ISSN 0386－5878
土木研究所資料第3598号

土木研究所資料

北陸地建における一日土研資料

平成10年10月29日(木)

建設省土木研究所

Copyright © (1998) 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。

土木研究所資料
第3598号1998年10月

北陸地建における一日土研資料

企画部企画課

要　旨

北陸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、回答をまとめたものである。

キーワード：

摩耗対策	洪水予測システム	氾濫シミュレーションモデル	河道内樹木	センサー
ロックシェッド	雪崩防護柵	軟弱地盤対策	凍結防止剤	砂防ダム
植生機能	環境ホルモン	事業の便益	CO２削減	リサイクル
魚道	土石流	コスト縮減	排水性舗装	塩害対策
公共投資	耐震補強			

土木研究所資料第3598号「北陸地建における一日土研資料」
－正誤表－

○「環境部門」紙上回答目次
（誤）　7．道路整備とCO2排出量との排出量との関係
（正）　7．道路整備とCO2排出量との関係

P.73　同上

○「河川部門」紙上回答目次
（誤）　6．樋管下の空洞調査
（正）　6．樋管下の空洞探査

P.86　同上

○「砂防部門」紙上回答目次
（誤）　9．傾斜付き床固工の考え方
（正）　9．斜路付き床固工の考え方

P.123　同上

○「道路部門」紙上回答目次
（誤）　8．排水性舗装の切削発生財の適用
（正）　8．排水性舗装の切削発生材の適用

P.156　同上

○「構造橋梁部門」紙上回答目次
（誤）　4．塩害橋梁（鋼製）の防錆対策
（正）　4．塩害橋梁（鋼橋）の防錆対策

P.202　同上

技術相談テーマ目次

	(質問者)	(回答者)
セッションⅠ.「河川」		
1．一般国道８号親不知地区海岸擁壁の摩耗対策	高田工事事務所	海岸研究室…… 1 コンクリート研究室
2．河道内樹木群の河岸・堤防の防御工としての活用	阿賀川工事事務所	河川研究室…… 2
3．急流河川におけるレーダ雨量計を活用した洪水予測システム	富山工事事務所	水文研究室…… 6
セッションⅡ.「道路」		
4．既設ロックシェッドの耐震補強	高田工事事務所	構造研究室……10 基礎研究室 動土質研究室
5．雪崩防護柵及び雪崩防護擁壁の設計高さ	福島県土木部	新潟試験所……12
6．路上表層厚再生舗装の再再生	道路部道路工事課	舗装研究室……16
セッションⅢ.「材料施工」		
7．再生コンクリートの実証試験	湯沢砂防工事事務所	コンクリート研究室……18
8．厚層軟弱地盤の対策工法	高田工事事務所	土質研究室……22
9．凍結防止剤の代用品	道路部道路管理課	化学研究室……29
セッションⅣ.「砂防」		
10．岩盤斜面の安定対策(不安定岩盤の物性)	高田工事事務所	急傾斜地崩壊研究室……31
11．砂防ダムの前法勾配の考え方	長野県土木部砂防課 福島県土木部砂防課	砂防研究室……33
12．土石流センサーの現状	松本砂防工事事務所	砂防研究室……34
セッションⅤ.「環境」		
13．河川管理上の環境ホルモンの取り扱い	信濃川下流工事事務所	水質研究室……39
14．河川環境保全等にかかる事業の便益	阿賀川工事事務所	都市河川研究室……47
15．植栽の機能評価	北陸技術事務所	緑化生態研究室……51

「環境部門」紙上回答目次

	(質問者)	(回答者)
1．木質チップによるマルチング	石川県土木部公園緑地課	緑化生態研究室……55
2．河川管理に伴う刈草及び伐採樹木の処理方法	阿賀川工事事務所	緑化生態研究室……60
3．緑化工法(「のり面再緑化の事業手引き」)の適用範囲	福島県建設技術研究所	緑化生態研究室……63
4．多自然型護岸の施工後イメージを表現できるシステム開発	富山工事事務所	環境計画研究室……64
5．新たな環境圧としての河川舟運の河川生態系への把握及びその保全対策	信濃川下流工事事務所	河川環境研究室……66
6．河川におけるCO_2削減手法	阿賀川工事事務所	河川環境研究室……69
7．道路整備とCO_2排出量との排出量との関係	道路部道路計画第二課	交通環境研究室……73 緑化生態研究室
8．海岸構造物の景観設計	福島県相双建設事務所	海岸研究室……75

p55の前

「河川部門」紙上回答目次

	(質問者)	(回答者)
1．急流河川の洪水時における河床変動量の把握	高田工事事務所	河川研究室……77
2．急流河川におけるコンクリート構造物の損傷、摩耗対策	富山工事事務所	河川研究室……78
3．簡易な氾濫シミュレーションモデル	湯沢砂防工事事務所	都市河川研究室……80
4．人工リーフの効果把握調査	羽越工事事務所	海岸研究室……83
5．河川管理施設における空洞化調査法	富山工事事務所	施工研究室……85
6．樋管下の空洞調査	北陸技術事務所	施工研究室……86
7．海岸部に設置されるゲート設備のワイヤロープの安全性の確認方法	信濃川下流工事事務所	機械研究室……87

p77の背

「下水道部門」紙上回答目次

	(質問者)	(回答者)	
1．下水汚泥のセメント資源化	富山県土木部下水道課	汚泥研究室	……89

p89a 片

「ダム部門」紙上回答目次

	(質問者)	(回答者)
1．ダム湖の水位変動域の岩盤緑化	羽越工事事務所	水工水資源研究室……91
2．土混じり砂礫層および軟岩基礎の透水性確認試験	富山県土木部	フィルダム研究室……96
3．ダム貯水池周辺地すべりにおける調査方法及び対策工	利賀ダム工事事務所	地すべり研究室 ……100

P91の前

「砂防部門」紙上回答目次

	(質問者)	(回答者)
1．砂防ダムの補強・補修のコンクリート厚	福島県	砂防研究室 ……103
2．スーパー暗渠砂防ダムの前提保護工	神通川水系砂防工事事務所	砂防研究室 ……104
3．砂防林の管理手法	湯沢砂防工事事務所	砂防研究室 ……107
4．基準雨量を設定する際の前期雨量の評価	神通川水系砂防工事事務所	砂防研究室 ……108
5．洪水時における土砂動態	松本砂防工事事務所	砂防研究室 ……110
6．土石流の流下速度	神通川水系砂防工事事務所	砂防研究室 ……112
7．間伐材を使用した砂防施設	石川県土木部	砂防研究室 ……115
8．渓畔林の効果と床固工群への導入手法	北陸技術事務所 松本砂防工事事務所	砂防研究室 ……120
9．傾斜付き床固工の考え方	石川県土木部砂防課	砂防研究室 ……123
10．スリットダムの設計手法	石川県	砂防研究室 ……124
11．経済断面を考慮した砂防ダムの下流のり勾配ならびに水叩き長の設定方法	石川県	砂防研究室 ……130
12．岩盤接着工法の指針	福島県南会津建設事務所	急傾斜地崩壊研究室 ……135
13．急傾斜事業におけるコスト縮減の具体例	石川県土木部砂防課	急傾斜地崩壊研究室 ……136
14．砂防ダムの堤冠コンクリート施工におけるクラック防止対策	湯沢砂防工事事務所	コンクリート研究室 ……141
15．砂防施設に設置する魚道	長野県土木部 福島県建設技術研究所	水工水資源研究室 ……143

p 103 a A'1

「道路部門」紙上回答目次

	(質問者)	(回答者)
1．高速道路供用における県際部の交通量予測	新潟国道工事事務所	道路研究室 ……147
2．冬期交通特性の把握と分析等	長岡国道工事事務所	道路研究室 ……149
3．道路構造令の主な改正内容	長野県土木部	道路研究室 ……150
4．舗装合材の動的安定度(ＤＳ)	道路部道路工事課	舗装研究室 ……152
5．路上表層再生工法施工時のクラック補修	新潟国道工事事務所	舗装研究室 ……153
6．透水性舗装を用いた道路の冬期除雪対策	松本砂防工事事務所	舗装研究室 ……154
7．セメント安定処理土に関する凍結融解試験	福島県会津若松建設事務所	舗装研究室 ……155
8．排水性舗装の切削発生剤の適用	日本道路公団北陸支社	舗装研究室 ……156
9．高機能舗装(排水性舗装)	日本道路公団北陸支社	舗装研究室 ……158
10．道路埋設基準の見直し	長野県土木部	舗装研究室 ……159 下水道研究室
11．色弱者に配慮した道路標識	金沢工事事務所	交通安全研究室 ……161
12．地盤の支持力特性試験(現場ＣＢＲ試験、平板載荷試験)の簡素化	福島県空港建設課	施工研究室 ……162 舗装研究室
13．路床改良を厚層化した場合の採用上の留意点	長岡国道工事事務所	施工研究室 ……163 舗装研究室
14．地下横断歩道の連結部の構造設計	道路部道路工事課	建設システム課 ……164

P14の続き

「材料施工部門」紙上回答目次

	(質問者)	(回答者)
1．盛土の一層仕上がり厚の厚層化	福島県空港建設課	施工研究室 ……167
2．ロックボルト工の施工管理	富山県土木部砂防課	施工研究室 ……169
3．アンカー付法枠工の設計	富山県土木部企画用地課	施工研究室 ……170
4．建設汚泥の再利用の方法	石川県土木部	施工研究室 ……171
5．鉄筋補強土工(ロックボルト)の安定計算	新潟県上越土木事務所	施工研究室 ……173
6．既設ボックスカルバートに近接するボックスカルバートの非開削施工	日本道路公団北陸支社	施工研究室 ……175 土質研究室
7．のり枠工の吹付コンクリートとモルタルの設計基準強度	長岡国道工事事務所	コンクリート研究室 ……177
8．接着剤の規格	富山工事事務所	化学研究室 ……179
9．コンクリート構造物(BOX)等のアルカリ骨材反応対策	富山工事事務所	化学研究室 ……182
10．築堤工事の段切り	富山工事事務所	土質研究室 ……183
11．ボックスカルバートの底版部継手の構造	道路部道路工事課	土質研究室 ……185 建設システム課
12．バイブロ工法による杭の施工が周辺地盤へ与える影響	富山工事事務所	基礎研究室 ……189
13．グランドアンカーの設計	富山県土木部企画用地課	動土質研究室 ……191 施工研究室

p167a

「構造橋梁部門」紙上回答目次

	(質問者)	(回答者)
1．橋台の変位対策	高田工事事務所	基礎研究室 ……193
2．ＰＣコンポ橋	石川県土木部	橋梁研究室 ……195
3．橋梁補修等における連続繊維シート接着工法の施工方法	福島県建設技術事務所	橋梁研究室 ……197
4．塩害橋梁(鋼製)の防錆対策	長岡国道工事事務所	化学研究室 ……202

P193 a 下

「建設マネジメント部門」紙上回答目次

	(質問者)	(回答者)
1．ダムの積算	福島県木戸ダム建設事務所	建設システム課 ……203
2．公共投資の評価手法	富山県久婦須川ダム建設事務所	建設マネジメント技術研究室 ……205

P203の裏

「耐震技術部門」紙上回答目次

	(質問者)	(回答者)
1．流水部における既設橋脚の耐震補強	道路部道路管理課	耐震研究室 ……207
2．特殊堤における地震対策の事例	阿賀野川工事事務所	動土質研究室 ……211
3．特殊および新規の落石防護工法	新潟国道工事事務所	動土質研究室 ……212

p 207 の 答

1. 一般国道8号親不知地区海岸擁壁の摩耗対策

(質問)

一般国道８号親不知地区は，急峻な斜面を海岸線に沿って走っており，海岸擁壁が全線にわたり施工されているが，海岸が砂利浜であり，冬季の波浪が厳しいため，海岸擁壁の摩耗が深刻な問題となっている．既設の擁壁前面への擁壁新設，根固めブロックの投入などの対策を実施しているが，県立自然公園内ということもあり対策工にも苦慮している．類似地域での対策工法の御指導および使用材料などについて御教示願いたい．

(高田工事事務所)

(回答)

親不知海岸は，背後に急峻な崖を有する砂礫海岸で，姫川，青海川などからの土砂供給と，背後の崖侵食による土砂供給で形成されている海岸である．波はやや北側から斜めに入射するため，南西方向に約４万 m^3の沿岸漂砂があり，漁港や突堤などの沿岸構造物でこれを部分的に遮断することにより各所で海岸侵食が進んでいる．擁壁の摩耗も，擁壁前面の海岸が侵食されて擁壁下部が露出するようになったことが根本的な原因である可能性があり，まず，海浜の変形状況を調査する必要がある．海岸の侵食が摩耗の主要因と考えられる場合には，海岸に沖合い施設を導入するとともに汀線部に礫養浜を実施して浜の回復を図ることが必要となる．以下には海岸に沖合い施設の導入が可能な場合とそうでない場合に分けて対策工について回答する．

(1) 沖合い施設の導入が可能な場合

水深 4～5m 程度の沖合いに，離岸堤や人工リーフなどの施設を設置し，消波することにより，擁壁に作用する波力を低減するとともに沿岸漂砂量を低下させる．施設の導入と合わせて汀線部には養浜工を実施し，浜の回復を図る．県立自然公園内であるので，景観への配慮から，天端が水面上に出ない人工リーフの施工が望ましい．汀線部分の養浜工に用いる養浜材料は，養浜材の流出を極力抑えるために，現地海岸の底質よりやや粒径の大きなもの (中礫程度) を用いることがが望ましい．摩耗区間が局所的な場合は，養浜材が沿岸方向へ流出するのを防止するための小施設も必要になる場合がある．

(2) 沖合い施設の導入が困難な場合

コンクリート表面に砂礫が繰り返して衝突する場合，ある程度の摩耗は避けられない．したがって対策工の目標は，摩耗の進行速度を遅くすることになる．具体的な対策としては，摩耗部分に何らかの材料を腹付けすることになるが，その断面の設計に際しては，あらかじめ摩耗しろを考慮しておくことが重要である．使用する材料は種々のものが考えられる．例えば，まず第１の方法は，高強度コンクリートを用いて腹付けする方法である．通常のコンクリートを用いる場合に比べて価格は若干上昇するが，摩耗速度を数割遅くすることができると考えられる．２番目の方法は，綱繊維補強コンクリート (SFRC) を用いる方法である．この方法は寒冷地の舗装などの，摩耗の激しいところで施工実績がある．摩耗速度をかなり遅くすることができるが，価格が高いことに難点がある．施工条件にもよるが，プレキャストの綱繊維補強コンクリートパネルを摩耗の進んだ擁壁の前面に置いて，パネルと擁壁の間を現場打ちのコンクリートで施工すれば工費を縮減できると思われる．３番目の方法は，砂防ダムなどで実績のある方法で，ゴムなどで防護する方法である．ゴムの面については摩耗を大幅に減らすことができるが，ゴム板の固定法や，特に下端部の処理方法などを十分に検討しておくことが重要であろう．

(海岸研究室・コンクリート研究室)

2. 河道内樹木群の河岸・堤防の防御工としての活用

(質問)

河道に繁茂する樹木群を河岸や堤防の防御工として活用できないか御教示願いたい。

(阿賀川工事事務所)

(回答)

河道に沿って繁茂する樹木やタケなどの群落(以下、樹木群と呼ぶ)は、古くからさまざまな目的で治水に活用されています。それらは水害防備林(略称では水防林)と一般に呼ばれています。堤防や高水敷の侵食防御を目的とした樹木群の活用事例は古くから多くあります。樹木群を考慮した洪水流の計算手法・樹木の水理的特性などについては、近年非常に多くの研究がなされており、有用な知見が得られています。その成果の一部は文献1)のようにガイドライン(案)としてまとめられています。以下では、文献1)をはじめとして最新の知見もふまえて、防御工としての樹木群の活用についてお答えします。

●防御工としての活用を考える前に...

水防林の事例については、文献2)に詳しくまとめられています。それによると水防林の使用目的は、水流の減勢、侵食防止、土砂堆積などが最も多いという結果が得られています。また弊害として、疎通能力の低減が指摘されています。これらはいずれも、樹木群の粗度としての機能と深く関わっています。つまり、防御工として樹木林を活用するならば、治水上支障のない範囲での疎通能力低減は致し方がないことなのです。しかし、疎通能力に関して所定の安全性を確保できないようでは防御工の活用としての意味が出てきません。そこで、樹木群の活用を具体的に考える前に、そのような疎通能力確保の観点から事前に検討しておかなければなりません。検討に用いる具体的手法の一つとして、植生に起因する粗度・死水域を考慮できる不等流計算法[1,3]があります。

●洪水による樹木群の破壊と河道特性

防御工として活用する樹木群は、洪水時にも容易に破壊されないしっかりとしたものである必要があります。また、破壊の様子について知っておくことは、防御工としての適否、活用上の工夫などを検討する上でとても役に立ちます。ここでは、防御工の具体的説明に入る前にこれらについて簡単にまとめます。

樹木群が破壊される大きな要因として以下のようにまとめられます。

1)樹木群周縁・内部での侵食

樹木の根本周辺の土砂が流失するとともに根茎が洗い出されます。そのため支持力を失った樹木が倒伏・流送されてしまいます。この過程を繰り返し、樹木が流失することで破壊が進行します。樹木群の周縁部に隣接した裸地部が河岸状に切り立っている場合には、この部分の侵食進行に伴う樹木の流失が生じやすいようです。また、樹木群内部では、樹木群の局所的な粗密に応じてパッチ状に流失する場合が多いようです。

2)樹木群内への土石の流入・堆積

樹木群の上流から流送されてきた土石が樹木群内に流入すると、流速の低下や樹木への衝突のため堆積します。礫や流木の衝突のため樹木が損傷し、なおかつ礫で埋められてしまうことで樹木が衰退します。この場合樹木群の上流端から破壊が進みます。なお、特に上流端側では、次に示す要因である流れによる倒伏も併発しているようです。

3)洪水流による流体力

高水敷上の水深と流速が大きくなるほど、そこに繁茂する樹木は大きな流体力を受けるようになります。この力が樹木を押し倒すのに十分な力に達しますと、樹木が下流側に向けて倒伏してしまいます。この場合、樹木群の上流端や周縁など高流速に隣接する場所で破壊が進みます。

樹木群が繁茂している場所によって、どの破壊要因が顕著になるかが異なります。しかし、大まかに見ると要因1)が多いようです。扇状地と自然堤防帯の河道(すなわちセグメント1と2-1、セグメントの詳細については例えば文献4参照のこと)に分けて説明します。

・セグメント1

近年生じた河床低下にともなって、河道中央部が平水時に河川水が流下する低水路に、堤防前面の砂州(河床)がそれより一段高い高水敷になった河道が多く見られます。低水路にはそのような河道地形の変化に応じた砂州が形成されています。セグメント1では、高水敷と比較的移動が緩慢な(固定化された)砂州の上にまとまった広さを有する樹木群が多く形成されています。砂州上の樹木群は破壊要因1)～3)が顕著に生じているようで、ひとたび大きな出水に合うと大部分の樹木群が流失してしまいます。また、高水敷上の樹木群では、大きく流失してしまうのは要因1)の場合が多いようです。また、要因2)は高水敷と低水路の比高が小さく河床の礫が乗り上げやすい水衝部となる場所で良く生じるようです。

・セグメント2-1

グラウンドや畑作などの利用地を除いて、高水敷上に広い樹木群が形成されている場所が少なくありません。また、固定砂州にもヤナギなど先駆的な樹木が群落を形成している場合があります。高水敷上に繁茂する樹木群の流失はやはり要因1)が顕著です。セグメント1との違いとして、河岸が粘着性土で構成されているため、根茎によって河岸崩壊が抑制されるようです。そのため河岸侵食の進行が抑制されていると考えられる事例が河川研究室による現地調査(涸沼川)でも確認されています。しかし、その効果がどのような場合(樹種、河岸高さなど)発揮されるのか、防災上有意な効果があるのかなどについて明確には分かっていません。

●河岸防御工としての活用

低水路に沿って繁茂するヤナギ群落を水制として活用することを試みた現地試験が、広島大学の福岡捷二教授の指導のもと米代川および最上川において行われています[5]。米代川での事例について、河道平面形状とヤナギ群落の状況を図-1に示します。ヤナギ群落の低水路に面した側は、水制を模擬した凸部分を残して伐採してあります。この伐採の狙いは、1)ヤナギ群落前面の局所洗掘の抑制効果を得ることと、2)疎通能力の向上を図ることです。1)については、福岡ほか[6]が樹木群を模擬した粗度要素を用いた移動床水路実験の結果よりその効果を指摘しています。伐採後、米代川ではピーク水位時で高水敷上の水深が5.3mに達する比較的大きな出水を経験しています。この出水後、凸部分を形成するヤナギが一部倒伏または流失したが、ほとんどのヤナギは変状がないと報告されています。また、ある一定の河岸侵食防止効果が認められたようです。

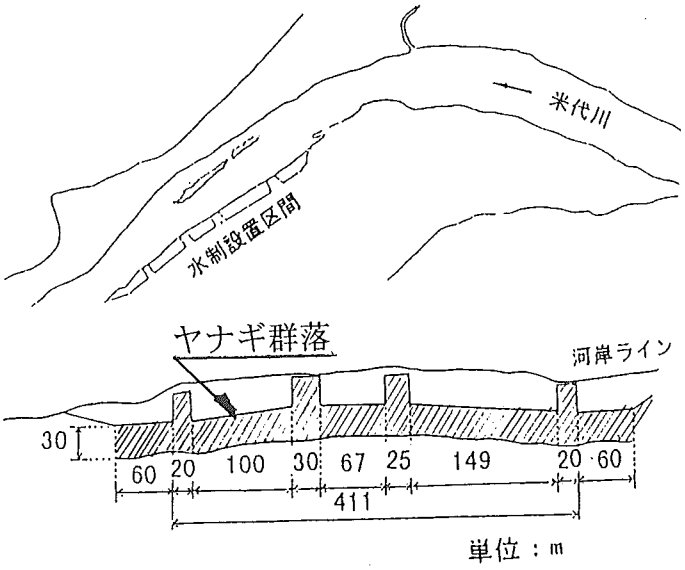


図-1 河道平面形状と水制を模擬したヤナギ群落
(福岡ほか[5]より引用、一部加筆)

以上の事例から以下の留意点が挙げられます。

・要因1)による樹木の流失が生じておりますので、河岸防御工としての活用においては更なる工夫が必要と思われます。例えば、ヤナギが河岸近傍に繁茂していることによる流速と局所洗掘の低減効果を考慮して比較的軽微な他の河岸防御工を設置するなどが考えられます。この場合、樹木群は河岸防御工背面の土砂侵食防御として機能します。ただし、局

所洗掘深が大きい場合には、流速と局所洗掘の低減効果がほとんど得られないとの実験結果も報告されています6)。当面は、大きな局所洗掘が生じていないセグメント2-1の弱い水衝部に適用範囲を限定するのが良いと思われます。

・セグメント1に適用する場合、流速が大きい河岸側に位置する樹木については、洪水流による倒伏の有無についても検討しておく必要があります。具体的には、樹木に作用する抗力と樹木の倒伏に対する耐力の比較を行います。詳細については文献1)を参考にしてください。なお、抗力を計算する際に用いる流速には、部分的な群落の粗密や流速の変動を考慮して、大きめに設定する必要があります。

●堤防防御工としての活用

堤防前面の幅広い高水敷上に樹木群が広く繁茂している場合、堤防前面の流速が低減できると思われがちです。しかし、そのように考えて良いのは、堤防のり面を覆い隠すように樹木群が堤防に隣接して繁茂している場合のみです1)。このような場合、流速の低減に必要な樹木群の幅については、文献1に検討方法が示されています。多くの河川では、堤防のり面の植生管理によって樹木群が堤防に隣接して繁茂しない状態を維持しています。そのため、堤防と樹木群の間には草本植物が繁茂する場所が一般に形成されています。この部分が水みちとなり、思わぬ高流速が生じることが懸念されます。そのような流れが発生しやすい場所の一例として、樹木群の上流端面に突入するような流況になっている場所が挙げられます。このような場所では、1)樹木群の上流端で水位が堰上げられ、水道の上下流端での水位差(すなわち動水勾配)が大きくなること、2)樹木群内へ流入した水流が水道や低水路に向かう流れが生じ、その結果として水みちに流れが集中することが特徴として挙げられます。堤防防御工としての適用にあたっては、樹木群の粗度が考慮できる流れ場の平面2次元計算などを実施して、流況について検討する必要があります。次に、堤防のり面の耐侵食力について例えば文献6)などを参考にして評価し、侵食防止の可否を判断する必要があります。

●破堤氾濫による被害を低減する樹木群

被災を未然に防ぐ防御工ではないのですが、万が一破堤した場合にその被害を低減のために樹木群を活用することも可能です。1993年に米国ミシシッピ川水系で生じた大洪水後に堤防の破堤状況の調査が行われています8)。それによると河道側に堤防に沿って樹木群が繁茂している場合、破堤箇所の洗掘領域および堤内地側への土砂堆積の規模がない場合より明らかに小さくなっていたことが報告されています。このことは破堤後の氾濫流の流速･流量が樹木群によって低減されていたことを示唆します。この現象は模型実験によって確認されています9)。このような活用方法についてはまだ具体的工法としてまとまっていません。しかし危機管理の一手法として非常に有力であり、今後活用について積極的に検討してみるのも良いと思います。

●モニタリングを行うこと

樹木群を活用するにあたっては、モニタリングを継続的に行う必要があります。樹木は年々成長または衰退し、樹木群の様相も変化していきます。そのため、当初と異なる流況になり、十分な治水効果が発揮されなくなることが懸念されます。そのような状況に至る前から樹木群をモニタリングし、必要に応じて維持管理、新たな防御工の設置などを行える体制を整えられるようにする必要があります。

以上にまとめたように、堤防の防御に樹木群を活用するのは現状の技術を活用すれば、比較的容易に行えそうです。それに対して、河岸防御は不明な点も多く、当面セグメント2-1に適用範囲を限定した方が良いようです。いずれにしろ活用にあたっては、樹木群の繁茂する場所での河道特性と樹木破壊要因の関係についてしっかり調べて、活用の適否、必要な工夫･措置を的確に行ってください。また、樹木群が今後とも安定して繁茂し続けることについては、植物生態的観点からの検討も必要です。植物の専門家の意見も参考に

されるのが良いでしょう。

参考文献

1)建設省河川局治水課監修:河道内の樹木の伐採・植樹のためのガイドライン(案),山海堂,305p.,1994.
2)浜口ほか:水害防備林調査,土木研究所資料,第2479号,205p.,1987.
3)建設省河川局監修:改訂新版建設省河川砂防技術基準(案)同解説・調査編,山海堂,pp.107～147,1998.
4)建設省河川局監修:改訂新版建設省河川砂防技術基準(案)同解説・調査編,山海堂,pp.533～538,1998.
5)福岡ほか:柳水制の試験施工とその機能の現地調査,水工学論文集,第42巻,pp.445～450,1998.
6)福岡ほか:樹木群の水制的利用可能性の研究,水工学論文集,第41巻,pp.1129～1132,1997.
7)宇多ほか:洪水流を受けたときの多自然型河岸防御工・粘性土・植生の挙動,土木研究所資料,第3489号,503p.,1997.
8)藤田光一:大規模破堤による地形変化の実態,土木研究所資料,第3526号,157p.,1998.
9)坂野ほか:堤防沿いの樹木群が破堤箇所の流れと河床変動に与える影響に関する実験,第51回年次学術講演会,pp.638～639,1996.

(河川研究室)

3. 急流河川におけるレーダ雨量計を活用した洪水予測システム

（質問）

急流河川においては、上流域の局地的豪雨の急増水により河川内での取り残され事故が発生している。このため、レーダ雨量計を活用した迅速な洪水予測に基づく警戒避難システムの構築が望まれるが、レーダ雨量計の観測精度及びレーダ雨量計を活用した定量的な洪水予測の可能性について御教示願いたい。

（富山工事事務所上滝出張所）

（回答）

1．はじめに

的確な洪水予測を行うためには、水位相関等を用いる簡便法を除くと、一般には対象とする基準点上流域における洪水到達時間内の流域平均雨量を適切に評価し、適正な洪水流出モデルによって洪水ハイドログラフを算出する必要がある。すなわち、面積雨量評価と適切な洪水流出モデル構築の２つが洪水予測において重要であるが、質問者の趣旨に沿って、面積雨量評価・予測及びそこでのレーダ雨量計活用に関する研究の現状を解説することとする。

ある将来時刻における洪水到達時間内の流域平均雨量を予測するためには、現時刻までの雨量のみならず、それ以後の定量的な降雨予測を行う必要がある。特に、洪水到達時間の短い山間部河川・渓流やダム上流域等で、この点は重要である。例えば、土砂災害予測のための短時間降雨予測の目標は、土石流発生危険基準線に達する２時間前には警報を発する必要があることを考慮し、空間分解能が数 km^2 のスケール、予測時間は２時間とする検討結果がある [1]。一方、利根川、長良川といった大河川流域の基準点においても、洪水予測のリード時間が３時間を超えると、洪水予測の精度に与える降雨予測の精度の影響が急激に増大することが推定されている [2]。

以上のことから、降雨予測に求められる予測リード時間や空間スケールは、対象とする河川流域の大きさや警戒避難体制等によっても異なってくるが、いずれの場合においても、適切な時空間スケールにおいて定量的精度の高い降雨量予測値が必要である

2．短時間降雨予測手法の現状

降雨予測の手法は、1)運動学的手法、2)動的（熱力学的）手法、3)統計学的手法の３種類に分類されることが多い。このうち、建設省において最も一般的に用いられているのは、レーダ雨量計によって得られる雨域の移流ベクトルを将来時刻に外挿するという「運動学的手法」である。移流ベクトルの求め方には、土木研究所で開発・精度評価を行った関連係数法に基づく雨域追跡法 [3]（図１）や、移流方程式を用いる方法 [4]などいくつか提案されている。気象庁が実施している短時間降雨予測についても、レーダアメダス合成図を基本としており、主体は同様の移流ベクトルを用いた運動学的手法である。これらの手法は、

すでに技術的に確立し、１時間程度先までの定量的予測は十分可能とされているが、２～３時間先の予測になると精度が落ちると評価されている。その大きな原因として、いずれの手法も何らかの形で降雨の発達・減衰履歴を考慮しているが、それを２～３時間先にまで外挿していることがあげられている。

この問題点を克服するために、「動的（熱力学的）手法」による降雨予測の研究も最近精力的に進められている。これは、メソスケール（2 ～ 200km）での気象モデリング技術の進歩を背景とした、大気の運動方程式・熱力学方程式の数値解に基礎を置く降雨予測の研究である。一般に、支配方程式の数値解として直接得られる気温・風速分布等の再現性には優れている。しかし、降水過程の予測は、それらの気象要素の数値解をもとにして、あるパラメタリゼーション（モデル化）によって行っているのが現状であり、雷雨性降雨を含むすべての時空間スケールの降雨成因に対応できるパラメタリゼーション手法が確立していないことが最大の課題となっている。また、10 ～ 20km メッシュ毎の精度の高い初期条件・境界条件の確保も課題であり、この点でも３時間以上のリード時間での降水量定量予測は、未だ難しい状況にある[5]。

以上のほかに、「統計学的手法」として、カルマンフィルター理論を用いた手法や、近年では、エキスパートシステムやファジー理論、ニューラルネットワーク等のＡＩ手法の応用が注目されている。また、これまで述べてきた手法を複合的に活用した手法の研究も進められている[6]。降雨予測に関する上記の課題を解決するための研究の一つの方向として、レーダ等による空間的情報や気象庁数値予報格子点値(GPV)を数値気象モデルに組み込み、それに AI 予測手法を結合する、などといった３つの手法を相互に連関させた活用が考えられ、今後の研究課題となっている。

３．レーダ雨量計の雨量観測値と地上雨量計観測値との適合度

現時刻以前における面積雨量評価においても、レーダ雨量計に対する期待は大きいものがあるが、一般には、いわゆるＢβ法に基づくレーダ雨量は、時間雨量として地上地点雨量値と比較すると 50%以上の平均誤差率を有しているのが現状である。このため、九州地方建設局の釈迦岳レーダは、現業レーダとしては我が国で初めて直交二偏波レーダ（図２）としての運用を開始し、その精度評価が行われているが、現時点では格段の精度向上までには至っていない[7]。一方、山間部では大地からの電波の不要反射（グランドクラッター）がしばしば存在し観測誤差の原因となり得るが、必ずしも MTI フィルタを通したレーダ雨量の地上観測値との適合度が平地域より悪いわけではなく、観測地域の特性に応じた個別検討が必要である。また、地上テレメータ雨量値を用いた実時間でのレーダ雨量補正（オンラインキャリブレーション）手法についても、通常地点別の補正係数は一般に時空間的に大きくばらつくため、現時刻レーダ観測値をリアルタイムで地上観測値と整合させることは容易ではなく、今後に残された研究課題は数多い。

４．レーダ雨量計を活用した洪水予測

以上に述べてきたように、レーダ雨量計のデータを降雨量観測手法及び降雨予測手法としてそれぞれ単独で議論する場合には、今なお多くの技術的課題を有している。しかし、流域平均雨量をレーダメッシュ雨量値から平均化することにより算出するとともに、運動学的手法を用いた流域平均降雨予測値と組み合わせることによって、流出モデルを介して洪水予測を行うと、地上テレメータデータのみを用いた洪水予測と少なくとも同程度、場合によってはより良好な予測結果をもたらし得ることも、これまでに少なからず報告されている[1),8)]。この原因としては、1)山岳域においては、テレメータ雨量観測所の設置可能地点の制約と降雨の標高依存性から、そこでの面積雨量を算出する際にレーダ雨量計が潜在的に優位であること、2)洪水ピーク流量を予測するためには、１次近似的には洪水到達時間内の流域平均雨量を予測すれば良く、流域規模にもよるが、現状の運動学的手法による降雨予測手法でも、ある程度での精度は確保できること、が考えられる。したがって、地上雨量計が十分に配置されていない流域においては、レーダ雨量計情報は十分活用できるポテンシャルを有していると考えられる。

さらに、洪水予測精度について、降雨観測・予測から流出計算に至るまで一体で評価した場合、レーダ雨量計を活用した手法は、テレメータ雨量のみを用いた手法に比較して必ずしも劣っているわけではない。レーダ雨量計は、広域の降雨・降雪状況をリアルタイムで把握することを可能とするとともに、局所的な集中豪雨を含めて面的な降水分布の移動や発達・減衰の様子を監視することが可能であるという、他には代え難い特長を有している。レーダデータの活用に関する実証的研究について、土木研究所としても、最先端の研究動向の把握と現場での実践の両面を通じて取り組んでいきたいと考えていますので、今後とも皆様のご支援・ご協力をお願い申し上げます。

＜参考文献＞

1)井良沢道也、竹森史郎、兪朝夫、遠藤治郎(1997)短時間降雨確率予測値の土砂災害への適用、砂防学会誌、vol.50, No.3, pp.4-11.

2)レーダを利用した洪水予警報システム調査検討会(1991)洪水予警報システム調査中間成果概要－レーダ雨量計の洪水予警報システムへの利用方策の提案－、(財)国土開発技術研究センター.

3)土木研究所(1986)レーダ雨量計による短時間降雨予測に関する調査報告書、土木研究所資料、第2406号.

4)椎葉充晴、高棹琢馬、中北英一(1984)移流モデルによる短時間降雨予測の検討、水理講演会論文集、vol.28, pp.349-354.

5)是枝伸和、益倉克成、藤兼雅和、沖大幹(1992)気象力学的手法による短時間降雨予測モデルの開発、水文・水資源学会1992年研究発表会要旨集、

6)中北英一、杉本聡一郎、池淵周一、高棹琢馬(1997)降雨の概念モデル（不安定場モデル）によるレーダを用いた短時間予測の精度向上、京都大学防災研究所年報、第 40 号、B-2, pp.289-305.
7)中尾忠彦、末吉滋、水野智洋、山本公生、都丸真人(1997)二重偏波レーダ雨量計の研究の現況、第 6 回河川情報センター研究発表会講演集、pp.71-82.
8)入江洋樹、永山正典(1997)レーダによる短時間降雨予測の利用について、実践水文システム研究会 1997 年度報告書、vol.1, pp.129-168.

（水文研究室）

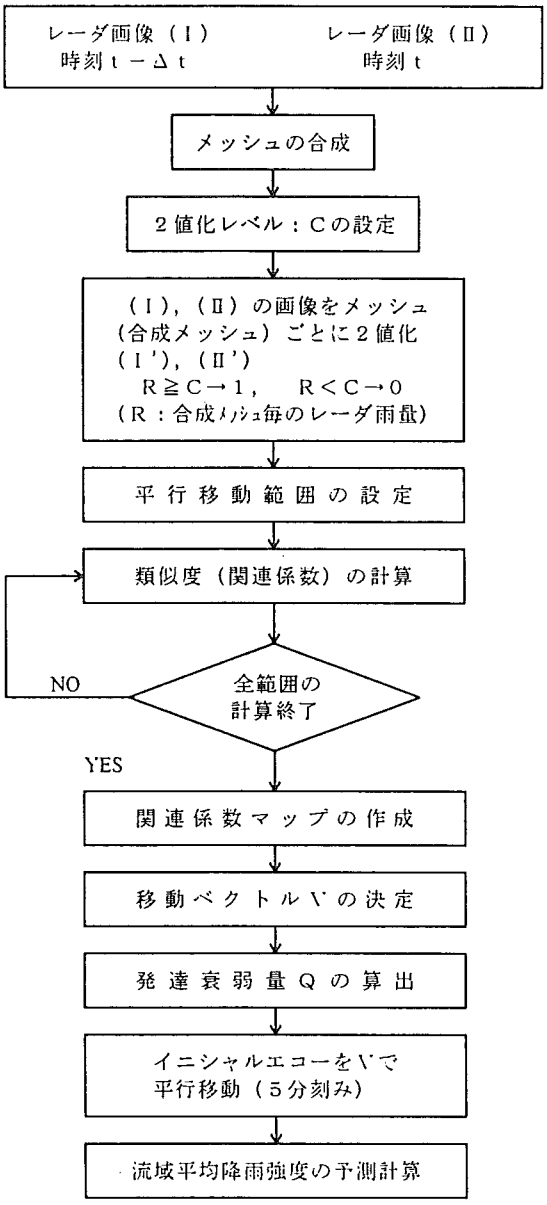


図1　レーダ雨量計を用いた
運動学的手法による降雨予測の流れ
（関連係数法に基づく雨域追跡法の例）

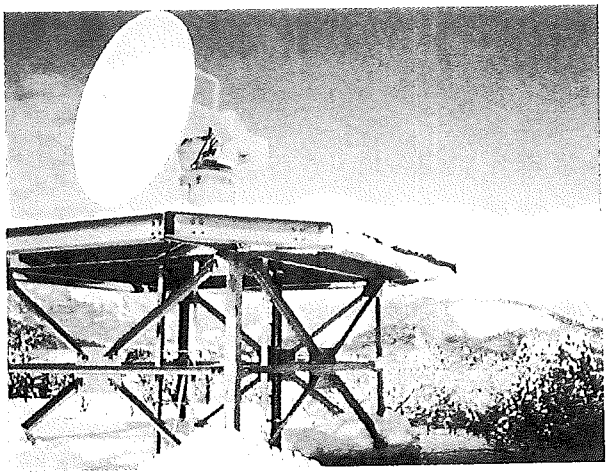


図2　直交二偏波レーダ研究の基礎を築いた
土木研究所直交二偏波ドップラーレーダ
（新潟試験所、新潟県新井市）

4. 既設ロックシェッドの耐震補強

（質問）

既設ロックシェッドの耐震補強を計画中である。

山側擁壁，谷側柱，上部桁，逆Ｌ式上部一体構造などの部材毎に，地震に対する耐久性を照査する予定である。

下部構造形式は，直接基礎（岩盤・レキ質土），杭基礎，深礎基礎，置換フーチング等，複雑な形式であり，斜面途中に建設されている。

これらの構造物および基礎構造について，照査方法・補強方法について御教授願いたい。

（高田工事事務所）

（回答）

ロックシェッドを設計する場合には，落石対策便覧（日本道路協会，昭和５８年）に基づいて行われています。この落石対策便覧では設計に地震時の影響を考慮するように記載されております。ロックシェッドは，被災した場合の復旧の難易度や構造物の重要度から判断して，道路橋とほぼ同様な耐震性能を要求される構造物と考えられます。この地震時の検討は道路橋示方書に従って行われるのが一般的です。

道路橋示方書　Ｖ耐震設計編（日本道路協会，平成８年）による場合には，想定される地震によって，震度法と地震時保有水平耐力法によって照査されることとなります。しかしながら，ロックシェッドの設計への地震時保有水平耐力法の適用にあたっては，まだロックシェッドの地震時の挙動が十分に把握されていないこと，ロックシェッドが地震によって被災した例がないことなどから慎重に検討する必要があります。

ただし単純梁式の谷側柱およびその基礎については，橋脚のように地上に突き出した構造物と考えられるため，橋脚と同様に地震時保有水平耐力法による照査が必要であると考えられます。

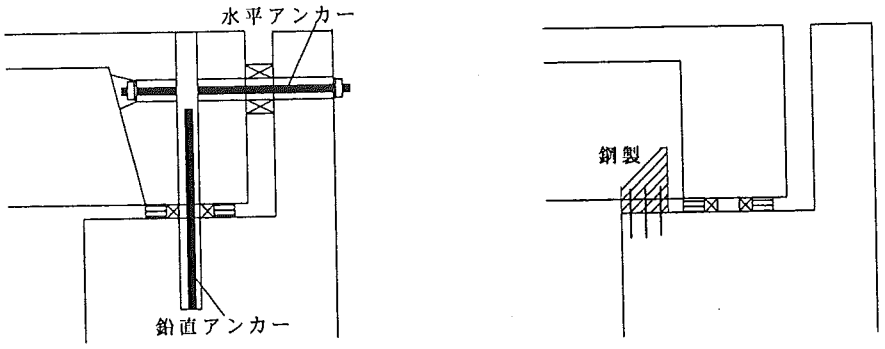
ロックシェッドの耐震性を向上させる手法としては以下のようなものがあります。

○頂版上（堆積土）の軽量化によってロックシェッドのトップヘビーな構造を改善する。

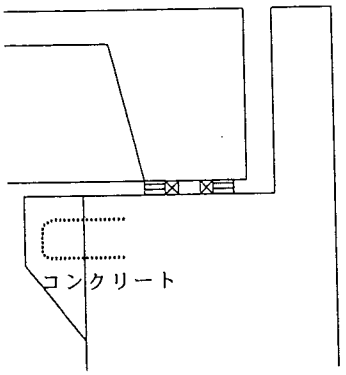
○桁の落下防止装置（水平アンカー，鉛直アンカーなど図－１参照）の設置により桁の落下を防ぐ，桁端から下部構造縁端までの桁長さ（沓座幅）を十分に確保する（図－２）ことなどがある。

○柱の基部においては鋼板などにより巻きたてを行う（図－３）。
○基礎においては増し杭，フーチング拡大，アンカーの併用（図－３），地盤改良などがある。

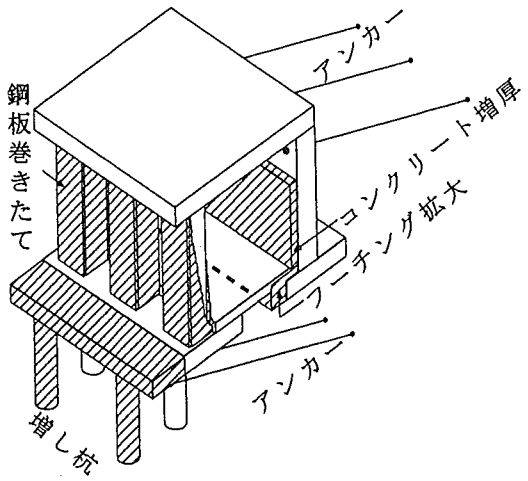
（構造研究室，基礎研究室，動土質研究室）



図－１　落下防止装置の例



図－２　沓座幅の確保の例



図－３　柱・基礎の補強の例

5. 雪崩防護柵及び雪崩防護擁壁の設計高さ

（質問）

「道路防雪便覧」（日本道路協会）及び「新編　防雪工学ハンドブック」（日本建設機械化協会編）の雪崩防護柵高さ決定の設計事例の理解の仕方と雪崩防護擁壁の高さの具体的決定方法、また、これに関する海外の例等について御教示願いたい。

（福島県土木部）

（回答）

道路の雪崩防護柵及び雪崩防護擁壁の設計に関する指針として、「道路防雪便覧」（以下「便覧」という）及び「新編　防雪工学ハンドブック」（以下「ハンドブック」という）があげられる。

雪崩防護柵や雪崩防護擁壁は、雪崩走路や堆積区に設置し雪崩をその場で堰き止める雪崩阻止工の代表的な工法である。その高さの決め方については、雪崩の運動等未解明な点が多いなかで、設計の割り切りでその決定方法が定められているが、地域の状況により運用されている実状を前提にご質問にお答えする。

1，雪崩防護柵高さ決定の設計事例の理解

雪崩防護柵の設計高さについては、便覧、ハンドブックともその基本的な考え方は下記のとおりとなっている。

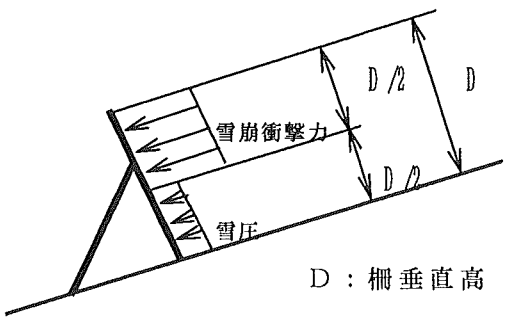
全層雪崩の場合　　$D_k \geqq H_{max}$

表層雪崩の場合　　$D_k \geqq H_{max} + h$

D_k：柵の高さ、　H_{max}：最大積雪深、　h：表層雪崩の深さ

これを運用した設計例も便覧、ハンドブックともに全層雪崩を対象に同一のものを採用しているが、上記の基本的考え方に立った場合、説明不足もありご指摘のとおり理解しくいことは否めない。

図－1に示すように便覧及びハンドブック本文中で柵高Dの上部のD／2に雪崩衝撃力、下部のD／2に雪圧を作用させるとしているが、設計例は、この考え方から当該柵部の雪崩層厚を算定し、これを雪崩衝撃力の作用するD／2相当とし、さらにこれを2倍し柵高として、それが最大積雪深



図－1　雪崩防護柵と雪崩衝撃力

以上となることから防護柵高を決定している。

雪崩堆積部の雪崩層厚は地形変化の影響を受けることから場所の実状にあわせた柵高の決定方法であると解する。

2，雪崩防護擁壁の高さ

便覧、ハンドブックともに雪崩防護擁壁の高さの決定方法は次の考え方に立っている。

> 雪崩防護擁壁の高さは、雪崩を背後のポケットに堆積させながら停止させるため、その高さは雪崩量と背後のポケット量によって定める。（さらに、ハンドブックでは、擁壁のポケットが相当大きくても、擁壁の天端に柵などを設け、雪崩の飛沫が路線上などに落下することを防止した方がよいと、している。）

この場合、背後のポケット量を決める雪崩量、雪崩の堆雪勾配、堆雪密度について、対象地点及び近傍の雪崩実績、防護擁壁の位置、地形条件、積雪・雪質等をもとにして決める必要があるが、これによりがたい場合には、通常、次のように扱われている。（図－2参照）

（1）雪崩量

雪崩量は雪崩層厚、雪崩幅、雪崩走路長から求める。この場合、雪崩層厚は次のように算定される。

全層雪崩層厚　$h = H / 2$　　H：設計積雪深　　（便覧）

表層雪崩層厚　$h = h_0 + S / 100$　　h_0：雪崩の発生層厚、S：発生地点からの斜距離　　（集落雪崩対策工事技術指針（案）　雪センター）

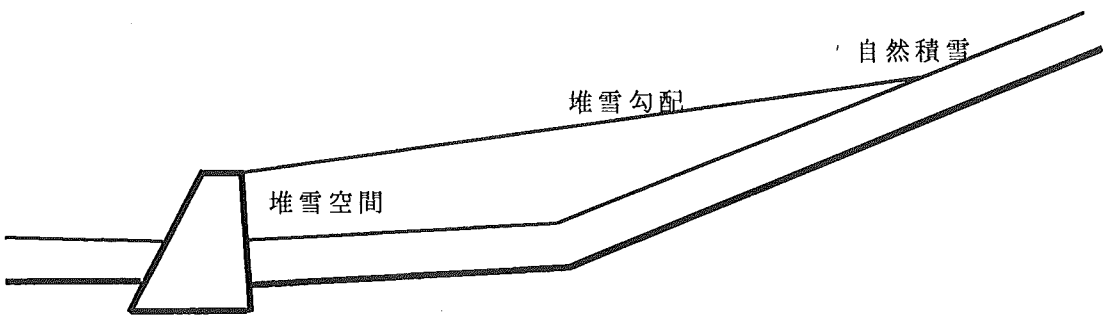
（2）雪崩堆雪勾配

堆雪勾配については、一般に5～25度の範囲とされる。（集落雪崩対策工事技術指針（案））

（3）堆積雪密度

堆積雪密度は、表層雪崩の場合 0.2 ～ 0.4 tf/m³、全層雪崩の場合は 0.6 tf/m³ とする。

（集落雪崩対策工事技術指針（案））

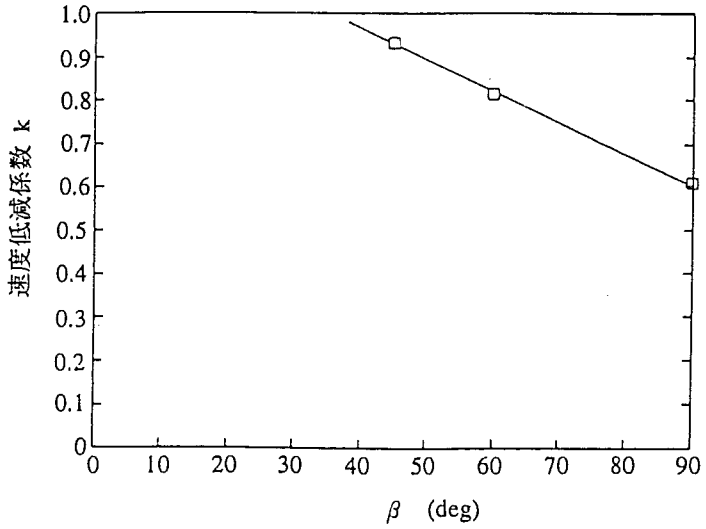


図－2　雪崩防護擁壁と背後のポケット

また、雪崩防護擁壁に衝突する雪崩による飛沫等の飛雪高Hは、図－３を参考に算定することができる。

$$H = \frac{(k \cdot V)^2}{2 \cdot g \cdot (\sin\beta + \mu\cos\beta)} \cdot \sin\beta$$

ここに、k；速度低減係数
V；衝突時の雪崩速度〔m/s〕
g；重力の加速度
β；衝突面の勾配（水平方向からの角度）
μ；壁面摩擦係数（μは０～１をとるが、通常０とする）



出典）藤沢和範　模型雪崩による雪崩誘導工と阻止工の研究　土木技術資料第37巻　第2号、1995

図－３　雪崩阻止工による飛雪高と速度低減係数

３，海外等の雪崩阻止工の高さに関する設計基準等

表－１に道路防雪便覧、新編防雪工学ハンドブック及び集落雪崩対策工事技術指針（案）欧米諸国の雪崩防護柵等の雪崩阻止工の高さに関する設計基準等を示す。

集落雪崩対策工事技術指針（案）では、表層雪崩を前提としており、また、雪崩防護柵と雪崩防護擁壁は同じ考え方で高さが決められる内容になっているところに便覧、ハンドブックとの違いがある。

一方、欧米諸国においては雪崩ダム、雪崩堤防工、雪崩阻止工の必要高さとして、積雪深、雪崩層厚のほかに雪崩の衝突による運動エネルギーが位置エネルギーに変わる効果が配慮されている。

（新潟試験所）

表－１　雪崩阻止工の高さに関する設計基準等

国　名	構　造　物	高　　さ	文献
日　　本	防　護　柵 防護擁壁	全層雪崩：最大積雪深 表層雪崩：最大積雪深＋雪崩厚 雪崩の堆積容量考慮して決める	1）
	防　護　柵 防護擁壁	全層雪崩：最大積雪深 表層雪崩：最大積雪深＋雪崩厚 雪崩の堆積容量考慮して決める	2）
	防　護　柵 防護擁壁	設計積雪深、雪崩層厚、雪崩量、雪崩の堆雪容量、飛雪高等を考慮し決定。ただし、「設計積雪深＋雪崩層厚」以上とする	3）
スイス	雪崩ダム	$H_D \geqq h_1 + V^2 / 2g \cdot \lambda + h_s$ H_D：堤防の高さ、h_1：雪崩の厚さ、V：雪崩の速度 g：重力の加速度、乾いた雪崩：　$\lambda = 1$、湿った雪崩： $\lambda = 2 \sim 3$、　h_s：積雪深	4）
ノルウェー	雪崩堤防工	$H = k \cdot V^2 / 2g + H_{snow}$ H：堤防の高さ、k：定数で 0.7 ～ 1、V：雪崩の速度 g：重力の加速度、H_{snow}：堤防前面の積雪深、 湿雪雪崩：$k = 0.7$、乾雪雪崩・スラッシュ雪崩：$k = 1$	5）
フランス	雪崩防護壁	記載無し	6）
アメリカ	雪崩阻止工	$H_d = H_s + H_a + H_v$ H_d：阻止工の高さ、H_s：積雪深、H_a：雪崩の厚さ $H_v = V_a^2 / 2g$　、V_a：雪崩の速度、g：重力の加速度	7）
カナダ	雪崩阻止工	$H_d = H_s + H_a + H_v$ H_d：阻止工の高さ、H_s：積雪深、H_a：雪崩の厚さ $H_v = V_a^2 / 2g$　、V_a：雪崩の速度、g：重力の加速度	8）

1）新編防雪工学ハンドブック　（社）日本建設機械化協会編　1988
2）道路防雪便覧　（社）日本道路協会　1990
3）集落雪崩対策工事技術指針（案）　1996
4）Vorlesung Schee, Lawinen und Lawineschutz
5）Snow engineering for Roads
6）NEIGE ET AVALANCHE Connaissances de base
7）The Avalanche HANDBOOK
8）Handbook of snow

出典）藤沢和範　雪崩対策　気象研究ノート　第190号　1998　日本気象協会
の上記3）を更新

6. 路上表層厚再生舗装の再再生

（質問）

舗装の修繕工法として、路上表層再生工法（リペーブ）を積極的に採用しているが、一回表層再生を実施した箇所の再々生が可能か、また、再々生を行うにあたり留意するべきことは何か御教示願いたい。

（道路部道路工事課）

（回答）

路上表層再生工法は、リミックス方式とリペーブ方式に分けられ、それぞれの特長は表－１に示すとおりである。また、（社）日本道路協会の路上表層再生工法技術指針（案）によると、路上表層再生工法を行う場合の既存舗装の条件は表－２のとおりであり、再生されたアスファルト混合物は、（社）日本道路協会のアスファルト舗装要綱に示すアスファルト混合物の品質性状を満たすものであることとしている。

表－１　リミックス方式とリペーブ方式の特徴

	リミックス方式	リペーブ方式
施工方法	加熱、かきほぐした既設表層混合物に必要に応じて再生用添加材料を加え、これと新規アスファルト混合物とを混合して敷きならし、締め固める方法。	加熱、かきほぐした既設表層混合物に必要に応じて再生用添加材料を加えて攪拌し敷きならしたうえ、その上部に新規アスファルト混合物を敷きならして、これらを同時に締め固める方法。
長所	粒度、アスファルト量及び旧アスファルト針入度の調整ができ、これらによる総合的な品質改善が可能である。 再生した層は、全厚均一な断面として仕上げられる。	既設表層混合物が小区間で変化しても、最上層に新規アスファルト混合物を用いているため、常に、一定の外観を確保することができる。
短所	既設路面に大きなパッチングが存在するような箇所では、粒度や骨材の違いが表面に現れることがある。	再生用添加材料の使用により旧アスファルト針入度の改善等は行えるが、粒度、アスファルト量の調整をともなう品質改善は困難である。 薄い２層を同時に転圧して１層として仕上げるため、上層が摩耗した場合、比較的早い時期に下層が露呈し色むらが出ることがある。

表－２　既設舗装の路面性状などに係わる適用条件

項　　目		適用条件	適用上の留意点
既設アスファルト層の平均厚さ(mm)		50 以上	・再生の対象としないアスファルト層の厚さを、20mm 以上確保する。
わだち掘れ深さ	流動（mm）	50 以下	・リペーブ方式は、流動によるわだち掘れ 30mm を適用上限とする。 ・流動によるわだち掘れが 30mm を越える箇所にリミックス方式を適用する場合には、切削等によって事前に凸部を除去しておく。
	摩耗（mm）	30 以下	・リペーブ方式は、既設アスファルト混合物の品質が所要の品質を満足している場合に限り、必要に応じて部分的な事前切削やレベリングを行い、仕上げ転圧を必ず行うなど横断的に転圧ムラが生じないように施工することを条件に、摩耗によるわだち掘れ深さ 70mm まで適用してもよい。
ひびわれ率（%）		40 以下	・リペーブ方式はひびわれ率 20%を適用上限とする。 ・局部的に基層以下まで破損の生じている箇所においては、事前に打換えを行っておく。
旧アスファルトの針入度（1/10mm）		20 以上	・リペーブ方式は針入度 30 を適用下限とする。

再生舗装の再々生については、土木研究所をはじめ様々な検討が行われており、室内試験の結果などから適切な配合を行うことで再々生は可能であると考えられているが、路上表層再生舗装の再々生については、これまでほとんど検討が行われていない。路上表層再生工法による再生表層の品質は、既設舗装の性状に大きく影響されるため、本工法を再々生に採用するに当たっては、既設舗装の品質性状について十分な事前調査を行い、その破損の原因と程度を把握し、本工法の適用性を確認するとともに、適切な設計、施工を行う必要がある。さらに、リペーブ方式で再生された舗装は、再生された層の上に新材の層が敷きならされるため、再生層の老化が他の方式に比べ厳しい傾向を示しているという報告[3)]があり、再々生の事前調査については、文献１）に示す事前調査により、再々生混合物の性状の確認を行う必要がある。

これら事前調査により、各種条件に適合した既設舗装は、補足材としての新規アスファルトや骨材が使用可能であれば、リミックス方式により再々生が可能であると考えられる。しかし、実際には路面高の制約により新材の投入が制限される場合が多いため、プラント再生[4)]を採用する方が所要の性状を確保しやすいと考えられる。

（参考文献）

１）路上表層再生工法技術指針（案）、（社）日本道路協会、1988.11
２）アスファルト舗装要綱、（社）日本道路協会、1992.12
３）西川隆晴、ほか：路上再生舗装の追跡調査、舗装、1992.10
４）プラント再生舗装技術指針、（社）日本道路協会、1992.12

（舗装研究室）

7. 再生コンクリートの実証試験

（質問）

コンクリート塊などから骨材を作り、再生コンクリートへ利用する検討がなされている。試験・研究レベルではかなりのデータの蓄積があるが、北陸地建においては事務所レベルで再生コンクリートによる構造物の築造はまだない。当事務所でも砂防ダムに使えないかどうか検討している。

再生骨材製造プラントの実用化の展望について、ご教示願いたい。

（湯沢砂防工事事務所）

（回答）

コンクリート副産物から製造した再生骨材の利用について展望する際には、技術的側面や社会的側面等、種々の観点から状況を見る必要があると考える。

まず、技術的な側面からいうと再利用に関してはかなりの検討がなされて来ている。平成３年１０月２５日にリサイクル法施行され、建設省は、「建設業」という特定業種が再資源化を促進すべき「指定副産物」としてコンクリート解体材、建設発生土、アスファルトコンクリート塊、建設発生木材の再生資源の利用の促進を義務づけられた。このため、種々の方策を採ってきた。平成４年度から平成８年度まで、総プロとして「建設副産物の発生抑制・再生利用技術の開発」を実施した。コンクリート副産物関係では、昭和 56～60 年度の廃棄物総プロでの検討結果も加味し、平成６年４月１１日に、建設大臣官房技術調査室長から各地方建設局等あてに「コンクリート副産物の再利用に関する用途別暫定品質基準（案）」（以下、暫定案）を通達した。この中で、砂防ダムには再生コンクリートⅠ、Ⅱが使えることを記述している。土研では総プロの成果として「コンクリート副産物の土木事業における利用ガイドブック」[1]を出している。このガイドブックには、種々の利用法に関する技術的な検討結果が示されている。さらに、全国の地建でモデル事業等も実施され、コンクリート副産物の再利用が技術的には実用化段階に至っているのが証明されている[2)3)4)]。

その他にも種々の動きがある。建設省が中心となり、建設副産物への取り組みを推進するために、工事発注者、工事請負企業および処理会社が一体となって総合的に対応するために、「建設副産物対策行動計画（リサイクルプラン２１）」を制定している。この中では、将来的には建設副産物の処分量をほぼゼロにすることを目標にしており、西暦 2000 年にはコンクリート塊の再利用率を９０％までに引き上げることを目標にしてる。平成５年度と７年度の調査では、コンクリート副産物の再利用率は６０％を超えている[5)]。さらに、コンクリート用再生骨材の JIS 化も検討されはじめている[6)]。

社会的な面からコンクリート副産物の再利用を見てみると、他の建設副産物や、さらには一般的な材料の再利用にも共通する問題がある。建設分野の材料等のリサイクルを阻害

している要因としては、①法律が整備されていない、②示方書類が整備されていない、③経済性が悪い、④イメージが悪い、⑤実績がない、⑥品質が劣る、⑦ばらつきが大きい、⑧副産物が多すぎる(種類・量とも)、⑨流通が未整備、⑩その他、等が挙げられよう[7]。これらの内、いくつかの項目は建設分野以外の材料等のリサイクルにも当てはまることである。強制的に使用を義務づけたりせずに、経済原理で再利用を拡大していくためには、これらの問題点をひとつひとつ解決しなければならないであろう。

では現状を見てみる。コンクリート副産物の再利用率は６０％を超えていると書いたが、現実にはほとんどが舗装用路盤材として用いられている。これにはいくつかの理由があると思われる。

コンクリート副産物を処理してコンクリート用骨材に用いる場合には、いくつかの問題が生じる。まず、コンクリートのほとんどを生産している生コンに用いる場合を考える。多くの生コン工場ではJIS規格に合った材料を用いて、JIS規格に合った生コンを製造している。骨材もJIS規格に合ったものを用いている。現在JISのない再生骨材を用いる場合には、一般骨材とは別系統の設備が生コンプラントに必要となる。よほど大量の再生コンクリートの注文がない限りは、営業的には成り立ちにくい。また、骨材再生プラントでは、コンクリート用再生骨材を生産すると、多量の処理粉末が出る。再生骨材の場合、付着したセメントペーストやモルタルが多いほど、骨材としての品質が低下する。この付着セメントペーストや付着モルタル（以下、付着物と略す）を十分に削り落とし、良質なコンクリート用再生骨材にするためには、それなりの処理施設とエネルギーが必要である。このところ処理機械の改良には目を見張るものがあるが、それでも場所によらず採算ベースに乗せるところまではなかなか到達していない。さらに、良質のコンクリート用再生骨材を造ると言うことは、多量のセメントペーストやモルタルが削り落とされると言うことを意味し、副々産される粉を処理する必要が出てくる。この粉の利用方法も種々検討されてはいる[1]が、現状では採算ベースに乗せるには問題がある。路盤材へ利用する場合には、なるべくこの粉が発生しないように処理がなされるし、多少の粉は路盤材の締固めに有効であるため、コンクリート副産物が１００％活用できる。このため、路盤材としての利用が盛んである。もちろん、このような状況は骨材価格等が変動すれば変わっていくとは思われる。

別の観点から現状を見てみよう。骨材資源は、水と土を除けば、重さとしては最大の使用量の材料である。わが国では年間９億トンもの骨材が生産されていてる。そのため、環境負荷を最小限に押さえる必要がある[8]。骨材資源の用途を見てみると、５億トンがコンクリート用骨材として使われている。その他の用途としては、舗装のアスファルト合材用、舗装路盤材、鉄道のバラスト、基礎材、埋め戻し・裏込材等である。これらの用途を見ると、要求品質には随分と差がある。コンクリート用骨材には強度、耐久性、粒度、粒径等様々な項目に比較的高い品質が要求されている一方、基礎材等にはそれ程高い品質は要求されていない。しかし、現状では多くの場合、同じような材料が異なった用途に用いられている。「適材適所」に則っていないのである。この原因のひとつは、骨材そのものが比

較的安価な材料で、輸送費の全コストに占める割合が大きいことにあるであろう。

こうしてみてくると、現状では、コンクリート解体材は砕いて、路盤材や基礎材等に用い、現在路盤材や基礎材に用いられている良質な材料をコンクリートに用いるのが、適材適所であり、岩石資源の有効利用やエネルギーの面からも、よい選択であると思われる[6]。実際、最近のコンクリート解体材の再利用率は２／３程度であるが、舗装の路盤材としての使用がほとんどである。路盤材としての要求品質は、コンクリート用骨材としての要求品質よりかなり緩い。適材適所としての面から見ると、理にかなった使い方と言えよう。

では、なぜ暫定案では３種類の用途を規定しているのかという疑問も生じるであろう。暫定案では用途としては、現在の利用状況や技術水準、現場での対応可能性、将来の有望性、コスト等を勘案して、「コンクリート用再生骨材」、「舗装用路盤材」、「埋戻し・裏込め材」の３つをとりあげている。リサイクルの原則は同じ用途に何度も使うことであるとすると、コンクリート解体材の利用は、再度コンクリート用にというのが原則であるという意見もある。さらに、地域によっては既に良質のコンクリート用骨材資源が不足してきているところがあり、長距離輸送やさらに海外からの輸入材の利用が進んでいる。特に、大都市近郊では輸送距離が年々増加している。こうした状況を考えると、将来にわたって需給のバランスが保たれる保証はない。その際に、骨材資源を得るひとつの方策として、再生骨材の利用技術を整備しておくことは重要であると考える。

現状のコンクリート用再生骨材の利用状況を見ると、一部のプラントでは商業ベースで生産が行われている。こうしたプラントでは、廃棄物処理業と生コン製造業や工場製品製造業を兼ねていたり、かなり広い敷地を有していたり、といった好条件が重なっているところのようである。現状のコンクリート副産物の発生量や路盤材への利用状況を見ると、全ての生コン工場で再生骨材を用いるのは非現実的であり、こうした条件の良いところから使っていくのが現実的であろう。現状の生コンの流通には、制度上、種々の制約があり、普通と違った材料を使うのがなかなか容易でない状況にある。行く行くはこうした生コンの製造や流通システムの改善もお願いしなければならないであろうし、生コンJISや骨材JIS等の規格の見直しも不可欠である。また、工場製品では、ものによっては使用材料のしばりが厳しくないものもあり、再生骨材の活用できる分野ではないかと考えている。

さて、砂防ダムに再生骨材が使えるかどうかとの問いであるが、技術的には可能であるが、流通の面からは難しいというのが現状であろう。一般にコンクリート副産物が密度が高く発生するのは都市部である。砂防ダムが多数あるような場所では、コンクリート副産物が発生しても密度が低く、再処理工場の立地条件としては厳しい。まずは、付近に再処理工場があるかどうか、さらには再生骨材を使って練混ぜ可能な生コンプラントがあるかどうかが決め手になろう。最近は高性能の移動式処理機械が、多数開発されている。かなり、小型のものもある。場合によってはこのような機械の利用も考えられるが、どうしても高度の処理は期待できないため、コンクリート用骨材としての品質が確保できるかどうかを確かめておく必要がある。

