

ISSN 0386-5878

土木研究所資料第3038号

土木研究所資料

北陸地建における一日土研資料

平成3年11月20日(水)

建設省土木研究所

Copyright © (1991) 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、複写は、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3038号1991年11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点に関する質問に対しての回答をまとめたものである。

キーワード：一日土研

技術相談テーマ目次

	(質問者)	(回答者)
I (河川・海岸)		
1 急流河川の河道維持対策	羽越工事事務所	河川研究室 1
2 景勝地における景観からみた正常流量の設定手法	清津川ダム調査事務所	都市河川研究室 5
3 海岸工事における人工リーフの実施例とその問題点および対策	河川部河川工事課	海岸研究室 9
II (ダム)		
1 岩盤の簡易せん断試験	新潟県土木部	ダム構造研究室 13
2 湛水による堤体の挙動	三国川ダム工事事務所	フィルダム研究室 17
3 高堤高ダムにおける魚道設置の可能性	横川ダム工事事務所	ダム水工研究室 26
III (砂防・地すべり)		
1 火山砂防計画の考え方	立山砂防工事事務所	砂防研究室 28
2 砂防設備に魚道を設ける場合の設置手法	松本砂防工事事務所	砂防研究室 44
3 地すべり観測へのGPS測量の応用の可能性	金沢工事事務所	地すべり研究室 54
IV (道路・交通)		
1 冬期観光(スキー)交通の評価と将来予測	長岡国道工事事務所	新交通研究室 56
2 新規交通手段の交通量の予測方法	山形県山形建設事務所	新交通研究室 58
3 植樹帯設置による環境対策上の効果	新潟国道工事事務所	交通環境研究室 61
4 低周波空気振動の現状	長野県土木部	交通環境研究室 66

V (機械・建設材料)

- | | | | |
|---|-----------------------|-------------|-----------------------------|
| 1 | 飛来塩分による構造物の塩害
対策手法 | 日本道路公団金沢管理局 | 化学研究室 69
コンクリート研究室 |
| 2 | 外国製建設機械の導入に関する
留意点 | 道路部機械課 | 機械研究室 76 |
| 3 | 機械設備の信頼性 | 信濃川工事事務所 | 機械研究室 80 |

VI (基礎)

- | | | | |
|---|-------------------------------|-----------|----------------|
| 1 | DJM(深層混合処理)工法
の品質管理 | 道路部道路工事課 | 施工研究室 87 |
| 2 | 深礎杭の帯鉄筋 | 長岡国道工事事務所 | 基礎研究室 90 |
| 3 | 中掘り杭の「セメントミルク
噴出攪拌工法」の適用工法 | 長岡国道工事事務所 | 基礎研究室 92 |

VII (地震・耐震)

- | | | | |
|---|-------------------------------------|------------|-----------------|
| 1 | 液状化地盤地帯における地下
空間活用に当たっての留意事
項 | 道路部道路計画第一課 | 振動研究室 94 |
| 2 | 落橋防止構造 | 道路部道路工事課 | 耐震研究室 99 |
| 3 | 地震予知の可能性 | 長岡国道工事事務所 | 耐震研究室 101 |

I-1 急流河川の河道維持対策

(質問)

北陸の急流河川では、河床低下により従来の網状河道から徐々に単列河道へと変化しつつあり、最深部の河床高の低下や水衝部の局所洗掘が進行している。そのため護岸基礎工の浮き上がりや損傷、中小洪水時の堤脚への偏流等が生じており、急流河川の抜本的な河道計画策定が課題とされている。現在各河川においてそのような検討が行われているところであるが、一方当面の対策として護岸の根継等についても欠かすことの出来ない課題である。そこで急流河川における当面の河道維持対策をより効果的に実施していくために、以下について御教示願いたい。

①根継護岸を実施した結果、更に前面の深掘れが進む場合も見られる。例えば、護岸の粗度を増したり、緩勾配にすることなどにより、前面の洗掘を緩和することが出来ないものか、可能性、方法について御教示願いたい。

②根継護岸等を効果的に実施していくために、局所洗掘箇所の平面的な移動や深掘れ深の予測が有効であるが、シミュレーションや統計的手法による予測の可能性、方法について御教示願いたい。

③堤脚沿いの深掘れや水衝部の緩和のため、掘削による滞筋、主流線の変更を検討中であるが、容易な蛇行ピッチの改変等による悪影響も懸念される。またそのような方法の有効性についても課題があらうと思うが、検討上あるいは実施上の留意点について御教示願いたい。

(羽越工事事務所)

(回答)

北陸の急流河川の最深部の河床高の低下や水衝部の局所洗掘の進行の原因を明確にすることが、河道維持対策を考える第一歩である。

河床低下の原因は、質問にあるような網状河道から徐々に単列河道へと変化したことによるものではなく、以下のごとくに考えるべきである。

我が国の河川では、昭和30年代後半から50年代前半にかけて河積増大のため河床

の砂利採取が行われ、平均河床高が2 m程度も低下した河川が多い。これが最深部の河床高を低下させた第一の原因である。川幅や河床材料が変化しない場合、最深河床高は平均河床高の低下分だけ下がると考えるべきである。

これに加えて、この時期以降、上流においてダム貯水池の築造がなされ、同一降雨量に対して洪水ピーク流量が低下するとともに砂防ダム等の土砂流出抑制対策により扇状地部への流出土砂の低減をもたらした。これは河道に次のような変化を生じさせた。

まず、洪水ピーク流量の低下は、低下量に比例して川幅を減少させることとなった（低水路の川幅は同一河床材料なら、 Q_p 、 I_b にはほぼ比例する。ここで Q_p は平均年最大流量、 I_b は河床勾配）。さらに扇状地への流入土砂が減少した河川では、河床材料のアーマ化（表層河床材料の粗粒化）が進み、そのために河床材料の移動が不活発となり、砂州が移動しなくなり、砂州の高い部分の高水敷化や滞筋の固定化が進むこととなった。

以上のようなことにより、川幅が狭くなった河川で、従来は複列的であった河道の砂州形態が単列河道へと進んだものも現れてきた（ただし、すべての扇状地河川が単列河道へ変化しつつあるというわけではない。）。単列河道に変わると、砂州の規模が大きくなり、さらに局所洗掘深が大きくなる。また、アーマ化による滞筋の固定化は、滞部の水深を大きくさせる。

以上が局所洗掘が大きくなった原因である。個々の河川毎にその原因が異なるので対策に当っては、局所洗掘が進行した原因に遡って検討しなければならない。

以下に質問に答えるものとする。

- ① 根継護岸を実施した結果、さらに前面の深掘れが進む場合も見られるとしているが、これは根継護岸を設置したからと考えるべきでなく、その河川では、その程度の深掘れが生じるのが当然であると考えられるべきであり、根固め工の幅を大きくするか、根入れ深を深くして対処するのが第一である。

