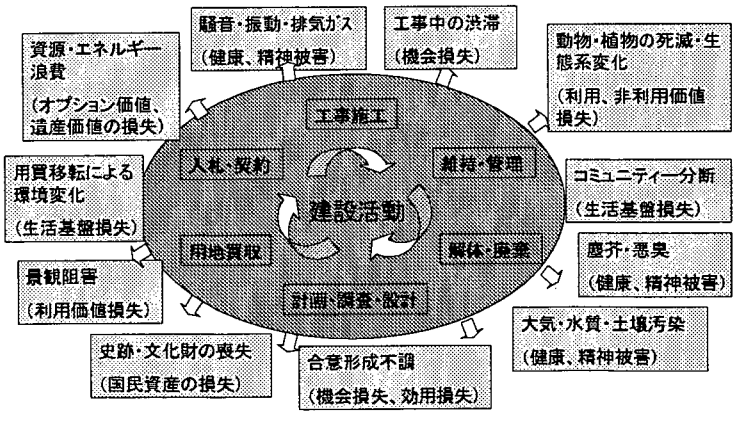
本課題は、「外部コスト」を含めた「総合的な建設事業コスト（総コスト）」の概念を明らかにするとともに、この総合的な建設事業コストによって、代替案の選択など建設事業の各意思決定段階での判断を適切に行う手法を提案することを目的とする。

2．研究方法

2．1　外部コストの考え方

本研究では、事業主体がその行動による負の影響を建設事業コストとして負担しているか否かがポイントとなるため、事業主体が直接負担する範囲を内部、事業主体以外が負担する範囲を外部として捉えている。

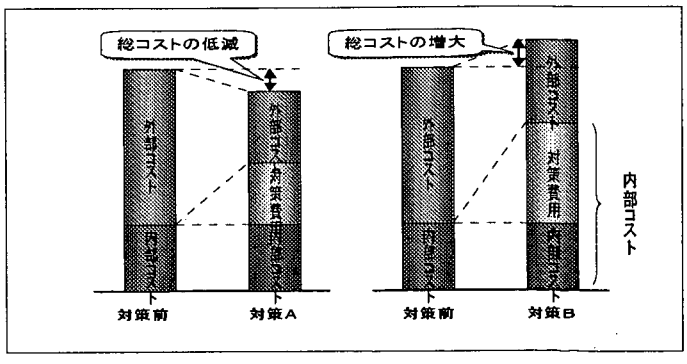
このため、経済学の「外部性」の定義にとらわれず、「建設活動によってもたらされる好ましくない影響で、事業主体が金銭負担せず、社会一般が何らかのかたちで強いられている負担」を「外部コスト」と定義した。



図－1　建設活動による様々

2．2　総合的な建設事業コストの概念

「総合的な建設事業コスト（総コスト）」は、事業者が直接負担する「内部コスト」と、事業者が直接負担せず社会全体として負担を強いられている「外部コスト」を合計したコスト概念として捉えるものであり、総コストを比較することによって代替案の選択や新技術の評価が適切に行えるよ



図－2　外部コストを低減させる対策

うになる。　例えば図－２における対策Ａを選択した場合、外部コスト低減のための対策費用が必要となるが、対策前と比べて、総コストが低減される。本研究では、以上のような総コストの考え方を、事業の各段階の意思決定に活用するものである。

３．研究結果

道路事業における概略設計段階の最適路線の選定という意思決定を総コスト評価で試みた。モデルとして、郊外の高規格道路と市街地を結ぶ４車線、約５km の道路を設定した。この機能を満足する比較ルート案として、現道拡幅案、長大トンネル案、長大トンネル回避案の３案を設定した（表－１）。設定したルート毎に地理的・地形的ゾーンに配慮して外部コスト項目を選定し、外部コストを計測した。図－３にケース１のゾーン区分を、表－２にケース１の計測手法を、図－４に各ケースの計測結果を示す。

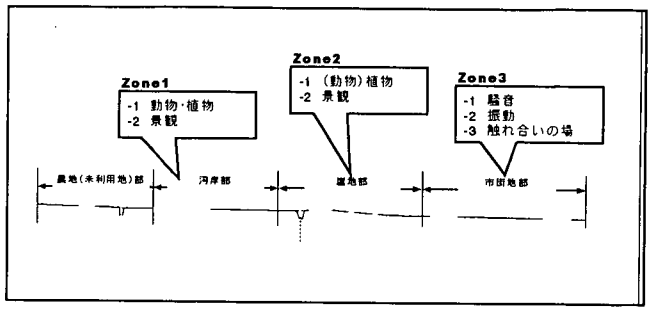
なお、今回のケーススタディでは、顕在化していないコストとして行政経費を算出し、総コストに含めた。行政経費は、合意形成期間や用地買収期間等によって変化することが予想されるが、本検討では、各案とも過去の調査値である事業費の８％とした。

試算結果では、長大トンネル案の総コストが最小となった。これは、長大トンネル案が最短ルートであるため、長大トンネル回避案に比べて内部コストが小さく、また、現道拡幅案は市街地であるため合意形成等に要する期間に係る供用の遅れを外部コストとして考えたためである。

ケーススタディの結果、計測精度の向上のためには、計測事例の積み重ねや外部コストの波及プロセスを踏まえて複数の計測段階を設定し、感度分析を行う必要性などが明らかとなった。

表－１　比較案

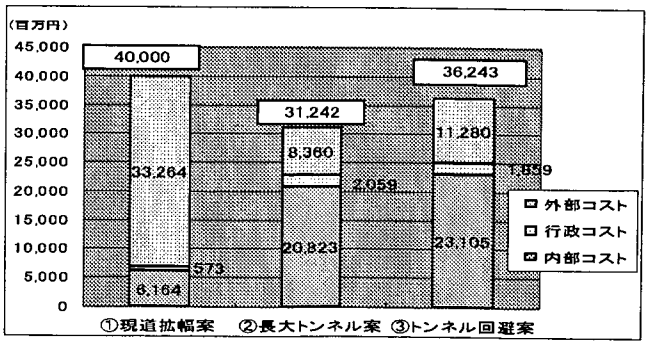
ケース	特徴・課題
ケース１ 現道拡幅案	・現道活用 ・沿道への影響大
ケース２ 長大トンネル案	・最短ルート ・トンネル工事費大
ケース３ 長大トンネル回避案	・施工性向上 ・橋梁等工事費大



図－３　ゾーン別の外部コスト（ケース１）

表－２　外部コストの計測手法（ケース１）

ゾーン		外部コスト項目		計測手法案		
			内容		内容	
zone1	河岸部	-1動物・植物	良好な河川環境の被害	CVMの活用	(原単位)	×(影響世帯数)
		-2景観	良好な河川景観阻害			
zone2	盛土部	-1(動物・)植物	樹木の伐採	代替法	(代替コスト)	×(伐採樹木(延長))
		-2景観	道路構造物による景観阻害	代替法	(代替コスト)	×(対象延長)
zone3	市街地部	-1騒音	供用時交通による騒音被害	原単位法	(原単位)	×(影響世帯数)
		-2振動	供用時交通による振動被害	-	(原単位)	×(影響世帯数)
		-3触れ合いの場	平面道路によるコミュニティ分断	代替法	(代替コスト)	×(伐採面積)
		供用の遅れ	供用の遅れによる損失	代替法	(供用時便益)	×(遅れ期間)



図－４　総コストの試算結果

４．主な研究成果物

・松井健一，神山守，河上誠：外部コストを組み入れたコスト低減について：平成 12 年度建設省技術研究会，2000.12

・藤本聡，松井健一，神山守，河上誠：外部コストの内部化による価格変動について：建設ﾏﾈｼﾞﾒﾝﾄ問題に関する研究発表・討論会　講演集，pp31-38，2000.12

・藤本聡：外部コストを組み入れた建設事業コスト低減技術の開発，土木研究所資料第 3760 号，2000.12

・藤本聡：外部コストを組み入れた建設事業コストの低減について，土木研究所資料第 3773 号，2001.2

（松井、神山、河上）

11.7　建設汚泥、建設発生木材等リサイクル促進技術の開発

研究期間：平 10～平 14

担当：施工研究室

【要旨】

平成 10 年度の建設発生木材のリサイクル率は、土木工事で 55%、建築工事で 40%と低迷しているのが現状である。また、ダイオキシン対策のため、従来少なからず行われていた建設発生木材の焼却処分については、今後極めて限定的となることが確実であり、マテリアルリサイクルを中心としたリサイクル推進が重要な課題となっている。このような状況のもとで、本調査ではリサイクル推進のための施策を検討することを目的とし、土木事業に関わる建設発生木材について、その処理実態・課題をアンケート調査、ヒアリング調査等により把握した。

表－1　発生木材処理状況

区　分	処理状況	処理量(ton)	割合(%)
現場内利用	チップ化	94,740	19.4
	炭化	145	0.0
	堆肥化	10,592	2.2
	自然還元	45,539	9.3
	その他	10,623	2.2
現場外搬出	チップ化施設	91,909	18.8
	炭化施設	58,708	12.0
	堆肥化施設	55,149	11.3
	熱源利用施設	60,838	12.5
	最終処分場	22,593	4.6
	その他(有価物として搬出)	10,695	2.2
	その他(廃棄物として搬出)	26,448	5.4
合　計		487,979	100.0

1．調査方法

アンケートでは、建設発生木材の発生側である（社）日本土木工業協会および（社）全国建設業協会に加盟している建設会社に対して、現場での処理実態、木材再生材の利用状況などを調査した。発送数は 1,170 件、有効回収数は 760 件であった。また、建設発生木材の利用側であるチップ化施設に対して、再生材の需要動向などを調査した。この場合の発送数は 230 件、有効回収数は 95 件であった。

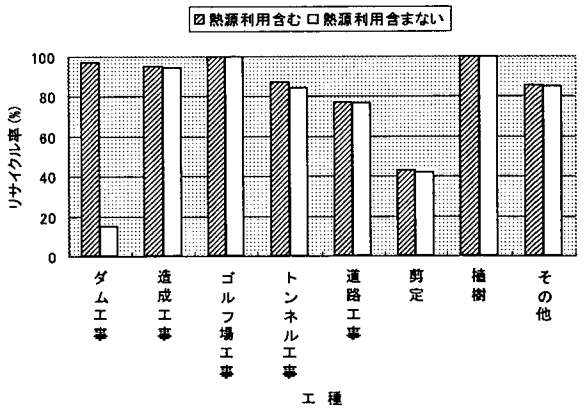
2．調査結果

(1)現場での処理実態

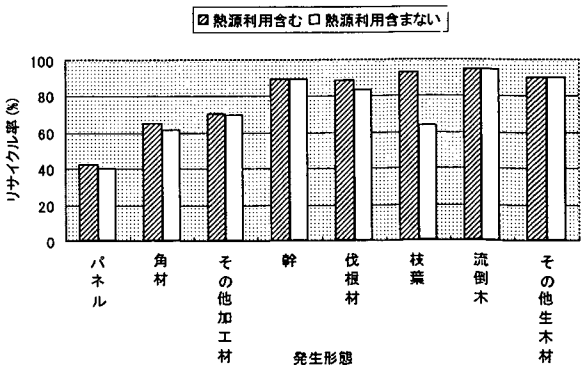
①表－1 に示すように、現場内利用を見るとチップ化が 19%あるが、その他のリサイクル方策は非常に少ない。また、現場外搬出については、同様にチップ化施設への搬入が 19%で最も多いが、炭化施設および堆肥化施設への搬入も各々12%程度で比較的多い。現場内利用を含めた全体のリサイクル率は、熱源利用を含まない場合が 78%、含む場合が 90%となっている。

②図－1 に示すように、工種別のリサイクル率を見ると、発生量が少ないものの剪定のリサイクル率が極端に低い。これは、剪定工事自体では利用箇所がないためだと思われる。それ以外の工種では、ほぼ 70%以上のリサイクル率となっている。

③図－2 に示すように、発生形態別にリサイクル率を見ると、生木材に比べて加工材のリサイク



図－1　工種別リサイクル率



図－2　発生形態別リサイクル率

ル率が低く、特にパネルの値が低い。

④工種、発生形態にかかわらず、リサイクルするかしないかの判断理由として、コスト上の理由と発注者の指示が、各々40%強を占めていた。

(2)現場での木材再生材の利用状況

①使用された再生材の種類は、チップが最も多く全体の約半数（113 件）を占め、木質系型枠が 17%（35 件)、コンポストが 8%（17 件）となっている。

②表－2に示すように、チップの使用箇所としては、道路法面、植栽工でのマルチング材が 60%と多数を占めていた。また、マルチング材全体のうち、再生チップの使用率は 83%となっていた。再生チップの採用理由は、表－3に示すように仕様書明示が 41%、試験施工が 17%であった。さらに、要求品質、過去の実績から採用したという回答もあった。

表－2　再生チップの使用箇所

使用箇所	使用件数	割合(%)
道路法面、植栽工でのマルチング材	68	60.2
現場内道路等の舗装用材	9	8.0
公園、緑地での敷き均し用材	5	4.4
その他の敷き均し用材	4	3.5
堆肥用	3	2.7
自然還元、土砂混合等	5	4.4
家畜用材	2	1.8
熱源利用	1	0.9
不明	16	14.2
計	113	100.0

表－3　再生チップの採用理由

採用理由	該当件数	割合(%)
仕様書明示	47	41.6
試験施工	19	16.8
環境共生、リサイクルへの寄与	7	6.2
要求品質、過去の良好な施工実績	12	10.6
コスト面	4	3.5
近傍に処理施設がないため、現場内利用	2	1.8
不明	22	19.5
計	113	100.0

③木質系型枠の使用箇所としては、躯体部および床版埋殺し部・雑型枠等がほとんどを占めていた。また、型枠全体のうち、再生型枠の使用率は 54%となっていた。再生型枠の採用理由は、仕様書明示、施工性の良さ、地中部等の仕上がりに関係の少ない箇所での使用、転用可能などが挙げられていた。

④コンポストの使用箇所としては、植栽等の現場内利用、周辺農家等での利用が主なものであった。コンポストの採用理由は、再生チップと同様に仕様書明示が 52%、試験施工が 18%であった。

⑤その他の再生材としては、木杭、丸太が８件、土留め用木柵が８件ほど見られた。件数は少ないが、木製階段、ガードレール、ベンチ等も挙げられている。これらの採用理由は、仕様書明示が 57%の他、コスト面、現場での創意工夫といった回答があった。

(3)木材チップ化施設の現状

①回答のあった 95 施設のうち、チップ化のみの施設が 45 施設に対して、堆肥化を行っているのが 27 施設、炭化を行っているのが 16 施設とかなり多く、計画中のものも含めると相当数にのぼる。

②発生木材の受け入れ量は、土木工事からが 24%、建築（解体）工事からが 39%であった。

③チップの販売先は、燃料用 32%、ボード用 26%、堆肥用 18%、製紙用 12%であった。このうち、堆肥用については、北海道、東北地方での販売量が多い。

④チップ需要の動向に関して、チップの販売先がないと答えたものが 34%、売れ行きが低調と答えたものが 33%あった。

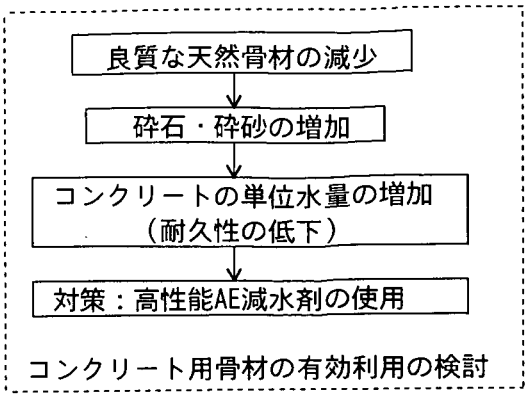
３．今後の課題

発生木材の現場内利用としては、チップ化して法面等のマルチング材として用いる例が多かったが、処理施設に搬入した場合、チップ化しても販売先が少ないのが現状である。このため、建設発生木材のリサイクルを促進させるためには、発生側と需要側の情報交換が迅速に行えるシステムを導入する必要がある。その際には、地域的な特性（畜産、きのこ栽培等）や再生材の使用箇所の要求品質等も参照できることが重要である。また、リサイクルを積極的に推進するには、コスト面での問題が大きく、外部コストを定量的に評価し、経済的な支援策を検討することが必要である。

（大下、市村、宮武）

11.8　低品質骨材・再生骨材の利用用途拡大技術の開発

研究期間：平 10～平 14
担当：コンクリート研究室



コンクリート用骨材の有効利用の検討

【要旨】
コンクリート構造物に関する外部コストを含めた総コスト低減を考えるとき、コンクリート用骨材の有効利用法の確立が重要である。11 年度の調査結果から、今後は砕砂の使用割合が増加することが予想されたため、12 年度はコンクリートに砕砂をした場合の問題点とその対応策について検討した。実験的検討の結果、砕砂を使用するとコンクリートの単位水量が増加し、対応策として高性能 AE 減水剤の使用が効果的であることを確認した。

1．実験方法

実験には表－1に示す3種類の細骨材を使用した。砕砂 A は良質な岩石から製造された砕砂であり、砕砂 B は物理的性状がやや劣る砕砂である。河床砂は比較用の細骨材である。砕砂と河床砂の性状を比較すると形状判定実積率が砕砂のほうが約4％小さく、形状の違いがうかがえる。この3種類の細骨材をそれぞれ用い、また、下記に示す単位水量の低減対策を適用しつつ、スランプ 6 ～ 8cm、空気量 4.0 ～ 6.0 ％の範囲に入るコンクリートの配合を実験により検討した。細骨材以外のコンクリート材料の物性は表－2に示す。

表－1　細骨材の物性

	表乾密度 (g/cm³)	吸水率 (%)	粗粒率	実積率 (%)	形状判定実積率(%)	備考
河床砂	2.6	1.05	2.76	68.6	59.4	
砕砂A	2.63	0.94	2.66	69	55.6	
砕砂B	2.63	2.58	2.97	68.6	55.7	洗い損失約10%

表－2　細骨材以外のコンクリート材料の物性

セメント	普通ﾎﾟﾙﾄﾗﾝﾄﾞｾﾒﾝﾄ，密度3.16g/cm³，比表面積3,320cm²/g
水	水道水
粗骨材(3,4,5,6号砕石)	硬質砂岩，密度2.67，吸水率0.45～0.75%
粒度調整用7号砕石	硬質砂岩，密度2.65，吸水率0.53%，実積率56.9%
AE減水剤	ﾘｸﾞﾆﾝｽﾙﾎﾝ酸化合物ﾎﾟﾘｵｰﾙ複合体
高性能AE減水剤	ﾎﾟﾘｶﾙﾎﾞﾝ酸ｴｰﾃﾙ系
AE剤	界面活性剤

コンクリートの単位水量を低減する方法として以下の3とおりの検討を行った。

1)高性能 AE 減水剤の使用：　通常の AE 減水剤にかわり、高性能 AE 減水剤を使用することによる単位水量の低減効果を検討した。使用した高性能 AE 減水剤はポリカルボン酸エーテル系のもので、添加量はメーカーの標準使用量に準拠して単位セメント量の 1.1 %(質量比)とした。

2)最大骨材寸法の変更：　最大骨材寸法を大きくするとコンクリート中の粗骨材容積が大きくなるため、その空隙を埋めるためのペースト量(しいては単位水量)は少なくて済む。本実験では最大骨材寸法を 20mm，30mm，40mm として単位水量を比較した。

3)骨材の粒度調整：　細骨材と粗骨材をあわせた骨材全体の粒度分布は、一般に 2.5-5mm の粒度が少ない傾向にある。そこで、2.5 ～ 5.0mm 粒径の 7 号砕石を細骨材に適量(細骨材質量に対して 0 ～ 30 %)添加し、かつ細骨材率を調整することで、これによる単位水量の低減効果を検討した。

2．実験結果

3種類の細骨材を使用し、最大骨材寸法 20mm、一般の AE 減水剤を使用し、細骨材の粒度調整を行わな

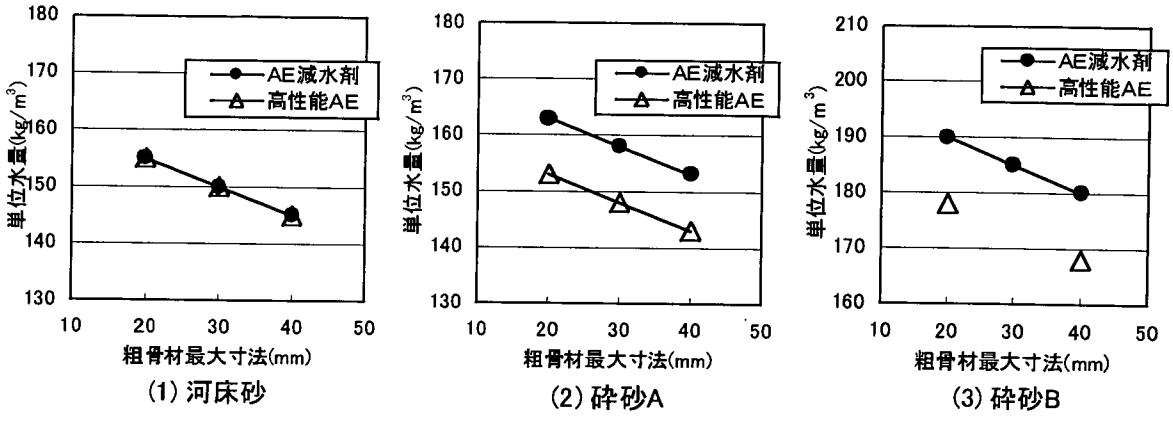
い条件で、スランプ 8cm，空気量 5.5 %の条件満足する配合を試験練りによって求めた。この結果、コンクリートの単位水量は河床砂を使用した場合が 155kg/m^3 であったのに対して、砕砂 A では 163kg/m^3、砕砂 B では 190kg/m^3 とそれぞれ増加した。

次ぎに、各手法による単位水量の低減効果について述べる。

高性能 AE 減水剤の使用と最大粗骨材寸法の違いがコンクリートの単位水量に与える影響を図－1に示す。また、砕砂 A を用いた配合で、単位水量を一定として細骨材の粒度調整を行った場合(7 号砕石を 0 ～ 35 %添加)のスランプと空気量の変化を図－2に示す。これらの図から以下の傾向が認められた。

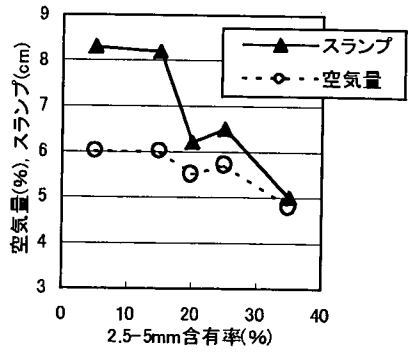
①砕砂 A および砕砂 B を使用した全ての配合で、高性能 AE 減水剤を使用することにより、単位水量は約 10kg/m^3 低下する傾向を示した。これに対して河床砂を使用した配合では高性能 AE 減水剤の使用による単位水量低減効果は認められなかった。

①細骨材や減水剤の種類によらず、最大粗骨材寸法が 10mm 大きくなるごとに単位水量は約 5kg/m^3 低下する傾向を示した。



図－1　高性能ＡＥ減水剤と最大粗骨材寸法が単位水量に与える影響

③砕砂 A に 7 号砕石を添加した効果については、細骨材中の 2.5-5mm の含有率が 15 %まではスランプの変化は無いが、添加量が 20 %を超えるとスランプは低下する傾向を示し、粒度調整による単位水量低減効果は認められなかった。



図－2 2.5-5.0mm粒度の含有率とスランプ，空気量の関係

3．まとめと今後の課題

(1) 砕砂を用いることによりコンクリートの単位水量は増加する。その増加量は砕砂の種類によって異なる。

(2) 砕砂を使用したコンクリートの単位水量を低減する方法として最も効果的だったのは、高性能 AE 減水剤を添加する方法であり、次いで最大粗骨材寸法を大きくする方法であった。

(3) 7 号砕石を混入し細骨材の粒度を調整する方法は、単位水量低減に有意な効果は認められなかった。

今後は、規準に一部満足しない規格外骨材等に対する有効利用技術の検討を行うとともに、コンクリート用骨材全般にわたり、外部コストを含めた総コスト縮減に向けた検討を行う。

4．主な成果物

・片平博，河野広隆：1992 ～ 99 年に実施したコンクリート用骨材の実態調査報告，土木技術資料，42-8，2000 年 8 月

(河野，片平)

11.9　環境にやさしい塗料技術の開発

研究期間：平10～平14
担当：化学研究室

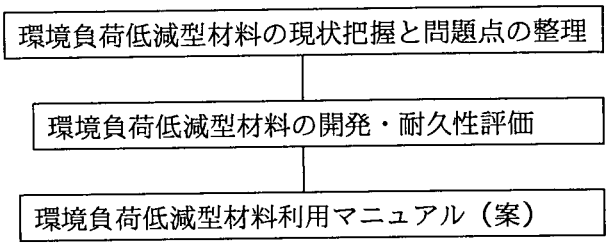
［要旨］
建設事業による地球環境や生活環境への影響等の外部不経済（外部コスト）を含めた建設事業コストの低減を図る必要がある。このため、建設事業から発生する環境負荷を低減する技術を開発することを目的とする。

平成１２年度は、環境負荷低減型材料として、光化学スモッグなどの大気汚染の原因物質の一つである揮発性有機溶剤(ＶＯＣ)を1/3以上削減した環境にやさしい塗料の耐久性検討および環境にやさしい塗装系での塗装時における従来塗料に含まれている鉛などの有害重金属を含むケレンダストを飛散させない素地調整方法について実大試験桁で検討を行った。

１．研究目的

環境負荷低減型材料として、ＶＯＣを削減した環境にやさしい塗料の実用化をることを図ることを目的とする。

２．研究方法



２．１　環境にやさしい塗替え塗装試験

鋼道路橋塗装便覧のＡ，Ｂ塗装系で塗装されている塗膜を、VOC量が削減された環境にやさしい塗装系で塗替えた。試験片は、東京およびつくばで10年間暴露試験したものを２種，３種ａ，３種ｂおよび４種ケレンで素地調整して環境にやさしい塗装系で塗替え、厳しい腐食環境の沖縄に促進暴露した。暴露１年後の塗膜外観を調査した。

２．２　素地調整に関する試験

１種ケレンには、モイスチャーブラストとバキュームブラストを、２種ケレンには、超音波はく離装置，不織布サンダー，ロータリーブラシ，はつり研磨機，ボルトブラシャー，はく離剤を試験した。これらの素地調整方法について、有機ジンクリッチペイント～エポキシ～ポリウレタン塗装されている実大桁塗装試験体（6.5ｍＸ1.7ｍＸ1.8ｍの箱桁および鈑桁）で素地調整試験を行った。旧塗膜およびさびの除去程度，作業効率，ケレンダストなどを調査した。

３．研究結果

３．１　環境にやさしい塗替え塗装試験

厳しい腐食環境の沖縄暴露１年経過時点で、環境にやさしい塗装系は、素地調整程度によらず、いずれも塗膜外観上にふくれ，われ，はがれ，さびなどの塗膜欠陥は生じておらず良好な状態を維持していた。

３．２　素地調整に関する試験

１種ケレンのモイスチャーブラストとバキュームブラスト、２種ケレンの超音波はく離装置，不織布サンダー，ロータリーブラシ，はつり研磨機，ボルトブラシャーおよびはく離剤の概要と試験結果を表－１に示す。

表－1　素地調整方法の概要と試験結果

素地調整方法	概　　要	試　験　結　果
モイスチャーブラスト	研削材吐出口の周囲に霧状の水を噴霧して、塗膜と研削材のダストの飛散を少なくする。	素地調整程度はSa2.5以上を確保できた。作業効率は、乾式ブラストにわずかに劣る。ケレンダストは発生しない。水は霧状となるため、水が溜まったり作業者が濡れることはなかった。
バキュームブラスト	ブラストで生じる塗膜と研削材のダストを吸引して、粉塵の発生を少なくする。	水平，垂直な平滑面とＬコーナー部は、素地調整程度Sa2.5以上が確保でき、粉塵の飛散もない。端部やボルト接合部では、研削材が漏れ、十分な素地調整も得られにくかった。
超音波はく離装置	超音波で刃先を高速振動させて塗膜を素地からはく離する。	施工効率は良くないが、塗膜は連続した膜としてはく離するので、ダストの飛散がない。
不織布サンダー	研磨剤を付着させた不織布ディスクで塗膜を研磨する。	ディスクサンダーより作業効率はやや落ち、飛散と騒音はほとんど変わらなかった。
ロータリーブラシ	金属のリング状ブラシワイヤーを回転させて塗膜を研磨する。	作業効率が悪く２種ケレンには適していないが、部分的な素地調整には適している。
はつり研磨機	タングステンカーバイト製スパイクを付けた羽を回転させて塗膜を研磨する。	作業効率が悪く２種ケレンには適していないが、錆こぶなどの除去には適している。
ボルトブラッシャー	複数のワイヤーブラシを回転させてボルト部を一度に研磨する。	高力ボルトの塗膜除去の効率が悪く、実用性に乏しい。
はく離剤	ジクロルメタンとフェノールを主成分とする酸性はく離剤	塗布後、約３分で塗膜が軟化し、皮すきで除去できた。ただし、労働安全衛生法や劇物・毒物取締法に関連する物質を含んでいるので作業に注意が必要である。

塗替え塗装で、塗替え塗膜の性能を確実に発揮させるためには、劣化している旧塗膜を確実に除去して付着性を確保するために適切な表面粗度が求められる。Ａ，Ｂ塗装系のように有害物質（鉛など）を含む塗膜の素地調整を行う場合、そのケレンダストを飛散させずに確実に旧塗膜を除去する方法として、モイスチャーブラスト，バキュームブラストおよびはく離剤が有効であることが確認された。モイスチャーブラストはSa2.5以上の素地が得られた。水が霧状であり大量の水を使用しないため排水処理はほとんど必要ない。ただし、ノズル部が重いため作業者の負担が大きく作業効率が下がったのでノズルの軽量化が求められる。バキュームブラストは、Sa2.5以上の素地が得られるが端部やボルト接合部のような凹凸部分でのダストの漏れを少なくする必要がある。はく離剤は、毒性物質を含むので、除去した塗膜の処分にも留意する必要がある。今後、これらの実用化を図るための検討が必要である。

（明嵐、守屋）

11.10　建設技術情報流通システムの構築に関する調査

研究期間：平１０～平１２
担当：建設マネジメント技術研究室

【要旨】 我が国の社会資本の整備、維持管理、環境保全を行う上で、有用な建設技術を駆使することは不可欠であり、新技術の活用はそのキーとなる重要な手段である。

本研究では、建設技術開発の促進に対する阻害要因や課題を明らかにするとともに、新技術を公共工事に活用する際に有用となるニーズ情報や新技術情報のあり方、新技術の評価方法について検討し、技術開発促進を図るための新技術情報流通システムの提案を目指す。

平成10、11年度は新技術活用促進に向けた課題を抽出した。

平成12年度は現状の新技術情報提供システム（NETIS）に登録されている技術開発目標の個々の分類において発注者側での活用傾向を調査し、技術開発傾向と技術活用実態の対応について傾向分析を行った。そして、これまでの本研究成果を受け、有効な新技術情報流通システムの提案に向けた対応策につき検討した。

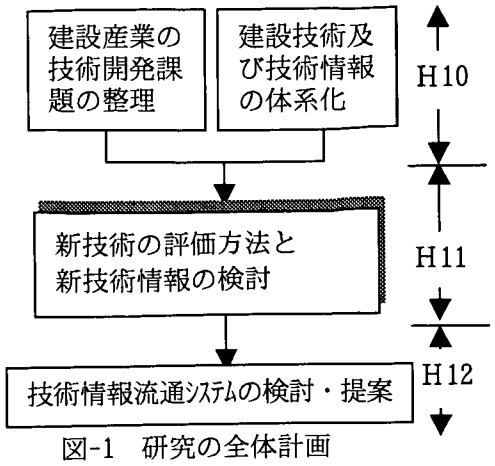


図-1　研究の全体計画

１．研究方法

１．１　建設技術開発動向と公共事業における技術活用の傾向比較

平成12年度は、民間等の建設技術開発動向と公共事業における技術活用の実態・傾向を調査する事により、公共工事において活用、あるいは活用されない技術の特徴を分析した。また、活用が活発でない技術についても、有用性のある技術の特徴を抽出した。

１．２　新技術情報流通システムの提案に向けた対応策

平成10、11年度の新技術活用促進に向けた課題抽出結果、及び平成12年度の分析結果から、有効な新技術情報流通システムの提案に向けた対応策につき検討した。

２．研究結果

２．１　建設技術開発動向と公共事業における技術活用の比較分析結果

表－１に技術開発動向と公共事業における技術活用の例を示す。表中、技術開発目標は従来技術に比較した「コスト（縮減、同等、増大）」と「品質（向上、同等、低下）」の例について各項目のマトリックス中の分母に技術開発件数、分子に技術活用のべ件数を示す。また、表－２に技術開発目標を「コスト（縮減、同等、増大）」と「環境（向上、同等、低下）」の例について同様にマトリックスを作成したものを示す。表では国土交通省と公共機関での活用状況を示す。なお、表中の技術データは新技術情報提供システム（NETIS）に登録されている技術から「共通分野」について無作為抽出し、傾向を分析した結果である。

表－１，２は無作為抽出した結果であり、全体を捉えたわけではないが、以下の仮説が成り立つと言える。

1)コスト縮減で品質・環境の性能が同等以上、あるいはコスト同等で品質・環境の性能が向上する技術は活発に活用される。

2)コストが同等で、かつ、品質・環境の性能も同等となる技術は活用が活発ではない。

3)「コスト（増大）、品質（向上）」、また「コスト（増大）、環境（向上）」の特徴を持つ技術は、活用が活発ではない。また、国土交通省においては公共機関での活用に比べその傾向がやや強い。

上記 1,2)は当然と言える。しかし3)については検討すべき内容が含まれていると考えられる。公共工事におけるコスト縮減は大命題であるが、工事の時間的効率性の向上、ライフサイクルコストの低減、工事における社会的コストの低減、工事の効率性向上による長期的コストの低減も含めた総合的なコスト縮減が求められている。工事単体コストの増大があっても上記の総合的なコスト縮減の要請を満たす特徴を持つ新技術については活用が促進されるよう新技術情報流通システムの向上を図る必要がある。

表－1　活用状況（経済性－品質）

国土交通省 地方整備局活用状況				公共機関での活用状況 （国土交通省を含む）			
コスト / 品質	A（縮減）	B（同等）	C（増大）	コスト / 品質	A（縮減）	B（同等）	C（増大）
A（向上）	15/10	30/7	6/4	A（向上）	349/10	135/7	92/4
B（同等）	46/7	0/2	0/1	B（同等）	231/7	10/2	3/1
C（低下）	0/0	0/0	0/0	C（低下）	0/0	0/0	0/0

表－2　活用状況（経済性－環境）

国土交通省 地方整備局活用状況				公共機関での活用状況 （国土交通省を含む）			
コスト / 環境	A（縮減）	B（同等）	C（増大）	コスト / 環境	A（縮減）	B（同等）	C（増大）
A（向上）	179/27	34/7	9/6	A（向上）	3176/27	280/7	217/6
B（同等）	14/7	0/2	0/1	B（同等）	237/7	21/2	0/1
C（低下）	0/0	0/0	0/0	C（低下）	0/0	0/0	0/0

2．2　新技術情報流通システムの提案に向けた対応策

新技術の活用を促進するために、平成10、11年に研究された新技術活用促進に向けた課題抽出結果と、有効な新技術情報流通システムの提案に向けた検討中の対応策を示す。

表－3　新技術情報流通システムの提案に向けた課題と検討中の対応策

項目		課題	対応策
技術評価	情報システム登録時の審査	・新技術の有用性につき従来技術と比較困難、登録審査基準が明確でない。玉石混合のデータベースになり有用な技術の抽出が困難	・工種毎の専門分野別に登録時の技術相談員を設ける。審査基準の明確化。基準を満たさないものは指導し、可なら登録、不可であれば登録しない
	活用前評価	・重点分野に適合する新技術の取り扱いが不明確 ・評価の方法が工法、材料等で同一であり、個々の技術に対応した必要な評価情報が不足	・重点分野に適合する技術の重点活用 ・技術の種別（工法・材料等）によって評価項目を設定
	活用後調査	・評価項目が定性的であり評価し難い ・経済性・工程以外の項目の適切な評価方法の確立 ・活用後評価がなされていない	・個々の評価項目に対し、定量化評価の基準を設定 ・総合評価型の入札契約制度を活用 ・必須業務であるが、今後業務委託も考えられる
工事事務所における活用の促進		・発注に際し新技術の活用に積極的でない ・設計段階での新技術の検討が不十分 ・具体にどの技術を適用すべきか迷う	・工事発注においてNETIS登録新技術の検討義務化 ・コンサルタントに新技術の検討義務化、NETISの一般公開 ・推奨技術の提示

3．主な研究成果物

・濱田、藤本、山下、西野，建設分野における新技術普及に向けた課題と対応策に関する一考察，建設マネジメント問題に関する研究発表・討論会 講演集，土木学会，pp.163～174　2000年 12月

（山下、西野）

建設事業の品質管理体系に関する研究

１２．建設事業の品質管理体系に関する研究

研究期間：平成10～12年度
プロジェクトリーダー：新材料開発研究官
三木　博史

1．研究背景：

近年の国際社会において、国際規格および国際適合性評価制度の発展が求められており、1996 年 1 月 1 日に発効した世界貿易機関（ＷＴＯ）の新たな政府調達協定においても、技術仕様を、「デザインまたは記述的に示された特性よりも性能に着目して定め、国際規格が存在する場合には、当該規格に基づいて定めること」としている。また、国際標準化機構（ＩＳＯ）により、品質管理等を目的とした国際規格として、ISO9000's が整備されている。我が国の建設工事においても、国際整合性を確保した工事の技術仕様や関係技術基準類を用いた新たな品質管理体系の開発が必要となっている。さらに、コスト縮減や新技術開発導入のインセンティブの確保のために、設計・施工の自由度を向上させることが求められており、設計・施工の具体的方法を制約せず、成果物の性能を重要視した新しい品質管理手法の開発が必要とされている。

以上のように、建設事業を取りまく国内外の社会的要求が変化しており、これらに対応した新しい品質管理体系の開発が必要となっている。

2．研究の目的

本研究は、建設事業における品質管理体系の高度化の一環として、土木分野における各種構造物の設計法の性能規定化の方向性を明らかにし、性能規定導入を考慮した新しい公共工事発注方法について提案を行うとともに、土木構造物の品質を大きく左右する品質管理・検査技術の高度化を図ることを目的としている。

3．これまでの研究成果

研究内容は、大きく以下の３つに大別できる。

第一の研究は、土木分野における設計法の性能規定化に関する研究である。ここでは、まず土木分野における性能規定化を考える際の基本的視点を整理したあと、①鋼道路橋～道路橋示方書 Ⅰ共通編、Ⅱ鋼橋編の性能規定化に関する検討～、②道路橋の耐風設計、③ロックシェッド、④道路土工、⑤鋼構造物塗装における設計法の性能規定化の具体的方法を示した。特に、要求性能とその検証方法およびみなし規定を具体化したのが大きなポイントである。

12 年度は、橋に求められる要求性能の再整理と、性能規定型基準に求められる法的枠組みの整理を行い、性能規定型基準案の骨子の提案を実施した。また、落石対策便覧に示されたロックシェッドの設計法を対象として、ＮＫＢレベルシステムを参考に必要とされる要求性能の整理、各要求性能に対する検証方法、みなし仕様の対応づけを行った。また、落石による衝撃的な作用を現象により忠実に照査する手法について、適用性を検討した。さらに、道路盛土に資する性能指標及び要求水準について検討し、各要求されるレベルに応じた要求水準、検証・照査する性能照査型システムとしての枠組みを提案するとともに、鋼構造物塗装の性能規定の試案を作成した。

第二の研究は、性能規定導入を考慮した新しい公共工事発注方法に関する研究である。性能規定型発注では、性能の検証方法を誰がどのような根拠で決めるのか、また受注者の技術的な自由度を左右する入札契約

方式をどうするか、さらに性能未達成時のペナルティや成果に対する報酬を見込む仕組みなどが重要なポイントになるため、これらを考慮した公共工事発注方法のあり方について考察を加え、提案を行った。

１２年度は、国土交通省において性能規定発注方式が適用された低騒音舗装工事の試行事例を対象に、請負者等にアンケート調査を実施し、性能の検証方法やタイミング、入札契約方式のあり方等について課題を抽出し、今後の性能規定による品質確保方策についてとりまとめた。

第三の研究として、土木分野における品質管理・検査技術の高度化に関する研究を実施した。対象としたのは、１）コンクリート構造物の検査技術として、フレッシュコンクリートの単位水量推定技術、光ファイバーを用いたグラウト管理技術、電気抵抗測定によるコンクリートの透過性評価技術、超音波を用いたコンクリート部材の厚さ測定技術を、２）鋼構造物の検査技術として溶接内欠陥の超音波自動探傷試験技術を、また３）塗装の検査技術の高度化をねらいとした省検査塗料の開発である。

１２年度は、コンクリート自体の耐久性や鋼材保護性能に密接に関係する水セメント比や養生条件の良否等を把握できる検査試験方法として、施工時の受入れ検査で水セメント比を確認する単位水量推定方法、光ファイバーを用いたグラウト管理技術、電気抵抗測定による硬化コンクリートの品質評価および超音波による部材厚さ検査技術の開発を行った。また、性能規定型の基準を目標とした場合の道路橋示方書における溶接継手の要求性能の検証方法を整備するため、溶接継手部に各種の溶接内部欠陥を挿入した試験体に対して超音波自動探傷試験(AUT)ならびに AUT が実施された内部欠陥を有する試験体(別途製作)の破壊実験を実施し、その成果として、要求性能を確保するために必要な内部欠陥の形状寸法を検出できることが確認された。その成果の一部は、道路橋示方書に反映される予定である。さらに、塗膜厚をモニタリングしながら施工できる塗料（省検査塗料）の開発を行い、省検査塗料の実橋での塗替え塗装への適用性を検討した。その結果、所定の膜厚が得られていることが確認され、実橋にも十分適用できることが判明した。

4. 今後の課題

土木分野における設計法の性能規定化に関する研究については、本研究により得られた成果の各種技術基準への反映を積極的に図っていくとともに、多くの構造物で課題として残された性能検証方法の研究を継続して実施していく必要がある。

また、性能規定導入を考慮した新しい公共工事発注方法ならびに土木分野における品質管理・検査技術の高度化に関する研究 についても、引き続き実際への適用を進めながら、技術や手法の改善を図っていくことが必要である。

－建設事業の品質管理体系に関する研究－

個別研究課題目次

12.1 要求性能と品質レベルの相関性の検討（構造物の性能に与える品質の影響度）…… （構造研究室）… 314

12.2 要求性能と設計・材料・施工・維持管理の品質管理レベルの相関性の検討…… （橋梁研究室）… 316

12.3 品質規格の性能規定化手法の開発…… （化学研究室）… 318

12.4 コンクリート材料・構造物の品質検査技術の開発（非破壊検査・高知能検査等）…… （コンクリート研究室）… 322

12.5 鋼構造物の品質検査試験技術の開発（非破壊検査・溶接検査・塗膜検査等）… （橋梁研究室）… 326

12.6 鋼構造物の品質検査試験技術の開発（非破壊検査・溶接検査・塗膜検査等）… （化学研究室）… 328

12.7 土構造物の品質管理技術の開発…… （施工研究室）… 330

12.8 施工情報活用による品質管理・検査の合理化技術の開発（シールド工）…… （機械研究室）… 332

12.9 公共土木工事の発注体系に関する調査研究…… （建設ﾏﾈｼﾞﾒﾝﾄ技術研究室）… 334

12.10 公共土木工事の性能発注に関する調査研究…… （建設ﾏﾈｼﾞﾒﾝﾄ技術研究室）… 336

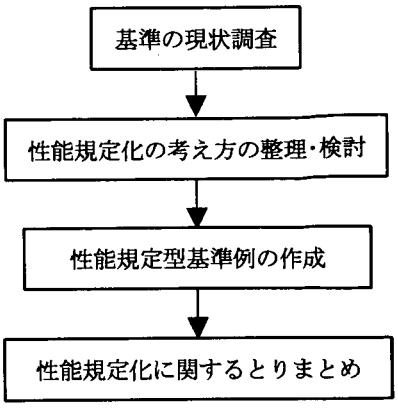
12.1　要求性能と品質レベルの相関性の検討（構造物の性能に与える品質の影響度）

研究期間：平９～平12

担当：構造研究室

【要旨】

近年、国内の土木構造物設計の各分野において性能規定が注目されている。性能規定化によって構造物の要求性能が明確となり、設計施工上の自由度が増加すると考えられている。本課題は、土木構造物設計において必要な要求性能を整理し、技術基準類を性能規定化し提案することを目的とする。12年度は、落石対策便覧に示されたロックシェッドの設計法を対象として、ＮＫＢレベルシステムを参考に必要とされる要求性能の整理、各要求性能に対する検証方法、みなし仕様の対応づけを行った。また、落石による衝撃的な作用を現象により忠実に照査する手法について、適用性を検討した。その結果、ロックシェッドの設計法を性能規定化するためには、レベル３、レベル４について検討の余地があることが明らかとなった。



１．研究目的および方法

１．１　ロックシェッド設計法の性能規定の適合状況に関する調査

ロックシェッドの設計を性能規定化するために、ＮＫＢ（ノルディック建築委員会）が提唱した構造物の設計に関するレベルシステムを参考に、現行の落石対策便覧のロックシェッドの規定内容を、要求性能、検証方法、みなし仕様に整理し性能規定化への適合状況を検討した。

１．２　ロックシェッドの耐衝撃性検証手法に関する検討

現行の落石対策便覧では、落石の衝撃力を静的荷重に置き換えて設計する手法を提示しているが、今後、簡便でより実現象に忠実に耐衝撃性を評価するためには、エネルギー法に基づく照査方法が有効と考えられる。この方法では構造物が吸収できるエネルギーを精度良く求める必要がある。そのため、２次元および３次元の弾塑性構造解析を実施し、ＰＣ製ロックシェッドの吸収エネルギーを求め、実験結果と比較した。

２．研究結果

２．１　性能規定の適合状況

NKB レベルシステムに基づき、落石対策便覧に示されたロックシェッドの設計法を性能規定の体系に整理した。その結果、**NKB** レベルシステムでは、レベル３（要求水準）で構造物が達成すべき各機能の水準が、また、レベル４（検証方法）では、構造物に要求性能が備わっているかどうかの検証方法が記述されることが要求されるが、落石対策便覧ではレベル３とレベル４とが一体となっての記述が見受けられた。たとえば、「落石がロックシェッドに衝突する現象」に対しては、落石の位置、規模を調査し、落石とロックシェッドの衝突による衝撃力を推定し、これを静的に載荷した場合、ロックシェッドが健全な状態（基礎の安定性、部材の応力度）を保つこととされている。すなわち、静的解析という検証方法（レベル４）を前提として要求水準（レベル３）が定められている。また、本来、レベル３で記述されるべき発生確率を考慮した落石作用あるいは荷重の設定、限界状態の設定、限界状態に達する確率の許容値などの明確な記述が見受けられなかった。落石現象はさまざまな原因が複雑に関連しあって発生し、その発生の時期、規模等の予測は難

しく、また、その形態も斜面毎に異なるため、落石のエネルギーとその発生確率を定量的に明らかにすることは非常に困難である。しかしながら、ロックシェッドの性能を定量的に示し、検証するためには、発生確率を考慮して対象とする落石エネルギーを設定することは、最も基本であり、今後とも調査研究を進めていく必要がある。このように、落石対策便覧に示されたロックシェッドの設計法を性能規定化するためには、レベル３、レベル４について検討の余地があることが明らかとなった。

２．２　耐衝撃性の検証手法

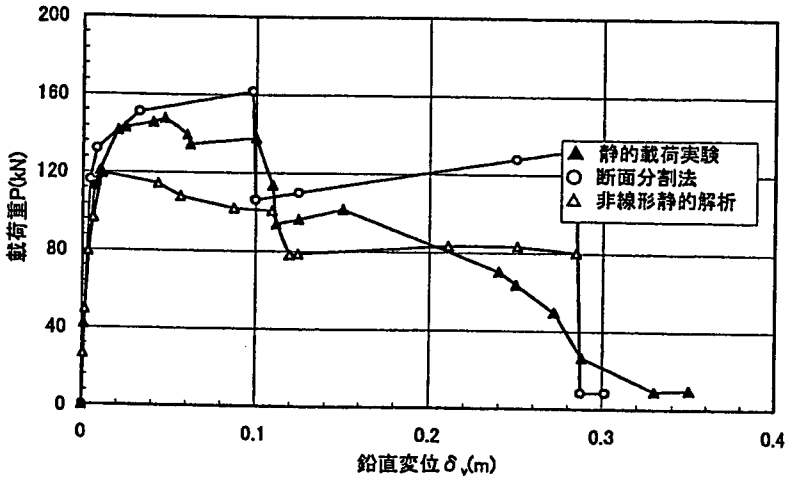
モデルは一般的な構造を持つＰＣロックシェッドとした。静的載荷実験では主梁中央に鉛直に載荷した。解析方法は主梁の断面を層要素に分割して解析を行う断面分割法による方法と、断面を棒要素に置き換えて解析を行う非線形静的解析による方法を用いた。