再生処理の機械については、このところ目覚ましい改善が見られる。ご紹介したいとこ

ろではあるが、紙面の関係で難しいので、参考文献１）10）等をご覧いただければと思う。

【参考文献】
1)建設省土木研究所他/「ｺﾝｸﾘｰﾄ副産物の土木事業における利用ガイドブック」、共同研究報告書第 166 号、1997.3
2)建設省：指定課題－建設副産物の発生抑制・再生利用技術の開発、第 46、47、48 回建設省技術研究会、1992,93,94
3)河野;技術ﾌｫｰﾗﾑ「資源の有効利用とｺﾝｸﾘｰﾄ」/ｺﾝｸﾘｰﾄ解体材の再利用の現状と可能性、ｺﾝｸﾘｰﾄ工学 Vol.33 NO.10、1995.10
4)阿部：再生骨材を用いたコンクリート、コンクリート工学 Vol.33 NO.12、1995.12
5)建設省：平成２年度建設副産物ｾﾝｻｽ(1990)、平成５年度建設副産物ｾﾝｻｽ(1993)、平成７年度建設副産物ｾﾝｻｽ(1995)
6)日本工業標準調査会土木部会／コンクリート分野の標準化計画、平成 10 年３月
7)河野,渡辺;技術ﾌｫｰﾗﾑ「資源の有効利用とｺﾝｸﾘｰﾄ」/ｺﾝｸﾘｰﾄ分野における資源の有効利用の将来展望、ｺﾝｸﾘｰﾄ工学 Vol.35 NO.４、1997.4
8)河野：省資源省エネルギーを図るｴｺｺﾝｸﾘｰﾄ-ﾘｻｲｸﾙによる負荷低減、ｺﾝｸﾘｰﾄ工学 Vol.36 NO.3、1998.3
9)河野：これからの骨材はどうなる－再生骨材、セメント・コンクリート No.618, 1998.8
10)長岡：再生骨材製造装置、ｺﾝｸﾘｰﾄ工学 Vol.35 NO 7、1997.7
11)建設副産物対策研究会：建設副産物対策ハンドブック －建設副産物の際資源化に向けて－、1991,11,JACIC
12)特集－建設産業副産物対策の展開、建設月報 No.551,1995,5

（コンクリート研究室）

8. 厚層軟弱地盤の対策工法

（質　問）

新潟県上越市から六日町へ計画されている地域高規格道路「上越魚沼地域振興快速道路」のうち上越市から三和村間（約 7km）の地層は、軟弱（N 値 0～10）な粘土やシルトが 60m の厚さで分布している。

当該道路は、盛土構造での計画としているが道路盛土を施工する場合、すべり破壊や過大な沈下の発生が懸念される。同様の地質上での施工である北陸自動車道の構造物も施工中の沈下により荷重軽減のための構造変更などの対策を実施した経緯もある。

このような深層な軟弱地盤対策工の御教示願いたい。

（高田工事事務所）

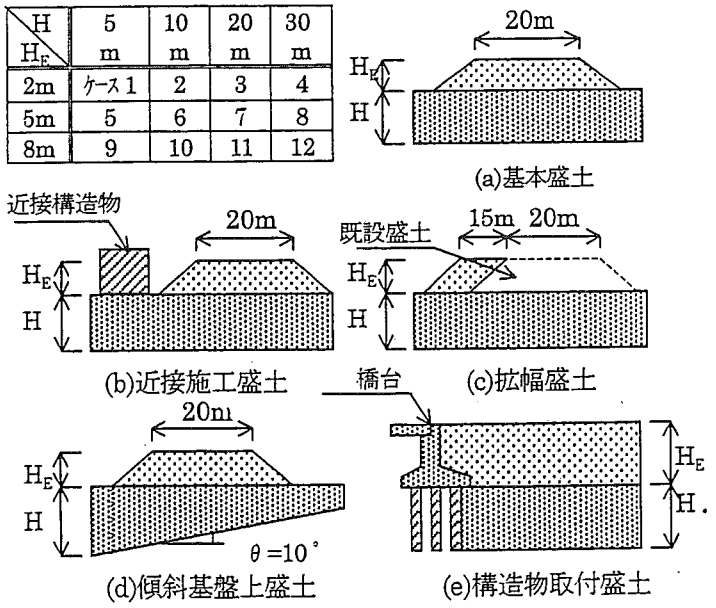
（回　答）

軟弱地盤上に道路盛土を設計する際には、盛土が橋台など構造物の取付部であるか、そうでないかにより、検討内容に違いがある。構造物取付部でない場合は、盛土横断方向のすべり破壊、および地盤沈下の検討が必要である。まず、すべり破壊に関しては、破壊に対する安全率を満足するように、沈下に関しては、許容残留沈下量を満足するように対策工を選定、設計することとなる。

また、構造物取付部に関しては、さらに、縦断方向のすべり破壊、構造物に対する側方流動の影響を検討する必要がある。側方流動に関しては、F 値（側方流動のしやすさを表す指標）などによる検討を行う。

地盤のすべり破壊、および沈下に対処する方法としては、サンドドレーン工法、サンドコンパクションパイル工法、深層混合処理工法、ジオテキスタイル補強盛土工法、あるいは軽量盛土工法（EPS 工法等）などいくつかの対策工法がある。しかし、盛土高さや軟弱層厚、施工条件およびトータルコスト的な観点からの各工法の適用性は、まだ明確ではない。

H / H_E	5 m	10 m	20 m	30 m
2m	ケース 1	2	3	4
5m	5	6	7	8
8m	9	10	11	12



図－１　検討した盛土形状

建設省土木研究所では、「軟弱地盤対策工選定エキスパートシステムの開発」（平成６年度～平成９年

度）において、軟弱地盤の性状や施工条件等に応じた試設計を行い、工費と工期の観点から、盛土高さと軟弱層厚に対する、新工法を含めた各種軟弱地盤対策工の適用性について検討し、さらに対策事例の分析等を通じて、軟弱地盤対策工法の選定基準の体系化を図っている。

表－１　地盤条件

盛土	・単位体積重量：γ=1.9tf/m^3 ・内部摩擦角：ϕ=25°
ｻﾝﾄﾞﾏｯﾄ	・単位体積重量：γ=2.0tf/m^3 ・内部摩擦角：ϕ=30°
軟弱層	・単位体積重量：γ=1.45tf/m^3 ・一軸圧縮強度：q_u=0.4kgf/cm^2 ・粘着力：C=1.5+k･Ztf/m^2,k=1/H ・体積圧縮係数：m_v=0.1cm^2/kgf ・圧密係数：C_v：0.1cm^2/min ・自然含水比：w_n=80～100%

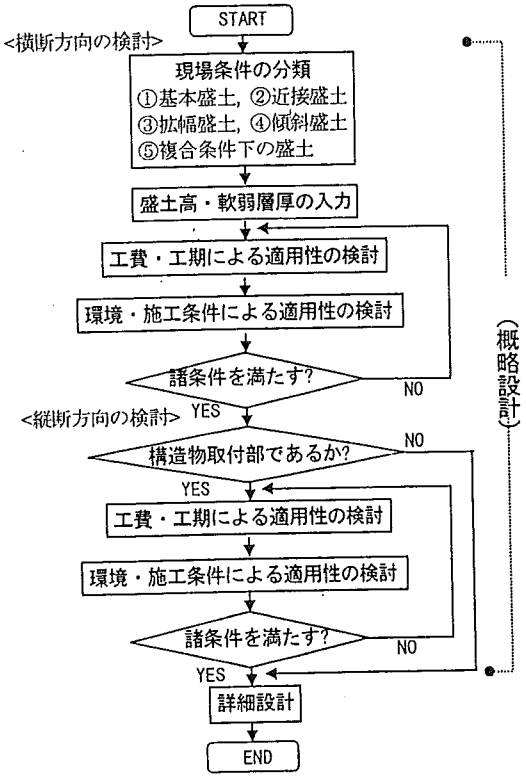
本課題では、まず盛土の種類を①基本盛土（低盛土、高盛土）②近接施工盛土③拡幅盛土④傾斜基盤上盛土⑤構造物取付盛土の５つに分類した。次に各盛土について表－１に示す地盤条件の下で、盛土高さ（2m～8m）と軟弱層厚（5m～30m）の組み合わせを変えた12ケースについて試設計を行い、工費（直接工事費）および工期（施工期間と放置期間の合計）を算出している。さらに、環境・施工条件と各種対策工法の適用性についても検討している。

図－２は、軟弱地盤対策工の選定手法のフローを示す。このフローは、詳細設計を行う前に現場条件、施工・環境条件を勘案して、設計対象となりうる対策工法を抽出するための概略検討の流れを示している。

まず盛土の横断方向について検討する。現場状況から①から⑤のうち該当する盛土を選択する。次に盛土高さと軟弱層厚を設定し、工費と工期の面から、適用性の高い工法をいくつか選定する。試算結果はここに反映されている。さらに施工条件および環境条件などの制約条件を考慮し、対策工法を選定する。

縦断方向については、構造物取付部かそうでないかに分類し、取付部であれば、横断方向と同様に、工費・工期および環境・施工条件から対策工法を選定する。

以上の検討が終わると、詳細検討に移る。



図－２　軟弱地盤対策工選定フロー

試算結果による、軟弱地盤対策工の適用性の傾向は次のようになっている。

①　基本盛土（低盛土、高盛土）

サンドドレーン工法の適用性が高い。ただし、盛土が高い、あるいは軟弱層が厚くなり、サンドドレーン工法単独ではすべり破壊に対する安定が確保できなくなる場合には、押さ

え盛土の併用が、最も安価である。ただし、用地制限がある場合には、盛土補強併用工法の適用性が高い。

② 近接施工盛土

サンドドレーン工法単独ですべり破壊に対する安定性が確保できる範囲では、サンドドレーン工法と矢板を併用する工法の適用性が高い。ただし、低盛土あるいは、軟弱層が薄い場合、矢板工法に変わりブロック式深層混合処理工法を併用することも効果的である。また、軟弱層が 20m を超えるような場合については、EPS 工法の適用性が高くなる。

③ 拡幅盛土

サンドドレーン工法と矢板を併用する工法の適用性が高い。また、矢板工法に変わりブロック式深層混合処理工法を併用する工法も適用性が高い。さらに、軟弱層が厚い場合、EPS 工法の適用も検討対象となりうる。

④ 傾斜基盤上盛土

基本盛土と傾向はほぼ同じである。ただし、傾斜の影響により、特に高盛土になった場合に、サンドドレーン工法ではすべりに対する安全性が確保できなくなり、ブロック改良式の深層混合処理工法が効果的となる。また、現場事例に基づき、円弧すべりに対する安全率を 1.2 から 1.4 に見直すと、サンドドレーン工法の適用範囲はさらに小さくなり、盛土高 5m、軟弱層厚 20m を超えると適用できなくなる。

⑤ 構造物取付盛土

低盛土では、従来工法（サンドドレーン工法など）の適用性が高いが、軟弱層が厚くなりこれらの工法で盛土の安定性が確保できない場合には、押え盛土工法を併用する必要がある。また、用地制限があり押え盛土工法が併用できない場合は、プレロード工法の併用が考えられる。さらに、盛土高が 5m 以上で軟弱層厚が 20m以上の場合は、これらの従来工法が適用できず、EPS 工法による対策が有利である。

最近では軟弱地盤上に施工する盛土、特に橋台等の構造物取付部における盛土の沈下対策として、全面杭式改良型の深層混合処理工法が用いられる場合がある。杭式の深層混合処理工法の改良率は 10～30%程度を検討の対象としており、場合によっては、ジオグリッドを併用する工法も提案されている。

この工法は、新潟西バイパス、新津バイパス、日高自動車道などにおいて適用されている。地盤の改良形式には、着底式のものとフローティング方式のものとがある。（表－2）

いずれの現場においても、改良柱体と未改良部にかかる応力の比を表す応力分担比が、

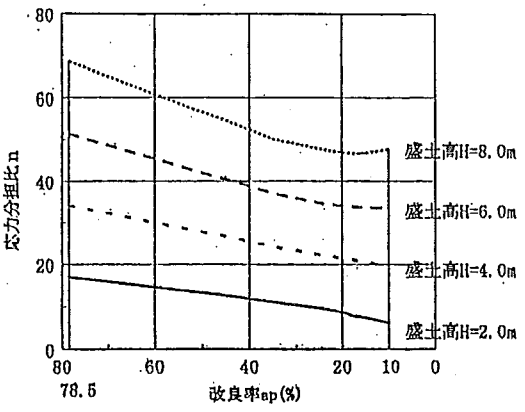
表－2　現場での動態観測結果

	改良形式	盛土高 (m)	改良率 (%)	改良杭長(m)	最大沈下量(cm)	不同沈下量(cm)	応力分担比
新潟西ﾊﾞｲﾊﾟｽ	着底	8	14.8	14	23.2	0.8	73
新津ﾊﾞｲﾊﾟｽ	ﾌﾛｰﾃｨﾝｸﾞ	1.6～2.0	14.8	5.5	11.7	3.9	78
日高自動車道	着底	6.7	35～50	8.5	11.3	2.0	50

設計値を大幅に上回っており、また沈下量も小さく、沈下抑制に効果があることが確認されている。また、杭間隔が大きいため不同沈下が懸念されたが、問題になるような差は発生していない。

建設省土木研究所では、大型模型実験により沈下抑制効果に関する検証を行うとともに、設計法について検討している。

大型模型実験では、地盤沈下発生装置に盛土を作成し、沈下板を下降させることにより、原地盤での沈下現象を再現している。実験により得られた改良率と応力分担比の関係を図－３に示す。図から分かるように、実験においても応力分担比は、場合によっては、現在設計で用いられている値（10～20）よりも、大きいことが分かる。



図－３　応力分担比

これらの現場事例および実験結果を踏まえ、低改良率の全面杭式深層混合処理工法の設計法について検討した。現場事例においても示したように、改良形式には２種類有り、改良地盤の下端が指示地盤に着底している着底方式と、着底していないフローティング方式がある。ここではフローティング方式の設計法について検討する。

フローティング方式の設計は、図－４の手順で行う。ここでは、①沈下の検討②円弧すべりの検討があり、それぞれの検討結果より、最適な改良深さ、改良率、設計基準強度を決定する。

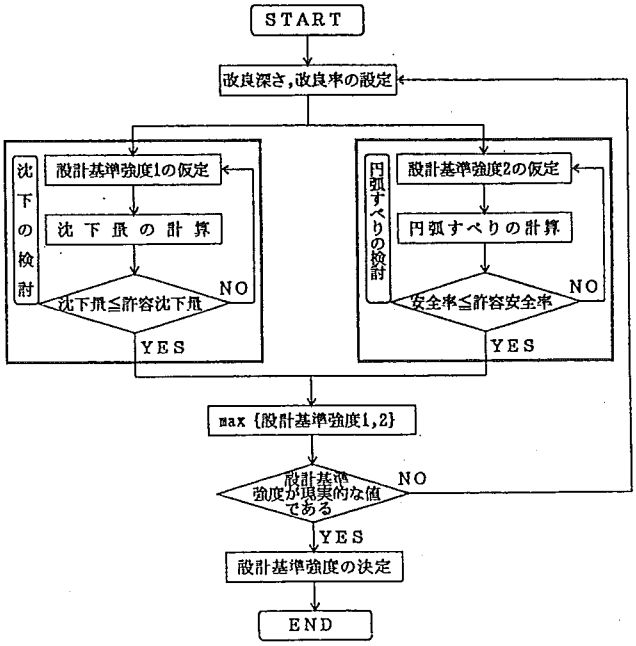
(1)沈下の検討

フローティング方式は、改良部分の下に未改良地盤があるため、その部分に対する沈下を検討する必要がある。全沈下量は以下のように表される。

（全沈下量）＝
（改良地盤の沈下量）
＋（改良地盤以深の沈下量）

①改良地盤の沈下量

先の実験結果より、未改良部に作用する盛土荷重は図－５の通りであり、その



図－４　設計手順（フローティング方式）

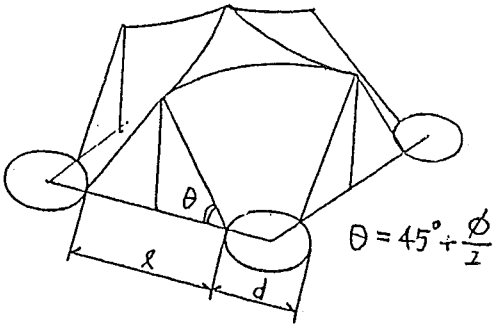
ほかの盛土荷重は、改良部が負担すると考える。

・改良部の沈下量

$$S_p = \frac{\Delta p_p}{E} \cdot L \qquad \cdots(1)$$

$$E = 100 \cdot q_u \qquad \cdots(2)$$

$$\Delta p_p = V_p \cdot \gamma \qquad \cdots(3)$$



図－５　未改良部に作用する盛土荷重

ここに、S_p：改良部の沈下量(cm)

Δp_p：改良部に作用する盛土荷重(kgf/cm^2)

L：杭長(cm)

E：杭体の変形係数(kgf/cm^2)

q_u：改良体の一軸圧縮強度(kgf/cm^2)

V_p：改良部に作用する盛土体積(kgf/cm^3)

γ：未改良部の単位体積重量(kgf/cm^3)

・未改良部の沈下量

$$S_c = S_0 \cdot \frac{\Delta p_p}{\Delta p} \qquad \cdots(4)$$

$$\Delta p = V \cdot \gamma \qquad \cdots(5)$$

$$\Delta p_c = \frac{V_c \cdot \gamma}{(l+d)^2 - \dfrac{\pi \cdot d^2}{4}} \qquad \cdots(6)$$

$$Vc = \frac{\pi}{96} \cdot l^2 \cdot \tan\theta \cdot (9d + 4l) + (4 - \pi) \cdot \left(\frac{l+d}{2}\right)^2 \cdot \left\{\frac{l}{2} \cdot \tan\theta + \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{l+d}{2}\right) \cdot \left(\sqrt{2} - 1\right) \cdot \tan\theta\right\}$$

$\cdots(7)$

ここに、S_c：未改良部の沈下量(cm)

S_0：無処理での沈下量（推定値）(cm)

Δp_c：未改良部に作用する盛土荷重(kgf/cm^2)

Δp：全盛土荷重(kgf/cm^2)

V_c：未改良部に作用する盛土体積(cm^3)

V：全盛土体積(cm^3)

ℓ：杭間距離(cm)

d：杭径(cm)

θ：せん断角（度）

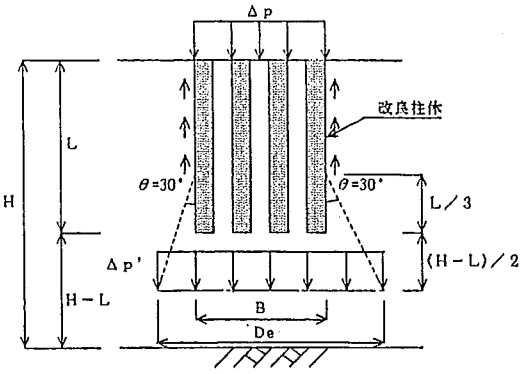
未改良部の許容沈下量は、20cm 以下を目安とする。

・改良部と未改良部の不同沈下量

$$\Delta S = S_c - S_p \qquad \cdots(8)$$

ここに、⊿S：不同沈下量(cm)

不同沈下量の許容値は、5cm 以下を目安とする。



図－6　荷重分散の考え方

②改良地盤以深の沈下量

改良地盤以深の沈下量は、図－6のように荷重分散を考慮して以下の式で計算する。

$$S = m_v \cdot \Delta p' \cdot (H - L) \qquad \cdots(9)$$

$$\Delta p' = \frac{\Delta p - 2LC}{B + \dfrac{3H - L}{3} \cdot \tan\theta} \qquad \cdots(10)$$

ここに、S：改良地盤以深の沈下量(cm)

m_v：体積圧縮係数(cm^2/kgf)

⊿p'：荷重分散後の荷重(kgf/cm^2)

H：軟弱層厚(cm)

L：杭長(cm)

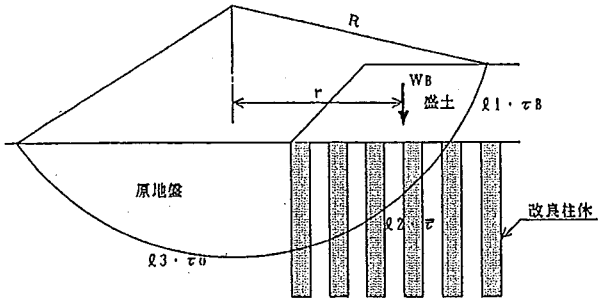
⊿p：全盛土荷重(kgf/cm^2)

C：杭周面の粘着力(kgf/cm^2)

B：改良幅(cm)

θ：下方分散角(度)

許容沈下量は、20cm を目安とする。



図－7　円弧すべりの検討

(2)円弧すべりの検討

円弧すべりの検討は式(11)にて行う。また、その時の改良地盤は原地盤と改良柱体の複合地盤として取り扱い、改良後の平均せん断強度は式(12)で表される。

$$Fs = \frac{R\left(\ell_1 \cdot \tau_B + \ell_2 \cdot \bar{\tau} + \ell_3 \cdot \tau_0\right)}{W_B \cdot r} \qquad \cdots(11)$$

$$\bar{\tau} = C_p \cdot a_p + \alpha \cdot C_0\left(1 - a_p\right) \qquad \cdots(12)$$

式(12)の第２項は、第１項に比べ非常に小さいので、第２項を無視すると、

$$\bar{\tau} = C_p \cdot a_p = \frac{q_{uck}}{2} \cdot a_p \qquad \cdots(13)$$

ここに、τ：改良後の平均せん断強度

C_p：改良柱体のせん断強度

C_0：原地盤のせん断強度

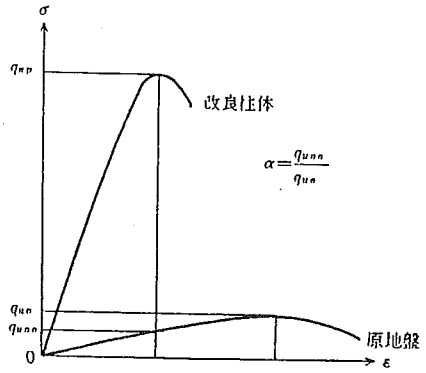
α：改良柱体の q_{up} におけるひずみに対応する原地盤の強度低減率（図－８参照）

q_{uck}：改良柱体の設計基準強度

q_{up}：改良柱体の一軸圧縮強度

円弧すべりの安全率は、1.2 以上とする。

また、より改良率を低減するためにジオテキスタイルを併用した深層混合処理工法についても提案されているが、この設計法については「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」（(財) 土木研究センター）を参照するとよい。



図－８　改良柱体と原地盤の σ ～ ε の関係

当該地区のように、盛土高さが 5m 程度で、基盤層が深く軟弱層厚が 50m を超えるような場合、従来のように基盤層に着底させる方法で地盤改良を行なおうとすれば、過大な工費がかかると考えられる。したがって、フローティング方式の深層混合処理工法により沈下量を低減することが効果的であると思われる。

また、ジオグリッドを併用した低改良率深層混合処理工法は、構造物取付部の盛土の沈下対策としては、他の工法とコスト比較して同等、場合によっては若干有利であるという試算結果もあり、検討対象となりうると考えられる。

さらに、橋台など構造物に対しても浮き基礎を適用すれば、構造物と盛土部の不同沈下対策としても有効であると考えられる。

以上のように各種対策工法があるが、現場の施工条件や構造物の重要度、工費、工期、さらには完成後の維持管理水準・コストなどにも配慮して対策工法を選定することが望まれる。

（土質研究室）

参考文献

道路土工－軟弱地盤対策工指針　（昭和 61 年 11 月、社団法人　日本道路協会）

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

（平成 6 年 2 月、財団法人　土木研究センター）

9. 凍結防止剤の代用品

（質問）

積雪寒冷地域では、凍結防止剤を散布しているが、環境にやさしく、サビ等も出にくい、安価な代用品が開発されないか御教示願いたい。

（道路部道路管理課）

（回答）

現在、凍結防止剤として、原塩、塩化ナトリウム、塩化カルシウムなどの塩化物系が散布されている。

凍結防止剤には、降った雪や凍った氷を直ぐ溶かす融雪氷タイプと凍結させない凍結防止タイプがある。

融雪氷タイプである塩化物系の凍結防止剤は、氷点降下作用が高いため、融雪・融氷効果に優れている。しかし、持続効果がないため散布回数が必要である。また、塩化物が入っているため、コンクリート腐食、金属腐食、植物への影響が問題視されいる。

これに対して、現在、金属腐食がなく、環境に優しい凍結防止剤として、塩化物を用いないＣＭＡ（酢酸マグネシウムカルシウム）とＩＣＥ　ＢＡＮという製品が開発されている。現在開発されている２種類の新しい凍結防止剤のうち CMA は、持続性があるため凍結防止には効果があるが、融雪氷としての速効性がないため、試験的に使われている段階である。ＩＣＥ　ＢＡＮは、開発されたばかりのため、凍結防止効果は、現在メーカで確認中である。次表にこの２種類の新しい凍結防止剤の特徴を説明する。

	ＣＭＡ	ＩＣＥ　ＢＡＮ	塩化ナトリウム	岩塩
原料	酢酸マグネシウムカルシウム	製造するを留ロシ等）をに漬たウカ大麦モン出液残す穀濃物コョ類際浸しト、類、酒る物縮（シ糖	塩化ナトリウム	塩
形状	粒状	水溶液	粒状	粒状
機能	凍結防止	凍結防止	融雪氷	融雪氷
散布方法	既存散布機械	専用湿式散布機械	既存散布機械	既存散布機械
コンクリート腐食	なし	なし	あり	あり
金属腐食	なし	なし	あり	あり
腐食速度	0.0002mm／年	－	0.0786mm／年	－
植物への影響	なし	なし	あり	あり
材料費	250 円／ kg	70 円／ kg ？	195 円／ kg	30 円／ kg
散布費	13 円／ kg	13 円／ kg ？	13 円／ kg	13 円／ kg

今後、融雪氷と凍結防止効果の両方を併せ持ち、塩害がなく、動植物の影響もなく、しかも安価な新しい凍結防止剤の開発が必要である。

（化学研究室）

10. 岩盤斜面の安定対策(不安定岩盤の物性)

(質問)

岩盤斜面の安定対策では、現地の地質や亀裂の発達状況をボーリング調査により確認し、対策工法の検討にあたっている。その結果、不安定な岩塊が確定された場合、アンカー工法等により抑止対策が行われるが、安定計算に使われる物性値(c・φ)や安全率(常時・地震時)について、ご教示願いたい。

不安定岩塊の安定計算では、現状を安全率Fs=1.0とし、内部摩擦角・粘着力を逆算により推定している。この場合、内部摩擦角は、地質調査より得られた岩盤強度や節理の発達状況から、既存資料より推定し、その結果粘着力が算出される。こうして抑止力を算出する際、安全率との関係から下表の組み合わせが考えられ、設計抑止力にこれらの最大値を想定している。

	内部摩擦角	粘　着　力	計画安全率	許容値割増
常　時	文　献　値	1.0 に対する逆算値	FSP = 1.2	な　し
		c = 0 (tf/m)	Fsp = 1.0	な　し
地震時		c = 0 (tf/m)	Fsp = 1.0	あ　り

(北陸地建高田工事事務所)

(回答)

岩盤崩壊対策施設設計を行う場合、対象岩体と周囲の地形・地質条件を勘案して、岩盤の崩壊形態と主要亀裂等を推定することにより、安定計算手法を選定する。その際、岩体等の物性値は、安定計算手法に照らし、文献値や試験値を用いる。

例えば、岩すべりが想定され、自重のみで移動すると考えられる場合、安定計算に極限平衡法を用い、内部摩擦角を文献値により設定し、現状安全率を1.0程度として逆解析により粘着力cを求め、安全率が1.2以上となる必要抑止力を計算して、対策工を設計する場合が多くみられる。

上段の「粘着力に現状の安全率が1.0とみなした場合の逆算値を用い、安全率を1.2に高める」と中段の「粘着力c=0、・・・・」とを比較することは、後者の粘着力c=0とは、極言すれば岩体が岩盤と完全に分離している状態であり、すべり面の連続性・開口度合いなどの想定に不安が大きいとき、または対策工(アンカー緊張力)により連続面を破壊する恐れがあると考えるとき、さらに将来は不連続亀裂が繋がる(完全に分離する)ものと考えるときに、比較すべき組み合わせであると考えられることから、妥当であると考えられる。

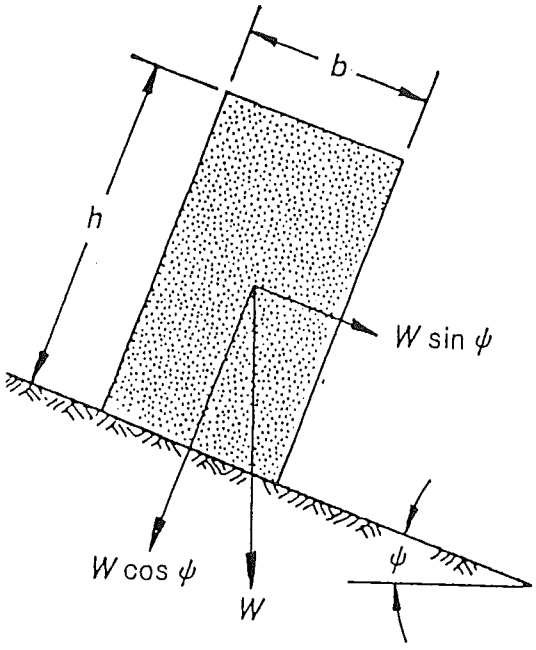
下段の地震時に荷重として慣性力を考慮する際は、地震時の岩体の揺れ方は、いわゆる「地すべり」のそれとは異なり、岩体が不連続亀裂(岩盤と切り離されてはいないの意)を挟んで単体として存在し、岩体は岩盤と異なる地震応答をすると考えられることから、

地震時には、粘着力（せん断強度）より、むしろ岩盤との引っ張り強度に依存して、安定を保つと考えられ、その度合いはすべり面の水平面となす角度に左右される。一方、前述したすべり面の連続性・開口度合いの想定が困難といったことなどもあり、粘着力 c ＝ 0 と見なし、安全率 Fsp＝1.0 となる必要抑止力を計算していると考えられ、その際、地震力は一時的な荷重増であることから、部材の許容値割増を行っていると考えられる。したがって、これらの組み合わせによる比較方法は妥当なものと考えられる。

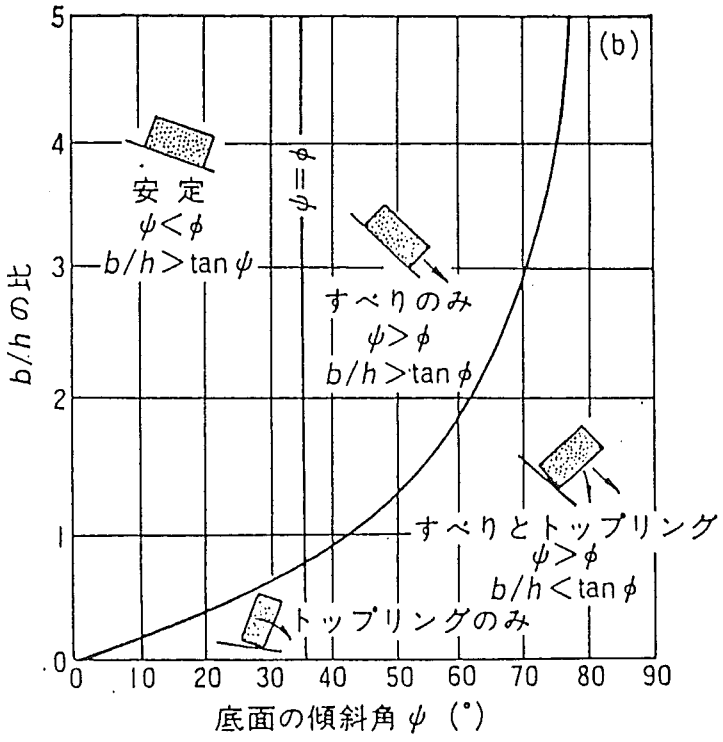
また、本質問の主旨を「地震時に粘着力 c ＝〔現状の安全率を 1.0 とみなした場合の逆算値〕を用いて差し支えないか？」と理解すれば、原則的には否であるが、場合により用いて差し支えないと考えられる。つまり、すべり面の勾配が緩く、かつ b／h（下図参照）が大きいその場合で、岩体の着岩度が大きいと考えられる場合など、すべり面（不連続面）のせん断強度に十分期待できるとするものである。

なお、先の「粘着力 c ＝ 0 と見なす」場合は、極言すれば岩体が岩盤と完全に分離している状態であり、それを前提にして、常時と地震時の別さらにアンカーの引き留め効果・締め付け効果に鑑み、組み合わせの方法を整理して考える必要がある。その結果は、前述した考え方による組み合わせと、必ずしも一致するとは限らない。また添付図を見る限り、岩体に地震時慣性力が作用した場合、崩壊形態がトップリングとなる可能性があり（下図参照）、単純には重力と水平慣性力との合力の作用線が、岩体下部斜面側に入るかどうか図解法により照査するとともに、下部岩体に挫屈の危険性がないか確かめられたい。

（急傾斜地崩壊研究室）



図－a　傾いた平面上にある岩体ブロックモデル



図－b　傾いた平面上の一ブロックのすべりとトップリングの条件

11. 砂防ダムの前法勾配の考え方

（質問）

河川砂防技術基準（案）では、砂防ダムの前法勾配は 1:0.2 を標準とし、流出土砂の粒径や、ダムの目的によってこれより緩くすることができるとなっているが、考え方について、また、基本的な基準等についてご教示願いたい。

（長野県土木部砂防課・福島県土木部砂防課）

（回答）

「重力式コンクリートダムの断面形状は，構造上の安全性、施工性等を考慮して決定するものとする．越流部断面の下流のり勾配は，1:0.2 を標準とするが，流出土砂の粒径が小さく，かつ，その量が少ない場合は必要に応じてこれより緩くすることができるものとする．（河川砂防技術基準（案）〔設計編Ⅱ－11～12 頁〕）」とされている。

下流のり勾配については上述のとおり摩耗，落下砂礫による破壊に考慮し 1:0.2 として施工することが一般的である。しかし、質問のとおり、近年、景観、環境対策等様々な目的から、構造上の工夫が行われ、1:0.2 より緩やかな下流のり勾配を採用することが増えてきている。しかし、これら施設についての現況調査、環境条件等情報が不十分なのが現状である。一方、流出土砂、河床勾配、流量等、各々現地における条件が異なるため基準化標準化は好ましくないと考えられる。砂防ダムの下流のり勾配を標準値外とするには目的があるはずであり、その目的に合致し、同時に河川砂防技術基準（案）にある対策施設として具備すべき点に留意しつつ設計施工すべきと考える。砂防ダムの下流を緩勾配にする目的の事例としては、自然環境、景観、コスト縮減、多目的などが挙げられる。

土石流が頻繁に発生する流域で粒径の大きな土砂の流下域、平常時においてもダムの越流水に対する含砂量の著しい砂防ダム（床固工）においては緩勾配の採用をさけるか、耐摩耗についての対策を講ずる必要がある。

ダムを越流して落下する転石により下流のり面を損傷しない条件式で求められるとしている。[1)]

なお、ダム下流のり勾配を緩勾配にする場合に注意すべき点を以下に挙げる。

①緩勾配の下流のりを安定計算上評価している場合と、堤体の付帯設備として 1:0.2 の本堤部と別のものとして安定計算に含めない場合とが考えられるが、個々の現地の状況等から齟齬が生じないよう注意を要する。

②床固工において緩勾配の下流のりを採用する場合には前提保護工（水叩工）の延長について注意を要する[2)]。

（砂防研究室）

1)（社）砂防学会編：砂防学講座第５巻-2，山海堂，p.39，1993

2)土木研究所資料第３０１６号「緩勾配の下流法面を持つ床固の前提保護工に関する水理模型実験報告書」

12. 土石流センサーの現状

(質問)

砂防工事現場では、土石流の流下を検知する手段として土石流検知センサーが用いられているが、設置の困難さや誤作動、コストが高い等の問題もある。現在までに開発された検知センサーの概要とそれらの得失、及び最近の検知センサー開発の動向について御教示願いたい。

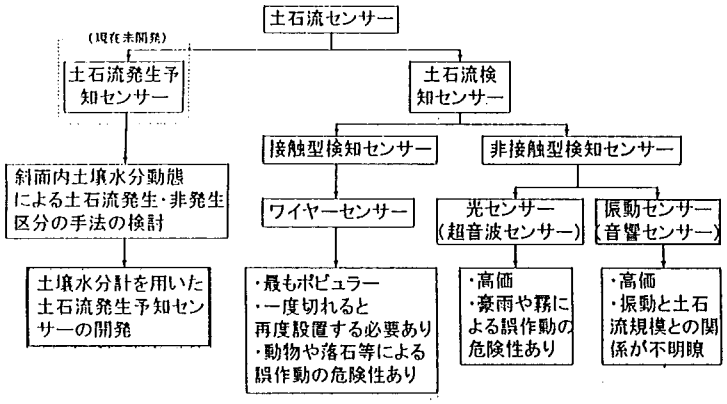
(松本砂防工事事務所)

(回答)

1．土石流検知センサーの概要とそれらの得失

1.1.既往の検知センサーの分類

これまで全国で用いられてきた土石流検知センサーとして、以下に示すワイヤセンサー、コンタクトセンサーやコンタクトセンサー、光センサー、振動センサー、音響センサー等があげられ、図－１のように分類できる。



図－１

土石流がセンサーに接触することによってセンサーが起動するタイプが「接触型センサー」であり、ワイヤセンサー、が該当する。また、土石流がセンサーに直接接触しないでもセンサーが起動するタイプが「非接触型センサー」であり、光センサー、振動センサー、音響センサーが該当する。

日本全国における土石流検知センサーの設置箇所は８８箇所であり、その内訳は、ワイヤーセンサーが６８箇所、光センサーが３箇所、振動センサーが１１箇所、音響センサーが２箇所、その他(超音波センサー：但し、土石流の水位を計測するセンサー)４箇所である(平成９年７月土木研究所調べ)。

1.2.主なセンサーのメリットとデメリット

上記の土石流検知センサーには、一長一短があり、現状ではどのセンサーが最も検知精度が高く、確実に土石流を検知できるかを結論できるレベルまでには達していない。以下に、各センサーごとのメリット、デメリットを示す。

①ワイヤーセンサー

※コンタクトセンサーの得失は基本的にはワイヤーセンサーと同じである。

(メリット)

これまでに開発されたセンサーの中では、最も検知の確実性は高い。

(デメリット)

一度ワイヤーが切断されれば、再度現地に赴いてワイヤーを張り直さない限り、その後に連続して発生する土石流を検知することはできない(メンテナンスに手間がかかる)

設置にあたっては、現地での手作業となるために、人間がアクセスできない場所には設置ができない(例えば、人間が降りられないような深い谷の渓床部)。

動物や雪、風、落石等の外的な要因による誤作動の可能性がある。

②振動センサー、音響センサー

(メリット)

土石流に接触することなく、連続して発生する土石流を検知出来る。メンテナンスが容易である。

(デメリット)

土石流の流下を確実に検知するためには、センサーのトリガーレベルを適確に設置する必要がある。即ち、トリガーレベルを小さくしすぎると、小規模な土砂流でも検知してしまい、空振り率が多くなる。反対にトリガーレベルを大きくしすぎると、土石流の見逃しの危険がある。想定する土石流のタイプや規模、検知場所の地質構造等によって、トリガーレベルの値が変わるので、適確な検知を行うためには、幾度かの実測を基にトリガーレベル値を決定する必要がある(実測値が無い場合は、他の渓流での事例を参考にして決定せざるを得ない)。

③光センサー、超音波式センサー

(メリット)

土石流に接触することなく、連続して発生する土石流を検知出来る。メンテナンスが容易である。

(デメリット)

豪雨や霧、降灰などによる誤作動が多い。

2．最近の土石流検知センサー開発の動向

個別のセンサーでは上記のようなデメリットがあるために確実な土石流検知が期待できない。従って、様々なセンサーを組み合わせることによって、個々のセンサーのデメリッ

トを相互に補完し、結果として最適の検知が出来る総合的な土石流検知システムの開発が重要である。

2.1.総合的な土石流検知システムによる検知目標

①様々な土石流のタイプ(石礫型、泥流型)、土砂流を確実に検知する。

②連続して発生する土石流を確実に検知する。

③様々な地形条件、地質条件においても土石流を確実に検知する。

④土石流の規模を推定できるようにする。

2.2.総合的な土石流検知システム開発のための調査研究課題

2.2.1.振動センサー・音響センサーの実用化に向けて解決すべき事項

①地盤振動(音響レベル)の卓越周波数域と設置場の地形・地質・流路からの距離との関係(⇒トリガーセンサーのしき値決定)

②地盤振動レベル(音響レベル)と土石流規模(流量)との関係(⇒トリガーセンサーのしき値決定)

③地盤振動(音響レベル)の減衰特性(⇒センサーの検知可能範囲の決定)

2.2.2 悪天候時での超音波式、光センサーの検知精度の向上

2.2.3.様々な検知センサーの組み合わせによる検知精度の向上

2.3.総合的な土石流検知システムの開発方針

2.3.1 様々なセンサーの組み合わせ

様々なタイプのセンサーを組み合わせた総合的な検知システムとして設置する(図－2)。以下のセンサーの設置を予定している。

①接触型センサー

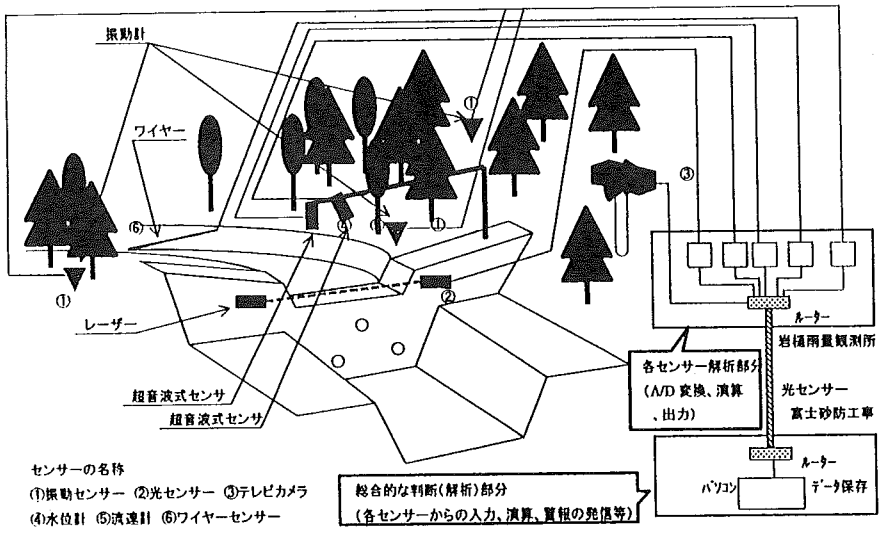
ワイヤーセンサー

②非接触型センサー

振動センサー、音響センサー、光センサー、超音波式センサー

③その他として、画像記録装置

検知センサーの精度を検討するためには、土石流の水理量(流速、流量、流量ハイドロ)もあわせて解析する必要がある。そのためには、ビデオカメラ等の影像記録装置によって土石流の流下状況を撮影する必要がある。これまでにビデオカメラ等が設置されていない所では、今回の検知システム整備の一環として設置する。



図－2

2.3.2.全国レベルでの展開

土石流が頻発する渓流(数年に１回以上)、流域の地形・地質・降雨特性、過去の土石流の規模や流況等の基本的な情報が既に整理されている渓流を対象として、全国レベルで設置する。対象とする土石流のタイプとしては、石礫型土石流、泥流型土石流、検知場所の地質条件としては、火山灰堆積物、火砕流堆積物、溶岩流堆積物、それらの互層堆積物、その他の地質、検知場所の地形条件としては、V字谷天然河床、箱型天然河床、コンクリート流路工等を予定してい

る。

2.4.センサー設置の基本的な考え方

①複数のワイヤーセンサーと振動センサー、音響センサー、超音波式センサー、ビデオカメラの組み合わせを原則とする。

②土石流の第一波を確実に検知するために、ワイヤーセンサーを設置する。但し、ワイヤーセンサーは、前述の様に動物や落石等による誤作動が多いので、複数基の設置する。そのうち、２基以上が作動しなければ、検知信号が伝送されないようなプログラムとする。さらに、超音波式センサーを導入することによって検知の確実性を図る。即ち、検知すべき最低水深の値を設定し、ワイヤーセンサー切断後においても、連続して発生する土石流を検知できるようにする。

③ワイヤーセンサーは一度切断されるとその後に連続して発生する土石流を検知できないので再設置の間の、第２波以降の土石流に対しては、振動センサー並びに超音波式センサーによって検知する。振動センサーのトリガレベル値の設定にあたっては、振動の加速度と継続時間の両方の値を用いる。ちなみに、これまでに焼岳や、桜島等他の土石流頻発渓流で観測された実績によると、土石流の流下に伴う地盤振動の加速度は最大100galに達していること、継続時間として、数１０分程度である事、卓越周波数帯域としては、数十Hz程度であることが報告されている。

振動センサーの設置にあたっては、センサー部を両岸(土石流や流水による侵食の影響が及ばない箇所(渓床から10～30mの高さの箇所の斜面部))に埋設し、両方のセンサーが起動することによって、検知情報が伝送されるようなプログラムとすることが望ましい。
④土石流の流下状況を影像で確認出来るようにするために、ビデオカメラを設置する。ビデオカメラは、省電力化を図るために、ワイヤーセンサー、振動センサー、超音波式センサーと連動して起動するようなプログラムとすることが望ましい。また、夜間に発生する土石流に対しても、その流下状況を確認できるよう、照明装置を取り付けたり、夜間、悪天候時にも監視ができる赤外線カメラとすることが望ましい。

2.5.センサーの改良に向けて

総合的な土石流検知システムの開発にあたり、既往のセンサーを組み合わせるだけでは、耐久性やコスト等の面で全国の現場への実用化が困難である考えられる。
下記の条件を満たすことができるように、センサーの改良を行う必要がある。
①気象条件に影響されずかつ土石流以外の外力に対しても破壊されにくい。
②機器の設置、機器の調整、得られたデータの判読方法が容易であり、電気技術者でなくてもわずかの自習でそれらの技術を収得できる。
③工事や交通等の人為的な影響を受けにくい。
④発注から納入までの期間が短い。消耗品や修理のための交換部品等を迅速に調達できる。
⑤コストの低下
⑥山間地への搬入、設置を考えると、できるだけ小型化・軽量化する必要がある。

参考文献

山田孝、南哲行、水野秀明(1988):土砂流災害防止のためのセンサーの開発の現状と今後の課題、砂防学会誌 Vol.50-5.

(砂防研究室)

13. 河川管理上の環境ホルモンの取り扱い

（質問）

環境ホルモンについては、最近特にテレビや新聞紙上で報じられる機会が多く、一般住民の関心も非常に高い。

このため、現場サイドではこの問題について、地域住民に問われた場合どのような対応をすべきか御教示願いたい。

（信濃川下流工事事務所）

（回答）

環境ホルモンとは、人や生物の内分泌作用を攪乱し、生殖機能阻害、悪性腫瘍等を引き起こす可能性のある外因性の物質とされています。具体的には、PCB、DDT、ダイオキシン類、アルキルフェノール、ビスフェノールA、フタル酸エステル類、トリブチルスズなど約７０種類の化学物質が現在のところ内分泌攪乱作用をもつのではないかと疑われています。

環境ホルモンは人や水生生物に影響を与える可能性があるため、河川管理者としても、生態系を含めた河川環境の保全及び人の健康を守るという観点からこの問題に取り組む必要があると考えられます。このため、建設省では、学識者等からなる流域水環境研究会を設置し、環境ホルモン等について検討を行っています。この検討結果を踏まえ、７月より、全国１０９の１級河川の順流域最下流付近で、うち１６の主要河川では流域縦断で、環境ホルモン実態調査（前期調査：水質調査）を行っています。この内２水系では主な下水処理場からの放流水も調査対象としています。測定項目としては、4-ｵｸﾁﾙﾌｪﾉｰﾙ、ﾉﾆﾙﾌｪﾉｰﾙ、ﾌﾀﾙ酸ｼﾞ-2-ｴﾁﾙﾍｷｼﾙ、ﾌﾀﾙ酸ﾌﾞﾁﾙﾍﾞﾝｼﾞﾙ、ﾌﾀﾙ酸ｼﾞ-n-ﾌﾞﾁﾙ、ｱｼﾞﾋﾟﾝ酸ｼﾞ-2-ｴﾁﾙﾍｷｼﾙ、ﾋﾞｽﾌｪﾉｰﾙA、ｽﾁﾚﾝﾓﾉﾏｰ、17 β-ｴｽﾄﾗｼﾞｵｰﾙ等となっています。なお、この調査は主に２級水系を対象とする環境庁とも連携しています。また、１１月頃には、前期調査結果等を踏まえ、同様な水質調査を行うとともに、底質、魚類調査を加えた実態調査を実施することとしています。さらに、平成１１年度には、影響の見られた水域で流入経路追跡調査等を行うことにより環境ホルモンの主な排出源を明らかにし、取排水系統の適正化等リスク対策の検討が行われる予定です。

しかし、報告されている生物の異常と原因物質との因果関係、環境ホルモンの作用メカニズムや複合影響などについては検討が始められたところであり、知見が充分であるとはいえない状況にあります。

このため、建設省土木研究所では、平成１０年度には、実験基盤整備を実施するとともに、分析手法の検討を行っています。平成１１年度以降には、どの程度の濃度であれば水生生物に影響が発現するといった用量作用の関係、環境ホルモン生成物質等の水環境中での挙動、下水道における生物機能を用いた除去機構等について調査・研究を行う予定です。

（水質研究室）

（参考）

平成１０年７月１７日
建設省河川局・都市局下水道部

河川・下水道において環境ホルモン実態調査（前期調査）に着手
～全国の一級水系２６６地点で調査を実施～

建設省では、流域水環境研究会（座長：楠田哲也　九州大学教授）における検討結果を踏まえ、全国の一級河川と主要河川の主な下水処理場からの放流水を対象として、「水環境における内分泌攪乱化学物質に関する実態調査（前期調査）」に着手する。全国２６６地点において、環境ホルモンとして疑いのある８物質に、人畜由来のホルモンを加えた９物質を基本に調査するもので、７月下旬から８月初旬にかけての採水を予定している。

今回の調査は、環境庁と連携し、環境庁の環境ホルモン実態調査と同時期に行うこととしている。

その概要は以下のとおりである。

○調査の目的と実施方針

本調査は、動物の生体内に取り込まれた場合に、本来、その生体内で営まれている正常なホルモン作用に影響を与える外因性物質（いわゆる環境ホルモン）として疑いのある物質について、一級河川を対象に全国的な実態の把握を行い、今後の対策の検討のための基礎資料とすることを目的としている。

今年度の調査は、河川流況の変化や初めての実態調査であること等を考慮し、前期調査（水質調査のみの概況調査）と後期調査（底質調査と魚類調査を加えた本格的な実態調査）に分けて実施することとしており、今回の調査はこのうちの前期調査である。

○調査対象河川及び調査地点（表－１参照）

・全国１０９の一級水系すべてを対象に調査を実施する。代表河川１６水系については、複数地点で縦断的な調査を行う。なお、多摩川、淀川については、主な下水処理場からの放流水についても調査する。
・その他河川については、原則、代表地点１地点で調査を行う。
・調査地点は、河川２１７地点、ダム３９地点の２５６地点、下水処理場からの放流水１０地点の併せて２６６地点で実施する。

○調査対象物質

・内分泌攪乱作用が疑われている６７物質の中から、産業系及び生活系に由来する化学物質で、年間生産量と環境中での検出状況を勘案して選定した８物質に、人畜由来ホルモン（17β－エストラジオール）を加えた９物質とする（表－２参照）。
・なお、環境庁が重点的に調査する主要河川（利根川、荒川、多摩川、淀川、筑後川）においては、環境庁調査との整合を図る観点から、各河川の代表地点及び代表的な下水処理場で上記９物質に、表－３に示す１４物質を加えて調査を行う。

○環境庁との連携

・一級水系の直轄管理区間は建設省が、指定区間（都道府県管理河川）及びその他の水域は環境庁が、それぞれ分担して調査を行う。
・同一水系については、可能な限り同一日での一斉調査を行う。
・分析方法については、原則として環境庁の定める方法を採用する。

○今後の予定

・全国の調査結果が取りまとまった段階で流域水環境研究会に報告し、速やかに公表するものとする。なお、公表は、９月頃を予定している。
・後期調査は、１１月頃の実施を予定しているが、その内容については、前期調査結果等を踏まえ、調査対象物質や分析方法の見直しも含めて、流域水環境研究会において検討する予定である。

各調査地点の一覧、各地点の調査対象物質及び採水予定日は、別添のとおりである。

問い合わせ先　　０３－３５８０－４３１１（代表）
河川局　河川環境課　課長補佐　山本　昌宏（内線３３３４）
下水道部　流域下水道課　課長補佐　加藤　裕之（内線３１８５）

なお、環境庁調査については、環境記者クラブにて同時配布されています。

表－１　前期調査地点総括表

代表河川調査	１６水系（石狩川、阿武隈川、利根川、荒川、久慈川、那珂川、多摩川、鶴見川、相模川、富士川、信濃川、庄内川、淀川、太田川、重信川、筑後川）	河川１１９地点 ダム　２８地点
その他河川調査	９３水系	河川　９８地点 ダム　１１地点
下水道調査	２水系（多摩川、淀川）	１０地点
合　　計	１０９水系	２６６地点

表－２　水質調査対象物質

分　類	物　質　名	年間生産量（千ｔ）	主な用途
ｱﾙｷﾙﾌｪﾉｰﾙ類	４－ｵｸﾁﾙﾌｪﾉｰﾙ	10 (1994年)	界面活性剤 油溶性ﾌｪﾉｰﾙ樹脂
	ﾉﾆﾙﾌｪﾉｰﾙ	20 (1994年)	
ﾌﾀﾙ酸ｴｽﾃﾙ類	ﾌﾀﾙ酸ｼﾞ-2-ｴﾁﾙﾍｷｼﾙ	291 (1994年)	ﾌﾟﾗｽﾁｯｸ可塑剤等
	ﾌﾀﾙ酸ﾌﾞﾁﾙﾍﾞﾝｼﾞﾙ	3 (1994年)	
	ﾌﾀﾙ酸ｼﾞ-n-ﾌﾞﾁﾙ	17 (1994年)	
アジピン酸類	ｱｼﾞﾋﾟﾝ酸ｼﾞ-2-ｴﾁﾙﾍｷｼﾙ	25 (1986年)	耐寒用可塑剤 潤滑油
ﾋﾞｽﾌｪﾉｰﾙA	ﾋﾞｽﾌｪﾉｰﾙA	260 (1994年)	樹脂の原料
ス　チ　レ　ン	ｽﾁﾚﾝﾓﾉﾏｰ	2,621 (1994年)	ﾌﾟﾗｽﾁｯｸ原料
人畜由来ﾎﾙﾓﾝ	17β－ｴｽﾄﾗｼﾞｵｰﾙ	－	－

備考　(1) 年間生産量は、環境庁「外因性内分泌攪乱化学物質問題に関する研究班中間報告書」〈平成９年７月〉による。

(2) ｽﾁﾚﾝﾓﾉﾏｰは内分泌攪乱作用が疑われている67物質にはあげられていない。しかしﾓﾉﾏｰが存在することは、内分泌攪乱作用が疑われるｽﾁﾚﾝﾀﾞｲﾏｰ、ﾄﾘﾏｰが光重合等により生成し、存在する可能性があるため、調査対象物質とした。なお、年間生産量は〝スチレン〟の値である。

表－３　環境庁が重点的に調査する主要河川における追加調査対象物質

No.	物　質　名	主　な　用　途
1	ﾎﾟﾘ臭化ﾋﾞﾌｪﾆｰﾙ類（ＰＢＢ）	難燃剤
2	ｱﾙｷﾙﾌｪﾉｰﾙ類（Ｃ４～Ｃ７）	界面活性剤の原料/分解生成物
3	ﾌﾀﾙ酸ｼﾞｼｸﾛﾍｷｼﾙ	ﾌﾟﾗｽﾁｯｸの可塑剤
4	ﾌﾀﾙ酸ｼﾞｴﾁﾙ	ﾌﾟﾗｽﾁｯｸの可塑剤
5	ﾍﾞﾝｿﾞ(a)ﾋﾟﾚﾝ	(非意図的生成物)
6	2,4-ｼﾞｸﾛﾛﾌｪﾉｰﾙ	染料中間体
7	ﾍﾞﾝｿﾞﾌｪﾉﾝ	医療品合成原料、保香剤等
8	4-ﾆﾄﾛﾄﾙｴﾝ	2,4ｼﾞﾆﾄﾛﾄﾙｴﾝなどの中間体
9	ｵｸﾀｸﾛﾛｽﾁﾚﾝ	(有機塩素系化合物の副生成物)
１０	ﾌﾀﾙ酸ｼﾞﾍﾞﾝﾁﾙ	(我が国では生産されていない)
１１	ﾌﾀﾙ酸ｼﾞﾍｷｼﾙ	(我が国では生産されていない)
１２	ﾌﾀﾙ酸ｼﾞﾌﾟﾛﾋﾟﾙ	(我が国では生産されていない)
１３	ｽﾁﾚﾝの2及び3量体	ｽﾁﾚﾝ樹脂の未反応物
１４	n-ﾌﾞﾁﾙﾍﾞﾝｾﾞﾝ	合成中間体、液晶製造用

内分泌攪乱作用を有すると疑われる化学物質

物質名	環境調査	用途	規制等
1. ダイオキシン類	●	(非意図的生成物)	大防法、廃掃法、POPs
2. ポリ塩化ビフェニール類(PCB)	●	熱媒体、ノンカーボン紙、電気製品	74年化審法一種、72年生産中止、水濁法、海防法、廃掃法 地下水・土壌・水質の環境基準、POPs
3. ポリ臭化ビフェニール類(PBB)	○	難燃剤	
4. ヘキサクロロベンゼン(HCB)	●	殺菌剤、有機合成原料	79年化審法一種、わが国では未登録、POPs
5. ペンタクロロフェノール(PCP)	●	防腐剤、除草剤、殺菌剤	90年失効、水質汚濁性農薬、毒劇法
6. 2,4,5ートリクロロフェノキシ酢酸	○	除草剤	75年失効、毒劇法、食品衛生法
7. 2,4ージクロロフェノキシ酢酸	○	除草剤	登録
8. アミトロール	○	除草剤、分散染料、樹脂の硬化剤	75年失効、食品衛生法
9. アトラジン	○	除草剤	登録
10. アラクロール	○	除草剤	登録、海防法
11. シマジン	○	除草剤	登録、水濁法、地下水・土壌・水質環境基準、水濁性農薬、廃掃法、水道法
12. ヘキサクロロシクロヘキサン、エチルパラチオン	●	殺虫剤	ヘキサクロロシクロヘキサンは71年失効・販売禁止、エチルパラチオンは72年失効
13. カルバリル	○	殺虫剤	登録、毒劇法、食品衛生法
14. クロルデン	●	殺虫剤	86年化審法一種、68年失効、毒劇法、POPs
15. オキシクロルデン	●	クロルデンの代謝物	
16. trans-ノナクロル	●	殺虫剤	ノナクロルは本邦未登録、ヘプタクロルは72年失効
17. 1,2ージブロモー3ークロロプロパン	○	殺虫剤	80年失効
18. DDT	●	殺虫剤	81年化審法一種、71失効・販売禁止、食品衛生法、POPs
19. DDE and DDD	●	殺虫剤(DDTの代謝物)	わが国では未登録
20. ケルセン	○	殺ダニ剤	登録、食品衛生法
21. アルドリン	○	殺虫剤	81年化審法一種、75年失効、土壌残留性農薬、毒劇法、POPs
22. エンドリン	○	殺虫剤	81年化審法一種、75年失効、作物残留性農薬、水質汚濁性農薬 毒劇法、食品衛生法、POPs
23. ディルドリン	●	殺虫剤	81年化審法一種、75年失効、土壌残留性農薬、毒劇法 食品衛生法、家庭用品法、POPs
24. エンドスルファン(ベンゾエピン)	○	殺虫剤	毒劇法、水質汚濁性農薬
25. ヘプタクロル	●	殺虫剤	86年化審法一種、75年失効、毒劇法、POPs
26. ヘプタクロルエポキサイド	●	ヘプタクロルの代謝物	
27. マラチオン	○	殺虫剤	登録、食品衛生法
28. メソミル	○	殺虫剤	登録、毒劇法
29. メトキシクロル	○	殺虫剤	60年失効

30. マイレックス	○	殺虫剤	わが国では未登録、POPs
31. ニトロフェン	●	除草剤	82年失効
32. トキサフェン	○	殺虫剤	わが国では未登録、POPs
33. トリブチルスズ	●	船底塗料、漁網の防腐剤	90年化審法(TBTOは第一種、残り13物質は第二種)、家庭用品法
34. トリフェニルスズ	●	船底塗料、漁網の防腐剤	90年化審法二種、90年失効、家庭用品法
35. トリフルラリン	○	除草剤	登録
36. アルキルフェノール(C5からC9) ノニルフェノール 4-オクチルフェノール	● ●	界面活性剤の原料/分解生成物 界面活性剤の原料/分解生成物	海防法
37. ビスフェノールA	●	樹脂の原料	食品衛生法
38. フタル酸ジー2ーエチルヘキシル	●	プラスチックの可塑剤	水質関係要監視項目
39. フタル酸ブチルベンジル	●	プラスチックの可塑剤	海防法
40. フタル酸ジーnーブチル	●	プラスチックの可塑剤	海防法
41. フタル酸ジシクロヘキシル	○	プラスチックの可塑剤	
42. フタル酸ジエチル	○	プラスチックの可塑剤	海防法
43. ベンゾ(a)ピレン	●	(非意図的生成物)	
44. 2,4ージクロロフェノール	○	染料中間体	海防法
45. アジピン酸ジー2ーエチルヘキシル	●	プラスチックの可塑剤	海防法
46. ベンゾフェノン	○	医療品合成原料、保香剤等	
47. 4-ニトロトルエン	●	2.4ジニトロトルエンなどの中間体	海防法
48. オクタクロロスチレン		(有機塩素系化合物の副生成物)	
49. アルディカーブ		殺虫剤	わが国では未登録
50. ベノミル		殺菌剤	登録
51. キーポン(クロルデコン)		殺虫剤	わが国では未登録
52. マンゼブ(マンコゼブ)		殺菌剤	登録
53. マンネブ		殺菌剤	登録
54. メチラム		殺菌剤	75年失効
55. メトリブジン		除草剤	登録、食品衛生法
56. シペルメトリン		殺虫剤	登録、毒劇法、食品衛生法
57. エスフェンバレレート		殺虫剤	登録、毒劇法
58. フェンバレレート		殺虫剤	登録、毒劇法、食品衛生法
59. ペルメトリン		殺虫剤	登録、食品衛生法
60. ビンクロゾリン		殺菌剤	98年失効
61. ジネブ		殺菌剤	登録
62. ジラム		殺菌剤	登録
63. フタル酸ジペンチル			わが国では生産されていない
64. フタル酸ジヘキシル			わが国では生産されていない
65. フタル酸ジプロピル			わが国では生産されていない
66. スチレンの2及び3量体		スチレン樹脂の未反応物	スチレンモノマーは、海防法、毒劇法、悪臭防止法、
67. nーブチルベンゼン		合成中間体、液晶製造用	

（参考）

河川、下水道等における環境ホルモン対策の推進

1．背景・目的

健全な水環境系の構築に向けた施策の一環として、環境ホルモン等の新たな水環境問題に対応し、その環境への負荷の低減対策を推進するため、水環境中の実態を把握するとともに、河川・下水道におけるリスク対策の検討を行い、健全な水環境系の構築に資する。

2．事業の概要

1)環境ホルモン等実態調査
- ・水域における要調査項目の実態調査
- ・河川及び下水道システムへの環境ホルモン流入経路調査

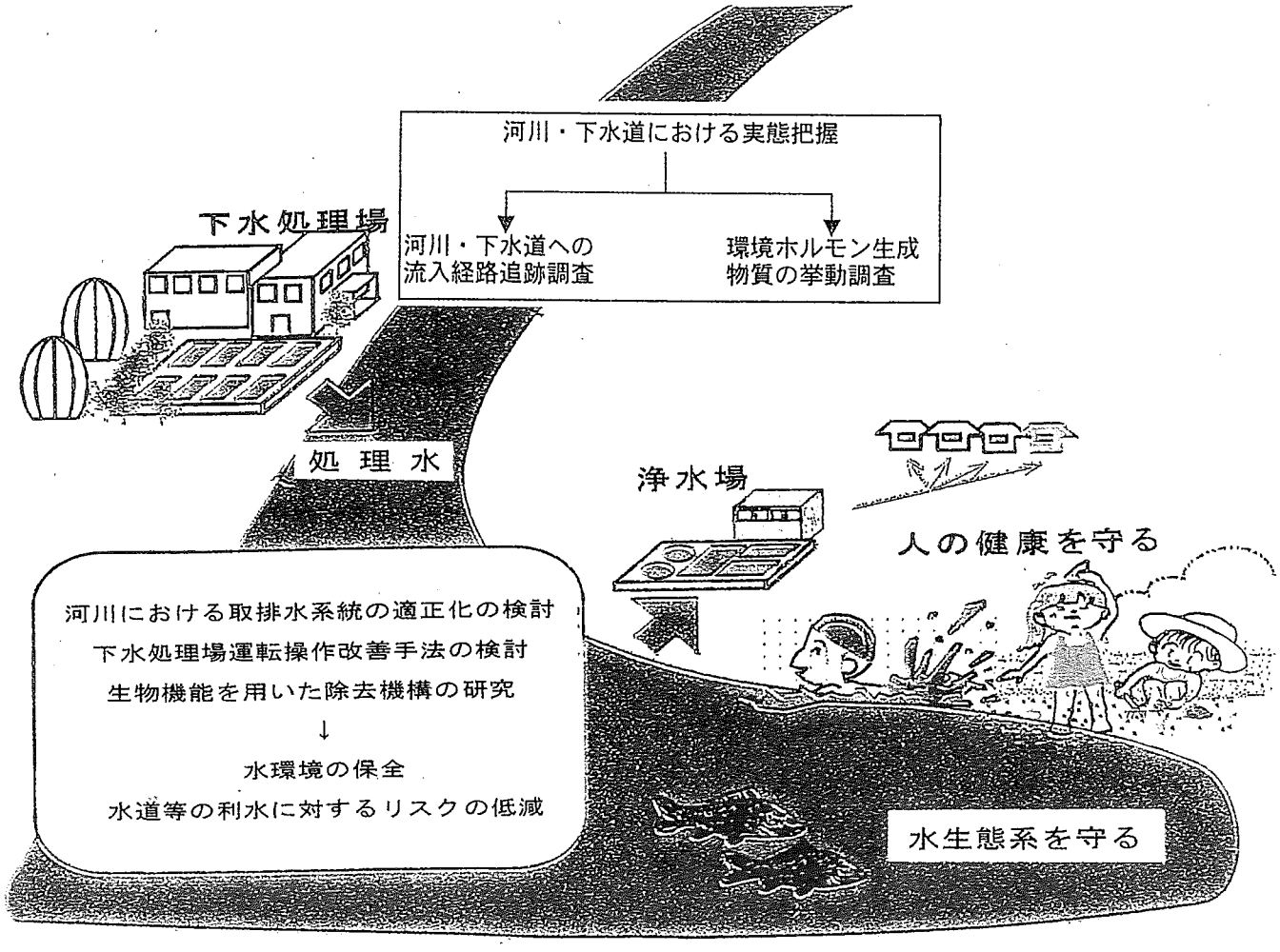
2)環境ホルモン等の除去機構に関する調査研究
- ・環境ホルモン生成物質の水環境中での挙動把握調査
- ・生物機能を用いた環境ホルモン物質の除去機構の研究

3)環境ホルモン等のリスク対策の検討
- ・河川における既存浄化対策の効果検証
- ・下水処理場における運転操作改善手法の検討
- ・河川・下水道におけるリスク対策の検討

3．平成１１年度要求額

要求額　３３１百万円

4．事業効果
- ・水環境中における環境ホルモン等に係る基礎データの蓄積
- ・河川等の水環境への影響や水道等の利水に対するリスクの低減



14. 河川環境保全等にかかる事業の便益

（質問）

河川環境の保全・創出をテーマとした事業の便益の算出方法について、御教示願いたい。

（阿賀川工事事務所）

（回答）

公共事業の実施にあたり、今後、国民の合意を得ながら、効率的効果的に進めていくためには、事業実施による経済的影響について可能な範囲で金銭評価を行い、それを公開していくことが求められている。

