

I S S N 0386 - 5878

マイクロフィルム用資料

土木研究所資料第3673号

土 木 研 究 所 資 料

九州地建における一日土研資料

平成11年10月28日(木)

建設省土木研究所

Copyright© (1999) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated 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、本報告書の全部又は一部の転載、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。

九州地建における一日土研資料

企画部企画課

要 旨

九州地方建設局管内の現場技術者からの技術的問題に関する質問に対しての回答をまとめたものである。

「特別講演」講演主旨

- | | (所 属) | (講演者) |
|------------------------------|-------------|-------------|
| 1. 都市水害がもたらした教訓…………… | 河川部都市河川研究室長 | 末次忠司…………… 1 |
| 2. 「第5次土木研究所研究五箇年計画」の概要…………… | 企画部地下開発研究官 | 永山 功…………… 3 |
| —国土マネジメントの適切な展開に向けて— | | |

1. 都市水害がもたらした教訓

建設省土木研究所都市河川研究室 末次忠司

・三大都市圏における水害被害の実態

原因：内水被害のシェアが高い 8～9割（他地域 3～5割）

←河川沿いに低平地、都市化に伴い流出増、下水道からの浸水

特徴：水害被害密度が高い 他地域の約2倍、床下浸水が多い

・水害に脆弱な都市構造

急激な現象の発生：集中豪雨、洪水水位上昇（1.5m/10分：本明川）、水路・側溝に高速水流

洪水想定氾濫区域内に多数の重要施設：県庁、警察署、消防署、電力会社の50%以上

ライフライン：被害の波及度が大きく、生活・産業・交通が混乱

→施設配置の2ルート化（ネットワーク化）、分散化、排水ポンプ

*一般的な復旧順位 早い 電力<上水道<ガス

地下施設：1箇所でも未対策だと水が侵入、はけ口がない、設備の被災・誤作動

→防水施設（嵩上げ、止水板、防水扉、浸水防止機）、排水ポンプ、地下貯水槽

特に施設間の連絡口、ビルの接続箇所、窪地の地下に注意

*日本政策投資銀行より低利融資「都市防災対策融資制度」

危険物災害：浸水に伴う爆発・発火・発煙・ガス発生

→浸水に対する危険物管理

・都市における排水機能

中小河川：暫定計画 1/5～1/10が多い（約4割）←河川砂防技術基準、近傍河川の安全度

*降雨・流量データ不足、流域界設定、大河川・下水道との関係

河川モニタリング、水防団が溢水情報を連絡

下水道雨水対策整備率：全国で48%（概ね確率1/5に対して）：H9年度末

ポンプ：流域の重要度、本川計画規模とのバランス、費用便益を考慮して設置

地下貯水槽：福岡地下街でも効果あり、冬季は消火用水としても利用可能

自衛のための資材（土のう袋など）配布、浸水防止施設設置への補助

・ソフト対応

洪水危険度マップ：浸水実績図、洪水ハザードマップ、土地条件図

*土地販売時に配布、洪水発生時に配布

情報収集・伝達：防災機関→防災機関：防災行政無線、高速一斉FAX

”：防災機関→住民：防災同報無線、広報車

*大雨警報以上の雨が発生した場合は、必ずテレビやCATVでテロップを流す

水防活動：団員確保が問題、水防工法の指導者不足

避難：各戸無線が情報伝達に効果的、災害弱者は避難誘導員で対応

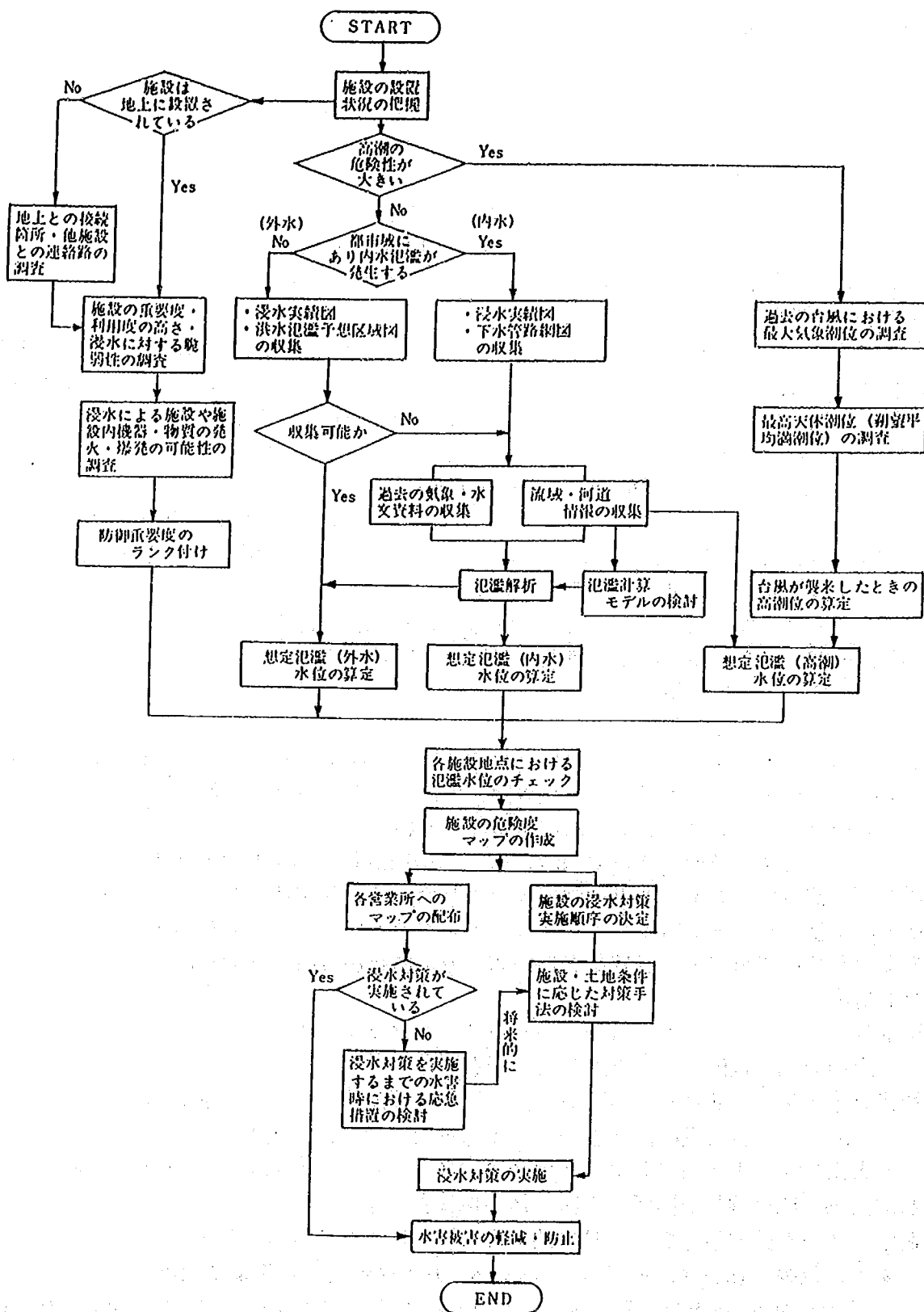
*各戸無線（5～6）千万円＋（5～6）万円×台数：各種補助制度あり

浸水深50cm以上で避難困難／避難速度 ひざ下で1.6km/hr、ひざ～腰で1.1km/hr

保険：風水害保険、店舗総合保険など 通常火災保険の特約事項

・参考：地下水害

	S48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	H1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
地下鉄	○								○				○	○	○		○				○						○
地下街										○	○																○



浸水対策を実施するまでのフローチャート

出典) 浜口・末次他：都市ライフライン系の耐浸水性、土技資、29-1、1987

【参考文献】

- ・栗城・末次・小林：都市ライフライン施設等の水防災レポート、総合治水研究室資料、1992
- ・栗城・末次・小林：洪水による死亡リスクと危機回避、土木研究所資料、第 3370 号、1995
- ・末次：危機回避のための氾濫原管理、水工学に関する夏期研修会、土木学会、1999
- ・下水道研究室・都市河川研究室：6・29 集中豪雨（福岡）による災害調査速報、土木技術資料、41-9、1999

2. 「第5次土木研究所研究五箇年計画」の概要

—国土マネジメントの適切な展開に向けて—

建設省土木研究所企画部

地下開発研究官 永山 功

はじめに

土木研究所は、1921年に内務省土木試験所として発足して以来、河川、道路、下水道等の分野で数多くの技術開発を行い、社会資本の形成を通じて社会の発展に貢献してきた。この間、土木研究所の研究活動を効果的、効率的に進めるため、昭和57年に「第1次土木研究所研究五箇年計画」を策定し、以来、第2次から第4次の研究五箇年計画を策定し、その研究活動を推進してきた。今年度（平成11年度）からは、新たに「第5次土木研究所研究五箇年計画」を策定し、その方針に基づいて研究活動を進めることになった。ここでは、平成11年度から始まる「第5次土木研究所研究五箇年計画」の概要について述べる。

1. 第5次土木研究所研究五箇年計画の位置づけと特徴

大量消費型経済の終焉、地球規模の環境問題の顕在化、国際標準化の流れ、情報化社会の到来など、わが国の社会・経済は、いま歴史的な一大転換期を迎えている。また、国民の意識も多様化し、経済的な豊かさに加え、精神的な豊かさが生活の重要な要件になってきている。さらに、来るべき少子高齢化社会を控え、社会資本整備のあり方、整備の仕方も改めて問い直されている。

このような状況において、建設行政は、需要に応じて不足した社会資本を整備する従来型の「国土建設」から、既存社会資本を有効活用してソフト面での対応も含めて総合的な施策を講じる「国土マネジメント」へと政策の転換を行っている。これを受け、土木研究所には、国土マネジメントの展開に向けた施策上の課題を総合的に解決する技術開発が要求されている。「第5次土木研究所研究五箇年計画」は、このような社会の一大転換期において、21世紀における真に豊かな社会の実現を目指して研究を推進すべく策定されたものである。

2. 土木研究所の使命と役割

本五箇年計画では、土木研究所の使命と役割を次のように位置づけている。

- (1) 国土マネジメントにかかわる国の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展開に必要な研究開発の体系を提示し、その研究体制を構築していくこと（研究開発の体系と体制のコーディネーション）
- (2) その中で、関係諸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こと（研究活動）
- (3) これらの活動によって得られた知見や成果を基に、関係諸機関に対して技術支援を行うこと（技術支援活動）

3. 土木研究所が行う研究

以下、土木研究所が行う上記三つの活動のうち、研究五箇年計画の主要部分をなす研究活動について、その概要を述べる。

土木研究所が行う研究は「プロジェクト研究」と「基盤研究」に分けられる。

「プロジェクト研究」は、土木研究所として組織横断的、重点的に取り組むべき研究である。プロジェクト研究は、① 国民のニーズおよび行政のニーズが高いこと、② 総合的な視点に立った取り組みが

必要なこと、③ 技術水準が高く、土木研究所でなければ実施できないこと、さらに、④ 本五箇年計画における実現可能性などを考慮して設定されている。プロジェクト研究は、社会的、行政的な緊急性とその実施体制を考慮して、順次「重点研究プロジェクト」として採り上げられ、実施される。本五箇年計画では、28 課題がプロジェクト研究に設定され、このうち、平成 11 年度までに実施されている重点研究プロジェクトは 12 課題である（図-1 参照）。

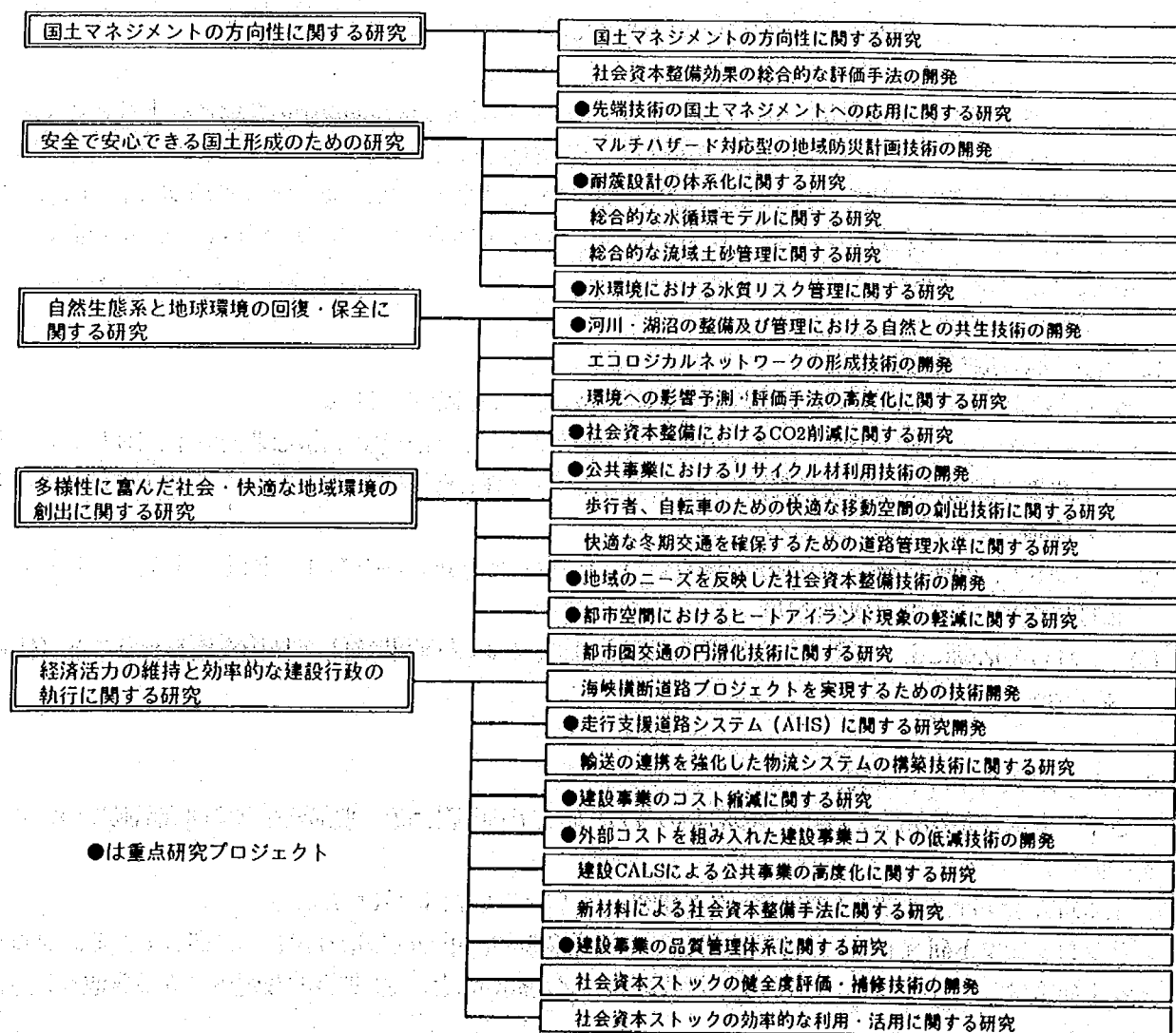
「基盤研究」は、それぞれの事業分野における技術課題を解決し、円滑な事業の執行に資するために実施する研究である。本五箇年計画では、それぞれの事業分野に対応して、環境、河川、下水、ダム、砂防、道路、材料・施工、構造・橋梁、建設マネジメント、地震・防災の 10 分野を設定して研究を実施する。

4. 研究の実施体制

以上の研究を実施するにあたっては、社会のあるべき姿を長期的に展望し、解決すべき課題を的確に把握することが重要である。このため、幅広く意見を聞き、意見を交換する場を設けるとともに、産学官の連携を強化し、それぞれの役割を考慮して効果的、効率的な研究体制を構築することとしている。

なお、「第 5 次土木研究所研究五箇年計画」の全文は、建設省土木研究所のホームページ（URL：<http://www.pwri.go.jp>）で閲覧することができる。

図-1 プロジェクト研究の体系



技術相談テーマ目次

セッションⅠ. 「道路・橋梁」	(質問者)	(回答者)
1. 鋼床版上のコンクリート地覆に生じるひび割れ防止対策	長崎工事事務所	橋梁研究室…………… 5
2. 既設橋梁下部工(杭基礎含む)の耐震補強対策に関する検討方法	北九州国道工事事務所	基礎研究室…………… 6
3. 車椅子利用者に配慮した横断施設の設計	大分工事事務所	交通安全研究室…………… 7
セッションⅡ. 「材料・リサイクル」		
4. 汚れを防ぐ材料や汚れを除去する技術	福岡国道工事事務所	化学研究室…………… 8
5. 再生改質アスファルトの製造技術の開発状況	企画部技術管理課	舗装研究室…………… 11
6. 水処理の際に発生する汚泥の再利用	遠賀川工事事務所	汚泥研究室…………… 13
セッションⅢ. 「河川・ダム」		
7. ロックフィルダムにおけるCSG工法の一部適用	大分工事事務所	フィルダム研究室…………… 14
8. 河川整備計画策定における諸問題	河川部河川計画課	河川研究室…………… 17
9. 溪流河川の低水時における流量観測方法	水資源開発公団 小石川原ダム調査所	砂防研究室…………… 21
セッションⅣ. 「施工技術・調査方法」		
10. 公共土木施設等の維持管理面の在り方と今後の技術開発	企画部企画課	コンクリート研究室…………… 22
11. 樋門・樋管、護岸等の空洞化の調査方法及び対策	川内川工事事務所	土質研究室…………… 24 機械研究室
12. 情報化施工の現状と将来	筑後川工事事務所	機械研究室…………… 32 施工研究室
セッションⅤ. 「環境・砂防」		
13. 雲仙普賢岳における植生評価	雲仙復興工事事務所	砂防研究室…………… 35
14. 富栄養化対策の効果解析手法	遠賀川工事事務所	環境計画研究室…………… 40
15. 河川事業における自然環境の保全・復元技術	宮崎工事事務所 大淀川砂防出張所	河川環境研究室…………… 42
セッションⅥ. 「マネジメント」		
16. 性能規定方式の今後の動向	道路公団九州支社	新材料開発研究官…………… 47
17. 道路整備の事業評価	大分工事事務所	道路研究室…………… 49
18. 環境経済評価	河川部河川調整課	環境計画研究室…………… 58

1. 鋼床版上のコンクリート地覆に生じるひび割れ防止対策

質問者：長崎工事事務所

回答者：構造橋梁部橋梁研究室（内線 4 8 4 1）

質 問

鋼床版上のコンクリート地覆に生じるひび割れ防止対策についてご教示願いたい。

回 答

まず始めに、鋼床版上とコンクリート地覆の組み合わせは、工学的にはきわめて不合理な選択であることを認識する必要がある。鋼とコンクリートは相性の良さも多く持ち合わせているが、質問のひび割れの原因である乾燥収縮については、鋼とコンクリートを組み合わせて用いる場合には常に注意が必要である。

乾燥収縮クラックについては、一般的な鉄筋コンクリート構造のように鋼材の比率が小さい場合には、コンクリートの収縮を鋼材が拘束することも少ないため問題は生じにくい。が、鋼桁とコンクリート床版の組合せでは、しばしば問題になる。これは、P C 桁と R C 床版の組み合わせのように、コンクリート部材同士であっても、材令に違いがある場合には生じる現象であり、床版の耐久性への影響が大きいので注意が必要である。

鋼床版上に相対的にボリュームの小さいコンクリート地覆を施工すれば、どのようなことが生じるかは以上のことから簡単に理解できると思う。積算上コンクリート地覆が最も経済的になるからといっても、ひび割れ対策や将来の耐久性・維持管理、さらにはひび割れを通じての漏水による橋本体の腐食を招くおそれなどを考慮すれば、必ずしも賢明な選択とはいえないのではないかと考えられる。

具体的には、床版上に設置する地覆にどのような機能（あるいは性能）を期待しているかを再考し、それを充たす中で耐久性・維持管理の容易さをを含めた経済性に基づいてタイプを決定することが大切だと考える。鋼製の地覆とすることが工学的には問題が少ないが、コンクリート製とする場合には乾燥収縮の問題のないプレキャストコンクリート製とする方法が考えられる。この場合、止水性を確保するため、鋼床版との接合材料や目地材についての吟味が必要である。

現場打ちのコンクリート製とする場合、目地を密に配置することと、膨張コンクリート及びメッシュ筋の使用が効果的であると聞いているが、耐久性について定かではない。既に多くの事例があるようなので、地建あるいは事務所相互に情報交換をされてはいかがでしょうか。

2. 既設橋梁下部工(杭基礎含む)の耐震補強対策に関する検討方法

質問者：北九州国道工事事務所

回答者：構造橋梁部基礎研究室（内線4821）

質 問

既設橋梁の耐震補強については、H8道示により検討しているところであるが、下部工の検討を行う際、地質条件、地盤条件等により対処方法が違ってくものと考えられる。そこで、液状化が予想される地盤上において、経済性、施工性を考慮した基礎の適切な補強方法をご教示願いたい。

回 答

基礎の耐震性の照査にあたっては、H8道示の考え方に基づいて行うことが原則である。照査の結果、基礎の耐震補強が必要と判断された場合においても、基礎の補強工事は経済性や施工性等の観点から最小限となるように対処するのがよいと考えられる。たとえば、支承条件の変更や落橋防止システムの強化など、橋全体系において耐震性を確保するような対処方法が考えられる。そのような対処をした上で、さらに基礎の耐震性が不足するような場合には、基礎の耐震補強が必要と判断される。

液状化に伴い橋に影響が生じる場合の対策工法として、増し杭などにより基礎の耐力を向上させる方法の他に、地盤改良により液状化の発生を抑制する方法がある。現在、有効と考えられる地盤改良工法には、締め固め工法、排水工法、固化工法、プレロード工法などがある。ただし、明確な設計法が確立されていないので注意しなければならない。また、兵庫県南部地震の復旧工事に際して液状化対策として採用された地盤改良工法の一つに、基礎の周囲を鋼材、コンクリート壁あるいは固化壁により囲み、地震時に発生する地盤のせん断変形を抑制、または間隙水圧の上昇を遮断して基礎直下地盤の液状化を抑制する方法がある。

また、液状化が生じ、かつ、偏土圧の作用する土層では流動化が生じる可能性が考えられるため、側方流動の影響についても検討しなければならない。側方流動の対策工法としては、基礎の耐力を向上させる工法の他に、矢板壁により流動力を遮断する工法や、基礎周辺の軽量盛土に置換する工法などがある。

いずれにしても、基礎の耐震補強は大規模になることが予想されるので、現地条件等を踏まえ、適切な補強方法を採用することが重要である。

なお、近日、(社)日本道路協会から、「既設道路橋基礎の補強に関する参考資料」が発刊される予定である。この参考資料には、補強設計・照査の考え方、補強工法の概要、新しい補強工法などが紹介されている。参考にさせていただきたい。

3. 車椅子利用者に配慮した横断施設の設計

質問者：大分工事事務所

回答者：道路部交通安全研究室（内線4641）

質 問

現在、交差点改良に伴い、既設の横断歩道橋の架け替えを検討中である。その中で、車椅子利用者に配慮し、スロープ式の横断歩道橋を一つの案として検討を行っている。

検討にあたっては「立体横断施設技術基準・同解説」（（社）日本道路協会）に準拠しているが、車椅子利用者が横断歩道橋の斜路（8%勾配）を自走できるかどうかについては疑問がある。そこで車椅子利用者（自走）に配慮した道路横断方式の考え方についてご教示願いたい。

回 答

1. 車いす使用者の斜路での通行

「立体横断施設技術基準」では、「斜路の勾配は12%を超えてはならない」とされている。これは、「立体横断施設技術基準・同解説」（（社）日本道路協会）によれば、「斜路の勾配は小さいほど望ましいが、勾配が小さくなると水平距離が大幅に増加し、事実上設置が困難となることが多く、補助者に押上げてもらうことによって車いすが一応登坂できる勾配として12%までの勾配を許すことにした」というものである。

実際のところ、車いす使用者が自力で登坂できるか否かは、勾配値と勾配延長によると考えられるが、ここではこれまでの研究成果等を整理する。

1) 車いす使用者の登坂可能勾配（研究成果）¹⁾

佐渡山らの研究によれば、7%までの縦断勾配であれば車いす使用者が一定速度で登り続けられるとされている。また、7%を超えると半数以上の人がつらさを訴えている。

2) 建築物における基準²⁾

ハートビル法に基づき、建築物における斜路の勾配は、「障害者等の建築物の利用を不可能としている障壁を除去するためには1/12（8.3%）以下」、「障害者等が特段の不自由なく建築物を利用できるためには1/15（6.7%）以下」とされている。

以上から、車いす使用者の自力での利用を考慮すれば、立体横断施設における斜路の勾配はできるだけ小さくすることが考えられる。また勾配を小さくすることにより移動距離が増加して、かえって車いす使用者の利用性を阻害するものであるならば、斜路ではなく、エレベータなどによる昇降方式を採用することも必要と考えられる。

2. バリアフリーの観点からの道路横断方式の考え方³⁾

車いす使用者や高齢者の道路横断を考慮した場合、次のような対応が考えられる。

横断歩道とする場合は、交差道路の自動車交通処理に配慮しながら青時間の延長を図ったり、中央分離帯を活用した交通島を設置することにより、障害者等の道路横断を手助けする。また立体横断施設とする場合は、エレベータなどを併設するなど、利用しやすいものとする。なおこの場合は、コストや管理を考慮して、必要な箇所に重点的に設置していくことが重要である。立体横断施設での昇降を手助けするためには、沿道建物と立体横断施設との結節を進め、建物のエレベータ等を活用することも一つの方法である。

参考文献

- 1) 佐渡山亜兵、他5名：車椅子登坂にたいする勾配の影響について、人間工学、Vol.10、No.4、pp.131-137、1974。
- 2) 建設大臣官房技術調査室：福祉インフラ整備ガイドライン、1996。
- 3) 高宮 進：道路交通施設のバリアフリー化とユニバーサル化、交通工学、vol.34、No.2、pp.29-34、1999。

4. 汚れを防ぐ材料や汚れを除去する技術

質問者：福岡国道工事事務所

回答者：材料施工部化学研究室（内線 4 7 5 1）

質 問

最近の都市内の土木構造物は、自動車排気ガスによって汚れ、周辺環境との調和を妨げ、景観上も好ましいものではない。また、交通量の多いトンネル内では自動車排気ガスによって、内装版が汚れや照明器具の視認性の減少が大きな問題となっている。このような汚れが付着しない材料や技術または汚れを落とす技術があったらご教示願いたい。

回 答

汚れは大きく分けて、都市部と郊外部の汚れに大別できます。都市部に多く見られる汚れは、排気ガスに含まれるカーボン・油脂類・土砂類・自動車タイヤや舗装材の摩耗物等が、湿気・雨のハネ上げ・風圧・静電気により付着する汚れであり、郊外部の汚れは、土砂類の堆積・苔・藻・真菌類等の生物系の汚れです。

都市部の汚れおよび、郊外部の汚れとも表面に流れる水（降雨水・流下水）の影響が大きく汚れ物質の移送や生物系汚れの生育条件に深く関係しているといった調査がされています。

このような汚れを防ぐ方法として汚れを着きにくくする技術と汚れを落としやすくする技術があります。

汚れを付きにくくする技術としては現在、表面に親水機能を利用する技術と、汚れを落としやすくする技術として分解機能を利用する技術が一般的になっています。

親水機能を利用する方法とは、いつも表面状態を空気中の湿面（水）で吸着させ、薄い水膜を作り、汚れを洗い流そうという技術です。

分解機能とは、排ガスなど有機系の汚れはそのまま分解し、砂ぼこりなど無機系の汚れは表面との間で接着剤として働いている油分など有機物を分解して汚れを落とす技術です。

こうしたセルフクリーニング（自浄作用）によって、清掃の頻度も費用も減らすことが可能となりました。しかし、古くはチョーキングとして嫌われていた現象です。

最近、注目をあびている酸化チタン（ TiO_2 ）を用いた光触媒はこの親水機能と分解機能を合わせた技術です。

この酸化チタンによる光触媒を塗装など有機物に利用すると樹脂自体が分解され、表面劣化といった問題点があるため、現在はトンネル内の照明器具、タイルなどの無機材や透光板（遮音壁）に用いられています。

その他の技術としては、分解機能については銅や銀などの遷移金属を添加したもの、親水機能についてはシリカ（二酸化ケイ素、 SiO_2 ）など金属酸化物を添加したもの、シリコンを用いたものなどが開発されています。

これらの技術を利用して土木研究所では平成7年度から9年度（3年間）に民間会社17社と官民連帯共同研究として「土木構造物の防汚技術に関する研究」の中で土木構造物を美しい状態で維持することができる「防汚材料」（汚れにくい、もしくは汚れを落としやすい材料）の開発と既存構造物の汚れを効率的に除去することができる「汚れ除去技術」の開発を行いました。

これらの技術を用いることにより、構造物を美しく維持するとともに安全性の確保や清掃回数の削減による経費の縮減が可能となります。

開発した防汚材料には、溶剤系、無溶剤系、水系、ホーロー系等屋外林構造物およびその付帯設備に用いる汚れにくい被覆材料の「防汚材料Ⅰ種」25種類、トンネルおよびそ

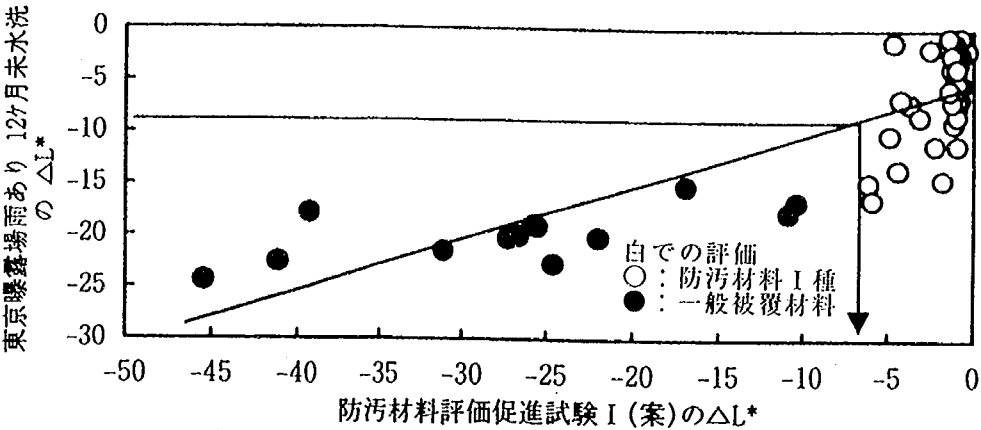
による渋滞の発生、作業員の危険頻度の増加、清掃回数やコストが問題となっています。このため、現在、交通規制の関係から監査路を利用した専用の清掃機械の開発や自動化がトンネル清掃技術開発の主流として検討されています。しかし、清掃対象は内装板、タイル等の平滑面の比較的軽度な汚れに限定されています。既存清掃車の改良も数例行われています。

トンネルを除いた一般の土木構造物の清掃はガードレールやたまに橋脚の清掃が行われるだけで、ほとんど行われていません。

そこで、土木研究所では、上記「土木構造物の防汚技術に関する研究」において土木構造物全般の清掃に汎用性があり、重度な汚れ除去にも可能で既存構造物の汚れを効率的に除去することができる「汚れ除去技術」の開発を民間会社3社と官民連帯共同研究として開発しました。

開発した汚れ除去技術は3種類で、従来の汚れ清掃技術はトンネル内壁やフェンスが主でしたが、今回開発した新汚れ除去技術は、ほとんどの土木構造物に適用が可能です。

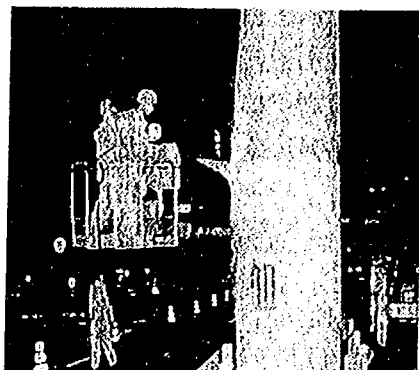
開発した新汚れ除去技術の概要と写真を表－1と写真－1～3に示します。



図－1 土木用防汚材料試験結果

表－1 汚れ除去技術の概要

	技 術 概 要	特 長
除去技術 A	数種類の洗浄剤を塗布する。汚れを分解し、化学反応で汚れを落とす。最後温水で洗い落とす。	・ ブラシや圧力を使わないので処理面が傷つかない。 ・ 80種類の洗浄剤によってどんな素材や汚れにも洗浄が可能。
除去技術 B	ドライアイスの高圧水ジェットを高速で噴射し、表面の汚れを除去する。	・ 水、洗剤、砂等を使用しないため残留物が残らない。 ・ ドライアイスの硬度が2～3のため処理面に損傷がない。 ・ 残留物が残らないため直ちに次の工程に移れる。
除去技術 C	円盤の回転による高圧水の幅を広く、円盤の中心部を回転させる。円盤の回転による高圧水の幅を広く、円盤の中心部を回転させる。	・ 水とブラシを自動化しているため、作業効率が高く、作業環境が改善された。 ・ 高圧水とブラシの組み合わせで高効率で洗浄できる。



写真－1 除去技術 A



写真－2 除去技術 B



写真－3 除去技術 C

参考文献

- 1) 建設省土木研究所共同研究報告書第 189、190、197 ～ 201 号：構造物の防汚技術の開発に関する共同研究報告書（その 1 ～ その 7）

5. 再生改質アスファルトの製造技術の開発状況

質問者：九州地建企画部技術管理課基準第二係

回答者：土木研究所道路部舗装研究室（内線 4 6 5 5）

質 問

原料であるアスファルト塊は改質、密粒、粗粒が混在している状況であり、旧アスファルト含有量 4.2～4.3 %に含まれる添加材の量を把握することは不可能であることから、品質管理、耐久性、配合設計等の確立された再生改質アスファルトを製造することは現時点では不可能である。

しかしながら、改質アスファルトの使用状況は増加の一途をたどっており、リサイクルの促進上、再生製造技術の開発は不可欠であり、現段階における開発の見通し、状況等をご教授願います。

回 答

舗装発生材の再生利用について、古くから検討が行われているが、改質アスファルトに関わる検討は難しく、現在も検討が続いているのが現状である。改質アスファルトの再生を難しくしているのは、第一にはゴムや熱可塑性エラストマーといった改質材が含まれていることが挙げられるが、再生骨材のストックヤードでストアス・改質アスの分別を行うことが困難なことも理由の一つである。

改質アスファルトと再生については、名称と組み合わせを一応以下のようにする。

表－1 名称と材料の組み合わせ

名称（仮称）	材料の組み合わせ
改質再生アスファルト	普通再生骨材に改質アスファルトを添加
再生改質アスファルト	改質アスファルト再生骨材にストアスアスファルトを添加
	改質アスファルト再生骨材に改質アスファルトを添加

（1）現状

土木研究所では平成 10 年度に再生骨材についての利用状況などの全国調査を行っている。調査対象は、建設省各地方建設局、北海道開発局、沖縄総合事務局、公団、都道府県庁の 60 機関である。このときの調査結果の一部を紹介すると

- ① 約半数の機関で改質アスファルト再生骨材が発生しているが、排水性舗装の再生骨材はほとんど発生していない
- ② 約 8 割の機関で改質アスファルト再生骨材が発生しても、特別な指示はしておらず、指示した場合でも約 6 割が通常の再生骨材として処理している
- ③ 約 2 割の機関で改質アスファルト再生骨材を使用した経験があり、その半分が中交通路（A，B 交通）の表層や基層に使われた
- ④ 約 3 割の機関で再生骨材に改質アスファルトを添加して使用した経験があり、その半分が重交通路（C，D 交通）の表層に使われた

などのようである。

(2) 課題

改質再生アスファルトと再生改質アスファルトとで、課題は異なる。以下のような課題について今後研究を進め、技術指針などとしてとりまとめる必要がある。

① 改質再生アスファルトの場合

再生骨材の混入率により改質アスファルト添加量が異なるため、改質材含有量に変動が起こる。このため、以下のような検討が必要である。

- ・要求性状に合うような添加量を決める方法
- ・プラントミックスタイプの検討
- ・再生添加剤の検討

など

② 再生改質アスファルトの場合

改質アスファルトを再生したときの改質材の状態が分からないことや、ほとんどの場合改質アスファルト再生骨材と通常の再生骨材の混合比率が分からないことから、以下のような検討が必要である。

- ・再生したときの改質材の変化の解明
- ・改質材の変化を考慮した再生添加剤の開発
- ・再生骨材の性状に関わらず配合設計の行える方法の開発

など

(3) 研究状況

土木研究所では道路事業調査費で「改質アスファルトの再生利用に関する試験調査 (H10-14)」を始めている。主な内容としては、以下のようなものである。

- ・改質アスファルトを含む再生骨材の利用状況の調査
- ・改質アスファルトを含む再生骨材の再生利用可能性の検討
- ・再生方法の検討 (再生用改質アスファルト、改質アスファルト用再生添加剤の利用)

など

これまでの国内の研究状況は以下のようなものである。

○改質アスファルト再生骨材の混入影響の調査^{1),2)}

改質アスファルト再生骨材の混入による再生アスコンの性状変化を調査しており、改質アスファルト再生骨材の混入により、多少性状が改善し、配合設計等へあまり影響を与えないと見られている。

○再生骨材の品質向上を可能にする再生方法の研究^{3),4),5)}

普通の再生骨材を重交通路に適用するため、改質アスファルトを添加したり、改質材入り再生添加剤の検討が進められている。

○再生利用が可能な改質アスファルトの研究⁶⁾

再生利用しても性状変化が少ない改質材の検討が進められている。

参考文献

- 1) 鈴木、峰岸：改質アスファルトの再生、アスファルト、vol.38 (No.184)、1995
- 2) 日本改質アスファルト協会：改質アスファルト混合物発生材の再生混合物への適用性、改質アスファルト、No.12、1999
- 3) 秋葉、井上：再生利用を可能とする改質アスファルト舗装材に関する検討、土木学会第 51 回年次学術講演会、1997
- 4) 稲葉、坂本、寺田：アスファルト再生舗装の品質向上に関する基礎的実験、土木学会第 51 回年次学術講演会、1997
- 5) 青木、矢島：再生合材用改質アスファルトの開発、改質アスファルト、No.4、1995
- 6) 鈴木、野村、丸山：再生アスファルトの劣化性状に着目した再生用添加剤、土木学会第 52 回年次学術講演会、1998

6. 水処理の際に発生する汚泥の再利用

質問者：遠賀川工事事務所

回答者：下水道部汚泥研究室(内線4344)

質 問

近年、全国的に建設副産物の有効活用を推進する中でも、水処理の際に発生する汚泥のリサイクルが問題となっている。この汚泥のリサイクル技術についてご教示願いたい。

また、当事務所においては、河川水のリン削減のために河川浄化施設において、浄水場の処理過程で発生する浄水汚泥をリン吸着剤として利用している。今後、リン削減に利用した汚泥の処理も問題となっていており、リン含有量の高い汚泥をリサイクルする技術があればご教示願いたい。

回 答

汚泥は産業廃棄物の半分程度を占めており、このうち水処理に関連したものとしては、下水汚泥が年間約 186 万 t(発生時乾燥重量)、上水汚泥が約 28 万 t(処分時乾燥重量)排出されている(平成 9 年度)。下水汚泥ではこのうち 44%が有効利用されており、焼却灰の建設資材利用のほか、有機質や窒素などの肥効成分を多く含む特徴を生かした緑農地利用が主流である(図-1)。一方、上水汚泥は主に凝集沈殿プロセスから発生し、濁質に起因するシリカ分ならびに凝集剤の主成分であるアルミニウムが多く含まれることから、土質改良材や埋戻し材、あるいはセメント原料、タイル等の原料として約 33 %が有効利用されている。上水汚泥の農業利用についても検討が行われているが、アルミニウムに起因するリン欠乏障害が問題となることから、用途については注意が必要であると言われている。

本件における発生汚泥の性状は上水汚泥に類似しているものと推定されるため、その利用法が参考になると考えられる。ただし、吸着されたリンの量によっては汚泥のリン吸着能が飽和され、リン欠乏障害が改善される可能性もありうる。一方、セメント原料として利用する場合は、リン含有量の上昇に伴うセメント強度の低下に留意する必要がある。

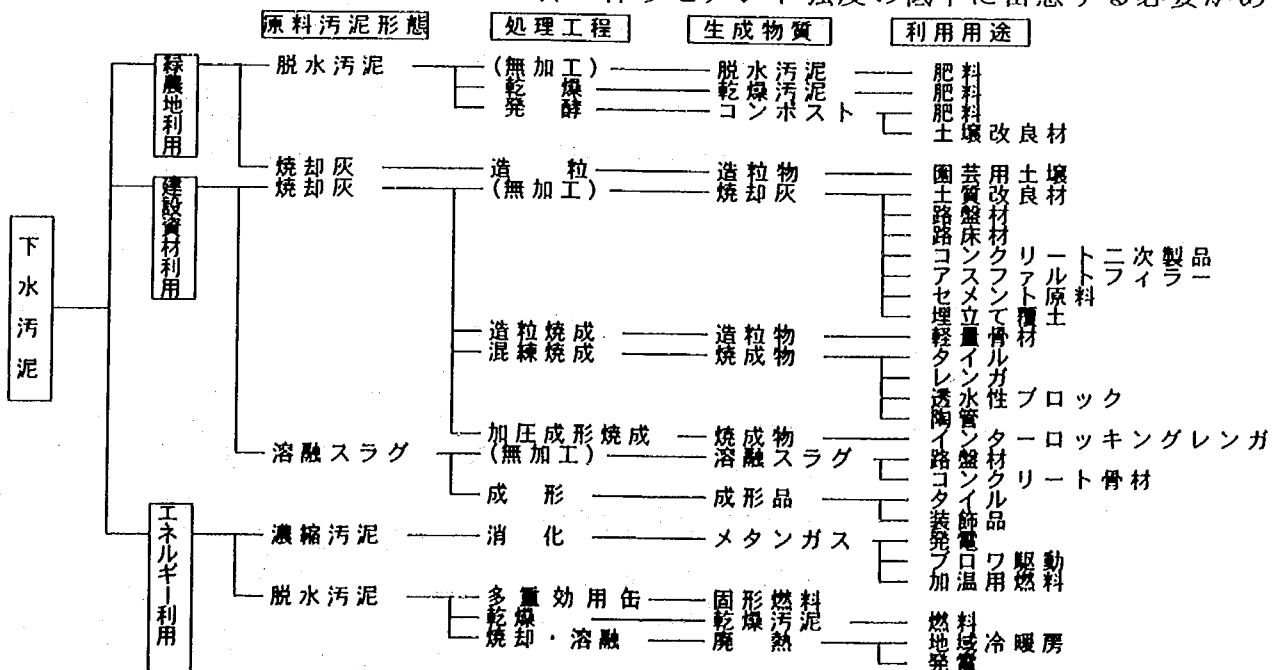


図-1 下水汚泥の有効利用形態

参考文献

- 1) 工業用水, 日本工業用水協会, No. 449, 1996. 2

7. ロックフィルダムにおけるCSG工法の一部適用

質問者：大分工事事務所

回答者：ダム部フィルダム研究室（内線 4431）

質 問

上流仮締切堤をロックフィルダム本体に取り込むことにより、ダム事業のコスト削減を考えている。この仮締切堤を CSG 工法により築堤することで、さらなるコスト削減が可能ではないかと考えられるが、この点に関して技術的に問題がないのか、また CSG 工法が今後どのような方向に進んで行くのか御教示願いたい。

回 答

1. CSG 工法の概要と既往の実績

CSG (Cemented Sand and Gravel) 工法は、建設サイトにおいて発生する材料（母材）を分級せずに、少量のセメントを添加、簡便な方法によって混合することにより強度増加を図り、改良盛立材料として用いるものである。

本工法の特徴としては、セメントの添加・混合により材料の強度が増加するため構造物の体積を減少できること、廃棄岩や掘削ズリなど現地で容易に調達できる材料をそのまま利用できること、大がかりな施工設備を必要としないことなど、建設コストの削減と環境改変の少ない施工法であることがあげられる。また、建設省が推進しているコスト削減の重要施策の一つにもなっており、平成4年度に建設省長島ダムの仮締切堤建設¹⁾に初めて採用されて以来、ダムの上流仮締切や砂防ダムおよび仮設構造物への利用実績が増加しつつある。

図-1 に CSG 工法により築造された久婦須川ダムの仮締切堤の設計断面を示す。また、これまでに表-1 に示すような CSG 構造物の築造例があり、CSG の工学特性についても数多くの試験によりその大要が把握されている²⁾。

なお、CSG 工法により築造するダムの設計については、弾性体の設計体系からと塑性体の設計体系からの2つのアプローチがある。弾性体理論を用いた、つまりコンクリートダムとしての CSG の設計は、長島ダムの貯砂ダム（永久構造物）において、ほぼ進むべき方向が示されたと考えられている³⁾。しかしここでは、塑性体あるいは弾塑性体理論を用いた、つまりフィルダムとしての CSG の設計が議論の対象となっている。

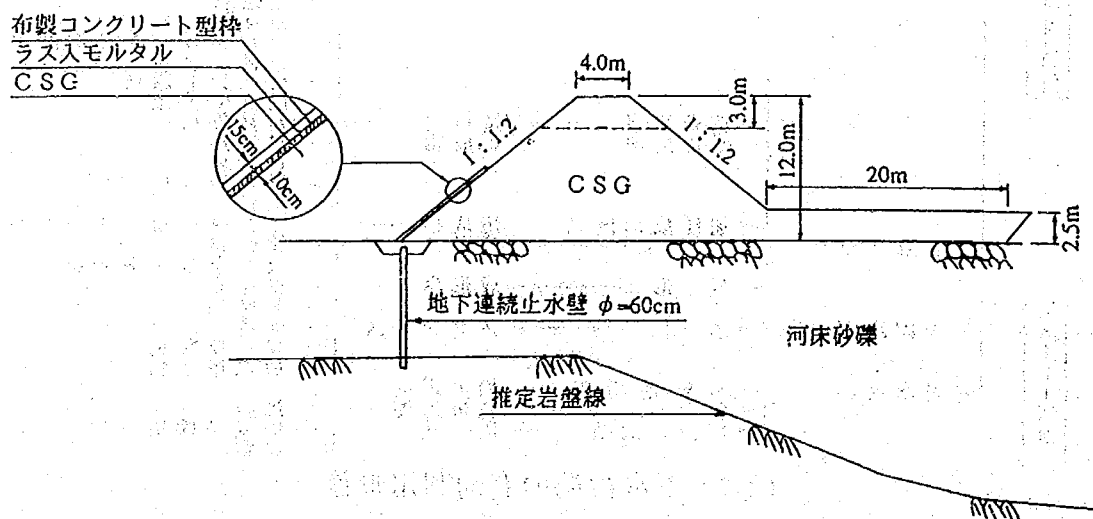


図-1 CSG 工法により築造された久婦須川ダムの仮締切堤の設計断面

表-1 CSG 工法の実績例

施 工 名	竣工年	堤高 m	堤頂長 m	堤体積 m ³	母 材	単 位 セメント量 kg/m ³
長島ダム二次締切	1992. 6	14.9	86.5	30,000	砂 礫	80
忠別ダム一次締切	1994.10	4.0	60.0	2,500	砂 礫	60
久婦須川ダム二次締切	1994.11	12.0	87.5	13,650	砂 礫	60
摺上川ダム転流工擁壁	1996. 3	21.0	120.0	14,500	凝灰岩	60

2. CSG および CSG 構造物の特徴

これまでの室内試験、現場試験および仮設構造物の建設などを通じて明らかになった CSG および CSG 構造物の特徴を、特に設計時に考慮すべきと考えられる事項に限って以下に列挙する。

- 1) CSG に対する三軸圧縮試験結果として得られた応力ひずみ曲線の一例を図-3 に示す²⁾。この図より明らかなようにセメントを混合することにより強度増加がみられるが、せん断破壊強度（ピーク強度）に達した後は緩やかに強度が低下しながら変形が進行するひずみ軟化現象を示し、最終的には母材とほぼ同じせん断強度（残留強度）に達する。セメントの添加量にもよるが、ピーク強度と残留強度の差がかなり大きい。
- 2) 母材の粒度にもよるが、河床砂礫を母材とした場合には、母材のみでの透水係数が 10^{-2} - 10^{-1} cm/s オーダであったものが、セメントの混合により低下したものの 10^{-3} cm/s オーダまでにしか低下していない¹⁾。
- 3) ある程度の細粒分および含水比を持つ現地発生材料に直接セメントを混合するため、セメント分布のある程度の不均一性は避けられない。
- 4) 基礎地盤の変形性が CSG の変形性よりも大きい場合、堤体中央下部において引張破壊あるいはひずみ軟化領域が発生することが、図-4 に示すひずみ軟化を考慮した有限要素解析結果から明らかになっている⁴⁾。
- 5) CSG 構造物は、築造後最長で約 7 年しか経過していないものの、現在のところ、特に安全性に支障をきたすような変状は発生していない。しかし、ダム本体などの永久構造物への利用に際しては長期的安定性に関する課題を解決する必要がある。

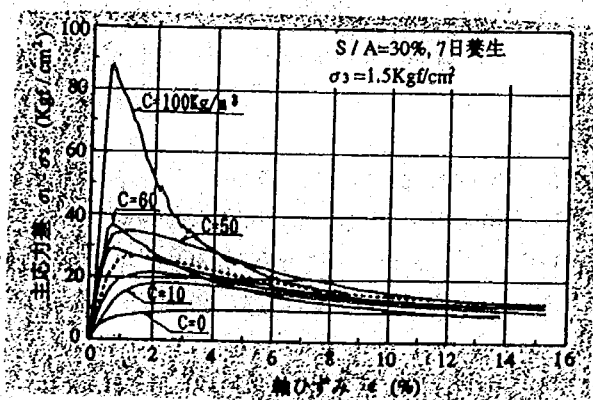


図-3 CSG に対する三軸試験から得た応力ひずみ曲線の一例

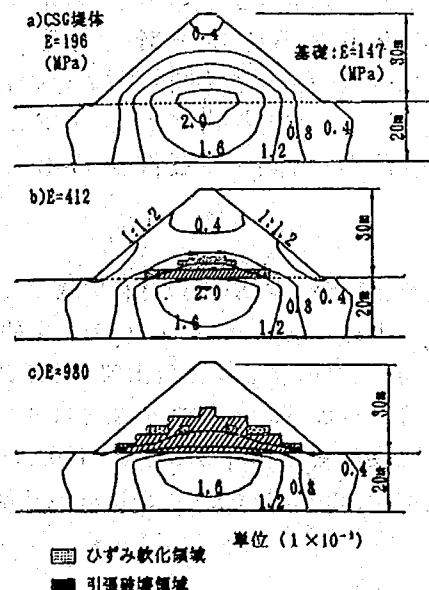


図-4 ひずみ軟化を考慮した CSG 構造物の有限要素解析結果

3. CSG 工法の永久構造物への適用に際しての課題

2 章で示した CSG あるいは CSG 構造物の特徴を考慮ないしは解決することにより CSG の永久構造物への適用を図るための研究を鋭意進めている。その際、各特徴について考慮すべき具体的な課題あるいは対策は以下のとおりである。

- 1) ピーク強度と残留強度の差がかなり大きいこと、すべり安定解析に用いる設計強度にどちらの強度を用いるかで安全率が大きく変わるうえ、残留強度を用いるとセメントを添加した効果が全く設計上見込めないことにある。この点から、すべり安定解析に用いる適切な設計強度の設定法あるいはピーク強度と残留強度を加味したすべり安定解析方法の開発が必要になる。
- 2) 母材の粒度にもよるが、CSG 単体ではダムとしての遮水機能を満足することができないため、別途 CSG 堤体上流側斜面に遮水膜を設ける必要がある。
- 3) 現地混合されたセメント分布の不均一性に起因して、同一なセメント混合量であっても、現場での強度が室内強度よりも小さくなる可能性が高くなる。そのため、より均一なセメント混合が可能となる混合方法とともに、セメント分布の不均質性に起因した強度低下を見込んだ設計強度の設定法についても検討しておく必要がある。
- 4) CSG 構造物は、その剛性よりも大きい剛性を持つ基礎岩盤上に建設する必要がある。
- 5) CSG の強度、透水性などの諸特性についてその経時変化の追跡調査や、凍結融解に対する抵抗性や耐酸性などの耐久性に関する調査⁹⁾を行い、CSG の長期安定性に関するデータを蓄積する必要がある。

いま、CSG 工法により仮締切堤を築造した場合、ロックフィルダム本体に取り込むまでは仮設構造物として機能するが、最終的には本体の一部となるため、たとえ仮締切堤ではあっても永久構造物として設計、施工することが要求される。さらに、CSG 構造物をロックフィルダム本体に取り込む場合には、以下に示すような問題も解決しなくてはならない。

- 1) 通常、ロックフィルダムのロック敷きとなる地盤は、ロック材と同等ないしはそれ以上の強度と剛性を有していることを条件に選定されることが一般的である。いま、仮締切堤をロック材料主体に構成すれば仮締切堤の基礎地盤は、通常のロック敷き程度の力学特性を持つ地盤とすればよい。しかし、仮締切堤を CSG で築造し、最終的にロックフィルダム本体に取り込む場合には、ロック敷き程度の力学特性の地盤を基礎にするのでは堤体の安定上不十分である。そのため、CSG を仮締切堤にして、最終的にロックフィルダム本体に取り込むことが単純にコスト縮減に直結すると考えるのは早計である。
- 2) CSG とロック材料ではその剛性にかなりの差がある。そのため、CSG を仮締切堤にして、最終的にロックフィルダム本体に取り込むと、地震時における両ゾーンの挙動の一体性に疑問が残る。この点についても、詳細な検討が必要である。

参考文献

- 1) 藤澤侃彦、ほか：C・S・G の材料試験および施工、ダム技術、No.83、pp.41-51、1993.8.
- 2) 例えば、中村 昭、ほか：CSG の工学的性質と施工、土木技術資料、36-10、pp.40-45、1994.10.
- 3) 永山 功、渡辺和夫、西澤賢太郎：貯砂ダムにおける CSG 工法の開発、土木技術資料、41-7、pp.6-7、1999.7.
- 4) 豊田光雄、川口昌尚：CSG の変形特性を考慮した堤体の安定性に関する一検討、第 25 回関東支部技術研究発表会講演概要集、pp.518-519、1998.3.
- 5) 楠 貞則、豊田光雄：CSG の耐凍害性評価、第 26 回関東支部技術研究発表会講演概要集、pp.512-513、1999.3.