逆Ｌ式ロックシェッドは、①主梁の降伏開始、②主梁に塑性ヒンジの生成、③ＰＣ鋼材の破断、④載荷位置の変位 δ =L/200(L:支間長)、⑤載荷位置の変位 δ =L/100(L:支間長)、⑥ＰＣ鋼材および鉄筋の破断、の段階を経て破壊に至るが、各段階における載荷重，載荷位置の変位および吸収エネルギーを求め，静的載荷試験の結果と比較した。

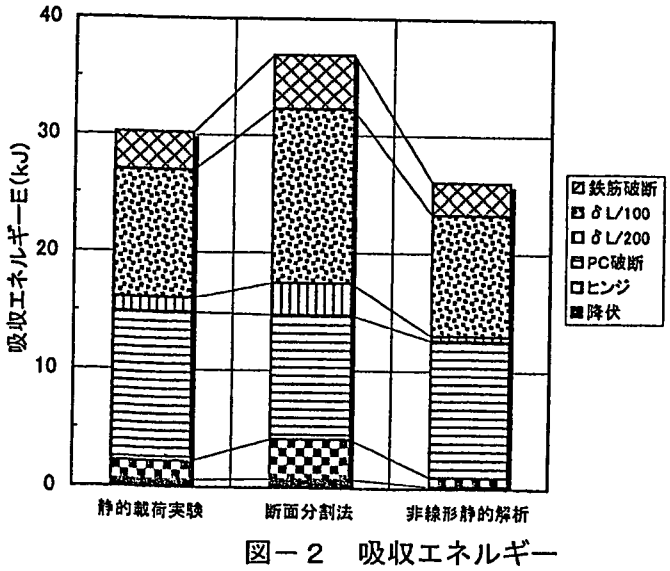
図－１に示すように今回実施した解析と実験結果は概ね一致していることがわかる。

また図－２には破壊に至るまでの各段階におけるエネルギーを示したものである。ＰＣ鋼材破断時のエネルギーは全体の吸収エネルギーの約半分である。また、δ =L/100におけるエネルギーは、全体の吸収エネルギーの約９割となっている。本ケースの場合には δ =L/100は鉄筋破断による構造破壊を示す指標となりうることがわかる。

（佐藤、平原、間渕、大石）



図－１　荷重－変位関係



図－２　吸収エネルギー

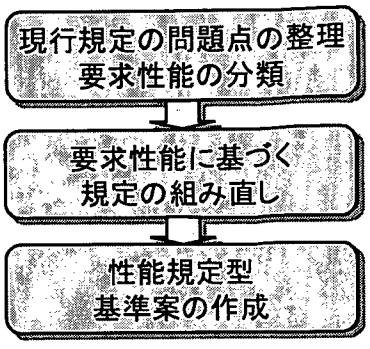
12.2　要求性能と設計・材料・施工・維持管理の品質管理レベルの相関性の検討

研究機関：平９～平１２

担当：橋梁研究室

【要旨】

近年の経済の国際化やコスト縮減の動きに対し、競争力や透明性の確保、新技術の迅速な導入のためには、従来の仕様規定型の技術基準から性能規定型への移行が必要となってきている。本検討では、鋼道路橋における性能規定型規準の枠組みと一部具体的な記述例を提案することを目標に、道路橋示方書を題材に、現行規定の問題点の整理および要求性能の整理、性能規定型基準としたときの要求性能の枠組みの整理、性能規定型規準案の骨子の提案を行ったものである。



１２年度は、橋に求められる要求性能の再整理と、性能規定型基準に求められる法的枠組みの整理を行い、性能規定型基準案の骨子の提案を実施した。

１．研究目的

本課題は、性能規定型の道路橋設計基準案における要求性能の枠組みを作成し、性能規定型規準案を提案するをことを目的に、要求性能と責任分担に関しての整理を行い、性能規定型道路橋設計基準の骨子の提案を行った。

２．研究方法

２．１　要求性能と責任分担に関しての整理

１１年度までの検討で、橋の要求性能は「安全性」、「利用性」、「環境適合性」、「経済性」の４つに集約され、全ての要求性能は時間軸を持つ（全ての要求性能に耐久性の概念がある）ことを提案した。また、「裁量と責任」という観点で性能規定型基準を考えた場合、現在の道路橋示方書の記述内容は、国の裁量と責任で規定すべき技術基準（要求性能）と、その解決法となる技術基準あるいは仕様書に分離して責任分担を明確にすべきことを提案した。１２年度は、性能規定型基準案の提案にむけて、各要求性能をどの責任レベルの階層に求めるのが望ましいかに関して検討を行い、要求性能と責任分担に関する整理を行った。

２．２　性能規定型基準案の骨子の提案

これまでの検討で明らかになった事項を踏まえて、性能規定型基準案にとってのぞましい要求性能の記述内容、法的な位置づけ、方向性等を考慮し、性能規定型道路橋設計基準の骨子を提案した。

３．研究成果

３．１　要求性能と責任分担に関しての整理

表-1に要求性能と責任分担に関して整理した内容を示す。裁量と責任のレベルにおいて、国政レベル（法）には道路法が、国政レベル（政令）においては、道路構造令および通達が、担当部局レベル（省令）においては道路橋示方書共通編が、担当部局レベル（告示）に関しては道路橋示方書の各編が、発注機関の合意レベルに関しては要領・指針がそれぞれ対応するべきであると考えられる。

３．２　性能規定型基準案の骨子の提案

図-1 に性能規定型道路橋設計基準の枠組みの概念図を示す。図中の「橋としての要求性能を規定する編」が、表-1 における、担当部局レベルで規定すべき内容に相当し、省令として道路橋示方書共通編に記載すべき内容であると考えられる。表-2 に、性能規定型規準案における道路橋示方書共通編の目次案およびキーワードを示す。

表-1　各要求性能と責任分担の階層の整理

裁量と責任のレベル	要求性能			
	安全性	利用性	環境適合性	経済性
国政レベル(法)	・通常の衝撃に対して安全である	・交通状況を考慮し、円滑な交通を確保	・常時良好な状態に保つように維持・修繕する	
国政レベル(政令)	・設計自動車荷重を規定 ・自転車，歩行者の安全かつ円滑な通行の確保に関する規定	・道路の種類・地域及び将来交通量に応じて構造基準を区分 ・道路幅員と交通量の関係を規定 ・設計速度を明示 ・走行の快適性に考慮した線形の規定 ・植樹帯に関する規定	・環境影響評価の実施 ・道路緑化技術基準 ・高速自動車国道等の周辺における自動車交通騒音に係る障害の防止について ・振動規制法の施行について ・道路の維持修繕等管理要領について	
担当部局レベル(省令)	・橋の破壊に対する安全性 ・橋の変形に対する安全性 ・橋の安定に対する安全性 ・作用荷重（活荷重，地震荷重）	・橋の走行に対する利用性 ・橋の歩行に対する利用性 ・橋の利用目的への適合	・交差物件に対する適合性 ・周辺環境に対する適合性 ・自然環境に対する適合性 ・騒音に対する適合性 ・第三者への影響度（剥離落下等）に対する適合性	・ライフサイクルコストによる要求性能の最適化
担当部局レベル(通達)	・部材の強度に対する安全性 ・部材の変形に対する安全性 ・部材の腐食に対する安全性 ・部材の疲労に対する安全性 ・部材のじん性に対する安全性 ・作用加重（死荷重，温度荷重，土圧，水圧・・・）	・部材の振動に対する利用性 ・部材の変形に対する利用性	・地形，地質，気象に対する適合性 ・交差する道路，鉄道，河川への適合性 ・美観，景観に対する適合性 ・地下埋設物，地中構造物への適合性	・維持管理に対する経済性 ・耐久性能に対する経済性 ・施工性に対する経済性 ・修復性に対する経済性 ・架替性に対する経済性
発注期間の合意レベル(基準，便覧)	・使用材料の規格，選定 ・支承の安全性 ・高欄の安全性 ・伸縮装置の安全性	・路面の平坦性，連続性に対する利用性 ・路面の排水性に対する利用性 ・たわみ制限による剛性確保	・河川形状，河川改修計画への適合性 ・計画高水位，計画高水流量，船舶通過条件，隣接構造物への適合 ・洗掘状態への適合	

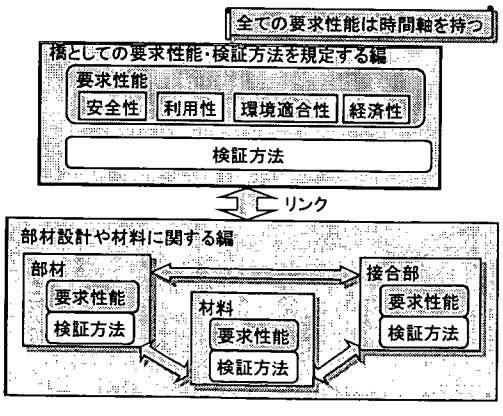


図-１性能規定型道路橋設計基準の枠組み

表-2　共通編の目次案

章	節	キーワード等
1．総則	1.1 適用 1.2 用語の定義 1.3 設計の基本	
2．要求性能	2.1 一般	橋全体（共通編）と各部材（部材編）における要求性能を区別する旨を示す
	2.2 基本的要求性能	安全性、利用性、環境適合性、経済性を柱として、それぞれに対して耐久性の概念があることを記述
	2.3 安全性	安全で円滑な交通を確保すること 構造物として安全であること 設計供用期間中、外的作用に対して安全であること
	2.4 利用性	利用者のサービスレベルを確保すること 利用目的に合っていること 設計供用期間中、利用目的を満たしていること
	2.5 環境適合性	周辺環境と調和していること、悪影響がないこと
	2.6 経済性	適正な価格であること ライフサイクルコストが最小であること
3. 作用	3.1 一般事項 3.2 作用の分類 3.3作用の組合せ	
4. 作用の組合せに対する限界状態	4.1 一般事項 4.2 終局限界状態 4.3 使用限界状態	
5. 検証方法（必要に応じ下位にの技術基準で記載）	5.1 一般事項	具体的な内容については技術基準で記載 （意志決定等に際して透明性、説明性の確保のため、国際言語となりつつある部分係数法が有力な手法であることを記述）

（西川、玉越、廣松）

12.3　品質規格の性能規定化手法の開発

研究期間：平成９～平成１２
担当：化学研究室

【要旨】

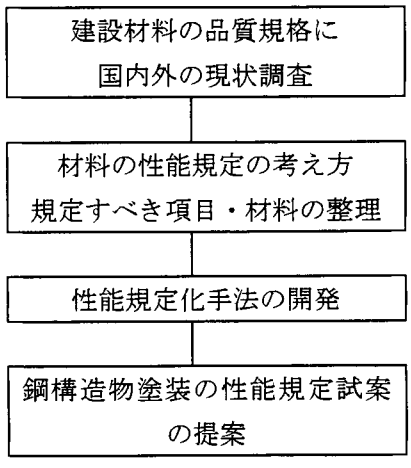
ＩＳＯ（国際基準化機構）等では、材料に関する試験法や機械等製品規格を中心に国際規格を整備してきた。近年、品質保証体制（ＩＳＯ9000シリーズ）や、構造物の設計基準、性能基準についても整備が進められつつある。我が国の建設分野においては、材料・部材等の要求品質と品質管理の手法を規定する仕様規定が一般的であった。しかし、国際整合化の観点から、性能を重視する性能規定の考え方へ移行していく必要が生じている。そこで、性能規格化に対応した新たな品質管理のしくみが必要となる。１２年度は鋼構造物塗装の性能規定化について検討し、性能規定の試案を作成した。

１．研究目的

塗装の要求性能や性能規定化の試案を作成することを目的とする。

２．研究方法

塗装に要求される性能を調査し、性能の数値化・性能の検証方法などについて検討を行い、塗装の性能規定化の試案を作成する。



３．研究結果

３．１　鋼構造物塗装の性能規定化

従来、鋼構造物塗装は鋼材を防食することが主目的であったが、近年は景観・美観に加え環境負荷低減や安全性などの機能も求められるようになった。

鋼構造物用塗装の性能規定化のため、防食性能，景観・美観性能，環境負荷低減性能および安全性の４項目について、目標，要求性能，性能規定，検証方法について検討を行った。さらに、受注者から提案された鋼構造物塗装仕様が性能規定を満足することを検証するには試験時間と費用を要する。このため、性能規定を満足している見なし適合仕様を提案した。

３．１．１　防食性能

（１）防食性能の目標と要求性能

鋼材が腐食して局部的に板厚が減少すると、耐荷力や耐疲労性能が低下して鋼構造物の機能が阻害されることがある。このことから、塗装の防食性能に関する目標は、鋼材の腐食によって鋼構造物の機能を阻害しないことである。要求性能は、腐食によって鋼材が板厚減しないことである。

（２）防食性能規定と検証方法

塗装は、鋼材を外部環境から遮断することによって腐食を防ぐものであり、塗装系によって防食性能に差がある。橋梁の場合、架設環境で塗装系を使い分けるのが一般的である。一般環境では油性さび止め～フタル酸系の塗装便覧のＡ塗装系が最も広く適用されている。一方、海上や海浜部などの厳しい腐食環境や跨線橋など塗替え塗装が困難な橋梁には、防食下地としてジンクリッチペイント、下塗りに環境遮断性に優れるエポキシ樹脂塗料、上塗りに耐候性に優れるポリウレタン樹脂塗料やふっ素樹脂塗料を用いた長期防錆形塗装系のＣ塗装系が適用されている。現在の塗料や塗装系は、鋼構造物の寿命を１００年と設定したとき一度も塗替え塗装を行わないで鋼材を確実に防食する性能を有していない。このため、塗装された鋼材は、局部

的にさびが生じても鋼材の板厚が減少するような腐食にいたらないうちに適切な塗替え塗装を行うことが必要である。すなわち、鋼材を塗装で防食する際には適切な時期に塗替え塗装を行うことが前提となる。塗替え塗装費用が鋼構造物のライフサイクルコスト（ＬＣＣ）の大きな部分を占めている言われているため鋼構造物の寿命と塗装による防食ライフサイクルコストと維持管理体制などを検討して適切な塗装系を選定することが重要である。

防食性能の性能規定は、塗装による防食ライフサイクルコストを考慮すると耐久性・防食性に優れた塗装便覧のＣ塗装系と同等以上の防食性能とした。すなわち、Ｃ塗装系と同等以上の防食性能を保証するため、Ａ塗装系とＣ塗装系の塗膜性能を試験した結果、水蒸気透過係数，酸素透過係数および塗膜抵抗を規定した。塗膜の耐久性は、複合環境腐食促進試験５０サイクル以上で塗膜に異常が生じなければＣ塗装系の防食性能を保証できることを確認したので、これらを塗膜の防食性能規定とした。

塗膜の防食性能の検証方法のうち塗膜性能は、水蒸気透過係数をＪＩＳ Ｋ７１２９のＡ法で、酸素透過係数を製科研式試験方法で、塗膜抵抗を塗膜抵抗測定方法で測定する。塗膜の耐久性は、沖縄における塗膜劣化の再現性に優れていたサイクル条件（湿潤95%RH, 30℃１時間－塩水噴霧５%NaCl, 30℃２時間－［乾燥20%RH, 50℃1.5時間－湿潤95%RH, 50℃１.5時間］６回－乾燥20%RH, 50℃1.5時間－乾燥20%RH, 30℃1.5時間）で複合環境腐食促進試験を行い、５０サイクル後の塗膜外観およびスクラッチ部からの鋼材の腐食進行状況を測定する。

（３）防食性能の見なし適合仕様

塗装系は、下塗りまで工場で塗装して中塗り・上塗り塗料を現場で塗装する方法と、上塗り塗料まで工場で塗装する全工場塗装がある。現場で中塗り・上塗り塗装を行う場合、下塗り塗膜との付着不良を起こすことが多く、長期の防食性能を確保するためには、上塗り塗料まで工場で塗装する全工場塗装が望ましい。このため、防食性能の見なし適合仕様は、鋼道路橋塗装便覧の全工場塗装のＣ－２，Ｃ－４塗装系とした。

３．１．２　景観・美観性能

（１）景観・美観性能の目標と要求性能

塗装は、自由に色彩を施すことができるので鋼構造物に景観性を付与することができる。一方で鋼構造物の色彩が周辺景観との調和を乱したり、その汚れによる嫌悪感を周辺住民に与えることがある。特に都市内の高架橋，景勝地にある鋼構造物や海上長大橋などの大規模構造物は、周辺の景観との調和が求められ景観検討が行われることもある。また、自動車排気ガスなどによる構造物の汚れが目立っており美観が求められる。これらのことから、塗装の景観・美観に関する目標は、周辺景観との調和を乱さないことである。要求性能は、景観・美観を保持することである。

（２）景観・美観性能規定と検証方法

１）景観性能

景観性能は、鋼構造物の色調や塗膜のつやを長期間保持することである。このため、景観性能規定は、促進耐候性試験３０００時間後の６０度鏡面光沢保持率が７０%以上および色差ΔE^*１０以下とした。ただし、上塗り塗料の耐候性は着色顔料の性能に大きく左右されるので、景観性を重視する際には耐候性に優れた顔料を選定することが重要である。

従来、促進耐候性試験はサンシャインカーンボンアーク灯式が広く行われていたが、ＩＳＯ１１３４１に規定されたキセノンランプ法と紫外線蛍光ランプ法がＪＩＳ５６００で規定された。このため、景観性能の検証はキセノンランプ法で行うこととした。

２）美観性能

美観性能は、塗膜の自動車排気ガスや粉塵などの付着による汚れを防ぐことであり、建設省土木研究所と民間17社との構造物の防汚技術の開発に関する官民連帯共同研究の成果に基づき、汚れ程度は明度で計測評価することが人間の感覚と良い相関があることが確認されている。美観性能規定は、汚れにくい性能はΔL

-7.00以上、汚れが除去しやすい性能はΔL-5.00以上とした。美観性能の検証は、国土交通省土木研究所制定の土木試験方法ＰＷＴＭ－１－２０００ｐｒ「土木構造物用防汚材料評価促進試験方法（案）」を適用する。汚れにくい性能は防汚材料評価促進試験方法Ⅰを、汚れが除去しやすい性能は防汚材料評価促進試験方法Ⅱを適用する。

（３）景観性能の見なし適合仕様

１）景観性能の見なし適合仕様は、促進耐候性試験結果を満足するふっ素樹脂塗料を上塗り塗料とした鋼道路橋塗装便覧のＣ－４塗装系である。

２）美観性能の見なし適合仕様は、Ｃ－２，Ｃ－４塗装系の上塗り塗料のふっ素樹脂塗料に替わりに土木構造物用防汚材料Ⅰ種またはⅡ種を上塗り塗料に適用した塗装系である。

３．１．３　環境負荷低減性能

（１）環境負荷低減性能の目標と要求性能

塗料に含まれている揮発性有機溶剤（ＶＯＣ）は、夏季の都市内における光化学スモッグ発生原因物質の一つとされている。鋼構造物の塗装系から発生するＶＯＣを無くすため、溶剤形塗料の替わりに無溶剤形塗料や水系塗料を適用してＶＯＣ量をほぼゼロにすることは可能である。しかしながら、これらの塗料は塗装作業性が悪かったり、十分な耐久性がないのが現状である。このため、塗装系の一部の塗料をこれらの塗料に替えることによってＶＯＣ量を削減することができる。

塗装の環境負荷低減に関する目標は、環境に過大な付加を与えないことである。要求性能は、周辺環境への負荷を削減することである。

（２）環境負荷低減性能規定と検証方法

環境負荷低減の性能規定は、ＶＯＣを削減した塗装系の試験で良好な結果が得られたので、当面塗装系に含まれるＶＯＣを１／３以上削減することとした。

環境負荷低減性能の検証方法は、塗料中のＶＯＣ量をガスクロマトグラフで定量分析し、Ｃ塗装系と比較して塗装系のＶＯＣが１／３以上削減されていることを確認する。

（３）環境負荷低減性能の見なし適合仕様

環境負荷低減性能の見なし適合仕様は、ＶＯＣを１／３程度削減した環境にやさしい塗料の実橋試験施工において良好な結果が得られたことから、ＶＯＣを１／３程度削減した環境にやさしい塗装系とした。

３．１．４　安全性

（１）安全性の目標と要求性能

塗料には防錆顔料や着色顔料に有害な鉛やクロム化合物が使われているものがある。また、発ガン性を有するコールタールを含む塗料もある。これらは、塗装作業者の安全衛生の観点と、塗替え塗装時のケレンダストの飛散による有害物質の周辺環境汚染が問題となる。このことから、塗装の安全性に関する目標は、安全性を確保することである。要求性能は、作業者の安全を守ることと周辺環境の汚染を防ぐことである。

（２）安全性能規定と検証方法

安全性の性能規定は、塗料に有害物質（コールタールなどの発ガン性物質）や防錆顔料や着色顔料などに有害重金属（鉛、クロムなど）を含まないこととした。ただし、亜鉛など他の重金属などに不純物として含まれるものは対象外する。

安全性の検証方法は、塗料中の鉛・クロムの分光光度法による定量分析およびコールタールのクロマトグラフ法による定量分析とした。

（３）安全性の見なし適合仕様

安全性の見なし適合仕様は、内面用塗装系は、タールエポキシ樹脂塗料の替わりに、内面用変性エポキシ樹脂塗料とする。また、Ａ塗装系の塗替え通すでは、鉛やクロムなどの有害重金属を含む油性さび止めペイントの替わりに非鉛・非クロム系防錆顔料を用いた油性ペイントを適用する。さらに、上塗り塗料の着色顔

料も鉛およびクロム系のクロムエロー（黄鉛）などの黄色顔料，クロムオレンジ，クロムバーミリオンなどの橙色顔料を排除する。このため、上塗り色で黄色，橙色，緑色（青と黄色を混合）が発現しにくくなる。これらの色相は有機顔料で得ることは可能であるが隠蔽力や耐候性に劣るものがある。このため、隠蔽力に劣るものは上塗り塗料を２回塗装する必要が生じる場合がある。

３．１．５　鋼構造物塗装の性能規定試案

塗装の目標・要求性能・性能規定・検証方法について整理した鋼構造物塗装の性能規定試案を表-1に示す。

表-1　塗装の性能規定試案

目標	要求性能	性能規定	検証方法
鋼材の腐食による鋼構造物の機能を阻害しない。	板厚減を生じさせない。	①塗膜性能 ・水蒸気透過性2g/m^2/day以下 ・酸素透過係数10^{-11}cm^2(STP)cm/cm^2 sec・cmHg以下， ・直流抵抗；10^{9}Ω・cm^{2}以上 ②耐久性 ・複合環境腐食促進試験５０サイクル異状が無いこと	①塗膜性能 ・水蒸気透過性；JISK7129A 法 ・酸素透過性；製科研式試験方法 ・塗膜抵抗；塗膜抵抗測定法 ②耐久性 ・サイクル試験条件：(湿潤95%RH, 30℃１時間－塩水噴霧５%NaCl, 30℃２時間－［乾燥20%RH, 50℃1.5時間－湿潤95%RH, 50℃１.5時間］６回－乾燥20%RH, 50℃1.5時間－乾燥20%RH, 30℃1.5時間)
周辺景観との調和を乱さない。	構造物の景観・美観を保持する。	景観機能： 促進耐候性試験3000時間で光沢保持率70%以上，色差ΔE*10以下 美観機能： ①汚れにくい；ΔL*-7.00以上 ②汚れを除去しやすい；ΔL*-5.00以上	景観機能 キセノンランプ法 美観機能 ①防汚材料評価促進試験方法Ⅰ ②防汚材料評価促進試験方法Ⅱ
環境に過大な負荷を与えない。	周辺環境への負荷を削減する。	ＶＯＣを1/3以上削減する。	ＶＯＣ量の定量分析（ガスクロマトグラフ法)
安全性を維持する。	作業者の安全を確保する。 周辺環境を汚染しない。	有害重金属および有害物質を含まない。	①鉛，クロム量の定量分析（光電分光法) ②コールタール量の定量分析（クロマトグラフ法)

３．１．６　今後の課題

本報告では、主に新設塗装の性能規定化を検討したが、塗替え塗装の性能規定化も同じような考え方で整理することができると思われる。ただし、新設塗装は塗装管理・品質管理を確実に行うことが可能な全工場塗装を前提としている。一方、塗替え塗装は現場塗装であるため様々な制約があり、確実な塗膜品質を得ることが難しい場合が多い。このため、塗替え塗装の性能規定化では塗装管理方法の確立並びに塗膜の品質保証方法について十分な検討が必要である。

（明嵐、守屋）

12.4　コンクリート材料・構造物の品質検査技術の開発（非破壊検査・高知能検査等）

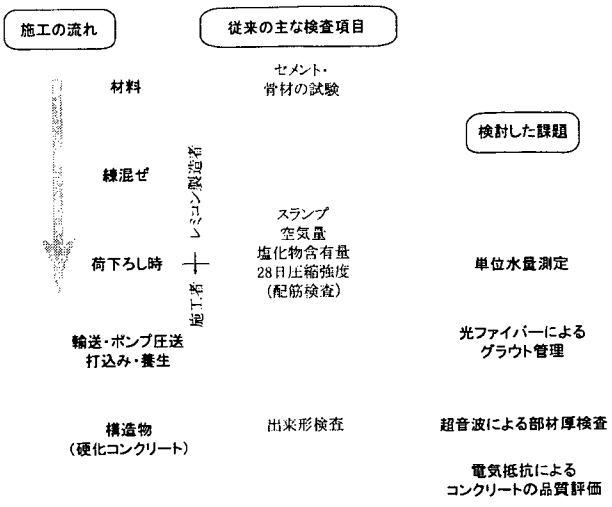
研究期間：平９～平１２

担当：コンクリート研究室

【要旨】

コンクリート構造物の耐久性評価を確保するためには，コンクリート自体の耐久性や鋼材保護性能に密接に関係する水セメント比や養生条件の良否等を検査できる試験方法が必要である。そこで，施工時の受入れ検査で水セメント比を確認する技術として単位水量推定方法について，施工時に施工状況をより確実に把握する方法として光ファイバーを用いたグラウト管理技術について，また，工事完成検査時に非破壊で施工の良否を判定する技術として，電気抵抗測定による硬化コンクリートの品質評価および超音波による部材厚さ検査についてこれまで検討を行ってきた。

12年度は，実構造物における電気抵抗測定や，部材厚さの測定等について実験を行って検討した。また，これまでの研究成果のとりまとめ作業を行った。



図－1　研究の概要

1．研究目的

従来のコンクリート構造物の品質管理・検査体系の中では，

①受入れ時にスランプ試験，空気量試験等を行い，標準供試体を作成して材齢28日の圧縮強度を測定することで，使用した材料の適切さを確認する。

②施工者は，仕様書に示された方法に従って，適切に施工する。

③工事完成検査では，主として，目視やスケール等を用いた方法で構造物の出来形を確認する。

といた方法で，品質管理・検査が行われてきた。しかし，従来から，以下のような課題が指摘されてきた。

(1)受入れ時の検査について

コンクリート構造物の耐久性を確保するため，フレッシュコンクリートの配合面では，ワーカビリティーを確保できる範囲でなるべく単位水量を減じ，水セメント比も小さくすること（加えて，凍結融解抵抗性を確保するために，適切な空気量を導入すること）が重要である。

フレッシュコンクリートの単位水量を精度良く測定することは現状では困難であり，スランプ試験や圧縮強度試験により，大きな配合ミスが無いことを確認するにとどまっている。しかし，圧縮強度試験の結果が得られるまでには時間がかかることや，混和剤の種類が増え，コンクリートの配合方法が多様になったため，スランプ試験の結果でコンクリートの配合の良否を判断することが困難になっているといった問題点がある。

そこで，特に耐久性に影響の大きいフレッシュコンクリートの単位水量および水セメント比を精度良く測定する技術の開発が望まれている。

(2)施工の影響について

硬化後のコンクリートの品質は，使用した材料だけでなく施工の良否による影響を大いに受ける。したがって，コンクリート構造物の耐久性確保のためには，打込みや養生等が適切に行われること，部材の寸法や鉄筋

のかぶりなどが設計された通りに確保されていること，ポストテンション式ＰＣ部材の場合は，グラウトの施工が確実に行われていること等が重要である。

現状の出来形検査では，寸法等の確認や目視によるコンクリート表面の観察が主体になっているが，これだけでは，上記のような点について十分に確認することは困難である。そこで，構造物の工事完成検査時に，硬化コンクリートの品質や出来形の精度等を，簡易に，定量的に評価することが可能な測定方法を開発する必要がある。

(3)検討項目

上記のような背景から，

・フレッシュコンクリートの単位水量推定方法

・光ファイバーを用いたグラウトの施工管理技術

・電気抵抗測定による硬化コンクリートの品質評価技術

・超音波を用いたコンクリート部材の厚さ測定技術

について検討した。

２．研究内容

２．１　フレッシュコンクリートの単位水量推定方法についての検討

コンクリートの材料としての品質は主に水セメント比によって決定される。このうち単位セメント量については，生コンプラントの計量装置の精度向上や自動記録装置の普及により比較的容易に把握できる。一方，単位水量については，使用する骨材(特に砂)の表面水量の変動等の影響でその真の量を的確に求めることは困難である。現状では，スランプが大幅に変動していないことで概ね評価し，材齢28日に標準養生された供試体の圧縮強度試験を行うことで，使用されたコンクリートの品質が確認されているが，試験結果がでるまでに時間がかかる。そこで，打設前に，フレッシュコンクリートの単位水量(水セメント比)を現場で迅速かつ簡易に推定する手法の確立が望まれている。

そこで，本研究では，特に以下の点に着目して検討を行った。

①単位水量迅速推定試験法の現状の整理

②試料のサンプリング法が推定精度に与える影響の検討

③乾燥炉法とエアメータ法の推定精度の検討

④現場での単位水量管理法の提案

単位水量の推定方法については，多数の提案がなされてきたが，今回の検討で，

①モルタル試料を用いる方法では，試料採取時のウェットスクリーニングによる誤差が大きいこと

②使用した骨材の密度が正確に把握されていれば，非常に簡易に測定できるエアメータ法でも，比較的良好な精度が得られること。

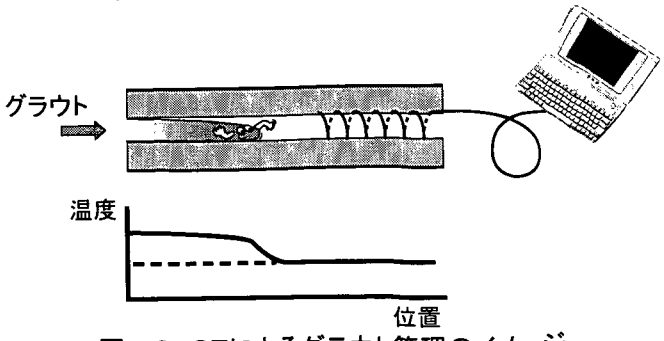
などが明らかになった。検討結果をまとめて，単位水量の品質管理法について提案を行った(表－１)。

表－１　単位水量の品質管理法の提案

位置づけ	試験法	頻度
日々の施工管理	生コン工場での計量記録の確認	全バッチ
	エアメータ法	空気量測定時
品質検査 (抜き打ち)	コンクリートを対象とした加熱乾燥法（粗骨材量補正），またはこれと同等の精度を有する方法	随時

2．2　光ファイバーを用いたグラウトの施工管理技術

ポストテンション方式のプレストレストコンクリート（ＰＣ）では，ＰＣ鋼材を緊張後，ＰＣ鋼材とコンクリート間の付着を生じさせ，シース内のＰＣ鋼材の腐食を防止するために，ＰＣ鋼材とシースの間隙にセメントを主成分とする注入材料を充填(グラウト)する。グラウト工の施工不良はＰＣの耐久性を著しく損なう可能性がある。充填状況の確認方法としては，Ｘ線透過法，打音振動法，赤外線法などの方法が提案されているが，まだ確立されていないのが現状であり，施工時および竣工時におけるグラウト充填に関する適切な施工管理・検査手法の確立が重要な課題となっている。

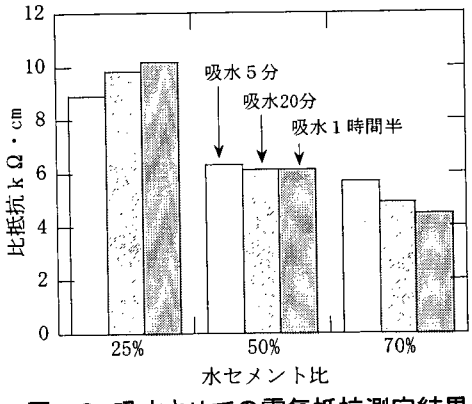


図－2　OTによるグラウト管理のイメージ

そこで，あらかじめシースに温度監視用の光ファイバーを装着しておき，グラウトの充填箇所と未充填箇所の温度の違いからグラウト状況を把握するグラウト管理法を考案し，その適用性について供試体を作成して基礎的な検討を行った。

2．3　電気抵抗測定による硬化コンクリートの品質評価技術

硬化後のコンクリートの品質評価指標としては，圧縮強度が最も一般的である。しかし，耐久性の面に着目すると，鉄筋の腐食に関係する酸素や水，中性化の原因となる二酸化炭素や塩害の原因となる外部からの飛来塩分の鉄筋近傍への浸入を防ぐという意味で，コンクリートの緻密さが重要な要素となる。かぶりコンクリートの緻密さは，フレッシュコンクリートの品質だけでなく，打設，養生等の施工の良否の影響を受けると考えられる。しかし，現状では，硬化コンクリートの緻密さを評価する試験方法は確立されていない。



図－3　吸水させての電気抵抗測定結果
（湿潤養生２日の後28日まで気中に放置した供試体，４点法で比抵抗を測定）

コンクリートの電気抵抗測定は，現状ではコンクリートの含水率を測定する方法として用いられることが多い試験方法で，硬化コンクリートに含まれる水分が多いと比抵抗は小さく，水分が少ないと比抵抗は大きく測定される（水分大→電気の通り道が多い）。緻密なコンクリートでは，内部に空隙が少ないことから，内部の水分量も少なく，比抵抗は大きく測定される。そこで，硬化コンクリートを吸水させて比抵抗を測定し，品質を評価する方法について検討した。

主に，実験室での測定で，比抵抗と水セメント比や塩分浸透抵抗性の関係及び各種測定条件が比抵抗の測定結果に与える影響について検討し，比抵抗測定時の注意点についてとりまとめた。測定結果の一例を図－２に示す。また，既設構造物においても試験的に測定を行った。

2．4　超音波法による部材厚さの測定に関する検討

コンクリート部材の厚さを確保することは，舗装の場合などでは耐荷力・耐久性確保の重要なポイントとなる。そこで，超音波を用いた非破壊での部材厚さ測定方法がいくつか提案されている。超音波を用いた測定は，構造物を傷つけず，任意の箇所で測定できるという利点がある。しかし，従来の方法ではコンクリート内での超音波の音速を一定と仮定しているため，この仮定に起因する数％の誤差を避けられず，検査に適用できるほ

どの精度が得られないという問題がある。

そこで,あらかじめコンクリート部材内の音速分布を推定するための測定(表面走査法)を行って精度を向上させる方法を提案した。供試体を作製して実験を行って,音速分布の推定方法をとりまとめ,表面走査法により音速分布を推定することで部材厚さ測定の精度を向上させることができることを確認した。



写真－1 音速分布の測定状況

3．主な研究成果物

<全般>

・河野広隆，田中良樹，古賀裕久：コンクリート構造物基準類の性能規定化に関する検討，土木研究所資料第3594号，1998.9
・河野広隆，古賀裕久：「コンクリート構造物の規準類の性能規定化と検査のあり方に関する考察」，土木学会論文集，No.651／VI-47，1-10，2000.6

<フレッシュコンクリートの単位水量推定方法>

・河野広隆，加藤俊二，田中秀和，片平博：高温加熱によるフレッシュコンクリートの単位水量迅速判定方法の検討，土木研究所資料第3611号，1999.3
・河野広隆，片平博：フレッシュコンクリートの単位水量迅速推定法に関する実験的研究，土木研究所資料第3657号，1999.7
・片平博他：「加熱乾燥法によるコンクリート単位水量迅速推定法」，土木技術資料，Vol.41，No.12，pp.62-67，1999.12
・片平博他：「エアメータを利用したコンクリート単位水量迅速推定法」，土木技術資料，Vol.42，No.3，pp.64-69，2000.3
・片平博他：「フレッシュコンクリートの単位水量を迅速に推定する方法について」，土木技術資料，Vol.42，No.4，pp.6-7，2000.4
・片平博，河野広隆：「加熱乾燥法によるコンクリート単位水量迅速推定法の特性」，第23回日本道路会議一般論文集(B)，pp.328-329，1999.10
・田中秀和他：「高温加熱による単位水量迅速判定方法の検討」，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.20，No.2，pp.301-306，1998.6

<光ファイバーを用いたグラウト管理技術>

・田中良樹他：「光ファイバー温度センサーを用いたＰＣグラウト管理法に関する基礎的研究」，(社)プレストレストコンクリート技術協会，第８回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集，pp.65-70，1998.10

<電気抵抗測定による硬化コンクリートの品質評価技術>

・河野広隆，渡辺博志，田中良樹，鹿島孝之：コンクリートの電気抵抗による耐久性評価の基礎的研究，土木研究所資料第3716号，2000.3
・鹿島孝之，河野広隆，渡辺博志，田中良樹：「コンクリートの電気抵抗による耐久性評価の基礎的研究」，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.21，No.2，pp.895-900，1999.6
・鹿島孝之，河野広隆，渡辺博志，田中良樹：「コンクリートの電気抵抗に及ぼす含水状態の影響」，土木学会，第２回構造物の診断に関するシンポジウム論文集，pp.113-116，1999.8
・田中良樹，河野広隆，丁海文，鹿島孝之：「硬化コンクリートの比抵抗と含水率の関係」，土木学会第55回年次学術講演会講演概要集，第Ⅴ部，pp.532-533，2000.9
・古賀裕久，河野広隆，渡辺博志，田中良樹：「コンクリートの電気抵抗による耐久性評価に関する基礎的研究」，鉄筋コンクリート構造物の計測と表面探傷シンポジウム講演論文集，日本非破壊検査協会，pp.89-94，2001.1

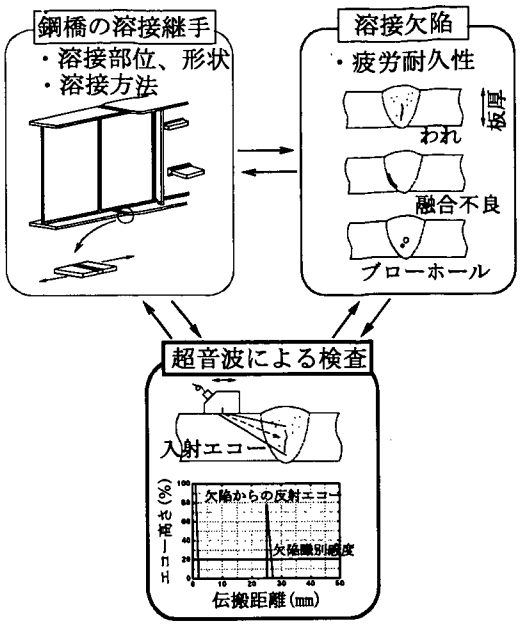
<超音波法による部材厚さの測定>

・森濱和正：「超音波による正確なコンクリート版厚の測定方法」，土木技術資料，Vol.41，No.2，pp.38-43，1999.2
・森濱和正他：「非破壊試験によるコンクリート品質，厚さ，鉄筋の計測に関する研究 その２．超音波による音速分布の測定」，日本非破壊検査協会平成12年春季大会講演概要集，pp.67-68，2000.5
・山口達夫他：「同 その７．コンクリート表面の音速測定に及ぼす鉄筋の影響」，同，pp.77-78，2000.5
・森濱和正他：「非破壊試験によるコンクリート品質，厚さ，鉄筋の計測に関する研究 その８　超音波による表面伝播時間の測定における探触子の影響」，日本非破壊検査協会平成12年秋期大会講演概要集，pp.259-260，2000.11
・南康雄他：「同 その９　超音波による音速分布と厚さの測定」，同，pp.261-262，2000.11
・森濱和正他：「同 その10　超音波による内部音速の解析結果と実測値の比較」，同，pp.263-264，2000.11

(河野・森濱・片平・田中・古賀)

12.5　鋼構造物の品質検査試験技術の開発（非破壊検査・溶接検査・塗膜検査等）

研究期間：平 9 ～平 12
担当　　：橋梁研究室



【要旨】

近年の経済の国際化や建設コスト縮減の動きに対し、競争力や透明性の確保、新技術の迅速な導入のためには、従来の仕様規定型の技術基準から性能規定型への移行が必要となってきている。本研究では、鋼道路橋について性能規定型基準としたときの要求性能の枠組みを作成し、性能規定型基準案を提案することを目標とする。

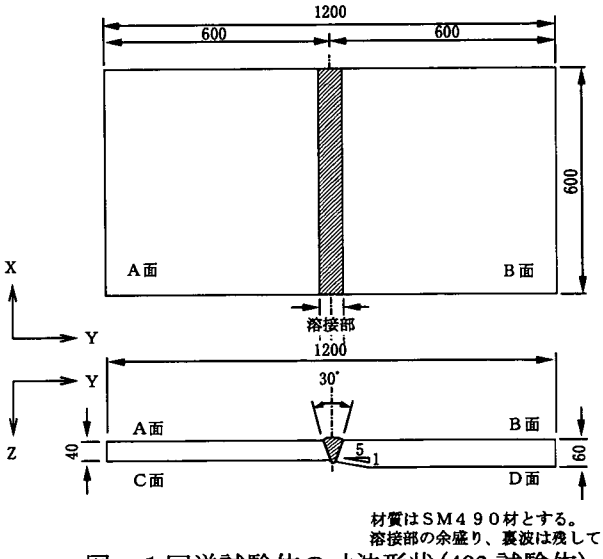
１２年度は、性能規定型の基準を目標とした場合の道路橋示方書における溶接継手の要求性能の検証方法を整備するため、溶接継手部に各種の溶接内部欠陥を挿入した試験体に対して超音波自動探傷試験(AUT)を行った。また、実際の溶接欠陥を確認するため、AUT が実施された内部欠陥を有する試験体(別途製作)の破壊実験を実施した。その成果として、要求性能を確保するために必要な内部欠陥の形状寸法を検出できることが確認された。その成果の一部は、道路橋示方書に反映される予定である。

１．研究方法

図－１に試験体の形状寸法を示す。試験体の溶接継手は、鋼げたおよび鋼製橋脚の現場突合せ溶接を想定して、Ｖ形開先のＣＯ₂ガスシールドアーク溶接による片面多層盛り溶接を採用した。

表－１に１８ケースのパルス反射法の超音波自動探傷装置の一覧を示す。

探傷試験は、屋内において、下向き姿勢により行った。検査技術者は、実際の鋼道路橋の架設現場を想定して、２名～３名を原則とした。距離振幅の補正及び探傷感度の調整は、回送試験体に用いた鋼板と同じ鋼板から製作した RB-4 型相当の対比試験片を用いた。指示長さの測定方法は、各ケースに任せたため、表－１に記載する方法により行われた。探傷試験中は運営員を常駐させ、探傷試験が適切に運営されていることを確認した。



図－１回送試験体の寸法形状(403 試験体)

実際の欠陥の寸法や位置や種類を確認するために、回送試験体の溶接部を 0.5mm 間隔にて機械切削し、マクロ試験を実施した(写真－１参照)。

２．研究結果

表－２にＬ／２検出レベルにおける試験体別の検出数を示す。検出率の評価方法には、長さ t/6mm を超える欠陥を不合格とする合否判定基準を用いた。また、探傷結果の指示は長さ 1mm 以上のすべての指示を

表−1　超音波自動探傷装置の種類とケース一覧

	探傷器			探触子		指示長さの
	アンプ形式	データ収録方式	距離振幅補償・補正方式		6dBﾋﾟｰｸﾀﾞｳﾝ周波数帯域 (MHz)	測定方法
①	ログアンプ	ゲート内全エコー方式	距離振幅補正方式	B2C14×14A70	1.4〜3.0	L/2線カット法
②	ログアンプ	ゲート内全エコー方式	距離振幅補正方式	2Z14×14A65	1.49〜2.23 / 1.51〜2.19	L/2線カット法
③	リニアアンプ	ゲート内１エコー方式	距離振幅併用方式	5Z17.6×10A70	2.90〜5.39 / 2.97〜5.51	L/2線カット法
④	リニアアンプ	ゲート内２エコー方式	距離振幅併用方式	5C10×10A65	4.00〜5.91	L/2線カット法
⑤	リニアアンプ	ゲート内２エコー方式	距離振幅併用方式	5C10×10A45	4.30〜5.86	L/2線カット法
⑥	リニアアンプ	ゲート内全エコー方式	開口合成後のきず深さによる振幅補正	2C12×20A70	1.48〜2.70	-6dBﾄﾞﾛｯﾌﾟ長さ
⑦	ログアンプ	ゲート内全エコー方式	距離振幅補正方式	3.5Z15.2×10A63	2.39〜5.02/ 2.34〜5.17	セル画より測定
⑧	ログアンプ	ゲート内全エコー方式	距離振幅補正方式	5C10×10A50	4.39〜5.46	セル画より測定
⑨	リニアアンプ	ゲート内１エコー方式	距離振幅併用方式	5Z10×10A70	4.35〜5.40/ 4.43〜5.44	
⑩	リニアアンプ	ゲート内２エコー方式	距離振幅併用方式	5C10×10A70	4.15〜5.86/ 4.20〜5.83	L/2線カット法
⑪	リニアアンプ	ゲート内２エコー方式	距離振幅併用方式	5C10×10A45	4.13〜5.79/ 4.17〜5.83	L/2線カット法
⑫	リニアアンプ	ゲート内１エコー方式	距離振幅補償方式	3C10×10A70	1.59〜4.30	L2…10%以上
⑬	リニアアンプ	ゲート内１エコー方式	距離振幅補償方式	3C10×10A45	1.54〜4.25/ 1.59〜4.30	(1mm単位)
⑭	プリアンプ	ゲート内１エコー方式	多点DAC	3C20×20A70	2.22〜3.58/ 2.19〜3.63	L/2線カット法
⑮	リニアアンプ	ゲート内１エコー方式	距離振幅併用方式	2C14×14A70	1.80〜2.34/ 1.93〜2.41	L/2線カット法
⑯	リニアアンプ	ゲート内全エコー方式	距離振幅補償方式	5MHz 4.9×15 アレイ斜角 16素子集束 +4素子非集束	2.1〜5.0/2.0〜4.1	L/2線カット法
⑰	ログアンプ	ゲート内全エコー方式	距離振幅補償方式	5C10×10A65	3.5〜5.9 / 3.5〜6.3	L/2線カット法
⑱	ログアンプ	ゲート内全エコー方式	距離振幅補償方式	5C10×10A45	3.9〜5.9	L/2線カット法

表−２　検出数(403 試験体、L/2 検出レベル)

破壊試験データ (実欠陥)									各探傷ケースの結果																		検出件数	見逃し件数
欠陥No.	X-s	X-e	L	k	d	H	種別	深さ位置	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬	⑭	⑮	⑯	⑰	⑱		
3	27.0	41.0	14.0	0.5	42.0	4.5	CR	裏波近傍	○	○	○	●	●	○	●	●	●	○	●	○	●	○	○	○	○	●	10	8
4	76.0	91.0	15.0	6.5	8.0	3.0	群BH	余盛近傍	○	○	○	●	●	●	●	○	●	○	●	●	●	○	○	●	●	●	7	11
5	142.5	153.0	10.5	1.0	39.5	5.0	CR	裏波近傍	○	○	○	●	●	○	○	○	●	○	●	○	●	○	○	○	●	●	11	7
6	171.5	182.5	11.0	2.0	19.5	1.0	SI	中間部	○	○	○	●	●	○	○	○	●	○	●	○	○	○	○	○	●	○	13	5
8	212.5	240.0	27.5	-7.0	24.5	4.0	LF	中間部	○	○	○	○	●	○	○	○	○	○	●	○	●	○	○	○	○	○	15	3
9	311.0	321.5	10.5	-8.5	27.5	5.0	LF	中間部	○	○	○	○	●	○	○	○	○	○	○	○	●	○	○	○	○	●	15	3
10	318.0	337.0	19.0	-8.0	29.0	6.5	LF	中間部	○	○	○	○	●	○	○	○	○	○	○	○	●	○	○	○	○	●	15	3
12	349.0	372.5	23.5	-8.0	29.5	3.5	LF	中間部	○	○	○	○	●	○	○	○	○	○	○	○	●	○	○	○	○	●	15	3
13	356.5	363.5	7.0	-6.5	31.5	1.5	LF	裏波近傍	○	○	●	○	●	○	○	○	○	○	○	○	●	○	○	○	○	●	14	4
15	382.0	398.5	16.5	-6.0	33.0	7.5	SI	裏波近傍	●	○	○	○	●	○	○	○	○	○	○	○	●	○	○	○	○	●	14	4
16	401.5	411.0	9.5	-6.5	25.0	3.0	LF	中間部	○	○	○	○	●	○	○	○	○	○	○	○	●	○	○	○	○	●	15	3
17	406.5	419.5	13.0	-5.0	35.0	5.0	LF	裏波近傍	○	○	○	○	●	○	○	○	○	○	○	○	●	○	○	○	○	●	15	3
20	473.0	492.5	19.5	1.5	20.0	2.5	群BH	中間部	○	○	○	○	●	●	●	○	○	○	●	○	●	○	○	○	○	○	13	5
23	523.0	542.0	19.0	0.0	40.0	3.0	SI	裏波近傍	○	○	○	●	●	●	○	○	●	○	○	○	●	○	○	○	○	●	12	6
24	527.5	547.5	20.0	-0.5	40.5	2.0	群BH	裏波近傍	○	○	●	●	●	●	○	○	○	○	○	○	●	○	○	○	○	●	12	6
25	547.5	585.0	37.5	-6.0	32.0	4.0	LF	裏波近傍	○	○	○	○	●	○	○	○	○	○	○	○	●	○	○	○	○	●	16	2
								検出された欠陥数	15	16	14	10	0	12	13	15	11	16	10	15	2	16	16	15	13	3		
								見逃し欠陥数	1	0	2	6	16	4	3	1	5	0	6	1	14	0	0	1	3	13		
								指示の総数	35	61	47	11	0	26	39	39	24	68	30	28	3	45	64	51	18	6		