河川事業の経済的評価手法は、治水経済調査要綱(案)（昭和４５年）、利水経済調査要綱(案)（昭和５５年）が策定されているが、河川環境については特に定められていない。

現在、河川環境の評価手法について検討を行っているところであるが、以下には、河川環境の影響を確認し、評価に適用可能な代表的手法及び適用事例について紹介する。

1　評価手法

環境の経済評価手法として、代表的なものに以下の４つが挙げられる。いずれの手法とも、決定的なものではなく、それぞれの適用性について、検討が行われている段階である。

1)代替法（直接支出法）

事業効果の評価を評価対象社会資本と同様な効果を有する他の市場財で、代替して供給した場合に必要とされる費用によって評価する手法。考え方が単純で、直感的に理解しやすいが、代替財の存在の有無、評価額に対する理論的な裏付けがないことが挙げられる。河川環境ではないが、治水経済調査要綱(案)はこの手法を採用している。

例　「下水道事業における費用効果分析マニュアル(案)」（平成１０年３月、(社)日本下水道協会）における下水道事業の便益のうち、生活環境の改善効果（中小水路の覆蓋費用、水路低部の清掃費用）、便所の水洗化効果（浄化槽設置費用等）

2)仮想市場法（ＣＶＭ、Contingent Valuation Method）

アンケート等を用いて評価対象財に対する支払意思額（ＷＴＰ、Willingness to Pay）を住民に尋ねることで、対象とする財などの価値を金額で評価する手法。対象となる財の範囲が広く、既存のデータによる制約が少ないのが特徴であるが、アンケート設計、調査手法等を適切に行わないと各種のバイアスが発生し、調査結果の信頼性が低下するという課題がある。バイアスとしては、回答者が自分に有利な回答を行う戦略的バイアス、調査者の意向に合うように回答しようとする追従バイアス、道徳的満足感から生じる温情効果等が知られている。また、調査範囲の設定によっては、評価額に大きな開きが生じるため、範囲について慎重に設定しなければならない。なお、ＣＶＭについては、アメリカ大気海洋局（ＮＯＡＡ）のガイドラインが発表されており、このガイドラインに基づく調査手法が最も信頼の高いものとされているが、調査が相当高額になること、住民投票方式が日本で馴染みが薄いこと等により、わが国での適用性について、十分、検討を行う必要がある。

例　四万十川の非利用価値の評価（(財)高知県政策総合研究所(1995)）

四万十川の非利用価値について、京都市内、東京都内で二項選択方式で調査

河道整備の経済的効果（大谷、末次、井上、秋山(1998)）

東京近郊の河川事業（治水、環境）の効果についてＣＶＭで事後調査を実施。

3)トラベルコスト法（ＴＣＭ、Travel Cost Method）

対象とする非市場財（環境資源等）を訪れる際、訪問のための交通費、往復・滞在の時間価値等の旅行費用を求めることによって、その施設によってもたらされる便益を評価する方法。訪問の対象となる項目の便益は計測可能であるが、訪問・滞在の時間価値、複数目的の処理、存在価値の計測ができない等の課題がある。消費者余剰推定法の一種である。

例　親水公園（河川公園）の便益評価（森杉、大野、小池、武藤(1995)）

河川に隣接する公園を河川と一体となった公園とした場合の便益評価。

4)ヘドニック価格法（ＨＰＭ、Hedonic Price Method）

投資の便益がすべて土地に帰着するというキャピタリゼーション仮説に基づき、住宅価格や地価データから、地価関数を推定し、事業実施に伴う地価上昇を推計することにより、便益を計測する手法。客観的データを用いること、地価データが比較的豊富できることから有意な手法であるが、事業内容によっては適用できない事例が存在すること、地価関数型によって結果が大きく変動すること等の課題がある。

例　河川環境改善の効果（平松、肥田野(1989)）

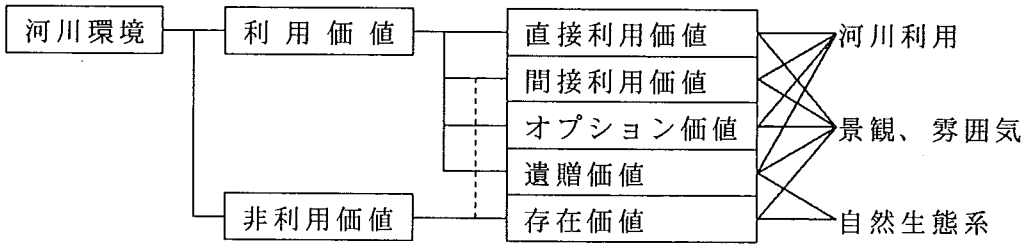
野川、一之江境川（ともに東京都）の水質改善、水辺整備に関する便益評価

なお、環境便益の各計測手法で共通する欠点は、算出された数値の検証できないことである。そのため、算出された数値の信頼性の検証を行うには、理論に則った調査手法をとった上で、調査結果が前提条件をクリアするかどうか、すなわち経済理論上の内部的合理性を有するかどうかが重要なポイントとなる。

2　河川環境への適用可能性

河川環境の便益を２つに分けると直接利用することによって生じる利用価値と、自然環境、景観、ゆとり等の非利用価値に分けられる。利用価値及び非利用価値をさらに細分化すると図－１のようになる。また、利用価値と非利用価値について、経済評価の各手法の適用性を示したのが表－１である。

代替法について利用価値と非利用価値の区別がしづらいので、両　方にまたがっている水質浄化事業の場合、汚濁負荷処理費用軽減等で代替法の適用が



図－１　河川環境の価値の分類

可能であるが、河道整備事業の場合、適当な代替財が存在しない場合が多く、この手法の適用が困難な場合がある。

ＨＰＭの場合、大都市部を除いて十分な地価データが得られない場合があること、河川環境が地価へ与える影響が相対的に低いこと等からその適用可能性はかなり限定的である。

表－１　利用価値・非利用価の各手法の適用可能性

	代替法	ＣＶＭ	ＴＣＭ	ＨＰＭ
利用価値	△	○	○	△
非利用価値		○	×	△

○：適用可能　　△：適用でき条件が限定
×：適用不可

ＴＣＭ、ＣＶＭの場合、利用価値については双方ともに計測可能であるが、ＴＣＭは、非利用価値については一般的に計測できない。

ＣＶＭは適用性は広いが、慎重に調査を実施しなければ、各種バイアス発生の可能性が高くなり、調査結果の信頼性がかなり落ちることとなる。被験者に適度で正確な情報を与え評価対象を正しく認識させること、戦略的バイアス、包含効果等の発生を可能な限り最小限に抑えること、調査範囲を慎重に設定すること等が重要である。

河川環境の経済評価手法が確立していない現段階においては、適用可能は手法を複数用いて、それぞれの手法で求めた評価値の相互比較（単に大きさだけではなく、特性別の比較も）を行った上で判断すべきである。

今後、既存の知見に加えて、新たに調査を実施、各種事業における適切な調査手法の確立を行うとともに、原単位的な数値の設定やより簡便な調査手法についての検討を行っていく予定である。

参考文献

竹林、安田(1995)
：河川経済調査手法の体系化の現状と今後の課題、水文・水資源学会誌第８巻第１号
栗山(1997)
：公共事業と環境の価値　－ＣＶＭガイドブック－、築地書館
(財)高知県政策総合研究所(1996)
：高知県の自然・環境の価値－四万十川を事例として－
大谷、末次、井上、秋山(1998)
：河川事業の仮想状況評価法（ＣＶＭ）適用に関する一考察、環境システム研究Vol26
（投稿中）
P.-O.ヨハンソン,嘉田(1994)
：環境評価の経済学、多賀出版
森杉、大野、小池、武藤
：公園整備事業の便益評価　－新しい非市場評価法の提案－
肥田野(1997)
：環境と社会資本の経済評価　ヘドニック・アプローチの理論と実際、勁草書房
(社)日本下水道協会(1998)
：下水道事業における費用効果分析マニュアル(案)

建設政策研究センター(1998)
：環境等の便益評価に関する研究　－ヘドニック法とＣＶＭの適用可能性について－、ＰＲＣノート第20号
NOAA(1993)
：Report of NOAA Panel on Contingent Valuation, Vol.58 No.10 Friday, January 15, 1993 p4601(Proposed Rule)

（都市河川研究室）

15. 植栽の機能評価

（質問）

近年、建設事業の中に求められている植栽の意義は、美観の確保といった観点のみならず、環境改善機能等多角化している。しかし、まだ定量的な効果などのデータに乏しいのが現状である。そこで下記の項目について御教示願いたい。

1）メンテナンスフリー植栽
2）騒音・排気ガスに強い樹木
3）水流等に強い樹木
4）熱・日射・乾燥に強い樹木
5）分離帯植栽において交通安全に寄与する樹木
6）水質改善に寄与する植物
7）CO_2、ヒートアイランド防止効果のある樹木

（北陸技術事務所）

（回答）

建設事業の中で行われる植栽は、御質問にあるとおり美観の確保といった観点だけではなく、CO_2 の固定やヒートアイランド化の防止など、多くの環境改善機能を有しており、今後一層の推進が必要である。また、これらの植栽に当たっては、植栽する箇所の条件に適した樹種を選定するとともに、求めようとする機能を最大限に発揮させるような樹種の選定や、植栽規模の確保、及び有効な管理などが必要である。

1）施肥、病害虫防除、灌水等のメンテナンスは、植栽に当たって有効土層厚を確保するなど植栽基盤整備を充分におこなうことにより、植物が丈夫に育つ環境を作ることで、軽減することが可能である。

また剪定等のメンテナンス作業は、一般に植物の生長速度が遅いものほど頻度を低くすることが可能となる。そのため、生長の遅い植物を選定することにより、メンテナンス作業を少なくすることが可能となる。また、同じ植物を用いても、植栽する箇所のスペースを十分確保し、植物本来の生長を許容することができるようにすることにより、メンテナンスの頻度を低くするとともに、その植物の持つ種々の環境改善効果を発揮させることが可能となる。

2）騒音に対しては、植物を根際から一定の高さまで、生け垣状に緻密な状態に生育させることによりに、ある程度の軽減効果があることが確認されている。そのため、樹種の選定に当たっては、冬季間においても生け垣状に緻密な状態で葉を維持すること

が出来る常緑の植物の中から選択することが有効である。

また、工場や幹線道路周辺など排気ガス濃度が高い地域にも適する樹木としては、表－1のようなものがあげられる。

表－1　排気ガスに対する耐性[1)]

高木	広葉	常緑	ヤマモモ、ウバメガシ、シラカシ、アラカシ、マテバシイ、クロガネモチ、モチノキ、サンゴジュ
		落葉	イチョウ(分類学上は針葉樹)、クヌギ、アキニレ、ユリノキ、シンジュ、アオギリ、トウカエデ、コナラ、スズカケノキ、センダン、ナンキンハゼ、ニセアカシア、サトザクラ、オオシマザクラ、ハンノキ
中木	針葉	常緑	カイヅカイブキ
	広葉	常緑	イヌツゲ、モッコク、カクレミノ、マサキ、ネズミモチ、キョウチクトウ
	広葉	常緑	オオムラサキツツジ、シャリンバイ、マルバシャリンバイ、ヤツデ、サツキツツジ、ヒラドツツジ、ハナゾノツクバネウツギ、チャ
		落葉	ムクゲ、レンギョウ、ハコネウツギ、ウメモドキ

3）高木としてはヤナギの仲間やタケの仲間が幹や枝に弾性があるために、流水によっても折れにくく、ある程度の流水には耐えることができる。またヤナギの仲間は、流水によって根が堀り起こされてもその状態で再び活着する力が強く、河川の水際等に多く生育している。

4）熱に強い樹種については、耐火性樹種として、表－2のようなものがあげられる。

表－2　樹木の耐火力[2)]

強度	常緑広葉樹	落葉広葉樹	針葉樹
強	イヌツゲ、キヅタ、クチナシ、ゴムノキ、サザンカ、サンゴジュ、ジンチョウゲ、タラヨウ、ツバキ、トウネズミモチ、トベラ、ヒイラギ、モチノキ、ヤツデ	イチョウ、エンジュ、オニグルミ、コナラシンジュ、スズカケノキ、トウカエデ、ユリノキ	イチイ、イヌマキ、カラマツ、コウヤマキ、ヒノキ
中庸	アオキ、アラカシ、ウバメガシ、カナメモチ、キンモクセイ、クスノキ、サカキ、シキミ、シャリンバイ、シラカシ、スダジイ、タイサンボク、ネズミモチ、ヒサカキ、ビワ、マサキ、マテバシイ、モッコク、ヤマモモ、ユズリハ	アオギリ、イイギリ、イチジク、イヌエンジュ、ウメ、クヌギ、クリ、クワ、ケヤキ、コナラ、シナノキ、トチノキ、ナツヅタ、ナナカマド、ニセアカシア、ハクウンボク、フウ、ホオノキ、ミズキ、シダレヤナギ	アカマツ、イヌガヤ、カヤ、クロマツ、コウヨウザン、サワラ、スギ、タギョウショウ、トウヒ、ヒマラヤシダ、ヒムロ、モミ
弱		イタヤカエデ、エノキ、カツラ、サルスベリ、フジ、ボダイジュ、ムクノキ	エゾマツ、カイズカイブキ、トドマツ、ネズミサシ

また、日射については、御質問にあるような強い日射への耐性に関する報告はないが、日射の少ない箇所においても、ある程度の生長が可能な耐陰性樹木として、表－3のようなものがあげられる。

表－3　耐陰性のある樹木[1)]

高木	針葉	常緑	アカエゾマツ、アスナロ、イチイ、イヌマキ、カヤ、コウヤマキ、コバノナンヨウスギ、スギ、ストローブマツ、ダイスギ、ドイツトウヒ、ニオイヒバ、モミ、ラカンマキ
	広葉	常緑	オガタマノキ、クロガネモチ、ゲッケイジュ、サカキ、シイ類、シキミ、シラカシ、ソヨゴ、タブノキ、ヒメユズリハ、モチノキ、ユズリハ
中木	針葉	常緑	カイヅカイブキ、コノテガシワ
	広葉	常緑	イヌツゲ、オトメツバキ、カクレミノ、サザンカ、サンゴジュ、シャリンバイ、セイヨウバクチノキ、ヒイラギ、ヒサカキ、マサキ、モコク、ヤツデ、ヤブツバキ
低木	針葉	常緑	キャラボク
	広葉	常緑	アオキ、アセビ、カンツバキ、クサツゲ、クチナシ、コクチナシ、シャクナゲ、ジンチョウゲ、ツゲ、トベラ、ナワシログミ、ハナゾノツクバネウツギ、ハマヒサカキ、ヒイラギナンテン、マメツゲ、マルバシャリンバイ
		落葉	アジサイ、ガクアジサイ、メギ

同じく乾燥に強い樹木としては、表－４のようなものがあげられる。

表－４　耐乾性のある樹木[1)]

高木	針葉	常緑	アカエゾマツ、アカマツ、イヌマキ、オウシュウアカマツ、クロマツ、ゴヨウマツ、トドマツ、モクマオウ（分類学上は広葉樹）、モミ
		落葉	カラマツ、ラクウショウ
	広葉	常緑	マテバシイ、ヤマモモ、ユーカリ
		落葉	イチョウ（分類学上は針葉樹）、クヌギ、コナラ、シダレヤナギ、シラカンバ、デイゴ、ニセアカシア、ネムノキ、ハウチワカエデ、ハンノキ、ヤマボウシ
	その他	常緑	カナリーヤシ、トックリヤシモドキ、ナツメヤシ、ビロウ、ワシントンヤシ
中木	針葉	常緑	カイヅカイブキ
	広葉	常緑	イヌツゲ、ウバメガシ、カナメモチ、キョウチクトウ、トウネズミモチ、ナンテン、ネズミモチ、ヒイラギ、ヒサカキ
低木	針葉	常緑	タマイブキ、ハイネズ、ハイビャクシン
	広葉	常緑	アセビ、トベラ、ナワシログミ、ハナゾノツクバネウツギ
		落葉	アキグミ、エニシダ、ハマナス、ミツバツツジ、メギ

５）分離帯植栽の機能は、交通安全面から見ると、①対向車のヘッドライトの光を遮光する「遮光機能」、②道路の線形を予知させる「視線誘導機能」、③交通弱者である歩行者や自転車を自動車交通から分離し、みだりに車道を横断したり車道に立ち入ることを防止する「交通分離機能」、車道を逸脱する車や、衝突による衝撃を緩和する「衝撃緩和機能」等からなる[3)]。

これらの機能を発揮させる樹種の選定に当たっては、刈り込みへの耐性や、排気ガスへの耐性があるとともに、冬季間においても葉を残す常緑樹の中から選定することが必要である。

また、これらの植栽は、街路景観の主要な構成要素となることから、特に歩車道分離帯等においては修景面からの配慮も必要である。

６）植物が水質改善に寄与する機能は、水中の根等から水質汚濁物質であるＳＳやチッ素、リン等を植物体に吸収・固定することによって発揮されるものであり、繁殖力の高いヨシ、マコモや、セリ、クレソン、ミソハギ等を用いて実際の湖沼水質改善に用いられている事例がある。

しかし、これらも地上部が枯れ、その植物体が水中に入ると、汚濁物質も再び水中に戻るため、地上部を刈り取り外へ持ち出すことが必要となる。なお、樹木の事例は報告されていない。

７）植物の持つ CO_2 の削減効果は、植物体が光合成により大気中の CO_2 を吸収し、糖類の形で植物体内に固定されることによって発揮される。そのため、生長の速度が速く光合成が盛んに行われる植物ほどその効果が高くなる。

また、植物の持つヒートアイランド防止効果は、植物が根から吸い上げた水分を葉の表面から蒸散させる際に周囲から熱を奪うことによって生じるミクロ的な作用と、茂る葉などによって日射を遮り、地表面への熱エネルギーを減少させるマクロ的な作用によって発揮させれる。

そのため、ヒートアイランド化の防止を図るためには、樹種を選定するよりも、ま

ず植物の量を増やすため緑地面積を出来るだけ多くとることが大切である。また、都市域の建築物の密集地帯等空気の流れの起こりにくい所においては、都市内に周辺の海風等を送り込む「風の道」となるように緑地帯を配置するなど、緑地の配置の工夫も必要である。

（緑化生態研究室）

（引用文献）

1）建設省道路局企画課道路環境対策室：道路の樹木、社）道路緑化保全協会，1992
2）岩川信文：樹木は火災を防ぐ
3）社）道路緑化保全協会：道路緑化技術基準・同解説、丸善（株），1988

1. 木質チップによるマルチング

（質問）

緑のリサイクルにより発生する木質チップをマルチング材として活用し、植栽地等の雑草防止等を図りたいが、使用上の留意点をご教示願いたい。

（石川県土木部公園緑地課）

（回答）

緑のリサイクルの普及により、植物発生廃材を利用した木材チップが利用されている。木材チップ化処理（粉砕）の用途としては、敷きならしや堆肥化があり、敷きならしには、マルチング材、クッション材、舗装材などの利用がある。ただし、生の木質チップのマルチングとしての施用については、最近、問題点も指摘されている。ここでは、敷きならし全般について述べる。

（１）効果

①マルチング材

植栽地にマルチング材として敷きならすことにより、マルチング本来の目的（乾燥防止、地面温度の調整、踏圧緩和、表土の浸食や流出防止、雑草防止等）の達成が期待されることに加えて、敷きならしたチップが時間経過とともに土壌化していくことにより、土壌の改善効果が期待される。雑草抑制としては、完全に地面を覆うわけではないので雑草の発生は抑えられないが、除草回数を減ずることはできる。また、チップ材が 30mm 以下であれば、腐食化が進むなかで糸状菌などの発生によりチップ同志が絡み合い、のり面の安定化に効果がある。

②クッション材

遊具周辺にクッション材として敷きならす場合には、安全性や快適性の向上が期待される。また、時間の経過とともに土壌化していくことによる表土の改善も考えられる。ただし、マルチングの場合と異なり、踏圧の影響を受けやすいことに留意する必要がある。

③舗装材

園路や広場に舗装材として敷きならす場合には、歩行感を改善するほか、景観の向上や土壌化による表土の改善にも効果があると考えられ公園などにおいては非常に有効である。ただし、クッション材と同様、踏圧の影響に留意する必要がある。

（２）チップの特性

チップは剪定された樹種、剪定時期、剪定部位、粒度、病虫害などによって、その材質は一定していない。敷きならしにあたっては、適材適所を旨とし、チップの特性（材質）に適した敷きならしのタイプ及び場所について留意することが望ましい。

以下、チップの特性ごとに留意点をまとめた。

①粒度（粗・細）

マルチング材として植栽地に敷きならす場合、チップの大きさによって土壌環境内での

動向が変動することに留意する必要がある。特に回避したいのは、粉状の微細な粒子の多いチップで、不等沈下によって基盤の目詰まりの原因となり、排水不良を引き起こしたり、土壌中で分解する際に多量の酸素を消費する結果、酸欠土壌環境をつくりだし、根の呼吸を阻害することがある。施用地が排水不良地の場合にはこの影響が特に大きいので、微細粒子を除去するなどの配慮が必要となる。

粒度の粗いチップの場合、刺やささくれが出やすいので、子供用の遊器具周辺へクッション材として敷きならすことや、子供の遊び場となる広場等へ舗装材として敷きならすことは避ける方が無難である。

②剪定時期と部位（夏期・冬期、木部・葉部）

一般的に、夏期剪定においては葉部が、冬期剪定においては木部が主体となりやすい。夏期剪定からの葉部主体のチップは、土壌化が比較的容易に進行しやすいことから、マルチング材としての利用に適しているが、この場合、葉部からは粉状の微細なチップが生成されやすい点に留意する必要がある。また、冬期剪定からの木部主体のチップは、主としてクッション材または舗装材としての利用に適しているといえる。

③樹種（芳香・悪臭、健康増進・阻害、防虫等）

樹種に関しては、その性質によって粉砕の難易さによる粒度の違いや剪定の時期による部位の違い（木部または葉部のどちらが多いか）など、様々な要素がかかわってくるが、ここでは、樹種による「におい」や「健康」等、人間への影響との関連から述べる。

樹木の快い香りが精神的ストレスや不安を解消し、健康増進に役立つことは森林浴の効果としても広く知られるようになってきているが、芳香をもつ樹木のチップも快適な敷きならし素材として活用できる。快適な芳香を持つ樹種のチップを敷きならす場合は、その効果を充分期待できるよう、人の利用を前提としたクッション材や舗装材として、ぜひ活用したい。樹木の芳香のもとである精油含量の多い樹種としては、針葉樹ではトドマツ、スギ、ヒノキ、ニオイヒバ、広葉樹ではクスノキ、ヤブニッケイ、タブノキ、シキミなどがある。

逆に、樹木の悪臭についてであるが、問題となるのは、樹木本来のにおいよりも、木の成分が微生物などにより分解された結果生じる悪臭の場合が主である。木材利用の上で南洋材の一部で問題となる場合が知られている程度で、剪定枝葉のチップで問題となることはほとんどないと考えられる。ただ、日本産材でもブナやナラ等の偽心材部分（丸太内部が病的な原因により着色し心材状になった部分）は立木の状態ですでに悪臭を発することも多いといわれる。仮にチップの悪臭が問題となりそうな樹種の場合については、人の利用を前提としない植栽地のマルチング材とすることで解決する。

④病虫害等（健康木・病虫害木）

病虫害による被害木のうち、最もチップ化利用されているのは、マツノザイセンチュウによるものである。念のためにくん蒸処理した上でチップ化している場合もあるが、直接チップ化して敷きならしている場合もある。いずれにしてもクッション材や舗装材など、二次被害のないような利用方法がとられることが望ましい。

また、マルチング利用による病虫害の発生としては、全く発酵させていない生の木質チップは、土壌病害の温床となる可能性がある。これらの土壌病菌に一度侵されると普通防除は極めて困難であると言われている。病虫害としては、ヒメコガネ幼虫などの根切り虫の温床となることが考えられる。大木は根切り虫により枯死することはまずないが、低潅木や若木は根切り虫が大量に発生すると衰退したり枯死したりすることもある。不快虫の発生については、関東地方ではヤスデの大量発生などが報告されている。

（３）施工

①施工圧

マルチング材は現在、雑草防止効果や通気不良を起こさず、好気発酵をするために、5～ 10 ㎝程度の厚さで敷きならしていることが多い。ただし、大量の生チップの植栽地等への大量施用や、水のたまりやすい場所、湿地への施用は、樹木等の生育に障害となる場合があるので注意する必要がある。土壌病害や窒素飢餓等の障害を防ぐためには、落葉や枯草と混ぜたものをごく薄く敷く程度に抑えることが重要である。また、根元がかくれるほど厚く敷くと根元部分に病害虫のため穿孔害が発生しやすくなるため、樹木の根元には施用しないことも病虫害防除のためには重要である。

クッション材、舗装材は、概ね 10 ㎝の厚さで敷きならしていることが多い。ただし、遊具周辺のクッション材として敷きならす場合、利用が煩雑で踏圧も受け易いため、遊具周辺では、やや厚め（10 ～ 15 ㎝）に敷きならす傾向にあり、また、毎年補充することが多い。

②基盤の状態と施工方法

敷きならしたチップが基盤土壌になじみ、チップ敷きならしによる効果が充分に発揮でき、速やかな土壌化が図られるように、施工にあたっては、基盤土壌に応じた施工方法を選択することが望ましい。

・固結基盤での敷きならし

固結した基盤に直接敷きならされたチップは、基盤土壌とのなじみが良くない。固結基盤では表層の水分も不足し、乾燥気味であるためにチップと土壌がなじみにくく、チップの腐熟、土壌化も進みにくいことから、チップ敷きならしによる土壌の改善効果やクッション効果も機能しにくい。

このため、固結基盤への敷きならしにあたっては、事前に基盤を浅く耕すなどの処置を行い、チップと土壌とのなじみを良くすることが望ましい。

・傾斜地での敷きならし

平坦地への敷きならしにおいても、排水溝等に接する部分ではチップが詰まったり流出することのないように注意する必要があるが、傾斜地の場合は特に、排水施設等に支障のないよう留意する。

敷きならされたチップは、糸状菌等の働きによってまとまるので、傾斜地でも安定することが確認されている。ただし、チップの材質が木部主体で粗かったり乾燥気味であるなど、糸状菌等の発達しにくい場合や、基盤が固結している場合、人の利用が多く蹴散らし

を受けやすい場合などでは、敷きならしたチップの安定性を保てない恐れがある。

そこで、傾斜地での敷きならしにあたっては、安定しやすい材質のチップを使う、基盤を事前耕起する、などに留意する。

ただし、道路等ののり面では、路面等への流出、飛散防止のために、チップ施工の上から粘着材を散布している場合もある。

また、マウンド状の植え込み地に敷きならす場合では、植え込み地の外縁に草類の植栽を施して表層のチップの外部流出を防止するのも効果的である。

③水はけと利用改善

施用場所としては、元々排水上の問題があるような場所への施用は、雨では過保水になりぬかんだり、水みちが出来てしまうことがあるため、基盤の水はけの悪いところへのチップ敷きならしは行わないことが原則で、基盤自体の水はけを改善してから施用することが望ましい。

しかし、水はけが悪いというわけではなく、降雨や霜の後、土が乾くまでのあいだ、ぬかるんだり滑りやすいなどの理由で利用しにくい園路や広場においては、チツプを敷きならすことによって利用改善が可能である。

（4）管理上の留意点

チップ敷きならし後は、以下の点に留意することが望ましい。

①養分バランス

チップの施用は、炭素供給源としての効果がある反面、大量の場合、窒素とのバランスを崩して窒素飢餓（注：生の木片や樹皮には窒素が極めて少量しか含まれておらず、分解菌は菌体を作るために土壌中の窒素をほとんど全部消費してしまい、植物は窒素を利用できなってしまう。これを窒素飢餓という。）をおこしてしまう恐れもある。必要に応じて窒素分を補充するなどして、有機質成分のバランスを調整することが望ましい。

②清　掃

排水溝などの排水施設に蹴散らされたチップが溜まって支障の出ることのないよう、落葉落枝等と同様、清掃時に注意する必要がある。

また、もともと利用者が出すゴミの散乱しやすいような場所での敷きならしは避けた方が無難である。

③更新（補充）のサイクル

基盤土壌の状態やチップの材質（表－１参照）にもよるが、敷きならされたチップは、３～５年で土壌化していく。

利用の頻繁な遊器具周辺で、クッション効果を期待するには毎年の敷きならし（補充）が必要と考えられるが、園路広場等においても、景観に配慮して、適宜、更新していくことが必要と思われる。

植栽地のマルチング材として敷きならした場合は、クッション材や舗装材としての敷きならしに比べて、景観上の問題は少ないと思われるが、マルチング効果や土壌改良効果の必要性に応じて、チップの土壌化の状況や養分バランスに留意しながら更新（補充）して

いくことになろう。

④夏期の乾燥注意

乾燥期の火事の問題があるので注意が必要である。

表－1　木本原料の分解にかかる期間の比較表

区分	期間	該当する植物
落葉広葉樹	短	アカシデ、アカメガシワ、アジサイ、アメリカフウ、ウメ、エノキ、エンジュ、クヌギ、クリ、ケヤキ、コナラ、コブシ、サクラ、シダレヤナギ、トウカエデ、ナナカマド、ナンキンハゼ、ネムノキ、プラタナス、ホオノキ、ポプラ、ミズキ、ムクゲ、ムクノキ、モミジ、ユリノキ、リョウブ、レンギョウ、ヤナギ、ニセアカシア、カキ、ハナミズキ、サワグルミ
常緑広葉樹	短	イヌツゲ、オオムラサキ、ツツジ、カクレミノ、カシ、キンモクセイ、サカキ、サンゴジュ、ジンチョウゲ、スダジイ、ヒイラギ、マサキ、マテバシイ、モチノキ、ヤツデ、ヤマモモ、ホルトノキ、スドウツゲ、ヒラドツツジ、シャリンバイ、アラカシ、シラカシ、トベラ、アベリア、サザンカ、ツバキ
	長	アセビ、クスノキ、タブノキ
針葉樹	長	アカマツ、カイズカイブキ、カヤ、クロマツ、スギ、ドイツトウヒ、ヒノキ、ヒマラヤスギ、イチョウ

出典：植村誠次編著、昭和43年、廃材堆肥－その製法と使い方－、(社)全国林業改良普及協会

藤原俊六郎、昭和63年、神奈川県園芸試験場研究報告第36号

藤原俊六郎、加藤哲朗著、1990年、ベランダ・庭先でｺﾝﾊﾟｸﾄ堆肥、(社)農山村漁村文化協会

（参考文献）

1）植物発生材堆肥化の手引き～緑のリサイクルの実現を目指して～

（平成 10 年６月　監修：建設省　都市局公園緑地課、河川局河川計画課、道路局道路環境課　　編集：社団法人　道路緑化保全協会）

2）緑化樹木の生育評価技術に関する調査　植栽基盤に関する試験調査　報告書

（平成７年 11 月　建設省関東地方建設局　関東技術事務所）

3）緑を創る植栽基盤－その整備手法と植栽事例－

（輿水　肇、吉田博宣編　ソフトサイエンス社）

4）植栽の設計・施工・管理（中島　宏：財団法人　経済調査会）

5）植物性発生材の有効利用に資するチップ敷きならしの効果に関する調査報告書

（平成７年 11 月　アゴラ造園株式会社）

6）緑地における剪定枝条チップのマルチングの得失について

（堀　大才：グリーンエイジ第 25 巻８号）

（緑化生態研究室）

2. 河川管理に伴う刈草及び伐採樹木の処理方法

（質問）

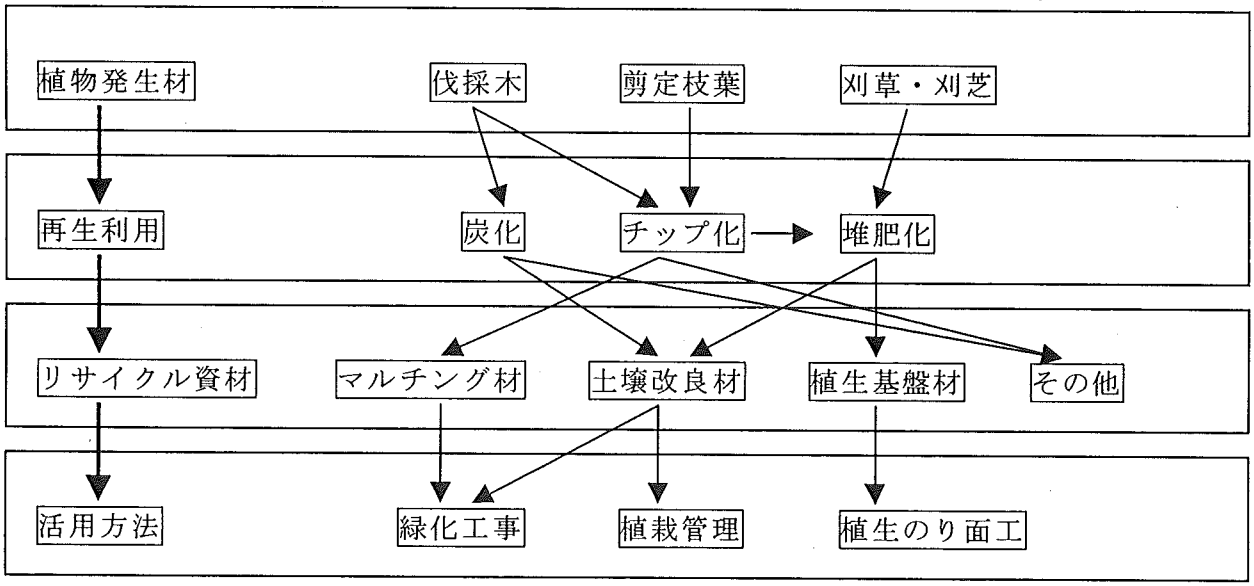
河川管理に伴う刈草や伐採樹木の処理方法について最新技術の動向や先進事例についてご教示願いたい。

（阿賀川工事事務所）

（回答）

緑地管理により発生する刈草や伐採樹木については、従来は沿線の農家に飼料として利用してもらったり、焼却場で処分するケースが多かった。しかし、これらの植物発生材は有用な資源であり、マルチング材や堆肥等としてリサイクルすることにより、廃棄物の減量化、環境への負荷の軽減を行っていく必要がある。

これら植物発生材のリサイクル方法及び活用方法は以下のとおりである。



（１） チップ化

伐採木、剪定枝葉等の木質系の発生材を細かく裁断、破砕したものを植栽樹木等のマルチング材として利用するものである。植栽樹木の根からの水分の蒸発の防止、雑草の侵入による被圧防止として効果がある。

（２） 堆肥化

木質系の発生材をチップ化したもの及び刈草・刈芝を裁断したものを堆積発酵させ、土壌改良材等として利用するものであり、以下の製造工程で実施される。

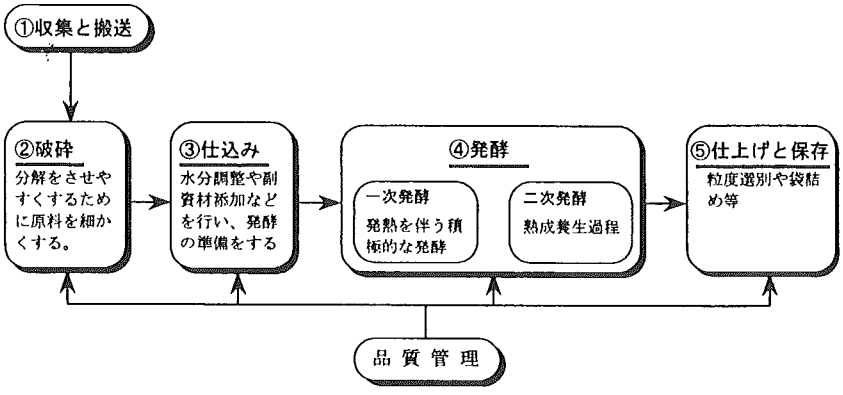


図　　堆肥の製造工程

堆肥化の方法は、従来農家等で行われてきたいわゆる“野積み”（堆積発酵方式）、や通気・発酵促進装置を有する密閉型の装置を用いる方法（屋内発酵槽方式）等、様々な方法があるが、大別すると以下の３つの方法に区分される。

表2-10　処理発酵装置の分類と特徴

区分	①堆積発酵方式	②横型発酵槽方式	③立て型発酵槽方式
1. 特徴	●堆肥化実験で採用された最もシンプルな方式。 ●山型・台形・畝型などヤードの形状に応じた形で堆積する。 ●切り返しはショベル等が用いられる.	●長方形の発酵槽の中で堆肥化する。 ●発酵槽の中で機械的に移動しながら切返しする。 ●人力がほとんどいらない。	●コンパクトで機能的な構造。 ●槽の内部が何層かに区切られており自然落下しながら発酵する。 ●通気・発酵促進機能を有する密閉型の装置。
2. 課題点	●開放型なので臭気やほこりを防ぐ必要がある。	●屋内に設置できるが開放型なので臭気や埃の対策が必要。	●故障しやすく、外部から見つけにくい。 ●施設費・維持費がかさむ。
3. 建設費用	安い	高い	高い
4. 維持費用	安い	高い	高い
5. 必要面積	大きい	中規模	小さい
6. 発酵時間	長い	短い	短い

出典：松崎敏秀、平成５年、土と堆肥と有機物、(社)家の光協会

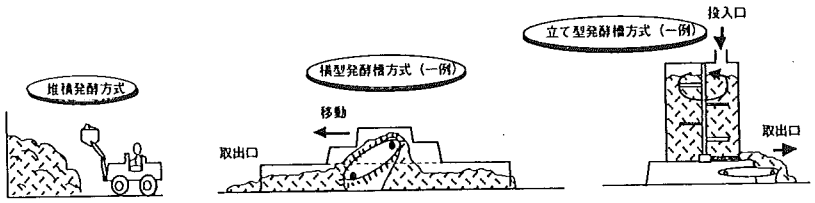


図　　処理発酵装置のイメージ例

堆積発酵方式では、堆積物を攪拌する作業（切返し）や散水作業等を専用で行う装置・機械も開発されている。また、立て型発酵槽方式では、発酵過程を密閉型の発酵槽で行い、発酵を促進させる資材等の添加、水分調整、攪拌等の作業を全自動化したものもある。処理地の面積が限られていたり、住宅地が近くにあり発酵臭が拡散する可能性があり、屋外での堆肥化が困難な場合には、このような方式を検討する必要がある。

また、処理施設の規模に関しては、小規模な施設を分散して設置する方式（小規模分散方式）と、広い範囲から大量に集められた植物発生材を大規模な施設で堆肥化する方式（大規模集中方式）がある。

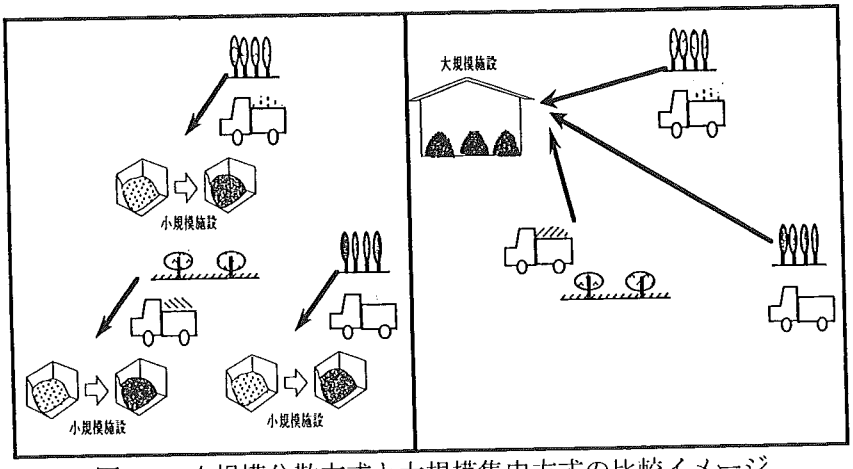


図　　小規模分散方式と大規模集中方式の比較イメージ

発生場所が集中し、かつ発生量が多い場合は大規模集中方式が有利であるが、発生場所が分散し、大規模集中方式では運搬費が嵩む場合は、発生場所近くに小規模な施設を多数設置する方が有利である。

なお、植物発生材の堆肥化については、「植物発生材堆肥化の手引」（平成 10 年６月、監修：建設省都市局公園緑地課・河川局河川環境課・道路局道路環境課、編著：（社）道路緑化保全協会）が発刊されているので詳細はこれによられたい。

※参考（各堆肥化方式の事例）

	堆積発酵方式 （野積み方式）	発酵槽方式 （通気・発酵促進装置付）
大規模集中方式	・横浜市グリーンコンポストプラント ・ＪＨ潮来ＩＣプラント 等	・大阪市緑のリサイクルセンター ・京都市コンポストステーション ・ＪＨ河口湖ＩＣプラント 等
小規模（分散）方式	・関東地建東京国道工事事務所堆肥化プラント他各地建試験プラント 等	・ＪＨ鮎沢ＰＡプラント（建設中） 等

（３）　炭化

伐採木等の幹部を小割にし炭化することにより木炭や土壌改良材として利用するものである。製炭炉等の施設が必要となる。

（緑化生態研究室）

3. 緑化工法(「のり面再緑化の事業手引き」)の適用範囲

(質問)

既設道路のり面の景観・環境保全のため、平成８年３月に（財）道路保全技術センターから発行された「のり面 再緑化の事業手引（案)」は、新設のり面にも適用できると思われるが、土木研究所の見解をご教示願いたい。

(福島県 建設技術研究所)

(回答)

本手引（案）は、「１．１ のり面再緑化事業の手引（案）作成の目的及び適用範囲」にも記載があるように、既設の道路のり面のうち、

・モルタルやコンクリート吹付けのり面

・急傾斜、岩盤等の緑化条件の厳しいのり面

・緑化が施されたが、植生の維持が困難で裸地化や植生衰退が見られるのり面

等、地山の勾配や土質、気象条件等により、緑化が施されなかった（成功しなかった）のり面のうち、のり面の安定上支障がない場合に、景観の向上及び周辺環境との調和を目的として再緑化を行う際に適用されるものである。

従って、記載されている工法については、緑化が困難な生育基盤を改善することが前提にあるため、人工的な植生基材を厚く吹き付ける厚層基材吹付工や植物の生育に適した環境を整えるための緑化基礎工（のり枠、編柵、植生擁壁等）を併用した播種工、苗木植栽工が主体となっている。

新設のり面でも、本手引（案）の適用範囲に該当し同様の工法を採用する場合も考えられるが、地山の条件が上記条件ほど厳しくない場合（緩勾配である場合、造成基盤の土壌硬度が低い場合等）は、本手引（案）では取り上げられていない種子散布工や客土吹付工、緑化基礎工を行わない苗木植栽工等の工法が採用できる（逆に、本手引（案）で記載の工法を行うと過剰投資になる)。

よって、本手引（案）は新設のり面における緑化については、先に述べた条件では十分に参考になるものではあるが、すべての条件を満たしているわけではないことを念頭に置かれたい。

新設のり面の緑化の適用については、「道路土工 のり面工・斜面安定工指針 昭和 61年 （社）日本道路協会」が発行されているので、これを参照されたい。なお、同指針も現在、最新の知見に基づき改定作業中であり、のり面緑化についても防災上の観点だけでなく、景観・環境保全を考慮した樹林化手法についての記述を充実させる予定である（改定作業中につき、詳細は、土木研究所 緑化生態研究室に確認されたい)。

(緑化生態研究室)

4. 多自然型護岸の施工後イメージを表現できるシステム開発

（質問）

多自然型川づくりを行う上で、工事完成時の画像より施工５年後の画像が予測できるシステムの開発ができないかどうかご教示願いたい。

（富山工事事務所）

（回答）

土木施設の計画・設計・施工にあたり、景観への配慮は重要事項の一つである。そのため、施設の建設に際しては、事業の各段階において周辺環境との調和を視覚的に予測・評価する必要がある。景観予測を行う場合、部分的な修正が容易で代替案が作成しやすいことや、視点を自由に移動できることなどから、コンピュータグラフィックス（ＣＧ）の利用が有効である。そこで、当研究室では、地建事務所等の職員が手元のパソコンで手軽に使える「建設省版景観シミュレーションシステム」の開発を進めてきた。本システムは、背景写真と３次元構造物の合成表示機能や、フル３次元ＣＧの中での自由な視点移動機能を有し、添付のデータベースを使って容易に景観画像を作成することができる。また、材料の経年変化データを用意することにより、景観の時間的な変化をシミュレーションできるようになっている。現行バージョンでは、塗料の退色、樹木の季節変化、都市計画条件の変更に伴う街並みの変化のシミュレーションが可能であるが（図－１）、同様に多自然型川づくりの材料となる植物等の成長データを作成し、本システムに組み込むことによって、施工後の経年的な変化の予測が可能である。データの作成にあたっては、樹種や葉の成長率などのパラメータを設定することにより、植物学的に正確な樹木、草、花などの３Ｄオブジェクトを作成する植物のモデリング専用ソフトなども市販されているので、それらを利用する方法もある。



図－１　樹木の季節変化による景観シミュレーション例

建設省版景観シミュレーションシステムの機能や操作方法等については、先般各地建の工事事務所等に配付した「景観シミュレーションシステム操作マニュアル」を参照されたい。また、本システムに関する関連情報は、研究室のインターネットホームページ（http://www.pwri.go.jp/japanes/organization/environ/kankyo/index.htm）上でも順次提供していくので参考にしていただきたい。

（環境計画研究室）

5. 新たな環境圧としての河川舟運の河川生態系への把握及びその保全対策

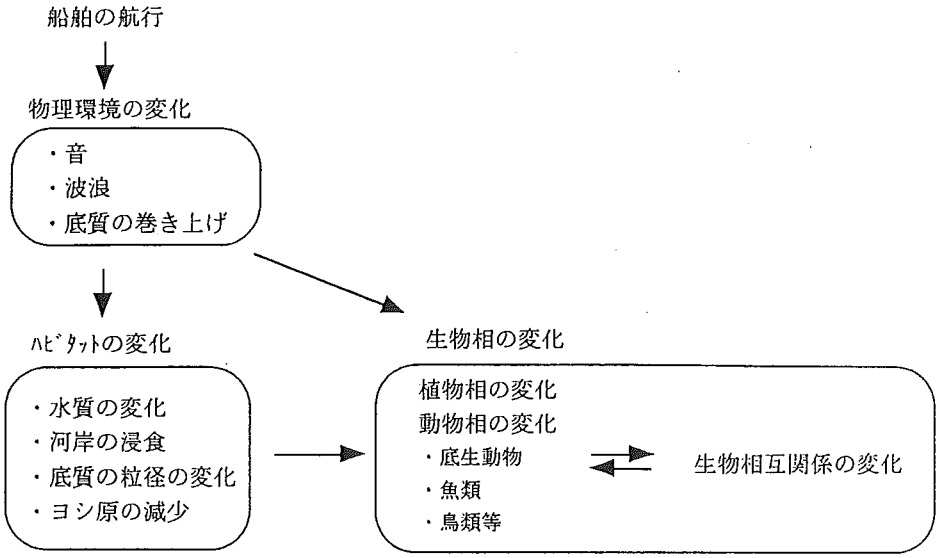
（質問）

信濃川下流ではｳｫｰﾀｰｼｬﾄﾙを運行する計画などがあり、今後河川舟運が盛んになることが予想されるが、舟運を新たな環境圧として捉えた場合、生態系へどのような影響を及ぼすか不明であり、その調査はどのような方法で実施したらよいか御教示願いたい。

（信濃川下流工事事務所）

（回答）

船舶が航行することにより発生する物理的なインパクトは、波浪、底質の巻き上げ、スクリュウ音等が考えられる。これらの物理的なインパクトが生態系にどのような影響を与えるかについては体系的に研究した事例がなく不明な点が多いが、模式的に表すと図－１にようになる。



図－１　船舶の航行により発生する影響項目とその因果関係

① 物理的なインパクトがハビタット（生物が生息する場、例えば、河岸植物帯等）を改変し、それを介して、間接的に生物相に影響を与えるケース

② 物理的なインパクトが直接生物相に影響を与えるケース

である。前者の例としては、波浪が河岸植生を破壊、河岸浸食を引き起こし、魚類等の産卵場や休息場が失われ、その結果魚類の現存量や種構成へ影響を与えることが考えられる。後者の例としては、濁度増加に伴う光量低下と生産力の低下、また、濁りによる魚類の逃避等が挙げられる。海外では、河岸浸食の問題だけでなく、船舶が河床のシルト質堆積物を巻き上げチョウザメの産卵場に影響を与える問題、沼沢地における濁度の増加に伴う藻類の減少の問題等が報告されている。

予測の手法としては、船舶航行により波浪や濁度等がどのように変化するかを把握し、次に、これらの物理量の変化がどのようなハビタット（生物生息空間）の変化、生物相の変化を生み出すかを明らかにすることが手順となる。予測に必要な調査は、既往の知見を収集するところから始まる。文献収集だけでなく既に船舶が航行している河川の関係者へのヒアリングも有効である。次に、船舶航行前の事前調査を行い、その後実験的に船舶を航行させて具体的な影響を調査する。実験では短期的な影響しか把握できないため、船舶運航後長期的なモニタリングが必要である。実験では船舶の速度だけでなく、船舶の長さや航行場所により環境への影響度が異なることに注意する。以下に具体的な調査方法を示す。

① 物理量調査

船舶が航行に伴う波浪の変化、底質の巻き上げに伴う濁度の増加、光量の減少等の測定を行う。底質の巻き上げは船舶が引き起こす流れが底層まで達して起きるので、鉛直方向の流速分布と船舶の長さや航行速度との関係も明瞭にしておくと、対策（例えば、水深が小さい場所は航行速度を抑える）を考える際の基礎的資料となる。

② ハビタット（生物生息空間）調査

河川におけるハビタット（生物生息空間）は大きく水域、水際域、陸域の３つに分類できる。ハビタットの変化としては、水域では船舶の航行に伴う静穏域の消失、水際～陸域では波浪による河岸の浸食と植生の変化等が挙げられる。

ハビタット調査の方法としては、空中写真や低高度空中写真（ラジコンヘリコプターや気球から撮影したもの）の判読、現地調査がある。どの方法にも向き不向きがあるが、水際線の変化という限定された箇所の調査であれば、低高度空中写真の判読により水際線の位置と植生を中心とした地被の状態を概略把握し、これを元に現地調査を行い河岸の形状や植生の状況を調査すると効率的である。ハビタット調査結果はハビタットマップとして整理する。ハビタットマップには、事前に当該区間に生息する魚類や鳥類を文献により調べ、生活史の各段階（例えば、産卵場や営巣場等が重要）でどのようなハビタットを利用するかを明確にし、ハビタットマップに記入する。

③生物相からのアプローチ

生物相の調査は原則として底生動物、魚類、鳥類について行う。いずれについても分布、種構成、可能なものについては行動も把握する。底生動物、鳥類は比較的容易に調査できるが、魚類は水深が大きくなると定量的に採捕する手法がないのが現状である。最近は個体に電波発信器や超音波発信器を付けこれを追尾し魚類の行動を把握する方法、高精度の魚群探知機により魚類の生息分布を把握する方法等が開発され、このような区域の調査も可能となりつつある。

これらの調査から図－１の中のどの項目が変化したかを明確にし、次に、物理量、ハビタット、生物相の３要素について変化した各項目間の因果関係を検討し、船舶航行の影響予測を行う。尚、具体的な調査方法や予測方法については一度土木研究所にご相談いただきたい。

（河川環境研究室）

6. 河川におけるCO_2削減手法

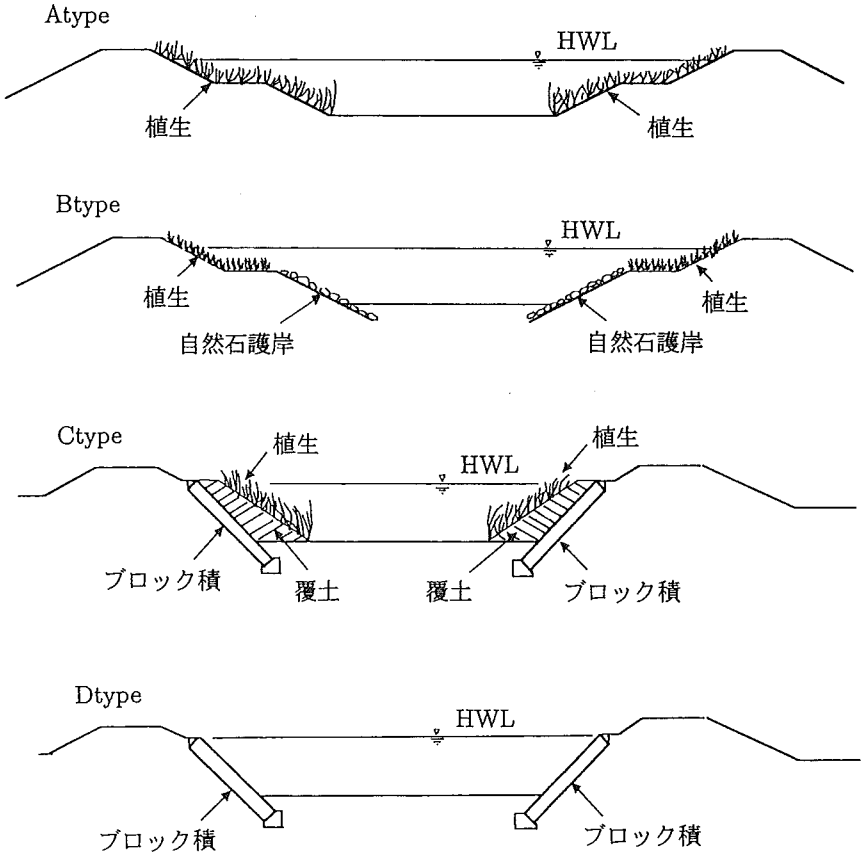
（質問）

近年CO_2による地球温暖化が世界規模で社会問題となっている。このような状況の中、河川の果たせる役割等についてご教示願いたい。

（阿賀川工事事務所）

（回答）

建設業におけるCO_2排出量は全産業比率で約 23%、そのうち、土木事業をみると約 10%の排出量となっている。また、土木事業のなかで河川改修事業の占める割合は 3.7%、全産業比で 0.4%となっており、河川改修事業で排出するCO_2はコンクリート系資材が約 73%を占めている。さて、河川局では平成９年度から七箇年計画で自然を活かした川づくりを推進し、約 50%の河川でコンクリートを使わない川づくりを行う予定である。また、植物が繁茂することによるCO_2の吸収も期待でき、CO_2の削減といった観点からも、河川が果たせる役割は大きい。ここでは、第９次治水事業七箇年計画における「自然を活かした川づくり」を取り上げ、その削減効果を具体的に説明する。



図－１　４タイプの横断図

工種	種別	単位	数量	CO2原単位（トン/単位量）	CO2発生量（トン）
土工	掘削	m3	41000	3.21E-04	13.2
	築堤	m3	41000	2.83E-04	11.6
	運搬	m3	8000	8.76E-04	7.0
法覆工	法面整形	m2	38000	4.72E-04	17.2
	張芝工	m2	26000	3.05E-04	7.9
	筋芝工	m2	12000	1.81E-04	2.2
水替工	水替工	式	1	5.01E+00	5.0
その他	運搬	式	1	6.48E+00	6.5
小計					70.6
植物による固定量	26000×2.4/1000				-62.4
合計					8.2

表－１　AタイプのＣＯ$_2$排出内訳

工種	種別	単位	数量	CO2原単位（トン/単位量）	CO2発生量（トン）
土工	掘削	m3	46000	3.21E-04	14.8
	築堤	m3	41000	2.83E-04	11.6
	埋戻し	m3	5000	5.09E-04	2.5
	締固め	m3	5000	2.17E-04	1.1
	運搬	m3	8000	8.76E-04	7.0
護岸工	自然石護岸	m2	13000	1.69E-03	21.9
	吸出防止材	m2	13000	1.15E-02	148.9
法覆工	法面整形	m2	38000	4.72E-04	17.9
	張芝工	m2	18000	3.05E-04	5.5
	筋芝工	m2	12000	1.81E-04	2.2
水替工	水替工	式	1	5.01E+00	5.0
その他	運搬	式	1	2.40E+01	24.0
小計					262.4
植物による固定量	18000×2.4/1000				-43.2
合計					219.2

表－２　BタイプのCO_2排出内訳

工種	種別	単位	数量	CO2原単位（トン/単位量）	CO2発生量（トン）
土工	掘削	m3	72000	3.21E-04	23.1
	築堤	m3	58000	2.83E-04	16.4
	埋戻し	m3	14000	5.09E-04	7.1
	締固め	m3	14000	2.17E-04	3.0
	運搬	m3	26000	8.76E-04	22.8
護岸工	基礎コン	m	2000	2.65E-02	53.1
	天端コン	m	2000	9.15E-02	183.0
	ﾌﾞﾛｯｸ積	m2	14000	9.06E-02	1,268.4
法覆工	法面整形	m2	47000	4.72E-04	22.2
	張芝工	m2	18000	3.05E-04	5.5
	筋芝工	m2	15000	1.79E-04	2.7
水替工	水替工	式	1	5.01E+00	5.0
その他	運搬	式	1	1.63E+02	162.7
小計					1,775.0
植物による固定量	18000×2.4/1000				-43.2
合計					1731.8

表－３　CタイプのCO_2排出内訳

工種	種別	単位	数量	CO2原単位（トン/単位量）	CO2発生量（トン）
土工	掘削	m3	64000	3.21E-04	20.6
	築堤	m3	58000	2.83E-04	16.4
	埋戻し	m3	6000	5.09E-04	3.1
	締固め	m3	6000	2.17E-04	1.3
	運搬	m3	18000	8.76E-04	15.8
護岸工	基礎コン	m	2000	2.65E-02	53.1
	天端コン	m	2000	9.15E-02	183.0
	ﾌﾞﾛｯｸ積	m2	14000	9.06E-02	1,268.4
法覆工	法面整形	m2	32000	4.72E-04	15.1
	張芝工	m2	4000	3.05E-04	1.2
	筋芝工	m2	15000	1.81E-04	2.7
水替工	水替工	式	1	5.01E+00	5.0
その他	運搬	式	1	1.60E+02	160.0
計					1,745.7

表－４　DタイプのCO_2排出内訳

第９次治水事業七箇年計画における河川整備は、「自然を活かした川」を目指した以下の４タイプで行うこととしている。

Ａ：植生による川

Ｂ：コンクリートを使わない川（石、木材の利用等）

Ｃ：コンクリートの見えない川（覆土等）

Ｄ：コンクリートの見える川（従来工法）

Ａ～Ｄの断面を図－１のように仮定しCO_2の排出量を算定した。尚、具体的な算出方法については、土木技術資料 40.6、「自然を活かした川づくりによるCO_2排出量の削減」を参考としてほしい。

まず、４タイプにおいて、１km を施工した場合の CO２の排出量を表１～４に示す。

①　Ａタイプ

Ａタイプで施工すると表－１のとおりで、施工よる排出量は 70 トンであるが、草本類により 62 トンのCO_2が吸収されると考えられるため、合計８トンの排出となる。工種の主なものは土工と法覆工で、施工による排出の大部分が施工現場での燃料消費によるCO_2の排出であった。

②　Ｂタイプ

Ｂタイプで施工すると表－２のとおり、施工による排出が 262 トン、植物による吸収で 43 トン、

合計 219 トンの排出量となる。今回の算定では排出量の大半を吸出防止材が占めており、工法を検討することにより、さらにCO_2の排出を減らすことが可能である。

③　Cタイプ

Cタイプで施工すると、表－3のとおり施工による排出が 1,775 トン、植物による吸収が 43 トン、合計 1,732 トンの排出量となる。排出量の大部分は、姿川の事例と同じくコンクリート系資材による護岸工によるものである。Cタイプは、Dタイプで施工したあと覆土を行うため、施工による排出量はDタイプより大きくなるが、植物によりCO_2固定されるため、合計の排出量はDタイプより若干少なくなる。

④　Dタイプ

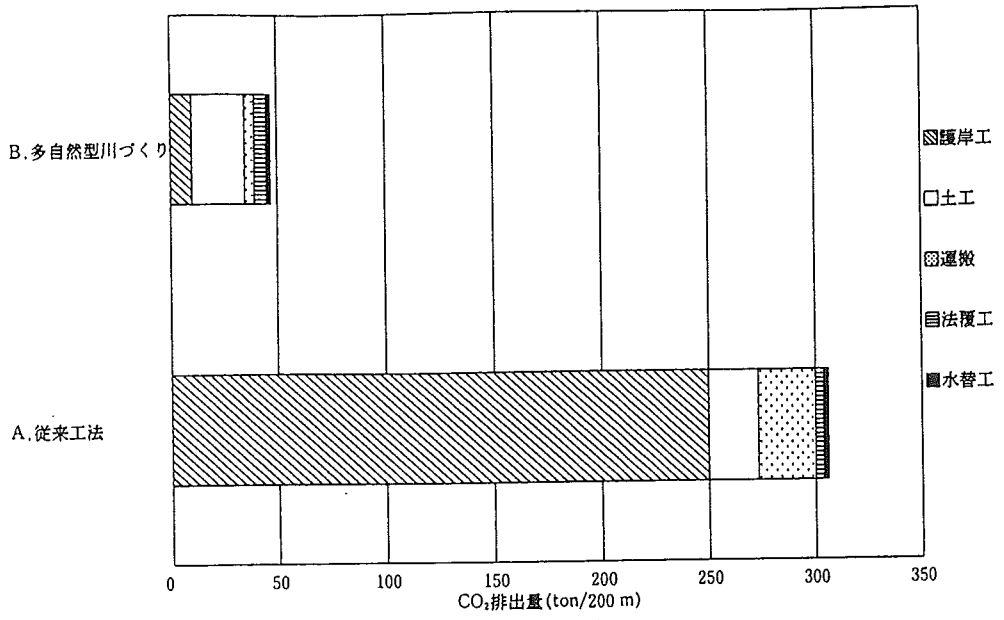
Dタイプで施工すると、表－4のとおり合計 1,746 トンの排出量となる。Dタイプでは植物による吸収量を見込んでいないため、最もCO_2の排出量が大きくなった。

表－5は、算出した4タイプのCO_2の発生量に、七箇年計画に揚げられているタイプ別の整備延長を乗じてCO_2発生量を求めたものである。これによりすべて従来工法で行った場合に比べ約 48%（617万トン）のCO_2の排出が削減されると予測される。

表－5　各タイプのCO_2削減量

タイプ	CO_2排出量原単位(t/km)	整備延長(km)	CO_2削減量(t)
A：植生による川	8	2,300	(1,746－8)×2,300＝400万 t
B：コンクリートのない川（石・木材等）	219	1,400	(1,746－219)×2,300＝351万 t
C：コンクリートの見えない川（覆土）	1,732	2,000	(1,746－1,732)×2,300＝3万 t
D：コンクリートの見える川	1,746	1,600	0万 t
計		7,300	617万 t

図－2　姿川多自然型川づくりによるCO_2排出量



以上のように、「自然を活かした川づくり」を推進することにより河川事業における大幅なCO_2の削減が見込まれる。これは、まず第一に、製造時のCO_2発生量が大きいコンクリート系資材を控えたこと、が最も大きな理由で、これに伴って、資材の運搬量の減少に伴うCO_2の削減、また、僅かではあるが土工量が減少しここでもCO_2が削減されている。また、植生が繁茂することによるCO_2の吸収を見込むと、削減量は更に増加し、タイプAの場合、ほとんどゼロとなる。

コンクリート系資材は強度が大きく治水上必要な場合もあるが、自然をうまく利用できる場合には、積極的にこれを取り入れることによりCO_2を大幅に削減することができる。今後の川づくりは、単に生物の生息空間の確保だけでなく、地球環境問題にも関わる重要な問題と言える。

（河川環境研究室）

7. 道路整備とCO_2排出量との排出量との関係

（質問）

道路整備（バイパス、交差点の立体化等）やＴＤＭ施策により、交通渋滞を解消・緩和し自動車の旅行速度を向上させることで、自動車の排出ガス（主にＣＯ２）を削減することが可能と思われる。

今後、道路整備の必要性を国民にご理解をいただく上でも、道路事業を進めることで環境対策にも十分役立っていることを広く国民にＰＲしていくことが重要。

そのためにも、個々具体の事業について、旅行速度の向上を算出し、排出ガス量の算定を簡便に行えることが必要。

また、算出した量がわかりやすく、理解しやすいよう樹木に換算（例えば、○○ ha の森林に相当、△△野球場の５倍の面積の森林に相当　など）するようなことができれば、非常にＰＲしやすいと考える。

そこで具体的なＣＯ２の算出方法や森林等への換算などわかりやすい指標等についてご教示願いたい。

（道路部道路計画第二課）

（回答）

道路交通から排出されるＣＯ２排出量の削減施策としては、バイパスの整備や交差点改良等による旅行速度の向上や、ＴＤＭ施策、物流の効率化等による交通量（走行台キロ）の削減などがある。ここで、旅行速度とＣＯ２排出原単位の関係は図１の算出例の通りであり、渋滞等により旅行速度が低い現状においてはバイパスの整備や交差点改良等により旅行速度を向上させることによりＣＯ２排出量が削減される。

ＣＯ２排出量は、対象範囲の道路について、当該道路整備やＴＤＭの実施等の効果を考慮して交通量（走行台キロ）や旅行速度の変化を算出し、それに旅行速度別のＣＯ２排出原単位を乗ずることにより算出される。この際、施策の効果を把握するためには、将来の交通需要の伸びによるＣＯ２排出量の変化も考慮する必要があるため、道路整備等の施策を実施した場合としない場合のＣＯ２排出量の差を算出することが必要である。

ここで、一般的には、交通量配分により将来交通量及び旅行速度を推計するとともにＴＤＭ等の施策の効果を考慮することとなるが、交通量配分に膨大な作業量を要するという問題がある。また、施策の効果については個々の施策の内容に応じて、既往の事例等を参考にしつつ検討することとなる。

ＣＯ２排出量及び道路整備等施策による削減量は通常ＣＯ２の炭素換算重量（kg-C）等として表されるが、理解を促進するためにプレゼンテーション効果の一つとしてわかりやすい適切な指標を用いて表現することは、目的に応じて適宜検討すべきものである。

例えば、削減されるＣＯ２排出量を、その量のＣＯ２が燃焼により発生するだけのガソリンの量で表現する方法などがよく用いられる。ガソリンの平均発熱量を 8.4kcal/cc[1]、Ｃ

Ｏ２排出原単位を 0.0765g-C/kcal[2]として計算すると、ガソリン１ﾘｯﾄﾙ燃焼当たりのＣＯ２排出量は２．４kg/lとなる。

また、樹林のＣＯ２固定量に関しては、シラカシ、ケヤキ、ユリノキなど９種の樹木を対象とした調査結果に基づく試算によると、樹高別ＣＯ２固定能力（累積固定量）は表１の通りである[3]。これより、例えば樹高１０ｍの場合１ｍ²当たり１５．７ｋｇの固定量となる。但し、樹林の固定量は樹種、植栽の密度等によりかなり異なる。また、樹林に固定されているＣＯ２の量は累積固定量（ストック量）であるのに対し、道路整備等の施策により削減されるＣＯ２の量は通常「１年あたり○○Ｋｇ」といったフロー量として捉えられるものである。従って、指標として用いる場合には、樹木の１年間の成長により固定されるＣＯ２というように試算の条件を明確にするなど、誤解を招かないよう表現に留意する必要がある。

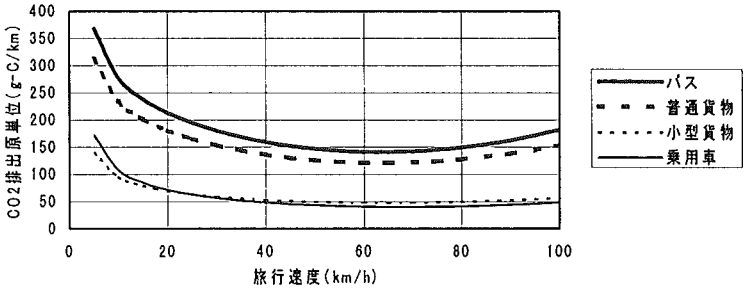


図１　旅行速度とＣＯ２排出原単位の関係の例

表１　樹高別ＣＯ２固定能力の試算結果[3]

樹高 (m)	樹冠投影面積 (m²)	二酸化炭素固定量 (kg･CO2)	面積当固定量 (kg･CO2/m²)	変化量	空間当固定量 (kg･CO2/m³)	変化量
3	1.1	2.4	2.2		0.7	
				2.7		0.3
5	6.0	29.3	4.9		1.0	
				3.7		0.2
7	18.1	155.7	8.6		1.2	
				7.1		0.4
10	58.4	916.3	15.7		1.6	
				5.6		0.2
12	105.5	2,246.7	21.3		1.8	
				9.8		0.3
15	220.5	6,856.8	31.1		2.1	

注）面積当固定量＝二酸化炭素固定量÷樹冠投影面積
　　空間当固定量＝二酸化炭素固定量÷（樹冠投影面積×樹高）

参考文献

1)資源エネルギー庁長官官房企画調査課編,総合エネルギー統計（平成９年度版）,1998

2)（財）運輸経済研究センター,運輸部門からのＣＯ２排出抑制調査報告書,1994

3)森崎,「緑化樹木によるＣＯ２固定量の推定について」,都市緑化技術,No.30,pp.22-25,1998

（交通環境研究室、緑化生態研究室）

8. 海岸構造物の景観設計

（質問）

海岸構造物において，周辺景観との調和を図るための景観設計の手法及び検討事例について御教示願いたい．

（福島県相双建設事務所）

（回答）

本来，海岸景観は当該海岸全体を対象として，自然環境を良好に保ちつつ計画された保全計画に基づいて創出されるべきである．したがって，海岸構造物単体でなく海岸全体を見る視点に立ち，個々の施設について周辺景観との調和を図るために種々の工夫を行うことが必要である．

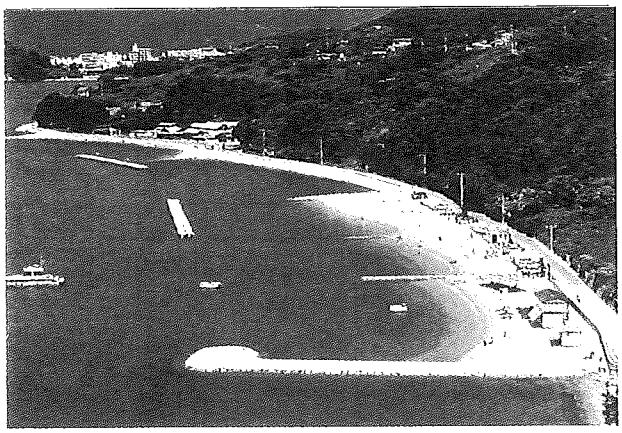
ところで，現状では海岸景観に配慮した海岸保全計画の立案手法はなく，海岸保全施設の整備時における担当者の判断に任されている．そこで，ここでは，周辺海岸との調和を図るための設計の判断材料として，海岸景観に配慮して建設された海岸構造物の事例（宇多・伊藤，1992）をいくつか紹介する．

富山県雨晴海岸は能登半島国定公園内に位置し，天平時代より白砂青松の景勝地として人々に親しまれてきた．このため，海岸整備に関しては自然石を埋め込んだ4割勾配の階段式護岸が採用され，天端に木製ベンチが設置されるなど，極力天然の材料を用いて自然景観に調和させる試みがなされている（写真－1）．



写真－1　富山県雨晴海岸（1990年7月）

香川県瀬戸海岸は瀬戸内海国立公園内の小豆島に位置する．防災を目的とした階段式護岸・突堤・離岸堤を施工して養浜が実施された．国定公園としての環境が考慮され，周囲の自然環境に調和するように，瀬戸内海の青い海や緑の島に対して映える白砂を基調とした整備がなされている（写真－2）．



写真－2　香川県瀬戸海岸（1990年）

青森県東田沢海岸は陸奥湾の湾奥に位置し，浅虫夏泊県立自然公園内という恵まれ

た環境にあることから周辺の自然景観に溶け込むような海岸整備が行われた．緩傾斜堤の法線は海岸線に合わせた曲線形とし，突堤は極力自然石を用いて造られた．突堤と緩傾斜堤の曲線が美しい幾何学的輪郭を形成している(写真－ 3)．滑らかな構造物形状はデザイン的には良好であるが，この海岸は陸奥湾の中にあるため波浪が小さく，突堤間の海水が滞留しやすいのが難点である．また，このような滑らかな海岸構造物のデザインについては灘岡ほか(1993)も提唱している．



写真－ 3　青森県東田沢海岸(1990 年 7 月)

各海岸の自然条件はそれぞれ異なるから，ここで示した事例はあくまで参考として利用し，地先海岸に最も適合した海岸保全施設を考えていく努力が必要とされる．

参考文献

宇多高明・伊藤弘之(1992)：海岸景観に配慮した海岸保全施設の事例集，土木研究所資料，第 3138 号，26p.