護岸の粗度を増したり、緩勾配にすることによって前面の洗掘を緩和することが

できるかについては、あまり効果が無いと考える。

なぜなら、扇状地河川の深掘れは砂州の規模で決まる現象であり、これを支配している長さスケールは平均年最大流量時の水深の 100 倍程度のものであるのに対して、護岸は水深の 1 倍オーダーのスケールであり、護岸の粗度や護岸の勾配を多少変化させても砂州スケールに及ぼす影響は小さいからである。また護岸前面には水深の 2～3 倍の幅で根固め工が設置されているのが普通であり、護岸の粗度や護岸勾配の変化の影響はこの施工範囲内にとどまってしまい、洗掘に対する影響は小さい。

護岸勾配の決定に当っては、河川へのアクセス、親水性、景観等の別の観点から検討すべきであろう。

② 根継護岸等が必要とされる洗掘箇所、洗掘深の予測においては、各河川の経年的なみお筋の変化や各洪水時の主流線、河床高の経年変化等、河川毎の特性を十分に把握することが重要である。

急流河川における水衝部の発生位置は、はぼ河道内に形成される砂州により規定されることから、砂州の配置に影響を与える河道平面形状と河道内の砂州位置によって推定することができる。ただし、河道内に形成されている砂州が複列あるいは網状の場合、砂州が洪水により移動することから、その水衝部は固定されないと考えられる。

砂州が発達したり、消滅したり、常流、射流の混在するような急流河川において数値シミュレーションによる水衝部、洗掘発生位置の把握は難しいと考えられる。

局所洗掘深の予測は、過去の定期横断測量等の成果に頼る部分が大きく、また、その傾向より推察することが妥当である。予測手法としては、局所洗掘深 ΔZ を最深河床高と平均河床高との差と定義し、その経年的縦断変化、もしくはある地点の経年変化を把握し、その傾向から推察するのが実用的である。

なお扇状地河川でも、洪水中に洗掘されたものが洪水後埋め戻されるおそれがあるので、最深河床高と平均河床高の差 ΔZ の長年の変化より、なるべく大きめの値

を基に局所洗掘深を評価すると良い。黒部川の移動床実験による検討では、水衝部において洪水中に最大6 m程度も低下したものが減水時に4 m程度までに埋め戻された結果が残っている。

③ 堤脚沿いの深掘れや水衝部緩和のためのお筋の変更であるが、簡易的に掘削した場合、ある程度の期間は維持されるが、中出水程度の規模によって容易に現状に復してしまうものと考えられる。

また、アーマ化された河道を人為的に掘削することにより、小出水でも河床変動が生じやすくなる可能性がある。

(参考文献)

(1) 河道特性論；土木研究所資料第2662号，1988.8.

(2) -河道特性に関する研究-；平成3年度建設省技術研究会（指定テーマ）

（河川研究室）

I-2 景勝地における景観からみた正常流量の設定手法

(質問)

清津川ダムの直下流には、名勝天然記念物指定の清津川溪谷があり、清津川の正常流量を決めるにあたって景観が一つのポイントになっているが、評価基準となるものがない。第44回建設省技術研究会指定課題「水環境に関する研究」においても、「景勝地等では別途の検討が必要になる。」との記述にとどまっており、最近の参考になる評価方法、事例等について、御教示願いたい。

(清津川ダム調査事務所)

(回答)

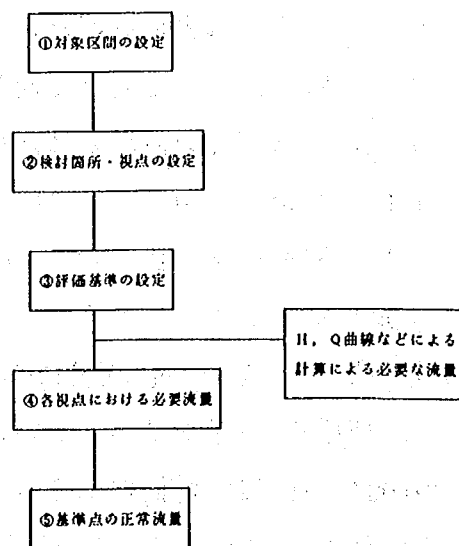
景勝地以外の一般の河川の景観と流量の関係については、第44回建設省技術研究会指定課題「水環境に関する研究」で報告したが、景勝地においては共通的な指標は定め難く、個々に指標を作成することが必要となる。ここでは景勝地における景観からみた正常流量の設定手法について述べる。

検討フローを図-1に示す。

①まず最初に検討区間を設定する。景勝地では既に決まっていることが多い。

②次に、検討箇所と視点を設定する。必要に応じてその数は増減させる。

景観とは、人間が景観対象を眺める時に生じる心理現象である。したがって景観対象及び、みる人があって始めて景観は成立する。景観工学では、前者を対象、後者を視点と呼ぶ。景観について検討する場合には、この対象（検討箇所）と視点をどのようにして、どこに設定



するかが、第一歩となる。

検討箇所・視点の設定は、「人がどこからみるのか」、対象区間で「重要な景観対象は何か」という2つの観点より行なう。「人がどこからみるのか」という観点からは、人の目に触れる機会が多い展望所・橋梁・遊歩道などの周辺が重要となる。「重要な対象」という観点からは、滝・名前のついた岩・淵・とろ・瀬、歴史的な構造物や施設・よく写真にとられたり絵にかかれる場所などが選定の目安となる。

景観対象は、視点と対象間の距離により見え方が異なるので、視点場が河川に沿ってある散策道のように視点と対象の距離が変化する場合には、対象が見えやすい距離に検討視点を設定するなどの工夫が必要となる。

③次に流量と関連づけて評価基準を設定する。

これには2つの観点から考える必要がある。

1) その場所の流量と景観の関係を物理的な要素との関係で把握する。

一般の河川では、水面幅と河川幅の比(W/B)、流速(V)、水深(H)と景観の関係について考慮することが重要であるが、景勝地ではその景観を特徴づけるものが、必ずしも先にあげた3つのものとは限らないのでどのような物理的な要素がその景観にとって重要かを検討する。例えば、岩礁が水から頭を出した風景が重要であれば、水深と岩の見え具合を把握する。また名前のついた岩(例えばさる岩)であれば、水位の変動によって猿としてみえる範囲はどの程度かを調査する。また滝の場合は、滝の落下形状と流量の関係を把握する。例えばどの程度の流量で、1段の滝が2段になるか、1筋の流れであったものが2筋になるのはどのくらいの流量なのか、落ち幅の変動と流量の変動の関係はどうなっているのか、などを調査する必要がある。

短期間で流量変動が大きいところや、流量が操作可能な場所では流量の変化と景観の関係が直接的に把握できるが、それ以外のところでは詳細な測量や計算による水位の変化予測などによる景観の予測が必要となる。

2) 1) で把握した景観の特徴に対して人がどのように評価するかを把握する。これにはいくつかの方法が考えられる。

(1) 明らかに流量と景観評価の関係が明瞭で、一般の人にも説明が容易にでき

る場合には、河川管理者が評価基準を設定する。

(2) 歴史的に描かれてきた絵画や景勝地を写した写真などについて、景観の特徴のどの部分を重視しているかを分析し1)の結果と関連づけて流量を求める。

絵画や写真などに人の評価が代表されているという考え方である。

(3) 被験者を選定し、スライド等を用い、景観心理実験を行ない、その結果に基づき流量を設定する方法。これは技術研究会で行なった手法であり、多数の人を対象とし、客観的な結果が得られるという利点がある。ただし流量が多くなるにしたがって一般に評価が高くなるので、評価値のどこで線引きをすべきかという問題や景観の予測が難しくスライドや写真の出来上りに左右されるという欠点がある。

