

マイクロフィルム用資料

ISSN 0386-5878

土木研究所資料第3758号

土木研究所資料

中国地建における一日土研資料

平成12年10月

建設省土木研究所

Copyright © (2000) 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。

中国地建における一日土研資料

企画部企画課

要 旨

中国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。

キーワード：湖沼管理，流域土砂管理，品質管理・健全度評価，情報化，環境，
コスト縮減・事業評価

目 次

I. 特別講演

	(所 属)	(講演者)	
I-1.1 住民との合意形成に基づく公共事業の進め方について	河川部長	宇多 高明	1
I-1.2 走行支援システム (AHS)に関する研究開発	道路部長	中村 俊行	2

II. 技術相談

	(質問者)	(回答者)	
【セッション1：湖沼管理】			
II-1.1 湖沼における新しい水質浄化技術と環境復元の事例	出雲工事事務所	河川環境研究室	3
II-1.2 アサザの保全対策	岡山河川工事事務所	緑化生態研究室	4
【セッション2：事業評価・コスト縮減】			
II-2.1 費用対効果評価技術の現状と今後の動向	福山工事事務所	建設マネジメント 技術研究室	6
II-2.2 社会資本政策の評価手法の拡充	中国地方建設局 企画部	建設マネジメント 技術研究室	8
【セッション3：情報化】			
II-3.1 地震発生予知情報を活用した道路管理	鳥取工事事務所	防災技術課	10
II-3.2 CADデータ交換基準策定の現状と将来 (GISの地形図作成への応用動向など)	広島国道工事事務所	施工研究室 建設システム課	11
【セッション4：水系土砂管理】			
II-4.1 流域土砂管理におけるダムの土砂管理技術	苫田ダム工事事務所	水工水資源研究室	13
II-4.2 侵食海岸における調査法と最近の対策事例	中国地方建設局 河川部	海岸研究室	16
【セッション5：健全度評価・品質管理】			
II-5.1 施設の点検効率化、健全度評価技術	中国地方建設局 道路部	トンネル研究室 構造研究室 基礎研究室 舗装研究室	20
II-5.2 コンクリート施工上の品質管理のあり方	中国技術事務所	コンクリート研究室	26
【セッション6：環境】			
II-6.1 新技術による環境対策の効果	中国幹線道路調査 事務所	交通環境研究室	30
II-6.2 切土部の樹林化	倉吉工事事務所	緑化生態研究室	33

III. 紙上回答

1. 環境部門

III-1.1 地下水の流速測定	松江国道工事事務所	地質研究室	39
III-1.2 堰魚道入口と下流深掘れ部とのすりつけ方法	出雲工事事務所	河川環境研究室	41
III-1.3 環境影響評価における事業の生態系等への影響 予測手法	中国技術事務所	河川環境研究室	42

Ⅲ－１．４	堤防法面の植生管理	太田川工事事務所	緑化生態研究室……………43
Ⅲ－１．５	のり面緑化材（マット、シート）の適用範囲と技術基準	広島国道工事事務所	緑化生態研究室……………45
Ⅲ－１．６	トンネル坑口ののり面緑化処理（面壁、擁壁の緑化）	広島国道工事事務所	緑化生態研究室……………47
Ⅲ－１．７	植物性廃材の再利用技術の現状と今後の動向	福山工事事務所 太田川工事事務所 山口工事事務所 国営備北丘陵公園 工事事務所	緑化生態研究室……………49
2. 河川部門			
Ⅲ－２．１	河道計画策定の検討に必要なとなる諸条件の解釈	中国地方建設局 河川部	河川研究室……………52
Ⅲ－２．２	急流河川における河川整備の考え方	倉吉工事事務所	河川研究室……………58
Ⅲ－２．３	感潮区域の護岸の変状対策	太田川工事事務所	河川研究室……………60
Ⅲ－２．４	環境保全型ブロックの安定計算及び施工	岡山県土木部	河川研究室……………63 施工研究室
Ⅲ－２．５	新設道路における道路排水の地下浸透方法	倉吉工事事務所	都市河川研究室……………68
Ⅲ－２．６	洪水時における高水流量観測の高度化	岡山河川工事事務所	水文研究室……………71
Ⅲ－２．７	感潮域における流量観測手法	太田川工事事務所	水文研究室……………75
3. ダム部門			
Ⅲ－３．１	ダムコンクリート用骨材の乾式製造システムの開発状況	江の川総合開発工事 事務所	ダム構造研究室……………77
Ⅲ－３．２	アーチダムにおける揚圧力の測定と評価	温井ダム工事事務所	ダム構造研究室……………82
Ⅲ－３．３	貯水池の濁水長期化対策	土師ダム管理事務所	水工水資源研究室……………84
Ⅲ－３．４	ダム直下流で発生した珪藻類「メロシラ」対策	八田原ダム管理所	水工水資源研究室……………86
4. 道路部門			
Ⅲ－４．１	橋梁部の歩道構造	松江国道工事事務所	交通安全研究室……………88
Ⅲ－４．２	真砂土舗装	太田川工事事務所	舗装研究室……………89
Ⅲ－４．３	排水性舗装の機能維持	中国技術事務所	舗装研究室……………91
5. 材料施工部門			
Ⅲ－５．１	孔壁の自立が不確実な場合のロックボルト（鉄筋挿入）の削孔方法	斐伊川・神戸川総合 開発事務所	施工研究室……………93 急傾斜地崩壊研究室
Ⅲ－５．２	盛土の際における土壌改良材並びに深層混合処理工法の改良材の選択方法	岡山河川工事事務所	施工研究室……………95 土質研究室
Ⅲ－５．３	山岳部の急峻な地形上に補強土壁を計画する際の留意点および選定方法	浜田工事事務所	施工研究室……………100
Ⅲ－５．４	道路土工－擁壁工指針の大型ブロック積み擁壁の設計	三次工事事務所	施工研究室……………103
Ⅲ－５．５	堤防の基盤漏水対策におけるレーンの式の適用	本局河川部	土質研究室……………105
Ⅲ－５．６	高潮堤防工事における背後地の地盤沈下対策	太田川工事事務所	土質研究室……………106
Ⅲ－５．７	鋼橋箱桁等の内面塗装（新規・塗替）	本州四国連絡橋公団	化学研究室……………107
Ⅲ－５．８	コンクリート構造物の補修	本州四国連絡橋公団	化学研究室……………108
Ⅲ－５．９	再利用材料の安全性確認方法	浜田工事事務所	コンクリート研究室……………109

Ⅲ－５．１０	場所打ちボックスカルバート接合部設計における剛域の考慮	岡山県土木部	コンクリート研究室……………111 建設システム課
6．構造橋梁部門			
Ⅲ－６．１	鉄筋間隔の許容範囲	苫田ダム工事事務所	基礎研究室……………112
Ⅲ－６．２	鋼橋における新技術・新工法の採用	倉吉工事事務所	橋梁研究室……………113
Ⅲ－６．３	コンクリート橋の外ケーブル構造の予備孔	苫田ダム工事事務所	橋梁研究室……………115
Ⅲ－６．４	鋼橋床版ハンチの施工	岡山国道工事事務所	橋梁研究室……………116
Ⅲ－６．５	橋梁工事の今後の展望	本州四国連絡橋公団	橋梁研究室……………117
7．建設マネジメント部門			
Ⅲ－７．１	P F I (Private Finance Initiative)	岡山河川工事事務所	建設マネジメント……………119 技術研究室
8．耐震技術部門			
Ⅲ－８．１	鋼板巻立て補強における鋼板とコンクリートとの一体性	山口工事事務所	耐震研究室……………121

1. 特 別 講 演

1-1 住民との合意形成に基づく公共事業の進め方について

建設省土木研究所河川部長 宇多高明

1. まえがき

現在、わが国は未曾有の財政危機の下で、一般市民の公共事業を見る目が厳しくなっている。こうした状況下においては、多くの市民に理解してもらえない公共事業は衰退の道をたどるに違いない。河川や海岸に係わる技術者・研究者もこうした状況を十分認識し、問題に正面から取り組み、社会的責任を果たす必要があると考える。筆者は、このような状況認識のもとで、現在までにいくつかの合意形成問題に係わってきたが、ここではそれらの新しい試みについて紹介してみたい。

2. 懇話会方式の要約

ここで明らかにする懇話会方式は図-1に示す流れに整理される。全体に流れる基本姿勢は、情報公開に基づいて十分納得がいく形で計画を練ることであり、しかも住民自らの参加意識を確認できるものでなければならない。このため懇話会方式では、ただ単に規模の大きな工事ができるかどうかの問題ではなく、居住者としての発想を大切にしたい計画論を住民参加型で練ることに特徴がある。ここで述べる手法は海岸事業のみにとどまらず、河川事業等、今後における他の多くの公共事業の計画作成においても役立つと推定される。

住民合意型海岸事業の方法

3. 地域社会に関心を持つNGOへの期待

地域住民の意見をできる限り正確に汲み取るには、急に計画した懇話会ではうまくいかず、相互の信頼関係に基づく人間関係の樹立が必要である。今回の調査では、大畑町で従来から活発に活躍してきている市民フォーラム('94フォーラムin大畑)が調査チームとのインターフェース役を果たした。行政と市民の相互交流を促進するには、他の地域においてもこの種のインターフェースの構築が必要と考える。

4. 社会の中での技術者・研究者の責務

ここでは海岸事業に関する合意形成について紹介するが、現在同様な検討を千葉県白渚海岸で実施している。その他、河川事業にあっては大分県の八坂川の改修事業、周辺環境への影響を最小化した漁港改修にあっては鎌倉市の腰越漁港改修事業、干潟環境に配慮した港湾事業にあっては大分県の中津港において同様な合意形成を進めている。これらからも、自然を相手とする各種公共事業全般においても展開が可能と考えている。そうした大きな流れの中で、河川や海岸の技術者もまた社会に広く出て問題解決に当たっていくことが責務、と筆者は考えている。

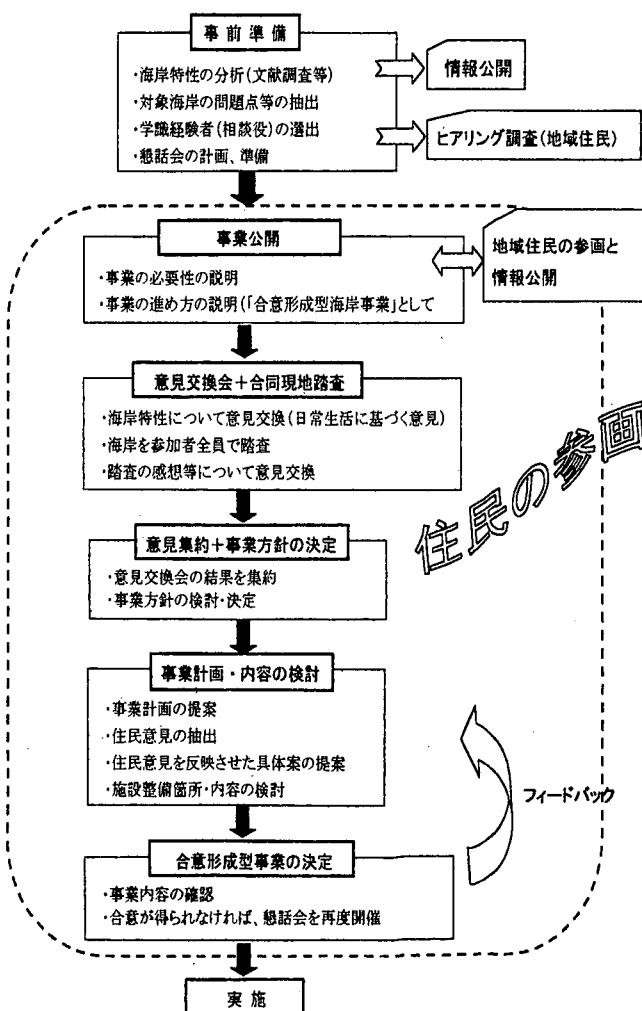


図-1 住民合意型海岸事業の方法

1-2 走行支援システム（AHS）に関する研究開発

建設省土木研究所道路部長 中村 俊行

1. 講演要旨

(1) はじめに

高度道路交通システム（ITS）とは情報通信技術（IT）を用いた新しい道路交通システムであり、交通安全、渋滞解消、環境問題の解決に大きく寄与するものである。走行支援システム（AHS）は、この ITS の 9 つの開発分野のひとつである安全運転の支援を実現化するものとしてその研究開発が進められている。

(2) 走行支援システム（AHS）のコンセプト

交通事故の発生原因を分析してみると、ドライバーの発見の遅れによる事故が約 50 % 判断の誤りや操作の誤りによるものが 25 % となっている。AHS はこのような原因による事故について、情報通信技術を活用することにより運転を支援し、事故を回避することを目指している。

(3) 実用化を目指す 7 つのサービス

現在、土木研究所では図-1 に示す 7 つのサービスの実用化を目標として研究開発を実施している。

(4) 実証実験

2000 年 10 月からは建設省が開発を進めている走行支援システムと運輸省の推進のもと自動車各社が開発を進めている先進安全自動車（ASV）が共同で、土木研究所等で実証実験を行う。ここでは、システムの有効性評価、ヒューマンファクタ設計値およびハザード対策等の検証を行うものである。

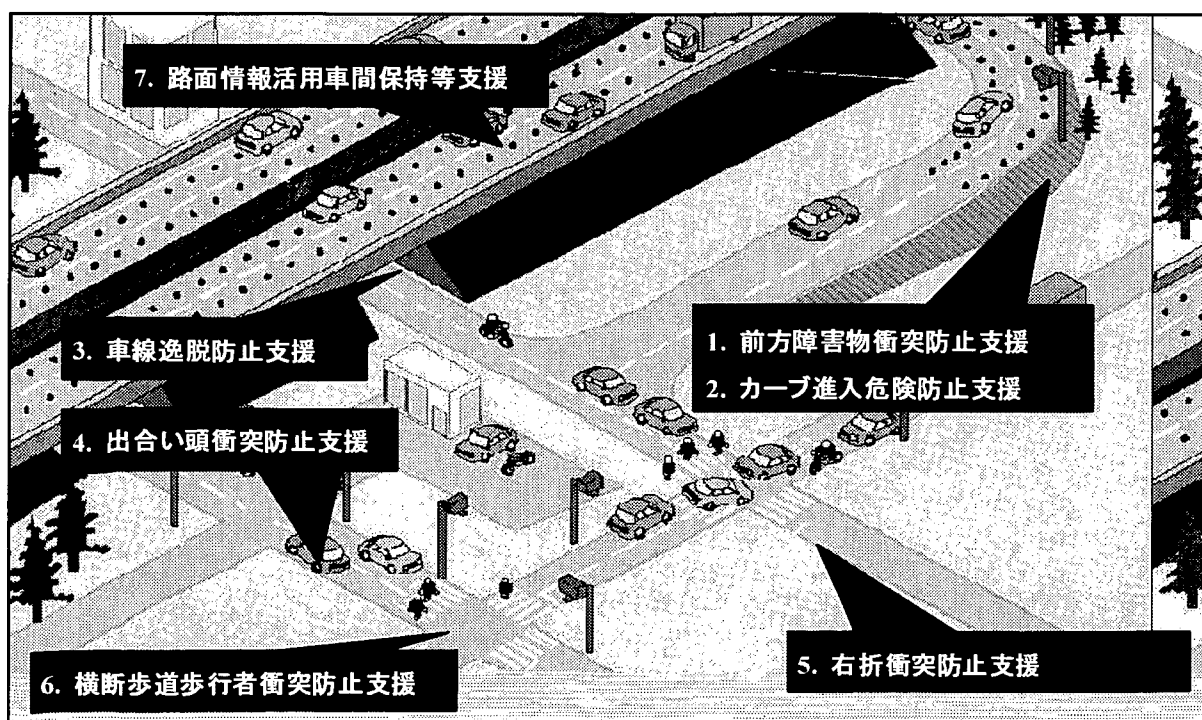


図-1 実用化を目指す 7 つのサービス

II. 技 術 相 談

II-1. 1 湖沼における新しい水質浄化技術と環境復元の事例

質問者：出雲工事事務所

回答者：環境部河川環境研究室（内線 4 1 4 7）

質 問

汽水湖における新しい水質浄化技術と環境復元の事例について、ご教示願いたい。

回 答

（汽水）湖内における浄化、流入支川対策としていくつか新しい技術・事例を紹介します。

流域支川対策

・コンパクトウエットランド

土木研究所河川環境研究室が共同研究で開発した技術で、旧来のヨシ原浄化施設をレキ間接触法のような浸透流タイプとし、かつ前処理として接触酸化法を組み合わせることにより、省面積で窒素、リンまでの浄化を可能としたヨシ原浄化施設。実証実験は渡良瀬遊水地内で行われ、効果が検証されている。窒素除去に関しては夏季に 66-77%（従来法 20%）、面積は従来のヨシ原浄化の 1/3-1/10 で設置可能。

・湖内湖浄化（川尻川ウエットランド）

土木研究所河川環境研究室と霞ヶ浦工事事務所が開発した技術で、河口に人工的な内湖（ラグーン）を設置することにより、出水時の汚濁負荷を中心として流入河川の汚濁負荷の除去を目指した施設。同時に、失われた沿岸環境の復元を目指し、ヨシなどをはじめ、浮葉・沈水植物（アサザ、マツモ、クロモなど）の復元、魚類の産卵場、鳥類のハビタットとして機能することを目指している。出水時に懸濁態リンの 31-99%が除去され、1 年間で、流入河川から流入するリンの 83%にあたる量を内湖に堆積していることが分かった。ただしこれには湖内から流入したリンも含まれる。また、湖内湖には白鳥が定住し、「霞ヶ浦の白鳥を愛する会、川尻地区支部」ができるなど、市民に愛される施設となっている。また、春先には稚魚が多く確認されている。

汽水湖における浄化事例

・古川沼の事例

古川沼は岩手県陸前高田市にある河口ラグーンである。チリ津波のあと水門によって海域と沼が切り離され、同時に都市化によって水質が著しく悪化した。そこで水門を改築し、沼と海域の水交換を可能とした。平成 11 年より、水門を開放した結果、リンが 0.12mg/l → 0.041mg/l, COD で 5.9mg/l → 3.2mg/l と水交換により著しく水質が改善されている。

以上

II-1. 2 アサザの保全対策

質問者：岡山河川工事事務所

回答者：環境部緑化生態研究室（内線 4 1 6 3）

質 問

高梁川総合開発事業では現在、環境影響評価を実施中であるが、その中で事業実施区域内の貯水池に生育するアサザの保全対策が重要な課題となっている。アセス準備書の中で保全対策として、移植による代替措置を検討している。移植手法については霞ヶ浦の事例を参考とし、種苗を育成し株を増やしながら移植する方針である。しかし、移植場所の選定あるいは移植場所の創出などについては知見が乏しく、以下のような課題がある。

1 土木的な課題

移植場所については周辺に存在する既存の池沼（溜め池含む）の利用や、生育場所の新たな創出を含めて、その候補地を検討中である。特に新たに創出する場合には、河川工学的な見地から存続可能な場所の選定や構造・規模の検討が重要と考えられる。新たに創出した環境を維持するためには、土木的な観点からどのようなことに留意すべきか、ご教示願いたい。

2 生態学的な課題

生息場所を新たに創出する場合、アサザの生育環境のみならず、他の生物の生育・生息環境を創出することが必要と認識している。しかし、他の水生植物との競合によりアサザの生息に問題が生じる可能性も考えられる。他種との共存を図りつつアサザを保全するためには、生態学的な観点からどのようなことに留意すべきか、ご教示願いたい。

回 答

ミチゲーションのためにアサザを移植する場合に必要となる、（１）移植場所の選定・創出、（２）移植株の採取・移植、（３）移植後の管理、の各段階における留意点について、先行研究や経験的な知見に基づいて回答する。

（１）移植場所の選定・創出

アサザの自生地の一つである霞ヶ浦では、アサザは水深 1.5m よりも浅い場所で生育している。生育に適した水深は水質などによっても異なるが、霞ヶ浦での生育状況から類推すると、およそ水深 1m 以内の場所に移植することが無難であると考えられる。

またアサザが移植先で開花・種子生産を行うようになった場合、種子の発芽・定着が行える条件を整えることが望まれる。アサザの種子は水中では発芽できない性質をもつことがわかっている（鷺谷 1999）。したがって、アサザの種子が発芽・定着できるようにするためには、少なくともアサザの発芽時期（霞ヶ浦では 4 月）に露出する地表面が沿岸に生じることが必要となる。

またアサザは一般に波浪や水流の影響の少ない場所に生育する植物である。これらを総合すると、アサザの移植場所として適しているのは、岸辺から緩やかに深くなる地形を持ち水深 1m 以内の静穏域が十分にある池や沼ということになり、このような場所を選定・創出する必要がある。高梁川のケースでは、事業区域の周辺に溜め池等が存在するため、これらの中から条件に適った場所を選定することが、環境の持続性という観点からも適切であると考えられる。

なお、移植場所の底質の条件については、元の生育地における底質の条件を参考にして類似した条件の場所を選ぶようにする。なお霞ヶ浦の場合は泥質の場所よりも砂質の場所に多く生育していた。

(2) 移植株の採取・移植

移植株の採取にあたっては、遺伝的多様性の確保への配慮が重要である。アサザはクローナル植物（地下茎によってクローン成長をする植物）なので、群落内で複数の株を採取しても遺伝的には同一個体である可能性がある。遺伝的に多様な個体を移植するためには、アイソザイムなどの遺伝的マーカーを用いて遺伝構造を把握した後に、より多くのクローンから株を採取することが望ましい。このような先行事例としては加古川市におけるヒメコウホネの移植例がある（Suzuki et al. 1997）。しかし遺伝的マーカーの活用は、施設・技術などの点で困難な場合も考えられる。そのような場合には、たとえば採取地点を 10m 間隔でとるなど、群落内から万遍なく採取することが有効と考えられる。

霞ヶ浦のアサザを移植した経験では、数十センチメートルの地下茎に葉が 2～3 枚ついた状態の株からでも良好な成長が確認された。ただし地下茎が付着していない葉柄と葉だけからでは、移植後に定着できなかった。したがって移植に際しては地下茎を着けた状態で掘り取ることが重要であると考えられる。

移植の際には、移植株の由来、すなわちどの地点に由来する株をどこに植えたのか、ということがわかるように記録を残す必要がある。特に、将来移植先から元の自生地に復元する可能性がある場合、由来の情報にもとづいて復元先を決める必要があるため、この情報が重要である。

(3) 移植後の管理

移植後の管理において、特に注意が必要なのは水位の管理である。一般に、浮葉植物の葉が水中に沈むことは成長に対して悪影響を与える。そのため急速に水位が上昇し、その状態が長く続くと、葉柄の伸長による浮葉の展開が間に合わず、枯死する可能性がある。したがって、アサザの展葉期間中に水位が上がりすぎないようにする管理が必要である。

アサザと競合する種については、刈り取るなどの管理が必要になる可能性がある。たとえば移植した池沼にホテイアオイなどが侵入すると、水面が占有されてアサザを脅かす可能性がある。この場合、ホテイアオイはすべて回収し、侵入・繁茂を防ぐことが重要である。

引用文献

- 1) Suzuki, T., Murayama, K., Kadono, Y. & Nagayashi, T. 1997. Allozyme variation of *Nuphar subintegerrimum* (Nymphaeaceae) at Kita-Nagaike pond, Kakogawa city, Hyogo prefecture, Japan. *Nature and Human Activities* 2: 47-52.
- 2) 鷲谷いづみ. 1999. アサザと霞ヶ浦の植生帯の保全生態学. 「よみがえれアサザ咲く水辺～霞ヶ浦からの挑戦～」. 文一総合出版.

II-2. 1 費用対効果評価技術の現状と今後の動向

質問者：福山工事事務所

回答者：建設マネジメント技術研究センター 建設マネジメント技術研究室（内線 5 2 8 5, 5 2 8 8）

質 問

今後、社会資本を整備するにあたっては、社会の情勢と要請を踏まえた、真に必要な事業のみを、適切な水準で、国民の合意を得て実施する必要がある。最小費用で最大効果を得るためには費用対効果評価は不可欠である。

そのためには、これまで重点が置かれていた直接的利用価値に加え、環境質の価値を評価する手法の向上が重要であるが、その熟度は高いとは言えない状況にある。

アカウンタビリティ、コミュニケーション型国土行政、予算要求等の必要性から、技術の現状と今後の動向についてご教示願いたい。

回 答

建設マネジメント技術研究センターでは、環境質の価値を評価する手法に係わる研究として「外部コストに関する研究」及び「発注契約方式の実施手法に関する研究」について取り組んでおり、以下に各々の研究内容を概説する。

(1) 外部コストに関する研究

公共工事の建設コスト縮減は、政府全体で取り組むべき重要な課題である。その一方で、地球環境や生活環境への建設活動の影響がますます重視される傾向にある。このため、構造物の計画、設計、施工、維持管理、更新取り壊し、再利用に至る、建設事業のライフサイクルを通じて、建設コスト（内部コスト）及び、環境に与える影響などの外部コストの両方を含む社会コストとしての建設事業コストの低減を図る必要がある。

そのため、建設マネジメント技術研究センターでは、外部コストを可能な限り定量的に評価する手法を開発するとともに、建設事業コストを低減するためのリサイクル、ゼロエミッション化、構造物の長寿命化等の環境負荷軽減や建設コスト低減に資する技術の開発、さらには建設事業コストを低減するための建設事業マネジメント手法確立を目的とした研究を行っている。

(2) 発注契約方式の実施手法に関する研究

公共工事の品質確保を目的として、平成9年度より民間の技術力を効果的に活用するための新たな入札・契約制度の導入が検討されており、技術提案総合評価方式、VE方式、設計・施工一括発注方式等が試行されている。

その中で技術提案総合評価方式は、価格だけで落札者の決定を行うのではなく、価格と技術提案（品質、工期、安全性、デザイン等）を総合的に評価し落札者を決定する方式である。本方式による公共工事の調達は、今井1号橋撤去工事（図-2 参照。）と五十里ダム施設改良本体工事（両事例とも関東地建）において実績がある。

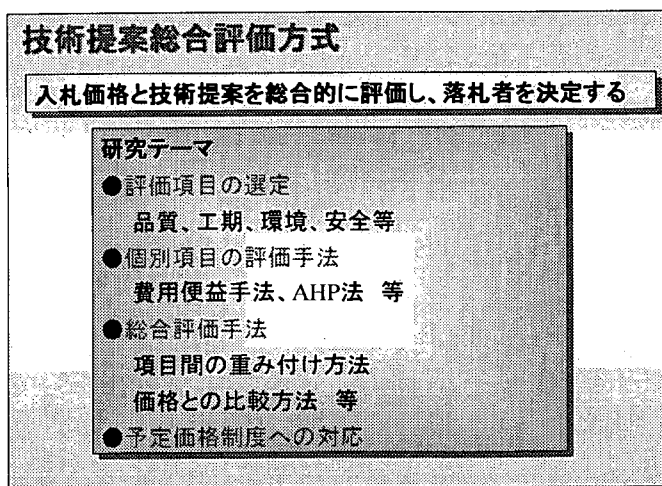


図-1 技術提案総合評価方式に関する研究

本研究室では、試行事例のヒアリング等から、技術提案総合評価方式は工期短縮による外部コストの削減を実現し、総合的な評価のもとで最も安いモノを調達できることが把握できている。また、工事の難易度が比較的高く、工事に伴ない価格に換算できる外部コストが発生する案件に対して効果的と考える。なお、本方式の今後の効率的活用に向け、価格以外の項目の評価手法の確立、複数の評価項目間における重み付け手法の確立が必要となっている。

また試行事例を通じて、本方式を含め、技術提案を伴う入札契約方式（VE方式及び設計・施工一括発注方式）の場合、技術提案及び審査に発注者及び提案者ともに労力を要し、さらに発注者側に技術提案を審査する技術力が必要であること、さらに発注者と提案者の責任範囲の明確化が課題として挙げられる。

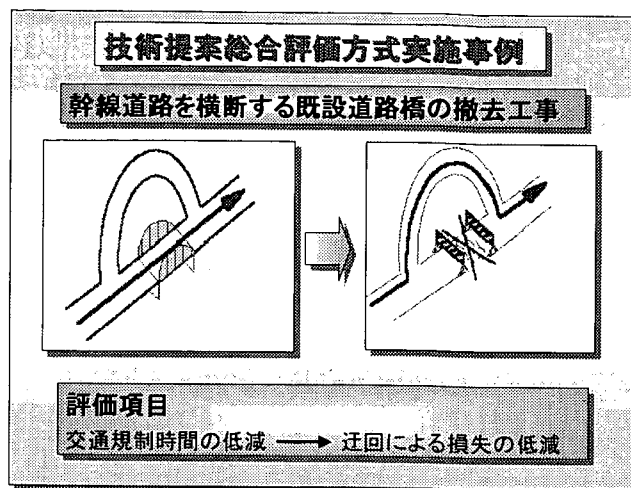


図-2 技術提案総合評価方式の実施事例

（参考） 技術提案総合評価方式における評価項目の設定

評価項目設定の指針となる事項について例示すれば、次のとおりである。なお、具体的な評価項目を設定する場合においては、その項目は当該工事に係る契約において、その内容が担保できるものに限るものとし、担保できないものは評価項目の対象としないものとする。

(1) 総合的なコストに関する事項

- ① ライフサイクルコスト：維持管理費・更新費も含めたライフサイクルコストについて評価する
- ② その他：補償費等の支出額等を評価する

(2) 工事目的物の性能、機能に関する事項

- ① 性能・機能：初期性能の持続性、強度、耐久性、安定性、美観、供用性等の性能、機能を評価する

(3) 社会的要請に関する事項

- ① 環境の維持：騒音、振動、粉塵、悪臭、水質汚濁、地盤沈下、土壤汚染、景観を国の利害の観点から評価する
- ② 交通の確保：交通への影響（規制車線数、規制時間、交通ネットワークの確保、災害復旧等）を国の利害の観点から評価する
- ③ 特別な安全対策：特別な安全対策を必要とする工事について安全対策の良否を評価する
- ④ 省資源対策又はリサイクル対策

参考文献

- 1) 建設省土木研究所・建設省建築研究所、外部コストを組み入れた建設事業コストの低減技術の開発、建設省総合技術開発プロジェクト・官民連帯共同研究・建設技術の先導研究、平成 10 年度研究課題発表会、平成 11 年 11 月
- 2) 山下武宣・小澤一雅・加藤和彦、民間の技術開発を活用する多様な発注契約方式の実施手法に関する研究、平成 11 年度研究報告書、平成 11 年度
- 3) 公共工事発注省庁申合せ、工事に関する入札に係る総合評価落札方式の標準ガイドライン（案）、平成 12 年 3 月 29 日

II-2. 2 社会資本政策の評価手法の拡充

質問者：中国地方建設局企画部企画課

回答者：建設マネジメント技術研究センター 建設マネジメント技術研究室（内線 5 2 8 3）

質 問

社会情勢の変化や建設行政に対するニーズが多様化する中で、社会資本政策を展開していくためには、地域住民へのアカウンタビリティの向上すなわち社会資本の必要性や効果を地域住民に対し明らかにしていく必要がある。

そのための手段となる、地域住民にわかりやすい社会資本政策の評価手法についての現状と研究の取り組み状況について教示願いたい。

回 答

厳しい財政事情のもと、限られた財源を有効に活用し、効率的・効果的な公共事業の実施等を図るとともに、その実施過程の透明化を図る観点から、所管事業の新規採択時における費用便益分析の実施をはじめとする事前評価、再評価、事後評価の枠組みが整備されてきている。加えて平成 10 年 6 月の中央省庁等改革基本法においては政府機関における政策評価機能の強化がうたわれ、13 年 1 月の新体制の発足に向けて政策評価の枠組みであるガイドラインと実施要領の策定が進められている。

政府の政策評価においては、業績（達成度）評価すなわちベンチマーク評価が中心的な役割を担うことが想定されている（参考 1）。

ベンチマーク評価は、政策（施策、事業）ごとに設定した具体的な指標と目標値（ベンチマーク）に対する実績値を測定することにより当該政策の達成度を評価する手法である。この手法は、政策にもとづく行政サービスを受ける国民（住民）から見てわかりやすい指標を設定することにより政策目標の達成状況を明確に示すことができるため、アカウンタビリティを果たす上ですぐれた手法であり、米国や英国における政策評価に用いられているほか、我が国の地方自治体でも導入されるようになってきたものである。しかしながら政策との関連性が高く、かつ国民（住民）にわかりやすい指標の設定が容易でないという課題がある。

実際、先行事例をみると、指標の選定に際し住民と協働して、あるいは住民の意見を取り入れる取り組みは行われているが、科学的な検証はなされていない。また指標についてはわかりやすさの観点からアウトカム指標が望ましいが、計測しやすさの点からアウトプット指標で代用されているものが多い（参考 2）。

そのため建設マネジメント技術研究室においては、心理学的側面に着目して社会資本政策と住民満足度との関連性を住民意識調査及びその特性・分析により明らかにし、社会資本整備に対する住民ニーズの把握及び社会資本整備による住民満足度の予測を行う手法の開発のための研究を行っている（参考 3）。あわせて、社会資本整備のアウトプットとアウトカムとの関連性を明らかにすることにより、国民にわかりやすく、計測が容易な指標体系の構築を図るための研究を行っている。

これらの研究により、社会資本政策の効果を国民にわかりやすく提示し、以後の政策に反映させることが一層円滑に行われることが期待される。

(参考 1)

平成 12 年 7 月に発表された国土交通省の政策評価の実施要領骨子案においては、

- 1) 事前評価 (新たな施策等を導入する際に、施策の必要性・有効性・効率性を明示し、その可否の判断に資するもの)
- 2) 業績測定 (施策等を体系的に整理して主要な政策目標を設定し、それぞれについて選定した指標によりその達成状況を定期的に測定・モニタリングするもの)
- 3) プログラム評価 (特定のテーマについて、施策等の効果、結果との因果関係の分析を行い、以後の課題、改善策の発見に資するもの)

の 3 方式を基本とする政策評価を導入することとされている。

(参考 2)

ベンチマークを設定するための指標は、アウトカム、アウトプット及びインプットに分類することができる。アウトカムは、行政サービスが国民(住民)の生活に与える効果であり、政策目的の達成度を直接的に示すものである。アウトプットは、行政サービスの成果である行政活動の生産物の数量を計測したものである。インプットは、行政サービスのために投入された資金、人材などの資源の数量である。

道路政策を例にとると、アウトカムは道路整備の成果である時間短縮、渋滞解消、交通事故の減少などであり、アウトプットは道路の整備延長、交差点の改良箇所数などである(図 1)。

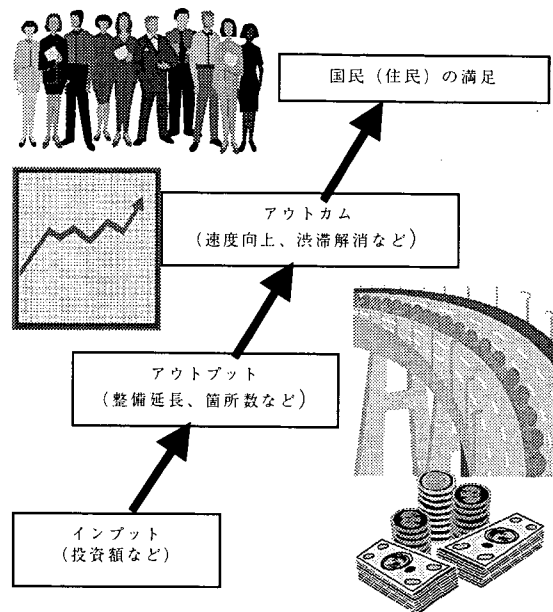


図 1 インプット、アウトプット、アウトカム

(参考 3)

国民の価値意識等をふまえた政策及びアウトカム指標の体系の構築の考え方のひとつに社会心理学的側面からのアプローチがある。

社会資本に対する国民意識の前提として、そもそも国民(住民)=人間が何を求めているか、すなわち人間の欲求の構造についての考え方に関する有力な主張のひとつにマズロー(Maslow, A.H.)の欲求階層説がある。これは、人間は低次の欲求(基本的欲求 生理的欲求など)が満たされてはじめてより高次の欲求に向かうという理論で、マズローは図 2 に示す 5 つの階層を提唱している。

この考え方によると、社会資本政策は「生命・身体の安全」(災害などから国民の生活、身体を守る)、「生活の安定」(安定した暮らしのための生活基盤、生活環境)、「便利・快適な暮らし」(移動・交通の便利さ、レクリエーション)、「美しさ・ゆとり」(街並みの美しさ、豊かな自然環境など)のように整理できる。

平成 12 年度に 11 市町村の住民を対象に行った意識調査では、住民ニーズの中心が「生活の安定」にあることが明らかになっている。

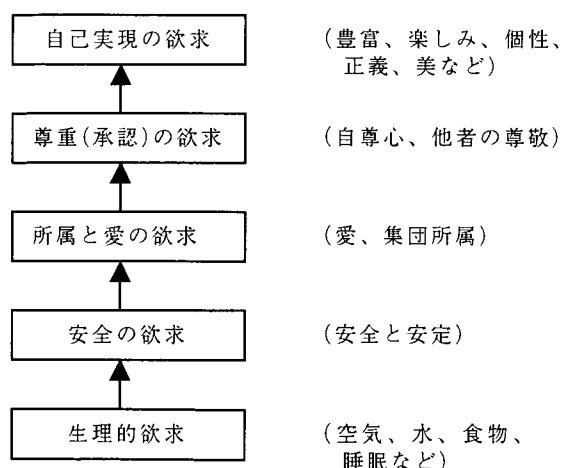


図 2 マズローの欲求階層説

II-3. 1 地震発生予知情報を活用した道路管理

質問者：鳥取工事事務所

回答者：耐震技術研究センター防災技術課(内線 4 9 5 8)

質 問

電磁波観測による地震予知を今後道路管理に利用したいが。予知方法としての信用性、将来性についてご教示願いたい。

回 答

地震予知については、政府の地震調査研究推進本部が、地震防災対策特別措置法に定める地震に関する観測、測量、調査、及び研究推進についての総合的かつ基本的政策として立案した「地震調査研究の推進について」（平成11年4月）の中で、「時期、場所、規模という地震予知の3要素のうち、地震の起こる時期を、警報を出せるほどの確かさで予知することは、異常な地殻の変動等現象が現れた場合に予知できるとされている「東海地震」を除き、現在の科学技術の水準では、一般的に困難である。」と示されています。

電磁波観測による地震予知については、地震時に発生すると考えられている電磁波の観測技術は実用化されていますが、その電磁波の発生メカニズムおよび観測結果からの地震前兆現象の抽出については、まだ基礎研究の段階であり、行政施策に活用できる技術としては確立していない段階と考えられます。

しかし、電磁波観測による地震予知という方法については、現在各機関で研究が進められており、地震発生前の電磁波発生のメカニズムが解明され、その特徴により電磁波観測結果から地震の前兆を的確に捉える地震予知の精度が向上する可能性は十分考えられます。

道路管理者の立場から道路施設管理に着目しますと、ある程度前に地震予知がされた場合、道路施設の直接被害は軽減できないと考えますが、十分準備した態勢により、被害の早期把握・交通規制の実施・有効な復旧作業が実施できることが期待できます。

地震発生による被害の影響を最小限にするためには、被害に対する速やかな対応を行うことが重要です。現在、地震予知技術が研究段階のため、土木研究所防災技術課では、建設省各地方建設局管内に設置している地震計ネットワークの地震動観測情報から管理施設位置での地震動および管理施設の被害を予測する「震害予測システム（SATURN）」を開発しています。このシステムにより、地震発生直後に各道路施設の被害予測情報を得ることができ、効果的な震後点検を行うことにより、2次被害の軽減が期待できます。

10月6日に発生した鳥取県西部地震においては、土木研究所から数名の調査団を派遣して、被害状況の把握に努めるとともに、被害特性の分析を進めているところです。幸いにも大きな施設被害は見られませんでした。この地震についても中国地方建設局の地震計ネットワークは、地震発生後数分で管内の観測地震動情報を集約しており、米子では最大加速度391gal、SI値56kineを観測しております。この観測値をはじめ、管内の観測値を震害予測システムに用いることにより、施設被害の判定に有効な最大加速度およびS I値による被害予測から、震後対策に有益な情報が得られたことと考えます。

将来においては、地震予知を前提とした地震時の体制も考えられますが、現時点での電波観測によるものを含めた地震予知（上記東海地震を除く）は実用レベルに達していないため、しばらくは上記の震害予測システムなどを活用して、震後対策の効果的な運用を行うことがよいと考えます。

参考文献

- 1) 地震調査研究推進本部：地震調査研究の推進について、1999
- 2) 文部省測地学審議会：地震予知のための新たな観測研究計画の推進について、1998

II-3. 2 CADデータ交換基準策定の現状と将来

質問者：広島国道工事事務所

回答者：材料施工部施工研究室（内線 4735）

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 5251）

質 問

「建設 CALS/EC アクションプログラム」では 2004 年度までに建設省直轄事業の調査・計画、設計、施工、管理に至る全てのプロセスにおいて、電子データの交換、共有、連携を実現することとしている。図面の電子化に関しては、構造図については比較的円滑に移行しつつあるが、測量成果をもとに作成される地形図（平面図）についてはシンボル表現の取り扱い等課題が多く、GIS も念頭においたアプローチが必要と考えられる。測量成果に関する基準化の動向等がわかればご教示願いたい。

回 答

公共測量作業規程第 4 編数値地形測量では、以下の場合における標準ファイル形式（DM（デジタルマッピング）データファイル）の作成方法を定めている。

- (1)TS を用いて現地観測により測量を行い、数値地形図を作成する TS 地形測量
- (2)空中写真を用い、図化段階から数値データを取得し、数値編集を行って数値地形図を作成するデジタルマッピング
- (3)既に作成されている地形図をディジタイザ等で数値化し、数値地形図を作成する既成図数値化
- (4)(1)、(2)又は(3)によって作成された数値地形図を修正する数値地形図修正

また、上記の(1)で地図情報レベル 500（縮尺 1/500）の数値地形図の作成に必要な数値データについては、（社）全国測量設計業協会連合会が DM に準拠した SIMA-DM フォーマットを定めており、広く普及している。

DM データファイルや SIMA-DM フォーマットは、地図記号や「けば」等の取得分類を規定しており、上記のファイル及びフォーマットを扱うことができる CAD ソフトでは、取得分類を受け渡すことできる。しかし、サポートしていない CAD では、取得分類を認識することができず、ディスプレイ上でカタログが表示されない場合がある。そのような問題を防ぐため、運用上 DXF などの CAD ソフトのフォーマットでデータが受け渡すことも多い。

しかし、DXF などは CAD ソフトに依存するフォーマットであるため、完全なデータ互換性が確保されるとは限らない。そこで、国際標準規格 ISO10303 に準拠した CAD データの中間ファイル形式を開発した「CAD データ交換標準開発コンソーシアム」（開発期間平成 11 年 2 月～平成 12 年 8 月）では、CAD 製図基準等で定義したシンボルを既定義名（シンボル名、配置位置、回転角、倍率を指定）で交換することとしている。定義されるシンボルの絞り込みや定義の作業はこれからであるが、今後 CAD 製図基準（案）等にシンボル定義を組み込む方向で検討している。

現在、電子化された測量成果は設計段階においては平面図の背景として利用されることが多く、地形の 3 次元表現等への高度な利用はごくわずかである。それは、測量段階にお

いては、見た目の正確さが重要視されがちであり、設計や施工等下流段階での再利用を想定したデータ取得が行われないため、高度な利用や業務の効率化には必ずしも結びついていないためである。そこで、総合技術開発プロジェクト「統合情報システム活用による建設事業の高度化技術の開発」（平成 8～10 年度）において、設計作業等に活用することを前提としたデータ取得・編集方法等のあり方を「DM データ取得仕様（案）」としてとりまとめている。

この成果をもとに、国土地理院と土木研究所では、総合技術開発プロジェクト「GIS を活用した次世代情報基盤の活用推進に関する研究」（平成 12～14 年度）において、道路や河川等の建設事業の各局面における空間データの利活用方法を整理し、地理情報標準との整合を考慮した空間データの構築方法を検討している。この結果をもとに、測量段階で取得すべき情報項目とその精度を定め、2002 年第 1 四半期までに測量成果の電子化・標準化を実施する予定である。

参考文献

- 1) 建設大臣官房技術調査室監修：建設省公共測量作業規程解説と運用、1996
- 2) 建設省土木研究所建設システム課他：統合情報活用による建設事業の高度化技術に関する共同研究報告書 調査－設計－積算段階の情報活用方策研究（7 分冊の 3）、共同研究報告書、239 号、2000

II-4.1 流域土砂管理におけるダムの土砂管理技術

質問者：苫田工事事務所

回答者：ダム部水工水資源研究室（内線 4 4 4 1）

質 問

平成 10 年 7 月に河川審議会総合政策委員会の総合土砂管理小委員会の報告がなされてより、土砂の移動域全体を視野に入れた総合的な土砂管理への取り組みがみられるようになっていきます。

この流域土砂管理におけるダム貯水池の土砂管理技術の現状と技術的課題についてご教示願いたい。

回 答

ご指摘の総合土砂管理委員会の報告での主張を簡単にまとめると、流域の安全確保、利活用、環境の保全を適正に実施していくため、森林を含む山地部から海岸域までの土砂の移動領域の全体を「流砂系」という概念で捉えた総合的な土砂管理を推進すべきである、というものです。そのため、自然状態における土砂の流動および砂防事業の実施や砂利採取などの人的作用が土砂移動に与える影響を、流砂系全体を通じてモニタリングするとともに、新たな土砂管理方策を構築していく必要があるとしています。

このような流砂系の観点からダム貯水池をみると、貯水池は巨大な土砂貯留施設として位置づけることができます。土砂貯留施設ということは、適当な粒度分布をもった土砂を下流に適量供給することができれば、効果的な土砂調節施設となることを意味します。

1. 下流への土砂供給方法

ダムはもともと貯留効果を持っている訳ですから、流域土砂管理の観点からの技術的課題は、主として下流への土砂供給にあるといっていいいでしょう。下流への土砂供給方法として、次のものが検討されています。これらは、従来から堆砂対策として検討されてきた方法であり、技術の現状については、文献 1) にまとめられています。ここでは、流域土砂管理を念頭に、今後の展望も踏まえ技術的課題を中心に整理してみたいと思います。

- 1) 掘削・浚渫と下流への置き土
- 2) 土砂バイパス
- 3) 土砂フラッシング・スルーシング

このうち、1) は機械力を用いたもの、2) 及び 3) は貯水池を通過する流水の土砂輸送力を用いたものです。

2. 掘削・浚渫と下流への置き土

掘削、浚渫は、堆砂対策として最も多く実施されてきた方法です。特に掘削については、固定点で陸上掘削可能なよう貯砂ダムを設置するダムも増えてきており、堆砂の骨材等への有効利用と併せ、今後とも多くのダムで実施されていくものと考えられます。土砂供給としての特徴は、この掘削・浚渫土を下流河道内に仮置きし、その後の出水時にフラッシュさせようというものです。小規模な試行があちこちで実施されるようになってきていますが、ある程度大きな規模で実施するためには、合理的な計画論に基づき実施していく必要があります。そのための課題として、常時における仮置き土からの濁水流出防止方法の確立、河道の流量・継続時間と仮置き土侵食量の関係の把握及び所定の土砂供給を行うための仮置き方法の確立が挙げられます。また、侵食土の下流での堆積・流下性状の把握も必要です。これについては、下流河道における粒径別の必要供給量の検討と連携した評価が求められます。

3. 土砂バイパス

土砂バイパスは、貯水池上流から下流河道まで導水する水路により、土砂流入時の流入

水の一部を流入土砂と合わせて分流・バイパスし、下流に土砂供給するもので、流入土砂を流水と一緒にそのまま通過させるという意味で、下流での濁水や堆積の問題が少ない方法ということができます。

土砂バイパスで用いられる流量は、ダム貯水池としては貯留できない流量になります。従って、バイパス計画に当たっては、貯水池の利用・運用計画との整合を図る必要があります。

バイパスされる土砂量は水量の分流比の関数として与えられますが、この関数は粒径毎に異なり、分流施設形状の影響を受けるものです。河道を流下する土砂は、河床に近いほど濃度が高くなる傾向がありますが、この傾向は粒径が大きいほど顕著であり、掃流砂ではほとんどの土砂が河床付近を流下します。このように、流入土砂の濃度分布は、粒径により異なるので、分流する流れの選択により、水量の分流比に対する土砂の分流比が異なります。濃度の片寄りの大きい、粒径の大きな土砂では同じ水量の分流比に対し土砂供給量のある程度の制御が可能であり、所定の土砂供給を行うための分流施設設計方法の確立が一つの課題となります²⁾。一方、粒径の小さい土砂では、水量と土砂量の分流比が同程度になることが予想され、土砂供給量の制御は分水量によりほぼ決まります。分水量が貯水池計画や施設規模が制約を受ければ、粒径の小さい成分の供給土砂量もまた制限されることになります。

土砂バイパスにおける技術的課題は主として粒径の大きな土砂に対し生じます。水流と十分混合するような粒径の小さい土砂に対する計画、設計では水流のみを対象とした手法をそのまま用いてもそれ程大きな問題は生じません。一方、比較的粒径の大きな土砂では、先に述べた土砂量制御のための分流施設設計方法の確立の他、バイパス水路の土砂輸送能力の把握と設計手法の確立、施設の摩耗・損傷量の把握とライニング及び補修方法の確立など今後検討していくべき種々の課題があり、土木研究所でも重要な研究課題として現在取り組んでいるところです³⁾。また、先に土砂バイパスでは下流での濁水や堆積が少なうとしましたが、水量の分流比に対し土砂量の分流比を大きく取った場合には、河道の土砂流下能力に対し、過大な土砂供給がなされることが想定され、下流での土砂の堆積が問題になるので注意が必要です。

建設省のこれまでの土砂バイパスの検討では、粒径の小さいウォッシュロードのバイパスを主たる検討対象としてきた経緯があります。流域の土砂管理の観点からは、今後貯水池に流入する全ての粒径を視野に入れた検討が必要なものと考えます。このことは、貯水池の堆砂対策としても望ましいことと思われます。

4. 土砂フラッシング・スルーシング

土砂フラッシングは、貯水位を一時的に低下させて空虚にし、流水の土砂輸送力により堆砂をダム下流に放出するものです。土砂バイパスのような長い水路は必要ありませんが、水位低下操作が必要なことから、貯水池計画への影響は土砂バイパスの場合よりかなり大きくなります。土砂フラッシングでコントロールできるのは、基本的にはダム位置での水位と流量であり、下流への土砂供給量は堆砂面の侵食現象により支配されます。従って土砂供給量の制御は、堆砂・侵食現象のシミュレーションを通じなされることになり、シミュレーション手法の確立が大きな課題となります。これについては、推定精度の問題はかなり残されていますが、一応の計算はできるようになってきているといっていいいでしょう。

土砂フラッシングによる土砂供給は、貯水池内の物理現象に負う部分が大きく、粒径別供給量の補給という観点からの人的制御はかなり制約を受けることになります。また、堆積土砂を水位低下後の短時間に供給することから高濃度濁水や河道内堆積等の問題が生じやすく、これらの予測や影響評価が重要な課題となります。濁度については、海外においてSSと継続時間の積をパラメータとして考える事例が見られますが、環境への影響との関係は十分には把握されていないのが現状です。この他、土砂バイパスの場合と同様に、排砂水路の土砂輸送能力の把握と設計手法の確立、施設の摩耗・損傷量の把握とライニング及び補修方法の確立⁴⁾などが技術的課題として挙げられます。