対象とした。指示の高さ方向(図−１の Z 軸方向)と直角方向(図−１の Y 軸方向)に± 10mm 以内に実際の欠陥がある場合に検出したと定義した。なお、欠陥の長さは溶接線方向(図−１の X 軸方向)の長さを指す。ここで、表中の記号のうち、①〜⑱の探傷ケースの欄にある記号“○”は実際のきずを検出したことを表し、記号“●”は検出できなかったことを表す。また、Xs は実際の欠陥長さの始点を指し、Xe は欠陥長さの終点を指す。L は欠陥長さを表し、k は開先中心からの Y 軸方向のずれ量を指し、d は Z 軸座標における板厚表面からの深さを指し、H は欠陥の Z 方向の高さを指す。欠陥種別のうち、CR は割れを指し、LF は融合不良を指し、SI はスラグ巻き込みを指し、BH は群集ブローホールを指す。検出率は、探傷ケース①〜⑱のうち、最高が 100 %、最低が 0 %であり、平均は 73.6 %であった。以上より、AUT の基本性能および特性を把握することができた。



写真−１　マクロ写真

３．主な研究成果物

・国土交通省土木研究所他：鋼道路橋の非破壊検査手法に関する共同研究報告書、超音波自動探傷検査要領(案)、平成 13 年(作成中)

(西川、玉越、高橋)

12.6　鋼構造物の品質検査試験技術の開発（非破壊検査・溶接検査・塗膜検査等）

研究期間：平９～平１２

担当：化学研究室

［要旨］

国際化並びにコスト縮減のための建設事業の性能規定化が求められている。性能規定化に伴う鋼構造物の塗膜の防食性能や景観性能を保証するため、効率的で精度の高い検査技術が求められている。

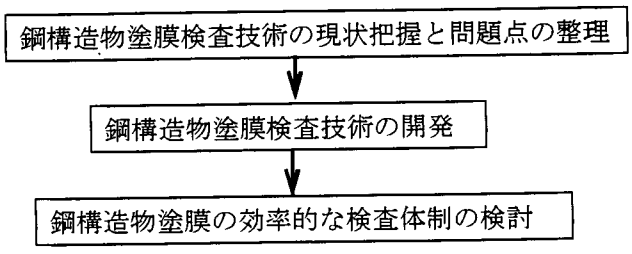
鋼構造物の塗膜検査は、塗料が十分に乾燥したのち電磁式膜厚計で所定の膜厚が確保されているか測定している。しかしながら、測定結果は、ばらつきが大きく、定められた均一な膜厚を確保することが困難である。そこで、塗膜厚をモニタリングしながら施工ができる塗料（省検査形塗料）の開発を行っている。

１２年度は、省検査形塗料の実橋での塗替え塗装への適用性を検討した。その結果、所定の膜厚が得られていることが確認され、実橋にも十分適用できることが判明した。

１．研究目的

効率的かつ簡便な塗膜検査方法として、所定の塗膜厚まで塗装が行われた時点で下地の色が隠ぺいされるように調整した省検査形塗料の適用性を明らかにし、鋼構造物塗装の膜厚検査を省力化する。

２．研究方法



２．１　実橋塗装試験

省検査形塗料の実橋への適用性を検証する目的で、土木研究所構内の南地区横断橋の塗替え塗装時に試験塗装を行った。

試験塗装では、高塗着エアレススプレー塗装機を用いた機械塗装，ローラーブラシによる塗装およびはけ塗り塗装を行い、施工性と仕上がり外観調査，塗膜厚の確認および付着性試験などを行った。

３．研究結果

３．１　施工性

各塗料の塗装温度，塗料の希釈率，塗料粘度および塗装作業性は、冬季間（平成１２年１２月から平成１３年１月）の施工であったにも係わらずはけ塗りとローラー塗装が比較用の従来形塗料に比べて若干良くなかったが、施工に支障はなかった。

３．２　仕上がり外観

はけ塗り、エアレススプレー塗装は良好な仕上がりであった。ローラー塗装はローラーパターンによって凹凸が生じたため、若干仕上がり外観が劣った。

３．３　塗膜厚

塗り替え塗装であるため、塗装後の膜厚測定はできないので、充分に塗料が硬化乾燥した後（塗装後約１ヶ月経過）にペイントボーラーで膜厚を計測した結果を表－１に示す。

これより、エアレス塗装はやや厚めに塗装されていた。これは下地を隠ぺいした段階で塗装を止めるタイミングが若干ずれたためと思われる。正確な膜厚を得るためには塗装作業者の慣れが必要と思われる。一方、はけ塗りとローラー通すは下フランジ下面の膜厚が若干少ない結果となった。これは、足場内の塗装作業の

ため目視による色の変化の判定がやりにくかったためと思われる。

3．4　付着力

付着力試験結果を表－2に示す。碁盤目試験の結果、すべてが旧塗膜の下塗り（鉛丹さび止めペイント）の凝集破壊であり、はく離面積も５０％以上であった。アドヒージョン試験の結果、半数以上が2.0Mpa以下であり、はく離層も旧塗膜の層間が多かった。この結果、旧塗膜はすでに劣化しており新規に塗装した塗膜の付着性は評価できなかった。

表－１　塗膜厚測定結果

仕様No.	調査箇所		塗料	目標膜厚（μm）	膜厚測定値（μm）		
					1	2	平均
A-1	南面	ウェブ	省検査塗料用下地塗料	30	43	43	43
			省検査形塗料	120	114	121	118
		下ﾌﾗﾝｼﾞ下面	省検査塗料用下地塗料	30	43	50	47
			省検査形塗料	120	100	86	93
A-2	南面	ウェブ	省検査塗料用下地塗料	30	29	36	33
			省検査形塗料	120	100	107	104
		下ﾌﾗﾝｼﾞ下面	省検査塗料用下地塗料	30	21	36	29
			省検査形塗料	120	57	107	82
B	西側	ウェブ	省検査塗料用下地塗料	30	71	86	79
			省検査形塗料	120	164	179	172
		下ﾌﾗﾝｼﾞ下面	省検査塗料用下地塗料	30	50	57	54
			省検査形塗料	120	129	143	136

表－２　付着力試験結果

仕様No.	調査箇所		アドヒージョン試験					碁盤目試験	
			引張強度(MPa)	はく離層				評価点	はく離層
				旧下塗層内	旧下塗・旧中塗層間	旧中塗層間	接着剤層内		旧塗膜下塗層内
A-1	南面	ウェブ	1.7	30%	70%			4	100%
		下ﾌﾗﾝｼﾞ下面	4.0	20%	80%			4	100%
A-2	南面	ウェブ	3.5	10%	90%			4	100%
		下ﾌﾗﾝｼﾞ下面	2.3		90%	10%		4	100%
B	西面	ウェブ	1.0	25%	60%		15%	4	100%
		下ﾌﾗﾝｼﾞ下面	1.8	5%	95%			4	100%

3．5　塗膜初期値

塗膜性能の初期値として６０度鏡面光沢値と色差の指標であるL*，a*，b*を測定した。光沢値は、はけ塗り，エアレス塗装，ローラー塗りの順で低い値となった。

4．まとめ

塗膜検査技術を高度化する方法として省検査形塗料の適用可能性について検討した結果、桁下面などを塗装する際にも塗料のだれなどもなく、施工性もほぼ従来形塗料と同程度であった。また、仕上がり外観も良好であった。ただし、塗替え塗装時のは、足場内が薄暗いため色調の変化を充分に捉えることは困難な場合があり膜厚は厚かったり薄かったりした。このため、塗替え塗装では足場内に照明を設けるなどの工夫が必要である。しかしながら、省検査形塗料は煩雑な膜厚検査を省けることが実橋において確認された。よって、鋼構造物塗膜の効率的な検査方法として省検査形塗料は充分に機能することが検証された。（明嵐、守屋）

12.7　土構造物の品質管理技術の開発

研究期間：平9～平12
担当：施工研究室

【要旨】

土木研究所では各要素技術の性能規定化に伴い、土構造物における性能規定および限界状態設計法の導入へ向けて研究を進めている。この背景として、現行の仕様規定からの脱却を図り、受注者の保有技術や創意工夫を生かし得る範囲を拡大し、品質向上とコスト縮減をさらに促進するためである。

このような背景から、品質管理の合理化を図るため、構造物に要求される性能あるいは品質を明確にし、的確に品質を確保できる検査手法を検討することが目的である。

12年度は、前年度の研究成果である道路盛土の要求性能の階層整理結果を基に、盛土の各部位における要求性能、要求性能を満足する既存の品質管理基準、現行の土工の品質管理と性能規定について整理、検討した。

1．盛土の性能指標及び要求水準

（1）盛土の機能

道路盛土は道路として利用される盛土であり、目的は「その道路を快適かつ安全に走行できる」ことでありNKBアプローチでいうレベル1である。ここで、道路盛土に要求する機能を考えると、供用期間中に外的作用に対し安全である（安全性）、供用期間中に利用者が快適に利用できる（供用性）、周辺環境に与える負荷が社会の受容可能な範囲である（環境適合性）、設計計画はライフサイクルコストを考慮したものであること（経済性）等が考えられ、これらはレベル2に属す。

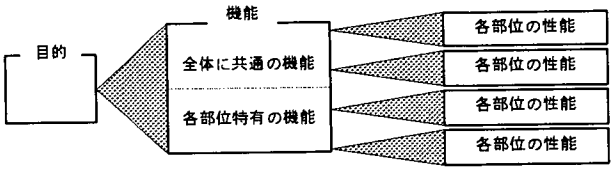


図-1 道路盛土として求められる機能イメージ

（2）盛土の機能と部位

道路盛土は複数の部位で構成されており、舗装を除く部位を役割別に分類すると、路床・路体・のり面・構造物近接部の裏込め土、基礎地盤に分けられる。ここで、「各部位 に求められる役割」とは「道路盛土として求められる機能」を満たすために各部位に与えられた特有の機能であると考える。但し、求められる性能はその部位を構築する段階から全供用期間に至るライフサイクルにおいて満足するものと規定し、その部位性能は構築環境において満足しているかを照査及び検査によって確認できなければならない。

（3）盛土（路体、法面）の要求性能

舗装技術基準（案）（以下「新基準」とする）では、路体・のり面についての記述はなされていない。道路土工指針では「路体」とは盛土における路床以外の土の部分、「のり面」は盛土によって構成される土の斜面としている。路体・のり面は道路盛土の主となる部材であり、基礎地盤とともに上部の舗装を支持する基礎となる部分である。そのため、交通荷重及び自重等により有害な沈下、変形を起こさないこと、地震や降雨などの自然条件に対し十分な安定性を保有している等の機能を

表-1 各構成要素の要求性能

	盛土（重要な道路）		盛土（その他の道路）	
	路体・路床（基礎地盤を含む）	のり面	路体・路床（基礎地盤を含む）	のり面
平常時	許容沈下率以内※1 供用後一定期間に対して	クラックや目視での変形なし	許容沈下率以内※1 供用後一定期間に対して	クラックや目視での変形なし
異常時	許容沈下率以内（1回のオーバーレイで処理できる限度）	浅い崩壊※1及び修復可能な変形以内。	応急復旧できる程度以下（例えば動車走行限界以内※2 踏掛け板による対応可能な量	浅い崩壊※1及び修復可能な変形以内。
稀な異常時	応急復旧できる程度の沈下以内（例えば自動車走行限界以内※4 踏掛け板による対応可能な量）	深い崩壊※1がないこと	大崩壊しないこと	大崩壊しないこと

保有しなければならない。但し、その材料は経済性等から現場発生土を用いて構築することから土独特の不安定、不確定な要素をもっており、路体・のり面を構築する際にはその材料の力学特性を把握し、必要に応じて安定処理を行い適切な施工を行わなければならない。各構成要素の要求性能は道路の重要度に応じて表-1のように整理した。

2．品質管理手法の適用性

主な公共機関で採用している締固め度の規定は、ほとんどの場合、乾燥密度と基準乾燥密度の比で定義する締固め度や土質によっては飽和度・空気間隙率で規定するいわゆる密度管理が主となっている。また、目的によっては強度管理も行われている。既往及び新たに提案されている品位管理手法をその規定方法により大きく3つに区分し、これらの長所及び短所を表-2に示す。

表-2 品質管理手法の長所と短所

管理規定	長所	短所	概要
締固め度、飽和度、空気間隙率の規定	含水状態に対して鈍感であり、長期安定性を保証しやすい。室内締固め供試体より、せん断試験、透水試験等が実施できることから、目標とする品質（せん断強度、変形性、透水性）を予測しやすい。	直接、盛土の品質は確認できない。土質材料の違いによって変化、測定に労力がかかる。粘性土の飽和度や空気間隙率での管理は強度に関係なく目安でしかない。	RI 砂置換
強度・変形の規定	直接、盛土の品質管理を確認する。測定が簡単なものが多いので測定個数を増やせる。試験結果が短時間で現場が得られ、施工へのフィードバックを行いやすい。	含水比の変化によって強度変化が大きい。土質材料の違いによる強度変化。含水比が最適含水比より小さい場合は強度を大きくとるので、長期安定性の保証にはならない。振動加速度法と盛土材の品質などが直接的には関係せず、双方の関係を求めることが困難である。	衝撃加速度法　貫入試験　プルーフローリング等
工法の規定	工事監督並びに施工管理が上記品質規定の場合より、直接的でわかりやすい。	盛土の品質を直接確認するものではない。別途、締固め試験によって盛土の品質を確認し仕様の適否をチェックする。最終的に締固め機種と締固め回数を決定することが原則である。	衝撃加速度法　貫入試験　プルーフローリング等

表-2のように道路盛土の品質管理には多様な技術が開発されていることから、各盛土部位に対する性能を満足する品質管理基準の見直しが必要である。それには、①盛土各部位に要求される性能を明確にする。②要求される性能に対する品質管理方法・基準との相関関係を明確にする、ことが必要である。

3．土工の品質管理の在り方

安定性に関する盛土の直接的な品質は強度であるが、強度は盛土の含水比状態、締固め度、拘束圧等によって変化するから、管理しにくい面をもつ。また、沈下量に関する直接の品質は、将来予想される荷重で盛土が密になる以上に、施工段階で密な状態を作り上げることが必要であることから、締固め度や先行圧密応力である締固め力の管理が必要である。以上の観点から、定量的な検証が困難であるが、現時点では従来通りの締固め度を管理する方法が優れていると考える。しかしながら、強度管理、工程管理は情報化施工を行う際の施工管理として、測定時間が短く即時に結果が得られるメリットがある。特に強度管理は、施工段階の含水比管理を十分に行うことで含水比状態による強度のばらつきが回避できるので、十分有効である。但し、施工時の含水比や土質の種類に応じた湿潤密度など適用の限界を検証することが重要である。工程管理は工事前に施工機械と転圧層厚、転圧回数、締固め度や強度の関係を十分に検討した後に適用することが可能である。特に大規模土工において接地圧の大きな機械を用いた厚層締固め工法は有効であると考える。

以上より、土工では施工の途中段階で品質管理・検査を即時かつ的確に行うことが重要でありこのような品質管理・検査体制の仕組み・技術を確立することによって、現実的かつ合理的な品質管理が可能であると考える。

（大下、青山、市村、橋本）

12.8　施工情報活用による品質管理・検査の合理化技術の開発（シールド工）

研究期間：平10～平12

担　　当：機械研究室

【要旨】

近年の国際社会において，WTO/TBT協定に示されるように，技術仕様はデザインまたは記述的に示された特性よりも，性能に着目して定めることが求められている。また，国内においては，公共工事のコスト縮減のために，品質管理・検査の合理化に取り組むこと等が求められている。このような要求に対応するための方法として，土木工事への性能規定概念の導入が期待されている。

本研究の全体計画を図-1に示す。本研究においては，土木工事への性能規定概念の段階的導入の第1段階として，「要求性能を考慮した品質管理」により品質管理・検査の合理化を行う方法について検討を行うものである。11年度は，これまでの検討に基づき，品質管理・検査の合理化方法を提案するとともに，新しい品質管理体系として土木工事への性能規定導入の全体的枠組みについて，最終的な提案を行った。

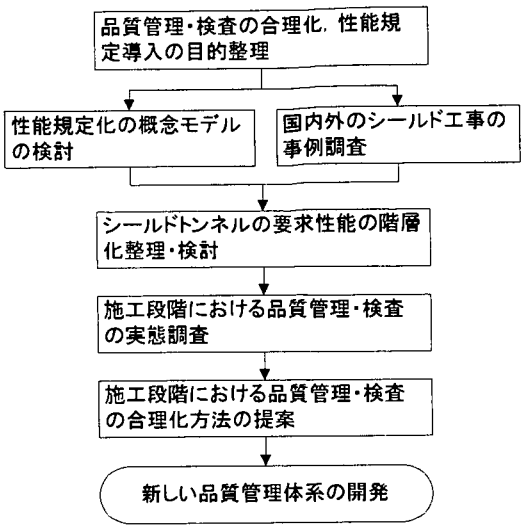


図-1 研究計画

1.　研究方法

これまでに行った研究結果に基づく総合的な検討から，土木工事への性能規定導入の全体的な枠組みについて提案する。現在，土木工事への性能規定導入に関しては，「舗装工事の性能発注」が試行されている。提案は，これについても考慮して行うこととした。

また，品質管理・検査の合理化方法については，11年度に提案した4つの整理方法（構造物の階層性と要求性能の関係を考慮した整理方法）を用いて検討を行った。シールドトンネルに対する要求目的は幾つかに大別できる。本検討においては，シールドトンネルに対する構造安全性の要求を事例とした検討を行い，「要求性能を考慮した品質管理」のための品質管理・検査の合理化方法の検討手法を提案することとした。

2.　研究結果

2.1　土木工事への性能規定導入の枠組み

土木工事への性能規定導入は，コスト縮減等の効果が期待される反面，設計・施工に対する受注者責任の増加や発注者側のインハウスエンジニアの技術力向上が求められるために，受発注者の不安感が大きいものでもある。そのため，性能規定概念の段階的な導入により，土木工事に関係する技術者の理解を深めつつ，性能規定導入による効果を得る方法が有効であると考える。土木工事において性能規定の効果を得る方法として下の2つの方法が考えられる。

1. 性能発注（性能規定型発注）の実施

2. 要求性能を考慮した品質管理の実施

これらの方法を段階的に実施して土木工事への性能規定導入を図る。導入のビジョンと必要となる検討事項を図-2に示す。本研究における品質管理・検査の合理化方法の検討は，「要求性能を考慮した品質管理」に対応するものである。

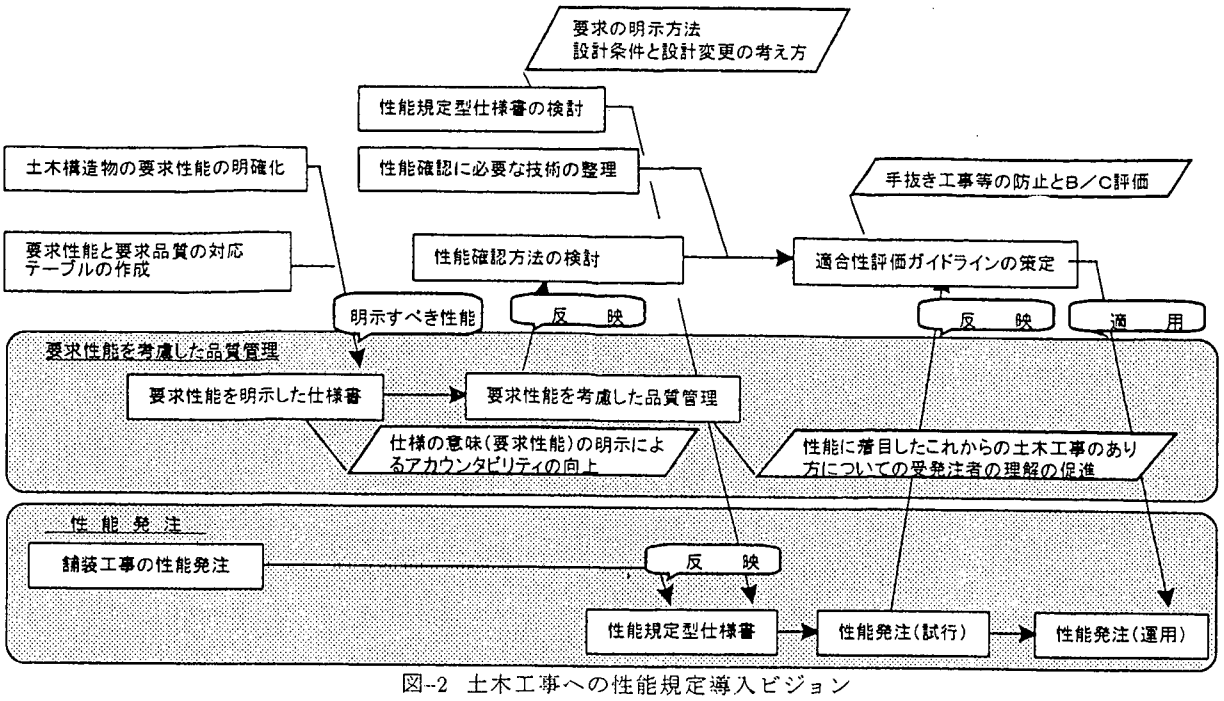


図-2 土木工事への性能規定導入ビジョン

2.2 品質管理・検査の合理化方法

現在，土木工事における発注者の監督業務のうち，施工に直接関連し，受注者の品質活動に関わり，かつ受発注者双方にとって負担が軽減できると考えられる業務には，下の3つがある。

1. 指定材料の確認
2. 工事施工の立会い
3. 工事施工状況の確認（段階確認）

品質管理の合理化検討においては，これらに特に着目しつつ，要求性能を考慮した品質管理・検査の合理化方法の提案を行う。要求性能を考慮して，現在の品質管理・検査項目を整理すると，下の3つのケースが把握できる

ケース1　同一の要求性能に対応した品質管理・検査が，構造物の階層の上位と下位で実施されており，下位での検査が検査が冗長である項目

ケース2　同一の要求性能に対応した品質管理・検査が，構造物の階層の上位と下位で実施されているが，上位の段階だけでは不十分となる項目

ケース3　同一の要求性能に対応した品質管理・検査が，構成要素に対して何度も行われており（例えば，工場製作時と現場搬入時），1度で十分な項目

これらについて評価を行い，品質管理・検査の合理化方法の提案を行った。

3. まとめ

本研究において，土木工事への性能規定導入方法について検討を行い，その枠組みについて提案するとともに，具体的な検討の第1段階として，シールド工事を事例に，「要求性能を考慮した品質管理」の検討を行った。今後，さらに段階を推し進め，性能規定導入に対する提言を行っていきたいと考えている。

4. 主な研究成果

○ 田中和嗣・江本平:要求性能に基づく品質管理の合理化と施工自由度の向上-性能規定導入に向けた一提案-,pp.145-pp.152,第18回建設マネジメント問題に関する研究発表・討論会,(2000)

(江本平，田中和嗣)

12.9　公共土木工事の発注体系に関する調査研究

研究期間：平 11～12

担当：建設マネジメント技術研究室

【要旨】

近年、ＷＴＯなどの世界的な潮流として、また、設計・施工の自由度の向上や技術開発の促進を目的した土木構造物の設計・施工に関する技術基準類の性能規定化が検討されてきている。

１２年度は性能規定化等により新技術採用の自由度向上をはかった際の品質確保の方策を探るため、現在国土交通省において性能規定発注方式が適用された低騒音舗装工事の試行事例を対象に、請負者等にアンケート調査を実施し、性能の検証方法やタイミング等について課題を抽出し、今後の性能規定による品質確保方策についてとりまとめた。

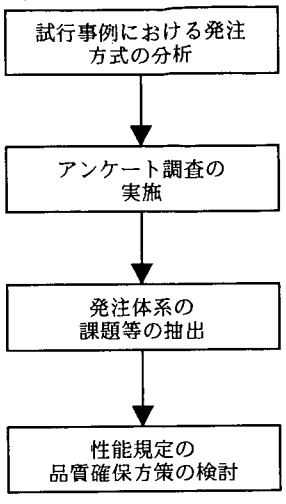


図-1　調査概要

１．調査方法

調査は現在国土交通省において性能規定発注方式が適用された低騒音（排水性）舗装工事の試行事例（10～11 年度発注工事）を対象に、入札参加者並びに請負者にアンケート調査を実施し、性能の検証方法やタイミング等について課題を抽出し、今後の性能規定による品質確保方策について検討し、とりまとめた。

２．試行事例における性能規定発注方式の概要

現在低騒音舗装工事において試行されている内容は以下のとおりである。

２．１　性能規定

低騒音（排水性）舗装工事の試行事例における排水機能層（表層）の出来型及び品質管理項目として、表-1 に示す項目について性能を満足することを規定している。

具体の規定値については、通常の排水性舗装の実測平均値をもとに、対象とする地域の条件や交通量等を考慮して決められており、全工事において一律の値ではない。

表-1　試行事例（低騒音舗装工事）における性能規定

項　目	項目の意味	性能を規定した理由
耐塑性変形	舗装表面におけるわだち掘れの生じにくさ	大型車交通量の多い道路では、特にわだち掘れ等が生じ易いため、わだち掘れを生じにくい材料（アスファルト混合物）を使用することにより、走行性を良くし、安全も確保できることから、その性能を規定している
排　水　性	舗装表面（表層）からの水の排水能力	排水能力により、雨天時走行のすべり抵抗性の向上、また、水はね水しぶきの緩和による視認性の向上等、走行安全の確保ができることから、その性能を規定している。
平　坦　性	舗装表面の平坦さ	車の走行性（乗り心地）、沿道環境は舗装表面の平坦の度合いに左右されることから、その性能を規定している。
騒　音　値	車両の走行により発生する騒音	排水性舗装による道路交通騒音の低減から沿道環境の改善が可能となることから、騒音低減の確認のため、その性能を規定している。

２．２　検証方法とタイミング

規定された性能について検証は、騒音値については車道舗装完成時と完成後１年後、またその他性能については完成時について実施する。車道舗装施工完成時の性能評価並びに車道舗装施工完成１年後の性能評価（騒音低減）は、発注者が公的機関にＲＡＣ車を用いて行わせる。ここで１年後の性能（騒音低減）を保持できなかった場合、発注者は請負者に性能の回復処置を行わせるものとしている。

３．調査結果

３．１　性能発注方式における課題等の抽出

試行事例において入札参加企業ならびに落札者に対しアンケート調査を実施し、その結果を踏まえて性能

発注方式の課題を抽出した。なお、アンケート回収率は７７．２％（１４９者中１１５者の回答）であった。

平坦性能、排水性能、耐塑性変形性能の要求性能（完成時）に対する入札者の反応を図-2に示す。これら要求性能に関しては、大半の入札者において容易に達成可能と判断されており、「性能要求項目」及び「要求性能」として妥当であると考えられる。

一方、騒音性能（完成時、１年後）における入札者の反応を図-3に示す。これより、特に１年後の騒音性能については、ＲＡＣ車による騒音測定に関するリスクに対して不安が大きく、ＲＡＣ車に関する十分な測定データの提供が求められている。また回答者からの意見として、外的要因との関係の明確化について求められている。

このような入札者の回答結果から、低騒音舗装工事の性能規定発注においては以下の事項が課題として整理できる。

① 使用瑕疵、管理瑕疵と性能未達成の関係明確化

② 性能検証方法・タイミングに応じた十分なデータ（ＲＡＣ車の測定データ等）の提供

③ 要求性能に応じた予定価格の算定

３．２ 品質確保方策

①発注方式（従来方式である設計・施工の分離、または設計施工一括発注）は、性能検証方法やタイミング、性能検証技術の保有者に応じて選択する。

②性能検証に係わる企業側のリスクを低減するためにも、性能検証技術に関する十分な情報を企業に提供する必要がある。

③供用開始後に性能を検証する場合には、目的物の使用瑕疵や管理瑕疵と性能未達成の関係を企業に対して明確に示す必要がある。

④性能規定発注方式による品質の確保・向上のためにも、性能未達成のペナルティとともに、予定価格の算定等においてリスクに応じて企業側にインセンティブを付与することが必要である。

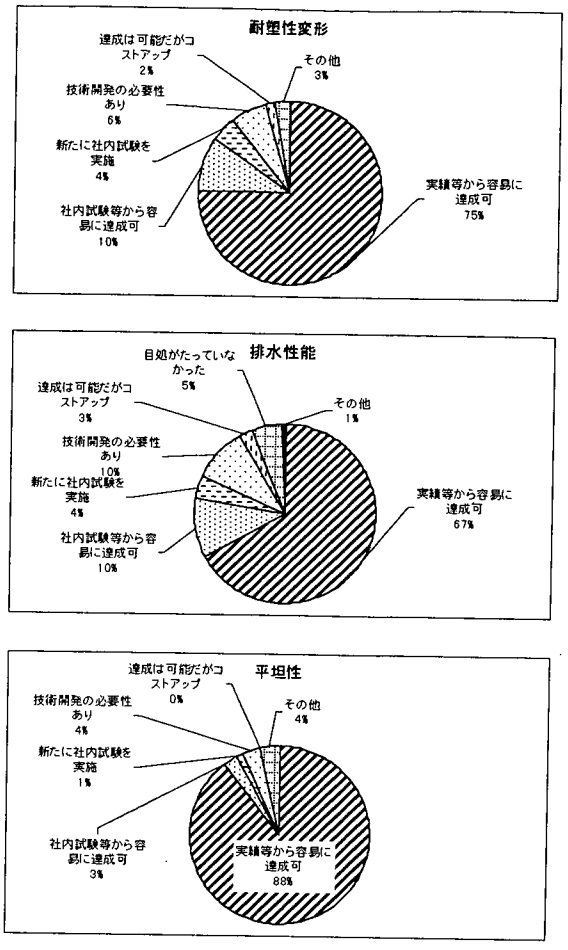


図-2 各性能要求に対する入札者の反応（平坦性能、排水性能、耐塑性変形性能）

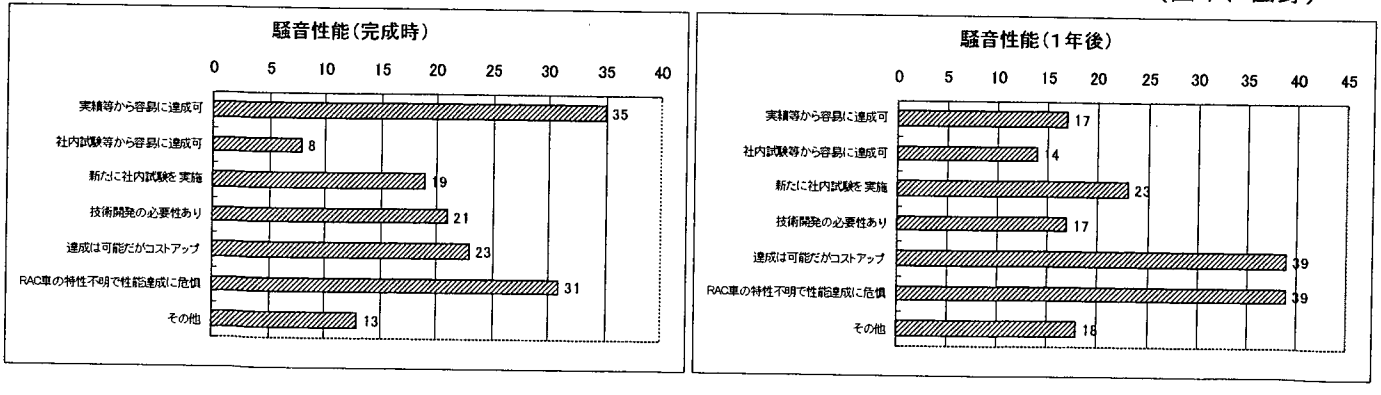


図-3 騒音性能に対する入札者の反応

（山下、西野）

12.10　公共土木工事の性能発注に関する調査研究

研究期間：平11～12

担当：建設マネジメント技術研究室

【要旨】

近年、ＷＴＯなどの世界的な潮流として、また、設計・施工の自由度の向上や技術開発の促進を目的とした土木構造物の設計・施工に関する技術基準類の性能規定化が検討されてきている。

１２年度は、現在国土交通省において性能規定発注方式が適用された低騒音舗装工事の試行事例を対象に、請負者等にアンケート調査を実施し、入札契約方式のあり方について課題を抽出し、今後の性能発注のあり方についてとりまとめた。

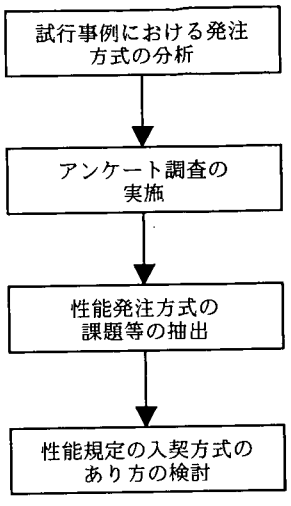


図-1　調査概要

１．調査方法

調査は現在国土交通省において性能規定発注方式が適用された低騒音（排水性）舗装工事の試行事例（10～11年度発注工事）を対象に、入札参加者並びに請負者にアンケート調査を実施し、入札契約方式のあり方について課題を抽出し、今後の性能規定発注に対するあり方について検討し、とりまとめた。

２．試行事例における性能規定発注方式の概要

現在低騒音舗装工事において試行されている内容は以下のとおりである。

２．１　調達の対象範囲

試行事例では契約後に請負者から舗装構造提案を受け付けるものとしており（入札前の技術提案の審査は行っていない）、調達範囲としては「設計＋施工」である。

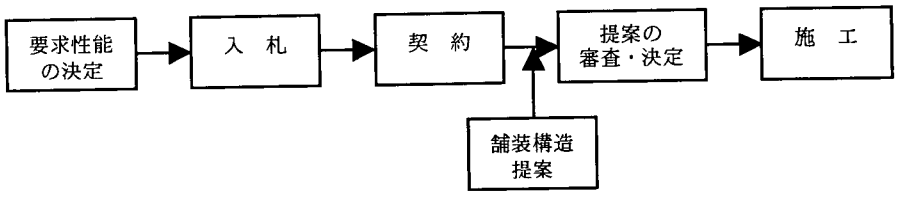


図-2　　性能発注方式の概略フロー

２．２　落札者の決定方法

最低の価格をもって入札した企業を落札者として特定する「自動落札方式」を採用。

２．３　対象入札者

試行事例では工事規模に応じて工事希望型または公募型指名競争入札を採用しており、ほとんどがアスファルト舗装工事のＡランク業者を入札の対象とする。

２．４　予定価格の算定方法

設計図書に記載されている「標準」の舗装構造が活用可能なため、設計費は予定価格に計上せず、工事費は標準の舗装構造に基づいて設定し予定価格としている。

３．調査結果

３．１　性能発注方式における課題等の抽出

試行事例において入札参加企業ならびに落札者に対しアンケート調査を実施し、その結果を踏まえて性能発注方式の課題を抽出した。なお、アンケート回収率は７７．２％（１４９者中１１５者の回答）であった。

性能達成のために、標準構造（原設計）と比較して、使用した材料、工法、機械の費用面での影響について、大多数は何らかのコストアップを見込んでいた状況にある。(図-3 参照)

また、その１平米あたりのコストアップ費用と入札価格への反映の有無について、コストアップ分を見込んで入札を行った企業が２５%、落札を第一とし原設計で入札を実施した企業が６５%存在する。

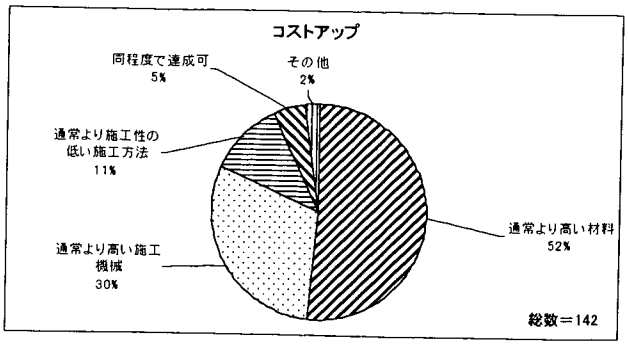
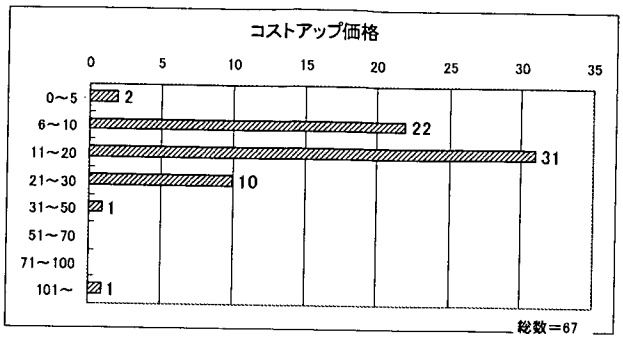


図-3　性能規定によるコストアップ要因



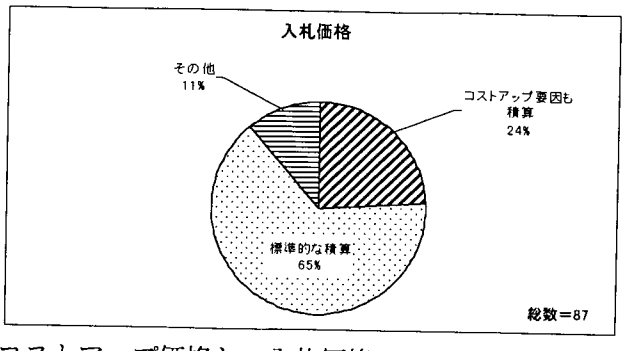
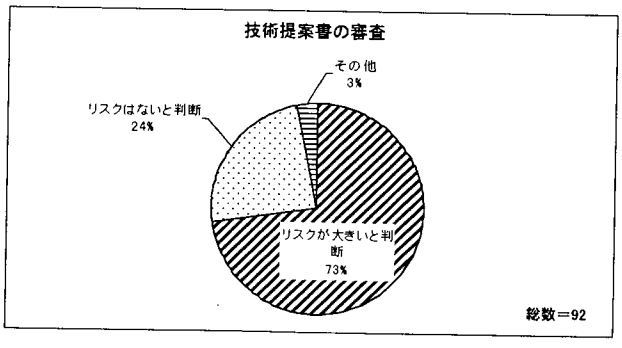


図-4　　性能規定によるコストアップ価格と、入札価格

請負者の提案時期（入札後審査）に対する反応は、７割強が入札後における舗装構造の提案を「リスクが大きい」と捉えている反面、提案費用が増加するため入札後による審査でよいとするのも６割存在する。



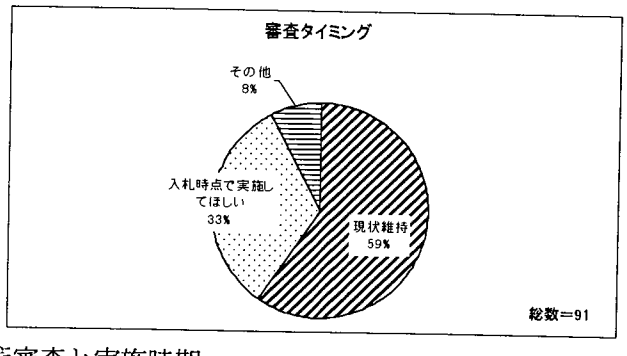


図-5　　技術審査と実施時期

以上から、性能規定における入札契約方式に係わる課題として、特に過度な性能要求がなされる場合には以下の事項が挙げられる。

①　要求性能に応じた予定価格の算定

②　技術資料（技術提案）の事前審査（入札前）

３．２　性能発注のあり方

①過度な性能を要求する場合等では、技術提案の事前審査（入札前段階において）を要する入札契約方式を採用することで、要求性能に応じた技術力を有する企業を選定し入札を行う必要がある。

②予定価格の算定では、「設計」に対する性能発注の場合には成果に対する報酬を見込む仕組みや、「設計＋施工」に対する性能発注の場合には性能に応じた積算や新しい積算手法の導入を指向していくこと。また、性能に応じた予定価格の算定（積算）を行うなど、リスクに応じて企業側にインセンティブを付与すること。

（山下、西野）

快適な冬期交通を確保するための道路管理水準に関する研究

１３．快適な冬期交通を確保するための道路管理水準に関する研究

研究期間：平成 12 年～16 年
プロジェクトリーダー：総合交通安全研究官
山田　晴利

1. 研究の背景

冬期に積雪，凍結による交通障害にみまわれる積雪寒冷地域は，日本の国土の約 6 割(人口で約 2 割)に達しているが，非積雪期と同様の路面状態，交通状況を実現することは困難で，冬期の社会生活，経済活動に支障を来している。これまでも，除排雪などにより冬期道路管理が行われてきているが，経験に基づく部分も多く，限られた予算の効果的・効率的な利用が求められている。さらに，スパイクタイヤの使用禁止により「ツルツル」路面が出現し，これに起因する事故が目立つようになってきた。このため，摩擦係数の低下した危険な路面に対して迅速に対策をとることが求められている。

積雪寒冷地域における冬期の日常生活，経済活動の維持・向上を図り，道路の安全性・快適性を確保するためには，経済性に配慮しつつ，適切な冬期道路管理水準を道路種別に応じて定める必要がある。

2. 研究の目的

① 交通特性，地域特性，環境への影響等を考慮した適切な冬期道路の管理水準の設定手法(案)を作成すること。
② 冬期道路管理の費用効果分析手法を開発すること。
③ 気象，交通，路面等の情報の計測，収集，処理，伝達システムを開発するとともに，道路の有効利用のための方策とその効果を検討，分析すること。
④ 新熱源を利用した消融雪技術，凍結防止剤およびその散布技術の開発，評価を行うとともに，冬期タイヤに対する要求性能を提示しその開発を促すこと。

3. これまでの研究成果

平成 12 年度には，

- 冬期路面管理水準策定に関する試験調査(交通安全研究室，新潟試験所)
- 路面状況把握道路システムに関する調査(高度道路交通システム研究室)
- 新熱源を利用した道路消融雪技術(機械研究室)
- 降雪時における路面凍結等の対策に関する試験調査(化学研究室，新潟試験所)

の 4 課題の調査研究を実施した。

それぞれの課題の成果概要は次のとおりである。

3. 1 冬期路面管理水準策定に関する試験調査

本課題は，積雪寒冷地域において冬期道路管理のもたらす経済効果を適切に評価する手法を確立することを目的としている。平成 12 年度は，不確実な積雪被害に対して冬期道路管理がもたらす地域住民の安心感の向上効果等の非市場財の便益について貨幣タームで評価を行うための理論モデルを構築した。

さらに，気象観測，路面観測，および交通観測結果を用いて，すべり摩擦係数と各種要因の間の関係を定量的に分析した。その結果，すべり摩擦係数に影響を与える要因として，路面状

態が抽出された。すべり摩擦係数と相関関係が特に高い路面状態は「こな雪」であり，「氷板」，「非常にすべりやすい圧雪」がこれに次ぐ。路面状態別にすべり摩擦係数を路面雪氷厚，路面温度，塩分濃度，交通量，走行速度を用いて予測するための重回帰分析を行ったところ，「非常にすべりやすい圧雪」，「氷板」，「こな雪」等の路面状態では，高い精度で予測が可能なことが明らかになった。

3. 2 路面状況把握道路システムに関する調査

本課題は，路面状況把握センサを開発することを目的としており，さまざまな気象・道路交通環境下において道路の路面状態(乾燥，湿潤，積雪，凍結など)を判別するための可視センサ，レーザーレーダーセンサ，電波放射計，光ファイバーセンサ等の路面状態判別アルゴリズムを改良し，リクワイアメントが満足されることを検証する。

平成 12 年度は，各センサを実道に設置して長期データを取得し，的中率を評価した。この評価をもとにアルゴリズムの改良を行ったところ，各センサの昼夜間での的中率の差および道路管理への適用可能性が明確になった。さらに，テストコースにおいて安全サービスの実証実験を行い，路面状況把握センサの性能評価を行った。この結果をセンサを実配備するために必要な機能要件・性能要件に反映した。

3. 3 新熱源を利用した道路消融雪技術

積雪寒冷地域においては冬期の道路交通確保が重要な課題であり，これまで主に機械除雪によって対応がとられてきた。しかしながら，交通量が多い場合には低速の作業機械が交通の障碍となるほか，作業速度が遅いため作業に遅れが生じるといった問題点がある。さらに，都市部では交通量が多く，立体交差などでは機械除雪が困難なため，消融雪設備に対する需要が高く，地下水等を用いた散水消雪設備あるいは太陽熱，地熱，電力による融雪設備の設置が行われてきている。

これらの消融雪設備では，地下水くみ上げによる地盤沈下，高コスト等の課題に加えて，電力を利用する場合には地球温暖化ガスの排出などの環境問題も指摘されている。

本課題では，都市部に存在する下水廃熱など，現在は廃棄されている熱エネルギー，あるいは自然エネルギーを用いた消融雪設備の開発を目的とし，運転経費の低減，熱源の複合・蓄熱による熱エネルギーの供給安定化，設備のコンパクト化を行う。

平成 12 年度は，都市部において利用可能なエネルギー源について，経済性，施工性，環境負荷，融雪効果などの観点から評価を行い，下水廃熱とヒートポンプを利用する方式が優位であることを見いだした。さらに，下水廃熱を利用した設備の設置スペースをコンパクト化するための検討を行った。

3. 4 降雪時における路面凍結等の対策に関する試験調査

スパイクタイヤの使用規制を契機に，凍結防止剤の散布量は年々増加傾向にある。このため，本課題では，効果的・効率的な冬期道路管理を可能にすることを目的として，既存凍結防止剤(塩化物型および新たに開発した非塩化物型)の現地実証試験を新潟県新井市市道十日町長森線(延長 2.4km)において実施した。この結果，事前散布を行った場合には，無散布の場合と比較して，湿潤状態を 2 時間程度長く保持し，すべり抵抗も 0.29～0.78 と高いことが確認できた(無散布区間のすべり摩擦係数は，0.14～0.30 であった)。さらに，室内において凍結防止剤の性能を評価するために，すべり摩擦係数(動摩擦係数)を簡便に測定する手法を検討した。

－快適な冬期交通を確保するための道路管理水準に関する研究－

個別研究課題目次

13.1.1 冬期路面管理水準策定に関する試験調査
（冬期道路管理の経済効果に関する研究）…… （交通安全研究室）… 344

13.1.2 冬期路面管理水準策定に関する試験調査
（冬期の路面性状および交通状況に関する研究）…… （新潟試験所）… 346

13.2 路面性状把握道路システムに関する調査…… （高度道路交通ｼｽﾃﾑ研究室）… 348

13.3 新熱源を利用した道路消融雪技術…… （機械研究室）… 350

13.4.1 降雪時における路面凍結等の対策に関する試験調査
（新型凍結防止剤の開発に関する研究）…… （化学研究室）… 352

13.4.2 降雪時における路面凍結等の対策に関する試験調査
（凍結防止剤の散布方法、散布効果に関する研究）…… （新潟試験所）… 354

13.1.1　冬期路面管理水準策定に関する試験調査（冬期道路管理の経済効果に関する研究）

研究期間：平11～平14

担当：交通安全研究室

【要旨】

本研究は、積雪寒冷地域において冬期道路管理のもたらす経済効果を適切に評価する手法を確立することを目的とし、冬期道路管理の経済的な位置づけについて整理した上で、冬期道路管理の程度による走行時間・走行経費に係る一般化費用の分析、冬期道路の渋滞発生や凍結防止剤散布による環境影響等の外部不経済の算定等により、冬期道路管理の経済効果を算定するシステムの構築を行うものである。平成１２年度は、不確実な積雪被害に対して冬期道路管理がもたらす地域住民の安心感の向上効果等の非市場財の便益について貨幣タームで評価を行うための理論モデルを構築した。

１．研究目的

積雪、凍結による道路災害、交通障害に見舞われる積雪寒冷地域は、日本の国土の約６割に及んでおり、これらの地域においては、雪寒対策の実施による冬期道路交通確保は重要な課題である。特に、最近、スパイクタイヤに代わってスタッドレスタイヤが普及したことにより、冬期交通を確保し交通事故を防止するため、冬期道路管理の重要性はますます高まっている。

昨年度の調査において、冬期道路管理がもたらす便益評価手法を検討し、その手法を札幌都市圏に適用することにより、冬期道路管理の便益評価を行った。しかし，そこでの課題として、積雪状況は地理的条件及び調査実施年度の天候等に大きく依存するために、ここで得られた便益評価値が安定的には使用できないという課題が残された。そこで、平成１２年度においては、ある確率分布に従って発生する積雪被害に対して、その被害を低減させるという冬期道路管理関連事業がもたらす地域住民の安心感等の向上効果を貨幣タームで評価することにより、我が国におけるすべての積雪寒冷地の天候条件において適用可能な理論評価モデルを構築することを目的として研究を行った。