灘岡和夫・星野文夫・田端竹千穂・児玉勝美・小野信良(1993)：CG を用いた人工海浜景観設計の試み－「自然に学ぶ」デザインコンセプトの提案－，海岸工学論文集，第 40 巻，pp.1146 － 1150.

(海岸研究室)

1. 急流河川の洪水時における河床変動量の把握

（質問）

急流河川における洪水継続中の河床変動の観測手法についてご教示願いたい。

（高田工事事務所）

（回答）

洪水中の河床変動観測については、セグメント２－２河川を中心に音響測深機を搭載したラジコンボートによる観測手法[1]が実用化されており、全国の多くの河川で観測が進められています。しかしながら、セグメント１の急流河川では流速や水面変動の問題から、ラジコンボートによる河床変動観測は困難であり、別の観測手法を新たに開発する必要があります。

急流河川での過去の河床変動観測事例としては、レンガ法やリング法[2]による手法があげられます。レンガ法は色付きのレンガを河床に柱状に埋設し、洪水時に流失した深さを洪水後に測定することによって、洪水時の洗掘深を調べる手法です。リング法は、河床に打ち込んだ杭に鋼製のリングをはめて河床面に置き、洪水時にどこまで洗掘されたかをリングの降下で測定する方法です。これらの手法を導入する場合には、予め洪水時に洗掘される範囲、深さを予測してレンガや杭を埋設する必要がありますが、特に深さについては洗掘深以上に埋設する必要があります。このため、事前の準備が大がかりになりますし、埋め戻されたレンガやリングの探査が容易でないことや洪水中の時系列の変化が分からないといった問題もあります。

この他の手法としては、H鋼を河床に打ち込みこれに取り付けた光電管センサーによって河床洗掘を検知する方法や、光ファイバーなどのケーブルを河床に埋設し、洗掘が進んだ時点で露出したケーブルの範囲をひずみやケーブルの切断などの形で信号に変えて検出する方法も考えられます。これらの方法であれば、洗掘が進行する過程については時系列に検出することが可能ですが、ケーブルの埋設を考えると、適用できるのは河岸に近い部分に限られ、面的な観測は難しいのではないかと考えられます。

以上のように、急流河川の河床変動観測には確立された手法がないのが現状であり、現場で必要とする情報の種類や河道条件に応じて、既存の手法を導入して改良を加えるか、あるいは試行錯誤しながら新たな手法の開発をしていかなければならないと言えます。

これらの他、間接的に河床変動を把握する方法として、砂州の動態を空中写真により調べる方法があります。急流河川では、表面流速分布や水面状態から砂州の位置とその動きが追跡しやすいと期待されます。この方法は洗掘深そのものを測定するものではありませんが、急流河川の河床変動の多くは砂州の移動に起因しますので、砂州の移動を把握することで河床変動の概略を知ることができます。

（河川研究室）

（参考文献）

１）木下良作：無人ラジコンボートによる洪水流解析、ＡＣＶの研究 vol.28、1997

２）建設省河川局治水課・土木研究所：局所洗掘に関する研究、第３６回建設省技術研究会報告、1982

2. 急流河川におけるコンクリート構造物の損傷、摩耗対策

（質問）

急流河川のコンクリート構造物は、激しい洪水流、転石や流木等のエネルギーにより、コンクリート表面の摩耗、ひび割れ、陥没等の損傷が著しく、数年毎に補修を繰り返している状況にある、そこで、抜本的対策として構造物表面に新素材を活用した損傷・摩耗対策、補修頻度の低減及び補修作業の効率化による維持管理作業の縮減等を検討する必要があり、現状における対策として考えられる工法について御教示願いたい。

（富山工事事務所）

（回答）

コンクリートは、強度及び施工性、経済性にすぐれ、河川構造物にも多く用いられている。しかし、コンクリートは摩耗に対する耐久性はそれほど高くはなく、大きな粒径の砂利を河床材料に持つ急流河川に設置されている砂防ダムや堰の寿命は緩流河川のコンクリート構造物に比べ短い。コンクリートの摩耗に最も影響を与える要因は洪水中の砂礫の衝撃力であり、摩耗速度はその衝撃力、つまり砂礫の粒径と通過量及び流速に対応すると考えられる。一般的なコンクリートの摩耗対策は、一つはコンクリートの摩耗量を見込んだ上で予め摩耗代を設けておく方法、二つ目は摩耗が生ずる可能性がある箇所に予め耐摩耗性の高い部材を設けておく方法である。後者については、耐摩耗材の使用による事例がいくつかあるが、河道条件に応じた対策工の設計手法はまだ確立されておらず、コンクリートに代わる素材としてどのようなものが適切かは、それぞれの適用場所の状況を踏まえて、効果とコストとの関係を考慮して個々に検討しなければならない段階にある。これについてはNo. 32の質問の回答結果を参照されたい。

以上のような“材料”の側からの直接的な対応策の他に、摩耗の原因である砂礫等の衝撃力を低減させることも考えられ、ここでは、流水によって運ばれる砂礫等の衝突や摩擦等の外力自体を低減させるように流れをコントロールしたり、構造物の形状を工夫する方策も考えられよう。以下では、こうした観点からの留意点を述べる。

1)摩耗外力を集中させ、そこだけしっかりした対策をする。

例えば、水衝部を固定してその部分だけ構造物の強度を高くして、トータルコストの低下と強度増大をはかることも考えられる。砂州の移動を止めることによって水衝部を固定させて（河道法線の平面形状によって、砂州の移動をある程度コントロールが可能、参考文献１）、そこの護岸及び水制等だけに素材として耐摩耗性の高いものを用いれば、コスト的にも有利と考えられる。

2)摩耗外力の過度な集中を起こさせない。

床固は、摩耗外力を一箇所に集中させ他の箇所を護るという意味で、上記1)に沿った方策と言える。しかし、急流河川で摩耗外力が非常に大きくなり、構造物そのものだけでなく取り付け部周辺の河床が著しく侵食され、構造物全体の安定性に影響を及ぼす可能性が

高くなる等、限定された箇所といえども対応が困難になる。したがって過度な外力集中箇所を容易に作らないという視点も重要である（参考文献２）。

3)コンクリート部分に摩耗外力を直接作用させない工夫。

コンクリート表面の摩耗外力を直接作用させない工夫がコンクリートの摩耗および周辺河床の洗掘の観点から重要となってくる。例えば、水叩きや護床工の形状の工夫によって上流から流下してくる礫と礫を衝突させることによって直接コンクリートへの摩耗外力を作用させないようにすることも可能である。

以上のような対応策でも摩耗を必ずしもゼロにすることはできないが、流れをコントロールすることによって砂礫等の衝撃力を軽減させ摩耗外力を低減するという視点を導入することは、材料の側からの視点と合わせることでより有効な方策となる可能性を持っている。但し、急流河川ほど外力が局所的に大きくなり易く、流れのコントロールによって流れが偏り、堤防や河岸での新たな水衝部が形成されて治水上問題となることがないように、河道全体の平面形状（法線形状）や砂州の移動状況等も考慮した上で対応策を講ずるべきと考える。

参考文献

１）山本晃一：沖積河川学、pp.144-146、1994.9.

２）山本晃一、高橋晃、長谷川賢一：信濃川大河津信濃川大河津分水路水理模型実験報告書、土木研究所資料2902号、pp.203-240、1990.2.）

（河川研究室）

3. 簡易な氾濫シュミレーションモデル

（質問）

現在河川、砂防では想定被害区域の設定にあたっては、氾濫シミュレーションにより検討しているが、計算の実施にあたっては相当な労力及び時間を要している。労力及び時間を要しない計算のやり方、またＧＩＳ等を利用して簡易なシミュレーションができないかどうか御教示願いたい。

（湯沢砂防工事事務所）

（回答）

河川に関係するシミュレーションには氾濫シミュレーションモデル、砂防に関係するシミュレーションには土石流氾濫シミュレーションモデルがあるが、回答希望のある前者について説明する。

1．既存のモデルについて

氾濫シミュレーションモデルには表－１に示す１次元モデル（貯留関数法、マスキンガム法、簡易一次元不定流モデル）と２次元モデル（二次元不定流モデル、開水路ポンドモデル・氾濫ポンドモデル・越流ポンドモデル（以下ポンドモデルと称する））がある。

計算に労力・時間を要する順番は①二次元不定流モデル、②ポンドモデル、③１次元モデルであり、この順番が計算精度の高さの順番ともなる。因みに平成５年以降に作成された洪水氾濫危険区域図（134河川）において利用された計算モデルは二次元不定流モデル（52%）、ポンドモデル（28%）、不等流モデル（17%）、簡易一次元不定流モデル（２%）などであった（図－１）[1]。すなわち、計算精度の高いモデルが利用されている傾向にある。しかし、ポンドモデルでも一定の精度の計算結果は得られるし、砂防河川区間で氾濫水が河川沿いを流下する場合などは、一次元の不等流モデルにより計算しても問題はそれほど大きくなることはない。

建設省技術研究会において調査した結果によると、河道及び流域情報の収集・整理から準備計算、プログラムの作成までの所要日数は二次元不定流モデルの場合、１次元モデルの約２倍を要する。またコンピュータによる演算時間（ｃｐｕ）は二次元不定流モデルの場合、１次元モデルの６～15倍である[2]。

2．計算手法上の工夫

上記以外の計算労力を減らす方法として、計算時間は流域を分割するメッシュ数によるので、メッシュサイズを工夫する方法がある。計算精度、メッシュ間の標高差、メッシュ内データ数等を考慮すると、基本的にはメッシュサイズは250m以下とすべきである[3]。しかし、計算時間を節約するために、問題のない範囲でサイズを大きくすることを検討する。

表－１　氾濫モデルの各項の比較

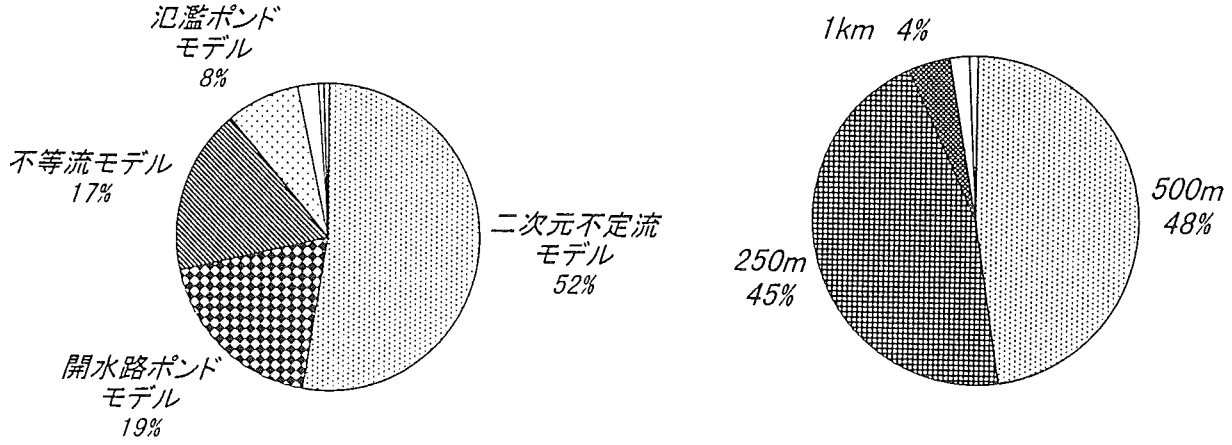
各項 / 氾濫モデル	開水路非定常流式の各項					
	加速度項	慣性項		水面勾配項		抵抗項
	第１項	第２項	第３項	第４項	第５項	第６項
貯留関数法	×	×	△	×	○	○
マスキンガム法	×	×	△	△	○	○
簡易一次元不定流モデル	×	×	×	○	○	○
越流ポンドモデル	×	△	△	○	○	△
氾濫ポンドモデル	○	×	×	○	○	○
開水路ポンドモデル	○	×	×	○	○	○
二次元不定流モデル	○	○	○	○	○	○

ここで、１次元の開水路非定常流式は以下の通りである。

$$\frac{1}{gA}\cdot\frac{\partial Q}{\partial t}+\frac{Q}{gA^2}\cdot\frac{\partial Q}{\partial x}-\frac{Q^2}{gA^3}\cdot\frac{\partial A}{\partial x}+\frac{\partial h}{\partial x}-i_b+\frac{n^2|Q|Q}{A^2R^{4/3}}=0$$

（第１項）　（第２項）　（第３項）　（第４項）↑（第５項）　（第６項）

注）氾濫モデルの概要及び式中の変数については、各々参考文献4)、1)を参照のこと



＜氾濫モデル＞　　＜メッシュサイズ＞

図－１　洪水氾濫危険区域図におけるモデル、メッシュサイズ

例えば、メッシュ幅を２倍にすると、演算時間は1/6～1/8となる[4]。また、計算機の機種別では、例えば3000メッシュの氾濫計算（二次元不定流モデル）を行う場合、パソコンで10時間、ワークステーションで１時間を要するのに対して、大型計算機では５分で計算できるので、総合的に見て労力・時間を要しない機種を選択することもできる。ただし、何れの機種による計算でも計算を開始するまでの準備に30～40分を要することに留意する必要がある。

労力を減らす方法としては、上記以外の方法でデータの収集労力を減らす方法がある。例えば、流域の地盤高データは縮尺1/2500又は1/5000の都市計画図から求めている場合が多いが、国土地理院が作成している「50mメッシュデータ」を採用する方法があるし、被害額の算定には国土数値情報の３次メッシュデータ（約１km四方）をメッシュの大きさにあわせて、比例配分して利用する方法がある。ただし、50mメッシュデータの利用にあたっては、特に山沿いの地盤高の精度が低い場合があるので、注意を要する[5]。

３．ＧＩＳの利用

最近は各種ＧＩＳシステム（地理情報システム）が作成されているので、これを活用するのも一案である。ＧＩＳは緯度・経度に対応させて、各種データベースを重ね合わせるシステムであり、防災ＧＩＳには都市河川研究室で開発した「ハザード・シミュレータ[6]」がある。ＧＩＳに数値地図などのデータを組み込めば、ＧＩＳ上で計算ができ、氾濫水の拡散・流向・流速などを表示できるだけでなく、国土数値情報を利用すれば時刻毎の水害被害額等の表示も可能となる。ＧＩＳデータを組み込むことを考えて、氾濫計算を行う際に緯度・経度に合わせて流域をメッシュ分割しておくと、データの取り込みが容易になる。

ＧＩＳの問題点はデータ更新に労力を要することであり、ＧＩＳの活用にあたってはシステムの作成計画だけでなく、長期間にわたる更新計画も同時に策定しておく必要がある。

＜参考文献＞

1)3)5)栗城・末次・海野・田中・小林：氾濫シミュレーション・マニュアル（案）－シミュレーションの手引き及び新モデルの検証－、土木研究所資料、第3400号、1996年
2)建設省治水課・土木研究所：流出・流下形態の変化に伴う洪水被害軽減対策に関する研究、第38回建設省技術研究会、1984年
4)山本・末次・桐生：氾濫シミュレーション（２）、土木研究所資料、第2175号、1985年
6)栗城・末次・小林：ハザード・シミュレータの水防・避難活動への活用、土木技術資料、Vol.37、No.11、1995年

（都市河川研究室）

4. 人工リーフの効果把握調査

（質問）

近年，全国的に中小河川において人工リーフを用いた河口処理対策が行われていると思われますが，その効果を把握するための具体的な調査，解析及び評価方法について御教示願いたい．

（羽越工事事務所）

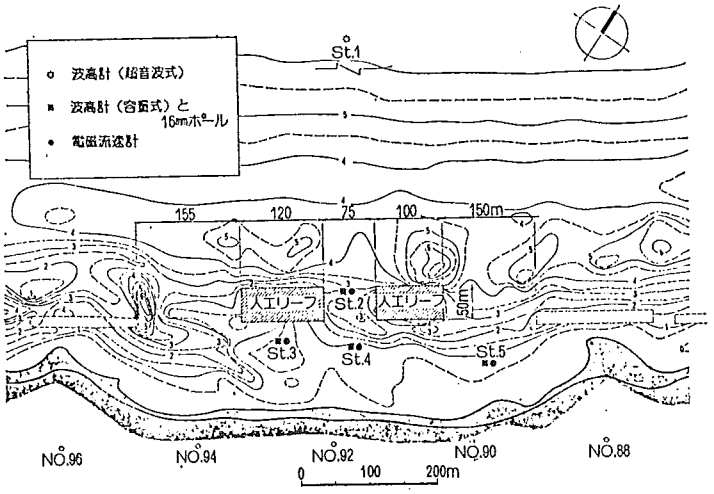
（回答）

中小河川の河口砂州は，河川の作用が弱く，主として波による底質の打ち上げ作用により発達していると推定される．このため，河口砂州の砂州高の低減を図り，洪水時のフラッシュを促進する人工リーフによる河口処理は，導流堤などの代替案として有力と考えられ，いくつかの河口海岸で検討されている（宇多ほか，1994；1996；1998a）．しかし，河川や河口部周辺海岸の状況によっては，ほかの河口処理工が効果的な場合もある（宇多ほか，1998b）．したがって，個々の河川ごとに，各々の河口処理工の比較や以下に示す内容について十分な検討を行う必要がある．

①深浅測量，波浪観測，底質調査等による海浜変形特性，漂砂特性の把握，②数値計算や実験による波浪変形，流況，海浜変形の検討，③不等流計算や実験による河川の流下能力，越水等の検討，④洪水による人工リーフ周辺の洗掘と安定性の調査検討，⑤塩水遡上・河川への波浪の遡上や生態系などの環境に及ぼす影響の調査検討，⑥砂州フラッシュ後の河床変動に関する調査検討，⑦導流堤等の他の河口・河道処理手法との比較検討．

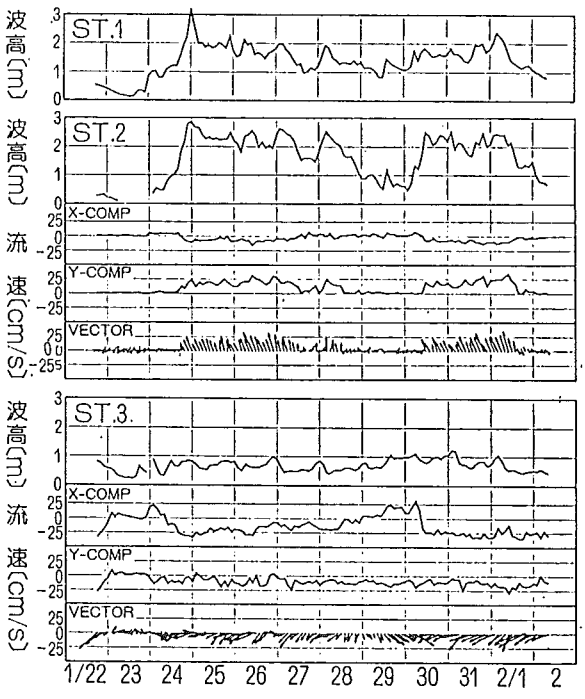
最終的には以上の技術的な検討に投資効果を加味し，環境への影響などを総合的に検討して河口処理工を採択する．

人工リーフ周辺の波浪変形などに関する現地調査は，新潟海岸や糸魚川海岸で行われている（浜口ほか，1988；1989，宇多ほか，1990；1991）．ここでは，人工リーフの効果に関する調査事例として，新潟海岸において行われた現地観測の概要を述べる．観測は1987年1月22日～2月2日に人工リーフ周辺で計測機器を図－1に示すように配置して行われた．沖波をSt.1で，人工リーフの前面の波をSt.2で，背後の波をSt.3で



図－1　計測機器の配置

観測した．その結果を図－２に示す．St.1 と St.2 の観測結果を比較すると，St.1 で波高が約２ｍを越える場合をのぞいて，浅水変形で St.2 では波高が大きくなっている．また，St.2 と St.3 の観測結果を比較すると，人工リーフによる砕波現象で St.3 の波高が小さくなっている．St.3 ではほとんどの場合で岸向きの流れが生じていることも分かる．人工リーフ背後で波高が小さくなると，前浜のバーム高さが低くなるから河口処理を行う場合は利点となる．しかし，リーフ背後で岸向きの流れがほとんどの場合で生じることは，河口砂州がフラッシュされた後の河川の流れと干渉し，流下能力が低下する可能性もある．また，砂州の高さや海底地盤の変動に関しては，測量時期の違う深浅測量結果の比較により検討することができる．なお，図－２に示した波，流れに対応する地盤変動は，光学式の自記式砂面計により計測が可能である．



図－２　波，流れの計測結果

参考文献

宇多高明・森下　譲・早津誠一(1990)：糸魚川海岸における人工リーフ周りの波，流れ，漂砂の現地観測，海岸工学論文集，第 37 巻，pp.489 － 493.

宇多高明・浅香恵則・湯田　寛(1991)：糸魚川海岸における人工リーフ周りの波，流れ，漂砂の現地観測(2)，海岸工学論文集，第 38 巻，pp.151 － 155.

宇多高明・高橋　晃・水魔嘉幸・高木利光(1994)：人工リーフを用いた河口処理工の検討，海岸工学論文集，第 41 巻，pp.506 － 510.

宇多高明・皆本重雄・五十嵐新治・柿市勝重・大森真二郎(1996)：人工リーフを用いた河口処理工の検討－乙大日川の河口を例として－，海洋開発論文集，Vol.12，pp.439 － 443.

宇多高明・小林総一・五十嵐新治・柿市勝重・大森真二郎・黒木利幸(1998a)：河口導流堤の延長に伴う河口周辺海岸の海浜変形，海洋開発論文集，Vol.14，pp.209 － 214.

宇多高明・大石守伸・長縄知行・浅野　剛・山路功祐(1998b)：静岡海岸に流入する大谷川放水路の河口処理に関する検討，海洋開発論文集，Vol.14，pp.215 － 220.

浜口達男・宇多高明・井上　力・五十嵐晃・中山　修(1988)：人工リーフの波浪制御効果に関する現地実験，第 35 回海岸工学講演会論文集，pp.128 － 132.

浜口達男・宇多高明・市ノ瀬栄彦・五十嵐晃(1989)：新潟海岸の人工リーフの沈下実態調査，海岸工学論文集，第 36 巻，pp.128 － 132.

（海岸研究室）

5. 河川管理施設における空洞化調査法

（質問）

河川管理施設（鋼矢板・コンクリート護岸背面、樋管基礎下面）の空洞化調査に際して、河川巡視員や出張所職員等により、コストを要せず、簡便かつ正確に空洞化実態を確認できるような手法がないか、御教示願いたい。

（富山工事事務所）

（回答）

樋門・樋管などの河川管理施設周辺地盤やコンクリート護岸背面の空洞化調査する手法としては、まず台帳調査や現地踏査を行い、その後、連通管試験や各種の非破壊探査法による調査を行うことが考えられる。

現地踏査においては、樋門・樋管の内面のクラックや翼壁との接合部の亀裂状況、補修跡などを観察し、台帳による補修履歴なども踏まえて、周辺地盤内部の変状を推定するものである。

連通管試験は、樋門・樋管の底版下または堤体上部から構造物近辺に２孔以上削孔（ボーリングおよびサウンディングも含む）を行い、１孔に注水しその水圧変動が他の孔に与える影響を観察することにより、水みちや空洞の連続性の状況を判断する手法である。

非破壊探査法は、適用できる手法として電磁波レーダ、比抵抗、弾性波などがあるが、樋門・樋管の底版直下や護岸背面の空洞探査には、電磁波レーダによる探査方法が適用性が高く、施工研究室では、土木研究所資料第 3547 号の中に「地中レーダによる空洞探査の手引き（案）」としてとりまとめている。しかしながら、電磁波レーダによる探査は、間接的な調査手法であることと、得られる画像から地盤の変状等を推測・判断するためには、専門的な知識と熟練した経験が必要であるため、電磁波レーダ探査だけで地盤の変状を判断することは難しい。また、調査費用も樋管一基あたり、解析や対策工法の検討も含めると¥3,000,000 程度になるため、コスト高である。

これに対し、連通管試験の場合、底版の削孔から試験、解析まで含めても¥1,000,000 程度であり、電磁波レーダ探査の 1/3 程度で調査可能である。

各調査手法の特性を考慮すると、現地踏査により構造物および周辺地盤の変状を把握し、電磁波レーダなどの非破壊探査法により変状反応が抽出された箇所を中心に連通管試験を行うことによって調査精度の向上が期待できるが、現状では、安価で簡便かつ確実性の高い連通管試験を効果的に行うことによって、水みちや地盤変状を把握することが妥当である。また、連通管試験で使用した孔は、補修・空洞充填のためのグラウトホールや河川巡視員の観測孔として活用可能である。

（施工研究室）

6. 樋管下の空洞調査

（質問）

「地中レーダによる空洞探査の手引き（案）」（土研資料第 3547 号　H10.3）がとりまとめられたが、ＲＣ構造物に関する適用範囲を広げる見通しはあるのか。
また、今後どのような現場にて適用性を確認し、改良、普及を図っていくのか御教示願いたい。

（北陸技術事務所）

（回答）

上記の土研資料は、電磁波レーダによる空洞探査への適用性について、これまでに施工研究室が土木研究所構内で行った室内実験、実大規模実験の結果および現場事例の結果を参考にとりまとめ、巻末に「地中レーダによる空洞探査の手引き（案）」として示したものである。実験レベルであれば、鉄筋間隔が狭く軸筋及びらせん筋を有するヒューム管、あるいは底版に厚みのあるﾎﾞｯｸｽｶﾙﾊﾞｰﾄであっても、電磁波を効果的に透過させ背面の空洞を捉えることが確認できている。しかしながら、この結果は構造物の仕様が明確で地盤も均一であるような良好な探査環境での見解であり、実現場での適用範囲とは必ずしも一致しない。実現場での適用に際しては、事前に台帳調査や目視調査など充分な情報収集を行った上で、レーダ探査の検討を行うべきである。また、レーダ探査は、間接的な調査方法であるため、代表的な空洞反応が得られた箇所において試掘確認することが望ましい。

これまでの実験での検討では、レーダのＲＣ構造物への適用範囲は下記の表の通りであり、実現場では、空洞の中に水が満たされていることやその他の不確定要因が予想されるため、更に適用範囲が限定されるものと考えられる。このため、調査ニーズのある工事事務所や技術事務所と連携を図り、実現場において適用性を確認するとともに、装置の改良や上記の手引き（案）の改訂を行いたいと考えている。

RC構造物 ＼ 中心周波数	ボックスカルバート		ヒューム管	
	配筋間隔(ダブル)		配筋間隔(シングル)	
	150mm (厚さ300mm程度)	100mm (厚さ300mm程度)	65mm (厚さ50mm程度)	35mm (厚さ50mm程度)
500MHz	○	×	○	×
1GHz	◎	○	◎	×

＊◎:推定可能,○:条件により可能,×:不可能

（施工研究室）

7. 海岸部に設置されるゲート設備のワイヤーロープの安全性の確認方法

（質問）

ワイヤロープ交換の判定は、外径測定と素線切損の確認により行っているが、内部腐食による場合の検証方法がないことから苦慮している。そこで、内部腐食を含む有効なワイヤロープの寿命判定方法についてご教示願いたい。

（信濃川下流工事事務所）

（回答）

ワイヤロープは、中心部に油を含浸した繊維を巻き込み、内部に含んだ油がロープの張力の変化等によってにじみだし、素線に油分を供給することによって内部潤滑と防錆効果を発揮している。さらに、外部にはシーブ等との潤滑を主目的としたグリースが塗布され、外部からの錆を防いでいる。しかし、長期間使用していると、内部の油分が涸渇し、そこに酸化物質が浸入するとロープ内部で酸化が進み、外見上は変化が無いにもかかわらず破断に至ることがある。

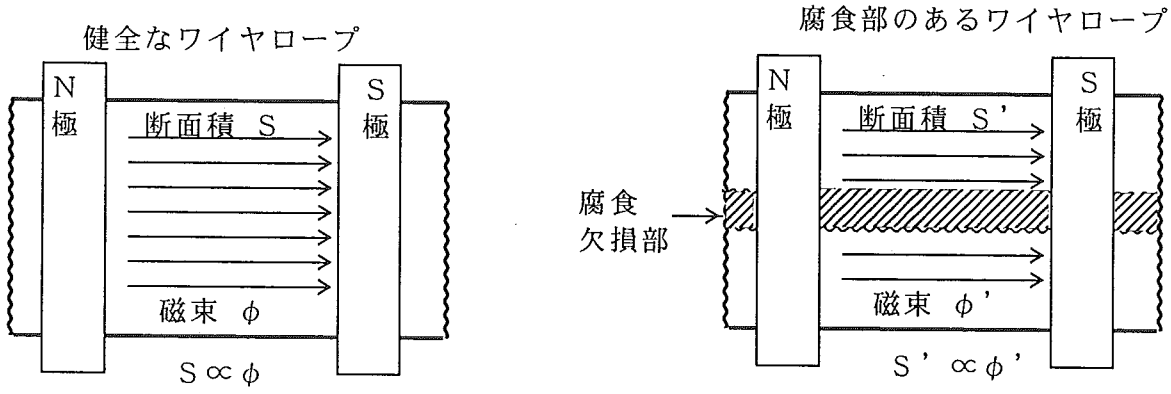
現在、ワイヤロープの交換に係る目安は、ダム・堰施設技術基準において、「ワイヤロープの寿命の判定は、素線数の 10%を超える断線またはワイヤロープ公称径の 7%を超える細りが生じることによって行う。ワイヤロープの寿命に関する要因としては摩耗、腐食、麻心の油切れ及び疲労がある。」とされている。また、クレーン等安全規則等では、ロープ総素線数（フィラー除く）の 10%以上の素線が破断したもの、直径の減少が公称径の 7%を超えるもの、キンクしたもの、著しい形くずれ・腐食のあるものの使用を禁止している。

このダム・堰施設技術基準の値はクレーン等安全規則を準用したものであるが、頻繁に使用されるクレーン等では上記の様な内部からの腐食は問題となりにくいため、質問の様なケースは想定していない。しかし、ダム・堰では使用頻度が少ないため、現実的には細りによる交換は少なく、使用年数や外部の発錆等に対応して交換しているのが実状である。そのため、海浜部等では今回質問のケースが起こる可能性がある。

この様なケースに対しては、ロープ張力を開放したうえで、ワイヤロープ開索治具等で開索し、ロープ内部を直接目視し、発錆の有無を確認する方法があり、最も確実ではある。しかし、頻繁に行うとロープを痛める恐れがあり、定期的に行うことは困難である。

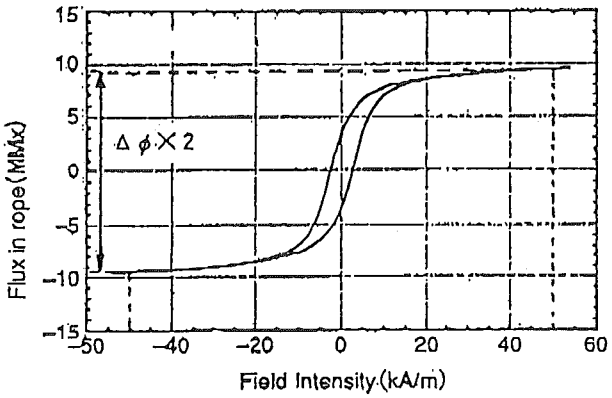
開索で内部を点検することに代わる方法として、酸化鉄が非磁性体であることを利用し、磁化することによって健全な部分の断面積を計測する方法が開発されている。この方法は、全磁束法と呼ばれ、ワイヤロープ中を通る磁束を測定し、磁束と断面積の比例性により断面積変化を定量的に評価する方法である。

測定原理を具体的に述べると、図－１のように軸方向に磁気飽和まで磁化したワイヤロープの磁束はワイヤロープの断面積に比例する。健全な状態の断面積Ｓに対し、腐食部の断面積をＳ’とするとＳ－Ｓ’が減少した断面積つまり、腐食により欠損した断面積とな



図－１　全磁束法による断面積の測定原理

る。このとき健全部の磁束をφ、腐食部の磁束をφ'とすると、φとS、φ'とS'がそれぞれ比例し、磁束の変化量φ－φ'により欠損した断面積が求められる。また、過去における磁化履歴の影響を無くすため、図－２に示すように正負（＋－）両方向の飽和まで連続的に磁界の強さを変化させ、その際の磁束変化量（Δφ×２）を求めることにより精度良く測定できる



図－２　磁化曲線とパラメータΔφ

この方法による計測事例はあるが、内部腐食を起こしたものでの検証事例が無いこと、絶対値ではなく相対的な比較になるため、精度が明らかでないことなど、今後現場でのデータ蓄積が期待される。

（機械研究室）

1. 下水汚泥のセメント資源化

（質問）

下水汚泥をセメント原料にするにあたっての望ましい性状及びそのための留意点についてご教示願いたい。

（富山県土木部下水道課）

（回答）

下水汚泥をセメント原料として利用する場合、その利用性状としては、焼却灰、脱水汚泥、乾燥汚泥の３つがあります。それぞれの特徴を以下に示します。

① 焼却灰は、運搬が容易でにおいもないため、現在下水汚泥の多くがこの性状で利用されています。

② 脱水汚泥として利用する場合は、乾燥の手間が省けます。また下水汚泥に含まれる有機質が補助燃料となり、セメントの焼成行程での燃料消費を少なくすることができます。その反面、セメントの焼成行程では温度管理が要求され、一定量の脱水汚泥投入が求められます。このため、セメント工場に近く、配管輸送できる等の条件が必要です。この例として、北九州市皇后崎浄化センターがあります。

③ 乾燥汚泥として利用する場合は、運搬が容易でにおいが少なく、下水汚泥に含まれる有機質が補助燃料となり、セメントの焼成行程での燃料消費を少なくすることができます。また水分が少ないため、セメントの焼成行程への影響が少なく、利用しやすい性状だといえます。この例として、乾燥造粒システム（福岡県、麻生セメント田川工場）、紛状乾燥汚泥（埼玉県、秩父市下水道センター）、カンプン（奈良県、第二浄化センター）があります。

以上の下水汚泥性状の内どの性状で利用するかは、処理場の現状設備、セメント工場までの距離、周辺環境、経済性等により決定します。

下水汚泥に含まれる成分で、セメントの品質に影響を与える成分を以下の表で示します。

セメント原料化を計画する場合、下水汚泥に含まれるこれらの成分に留意する必要があります。特にリンについては、高度処理汚泥には多量に含まれる場合があります。またこの他には、現在のところJISに規制値はありませんが、重金属について留意すべきものであると考えます。

表－ セメントの品質に影響を与える成分

リン(P_2O_5)	セメント中の含有量が0.5%を越えると強度が低下する。（現状のセメント中には約0.1%）
塩素(Cl)	含有量が多いと鉄筋等の腐食の原因となる。（現状のセメント中には約60ppm、JISでは200ppm以下）
アルカリ量(R_2O) $R_2O(\%);Na_2O(\%)+0.658\times K_2O(\%)$	含有量が多いとアルカリ骨材反応を招く恐れがある。（現状のセメント中には約0.6%、JISでは0.75%以下）

（汚泥研究室）

1. ダム湖の水位変動域の岩盤緑化

（質問）

ダム貯水池における常時満水位と制限水位間にある裸地岩盤部の緑化について、その可能性及び経済的な方法を御教示願いたい。

（羽越工事事務所）

（回答）

ダム貯水池の運用にもよりますが、常時満水位と制限水位の間の湖岸は、定期的に長期にわたる冠水を受けるのが通例です。こうした水位変動域では、冠水により植物の生育が阻害されます。また、波浪等による土壌の浸食が生じます。このため、植物の見られない裸地が形成される場合も多く、水位低下時に景観を損ねる等の問題を生じるため、その緑化が検討されています。

上述のように、水位変動域の緑化では、

①長期の冠水を前提として、どのような植物が生育可能か。

②土壌を確保するために、どのような対策を実施する必要があるか。

が問題となります。このことを体系的に明らかにするために、平成６年～８年に亘り建設省技術研究会の指定課題「ダム湖における水際の環境対策に関する研究」において、建設省の管理ダムを中心に全国の17ダムで試験施工を実施しています。技術研究会の検討結果を受け、更に平成９年度に試験地の生育状況調査を行っており、これら調査結果をもとに、現在、湖岸緑化のマニュアル化を行うべく作業を実施しています。内容の詳細については、マニュアル化の成果を期待して頂くとして、上記に関連する主たる成果を簡単に示すと次の通りです。

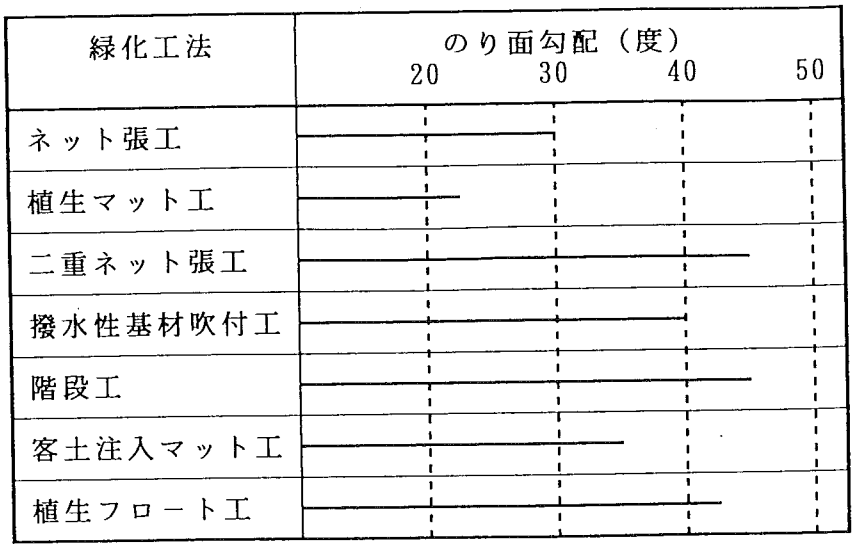
①については、植物の種類と生育状況が気候立地区分と冠水日数により整理されることを示し、両者をパラメータとした「生育が期待できる植物種」の一覧表を作成しました。例として、北陸地方が該当するブナクラス域の多雪地帯で求められた冠水日数と植物種の関係を表－１に示します。表中、ＡＢＣの区分は、試験区域全域での各植物の最大被植率、最大植物高に対し、どの程度の値が得られたかの指標をもとにランク付けを行ったもので、表から、当該湖岸の環境下において、どのような植物種がどの程度の活力をもって生育するのかを推定することができます。当然のことですが、冠水日数が大きくなるに従って、植物種の生育状況も悪くなり、生育が見込まれる種類そのものも減少してきます。また、冠水日数が180 日を超えると、非常に乏しい緑しか期待できない結果となっています。なお、全般にＢ、Ｃランクの植物種が多くなっていますが、これは温暖な地域に比べ生育がやや劣ることを意味しています。また、表に示した植物種は、全国的に比較的多く見られた植物種を示しており、地域の特別な種類については別途の推定が必要になります。

②については、施工した緑化工の損傷状況、土壌の侵食状況及び植物の生育状況からそ

表－１　ブナクラス域、多雪地帯での植物種の耐冠水性評価
Ａ：十分な生育が期待できる種、Ｂ：生育が期待できる種、Ｃ：生育の可能性がある種

冠水日数	１、２年生草本類	多年性草本類	木本類
240 日以上	――――	――――	――――
240 日未満 180 日以上	Ｃ　オオイヌタデ	――――	――――
180 日未満 120 日以上	ＢＣエノコログサ Ｃ　ｱﾒﾘｶｾﾝﾀﾞﾝｸﾞｻ Ｃ　オオイヌタデ	Ｃ　ﾘｰﾄﾞｶﾅﾘｰｸﾞﾗｽ	ＢＣヤナギ類 Ｃ　イタチハギ
120 日未満 90日以上	Ｂ　エノコログサ Ｂ　オオイヌタデ Ｃ　ｱﾒﾘｶｾﾝﾀﾞﾝｸﾞｻ Ｃ　イヌビエ Ｃ　オオオナモミ Ｃ　コブナグサ Ｃ　ヌカキビ	Ｂ　スギナ Ｂ　ﾘｰﾄﾞｶﾅﾘｰｸﾞﾗｽ Ｃ　バミューダグラス Ｃ　メドハギ	Ｂ　ヤナギ類 Ｃ　イタチハギ
90日未満 60日以上	Ｂ　ｱﾒﾘｶｾﾝﾀﾞﾝｸﾞｻ Ｂ　エノコログサ Ｂ　オオイヌタデ Ｃ　イヌビエ Ｃ　オオオナモミ Ｃ　コブナグサ Ｃ　ヌカキビ Ｃ　ヒメムカシヨモギ Ｃ　メヒシバ	Ｂ　スギナ Ｂ　ﾘｰﾄﾞｶﾅﾘｰｸﾞﾗｽ Ｃ　バミューダグラス Ｃ　メドハギ Ｃ　ヨモギ	Ｂ　ヤナギ類 Ｃ　イタチハギ Ｃ　ヤマハンノキ
60日未満 30日以上	Ｂ　ｱﾒﾘｶｾﾝﾀﾞﾝｸﾞｻ Ｂ　エノコログサ Ｂ　オオイヌタデ Ｃ　イヌビエ Ｃ　オオオナモミ Ｃ　コブナグサ Ｃ　ヌカキビ Ｃ　ヒメムカシヨモギ Ｃ　メヒシバ Ｃ　メマツヨイグサ	Ａ　スギナ Ｂ　Ｋ31フェスク Ｂ　ヨモギ Ｂ　ﾘｰﾄﾞｶﾅﾘｰｸﾞﾗｽ Ｃ　バミューダグラス Ｃ　メドハギ	Ｂ　ヤナギ類 Ｃ　イタチハギ Ｃ　ネムノキ Ｃ　ヤマハンノキ
30日未満	Ｂ　ｱﾒﾘｶｾﾝﾀﾞﾝｸﾞｻ Ｂ　エノコログサ Ｂ　オオイヌタデ Ｃ　イヌビエ Ｃ　オオアレチノギク Ｃ　オオオナモミ Ｃ　コブナグサ Ｃ　ヌカキビ Ｃ　ヒメムカシヨモギ Ｃ　メヒシバ Ｃ　メマツヨイグサ	Ａ　Ｋ31フェスク Ａ　スギナ Ｂ　メドハギ Ｂ　ヨモギ Ｂ　ﾘｰﾄﾞｶﾅﾘｰｸﾞﾗｽ Ｃ　バミューダグラス	Ｂ　ヤナギ類 Ｃ　イタチハギ Ｃ　ネムノキ Ｃ　ヤマハンノキ

の適用性と主要なパラメータと考えられるのり面勾配との関係を整理しました。図－１に、その検討結果を示します。図－１は、今回の試験施工で適用可能と確認された勾配範囲を示したものです。試験施工では、各種緑化工の特性を考慮して条件を設定しており、また、試験ケースも限られることから、施工を実施した勾配の範囲が限られます。従って、これ以上の勾配での適用性を否定するものではありませんが、図－１の範囲が一応の目安になるものと思います。ただし、のり面勾配が45度以上の実験結果では全体として余り良好な結果が得られておらず、45度が良好な緑化を得るための一つの条件を与えるものと考えています。



図－１　適用可能と確認されたのり面勾配

なお、緑化工の表面は、外部からの植物の侵入性、具体的には種子の捕捉に影響するようであり、表面にネットを設けた植生マット工やネット張工といった植生工が捕捉効果が高く、土のうやマットなどの網の目の小さい滑らかな表面の場合には捕捉が阻害されるようです。試験結果では、表面が水平となる階段工と植生マット工を組合せたものが最も外部からの植物侵入が多かった結果を得ており、緑化対象地域の周辺に冠水に強い一年生草本が十分自生している場合には、こうした種子の捕捉性についても配慮が必要と考えます。

今回の試験施工は、ご質問の岩盤部では実施していませんが、岩盤部につきましても、期待される植物種とその生育状況に変わりはありません。緑化工についても、二重ネット張工など基本的には同様です。通常の岩盤緑化では、生育基盤の安定化のために、のり枠工が用いられる場合も多く見られます。また、のり面が不安定にならない範囲内において小段の設置やせん孔、溝切り等を行い、人工的に凹凸を設けて生育基盤の設定が行われます。こうした処理の冠水時の効果については明確ではありませんが、階段工等の今回の適用性から概ね推察することができるものと思います。なお、施工性と植物の定着を考えると、通常の岩盤部の緑化は60度が限界[1]とされていますが、先に示したように、冠水による土壌の流亡等を考えると45度程度が目安になるものと考えます。

ご質問の趣旨は、経済的な手法についてということですが、水位変動域の緑化は通常ののり面緑化と較べてもかなり厳しい条件下にあり、この条件下で土壌を維持していく必要があります。岩盤部は急傾斜面の部分が多いでしょうから、特に厳しい条件下にあるといっていいでしょう。水位変動域岩盤部の緑化事例はほとんどありませんが、このことが一つの理由になっていると思われます。つまり、安価に、といっても現在のところ画期的な方法がないのが現状です。経済性を求める余り、効果を得ることができなければ元も子もな

表－２　ダム湖の湖岸緑化の目的と周辺の状況例

湖岸緑化の目的	周辺の状況例
裸地景観の緩和： 帯状裸地による景観悪化の緩和	・ダムサイト近傍や貯水池周辺の施設から眺望される。 ・貯水池周辺の道路から眺望される。 ・その他眺望点から眺望される。
斜面安定： 湖岸侵食による濁水発生や土砂流入の防止	・湖岸に土壌が残存している。 ・傾斜が30度以上の斜面である（露岩地を除く）。
自然環境の保全： 水辺の生態系回復	・水鳥が飛来する。 ・貯水池内の魚類相が豊かである。 ・その他の生物相が豊かである。 ・国立公園付近に位置する。

表－３　緑化の目的と目標の一般的な関係

緑化目的	緑化目標
裸地景観の緩和	不特定種の草本型
裸地景観の緩和及び斜面安定	不特定種の樹林型
裸地景観の緩和及び自然環境保全	郷土種主体の草本型
裸地景観の緩和、斜面安定及び自然環境保全	郷土種主体の樹林型

くなるわけですから、確実に効果を得るためには、ある程度の経費は必要なものと考えます。なお、大石ダムや菌原ダムでは、岩盤の節理に一年生草本の侵入が見られ、部分的ではあれ自然に緑化されている事例があります。また、同様に鶴田ダムのメリケンムグラが岩盤の節理沿いに侵入し、岩盤部の緑化に寄与しているのは有名です。これら事例を十分に調査してみるのも今後の研究の一つの方向かもしれません。

ところで、先にマニュアル化の作業を実施中と述べましたが、その目的は、①緑化目的、②のり面の事前調査方法、③緑化目標の立案、④緑化工法、⑤緑化植物の選択方法、⑥施工計画立案方法、⑦モニタリング及び維持管理方法、の各事項を提示し、これら全体を系統立てて緑化の実施を進展させていくことにあります。

ここで、①の緑化目的と③の緑化目標の立案について現在の検討内容を紹介しますと、まず目的については、裸地景観の緩和、斜面安定、自然環境の保全があり、周辺のダム湖岸の状況例との関係を整理したのが表－２です。これら湖岸緑化の目的に対応して対象のり面の緑化目標を設定することになります。ここで、緑化目標は、不特定種の草本型、不特定種の樹林型、郷土種主体の草本型、郷土種主体の樹林型にタイプ分けされ、目的との関係の一般例を表－３に示します。斜面安定が求められると樹林化が必要になる、或いは自然環境の保全が求められると郷土種を主体の緑化が必要になるなど、緑化目標が高度になってくることが予想されますが、高度な緑化目標を設定したからといって、これが実現できる保証はありません。適切な目標設定のためには、対象のり面における緑化目的の重要度と冠水日数、施工性、経済性などを考慮した現実的な検討が必要になります。このような視点から湖岸の岩盤部の位置付けを、通常対象とされている表土のみが取り残された

裸地と比較してみると、
①岩盤は表土のみが取り残されたのり面と異なり、自然景観の中でも普通に見られるものである。
②濁水や土砂の発生源となることがない。
という特徴があります。従って、一般にはダム管理上の問題はそれほど大きくないと考えられます。また、先にも述べましたように岩盤部の緑化は厳しい条件下での緑化となり、経済性の問題もあります。従って、岩盤部の緑化を検討する上では、緑化の目的の明確化、目標設定の現実化が特に要求されるものと考えます。

参考文献

1）小橋澄治、村井宏編：のり面緑化の最先端～生態、景観、安定技術～、ソフトサイエンス社、p.179 、1995

（水工水資源研究室）

2. 土混じり砂礫層および軟岩基礎の透水性確認試験

（質問）

砂礫層および軟岩などのダム基礎において、従来の仕様に基づいてルジオン試験を行った場合、低い限界圧力を捕捉できなかったり、限界圧力以上の圧力で注入を開始することにより地盤が破壊され実際よりも高いルジオン値が得られるなどの問題が生じることがある。

そのため、限界圧力の低い砂礫層および軟岩基礎などにおけるルジオン試験の精度を検証するための他の透水試験方法、適用条件、および使用上の留意点などについてご教示願いたい。

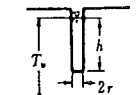
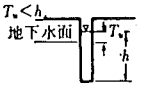
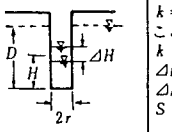
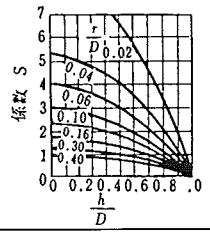
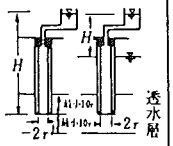
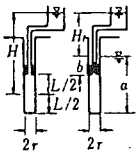
（富山県土木部）

（回答）

ダム基礎の透水性を調査するための最も一般的な原位置透水試験は、ボーリング孔内の限定された区間に数種類の一定圧力で注水し、その圧力と注水量の関係から透水性の指標であるルジオン値を求めるルジオン試験である。この試験方法については、「ルジオンテスト技術指針・同解説」[1]（以下、技術指針と呼ぶ）が作成され、統一された仕様に基づいて試験が実施されている。しかし、砂礫層や軟岩のように、従来のダム基礎を主に構成した硬岩に比べて強度がかなり小さい基礎において、硬岩基礎の場合と同様に高圧ポンプ注水にてルジオン試験を実施すると、試験の最小圧力あるいはポンプ脈動に伴う圧力変動により試験孔周辺岩盤が破壊され、新たな水みちが形成された後の透水性を求めてしまい、結果的に透水性を原基礎のそれよりも過大に評価してしまう恐れがある。これにより、。特に、ダム基礎の浸透流抑制上最も重要である基礎浅部においては、上載荷重が小さく、この傾向が顕著に表れる。また、砂礫層や軟岩基礎では、硬岩のように卓越した水みちとなる割れ目が発達していないことが一般的である。そのため、技術指針では、必要に応じて手掘りのピットやボーリング孔を利用して注水ないしは揚水し、測定した浸透流量や水圧（水位）を実際の境界条件に近い条件下でダルシーの法則に基づいて誘導された公式に代入して透水係数を求め、ルジオン試験の精度を検証することをあげており、実際に多くのダムにおいても適用されている。なお、ルジオン値と透水係数の関係としては、1Lu≒1×10^{-5}cm/s が目安となる。

砂礫層や軟岩基礎におけるルジオン試験の精度を検証するために用いられている原位置透水試験の方法、透水係数算定式、算定式の根拠および適用上の留意点を表－1[2]に示す。なお、土木研究所において、これらの原位置透水試験の精度を大型室内試験および数値解析により検証した結果、地表部や横坑下盤に設けたピットを用いる場合には米国内務省開拓局（以下、USBR と呼ぶ）アースマニュアル E-19 法、ボーリング孔を用いる場合には USBR アースマニュアル E-18 パッカー法および沢田の式の精度の高いことがわかっている[2]。しかし、各試験方法の適用に際しては、実際の境界条件と透水係数算定時の仮定が

表－1　原位置透水試験方法[2)]

試験No	試験名	略　図	透水係数の算定式	理論的根拠	特　徴
試験(1)	米国内務省開拓局アースマニュアルE－19	$T_u \geqq h$  $T_u < h$  	①地下水面が孔底より著しく低い場合（$T_u > 3h$） $k=\frac{Q}{2\pi h^2}\{\sinh^{-1}(\frac{h}{r})-1\}$ ……(1) ②地下水面が孔底に近い場合（$3h \leqq T_u \leqq h$） $k=\frac{Q}{2\pi h^2}\frac{l_n(h/r)}{(1/6+1/3(\frac{h}{T_u})^{-1})}$ ……(2) ③地下水面が孔底より高い場合（$T_u < h$） $k=\frac{Q}{2\pi h^2}\frac{l_n(h/r)}{\{(h/T_u)^{-1}-1/2(h/T_u)^2\}}$ ……(3) ここに k：透水係数（cm/s） Q：流入流量（cm³/s）	ピット中心軸上の点汚源からの放射流であるという仮定のもとに，その汚源の強さが水深に比例するとして導いている。	①ピット法による原位置透水試験方法に適用。 ②定水位法。 ③$h \gg 10r$の範囲で適用可能。
試験(2)	オーガー孔法	 	$k=0.617\frac{r}{SD}\cdot\frac{\Delta H}{\Delta t}$ ……(4) ここに， k：透水係数（cm/s） Δt：揚水停止後の経過時間（s） ΔH：回復した水位（cm） S：r/D，H/Dの関数 （r，H，Dの単位はcm）	ボーリング孔に側面からは水平方向の浸透のみ，孔底からは浸透なしとして導かれている。Sは，グラフで与えられている。  	①水位回復法であるので，地下水面近傍箇所の透水係数しか測定できない。 ②ピット法による原位置透水試験方法に適用。
	Hoog-houtの式		$k=\frac{5.26r^2D}{(2D+r)(D-H)}\frac{\Delta H}{\Delta t}$ …… (5) ここに， k：透水係数(m/s) r，D，H，ΔHはm単位 Δt はs単位	オーガー孔法は，オーガー孔が不透水地盤に達したときに正解であって，浸透層内に止まる場合は近似解となる。このような問題に対して，モデル実験を行って求めた実用解である。	
試験(3)	米国内務省開拓局アースマニュアルE－18オープンエンド法	 	地下水面の位置によらず $k=\frac{Q}{5.5rH}$ ……(6) ここに， k：透水係数（cm/s） Q：流入流量（cm³/s）	電気相似模型実験による。	①ケージング等のパイプの末端部からの地盤への浸透量より求める。（末端開口法） ②定水位法。
試験(4)	米国内務省開拓局アースマニュアルE－18パッカー法	 	地下水面の位置によらず， ①$L \geqq 10r$ $k=\frac{Q}{2\pi LH}l_n\frac{L}{r}$ ……(7) ②$10r > L \geqq r$ $k=\frac{Q}{2\pi LH}\sinh^{-1}\frac{L}{2r}$ ……(8) ここに， k：透水係数(cm/s) Q：流入流量(cm³/s)	①ボーリング孔の中心軸上に点汚源を考え，ポテンシャルフローとして導いている。 ②式(7)は式(8)において $\frac{L}{r} \gg 1$として近似したもの。	①ルジオンテストと同方法であり，ルジオン値との対比が可能。 ②定水位法
	沢田の式		①地下水面が試験区間より低い場合 $k=\frac{Q}{\pi H(4r+L)}$ ……(9) ②地下水面が試験区間より高い場合 $k=\frac{Q}{4\pi LH}l_n\{(\frac{H}{r})^2\frac{a+3b}{3a+b}\}$ …… (10) ここに， k：透水係数(cm/s) Q：流入流量(cm³/s)	式(9)は，ボーリング孔からの浸透流を孔軸に直角な方向のポテンシャルフローとし，上端，下端点のみ半球状の放射流として導いている。 式(10)は，ボーリング孔の中心軸上に点汚源を考え，ポテンシャルフローとして導いている。	①アースマニュアルE－18パッカー法と基本的には同じ。ただし境界条件を正確に与えている。 ②ルジオンテストと同方法であり，ルジオン値との対比が可能。 ③定水位法。

概ね一致していることを確認する必要がある。ただし、厳密には、これらが一致することはまれであるので、あくまでこれらの原位置透水試験は透水係数のオーダを適確に把握するために実施していると考えるべきである。

また、原位置透水試験の実施に際しては、ピットであれば孔壁観察、ボーリング孔であればコア観察に基づいた透水性の概略の程度についての地質的判断を行うべきである。この際、砂礫層や軟岩には割れ目が発達していないことが一般的であるため、試験位置の近傍から採取した乱さない試料に対する室内透水試験結果も重要な判断材料となる。

原位置透水試験によりルジオン試験の精度を検証することは重要である。しかし、他ダムにおける透水性評価結果との比較の容易さや指針の整備状況などを勘案すると、ダム基礎の全域に、かつ深部にまで実施する透水試験として用いることのできるはルジオン試験である。そこで、最終的には、ルジオン試験によって正確なルジオン値および低限界圧力を把握できるように、注入圧力の脈動を抑え、小さい昇圧ステップで試験を実施する必要がある。さらに、ルジオン試験には、ルジオン値による透水性評価だけではなく、限界圧力によるグラウチング仕様の決定という目的がある。砂礫層あるいは軟岩基礎におけるルジオン試験に対する具体的対策としては、①圧力脈動の小さいポンプを使用するか、ポンプに大容量のエア・チャンバを取り付けることで圧力脈動を極力押えたうえで、注入圧力を小さいステップで昇降させて試験を実施するか、②数種類の標高に設置した越流水槽からの静水頭を利用して試験を実施すること、が挙げられる[3)～5)]。

これまでの一連の研究成果から、現在では、砂礫層および軟岩基礎浅部におけるルジオン試験の問題点やそれに対する対策は、一般的なものとなっている。逆に基礎深部では、上載荷重が大きくなることで限界圧力も大きくなる傾向にあるため、透水性の過大評価の問題は上載荷重の小さい基礎浅部に限られるとも考えられてきた。しかし、地形および地質的な原因から地山の地下水位が低い場合には、基礎浅部のみならず深部においてもこの種の問題が発生することが最近になってわかってきた。つまり、地下水位が低いため、地表において厳密に注入圧力を制御しても、注入管に水を満たすだけで試験対象区間にかなり大きい有効水圧がかかるうえ、試験孔削孔時にもスライム除去のための送水により大きな水圧がかかることから、試験区間周辺の岩盤が破壊された後の透水性を評価してしまっている事例が見られるようになってきた[6)]。そこで、砂礫層および軟岩基礎を対象としたルジオン試験については、従来にも増して注意深い仕様設定および結果の解釈が望まれる。さらに、ルジオン試験の結果、限界圧力がかなり小さくても、限界圧力に至るまでの圧力域の試験結果から得られる透水性が比較的小さいことが判明した場合でも、限界圧力が極端に小さい場合は、ダム完成後の湛水により発生する大きな浸透圧による砂礫層および軟岩基礎の浸透破壊の発生が懸念される。このような場合には、別途基礎の浸透破壊抵抗性についての調査を併せて実施する必要がある[7)～9)]。

参考文献

1) 建設省河川局開発課監修：ルジオンテスト技術指針・同解説，（財）国土開発技術研

究センター，1983年11月．
2) 松本徳久・山口嘉一：軟岩基礎の原位置透水試験方法に関する考察，土木技術資料，Vol.27，No.10，pp.3-8，1985年10月．
3) 柴田　功：軟岩の透水性と止水設計法に関する研究，建設省土木研究所報告，第153-1号，1980年3月．
4) Shibata, I., R. Iida, and N. Matsumoto: Procedures for the investigations of permeability and seepage control on soft rock foundations for dams, Proc. Int. Symp. Weak Rock, pp.503-508, 1981.
5) 松本徳久・尾芦直人・池田 隆：ダム基礎軟岩の調査と設計，建設省土木研究所資料，第1947号，pp.7-32，1983年3月．
6) 山口嘉一・松本徳久：ダム基礎軟岩の透水性と低圧ルジオンテスト，地下水学会誌，Vol.36，No.3，pp.275-292，1994年8月．
7) 山口嘉一・田原則雄・松本徳久：ダム基礎地盤の浸透破壊抵抗性に関する基礎的研究，応用地質，Vol.35，No.2，pp.1-13，1994年6月．
8) 山口嘉一・松本徳久：多孔注水式原位置浸透破壊試験の提案と適用例，応用地質，Vol.35，No.5，pp.40-49，1994年12月．
9) 山口嘉一・小川直樹・川崎将生・中村 昭：簡易試験によるダム基礎地盤の浸透破壊抵抗性の評価，応用地質，Vol.38，No.3，pp.130-144，1997年8月．

（フィルダム研究室）

3. ダム貯水池周辺地すべりにおける調査方法及び対策工

（質問）

利賀ダム貯水池周辺には、地すべり防止区域が６つ存在する。

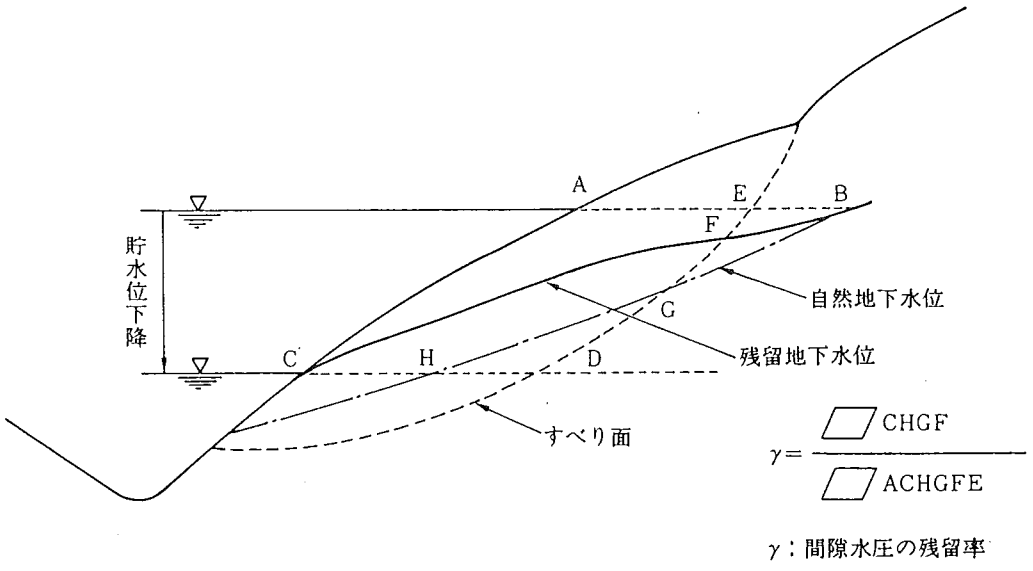
地すべり対策工を検討するには、一般的には残留間隙水圧の残留率を50%とするとしている。この場合、対策工の規模が大きくなってしまう。残留間隙水圧の残留率を現地状況にあわせ50%以下にできれば、対策工の規模を縮小できる。

このための、調査方法や対策工の考え方について御教示願いたい。

（利賀ダム工事事務所）

（回答）

ダム貯水池の周辺の地すべりは、特に初期湛水時と貯水位の急速な低下時に不安定となる。地形条件やすべり面の形状にもよるが、一般には後者の方がより不安定となる場合が多い。それは、貯水位の低下に完全に追随して地すべり土塊内の間隙水圧（地下水位）が低下するわけではなく、実際にはある遅れをもって低下するためである。このように、貯水位の低下よりも遅れて低下する土塊内の間隙水圧と、土塊内に元々存在した間隙水圧との差を「残留間隙水圧」と称し、これを想定するための値を「残留率」と称している（図－１）。



図－１　残留間隙水圧の求め方（参考文献より）

実際の残留率は、貯水位の低下速度、土塊の透水係数、有効間隙率等によって異なる。過去の事例をみると、貯水位の低下速度が0.3～0.5m/日の場合には、０～40%の残留率を示しているものが多いことから、安全側の値として50%が一般に用いられている。実際、