治水専用ダムでは、常時の貯水を要しないので、貯水池計画との整合もとやすく、洪水調節用の放流管を元河床標高程度に設置し、貯水池を常時空虚としてやれば、ほぼ従来の河道と同様の土砂の供給が可能です。洪水調節時には、貯水位上昇による土砂堆積、低下による排出が行われるわけで、ダムがない場合と全く同じという訳にはいきませんが、洪水中の水位変化の中で大半の土砂移動が行われ、濁水や河道内堆積の問題はかなり軽減されるといいでしょう。ただし、洪水吐きという高速流放流設備が土砂も流下させることになり、施設の摩耗、損傷に対する一層の配慮が必要になります。技術的課題として放流設備や減勢工のライニング方法の確立や摩耗の少ない減勢工形式の開発が考えられます。

減勢工の摩耗についてですが、高速流となる水位上昇時には、大きな粒径の土砂はそれ程流下しないと考えられます（これは放流設備も同じです）。従って、高速流時の主たる摩耗として、減勢池内に堆積した土砂が減勢池内で発生する平面渦に取り込まれ、長時間に亘り水叩き面上を擦り続けることが考えられます。このことを考慮し、平面渦を生じさせず、高速流流下時には減勢池内の堆積土砂を下流にフラッシュする減勢工形式の検討を行っています⁵⁾。なお、こうした放流設備のゲート設置及び操作は、かなり制約を受けることが予想されます。

土砂フラッシングとともに、土砂スルーシングという用語も用いられるようになってきます。スルーシング、即ち、貯水池内に溜めることなく通過させるというもので、貯水位をある程度低下させ、出水時に流入する微細粒子をそのまま放流するような操作を実施している海外の事例で用いられている用語です。選択取水設備や放流管による洪水時の濁水放流もスルーシングの一つといえるかもしれません。選択取水設備や放流管による濁水放流は、従来は濁水対策として検討されてきた訳ですが、微細粒子の下流への供給という視点で捕えることもできます。濁水問題の検討手法として数値シミュレーション手法が確立してきており、貯水池内流動の3次元性評価など、数値シミュレーションの再現精度の向上を図るとともに、こうした検討手段を用いての施設の配置、運用方法と土砂供給量の関係の把握⁶⁾及び配置、運用方法の確立が課題となり、現在検討を行っています。

以上、流域土砂管理の視点から貯水池下流への土砂供給に焦点を絞って技術の現況と課題を整理してみました。堆砂対策の観点から土砂供給をみると、土砂供給量（堆砂対策としてみれば貯水池からの排出量）は大きければ大きいほどいい訳ですが、下流との関係からは、流入土砂の全量ではなく、ある程度調節する必要もあるものと思われます。その意味では、堆砂の有効利用やのり面対策といった、ここでは説明を省略した堆砂対策手法も、流域土砂管理として重要な技術ということが出来ます。

ところで、それぞれのダム貯水池で具体的な土砂管理計画を検討するためには、貯水池への粒径別流入土砂量の情報や堆砂性状に関する情報が必要になります。従って、こうした情報を収集するためのモニタリングが重要な作業として位置づけられます。ここでは、説明は省略しましたが、貯水池における土砂のモニタリングについても、今後の技術開発に負うところが多く、文献⁷⁾に現状と動向を整理しているので参考にして戴ければと思います。

参考文献

- 1) 上阪恒雄：貯水池の土砂管理、ダム技術、No.159、1999
- 2) 柏井、本田、菅原：ダム貯水池の土砂バイパス施設分派特性、土木技術資料 37-12、1995
- 3) 柏井、塚原、高橋：衝撃によるコンクリート損傷に関する基礎的検討、ダム技術、No.167、2000
- 4) 豊田高司、高須修二：排砂水路の摩耗対策、大ダム、No.138、1991
- 5) 桜井力、柏井条介：土砂放流を考慮した減勢工の水利設計、ダム技術、No.163、2000
- 6) 櫻井寿之、柏井条介：貯水池における出水時の微細粒子の捕捉、ダム技術、No.161、2000
- 7) 土木研究所ダム部水工水資源研究室：総合土砂管理におけるダムの土砂管理技術、ダム技術 Q&A、No.167、2000

11-4. 2 侵食海岸における調査法と最近の対策事例

質問者：本局河川部河川計画課

回答者：河川部海岸研究室（内線 4 2 3 5）

質 問

直轄皆生海岸（侵食対策実施中）での漂砂系外への流出量を定量的に把握するための調査方法と、系外流出を防ぐ侵食対策工法の最近の事例を御教授願いたい。

回 答

1. 漂砂系における土砂動態調査

総合的な土砂管理の観点から海岸保全を進める場合には、保全の対象とする海岸でどのような海浜変形が生じており、どのような土砂収支環境にあるか把握する必要がある。そのためには、図-1に示すように流砂系の確定、基礎調査、漂砂系の確定、長期土砂動態調査および短期土砂動態調査を行うのが望ましい。また、これらの調査で得られた成果から、漂砂系内の海岸における土砂動態について考察し、考察した土砂動態をもとにした海岸保全計画を立案することが重要である。

漂砂系内の海岸における土砂収支の検討において、流入土砂量より流出土砂量が多い場合には、土砂が漂砂系外に流出しているとして取り扱われる。この漂砂系外への土砂流出は沖浜や深海部の地形形成に寄与しているが、海岸保全を行う上では問題となることが多い。漂砂系外への土砂流出を定量的に把握するための調査手法としては、図-1

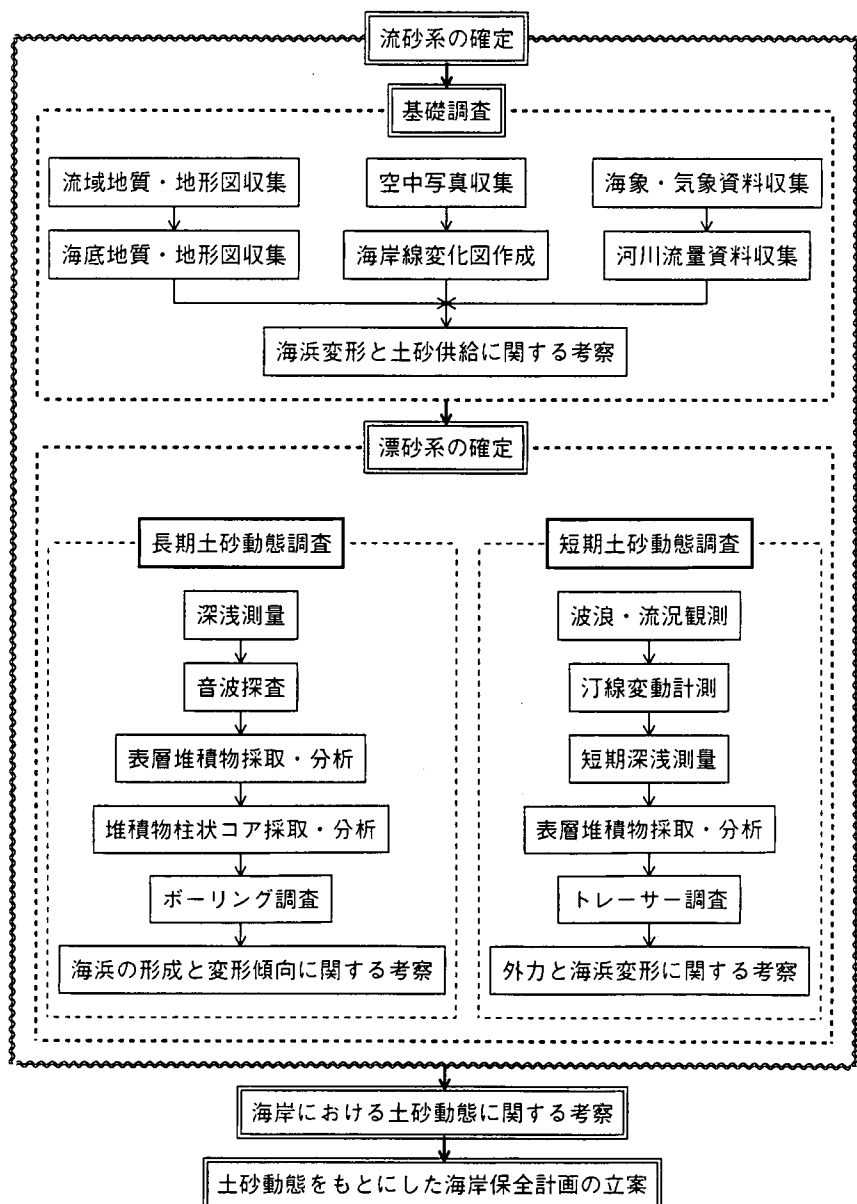


図-1 海岸保全計画立案の流れ

に示した長期堆積物調査での深浅測量解析や堆積物分析などが挙げられる．ここでは，深浅測量解析の一例を示す．

図-2の皆生海岸での深浅測量で得られた測線 No.67 の海浜断面形の変化を図-3に示す．1995～1998年の7月の断面形を比較すると，沖合のバーの変動に比較して汀線の変動が小さい．1995年のバーは1996年には岸側に移動しており，1997年には再びやや沖側にバーが移動した．1998年になると沖側に大規模なバーが見られるが，これは1998年1月14～16日の有義波高3mを越える高波浪により形成されたと考えられる．

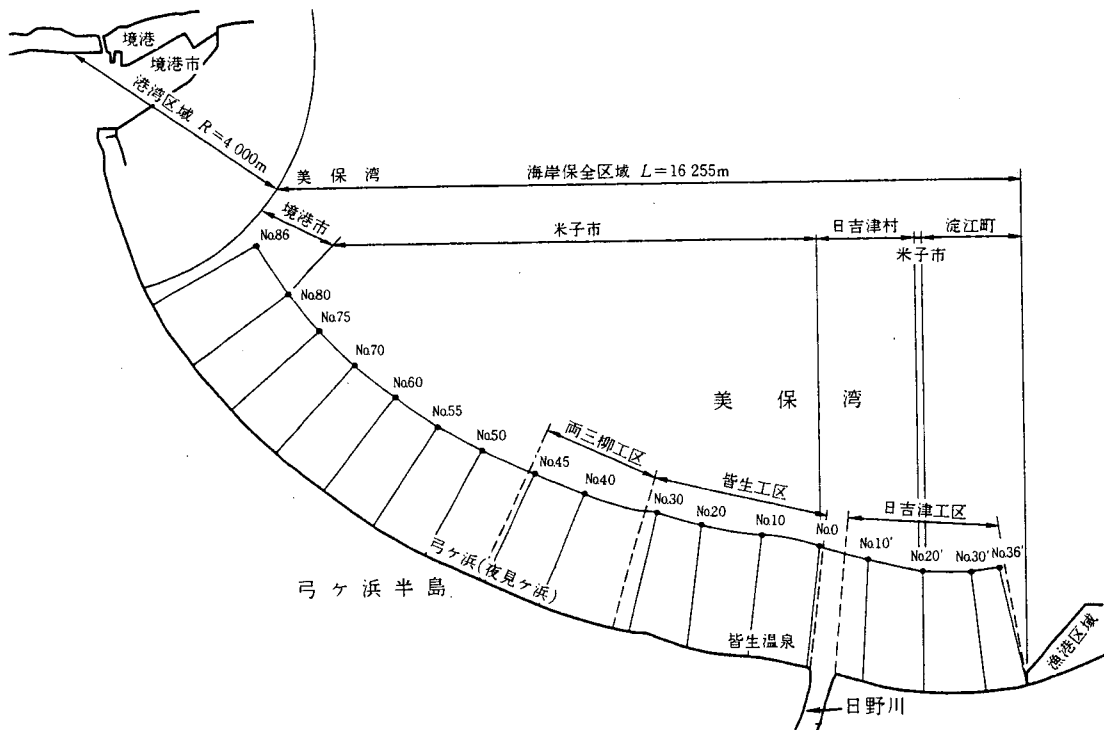


図-2 皆生海岸における測線位置

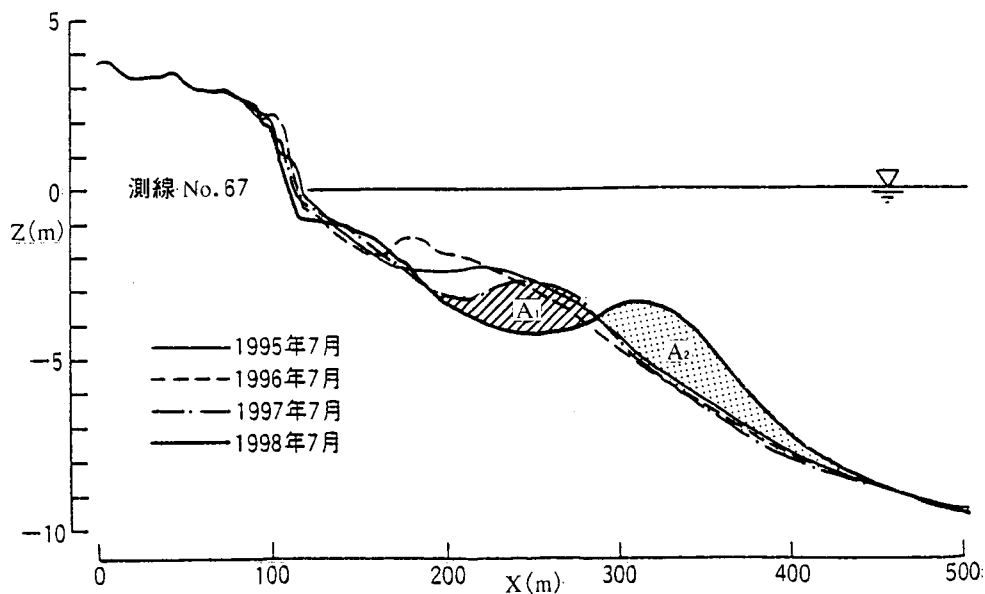


図-3 皆生海岸の測線No.67における近年の海浜断面形の変化

1997～1998年には $X = 290\text{m}$ を境として岸側で侵食が，沖側で堆積が生じているので，各々の断面積の変化量を概略計算により求めた．これによれば， $X = 290\text{m}$ より岸側の断面積の減少量は約 $A_1 = 100\text{m}^2$ ，沖側の断面積の増加量は約 $A_2 = 150\text{m}^2$ となる．ここで，

測線 No.67 の断面変化が沿岸方向の約 100m 区間で生じたと仮定し、断面積の変化量にこの沿岸方向距離 100m を乗ずると、侵食量は $V_1 = A_1 \times 100 = 1.0 \times 10^4 \text{m}^3$ 、侵食量は $V_2 = A_2 \times 100 = 1.5 \times 10^4 \text{m}^3$ となる。

以上のように、深淺測量データから得られる各測線の海浜断面形を解析すると土砂量を求められる。したがって、沿岸方向と岸沖方向に境界を設定すれば、その設定した区域から外への土砂流出量を定量的に把握することができる。

2. 漂砂系を考慮した侵食対策

皆生海岸の地形変化の限界水深は約 8m とされており、この水深を漂砂系の沖側境界 ($X = 420\text{m}$) とすれば、1995 ～ 1998 年におけるバーの発達などの変形は漂砂系内で生じ、沖側への土砂流出はほとんどないことになる。すなわち、図-3 に示した変形は漂砂系の観点からは許容範囲の変形と言え、海岸侵食として位置付けられないので海岸保全対策を行う必要性は小さい。

しかし、1995 ～ 1998 年の断面形の変化を見ると、1997 年までは水深 5m 以浅でバーが岸側や沖側に移動する可逆的な変形を示すが、1998 年には沖側への土砂移動がかなり大きく非可逆的な変形が生じた可能性がある。したがって、1998 年の海浜断面形から 1996 年の断面形に復元しなければ、水深 5m 以浅では土砂が沖側に流出したことになる。このことは、水深 5m 以浅では海浜断面積が減少したため、水深 5m で碎波しない波の作用時にうちあげ高が増大することを意味し、海岸保全上問題となる場合がある。

そこで、以下の仮定のもとで、浅海部からの土砂流出に伴う侵食の対策について考察する。まず、1997 年までの測線 No.67 の断面形の変化が $X = 300\text{m}$ より岸側(水深 5m 以浅)で生じていることから、この区間を保全の対象とする区間とする。対象とする区間における 1995 ～ 1997 年にかけての断面形の変化を通常の可逆的な海浜変形とする(図-4)。1997 ～ 1998 年には $X = 300\text{m}$ より岸側が大きく侵食され、それが $X = 300 \sim 450\text{m}$ に堆積したことから、これを非可逆的な海浜変形が生じたとする。すなわち、1997 ～ 1998 年に対象とする区間から高波浪の作用で沖側に土砂が流出して、海岸侵食が生じたと仮定する。

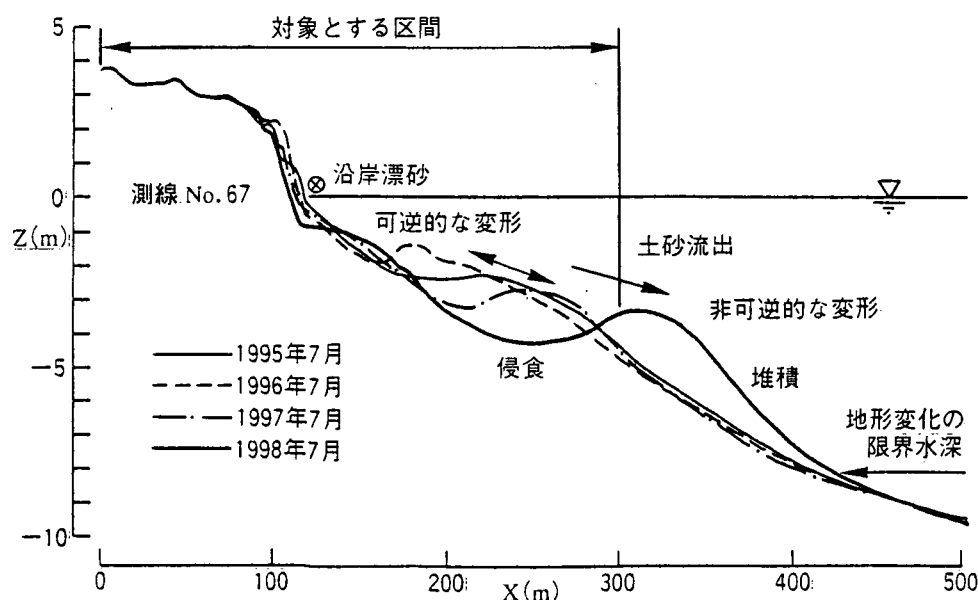


図-4 対象とする区間の設定と可逆・非可逆的な変形

この海岸侵食の対策としては、対象とする区間より沖側への土砂流出を許容した状態で、岸側に土砂を投入する純粋な養浜を行えばよい(図-5)。この場合、対象とする区間の沖側には土砂流出によって形成された地形が残されているので、岸側の海浜はより安定すると考えられ、養浜は数回行えばよい。また、人為的に沖側に流出した土砂を採掘し岸側に

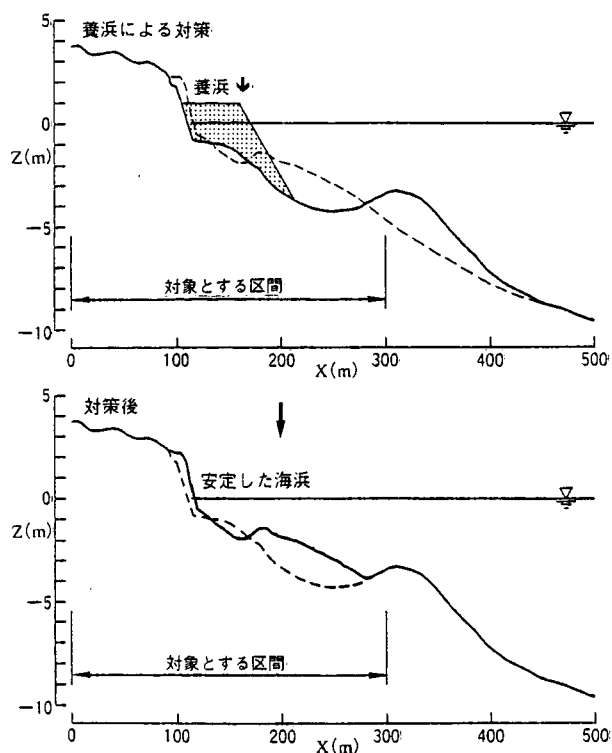


図-5 養浜による対策

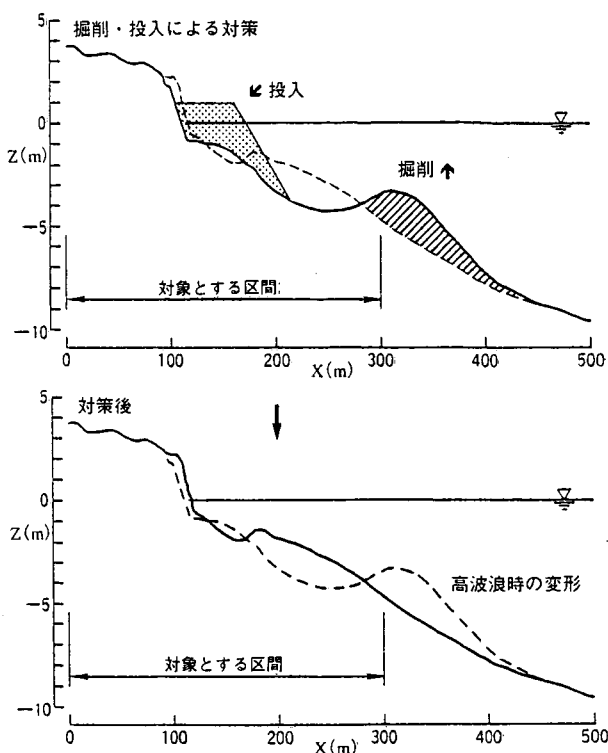


図-6 掘削・投入による対策

投入する方法が考えられ、この工法は一種の養浜(岸沖のサンドリサイクル)と言える(図-6)、しかし、この工法においては、高波浪時に大きな地形変化に伴う沖側への土砂流出が生じるごとに行う必要があり、継続性を有する。

次に、沖合への土砂流出を防止する方法についての案を述べる。対象とする区間の沖側境界 $X = 300\text{m}$ 付近に、没水型の構造物を設置し沖側への土砂流出を防ぐ方法である。構造物としては消波を目的としないため、不透過型の潜堤(幅の狭い人工リーフ)とすれば問題は少ないと考えられる。沖合への土砂流出防止を目的とした不透過型の潜堤の実施例はないが、新型離岸堤の適用などを含めた検討が必要とされよう。

3. おわりに

以上では、主に岸沖漂砂に伴う漂砂系外への土砂流出の対策について述べてきたが、沿岸漂砂に伴う漂砂系外への土砂流出が問題となる場合もある。この場合の対策としては、漂砂の堆積域で土砂を採取し、侵食の著しい場所に土砂を投入するサンドバイパスとサンドリサイクルがある。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。また、ヘッドランドにより長大な漂砂系を区切り、保全が可能な小さな漂砂系を創出方法も考えられる。

漂砂系外への土砂流出に伴う海岸侵食の対策事例としては、沿岸漂砂に起因する場合は皆生海岸で行われているサンドリサイクルや、大野鹿島海岸に施工されたヘッドランド群が位置付けられる。しかし、岸沖漂砂に起因する沖合への土砂流出の対策工については、現地海岸で実施された例はほとんどなく、漂砂系を考慮した海岸保全計画論の確立とともに今後の研究課題と言える。

II-5. 1 施設の点検効率化、健全度評価技術

質問者：中国地方建設局道路部道路管理課

回答者：道路部トンネル研究室(内線 4 6 6 1)

：構造橋梁部構造研究室(内線 4 8 3 2)

：構造橋梁部基礎研究室(内線 4 8 2 1)

：道路部舗装研究室(内線 4 6 5 1)

質 問

昨年、トンネルにおけるコンクリート片崩落などが発生しており、公共構造物の利用者たる国民は、その施工段階や供用時の維持管理に関して疑問を抱いている。

このような背景の中、中国地建が所管する膨大な社会資本ストックに対して、国民が安全かつ快適に使用できる環境を維持するために、適切な維持管理の実施が重要であると考ええる。

ついては、現時点における社会資本の効率的かつ信頼性の高い維持管理技術についてトンネル、橋梁基礎、橋梁等を対象に現状の技術とその精度および技術開発動向について、ご教示願いたい。

回 答

(1) トンネル

トンネルの維持管理技術について

トンネルの変状は初めに覆工コンクリートに現れるため、トンネルの点検は覆工コンクリートに発生しているクラック、浮きの状態、漏水の有無を調査することが基本となる。これら調査項目のうち、覆工コンクリートのクラック調査は、従来は目視により行う方法が一般的であったが、最近では、レーザ光を用いる方法、CCDカメラを用いる方法などが実用化されている。特に、道路トンネルではレーザ光を用いるケースが増えており、片側通行規制で計測車を走行（走行速度約4~7km/h）させることにより幅0.5mmまでのクラックの検出が可能で、計測結果を画像処理して記録に残すこともできるようになっている。ただし、一般的に普及するには画像処理費が高いのが難点となっている。また、覆工コンクリートの浮きについては、現在のところは計測車を走行（走行速度2km/h）させてヒーターにより覆工を加熱し、赤外線カメラで撮影した赤外線放射量を画像処理する方法が実用化されているが、検出限界が深さ10mmであるため、確実性という点から打音検査に頼らざるを得ないのが現状である。

点検の結果、変状が認められた場合には、変状原因の推定、対策工の必要性を判定することを目的として、調査が行われる。調査項目の主なものとして、トンネル周辺地山の地質調査、クラックの詳細調査、覆工コンクリートの強度および厚さ、背面空洞の有無、トンネル断面の形状調査が挙げられる。これらのうち、トンネル覆工コンクリートの巻厚および背面空洞を調査する方法は、従来はボーリングによりコア採取する方法が用いられてきたが、最近では電磁波を活用した方法が実用化されている。電磁波法は、トンネル覆工コンクリートを破壊せずに、また、片側通行規制で計測台車などを走行（走行速度1~4km/h）させることにより連続的に計測できるなどの利点を有しているため、道路トンネルでの活用が増えている。適応可能なコンクリート厚さは90cm以内、コンクリート厚さの測定精度は±5cm以内、適応可能な空洞厚さは10cm以上150cm以内、空洞厚さの測定精度は±10cm以内とされている。課題としては、測定精度が現場条件に依存することがあるため、事後の確認ボーリングがおおむね100~200mに一カ所程度必要とすることが挙げられる。また、クラック調査やトンネル断面の形状調査は、従来は変位計によりクラックの開口幅や内空変位を計測する方法が用いられていたが、最近では光ファイバーを用いてトンネル

全体の変形を計測する方法が試みられている。

調査結果が得られると、トンネルに発生した変状の原因を推定した上で、トンネル構造物としての安全性、コンクリート片剥落等による第3者被害の可能性等の観点から健全度の評価を行い、必要に応じて対策を行うことになる。トンネルに発生した変状の原因は、大きくは経年劣化や温度収縮などの内的要因によるものと外力の作用によるものに大別されるが、変状原因の推定は、現在のところはクラックの性状（発生位置、長さ、幅、部材断面に対するクラックの発生角度など）、トンネル周辺の地質状態、背面空洞の有無、覆工厚さなどの資料から総合的に判断して行われている。また、健全度の評価は、覆工の変形速度、クラックの進行性の有無、形状、幅、長さ、覆工コンクリートの強度低下の程度、浮き・はく離の有無などを指標として総合的に行われている。しかし、変状原因の推定および健全度の評価はいずれも評価者の経験的な技術に依存せざるを得ないのが現状であるため、経験が少ない者でも得られた情報から定量的に評価できるような手法の開発が急がれているところである。

（２）橋梁構造

一般的に、橋梁に発生した劣化現象に対しては、早期に対策を講じることが効果的であることから、経年による橋梁の健全度を評価し、適切な補修を実施していくことが、効率のかつ信頼性の高い維持管理に求められると考えられる。橋梁の点検は、橋梁の維持管理を実施していく上で最も基本的かつ重要な役割を果たすものであり、全国的に点検内容及び水準を一致させることを目的として、昭和63年7月に橋梁点検要領(案)¹⁾が定められている。この橋梁点検要領(案)に基づく点検結果をもとに適切な補修を実施することにより、橋梁が健全な状態に保たれるものと考えられる。橋梁点検要領(案)では、橋梁の部材毎、損傷の種類毎に、損傷度をⅠ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ、OKの5段階で評価することとなっており(表-1)、具体的な判定については「損傷度判定基準(案)」に基づき実施しても良いとしている。

表-1 損傷度判定標準

判定区分	一般的状況
Ⅰ	損傷が著しく、交通の安全確保の支障となる恐れがある
Ⅱ	損傷が大きく、詳細調査を実施し補修するかどうかの検討を行う必要がある
Ⅲ	損傷が認められ、追跡調査を行う必要がある
Ⅳ	損傷が認められ、その程度を記録する必要がある
OK	点検の結果から、損傷は認められない

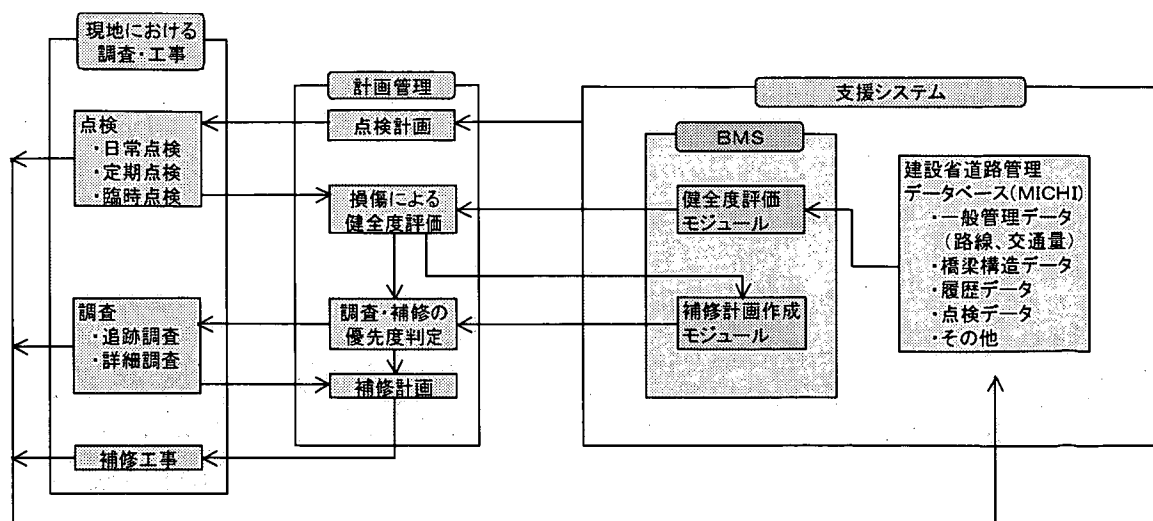


図-1 橋梁維持管理の概念

維持管理を効率的に進めるため、構造研究室では橋梁の健全度の推定及び効率の良い補修方法を選定することができる橋梁マネジメントシステム（BMS）を開発しており、すでに幾つかの事務所で試験的に運用していただいているところである。BMSの詳細については、土木研究所資料²⁾を参照していただくとして、以下に概要を述べる。

BMSは、図-1に示す橋梁の維持管理における「点検」、「評価」、「補修」の3つの作業のうち、評価と補修の計画の一部をコンピュータ化したものであり、各橋梁の健全度を推定するとともに、部材毎、補修方法毎の利得（機能回復の効果／投資）が一覧表として表示されるため、合理的な維持管理計画の作成を支援することが可能となる。

健全度評価モジュールは、橋梁点検要領(案)に従い点検された建設省道路管理データベースシステム(MICHI)上のデータを用いて橋梁の健全度を判定するもので、橋梁を構成する部材毎の損傷度を満点から減点して評価を行うものである。

また、補修計画作成モジュールは、健全度評価モジュールの結果をもとに、複数の補修計画を立案し、補修費用に対して補修のもたらす便益（補修により減額される将来の維持更新費用）を最大とするように予算計画に合わせて補修計画を選定するものである。

今後、莫大な橋梁ストックを安全かつ快適に使用できる環境を効率的に維持していくためには、健全度評価、補修費用およびその効果についての推定精度を向上させ、BMSをより精度の高いものに改良し、実用化していく必要がある。そのため、非破壊検査等の技術により橋梁の損傷度を定量的に把握する手法の開発を始めており、BMSをより精度が高く効率的な維持管理が可能となるシステムへと改良を行っていく予定である。

また、重要な橋梁や老朽化の進んだ橋梁にセンサーを取り付け、常時監視を行うことにより維持管理の省力化を行うことができる橋梁モニタリングシステムの開発も行っているところである。

参考文献

- 1) 建設省土木研究所：橋梁点検要領（案），土木研究所資料第2651号，昭和63年7月
- 2) 建設省土木研究所：橋梁マネジメントシステムの開発に関する調査研究報告書，土木研究所資料第3633号，平成11年3月

（3）橋梁基礎

橋梁基礎の代表的な変状、損傷に洗掘および地震がある。以下に、基礎研究室が最近開発したこれらに対する調査点検手法について説明する。

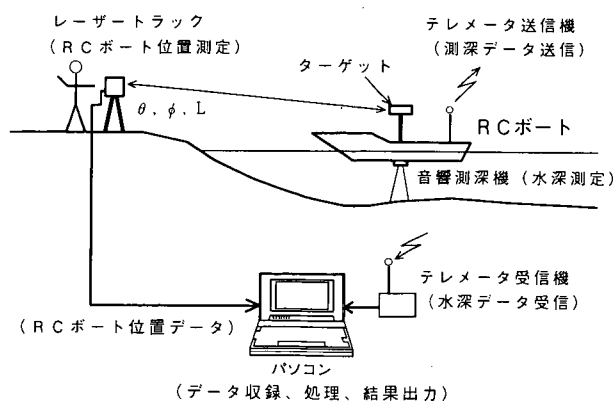
（1）洗掘調査方法

橋梁基礎の洗掘に対する点検・調査は、水上からスタッフなどを用いて基礎周辺の河床深さを計測することが多く、水中部の詳細な調査が必要な場合には潜水土による調査を実施することとなる。しかし、準備・計測作業に多大な時間を要し、また費用も安価ではない。そこで、安全かつ迅速に計測できる洗掘調査装置の開発を行った。

①ラジオコントロールボートを使用した洗掘調査手法

ラジオコントロールボート（以下、「RCボート」）にデジタル式音響測深機を搭載し、橋脚周辺の河床水深を測定する。川岸にはトータルステーションを設置しRCボートの位置を測定する。これらの両データはパソコンに自動的に取り込まれ、データ処理を行うことにより現地で河床状況を確認することができる。

計測可能深度は0.5～100m、精度は $\pm 2\text{cm} \pm \text{水深} \times 1/1000$ である。1計測地点で約40,000 m^2 を計測できる。計測結果は、デジタル値として表示できるのは勿論のこと「平面等高線図」「鳥瞰図」としても表示できる。

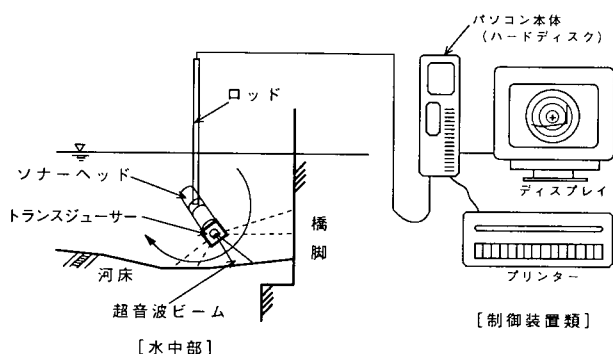


計測システム概念図

②橋上から測定機器を降ろし計測する手法

橋上の高欄越し、または橋梁点検車の作業足場から計測機器（カラーイメージングソナー）を降ろし基礎周辺の河床形状を計測する方法で、現地で比較的簡単に洗掘状況を計測できる。RCボートの計測のように河川の広範囲にわたって調査するものではなく、橋脚周辺の範囲を調査するものである。計測結果はパソコン画面上に河床断面として表示されるため、現地で洗掘状況を把握できる。

計測可能深度は0.5～100m、精度は±2cmである。



計測システム概念図

③洗掘監視装置による計測

上記の2手法は洪水前、または洪水後の静的な時期に河床面の計測を行う手法で、洪水中は流速が速いこと、流下物等が多いことから計測を行うことは困難であり、洗掘の進行状況を逐次把握することはできない。また、洪水が治まった後では一度洗掘された箇所が二次堆積物で埋め戻されてしまうため、設計上考慮できる地盤面を計測することができない。そこで、洪水中でも河床の低下を測定することができ、しかも、二次堆積物の影響を無視した最大洗掘深を計測できる装置の開発を行った。

①リング式

計測パイプを河床に建て込み、そのパイプに磁力を持ったリングを通し河床面まで沈める。洗掘により河床面が低下すると、リングもそれに追従して沈下する仕組みである。計測はパイプ内部にマグネットセンサーを挿入し、リングの位置を測定することで洗掘深さを把握するものである。

②電磁式

パイプを河床に建て込み、そのパイプ内部に磁石の有無を感知するセンサーを取り付ける。磁石は管外に配置する。洪水により河床の土砂が流出し、磁石が流水圧により流失するとセンサーが感知する。その変化を計測することによって洗掘深さを調査する手

法である。

(2)地震による損傷調査方法

従来の橋梁基礎の損傷調査では、掘削による目視調査、地盤調査に類似した手法による調査が行われてきた。しかし、掘削による目視調査は、時間および費用が多額となり、また、地盤調査に類似した手法は、その精度および信頼性が不明確であった。そこで、兵庫県南部地震の後、大規模な掘削を必要としない損傷調査手法の開発を行った。

①ボアホールカメラ

ボアホールカメラは、調査対象物に直接ボーリングを行い、CCDカメラ等をボーリング孔内に挿入し、孔壁の損傷状態を確認する手法である。本調査手法では、損傷位置、クラック幅を調査現場において直接モニター画面で確認でき、損傷度の判定が可能である点が特徴である。ボーリング時に掘削孔表面のクラック部が欠けてしまう場合があるが、カメラの精度を上げることにより欠けた部分の奥のクラック幅をほぼ正確に把握することが可能である。

②インティグリティ試験

インティグリティ試験は、フーチング上面または杭頭部をハンマで打撃し、基礎の中を伝わる弾性波を打撃位置近傍に設置したセンサで計測し、損傷位置を判定する手法である。本調査では、損傷度までは調査できず、また、損傷箇所が複数ある場合、弾性波が深い位置まで透過せず、損傷位置を全て特定することは困難である。このため、本調査は損傷の有無、位置の概略の把握に用いられる。

③衝撃振動試験

衝撃振動試験は、橋脚等の構造物が持つ固有振動数を目安として健全度評価を行う試験である。固有振動数は、構造物の重量、剛性、強度、および地盤の支持力により決定されるもので、基礎が損傷を受けると固有振動数が変化するので基礎構造物の健全性を評価する目安となる。調査は加速度計等を橋脚に設置し、重錘により橋脚を橋軸直角方向に打撃して求めた応答振動数と、設計基準から求める部材剛性、地盤バネ定数とを比較して健全性を評価する。また、本調査では地震時の損傷だけでなく洗掘によって基礎が不安定な場合にも適用できる。

参考文献

- 1) 建設省土木研究所ほか：橋梁下部構造の計測・診断技術の開発に関する共同研究報告書－橋梁基礎の洗掘調査マニュアル(案)－、共同研究報告書、第157号、1997.1
- 2) 建設省土木研究所ほか：橋梁下部構造の計測・診断技術の開発に関する共同研究報告書－橋梁基礎の洗掘調査装置取扱要領(案)－、共同研究報告書、第158号、1997.1
- 3) 建設省土木研究所ほか：橋梁基礎構造の形状および損傷調査マニュアル(案)、共同研究報告書、第236号、1999.12

(4) 舗装

供用開始当時健全であった舗装が破壊するのは、交通荷重を支持する躯体部分が繰り返し荷重により疲労破壊を起こし、ひび割れてしまうことによる。この疲労ひび割れは舗装最上部の表面層から発生するひび割れとは区別されるが、最終的には表面層まで達し、路面の供用性能を著しく低下させる。このため、表面層の下にある躯体の健全度を路面のひび割れ率で判断するのではなく、非破壊試験により評価する方法が必要とされ、その一つとしてFalling Weight Deflectometer が提案されている。これは錘を路面に落下させ、影響範囲の変位量を測定することで舗装を構成する各層の弾性係数を推定するものである。

路面の供用性能の低下や舗装の疲労破壊は徐々に進行するため、日常の巡回や定期的な調査により計画的な修繕が可能である。これに対し、都市内の舗装より深部の地下埋設物件周辺の空洞が原因で発生する道路陥没は瞬時に発生するため、より慎重な対応が必要となる。また、都市内であることから、その点検方法は非破壊で広範囲を迅速・正確かつ交

通を妨げずに探査できるものでなければならない。このために、開発されたのが空洞探査車（舗装構造探査車）である。1次調査として、探査車が走行し、搭載した地中レーダーにより異常箇所を特定する。次に2次調査として、異常箇所についてハンディ型地中レーダーを用いて空洞の有無とその広がりを判定する。最後に空洞と判定した箇所で、小口径ボーリングを行い、空洞状況を画像として記録する。

疲労破壊にしても、空洞にしても早期に発見し、早めに処置することが重要である。

II-5. 2 コンクリート施工上の品質管理のあり方

質問者：中国技術事務所

回答者：材料施工部コンクリート研究室（内線4761）

質 問

昨年のJRトンネルにおけるコンクリート片崩落などコンクリートの施工不良が問題となり、確実な施工が要求されている。コンクリート構造物の強度や耐久性を評価するうえにおいて、現状の品質管理項目で特に注目すべき点や頻度、また、新たな検査手法の技術開発の現状についてご教示願いたい。

回 答

1. 三省合同「土木コンクリート構造物耐久性検討委員会」の調査結果

建設省、運輸省、農林水産省は、平成11年度、JRトンネルにおける剥落事故の発生等を受け、既存のコンクリート構造物の性能を維持し、新設構造物についてはさらに耐久性を向上させることを目的として「土木コンクリート構造物耐久性検討委員会」（以下、委員会）を設置しました。委員会では、既設コンクリート構造物やフレッシュコンクリートの現状分析に資するべく「コンクリート構造物に対する追加実態調査」（以下、実態調査）を行いました。その結果、

- ① 既設構造物の劣化原因としては、「コンクリート低品質（豆板、コールドジョイント、遊離石灰、ひび割れ等が顕著なもの）」がもっとも多かった。これに該当した事例の中では、豆板やコールドジョイントのように施工に起因することが明らかな事例が目立った。
- ② 既設構造物の劣化原因として二番目に多かったのは、「配筋不良（かぶりが不足していると推測されるもの）」であった。これも施工に起因する劣化であるといえる。
- ③ コア供試体を採取して圧縮強度試験を行った193件の事例のうち、16件の事例では、設計基準強度を下回る結果であった。ただし、試験したものの平均を取ると設計基準強度の約1.35倍の強度が確保されていた。また、竣工年代別に見ると新しい構造物ほど強度のばらつきが小さくなっており、1985年以降に竣工した38件の事例の中には強度不足の事例は見られなかった。
- ④ 委員会設置時に施工されていた100件の事例で打ち込み直前にフレッシュコンクリートを採取して圧縮強度試験を行ったところ、強度不足の事例は見られなかった。といった知見が得られました。

2. 現状における施工時の品質管理の要点

さて、コンクリート構造物の施工時の品質管理項目は、形状・寸法に関するもの、材料に関するもの、施工作业に関するものの三つに分けることができると考えられます。

2.1 形状・寸法に関する品質管理

まず、設計図面どおりに施工されているか、ということです。コンクリート構造物の場合、型枠が設計どおりに組み立てられているか、型枠や足場の強度は充分か、コンクリートの打設作業に障害となる部分が無いか、などを確認する必要があります。

また、鉄筋の配置については特にかぶり厚さに注意する必要があります。実態調査では、コンクリート表面に鋼材が露出していたり、鋼材の腐食に伴ってかぶりコンクリートが剥落している事例が、少なからず見られました。かぶりの確保に関しては、コンクリートまたはモルタル製のスペーサの開発や「塩害対策指針（案）」におけるスペーサの必要数の明記などにより、従前よりも改善されていることと考えられますが、今後も配筋検査にお

いてかぶりの確認等を徹底することが重要です。特に、橋梁上部工のような設計かぶりと比較的小さな部材では、かぶり不足の箇所での中性化に起因する鋼材の腐食が構造物の耐用年数を縮めるだけでなく、かぶりコンクリートの剥離・剥落による第三者被害につながるおそれもあり、注意を要します。

2.2 材料に関する品質管理

コンクリートの強度・耐久性は主に水とセメントの質量比（水セメント比）と空気量によって決まります。このうちのセメント量はプラントの印字記録から容易に把握できますが、単位水量は細骨材の表面水量の調整などのため実際の量が把握しにくく、空気量は運搬中に変化します。このため、単位水量と空気量の把握が重要となり、フレッシュコンクリートに対してスランプ試験、空気量試験が行われています。スランプ試験はコンシステンシーを評価する試験ですが、コンシステンシーに最も影響を与える単位水量を間接的に測定しているといえます。しかし練上りから時間の経過したコンクリートや特殊な混和剤を使用した場合にはスランプ値と単位水量は対応しません。このため、28日間標準養生した供試体による圧縮強度試験によって配合の検証が行われています。また、鉄筋の腐食を防止する目的からフレッシュコンクリートの塩化物イオン濃度の測定が行われています。

実態調査では、既存構造物の圧縮強度試験結果のばらつきが年代とともに減少していることや、1986年に導入されたコンクリートの塩分総量規制が使用材料に含まれる塩分に起因した塩害の防止に効果を上げていたこと等から、これらの品質管理項目が、一定の役割を果たしていることが確認されました。ただしこれらの試験は全てのコンクリートに対して実施されるものではありません。例えばスランプ、空気量などは150m³に1回の検査とされ、それ以外は荷卸し時に目視による観察を行い、異常がある場合には検査を行うことになっています。重要な構造物に対しては測定頻度を高める方法もありますが、闇雲に測定頻度を高めるのは施工管理費の高騰につながり、合理的ではありません。日頃からコンクリートの性状に精通した現場管理者がコンクリートの性状を監視し、変化が認められた場合にはすぐに検査を行う体制が必要です。

2.3 施工作業に関する管理

現場でのコンクリートの運搬や打込み、養生等の施工作業については、土木工事共通仕様書等に基づき適切に行われなければなりません。実態調査の結果では、残念ながら施工時の作業が適切ではなかったことが疑われる構造物が多数見られました。

施工時の不適切な作業としては、締め固め不良によるアバタの発生、運搬設備の故障（ポンプの目詰まり等）などによる打込み中断によって生じるコールドジョイント、養生不良によるクラックの発生や凍害等があります。特に養生に対する管理については、比較的小さなことにされがちです。コンクリートは湿潤状態を保たないと強度が発現しませんので、特に若材齢での養生は重要です。また外気温が急激に低下する秋季や冬季では温度ひび割れや凍害に注意が必要です。

また、施工性を重視するあまりに不法加水（フレッシュコンクリートに水を足す行為）が行われていることも指摘されています。この問題については指定配合に対して能力に余裕のある施工機械（ポンプ等）を配備することは当然ですが、鉄筋の過密配置等で締め固めに困難が予想される場合にはコンクリートの配合を変更するなど、設計面へのフィードバックも必要と考えます。

これら施工中の管理については定量的な検査は困難ですから、無理のない施工計画の立案、異常時の対応策の検討、および、現場管理者が施工者への指導を充分に行い、また見回りを怠らないことが重要です¹⁾。

3. 近年の検査技術の動向

コンクリート構造物の品質検査技術について、最近の研究の動向について紹介いたします。

3.1 フレッシュコンクリートの単位水量迅速推定法

2.2で述べたようにフレッシュコンクリートの単位水量が増加すると強度や耐久性が低下するばかりか、乾燥収縮量が増加し、ひび割れが発生しやすくなります。フレッシュコンクリートの単位水量を迅速に推定しようとする方法としては、表-1に示すように様々な試験方法が提案され、研究が進められていますが、精度や手間の関係で施工管理への適用には至っていないのが現状です。

表-1 単位水量迅速推定法の種類と特徴

原理による分類	主な種類	所要時間	特 徴
(1)コンクリート中の水分量を直接測定	・加熱乾燥法(乾燥炉、電子レンジ法) ・遠心分離法	15~30分 約20分	水分を完全に乾燥させることが可能 完全な分離は不可、補正が必要
(2)コンクリートの単位容積質量から単位水量を推定	・気中質量と水中質量の差による方法 ・エアメータ法	約20分 1~2分	材料の密度や配合が正確に把握されていないと推定精度は低下する エアメータ法は作業が簡便
(3)水分量を反映する特殊な物理量を測定	・RI法 ・静電容量法	5~10分 約10分	計測は簡便、特殊な試験装置が必要 検量線が必要
(4)試薬を混入し、その濃度を測定	・アルコール濃度法 ・塩分濃度法	約20分	係数を求めるための予備試験が必要

これらの手法のなかで、原理が単純で誤差要因が少なく、比較的高い推定精度の得られる手法としては加熱乾燥法²⁾があります。しかし、乾燥後の試料を洗いだして粗骨材量を測定するなど手間がかかります。また、RI法や静電容量法等については各メーカーが開発研究を行っておりますが、短時間、高精度の結果を得るには至っていないのが現状のようです。試験法の中にはウェットスクリーニングしたモルタルを使用する手法もありますが、ウェットスクリーニングの程度によってモルタルの成分が変化してしまうので、結果の解釈には注意が必要です。

一方、現場への適応が最も容易な方法としてはエアメータ法³⁾があります。エアメータ法は、エアメータ中の試料の容積、質量および空気量から単位容積質量を計算し、単位容積質量の変化から単位水量を推定するものです。実際の測定作業としては、空気量測定時にあわせて質量を測定するだけで済みます。しかしながらコンクリート質量の大半は骨材が占めるため、骨材の密度や配合が正確に把握されていないと単位水量の推定精度が著しく低下するという問題点もあります。このため、単位水量の絶対量の把握には不向きですが、単位水量の変動を相対的に把握するには有効な手法と考えます。

このような各手法の得失を反映し、抜き打ち的な品質検査には加熱乾燥法のような手間はかかっても高精度な方法を適用し、日常の施工管理には簡易なエアメータ法を適用するのが良いと考えます⁴⁾。

なお、抜き打ち検査を行うための体制（誰がどういう立場で行うか）や、検査結果の判定基準等については今後の検討課題となっています。

3.2 硬化コンクリートの品質検査技術

構造物中のコンクリート品質を確認する必要がある場合、現状の既設構造物の調査では、φ100mm前後のコアを採取して圧縮強度試験を行うことが一般的です。しかし、この方法は構造物を大きく傷つけてしまうことや部材によっては十分な寸法のコアを得ることが難しいことから、新設構造物にも適用できる、非破壊（または小規模な破壊）でかつ低コストな試験方法の開発が望まれています。