なおスライド等を用いる場合には、現地の風景と視角(見た目の大きさ)をなるべく一致させることが必要である。

(4) 景観の専門家や地域を代表する人などからなる委員会等を設置し、1)や景観の予測結果を提示し、評価基準について合意をはかる方法。など。

どのような方法をとるか、あるいは組み合わせるかは、その河川のおかれている景観・社会状況により異なると思われる。

④これらの評価基準を流量に換算する。

以上の方法により景観からみた景勝地における正常流量の設定は可能であろう。

参考のために、華厳の滝の観光放流の例を挙げる。

【華厳の滝・中禅寺湖の例】

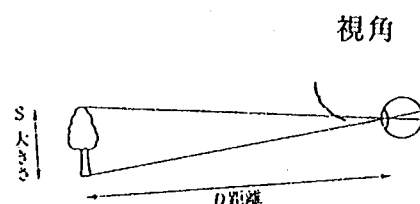
日光国立公園にある日本3大名瀑の一つといわれる華厳の滝では、観光放流が行なわれている。流量が0.5%以下になると、滝が2つに分かれることから、景観上、0.5%以上必要であると判断し、その量を確保している。その量を決定する際には、栃木県庁内に、職員による検討会が設けられた。

また今年度、県は貯水量を勘案して、ゴールデンウィーク中(11日間)観光用にさらに放流量を増加させた。

(参考) 視角と写真・スライドについて

① 視角

網膜像に写る大きさを角度で表わし、それを視角と呼ぶ。視角が大きければ、大きく見え、視角が小さければ小さく見える。人がみることができ
る最小の視角は、 $1'$ ($1/60^\circ$) で、視野に対応する視角は $60\sim 70^\circ$ といわれている。景観の主対象となる視角の範囲は、橋梁や山岳の例から、対象物の大きさが $10\sim 20^\circ$ の範囲といわれている。



視角と網膜像

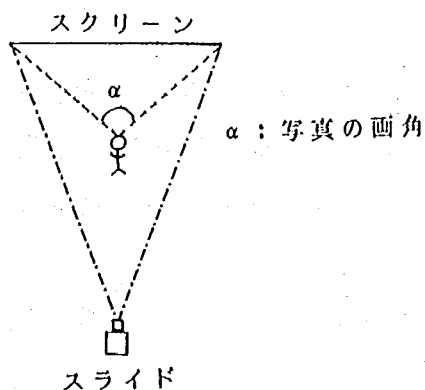
② 写真やスライドの景観調査への利用法

写真やスライドを用いて景観調査を行なう場合、撮影範囲を視野に対応させることと、視角をなるべく、現地の状況に一致させることの2点に留意する。

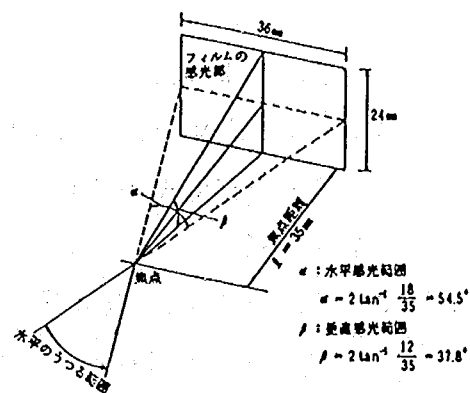
1枚の写真やスライドで、景観を把握する場合
は35mmカメラの場合、28mmまたは35mmのレンズを用
いる。そして、写真の場合は、4つ切り程度の大き
さに焼き付ける、スライドの場合はみる人の位置を
撮影した時の画角に一致させるように設定する。

使用レンズと撮影画角

レンズ	28	35	50	80	105	135	150
α	65.5'	54.4'	40.0'	25.4'	19.5'	15.2'	13.7'
β	46.4'	37.8'	27.0'	17.1'	12.7'	10.2'	9.2'



スライド実験と画角



カメラでの撮影範囲

(都市河川研究室)

I-3 海岸工事における人工リーフの実施例とその問題点および対策

(質問)

近年、人工リーフが多く施工されつつあるが、設置間隔、規模等の選定法によっては開口部の洗掘や堤体の安定性などの問題が生じないかどうか、施工例をもとにこれらの問題点について御教示願いたい。また問題が生じる場合にはその対策法についても御教示願いたい。

(河川部河川工事課)

(回答)

1. 人工リーフの施工例

最近、離岸堤とはほぼ同等な消波効果を持ち、景観上も優れた人工リーフが各地で施工されるようになった。施工箇所は多数にのぼるので、すべての地点名を明らかにすることはできないが、主なものとしては、建設省の信濃川下流工事事務所により新潟海岸の有明浜と五十嵐浜において1986年以降施工された人工リーフ、新潟県の糸魚川海岸で新潟県により1986年より施工された人工リーフをあげることができる。これらについては人工リーフの施工後、その機能や安定性に関する詳しい現地調査が行われてきている^{1)~4)}。新潟海岸の人工リーフは天端水深が約2mと浅いのに対し、糸魚川海岸のそれは4mとかなり深く、冬期の高波浪時のみ効果が表われる。これは後者が道路への越波防止を主目的として造られた人工リーフであるためである。これらの例によると、新潟海岸ではバーより岸側に人工リーフが設置されたため地盤変動が大きく、そのため人工リーフの開口部では離岸堤の開口部の場合と同様な洗掘が見られる。新潟海岸の五十嵐浜の人工リーフでは、開口部の両側面のうち入射波が直接作用する側において端部堤体が沈下したと報告されている²⁾。一方、糸魚川海岸では設置水深が約9mと深いので、洗掘・沈下は見られない。

2. 対策手法

人工リーフは捨石等により構築される構造物であるため、海底面が大きく変動する場合には堤体が変形する恐れがある。特に沿岸砂州のある海岸では、高波浪によ

る沿岸砂州の変動によって堤体の変形が生じないように、設置位置を慎重に検討する必要がある。一般に、沿岸砂州のある海底付近に人工リーフを設置する場合には、次の点に注意する必要がある。

①沿岸砂州は本来高波浪が砕波する場所であるから、人工リーフの設置は、いわば沿岸砂州の有する消波効果をより効果的にすることに等しい。この沿岸砂州は、ほぼ恒常的に存在するものと、静穏波と高波浪

a) の繰り返しによりたえず変動するものとに分けられる。前者の場合には、沿岸砂州のもつ消波効果をさらに向上させるために、天端高は砂州の高さより高く、天端幅は砂州の幅よりも広くとることが望ましい(図-1 a)。ただし、図-1 bに示すように、沿岸砂州のもつ消波効果を向上させる方法もある。

②静穏波と高波浪の繰り返しにより変動する沿岸砂州では、沿岸砂州を構成する底質は静穏時に前浜付近に移動している。この時期に砂州と同規模の人工リーフを設置すれば、高波浪時における沿岸砂州の発生を抑制し、前浜を安定化させることができる(図-1 c)。