２．研究方法

２．１　既存研究の整理とその問題点

本研究の対象である、ある確率分布に従って発生する積雪被害に対して、その被害を低減させるという冬期道路管理関連事業は、理論的には、不確実性下における社会資本整備事業として位置づけることができ、この事業がもたらす便益、すなわち、不確実性下の便益定義には、既に多数の先行研究がある。それらは大きくは非空間経済での定義と空間経済での定義に分けられる。まず、非空間経済での定義は立地変化を考慮しない場合の便益定義であり、Schmalensee (1972)、Cook and Graham (1977)、Graham(1981)、Graham(1984)、Mendelsohn and Strange (1984)、 Laffont(1989)、 Meier and Randall (1991)、 Freeman(1991)、多々納(1997)で精緻な分析が既に展開されている。一方、空間経済での便益定義は、上田(1997)、高木(1996)で展開されており、また、上田他(1997)ではFair Bet型の便益定義が保険会社の競争条件に対応して解釈できることを示している。

本研究では、ゾーン別に Option Price 型の定義と Fair Bet 型の２種類の等価的偏差(Equivalent Variation：EV)の概念を用いる。前者を上田(1997)に従ってZCEV(Zone Contingent EV)、後者をZCFBEV(Zone Contingent Fair Bet EV)と呼ぶ。家計の便益をこれらの定義に従って表現し、それに不在地主と保険会社の利潤変化、および政府の財政余剰の変化を加えたものを社会的純便益として、帰着便益分析及びそう便益の

算出モデルの検討を行った。

3．研究結果

3．1　一般均衡理論による冬期道路管理の便益評価モデル

本研究では、まず、冬期道路管理関連事業の便益帰着分析のためのフレームとして住宅立地、土地市場、保険市場を明示した多ゾーン(地域)からなる空間経済の均衡モデルを定式化する。次に、不確実性下での便益定義として、Option Price型の定義とFair Bet型の定義を採用し、それらによって表わされた社会的純便益を各便益／費用項目に分解した。ここで、保険市場とは、積雪地域における住民の「生活の質」を補償するという契約のもとに締結される保険であり、ある意味での住民の支払意志額であると解釈することができる。さらに、本研究では、分解された項目を地域間便益帰着構成表に整理して、便益の帰着構造を明らかにした。最後に、便益のキャンセル・アウトを考慮した上での、実際的な計測方法についてまとめた。

$$\sum_{j\in J} L^j(\sigma)dR^j(\sigma) + \sum_{j\in J}\{h^j(\sigma) - \sum_{i\in I} P_i^j H_i^j(\sigma)\}dN^j(\sigma) \quad (1)$$
$$-\sum_{j\in J} N^j(\sigma)\{\sum_{i\in I} H_i^j(\sigma)dP_i^j(\sigma)\} - dI(\sigma)$$

その結果、(1)式のように、土地支出額の変化分と保険会社の利潤変化によって社会的純便益を計測して、それから事業費を差し引くことにより、冬期道路管理関連事業がもたらす純便益を知ることができる。

$\sigma = 0$のケースであれば、地価関数を用いたり、保険料/保険金の現況観察によって第１項と第３項を算出できるが、第２項については家計の立地変化についての予測値dN^jが必要になる。そのため、dN^jを外生変数だけから近似的かつ簡便に推定する必要がある。

保険会社が一家計あたりから得ている利潤 $h^j - \sum_{i\in I} P_i^j H_i^j$ がゾーンに依らずほぼ同一の水準と見なせるような場合であれば、第２項は空間経済全体について集計したものであるため立地家計数の変化がキャンセルされて第２項は無視できる。その場合に、先と同様に簡便な方法で(1)式を用いて社会的純便益を推定することができる。

4．本研究の結論と今後の課題

本研究では、積雪寒冷地における生活の質の向上を目的とした冬期道路管理の便益帰着分析を示し、通常のリスクの存在しない経済均衡モデルで成立する市場的キャンセルアウトの特性が一般には成立しないことを示した。そして、キャンセルアウトが成立する特殊な場合の前提条件を示し、それを実際に市場的キャンセルアウトを前提として社会的純便益を計測する場合の留意点とした。そのまとめとして、土地市場についてキャンセルアウトを仮定して可能か否か、また、仮想的に生活の質を補償するという保険市場が成立した場合には、便益が如何に定義されるかを検討した。今後は、今年度構築した理論モデルを用いた実証分析を行うことが課題となる。

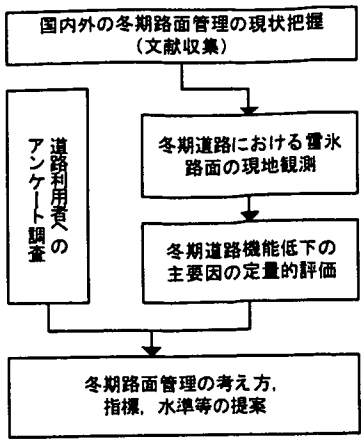
（森、池田）

13.1.2　冬期路面管理水準策定に関する試験調査（冬期の路面性状および交通状況に関する研究）

研究期間：平11～平14
担　　当：新潟試験所

【要旨】

積雪寒冷地における冬期道路では，気象・交通条件に応じた明確な冬期路面管理基準がない。このため，同一路線の国道・都道府県道であっても各管理区間で路面状態が異なっている場合がある。そこで本試験調査では道路管理者による現状の路面管理水準の把握を行うとともに冬期道路機能低下の主要因を定量的に評価することを目的として，当研究所及び他機関において収集された平成10年度から平成12年度までの気象観測，路面観測および交通観測結果を用いてすべり摩擦係数と各種要因の定量的関係等について取りまとめた。その結果，路面状態によっては各種要因との間に高い相関が得られ，今後の安心かつ安全な冬期道路交通の確保の観点から冬期路面管理水準の設定の考え方に反映させるための基礎資料を得た。



1．研究方法

当研究所及び他機関（北海道開発局，東北及び北陸地方整備局）において収集された平成10年度から平成12年度までの気象観測（気温，湿度，降雪量，風向風速等），路面観測（路面温度，積雪水分の有無，路面状態等）および交通観測（交通量，車両走行速度）結果を用いてすべり摩擦係数と各種要因の関係について相関分析を行い，すべり摩擦係数に影響を与える要因を抽出した。その上で抽出された要因を基に，すべり摩擦係数を目的変数とし各種要因（路面雪氷厚，路面温度（非接触型），残留塩分濃度，時間交通量及び走行速度）を説明変数とした重回帰分析を実施し，すべり摩擦係数を求める理論式を作成した。なお，路面状態分類に使用した区分を表-1に示す。

表-1　路面状態分類に使用した区分

雪氷の有無	表面の光り	トレッド跡	雪の状態	雪および路面の色	厚さ	下層の状態	路面状態	路面分類
有り	光っている	あまり付かない	-	白っぽい	-	-	非常に滑りやすい圧雪	①
			-	黒っぽい	1mm以上	-	非常に滑りやすい氷板	②
			-		1mm未満	-	非常に滑りやすい氷膜	③
			-	白っぽい	-	-	かたい圧雪	④
			-	黒っぽい	1mm以上	-	氷板	⑤
			-		1mm未満	-	氷膜	⑥
		付く	締まっている	-	-	-	ゆるい圧雪	⑦
	光っていない		さらさら（雪煙が発生）	-	-	-	こな雪	⑧
				-	-	かたい氷板・氷膜・圧雪	こな雪下層氷板	⑨
				-	-	ゆるい氷板・氷膜・圧雪	こな雪下層圧雪	⑩
			ざくざく（ザラメ状，粒状）	-	-	-	つぶ雪	⑪
				-	-	かたい氷板・氷膜・圧雪	つぶ雪下層氷板	⑫
				-	-	ゆるい氷板・氷膜・圧雪	つぶ雪下層圧雪	⑬
			べたべた（水を含んだもの）	路面が黒く見える	舗装面が見える	-	黒シャーベット	⑭
					舗装面が見えない	-	白シャーベット	⑮
無し	路面水分有り						湿潤	⑯
	路面水分無し						乾燥	⑰

2．研究結果

2．1　すべり摩擦係数と各種要因の関係

路面状態別（雪質分類別）のすべり摩擦係数と各種要因の相関分析結果から得られたすべり摩擦係数と各種要因の重相関係数を表-2 に示す。すべり摩擦係数と高い相関関係にある路面状態は，「こな雪」であり，次いで「氷板」，「非常にすべりやすい圧雪」の順となっているのがわかる。これに対して「かたい圧雪」や「つぶ雪」および「黒シャーベット」などは相関が低い。これは各々の路面状態のすべり摩擦係数の実測値の範囲が広く，ばらつきが大きいためと考えられる。

表-2　すべり摩擦係数と各種要因の重相関係数

路面状態	気温	路面温度	路面雪水深	塩分濃度	時間降雪量	時間交通量	走行速度
非常にすべりやすい圧雪	0.117	0.717	0.223	0.301	0.215	0.600	0.052
かたい圧雪	0.176	0.091	0.125	0.125	0.284	0.071	0.008
氷板	0.032	0.564	0.330	0.514	0.222	0.661	0.766
氷膜	0.491	0.080	0.295	0.311	0.059	0.405	0.129
こな雪	0.716	0.563	0.448	0.122	0.601	0.835	0.573
こな雪下層氷板	0.125	0.007	0.122	0.189	0.543	0.137	0.329
つぶ雪	0.079	0.191	0.162	0.154	0.052	0.031	0.116
つぶ雪下層氷板	0.293	0.102	0.074	0.127	0.063	0.230	0.547
黒シャーベット	0.037	0.098	0.266	0.077	0.481	0.016	0.148
湿潤	0.384	0.020	-	0.144	0.134	0.232	0.449

■ ・・・相関係数が0.5以上のもの

表-3　重回帰係数と重相関係数

路面状態	路面雪水深 α1	路面温度 α2	塩分濃度 α3	時間交通量 α4	走行速度 α5	定数項 C	重相関係数
非常にすべりやすい圧雪	0.3433	-0.2097	0.0016	0.0001	0.0193	-1.0197	0.9524
かたい圧雪	-0.0175	-0.0038	-0.0073	0.0001	0.0005	0.2974	0.2324
氷板	-0.0310	-0.0051	0.0201	-0.0004	0.0022	0.2083	0.9122
氷膜	0.0777	-0.0078	-0.0048	0.0002	0.0003	0.1928	0.5700
こな雪	0.0033	-0.0216	-0.0693	-0.0004	0.0019	0.2720	0.8809
こな雪下層氷板	-0.0102	0.0153	0.0646	-0.0001	0.0046	0.1176	0.5079
つぶ雪	-0.0141	0.0121	-0.0126	0.0000	0.0001	0.2945	0.3389
つぶ雪下層氷板	-0.0028	0.0064	-0.0200	-0.0002	-0.0048	0.5417	0.7040
黒シャーベット	-0.1764	0.0503	-0.0057	0.0000	-0.0067	0.6783	0.4677
湿潤	0.0709	0.0004	0.0128	-0.0001	0.0057	0.2579	0.3739

$$y = \alpha_1 x_1 + \alpha_2 x_2 + \alpha_3 x_3 + \alpha_4 x_4 + \alpha_5 x_5 + C$$

ここに，y：すべり摩擦係数（目的変数）
x_1：路面雪水深，x_2：路面温度，x_3：塩分濃度，x_4：時間交通量
x_5：走行速度，$\alpha_1 \sim \alpha_5$：重回帰係数

2．2　重回帰分析結果

表-3 は，すべり摩擦係数を目的変数とし，各種要因を説明変数とした重回帰分析結果である。また一例として路面状態が「非常にすべりやすい圧雪」の場合の実測値と理論値の相関関係を図-1 に示す。これより重相関係数が高い路面状態（雪質分類）の理論値は実測値と高い相関にある一方，重相関係数が低い路面状態の理論値は実測値と相関が低いことが読み取れる。したがって，今後は目視による路面状態をより一層，的確に評価すると同時に各種要因の状況を併せて収集し，データを蓄積することによって理論値と実測値の間に高い相関が得られると考えられる。

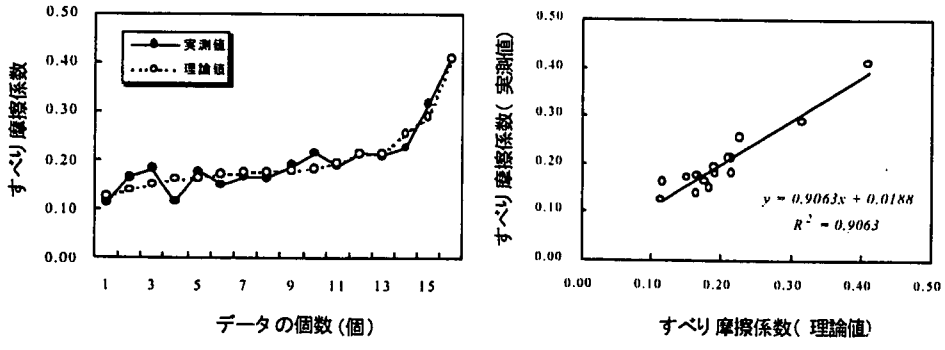


図-1　実測値と理論値の相関関係（路面状態：「非常にすべりやすい圧雪」）

3．まとめと今後の課題

冬期道路管理の基本的な考え方として，円滑かつ安全な冬期道路交通の確保という観点から，路面のすべりやすさ（すべり摩擦係数）を冬期路面管理指標として活用することが理想的である。しかしながら実際の道路は気象条件下において，同一時刻であっても道路延長方向，幅員方向に変化しており，路面のすべりやすさを直接的に冬期路面管理指標として用いることは困難ではあるものの，冬期道路管理を行う上で路面状態を判断する参考値として運用されることがあると考えられる。したがって，現在の気温，降雪量および路面状態等をもとに冬期道路管理が行われているという実態を踏まえながら，これらと路面のすべりやすさの定量的関係を明らかにするためにデータの蓄積を図るとともに，冬期路面管理水準の設定の考え方に反映させるための体系的整理を進めていく。

（市ノ瀬，林，荒川）

13.2　路面性状把握道路システムに関する調査

研究期間：平８～平１２

担当：高度道路交通システム研究室

【要旨】

走行支援システム（AHS）の全ての基本ユーザサービス（前方障害物衝突防止支援、カーブ進入危険防止支援、車線逸脱防止支援、出合い頭衝突防止支援、右折衝突防止支援、横断歩道歩行者衝突防止支援、路面情報活用安全車間保持等支援）の実現に必要な路面状況を把握するため、および、道路管理用として必要な路面状況把握センサの実用化のための機能検証と改良を行った。

1.　研究方法

12年度は、これまで路面状況判別アルゴリズムの開発を行ってきたレーザレーダ式センサ、電波放射計式センサ、可視画像式センサおよび光ファイバ式センサの機能検証を北海道中山峠(図１)と関が原伊吹 PA（図２）にて短期間データではあるが、目視による路面判定結果とセンサ出力結果を比較検証した。また、信頼性向上のための対策（案）を検討した。

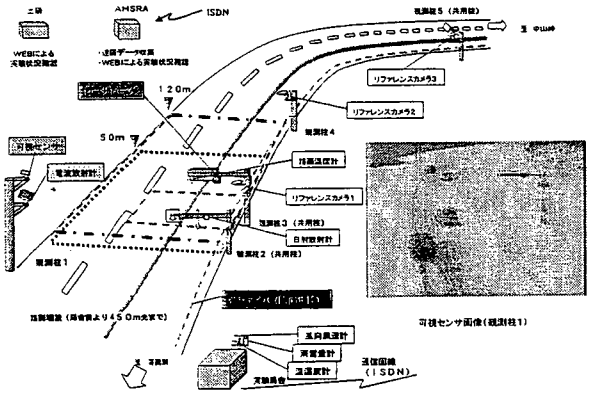


図１　中山峠実験イメージ図

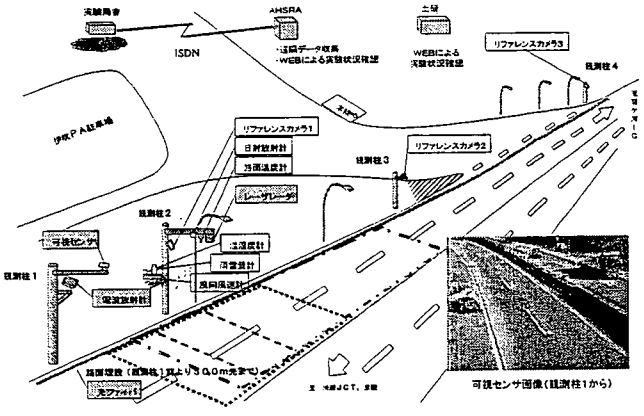


図２　伊吹 PA 実験イメージ図

表１実験場所

実験場所	北海道地区(中山峠)	関が原地区(伊吹PA)
路線名	一般国道230号(上り・下り)	名神高速道路(上り車線)
道路構造	3車線(片側1車線＋片側2車線)	1車線(片側2車線)
交通量	約 1万台／日	約 5万台／日
平均気温(℃)	12月 1月 2月 3月	12月 1月 2月 3月
	−1.4 −4.6 −4.0 −0.1	5.7 3.1 3.4 6.1
年間降雪日数	97日	38日
年間降雨日数	137．8日	134．2日
実験センサ	レーザレーダ式、電波放射計式、可視画像式、光ファイバ式	
実験検証方法	実道路の路面状態とセンサ出力との比較・検証および耐環境性の検証	
実験システム	センサおよびリファレンス装置を実道に設置	

表２ 実験日程とデータ数

				一般国道230号 中山峠		名神高速道路 伊吹PA		合計	
実験日程	設置開始			H12.11.13		H12.12.4		−	
	調整完了			H12.11.24		H12.12.22		−	
	データ収集開始			H12.11.25		H12.12.23		−	
	評価期間			H13.1/23 14:00 ～1/27 2:00 H13.2/14 8:00 ～2/18 3:00		H13.2/5 14:00 ～2/10 2:00		312時間 (10分間隔)	
データ数	路面状態	5状態	8状態	5状態	8状態	5状態	8状態	5状態	8状態
		乾燥	乾燥	1	1	1060	1060	1061	1061
		湿潤	湿潤	109	109	187	187	296	296
		水膜	水膜	19	19	51	51	70	70
		積雪	シャーベット	1344	313	0	0	1344	313
			新雪		67		0		67
			圧雪		364		0		964
		凍結	圧雪氷板	691	429	0	0	691	429
			氷膜		262		0		262
	合計			2164		1298		3462	

2.　研究結果

2.1 各センサの機能検証

レーザレーダ式センサ、電波放射計式センサ、可視画像式センサおよび光ファイバ式センサの性能を評価した結果は表３に示す通りである。

表3 各センサの評価結果

8状態		センサ出力(検出率:%)										
					積雪			凍結				
センサ名	全データ数	乾燥	湿潤	水膜	シャーベット	新雪	圧雪	圧雪氷板	氷膜	欠測	故障	総合
レーザレーダ式	3438	80.2	85.5	21.4	83.4	7.5	69.4	91.6	71.5	なし	なし	76.1
電波放射計式	1176	79.0	54.5	38.7	18.2	0.0	58.2	52.8	30.0	4.8	なし	64.2
可視画像式(HSB)	1432	80.5	61.0	47.9	46.6	0.0	90.0	27.1	58.3	6.7	なし	71.2
可視画像式(RGB)	982	90.9	79.8	76.3	65.6	48.1	51.9	65.9	63.9	3.0	なし	78.6

5状態		センサ出力(検出率:%)							
			湿潤						
センサ名	全データ数	乾燥	湿潤	水膜	積雪	凍結	欠測	故障	総合
レーザレーダ式	3438	80.2	85.5	21.4	75.9	89.9	なし	なし	79.6
電波放射計式	1176	78.9	54.5	0.0	58.0	55.6	4.8	なし	64.3
可視画像式(HSB)	2308	91.5	58.6	77.2	54.2	86.7	3.6	なし	80.8
可視画像式(RGB)	2309	91.5	77.2	64.0	54.2	86.7	3.7	なし	80.7
光ファイバ式	1731	95.1	61.9	37.2	88.1	64.8	なし	なし	80.5

ＡＨＳ（走行支援道路システム）のリクワイアメント規定の路面の５状態と積雪・凍結の詳細化を行った８状態について、目視による１０分毎の路面判定結果とセンサ出力結果とを比較した。１２年度は、短期間の実験でありデータ数も少ないことから、センサ性能を十分評価できていないと考えられるが、現段階での各センサの特徴と課題は以下のとおりである。レーザレーダ式センサは「凍結」の検出率は高いが、「水膜」、「積雪」の検出率が低い。電波放射計式センサは「積雪」、「凍結」と、「水膜」の検出率が低い。可視画像式(HSB 方式)センサおよび可視画像式センサ（RGB 方式）は良好な結果であったが、「積雪」、「凍結」の検出率が低い。光ファイバ式センサは「乾燥」、「積雪」は良いが、「水膜」、「湿潤」の検出率が低い。

2．2 センサ検出率向上のための方策

上記の結果の通り11年度までの、試験走路等での人工的に造り出した路面とは違い、実道フィールドでの自然環境では検出率も下がる事が分かった。検出率を低下させている要因を分析し、実道環境下での検出率向上のための方策とそれによる予想効果を表4の通り設定した。

表4 センサ検出率向上の方策

検出率向上の方策	予想効果(%)
1．個々のセンサの検出率向上 (現状性能64～78%)	
(1)アルゴリズムの改良	10～25
(2)検出状態数の減少(8状態検出を3状態検出に)	10～20
(3)検出時間(現在1分)、検出エリアの見直し	電波放射計式:5程度
(4)危険側の誤検出をなくす(安全側検出はOKとする)	5 程度
2．気象情報(気温、降雨降雪、凍結予測、気象予報)の利用	5 程度
3．センサの組合せによる信頼性の向上	5 程度

3．今後の課題

実道環境下において信頼性向上のために上記に示した方策を実施することはもちろんのこと、現在も継続的に取得している多くの検出データ解析し、センサ単体の性能向上を目指ものである。

（森、鈴木、佐々田）

13.3　新熱源を利用した道路消融雪技術

研究期間:平11～15

担当:機械研究室

【要旨】

道路消融雪設備は、地域特性、施工条件に合わせて整備するため、各地で様々な施工事例がある。これらの事例は、融雪必要熱源の確保等の技術的課題が優先され、トータルコストに関する経済的課題が未解決であるため、設備は社会ニーズの高い交差点や坂道等へ点的な整備にとどまり、積雪寒冷地域の道路交通を改善するほどの線・面的な整備に至らず、投資効果は得られていない。そこで本研究では、施工事例に内在する問題点や課題を見極め、それを解決しうる要素技術の開発を目標とする。融雪設備は、地域が投資効果の高い都市部で、熱源が環境面、ランニングコスト面、都市廃熱の賦損量より優れる未利用エネルギーを対象とし、12年度は現状と課題を分析し、それに基づく融雪システムの概略検討、及び研究開発項目の抽出を実施した。

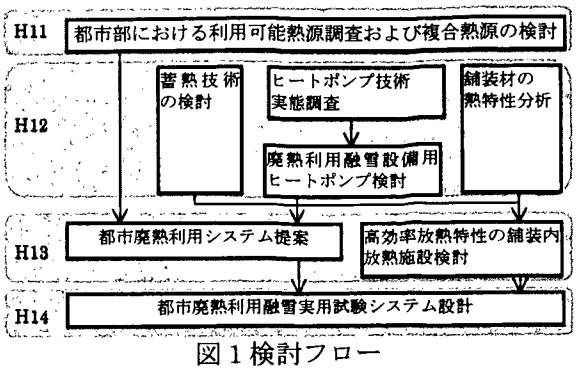


図1検討フロー

1.　研究目的

積雪寒冷地域においては冬季の道路交通確保が重要な課題となっている。現在は主に機械除雪により対応しているが、交通量が多いときには、低速の作業機械が交通障害になり得ることや、作業速度が遅いことによる作業の遅れなどが生じている。特に都市部では交通量が多く、立体交差などでは機械除雪が困難で、消融雪設備の需要が高く、地下水等を用いた散水消雪設備や太陽熱、地熱、電力による融雪設備の設置が行われている。

しかし、散水消雪設備では地下水汲み上げによる地盤沈下、加熱式の融雪設備ではコスト、信頼性などの課題がある。近年では、地球温暖化ガスなど、新たな環境問題も重要になっている。

そこで、都市部に存在する下水道熱など、現在は廃棄している熱エネルギーや、自然エネルギーを活用する道路消融雪設備について、設備運転経費の縮小化、熱源の複合、蓄熱による熱エネルギーの安定化、設備規模のコンパクト化を図ることで、実現可能なシステムを開発するものである。

2.　研究方法

前年度に実施した都市廃熱利用による道路融雪システムのフィージビリティスタディでは、融雪に必要な熱量を確保できない時間帯は、蓄熱システムを採用することで実現性は高いとの成果を得た。この成果を経済性の視点から評価を加えるため、設置条件を統一した融雪設備の方式毎に比較し、施工性や効果を評価した。この結果、特に有効であると抽出された下水熱を利用したヒートポンプ方式について、蓄熱システムを加えた具体システムの提案を行い、提案システムの実用化を前提とした研究開発項目を抽出し、今後の取組指標とした。

3.　研究結果

3.1　融雪施設の現状及び課題分析

都市部において利用可能な都市廃熱を含む未利用エネルギーについて、設備としての利用事例をもとに現況と課題を整理した。ここでは、熱源本来の得失よりも熱源の利用方法に着目し、代表的な融雪方式別に平均的な設置条件(融雪面積A＝2000㎡、融雪熱量W＝170W/㎡)を統一し、経済性、施工性、環境性、融雪効果等を評価し、整

理した。

経済性については図2に示す結果となり、無散水融雪における未利用エネルギー利用方式の建設費は、電熱、ボイラー式のLCCと比較しても高価である。ただし、ヒートポンプを利用することでLCCを抑制できることより利便性は高まり、なかでも下水熱利用方式は経済性に優れているとの評価を得た。

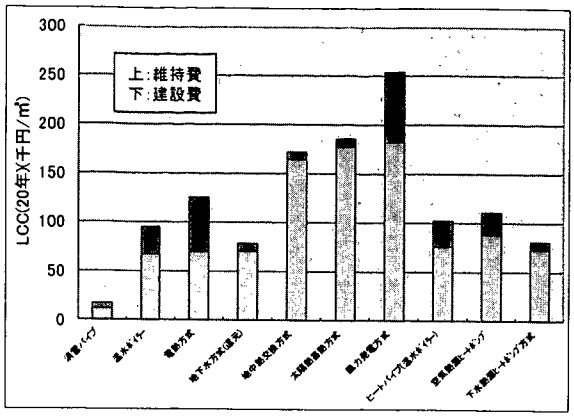


図2　融雪方式毎のLCC

3．2　都市部未利用エネルギー活用による融雪システム概略検討

下水道は、地域の生活形態や人の移動によって水量(＝熱量)が変動し、常時融雪必要熱量を供給できない。そこで、変動を補完する目的で蓄熱槽、あるいは変動の種類の異なる他の熱源の組み合わせを考え、地中熱と蓄熱槽を検討した。地中熱は、運転初期(採熱開始時)に効率よく採熱できるという特性があり、その後も継続して採熱が可能なため、熱変動の大きい下水と組み合わせて利用するメリットが見出せる。都市型蓄熱槽は、設置スペースを小さくする工夫が必要であり、地中への設置はその解決策の1つである。地中設置は、その設置環境より保温効果が期待できる(中低温蓄熱の場合)点や、土壌を蓄熱材として利用できる等の利点があり、他にも地中熱交換器としても利用が可能である。この点を利用することによって、蓄熱槽の利点を活かしながら下水熱と地中熱を併せて利用できるシステムを提示した。

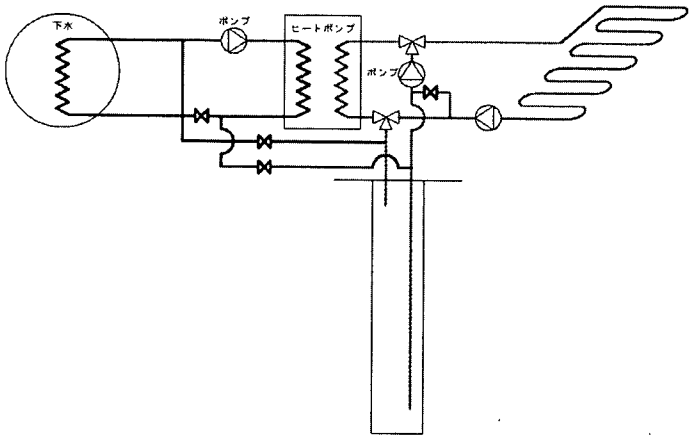


図3　下水熱源ヒートポンプ＋蓄熱槽システム

3．3　研究開発項目の抽出

上記の提案システムの実用化に向け、システムの各構成要素について、詳細技術を調査し、分類、整理した。

融雪システムは用途や構成要素よって、最適な方式が変わってくる。そこで、研究開発項目として、システム、構成要素の用途別最適化、構成要素である採熱部、熱源設備部、蓄熱部、放熱部、及び蓄熱運転パターンについて検討し、実用性かつ開発可能性があるものについて、それぞれの開発目標を示した。

(江本平、平下浩史、水上紀明)

開発項目			開発目標
システムの用途別最適化			最適システムの選定手順、判断基準書の作成
構成要素の用途別最適化			最適方式の選定手順書の作成
構成要素の開発	採熱部	直接取水方式	・融雪用途への下水熱利用を前提としたマンホールポンプ式取水設備の開発 ・異物の詰まりにくい(除去し易い)熱交換器の開発
		管路内熱交換方式	・固形物が引っかかり管路の閉塞を生じない事 ・常時水に浸かっていること ・腐食や固形物との接触、流量の急増などによって損傷を受けない事 ・生物汚れによる性能低下を防止もしくは一定の性能低下に押さえる事 ・熱交換器の伝熱面積は出来るだけ小さくすること
	熱源設備部	下水循環方式	放熱管内での凍結を防止できる流量の確保
			放熱管に入る前で除去
			自動洗浄
			容易に洗浄でき、腐食に強いこと
		ヒートポンプ方式	-10～-15℃での安定運転
			温水出力温度15～35℃。不凍液仕様。
			低騒音
			可燃性、毒性を有するものは極力使用しない。高温部や駆動部が外部に露出しない構造とする。
			原則として代替冷媒を使用する
			固形物のつまりにくい(あるいはメンテしやすい)蒸発器の構造
			耐食性を考慮した熱交換器材質の選定
			自動洗浄
			放熱管に入る前で除去
	蓄熱部	顕熱蓄熱	原則として地下設置。
			設置コストの低減
			建設用基礎杭、土留め杭等との兼用。地中熱交換器との兼用。
			蓄熱効率が高いこと
			原則として蓄熱時のヒートポンプ運転温度を35℃以下とする
		潜熱蓄熱	相変化温度を極力30℃以下にする
			容積率の向上
			蓄放熱速度、蓄熱量の把握
蓄熱運転パターンの最適化			運転フローの作成
			降雪変動や熱源変動を考慮した上で、使用目的に応じた蓄熱制御方法を開発する。

図4　研究開発目標（抜粋）

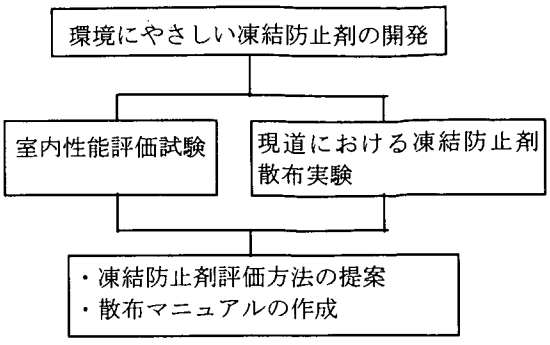
13.4.1　降雪時における路面凍結等の対策に関する試験調査（新型凍結防止剤の開発に関する研究）

研究期間：平10～平14

担当：化学研究室

【要旨】

積雪寒冷地域では、快適で安全な交通確保のため、除排雪、凍結防止剤の散布等の冬期路面対策がとられている。凍結防止剤としては、主に塩化ナトリウム、塩化カルシウム等の塩化物が使用され、年々その使用量が増加する傾向にあることから、構造物や周辺環境への影響が懸念される状況である。本研究は、今後の効果的な路面管理に資するため、環境にやさしい凍結防止剤の開発、凍結防止剤の評価手法の提案、散布マニュアルの作成を行うものである。



12年度は、酢酸化合物を主体とした7種類の新型凍結防止剤の効果を現道における散布実験により確認した。また、凍結防止剤の室内における評価方法として、簡易なすべり擦測定装置を開発し測定条件等について検討した。

1．研究目的

積雪寒冷地域においては、スパイクタイヤの使用規制以降、冬期路面管理に使用される凍結防止剤の散布量が年々増加する傾向にあり、構造物や周辺環境への影響が懸念される状況である。本研究は、今後の効果的な路面管理に資するため、環境にやさしい凍結防止剤を開発するとともに、凍結防止剤の標準的な評価方法について検討するものである。12年度は、酢酸化合物を主体とした7種類の非塩化物型凍結防止剤を試作し、その効果を現道において確認した（試験結果については次項参照）。また、凍結防止剤の効果を現道におけるすべり摩擦（動摩擦）と関連付けて評価することを目的として、室内で簡易にすべり摩擦を測定する装置を開発し、最適測定条件等について検討した。

2．研究方法

2.1 すべり摩擦測定装置

試作したすべり摩擦測定装置の概要を図1に示す。リニアドモーターにより一定速度でスライダーを牽引し、その際の荷重をロードセルにより検出するものである。牽引速度は1～5cm/s、垂直荷重は20～150Nの範囲で調整可能となっている。

接地面となるスライダー下部には、縦横10cm厚さ1cmのゴム板を取り付けた。ゴムの材質はスタッドレスタイヤに使用されているものを用いた。垂直荷重はスライダー上部に載せる重りによって調整した。アクリル製の容器は30×50cmで、スライダー可動距離は約23cmである。

データの取り込みは、動ひずみ計、ＡＤ変換機を介してパソコンで行った。

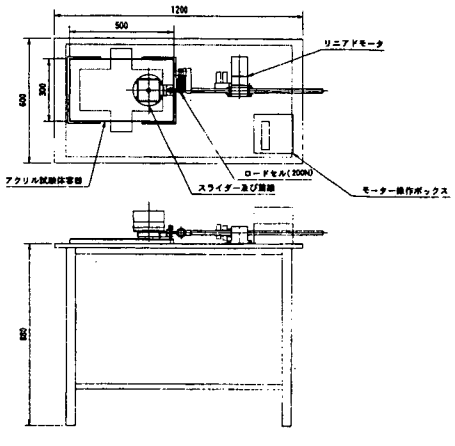


図1．すべり摩擦測定装置概要

2.2 検討項目および方法

(1) すべり面の検討

すべり摩擦力は、接地面の状態によって変化する。そこで、どのような面が評価に適しているかを検討した。アクリルの平滑面をそのまま利用した場合の他に、路面の凹凸を表現するために砕石（＜10mm)、ガラスビーズ（φ10mm)、アルミナボール（φ10mm）の3種類の粗面を検討した。粗面は、それぞれの材料をアクリル容器の底面にエポキシ系の接着剤で接着して作製した。

(2) 垂直荷重およびけん引速度

ガラスビーズを接着したアクリル容器に、ビーズの上1.5mmの高さまで蒸留水を入れ、垂直荷重およびけん引速度の影響を調べた。

3．研究結果

3.1 すべり面の検討

粗面について、砕石、ガラスビーズ、アルミナボールの3種類を比較した結果、ガラスビーズが最も測定結果が安定しており、試験体間でのばらつきも小さかった。測定結果の例を図1に示す。移動距離7cm付近以降の摩擦力の増加は、ゴム板が前方にあるシャーベット状の氷を掻き分けて移動するため、ガラスビーズとゴム板との接触面積が大きくなったことによる。10cm以降の引張力は、蒸留水で湿潤状態とした場合のレベルとほぼ同等である。

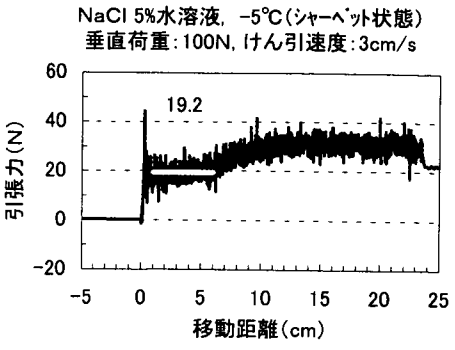


図1．ガラスビーズ面での測定結果の例

平滑面での測定結果の例を図2に示す。平滑面の場合、ゴム板の下に氷を挟んだ状態でアクリル板の上をすべるため、粗面の場合より摩擦力が小さく、温度を変えた場合の摩擦力の変化も小さかった。以上の結果より、凍結防止剤の評価にはガラスビーズを採用することとした。

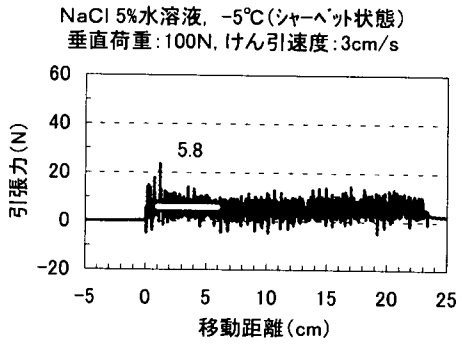


図2．平滑面での測定結果の例

3.2 垂直荷重および牽引速度の検討

平均引張力を垂直荷重で除してすべり摩擦係数とした。図3に示すように、垂直荷重が大きくなる程、また、けん引速度が速くなる程、すべり摩擦係数は小さくなった。同一条件で3回測定を行い、平均引張力の変動係数を求めた結果、垂直荷重が大きくなるほど、また、けん引速度が速くなるほど変動係数が小さくなる傾向が認められた。ただし、けん引速度が速くなると個々の測定結果においてノイズが大きくなる傾向が認められた。以上の結果より、標準的な測定条件として、垂直荷重100N、けん引速度3cm/sが妥当であると判断された。

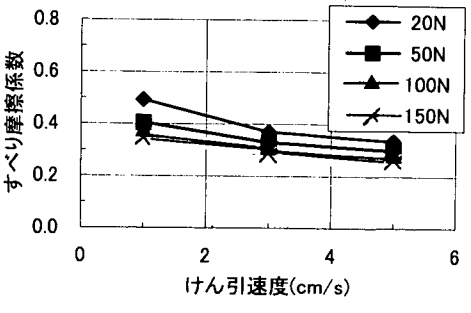


図3．垂直荷重およびけん引速度の効果
(ガラスビーズ、蒸留水、5℃)

4．まとめ

実際の路面のすべりやすさの指標となるすべり摩擦係数に着目し、凍結防止剤の評価手法として、室内で簡易にすべり摩擦係数を測定する装置を試作し、最適な測定条件等について検討した。今後、各種凍結防止剤を用いて、凍結防止剤濃度や温度の影響を調べ、適切な評価が可能か否かを検討する。

(明嵐、中村)

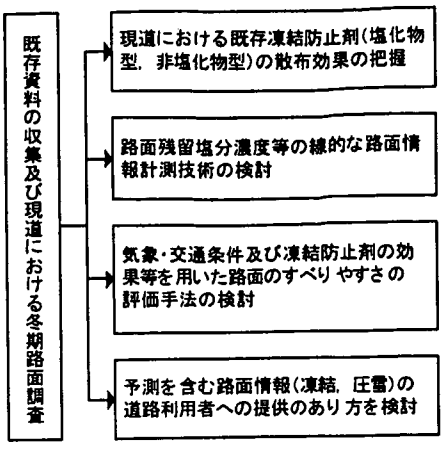
13.4.2　降雪時における路面凍結等の対策に関する試験調査（凍結防止剤の散布方法、散布効果に関する研究）

研究期間：平10～平13

担　　当：新潟試験所

【要旨】

スパイクタイヤの使用規制を契機に凍結防止剤の散布量は平成2年度以降，年々増加傾向にある。このため雪寒事業費への経済的軽減および道路沿道環境への影響に配慮した凍結防止剤の合理的な散布が期待されている。一方，道路管理者にとって機械除雪の出動時期や凍結防止剤の散布量を決定することは適切な冬期道路管理を行う上で重要である。本試験調査では効果的・効率的な雪氷路面対策に資することを目的として、現道における既存凍結防止剤（塩化物型，非塩化物型）の散布効果に関する現地実証試験を合計5回実施した。その結果，事前散布効果を対象とした「第5回現地実証試験」では，凍結防止剤を散布した各区間の路面状態は，無散布区間と比較して湿潤状態を2時間程度長く保持していた。また，凍結防止剤を散布した各区間のすべり摩擦係数は，無散布区間と比較して0.15～0.48程度の高いすべり摩擦係数が確保されていた。



1．研究方法

本試験は表-1に示す時間帯に，新潟県新井市道十日町長森線（長森地先から上八幡地先までの2.4km区間）において，既存の凍結防止剤（塩化物型，非塩化物型）の散布効果を路面すべり測定車によるすべり摩擦係数の計測結果及び現地観測員による測定結果（路面温度，路面残留薬剤濃度，目視による路面状態等）から評価した。

路面すべり測定車によるすべり摩擦係数の計測では，表-2の凍結防止剤を図-1に示す現地実証試験の計測位置において毎正時に測定した。なお，通過交通を再現するために普通自動車 5 台を試験準備時間帯と試験開始から試験終了までの時間帯に試験区間（2.4km区間）を連続して一方向に走行し続けた。

表-1　試験実施日

回数	観測	調査日時	調査時間	天候
第1回	開始	平成13年2月12日 18:00	10時間	雪
	終了	平成13年2月13日 4:00		
第2回	開始	平成13年2月15日 21:00	7時間	晴れのち曇り
	終了	平成13年2月16日 4:00		
第3回	開始	平成13年2月25日 18:00	11時間	雪のち曇り
	終了	平成13年2月26日 5:00		
第4回	開始	平成13年2月26日 15:00	7時間	雪のち晴れ
	終了	平成13年2月27日 22:00		
第5回	開始	平成13年3月11日 17:00	11時間	雪のち晴れ
	終了	平成13年3月12日 4:00		
合計			46時間	

表-2　凍結防止剤の種類（9種類）

ダイセル化学工業製品	凍結防止剤A	凍結防止剤B
米山化学工業製品	凍結防止剤C	凍結防止剤D
北海道日本油脂製品	凍結防止剤F	凍結防止剤G
その他	凍結防止剤E 塩化ナトリウム　塩化カルシウム	

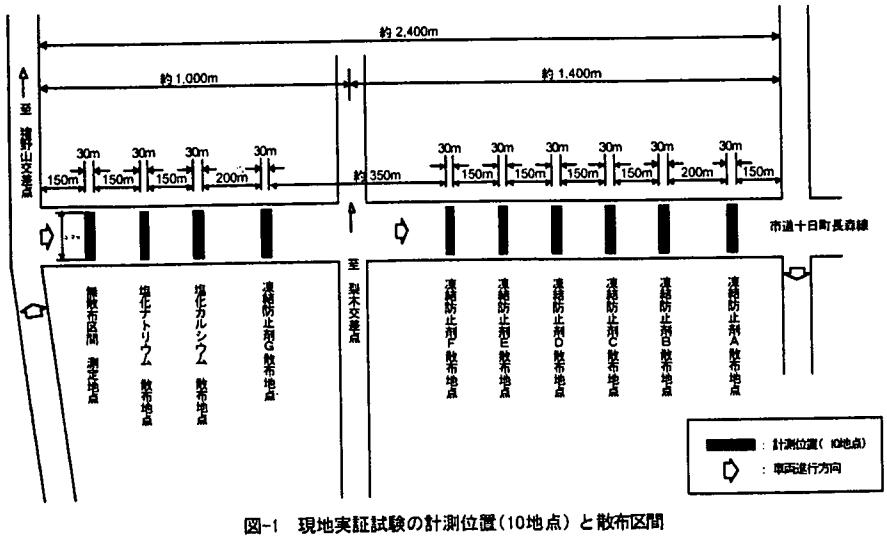


図-1　現地実証試験の計測位置（10地点）と散布区間

2．研究結果

図-2～図-4 は，第 5 回現地実証試験（事前散布効果試験）を実施した平成 13 年 3 月 11 日 17 時から 3 月 12 日 4 時までの気温，路面温度，路面状態およびすべり摩擦係数の経時変化図である。なお，凍結防止剤は 17 時 30 分頃に散布したが，凍結防止剤 D 散布区間については，試験材料が不足していたため散布せず，無散布区間として摩擦係数のみ計測した。

2．1　第 5 回現地実証試験時の気象状況等

3 月 11 日は，試験開始直後である 17 時から 22 時にかけて時間降雪量 1cm 未満の断続的な小雪があったが，その後は晴天となり放射冷却が卓越していた。また，気温は試験開始直後である 17 時に-0.2℃であったが，時間の経過とともに低下し，試験終了時の翌 4 時には-4.5℃となった。

2．2　路面温度

路面温度は気温の時間変化に追従する形で，凍結防止剤散布前の 17 時にはすべての区間において 0℃～1℃程度であったものが，時間の経過とともに低下する傾向にあるのがわかる。その中でも塩化ナトリウム区間の路面温度はその他の区間の路面温度と比較して，凍結防止剤散布後の 18 時に凝固点効果作用により路面温度が大きく低下していることが読み取れる。

2．3　路面状態

無散布区間の路面状態は，試験開始後 2 時間程度の間，わだち部および非わだち部ともに湿潤状態にあったものが，気温及び路面温度の低下とともに雪氷路面状態となった。一方，凍結防止剤を散布している各区間については，わだち部と非わだち部で時間経過にともなう路面状態に差異が認められるものの，無散布区間より 2 時間程度は湿潤状態を長く保持している傾向にあった。

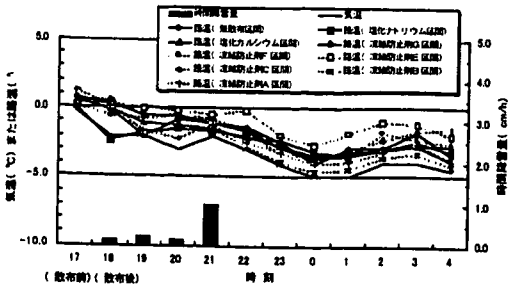


図-2　気温，時間降雪量及び路面温度の経時変化
(3月11日 17:00 ～ 3月12日 4:00)

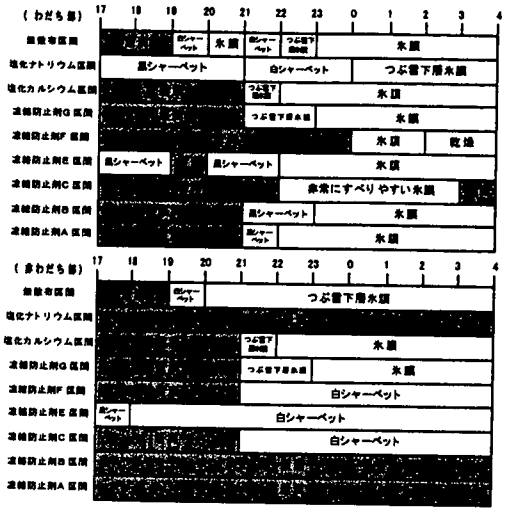


図-3　わだち部及び非わだち部における路面状態の経時変化
(3月11日 17:00 ～ 3月12日 4:00)

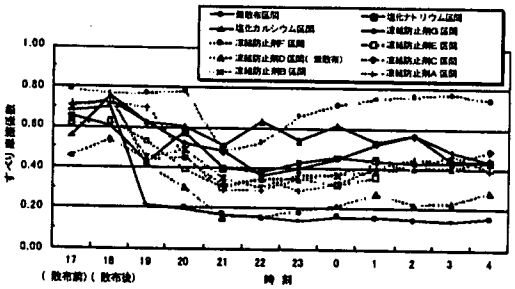


図-4　すべり摩擦係数の経時変化
(3月11日 17:00 ～ 3月12日 4:00)

2．4　すべり摩擦係数

無散布区間のすべり摩擦係数は，試験開始後 2 時間程度の湿潤状態では 0.41～0.74 で推移したが，路面状態が雪氷路面に変化した後は 0.14～0.30 で推移した。一方，凍結防止剤を散布している各区間では，各区間でばらつきが認められるものの 0.29～0.78 で推移し，無散布区間と比較して 0.15～0.48 程度高いすべり摩擦係数が確保されていた。

3．まとめ

本試験結果は，限られた気象，路面状況の中で取りまとめたものであり，今後とも多種多様な気象，路面状況の中でデータの蓄積を図る必要がある。また本試験地が，標高 100m 程度で-5℃程度の氷点下に気温が下がることが少なく道路の縦断勾配も区間別に異なり，通過交通による十分な撹拌効果が得られず，除雪状況も梨木の交差点を境界として一様でない場合があったことについては今後の課題としたい。

（市ノ瀬，林，荒川）

国土マネジメントの方向性に関する研究

１４．国土マネジメントの方向性に関する研究

研究期間：平成１２～１４年度
プロジェクトリーダー：国土管理技術研究官
北詰　良平

１．研究の背景：

人口の減少、少子・高齢化の進行、CO_2等の温暖化ガス排出量の一層の削減等の地球環境保全問題、情報通信技術の飛躍的な発展、住民意識の多様化等、２１世紀を迎えるに当たって、国土や社会資本を取り巻く環境はこれまでとは大きく異なる様々な要素に満ちている。また、今後、厳しい財政事情が予想される中で、社会資本施設のストックの増大から派生する新たな施設管理問題の発生も予想される。これらの環境の中で、日本の国土及び社会資本の整備については、２１世紀の日本を安全で安心な国土、美しい国土としつつ、また一方で、持続的発展が可能な活力ある経済社会を構築していくことなど、国土を適正にマネジメントすることが重要な課題となっている。