もっとも広く検討されている方法としては、テストハンマーを使用してコンクリートの強度を推定する方法があります。ただし、検査として用いるほどに精度良く測定するのは

難しいのが現状です。強度に着目したものとしては、他にも構造物への影響を小さくするためにコア径を小さくした小径コアを用いた強度試験方法等の研究が行われております。

コンクリートの密実さに注目した試験方法としては、超音波・電磁波等の伝播速度を計測する方法やコンクリートの電気抵抗を測定する方法、空気や水を圧入してその透過量を調べる方法等が提案されており、一部についてはコンクリート研究室でも検討を行っています。しかし、これらの方法の現場での適用には、精度やコストの面でまだまだ多くの課題が残されています。

3.3 形状・寸法に関する検査技術

配筋やかぶりについては、レーダーや電磁誘導法を用いた検査機器が製品化されています。これらの検査機器は、コア抜き箇所の選定などの際に活用されていますが、かぶり等の検査に用いるには、さらなる精度の向上が望まれます。

構造物の背面が地盤に接する場合などに部材の寸法を測定する方法として、超音波、インパクトエコー、レーダー等を用いた方法があり、これらの方法についても精度向上が課題となっています⁵⁾。

4. おわりに

施工中や完成後のより高度な品質検査技術、補修技術の確立を目指さなければなりません。しかしながら、検査技術が向上したからといって構造物の品質が向上するわけではありません。常により良い施工を心掛けることが最も重要です。施工作業の品質を確保するためには、施工者側では、無理がなく施工条件の変化に対応できる施工計画を立てることが、発注者側では、コンクリートに精通した監督職員が立ち会い、適切な施工が行われるように指導、監督することがもっとも効果的であり、重要であると考えます。

参考文献

- 1) 土木学会土木施工研究委員会第3施工小委員会：「土木施工なんでも相談室ーコンクリート工編ー」，1998
- 2) 片平博，河野広隆：加熱乾燥法によるコンクリートの単位水量迅速推定法，土木技術資料，Vol.41，No.12，pp.62-67，1999
- 3) 片平博，河野広隆：エアメータを利用したコンクリートの単位水量迅速推定法，土木技術資料，Vol.42，No.3，pp.64-69，2000
- 4) 河野広隆，片平博：建設技術Q & A「フレッシュコンクリートの単位水量を迅速に推定する方法について」，土木技術資料，Vol.42，No.4，pp.6-7，2000
- 5) 森濱和正：超音波による正確なコンクリート版厚の測定方法，土木技術資料，Vol.41，No.2，pp.38-43，1999
- 6) 河野広隆，古賀裕久：コンクリート構造物の規準類の性能規定化と検査のあり方に関する考察，土木学会論文集 No.651 / IV-47，pp.1-10，2000

II-6. 1 新技術による環境対策の効果

質問者：中国幹線道路調査事務所

回答者：環境部交通環境研究室（内線 4 1 5 7）

質 問

①道路騒音の要因のひとつとして高架構造物音があり、そのメカニズムや対策として考えられる高架裏面吸音板による対策効果の定量把握について、検証事例等も含めご教示願いたい。また、高架構造物音は、速度 60 km/h 以上が対象となっているが、それ以下の速度での予測式があれば、併せてお願いしたい。

②その他、最近の道路騒音対策の現状についてもご教示願いたい。

回 答

①高架構造物音について

●高架構造物音とは

高架構造物音とは、自動車の走行により高架構造物の桁や床版が振動し、これが音として空気中に放射されるもののことである。

●高架構造物音の予測計算方法

この高架構造物音の予測は、日本音響学会が提案している道路交通騒音の予測手法である「ASJ Model 1998」で次のように取り扱うこととされている¹⁾。

A 特性パワーレベル 95.3 dB

音源の位置 無指向性の移動点音源を高架橋の桁直下（鋼鈑桁橋は主桁の下フランジの位置，コンクリート橋で下面が平らな場合にはその位置）で上下線のそれぞれ中央部を仮想車線位置に見たてて設定する。

適用の条件（1）対象高架橋：鉄橋（トラス橋、アーチ橋を除く）、コンクリート橋とする。

（2）交通量：大型車類の交通量を対象とする。

（3）走行速度：60km/h 以上

（4）予測範囲：地上から高架橋裏面の仮想音源の高さまでとし、かつ高架高欄から水平距離 50m までの範囲とする（注）。

（5）その他：伸縮継手部から発生する騒音は対象としない。

（注）高さ方向、距離方向ともにこれ以上の範囲での影響は不明。

なお、60km/h より小さい走行速度における高架構造物音の A 特性パワーレベルは、今のところ設定されていない。

●高架構造物音の対策

高架構造物音の対策として高架裏面吸音板が考えられるが、これは、高架裏面吸音板で高架構造物音を放射する桁や床版を覆い遮へいすることによる騒音低減効果を期待するものである。元来高架裏面吸音板は、高架裏面の反射音を低減させるために反射面に吸音材を取り付けるものであるが、高架裏面吸音板を高架構造物音の対策として使用する場合には、遮へいによる減音効果を得るために十分な透過損失が得られる

ような材料、構造が要求される。

高架構造物音の対策事例としては、阪神高速道路において高架裏面吸音板を設置した場合の効果に関する報告²⁾がある。この概要は次のとおりである。

- 対策方法：高架裏面吸音板の設置
- 対象橋梁：阪神高速道路3号神戸線
(9径間連続鋼床版箱桁、低騒音舗装及び $h=7\text{m}$ の高遮音壁による対策が実施された高架橋)
- 吸音板の構造：桁の中央部にはU字型、両端部には平板型の吸音板(グラスウール内包)が設置されている。また、桁の側面には、高架道路の美装化と高架構造物音の遮蔽を目的として側面板が取り付けられている(写真1参照)。

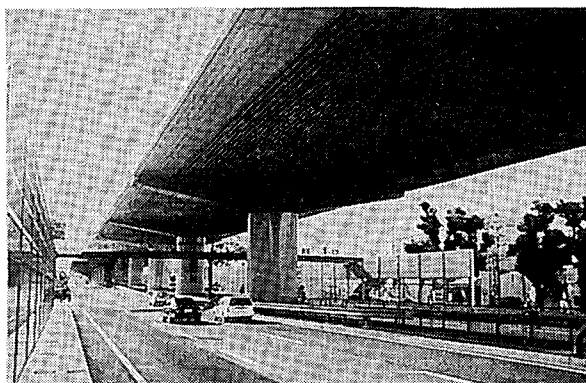


写真1 高架裏面吸音板の設置の状況²⁾

- 現場において高架裏面吸音板の設置前後で測定された挿入損失：
高架裏面吸音板の設置前後において、一般車単独走行時の騒音レベルの最大値が測定されており、高架構造物音は約12dB低減している。ただし、この12dBという値は高架裏面吸音板の設置前後で道路沿道において測定された挿入損失である。

②その他、最近の道路騒音対策の現状

●低騒音舗装

低騒音舗装は自動車の種々の箇所から発生する騒音の中で、主にタイヤ/路面音に対して低減効果大きい。タイヤ/路面音は、タイヤと路面の間に挟まれる空気の圧縮、膨張により生じるエアポンピング音、路面からの衝撃によるタイヤ加振音等からなっている。現在低騒音舗装には、実用化されている排水性舗装、試験施工段階の二層式排水性舗装、開発中の多孔質弾性舗装など様々なものがある。これらの概要を以下に述べる。

1) 排水性舗装

排水性舗装は、舗装体内に空隙を有しているため、エアポンピング音を抑制する。

また、路面が吸音するため騒音伝搬時に過剰減衰が生じる。その騒音低減効果は走行速度にもよるが約3-4dBである。

2) 二層式排水性舗装

二層式排水性舗装とは、排水性舗装の初期の騒音低減効果を向上させることと、それにより効果の

持続性を高めることを目的としたものである。通常排水性舗装より小さい粒径の骨材を上層に使用することで平坦性を高め騒音低減効果を向上させ、また下層に大きい粒径の骨材を使用することにより対流動性を確保した新しい排水性舗装である。前年度施工された例では、同時に施工された通常排水性舗装より2~3dB騒音低減効果が大きかった。

3) 多孔質弾性舗装

多孔質弾性舗装は、廃タイヤを細断し繊維状又は粒状にしたゴム粒子をウレタン樹脂で固めたもので空隙と弾性を有する舗装である。多孔質弾性舗装は、排水性舗装のように舗装体内に空隙を有するとともにゴムから作られているため弾性体である。よ

って、エアポンピング音だけでなくタイヤ加振音も低減できる。その騒音低減効果は、乗用車で約12dB、大型車で約8dBである。

● 新型遮音壁

新型遮音壁とは、従来の遮音壁が有していた「遮音機能」、「吸音機能」に加え、新しい機能を有する遮音壁のことである。例えば、先端部を改良することで騒音低減効果を高めた遮音壁や、今まで設置が困難だった都市部への設置を考慮した遮音壁などがこれに相当する。このような新型遮音壁の概要を以下に述べる。

1) 先端改良型遮音壁

先端改良型遮音壁は、遮音壁の先端部分を工夫することにより、従来型遮音壁と同じ高さでより大きな減音効果を得るものである。これは、遮音壁の上を回り込んで伝搬（回折）する音のエネルギーの多くはその先端付近を通過するというに着目し、この回折音を減らす工夫を施したものである。

この遮音壁は、①先端に吸音体を取り付けたタイプ、②先端に突起を取り付けたタイプの2種類に大きく分類される。②のタイプでトナカイ型と呼ばれるものは、通常の遮音壁より3dB程度以上減音効果が大きいことが確認されている。

2) アクティブソフトエッジ (A S E) 遮音壁

A S E 遮音壁とは、元の音をうち消すような逆位相の音を放射し、遮音壁の上端に音響的にソフト（音圧0を意味する）な境界を作りだすことにより回折音を低減させる遮音壁である。この遮音壁は、固定音源および移動音源の双方について、通常の遮音壁を2-6dB上回る減音効果が確認されている。

3) 低層遮音壁

低層遮音壁とは、都市内の一般道路に設置される高さ1 m程度の遮音壁である。この遮音壁は高さが低いため、開口部から沿道への出入りが容易で、日照障害や電波障害といった問題がほとんどなく、景観に配慮した設計が可能という特徴をもつ。騒音低減効果はおおむね2-3dB程度である。

参考文献

- 1) 日本音響学会道路交通騒音調査研究委員会：「道路交通騒音の予測モデル” ASJ Model 1998”」－日本音響学会道路交通騒音調査研究委員会報告－ 付属資料D－1 高架構造物音の予測方法、日本音響学会誌、Vol.55、No.4、pp.320（1999）
- 2) 森喜仁：高架裏面吸音板による騒音対策、騒音制御、Vol.23、No.3、pp.170～178（1999）

(2)緑化基礎工の導入形態：新たに設置するのか。緑化基礎工以外の目的で造られた構造物（のり枠等）を利用するのか。

(3)生育基盤の造成方法：のり面全面的な基盤なのか。苗木の根鉢周りの部分的な基盤なのか。

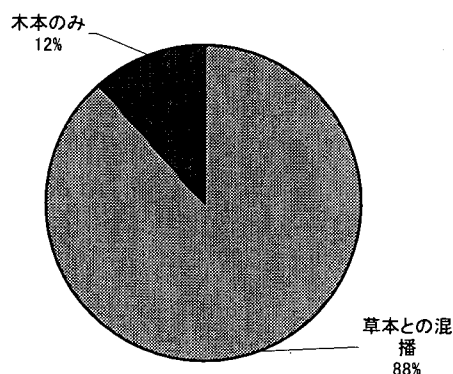
(4)生育基盤の種類：客土によるものか。厚層基材等の人工基盤によるものか。

(5)苗木の導入方法：基盤整備の後に植栽を行うのか（生育基盤を整備した後に苗木を植栽する）。基盤整備の前に植栽を行うのか（苗木を植栽した後に生育基盤を整備する。苗木を植栽した生育基盤を設置する）。

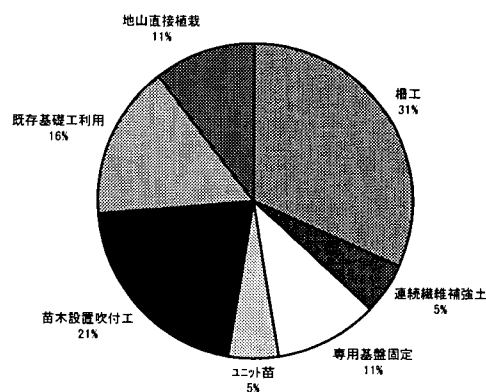
上記の観点から分類した結果を図－1に示す。

播種工、苗木植栽工のそれぞれに図－1で分類したタイプ別に、採用割合を集計した（図－2、3）。播種工においては、事例の大部分が草本との混播による方法であり、苗木植栽工については、全体の3/4の事例が緑化のための基礎工を新設している。

分類した各代表工法の特徴を以下に示す。



図－2 播種工における採用割合



図－3 苗木植栽工における採用割合

①播種工 草本との混播による方法

種子を植生基材と一緒に吹き付ける手法で、草本類の種子を混播している。先駆樹種が優占している事例が全般的に多い。

②播種工 木本類のみの播種による方法

種子を植生基材と一緒に吹き付ける手法で、木本類の種子のみを使用している。草本類の播種を行わないため、表層の被覆が十分でない事例がある。

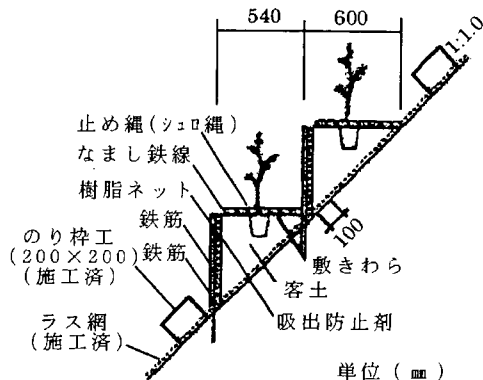
③苗木植栽工 柵工による方法

のり面に柵状の工作物を設置して、地山との間に客土を行い植栽する手法である。使用する資材により、編柵、丸太柵、板柵、金網柵、合成樹脂柵、鋼柵、エキスパンドメタル柵等がある。導入種の生育状況は良いが、コストや作業手間がかかる事例が多い（図－4）。

④苗木植栽工 連続繊維補強土による方法

連続繊維補強土により基材を20 cm程度に厚く吹き付け、吹き付けた基材を生育基盤として苗木を植栽する手法である（図－5）。

アンケート事例では、草本種の播種量が多く、それらにより導入木本種が被圧されており、生育基盤の評価は行えなかった。



図－4 苗木植栽工（柵工）の断面図

⑤苗木植栽工 専用基盤の固定による方法

土のうやプランターボックス等の植栽専用基盤に客土を充填したものをアンカーやストッパー等でのり面に固定し、その中に苗木を植栽する手法である(図-6)。生育は概して順調であるが次の⑥に比べて現地での作業に手間を要する。

⑥苗木植栽工 ユニット苗による方法

厚層基材吹付工等で造られた基盤の上に、座布団状の袋に客土を詰めた植栽基盤に苗木を育成させたもの(ユニット苗、図-7)を、そのままのり面にアンカーで固定する手法であり、現地での設置手間の軽減を図ったものである。調査を行った中央自動車道の事例は事業地の周辺域より樹木の種子を採取し、これを苗木に育成したものを使用しており、生育も良好であった。

⑦苗木植栽工 苗木設置吹付工による方法

苗木をのり面に金網やアンカーピン等で固定した後、根鉢の周りに生育基盤材を厚く吹き付ける手法である(図-8)。調査を行った国営讃岐まんのう公園では導入したネズミモチ、シャリンバイの太い根系が地山に侵入するほど、良好に生育していた。

⑧苗木植栽工 既存基礎工利用による方法

緑化基礎工以外の目的で造られた構造物(のり枠)等を利用して植栽する手法。これらには、基盤整備の方法として、

- i) のり枠に土のうを充填
- ii) 厚層基材をのり枠内全面に吹付
- iii) のり枠下側のフレームに厚層基材を吹溜め(図-9)

等がある。

⑨苗木植栽工 地山直接植栽による方法

地山に穴を掘り、直接植栽する方法で地山自体を当初から生育基盤とする工法である。硬質、急勾配が主体であることが一般的である切土における工法としては、特殊であり、土質や勾配の条件が良くないと採用は難しい。

3. のり面樹林化工法の課題及び留意点

次にのり面樹林化にあたっての課題と留意点を述べる。

1) 樹林化の目標設定

のり面の樹林化にあたっては、当該地域の環境(周辺自然環境の質、内容)、のり面の目立ちやすさ等から、個々ののり面の樹林化の目標(樹林形状、構成種、完成時期等)を明確にする必要がある。

また、工法の適用にあたっては、これら周辺環境等から設定される樹林化の目標をふまえ、かつ、のり面自体の条件(土質状況、勾配等)を考慮し、必要に応じ目標の見直しを

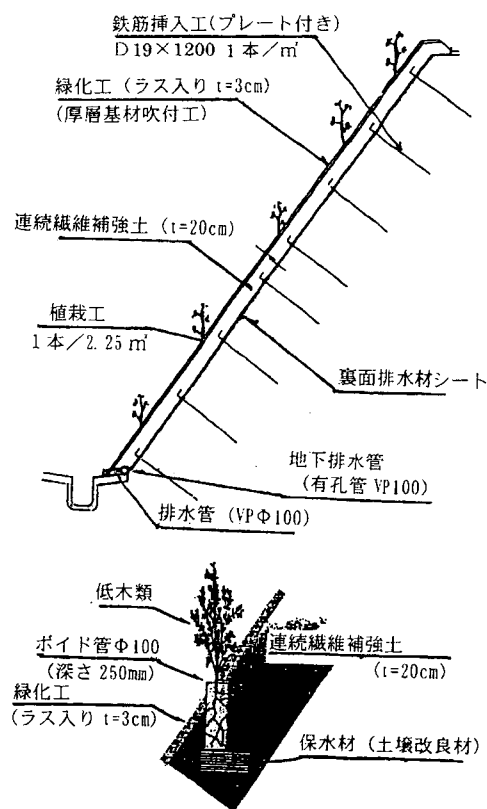


図-5 苗木植栽工(連続繊維補強土)の断面図

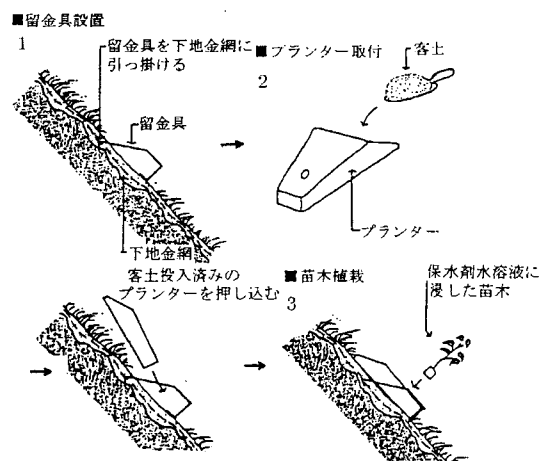


図-6 苗木植栽工(専用基盤の固定)のプランターの設置方法の一例

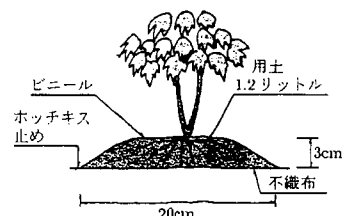


図-7 苗木植栽工(ユニット苗)の断面図

行ったうえで、実施可能な効率的な工法を適用する必要がある。

2) 播種工

i) 種子の配合量等の設定

先駆樹種以外の植物はその大部分が発芽に日数を要するため、混播する外来草本種、先駆樹種に被圧され、良好な生育が得られないことがある。それ故、先駆樹種以外の植物と外来草本種や先駆樹種との配合バランスについて十分吟味することが肝要である。外来草本種の発生期待本数は、のり面の表層のエロージョン防止に必要な最小限な程度とする必要がある。また、丈の低い外来草本種を採用し被圧を防止したり、緩効性の肥料を用い、草本種の初期成長を抑制することが有効である。

ii) 施工技術

先駆樹種以外の植物はその大部分が大粒の種子であり、吹付時に種子が地山にあたって撥ね返るため、生育基盤への定着が少なく効率が悪くなる。

これを解決するためには、吹付工のみに固執せず、臨機応変に施工方法を見直すことも考えるべきである。大粒の種子を用いる場合は、マット・シートを併用し、生育基盤への定着を図ったり、苗木植栽工に置き換えるなど、他の工法の併用も考慮する必要がある。

iii) 種子の採取及び保存方法

木本種子は年により結実の程度が異なり、採取可能量にむらがあることや、一般にのり面の施工にあたっては必要量が膨大になることから計画的に採取を行わないと確保が困難である場合が多い。

一方で、先駆樹種以外の植物の多くの種子は、ある程度の湿度を保ちつつ、低温で貯蔵することが一般的である。このことから多種類の種子を多量に貯蔵するには大規模な保湿低温貯蔵施設が必要となる。しかし、種苗会社には事業者の使用計画等の情報は全く無いことから、施設への投資は不確実性が残り、種苗会社は採取・保存の容易な先駆樹種を確保し、事業者も当面施工が可能なこれらの樹種を用いた施工に偏ってしまうことになる。

これらを解決するには、木本種子の使用計画の公表と計画的採取による保存量の平準化が必要である。また、現況の発注形態は、のり面緑化工事の中に木本種子の調達等も含んでいるが、種子の採取、保存については工事とは別途に、発注の前年度までに計画的に行い確保するという体制をとれば、確実性は向上すると思われる。さらに木本種子の採取にあたっては、地元の森林組合等と連携するような効率的な体制づくりが望まれる。

3) 苗木植栽工

播種工での施工については、種子採取、保存方法、発芽特性等に係る問題点があり、適用可能な樹種が未だ限られている。その点では、苗木植栽工はある程度苗木の市場性や導入種の活着の確実性ということから、幾分優位にある。

しかし、岩盤等では植え穴の掘削が困難であるため、編さく等の緑化基礎工を実施しな

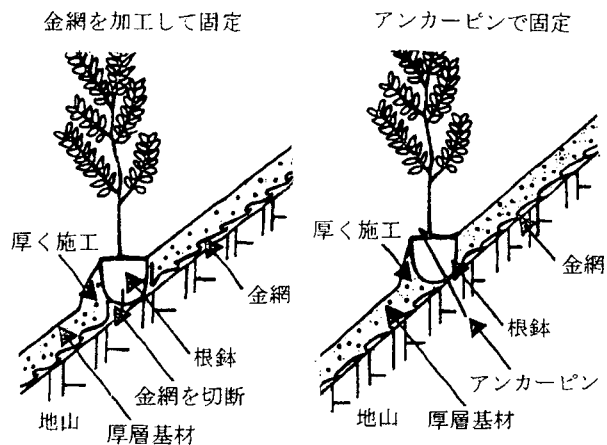


図-8 苗木植栽工（苗木設置吹付工）の苗木固定方法

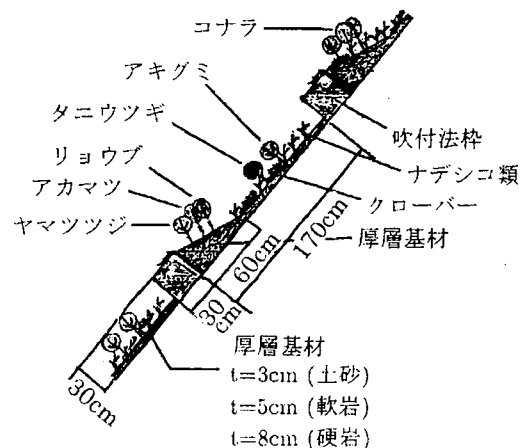


図-9 苗木植栽工（地山直接植栽）の断面図

ければならず、施工性では播種工には劣る。

今後の課題として、苗木を活着させるための効率的な生育基盤整備技術の確立が必要である。苗木の活着を促すためには、生育基盤の整備は重要な要件ではあるが、それがあまりにも大規模になるとコスト面、施工面でものり面樹林化の普及は困難になる。また、急勾配、硬い土壌というのり面の条件を考慮すると、現場での施工を短時間で効率よく実施するための工夫が必要である。

収集事例の中には、苗木設置吹付工法のように、苗木を植栽する部分のみのスポット的な生育基盤整備でも十分に生育しているものやユニット苗工法のように、生育基盤、苗木の植付等を事前に行い、現場での作業を軽減するような工夫をしているものも見られた。

今後とも、様々な生育基盤で行われた各地の事例を継続的にモニタリングすることにより、採用樹種の特性に合わせた効率的な生育基盤整備技術を確立することが必要である。

4) 新たなニーズへの対応

生態系の保全やリサイクル社会の構築が求められており、のり面の樹林化にあたっても、そのようなニーズに対応したものとする必要がある。建設工事により発生する自然資源についても積極的に利用し、地球環境に負荷を及ぼさない施工が望まれる。

表土については、地域の自生種の種子や昆虫類、土壌微生物等を多く含んでおり、有機物に富んだ土壌である。これらをのり面緑化に利用することは、当該地域の自然に適合した植生を復元することができる。また、伐採される樹木についても、あらかじめ種子や苗木、根株等を採取し緑化材料として使用する他、枝、幹等は細かく裁断し、堆肥化することにより、緑化基盤材として使用することが考えられる。

4. おわりに

本研究により、のり面樹林化の現状、各工法の課題、今後の方向性に関しある程度整理することができた。現在、これらの課題、方向性をふまえ、当研究室においては、各種木本類の発芽試験、混播による生育状況の把握、各種工法の継続モニタリングを行っているところである。

今後これらの結果をふまえ、のり面樹林化に関する詳細技術を確立し、各種工法の適用基準及び施工基準を検討する予定である。

また、のり面樹林化については、このような技術的なことだけではなく、目標設定の方法、種子の採取・保存方法、発注体制、地域との連携等、課題は多岐にわたっている。これらも視野に入れ、各関係機関とも連携して検討していきたいと考えている。

参考文献

- 1) 建設省土木研究所環境部緑化生態研究室：樹木を用いたのり面緑化手法の検討、第51～52回建設省技術研究会指定課題論文集

III. 紙 上 回 答

Ⅲ－１．１ 地下水の流速測定

質問者：松江国道工事事務所

回答者：環境部地質研究室(内線 4 1 3 5)

質 問

被圧地下水の認められる地盤での杭種選定において、地下水流速が5cm/sec以上あるかどうか判断基準となるが、通常使用される流速測定では計測できる流速が非常に微小であり杭施工の可否についての判断ができない状況にある。このため、簡易な測定方法があればご教示願いたい。

回 答

通常の地下水流動の調査では、一つのボーリング孔で流速を測定する単孔式、複数のボーリング孔から求められた地下水ポテンシャルの解析によって流速を測定する多孔式、トレーサーによる方法などがあり¹⁾、これらは0.001～1cm/sec程度の流速を対象としています。しかし、これらの方法でも解析の方法を工夫したり、センサーを変更するなどの対応によって、今回のご質問で対象となる5cm/sec程度の流速を測定することは可能です。

その中でも、ご質問のような簡易な測定方法としては、1つの孔で測定のできる単孔式が適当と思われます。考えられる単孔式の測定方法には、表－１のようなものがあります。

表－１ 単孔式による地下水流速測定の実例

ボアホールカメラによる測定	孔内にテレビカメラを挿入し、浮遊する粒子や濁りの移動速度を画像から読みとる手法です。 適用にあたって特に改造などは必要ありませんが、大きな流速の場合、画像の再生速度を変えるなどして、粒子の移動距離と移動時間を正確に読みとる必要があります。
羽根車式流速計	羽根の回転から流速を測定するもので、通常用いられる羽根車や変換器を改造することで対象流速を変えられます。
超音波式流速計	超音波のドップラー現象を利用した流速計で、やや特殊なものです。

注) 単孔式で大きな流速を測定する場合、正確な流速を得るために、パッカーなどで対象となる帯水層を区切って流速を測定する必要があります。

また、近傍に適切なボーリング孔が利用できる場合であれば、多孔式やトレーサーを用いた方法でも、比較的簡易に地下水流速を知ることが可能です。この場合も大きな流速に対応するため、多孔式では観測孔の配置、トレーサーを用いる方法では濃度や投入方法などの十分な事前の検討が必要となります。

参考文献

- 1) (財) 国土開発技術研究センター編, 地下水調査および観測指針 (案), 1993

工の下流まで伸ばす構造とすることが望ましいのですが、この場合は魚道の延長をかなり伸ばすことができるため、魚道の適正勾配の確保は可能でしょう。

② 魚道の入口の位置と高さ

魚道の入口の平面的な位置を決める際には、集魚位置に一致しているか、みお筋が移動して砂州等による埋没をうけないか、がポイントとなります。今回のケースで堰改築後も淵が安定的に存在すれば後者のポイントは満たされます。一方、後者は、90 mある護床工上部に魚類の遡上が可能か、不可能かが問題となります。コンクリートブロックや捨石でつくった護床工は水が浸透しやすい構造と考えられ、例えば、流量が少ない場合には護床工上部への魚類の進入が困難になると推定されます。従って、定常的に魚道の入口と集魚位置を一致させるには、護床工の下流端で魚類の移動を阻止するバリアーを設置して、ここに魚類を滞留させることが必要となります。また、魚道の入口もここまで延長することが当然のことながら必要です。

魚道の入口を考える際のもう一つのポイントは、下流端の水位と整合が取れているかどうかです。魚道本体の構造には問題がないのに、魚道の下流端が下流端水位よりも高く設定されているため、例えば、プール式魚道の場合最後の落差が大きくなって遡上が困難になるケースがよく見られます。本ケースでは、護床工の下流に淵が存在し、これが安定的に存在している場合には下流端水位が大きく変動することはないと考えられますが、念のため魚道の下流端は現下流端水位よりも深い位置に設置し、将来的に下流端の河床が低下した場合でもある程度対応できる構造とすることが必要です。

以上、魚道を設計する際の基本的考え方と今回のケースに特徴的な条件を重ね合わせ、特に、検討を要する点を中心に解説しました。参考にしてください。

Ⅲ－１．２ 堰魚道入口と下流深掘れ部のすりつけ方法

質問者：出雲工事事務所

回答者：環境部河川環境研究室（内線４１４２）

質 問

当事務所では、斐伊川放水路事業による堰の改築予定がある。改築予定箇所下流には２～３ｍ程度の深掘れ箇所が存在するが、現時点では計画河床以下の現況河床は残す計画としており、魚道入口と深掘れ部とのすりつけ形状についてご教示願いたい。

回 答

魚道を考える際のポイントとして、①魚道本体の構造に関するもの、②魚道の入口・出口の位置や高さ等本体以外に関するものの２点が挙げられます。本ケースでは、計画河床高よりも下流の河床高が低いことにより堰上流と下流の水位の総落差が大きくなること、また、護床工上部にまで魚類が進入するかどうかがこの２つのポイントを考える際の特徴的な条件となります。ここでは、本ケースの特徴的な条件を鑑み、①については魚道のタイプと勾配、②については魚道の位置と高さを集魚位置との関係から決定する方法について解説します。

① 魚道のタイプと勾配

総落差が大きくなることにより魚道タイプの選定に影響を与えます。魚道は一般的にプール式（アイスハーバーやパーティカルスロット）、水路式（デニール、スティーブパス）、斜路式（粗石付斜路）に分類できます。ただし、水路式に斜路式を加える場合もあります。水路式は比較的速い流れが縦断的に連続するため、総落差が大きくて結果として延長が長い場合には途中で休憩用のプールの設置が必要です。また、このタイプは阻流板によって流速を減勢させますが、阻流板周辺に小さい渦が発生し、渦の規模に比して相対的に小さいサイズの魚類は渦に巻き込まれ遡上が困難になるとの報告があります。次に、プール式では、アイスハーバー型魚道が最も一般的で実績数も多く、様々な特性を持つ河川に設置されています。プール式魚道は流速の速い隔壁上の越流部と越流水脈が突入し流速が減勢されるプールから構成されます。プール内では魚類が休息できますので、総落差が大きくなり、プールと隔壁のユニット数が増しても問題はありませぬ。ただし、アイスハーバー型の場合は魚道が適正に機能する流量のレンジが狭く、例えば、流量が増加すると流況が乱れ遡上が困難になると言われています。また、側壁が直壁になっている場合には、隔壁上の越流水脈の流速が横断的に一様になったり、プールの水深も全体的に一様になり多様性が減少します。これは一般的に言われていることではありませんが、隔壁を横断方向に傾斜させる等の措置を施せば、より多様な魚種の遡上が可能になると考えられます。最後に斜路式ですが、これは斜面に粗石を設置して流速を減少させるタイプです。粗石近傍で流れが乱れやすく、水位が上昇すると粗石頂部で空気が混入し流れの白濁が生じる等の問題が発生しますが、底生魚の遡上には適しているとの報告もあり、その評価や設計方法は現在のところ定まっていません。

以上、３つのタイプの特徴を説明しましたが、現在までの各タイプの魚道の実績や評価を考えると、アイスハーバー型を変形させ、より多様な魚種の遡上を可能とするような構造が妥当であると考えられます。この場合、上流端水位の変動幅が、設計上の重要な要素となります。特に、対象魚種の遡上期に水位が大きく変動するような場合には慎重な設計が必要です。最近では側壁に切欠があり流量が大きい場合にはここから余水するような魚道の開発されていますので参考にしてください。

最後に魚道の勾配ですが、アイスハーバー式の場合最低でも１／１５程度の勾配（一落差は１０ｃｍが目安）が必要です。本ケースでは後述するように、魚道の入口を護床

Ⅲ－１．３ 環境影響評価における事業の生態系等への影響予測手法

質問者：中国技術事務所

回答者：環境部河川環境研究室（内線４１４１）

質 問

環境影響評価において、動物・植物・生態系に関し、調査・予測・事後調査を行うこととしているが、その中で予測について、どのような手法が用いられるかご教示願いたい。

回 答

予測は直接改変と直接改変以外に分けて行う。直接改変とは事業により直接的に生息生育地が改変され動植物あるいは生態系に影響を及ぼすことである。直接改変以外とは直接改変は受けないが、事業により波及的に動植物あるいは生態系に影響が及ぼすことである。

直接改変の影響は、動植物の生息生育地と事業実施区域を重ね合わせ、どの程度の量の生息生育地が、どのように改変されるのかに基づき予測を行う。植物あるいは行動圏の狭い動物は改変される区域内に生息生育する個体が消失すると予測する。行動圏の大きな動物は直接改変を受ける区域が、その動物の行動圏あるいは生活史とどのように関わっているかについても考慮して予測を行う。また、当該事業によって生息生育地域が孤立あるいは分断される影響についても予測する。

またダムにおける直接改変以外のインパクト要因としては流況の変化、土砂供給の変化、水質の変化、貯水池末端部の堆砂などがあげられる。これらのインパクトに対して流況変動の予測計算、河床変動計算、堆砂計算、水質の予測計算（水環境の分野での結果の利用）などを行い、その結果が動植物および生態系にどのような影響を及ぼすのかを予測する。たとえばダム下流域で冠水頻度が変化することによって、生育する植物の種類や分布域がどのように変化するか、土砂供給量が変化することによって河床高や河床材料にどのような変化が生じ、その結果魚類等の生物にどのような影響が出るのかなどについて予測する。しかしながら、これらの間接的な影響については、十分な知見がなく、定性的な予測にならざるをえないのが現状である。

また生態系の予測の中で考え方が難しいのが典型性である。今回のアセスメントでは動植物に加え、生態系の予測評価が加わった。しかしながら現状では生態系を予測することは困難であり、上位性、典型性、特殊性の観点から生態系を予測することが基本的事項の中で示された。ダムのアセスにおいても上位性、典型性、特殊性および移動性の観点より環境への影響を予測することになっている。ダムのアセスメントでは河川が連続しているという観点から移動性についても予測することになっている。そのなかで、わかりにくいのが典型性である。典型性は地域の生態系の特徴を典型的に現す生息・生育環境及びそこに生息・生育する生物群集について表現される。すなわち予測評価にあたってはその地域において、普通に見られる種や典型的な環境が事業によって影響を受けるのかどうかを予測、評価する必要がある。個別に生物に対する影響を見るのではなく、トータルとしての環境を評価しようとする軸である。その予測・評価の手法は動植物の予測と同様、直接改変および直接改変以外について行うが、典型性で表現される環境の一部が改変されても、そこに普通に見られる生物や生息環境が維持されれば影響があるとはみなさないところに大きな違いがある。

Ⅲ－１．４ 堤防法面の植生管理

質問者：太田川工事事務所管理第一課

回答者：環境部緑化生態研究室（内線 4 1 6 6）

質 問

堤防法面は従来から芝等により法面保護工を実施してきたが、数年で他の植物に遷移してさまざまな植物が進出してきている。近年、下流部における都市河川部では、堤防に隣接して市街地が位置することから、堤防法面の雑草の繁茂にともなう花粉症やダニ等の害虫に対する苦情が多く、その対応に苦慮しているところである。多自然型川づくり等で緑化法面が多くなり、河岸の植生との関係について、特に花粉症との関係の対応策についてご教示願いたい。また、堤防除草回数による植生に変化がみられるが、調査成果等あれば、ご教示願いたい。

回 答

ご質問の要点を以下のように整理しました。

- ① 堤防法面の植生は、花粉症の一因になっているのではないか。
- ② 堤防法面の植生は、ダニなどの生息の温床になっているのではないか。
- ③ 花粉症の原因となりにくい植生への誘導方法はないか。

以下、それぞれについて回答致します。

- ① イネ科の草本（草）が花粉を飛ばしたときに、アレルゲン（アレルギーを引き起こす物質）となる可能性があります。河川にはイネ科の草本が多数生育していますが、その中でも大面積の群落をつくるものでかつ本来河川には生育していなかった外来牧草種が花粉症の原因となることが指摘されています。河川堤防上に多い花粉症高陽性植物は下記のとおりです。

表 堤防上に多い花粉症高陽性植物

和名	英名
ウシノケグサ族	
ネズミホソムギ	ペレニアルライグラス
オニウシノケグサ	トールフェスク
カモガヤ	オーチャードグラス
イヌムギ	レスキューグラス
ハルガヤ	スイートバーナルグラス
メリケンカルガヤ族	
セイバンモロコシ	ジョンソングラス
キビ族	
シマスズメノヒエ	ダリスグラス
オヒゲシバ族	
ギョウギシバ	バミューダグラス

出典：佐々木寧ほか（1996）：堤防の植生と管理

また、この他に、オオブタクサ（キク科の帰化植物）も花粉量が多いことが指摘されています。

- ② 人に健康被害を及ぼすようなダニは、ハウスダストで発生するものが多く、堤防法面の草で繁殖するような種類はいません。たとえダニがいたとしても、アレルギー原とな

ったり吸血したりするような種ではないので、こうした健康被害と堤防法面の草には、因果関係はないものと考えられます。

- ③ ①のことから、春期に有害な花粉を飛ばすような植物ではなく、無害な草が優占する植物群落へと誘導することが必要と考えられます。

堤防には、よくシバ類が貼り付けられ、その維持のために高頻度の草刈りが行われます。シバがよく生育している間は、これがイネ科雑草を抑制するために有効ですが、一旦何らかの原因でシバが衰退すると、今度は逆に高頻度の草刈りが、花粉症の原因となるイネ科草本の生育を促すことになります。このような場合、とくに晩秋の草刈りが外来イネ科草本の生育に有利に働き、翌年の春にこれらの種が優占する原因となると言われています。

シバ型草原に替わる堤防に適した群落の1つとして、チガヤ型草原があげられます。チガヤもイネ科草本の1種ですが、花粉症のアレルゲンになるという報告はなく、また、シバと同様な侵食防止機能があり、見た目も美しいので堤防法面に適した植生です。

チガヤ群落の形成には、①チガヤの種子を吹き付ける工法、②既存のチガヤ群落をマット状に剥いで貼り付ける工法、③チガヤの根茎を切って移植する工法、などがあります。一旦成立したチガヤ群落は、春と秋の年2回、または春、夏、秋の3回刈取りを行うことによって維持できるとされています。より詳しいチガヤ群落の形成、維持手法については、下記の文献を参考にしてください。

また、花粉症のアレルゲンについては、下記のホームページにも載っていますので参考にしてください。

http://www.drug.co.jp/alerg/ale_hana.htm

<http://www.santen.co.jp/health/kafun.html#point-5>

<http://www.kyofuku.co.jp/kahunsyio.html>

参考文献

- 1) 浅見佳世・服部保：チガヤ人工草原の事例報告．人と自然，8：pp.133-140,1997
- 2) 浅見佳世・服部保・赤松弘治：河川堤防植生の刈り取り管理に関する研究．ランドスケープ研究，58(5)：pp.125-128，1995
- 3) 浅見佳世・服部保・赤松弘治・和田一憲・嘉藤正一：河川堤防植生の管理に関する生態学的研究1．仁淀川の堤防植生におよぼす刈り取りの影響．人と自然，3：pp.85-98，1994
- 4) 浅見佳世：チガヤ型草原の群落生態学および応用生態学的研究．神戸群落生態研究会報告第2号，1999
- 5) チガヤ草原創出研究会：チガヤ草原創出の手引き．建設省近畿地方建設局姫路工事事務所，2000
- 6) 佐々木寧・服部保・浅見佳世：堤防の植生と管理．
- 7) 奥田重俊・佐々木寧編 河川環境と水辺植生－植生の保全と管理－ pp.141-163．ソフトサイエンス社，1996

Ⅲ－１．５ のり面緑化材(マット、シート)の適用範囲と技術基準

質問者：広島国道工事事務所

回答者：環境部緑化生態研究室（内線 4 1 6 2）

質 問

のり面緑化材（マット、シート）は、種類が豊富で価格もさまざまであり、詳細な技術基準もないことから、いきおい価格の勝負となりがちであり、より機能の高い製品は使用しづらい現状がある。植生マットのあるべき機能について、基準化の動向などをご教示願いたい。

市場には、のり面緑化材として、「養生マット・シート」「植生マット・シート」などがあり、使い分けが判然としない。のり面のエロージョン防止に高い機能を有する製品もあるが価格がいくぶん高く、表面的な経済比較では排除されてしまう。

実証試験などを通じて明らかに優位性があるにもかかわらず、技術基準がないために市場で普及しない。技術基準の制定を強く望む。

回 答

養生マット・シートを名に冠した製品はあるかもしれないが、緑化資材に対して一般的に用いられる言葉ではないので、ここでは植生マット・シートと同等のものとして扱う。

植生マットは種子、肥料、生育基盤材等を内包あるいは装着した厚みのあるマット状のもの。植生シートは種子、肥料等を装着したシート状のものとされ、ともに、のり面等全面（シートは帯状に被覆するものもある）を覆うように貼り付け、アンカーピンで固定するものである。

この区分に従うと、植生シートは生育基盤材を含まないことから、盛土のり面に適用することとし、植生マットは岩以外の切土のり面に適用することとされている（図－１）¹⁾。

二次製品としての緑化資材は昭和 26 年の植生盤（現場の土にわらや肥料を混合して盤状にプレス整形したもの。表面の穴に種子を播き、粘土汁で被覆する。）に遡る。また、のり面にむしろを敷き詰め、そこに種子を播き付ける方法も取られていたが、これを工場であらかじめ製作しておく「種子付きむしろ」が、昭和 37 年に開発されている²⁾。これが、植生マットの原形と考えられる。言うまでもなく、これらの製品は施工性の向上もさる事ながら、植物がのり面（斜面）を被覆するまでの間の浸食を、表面を覆うことにより防止しようと言う目的が大きい。

一方、種子吹付に関しても昭和 30 年代から研究開発が進み、特に可搬式吹付機械が開発されるに及んで、施工性の面から著しく普及している²⁾。

こういった植生工の開発経緯から植生マット・シートに求められる基本的な機能や適用場面を考えると、

①のり面保護の効果を直ちに期待したい場合。

②植生工を夏季、冬期に施工しなくてはならない場合。

③機械種子吹付が困難な現場の場合。

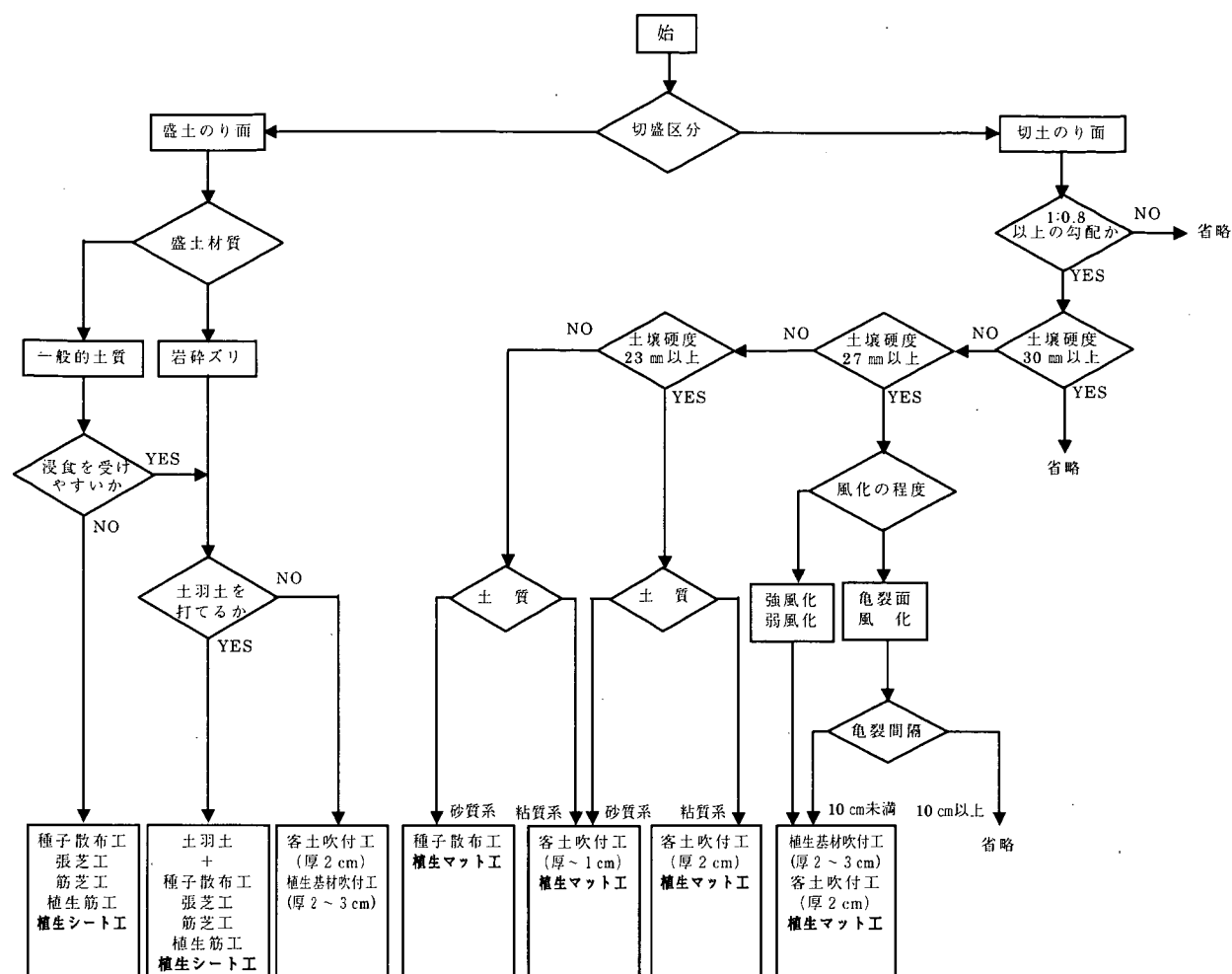
などが挙げられよう³⁾。

また、植生マット・シートの本来的な開発意図は、植生が生育するまでの暫定的な表面浸食防止が一つであることから、恒久的な浸食防止機能、言い換えれば、浸食が起こり得るような、湧水箇所や不陸、浮き石があり、表面水が集中しそうな箇所に施工すべきではない。こういった箇所では、それ相応の対策を施してから、植生工を施すべきである。

植生マット・シートの施工にあたっては、

①のり面を平滑に仕上げること

②マット・シートをのり面に良く密着させること
 ③のり肩部は土中に巻き込むようにすることがポイントとしてあげられる。



図－1 植生シート・マット工の選定フロー¹⁾より抜粋

不陸があると、凹部には水が集中しやすいし、浮き上がったり風に飛ばされやすいので平滑に仕上げる必要がある。マット・シートとのり面の密着が悪いと、雨水がマット・シートの下を流れ、マット・シートで被覆した意味が無くなってしまうので、特に端部については十分に固定する¹⁾。

また、丁寧な施工を行っても、カラスなどがマット・シートをめくりあげてしまうことがあるので、施工後の管理にも注意が必要である。

なお、技術基準の制定に関しては、現時点では特に考えていない。とくに、指摘されている浸食防止機能については、植生工に過大な期待を寄せるものではなく、植生マット・シートでは、本来不陸のある場所等では適用不適ということなどもあり、基準化しづらいと考える。

多種多様な製品があることから、現場では採否の判断に苦慮されていると思うが、メーカー等からの試験データの入手、価格、施工実績等を充分検討され的確な判断をお願いしたい。

参考文献

- 1) (社) 日本道路協会：道路土工－のり面工・斜面安定工指針
- 2) 村井宏、堀江保夫編：新編 治山・砂防緑化技術－荒廃環境の復元と緑の再生－
- 3) 日本道路公団試験所：技術手帳－ここがポイント植生工－

川-1. 6 トンネル坑口ののり面緑化処理（面壁、擁壁の緑化）

質問者：広島国道工事事務所

回答者：環境部綠化生態研究室（內線4 1 6 2）

質問

トンネル坑口を迫込んだ結果、坑口に続く切土部に 7 m 以上の CO 擁壁(アンカーパネル)を連続して設置しているが、景観上検討の余地がある。7 m を超える CO 擁壁等を緑化する方法についてご教示願いたい。

7 m以下の擁壁については、プレキャスト製品等で緑化に配慮した製品もあるが、それを超える部分について知見があればご教示願いたい。

また、既設構造物（勾配 1:0.3 以下）の緑化工法についても伺いたい。

回 答

緑化に配慮したプレキャスト製品で最も普及しているのは、いわゆる緑化ブロックであるが、緑化ブロックは基本的にはブロック積擁壁の変形である。ブロック積擁壁は、切土では7 mまでの高さを標準的な施工可能範囲としていることから、緑化ブロックでもこれに従って7 mまでを施工可能範囲としている製品がほとんどである。それを超える場合には、メーカー等から資料を収集し、安定計算を行った上で勾配あるいは高さを決定することになる。

アンカーパネルのコンクリート擁壁とは、補強土壁工のような工法を想定するが、この工法の場合には、壁面材に緑化専用のメッシュパネルが用意されており、1:0.1の勾配では10mの高さまで、施工が可能とされている²⁾。

また、擁壁面に金網を張り、植生基材を吹き付ける方法により、硬岩のり面と同様に緑化することも可能ではある。これは既設構造物を緑化する場合にも適用できる方法である。ただし、この方法は植生基材吹付工の標準的な適用範囲である 1:0.8 より緩勾配に用いるべきである。

のり面自体に植栽基盤を設け緑化する方法としては、プランター（植栽容器）をのり面に設置して、その中に植物を植え付ける工法もあるが、大面積ののり面においては設置個数と手間が膨大になることから経済性や効率性を考慮する必要がある。

ツタ類を用い壁面を被覆する例も掘割道路等においては、しばしば見られる。この場合、壁面にツタ類の生育補助と輻射熱等による葉焼け防止のためのネット等の登攀補助資材を併用することと、のり尻部にツタ類の植栽スペースを整備す