地すべり研究室で収集した８箇所のダム貯水池周辺の地すべり23箇所のうち、19箇所で50％、１箇所で30％、３箇所で０％という値が用いられている。

残留率が小さければ小さいほど地すべり対策工事の規模も縮小できるため経済的になるが、その値を推定するためには、慎重な調査や検討が必要となる。考えられる推定手法を述べれば、まず、近隣の、同じような条件を有する地すべり地での事例が参考になる。そのような地すべり地での残留率の設定例や残留間隙水圧の実測例があれば、移動土塊の性状や貯水位の低下速度がほとんど等しいといった検証をした上で、同様の残留率を採用するか新たな残留率を設定することができると考えられる。

次に、浸透流解析等を用いて、解析的に残留率を推定する手法も考えられる。地山の透水係数の設定を初めとし、解析の際の諸条件の設定にしばしば困難を伴うが、種々のケースを想定し、50％という残留率が過大であることが極めて明瞭になれば、他の値を設定することができるものと考えられる。

対策工の考え方については、それぞれの地すべりの特性によって異なるため、別の機会に回答したい。

（参考文献）建設省河川局開発課監修、（財）国土開発技術研究センター編集、「貯水池周辺の地すべり調査と対策」、山海堂、平成７年９月

（地すべり研究室）

1. 砂防ダムの補強・補修のコンクリート厚

（質問）

砂防ダムの補強として、張りコンクリートを実施している箇所がある。例えば、当県では、その厚さを５０ cm ～２００ cm としている。 砂防ダム補強の張りコンの厚での基準やその計画における考え方について御教示願いたい。

（福島県）

（回答）

現時点では、張りコンクリートの最低厚さについての全国統一された基準はない。ダムの構造上の安全性と現場での施工条件を現地の地形や流水や土砂流出、施工形状の状況等に配慮して設計しているのが現状である。最低コンクリート厚を決めるにあたっては施工性が影響しており、例えば、ある地域では型枠を組み立てた状況で作業が出来る程度の幅を根拠として１．５ m と決めていたり、別の地域ではコンクリート打設に必要な幅や打継ぎ面清掃作業に必要な幅を根拠として２．０ｍと決めている。全国的に見ると平均して、１．０～２．０ｍを最低コンクリート厚として用いている。

現在、このような方法で施工されたダムでは破壊や損傷等の問題は生じていない。従って張りコンクリート厚は、これまでに実施してきた全国の平均的な値を参考に、個々の現場の条件（流量や出水時の流砂量、土石流発生頻度）に配慮して設定すればよいと思われる。

張りコンクリートを施工するには以下の点を留意する必要がある。

①老朽化したダム

昭和初期等の古い時期に施工されたダムは、コンクリートの品質や施工管理方法が現在に比べて劣る場合が多い。特に凍結融解やその他の外的営力によってコンクリートの打継ぎ目での接着性が劣化している場合がある。そのため、劣化部分の削除や漏水がある場合にはドレーン工事等の検討を行う必要がある。なお、新旧コンクリートとの密着性を増加させ、一体性を図るため、鉄筋補強を検討するのが望ましい。

②新旧打継ぎ目の保護

水通し天端に新旧堤体の打継ぎ目が現れていると、水の浸透によるクラックの発生がある。そのため、新旧堤体の打ち継ぎ目の保護を目的とした施工（旧堤体の水通し天端の表面を削り取り、新たに腹付け部と一体とした笠コンクリートを打設等）の検討が必要となる。

③景観

近年、地域特性や周囲の景観にマッチするように構造物を設計することが求められている。これまでの事例では例えば張りコンクリート表面に疑岩型枠の採用する等の景観に配慮した工法を検討した例があり、今後ともこのような工夫が必要とされる。

（砂防研究室）

参考文献

コンクリートの構造物の補修ハンドブック編集委員会：コンクリート構造物の補修ハンドブック、p293、1978

2. スーパー暗渠砂防ダムの前提保護工

（質問）

スーパー暗渠砂防ダムの暗渠の敷高を現河床とした場合、流水の落差はないが、前庭保護工（垂直壁、水叩など）を設置する必要があるのかどうか御教示願いたい。

（神通川水系砂防工事事務所）

（回答）

神通川水系砂防工事事務所が計画しているスーパー暗渠砂防ダムである「神坂上流大暗渠砂防ダム」の諸元は次のとおりである。

＜砂防ダム諸元＞

提高：14.5m　　提長：176.8m

スーパー暗渠：半径 5.5m（5 門）

＜計画地点及び流域諸元＞

流域面積：88.9km^2　　計画流量：1/100 確率（1,440m^3/s）

河床勾配：1/51～26　　河床材料（平均粒径）190.4mm

また、水理模型実験は現在も継続中であるので途中の成果しか示せないが、前庭部の侵食に関する結果の一部は次のとおりである（図を参照）。

＜水理模型実験結果＞

	実験値	計画値
ピーク流量	51.6 l/s	1,440m^3/s
最大洗掘量（ピーク時）	5.5 cm	3.3m

これだけ見ると、前庭保護工は必要と見られる。

しかし、図から分かるように洗掘る箇所が左岸側の一部であること、スーパー暗渠砂防ダムの実施例は完成したものが全国で 1 基と僅かであり現地観測による洗掘の実態は把握できていないこと、そもそも、できるだけ構造物を少なくし自然になじんだ状態で土砂をコントロールすることがスーパー暗渠砂防ダムの目的の一つであること等から、むやみに前庭保護工をいれない方がよいと考えられる。例えば、提体施工時に発生する大転石（径 1m 以上）を前庭部に埋め戻し材として用いる等工夫により対処できる場合もあると考えている。ただし、流量が大きい場合には、暗渠部分に流水が集中して、水脈の流速が速くなることから、通常の砂防ダムよりも水脈が前庭部で減勢しにくくなり、その結果、より下流まで侵食が生じることがあると考えられ、その影響区間に考慮する必要がある。

この神坂上流大暗渠砂防ダムの場合には計画地点の近傍の砂防ダムの前庭保護工の洗掘

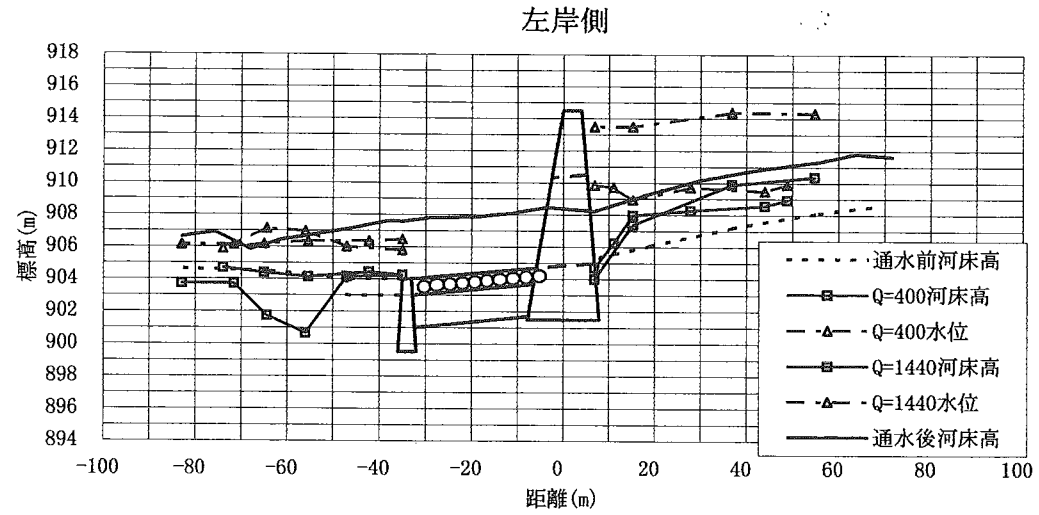
状況の把握、設置位置の河床材料、一旦完成させた後に前庭保護工を追加工事とした場合の仮設等の手戻り量の把握等から施工の必要性の検討を行うとよいと考えられる。

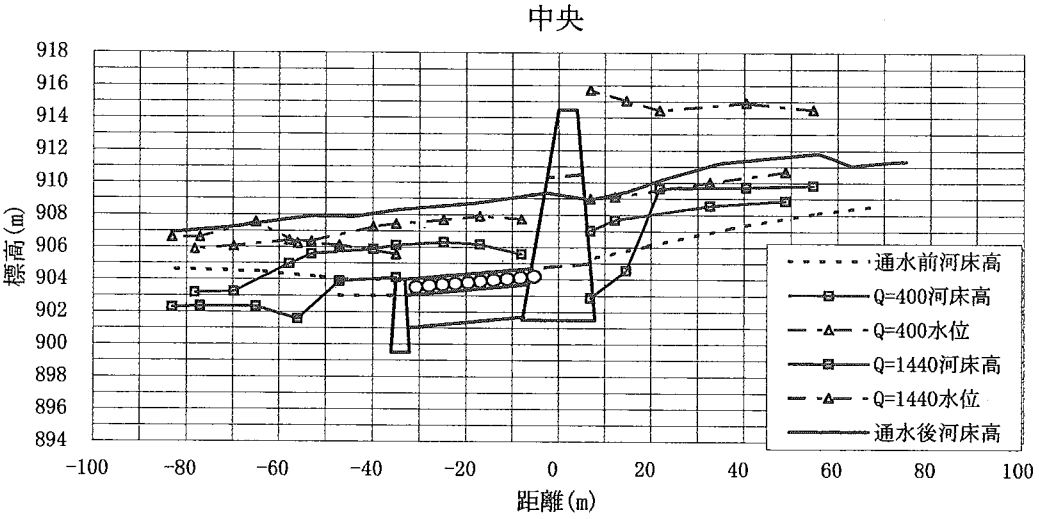
なお、今後、スーパー暗渠砂防ダム前庭部の洗掘の実態調査を地建と共同で行い、保護工の必要性について検討することとしている。

（砂防研究室）

＜参考文献＞

建設省河川局砂防部砂防課（平成 10 年 6 月 30 日）：スーパー暗渠砂防堰堤の計画と設計の手引き（案）





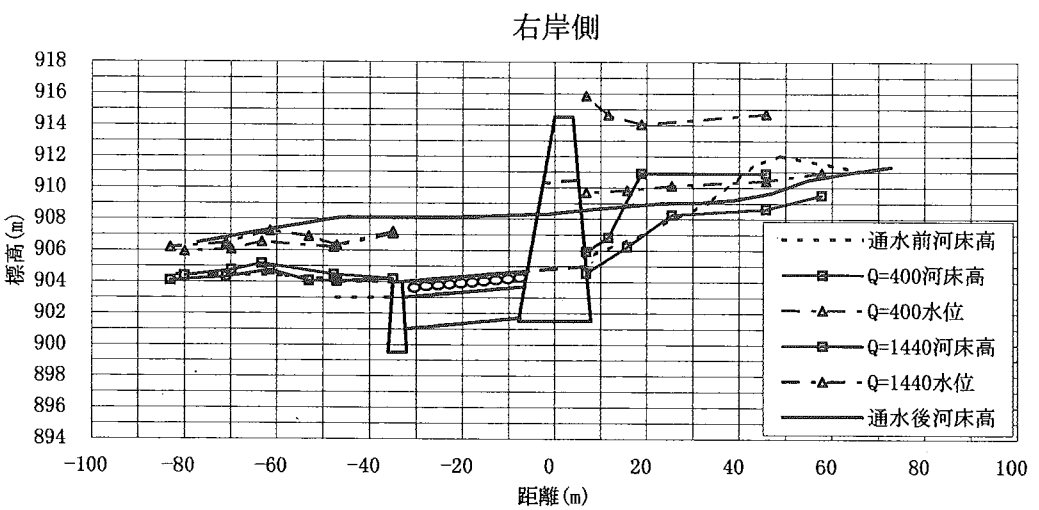


図　神坂上流大暗渠砂防ダム上下流の水位・河床高縦断図

3. 砂防林の管理手法

（質問）

砂防事業において砂防林、渓畔林等の事業が実施されつつあるが、管理については統一的な考え方がないため、現場においては苦慮している。管理手法についてご教示願いたい。

（ 湯沢砂防工事事務所）

（回答）

「管理」作業には、砂防林とそれを取り巻く周辺環境についての情報を整理するための管理台帳・管理図面（いわゆるソフト面）の作成・更新と、機能維持・修繕のための行為（いわゆるハード面）の２つの柱があります。これは砂防林に限らず管理を伴うものであれば当然必要なものです。

まず、管理台帳・管理図面には管理の範囲、砂防設備の配置状況・設置時期、実施した管理行為の内容とその時期、他法令、その他管理上必要と思われる内容が記載されており、その情報が常に新しい内容に更新され、管理担当者がきちんと把握している必要があります。そうでなければ、適切な管理行為を実施することはできません。

機能維持・修繕などの行為は文字どおり、管理範囲内で何らかの不都合が生じた場合、もしくは生じる前に予防的に実施します。砂防林における不都合とは現時点において次のことが該当すると考えられます。

(1)植栽した苗木が雑草などで被圧されそうな場合

(2)特定の樹種が林地を占有していて他の樹種の生育が著しく阻害されている場合

(3)病虫害に侵されている場合

(4)林床植生がない場合

それぞれの場合への対応は、(1)除草、(2)樹種転換、(3)枯木の除去及び植栽、(4)間伐や枝打ちにより林床への日照の確保、などです。

なお、植栽の場合の樹種の選定は、周辺に存在している在来樹種とするのが一般的になっています。

（砂防研究室）

4. 基準雨量を設定する際の前期雨量の評価

（質問）

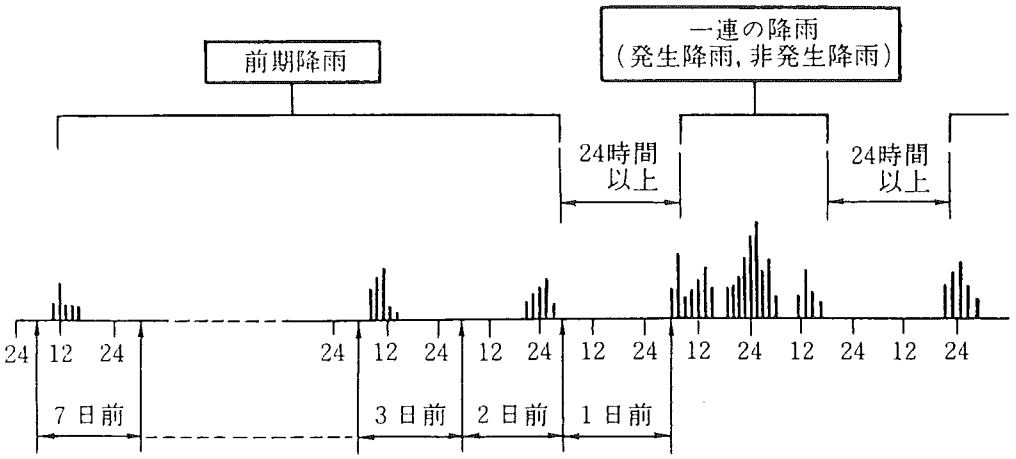
土石流の発生には、前期雨量の影響が大きいと思われるが、基準雨量の設定する際の前期雨量の評価方法について、教えていただきたい。

前期雨量の評価については一連の降雨から２４時間前～１週間の間に降った降雨を対象に減少係数をかけて計算するようであるが、各流域における基準雨量を設定する際の前期雨量の対象期間、減少係数の決め方などを御教示願いたい。

（神通川水系砂防工事事務所）

（回答）

「土石流災害に関する警報の発令と避難の指示のための降雨量設定指針（案）」[1]（以後指針（案）と書く）では、「前期降雨」を一連の降雨の降り始めの時刻から起算して１週間前までの降雨と定義し、その降雨量を「前期雨量」としている。また、「一連の降雨」を前後に２４時間以上の無降雨（雨量０ mm を含む）期間があるひとまとまりの降雨と定義し、その降雨量を「一連続雨量」としている（図－１）。



図－１　一連の降雨と前期雨量の概念図[1]

さらに、指針（案）に沿って基準雨量を設定する場合、必要となる実効雨量を一連続雨量と前期実効雨量の和（式①）と定義し、前期実効雨量を式②のように定義している。

$$R_w = R_C + R_{WA} \quad \cdots\cdots ①$$

$$R_{WA} = \alpha_1 \times d_1 + \alpha_2 \times d_2 + \alpha_3 \times d_3 + \cdots\cdots + \alpha_{14} \times d_{14} = \sum_{i=1}^{14} (\alpha_i \times d_i) \quad \cdots\cdots ②$$

ここで、R_W:実効雨量、R_C:一連続雨量、R_{WA}:前期実効雨量、ｄｉ：ｉ日前の２４時間雨量（i=1,2,3,・・・・・,14)である。なお、式②中の係数α_tを「減少係数」と呼んでいる（式③)。減少係数の計算結果を表－１に示す。

$$\alpha_t = 0.5^{\frac{t}{T}} \quad \cdots\cdots③$$

ここで、T：半減期の日数とし、一般的に半減期の日数は１日とする。表－１のように、８日以降の減少係数は非常に小さくなるため、式②で８日以降は無視することができる。なお、半減期の日数が１日の場合で土石流の発生降雨と非発生降雨を十分に分離できない場合には２日、３日と置き換えて検討する必要がある。

表－１　減少係数

日(t)	減少係数	日(t)	減少係数
1	0.50000	8	0.00391
2	0.25000	9	0.00195
3	0.12500	10	0.00098
4	0.06250	11	0.00049
5	0.03125	12	0.00024
6	0.01563	13	0.00012
7	0.00781	14	0.00006

参考文献

1)「土石流災害に関する警報の発令と避難の指示のための降雨量設定指針（案)」、建設省河川局砂防部砂防課、1984

（砂防研究室）

5. 洪水時における土砂動態

（質問）

河川固有の特徴を考慮した土砂流出の解明は砂防ダム施設等の計画検討に必要不可欠である。最新の研究技術についてご教授願いたい。

（松本砂防工事事務所）

（回答）

土砂は、山腹斜面から崩壊や土石流等の形態で渓流に入り、侵食（再移動）や堆積（停止）を繰り返しながら河道を移動していき、海に流入する。このように流域全体で土砂の移動を考えた場合、土砂は流水に比べて不連続に移動する。これは、降雨（流水）、地下水、粒径、流水中の土砂容積濃度等の条件がそろったときに土砂が移動するためと考えられる。

上記のような土砂移動を解明するためには、まず実際の河川における土砂移動の実態を把握する必要がある。従来、土砂移動の実態は流域を砂防、河川、ダム、海岸等に分割して、それぞれの区域において観測されている。例えば、砂防区域では出水前後における河床変動量、出水中の Wash Load を含む浮遊砂濃度等が観測[1)2)3)]され、その結果 0.1mm ～ 0.2mm 以下の土砂が Wash load となって下流へ流下し、極端に大きい石礫が生産地からさほど遠くない地点で停止し、その間の粒径の砂礫が掃流砂、または、浮遊砂の形態で輸送されていくことが推測された。また最近では、土石流や土砂流の氾濫、ダム貯水池における堆砂、大量の土砂流出による河床上昇に伴う洪水氾濫、河床低下に伴う人工構造物の基礎部破壊、海岸の侵食等の土砂問題は流域全体で土砂移動を考える必要があるとされ、流域全体でそれを把握する方向に動いている[4)]。このような流域全体で土砂動態を観測した事例としては天竜川[5)]等がある。

さて、土砂の移動形態には崩壊・土石流、土砂流、掃流、浮遊等がある。一般的に土砂移動の再現及び予測は、流域内をこれらの土砂移動形態別に区分し、各土砂移動形態別に土砂移動量を推定し、河床変動の推定を行っている。崩壊や土石流、土砂流が起こる地域であれば、降雨と崩壊土量の関係から生産土砂量を推定し、土石流の平衡濃度式[6)7)]等から土石流等によって運搬される土砂量を推定する。また、掃流の区間であれば、流量と掃流砂量式[8)]の組み合わせによって運搬される土砂量を推定する。Wash load を含む浮遊砂は一般的に区域に関係なく運搬され、流量との関係によってその運搬量が推定される。

従来のモデルは各区域毎のモデルを組み合わせて作られていた。最近では、土砂移動現象を統一的に説明する試みがなされている[9)10)11)]。また、これまでの土砂移動や土砂移動モデルは主に土砂移動量の再現や予測を目的とされていたが、最近ではダム堆砂、河床上昇・低下、海岸侵食等の土砂問題に関して土砂の質（粒径）がそれらの問題に大きく影響を及ぼすことがわかってきており、移動した土砂の量に加えて質（粒径）、さらに移動に要した時間という観点から土砂移動を解明しようとする研究が進められている。

参考文献

1)建設省河川局砂防課、建設省土木研究所：砂防河川における土砂動態に関する研究、第３３回建設省技術研究会報告 pp.525-pp.582、1979
2)建設省河川局砂防課、建設省土木研究所：砂防河川における土砂動態に関する研究、第３４回建設省技術研究会報告 pp.641-pp.674、1980
3)建設省河川局砂防課、建設省土木研究所：砂防河川における土砂動態に関する研究、第３５回建設省技術研究会報告 pp.563-pp.589、1981
4)岡本敦(1998)：河川審議会「総合土砂管理小委員会」報告について、砂防と治水 123 号、pp.52-54
5)高秀秀信、久津見生哲、藤沢寛(1983)：水系における土砂動態システムについて、第 27 回水理講演会論文集、pp.767-pp.772
6)例えば、高橋保(1977)：土石流の発生と流動に関する研究、京都大学防災研究所年報第 20 号 B-2、pp.405-435
7)例えば、水山高久：土石流から掃流に変化する勾配での流砂量、新砂防 116 号、pp.1-6
8)例えば、芦田和夫、高橋保、水山高久(1978)：山地河川の掃流砂量に関する研究、新砂防 107 号、pp.9-17
9)芦田和夫、江頭進治、佐々木治：斜面崩壊の発生と土石流の流動機構、京都大学防災研究所年報第 30 号 B-2、pp.507-526
10)江頭進治、芦田和夫、矢島啓、高濱淳一郎(1989)：土石流の構成則に関する研究、京都大学防災研究所年報第 32 号 B-2、pp.487-501
11)芦田和夫、江頭進治、高濱淳一郎、田野中新(1990)：エネルギー散逸機構に基づく流砂モデル、京都大学防災研究所年報第 33 号 B-2、pp.293-306

（砂防研究室）

6. 土石流の流下速度

（質問）

土石流の到達するおそれのある現場での安全対策として監視人を配置する場合、配置する場所は想定される土石流の流下速度に関係することから、その速度の推定方法についてご教示願いたい。

（神通川水系砂防工事事務所）

（回答）

土石流の流速を推定する方法は大きく分けて２つある。１つは想定した降雨、土砂濃度、土砂礫の粒径等の土石流特性を基に推定する方法と、もう１つは偏流等の土石流流下痕からその流速を推定する方法である。今回の質問は発生していない土石流を予測しようとするものなので、ここでは前者の方法について概要を記す。

土石流の流速の推定手法は、(1)ピーク流量から流速を推定する方法、(2)流速係数から流速を推定する方法等がある。以下にその算出方法の概要を示す。

(1)ピーク流量から流速を算出する方法[1)]

この手法の手順は、①ピーク流量の算出、②波高の算出、③流速の算出に分類される。

①ピーク流量の算出

ピーク流量の算出には、ラショナル式を用いた流出解析から算出する手法[2)]、土石流総流出量から算出する方法[3)4)]、天然ダムの貯水量から算出する方法[5)]等がある。

流出解析による方法は、ラショナル式から水だけの洪水流量(Qp)を算出し、以下の式でピーク流量(Qsp)を算出する。

$$Q_{SP} = \frac{C_*}{C_* - C_d} \cdot Q_P \qquad \cdots\cdots (\mathrm{I})$$

なお、C*:堆積土砂の容積濃度（一般に 0.6)、Cd:土石流の容積土砂濃度である。

土石流総流出量から算出する方法は、焼岳、滑川、桜島等での観測結果に基づいた相関式から算出するものである。参考事例として、桜島における相関式を示す。

$$Q_{SP} = 2 \times 10^{-3} \cdot Q_T \qquad \cdots\cdots (\mathrm{II})$$

なお、QT:土石流総流量である。

天然ダムの貯水量から算出する方法は、天然ダムの結果によって発生する土石流を想定したもので、ダム係数（＝単位幅当たりの貯水量×天然ダムの高さ）と単位幅当たりのピーク流量との相関図から算出するものである。なお、相関図、相関式は参考文献 6)を参照してください。

②波高の算出

波高(h)の算出は、平均流速式と連続式を連立させた次式から算出する。なお、ピーク流量は①で計算した値を用いる。平均流速式として、マニング式を用いたい場合の式を示す。

$$h=\left(\frac{n\cdot Q_{SP}}{B\cdot\sqrt{\sin\theta}}\right)^{\frac{3}{5}} \quad \cdots\cdots(\text{Ⅲ})$$

なお、n:マニングの粗度係数、B:河幅、θ:河床勾配である。

③流速の算出

流速(v)の算出は平均流速式から算出する。過去の観測事例によると、マニング式を適用できることがわかっている。

$$U=\frac{1}{n}h^{\frac{2}{3}}(\sin\theta)^{\frac{1}{2}} \quad \cdots\cdots(\text{Ⅳ})$$

(2)流速係数から算出する方法[7)]

この手法の手順は、①摩擦速度の算出、②流速係数（＝流速／摩擦速度）からの流速の算出である。

①摩擦速度の算出

摩擦速度は次式で計算する。

$$U_*=\sqrt{gH\sin\theta} \quad \cdots\cdots(\text{Ⅴ})$$

なお、U*:摩擦速度である。

②流速係数からの流速の算出

流速係数は次式で定義されている。既往の土石流観測結果から計算された流速係数の数値を用いて流速を計算する。

$$\frac{U}{U_*}=\alpha$$

$$\therefore U=\alpha U_* \quad \cdots\cdots(\text{Ⅵ})$$

なお、U:流速、U*:摩擦速度、α:流速係数である。

参考文献

1)例えば、「土石流対策技術指針（案)」、平成元年１０月、建設省河川局砂防部砂防課

2)上原信司、水山高久(1984)：土石流動態観測に基づく土石流ピーク流量の検討、砂防学会誌 Vol.37,No.3,pp.23-24

3)山崎達雄、椿東一郎、歳田正夫(1980)：桜島の土石流、桜島地域学術調査協議会調査研究報告

4)欧国強、小橋澄治、水山高久(1991):土石流ピーク流量の推定、砂防学会誌 Vol.44,No.4,pp.24-29
5)石川芳治、井道沢道也、匡尚富(1992):天然ダムの決壊による洪水流下の予測と対策、砂防学会誌 Vol.45,No.1,pp.15-34
6)建設省総合技術開発プロジェクト　災害情報システムの開発報告書　第Ⅲ巻基幹施設編、pp.374
7)「砂防学講座第4巻渓流の土砂移動現象」、山海堂、社団法人砂防学会監修、pp.219

(砂防研究室)

7. 間伐材を使用した砂防施設

（質問）

公共事業において間伐材の有効利用を検討しているが、砂防施設に使用する場合の考え方・留意点等についてご教示願いたい。

（石川県土木部）

（回答）

1．間伐材を使用することの意義

平成９年12月、林野庁と建設省河川局は、「間伐材の有効利用を通じた自然を生かした川づくりと森林整備との連携について」との通達を都道府県と地方建設局等に出した。この通達には、都道府県に設けられている木材利用推進のための庁内連絡会議等を活用し、河川・砂防部局からの間伐材の需要情報と林務部局からの間伐材の供給情報を交換することにより、間伐材の有効利用を図る旨が記されている。このように近年、河川・砂防事業等では間伐材の有効利用が求められている訳であるが、間伐材を使用するにあたっては、まずその使用の意義を理解する必要がある。

（１）間伐促進の必要性

木材生産を目的として植林された人工林は、間伐を前提に密植されたものである。しかし多くの人工林において、間伐材価格の低迷、間伐経費の増大等の理由により、間伐が実施されていない。間伐手遅れ林分では、過度のうっ閉により林内照度が減少し、林床植生が消失する。このため傾斜地では土壌浸食が生じる[1)]との報告もある。今後我が国において、間伐が適切に実施されない状態が続けば、森林荒廃と森林からの土壌浸食が進む可能性がある。このため間伐材をより多く使用することによって、間伐の促進を図ることが求められている。

（２）間伐材使用の波及効果

山の中や山の近くで実施されることが多い砂防事業の場合、地域外で産出・加工された材料・製品の代わりに、周辺の山々から切り出されてきた間伐材とその地域で製品化された間伐材二次製品を積極的に使用することが、その地域の木材生産業、木材製品業等の振興を通して、山村の活性化に貢献するものと期待される。

（３）生態系・景観への配慮

20世紀になって、コンクリートと鋼材を用いた土木技術が発達し、砂防工事にコンクリートや鋼材が大量に用いられるようになった。しかし近年、国内・国外問わず、河川・砂防等の工事では、生態系や景観の配慮から石や木材といった自然素材の使用が見直されてきている。

2．間伐材等木材の砂防事業への適用の考え方

一般に、土木構造物・施設に用いる材料を選定する場合、構造物・施設が有する機能の発揮に見合った耐久性と強度を持った材料を選定する。このことは、間伐材等の木材を土木構造物・施設の材料として用いる場合には、木材の耐久性と強度に関する特性を良く理解した上で用いる必要がある、ということを示している。

ここでは、土木材料としての木材の耐久性と強度に関する既往の知見を整理し、その内容を基にして、砂防事業へ間伐材等木材を適用する場合の考え方と留意点を整理することとする。

（１）木材の耐久性

木材は菌類や昆虫類等の作用によって腐朽するため、コンクリートや鋼材といった他の材料に比べると、一般に耐久性に劣っていると言われている。既往の文献等には以下のような記述が見られる。

- これまでの木製治山工作物が施工以来十数年、支障なく経過している例や林道関係で木橋の耐用年数が古くから６年と言われていること等を考え併せると、間伐材丸太の耐用年数はおよそ10年程度と考えてよさそうである。防腐剤注入材の耐用年数は無処理剤の２倍の20年程度と考える。[2)]
- 木材（スギ、ヒノキ、マツ）の耐久性は防腐処理なしでは５～７年、防腐処理ありでは15～20年である。木材を常時水中または酸素の供給の少ない土中、および冷涼な環境では腐朽菌の活動が妨げられて腐朽し難くなるので、樹木等による日陰があり常時水の流れる場所で使用すると耐久性が向上する。[3)]
- 川づくりに木材を用いる場合には、木がいつも水面下にあれば腐りにくいが、水面上に出ていると腐りやすいということを考えておく必要がある。特に乾湿が繰り返される部分は早く腐る。水面下で上手に使えば数十年以上持つものも数年で腐ってしまい、ちょっとした力を加えられただけで崩れてしまう場合もある。木は使い方しだいで早く腐ったり、長持ちしたりする。このことをよく考えて、根固工など河岸防御上大切な箇所では、木が腐らないような使い方をする必要がある。[4)]

これらの記述を参考に、木材、木製施設の使用期間という観点から、砂防事業への木材適用の考え方を以下に示す。

①木材、木製施設の使用期間が、一時的な場合

・工事の仮設物への使用。

・災害後の応急復旧施設への使用。

など

②木材、木製施設の使用期間が、比較的短期間（数年～20年程度）の場合

・山腹工の補助工への使用。この場合木材は、導入した植生が活着・成長するま

での間機能しておればよい。

・工事用道路に付帯する構造物・施設への使用。この場合木材は、工事用道路の供用期間内において機能しておればよい。

など

③②の場合と比べて長い期間の使用を考えても良い場合

・冷涼な気候で常に流水のある渓流での使用。

など

④その他

・コンクリート構造物等の修景のための使用。

・庁舎、案内板への使用。

など

（２）木材の強度

土木材料としての木材の強度については、以下のような記述がある。木材の強度の検討を行う場合には、以下の内容を参考にすることができる。

・　構造物の設計に使用する木材の許容応力度は、建築物については建築基準法施行令による場合が多いが、他に木道路橋の設計に使用する許容応力度（建設省道路局規準）もある。また、これらの規準値と一般の鋼材とコンクリートの設計強度を比較したものを表に示す（表－１）。[3)]

表－１　木材およびコンクリート，鋼材の許容応力度(kgf/cm²)[3)]

材料		曲げ	圧縮	引張り	せん断
建築基準法施行令（第89条）	あかまつ，くろまつ	95	75	60	8
	からまつ，ひのき	90	70	55	7
	すぎ	75	60	45	6
木道路橋設計	針葉樹（すぎ，まつ，ひのき等）	90	70-0.48 ×1/r**	80	12
	広葉樹（かし，くり，なら等）	120	80-0.58 ×1/r**	100	18
コンクリート（設計基準強度：210kgf/cm²）		70	55	-	3.6
鋼材（SS400, STK400, SM400, STKR400）		1400	1400 (1/r≦20)**	1400	800

＊ 木材は曲げ，圧縮，引張りについては繊維方向，せん断については繊維直角方向。
** 1：部材の有効座屈長（cm），r：部材総断面の断面二次半径（cm）
木材では1/r＜100の場合を示す。

・　間伐材等の小径木の強度試験結果から、特に小径木材を治山構造物、施設として使用する際に強度的に問題となる曲げ強度については、成熟材と比べると小さい値を示す傾向があるが、次表（表－２）の建築基準法施行令に定められた値を下回るものはほとんどないとのことである。

表－2　木材の曲げ強度[2)]

種　　類	材料強度	許容応力度
あかまつ、くろまつ	285kgf/cm^2	95kgf/cm^2
からまつ、ひのき	270	90
すぎ	225	75

建築基準法施行令第95条及び同第89条

構造材料として、上表の許容応力度の値を適用する限りでは、大いに間伐材等を治山施工材料として利用し得るものと考えてよい。[2)]

（３）木製砂防施設の設計計算（施設の安定性検討、部材の安全性検討）

木製施設の設計計算に関しては、設計計算を行うかどうかという問題と設計計算をどのような考え方に基づいて行うのかという問題がある。

前者の問題については、以下のよう考えるのが妥当であろう。砂防工事にコンクリート製や鋼製の構造物を用いるときに設計計算を行っている箇所（設計計算結果に基づいた標準設計を用いる場合も含む）に、木製施設を用いる場合には、同様の設計条件を与えて設計計算を行う。一方、外力の作用等を考慮しない簡易な木製施設については設計計算の必要はない。

後者の問題については、木製砂防施設の設計手法が確立していない現段階においては、以下の内容が参考となろう。

- 木製床固工：鋼製枠構造砂防ダムに用いられている枠構造物と同様の型式の木製枠に中詰石を用いた構造を基本構造とした設計手法[3)]が提案されている。
- 木製土留擁壁：丸太を井形状に組み合わせた土留擁壁としてすでに製品化されているものがあり、もたれ式擁壁の設計の考え方に基づいて設計計算を行っているようである。

３．おわりに

これまでに述べてきたように、砂防事業において間伐材等の木材を使用するにあたっては、その意義を認識し、木材の材料的な特質を良く理解することが必要である。

また、砂防工事に使用される材料には、木材、生きた植物、石、コンクリート、鋼材などがあり、それぞれ長所と短所がある。このことを良く理解し、適材適所の考えに基づいて材料を選択し、工法の選定や施設の配置をしていくことが重要である。

（砂防研究室）

（参考文献）

1）川名明・片岡寛純ほか：造林学－三訂版－，朝倉書店，p.162，1992

2）治山研究会編：木製治山施設使用の手引き，日本治山治水協会，pp.15～16，1994

3）石川芳治：木製床固工の特徴と設計，砂防学会誌，Vol.50，No.6，pp.34～35，1998

4）(財)リバーフロント整備センター編：まちと水辺に豊かな自然をⅢ多自然型川づくりの取組みとポイント，山海堂，p.43，1996

8. 渓畔林の効果と床固工群への導入手法

（質問）

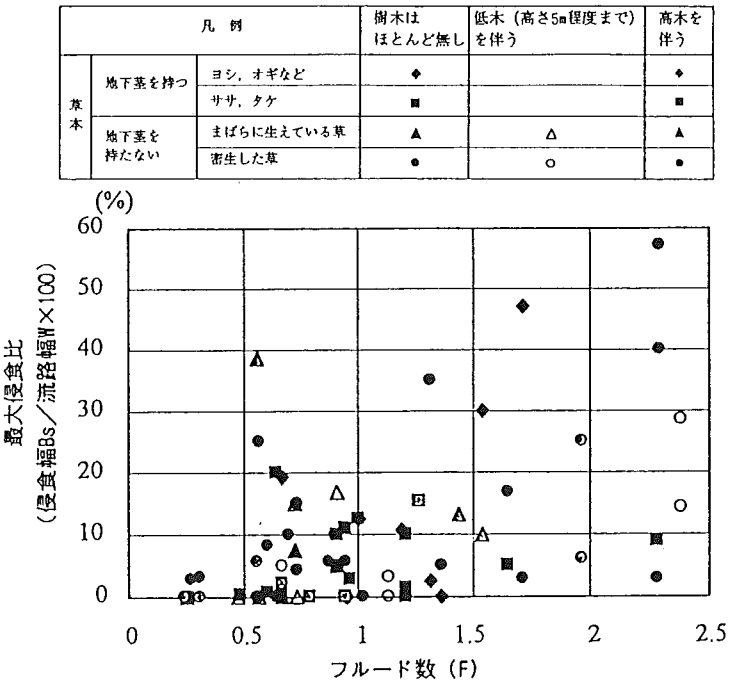
近年、砂防渓流において環境との調和などの観点から、渓畔林を砂防施設として評価する試みがなされている。(1)渓畔林の持つ渓岸侵食抑制機能や土砂捕捉機能、(2)渓畔林の土石流や土砂流に対する抵抗力、(3)床固工群と渓畔林との機能分担の考え方、などについて御教示願いたい。

（北陸技術事務所、松本砂防工事事務所）

（回答）

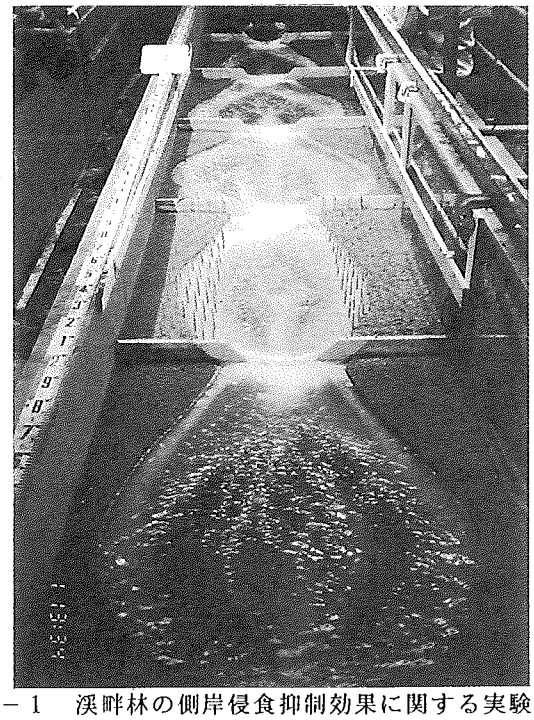
1．渓畔林の持つ渓岸侵食抑制機能

最近の掃流状態の出水による直線に近い無施設の渓流区間において発生した侵食実態を調査した結果を図－1に示す[1]。地下茎の発達するササ・タケや低木が密生した状態の場所では若干の侵食抑制傾向がうかがわれるが、明瞭な差異を示してはいない。また、現地調査から判断すると、多くの渓岸侵食は2m前後の崖状段丘を形成して進行しており、渓畔林の存在が影響を与える条件になっていないと考えられる。また、渓岸侵食の進行は洪水流の蛇行の影響を強く受けているようであり、したがって、渓岸侵食抑制のためには流水の蛇行を抑制する人工的な構造物が必要と考えられる。



図－1　渓岸侵食と植生種の関係

袖の長い連続床固工群の側岸部分に渓畔林を配置した水理模型実験を行ったところ（写真－1）、樹林密度が0.4％以上で侵食幅を40％以上減少させる結果が得られている[2]。これは、渓畔林部分が粗度として働いて、流水を中央部へ集中させる効果を示したものと考えられる。したがって、構造物による洪水流の制御をベースにして、渓畔林の流水に対する粗度増加機能を付加させるという考え方が望ましい。



写真－1　渓畔林の側岸侵食抑制効果に関する実験

2．樹林帯の外力に対する抵抗力

樹木単体の強度に関する検討[3]では、

根元での最大曲げモーメントM(tf・m）が、

$M = 170 \cdot \phi^3$　　（ϕ：樹木の根元直径(m)）

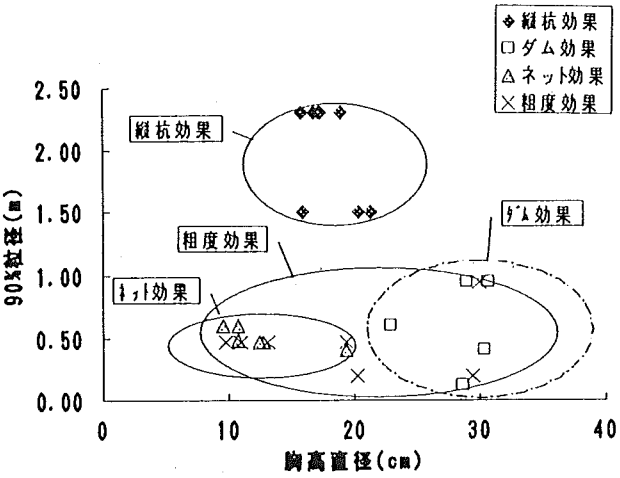
自然状態で含水比が高い場合の屈折強度が、

$M = 588 \cdot \phi^3$　　（ϕ：樹木の根元直径(m)）

といった値が得られている。したがって、地盤条件や樹種にもよるが、一般的には流体力によるモーメントを求めて根返りに対する安定性を検討すればよいことになる。

一方、樹林帯の崩土に対する捕捉事例を調査したところ、捕捉実態は図－２に示すようであった[4]。胸高直径が20cm程度を越えたところで、倒木が立木間に閉塞してダム状に崩土を堰き止める現象が見られた。

しかしながら、土石流のような「流体」でシミュレーションを行っても、斜面勾配が大きい場合には堆積促進効果はそれほど大きくはない。したがって、樹林帯に土砂捕捉効果を期待する場合には、土石流等の堆積区間に入ってからの粗度の上昇による堆積勾配の増加として考えるべきである。



図－２　樹林効果と胸高直径－粒径の関係

3．渓流整備における渓畔林の意義と基本的配慮事項

渓畔林の存在意義は、出水時の渓流保全に際しての渓岸保護や堆砂促進の効果を発現させるという防災上の機能と、渓流周辺に生息する動物にとっての良好な環境の保持、および植生群落そのものの維持といった生態環境上の必要性にあるといえるが、砂防上の効果を発現させるためには以下のことに配慮する必要がある。

1)渓畔林が砂防上の効果を発現できるような、場の条件を整えること。

2)渓畔林が砂防上の効果を発現できるような、群落としての渓畔林の状態を維持すること。

3)渓畔林の流失により下流で被害が発生しないようにすること。

一方、環境上の必要性からは、渓畔林に対して以下のことが求められている。

1)渓畔林または渓畔植生群落が維持できること。

2)渓畔林のカバー効果（緑陰・産卵環境・有機物の提供等）が発揮できること。

3)渓畔林が連続し、小動物・昆虫等の移動が容易になること。また、既存の緑地帯との連絡が可能になること。

4)既存の渓畔林が学術的または社会的に価値がある場合には、その範囲を保全すること。

ただし、これらの条件全てが満たされない場合でも、不利な区間を極力連続させないことで環境上の要求はある程度満足させられると考えられる。

したがって、整備方針としては、次のように整理できる。

Ⅰ．渓畔域では、澪筋が変動する不安定帯、小規模出水である程度の攪乱を受ける半安定帯、高木も成立しうるような安定帯に至る、「場の多様性」を確保できる渓流横断構造を保全する。

Ⅱ．出水時に流路が大きく変動することは防災上問題となるので、対象箇所については構造物で主流路を安定化した上で、渓畔林を組み合わせて砂防上の効果を高める。そのためには、渓岸に侵食崖を形成させにくくする構造物の配置・形状を検討する必要がある。

Ⅲ．侵食想定範囲の既存渓畔林については、流木化による下流域での被害が発生しないような対応を行う。

また、以上の要求を満足させるためには、次に示すような流れで渓畔域の管理を行うことが望ましいと考えられる。

まず始めに、防災上の渓流保全工事が必要となる箇所を抽出する必要があるが、基本的な考え方としては現況河道では渓岸侵食や水位上昇または過度の土砂堆積が背後地に対して影響を与えることが想定される場所等のトラブルスポットを的確に抽出し、土木的な対応範囲を最小限にすることである。それ以外の区域については、現況河道が計画規模の現象が発生した場合でも問題を生じない状態にあるのか、また、どのような状態になった場合に対応が必要になるのかを検討しておく。

次に、保全すべき環境要素および保全レベルを決定した上で、渓畔植生群落を成立・維持しうる整備計画を策定する。その計画で、防災上と環境上の両者の目標を満足させられるかを検討し、砂防的な手法のみでは解決できない場合には別途の施策を導入することも含めて、必要な管理範囲を決定する。

このようにして決定された渓流の管理範囲において、保全目標をクリアーするためのモニタリングおよび管理を継続する。なお、ここで言う「管理」にはソフト的な管理と、時間の経過に伴って必要が生ずるハード的対策も順次実施するという両面の対応を含む。

（砂防研究室）

＜参考文献＞

1)竹崎伸司、南哲行、小山内信智：渓岸侵食の実態と河床変動が渓畔林に与える影響，平成１０年度砂防学会研究発表会概要集　108-109,1998

2)南哲行、小山内信智、竹崎伸司、松村恭一：連続床固工区間内の渓畔林の流路安定に与える効果に関する実験，平成１０年度砂防学会研究発表会概要集　106-107,1998

3)水山高久、栗原淳一、鈴木浩之：立木の衝撃緩衝効果に関する試験報告書（Ⅱ），土木研究所資料 2737 号　1989

４)桜井亘、南哲行、小山内信智、正野光範：樹林帯の崩土流下に対する減勢効果，平成１０年度砂防学会研究発表会概要集　272-273,1998

9. 傾斜付き床固工の考え方

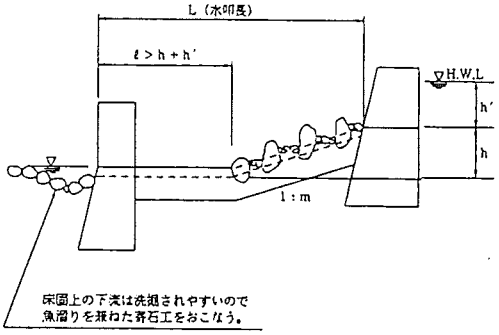
（質問）

環境への配慮を考えて、斜路付き床固工の施工を検討しているが、床固工前面を斜路とした場合の水叩き、側壁の設置の考え方について御教示願いたい。

（石川県土木部砂防課）

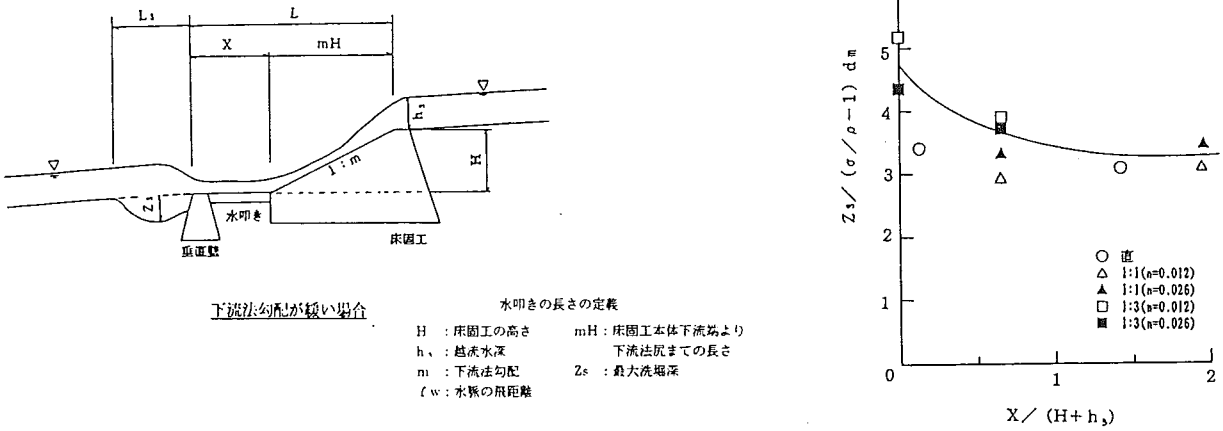
（回答）

床固工の新規施工に際して全面斜路工を採用する場合（図－１）に、検討を要するのは主に、①水叩きの構造、②側壁の根入れ、の２点と考えられる。



図－１　全面斜路工の施工概念図（例）

通常の落差工の場合には、流水が垂直に落下することで位置エネルギーを消費して減勢する効果が得られるが、斜路工とした場合には斜路の粗度にも影響されるであろうが、水平の水叩き部分がないと、直下流の洗掘深が大きくなることが図－２に示すように実験的に報告されている。したがって、斜路工とする場合には、斜路の先端にX＝（H＋h₃）程度の水叩きを設けることが望ましい[1]。



図－２　水叩き長と最大洗掘深の関係[2]

一方、水叩きの厚さについては、斜路部分の落差は本ダムの越流水深に小段の落差を加えたものと考えられるので通常の落差工の水叩き厚よりも小さくして良いが、水平部分については揚圧力からの検討を行う必要がある　。

また、側壁の根入れの基準面については、斜路部分の強度が確保されている場合には斜路上面と考えて良い。

（砂防研究室）

<参考文献>　1）土木研究所資料第 3016 号：緩勾配の下流法面を持つ床固の前庭保護工に関する水理模型実験報告書

10. スリットダムの設計手法

(質問)

オープンタイプ砂防ダムの一種として、スリット型砂防ダムがある。以下の事項について、その設計手法の考え方を御教示いただきたい。

①スリット型砂防ダムの整備土砂量の算定手法

②塞き上げタイプと閉塞タイプの使い分け

③コンクリートスリットダムにおけるスリット数の決定方法

④スリット型砂防ダム前提工の設計方法

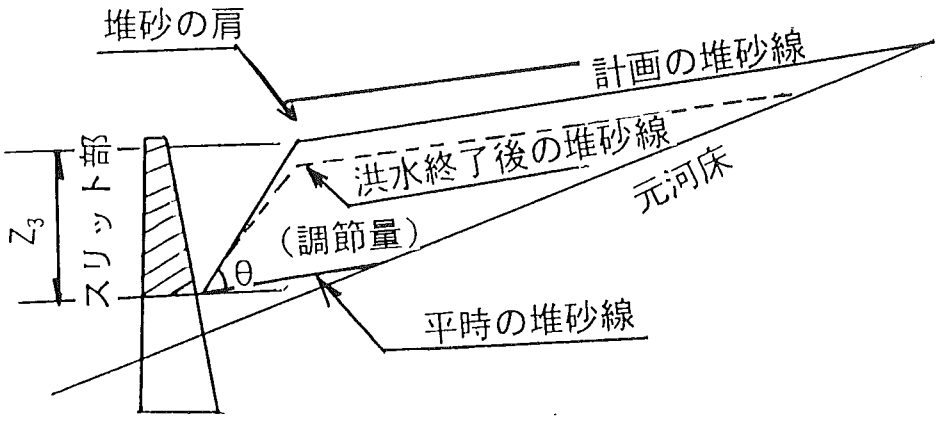
⑤オープンタイプ砂防ダムのスリット部の魚道としての機能

(石川県)

(回答)

①スリット型砂防ダムの整備土砂量の算定手法

スリット砂防ダムの整備土砂量は、扞止量に調節量を加えた量とする。調節量は平時の堆砂面と計画堆砂面の間の土砂量とする。平時の堆砂線と計画の堆砂線は、それぞれスリット底面の上流側及び計画流量時の堆砂の肩の位置から元河床勾配の 1/2 の勾配で引いた線とする。堆砂の肩から下流の斜面勾配(θ)は水中安息角に等しい値とし、一般にθ=35°を採用する(図－1)。



図－1

堆砂の高さ(Zs)は次式によって求める。

$$z_s = \left\{ \frac{F_r^{\,2}}{2} \left(\frac{1}{\left(\sqrt[3]{\gamma}\right)^2} - 1 \right) + \frac{\sqrt[3]{\gamma}}{\gamma} - 1 \right\} \left(\frac{nQ}{B_s \sqrt{I}} \right)^{0.6}$$

ここに、
Zs:堆砂の高さ
Fr:等流水深に対するフルード数
γ:流水幅縮小率(=Bd/Bs)
Bd:ダム地点での流れの幅
Bs:堆砂肩の位置での流れの幅
I:計画堆砂勾配
n:マニングの粗度係数
Q:計画流量

②塞き上げタイプと閉塞タイプの使い分け

塞き上げタイプは掃流砂を対象とする。即ち、洪水流のスリット部での塞き上げによる背水により、土砂を堆砂させ、流出土砂量の調節を行う。従って、土砂調節は、せきあげ水深の差によって行われ、大きな流量の時に堆砂が進み、小さな流量の時に土砂が流出する。このような土砂調節は砂防ダムの完成時点から行われる。なお、スリット砂防ダムの土砂調節量は、スリットが深く、幅が狭いほど大きくなる。スリットの深さ(h)の条件として、スリット砂防ダム近傍で流れが減勢してせき上げられ、堆砂肩が形成されることが必要である。砂防ダム上流の流れが射流である場合には越流水深が跳水対応水深よりも大きくなるのが望ましい。なお、スリットの除石作業の容易さを配慮するとスリット幅は3mよりも狭くしない方がよい。

これに対して、閉塞タイプは、土石流を対象として計画する。即ち、土石流先端部を構成する大礫がスリット部を閉塞させることによって、閉塞されたダムポケットに土石流を貯留させることを目的としている。即ち、一度スリット部が閉塞された後は不透過型砂防ダムと同様の機能を発現することとなる。なお、大礫によるスリット部の閉塞条件は、

$B \leqq 1.5d$....(1)

の場合は確実に閉塞し、

$B \geqq 2d$....(2)

ならば土石流のピーク流量は減少するが、完全には閉塞しない。

ここで、

B:スリット幅、
d:最大礫径

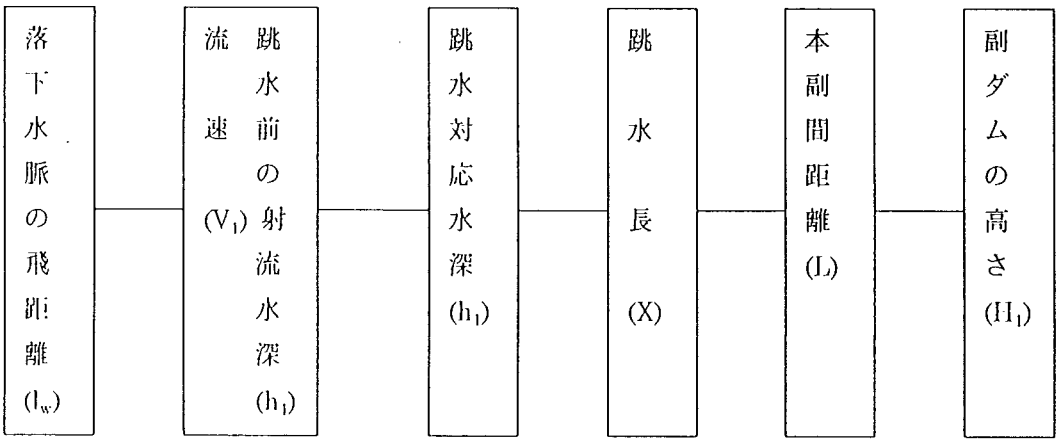
である。

従って、土石流を確実に捕捉しようとする場合は、スリット幅は土石流の最大礫径の1.5倍以下とし、巨礫のみの捕捉やピーク流出土砂量の減少のみを目的とする場合は、スリット幅を最大礫の2倍程度とする。

③コンクリートスリットダムにおけるスリット数の決定方法

通常、土砂流出がほとんど無い渓流では単スリットとし、土石流区域では計画流量時にスリットを閉塞させる。また、通常、土砂流出がある渓流では、複スリットとし、掃流区域では、計画流量時にピーク流量のみを調節することを目的にスリットを閉塞させないものとする。また、スリット幅が設計流量時の移動限界粒径で閉塞する幅よりも広い場合、施工性、管理の容易さを考慮して複数のスリットを計画することができる。ただし、スリット幅の総和は変えないことを条件とする。スリット部の面積の合計が同じならば、土砂調節効果はほとんど変わらない事が模型実験により確かめられている。ただし、各々のスリットの幅は出水中に移動する河床砂礫の最大粒径の 3 倍以上を確保する。また、直下流に保全対象がある場合など出水後半期の急激な土砂流出を抑制しなければならないときは、計画流量時にスリット幅が閉塞するようにスリット幅は、最大粒径以下とする。
スリットの位置は、単スリットでは水通しの中央を原則とする。複スリットの場合、スリットの位置が山脚に近いと、出水の減衰期の土砂流出に伴い、渓岸侵食が生じ易くなる。また、スリットから落下する土砂を含む流れが側壁に衝突すると、越水や破損などを起こす。そのため、スリットの位置は原則として、水通しの中央に近づけるよう計画する。

④スリット型砂防ダム前堤工の設計方法
スリット砂防ダムの場合、流れがスリツト部に集中して流速が早くなるため、前提部を保護するうえで、スリット部からの落下水脈の減勢が重要となる。
副ダムの位置と高さは、落下水脈水脈を十分に減勢させるとともに、下流河床低下の防止に対する効果が十分に発揮されるように定める必要がある。
副ダムの位置と高さの設定方法として、以下に示す方法(図－2)が模型実験の結果を元に提案されている。ただし、地形条件が複雑な場合などは必要に応じて模型実験を実施し、個別的に検討する必要がある。



図－2

落下水脈の飛距離(lw)はスリット部での流速(Vo)を用いて、次の式で算出できる。

$$Vo = \left\{ \frac{2\left(H1 + Z + lw \cdot I\right)}{g} \right\}^{0.5} \quad \cdots\cdots(3)$$

$$Vo = \sqrt{2gz} \quad \text{.....(4)}$$

$$Z = \frac{1}{3}h \quad \text{.....(5)}$$

$$V1 = V1'\left(1+\cos\theta\right)/2 \quad \text{.....(6)}$$

$$V1' = \sqrt{2g\left(H1+h3+lw\cdot I\right)+Vo^2} \quad \text{.....(7)}$$

$$h1 = \frac{Q1}{bV1} \quad \text{.....(8)}$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{glw}{vo^2}\right) \quad \text{.....(9)}$$

ここに、

Q1:スリット部の流速(堰の公式により算出、流量係数は、大オリフィス式では 0.6～0.7 の値を用いているが、狭いスリット(スリット幅／水通し幅が 0.1～0.3 程度)の場合は 0.4～0.5 程度(実験値)まで減少している)

h:本ダムの越流水深

H1:スリット敷高

I:水叩きの勾配

h1:水叩き上での跳水前の射流水深(white 式により算出)

V1:流速(white 式により算出)

V1':落下水脈の水面への突入流速

θ:水脈の水面への突入角度

b:スリット幅

跳水対応水深(hj)は水脈幅の変化を考慮した次式に副ダムの有効幅を考慮することによって計算される。

$$\left(\frac{Bj}{B1}\right)^2\cdot\left(\frac{hj}{h1}\right)^3-\left(2F1^2+1\right)\cdot\left(\frac{Bj}{B1}\right)\left(\frac{hj}{h1}\right)+2F1^2=0 \quad \text{.....(10)}$$

ここに、

B1:跳水前の水脈幅

Bj:跳水後の水脈幅(個別的に水理模型実験を行って決めるのが望ましい)

F1:跳水前のフルード数

本副間距離(L)は、以下の式によって算出する。

$$L = lw + X + b2 \quad \text{.....(11)}$$

ここに、
b2:副ダムの天端厚
X:跳水長(Safranez)の実験式を参考に X=4.5～5.0hj によって求める。
H2:副ダム高(=hj-h2)
h2:副ダム水深(逆台形堰の越流公式により求める。流量係数は水理模型実験を行って水位と流量との関係から求めるのが望ましいが、大オリフィス式の値である 0.6～0.7 の値を参考にすることができる)

水叩き上の摩耗については、出水の頻度、流出土砂量、流出土砂の粒径によって差が大きいと考えられる。そのため、対策としては、施工後に追跡調査を実施し、その結果によって必要に応じて実施する。

⑤オープンタイプ砂防ダムのスリット部の魚道としての機能

従来の魚道施設の実態調査によると、a.魚が魚道の入り口に集まりにくい、b.河床低下のため魚道の入り口が浮いてしまう、c.魚道内の流量が少ない、d.魚道の段差が大きい等の問題が指摘されている。 このうち、スリット砂防ダムでは主に a,c を解決することが出来る。以下に、スリット砂防ダムの魚道としての長所と短所を示す。

(長所)
・底棲生物の移動も可能である。
・在来型の魚道と比べて、流水を魚道に集めやすい。即ち、出水後半の低水流路が形成される際に、スリット部に流れが固定され、その結果、ある程度の流量を魚道に流すとともに、呼び水として魚道に平行した流れを創ることができる。
・砂等の細粒土砂でスリット部が閉塞しても表流水の働きで、徐々に土砂が掃け、自然に機能を回復する可能性がある。
・魚道の維持管理が容易である。
・スリット式魚道は本堤に切り欠きを設けるだけなので、施工性、経済性に優れている。

(短所)
・同一流量では、従来の魚道に比べて流速が大きくなり、遡上が困難となる場合もある。
・石礫等によりスリット部が閉塞した場合、魚道の機能が失われる。
・スリットの幅が広くなると鳥にねらわれやすくなったり、跳躍のための水深が確保し難くなる。

上記の短所を解決するために、以下の事項についての工夫が必要である。
・河川流量に応じてスリット幅と個数を設定する。
・跳躍のための水深は、流砂の無い場合は、魚道部を隔壁等により縦断的なプール構造とすることも考えられる。また、流砂がある場合は、それらのプールに土砂が堆積し、魚道としての機能が損なわれる例が多いので、隔壁の断面をオリフィス構造とするなどの土砂流

出抑制のための工夫を施す。
•副堤にスリットを設けると水じょく地の水深が確保できなくなるので、他の形式の魚道を設置する必要がある。

（参考文献）
池谷浩、上原信司(1980):スリット砂防ダムの土砂調節効果に関する実験的研究、砂防学会誌 114 号、
渡辺正幸、水山高久、上原信司(1980):土石流対策砂防施設に関する検討、砂防学会誌 115 号
水山高久、阿部宗平(1990):スリットを有する砂防ダムの土砂調節機能に関する検討、土木技術資料第 2851 号
水山高久、阿部宗平、矢島重美(1989):スリット砂防ダムの流量係数と堆砂形状、砂防学会誌 165 号
水山高久、山田孝、矢島重美(1990):スリット砂防ダム前庭保護工に関する水理模型実験報告書、土木研究所資料第 2835 号
本間久枝、阿部彦七、水山高久(1993):スリット魚道、全断面魚道の流れに関する研究、砂防学会誌 185 号
南哲行、石川芳治、小山内信智、竹崎伸司(1998):砂防渓流における魚道設置の手引き(案)、土木研究所資料第 3530 号

(砂防研究室)

11. 経済断面を考慮した砂防ダムの下流のり勾配ならびに水叩き長の設定方法

(質問)

砂防ダムの下流法勾配は1:0.2を標準としている。土砂量が少なく粒径が細かい等の土砂流出特性を呈する渓流に砂防ダムを施工する場合は、砂防ダムの下流法勾配を緩くすることによってダム断面の経済化を図ることが可能であると考える。

その際の下流のり勾配の設定方法ならびに水叩き長の考え方について御教示いただきたい。また、砂防ダムの法勾配を緩くする以外にも、砂防ダムの断面を工夫することによりコスト縮減を図る手法があればあわせて御教示頂きたい。

(石川県)

(回答)

砂防ダムの下流法勾配“２分”は、ダム天端からの落下水脈による下流法面の摩耗や損傷による本堤の破壊防止の観点から、落下水脈が下流法面上に落下することがないよう、観測結果に基づく経験的な判断によって昭和３０年代に決められた値である。ただし、土石流の発生頻度が小さい、流域面積が小さく流量が少ない、土砂の粒径が細かい、等の特性をもつ渓流での砂防ダムの施工に際しては、コンクリートの品質が向上したこと等から、必ずしも２分勾配とする必要がないと考えられる。また、近年、環境に配慮した砂防設備の施工が望まれており、そのための一つの方法として、砂防ダム下流法勾配を緩くして親水性や景観性を向上させることを検討する必要がある場合もある。

砂防ダムの下流のり勾配を２分よりも緩くする場合、ダム天端での土石流や土砂流の通過速度によっては、①下流法面に衝突する場合、②下流法尻よりも遠方に落下する場合、③下流法面に沿って流下する場合、が考えられる。

１．砂防ダム天端を通過する土石流の流速とその落下水脈の水平距離算定方法

土石流のダム天端での通過速度は、マニング型の式である(1)式によって算出できる。

$$V=\frac{1}{n}R^{\frac{2}{3}}\cdot I^{\frac{1}{2}} \quad \cdots \quad (1)$$

ここに、

n:マニングの粗度係数

(自然河道ではフロント部で0.10,後続流で0.06,三面張りの流路工では、フロント部、後続流とも0.03程度)

R:径深(土石流の水深)

I:渓床勾配(=sin θ)

この場合、ダム天端から、落下水脈までの距離は、空気抵抗や風、落下水位脈近傍に形成される圧力勾配による影響等を無視すると単純に、(2)式によって算出される。

$$L = V \cdot \sqrt{\frac{2h}{g}} \quad \cdots (2)$$

ここに、

L:ダム天端から落下水脈までの距離

h:ダムの有効高

V:ダム天端での土石流の流速(1)式によって算出される値

2．砂防ダム下流のり勾配設定方法の考え方

2.1.土石流の発生頻度が高い渓流の土石流流下区間での砂防ダム下流法勾配の考え方

ここで言う「土石流の発生頻度が高い渓流」とは、「火山地域の渓流」、「非火山地域でも流域の崩壊面積率が高く、土石流の発生が予想される渓流、頻繁に土石流が発生している渓流」をいう。また、「土石流流下区間」とは、勾配が３度以上の区間を言う。このような渓流区間では、土石流によるダム下流法面の摩耗・損傷への対策は、ダム堤体の安定を図る意味でも大変重要となる。

ダム下流法面勾配を２分よりも緩くした場合を考える。(2)式によって計算される値が、ダム下流法面の水平距離よりも短ければ、落下水脈は、ダム下流法面に衝突する。この場合、ダム下流法面での摩耗や損傷を考える上で、衝突時点での落下水脈の流体力、落下水脈に含まれる礫による衝撃力、落下水脈の継続時間等が大きなパラメータとなる。

一方、(2)式によって計算される値が、ダム下流法面の水平距離よりも長ければ、土石流の流量ピーク時には落下水脈は直接、ダム下流法面に衝突することはない。ただし、土石流発生前の土砂流出や土石流流量の減衰時は、ダム天端での流速が(1)式で計算される値よりも小さくなることから、ダム下流法面に衝突あるいは、その上を流下するようになる。

これらのいずれの場合にも、ダム下流法面の摩耗や損傷が十分に予想されるため、落下水脈がダム下流法面に衝突することがないよう、下流法面勾配は従来の基準どおり２分とする。

2.2.土石流の発生頻度が高い渓流の掃流区間での砂防ダム下流法勾配の考え方

ここで言う「掃流区間」とは、勾配が３度未満の区間を言う。

このような渓流では、掃流区間においても土砂濃度の高い流れが頻繁に生じていることから、その区間に砂防ダムを設置した場合、ダム下流法面の摩耗・損傷が生じる事は

は十分考えられる。従って、落下水脈が直接、ダム下流法面に衝突することがないよう、ダム下流のり勾配は、２分とする。

2.3.土石流の発生頻度が低い渓流の土石流流下区間での下流のり勾配の考え方

ここで言う「土石流の発生頻度が低い渓流」とは、前述の「土石流の発生頻度が高い渓流」以外の渓流をいう。

このような渓流では、通常時は渓流にほとんど流水がなかったり、あるいは流量が少ない場合が多い。また、ある程度の降雨があっても水のみでは、流量規模が小さい場合が多い。そのような流量規模の小さな出水に伴う土砂濃度が低い流れでは、経験的にダム下流法面の摩耗は生じにくいと考えられる。