２．研究の目的

以下の要素などを踏まえて、安全安心の国土づくり、美しい国土の創造、活力と持続的発展等を目指した２１世紀の国土マネジメントのあり方を提案する。

①高度情報化技術の飛躍的発展
②少子高齢化社会の進行
③住民意識の多様化
④厳しい財政事情

具体的には

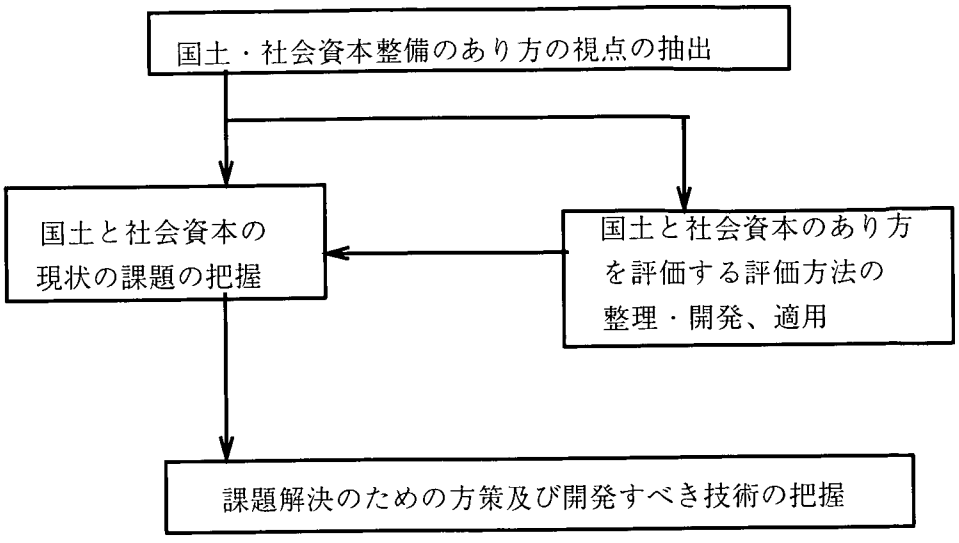
（１）A－①国土・社会資本を取り巻く社会の現状の整理（地球環境問題、厳しい財政状況、住民意識の多様化）
A－②社会の将来動向（人口減少、高度情報他技術）の把握
B－①国民が抱く将来展望の把握（安全安心の確保、美しい国土、活力と持続的発展）
Aを踏まえ、Bを目指した２１世紀の国土及び社会資本のあり方を考える上で重要となる視点の抽出
（２）抽出された視点から、国土及び社会資本の現状分析及び将来動向に基づく現在の国土・社会資本の整備（管理を含む）の進め方にどのような問題があるのかを把握
（３）上記の問題解決するために、多様化するニーズの下での国土・社会資本の整備（管理を含む）の進め方を評価する方法の検討
（４）ケーススタディーを行いつつ、開発すべきソフト及びハード技術を抽出し、具体の重点研究プロジェクトのテーマとして技術開発を進めていく。

これによって、

①国土総合技術研究所の将来の重点研究プロジェクトを提示し、それを研究することにより、新たな視点からの社会的貢献ができる。

3．本年度の成果の概要

本研究の基本的な進め方の流れは下図の通りである。



平成１２年度は研究の初年度として、「国土マネジメント」の概念を規定し、国土マネジメントの方向性を見いだすために、昨年度行った「国土マネジメントシンポジウム」での意見の分析をするとともに、社会資本整備の事例研究として千歳川放水路事業の経緯を整理分析した。そして、それらを踏まえて、今後の方向性として「個々の社会資本整備」から、「一つの空間として国土を管理する」へという新しい視点を提示した。

－国土マネジメントの方向性に関する研究－

個別研究課題目次

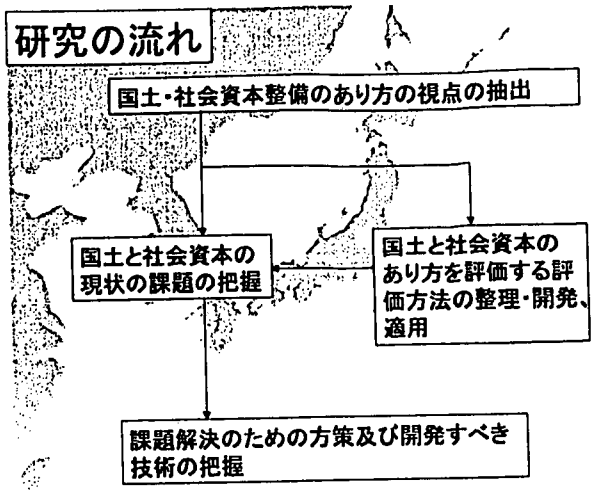
１４．国土マネジメントの方向性に関する研究

14.1　国土マネジメント方向性に関する研究　……　（国土管理技術研究官）・・・362

14.1　国土マネジメント方向性に関する研究

研究期間：平成１２～平成１４年度
担当：国土管理技術研究官

[要旨]



平成１２年度は研究の初年度として、「国土マネジメント」の概念を規定し、国土マネジメントの方向性を見いだすために、昨年度行った「国土マネジメントシンポジウム」での意見の分析をするとともに、社会資本整備の事例研究として千歳川放水路事業の経緯を整理分析した。そして、それらを踏まえて、今後の方向性として「個々の社会資本整備」から「一つの空間として国土を管理する」へという新しい視点を提示した。今後、研究はこの視点に関して、外国の事例研究、ならびに「空間管理」を具体的に行うための構成要素とその具体的方策を研究し、最終的に課題解決のための方策と開発すべき技術を抽出することとなる。

１．研究の背景

人口の減少、少子・高齢化の進行、CO_2等の温暖化ガス排出量の一層の削減等の地球環境保全問題、情報通信技術の飛躍的な発展、住民意識の多様化等、２１世紀を迎えるに当たって、国土や社会資本を取り巻く環境はこれまでとは大きく異なる様々な要素に満ちている。また、今後、厳しい財政事情が予想される中で、社会資本施設のストックの増大から派生する新たな問題の発生も予想される。これらの環境の中で、日本の国土及び社会資本の整備については、２１世紀の日本を安全で安心な国土、美しい国土としつつ、また一方で、持続的発展が可能な活力ある経済社会を構築していくことなど、国土を適正にマネジメントすることが重要な課題である。

２．研究の目的

高度情報化技術の飛躍的発展、少子高齢化社会の進行、住民意識の多様化、厳しい財政事情などの要素を踏まえて、安全安心の国土づくり、美しい国土の創造、活力と持続的発展等を目指した２１世紀の国土マネジメントのあり方を提案する。

３．研究成果

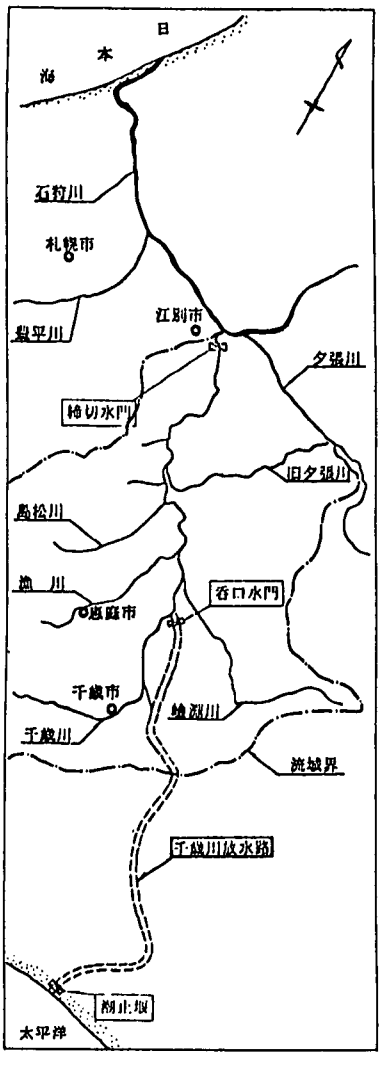
３．１　「国土マネジメントシンポジウム」からの国土マネジメントの方向性

１１年度に土木研究所で実施した「国土マネジメントシンポジウム」から、２１世紀の国土づくりの目指すべきものを示す言葉を抽出し、それらをKJ法により集約した。その結果、目指すべきものとしては「個々の住民・地域重視の国土づくり」、「美しい自然と共生し安心できる国土」、「知的で活力を持って世界に伍していける国」、「サステナブルで豊かな文化を

楽しむ社会」、「誇りの持てる国土」などが抽出できた。また、国土・社会資本整備の方向性としては①地域ごとの多様性・独自性を尊重すること、②地方と都市の格差是正、③人間を原点に置いた都市づくり、④安全で災害に強い国土づくり、⑤分散型ネットワークを作り地域の健全な競争基盤を作る、⑥サステナブル社会のために多様性の確保と環境重視の開発、⑦研究開発がビジネスになるようにもっていくこと、などにまとめられた。

3．2　千歳川放水路事業に見る社会資本整備の問題点

千歳川放水路は石狩川水系で計画された事業である。その位置図を図に示す。　千歳川放水路事業を研究の事例として選択し、着目した理由は以下の通りである。①大規模な社会資本整備事業であって、社会的にその計画が受け入れられなかったこと、②その理由の一つが環境との調和に問題があること、③事業区域が道央に位置し、周辺関連地域に北海道を代表する札幌市、苫小牧市や千歳空港・苫小牧港などが存在し、将来の新しい産業を担うことが期待されている地域であること、そして④放水路事業という性格上二つの地域の間の問題が明らかにでる事業であることなど、これからの社会資本並びに国土マネジメントを考える上で重要と考えられる要素を持っていると考えたからである。



千歳川放水路

3．2．1　千歳川放水路事業の概要

（目的）千歳川と太平洋を結ぶ千歳川放水路は、千歳川の水を水位の低い太平洋へ直接安全に流すことにより、千歳川の水位を下げ、流域の家屋や農地等の水害を防止することを目的とする。（事業概要と経緯）位置及び長さ：北海道長沼町から太平洋へ３８．５ｋｍ。諸元：低水路幅　１８０ｍ～２８０ｍ、計画流量１，２００m^3／ｓ～２，０００m^3／ｓ、用地面積約１，５５０ha、掘削土量　約１２０百万m^3、主要施設　呑み口水門　１基、潮止め堰　１基、美々川湿原保全工　１式、付帯工事　道路橋、鉄道橋等　関連施設　締め切り水門　１基の大規模な工事である。この事業は、昭和５６年の石狩川水系の大出水の後、昭和５７年３月に決定された石狩川水系工事実施基本計画の中に盛り込まれた事業で、事業者は北海道開発局である。昭和６３年度には事業着工予算が認められたが、工事実施基本計画そのもの、放水路ルート、自然環境への影響それに農業・漁業への影響対策などについて住民の理解が得られず、結局平成１１年６月に北海道知事の私的諮問委員会である「千歳川流域治水対策検討委員会」が千歳川流域の治水対策のあり方を検討した中で、千歳川放水路計画については検討の対象としない、と提言し事実上事業は白紙に戻ったものである。

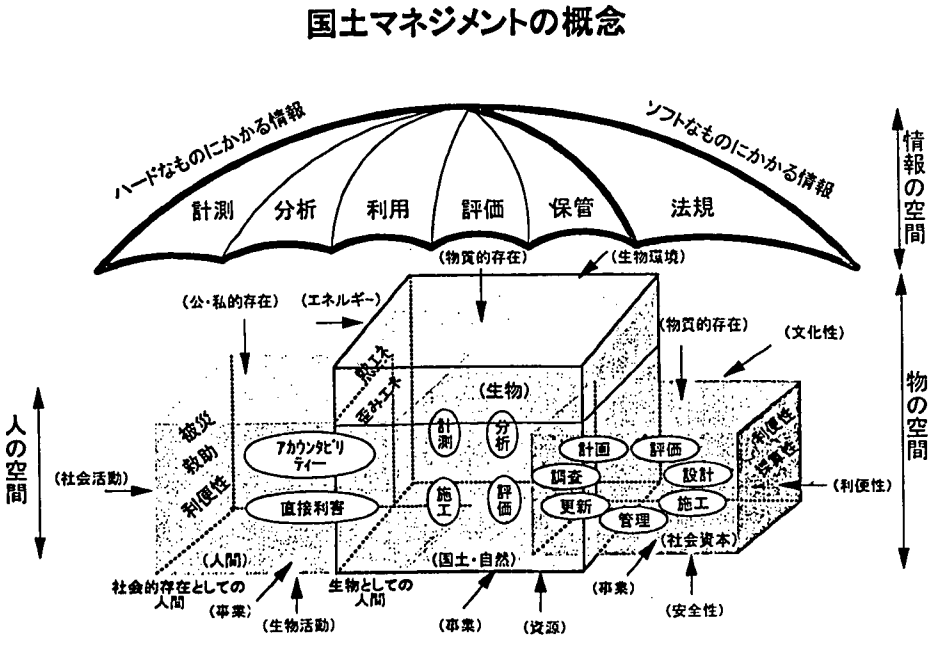
3．2．2　千歳川放水路事業の問題点

千歳川放水路事業について、放水路の流末になる苫小牧市で問題にされたことは概ね次のようである。①工事実施基本計画で決められた放水路事業は石狩川流域では対応できない真にやむを得ない事業であるかどうか、②苫小牧市にとってデメリットであることが如何に克服されるのか、③特に市の主要な産業である農業・漁業への影響を事業者はどのように対応

するか、④周辺自然環境への影響を如何に評価し対応するか、⑤仮に放水路が完成したときに地域に調和する施設になるか、洪水時以外の平時にはどのような姿となるか、⑥市の将来の財政負担はどれほどか、⑦大規模掘削並びに大量の掘削土の捨て土による周辺土地利用及び周辺環境の変化の展望が不明など。これらの問題に対して事業者は最後まで市の納得を得ることができなかった。それには次のような基本的な問題が上記の問題の中に含まれているからである。①工事実施基本計画（現「河川整備方針」）の決定について法律上地元の意見が反映されない仕組みであること、②「河川改修事業」という一つの事業から地域の問題に対応することには限界があり、制度上事業者の対応能力を超える問題が生起すること、③農業・漁業への影響調査は一般に長期間を要するとともに、影響程度が明確にわかりにくいこと、④生物環境への配慮が改修事業という枠組みの中では必ずしも最適なものにならず、自然環境変化への対応がさらに次の影響を及ぼしがちであること、⑤制度上、市の新たな財政負担が発生することに対する対応が河川管理者には困難である場合があること、⑥河川管理者は周辺土地利用変化に対するビジョンを描く立場にないことなどである。これらの問題の解決のためには、洪水処理という目的から派生した問題であっても多方面からの対応が必要であること、国家的な計画・事業であっても地域の問題との調整が必要であること、そして長期間を要する大規模な計画であれば一層地域の問題との調整には適切な時期・手続きが必要であることなどを示している。つまり、この放水路事業のような大規模な計画については、対象地域を広く社会生活が営まれ、多様な自然が存在する地域つまり一つの空間と見なして、治水計画の枠を越えた対応が必要であり、そのことが地域社会の発展と安寧にとって必要であることを示している。このことは千歳川放水路事業だけに関わらず全ての一定の規模以上の事業にとって当てはまるものと考えられる。

3．3　「国土マネジメント」の概念

国土マネジメントの議論を今後発展させるために、「国土マネジメント」の概念を規定しておく必要がある。まず、「国土」とは、一国の統治権が行われる地域のことであるが、「国土」を認識する者の関心の有り様によって、様々な視点からの規定が可能であるが、「国土マネジメント」の観点からは、物質としての国土、エネルギーを持つものとしての国土、人間を含む動植物の生命活動その他活動基盤としての国土などのような特性を持つものと理解することができる。次に上記の事業の例を元に考えると、国土マネジメントの構成要素を元になる「国土」、「生物」、その上で活動する「人、社会」、「国土」を管理するツールたる「社会資



本」、そしてそれらのものを有機的に結びつける「情報」という枠組みで考えられ、それぞれの要素は上記「国土」と同様に多面的な様々な特性を持つものとして考えることができる。

「人・社会」は様々な特性をとり得る。まず社会的存在としての「人間」と生物のとしての「人」である。社会的存在としての人間は国土マネジメントの主体であり、受け手の立場にもなりうる。生物としての「人」は「生物」と同様に肉体的・精神的ストレスを受け、それが国土マネジメントの起源となる。「社会資本」は事業という観点の他、文化的特性も持ち、古代に造られた堤防、踏み分け道、養浜された砂浜などは自然の中に同化してしまうという特性も持つ。「情報」は「人間」、「生物」、「国土・自然」、「社会資本」という「物質」と不可分に存在するものと、法律、条例のような人為的に作られたルールの２つがある。それは計測・分析・利用・評価・保管など何らかの形で事物を直接の対象にするものとしての特性と「人・社会」、「生物」、「国土」それに「社会資本」の有り様を規制するものとしての特性を持つ。　そして、「国土マネジメント」の概念を「人間を含めた生物の存在及び活動をある理念に照らして適正ならしめるために、国土及び自然に対して、社会資本及び情報並びに人的・社会的関係を整備すること。」と規定して以下の議論を進めることとする。

この概念に照らして千歳川放水路事業に関して提起された課題を各構成要素毎に整理すると巻末に示す表のとおりである。この表から洪水処理対策としての千歳川放水路事業を取り巻く課題が広範囲なものであり、調和ある空間をマネジメントするについては上記の特性に注目して多方面の協調した努力が必要であることがわかる。

３．４　社会資本整備の推移と国土・社会資本整備に対する指向

戦後戦災復興の後、先ずとられた政策はエネルギーを生み出し、荒廃した国土を保全し、食糧を確保するための河川総合開発であった。原材料を輸入し付加価値をつけて輸出する加工貿易を日本の経済発展の基本戦略とし、そのための工業地帯を臨海部に造り、港湾を整備し、道路、鉄道などの交通インフラをはじめ社会資本が整備されていった。その後、右の図に見るように、我が国の社会資本整備の水準は、欧米との比較においてはその水準が追いついてないものが多いのが現状ではあるが、公共投資の結果、着実に向上している。一方、「社会資本整備に関する世論調査」（平成１０年６月，総理府）によれば、全般的に引き続き社会資本整備を望む意見が多いが、社会資本を整備するについて、特に配慮すべきだと思うことについては、施設のゆとりや美観、高齢者・障害者等の利用、自然環境・景観との調和を望む意見が多い。また、「これからの国土づくりに関する世論調査」（平成８年６月；総理府）においても災害に対する安全性の確保、自然環境の保護、食糧や資源の安定確保などに力を入れるべきという意見が多い。さらに「国民生活に関する世論調査」（平成１２年５月；総理府）においては、心の豊かさか、ものの豊かさかという問いに対して「物質的にある程度豊かになったので、これからは心の豊かさやゆとりのある生活をすることに重点をおきたい」と答えた者の割合が５７．０％と最も多い。これらの意見は国民が心の豊かさや安心を求める指向が強いことを物語っている。これを社会資本に照らしてみれば、社会資本の機能の充実を求めつつも、機能だけでない調和ある環境を求め、心の豊かさや安心につなが

社会資本整備率の推移

年度末 / 指標	s４０	s５０	s６０	h７
国道・都道府県道改良率	３８．９	６２．２	７１．３	７８．５
下水道普及率	８	２３	３６	５４
氾濫防御率	－	２８	３８	５１
急傾斜地崩壊対策整備率	－	－	１７	２４

（単位：%、「建設白書２０００」より）

る環境を併せて求めていると見ることができる。このような環境は、３．２で見たように、対象地域を一つの空間と見て、その空間を調和あるものにするという発想から生まれるものと考える。

空間を調和あるものとするについては、今後大きな制約条件を考えなければならない。現在までの日本の国の経済発展は、主として海外の資源に頼り、それに日本人の労働が加わって成し遂げられたものである。この間、消費生活が豊かになり国内消費量が増加したことと相まって、世界人口の５％の人口で、世界の資源消費量の約１割を消費し、そしてそのほとんどを外国に依存する国となっている。戦後これまで、海外から資源を無制限に輸入することを前提にして国土計画がされてきたが、これからも資源が無制限に輸入できる保証はない。世界人口は１９９０年時点で５３億人、２０２５年には約６割増の８５億人に達すると国連では予測している。農水省の農林経済研究所の研究によれば２０２５年には中国が食糧輸入国となるという予測もあり、今後エネルギーを始め食料など資源の世界的規模での争奪はより一層厳しさを増すものと考えられる。これからは長期的には資源の輸入について制約があるものと考えておくべきであろう。国土・社会資本整備においても、資源の節約利用、国内資源の保全・開発と有効活用、自然物の尊重、自然災害から資源の保全などを考慮した国土マネジメントが考えられる必要があり、空間管理の重要な理念として計上されるべきである。資源制約の中では豊かさ、環境を楽しむことも自然資源との協調の方向にその内容を変えることが求められる。

３．５「機能」整備から「空間」の管理へ

３．３「国土マネジメント」の概念に示したことから、上記の事業例を踏まえて、「空間」を生命体としての国民が、他の生物とともに健康的に生き、活動する場と考えてみる。すると、この「空間」には、（１）生命体としての人間にとって快適な環境、（２）生物にとって生命を維持できる環境そして（３）社会生活を営む国民が生活し、活動し、憩う場が含まれることとなる。

（１）には空気、水、緑、騒音、景観、気温などの公害対策項目、（２）には、生物の生息域のまとまり、空気、土壌、水質などの生命活動を維持する項目、（３）には通勤通学・日常活動の場、文化活動の場、経済活動の場、レクレーション活動の場、安全性確保などが考慮すべき要素として含まれよう。これらの要素を必要な複数の社会資本を動員してバランスよく「空間」を整備することが必要である。戦後機能を急いで追求する余り歪みのある空間を改めて「空間をバランスよく修復」し、さらに今後「空間を整備・管理」していくことが必要である。そして、そのためには以下に示すような「空間を管理する理念」から始まり、具体的に空間を管理する技術並びに必要となる手続きに至る議論が必要である。（１）「空間」の単位と対応する構成要素、（２）「空間」の評価法、（３）「空間」と「社会資本施設」との関連性把握、（４）「社会資本施設」整備の「空間」への影響予測法並びにシミュレーション手法の開発、（５）「空間」の質改善方策と効果判定法、（６）資源節約効果、（７）各「空間」の間での調整法、（８）「空間」のデーターベース化方策、（９）「空間管理」の理念と社会的位置づけ、（１０）空間管理過程の決定に至る法的手続きへの適用のし方他。

ドイツ連邦共和国においては、「Raumordnung」という言葉があり、「１９９８年建築並びにRaumordnungs法」が存在する。その第１章第１節において指導的理念を「空間に対する社会的・経済的な要請をその生態学的機能と調和させ、永続的で、広範囲にわたって均衡ある秩

序をもたらすような持続的な空間開発」とし、「全体空間の開発、秩序、安全は部分空間の実状と必要性を考慮する（逆流原理）」などの考えが見られる。また第２節では空間管理の根本原則を１５項目にわたって記述している。我が国においても上記のように空間の管理を適切に行うためには、今後このような法律並びにその運用法を研究する必要がある。

千歳川放水路事業に見る「国土マネジメント」構成要素間の課題

	国土	生物	社会資本	人間、社会	情報
国土	地域の保全、				
生物	自然環境保全地域指定、農地・工業地等の生産機能と生物環境整備との調整	自然環境の管理保全策、			
社会資本	放水路を地域の自然環境の中にうまく修める方策、放水路計画を上位の地域計画の中で位置づける、戦略的アセスメントの必要性、機能の確保と美観確保／総合水運用計画、／モニタリング、	技術論としての影響予測精度・感度分析、モニタリング、構想・計画段階での影響予測技術、影響予測が違ったときの基本的対応策、／自然環境保全区域指定との調整、希少価値の高い自然の保全策、／生物調査計画と事業の進捗の調整、	構想段階におけるプロジェクトの形成法。公共事業間の長期的整合性確保。／工事実施基本計画の説得性、代替案の作成と提示、代替案の評価法、／事業計画の内容と精度及びその時期。補償・付帯工事・地域対応を計画の中に織り込む計画、事業範囲を超えるものについての地域対応計画、／公共事業の投資効果とその年限		
人間・社会	歴史的な土地利用と将来土地利用展望、	人間と生物の共存教育、／自然環境保全審議会の事業に対する役割	河川整備方針決定への住民・地方自治体への関与、事業計画意志決定システム、／事業者の地域社会調査法、住民への影響・調査評価法、計画説明責任、公開事業説明会／直轄河川放水路計画における道の関与、ビッグプロジェクトの行政間の取り組み調和策、／地元市町村の考え方と国の考え方の社会的な調整法、地元の計画と国の計画の調整、放水路事業の地域へのメリットの創出策、デメリット地域への影響緩和策、／地元意見の判定・評価・採択システム、手続き論の中で議論の収斂のさせ方、地域住民及び農協・漁協他各種団体の要望・意見の聴取吸収調整手続き、／市の事業相談制度、情報公開システムと市町村の情報解析能力支援、市民の事業教育、議会の技術面の支援、多数の人の意見を反映する社会システム、公平な判断の得られる第三者機関の設置、／事業関連経費に対する財政負担緩和制度、公共事業費の後世負担、環境保全を後世の負担に任せる決定の是非、	自治体間の礼譲、市の住民に対する説明責任	
情報	地域データーベースの作成と検索・流通システム、／国土資源の評価法	生物情報データーベース	大規模河川改修計画を有機的に地域に位置づける広域計画／事業過程評価システム、地域における事業効果評価手法の開発、事業の外部不経済の評価、事業の時間評価。事業計画の財政的評価、／事業内容・地域計画の社会的な教育システム、地域の要望の集約システム、／事業進捗図の作成、／一般国民の意見提案の場の創出	住民の関心向上策	住民への説明表現方法

４．主な研究成果物：

・北詰、金子、土木研究所資料、第３７５７号、５３ｐ、平成１２年１０月

（北詰）

総合的な流域土砂管理に関する研究

１５．総合的な流域土砂管理に関する研究

研究期間：平成１２～１４年度
プロジェクトリーダー：砂防技術総括研究官
門間敬一

１．研究の背景：

治山・治水事業の推進により、我が国の主要な河川における洪水・土砂災害は減少してきているものの、その一方で、海岸侵食や河床低下などの問題が生じている。このため、平成 10 年 7 月に最終報告がとりまとめられた河川審議会の総合土砂管理小委員会においても、国土マネジメントの一貫として、上下流（流砂系）一体となって土砂の移動による災害を防止するとともに、生態系・景観など河川・海岸環境を保全する総合的な土砂管理手法を確立することの必要性が強く指摘されている。

２．研究の目的：

治山・治水に加えて河川・海岸環境の保全を図るため、山地から海岸域までの流砂系全体における土砂管理手法の確立が求められている。このためには、効率的な土砂移動モニタリング手法を開発して土砂移動を正確に把握するとともに、粒径別に土砂移動機構を明らかにし、土砂移動の正確な予測手法を確立することが必要である。また、ダムや砂防ダムにおいては、河川・海岸環境の保全のために必要な土砂を下流に流せるような施設を開発することが望まれている。以下に、本研究の目標を箇条書きで示す。

① 衛星データを用いた土砂監視と地形変化量の推定手法の提案。
② 粒径別土砂移動の実態調査と土砂の移動機構の解明。土砂移動の予測手法の提案。
③ 土砂移動が生態系に与える影響の現況把握。
④ 下流に必要な土砂を流下させることができるダム、砂防ダムの提案と効果の確認。

３．これまでの研究成果：

土木研究所内で行われている平成 11 年度までの研究状況は、①山地流域の土砂生産・流出量の観測及びその予測モデルの検討を進めている（砂防部）、②粒径集団別の土砂移動の把握の重要性を示し、粒径集団別土砂動態マップの河川管理への有効性を確認した（河川部）、③貯水池堆砂については、量的な把握手法や堆砂量の量的な予測モデルについては検討されている（ダム部）ところである。

12 年度の研究成果は、以下の通りである。

1） リモートセンシングデータを活用した流域土砂管理に関する研究

複数の画像によって平均化処理を行うことにより、確かにノイズは低減されたが、山地において滑動中の地すべり地と正常な斜面の区別をつけることはできなかった。

2） 流砂系の総合的な土砂管理に関する調査

流砂量観測については、河床付近を除いて流砂濃度は非常に小さく、ウオッシュロードにより構成されていると考えられ、流砂量も非常に小さい。1/100 程度の急勾配河川では出水時の流砂の大部分が掃流砂の形態をとり、浮遊砂の影響が非常に小さく、また河床材料の粒径の影響が非常に大きいことが分かった。

3） 流砂系一貫とした土砂移動予測モデルの作成に関する研究

流速分布勾配と浮遊砂濃度勾配そして水の乱れ速度が河床に近づくに連れて大きくなること、河床付近ほど大きな粒径の浮遊砂が多いことが確認された。

4） 流域レベルでの微細土砂対策手法とその効果評価手法に関する調査

流域内の様々な土地要素（圃場、河川、その他の耕地又は休耕地、森林、道路）の空間分布を考慮した土砂流出予測シミュレーション手法を開発し、良い精度で土砂ハイドログラフを再現することができた。

5) 河川生態学術研究調査

12年度は流域土砂管理に係る研究は行われなかった。

6) 水系土砂動態変化に伴う河川の自然形成システムの変質とその再生手法の関する調査

近年、礫河原の樹林化が生じた多摩川永田橋地区を事例をとして、樹林化の本質的原因の一つである河床低下への具体的な対策(礫供給と低水路拡幅)を提案するとともに、安全性の確保およびシステムの保全に対しても効果的であるためのポイントを整理した。

7) 河口域における土砂・環境管理手法の開発

浚渫等の人為的な河積拡大は洪水規模に係わらず数年程度で埋まり、その後の洪水によって形状がほとんど変化しない安定河床形状に到達していることが明らかになった。また、平均年最大流量以下の洪水しか生じていない期間でも土砂の移動が生じており、これによって河床が堆積・洗掘を繰り返している。

8) 河口域土砂動態調査

いずれの河川でも主に大潮時に河口沖合で発生した高濁度水塊が塩水のフロントに乗って河道を遡上し、上流に行くにつれ粒子が拡散・沈降することが分かった。また、高濁度水塊は浮遊粒子のフロック化と塩水遡上に伴う底質の巻き上げによって生じている可能性が示された。

9) 粒径集団別供給土砂量のマクロ予測手法に関する研究

全国の 14 ダムについて、堆積物調査およびボーリング調査結果から粒径別の堆積量を算出し、各流域からの粒径別供給土砂量の推定・整理を行った。沖積堆積物から推定した既存の供給土砂量結果と比較を行ったところ、質・量ともにほぼ一致する結果が得られた。

10) 貯水池堆砂の予測手法に関する調査

粒度構成等の堆砂性状調査結果を収集するとともに、それら収集資料をデータベース化した。また、貯水池流入土砂の発生源である、貯水池上流域にある崩壊地を空中写真より判読した。底質調査試料では、シルト・粘土分があわせて約 95%を占めているのに対し、ボーリング調査試料では両者あわせて約 42%となっており、礫・砂分の粒度区分割合が底質調査と比較して大きいが、採取場所等の違いに因る。

11) 貯水位低下時の堆積土砂の侵食・流出過程に関する基礎的研究

貯水位低下時の堆積土砂の移動現象を再現する数値シミュレーションでは、水深および流速の分布を計算する流況シミュレーションと、流水による土砂の移動を計算する河床変動シミュレーションを連携させて時々刻々計算する必要がある。その際、横断方向の流速分布は大きく変化し、河床も横断方向に広がる二次元的な変動をするので、シミュレーション計算は二次元・三次元で行う必要がある。

12) 土砂輸送トンネル水路の設計手法に関する調査

開水路トンネルの土砂輸送力を把握するため、流量と堆砂開始時流量，満管になるまでの最大流砂量について水理実験を行い、土砂供給が無い状態における各設定流量では、入り口付近で各設定流量において水位の上昇が見られるが、下流に流下するに従い水位は安定し、流れの形態は全て射流であった。

13) 水路の摩耗・損傷負荷に関する研究

衝撃力の計測で有効性の認められた PVDF フィルムによる計測センサーを用いて、対象衝撃力に対する検出能力，耐久性等について調査を行った結果、① PVDF フィルムは厚いもののほうがセンサーに加工するのに容易である、②保護テープの重ね合わせ枚数を増やすと衝撃力に対する検出能力は低下するものの、傾斜面での衝撃力試験ではせん断力による PVDF シートの破損が生じにくくなるため、有効である。

14) 底質の粒度組成を考慮した海浜安定化手法に関する調査

底質の粒径を変化させた場合における海浜断面形の変化について検討した。具体的には移動床模型実験データを用い、一様勾配斜面の海浜に波を作用させた後の断面形が侵食型、中間型、堆積型に区分される条件を検討した。その結果、底質の粒度から求まる沈降速度、波高、周期、砕波形態を組み合わせた指標により、養浜した海浜の波浪作用後の変形パターンを判定できる可能性を示した。特に、広い粒度組成の混合底質からなる海浜の場合でも、底質の中央粒径で判定できることが分かった。

15) 流域総合土砂管理のもとでの海岸保全計画にに関する調査

勿来海岸を構成する堆積物は鮫川流域起源のものがほとんどで、勿来海岸南北端の海食崖起源の堆積物は局所的にのみ存在することが分かった。また海岸中央部の音波探査によれば、海底面からの深さ 3m、12m に堆積物の境界面が存在し、海底面からの深さ 25m 付近に不陸な岩盤が存在することが明らかになった。

－総合的な流域土砂管理に関する研究－

個別研究課題目次

１５．総合的な流域土砂管理に関する研究

15.1 リモートセンシングデータを活用した流域土砂管理に関する研究…… (砂防研究室／地すべり研究室) … 374

15.2 流砂系の総合的な土砂管理に関する調査…… (砂防研究室) … 376

15.3 流砂系一貫とした土砂移動予測モデルの作成に関する研究…… (砂防研究室) … 382

15.4 流域レベルでの微細土砂対策手法とその効果評価手法の開発…… (砂防研究室) … 384

15.5 水系土砂動態変化に伴う河川の自然形成システムの変質とその再生手法に関する調査…… (河川研究室) … 386

15.6 河口域における土砂・環境管理手法の開発…… (河川研究室) … 388

15.7 粒径集団別供給土砂量のマクロ予測手法に関する研究…… (河川研究室) … 390

15.8 貯水池堆砂の予測手法に関する調査…… (水工水資源研究室) … 392

15.9 貯水位低下時の堆積土砂の侵食・流出過程に関する基礎的研究…… (水工水資源研究室) … 394

15.10 土砂輸送トンネル水路の設計手法に関する調査…… (水工水資源研究室) … 396

15.11 貯水池内の流動現象に関する調査…… (水工水資源研究室) … 398

15.12 水路の摩耗・損傷負荷に関する研究…… (水工水資源研究室) … 400

15.13 底質の粒度組成を考慮した海浜安定化手法に関する調査…… (海岸研究室) … 402

15.14 流域総合土砂管理のもとでの海岸保全計画に関する調査…… (海岸研究室) … 404

15.1　リモートセンシングデータを活用した流域土砂管理に関する研究

研究期間：平 11～平 13
担当：砂防研究室・地すべり研究室

【要旨】
今年度は、JERS-1 が運用期間中に撮像した日本国内の全 SAR 画像の内、基線長の短い画像ペアを日本全国で検索し、地すべりの含まれていると思われる画像ペアに対して InSAR 処理を施し、滑動中の地すべりの抽出を試みた。その結果，以下のことが明らかになった。1)日本国内で、基線長が 200m 未満かつ画像間隔が半年以上の画像ペアを検索すると、その大部分のペアにおいて画像間隔が 3 年となる。2)変位インターフェログラムにおけるノイズは、平坦地より山地において甚だしく、山地ではほとんど干渉性を有していない。3)複数の画像によって平均化処理を行うことにより確かにノイズは低減されたが、山地において、滑動中の地すべり地と正常な斜面の区別をつけ得るほどには低減することはできなかった。

1. 研究目的

土砂災害による被害を最小限にとどめるには、予測理論の研究や現場での詳細な調査に加えて、地表面の変化を広域にモニタリングできる技術によって、迅速に正確な流域の変化情報を把握する必要がある。

人工衛星データを利用することで、流域広範囲のデータ取得にかかる費用を低減し、広範囲のデータを定期的に取得できるというメリットがある。この人工衛星のセンサには、大きく分けて光学系とレーダ系があり、前者は受動系センサとも呼ばれ、地表の電磁波（主として太陽光）の反射強度を観測するものである。この場合は天候等に左右され、雲の影響を受ける。一方、後者は能動系センサとも呼ばれ自ら照射したマイクロ波が地表面から反射する強度等を観測するもので、マイクロ波が雲を透過して地表に到達することから対象地域が雲に覆われていても、また夜間であっても観測が可能である。能動系センサの一つである合成開口レーダ(SAR)のデータを利用した干渉 SAR 技術は、地表面の面的な変動状況を直接観測できる技術として注目されている。

前年度は、長野県、新潟県にまたがる 1 級水系姫川流域において、JERS-1 の合成開口レーダ(SAR)画像の差分干渉技術を利用することにより斜面崩壊等の土砂移動現象発生域の抽出を試みた。その結果、同流域を含む JERS-1 SAR 画像には、InSAR 処理に供し得るような基線長の短い画像ペアが少なかったため、同流域内の地すべりを抽出することができなかった。そこで、今年度は、基線長の短い画像ペアを日本全国で検索し、地すべりの含まれていると思われる画像ペアに対して、InSAR 処理を施し、滑動中の地すべりの抽出を試みた。

2. 研究方法

本研究で解析に用いた JERS-1 の SAR は L バンド(波長 23.5cm)である。このバンドは、波長が長いため、植被状態の変化の影響を受け難く、地盤高の変化によってのみ位相の変化が生じるものと期待される。したがって、地すべりによって、衛星の視線方向の地表面高が、波長と同等程度変化すれば、InSAR 処理をして、位相変化インターフェログラム(以下，変位画像と呼ぶ)を作成した際に、位相変化箇所として抽出されるものと考えられる。

はじめに、JERS-1 が運用期間（1992～1998 年）中に撮像した日本国内の画像全ての中から、本研究の目的にあった画像のペアを、以下の条件に従って選択した。すなわち、InSAR 技術で検出可能な程度(数 cm 以上)に地すべりが滑動するために、1)撮像時期の間隔が半年以上であること、昨年度の検討結果より、基線長が 200m 以上の組み合わせでは干渉し難いことが明らかになっているので、2)基線長が 200m 未満であること、そして、北海道、東北地方、中部地方などの積雪地帯においては、3)無積雪期の画像であること、等である。以上の条件のもとで検索した結果、929 ペアが条件を満たした。検索された画像ペアの撮像間隔は、3 年程度のものが約 80%、半年以下のペアが約 20%を占めており、極めて偏っている。しかも、基線長 100m 以下のものはほとんど全てが 3 年程度撮像時期の離れたペアであった。

検索されたペアの中から、大規模な地すべりが含まれていると考えられるペアとして、表 1 に示すペアについて InSAR 処理を行った。なお、SAR 画像の干渉性は時間とともに劣化することが予想されるため、3 年離れたペアにつ

表 1　解析に供した画像ペア

	パス/ロウ	マスター画像	スレーブ画像	画像間隔(日)	基線長(m)	地域名
①	73/244	03/09/96	10/15/96	220	140.73	安芸
②-1	64/235	09/18/94	08/09/97	1056	53.17	湯沢
②-2	64/235	07/05/93	05/26/96	1056	122.77	〃
②-3	64/235	08/05/94	09/22/97	1144	91.77	〃
②-4	64/235	08/05/94	06/26/97	1056	188.42	〃

いては、4シーンずつ平均した変位画像を作成することにより干渉性の劣化に伴うノイズの軽減を試みた。

3．研究結果

図1は、高知県東部安芸市周辺のSAR強度画像及び変位画像である。吉野川沿い及び徳島平野等の平坦地には，同系色が分布し、位相に変化が無いことを示している。すなわち、地形変化は無かったことを意味する。一方、山地では、色彩の変化が大きく、このペアの画像取得日の間に位相の変化が生じていることを示す。この色彩の変化は、強度画像と比較するとほぼ山地の地形とよく対応しており、地形の変化が生じたというよりは、別の理由と考えるべきである。すなわち、急峻な地形のために、2枚の画像の重ね合わせ誤差が平坦地と比較して大きいこと、変位画像を作成する際に用いたDEMの精度が不足していること等がその理由として考えられる。図1の白丸中に、善徳地すべり(幅 2km×長さ 0.9km)があるが、地すべりによる変位縞を確認することはできなかった。仮に、地すべり滑動に伴う地表面高の変化による位相の変化が観測されていたとしても、前述の誤差等によって覆い隠されてしまっているものと考えられる。

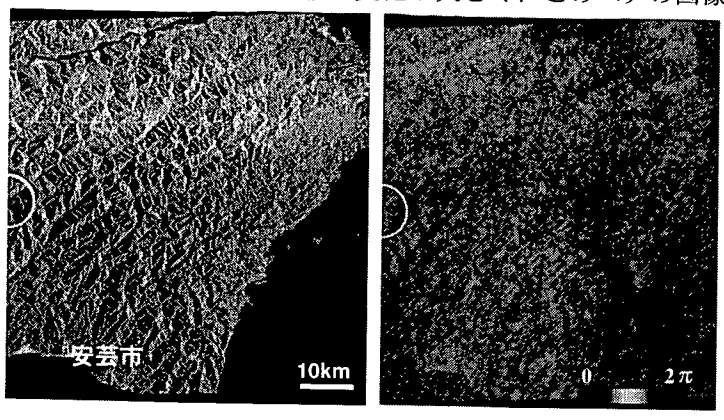


図1　安芸市周辺のSAR強度画像(10/15/96)と変位画像
(Master:03/09/96, Slave:10/15/96)

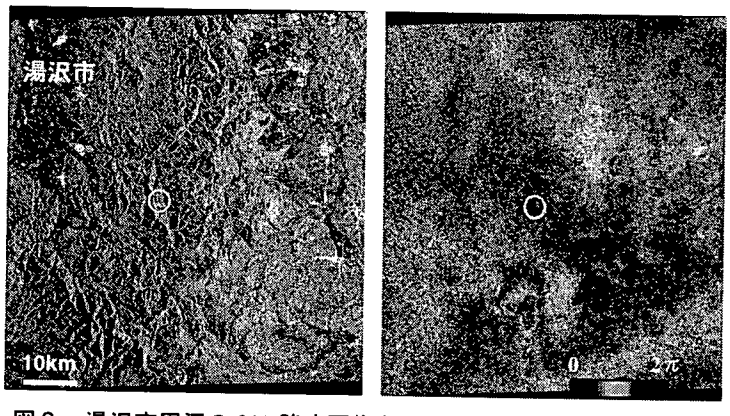


図2　湯沢市周辺のSAR強度画像(09/18/94)と変位画像
(Master:09/18/94, Slave:08/09/97)

図2は、秋田県湯沢市周辺のSAR強度画像及び変位画像である。この変位画像では、安芸市の変位画像と比較して色彩の変化が緩やかであることが分かる。図2左の強度画像と比較しても、安芸の場合のように地形と関係が深いとは考え難い。したがって、湯沢の変位画像に見られる縞は，2時期における上空の水蒸気賦存量の違いや3年間の地表面状態の変化に伴うレーダー波反射特性の変化に起因するものであると考えられる。図2中の白丸内には、谷地地すべり(幅 0.95km×長さ 1.3km)が存在しているが、右図の白丸内に地すべりの滑動を反映したと考えられるような地形変化縞は見られない。安芸の場合と同様に、誤差等によって覆い隠されてしまっているものと考えられる。

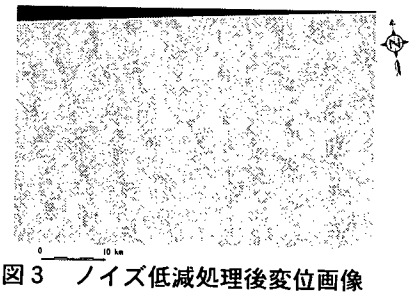


図3　ノイズ低減処理後変位画像
(白丸の位置は、図2と対応)

次に、湯沢では、画像単独で地すべりの検出はできなかったが、複数の変位画像を重ね合わせて平均値を取ることによりノイズの低減を図り、再度、地すべりによる地形変化縞の抽出を試みた。重ね合わせた画像は、②-1～4 の4組のペアによる4枚の変位画像である。この重ね合わせの結果，複素画像の標準偏差は，1.756～1.776 であったものが、0.816 へと半減した(表2)。重ね合わせた画像(図3)では、単独ペアによる変位画像では見られた地形変化以外の要因に起因する縞は見られなくなった。しかし、同時に地すべり等に伴う地形変化によると考えられる縞も確認することができなかった。

表2　画像②-1～4を用いたノイズ低減処理による標準偏差の変化

観測日		標準偏差
ﾏｽﾀｰ画像	ｽﾚｰﾌﾞ画像	
09/18/94	08/09/97	1.769
07/05/93	05/26/96	1.773
08/05/94	09/22/97	1.776
08/05/94	06/26/97	1.756
ノイズ低減後		0.816

4．主な研究成果物

平成12年度砂防学会研究報告会発表，2000年5月，鹿児島
平成12年度日本ﾘﾓｰﾄｾﾝｼﾝｸﾞ学会秋季学術講演会発表，2000年10月，奈良

(仲野、清水、福嶋、山越)

15.2　流砂系の総合的な土砂管理に関する調査

研究期間：平成 11～平成 14
担当：砂防研究室

【要旨】

平成 12 年度は、一次元河床変動計算により浮遊砂が河床変動や下流への土砂流出に及ぼす影響と河床材料の特性が河床変動計算・土砂流出特性に及ぼす影響について検討した。また平成 11 年度に引き続き、砂防河川での流砂量現地観測も行った。

その結果、前者においては 1/100 程度の急勾配河川では出水時の流砂の大部分が掃流砂の形態をとり、浮遊砂の影響が小さかったことと、河床材料の粒径の影響が非常に大きいことがわかった。流砂量の現地観測については、中小出水中の流砂量は微量でありその粒径も細かいものが中心であるという結果が得られた。

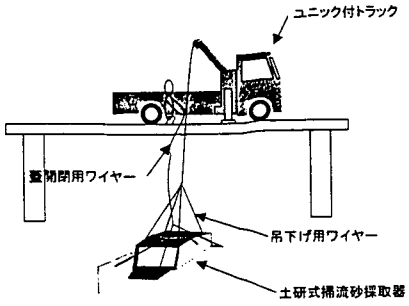


図-1 流砂量の現地観測方法

1.浮遊砂及び河床材料特性が河床変動・土砂流出特性に及ぼす影響に関する研究

1.1 研究目的

従来は砂防河川においては、その領域内のみの河床変動に寄与すると考えられてきた掃流砂のみを対象としてきた。しかし流砂系における土砂管理の観点から見ると、上流の砂防河川内のみならず、下流河川に流出し、その河床形成に影響する細粒分からなる浮遊砂についても取り扱う必要がある。よってここでは流砂の移動形態と、それに加えて上流からの流入土砂量と河床材料の特性が、急勾配河川の河床変動及び土砂流出に及ぼす影響について検討する。

1.2 研究方法

平成 7 年 7 月に大災害が発生した姫川の直轄河川区間（河口から 11.0km）を検討対象区間（図-1.1）とし、一次元河床変動計算を行った。平均河床勾配は 1/100 と急勾配である。計算については等流計算によることとし、運動則としてマニング則を採用する。流砂量式については、掃流砂を芦田・高橋・水山式、浮遊砂を芦田・道上式により、混合粒径として計算する。計算期間とハイドログラフについては平成 8 年 11 月から平成 10 年 10 月の実測流量データを山本水位流量観測所において与える。ただしその時に流量 $10m^3/sec$ 以下の流量は除外する。

河床変動計算に際しては、河床材料の粒度分布、上

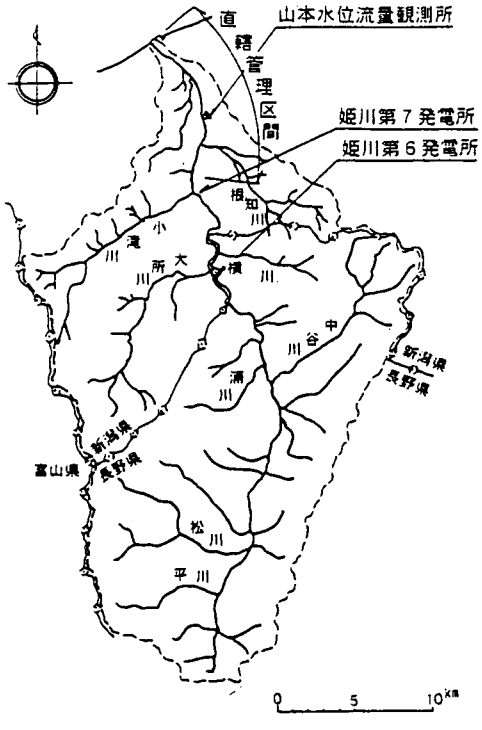


図-1.1 姫川平面図

表-1.1 本支川からの流入土砂量のケース

（単位：m^3、空隙込み）

	流入土砂量①	流入土砂量②	流入土砂量③
姫川本川	0	500,000	2,000,000
横川	0	200,000	200,000
小滝川	0	500,000	500,000
根知川	0	300,000	300,000