③①、②いずれの場合でも、堤体の安定上次の点に注意しなければならない。第一に、沿岸砂州の変動範囲にのり先が位置しないようにすることである。このようにできない場合には、のり先を根入れする(図-2 a)か、根固めを施す必要がある。第二には、沿岸砂州を覆うような人工リーフの場合には、堤体の厚さを確保することである。堤体の安定のためには、被覆工の下に最低50cm程度の厚さで中詰工を設置するものとし、必要があれば海底を掘削する(図-2 b)。

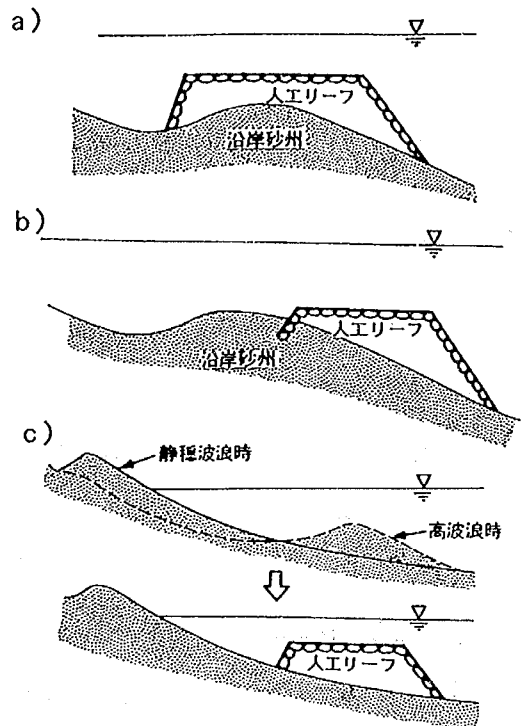


図-1 沿岸砂州のある海岸での人工リーフの設置法
a) 沿岸砂州の消波効果を向上させる断面例
b) 沿岸砂州と一体とした断面例
c) 高波浪・低波浪により変形する沿岸砂州のある海岸における設置例

次に、高潮対策上必要とされる前浜の維持、あるいは人工リーフにより人工海浜の安定化を目的として暴浪時の冲向漂砂を抑制しようとする場合には、高潮対策の場合と同様、連続的な人工リーフを造る必要がある。連続堤とした場合にも人工リーフの岸側で海浜循環流が生じること

があり、離岸距離が短い場合、あるいは人工リーフと突堤を組み合わせる場合には、リーフの天端を越えて土砂が冲向きに流出することもあり得る(図-3 参照)。こうした場合には、開口部を部分的に設けて人工リーフ岸側での海浜循環流の発生を抑制するとともに、冲向き流れの位置を固定するとよい。ただし、開口幅は少なくとも $Wr < 0.25 Lr$ (Wr : 開口幅, Lr : 堤長) を満たすように設置する。また、人工リーフ背後で養浜を行う場合には、

図-4 に示すように開口部を天端高の低い人工リーフとすると良い。

一般に、開口部では冲向き流れが生じるので、そこから砂が沖に運ばれる。特に設置水深が浅く、開口部で入射波が砕波するような場合には、開口部で底質が浮遊してかなりの洗掘を生じる。このような場合には、上述のように開口部の海底を捨

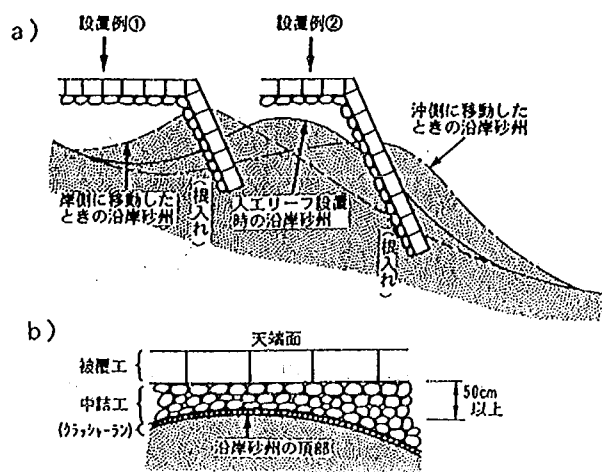


図-2 沿岸砂州のある海岸に設置する人工リーフの構造上の留意点
a) のり先の地盤が変動する場合の根入れ
b) 沿岸砂州頂点付近の構造

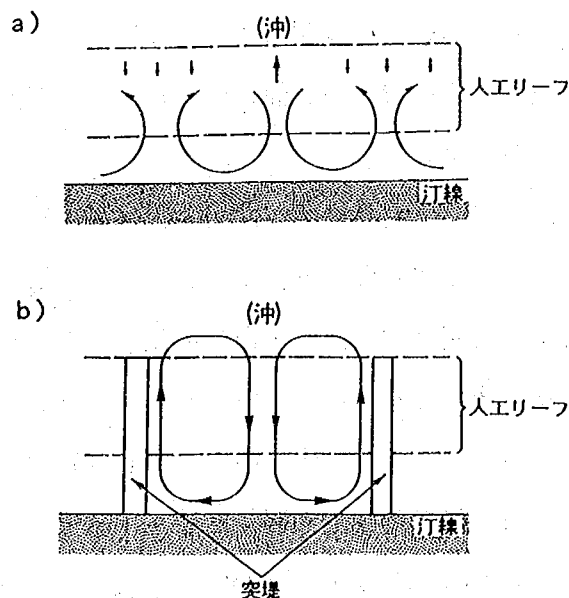
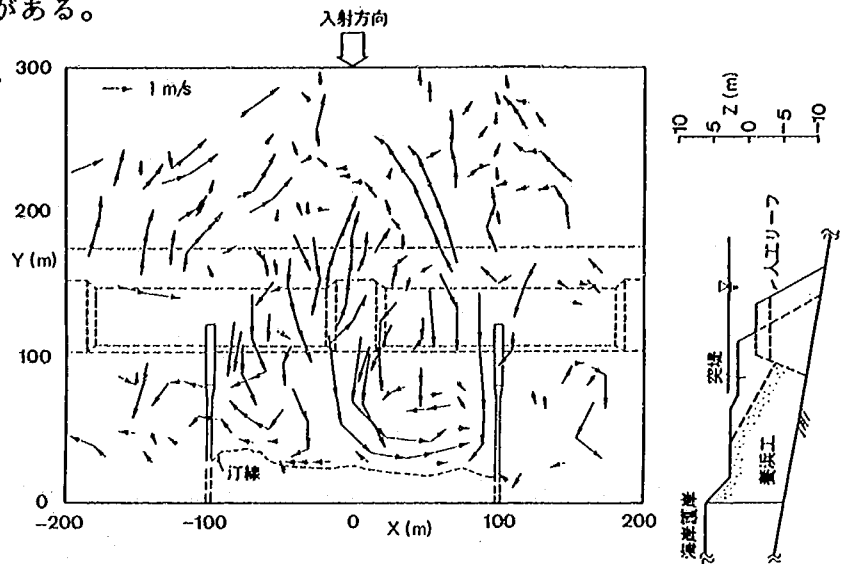


図-3 連続堤とした場合の人工リーフ周辺の海浜流
a) 離岸距離の短い場合
b) 突堤が併設されている場合

石等で被覆する必要がある。

先に述べたように、人工リーフの開口部あるいは沿岸方向の端部側面では波の集中が起こるので、被覆工を設ける必要がある。開口部の側面に用いる被覆材は沖側ののり面に比べ



と重量を低減してよい。ただし、端部の側面や著しく広い開口部では入射波が斜め入射して側面で碎波を生じうるので、のり面と同じ重量の被覆材を用いることが望ましい。

参考文献

- 1) 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.
- 2) 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. 434-438.
- 3) 宇多高明・森下 襄・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.
- 4) 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辺の波、流れ、漂砂の現地観測，海岸工学論文集，第38巻，pp. 151-155.