従って、ダム堤体が土石流に対する安定条件を満たしているという前提条件の元に、上流法を直としてダムの安定計算を行い、安定条件を満たす範囲において、ダム下流のり勾配を２分よりも緩くすることができる。この場合、落下水脈の前庭部での落下地点よりも上流側にダム下流法尻が位置することとなる。ただし、３．で述べる方法を参考にして、摩耗しろを見込むことが望ましい。

2.4.土石流の発生頻度が低い渓流の掃流区間での下流のり勾配の考え方

「2.3.土石流の発生頻度が低い渓流の土石流流下区間」での下流のり勾配の考え方と同じでよい。

３．摩耗しろによるダム下流法面の補強方法

砂防ダム建設予定地の直上流または近傍の砂防ダムの下流法面の摩耗状況を調査し、必要に応じて摩耗しろを見込むことによって、下流法面を補強する。下流のり勾配を２分よりも緩勾配で施工する場合においては、摩耗しろを見込んでおくことが望ましい。摩耗しろの算定式としては、以下の式を参考に出来る。

$$H = f \cdot \Delta h \cdot N \quad \cdots \quad (3)$$

ここに、

H:摩耗しろの厚さ

f:安全率(砂防ダムの高さ＜15m の場合は 1.2,砂防ダムの高さが≧15m の場合は 1.5)

△h:年平均摩耗量(=h/n　h:満砂後の摩耗量　n:満砂後の年数)

△N:耐用年数(土木構造物は一般に 30～50 年)

４．砂防ダムの下流のり勾配を２分よりも緩くした場合の副ダムの設置位置

砂防ダムの水叩き長さについては、河川砂防技術基準(案)設計編によれば、経験式として次式が提示されている。

$$L=(2\sim3)(h+h3)\quad\cdots\quad(4)$$

ここに、

h ：砂防ダムの有効高

h3:砂防ダム天端での越流水深

(h+h3)を２～３倍して水叩き長さを計算するのは、水叩き上での水脈の飛距離を考慮しているからである。砂防ダムの下流のり勾配を２分よりも緩くした場合の水叩き長さの設定手法の基準は現時点ではないが、過去に土木研究所で成された緩勾配の下流法面をもつ床固工の水叩き長さに係わる実験結果を参考にできる。

この実験は、親水性や景観面の向上等を目的とした近年の環境に配慮した砂防設備に着目し、床固工の下流のり勾配、粗度及び水叩きの長さを変え、床固工の下流法を緩勾配とした場合の流水の挙動と前庭保護工について検討したものである。

この実験では「水叩き工を水平にすれば、洗掘深を小さくすることができ、本実験の結果に施工性や経済性を考慮すると、水叩き工の長さは、床固工天端下流端を基準に水脈の飛距離(lw)または下流法尻までの距離に、床固工の高さと越流水深を加えた長さ(h+h3)に等しい長さ程度を加えればよいと考えられる」という結論が得られている。

ちなみに、この実験の対象とした下流のり勾配は、１割、３割の２種類、水叩きの粗度係数は 0.012,0.026 の２種類である。また河床勾配は 1/30 であり、給砂はしていない。

今回の実験では、水叩きの粗度が小さかったため、粗度の違いによる洗掘深の変化は顕著に現れていない。実際は、大きな礫を水叩き上にならべる等の措置によって水叩き粗度を大きくすることでかなりの程度、落下水脈あるいは緩勾配の下流法面に沿う流れを減勢でき、結果として洗掘深を小さくできるものと考えられる。ただし、水叩き工を設けても、水叩き工(垂直壁)下流の洗掘を完全には防止できないため、護床工の利用も必要となる。

以上の実験結果ならびに現地での土砂流出状況と河床洗掘状況等を参考にして、個別の現地ごとに模型実験や試験施工を行って検討するのが望ましい。

砂防ダムのコスト縮減を図るためのダム断面改良に関する他の手法としては、例えば、フィレット断面化が考えられる。この種のタイプのダムは、我が国においては建設された事例はなくその設計法についての基準は現在ないが、基本的には、土石流の流下区域に計画する場合には従来の土石流対策ダムと同様の設計基準を満たす必要があり、土石流の衝撃力や流体力に対しても安定である事が必要である。ただし、流域の詳細な地形・地質調査の結果、土石流の発生･流下による影響を考えなくてもよいと判断される渓流では、必ずしも従来の土石流対策ダムの設計に用いられている外力を考慮する必要はない

と考えられる。

（砂防研究室）

(参考文献)

石川芳治、井良沢道也、福本晃久(1991):緩勾配の下流法面を持つ床固の前庭保護工に関する水理模型実験報告書、土木研究所資料第 3016 号

建設省河川局砂防部砂防課(1990):土石流対策技術指針(案)

12. 岩盤接着工法の指針

（質問）

落石・岩盤崩落対策として、クラックに接着剤を注入または流し込んで、固定する手法があります。この場合、クラックの状況による注入材の使い分けや、施工方法についての指針となるものがあれば、ご教示願いたい。（福島県南会津建設事務所）

（回答）

先ず、指針となるものは見あたらない。

しかしながら、一般的な「考え方」を簡明に説明する。接着剤の種類等を以下に示す。

		開発時期	流動性	接着性	実績	用途
セメント系	ミルク モルタル	古い ↑	大きい ↑	小さい ↑	多い ↑	コンクリート ↑
樹脂系	にかわ ビニール アクリル 某－C	↓	↓ 小さい	↓ 大きい	↓ 多い	↓ 多様
混合系	某－D 某－N 某－K	↓ 新しい	↓ 小～中	↓ 小～中	↓ 少ない	↓ 岩石接着 緑化基材

図－1　接着剤の種類等

これらから明らかなように、セメント系は流動性に優れ、コンクリート・岩盤等の間詰めや接合に古くから用いられ、遮水性（水密性）に効果を発揮している。しかし、岩盤等の接着強度増加には、さほどの効果を期待してはいない。一方、樹脂系は家庭用・工業用に広く用いられ、その接着性は高い評価を得ている。混合系は、前二者を混合して、使用目的に応じ、配合を変える方法を採っている。しかしながら、現在の製品開発技術レベルでは相乗性に乏しく、つまり、樹脂系を混合してもその効果はあまり発揮されず、流動性に期待したセメント系の接着性に依存するものと考えられる。また洗浄による新鮮な接着面を得ることに難があり、岩石の形状を正方形と見なして計算すると、一辺の長さが2倍になると、接着面が4倍に体積が8倍に増え、有効な接着面は必ずしも4倍にはならないことから、接着効果は3倍程度の増大が求められる。

一般的に、落石に対しては、洗浄も行き届き、間詰め効果もあるため、有効性が高いと考えられる。岩盤接着の場合、硬岩で亀裂の開口幅及び連続面が大きい場合は、洗浄も比較的容易なことから、樹脂系のみを充填し効果を期待できるが、反面樹脂量が大きく膨張比など物性の違いによる岩盤の安定性への影響に不安が残る。また、一般的な施工方法と接着効果の系統的な評価がなされておらず、施工後のボーリング・コアにより、充填状況の把握、強度試験を行った例によると、極めてばらつきが大きい。したがって、岩盤接着工法は、本体工事に付随する補強工法として用いられている。（急傾斜地崩壊研究室）

13. 急傾斜事業におけるコスト縮減の具体例

（質問）

近年、公共事業においてコスト縮減が大きな課題とされているが、急傾斜事業におけるコスト縮減について具体的な工法をどの程度研究されているのか？（進捗状況と、工法及び構造計算等の考え方）ご教示願いたい。

（石川県土木部砂防課）

（回答）

現在、当室で研究している項目は、（１）鉄筋挿入工法における支圧板、（２）樹木を残したのり枠の部材と間隔の２課題であり、このほかコスト縮減に関する（３）アイデアの机上検討をおこなっている。

（１）鉄筋挿入工法における支圧板については、土質(砂質土と粘性土)の相違に起因する支圧板の支圧効果の違いと、支圧板の形状に起因する支圧効果の違いについて、室内実験（写真－１、－２）により検討している。これは鉄筋挿入工法により補強されたゾーンを「仮想擁壁効果」とみなす場合・「引っ張り補強効果」とみなす場合のいずれも、のり枠を用いず、独立支圧板を用いた方が経済的であり、かつ植生も残せるという理由から、支圧板の地表面被覆面積率などについて検討している(図－１)。写真－１は、砂質土に被覆率１５％の支圧板を乗せ、引っ張り力を徐々に負荷している状況で、最大引っ張り力２tfを保持した場合、約１５mm沈下し、写真－２は、粘性土に同様の試験を行った状況であり、最大引っ張り力１tfで保持した場合、約76mm沈下した(図－１)。これらのことから、変形を許容しない構造物との併用には、独立支圧板の被覆率等を的確に選定する必要がある。

（２）樹木を残したのり枠の部材と間隔については、現地計測・試験により樹木の揺れ及び根返りがのり枠に与える影響を調べるとともに(写真－３、図－２)、樹木荷重（風力と自重）が付加された場合の斜面の安定性に及ぼす影響について検討した(図－３、表－１)。写真－３は、現地引き倒し試験の状況で、図－２に示す結果となり(樹種：あらかし、樹高：9m、胸高直径：21cm)、樹木に対する引っ張り荷重約 2.2tfを約２０分間保持したところ、のり枠に生じた曲げ応力は１２kgf/cm²(のり枠の許容曲げ応力の約７０％）に達した。
また、樹木荷重の斜面の安定性に及ぼす影響については、図－３に示すモデルを想定し、試行計算を行ったところ、表－１に示す結果となった。風により樹木全体に生じる力(f)が地中の根に伝わり、すべり力(f')に低減するとし、その低減率αを仮に 0.75 とする。c、ϕは変わらず一定として、安全率の低下（F_1(樹木のない場合)－F_3(樹木の自重と風の力を考慮)）は、斜面傾斜角θ＝４５度、すべり土厚ｄ＝１ｍ、風速２５ｍの場合、スギ(大)では０．０７３と計算される。これらのことから、安易に枠間隔を広げてはならないこと、目標群落を中低木とすることが必要である。

（３）アイデアの机上検討については、以下に示す提案を本省傾斜地保全課に行うと共に、具体的な設計事例の確認を行っている。

ア．現行の技術基準・指針の変更に関わらないもの

（ア）最近、製品化された工法の採用：現在割高であるが消費により生産コストが下がる。

・型枠不要フリーフレーム工法の採用　：　斜面上での作業が最小限になる工法を用いることで、危険作業の軽減、労務費の軽減につながる。

・ＮＭグラウンドアンカーの採用　：　New Materialグラウンドアンカーは、炭素繊維を素材としため、軽量で防食性に優れており、建設費の軽減につながる。

（イ）指針にはあるがあまり使われていないものの採用

・仮想擁壁型鉄筋挿入工法　：　安全性の確認・基準の明確化が必要であるが、工費的にはコンクリート擁壁より安価になることが期待できる。

・土堤および溝工による落石防護工法　：　用地等の条件により可否が決まるものの、工費的にはコンクリート擁壁より安価になることが期待できる。

（ウ）プレキャスト的工法の積極的採用

・プレキャスト法留めブロックの採用　：　通常、現場打ちコンクリートで行っているものを、二次製品とすることにより、工費の軽減につながる。

・機械化施工による（大規模な）切土工　：（地形等条件が許せば）機械化施工によって切土を行うことにより、労務費を抑えることが期待できる。

イ．現行の技術基準・指針の変更等に関わるもの

（ア）余裕高的安全率部分の見直し

・枠間隔を大きくしたフリーフレームの施工・規格化　：　現在の規格のフリーフレームについて、その間隔を見直すこと（例えば、条件によっては１ｍのものは、１．５ｍまで可能）によって工費の軽減につながる。

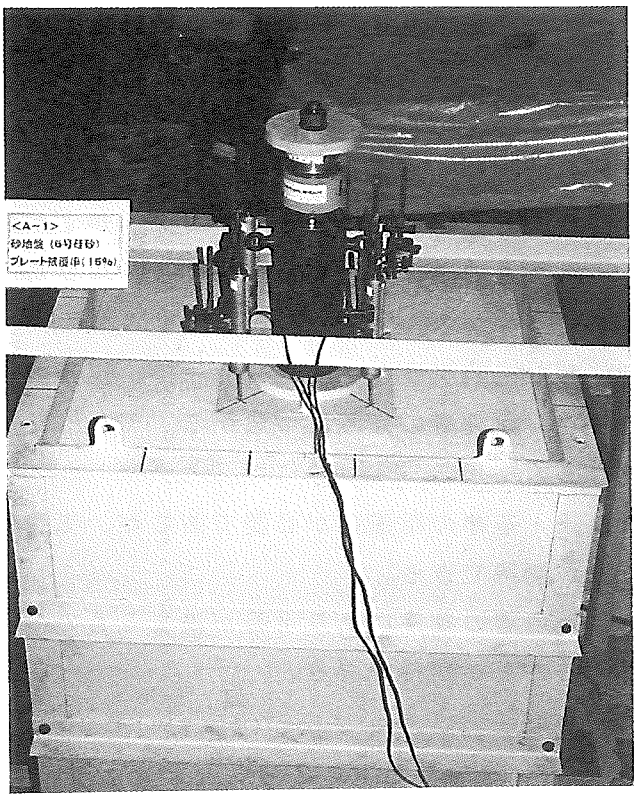
・擁壁工等、安定計算の見直し　：　安全率の照査のさいに、目標の安全率ぎりぎりまで構造物の断面の節約を行い（のり勾配を何分何厘にする）、工費の軽減をはかる。この際、擁壁断面内に現場発生土石を使用することも考慮する。

ウ．今後の技術開発によるもの

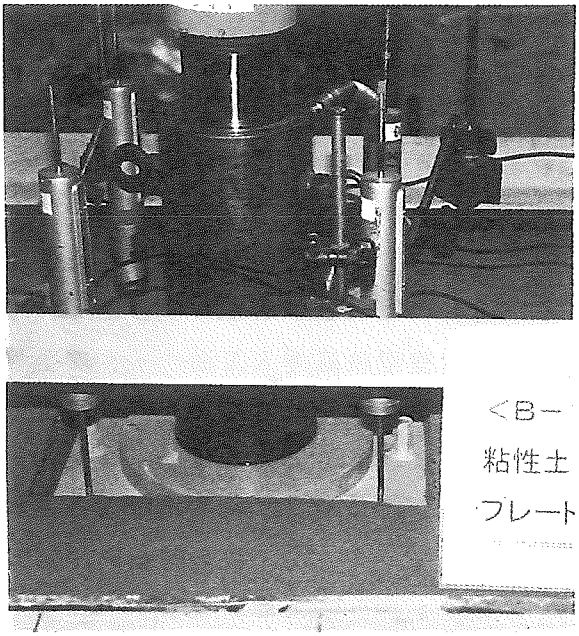
（ア）無人自動登坂作業ロボット　：　遠隔操作によって自動的に斜面を登坂し作業できるロボットを開発し、危険を伴いかつ時間がかかる人力による斜面内作業を無くし、斜面調査にも非常に有効であり、調査費の軽減にもつながる。

（イ）独立支圧板式ロックボルト・グランドアンカー　：　特に、軽量削孔機を使用したロックボルトによる、補強土工法は自然地山をいためずに斜面の安定を図ることができ、コストの面でも環境の面でも有効である。

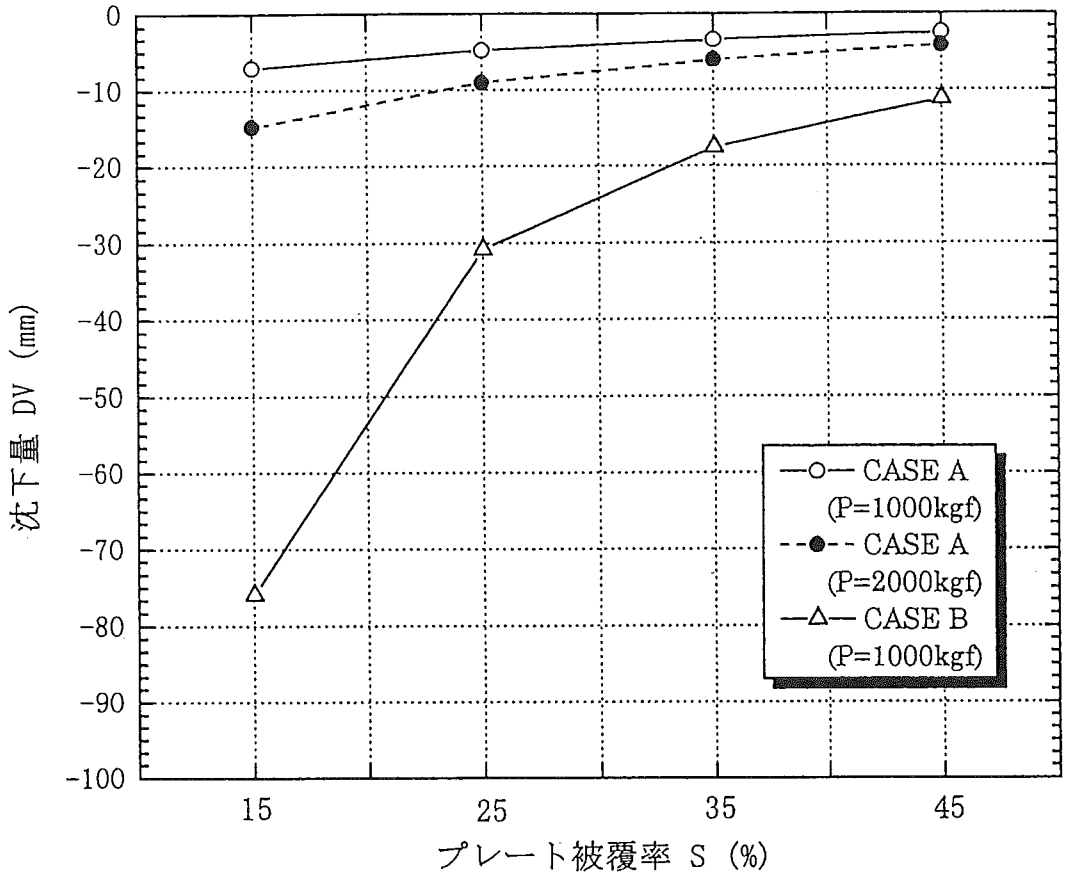
（急傾斜地崩壊研究室）



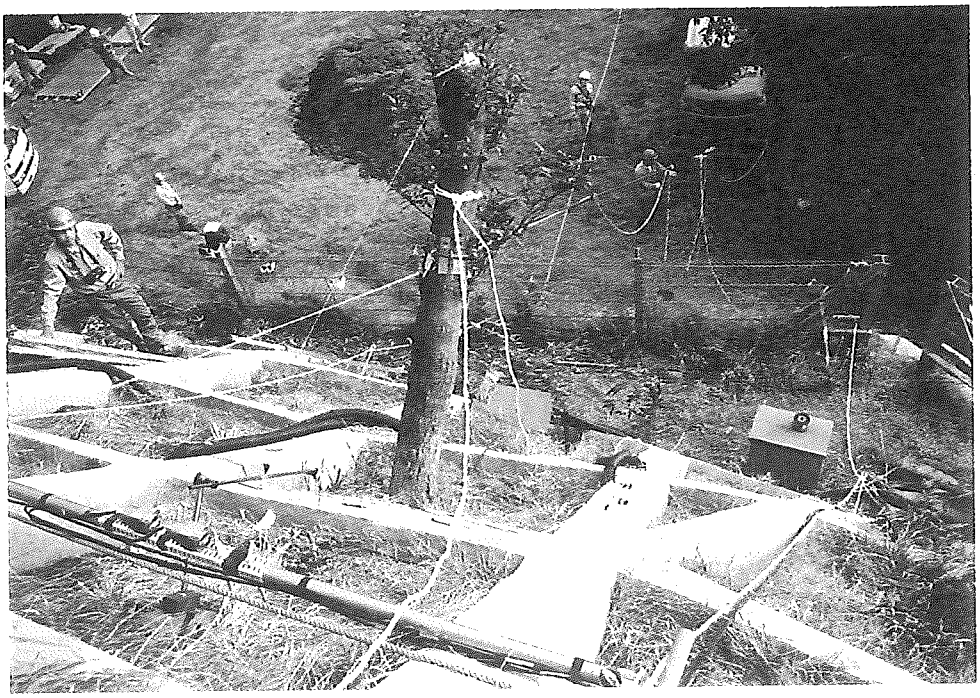
写真－1　砂質土・被覆率１５％



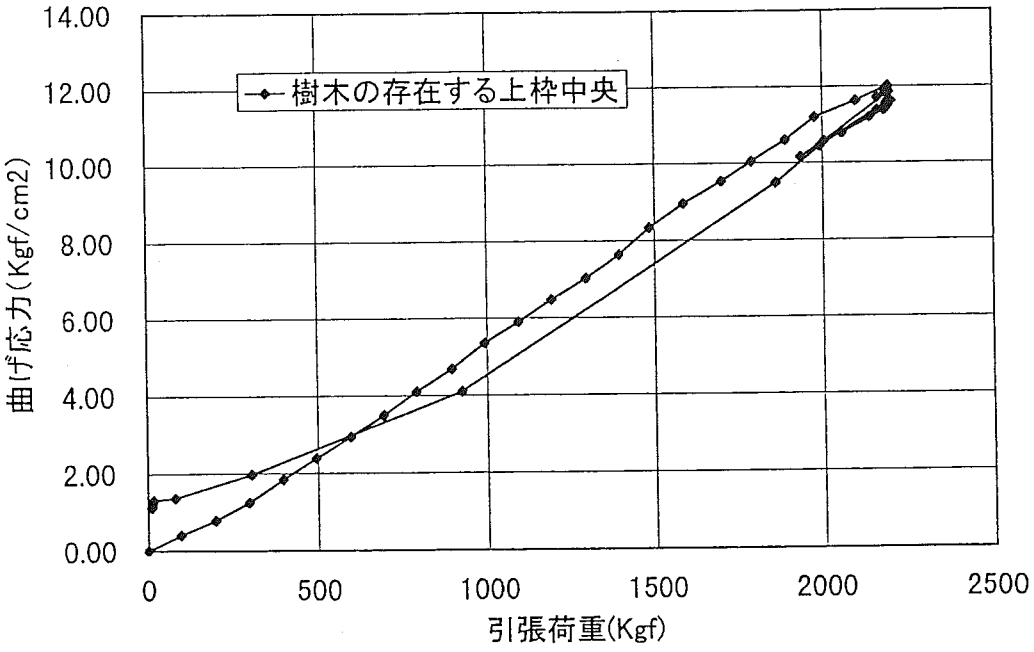
写真－2　粘性土・被覆率１５％



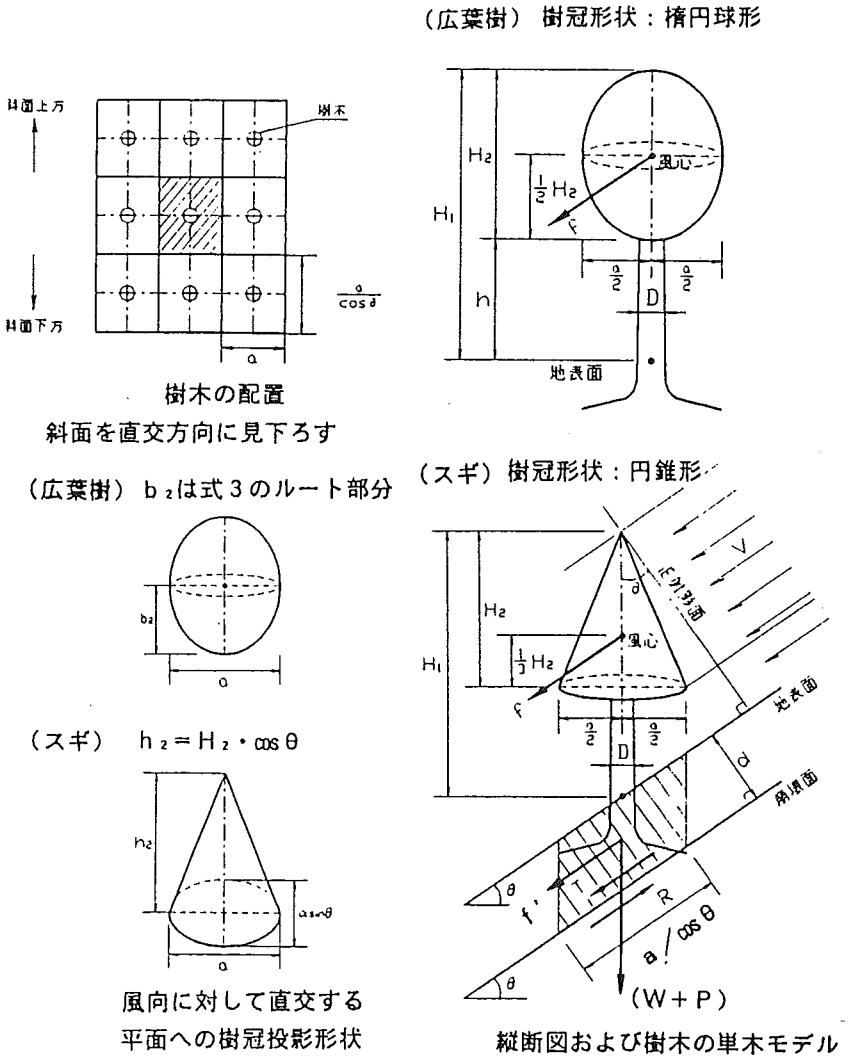
図－1　土質別・最大荷重別の被覆率と沈下量との関係



写真－３　現地引き倒し試験



図－２　樹木の引張荷重と枠の曲げ応力



図－３　樹木の風による影響評価モデル

表－１　安全率の低下とその低下率（θ=45度、d=1m）

	上段：(F_1-F_2) 下段：$(F_1-F_2)/F_1*100$	上段：(F_1-F_2)　下段：$(F_1-F_2)/F_1*100$							
		V＝25.0m/s				V＝50.0m/s			
		a＝0.25	a＝0.50	a＝0.75	a＝1.00	a＝0.25	a＝0.50	a＝0.75	a＝1.00
スギ（小）	0.020 (1.34)	0.033 (2.21)	0.045 (3.06)	0.057 (3.90)	0.069 (4.75)	0.069 (4.75)	0.114 (8.14)	0.157 (11.54)	0.197 (14.93)
スギ（大）	0.038 (2.47)	0.050 (3.37)	0.061 (4.21)	0.073 (5.06)	0.085 (5.90)	0.085 (5.90)	0.129 (9.27)	0.171 (12.63)	0.210 (16.00)
サクラ	0.003 (0.20)	0.009 (0.59)	0.015 (0.98)	0.020 (1.36)	0.026 (1.75)	0.026 (1.75)	0.049 (3.30)	0.070 (4.85)	0.091 (6.40)
ナラ	0.011 (0.73)	0.018 (1.21)	0.025 (1.69)	0.032 (2.17)	0.039 (2.65)	0.039 (2.65)	0.066 (4.56)	0.092 (6.48)	0.118 (8.39)

14. 砂防ダムの堤冠コンクリート施工におけるクラック防止対策

（質問）

砂防ダムの水通し天端においては、摩耗対策から高強度コンクリート等を使用した堤冠コンクリートを施工しているが、施工後クラックが発生し対応に苦慮している。

クラックの発生防止のため、現場においては目地を入れることで対処しているが、それに代わる好ましい施工法や代替工法等があればご教示願いたい。

（湯沢砂防工事事務所）

（回答）

砂防ダムに限らず、コンクリートのひび割れを防止したいというご相談は常に多い。これまでにも、種々の条件でのひび割れ防止について回答している[1]。その際に常に申し上げていることは、対象にしているひび割れが、通常の施工で防止できる種類のひび割れかどうかということと、生じ得るひび割れの影響度合いがどの程度かいうことを、考慮して対応を考えなければならないということである。構造物の本来の目的を達成することよりも、往々にしてひび割れ防止に目が行ってしまうこともある。ただ単に竣工検査時のひび割れをなくすために多大の労力と経費をかけることは避けなければならない。ただし、不適切な施工に起因するひび割れと、必然的に生じうるひび割れを見極めることも重要である。

さて、十数年前から、高強度コンクリートが比較的容易に現場打設できるようになると、耐摩耗の観点から砂防ダムの天端部のみに高強度コンクリートを使う検討がなされてきた。これに対し、コンクリート研究室では、諸手をあげては賛成してきてはいない。

これにはいくつかの理由がある。まず天端部の摩耗にも種々の様相がある。土砂や礫の多い場合は、いわゆるすり減り現象が生じるであろう。ある程度以上の大きさの岩がぶつかる場合には、すり減りというよりはコンクリートの部分的な圧壊が卓越すると考えられる。前者に対してはコンクリートの高強度化は効果がある。後者に対しては、材料に「ねばり」があることが求められる。もちろん躯体全体が高強度化されれば効果があるが、天端に薄く施工された場合には高強度コンクリート部の本体への付着が問題となろう。

北陸地建では、砂防ダムの一般的な本体コンクリートの天端に、単位セメント量 300kg/m^3 のコンクリートを 30cm 打ち、さらにその上に単位セメント量 500kg/m^3 のコンクリートを 20cm 打つ仕様になっているようである。このような場合には、施工上いくつかの注意が必要となる。

まず、高強度コンクリート部分を後から打設すると、本体との打継部を綿密に施工しないと、十分な付着が得られない。付着が得られないと、そこが欠陥となり、高強度コンクリートの層が予想通りの機能・性能を発揮できなくなる。次に、硬化した本体コンクリートの上に、30cm 厚と 20cm 厚のコンクリートを打つ場合、本体コンクリートによる拘束の

ため、ひび割れが生じないようにするのは難しい。単位セメント量が 500kg/m³ の発熱の大きい部分があり、硬化時の発熱がひび割れの原因となるが、コンクリート厚が 20cm なので、この温度上昇そのものは大したことはないであろう。しかし、発熱以外の原因の収縮もあるので、いずれにしてもかなりのピッチで目地（ひび割れ誘発目地）を入れなければひび割れは避けられないと思われる。

ひび割れ対策について考えてみる。ここでは 2 段階で考察してみよう。

まず、高強度コンクリート使用の本来の目的である、すり減り防止というところまで戻って考えてみよう。すり減り防止を達成するためにはいくつもの手段が考えられる。例えば、構造上可能なら本体コンクリートの厚さあるいは高さを増し、すり減り代を作る方法もあろう。すり減り代を設けると、躯体の安定計算・構造計算等が若干違ってくるかもしれないが、現実に生じうる荷重の組合せ・安全率等を検討してみてはどうであろうか。ダムでは岩のようなものが当たる場合には、上面付近のみに少し鋼材を入た例もある。現場の条件によっては効果的であろうし、ひび割れ分散にもつながろう。

次に、現在の高強度コンクリート工法でひび割れを低減する方法については、以下のような対策が理論的には考えられる。①ひび割れ誘発目地の設置、②鉄筋の配置によるひび割れ分散、③少しでも温度上昇を抑えるため、発熱の低いセメントの使用またはプレクーリング、④膨張材の使用（鉄筋併用）、⑤鋼繊維補強コンクリート（ひび割れ防止はもちろん、対すり減り効果は格段に上昇する）、⑥打設時期の選定や養生方法の改善、⑦その他。このようなものがあるが、構造物の条件や、施工の条件、コスト等を考慮すると、①②以外は特殊な場合のみの適用となろう。また、ひび割れ誘発目地も、実際には厚さの 1/4 以上を低減しないと、ひび割れがそこに誘導されにくい。断面の 1/4 以上も欠陥を作ると、本来のすり減り抑制に対し、悪影響を及ぼす可能性もある。

以上を考慮すると、ひび割れは出るものだと捉え、ひび割れ発生を最小限にするため暑中に施工をしないといった配慮をするとか、ひび割れの影響を最小限に留めるため打ち継ぎ面の処理を十分に行い、十分な養生を行う等の対処を行った方が実際的であろう。

それでも、ひび割れ幅が大きくなり、どうしても心配な場合には、ひび割れ部に樹脂注入等を行う方が結果的にコスト減になるように思われる。

1)例えば「構造物コンクリートのひびわれ」、「地覆コンクリートのクラック発生を少なくする方法」／東北地建における一日土研資料 平成 7 年 11 月 土木研究所資料第 3381 号

（コンクリート研究室）

15. 砂防施設に設置する魚道

（質問）

砂防ダムや床固めに設置する渓流河川の魚道について、経済的で効果の高い形式を御教示願いたい。

（長野県土木部、福島県建設技術研究所）

（回答）

河川の上流域と下流域では対象となる魚種や体長が異なりますが[1]、用いられる魚道形式そのものはあまり変化がありません。この理由として、魚種・体長ごとの遡上特性が十分には把握されていないこと、多様な魚種に対応しようとすると、結果として同様の形式の魚道になってしまうことなどが考えられますが、最も大きな理由として、水の流れは物理法則に従って流下するものであり、これを減速させる方法にそれ程画期的な方法がないことを挙げることができると思います。

意外と認識されていないのは、魚道で一般に用いられている1/10や1/20という勾配は、魚の遊泳速度と較べてかなりの急勾配水路であるということです。わが国の多くの魚種にとって、相当に厳しい勾配ということができ、魚道には効果的な減勢機能が必要となります。減勢の方法はプールによる方法と水路内に抵抗となる粗度を設ける方法に大別されます。わが国では、プールによる方法である階段式魚道が従来から用いられてきました。最も効果的な減勢方法の一つといっていいでしょう。

階段式魚道は、遡上実験等を含む研究を通じ改良が行われてきました。隔壁頂部形状は越流水脈に沿った滑らかな形状とし、水脈の剥離を防止すること、流量変化対応や大型魚の遡上のために設けられる切り欠きは直列配置とし、プール内に有害な平面渦を生じさせないことなどです。階段式魚道は、特にアユ等の浮遊魚に対し有効とのイメージがありますが、隔壁間落差を適当に（例えば10cm程度）に調節してやれば、カジカやヨシノボリといった底生魚の遡上も期待できるものです[2]。底生魚対応については、隔壁頂部を幅方向に傾斜させ、越流水深を連続的に変化させる方法も考えられていますが、越流水脈の最大流速は、基本的には隔壁間の落差で決まり、壁面せん断力での流速低減はかなり小さい水深でなければ期待できません。その効果については、今後検証される必要があります。なお、この形式では、傾斜角度を余り大きくすると、三角堰の越流と同じように、流れが隔壁の低部に向かって集中するようになります。このような状態になると、連続的に流れの場を変化させるという所期の効果が得られないだけでなく、流況悪化の原因ともなるので注意が必要です。

階段式魚道の最も大きな問題は、上流の水位変化により流況が大きく変化することです。

即ち、上流水位が上昇し、越流水深に対する隔壁間落差が相対的に小さくなってくると、越流水脈が下流水面上を走る表面流状態となります。このように水脈が表面を走るように

なると、プールとしての減勢機能は余り期待できないようになります。併せて、越流水深の増大に伴う流量増加も生じているのですから、階段式魚道は急激にその減勢機能を失ってしまいます。砂防施設では水位制御のためのゲート設備は設けられないのが通常ですので、当該地点の流況を把握の上、全流量と魚道流量の関係を十分検討しておかなければなりません。必要に応じ、切り欠き等の放流施設幅の調節や魚道上流端への横越流水路の設置等の対応を講じなければなりません。

以上、階段式魚道について述べました。繰り返しになりますが、階段式魚道は効果的な減勢機構をもった魚道といえ、魚道形式を検討する上でまず候補に挙げるべき形式ということができます。一方、水路内に抵抗を設ける水路式魚道ですが、代表的なものとしてデニール式魚道があります。しかしながら、デニール式魚道については、現在のところわが国の魚種に対する良好な結果は余り得られていません[3)]。特に底生魚の遡上には問題があるようです。デニール式魚道は欧米で開発された魚道形式で、標準形状も与えられていますが、わが国の魚種に対応した形状の検討が必要なものと考えられます。これに対し、水路内に粗石を配した魚道が用いられる事例が増えてきています。現在のところ、階段式魚道と併用して用いられるケースが多いようです。階段式とは異なる流れの場を提供し、多様な魚種に対応させようという理由によるものと考えますが、粗石の適切な配置を行えば、浮遊魚、底生魚ともに良好な遡上の期待できる形式の魚道です。ここで、適切な配置と述べました。どのような配置が必要かについては、現在のところ十分な知見は得られていませんが、土木研究所では球や円筒[4)]等の幾何学的形状を用いた実験を実施しており、おおよその目安は付けられるようになっています。現在全体の取りまとめを行っており、追って報告する予定ですが、概略は文献５）に示してありますので参照下さい。ここでは、その詳細は省略しますが、必要な粗度のイメージを示すと、例えば円筒であれば、1/20勾配の水路でアユが遡上するには、水の容積の数十パーセント以上の体積を占めるような配置が必要です。これはかなりの粗度ということができ、玉石の半分をコンクリートに埋設し、これを点在させたような水路では十分な流速低減を得ることはできないことを知っておく必要があります。

以上、２種類の魚道について述べました。一方、全国には実に多様な魚道が設置されてきています。多様な魚道形式の採用は、設置場所毎に異なる対象魚や流量、水位変化、地形、更には景観等の各種条件に対応する種々の可能性を探るという意味で評価されるものと思いますが、一方で、各形式のもつ特徴・設計方法の整理・検討が追いつかず、必ずしも意図通りの効果を得ていない場合もみられています。同様の理由で、それぞれの形式の位置付けが明確にならず、設計担当者が当惑しているという声も聞こえています。魚道の設計手法を確立するためには、形状パラメータと水理諸量との関係の整理、すなわち水理特性の把握に加え、その流れの場における魚類等の遡上特性を知らなければなりません。遡上特性を知るためには原型規模の模型を用いた遡上実験や既設魚道での遡上調査などが必要であり、水理特性も含めある形式の設計手法を確立するためには多くの時間と労力を要するものです。多様な形式のそれぞれについてその機能を適切に評価し、適用性を明ら

かにするのは容易ではありません。こうした事情から、新しい試みが机上の推論をもとに実施される場合も多いわけですが、魚道に関する近年のこうした少なからぬ混乱の原因は、こうした机上の推論が十分な精度を有していないことにあると感じています。ここで、説明を２種類の魚道に限ったのは、こうした魚道の現状を踏まえてのもので、効果とその設計方法についてある程度知見が蓄積されているもののみを扱いました。なお、設置されている多様な魚道については、今後現地調査を通じた効果の検証が期待されます。

最後に、経済的な魚道ということですが、最初に述べましたように、水の流れは物理法則に従って流下するものであり、これを減速させる方法にそれ程画期的な方法はありません。従って、所要の効果を得るためにはそれなりの魚道を設置する必要があります。ただし、現在のところ明確な方針がないものとして魚道の幅があります。魚道内に多様な流れの場を形成させるためにはある程度の幅が必要になりますが、ある程度対象魚種が限られている場合には、魚道幅を小さくし（例えば50cm程度）、構造物規模を小さくすることが可能と考えます。ただし、魚道の入口については、魚が容易に見つけられるよう一層の注意が必要です。また、現地の地形に併せ、階段式と水路式を使い分けることも可能と思いますし、単区間であれば1/10以上の急勾配な水路の採用も可能と思います。これらについては、個別の施設設計において、相談いただければと思います。なお、土木研究所では、本年度より、粗石形状を配した水路式魚道のコンクリートブロック化に関する研究を実施することとしており、水路式魚道のコンクリートブロック化によるコスト低減を図っていきたいと考えています。

１）㈱ダム水源地環境整備センター編：最新魚道の設計－魚道と関連施設－、p.７ 、1998

２）和田吉弘：長良川のアユづくり、治水社、1993

３）例えば、原　義文、和田吉弘：デニール式魚道における遡上特性、国際魚道会議ぎふ'95、1995

４）柏井条介、菅原崇之：円筒を抵抗とした水路式魚道のアユの遡上実験、土木技術資料、Vol.35、No.5、1997

５）水工水資源研究室：水路式魚道の設計方法について、ダム技術、No.143、pp.102～104 、1998

（水工水資源研究室）

1. 高速道路供用における県際部の交通量予測

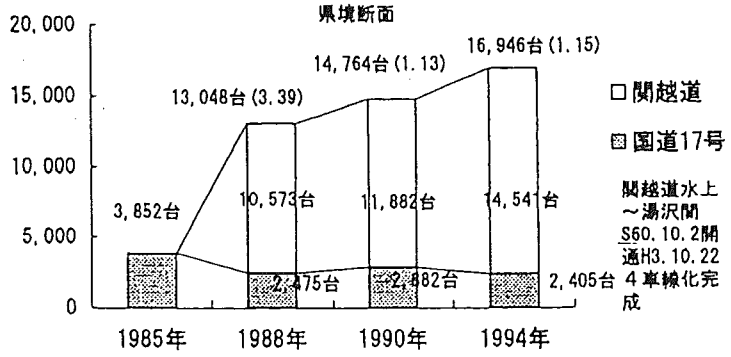
（質問）

高規格幹線道路（高速道路）の計画に際して、交通量の推計を行うが、特に県際部において、予測を上回る交通量が実際には観測される。（供用前・現道交通量の1.5倍～数倍）

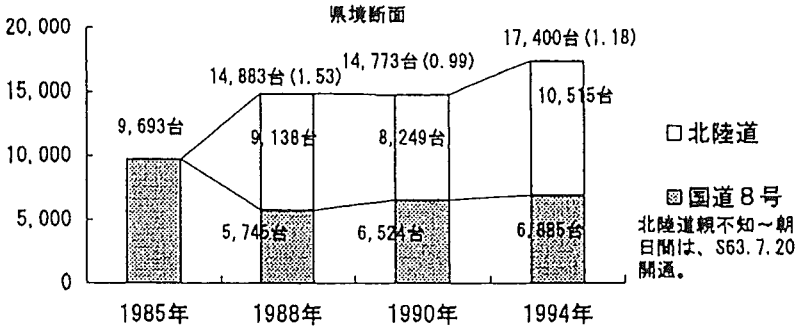
このような現象について、研究・解析された事例があれば御教示願いたい。

関越道全通前後の交通量変化

（新潟国道工事事務所）



北陸道親不知～朝日間開通前後の交通量変化



（回答）

県際部に限ったことではないが、質問のような差異は新しい道路が整備されたことによって生じる”誘発交通量”の推計力の問題と考えることができる。これまで建設省等が広く用いている交通量予測手法は「四段階推定法」であり、歴史も古く優れた手法であるがいくつかの問題点が指摘されている。

例えば、推計の各段階等において用いる手法に地建間で差異があるため推計された値においても差異が生じており、推計結果を各方面に理解できる説明をしていく場合に相当の障害となるとの指摘。これに加えて高規格幹線道路などによる全国レベルでのネットワークの確立に伴う広域的な交流・活動が盛んになってきている現在、広域的な交通を適切に推計することが道路整備計画策定上の重要課題であるとの指摘[1)]。これを受けて統一化に向けた検討が進められ、「将来交通量推計指針（案）改訂版」が発刊されている。しかしながら、当該指針においても質問の主旨にある道路整備による誘発交通量等を的確に説明できるものにはなっていない。

また、四段階推定法そのものの問題点として、①１日の移動をトリップ単位に分解し、それをゾーン間の移動として表現しているため、明確な行動理論に基づいて行動を表すこ

とができず、経験的な相関関係に基づいて表さざるを得ない。②四段階推定法の各段階で用いるアクセシビリティ、ゾーン間距離、交通機関別の所要時間や費用などは、推計の結果として求められる道路の走行時間の関数であるにも係わらず、推計の過程でこれらの説明変数間に十分な整合性が図られていない。③四段階推定法に取り入れられている説明変数の種類が少ないため、多様な政策の実施の影響を評価することが難しい。④交通と土地利用の関係、特に交通サービスの向上が土地利用に及ぼす影響を必ずしも十分取り扱っていない、等が指摘されている[2)]。

特に、四段階推定法の発生交通量予測段階において、道路整備によるアクセシビリティの改善が交通発生に与える影響を十分反映していないことに起因する、域内関連誘発交通量の推計力不足、あるいは当該圏域にトリップエンドを持たない通過交通の誘発交通量推計に問題があるように思われる。さらには、転換交通量の推計力を左右する時間評価値の設定に係わる問題も想定される。例えば、北陸地建の時間評価値（平成４年度調査、自動車全車）：21.7円／分は、他地建に比べてかなり低い。

上記のようなモデルに係わる問題の他に、予測対象地域外郭部のゾーンの大きさとネットワークの粗さも一般的な要因として想定される。

このような中、1997 年に建設省は、効率的で透明性をもった統一的な手法の開発、及び多様な道路政策が評価可能な手法の開発を目的に、交通計画の専門家から構成される「交通量予測委員会（委員長：太田勝敏・東大教授）」を発足させており、質問のような問題にも対応できる手法が検討される予定である。したがって、当該委員会の成果が待たれるところであるが、今しばらくの時間を要するものと思われる。

以下に参考文献を記すが、文献３）によれば、四段階推定法にネスティッドロジットモデルを適用することによってアクセシビリティが説明でき、誘発交通を取り込んだ需要予測が可能であるとしている。

【参考文献】

１）道路経済調査室；”将来交通量推計指針（案）改訂版”，平成８年１０月

２）鹿島　茂；”道路交通と環境　－交通量推計方法の見直し－”，自動車交通，第２０巻９号，1998 年９月

３）原田　昇；”交通需要予測の今日的課題”，交通工学，Vol.３２増刊号，1997．10

４）室町・原田・太田；”誘発交通量の算定に関する基礎的考察”，土木計画学研究講演集，No．19(1)，pp.459 ～ 462，1996．11

５）高橋清・佐藤馨一・五十嵐日出夫；”都市間交通における誘発交通量の予測手法に関する研究”，土木計画学研究講演集，No．16(1)，pp.335 ～ 342，1993．12

６）土木研究所；”交通量の推計手法に関する調査報告書”，土研資料第 2028 号，昭和５８年１２月

（道路研究室）

2. 冬期交通特性の把握と分析等

（質問）

道路交通センサスは、通常年間で最も平均的な秋期「一般交通量調査」「ＯＤ調査」が実施されている。

積雪寒冷地域に位置する当地建では、平成２年度より冬期交通を把握するため、冬期に秋期と同様の「一般交通量」と「ＯＤ調査」を実施してきた。

冬期交通の分析をするにあたり、特に冬期ＯＤ調査結果の分析・活用方法についてご教示願いたい。

（長岡国道工事事務所）

（回答）

冬期ＯＤなどの活用方法については、現在、土木研究所でも情報・資料収集の段階で具体的な案は持っていません。今後、データを活かす機会があればお知らせしたいと思います。

昨年度、土木研究所では「冬期道路技術テーマに関する調査」を道路管理者や大学等の関係者を対象に行い、現在の保有技術と今後の要望技術について調査しました。その結果から、冬期ＯＤデータなどの利用に関連しそうな取り組みを行っている機関とその取り組み内容を照会します。

①スキー客による交通渋滞対策としての交通需要マネジメントの適用

実施機関：長岡工業高等専門学校環境都市工学科（湯沢昭助教授）

取組内容：冬季観光交通による交通渋滞問題を取り上げ、交通需要マネジメントの観点から渋滞対策を検討している。

開始時期：平成６年度

②降雪時の自動車シミュレーション

実施機関：長岡技術科学大学（丸山暉彦教授）

取組内容：薬剤散布、機械除雪の量やタイミングを最適化するための交通流シミュレーションについて検討している。路面温度、路面圧雪の有無、堆雪高さ、有効幅員などがパラメータであり、交通速度、交通容量に及ぼす影響を求めている。

開始時期：平成７年度

（道路部道路研究室）

3. 道路構造令の主な改正内容

（質問）

道路構造令においては、数々の改正を重ね、現在は昭和 57 年９月の改正内容を基に運用されているが、昨今道路構造令が抜本的に改正するとのことで、主な改正内容について御教示願いたい。

（長野県土木部）

（回答）

平成５年１月、「21 世紀に向けた新たな道路構造のあり方」について建設大臣より道路審議会に諮問がなされ、平成６年 11 月、「21 世紀に向けた新たな道路構造のあり方～新時代の“道の姿”をもとめて～」について最終答申がなされた。この間、平成５年７月に『人間の復権、良好な環境の創造』、『物流の高度化への対応』について中間答申がなされ、同年 11 月に中間答申を踏まえて道路構造令等が一部改正されている。

最終答申における道路構造のあり方に関する提言内容は以下のとおりとなっている。

1. 新たな道路計画体系の確立
(1)道路網体系の再編
(2)自動車へのサービスの向上
(3)歩行者等へのサービスの向上
2. モビリティの確保
(1)渋滞の緩和
(2)安全の確保
(3)物流の高度化
(4)公共交通の利便性の向上
3. 人間の復権、高齢者・障害者のための道づくりの展開
(1)歩行者空間の整備
(2)自転車空間の整備
(3)自動車利用者への配慮
(4)「たまり」空間の創出
4. 良好な環境の創造
(1)良好な生活環境の創造
(2)自然とのふれあいの促進
(3)自然環境との調和
(4)豊かな余暇活動の支援
5. 魅力あるまちづくり、地域づくりの展開
(1)まちづくりの展開
(2)空間機能の重視
(3)地域特性を活かした道路整備

(4)地域拠点の形成
(5)沿道との調和
(6)住宅地・商業地内の道路交通環境整備
6.　マネジメントの高度化、新技術の導入
(1)高度情報化の推進
(2)交通需要マネジメントの高度化
(3)新技術の導入
(4)維持管理の高度化
7.　効率的な道路整備の推進
(1)ニーズに即した合理的な道路整備の推進
(2)道路計画制度の充実
(3)道路空間の確保
(4)沿道との一体的な整備の推進

道路構造令については、最終答申の方向に沿った見直しを進めるべく現在作業中である。

（道路研究室）

4. 舗装合材の動的安定度(DS)

（質問）

アスファルト舗装要綱の「重交通道路における耐流動対策」で目標ＤＳは、1500 回/mm 以上で設定するが、ＤＳを 5000 回/mm 以上とした場合に、ひび割れが発生しやすいとされている。

当地建では、ＤＳを 1500 回/mm 以上として対応しているが、プラントにより 10000 回/mm を超える合材もあり、現場ではひび割れを生じている箇所が出てきている。これは、下限値の設定をしているが上限値の設定をしていないため、基層との流動抵抗値の大きな差によりひび割れが生じるものと思われる。

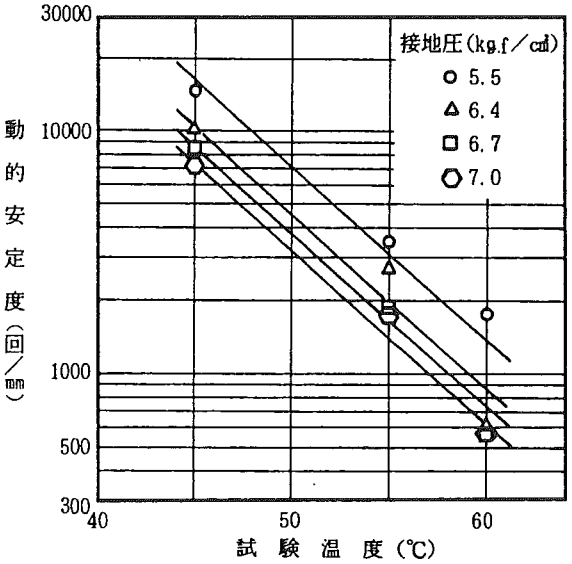
このような場合には、基層にもＤＳの上限値を設定する場合の目安はアスファルト舗装要綱の 5000 回/mm にして良いのか、また、他の対策が有れば御教示願いたい。

（道路部道路工事課）

（回答）

アスファルト舗装要綱によれば、「表層と基層のＤＳに極端な差がある場合は、ひび割れの原因となることがあるので、必要に応じて基層にも耐流動対策を施すとよい。」と記述されている。これは、質問者の指摘のとおり表層と基層のＤＳの差が極端に大きくなると、表層にかかる負担が大きくなり、結果として表層にひび割れが発生することを懸念したものである。そのため、表層と基層の耐流動性は同じ程度であることが望ましい。

土木研究所において過去に行った調査により、表層が 60 ℃の時、基層の温度は 50 ～ 55 ℃程度であることが判明している[1]。混合物温度と動的安定度の関係は図－１に示すとおりであり[2]、基層用混合物に表層と同じ 5000 回/mm というＤＳの上限を適用すると、温度が低い分だけ実質的なＤＳは 5000 回/mm より大きくなる。基層部分の温度 50 ～ 55 ℃でＤＳが 5000 回/mm となるのは、図より 60 ℃のＤＳが 2000 ～ 3000 回/mm のときであるので、基層部分のＤＳの目標としては 2000 ～ 3000 回/mm 程度が適当と考えられる。



図－１　試験温度，接地圧と動的安定度の関係

参考文献

1）土木研究所資料　アスファルト舗装内の温度分布に関する調査研究（資料集）
1985 年 3 月
2）土木研究所資料　ホイールトラッキング試験方法の改善に関する研究報告
1986 年 8 月

（舗装研究室）

5. 路上表層再生工法施工時のクラック補修

（質問）

舗装修繕をする場合のクラック補修については、通常、クラック防止シートやアスファルト充填が一般的であるが、路上表層再生工法（リペーブ、リミックス）で舗装修繕する場合の基層に発生したクラックの補修について苦慮しているところである。有効な工法があれば御教示願いたい。

（新潟国道工事事務所）

（回答）

路上表層再生工法は既設アスファルト舗装の表層を切削しながら機械内で再生混合物を混合しほぼ同時に舗設するため、破損が生じている基層の補修を行うことはできない。そのため「路上表層再生工法技術指針（案）」（(社）日本道路協会、昭和63年刊行）（以下、指針）においてもその適用範囲は破損が基層以下にまで及んでいないアスファルト舗装の表層のみを対象とした維持修繕に限定されている。基層以下にまで破損が及んでいるかどうかを正確に把握するにはコア抜きなどによる事前調査を実施する必要があり、当該個所は事前に局部打換えを実施することとなっている。ひび割れがどの程度まで及んでいるかを判定する方法としてはアスファルト舗装要綱（(社）日本道路協会、平成４年改訂）のp.236に示されている舗装の破損の種類の破損状況を参考に、発生しているクラックの形状から、その破損が機能的破損（主に表層に発生した破損）か構造的破損（舗装体全体に発生した破損）かを判断するという手段がある。路面に著しくひび割れが発生している場合は、ほとんどの場合構造的破損であると判断されるため、路上表層再生工法は適切ではないと考えられる。

（舗装研究室）

6. 透水性舗装を用いた道路の冬期除雪対策

（質問）

最近、地下水涵養を考慮して透水性舗装が施工されている。北陸地方は全国でも有数の豪雪地帯であり、透水性を有した舗装は空隙率の高い多孔質なアスファルト混合物を表層に用いているため道路のテクスチャーが粗く、除雪機械の除雪機能低下につながると思われるが対策などはあるのか。また、除雪機械などの重量の重い作業機械が透水性舗装上で作業することにより、表層混合物の空隙率低下の可能性はあるのか御教示願いたい。

（松本砂防工事事務所）

（回答）

現在のところ、地下水涵養を目的とした透水性舗装の車道への適用は新潟県を中心とした地域に限定されるので、ここでは排水性舗装の冬期除雪対策として回答する。

排水性舗装の冬期路面管理における主な課題は

・雪解け水が浸透する、地熱が伝達されにくい等の理由で舗装上に雪が残りやすい

・チェーンなどの衝撃荷重に弱いため骨材飛散や空隙つぶれによる機能低下を生じる

である。除雪機械の機能低下も課題ではあるが、むしろ除雪時にブレードが直接舗装に接触し骨材飛散や空隙詰まり・空隙つぶれによる機能低下を起こすことの方が問題視されている。これは排水性舗装が局所的に破損した場合、その機能を保持した上での補修方法が確立されていないためである。除雪時の排水性舗装の破損についてはいまのところ効果的な対策はなく、ある程度の厚さの雪を残すように除雪するといった工夫をする他ないというのが現状である。なお、冬季については排水性舗装の排水機能などを期待せずに、空隙内に塩化ナトリウムなどを含浸させたゲル状の物質を注入することにより凍結抑制効果を発揮する舗装も検討されているが、実用化までには至っていない。

除雪機械による空隙つぶれについては、一般に用いられている高粘度改質アスファルトを使用した排水性舗装の場合は特に問題はないと考えられる。ただし、交差点部でのタイヤによるねじり作用に対する耐久性は低く骨材飛散の可能性があるため、できるだけ作業時に急激なねじり応力が発生しないような配慮が必要である。

（舗装研究室）

7. セメント安定処理土に関する凍結融解試験

（質問）

凍結を考慮する必要のある地方で、軟弱土（CBR ＝ 0.6 %）の路床をセメント安定処理を施すことによって凍上抑制層の構築を考えている。ところが、セメント安定処理土に関する凍結融解試験（舗装試験法便覧「２－４－４　安定処理混合物の凍結融解試験法」）が試行可能な施設が少ない。この凍結融解試験以外に凍結融解抵抗性の判定を行うことのできる試験の有無について御教示願いたい。また、適当な方法がない場合には、その対処法を御教示願いたい。

（福島県会津若松建設事務所）

（回答）

舗装試験法便覧「２－４－４　安定処理混合物の凍結融解試験法」（以下、便覧凍結融解試験）よりも簡易な凍結融解抵抗性の判定方法の有無についての問合せであるが、残念ながら便覧凍結融解試験に示す試験以外に凍結融解発生の有無を確実に判定できる試験は存在しないのが現状である。

質問者の趣旨としては、原位置路床土の安定処理によって凍上抑制層を構築しようとするものであるが、路床土の安定処理より一般的に言って強度が高いセメント安定処理上層路盤が、凍結融解試験で支持力が低下したという事例がある。また、凍上しやすい路床土を凍上が発生しないところまで改良するには、ほとんど剛性版とみなせるところまで安定材を添加しなければならず、技術的には可能であるものの経済的な面で現実的な方法とは考えられない。したがって、安定処理で凍上抑制層を構築することは困難である。

現実的な対処方法としては、置換工法や断熱工法などの在来の工法を適用することになる。

（舗装研究室）

8. 排水性舗装の切削発生剤の適用

（質問）

アスファルト舗装の切削発生材の再利用は、骨材資源の節約や産業廃棄物の減少につながることから各地で普及しつつある。一方、排水性舗装についても適用が増えつつあり、再生利用技術を適用していくことが望ましいと思われる。まず、排水性舗装のリサイクルにあたって、①密粒度アスコン等の切削発生材の排水性舗装への利用、②排水性舗装の切削発生材を一般の再生骨材として利用、③排水性舗装の切削発生材を排水性舗装の再生骨材として利用、この3点が可能かどうか、またどのような点を解決していく必要があるか、御教示願いたい。

（日本道路公団北陸支社富山管理事務所）

（回答）

まず①については、これまでに土木研究所で行った室内試験の結果から、再生骨材に含まれるストレートアスファルトと混合することにより、新規アスファルトとして添加する高粘度改質アスファルト本来の性能を引き出すことができないことが分かっている。排水性舗装の耐久性を確保するためには高粘度改質アスファルトの使用が不可欠であり、旧アスファルトにより性能が低下することは望ましくない。したがって排水性舗装への再生骨材の使用は困難である。

②の改質アスファルトを含む舗装発生材の再生利用については現在検討中であり、排水性舗装用の高粘度改質アスファルトについても各種の実験を行っているところである。これまでの実験結果によると、バインダについては新規アスファルトとしてストレートアスファルトを加えた場合、再生後の性状には改質材の効果が現れており、混合物（密粒度）としての性状が向上している場合がある。また、骨材粒度分布が異なる点については、再生プラントのストックヤードにおいて他の発生材と共に均一に採取することで骨材粒度を安定させ、適切な配合設計を行い、十分な混合を行えば混合物性能に関して問題はないと思われる。なお、以上は室内試験による結果であるので、現場での試験舗装および追跡調査を行い検討する必要がある。

③については、これまでの室内試験の結果ではバインダ単体の性能を見た限りでは再生利用の可能性はあると思われる。しかし、排水性舗装導入時の高粘度改質アスファルトと、現在のそれとでは、同じ高粘度改質でも改質材などの内容が大きく改良されており、発生しつつある排水性舗装発生材に含まれるバインダが現在のバインダの機能を低下させることが懸念される。

さらにその他の問題点として以下のことがあげられる。

・分別収集

他の舗装発生材と分別して収集する必要がある。もし排水性舗装を分別収集する場合、ストックヤードの広さ、発生・利用時期（需要と供給）のバランス等の問題が考えられる。

・旧アスファルトの回収、配合設計

排水性舗装に使用されるアスファルトのほとんどは、回収が非常に困難である。したがって、再生舗装に不可欠な配合設計を適切に行うことができない。

（舗装研究室）

9. 高機能舗装(排水性舗装)

(質問)

建設省における排水性舗装の採用基準・管理基準および補修方法について御教授願いたい。

(日本道路公団北陸支社小松管理事務所)

(回答)

建設省では、現在、排水性舗装を低騒音舗装として位置付け、道路交通騒音の要請限度を著しく上回っている個所などにおいてその適用を検討しているが、一律に騒音レベルがどの程度以上であれば採用するといった採用基準は定めておらず、個々の現場の判断に任されている。

管理基準については、建設省技術評価制度において「排水性舗装の機能回復機器の開発」を課題として取り上げた際、機能回復効果が期待できない現場透水量の下限値として300～500 (ml／15sec.) という値を示している。直轄国道で実施された調査によりこの値がほぼ妥当であることが確認されているが、回復作業後の現場透水量にばらつきがあり必ずしもこの値以上であれば機能回復効果があるという保証が得られないため基準となるには至っていない。これは、機能低下が空隙つぶれによるものか空隙詰まりによるものかを特定せずにとりまとめを行っているためである。こうした機能低下原因を考慮した機能回復効果について、現在、(財) 道路保全技術センターにおいて産官の技術者が参加する検討会において詳細な検討を進めているところである、

補修方法については、排水性舗装の部分補修を目的とした常温合材が開発されており、小規模な施工に適用されている。排水性舗装を局部的に修繕した場合、境界からの破損の進行が懸念されるため、予算や交通規制などの事情が許せばある程度大きな面積で切削オーバーレイによる補修を行うことが妥当である。また、今年1月にチェーンによって破損した排水性舗装個所においては密粒度アスファルト混合物によるオーバーレイが行われており、将来破損の再発が懸念されるような個所では排水性舗装による施工を行わないという判断も場合によっては必要である。

(舗装研究室)

10. 道路埋設基準の見直し

（質問）

下水道管の埋設は、公道内への占用がほとんどであり、その工事費に占める土工費は、埋設深度により大きく左右されるのが現状である。建設コスト縮減にもつながる道路埋設基準の見直しについて、現状と今後の動向についてご教示願いたい。

（長野県土木部）

（回答）

道路法施行令において、埋設深度（管頂と路面の距離）は上水用の水管およびガス管の場合1.2m（工事実施上やむを得ない場合は0.6m）以下、下水道管の場合3m（工事実施上やむを得ない場合は1m）以下としないことが規定されている。しかし、管の強度や溶接技術の向上といった技術的な進歩に加え、建設発生土の抑制、工費の縮減、工期の短縮といった観点から、埋設深度を浅層化することが、要管を埋設する事業者と道路管理者の双方から望されている。一方、浅層化により、舗装の破損や段差の発生、さらに車両の繰返し載荷による管の破損が懸念されることから、管の埋設深度と舗装への影響を調査することを目的として、建設省土木研究所舗装走行実験場において実験を行った。

実験は管を埋設した舗装上を舗装走行試験用荷重車（以下荷重車）を走行させ、舗装への影響（わだち掘れ、路面の段差、ひびわれ、たわみ）、および管への影響（管体ひずみ、たわみ）の調査を行った。実験条件を以下に示す。

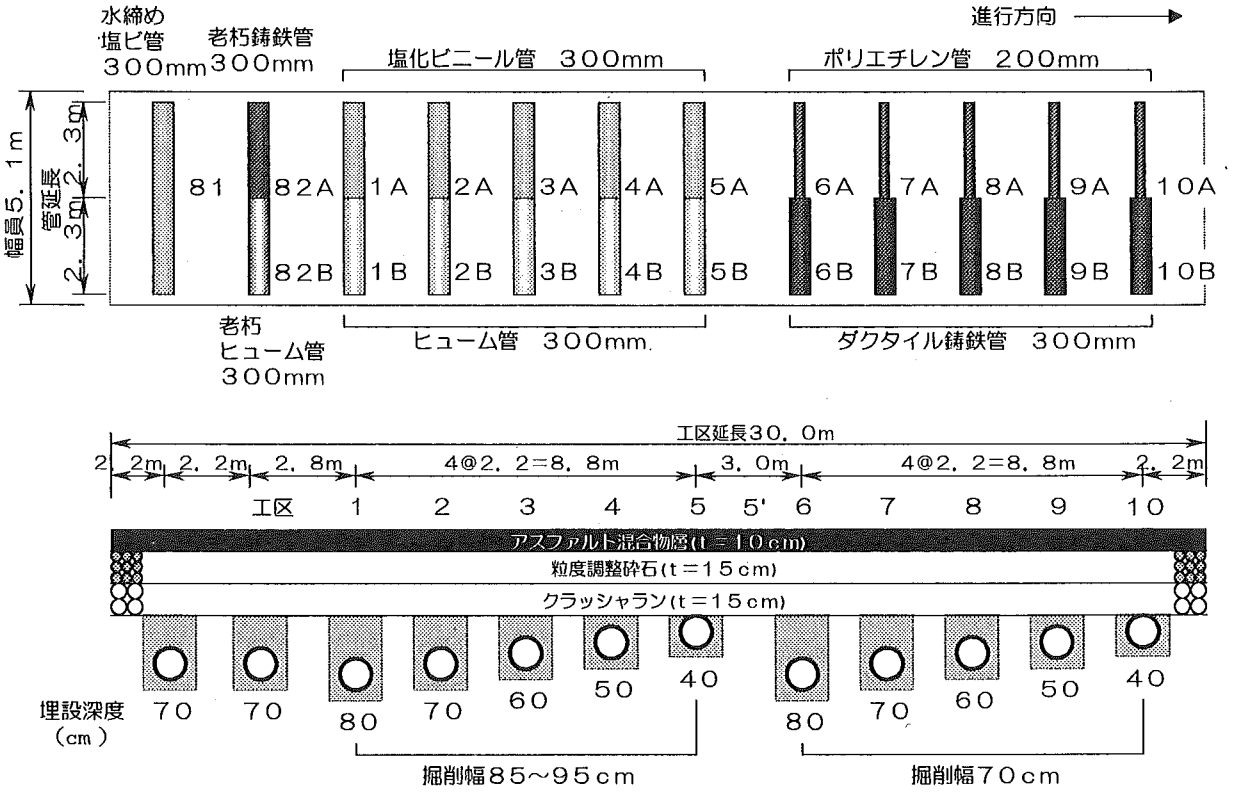
- 舗装厚：40cm（表層10cm、上層路盤15cm、下層路盤15cm）
- 埋設深度：40cm、50cm、60cm、70cm、80cm
- 管種、管径：ポリエチレン管(管径：200mm)、塩化ビニール管(管径：300mm)、ヒューム管(管径：300mm、新管および老朽管)、ダクタイル鋳鉄管(管径：300mm、新管および老朽管)
- 荷重車周回数：８万周
- 締固め方法：通常転圧、水締め

実験結果は以下のとおりである。

- 掘削線より10～30cm離れた箇所で非常に微細なクラックが発生したが、埋設深度による違いは見られなかった。
- 管埋設による段差の発生は見られなかった。
- わだち掘れは、埋設深度が50cm以下で管の弾性による影響が見られ、弾性係数が小さい管ほどわだち掘れが大きくなった。

・たわみは、埋設深度が50cm以下で管の弾性による影響が見られ、弾性係数が小さい管ほどたわみが大きくなった。
・管体ひずみ、たわみは経時的に大きな変化が見られなかったことから、管の破損はないと考えられる。
・老朽管が舗装や管体に与える影響はいずれも小さかった。
・水締め工区においては、10cm離れた箇所で非常に微細なクラックが発生し、クラックの長さは通常転圧工区よりも長かった。