8. 河川整備計画策定における諸問題

質問者：河川部河川計画課

回答者：河川部河川研究室（内線 4 2 2 1）

質問

「河道掘削（砂利採取等も含む）に伴う河川環境（生態系を中心）への影響について」治水事業において、築堤による堤防整備が進み、今後は中・上流部の河道掘削による改修が必然的に多くなってくると考えられる。しかし、河道掘削は従来より環境に与える影響が大きく整備計画策定においても、その改修方法自体の選択及び掘削を行うとした場合の掘削方法は、ある程度の指針を持って対処すべきと考えられる。

現在環境に配慮した河道掘削について、参考となる研究成果があればご教示願いたい。

回答

1. はじめに

河道掘削は、流下能力増大の有力な河川改修方法である一方、掘削によりハビタットを改変せざるを得ない場合があります。また河床掘削を行った場合には河床低下に伴う周辺地下水位の低下を招く場合があります。場合によっては掘削部分が埋め戻るなどして改修効果が長く続かない、維持管理労力が増すことも考えられます。以上から治水効果と環境保全の両方をしっかり考えて計画する必要があります。なお、今回は地下水については対象としません。

2. 考慮にあたっての基本的考え方

参考文献 1)によると、河道変化は、外的インパクトに対する河道の応答とみなせる場合が多く、図-1 (a)のように、「レスポンス 1)：元の状態に戻る」、「レスポンス 2)：インパクトを受けた直後の状態からさらに新しい状態に移行する」、「レスポンス 3)：インパクトを受けた直後の状態を保つ」の3パターンに分けられます。また、長い時系列で洪水によるインパクトを複数受ける場合の河道応答は図-1 (b)のように概念的に示すことができ、この洪水によるインパクトと河道の応答の連続こそが沖積河川の河道システムと言えます。

河道掘削を行った場合の応答として、環境面からこのシステムを眺めると、図-1 (a)のレスポンス 1)が起こる場合には掘削前のハビタットが復元することが期待できます。この場合、応答速度が早く生物への影響が軽微と判断できれば環境上大きな支障のないインパクトと考えることができます。レスポンス 2)が起こる場合にはレスポンス後の状態に適応した別のハビタットが形成されることが予想されます。この場合、新たに作り出される河道状況が生物にとって好ましいかどうかの評価の尺度となります。レスポンス 3)が起こる場合にはインパクトの性質に適応したハビタットがずっと続くことが予想されます。この場合、インパクトによって作られた河道状況が生物にとって好ましくないものであれば、環境上避けるべきインパクトと判断されます。

また、維持管理面からこのシステムを眺めると、レスポンス 1)が起こる場合には、ある時間を経た

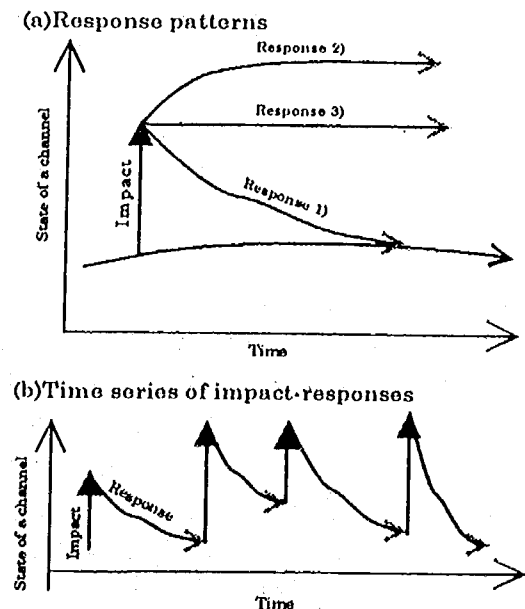


図-1 応答パターンの説明図

後に掘削の効果が失われることを示しており、応答が早い場合には維持管理に苦勞することが予想されます。レスポンス 2) が起こる場合には、掘削後例えば河床低下が進むなど新たな状態になることを示しており、新たな状態が河道管理上許容できるものでないならば新たな状態への移行を制御する必要が生じ、これもまた、場合によっては維持管理に苦勞することになります。(もちろんそうでない場合もあります。) レスポンス 3) が起こる場合には、掘削後の河道が維持されることから維持管理上は望ましい状態といえます。

これらから、与えるインパクトに河道がどう応答するかをあらかじめ予測しておくことは、環境面からも、治水機能の持続性確保(維持管理労力の軽減)の観点からも重要であることがわかります。したがって、ご質問の河道掘削についてもそれが引き起こす河道の応答を調べ、その応答を環境面、治水機能の持続性確保の面(河道維持を含む)で的確に評価することが基本となります。

3. 具体的考慮事項

3-1 きめ細かい流下能力の評価

掘削時の配慮の前に、流下能力の評価をきちんと行い、各区分につき掘削が必要かどうかを今一度見極めることが必要です。そのため、計算方法の選択が適切か、粗度係数の設定が適切か、死水域の設定は適切かなど見直す必要があります。

流下能力の評価は、参考文献 2) 第 6 章に基づいて実施して下さい。河道の形状(単断面か複断面か、樹木等の繁茂具合など)から流下能力評価で考慮すべき事項を整理し(第 6 章第 2 節)、適切な流速公式を用いること、死水域・内挿断面を適切に設定すること(第 6 章第 4 節)、粗度係数を適切に設定すること(第 6 章第 6 節)が肝要です。

3-2 掘削箇所の選定

3-1 の結果、掘削が全体として必要と判断された場合には、掘削箇所の配慮を検討する必要があります。この場合には、改修計画対象区間内のハビタットの保全の必要性を調査・整理し、保全の必要性の高いハビタットを極力残す掘削計画を立てる必要があるでしょう。なお、ハビタットの保全の必要性の整理と掘削計画の立案にあたっては、2. で述べたインパクト～河道応答の関係に基づく評価を当該掘削案について行うとともに、生物学の専門家と河川工学の専門家の双方の知恵を借りることが有用でしょう(参考文献 3))。

3-3 掘削方法の検討

3-2 により掘削せざるを得ないハビタットを充分に選別した上で、治水上掘削が必要とされた場所については、掘削方法の工夫でハビタットへの影響を最小限にとどめることができなければ検討する必要があります。掘削方法の工夫を考える場合には、図-1(b)の沖積河川のインパクト～河道応答システムを保存する方法を考えることが基本です。例えば、低水路を平坦に拡幅する掘削を行う場合には、同じ流量の洪水インパクトがあっても水深が減る分だけ河床に働く力が小さくなり、河床が動きにくくなります。この状態では図-1(b)のシステムは維持されません。したがって低水路を確保する、予め横断形状に変化をつけておくなど掘削後も同じ河床の動きやすさになるような掘削の工夫が必要です。あるいは、低水路には手を付けず、高水敷を掘削して中水敷を設けることによって流下能力を確保する方法も有力な手段でしょう。

次に、掘削後の河道の応答を環境面から検討する必要があります。掘削後レスポンス 1) が起こると予測される場合には、その応答速度が問題になります。この応答速度が生物にとって遅すぎる場合には、掘削の影響を最小限にするような工夫が必要です。掘削後レスポンス 2)、3) が起こると予測される場合には、応答後のハビタットが生物にとって好ましいものであるかどうか問題になります。掘削後のハビタットが好ましいものでない場合には、人工的に生物にとって好ましいハビタットを作ってやる必要があるでしょう。例えば、砂利河川の河道を平坦に掘削する場合には、瀬と淵が失われますが、再び瀬と淵が形成される規模の洪水が来るまでに時間がかかることが考えられます。この時間が待てない場合には人工的に瀬と淵を作る、洪水後に予想される河床形状に合わせて予め掘削する、小規模出水

でも淵ができるように水制を設置するなどが考えられます。

3-4 河道維持の検討

次に、掘削方法を河道維持の面からも検討する必要があります。環境面から望ましい掘削方法と河道維持面から望ましい掘削方法が両立するとは限りません。3-3の例のように低水路を設ける場合や中水敷を設ける場合には、図-2のように低水路の高水敷化や中水敷への土砂堆積によって流下能力が減少し、掘削効果が失われる、維持管理の労力を要する場合があります（参考文献4）。土砂堆積のメカニズムは、図-3のように低水路内では u^*/w_0 が2または3以上と大きく浮遊形態で運ばれた土砂が、水深の減少あるいは植生等による流速低減によって u^*/w_0 が1以下の浮遊できない水理条件になることにより堆積すると考えられます（参考文献5）。したがって、中小洪水による冠水頻度と中小洪水時の水理条件（中水敷上の水深、流速を低減する植生の繁茂があるかどうか）が中水敷維持が可能かどうかの判断材料となるでしょう。

また、上記の堆積とは逆の侵食という面でも維持管理に苦勞する場合があります。例えば、掘削前の河床が薄い固結層により維持されており、その下に河床材料と同じ材料がある場合には、固結層を取り除いたことにより河床低下が急激に進む場合があります。この時には、将来の河床低下量を予測して、予め護岸根入れを深くするなどの対策をしておかないと維持管理に苦勞することになります。

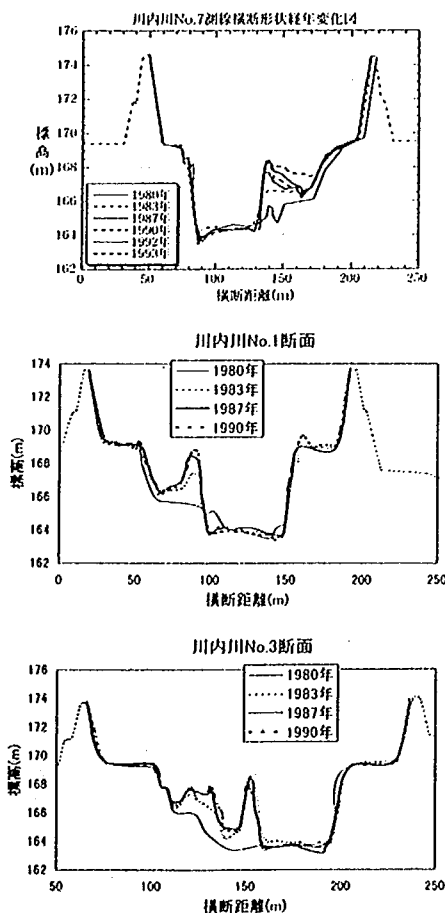


図-2 川内川における高水敷の発達過程

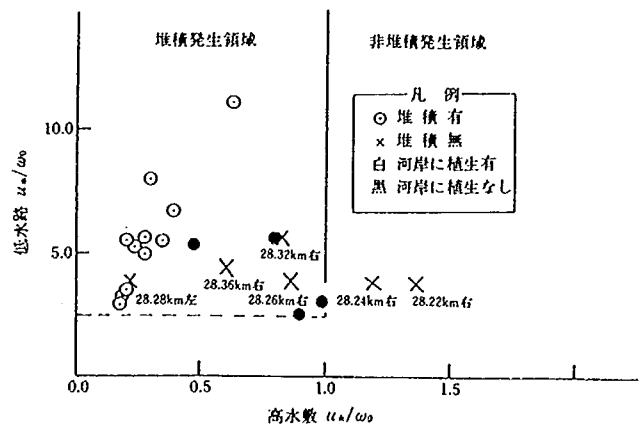


図-3 堆積物の発生条件

3-5 まとめ

3-1～3-4まで述べたように、河道掘削を行う場合には、環境面の考慮は勿論のこ

と、元々の目的である改修効果を維持するという面からの検討をしっかりと行い、総合的に判断することが必要です。

参考文献

- 1) 水工学シリーズ' 98-A-2 河道計画が目指すべき方向と技術的課題 藤田 土木学会水理委員会・海岸工学委員会
- 2) 河川砂防技術基準(調査編) 日本河川協会編 山海堂
- 3) 北川河道計画検討委員会資料
- 4) 洪水流を受けた時の多自然型河岸防御工・粘性土・植生の挙動 宇多、望月、藤田ら 土木研究所資料第 3489 号
- 5) 沖積河川学 山本晃一 山海堂

9. 溪流河川の低水時における流量観測方法

質問者：水資源開発公団小石原川ダム調査所

回答者：砂防部砂防研究室

質 問

玉石や転石などにより、観測誤差を生じやすい溪流河川の、低水流観測において、 $0.1\text{m}^3/\text{sec}$ 未満の精度で、流量を把握するには、コントロール等の流量観測施設を利用する他に、どのような観測方法があるのか、ご教示願いたい。

回 答

コントロール等の流量観測施設がない場所において、流量観測をおこなう場合、運搬可能な流量計測機器を用いた流量計測法が必要である。そのようなものには、トレーサ（浮子測法、色素投入法）、水中に検出器を支持する方法（可搬式：回転式流速計法、可搬式電磁流速計測法）がある¹⁾。また、近年ではピトー管の原理を応用した水圧式水深流速計²⁾も開発されている。流量測定精度はそれぞれの機器に依存するので、対象河川の流量（ $0.3\text{m}^3/\text{sec}$ 程度）に適したものを選定する必要がある。なお、その精度はそれぞれに依存するので、ここでは言及しない。

さて、ご質問にある溪流は、河幅が約7～9 m、水深が約30cm～50cmで、河床には玉石や転石が堆積している。このような場所は、流れ（流速、流向）が河床の石礫に大きく影響を受けるため、観測時に誤差が生じやすく、高精度の流量観測を行うことが困難な場所である。そのため、精度を向上させるためには、観測地点として流れが河床の状況（河床の起伏）に左右されにくい箇所を選定することが重要となる。観測地点として転石が多く存在する地点よりも、起伏の小さく、河床変動の少ない箇所を選ぶ方がよい。なお、さらに高精度の観測を必要とする場合には、堰や流路などの観測施設を整備する必要がある。

砂防調査で土砂流出調査を溪流において実施する場合には、砂防ダムの水通し部を利用する。また、さらに上流部では量水堰を設置して、流量を観測することもある。

参考文献

- 1) 建設省河川局(1997)：第3章流量調査、「改訂新版建設省河川砂防技術基準(案)同解説調査編」、p.35-58、社団法人日本河川協会編、山海堂
- 2) 建設省河川局河川環境課、建設省土木研究所河川部水文研究室、建設省関東地方建設局河川部河川管理課、関東技術事務所、建設省中部地方建設局河川部河川調整課、中部技術事務所、建設省九州地方建設局河川部河川調整課、九州技術事務所（1999）：洪水流量観測の高度化に関する研究、土木技術資料41-1、p.52-57

10. 公共土木施設等の維持管理面の在り方と今後の技術開発

質問者：本局企画部企画課

解答者：材料施工部コンクリート研究室（内線 4761）

質 問

公共土木施設の大半はコンクリート構造物であるが、最近トンネル内のコンクリート壁や住宅のモルタル壁の崩落による事故が問題になっている。これらの崩落事故の発生要因は何か。また、他の公共土木施設等のコンクリート構造物にもこのような崩落を起こす要因があるのか。

今後、管理者として公共土木施設の維持管理を行う上では、コンクリート構造物の劣化に対する技術開発の取り組みも必要になってくると思われる。これらの点についてご教示願いたい。

回 答

コンクリート構造物の劣化には、構造物の種類やコンクリートの品質、個々の構造物のおかれた環境条件など種々の要因が複雑に関係しており、劣化の要因をひとつに決定することは困難です。最初のご質問である崩落事故の原因究明に対しては、個別に事故調査の委員会が作られていづれ報告がなされ则认为ますので、ここで回答することはできません。これまでも問題のある構造物に対しては、個別の検討がなされてきており、個々の劣化要因につきましてはそれらの成果を参照していただきたいと思ひます^{1) 2) 3)}。

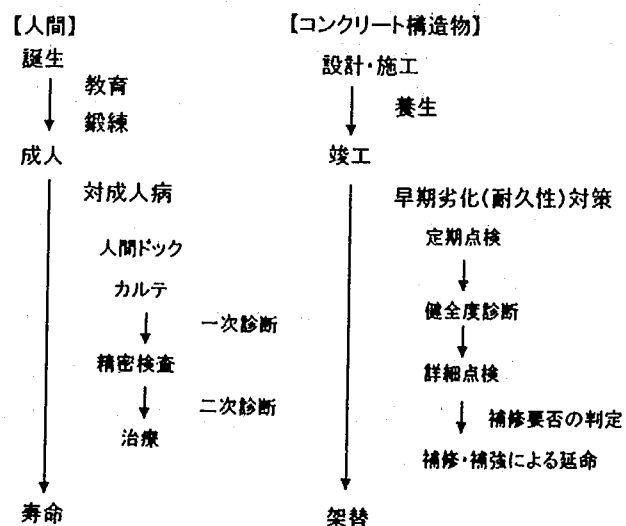
また、公共土木構造物のコンクリートの早期劣化現象についてはこれまでも多数の機関で研究されてきましたし、現在も複数の委員会等が活動しております。建設省も運輸省、農林水産省と共同で平成 11 年 9 月より「土木コンクリート構造物耐久性検討委員会」をスタートさせ、公共土木施設の実態と今後の対応について早急に結論を出す予定です。

そこで、ここでは維持管理の一般論について述べさせていただきます。右図は、コンクリート構造物の維持管理のあり方を人間の健康管理に見たてたものです。

コンクリート構造物の経時的劣化による大きな被害を防ぐためには、劣化の兆候を早期に発見し適切な対策をとらなければなりません。これは人の健康管理の場合と似ており、我々が定期的な健康診断で早期に病気を発見しようとするように、コンクリート構造物の場合も、定期的な点検においてひびわれ等の変状を早期に発見することが重要です。土木研究所でも、日常的な点検の結果から

構造物の健全度を正しく推定できるような構造物の診断支援システムを開発すべく研究を行っているところ

です。一方、定期点検で劣化が発見された場合、劣化の要因を判定し補修・補強の要否を判定するための詳細点検を行い、適切な補修・補強工法を選択することになります。この場合でも、劣化がある程度進行してしまうと、補修や補強のためのコストが高くなったり、補修・補強後の再劣化が起りやすくなる場合が多く、



なるべく早期に劣化の原因となる要因を取り除くことが重要です。

いずれにしても管理者の皆様には、コンクリート構造物は決してメンテナンスフリーの永久構造物ではなく、適切な維持管理を行っていく必要があるということに対し、あらためてご理解いただきたくお願いします。なお、土木研究所ではコンクリート構造物の点検、健全度診断の具体的手法につきましては、現時点での知見をまとめたマニュアル⁴⁾を作成しておりますし、土木学会等でも検討が進んでいます⁵⁾。参照していただければ幸いです。

参考文献

- 1) 建設省：建設省総合技術開発プロジェクト コンクリートの耐久性向上技術の開発報告書，1988.11
- 2) 建設省東北地方建設局酒田工務所：温海地区塩害橋対策技術報告書，1998.3
- 3) 児島孝之ほか：「アルカリ骨材反応によるRC床版の損傷と補修」，コンクリート工学，Vol.32，No.2，pp.23-36，1994.2
- 4) 建設省土木研究所材料施工部コンクリート研究室，日本構造物診断技術協会：コンクリート構造物の健全度診断技術の開発に関する共同研究報告書ーコンクリート構造物の健全度診断マニュアル（案）ー，共同研究報告書，第195号，1998.3
- 5) 土木学会コンクリート委員会コンクリート標準示方書改訂小委員会編：コンクリート構造物の維持管理指針（案），コンクリートライブラリー81，1995

11. 樋門・樋管、護岸等の空洞化の調査方法及び対策

質問者：川内川工事事務所

回答者：材料施工部土質研究室（内線 4744）機械研究室（内線 4726）

質 問

河川堤防に設置されている樋門・樋管の取付部や樋門本体の底版下は老朽化の進行により、空洞化が生じている可能性が高い。空洞化の問題は低水護岸などのコンクリート張部分などにおいても可能性が高い。このような調査は定期的に行う必要もあると思われるが空洞化の調査方法及びその対策についてご教示願いたい。

回 答

1. 樋門・樋管底版部の空洞化について

1-1 調査法について

樋門・樋管底版部の空洞化を調査する手法としては、地下レーダ探査などの各種非破壊探査法が用いられています。これら調査法につきましては、「堤防構造・護岸の空洞化の点検技術に関する研究 第 52 回建設省技術会報告（平成 10 年度）」においてとりまとめられております。地下レーダ探査は、非破壊で比較的簡便に調査を行うことができるといった利点があります。しかし、地下レーダ探査は、コンクリートの厚さや土中の水分、配筋などによる制約を受け、探査深度を考慮し波長を長くすると解像度が低下するなど、改良の余地があります。

一方、これらの物理探査に対して、「建設省河川砂防技術基準（案）同解説・調査編（平成 10 年）」に示されている「連通試験（水圧応答測定試験）」は、構造物に孔を空けるといふ欠点がありますが、構造物周りにおける空洞の広がりや水みちの連続性の有無を直接確認できる有効な手法であることが、最近の調査事例および当研究室で実験模型でも確認されています。

連通試験は、図-1 に示すように樋門周辺の水の流れ、水圧の伝わり方を底版あるいは管渠周辺に空けた測定孔の間で確認する試験です。図中の h_1 、 h_2 はそれぞれ、注入孔、測定孔の水位を示します。図のケース(3)のような結果が得られた場合、構造物直下の空洞が、川表から川裏側にロスなく繋がっているおそれがあり、直ちに大漏水、破堤に繋がる可能性があるため早急な対策が必要です。また、止水矢板が設置されている場合でもケース(8)のような結果が得られた場合、矢板は遮水機能を保持していないため、追加対策が必要となります。

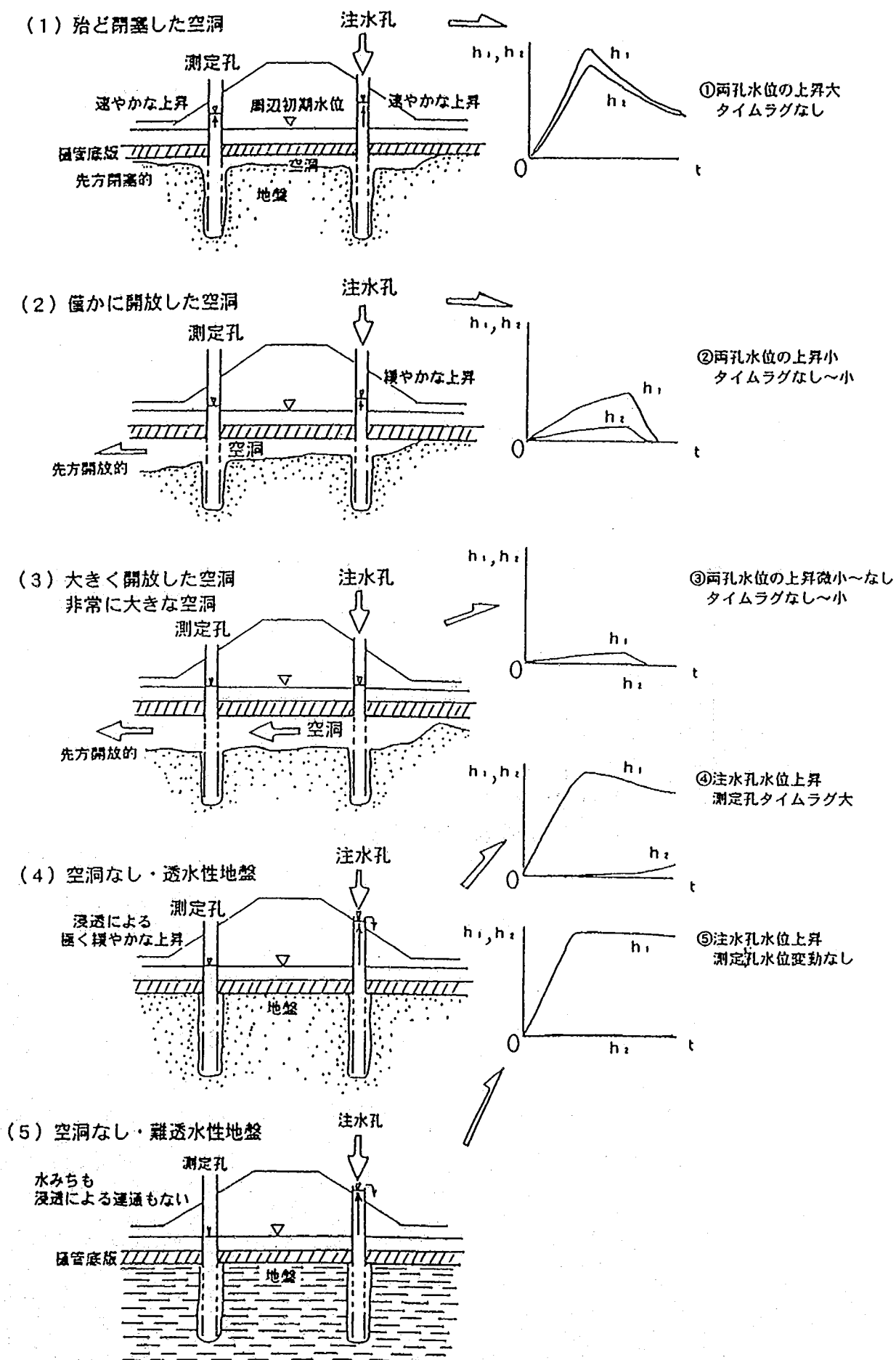
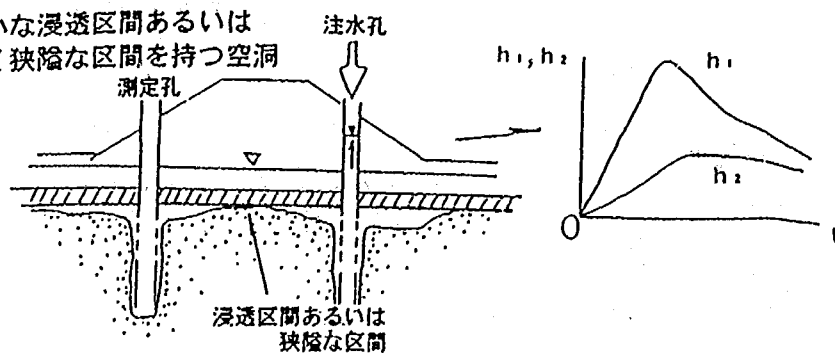


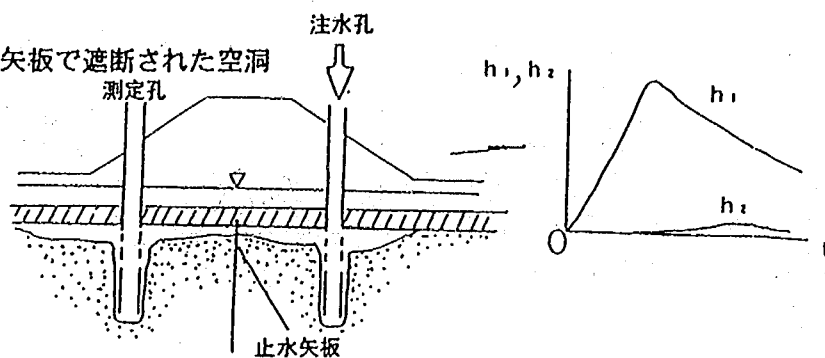
図-1 連通試験結果の解釈 (その 1)

(6) 微小な浸透区間あるいは
極く狭隘な区間を持つ空洞



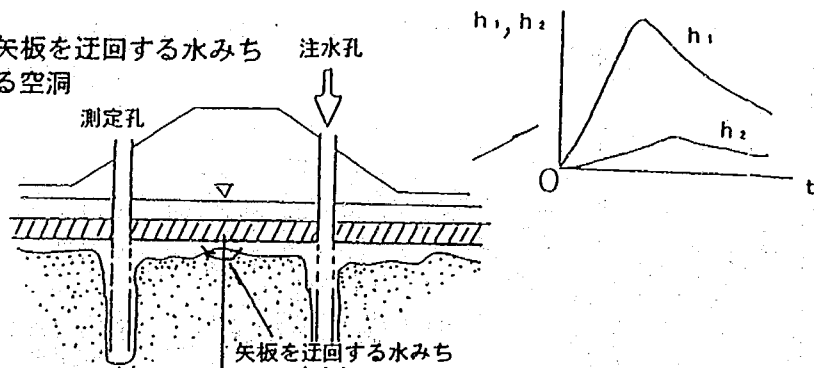
⑥注水孔水位上昇大
測定孔水位は追従
時にややタイムラグあり

(7) 止水矢板で遮断された空洞



⑦注水孔水位上昇大
測定孔水位上昇なし

(8) 止水矢板を迂回する水みち
がある空洞



⑧注水孔水位上昇大
測定孔水位上昇小～中

図-1 連通試験結果の解釈 (その2)

1-2 対策全般について

樋門・樋管周辺部の空洞化対策として、原則として遮水壁（うなぎ止め）や遮水工（遮水矢板）を設けることとなっていますが、地震などの影響により遮水壁が剥離したり地盤の沈下により、函体直下に空洞が発生する場合があります。また、古いものでは設置幅が十分でなく横周りの水みちが発生するなどのために、遮水機能を果たさなくなる場合があります。

既設の樋門・樋管に空洞が発生した場合の対策には、①全てを取り壊して更新②遮水壁の設置③グラウト充填④川表側からの河川水侵入防止⑤押さえ盛土工、等の方法が考えられます。以下にその概要を示します。

1) 更新

既設構造物を撤去し、新たな樋門・樋管を設置する方法は、地盤を強化し遮水壁を構築できることから、確実かつ効果的です。しかし、施工中の樋管・樋門機能を確保するための補助的な排水設備を設置する必要のあること、災害に備えて十分な対策をとる必要のあることから、多額の工費を必要とします。

2) 遮水壁工法

遮水壁工法は、既設の樋管に手を加えることなく遮水壁を構築するものと、遮水壁設置部のみを開削して樋管を切り離して遮水壁を構築し樋管を復旧するものの2種類が考えられます。

前者については、部分的な掘削を行った後、遮水壁の構築、空洞の埋戻しを行うものです。遮水壁には鋼矢板などが考えられ、樋管などを開削して鋼矢板を圧入し、壁構造物を構築する方法があります。

部分的に開削する方法は、堤防の全面的な開削にならず、防災上も安全確保がしやすいこと、半分ずつの開削にすれば、樋管の機能もある程度確保できること、全面改修よりはるかに低コストであること等の利点がありますが、部分的に切り取られた樋管の再結合の確実性、樋管下部の地盤改良が十分できないことなど、実施にあたり検討すべき事項があります。

後者の遮水壁のみを再構築する方法であれば、樋管の機能確保、防災などの問題は発生しません。具体的には、構造物下部に地下連続壁を構築する工法を利用して最低限必要な空間を確保し、ポリマーシートなどの軽量材料の遮水壁を張り、その周囲には流動化処理土など地盤と一体化するものを充填する方法が考えられます。この方法では、シート材質、シートを張る方法、シートと函体の接合方法などの課題があります。

3) グラウト充填

ベントナイトやセメント等によるグラウト充填があります。グラウト充填は施工例も多く一般的に用いられています。

施工は底版グラウトと、堤体グラウトがあります。底版グラウトは、樋門・樋管底部をボーリングマシンにより窄孔し、グラウト材を注入するものです。作業は空洞に水が溜まっている場合が多いため、最初に5mピッチ程度に窄孔を行い片側から水を追い出しながら注入します。この工法は直接樋門・樋管直下に孔をあけるため空洞の確認もしやすい。堤体グラウトは、樋門・樋管の側面のクラックに対し、ボーリングにより堤体天端より窄孔し、グラウトを行うもので、堤体に5mピッチで高さ方向には、1mピッチでグラウト注入を行いながら空洞及びクラックに充填します。

しかし、空洞の規模が大きくまた形状が複雑な場合は、施工管理が難しく材料・施工方法に改善の余地があります。また、沈下等によって空洞が再発するという欠点があります。

4) 川表側からの河川水侵入防止対策

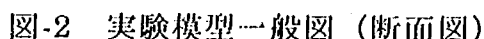
河川水の侵入を防止するための対策として、水叩き前面から堤防護岸上下流端を囲み、浸透水を新規矢板のみで遮断する連続矢板打設工法、あるいは、堤防護岸下、翼壁・胸壁・函体と堤体の隙間、構造物の隅角部や凸部における対策としての止水シート接合工法等があります。いずれの工法も河川水の侵入を防止するため、既設と新規構造物との接合部に

6) 押え盛土工

以上の対策工法の中で、2)の「遮水壁工法」については、土木研究所機械研究室において、局所掘削機械の開発および、遮水壁のみを再構築する工法の開発を進める予定です。

1-3 押え盛土工の効果に関する研究の動向

実験模型は図-2 に示すように、堤高 3.0m、のり勾配 1:2 の半断面の堤防を製作し、樋門（カルバート：幅 450×高さ 460×長さ 4,500mm）を剛構造物としての支持杭タイプを想定して、所定の位置に完全に固定しています。なお、樋門下は全て空洞という条件下（深さ 5cm の空洞部）で実施しています。



2) 実験結果

実験結果を図-3に示します。同図の横軸にはパイピング時の平均動水勾配を併せて示しており、土質研究室での研究成果から、平均動水勾配が概ね0.3以下であればパイピングを生じる可能性がほとんどないことを模型実験で確認しています。

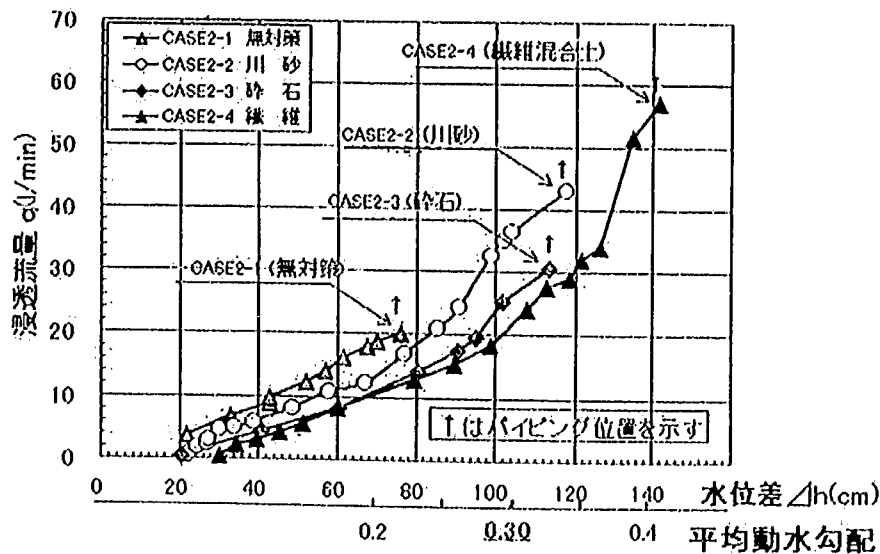


図-3 越流量と水位差の関係

今回の実験のように、樋門下が全て空洞という条件下では、平均動水勾配0.3を下回る0.2を示しており、空洞化している樋門は明らかにパイピングしやすいことが認められます。一方、押え盛土は、全ケースともに僅か10cmの盛土厚であるが、高いパイピング防止効果が認められます。

今回の実験では、砂の押え盛土は無対策に比べ水位差で約5割増し、さらに、土粒子を拘束している短繊維混合補強土では、最も高いパイピング防止効果が認められました。

現段階では、遮水工が樋門に密着していれば、強化対策としての優先度は低いと考えられますが、遮水工が完全に抜け落ちて、空洞部が全区間に渡り連通しているような場合は、堤防の浸透に対する安全性が低く、早急な強化対策が望まれることが明らかになっています。

その場合、堤防強化対策としての押え盛土工法は、遮水壁工法や、グラウト充填などに比べて施工が容易であり、確実にパイピング防止効果が期待できる有効な選定手法のひとつであることが明らかになりました。

さらに本試験時に実施した連通試験結果の代表例を図-4, 5 に示します。比較のために、無対策状態での結果と、遮水工を設置した状態での結果を併せて示します。

無対策の結果では、各マノメータの水圧変動量は明らかに整合一致しており、空洞部が連通していることが認められます。

一方、遮水工を設置した結果では、水圧の変化が遮水工の上下流で明らかに低下しており遮水工の効果が認められます。

これらの試験結果より、連通試験（水圧応答測定試験）は、樋門などの構造物に沿った空洞あるいは空洞を通じた水みちの連続性の状況が、水圧の変動量とタイムラグから直接把握できる有効なひとつの試験法であることが分かります。

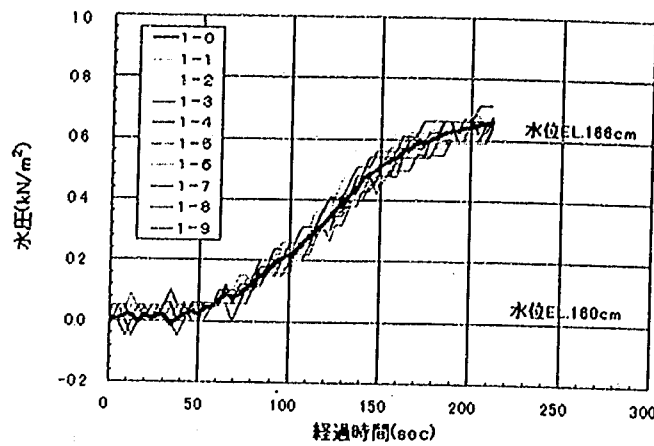


図-4 樋門下に設置した水圧応答測定結果（無対策）

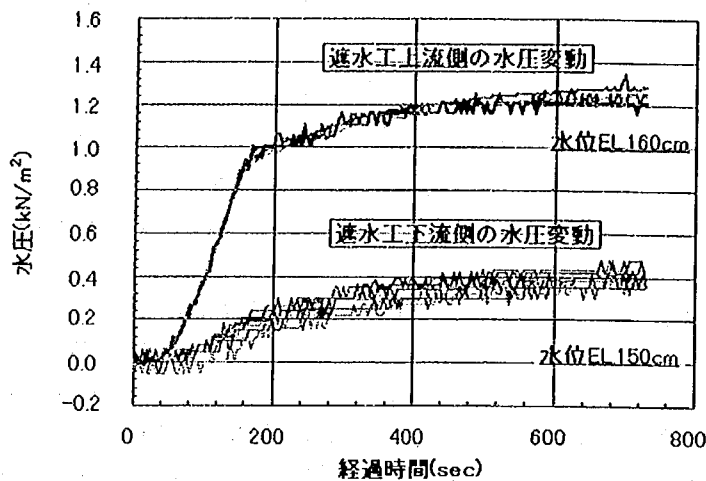


図-5 樋門下に設置した水圧応答測定結果（遮水工設置時）

2. コンクリート護岸背面の空洞化について

コンクリート護岸背面における空洞化の調査手法としては、目視、打診の他、地下レーダ探査、熱赤外線探査などがあります。

地下レーダ探査は、地下構造を断面的に捉えることができますが、鉄筋などが存在する場合には探査が難しくなります。また、連続波レーダ探査は、送信波形にパルス波でなく、連続波を用いたもので深いところまで探査可能ですが、コンクリートが厚いと使えないといったように適用限度があります。

熱赤外線探査は、広範囲を面的に探査することが可能ですが、空洞の深度分布を捉えることができず、コンクリート厚が 30cm 以上になると空洞の検出が難しいとされています。

このような、いずれの先端的な方法にも限界があるため確認ボーリング、ファイバースコープ、トレンチなどによる調査を実施することが望まれます。

コンクリート護岸の背面に空洞が発見された場合、基本的には既設構造物の撤去と再構築が望ましいが、場合によっては、空洞部にグラウトや砂などの良質材を充填し、必要に応じて、細粒分の流出を防ぐために底面に均しコンクリートを打設することなども考えられます。また、吸い出し防止シートを敷設することも効果的です。（図-6 参照）

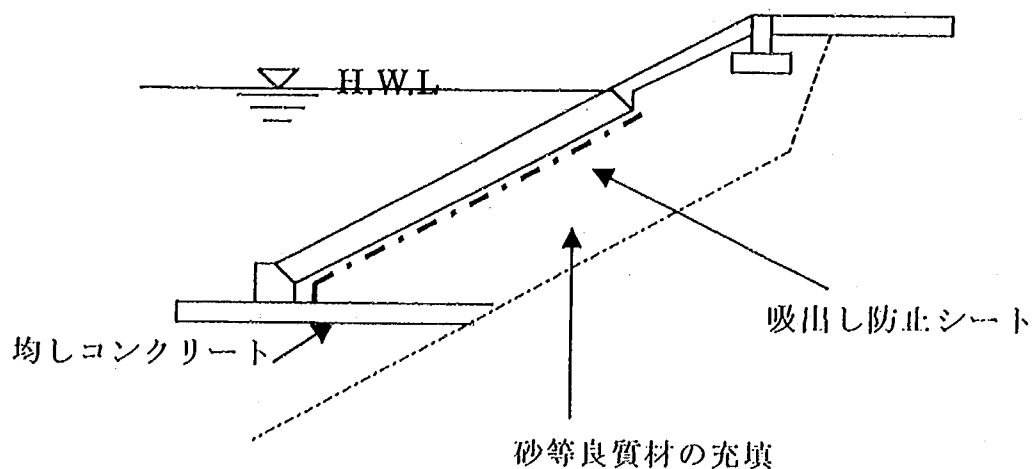


図-6 コンクリート護岸部の空洞対策

参考文献

- 1) 第52回建設省技術研究会報告 指定課題4 平成10年11月
- 2) 三木博史 他：樋門・樋管構造物周辺で生じた空洞の対策に関する検討、第34回地盤工学研究発表会報告論文集（2分冊の1）pp.169～170 平成11年7月
- 3) 北海道開発局漏水対策工指針作成委員会編：漏水対策工設計施工指針（案）昭和59年1月
- 4) 瀬川昭久 他：河川構造物と不同沈下対策、第29回北海道開発局技術研究発表会講演論文集、pp342-350,1985
- 5) 小林伸行 他：河川構造物周辺の変状対策工について、第33回北海道開発局技術研究発表会講演論文集(3)、pp245-250,1989
- 6) 石渡俊明 他：最上川下流漏水対策について、東北地方建設局第37回管内技術研究発表会、pp279-286,1985
- 7) 斉藤和徳 他：河川工作物周辺補強対策工事の施工、関東地方建設局局内技術研究発表会論文集、pp79-84,1985
- 8) 平井繁輝：軟弱地盤上に設置された樋門周辺の空洞化現象とその対策について、近畿地方建設局管内技術研究発表会論文集（河川部門）、p11-1-17,1986
- 9) 牧浦伸行 他：老朽堤防の漏水対策について、中国地方建設局管内技術研究発表会論文集、pp220-233,1987
- 10) 有吉和秋 他：樋門樋管の空洞化について、九州地方建設局管内技術研究発表会論文集、ppⅢ69-74,1988

12. 情報化施工の現状と将来

質問者：筑後川工事事務所

回答者：材料施工部機械研究室、施工研究室（内線 4722、4735）

質問

急速に発展している情報化技術を取り入れた施工法（情報化施工）について最近よく耳にするが、今後はこのような技術を活用した次世代の合理化施工法が益々重要になってくると思われる。

そこで、情報化施工と建設 CALS/EC との関係及び情報化施工の採用時における留意事項、並びに情報化施工の将来性についてご教示願いたい。

回答

①情報化施工の現状

現在様々な産業分野で、情報化技術を中心とした新しい技術の積極的な活用による生産合理化が図られてきている。建設産業では、建設 CALS/EC 等の取り組みが始まっており、また、新たな情報化技術を用いた施工技術も次々と誕生している。

情報化施工とは、情報化技術を建設生産に適用して情報の効率的利用を図ることにより施工管理を施工と一体的に行い、施工の効率性、安全性、品質の向上、省力化、環境保全等に関する施工の合理化を図る生産システムである。

現在では、電子計測機器を利用してフィールドデータをリアルタイムに計測・蓄積し施工管理に活用したり、あるいは、設計データ・フィールドデータを建設機械に組み込むことにより自動的に施工を行う等の情報化施工が行われている。

具体例としては、

(1) ダム情報化設計施工支援システム

ダムの建設工事に伴う、地質情報、地形情報、計画情報、出来形情報を全てパソコンに入力してデータ処理し、レイアウト設計、詳細設計、シミュレーション設計、工事計画、出来形管理等を出力機能として掘削数量の計算に利用する等迅速かつ高品質で提供しようとするシステムである。

(2) RCDコンクリート打設のブルドーザにレーザレベルセンサを採用

回転反射型のレーザ発光器とブルドーザの排土板に設置したレーザ受光器、運転席前方の表示器から構成され、運転手は表示器に示された高さに応じて排土板を操作する。厚さ管理の省人化が図られる。

(3) 3次元マシンコントロールシステム

平面的なXYの座標と高さZの座標を施工機械に情報として与え、この情報を処理して機械の一部を自動制御するものです。このシステムは、固定局と移動局から構成され、固定局には、建設機械を自動追尾し、その位置を確認するトータルステーション、更にその位置情報を作業機械に伝えるデータ通信装置があります。移動局の建設機械側では、その伝えられた位置情報、自分で検出した高さの情報、センサーからの傾き等の情報等をコンピュータで処理して、作業装置の油圧シリンダー等のアクチュエータを制御するものである。

従来の準備測量、工事施工、出来形検査の3工程を工事施工の1工程に集約できる。

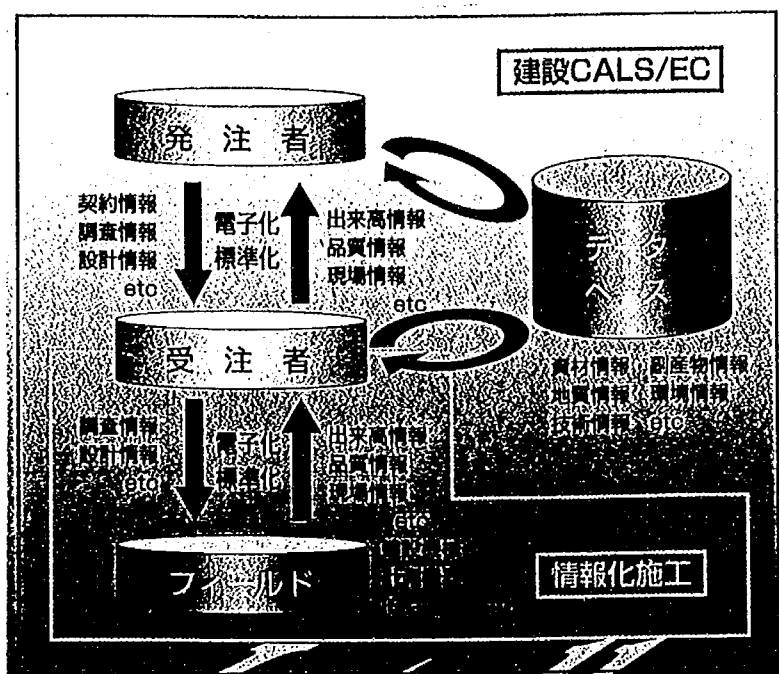
(4) 3次元位置自動制御型アスファルトフィニッシャ

設計図に示された数値をあらかじめコンピュータに入力し制御を行う。フィニッシャ位置はトータルステーションからのレーザ光をプリズムで反射し機械の位置を検出する。また、前輪ステアリンク角検出器、スクリード横断勾配検出用傾斜センサ等により仕上げ面の検出を行う。

②情報化施工と建設 CALS/EC との関係

建設 CALS/EC は、公共事業の調査・計画、設計、施工および維持管理の各段階で発生する各種情報を電子化し、関係者間での情報の交換・共有・連携を効率的に行うことでコスト縮減と品質の確保を実現することを目的としている。建設 CALS/EC は、情報の電子化と、一定のフォーマットやルールに則った情報の基準化・標準化、情報を交換・共有・連携するための情報基盤の整備を行うことであると定義づけられる。

情報化施工では、施工中の現場計測によって得られる情報を、迅速かつ系統的に処理、分析しながら次段階の設計や施工、維持管理に利用したり、今後の作業や機械制御にフィードバックする。また、施工にあたっては設計図などの設計情報を活用するなど、事業の各段階間での情報連携が不可欠となってくる。建設 CALS/EC、すなわち、交換する情報のデータ形式や構造等の標準化、各種コード体系の統一化により情報を相互利用する基盤を整備することによって、情報化施工の処理・管理するソフトウェアの開発も容易になる等、導入や高度化への動きが促進されると考えられる。



情報化施工と建設 CALS/EC との関係

③情報化施工の採用にあたっての留意事項

(1) コストについて

情報化施工を実現するには、適用する情報機器がまだまだ高価であり、安易に導入することは、コスト増を招く結果となる。このため、必要とする施工精度等を十分検討し、適切な機器を選定することが重要である。

(2) 対象工事の選定

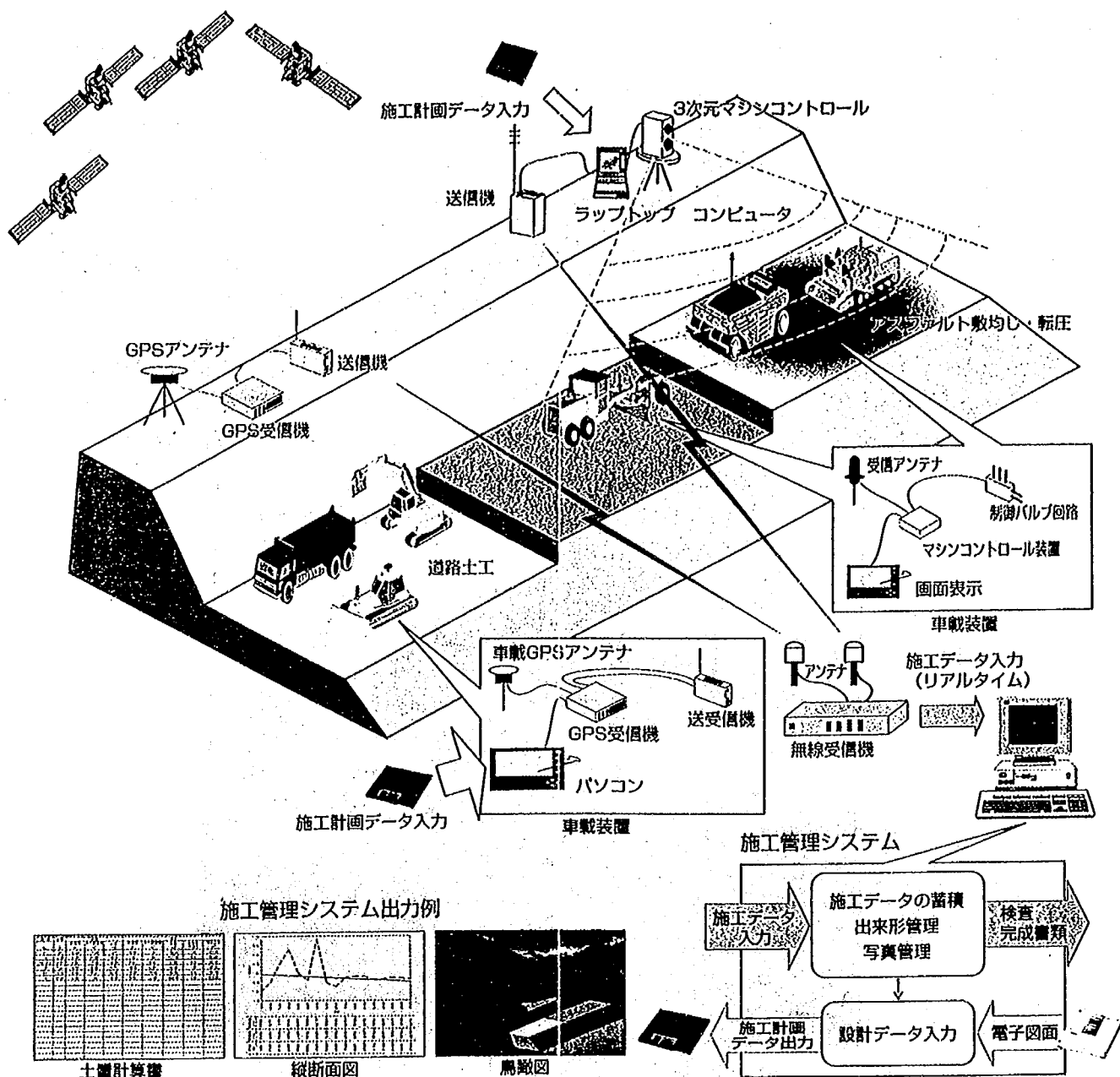
対象工事の選定にあたっては、その工事の施工フローを分析し、どの部分に適用することが効果的であるか、また、情報化施工に適した施工フローとするなどの検討が必要である。

(3) 導入環境の整備

建設 CALS/EC の推進などインフラ整備の推進も必要である。

④情報化施工の将来性

情報化施工のイメージ例を以下に示す。



情報化施工イメージ例

建設省では、情報化施工を支援するために、「情報化施工促進検討委員会」を設立し、産・学・官の連携の下に情報化施工の普及促進に向けた検討を行っている。また、建設省技術研究会において、「情報化施工による施工の合理化に関する研究」を本省建設機械課、土研機械研究室、地方建設局機械課が共同で実施している。

今後、計測技術や自動化技術を融合し、各作業間の連携を図ることにより、一連の施工の中で合理化を図る、本格的な情報化施工に向けた展開が期待される。

参考文献

- 1) 嶋津伸一：建設 CALS/EC の動向、土木学会誌、Vol.84、pp.43-46、1999
- 2) 建設省：情報化施工による施工の合理化に関する研究、平成 10 年度(第 52 回)建設省技術発表会 指定課題、pp14-1~14-20、1998
- 3) 情報化施工技術総覧編集委員会：情報化施工技術総覧、(株)産業技術サービスセンター、1998

13. 雲仙普賢岳における植生評価

質問者：雲仙復興工事事務所

回答者：砂防部砂防研究室（内線 4 5 2 1）

質 問

雲仙普賢岳は198年ぶりに噴火し、その後の火砕流と土石流により島原市や深江町に多くの被害をもたらしました。このような土砂災害から地域を守るため砂防ダムや導流堤などの建設を行っています。また、ハード対策が進捗する一方で、普賢岳周辺での自然は少しずつではあるが戻りつつあります。土砂流出抑制を目的とした緑化工を計画するにあたって考え方及び今後更に植生の回復を促進していくための手法についてご教示願いたい。

回 答

我が国の砂防事業では、山腹の荒廃地に土木的工事を補助手段として植生を導入し、植生によって水源地域における土砂生産の抑制を図る工事を山腹工と称してきた。古くから山腹工が施工されてきた田上山や六甲山地などでは、現在、植生が回復し緑豊かな景観が形成されている。つまり山腹工とは植生が有する防災機能や環境改善機能を活用して国土を保全する技術であると言える。

また一方で、昭和30年代後半の高度経済成長期以降、道路建設や宅地開発が活発になり、のり面の急速緑化のニーズが高まり、外国産芝草類を用いた緑化技術が発達した。

文献¹⁾によれば、緑化工とは、「裸地や荒廃地に植生を導入し、最終的には森林を造成する工事のことをいい、山腹緑化工事、荒廃地緑化工事のほか、道路や鉄道ののり面の緑化、環境林の造成や都市林の造成、砂漠緑化などが含まれる」とある。本回答では、山腹工など植生を用いた土砂流出抑制対策の全般を緑化工と称して回答を行うこととする。

植生を活用した技術である緑化工で重要なことは、植生が有する機能を的確に活用することである。したがって、砂防事業において緑化工を計画するにあたっては、植生の有する防災機能や環境改善機能が十分発揮されるように計画する必要がある。ただし、防災が主目的である砂防事業で実施される緑化工については、防災機能を優先させることは言うまでもない。計画の手順は以下のとおりである。

- ①まず、対象地域の土砂移動現象、降雨特性、地形・地質などの状況を良く把握し、土砂処理上どのような問題点があるのかを明確にする。
- ②その問題点に対して植生の機能によって対応が可能なのかを検討する。
- ③植生の機能によって対応可能であるのならば、緑化工を対策の候補の一つとして挙げておく。（ここで緑化工以外の対策が考えられない場合には、緑化工を実施するものとする。）
- ④他の対策手法との優劣を、確実性、経済性、生態系に与える影響、速効性などの観点から比較する。
- ⑤検討の結果、緑化工による対策の方が適しているということであれば、活用する植生の機能が最も有効に発揮されるような緑化工の工種を選択し実施する。

この手順に基づき適切な緑化工を選択するためには、基礎的な知識として、植生の機能と緑化工技術について理解しておくことが必要である。そこで、本回答では、以下に植生の機能と緑化工技術の基本について解説しておく。なお、実際の緑化工の計画にあたっては、事業箇所の状況・特性を十分に把握した上で、本回答を参考に、有効かつ適切な緑化工を選択していただきたい。

(1) 植生（砂防林）の機能

太田は、森林の機能を総称して「森林の社会的機能」とし、これを①物質生産機能、②環境保全機能、③保健・文化機能、④生態系維持機能などに大別している²⁾。砂防事業においては、これらのうち防災機能と環境改善機能を有する植生の群落を砂防林と称することとする。砂防林の機能を整理して表-1に示す。さらに、特に砂防事業と関係の深い機能についてはその内容を以下に記す。

①表層崩壊防止機能

急斜面を覆う表層土（土壌を含む低密度の斜面表層物質）の小規模な滑落である表層崩壊を防止する機能である。

表層崩壊防止機能は、根系のネットワークにより土塊を緊縛する作用、下層の堅固な地層に食い込むことによる杭作用等により土層の剪断抵抗力を補強し、また他の根株と根株の相互の連なりによるアーチ作用や、パイピング崩壊に対するフィルタ作用などによるものである。

②表面侵食防止機能

表面侵食防止機能は水、風、雪などによる地表面の侵食を、樹冠、下層植生、落葉落枝による保護作用等により防止する機能である。特に斜面においては水食、特に雨滴と地表流による侵食が大きな問題となる。

③落石防止機能

落石防止機能は、落石の発生を防止し、その運動を抑止することにより落石を防止する機能である。

落石発生の防止は樹幹、根系による岩石基部の侵食の防止、強風の緩和などによる。落石運動の抑止は落石の立木への衝突による衝撃吸収作用などによる。

④土砂流出抑制機能

土砂流出抑制機能は崩壊や侵食などにより発生した土砂を、斜面下方の森林で阻止し、土砂が下流に流出することを抑制する機能である。

表層崩壊防止機能や表面侵食防止機能は土砂の生産を防ぐ機能であるが、本機能は生産された土砂の流出を防止する機能である。下流への土砂流出を抑制するという意味では土石流発生抑制・堆積促進機能と重なる所はあるが、この機能では掃流、浮遊土砂等の流出抑制機能も含む点で異なる。広義に解釈すると、樹林による溪流の土砂移動の抑制、土砂の捕捉機能も土砂流出抑制機能と言える。

⑤溪岸侵食防止機能

溪岸侵食防止機能は溪岸の植生が抵抗となり、洪水時に溪岸の流速が減じられることや、根系で保護されることで溪岸の侵食を防止する機能である。

この機能により、溪岸の横侵食を防止し、堤防の決壊を防ぎ、また流路の安定がもたらされる。

⑥土石流堆積促進・発生抑制機能

土石流堆積促進機能は扇状地上の森林において土石流に含まれる石礫が樹林と衝突することで、土石流の運動エネルギーを減少させ、堆積を促進する機能である。また森林は流路への崩土の侵入を防ぐことなどにより、土石流の発生機構に影響を与え、土石流の発生を抑制する働きがある。これが土石流発生抑制機能である。

表－1. 砂防林の主たる機能・効果一覧

効果		機能	内容
砂防効果	①土砂災害防止効果	・表層崩壊防止機能	斜面を覆う表土層の崩壊を防止する機能
		・表面侵食防止機能	表土の土粒子の剥離、移動を防止する機能
		・崩土・落石防止・堆積機能	斜面からの崩土流出・石礫の転落を防止し、又捕捉する機能
		・土砂流出抑制機能	崩落などにより発生した土砂の流出を抑制する機能
		・溪岸浸食防止機能	流水による溪岸土砂の剥離、運搬を防止する機能
		・土石流発生抑制・堆積促進機能	土石流となる不安定土砂の発生、溪流への流入を抑制し、移動状態にある土石流の堆積を促進する機能
その他の防災効果	②雪崩防止効果	・雪崩防止機能	積雪移動を防ぎ、また一旦発生した雪崩を減勢する機能
	③防風効果	・風速緩和機能	風の流れを乱し風速を緩和させる機能
	④防火効果	・延焼防止機能	火災の拡大を防止する機能
	⑤防雪効果	・吹雪防止機能	風の流れを乱し森林後方での吹雪の発生を防止する機能
	⑥防霧効果	・大気水分捕捉機能	大気水分(霧)を樹体に付着させ捕捉する機能
	⑦水資源保全効果(水源涵養)	・水量調節機能	河川、溪流の洪水流量の低減等、流量を平準化する機能
環境に関する効果	①水資源保全効果(水源涵養)	・水質浄化機能	流出水の水質を良い状態にする機能
	②大気浄化効果	・汚染物質吸収機能	ガス状の汚染物質を気孔から吸収する機能
		・塵埃吸着機能	大気中の塵埃を樹体表面に吸着させる機能
	③気象緩和効果	・炭素固定機能	光合成作用により大気中の炭素を固定する機能
		・気温変動緩和機能	太陽エネルギーを気化熱に変換し気温変動を緩和させる機能
	④生態系維持効果	・生態系維持機能	森林が物質循環や熱収支を介して生態系を維持する機能
	⑤景観保全効果	・景観保全機能	緑によって景観の保全・向上に寄与する状態

(2) 緑化工の基本

有効かつ適切な緑化工の手法を選択するためには、以下の緑化工の基本を理解しておくが良い。

① 緑化工の種類

緑化工は、図-1のように整理することができる。これらの工種の詳細については、各種関連する文献^{6), 7), 8)}等を参考にされたい。このうち、緑化工の根幹をなす植生工（植生を導入する工法）には、播種工（植生を種子から導入する工法）と植栽工（植生を植栽により導入する工法）とがある。

我が国の砂防工事では、田上山の山腹工に代表されるような苗木を用いた植栽工が主流をなしていた。一方、播種工による緑化技術については、昭和30年代後半、高度経済成長が始まった時点を出発点として発展したものである。これは、鉄道・道路・住宅団地など大規模土木工事が始まり、土木技術の急激な進展に対応して、エアーガンあるいはポンプによる機械化、種子・肥料・マルチング材料を一体とした製品化、発芽・初期成長の早い外国産芝草類と複合化肥料の導入により、「急速緑化工法」として開発され発展してきたものである。

しかし現在の緑化工技術は、植栽工と播種工のどちらにしても、単に「裸地のり面の侵食防止技術」としてではなく、「破壊された自然環境・景観を復元する技術」としての役割も大きくなってきており、自然植生を復元するための技術のウエイトが高くなりつつある⁹⁾。

② 緑化工に関する留意事項

緑化工の選択にあたっては、その求められる目的、勾配や地質、周囲の植生等の対象地の特性などに応じて、その場所に最も適切な工法を選択するということが重要である。また、緑化の目標を森林とした場合には、目標とした機能を発揮するには20年以上の長い時間がかかることから、その間に適切な管理が必要となる場合もある。緑化工とはこのような性質を持っているものとして認識しておくことが必要である。

参考文献

- 1) 太田猛彦ほか編：森林の百科事典、丸善、p. 634、1996
- 2) 太田猛彦：農業土木技術者のための森林保全学（その1）－森林生態系の活動とその機能－、農業土木学会誌、Vol. 64、No. 1、p. 61-66、1996
- 3) 只木・吉良編：ヒトと森林 森林の環境調節機能、1982
- 4) 小川滋：農業土木技術者のための森林保全学（その7）－森林の防災機能（2）－、Vol. 64、No. 8、p. 927-934、1996
- 5) (社) 日本治山治水協会：森林の公益的機能に関する文献要約集、1988
- 6) 亀山章ほか編：最先端の緑化技術、(株) ソフトサイエンス社、1989.1
- 7) 小橋澄治ほか編：のり面緑化の最先端、(株) ソフトサイエンス社、1995.4
- 8) 村井宏ほか編：治山・砂防緑化技術、(株) ソフトサイエンス社、1997.9
- 9) 日本緑化工協会：緑化工のあゆみ、p. 2-5、1995.11
- 10) (社) 道路緑化保全協会：植生復元の技術的指針、1986.