(海岸研究室)

Ⅱ-1 岩盤の簡易せん断試験

(質問)

安全で経済的なダムを設計するためには、基礎岩盤のせん断強度を正確に評価する必要がありますが、地質調査の初期段階や小規模ダムの設計段階にあたって、簡易的に岩盤のせん断強度を求める試験方法があれば有効と考えます。そこで、岩盤の簡易せん断試験の可能性について御教示願います。

(新潟県土木部)

(回答)

コンクリートダムの設計において、岩盤のせん断強度はダム堤体の断面形状に大きな影響を与える要素で、このため、コンクリートダムの設計にあたっては、原位置岩盤のせん断試験を実施して、そのせん断強度を決定しています。転倒の条件から定まる重力式コンクリートダムの基本断面に必要なせん断強度の値は概ねダムの高さに比例し、堤高50mのダムでは 120tf/m^2 、堤高100mのダムでは 240tf/m^2 程度のせん断強度が必要となります。したがって、堤高の高いダムでは基礎岩盤に要求される条件が厳しいものになり、原位置岩盤のせん断試験を実施してそのせん断強度を求める必要があります。しかし、堤高の低いダムでは、岩盤のせん断強度に余裕があることから、文献などを参考にして類似した基礎岩盤をもつ他ダムの試験データから岩盤のせん断強度を推定することができます。

しかし、近年、良好な地質条件をもったダムサイトが次第に少なくなってきたことから、比較的規模の小さいダムでも原位置岩盤のせん断試験を実施することが必要となる例が多くなり、また、岩盤のせん断強度がダムの設計に及ぼす影響を早い時期に把握しておきたいという要望も出てきています。そこで、本質問は、このような場合に有効な岩盤の簡易なせん断試験について訊ねられたものです。

岩盤の簡易せん断試験の可能性について述べる前に、まず岩盤のせん断強度を支配する要因について述べておく必要があると思います。岩盤の材料としての特徴は、その中に多くの割れ目(不連続面)が存在し、この割れ目が岩盤の諸性質

に大きな影響を及ぼすことです。一般に、岩盤のせん断強度は、割れ目の影響によって、これを構成する岩石のせん断強度の $1/5$ から $1/10$ の値を示すと言われています。そこで、岩盤のせん断強度を正しく評価するには、岩盤内に存在する割れ目の影響を正確に捉えることが必要となります。このためには、なるべく大きな供試体を用いたせん断試験が必要ですが、これについては、

- ① 岩盤内の割れ目の影響をなるべく多く取り込めること
- ② 横坑内で無理なく試験が行えること

などを総合的に考慮し、 $60\text{cm} \times 60\text{cm}$ のせん断面を採用することが土木学会の「原位置岩盤のせん断試験の指針」¹⁾ に示されています。この値の妥当性については議論の余地があるとは思いますが、既に多くの実績が得られていること、またこれによって不都合が生じていないことなどから、今後もこの値が標準的な値として用いられていくものと思われます。

さて、このような点を考慮して、岩盤の簡易せん断試験の可能性について述べることにします。まず、試験の対象となる岩盤を、割れ目の影響が大きい岩盤と割れ目の影響が少ない岩盤に分けてみますと、「原位置岩盤のせん断試験の指針」に定められた $60\text{cm} \times 60\text{cm}$ の寸法は、割れ目の影響が大きい岩盤では最小限必要なせん断面の大きさであると考えられます。したがって、これらの岩盤のせん断強度を求めるには、従来どおりの岩盤せん断試験に頼らざるを得ないといふことができます。

一方、割れ目の影響の少ない岩盤については、より小さい供試体を用いた簡易的なせん断試験の可能性が考えられます。岩盤のせん断強度を簡易的に求める方法としては、従来よりいくつかの方法が提案されていますが、その中で比較的数量多く利用されている方法が、大口径のボーリングコア（通常、直径 100mm 以上）を利用した三軸試験や一面せん断試験です。なお、このような試験の対象となる岩盤としては、割れ目の少ない新第三紀以降の堆積性軟岩、熱水変質などを受けて軟質化した岩盤、ある程度固結した状態にある断層破碎帯およびある程度の風

化により軟質化した岩盤などがあげられます。しかし、この試験では、乱されない状態の供試体を採取するボーリングの方法や、採取した供試体を原位置と同様な状態で試験室まで運ぶ方法（特に、軟岩のスレーキング現象をいかに防止するかなど）に苦慮することが多いようです。

このようなことから、最近、原位置で簡単に実施できるせん断試験装置（図-1 参照）が（財）ダム技術センターによって開発されました²⁾。この装置を用いたせん断試験は、原理的には従来の原位置せん断試験と同一ですが、

- ① せん断面の大きさを20cm×20cmとしたこと
 - ② 載荷装置をシステムの的に一体化したこと
 - ③ 載荷重の反力をアンカーを利用して試験装置自体で支持する構造にしたこと
- などが簡易化を図った大きな特徴です。これによって、従来の岩盤せん断試験と同様な試験が比較的簡単に実施できるようになり、またボーリングコアを用いた試験に比べて、供試体を傷めることなく岩盤のせん断強度を求められるようになりました。なお、この試験装置を用いるにあたっては、割れ目の少ない新第三紀以降の堆積性軟岩、著しく風化して軟質化した花崗岩、熱水変質を受けて軟質化した岩盤、断層破碎帯などを試験対象にしたものであることを十分理解しておく必要があります。

ところで、岩盤のせん断強度に余裕がある場合は別として、岩盤のせん断強度が設計上の大きな問題となる場合には、規模の小さなダムであっても正規の岩盤せん断試験が必要であり、これを簡易せん断試験で置き換えることは難しいと考えられます。そこで、簡易試験はあくまで正規の岩盤せん断試験を補助する手段であると理解して頂きたいと思います。

また、地質調査の初期段階に岩盤のせん断強度の目安を得たい場合には、過去の岩盤せん断試験のデータが土木研究所において整理されていますので³⁾、これを利用して頂きたいと思います。また、経験のある技術者は、岩盤の観察結果から比較的高い精度で岩盤のせん断強度を推定することができますので、地質調査