なお、1:0.3より急な勾配でも技術的にはのり面自体を緑化可能であるが、この程度の勾配になると根の伸長との関係から植物の均質な生育はあまり望めない。のり面を植生工により緑化するには60°（1:0.6程度）の勾配が限界と言われている⁴⁾。

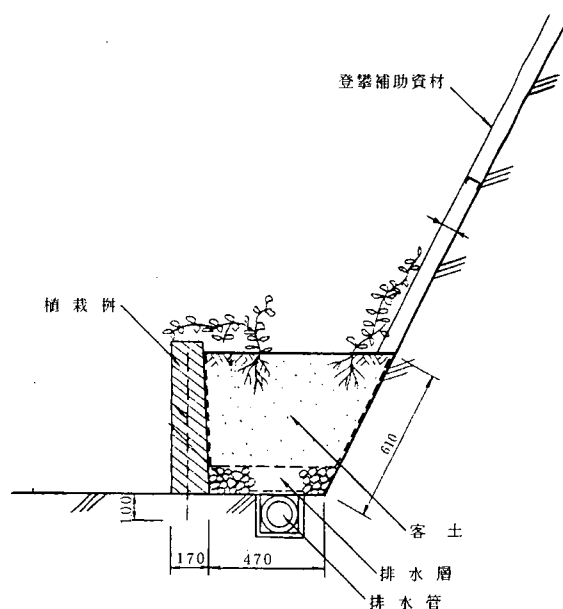


図-1 コンクリート擁壁面の登攀補助資材併用によるツタ類での緑化事例断面図³⁾元図

参考文献

- 1) (社) 日本道路協会：道路土工のり面工・斜面安定工指針
- 2) 建設行政 WAN：NETIS 詳細情報
- 3) 小澤徹三：大規模開発における環境創造・維持管理・復元技術集成－快適空間の創造と自然の再生－第 2 巻、水のシステムとデザイン編／緑化と緑地環境のシステム編
- 4) 山寺喜成：急勾配斜面における緑化工技術の改善に関する実験的研究

Ⅲ－１． ７ 植物性廃材の再利用技術の現状と今後の動向

質問者：福山工事事務所、太田川工事事務所、山口工事事務所、国営備北丘陵公園工事事務所
回答者：環境部緑化生態研究室（内線 4 1 6 1）

質 問

造成工事、河川管理、緑地管理から発生する、伐採木や刈草などの植物性廃材の処理については、循環型社会の構築を目指し、再利用が求められているところである。また、廃棄物処理法等の法令改正により現場での焼却が規制されたため、再利用の推進により廃棄処分される廃材の減量化が求められているところである。ついては、植物性廃材の発生抑制、再利用に係る下記事項の技術の現状と今後の動向についてご教示願いたい。

- ・ 広い土地と長い時間を要しない効率的な再利用技術が見あたらない現状における、今後の技術開発の動向（福山工事事務所）
- ・ 堤防除草から発生する刈草の再利用技術の運用適用性と今後の動向（太田川工事事務所）
- ・ 薬品による雑草発生の抑制と刈り草の処理方法（国営備北丘陵公園工事事務所）
- ・ 造成工事から発生する伐採木のチップ化（舗装材・マルチング材）利用、堆肥化利用以外の利用方法（国営備北丘陵公園工事事務所）
- ・ 堤防除草から発生する刈草ののり面緑化材料としての使用方法（山口工事事務所）

回 答

1. 植物性廃材の様々な再利用方法

現在行われている植物性廃材の利用方法を整理したものが図-1である。植物性廃材には、木質系のもの草本系のものともに、原形利用から様々な加工を施しての利用まで多様な利用方法がある。

2. 建設関連事業での再利用の現状

当緑化生態研究室が、いくつかの代表地点の調査から推定した全国の道路、公園、河川の建設関連 3 事業での植物性廃材年間発生量は約 3,500kt である（1996 年時点）。この内、何らかの有効利用がされているのは、わずか 1% 足らずであり、残り 99% の半分は現場に放置され、半分は廃棄処分されている（図-2 左）。また、3 事業から発生する植物性廃材については、その利用は、今のところ、ほぼ堆肥化とチップ化に限定されていると

言える（図-2 右）。このような現状からすれば、まず何よりも再利用の量的拡大が必要である。再利用方法の多角化もその推進策のひとつ

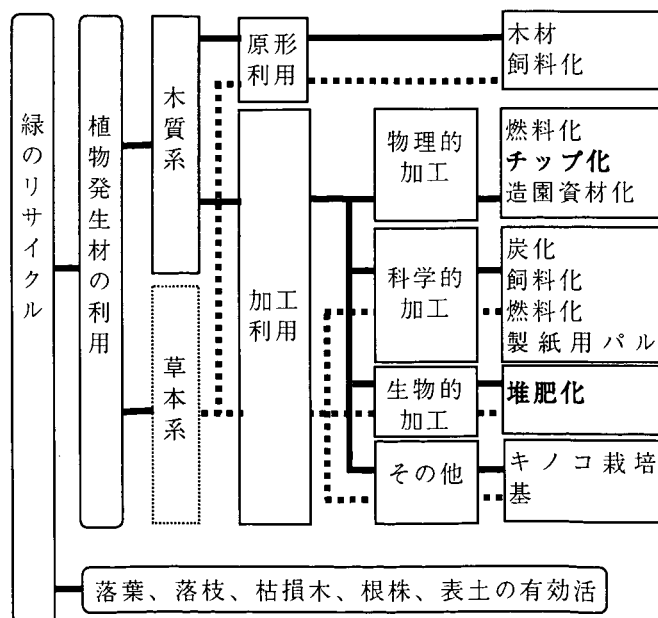
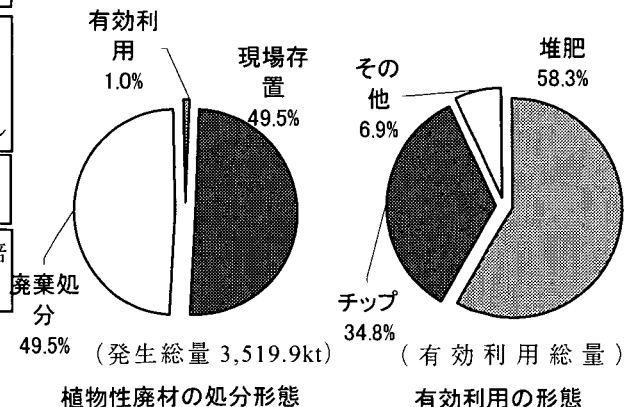


図-1 緑のリサイクルの系統



と考えられるが、再利用資材の他産業への供給が開かれているとは言えない現状であり、建設関連事業での内部利用を主に考えるとすれば、有望な利用方法は、チップ化と堆肥化、加えて炭化といった利用方法であろうと考えられる。

3. チップ化・堆肥化・炭化の技術的現状と課題

1) チップ化・堆肥化

チップ化、堆肥化の基本的な製造技術は、既に確立されていると言え、道路事業や公園事業の先進的な現場では、チップ化、堆肥化のプラントが稼働している。しかし、再利用を全国展開するに際しては、計画的な技術においていくつかの検討課題が残されている。

ひとつは、様々な現場条件により、発生量や発生時期が異なる植物性廃材の処理プラントとしていかに効率的・経済的にプラントを設置し、運営できるかという問題である。解決の方向としては、複数の発生原因者が共同で比較的大規模なプラントを所有することにより、植物性廃材収集域の大規模化のメリットにより、プラントが遊休化することを避ける方策があげられる。一方、このような大規模化の対応が不可能な現場では、逆にプラントをできるだけコンパクトなものとするのが有効と考えられ、これに対応するコンパクトな堆肥化システムが民間企業により開発されている¹⁾。また、プラントの設置がなくともチップ化・堆肥化は可能であり、十分な工事ヤードがある場合には野積みによる堆肥化が有効である(写真-1)。さらには、自らチップ化・堆肥化を行わずとも業務として請け負う造園関連企業が既に存在しており、発生条件によっては外注が効果的な場合もあり得るだろう²⁾。

もうひとつの課題は、チップ・堆肥の生産量と消費量のバランスの問題である。当研究室が道路、公園、河川の3事業について試算したところ、全植物性廃材を堆肥化した場合、道路・公園事業については、内部の需要量内に収まるのに対し、河川事業では、発生量自体が3事業の約79%を占めるうえ、内部消費が全くないため、3事業が連携したにしても製品の消費目処がたたないという結果が得られた(図-3、図中の需要量は発生量ベースに換算したもの)。堆肥化を円滑に進めるためには、需要と供給のバランスを図ることが必要であるため、河川からの発生材の堆肥化は重大な問題を抱えていると言えるが、現存する大規模な堆肥化プラントのいくつかにおいては、農協など外部の利用者との連携が行われており、問題解決の参考となるだろう。なお、市民への無償提供や、一般の流通に乗せることも考えられるが、現存の肥料生産業界への影響もあり、十分な検討が必要と思われる。

2) 炭化

炭化したものを土壌改良材として用いることは、地球温暖化の防止のためのCO₂固定という観点からも期待される再利用方法である。類似の農業・造園資材として、ヤシ殻炭やモミ殻炭などがあり、炭化は、植物性廃材の有望な再利用策として期待されるところである。しかし、炭化にかかるコストや、エネルギー消費量については、残念ながら当研究室としては情報を有しておらず、今後の調査検討が必要とされるところである。



写真-1 第2東名高速道路建設現場での野積みによる堆肥化の状況

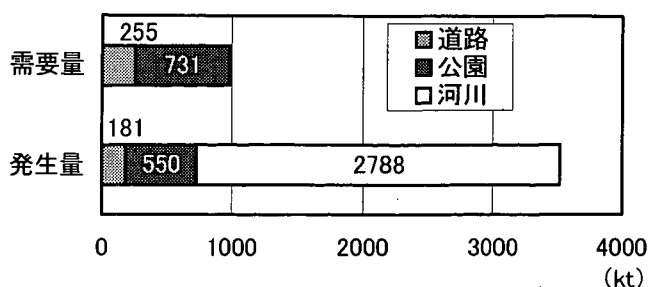


図-3 植物性廃材発生量と堆肥需要量の関係

が必要とされるところである。

4. 再生資材ののり面緑化への利用

再生資材の内部利用を図るにあたり、のり面緑化資材としての利用は、多量の消費が期待されるもののひとつである。

1) 堆肥の利用

植生基材吹付工による緑化では主要基材としてバーク堆肥とピートモスを混合して用いており、このバーク堆肥に替わるものとして植物性廃材による堆肥の利用が試行されている。

吹付工に利用される堆肥には一定の粒度が必要とされ、当研究室の試験施工では、粒径 30mm を越えるような大きな粒子を含む堆肥を使用した場合、吹付ホースの閉塞が頻繁に生じることが観察されている。また、日本道路公団による試験施工では、肥料の粒度が細かく、粒径 0.3mm 以下の重量率が 26%を越える場合は、水分を含むと粘りが生じやすく、吹付ホースの閉塞を招くとしている。日本道路公団では、さらに最大粒径 30mm、0.3mm 以下重量率 16~18%に調整した堆肥を用いた改良試験を実施し、良好な作業性と緑化成績を得ている。改良試験での植生基材の配合内容を表-1 に示すので参考とされたい³⁾。

2) チップの利用

上記の堆肥としての利用の他に、針状に粉碎したチップを、基盤の補強材・改良材として植生基材に混合する工法が実施されている。この工法は堆肥化に手間を要する根系を含め、現場処理によりチップ化し利用するもので、作業効率性が高いと思われる。チップの分解・発酵が植物に影響を与える可能性が考えられるが、施工 2 年程度の観察では植物の生育は良好な状態を示している⁴⁾。

5. 雑草発生の抑制

雑草発生の抑制は、廃材の減量というよりは、むしろ省力化という観点から話題にされることが多い問題である。根本的な解決策がないのが現状であるが、除草剤処理のほか、防草シート、各種資材によるマルチングなどの対策が、芝生地、植栽植込地などの現場条件に合わせて実施されている。

除草剤の使用は効果的ではあるが、水系や人間を含めた生物への影響が懸念されるところであり、社会的には極力使用を避ける趨勢にあると言える。やむを得ず使用するに際しても、その魚毒性、分解性などを確認し、使用時期や範囲に留意した限定的な使用に努めるべきであろう。

また、マルチングによる雑草発生抑制策として廃材チップの利用が行われている。その効果は定性的ではあるが広く認められるところである。しかし、所要の厚さ、効果の期間、必要なメンテナンスなどについては、詳細な報告がなく、今後の調査が期待されるところである。

表-1 植生基材吹付工の基盤材配合
(平成11年施工)³⁾

		(t=5cm)	1m ³ 当たり
材料	品質	配合量	
肥料	化成肥料	6.0kg	
接合材	高分子系合成樹脂	4.0kg	
客土	リサイクル堆肥	1,400L	
	ピートモス	600L	
水分調整材	吸水ポリマー	3.0kg	
種子		1式	

脚注と参考文献

- 1) ここでは具体的企業名はあげないので、詳細な情報が必要な場合は当研究室もしくは、(財)都市緑化技術開発機構に問い合わせられたし。
- 2) ここでは具体的企業名はあげないので、詳細な情報が必要な場合は当研究室もしくは、(社)日本造園建設業協会に問い合わせられたし。
- 3) 大竹基広、吉田裕介、横田聖哉：植物発生材を用いたのり面緑化用基盤材の製造について、第 42 回業務研究発表会論文集(その 1)、pp.297-300、日本道路公団、2000
- 4) 横塚亨、小林正宏、斉藤茂、細江清二：未分解チップ施用土壌による法面緑化事例、日本緑化工学会誌、25-4、pp.471-474、2000

Ⅲ－２．１ 河道計画策定の検討に必要な諸条件の解釈

質問者：中国地方建設局河川部河川計画課

回答者：河川部河川研究室（内線４２２１）

質 問

河道計画策定にあたっては、土木研究所資料等の資料に基づき鋭意策定に向けての作業を実施しているところであるが、河道流下能力を把握するにあたって必要となる諸条件のうち、樹木群の扱いや、砂州による水位上昇の考え方について、不明な点があり、ご教示願いたい。

【質問１】樹木群の粗密の扱い

「河川における樹木管理の手引き」によれば、樹木の形状や密生状況に応じた透過係数が用いられることとなっており、密な樹木群と粗な樹木群に仕分ける様指導されている。この仕分けの形態例として写真が貼付されているが、あまりにも明らかな例であり、中間層の仕分けに苦慮している。中間層の仕分け方として、樹種、密生度等の指標による判断基準等があればご教示願いたい。

【質問２】樹木が冠水する場合の樹木群上面境界における境界混合係数の設定

上記した「手引き」によれば、樹木群側面の係数は表現されているが、上面については考慮されていない。樹木上面にもせん断力は働くものと考えるが、設定の是非及び設定するとすればどの程度の値が良いかについてご教示願いたい。

【質問３】砂州による水位上昇の考え方

標記について、「河床勾配の緩やかな河川においては、直線河道における兩岸の洪水痕跡の差（差の大きな３出水の平均値を使用）の 1/2 を加味する」といった知見があるが、加味するとかなり大きな値となるケースがあり、使用にあたっては躊躇する場合がある。改善の手法等があれば、ご教示願いたい。

回 答

【回答１】樹木群の粗密の扱い

高水敷に樹木群が繁茂すると、樹木の抵抗により樹木群内の流速が低減するとともに、樹木群内外での流れの干渉により樹木群周囲の流れが減速され、結果的に水位・流速分布が変化する。従って、水理計算上、樹木群及びその下流域を死水域と見なしたり、樹木群内外の干渉（境界混合）を見込んで、準２次元不等流計算を行うことにより樹木群による水理的影響を把握する必要がある。「河道計画策定の手引き（案）¹⁾」では樹木群が死水域と見なせるのは樹木の密生度が高い場合であり、密生度が低い場合は樹木群の 7 割を死水域と見なすよう、規定している。

手引きでは「河川における樹木管理の手引き²⁾」を参考にして、高水敷上の樹木群の繁茂範囲、高さ、密生状況を整理するよう規定している。樹木管理の手引きでは樹木の密生状況、下草の状況、既往出水時のごみや流木による閉塞状況などの現地踏査結果に基づいて、樹木群の粗密状態から死水域となるかどうかを判断することとしている。

しかし、質問にあるように、この密生度は抽象的な指標であり、客観的な判断が難しい場合がある。樹木群の水理的影響を把握するには 2 通りの方法がある。先ず①樹木の植生密度や枝密度を考慮した透過係数により密生状況を表現する方法がある（樹木管理の手引きのなかでも 2、3 次元解析では樹木の形状、密生状況に応じて透過係数を用いることが記述されている）。ここで、透過係数とは以下の式で表した係数で、係数の値が小さくなるほど樹木の影響を受けて流下しにくくなることを意味している。

$$K = (a_w C_D / 2g)^{-1/2} \quad (1)$$

$$a_w = N \cdot a / (A \cdot h) \quad (2)$$

ここで、 a_w ：単位体積の流体中にある枝の総投影面積、 C_D ：幹の抗力係数、 g ：重力加速度、 N ：樹木数、 a ：樹木1本あたりの幹及び枝の総投影面積、 A ：繁茂面積、 h ：水深である

現地において行った樹木調査結果より、 a_w を求めた。この際、幹のみが冠水するケースを想定しており、高水敷の単位面積あたりの幹の直径である a_w を求めるには、幹間の距離 L と幹の直径 D が必要となる。しかし、適切な現地データがなかったため、 a_w と L 、 D との関係性を想定して、以下の式を仮定した。

$$a_w = \left\{ 0.65 \left(\frac{L}{D} \right)^2 D \right\}^{-1} \quad (3)$$

現地の5地点において計測した L 、 D より a_w を求めて、(1)式を用いて透過係数 K を表-1のように評価した ($C_D = 1$ としている)。こうして得られた K の値と現地における粗密の状況を比較すると、少ないデータではあるが、 $K \geq 70$ では粗、 $K \leq 40$ では密な植生状況であると判断できる。従って、粗密の境界は $K = 50 \sim 60$ 前後に存在すると推察される。

表-1 各樹種毎の諸元、 a_w 、 K

No.	樹 種	高 さ (m)	横断幅 (m)	25m ² あたりの の本数	a_w (1/m)	K (m/s)	粗密の 判定
①	マダケ	10	60	120	0.17	10.7	→密
②	マダケ	10	60	160	0.31	8.0	→密
③	カワヤナギ	5	120	1	0.004	70.0	→やや粗
④	カワヤナギ	6	10	3	0.012	40.4	→やや密
⑤	カワヤナギ	6	10	3	0.012	40.4	→やや密

次に、②樹木群を死水域とした場合と樹木群内を流れる流量を評価した場合の水深計算結果が許容誤差範囲に入るかどうかにより、樹木群の密生度を判断するという方法がある。以下には後者の方法の概要について述べる。

樹木群内を死水域とした場合の等流水深、流速を h_0 、 u_0 、樹木群内の流れを勘案した場合の等流水深、流速を h_1 、 u_1 とすると h_0 、 h_1 は以下のように表せる。

$$h_0 = \left\{ \frac{n^2 u_0^2 B}{B i_b - (1 - h_f/h_0) f/g u_0^2} \right\}^{3/4} \quad (4)$$

$$h_1 = \left\{ \frac{n^2 u_1^2 B}{B i_b - (1 - h_f/h_0) f/g (u_1 - u_2)^2} \right\}^{3/4} \quad (5)$$

また、各々の流速、総流量については次のように表示できる。

$$u_0 = \frac{Q}{B h_0} \quad (6)$$

$$u_1 = \frac{Q}{B h_1} - u_2 \frac{b}{B} \left(1 - \frac{h_f}{h_1} \right) \quad (7)$$

$$Q = Q_1 + Q_2 \quad (8)$$

(6) (7) (8) 式より

$$\frac{u_0}{u_1} = \frac{h_1}{h_0} \left(1 + \frac{Q_2}{Q_1} \right) \quad (9)$$

(4) (5) (9) 式を用いて式を展開するとともに、各項のオーダー比較により h_0/h_1 は以下の様に表示せる。

$$\left(\frac{h_0}{h_1} \right)^2 = \left(\frac{h_1}{h_0} \right)^3 \left(1 + \frac{Q_2}{Q_1} \right)^3 \quad (10)$$

$$\text{従って、} \quad \frac{h_0}{h_1} = \left(1 + \frac{Q_2}{Q_1}\right)^{0.6} \doteq 1 + 0.6 \frac{Q_2}{Q_1} \quad (11)$$

となる。

ここで、 u_1 、 Q_1 は低水路内の平均流速・流量、 u_2 、 Q_2 は樹木群内の平均流速・流量、 h_f は河岸高さである

水深の計算誤差が h_1 の5%以内になる（樹木群が密と見なせる）には、以下の式を満たす必要がある。

$$\frac{h_0 - h_1}{h_1} = \frac{h_0}{h_1} - 1 = 0.6 \frac{Q_2}{Q_1} \leq 0.05 \quad (12)$$

$$Q_1 = \frac{1}{n} h_1^{2/3} i b^{0.5} h_1 B \quad (13)$$

$$Q_2 = K i b^{0.5} b (h_1 - h_f) \quad (14)$$

ここで、 B は低水路幅、 b は樹木群の幅である

上式より、以下のように展開できる。

$$\left(\frac{Q_1}{Q_2}\right)^2 = \frac{C_D}{2g} \frac{a_w}{n^2} \left(\frac{B}{b}\right)^2 \frac{h_1^{4/3}}{(1 - h_f/h_1)^2} \geq \left(\frac{0.6}{0.05}\right)^2 \quad (15)$$

$$\frac{a_w}{(1 - h_f/h_1)^2} \geq \left(\frac{0.6}{0.05}\right)^2 \frac{2g}{C_D} \frac{n^2}{h_1^{4/3}} \left(\frac{b}{B}\right)^2 \quad (16)$$

上式より分かるように、樹木群の粗密を評価する区間の B 、 b 、 n 、 h_f 、 h_1 が分かれば、樹木特性（樹木数、繁茂面積など）である a_w の調査より、樹木群が密か粗かの判断を行うことができる（ $C_D = 1$ と仮定できる）。一例として、低水路の河床波、粗度係数、水深を変えて調べた結果を図-1に示す。図中で曲線より上の領域に該当する樹木群は密であると判定できる。すなわち、図中では①②のマダケが密の領域にあり（②の縦軸値は1以上であり図中に表示されていない）、③のカワヤナギが（河道条件によるが）やや粗の領域に位置しており、④⑤のマダケがやや密の領域に位置していることが分かる。

ただし、上記した樹木群の密生度の判定手法は未だ暫定的な手法であり、また観測事例が少ないので、今後詳細に検討していく必要がある。

【回答2】樹木が冠水する場合の樹木群上面境界における境界混合係数の設定

冠水（水没）した樹木群では樹木群内を通過する流れと樹木群上部を通る流れの2種類の流れがある。前者の流れでは流体塊の各部分が樹木を構成する幹、枝、葉からほぼ均等に抵抗を受けるのに対して、後者の流れでは、流れの底面でのみ重力に抵抗するせん断力

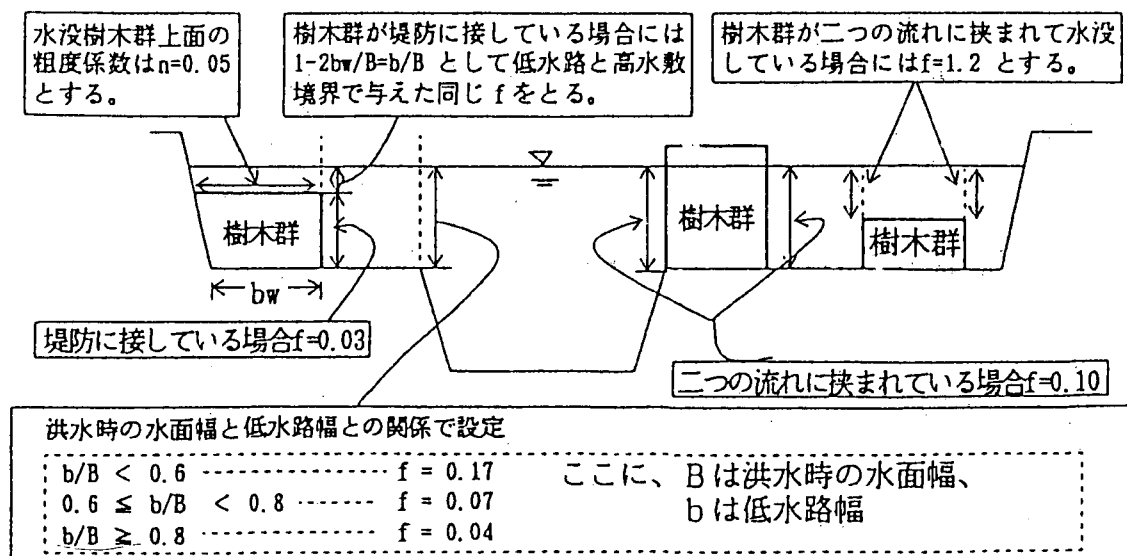


図-2 標準的な境界混合係数 f の値

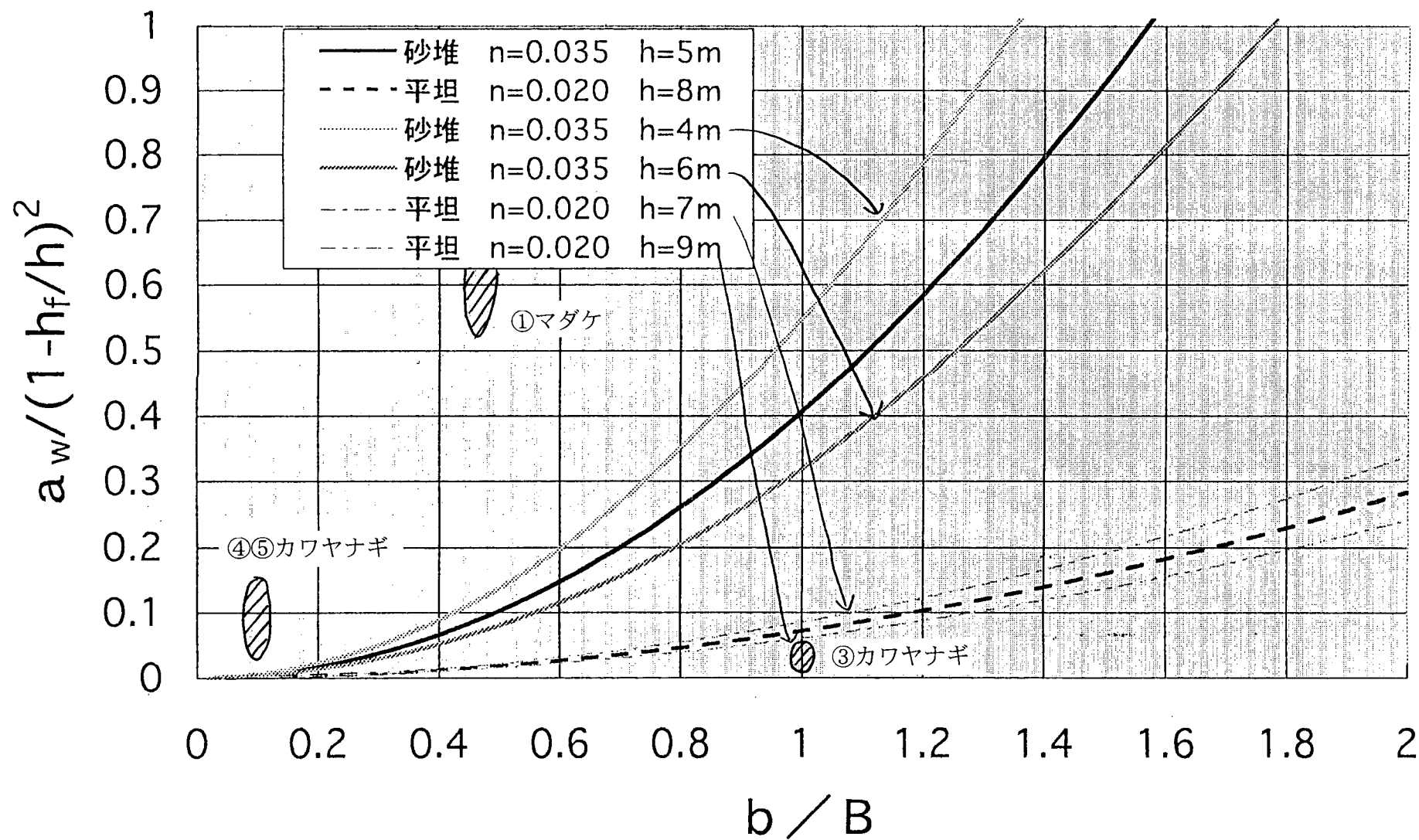


図-1 樹木群の粗密の判定曲線

が作用するため、両者の抵抗特性は分けて考える必要がある。

境界混合係数 f は【回答 1】で記述した樹木群内外での流れの干渉の強さを表す係数であり、基本的には樹木群内の流れとその周囲の流れとの干渉度を表している。従って、樹木群とそれに接する境界領域について、様々な状況に対応させた水理模型実験等の結果より求められた f を用いて抵抗特性を表現するものである（図－2 参照）。

質問にある後者の流れでは、通常の河床に作用するせん断力と同様の考え方で重力とせん断力（抵抗力）とのつりあい関係から抵抗特性が求められるため、特性を表すパラメータは境界混合係数では評価されず、手引きで記述している粗度係数（ $n=0.05$ ）を用いて抵抗特性が表現される。

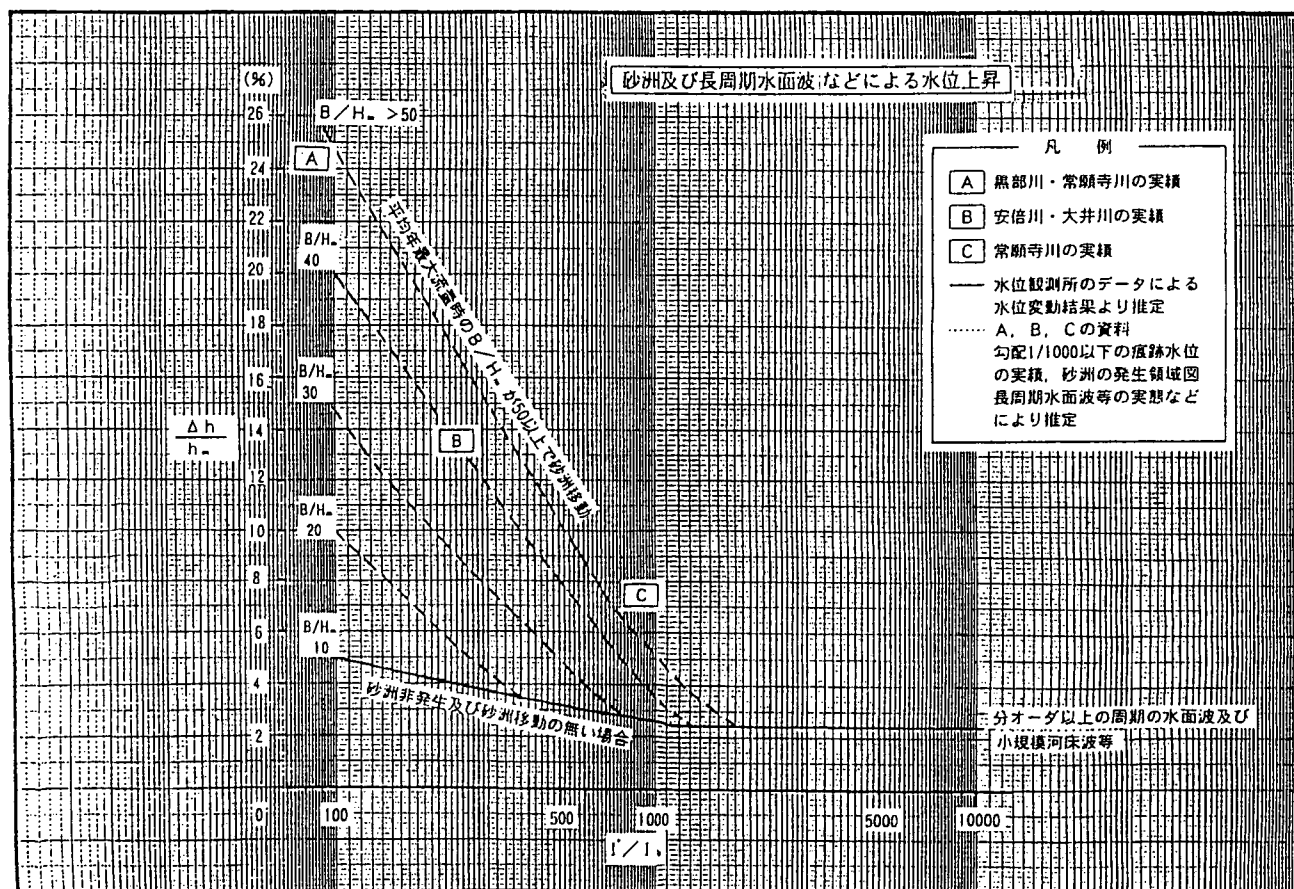
【回答 3】砂州による水位上昇の考え方

手引きのなかでは水位上昇要因として砂州、橋脚、湾曲などについて記述している。

河道内に砂州がある場合は河床勾配が $1/2000$ より緩勾配か、急勾配かに分けて水位上昇量の算定手法を記述している。

- ・河床勾配が $1/2000$ 以下の場合
水位上昇量は低水路平均水深の 2.5 % とする。
- ・河床勾配が $1/2000$ 以上の場合

水位上昇量は直線河道区間の左右岸の痕跡水位差の上位 3 位までのデータの平均値の $1/2$ を採用する。すなわち、左右岸の痕跡水位差を用いて水位上昇量を求めるのは質問にある「緩やかな河川」ではなく、「河床勾配が $1/2000$ 以上の急な河川」である。ただし、過去の痕跡水位データが少ないと、適切な評価ができない場合があるので、もし、データ数が少ない場合は手引きで記述しているように、河床勾配と低水路平均水深の関係より求めたグラフ（図－3 参照）を用いて水位上昇量を評価することが望ましい。



図－3 砂州等による水位上昇量

質問では痕跡水位差より求めた水位上昇量が過大になったとあるが、何を根拠に過大と判断しているかが不明であり、もし得られた水位上昇量を加算した結果、計画高水位を上回ったならば、上記したようにデータ数が十分かどうかを検討するとともに、粗度係数が妥当であるかどうかについて検討する必要がある。低水路粗度係数の検討にあたっては土木研究所資料第 3642 号³⁾を参考されたい。

参考文献

- 1) 建設省河川局治水課：河道計画策定の手引き（案）、1996.4
- 2) (財)リバーフロント整備センター：河川における樹木管理の手引き－河川区域内における樹木の伐採・植樹基準の解説－、山海堂、1999.9
- 3) 藤田光一・山形宙：河道計画における低水路粗度係数の推定に関する資料、土木研究所資料、第 3642 号、1999.3

Ⅲ－２．２ 急流河川における河川整備の考え方

質問者：倉吉工事事務所

回答者：河川部河川研究室（内線 4 2 2 2）

質 問

現在、天神川において、河川整備基本方針及び河川整備計画の検討作業を進めているところであるが、天神川上流部は特に河床勾配が急で局所的な深掘れが激しく、堤防への影響が懸念される。一方、短・長期降雨による土砂移動の予測では、堆積深が部分的に 6 m を越える箇所があるとの計算結果も出ている。

このように、河床変動の激しい河川の整備の考え方についてご教示願いたい。

回 答

河床変動の激しい河川に限らず河川整備を適切に行うには、まず適切な河道計画が立てられているかを確認することが必要である。この河道計画の基本的な考え方は「現況の河道の特性を尊重し、維持管理の容易な河道計画を策定する」ことであり^{参考 1)}、これによると、「新河道計画」を策定するにあたって従来の河道計画と比較して特に流下能力、河道の安定性、環境との調和、モニタリング結果の計画への反映に考慮する必要があると指摘している。河床変動の激しい急流河川においては、これらのうち河道の安定に関する調査・検討が特に重要であり、長期的な現況河道の安定については次のような方法により判断することができる。

- ・これまでの河床横断測量から平均及び最深河床高、低水路幅の経年的な変化を整理し、これと砂利採取や砂防ダム・床固設置等の人工的改変による影響を調査し、今後のトレンドが大きいかな否かを判断する（平均河床高が 10 年間で 30～40cm 以内が安定河道の一つの目安^{参考 1)}）。
- ・平均年最大流量時の水理量（無次元掃流力 τ_{*R} 、摩擦速度 U_* ）と河床材料粒径 d_R の間には図-1 及び図-2 に示すような密接な関係があり^{参考 2)}、現況河道における値がこの関係からずれているほど安定度が低い傾向にあると言える。

上記結果を河道断面の設定に反映させることが必要である。

一方、洪水中に河道が変化した場合には、その後の通常の維持・管理では対応しきれないため、洪水中の変化を予測して次のように河道計画の中に取り込んでおくことが重要である。

洪水中の変化で重要なものは、平均河床高の変化と局所洗掘の発達である。平均河床高の変化は、疎通能力に影響を及ぼし、特に砂利河道（セグメント 1、2-1）から砂河道（セグメント 2-2）への変化点近傍では河床上昇によって疎通能力不足になる可能性が高い。この場合には、河床上昇量を洪水前後の河床高の測定結果や想定すべき洪水規模での河床変動計算等から求め、これを計画高水位の設定や適切な河床管理を行う際に考慮する必要がある。また洪水中の河床高変化や砂州の移動流下に伴う流れの偏りと水衝部の位置の変化により、河川構造物の破壊や河岸・堤防等が侵食され危険度も高くなる。この場合には、想定すべき洪水による河岸侵食幅や護岸強度等のレベルに応じた河岸防護ライン^{参考 1)}を設定し、このラインを越えて侵食が進行する危険度が高くなった時点で防護の対応策を講じる必要がある。つまり、従来の河道計画のようにその河道形状をタイト及びハードに防護するのではなく、想定された被災危険度に応じた臨機応変の対応策を図ることが今後は重要であると言える。この一例として、黒部川^{参考 3)}や常願寺川^{参考 4)}においては、ある程度の河岸侵食を許容することを前提として、水理模型実験によって場所に応じた種々の対策工の配置計画が検討された。これによって、縦工（対策工種）の設計諸元は主に砂州スケールに規定されることが

普遍的である等の結果が得られており、河岸侵食対策を考える際の一つの参考になると考えられる。

以上のように、河床変動の激しい河川においては、特に河道安定に留意した河道計画の策定が重要である。これに関する知見は完全ではないため、今後、河道状況の不断のモニター、河道変化予測と対応策に関する新しい情報の集積と技術開発、それらの河道計画・河道管理への投入を続けていくことが肝要である。

参考文献

- 1)建設省河川局治水課：河道計画策定の手引き（案）、1996年4月．
- 2)山本晃一：沖積河川学－堆積環境の視点から－、1994年9月．
- 3)山本晃一、高橋晃、林正男：黒部川の河道特性と河道計画、土木研究所資料第3139号、1993年2月．
- 4)藤田光一、坂野章、他：水理模型実験による常願寺川河道計画の検討、土木研究所資料第3704号2000年3月．

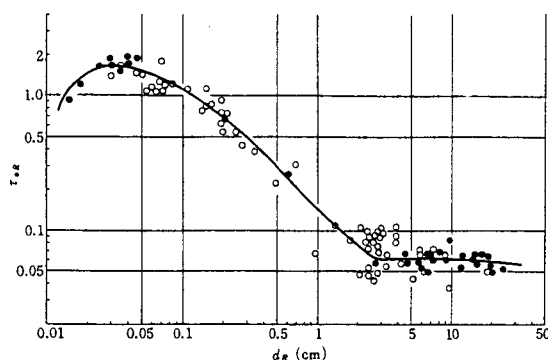


図-1 τ_{*R} と d_R の関係

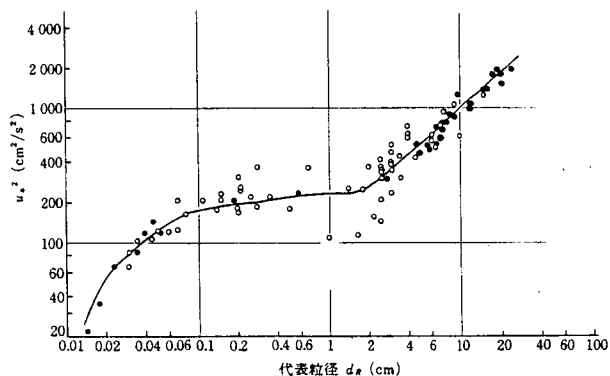


図-2 U_*^2 と d_R の関係

Ⅲ－２．３ 感潮区域の護岸の変状対策

質問者：太田川工事事務所

回答者：河川部河川研究室（内線４２２３）

質 問

太田川の市内派川における感潮区間の護岸は石積み護岸が多く、特に老朽化した護岸部においては、護岸背面土砂の流出に伴い、空洞化、護岸天端付近の陥没が頻繁に発生している。その原因としては、護岸裏法部の土砂の吸い出しが主な原因と考えられる。また、状況により護岸裏法部の局所洗堀が起こり、法尻部からの土砂流出→裏法部の流出→陥没、あるいは残留水圧によるパイピングによる裏法尻部の土砂流出→陥没等が考えられる。

これらの箇所の変状調査は、護岸背面の空洞箇所を明らかにすることを目的として、被害履歴の調査、護岸の観察、物理探査手法（非破壊調査）の実施、ボ－リング調査等が考えられるが、かなりの広範囲であり、順次調査となるものと思われるが、調査の優先順位の考え方、その他考えられる調査手法等具体的なものをご教示願いたい。

また、陥没等に関しては、土砂や土嚢での補修や石積の開口部は、モルタル等の開口部の閉塞等応急的措置は考えられるが、通常のメンテナンス手法や抜本的対策手法等あればご教示願いたい。

回 答

護岸背面の空洞化発生のメカニズムとしては次のものが考えられる。

(1)洪水流によるもの

- ① 護岸基礎の浮き上がり→洪水流による法尻からの土砂流出
- ② 護岸法肩の侵食・洗堀→護岸法肩を流れる洪水流により背面土砂が流出
- ③ 護岸法覆工裏の上下流方向にみず道発生→洪水時のみず道内の流速増大に伴い背面土砂も流出→空洞拡大

(2)水位変動、降雨によるもの

- ④ 潮位変動の下げ潮時、洪水減水期の水位低下時に背面土内の浸透水が流出する際に護岸裏の土砂を吸い出すもの（パイピングも含む）
- ⑤ 航行波、波浪が護岸に反射する際の打ち上げ、引き戻りの際に生じる流れによって、護岸裏の土砂が吸い出されるもの。護岸鉛直方向にみず道がある場合吸い出されやすい。
- ⑥ 護岸背面土に浸透した降雨が河川に流出する際に背面土砂の細粒分を合わせて移動させ、この繰り返しのメカニズムによって空洞化が発生する（パイピングも含む）

(3)圧密、締め固めによるもの

- ⑦ 築堤、盛り土によって軟弱な基礎地盤に圧密沈下が生じ、護岸表面でアーチングあるいは梁構造で突っ張っている護岸背面に空洞が発生するもの
- ⑧ 締め固めが不十分な堤体土が、天端の通行車両の振動等によって締め固められることによって沈下が生じ、堤体表面でアーチングあるいは梁構造で突っ張っている護岸背面に空洞が発生するもの。

これらメカニズムについて危険度の高さの観点で順番をつけると次のように考えることができる。

- ・ 一度発生したあとの（瞬間）進行速度：(1)＞(2)＞(3)
- ・ “ 進行の頻繁さ：(2)＞(3)＞(1)

(1)の洪水流による背面土砂の流出、空洞化の進行は、洪水期間中の進行速度が速いことから、堤防に与える危険も大きく、最も警戒すべき空洞発生メカニズムである。(2)の水位変動、降雨による空洞化進行メカニズムは、(1)ほど瞬間の進行速度は速くないものの、外力の発生頻度が高い（④であれば日２回、⑤であれば船舶の航行数、⑥であれば降雨回数）ため、一度発生すると長期間平均した進行速度は大きいと考えられる。また、(2)のメカニズムによる空洞・みず道の発生が、(1)の進行のきっかけとなる可能性もある。(3)は、瞬間

進行速度は最も遅いと考えられるが、護岸の下で長期間にわたってジワジワ進行し、発見しづらいメカニズムである。(3)による空洞化が(1)や(2)のメカニズムが進行するきっかけをつくる可能性もある。空洞化調査計画の立案にあたっては、これら発生メカニズムの性質を踏まえておく必要がある。

空洞化の調査は、発生・進行メカニズムによって調査ポイントが変わる。すなわち、①のメカニズムに対する調査のポイントは、護岸基礎が浮き上がっているかどうか、浮き上がるおそれがあるかどうかをチェックすることである。したがって、管内の護岸基礎高、根入れ高と最深河床高及び将来予測最深河床高を縦断図に整理し、最深河床高<基礎高・根入れ高となっている区間が要注意箇所としてピックアップできるであろう。最深河床高発生箇所が護岸に近ければ最も注意を要する場所といえる。②のメカニズムは、護岸法肩が土羽となっておりかつ洪水時に高流速の流れが当たる場所（例えば湾曲部外岸、床固め等横断構造物取り付け部など）が要注意である。③のメカニズムは、机上の絞り込みは難しい。日頃の点検で護岸表面及び裏に穴が空いている場所がないか注意しておくことが重要であろう。④、⑥のメカニズムも、天端が陥没するなど表面に異常が発生するまで発見が困難なものである。異常が表面化する前に発見したければ空洞化調査を行うしかない。⑤のメカニズムは、船舶の航行が盛んな場所、波浪が当たる区間から重点的に調査すべきであろう。⑦については、治水地形分類図、地質図等から基礎地盤が悪い場所をピックアップすることで注意箇所を絞ることができよう。⑧は、堤防天端が道路になっている箇所など締め固めが進行する箇所であつ、築堤時の締め固めの施工記録がはっきりしない場所がピックアップすべき場所となろう。

メカニズム別に要注意箇所がピックアップされた後に、空洞化調査を行うことになる。メカニズムによっては要注意箇所のピックアップができないもの（④、⑥など）もあり、ピックアップした結果多数の箇所に及ぶ、長い区間にわたるという場合もある。その際には要注意箇所の中でも優先順位付けを行う必要がある。この場合には、後背堤内地の重要度、護岸から堤防までの距離、洪水時の水衝部かどうかなどを総合的に判断して優先順位を整理することも重要であろう。

空洞化の非破壊調査手法には、表-1のような方法がある²⁾。表には、原理、適用限界も合わせて示されているので、現場状況と比較の上適切な手法を選択されたい。表に掲げられている方法以外にも、原始的ではあるが、目視観察や打音検査も空洞化の有無を調査する有効な手法と思われる。隙間、穴ができている場所には CCD スコープも有効であろう。

メンテナンス及び抜本的対策については、メカニズム別に対策を考える方がよいであろう。①については、基礎や根の浮き上がりによる隙間を解消することが重要であり、埋め戻し及び根固め工投入が応急対策となろう。しかし、基礎の根継ぎ、護岸張り替えなどの抜本対策が早急に行われることが必要であろう。②については、法肩工天端保護工で被覆することが対策となろう。③は、みず道内の流速を遅くすることが進行を遅くする対策となるので、みず道となっている空隙の埋め戻し、出入り口の閉塞が応急対策となろう。抜本対策は、みず道が発生した原因を明らかにした上で対策を行う必要がある。つまり、⑦、⑧が原因でみず道が形成されるのか、④～⑥が原因でみず道が形成されるのかで対策が変わるであろう。④、⑥については、みず道の遮断とフィルターの施工、みず抜き対策が必要であろう。⑤については、波の打ち上げ、戻り流が直接背面土にあたらないようにすることが必要であろう。⑦、⑧は、速度と最終的な沈下量を見越した上で随時応急対策を行うのか、抜本対策を行うのか検討する必要がある。

参考文献

- 1)常願寺川堤防強化対策検討会報告書 (財)国土開発技術研究センター 平成11年3月
- 2)河道管理のための点検技術に関する研究 河川局治水課・土木研究所河川研究室 第52回建設省技術研究会報告 平成10年度

表-1 堤防の安全性を把握するための調査法の比較・検討

調査法	原理	調査・解析の手法	制約条件	調査能力	対象物	適応性	将来性・評価
高密度電気探査	地盤を構成する岩石や土粒子によって電気的性質が異なることに着目し、人工的に電流を流し、岩盤地盤の見かけの比抵抗の変化を計測し、地下の状態や構造を推定する。	・必要精度程度の間隔で電極棒を打設。 ・電極間隔を移動させ測定する。 ・解析は、有限要素法によるシミュレーションを行うことから地形補正し、その後モデルを設定し、反復法を用いて比抵抗分布を作成する。	①水中・豪雨時は探査を避ける。 ②アスファルト・コンクリート構造物の下面は不可（ただし、穴開可能ところは可）。 ③高電圧線、鋼矢板等の近隣を避ける。 ④地形が45°以上は極力避ける。	①可深深度は通常5~100m。 ②分解能は、最小電極間隔に相当し、探査深度Dの1/10~1/15程度が安定。電極の接地抵抗を小さくすると向上。 ③1日につき100~300m測定可能。 ④飽和度の高いまたは地下水で深の地質は不明瞭。	〔堤防〕 地盤構造 地下水の把握	・堤体の土質分布を把握できる。 ・土質毎の浸潤状態を定量的に表現できる可能性大。 ・効果的な測定電極配置は水平間隔1m程度。 ・4極法と2極法の対比では、ダイポール・ダイポール法が2極法と同等の結果を得、土質分布と一致（土研）。	・堤防の縦断方向と横断方向の測定をすることにより、3次元解析ができる可能性大。 ・土研で堤体探査技術マニュアルが作成され、探査方法・解析方法が簡便化される。 ・キャパシタ電極を用いた場合は、制約条件②を軽減できる。 ・浸潤線のモニタリングが出来る。
連続波レーザ探査	電磁波の反射現象を利用。従来、発振源としてパルス波を用いている地下レーザ法と呼ばれるものが、探査深度を改善べく送信波を連続波にしたもの。	・電磁波を利用する反射法探査。 送信用アンテナから地中に向けて電磁波を送り、反射波を受信用アンテナで受信する（7MHzは±1~100MHz）。 ・解析は、弾性波反射法等で開発されてきた波形解析方法を用いる。	②コンクリートの厚さが厚い（>1m）と不能。 ③鉄筋間隔15cm以下の探査は好ましくない。 ④平坦面が好ましい。	①可深深度10~20m（土質地盤）。 ②分解能は、50~100cm（土質地盤）。 ③1日に100m測定可能。	〔堤防〕 地盤構造 〔護岸〕 〔構造物〕 空洞	・堤体の土質分布（ボーリング）とほぼ一致。 ・層厚1m程度の粘性土層は反射境界面が不明瞭。これは、分解能の限界による。 ・硬質土層が浅部に存在する場合、反射波は散乱・減衰し、以深の情報に影響を及ぼす。 ・同土質中の反射境界面は、物性値（N値）の変曲点に相当する。 ・空洞、埋設管探査も可能。	・マルチ・チャンネル計測を実施した場合、計測時間を要するがS/Nの向上が期待される。しかし、アンテナの向上、有効パラメータの決定、等の問題あり。 ・浸潤線の把握はむずかしい。
地下レーザ探査	電磁波の反射現象を利用。地中に向けて電磁波を発信し、音響インピーダンスの異なる位置で反射した反射波を観測する。	・測定は、プロファイリング測定が行なわれ、地中の電磁波の速度をもとめるためにワイト・アングル測定される。 ・解析は反射法で使用するデータ処理法を応用する。	②コンクリート厚が1m程度であれば探査可能。 ③鉄筋間隔15cm以下の探査は好ましくない。 ダブル配筋の場合、千鳥配列では対応不能。 ④平坦面が好ましい。著しい凹凸の場合、解析に影響。	①可深深度は2m程度。 ②分解能は波長お1/2程度。 ③1日に数km測定可能。	〔護岸〕 〔構造物〕 空洞	・コンクリート厚1m程度（淡水域）で地盤中50cm以上の情報が得られるため空洞探査可能。 ・配筋間隔が15cm未満であっても送信周波数を換えることにより測定可能。 ・空洞は厚さ5cm以上を検出可能。 ・反射波の振幅・位相の違いに注目し、定量的に空洞を把握できる可能性大。	・解析時間の短縮が測れば、災害時の緊急時により的確な対応が可能となる。 ・解析時間の短縮が測れば、災害時の緊急時により的確な対応が可能となる。
熱赤外線探査	物体は、その表面から赤外線を出して、温度と密接に関係しており、表面温度は材質の比熱などの物理的性質の相違から異なった温度変化を示すことを利用する。	・測定は赤外線カメラを対象物正面に設置する。 ・最も明瞭な温度分布画像が得られるように、測定温度の範囲などを設定し温度分布を記録する。	①晴天もしくは薄曇りの天候であること。 地下水位より上位であること。 ②コンクリート厚が1m程度までは探査可能。 ④可能な限り対象物正面に設置。	①可能深度1m程度。他文献では10cm前後。 ②空洞はφ50cm以上。 ③1日に約800m ² の撮影範囲。 ④土質の種類には特に限定されない。	〔護岸〕 〔構造物〕 空洞	・空洞探査の調査として適用可。 ・探査限界は、縦50×横50×厚さ5cm程度である。 ・適切な時期は、夏季、晴天、早朝と夕方の組合せ。 ・一概に数値だけで識別判断することは難しい。	・調査という位置付けでは適用可能であるが、堤防に適用するのは、探査深度の問題がある。
打診音探査	物体を打撃すると、全音域エネルギー中に占める特定周波数帯エネルギーの割合が異なり音質に微妙な差が出ることを利用する。	・測定は、打撃用の球状ハンマーを数種類の中から選定し、一定の打撃力で打撃音を対象物から一定距離をおいたマイクロフォンでとらえる。	②コンクリート厚の限界は不明であるが、1kgのハンマーで26cm厚は探査可能。 ⑤人力である。	①不明 ②大きさは10cm程度。形状は判別不可能。 ④背面が柔らかいときは、1種類のハンマーによる測定では判定不可能。	〔護岸〕 〔構造物〕 空洞	・空隙は、吹付け厚が8cm程度で背面地山が堅い場合は明確になる。 ・コンクリート厚に応じてハンマーを換えることにより、有意な情報が得られる。 ・調査対象規模と同程度の調査メッシュではその形状の把握はできない。	・コンクリート厚が薄いものには適用可能だが、40cm程度の護岸コンクリートには適用難。