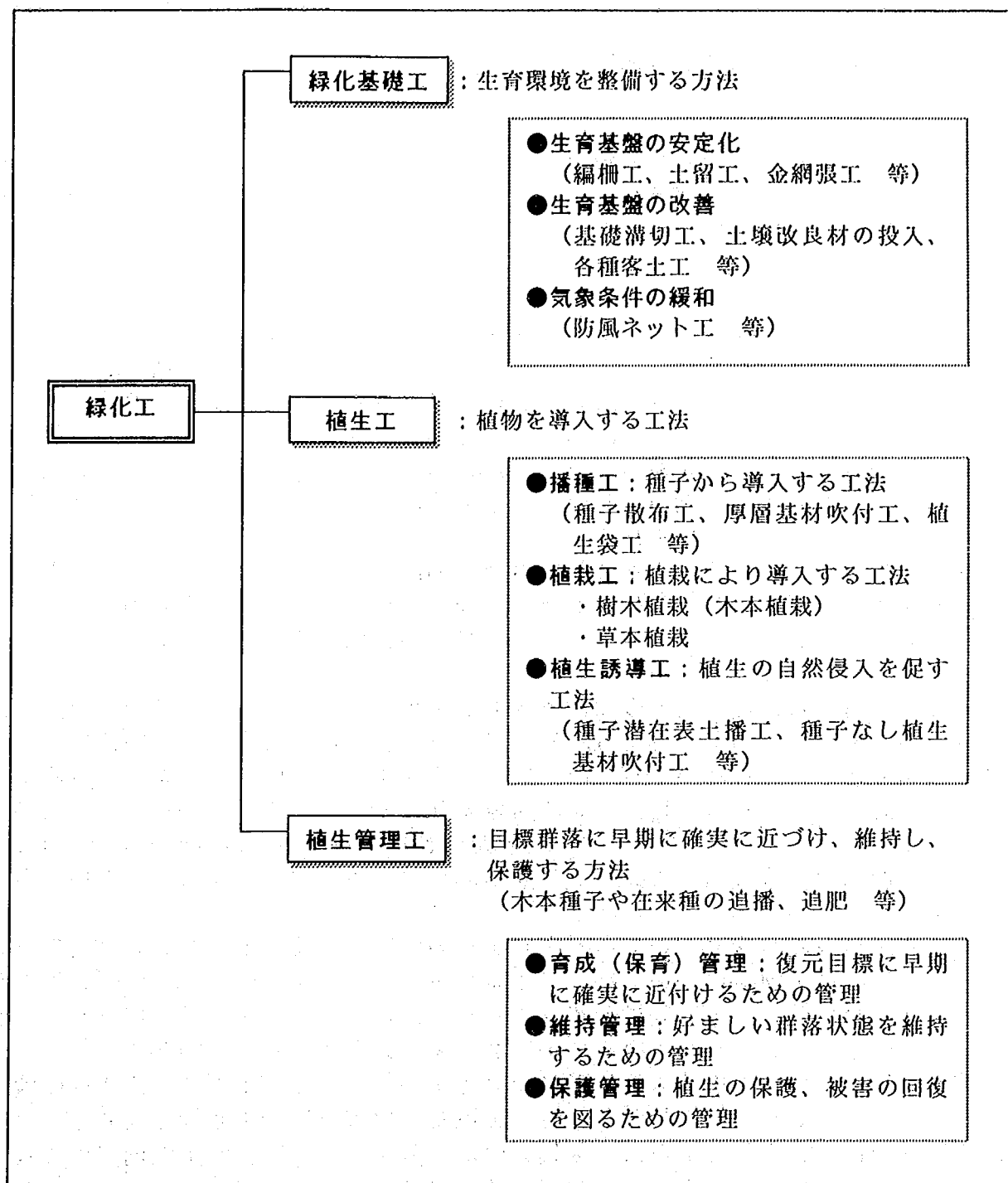


図-1 緑化工技術の体系

*文献 10) の山寺の分類を一部修正

14. 富栄養化対策の効果解析手法

質問者：遠賀川工事事務所

回答者：環境部環境計画研究室（内線 4 1 2 4）

質問

遠賀川河口堰貯水池の富栄養化対策（アオコ発生）としてジェット噴流によるDO改善及び大型捕集籠による植物性プランクトンの休眠孢子削減を図っているが、その効果解析手法について御教示願いたい。

回答

窒素・リン等の栄養塩濃度が高い水が流入する貯水池では、植物性プランクトンの増殖に十分なほど滞留時間が長くなるにつれて、植物性プランクトンの大量増殖に伴う、水の着色、着臭等の問題が発生したり、底層においては、有機物の分解に伴う溶存酸素の欠乏に伴う、栄養塩や鉄、マンガン等の溶出といった問題が発生することがある。

アオコは、表層に集積した藍藻類（特に *Microcystis aeruginosa*）による水の着色現象であり、富栄養化した貯水池・湖沼において、水温の高くなる夏季に安定した水温成層が形成された場所でしばしば見受けられる。

本質的な対策としては、流入する栄養塩濃度の削減が考えられるが、流域全体を対象としない限り達成は困難であり、即効的対策とはなりづらい。そこで、次善の策として貯水池内での対策を考慮せざるを得なくなる場合が多いが、栄養塩濃度を貯水池内対策で低減しようと言うのは、無理な場合が多い。

以上の様な理由から、貯水池の環境に改変を加えてアオコの発生だけは何とか押さえたいというのがご質問の意図だと考えられる。アオコは、成層が安定し長時間滞留した水塊の表層に集積するという特徴があるため、このような水塊の形成を極力妨げる方法が考えられる。深い貯水池であれば、鉛直方向の循環を起こすことにより、かなりの効果が期待できるが、河口堰貯水池では、水深も浅いため鉛直循環の効果も制限されると考えられる。このため、表層水の放流方法の工夫により効率的にアオコをフラッシュするという方法がアオコ対策としては効果的と考えられる。

ご質問で底層DOの改善については、底層からの栄養塩溶出の削減でアオコ発生量を減らす、また、休眠孢子削減については、アオコ発生までの時間をのばすということが目的と考えられる。DO改善による効果を解析するためには、利用可能な栄養塩として底質からの溶出がどの程度の寄与をしているのかを算定する必要がある。このためには、まず、主たる流入河川からの栄養塩流入量の正確な算定が必要になる。平水時、洪水時の流入栄養塩負荷量、また、貯水池から放流される栄養塩量を出来る限り正確に見積もることで、外部から貯水池にどれ程栄養塩が供給されるのかが分かる。また、貯水池内での栄養塩濃度変化が、外部からの流入、下流への放流に伴いどのようになっているかについて知る必要がある。これらデータを解析することにより、底泥からの溶出が夏季の貯水池での栄養塩濃度上昇にどれ程影響しているかが分かると考えられる。もし、この寄与が多大であれば、栄養塩削減としてのDO改善効果も期待できる。

休眠孢子の削減については、現在までのところあまり知見がそろっていない。ただし、藍藻類の増殖速度は、条件がそろえばかなり速く、1日に2倍以上に増殖することも可能なことさえあると考えられる。この場合、理論的には休眠孢子を半分除去しても、藻類の量は1日あれば何もしない場合と同じになる。さらに、実際、半分の休眠孢子を除去するというのは非常に困難であろう。また、籠を設置すれば、本来沈降せず流下したであろう懸濁物まで捕獲することになり、その効果は、はっきりしない。

休眠孢子の影響については、これが実際のアオコ発生にどの程度関連しているのかを定

量的に調べる必要がある。このためには、アオコ発生時の貯水池全体でのアオコ量の変化を観測し、説明が付きにくいほどの急激な発生がしばしば見られているのであれば、休眠胞子の影響も大きいと考え得るが、このような観点から行われた調査事例も豊富ではないため、今後、当該貯水池において、調査を進めることが必要と考えられる。

15. 河川事業における自然環境の保全・復元技術

質問者：宮崎工事事務所 大淀川砂防出張所

回答者：環境部河川環境研究室（内線 4 1 4 1）

質 問

当事務所では、国立公園内で事業を行うことが多く、自然環境保全に配慮した工事手法の採用の考え方に苦慮している。

そこで河川事業における自然環境の保全・復元の技術についてご教示願いたい。

回 答

1. 河川の自然環境保全目標

河川のどのような状態を目標に自然環境の保全、復元を考えれば良いのだろうか。これについては、これまでさまざまな考え方が提案されている。

奥田¹⁾は河川空間の多様性を高めるためには、生物的に評価の高い地区を選定し、その保全対策を講じ、人工化により単調化した地形では変化に富んだ生物の生育環境の創出が早道であるとし、創出にあたっては目的とする生物をあまり限定せず河川の営みにゆだねる方がよいとしている。

桜井²⁾は生育、生息環境の復元にあたっては重要種を取り上げて個別的あるいは局所的に考えるのではなくすみ場の仕組みを体系的に捉える必要があるとしている。

森³⁾は河川改修計画の中で何を選択するのかは、例えば、生物がその河川の水利条件下で繁殖し摂食して、世代交代が維持できるような環境設定を目標として行われるといいとし、またとりあえず少し前（高度成長期前）を背景としつつ自然環境を現在の生活域にいかに取り込めるかを問題にするとしている。

玉井⁴⁾は大規模河川復元工事の主要な目的は a) 自然の攪乱と更新 b) 縦・横方向の連続性 c) 河川形態の多様性に着目し、これらの要素に関する現在の水準を向上させることとしている。

辻本⁵⁾はダム等の大規模、急激なインパクトが与えられなかった場合から現況を推定し「現時点での潜在自然河相」を目標にするという考え方を提案している。

Bravard et al⁶⁾は欧州では 1950 年代よりも前の状態を基準とするのが实际的で、それよりも前の状態を標準とする時には 19 世紀から 20 世紀の人為攪乱前の状態を理解し、復元する事を意味するとして、河川復元の目標をまったく人間の手が入っていない無垢の状態に置くことはできないとしている。

National Research Council⁷⁾は沖積地エコシステムの基本は物理的システムの動的平衡であり、それゆえ目標は河道や堤防の安定ではなく、河川の動的平衡の復元であるべきであると述べている。そして 4 つのゴールを示している。自然の土砂や流量レジームの復元（restoration）、自然の河道の復元、自然の河畔植生の復元、地域固有の動植物の復元である。

これらの意見は少しずつ異なるが、共通性は高い。共通点は a) まったく人為が入っていない状況ではなく大きなインパクトがある前の状況を目指す（高度成長期前、1950 年代以前、ダムなどの大規模インパクト以前と少しずつ異なる） b) 攪乱などを含めた、生息環境が保たれるシステムを保全する。

具体的には

- ①改修する前の比較的良好な環境を規範にする。
- ②近傍の河川で自然環境が良好に保たれている河川を規範にする。
- ③人為的な影響が軽微であった数十年前の状態を規範にする。

2. 空間スケールと自然環境の保全・復元の対象

河川の自然環境保全技術を保全対象という観点から分類すると、自然環境を成立させている物理的環境を保全する技術と移植・移動や放流などの直接的な生物を対象とした保全技術に分けることができる。土木事業の場合、前者が中心であるが大規模工事に伴う貴重種の移植など生物を直接対象とした技術もミティゲーションではよく用いられる。また自然環境を保全する際の操作要素と管理行為を河川について、まとめたのが表-1である。自然環境の保全技術というと多自然型護岸や水制、ヨシ原の復元、ワンドや湿地の整備など地先レベルの要素技術を思い浮かべがちであるが、流域レベルの大スケールの管理技術や中レベルの河道計画等の技術も自然環境の保全技術としては重要である。スケールが大きい物ほど影響を与える空間と時間の範囲は大きくなる。

例えば大スケールの技術としては流域の水循環システムを対象とした技術があげられる。都市中小河川では都市化による浸透域、保水域の減少、流出率の増大、地下浸透量の減少、湿地の減少などにより、河川平常時流量の減少、湧水の減少、流域間の水域の分断化などが生じ、結果としてさまざまな生物が影響を受けている。これらの流域レベルでの自然環境の変化に対応する保全技術はやはり流域レベルで対処する必要がある。実プロとしては千葉県海老川などで動き出している

(図-1)。これはいわゆる水循環を昔に戻そうという水循環再生プロジェクトであるが、自然環境復元プロジェクトの一つによって捉えることができる。雨水貯留、浸透、水の再利用、緑地の維持・創造、下水処理水の再利用などの要素技術が組み合わされ、浸透量、表面流出量などの水循環量が復元され、さまざまな波及的環境改善効果が現れる。

そのほか流域レベルとしては土砂のコ

表-1 河川の自然環境保全対象となる操作対象と管理行為

スケール	操作対象	管理行為
大 流域	土砂生産 放流量 貯留、浸透量 土地利用 コアエリア	土砂コントロール 流量コントロール 浸透促進、流域貯留増大 流出負荷量抑制 森林、湿地等の保全
中 区間	川幅、低水路幅、勾配 流量 水温 水質 種群	河道計画 処理水の放流 河川林復元 直接浄化 移動路の確保 有害種の排除
小 地先	流速、水深、底質、空間構造 河岸材質、構造 土壌、種	河岸、河床処理、 ワンド等ハビタット復元 覆土、移植、

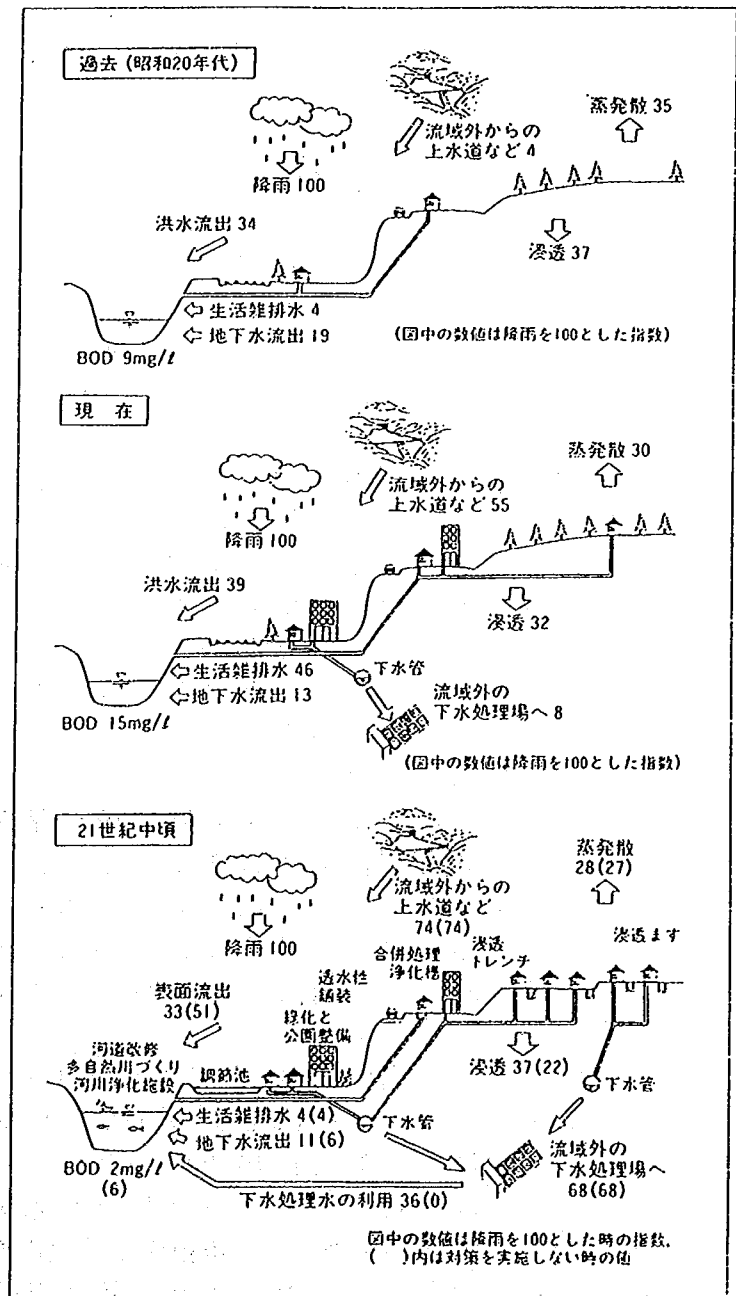


図-1 水循環再生構想・千葉県海老川の例

ントロール、流量のコントロールなどが重要である。流量に関しては正常流量を確保することで、環境保全、自然環境に配慮しておりその流量の決定の仕方が一つの計画技術である。

中レベルになると、河川と周辺環境との位置関係、河道の曲がり、低水路の幅・深さ・勾配など河道計画の技術が自然環境の保全にとって重要となる。周辺の崖地・樹林地と川が近接したままか、湾曲にともなう瀬、淵が維持できるような平面計画になっているか、支川や用水路との連絡、縦断方向の急な落差などに十分注意された縦断計画になっているか、河床は平坦にならないかなどの河道計画レベルの技術である。

また高水敷の高さは冠水頻度やその上に堆積する土壌と関係し植物の種類を規定する。陸域に棲む多くの生物は植物の種類に対応して棲み分けている。

これら中スケールの自然環境保全技術の代表例として、災害復旧の際みごとに階段状河床形態を復元した愛知県の加納川、河畔林を島状に残しながら河道拡幅を行った千曲川、群馬県の粕川、周辺の崖地から離さず、旧法線を尊重した高知県の土生川、過去の資料に基づき河道を復元した鳥取県の八東川などいくつかの優れた事例をあげることができる。

地先レベルでは、具体的なハビタットの保全が様々な形で行われている。近年の河道改修や流域の開発によりワンド、クリーク、湿地などの氾濫原的空間の減少、水域間の分断化が生じてきている。これらの環境を復元するため水制、多自然護岸、ワンド、湿地などがまた連続性を確保するため魚道などが多くの川で整備されている。

また治水利水目的で行われる大規模工事では環境への影響を最小限にするためのミティゲーションがおこなわれている。アメリカのミティゲーションが代償が中心であるのに対して日本のミティゲーションは、回避、最小化、代償等さまざまな技術が組み合わされ、きめ細かく適用されるのが特徴である。釧路地震で大きな堤防災害を被った釧路川の復旧時に行われたミティゲーションは我が国を代表する優れた事例である。釧路湿原にしか生息しないキタサンショウウオの産卵池の代替地の整備、卵塊の移植、タンチョウなどの鳥類に対する工事騒音の低減、湿地内水循環を絶たないように地下水流動分析を行い仮堤防に用いた穴あき鋼矢板、工事中の土砂が湿地内への流入を防ぐための土砂止め工、工事中の火事を防ぐための工事箇所での喫煙の禁止・喫煙場所の設置、工事中の徹底したモニタリングとキタサンショウウオへの事後モニタリングの実施など実にきめ細かいミティゲーションが行われ成功を収めている。この他にもオオサンショウウオ、サクラソウなど貴重種については各地でさまざまなミティゲーションが行われている。

一方、湖は河川とは異なり、流域対策と地先スケールの湖岸域の植生帯の回復などの技術が中心となる。湖岸堤建設時に植生帯が失われたところでは水深が建設前より深くなり、あわせて波浪高も大きくなることから植生を復元するためには波浪抑制をあわせた技術が必要である。霞ヶ浦、諏訪湖、琵琶湖など多くの湖で湖岸域の植生復元が始まっている。また浮島や浮き産卵床を用いた水域での生物生息場の確保や産卵場の造成も霞ヶ浦、琵琶湖、朱鞠内湖などで行われている。

3. 河川の自然環境の保全・復元手法および重要な概念

(1) 何を保全するか？何に手をつけるか？を良く考える

現況の河川環境が良好で河川改修などにより改変される場合、自然環境上何が重要で、何は手をつけて良いのかと言う判断が重要となる。それらを判断する基準は、①川の固有性、②その川の個性、③復元性、④多様性などである。

①の川の固有性と言うのは、森林や雑木林、湖沼などにはない川固有の環境は保全の優先順位が強い。外来種よりも在来種の方が保全の優先度は高い。木を切らなけれ

ばならないのならば、河畔に生える木であるハンノキのほうが植林された杉よりは残す優先度は高い。このように川ならではのものがどうか一つの判断基準となる。

②川の個性というのは、他の川にはないその川特有の環境はなるべく保全するという考え方である。

③復元性と言うのは、一度壊したら自然の力ではなかなか元に戻らないものは、保全しよう、逆に言うと、自然の力ですぐに復元するものは無理をして保全する必要はないという考え方である。

このようにいくつかの軸によって何を残すべきか、何から手をつけるべきかを考えるべきである。

(2) ハビタットの連続性や一つの固まりの大きさを良く考える

生物が生息するためには生息場の固まりとしての大きさや生息場と生息場のつながりが重要である。川の場合には、まとまりのある河畔林や崖地、ある程度の大きさをもった淵、川の縦断方向のつながり、支川やワンド、周辺の崖地また川の中の陸域と水域などの横断方向の連続性を確保する事が重要である。

(3) 自然の形を読み、真似る

川の形は水の流れの力と上流から流れてくる土砂により形作られている。従って、現在の川の姿を良く観察し、川の縦断的な勾配や横断的な形やワンドや淵などのハビタットがなぜ出来ているのかを考える必要がある。水面幅や縦断勾配は必然的に出来ている場合が多いので、改修後大きく変えてしまうと維持に問題をきたすことが多い。

計画立案者に求められる能力は新しい形状を創造する能力ではなく、現状を成立させている要因を読み、理解し再現する能力である。

(4) 自然に形作らせる

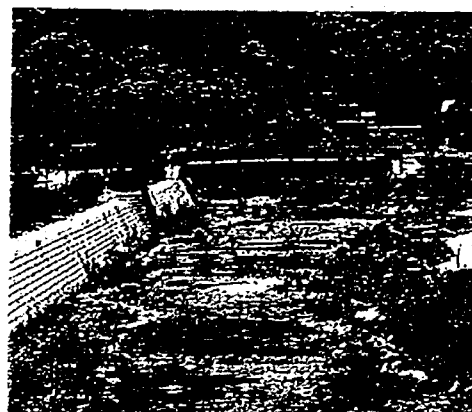
写真－1を見てもらいたい。北九州市の貫川の例である。一番上は改修する前、真ん中が施行直後、一番下が施工後一年を経過した状態である。

土砂生産地に近いこの川は川の力ですぐにもとの川幅に戻ってしまう。このような作用は川幅縮小機構と呼ばれる川の自然復元作用である。この河川の計画のポイントは、川幅を広げ川の自由度をあげたこと、堆積を促進し、瀬や淵などを作るためのきっかけとなる大きな石を配置した事にある。これらの巨石は川に絶妙の蛇行点を与えたことによって多様な環境を作り出している。

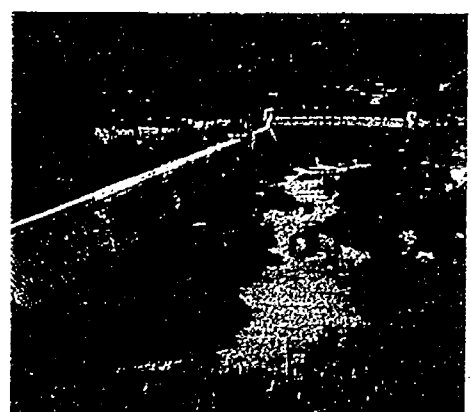
以上のように河川の自然環境の保全のための技術の底流には川の形を形作る基本は河川で、人間はそれに手を貸すというスタンスである。あくまで主役は河川であって人間は脇役、そういった計画手法である。



改修前



改修後10ヶ月経過(1994.6)



改修後2年経過 (1995.7)

写真－1 北九州市 貫川

(5) 変動を許容する

自然環境の保全のための技術の基本思想の一つとして当初の形が変形するのを許容するという考え方をあげることができる。

植生は遷移し、地形は変化するのを前提にする。植生の遷移を押さえるために水面との比高差を小さくするなどの手法が考えられるが、しかし完全にコントロールすることは難しい。河川に生じるワンドなども洪水の流路が取り残されてできる場合が多くこのようなものは洪水のたびに形や大きさそして位置が変わる。このような変動を許容する考え方が非常に重要である。

以上のように自然環境保全・復元のための計画手法の基本的な考え方を幾つか述べたが、これまでの決定論に基づいた、人間中心の計画、設計手法とは大きく異なる。主体は人間ではなく自然であり、設計計画者は黒子に徹し、自然を活かすことが中心である。オリジナリティーよりも自然を理解し再現する能力が問われる。構造物も目立つことよりも自然の中にいかに溶け込むかが重要であり景観設計もそのように行われることが望ましい。

参考文献

- 1) 奥田重俊：日本における氾濫原植生の特性、河川の自然復元に関する国際シンポジウム論文集、pp.109-115、1998 山田常雄ら編集：岩波生物学辞典第3版、岩波書店
- 2) 桜井善雄：河川における生息環境の保全・復元の基礎としてのビオトープ階層論的手法、河川の自然復元に関する国際シンポジウム論文集、pp.155-160、1998
- 3) 森誠一：自然への配慮としての復元生態学と地域性、応用生態工学 1(1)、pp.43-50、1998
- 4) 玉井信行：河川の自然特性と潜在自然型河川改修の基礎体系について、河川の自然復元に関する国際シンポジウム論文集、pp.77-85、1998
- 5) 辻本哲郎：河床低下による河川景観の変質とその回復－河川水理学的アプローチ－、河川の自然復元に関する国際シンポジウム論文集、pp.167-172、1998
- 6) Bravard J.-P., Landon N., & Picgay H. : Example of River Restoration in Braided Rivers of Europe、河川の自然復元に関する国際シンポジウム論文集、pp.61-70, 179-189、1998
- 7) National Research Council : Restoration of Aquatic Ecosystems. Academy Press、pp.206-207、1992

16. 性能規定方式の今後の動向

質問者：道路公団九州支社

回答者：新材料開発研究官（内線 4 7 1 2）

質問

昨年度、建設省（2 件）及び J H（1 件）「性能規定方式」による舗装試験工事が発注されたが、今後の動向についてご教示願いたい。

回答

1. 性能規定の現状

（1）建設省以外の機関の状況

- ・建築分野では、建築基準法の改正に続いて品質評価の社会的システム、性能の具体的な基準等の検討を行っている。
- ・土木学会コンクリート委員会で標準示方書の性能規定化の検討が行われている。
- ・その他、港湾関係の性能規定を考慮した技術基準の改訂、電力関係で LNG タンクの性能規定発注などがある。

（2）建設省内での状況

- ・道路防護柵やダムせき施設などの技術基準が性能規定の考え方を導入して改訂された。（平成 10 年度）
- ・道路橋示方書を平成 12 年度を目途に性能規定化すべく検討している。
- ・性能発注として低騒音舗装がある（平成 10 年度）。また過去に性能規定と認識せず性能規定的な考え方で発注したシールド工事の例などがある（平成 8 年度）。
- ・土木研究所では品質管理体系に関する総合技術開発プロジェクト（平 9 - 12）の内で性能規定について研究をしている。主な内容は性能規定化と品質管理、品質検査手法の合理化、性能規定による発注手法などで、参加研究室は構造、橋梁、機械、化学、コンクリート、施工、建設マネジメント研である。

（3）現状認識

土木関係での性能規定化は世界的にも少なく、現況では性能規定に関する基礎的な概念整理も十分でない。ただノルデック建築基準委員会の NKB レベル（表 1）に関しては共通認識になりつつある。

表 1 性能規定システムの NKB レベル₂₎

2. 今後の動向

（1）一般的な動向

性能規定を実際に適用する場として、「技術基準の作成」と「発注」がある。発注については、現場における条件が整えば現在でも現場に合った性能発注が可能と考えられる。基準については舗装、橋梁につ

レベル	内 容	強 制 的 注 1)	定 性 的 注 1)	例 建築の音響に 関して
レベル 1a	Overall goals（全体 目的）	○	○	使用者が快適である ような音響環境
レベル 1b	Functional areas（機 能領域）	○		建築物内活動が必要 とする範囲での 不快音の遮音
レベル 1c	Operational requirements（機 能 要求）	○		隣室からの音が 5 8 db 以下
レベル 2	Verification（検証、 証明）	△		試験方法
レベル 3	Examples of Acceptable Solutions （適合する解の例）			壁の材料、寸法

注 1) ○は該当することを、△は部分的に該当することを、
空欄は該当しないもしくは記述していないことを示す。

いて以下の状況であり、他に土工、トンネル、塗料などが研究段階で検討されている。

今後の方向として、低騒音舗装のようにニーズから性能を規定したり、道路防護柵のように検証法そのものを規定したりすることが考えられる。一般的には完全な性能規定システムを作るには、表1のレベル2(検証法)を明らかにする必要がある。それが困難な場合には、定性的な性能規定とその性能に適合したと見なせる解の例を示すことになる。

(2) 舗装について

舗装分野においては、平成10年度の関東地方建設局における性能規定発注の試行を受けて、平成11年度も低騒音舗装に関して各地方建設局において試行が行われる予定である。性能規定発注方式が実用可能かどうかはこれらの試行の結果を待つ必要があるが、現段階では積極的に性能規定発注を推進していく予定である。

(3) 橋梁(コンクリート橋を含む)について

平成12年度を目標に道路橋示方書の改訂作業を行っており、代替案を許容する柔軟な示方書へ移行を目指している。ただし、新示方書への円滑な移行を重視しているため、当面は現行の規定をそのままみなし適合仕様として残す予定である。したがって大半の業務に対しては従来通りを許容し、一部先進的な工事を推進することになる。本格的な性能規定への種々の改訂は、第2段階として引き続き作業を行う予定である。

17. 道路整備の事業評価

質問者：大分工事事務所

回答者：道路部道路研究室（内線 4621）

質問

道路事業の評価については、非市場価値（アメニティ、防災等）の評価や地域間公平性等が懸案事項となっており、地方部における道路整備の事業評価については、より長期的視点からのストック効果的なものを加算すべきという声もあるが、事業評価に対する新しい考え方や今後の動向についてご教示願いたい。

回答

ご指摘の通り、個別事業評価の場合、現行の費用便益分析手法では地方部における道路整備のB/Cが都市部に比べて低くなることがプライオリティ付けにあたっての問題点一つとして挙げられている。現状の地方部における道路整備は、ストック効果や国土に対する基本方針などの要因を考慮しなければ整備の必要性を説明しづらいことがあることは事実である。

以上の問題認識のもと、現在鋭意研究に取り組んでいるところではあるが、回答が見つからないのが実情である。方向としては、経済性とは別に政策のプライオリティを決定し（国土の保全、シビルミニマムの確保等）、政策的に高いプライオリティを持つものについては、経済性とは別の評価指標を用いることでプライオリティ付けを行っていくことも一つの方向と考える。

参考として以下の資料を添付する。

5 道路事業の評価について

研究期間：平成 10 年から平成 11 年

担 当：道路研究室 室長：濱田俊一 主任研究員：曾根真理 研究員：池原圭一

【要旨】

本研究課題は、平成 8 年度を初年度として行われてきたものである。平成 8 年度は環境に関する評価のみであったが、平成 9 年度には交通安全に関する評価を加えた。平成 10 年度からは、幅広く道路事業全般を扱う方向に大きく変更した。これは、平成 9 年度の財政構造改革に関する閣議決定及び道路審議会建議を受け、これらの具体的動きに可能な限り対応することを目的とした変更である。

	国全体	道路施策	具体的整備
事業執行	道路予算 総枠決定	道別、施策別 配分	箇所付け
評価手法	世論調査等	施策評価等	B/C等

図 道路事業の評価

道路事業の評価には大きく 1)政府活動全体の中での道路事業の優先度の評価、2)道路事業の中での施策の優先度の評価、3)個別路線間の優先度の評価がある。本研究は、主として 2)施策の評価を対象として研究を行うものである。本年度は、方針変更後の初年度であることから、施策評価の今後のあり方を今後検討するにあたっての基礎資料の収集と問題点の整理を行うこととした。具体的には、現在政府部内で行われている取り組みについてまとめるとともに、外国、特に先進的といわれる英国、米国で行われている道路事業の政策評価に関する取り組みに関して我が国の状況を踏まえながら調査することとした。更にその上で、今後の研究の方向性を検討することとした。

1 政府における取り組み状況

現在、財政構造、経済構造、地方分権、規制緩和など、社会資本整備のあり方に関して様々な議論が行われている。道路事業の評価に関する建設省全体における取り組みは、基本的に財政構造改革と道路審議会を受けて行われている（図 1）。本研究は、この両者を念頭に置きつつも、主として、道路審議会建議を受けた施策の評価について検討を行うものである。

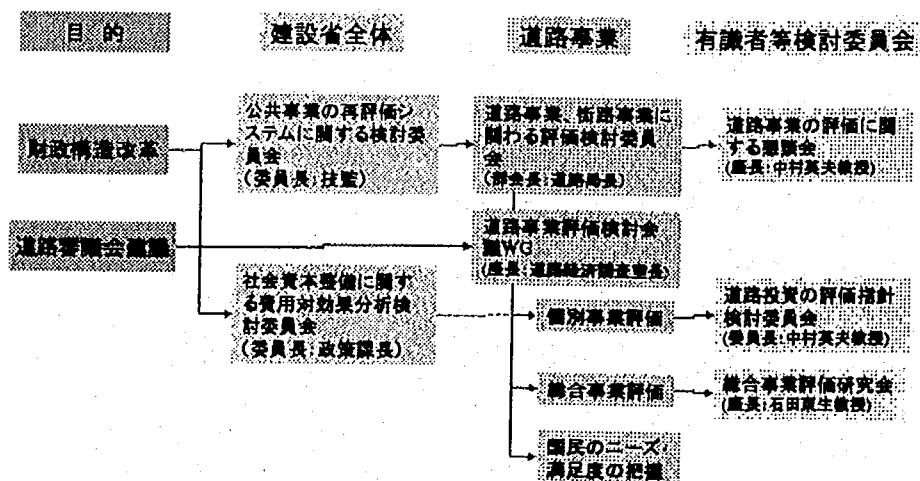


図 1 建設省における事業評価検討体制

政府は、財政構造改革会議において、歳出の改革と縮減策の具体的方策について検討を行い、平成9年6月3日に「財政構造改革の推進について」閣議決定を行った（出典1）。これを受けて「財政構造改革推進に関する特別措置法」が平成9年11月28日成立した。法律では、「政府は、公共事業に関わる予算について、経済構造改革を早急に推進する必要性、行政の各分野における国と地方公共団体との適切な役割分担等の観点を踏まえ、重点化効率化を図るものとする」ことが定められており、公共事業の効率化が義務づけられた。

財政構造改革の推進について（佐々木）

平成9年6月3日
閣議決定案

(4) 当面の公共事業予算については、我が国経済の活力維持のため経済構造改革を早急に推進する必要性、官と民、国と地方の適切な役割分担、事業より効率的・効果的な実施等の諸課題に対応すべく、以下の基本的考え方に基づくこととする。

(6) 各事業の実施等に当たっては、以下の点に留意することとする。

- イ 地域の振興・安全な地域づくりへの配慮
ロ 民間需要を誘致する事業への配慮
ハ 情報通信の高度化・研究開発の推進に資する事業への配慮
ニ 環境及び福祉の充実への配慮
ホ 各種事業間の連携・整合性の確保による総合的な整備の推進
ヘ 費用対効果分析の活用による効率的な整備の推進とチェック機能の強化
ベ 適切な情報の開示等による透明性の確保
- また、継続事業を優先し、新規事業、特に大規模プロジェクトの実施は抑制する。

出典 1 平成9年6月3日閣議決定

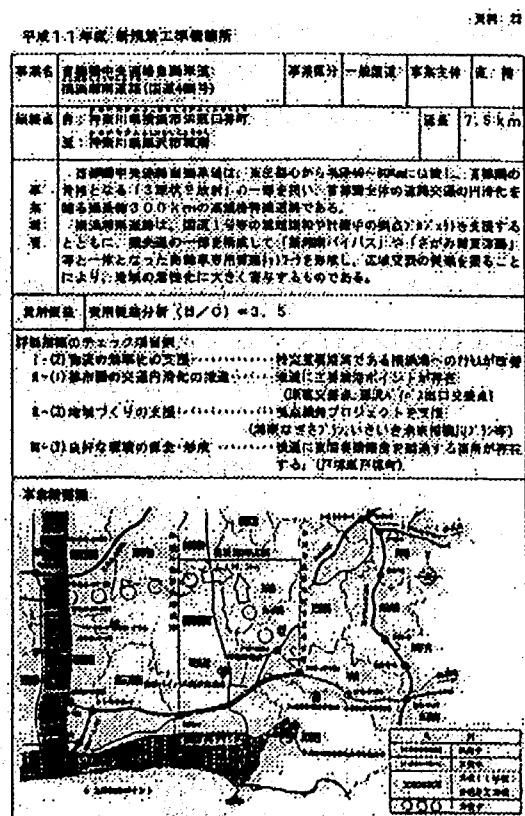


図 2 道路事業の評価時期

图 3 評価実施例

(出典:道路政策の進め方の改革¹⁾)

(出典:平成 11 年度予算記者発表資料¹¹⁾)

1-2 道路審議会建議

平成9年6月30日の道路審議会建議¹⁾は、「21世紀を展望しつつ道路政策を原点から見直すこととし、道路の役割の再認識と国民との対話によるこれまでの道路政策の評価を行い、今後の道路政策のめざすべき方向を示した。」ものである。その中で特記すべき新しい考え方として次の3つが挙げられている(図4)。

- ① 国民と徹底した対話を行う国民参加型の新しい方法を取り入れた。
- ② 道路政策の基本的考え方を「供給量から社会価値へ」と変換し、「戦略的施策展開」の方法を提示した。
- ③ 「評価システムの導入」等による効率的で透明な政策の進め方を提示した。

更に、効率的な政策の進め方として具体的に次の手法が提示されている(図5)。

- 1) 評価システムの導入
- 2) 重点投資とコスト削減
- 3) パートナーシップの確立
- 4) 社会実験の積極的実施

道路政策変革への提言 ～より高い社会的価値をめざして～ 平成9年6月30日

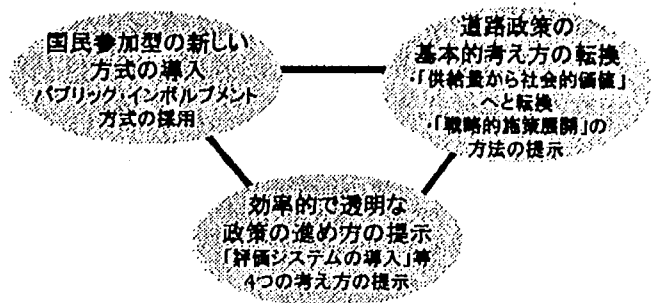


図4 道路政策への提言

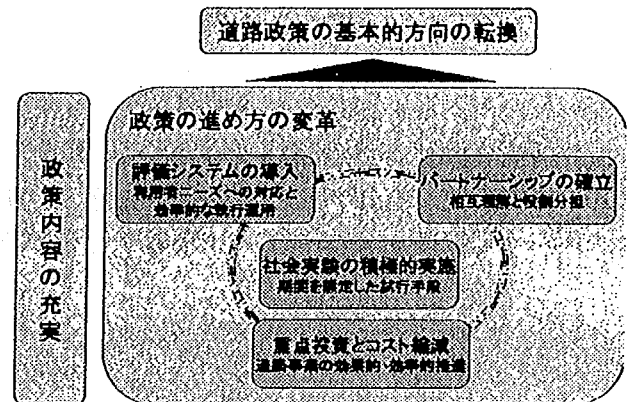


図5 効率的な政策の進め方

建議中では、評価システムについて「このため、Plan(企画)/Do(実施)/Check(見直し)/Action(改善)の考えを導入し、利用者のニーズの的確な対応、効率的な施策展開と事業執行を可能とする評価システムを構築して行くべきである。」とある(図6)。本研究は、特に、評価システムの実践的導入に向けて具体的な検討を行うこと目的としている。

評価システムの概念

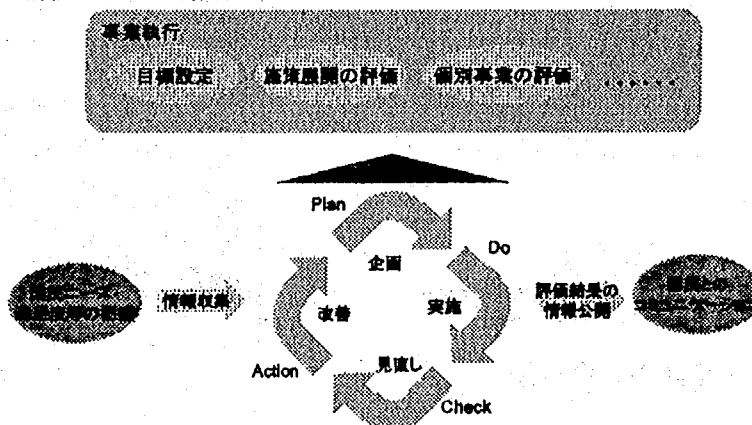


図6 評価システムの概念図

1-3 客観的評価指標（案）

財政構造改革を受けた取り組みで特徴的なことは、新規事業採択理由の説明に客観的な指標を用いて行われることになったことである（表1）。

「建設省所管公共事業の再評価実施要領及び新規事業採択実施評価実施要領について」及び「道路事業に関わる評価の実施要領細目及び評価手法」は、各々、「公共事業の再評価システムに関する検討委員会」及び「道路事業、街路事業に係る評価検討委員会」の検討を経て、平成10年6月に通達された。これら2つの通達は、伴に新規採択時における評価及び一定期間経過後の再評価を行うことを目的としているが、新規採択時における評価が先行して行われている感が強い。客観的評価指標(案)（参照：道路事業の評価⁷⁾）は、先述の実施要領細目及び評価手法で通達されている。

道路事業の評価を総合的に行う際に用いる評価指標には二段階ある。第一段階では、事業採択の前提条件として、調査の熟度（調査の完了の有無）、投資効果（費用便益比が一定以上）、都市計画手続きや円滑な事業執行環境等の事業実施上の必要条件について確認を行う。第二段階では、渋滞対策、交通安全対策、地域連携、防災対策等の施策毎に対象地域の実情や事業目的を表す評価項目について、第一段階の条件を満足した事業がどの項目に該当するかを確認することにより、事業の効果や必要性を明らかにするものである（参照：事前評価はどこまで実施されているか—道路事業の場合—⁷⁾）。

1-4 費用便益分析マニュアル（案）

客観的評価指標（案）では、最初の指標にB/C¹⁵がある。これを算定して費用分析を行うための統一的方法として、費用便益分析マニュアル（案）をとりまとめられている。これは、道路事業における様々な効果を金額に換算した便益:Bと必要な費用:Cの比（費用便益比:B/C）により、投資効果を分析するものである（参照：事前評価はどこまで実施されているか）。

具体的なB/C算出手法は、道路投資の評価に関する指針検討委員会（座長：中村英夫武蔵工業大学教授、運輸政策研究所長）にて作成された道路投資の評価に関する指針（案）¹⁶⁾を参考にして行われる。ただし、同指針のまえがきにあるように、同指針は伝統的な費用便益に交通安全や沿道環境への影響を加えたものであるが、同時に更に広範な見地からの評価も必要であり、これは今後の課題となっている。注意すべきは、通達事項である実施要領細目及び評価手法は、B/Cを算定するにあたっての便益として走行時間短縮効果、走行費用減少現象、交通事故減少効果のみを便益として算出することとしている点であり、道路投資の評価に関する指針（案）で便益の対象とされた環境改善便益は、通達では対象外となっている。

表1 客観的評価指標

（事業採択の前提条件を確認するための指標）			
	一般国道(高規格B)	一般国道(二次改築)	一般国道(一次改築)
①投資効果の有無	B/C $\geq$ 1.5	B/C $\geq$ 1.5	B/C $\geq$ 1.5
②調査の完了	基本計画策定済	ルート確定済	ルート確定済
③円滑な事業執行の環境が整っている	整っている	整っている	整っている

（事業の効果や必要性を評価するための指標）			
I 経済構造改革の支援	(1)地域の競争条件確保のための幹線道路網の構築	☐ 高速自動車国道と並行する自導道(A'路線)としての位置づけ有り ☐ 地域高規格道路の位置づけ有り	☐ 地域高規格道路の位置づけ有り
	(2)物流の効率化の支援	☐ 最寄りの空港又は港湾から高規格、地域高規格又はこれらに接続する自導道のICまでの7ヶ所が改善される ☐ 並行区間を総重量25tの車両もしくはISO規格背高海上コンテナ輸送車が通行できない ☐ 広域物流拠点から高規格、地域高規格又はこれらに接続する自導道のICまでの7ヶ所が改善される	☐ 最寄りの空港又は港湾から高規格、地域高規格又はこれらに接続する自導道のICまでの7ヶ所が改善される ☐ 現道を総重量25tの車両もしくはISO規格背高海上コンテナ輸送車が通行できない ☐ 広域物流拠点から高規格、地域高規格又はこれらに接続する自導道のICまでの7ヶ所が改善される
	(3)中心市街地の活性化	☐ 中心市街地へ至る現道の混雑度が1.0以上	☐ 中心市街地へ至る現道の混雑度が1.0以上

.....(以下略).....

1-5 総合事業評価研究会

道路施策評価の具体的方法についても研究会を設置して検討を行っている(表2)。本研究の主たる目的は同研究会への貢献を目的としている。同研究会の検討を経て、平成10年7月9日「総合事業評価試行実施要領」が通達され、各地方建設局を中心に試行が行われた。平成11年度には、通達に基づく試行結果に基づく対応方針(表3)を踏まえ、同研究会の検討を経た上で、施策評価マニュアルを作成する予定となっている。平成12年度以降は、このマニュアルに従って、次期道路整備五箇年計画策定に向けての本格調査を行うことになっている。

表2 道路事業評価研究会委員

(委員長)	
石田 東生	筑波大学社会工学系 教授
(委員)	
古慶 秀樹	筑波大学社会工学系 講師
家田 仁	東京大学大学院社会基盤工学専攻 教授
屋井 鉄雄	東京工業大学工学部土木工学科 教授
谷口 守	岡山大学環境デザイン工学科 助教授
藤 朝幸	高知工科大学社会システム工学科 助教授
高野 伸栄	北海道大学都市環境工学専攻 助手
吉岡 幹夫	建設省道路局道路経済調査室 課長補佐
佐野 正道	建設省道路局道路整備調整室 課長補佐
松崎 薫	建設省道路局道路整備調整室 課長補佐
有野 充朗	建設省道路局市町村道室 課長補佐
直人 俊郎	建設省都市局街路課 建設専門官
河野 俊一	建設省都市局都市環境整備企画室 課長補佐
木下 賢司	建設省土木研究所 建設マテリアル技術研究官
濱田 俊一	建設省土木研究所道路研究室 室長
曾根 真理	建設省土木研究所道路研究室 主任研究員
和泉 昌裕	北海道開発局建設部道路計画課 開発専門官
宮地 辰彦	高知県企画部企画調整課 課長補佐
坂本 良一	高知県土木部道路課 計画班長
江潮 誠	高知県土木部道路課 主査
野並 伸介	高知県東京事務所 主幹
川口 正敏	横浜市道路局街路部 次長兼企画課長
奥山 勝人	横浜市道路局企画課 係長

表3 試行結果に基づく対応方針

明らかになった課題	対応方針
① 評価の対象が不明確 — 五計など全国を対象とする場合、地域的な施策を対象とする場合	① 対象範囲の整理 — 評価システム全体の広がりの中で、「施策の評価」が対応すべき領域の明確化を図る
② 手引書が提示する評価手続きに囚われすぎ、自由度を失っている — 評価の手続きを細かく記述したため、施行を必要以上に難しくしている — 試行の方法に多様性がない	② 事例の多様化 — PDCAサイクルの考え方が、多様な方法で採り入れられることを示す — 実情に応じた多様な評価のかたち、見せ方を紹介できるよう、事例を蓄積する
③ 指標の設定が困難 — 手引書では事例以外の具体的指標の紹介がない — 今後の行政実務の上でも、評価の考え方、そのための情報管理のあり方等も要検討 — 指標の充実が「施策評価」のキーポイント	③ 指標の整理 — 代表的な施策分野に対応する指標を体系的に整理 — 可能な部分から簡易な計測、分析などの取り組みを実施 — 今後の地建等業務におけるデータ収集・蓄積のあり方にも反映

2 様々な評価手法

道路事業の有効化、効率化を図るためには、道路事業の効用を何らかの形で計測する事がその前提条件となる。このため、以下に挙げる手法をはじめとする様々な手法が提案・採用されている(表4)。今後は以下に挙げる手法等を参考にしながら、評価手法について模索していくことになる。

2-1 仮想市場評価法：CVM(Contingent Valuation Method)⁷⁾

市民の支払い意思に基づく指標であり、適用範囲が広いことが特徴である。市民の意向を直接反映しているため、市民の意志に基づく指標を直接設定することには大いに役立つ手法といえる。

専門的な知識・判断力を要する事柄については、施策の効果、費用等の関連情報を市民に説明を行うことが前提になる。しかしながら、本研究で対象としている道路施策の場合、具体的実施施策(アウトカム)とその考課(アウトプット)の関係が明確でない場合が多く、本手法の適用範囲は限定的

2-2 ヘドニック・アプローチ：Hedonic Approach[※]

地価を基に様々な要因が与える影響を評価する手法である。基本的に土地の利用価値に基づく指標であり、様々な要因を地価に与える影響に変換することで、定量的な評価を行いやすいことが特徴である。

地価を基本としているため、地域に密着した施設について評価することが容易な反面、幹線道路の効用のように影響が広範に及ぶ施設について、指標化することが困難である。

2-3 一般均衡理論によるアプローチ[※]

公共経済学、構成経済学から発展してきたアプローチで、各セクター毎の効用関数と立地状況の関係から効用を説明しようとするものである。数理的には優れたモデルであるといえるが、実際に適用しようとする以下理由により困難となる。

- 1) わが国の場合、立地等は歴史的経緯など各々の都市に固有の要因に基づいて決定されていることが多く必ずしも現在の経済的ファクターで説明できるものではないこと。
- 2) 具体的パラメータ設定についての研究調査が十分でないため具体化のために多くの調査・検討が必要になること。

表 4 評価のための各種手法（出典：公共事業と環境の価値）

区分	顕示選好法(RP)			表明選好法(SP)
手法名	代替法 RCM	トラベルコスト法 TCM	ヘドニック法 HPM	仮想評価法 CVM
内容	評価対象に相当する私的財に置き換えるための費用をもとに評価	対象地までの旅行費用をもとに環境価値を評価	環境資源の存在が地代や賃金に与える影響をもとに環境価値を評価	環境資源の変化に対する支払意思額や受入補償額をたずねることで環境価値を評価
適用範囲	準公共財 水質改善、土砂流出防止などに限定	地域公共財 レクリエーション、景観などに限定	地域公共財 地域アメニティ、水質汚染、騒音などに限定	地域公共財および純公共財、レクリエーション、景観、野生生物、種の多様性、生態系など非常に幅広い
計測対象	置換費用	通常の需要曲線	ヘドニック価格関数、付値関数	支払意思額または受入補償額
利点	直感的にわかりやすい	必要な情報が少ない旅行費用と訪問率などのみ	情報入手コストが少ない地代、賃金などの市場データから得られる	適用範囲が広い存在価値や遺産価値などの非利用価値も評価可能
問題点	評価対象に相当する私的財が存在しないと評価できない	適用範囲がレクリエーションに関係するものに限定される	適用範囲が地域的なものに限定される。一般に、都市部の環境財が高く評価される傾向がある。	アンケートを実施するので情報入手コストが大きい。様々なバイアスが存在する。

3 英米における取り組み

道路事業の評価に取り組んでいく上で最も重要な要素の一つに、アカウンタビリティ（：説明責任）の確保が挙げられる。マスコミ等で問題にされている行政の大きな問題点は意思決定改定の不透明さであるが、これはまさしくアカウンタビリティの欠如である。よって、行政のアカウンタビリティの確保について、世界的に見ても先進的である英米の取り組み状況につき、我が国への導入可能性を踏まえながら、現状調査を行った。

3-1 米国における取り組み

① 米国についての基礎理解を行うため、次の内容につき調査を行った。

1) 米国行政制度の基本構成、2) 米国道路交通行政の基本構成、3) ISTEA 及び TEA21

② 具体的事例調査として、次の事例調査を行った。

- 1) ミネソタ・マイルストーン (ミネソタ州)、2)ミズーリ州・統合的戦略プラン、3)交通省の戦略プランと業績プラン、4)テキサス州交通局の戦略プラン、5)オレゴン州交通局の業績評価、6)ミネソタ州交通局の業績評価報告、7)カリフォルニア州交通局業績評価制度

3-2 英国における取り組み

① 英国についての基礎理解を行うため、次の内容につき調査を行った。

- 1)英国行政制度の基本構成、2)道路交通行政の基本構成

② 具体的事例調査として、次の事例調査を行った。

- 1)地方自治体業績指標 (監査委員会)、2)ベスト・ヴァリュウ、3)道路利用者憲章、4)道路庁における業績評価

3-3 英米の政策評価の共通点と相違点

① 英米の共通点は次の点である。これらは、我が国の道路施策評価のキーワードと、5)外部評価を除けばほぼ同じである。

- 1)顧客志向、2)評価 (業績) 指標の構築、3)客観的評価、4)成果重視、5)外部評価、6)市民参加

② 相違点は以下の通りとなった。我が国が導入していくにあたっては、両者を利点・欠点を踏まえる必要がある。

表 5 英米の相違点

	英国(イングランド)	米国
地方分権⇔中央集権	中央政府の主導により市民憲章や地方自治体業績評価などの制作費評価制度一律に導入しており、「中央集権的」である。	連邦政府に先行して、自立性の高い地方政府がそれぞれの必要性に応じて政策評価を導入しており、「地方分権的」である。
導入状況	地方自治体間の政策評価導入状況差は小さい。評価手法が共通であるため自治体間の比較が可能。	地方政府が様々な手法を開発しており、導入状況もまちまち。
政策評価手法	ヴァリュウフォーマネーの観点から、行政サービスを市場に委ねる。	中長期を目的とした戦略プランに政策評価を導入。

3-4 英米の道路交通行政分野における政策評価の特徴

英米の道路行政分野における特徴は次の通りである。

① 道路網の維持・管理分野が重点課題であり、整備目標に関する指標は少ない。

② 両国における評価の共通するカテゴリーは次の通り。日本の場合は、移動/アクセス分野で渋滞特に重要視されていることを除けば、ほぼ同様の項目となっている。

- 1)安全性：事故率、死傷者数など、2)移動/アクセスの良さ、3)環境への配慮、4)コスト削減、5)経済への貢献

3-5 日本への適用可能性

英米の評価手法を参考にして、日本で評価指標を導入しようとする場合、次の点に注意しながら行う必要がある。

① 道路インフラの整備状況

英米において国内の主要な道路網の整備はほぼ完了しているのに対し、日本では依然として道路網の整備が途上段階である。英米の場合、評価の重点が維持管理分野に置かれていたが、日本の場合には改築にやや重点を置く形になると考えられる。

② 行政機構

米国の行政機構においては、主要ポストにつく人間は選挙によって選出される。英国においても、議会のリーダー的存在の議員が主要ポストに就く。このように、行政機能の主要な役職者が住民に選ばれた代表であることにより、住民の意見を直接的に反映することへのインセンティブが存在する。

③ 文化的背景

英米において政策評価の導入が盛んになっている背景には、市民の行政に対する意識が高く、このことにより行政側が一種の緊張感を持つに至っていることが挙げられると考える。行政側が一方的に評価を行っても、市民が興味を示さず業務改善を強く求めることがなければ、現実的には改善につながらない可能性が高い。更に、英米においては、幅広い行政活動を（ある意味で大胆に）いくつかの指標で代表させて評価を行っている。日本においてこのような大胆な方法を導入できるかについては疑問が生ずる。

4 まとめと今後の課題

本年度は、施策評価を取り巻く状況について基礎調査を行った。その結果わかったことは、これまで我が国でなされていなかった道路施策評価（のみならずその他の分野における施策評価すらも）という試みを実施するにあたって、現在我が国に適用可能な手法は今のところ見出すことができないということであった。今後は、引き続き事例調査を進めていくとともに、道路施策の実際の決定過程の分析及び施策と効果の関係について分析を行うことで、適切な施策評価手法について検討を行っていくこととしたい。

- 1) 道路平成 10 年 11 月号 道路政策の進め方の改革 吉岡幹夫 日本道路協会
- 2) 平成 11 年度予算参考資料
- 3) 建設省所管公共事業の再評価実施要領及び新規事業採択実施評価実施要領について 平成 10 年 3 月閣議決定
- 4) 道路審議会建議 道路政策変革への提言～より高い社会的価値をめざして～ 平成 9 年 6 月 30 日
- 5) 道路事業の評価 事業評価研究会 ぎょうせい
- 6) 事前評価はどこまで実施されているか—道路事業の場合— 奥平聖 土木学会誌 vol.84, Feb.1999
- 7) 道路投資の評価に関する指針（案） 道路投資の評価に関する指針検討委員会（財）日本総合研究所
- 8) 公共事業と環境の価値 栗山浩一 築地書館
- 9) 環境と社会資本の経済評価 肥田野登 勁草書房
- 10) 社会資本整備の便益評価 森杉壽芳 勁草書房

18. 環境経済評価

質問者：河川部 河川調整課

回答者：環境部 環境計画研究室（内線 4 1 2 3）

質 問

現在、進められている環境の経済評価については、土研主導で今後の進め方が検討されていると思われるが、九州地建としても大いに関心のあることであり、現段階での方針等（進め方の案等）があればご教示願いたい。

回 答

昨今提出される公共事業に対する様々な批判を受け、建設省は公共事業の説明責任（アカウンタビリティ）向上に取り組んでいるところである。その一環として、事業評価を行うこととし、平成7年10月には「大規模公共事業評価システム」を導入し、また、平成10年3月には、「建設省所管公共事業再評価実施要領」及び「新規採択時評価実施要領」を策定し、さらに、平成11年3月に「社会資本整備に係る費用対効果分析に関する統一運用指針」を策定した。現在、同指針の適用にあたり、各事業ごとのマニュアルの作成、改訂作業が進められている。

ご質問の「環境の経済評価」に関しては、現在、費用対効果分析の一環として本省各局で検討されているところであり、土木研究所においても各事業局に対応した部署で研究を行ってきた。現時点では、環境の経済評価に関してこれまでに提案されている旅費法、ヘドニック法、CVM等の幾つかの手法について具体的な事例における適用性の検討がなされているが、これらの手法の適用については、我が国ではこれまでに十分検討されてきたとは言い難い面がある。今後、適用事例を重ねることによって精度を高めるとともに適用限界を明らかにしていく必要があると考えている。