埋設深度の規定については、土木研究所舗装走行実験場で行った実験等に基づいて、埋設深度の規定について現状より緩和する方向で検討中である。



図－1　埋設管実験断面

（舗装研究室・下水道研究室）

11. 色弱者に配慮した道路標識

（質問）

道路標識の色彩について、色盲、色弱者でも識別がつくように配慮した基準や例があればご教示願いたい。

（金沢工事事務所）

（回答）

道路標識は、「道路標識、区画線及び道路標示に関する命令」（標識令）に規定され、色（赤、黄、白、青、緑、黒）および形が指定されているので、色覚異常者を考慮した色彩の組合せについては特に検討されていない。また、道路交通法施行規則によって、自動車運転者は赤、青及び黄色の識別ができることが求められているので、道路上に設置する標識としては、特に色覚異常者を考慮する必要はないと考えられる。

視覚障害者の視認性を考慮し特に色彩を指定しているものとしては、弱視者を考慮して黄色を原則としている視覚障害者誘導ブロックが挙げられるが、黄色が周辺環境に対して目立ちやすいことから指定されているものであり、色覚異常との関係は明確でない。

ご質問の趣旨は、標識令による道路標識に対するものではなく、色覚異常者等に配慮した看板類の配色についてであると判断されるが、上述のように、色覚異常者に配慮した配色の基準はなく、関連研究も十分行われていない。一般的に、色覚異常者の大半は赤と緑の区別がつきにくい[1]ので、赤、緑の組合せについて注意が必要であると考えられる。また弱視者に配慮するのであれば、文字と素地の輝度比が重要[2]であり、輝度（明度）の組合せに注意が必要であると考えられる。

道路上や沿道に看板を設置する場合の色彩に対する留意事項としては、標識において赤を禁止色、黄を警戒色、また青および緑を肯定・指定色として意味付けしているところから、赤色の使用に際しては配慮が必要と思われる。

〔参考文献〕

1）大山正、「色彩心理学入門」、中公新書、1994

2）坂口他、「視覚障害者用誘導ブロックの視認性と景観性に関する検討」、第15回交通工学研究発表会論文報告集、1995

（交通安全研究室）

12. 地盤の支持力特性試験(現場CBR試験、平板載荷試験)の簡素化

現場の支持力特性試験を実施するためには、大きな反力を必要としその試験方法も煩雑でかなりの時間を要する。そのため、「簡易支持力測定器」による試験を汎用化できないか。御教示願いたい。

(福島県空港建設課)

(回答)

「簡易支持力測定器」は近畿地方建設局近畿技術事務所と民間企業が共同開発した試験装置で、小型軽量であり、大きな反力を必要とせず、地盤支持力を即時に求めるられるといった特徴をもつ。基本的な原理は、ランマーを地盤に自由落下させ、ランマーが地盤に衝突したときの衝撃加速度を測定して、地盤反力係数などと相関をとるものである。また、近畿技術事務所では測定器使用マニュアル作成委員会において「簡易支持力測定器による試験方法」(平成8年5月、建設省近畿地方建設局近畿技術事務所発行)というマニュアルを作成している。マニュアルでは、測定する地盤の適用範囲は、大きなレキを含まない土質とあるが、レキ質土や粘性土については精度にばらつきが生じることもあるので、適用にあたって注意する必要があると思われる。

簡易支持力測定器によって直接求められるのはインパクト値であるが、インパクト値と土の強度特性値との相関をとる必要がある。空港盛土のような大規模土工であれば、使用する土質ごとにCBRとインパクト値の相関をあらかしめとり、簡易支持力試験を現場CBR試験の補完用試験として活用することができる。また、ご質問にあるような大規模土工でない一般施工における汎用化については、インパクト値と強度特性値に関する多くのデータの蓄積が必要である。上記マニュアルでは、砂質土、レキ質土におけるインパクト値とCBR値との関係が記載されており、同様の土であれば利用が可能と思われる。

簡易支持力測定器は、地盤支持力を簡便に求める方法として期待されているが、汎用化のためにはさまざまな土質に対するインパクト値と土の強度特性値の相関を求めておく必要があり、今後のデータの蓄積が待たれる。

(施工研究室、舗装研究室)

13. 路床改良を厚層化した場合の採用上の留意点

近年、路床改良に用いるスタビライザの性能が向上しているため、深さ１ｍ程度の浅層の路床改良であれば１層での施工が経済的であると考えられる。このような工法を採用するときの留意点をご教示願いたい。

（長岡国道工事事務所）

（回答）

軟弱路床の安定処理は、建設残土の発生抑制と経済的な舗装の構築の観点から、置換工法に代わる工法として必要とされている。また、近年はスタビライザーの混合能力の向上にともない、ご質問にあるように混合深さ１ｍまで改良可能となってきており、従来にもまして路床のＣＢＲを増加することができ、より経済的な舗装が可能となってきている。

しかし、従来の深さ60cmを標準とする改良に比べると、安定材の混合性の不均一、路床深層での締固め度や強度の不足といった課題が考えられる。このため、土木研究所において現場試験や土木研究所実験施設での実験で検討を行ってきている[1)]。この結果、安定材の混合性については、１ｍ深さまで混合可能なスタビライザを使用すれば均一な混合が可能であること、締固め度については深部における締固めが基準値よりも下回るが、強度については配合設計の２割増の安定材添加で中間層のＣＢＲ（１週間目）が設計ＣＢＲに達すること、さらに１週間以降での強度増加が認められることが確認されている。

この結果、厚層安定処理路床の設計は、従来の60cmのものを概ね踏襲できると考えている。すなわち、従来の２層系（改良層と低減層の２層）で路床の評価を行うことができる。また、配合設計の方法も従来と同様に、「舗装試験法便覧」にある安定処理土のＣＢＲ試験方法に準じて行うものとするが、中下層での締固め不足を考慮し、突固めを３層67回で作製される供試体の乾燥密度90％を供試体とする。

また、締固め機械は通常のタイヤーラや振動ローラを用いることができるが、より深層までの締固めを行うためには大型の機械がよい。しかし、これも土質の種類、含水比によっては過転圧となるので、過去の実績等を考慮して選定するのがよい。

厚層安定処理路床の品質管理は、安定材の散布量、出来形（改良深さ等）、安定材の混合性、締固め度、支持力について行うことを基本とする。締固め度については、路床の上層と中、下層では異なるので、全層にわたって行うことが望ましいが、全層にわたって簡便に測定する方法がないために、上面を砂置換法、ＲＩ法で測定するものとする。なお、プルーフローリング試験を実施し、路床全体の締固め不足や不良個所の発見に努めるようにする。

参考文献　1)：塚田幸広、池田拓哉、青山憲明、野々田充、厚層安定処理路床の評価と設計・施工方法の検討、第22回日本道路会議一般論文集(A)pp32～33、

（施工研究室、舗装研究室）

14. 地下横断歩道の連結部の構造設計

（質　問）

地下横断歩道における連結部の簡便な設計方法について御教示願いたい。

従来，地下横断歩道の連結部の設計は，土木構造物標準設計第５巻をそのまま活用し，別途に構造設計を行わないのが一般的であった。しかし，上記標準設計は，車両制限令及び道路構造令の一部改正による設計活荷重の規定変更に伴って，現在，利用できない状況にある。当時の標準設計では，連結部は構造が複雑なため，有限要素法（以下「ＦＥＭ」という）を用いて設計が行われていたが，個々の設計にＦＥＭを用いるのは設計費用の面から非常に難しい状況にある。

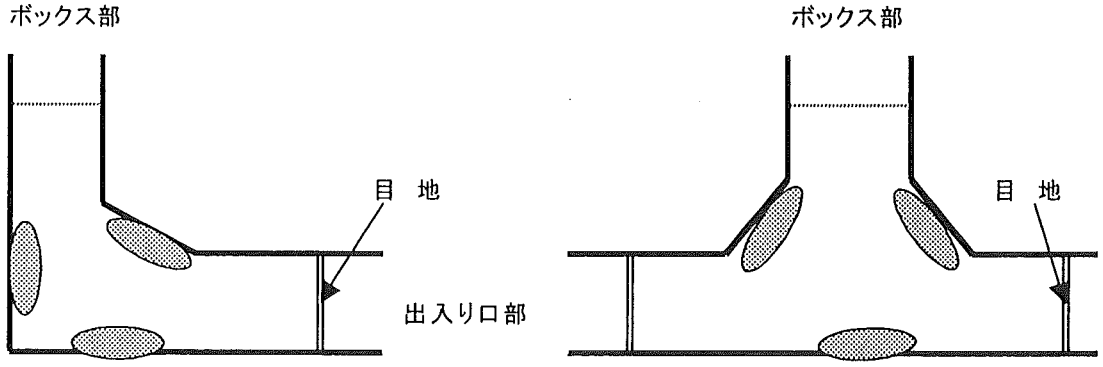
そこで，設計活荷重Ｔ－２０の設計条件で作成された旧標準設計を，現行の設計活荷重Ｔ－２５の条件に対して活用できる方法があれば伺いたい。

（道路部道路工事課）

（回　答）

地下横断歩道の連結部は，車道下を横断するボックス部と出入り口部を連結するために設ける主要な構造部であり，その多くはＬ字型やＴ字型といった，複雑な形状を有している。そのため，図－１に示す網掛け部においては，応力の流れが複雑となり，応力集中が起きることが予想される。

昭和５９年度に制定し，平成６年７月の土工構造物に対する設計活荷重の規定変更を受けて廃止した標準設計第５巻では，上記の点を明らかにするために，連結部の解析にＦＥＭが用いられている。その解析結果によると，通常のボックス部よりも応力レベルが高く，連結部の部材厚や主鉄筋量は，ボックス部のそれに比べて１～２ランク程度アップすることが確認されている。ここでいう，１ランクとは，部材厚ではその厚みが５ｃｍ，主鉄筋量では主鉄筋の径が１ランク太くなる（配筋間隔も密になる）ことを指す。



（ａ）Ｌ型　　（ｂ）Ｔ型

図－１連結部の応力集中

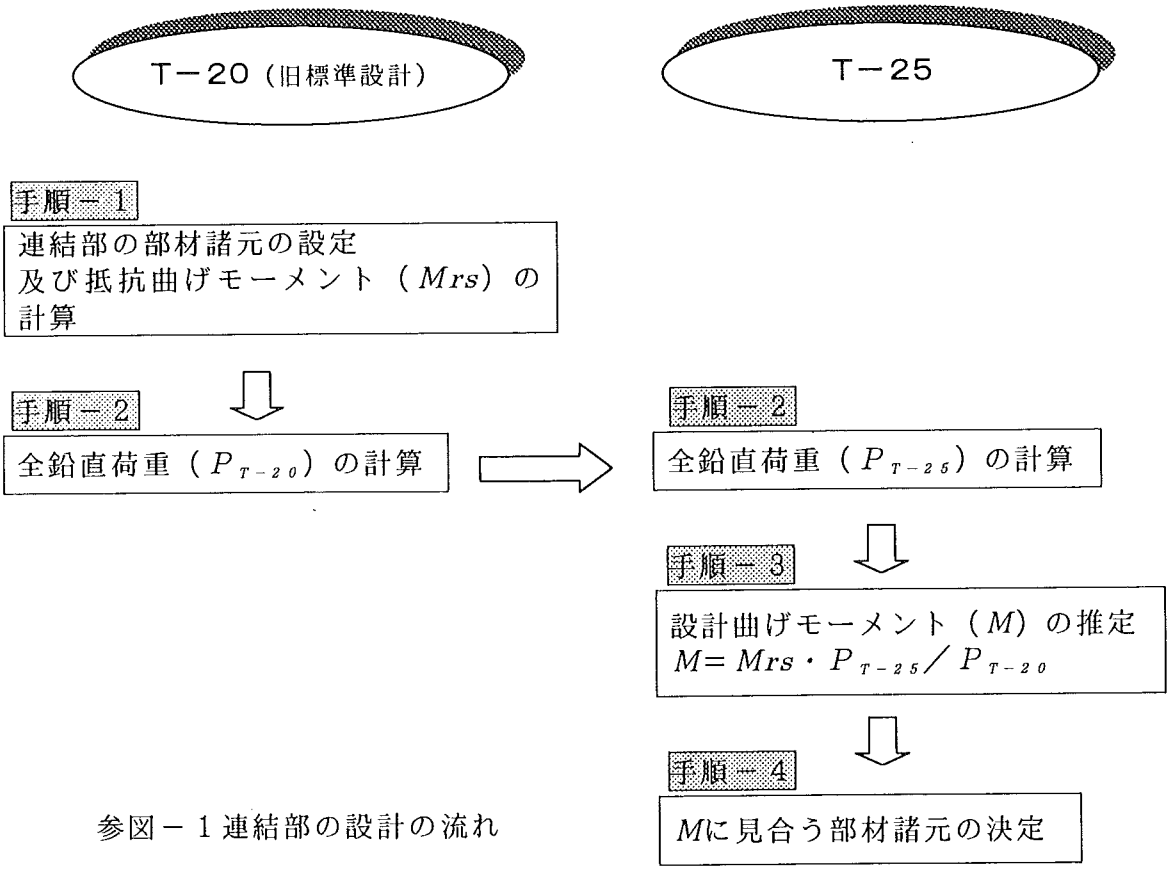
一般に連結部の設計は，条件が特殊な場合やＦＥＭのような高度な解析手法を用いるこ

とで，より合理的な設計が可能となるケースは別にして，旧標準設計で対象にしていたような一般的な条件下においては，既往設計や旧標準設計等の設計データを，技術的に吟味した上で活用するのも一つの検討に値する方法であると考えられる。

以下では，設計活荷重Ｔ－２０の条件で作成された旧標準設計を，現行の設計活荷重Ｔ－２５の条件に適用する場合の一つの活用方法を紹介するので参考にされたい。

［参考］

土圧や活荷重等による設計荷重強度と連結部に発生する設計断面力との間には，一次比例の関係が成り立つことに着目する。検討手順は，以下のとおりである。



参図－１連結部の設計の流れ

手順－１；連結部の部材厚，主鉄筋量及び補強区間を旧標準設計の標準図面より見出す。上記の部材諸元及び鉄筋・コンクリートの許容応力度を基に，部材の持つ抵抗曲げモーメント（Mrs）を計算する。若干安全側になるが，この値をＴ－２０の荷重条件に対する設計曲げモーメントと見なす。ここで，抵抗曲げモーメントは，「鉄筋の引張応力度が許容値に達する場合」と「コンクリートの曲げ圧縮応力度が許容値に達する場合」の両者のうちの小さい方となるが，一般には前者で決まる。

手順－２；連結部に作用する全鉛直荷重をＴ－２０とＴ－２５の各々について計算する。

手順－３；Ｔ－２０とＴ－２５による設計曲げモーメントの比率は，手順－２で計算した全鉛直荷重の比率と等値であると考える。したがって，Ｔ－２５による連結部に生じる

曲げモーメント（M）は次式により計算できる。なお，水平荷重による曲げモーメントの増加率ついても，全鉛直荷重の比率（P_{T-25}/P_{T-20}）と考える。

$$M = Mrs \cdot P_{T-25} / P_{T-20}$$

ここに，

Mrs：連結部のＴ－２０の荷重条件に対する部材の持つ抵抗曲げモーメント（＝設計曲げモーメント）。

P_{T-20}：Ｔ－２０の荷重条件に対する全鉛直荷重

P_{T-25}：Ｔ－２５　　〃

なお，鉄筋コンクリート構造物における部材設計は，上記の曲げモーメントの他に，せん断力に対しても行う必要があるが，旧標準設計の土被り２ｍ以下の条件では曲げモーメントで決まることが多い。

手順－４；Ｔ－２５の荷重条件に対する連結部の部材諸元は，手順－３で求めた設計曲げモーメントを基に，安全側になるように決定する。因みに，部材を１ランクアップした場合の直接工事費の増加率は１～２％程度であり，直接工事費では数万円のオーダーである。

（建設システム課）

1. 盛土の一層仕上がり厚の厚層化

（質問）

大規模土工においては、大型締固機による試験施工を実施し、土質毎に最適な仕上がり厚・締固め回数を決定している。例えば、礫質土は振動ローラー(18t)の締固めにより、一層 40cm で施工している。

一般的な土工においても、コスト縮減・施工時間の短縮のため、土質毎に一層仕上がり厚を増厚した基準を作成し、標準施工とできないか御教示願いたい。

（福島県空港建設課）

（回答）

日本道路公団では、山岳部における大規模工事の施工を効率的に実施するための一環として、大型締固め機械を用いた厚層締固めの導入に向けた検討を行っている。その結果、砂質土・まさ土・礫質土等の盛土材料において大型締固め機械を使用する場合には施工層圧を 50～60cm 程度まで厚くしてもこれまでと同様またはそれ以上の締固めが可能であることを確認している。

厚層締固めの施工時では、ゾーニング（安定及び沈下対策）と排水対策が特に重要となる。盛土材を各々の持つ材料特性（せん断強さ、圧縮性、透水性）に基づいて施工中や完成後の盛土に期待する機能（常時及び地震時の安定、供用後の沈下低減、排水性）を満足するように盛土材を配分することとする。

具体的には常時及び地震時の安定対策として、ϕ =30°、c=2.0tf/m^2 以上の材料を法面部に配分し、車両が走行する部分には圧縮性の小さい材料を配分することが望ましい。

排水対策については、盛土の安定確保や圧縮沈下を軽減するために、排水対策に留意することが必要である。

また、従来の品質管理手法である砂置換法や RI 計器では厚層の場合に掘り下げ作業が必要となる。そこで、効率的に深い場所の密度を測定するための道具として２孔式 RI 計器、車載型 RI 計器が開発されている。

土木研究所では、盛土締固め管理を合理的に行うため、散乱型 RI 計器を用いた締固め管理手法を開発した。また、特定技術パイロット事業の結果をもとに RI 計器を用いた盛土の締固めを行うための「RI 計器を用いた

盛土の締固め管理要領（案）」を作成した。

従来の締固めに対して厚層締固めによるコスト縮減効果が表れるのは、工区内の工事用道路を運搬し盛土ヤードがある程度の広さを有する大規模土工工事である。その効果は、締固め作業のみを大型化した場合は敷き均し・転圧で５％、掘削・積み込み、運搬、敷均し等の一連の作業を全て大型化した場合全体で 29%と試算される。そのため、一般的な土工工事においては、土質だけでなく現場の状況を勘案して層厚を決定する必要がある。

今後適用土質や構造物の目的、コスト縮減効果を見極め、コスト縮減効果が著しい施工現場において厚層締固めを導入することが必要かどうか検討を行う予定である。

参考文献

1) 鳥井原ほか：大型締固め機械による盛土の厚層締固め試験（その１、砂質土）、第 32 回地盤工学研究発表会 pp.2225-2226、1997.7

2) 三上ほか：大型締固め機械による盛土の厚層締固め試験（その２、砂礫土）、第 32 回地盤工学研究発表会 pp.2227-2228、1997.7

3) 谷澤ほか：大型締固め機械による盛土の厚層締固め試験（その３、岩ずり）、第 32 回地盤工学研究発表会 pp.2229-2230、1997.7

4) 益村ほか：一層締固め層厚の厚層化によるコスト縮減の取り組みについて、第 22 回日本道路会議論文集 pp.48-49、1997.12

5) 建設省：RI 計器を用いた盛土の締固め管理要領（案）、1996.8

（施工研究室）

2. ロックボルト工の施工管理

（質問）

ロックボルト工における引張り強度の確認方法について

（１）引張り強度が定着部により発揮されているかの判定方法。

（２）引張り確認試験の荷重及び対象本数。

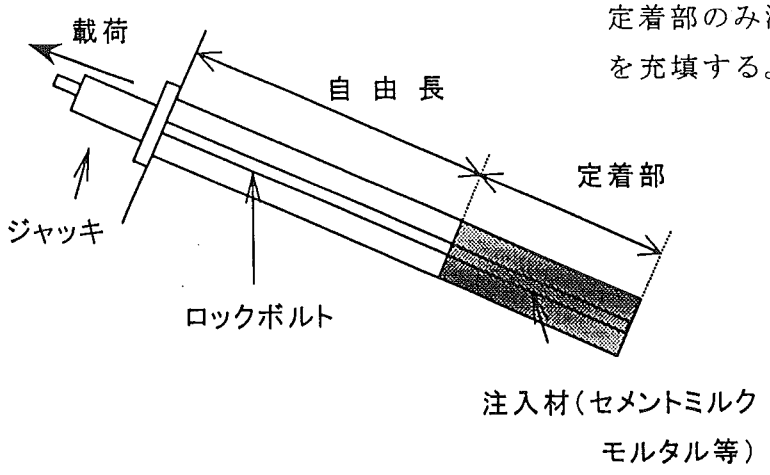
以上、２点についてご教示願いたい。

（富山県　土木部　砂防課）

（回答）

（１）　ロックボルトは全面接着式の為、実際施工を行ったものについて定着部のみの引張り力を確認することは出来ません。現在、道路土工指針等に本件に関する記述はありませんが、日本道路公団「切土補強土工法設計・施工指針（案）」では、 定着部における極限引抜き力を調べる引抜き試験を本施工に先立ち実施することを提唱しており、そのデータから定着部の引張り強度を読み取ることが可能です。

※　引抜き試験　引抜き試験の基本的方法としては、設計上で考えている定着地盤すなわち引抜き抵抗を期待している地盤に、必要な長さ定着された補強材を引き抜けるまで載荷することを標準とする。



図－１　　引抜き試験　概要図

（２）　全面接着式のため鋼材を引張ることがそのまま設計耐力の確認になっているとは言えないので全数について試験を行うことは単に作業時間を増やすのみです。試験本数は全数の３％かつ３本以上とすることが標準的であり、また、過大に引張り荷重を与えると本来生じるところではない付着部の破壊を引き起こす恐れがあるため、最大試験荷重は設計荷重としています。

参考資料：切土補強土工法設計・施工指針(案)（日本道路公団）　（施工研究室）

3. アンカー付法枠工の設計

（質問）

法枠工（フリーフレーム）にアンカー引張力を分担させる場合

1）１方向（縦梁、もしくは横梁）

2）両方向（縦梁、横梁両方）

のどちらを、採用すべきか、ご教示願いたい。

（富山県　土木部　企画用地課）

（回答）

現在各指針による統一はなされていません。そのため、１方向、両方向ともに設計では用いられています。例えば、（社）全国特定法面保護協会 「のり枠工の設計・施工指針」では、アンカー引張り力が梁に作用した場合の荷重は縦梁と横梁に分布されるが、梁の構造、地盤の状況などの諸条件により分布荷重が相違する場合があるため、安全を考慮してアンカー引張り力が一方向に作用する梁として荷重の計算を行う、としています。

また、フリーフレーム協会「フリーフレーム工法設計・施工の手引き」では以下のように述べています。

アンカーの荷重及びその地盤からの反力は、縦方向・横方向にほぼ均等に伝達されると考えられるため、枠に作用する荷重は二方向梁として計算する。但し、次の場合は一方向梁として算出する。

1）　縦横枠の剛性が異なる場合

2）　縦横方向のアンカーピッチの比が 0.5 未満の場合

3）　横枠の凸凹が大きい場合

4）　同一法面で土質が極端に異なる場合

以上のように現場状況に応じて適用するのが望ましいと言えます。

参考資料：のり枠工の設計・施工指針　　（社）全国特定法面保護協会

フリーフレーム工法設計・施工の手引き　　フリーフレーム協会

（施工研究室）

4. 建設汚泥の再利用の方法

（質問）

高分子凝集剤を用いた脱水ケーキは産業廃棄物扱いとなり、管理型最終処分場で処分しなければならないが、高分子凝集剤には環境への悪影響もないと考えられるため、再利用を図る方法があればご教示願いたい。また、脱水ケーキの量を減らす技術的な方法があればご教示願いたい。

（石川県土木部）

（回答）

1. 建設汚泥の再利用方法

発生時に廃棄物処理法で建設汚泥に分類される性質を持つものは、産業廃棄物として扱われ管理型処分場へ最終処分することになる。したがって、高分子凝集剤を使用したかどうかにかかわらず、建設汚泥の脱水ケーキは産業廃棄物扱いとなる。

前述のとおり、建設汚泥は産業廃棄物に相当するため、廃棄物処理法に従い適切に処分する必要があるが、現在、制度的には以下の４つの方法で再利用を図ることが可能である。

（１）有償売却

「廃棄物」とは、自ら利用し、または他人に有償で売却することが出来ないために不要となったもの（無価物）である。したがって、有価物として他人に有償売却出来るものについては、再利用が可能となる。

建設汚泥では、中間処理により土質改良し盛土材等として売却する場合や、流動化処理土、ドレーン材等のように製品化して売却する場合等が考えられる。

（２）自ら利用

有価物として他人に有償売却できるものを発生現場内で自ら利用する場合は、再利用が可能である。

建設汚泥では、発生現場内で中間処理を行い、現場内の埋め戻しや盛土等で再利用する場合が考えられる。

（３）個別指定制度

再生利用者の申請を受けて都道府県知事等が指定するもので、廃棄物の種類、発生場所、再生利用の場所及び用途が指定される。指定を受けた場合は、その申請者は処理業の許可を取らなくても、その廃棄物を再生利用することが可能となる。

指定制度の適用条件は、産業廃棄物を無償で引き取ること及びその大部分が再利用されることが確実であることである。これに加え、自治体によっては、建設汚泥を個別指定す

る際の条件を定めているところがある。

（4） 再生利用認定制度

平成９年６月の廃棄物処理法の改正に伴い、再生利用に係る特例制度（再生利用認定制度）が創設された。これにより、同年 12 月に厚生省から省令と告示が公布され、建設汚泥が本制度の対象となった。

本制度では、一定基準を満たした建設汚泥について、厚生大臣に申請書を提出し認定を受けると「再生品」と称する有用物と見なされ、高規格堤防（スーパー堤防）の地表面から 1.5m以深に限定して再利用が可能となる。

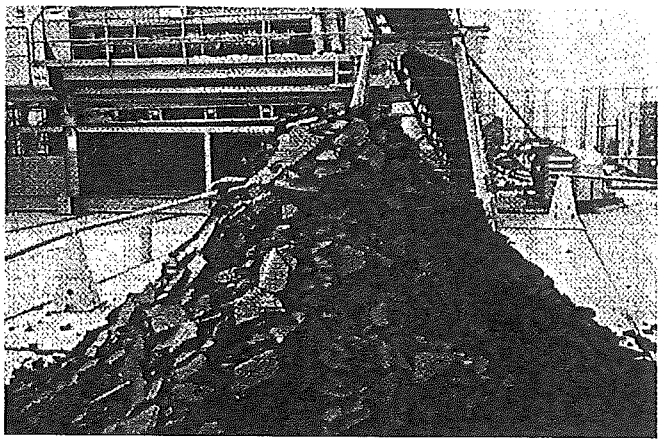
以上は、建設汚泥を再利用するための制度的な方法であり、有害な物質を含まないものについては、要求される品質を満たすように建設汚泥の改良を行い、有効利用を図ることが望ましい。

2. 脱水ケーキの減量化

建設汚泥や浚渫底泥の処理方法として、フィルタプレス機による脱水があり、その処理能力の向上を目的として「高圧薄層脱水システム」を開発した。

これは、建設省総合技術開発プロジェクト「建設副産物の発生抑制・再生利用技術の開発」の一環として行われた共同研究「建設汚泥の高度処理・利用技術の開発」において、研究、開発したものである。

フィルタプレス機は、濾布により形成された濾室内に、建設汚泥をポンプで圧送することにより、圧搾脱水するものである。本システムでは、従来機と比較して脱水圧力を３倍、濾室の厚さを約半分にすることで、建設汚泥から短時間で高強度の脱水ケーキを製造することに成功した。その処理能力は、小型機を製作して行った脱水試験では、コーン指数が第３種土質材料以上の強度（400kN/m^2（4kgf/cm^2））に達し、脱水速度は従来機の 1.5～2 倍となった。



写真－１　脱水ケーキ

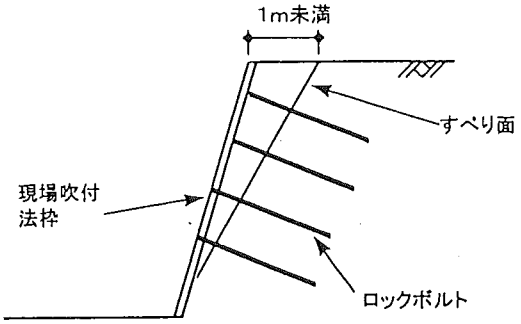
また、実大規模の高圧薄層フィルタプレス機を用いた実証実験では、実現場においても室内試験と同様の高強度の脱水ケーキを作成できることを確認した（写真－１参照）。

（施工研究室）

5. 鉄筋補強土工(ロックボルト)の安定計算

(質問)

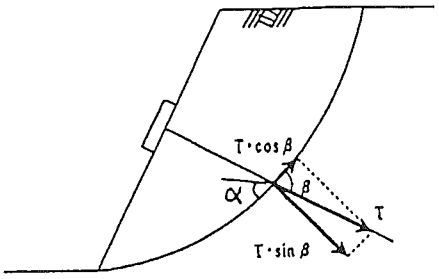
下記条件で、現場吹付と鉄筋補強土工法で対処したいが、安定計算はどのようにすればよいか。御教示願いたい。



(新潟県上越土木事務所)

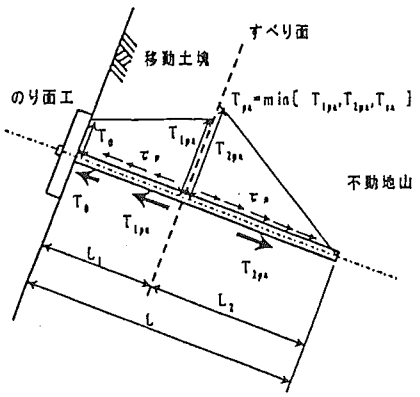
(回答)

切土のり面の鉄筋補強土工法は、地山に鉄筋やロックボルトを多数挿入し、斜面全体の安定性を高める工法である。一般的な使用は、地質的に中小規模崩壊の可能性のある箇所ののり面安定、標準勾配より急に切土する場合の補強、地盤掘削等の仮設などに適用されることが多く、近年採用が増加してきている。しかしながら、その補強メカニズムに未解明な部分が多く、極限釣り合い法、疑似擁壁法、2ウェッジ法、経験的設計法などが提案されているが、設計法は完全には確立されてはいない。日本道路公団では極限釣り合い法による設計を採用しており、実績も多い。標準勾配よりも急な切土の場合は、経験的設計法ではなく、極限釣り合い法などで設計するのがよいと考えられる。



図－1 引張り補強材としての効果

極限釣り合い法による設計は、図－1に示すように、地山が変形するときに発生する補強材の引張り力をすべり面に平行な分力(引き止め効果)とすべり面に垂直な分力(締め付け効果)に分け、式(1)の安定計算式に従って安全率を求めるものである。なお、補強材の引張り耐力は、図－2に示すように、移動土塊からの引き抜き抵抗力、不動地山からこの引き抜き抵抗力、補強材の許容引張り耐力の最小のものを採用し、さらに実際に発生する引張り力が必ずしも理論的に求まる引張り力にならないことを考慮して低減係数を乗じたものとしている。



図－2 補強材の引張り耐力

$$F_{sp} \leqq \frac{c \cdot l + W\cos\alpha \cdot \tan\phi + (T_m \cdot \cos\beta + T_m \cdot \sin\beta \cdot \tan\phi)}{W \cdot \sin\alpha} \quad (1)$$

ここに

Ｆｓｐ：設計安全率

ｃ　　：粘着力

ｌ　　：すべり面の長さ

Ｔｍ　：補強材の設計引張り力（$=\lambda \cdot T_{pa}$）

α　：すべり面と水平とのなす角度

β　：補強材とすべり面となす角度

ϕ　：すべり面の内部摩擦角

λ　：補強材の引張り力の低減係数

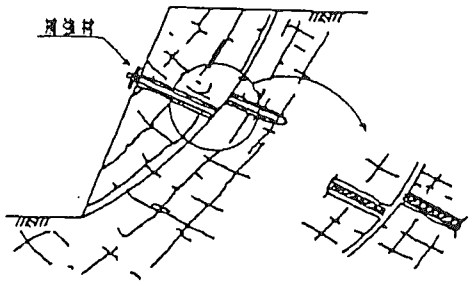
Ｔｐａ：補強材の許容引張り耐力

（$=\min[T_{1pa}, T_{2pa}, T_{sa}]$）

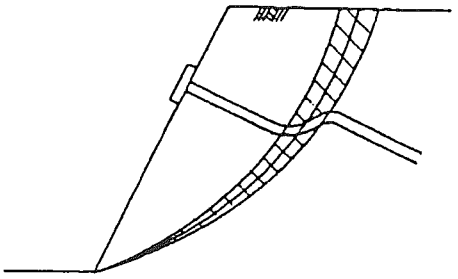
T_{1pa}：滑動土塊から受ける引抜き抵抗力

T_{2pa}：不動地山から受ける引抜き抵抗力

T_{sa}　：補強材の許容引張り力



図－３　せん断補強材としての効果



図－４　曲げ補強材としての効果

地山が変形する場合は、補強材は引張りだけでなく、図－３に示すようなせん断変形や図－４に示すような曲げ変形が生じる。このため、補強材はせん断補強材、曲げ補強材としての効果も期待できると考えられている。しかし、鉄筋やロックボルトは断面積が小さく、せん断や曲げに対する抵抗はあまり大きくないと考えられる。また、これらの効果の定量的解明はまだ研究段階であり、一般的にはこれらを無視して設計することが多い。

また、補強材の防食については、これまでは設計、施工上の対策は一般にとられてきていない。しかし、日本道路公団の長期安定性に関する実態調査[1]によると、表土より深い位置の補強材は健全であるが、補強材頭部ののり面工と地山の境界部分に腐食が認められると報告されている。このため、永久目的であれば腐食防止対策を施すことが望ましい。防食は、補強材及び補強材頭部のナットやプレートを亜鉛メッキ処理等を行う、モルタル注入材の中で補強材のかぶりが十分にとれるようにスペーサを設置するなどが考えられる。

なお、永久目的では長期には補強材の腐食の他に地山の強度低下が考えられる。しかし、補強土は粘り強い構造であるために突発的な崩壊が生じる可能性は少ないと考えらるれため、維持管理の中でのり面に変状が発見された時に、増し打ちなどの補強を施すことで対応は可能であり、設計時にこれらを見込んで設計することは少ないようである。

参考文献：1)日本道路公団、平成５年度切土のり面補強土工の長期安定性に関する実態調査、1994.2

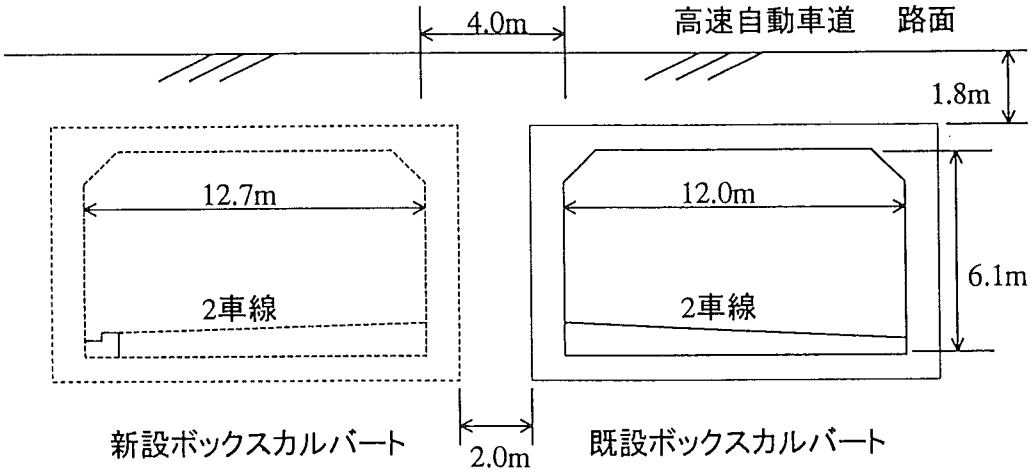
（施工研究室）

6. 既設ボックスカルバートに近接するボックスカルバートの非開削施工

（質問）

高速自動車道 I.C.付近の都市計画道路の整備に伴って、既存ボックスカルバートに隣接してボックスカルバートを新設することにした。新設するボックスカルバートは非開削工法で施工するが、既設ボックスカルバートに隣接して施工することについてどのような問題が生じるか御教示願いたい。

また、既設路面と段差を生じさせないために BR 工法（箱形ルーフレール工法）の採用を検討しているが、土被りが 1.8m しかないので、施工の可能性も含めた留意点を御教示願いたい。



（日本道路公団　北陸支社）

（回答）

このケースの既存ボックスカルバートは剛性カルバートである。ここでは土被りが薄く、水平土圧がさほど大きくないと考えられるので、既存ボックスカルバートの部材が急激に変形するなどの影響は小さいと考えられる。また、既存ボックスカルバートから新設ボックスカルバートへの影響があるとは考えられない。側壁方向の掘削支保工も 2m あれば問題なく施工可能と考えられる。むしろ既存ボックスカルバート側は、既存ボックスカルバート本体を支保として利用できると考えられる。但し、掘削時における既存ボックスカルバートの部材力や移動量の確認及び施工時の変位等の観測が必要である。

仮設掘削支保では、パイプルーフ工法が用いられることが多い。しかし、土被りが薄い場合には、以下の工法が適する場合があり、どの工法を採用するかを比較検討することが必要である。

アール・アンド・シー（R&C）工法	鋼製箱形ルーフ
URT 工法	鋼製角形エレメント内にコンクリートを注入

PCR 工法　　コンクリート製桁を横連結

アンダーピニング併用パイプビーム工法　頂版をジャッキアップ

いずれも道路よりも変位量のきびしい鉄道下で実績のある工法である。道路の場合、鉄道における施工時に比べて変位対策はとらない場合が多いため、施工中は路面の変位、舗装面のクラックや段差に十分注意する必要がある。

また、施工は盛土や基礎地盤条件も加味して検討する必要がある。

（施工研究室・土質研究室）

7. のり枠工の吹付コンクリートとモルタルの設計基準強度

（質問）

防災工事で吹付法枠（400 × 700）＋グランドアンカー（PC ＝ 30 t ／本）により設計しており、そのときの吹付法枠の材料がモルタルであった場合、H 7. 10月法枠工の設計・施工指針では無筋・有筋ともコンクリートの設計基準強度で書かれていますが、モルタル時でもその数値にて計算して良いのか、コンクリートと同等とみなすことができるのか（強度せん断力）モルタルの場合の条件、選定理由など、（施工条件以外で）コンクリートとモルタルの使い分けがあるのであればご教示願いたい。

（長岡国道工事事務所）

（回答）

まず、吹付コンクリートと吹付モルタルの強度については H.7.10 の「のり枠工の設計・施工指針」（以下、指針と略す）の 4.3 吹付枠工の設計の解説（P.37）に次の記述がある。「(4)吹付枠工は、高所、急勾配の斜面上で吹付作業を行わなければならないことが多く、吹付後の養生がほとんど行われず、十分な強度を発揮する以前に乾燥、風雨や低温にさらされる場合も多いこと、吹付の際にリバウンドや空気等の混入等強度の発現を阻害する要素も多いが、最近は施工技術や管理が向上し、品質のバラツキが少なくなって最低値が上がり、一般的には 200kgf/cm^2 程度が確保できるようになったので、コンクリートの設計基準強度を 150kgf/cm^2 として許容応力度を定めた。よりよい品質のコンクリートを得るためには、モルタル吹付を標準とし、次のような条件を守り、計算例に示す方法で配合を決めるとよい。」

一般のコンクリートの場合には、同じ水セメント比のモルタルと比較すると、コンクリートの方が強度が大きくなる。また、モルタルではどうしても単位水量が大きくなるため、乾燥収縮が大きくひび割れを生じやすくなり、また種々の耐久性の面でもコンクリートに劣る。また、セメント量が多くなり、経済性も低下する。このため、モルタルで鉄筋コンクリート構造物を作ることは希である。

しかし、吹付工法では特に鉄筋があるような場合、コンクリートを用いると、確実に充てんすることは難しく、モルタルを用いた方が総合的に見てよい結果が得られる場合が多いようである。このような背景から、上述のような記述がなされたと考えられる。

以上のようなことから、吹付によるのり枠工に限っていえば、基本的には吹付コンクリートもモルタルも設計基準強度は同じと考えてよいのではないかと考える。ただし、指針に示された標準配合は単位セメント量 400kg/m^3 以上、水セメント比６０％以下であり、一般にはコンクリートよりかなり単位水量が多くなる。しかも、吹付の場合良好な養生条件は期待できないため、吹付後かなり早期にひび割れが生じることは避けられないと考えられる。このため、吹付で造った法枠に長期の耐久性を期待するのは難しいと考えられる。

この点は注意が必要であろう。

モルタルとコンクリートの使い分けは、種々の条件を考慮しないといけない。鉄筋を入れた場合、コンクリートできちんとした吹付を行おうとすると、吹付工に高度な技量が要求されるようである。事前に吹付工の技量を判断するのは難しいであろうから、鉄筋がある場合にはモルタル、無筋（少数の用心筋を含む）の場合にはコンクリート、とするのが実際的ではなかろうか。

（コンクリート研究室）

8. 接着剤の規格

（質問）

図-１の様な個所に施工する場合の接着剤の品質、規格、種類について御教示願いたい。

（富山工事事務所）

（回答）

コンクリート縁石の上に、コンクリート製地先境界ブロックを、接着剤によって接合する際の、接着剤の品質、規格、種類が質問である。このような用途を目的とした接着剤の規格はないため、類似のものを準用する必要がある。土木用の接着剤には様々なものがあるが、本例の様に構造用の接着剤の場合は、エポキシ樹脂が殆どである。

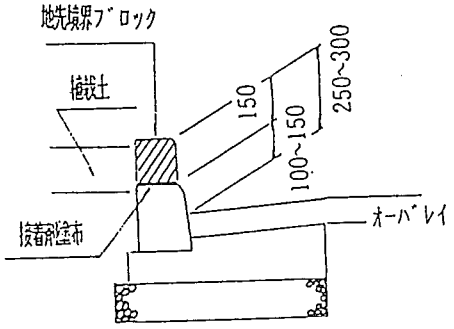


図-1　施工予定部分の断面図

類似の用途としては、コンクリート補修用の接着剤があり、通常、接着性に優れたエポキシ樹脂が用いられる。下記のような種類がある。

（１）鋼板接着用接着剤

コンクリート/鉄用の接着剤であり、今回の事例のコンクリート/コンクリートの接着と目的が異なる。また注入用であるため粘度が低く設定されており、当該事例をパテ状の作業で施工する場合には、物性が不向きである可能性がある。規格は建設省橋梁修繕工事特記仕様などに存在する。

（２）コンクリートのひびわれ注入用接着剤

コンクリート/コンクリートの接着剤であり、今回の事例の目的に適しているが、注入用である点で、鋼板接着用接着剤と同様に粘度上の問題がある可能性がある。エポキシ樹脂の他、無機系超微粒子セメントを用いたものもある。規格は、建設省総合技術開発プロジェクト「コンクリートの耐久性向上技術」で作られたものなどがある。

（３）コンクリート断面修復用パテ材

比較的小規模のコンクリートの断面修復を目的としたものであり、コテ、ヘラ等で断面にすりつけて充填する材料である。コンクリート/コンクリートの接着剤であり、また、パテ状の作業を前提とした製品であるので作業上は問題なく施工できるはずである。規格は建設省総合技術開発プロジェクト「コンクリートの耐久性向上技術」などに存在する。

上記のような考えから、本例ではコンクリート断面修復用パテ材の規格を準用するのが妥当であると考えられる。この材料の品質規格は建設省の他、以下のように日本道路公団、首都高速道路公団などで規定されたものがある。主要事項の一覧を別表に示す。（付表１「断面修復材品質規格」（「補修補強工法別材料名一覧」（平成９年３月，（財）道路保全技術センター）より引用）一致しない部分もあるが、これらを参考に品質規格を設定することが出来るはずである。

付表１　断面修復材の品質規格

試験項目＼機関	日本道路公団	首都高速道路公団	建設省	日本規格協会 JIS A 6203	鉄道総合技術研究所	試験方法
固化時間	1.0時間以上	0.5時間以上8時間以内				JIS R 5201　7.1.1に規定するビカー針装置による。
厚塗り作業性	20mmの厚塗でもたれず、はがれを生じないこと。	こて作業に支障なく20mmの厚塗でも、たれを生じないこと。				JIS A 5304　に規定するコンクリート平板の1/2の大きさにスペーサーを用いて塗布し、垂直に立ててたれを調べる。
硬化収縮率	28日間気中養生後 0.05%以下	28日間気中養生後 0.05%以下	3ヶ月間気中養生後 20×10^{-4}以下 (0.2%以下)	5日間水中養生後 0～0.150%		JIS A 1129により測定する。 試験片の大きさは、40×40×160mm
熱膨張性 (熱膨張係数)	0.2×10^{-5}/℃以下				(1～5×10^{-5}/℃)	硬化収縮率測定の試験体を用い、60℃と-20℃の長さ変化より求める。JIS K 6911による。
耐アルカリ性試験		飽和$Ca(OH)_2$水溶液に30日間浸漬してふくれ、われ、はがれを認めないこと。				JIS A 6909　5.2による。28日間養生する。試験板は、70×70×20mmモルタル板を使用する。
温冷繰り返し試験	10サイクル試験後均一でわれ、ふくれがないこと。	15サイクル試験を行い、ふくれ、われ、はがれを認めないこと。				JIS A 6909　5.2に規定するモルタル板を使用する。20±2℃水中18時間、-20±3℃3時間、50±3℃3時間を1サイクルとする。
付着強さ　標準養生後		15kgf/cm²以上		10kgf/cm²以上	界面破壊がないこと引張強度はコンクリートと同等以上であること。	付着強さはJIS A 6910　5.8に従い実施する。荷重速度175Kgf/min28日間養生後試験に供する。
付着強さ　湿潤時	15kgf/cm²以上					湿潤時の試験は、20±3℃の水中に24時間浸漬したモルタル板を布で拭き取り、10分以内に資料を塗布したものを試験体とする。道路公団規格の塗装塗膜との付着性は、28日間養生後温冷繰り返し試験を10サイクル行った後に試験する。
付着強さ　耐アルカリ性試験後	15kgf/cm²以上	10kgf/cm²以上				
付着強さ　温冷繰り返し試験後	15kgf/cm²以上	10kgf/cm²以上				
付着強さ　塗装塗膜との付着性	10kgf/cm²以上				界面破壊がないこと	
コンクリート一体化試験					ＲＣ梁の一体ものと比較し、初期ひびわれ荷重耐力が同等似であり、たわみは同等以下であること。	ＲＣ梁の曲げ試験による。
曲げ強さ		50kgf/cm²以上		40kgf/cm²以上		試験片の大きさは40×40×160mm.28日間養生後JIS R 5201　9.1(3.2))(d)に準じ、最大荷重5kgf/secで最大荷重(w)を求める。b=w×0.234。
圧縮強さ	240kgf/cm²以上	200～400kgf/cm²以上	200kgf/cm²以上	50kgf/cm²以上		JIS R 5201　9.1(3.2)に準じ、荷重速度80kgf/secで最大荷重(w)を求める。c=w×1/16。
圧縮強さ					コンクリートと同等以上であること。	JIS A 1108　による。円柱供試体を用いる。
圧縮弾性係数		1×10^4kgf/cm²以上			コンクリートと同等であること。	圧縮荷重変化と圧縮変位置から求める。
透水量				30g以下		JIS A 1404　透水試験による。
吸水率				15.0%以下		JIS A 3203　7.7 吸水率による。

[参考資料]

「コンクリートの劣化・変状に対する補修・補強材料」（鉄道総合技術研究所、昭和62年）

「維持修繕要領・橋梁編」（日本道路公団、昭和63年5月）

「総合技術開発プロジェクト　コンクリートの耐久性向上技術」（建設省、平成元年5月）

「JIS A 6203　セメント混和用ポリマーディスパージョン」（日本規格協会）

「コンクリート塗装及びFRP補修基準（案）」（首都高速道路公団、平成3年10月）

「技術施工資料（第1号）」（日本道路公団、平成6年3月）

（化学研究室）

9. コンクリート構造物(BOX)等のアルカリ骨材反応対策

(質問)

平成以来、アルカリ骨材反応対策として、ゴム系や樹脂系の表面処理工法を実施して外部からの水の侵入防止を行いアルカリ骨材反応の抑制を実施してきた。しかし、今日ではその多くが外部からのみずの侵入に対応しきれずに表面が破損し反応が更に進行してきている。

このような実態のなかで、横断ＢＯＸ頂版のアルカリ骨材反応対策はどうすべきか。一般的には表面処理工法となるが工費、交通規制、工期、効果等考えるとたの対策工法がないのかご教示願いたい。(ボックス内面からの対策の開発等)

(富山工事事務所)

(回答)

昭和６０年～６２年に実施した、総プロ「コンクリートの耐久性向上技術の開発」において、アルカリ骨材反応によって被害を受けたコンクリート構造物の補修方法として、「アルカリ骨材反応被害構造物（土木）の補修・補強指針（案)」をとりまとめている。この指針（案）では、水中部の橋脚及び橋台や擁壁のように背後に盛り土や埋め戻し土が構築されており、常に水が補給されるような構造物は補修の対象外としている。

問い合わせの横断ＢＯＸは、背後に盛り土があるため、本指針（案）の適用対象外であり、個別に補修方法を検討する必要がある。

現在、本指針（案）の対象外となっている背面に盛り土などがあり、水が補給されるアルカリ骨材反応被害構造物の補修方法の開発を行っている。

コンクリート内部水を逸散させる効果のある被覆材料などについて、アルカリ骨材反応を起こしているＬ型擁壁で囲んだ中に土を入れ、注入材として改質ゼオライトや亜硝酸リチウムなどと組み合わせた補修システムの補修試験を実施しているところである。今後、現場試験施工を行い補修効果を検証したいと考えている。

10. 築堤工事の段切り

（質問）

既設堤防や現地盤に拡幅・腹付けなどの拡築工事をする際、段切りして盛土するがその盛土にさらに土羽打ちする場合、段切りする必要があるかどうか。また、その場合川表すべて施工する必要があるかどうか。さらに、築堤盛土材料によっては施工しなくても良い場合があるかどうか御教示願いたい。

（富山工事事務所小矢部出張所）

（回答）

堤防は、長年の治水事業の所産であり、堤体材料および締固めにバラツキがあり、安全性に不安を残している。このような不安を解消するためには、適切な拡築材料の選定し、それらを十分締め固める必要がある。また、既設堤防と新しく盛土した部分の接着に十分注意し、拡築後の堤防の完成時において、この接着部が弱点箇所にならないように配慮しなければならない。

Ⅰ堤防本体部の施工

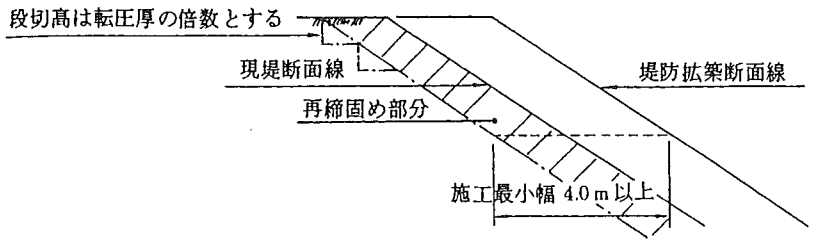
①最小施工幅

河川堤防の築堤工事で用いられる締固め機械は堤防断面に余裕があり、締固め度をこれまで 85%以上と規定していることもあって、ブルドーザを用いた水平転圧による締固めが広く用いられている。よって、締固めの最小施工幅としては、11t 級の普通ブルドーザでは４ｍが必要なことから、最小腹付け幅は 4m と設定している。腹付け幅が４ m 以下の場合には斜転圧も考えられるが、斜転圧は本来のり面仕上げ転圧として実施されるものであり、十分な締固め効果は得られず、仕上がった後で転圧層が薄層状となり、降雨などによってのり面が崩壊することにつながるので、原則として水平転圧としている。

②段切りについて

拡築箇所の既設堤防は長年の経過にともなって、表層は降雨等の自然条件や動植物によって劣化しているのが普通である。したがって、腹付けに際しては、この部分を除去する必要があり、また腹付けと既設堤防のなじみを良くする意味からも段切りを行うことになっている。

以上のことを踏まえ施工最小幅の設定方法について図－１で示すとおりで、１段あたりの段切り高さは転圧厚さの倍数、最小高で 50cm 程度とし、また水平分には２～５%で外向きの勾配を付すことが一般的である。



図－１　拡築時の施工最小幅の設定方法

II 覆土(土羽土)工

透水性の大きい砂などで作る堤防では、のり面を不透水の土やコンクリートスラブ、アスファルトスラブ、ジオテキスタイルの遮水シート、石張りなどの水密性の材料で覆う浸透対策が行われる。これらは、不透水のもので覆うことで川表から堤体への浸透水を抑止する効果を持っている。

①覆土工の層厚

一般に多く用いられている工法は、のり面を不透水の土で覆う工法で、植生と併用して行う。よって、植生が繁茂するように30cm以上の厚さで被覆することとしている。

②覆土工の締固め

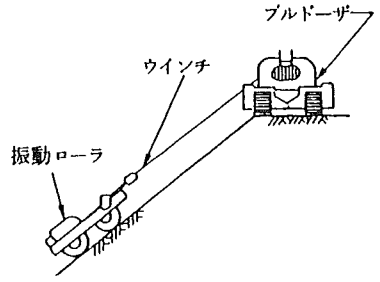
のり面表層部が盛土全体に比べ締固めが不十分な場合は降雨などの浸透水により表層滑りを起こす事もあるので十分締固める必要である。よって、可能な限り締固めの際は、機械を使用して十分締固め無ければならないが、この際は段切りまでの規定はない。　のり面の締固め方法としては次のようなものがある。

①図－2に示すように、小型の振動ローラーを盛土天端部より巻上げながら締め固める。

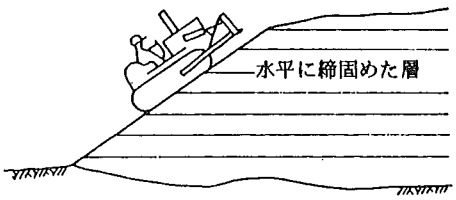
②図－3に示すように、ブルドーザによりのり面を丹念に走らせて締固める。この方法ではのり尻部にブルドーザの移動に必要な平地部があることが望ましく、また高含水比粘土などでは湿地ブルドーザで締固める。

③図－4に示すように、盛土幅よりも広く余盛りを行い、締固め不十分な盛土端部をバックホウなどで掘削しのり面を整形する。

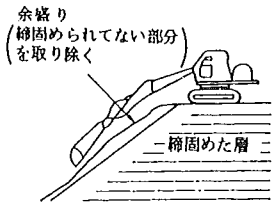
④図－5に示すように、盛土本体を造成した後に土を補足品柄ランマなどの小型機械で締固める。この方法は小規模なのり面や土羽土の締固めなどに従来から多く用いられているが盛土本体部に比べ締固め度が不足しがちであり、施工は特に入念に行う必要がある。



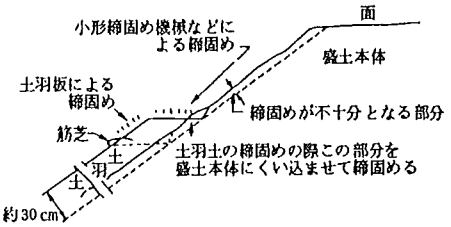
図－2　振動ローラーによる締固め



図－3　ブルドーザによる締固め
(のり勾配が緩いとき)



図－4　油圧式ショベルによる整形



図－5　人力による締固め

(土質研究室)

11. ボックスカルバートの底版部継手の構造

（質　問）

良好な地盤に設置する、ボックスカルバートの継手部の設計方法を伺いたい。

一般に、現場打ちカルバートの底版部継手の構造は、道路土工指針におけるＩ型それ以外の場合はⅢ型を基本としているが、良好な地盤の場合、底版部においてもＩ型での設計が可能と思われる。設計にあたっての問題点があれば御教示願いたい。

また、プレキャスト連結ボックスカルバート（縦締めを行ったもの）においては、ジョイントバーの施工が困難であるため、枕を設置する例が多くなっているが、現場打ちと同様に良好な地盤の場合、止水対策のみの施工としたいが、問題点があれば御教示願いたい。

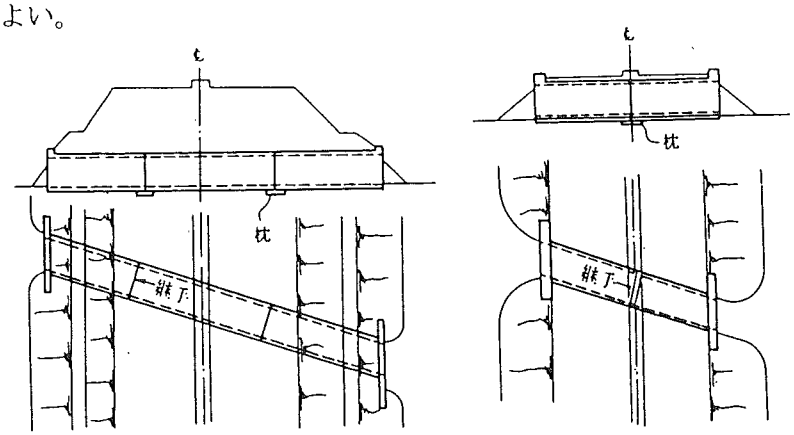
（道路部道路工事課）

（回　答）

ボックスカルバートの継手の位置、間隔、構造は、ボックスカルバートの長さ、基礎形式、上越し量および継手部の開口寸法などを考慮して決定される。

この際に、おもに次の点に留意する必要がある。

①一般的な継手位置を、図－１に示す。なお斜角のあるボックスカルバートにおける継手の方向は原則として側壁に直角とする。土被りの小さい場合は、中央分離帯の位置に設けるのがよい。



(a)　土かぶりが１mを超える場合　　(b)　土かぶりが１m以下の場合

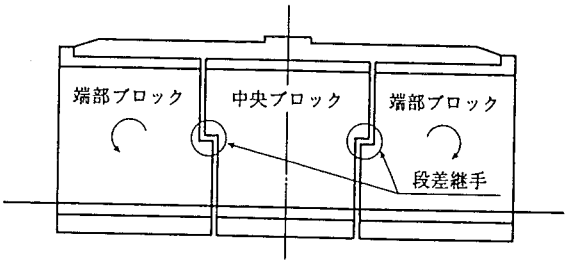
図－１　継手位置

②軟弱地盤などに設置するカルバートで地下水位が高く、沈下および地震の影響により、継手部の遊間が大きくなると予想される場合には、伸縮性に富む継手構造を検討するのが望ましい。

③段落ちを防止する場合には、段落ち防止用枕を設ける。なお、枕の配筋はボックスカルバート底版の配筋量以上を軸方向、軸直角方向に等量に配筋する。

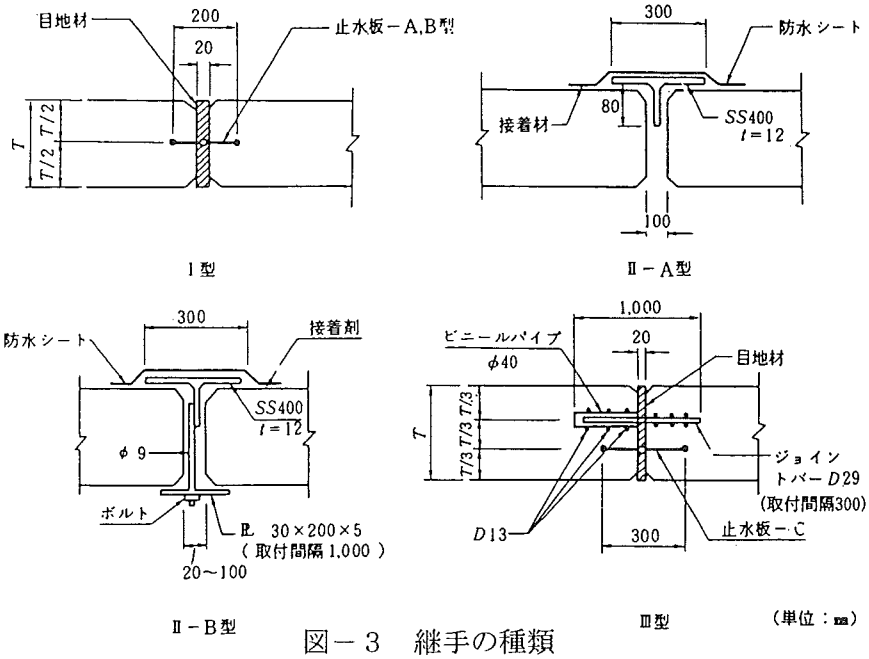
④軟弱地盤上に設置するボックスカルバートで土被りが薄い場合には、端部ブロックがウイングの自重およびウイングの作用土圧により回転して、外側が大きく沈下しやすい。

これを防止するために側壁の継手部に段差を設けて、中央ブロックの重量が端部ブロックに加わるようにする場合がある。図－２にその例を示す。



図－２　段差継手の例

道路土工－擁壁・カルバート・仮設構造物工指針によると、継手の底版部に対しては通常の場合、Ｉ型と段落ち防止枕、もしくはⅢ型を適用し、上げ越しを行う場合、Ⅲ型を適用することとなっている。(図－３、図－４および表－１)

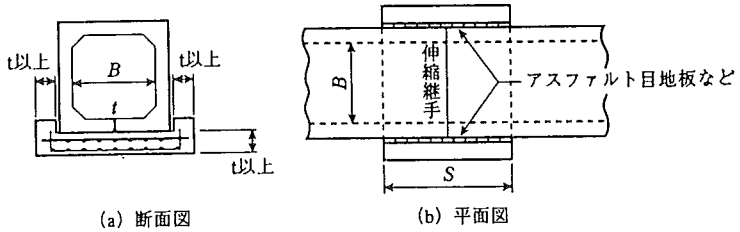


図－３　継手の種類

表－１　継手の組合せ

適用箇所	頂版	側壁	底版
通常の場合	Ⅰ　型	Ⅰ　型	Ⅰ　型 (Ⅲ　型) 注)
上げ越しを行う場合	Ⅱ-A型	Ⅱ-B型	Ⅲ　型

注）段落ち防止用枕を設けない場合

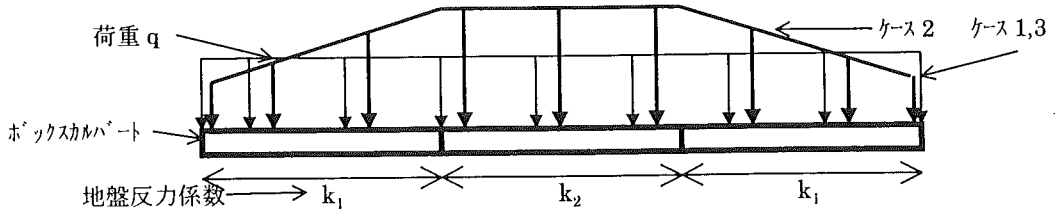


図－４　段落ち防止用枕

さて、現場打ちボックスカルバートにおける継手部の構造について検討する。検討においては継手部に発生するせん断力について考えておく必要がある。

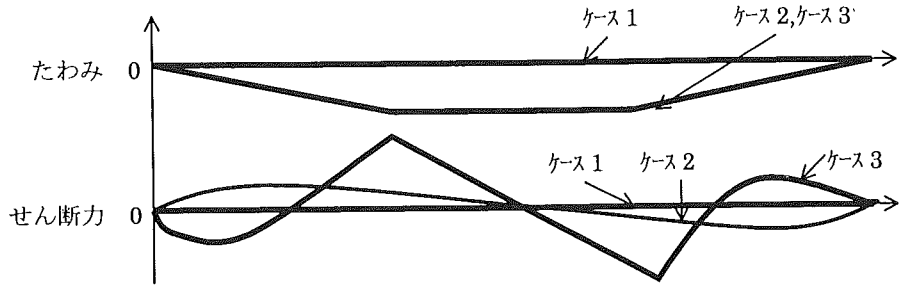
継手位置におけるずれを生じさせるせん断力は、一般に弾性床上の梁理論を用いて計算することができるが、カルバートの土かぶり厚や地盤支持力の変化の影響を受ける。

土かぶり厚、地盤支持力の変化に対するせん断力の発生状況を図－５に示す。土かぶりと地盤支持力が長手方向に変化しない場合（ケース１）と、土かぶりが変化する場合（ケース２）を比較すると、ケース２において部材にせん断力が発生しており、土かぶりの変化がせん断力に影響する傾向があることがわかる。同様にケース１と地盤支持力の変化する場合（ケース３）を比較すると、ケース３においては、継手部に大きなせん断力が発生しており、地盤支持力の変化が、せん断力の発生状況に影響を及ぼす傾向にあることがうかがえる。



ケース１：土被り・地盤支持力が一定の場合（q:一定、$k_1=k_2$）
ケース２：縦断方向の土被りが大きく変化する場合（q:変化、$k_1=k_2$）
ケース３：地盤支持力が大きく変化する場合（q:一定、$k_1 \neq k_2$）

(a)荷重と地盤モデル



(b)たわみ・せん断力の発生状況

図－５　せん断力の発生

したがって、土かぶりの状態および地盤条件によっては、継手部に大きなせん断力が発生し、ずれが生じる恐れがある。このようにボックスカルバートにおける継手部は弱点部の一つであり、ずれの発生すると予想される場合は、枕の設置もしくはジョイントバーの施工が望ましい。しかしながら、明らかに岩盤など良好な地盤で、かつ万が一ずれが発生しても構造物の機能低下が生じない場合においては、Ｉ型のみで対応してよいと考えられる。

プレキャストボックスカルバートに関しても、基本的には場所打ちボックスカルバートと同様であり、大型プレキャストボックスカルバートでジョイントバーの施工が困難な場合には、枕を設置するのがよい。特に大型プレキャストボックスカルバートは、内空を道路として供用する場合が多いと考えられるが、ずれが生じた場合は大きな機能低下になる。したがって、枕などを設置して機能低下を防止することが望ましい。

（土質研究室・建設システム課）

参考文献

道路土工－擁壁・カルバート・仮設構造物工指針　（昭和62年5月、日本道路協会）

12. バイブロ工法による杭の施工が周辺地盤へ与える影響

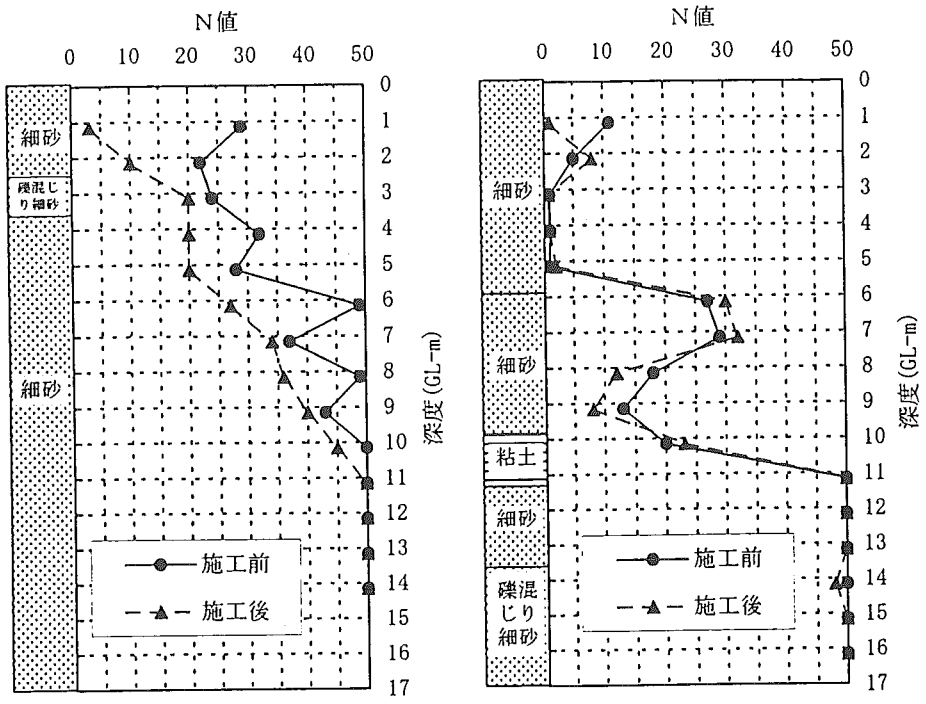
（質問）

ジェットバイブロ工法により既存の橋脚に近接して杭を施工する場合、ウォータージェットによる周辺地盤のゆるみや、振動による液状化により近接構造物へ影響を及ぼすことが考えられる。地盤の物性値低下の評価方法や液状化の影響について、ご教示願いたい。