注） 制約条件および調査能力の項目における各調査法の数字は、調査法毎に対応する。

（出典 河道管理のための点検技術に関する研究 河川局治水課・土木研究所河川研究室
第52回建設省技術研究会報告 平成10年度）

Ⅲ－２．４ 環境保全型ブロックの安定計算及び施工

質問者：岡山県土木部

回答者：河川部河川研究室（内線４２２３）、材料施工部施工研究室（内線４７３２）

質 問

岡山県では、環境保全型ブロックの実施において、全箇所安定計算を行い、ブロック形式等を選定しているが、練積ブロック護岸は高さ、単位体積重量、控え厚等が適用範囲内であれば、経験に基づく標準設計を用いてよいことになっている。環境保全型ブロックに対して経験に基づく標準設計を用いて問題がないのかどうかご教示願いたい。

また、単位体積重量が標準設計の設計条件項目を満たさない場合、

- ① 魚巢ブロックについて、中詰め石の単位体積重量をどう取り扱ったらよいか（流出率、石自体の単位体積重量、空隙率）。
- ② 透水性タイプについて、透水性（ポーラスコンクリート）については裏込めコンクリートを打つより方法がないと思うが、これは透水性を考えた場合意味がなくなるのではないか。

についてご教示願いたい。

回 答

(1) ブロック積み護岸設計の基本的考え方

練積ブロック工を用いる場合には、当該護岸が、背面土から作用する土圧を支えることを目的として用いられる「擁壁タイプ」なのか、土圧が小さい場合（背面土が良好で十分締め固められている場合）及び倒壊しても重大な事故につながらない場合に用いられ、擁壁としてではなく、のり面の保護を目的として用いられる「のり面保護タイプ」なのか仕分けた上で設計する必要がある。

① 「擁壁タイプ」の場合

「擁壁タイプ」は、法勾配 1:0.3～1:0.5 かつ裏込めコンクリート及び胴込めコンクリートで一体化された間知ブロック積み工等が位置づけられる。これら「擁壁タイプ」は、作用する土圧に対して、転倒、基礎地盤支持力、滑動それぞれに対して所定の安全条件が確保されているか検討されねばならない。

「擁壁タイプ」護岸は、ブロックの一体性が強いことから、護岸に作用する洪水時の流体力よりも自重の方がはるかに大きく、流体力に対する安全性を検討する必要はない。

このタイプの設計においては、適用範囲、設計条件が満足されていれば「建設省 土木構造物標準設計」¹⁾を用いることができる。

② 「のり面保護タイプ」の場合

「のり面保護タイプ」は、「擁壁タイプ」ほどの一体性が期待できない練積みブロック工、空積み工、法勾配が 1:0.5 より緩やかな練積み工が位置づけられるであろう。これら「のり面保護タイプ」は、法勾配によって、洪水時の流体力に対する安全性の検討を行う場合と示力線法あるいは転倒・滑動に対する安全性などの土質力学的検討と流体力に対する検討の両方を行う場合とに分けられる。

流体力に対する安全性の検討の考え方は次のとおりである。図－１のように積み上げられた護岸ブロック群の中に、周囲のブロックとの結合がない単体のブロックが置かれた状況を想定する。このブロックは、法面が急であるため単体では法面上に静止することができず、下のブロックと法面に支えられて静止している。このブロックに作用する洪水時の流体力は次式のとおりでである。

$$D = \rho_w \cdot A_b / 8.5^2 \cdot V_d^2 \quad (1)$$

$$L = \rho_w / 2 \cdot C_L \cdot A_g \cdot V_d^2 \quad (2)$$

ここで、D：抗力、L：揚力、 ρ_w ：水の密度、 A_b ：上から見たブロックの面積、

V_d ：設計流速（ブロック近傍の流速であり、代表流速（水深方向の鉛直平均流

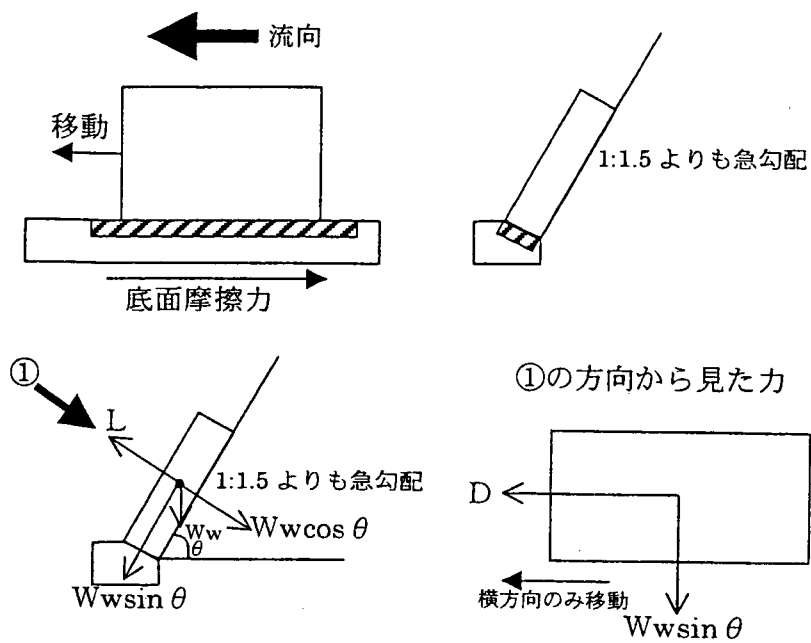


図-1 法面保護タイプ護岸の流体力検討の考え方

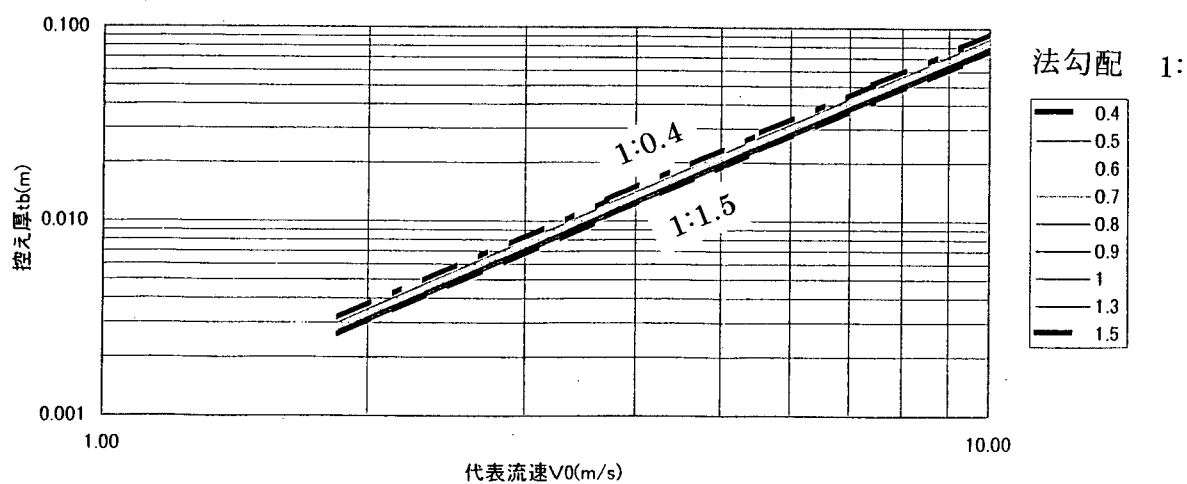


図-2 法面保護タイプ護岸の滑動に対する必要厚

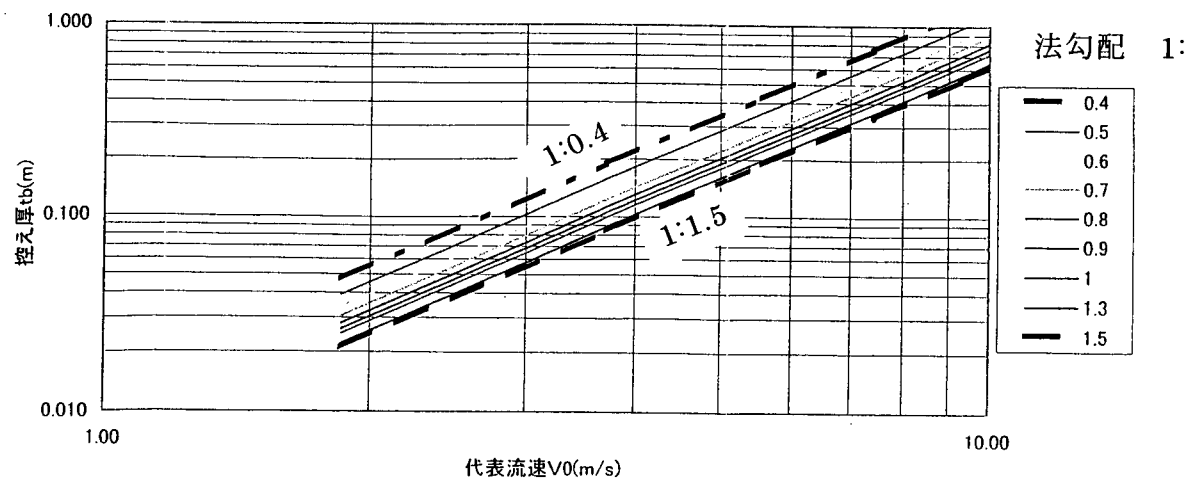


図-3 法面保護タイプ護岸の“めくれ”に対する必要厚

速)より遅い。)、 C_L :揚力係数、 A_g :揚力に関する(突起部の)面積
ブロックは、この流体力に対して、滑動運動については下のブロックとの摩擦力で、めくれについては自重の法面法線方向成分によるモーメントで抵抗している。これを安定条件の基本式で示せば次のとおりである。

(滑動)

$$\mu \cdot W_w \cdot \sin \theta \geq \{D^2 + (L - W_w \cdot \cos \theta)^2\}^{1/2} \quad (3)$$

μ :ブロック間の摩擦係数、 W_w :ブロックの水中単位体積重量、 θ :法面の角度

(めくれ)

$$W_w \cdot \cos \theta \cdot l_b/2 \geq L \cdot l_b/2 + D \cdot t_b/2 \quad (4)$$

l_b :ブロックの流下方向長さ、 t_b :ブロックの控え厚

上の式(1)～(4)式を用いて、表面が平張りブロックの形状をしている場合について法勾配を変えて必要厚さを計算した結果が図-2及び図-3である。図から滑動に対する必要厚さは小さくてよく、めくれによって必要厚さが決まることがわかる。また、代表流速5m/sでは、法勾配が急な場合には約35cm、緩い場合には約15cmの厚さが必要であることがわかる。

ただし、図-1は、空積みでかみ合わせが効いていない状態、練積みで胴込めコンクリートが全く機能しない状態などブロックの安定性にとって不利な状態を想定している。通常の胴込めコンクリートが施工されている練積み工の場合には、この厚さより割り引いても十分に安全といえ、「擁壁タイプ」で流体力検討が必要ないことを裏付けている。

土質力学的検討のうち、滑動、転動に対する検討の方法は「擁壁タイプ」と同じなので、ここでは示力線法について説明する。示力線とはブロック積み工の任意の高さにおける自重と土圧の合力の作用位置を結んだ線である。岡積は、この線がブロック積み工の中心線より前に出なければよい²⁾、農林省ではブロック積工の中心1/3より前方にズレなければよい³⁾としており、ブロック積工が前に倒れ込まない基準といえる。代表的な背面土を想定したブロック積み工について示力線を書いて見ると、図-4に示すように、標準設計の適用範囲である直高5m以内では中心線より前に出ることはないものの後ろにはみ出す部分があり、背面土にもたれかかる可能性のあることがわかる。さらに、たとえ示力線が中心1/3に入ったとしても、擁壁の検討に必要な滑動、基礎地盤支持力について検討が行われていないこと、空積み工は練り積み工に比較して地震時の安定性が劣ることが、地震後の現地調査から明らかになっている⁴⁾等から、一体性の弱いブロック積工・石積工を「擁壁タイプ」に位置づけることは難しい。また、ブロック積み工では、施工上ある程度の厚さがあった方が施工しやすいことが経験的にわかっている。これらを踏まえ、直高5m以内で「土圧が小さい場合(背面土が良好で十分締め固められている場合)及びもし倒壊しても重大な事故につながらない場合」に、過去からブロック積工・石積工に標準的に用いられている「建設省土木構造物標準設計」の諸元¹⁾を用いてよい⁵⁾こととしている。

したがって、標準設計の適用範囲(1:0.3～1:0.5)より法勾配が緩い場合には、流体力による検討を行い、施工性も踏まえて厚さを決定することが望ましい。法勾配が石積み・ブロック積み擁壁の標準設計の適用範囲内であっても空積み工である場合には流体力による安定性検討と標準設計の必要厚さを満たすかの両方のチェックが必要であろう。

③基礎設置高決定の重要性

河川では、洪水等により河床縦断形(平均河床高)の変化、局所洗堀が発生するため、護岸前面の河床高が変化する。設計時に護岸前面の河床高を高く予測してしまうと、たとえばその他の設計を完璧に行っても、施工後に生じる平均河床の低下や局所洗堀により護岸の基礎や根が浮き上がり、崩壊する。この破壊パターンは、護岸タイプに関わらず生じる。この点が地上で設計されるのり面保護工や擁壁との違いである。実際、護岸被災の多くは、このパターンによって生じている。

この破壊を防ぐためには、護岸設計時に護岸前面の最深河床高を適切に予測し、最深河床高に見合った護岸の基礎・根入れ高と根固め工の設計を行うことが重要である。具体的

計算例

(1) 計算条件

練積みの場合で、背面土が砂、砂質土の状態であり、控え厚（ブロックの控え厚＋胴込めコンクリート）が 0.45 m、法勾配 1:0.6 の場合の安定検討を行う。

表参-11 「積み」モデルの設計条件

設計条件	法勾配	1:	0.6
γ	背面土の単位重量	(t/m ³)	1.9
γ_s	ブロックの単位重量	(t/m ³)	2.35
q	等分布載荷重	(t/m ²)	1.0
α	法面勾配の角度	(度)	121.0
ϕ	内部摩擦角	(度)	30.0
y	直高	(m)	4.2
b	控え厚	(m)	0.45
F	安全率		1.5

(以下の表を参照)

(ブロックの控え厚＋裏込めコンクリート)

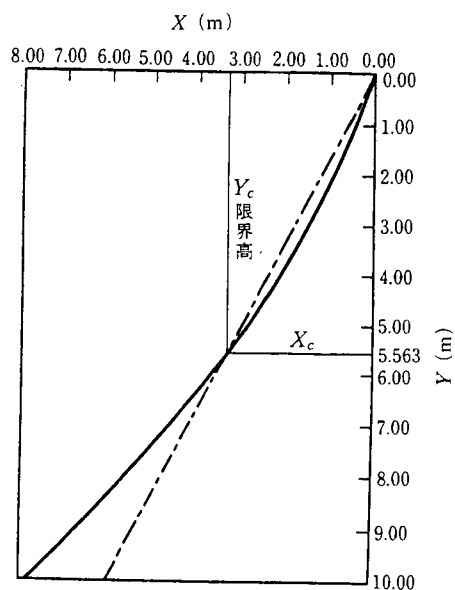
裏込め土の種類および単位体積重量

裏込め土の種類	単位体積重量(tf/m ³)	内部摩擦角(ϕ)
礫、礫質土	2.0	35°
砂、砂質土	1.9	30°
シルト、粘性土(ただし $\omega L < 50\%$)	1.8	15°

出典：道路土工、擁壁・カルバート・仮設構造物指針

(2) 計算結果

なお、計算例より、直高 5 m まで安全であるという結果が得られた。



練り積み護岸の中心線と示力線との関係

図-4 示力線の計算例 (出典：護岸の力学設計法 6)

には、「護岸の力学設計法」⁶⁾を参照されたい。

(2)環境保全型ブロックの取り扱い

環境保全型ブロックを用いる場合であっても、設計の基本的考え方は(1)と同じである。当該護岸に要求される機能が「擁壁タイプ」なのか「法面保護タイプ」なのかを明確にした上で、環境保全型ブロックが標準設計の設計条件（単位体積重量、形式等）を満足し、護岸工が標準設計の適用条件（直高、法勾配等）を満足するならば、標準設計によって設計することができる。しかし、環境保全型ブロックが標準設計の設計条件や適用条件を満足していない場合には、標準設計によることはできず、個別に検討する必要がある。

(3)単位体積重量が設計条件項目を満たさない場合の取り扱い

単位体積重量が小さく標準設計の設計条件項目から外れている場合には、(1)で説明した「擁壁タイプ」の安定（転動、基礎地盤支持力、滑動）条件、「のり面保護タイプ」の流体力に対する安定性、標準厚さを決める際に参考とした示力線法のいずれに対しても影響があるため、個別に検討を行う必要がある。具体的な検討手法は(1)と同じであり、設計対象ブロックが洪水の作用を受けた状態の単位体積重量を用いればよい。

質問①の洪水によって抜けるおそれのある中詰め石が入った魚巣ブロックについては、完成直後の中詰め石を含めた単位体積重量ではなく洪水によって中詰め石が抜けた状態の単位体積重量を用いるべきである。洪水によってどの程度の中詰め石が抜けるか（石の流出率または残留率）については、中詰め石が入る穴の形状、大きさ、深さ、中詰め石の粒径、当該箇所の洪水時の流速等によって異なると考えられることから一概には決められない。石の単位体積重量、空隙率については、使用する石を実測するのが最も確実であろう。

質問②のポーラスコンクリートを用いた透水性タイプで、単位体積重量の不足分を裏込めコンクリートで確保する場合についてであるが、(1)の検討手法を参考に個別に設計すれば、裏込めコンクリートを打たなくても設計可能であろう。裏込めコンクリートを打つにしても、水抜き穴を設ける、裏込めコンクリートにポーラスコンクリートを用いる等によって護岸全体として透水性を確保することは可能と考えられる。

参考文献

- 1)土木構造物標準設計 第2巻 解説書（擁壁類） 昭和62年7月 建設省
- 2)間知石の法勾配(1) 岡積満 土木技術 Vol5, No9, 1950
- 3)土地改良事業標準設計第9編 擁壁、土地改良事業技術情報センター、1993
- 4)平成7年度兵庫県南部地震土木研究所被害調査速報 土木研究所資料第3362号 平成7年3月
- 5)河川災害復旧護岸工法技術指針（案） 災害復旧工法研究会編集 印刷中 社団法人全国防災協会
- 6)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

Ⅲ－２．５ 新設道路における道路排水の地下浸透方法

質問者：倉吉工事事務所

回答者：河川部 都市河川研究室（内線４２３４）

質 問

現在事業実施中の新設道路において、既設の小河川・水路の断面が不足しているために、道路排水を流せない状況にある。このため雨水を地下に浸透させる方法などがあれば、実施事例とともに方法をご教示願いたい。

回 答

浸透施設の分類と設置事例

雨水を現地地盤に浸透させる施設としては一般に、浸透ます、浸透トレンチ、浸透側溝、浸透池、透水性舗装以下のものが挙げられる。

浸透ます、浸透トレンチ、浸透側溝は数多く施工されている。東京都、名古屋市、横浜市等では、道路排水を地盤に浸透させるこれら施設を設置した事例が数多くある。主に都市部を中心に、東京都や名古屋市では１０００個のオーダー、横浜市でも１００個のオーダーで道路浸透ます・浸透トレンチが設置されている。特に東京都と名古屋市に関しては、総合治水対策の一環として設置されている。

考慮事項

設置場所の選定手法や浸透施設の形式については『雨水浸透施設技術指針〔案〕調査・計画編』（社団法人 雨水貯留浸透技術協会編）および『宅地開発に伴い設置される浸透施設等設置技術指針の解説』（社団法人 日本宅地開発協会編）に詳しく記載している。その他には、各自治体で独自の基準をそれぞれ設けている場合がある。

設置場所選定

浸透施設の設置に当たっては、地形条件、地盤の浸透能力、地下水位等を考慮して施設の適地を選定する必要がある。一般的に急傾斜地や浸透性の低い箇所については、設置不適地と見なされる。

切り土・盛り土箇所では、一般的な目安として傾斜角 30° 以上の斜面付近で斜面の高さ H が 2 m 以上の場合、設置箇所は斜面端（盛り土・切り土の肩および尻）から $2H$ 以上離す必要があるとされている。一方で、下水道雨水浸透施設技術マニュアルのように、法尻下を設置禁止の対象としていない場合もある。このことから、この目安に該当する区間に設置を行う場合は、斜面の安定性を確かめるとともに、崩壊を防止するような適切な措置を行う必要があると考える。

地下水位の高い箇所においては、コストに見合う浸透効果があまり期待できないために設置基準外としていることが多い。しかし、雨水対策が逼迫した自治体においては、十分な水頭差を得られなくても、最低限の効果を期待して設置を行う例がある。

上記以外に、設置に当たり留意すべき事項として、流入する雨水の水質や維持管理の手法・コストが挙げられる。雨水の水質に関しては、油脂類、大気中の粉塵、タイヤと路面との摩耗により生じる粉塵等が浸透施設に流入する可能性がある。東京都では、これら汚染物質に含まれる重金属類を除去するための特殊フィルタを、道路浸透ますに設置している。また、土壤の吸着能力も高いことから、今のところ地下水への問題は確認されていない。ただし、土壤の吸着能力にも限界があり、また pH 条件の変化等により、吸着されていた物質が将来溶出するおそれもある。従来農地であった箇所に浸透施設を設置した場合は、土壤中に含まれる残留肥料の窒素分が流出してしまう可能性についても注意が必要である。特に周辺で地下水が飲用に用いられている場合には、定期的に水質調査を行う等の

検討が必要である。

維持管理に関しては、不定期な点検作業で必要に応じて適宜清掃を行う自治体が多いなか、定期的な点検作業や清掃専用車を用意している事例もある。機能低下を防止する観点からも、堆積物の量に応じて定期的に清掃を行うことが望ましい。

浸透施設形式

浸透ますについては水頭差を得ることが、浸透トレンチについては幅広く設置することが可能であるため、双方とも高い浸透能力を得ることができる。浸透ますは効率的な土砂溜めとフィルタを設け、定期的・計画的に清掃を行えば維持管理も比較的容易である。浸透トレンチは、流入した土砂や落葉等の堆積物の清掃が容易でないが、前後を浸透ますで挟み込み土砂溜めとさせることでこの問題は解消できる。浸透側溝については、水頭差が低いため浸透能力がそれほど高くなく、また地表面に設置するため目詰まりを起こしやすいものの、施工および清掃が浸透トレンチと比較して簡便である。なお急勾配地には向かない。

当該地への適応

当該事業は、地形的に起伏の大きい区間に片側2車線のバイパス道路を新設するものである。このため、切り土・盛り土が連続することとなり、浸透施設の設置に当たっては特に下記の点に注意する必要がある。

切り土区間

土質および地下水位を調査し、十分な浸透能力が得られ、かつ斜面の安定性が確認できれば設置可能である。設置場所としては法尻の他に中央分離帯部分が考えられる。

盛り土区間

地盤および盛り土の土質や地下水位を調査し、十分な浸透能力が得られ、かつ斜面の安定性が確認できれば設置可能である。設置場所としては法尻が考えられる。また、盛り土材料を透水性の高いものにすることによって中央分離帯部分への設置が可能となる場合もある。なお前記のとおり、農地跡に設置する場合は、残留肥料の溶出にも注意が必要である。

区間全般

設置可能箇所が限られる場合、基準外箇所での降水を設置可能箇所範囲内において負担する必要が生じるため、十分な浸透能力を求められる。施工の効率や浸透能力を考慮すると、まずは浸透ますのみで計画を行い、それで十分な排水を得られない場合には浸透ト

レンチもしくは浸透側溝を併設することで、双方の組み合わせによる高い浸透能力を得ることが可能となる。浸透施設の設置例を図-1に示す。

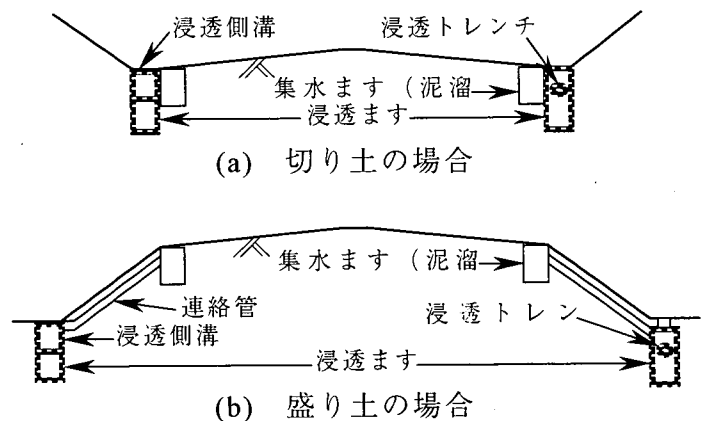


図-1 浸透施設設置例

まとめ

当該施工箇所においては、水理面や土質面の条件が整えば浸透施設の設置が可能である。なお浸透施設の設置を行う場合には浸透ますを主として考え、浸透能力に応じて浸透トレンチ、浸透側溝を併設することが適当である。なお、詳細については以下参考文献を参照されたい。

参考文献

- 1) 社団法人 雨水貯留浸透技術協会：雨水浸透施設技術指針（案）調査・計画編、1995.9.30
- 2) 社団法人 雨水貯留浸透技術協会：雨水浸透施設技術指針（案）構造・施工・維持管理編、1997.4.5

- 3) 社団法人 雨水貯留浸透技術協会：雨水貯留浸透施設総覧,1997.7.31
- 4) 社団法人 日本宅地開発協会：宅地開発に伴い設置される浸透施設等設置技術指針の解説,1998.2.27
- 5) 建設局総合治水対策検討委員会「雨水の地下浸透技術検討部会」：道路浸透ますに関する調査報告書
(案),1989.8

Ⅲ－２．６ 洪水時における高水流量観測の高度化

質問者：岡山河川工事事務所

回答者：河川部水文研究室(内 4 2 4 6)

質 問

洪水時に、高水流量観測のため各観測箇所に関測員を派遣しているが、川が氾濫している場合があり、危険を伴うとともに、多くの人員を派遣しているため、人件費を要する。これを解消するための現在の最新技術や、その技術の信憑性について、また、今後の技術の方向性についてご教示願いたい。

回 答

低水流量観測では、流速を可搬型流速計で測定し平均流速を求めて、断面積から流量を算出するのに対し、洪水流量観測は浮子を橋などの上から投下し、その流下速度から更正係数と断面積により流量を求める。このような洪水流量観測は、低水流量観測に比べ不確定要素が多く、その観測精度の向上が課題となっているとともに、連続的に流量観測ができない、ピーク流量が把握されないケースがある、といった課題がある。以下では、計測の確実性、精度、省力化・コストといった観点から、新しい洪水流量観測技術について紹介する。

1. 電波流速計

電波流速計は、図 1 に示すように流水に対しマイクロ波を照射し、表面から反射してきたマイクロ波のドップラー効果による周波数変化から流水の表面速度を観測するものである。

(1) 精度

平成 8 年 9 月荒川水系越辺川落合橋地点で行った流量観測結果によると、浮子流量観測結果に対し、その差は 10 % 以内となっており、浮子による流量観測と同程度の精度を確保している(ただしここでの電波流速計による流量計算は、測定された表面流速及び流水断面積から流量に換算する係数を、過去の洪水において浮子流量観測に一致するよう求め、この係数を用いて算出した)。

(2) 確実性

観測機器は、流水と接触しないので流下物が多くても影響を受けずに確実に流量観測が可能である。連続観測が可能なので、洪水のピークを逃すことなく観測が可能である。

(3) 省力化・コスト

観測は無人化が可能であり、また、観測データのテレメータ化、流水横断面の変更を行うことにより、リアルタイムで流量観測データが得られる。価格については、橋梁桁下等に電波流速計を設置する初期投資がシステム費として約 890～2,090 万円であることに加え、事前調査として、表面流速と水深方向の平均流速の関係を求めるための調査費用が必要である。

(4) その他

電波流速計は、流水表面の流速を観測しているため、表面流速と水深方向の平均流速の関係を求める必要がある。また、観測原理から電波の照射面が波立っていなければならな

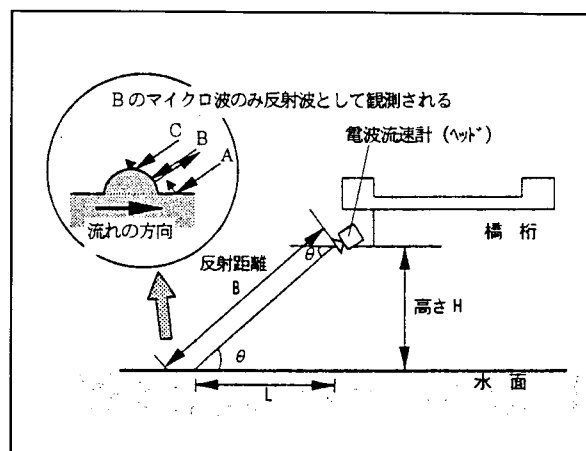


図 1 電波流速計の観測原理

いので河川流速が小さい場合（0.5m/s 以下）の観測精度は確認されていない。

2. 水圧式水深流速計

水圧式水深流速計は、図2に示すとおり、ピトー管の原理を応用し、水深は静圧と大気圧の差圧、流速は動圧と静圧の差圧から同時に計測するものである。データの処理は、パーソナルコンピュータに直接データを取り込みリアルタイムで行うことができる。

(1) 確実性

観測機器を観測地点に常設できない場合、観測準備に時間がかかり、洪水のピークを逃す可能性がある。また、直接流水中に投入するため流下物が多い場合は、ワイヤーに流下物がかかり、ワイヤーが切断されて流速計本体が流失する危険性がある。

(2) 精度

実験室データでは、水深10mのとき誤差が0.5%、流速0.5～1.0m/sのとき誤差が10cm/s、1.0m/s以上のとき5cm/sである。また、涸沼川の観測例では、浮子による観測と比較して平均約4%程度の差が認められると考察された。

(3) 省力化・コスト

機器の価格はシステム一式で約580万円である。水圧式水深流速計を用いた場合、最も少ない場合3名で観測することが可能である。

(4) その他

機器を観測地点に常設しない場合は、流速計本体が重いことから、運搬使用に際してはトラック等の調達が必要で、早めの対応が必要である。

水面から河床付近までの流速分布と水深をリアルタイムで測定することが可能であり、精度よく計測できることから、浮子、電波流速計を用いる場合の更正・補正係数の検証用に使用することも考えられる。

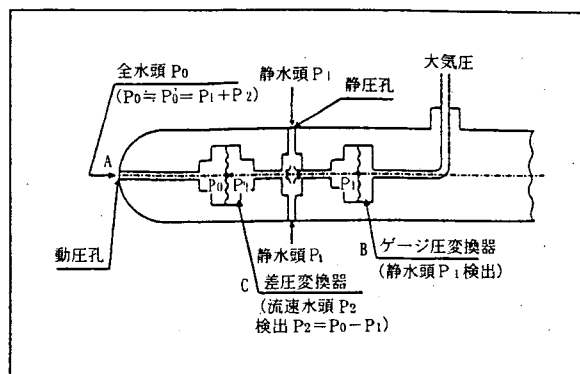


図2 水圧式水深流速計の模式図

3. 流速プロファイラー（ADCP：Acoustic Doppler Current Profiler）

ADCP は、水中に超音波を発射し、水中の浮遊物から反射されたときのドップラー効果による周波数のずれから、観測地点の3次元流速分布を瞬時に計測できるものである。このADCPと近年開発された無人ラジコンボートとを組み合わせることにより、浮子等の従来の手法と比較して短時間かつ容易に流量観測を行うことが可能である。

(1) 精度

観測結果等から、2～3m以上の水深があり、あまり乱れが大きい流れの場合つまり小規模洪水であれば、従来の観測方法と同程度の精度が期待できる。

(2) 確実性

流量観測体制が整えられていれば、観測準備に要する時間が短時間で済むため、昼間であれば、洪水のピークを逃す危険性は少なくなる。しかし、ラジコンボートが流下物と衝突すると、操縦不能になる危険性が高いため、多量の流下物が存在するときや、流下物が監視できないとき、特に夜間の利用は制限される。

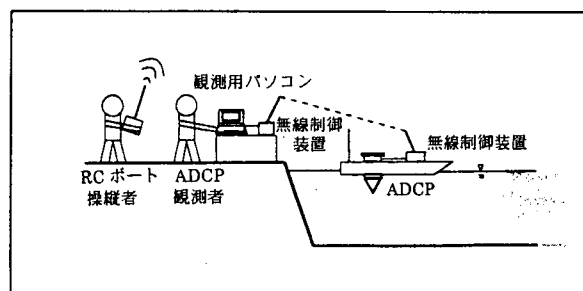


図3 ADCP システム構成図

(3) 省力化・コスト

流量観測自体は、ラジコンボート操縦者と ADCP 観測者、観測補助者の 4～6 人で行うことができる。しかし、状況によってはさらに人数が必要な場合もある。

価格については、今後、ADCP の改良や普及により低下する可能性があるが、現時点では ADCP 本体だけでも、価格が 1,000 万円以上（ラジコンボート等含むシステム一式：約 1,900 万円）である。

(4) その他

ADCP の計測原理から、ある一定区間の流れが一様であると仮定して流速を算出するため、大流量時に発生する乱流条件のもとでは、その観測精度が低下する恐れがある。従って、本システムで観測できる適用範囲を明確にするため、阿賀野川で洪水観測を行っている。また、ラジコンボート及び ADCP 無線装置の通信可能距離は、それぞれ、1,000m、700m である。通信可能距離を越えた場合、ラジコンボートの操縦不能、ADCP の操作不能からデータの欠測となる可能性があるため、対策として、兩岸にラジコンボート操縦者及び ADCP 観測者をおき、あるタイミングでそれぞれの操作の受け渡しを行うことが考えられる。

4. 電波浮子

電波浮子は、通常の浮子に発信器を取り付けたもので、図 4 に示すとおり、これを所定の方法で、流下させ、第一側線、第二側線に設置した受信機（アンテナ）により電波の「位相情報」や「振幅情報」から浮子の通過を検知して、自動的に流下時間を計測するものである。

(1) 精度

電波浮子は同時に数本投入することでもできるため、観測時間を短縮でき、また、電子回路により計時されるため、流量観測精度は向上する。しかしながら、基本的には従来の浮子観測の特徴はそのまま継承されるので、まっすぐ流れない、渦や死水域の影響を受けるといった、浮子そのものがもつ欠点は解消されない。

(2) 確実性

適切な波長と十分な強度の電波が利用できれば、既存の浮子観測と同等の確実性が得られる。また、夜間でも昼間と同様に測ることができる。

(3) 省力化・コスト

既存の浮子観測と比べて、現場要員は、安全要員を含めなければ浮子投下員の 1 人で済むと考えられる。また、価格は、システム一式で約 200 万円である。

(4) その他

運用面での最大の課題は、この観測に適した電波の割り当てを得ていないことである。電波法の規制を受けない微弱電波を用いた場合は、安価で発信器を製作することができるが、幅の狭い河川か、ノイズが小さい場所でしか使用できない。

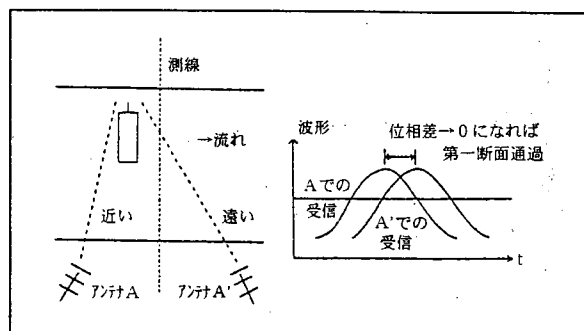


図4 電波浮子の測定原理

5. ビデオ画像解析

ビデオ画像を用いた流量観測は、河川の表面を平面と仮定して、撮影された画像上の河川表面の浮遊物もしくは輝度の移動距離、移動時間から速度ベクトルを求めるものである。観測は設置したビデオカメラで撮影を行い、そのあと専用のソフトウェアで解析を行い流速を算出する。

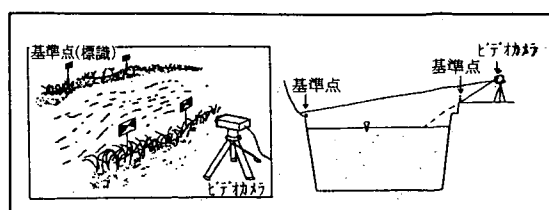


図5 ビデオカメラによる撮影

(1) 確実性

ビデオ画像を画像データとして、事務所等に送信できれば連続的に記録できるため、将来的には洪水時のピーク付近の流速を逃すことなく計測できる。しかし現在は、VTR 単体で観測を行っている為、連続撮影時間に限度がある。

(2) 精度

追跡する標的が浮子であれば、規定の更正係数を利用すれば既存の浮子と同程度の精度が期待できる。また、単なる浮遊物を標的として追跡した場合は、表面浮子を利用した場合と同程度の精度が期待できる。

(3) 省力化・コスト

流量観測現場の諸設備（測量、基準点の設置等）、ビデオ画像から流速を算出するソフトウェア作成など人手、費用が必要である。価格はビデオ・解析ソフト一式で約 50 万円である。これらの準備作業が終わり、データ伝送システムに乗せられれば、観測は室内作業としてリアルタイムで、現場は無人で実施することも可能となる。現在では、現場観測中において最低 1 人で済む。

(4) その他

物体の移動等を画像で捕らえないといけないため、夜間での観測に注意する必要がある。暗視カメラ等の利用が考えられるが今後検討が必要である。また、現状では、解析に時間がかかる。

現在、土木研究所では、上述した電波流速計、ビデオ画像解析の手法と電波流速計と同じ原理であるドップラー効果を利用した超音波流速計について、流速計測法の開発をおこなうべく、民間各社と共同研究を行っている。また、ADCP については、前述したとおり、阿賀野川で計測手法の開発を行っている。

以上、新たな洪水流量観測技術について、各観測手法の概要を述べたが、いずれの手法ともすべての点において従来の浮子観測より優れた観測手法ではないが、浮子観測が持っていない優れた特徴を有している観測方法がある。したがって、各手法それぞれの長所、欠点を考慮して、状況に応じた使い分けや組み合わせを考えるべきである。例えば電波流速計の場合は、洪水のピークを逃すことなく洪水時の流量観測を確実にできるという特徴を有しており、ADCP の場合は、3 次元流速分布を計測できることから河口感潮部などでの観測に非常に有効であると考えられる。今後は、各手法についてそれぞれの長所を生かすとともに欠点及び課題を解決するため、技術開発・改良、調査研究を行う必要がある。

参考文献

- 1) 東京電機大学理工学部建設環境工学科水文環境研究室：電波流速計の観測データと 1 次解析他一川の流が見える－, 1998.4
- 2) 江川太郎、近藤真啓、堺本実：水圧式水深流速計の実用化に関する研究，河川情報研究，河川情報センター，No.3，pp.17-24, 1995.
- 3) 松浦達郎：涸沼川における洪水時の流速鉛直分布の観測，土木学会，第 52 回年次学術講演会概要集第 2 部，土木学会，pp.576-577, 1997
- 4) 木下良作：河川下流部における洪水流量観測方法に関する一提案，水文水資源学会誌，水文水資源学会，Vol.11, No.55, pp.460-471, 1998
- 5) 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ほか：土木技術資料, 41-4, pp.52-57, 1999

III-2. 7 感潮域における流量観測手法

質問者：太田川工事事務所

回答者：河川部水文研究室（内線 4 2 4 7）

質 問

一級河川の太田川においては、下流部感潮区間に人口資産が集中しており、河川の整備に関する計画を策定する場合に、基礎資料となる流量観測が重要である。ところが、感潮域においては潮位の影響により、従前の浮子による流量観測が困難となっているところである。感潮域における流量観測の手法等について適切な方法等有ればご教示願いたい。

回 答

河口感潮部においては、潮汐の影響により逆流が発生したり、塩水の進入により塩水楔が発生したりすること等から、回転式流速計や浮子といった従来の手法では流量観測が困難な場合があります。このような地点における流量観測手法としては、ADCPを用いた流量観測が効果的です。

ADCPとは、Acoustic Doppler Current Profiler（超音波ドップラー流速プロファイラー）の略称で、その名が示すとおり、超音波のドップラー効果を利用することによって、1台で観測地点での流速を水深方向の層毎に計測することができる機器です。図-1のように、超音波の送受波機 T_1 、 T_2 から水中へある特定の周波数 f_0 の超音波を発射すると、散乱体（プランクトンや浮遊砂等） S_1 、 S_2 からの反射波が計測されます。この反射波は、ドップラー効果によって発射時の周波数 f_0 とは異なった周波数 f_1 、 f_2 になって戻ってくるため、この周波数変化を検知すれば式（1）、（2）より流速（ u 、 w ）を知ることができます。また発射した超音波が、反射して戻ってくるまでの時間から浮遊物質までの距離が計測できます。

$$u = \frac{(f_1 - f_2)c}{4f_0 \sin \theta} \quad \dots \dots \dots (1)$$

$$w = \frac{(f_1 + f_2 - 2f_0)c}{4f_0 \cos \theta} \quad \dots \dots \dots (2)$$

ここで、 u ：水平方向の流速成分、 w ：鉛直方向の流速成分、 θ ：送受波機の鉛直方向からの傾き、 c ：音速 をそれぞれ示しています。

実際のADCPでは、2対（4基）の送受波機を十字に配置して使用し（写真-1）、3次元鉛直流速分布を測定しています。したがって、逆流や塩水楔が発生しているような流れでも正確な計測を行うことが可能です。



写真-1 ADCP本体
（長さ：60cm、幅：20.4cm、重量：26.5kg）

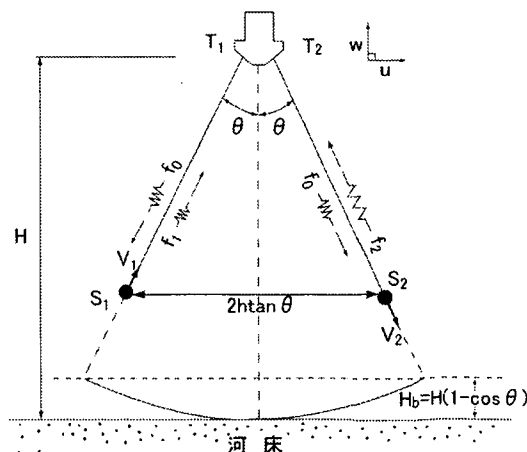


図-1 ADCPの計測原理

ただしADCPには、

①表面から約数10cm、河床から水深の約6%の範囲が計測不能域となる。

②計測不能域が発生するため、実用上は最低2m以上の水深が必要。

といった制約があるため、使用する際は上記の点を考慮する必要があります。

現在、土木研究所では、ADCPを無人ラジコンボートに搭載した観測システムを開発中です。本システムを用いて河川を横断観測すれば、従来の手法と比べて短時間で流量を観測することができます。また本システムでは、ADCPの操作及び観測データの送受信を無線で行うことができるため、700m以内の距離で有れば、ADCPによって計測された流れの状況や流量値をリアルタイムでモニタすることができます。

なお、阿賀野川において本システムによる流量観測を行ったところ、流量観測結果とH-Q式による計算値の誤差は10%以下であったことが確認されています。

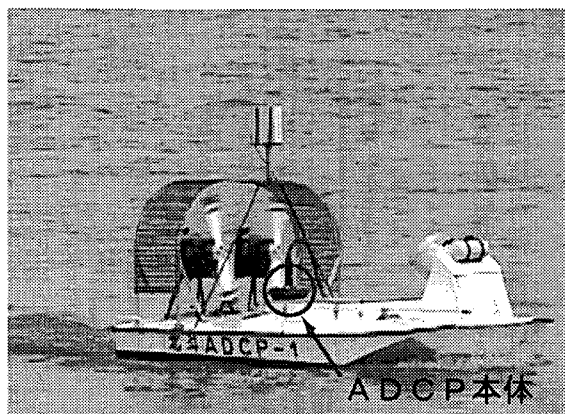


写真-2 ADCP搭載用ラジコンボート
(長さ:2.4m、幅:1.1m、重心部にADCP
を搭載)

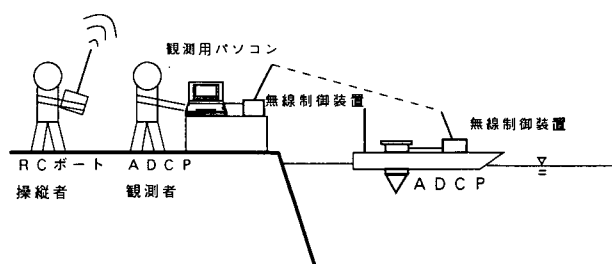


図-2 観測システム構成図

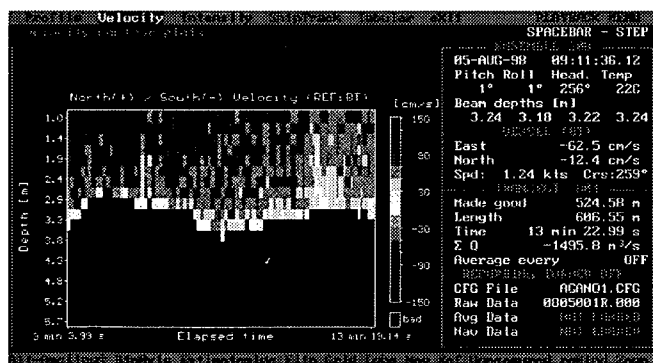


図-3 リアルタイムデータの表示画面

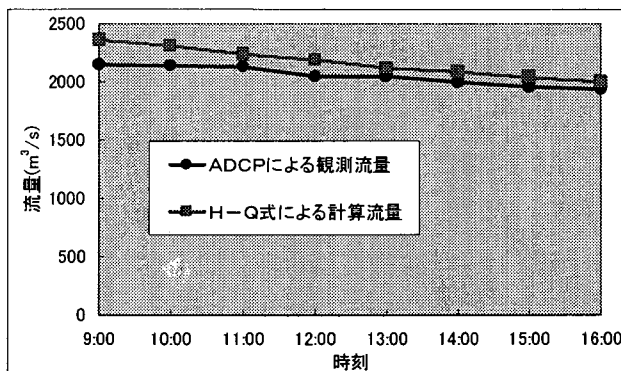


図-4 阿賀野川におけるADCPを用いた流量
観測結果 (平成9年4月8日観測)

参考文献

- 1) 木下良作：「河川下流部における洪水流量観測法に関する一提案」、水文水資源学会誌、Vol.115、No.7、1998
- 2) 土木研究所水文研究室：「超音波ドップラー流速プロファイラーの河川流量観測への応用に関する研究報告書」、土木研究所資料第3719号、平成12年
- 3) 松浦達郎、金木誠：「ラジコンボートを用いたADCPによる流量観測システムの開発」、第53回年次学術講演会概要集第2部、(社)土木学会、1998

Ⅲ－３．１ ダムコンクリート用骨材の乾式製造システムの開発状況

質問者：江の川総合開発工事事務所

回答者：ダム部ダム構造研究室（内線４４２３）

質問

従来の湿式方式では、膨大な濁水処理及び汚泥処理費が必要となる。
乾式方式採用での問題点の抽出、並びに今後の方向性についてご教示願いたい。

回答

１ はじめに

従来ダム建設工事で一般的に用いられている湿式骨材生産プラントにおいては、骨材洗浄・分粒において発生する濁水に多量の微粒分（粘土・シルト）が含まれており、この濁水を処理することにより多量のスラッジ、脱水ケーキが発生する。これらの処分は「廃棄物の処理および清掃に関する法律」および各都道府県の条例に従うこととなる。建設汚泥として場内処理する場合には管理型最終処分場の建設費用が、場外処分の場合は運搬・処分費用が必要となり、ダム建設費用の増大を招くこととなる。¹⁾

またリサイクル法の制定により、ダム建設工事においても廃棄物の有効利用が強く求められており、また脱水ケーキのリサイクルの可能性については、人工骨材・レンガ・ブロック・セメント原料などへの利用が考えられる。²⁾³⁾ しかし、リサイクルの問題点としては、利用先の選定が困難であったり、場外運搬に際しては廃棄物運搬として扱い、運搬費用が増大する可能性が挙げられる^{4) 5)}。