<参 考 1>

（1）旅費法（TCM：Travel Cost Method）

顕示選好（行動の結果）によって非市場材の評価を行う手法の一つ。レクリエーションの場（サイト）を評価するために提案された。人が対象レクリエーションサイトに移動する際に支払われる費用（時間費用及び交通費）を、その場所で得られる便益として当該レクリエーションサイトの価値を評価する。

（2）ヘドニック法（HPM：Hedonic Price Method）

環境条件（社会的・自然的）の違いがもたらす地価等の変化を定式化し、回帰分析によって種々の環境の価値を計測する手法。

（3）仮想金銭化法（CVM：Contingent Valuation Method）

擬制市場法、価値意識法、サーベイ法などとも呼ばれ、アンケート等で評価対象の財の質・量を被験者に説明した上で、その財の質・量を向上させるために費用を支払ってもよいと考える最大支払い意志額（WTP：Willing To Pay）等を尋ねることにより評価対象とする財の価値を計測する手法。

<参 考 2>

環境計画研究室における経済評価に関する調査研究

- ・湖沼の環境評価に関する調査（H5～9）
- ・道路事業の評価（H7～）
- ・建設分野における外部コストの評価手法の開発に関する研究（H10～）

「環境部門」紙上回答目次

	(質問者)	(回答者)
1. 既設コンクリート護岸全面の植生付着	遠賀川工事事務所	河川環境研究室…………… 59
2. 砂地盤における汚泥コンポスト材の混合率	海の中道海浜公園工 事事務所	緑化生態研究室…………… 61
3. 木チップ舗装の施工	海の中道海浜公園工 事事務所	緑化生態研究室…………… 65
4. 環境影響評価における生態系に関する環境保全措置	道路部道路計画第一 課	緑化生態研究室…………… 67

1. 既設コンクリート護岸全面の植生付着

質問者：遠賀川工事事務所

回答者：環境部 河川環境研究室（内線4146）

質 問

場所によっては、既設コンクリート護岸の全面に自然と植生が繁茂している部分も存在し、その植生によってコンクリートが隠れ、また魚や水棲生物の寄りついており、多自然型護岸の様相を呈している。

そういった既設コンクリート護岸全面での植生付着の発生メカニズムについて検討を行ってみたいと考えておりますが、貴研究所で把握されている他河川の事例、若しくは研究成果等がありましたらご教示願いたい。

回 答

コンクリート等既設構造物を植生等で覆い隠すことは多自然型川づくりの代表的な手法の一つと言える。覆土により隠すことも考えられるが、ご質問のように自然作用を用いて植生の繁茂を促すことも不可能ではない。

既設コンクリートでの植生の自然回復は、法面上への土砂の堆積により植生基盤が形成され、そこに植物が繁茂するのが一般的なパターンである。植生基盤さえあれば、堆積土砂に含まれている種子や他の場所から漂着する種子が発芽し比較的早い時期に植生の回復が期待できる。周辺の同様な環境下で生育する植物を調査すれば、当該地点における植生もある程度予測できるだろう。特に、冠水条件は低水河岸のように水際に隣接する箇所での植生を規定する大きな要因であり、植生付着等の検討を行う場合には、例えば、水面からの比高差等の情報が重要となる。また、回復した植生が帰化植物群落とならないよう、植生の質にも目を向けて周辺の調査を行うことが重要である。

いずれにしても、植生基盤となる河岸への土砂堆積が本課題での重要なポイントとなるが、現段階ではこれを予測し、計画的に実施するには難しい点が多い。ここでは、その原理を簡単に説明し、今後検討を進める上での留意点を述べる。

このような堆積系の技術を検討するには、まず河岸にはどのような性質の土砂が堆積するのかを知る必要がある。通常、水際～高水敷上に堆積する土砂は河床材料中の土砂よりも小さな粒子から構成されている。図は実際の河川における河岸堆積物と河床材料の粒度加積曲線を示す。河岸堆積物の粒度加積曲線と河床材料のものとを比べてみると、堆積物の上層の粒子ほど細かく、河床材料中には存在しない成分であることが解る。このような細かい粒子は出水中に水中を舞い上がりながら移動するウォッシュロードという移動形態を取ることが多いが、河岸堆積物はこのような形態を取りながら流下していた土砂が「水中に舞い上がる勢い」を失って河岸付近に沈降した結果として形成されることが多いようである。では、「水中に舞い上がる勢い」ですが、一般的に各土砂の沈降速度 ω 。(粒径が大きい程大きい)、その場の摩擦速度 u_* の比、 u_*/ω 。に規定される。この値が大きければ（例えば2～3）土砂は水面付近まで舞い上がるが、小さくなると（例えば1以下）舞い上がることが難しくなり、更に小さくなると沈降し土砂の堆積を引き起こす。

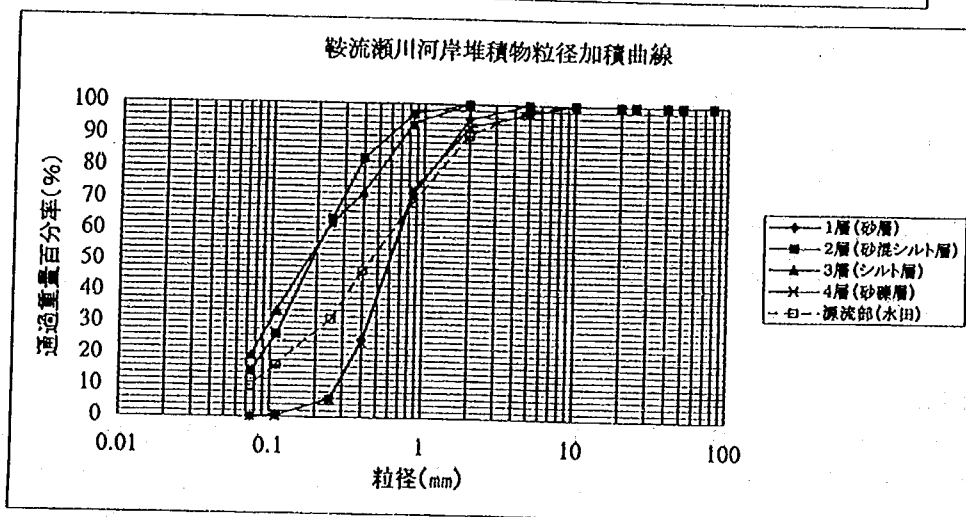
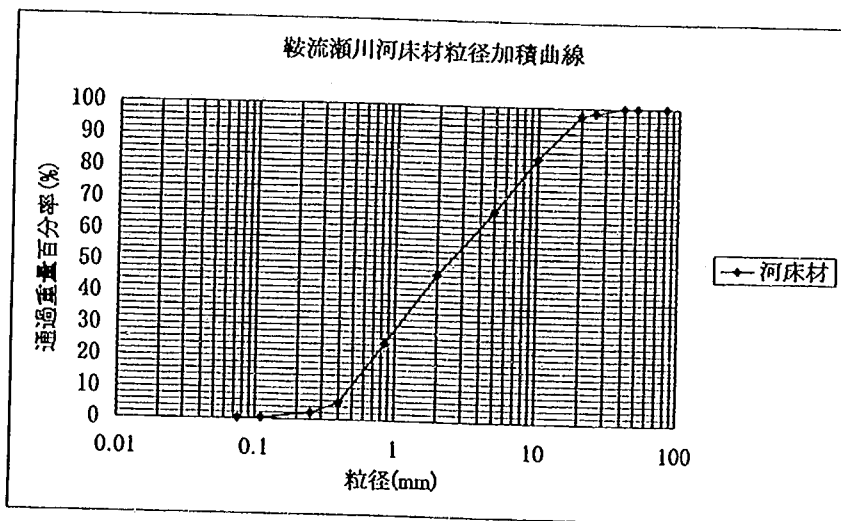
次に、このような現象が生じる条件だが、まず第1に洪水中に十分なウォッシュロードの濃度があること、第2に、ウォッシュロードが沈降するだけ流速が減勢されることが必要である。第1の条件は直轄河川のような比較的規模の大きい流域を有する河川では、流域内に様々な土地利用形態・地質が存在することが多く、何等かのウォッ

シュロード生産源が分布すると考えられる。第2の点については、減勢の程度が問題となるが、例えば、目安としては、砂の堆積には流速を1 m/s、シルトを堆積させる場合には流速を10 cm/s程度まで低下させることが必要であり、植生基盤となりそうな細粒分を堆積させるにはかなりの減勢が必要となる。従って、このような現象が期待できる場合は、潜在的に流速の小さい、河道の内岸側等洪水時のみお筋から比較的離れている場所と考えて良いだろう。

ただし、中部地方の中小河川を対象として河岸堆積物の調査を行ったところ、セグメント1に対応するような比較的急勾配で川幅の小さな河川、つまり、洪水中に河岸域における流速の減勢が小さいような河川においても河岸の土砂堆積と植生の繁茂が見られる場合がある。従って、土砂の堆積及び植生の繁茂と流速の減勢との関係については今後幅広い河川を対象にした検討が必要かと思われる。

さて、植生を自然に復元する方法として、河岸への土砂堆積を取り上げ、そのメカニズムの基本的事項を説明してきた。しかし、実際は、土砂濃度や水理条件だけでなく、洪水の履歴やその場の冠水頻度等様々な要因が重なって生じる比較的難しい現象である。貴事務所の検討フローは現在のところ以上の観点を含んでいないようである。現象をよく理解した上で検討フローを再度立案すること、また、関係する研究機関の協力が不可欠である。よく調整した上で無駄のないよう調査を行ってほしい。

尚、本課題については、河岸堆積物の実態調査を含め土木研究所報告第3489号「洪水流を受けた時の他自然型河岸防御工・粘性土・食性の挙動」に詳しく述べられています。参考にして下さい。



2. 砂地盤における汚泥コンポスト材の混合率

質問者：海の中道海浜公園工事事務所

回答者：環境部緑化生態研究室（内線 4 1 6 2）

質問

海浜公園内の植栽を行う場合、植生基盤（砂）に下水汚泥コンポストを混合して植栽施工を行うことを計画しているが、混合率の目安があればご教授いただきたい。

回答

下水汚泥の緑地への利用方法は、「都市緑化における下水汚泥の施用指針」（平成 7 年 9 月建設省都市局）¹⁾にまとめられている。ここでは、同指針から下水汚泥の緑地への施用について、その手順全般を紹介する。

1. 指針の概要

当該指針は、都市緑化における下水汚泥の適性な施用に関する技術的な指針を定めたものであり、汚泥の使用目的を、土壤改良材と肥料に区分して取り扱っている。

土壤改良材とは、土壤の物理的性質、化学的性質を改善して土壤の肥沃性を高め、植物の良好な生育を促す目的で土壤にほどこす資材をいい、肥料とは、植物の生育に必要な養分として、土壤または作物に直接ほどこされるものをいう。

2. 汚泥の種類

汚泥は、最終処理形態によって分類されており、一般的に、緑地での利用が可能と思われるコンポスト汚泥、乾燥汚泥、消化脱水汚泥を対象にしている。

3. 汚泥の施用手順

汚泥の施用は、一般に、(1)土壤調査、(2)施用方法の検討、(3)施用工事の実施の順に進められる。

(1)土壤調査

土壤改良材および肥料としての適性な施用量を検討するため、土壤断面などを調査するとともに、土壤の物理性、化学性の分析を行う。主要な分析項目は表－1に示すとおりであり、分析結果は、施用量検討の基礎データとなる。

(2)施用方法の検討

①土壤改良材としての施用量の目安

汚泥は、窒素分の含有量が高いことから、大量に汚泥を施用すると、窒素過多による生育障害が現れることがある。

指針では、汚泥施用による窒素過多を避けるために、汚泥の窒素成分量を基準として、汚泥の施用量を算定することとしている。

算定の手順は、まず土壤分析結果より、表－2に示す土壤分級基準に従い、4つのランクわけを行う。その土壤分級ラン

表－1 土壤分析項目と方法¹⁾

分 析 項 目	
物理性	・ 粒径組成 ・ 三相構造（三相分布）
化学性	・ pH（H ₂ O、KCl） ・ 全窒素 ・ 可給態リン酸 ・ 置換性カリウム ・ EC（電気伝導度）

クと汚泥の混入深さにより、表－3を参照して施用量を決定する。汚泥の混入深さは、地被植物では10cm、低木で20cm、高木で30cm以上が目安とされている。

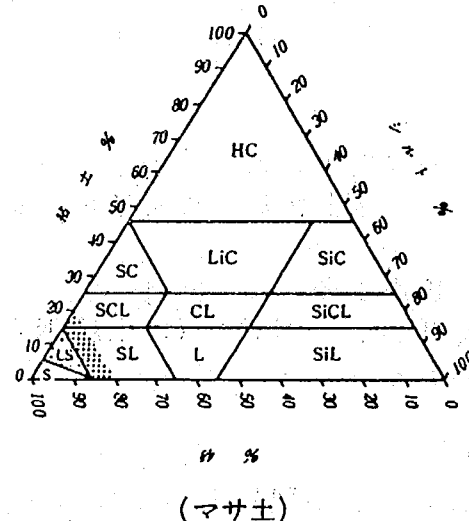
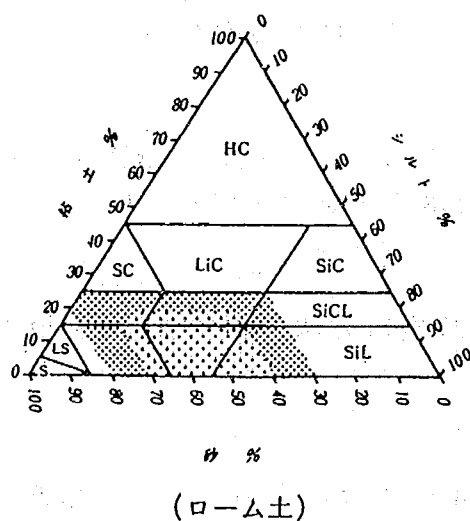
表－2 土壌分析結果による土壌分級¹⁾

出典：造園学会、緑化事業における植栽基盤整備マニュアル(一部修正)，造園雑誌 48(2)1984 年

評価因子・分級	1 (優)	2 (良)	3 (不良)	4 (極不良)
粒径組成*				
固相率** %	20>(40>)	20-30(40-50)	30-40(50-60)	40<(60<)
pH (H ₂ O)	5.6~6.8	4.5~5.6 6.8~8.0	3.5~4.5 8.0~9.5	3.5> 9.5<
全窒素 %	0.12<	0.12~0.06	0.06>	
可給態リン酸 mg/100	20<	20~10	10>	
電気伝導度 mS	0.2<	0.2~1.0	1.0~1.5	1.5<

*付図に示す

**有効水分を pF1.8 ~ 3.0 とした場合。硬質土壌の場合は()に表示



付図 粒径組成の分級

表－3 土壌改良における施用量のめやす(窒素成分量)¹⁾

(単位: g/m²)

混入深さ \ 土壌	全窒素分級「1」の土壌	全窒素分級「2・3」の土壌	全窒素分級「4」の土壌
10cmまでの場合	10~15	30~45	45~60
20cmまでの場合	20~30	60~90	90~120
30cmまでの場合	30~45	90~135	135~180

(注)土壌分級ランクは表－2による。

表中の数値は汚泥施用量を汚泥中の全窒素量に換算して示したもの。

②肥料としての施用量の目安

肥料としての施用量については、一般的な肥料の施用量と同様な考えで行うこととしている。指針には、窒素、リン、カリの施用量の事例として表-4が示されており、窒素成分量を施用量の目安として用いるとしている。ただし、汚泥の含有成分では、カリが不足していることが多いので、カリ肥を補充することが必要となる場合があるとしている。

表-4 緑化樹木の施肥標準量(年間)¹⁾

出典：東京都；グリーンハンドブック-緑化の手引き-(1993)

① 自然循環系が保たれ、落葉も土壌に還元される場合

樹種・樹齢			単木(g/樹)			植込(g/m ²)		
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
針葉樹	低	木	10~15	10	10	15	10	10
	高	木	15~20	15	15			
落葉樹	低	木	10~20	10~15	10~15	10~20	10~15	10~15
	高	木	20~30	15~20	15~20			
常緑樹	低	木	10~20	10~15	10~15	10~20	10~15	10~15
	高	木	20~30	15~20	15~20			

② 都市環境により、落葉が除去される場合

樹種・樹齢			単木(g/樹)			植込(g/m ²)		
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
針葉樹	低	木	10~15	10	10	10~20	15	15
	高	木	20~30	20	20			
落葉樹	低	木	10~20	10~15	10~15	20~30	20	20
	高	木	30~50	20~30	20~30			
常緑樹	低	木	10~20	10~15	10~15	20~30	20	20
	高	木	30~50	20~30	20~30			

(3) 施用工事の検討

指針では、緑地への汚泥の主な施用方法として、全面混入、全面盛土、植穴客土、スポット施用、地表散布の5種類が挙げられている。ここでは、砂地などの土壌栄養が不足している場合に適している全面混入について、施用手順を以下に示す(図-1)。

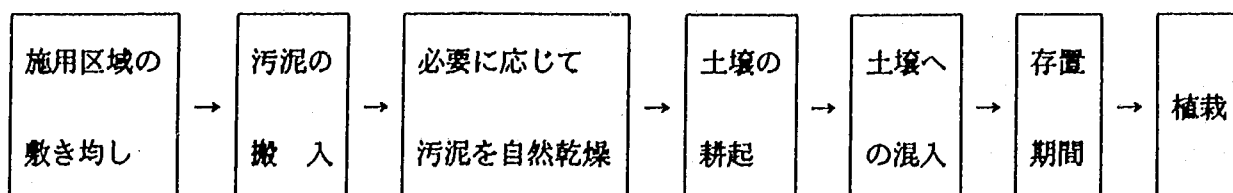
〈全面混入の施用手順〉

a. 施用区域の敷き均し

ブルドーザー等で敷地の不陸を整地する。

b. 汚泥の搬入

汚泥の混入量を計算し、搬入量を明確に設計する。搬入後、マニヤスプレータ



図－１ 全面混入の手順”

一、ブルドーザー等を用いて、汚泥を均一の厚さに敷き均す。

c. 必要に応じて汚泥を自然乾燥

耕起、混入の作業効率上、含水率の高い汚泥は、自然乾燥させる。

d. 土壌の耕起

汚泥の混入厚は、植栽植物によって異なるが、およそ20cmから30cmである。

表層約20cmまでは、ディスクハロー、ブラウ耕起、耕耘機の使用によって耕起できる。より深い改良土壌層を確保したい場合は、深耕用の機械を用いる必要がある。

e. 土壌への混入

バックホー、耕耘機を用いて、汚泥と土壌を混合する。

機械による混合の回数は、汚泥の種類、施用量によって異なり、消化脱水汚泥15%以上(体積比)混入の場合は、バックホーでの3回以上の攪拌、または耕耘機での2回以上の攪拌が標準とされる。

消化脱水汚泥15%以下混入の場合またはその他の汚泥を混入する場合は、バックホーでの3回以上の攪拌または、耕耘機1回以上攪拌を標準とする。

混入後は、表面排水勾配を2～3%程度とする。

f. 存置期間

汚泥を大量に施用する場合や含水率が高い場合には、植栽までに一定の存置期間を設ける。存置期間を設定すべき場合は以下のとおりである

- ・消化脱水汚泥を体積比で15% (約30kg/m³) を越えて大量に混入する場合。
- ・消化脱水汚泥を体積比で15% (約30kg/m³) 程度を混入し、かつ、ふるい根の樹木を植栽する場合。
- ・汚泥が発酵しやすい初夏から初秋にかけて施用する場合

施用する汚泥の種類、施用量、施用時期、植栽種等の条件に応じて、存置期間は変わるが、一般的には1～2ヶ月の期間を標準とされる。

4. 汚泥の入手方法

指針の資料編に、汚泥の処理形態別に全国の下水処理場の一覧が記載されている。各下水処理場では、汚泥の配布もしくは販売を行っているので、参考にできる。

参考文献

- 1) 建設省：都市緑化における下水汚泥の施用指針，平成7年9月

3. 木チップ舗装の施工

質問者：海の中道海浜公園工事事務所

回答者：環境部 緑化生態研究室（内線4168）

質問

木チップ舗装に使用するチップ材を園内で発生する木材で対応したいと考えているが、チップ後の処理（自然乾燥、強制乾燥）が必要か。また残留含水率はどの程度考慮すべきかご教授願いたい。

回答

緑のリサイクルの普及により、植物発生廃材の再利用が注目されている。剪定枝葉や間伐材などの植物発生廃材より粉砕された木チップは、①植栽地に敷きならし、乾燥防止や地面温度調整としてのマルチング材、②園路や広場に敷きならす舗装材・クッション材、③醗酵させ堆肥、として再利用されている。

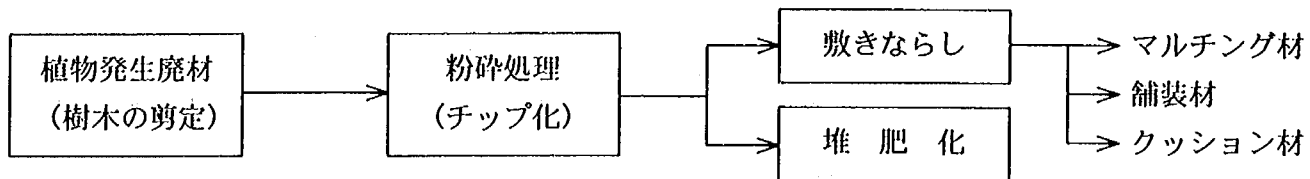


図-1 植物発生廃材のリサイクル

公園において園路や広場に木チップを敷きならすことは、歩行感を改善するほか、景観の向上や土壌化による表土の改善にも効果があると考えられ、公園内での植物発生廃材のリサイクルとして非常に有効な方法である。ここでは舗装材・クッション材としての木チップ敷きならしの留意点について述べる。

（1）樹木の剪定時期と部位

剪定時期については、夏期剪定は葉部が主体である。夏期剪定からの葉部主体のチップは、土壌化が比較的容易に進行しやすいことから、マルチング材や堆肥としての利用に適している。一方、冬期剪定は木部が主体である。冬期剪定からの木部主体のチップは、主として舗装材やクッション材としての利用に適している。

（2）粉砕処理と保管

剪定された樹木は、粉砕方法や機械によりおが屑状のものから径40mm程度の大きなものまでチップ化が可能である。敷きならしの安定性・安全性・美観上を考慮して、舗装材には粒径5～25mm程度の木チップが良好である。

粉砕した木チップは、乾燥処理（自然乾燥、強制乾燥）による含水率調整は必要なく、粉砕処理後の自然含水率での木チップを、園路や広場に移動させ敷きならせばよい。

作業状況や場所などの関係上、木チップを保管する場合、水はけが良く直射日光が当たらない場所に野積みしておくことが望ましい。但し、木チップの保管が一週間を超える場合、醗酵による発熱・臭気が発生するため、保管場所を十分考える必要がある。

（3）木チップの敷きならしと補充

固結した基盤土壌での木チップ敷きならしは、土壌と木チップのなじみが悪く、降雨による流亡が考えられるため、あらかじめ基盤土壌を浅く耕すなどの処置を行い、木チップとのなじみが良くすることが望ましい。

舗装材・クッション材としての木チップは、概ね 10 cm の厚さで敷きならしていることが多い。クッション材として遊具周辺に敷きならす場合、利用が頻繁であり踏圧も受け易いため、やや厚め 10～15 cm に敷きならしていることが多い。

「みんなが利用できる園路」への木チップ舗装は、通常の車いすでは通行できないため、木チップ舗装は施工しないようにし、施工する場合は、ワイドタイヤ型車いすの貸出し等の身障者に対する配慮が必要である。

敷きならされた木チップは、基盤土壌の状態や木チップの材質にもよるが、3～5 年で土壌化していく。園路や広場に舗装材として敷きならす場合、景観に配慮して、適宜補充していくことが必要である。また、遊器具周辺でクッション効果を期待するには毎年の補充が必要である。

(4) 管理

排水溝などの排水施設に木チップが溜まって支障が出ないように、落葉落枝と同様に清掃が必要である。

乾燥時期には火事の恐れがあるので十分な注意が必要である。

参考文献

- 1) 植栽の設計・施工・管理, 中島 宏, 財団法人 経済調査会, 1992 年 3 月
- 2) 植物性発生材の有効利用に資するチップ敷きならしの効果に関する調査報告書,
アゴラ造園株式会社, 平成 7 年 11 月
- 3) ウッドチップ新用途 ―こんなに役立つと木のチップ―, 財団法人 林業科学技術振興所, 1999 年 7 月
- 4) 植物発生材堆肥化の手引き ―緑のリサイクルの実現を目指して―, 監修 建設省都市局公園緑地課,
河川局河川環境課, 道路局道路環境課, 編著 社団法人 道路緑化保全協会, 平成 10 年 6 月
- 5) みんなのための公園づくり ―ユニバーサルデザイン手法による設計指針―,
監修 建設省都市局公園緑地課, 編集・発行 社団法人 日本公園緑地協会, 平成 11 年 7 月

4. 環境影響評価における生態系に関する環境保全措置

質問者：本局道路部道路計画第一課

回答者：環境部緑化生態研究室（内線 4 1 6 2）

質 問

生態系に関する環境保全措置については、環境影響評価マニュアル（案）の中に例を表に示しているが、その対策例を写真、図等により紹介して頂きたい。

可能であれば、上位性、典型性等の観点から生態系保全を目的とした事例についてご教示願いたい。

回 答

道路環境アセスメントマニュアル案の「13. 1. 7 環境保全措置の検討、1）環境保全措置の検討」では、『予測の結果、省令第十四条第1項に基づく「影響がない、環境影響の程度が極めて小さいと判断される場合」以外にあっては、環境保全措置の検討を行う。この場合、事業者により実行可能な範囲で環境影響評価を回避又は低減することを検討する。また、影響の回避、低減が不十分な場合又は困難な場合は、必要に応じて代償措置を検討する』との記載があり、その例として、表-1が掲げられている（平成11年8月末時点）。

表-1 環境保全措置の例、効果等（生態系の場合）

環境保全措置の例	環境保全措置の効果	実施に伴い生ずるおそれのある環境への影響	効果の不確実性
のり面勾配の修正（擁壁構造の採用等）による地形改変の最小化	地形改変による生息地等の消失等を回避・低減できる	擁壁の規模が大きくなると眺望景観への影響が生じる場合がある	—
既存種によるのり面緑化	伐採された樹林の修復を図ることにより、影響を低減できる	—	—
表土の利用	縮小された生息生育地を、表土の保全・利用によって、修復することにより、影響を低減できる	—	—
ボックスカルバート、オーバークリッジ、コルナートパイプ、誘導柵等の設置、橋梁下部の利用	動物の移動経路が道路によって分断されて生じる個体の移動阻害を低減できる	—	移動経路として適する形状等が把握されていない種への効果に不確実性が生じる
代替生息・生息地の創出	消失・縮小された生息・生育地を、のり面や周辺地域に復元することができる	—	代替生息・生育地の創出事例がない場合の効果に不確実性が生じる

のり面勾配を修正することにより、改変面積を小さくするということを概念的に示すと、図-1のごとくになる。ただし、擁壁規模が大きくなると眺望景観を損なうという別の問題が生じるおそれもあるため、採用にあたっては十分な検討が必要である。擁壁等によりのり面改変面積の最小化を施した事例としては、鬼首道路、中国横断自動車道、山陽自動車道、一般国道334号、371号等の例がある。

既存種によるのり面緑化は、その地域に自生する植物種を用いることにより、当該

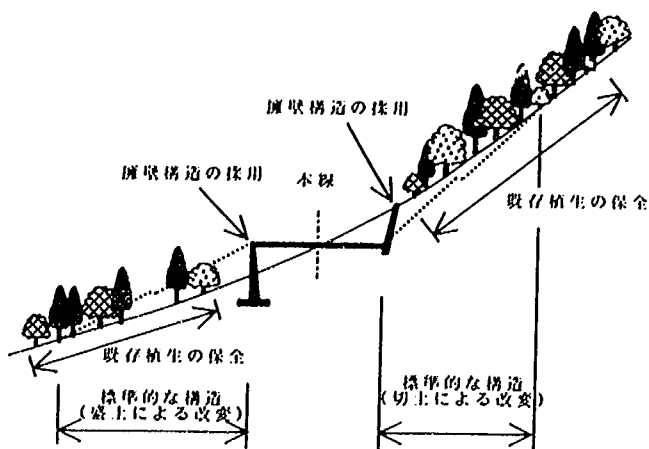


図-1 擁壁による地形改変最小化の概念図

土の覆土等として利用している。供用後16年程度経過した時点の調査では、表土にて覆土した箇所は、表土未利用地に比較してシダ植物の種数が多く見られる一方で、帰化植物が皆無であるなどの効果が見られている²⁾。

動物の移動経路が対象事業によって分断される場合、ボックスカルバート等の構造物を移動経路として確保し、影響の回避・低減を図っている事例がある。中・大型ほ乳類をはじめとして、一定の移動経路を持つ動物の場合、移動しやすく、水

表-2 道路構造物と動物の移動事例¹⁾

凡例 ◎=良く移動している
○=移動している
△=あまり移動していない

道路構造物 種類	ボックスカルバート	ボックスカルバートの側溝	パイプカルバート	オーバブリッジ	橋梁下	備考
タヌキ	◎	◎	◎	○	◎	
ノウサギ	○			△	◎	ボックスカルバートの利用においては比較的天井が高い構造を愛好するようである。
イタチ	○	○	○		○	
キツネ	◎			◎	◎	
テン	○	○	○		○	
イノシシ	△				○	立地条件の良いボックスカルバートを時折利用するという情報がある。
シカ	△				○	
サル	△				◎	
オコジョ	○				○	
リス	○					通過事例はいずれも短く明るいボックスである。

* これらの判断は、これまでの調査結果に基づいており、可能性については特に考慮していない。

場としての役割をもつ沢部や谷地形を移動経路として選好することが一般に多いことから、これらの空間が道路により分断される場合には、沢部等を移動可能な構造することが効果的な場合もある。この観点から日光宇都宮道路、東富士五湖道路、伊勢自動車道、国道115号などでは橋梁下部の立入り防止柵に開口部を設け、動物が橋梁下部を移動利用できる構造としている¹⁾。その他、ボックスカルバート、パイプカルバート等を動物が道路下を横断利用している例は多い。動物の横断可能な道路構造物についてどの程度利用されているかを取りまとめた結果を表-2に示す。

代替え生息・生育地の創出は、動物では千葉東金道路におけるトウキョウサンショウウオの代替え産卵池の造成、植物では首都圏中央連絡自動車道における、カタクリ、オオチゴユリ等の移植等の事例がある²⁾。

上位性、典型性等は、環境影響評価法の施行により導入された概念であり、従来の道路事業においては、その観点から調査が行われ、事業が進められた事例は現在乏しい。

地域の既存植生に類似した植生を復元しやすいことから、生態系に及ぼす影響がより少ないと考えられることによる。なお、近年は改変地域に存する立木をそのまま移植したり、根株移植を行う事例も見られる(東名高速道路掛川IC、足柄SA)²⁾。また、当該地域に自生する植物の種子等を採取し、それを苗木等に育成した上で緑化に用いる事例も見られている(安房峠道路¹⁾、中央自動車道裏高尾地区²⁾)。

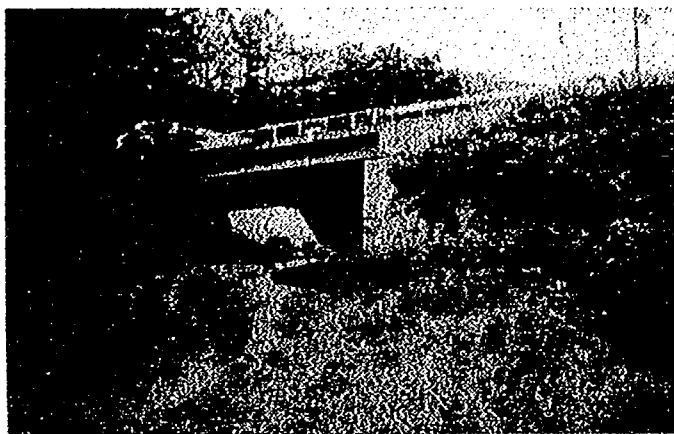
また、表土の利用も地域固有の生物環境を保全するために有効である。日光宇都宮道路では、表土を保全し、盛

近年、猛禽類の保全対策として、その生息環境を把握し、生態・行動に配慮しながら事業を進めている事例は少なくない。これは、上位性に該当するものと考えられる。

また、樹林中の湿生群落、あるいは貴重植物の自生地等を回避したり、移植等により保全した事例は、特殊性に着目したものといえよう。

これらは、「貴重種」を保全する目的から行われたもので、結果として上位性や特殊性に相当する事例と考えられる。しかし、従来の環境影響評価では「種」の保全が主体であったことから、調査・評価も「種」レベルであったことは否めない。すなわち、植物、植生、動物等について個別の調査、評価は行われているが、それらの関係まで把握されていることは少ない。したがって、現在「典型性」に該当するような、植生と一次消費者の関係を把握している事例は乏しい。

新たな環境影響評価においては、「生態系」の概念が取り込まれており、従来の種レベルに加えて、普通種を含めた種の多様性の確保を目的とした生態系の保全を図ることが求められている。今後、この目的に沿った調査、予測、評価および保全方法の確立を体系的に図っていくことが必要である。



写真－1 橋梁構造により谷部での動物の移動路を確保した例
—一般国道115号（福島）¹⁾



写真－2 パイプカルバートにより動物の移動路を確保し、中に
歩行用の柵を設けた例—中国自動車道（岡山）¹⁾

参考文献

- 1) (財) 道路環境研究所・エコロード検討委員会：自然との共生をめざす道づくり－エコロード・ハンドブック－
- 2) 日本道路公団資料

「河川部門」紙上回答目次

	(質問者)	(回答者)
1. ダム上流域等の中小河川流域における洪水予測システム構築の考え方	竜門ダム工事事務所	水文研究室…………… 71
2. 不連続な水位流量曲線	遠賀川工事事務所	水文研究室…………… 74
3. 海岸(侵食)の調査方法、対策についての最近の事例等	川内川工事事務所	海岸研究室…………… 76
4. 築堤材料(シラス土)の補強方法	川内川工事事務所	緑化生態研究室…………… 78
5. 広範囲における河川区域内坑道跡探査手法	遠賀川工事事務所	地質研究室…………… 80
6. 柔構造樋管の沈下量の算出 (粘性土地盤の即時沈下量の取扱い)	大分工事事務所	土質研究室…………… 82
7. 住民参加の川づくり	河川部河川計画課	都市河川研究室…………… 83
8. 湾曲河道に設置した不透水刺先端部の洗掘防御手法	菊池川工事事務所	河川研究室…………… 87

1. ダム上流域等の中小河川流域における洪水予測システム構築の考え方

質問者：竜門ダム工事事務所 調査設計課

回答者：河川部水文研究室（内線 4 2 4 6）

質 問

降雨の時間的・地域的特性及び流域の乾湿状態等の変動により、ダムへ流入する洪水は、出水毎に大きくその量や波形を変化させる。これらの洪水に対し、最適な放流操作を行うためには的確な洪水予測システムが必要とされる。ダム上流域等の中小河川流域において洪水予測システムを構築するにあたって、特に留意しなければならないポイントについて御教示願いたい。

回 答

1. はじめに

ダム上流域において洪水発生が予測されると、洪水警戒態勢をとり、ダムへの洪水流入量の現在の状況・今後の動向を判断し、操作規則等と照合した上で放流量を制御するのみならず、下流への放流の通知・警報や巡回、関係機関との連絡等を迅速に行う必要がある。流域面積の小さいダム上流域では、洪水到達時間が短いため、短時間のうちに多くの情報を収集・判断して、迅速な操作をしなければならないという特徴がある。このため放流操作の定式化に基づくダム管理の簡素化と高度化のバランスの重要性がクローズアップされてきているが、それへ向けて克服すべき課題の一つとして、ダム流入量予測、すなわちダム上流域における洪水予測の精度向上があげられる。ここでは、質問の趣旨に沿って、ダム上流域のような中小河川流域における洪水予測を行うにあたっての留意点について、主な誤差要因別の整理を行うこととする。

なお、洪水予測を含むダム放流操作全般に対する技術的留意点や研究の動向については、参考文献 1)~4)等に議論されているので、ご参照いただきたい。

2. 流域平均雨量観測における留意点

降雨流出関係の同定を行うにあたっては、洪水の直接の原因となる流域への降雨量をまず正確に把握する必要がある。地点降雨量の観測精度確保のポイントは文献 5)に詳しいが、我々が必要なのは流域平均の「面積降雨量」であり、テレメータ観測所の適正配置を行う必要がある。なお、一般に 50km² に 1 個所程度の地上雨量計配置で面積雨量観測誤差は 10 % 程度以内とされるが、それはあくまで「一雨面積雨量」での話であり、「1 時間単位未満での面積雨量」の誤差は当然それを大きく上回ることに注意が必要である。橋本(1977)は、3 時間雨量での変動係数（不特定多数の降雨における平均に対する標準誤差の比）は、一雨雨量のそれと比べて 110 ~ 190 % 増し（2.1 ~ 2.9 倍）になることを関東平野の中川流域で示している⁹⁾。また、山岳流域では、風向によって大きく分布の異なる地形性降雨の影響にも配慮が必要である。

これらの点が、誤差の拡大要因として考えられる場合には、レーダ雨量計情報の活用を検討することが必要である。

一般には、いわゆる Bβ 法に基づくレーダ雨量は、時間雨量として地上地点雨量値と比較すると 50% 程度の平均誤差率を有しているのが現状である。しかし、地上雨量は直径 20cm スケールでの降雨量なのに対し、レーダ雨量は数 km 四方に分布する雨滴の集合全体からの反射強度に対応した値であることを考慮する必要がある。中尾

(1999)は、地上雨量計直上メッシュだけではなくその周囲のメッシュも含めて地上雨量と比較すると、雨量値がほとんど一致するメッシュが必ず存在することを見いだししている⁷⁾。さらに九州北部釈迦岳レーダでは、強雨時の観測精度向上を図った直交二偏波レーダが実用化された⁷⁾。グラントクラッタ(山岳等からの電波の不要反射)の除去が良好な地域では、レーダ雨量を定量的に活用できる。また、テレメータ欠測時のバックアップとしても有効である。

3. 降雨-流出解析における留意点(損失量評価を含む)

一般に、一級河川基準点における洪水予測は、テレメータ雨量のティーセン分割による流域内降雨量分布を考慮した、分割流域毎の貯留関数法の組み合わせにより行われることが多い。その手法は、水文資料が揃っている限り、中小河川においても基本的に有効である。但し、貯留関数法の定数のうち、 K 、一次流出率 f_1 (または流出率 f)、飽和雨量 R_{sa} が、総降雨量や降雨時空間分布、前期雨量等の影響により洪水毎に異なるため誤差の要因となる(実用上、 p 、滞留時間 T_l は固定することが多い)。このため、流量(貯留量 S)もしくは f 等について、定数固定現時刻合わせ法又はカルマンフィルター法等によりフィードバックをかける速効性のある手法が用いられる⁹⁾。但し、予測対象の流量(ダム流入量)の観測精度に注意を払う必要がある。

貯留関数法は概念的に直接流出成分のみを考慮したモデルであり、浸透性が高く中間流出成分が無視できない流域や、流出率の変動の大きい流域等では、降雨損失モデル(有効降雨モデル)をモデル内部で考慮した流出解析法を検討すべきである。タンクモデルはその代表であるが、降雨や流域特性の空間分布を考慮できる定数分布型流出モデルもある。例えば、土研分布モデル¹⁰⁾や小葉竹タンクモデル¹¹⁾は、検討事例が多く総合化が進んでおり、貯留関数法と同等以上の精度を確保できることも既に示されている。但し、パラメータの最適化に経験と知識が必要とされる。

4. 降雨予測における留意点

降雨予測の手法は、1)運動学的手法、2)動的(熱力学的)手法、3)統計学的手法の3種類に大別される。このうち、建設省において最も一般的に用いられているのは、レーダ雨量計によって得られる雨域の移流ベクトルを将来時刻に外挿するという「運動学的手法」である。移流ベクトルの求め方には、土木研究所で開発・精度評価を行った関連係数法に基づく雨域追跡法¹²⁾や、移流方程式を用いる方法¹³⁾などがある。気象庁の短時間降雨予測についても、レーダアメダス合成図を基本としており、同様の原理である。これらの手法は、すでに技術的に確立し、1時間程度先までの定量的予測は十分可能とされているが、降雨セルの寿命が30分～1時間であることから過去の履歴からの降雨の発達・減衰の外挿に限界があり、2～3時間先の予測になると精度が落ちる。そこでの精度向上を図るために、大気気象数値モデルの活用などが模索されている段階である。しかしながら、先行予測時間(リードタイム)は短い、予測時間間隔を短くとることにより、小流域でのハイドログラフ予測には活用できよう。

このように、降雨予測単独で議論すると、残された技術的課題を指摘できるが、レーダによる降雨予測を流出モデルに実際に入力して2～3時間先の洪水予測を行うと、地上テレメータデータのみを用いた洪水予測と少なくとも同程度、場合によってはより良好な予測結果をもたらす得ることも、これまでに少なからず報告されている¹⁴⁾。この原因としては、1)山岳域においては、テレメータ雨量観測所の設置可能地点の制約と降雨の標高依存性から、そこでの面積雨量を算出する際にレーダ雨量計が潜在的に優位であること、2)洪水ピーク流量を予測するためには、1次近似的には洪水到達時間内の流域平均総雨量を予測すれば良く、現状の運動学的手法による降雨予測

手法でもある程度での精度は確保できること、が考えられる。

5. おわりに

以上、洪水予測の精度に影響を与える要素毎に技術の現状と留意点、および今後の精度向上の可能性を述べたが、本来、面積雨量評価、流出解析、降雨予測のすべての段階でいかなる手法を用いても誤差が含まれることはやむを得ない。したがって、感度分析や日々の予測業務の積み重ねを通じて洪水予測システムの誤差の実態を分析しておくことが、将来の新技術の導入を含めたシステムの信頼性の向上に不可欠であると言えよう。

参考文献

- 1) 高須修二：ダム放流設備と放流操作、ダム技術、No.142、pp.3-8、1998.
- 2) 盛谷明弘：洪水予測とダム操作、オペレーションズ・リサーチ、vol.33、No.9、pp.463-467、1988.
- 3) 高須修二、廣瀬昌由、宮井貴大：ダム貯水池操作支援システムの開発、ダム技術、No.95、pp.20-29、1994.
- 4) 今村瑞穂：ダム貯水池による洪水調節の合理化に関する2, 3の考察、ダム工学、vol.8、No.2、pp.102-116、1998.
- 5) 建設省水文研究会：水文観測（3訂版）、（社）全日本建設技術協会、1997.
- 6) 橋本健：標本計画法による面積雨量の精度および信頼度の評価に関する研究、土木研究所報告、No.149、pp.115-128、1977.
- 7) 中尾忠彦：1998年8月豪雨における建設省高鈴山レーダ雨量計の観測状況、水文・水資源学会1999年研究発表会要旨集、pp.194-195、1999.
- 8) 深見和彦：次世代型レーダ雨量計（二重偏波レーダ）による降雨観測、土木技術資料、vol.39、No.11、pp.8-9、1997.
- 9) 近畿地方建設局河川部河川管理課：洪水予測システム整備ガイドライン（案）、1997.
- 10) 吉野文雄、吉谷純一、山邊満：分布型流出モデルの開発と実流域への適用、土木技術資料、vol.32、No.10、pp.54-59、1990.
- 11) 小葉竹重機、石原安雄：タンクモデルおよび集中面積図を利用した洪水流出モデルの総合化、土木学会論文報告集、No.337、pp.129-135、1983.
- 12) 土木研究所：レーダ雨量計による短時間降雨予測に関する調査報告書、土木研究所資料、No.2406、1986.
- 13) 椎葉充晴、高棹琢馬、中北英一：移流モデルによる短時間降雨予測の検討、水理講演会論文集、vol.28、pp.349-354、1984.
- 14) 例えば、入江洋樹、永山正典：レーダによる短時間降雨予測の利用について、実践水文システム研究会1997年度報告書、vol.1、pp.129-168、1997..

2. 不連続な水位流量曲線

質問者：遠賀川工事事務所調査課

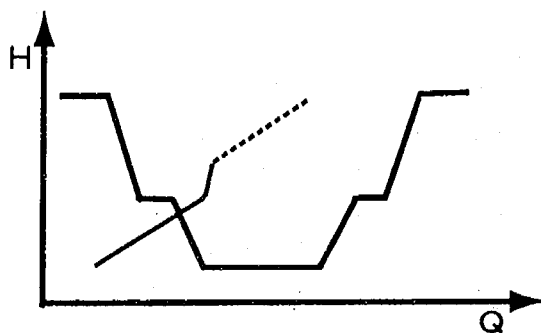
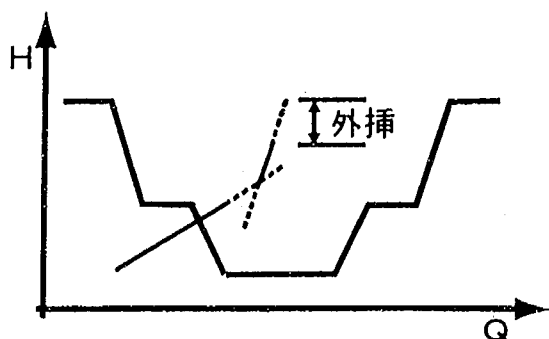
回答者：河川部水文研究室（内線 4 2 4 5）

質 問

当事務所が管理している流量観測所において水位流量曲線を作成したところ、図のような変曲点を有する不連続な水位流量曲線が得られた。この原因と解決法について教示頂きたい。また、当事務所ではこの原因の一つとして、高水敷粗度の影響を考えており、合わせて高水敷における粗度と植生・水深との関係について教示願いたい。

（現状）変曲点を有する不連続な
H-Q 曲線が得られた。

（予想）高水部では高水敷粗度の影響が
薄れてくるため、若干、H-Q 式が
倒れ流量が出やすくなる。



回 答

水位流量曲線（H-Q 曲線）を作成する際、水位により複数の H-Q 曲線を用いる場合は、原則としてその接合部で流量値に不連続を生じないようにしなければなりません。しかし現実には、不合理な水位で曲線が折れ曲がる場合や、2つの曲線が接合せず不連続点が生じる場合があります。その主な原因として、

- ①例えば、低水時にはプライス型流速計を用い、ある水位以上では浮子を用いるというような観測を行った場合、観測方法の変更を行った水位付近で不連続となることがある。
 - ②不連続を生じる水位付近で観測を実施していない。
 - ③一つの曲線式適用期間中の中小洪水等により河床変動を生じ H-Q 関係が変化した、流量観測時期の偏りから高水部と低水部の H-Q 関係が不連続になっているように見える。
- 等が考えられます。このような事態を避けるためには、低水から高水までまんべんなく流量観測を実施することが重要です。しかし、やむを得ずこのような不連続が生じた場合には次のような方法をとります。

- ①低水時から高水時までの全ての資料に対して、一つの曲線を適用し H-Q 曲線を作成する。
- ②図-1 などから高水敷粗度を推定し、マニング則を用いて H-Q 曲線を作成する。

また、高水敷における粗度と植生・水深との関係ですが、一般に、高水敷の粗度係数は地被状態と水深により決まると考えて良く、これらの具体的な関係については図-1 のようになっています。

しかし、どれほど高水敷の粗度が大きくても、低水路上では高水敷上の植生の影響をほとんど受けずに流れるため、質問のように水位増に対する流量の増加率が急激に低下することはあり得ません。これは単に、流量観測の誤差であると考えられます。

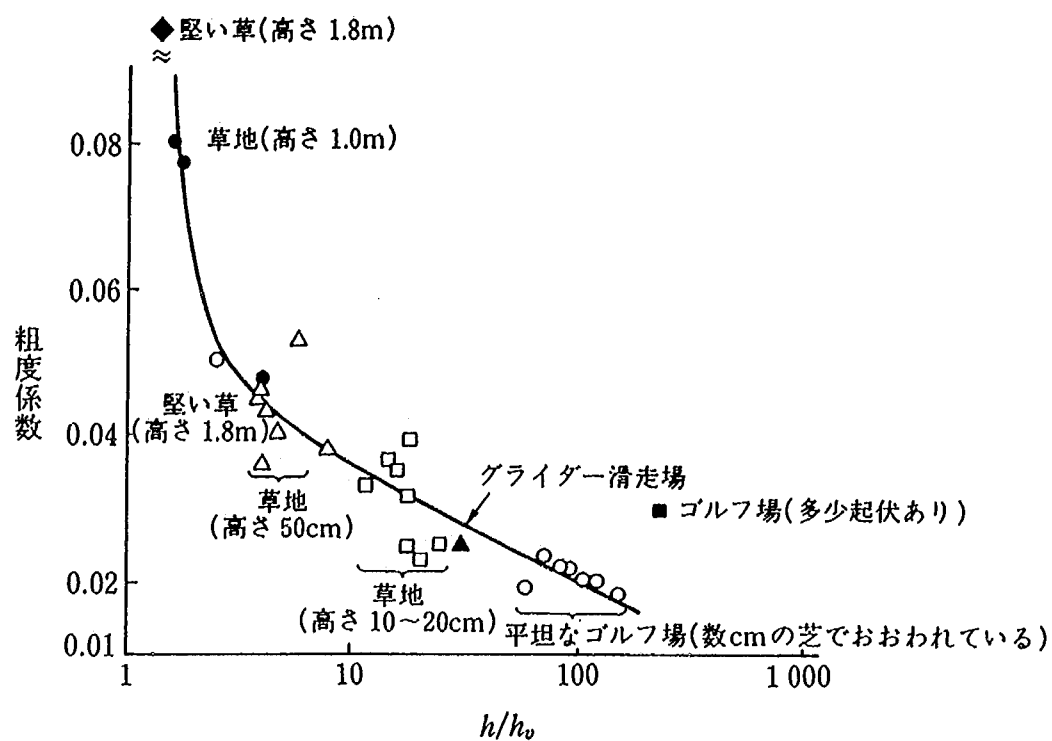


図-1 高水敷粗度と水深 h ・草の高さ h_v 比との関係

参考文献

- 1) 建設省水文研究会: 水文観測、社団法人全日本建設技術協会、pp227-251、1996
- 2) 建設省河川局: 改訂新版建設省河川砂防技術基準(案)調査編、第6章、山海堂、1997

3. 海岸(侵食)の調査方法、対策についての最近の事例等

質問者：川内川工事事務所

回答者：河川部海岸研究室(内線4253)

質 問

鹿児島県の吹上浜海岸は、日本の白砂青松百選にも選ばれた自然環境に恵まれた海岸であるが、近年、海岸線の侵食が進み、美しい砂浜が失われつつある。

吹上浜海岸については、鹿児島県において、汀線位置測量、深浅測量等が実施されているところであるが、平成 11 年度より当事務所でも直轄海岸事業調査費を計上し、鹿児島県と協力しさらなる調査と、その結果に基づいた対策工を検討して行きたいと考えているところである。海岸侵食に関する調査法および自然環境に配慮した対策工について最新の技術をご教授願いたい。

回 答

1. 海岸調査項目

海岸の調査項目としては、①空中写真の比較による汀線の経年変化の把握、②深浅測量による海浜断面形と平面地形の把握、③波・流れ、潮汐変動等の外力条件の把握、④堆積物特性の把握、⑤生態系の実態把握、などが挙げられる。

①空中写真の比較による汀線の経年変化の把握

米軍の撮影による 1947 年の空中写真や、国土地理院撮影の空中写真を比較して汀線の経年変化を把握する。海浜変形の傾向や沿岸漂砂の卓越方向が推定できる。

②深浅測量による海浜断面形と平面地形の把握

岬と岬の間の漂砂系において深浅測量を行い、海浜断面形と平面地形を把握する。測量は砂丘を含む陸上地形と水深 20m 程度までの海底地形について行う。海浜断面形から侵食傾向や堆積傾向が推定でき、平面地形からバーやバームの発達状況が分かる。吹上浜海岸では過去に海砂の採取が大規模に行われ、それが侵食原因となっている可能性がある。ので、詳細な深浅測量や海底状況の調査を行う必要がある。

③波・流れ、潮汐変動等の外力条件の把握

波高・流速計を設置して波・流れ、潮汐変動等を長期的に観測する。気象擾乱による来襲波の特性を経年的に明らかにする。また、背後に砂丘が発達している海岸では風向風速の調査も重要である。

④供給される土砂の量と質および堆積物特性の把握

岬と岬の間の漂砂系に流入する河川から供給される土砂の量と質を調査する。また、海岸を構成する堆積物の特性についての調査を行い、海岸の形成過程について考察する。

⑤生態系の実態把握

海岸植生や底棲生物および魚類などについて調査する。生息環境等を評価する。

2. 海岸侵食対策工

海岸では波浪条件に応じて短期的で局所的な侵食や堆積が生じる。このため、緊急的な侵食対策が行われることが多いが、長期的で広域的な海浜変形を良く把握して対策を計画しなければ、自然な海岸環境を遺すことはできない。このことから、前述の調査項目に関する長期的な調査の継続が望まれる。

海岸侵食対策工としては、①護岸・堤防、②突堤・ヘッドランド、③離岸堤・人工リーフ、④養浜・サンドバイパス・サンドリサイクル、などが挙げられる。このうち、比較的に自然環境に悪影響が少ない工法として、ヘッドランド、人工リーフ、養浜、サンドバイパス、サンドリサイクルが挙げられる。

護岸・堤防、突堤、離岸堤は海浜をコンクリート構造物で覆うことになるので、景観や生態系への影響が顕著に生じやすく好ましくない。ヘッドランドと人工リーフもコンクリート構造物であるが、配置等を工夫すれば景観や生態系への影響は小さくなる。

写真－１はヘッドランドによる海岸保全の一例であり、ヘッドランドとヘッドランドの間には自然な砂浜が保全されていることが分かる。写真－２は人工リーフによる海岸保全の一例であり、人工リーフの背後には自然な砂浜が広がっている。

改正された海岸法においては砂浜が海岸保全施設として位置づけられたことから、最も自然環境に配慮した対策工は、サンドバイパスとサンドリサイクル、養浜となる。サンドバイパスとサンドリサイクルは漂砂系内での土砂循環を保つ工法であるから、土砂の質の面からも景観や生態系に及ぼす影響は少ない。養浜の場合は、投入する土砂の選定によっては、景観や生態系に悪影響が生じる可能性があり注意を要する。

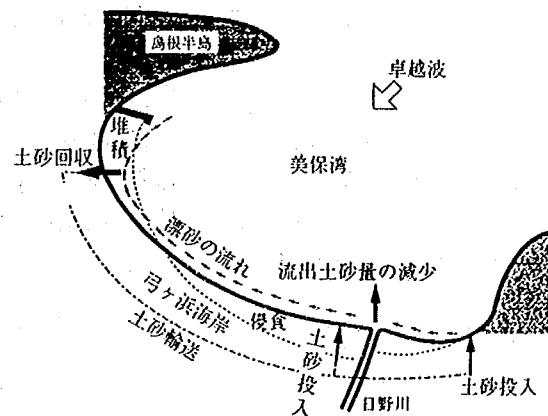
図－１は弓ヶ浜海岸で行われているサンドリサイクルの模式図であり、島根半島の遮蔽域に堆積した土砂を、侵食の著しい上手側に投入し、土砂の循環を図っている。写真－３は土砂を採取している状況であり、写真－４は土砂を投入している状況である。写真－４では海中に土砂を投入しているが、汀線付近に土砂を盛土する方法もある。この侵食対策工の場合は、海岸線や海中に構造物を設置しないので、景観や生態系に及ぼす影響は少なく、自然な砂浜を保全できる。



写真－１ 茨城県大野鹿島海岸における
ヘッドランドによる海岸保全



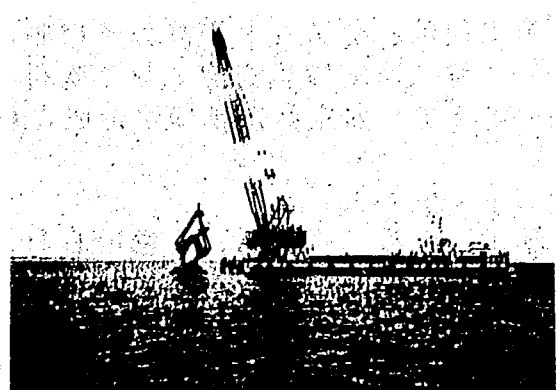
写真－２ 福岡県鐘崎海岸における
人工リーフによる海岸保全



図－１ 鳥取県弓ヶ浜海岸における
サンドリサイクル



写真－３ 土砂の採取状況



写真－４ 土砂の投入状況

4. 築堤材料(シラス土)の補強方法

質問者：川内川工事事務所 工務課

回答者：環境部緑化生態研究室（4 1 6 3）

質 問

シラス土を用いた築堤では良質土の客土を行い、植生を繁茂させることにより侵食の防止を行っている。しかし、南九州は一带がシラス土壌であることから、一般に良質土は手に入りにくく高価である。シラス土のみの築堤でも植生を繁茂させることが可能な工法についてご教授頂きたい。

回 答

地表地質総面積のうち約 50% がシラスで占められている鹿児島県においては、河川堤防の築堤にシラスを使つての盛土が多く行われている。

シラスは、築堤材料として最も侵食されやすい土とされており、十分な侵食対策が必要とされる。その方法としては、のり面勾配を二割以上の緩やかなものとし、表土（火山質ローム・シラス風化土）を使用して土羽を行い、その上に野芝を全面に張るのが一般的である。この方法において芝が十分に繁茂した後であれば、越水に対する抵抗はきわめて大きいという報告がある¹⁾。

しかし、シラスは粘性が弱いために降雨による侵食を受け、植物が繁茂するまでにガリの発生や表層崩壊を起こしてしまうため、緑化上の障害となっている。また、硬質なものが多いため、根系の侵入が困難となり、発芽や生育が不良となったり、土壌養分が少ないことから、緑化できたとしても衰退しやすいことも考えられる。

従つて、安定した植生の繁茂を期待するには、①耐侵食性の高い工種、②有機物を大量に投入できる工種、を選定することが重要になってくる。また、斜面内部への地表水の流入防止や斜面内の地表水を排出するために、排水工の整備に留意することも必要である。

以上を踏まえ、以下にいくつかの施工方法を紹介する。これらは道路のり面において行われている施工方法であり実績を有するが、一般的に緑化基礎工と併用すること、緑化材料として外来草本の播種を用いることが特徴とされる。

そのため、これらの工法の河川堤防への適用には、河川管理上の諸条件を踏まえた上で、事前の試験施工により、その可否を検討して頂きたい。

○植生基材吹付工

バーク堆肥、ピートモスなどの有機質資材に種子と侵食防止材などを混合し、圧搾空気により吹き付ける工法である。生育基盤を保持するために、金網張工と併用するのが一般的であるが、生育基盤材に連続繊維を混入することによって 1:1.0 より緩斜面においては金網張工を必要としない工法もある。

本工種は、セメントや高分子樹脂などの侵食防止剤を用いているので、耐侵食性が高く、特に連続繊維を混入した吹付工法は、連続繊維による植物の根張りと同様の効果によって、安定した基盤が造成される。

○植生マット工

種子、肥料、保水材、土壌改良材、肥料袋または人工客土を装着したマット状の被覆材（植生マット）を斜面全体にアンカー、止め釘などを併用して張り付ける工種であり、工場で生産されたものを張り付けるタイプと現地に張り付けた袋体に流動性の材料を注入するタイプがある。材質が一般に厚いため、被覆する効果が高く、また樹脂ネットおよび袋状の繊維などで補強されていることから、施工直後の雨水などによ

る表面侵食を防止する機能にも優れている。

○植生土のう工

土のうに種子、肥料、保水材、土壌などを詰め、面状または筋状に配置して緑化する工種である。一般的な袋の規格は 60×40cm（空袋）で、土砂詰め後は 50×30×10cm（重量約 20kg）程度になる。最近では肥料袋や袋地が腐食するものなど、様々なタイプの植生土のうが開発されている。

施工効率が劣るため、局所的な施工に用いられる。

○ロール芝張付け

従来から使用されている野芝を改良したもので、ゴルフ場や公園緑地内で利用され、最近では河川堤防の緑化にも使用される。規格は一般的に 50cm×2m であり、通常の野芝による張付けより縦目地の数が少なくなるため、侵食の防止が期待できる。また、一度に多くの張付けができるため、施工性にも優れている。

参考文献

- 1) 林野庁監修：自然をつくる緑化工ガイド、(財) 林業土木コンサルタンツ
- 2) 倉田益二郎：緑化工技術、森北出版株式会社
- 3) 建設省九州地方建設局九州技術事務所：法面保護工に関する試験調査報告書（しらす法面の降雨実験）
- 4) 建設省九州地方建設局九州技術事務所：法面保護工に関する試験調査報告書（シラス試験堤の越流実験報告書）
- 5) 財団法人 土木研究センター：連続繊維緑化基盤 テクソル・グリーン工法設計施工マニュアル

5. 広範囲における河川区域内坑道跡探索手法

質問者：遠賀川工事事務所

回答者：環境部地質研究室（内線4131）

質問

福岡県筑豊地方は以前、産炭地として栄え、その名残として今では広範囲にわたって網目状に坑道跡が連なっている状況であり、過去において多くの陥没事故が発生しているため、今後も河川管理施設等への影響が懸念される。坑道跡の資料等もあるが、全河川域をカバーすることは不可能に近いと、広範囲・期間・コストを考慮した探索手法をご教示願いたい。

回答

鉱山跡の陥没事故としては、例えば栃木県の大谷石採掘跡の大規模な陥没事故などが有名である。一方、炭坑跡における浅部の坑道跡（以下、古洞と称する）の崩壊を浅所陥没といい、これらは小規模なためあまり目立たないが、数多く発生している。

このような古洞の分布については、過去の採掘記録などを調査することがまず第一に必要である。しかしこのような資料のみでは十分でないので、採掘資料以外の既往の地質調査資料（地質の学術調査、河川工事や堤防の防災調査など土木工事等に関するボーリング資料等）を収集して、浅所に鉱山跡が存在する可能性のある範囲（炭層を含む地層の分布域など）を限定した上で、できるだけ効率的な探索を行う必要がある。

古洞は数m以下のものが大半である。このため、探索に当たっては、適切な探索分解能と探索深度を持つ手法を選定する必要がある。

まず探索分解能について考えると、古洞が崩壊すると図-1¹⁾のように上部で緩み域が拡大し、その上このような古洞が何段も広域的に分布するために、逐次緩みが発生すると地表に緩みが到達して、沈下する時にはかなりの広さになることがあるという。しかし筑豊地区での過去の陥没の大きさ（長径。表-1¹⁾）をみると、80%以上が3m以内である。したがって古洞の大きさもそれ以下のものが多いと推定される。したがって探索精度2～3m以内の高い分解能を有する探索手法を用いる必要がある。

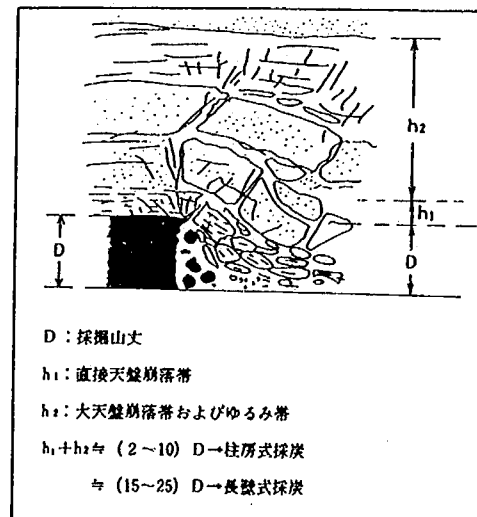


図-1 古洞の崩落模式図¹⁾

表-1 陥没の大きさ（頻度%）¹⁾

長さ 深さ	1.0m以下	1.0~2.0m	2.0~3.0m	3.0~4.0m	4.0~5.0m	5.0~6.0m	6.0~7.0m	7.0~8.0m	8.0m以上	計
1.0m以下	17.8	8.6	2.0	0.7	0	1.3	0	0	0	30.4
1.0~2.0m	9.2	12.5	7.9	2.0	1.3	0	2.6	0	0.7	36.2
2.0~3.0m	2.6	6.6	4.0	2.0	0	0.7	2.0	1.3	0	19.2
3.0~4.0m	0.7	1.3	1.3	1.3	0.7	0	0	0.7	0	6.0
4.0~5.0m	2.0	0.7	1.3	0	0	0.7	0	0	0	4.7
5.0~6.0m	0.7	0.7	0	0	0.7	0.7	0	0	0	2.8
6.0~7.0m	0	0	0.7	0	0	0	0	0	0	0.7
計	33.0	30.4	17.2	6.0	2.7	3.4	4.6	2.0	0.7	100.0

注) 福岡通産局資料。昭和50年までの151件の実測結果

次に探査深度については、一般に陥没の可能性があるのは30m以浅とされている。筑豊地区での陥没古洞の深度（表-2）¹⁾をみると、古洞深度5m以浅のものは3.8%程度であり、90%が深度5～20mの間にある。したがって探査深度はこの範囲を十分カバーできるものでなければならない。

表-2 陥没した古洞の種類と深度¹⁾

古洞深度 (m)		5 m 以浅	5 ~ 10 m	10 ~ 15 m	15 ~ 20 m	20 m 以深	計
探 掘 法 別	単層探掘	1.9	5.6	12.9	11.1	0	31.5
	累層探掘	1.9	20.3	25.8	3.7	1.9	53.6
	坑道	0	1.9	7.4	1.9	3.7	14.9
計		3.8	27.8	46.1	16.7	5.6	100.0

注) 福岡通産局資料。昭和50年までの54件の実測結果

このような条件を満たす確実な探査方法はないが、一般には微重力探査や二次元比抵抗探査、弾性波探査（浅層反射法、表面波探査法）、地下レーダーなどが用いられることが多い。微重力探査、二次元比抵抗探査、弾性波探査などは探査精度がやや低い、空洞規模がある程度以上大きければ把握できる可能性がある。通常は簡易性から微重力探査が用いられることが多いが、既に古洞が崩壊した箇所も異常部として検出されることもある。浅層反射法でも空洞が探査された例があるが、極浅部の探査は難しい。二次元比抵抗探査法については、近年は電極を地面に打設する手間のないキャパシタ電極を用いる方法が開発されているので、電極を打設する方法に比べ探査深度は約10m以浅と浅いものの迅速性は向上している。地下レーダーはより迅速性に優れ、リアルタイムで探査結果が得られる。分解能も他の方法に比べると高いのが利点である。しかし探査深度が一般に数m程度であり、深い古洞には適用しがたい。

このほか、電磁法探査など様々な調査手法があるが、このような小規模な空洞の調査は非常に難しく、確実な手法はないのが現状である。したがってこのような各手法の利点を生かして複合的に探査したり、広域的に探査した後には必要に応じてボーリング調査などを行って、その妥当性を確認することなどが必要である。

参考文献

- 1) 九州地方土木地質図編纂委員会：九州地方土木地質図 解説書, pp. 326-327, 1986.