（富山工事事務所）

（回答）

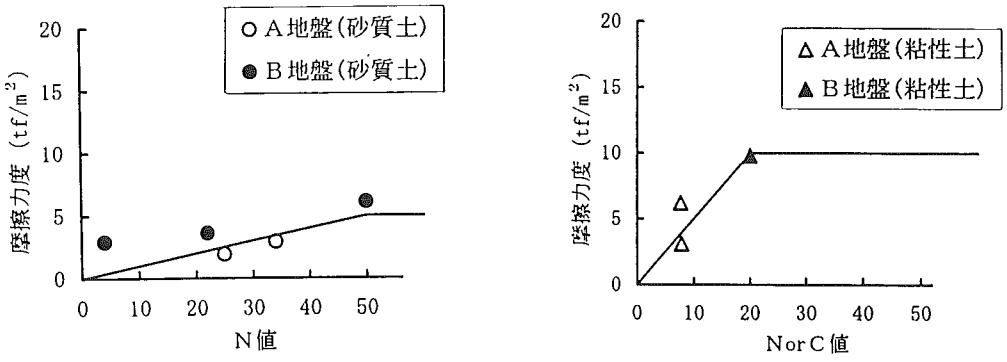
バイブロ工法による杭の施工は、打込み工法と比べて周辺地盤をゆるめやすいと考えられるが、地盤の物性値の低下量を定量的には把握していない。参考として、ジェットバイブロ工法によって施工した杭の施工前と施工後の周辺地盤の標準貫入試験結果の例を図－１に示す。これによると、杭から 30cm 離れた位置ではＮ値の低下がみられるが、50cm 離れた位置ではＮ値はほとんど変わっていない。



(a)杭外周から 30cm 離れた位置（地盤①）　(b)杭外周から 50cm 離れた位置（地盤②）

図－１　ジェットバイブロ工法の施工前と施工後の周辺地盤のＮ値の比較

また、載荷試験の結果を整理して得た杭周面摩擦力度を図－２に示す。道路橋示方書Ⅳ下部構造編の打込み杭の周面摩擦力度（砂質土：0.2N，粘性土：0.5N or 0.5ｃ）と比較するとやや小さいが、ジェットバイブロ工法でも砂質土で 0.1N、粘性土で 0.5N 程度の周面摩擦力が得られている。



(a) 砂質土　　(b)粘性土

図－2　ジェットバイブロ工法の周面摩擦力度

振動により、杭直近の地盤の間隙水圧が上昇し液状化の状態となることが考えられるが、図－1によると杭から 50cm 離れた位置の地盤は施工後もゆるめられていず、一般に近接構造物に与える影響は小さいと考えられる。

なお、貫入力の小さなバイブロハンマを用いて長時間にわたって振動を加えることは周辺地盤に大きな影響を及ぼすので、余裕のあるバイブロハンマを選定するのが望ましい。

（基礎研究室）

13. グランドアンカーの設計

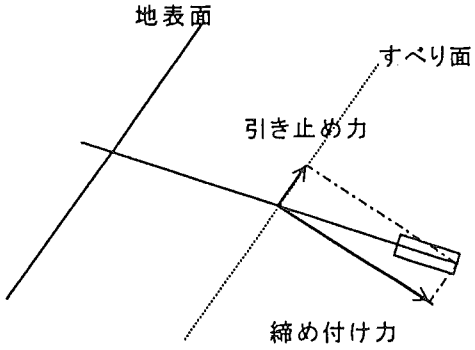
（質問）

グランドアンカーの設計において「アンカー抑止力」で、１）引き止め力、２）締め付け力の「２力のうち、どちらか一方」を考慮していますが、両方を考慮した事例はあるか御教示願いたい。

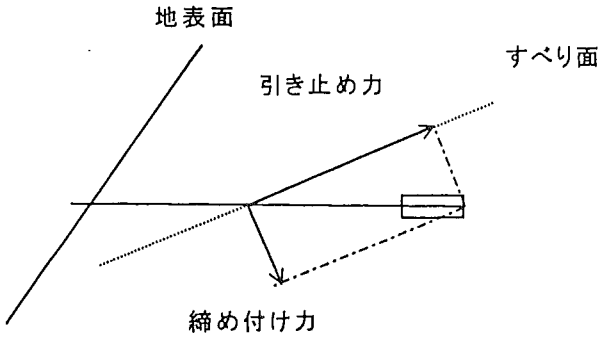
（富山県　土木部　企画用地課）

（回答）

現在、「道路土工　のり面工・斜面安定工指針」において、引き止め力・締め付け力のどちらを優先するのかは経済性及び技術的観点から判断されるとしています。



締め付け機能を期待する場合



引き止め機能を期待する場合

技術的観点から見ると、アンカー打設角とすべり面の関係により上図のように締め付け力と引き止め力の関係が表されます。これまでは上記の２つの機能が同時に発揮されるかどうか明らかでないため、その２力の内、大きい方を設計に用い、もう一方は安全側を考慮してこれを無視するような設計例が多くみられましたが、近年では、締め付け力・引き止め力の２力を考慮した設計をする事例もあります。また「道路土工　のり面工・斜面安定工指針」の改訂作業の中で２力を用いた設計を検討中であります。

（動土質研究室・施工研究室）

1. 橋台の変位対策

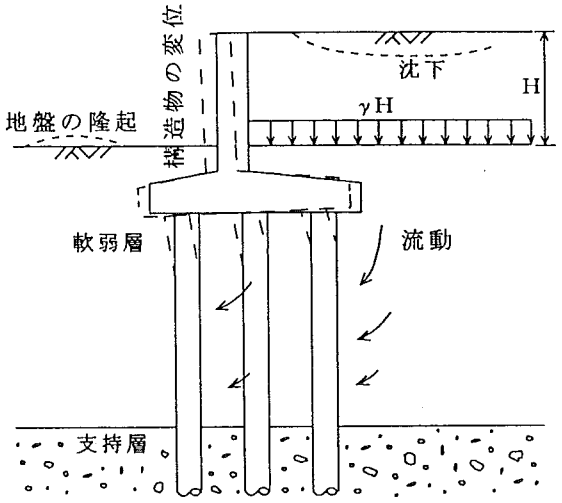
（質問）

供用中の道路で軟弱地盤上に施工されている橋梁において、橋梁背面部の盛土沈下による側方流動の影響と考えられる橋台の変位が 150mm 観測され、橋梁として危険な状況が懸念される。このため、当面の変状観測方法と抜本的な対策を御教示願いたい。

（高田工事事務所）

（回答）

橋台の側方移動は、軟弱地盤上に設けられた橋台が背面盛土という偏載荷重の影響により、施工時又は施工後に主として橋軸方向に大きな変位や傾斜を生じ、そのために種々の弊害を生ずる現象である。その原因は、橋台背面盛土が偏載荷重となるために、地山である軟弱地盤の安定が崩れて塑性流動を起こすためであると理解されている。



図－1　側方移動現象

変状の観測方法としては、構造物の任意の位置における水平移動量を定期的に測定する方法が望ましい。測定する期間は対策工の施工が完了し、変状が終局したと判断できるまで実施するものとする。

橋台が側方移動を起こすかどうかの判定は、道路橋示方書Ⅳ下部構造編７.９偏荷重を受ける基礎の式（解 7.9.7）によって算定される側方移動判定値（Ｉ値）を用いて概ね判定することができる。Ｉ値が 1.2 未満の場合は側方移動のおそれなし、1.2 以上の場合は側方移動のおそれありと判断している。

側方移動のおそれがあると判断された場合は、Ｉ値を減少するように対策工を施せばよい。Ｉ値が安定係数γｈ／Ｃの関数になっていることから、対策としてはまず地盤のせん断強度（ここでは粘着力Ｃ）を上げるか、あるいは盛土荷重（γｈ）を小さくする方法が考えられる。このほか、側方流動圧を考慮した設計を行うことによって基礎杭の本数等を増加させ、基礎の剛性を高めることにより側方移動に対する抵抗力を増強する方法（ここでは基礎体抵抗力法と称する）も考えられる。

このような観点から、側方移動対策工は下記のように分類することができる。

対策工法 ┬ 抵抗力を増加する方法 ┬（地盤）――①地盤改良法
　　　　　　　　　　　　　　└（構造物）――②基礎体抵抗法
　　　　└ 盛土荷重を軽減する方法 ――③荷重軽減・均衡法

数多くの対策工法の中からその橋梁に最適な対策工法を選定することは、高度な技術的判断となるが、地盤条件や周辺構造物の状況及び橋梁構造諸元や特性等の制約条件から、ある程度限定されるのが一般的である。

すなわち、対策工の選定にあたっては、次の事項に十分留意する必要がある。

1）上部構造の構造特性

2）対象とする橋台の型式や構造特性

3）現地盤の土質、地層構成

4）地盤の側方流動による周辺構造物や地下埋設物への影響

特に今回の場合のように、供用中の道路では交通への影響も念頭に置いて対策工の選定を行わなければならない。

表－1に対策工法選定の際の参考として、主要な工法の特性を整理した。

表－1　対策工法の特性

分類	工法・対策	工法・対策の特長	地盤条件に対する適用	施工環境条件に対する適用	設計上の問題点	施工上の問題点	維持・管理	工期	工費
地盤改良法	サンド・コンパクション・パイル工法	サンド・ドレーン工法と同様，圧密沈下を促進し地盤強度を増加させる工法。また，砂杭の支持力によって盛土の安定を増し側方移動の原因となる側方流動を低減する。	＊中間砂層が無く軟弱層が厚い場合は効果が少ない。	＊砂杭打設時の地盤変位に伴なう既設物への影響。 ＊施工時の騒音振動					
	プレローディング工法	橋台周辺の地盤にあらかじめ荷重をかけて地盤変位を先行させ橋台構築後の裏込め施工の影響を低減すると同時に圧密による強度増加を期待する工法。S.C.P工法を併用する場合が多い。	＊上部砂層が厚い場合は不適	＊盛土時の側方流動の既設物への影響。 ＊用地巾の確保	＊プレロード除去に伴なう安定のチェック ＊橋台構築のための大規模な掘削は不利			＊最低6ヶ月の放置期間が望ましい。	＊安い
荷重軽減均衡法	橋台形式による対策	①盛りこぼし形式や②ＡＣ形式を採用することにより橋台前面ののり勾配を利用して偏荷重の影響を減少する対策。擬断線形によっては橋梁区間を延長することによって③低盛土の橋台とする方法もこの対策の中に含まれる。	＊基盤が傾斜している場合は検討を要する(②)。	＊盛土時の側方流動の既設物への影響(①,②) ＊用地巾の確保(①,②)	＊耐震性（②） ＊高盛土には不適(②) ＊橋台が斜角を有する場合は問題(①,②)	＊放置期間を十分にとる必要あり(①,②) ＊盛土の十分な転圧(①,②) ＊杭の打設時期(①)	＊沈下に伴なうジャッキアップの必要あり。		＊橋長が長くなるので一般的に工費増になる(①,②) ＊安い（③）
	背面盛土工による対策	背面の盛土荷重を直接低減する工法で，①盛土材として軽さい等の軽量材を用いる方法や②盛土巾にコルゲートパイプやＢＯＸを埋設する工法等がある。	＊基盤傾斜等不同沈下地盤には不適(②)。		＊耐震性（②） ＊上越し量の予測が困難（②）	＊転圧作業に難がある(②)	＊不同沈下の監視(②)		＊一般に高くなる。
	押え盛土工法	橋台の前方に押え盛土を行い，相対的に橋台背面の盛土高を低減する工法		＊盛土時の側方流動の既設物への影響	＊残留沈下量が大きい場合は段差対策が必要	＊施工順序を工夫する必要がある。		＊他工法に比べて短かい。	
基礎体抵抗法		地中部の杭体に側方流動圧を考慮した設計杭により杭基礎全体の剛性を高め側方移動に対する構造物の抵抗力を増す方法。ランプ部のように橋脚との離れが近ければストラットによる補強も併用できる。	＊極軟弱地盤では他の工法によるのが望ましい。		＊盛土荷重に対する地盤の安定が前提。 ＊残留沈下量が大きい場合は段差対策が必要。				

【参考文献】

1）土木研究所：橋台の側方移動に関する研究,土木研究所資料第 1804 号,昭和 56 年 12 月

2）（社）日本道路協会：道路土工－軟弱地盤対策工指針,昭和 61 年 11 月

3）（社）日本道路協会：杭基礎設計便覧,平成 4 年 10 月

（基礎研究室）

2. PCコンポ橋

（質問）

橋梁のコスト縮減工法の一つとしてＰＣコンポ橋が提案されている。これまで鋼橋において、合成桁は床版打換え等を行う場合に大規模な交通規制が必要なことが多いため、大型車交通量が多いところでは採用しないこととしてきたが、合成桁であるＰＣコンポ橋は大型車交通量の多い所での採用には問題がないかどうか、また、維持管理面から留意する点があれば御教示願いたい。

（石川県　土木部）

（回答）

回答の前に鋼橋において合成桁が採用されなくなった経緯について簡単に説明する。1960年代から70年代にかけて交通量の増大と車両の大型化が進んだが、当時の鋼橋の鉄筋コンクリート床版（ＲＣ床版）は薄く、かつ配力鉄筋量等が少ないこともあり、多数の損傷事例が報告された。その結果、多くの床版においては打換えや補修補強が必要となり、合成構造は維持補修上適当ではないと考えられ合成桁の採用は敬遠されるようになった。[1)] しかし、近年ではＲＣ床版の損傷メカニズムが明らかになったこと、道路橋示方書の改訂の結果、床版の疲労耐久性が向上したこと、また、安全かつ簡便に床版打換えが可能となる工法が開発されたこと[2)]等により再び合成構造が見直されてきている。

橋梁研究室では平成８年度に、ＰＣコンポ橋に採用されるＰＣ合成床版の疲労耐久性試験を土木研究所所有の輪荷重走行試験機にて行った。試験結果を図-1に示す。ＰＣ合成床版は現行基準のＲＣ床版を大きく上回る疲労耐久性を有することが確認された。なお、ＲＣ床版に発生した貫通ひびわれに水が進入すると床版の疲労耐久性が大幅に低下することが過去の研究[3)]により明らかになっており、橋軸方向はＲＣ構造で設計されているＰＣ合成床版もＲＣ床版と同様に防水層が必要である。また、床版の疲労耐久性が向上すると次に問題となるのは腐食等に対する耐久性だと考えられることから、ＰＣ鋼材の腐食を防ぐという意味でもなおさら防水層を設置する必要がある。

以上のことから鋼橋においては大型車交通量に関係なく合成桁の採用を避ける必要はなく、さらにＰＣコンポ橋についてもＰＣ合成床版の高い疲労耐久性から採用には問題はないと考えられる。

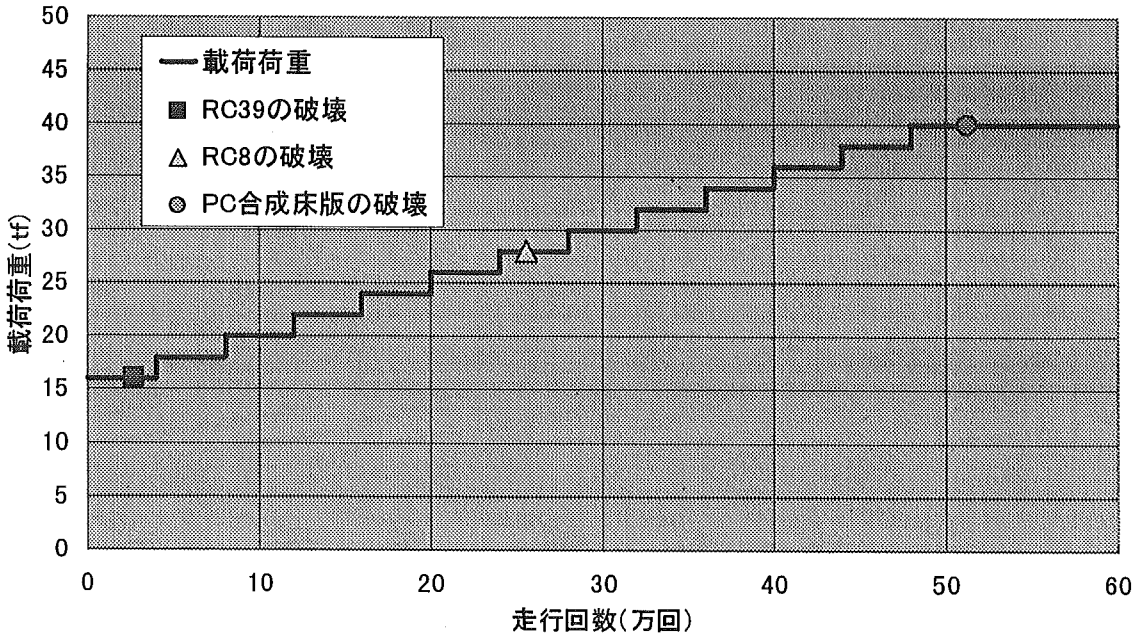


図-1 載荷荷重－走行回数図

※輪荷重走行試験は、載荷荷重16tfからスタートし、走行回数４万回毎に２tfずつ荷重を増加させる促進試験にて床版が破壊に至るまで実験を継続した。ここで、RC39は昭和39年道路橋示方書に、RC８は平成８年道路橋示方書に準じて設計したRC床版であり、床版厚はそれぞれ19cmと25cmである。PC合成床版の床版厚はPC板厚８cm、場所打ちコンクリート厚17cmの計25cmである。促進試験であることを考慮すれば、PC合成床版は、多数の損傷事例が報告されている古い基準の床版はもちろん現行基準の床版をも大きく上回る疲労耐久性を有することがわかる。

（参考文献）

１）土木学会土木史研究委員会：土木史研究、No.17、1997

２）合成げたの床版打換え工法に関する調査－「外ケーブル工法および軸力導入工法を用いた合成げた床版の打換え設計・施工マニュアル（案）」－、土木研究所資料第3582号、1998.6

３）例えば、松井繁之：床版損傷に対する水の振舞い、土木学会第43回年次学術講演会、1988.10

（橋梁研究室）

3. 橋梁補修等における連続繊維シート接着工法の施工方法

（質問）

近年、橋梁の補修・補強では施工性等から炭素繊維など引張強度の大きな連続繊維シートを構造物に接着する工法が広く用いられてきているが、この工法では繊維シートを母材に確実に接着する必要があると考える。

このため、より確実に接着するためにはどのような施工をすればよいのか、どのようなことに留意すればよいのかご教示願いたい。

また、連続繊維シートをコンクリートに接着する際には、接着材の中で最も引張せん断強度が大きいといわれているエポキシ樹脂系接着材（２液混合タイプ）が用いられている。しかし、この接着材は硬化時の温度や湿度などにより強度発現の時期や強度が変化するともいわれており、また、硬化した接着材樹脂の弾性係数はコンクリートやそれに接着される繊維シートより一般的には小さい。

このようなことから、以下の点についてもご教示願いたい。

①エポキシ樹脂樹脂系接着材の養生条件による物性（強度、弾性係数など）変化

②養生期間中の載荷重（交通）に伴う変形（たわみ等）、振動による影響

③下地処理プライマーと接着樹脂厚による応力の伝達効率低下の有無および適正厚の確認手法

④塗布時に接着樹脂内に気泡が混入した場合の影響および許容量

（福島県 建設技術研究所）

（回答）

１．施工方法に関する留意点

連続繊維シート接着工法では、コンクリート表面に連続繊維シートをエポキシ樹脂系接着材で接着含浸し、機能を発揮させる工法である。

図－１に連続繊維シート接着工法の施工手順を示す。この工法は、各工種毎にその目的・目標とするものを定めており、全工種がこれらを満足してはじめて、形成された連続繊維シートが工法として所定の機能を発揮する。したがって、各工程の内容を理解した上で施工を実施する必要がある。以下に各工程の留意点を示す。

①使用材料の保管

使用材料は、その品質が補強効果に影響を及ぼすことから、材料の搬入時に品質を確認し、材料品質に影響を与えないように適切に保管する必要がある。連続繊維シートは、暗所で、水、砂ぼこり等がかからない乾燥した場所に保管し、繊維の破断、折れなどが生じないよう取り扱いに注意する。また、エポキシ樹脂は、容器の密閉を確実に行い、水がかからず、直射日光があたらない冷暗所に保管しておく。

②下地処理工

コンクリート表面が連続繊維シートの接着性能を左右するので、コンクリート表面は適切な下地処理方法により、平坦で脆弱部や汚れのない状態にする。さらに、下地処理工によって生じたゴミやホコリはウエス等で十分除去する。

③断面修復工

型枠目地の段差、鉄筋の露出部、著しい断面欠損部、豆板等の不良部は適切な方法で処理し、平坦性を確保する。連続繊維シートは、折れ曲がった状態で接着すると強度が発揮されないため、表面は平坦に仕上げることが望ましい。

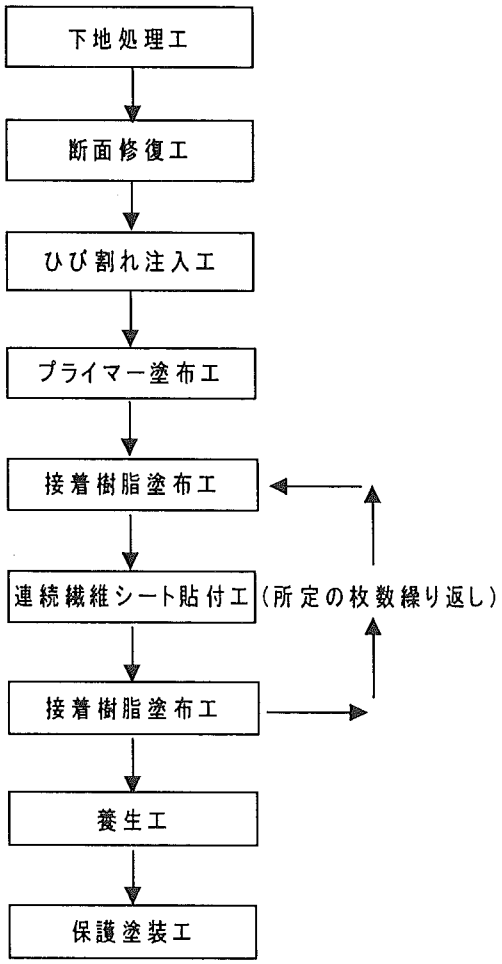
④ひび割れ注入工

事前調査で注入が必要と認められたひび割れ[1]は、適切な注入方法で処理する。

⑤プライマー工

プライマー工は、原則として、５℃以上でかつコンクリート表面が乾燥した状態で施工することが望ましい。コンクリート表面が結露している場合やコンクリートの表面含水率が１０%以上ある場合、プライマーの硬化が阻害されて十分な接着強度を発揮することができない。

５℃未満の低温またはコンクリート面が乾燥した状態でない場合は、施工現場の保温や低温用プライマー、湿潤面専用プライマーを用いることも可能である。しかし、この場合においてもコンクリート表面の水滴などは確実に除去することが望ましい。表－１にコンクリートの乾燥状態とプライマーの種類[2]を示す。



図－１　施工手順

表－１　コンクリートの乾燥状態

目視による状態	表面水率	プライマーの種類
白く乾燥している	8%未満	一般用プライマー
黒く変色している	8～10%	湿潤用プライマー
結露している	10%以上	乾燥処置を行う

表面に流れる水については、樹脂の硬化不良を避けるため、適切な処理（継続的に水が出る場合は別の水みちを設ける等の排水処理対策）を行う必要がある。

プライマー塗布後、水分等が付着すると硬化不良を起こし、接着含浸樹脂との付着性が低下するため、プライマーを取り扱う際には雨がかりや結露を防止するための対策を講じる必要がある。

⑥連続繊維シート接着工

接着工は、プライマーが乾燥し、水分やホコリが付着していないことを確認した後に、原則として５℃以上の環境下で行うことが望ましい。また、エポキシ樹脂系の接着樹脂は、プライマーと同様に、水分等の付着により硬化不良を起こす場合があるため、接着樹脂を取り扱う際には雨がかりや結露を防止するための対策を講じる必要がある。

５℃未満の場合は、施工現場の保温を行う。近年、５℃以下の低温でも施工可能な接着樹脂が開発されており、それを利用した例もある。

⑦養生工

エポキシ樹脂が初期硬化状態（指触乾燥状態；粘り気が無く、樹脂に指を押しつけても付着しない状態）を得るまでに水分等が付着すると硬化不良層が生じ、補強効果に影響を及ぼすため、エポキシ樹脂を接着含浸した連続繊維シート面には、雨水や砂、ホコリなどが付着しないようにビニールシート等の養生を行う必要がある。

表－２に接着樹脂の初期硬化するまでの養生時間の目安[1]を示す。

表－２　接着樹脂の初期硬化するまでの養生時間の目安

平均気温	初期硬化するまでの養生時間の目安
10℃以下	2日間
10～20℃	2～1日間
20℃以上	1日間

⑧保護工

エポキシ樹脂は、紫外線やオゾンにより劣化することがある。そのため、直射日光が当たる場合などには、保護塗装などを行う必要がある。また、耐火、耐衝撃性の要求から、モルタル等の保護層を設ける場合もある。

２．エポキシ樹脂系接着材に関する質問

①エポキシ樹脂系接着材の養生条件による物性変化

養生条件として、天候、施工場所の外気温、湿度、水分の影響が挙げられる。

エポキシ樹脂系接着材が強度（引張、接着等）発現に大きく影響を及ぼすものは、施工場所の外気温と水分である。湿度はほとんど影響しない。

エポキシ樹脂系接着材の強度発現性は、コンクリートと同じように気温が高い場合には早く、低い場合には遅くなる。ただし、気温が低い場合でも、養生期間を長く取ることによって、最終強度は温度にかかわらず、一定となる。また、温度が低くなるほど、粘度が高くなり、連続繊維シートへの含浸性が低下し強度不足につながることがあり、施工時および養生中の温度管理には注意が必要である。

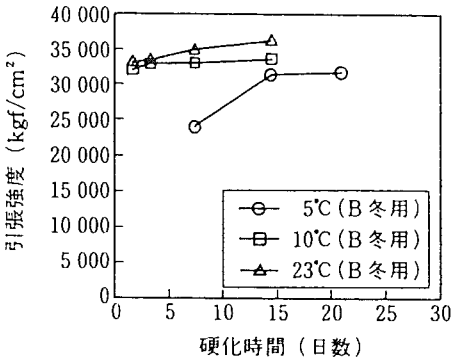
施工時の温度の影響について、以下のような報告[3]がある。

図－２に硬化温度による引張強度の経時変化を示す。低温下における連続繊維シートの施工は強度発現に時間を要するばかりでなく、日数経過後の引張強度にも影響を与えるこ

とが分かる。

水分の影響については、前述１.⑦に示すとおりである。

したがって、連続繊維シート接着工法に用いられるエポキシ樹脂系接着材（プライマー、含浸樹脂）は、外気温、コンクリート表面の乾燥状態により、最適な樹脂を選定する必要があります。



図－２　硬化温度による引張強度の経時変化

②養生期間中の載荷荷重による影響

連続繊維シート接着工法に使用するエポキシ樹脂系接着材が養生期間中に受ける載荷荷重に伴う変形や振動による影響については、明確ではないが、ひび割れが大きく開閉している場合は、エポキシ樹脂がひび割れ内に浸透し、連続繊維シートを含浸する樹脂が不足することが確認されている。したがって、前述１.④を参考に適切な方法により注入を行うことが望ましい。

なお、連続繊維シートと同様にエポキシ樹脂を使用する鋼板接着工法のエポキシ樹脂系注入材においては、養生期間中の載荷荷重によって、注入材の硬化に影響がないこと、また、補強効果にも影響のないことが報告されている。

③下地処理プライマーと接着樹脂厚による応力の伝達効率低下の有無および適正厚の確認手法

基本的に接着材の厚さは薄い方が伝達効率は良いと言われている。この理由は、エポキシ樹脂系接着材の硬化収縮時に発生する内部応力が薄い方が小さいからである。

しかし、接着材をあまり薄くすると、施工不良等を引き起こし、所定の補強効果が得られないため、連続繊維シート接着工法では、補強の対象となる構造物と連続繊維シートの種類、目付量により、標準使用量が決められている。厚さの確認は、使用量により管理されている。標準使用量については、文献1),2)を参考にしていただきたい。

④塗布時に接着樹脂内に気泡が混入した場合の影響および許容量

細かい気泡が多量に含まれた状態の接着材を、そのまま塗布すると、気泡が消えずに硬化し、強度低下の原因となる。

気温の低い時には、接着材の粘度が上昇して、撹拌・混合時に一番気泡を巻き込むため、低速の撹拌機を使用したり、混合後しばらく放置して脱泡したり、樹脂を暖めて粘度を低くして撹拌混合するなど、注意をはらうことが重要である。

また、連続繊維シート接着時には、脱泡ローラーやゴムヘラ等で強度不足となる気泡を除去しながら施工を行うことが重要である。

最後に、現在、建設省土木研究所構造橋梁部橋梁研究室では、炭素繊維補修補強工法技術研究会と共同で炭素繊維シートを用いたコンクリート部材の補修補強効果に関する研究を行っています。

【参考文献】

1) 炭素繊維補修補強工法技術研究会：炭素繊維シートによるコンクリート構造物の補修・補強－設計・施工マニュアル（案）－橋梁上部工鉄筋コンクリート床版編，平成１０年３月

2) アラミド補強研究会：アラミド繊維シートによる鉄筋コンクリート橋脚の補強工法－設計・施工要領(案)－，平成１０年１月

3) 山海堂,（財）鉄道総合技術研究所,地下鉄炭素研究会：炭素繊維シートによる地下鉄ＲＣ柱の耐震補強－設計・施工指針－，平成９年８月）

（橋梁研究室）

4. 塩害橋梁(鋼製)の防錆対策

(質問)

一般国道８号線上輪橋は、昭和４０年に完成した橋長１９８mの鋼製アーチ上路橋であるが、海岸部に位置するため、桁外面はB系塩化ゴム系塗装，桁内側はD系タールエポキシ塗装を６年サイクルで塗装塗替を行っているが、部材の減肉欠損が避けられず、管理上苦慮している。

より防錆性に優れた防食方法について、ご教示願いたい。

(長岡国道工事事務所)

(回答)

海からの飛来塩分の多い厳しい腐食環境にある鋼橋の防錆対策としては、鋼道路橋塗装便覧のB系塩化ゴム系塗料やD系タールエポキシ塗料では十分ではない。このような厳しい腐食環境にある鋼橋には、本州四国連絡橋などの海上橋に２０年近い実績のあるC系（ジンクリッチペイント～厚膜型エポキシ樹脂塗料～ポリウレタン樹脂塗料）の塗装系が適している。

しかしながら、今回は塗替え塗装であるため、旧塗膜を２種ケレンで完全に除去してc－１またはc－３系（有機ジンクリッチペイント～変性エポキシ樹脂塗料～ポリウレタン樹脂塗料または、ふっ素樹脂塗料）を適用することが望ましい。

有機ジンクリッチペイントは、鋼材を防食する機能を有している。変性エポキシ樹脂塗料は、塩分などの腐食因子の浸透を阻止する機能を有している。また、ポリウレタン樹脂塗料は、耐候性に優れており耐候性に劣るエポキシ樹脂塗料の劣化を防ぐ機能を有している。なお、景観対策や美観性が求められるときには、必要に応じてより耐候性に優れているふっ素樹脂塗料をポリウレタン樹脂塗料の代わりに用いることもできる。

ただし、有機ジンクリッチペイントは旧塗膜の上に塗装すると付着不良を生じることがあるので、塗替え塗装時には全面ブラスト処理を行い塩化ゴム系塗膜やタールエポキシ塗膜を完全に除去する必要がある。

なお、減肉している部材については、構造的な検討を行い必要に応じて補強することが望ましい。

上記塗装系を用いた非常に厳しい河口部の橋梁の塗替え塗装に関する参考資料を下記に示す。

(参考資料)

清水，石塚，白井：強腐食橋梁の補修塗装施工例；第１８回鉄構塗装技術討論会，日本鋼構造協会，1995.9

(化学研究室)

1. ダムの積算

（質　問）

ダムの積算にあたっては、システム化されていないこと及機械損料の補正が発生すること等から、非常に長い時間がかかっている状況にあります。

したがって、合理的な積算を行ううえで簡便な処理方法（Ｅｘ　標準歩掛の２割増等）について検討をお願いするとともに、近年において合理的な積算を実施しているダムの事例がありましたら、ご教示願いたい。

（福島県木戸ダム建設事務所　工事第１係）

（回　答）

現在のダム積算の手法は、ご意見にある「標準歩掛の割増等」のような簡便的な方法は取らず、従前からの機械単価、材料単価、労務単価を細かく積み上げる方法で行っております。

これは、ダムという工事目的物があまりに独自性・単一性が高く、また施工箇所も少数で限定され歩掛等を策定する場合においてデータを取りにくいため、標準歩掛との対比が行い難いと言う点と、施工機械に通常の土木工事には用いないような大型のもの物が多いので、実態を反映した積算を行うにあたり標準歩掛を使用する事が適切ではないという点で、合理化に馴染まないからと思われます。

現在、ダム本体工事においても、一般土木工事と同様な工事工種の体系化の整備を行い、その工事工種体系に基づき、積算を行いつつあります。積算の基となる歩掛等については「ダム工事積算資料」「ダム積算の考え方」に基づき積算を行われている所であると思われますが、それも体系に基づき整理を行う事となっております。

問題とされている、「長い時間が必要」という点では、上記の工事工種体系に基づき、新土木工事積算システムにおけるダム積算システムを建設省河川局開発課及び水資源開発公団、（財）日本建設情報総合センター（JACIC）が共同で開発を進めており、水資源開発公団では滝沢ダム及び徳山ダム、建設省では苫田ダムに使用が予定されております。

参考として、ダム工事における工事工種体系の一部を付します。

（建設システム課）

コンクリートダム　工事工種体系（案）

[ﾚﾍﾞﾙ0 事業区分：ダム]　ｺﾝｸﾘｰﾄﾀﾞﾑｰ 1

ﾚﾍﾞﾙ1 工事区分	工区名・構造物名	ﾚﾍﾞﾙ2 工　種	箇所名・工法名等	ﾚﾍﾞﾙ3 種　別	箇所名・工法名等	ﾚﾍﾞﾙ4 細　別	箇所名・工法名等	ﾚﾍﾞﾙ5 規　格	積算用単位	工事数量総括表用単位	細別管理No.	摘　要
本体建設		ダム土工		堤体基礎掘削工		土石掘削		(BD掘削押土・ﾚｷ質土)	m3	m3		
								(片切掘削・ﾚｷ質土)				
								(人力掘削・ﾚｷ質土)				
								(ﾘｯﾊﾟﾌﾞﾙ掘削押土・軟岩Ⅰ)				
								(片切掘削・軟岩Ⅰ)				
								(人力掘削・軟岩Ⅰ)				
						岩石掘削		(人力併用機械掘削・軟岩Ⅱ)	m3	m3		一次単価表は複合単価表とする
								(人力併用機械掘削・中硬岩)				
								(人力併用機械掘削・硬岩Ⅰ)				
								(人力掘削・軟岩Ⅱ)				
								(人力掘削・中硬岩)				
								(人力掘削・硬岩Ⅰ)				
								(本ﾍﾞﾝﾁｶｯﾄ・軟岩Ⅱ)				
								(本ﾍﾞﾝﾁｶｯﾄ・硬岩)				
								(小ﾍﾞﾝﾁｶｯﾄ・軟岩Ⅱ)				
								(小ﾍﾞﾝﾁｶｯﾄ・硬岩)				
						法面仕上		(機械による切土整形・ﾚｷ質土)	m2	式 or m2		
								(人力による切土整形・軟岩Ⅰ・Ⅱ)				
								(人力による切土整形・硬岩)				
						作業残土処理		(作業残土処理・ﾚｷ質土)	m3	式 or m3		
								(作業残土処理・破砕岩)				
				堤体基礎岩盤面処理工		仕上げ掘削		(仕上げ掘削・軟岩Ⅰ・Ⅱ)	m2	m2		一次単価表は複合単価表とする
								(仕上げ掘削・硬岩)				
						岩盤清掃		【ﾀﾞﾑ形式】	m2	m2		
						作業残土処理		(作業残土処理・ﾚｷ質土)	m3	式 or m3		一次単価表は複合単価表とする
								(作業残土処理・破砕岩)				
				原石山掘削工		土石表土掘削		(BD掘削押土・ﾚｷ質土)	m3	m3		
								(片切掘削・ﾚｷ質土)				
								(人力掘削・ﾚｷ質土)				
								(ﾘｯﾊﾟﾌﾞﾙ掘削押土・軟岩Ⅰ)				
								(片切掘削・軟岩Ⅰ)				
								(人力掘削・軟岩Ⅰ)				
						岩石表土掘削		(人力併用機械掘削・軟岩Ⅱ)	m3	m3		
								(人力併用機械掘削・中硬岩)				
								(人力併用機械掘削・硬岩Ⅰ)				
								(人力掘削・軟岩Ⅱ)				
								(人力掘削・中硬岩)				

2. 公共投資の評価手法

（質問）

地域住民に治水、道路、都市計画など「公共施設の総合的な整備水準の現状と目標」など、投資の力点を総合的・技術的に説明できない状況にあります。

地域住民への「生活実感」に結びつく公共施設整備の「総合評価手法」の研究の拡充について御教示願いたい。

（富山県久婦須川ダム建設事務所）

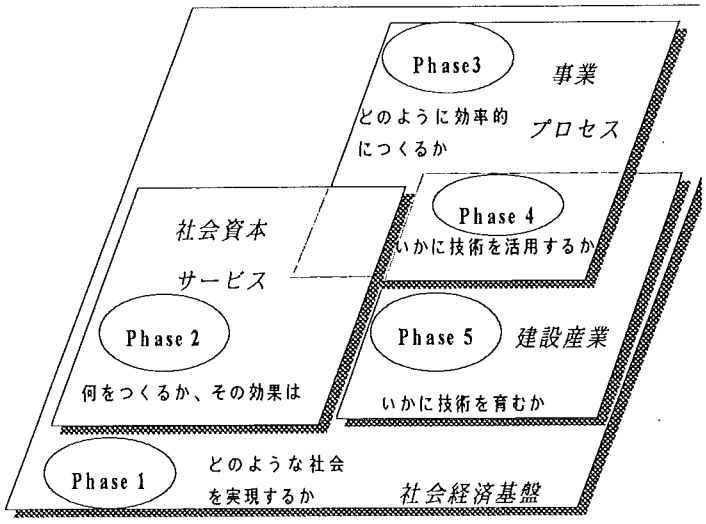
（回答）

公共事業についてその有効性や事業執行の効率性、透明性等を問う声が大きくなってきている状況に対応するため、平成９年４月に根源的で広範なテーマを扱う建設マネジメントセンターが発足しました。

建設マネジメント技術研究センターに置いてはどのような「社会資本サービス」をいかなる「事業プロセス」で国民に提供するべきか等、今後の Public Works をいかに Manegement していくかに取り組むこととしています。

建設マネジメント技術を５つのフェーズとしてとらえた研究では、社会資本サービスに関する重要な課題として公共事業の評価軸、満足度についても取り組んでいます。（図－１）

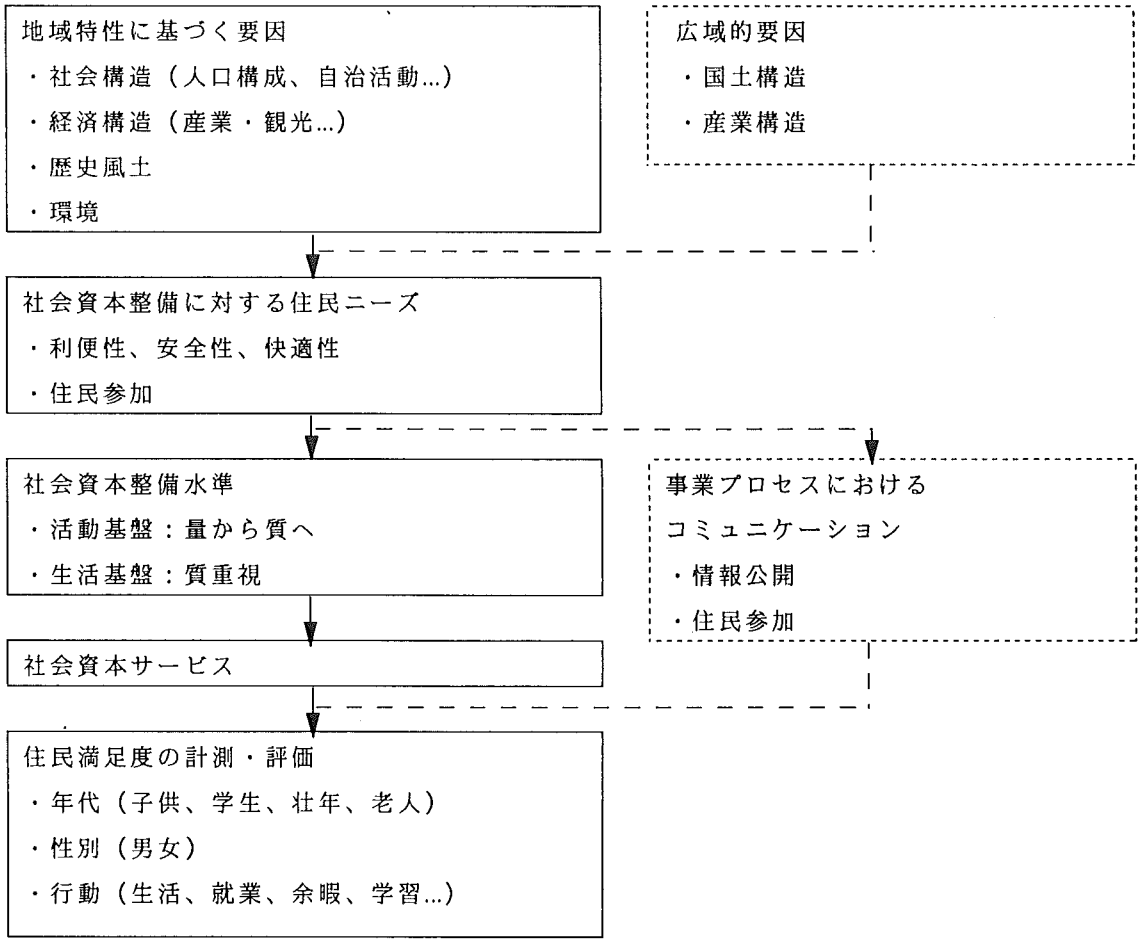
社会資本は主に公共投資において形成され、住民の生活向上を図る上でその整備水準はより高いことが望まれます。しかし、国民の価値観の多様化にともない社会資本サービスの水準の向上は量的な充足から質的な向上を求めるものへと変化しています。質の向上のためには、画一的な整備を行うのではなく地域特性によるニーズの違いを把握することで地域ごとで求められる社会資本サービス水準を考慮する必要があります。また、日本における社会状況の変化から今後の社会構造の変化を予想し、整備効果を事前に見極める必要があります。社会構造を考える上で重要な要因として人口構成、生活圏域、風土といったものがあります。人口構成の問題はわが国の高齢化の進み方によって急激に深刻化していきます。平均寿命の伸びと出生率の低下により高齢化は今以上に進展し、労働生産性の低下、社会補償費の増加と今後の社会資本整備は財源の面から困難になっていくものと考えられます。また、都市化による生産人口の集中により、地域



（図－１）建設マネジメント技術５つのフェーズ

によっては人口構成の問題はより顕在化していき、きたるべき高齢化社会での需要の変化に合わせた効果的な社会資本整備が求められます。生活圏域は都市化、情報化の中で、大きく変化しようとしています。都市化が進む中で一極集中を是正し、国土の均衡ある発展が望まれている一方で、情報通信技術の進歩により国家間地域間の時間距離が短縮され、インターネットの普及により地方部と都市部の情報格差が縮まり、今後情報関連の生産比率が高まるにつれ地方と都市が一つの情報圏域として働くようになることも考えられます。地方と都市、地方と地方の格差が減らしていくうえで地域の個性をより活かし、風土にあった画一的な物でない社会資本整備が求められるでしょう。

そこで、地域性、文化など従来の経済的評価に乗りにくいものを考慮するために潤いやゆとり等も含めた多様な価値軸での住民満足度による評価が求められています。また、住民満足度における重要な要素として、社会資本のあり方だけでなく事業プロセスの公明性説得性なども評価の対象とされてきます。そのため事業プロセスでの住民との掛かり合いとして情報公開、合意形成手続き等の事業執行方式についても重要な課題として取り組んでいます。



（図－２）地域社会特性の分析による社会資本整備の評価に関する研究

（建設マネジメント技術研究室）

1. 流水部における既設橋脚の耐震補強

(質問)

既設橋脚の耐震補強については、これまでに陸上部の一本柱の補強のみ完了している。特に今後は流水部の補強に取り組むに当たって、上部工との関係から仮締切が極めて困難な状況であり、水中施工による補強や既設橋の免震構造化など主として施工面からの新技術の開発が必要と考えるが今後の取り組むべき方向についてご教示願いたい。

(北陸地方建設局・道路部・道路管理課)

(回答)

河川を横断する橋梁の既設橋脚の補強を行う場合、ご質問のように現場の作業空間などの施工状況によっては、仮締切りが極めて困難となる場合も想定される。このような橋脚に対して、比較的容易に仮締切りを行う工法や水中施工により仮締切りが不要な工法、さらに個々の部材の補強を行わずに橋梁全体として必要とされる耐震性を満足させるような補強工法が考えられる。

鉄筋コンクリート橋脚において耐震補強が必要とされる要因は表－１に示すような場合が考えられる[1)]。これらの要因に対する耐震補強としては、いろいろな工法が考えられるが、基本的な考え方は、橋脚の段落し部または基部の曲げ耐力、せん断耐力、じん性能を個々にあるいは同時に増加させる工法に分類される。また、橋脚そのものには補強を施さず、各々の橋脚が分担する地震力を変えることにより、当該橋脚の負担を低減させ、橋全体としての耐震性を向上させる工法が考えられる。したがって、当該橋脚がどのような要因により補強が必要とされているかを十分に考慮した上で適切な補強工法を選択することが重要である。

表－１　鉄筋コンクリート橋脚で耐震補強が必要とされる条件

部材位置	耐震補強の必要性	補強工法の考え方
主鉄筋 段落し部	曲げ耐力が不足	・段落し部の周辺を軸方向に補強材を配置して曲げ耐力を向上させ、基部で先行して損傷が生じるようにする。 ・段落し部での損傷は甚大な被害に結び付きやすいので十分な補強が必要
	せん断耐力が不足	・段落し部の周辺を横方向に補強材を巻立ててせん断耐力を向上させる。 ・段落し部での損傷は甚大な被害に結び付きやすいので十分な補強が必要
基　　部	曲げ耐力が不足	・軸方向に配置する補強材をフーチングに定着させることにより耐力を向上させる。 ・橋脚に作用する地震力の低減 ・橋梁全体の変形を拘束する構造
	じん性が不足	・塑性ヒンジ部を横方向に巻立ててコアコンクリートを拘束する。 ・橋脚に作用する地震力の低減 ・橋梁全体の変形を拘束する構造
	せん断耐力が不足	・横方向に補強材を巻立ててせん断耐力を向上させる。 ・せん断破壊は甚大な被害に結び付きやすいので十分な補強が必要

注) 補強材としては、鉄筋コンクリートや鋼板、ケーブル、新素材(炭素繊維等)など

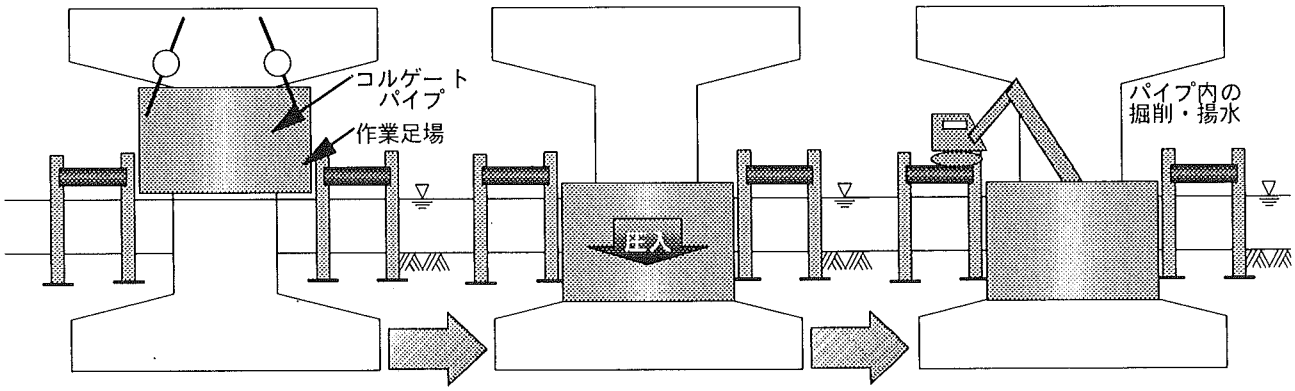
さて、河川内の橋脚の場合など水中部の橋脚に対して確実に補強対策を行う上では、仮締切りを行い、ドライアップの上、陸上部橋脚と同様に施工を行うのが原則と考えられる。しかしながら、現場施工条件からこれが困難な場合については、上記のように何を補強するかということを念頭に置いた上で必要とされる補強工法を選定し、締切りなどが不要となる条件を検討する必要がある。

流水部橋脚に対して締切りなどに工夫された耐震補強の事例を以下に示す。

1. コルゲートパイプを用いた土留・止水工法

本工法は、矢板を用いた仮締切りによる土留め、止水が困難な場合において、コルゲートパイプの圧入施工により土留め、止水する工法である[2]。図－1は、コルゲートパイプの施工手順を示したものである。セグメント幅が2m程度のコルゲートパイプを組立て、これを順次圧入しながら止水・土留め壁を施工し、コルゲートパイプ施工後、コルゲート内の浚渫およびドライアップを行い、橋脚躯体の補強工事を行うというものである。コルゲートパイプのセグメント幅が2m程度であるので、桁下の作業空間が狭く、矢板の打込みが困難な場所において有効である。

本工法では、コルゲートパイプの圧入力、およびコルゲートパイプに作用する土圧、水圧により使用するコルゲートパイプの選択およびコルゲートパイプの補強を検討する必要がある。

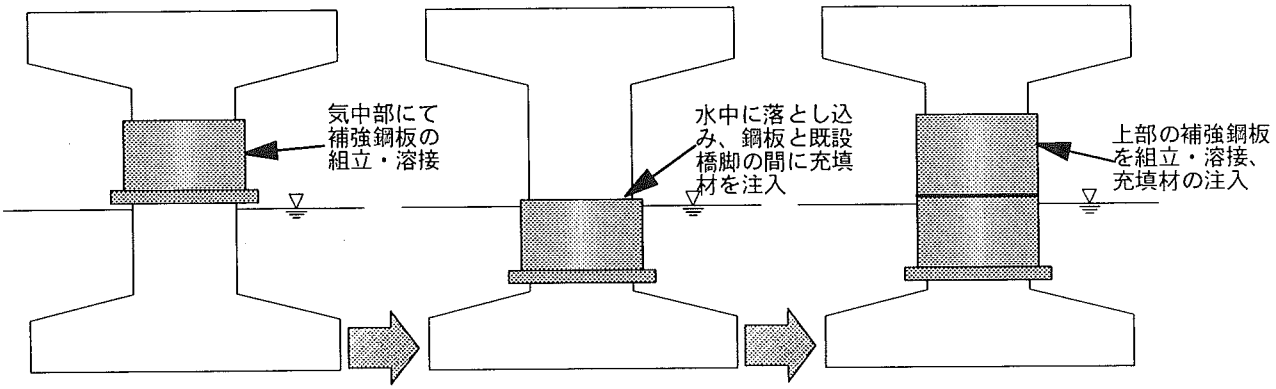


図－1　コルゲートパイプの組立手順

2. 土留め・止水を行わない橋脚の補強工法

本工法は、土留め、止水が困難な場合において、ドライアップを行わず、鋼板巻立てを行う工法である[3]。本工法では、図－2に示すように、橋脚上部の気中部で補強鋼板の組み立て・溶接を行い、組み立てられた鋼板を橋脚浸水部に落とし込み橋脚基部に設置する。浸水部分では水中不分離性コンクリートなどを用いて、鋼板と既設コンクリートの間を充填する。

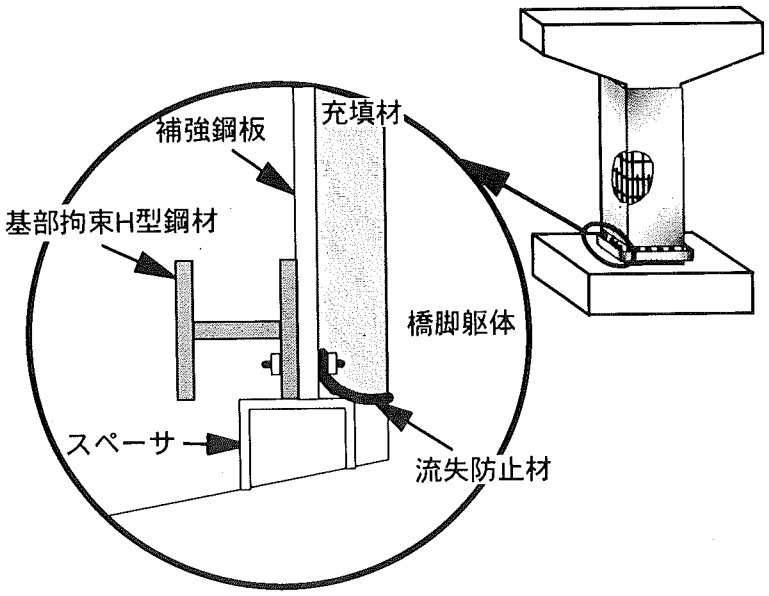
本工法の注意点として、図－3示すようにフーチング上端と鋼板下端(H形鋼材下端)との間には、5～10cm程度の隙間を空ける必要がある。これは、地震時に鋼板またはH形鋼材がフーチング上端に当たることにより柱基部で過大な曲げ耐力の発生を防ぐとともに、



図－２　土留・止水を行わない補強鋼板の設置手順

ここでじん性のある曲げ破壊を生じるようにするためである。また、鋼板下端部では充填材が流失しないように、流失防止ゴム等をあらかじめ付けておく必要がある。

本工法は、フーチングに鉛直アンカーを設置することが困難なため、じん性向上のための工法であり、橋脚基部で曲げ耐力が不足する橋脚への採用は適切ではない。



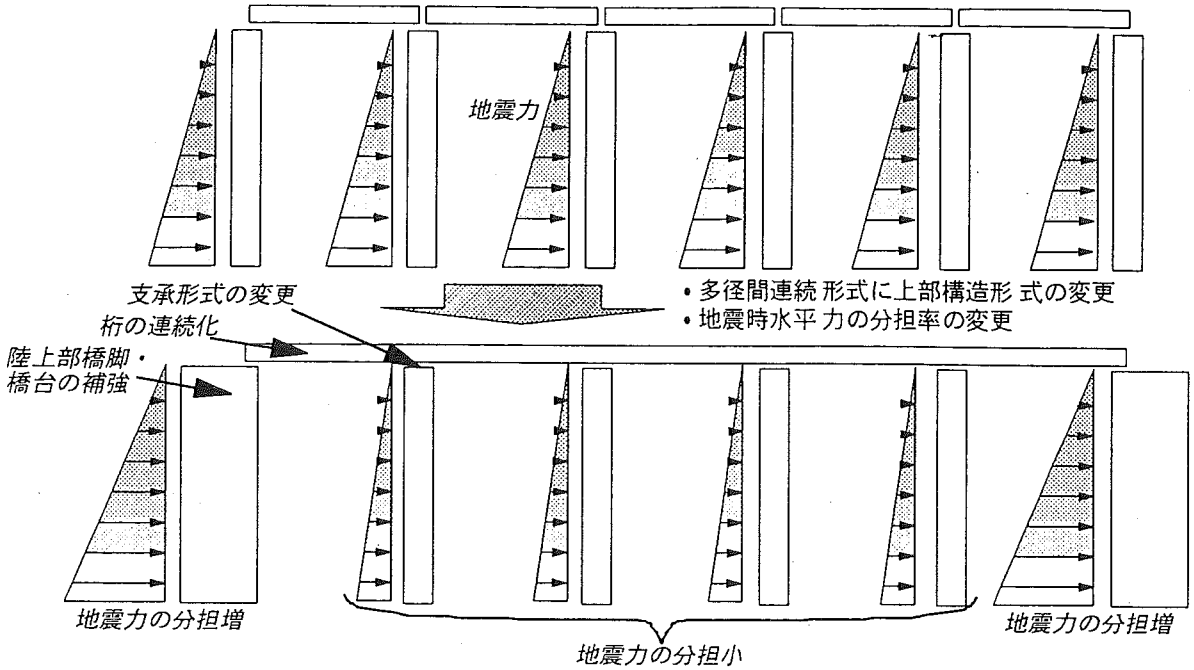
図－３　柱基部詳細

3. 橋全体として耐震性を向上させる工法

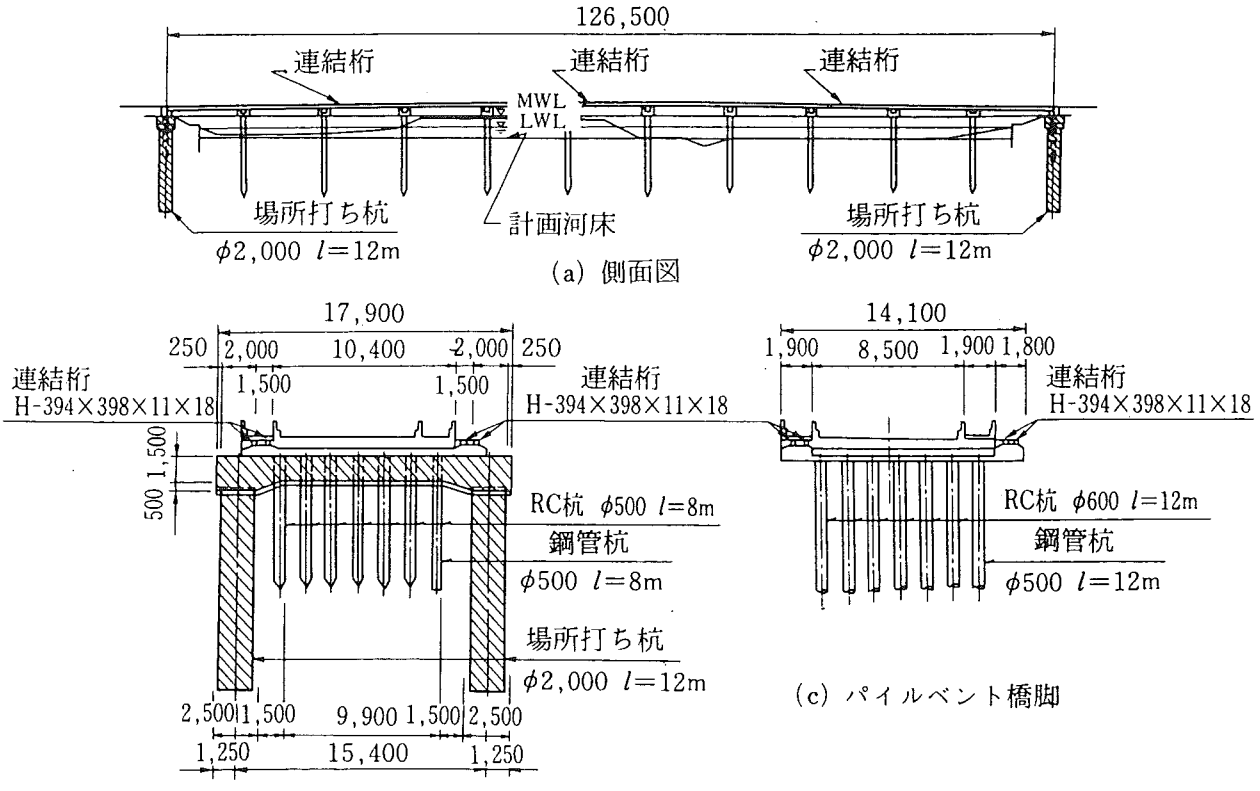
本工法は、流水部橋脚に直接補強を施すことが困難な場合において、流水部橋脚には補強を施さず、橋梁全体の中で水平地震力の分担を変えることにより、当該橋脚が負担する地震力を低減させ、橋全体として耐震性を向上させる工法である。

例えば、図－４に示すように、単純桁形式の上部桁を連結したり、もしくは連結桁を付加することにより、多径間連続形式へ変更し、施工が比較的容易な陸上部の両端の橋台または橋脚に補強を施し、これらの下部構造が地震時に負担する水平力の割合を増加させ、補強を施すことが困難な橋脚が分担する水平力を軽減させるという考え方である。図－５は液状化地盤中のパイルベント橋脚に対して個々の橋脚は補強しないで増し杭による両端の橋台部の補強と連結桁により橋全体として補強した一例を示したものである[4]。さらに、免震構造化にすることにより、各橋脚に作用する地震力を低減させる工法も考えられる。

ただし、当該橋脚の主鉄筋段落し部の耐力が不足したり、せん断耐力が不足する橋脚などで甚大な被害に結びつきやすい場合には、橋脚自体の補強を施す必要があると考えられる。



図－4　橋全体の耐震性を向上させる工法の一例



図－5　連結桁で両端の橋台に地震力を分担させた耐震補強の例

参考文献

1) 既設道路橋の耐震補強に関する資料, 日本道路協会, 1997年8月
2) 永池亀久男: 河川内における高速道路橋の耐震補強, 補強に関するシンポジウム, 土木学会, 1998年7月, pp.21-28.
3) 安井雅士: 河川内RC橋脚における耐震補強方法の検討, 首都高速道路公団技報, 30号, 1998年
4) 川島一彦, 運上茂樹: 道路橋の橋台および橋脚の耐震補強, 基礎工, 92-2, pp.20-29, 1992年2月

(耐震研究室)

2. 特殊堤における地震対策の事例

（質問）

特殊堤における地震（液状化）対策として検討するにあたり、安定性の評価を行う上での留意事項、及び対策工法の事例等があればご教示願いたい。

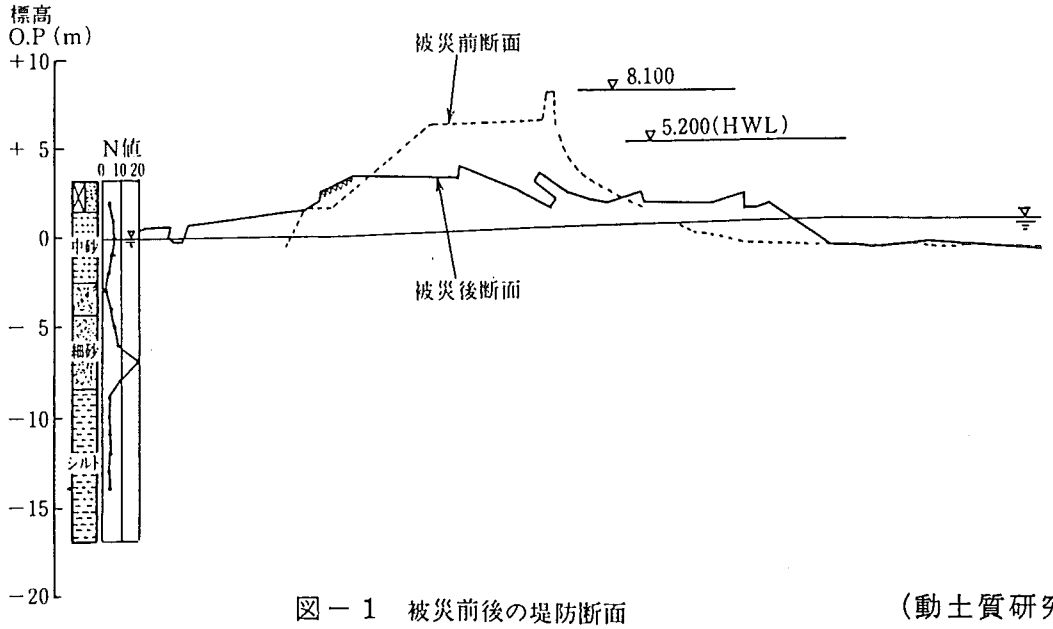
（阿賀野川工事事務所）

（回答）

河川堤防の地震時の被害は、多くの場合基礎地盤の液状化がその主因となっていることがこれまでの地震で被災した堤防の調査結果や既往の模型実験から明らかとなっている。自立構造の特殊堤についてはこの限りではないが、（質問資料に添付された）パラペット等が天端に設置されたこと以外において比較的一般堤防に近い断面形状を有する特殊堤の地震時挙動は、一般堤防の場合と変わらないものと考えられる。

特殊堤については、パラペットが土構造物に占める部分が限られていることから、堤防の地震時挙動は一般堤防の場合とさほど変わらないと考えられる。このようなパラペットの地震時被害は、図－１に例示するように、堤防全体の沈下変形あるいはパラペットを設置した側の法面の滑り破壊に追随して生じている。従って、パラペット構造を安定に保つためには結局土堤本体を安定に保つことが必要である。パラペット構造に特に留意した対策工法の具体事例については承知していないが、一般的には堤防の変形を小さく抑える地盤改良工法を選択するのがよいと思われる。

なお、パラペットと土堤との相対的なずれ変形を防止するために、パラペット基礎に短い杭などが用いられることがあるが、新設の場合には必要に応じてこれを施工するのがよいと考えられる。



図－１　被災前後の堤防断面
（淀川酉島地区：左岸1.4k）

（動土質研究室）

3. 特殊および新規の落石防護工法

（質問）

防災工事で落石防護工の施工を行う予定であるが、特殊および新規の鋼材を用いた落石防護工法があれば御教示願いたい。

（新潟国道工事事務所新発田維持出張所）

（回答）

斜面の防災点検等によりこれまで設計で考慮していた荷重より大きい落石が発見された場合には以下のいずれかの対応が必要になる。

1）ロックシェッド等のより大型の落石防護工を設置する。

2）斜面途中に防護工を設置し、道路に到達する落石エネルギーを低減させる。

3）落石を除去あるいはワイヤロープ等を用いて固定する。

ここでは1）、2）に対しての最近の動向を述べる。

1）については近年、従来の工法に比べてより大きな落石に対応できる落石防護柵が開発されてきている。高エネルギー吸収のメカニズムは以下のとおりである。

①従来の金網に代えて、エネルギー吸収特性に優れた特殊な金網（リング状に編まれたものがある）を用いる。

②ワイヤロープに緩衝装置を設ける。緩衝装置は、落石が衝突しロープが変形する際にロープ同士の滑りによる摩擦力のなす仕事によってエネルギーを吸収する。

③支柱頭部と地山を控えワイヤロープで連結し、支柱の変形を拘束する。控えワイヤーロープには緩衝装置を装備する。

④従来のH鋼の支柱に代えて、ＰＣ鋼材を挿入したコンクリート充填鋼管柱を用いることにより支柱の吸収エネルギーを増加させる。

いずれの工法も上記①～④を組み合わせて用いられる。各工法とも実大実験が行われ効果が検証されており、一部の現場で施工されている。ただし、これらの高エネルギー吸収防護柵は従来工法に比べて落石衝突時の変形が大きいため、防護柵の設置位置に注意する必要がある。また、②の原理を用いた防護網によって斜面全体を覆う工法も開発、施工されている。

2）については既存の防護工を生かすことができるため、落石荷重の増加が小さい場合には有効な方法であると考えられる。現在、土木研究所で発泡スチロールを緩衝材として用いた落石防護柵によるエネルギー低減効果を検討しているところである。発泡スチロールを用いることにより従来工法の倍以上のエネルギー吸収が可能になると考えられる。

（動土質研究室）