流からの供給土砂量（表-1.1）、流砂形態の 3 種類の計算条件を変化させ、それらが計算結果に与える影響を検討する。河床材料の粒度分布については、平成 3,7,8 年の河床材料調査結果より、その最小側（粒径①：平均粒径 37.3mm）、平均付近（粒径②：平均粒径 155mm）、最大側（粒径③：平均粒径 272mm）とする。流砂形態としては掃流砂のみ、浮遊砂で各粒径階において Rubey 式により沈降速度を求めて浮遊砂濃度を計算する場合（浮遊砂①）、そして最小粒径のみを浮遊砂として計算する場合（浮遊砂②）の 3 種類とする。

1.3 研究結果

計算結果は、計算区間内の河床変動及び計算対象区間から下流への流出土砂量に、河床材料の粒度分布、上流からの供給土砂量、流砂形態などの計算条件が与える影響について整理したが、ここではその中で下流への流出土砂量に与える影響について示す。今回の検討区間は下流端が海であるが、急勾配河川から下流の緩勾配区間に供給される土砂について検討するために、下流端の境界条件の影響を受けない、下流から 2km 地点での全流砂量を検討対象とした。

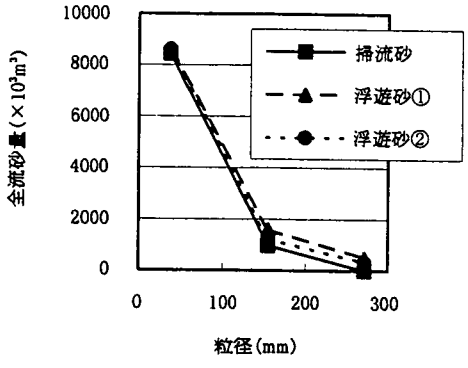


図-1.2 河床材料の平均粒径と下流への全流砂量（流入土砂量①の場合）

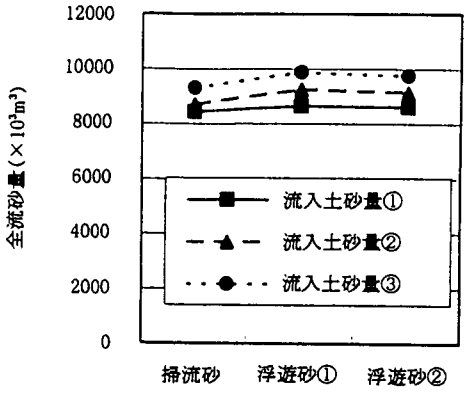


図-1.3 流砂形態と下流への全流砂量（粒径①の場合）

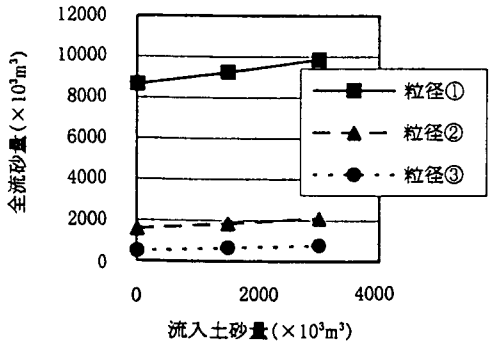


図-1.4 上流端での流入土砂量と下流への全流砂量（浮遊砂①の場合）

図-1.2, 1.3, 1.4 が計算結果を、各々河床材料の平均粒径、流砂形態、上流端での流入土砂量と全流砂量の関係について整理したものである。これらより、河床材料の粒度分布が変化した場合の全流砂量の変化が大きいのに対して、流砂形態や上流端からの流入土砂量の変化に対しては全流砂量の変化が小さいことがわかる。つまり今回の 1/100 という急勾配条件下では、流砂形態として浮遊砂を考慮するかしないか、そして上流からの流入土砂量は、計算区間下流への流出土砂量にはあまり影響を与えず、河床材料の粒径分布が大きな影響を与えているということになる。計算区間内の河床変動についても同様な結果であった。今回の検討では浮遊砂の影響が小さいという結果になったが、異なる河床材料や地形条件の下においては、その影響も無視し得ないほど大きくなると考えられる。今後さらに検討を進めていくつもりである。

1.4 主な研究成果物

(1) 笹原克夫・南哲行・仲野公章：急勾配河川の河床変動計算に与える給砂・流砂条件の影響、土木技術資料、Vol.42, No.11, pp.38～43, 2000

2. 砂防河川における流砂量現地観測

2.1 研究目的

砂防研究室では 12 年度、富士川水系早川右支川春木川(春木橋)、安倍川本川(玉機橋)、天竜川水系与田切川(与田切砂防林の直下流)、姫川水系土谷川(土谷橋)の 4 箇所において小規模出水を対象として流砂量観測を行った。観測目的は出水時の河道内における土砂移動実態を把握するためである。特に今まで調査事例の少なかった急流河川での出水中の流砂量と粒度分布の実態把握と、既存流砂量式の適用性を検討することを目的としている。

この流砂量観測では観測対象を掃流砂と浮遊砂の両者とした。これは今まで砂防渓流では掃流砂に着目することが多かったが、流砂系一貫した土砂管理の観点から下流への影響の大きい浮遊砂についても観測することが重要だと判断したためである。

2.2 研究方法

本観測では、浮遊砂採取、掃流砂採取、流速測定、水深測定、流砂の粒度分析を行った。浮遊砂採取は簡易採取器 B 型、掃流砂採取は土研式掃流砂採取器を用いた直接採取により行った。流速測定は電磁流速計を水中に挿入する形で行った。浮遊砂、流速については深さ方向の複数の点で観測し、掃流砂採取は河床位置で行った。観測のタイミングについては、出水のピーク中に何回か行うことを原則とした。なお本研究では、「掃流砂＝河床位置で掃流砂採取器により採取された土砂」、「浮遊砂＝河床から離れた位置で B 型採取器により採取された土砂」として定義したもので、その土砂移動形態に基づいたものではない。また流砂量について述べた箇所では、この浮遊砂・掃流砂の区分は行わず、両者を含んだ形ですべて「流砂量」として扱った。

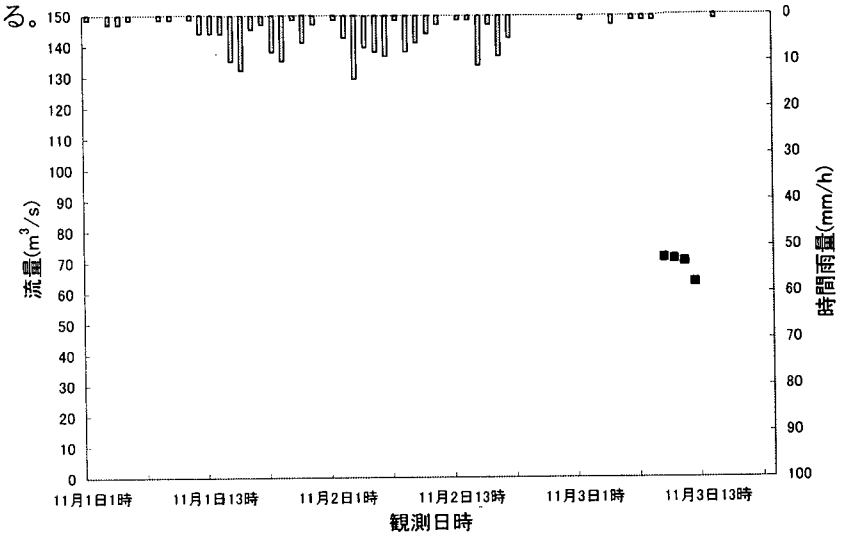


図-2.1(1) 安倍川のハイエト・ハイドログラフ
(平成 12 年 11 月1～3 日)

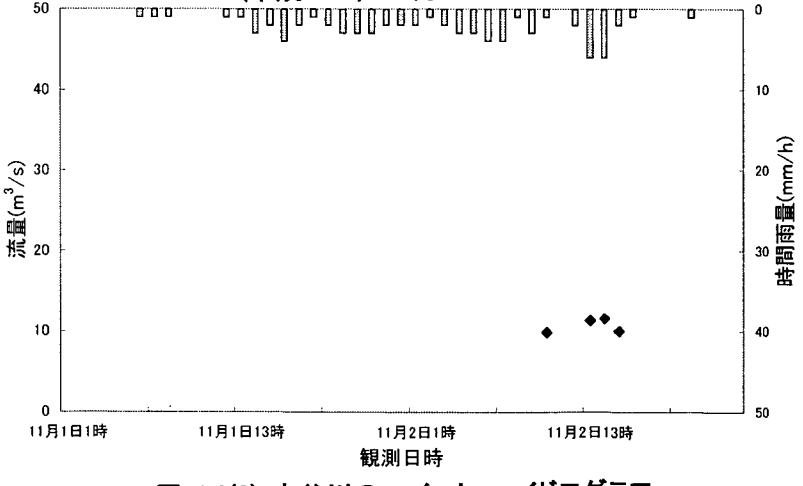
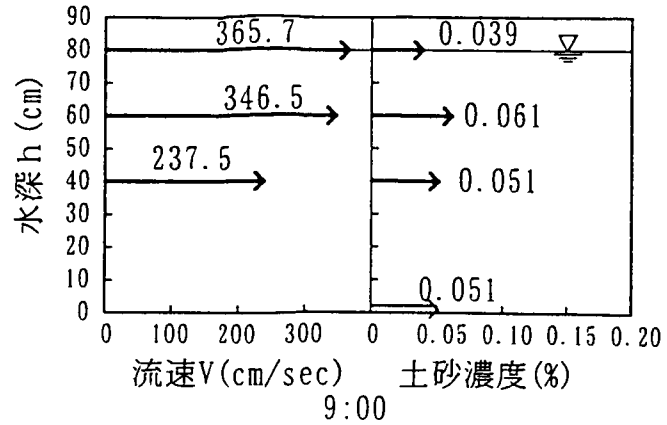


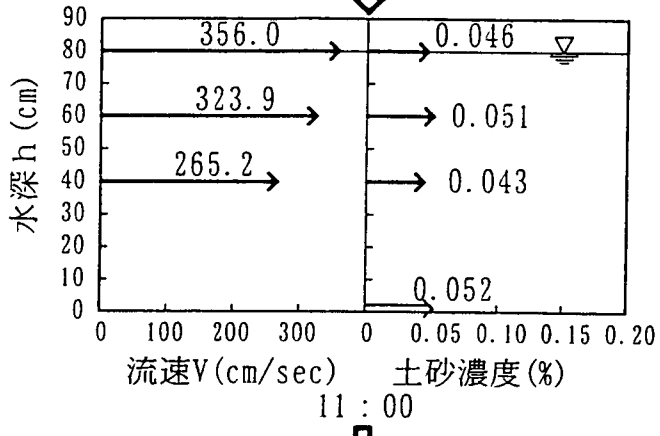
図-2.2(2) 土谷川のハイエト・ハイドログラフ
(平成 12 年 11 月1～2 日)

2.3 研究結果

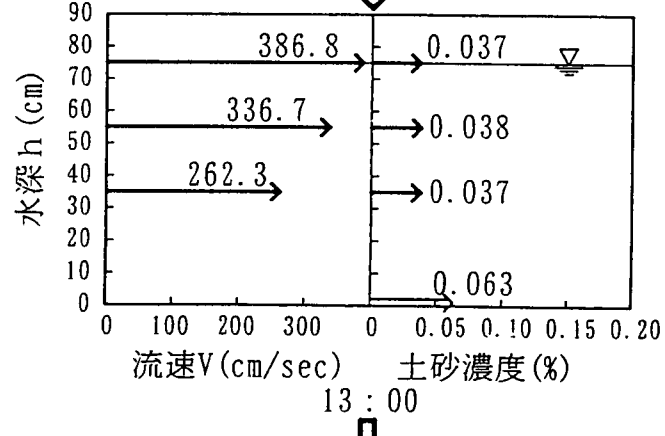
12 年度の流砂量観測は、前述の 4 河川においてそれぞれ 5 回行われた。ここでは、安倍川(H12 年 11 月 3 日)と土谷川(H12 年 11 月 2 日)の観測結果を報告する。観測箇所の地形条件は、安倍川が川幅 W=346m 河床勾配 I=1/120 の比較的幅広で緩やかな川であるのに対して、土谷川は川幅 W=20m 河床勾配 I=1/54 のより幅が狭く急勾配の川である。図-2.1 に両河川の観測時のハイドロ・ハイエトグラフを示す。これよ



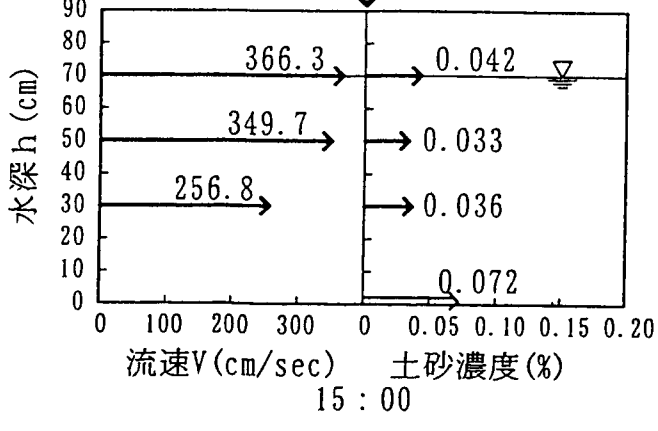
9:00



11:00

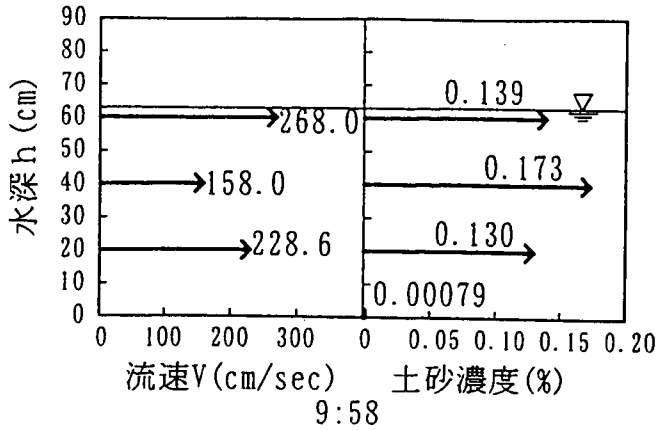


13:00

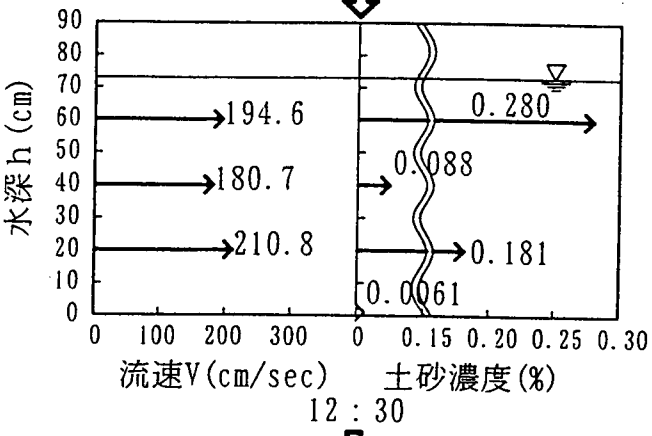


15:00

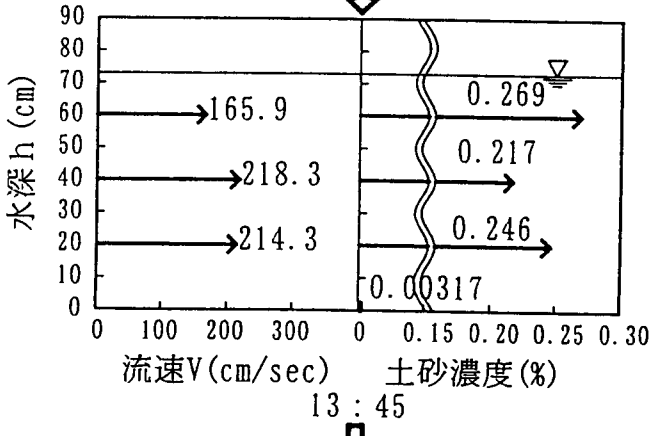
図-2.2(1) 出水中の流速分布及び土砂濃度分布
(平成12年11月3日安倍川)



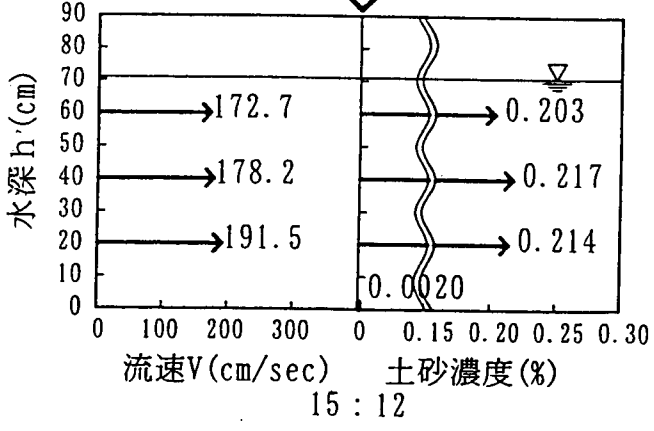
9:58



12:30



13:45



15:12

図-2.2 (2)出水中の流速分布及び土砂濃度分布
(平成12年11月2日土谷川)

り、両河川とも観測時の降雨量・流量とも少なく、その出水規模が小さかったことがわかる。よって今回得られた観測結果は、小規模出水時における土砂移動状況を示したものである。

1)流速分布及び土砂濃度分布

図 2.2(1)に安倍川の流速分布(図の左半分)と土砂濃度分布(図の右半分)を示す。図は観測時間順に上から下へ並べた。ここでは「浮遊砂濃度=河床以外の位置で採取された土砂の容積濃度」、「掃流砂濃度=河床位置で採取された土砂の容積濃度」として定義した。また「土砂濃度」は掃流砂濃度・浮遊砂濃度の両者を指す場合に用いた。

流速分布は、水面で最も高く約 350～380cm/s、水深中央部で低く約 230～260cm/s であった。これは流速が水深方向に向かって段々と低い値になるという一般的な流速分布に近い分布であった。一方土砂濃度分布は、浮遊砂濃度が水面～水深中央で約 0.03～0.06%、掃流砂濃度が約 0.05～0.07%となっており、深さ方向の土砂濃度にはあまり差がない状況であった。

図 2.2(2)に土谷川の流速分布と土砂濃度分布を示す。流速分布は、各観測時間によりその値や分布が大きく変化した。土砂濃度分布についても各観測時間によりその値や分布は変化した。浮遊砂濃度は最高で 0.28%という値が得られたが、掃流砂濃度はそれと比較すると最高で 0.0061%という値であった。この掃流砂濃度の相対的な低さは、河床位置の土砂採取が河床の凹凸によりうまく行えなかったため生じた可能性が高い。

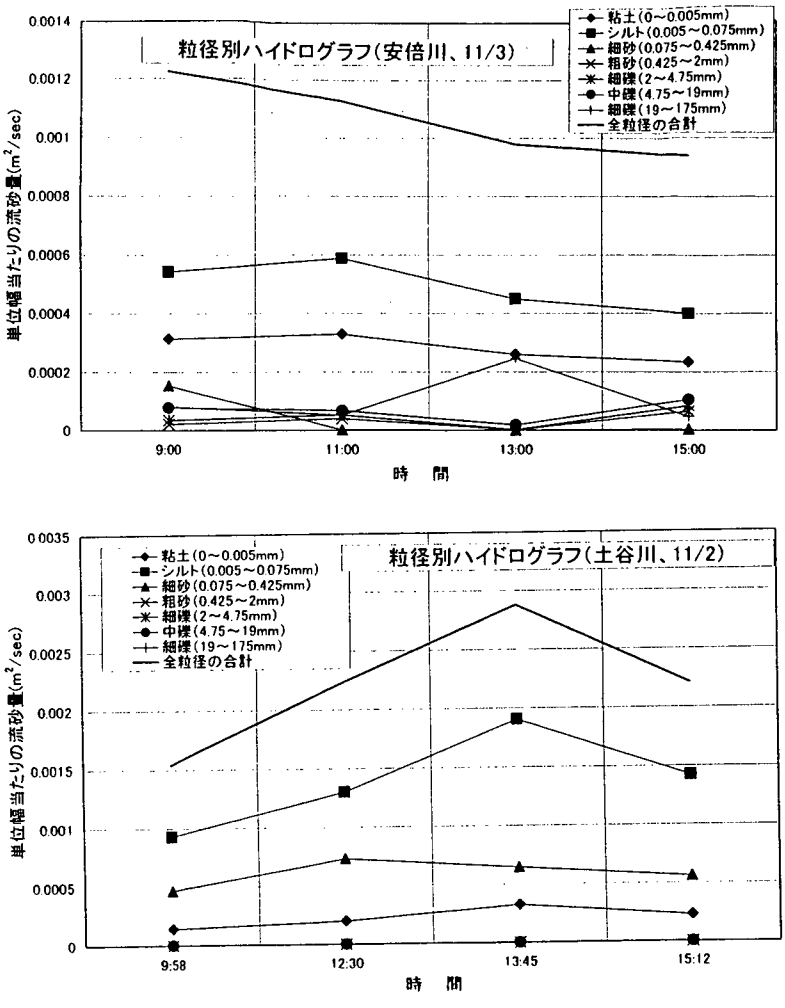


図-2.3 粒径別土砂ハイドログラフ

2)粒径別ハイドログラフ

図-2.3 に粒径別の土砂ハイドログラフを示した。この図の縦軸は、単位幅単位時間での流砂量を示しており、各深さの土砂濃度から換算することにより求めた。この結果より、両河川ともその流砂量は、シルト・粘土・細砂の細かい粒径のものが大部分を占めていたことがわかった。

3)相対水深と平均粒径の関係

図-2.4 に相対水深と平均粒径の関係を示した。この図は、流砂の採取位置によりその粒径が異なるのではないかと考え作成したものである。なおここでは、「相対水深=採取高さ／全水深」として定義した。また図中の凡例は採取時刻を示す。これより両河川とも、相対水深=0 で採取された土砂(掃流砂)には大きい粒径のものも含まれており(安倍川最大 85mm、土谷最大 37mm)、採取時間によって粒径も変化した。相対水深>0 で採取された土砂(浮遊砂)は、安倍川で 0.01～0.09mm、土谷川で 0.06～0.14mm の非常に細かいものであり、ウオッシュロード成分であった。

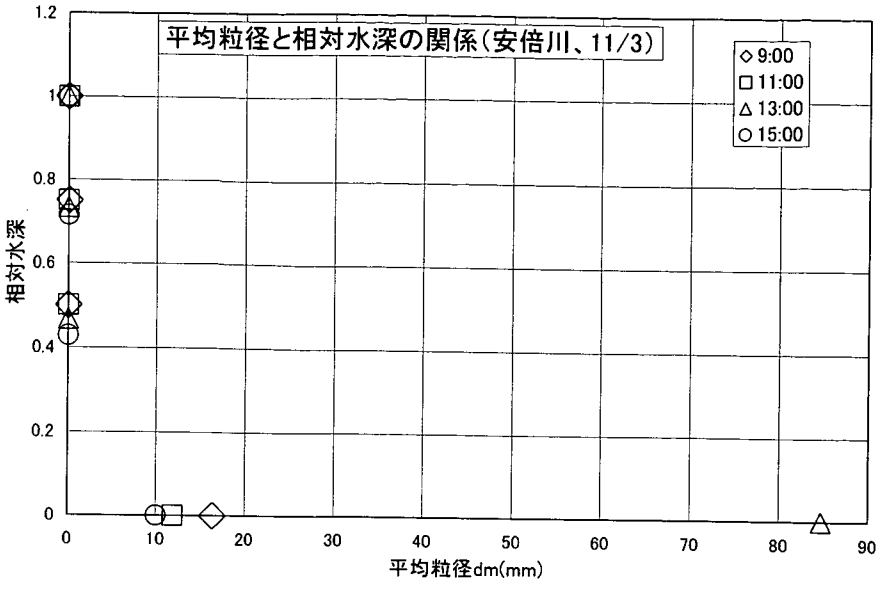


図-2.4(1) 相対水深と平均粒径の関係（安倍川）

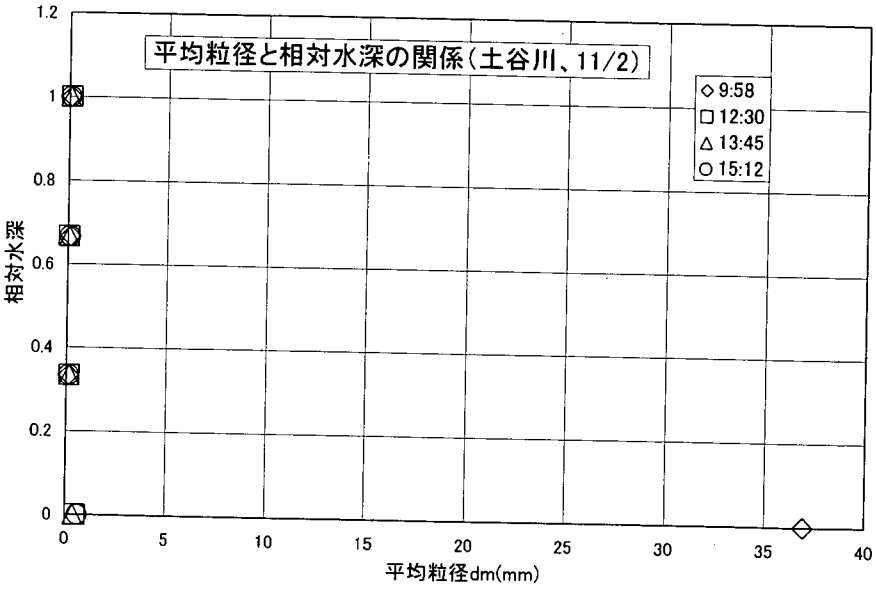


図-2.4(2) 相対水深と平均粒径の関係（土谷川）

4)結論

以上の砂防河川における流砂量現地計測結果から、小規模出水時での流砂量は少ない量で流れており、その粒径も細かいものが大部分を占めるという傾向が得られた。

今後は引き続き現地観測を行うことと、既存流砂量式の適用性について検討することが必要である。

2.4 主な研究成果物

(1)建設省河川局砂防部砂防課ら：流砂系における土砂移動実態に関する研究、平成 12 年度(第 54 回)建設省技術研究会指定課題、pp.19-42～19-44、2000 年 11 月

(仲野、笹原、竹崎)

15.3　流砂系一貫とした土砂移動予測モデルの作成に関する研究

研究期間：平成 12～14 年度
担当：砂防研究室

【要旨】
河床変動計算の境界条件として重要な土砂生産域での河道への土砂流入の量、タイミングを表す土砂生産・流入モデルを提案し、天竜川水系小渋川への適用を試みた。河床変動計算においては、簡便化のため図-1 に表すように流域内を分割した。この結果、下流端における土砂流出量を実測値に合わせると、流域内での河道の河床変動が極端であるような結果となった。

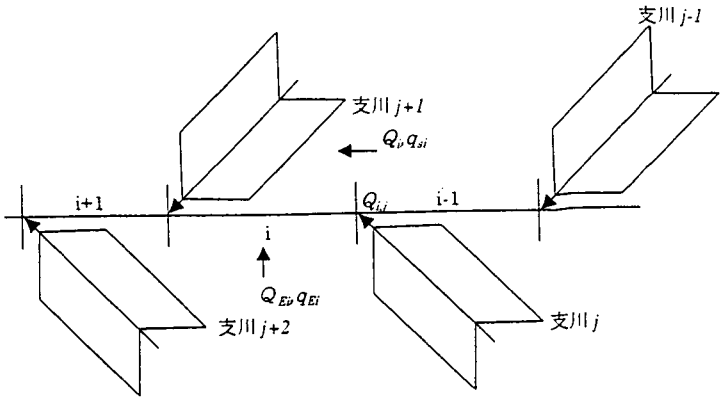


図-1 流域モデルの模式図

1.1 研究目的

流砂系内の土砂移動の予測のために、河床変動計算手法が用いられる。河床変動計算は河道内の水及び土砂の運動則と連続則をもとに、河道内の河床形状の変化と土砂の動きを追跡する方法である。境界条件として、土砂生産域からの河道への土砂流入を考慮する必要があり、特に長期間を対象に計算を行う場合は、この土砂流入のタイミングと量・質（粒径）が、計算結果に大きな影響をもたらす。当研究では斜面からの土砂生産・流入を簡便にモデル化した一次元河床変動計算手法を示し、その有用性・問題点について検討する。

1.2 解析手法

1.2.1 土砂生産・流入を考慮した河床変動計算手法

(1) 流域モデル

図-1 のように支川合流点を両端とする本川河道区間、そして支川河道と本川・支川の河道区間を下流端とする単元斜面を設定する。単元斜面は現実斜面と同一の流域面積を有する矩形斜面で近似する。また河道及び斜面の諸元は平均勾配、平均川幅及び平均斜面幅、平均河床堆積層厚及び平均斜面土層厚等で近似される。平均河床堆積層厚及び平均斜面土層厚は流域内で一定とする。

(2) 単元斜面からの水及び土砂流出

1) 水の流出

単元斜面を勾配一定の矩形斜面に近似し、単位時間内の雨量強度が一定でかつ単位時間が斜面下端への洪水到達時間より十分長い場合を考える。この時表面流の運動をマニング則で近似し、定常流の連続則に代入すると、以下の水深 h(x)と斜面上端からの距離 x の関係が以下の式で表される。

$$h(x)=\left\{\frac{n(r-f)x}{i^{\frac{1}{2}}}\right\}^{\frac{3}{5}} \qquad \cdots\cdots(1)$$

ここで n はマニングの粗度係数、r は降雨強度、f は浸透速度、i は斜面の平均勾配である。

2) 土砂の流出

斜面からの土砂流出はここでは Brown の流砂量式の形で表されると仮定する。これを土砂の連続式に代入して斜面上端からの距離 x 地点における単位時間当たりの侵食速度を求め、時刻 T_1 から T_2 まで積分して侵食深を求めると以下の式(2)になる。ここで Z_b は表面の標高、μ は Brown 型流砂量式の定数、λ は斜面土層の間隙率、$s=(\sigma/\rho-1)$ で σ 及び ρ は土砂及び水の密度、d は土砂の代表粒径である。そして D を土層深とすると、$E(x,T_1\sim T_2)\geqq D$ の場合は、$E(x,T_1\sim T_2)=D$ となる地点で河道への流出土砂量を計算し、$E(x,T_1\sim T_2)\leqq D$ の場合は斜面下端で流出土砂量を計算することとする。流出土砂量については、今回は侵食深と同型の Brown 型の流砂量式

を用いることとする。

$$E(x,T_1\sim T_2)=\int_{T_1}^{T_2}\left(\frac{\partial z_b}{\partial t}\right)dt=-\frac{3\mu}{2(1-\lambda)}\left\{\frac{n^3 xi^{7/2}}{(sd)^5}\right\}^{1/2}\int_{T_1}^{T_2}(r-f)^3dt \qquad \cdots\cdots(2)$$

(3) 河道内での水及び土砂の流出

各河道区間について水収支及び土砂収支を考え、それと水及び土砂の運動から、各区間での水及び土砂の移動と河道の変化を追跡する。この方法については松木ら[1]を参照されたい。

1.3 解析結果

解析対象を天竜川水系小渋川とし、下流端を小渋ダム堤体地点とした。対象降雨を昭和 58 年台風 10 号によるものとし、9 月 26 日 22 時から 29 日 22 時までの降雨及び流量データを用いた（図-2）。単位斜面については 2～3 次谷程度とした。計算に用いたパラメーターとしては、斜面の粗度係数 1.0(s/m$^{1/3}$), 浸透能 0.3r、河道の粗度係数 0.05(s/m$^{1/3}$)、Brown 式の係数 μ は斜面 20 で河道 30 とした。平均粒径 d は現地調査により 20mm とした。侵食可能深は斜面で 5m、河道で 1m とした。

結果を図-3, 4 に示す。図-3 は流域下流端の小渋ダムでの流出土砂量の経時変化であり最終的な流出土砂量を合わせるように、流砂量式中の係数を定めている。そうすると図-4 の流域内本川の河床変動状況については降雨終了時が最大で 40m 近くになるなど、実測データはないものの、大きすぎる傾向があると考えられる。今後モデル中の各パラメーターの決定手法について検討する必要がある。

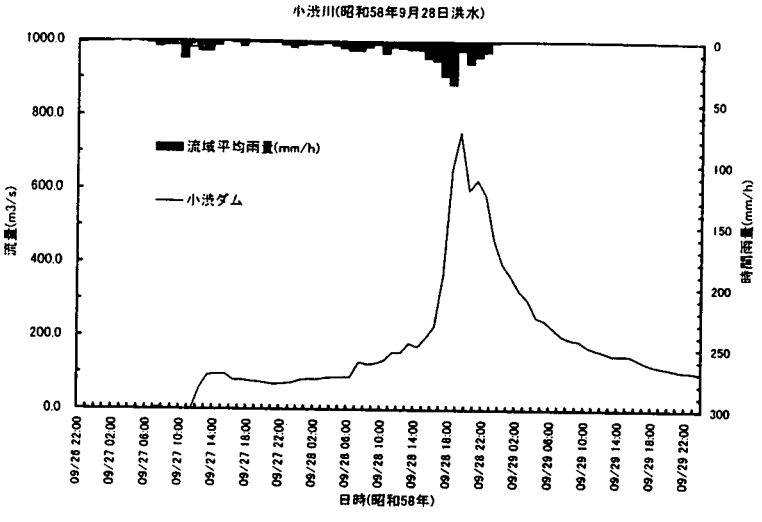


図-2 対象ハイエトグラフ及びハイドログラフ

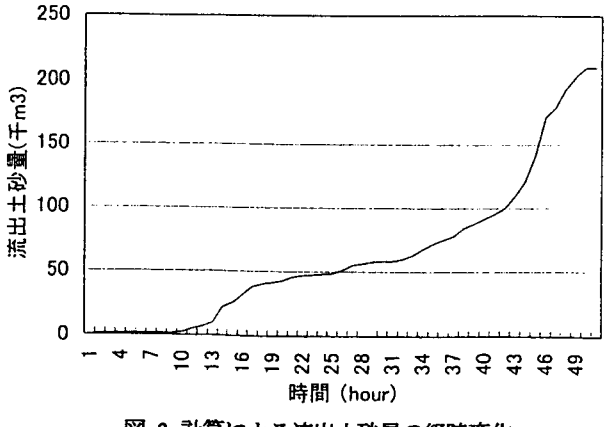


図-3 計算による流出土砂量の経時変化

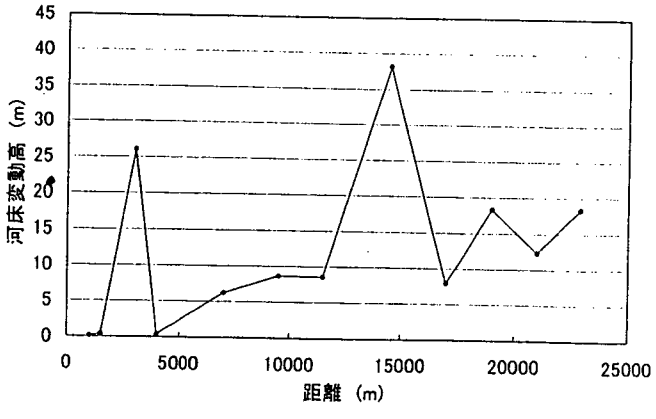


図-4 計算による本川の堆積高の状況

参考文献

1) 松木敬・江頭進治・上妻由拓：河道貯留土砂を対象とした土砂流出予測法に関する研究、平成 12 年度砂防学会研究発表会概要集、pp.70～71、2000

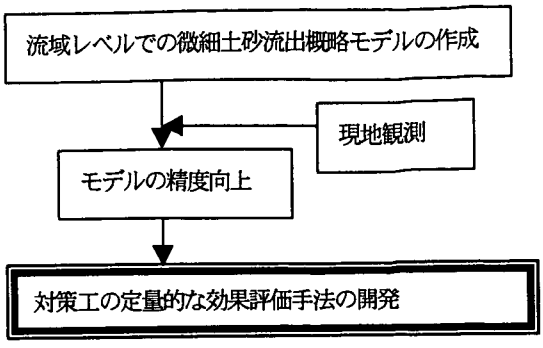
（仲野、笹原）

15. 4　流域レベルでの微細土砂対策手法とその効果評価手法の開発

研究期間：平 12～14
担当：砂防研究室

[要旨]

流域内での微細土砂の様々な生産源の空間分布を顧慮した微細土砂の生産・流出予測のための二次元浅水流モデルによる数値シミュレーション手法を作成した。沖縄県東村サーン川流域において過去に観測された二次期の出水を対象として，そのモデルに基づく数値シミュレーションを行った結果，比較的良い精度でハイドログラフの再現ができた。



1．研究目的

流域での微細土砂の流出は，貯水ダムの堆砂や濁水，生態系の悪化等の様々な問題を引き起こしており，流域土砂管理の観点からその効果的な対策手法の構築が求められている。そのためには，まず流域レベルでの微細土砂の流出予測手法を開発し，それによる定量的評価に基づく経済的かつ効果的な微細土砂流出対策工の開発が必要となる。本課題は，流域内での微細土砂の様々な生産源の空間分布を考慮した「流域レベルでの微細土砂の生産・流出予測のための数値シミュレーション手法」を作成し，それに基づいて対策工の効果評価を行うことを目的とする。

2．研究方法

赤土砂による濁水などの被害が生じている沖縄県東村サーン川を対象として，筆者らが別途開発した二次元浅水流モデルに基づく微細土砂流出モデルを用いて，流域内の様々な土地要素（圃場，河川，その他の耕地又は休耕地，森林，道路）を考慮した流域レベルでの赤土砂流出予測手法を作成した。

3．研究成果

3.1.微細土砂流出モデル

赤土砂の流出を表現するための物理モデルは，土壌侵食過程と流下過程が同時に取り扱え，機械的に流域のモデル化が可能な二次元河床変動計算法を用いた。メッシュ間の流水の移動は二次元の浅水流の運動方程式により追跡した。運動方程式における抵抗項はマニングの抵抗則を用いた。雨量は連続式の中で「わき出し」として与え，流出率は現地観測の結果をもとに設定した。表面流によって運搬される土砂は浮遊砂とし，芦田・道上の浮遊砂量式を用いて土砂の連続式により計算した。

3.2.流域のモデル化

サーン川流域を圃場の平面形状が捉えられる範囲で10m×10mのメッシュに分割し各メッシュに標高を与えた。さらに現地調査および航空写真より，メッシュ毎に圃場，河川，その他の耕地又は休耕地，森林，道路に土地利用区分し，土地利用区分ごとに粒度分布，粗度係数の条件を与えた。検証対象地点は流域末端に設けられた砂防ダムの流入量，流入濃度とした。

3.3.シミュレーション条件

サーン川流域末端の既設砂防ダム直上流で得られた雨量，流量および濁度の観測データ（1993～1998 年）をもとに，表―1に示す2出水を対象とした。

粒度分布は，表―2の通り設定し，粗度係数は，圃場：0.06，河川：0.04，その他の圃場又は休耕地：0.06，その他：0.03 とした。流出率は筆者らによる古島川上流域の圃場での現地観測の結果を基に下の式により与えた。

$$f = 1 - \frac{0.9954}{R^{0.0645}} \quad \cdots\cdots(1)$$

3.4.流域内の圃場の耕作開始からの期間の変遷

耕作過程において，パイナップルの葉による被覆率が増加するにつれて侵食可能面積は減少する。その違いを耕作期間に対応して変化させ，表—3を参考に流域全体に平均化して与えた。

3.5.シミュレーション結果

図—1に雨量，流量，流出土砂量の観測結果およびシミュレーション結果を示す。流量については，1山出水では流出波形がほぼ再現されており，2 山出水については1回目のピークの再現性がやや悪いもののほぼ流出波形を再現していることが分かる。

流出土砂量の波形についても，表—4の流出土砂量の比較結果が示す様に全体的に観測波形を下回っているものの，良好に観測波形を再現している。

以上から，本研究で示した二次元河床計算法による赤土砂侵食・流出予測手法が流域レベルにおいても適用できることが明らかにされた。

表－1　検証出水

出水名	ピーク流量 (m^3/s)	総雨量 (mm)	総流出量 (m^3)	総流出土砂量 (m^3)	備考
H10.2.1	0.55	28	1,212	1.17	1山出水
H5.7.29	0.70	61	3,756	2.46	2山出水

表－3　検証の対象とした出水時における圃場の流域面積に占める割合

出水名	植え付け直後～3ヶ月	植え付け直3ヶ月～1年	植付け後1年以降	鍬込み直後の裸地期間	開拓前	耕作状況不明
H10.2.1	0%	21%	78%	1%	0%	0%
H5.7.29	8%	6	64	21	15	0%

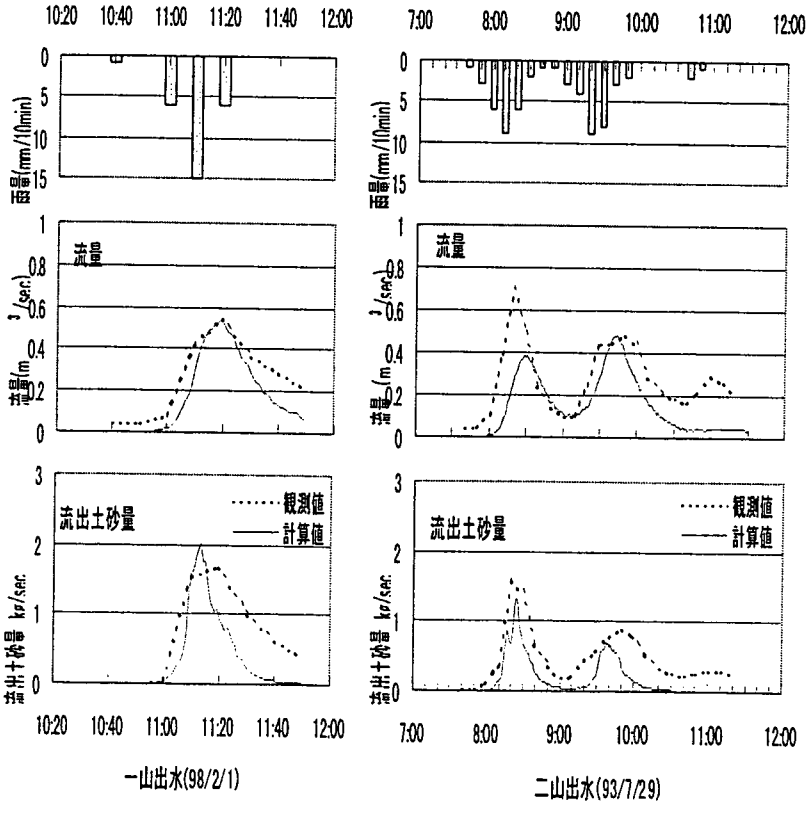
表－4　流出土砂量の観測値と計算値の比較

出水名	観測値	計算値
H10.2.1	1.17	0.61
H5.7.29	2.46	0.93

(単位：m^3)

表－2　粒度分布の設定

粒径(mm)	0.01	0.1	1	10
圃場	30%	30%	30%	10%
河川	5%	15%	40%	40%
休耕地	15%	15%	30%	40%
その他	20%	20%	20%	40%



図－1　シミュレーション計算結果

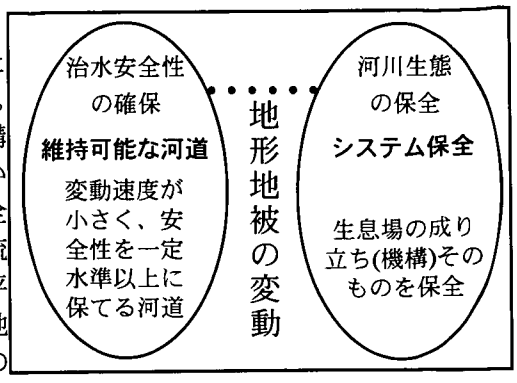
(仲野，山田)

15.5　水系土砂動態変化に伴う河川の自然形成システムの変質とその再生手法に関する調査

研究期間：平11～平14
担　　当：河川研究室

【要旨】

出水時における河道地形・構成材料の変化がきっかけとなって、河川生態系全体が変質したことがわかっている。本研究では、変質の直接的原因となった河道地形と地被構成材料の変化を特定するとともに変質のプロセスを明らかにし、その成果に基づき生態系という"システム"を保全するための手法(河道地形・地被予測モデル)と基本構想(流域スケールでの土砂管理、新しい河道計画)を提案する。平成12年度は、近年、礫河原の樹林化が生じた多摩川永田地区を事例として、樹林化の原因の一つである河床低下への具体的な対策(礫供給と低水路拡幅)を提案するとともに、治水安全性の確保および"システム"保全のためのポイントを整理した。



1．研究方法

多摩川の永田地区およびその上流区間を対象にして、実績の河床変動の分析と一次元河床変動計算によって、河床低下への対策(礫供給と低水路拡幅)について検討を加える。なお、以下に示す礫の量は、空隙を除いた実質体積である。

2．研究結果

2.1　礫収支と礫供給の有効性

永田地区とその上流区間での平均河床高の縦断分布を図-1に示す。なお、1920,40年代は旧版地形図から判読したものである。河道掘削が行われていた1921～1967年では場所によって2mを越える河床低下が生じている。また、河道掘削が禁止された1967年以降では、小作堰の上流(掘削によって河床勾配が減少した区間)で河床上昇が生じるのに対して、永田地区(51.6～53.6km)では河床低下が生じている。永田橋地区の河床低下の原因は、河道掘削によって生じた縦断的な礫流送量の不均衡である。

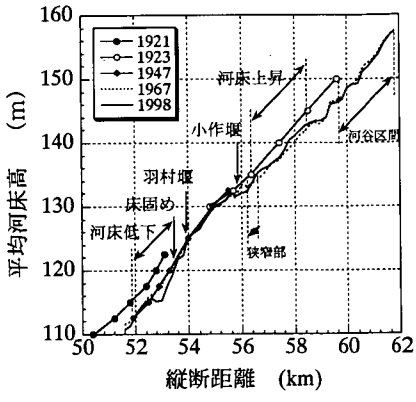


図-1　永田橋地区の河床縦断形

次に、永田地区への礫供給量が現況でどの程度、不足しているのか1975～1999年での河床変動の実績と一次元河床変動計算から推定を試みる。まず実績について調べると、小作堰上流の堆積区間(56.4～58.4km)では年平均堆積量7,150m³/年であるのに対して、永田地区での年平均侵食量5,560m³/年であった。また上記の河床変動量を最も良く再現するように河床変動計算を行うと、直轄上流端(61.8km)からの供給量が11,700m³/年、永田地区への土砂供給量4,870m³/年と推定された。以上の結果を総合すると、直轄上流端からの供給量約10,000m³/年に対して永田地区への供給量が約半分(5,000m³/年)と推定できる。

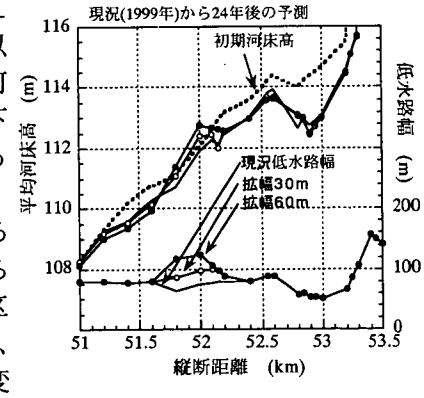


図-2　拡幅後の河床高予測結果

上記の不足量を補う対策として、小作堰の直上流に堆積した礫を永田地区に供給することが考えられる。小作堰における礫掘削量(1993～1998年)では平均で8,300m³/年であるとともに、その粒度分布は永田地区のものとほぼ同一であることが分かっている。以上より小作堰に堆積した礫全量を永田地区に供給すると、礫流送量の不均衡が大幅に是正されて、河床低下に対する抜本的対策になりうる。

2.2　低水路幅拡大の有効性と副作用

永田地区では、河床低下に伴って低水路が形成され、低水路の幅(以下、川幅と呼ぶ)が約1/3(250m→80m)に減少した。川幅拡大は、礫供給による効果をより早期に発現させるとともに、川幅縮小によって失われた「川原」を保全することにも効果がある。51.6～52.4km区間において川幅を現況、30mおよび60m拡幅した場合について、現況(1999年)から24年後の河床変動を計算した結果(礫供給なし)を図-2に示す。現況川幅では、さら河床低下が進行するが、30m拡幅だと拡幅した区間では現況河床高が概ね維持できること、また60m拡幅だとさらに河床高を上昇できることが分かる。しかし、拡幅範囲より下

流では、拡幅量の増加に伴って河床低下量が大きくなるという「副作用」が生じる。図-2に示した計算条件は、礫供給なしであるが、礫供給ありでは低下量を抑えられると考えられる。

2.3　拡幅および礫供給による対策のポイント

拡幅量と礫供給量をバランス良く調整すれば、下流への副作用を生じさせずに永田地区の河床低下を抑えることが出来る。しかし、そのような調節を行いつつ、さらに最終目的である礫河原が保全できる河道への修復が行えるかについて検討を行う必要がある。その際のポイントを以下にまとめて示す。

●礫河原が持続的に形成可能な(礫河原が保全できるシステムに改変できる)拡幅の検討

拡幅した場所では、掃流力が低下するために礫の移動頻度が減少する。その場合上記したような河床変動が生じない場所があると、そこに植物群落の形成および急速な拡大に適した細粒土砂が堆積し、最悪の場合には拡幅前と同じように樹林化することが懸念される。つまり、細粒土砂が堆積しにくく、かつ仮に植物群落が形成されても出水時に破壊されるような水理量および河床変動状況になるように拡幅する必要がある。上記の条件を満たす水理量および河床変動特性を検討のための基礎的知見として、植物の粗度や破壊機構に関する服部・瀬崎ほか[1,2,3]の知見が挙げられる。

●永田地区上流端での礫供給(河床上への礫敷設)に関する検討

永田地区上流端に設置されている床固工の直下流に礫を敷設することで礫供給を行う。礫供給を行うことで永田地区への供給量は倍増することになる。

1)安全に、かつ十分な量が供給できる礫の敷設方法

床固工下流に礫を敷設(供給)する際には、永田地区において有意な河床変動が生じる(河道区間全域で礫移動が生じる)最小規模の出水時(河床変動計算によるとピーク流量が500m^3/s:概ね平均年最大流量程度)に年平均不足量5,000m^3/年とほぼ同量の礫が流送されるとともに、その過程で河岸部などに流れが集中するなど危険個所が発生しないように配慮する必要がある。

2)礫堆積に伴う水衝部の形成に対する安全性の確保

礫供給を始めて間もない時期に中小規模の出水が続いて生じると、床固工直下流に供給した礫がそのすぐ下流にあたる永田地区の上流区間に集中して堆積すると思われる。その際、礫床河川の河岸侵食原因と一つとして良く挙げられるように、堆積区間には高さの大きい砂礫堆が形成され、その結果として堤防近傍に局所洗掘や流れの集中が生じる危険性があると考えられる。

●拡幅量と供給量のバランスがとれた河道修復計画の検討

拡幅区間より下流において副作用が生じないようにする(つまり河床低下量を抑える)ためには、下流区間での礫流送量とほぼ同程度の供給量が拡幅区間の下流端で確保されねばならない。つまりマクロに考えた場合、拡幅区間に堆積させられる礫の量は、(永田地区への供給土砂量)-(下流区間での礫流送量)となる。この堆積量になるように、拡幅量(幅と縦断距離)を設定すればよい。ところがある時点で設定しても、その後拡幅区間では土砂堆積の進行に伴って河床勾配が大きくなるため、拡幅区間での礫流送量が徐々に大きくなっていく。その結果として、拡幅区間での堆積量が減少するが、下流区間への供給量が増加する。したがって、ある程度まで堆積量が減少したら拡幅区間を拡大して、堆積量を上記設定値まで回復させる。以上のように拡幅を段階的に行うことで、副作用なしで礫川原を広くすることが可能となる。上記のような河道修復を行うための手法を提案する必要がある。

特に河床変動に関しては現状の技術では力学的に妥当な検討が困難である(流砂量式の適用性の問題)。したがって永田地区と同様の課題を有する他の河川への適用できるように、水理量、河床変動特性に基づいて上記検討が行えるように成果をとりまとめるためにも模型実験を行う必要がある(現地での拡幅・礫供給に関わる調査が必要なのはいうまでもない)。

謝辞：本研究の一部は、河川生態学術研究会多摩川グループの調査・研究の一環として実施したものである。横断測量および河床材料調査の成果については、関東地方整備局京浜工事事務所から提供していただいた。また、多摩川の一次元河床変動計算は（財）リバーフロントセンターと共同で実施した。ここに記して感謝の意を表する。

参考文献

1)瀬崎智之・服部　敦ほか:礫州上草本植物の流失機構に関する現地調査と考察, 水工学論文集, 第44巻, pp.825-830, 2000.