6. 柔構造樋管の沈下量の算出(粘性土地盤の即時沈下量の取扱い)

質問者：大分工事事務所

回答者：材料施工部土質研究室（内線 4744）

質 問

新規河川堤防築造による地盤の即時沈下量は、「柔構造樋門設計の手引き」によれば、地盤の変形係数を用いた弾性変位量で評価していますが、引堤のようなケースの場合、旧堤防による圧密に伴う部分的な地盤の強度増加を見込んで沈下量を算出することができず、過大になるおそれがあります。粘性土地盤の場合、即時沈下量は過圧密領域での沈下量と考えられますが、 e -log P 曲線の過圧密領域内での沈下量で評価しても良いのでしょうか。ご教示願いたい。

回 答

粘性土地盤における即時沈下量とは、せん断変形に伴い発生するものです。つまり、地盤が局部的に降伏してそれが進行した結果生じた沈下を指します。一方、 e -log P 曲線による過圧密領域の沈下量とは、テルツァーギの圧密理論によるものであり、ここで検討しているせん断変形による沈下とは異なるものです。したがって即時沈下量を e -log P 曲線から求めることは難しいと考えられます。

地盤の圧密効果などによる強度増加を評価し、即時沈下量を求めるには、まず過圧密地盤から試料をサンプリングし、その試料の一軸圧縮試験を実施して地盤の弾性係数を求めます。次に、土の非線形な応力-ひずみ関係を表した構成式に有効応力に基づく弾性係数を用いた有限要素解析により即時沈下量を求めることができます。

このような即時沈下は、盛土による載荷重が小さいときは弾性的に生じますが、極限支持力に近づくとつれ地盤の塑性変形による側方流動を伴って急増します。また、地盤の圧密が進まないうちに急速に限界盛土高さ近くまで盛り上げるときは、かなり大きい量に達します。また、施工の順序や方法による地盤が乱れた場合などにおいてもさらに大きくなります。

以上のように即時沈下は様々な影響因子があり、そのメカニズムは明らかになっていません。したがって、施工時に動態観測を行って、予測値に適切な修正を加えることが望まれます。

7. 住民参加の川づくり

質問者：河川部河川計画課

回答者：河川部都市河川研究室（内線 4 2 3 1）

質 問

新しい河川法においては、河川整備計画の策定過程で必要に応じて地域住民の意見を反映することとしている。その際、どのように住民に情報を提供し、また住民の意見を聴取していくかが課題となる。そこで、こうした住民への対応の仕方やポイントを御教示願いたい。

回 答

近年、住民の河川への関心が高まり、また環境ニーズの増大に伴って、河川に対して直接的、間接的に意見や要求を出す機会が増えてきている。一方平成9年の河川法改正に伴って、河川整備計画案の作成にあたって、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することとなった。また、河川整備計画の決定に際しては予め地方公共団体の長（都道府県知事、市町村長）の意見を聴かなければならないとされた（図-1）。

これまで河川事業に関しては、都市河川については都市計画決定手続きとして、公告・縦覧・説明会を実施してきたが、その他の河川については、特に定められた手続きもなく、必要な場合に事業説明会を開催してきた。従って、今回の法改正に伴う新たな動きについては事前に手続き、手法などを含めて検討を行っておく必要がある。

このように地域の住民、団体などが計画策定段階に参加して、多くの参加者の賛同を得ることを合意形成と称する。合意を形成するには、適切な情報公開・住民参加が行われることが重要である。以下には合意形成に至る過程を示し、各々の段階で考慮すべき項目を紹介する。ポイントとなる項目につ

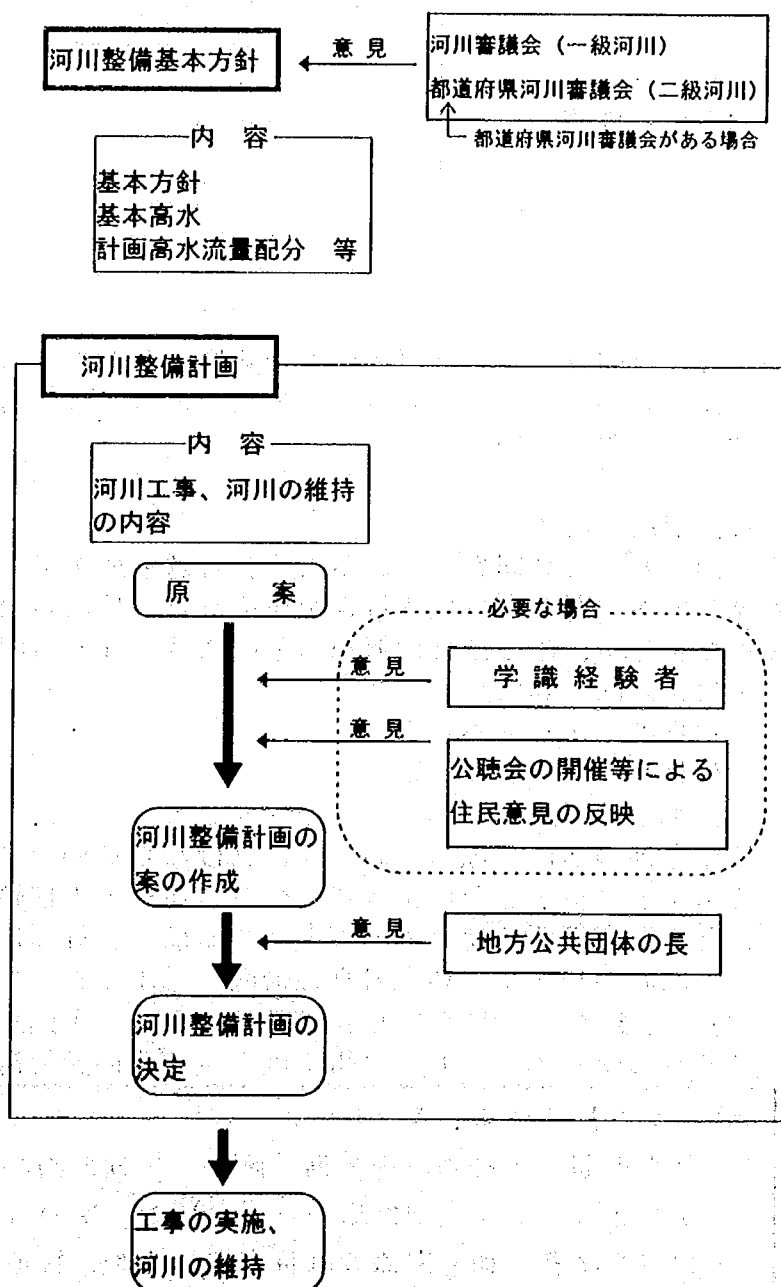


図-1 河川法による河川整備の計画策定手順

計画策定の流れ

合意形成手続き

各手続きに対応した個別手法の例

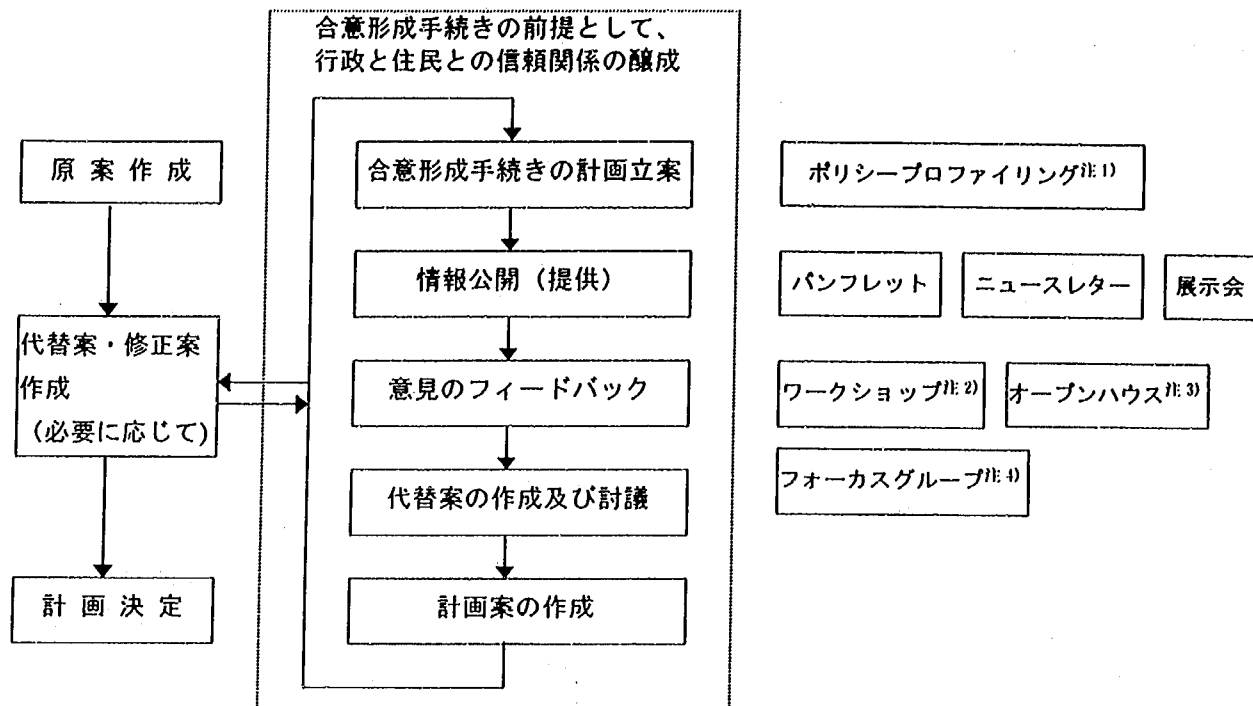


図-2 河川整備計画における合意形成の手順

いては、枠組みで示した（各段階で共通するものもある）。なお考慮事項は河川整備計画を念頭に置いて記述しているが、手法によっては個別の事業に適用できるものも多いので参考にして頂きたい。

①合意形成手続き

計画に対する賛同を得られるよう、合意形成を実施する場合、先ず計画のフレーム*を考慮して適切な合意形成手続きを決めなければならない。合意形成の手順は地域によって様々であるが、その流れは概ね以下ようになる（図-2）。

- ・ 情報公開（提供）
- ・ 意見のフィードバック
- ・ 代替案の作成及び討議
- ・ 計画案の作成

情報提供の前に実施しておかなければならないのは、住民の誤った認識や行政と住民とのミスマッチが生じないように、行政と住民との信頼関係を醸成しておくことである。

また、合意形成手続きの計画を立てる前に、計画に利害関係を持つ組織や団体の利害・主張と関心のレベル、利害対立の構図を「ポリシープロファイリング^{注1)}」等の手法により調査し、整理しておくことも大事である。この手法はまだ日本では実施されていないが、アメリカのマサチューセッツ州では大気汚染問題で活用され、効果をあげた。

【ポイント】考慮すべきフレーム

- ・ 計画期間 : 計画は中長期計画か、短期計画か
- ・ 受益地 : 受益地は広い（遠い）か、狭い（近い）か
- ・ 利害関係者 : 利害関係者は特定されるか、特定されないか

②情報公開（提供）

合意形成にあたってもっとも重要なことは、常日頃から住民や各種団体等*と緊密なコミュニケーションを図っておくことであり、このことは多くの段階を通じて言えることである。計画の策定や事業の実施に至って初めて住民と接触を図るようではいけない。

*自然保護団体、商工関連団体、農林水産関連団体、経営者団体、既成同盟会、マスコミなど

河川整備計画案の作成前にも、各々の地域の特性*に応じて、単に計画や事業（河川整備計画案の周辺情報）に関連する内容だけでなく、過去の水害・渇水、事業の背景なども含めて説明する形式で情報の提供を行う。

情報提供手法としては、パンフレット配布や役所への掲示の他、都市部においてはインターネットやケーブルテレビも活用する。そして単なる一方通行の情報提供ではなく、意見を記入できるアンケート調査票を添付したり、FAXを通じて住民の反応を見られる工夫をしておく、その後の合意形成に非常に参考となる。アンケート方式は河川中期整備計画の際にも採用されている。注意すべきことは提供された情報に対する問合せや意見の窓口を一本化しておくことである。建設省の工事事務所の場合は、例えば副所長がヘッドとなって、調査課長や係長がバックアップする方法もある。

【ポイント】地域特性として考慮すべきもの

- ・過去の水害・渇水・環境の歴史
- ・これまでの事業経緯
- ・地域の団体及びリーダー
- ・文化財、貴重種、外来種
- ・シンボリックな話題

③意見のフィードバック

河川整備計画の原案は原則河川管理者が作成する。その際、例えばワークショップ^{注2)}形式で住民と行った議論を踏まえて、原案を作成することもありうる。また、原案作成と同時に技術レポートを予め作成しておき、専門的な議論にも対応できるようにしておく必要がある。

計画案作成への住民参加を考える場合、地域の「誰が、どの段階で、どのような形式で」参加するかが課題となる。建設省で特に定められた手続きはないが、一般的には「利害関係者を含んだ地域住民」が、「計画策定初期の段階、場合によっては代替案の検討段階」で、「管理者、住民相互が意見を出し、討議できる形式」で参加することが考えられる。

住民からの意見の聴取の仕方としては、都市計画上の公聴会方式の他、農村部では建設省から働きかけて対話集会を開催したり、「オープンハウス^{注3)}」を設けたりするなどの方法もある。注意しなければならないのは通常声の大きい人の意見は集まるが、いわゆるサイレント・マジョリティと言われる多数の意見を言わない人の情報が集まらないことである。この傾向は特に農村部で大きいので、オープンハウスはその意味で有効となる。

【ポイント】地域を代表する意見

- ・団体代表の意見が地域全体を代表する意見とはかぎらない
- ・公聴会での発言などでは声の大きな人の意見が通る
- ・農村部ではあまり意見が出ない

④代替案の作成及び討議

河川整備計画の原案がそのまま地域住民に受け入れられれば、問題なく計画案の策定となるが、通常些細な点も含めて何らかの修正意見が出てくる。次にはこうした意見を含めて、代替案を作成することになる。作成にあたっては計画における対応手法、法線、環境

に配慮した案を考える。そして、事業効果、流域・環境への影響を踏まえて、代替案を絞っていく*。事業効果については、安全性や環境機能の向上だけでなく、経済性から見た便益効果も算定しておく。治水事業の場合は治水経済調査要綱に従って、また環境整備事業の場合はCVM（仮想市場評価法）、TCM（旅行費用法）などの手法を用いて、費用便益分析を行う。

【ポイント】代替案の収束において考慮する項目

- ・技術的難易度
- ・事業効果：治水効果、環境整備効果など
- ・周辺地域・他地域への影響
- ・環境への影響（水質、景観、親水性、緑地）

⑥計画案の作成

計画案策定の過程で学識経験者や住民の意見を聴くにしても、最終的に計画案を決定するのは河川管理者である。事業実施を考えると、最終的には事業効果、事業費、買収用地面積、事業に伴う移転家屋数、掘削土砂量などが計画案採択のポイントとなる。

このようにして作成された計画案は再び情報提供に準じたやり方で、あらゆる媒体を通じて広く地域住民に伝えていく必要がある。

- 注1) ポリシープロファイリング：計画・事業の内容が公表される前に、計画に利害関係を持つ組織や団体の利害・主張と関心のレベル、利害対立の構図を調査し、予期しない問題を回避する。
- 注2) ワークショップ：特定の議題のために組織された会合で、20～40人程度の比較的小さなグループで行われる。より大きな規模の会合の一部として行われる場合もある。
- 注3) オープンハウス：図書館や学校などにパネルや自動スライドを設置して、行政機関が住民に情報を提供する。住民は自由に立ち寄り、関心のあるトピックスを見たり、行政担当者に質問したりできる。声の小さな住民の意見を聞け、住民の意見や関心を組織的に収集できる利点がある。
- 注4) フォーカスグループ：計画に関連する特定のテーマについて、5～12人を集めて行われる意見聴取や討議。事業や計画に対する反応を予想したり、方針を引き出したりすることができる。

参考文献

- 1) 栗城・末次・小林：住民の合意形成と河川行政、土木研究所資料、第3470号、1997。
- 2) 末次：公共事業と住民参加、水利科学、No. 240、1998。
- 3) 末次：河川事業における合意形成、河川講習会テキスト、建設コンサルタンツ協会、1999。
- 4) 合意形成手法に関しては、例えば、カナダ環境アセスメント庁編、中島・中山ら：住民参加マニュアル 住民参加プログラムの計画と実施、石風社、1998。

8. 湾曲河道に設置した不透水制先端部の洗掘防御手法

質問者：菊池川工事事務所

回答者：河川部河川研究室（内線4221）

質 問

菊池川の感潮域内に位置する湾曲河道区間(6.2~6.8km区間：河床材料は細砂)の局所洗掘範囲に不透水制工を設置したところ、水制先端部が洗掘されるにともなって水制工の変状(特に景観に配慮して設置した水制工表面の空石張工が裏込土のすべり破壊にともなって崩れること)が頻発するという問題が生じている。変状の発生を防止または抑制することができる洗掘防御手法についてご教示願いたい。

回 答

ご質問の水制は3tブロックを河床上に積み上げるとともにブロック間の空隙を捨石によって間詰めし、さらに空石張工を行った構造となっています。また、水制先端部周辺には根固ブロックが敷設されています。このような水制工は一般的な不透水制工法に準拠したもので特別なものではありません。したがって、ご質問の内容は、砂床河川に設置された不透水制工に共通の問題(程度の差はあるが)と思われます。ただし、河床材料が細砂であることが洗掘防止を特に難しくする要因になっているようです。また、空石張工が崩れにくくする工夫をする必要もあるようです。これらの観点も踏まえ、洗掘防御および変状発生の防止・抑制手法を検討するためのチェックポイントをまとめてみます。

●根固ブロックの敷設幅は十分であったか？

湾曲部外岸に水制群を設置した後、各水制の頂部に沿うように新しく局所洗掘が生じるのは一般に良く知られていることです。ただし、砂床河川では礫床河川に比較してその形成速度が非常に速いことが見落とされがちです。このことは、「当初施工段階での根固工敷設幅設定の重要性」に関わってきます。洗掘の進行が遅ければ、様子を見ながら根固工を拡充していくことが可能です。しかし、砂床河川では速ければ数年で局所洗掘を形成してしまうので、様子を見ながらというわけにはなかなかいきません。当初施工段階でより完成度の高い根固工を設置し、施工後にはその部分的修正のみを行えばよいように初めから設計しておく必要が高いのです。そうでないと、施工後長期に渡って、「補修」ではなく「作り替え」に近い維持管理労力を強いられる懸念があります。菊池川の水制の場合、幸い施工後まだ数年程度しか経過していませんので、根固ブロックの敷設幅について再チェックし、必要に応じて拡幅などを検討すべきでしょう。その際のポイントは、水制頂部での局所洗掘要因が1)河道の湾曲と2)水制工自体からなることです。一般には、湾曲部に水制工を設置すると、要因2)のため設置前より洗掘深が大きくなります。洗掘深の増加を抑制する工夫として、特に砂床河川では透過水制工を用いるのが良いとされています。それぞれの要因に対する洗掘深を考慮した水制頂部での局所洗掘深の推定方法は、参考文献2)に詳しくまとめられています。また、洗掘深の深さに応じた根固工敷設幅の設定方法については、参考文献1)に実際的な手法がまとめられています。これらを参照してください。

●根固ブロック下部の細砂の吸い出し防止は十分であったか？

十分な敷設幅の根固ブロックであっても敷設厚さが足りないと、ブロック敷設範囲の河床砂が吸い出され、ブロックの沈下が生じることが知られています。ブロックが沈下すると、洗掘防止に支障をきたします。菊池川の場合、河床材料が細砂であるためこの現象が生じやすい条件であると言えます。それを物語る事例が質問者より報告されている³⁾ので以下に概要を紹介します。

質問と全く同一の湾曲部外岸は、水制工が設置される以前に根固ブロックによって被覆されていた。これが河床低下の進行に伴い滑落したので、平成4年にブロックを再投入したところその後も滑落が発生し、平成8年には再投入前と同様な状態に戻った。この間に大きな出水はなかった。

そこで、水制工先端周辺の根固ブロックの沈下状況をまず調べてみる必要があります。ブロックが砂面に埋没して河床面下に沈下するなどの吸い出し特有の沈下現象が見られた場合には、何らかの吸い出し防止工の設置を検討してください。その場合、既に根固ブロックが敷設されているので、ブロック下に吸い出し防止工を設置するのは困難と思われます。一案としては捨石を行ってブロック間の空隙を間詰めをし、さらに必要に応じてその上部に籠工や枠工を設置することが考えられます。これらの設計を詳細に検討する際も、参考文献1), 2) が参考になります。捨石工の新しい工夫として、小粒径層を砂面上に敷設し、その上層に大粒径層を敷設することによってより効果的に吸い出しを防止する手法が提案されています⁹⁾。これも参考にするとよいでしょう。

●空石張が崩れるのは局所洗掘の進行のみが要因なのか？

空石張工は3tブロックの間詰めに使った捨石表面を整形した上に施工されているようです。水制先端部が洗掘されるのが主要因となり、水制斜面ののり尻から捨石とともに空石張工が崩れる場合には、上記2つのチェックポイントをクリアすれば、崩落防止(少なくとも抑制)はできるでしょう。しかし、ここで気になるのは本当に「主要因」であるかということです。洪水時の流速が比較的遅い感潮河道区間であっても安息角(約40°)に近い斜面上におかれた石は流送されてしまいます。そのようなことが起こる場合、水制先端部の河床が洗掘されなくても、先端近くの斜面上の石が流送されることに起因する崩落が生じると考えられます。この要因による崩落がありえるのか調べてみる必要があります。その手法の一つとして、参考文献1)にある斜面上の捨石粒径の設定方法があります。この方法から計算される粒径より、間詰めに使った石の粒径が小さければ石の流送も要因となると考えて良いでしょう。その場合の対策として、水制斜面の勾配を緩くする、捨石の粒径を大きくするなどが考えられます。しかし、水制の機能とは直接関係ない空石張を維持する目的ならば、最近市販されている石をネット(金属製または化学繊維製)に接着した屈撓性のある素材を使用してみるのも良いかもしれません。これならば、適切な強度のあるネットを選べば、水制の芯材として用いた3tブロックがある程度沈下した場合にも、変形に追従して水制表面を覆うことができそうです。いずれにしても単年度の工費だけでなく、長期的視野を持って維持管理労力を最小化できる工法を選択することが望ましいようです。

以上、3つのチェックポイントとしてまとめて回答いたしました。各回答で引用している参考文献1), 2) は、水制本体および根固工に関して体系的にまとめられた実用書であります。水制はもちろん様々な護岸工法の設計・維持管理に役立ちますので、一読してみることをおすすめします。

参考文献

- 1) (財) 国土開発技術研究センター編：護岸の力学設計法，(株) 山海堂，第1刷，151p., 1999.
- 2) 山本晃一：日本の水制，(株) 山海堂，第1刷，447p., 1996.
- 3) 坂田光一：千田水制工事の現場水理模型実験による水制効果の検証，第51回建設省技術研究会報告，pp.66～69, 1998.
- 4) 鈴木幸一・山本裕規・徳安芳典：逆フィルターを利用した捨石洗掘防止工に関する基礎的研究，土木学会論文集，No.572, II -40, pp.1～9, 1997.

「ダム部門」紙上回答目次

1. ダム放流工としてのトンネル工

(質問者)
鶴田ダム管理所

(回答者)
ダム構造研究室…………… 89
水工水資源研究室

1. ダム放流工としてのトンネル工

質問者：鶴田ダム管理所

回答者：ダム部ダム構造研究室(内線 4 4 2 1)

ダム部水工水資源研究室(内線 4 4 4 1)

質問

既設ダムに洪水処理のための放流工を新たに設ける場合の施設として、堤体を削孔して放流管を埋設する方法や地山内にトンネル放流設備として設置する方法などが考えられます。これらのうち、トンネル放流設備として設置する場合に留意すべき水理的な課題、施工上の課題についてご教示下さい。

回答

【水理的な課題】

わが国でのトンネル式の放流設備の事例はあまり多くはありませんが、鳴子ダム、十勝ダム、有馬ダムなどで洪水吐きとして用いられている事例もあります。また、フィルダムの水位低下用施設として、比較的大きな流量を対象とした仮排水路トンネルの転用が行われてきています。徐々に採用実績も増えてきており、水理的な安定性が確保できればトンネル式放流工は洪水処理の施設として十分適用可能な施設と考えられます。

こうしたトンネル式放流工の水理上の大きな特徴は、当然のことながら流下断面が閉じていることです。このような施設では、開水路と管路の境界付近において流れの極めて不安定な状況が生じ、大きな脈動や危険な圧力変動が生じる可能性があります。こうした不安定な流況が生じないようにするためには、管路流部と開水路流部とを明確に区分するとともに、開水路部の流況が不安定になったり、閉塞しないよう十分な給気が可能な施設となるように設計してやる必要があります。やむを得ず遷移的な流れが生じる場合には、形状の設定において不安定な流況の生じないように十分な配慮が必要です。

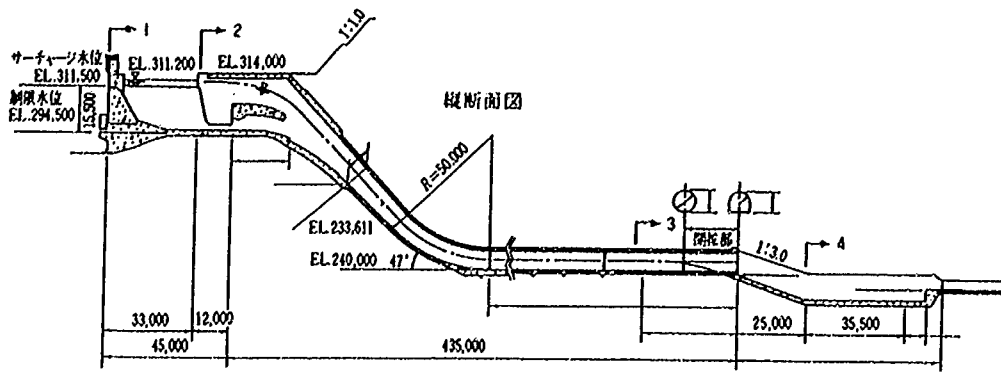
このようにトンネル式放流工における流れは通常の放流施設に比較して複雑なものとなるうえに水理設計上の制約も多いため、机上の検討のみから設計を行うことは難しく、模型実験による詳細な検討が不可欠です。以下に、水理設計上の留意点について具体的に述べていますが、これらも全て模型実験による検討を前提としています。

1. 基本形状

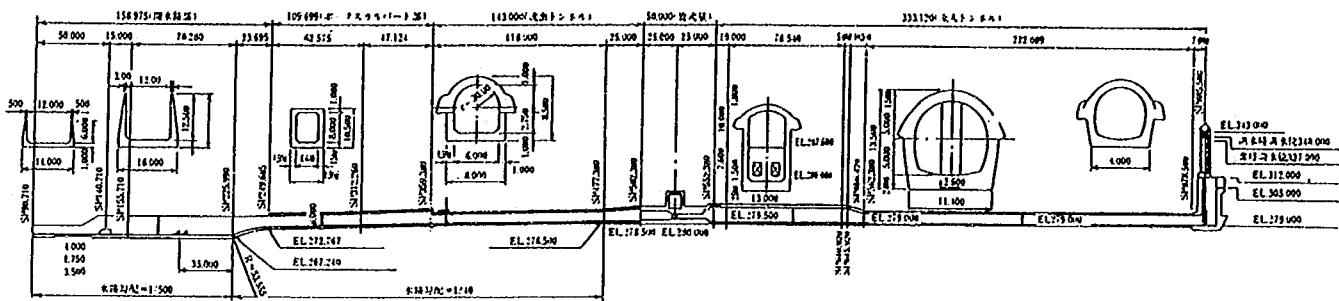
通常、トンネル放流工は、図 1 に示す有間ダムのように流入部下流を全て開水路として設計する場合と、図 2 に示す十勝ダムのように上流部を管路とし、ゲート等を設けて下流を開水路として設計する場合があります。また、前者のように流入部が高標高となる場合でも、地形等の制約から平面形状が湾曲せざるを得ない場合に、流況の悪化を避けるためにゲートを下流へ設け、湾曲部を管路として設計している事例もあります。

2. 流入部について

図-1 のような形式の放流工では、トンネル導流部を閉塞させないため、流入部は導流部に対して十分な流下能力を確保している必要があります。また、断面形状が大きく変化するトンネル導流部への接続部は、流況の不安定や許容値以上の負圧を発生させることなくすみやかに流れが移行できる形状とする必要があります。図-1 に示した有間ダムでは使用頻度の高い小流量時における流況の安定を目的としてオリフィス



図－１ トンネル式放流工の事例１（有間ダム洪水吐き）



図－２ トンネル式放流工の事例２（十勝ダム洪水吐き）

を設けています。

流入標高が高い施設で上流部を管路として設計する場合、流入部からの空気連行について注意する必要があります。流入部から空気が連行された場合、ゲートなどの管路流から開水路流への遷移点において圧力が開放されるため、高圧化で圧縮されていた気泡が急激に膨張し、流況の悪化や場合によっては構造物の破損を招く恐れがあります。したがって、管路部が高圧となる場合には、流入口から空気連行を極力抑える必要があります。通常、発電の取水口の設計と同様、流入口径以上の被り水深を確保するように流入部を設計します。かぶり水深の確保が困難な場合は、空気連行の原因となる流入部前面に生じる平面渦を防止するために栈やフロートなどの補助構造物により対処しますが、場合によっては利用水位と流量の適用範囲にある程度の制限を設けざるを得ない場合もあります。

3. 平面形状について

開水路部に湾曲部を設けると激しい攪乱の原因となり、流れを不安定にする恐れがあるため、開水路部の平面形状は直線を原則とします。また、万一流木が流入した場合でも直線の場合は被害が少ないと考えられます。

また、トンネル内のコンクリート面は流水により磨耗、洗掘されますが、この位置をトンネルインバートに固定するためにも直線とすることが望ましいと考えられます。

やむを得ず平面湾曲を挿入する場合は、衝撃波、水位上昇、流れの不均等について十分な検討を行い、対象とする流量の範囲において安定した流況が得られる形状を設定する必要があります。図－３は十勝ダムにおけるトンネル式洪水吐き導流部の湾曲

部の構造を示したものです。同ダムではトンネル断面中央に分流壁を設けることによって流況の安定を図っています。

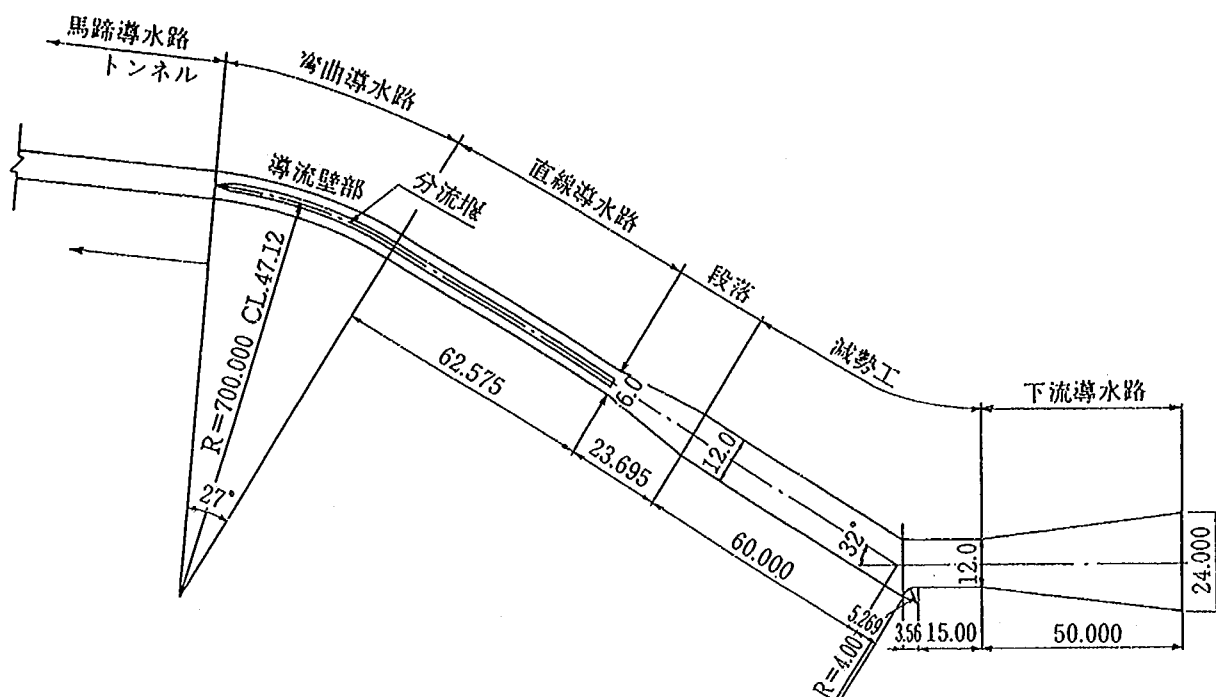


図-3 湾曲部に設けられた隔壁（十勝ダム洪水吐き）

地形上の制約等から曲線部が避けられない場合、流れの不安定を避けるために曲線部を管路流となるように設計する場合があります。この場合、曲管の内側と外側における流速や圧力に差異が生じるので以下の点に注意する必要があります。1つは2次流と呼ばれる流下方向に直角な断面内の流れが発生することによる損失の増大です。放流能力を精度よく求めるためにはこの損失を適切に評価してやる必要があります。2つ目は、開水路流への遷移部（ゲート下流など）における放流水脈が不安定となる可能性があることです。したがって、流速などに大きな偏りが生じないように管内流速や曲率半径を適切に定めるとともに、場合によっては曲線部に隔壁を設けたり、遷移部上流に直線の整流区間を確保するなどの工夫が必要となります。

4. 縦断形状について

開水路部に設ける縦断湾曲のうち凸な鉛直曲線を挿入するときは、流れが水路底からはく離するのを防ぐため断面の平均流速を初速とする自由落下軌道曲線とするか、これを下回らない曲率半径の大きな円弧を用います。

また、斜坑から水平部へ移行する箇所へ凹の鉛直曲線を挿入するときは、流れの遠心力による水路底への動水圧を小さくし、また、2次流発生によるエネルギー損失によってトンネルの有効断面が減少するのを抑制するために、十分大きな曲率半径の曲線とする必要があります。実際には施工性を考慮して設定することとなりますが、USBRの資料によればグレンキャニオンダムなど海外のダムでは総水頭の3/5程度の曲率半径が用いられています。国内では図1の有間ダムでもほぼ同様の値を採用しています。

トンネル出口部や導流部と減勢工の接続部において勾配が大きく変化する場合も、流れを速やかに移行させ、流況の安定を図るとともに水路底への動水圧を抑えるために十分大きな曲率半径を持つバケットカーブを挿入する必要があります。この部分の

流況は下流水位や減勢工形状に大きく影響されるので減勢工の設計とあわせて適切な形状を設定する必要があります。

5. 開水路流部の空断面の確保

開水路部は、トンネルが閉塞しないように断面を設定する必要があります。ダムの放流工のような高速な開水路流では水面から空気を混入し流積が増大します。現時点ではこの増加量を精度よく推定することは難しく、また、流速の絶対値に大きく支配される現象であるため、縮尺模型による水理実験では現象を再現することが困難です。通常、水流のみとして求めた水面形の計算値あるいは水理模型実験の結果に対してある割合以上の空断面を確保することとしています。この空断面量としては、一般に対象とする最大流量の放流時において、流積 A_v とトンネル断面積 A_0 の比 A_v/A_0 を $3/4$ 以下とすることが提唱されています。実績としては、前述の U S B R の資料によれば $0.6 \sim 0.8$ 程度の値が採用されています。国内では、有間ダムでは最大流積となる出口断面で 0.6 、十勝ダムでは開水路流に遷移するゲート直下流で $2/3$ となるよう断面が設定されています。

また、3. および 4. に述べたように、湾曲部では遠心力によって水脈の這い上がり生じますが、これが著しいと空気との接触面が増え、空気混入量の増加を招くので注意が必要です。

水平部であっても延長が大きい場合には、摩擦損失による流積の増加にも注意しておく必要があります。一般には水理模型実験における粗度は実機と一致しないので、実験値の評価に際しては粗度の違いによる補正を加える必要があります。粗度の違いは模型縮尺によって異なりますが、その差が大きい場合には、突起等による模型粗度の調整が必要となる場合もあります。

6. 給気について

トンネル内の高速な流れは、水路内の空気を下流へ連行します。流れを安定した開水路流に保つためには、トンネル内の気圧の安定を図るために下流へ連行された空気を補ってやる必要があります。そのために管路流から開水路流への遷移点の直下流、湾曲点、勾配や断面の変化点など流積が増大して空気の流れが阻害されると考えられる点の下流等に給気管を設ける必要があります。空気の連行現象は 5. に述べた流水面からの空気混入現象とも密接に関係しており、その機構が十分に解明されておらず、また、水理模型実験でも完全には現象を再現することができません。したがって、給気管の箇所数や規模は、水理模型実験による検討結果に加えて、実績等も踏まえて設定する必要があります。

7. トンネル出口形状について

トンネル出口は断面形状が大きく変化する場所であり、必要な場合は下流に減勢工が設けられます。したがって、流れは高速な射流から河川の流速に復し、また、下流水位の影響を受けることとなり、流況は著しく変化します。したがって、こうした流況の変化がトンネル内の流れを不安定にしたり、トンネル断面を閉塞したりしないように形状を設定する必要があります。そのためには下流水位の影響がトンネル内部に及ばないように、トンネル内の導流部中心線の標高を下流水位以上とすることが最も確実な方法です。中心線標高を下流水位より低く設定せざるを得ない場合は、トンネル出口部を拡幅し流況の安定を図ったり、流出端部のみでも下流水位以上とするなどの対処が考えられます。いずれの方法をとる場合も、水理模型実験において対象とする全ての流量の範囲においてトンネル内が安定した流況となり、閉塞を生じないことを確認する必要があります。

最近では景観上の観点から減勢工をトンネル内に設ける事例もあります。この場合

も考え方は同様ですが、3 および 4 に述べたように空断面の確保と給気について十分な検討が必要です。

以上、水理設計に際して留意すべき点を述べましたが、最初にも触れたようにトンネル式放流工の設計を進めていくためには水理模型実験は非常に有効な手段となります。しかし、文中にも述べているように空気混入・連行現象は模型では完全には再現できないこと、模型縮尺によっては実機と粗度が一致しないことなど水理模型実験には適用範囲があります。このことを十分に理解したうえで実験結果を評価することが必要です。

【施工上の課題】

トンネル部における約 45 度の斜坑部の施工方法について

近年、大規模な揚水発電所が建設されており、上部ダムと下部ダムを結ぶ水路も大型化し内径 8 m を超える 40 ～ 50 度の急勾配な斜坑も建設されています。したがって、斜坑部施工における大きな問題はないと考えられますが、十分に地質調査を実施するとともに、ダム貯水池の運用を考慮した施工計画を立案する必要があります。

斜坑は水平トンネルと違い、運搬作業に巻き上げ装置を使用するなど特殊な機械を使って施工し、またここでは勾配が急であることから特に安全管理に留意する必要があります。掘削については、勾配が急で大断面であることから、先進導坑を切り上がりで施工し、導坑完了後上部より導坑にずりを自然落下させながら切り下がる方法が、一般的と考えられます。覆工は坑底部から上部に向かって順次施工するのが一般的です。

なお、ダムの機能を維持しながら施工することとなるでしょうから、呑口部の締め切り方法、止水ライン上流側のトンネル掘削時の湧水対策等、貯水池運用、貯水位変動を十分考慮した施工計画とする必要があります。

参考文献

- 1) 建設省河川局監修:改訂版建設省河川砂防技術基準(案)同解説,pp246-247,1997
- 2) 最新トンネル工法・機材便覧 昭和 63 年 11 月 建設産業調査会

「砂防部門」紙上回答目次

1. 砂防ダムにおける基準の緩和	(質問者) 河川部	(回答者) 砂防研究室……………	95
2. 砂防事業においての環境整備の事例	大隅工事事務所	砂防研究室……………	96

1. 砂防ダムにおける基準の緩和

質問者：九州地方建設局河川部

回答者：砂防部砂防研究室(内線 4522)

質 問

砂防ダムにおいて、下記2点の基準緩和によりコスト縮減が以下の2点についてご教示願いたい。

1. コンクリートスランプを5cmから8cmに変更する。
2. 止水板の設置を無くす。

回 答

1) コンクリートスランプについて

一般的にコンクリートの流動性は単位水量によって変化し、5cm→8cmのようにスランプを大きくするには単位水量を大きくする必要がある。また、コンクリートの強度は水セメント比に比例するため、所定の強度の確保とスランプの増大を両立させるためには、現在用いられているコンクリートに比べ、単位水量と単位セメント量の多いコンクリートとなる。

単位セメントと単位水量が大きく、流動性の大きなコンクリートの特徴としては以下の点が挙げられる。

- ・乾燥収縮量が多い（乾燥収縮量は単位水量に比例する）
- ・水和熱が多い（単位セメント量が多い）
- ・材料分離が起こりやすい

これらのことから、スランプの大きいコンクリートはひび割れの発生しやすいコンクリートであるといえる。よって、水密性や長期間の耐久性が求められる砂防堰堤のような構造物において、スランプ8cmのコンクリートを用いる場合は、完成後にひび割れや水密性に関する調査を継続して行い、品質を確認する必要がある。

2) 止水板について

砂防ダムは冬季に氷点下となる地域に施工される場合が多く、通常流水のない砂防ダムにおいても、堆砂したダムの背面から水が供給されることもある。ダム背面側は、堆砂後においては、地中となるため気温の変化が少ないが、ダム前面は凍結融解によるひび割れ等が発生する可能性がある。このため、冬季に凍結のおそれのある地域では、通常流水のない溪流においても止水版を設置しておくべきである。

2. 砂防事業における環境整備の事例

質問者：大隅工事事務所

回答者：砂防部砂防研究室（内線4521）

質 問

桜島は、火山活動が活発でありそれに伴う土砂流出が著しく、土砂災害から人命、財産を守るために砂防ダム、導流堤、床固工群等の砂防設備が必要な地域である。

近年、環境問題への認識の向上により、砂防事業においても自然環境の保全等を考慮した整備が必要であると認識している。そこで、桜島の河川の自然的、社会的条件を勘案し、地域の特色を活かした砂防事業を展開していく上で参考となる他の砂防事業の事例についてご教示願いたい。

桜島の河川の特徴

- ・流域面積が小さい
- ・山頂付近より一気に下り、急勾配である
- ・平常時は全く水が流れていない水無し川である
- ・強い雨が短時間あれば土石流が発生する
- ・全域が霧島屋久国立公園である

回 答

まず、ここで扱う自然環境を「動植物及びその生息環境と観光資源としての自然環境」と定義する。自然環境の保全等を考慮して行う砂防工事の一般的な手法を整理すると次のようになる。

- 1) 現存する自然環境をできる限り保護する。
- 2) 自然環境を復元する。
- 3) 積極的に新しい環境を創造する。

1)では工事による樹木の伐採や土地の改変の抑制、また、視覚変化を緩和する方法を、2)では植栽や瀬淵等の整備により動植物の生息環境を整える方法を、3)では地域総合計画に基づく土地利用や周辺住民の利活用と連携した設備地利用の誘導を図る方法をとることが考えられ、さらにこれらに共通することとして、施工場所の条件に応じて地場産の自然材料や現地発生材料（掘削土砂など）を建設資材として活用することである。

次にそれぞれの方法について主な事例を紹介する。

- 1) 現存する自然環境をできる限り保護する

- ・鶴甲斜面工（六甲砂防）：斜面の樹木を残して、斜面に垂直方向の梁とアンカーによる斜面对策工実施
- ・松川流路工（松本砂防）：既存木の移植
- ・天神川緑の砂防ゾーン（琵琶湖）：既存樹木を活用して緑の砂防ゾーンを整備

- 2) 自然環境を復元する

- ・田上山腹工（琵琶湖）、松木山腹工（渡瀬川）：禿げ山の緑化
- ・松川流路工（松本砂防）：魚道、瀬・淵の設置
河床材料による構造物の表面処理
- ・タコラ試験地（木津川上流）：間伐材を用いて簡易な土留めを行い、植生の自然進入を促す
- ・高千穂流路工：新素材（ポーラスコンクリート）の活用による護岸の緑化

3) 積極的に新しい環境を創造する

- ・干俣川緑の砂防ゾーン（利根川水系）：地方特定河川等環境整備事業の活用により、地元嬬恋村は公園整備を実施
- ・大河原床固工群水辺の楽校プロジェクト（天竜川上流）：自然石張工によるコンクリート・鋼材の見えない川づくり。地元大鹿村の小学校の学校教育の場として利用されている。

いずれの場合も、地域の要望や地域計画との連携のもとに行えるものであるので、地域の意思を把握する必要がある。

ここで、桜島の特徴を考えると、火山活動が活発であり、降雨の度に土石流が発生するというのが現状である。したがって、このような溪流に恒常的に動植物が存在するという実態は考えにくく、国立公園ということから自然環境の保全の重要性が伺えるが、桜島では事例に示した溪流内植生の保護や護岸の緑化、魚道の設置などは現実的な手法とはいえない。ただし、山腹斜面を緑化することは現実性があり、国立公園の整備主旨を踏まえた上で復元を図ることが考えられる。

活発な火山活動とそれに伴う土砂流出の結果そのものが桜島の自然環境であり、観光資源となっていると考えられることから、上記事例の分類3)による事例も適切ではないとも考えられ、慎重に検討する必要がある。むしろ、砂防ダム等の構造物が周囲の景観と調和することが大切であると思われる。そこで、観光地の視覚変化を緩和する意味からは現地発生材料（溶岩塊等）の活用が有効と考えられる。

「道路部門」紙上回答目次

	(質問者)	(回答者)
1. プラント再生舗装技術指針におけるAsコンクリート再生骨材の品質管理	佐賀県土木部 建設技術センター	舗装研究室…………… 99
2. 全国における都市部へのITSの導入事例と建設省としての今後の展開	道路部道路計画第一課	高度道路交通システム研究室……………101
3. 長大トンネルにおける換気方式	熊本工事事務所	トンネル研究室……………102
4. 都市NATMにおける支保パターンの設定	福岡国道工事事務所	トンネル研究室……………104
5. TDM施策による整備効果指標の算出	道路部道路計画第二課	道路研究室……………105
6. 立体横断施設における自転車利用者が多い場合の幅員決定の考え方及び道路横断方式の考え方	大分工事事務所	交通安全研究室……………108
7. 樹木成長の抑制方法開発状況	延岡工事事務所	緑化生態研究室……………109
8. 地下河川の探査	八代工事事務所	地質研究室……………112
9. 逆T式擁壁の鉄筋配置	長崎県県北振興局	施工研究室……………114 建設システム課
10. 沿岸部における擁壁の塩害対策 —潮位の影響を受ける擁壁の鉄筋かぶり・ひび割れ制限等—	長崎県県北振興局	コンクリート研究室……………115
11. 擁壁たて壁部材の鉄筋の段落しの可否	長崎県	施工研究室……………117

1. プラント再生舗装技術指針におけるAsコンクリート再生骨材の品質管理

質問者：佐賀県土木部建設技術センター

回答者：土木研究所道路部舗装研究室（内線 4 6 5 5）

質 問

プラント再生舗装技術指針において、旧 As 含有量が 3.8 % 以上という規格があるが、この規格値の必要性を教えてください。

As 再生骨材は、他の粗骨材・再骨材と共にアスファルトと混合して作られる合材であり、As 再生骨材における旧 As 含有量がどのように有効的に働くのか分からない。土木研究所においてどのような考えを持っておられるのか、教えてください。

回 答

現在の「プラント再生舗装技術指針」は平成 4 年に発行されたものであるが、質問にある再生骨材の品質規定は、昭和 5 9 年に発行された「舗装廃材再生利用技術指針（案）」の内容を引き継いだものである。

「舗装廃材再生利用技術指針（案）」作成時には、以下のような考えで旧 As 量の下限値が設けられている。

アスファルトコンクリート廃材は、種々の構成を持つアスファルトコンクリート層が不特定多数の箇所より収集され、再生骨材として生産されるので、碎石路盤等が多く混入する恐れがあった。そこでアスファルトコンクリート再生骨材の旧アスファルト含有量の下限を設けることにより混入を制限した。下限値は、次のような仮定から導き出した。

①廃材となるアスファルトコンクリートの舗装構成は、次の A), B), C) の 3 種類について考慮した。

A)	アスファルト量	標準的な管理限界	碎石路盤を含めた厚さの比率	
5 cm密粒	6.0%	0.9%	5/22	$\left. \begin{array}{l} \text{全平均アスファルト量} \\ 6.0 \times 5/22 \\ 5.0 \times 5/22 \\ +) 4.0 \times 5/22 \\ \hline 4.317\% \end{array} \right\}$
5 cm密粒	5.0%	0.9%	5/22	
10 cmアスファルト安定処理	4.0%	1.2%	10/22	
2 cm碎石路盤			2/22	

このケースの全層を一体とした場合のアスファルト量のバラツキ幅

$$\sqrt{(0.9 \times 5/22)^2 \times 2 + (1.2 \times 10/22)^2} = 0.618\%$$

B)	アスファルト量	標準的な管理限界	碎石路盤を含めた厚さの比率	
5 cm密粒	6.0%	0.9%	5/12	$\left. \begin{array}{l} \text{全平均アスファルト量} \\ 6.0 \times 5/12 \\ +) 5.0 \times 5/12 \\ \hline 4.58\% \end{array} \right\}$
5 cm密粒	5.0%	0.9%	5/12	
2 cm碎石路盤			2/12	

このケースの全層を一体とした場合のアスファルト量のバラツキ幅

$$\sqrt{(0.9 \times 5/12)^2 \times 2} = 0.618\%$$

C)	アスファルト量	標準的な管理限界	碎石路盤を含めた厚さの比率	
5 cm密粒	6.0%	0.9%	5/7	$\left. \begin{array}{l} \text{全平均アスファルト量} \\ 6.0 \times 5/7 = 4.284\% \end{array} \right\}$
2 cm碎石路盤			2/7	

このケースの全層を一体とした場合のアスファルト量のバラツキ幅

$$\sqrt{(0.9 \times 5/7)^2} = 0.643\%$$

- ②アスファルト層下面には厚さ 2 cm 分の路盤材 (40 cm サイズの付着物の平均層圧) を付着物として見込んだ。
- ③アスファルト量のバラツキとしては舗装要綱の標準的な管理限界を用いた。
- ④計算を単純にするため、付着碎石層の比重はアスファルトコンクリートと同等にした。
- ⑤プライムコート、タックコートのアスファルト量は計算上無視した。
- 以上の仮定を用いて計算すると以下の通りとなる。

これらのケースの全層を一体とした場合のアスファルト量のバラツキ幅はただ 1 カ所のサンプルについてのものであり、実際には同一発生箇所のものでもバラツキがあり、かつ他の発生箇所のものとも混じることにもなるので、 n 箇所のものが混じり合うと仮定すれば、これらのバラツキは $1/\sqrt{n}$ 倍となる。

仮に最小限度の 2 カ所分のみが混じり合うと仮定すると、アスファルト量の下限值は

ケース A) の場合 $4.317 - 0.618 \times 1/\sqrt{2} = 3.88\%$

ケース B) の場合 $4.580 - 0.531 \times 1/\sqrt{2} = 4.21\%$

ケース C) の場合 $4.284 - 0.643 \times 1/\sqrt{2} = 3.83\%$

となることから、少なくとも再生骨材のアスファルト量の下限値を 3.8% 以上と定めておけば、路盤材などの混入を 2 cm までと制限できることになる。

2. 全国における都市部へのITSの導入事例と建設省としての今後の展開

質問者：道路部道路計画第一課

回答者：道路部高度道路交通システム研究室（内線4635）

質 問

中核都市等における導入事例と今後の取り組みとして、地域情報と道路交通情報等の提供に関する見通しについてご教示願いたい。

回 答

平成11年8月6日にITS関係五省庁から、日本の「ITSに係るシステムアーキテクチャ」の素案が公表された。

地域情報と道路交通情報等の提供に関するシステムもITSに包含されるものである。従って、地域ニーズを踏まえつつ、各地域の道路管理者が関連するサービスを抽出し、それを実現する具体システムの基本設計にまで深化させていくことが考えられる。この過程で、システムアーキテクチャを活用することによって、関連する他のシステムを抽出し、統合的なシステム像を明確化するのも有効と考えられる。

全国版のシステムアーキテクチャは、地域固有のユーザーニーズ、活用可能な既存システムの状態、各地域の課題や公共基盤施設の整備方針等を逐一考慮したものとはなっていないため、まずはこれらを事前に補うべきことに留意しなければならない。

ご質問のような事例としては、岡山地域ITSシステム、高知県の「道の駅」情報化、広島情報トライアングル等が報告されている。いずれも、道路管理者単独では実施困難な場合にあっては、地方公共団体、民間団体、道路以外の交通機関とも連携し、インターネットをツールとして活用するなどの工夫により、道路交通情報提供を含む統合的なシステムとして整備推進されている。

現在、本省ITS推進室の主導のもとで、道路管理者に関するシステムアーキテクチャの詳細化および展開ガイドラインの検討について各地方建設局、道路関係公団等のとりくみがなされているところである。今後はこうした個別システムに関する展開ガイドラインの進展を期待するとともに、土木研究所では、全国的な情報の共通利用・多目的利用、システムの互換性・拡張性の確保等に資するため、道路通信標準など、各地方建設局等で共通して定めるべき事項についてのガイドラインやマニュアルの検討を進めることとしている。

道路通信の標準化やその他の基盤整備（スマートウェイのプラットフォーム）によって、道路管理者のシステム互換性や情報の共有化が進むとともに、これらの情報と地域の情報の一体化・統合化が促進され、中核都等における情報化や地域ITSの整備促進に資するものと期待している。

参考文献

- 1) 高知県：高知コミュニケーションロード-KoCoRo2001、1999年2月
- 2) 奥谷 正：道路通信標準の概要について、月刊建設、9月号、pp52-53、1999年

3. 長大トンネルにおける換気方式

質問者：熊本工事事務所

回答者：道路部トンネル研究室（内線 4 6 6 1）

質 問

長大トンネルにおける換気方式の事例と立坑を設けない場合の換気方法について御教示願いたい

回 答

道路トンネルの換気施設設置の基本的な考え方は、トンネル利用者にとって安全で快適なトンネル内環境の確保および各種のトンネル保守作業員の作業環境の確保を目的として、新鮮な空気を送り込むことによりトンネル内の有害成分（COおよび煤煙）の濃度を許容される濃度まで希釈することにある。したがって、立坑を設けるか否かは、計画されているトンネルの延長、勾配、気象条件、交通条件（交通方向、走行速度、交通量、車種構成）等の条件を用いて有害成分の濃度を設計濃度まで希釈するのに必要となる換気施設の規模を算定した上で、決定することになる。

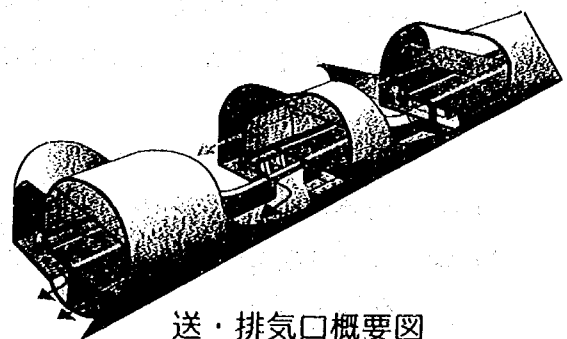
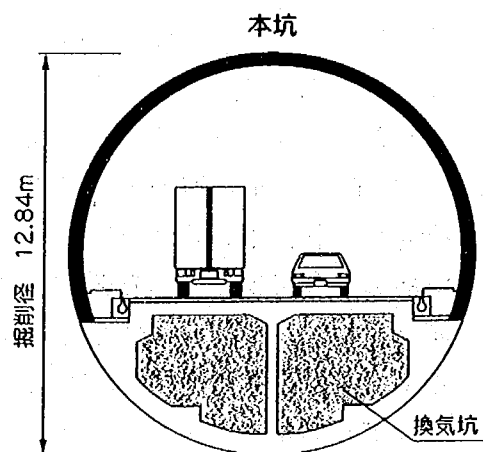
一般に、換気施設の規模は煤煙濃度で決まることが多いため、トンネル延長が長い場合でも煤煙の除去が可能な電気集じん機を設置することにより立坑が不必要となる場合がある。しかし、電気集じん機を設置した場合でも集塵処理された空気の利用に限度があることや電気集じん機はCOに対する除去効果は期待できないことから、立坑が不必要となるトンネル延長には限界が見られるのが現状である。ただし、最近の新しい換気技術の中には立坑が不必要となるトンネル延長を伸ばすための試みも幾つか見られるので以下にその例を示す。

① ジェットファンの増設

ジェットファンの設置間隔は、現在はJF1250で160m、JF1500で180mが標準となっているが、これは噴流が十分拡散することにより昇圧効果が得られる距離として決められている。しかし、最近の調査結果¹⁾によれば車道内風速が4m/sec以下であればJF1250で120m、JF1500で140mまで設置間隔を縮小しても昇圧力の低下はほとんど見られず、設置間隔が縮小できるという結果が得られている。したがって、車道内風速が4m/sec以下という条件の場合は、ジェットファンの設置間隔を縮小することによりトンネル内に設置できるジェットファンの数を増やすことが可能となり、その結果、坑口から送り込むことができる新鮮空気の量が増え、立坑が不必要となるトンネル延長を伸ばすことが期待できる。なお、車道内風速が4m/sec以上の場合についても設置間隔の縮小の可能性について本年度調査を行うことが予定されている。

② 本坑内の換気ダクトが立坑の機能を果たす換気方式

東海北陸自動車道飛騨トンネルにおいては、トンネルが全断面のトンネルボーリングマシンにより掘削されるため、断面形状は円形となり、路面下に利用されない空間が生じる。このため、路面下の空間



図－1 飛騨トンネルの換気方式

を換気ダクトとして利用することにより新鮮空気の取り入れと汚染空気の排出を坑口との間で行い、本坑内に設けられた換気ダクトが立坑と同様の機能を果たすような換気方式が採用されている（図－1参照）。飛驒トンネルの場合は、掘削工法の関係からトンネルの断面形状が円形となり、換気ダクトとして利用できる空間が生じたという特殊な事情があるが、断面形状を工夫することによりこのような換気方式をNATMで施工されるトンネルへ適用することも十分考えられる。

最後に、暫定供用を行う場合の換気方式の選定方法については、基本的には完成時における換気設備規模、暫定時における換気設備規模の算定をそれぞれ行った後、経済性・施工性・維持管理等の観点から完成時と暫定時の比較検討を行い、当初供用する路線を選定すれば良いことになる。例えば、完成時の換気方式が上り線は電気集じん機縦流方式、下り線はジェットファン縦流換気方式となった場合、4車化の時期が早い場合には当初の土木工事費が多くなったとしてもジェットファンの設置数が少なく、設備的に無駄とならない電気集じん機縦流換気方式が採用される上り線が当初の供用路線として選定され、4車化までに相当の期間を要する場合にはジェットファンの設置が可能であることを確認の上、設備を取り替えることを考慮して当初の工事費の安い路線が選定されることになる。なお、検討に際しては暫定施工時におけるトンネル断面は完成時よりも大きいことや、4車化時の工事用進入路の確保についても留意しておく必要がある。

参考文献

- 1) 真田信一他：JFの設置間隔の見直し、第22回日本道路会議論文集、pp. 242～243, 1997.