よってスラッジ、脱水ケーキの発生量を極力少なくする事が最も重要となるが、ご質問の乾式骨材生産プラントは、この点で有効な対策と考えられる。

２．濁水の発生源と性状

ダム建設工事にともない発生する濁水には、ダム本体周辺での諸作業に伴うダムサイト濁水と骨材プラント濁水があるが、その発生量は一般的に骨材プラント濁水が多い。その発生量は「改定版ダム建設工事における濁水処理」⁶⁾によると、36件の平均値で、骨材プラント濁水 470m³/h、ダムサイト濁水 124m³/h である。

骨材プラント濁水の性状は、SS が 20,000-90,000 と高く堤体などから発生する濁水と比べ SS が非常に高いのが特徴である。SS が高いのは、骨材の洗浄・分級・製砂において水を利用しているため、多量の微粒分（粘土・シルト分）が濁水中に混入するためである。よってスラッジ等の発生を抑制するためには、骨材プラントからの濁水を減らすことが重要であると考えられる。

３．骨材プラントの乾式化

（１） 骨材プラントの乾式化について

骨材を製造する方法には、その過程において水を利用する「湿式」と水を利用しない「乾式」がある。ダム建設工事においては、ほとんどが湿式を採用している。一方、一般の碎石工場の多くは洗浄水の確保が困難であったり、濁水処理軽減のため乾式

を採用している。

ダム建設工事の骨材プラントの一部または全ての設備を乾式化することにより、スラッジの発生量を減少させることが可能と考えられる。

(2) 乾式設備の開発状況と留意点

乾式の設備について、破碎機、分粒機共に開発されている。また特別な改良を加えなくても、現在運転中の湿式設備を乾式に転用することが可能である。

しかし、ダム建設工事における骨材生産プラントに求められるのは、要求される品質の骨材を、計画された生産能力で製品を安定的に製造することである。製品の生産能力が計画されたものよりも著しく低い場合は、本体コンクリートの打設工程に影響を与えることとなる。また、ダムにおいては、乾式骨材生産プラントの採用実績が少ないため、破碎機械やふるい設備だけでなく、ホッパーやフィーダー、ベルトコンベアなどについても十分検討し、プラント運用上の問題にも十分配慮する必要がある。

以下にダム用骨材生産における乾式化の留意点を示す⁷⁾。

1) 一次破碎過程

乾式の場合、有害粘土鉱物や低品質岩石の除去が問題となる場合がある。一般にこれらは破碎されやすいため、原石中の粒径の小さい部分に多く含まれる。よって一つの対策として一次破碎投入前に振動ふるい等でずり抜きを実施し、小粒径を除去することが考えられる。ただしこのときのふるい目サイズが大きいと、除去数量が多くなり原石山の歩留りを悪化させることになる。

乾式でふるい分けを行う場合は、原石の含有水分量が多いと目詰まりの発生やふるいの掃除が頻繁に必要となる可能性がある。降雨の多い時期などで安定した製造能力を確保するためには原石の含有水分量を調整するために、採取した原石を一時的にストックするヤードが必要となる可能性もある。

2) 粗骨材生産過程

粗骨材の生産は、一次サージパイルから粗割りされた半製品をホッパー、フィーダー等を用いて引き出す。その後ベルトコンベアで破碎機、ふるいへと運ばれ、所定の粒度の製品としてストックされる。

ここでも、一次破碎された半製品の含有水分量に注意する必要がある。乾式により一次破碎された半製品には微粒分が多く付着しており、含有水分量が多い場合は、フィーダー内部での泥分の付着や、ふるい設備においては目詰まりが生じ、安定した供給量の確保に注意する必要がある。この対策としては、一次サージパイルの排水設備設計に従来以上に留意し、降雨に半製品が直接さらされないように建屋の設置を行うこと等が考えられる。

また一次サージパイルの引き出し口を多くして、含有水分量の少ない部分を選別採取できるようにすることも有効と思われる。

3) 細骨材生産過程

「骨材の採取と生産」(社団法人 日本建設機械化協会編)⁷⁾によると湿式の場合、粗骨材生産時の流出ロスが数%であるのに対し、乾式の場合は 20mm 以下の原料で F M 2.75 の砂を得るためには、原料供給量に対して 10-30% の流出ロスを

生じるとある。

よってスラッジ発生量を抑制する目的で、骨材プラントを乾式化する場合は、製砂設備を乾式化することが効率的である。

乾式製砂で留意する点は、原砂の含有水分量であり、この量が多いと一般に製砂機内の微粒分付着による詰まりを生じさせ、能力の低下や運転不能の状態になる可能性がある。また機内での流動性が悪くなり製造能力の低下や製品粒度に変化が生じる。この現象は乾式製砂機の特徴であり、現状ではどの機械を採用しても根本的な解決はできない。対策としては原砂の含有水分量を少なく一定にすることである。具体的には原砂を製砂機投入前に乾燥機械により乾燥させることが有効であるが、これはコストの増大につながることになるので、十分検討することが望まれる。

また微粒分を除去するためには、破碎機に集塵機を接続して微粒分を吸引する方法がある。この場合も原砂の含有水分量が多いと、砂に微粒分が付着し吸引が困難となり製品に微粒分が多く混入することとなる。この対策として吸引能力を大きくすると製品となる砂分まで吸引することとなり運転効率が低下する。破碎過程における微粒分の除去程度が品質上問題となる場合は、破碎後に乾式分級機を設置することも検討する必要がある。

原砂の含有水分量の機械投入可能限界値は、破碎・分級機械の種類、岩種により異なることから計画段階で調査横坑から採取した原石による実機試験により確認することも検討する必要がある。

4) 環境対策

乾式化することにより、破碎機やふるい分け設備、各部シュート、ベルトコンベアなどから大量の粉塵が発生し、プラント運転員の健康を害する可能性がある。この対策としては破碎機械に集塵機を接続し吸引する方法や、シュートやベルトコンベアにフードをつけてダクトで集塵機に吸引する方法などがある。

集められた微粒分のストックについては、野積み状態では風により飛散し再度粉塵が発生させるため、密閉された貯蔵ビンにスクリーンコンベア等を利用して運搬・貯蔵する必要がある。骨材プラントの乾式化の検討においては、この対策費用についても考慮する必要がある。

5) 乾式製造された製品の品質で留意すべき点

乾式で製造された骨材の表面には石粉がまぶりつき、微粒分が乾式に比べ多く混入する。ダム建設工事においては、RCD コンクリートのように単位水量を極限まで減らしたコンクリートの場合、表面水率に応じて練混ぜ時の水量を調整することが重要であるが、製品の表面に石粉が付着することにより、降雨後の表面水管理が困難になったり、コンクリート練混ぜで粗骨材表面が水が覆う現象が生じる可能性がある。⁸⁾

また乾式化に伴い従来使用されてきたものとは異なる機構の機械を使用する場合、特に製造された砂の粒度に注意する必要がある。

4. まとめ

以上のようにダム骨材生産プラントを乾式化した場合、最も重要なのは含有水分量の管理である。乾式を採用する場合は、年間を通してこの量がどの程度変化し、それにより、どのような影響がプラント運用上発生するのか、製造される骨材の品質がどのように変化するのか、その骨材を使用したコンクリートにどのような影響が生じるのかを事

前に検討し、安定した供給量・品質を確保するため対策を講ずることが重要である。

また近年原石山の歩留り向上のため、低品質骨材を利用する試みが各ダムで実施されているが、低品質骨材は破碎されやすいため、製品中への微粒分の混入に特に注意する必要がある。木片、木の根等の異物除去については、湿式の場合は大量の水を使用し木片等を浮かせて除去しているが、乾式の場合には除去が困難と思われる。

従来ダム建設工事において乾式骨材プラントの実績がほとんど無いため、今後は実機による試験や実際に乾式設備を採用したダムの実績を参考にして、その可能性を検討することは重要であると考えられる。

最後に過去に骨材プラントの一部を乾式した事例を紹介する。詳細については、参考文献を参照されたい。

1) 東北地方建設局 浅瀬石川ダム (原石山一次プラントでの乾式ふるい分け) ⁹⁾

採取原石に泥分や細粒分が大量に付着し、ジョークラッシャーやシュートホッパーの閉塞、骨材洗浄への負荷増大したため、原石山にウレタンスクリーンをふるい目に利用した振動スクリーンによる乾式 15mm 分級を実施した。

乾式でふるい目サイズを小さくしたことにより、ふるい設備からの濁水の発生を無くし、原石山の歩留りを悪化させることなく泥分、細粒分を除去した例である。

2) 水資源開発公団 日吉ダム (粗骨材製造 湿式, 細骨材製造 乾式) ^{10) 11) 12)}

粗骨材製造には湿式を採用し、細骨材の製造に乾式を採用。

乾式製砂設備には、オートフォールミルを採用している。微粒分をダクトで集塵機へ回収し、細骨材の一部 ($100\text{kg}/\text{m}^3$) と置き換えすることにより、RCD コンクリートのコンシステンシーを改善し単位水量を $2\text{kg}/\text{m}^3$ 程度低減させている。

参考文献

- 1) ダム工事総括管理技術者会 中村：ダム工事濁水処理廃棄物の最終処理と最近の課題について ダム日本 No.638 p51-p67 1997
- 2) 竹林，丹羽，梶原，中村，楠見：ダム建設現場における濁水処理スラッジの有効利用（1）～（3） ダム技術 No.90, No.91 1994 No.109 1995
- 3) 建設省河川局開発課：濁水処理スラッジの有効利用 ダム技術 No.165 p75-p78 2000
- 4) 香川県土庄土木事務所開発課 大西：吉田ダムにおける濁水処理スラッジの再利用について ダム技術 No.124 p55-p60 1997
- 5) 滋賀県長浜土木事務所長 岡田：姉川ダム濁水処理スラッジの有効利用について ダム日本 No.643 p9-p17 1998
- 6) 財団法人 日本ダム協会環境委員会編著：改訂版 ダム建設工事における濁水処理
- 7) 社団法人 日本建設機械化協会編：骨材の採取と生産
- 8) 財団法人 国土開発技術研究センター：改訂 骨材生産設備マニュアル（案）（最適骨材評価コンクリート用）平成9年1月
- 9) 建設省東北地方建設局 丹野：骨材原石細粒分の乾式処理について ダム技術 VOL.3 No.3 p121-127 1985
- 10) 水資源開発公団 中村，吉田：日吉ダム骨材製造設備の概要 ダム日本 No.611 p25-p38 1995
- 11) 水資源開発公団 中村，芦田：日吉ダムの施工計画について ダム日本 No.622 p35-p47 1996
- 12) 水資源開発公団 中村，吉田：乾式製砂設備の導入と実績 ダム技術 No.128 p30-p39 1997

III-3. 2 アーチダムにおける揚圧力の測定と評価

質問者：温井ダム工事事務所

回答者：ダム部ダム構造研究室（内線 4 4 2 3）

質 問

アーチダムにおける

①通常状態における揚圧力の測定方法

②設計値以上の揚圧力が観測された場合の対応
についてご教示願いたい。

回 答

揚圧力は、コンクリートダムの安定解析において考慮すべき荷重の一つであり、アーチダムではアバットメントの基礎岩盤におけるせん断摩擦安全率の算出において用いられます。揚圧力の測定方法、評価方法は関しては、重力式コンクリートダム、アーチ式コンクリートダムの両ダム型式で基本的に共通しますので、ここでの回答はダム形式に係わらずあてはまるものです。

通常、揚圧力は基礎排水孔を利用して計測され、よく行われる方法として、「一斉閉塞法」と「隔孔閉塞法」があります。「一斉閉塞法」はすべての排水孔を閉じて測る方法で、「隔孔閉塞法」は一孔おきに排水孔を閉じて測る方法です。図-1^{1) 2)}に、二つの異なる方法で測った揚圧力の測定結果の例を示しましたが、隔孔閉塞法での揚圧力は一斉閉塞法での揚圧力よりも小さくなっており、測定方法によって揚圧力の値は異なりことがわかります。また、排水孔は揚圧力の低減を目的として設置されていますから、ここで上げた2つの方法のように排水孔を閉めて測った揚圧力は本来求めるべき揚圧力を表していないことになります。このため、大きな揚圧力値が計測され、設計値を上回る場合も起こる場合もあります。

さて、仮に排水孔が機能している状態の本来の揚圧力が計測されたとして、その揚圧力が堤体の底面全体に作用しているかどうかかが次の問題となります。ダムの設計では揚圧力は堤体全面に作用するものと仮定していますが、実際の揚圧力は堤体の底面全体に作用しないという意見もあります。その考えに基づいた場合、 $[\text{揚圧力}] \times [\text{作用面積}] = [\text{揚圧力による荷重}]$ ということになり、計測された揚圧力の値と設計値を直接比較することは適切ではありません。

以上の観点から、揚圧力の測定は、計測された値と設計値を比較することよりも、揚圧力が安定しているか

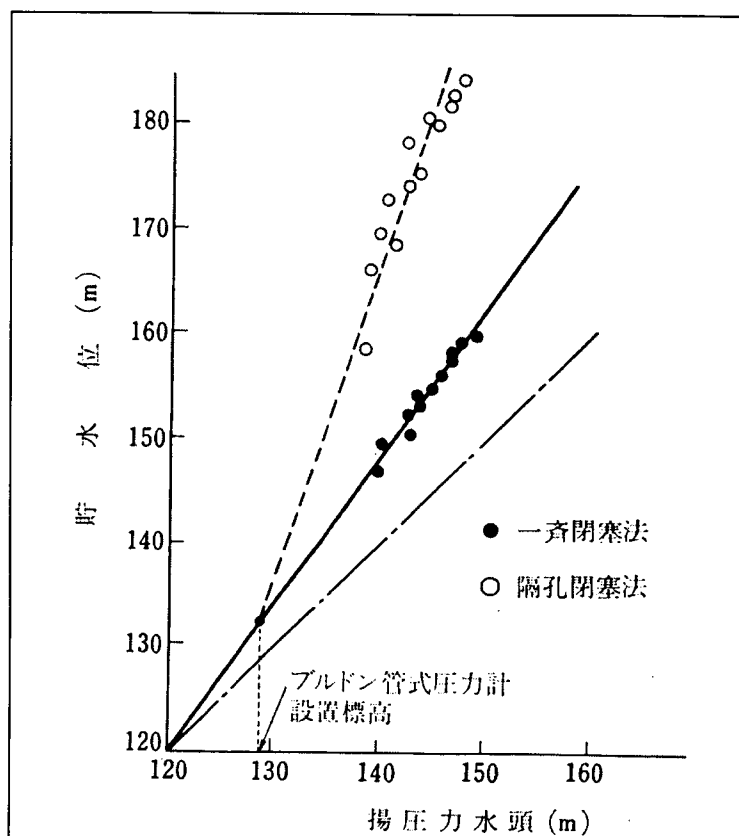


図-1 揚圧力の測定方法と測定値の比較

どうかを管理することを目的とすることが適切だと考えられます。排水孔における揚圧力の値は、通常、貯水位と下流側水位の変化に比例して変化しますので、貯水位との関係で計測データの整理を行い、基礎岩盤の異常の発生を適切に捉えることができるようにしておくことが大切です。揚圧力の計測を含めた安全管理に関して、ダム構造研究室から土木研究所資料^{3) 4)}がでていきますので、ご利用ください。

また、より合理的な揚圧力の管理を行うためには、(1) 排水孔による揚圧力の低減効果の確認、(2) 排水孔が機能している状態での揚圧力の測定、を行うことが望めます²⁾。

(1) については、隔孔閉塞法と一斉閉塞法の両方の方法で計測を実施し、2つ測定値の差を見ることで行うことができます。つまり、2つの測定値の差が大きければ排水孔による揚圧力の低減効果が大きいことを示します。このような測定は恒常的に行う必要はなく、試験湛水期間中などの適当な時期を選んで、排水孔の低減効果を確認しておくことが望まれます。

(2) については、基礎排水孔と基礎排水孔の間に揚圧力測定のための専用孔を設置することで行うことができます。全ての排水孔の中央に専用孔を設置するのは困難ですので、ポイントとなる位置を選び、排水孔が機能している状態での揚圧力を管理することが望まれます。

基礎排水孔における揚圧力の値が設計値を上回ったとしてもダムの安全性が直ちに問題となることはないですが、揚圧力の値が大きい場合、小さい場合に比較すれば安全性の余裕代が少ないことを意味しますので、十分な体制でダムの安全管理を行うことが大切です。

参考文献

- 1) 永山功、渡邊和夫、片平博：重力式コンクリートダムにおける揚圧力の実態調査、土木研究所資料、No.2691、1989
- 2) ダム構造研究室：コンクリートダムの安全管理について—揚圧力の測定—、ダム技術、Vol.36、1989
- 3) 飯田隆一、米道久：コンクリートダムの安全管理の手引き改訂版、土木研究所資料、No.692、1971
- 4) 藤澤侃彦、永山功、松本徳久、池田隆：ダムの安全管理、土木研究所資料、No.1834、1982年

III-3. 3 貯水池の濁水長期化対策

質問者：土師ダム管理事務所

回答者：ダム部水工水資源研究室（内線 4 4 4 1）

質 問

貯水池内の濁水の長期化及び濁水の長期放流については、従来から問題となっているところですが、最近の検討状況及び今後の動向についてご教示願いたい。

回 答

よく知られているように、貯水池の濁水問題は、数 μ m程度以下の微細粒子が、非常に緩慢に沈降し長期間に亘り貯水池内を浮遊することにより生じます。この微細粒子は、洪水時にダム上流域から供給されます。貯水池内で一度沈降した土砂が、渇水等による水位低下により再浮上し、問題になる場合もありますが、これも元々はダム上流域から供給されたものです。従って、根本的対策としては生産元を絶つ、つまり、森林整備や治山対策といった流域対策が考えられます。しかし、これには、多大な時間と費用が必要になります。ここでは、貯水池での対策について説明したいと思います。

1. 流動制御による方法

従来から、最も多く用いられてきている対策は、よく知られているように、選択取水設備によるものです。この方法は、取水設備周辺の清澄な水を選択して取水することにより、清澄な放流水を確保しようとするものです。従って、効果を発揮するためには、濁水が貯水池全体には至らず、水の清澄な領域がダム周辺のある領域にある程度の量をもって形成されることが前提となります。こうした清澄な領域は、貯水池内に流入した濁水が鉛直方向に偏って流れることにより維持されます。また、粒子の沈降速度がある程度大きければ、出水後の比較的速い時期に表面付近に形成されます。速やかな沈降が期待できる場合には、表層取水により問題はほぼ解決されるので、ご質問は、このような沈降が期待できない場合を想定されていると思います。

貯水池に流入した出水時の濁流は、貯水池内の水と混合しながら流下する訳ですが、所謂密度流として、流入水及び貯水池内の密度分布に応じ、鉛直方向に偏った流れを形成する場合が多く見られます。貯水池底面付近を流下する場合や貯水池内の温度躍層に沿って流下する場合などです。出水規模が貯水池容量に対して小さければ、こうした偏って流入した濁水は貯水池の鉛直方向全体に亘ることはありません。従って、表層など貯水池内の何れかの層には清澄な領域が確保され、選択取水設備が効果を発揮します。しかし、出水規模が大きくなると、濁水が滞留する領域が大きくなり、躍層が破壊されるなどやがて貯水池全体の水と混合するようになり、選択取水効果は、洪水規模により制限されることとなります。そこで、選択取水効果をより大規模な洪水時にも発揮するため、出水中に濁水を放流するという意味での選択取水が考えられてきました（清澄な水の取水は、水温の問題もあり、ほとんど表層取水として用いられているのが実状で、選択取水の用語は、濁水放流を行うための取水として用いられる場合が多い）。出水中に濁水を放流することにより、濁水の滞留範囲を制限しようと言う訳です。より大きな流量での放流を実施するため、洪水吐きの入り口標高を、予想される濁水流入位置に併せて配置するといった事例もあります。こうした濁水の放流は、しかし、出水時で流入水や下流河道での濁りが大きい時期行う必要があります。従って、貯水池延長が長く、濁水がダム位置に達するまでの時間が長くなる場合にはその効果は制限されます。

選択取水等による濁水放流は、これにより、貯水池内の濁水流動を制御しようというものと言えます。こうした考えを発展させたものとして、貯水池の温度躍層を低位に設定させる方法が検討されています。温度躍層を低位に設定することにより、濁水を貯水池のよ

り低位で流下させ、上方の清澄な水の領域をできるだけ広く確保しようというもので、選択取水や放流設備との併用により、より大きな効果が期待されます。躍層を低位に下げるとは富栄養化対策としても効果があるとされており、表層曝気により、表層水を循環させる方法は既に実績のあるところです。また、貯水池末端付近に横断方向に設けたカーテン（上方を締め切り、下方を解放させたもの）等により濁水の貯水池への流入位置を低位に設定する方法も検討されていますが、その効果については今後の検討課題と考えています。

2. バイパスによる方法

上記のような貯水池内の流動制御を行っても、やはり対応可能な洪水規模は制限されます。また、循環期など貯水池内が混合しやすい状態にある場合には、貯水池全体が濁ってしまうことは避けられません。利水容量の回復のため、濁水を溜め込む場合も想定されます。こうした貯水池全体が濁った場合の対応として、清澄な流入水を貯水池に入れず直接下流に放流する清水バイパスがあります。流入水のみで流量が不足する場合には、貯水池から放流される濁水と混ぜることになりますが、希釈により濁りを緩和することができます。清水バイパスの水は、直接下流に放流するのが、施設としては単純で望ましいのですが、発電がある場合には減電の原因となります。減電を生じさせないためには、貯水池の取水設備の流れと合流させるための措置が必要になります。

同じバイパス施設で、効果が期待されるものとして濁水バイパスがあります。濁水バイパスは、濁水の供給源である洪水流の一部を、貯水池を迂回してダム下流に放流するもので、貯水池への濁水流入量を低減することができます。これまで紹介した方法は、主として清澄な放流水を確保することが目的となっていますが、濁水バイパスでは、貯水池そのものの濁りを低減することができます。濁水を全量バイパスできれば濁水問題はなくなるわけですが、バイパス流量は無効放流量となるので、貯水池計画との関係から制約を受けます。また、大きな流量のバイパスは、大規模な水路を必要とするので、施設規模の観点からも制約を受けます。計画に当たっては、貯水池計画や施設の効率との整合性を十分検討する必要があります。その際、単に濁水対策施設としてのみでなく、堆砂対策施設としての評価も視野に入れることが望まれます。濁水バイパスは、土砂をバイパスさせるという意味で堆砂対策としても期待されるものです。

3. その他の方法

この他、濁水に凝集効果のある添加物を添加し、沈降を促進する方法が考えられますが、将来も含め凝集剤による環境への影響が懸念されます。自然材料を用いる検討も行われていますが、適用性については、今後の検討課題です。また、貯水池下流での対策として、放流水の濾過が考えられていますが、今のところ、問題解決に繋がるほどの効果的な方法は報告されていません。

以上は、出水時の濁りが長期に亘り継続する場合を念頭に述べたものですが、最初に触れたように、渇水等の水位低下による堆積土砂の侵食作用で濁りが発生する場合も見られます。また、出水時においても、堆積土砂から濁り成分が供給される問題があります。こうした濁り成分の発生を抑えるため、貯水池上流端付近の細粒土を浚渫する、或いは、流路工を設置するといった例もみられます。

貯水池の濁水長期化問題は古くから検討されてきた問題です。対策手法は徐々に進歩してきていますが、未だに万能な対策技術は確立していないのが実状です。新たな手法の開発も視野に入れ、それぞれの貯水池の特徴に併せた手法の選定が望まれます。

Ⅲ－３．４ ダム直下流で発生した珪藻類「メロシラ」対策

質問者：八田原ダム管理所

回答者：ダム部水工水資源研究室（内線４４４４）

質 問

八田原ダム建設後、ダム直下流で珪藻類の一種「メロシラ」が発生し、自然景勝地河佐峡の景観を損ねており、その対策に苦慮しています。何か良い対策法があればご教示願いたい。

回 答

河床における付着藻類の繁茂状況は、流れ・光・栄養塩等により支配されており、流量（流速）・水温・水質・日射量・河床材料の粒度分布等が複雑に関係しているものと考えられます。藻類繁茂の原因を明らかにするためには、これらの指標の変化と藻類の繁茂状況の関係を継続的に調査しなければなりません。また、ダムが設置されたことによる影響の度合いを明らかにするためには、これらの指標がダム建設前後でどのように変化したのかを知る必要があります。

ダム建設前後の変化としては、流量調節に伴う流況の変化、貯水池での土砂捕捉に伴う下流への土砂供給状況の変化、さらに貯水池の状態によって水温・水質の変化も考えられます。これらの変化が藻類の繁茂にどのような影響を与えるかは明らかではありませんが、これらの要因のうち、ダム操作によって確実に制御できるのは流量です。そこで、まずダム建設による流量変化の影響に着目することにします。

出水時に流水を貯留して渇水時に補給することにより、ダムによる利水補給の効用が發揮されますが、その結果、ダム下流に放流される流量は調節され、ダム建設前と比較して変動が少なくなります。流量変動が減少することによる河川環境への影響は以下のように整理されます¹⁾。

① 早瀬の環境悪化

細粒土砂の堆積、好止水性藻類の繁茂、水質悪化、魚類の餌場・産卵場等の生息環境悪化

② 裸地・草地の減少

河原特有の動植物の減少

③ 河道の樹林化

木本類の繁茂による疎通障害

以上のような影響を緩和するため、ダム下流における維持流量の確保のみならず、一定規模の流量を定期的にダムから放流するフラッシュ放流が注目されるようになってきました。我が国においてもダムの弾力的管理の試行等により、いくつかのダムでフラッシュ放流が実施されています。

フラッシュ放流方法を規定するパラメーターとしては、実施時期（季節）、実施頻度、最大流量、継続時間が考えられ、フラッシュ放流の目的に応じて各河川、ダムごとに効率的な方法を検討することとなります。

ダム下流河川において藻類繁茂による景観の悪化を防ぐためには、このフラッシュ放流により定期的に藻類を剥離・除去することが有効と考えられます。そこで、付着藻類の剥離に必要な流量を求めるために、剥離の形態を以下のように分けて考えてみることにします。

① 砂礫に付着している藻類に作用する流水のせん断力（掃流力）による剥離

② 上流から流下してきた砂礫が藻類の付着面に衝突する際の摩擦力による剥離

③ 藻類が付着している砂礫そのものが流水の作用により移動し他の砂礫と衝突する際の摩擦力による剥離

これら3つの形態の剥離に必要な流量のうち、最も小さな流量を放流すれば効果が期待できますが、実際にはこれらの剥離形態が混在しているものと推察されます。どの剥離形態が支配的となるかは、藻類の種類や河床材料の粒度分布、上流から十分な土砂供給があるかどうかにより異なると思われます。特にダムの直下流においては、微細粒子以外の土砂がダム貯水池で捕捉されるため、対象地点とダムの間に比較的流出土砂量が大きい支川が流入していない場合は②の剥離に十分な土砂の供給がなされないことが考えられます。このような場合は、貯水池末端付近に堆積した土砂をダム下流河道まで運搬して置き土し、洪水時やフラッシュ放流時に水流とともに流下させることで、より効率的に藻類を剥離させることが可能となります。

一方、フラッシュ放流の実施にあたっては様々な制約条件が存在します。既設ダムで新たにフラッシュ放流を行おうとする場合、放流を行うための貯水容量をいかに確保するかが直面する大きな課題となります。建設省所管ダムにおいては、弾力的管理によって、洪水調節に支障を及ぼさない範囲で洪水調節容量の一部に流水を貯留し、これをフラッシュ放流に利用しているダムがいくつかあります。しかしながら、弾力的管理の大前提は洪水調節に支障を及ぼさないことであり、あらかじめ設定された事前放流開始基準によって洪水到達以前に放流を開始し、確実に所定の水位まで貯水位を低下させて洪水調節容量を確保する必要があります。そのため、流域面積が小さく洪水が短時間で到達するダムなどでは、十分な活用容量を確保することは難しく、弾力的管理の実施は困難となります。利水容量を用いたフラッシュ放流も考えられますが、その際には利水者から使用水量の最小化が求められることとなります。また、洪水時以外に河川に相当の流量を放流することとなるため、釣り人その他河川利用者の安全確保に十分配慮する必要があります。

ダム下流に置き土して流水により流下させる場合は、濁水の流下や土砂の堆積等による河川環境への影響を十分考慮して、供給する土砂の量や質を検討することが重要です。これまでに、試験的にダム下流に置き土して洪水時等に流失させる試みを行っているダムがいくつかありますが、下流の河川環境への影響を見ながら小規模な置き土から実施している状況です。

以上より、ダム下流の藻類発生対策としては、フラッシュ放流が有効と考えられますが、その際に必要とされる流量は、藻類の種類、河床砂礫の粒度分布、上流から剥離に十分な量の土砂が供給されるか等により異なります。そこで、まずダム建設以前の河川流況や河床砂礫の移動を考慮してフラッシュ放流のピーク流量を検討します。当然のことながら、フラッシュ放流は貯水池運用上可能な範囲で行うこととなります。このようにして設定した方法によりフラッシュ放流を行い、藻類の剥離および再生の状況や河床砂礫の粒度分布の変化等を調査しつつ、試行錯誤的に放流方法を決定していくことが望ましい。また、ダム下流への置き土については、河川環境への影響を調査しつつ実施していけば、出水時の藻類剥離効果の増大が期待でき、フラッシュ放流量の減少も可能と考えられます。

以上、フラッシュ放流を中心に述べましたが、貯水池運用の関係からフラッシュ放流が困難な場合には、以上述べた、フラッシュ放流と同等の外力を藻類に作用させる必要があると考えられます。代替手段として効果的な方法は、現在のところ見当たりませんが、人力或いは機械力によるしか無いように思います。

参考文献

- 1) 角・塚原・柏井：ダムによる河川流況の変化とフラッシュ放流に関する考察，ダム技術，No. 143，1998

Ⅲ－４．１ 橋梁部の歩道構造

質問者：松江国道工事事務所

回答者：道路部交通安全研究室（内線４６４１）

質 問

橋梁部に設ける歩道について、従来はマウント・アップ形式が一般的であったが、最近のバリアフリー化に対応した歩道構造を考えると、フラット形式が有利となることも考えられる。

実際マウント・アップ形式の歩道では、歩行者は橋梁の前後において、橋詰での道路自体の高低差に加えマウント・アップ分の高低差を登り降りする必要がある。一方で、マウント・アップ形式のほうが歩車道境界での縁石設置や補修が構造的に容易であったり、縁石への自動車の衝突による床版への影響も小さいと考えられる。また歩行者にも安心感があると考えられる。

以上のように、バリアフリーの観点からはフラット形式が有利であるが、構造的にはマウント・アップ形式のほうが有利な面がある。橋梁部の歩道構造を考える場合、どのように考慮すべきかについてご教示願いたい。

回 答

１．歩道の高さとはバリアフリー

「歩道における段差及び勾配等に関する基準」（平成 11 年 9 月 10 日付 建設省都市局長・道路局長通達）では、高齢者や身体障害者等の道路利用を考慮して、歩車道境界の縁石や歩道面の高さが規定されている。ここでは、縁石の高さは 15cm を標準とし（橋等での例外あり）、歩道面の高さは当該地域の様々な状況を考慮し縁石高さの範囲内で決定することとされている。それまでの考え方に比べここでの規定は、歩道の高さを低くし利用者が通行しやすいように考慮したものである。また市街地部などでは、歩道巻込み部や車両乗入れ部の設置に応じて歩道上に傾斜が出現したりそれが繰り返し現れることを防止するために、フラット形式やセミ・フラット形式の歩道構造も考えられる¹⁾。

ところがこれらに共通することは、単に歩道の高さを低くすればよいというのではなく、『歩道と民地との間のアクセス、歩道と車道との間のアクセス、細街路などとの交差点などが生じる場合に、歩道上での勾配の影響を小さくするため、結果として低めの歩道が提案された』ということである。バリアフリーのためにはこの点を認識しておく必要がある。

２．橋梁部の歩道形式

１．の観点に基づけば、橋梁部では歩道と民地（道路外）とのアクセスや細街路の発生はあり得ず、また歩道と車道間のアクセスもほとんど生じない。これらの点を考慮すれば、歩道は必ずしもフラット形式とする必要はなく、一定の高さ（同じ形式で）で連続的につながることこそが重要であると考えられる。よって、橋詰めでの高低差があまりに大きくならないようであれば、橋梁の構造面を考慮して歩道をマウント・アップ形式とすることも考えられる。

３．その他（参考）²⁾

参考までに付け加えれば、歩道面の高さと安心感に関する土木研究所での実験結果では、『歩行者の安心感に関しては歩道幅員を十分に確保することが重要で、歩道幅員が 2m あるいは 3m の場合には、歩道面の高さが変化しても安心感等の評価には大きな違いはない』という結果を得た。歩道構造を検討する際の参考として戴きたい。

参考文献

- 1) 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、1999.3
- 2) 高宮 進：歩道高さに関する研究、土木計画学研究・講演集 22(2)、pp.913-916、1999.10

Ⅲ－４．２ 真砂土舗装

質問者：太田川工事事務所

回答者：道路部舗装研究室（内線４６５８）

質 問

河川環境整備を行うにあたり、堤防の天端や坂路にコンクリートやアスファルトによる舗装ではなく景観に配慮した素材を用いているが、その１つに真砂土舗装がある。現在、ハーデンソイルという真砂土をセメントで結合した材料を用いて施工しているが、安価な一方、施工後表面がコンクリートのようになつぽくなるため周辺景観に溶け込まなくなってしまう状況である。

そこで安価で、より自然な仕上がりとなる舗装工法が有るかご教示願いたい。

回 答

社会の高齢化への進展・歩行者保護の必要性・景観的機能への要求などにより、ゆとりある道路や人に優しい舗装などのニーズが高まっている。そこで、今後、より高機能化された人に優しい歩行者系の道路舗装が必要となっており、技術開発も進められている。現在に至るまでに様々な材料が開発されているが、各種材料の歩きやすさ、街並みへの適応性、経済性、耐久性、道路上の温度低減機能などの性能評価手法が存在せず、現在、土木研究所において研究中である。

これらの舗装の中で土系舗装は、足触りの軟らかさ、歩行者の嗜好に合う色であること、散水を行うことによって道路上の温度低減の可能性があることなど、様々な利点を持つ舗装である。

ご質問の真砂土を用いた舗装は、この土系舗装に含まれる。この舗装には、バインダーにアスファルト系の材料（フォームドアスファルト）^{1)・6)・7)}、セメント⁷⁾、樹脂^{2)～7)}を利用した舗装がある。各々の材料を用いた場合のおおよその価格（材料費＋施工費）は、以下に示すとおりである。

アスファルト系の材料・・・約4,000～5,000円／m²
（表層厚7cm程度、1,000m²以上）

セメント・・・・・・・・・・約3,000円／m²
（表層厚10cm程度、2,000m²以上）

樹脂・・・・・・・・・・約6,000～7,000円／m²
（表層厚3cm程度、1,000m²以上）

また、各々の材料を用いた場合の舗装の色は、各バインダーの色の影響を受け、アスファルト系の材料の場合は黒くなる方向に変化し、セメントの場合は白くなる方向に変化し、樹脂の場合は真砂土の色がそのまま再現される。したがって、価格の点ではセメントが最も安くなるが、色の点では樹脂が最も自然な仕上がりを期待できる。

最近では、セメントでも自然な仕上がりのものもある。これはセメント添加量を2～3％程度に抑え、ひび割れ防止のためアクリル樹脂を添加する方法である⁷⁾。価格については、約3,000～4,000円／m²（表層厚5cm程度、1,000m²以上）である。

参考文献

- 1) 小林建次，橋本和行，村山雅人：公園路の自然色舗装について，第18回日本道路会議論文集一般論文集，pp.628-629，1989.10
- 2) 小林昭則，越川喜孝：天然素材を利用した土系歩道舗装材について，第20回日本道路会議論文集一般論文集，pp.592-593，1993.10

- 3) 松尾憲政, 石島寛之: 真砂土を使用した自然色舗装について, 第21回日本道路会議論文集一般論文集 (B), pp.576-577, 1995.10
- 4) 長谷川豊, 太田晴夫, 荒井明夫: 多摩川河川敷マラソンコースへの自然土舗装の適用, 第22回日本道路会議論文集一般論文集 (B), pp.588-589, 1997.12
- 5) 若松一喜, 大坪一郎: 土系自然色舗装の開発, 第22回日本道路会議論文集一般論文集 (B), pp.590-591, 1997.12
- 6) 徳光克也, 阿部浩, 若野伸彦: 土系舗装の混合物性状について, 第22回日本道路会議論文集一般論文集 (B), pp.592-593, 1997.12
- 7) 菅原賢司, 平田博昭, 最首勝: 自然土舗装の適用場所における供用性について, 第23回日本道路会議論文集一般論文集 (C), pp.176~177, 1999.10

Ⅲ－４．３ 排水性舗装の機能維持

質問者：中国技術事務所技術課

回答者：道路部舗装研究室（内線４６５５）

質 問

道路環境面からの排水性舗装が人家連旦部を中心に実施されていますが、騒音・排水機能の維持管理目標値および維持管理水準を保つための機能回復の作業サイクルをご教示願いたい。

回 答

排水性舗装の機能は、目詰まり・目つぶれ等により、経時的に低下していきます。この機能の低下を回復させるために、清掃による機能回復作業が行われますが、作業にあたっての基準、作業サイクル等については標準的なものがないのが現状です。排水性舗装の機能には、大きく分けて透水機能と騒音低減機能がありますので、それぞれを分けて説明します。

（１）透水機能

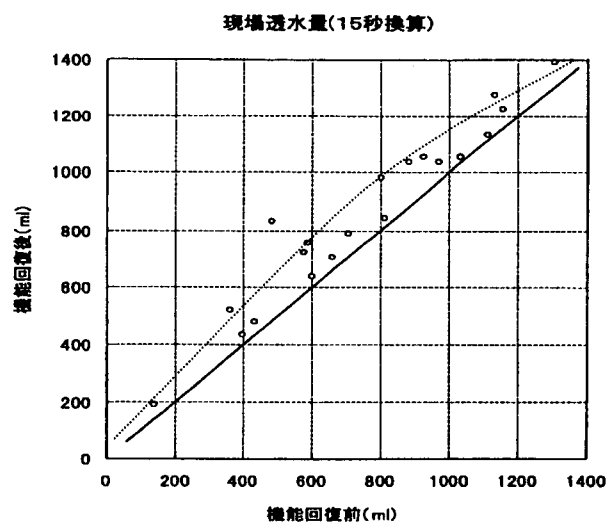
図－１は機能回復作業前後の透水量の回復を見た例です。これは２～５年供用した実道での作業例で、様々な状態の排水性舗装が含まれていますが、この図から機能回復効果の傾向を予測すると、機能回復前の透水量が４００～１０００ ml/15sec 付近では機能回復効果が大きく、２００ ml/15sec 程度以下ではあまり効果が得られないと推測されます。これは、目詰まりと同時に目つぶれも起きており、機能の回復が不可能な状態になっているためと思われる。

図－２に、洗浄作業と機能回復の様子を示します。これは、試験的に作製した清掃実験装置を用いたものですが、洗浄を行っても、元の透水量までは回復せず、洗浄作業を行っても徐々に透水量が減っていくことが分かります。

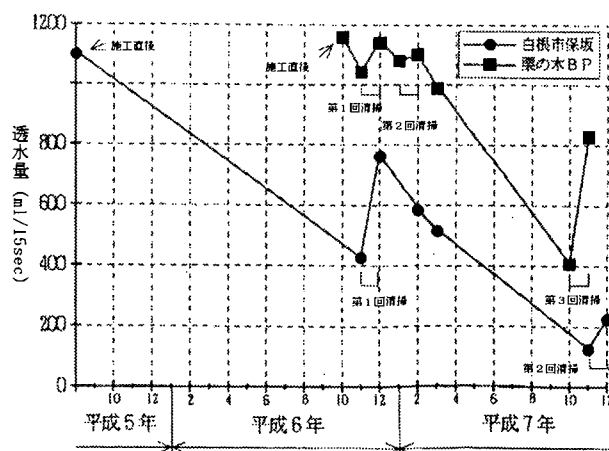
図－１，２から判断して、洗浄作業を行う際は、ある程度透水性が残っている段階で行うほうが洗浄効果は高いと考えられます。

これらを基に、洗浄サイクルによる透水量の回復がどのようなになるか推測してみます。例えば洗浄サイクルを６ヶ月と１２ヶ月とした場合、図－３のようになることが予想されます。６ヶ月ごとに洗浄した場合、目詰まりの回復がある程度可能な状態で洗浄が行われますが、１２ヶ月ごとに洗浄した場合では、目詰まりの回復が十分にできず、４８ヶ月後に両者を比較すると大きな違いが出来るかと予想されます。

透水量の変化は、現場の混合物の空隙形状や目詰まり物質の質・量（土壌、落ち葉、タ



図－１ 回復作業前後透水量の例¹⁾



図－２ 清掃実験装置による効果²⁾

イヤの粉末等)、降雨量等、また目づぶれのし易さ等によって異なります。従って、図-3は、あくまでもイメージであり、実際にはこのようになるとは限りません。このような洗浄サイクルの計画を立てるためには、現場の透水量をよく測定し、特徴をつかむことが必要です。

(2) 騒音低減機能

騒音低減機能の回復を報告した例は少なく、現時点では清掃作業と機能回復効果の明確な関係はわかりません。同じ工種であれば、ある程度透水量とタイヤ騒音には関係があるとの報告もあることから³⁾、透水量の測定からある程度洗浄サイクルを決定することも考えられます。ただし、目づぶれ等が進んでいる状態では、透水量とタイヤ騒音の関係は低くなることが予想されるため、現場の状態をよく判断して検討する必要があります。

参考文献

- 1) 岸、菅原、木下：排水性舗装の機能回復車について、第7回北陸舗装道路会議技術報文集、1997.6
- 2) 上杉、宮島、阿部：排水性舗装清掃車の開発、第7回北陸舗装道路会議技術報文集、1997.6
- 3) 廣津、渡邊、山本：二層式排水性舗装の追跡調査報告、舗装 vol35、No.3、2000.3

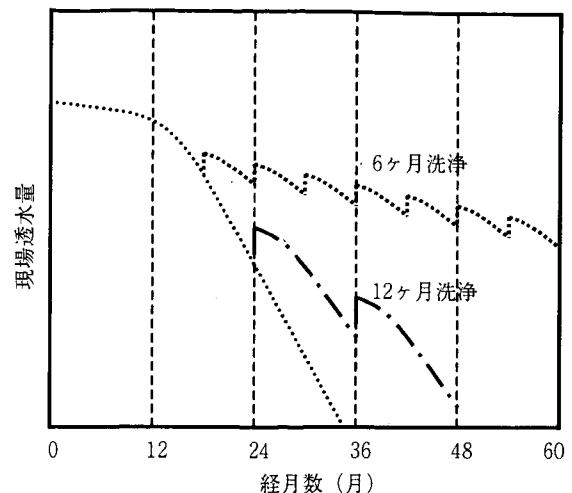


図-3 清掃サイクルによる透水量回復のイメージ

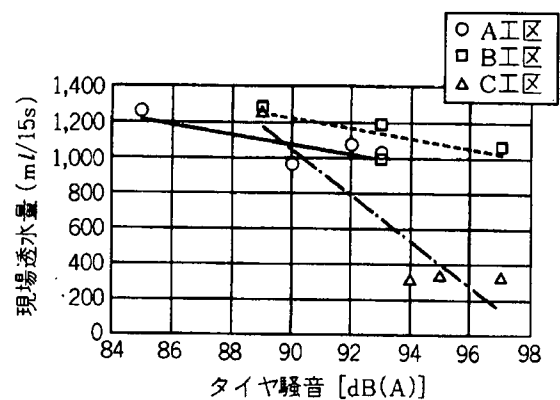


図-4 現場透水量とタイヤ騒音の関係³⁾

Ⅲ－５．１ 孔壁の自立が不確実な場合のロックボルト（鉄筋挿入）の削孔方法

質問者：斐伊川・神戸川総合開発事務所

回答者：材料施工部施工研究室（内線４７３２）

砂防部急傾斜地崩壊研究室（内線４５４５）

質 問

道路の切土のり面の補強対策としてロックボルト併用現場打ち吹付け法砕工を採用する場合、切土部の風化状況及び亀裂の状況から、孔壁の自立が不確実のために、自穿孔タイプによる施工を採用している。ロックボルト工については明確な指針等が出されておらず、「フリーフレーム工法設計・施工の手引き」、「グラウンドアンカー設計・施工基準」等を準用しながら設計、施工管理を行ってきたが、平成10年10月に日本道路公団より「切土補強土工法設計・施工要領」が発行され、自穿孔タイプは仮設という位置づけがなされた。今後自穿孔タイプは仮設とみなすのかどうか、あるいはメッキ等による腐食対策を行えば自穿孔タイプを永久構造物とみなせるのか、ご教示願いたい。

回 答

ロックボルト（鉄筋挿入）工のグラウトの役割は、補強材と地山を密着させて地山と補強材との間で荷重の伝達を行う役割と、補強材を腐食から保護する役割をもっている。このため、グラウトには、所用の強度、長期的な安定性が確保されるとともに、補強材と地山との間を密実に充填されなければならない。

今回ご質問のあった日本道路公団が発行している「切土補強土工法設計・施工要領」では、自穿孔式のものを「注入材充填の不確実性が懸念されることから、仮設目的に限定する」という解説がなされており、日本道路公団が実施する道路建設では自穿孔タイプは仮設として取り扱われている。このような記述がなされた理由は、工法によっては注入が不確実になりやすきこと、かぶりが10mm程度を確保する確実な施工方法がなかったことなどが考えられる。自穿孔式ロックボルトのグラウト充填が不確実になりやすいのは、穿孔に伴って生じる土砂はグラウト注入前にエアー洗浄あるいは水洗浄によって孔内から排出されなければならないがロッドを結合するカップラーと孔壁の隙間が狭いために十分に排出されないこと、あるいは注入したグラウトがロッドと孔壁との隙間が狭い部分で詰まって地表まで上がってこないことなどが原因として指摘されている。

また、設計・施工要領では補強材の防錆方法として、亜鉛メッキ処理することを標準と定めているが、これまでの実績では亜鉛メッキ処理を施されるケースはまれで、多くはグラウト充填による防錆を期待するもので、この点に関しても設計・施工要領は長期耐久性に関しては従来の方法よりもかなり厳しい対応をとっている。これは、長期耐久性に関する実態調査を行ったところ、全般的にはほとんど腐食は見られなかったものの、補強部頭部と地山との境界で表面水等の進入による腐食の事例が見られたことによって、このような対応がとられたものである。

そもそもロックボルト（鉄筋挿入）工は、わが国において歴史も浅く、長期耐久性に関するデータも乏しい。従って、長期耐久性を確保するためにどの程度の防錆処理が必要かはまだ十分にわかっていない。日本道路公団では、高速道路を対象に永久構造物としての切土補強工の技術指針として「切土補強土工法設計・施工要領」を発行したが、どの程度の長期耐久性が期待されなければならないかは、それぞれの道路の重要性、維持管理の程度、補修、補強工事の実施のしやすさ、のり面が崩壊した場合の交通に及ぼす影響等に関わっており、全ての道路が道路公団の要領に基づいて設計する必要はないと考えられる。また、自穿孔式タイプではなくグラウト注入の確実な2重管方式の採用は、確かに長期耐

久性に関する信頼性は高くはなるが、初期の工事費も高くなるために、維持管理を含めたトータルコストで比較してどちらが優れているかは一概にいけない。

一方、ロックボルト（鉄筋挿入）工の特徴としてグラウンドアンカー工に比べて単位面積当たりの補強材打設本数が多いために、補強された領域は疑似擁壁的な挙動を示し、一気に変状をきたすことはないことから、施工後の点検や動態観測によって異常が発見されれば、その時点で十分に補修、補強が可能と考えられる。

従って、自穿孔タイプの切土補強は現時点で永久構造物としての長期耐久性が確保されているという保証はできないが、腐食環境のそれほど厳しくない箇所において採用し、孔壁をできるだけ崩さないような削孔方法の工夫、グラウト充填が全体に行き渡るような慎重な注入など、可能な限りの防錆対策を施せば、「仮設」ではなく「本設」の道路のり面への採用は可能とも考えられる。また、特に削孔方法や注入方法に特別の工夫のない自穿孔タイプはグラウトの充填が不確実になりやすいために、充填しやすいようにロックボルト長の短い場合に採用することが望ましい。さらに、自穿孔タイプでも注入材の充填を確実にできるような工法も開発されつつあり、長期耐久性の信頼を高めるためにはこれらの採用も考慮するとよい。グラウト充填を確実にする工法として、削孔と同時にグラウトを注入する方法や、径の大きなビットで削孔し、カプラーと孔壁を隙間を十分に確保してグラウトの充填が確実にされる方法などが現在開発されている。

また、自穿孔タイプは現段階で長期耐久性を永久に保証するデータはないことから、施工後の点検や動態観測等の管理を十分に行って、異常があれば補修・補強工事が実施できるようにしておくことも大切である。今後は自穿孔タイプの補強材の長期耐久性のデータを取っていくことで、どの程度の耐久性が確保されるのかを十分に検討していかなければならないと考えている。

Ⅲ－５．２ 盛土の際における土壌改良材並びに深層混合処理工法の改良材の選択方法

質問者：岡山河川工事事務所

回答者：材料施工部施工研究室（内線４７３７）、土質研究室（内線４７４１）

質 問

深層混合処理工法で用いられる地盤改良材は、砂質土・粘性土といった地盤条件の違いによってその用途も異なってくる。そのため原地盤条件が複雑な場合、改良材の配合量によっては、部分的には設計基準強度に満たない改良土が施工され、品質が不十分のため盛土や改良土に変形が生じ、地域住民等に大きな影響を与える恐れがある。

また、セメント及びセメント系固化材の地盤改良および土壌改良への再利用が推進されているが、六価クロムによる地盤汚染への影響が懸念されている。

このため、本格的な工事を行う前に、本現場条件に適合する原地盤における現場－室内試験結果の割増率、強度特性や経時的な劣化特性、土壌改良における改良土の有害物質の溶出、施工における問題点についてご教示願いたい。

回 答

【現場－室内試験結果の割増率】

深層混合処理工法による地盤改良の対象となる地盤は、高含水比地盤が圧倒的に多いのが現状です。このような地盤を改良した場合、改良土は高含水比のまま硬化してしまうので、改良体に大きな間隙を持ったまま固結します。そのため、改良土は岩と軟弱土の両者の性質を持ち合わせており、力学的挙動は非常に複雑なものとなります。原位置改良土と室内強度の関係を図-1, 2 に示します。