2)服部　敦・瀬崎智之ほか:礫床上に繁茂するハリエンジュ群落の出水による破壊機構とその河道修復への応用, 河川技術に関するシンポジウム - 河川技術論文集, Vol.7, 投稿中, 2001.

3)服部　敦・瀬崎智之ほか:ヨシ群落上流れに関する大型水路実験と抵抗則の検討, 年次学術講演会概要集, 第55巻, 2000.

(末次, 服部, 瀬崎)

15.6　河口域における土砂・環境管理手法の開発

研究期間：平成12年度～平成14年度
担当：河川研究室

[要旨]
感潮区間を有する河口域では微細土砂が堆積して浅い地形と栄養塩に富んだ底質を形成するため、適切な河道管理を実施するためには地形及び底質の形成機構を解明する必要がある。今年度は研究初年度として既往の河床横断測量資料と浚渫記録を用いて多摩川、利根川の河床変動の特徴を解析した。その結果、浚渫等の人為的な河積拡大は洪水規模に係わらず数年程度で埋まり、その後の洪水によって形状がほとんど変化しない安定河床形状に到達していることが明らかになった。また、平均年最大流量以下の洪水しか生じていない期間でも土砂の移動が生じており、これによって河床が堆積・洗掘を繰り返していることが示された。

1．研究目的

沖積平野を貫流し長い水平勾配区間を有する河川感潮域では、上流から輸送されてきた微細土砂が堆積しやすく、そのために浅い地形と栄養塩に富んだ底質を形成し、生態系にとって重要な環境となっている。一方で河川感潮域を「河道」として見ると、洪水疎通能力確保のために浚渫が必要な場合がある。したがって、これらを適正に管理するためには、地形（河床）の変動特性を明らかにする必要がある。

本研究では、多摩川（東京）と利根川（茨城）の河口部について、既往の河床横断測量資料と浚渫資料を解析し、河床変動の特徴を考察した。本報告では多摩川の整理結果を図表として示す。

2．研究方法

多摩川と利根川には河口堰が建設されており、現在の感潮区間はそれぞれ13kmと18kmとなっている。

両河川ともに明治期より現在に至るまで砂利採取や浚渫によって河床が人為的に改変されており、1960年代以降の改変については、河床横断測量資料と浚渫記録によってその履歴を追うことができる。測量は2～3年おきに実施されており、縦断方向の測量間隔は多摩川では200m、利根川では500mである。これらより、低水路について各測量年の河積を計算し、最も古い測量年からの変化量を求めた。浚渫量については、浚渫年度と浚渫土量の記録を用いて、最も古い測量年を原点として累積浚渫量を計算した。

また、自然的な河床変動要因を考察するために、河床変動と上流地点の年最大流量との比較を行った。

3．研究結果

図-1に多摩川河口域の河床縦断図と本研究で解析対象とする範囲を示す。多摩川では1970年代及び80年代に有機汚泥除去のために河口0kmから4kmにかけて総量約100万m^3の浚渫事業が実施された。一方、5kmより上流では目立った浚渫は実施されていない。図-2に多摩川河口の1kmの河床変動履歴と1968年を基準とした断面積の変化時系列、および年最大流量時系列を示す。また、図-3に5kmについて同様の図を示す。図中の番号（①～⑤）は、1968年から91年までの測量年を指したものである。

まず1km（図-1）について見ると、②（79年）で河床は2m程度低下したが、その2年後には約75%程埋め戻り、さらに2年後の③（83年）では浚渫により再び河積

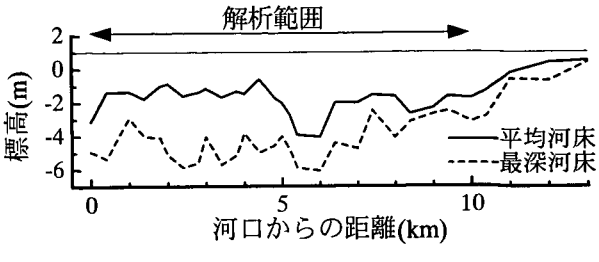


図1 多摩川の河床縦断図と解析範囲

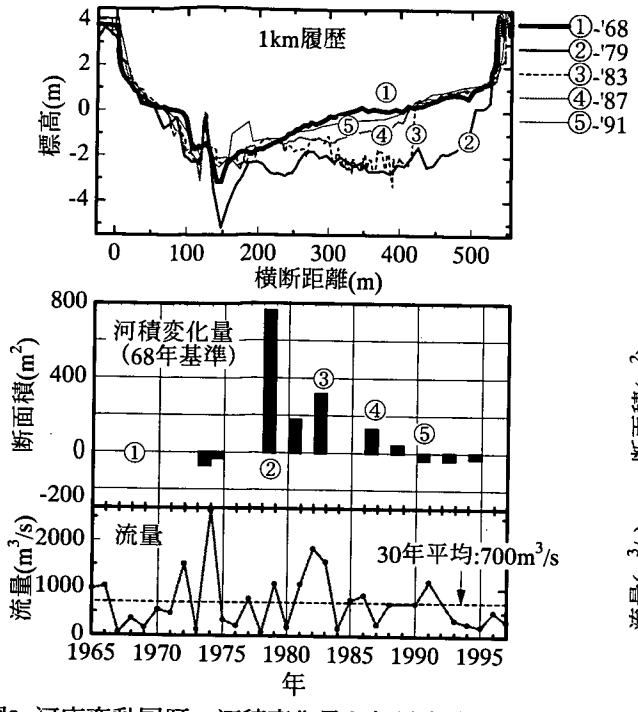


図2 河床変動履歴、河積変化量と年最大流量（1km）

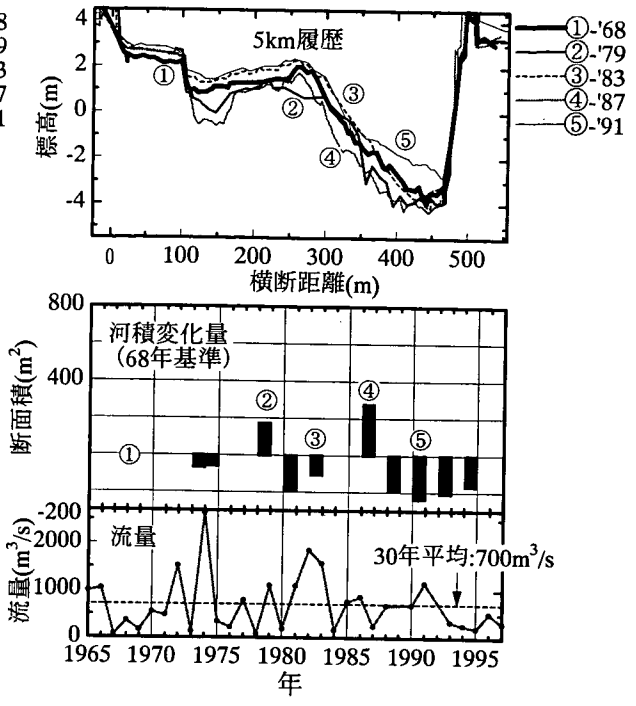


図3 河床変動履歴、河積変化量と年最大流量（5km）

が増大した。その後この断面では浚渫が実施されていないため、徐々に①の河床に復元してゆき、⑤（91年）ではほぼ元通りになっている。②の河積増大は、入手した浚渫記録には記載されていないが、1975年以降かなり低い流量が続いているため、洪水による洗掘とは考えにくく人為的な掘削によるものと推測される。

いずれにしても、②と③の河積増大の直後に50～70%程度埋め戻っていることが特徴的である。流量との関係を見ると、1974年に過去30年間で最大の洪水が生じているものの河積はほとんど変わっていないが、②と③の後に生じた平均よりも若干大きい洪水によって大部分が埋まっている。

図-3に示す5kmでは，浚渫は実施されていないが、横断形状は①から⑤まで堆積と洗掘を繰り返している。河積の変化は、②と④が洗掘、③と⑤が堆積であり、洗掘から堆積に転じる期間には平均程度の洪水か、もしくは渇水に近い状態が起きている。とはいうものの、その逆（渇水だから堆積する）は成立しておらず、流量との明瞭な相関は見いだせない.

以上の整理を感潮区間の0kmから10kmまでの51断面で行った結果、1968年から1995年までの河積変化量は-15万m^3となった。この量は10km区間全体が5cm下がったことに相当するが、30年間の変化としてはほぼ元の状態に戻ったと言え、つまり総浚渫量100万m^3は全て埋まったことになる。また、1989年以降は浚渫がほとんど行われておらず、洪水流量も1991年が若干平均よりも大きい以外、平均年最大流量以下であったが、河積の変化としては10km区間全体が20cm上昇した程度の堆積が生じている。

以上、資料整理より得た多摩川感潮域の河床変動の特徴をまとめると、①浚渫等の人為的な河積拡大は洪水規模に係わらず数年程度で埋まり、安定形状に到達する、②平均以下の洪水しか生じていない期間でも土砂の堆積・流出が生じている。

4．まとめ

多摩川と利根川の河口において河床変動の特徴を調べた結果、いずれの河川でも浚渫等の人為的な河積拡大が洪水規模に関わらず数年程度で埋まってしまい安定形状に到達すること、平均以下の洪水しか生じていない期間でも土砂の堆積や流出が生じていることが分かった。

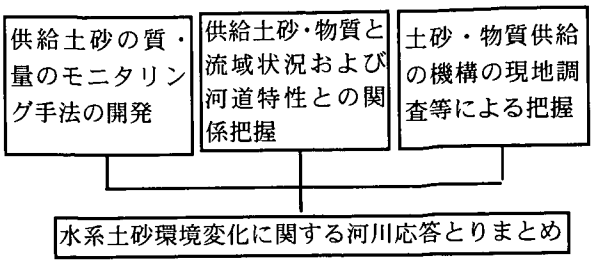
（末次忠司・諏訪義雄・横山勝英）

15.7　粒径集団別供給土砂量のマクロ予測手法に関する研究

研究期間：平９～平14
担当：河川研究室

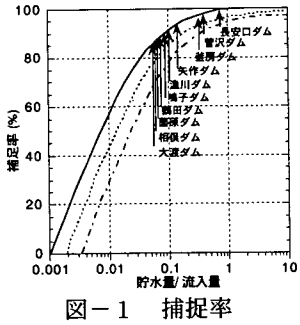
【要旨】

本研究は、粒径別の土砂について、生産・運搬・堆積といった動態を水系スケールで一貫して予測する手法について検討するものである。平成12年度は、全国の14ダムについて、堆積物調査およびボーリング調査結果から粒径別の堆積量を算出し、各流域からの粒径別供給土砂量の推定・整理を行った。沖積堆積物から推定した既存の供給土砂量結果と比較を行ったところ、質・量ともにほぼ一致する結果が得られた。また、供給土砂量の粒度構成が下流域の河川の地形特性に及ぼす影響を把握するため、ダム堆積物から求めた流域からの供給土砂量の粒度分布と河道のセグメント構成からタイプ分けした全国の1級河川の河床材料の代表粒径の比較を行い、供給土砂の粒度組成と下流部の河道セグメント形成に関連性があることを示した。

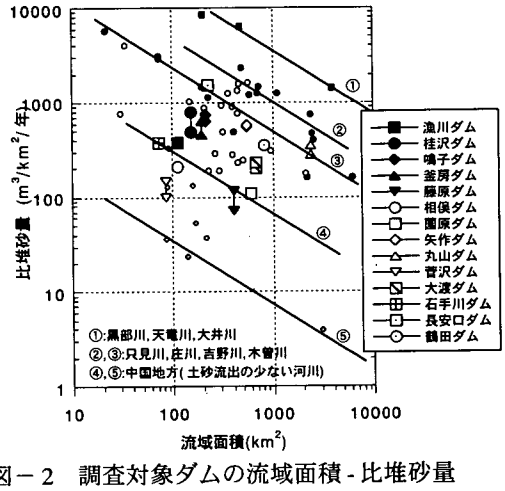


１．研究方法

本研究は堆積物のﾎﾞｰﾘﾝｸﾞ調査が行われている14ダムについて、堆積物の粒径別内訳を推定し、流域別の生産土砂量推定と整理を試みた。調査方法は、貯水池内堆積物のﾎﾞｰﾘﾝｸﾞ調査結果から堆積物の縦横断土層分布を推定し、全堆積物の粒径別割合を整理した。この粒径別堆積量をダム完成後の経過年数及び流域面積で割り、比堆砂量を算出した。



図－１　捕捉率



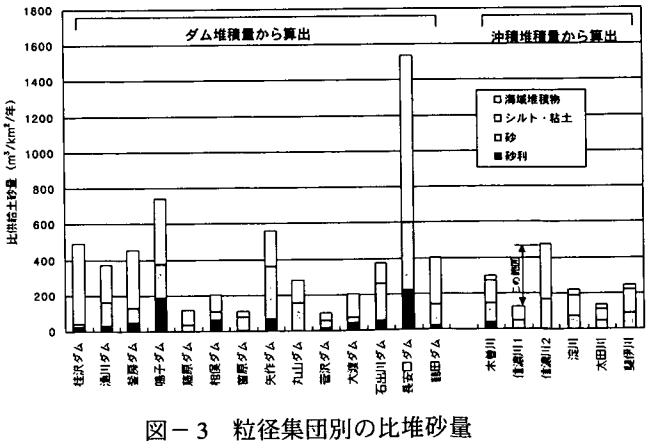
図－２　調査対象ダムの流域面積-比堆砂量

２．研究結果

２．１生産土砂量の整理結果

ｳｫｯｼｭﾛｰﾄﾞ形態で貯水池に流入する細粒分土砂は、全量貯水池で堆積せずに、下流へ流出している場合も考えられることから、今回データ整理を行った各ダムについて、図－１に示すBrune[1]の調査結果に倣って補足率を試算した結果、85～98％の補足率であった。

図－２は、今回の調査対象ダムの堆積量から算出した比堆砂量を、芦田・奥村[2]が全国のダム堆砂資料の整理を行って作成した比堆砂量－流域面積図にプロットしたものである。図から、今回の調査結果は、芦田・奥村らの研究結果と概ね一致していることがわかる。



図－３　粒径集団別の比堆砂量

図－３は、各ダムの堆積物の内訳を礫、砂、シルト・粘土に分けて比堆砂量を比較したものである。図には、山本・藤田ら[3]が木曽川、信濃川、淀川、太田川、斐伊川について沖積平野の堆積物から算出した比堆砂量の内訳も合わせて示した。図から、一部例外はあるものの、比堆砂物の構成割合（特に砂礫とシルト・粘土）は、藤田らの調査結果と概ね同じである。特に、丸山ダムと木曽川を比較すると、シルト・粘土と砂礫の割合、比堆砂量の値もほぼ一致している。ダム堆積物調査からは礫の比堆砂量が０となっているが、これは、ﾎﾞｰﾘﾝｸﾞ長が短く礫の堆積量を把握できなかったためと考えられる。また、利根川、石狩川については、複数のダムの調査結果が得られたが、いずれも、ダム（流域）によってその構成が異なるものが見られることから、ダム堆積

物調査の結果をそのまま下流への供給土砂量の算出に使えないケースもあることがわかる。今後、山本・藤田ら[3]が行ったように、下流河道の年間流砂量の算出結果との比較も合わせて行い、供給土砂量の与え方について考察する必要がある。

2．2　生産土砂の粒径分布と下流河道河床材料の関係について

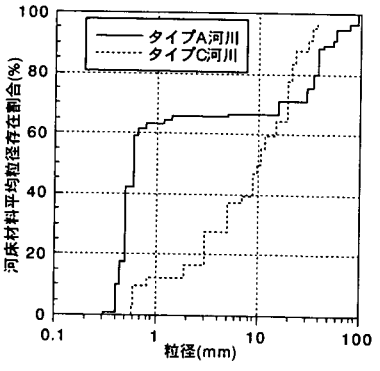
次に、ダム堆積物すなわち流域からの供給土砂の粒径分布と下流河川のｾｸﾞﾒﾝﾄ構成との関係について調べた。山本・藤田ら[3]は、全国の１級河川の縦断形について、河床勾配と河床材料の代表粒径の関係を整理した結果、日本の沖積河川は表-1に示すタイプＡ～タイプS'に分類されることを示した。タイプＡ河川とタイプＣ河川の河床材料平均粒径存在割合分布を調べた結果、図－４に示すように0.5mm　程度の中砂の割合が異なることを明らかにし、その原因を中砂の供給量の違いによると推定している。

本研究では、上記研究に倣ってダム下流の河川の縦断形と河床材料から、表－１のように下流河川のタイプ分けを行い、シルト・粘土を除いたダム堆積物（供給土砂）粒度分布を比較した。図－５～７は、タイプＡ、Ｂ、Ｃについて、図－８は、タイプＡ河川のうち、Ｓ'ｾｸﾞﾒﾝﾄを持つ河川のダムの堆積物（砂礫分のみ）の粒度分布について図－４と比較したものである。図－５に示すように、タイプＡ河川については、いずれのダムも0.1～1mmの中砂をある程度の割合（３割以上）で持っていることがわかった。図－6,7に示すように、タイプＢ及びタイプＣのうち、大渡ダム、桂沢ダムについては中砂の割合が少なく、図－４のタイプＣ河川の河床材料存在分布と類似した粒径加積曲線となっており、山本・藤田ら[3]の推定を裏付けるものとなっている。しかし、石手川ダム・長安口ダムについては、堆積物に中砂を多く含んでおり、むしろタイプＡ河川のダムの粒度分布に近い。石手川ダムは重信川の支川石手川のダムではあるものの石手川の縦断形もタイプＢとなっており、本川支川を通じて中砂の堆積空間がないためｾｸﾞﾒﾝﾄSが形成されていないと考えられる。Ｓ'ｾｸﾞﾒﾝﾄを持つ河川のダム堆積物（砂礫のみ）について図－８に粒径加積曲線を比較したところ、1～4mmの粗砂小礫がある程度の割合で含まれていることがわかった。

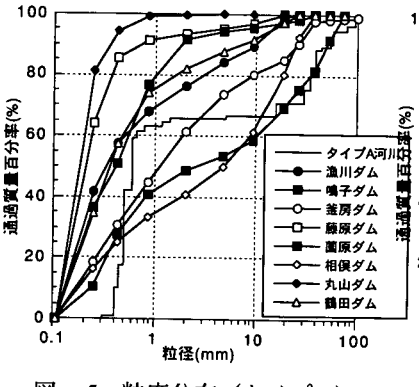
表－１　下流河川のタイプ分け

名称	タイプA河川	タイプB河川	タイプC河川	タイプS'河川
分類	河道内全てでG,Sセグメントに属し、かつSセグメントを有する河川	Gセグメントのみ有する河川	いずれのセグメントにも属さない中間的なセグメントを有する河川	タイプA河川のうち、S'セグメントを有する河川
本研究で対象としたダムの分類	千歳川（漁川） 名取川（釜房） 江合川（鳴子） 利根川（藤原、相俣、薗原） 木曽川（丸山） 川内川（鶴田）	仁淀川（大渡） 重信川（石手川） 那賀川（長安口）	石狩川（桂沢）	矢作川（矢作） 日野川（菅沢）

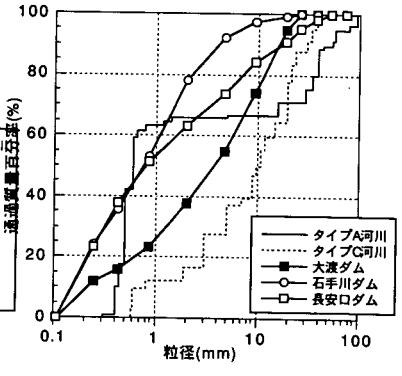
	セグメントの名称	代表粒径d_{60}，河床勾配I_b	地質的な特徴
	Gセグメント	d_{60}≧15mm，I_b≧1/1,500	
	Sセグメント	d_{60}≦15mm，I_b≦1/2,000	
	S'セグメント	d_{60}=1～3mm前後，I_b=1/1,000前後	流域の大部分が花崗岩風化物



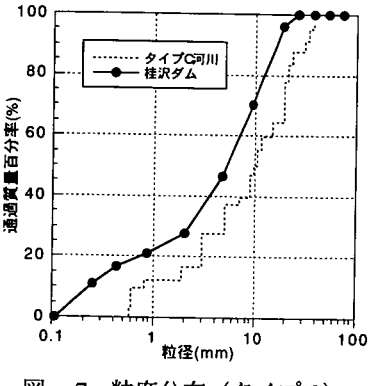
図－４　各タイプ河川の河床材料



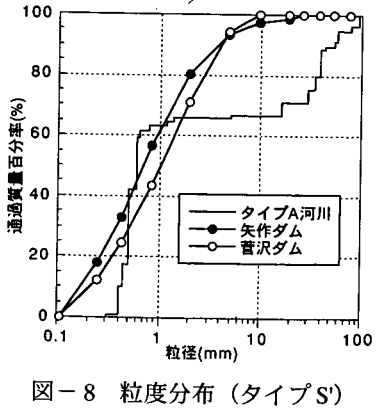
図－５　粒度分布（タイプＡ）



図－６　粒度分布（タイプＢ）



図－７　粒度分布（タイプＣ）



図－８　粒度分布（タイプS'）

参考文献

1)Brune,G.M. : Trap efficiency of reservoirs,Trans.AGU,34-3,pp407 ～ 418,1953.

2)芦田和男・奥村武信：ダム堆砂に関する研究，京大防災研年報，17 号Ｂ，pp.555 ～ 570、1974

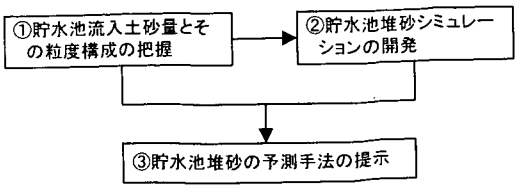
3)山本晃一・藤田光一・赤堀安宏・太田知章：「沖積河道縦断形の形成機構に関する研究－水系環境変化に伴う河道縦断形変化の長期予測のために－」，土木研究所資料第 3164 号，H5 年３月

（末次、諏訪、横山、平舘、東）

15.8　貯水池堆砂の予測手法に関する調査

研究期間：平 11 ～平 14
担当：水工水資源研究室

【要旨】



図－1　研究フロー

近年、流砂系を把握した上での流域の土砂管理への要求が高まっており、流下土砂量を知るための貴重な情報源として、粒度構成も含めたダム堆砂量の解析が必要となっている。また、従来からの課題である貯水池計画を適正なものとすることに加え、近年求められている堆砂対策の検討のため、貯水池堆砂形態の精度の良い推定方法が求められている。本調査は、こうした背景を踏まえて、①貯水池流入土砂量とその粒度構成の把握、②貯水池堆砂シミュレーションの開発、を行うものである。

11 年度は、①の検討を行うための基礎資料となる、ダム貯水池の堆砂実績について、粒径も含めた資料収集を行うとともに、芦田らの方法に従い、流域からの流出土砂量という観点で堆砂量データの整理を行った。12 年度は、11 年度に引き続き、粒度構成等の堆砂性状調査結果を収集するとともに、それら収集資料をデータベース化した。また、貯水池流入土砂の発生源である、貯水池上流域にある崩壊地を空中写真より判読した。

1.調査目的

本調査は、流下土砂量とその粒度構成について、ダム堆砂実績を中心に流域毎に整理するものである。また、その堆砂量について、堆砂形態と堆砂内の粒度分布、水位変動域を含む貯水池内上流部の河道形状、水位低下に伴う濁水発生状況の予測可能な河床変動計算方法を提示することも目的とする。

2.調査方法

12 年度は、11 年度に引き続き、粒度構成等の堆砂性状調査結果を収集した。その調査・試験項目は表－1 に示す通り、例えば、粒度試験は貯水池内ボーリング調査、貯水池内底質調査、貯砂ダム又は貯水池上流端堆積土砂調査及び河床材料調査の 4 つの調査項目で実施されている等、複数の調査試料に対して同じ分析を行っていることがわかる。それら複数の調査試料に亘る試験結果を同一に扱えるようにするため、リレーショナルデータベースの設計手法を用いて利用しやすい構造に整理し、粒度試験結果をデータベースに登録した。

表－1　調査・試験項目一覧

調査項目	土質材料区分	物理試験 岩石区分	粒度試験	比重試験	含水量試験	密度試験	洗い試験	力学試験 すりへり試験	安定性試験	化学試験 pH試験	有機不純物試験	富栄養化試験	還元化試験
貯水池内ボーリング調査	礫（細礫、中礫、粗礫）	○	○	○	○	○	○	－	○	○	○	○ (1)	○ (2)
	砂（細砂、粗砂）	－						－					
	シルト	－					－	－	－		－		
	粘土	－					－	－	－		－		
貯水池内底質調査		－	○	○	－	－	－	－	－	○	－	○ (3)	○ (4)
貯砂ダム又は貯水池上流端堆積土砂調査		○	○	○	－	○	○	○	○	○	○	○ (1)	○ (2)
河床材料調査		○	○	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－

(1) T-P、T-N
(2) 強熱減量、COD、二価鉄、活性二価鉄、総炭素
(3) T-P、T-N
(4) 強熱減量、COD、二価鉄、活性二価鉄、T-Fe、硫化物イオン、総窒素

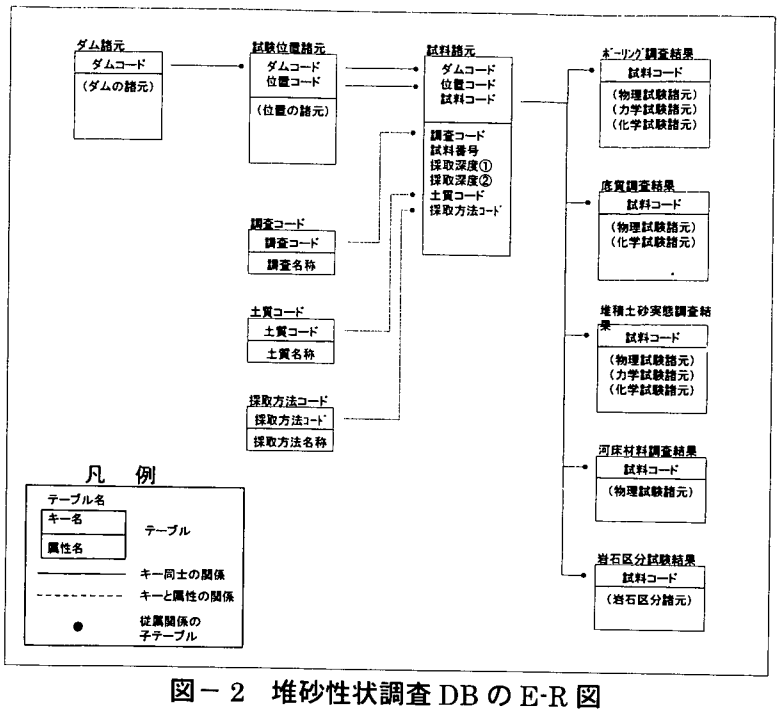
次に、複数のモデルダム流域を撮影した空中写真(縮尺 1:15,000、撮影時期昭和 50 年～昭和 51 年)を立体視し、崩壊地を判読した。なお、崩壊地のうち、500m^2 以下の小さいものについては作業量を軽減するために個々の測定を行わずに箇所数×代表平均崩壊地面積によって求めた。ここで代表平均崩壊地面積は各対象ダム流域から以下の条件により代表的な単位流域を抽出し、500m^2 以下の全崩壊地面積を測定して算出した。

①崩壊地が比較的多数存在すること。
②各対象ダム流域の表層地質を代表していること。

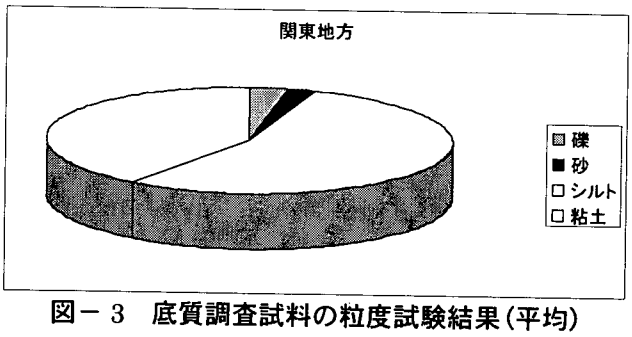
3.調査結果

本報告では、紙面の都合から堆砂性状調査結果の整理について報告する。

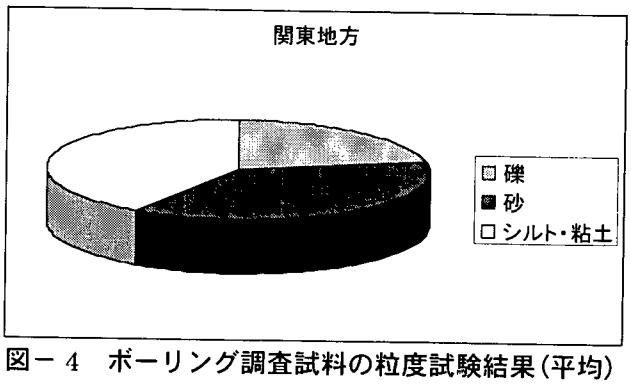
図－2に堆砂性状調査データベース(以下、「DB」)のE-R図を示す。図－2のテーブルのうち、カッコで記述されている属性名は、紙面の都合から省略したもので、例えば化学試験諸元の場合、T-P、T-N、強熱減量等の化学試験で実際に行われた分析結果の数値等が登録されることを表している。このDBに粒度試験結果を登録したが、その集計結果を図－3、図－4に示す。図－3は、底質調査試料を対象に粒度試験を行った結果のうち、関東地方の調査ダムを対象に試料毎の粒度区分割合を平均したものである。図－4は、ボーリング調査試料を対象に図－3と同様に粒度区分割合を平均したものである。図－4は分析結果の関係でシルトと粘土を分離せずに表示している。両図を比較すると、底質調査試料では細かい粒径であるシルト・粘土分があわせて約95%を占めているのに対し、ボーリング調査試料では両者あわせて約42%となっており、礫・砂分の粒度区分割合が底質調査と比較して大きいことがわかる。この理由として、底質調査の粒度試験は主にダム貯水池内ダムサイト付近(最深部付近)の堆積土砂を採取したものを対象に分析した結果であるのに対し、ボーリング調査の粒度試験は、貯水池内を縦断方向に3～4箇所についてボーリング調査により採取した試料のうち、堆積土砂厚により異なるが、鉛直方向に2～17箇所の試料を抽出して粒度試験を行った結果であるため、底質調査試料は、貯水池内下流域に集中しているのに対し、ボーリング調査は、貯水池内の広範囲に分布しているため、貯水池末端域に堆積した粗い粒径の土砂が含まれているためと考える。



図－2　堆砂性状調査DBのE-R図



図－3　底質調査試料の粒度試験結果(平均)



図－4　ボーリング調査試料の粒度試験結果(平均)

4.主な研究成果物

・箱石憲昭：ダム貯水池の土砂管理に関する研究,土木技術資料,Vol.42,No.4,pp.34-39,2000.4.
・水工水資源研究室：総合土砂管理におけるダムの土砂管理技術,ダム技術,No.167,pp.97-99,2000.8.
・水工水資源研究室：流域土砂管理におけるダムの土砂管理技術,中国地建における一日土研資料,No.3758,pp.13-15,2000.10.

(柏井、箱石、宮井、櫻井)

15.9　貯水位低下時の堆積土砂の侵食・流出過程に関する基礎的研究

建設省土木研究所　ダム部水工水資源研究室

1．平成12年度予算額　3，891千円

2．研究の目的・意義

通常、ダム計画においては、あらかじめ過去の実績などを参考に百年程度の堆積土砂量が計画に盛込まれているが、管理ダムの増加とともに計画値以上の堆砂実績を示す事例が見られ、限られた水資源開発容量を世代に渡って持続的に有効利用するための積極的な対応が求められるようになってきている。

この対策の一つとして、貯水位を低下させて掃流力を増大させ、堤体に設けた排砂ゲートから堆積土砂を流水とともに排出し、貯水機能を回復させて持続的に利用する技術が注目されている。しかしながら、貯水位低下時の堆積土砂の移動現象については不明な点が多い。本研究は、海外での事例収集等を通じて、貯水位低下を伴う排砂時における、堆積土砂の排出量、排出土砂の粒度分布、排砂時の水質等を予測するために、堆積土砂の侵食・流出過程を明らかにすることを目的とする。

3．研究の内容・成果

（1）海外の事例の収集

国際大ダム会議（ICOLD）の貯水池堆砂委員会委員長である南アフリカステレンボッシュ大学のRooseboom教授を招へいし、南アフリカをはじめとする世界各国の貯水池堆砂問題とその対策について事例を収集した。南アフリカにおいても土砂流出の多い河川において貯水池堆砂問題が顕在化しており、貯水位低下を伴う排砂ゲートによるフラッシングやスルーシングが行われている。また、貯水池堆砂の掘削や浚渫も計画されている。全世界的に見ると、現在は流入する土砂量の多いダムを中心に貯水池堆砂問題が生じているが、多くの大ダムは第二次大戦以降に建設されたものであることから、今後堆砂による貯水容量の減少問題が顕在化するダムの数が急激に増えることが予想され、貯水池堆砂対策の重要性はますます高まるものと考えられる。

（2）土砂移動シミュレーション手法の検討

ア．　水理計算モデルの検討

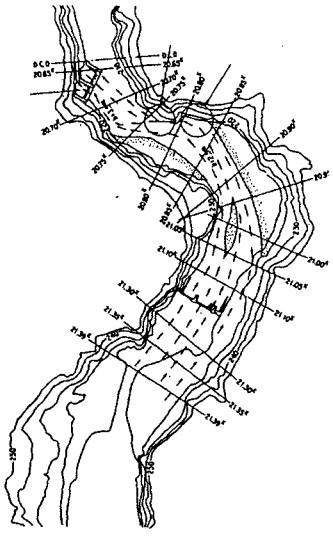
貯水位低下時の堆積土砂の移動現象を再現する数値シミュレーションでは、水深および流速の分布を計算する流況シミュレーションと、流水による土砂の移動を計算する河床変動シミュレーションを連携させて時々刻々計算する必要がある。その際、蛇行した貯水池形状や土砂移動の際に形成された砂州により、横断方向の流速分布は大きく変化し、河床も横断方向に広がる二次元的な変動をするので、シミュレーション計算は二次元あるいは三次元で行う必要がある。また、ダム建設地点での河床は一般に急勾配であり射流が生じることが多く、常流と射流が混在する流れでも安定的に流況計算ができるモデルであることが求められる。三次元モデルでは河床変動が取り扱いにくく計算時間も格段に長くなることから、ここでは二次元モデルとすることとした。これらの条件を満足するモデルとして、京都大学で開発された一般座標系による平面二次元流モデルが

最も適切と判断した。

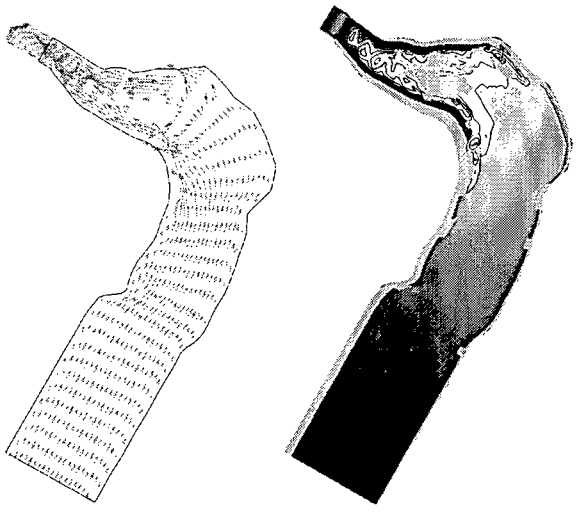
イ．　再現性の検討

貯水位を低下させて排砂ゲートによって排砂する計画を有するダムを対象として、排砂状況を検討するための水理模型実験を行っており、選定したモデルを用いて数値計算により実験結果を再現することを試みた。再現対象は、一定流量での定常実験と洪水末期の減水期のハイドログラフを近似して流量変化を与えた非定常実験の２ケースとした。計算断面は流線にほぼ直角になるように約740m（実物換算）の区間で２７の横断面を設定して1/1000地形図から座標データを作成し、さらに断面間を内挿して７１断面を作成した。横断方向には２０分割した。また、初期河床は計画堆砂形状を与えた。

計算結果によれば、流況については、初期河床の勾配が1/13.3と急なことから射流が生じており、フルード数が２以上の断面もいくつか見られ、常流から射流に遷移する流れが平面二次元モデルで安定的に解かれている。定常実験および非定常実験ともに同様の再現結果が得られた。河床変動については、一部の断面で異常な洗掘と堆積が生じ計算が不安定になった。しかしながら、河床縦断形状の変化を見ると時間が進むに連れて排砂が進み河床が低下していく傾向は十分に再現された。ダムから排出される土砂量は、実験のほぼ２割り増し程度と計算された。



図－１　水理模型実験結果



流速分布　　河床高分布

図―２　数値シミュレーション結果

４．考察

海外の研究事例調査では南アメリカをはじめ各国の貴重な情報が得られた。今後引き続き情報交換を行っていきたい。

数値シミュレーション手法については、河床変動計算が一部の断面で不安定になっている。これは流砂量が多いことや初期の堆砂面を一様に仮定していることが影響していると考えられ、非平衡の流砂量式を適用していくことや、初期のみお筋をある程度仮定してやることで精度の向上を図ることができると考えられる。

５．研究成果の発表状況　　なし

15.10　土砂輸送トンネル水路の設計手法に関する調査

研究期間：平 11 ～ 13
担当：水工水資源研究室

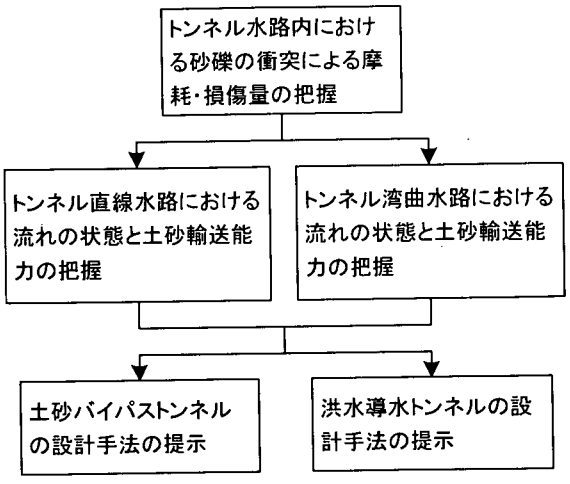
【要旨】

洪水時に土砂流出の多い地域では、貯水池に流入してくる土砂の堆積による貯水容量の低下，濁水の長期化等が問題となり、その対策が求められている。堆砂対策の一手法として、流入土砂を流水と共にバイパストンネルによって貯水池を迂回させて放流する方法がある。この方法は、既存ダムの従来の運用方法の中で実施できる方法として今後の発展が期待されているが掃流砂成分をバイパスさせるためには、トンネルの土砂輸送力を正確に評価するとともに水路内の摩耗・損傷を的確に評価し、適切なライニング方法及び維持管理方法を確立させる必要がある。

12 年度は開水路トンネルの土砂輸送力を把握するため、流量と堆砂開始時流量，満管になるまでの最大流砂量について水理実験を行った。

1. 研究目的

貯水池の堆砂対策の一手法として、貯水池上流端付近で土砂を分派し、トンネルで貯水池を迂回させてダム下流河道へ導く土砂バイパストンネルが期待されている。従来は、トンネル内での土砂堆積や摩耗・損傷が懸念され、微細粒子が分派の対象とされてきたが、土砂の分派効率は分派対象として粒径の大きなものを含むほど高くなり、より大きな粒径を対象にすることが求められている。また、近年ではダムサイトの有効利用の観点から、近接流域からトンネルにより洪水を導水する計画が策定されるようになっており、この場合の洪水も土砂を含むことになる。



図－1　研究フロー

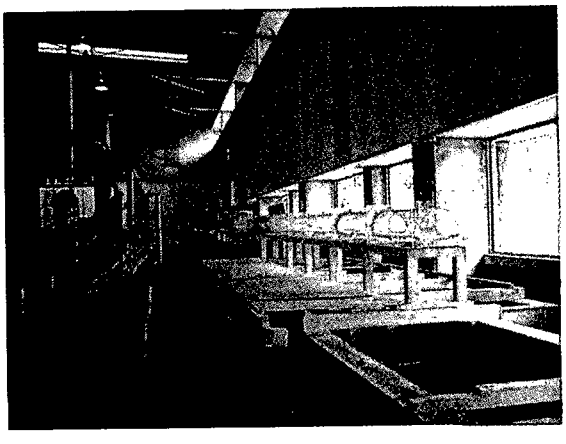
本研究は、トンネル水路を対象に砂礫の衝突による摩耗・損傷量についての把握と水理実験によりトンネル内の流れの状態と土砂輸送能力を明らかにし、土砂輸送トンネル水路の設計手法を確立するものである。

2. 研究方法

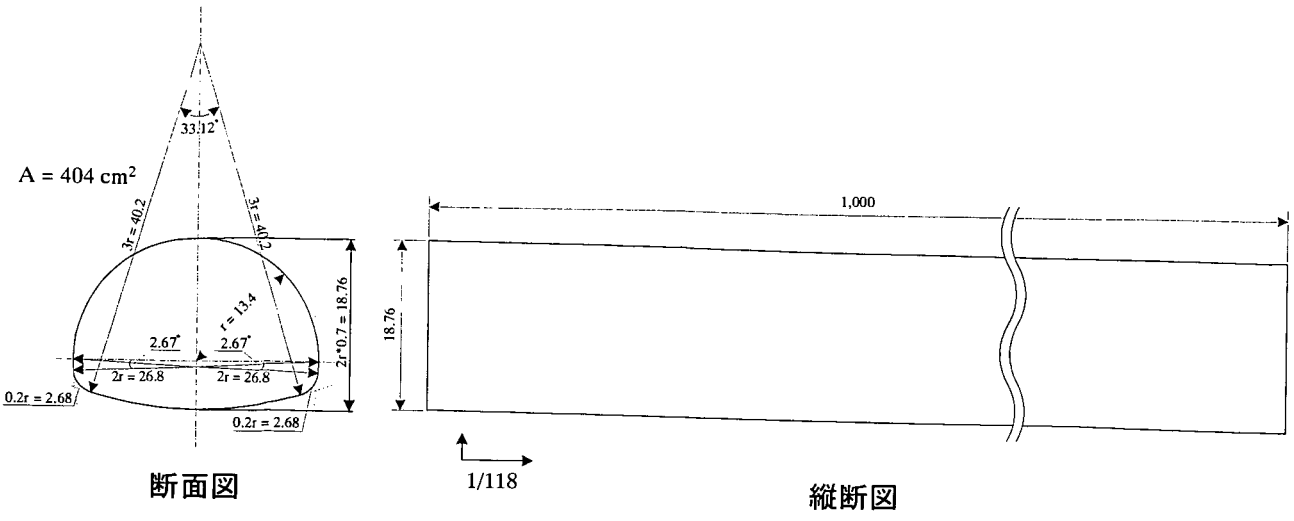
土砂輸送トンネルの水理設計手法を確立するため、開水路トンネルの土砂輸送力実験を実施した。

開水路トンネルの土砂輸送力実験は、流量と堆砂開始時流砂量，開水路流から満管（管路流）になるまでの最大流砂量の関係を求めるものである。実験は図－ 2 に示す扁平馬蹄の断面を持つ直線水路の模型にて行った。模型は透明アクリル樹脂製で勾配は 1/118，長さ約 10m，給砂した砂の平均粒径は 1，3，5mm の 3 粒径である。実験条件についてまとめたものを表－ 1 に示す。

写真－ 1 は模型の設置状況である。



写真－1　模型設置の様子



単位:cm

図－2　模型概略図

表－ 1 の実験条件のもと、下記の手順で実験を実施した。

①各設定流量において 1/10 読みポイントゲージで模型中央の水面形計測を行う（トンネル模型上部中央には、計測用の穴が設けてある)。

②各設定流量において上流河床より給砂を行う。給砂は徐々に量を増やし、水路に砂が堆積し始めるときの給砂量を求める。なお、堆砂開始時の堆砂の開始位置，水面形について観察を行う。

③堆砂開始から満管になるまでの最大給砂量を求める。なお、最大給砂量時の堆砂形状を観察する。

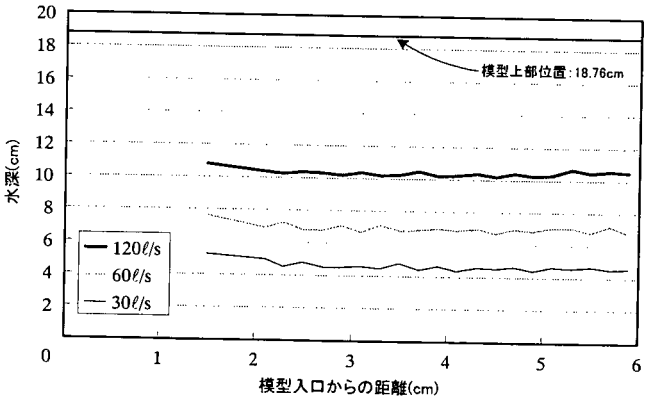
表－1　実験条件

流量(l/s)	9.6，19.2，38.4
砂の粒径(mm)	1，3，5
模型勾配	1/118
模型断面積(cm^2)	404
模型全長(m)	10
模型粗度	0.009

3. 研究結果

図－ 3 は土砂供給無し時における各設定流量での水面形測定結果である。本図からも分かるように入り口付近では、各設定流量において水位の上昇が見られるが、下流に流下するに従い水位は安定している。

各設定流量における平均流速，平均水深，フルード数は表－ 2 に示すとおりである。フルード数より土砂供給無し時における各設定流量の条件では全て射流であった。



図－3　水面計測結果

表－2　各設定流量における計測結果

流量 (ℓ/s)	平均流速 (m/s)	平均水深 (m)	フルード数
30	0.97	0.05	1.45
60	1.24	0.07	1.50
90	1.60	0.10	1.59