4. 都市NATMにおける支保パターンの設定

質問者：福岡国道工事事務所

回答者：道路部トンネル研究室（内線4661）

質 問

トンネルの支保パターンは通常は解析等を行い、決定しているのが実状と思われるが、共同溝工事において標準的な支保パターンの設定はできないか、御教示願いたい

回 答

トンネルの支保パターンの設定方法は、大きくは①標準的な支保パターン（以下標準支保パターンと称する）を用いる方法②解析的手法による方法③地質、地形、断面形状などが類似の事例を参考にする方法に分類される。このうち、標準支保パターンを用いる方法は、地山条件（地形、地質、土被り等）、断面積・形状、周辺への影響の制約等が標準的である場合に適用されるものであり、弾性波速度、ボーリングコアの状態等を指標として地山の等級区分を行い、地山の等級区分に対応した支保パターンを適用するものである。これまで、山岳部に建設される道路トンネルについては施工時における多くのデータの蓄積があり、また、断面の大きさおよび形状も概ね同じであることから、標準支保パターンの設定がなされており、通常の地山条件であれば支保設計に標準支保パターンの適用が行われている。

都市トンネルもトンネルを掘削する上での基本的な考え方は山岳部のトンネルと変わらないが、都市トンネルにおいては土被りが小さく地山強度が弱いこと、地盤沈下、地下水低下などの周辺環境に及ぼす影響を配慮しなければならない点が山岳トンネルと大きく異なる。このため、支保部材の構成、規模は山岳トンネルとは異なったものとなり、環境への影響を小さくするための補助工法が必要となる場合が多い。したがって、都市トンネルの標準支保パターンは山岳部のトンネルとは全く別のものを考える必要があり、標準支保パターンを設定するためには都市トンネルの施工時におけるデータの蓄積が必要となる。

土木研究所トンネル研究室においても、現在、都市部においてNATMにより建設されたトンネルのデータ収集を行い、分析を進めているところであるが、残念ながら道路トンネル、共同溝における事例はまだ少なく、標準支保パターンの設定を行うまでに至っていないのが実状である。今後、ある程度都市トンネルの事例が増えれば、山岳トンネルのように標準支保パターンを設定することも可能になるものと考えているが、しばらくは解析的手法あるいは類似事例を参照して支保パターンを決めざるを得ないものと考えられる。

5. TDM施策による整備効果指標の算出

質問者：本局道路部道路計画第二課

回答者：道路部道路研究室（内線4623）

質問

TDM施策によって、どの程度の整備効果があるのか数値（時間、お金）で表すことが身近で最も分かり易い指標である。また、この他にも渋滞長及び交通量の減少、排出ガス及び騒音の低減等が考えられるが、いずれも算出方法や根拠が明確になっていないのが現状である。よって、一般に分かりやすい指標で各種TDM施策に対応する整備効果と、その算出方法・根拠について、現在の検討状況についてご教示願いたい。

回答

交通需要マネジメント（TDM）は交通円滑化のための主要な施策として注目されており、各地で導入に向けた取り組みがなされてきているが、本格的な実施に至った事例はそれほど多くないのが実状である。しかも、TDMには、発生源の調整、道路利用者の時間の変更、自動車の効率的利用、手段の変更、適切な自動車利用の誘導等様々な手法があり、かつ都市・地域の特性によってその適用性は千差万別と言われている。したがって、TDMの導入効果を表す指標も数多く、導入する地域、導入の目的・適用する施策あるいは評価主体によって異なるものだろうと考える。

当研究室では平成10年度より、「新道路技術五箇年計画（H10～14）」の重点課題の一つである“TDM施策の具体化技術”に対応して、実施事例の情報収集、普及促進上の問題点整理、実施効果の予測手法の開発、社会実験による手法の確立等を目指した研究に着手したところである。この一環として、施策の効果を算定している文献の内容を整理してデータベースを作成したが、現時点では統一した手法は確立しておらず、個別試行実験により基礎データを収集してこれをモデル化するという手順で効果算定を実施している例が多い。表-1は、それらの中で提示されているTDM施策メニューと評価指標を整理したものである。主な評価指標は、旅行時間、所要時間、走行距離、交通量・渋滞長等であり、いわゆる時間便益・走行便益として貨幣換算し易いものが採用されている。一方、環境関連の評価指標としてCO₂やNO_xの削減量が採り上げられている例はあるが、現行の評価額（対策・処理コストで換算）では適正な効果量が計上され難いこともあり、定着に至っていない。

建設省では平成11年度に「社会実験の公募制度」をスタートさせており、今後は各種の実験データが蓄積されることから、当研究室では大学とも連携してTDM施策の効果算定方法を検討し、提案していきたいと考えている。

なお、前述したように当研究室ではTDM導入への取り組み事例等の情報収集を継続して実施しているので、調査報告書や関連資料の提供等の協力をお願いする次第である。

TDM導入効果を扱った文献の内、代表例を以下に示す。

(1) モデル化による効果算定を扱っている論文

1) マクロ集配輸送計画モデルの構築とその「地区型共同集配送」評価への適用：家田仁 他，土木計画学研究講演集 No.10，1992年11月

- ・物流に関連した諸施策の効果を予測評価するために、事業者とドライバーの行動を記述するマクロ集配計画モデルを構築。物流事業者とドライバーの二段階の行動をコスト最小化行動という形でマクロに記述したものであり、福岡天神・博多地区に適用してその妥当性を検証している。

【指標：トラック台数、総走行距離、総停車時間、エリア内走行距離】

2) 半動的交通量配分モデルによる金沢都市圏における時差出勤導入の効果分析：高山純一 他，土木学会第 51 回年次学術講演会講演概要集第 4 部，1996

- ・ 信号交差点での渋滞状況を明示的に表現できる半動的交通量配分モデル（リンク修正法）を用いて、時差出勤導入の最適な誘導パターンを検討している。

【指標：所要時間、時間帯 OD 交通量】

3) P & R システムの需要予測のための調査とモデル構築手法：溝上章志 他，土木学会第 52 回年次学術講演会講演概要集第 4 部，1997

- ・ RP データと SP データを融合した P & R システムの需要予測モデルの有効性を検証するとともに、質問形式の異なる 2 種類の SP データによる推定結果から、より適切な P & R システムの需要予測のための選好意識調査法を検討している。

【指標：費用、所要時間、支払い限度額】

(2) 試行実験による効果算定を扱っている論文

1) 観光地における P & B R システムに関する研究：森地茂 他，交通工学 Vol.30 No.4, 1995

- ・ 観光地における交通問題解決のための P & B R システムの適用性を検討したものであり、金沢における実験的研究結果（導入計画～評価）を報告している。

【指標：入園者数、P&BR 利用者数・受益額、渋滞長、所要時間、実験経費】

2) 通勤・帰宅時間帯における Q-V 特性分析の基礎的考察 P&BR 社会実験対象ルートを対象として：西井和夫 他，第 18 回交通工学研究発表会論文集，1998

- ・ 甲府都市圏における P & B R 実験を取り上げ、対象ルートの観測データから Q-V 式を作成して道路状況と交通流の関係、通勤帰宅時間帯のボトルネックと要因抽出、P&BR 導入時の旅行時間変化の推計手法を論じている。

【指標：Q-V 式、旅行時間】

(3) その他

1) バス専用レーン設置効果の評価に関する研究：水明洋 他，交通工学 Vol.30 No.5, 1995

- ・ バス利用者と自動車利用者の両者の視点を合わせた立場からバス専用レーンの事業効果の評価するために、総所要時間（人・分）の短縮量によって効果を示す評価式を提案し、2つの専用レーン設置方法（車線数維持／車線数増加方式）について比較評価している。【指標：Q-V 式、総所要時間】

2) TDM 施策の評価手法について：斎藤威 他，第 18 回交通工学研究発表会論文集，1998

- ・ 東京臨界副都心をケーススタディ地域として、学識経験者へのデルファイ法の適用による TDM 施策導入効果の評価を試みた結果が報告されている。

【指標：流入自動車交通量、交通事故件数、渋滞量、導入上の問題点、実現可能性】

3) 交通情報の効果を考慮した経路選択行動の動的解析：飯田恭敬 他，土木学会論文集 No.470/IV-20, 1993

- ・ 交通情報が提供される状況を想定したときのドライバーの経路選択行動の日々の変化を明らかにするための手法と分析結果が報告されている。

【指標：実旅行時間、旅行時間予測誤差、経路変更率】

表-1 TDM施策メニューと導入効果指標

(文献等からの整理結果)

		施策メニュー	提示されている評価指標
発の 生調 源整	課税制導入	車両保有税環境税	—
	勤務形態の変更	圧縮勤務、テレコミュニ ティング、職住近接	—
時の 間変 帯更	ピーク時間の 平準化	時差出勤、 フレックスタイム	所要時間、渋滞長、時間帯OD交通量、 交差点方向別交通量、地域流入交通量
手 段 の 変 更	複合手段の 利用促進	P&R、P&BR K&R、C&R	費用、所要時間、支払い限度額、渋滞長、受益額、 交通量、転換交通量、総走行時間、走行経費、CO2 排出量
	バスサービスの 改善	バスレーン、 ハイグレートバス停	総所要時間、走行速度、バス所要時間、定時性、安全性、Q-V 一般車混入率、路上駐車台数、バス利用者数
	公共運賃 の改善	共通乗車券、買物 乗車券、リコインシステム	—
	自転車の 利用促進	都心レンタサイクル 自転車道ネットワーク	転換交通量
利 用 の 効 率 化	カーシェアリング	相乗り、駅端末都心レ ンカー、BV 共同利用	旅行時間、流入交通量、渋滞長
	ライトシェアリン グ	シャトルバス、循環バス 乗合タクシー	転換交通量、乗車時間、料金、自動車交通量、 所要時間、渋滞長
	ロジスティクス	共同集配送、 共同荷捌場	トラック台数、総走行距離、総停車時間、エリア内走行距離、 輸送コスト、労働力、環境、エネルギー、路上駐車台数
適 切 な 自 動 車 利 用 の 誘 導	交通情報シ ステムの導入	駐車場案内システム、 VICS、PTPS	路上駐車台数、駐車場入庫待台数、駐車場利用台数、交通量 所要時間、総所要時間、経路変更率、信号待時間、利用者数
	自動車走行 の規制誘導	マイカー通勤自粛、ノ ーカーデー、ゾーンシステム、 トランジットモール、コミュニ ティ道路、大型規制	渋滞長、交通量、所要時間、交通事故件数
	利用形態の 見直し	持ち帰り車の排除 JIT 等商習慣変更	渋滞長、環境
	全般	ロードプライシング	総走行距離、走行速度、CO2 排出量、NOx 排出量、自動車の 分担率、バス発生集中交通量、自動車交通の削減量、賛成率

6. 立体横断施設における自転車利用者が多い場合の幅員決定の考え方及び道路横断方式の考え方

質問者：大分工事事務所

回答者：道路部交通安全研究室（内線4641）

質 問

現在、交差点改良に伴い、既設の横断歩道橋の架け替えを検討中である。その中で、自転車利用者に配慮し、スロープ式の横断歩道橋を一つの案として検討を行っている。

「立体横断施設技術基準・同解説」（（社）日本道路協会）によると、立体横断施設にスロープを設ける場合、その幅員は2m以上と記載されているが、利用者数に応じた幅員決定の考え方についてご教示願いたい。あわせて、自転車の通行が多い場合の道路横断方式決定の考え方（立体 or 平面）についてご教示願いたい。

回 答

1. 通路並びに階段等の幅員の算定方法

「立体横断施設技術基準・同解説」によれば、通路、階段等の幅員と利用者数との間には次の関係が成り立つ。

$$Q = P \cdot V \cdot W \quad (1)$$

ここで、 Q ：利用者数（人／秒）

P ：利用者の密度（人／ m^2 ）、 V ：利用者の速度（ m ／秒）、 W ：幅員（ m ）

このため、 Q 、 P 、 V が設定できれば、 W の算定が可能となる。

Q は利用者数であり、現状の道路横断者数を基本とし、交差点での横断歩道・自転車横断帯の設置状況、交差点信号の有無と割当て時間、立体横断施設の利用性向等から割出す必要がある。

P 、 V は、自転車利用者が自転車に乗ったまま横断歩道橋を利用するのか、それとも自転車から降りて横断歩道橋を利用するのか、さらには、他の自転車、歩行者との混在状況などから、それぞれの値を得る必要がある。例えば、 V は、自転車に乗ったままでは15km/h（4m/s）となることがあり、また自転車を降りたり、歩行者と同じ速度で通行するとなれば1m/sとなる場合もある。また、速度が遅いほど P （利用者の密度）は高く設定できる。

ここでは一例として、利用者が自転車利用者のみで、利用者数（ Q ）が120人／分（2人／秒）と算定できた場合の、通路等の幅員について計算してみる。ここで、

利用者の密度（ P ）：5mの車頭間隔とし、この場合、密度は0.2人／ m^2 。

利用者の速度（ V ）：緩勾配斜路とし、速度は4m/s。

とすれば、これらの値を式(1)に代入し $W=2.5m$ を得るが、自転車の通行幅は1mで、横断歩道橋の幅員は1m単位で増減させることから、結果的には3mの通路等幅員となる。

幅員の算出では、利用者や利用者数を適切に設定することが最も重要であり、類似箇所では利用者数に計画段階とどの程度の違いが表れたかを参考とすることも必要と考える。

2. 道路横断方式の選定の考え方

道路横断方式の中で、横断歩道橋、地下横断歩道など立体方式を選択する理由としては、1)信号のない場所で横断幅員が長くなる場合や、交差道路の交通量が多い場合、2)信号のある交差点で横断幅員が長くなる場合や、交差点での右左折車と横断者との間で事故の危険性がある場合などが挙げられる。

自転車の通行が多い場合にもこれらの点が考慮されるべきであるが、自転車では道路横断の所要時間が短くなる、自転車は上下方向移動の忌避感が強い等の自転車の特徴から、自転車については平面方式で処理することも考えられる。いずれにしろ、道路横断方式は、歩行者等の横断機会を適切にまた安全に確保する目的で選定することが肝要である。

7. 樹木成長の抑制方法開発状況

質問者：延岡工事事務所

回答者：環境部緑化生態研究室（内線 4 1 6 2）

質問

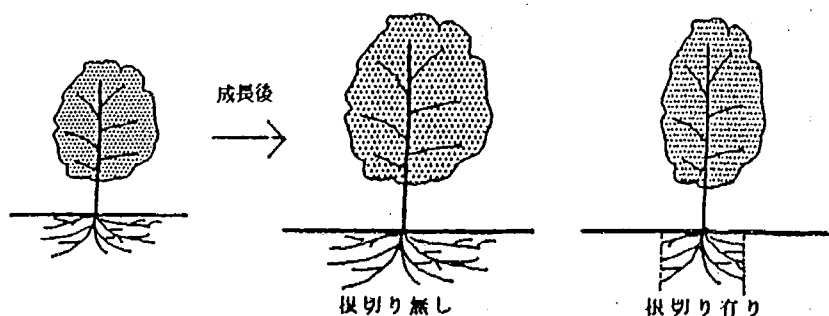
樹木成長を抑制する方法又は材料等があれば、道路植栽の管理上利用価値が大きい
ため、現在の開発状況あるいは既存の方法、材料等についてご教授いただきたい。

回答

樹木の成長を抑制する方法として、植栽当初より適切な頻度で剪定を行い、樹木の
成長を制御することが基本的な解決策である。しかしながら、剪定作業に関する管理
費用がかかることから、他の何らかの方法により、成長を制御することが可能であ
れば、剪定作業の省力化・管理上のコスト縮減につながるものだと考えられる。

樹木の成長を抑制する方法のひとつとして、根系成長の抑制が挙げられる。

樹冠の成長は、地下の根系成長と密接に関係しており、一般に樹冠の広がり、根
系の広がりとも一致するとされている（図－1）。



図－1 根系成長と樹冠成長の関係

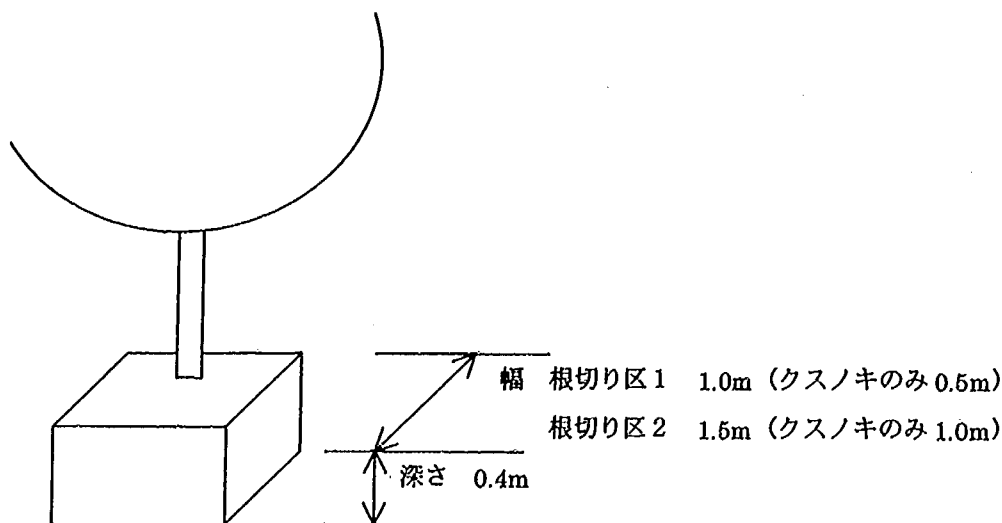
ここでは、土木研究所で行っている根系の抑制によって、樹冠成長を抑制できるか
どうかについて調べた試験について、紹介する。

根系抑制による樹冠成長抑制方法には、①あらかじめコンクリート柵のような根の
貫通が不可能な囲いを設置し、そのなかに植栽する方法と、②既存の樹木の根系を一
定範囲で切断する方法が考えられる。前者が新しく植栽した場合であり、後者が維持
管理作業で実施する場合である。前者は、現在研究途中であるため別の機会に紹介し
たく、ここでは、後者の根系切断による樹冠成長の抑制方法について、現在までの研
究成果および実施方法について紹介する。

1. 根系切断による樹冠成長の抑制

（1）試験方法

街路樹として、使用頻度の高いイチョウ、ケヤキ、プラタナス、クスノキ、マテバ
シイ、シラカシの6樹種を供試木とした。根系切断は、幹を中心とする4側面におい
て行い、その強度を2段階した（図－2）。切断は、年1回冬季に行い、2年間継続
して、その間の成長量（樹高、幹周、枝張り、枝伸張量）を測定した。



図－2 根系切断の形状

表－1 抑制効果の認められた測定項目

	強根切り区							弱根切り区						
	樹 高		幹 周		枝 張		枝伸長	樹 高		幹 周		枝 張		枝伸長
	1 年 目	2 年 目	1 年 目	2 年 目	1 年 目	2 年 目	2 年間	1 年 目	2 年 目	1 年 目	2 年 目	1 年 目	2 年 目	2 年間
イチョウ	○						◎	○						◎
ケヤキ	○				○	○		○				○		
プラタナス	◎	○					○	◎	○					○
クスノキ	◎		○	◎			○	◎				◎		○
マテバシイ			○	○			○			○	○			○
シラカシ				×	○	×	○							○

注) 樹高、幹周、枝張については、1年目、2年目、それぞれの単年成長量をもとに評価

枝伸長については、2年間の成長量をもとに評価

◎：根切り強度によって抑制の差あり、○：抑制効果あり、×：促進効果あり

(2) 試験結果

樹種毎に抑制効果が認められた測定項目を整理したものが、表－1である。○および◎は、対照区（根系切断を行っていないもの）と比較して抑制が認められたもので、うち◎は根切り強度に応じて抑制に差があったものである。また、対照区と比較して明らかに成長促進効果があったものを×で示した。

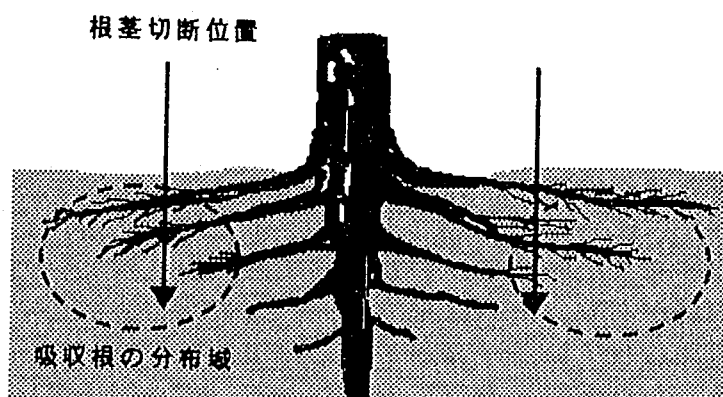
抑制の現れ方は、樹種毎に異なっており、比較的多くの樹種に抑制が現れた項目は、枝伸張量と樹高である。枝伸張量は、樹木の活力を示すバロメーターとなることが知られており、根系の切断が、活力の低下を促したものだと考えられる。しかしながら、枝伸長の抑制が、枝張りの抑制と連動してはいない。

樹高に関しては、イチョウ、ケヤキ、クスノキにおいて、1年目には樹高の抑制が観察されながらも、2年目には、抑制効果が見られなかった。

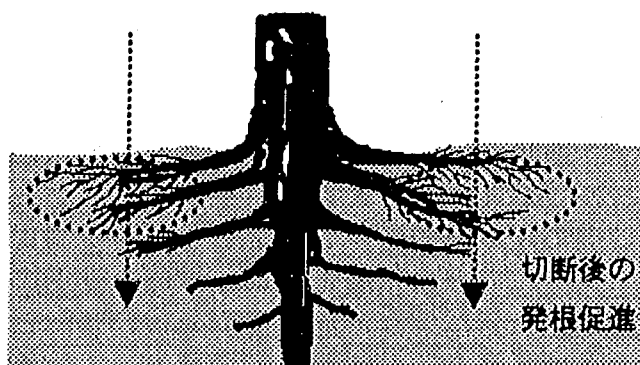
樹木の成長を担う吸収根は、一般に根系の先端部に多く分布しており、根切りは、この吸収根を奪う行為であるため、樹木の活力は低下し、成長が抑制されると考えられる（図－3）。

2年目に抑制効果が見られない原因として、1回目の根系切断時には、多くの吸収

根を失い、成長が抑制されたものの、その後切断部およびその内側（幹に近い部分）で吸収根の発根が促進され、2年目の根切りを行った時には、吸収根の損失が少なくなり、抑制効果が現れなかったのではないかと推測される。また、シラカシの幹周、枝張りについては、根切りによる成長促進効果が見られ、これは吸収根の発根促進によるものではないかと思われる（図－4）。



図－3 根系分布と切断位置



図－4 根系切断後の発根

2. 根系切断の実際の管理の応用

試験からは、根系切断が、成長を抑制するだけでなく、逆に成長を促進してしまう一面があることが示された。根系切断の実際の管理への応用については、さらに検討が必要と思われるが、ここでは、試験で得られた知見を参考として、維持管理作業において根切りを行う場合の留意事項を列記する。

①抑制効果が得られかつ、極端な活力低下が生じない位置で行うこと

樹高5m～7m程度の樹木であれば、1.0m～1.5mの幅、樹高3m程度の樹木であれば、0.5m～1.0mの幅で根切りを実施することで、効果が期待できるであろう。

②毎年継続すること

1回しか根茎切断を行わなかった場合、吸収根の発生による根回しの効果により成長が促進される可能性があるため、根茎切断は継続して行う必要がある。

③剪定の補助的手段として考えること

試験結果では、剪定を完全に省略できるほどの樹形抑制効果があったとは考えられないため、剪定を合わせて行うべきである。

④ロードカッターによる根系の切断

試験での根切り作業は、試験として根系状況を観察する必要があったため、樹木周囲を掘り下げて、剪定ハサミで切断するという方法をとった。実際には、ロードカッターの使用により効率的な切断が可能である。

参考文献

- 1) 土木研究所：大型街路樹の維持管理手法に関する共同研究報告書, 218号, 1999

8. 地下河川の探査

質問者：八代工事事務所

回答者：環境部地質研究室（内線4131）

質問

南九州西回り自動車道 日奈久芦北道路において芦北トンネル（ $L=2,930\text{m}$ ）が計画されているが、本地域は石灰岩地帯でトンネルを横断するように地下河川が流れているらしく、トンネル坑口と同じ高さで1万トン/日もの湧水量があり、地下水への影響が懸念されている。この湧水は生活用水としても利用されており、トンネルの影響を最小限に抑えるためにも地下河川の位置を特定できる最新の探査手法をご教示願いたい。

回答

今年、岡山県備中町で陥没が発生したことは記憶に新しいが、この陥没は石灰岩中の空洞に起因すると考えられている。このように石灰岩地帯には溶食空洞がよく発達する。質問の地下河川も、このような溶食空洞に属すると思われる。溶食空洞には、地下水位付近やそれ以深の空洞と、地下水位より上の空洞があり、前者は形成時期が新しく発達中の空洞、後者は主な形成期がやや古い空洞と考えられている。質問の地下河川はトンネル坑口と同じ高さで多量の湧水が発生していることから、前者の空洞であり、トンネル掘削部は地下水でほぼ満たされている可能性が高い。

溶食空洞は大きなものでは数m～10数mに及ぶこともあるが、直径数cm～数10cm程度のことも多い。空洞の分布は複雑で、パイプ状に曲がりくねって平面的に連鎖する複数の横穴空洞群が、しかも形成時期の異なる数段以上の標高にわたって分布することが多い（図-1）¹⁾。その上、各標高の空洞群を縦穴が随所で連結し、空洞もその中を流れる地下水分布も三次元的に複雑になっている。

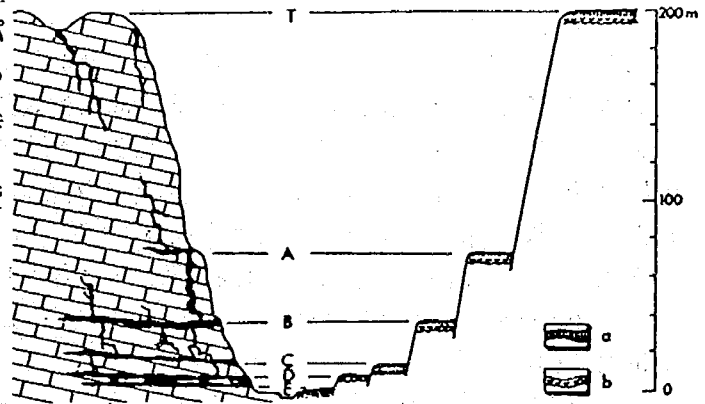


図-1 溶食空洞の模式図（帝釈地域。複数の標高に空洞が分布する）¹⁾

このような空洞の分布を的確に把握できる手法は未だ開発されていない。その上、トンネル工事で大量の地下水が湧出することは、工事の安全、工事期間、工事費のみならず、周辺社会・自然環境等に直結する問題である。湧水圧が小さい場合にはウオータータイト構造のトンネルなども考えられるものの、大規模な地下水脈を切断する可能性が高い場合は、これを避けるルートや線形を考えるのが第一義的に必要である。

とはいえ、そのような検討を行う上でも、大規模な水みちが存在する箇所をおおむね把握しておくことは重要である。このため、石灰岩地帯の調査は単一の手法に頼ることなく総合的に行われている²⁾。

調査は、地形調査、地質踏査、物理探査、ボーリング調査、地下水調査、その他の調査から構成され、これらのうち適宜重要な調査を行う。

地形調査では石灰岩特有の地形の範囲、溶食に起因する地形の位置、断層系・亀裂系に起因する地形などを空中写真などで確認する。

地質踏査では石灰岩の分布や走向傾斜、岩質、石灰岩中の亀裂の分布、地表における空洞の分布などを確認する。特に溶食空洞は既往の断層系や亀裂系に沿って発達する傾向が

あるので、このような断層系や亀裂系の分布と方向性を把握しておくことは重要である。

物理探査には様々あり、地表から行うものとしては、二次元比抵抗探査、重力探査、弾性波探査、地下レーダー探査などが用いられている。二次元比抵抗探査、重力探査、弾性波探査は空洞の可能性のある箇所の概査、地下レーダー探査はごく浅い箇所の詳細な探査に用いられる。ただしこれまでの例を見ると、これらの手法では必ずしも必要な精度が得られないことも多い。また、複数のボーリング孔がある場合には、弾性波や電磁波などを用いたジオトモグラフィ法が活用できる可能性がある。特に電磁波トモグラフィは、電磁波が到達できれば、石灰岩と水で電磁気特性が大きく異なる（電磁波速度で10倍近く異なる）ので、空洞を探索できる可能性がある。ただしこれらの方法を溶食空洞に適用した例は見られないので実際の探査精度は不明である。このほかに物理探査としては、水流による微小な振動を地表に設置した単一または複数の地震計などで探査できる可能性がある。ただしこのような探査は地熱微動（蒸気や熱水の移動による微動）についてのみ行われており⁹⁾、地下河川への適用例は見られない。トンネル掘削中であれば、HSPやTSPといった弾性波を用いたトンネル前方探査法があるが、断層への適用例はあるものの空洞への適用性は不明である。

ボーリング調査は、上記の調査で空洞の可能性が高い箇所について主に行い、石灰岩の分布や石灰岩中の空洞の分布などを調査する。場合によっては調査時の水平ボーリングまたはトンネル掘進時の先行ボーリングを活用して空洞の存在や湧水量などを直接確認する方法もある。

地下水調査では、地下水の湧水箇所や湧水量、水質などを調査するとともに、井戸やボーリング孔での地下水位や地下水の流動方向の調査を行うことによって、水みちの大まかな位置の推定を行うとともに、地下水位とトンネルレベルの位置関係を確認することによって、設計方法や湧水時の対策工法の検討の資料とする。

その他の調査としては、ボーリング孔を用いたボアホールテレビ観察や物理検層などがある。空洞が大規模な場合には直接人間が入って調査する方法（ケービング）もあるが、地下水位下では危険が大きい。なお、下水道管路の調査法として浮遊自走式のテレビカメラなどがあるので、空洞規模がある程度以上大きい場合にはこのような機器を湧水箇所から挿入する方法も考えられるが、空洞に実際に利用した例は見られない。

以上のように、これらの手法を総合すれば地下河川の位置を大まかに把握できる可能性はあるものの、確定的な手法はない。仮に、調査で地下河川的位置が判明したとしても、その箇所以外に同様な地下河川が存在する可能性を否定することはしがたいのが現状である。重ねて述べるが、大規模な地下水脈を切断する可能性が高い場合は、まずこれを避けるルートや線形を考えるのが重要である。

参考文献

- 1) 地学団体研究会：洞くつの地学。
- 2) 建設省河川局監修、(財)国土開発技術研究センター編集：地下水調査および観測指針（案），山海堂，330p, 1993.
- 3) (財)国土開発技術研究センター：石灰岩地帯におけるダム地質調査法，256p, 1982.
- 4) 物理探査学会：物理探査ハンドブック -手法編-，第4章，pp. 212-214, 1998.

9. 逆T式擁壁の鉄筋配置

質問者：長崎県県北振興局

回答者：材料施工部施工研究室（内線4733）

建設マネジメント技術研究センター建設システム課（内線5221）

質問

擁壁の設計は「道路土工・擁壁工指針（平成11年3月）」に基づいて行っていますが、細部の配筋規定が明確にされていません。たとえば、たて壁部材等の主鉄筋または配力鉄筋のいずれを外側に配置するのがよいのか、ご教示願いたい。

回答

「道路土工・擁壁工指針」においては鉄筋の配置を詳細に規定していないが、部材の性質等を考慮して配筋を決定するのが原則である。

従来、逆T式擁壁のたて壁部材の配筋について、「建設省制定土木構造物標準設計図集（昭和62年7月）」においては主鉄筋を内側に配置している。

道路橋の部材の場合、斜引張鉄筋はせん断抵抗と座屈防止の効果を有効に発揮するために軸方向鉄筋の外側に配置されている。

擁壁のたて壁の場合、軸力が小さく曲げが卓越した部材であり、せん断や座屈等を考慮して配力筋を外側に配置する必要性が低いこと、また主鉄筋を外側に配置した方が鉄筋量の計算において材料の量を減らすことができるためである。

しかし社会的状況の変化に伴い、近年、工事費に占める労務費の割合が急激に増加している。これは材料費に比べ、労務費の伸びが著しいことに起因する。

このような状況を受け、コスト縮減の観点から、材料ミニマムに加えて労働量ミニマムの考えを取り入れ、現在改訂作業中の標準設計においては逆T式擁壁のたて壁鉄筋については主鉄筋の外側に配力筋を配置し、施工性を向上させる方針である。

10. 沿岸部における擁壁の塩害対策

—潮位の影響を受ける擁壁の鉄筋かぶり・ひび割れ制限等—

質問者：長崎県県北振興局都市計画課

回答者：材料施工部コンクリート研究室（内線4765）

質 問

「道路土工・擁壁工指針」においては、直接潮位の影響を受けるコンクリート部材の鉄筋のかぶりにについては明確にされていません。塩害対策を考慮したかぶりの設定についてご教示願いたい。

また、潮位の影響を直接受ける擁壁の死荷重作用時の鉄筋応力度は、ひび割れ幅の制限の点より鉄筋の引張応力を制限する方が望ましいと判断されますが、見解をお聞かせ願いたい。

回 答

沿岸部のコンクリート構造物は波しぶきや飛来塩分の影響により鉄筋等鋼材が腐食する場合があることから、適切な塩害対策が必要であることが知られています。「道路土工・擁壁工指針」においてもこの点を注意喚起するため、平成11年の改訂の際、厳しい環境下の部材のうち、特に海洋環境の場合に別途かぶりなどについて考慮する旨の記述が追加されました。しかし、この中に具体的な塩害対策は示されていません。

擁壁の塩害対策について、参考となる資料としては建設省総プロの研究成果として整理された「沿岸土木構造物の設計・施工指針(案)」(以下、指針案という)¹⁾があります。これは、昭和60～62年度にかけて実施された総プロ「コンクリートの耐久性向上技術の開発」の中で行われた各種調査研究の成果を盛り込み、土木構造物全般の塩害対策の原案を示したものです。

この指針案の適用範囲は、直接大気に接する部分かつ波しぶきや潮風に含まれる塩分による塩害を受ける部分とされています。同じ沿岸部でも、塩害環境の厳しさは高さによって異なり(図-1)、飛沫帯、海中(干満のある範囲も含む)、大気中の順に腐食しやすい環境である²⁾と考えられていますので、この指針案の適用範囲は沿岸部の中で最も厳しい環境を対象としています。以下では、この指針案に記述されている具体的な塩害対策の例を紹介します。

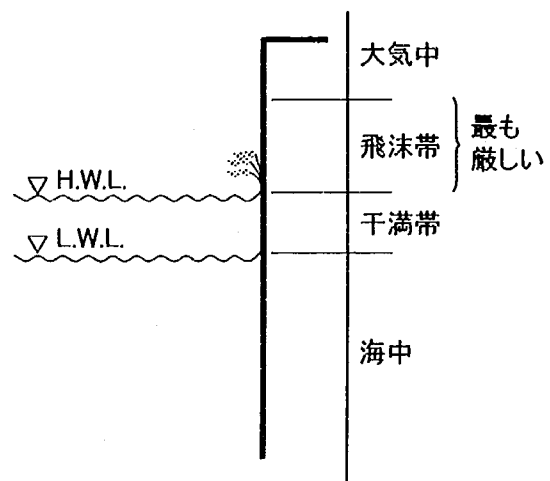


図-1 沿岸部の腐食環境

鋼材の最小かぶりは、通常「道路橋の塩害対策指針(案)」と概ね同様ですが、なお書きとして、「水セメント比が55%を超えるコンクリートの使用が予想される場合の鋼材の最小かぶりは、通常の値の2cm割り減したものとすることが望ましい」とされています。これは、一般に水セメント比が大きいほどコンクリート中への塩分の浸透が容易になることを考慮したものです。近年の橋梁に使用されるコンクリートは水セメント比が55%以下のものを用いることとされていますが、擁壁に使用されるコンクリートは同55%以上のものも実質上許容されていますので、上記の“2cm増”が必要とされる場合もあり得ます。例えば、波しぶきを頻繁に直接受けるような極めて厳しい環境で、設計基準強度 21N/mm^2 (水セメント比で60%程度)のコンクリートを用いた擁壁の場合には、かぶりは9cm以上必要ということになります。あるいは、この環境の場合、橋梁下部構造と同程度のコンクリート(水セメント比55%以下、概ね 27N/mm^2)を用いることとして、かぶりを7cmとする対策もあり得ます。

また、ご指摘のひび割れ幅の制限はやはり必要です。指針案は、「コンクリートに有害なひび割れが発生しないように配慮しなければならない。」としており、ひび割れが常時開いた状態にならないように、自重等の常時作用荷重に対して鉄筋の応力度を制限することとしています。

上記の水セメント比の制限など、「道路橋の塩害対策指針(案)」と同様、塩害対策は単にかぶり、ひび割れ抑制だけではないので、上記の指針案をぜひ一度ご覧いただきたいと思います。

参考文献

- 1) 沿岸土木構造物の設計・施工指針(案), 建設省総合技術開発プロジェクト, コンクリートの耐久性向上技術の開発報告書, 第二編, 建設省, pp. 17-39, 1988. 11
- 2) 大即信明, 長滝重義, 福手勤, 中下兼次: 港湾での鉄筋コンクリートの塩害に及ぼす海洋環境の影響に関する基礎的検討, 土木学会論文集, No. 472/V-20, pp. 59-68, 1993. 8

11. 擁壁たて壁部材の鉄筋の段落しの可否

質問者 長崎県

回答者 材料施工部施工研究室（内線 4 7 3 2）

質 問

橋台については、じん性の向上等を理由により高橋脚を除いて段落しは不可としていますが、擁壁の場合の段落しの取り扱いについてご教示願いたい。

回 答

道路橋示方書同解説、下部構造編（平成 8 年 12 月）では、阪神大震災での教訓を活かして部材のじん性を向上させるべく段落としは原則として行わないとしている。一方、平成 11 年 3 月に改訂された道路土工・擁壁工では、段落としに関する規定の記述はなく、従来どおり段落しは可能である。これは、これまでの経験で地震時に段落しがあることによる被害がないためである。

ただし、擁壁等の設計では、材料ミニマムから労働ミニマムへの思想に変わってきており、省力化の観点から鉄筋の種類や加工をできるだけ少なくするために、段落としせずに同じな長さの鉄筋とする考え方もある。段落しを行うかどうかは、この点も考慮して検討していただきたい。

「材料施工部門」紙上回答目次

	(質問者)	(回答者)
1. 場所打ち杭の杭先端極限支持力度の設定	長崎県県北振興局	基礎研究室……………119
2. 打込み鋼管杭の押込み支持力の推定方法	長崎県県北振興局	基礎研究室……………120
3. 海水中の場所打ち杭	大隅工事事務所	基礎研究室……………121
4. 無人化施工区域における測量技術	雲仙復興工事事務所	機械研究室……………122
5. 設備の遠隔操作に対する信頼性の確保	川内川工事事務所	機械研究室……………124
6. のり面補強アンカーの健全度調査手法及び評価手法	J H九州支社	施工研究室……………126
7. 海岸構造物(道路護岸)にグラウンドアンカーを使用する場合の仕様	大分工事事務所	施工研究室……………127
8. 大型ブロック積擁壁の形式	熊本県土木部	施工研究室……………129
9. 計算結果におけるS I・従来単位系の併記	長崎県県北振興局 都市計画課	コンクリート研究室……130
10. 場所打ちボックスカルバート設計における剛域の考慮の仕方	鹿児島県工事事務所	コンクリート研究室……132 システム課
11. コンクリート橋(上部工)における高炉スラグ微粉末の使用	熊本県道路部	コンクリート研究室……134
12. コンクリートの単位体積重量	大分県 土木建築部 企画検査室	コンクリート研究室……135
13. 生コン打設時の水セメント比の確認	北九州市検査室	コンクリート研究室……137
14. 土木工事施工管理の手引き	九州技術事務所	コンクリート研究室……139
15. アルカリ骨材反応抑制対策における総量規制の解釈	J H九州支社 建設部 企画調査係	コンクリート研究室……141 地質研究室
16. コンクリート砂防ダムのポンプ車打設	雲仙復興工事事務所	コンクリート研究室……143
17. 袋詰楔固工の材料の強度	川内川工事事務所	河川研究室……………145
18. 山付部の漏水対策	佐伯工事事務所	土質研究室……………148
19. 吹付法枠工における差し筋の長さの決定	大隈工事事務所	土質研究室……………150 施工研究室

1. 場所打ち杭の杭先端極限支持力度の設定

質問者：長崎県県北振興局

回答者：構造橋梁部基礎研究室（内線 4 8 2 1）

質 問

極限支持力度は「道路橋示方書・同解説Ⅳ下部構造編 P334」に基づいて求めることとなっているが、軟岩（CL 級以上）以上の地盤に杭径以上根入れする場合においても、硬質粘性土層以外の場合は、 300tf/m^2 に上限値を設定すべきか、ご教示願いたい。なお、施工条件として、硬質地盤用オールケーシング工法により、スライム処理を入念に行うこととしている。

回 答

道示に規定されている砂れき層および砂層の場所打ち杭の先端極限支持力度 300tf/m^2 は、打ち込み杭、中掘り杭に比べて小さく抑えられている。これは、場所打ち杭の場合、施工による地盤の乱れの影響が大きいと考えられるためである。ただし、この値が定められたのは、昭和 55 年版の道示である。その後の施工技術、施工機械および施工管理技術の進歩、改善等により、地盤の乱れを小さくすることが可能となり、より大きな支持力が得られるものと考えられる。しかし、現時点では、 300tf/m^2 を変更するだけの十分な載荷試験データが得られていない。

平成 8 年版では、このようなことから、 300tf/m^2 を基本としつつ、載荷試験を行った場合はその値を基に極限支持力度を設定してよいとしている。しかし、場所打ち杭の載荷試験は容易には行えない。そこで、土質試験、施工試験および施工管理データ等から載荷試験を行った場合と同等以上の信頼性が得られたと総合的に判断できれば、 300tf/m^2 によらずによいものと考えられる。

また、軟岩の場合、施工による地盤の乱れは砂質系地盤ほど大きくはないと考えられる。したがって、類似地盤の極限支持力度を参考としたり、採取したコアの一軸圧縮強度から $3 \cdot q_u$ により算出した結果などを総合的に評価して設定することも可能と考えられる。

2. 打込み鋼管杭の押込み支持力の推定方法

質問者：長崎県北振興局 都市計画課

回答者：構造橋梁部基礎研究室（内線 4 8 2 2）

質 問

道示Ⅳ（平成 8 年 12 月）参考資料 9 「軟岩・土丹を支持層とする打ち込み鋼管杭の軸方向押込み支持力の推定方法（案）（p.565）において、S I 単位系に対し極限支持力 P_u の推定式をご教示願いたい。

回 答

参考資料 9 「軟岩・土丹を支持層とする打ち込み鋼管杭の軸方向押込み支持力の推定方法（案）（p.565）の S I 単位系に対し極限支持力 P_u の推定式は以下の通りである。なお、() 内が S I 単位系を用いた場合の式および単位の変更点である。

杭先端（支持層内）の極限支持力 P_u は、式（参 9.1）により推定してもよい。

$$P_u = 140 \cdot q_u^{1/2} \cdot A_t^{2/5} \cdot A_i^{1/3} \dots \dots \dots \text{（参 9.1）}$$

$$\left(P_u = 440 \cdot q_u^{1/2} \cdot A_t^{2/5} \cdot A_i^{1/3} \right)$$

ここに、 P_u ：杭先端の極限支持力 （kN (tf)）

q_u ：支持岩盤の一軸圧縮強度 （kN/m² (tf/m²）

（ $\leq 10,000 \text{ kN/m}^2$ (1,000 tf/m²）

A_t ：鋼管杭の先端純断面積（m²）

A_i ：鋼管杭の先端閉塞面積（m²）

ただし、式（参 9.1）は支持岩盤内に少なくとも杭径以上根入れされている杭にのみ適用するものとし、また支持岩盤上が軟弱粘性土地盤である場合や中掘りくい工法を併用する場合は適用外とする。なお、式（参 9.1）による先端支持力には支持層内の周面摩擦力も含まれ、杭頭の極限支持力は式（参 9.2）で得られる。

$$R_u = P_u + U \cdot \sum l_i \cdot f_i \dots \dots \dots \text{（参 9.2）}$$

ここに、 R_u ：地盤から決まる杭頭での極限支持力 （kN (tf)）

U ：杭の周長（m）

l_i ：支持層より上層の周面摩擦力を考慮する層の層厚（m）

f_i ：支持層より上層の周面摩擦力を考慮する最大周面摩擦力度
（kN/m² (tf/m²）

参考文献

- 1) (社) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 S I 単位系移行に関する参考資料，1998.7

3. 海水中の場所打ち杭

質問者：大隅工事事務所 工務第三課

回答者：構造橋梁部基礎研究室（内線4828）

質 問

地下水が海水である場合の場所打ち杭の設計施工の留意点についてご教示願いたい。

回 答

地下水が海水である場合でも、水中では所定のかぶりを確保すれば、鉄筋の耐久性については特に問題ないと考えられる。

また、場所打ち杭の場合、鉄筋建て込みからコンクリート打設までの期間が短いこと、鉄筋に付着した塩分は長期の腐食にほとんど影響を及ぼさないという研究結果が報告されていること^{1), 2)}などから、特に鉄筋の防錆を施す必要はないと考えられる。

ただし、不測の事態を考えると、掘削時の孔内の塩分をできるだけ除去するのが望ましい。これについて、リバース工法やアースドリル工法では、孔内水や安定液の比重を管理することで、孔内への海水の流入を防止することが可能である。オールケーシング工法では、完全に海水を排除することは困難であるが、注水により孔内水位を地下水位より高くすることで、孔内への海水の流入を抑制することができる。

なお、コンクリート打設においても、コンクリートの打設速度、トレミーパイプの引抜速度等に十分注意し、コンクリートの品質が低下しないように努める必要がある。

参考資料

- 1) 大即信明他：水中不分離性混和剤を用いたモルタルの塩化物イオン浸透に関する検討，水中不分離性コンクリートに関するシンポジウム論文集，pp137-144，1990
- 2) 本橋賢一他：水中不分離性コンクリートを用いたRC梁の海中暴露実験，水中不分離性コンクリートに関するシンポジウム論文集，pp153-160，1990

4. 無人化施工区域における測量技術

質問者：雲仙復興工事事務所

回答者：材料施工部機械研究室（内線 4 7 2 4）

質問

現在無人化施工区域において、砂防ダム建設、除石工事は、無人化施工を行っているが、着工前・出来高管理等においての測量は有人で行っている。工事の安全対策上、測量においても無人化を進めていきたい。そこで測量における無人化技術があればご教示願いたい。

回答

現在のところ、砂防ダム建設や除石工事について立入禁止区域内で着工前測量や出来高管理まで対応可能な技術は実用化されていない。土砂災害等の復旧や復興の工事現場では、二次災害が懸念される場合、安全確保のために遠隔操作型機械を用いた施工事例が増えているが、測量を行う場合は、有人で行っているのが現状である。

立入禁止区域内で測量を行う場合、技術的にはノンプリズムトータルステーションを使う方法、GPS 受信機をリモコン車両等に搭載して観測点にアンテナを立てる方法、航空測量による方法が考えられる。しかし地上からの測量する場合、表 1 に示すような現場条件に左右されることに加え、いずれの方法も地形図の作成には時間と手間を要する。しかし現場の地形によっては、見通しが確保できるような場合、土工の出来高確認にノンプリズム型測距儀を使う方法については適用できる可能性がある。

現場地形によらない方法としては、災害発生後の被災状況の把握や、復旧計画に必要な地形図（1/1000 程度）取得を目的とした測量技術として開発された航空レーザー測量システムがある。このシステムは、GPS を適用したことにより、迅速性や精度面から地形測量への適用が有望視されており、国土院により公共測量作業規程化が検討されており着工前測量への適用の可能性がある。ので紹介する。

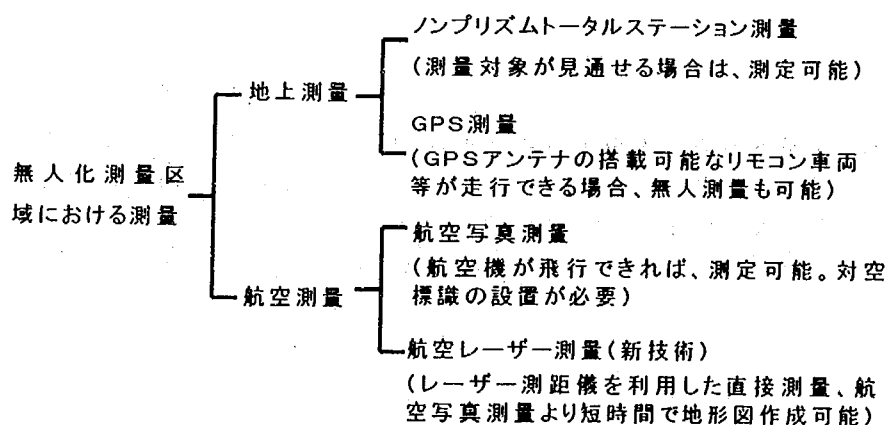


表 1 無人化区域における測量方法の種類

1. 測量原理と特徴

航空レーザー測量システムは、航空機に搭載したレーザプロファイラー（スキャン式光波測距儀）と人工衛星を利用した GPS（Global Positioning System）、航空機の姿勢制御（ジャイロコンパス）等を用いて 3 次元測量を行うシステムである。

従来航空機を用いた測量方法である空中三角測量は、写真という媒体を用いて間接的に対象地域の地形を測量するものであり、一方、航空レーザー測量システムは、光を利用して直接的に対象地域の地形を計測する意味で測定原理が異なる。

このシステムは、従来の航空機を使った測量と比較して以下の特徴を有する。

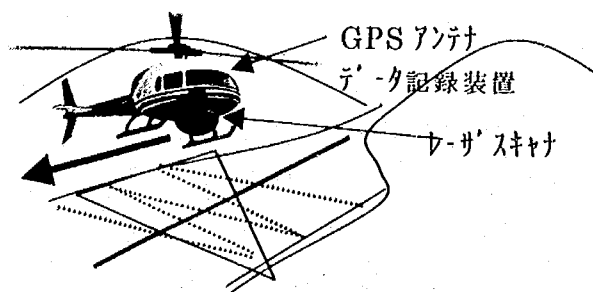


図 1 システム概略図

- 1) レーザー光が樹木のわずかな間隙でも地表面に到達するため、樹木等がある山地でも正確に地表面の3次元座標を計測することが可能である。
- 2) GPSを利用するため、対空標識の設置等の現場作業を行う必要がないこと、デジタル処理することから写真現像の必要もなく、航空写真測量に比べ約1/2～1/3の短時間で地形図を作成することが可能である。
- 3) 精度が、公共測量作業規程による縮尺1:1000地形図における誤差の水準であり公共測量における地形図作成に十分適用の可能性がある。