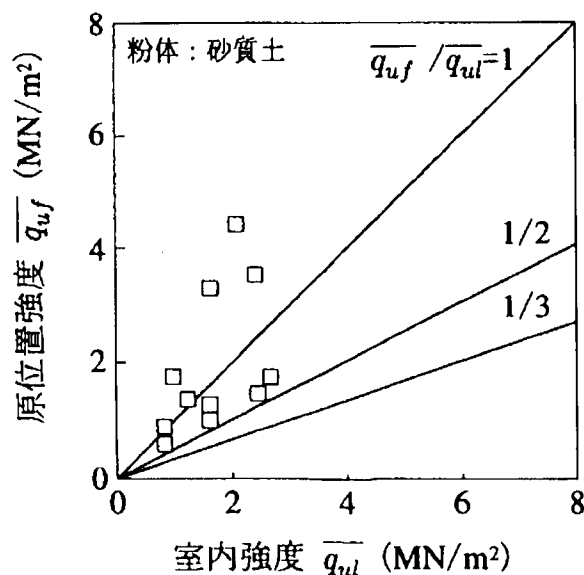
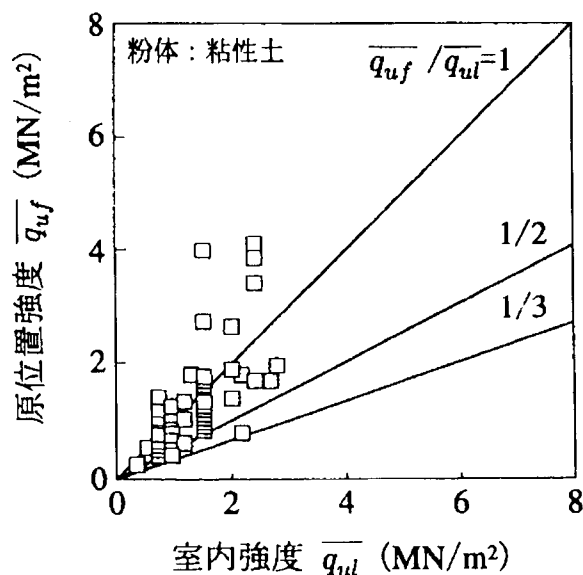


図-1 室内強度と原位置強度の関係（粉体：粘性土） 図-2 室内強度と原位置強度の関係（粉体：砂質土）

これまでの調査から、図-1, 2¹⁾より室内配合試験で得られた平均一軸圧縮強さ q_{ul} と現場で得られる平均一軸圧縮強さ q_{uf} との関係は、粘性土では $q_{uf}/q_{ul}=1\sim 1/3$ 、砂質土では $q_{uf}/q_{ul}=1\sim 1/2$ の範囲にあるものが多いとの結果が出ています¹⁾。

しかし、これはあくまでも統計的な数値であり、施工機械と室内試験用混合機械の攪拌性能による混合程度の相違と、養生温度の相違に起因する強さの差、改良区域での土質の

バラツキや含水比の相違による現場強さの変動をも含めた経験的な数値だということをよく理解する必要があります。そのため、設計基準強度や実際の現地の地盤条件によってその関係は変化することが十分考えられますので、現場の地盤をよく把握し対処することが必要です。

【改良土の強度特性】

改良の硬化は一軸圧縮強さで評価されています。セメント系固化材を添加した改良土は、一般に添加量が多いほど一軸圧縮強さが大きくなり、改良の直後から養生日数の増加に伴って強度が増加します。

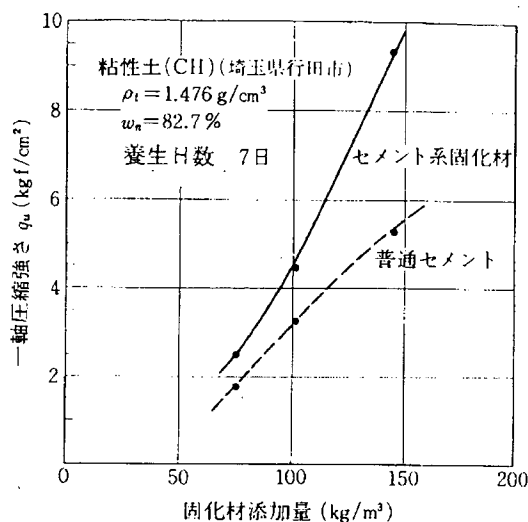


図-3 砂質土に対する固化材添加量と一軸圧縮強さ²⁾

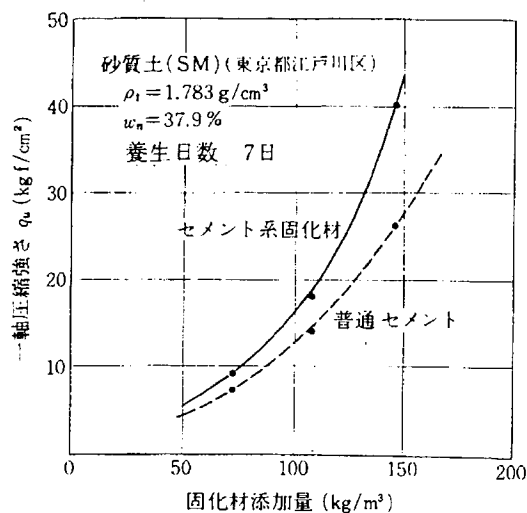


図-4 粘性土に対する固化材添加量と一軸圧縮強さ²⁾

図-3, 4²⁾に示した土質条件の場合には、固化材添加量を一定にすれば普通ポルトランドセメントよりもセメント系固化材の方が強度は大きくなります。しかし、目標強さを一定にしたときには普通ポルトランドセメントよりセメント系固化材の添加量が少なくなり、より経済的な改良となる場合が多いようです。

普通ポルトランドセメントとセメント系固化材を比較すると、改良効果の差が最も大きく現れるのは有機質土であり、以下、火山灰質粘性土→粘性土→シルト→砂質土と差が小さくなっていく傾向です。しかし、固化材の添加量と養生日数および強度の関係はさまざまな要因が複雑に影響することので、現場から試料土を採取し、室内配合試験を行って、固化材の添加量と一軸圧縮強さの関係を確認することが大切です。

また長期強度は、セメント系固化材による改良土の強さは、セメントの水和生成物とポゾラン反応によって得られるもので、原理的には長期養生日数においても安定した強さが保たれます。セメント系固化材は、実績が10数年と短いため、改良地盤の数十年に及ぶ追跡調査は今後の課題となっています。

図-5²⁾はセメント系固化材スラリーで火山灰質粘性土を改良したときのものです。これを見ると一軸圧縮強さは長期的に増加していることが分かります。

実際の事例として、浅層改良地盤の10年後および15年後の性状を調査し、長期の安定性を評価したケースがあります^{4), 5)}。結果は両ケースともに単位体積重量は増加し、間隙比は減少しています。一軸圧縮強

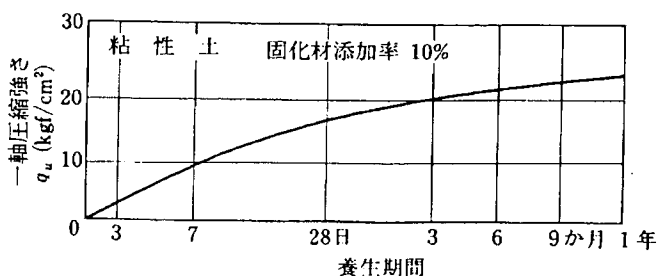


図-5 改良土の長期強度例²⁾

さは 10 年後では若干の強度増加（4～5 割増）であったが、15 年後のケースは $\sigma_3=74\text{kN/m}^2$ だったのが施工後で 15 年後でおよそ 2～3 倍の強さに増進しています。但し、上記のケースは浅層混合処理のケースです。

深層混合処理工法（CDM 工法）の改良地盤の長期強度・変形特性の比較調査を行った事例があります。これは施工してから約 3 年あまり経過した改良体を対象としたものです。改良体は砂質層・粘性土層をセメント系固化材で改良したのですが、 $\sigma_{3\text{年}}$ は含水比、湿潤密度とも σ_{28} と同様の数値でしたが、一軸圧縮強度は砂質土層を改良したものは σ_{28} に比べて 2～3MN/cm² 程度大きくなっているのに対して、粘性土層はほとんど同程度の結果となりました。

上記の結果から砂質土の方が粘性土と比較して、鋭敏であるといえます。

今後はあらゆる条件下（車両等の繰り返し荷重、乾湿繰り返し、凍結融解、水による侵食作用等）における改良土の長期耐久性に関するデータを集約する必要がある、深層混合処理工法の長期的な強度特性や経時的な劣化特性の研究は、これからと考えられます。

参考文献

- 1) (財)土木研究センター：陸上工事における深層混合処理工法設計・施工マニュアル，pp47，1999.6
- 2) (社)セメント協会：セメント系固化材による地盤改良マニュアル（第2版），pp29-40，1994.8
- 3) 寺師，北詰：締め固めを伴わない石灰安定処理土の耐久性調査，港湾技研資料 No.732，1992.6
- 4) 恒松他：セメント系固化材を用いた改良地盤における長期耐久性について，第45回セメント技術大会講演集，pp851-855，1991
- 5) 吉田他：浅層改良地盤の15年後の追跡調査，第27回土質工学研究発表会，pp2323-2326，1992.6
- 6) 木幡他：セメント系安定処理土の強度・変形特性について，セメント系安定処理土に関するシンポジウム発表論文集，1996.2
- 7) 芳沢他：改良土の品質に影響を与える施工要因について，セメント系安定処理土に関するシンポジウム発表論文集，1996.2

【六価クロムの溶出について】

平成12年年4月1日以降に施工する地盤改良及び改良土の再利用にあたっては、建設省技調発第48号「セメント及びセメント系固化材の地盤改良への使用及び改良土の再利用に関する当面の措置について」及び建設省技調発第49号「同 運用について」にもとづいた六価クロム溶出試験が実施されることとなりました。また、学識経験者等からなる「セメント系固化処理土検討委員会」（委員長 京都大学防災研究所 嘉門雅史教授、事務局：財団法人土木研究センター）を設置し、今後施工される改良土等への対応策や、過去に施工された改良土等の実態調査と対応策を検討中です。ここでは、今後施工する際に直面すると考えられるいくつかの問題点と、その見通しについて説明します。

(1) 配合設計段階における安全な固化材の選定

前記委員会のなかでは、改良土の配合設計段階で土壤環境基準を超えにくい固化材、あるいは超えた場合の代替材に関する検証試験を行っており、表-1、2に現在までの結果を示します。関東ロームと普通ポルトランドセメントの固化処理土で、土壤環境基準を大幅に上回る六価クロムの溶出（土壤環境基準の約10倍のレベル）がみられる場合でも、高炉セメントB種とすることで溶出量が定量下限値以下に低減できることが確認されています。ただし、同じ普通ポルトランドセメント、同じ添加量の粘性土、砂質土、有機質土の改良土で、土壤環境基準を超える六価クロムが溶出しないケースがありました。したがって、六価クロムの溶出については固化材側の要因だけではなく、土側の要因や水和状況などが影響しているものと推察されます。今後、溶出メカニズムや溶出しやすい条件（土質、固化材の種類、工種工法など）を明らかにするため、室内検証試験ケースを追加して実施しているほか、通達をうけて全国で実施された溶出試験のデータを、システムティックに収集し分析しているところです。

表-1 検証試験に用いた各材料のクロム含有量、六価クロム溶出量

試験項目 材料名		クロム含有量		六価クロム溶出量
		全クロム含有量 (mg/kg)	セメント協会法による六価クロム含有量 (mg/kg)	環境庁告示46号溶出試験による (mg/l)
土	関東ローム	90	—	<0.02
	粘性土	59	—	<0.02
	砂質土	41	—	<0.02
普通ポルトランドセメント		120	15	1.4
高炉スラグ微粉末		35	<5	<0.02
高炉セメント	高炉スラグ置換率 30%	93	11	1.1
	高炉スラグ置換率 45%	67	9	0.87
	高炉スラグ置換率 60%	55	6	0.80

〈備考〉

- 1) 六価クロムの土壤環境基準値：0.05mg/l
- 2) セメント協会法による六価クロム含有量試験（CAJS I-51）
溶媒は純水（pHの規定なし）、固液比は1：100、振とう機で10分間振とう（回数規定なし）、5種Bまたは6種のろ紙でろ過したものを、ジフェニルカルバジド吸光光度計で測定。
- 3) 全クロム含有量試験
環境省127号底質調査、原子吸光光度法（JIS K0 102-65. 1. 2）で測定。
- 4) 環境庁告示46号の六価クロム溶出試験
溶媒は純水（pHの規定なし）、固液比は1：10、振とう機で6時間振とう（水平振とう200回/分）、孔径0.45μmのメンブランフィルターでろ過したものを、ジフェニルカルバジド吸光光度計（JIS K0 102-65. 2. 1）で測定。

表-2 固化処理土における高炉セメントの六価クロム溶出抑制効果

土の 種類	固 化 材		材 齢 7 日 の 固 化 処 理 土	
	単位セメント量 (kg/m³)	高炉スラグの置換率 (%)	一軸圧縮強度 (kgf/cm²)	環境庁告示46号溶出試験による六価クロム溶出量 土壤環境基準値 0.05mg/l (mg/l)
関東ローム	80	0	0.09	0.39
		30	0.07	<0.02
		45	0.07	0.08
		60	0.07	0.12
	140	0	0.39	0.46
		30	0.28	<0.02
		45	0.24	<0.02
		60	0.16	<0.02
	200	0	1.39	0.50
		30	0.74	<0.02
		45	0.52	<0.02
		60	0.32	<0.02
粘性土	100	0	15.9	<0.02
		30	10.3	<0.02
		45	7.5	<0.02
		60	4.4	<0.02
	200	0	37.3	<0.02
		30	36.8	<0.02
		45	35.2	<0.02
		60	25.9	<0.02

その他、配合設計段階での判断で注意すべき点として、土壤環境基準値の3倍規定の取り扱いについて触れておきます。通達（参考）では地下水面から離れており、地下水の六価クロムの濃度が0.05mg/lを越えない場合には、溶出量が0.15mg/l（土壤環境基準値の3倍）でもよいとの土壤環境基準の備考が引用されています。これを改良盛土など地上部の施工において、固化材選定の判断基準にしてよいかとの問い合わせが多く寄せられています。この点については、現段階では3倍規定を適用する具体的な判断基準（地下水からの程度離れていれば良いかなど）がないことから、土壤環境基準（0.05mg/l）で判断することが妥当と考えられます。

(2) 施工後の確認試験で環境基準を超えた場合の対応について

基本的には、配合設計など事前の溶出試験で土壤環境基準（0.05mg/l）を大きく下回っていれば、施工後に基準を超過することはないと考えています。それでも超過している場合には、もともとの土壤が汚染されている可能性が高く、そのための調査が先決です。もし改良土に原因がある場合には、基本的には環境庁の指針に示された、土砂の撤去ほかの対策を検討する必要性が生じますが、工事の進捗や立地条件の問題から実施が極めて困難と予想されます。そのため、土砂が再掘削・流用されないよう、また、周辺地下水に六価クロムが溶出・拡散し、地下水の水質環境基準（0.05mg/l）を超えるなどの影響が出ないように注意しながら管理する必要があります。リスク評価や対応策については、前述の委員会で検討中です。モニタリングでさえも困難な場合が多いと予想されるため、溶出拡散解析技術を用いてこうしたリスク評価の結果を提示することも検討課題の一つと考えています。

参考文献

- 1) 三木博史，小橋秀俊：セメント系固化工法と環境問題，基礎工 Vol.28 No.9，pp.12-14，2000.9

Ⅲ－５．３ 山岳部の急峻な地形上に補強土壁を計画する際の留意点および選定方法

質問者：浜田工事事務所

回答者：材料施工部施工研究室（内線４７３２）

質 問

山岳部の急峻な地形上に補強土壁工法を計画する際の留意点および選定方法についてご教示願いたい。

回 答

補強土壁工法は、盛土内に鋼製補強材やジオテキスタイル等の補強材を敷設した鉛直壁またはそれに近い勾配の壁をもつ土留め構造物で、近年特に施工実績が増えている。また、壁高 15m にも及ぶような大規模な補強土壁の構築や山岳地の道路建設での実績も増加している。

山岳部の急峻な地形に補強土壁工法を採用する場合、平坦地に施工する場合と違って補強土壁の安定性確保に対して不利な条件が多いために、設計では十分な検討を行うことが必要である。すなわち、急峻な斜面に片切り、片盛りで道路を建設する場合の補強土壁の築造は、図-1 に示すように補強土の安定性を確保するために必要とする敷設長がとれるようにしなくてはならない。

この場合、掘削しなければならぬ土量が多くなり、掘削によって地山そのものの安定が損なわれることが懸念される。また、斜面上に補強土壁の基礎を設置する場合は、地盤が傾斜していることすべり破壊に対する抵抗が平坦地盤に比べて少なく、支持力不足による崩壊が懸念される。さらに、地山の湧水が多い箇所もあり、湧水の処理が十分でなければ、水の浸食によって盛土の不安定が引き起こされる。

このため、急峻な斜面上に補強土壁を設置する場合は、以下の点に留意する必要がある。

- ①補強材の敷設長を確保するために地山掘削が必要な場合に、地山の安定を確保しておく（図-2）。
- ②基礎の支持力破壊を防止するために崖

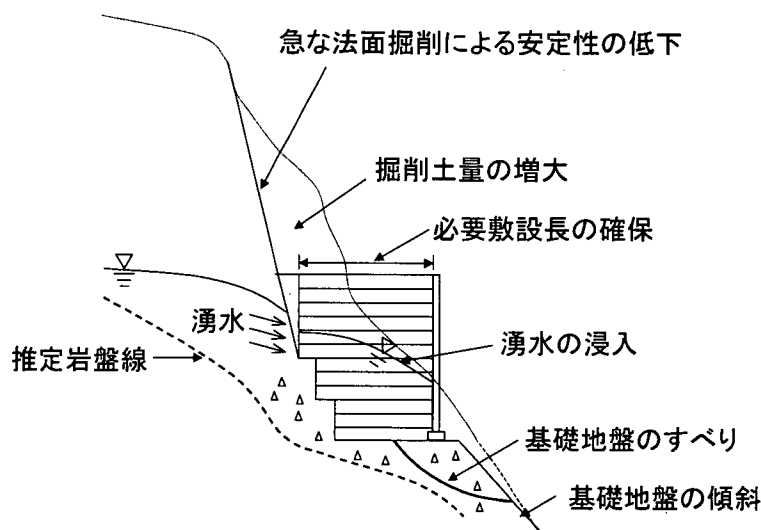


図-1 急峻な地形における補強土壁の留意点

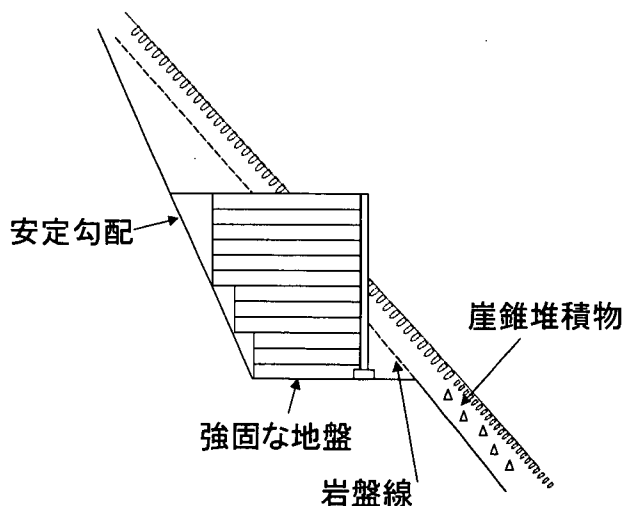


図-2 崖錘部の地山掘削の留意点

錐堆積物などからなる弱い地層には基礎を設置せず、強固な地盤に基礎を設置する(図-2)。なお、設計時には強固な地盤面は十分な調査が行われなくて設定されることが多いために、施工時には強固な地盤の確認を必ず実施する。

- ③斜面上に基礎を設置する場合は、平坦地盤に設置する場合に比べて支持力が小さくなることから、地盤支持力の算定については地盤の傾斜を考慮した方法を用いる。
- ④掘削土量を少なくするために、補強土壁下部の補強材の敷設長を短くする場合があるが、下部の短い補強領域に地震時には土圧が集中しやすく、また浸透水も集中しやすくなるために、圧縮性が少なく雨水等の作用による強度低下の少ない良質の盛土材料を用いる(図-3)。

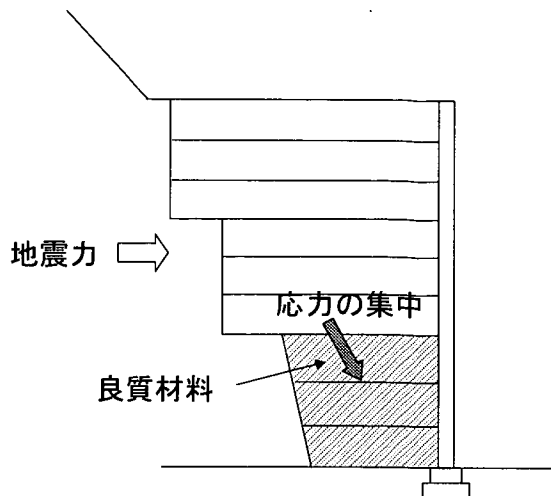


図-3 補強土壁下部における補強材長を短くする場合の留意点

- ⑤地山からの湧水によって盛土の強度低下が生じないように、地下排水工を設置するなど盛土内の排水対策を十分に行う。
- ⑥地山掘削量を減少させるためコンクリートの重力式基礎(基礎フーチング)を設置する場合には、基礎に相当大きい土圧や壁面からの荷重が作用するので、擁壁としての転倒、滑動、支持力に対する安定性を確保する。また、壁高の高い基礎は不安定になりやすいため、基礎の壁高があまり高くないようにする。さらに、基礎背面の裏込め材は圧縮沈下の少ない碎石等を用いて十分に締め固め、不同沈下が生じないようにする。

次に、急傾斜地に設置する場合の補強土壁工法の選定では、できるだけ地山掘削量を少なくできる工法が有利となる。掘削量を少なくすることが可能な主な工法は次のとおりである。

鋼材による補強土壁の一工法であるアンカー式補強土壁工法は、ロッド(タイバー)に取り付けられたアンカープレートの引き抜き抵抗によって安定を図るが、地山が近接している場合には、地山に異形鉄筋を挿入、注入材を充填させたロックアンカーを構築し、これとロッド(タイバー)を緊結することで引き抜き抵抗を確保する方法が用いられる(図-4)。

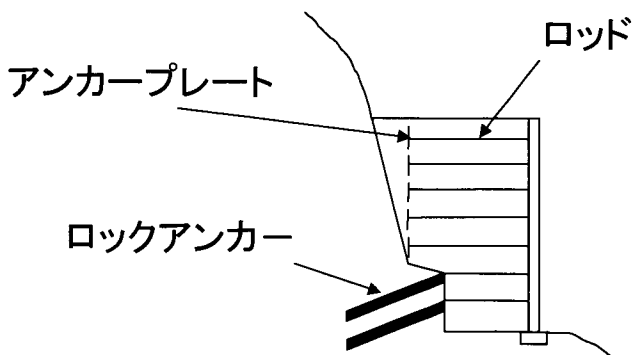


図-4 ロックアンカーを用いたアンカー式補強土壁工法

補強領域を確保するために地山に近接して補強土壁を設置する場合には非常に有効である。ただし、ロックアンカーを使用する場合には、必要なアンカーの引き抜き抵抗が確保できるような良質の岩盤に定着させることが条件となる。また、ロックアンカーの設計では、ロックアンカーの引き抜き抵抗だけでなく、定着した地盤を含めた全体の安定も検討する必要がある。

また、ジオテキスタイル補強土壁の一工法

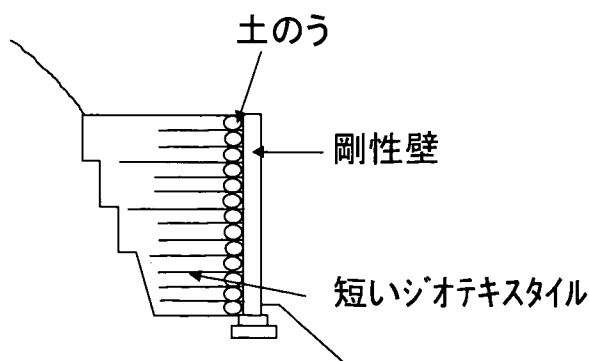


図-5 剛壁面補強土壁(RRR工法)工法

である剛壁面補強土壁工法（RRR工法）は、ジオテキスタイルを密に配置し、壁面に剛性の高い場所打ちコンクリート壁を用いることにより、従来の補強土壁工法に比べて補強材長に大幅に短くすることができる（図-5）。

このため、狭隘な施工場所でも施工が可能であるという特徴から地山掘削量を減らすことができる。ただし、補強材の敷設長が短いために、補強盛土体を含む全体の円弧すべりに対して安全性が確保されているか検討することが必要である。

さらに、その他の補強土壁工法においても先に述べたように、基礎に重力式基礎（基礎フーチング）を設置して地山の掘削量を少なくする方法があるが、基礎の安定に対しての十分な検討が必要である（図 図-6 重力式基礎を用いた補強土壁-6）。

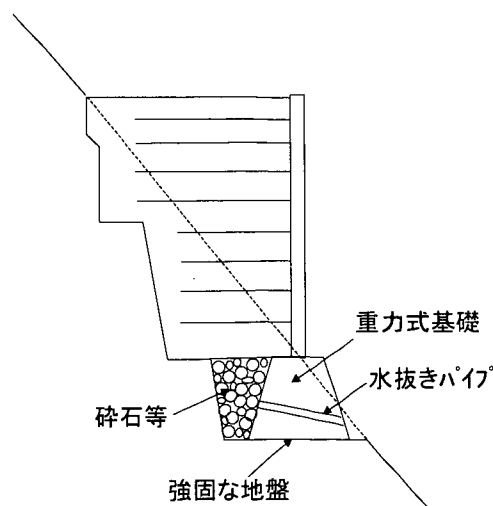


図-6 重力式基礎を用いた補強土壁

いずれの工法を採用するにしても、平坦地盤に設置するのに比べて急峻な地形に設置する補強土壁は不安定となる要因が多いことから、地形、地質、地下水、基礎地盤の強度などを十分に調査し、また、地すべりや斜面崩壊等の広域的な安定も確認しておくことが大切である。

参考文献

- 1) (財) 土木研究センター：補強土（テールアルメ）壁工法設計・施工マニュアル第2回改訂版，1999. 12
- 2) (財) 土木研究センター：多数アンカー式補強土壁工法設計・施工マニュアル第2版，1998. 11
- 3) (財) 土木研究センター：アンカー式補強土壁工法研究委員会：多数アンカー式補強土壁工法に関する研究ノート，1998. 8
- 4) (財) 土木研究センター：ジオテキスタイルを用いた補強土の設計・施工マニュアル改訂版，2000. 2
- 5) (財) 国土開発技術研究センター：RRR(剛壁面補強土壁工法)工法 一般土木工法・技術審査証明報告書，1994. 3

Ⅲ－５．４ 道路土工－擁壁工指針の大型ブロック積み擁壁の設計

質問者：三次工事事務所

回答者：材料施工部施工研究室（内線４７３２）

質 問

平成11年３月に改訂された道路土工－擁壁工指針において新たな大型ブロック積み擁壁の記述が盛り込まれた。これによると、「一般的な大型ブロック積み擁壁では、直高に応じて控え長とのり勾配の表２－３、２－４、２－５を参考に定めるのがよい。」と記述があるが、この一般の大型ブロック積み擁壁とはどのような判断によればよいのか具体的に教示願いたい。

また、「大型ブロック積み擁壁の設計に際しては、事前にブロックの強度及びブロック間の結合強度を検討しておく必要がある。」との記述があるが、具体的にどのような検討を行えばよいのか、ご教示願いたい。

回 答

平成11年３月の道路土工－擁壁工指針の改訂は、昭和62年の道路土工－擁壁・カルバート・仮設構造物工指針が発行されて以来10年以上が経過しており、この間に新技術、新工法の普及、関連する技術指針の改訂、コスト縮減や防災等の社会的ニーズの変化を踏まえ、これらに対応した内容となるようにした。大型ブロック積み擁壁も、省力化、コスト縮減のニーズから普及の著しい擁壁形式であることから、今回の擁壁工指針では新たに盛り込まれた。

大型ブロック積み擁壁は多種多様の製品が存在し、また設計法も十分に確立されていないことから、指針の中で全てを網羅する設計法を示すことは難しく、基本的な考え方を示す記述にならざるを得なかった。ただし、大型ブロック積み擁壁の利用状況をみると、施工の省力化のために通常のJISで定められたブロック積み擁壁の代替として用いられる場合、緑化ブロックのように景観に配慮した土留め構造物として利用される場合、さらにもたれ式擁壁と同様に壁高の高い場合や大きな土圧が生じるような箇所に設置する場合などがあり、これらの用途に応じて製品化されてる。一般的には、通常のJISで定められたブロック積みの代替として、背面地山がよく締まっている切土、比較的良好な裏込め材料で十分に締め固められた盛土など、壁高がある程度低く、土圧の小さいところで適用されることが多いために、このような箇所で使われる擁壁を「一般的な大型ブロック積み擁壁」として、計算によらず設計できるようにこれまでの実績や設計計算をもとに、控え長が35cmよりも大きい大型ブロックに対して、道路土工－擁壁工指針で表２－３、２－４、２－５を掲載した。なお、控え長が35cmのまま大型化した大型ブロック積み擁壁は、従来のブロック積み擁壁の設計に用いる表２－２に従って定めることになる。

これらの表の適用の前提条件としては、通常のJISブロック積み擁壁と同程度以上の機能が発揮される擁壁でなければならない。すなわち、ブロック積み擁壁の要求される機能としては、土圧に抵抗できるだけの施工面積あたりの重量、ブロック自体の強度、ブロックの長期耐久性、ブロックがある程度一体となって土圧等の外力に抵抗するためのブロック間の摩擦抵抗等が考えらる。このうち、ご質問のブロック自体の強度はJIS規格のブロックが圧縮強度 $18\text{N}/\text{mm}^2$ 以上が規定されているのでこれ以上の強度が必要である。また、結合強度は通常のJISブロック積み擁壁の代替として利用される場合は、ブロック積み擁壁が胴込めコンクリートを用いる練り積みで、水平方向の目地が直線にならない谷積みで施工されることから、それと同程度のものが求められる。JISブロックの練り積みを行った場合のブロック間の摩擦力について具体的なデータを持ち合わせていないために、具体的な結合強度はここでは示せないが、製品の種類によってはせん断強度の低い継手をもつ

ものもあるために、指針では一般的な留意事項として結合強度の検討について記述した。

また、壁高の高い場合や背面からの土圧が大きい場合には、もたれ式擁壁あるいは逆T型擁壁の代替として大型ブロック積み擁壁を利用する場合がある。この場合の大型ブロック積み擁壁は、大きな土圧に抵抗するために擁壁が一体となって土圧に抵抗する構造が求められる。また、土圧等の外力が不均等に作用する場合や、基礎コンクリートとの接合方法や擁壁の根入れによる拘束によって擁壁内部に引張り応力が発生する場合もあるために、ブロック間を鉄筋等でつなぎ合わせることも必要となる。さらに、壁高が高い場合や重要度が高い場合などでは、地震時の検討も必要になってくる。これまでのブロック積み擁壁の地震による被災経験では、地震動によってブロック間の結合が外れやすく、地震時土圧の影響にもよって、目地に亀裂が生じたり、ブロックがはらみ出したり、最悪の場合はブロックが崩壊するに至る場合もある。このため、大型ブロック積み擁壁をもたれ式擁壁や逆T型擁壁の代替として利用する場合には、これらと同程度の耐震性を確保するために、ブロック間の結合が地震時において弱点とならないような十分な結合強度が必要になると考えられる。

Ⅲ－５．５ 堤防の基盤漏水対策におけるレーンの式の適用

質問者：中国地方建設局河川部河川工事課

回答者：材料施工部土質研究室（内線４７４４）

質 問

堤防の基盤漏水対策に矢板工法を採用する際、浸透流解析により検討する方法の他、レーンの式を適用して矢板長の計算を行う方法がある。レーンの式を堤防に適用する場合の注意点があればご教示願いたい。

回 答

高規格堤防に該当しない堤防について、浸透に対する安全性の照査は、のり面のすべり破壊と基礎地盤のパイピングについて行い、特にパイピングに対しては浸透流計算を用いて、局所的な動水勾配を求めて安全性を評価している。詳細については「河川砂防技術基準（案）」を参照されたい。

（参考）

樋門等、河川構造物に設置される遮水矢板の計算においては、レーンの式に基づき、本体部分の浸透経路長を 1/3 倍して評価している。

$$C \leq \frac{L/3 + \sum l}{\Delta H} \quad (1)$$

L ：本体および翼壁の長さ（函軸方向）

$\sum l$ ：鉛直方向の浸透経路長

高規格堤防の堤体およびその地盤は、パイピング破壊が生じないよう必要な有効浸透経路長を確保することとし、次式に示すレーンのクリープ比で評価している。

$$C \leq \frac{L_1 + L_2/3 + \sum l}{\Delta H} \quad (2)$$

L_1 ：水平方向の堤防と地盤の接触長さ

L_2 ：水平方向の地盤と地下構造物の接触長さ

$\sum l$ ：鉛直方向の地盤と構造物の接触長さ

以上のように、両者とも土と構造物との接触面では浸透経路長を 1/3 倍して評価している。

この照査法は、土質材料とコンクリート等剛性の異なる物質との接触面における浸透特性の評価が難しいために、経験的に作られたものであると考えられる。

したがって、一般の河川堤防の場合、全体が土質材料で構成されるため、浸透流解析を行うことが望ましいと考えられる。

III-5.6 高潮堤防工事における背後地の地盤沈下対策

質問者：太田川工事事務所

回答者：材料施工部土質研究室（内線 4 7 4 4）

質 問

軟弱地盤上の高潮堤防工事における地盤沈下対策として縁切り矢板を施工する場合があるが、(図-1 参照) 縁切り矢板の背後地においては、盛土重量による圧密沈下が発生し、家屋などの損壊が多く起こる可能性がある。また矢板打設により、地下水が遮断され、地下水位の低下さらには地盤沈下が懸念される。この点に関して、適切な対応策をご教示願いたい。

回 答

図-1 に示すような縁切り矢板は、盛土による近接構造物の引き込み沈下を防止するものであるため、背後地に盛土をする場合には、地盤の圧密沈下を抑制する効果を期待することは難しい。

周辺地盤への影響を軽減する対策工としては、矢板工法による縁切りの他、深層混合処理工法等による地盤改良、軽量盛土工法等が考えられる。

深層混合処理工法は、主として石灰、セメント系の安定材を地中に供給して、原位置の軟弱土と強制混合することによって深層に至る強固な安定処理土を形成する工法で、周辺地盤への側方変位を抑制するほか、工事中の振動・騒音を抑えることができる。ただし、安定材を供給するときの空気圧の影響で、背後地に盛り上がりが生じる可能性があり注意が必要である。

また、軽量盛土工法のうち、発泡スチロールブロックを用いる EPS 工法は、今回のように計画高水位が高いケースでは、浮力などの問題から適用が難しいと考えられる。発泡ビーズ混合軽量土については、海岸堤防背面の嵩上げ盛土への適用を図った例がある。(図-2 参照)

矢板打設による遮水の影響については、地下水位低下による地盤沈下も懸念されるが、一方で湿潤化のおそれもあるなど、広域的な（塩水の遡上の問題を含めて）地下水の挙動は極めて複雑であるため、事前の地下水動向の調査、縁切り矢板による遮水の影響の評価などを事前に調査することはもちろん、事後の継続的な観測を実施し、必要に応じて地下水位をあるレベルに保つよう承水路を設けたり、あるいは暗渠を配置して地下水を涵養するなどの対策を講じることが望ましいと考えられる。

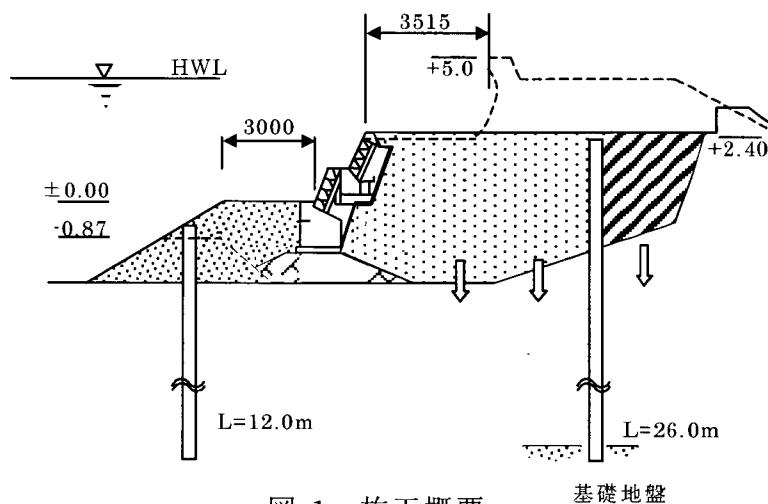


図-1 施工概要

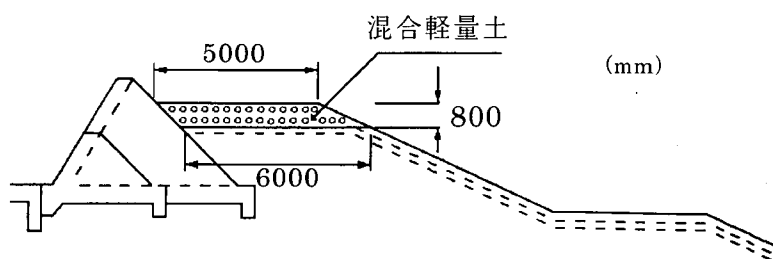


図-2 発泡ビーズ混合軽量土による盛土例

Ⅲ－５． ７ 鋼橋箱桁等の内面塗装（新規・塗替）

質問状：本州四国連絡橋公団

回答者：材料施工部化学研究室（内線 4 7 5 1）

質 問

現在、鋼橋の箱桁等の内面塗装については、塗装基準を定め建設時に塗装（変性エポキシ樹脂塗料 3 層）を施している。本四公団の海峡部橋梁において最も古い橋梁（大三島橋、鋼アーチ橋）で供用後 21 年が経過しているが、ほとんど錆が発生していない状況である。

今後の維持管理のコスト縮減等を考えると、塗替塗装の必要性、塗装膜厚、層数の縮減等を考える必要があると思われる。

腐食環境によっても相当違いがあると思われるが、これらの検討を実施したケースがあれば、陸上、海峡部を問わずご教示願いたい。

回 答

鋼橋の箱桁内面は、漏水を確実に防げば腐食環境としては、厳しくないので変性エポキシ樹脂塗料程度で十分な防食効果は得られる。しかしながら、漏水があるような構造物では、より防食性能が優れた厚膜型塗料が適用される。現場での塗替えでは、密閉空間での作業者の安全（溶剤中毒、溶剤爆発等）を考慮して無溶剤型塗料が使われはじめたが、硬化剤のアミンによるかぶれや、可使時間が短いことによる作業性の低下など新たな問題も生じている。このため、箱桁内面は、製作時に工場で重防食塗装を行うことが、塗替え数を削減するとともに、塗りにくい厚膜型の無溶剤型塗料を現場で適用する必要もなくなりコストの縮減にもなる。実橋におけるこれらの検討は本四公団において塗装委員会で孫崎高架橋などで実施している。

Ⅲ－５．８ コンクリート構造物の補修

質問状：本州四国連絡橋公団

回答者：材料施工部化学研究室（内線４７５１）

質 問

塩分量が高く、アルカリ骨材反応が見られるコンクリート構造物の最適補修方法についてご教示願いたい。

回 答

土木研究所が総プロ「コンクリートの耐久性向上技術の開発」において提案した「アルカリ骨材反応被害構造物（土木）の補修・補強指針（案）」では、背面から水が補給される橋台、擁壁等の構造物は補修の対象から除外している。

現在、このような構造物のアルカリ骨材反応を抑制する補修材料について、擁壁を用いた実験を行っているところであり、まだ、確実な補修方法を提示することはできないのが現状である。

III-5.9 再利用材料の安全性確認方法

質問者：浜田工事事務所

回答者：材料施工部コンクリート研究室（内線 4761）

質 問

河川工事で発生が予想されるコンクリート殻（従前構造物（堰）として使用されていた物）を根固め材などとして再利用できないか検討を進めるに当たり、自然環境への影響（特に環境ホルモン等の問題）が取りざたされており、使用の前提条件をどう整理し、使用するにあたっての安全宣言を行うための諸条件をご教授願いたい。また、今後何十年先での影響などについてどのような検討が現在なされているか、ご教示願いたい。

回 答

コンクリート解体材を根固め材料等に用いるとき、自然環境への影響として考えられる主な項目は、①セメント水和物による高アルカリ、②重金属イオン、が考えられます。ご質問の、③環境ホルモンのことに関しては、具体的な問題としては上がってきていません。

では、上記の①～③がどのように問題かを見てみます。

①のアルカリの問題は、解体材だけでなく、新設のコンクリート構造物の場合にもよく問題視されることです。コンクリートの中はセメント中の水酸化カルシウムのために、 $\text{pH}12$ 以上の非常に高いアルカリ性に保たれています。このため、コンクリートはアルカリ性で有害ではないかと思われることがあります。確かに、閉鎖された少量の水の中にコンクリートを打設したりしますと、その水が高いアルカリ性を示すこともあります。しかし、通常は硬化したコンクリート表面から溶出する水酸化カルシウムの量は多くはありません。この量が多ければ、コンクリートはスカスカになり、耐久性は確保できません。よく、養魚場などでは、水槽をコンクリートで造りますが、コンクリートの硬化後何度か水を入れ替える、いわゆる「あく抜き」を行うと、あとは全く問題がなくなります。

コンクリート解体材の場合、破碎されて表面積が増えますので、溶出しやすくなる水酸化カルシウムの量は多くなります。しかし、逆に表面積が増えるため、いわゆる中性化も進みやすくなります。中性化は、空気中の二酸化炭素がコンクリート中の水酸化カルシウムと反応し、炭酸カルシウムをつくり、この結果として pH が低下する現象です。このため、砕いたばかりのコンクリート解体材を閉鎖された少量の水に入れたような場合を除いては、特に大きな問題は生じないと考えられます。

次に②です。コンクリートの材料の、水、セメント、骨材はもともと地球表面にある材料が主体となっています。このため、コンクリートを構成する元素も地球の地殻に存在する元素の構成と似たようなものになっています（表-1 参照）。ただし、最近ではセメント製造への各種の副産物の利用などで、重金属イオンなどの量が増えているのではないかと心配される声も聞こえます。さらに、最近六価クロムの影響が懸念されています。クロム自体はありふれた元素ですが、セメントの焼成課程で、酸化作用の大きな六価のクロムができるからです。これについては本資料の別項で「盛土の際における土壌改良材並びに深層混合処理工法の改良材の選択方法」で紹介していますので参照して下さい。一方、セメントは建設分野以外で重金属の処理にも活用されています。これは、セメント水和物が重金属イオンを固定する能力が高いためです。この能力は一般に pH が高いほど、大きいので、普通のコンクリートから重金属イオンが流出する量は微々たるものです。

表－1 ポルトランドセメントと土中の
重金属含有量の例 (mg/kg) ¹⁾

成分	普通ポルトランドセメント	土
全 Cr	52－204	5－1500
Cr ⁶⁺	<0.4－32.4	－
Cu	18－243	2－250
Zn	205－1435	1－900
As	3.3－106.3	0.1－40
Se	－	0.01－12
Cd	0.6－7.8	0.01－2
Hg	0.002－0.127	0.01－0.5
Pb	7－421	2－300

表－2 環境庁告示第 46 号による
セメントからの重金属溶出量の例 ¹⁾

成分	セメント中の含有量 (mg/kg)	セメントからの溶出量 (mg/l)	環境基準値 (mg/l)
Cr ⁶⁺	14.7	1.34	0.05
Cu	417	<0.0033	－
Zn	2044	0.01	－
As	57.5	0.0004	0.01
Se	<1	0.0035	0.01
Cd	18.4	<0.0023	0.01
Hg	0.113	<0.00007	0.0005
Pb	386	0.031	0.01

表－3 各種コンクリートからの Cr (VI) 溶出量と暴露状態および材齢の例 ¹⁾
[溶出試験：勧告 13 号法]

種類	試料の状態	試料の採取と調整	試料数	Cr (VI) 溶出量 (mg/l)	材齢または暴露期間 (年)
供用構造物	－	コア採取	13	<0.01－0.03	5～53
供試体	屋外暴露	φ 10×20cm	30	<0.01－0.05	1～9
コンクリート製品	屋外暴露	コア採取ほか	8	<0.05	3～27
廃材	野積み	－	14	<0.01－0.05	－
再生粗骨材	野積み	－	5	<0.02－0.04	－

[備考] 使用セメントは普通ポルトランドセメント

では、どれくらいの重金属イオンが出てくるのでしょうか。環境庁告示第 46 号の方法で、セメント自体を水に溶いた一例を表－2 示します ¹⁾と、非常に水に溶けやすい六価クロムが、環境基準（飲み水として想定した基準）を大きく上回ります。その他では鉛が基準を超えています。その他の重金属イオンは環境基準を下回っています。ただし、これはセメント粉体を用いたかなり極端な試験で、コンクリートの解体材からの溶出の条件からはほど遠いものです。

コンクリート解体材を利用する場合はどうでしょう。前述したように破碎されて表面積が増えるので、中性化が促進され、固定していた重金属イオンがでてくることが懸念されます。コンクリート構造物を解体した場合を想定し、環境庁告示第 13 号の方法でコンクリート破碎物を試験した結果の例 ¹⁾（表－3）では、最も溶出しやすい六価クロムでも環境基準や水道水の基準以下となっています。環境庁告示第 46 号や環境庁告示第 13 号では解体材をかなり細かく粉碎しますので、試験方法としては非常に厳しいものとなっています。この厳しい試験方法で、水道水の基準以下の六価クロムしか出てきませんので、通常の根固め材料等に用いた場合には、まず問題はないと考えられます。なお、コンクリート工事から解体までの過程で、六価クロムがどう溶出してくるかについては、さらに調査が進められています。

最後に③の問題です。コンクリートの中には有機物としては、化学混和剤が含まれています。化学混和材は、その種類は多岐にわたり、さらに構成材料は非常に多様です。このため、いわゆる環境ホルモンに指定された成分を含む化学混和剤も若干あるようです。ただし、化学混和剤にどの程度含まれ、コンクリートの硬化後どのように挙動するかについては、まだわかっていません。化学混和剤自体の使用量はコンクリートに比べると少量であり、直ちに問題になることは少ないとは思われます。環境ホルモンについては、その定義や範囲、影響といった基本的な事項が明確になっていませんので、コンクリート解体材だけでなく建設材料全体について、これから検討していかなければならない課題であると考えられます。

参考文献

- 1) 高橋茂：セメントに含まれる微量成分の環境への影響、セメント・コンクリート誌 No.640、June 2000

Ⅲ－５．１０ 場所打ちボックスカルバート接合部設計における剛域の考慮

質問者：岡山県土木部空港整備課

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、部材接合部の剛域の考慮をすべきかどうかご教示願いたい。

回 答

道路橋示方書Ⅲコンクリート橋編によると、コンクリートラーメン構造物については、断面力を算出する際、部材断面の曲げ剛性の変化および接合部の剛域の影響を考慮して解析を行うことが原則とされています。ただし、剛域の考慮が断面力の算定結果に大きな影響を及ぼさない場合については、剛域の影響を考慮しなくてもよいとされています。実際、道路土工カルバート指針においても、断面規模が大きい場合や土かぶりが大きく部材が厚くなる場合は、剛域の影響が顕著となるのでこれを考慮するが、それ以外の場合は剛域の影響を無視して計算してよいとされています。

剛域の考慮の妥当性は、厳密に言えば模型供試体の載荷試験試験等に基づいて判断がなされるべきですが、これまでほとんど検討がなされておらず、どのような断面力が発生するのか明確になっていないのが現状です。このため、実務においては、設計計算における簡略性と断面力算定結果に及ぼす影響度から、剛域の考慮の有無を判断するのが妥当であると考えられます¹⁾。

参考文献

- 1) 土木研究所資料3673号：九州地建における一日土研資料、pp.132-133、1999

Ⅲ－6．1 鉄筋間隔の許容範囲

質問者：苫田ダム工事事務所

回答者：構造橋梁部基礎研究室（内線 4 8 2 1）

質 問

橋梁下部工のフーチングにおいて、杭（深礎杭）の主鉄筋とフーチングの主鉄筋を配置する場合、杭の接線付近のフーチング主鉄筋は適正なピッチが確保できないことがあり、配置間隔の許容値をご教示願いたい。

回 答

フーチングを設計で想定しているはりあるいは版として機能させるためには、主鉄筋を適切な間隔で配置する必要がある。しかし、橋脚柱や杭など、他の部材との結合部付近では、それぞれの部材の鉄筋が交差するため、鉄筋位置をずらさざるを得ない場合がある。鉄筋位置をずらした場合の部材の耐力等への影響について詳細に検討した事例はないが、道路橋示方書Ⅳ下部構造編 6.5.3 (5) 2) の解説で説明しているように、引張主鉄筋量が鈎合鉄筋量の 1/2 以下であれば、モーメントの再配分が行われるので特に問題はないと思われる。ただし、鉄筋間隔が極端に大きくなるような場合には、最も条件が厳しい箇所において単位幅あたりの応力度照査および耐力照査を行うなどして、設計上問題がないことを確認するのがよい。また、鉄筋位置をずらす場合においても、以下に示す鉄筋のあきおよび最小鉄筋量の規定を満たす必要がある。

鉄筋のあきについて、

密実なコンクリートを得るために鉄筋周囲にコンクリートを十分に行きわたらせるのに必要な最小のあきとして、主鉄筋のあきを 4cm 以上かつ粗骨材の最大寸法の 4/3 倍以上とする。またコンクリートと鉄筋とが十分に付着し、両者が一体となって働くために必要な鉄筋のあきとして鉄筋の直径の 1.5 倍以上を確保しなければならない。

最小鉄筋量について、

ひび割れ幅を有害でない程度に抑えるために部材表面に沿った長さ 1m 当たり 500mm^2 以上の断面積の鉄筋を中心間隔 300mm 以下の間隔で配置するのを原則とする。

Ⅲ－６．２ 鋼橋における新技術・新工法の採用

質問者：倉吉工事事務所

回答者：構造橋梁部橋梁研究室（内線４８４１）

質 問

２主げたや開断面箱桁など鋼橋における新技術・新工法の施工にあたっての留意すべき点についてご教示願いたい。

回 答

鋼橋における新技術は多岐にわたるが、ここでは、その中で代表的な次の３つの形式を取り上げることとする。

- ・ ２（少数）主桁橋
- ・ 開断面箱桁橋
- ・ 上下部一体構造

これらの形式は、海外では標準的な形式とされている場合が多いが、我が国においては、後述の諸事情により、採用を控えてきた経緯がある。したがって、どのような技術開発がこれらの形式の採用を可能にしたのかを正しく理解することが大切である。

２（少数）主桁橋

（１）特徴と背景

２（少数）主桁橋は、従来より少ない主桁で大きな支間の床版を支持するのが特徴である。したがって、相対的に主構造における床版の役割が大きくなる。

昭和４０～５０年代にＲＣ床版の抜け落ち損傷が多数発生したため、ＲＣ床版に対する信頼性が薄れ、合成桁の採用すら最近まで控えられてきた経緯がある。その後、阪大、土研、ＪＨにおいて輪荷重走行試験を用いた研究が行われた結果、コンクリート床版の疲労損傷メカニズムが明らかになった。また、ＰＣ床版、鋼コンクリート合成床版が高い疲労耐久性を有していることもわかった。これにより、耐久性の高い長支間床版の製作が可能になり、２（少数）主桁橋が増加するようになった。

（２）留意点

以上述べた通り、この形式では、床版の耐久性が極めて重要である。そのため、コンクリートの打設、防水層の設置について、念入りに行う必要がある。床版コンクリートの品質に確証がもてない場合には、２（少数）主桁橋の採用は控えた方がよい。