の初期段階においては、これら技術者の意見を基に岩盤のせん断強度を推定しても、大きな間違いは生じないものと思われます。なお、原位置岩盤のせん断試験は、ダムの基礎となる岩盤を代表するところで実施する必要がありますから、あまり早い時期に岩盤せん断試験を実施しても、後で追加試験が必要になることがしばしばありますので、岩盤せん断試験の実施時期は、地質調査、地質解析の進捗状況を十分に考慮して決定して頂きたいと思います。

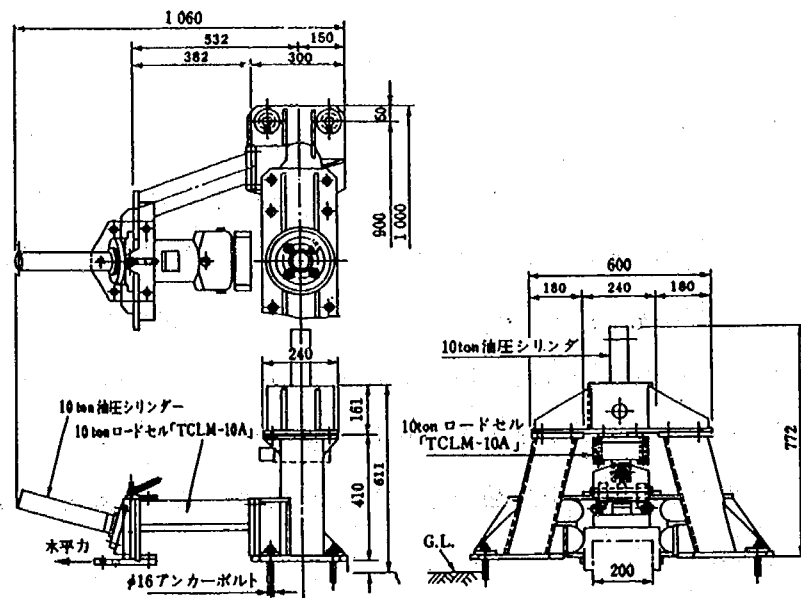


図-1 簡易岩盤せん断試験装置

<参考文献>

- 1) 土木学会：原位置岩盤の変形およびせん断試験の指針、1983年
- 2) 青沼英明：簡易岩盤せん断試験について－目的及び開発経緯－、ダム技術、No. 52、1991年
- 3) 斉藤孝三、片平博：ダム基礎岩盤の原位置試験値に関する諸検討と考察、土木研究所資料第1899号、1987年

(ダム構造研究室)

Ⅱ－２ 湛水による堤体の挙動

（質問）

堤体の施工管理にあるいは完成後の安全管理を目的として、観測計器が堤体表面・堤体内部に設置されています。フィルダムの場合、間隙水圧計、土圧計、層別沈下計、ゾーン間沈下計、せん断変位計、水平鉛直変位計、外部標的が堤体に、継目計、鉄筋計が通廊に、岩盤内には岩盤変位計等が設置されています。これら計器の観測値は、湛水の初期およびその後において一般的にどのような挙動を示すものなのか御教示願いたい。

（三国川ダム工事事務所）

（回答）

一般に近代的な施工法で建設されたダムでは、初期湛水及びその後の挙動は盛立て時のそれに比べてかなり小さくなる傾向にある。以下に計器別に記述する。

１．堤体に設置された計器

間隙水圧計は、盛立て時の間隙水圧の発生の観測並びに、完成後の間隙水圧の消散を測定し、浸潤線を追跡する目的に使用される。また、土圧計と併用し有効応力の算出に用いられる。図－１に示すように遮水ゾーン内の間隙水圧は貯水によって徐々に飽和され湿潤面は貯水位に追従するようになる。完全にこのようになるまでの時間はそのダムの遮水ゾーンの幅や透水係数によって異なる。コア幅の薄いゾーン型ダムでは、定常流の状態に達する時間も早く６ヶ月～１年位で達し、その後間隙水圧は貯水位の変動に対し、ある程度の時間遅れをもって変動するのが一般的である。一方、透水性材料であるロックゾーンの間隙水圧計では、残留間隙水圧もなく貯水位に追随している。（図－２、図－３参照）

土圧計は、堤体の内部応力の大きさと主応力の方向を測定するものである。また、有効応力を求めるために間隙水圧計を併設している。土圧も貯水位の変動に追随し、特に上流側の最大主応力は湛水前には、天端方向を向いていたものが湛水により鉛直方向へ回転する傾向にある。

層別沈下計は、堤体の圧密あるいはその進行状態をある程度予測することができ、施工管理ばかりでなく安全管理にも有効となる。層別沈下計は、堤体最大断面のコアゾーン内とロックゾーン内に設置される。変位量の大部分は盛立て時に生じるが、変位は築堤完了後も進行する傾向を示す。図-4は、盛立て完了時と、その後湛水がなされ3年10ヶ月後のコアゾーン内の層別沈下量を示したものである。初期湛水およびその後の沈下は、最大で約0.1%であり、沈下は中位よりも上部標高において顕著である。

ゾーン間沈下計は、ロック、フィルター、コアの3層間の不等沈下を計測するものである。計測は、測定方法にもよるが一般的に相対量となる。貯水位の上昇に伴うゾーン間沈下量の変化の例を図-5に示す。貯水位がサーチャージ水位に達したときには、コアは上方に変形し、貯水位が沈下計の標高よりも低下したときには、全体的に沈下傾向を示す。特に上流側については貯水位による浮力のためにロックゾーンでも上昇が生じたものと考えられる。

また、広い範囲にわたって不等沈下や、測点間の相対的水平変位を計るものに、水平鉛直変位計がある。図-6に計測例を示すが、基準点は下流法面にある。水平変位は、湛水に伴い下流側へ進行しており、最高水位時で最大2.5cmで中心部に近づくほど大きくなる傾向にある。鉛直変位は、下流法面付近で沈下し、中心部に向かうほど沈下量は少なくなり、上昇傾向を示すようになる。計測方法は単純であるが、傾斜計を応用したゾーン間沈下計よりは精度が高いと考えられる。ただし、長期的には季節の温度変化の影響を機構上受けやすい。

せん断変位計は、ゾーン間沈下計としての機能の他に両岸アバットと堤体のずれの計測を目的としている。複合型ダムのコングリート堤体とフィル堤体接合部におけるせん断変位では、変位の大半は盛立て時に生じ、湛水による変位量は少ない。また、下位標高ほどこの傾向が顕著である。

堤体表面に設置した標的による外部変形は、計測の精度にもよるが、直接計測が可能であるために埋設型の計器に比べて信頼性は高い。また、三角網測量により堤

体の絶対変位量が求められる。天端の変位に着目すると、鉛直変位は初期湛水時に比較的大きく、その後の貯水位変動に対しては小さく、図-7に示すように収束する。水平変位は、鉛直変位に比べて貯水位の影響が大きく一般的に下流側へ変位し（図-8参照）、数回の貯水位変動後は貯水池荷重に対して弾性的な挙動を示す。中央コア型のダムで貯水位を比較的ゆっくり上昇させたとき、最初の1年間で最終沈下量の50%、水平変位も初期湛水により70~80%が生じると言われており、初期湛水の変位を測定すれば、ほぼ最終的な変位を推定でき、その後の変位状態から安定性の検討が可能となる。