2. 精度について

航空レーザー測量システムでは、レーザー測距儀、GPS及び航空機の姿勢データの組合せにより測量を行うので、誤差はこれらの要因が複合している。国土地理院が現在検証を行っているが、測定精度（標準偏差）は公共測量における誤差の制限を満たす、水平位置50cm以下、標高で20cm以下の水準である。このうち最大の誤差要因は航空機の姿勢データである。測定点の密度については、レーザー測距儀をヘリコプターに搭載した場合で、概ね1点/m²、航空機に搭載した場合で、25点/m²の割合でデータが取得できる。

3. 復旧・復興現場への適用性

航空レーザー測量システムでは、通常の施工管理基準に基づく100mm以下の誤差確認が必要な砂防土工の出来形計測への適用は困難であるが、着工前の現況把握への適用性は高い。国土地理院では、公共測量作業規程での特例条項による対応に向け精度検証手法等について現在内部の検討会で検討中である。

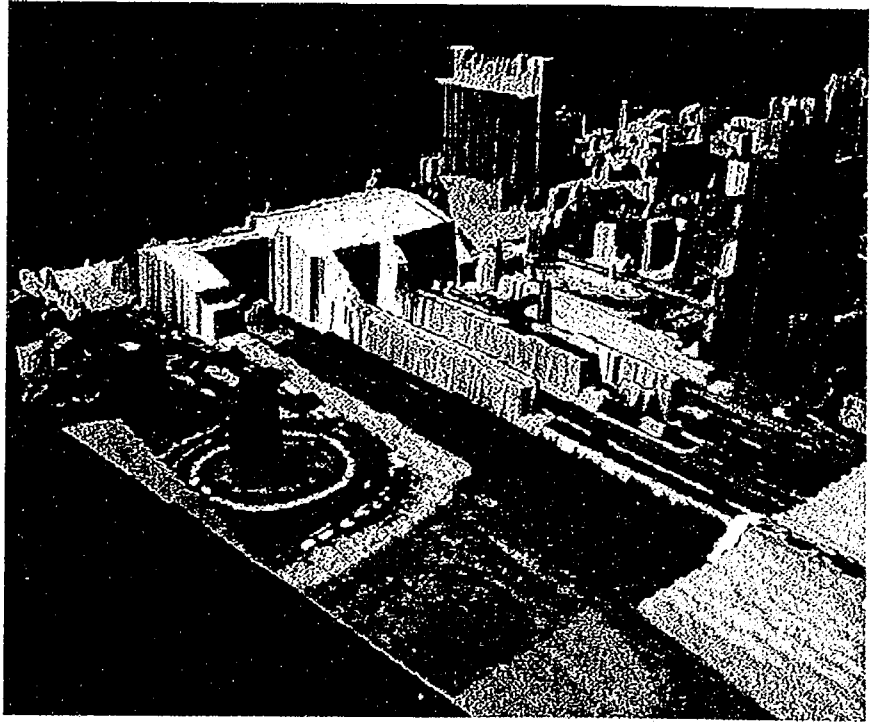


写真1 航空レーザー測量による3次元データの例

なお、現場が開けており

見通しが確保できれば、既に実用化されているノンプリズム型測距儀を用いた高い精度による出来高測量や地形測量も可能と考えられるが、時間及び費用の面からデータ解析の自動化等による適用性向上が必要である。また災害復旧での無人化施工の現場に適した施工管理手法を検討することにより、既存の測量手法を災害復旧時の施工管理に適用することも考えられる。

参考文献

- 村上広史他：ヘリコプター搭載レーザスキャナの3次元計測精度、写真測量とリモートセンシング、VOL. 36, No. 3, pp58-61, 1997
 高橋博将他：レーザープロファイラーを用いた地形計測の精度検証、日本測量調査技術協会、APA No. 73-6, pp48-55, 1999
 塚田幸広他：Automatic Surveying System of the Geographical Feature Utilizing Newly Developed Long-distance and Angle Measuring Instrument without Target Prism, The 13th ISARC, pp733-742, 1996 (タイトル訳：新しく開発されたプリズムターゲットを使用しない測距儀を用いた自動測量システム)

5. 設備の遠隔操作に対する信頼性の確保

質問者: 川内川工事事務所

回答者: 材料施工部 機械研究室(内線 4727)

質問

排水機場や多数の樋門の遠方制御を行う前提として、遠方監視の確実性が必要と考えられる。監視するための情報はセンサ類によって収集するが、センサ類も故障するため、誤った数値を送信してくる場合が考えられる。

近年では、排水機場等の個々の設備には、フェールセーフ等の導入が必要と考えるが、どのような方法が最適と考えられるか。また、そのために、樋門等の改修工事に際して、フェールセーフを確保するために、配慮しておくことについてご教授願いたい。

回答

信頼性を高める方法は、以下の4点に集約される。

- ①発生源の排除（故障予防、システム設計、FTA、FMEA等）
- ②エラーを起こしやすい人の介在の改善（自動化、代替化、判断の支援又は容易化等）
- ③波及の阻止（フェールセーフ、自動停止）
- ④回復の促進（故障回復等）

なお、使用した用語の意味は、以下の通りである。

- ・フェールセーフ : システムの一部に故障が生じて、ある限られた運用期間は安全に使用でき、致命的な破壊に至るまでに、修理や交換を行い、システムの安全性を確保するような構成
- ・フルプルーフ : 作業ミスお呼びそれに起因する各種トラブルを防止するための作業方法に関する総合的な工夫
- ・フォールトトレランス : 事故防止を目的とし、システムの一部に故障が生じて、システム全体の動作を継続するような構成

1. センサの故障対策

センサは、河川管理施設の故障予防、運転の安全確認など、目的に応じた配置計画が必要である。

○河川管理施設の故障予防に向けたセンサの配置計画

- ・単なる二重化や不必要なインターロック機構（機械保護のための運転停止機構）の設置は、センサの故障時に運転障害を発生するなど、信頼性向上につながらないことがある。そのため、センサの配置にあたっては、定量的な評価に基づいて行う必要がある。その手法としては、FTA (Fault Tree Analysis: 故障の木解析) や FMEA (Failure Mode and Effects Analysis: 故障モード影響解析) などがある。

○運転の安全確認に向けたセンサの配置計画

- ・センサの配置にあたっては、運転時に想定される障害や、操作員による安全確認に代わるものであることを考慮に入れる必要がある。

センサの故障に対しては、センサ不良時にも確実な運転を行える必要がある。例えば、センサの故障を原因としたインターロック機構作動による運転障害に対して、センサケーブル切断によるインターロック解除が可能な接点方式にすることが考えられる。

また、ハードウェア上の対策としては、3個のセンサによる多数決判断、二重化による相互チェックなどの方法がある。しかし、現在の設備は、このような対策を要するような信頼性の低いセンサを必要としないシステム設計になっている。

2. 集中管理時のフェールセーフ

(1) 排水機場・水門・樋管等設備

フェールセーフは、多重化によって、代替えさせることで信頼性を上げることである。この方式は、高価になること、多重化が新たな障害の原因になる場合があるため、近年の設備では、フォールトトレランス（故障しても動く）、あるいは故障原因を取り除く設計にする方針になっている。

(2) 遠方監視操作設備

遠方監視操作設備の機器のうち、「情報伝送処理装置」「電送装置（入出力盤）」など重要な機器については、フルプルーフにできないため、二重化を図り、常に両方を動かすことによって、信号の遮断を防いでいる。

同様に、通信のための光ケーブルも二重化した方が信頼性は高められるが、埋設箇所を河川の右岸と左岸別々に通すなど、同一の原因で破損しない工夫も求められる。

遠方監視操作設備については、機械研究室で構成機器の信頼性データ収集、信頼性向上策、信頼性評価手法などを検討している。成果がまとまり次第公表するので、参考にされたい。

参考文献

○FTA、FMEAについて

- 1)長、樋下、村松、多田、大沢、斉藤：機械設備の信頼性評価に関する調査研究、土木研究所資料第2870号、1990

○遠方監視の信頼性について

- 2)森下、吉田、服部：河川管理用機械設備の集中管理システムの信頼性に関する研究、土木計画学研究・講演集、No20(1)、pp183-186、1997

○信頼性全般について

- 3)日本信頼性学会編：信頼性ハンドブック、日科技連、1997

6. のり面補強アンカーの健全度調査手法及び評価手法

質問者 JH九州支社

回答者 材料施工部施工研究室（内線4732）

質 問

現在、のり面アンカーの健全度を把握する目的で、外観調査、リフトオフ試験を実施しているが、全アンカー本数の調査は困難なことから非破壊的な調査方法と評価方法についてご教示願いたい。また、リフトオフ試験における試験数量の目安及びのり面全体での評価方法についてご教示願いたい。

回 答

橋梁では、自然電位や分極抵抗など、電気化学的手法による非破壊探査で鋼材の腐食を調査する方法が研究されているが、グラウンドアンカーでのアンカーの健全度を調査する非破壊探査手法は現在のところ研究がなされていない。橋梁で行われるような非破壊探査手法をそのまま持ち込むことは難しいと思われ、グラウンドアンカーの非破壊探査手法は新たな発想で研究に取り組む必要があると考えている。

アンカーの緊張状態を測定する方法としてリフトオフ試験がある。これは、アンカー一定着具にロードセルとジャッキを取り付けて荷重状態を計測するものであるが、計測に手間がかかりアンカー全数調査を行えるものではない。「土質工学会基準 グラウンドアンカー設計・施工基準、同解説」（土質工学会、平成2年2月）では、表-1に示すようにリフトオフ試験を行うアンカーの本数が記されている。表-1で示された本数は、計測値を統計的手法に基づいて全体評価を行うには十分な本数ではないが、その手間とコストを考えればやむを得ないと思う。このため、少ない本数でも点検調査の目的が達せられるように調査地点の選定に注意することが必要である。例えば、のり面にすべり等の変状が発生したときはすべり面上部のアンカーの緊張は緩和される傾向を示し、すべり面下部のアンカー緊張力が増加する傾向を示すので、高さ方向に異なる調査地点を選ぶなどである。

測定結果から、緊張力の増加あるいは極端な減少といった異常、あるいは定着地盤のクリーブやPC鋼材の付着切れを示すような計測結果が得られた場合は、必要に応じてリフトオフ試験を追加で実施する。さらに地質データ、地下水位のデータ、斜面の変状などのデータを総合的にみて原因を検討するなどして、のり面全体としての異常の有無を判断することになる。

また、調査結果は記録、保存し、過去の調査結果からも判断できるようにすることが肝要である。

表-1 荷重調査を行う本数

アンカーの合計本数	計測するアンカーの本数 (%)
50本以下	10
51本～100本未満	7
100本以上	5

7. 海岸構造物（道路護岸）にグラウンドアンカーを使用する場合の仕様

質問者 大分工事事務所

回答者 材料施工部施工研究室（内線 4 7 3 2）

質 問

海岸構造物（道路護岸）にグラウンドアンカーを使用する場合の設計に対する考え方についてご指導願いたい。

回 答

グラウンドアンカー工法は、安定勾配が確保できないようなのり面で大規模な崩落や地すべりが懸念される場合の斜面对策工法として広く普及している。アンカー引張力ですべり土塊の滑動に抵抗するメカニズムのため、高張力が作用するテンドンには一般的に P C 鋼材などが使用される。P C 鋼材が腐食すると当初の引張り耐力が減少し斜面安定に支障をきたすために、地盤環境に応じた防食処理を施す必要がある。特に、酸性土壌の地盤、比抵抗値の高い地盤、土壌中に鋼材腐食を進行させるような溶解物質を含む地盤では腐食環境が厳しく、テンドンである P C 鋼材の腐食が懸念される。

アンカーの歴史は他の基礎構造物に比べて浅く、また地盤内部でのアンカーの腐食状態を調べるのが困難であるために、これまでアンカーの腐食を研究する事例は少なかった。しかし、F I P では各国の専門家による調査をもとに、FIP State of the report, Corrosion and corrosion protection of prestressed ground anchorages (1986) を作成した。これには腐食事例や腐食対策の基本的考え方、各種防食事例等が記載されており、これを基にしてわが国の土質工学会では「グラウトアンカー設計・施工基準、同解説」(1990) を出版し、この中で F I P のレポートを参考として防食の考え方が記述されている。基準では、「防食方法はアンカーの使用目的に応じて、アンカー体、引張り部、アンカー頭部に対して、それぞれに適し、施工期間中に防食機能が損なわれないものを用いる」、「永久アンカーは 2 重防食を原則とする」と記述しており、解説には F I P の調査データが紹介されている。

このため、現状では永久アンカーを用いる場合には重要なアンカーは二重防食を行うことで対応しており、土質工学会基準に基づく種々の工法が開発されるに至っている。

ご質問の海岸構造物での永久アンカーは基本的には二重防食されている永久アンカーを採用することになるが、腐食の厳しい環境であるために、テンドンだけではなくテンドン頭部及び定着部の腐食対策を含めて総合的な腐食対策がある工法を採用することが必要である。現在、砂防・地すべり技術センター、土木研究センター、日本建築センターでの建設大臣認定の審査・証明制度で技術認定・評価を受けた永久アンカー工法が多くあり、これらの認定・評価を取得した信頼性の高い工法を採用することが望ましい。また、腐食環境によってはこれらの永久アンカーのうちでもより防食効果の高いもの（例えばテドンに腐食しない新素材を使用する、合成樹脂性塗装やポリエチレン管で被覆する、アンカー体にシーシを用いる、アンカー頭部に防食性の高い定着具を使用するなど）の採用も検討することが必要である。例えば、温泉地、海岸付近などの腐食環境の厳しい箇所では、P C 鋼材のかわりに炭素繊維を使用し、アンカー頭部のは耐久性に優れたステンレスや合成材を用いた事例もある。

腐食環境における管理方法では、腐食の原因が施工不良によるものが多いことが F I P の調査でも紹介されていることから、各工法のマニュアルで決められた方法で確実に施工、施工管理していくことが重要である。また、セメントグラウトに塩化物が混入すると腐食の原因となることから、塩化物が混入しないように注意することも必要である。

次に、維持管理では地盤内にあるアンカーの腐食程度を観測することは不可能であるので、定着具の腐食状況やアンカー頭部の変状には十分な管理が必要である。また、斜面全体の安定性を把握するために斜面の変状、変位を定期的に観測することが必要である。

8. 大型ブロック積擁壁の形式

質問者：熊本県土木部

回答者：材料施工部施工研究室（内線4733）

質問

大型ブロック積み擁壁は各メーカーにより多種多様生産されている。ブロック間の結合にかみ合わせ構造や突起が確保されているかどうかの判断基準についてご教示願いたい。

回答

大型ブロック積擁壁はプレキャスト製品を使用することから多様な形式が存在する。

かみ合わせ構造や突起についての統一的な基準は存在しない。

道路土工擁壁工指針では標準的な大型ブロック積擁壁として、以下を想定している。

- ①従来のブロック積み擁壁のブロックを大型化し、施工時の省力化等を目的としたもの
- ②プレキャストの大型のブロックを材料として、もたれ式擁壁や重力式擁壁の施工時の省力化等を目的としたもの

いずれの場合にも大型ブロックを用いることにより省力化などの効果は期待できるが、安定性や構造的な強度については大型ブロックを用いるということだけで向上は期待できず、別途検討による確認が必要である。

①のケースの場合、大型ブロックを用いても最終形はブロック積擁壁であり、その適用範囲は背面の地山が締まっている切土など、土圧が小さい場合に限られる。この場合、設計は直高とのり面勾配の関係からなる経験的な手法によって行う。またブロック間のかみ合わせについては通常のブロック積擁壁と同程度のかみ合わせが確保できればよい。

②のケースの場合、最終形はもたれ式擁壁または重力式擁壁であり、適用範囲はケース①よりも拡大されるが、一般的な重力式擁壁やもたれ式擁壁と同等の安定および強度に関する検討を行わなくてはならない。躯体強度の検討に際してはブロックの個々の境界面において作用する外力に対して十分な結合強度を有し、擁壁全体を剛体と仮定することができるかどうかの確認をする必要がある。

ブロックのかみ合わせや結合の検討に当たっては上述のいずれのケースに相当するかを十分理解し、その設計思想を満足する構造となっているかどうかを確認することが必要である。

9. 計算結果における S I ・ 従来単位系の併記

質問者: 長崎県県北振興局都市計画課

回答者: 材料施工部コンクリート研究室(内線 4761)

質 問

S I 及び従来単位系を併記する場合、一方の単位系で計算して、その結果を他方の単位系に換算すると、双方の単位系で結果が異なる事があり得ます。この場合計算結果についてどのように考えるべきでしょうか、例えば R C 部材の応力度計算において

$$\cdot \text{S I 単位系で計算} \rightarrow \sigma_c = 6.97 \text{N/mm}^2 < \sigma_{ca} = 7.00 \text{N/mm}^2$$

上の計算を従来単位系に換算

$$\rightarrow \sigma_c = 71.1 \text{kgf/cm}^2 > \sigma_{ca} = 70.0 \text{kgf/cm}^2$$

・ 同じ構造を従来単位系で計算

$$\rightarrow \sigma_c = 69.4 \text{kgf/cm}^2 < \sigma_{ca} = 70.0 \text{kgf/cm}^2$$

上記の結果の違いは、それぞれの荷重強度及び許容値の換算率の違いによるものと考えられる。この場合 (S I 単位による計算結果) が OK ならば OK としてよいのか、また OK としてよいならば NG となる換算結果を併記して問題はないか、についてご教示願いたい。

回 答

1999 年の 10 月に計量法の S I 化猶予期間終了に伴い、取り引き及び証明に用いる単位として非 S I の単位を用いることが禁止されます。これに対応して、農林水産省、運輸省、建設省では、平成 11 年 4 月 1 日以降に契約する工事については、S I 単位を使用するものとしています。ただし、周知するのに時間を要するので、従来単位系による数値を併記してもよいとされています。従いまして、ご質問にもありますように設計計算は S I 単位で行い基準を満たしているかどうか確かめることになり、S I による計算結果が基準に合致していれば問題ありません。

一方、S I 単位による計算結果を従来単位系に換算した数値につきましては、あくまで利便をはかるための換算値であり、参考のため併記することはできますが、従来の基準値と比較することが目的ではありません。つまり、仮に従来の基準に合致しない数値であっても併記すること自体には問題ありませんが、従来の基準値との大小関係を記す等の誤解を招きかねない表現は避けた方が無難と考えられます。

(補足)

各種の基準値を定める際には数値の扱いやすさにも配慮する必要があることから、各基準類の S I 化の際に、S I に換算した数値を参考に、それに近い扱いやすい数値を新たな基準値として設定している場合があります (S I に換算した基準値の設定方法は、基準の性質や関連分野によって異なります)。

$$\begin{aligned} \text{例)} \quad 70.0 \text{kgf/cm}^2 \times 0.0980665 &= 6.86 \text{N/mm}^2 \\ &\approx 7.00 \text{N/mm}^2 \end{aligned}$$

このような場合に最終的な計算結果の換算値のみをみると、従来より危険側の設計になっているような印象を受ける場合がありますが、S I 化された基準類では設計計算に用いる係数等についても適切に換算が行われており、S I を用いて設計計算を行ったために特に危険側の設計になることはありません。

参考文献

- 1) 建設事業における国際単位系（S I）移行のガイド, (財) 先端建設技術センター, 1997.8
- 2) (社) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 S I 単位系移行に関する参考資料, 1998.7

10. 場所打ちボックスカルバート設計における剛域の考慮の仕方

質問者: 鹿児島工事事務所

回答者: 材料施工部コンクリート研究室(内線4762)

建設マネジメント技術研究センター建設システム課(内線5221)

質問

場所打ちボックスカルバート設計において、道路土工カルバート工指針(平成11年3月)によると、通常の場合は部材接合部の剛域の影響を無視して良いが、断面規模が大きい場合や土かぶりが多い場合で部材が厚くなるときは、剛域を考慮する方法がある。」とされている。剛域の考慮が必要な場合の目安についてご教示願いたい。

回答

カルバートのようなラーメン構造の場合、側壁と頂版等の接合部の剛性の考慮の仕方により、外力作用によって生じる断面力の算定値が変化することとなります。

ここで、接合部に剛域を考慮した場合は、考慮しない場合に比べて、荷重作用による接合部(剛域)近傍での設計曲げモーメントの計算値は、一般に大きく算定されます。しかし、道路橋示方書コンクリート橋編のラーメン部材節点部の記述によると、剛域の影響を無視した場合は、図-1に示すように設計曲げモーメントの分布を部材軸線からシフトさせることとなっていて、剛域を無視した方が、逆に大きな設計曲げモーメントを見込む場合もあります。本来であれば、剛域の考慮の仕方とこれに伴う設計曲げモーメントの設定方法については、実部材の挙動に即した判断がなされるべきですが、接合部の挙動については、これまであまり研究された例がなく、実際にどのような断面力が作用するのか詳細は明確になっていないのが実状です。

このため、設計実務上は、設計計算の簡略化を目的として、剛域の考慮を行わない計算方法が慣例として用いられてきました。表-1、および表-2は平成11年度末に制定予定の建設省標準設計でカバーされているカルバート断面の内空寸法および内空高に応じた最大土被りの範囲を示したのですが、そこで示されている設計例についても、接合部の剛域を考慮せずに計算が行われています。

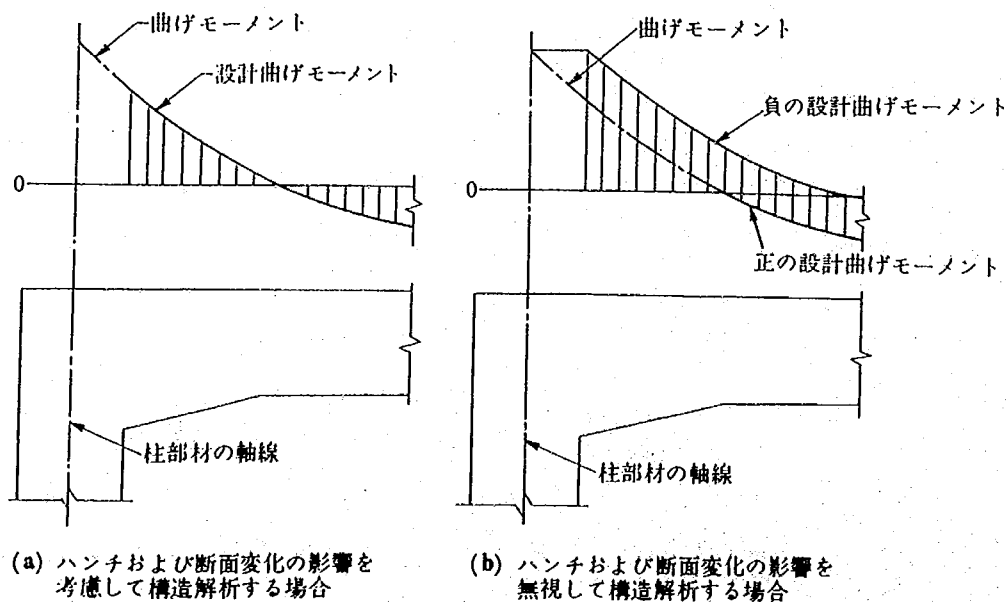


図-1 接合部における設計曲げモーメントの設定

従って、

- ・ 接合部の剛性・挙動が明確になっていないこと
- ・ これまで標準設計で採用されている部材について、問題となるような損傷が発生していないこと

を考慮すると、標準設計でカバーされている内空寸法および土被りの範囲内にあるものについては剛域を考慮せずに計算を行うこととし、これを超えるような大断面の場合、あるいは土被りが大きい場合については剛域の考慮を行った設計計算を行うことが、合理的な判断であると考えられます。

表－１ 標準設計で示されているボックスカルバート断面の内空幅と内空高

		内 空 幅 B (m)													
		1.00	1.25	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00	6.50	7.00
内 空 高 H (m)	1.00	○	○	○											
	1.25	○	○	○											
	1.50	○	○	○	○	○									
	2.00			○	○	○	○	○							
	2.50				○	○	○	○	○	○					
	3.00					○	○	○	○	○	○				
	3.50						○	○	○	○	○				
	4.00						○	○	○	○	○	○			
	4.50							○	○	○	○	○	○		
	5.00										○	○	○		
	5.50														
	6.00														
	6.0超														

表－２ 標準設計で示されているボックスカルバート断面内空高と土かぶり

		内 空 高 H (m)																		
		0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25	2.50	2.75	3.00	3.25	3.50	3.75	4.00	4.25	4.50	4.75	5.00
最大土破りD (m)	0.50	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	1.00	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	1.50	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	2.00	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	2.50	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	3.00	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	3.50	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○				
	4.00	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○				
	4.50	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○				
	5.00	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○				
5.50	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○					
6.00	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○					

11. コンクリート橋（上部工）における高炉スラグ微粉末の使用

質問者：熊本県道路部

回答者：材料施工部コンクリート研究室（内線4762）

質問

現在の道路橋示方書では、高炉セメントについては原則として使用しないこととなっているが、高炉スラグ微粉末を使用すると、耐久性のメリットもあると聞く。高炉スラグ微粉末の上部工への使用可否について今後の動向についてご教示願いたい。

回答

現在、構造物の設計基準類の性能規定化への移行が各方面で行われています。道路橋示方書についても同様で、平成12年度を目途に、性能規定への暫定的な移行がなされる予定です。性能規定の主旨からすると、出来上がり構造物が所定の性能（耐荷性能や耐久性能等）を満たしているのであれば、必ずしも使用材料の仕様を規定するものではなく、設計者の判断にゆだねられるところとなります。今後、高炉セメント・高炉スラグ微粉末についても、所定の性能を満たすコンクリート構造物が建造されるのであれば、上部工への使用を妨げるものではないと考えられます。

従来の道路橋示方書で高炉セメントの使用が原則として認められてこなかった背景としては、

- ①高炉セメントを用いたコンクリートの収縮・クリープなどに関するデータの蓄積が十分ではなかった。
- ②高炉セメントを用いたコンクリートの品質は、養生条件の影響を強く受け、普通ポルトランドセメントを用いたコンクリートに比べ、十分な湿潤養生が必要となる。
- ③中性化の早期進行に対する不安がある
- ④高炉スラグ微粉末を使用する場合、スラグの粉末度によってコンクリートの性質が変化する

等の点が挙げられます。これらの高炉スラグ微粉末の特性を十分把握したうえで、設計施工計画が立案され、確実な施工がなされるのであれば、上部工に使用しても支障はないと考えられます。

なお、コンクリート用高炉スラグ微粉末は1995年にJIS化（JIS A 6206）され、粉末度によって3種類の品質が規定されました。このうち「高炉スラグ微粉末 8000」は高強度コンクリートも視野に入れた品質規格となっており、上部工への利用も可能なものと位置づけられています。その後、1997年にJIS R 5201の改訂にあわせて、試験方法に関する若干の修正が加えられ現在に至っています。高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの特性については、下記の文献に詳述されているので、参考にして下さい。

参考文献

- 1) 高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの施工指針、コンクリートライブラリー86号、土木学会、平成8年3月

12. コンクリートの単位体積重量

質問者：大分県 土木建築部 企画検査室

回答者：材料施工部 コンクリート研究室（内線 4 7 6 1）

質 問

コンクリート構造物の安定計算において、道路土工指針及び道路橋示方書等では、「コンクリートの単位体積重量について、 2.35tf/m^3 （注）を用いてもよい」となっていますが、大分県の地域特性として、原石山より採取したコンクリート用骨材の比重が軽いことから、コンクリートの単位体積重量が 2.35tf/m^3 以下であることが非常に多いのが実態です。

そのため、構造物の安定計算に 2.35tf/m^3 を用いた場合、実際には構造物の死荷重が小さくなるため、構造物の安全、安定性が損なわれているケースが懸念されます。

そこで、以下の事項についてご教示願いたい。

（土研注：平成 11 年 3 月改訂の道路土工指針では S I 化により 23kN/m^3 と表示）

1. 安定計算時の計算式中の値あるいは安全率に、単位体積重量のある程度の誤差は考慮されているのでしょうか。また、許されるとした場合、どの程度まででしょうか。
2. 建設省直轄工事においては、地域特性や構造物の性状（ダムなど、単位体積重量が安定計算上大きな意味を持つ場合）を考慮し、コンクリートの単位体積重量を変更する場合がありますのでしょうか。また、変更する場合の基準・指針等があれば伺いたい。
ちなみに大分県においては、砂防ダムに使用するコンクリートの単位体積重量の値について、 2.30tf/m^3 として安定計算を行っています。

回 答

まず、「単位体積重量」という用語については、S I 単位系の導入によって設計時に用いる荷重に対しては N/m^3 を用いることとなります。すなわちコンクリートの単位重量は 23kN/m^3 となります。コンクリートの品質に対しては「単位体積質量 ton/m^3 」となります。ここでは話を単純化するためコンクリートの単位体積質量を中心に話を進めます。

以前より、「コンクリートの単位体積質量が基準の 2.35ton/m^3 を満たさないがどうしたらよいか」というご質問をたびたびいただきました。コンクリートの単位体積質量については基準はないのですが、設計計算に用いるコンクリートの単位体積重量の 2.35tf/m^3 が、コンクリートの品質の基準であるという誤解があるようです。こうした誤解は少なくはなりつつありますが、まだまだあるようです。

設計計算に用いるコンクリートの単位体積質量は、一般にはコンクリート自体が死荷重になるため、実際のコンクリートの単位体積質量より、いく分か大きめに設定してあります。ご指摘のように構造物の重さが構造物の安定にプラスに働くような設計では、このことが逆に作用して、危険側になることがあります。このことは以前から指摘されており、平成 11 年度版の道路土工指針の改訂作業の中でも議論になりました。

では、実際にはコンクリートの単位体積質量はどの程度の範囲にあるのでしょうか。

全国生コンクリート連合会が行っている調査では、平成 3 年度実績でみると、 2.24ton/m^3 から 2.32ton/m^3 までのコンクリートが 7 割程度を占めています。大分県の実績は平均値を見る限りは全国平均より大きくなっています。

では、どの程度の単位体積質量があれば妥当なのでしょうか。もちろん、単位体積質量に対する基準がありませんので、いくら以上なければならないということではありませんが、試算をしてみます。土木学会コンクリート標準示方書に示されたコンクリートの配合の概略値（解説表 4.8.1）の粗骨材の最大寸法 25mm と 40mm を例にとると、A E 剤を用いる場合、単位水量はそれぞれ 170kg/m^3 と 165kg/m^3 です。（ちなみに、示方書によれば

単位水量の上限は 175kg/m^3 が目安となっています。) 水セメント比が 60% とすると単位セメント量は 283kg/m^3 と 275kg/m^3 です。空気量をそれぞれ 5.0% と 4.5% とすると、残りの骨材の容積はそれぞれ 690 ㏩と 703 ㏩です。ここで、骨材の密度が粗骨材、細骨材共に基準ぎりぎりの表乾密度 2.5g/cm^3 (厳密には絶乾密度が 2.5g/cm^3 なので、基準を満たさない可能性が高いが) だとしますと、コンクリートの単位体積質量はそれぞれ 2178kg/m^3 と 2198kg/m^3 となります。全国的に見ると 2200kg/m^3 を下まわるコンクリートはほとんどないようですが、一部の地域では骨材の品質が低下していて、密度の低い骨材を使わざるを得ないところもあるのは事実です。

さて、ご質問の 1 は、設計用値の 2.35tf/m^3 に対し小さい値の単位体積質量のコンクリートを用いた場合に安定計算で安全が確保できるかどうかというものです。擁壁等の設計では、土質材料の不確定さ・ばらつき、施工の不確定さ、現地条件が必ずしも事前に十分に把握できるとは限らないので、一般には設計用値にある程度の安全を見込んだ設計を行っています。道路土工指針の改定時にはこうした値を種々設定して検討を重ね、現在流通しているコンクリートの単位体積質量の範囲であれば、安全が確保できていると判断しています。ただし、単位体積質量の誤差がどれだけ許容されるかというご質問に対しては、こうした背景があるため明言することは難しいです。

もちろん、用いるコンクリートの単位体積質量が著しく小さいことが予想され、しかも土圧などが最終段階のものがかなり厳密に推定される場合や浮力の計算を行う場合には、コンクリートの単位体積質量の設計用値を適切に定めることは妥当な措置です。この場合、ご質問の 2 にありますような基準・指針があるわけではありません。道路橋示方書や道路土工指針などの指針類はあくまでも標準を定めたものですから、各現場で最適だと判断された設計用値を使用されることを阻むものではありません。

13. 生コン打設時の水セメント比の確認

質問者：北九州市検査室

回答者：材料施工部コンクリート研究室（内線4761）

質問

配合設計書の水セメント比が守られているかどうか、現場で容易に確認できないか。

本市では昨年、コンクリート強度は満足されているが、承認された配合設計書と異なる水セメント比（5%増）の生コンが出荷され問題となった。

このため耐久性に対する影響と、打設前のコンクリートの品質を確認する方法として水セメント比そのものを検査する方法があればご教授願いたい。

回答

コンクリートの品質管理は本来、強度と耐久性の双方を対象としたものでなければなりません。耐久性試験はそれにかかる時間・労力が大きいため、現実的には主に圧縮強度で管理されています。耐久性は主に水セメント比によって左右されますが、水セメント比が変化すると圧縮強度も変化するため、圧縮強度を管理することで、便宜的に耐久性も管理しているということになります。

水セメント比が本来の数値よりも多少高かったとします。この場合、圧縮強度は基準を満足するかもしれませんが、耐久性に対しては、例えばコンクリート標準示方書では、水セメント比の上限値が凍結融解の厳しい場合で60%、厳しくない場合で65%とその差は5%にすぎません。空気量や骨材物性の良否等にもよるために一概には言えませんが、わずかな水セメント比の増加が耐久性の低下を招く可能性も否定できないため、水セメント比の適切な管理が望まれます。また、水セメント比の高いコンクリートが打設されてしまった場合には、そのコンクリートと同等のサンプルを用いた凍結融解試験を実施して耐久性を確認し、場合によっては対策工の検討も必要となるでしょう。

コンクリートの水セメント比そのものを打設前に迅速に確認する方法については、なかなか難しいのが現状です。単位セメント量、単位水量をそれぞれ測定する方法については、様々な方法が提案¹⁾されており、コンクリート研究室でも現在検討を行っております²⁾。この概要を紹介します。

まず、単位セメント量については生コン工場での計量装置の精度の向上や連続自動記録装置の普及で、容易に把握することができます。また、現場での生コン受け取り時にセメント量を推定する方法として塩酸溶解熱法(JCI-SE1, AIJ 試験法)等が提案されています。

これに対してコンクリート中の単位水量の正確な把握は容易ではありません。単位水量は、投入する混練り水に骨材の表面水を加えた値となりますが、骨材の表面水率は変動しやすく、また、粒度分布等の微妙な変化がコンクリートのフレッシュ性状に与える影響を補正する目的から、骨材の表面水率を人為的に操作する場合もあり、真の単位水量を生コン工場のデータから正確に判定するのは困難です。現場到着時の生コン中の単位水量推定法についても、これまで多くの方法が提案されてきていますが、測定時間や精度等の問題から受け入れ検査法としては実用化のレベルに達していないのが現状です。

コンクリート研究室では、これまで提案されてきた数多くの試験法の中から、原理が比較的単純で誤差要因が少なく、現場への適応性が高いと考えられる方法として加熱乾燥法と単位体積質量法に着目して、その推定精度と特徴について研究を行っています。

加熱乾燥法はフレッシュコンクリート中の水分を加熱乾燥によって完全に蒸発させ、乾燥前後の質量差から単位水量を推定する方法です。ただし、フレッシュコンクリート中の水分には単位水量と骨材中に含まれる水量があるため、乾燥によって減少した質量から骨材の含水量を差し引いた残りが単位水量となります。加熱乾燥法にも様々な方法が提案さ

れていますが、原理の単純なものとして乾燥炉を用いる方法を中心に検討を行っています。乾燥炉は最近の技術の進歩により、1リットル程度の試料であれば乾燥時間は10分以内で済みます。ただし推定精度を高めるためには、試料中の粗骨材採取量のアンバランスによる誤差を修正するために、乾燥後の試料から洗い出しによって粗骨材を抽出し、粗骨材量を測定する必要があります。このため作業時間としては30分程度を要します。コンクリートからウェットスクリーニングによって抽出したモルタル分を加熱乾燥させる方法もありますが、ウェットスクリーニングの影響によって推定精度は高くはありません。ただし高強度コンクリートなどでは、高性能AE減水剤の高い分散性能によって均質なモルタルが抽出され、推定精度が向上する可能性があります。

加熱乾燥法のほかに、コンクリートの単位体積質量から単位水量を推定する方法があります。簡易な方法としては空気量測定の際に容器内の試料の重量を測定し、この重量と容積、空気量の値から単位水量を推定する方法（エアメータ法）があります。作業の簡便さから、最も現場適応性が高い方法といえます。ただし使用材料の密度が正確に把握されていなければ、単位水量の推定誤差は大きくなります。各バッチ間の相対的な変動を概略的につかむ手法としては有効といえるでしょう。

これらの実験結果については土木研究所試料第3657号に整理しましたので参照して下さい。

このほか、迅速、簡易に単位水量を推定する方法として、静電容量⁹⁾やラジオアイソトープ⁹⁾を利用した水分測定法も研究されております。ただしこれらの方法は水分量を直接的に測定しているわけではないので、測定値から水分量を換算する際の換算式の設定が課題となります。これらの手法も同一材料を用いたコンクリートの各バッチ間の相対的な変動を捉える方法としては有効といえるでしょう。

以上述べてきたように、現状においては、単位水量を精度良く推定するためにはそれなりの時間と手間が必要となります。一方、バッチ間の相対的な変動を概略的に把握するのであれば簡便な手法も有効です。従って、それぞれの測定法の特性を生かし、日々の施工管理は簡易なエアメータ法によって行い、抜き打ち検査的に加熱乾燥法を用いるなど、合理的な品質管理手法の確立が望まれます。

参考文献

- 1) (社)日本コンクリート工学協会：コンクリート品質の早期判定指針，昭和60年3月
- 2) (社)日本建築学会：コンクリートの早期迅速試験方法集，昭和60年5月
- 3) 片平博、河野広隆：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，平成11年7月
- 4) 斎充、伊木純一、沓掛文夫：静電容量型水分計によるフレッシュコンクリートの単位水量推定，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.20，No.2，1998
- 5) 瀬古繁喜、米澤敏男、井上孝之、熊原義文：RI水分計によるフレッシュコンクリート中の単位水量測定に関する研究，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.19，No.1，1997

14. 土木工事施工管理の手引き

質問者：九州技術事務所

回答者：材料施工部コンクリート研究室（内線4761）

質問

土木工事施工管理の手引きについて

1. コンクリートの品質管理について

土木工事施工管理の手引きには、圧縮強度によるコンクリートの品質管理の事例が σ_{cs} や σ_{ci} ではなく、 σ_{c28} の事例が記載されているので、早期材齢の事例にさしかえるべきと考えるが、土木研究所の指導を仰ぎたい。

圧縮強度によるコンクリートの品質管理は、昭和49年度版で改訂されたコンクリート標準示方書で、「品質管理においては早期材齢（ σ_{cs} や σ_{ci} ）あるいは温水養生供試体の圧縮強度等、早期に結果が得られる方法を用いて行うことが望ましい」と記載されており、平成8年度版での同様の記載がされていることから、 σ_{c28} の事例を早期材齢（ σ_{cs} や σ_{ci} ）の事例にさしかえるべきであるとする。

2. コンクリートの養生に関する記載の追加について

土木工事共通仕様書には、コンクリートの養生に関する記載があり、コンクリート標準示方書と概ね整合しているが、土木工事施工管理の手引きには記載がないことから、コンクリートの養生がおろそかになることがある。土木研究所の指導をあおいで適切な記載をすべきと考える。

回答

1. について

まず、「品質管理」と「品質検査」の違いについて整理する必要があります。施工中のコンクリートの品質を施工者側が管理するために行うのが「品質管理」であり、施工されたコンクリートの品質が設計通りであるかどうかを発注者側が検査するのが「品質検査」ということになります。したがって「品質管理」における圧縮強度の材齢は施工者の判断によって早期材齢に置き換えても差し支えありませんが、「品質検査」では施工されたコンクリートの強度が設計基準強度を満足しているかどうかを正しく評価しなければなりませんので設計材齢での試験が好ましいと言えます。

次にコンクリートの設計基準強度の反映される基準材齢について考えますが、建築と土木とは考え方に多少の違いがあります。建築の分野ではコンクリートの部材厚が小さいために強度発現は比較的早期に終了し、28日強度 $\geq$ 設計基準強度と考えています。これに対して部材厚の大きい土木のコンクリートでは、部材内部のコンクリート強度は材齢とともに増加していき、最終的な強度に収束するまでには数ヶ月間を要し、最終的な強度を設計に反映するのは現実的ではありません。しかし、標準養生をした材齢28日の強度は最終強度の9割程度の強度に達し、その後の強度増加をわずかであるため、一般の土木構造物では最終的なコンクリート強度がいずれは28日強度を上回ることを見越して、設計基準強度を材齢28日強度に基づいて定めています。なお、基準となる材齢は必ずしも28日とは限りません。ダムなどのマスコンクリートなどでは温度応力対策から強度発現の遅いセメントや混和材料を用いるため、基準材齢を91日としたり、逆に、工場製品で促進養生が行われる場合などでは基準材齢を14日としている場合もあります。

上記のように構造物や材料の特性に応じて設計材齢が定められており、発注者側の立場から行う「品質検査」では、その材齢（一般に28日）における圧縮強度で検査を行うの

が原則といえるでしょう。

一方、日々の「品質管理」を行う施工者側から考えれば、コンクリートを施工してから 28 日を経過しないとコンクリートの良否が判定できないというのは、結果を速やかに反映する品質管理法としては欠点といえます。そこで、早期材齢（3，7 日）における圧縮強度によって品質管理を行うことが考えられます。ただし、この試験値を「品質検査」にも用いようとする場合には、設計基準強度が 28 日材齢である以上、早期材齢強度と 28 日材齢強度との関係を明確にしておかなければなりません。また、初期材齢の強度は成型後の供試体温度や養生温度の影響を受けやすいので注意が必要です。

なお、早期材齢の強度による品質管理の方法として、温水養生による早期強度試験（JIS A 1805）があり、かつて、建設省の 7 技術事務所で実施された室内試験および現場試験結果では、28 日材齢と高い相関係数を得ており、早期材齢における品質管理においては有力な方法と考えられます¹⁾。また、強度を早期に推定する方法にはこの他にも、フレッシュコンクリート中の W/C を検証する方法として単位セメント量や単位水量を迅速に推定する方法も提案されているので、文献 2) 3) 4) を参照して下さい。

2. について

コンクリートが本来の強度を発揮するためには十分な湿潤養生を行う必要があります。養生期間を「型枠の脱型までの期間」と考えるのは基本的に誤りで、湿潤状態が確保されているかどうか重要です。湿潤養生が不十分だと強度発現が途中で停止してしまい、また乾燥収縮によるクラックが発生しやすくなるなど、所定の物性を満足できなくなります。

このためコンクリート標準示方書（施工編）では、日平均気温が約 15℃ の場合に普通ポルトランドセメントで 5 日以上、早強ポルトランドセメントでは 3 日以上の湿潤養生を行うよう示しています。また、高炉セメントやフライアッシュセメントでは強度発現に長期間を要することから、同示方書の解説において、日平均気温が 15℃ の場合に 7 日以上、10℃ 以下の場合には 9 日以上の湿潤養生が望ましいとしています。

また、暑中コンクリート、寒中コンクリート、および急激な温度変化が生じる場合等においては、適切は温度制御養生を行う必要があります。

実際の施工における養生状態の管理については、形状や数量のように数字で確認できる検査とは異なるために、管理しにくい項目かと思いますが、コンクリートの物性そのものを左右する重要な項目なので、明文化するとともに、十分な管理体制を確立することを望みます。

参考文献

- 1) コンクリート研究室、各地方建設局技術事務所：温水養生によるコンクリート供試体の促進強度に関する共通試験、土木技術資料，Vol.17，No.5，1975
- 2) (社)日本コンクリート工学協会：コンクリート品質の早期判定指針，昭和 60 年 3 月
- 3) (社)日本建築学会：コンクリートの早期迅速試験方法集，昭和 60 年 5 月
- 4) 片平博、河野広隆：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，平成 11 年 7 月

15. アルカリ骨材反応抑制対策における総量規制の解釈

質問者：JH九州支社 建設部 企画調査係

回答者：材料施工部 コンクリート研究室（内線4761）

環境部 地質研究室（内線4131）

質問

管内におけるアルカリ骨材反応抑制対策は骨材事情、経済性等を考慮して、一般的に「コンクリート中のアルカリ総量の抑制」で対応しているが、一部地域において反応性の非常に高い骨材を使用せざるを得ないことから、通達以前から該当骨材の限界アルカリ量をモルタルバー法（6ヶ月後膨張量0.1%）で求め、「セメント中のアルカリ量規制」或いは「低アルカリ形セメントの使用」で対応してきた。

反応性の著しい骨材についても総量規制値（ 3.0kg/m^3 以下）を遵守しておけば問題ないのかご教示願いたい。

回答

昭和61年に通達された「アルカリ骨材反応暫定対策について」と平成元年に通達された「アルカリ骨材反応抑制対策について」は、我国のアルカリシリカ反応の状況を考慮し、定められたものです。その考え方の根本には次の考えがあります。

- ① 我国にはアルカリシリカ反応性の骨材が少なからず存在するため、資源の有効利用の観点から、非反応性の骨材を優先的に用いることはしない。すなわち、混和材の利用やアルカリ総量の制限でアルカリシリカ反応を抑制する方法を、骨材の選定によるアルカリシリカ反応防止と同列に扱う。
- ② アルカリシリカ反応抑制方法も、いたずらに高い水準のものとはせず、技術的にも経済的にも一般化できるものとする。

このため、アルカリシリカ反応対策は「防止対策」ではなく「抑制対策」として位置づけられています。従って、あらゆる骨材に対して完璧に対応できるものではないのが実状です。

ご質問の非常に反応性の高い骨材がどのようなものか定かではありませんが、そういう骨材が存在するとすると現在のアルカリ量の総量規制では十分でない可能性はあります。

十分なデータがあるわけではありませんが、反応性の高い骨材について考察してみます。反応性が著しいという意味は次の3つが考えられます。

- 1) 反応速度が速い
- 2) 溶解シリカ量が高い
- 3) モルタルバー法における膨張量が大きい

これまで、土木研究所で行った膨大な数のモルタルバー試験からは、次のことが推察されます。

まず、1)については数週間で急激に膨張を示すモルタルバーがあります。しかし、このようなモルタルバーでは6ヶ月の時点では膨張量は頭打ちになります。このような骨材に対してはモルタルバー法で判定は可能だと考えられます。

次に2)の化学法で溶解シリカ量が高い場合です。化学法は24時間で溶出するシリカ量を測りますので、溶解シリカ量が高いということは一般には反応速度が速いということの意味します。従って、1)と同様、化学法とモルタルバー法で判定は可能だと思われ

ます。モルタルバー法で膨張量が大きい3)は2つのケースが考えられます。ひとつは、1)

と重なるものです。モルタルバーが急激に大きな膨張を示すもので、1)と同様モルタルバー法で判定が可能です。ふたつめは、ゆっくりと大きな膨張を示すものです。世界的にも“late expansive”と呼ばれ問題視されているものです。これについては、データがあまりなく、総量規制のみで対応できるかどうかは定かではありません。

もし、ご検討中の骨材に対して現状の対策で不十分なことが予想されるなら、独自の対策をとられることがよいと思われます。ただし、モルタルバー法でコンクリートの限界アルカリ量が判明するかどうかは疑問のあるところです。

我国のモルタルバー法のもとになった米国のASTM C 227は現場で用いる骨材と現場で用いるセメントの組合せによるモルタルバーの膨張を観測することも想定しています。しかし、我国のモルタルバー法はあくまで骨材の反応性を見る試験法であると位置づけられています。これはモルタルバーで実際のコンクリートの挙動を推定するのは難しいと判断したためです。

一般のコンクリートに対して使用できる試験法としては日本コンクリート工学協会のコンクリートのアルカリシリカ反応性判定試験法(案) JCI AAR-3(コンクリート法)があります。この方法は、実際に用いる骨材・セメントで想定される配合のコンクリートを造り、促進試験を行って、コンクリートが膨張しないかどうかを見るというものです。膨張を促進させるために 2.40kg/m^3 の Na_2O を水酸化ナトリウムとして添加します。重要構造物で反応性の高い骨材を使わざるを得ない場合にはこうした試験法をご検討されてはいかがでしょうか(ただし“late expansive”の骨材に対して有効かどうかは不明)。

さて、上述しましたように、我国のアルカリシリカ反応対策は100%防止するものではありませんし、化学法とモルタルバー法による試験に対しても種々のご批判があります。化学法、モルタルバー法の試験法そのものに対して、改善すべきであるとの指摘もあります。また、骨材の品質の他の項目に合格する骨材で、それ程反応性の高い骨材が存在するかどうかに必要な情報です。今回のご質問のような骨材は、こうした改善の検討に対して貴重なデータを与えるものと考えられますので、是非、試料をご提供いただければと存じます。

16. コンクリート砂防ダムのパンプ車打設

質問者：雲仙復興工事事務所

回答者：材料施工部コンクリート研究室（内線4761）

質 問

重力式コンクリート砂防ダムを建設するとき、現在トラッククレーン車でバケット投入しているが、施工箇所によってはパンプ車の進入が可能である。

その場合は、打設効率の良いパンプ車を検討したい。

スランプ5 cm のパンプ車打設の有無、もしくはスランプ5 cm のコンクリートに添加剤等でパンプ車打設した場合品質管理上、問題とならないかご教示願います。

回 答

コンクリートのパンプ打設工法は、建築・土木工事で一般化している工法です。一般には高スランプで富配合、小粒形骨材のコンクリートに適した工法です。

コンクリートの圧送には、①管内を滑動するための流動性、②管内のコンクリートの形状が変化できる変形性、③閉塞を起こさないような材料分離抵抗性、が必要です。

① 流動性

管内のコンクリートは圧力の増加によって水やペーストが分離して管壁に付着することによって滑るようになります。

② 変形性

管には曲がり管やテーパ管、ピストン部の分岐管など断面が変化する部分があります。このような部分ではコンクリートが変形しなければ通過することはできません。

③ 分離抵抗性

分離には、①のように圧送を容易にする分離と、閉塞の原因になる分離があります。分離の程度が大きいと管内で粗骨材同士がかみ合い、アーチングを引き起こして閉塞します。

砂防ダムの場合は、粗骨材の最大寸法が大きく、単位セメント量が少なく、スランプが小さいコンクリートを、急峻な山間部など地形の制約から比較的距離が長く、高所または低所(下り)を圧送することが考えられます。このような場合にパンプ施工を適用するには、施工条件に合わせたコンクリートの配合および施工設備の選定、施工計画を立てることが極めて重要です。

まず設備・施工関係では、強力なポンプと太径の管路を用いる必要があります。圧送時には、圧力損失などを考慮して圧送速度を決める必要があります。また、配管の移し換えなど、作業が増加することも考慮しておかなければなりません。

次にコンクリートの種類を粗骨材最大寸法(Gmax) およびスランプによって分類し、それぞれについて配慮すべきことを以下に示します。

砂防ダム用コンクリートの粗骨材最大寸法 Gmax は主に 40mm または 80mm が使用されています。Gmax 80mm をパンプ打設する場合には、ポンプなどは通常のもので使用できないので試作して検討されており、特殊な場合といえます。Gmax 80mm のパンプ打設については、通常のダムでも PCD 工法と称して検討されているので、それらの例について文献 1)～10)を掲載しておきますので参考にいただければと思います。文献 1)は砂防ダムの場合、2)以下は PCD 工法の場合です。

Gmax 40mm の場合は、スランプを従来どおり 5cm 程度とする場合と、混和剤を用いて増大する場合が考えられます。

混和剤を用いてスランプを増大させ 8～12cm 程度にした場合でも、ポンプ工法からすれば比較的硬練りのコンクリートに属します。そのような時には、次のような使用材料や配合、施工上の検討が必要です。

上記①～③のような圧送性を確保するには、0.3mm以下の微粒分が多い細骨材や、セメントには高炉スラグ微粉末やフライアッシュを置換したものを使用し、配合上は細骨材率を大きくすることなどが重要です。

施工においては、スランプの増大に伴い締固め作業時に足場が必要になるなど別の配慮や段取りも必要となります。

スランプ 5cm の場合は、硬練りなので流動性、変形性が小さく圧送性に劣り、閉塞も起こしやすいなど、圧送効率が低下します。従って、強力なポンプが必要となりますが、それでも長距離圧送は難しいでしょう。やむを得ずスランプ 5cm でポンプ打設する場合、スランプ増大の場合以上に材料、配合に配慮して材料分離を生じにくいようにすることが必要です。また、硬練りコンクリートの圧送時には、配管の磨耗が大きくなるので通常以上に取換えが増えるなど管理に注意を要すること、とりわけテーパ管、Y 字管など断面が変化するところの磨耗は激しく頻繁に取換えが必要になること、などについて検討しておくことが必要です。

【参考文献】

- 1) 富所憲二：コンクリートポンプによるダム施工，建設の機械化，1979.10
- 2) 山住有巧：PCD 工法について－コンクリートポンプによるダムコンクリートの打設－，ダム技術，Vol.1-3,1983
- 3) 福岡辰義：長与ダムのポンプ施工について，Vol.2-1,1984
- 4) 氏家岑夫ほか：ポンプ(PCD 工法)によるダムコンクリートの打設について，ダム技術，Vol.3,増刊 1,1985
- 5) 佐々木重成：PCD 工法による非常用洪水吐きの施工，ダム技術，Vol.3-3,1985
- 6) 青沼英明ほか：PCD 工法による惣の関ダムの施工について，ダム技術，No.37,1990
- 7) 山住有巧ほか：押し込み式コンクリートポンプによる PCD 工法の現状と課題，ダム技術，増刊 No.1,1991
- 8) 近藤悟：吸込み式ポンプによる PCD 工法，ダム技術，増刊 No.1,1991
- 9) 金丸孝行ほか：PCD 工法用コンクリートポンプの開発，ダム技術，No.94,1994
- 10) 西田博ほか：宮が瀬副ダムの PCD 工法，ダム技術，No.154,1999.7

17. 袋詰根固工の材料の強度

質問者：川内川工事事務所

回答者：河川部河川研究室（内線 4 2 2 1）

質 問

河川改修工事等において、近年多目的に使用できる袋詰根固工の施工が増えつつある。袋詰根固工の施工後の素材（ポリエステル）の耐久性、施工時の留意事項、災害等緊急時以外の使用事例等把握されておればご教示願いたい。

回 答

「袋型根固工」は、通年施工化、省力化、苦渋作業等の解消を目指して（財）先端建設技術センターが進めてきた護岸工法の新技術開発の 1 つであり（参考文献 1）、平成 6 年度に開発されました。この工法の特長は、

- ①プレキャスト化の長所である施工時の効率性を確保していること
 - ②中詰め材料としてコンクリートなどの建設副産物を使用することによりリサイクルとして利用できること
 - ③袋材の大きさにより、1 袋あたりの重量調整が容易であり、根固工、護床工、水防用緊急資材等多目的に使用することができること
 - ④充填する骨材として、現地発生材を使用することができ、材料の調達が容易であること
 - ⑤水中施工が可能であり、通年施工ができ、工期の短縮が図れる
 - ⑥特殊な専門技術を必要とせず、機械化施工が可能で省力化が図れる
 - ⑦洗掘が進行して根固工が変形しても、容易に補充することができる
 - ⑧屈とう性があり、河床変動に追従できるため、軟弱地盤でも対応できる
- などが挙げられます。

適用河川としては、流速 3.5m/s 以下とされています。ただし、人頭大の玉石等が存在する河川では洪水時に転石等が袋材に衝突し、損傷や摩耗によって破断するおそれがあるので十分な検討を要するとされています（参考文献 2）。

1 点目のご質問である素材の施工後の耐久性については、開発後間もないこともあり現地河川で十分調べられた事例はありません。素材の性能という面では（財）土木研究センターにおいて土木系材料技術・技術審査証明要領に基づいて技術審査証明を行っています。この審査証明の中で強度特性、耐久性、耐燃焼性についても審査されています。強度特性の審査証明にあたっては、吊り下げ落下試験、摩耗強度試験が行われ、耐久性の審査証明にあたっては、耐候性試験、耐薬品性試験、耐腐植土性試験が行われ、耐燃焼性の審査証明にあたっては、たき火試験、燃焼発生ガス調査が行われています（参考文献 3）。これらの試験は根固工が満たすべき機能を考慮した上で行われており、技術審査証明を受けた材料であれば相当の強度、耐久性、耐燃焼性を期待できます。しかしながら、例えば、吊り下げ落下試験で落下させた回数が現地河川の洪水の何回分、何時間分に当たるかがわからなかったり、耐候性試験で与えた外力が現地河川のどのくらいの時間に相当するかがわからなかったり、燃焼性試験でのたき火が実河川で経験するたき火の規模を満足しているか、不測の事情で穴が空いた状態で洪水時に中込材がどの程度抜け出すか、試験で想定した現象が複数同時に起こった場合にどうなるかなど試験による確認には限界があることも事実です。また外力の程度も地域、個々の河川によって様々ですし、実際の河川で起こる現象も種々雑多です。上記試験で想定したもの以外の重要な外力があるかもしれません。したがって、技術審査証明は目安として有用であるとともに、施工後の耐久性について太鼓判を押すには、実際の河川における長期間にわたるフォローアップも必要です。

2 点目の質問の施工時の留意事項ですが、根固工の設計外力は、洗掘・河床低下量と洪

水流による流体力の2つです。したがって設計・施工時の留意事項も洗掘・河床低下に対する事項と洪水流による流体力に対する事項の2つあります。1つめの洗掘・河床低下に対する留意事項は、根固工全般に言えることですが、適切な敷設高に十分な敷設幅をもって設置することです。根固工は図-1のように、河床の洗掘による護岸の基礎からの破壊を防止することを目的に設置しますので、設置個所の将来の河床高と洪水時の洗掘深を適切に予測し、護岸の基礎を保護できる高さに必要な幅設置しなければなりません（参考文献4）。2つめの流体力に対する留意事項は、河川の流速にあった適切な大きさの中込材と袋を用いることです。参考文献1)に際して行った1/20 模型実験結果によると、粒径10～20cmの中込材を入れてルーズに縛った重さ2トンの単体（現地換算）が23.3cm/sの摩擦速度（現地換算）で動き、複数の袋同士を緊結した場合には単体の約1.5倍で動いたとのことでした。これを水理的に解釈すると、単体の場合には中込材の移動限界掃流力に近い値となっており、中込材の移動に伴い袋全体も移動しているものと思われます。したがって、袋型根固工の耐流速の設計では、設計流速に対して移動しにくい中込材の粒径を選定することが重要です。参考文献1)では、中込材の粒径を5～20cmの混合粒径、重量2トンを標準として設計流速を単体3m/s以下、緊結した場合には4.5m/s以下としています。