4. 主な研究成果

・柏井条介・塚原千明・高橋　潤，衝撃によるコンクリート損傷に関する基礎的検討，ダム技術 No.167，pp.55-62，2000.8

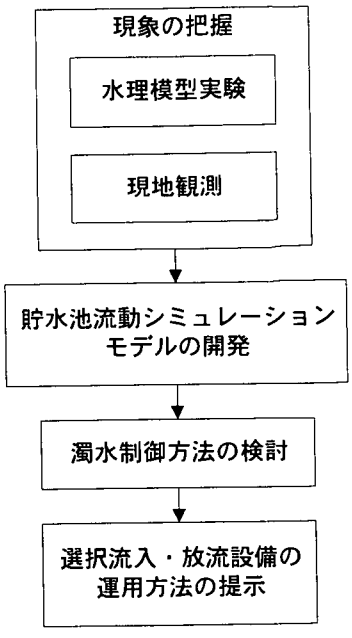
（柏井・塚原）

15.11　貯水池内の流動現象に関する調査

研究期間：平 9～平 12
担当：水工水資源研究室

【要旨】

貯水池の水温・水質問題対策の一つとして貯水池内の流動を制御する方法が考案されているが，実際に運用法を計画するために必要となる貯水池の流動現象に関する知見は十分でない．そこで，本調査では，現地観測，水理模型実験，数値シミュレーション等の手法を用いて貯水池内流動現象を把握し，効果的な流動制御法の計画に資することを目的とする．12 年度は，実際の貯水池を対象に，粒径や土砂濃度などの条件を変化させたモデル出水について数値シミュレーションを行うことによって，貯水池内の堆砂や濁水の原因となる微細粒子の挙動の検討を行い，その基本的な特性を把握した．



図－1　研究の流れ

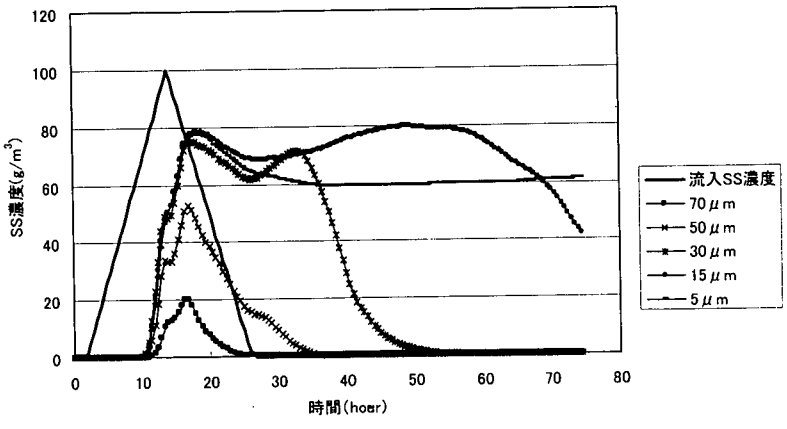
1．調査方法

以前に行われた現地観測において，比較的密度の高いデータが得られた大渡ダム貯水池を対象として，数値シミュレーションモデルを用いて計算を行い，微細粒子の流下特性を検討した．計算に用いたモデルは，鉛直二次元モデルであり，静水圧近似を用い，渦動粘性係数及び各種拡散係数を一定とした比較的単純なモデルである．計算においては，出水継続時間を 24 時間，出水波形を三角形波形，ピーク流量を 1000m³/s，洪水調節方法を「流入＝放流」として，土粒子粒径，土砂濃度，貯水池水温について，それぞれ，下記のように変化させた条件を設定した．

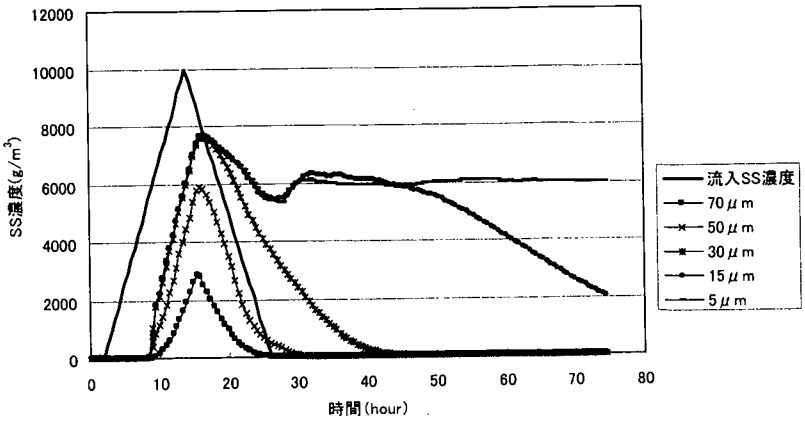
(1)土粒子粒径：単一粒径の条件で計算し，1μm～100μm の範囲で変化させた．

(2)土砂濃度：ウォッシュロードの流砂量の予測式を用いて，流量に比例させて与えることとし，ピーク流量時の SS 濃度を 100～10000g/m³ の範囲で変化させた．

(3)貯水池水温条件：大渡ダム 98 年 7 月 25 日出水観測値による水温成層有りと流入水温と同じ水温とした水温成層無しの条件とした．



図－2　放流SS濃度時系列(水温成層有り，ピークSS濃度100g/m³)



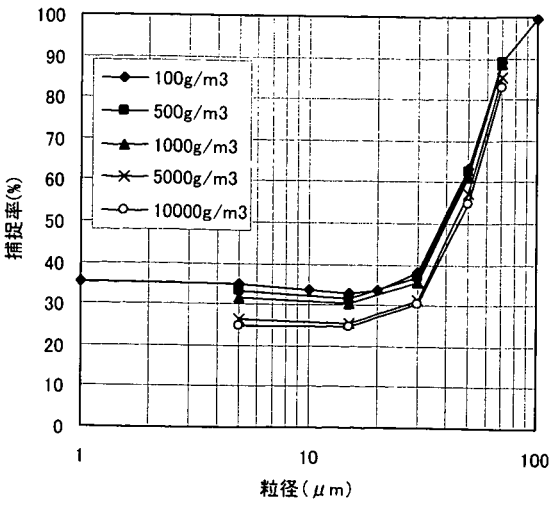
図－3　放流SS濃度時系列(水温成層有り，ピークSS濃度10000g/m³)

2．調査結果

計算結果の例を図－２，３に示す．これより，粒径が小さくなるほど粒子が沈降しないため，放流水が長時間大きな SS 濃度となることがわかる．ピークの SS 濃度が大きくなると，30μm 以上の粒径では放流 SS 濃度の波形が，流入波形と良く似た形状を示すようになっている．

2.1 粒径による影響

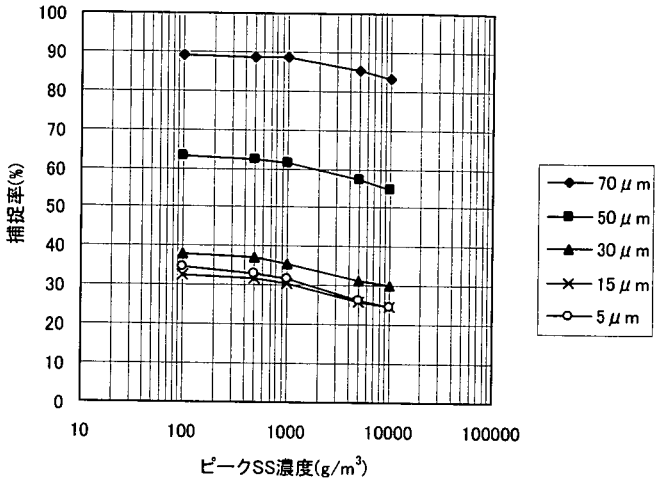
図－４をみると，大渡ダム貯水池の場合，ピーク流入 SS 濃度 100 g/m³ では，粒径約 10μm 以下の土粒子は捕捉率が 35％程度で一定となっている．他の粒径においても，約 10μm 以下では，捕捉率の値はほぼ一定であり，粒径 10μm～100μm までは捕捉率が単調に増加している．粒径 100μm 以上の土粒子は，ほぼ 100%捕捉されることがわかった．



図－４ 粒径と捕捉率の関係(水温成層有り)

2.2 土砂濃度による影響

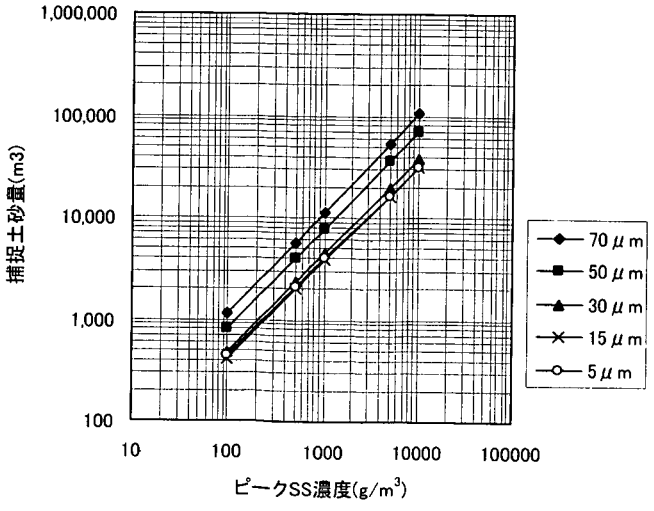
図－５をみると，ピーク SS 濃度が大きくなるほど捕捉率は小さくなる傾向にある．粒径に関わらず，ピーク SS 濃度が 100g/m3 と 10000g/m3 では，捕捉率が約 10%弱減少している．また，ピーク SS 濃度と捕捉土砂量の関係を示した図－６をみると，両者の関係は，粒径によってその切片は変化するが，ほぼ比例関係にあり，傾きもほぼ等しい．



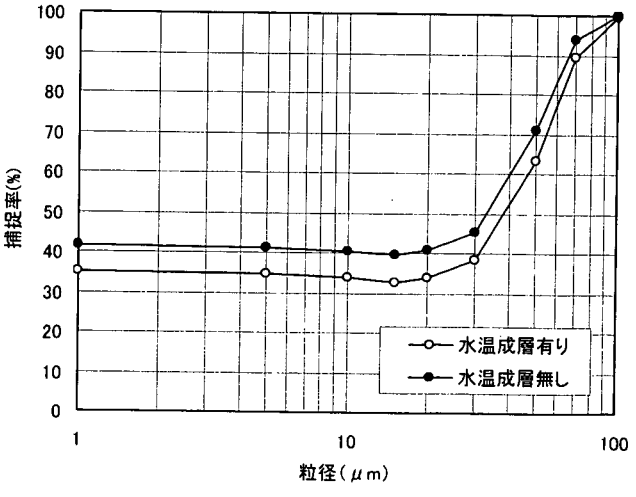
図－５ ピークSS濃度と捕捉率の関係

2.3 貯水池水温条件による影響

図－７より水温成層のある場合の方がない場合より捕捉率が小さくなっている．これは，水温成層がある場合は，流入水の水温が貯水池底層の水温より高いため，温度躍層のある中間標高に濁った流入水が流入し，放流設備からより多くの土砂が出ていくためと考えられる．今回のケースでは，両者の捕捉率の差は 5～7％程度であった．（柏井，櫻井寿）



図－６ ピークSS濃度と捕捉土砂量の関係



図－７ 粒径と捕捉率の関係

15.12　水路の摩耗・損傷負荷に関する研究

研究期間：平11～13
担当：水工水資源研究室

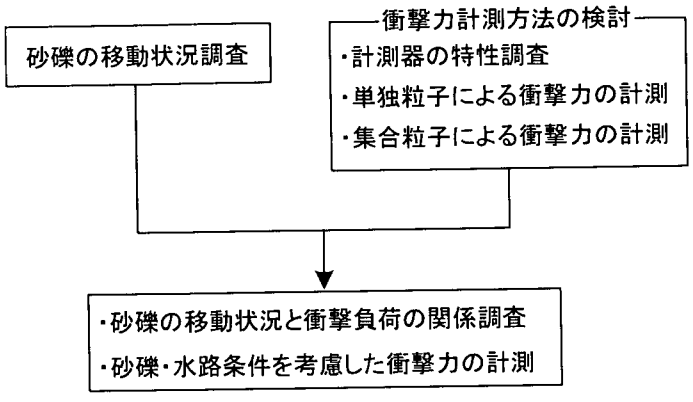
【要旨】

ダム堆砂対策施設やトンネル導水施設等、土砂流下が考えられる河川の水理構造物の設計においては、土砂の流下に伴う摩耗や損傷が懸念され、水路ライニング手法の適正化や維持管理手法の合理化が求められている。そのためには、土砂流下による水路の摩耗・損傷量を的確に把握・評価する必要があり、本研究は摩耗・損傷量を評価するための基礎的検討として、砂礫が水路に与える衝撃力の測定方法を確立することを目的とする。

12年度は11年度に衝撃力の計測で有効性の認められたPVDFフィルムによる計測センサーを用いて、対象衝撃力に対する検出能力，耐久性等について調査を行った。

1. 研究目的

ダムの堆砂対策施設やトンネル導水施設等、土砂流下が考えられる河川の水理構造物の設計においては、土砂の流下に伴う摩耗や損傷が懸念される。このため、水路内の流速を低減させる等の設計上の配慮がなされているが、具体的な基準は経験的に決められているのが実状である。流速の制限は、施設規模や土砂輸送力への大きな制約条件となる場合があり、施設規模の適正化，水路ライニング方法の適正化，維持管理手法の合理化を推進するためには、土砂流下による摩耗，損傷量を適切に把握・評価する必要がある。本研究は、摩耗，損傷量を適切に把握・評価するための基礎的知見として、砂礫が水路に与える衝撃力の測定手法を確立することを目的とする。

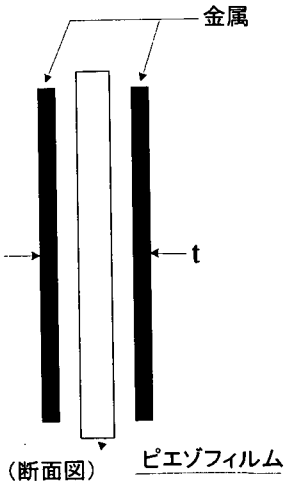


図－1　研究フロー

2. 研究方法

砂礫が水路に与える衝撃力を計測するにあたり、11年度に実施した計測装置の特性調査の結果、圧電効果を持つ高分子化合物であるPVDF (Polyvinylidence Fluoride)フィルムによる計測センサーの有効性が認められた。

PVDFフィルムによる計測センサー（以下、PVDFセンサーとする）は、衝突物が衝突面に衝突したときの衝撃時間に関係なく広い周波数での応答が可能であるので、衝撃力をアンプ等を用いずにダイレクトに計測することが可能である。図－2はPVDFフィルムの断面構造である。PVDFフィルムはピエゾフィルムを薄い金属(28 ～ 110 μm)で挟む柔軟な構造であるため、衝突面が曲面となっている場合にも容易に貼り付けることが可能である。ただし、PVDFフィルムは金属部の種類，面積，厚さ等により衝撃力に対する計測値に違いがあることが確認されており、



図－2　PVDFフィルム概要図

12 年度は PVDF センサーの衝撃力に対する検出能力について調査を行った。今回の実験で使用した PVDF フィルムの一覧を表－ 1 に，PVDF センサーの検出能力試験条件を表－ 2 に示す。実験手順は下記の通りである。

表－1　使用したPVDFフィルム

PVDF フィルムの厚さ t（μm）	金属部	正方形の一辺の長さ (cm)
28	Silver Ink	2, 5, 7.5, 10, 15
52		2, 5, 7.5, 10, 15
110		2, 5, 7.5, 10, 15
28	NiCu Alloy	2, 5, 7.5, 10, 15
52		2, 5, 7.5, 10, 15
110		2, 5, 7.5, 10, 15

表－2　試験条件

ガラス玉	直径：約 24mm（約 20g），約 16mm（約 6g）
落下高（cm）	10，25，50，75，100
固定方法	保護テープの重ね合わせ枚数：1，2，3
衝突角度	0°，15°，30°，45°，60°，75°
コンクリート	寸法：500 × 500 × 500mm 最大骨材寸法：20mm

①実験はガラス玉をある一定高さ：h_1 からコンクリート面に衝突させ、跳ね返った時の高さ：h_2 を求めることにより、式(1)を用いてガラス玉とコンクリートとの反発係数：e を求めることが可能である。なお、h_2 についてはビデオ撮影により求める。

$$e=\sqrt{\frac{h_2}{h_1}} \qquad (1)$$

②表－ 1 の PVDF センサーを用いて表－ 2 の試験条件で衝撃力の計測を行う。ただし、固定方法ならびに衝突角度については保護テープの重ね合わせ枚数を 1 枚，衝突角度 0° の時について行う。

③②の実験のうち最も反応の良かった 1 ケースについて保護テープの重ね合わせ枚数，衝突角度について更なる実験を行う。

④②ならびに③の出力値は電圧として表示されるため、電圧を衝撃力に換算を行う。衝撃力を求めるには式(1)で求めた反発係数：e を用いて式(2)より換算することが出来る。

$$F=\frac{m(1+e)\cdot\sqrt{2gh_1}}{\Delta T} \qquad (2)$$

ここで、F：衝撃力（N），m：質量(kg)，ΔT：衝撃時間(s)，g：重力加速度(m/s²)である。

3. 研究結果

研究結果をまとめると下記の通りである。

①ガラス玉とコンクリートとの反発係数を求めたところ反発係数：e は 0.6632 であった。

② PVDF フィルムの厚さは薄いものに比べ厚いもののほうがセンサーに加工するのに容易である。

③ PVDF フィルムの金属部 Silver Ink は NiCu Alloy に比べセンサーに加工するのに容易である。

④保護テープの重ね合わせ枚数を増やすと衝撃力に対する検出能力は低下するものの、傾斜面での衝撃力試験ではせん断力による PVDF シートの破損が生じにくくなるため、有効である。

4. 主な研究成果

・柏井条介・塚原千明・高橋　潤，衝撃によるコンクリート損傷に関する基礎的検討，ダム技術 No.167，pp.55-62，2000.8

（柏井・宮脇・塚原）

15.13　底質の粒度組成を考慮した海浜安定化手法に関する調査

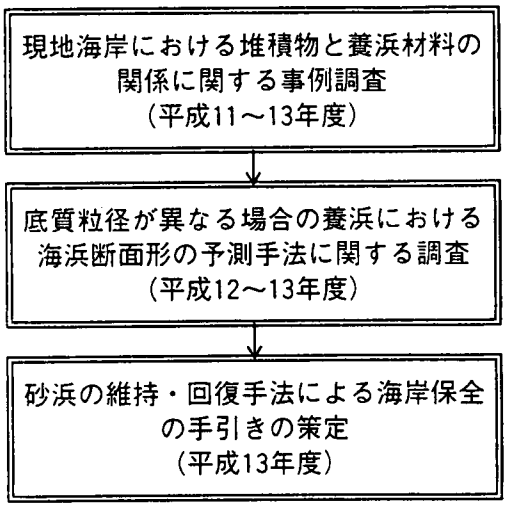
研究期間：平 11 ～平 13
担当：海岸研究室

【要旨】

海岸法の改正に伴い「砂浜」が海岸保全施設として位置付けられたことから，養浜による海岸環境に優しい海岸保全が推進されつつある．ところで，養浜による海岸保全を進めるにあたっては，波浪が作用した後の海浜断面形の変化を把握する必要がある．そこで，平成 12 年度は底質の粒径を変化させた場合における海浜断面形の変化について検討した．具体的には移動床模型実験データを用い，一様勾配斜面の海浜に波を作用させた後の断面形が，侵食型，中間型，堆積型に区分される条件を検討した．その結果，底質の粒度から求まる沈降速度，波高，周期，砕波形態を組み合わせた指標により，養浜した海浜の波浪作用後の変形パターンを判定できる可能性を示した．特に，広い粒度組成の混合底質からなる海浜の場合でも，底質の中央粒径で判定できることが分かった．

1．研究目的

海岸法の改正に伴い「砂浜」が海岸保全施設として位置付けられたことから，養浜による海岸環境に優しい海岸保全が推進されつつある．養浜による海岸保全を進めるにあたっては，波浪作用後の海浜断面形の変化(養浜砂の流出機構)と，養浜砂の拡散などが環境に及ぼす影響などを把握する必要がある．また，沿岸域の気象・海象および風土の各々の特性にあった養浜砂の確保も重要な課題である．そこで，本研究では海岸における堆積物の特性，養浜に適した土砂の品質，海浜断面形の変化について検討している．平成 12 年度は，過去に行った海浜断面形に関する模型実験結果をとりまとめ，波浪作用後の養浜形状の変化を予測する指標を検討した．



調査のフロー

2．研究方法

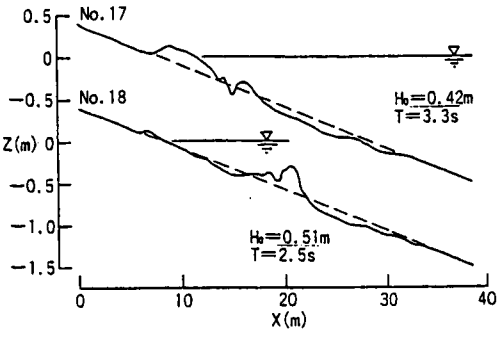
まず，海浜断面形の変化に関する模型実験のうち，中規模・大規模の実験結果を表－1に示すようにとりまとめた．海浜変形のタイプは，①砕波帯内が侵食されて，陸上部に砂が堆積しバームが形成される堆積型，②砕波帯内が侵食されて

表－1　海浜断面形の変化に関する実験の一覧

No.	作用時間 (hr)	波高 H_0(m)	周期 T(S)	初期勾配 tan β	粒径 d_{50} (m)	海浜変形のタイプ	バーム高さ B_h(m)	トラフ水深 h_t(m)	バー水深 h_c(m)	前浜勾配 tan α	備考
1	1.6	0.14	1.4	0.100	0.0040	堆積型	0.11	—	—	0.187	規則波
2	2.0	0.15	1.8	0.100	0.0040	堆積型	0.17	—	—	0.238	均一砂
3	3.4	0.18	3.1	0.100	0.0040	堆積型	0.33	—	—	0.288	
4	1.6	0.15	1.4	0.100	0.0010	中間型	0.07	0.17	0.09	0.140	
5	2.0	0.15	1.8	0.100	0.0010	堆積型	0.13	—	—	0.189	
6	3.4	0.21	3.1	0.100	0.0010	堆積型	0.40	—	—	0.272	
7	2.3	0.14	1.4	0.100	0.0003	侵食型	—	0.19	0.10	0.152	
8	3.0	0.14	1.8	0.100	0.0003	侵食型	—	0.16	0.09	0.138	
9	0.4	0.15	3.1	0.100	0.0003	中間型	0.17	0.13	0.12	0.114	
10	4.0	0.30	3.0	0.100	0.0003	侵食型	—	0.31	0.19	0.095	
11	4.0	0.54	3.0	0.100	0.0003	侵食型	—	0.81	0.44	0.116	
12	4.0	0.50	3.9	0.100	0.0003	侵食型	—	0.59	0.36	0.086	
13	4.0	0.72	4.0	0.100	0.0003	侵食型	—	1.22	0.76	0.100	
14	21.0	0.30	4.4	0.100	0.0003	侵食型	—	0.44	0.32	0.100	
15	21.0	0.32	4.4	0.050	0.0003	中間型	0.20	0.43	0.21	0.102	
16	21.0	0.30	4.4	0.033	0.0003	中間型	0.18	0.59	0.29	0.099	
17	8.0	0.42	3.3	0.050	0.0016	堆積型	0.13	0.46	0.30	0.082	規則波
18	8.0	0.51	2.5	0.050	0.0016	中間型	0.12	0.50	0.30	0.067	混合砂
19	18.0	0.25 (0.40)	2.2 (2.5)	0.050	0.0003	中間型	0.32	0.41	0.38	0.062	不規則波 均一砂
20	18.0	0.39 (0.65)	2.6 (3.1)	0.050	0.0003	侵食型	*.**	0.78	0.52	0.056	平均波 (有義波)

陸上部にバームが，砕波帯沖にバーが形成される中間型，③波打ち帯と砕波帯が侵食されて，その沖側にバーが形成される侵食型の3タイプに分類した．

養浜した海浜断面形の波浪作用後における変化の事例として，一様勾配斜面の初期勾配を 1 ／ 20 とし，中央粒径を d_{50} = 1.6mm，ふるい分け係数 S_0 = 3.1 の混合底質を用いた実験結果(表－1 の No.17,18)を図－1 に示す．波高が大きく，周期が長い波浪を作用させた No.17 では堆積型の海浜断面形の変化が生じたが，No.17 よりも波高を大きく，周期を短くした No.18 では中間型の海浜断面形の変化となった．以下では，これらの実験結果をもとに海浜断面形の変化のタイプ分類に関する指標について検討する．



図－1　実験の一例

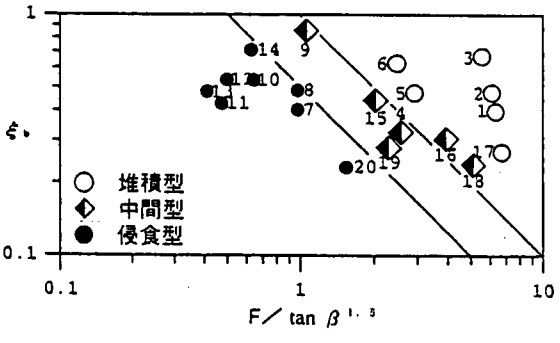
3．研究結果

海浜における波浪作用後の汀線の前進・後退は，いくつかのパラメタにより判定できるとされているが，底質の沈降速度や初期斜面の勾配と，海浜断面形の変化との関係についてはまだ検討が不十分である．そこで，式(1)，(2)に示す底質の沈降速度を評価するフルードタイプ・ナンバー(F_b)と，砕波形態の判定指標であるサーフ・シミラリティ・パラメタ(ξ_b)により海浜断面形の変化の分類を試みた．

$$F_b = w / (gH_b)^{0.5} \qquad (1), \qquad \xi_b = \tan\beta\ (H_b / L_0)^{-0.5} \qquad (2)$$

ここに，H_0：沖波波高(m)，L_0：沖波波長(m)，tan β：初期海底勾配，d：底質の平均粒径(m)，H_b：砕波波高(m)，g：重力加速度(m／s^2)，w：底質の沈降速度(m／s)である．

縦軸に ξ_b を，横軸に F_b を初期勾配の 1.5 乗で除したパラメタ(F')をとり，表－1 の各実験の値を ξ_b － F'平面上にプロットした結果を図－2 に示す．図－2 では，堆積型，中間型，侵食型の海浜断面形の変化を良好に分類でき，実験における断面形の変化がサーフ・シミラリティ・パラメタとフルードタイプ・ナンバーによって分類可能なことが分かる．ここで，図－2 の関係をもとにすれば，断面変形を分類する指標を式(3)のように与えることができる．



図－2　海浜断面形の変化のタイプ分類

$$P = (1/\xi_b) / (F_b / \tan\beta^{1.5}) = \tan\beta^{0.5} (g / L_0)^{0.5} H_b / w \qquad (3)$$

なお，今回の実験結果を用いた場合には，堆積型の断面変形は $P < 1.0$，中間型の断面変形は $1.0 \leqq P \leqq 1.9$，侵食型の断面変形は $P > 1.9$ の範囲で生じた．

また，混合底質を用いた養浜での波浪作用後における海浜断面形の変化(図－1)は，式(1)～(3)で代表粒径として中央粒径で与えれば予測可能であるが，海浜断面形の変化後のバームやバーの形状については均一な底質を用いた場合と異なるため別途検討を要する．

(鳥居，山本，福島)

15.14　流域総合土砂管理のもとでの海岸保全計画に関する調査

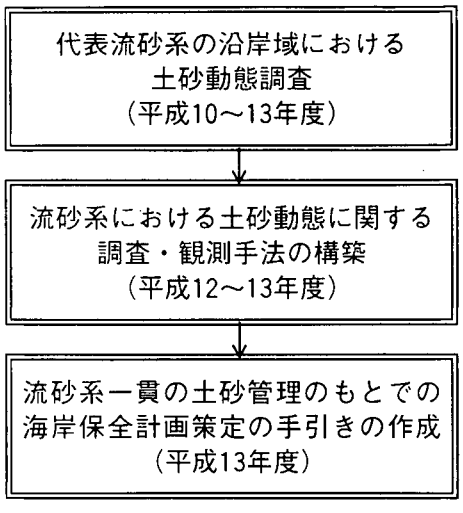
研究期間：平 10 ～平 13
担当：海岸研究室

【要旨】
流域総合土砂管理のもとで合理的な海岸保全計画を立案するためには，流砂系内での堆積物の特性を把握する必要がある．そこで，12 年度は鮫川流域と勿来海岸からなる流砂系内での堆積物特性に関する調査をケーススタディ的に行うとともに，効率的な調査システムの構築を試みた．その結果，勿来海岸を構成する堆積物は鮫川流域起源のものがほとんどで，勿来海岸南北端の海食崖起源の堆積物は局所的にのみ存在することが分かった．また，勿来海岸中央部の音波探査によれば，海底面からの深さ 3m，12m に堆積物の境界面が存在し，海底面からの深さ 25m 付近に不陸な岩盤が存在することが明らかになった．なお，本調査で実施した堆積物の採取方法，堆積物の分析方法，音波探査，地盤特性試験は，流砂系内における土砂動態を把握するうえで有効であると言える．

1．研究目的

流砂系一貫した土砂管理のもとで沿岸を保全し，良好な自然環境である砂浜を次世代に遺すためには，河川からの流出物質の移動・拡散現象とその堆積過程，長期的には沿岸の形成過程を明らかにすることが重要である．このためには，沿岸域における堆積物特性の調査が必要とされるが，海岸域における調査手法や解析法は確立されていないのが現状である．

そこで，平成 12 年度は流砂系における土砂動態把握のための調査・解析手法確立を目的として，鮫川流域と勿来海岸からなる流砂系(以下，鮫川流砂系)において堆積物特性の調査を行ったので報告する．



調査のフロー

2．研究方法

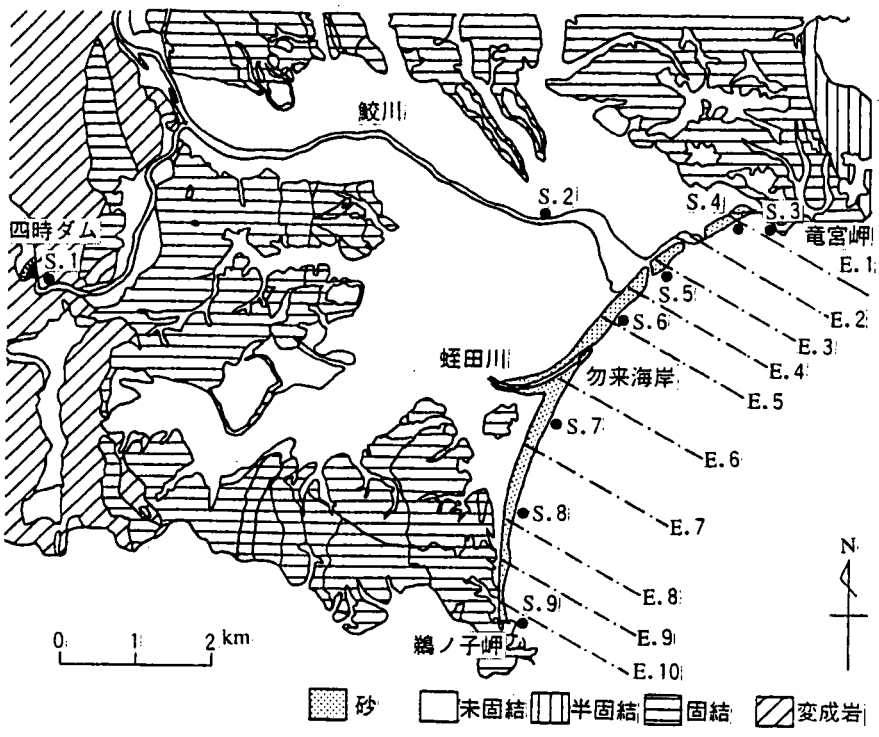
調査対象は，南端に鵜ノ子岬，北端に竜宮岬が位置する延長約 6km の弧状の海岸線を有する勿来海岸と，その中央部よりやや北側に流入する鮫川の流域である．調査は，鮫川の上・中・下流部で採取した堆積物の粒度組成，勿来海岸の汀線付近と南北端の海食崖付近で採取した堆積物の粒度組成，音波探査による勿来海岸の陸上部・海域部における砂層厚，サウンディングとサンプリングによる汀線付近の地盤特性などについて行った．

3．研究結果

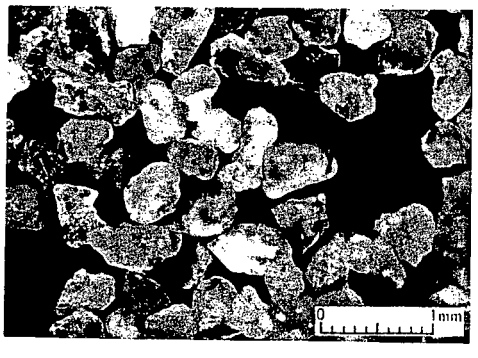
鵜ノ子岬は凝灰岩質シルト岩，竜宮岬は砂岩質塊状シルト岩からなる固結の海食崖で，鮫川の上・中流部は細粒～中粒砂岩および珪質・砂質の緑色片岩からなる丘陵地となっている(図－ 1)．なお，図－ 1 の範囲内における堆積物採取地点を●印(S.1 ～ 9)で示してある．

まず，鮫川流域と勿来海岸の汀線付近で採取した堆積物と，竜宮岬側の海食崖に層状に分布する半固結の砂岩を削り取った物質の拡大写真を撮影し，その粒子の特性を判読した．鮫川流域の最上流部の沢沿いの崩

落土砂，上流部の横川地先の土砂，中流部の四時ダム下流の土砂，下流部の河口約 1km 上流地点の土砂に含まれる砂粒子は，粒径に差があるもののほぼ同じ鉱物組成(石英系や変成岩系)であった．一方，鵜ノ子岬と竜宮岬周辺で採取した底質は，そのほとんどがシルト岩の砂粒子であり，海食崖から削り取った砂岩の砂粒子も鮫川流域の土砂を構成する鉱物とは異なるものと判読された．また，勿来海岸の汀線付近で採取した底質の砂粒子(写真－ 1)には，シルト岩起源のものは含まれず，鉱物組成は鮫川流域の土砂の鉱物組成に近いことが分かった．以上のことから，勿来海岸を構成する堆積物の起源は鮫川流域と推定される．したがって，流砂系内での堆積物採取とその鉱物組成の把握が，海岸における堆積物の起源を特定する上で有効と言える．



図－1　調査対象地域と測点・測線位置



写真－1　勿来海岸の砂粒子

陸上部と海域部での音波探査は図－ 1 に示す測線(E.1 ～ 10)に沿って行った．陸上部での音波探査は精度に問題があることや装置が大きくなることから，現状ではほとんど行われていないが，今回は装置を小型化したミニストレータを用いて行った．また，海域部での音波探査はスパーカーとソノストレータの 2 種類の装置を用いることにより，海底面からの浅部と深部の層序を把握することとした．音波探査結果の一例として，中央部の測線 E.6 に沿う推定地層断面によれば，勿来海岸の中央部では海底面から深度 3m 付近に第 1 の反射面があり，深度 12m 付近に第 2 の反射面が，その下に岩盤と推定される不陸の大きい反射面が見られた．深度 3m までの厚さ 3m の堆積物の層は勿来海岸に来襲する波浪で攪乱されると考えられ(攪乱層)，深度 3 ～ 12m の厚さ 9m の堆積物の層は攪乱されにくい層(準基盤層)と推定される．鮫川の流出土砂量が減少し，勿来海岸から堆積物が流出する条件であれば，図－ 2 に示す攪乱層が薄くなり波の作用が準基盤層に及ぶようになると，著しい侵食が生じることになる．

動的回転式サウンディング試験装置(以下，D.S.P.T 試験装置)は地盤特性値を把握するための装置で，先端部にミニサンプラーを取り付けることで，地盤面からの必要な深度での堆積物の採取も可能となる．そこで，勿来海岸の陸上部において D.S.P.T 試験装置による地盤特性調査と堆積物の採取を測線 E.1 ～ 10 上で行い，音波探査の結果から推定される堆積物境界面と比較して，地盤特性値と堆積物の鉱物組成と地層の関係を調べた．その結果，D.S.P.T 試験装置により流砂系内の堆積物特性を容易に把握できることが分かった．

(鳥居，山本)

個別課題と予算科目

個別課題と予算科目について

1．先端技術の国土マネジメントへの応用に関する研究

1．1	ＧＩＳを活用した河川流況予測システムの研究開発	建設技術研究開発経費
1．2	洪水氾濫被害の最小化のための氾濫源管理システムの研究開発	建設技術研究開発経費
1．3	総合的な震災対策支援システムの研究開発	建設技術研究開発経費
1．4	震災対策体制の評価技術に関する研究	行政部費
1．5	生態情報の統合化及び活用に関する研究	建設技術研究開発経費
1．6	ＧＩＳを利用した統合情報基盤の開発	建設技術研究開発経費
1．7	人工衛星利用技術を活用した流域水文情報収集技術に関する研究開発	建設技術研究開発経費
1．8	人工衛星による流域の土砂環境把握と危険度評価手法の開発に関する研究	建設技術研究開発経費
1．9	大規模岩盤斜面の長期的変形調査	建設技術研究開発経費
1．10	災害復旧作業における高分解能衛星データの利用に関する研究	建設技術研究開発経費
1．11	衛星通信技術の道路分野への適用可能性に関する研究	建設技術研究開発経費
1．12	都市緑地調査における人工衛星技術の活用に関する研究開発	建設技術研究開発経費
1．13	リモートセンシングデータを活用した流域土砂管理に関する研究	砂防事業調査費
1．14	数値標高モデル地図を用いた地すべり地の抽出技術に関する調査	砂防事業調査費
1．15	道路防災マネジメントに関する研究	道路事業調査費
1．16	電子地図（ＤＭ）データとＣＡＤデータの交換技術	建設技術研究開発経費
1．17	建設行政におけるＧＩＳデータの交換技術	建設技術研究開発経費
1．18	流通可能な行政情報項目の検討及びその流通方法に関する検討及び技術開発	建設技術研究開発経費

2．耐震設計の体系化に関する研究

2．1	大規模地震を想定した設計地震動の設定手法に関する研究	道路事業調査費
2．2．1	地震ハザードマップの作成手法の開発に関する研究（その１）	道路事業調査費
2．2．2	地震ハザードマップの作成手法の開発に関する研究（その２）	道路事業調査費
2．3．1	耐震設計の性能規定化に関する研究（その１）	行政部費
2．3．2	耐震設計の性能規定化に関する研究（その２）	行政部費
2．4	地盤－基礎系を含む全体系を考慮した構造物の耐震性能の実験的検証技術に関する研究	行政部費
2．5．1	土木構造物の耐震性能評価方法に関する国際共同研究（その１）	行政部費
2．5．2	土木構造物の耐震性能評価方法に関する国際共同研究（その２）	行政部費
2．6	公共土木施設の耐震性水準の横断的整合に関する研究	行政部費

3．水環境における水質リスク管理に関する研究

3．1	環境ホルモン生成物質の水環境中での挙動に関する研究	行政部費
3．2	下水中の微量化学物質の新しい検出技術に関する調査	下水道事業調査費
3．3	下水汚泥中内分泌かく乱物質の消長に関する調査	下水道事業調査費
3．4	水循環健全化のための環境ホルモン等リスク対策の調査検討	行政部費
3．5	内分泌かく乱物質等の発生源と処理対策手法の調査	下水道事業調査費
3．6	下水道での未規制物質対策技術に関する調査	下水道事業調査費
3．7	病原性微生物の下水処理過程での制御に関する研究	行政部費
3．8	病原性微生物の発生源および対策に関する調査	下水道事業調査費
3．9	下水中病原性微生物の同定方法に関する研究	行政部費
3．10	水系における病原性微生物の挙動に関する研究	行政部費

4．河川・湖沼の整備及び管理における自然との共生技術の開発

4．1	水系土砂動態変化に伴う河川の自然形成システムの変質とその再生手法に関する調査	河川事業調査費
4．2	河川のハビタットに関する調査	河川事業調査費
4．3．1	新素材・新工法を用いた防御工の開発（その１）	河川総合開発事業調査費
4．3．2	新素材・新工法を用いた防御工の開発（その２）	河川総合開発事業調査費
4．3．3	新素材・新工法を用いた防御工の開発（その３）	河川総合開発事業調査費
4．4	渓畔林を活用した流路整備に関する調査	砂防事業調査費
4．5	中小河川における天然河岸の保全手法に関する研究	国立機関公害防止等試験研究費
4．6	ダム湖における生物生息空間の整備技術の開発	河川総合開発事業調査費
4．7	魚類の生息空間の保全・創出手法の開発	建設技術研究開発経費
4．8	水域のネットワーク保全手法に関する研究	行政部費
4．9	自然共生実験施設を用いた河川の自然環境の保全に関する基礎調査（その１）	河川事業調査費
4．10	変動を加味した正常流量に関する基礎調査	河川事業調査費

4．11	浮島による湖沼の自然回復と水質浄化に関する研究	国立機関公害防止等試験研究費

5．社会資本整備におけるCO2削減に関する研究

5．1	都市型総合廃棄物を原料とした環境負荷低減型セメントの建設事業への適用技術に関する研究	国立機関公害防止等試験研究費
5．2	省エネルギー型セメントを用いたダム用コンクリートの利用技術に関する調査	河川総合開発事業調査費
5．3	低公害大型車等の導入が都市交通環境に与える影響に関する調査	街路交通調査費
5．4	戦略的環境アセスメントに関する研究	行政部費
5．5	都市内緑地による温室効果ガス削減に関する検討その他	都市公園事業調査費
5．6	下水道システムのＬＣＡに用いる原単位に関する調査	下水道事業調査費
5．7．1	建設事業におけるＣＯ２算定評価システムの開発に関する研究	行政部費
5．7．2	建設事業におけるＣＯ２算定評価システムの開発に関する研究	行政部費
5．8	大気汚染等の低減技術の評価に関する調査	道路事業調査費
5．9	都市緑地調査における人工衛星技術の活用に関する研究	建設技術研究開発経費
5．10	人為的活動による都市緑地における炭素収支変動の評価に関する研究	地球環境研究総合推進費

6．公共事業におけるリサイクル材利用技術の開発

6．1	リサイクル新材料の利用技術に関する研究	行政部費
6．2	他産業リサイクル材利用のマニュアル検討調査	地建依頼
6．3	一般廃棄物の焼却灰溶融固化物の舗装用骨材としての利用に関する調査	地建依頼
6．4	廃木材を活用した大気汚染対策用舗装の開発	地建依頼

7．地域のニーズを反映した社会資本整備技術の開発

7．1	地域のニーズを反映した社会資本整備手法に関する研究	行政部費
7．2	地域特性を活かした地域計画及び施設設計の手法に関する研究	行政部費
7．3	河川に関する歴史・文化資源を活用した川づくりに関する調査	河川事業調査費
7．4	地域社会特性の分析による社会資本整備の評価に関する研究	科学技術振興調整費

8．都市空間におけるヒートアイランド現象の軽減に関する研究

8．1	都市気候の動植物への影響に関する調査	
8．2	都市気候の数値シミュレーションに関する研究	
8．3	都市気候緩和と地下水涵養に効果的な環境共生型舗装に関する研究	国立機関公害防止等試験研究費
8．4	社会基盤等を活用した省エネ及び都市の気候緩和に関する研究（１）	行政部費
8．5	社会基盤等を活用した省エネ及び都市の気候緩和に関する研究（２）	行政部費
8．6	都市内緑地による温室効果ガス削減に関する調査	都市公園事業調査費
8．7	都市内歩行者系道路舗装の総合評価に関する調査	行政部費

9．走行支援道路システム（ＡＨＳ）に関する研究開発

9．1	ＩＴＳ全般に関する調査（その１）	道路事業調査費
9．2	コンセプト及びアーキテクチャの設計と評価に関する調査	道路事業調査費
9．3	道路状況把握道路システムに関する調査	道路事業調査費
9．4	路面状況把握道路システムに関する調査	道路事業調査費
9．5	車両誘導制御支援道路システムに関する調査	道路事業調査費
9．6	走行車両位置検出支援道路システムに関する調査	道路事業調査費
9．7	最先端の通信方式を利用した道路システムに関する調査	道路事業調査費
9．8	システムの設計に関する調査	道路事業調査費
9．9	システムの評価に関する調査	道路事業調査費

１０．建設事業のコスト縮減に関する研究

10．1．1	建設事業のコスト構造の分析に関する調査（その１）	道路事業調査費
10．1．2	建設事業のコスト構造の分析に関する調査（その２）	河川事業調査費
10．2	軽量盛土材の活用に関する調査	道路事業調査費
10．3	橋面舗装の合理化に関する調査	道路事業調査費
10．4	深層混合処理工法の合理化に関する調査	道路事業調査費
10．5	揚排水機場の設計合理化に関する研究	行政部費
10．6．1	プロジェクトマネジメント手法の検討に関する調査（その１）	河川総合開発事業調査費

10．6．2	プロジェクトマネジメント手法の検討に関する調査（その２）	河川事業調査費
10．6．3	プロジェクトマネジメント手法の検討に関する調査（その３）	道路事業調査費
10．7	管路施工法の合理的な評価・選定手法に関する調査	下水道事業調査費

１１．外部コストを組み入れた建設事業コスト低減技術の開発

11．1	外部コストの概念整理、計測、評価手法の開発	建設技術研究開発経費
11．2	内部コストの実態把握、外部コストの内部化手法調査	建設技術研究開発経費
11．3	道路事業における外部コストの実態把握、評価手法の開発	建設技術研究開発経費
11．4	維持補修事業における外部コストの実態把握、評価手法の開発	建設技術研究開発経費
11．5	トンネル施工法における外部コストの実態把握、評価手法の開発	建設技術研究開発経費
11．6	総コストの計測及び評価手法の開発に関する研究	建設技術研究開発経費
11．7	建設汚泥、建設発生木材等リサイクル促進技術の開発	建設技術研究開発経費
11．8	低品質骨材・再生骨材の利用用途拡大技術の開発	建設技術研究開発経費
11．9	環境にやさしい塗料技術の開発	建設技術研究開発経費
11．10	建設技術情報流通システムの構築に関する著巣阿	行政部費

１２．建設事業の品質管理体系に関する研究

12．1	要求性能と品質レベルの相関性の検討（構造物の性能に与える品質の影響度）	建設技術研究開発経費
12．2	要求性能と設計・材料・施工・維持管理の品質管理レベルの相関性の検討	建設技術研究開発経費
12．3	品質規格の性能規定化手法の開発	建設技術研究開発経費
12．4	コンクリート材料・構造物の品質検査技術の開発（非破壊検査・高知能検査等）	建設技術研究開発経費
12．5	鋼構造物の品質検査試験技術の開発（非破壊検査・溶接検査・塗膜検査等）	建設技術研究開発経費
12．6	鋼構造物の品質検査試験技術の開発（非破壊検査・溶接検査・塗膜検査等）	建設技術研究開発経費
12．7	土構造物の品質管理技術の開発	建設技術研究開発経費
12．8	施工情報活用による品質管理・検査の合理化技術の開発（シールド工）	建設技術研究開発経費
12．9	公共土木工事の発注体系に関する調査研究	建設技術研究開発経費
12．10	公共土木工事の性能発注に関する調査研究	建設技術研究開発経費

１３．快適な冬期交通を確保するための道路管理水準に関する研究

13．1．1	冬期路面管理水準策定に関する試験調査（冬期道路管理の経済効果に関する研究）	道路事業調査費
13．1．2	冬期路面管理水準策定に関する試験調査（冬期の路面性状および交通状況に関する研究）	道路事業調査費
13．2	路面性状把握道路システムに関する調査	道路事業調査費
13．3	新熱源を利用した道路消融雪技術	道路事業調査費
13．4．1	降雪時における路面凍結等の対策に関する試験調査（新型凍結防止剤の開発に関する研究）	道路事業調査費
13．4．2	降雪時における路面凍結等の対策に関する試験調査（凍結防止剤の散布方法、散布効果に関する研究）	道路事業調査費

１４．国土マネジメントの方向性に関する研究

14．1	国土マネジメントの方向性に関する研究	行政部費

１５．総合的な流域土砂管理に関する研究

15．1	リモートセンシングデータを活用した流域土砂管理に関する研究	砂防事業調査費
15．2	流砂系の総合的な土砂管理に関する調査	砂防事業調査費
15．3	流砂系一貫とした土砂移動モデルの作成に関する研究	行政部費
15．4	流域レベルでの微細土砂対策手法とその効果評価手法の開発	砂防事業調査費
15．5	水系土砂動態変化に伴う自然形成システムの変質とその再生手法に関する調査	河川事業調査費
15．6	河口域における土砂・環境管理手法の開発	河川事業調査費
15．7	粒径集団別供給土砂量のマクロ予測手法に関する研究	行政部費
15．8	貯水池堆砂の予測手法に関する調査	河川総合開発事業調査費
15．9	貯水位低下時の堆積土砂の侵食・流出過程に関する基礎的研究	科学技術振興調整費
15．10	土砂輸送トンネル水路の設計手法に関する調査	河川総合開発事業調査費
15．11	貯水池内の流動現象に関する調査	河川総合開発事業調査費
15．12	水路の摩耗・損傷負荷に関する研究	行政部費
15．13	底質の粒度組成を考慮した海浜安定化手法に関する調査	海岸事業調査費
15．14	流域総合土砂管理のもとでの海岸保全計画に関する調査	地建依頼