また、コンクリート床版の信頼性が回復したことにより、少主桁橋、多主桁橋を問わず、合成桁として設計されることが多くなっている。従来、非合成桁として設計することは、安全側の仮定であると考えられてきたが、乾燥収縮や温度差など、現象によっては、必ずしも安全側にならないこともあるため注意が必要である。橋梁研究室としては、合成、非合成に関わらず、必ず合成効果を考慮するよう呼びかけている。

なお、少主桁化により、個々の桁の寸法、板厚は大きくなる傾向にある（平成８年の道路橋示方書からは板厚の最大値は５０ｍｍから１００ｍｍに引き上げられた）。そのため、桁高に制限がある場合には、必ずしもこの構造が最適ではない。また、厚板の継手部の現場溶接が行われることが多いので、品質管理および検査方法に十分注意する必要がある。最近では、長手方向に板厚を変化させたＬＰ鋼材が開発されており、中間支点付近に用いることにより合理化を図ることができる。

開断面箱桁橋

(1) 特徴と背景

コンクリート床版を有する箱桁橋においては、鋼桁部分と床版とが一体となった完成系では、上面を上フランジでふさぐ必要はない。しかしながら、コンクリート床版打設時には、U字型の断面は全体横倒れ座屈に対して不安定である。20～30年前、全体横倒れ座屈による事故が多発したため、我が国では採用が控えられてきた経緯がある。

事故を防ぐためには、架設時に上横構を設置するのが一般的であるが、最近、数多く開発されている合成床版の型枠がその役割を果たすため、構造上有利となることがわかってきた。また、工場では補剛材を付けたパネルだけを製作し、現地において箱形断面を組み立てるため、部材単価を低減できたり、部材を効率的に輸送できるというメリットがある。また、現地合わせの施工になるため、精度に対して神経質にならなくてもよい。

(2) 留意点

開断面箱桁橋では、床版が開断面箱桁橋における上フランジの役割を果たすので、床版の施工および防水層の設置を適切に行い、床版に高い耐久性を確保する必要がある。また、この形式は、送出し工法が必要な場合には有利となることが多いが、支保工やトラッククレーンを用いて架設できる場合には、2主桁橋の方が有利となる。

上下部一体構造

上下部を一体とすることにより、支承や伸縮装置などの維持管理負担を減らすことができるため、上下部一体構造は、以前から高橋脚を有するコンクリートラーメン橋に限られるものの積極的に用いられてきた。上下部一体構造においては、耐震性において有利となる場合がある一方で、温度応力が問題となるため、鋼橋での採用は多くなかった。最近では、設計ツールの発達により、上下部構造全体系の動的解析による耐震設計が可能になってきている。これを用いることにより、地盤が軟らかく支持層が深い場合には、高橋脚を有するコンクリートラーメン橋のような特性を引き出すことができ、上下部一体構造の適用が拡大された。ただし、一般の低い橋脚で地盤がよい場合には、有利とはならないことに注意する必要がある。

これらの新しい形式は、橋梁のLCCを低減する技術として注目されているが、このほかにも、耐候性無塗装鋼材、亜鉛めっき、金属溶射、機能分離型支承など、周辺技術も数多くでてきているので、鋼橋の新技术の採用にあたっては、これらの技術を含めて判断することが大切である。

参考文献

- 1) 小川、寺田：JH日本道路公団における複合構造橋梁、橋梁と基礎、vol.31, No.8, pp.48～55, 1997.8

Ⅲ－６．３ コンクリート橋の外ケーブル構造の予備孔

質問者：苫田ダム工事事務所

回答者：構造橋梁部橋梁研究室（内線４８４１）

質 問

外ケーブル構造を採用する場合に予備孔を設ける必要があるかどうか。また使い分ける場合、設置の有無を判断する基準的なものはあるかご教示願いたい。

回 答

外ケーブル工法では、内ケーブル工法に比べて、上部工の軽量化や施工性の向上が可能なことに加え、ケーブルの変状を目視で確認できること、また、外ケーブルの損傷や、プレストレスの減少といった不具合が生じた場合にケーブルの取り替えが可能なことなど、維持管理面での長所があり、グラウトを使用した内ケーブル工法よりも信頼性が高いと考えられている。そのため、最近では外ケーブル工法の採用事例が増加しつつある。ただし、外ケーブル構造では、定着部と偏向部のみでケーブルを固定しており、ケーブルとコンクリートの付着がないため、定着部・偏向部の設計や終局時の耐荷力の算定にあたっては注意が必要である。

外ケーブル構造における予備孔については、構造物の維持管理計画、重要度に応じて配置するかどうかを決定する必要があるが、一般には、将来に予期せぬ問題が生じ、ケーブルの交換が必要となる場合や、補強が必要となる場合に対応できるように、予備孔は設置しておくのが望ましいと考える。ただし、定着部の設計にあたっては、再緊張の方法等を十分に検討し、必要以上に過大な設計とならないような配慮が必要である。

外ケーブルに関する基準としては、「外ケーブル工法を適用したPC橋の設計・施工指針（案）（仮題）」を来年度に出版する予定である。これは、橋梁研究室と（社）プレストレスト・コンクリート建設業協会との共同研究（H10～H12）の成果として、現在とりまとめ作業を実施しているものである。この指針（案）の中で、維持管理についての考え方を記載する予定である。

Ⅲ－６．４ 鋼橋床版ハンチの施工

質問者：岡山国道工事事務所

回答者：構造橋梁部橋梁研究室（内線４８４１）

質 問

鋼橋床版のハンチの施工に関して、床版のハンチ部は型枠が複雑になるため施工が煩雑になる。よって施工の省略化のためハンチを設けない設計が可能かご教示願いたい。

回 答

床版のハンチの機能に関して道示6.1.10に「(1)床版には、ハンチを設けるのを原則とする」とあり、同解説に「床版作用によって主げた付近の版のコンクリートに生じる引張力を減少させてせび割れが発生するのを防ぎ、また、ずれ止め付近の局部応力を拡散させるために、ハンチについてこの条の規定を設けた」とあるので、ハンチを設けなかった場合、この引張力および局部応力について検討する必要があると考えられる。この検討には、引張力および局部応力などを評価可能なFEM解析などを用いるのが良い。

またこの時の床版厚さは、床版を橋軸方向にみて最大となる道示6.1.11けた端部の床版の「(4)けた端部の車道部の床版は、床版厚さをハンチの高さだけ増すのを原則とする」を用いることになると考えられる。

上記に示す通り、ハンチを省略する場合のハンチ付近の考え方およびその時の床版厚についてまとめたが、橋梁全体に関して以下の点についても考慮しなくてはならない。

1. ハンチを省略する事による必要な床版厚さ、横断勾配および桁高の関係
2. 死荷重の増加による桁および下部工への影響
3. 無筋部が多くなならない様に配慮した適切な鉄筋の配置
4. 省力化とコンクリート体積が増える事によるコストの増加の関係

Ⅲ－6．5 橋梁工事の今後の展望

質問者：本州四国連絡橋公団第三管理局

回答者：構造橋梁部橋梁研究室（内線4841）

質 問

橋梁工事における今後の展望はどのようになっていくのか。例えば、国際化に対応したISO・性能規定の導入及び今後の見通し並びにこれらにかかる道路橋示方書の取り扱い、LCCに着目した建設並びに維持管理のあり方等現在の検討状況、今後の展望についてご教示願いたい。

回 答

質問中のテーマは多岐にわたり、限られた紙面で回答するのは困難であるので、ここでは、現在改訂作業中の道路橋示方書（以下、道示）の改訂の背景および目的について述べる。なお、質問中の各論に関しては、個別に対応するので、橋梁研究室に直接相談されたい。

道示改訂の主たる背景と目的は以下の通りである。

①国際化への対応

現在課題となっている国際化とは、

- 1) 一国でしか通用しないローカルルールが認められない世界となりつつあること。
- 2) 「より良いものをどこからでもより安く」という価格競争から逃れられないこと。

などの不安要因に対し、いかに体制を整えるかということである。1)に関しては、要求性能とその検証方法を明記することで透明性を確保すること、2)に関しては、複数のアプローチを許容することで、競争力の確保を図ることが必要である。しかし現行道示は、経験則に基づいた仕様規定の占める割合が多く、外国から見ると不透明な印象を与え、非関税障壁との誤解を生む原因ともなっている。また、仕様書的な色彩が強く、ともすると新技術の提案や導入の障害になっている。

さらにISOにおける技術基準の国際統一化の動き（SI単位系への移行を含む）も大きな背景である。

②構造等の多様化への対応

利用者（納税者）の要求が多様化し、コスト面のみならず、構造形式、造形、景観、環境との調和等への対応が不可欠になるとともに、これらを実現するために、VE、DB、PFIなど、発注・契約方法も多様化しつつある。しかしながら、現行道示は、短期間に大量の事業を進める必要性があった時代を反映しているため仕様書的な色彩が強く、新たな試みに対して障害になっているケースが見られる。技術基準が新技術の導入や新しい発注形態を制限することは、本来あるべき姿ではなく、より柔軟な基準への移行が望まれている。

③維持管理、耐久性の重視

維持管理の時代と言われはじめて久しいが、現行道示では、「耐久性に考慮して」、「維持管理に便利な」等の表現はあるが、大半が精神論的で具体性に欠けており、耐久性のある橋づくりが進まない要因となっている。

耐久性に関して具体性のある規定を設けることにより、今後、設計、建設される橋をよりよい方向にシフトすることが必要とされている。今回の改訂では、鋼橋編における疲労設計、コンクリート橋編におけるコンクリート部材の耐久性照査に加え、長期的に考えて経済的となる橋が有利となるように、ライフサイクルコストによる経済性評価に関する規定が導入される予定である。

④コスト縮減等の成果の早期導入

近年のコスト縮減努力の結果、従来とは発想の異なった橋梁構造や設計の考え方が出て

きている。これらの中には、安易に見かけだけ真似をすると耐久性に問題が出るおそれがあるものがある。同時に、非常に優れた構造でありながら、道示に位置づけられていないというだけの理由で、せっかくの技術が活かされないという問題も存在している。

このようなことから、一定の評価ができるものについては、道示に何らかの最小限の記述をすることが求められている。

以上の背景および目的を整理すると、技術基準の目指すところを明確にし（透明性）、目的を達成するための方法について、新技術の開発、導入を促し、わが国の技術力（競争力）を早急に高めなければならないということと、維持管理および耐久性という極めて重要な要求性能を具体的に規定する必要があるということである。

このことは、要求する性能を明確に示し、複数の解法を許容するという、いわゆる性能規定（性能照査型規定）の基本理念と一致する。このため、今回の改訂では、目標をわかりやすくするために、性能規定を柱に据えて作業を実施している。より具体的な道示改訂の動向に関しては、文献1)～3)を参考にされたい。

最後に、今後の橋梁を展望する上でもう一点欠かせないのが、これまで大前提と考えられていた各種の制約条件が解消されてきたということである。例えば、コンピュータの急速な発達により、橋の立体解析がパソコンでも可能となり、また、鉄筋コンクリート床版の損傷メカニズムが解明されたことで、壊れない床版が実現可能となりつつある。このように従来の制約条件がなくなれば、橋の姿が将来劇的に変わることも十分考えられる。橋梁研究室でもこの点に着目し、将来の橋の姿を提案していく予定である。

参考文献

- 1) 西川：「橋の性能と耐久性」、第一回鋼構造物の維持管理に関するシンポジウム資料集、土木学会、1999.7
- 2) 西川：「道路橋示方書の性能照査規定化とこれからの橋　－耐久性・維持管理関連規定を中心として－」、鋼構造と橋に関するシンポジウム論文報告集、土木学会、1999.8
- 3) 西川：「道路橋示方書の改訂　－性能規定化への取り組み－」、第47回道路講習会講義要旨、日本道路協会、2000.3
- 4) 西川：「国際化に向けた道路橋の設計法」、橋梁と基礎Vol.34, No.8、建設図書、2000.8

Ⅲ－７．１　P F I (Private Finance Initiative)

質問者：岡山河川工事事務所

回答者：建設マネジメント技術研究センター建設マネジメント技術研究室（内線：5281）

質　問

社会資本形成において、民間事業者の参画を意図した民活法が 1986 年に施行され、その後官民共同出資による第 3 セクターが数多く設立された経緯があるが、バブル期における市場見通しの甘さや役割分担の曖昧さ、運営に関する官民双方の誤解もあって、その多くが破綻の機器に貧しているのが現状である。この度 PFI 導入に際して、この時の失敗を鑑み、どのような点で民活法（第 3 セクター）と相違が見られるのか。また、現在の導入状況実例と今後の課題等についてご教示願いたい。

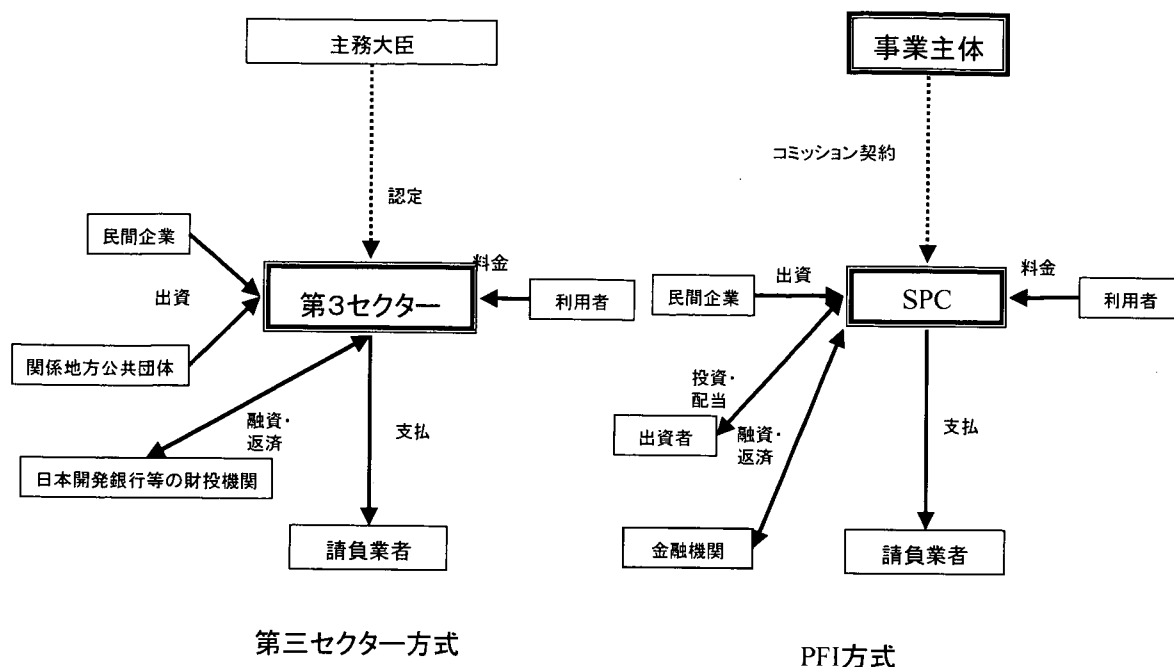
回　答

PFI は、資金、経営能力及び技術的能力を活用した公共施設等の建設、維持管理、及び運営を促進するための枠組みのことで、主に、財政余力や技術力の不足が指摘される地方自治体を中心にその活用が期待されている。従来の民活法（民間事業者の能力の活用による特定施設の整備の促進に関する臨時措置法）も、PFI 法（民間資金等の活用による公共施設等の整備等の促進に関する法律）も、施設の整備を民間事業者の能力を活用して促進するという同じ目的により定められているが、その相違の特徴を形式的に言えば、事業主体が、前者は官民両者の出資による第三セクターであるのに対して、後者は民間による特定目的会社（SPC, Special Purpose Company）であることである。民活法では、官民の役割分担、経営責任の所在が曖昧となり、迅速、戦略的な経営を困難としたことが第三セクターの破綻を招いた原因として指摘されている。また、破綻処理の方法が未整備であったために自治体が債務を負う事態が生じているとも指摘されている。

PFI 法では、施設の整備運営は、事業主体（国や地方自治体など）と SPC の間の契約をベースにして進められるため、曖昧となりがちなリスク分担を契約において明確化できる長所がある。また、SPC は民間企業であるため経営責任が一元化される上、SPC は民間市場から資金調達を行うため、施設の整備運営に対するチェックを市場が行うことにもなることから、効率的な施設の整備をもたらすものと期待されている。

官の過度なリスク負担やモラルハザードといった、民活法の時と同じ轍を踏まないために、事業主体と SPC が契約において適切なリスク負担を実現し、明確化することが不可欠となる。この意味では、リスクの定量化（見積）や分担の明確化を可能とするために、PFI 実績データの蓄積、その基盤となるデータベース整備など、PFI 事業の経験を共有し、活かしていくための取り組みも必要となろう。

(参考) 第三セクター方式と PFI 方式のスキームの相違 (例)



第三セクター方式

PFI方式

(PFI 方式における独立採算型を想定して独自に作成)

(参考) PFI による効率性(VFM, Value for Money)の向上

・公共事業で行った場合の事業費＝建設コスト＋運営コスト＋不確実さを伴うコストの増大(＝定量化されたリスク)

・PFI による事業主体の財政負担がこれを下回れば PFI によって事業の効率性は向上

・ただし、リスクには SPC が管理できるものとできないものがあるので、その負担配分を見極めることが重要。

(参考) リスク分担の例

段階	リスクの種類	リスクの内容	負担者	
			事業主体	SPC
共通	住民問題	住民の反対運動	○	
建設	工事費増大	事業主体の指示による工事費の増大	○	
		上記以外の工事費の増大		○
運営	性能	要求仕様への不適合		○
	運営費の増大	運営費用の増大		○

(実施事例などから独自に作成)

(参考) PFI の実施事例

PFI 法の成立を待たずに実施された事例として東京都水道局金町浄水 PFI モデル事業が知られている。

また、PFI 法における特定事業としては常陸那珂港北ふ頭公共コンテナターミナル施設の整備及び管理運営事業、千葉市消費生活センター・計量検査所複合施設整備事業、福岡市臨海工場余熱利用施設整備事業、神奈川県衛生研究所等施設整備等事業、ひびきコンテナターミナルにおける PFI 事業(北九州市)などが知られており、その実施方針や募集要項などの情報の一部を総理府 PFI ホームページで得ることができる。

(参考) 関係 URL

総理府 PFI ホームページ	http://www.sorifu.go.jp/pfi/index.html
英国大蔵省タスクフォース	http://www.treasury-projects-taskforce.gov.uk/releases/rel21.htm
東京都水道局金町浄水 PFI モデル事業	http://www.waterworks.metro.tokyo.jp/pfi/pfi_0.html

Ⅲ－８．１ 鋼板巻立て補強における鋼板とコンクリートとの一体性

質問者：山口工事事務所

回答者：耐震技術研究センター耐震研究室（内線４９３１）

質 問

鋼板巻立て工法により耐震補強を行った鉄筋コンクリート橋脚において、補強後に打音検査を行い、空隙音がする箇所については無収縮モルタルを再充填する処置を行っているが、依然空隙音が確認され、鋼板とコンクリートの間に肌すきが生じているものと考えられる。このような肌すきが生じていても、耐震補強の効果に及ぼす影響はないのかどうかについてご教示願いたい。

回 答

１．曲げ耐力制御式鋼板巻立て工法

平成７年兵庫県南部地震以降、橋脚の耐震補強が順次進められているが、鉄筋コンクリート橋脚では、曲げ耐力制御式鋼板巻立て工法等により、耐震補強が行われている。曲げ耐力制御式鋼板巻立て工法においては、図－１に示すように、鉄筋コンクリート橋脚躯体を鋼板で巻き立て、鋼板とコンクリート躯体との隙間に無収縮モルタル等を充填して密実させるとともに、アンカー筋を通じて鋼板をフーチングに定着させた構造である。本補強工法の主眼は、軸方向鉄筋段落し部の曲げ耐力を補強し、この領域での損傷を防止するとともに、橋脚全体としての曲げ耐力とせん断耐力、ならびに変形性能をそれぞれバランスよく向上させることに置いており、アンカー筋によるフーチングへの鋼板の定着、鋼板下端とフーチング上面の間に設ける間隙、鋼板下端に取り付ける型鋼等、本構造に固有な特徴を幾つか有している。

まず、アンカー筋は、橋脚の曲げ耐力向上を図るとともに、フーチングに伝達される地震力をコントロールする役目を担っている。すなわち、アンカー筋の本数及び径を調整することで補強による橋脚躯体の曲げ耐力の増加を制御することができる。また、橋脚基部では、鋼板下端とフーチング上面の間に間隙を設けている。これは、大きな地震力を受けた場合に、鋼板がフーチングと接触し、鋼板に予期せぬ圧縮力が作用して座屈するとともにフーチングへの損傷が生じることも考えられるためである。ただし、この間隙長が過大になると、鋼板による拘束効果が低減するため、この間隙長は可能な限り小さく設定する必要がある、100mm程度が標準となっている。

さらに、矩形断面の場合には、鋼板下端部において断面を取り囲むように型鋼が取り付けられる。これは、矩形断面橋脚の場合、橋脚基部に大きな曲率変形が生じると、鋼板下端部がはらみ出すように変形し、鋼板によるコンクリートの拘束効果が失われやすい。そこで、鋼板下端を型鋼で補剛することにより、大変形時にでも鋼板が横拘束材としての機能を発揮できるようにしたものである。

２．鋼板と無収縮モルタル間の剥離の原因

鋼板と無収縮モルタルの間に剥離が生じる主な原因としては、施工時の交通振動による要因と施工後の温度変化や乾燥収縮による要因が考えられる。

曲げ耐力制御式鋼板巻立て工法等の耐震補強は、一般に、道路交通の供用下で実施されるため、無収縮モルタルを充填してから硬化するまでの間も、交通振動によって橋脚には微振動が伝達される。この微振動により、一部の範囲で鋼板と無収縮モルタルの面的な付着が確保されないまま無収縮モルタルが硬化してしまい、これが剥離という状態となって表れるものである。

無収縮モルタル充填時においては付着が確保されていたとしても、その後、日照等による鋼板と無収縮モルタルの温度差により、両者の間には相対的なひずみ差が生じることが考えられる。このようなひずみ差が大きくなると、鋼板と無収縮モルタルの間の付着が剥がれてくる。また、無収縮モルタルでも乾燥収縮が全く生じないわけではなく、わずかな乾燥収縮の影響により剥離が生じることとも考えられる。

このように、鋼板と無収縮モルタル間の剥離を長期にわたって完全に防止するように管理することは困難であり、本補強工法において入念に無収縮モルタルの注入を行った場合でも、施工直後においてから鋼板と無収縮モルタルの間の力学的な付着が確保できていない箇所が存在し得ると考えられる。ただし、このようにして入念に注入した場合にも生じる剥離は、剥離幅にすればわずかなものと考えられ、あくまでも力学的な付着が確保できていないだけの状態である。鋼板とコンクリート躯体の間に無収縮モルタルが密実されていないために大きな隙間があるような状態は当然のことながら望ましくなく、本文で述べている剥離とは、このような状態までを含めているのではないことに注意する必要がある。

3. 鋼板の剥離が耐震補強された橋脚の耐震性に及ぼす影響に関する実験的検討

先に述べたように、本補強工法では曲げ耐力、せん断耐力、変形性能をそれぞれ向上させることを目的としている。この中で、せん断耐力と変形性能の向上に関しては、鋼板による横方向補強により生まれる現象であるため、補強のメカニズムを踏まえると、鋼板の剥離がせん断耐力や変形性能に対する補強効果に及ぼす影響は基本的には生じ得ない。一方、曲げ耐力に関しては、鋼板の剥離に伴う滑りにより鋼板が軸方向鉄筋としての機能を十分に果たさず、所定の曲げ耐力の向上が図れないのではないかという懸念が想定される。

このような問題点を背景として、鋼板の剥離が耐震補強された橋脚の耐震性に及ぼす影響や実大規模の実験による耐震補強の効果について検討されている。そこで、ここでは、これらの研究における検討結果について簡単に紹介することにする。

まず、文献 1)では、鋼板の剥離の影響を実験的に検討するために、剥離状況をパラメータとして図-2に示す6体の供試体を製作し、それぞれに対して正負交番載荷実験が行われている。ここで、No.0は鋼板との付着を全面確保した供試体、No.1は補強を施していない供試体、No.2は鋼板との付着を全面で絶った供試体、No.3は下半分の領域で鋼板との付着を絶った供試体、No.4は上半分の領域で鋼板との付着を絶った供試体、No.5は鋼板との付着は全面で絶っているが実施工で用いられている鋼板の固定アンカーをモデル化した供試体である。

実験により得られた橋脚基部の曲げモーメントと橋脚天端における水平変位の関係を図-3に示す。全面を剥離させた No.2 供試体では、所定の曲げ耐力の向上が図れてなく、鋼板の剥離の影響により鋼板が十分に軸方向鉄筋としての機能を果たせていないことがわかる。しかしながら、剥離の範囲を全体の 50%とした No.3 や No.4 供試体では、実験前において剥離のない No.0 供試体と同等の挙動となっている。また、No.5 供試体に対する結果からは、仮に鋼板が全面において剥離していたとしても、鋼板が固定アンカーを用いて施工されていれば、固定アンカーの効果により鋼板が軸方向鉄筋の一部として機能するようになり、No.0 と同様な結果となっていることがわかる。

次に、土木研究所では、実橋脚規模の大型模型を含めた様々な実験を行っているが^{2),3)}、載荷変位の増大に伴う鋼板の剥離の進展状況を調査している。実験に用いた供試体は、図-4に示すように、断面寸法が 600mm の供試体と 2400mm の供試体である。いずれの供試体とも無収縮モルタルを充填材とした曲げ耐力制御式鋼板巻立て工法により耐震補強されており、これらに対して、正負交番載荷実験が行われている。図-5ならびに図-6は、各供試体に対して鋼板の剥離の進展を示したものである。ここで、鋼板の剥離状況はハンマーによる打音により調査したものであり、供試体の4側面全てに対して行った。また、図-7は、各供試体に対して得られた水平力-水平変位の関係を示したものである。これより、断面寸法が 600mm の供試体では、実験前において鋼板の剥離がほとんど生じてい

なかったが、弾性限界である $1\delta_y$ の載荷を行っただけで、橋脚下半分の領域で鋼板の剥離が生じた。さらに載荷を進めると、鋼板の剥離している範囲が上方へと進展していき、 $3\delta_y$ の載荷で約 85% の領域が剥離した。また、断面寸法が 2400mm の供試体では、実験開始前から、全体の約 30% の領域で鋼板の剥離が生じており、 $3\delta_y$ の載荷後では約 90% の領域にまで広がった。しかしながら、いずれの供試体とも、鋼板の剥離がほぼ全面にまで広がった $3\delta_y$ の載荷以降も、水平力を保持しており、鋼板の剥離が原因で水平力が低下するような挙動は見られないことがわかる。

このように、鋼板が剥離して鋼板とコンクリート躯体が鉛直方向に対して力学的に一体となっていないにも関わらず、安定した水平力が保持できるのは、鋼板とコンクリート躯体の間が無収縮モルタルによって密実されているために、図-8 に示すように、コンクリート躯体の曲げ変形に追随するように箱型となっている鋼板にも曲げ変形が生じ、さらに鋼板下端がアンカー筋によってフーチングに定着されていることから、箱型の鋼板自体に曲げ抵抗力が生まれ、これが曲げ耐力の向上という形で表れているものと考えられる。これは、いわゆる重ね梁の原理であり、鋼板が剥離した後の橋脚の剛性は、重ね梁理論に基づいて近似できることも実験的に報告されている¹⁾。

なお、既設道路橋の耐震補強に関する参考資料⁴⁾では、曲げ耐力制御式鋼板巻立て補強された鉄筋コンクリート橋脚の地震時保有水平耐力は、鋼板とコンクリート躯体を一体として平面保持の仮定に基づいて算定する手法が示されている。上述した補強のメカニズムによれば、重ね梁理論に基づいて地震時保有水平耐力を算出する手法の方がより正しいアプローチと考えられる。その一方で、新設の橋脚に対して適用されている平面保持の仮定を適用し、鋼板を軸方向鉄筋の一部と換算して地震時保有水平耐力を算出しても、実験結果とよく一致したことから²⁾、同参考資料では、設計実務での取り扱いやすさの観点も考慮に入れ、平面保持の仮定に基づく地震時保有水平耐力の算定法が適用されている。鋼板に剥離が生じた実橋脚模型の実験を含む上記の模型実験に対して、同参考資料の地震時保有水平耐力の算定法を適用すると、図-3 ならびに図-7 に示すように、耐力及び変形性能について実験結果と解析結果は概ねよい一致を示していることがわかる。

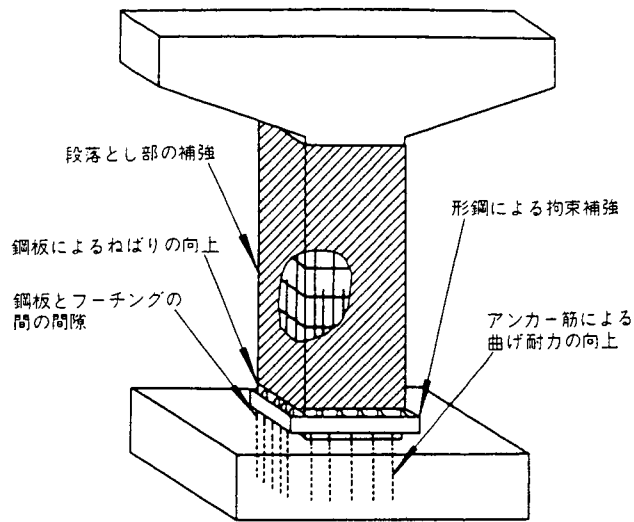
4. 施工管理上の目安

上述した実験結果や補強効果の発現メカニズムを踏まえると、無収縮モルタルの施工管理上、以下の点に配慮するのがよいと考えられる。

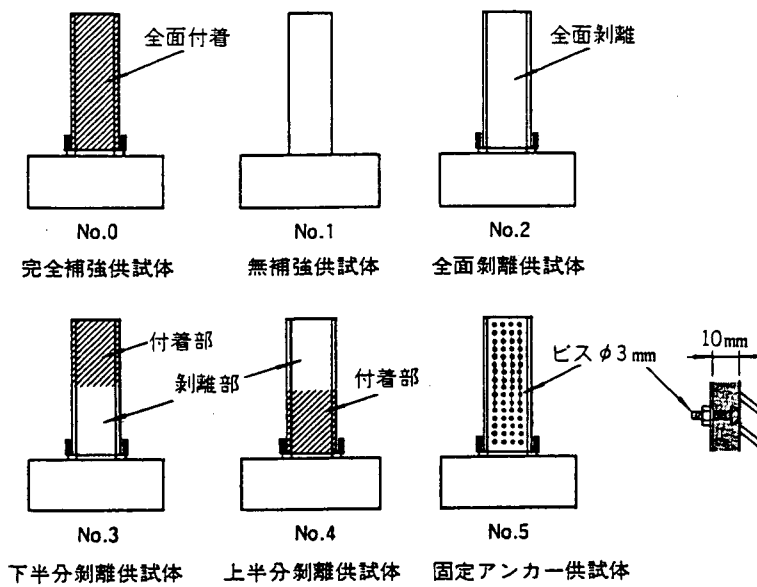
- ①無収縮モルタルの注入に当たっては、無収縮モルタルが鋼板とコンクリート躯体の間に確実に密実され、空気が残らないように配慮する。また、注入圧によって鋼板が変形しないように治具等を適切に設置する。
- ②鋼板とコンクリート躯体の間に無収縮モルタルが密実されており、無収縮モルタルの施工後に交通振動や温度変化等の影響で生じた鋼板の剥離が全付着面の 50% 程度以下であれば、耐震設計上は支障ない。また、仮に鋼板全面で付着が剥がれていても、鋼板取り付け時に用いられる水平固定アンカーがコンクリート躯体に生じる軸ひずみを鋼板に伝達する機能の一助となるので、適切な間隔で設けておくことが望ましい。
- ③鋼板端部では、雨水等の侵入による鋼板の腐食を防止するために、シールを確実に行う。

参考資料

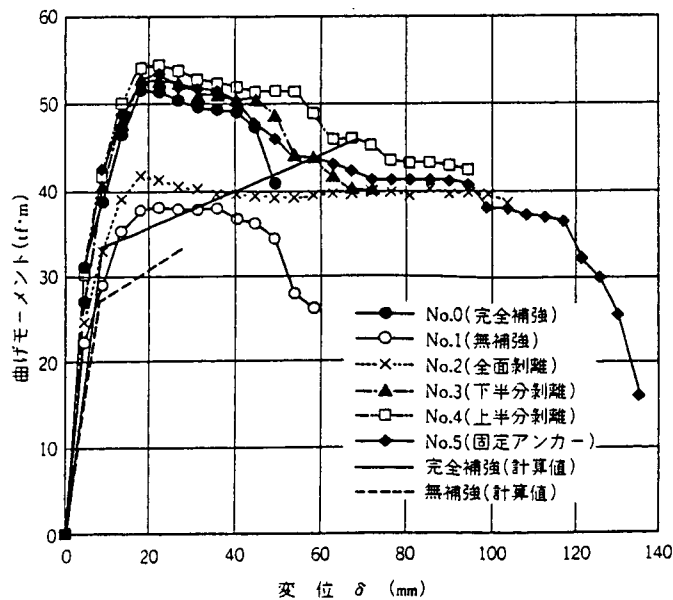
- 1)前川順道、田坂広、林田充弘、藤原規雄、井上晋：曲げ耐力補強橋脚に対する鋼板剥離の影響の実験、橋梁と基礎、Vol.32、No.10、pp.35-40、1998 年 10 月
- 2)川島一彦、大塚久哲、中野正則、星隈順一、長屋和宏：鉄筋コンクリート橋脚の耐震補強法とその設計、橋梁と基礎、Vol.30、No.1、pp.27-34、1996 年 1 月
- 3)建設省土木研究所他：鉄筋コンクリート橋脚の耐震性に及ぼす寸法効果の影響に関する共同研究報告書、土木研究所共同研究報告書第 234 号、1999 年 10 月
- 4)(社)日本道路協会：既設道路橋の耐震補強に関する参考資料、1997 年 8 月



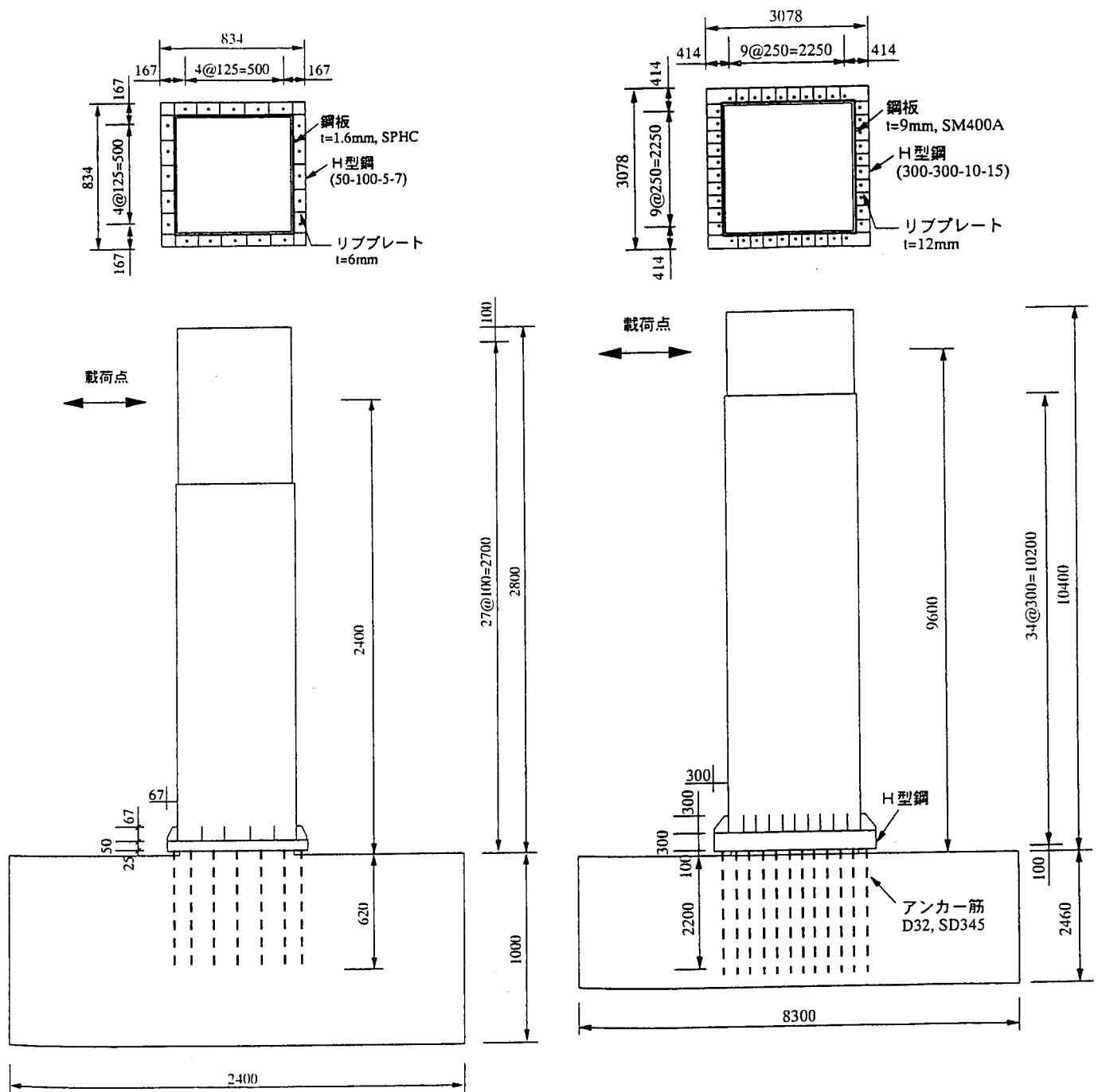
図－１ 曲げ耐力制御式鋼板巻立て補強工法



図－２ 実験における鋼板の剥離条件¹⁾



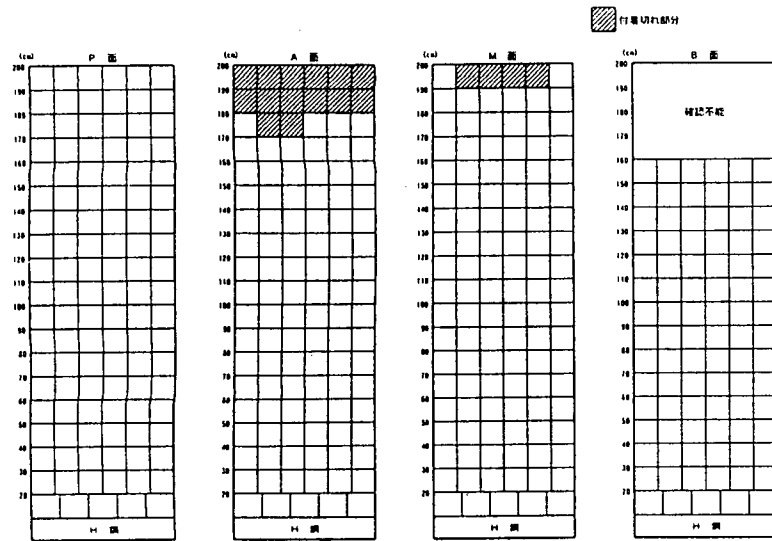
図－３ 橋脚基部の曲げモーメント－水平変位の関係¹⁾



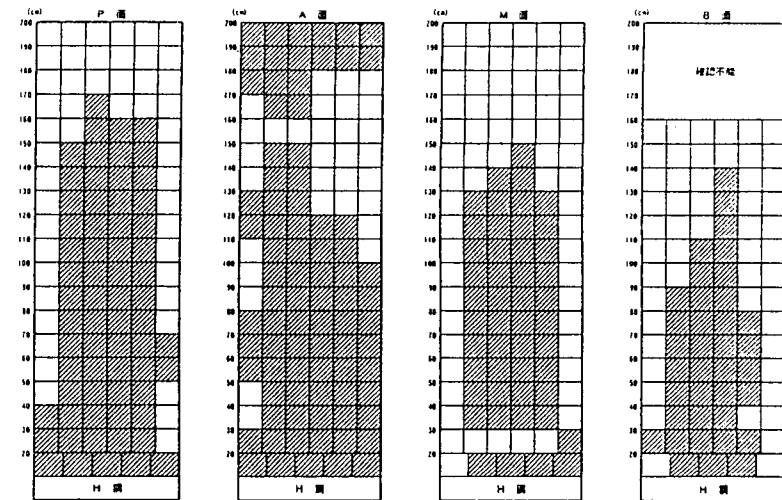
(a) 断面寸法が600mmの供試体

(b) 断面寸法が2400mmの供試体

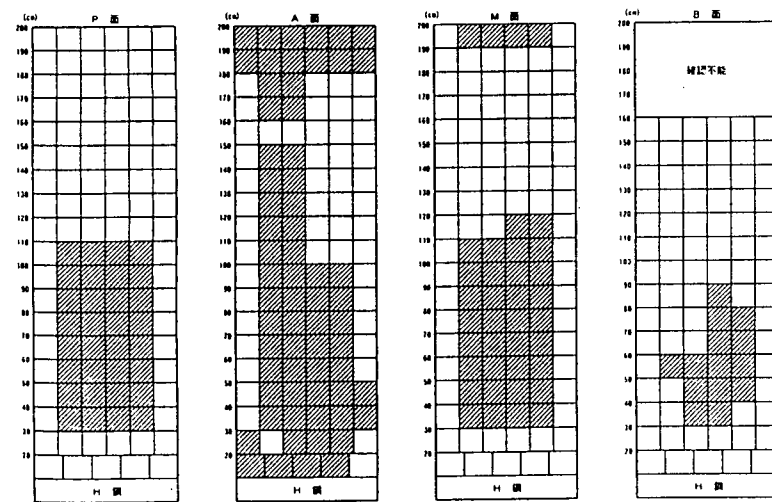
図-4 実験に用いた供試体



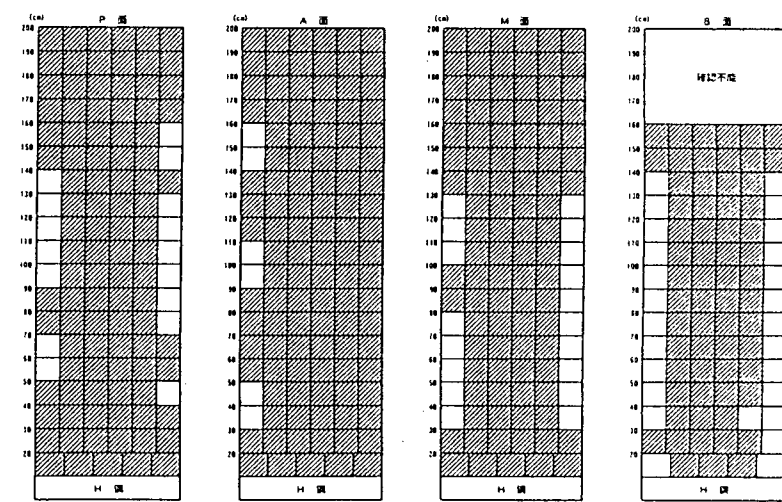
(a) 実験開始前



(c) $2\delta_y$ の載荷終了後

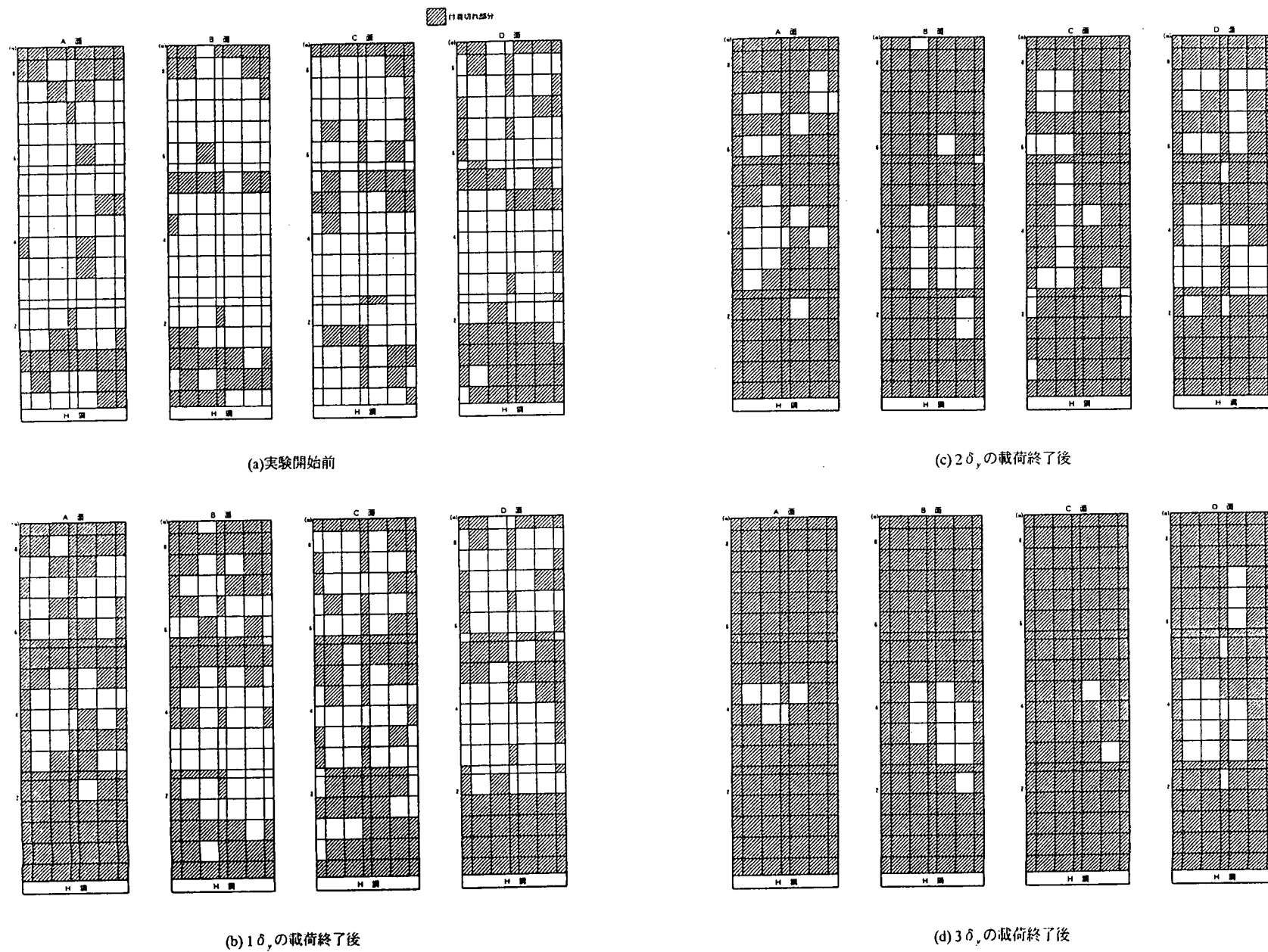


(b) $1\delta_y$ の載荷終了後

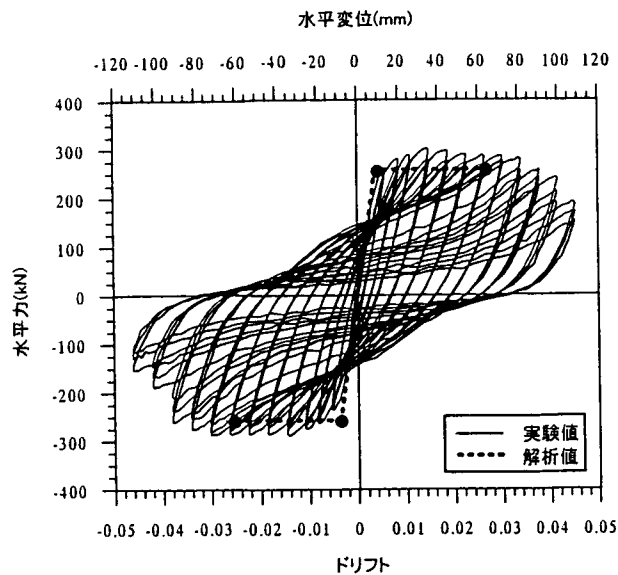


(d) $3\delta_y$ の載荷終了後

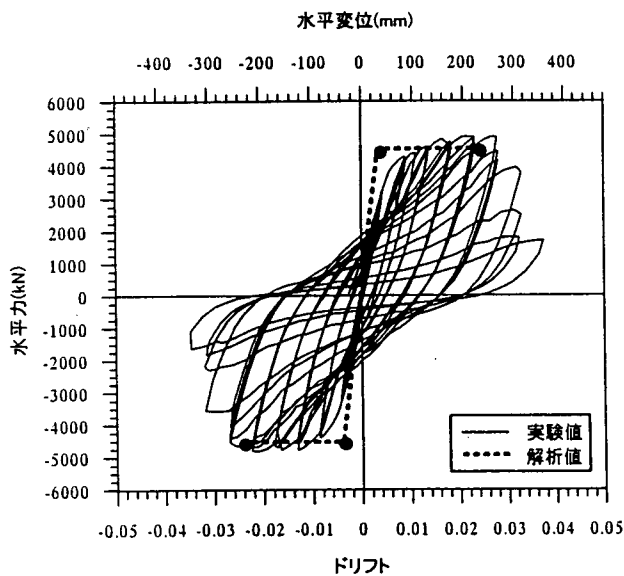
図－5 断面寸法が600mmの供試体における鋼板の剥離の進展



図－6 断面寸法が2400mmの供試体における鋼板の剥離の進展



(a) 断面寸法が600mmの供試体



(b) 断面寸法が2400mmの供試体

図-7 水平力-水平変位の履歴曲線

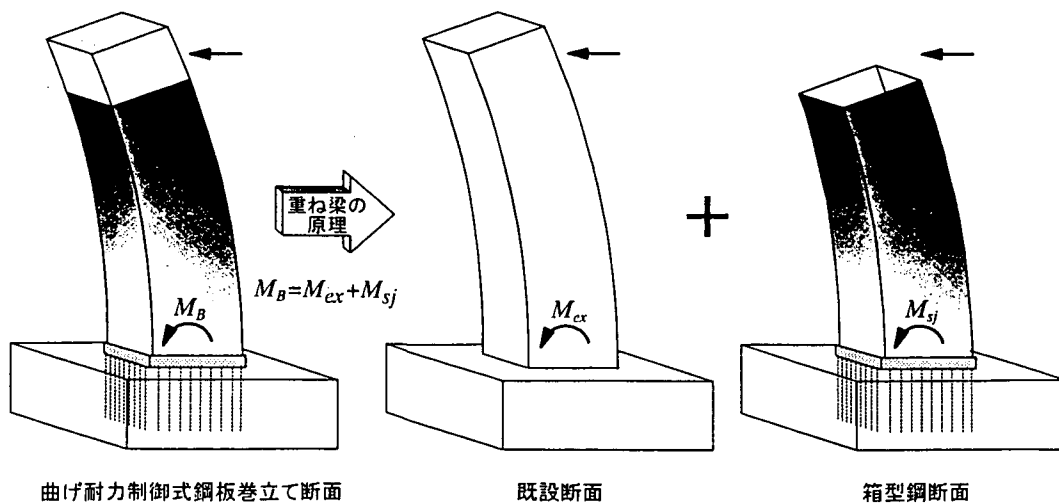


図-8 重ね梁の原理による曲げ耐力の向上