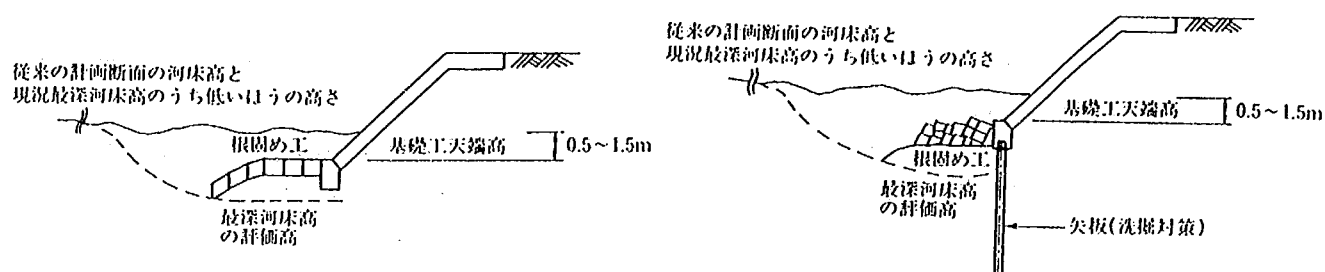


図-1 根固工による洗掘対策

3点目の質問の災害等緊急時以外の使用事例についてですが、全国の使用実態を網羅して把握しておりません。前記技術審査証明を受けているメーカーから使用実績を聞きとり、明らかに緊急用のものを除きかつ直轄河川工事と思われるものを集計したものが表-1です。これ以外に、付帯工事、地方自治体や電力会社でも使用実績があります。メーカーによって集計方法も異なるため、河道特性や使用形態（永久構造物かどうか）が明らかではありませんが、全国的に様々な河川で使用され、使用例も増えているようです。

表-1 袋型根固工使用実績

地建名	件数					合計	備考(使用河川名等)
	平成5年度	平成6年度	平成7年度	平成8年度	平成9年度		
北海道開発局	-	1	2	5	14	22	豊平川、石狩川、千歳川、尻別川、天塩川
東北地方建設局	-	2	-	7	2	11	最上川、雄物川、北上川
関東地方建設局	1	4	1	-	8	14	中川、那珂川、江戸川、渡良瀬川、荒川
北陸地方建設局	-	4	1	12	22	39	信濃川、神通川、阿賀野川、千曲川、黒部川
中部地方建設局	-	-	1	2	5	8	揖斐川、豊川、五十鈴川
近畿地方建設局	-	2	1	3	13	19	宇治川、淀川、加古川、桂川、芥川
中国地方建設局	-	-	1	-	6	7	天神川、白野川、吉井川
四国地方建設局	-	2	3	2	-	7	旧吉野川、重信川、矢野川
九州地方建設局	-	1	-	2	3	6	遠賀川、球磨川、菊池川、松浦川、川内川
その他都道府県等	-	-	1	15	18	34	

参考文献

- 1) ACTEC 技資第 97502 号 袋型根固工の設計施工技術マニュアル（案） （財）先端建設技術センター
- 2) アドバンス No. 3
- 3) 民間開発建設技術の技術審査・証明事業認定規程に基づく土木系材料技術・技術審査証明報告書（例えば技審証第 1003 号、1015 号） 土木研究センター
- 4) 護岸の力学設計法 （財）国土開発技術研究センター編・山海堂

18. 山付部の漏水対策

質問者：佐伯工事事務所

回答者：材料施工部土質研究室（内線 4744）

質 問

番匠川流域は堤体、基盤とも透水係数が高く、又堤内地盤も低いため洪水時にいたる箇所で漏水している。

下流部では鋼矢板打設で対策しているが、中・上流部の山付部では鋼矢板を難透水層まで打設して遮水をした場合、堤内地が湿田化するおそれがあります。そのような場合の対策工法についてご教示願いたい。

回 答

漏水があるからといって直ちに堤防被災に結びつくものではありませんが、幾度かの漏水を経験するたびに徐々に堤防の不安定化が進行することが予想されます。

基盤浸透に対しては、難透水層まで矢板を打設しなくとも、図-1 に示すようにある程度透水係数の小さい層まで打設して浸透路長を延ばすことにより、動水勾配が低下しパイピング防止と同時に漏水量もかなり低減できると考えられます。また、透水層を完全に遮断していないので、湿田化のおそれも小さいと考えられます

このような矢板による漏水防止効果については、外水位、地盤条件を考慮した解析を行って評価する必要があります。今回のケースのように山付き部の場合、地層構造は図-2 に示すように透水層（砂礫層）が分布している可能性があります。このとき図に示すように透水層の一部を解放するような対策が考えられますが、断面2次元及び準3次元浸透流解析では、地下水の流れを表現することは難しく、3次元浸透流解析による検討が必要です。3次元浸透流解析については、最近では種々のプログラムが市販され、一般的なものとなっており、その精度も向上しています。

また、堤体浸透に対しては、計画高水位もしくは、堤防天端以下ののり面に遮水シートなどを敷設することにより河川水の浸透を遮断することが必要です。

なお、鋼矢板を打設する場合、施工時の継手からの漏れや、地盤内の透水層の分布状況など不確定な要素が多くあります。また、広域的な地下水の挙動はきわめて複雑であるため、事前の地下水動向調査、事後の継続的な観測を実施することが望ましいと考えられます。

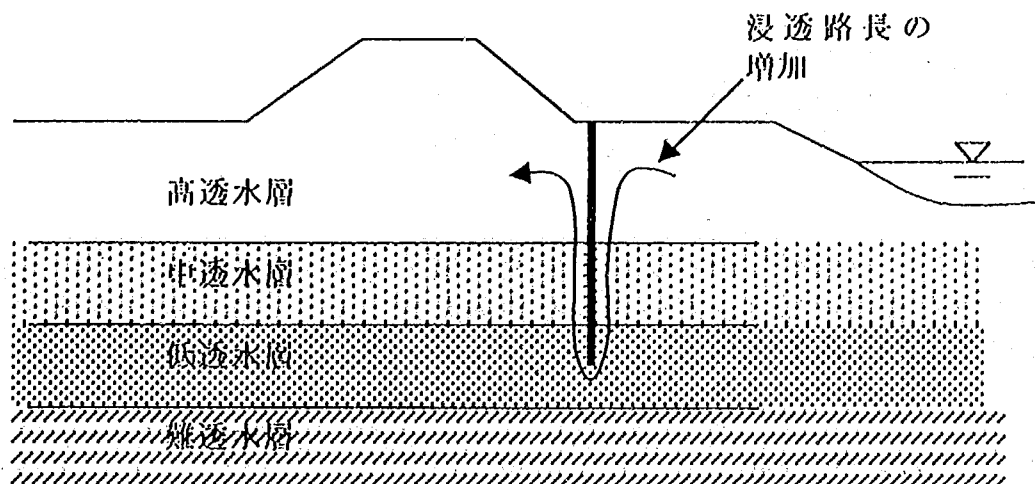
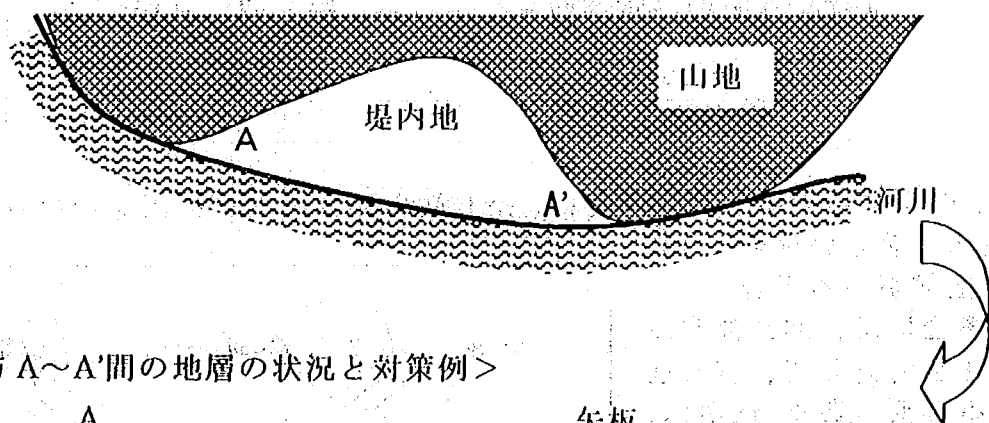


図-1 矢板による浸透路長の延長

<平面図>



<堤防 A～A'間の地層の状況と対策例>

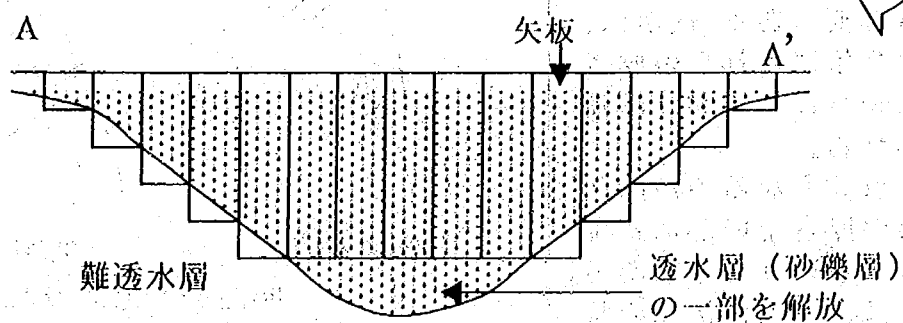


図-2 山付部における地層分布と対策例の概要

19. 吹付法枠工における差し筋の長さの決定

質問者：大隅工事事務所

回答者：材料施工部土質研究室（内線 4741）

施工研究室（内線 4731）

質 問

吹付法枠工は、自然斜面の状況に合わせて施工できる利点があるが、凹凸及び風化部があるような法面の場合、どのような検討を行って差し筋の長さを決定すればよいのかについてご教示願いたい。

回 答

差し筋は、型枠の組立時、モルタルの吹き付け時、およびモルタルの硬化まで型枠が変形を生じないように地山に固定するための鉄筋である。差し筋の長さは、地山の状況に応じて設計することが大切である。一般的な岩質法面で凹凸の少ない場合、差し筋の長さを枠の高さの2倍程度にすれば、型枠が固定できるとされている。実際は、表-1に示すように、枠の寸法に応じて必要な鉄筋径、長さの標準値が示されている。

表-1 標準枠断面と差し筋の寸法

標準枠断面（幅×高さ）	差し筋の寸法
150×150	D16 L=500
200×200	D16 L=750
300×300	D19 L=800

ただし、以下に示す条件の法面では、差し筋の長さを別途検討しなければならない。

(1)凹凸の著しい場合

(2)風化部がある場合

これらの場合には、凹凸部や風化部の厚さを考慮して、差し筋を長くする必要がある。通常は、枠の高さの2倍にこれらの厚さを加えた長さにしておけば良いと考えられる。

その際、重要となるのが凹凸部や風化部の厚さをいかに正確に把握するかということである。そのためには、事前に法面の状況を調査しなければならない。

風化部のある場合には抜き取り調査を行い、その厚さを直接計測することも必要であると考えられる。

なお、設計計算を行わないこのような用途での差し筋で、80cmを超えるような場合には、会計検査の指摘を受ける場合も見られるので、注意が必要である。

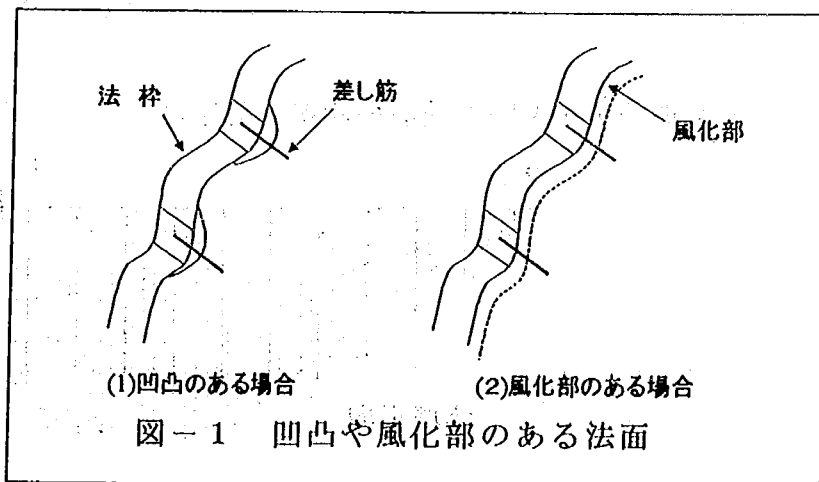


図-1 凹凸や風化部のある法面

参考文献

1) のり枠工の設計・施工指針：全国特定のり面保護協会 p32-33 1995

2) フリーフレーム協会編：フリーフレーム工法 設計施工の手引き、P. 24, 1996

「構造橋梁部門」紙上回答目次

	(質問者)	(回答者)
1. コンクリート桁の断面修復工法の選定	宮崎工事事務所	橋梁研究室……………151
2. 橋梁の耐荷力調査	熊本県本渡土木事務所	橋梁研究室……………153
3. T荷重とL荷重の取り扱い	長崎県都市計画課	橋梁研究室……………154
4. 橋台フーチングの突起の設定	長崎県県北振興局	基礎研究室……………155
5. 橋台の裏込土の土圧定数	長崎県県北振興局	基礎研究室……………156
6. 河川部に隣接する橋台の残留水圧の取扱い	長崎県県北振興局	基礎研究室……………157
7. 下部工フーチングの端部補強筋の配置	長崎県県北振興局	基礎研究室……………158
8. 橋梁下部工設計における水位の考え方	長崎県県北振興局	基礎研究室……………159

1. コンクリート桁の断面修復工法の選定

質問者：宮崎工事事務所

回答者：構造橋梁部橋梁研究室（内線 4 8 4 1）

質 問

コンクリート桁断面修復の工法及び材料を選定について、建設省総合開発プロジェクトによると、①プレパックドコンクリート工法、②打継コンクリート工法、③モルタル工法があるが、①と③との欠陥断面による明確な使い分けの記述がないため、工法及び材料の選定に苦慮している。また、道路橋の塩害対策指針（案）同解説は、昭和 59 年に発行されて以来長く改訂されていないが、今後の改訂予定についてご教示願いたい。

回 答

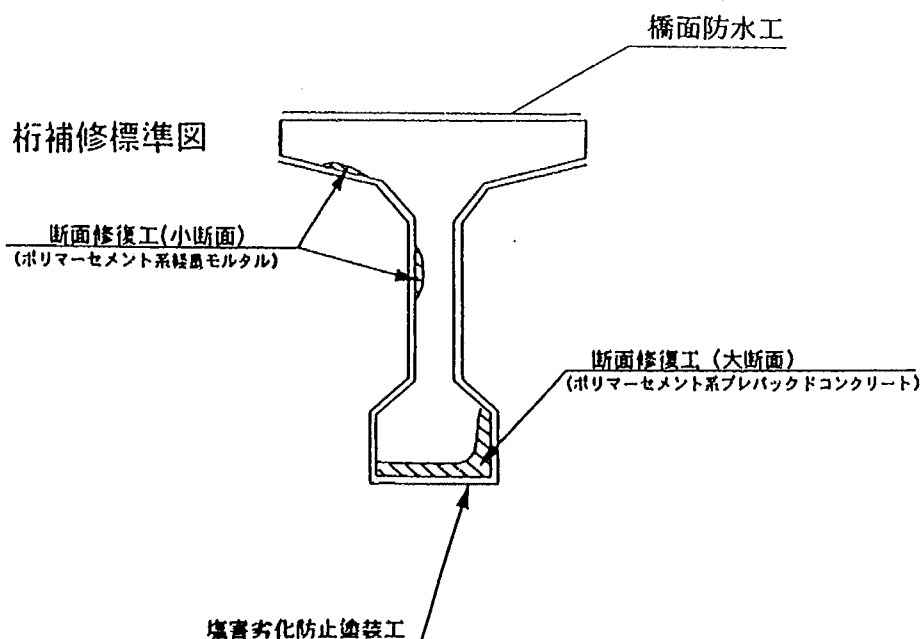
コンクリート橋の塩害問題については、昭和 50 年代後半から東北地建の日本海沿岸でその存在が明らかになり、質問にもある総プロの成果を踏まえ、昭和 59 年に塩害対策指針（案）同解説が発刊されたことはご存じの通りである。その後、指針に沿った対策が行われてきたところであるが、この 10 年ほどの間に新たな展開を見せている。

P C 橋の塩害について、当初は施工が未熟な橋に生じる早期劣化問題として扱われてきた。しかし近年になって、飛来塩分量の非常に大きな地域においては、工場施工されたプレキャスト桁にも被害が及び始めている。これは、良好な施工が行われたとしても、長期的には、海岸部におけるすべてのコンクリート橋の寿命を左右する劣化現象であることを示している。社会資本の長寿命化が求められるこれからの時代にあって、塩害問題はより重要な課題になってきている。

東北地建では、平成 3 年度より酒田工事事務所管内の P C 橋を対象とした技術検討を続けており、土木研究所も参画してきている¹⁾。近年、新しい知見が得られているので、塩害の疑いのある場合には、最新の情報に注意して対策を講じていただきたい²⁾。

具体的な施工方法については、東北地建においてこれまで実施してきた経験から、補修要領がまとめられており、補修工法を以下のように使い分けている³⁾。

「断面修復深さが 5cm 以上の場合には、型枠を用いた断面修復が必要であり、5cm 未満の場合には、補修モルタルを数回にわたって塗りつける断面修正が必要である。」



また、補修材料については、当初エポキシ樹脂系の材料が使われてきたが、近年では、より弾性係数の大きなポリマーセメント系のモルタルが主に用いられているとのことである。大断面の修復用として、ポリマーセメント系スラリーモルタルやガラス繊維を混入し特殊セメントを用いたモルタルなども試験的に用いられたが、施工性や力学特性に一長一短があり、東北地建では従来通りのポリマーセメント系のモルタルを用いたプレパックドコンクリートを用いている。

ここで注意が必要なことは、プレパックドコンクリートを用いた断面修復を行っても、その効果は永久ではないということである。すでに多量の塩分が侵入し、鋼材の腐食が進んでいる場合、いくら丁寧に行っても、錆やコンクリートに含まれる塩分を完全に除去することは困難であり、残存塩分や補修部に隣接する部位から腐食が再発する。東北地建酒田工事事務所の例では、10年足らずで再補修の必要が生じ、結果として、管内15橋すべてが架換えられることとなった（既に2橋が撤去）。大断面修復は、架換えまでの時間稼ぎと考えたほうが良さそうである。

一度多量の塩分（鉄筋位置で 1.2kg/m^3 以上）が侵入してしまうと、基本的には抜本的な対策は架け換え以外ないというのがここ数年の判断であったが、最近になって、いわゆる電気防食工法の効果が世界的にも認められ、塩害橋の延命の可能性が出てきた。東北地建においても秋田工事事務所管内などで運用を始めている。この場合には、ポリマー系の異種材料を用いると電気防食が使えなくなるので注意が必要である。

昭和59年の塩害対策指針について、これ自体の有効性は現在でも変わらないと考えており、この指針にしたがって設計された橋の損傷に関する報告には今のところ接していない。しかし、制定当時、橋の耐用年数として50年程度が想定されていたこともあり、土研においては、長寿命化と維持管理コストの低減を目指した新しい技術指針（スーパー塩害指針、ミニマムメンテナンスPC橋仕様）を作成すべく、PC建設業協会との共同研究を実施中である。ここでの成果については、現在改訂作業中の次期道路橋示方書での位置づけや、高耐久性塩害対策橋としてのパッケージの提案など、活用方法についても検討している。最新の情報については、関係研究室（橋梁、コンクリート、化学）にお問い合わせいただきたい。

この共同研究に関連して、今年度からの建設省技術研究会（直技）指定課題を実施することになっているので、ご協力をお願いしたい。

参考文献

- 1) 西川、三浦、見波ほか：暮坪陸橋の塩害による損傷と対策①～③、橋梁と基礎 1993 11～1994 1
- 2) 西川和廣：土木構造物の維持管理の現状と課題 一橋の点検と診断一、土木技術 54巻 10号 1999 10
- 3) 建設省東北地方建設局酒田工事事務所：温海地区塩害橋対策技術報告書 1998 3

2. 橋梁の耐荷力調査

質問者：熊本県本渡土木事務所

回答者：構造橋梁部橋梁研究室（内線 4841）

質問

既設橋梁における大型化（B活荷重）及び老朽化に対する耐荷力をどうやって把握し、管理に活かして行くかご教示願いたい。

回答

既設橋の耐荷力について、その詳細を述べるには多くの紙面を必要とするので、ここでは、どのように考えればよいのかについて簡単にお示ししたい。具体的な手法については、参考文献を参照されたい。

耐荷力とは、何トンの車両が通れるのか、あるいは何トンの車両を通したいのかということに対応することばである。一般に橋の耐荷力が問題になるのは、以下の2つのケースに大別され、それぞれ対処の考え方が異なるので注意が必要である。

①耐荷力の減少が生じた（と疑われる）場合

材料の腐食や劣化、疲労による損傷など、いわゆる耐久性に関連する要因により、何らかの変状が生じた場合がこれに該当する。車両の衝突による構造部材の損傷や、設計あるいは施工の不備により、目標とした強度が得られなかった場合もこれに当たる。

この場合、実橋梁の変状が耐荷力に与える影響の評価がポイントになるが、その判断は非常に難しいことが多く、かなり安全を見た対策を施すことが多い。

この分類による耐荷力は、時間とともに変化するもの、すなわち、耐久性の問題である。橋の耐久性は、大きく分けてふたつの要因に支配され、ひとつは化学的要因であり、もうひとつは力学的な要因である。

化学的要因とは、鋼材の腐食、コンクリートの炭酸化による劣化など、これに対し力学的要因とは活荷重による疲労現象や回転や移動による支承の摩滅などが相当する。

活荷重に起因する変状が生じているということは、遅かれ早かれ耐荷力不足に至ることを示しており（筆者は活荷重に負けたと表現している）、明らかに補強が必要である。一方、活荷重と無関係の劣化の場合、それが進行することにより、間接的に耐荷力の低下につながることはあるが、必ずしも直ちに補強が必要だとは限らない。この場合は劣化の進行を止めることがまず検討されることになる。ほとんどの場合、橋の補強は活荷重を対象とした耐荷力に対して検討されるが、損傷劣化の主たる原因が活荷重かそれ以外かにより、補修・補強の必要性和タイミングが自ずから異なることは理解いただけると思う。

②橋の使用条件が変わった場合

この場合には、橋そのものに変化はなく、変更された条件を評価することがポイントである。また、条件の変更にも2種類あり、設計荷重が変更された場合（TL-20 から B 荷重へ）と通行する車両の重量が変わる場合（20 トンから 25 トンへ）である。前者は、これから設計される橋の耐荷力や耐久性が変わること、後者は既存の橋に加わる負荷が大きくなることを意味しており、大きな違いがある。

以上のことを理解の上、補修補強の必要性や時期の判断、補修・補強の優先順位の設定などにご活用いただきたい。

参考文献

- 1) 西川和廣：土木構造物の維持管理の現状と課題 ―橋の点検と診断―、土木技術 54 巻 10 号 1999 10（予定）
- 2) 既設橋梁の耐荷力照査実施要領（案）、（財）道路保全技術センターにて希望者に配布）
- 3) 応力頻度測定要領（案）、（財）道路保全技術センター 1996 3、（同上）

3. T荷重とL荷重の取り扱い

質問者：長崎県都市計画課

回答者：構造橋梁部橋梁研究室（内線4841）

質 問

道路橋示方書Ⅰ共通編 17頁において、「一般に15m未満においてはT荷重が、15m以上はL荷重が不利な応力を与える荷重としてよい。」としてありますが、幅員と支間長の関係で15m以下でもL荷重が大きくなる場合がありますが、両方で照査すべきかどうかご教示願いたい。

回 答

道路橋示方書の規定は、「ただし、支間長がとくに短い主げたや床版橋は、T荷重とL荷重のうち不利な応力を与える荷重を用いて設計するものとする。」と、条文2.1.3(2)2にある通りである。

ご質問の記述は解説に記されたもので、金額的に小規模な構造物において、最適解を求めるための煩雑な手順を緩和することを意図したものであり、一般的な構造あるいはプロポジションであれば、T荷重とL荷重での設計結果が逆転してもその差は小さく、逆に不経済になったとしてもその程度はわずかであることが前提となっている。したがって、幅員と支間長の関係で多少の矛盾が生じることについてはあまり気にする必要はない。

しかしながら、対象とする構造が特殊であり、一般の橋とは大きく異なる結果が予想される場合、両方の荷重で照査することは、工学的判断として当然あり得ることであり、その結果一般と異なる解が得られた場合にはそれに従うべきである。

参考文献

1)道路橋示方書・同解説Ⅰ共通編、平成8年12月、社団法人日本道路協会

4. 橋台フーチングの突起の設定

質問者：長崎県県北振興局 都市計画課

回答者：構造橋梁部基礎研究室（内線 4 8 2 2）

質 問

フーチング底面に突起を設けて滑動に抵抗させる場合、突起と底面の分担は明確であるが、掘削により突起周辺の乱れがないか等、問題があります。従って硬質以上の良質な場合のみ突起案を検討するとして良いのでしょうかご教示願いたい。

回 答

フーチング底面に設置する突起は、基礎底面に生じるせん断力を突起を介して地盤に伝達することができ、突起のない場合よりも大きなせん断抵抗が期待できる。しかし、地盤の種類によっては突起部の掘削時に地盤が乱れ、所定のせん断抵抗が得られなかったり、逆に突起部に大きな水平力が集中し突起が壊れる可能性がある。

突起部に作用する水平力、底面と突起の荷重分担等は、地盤の種類、地下水位、施工方法等によって異なるため、どの様な場合に突起を設けるべきかは一概には言えないが、地盤の乱れによる影響が大きいと考えると質問のような取扱いで問題ないと考えられる。なお、突起の施工については、細心の注意を払い地盤の掘削を行わなければならない。しかし、余掘り等により多く掘削してしまった場合には、突起部と地盤との間を貧配合のコンクリートを用いて確実に埋め戻すのが良い。

5. 橋台の裏込土の土圧定数

質問者：長崎県県北振興局 都市計画課

回答者：構造橋梁部基礎研究室（内線4824）

質 問

橋台の裏込材の土圧定数について、使用材料及び定数等が土質試験により明確な場合は固定できるが、計画の段階で不明確な場合、安全側となる下記の Case 2 を設定して良いかご教示願いたい。

Case 1	$\phi = 30^\circ$	$\gamma = 1.9 \text{ tf/m}^3$	$\left(\begin{array}{l} \gamma = 19.0 \text{ kN/m}^3 \\ \gamma = 20.0 \text{ kN/m}^3 \\ \gamma = 20.0 \text{ kN/m}^3 \end{array} \right)$
Case 2	$\phi = 30^\circ$	$\gamma = 2.0 \text{ tf/m}^3$	
Case 3	$\phi = 35^\circ$	$\gamma = 2.0 \text{ tf/m}^3$	

() 内は、土研で修正した単位です。

回 答

土圧などの算定に用いる地盤の諸定数は、地盤調査および土質試験に拠ることが原則であるが、計画段階では調査がされておらず推定によらざるを得ない場合がある。しかし、せん断抵抗角や土の単位体積重量の組み合わせによっては、橋台の壁に作用する土圧を大きく見積もったり、逆に転倒や滑動に対する抵抗を過大に評価する場合もあり、どれが安全側の組み合わせになるかは一概には決まらない。このため、地盤や土質の種類等を考慮し、手戻りのないように推定する必要があるが、質問のケースに示される数値は根拠が明確でない。道路橋示方書Ⅳ¹⁾あるいは道路土工・擁壁工指針²⁾では、土の単位体積重量やせん断抵抗角を便宜上簡便に設定する手法も示されているので、これらを参考のうえ設計施工条件等を考慮して適宜判断されたい。

参考文献

- 1) (社) 日本道路協会：道路橋示方書同解説Ⅳ下部構造編 平成8年12月
- 2) (社) 日本道路協会：道路土工 擁壁工指針 平成11年3月

6. 河川部に隣接する橋台の残留水圧の取扱い

質問者：長崎県北振興局 都市計画課

回答者：構造橋梁部 基礎研究室(内線 4 8 2 7)

質 問

橋台の安定計算(常時)において橋台背面と前面では掘込み河道の場合、水位にタイムラグが生じると判断される。従って「道示Ⅳ P49」に基づき、水位の差を考慮するとして良いのか。つまり海岸付近における河川部の橋台について HWL～LWL の水位のタイムラグによる残留水圧のとりえかたについてご教示願いたい。

回 答

道示Ⅳ P49 によると、水位の変動の著しい箇所において、水際に計画される橋台の場合には、前面の水位と裏込め内の水位の間に水位差が生じることがある。このような場合には、この水位差に伴う残留水圧を考慮しなければならないとしている。残留水位の大きさは、水位変動の大きさ、速度、橋台背面の土の透水性、壁体の排水条件等によって変化する。したがって、設計で考慮する残留水圧を決定するためには、これら周辺条件に関する調査や、付近の類似構造物の残留水位を調査する必要があるが、調査は容易ではない。

港湾施設の設計では通常、前面潮位の $1/3 \sim 2/3$ を標準としており、橋台についても調査をしない場合には、この程度の残留水位を考慮すればよいと考えられる。

参考文献

- 1) (社) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 Ⅳ下部構造編，1998.12
- 2) (社) 日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説，1999.4

7. 下部工フーチングの端部補強筋の配置

質問者：長崎県北振興局 都市計画課

回答者：構造橋梁部基礎研究室（内線 4 8 2 2）

質 問

道示Ⅳ（平成 8 年 12 月）p.233 において「柱とフーチング縁端部との距離が 1m 以下の場合は、フーチング端部の補強鉄筋を D19 以上、20cm 以下の間隔で配置しなければならない。ただし、フーチング引張り主鉄筋の鉄筋径が D16 の場合は、補強鉄筋も D16 としてよい」とあるが、この場合の鉄筋径の使い分けの根拠をご教示願いたい。

回 答

柱とフーチングの縁短距離が十分でない場合、柱からフーチングへの圧縮力によりコンクリート表面で割裂破壊が生じる恐れがある。そのため用心鉄筋として端部補強筋を配置する。この鉄筋は用心鉄筋であり、この鉄筋に主鉄筋より太径の鉄筋を使用した場合にこの鉄筋に応力が集中する恐れがあるため、主鉄筋径と同径、または主鉄筋より径を小さくするものとした。したがって、質問にあるように使い分けられたい。

8. 橋梁下部工設計における水位の考え方

質問者：長崎県県北振興局 都市計画課

回答者：構造橋梁部 基礎研究室(内線 4 8 2 7)

質 問

河川の堤防中に、橋台を設ける場合に考慮する水圧及び浮力は、常時は HWL、地震時は地下水位となっているが、調査により地下水位の位置が河川より低かった場合の地震時の水圧及び浮力はどのように考慮すればよいかご教示願いたい。

回 答

壁状構造物の耐震設計では、静水圧の作用方向には慣性力と同時に静水圧と地震時動水圧を考慮する。一方、貯水池方向には慣性力および土圧を考え、静水圧と地震時動水圧は無視する。

設計段階では、構造物の安定にとって不利な状態、起こりうる可能性の高い状態を考慮するのが原則である。地下水位が河川水位よりも低いという調査の場合、橋台背面の土の透水性や排水条件等によって変化するが、容易に河川水位と同程度となると考えられる場合には、河川の平水位程度は考慮すべきであると考えられる。

参考文献

- 1) (社) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V耐震設計編，1998.12

「耐震技術部門」紙上回答目次

1. 海峡部における橋脚補強方法	(質問者) 長崎工事事務所	(回答者) 耐震研究室……………161
2. 橋梁設計における動的解析の照査を行う範囲	鹿兒島国道工事事務 所	耐震研究室……………165
3. 盛土における地震時の安定検討	長崎県県北振興局	動土質研究室……………167
4. 道路の高盛土箇所における地震時の安定計算	佐賀工事事務所	動土質研究室……………168

1. 海峡部における橋脚補強方法

質問者:長崎工事事務所

回答者:耐震技術研究センター耐震研究室(内線4931)

質 問

海峡(瀬戸)部における橋脚の耐震補強を行うにあたっては、海中部での施工をどのように行うか(仮締切りをするのか、海中施工とするのか等)で工費に非常に大きな影響が及ぶ。このような場合において、コストの観点からも妥当な補強方法についてご教示願いたい。

回 答

鉄筋コンクリート橋脚において耐震補強が必要とされる要因には表-1に示すような場合が考えられる¹⁾。これらの要因に対する耐震補強としては、いろいろな工法が考えられるが、基本的な考え方は、橋脚の段落し部または基部の曲げ耐力、せん断耐力、じん性能を個々にあるいは同時に増加させる工法に分類される。また、橋脚そのものには補強を施さず、各々の橋脚が分担する地震力を変えることにより、当該橋脚の負担を低減させ、橋全体としての耐震性を向上させる工法も考えられる。したがって、当該橋脚がどのような要因により補強が必要とされているかを十分に考慮した上で、適切な補強工法を選択することがまず重要である。

また、ご質問にある海峡部における橋梁の既設橋脚の補強を行う場合、現場の作業空間などの施工条件についても十分検討する必要がある。水中部の橋脚に対して確実に補強対策を行う上では、仮締切りを行い、ドライアップの上、陸上部橋脚と同様に施工を行うのが基本と考えられる。しかしながら、現場施工条件からこれが困難な場合については、補強目的に応じて必要とされる補強工法を選定するとともに、比較的容易に仮締切りを行う工法や水中施工により仮締切りが不要な工法、さらに個々の部材の補強を行わずに橋梁全体として必要とされる耐震性を満足させるような補強工法等の検討を行う必要がある。

海峡部の橋脚に対して締切りなどに工夫された耐震補強の事例を以下に示すので参考にされたい。

表-1 鉄筋コンクリート橋脚で耐震補強が必要とされる条件

部材位置	耐震補強の必要性	補強工法の考え方
主鉄筋 段落し部	曲げ耐力が不足	・段落し部の周辺を軸方向に補強材を配置して曲げ耐力を向上させ、基部で先行して損傷が生じるようにする。 ・段落し部での損傷は甚大な被害に結び付きやすいので十分な補強が必要
	せん断耐力が不足	・段落し部の周辺を横方向に補強材を巻立ててせん断耐力を向上させる。 ・段落し部での損傷は甚大な被害に結び付きやすいので十分な補強が必要
基 部	曲げ耐力が不足	・軸方向に配置する補強材をフーチングに定着させることにより耐力を向上させる。 ・橋脚に作用する地震力の低減 ・橋梁全体の変形を拘束する構造
	じん性が不足	・塑性ヒンジ部を横方向に巻立ててコアコンクリートを拘束する。 ・橋脚に作用する地震力の低減 ・橋梁全体の変形を拘束する構造
	せん断耐力が不足	・横方向に補強材を巻立ててせん断耐力を向上させる。 ・せん断破壊は甚大な被害に結び付きやすいので十分な補強が必要

注) 補強材としては、鉄筋コンクリートや鋼板、ケーブル、新素材(炭素繊維等)など

1. コルゲートパイプを用いた土留・止水工法

本工法は、矢板を用いた仮締切りによる土留め、止水が困難な場合において、コルゲートパイプの圧入施工により土留め、止水する工法である²⁾。図-1は、コルゲートパイプの施工手順を示したものである。セグメント幅が2m程度のコルゲートパイプを組立て、これを順次圧入しながら止水・土留め壁を施工し、コルゲートパイプ施工後、コルゲート内の浚渫およびドライアップを行い、橋脚躯体の補強工事を行うというものである。コルゲートパイプのセグメント幅が2m程度であるので、桁下の作業空間が狭く、矢板の打込みが困難な場所において有効である。

本工法では、コルゲートパイプの圧入力、およびコルゲートパイプに作用する土圧、水圧により使用するコルゲートパイプの選択およびコルゲートパイプの補強を検討する必要がある。

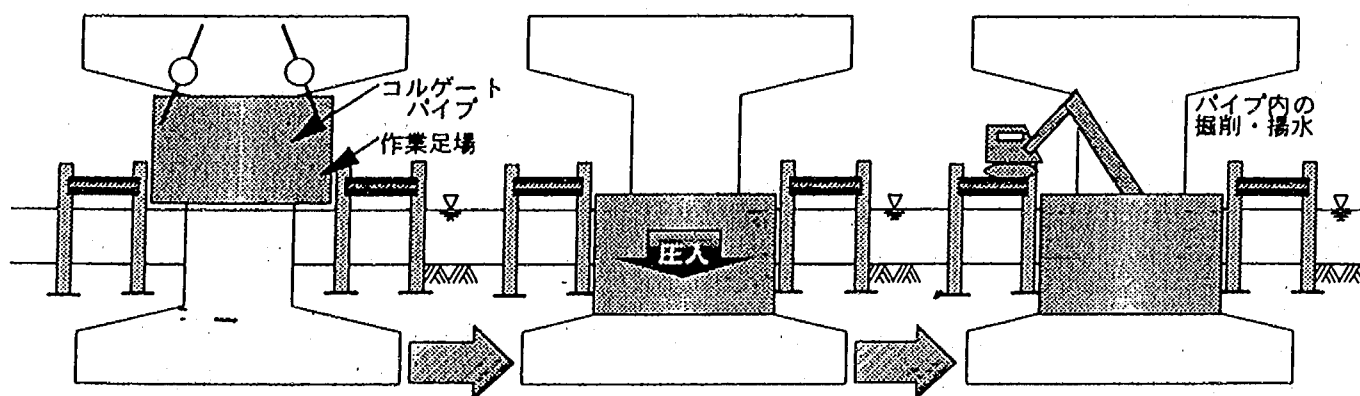


図-1 コルゲートパイプの組立手順

2. 土留め・止水を行わない橋脚の補強工法

本工法は、土留め、止水が困難な場合において、ドライアップを行わず、鋼板巻立てを行う工法である³⁾。本工法では、図-2に示すように、橋脚上部の気中部で補強鋼板の組み立て・溶接を行い、組み立てられた鋼板を橋脚浸水部に落とし込み橋脚基部に設置する。浸水部分では水中不分離性コンクリートなどを用いて、鋼板と既設コンクリートの間を充填する。

本工法の注意点として、図-3示すようにフーチング上端と鋼板下端(H形鋼材下端)との間には、5～10cm程度の隙間を空ける必要がある。これは、地震時に鋼板またはH形鋼材がフーチング上端に当たることにより柱基部で過大な曲げ耐力の発生を防ぐとともに、ここでじん性のある曲げ破壊を生じるようにするためである。また、鋼板下端部では充填材が流失しないように、流失防止ゴム等をあらかじめ付けておく必要がある。

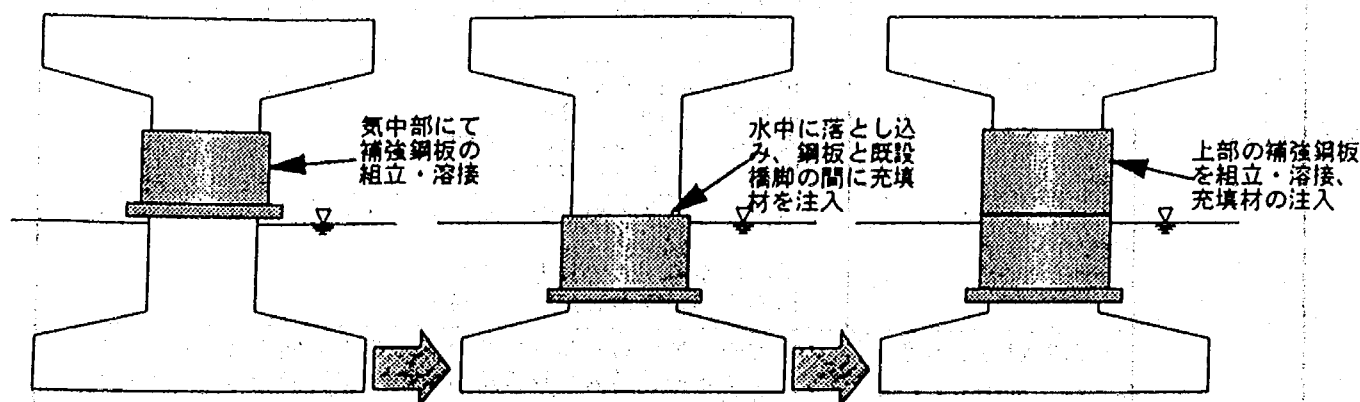


図-2 土留・止水を行わない補強鋼板の設置手順

本工法は、フーチングに鉛直アンカーを設置することが困難なため、じん性向上のための工法であり、橋脚基部で曲げ耐力が不足する橋脚への採用は適切ではない。

3. 橋全体として耐震性を向上させる工法

本工法は、流水部橋脚に直接補強を施すことが困難な場合において、流水部橋脚には補強を施さず、橋梁全体の中で水平地震力の分担を変えることにより、当該橋脚が負担する地震力を低減させ、橋全体として耐震性を向上させる工法である。

例えば、図-4に示すように、単純桁形式の上部桁を連結したり、もしくは連結桁を付加することにより、多径間連続形式へ変更し、施工が比較的容易な陸上部の両端の橋台または橋脚に補強を施し、これらの下部構造が地震時に負担する水平力の割合を増加させ、補強を施すことが困難な橋脚が負担する水平力を軽減させるという考え方である。図-5は液状化地盤中のパイルベント橋脚に対して個々の橋脚は補強しないで増し杭による両端の橋台部の補強と連結桁により橋全体として補強した一例を示したのである。さらに、免震構造化にすることにより、各橋脚に作用する地震力を低減させる工法も考えられる。

ただし、当該橋脚の主鉄筋段落し部の耐力が不足したり、せん断耐力が不足する橋脚などで甚大な被害に結びつきやすい場合には、橋脚自体の補強を施す必要があると考えられる。

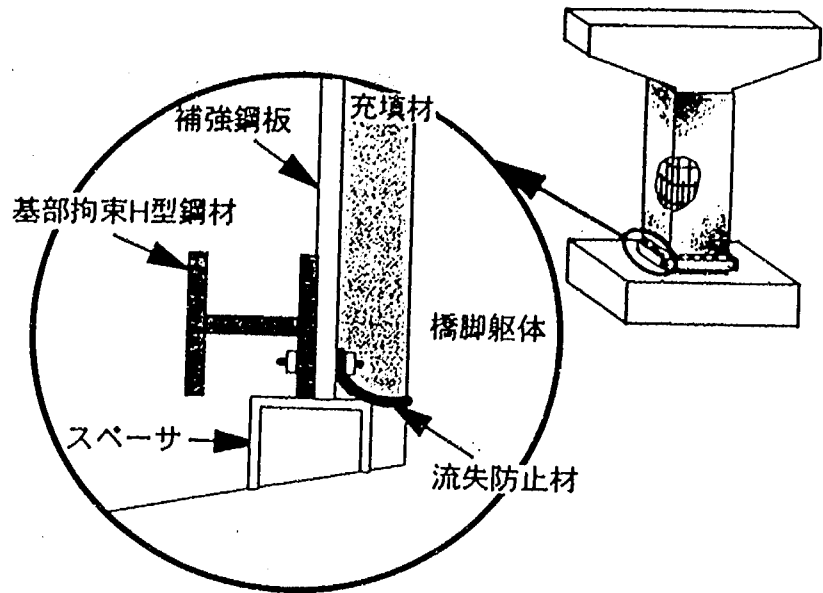


図-3 柱基部詳細

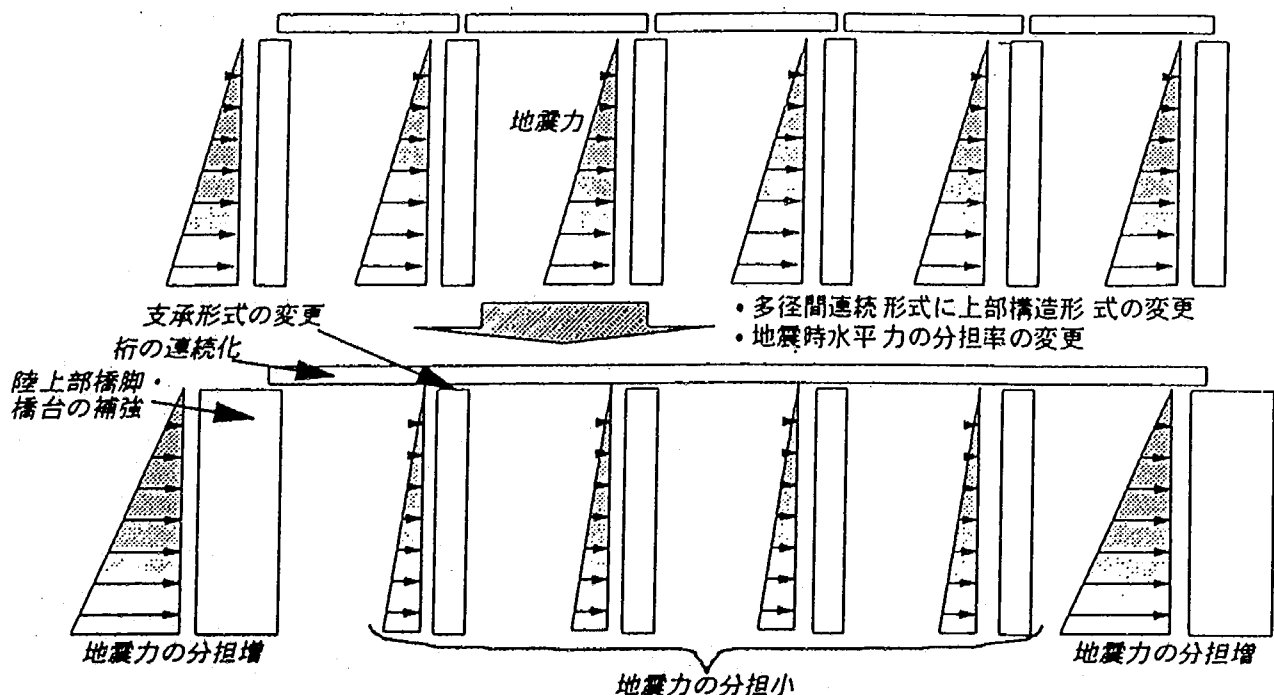
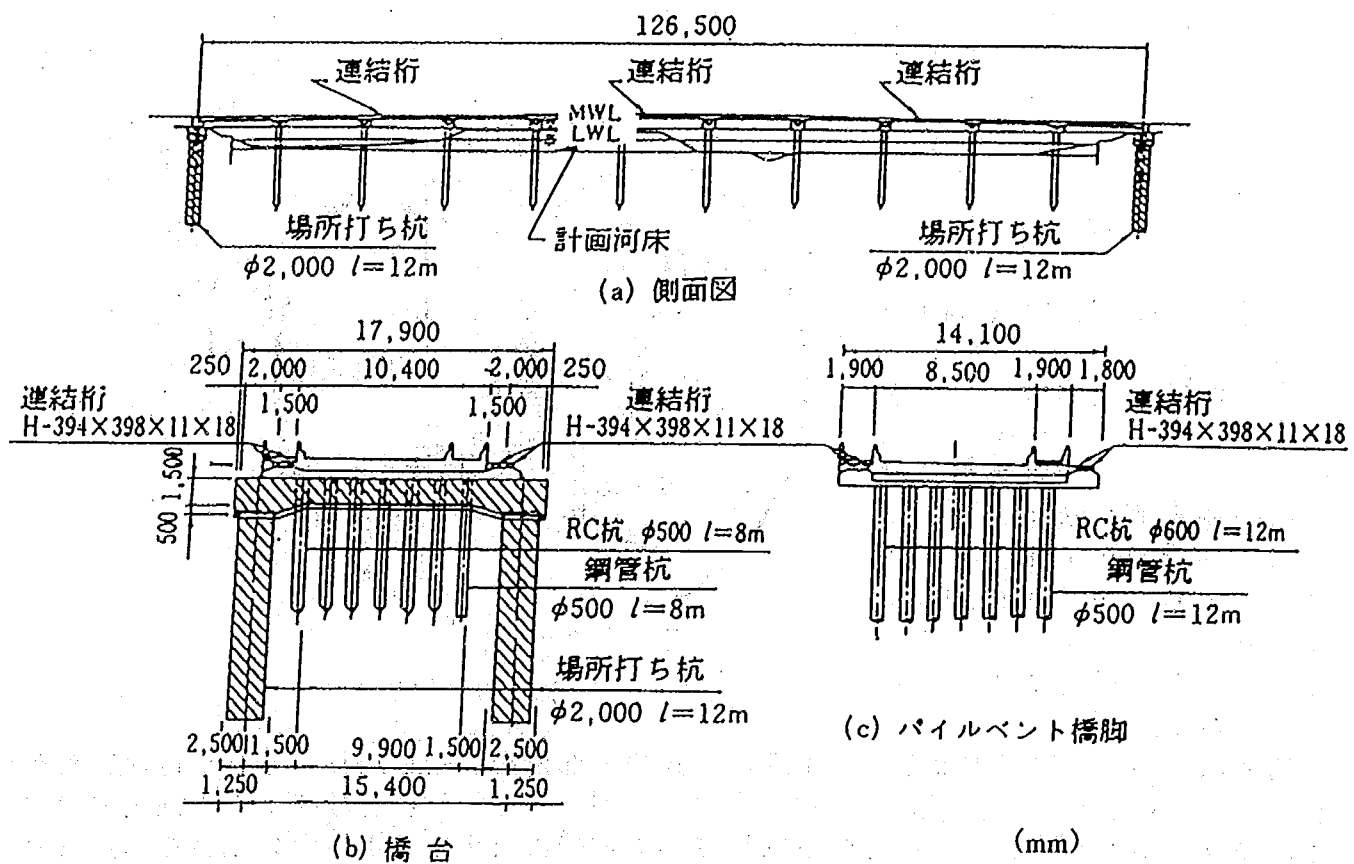


図-4 橋全体の耐震性を向上させる工法の一例



図－5 連結桁で両端の橋台に地震力を分担させた耐震補強の例

参考文献

- 1) 既設道路橋の耐震補強に関する資料, 日本道路協会, 1997年8月
- 2) 永池亀久男: 河川内における高速道路橋の耐震補強, 補強に関するシンポジウム, 土木学会, 1998年7月, pp.21-28
- 3) 安井雅士: 河川内 RC 橋脚における耐震補強方法の検討, 首都高速道路公団技報, 30号, 1998年
- 4) 川島一彦, 運上茂樹: 道路橋の橋台および橋脚の耐震補強, 基礎工, 92-2, pp.20-29, 1992年2月
- 5) 日経コンストラクション: モルタルの水中打設で仮締め切り材を省く, pp.74-75, 1999年8月27日

2. 橋梁設計における動的解析の照査を行う範囲

質問者：鹿児島国道工事事務所

回答者：耐震技術研究センター耐震研究室（内線4931）

質 問

H8道示・耐震設計編（P8）によると、地震時の挙動が複雑な橋については動的解析による照査を行うのがよいと記述されているが、H2道示・耐震設計編で記述されていた小さな曲率半径で桁両端のなす角度が大きい曲線橋という項目が除外されている。この項目が除外された経緯についてご教示願いたい。

回 答

曲線橋の地震時挙動について、一般的な直線橋と異なるのは、上部構造が曲線状であるために、橋脚に作用する上部構造の慣性力の方向が、直線橋の場合のように橋軸方向あるいは橋軸直角方向となるのではなく、一般的には斜め方向となる点である。さらに、慣性力の作用方向が橋軸方向に対して斜め方向になると、橋脚には2軸曲げが作用する状態となり、地震時保有水平耐力や許容塑性率の算出において、この2軸曲げの影響が無視できなくなることには注意しなければならない。

平成8年道路橋示方書で規定されている震度法や地震時保有水平耐力法は、橋の地震時の挙動を静的な荷重に置き換えて耐震設計する手法であり、その適用に当たっては、橋の地震時挙動の複雑度に応じて、表-1のように整理されているところである。ここでは、動的解析は、地震時の挙動が複雑ではあるが静的解析の適用が可能な場合には静的解析結果の照査として、また、地震時の挙動が複雑で静的解析の適用性が限定される場合には動的解析により設計することが示されている。この道路橋示方書の考え方を踏まえると、まず地震時の挙動の複雑度という観点からは、地震力の作用方向は必ずしも橋軸方向ならびに橋軸直角方向ではなく、また、個々の曲線橋の構造特性（曲率半径等）によって変化することから、曲線橋は地震時の挙動が複雑な橋の分類に属される。次に静的解析の適用性という観点からは、曲線橋であっても塑性ヒンジの発生する箇所は一般に明確であることから地震時保有水平耐力法の適用は可能と考えられる。したがって、曲線橋の耐震設計においては、震度法や地震時保有水平耐力法により耐震設計を行った後、動的解析により耐震設計結果の照査を行うのがよい。

表-1 地震時の橋の挙動の複雑度と耐震設計に用いる耐震計算法

橋の動的特性 耐震計算法		地震時の挙動が 複雑ではない橋	地震時の挙動が複雑な橋	
静的解析	震度法		静的解析が適用可能な場合	静的解析の適用性が限定される場合
	地震時保有水平耐力法	○	○	△ (初期値寸法の設定としての適用)
動的解析	地震時保有水平耐力法	○	○	△ (構造特性に応じて適用を検討)
	動的解析	-	○ (静的解析による耐震設計結果の照査)	○ (動的解析による耐震設計)
適用する橋の例		・右記以外の橋	・固有周期の長い橋 ・橋脚高さが高い橋 ・免震設計を採用した橋	・斜張橋、吊橋 ・上・中路式アーチ橋

注) ○：耐震設計に用いる耐震計算法，-：一般に耐震設計に用いる必要のないもの，

△：初期値寸法の設定や構造特性に応じて適用する耐震計算法

平成2年道路橋示方書では、小さな曲率半径で桁両端のなす角度が大きい曲線橋が動的解析で照査するのが望ましい橋として具体的に挙げられていたが、どのようなタイプの橋において動的解析を設計に活用していくべきなのかをより明確に表現するために、平成8年道路橋示方書では、地震時挙動の複雑さや静的解析の適用性の観点から動的解析による照査の必要性を明記したものである。

なお、前述したように、慣性力の作用方向が斜め方向になってくると、2軸曲げの影響が無視できなくなること等の課題もある。しかしながら、斜め方向の地震力を受ける部材の地震時保有水平耐力や許容塑性率の算定方法等については、まだ十分に明らかにされていないのが現状であり、2軸曲げ状態下における橋脚の耐震解析方法については、現在土木研究所において研究を実施しているところである。また文献 1),2)には、解析方法の一例も紹介されているので、参考にするのがよい。

参考文献

- 1) (財)土木研究センター：平成8年度耐震設計ソフトウェアに関する研究委員会報告書、平成9年5月
- 2) (財)土木研究センター：平成9・10年度耐震設計ソフトウェアに関する研究委員会報告書、平成11年4月

3. 盛土における地震時の安定検討

質問者：長崎県県北振興局 都市計画課

回答者：耐震技術研究センター動土質研究室（内線4946）

質問

「道路土工のり面工・斜面安定工指針：平成11年3月（社）日本道路協会」p164～180において、「盛土の安定の検討」の項に新たに地震時の安定検討として復旧の難易度及び重要度により、大規模地震動対応と中規模地震動対応が追加されている。

判断基準として、p173に「重要とは、万一崩壊すると、隣接する施設などに重大な損害を与える場合や、迂回路が無く交流ができなくなる場合を判断の目安とする。復旧の難易度が困難とは、万一崩壊すると復旧に長時間を要し、道路機能を著しく阻害する場合を判断の目安とする。」と設定されているが、技術者として安全側で考えると大規模側を選択してしまうことが多いと思われます。

「道路土工」に関する講習会においては、最終判断は事務所判断に任せるとの説明して頂きましたが、各事務所で統一しているのでしょうか。細部判断項目があればご教示願いたい。

回答

御指摘の通り、道路土工のり面工・斜面安定工指針における該当箇所の記述内容はやや抽象的で明確な判断基準は示されておりません。ここでは、上記指針の改訂作業に参加した者としての立場で御指摘の点について述べることにします。

まず、耐震設計の必要性については、当該構造物の重要性和万一被災した場合の復旧の難易度により判断するようになっていますが、具体的かつ定量的な判断指標は示されていません。このような記述にならざるを得なかったのは、指針という性格上、強く規定するのは適切ではない、また、仮に明確に規定しようとしても判断要因が複雑であり、困難である、という事情がありました。結局、その判断は本指針の利用者である事業者が個別に行うのが適当ということです。なお、その場合、少なくとも適当な広がり地域内における道路網においては整合を図る必要があると思われます。

具体的にはどのように判断基準を設けるかということを考えれば、次のような要因が挙げられると思われます。

重要性に関して：隣接する施設の存在とその社会的重要性（たとえば鉄道、病院等）、人命損傷の可能性、迂回路の有無、当該路線の重要性（幹線・枝線、交通量等）、等。

復旧の難易度：予想される崩壊の規模、復旧期間等

4. 道路の高盛土箇所における地震時の安定計算

質問者：佐賀工事事務所

回答者：耐震技術研究センター動土質研究室（内線4946）

質問

道路の高盛土箇所における地震時の安定計算については、道路土工（のり面・斜面安定工指針）p172～180に参考例という形で記載してあるが、表現方法も抽象的で判断しづらい。

また、参考例という表現は、地震時安定計算についての判断は設計担当者により異なっても良いということであろうか。明確な基準をご教示願いたい。

回答

耐震設計計算法については、指針では〔参考〕として示されており、その中で、計算法は震度法と円弧すべり面法を組み合わせた従来からの手法が紹介されています。同時に、必要に応じてその他の手法を用いることもできる、とも述べられています。

このような内容になった理由として以下が挙げられます。

①従来手法で設計震度を標準で0.15として設計された盛土はいわゆる中規模程度の地震動に対しては十分安全側であることが経験的に確かめられているが、大規模地震動に対して標準設計震度を0.20として設計すればよいということの裏付けデータが十分とは言えない。

②特に大規模地震動対応の耐震設計は許容変形量により照査するのが望ましいが、従来法では変形量を予測し得ず、近年開発されてきている手法では変形量を評価できるものがある。

③他方、そのような新しい手法が実務レベルで適当な予測精度を有するか否かの検証は未だなされていない。

④最近の議論として、構造物の設計は所要性能を満足するように行うのが本来は望ましく、そのための照査手法を固定するのは必ずしも適当でない。

要するに、大部分の技術者が実務的に合理的と納得できるような耐震計算法が土構造物については未だ完成していないという実情を反映したものということです。

実務での対応の方法としては、一般には従来手法を用いて耐震設計を行い、耐震対策の要否を一次判定し、必要に応じてより弾塑性有限要素解析などの詳細な計算法を用いて二次判定をするのが適当と考えます。なお、用いた計算法の適用性、信頼性についても注意を払いつつ結果を評価することも肝要です。