2. 通廊に設置される計器

基礎岩盤に周囲の岩盤との変形特性が大きく異なる弱層部や破碎帯が存在するときには、通廊を構成するコンクリートブロック間に継目計や、鉄筋に鉄筋計を設置し通廊の変形・応力を計測する。継目変位は、図-9に示すように盛立て荷重によって開きがやや大きくなる傾向にあるが、湛水による傾向は変動が小さい。鉄筋計についても湛水による変動は小さく、その後の長期的挙動では季節の温度変化との相関が認められる。

3. 岩盤に設置される計器

基礎岩盤には岩盤内の浸透流状態を観測するための間隙水圧計、変形特性や耐荷性を測定する岩盤変位計がある。岩盤の変位も、盛立て時にそのほとんどが進行し、湛水による変位量はほとんど生じない。ただし、岩盤状況によっては湛水により変動が僅かに見られる場合もある。

以上湛水による観測記録の事例と傾向を紹介したが、個々のダムにおいて観測値は当然のことながら異なってくる。また、湛水に伴う安全性の確認については、観測値と貯水池荷重の時間軸での比較と同時に、お互いの相関関係において漸増傾向あるいは漸減傾向にあるのかを検討することが必要と考えられる。

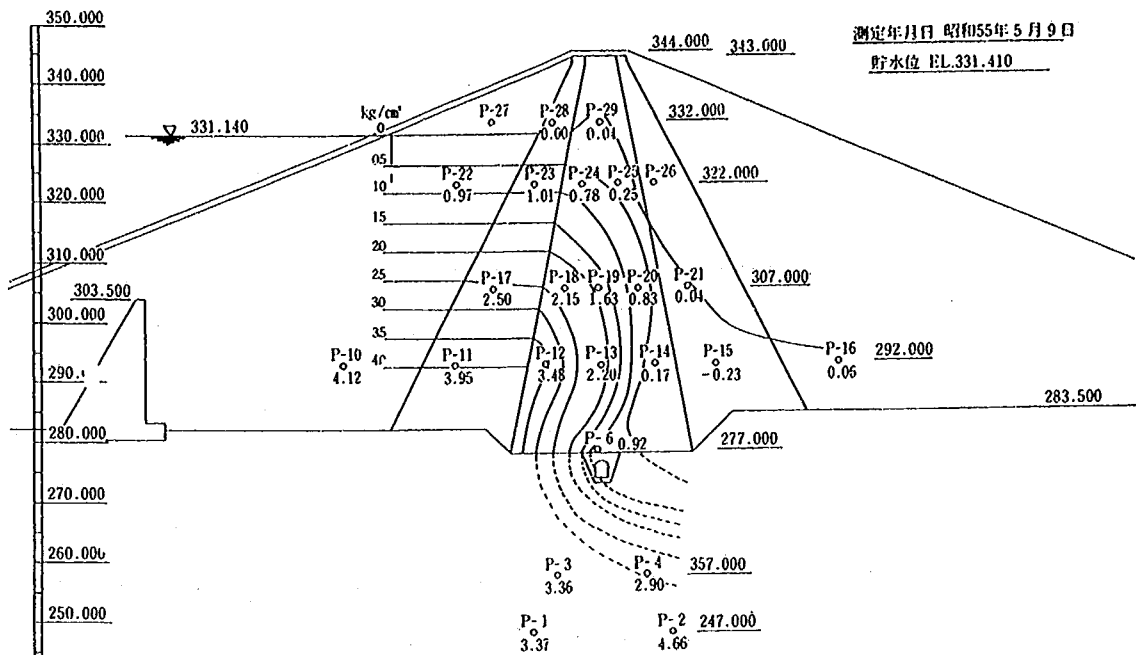


図-1 等間隙水圧分布

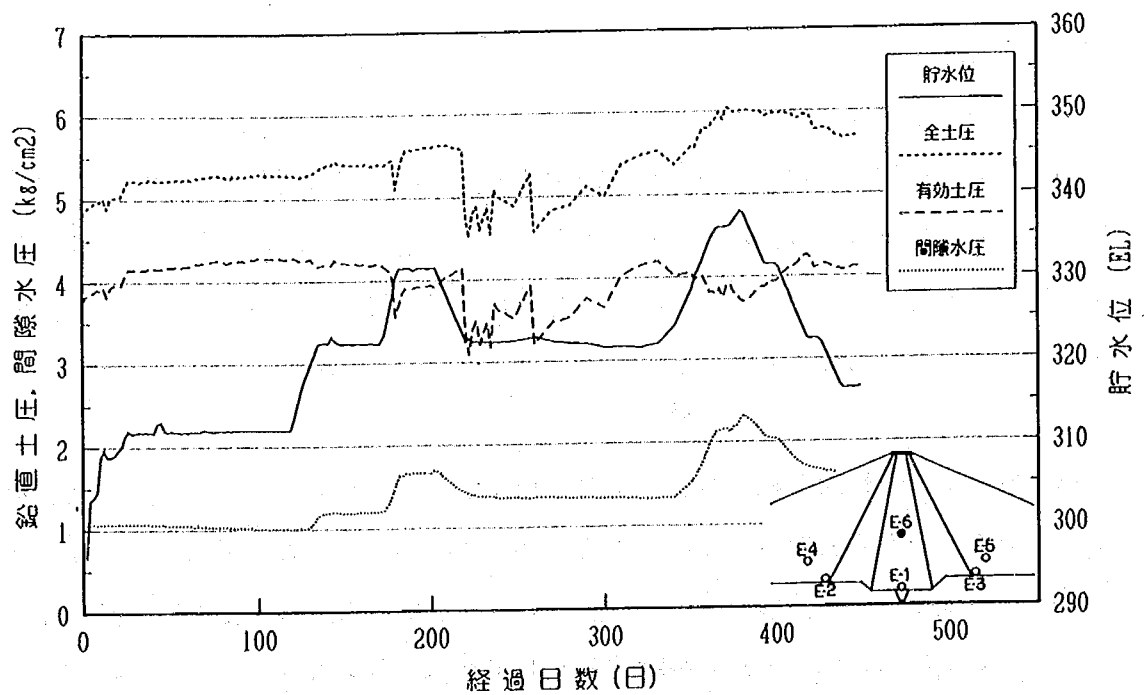


図-2 土圧，間隙水圧の経時変化（コア部）

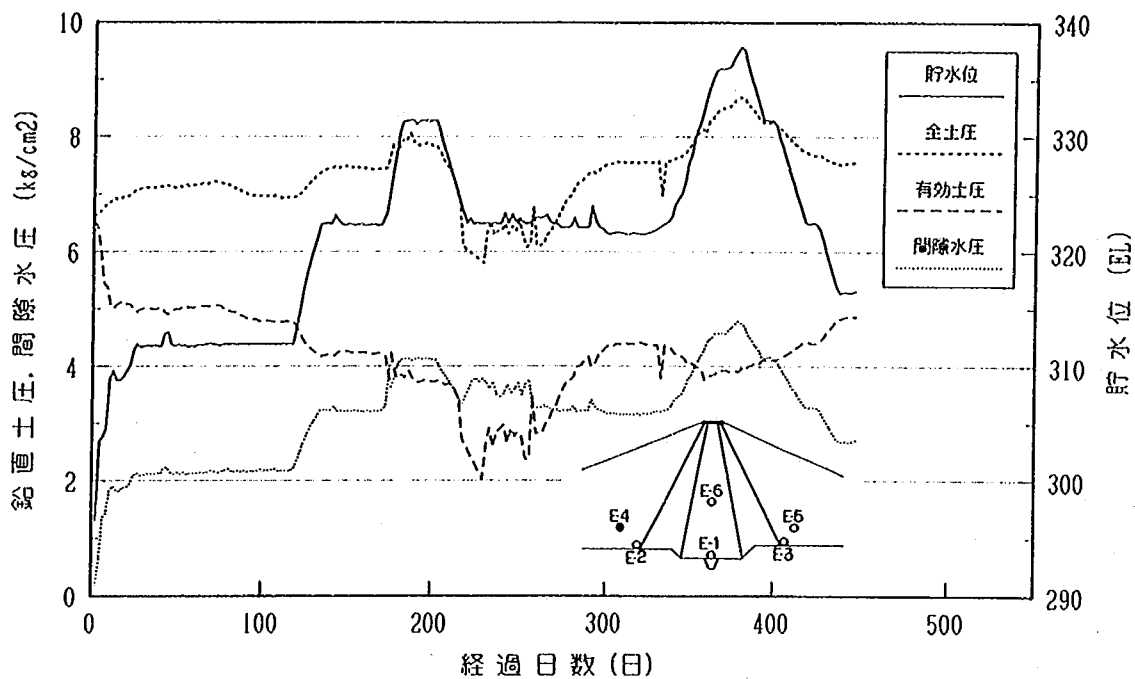


図-3 土圧, 間隙水圧の経時変化 (ロック部)

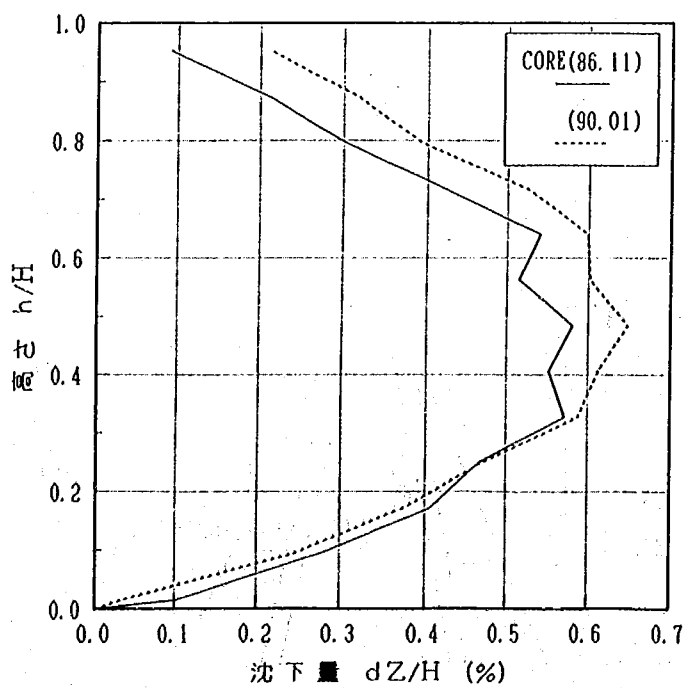


図-4 層別沈下量

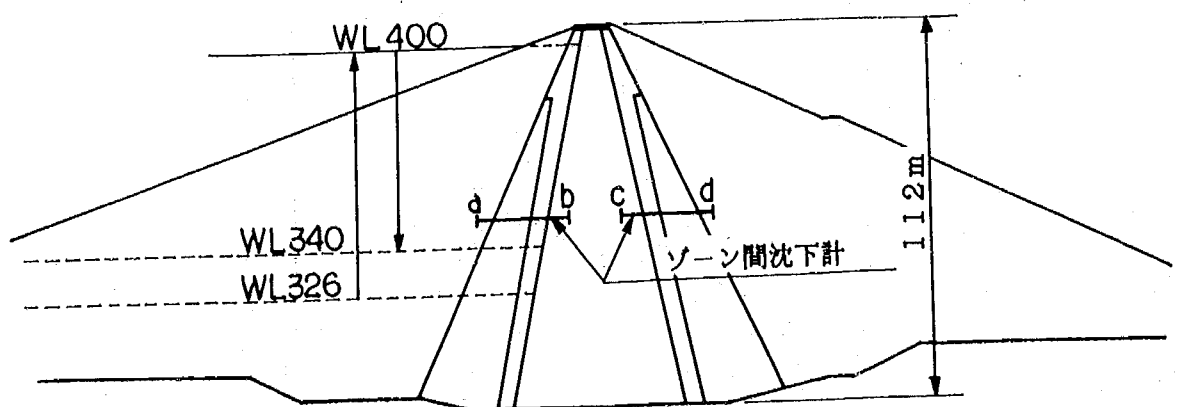
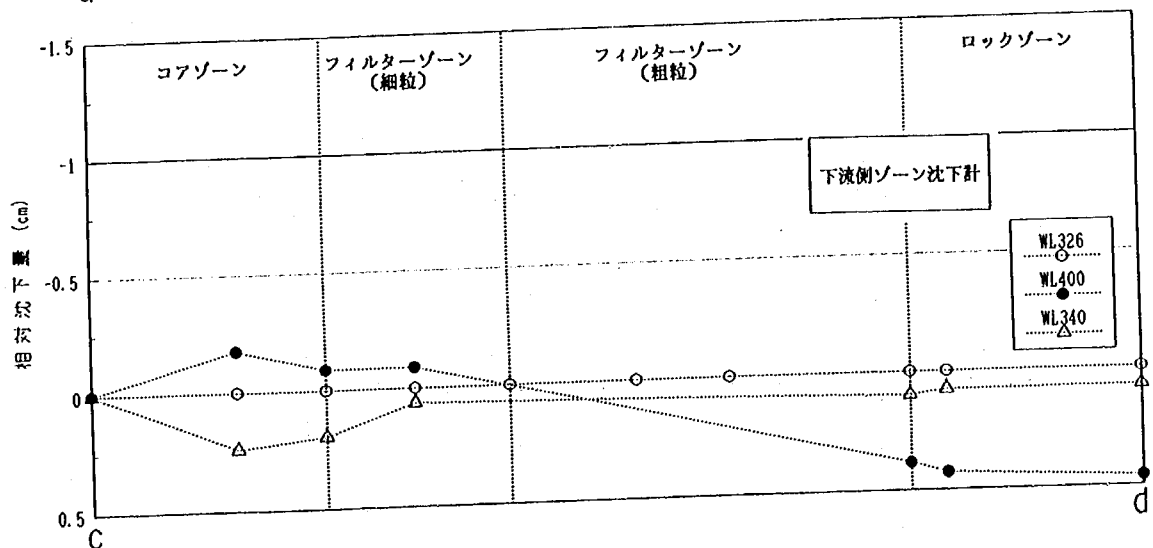
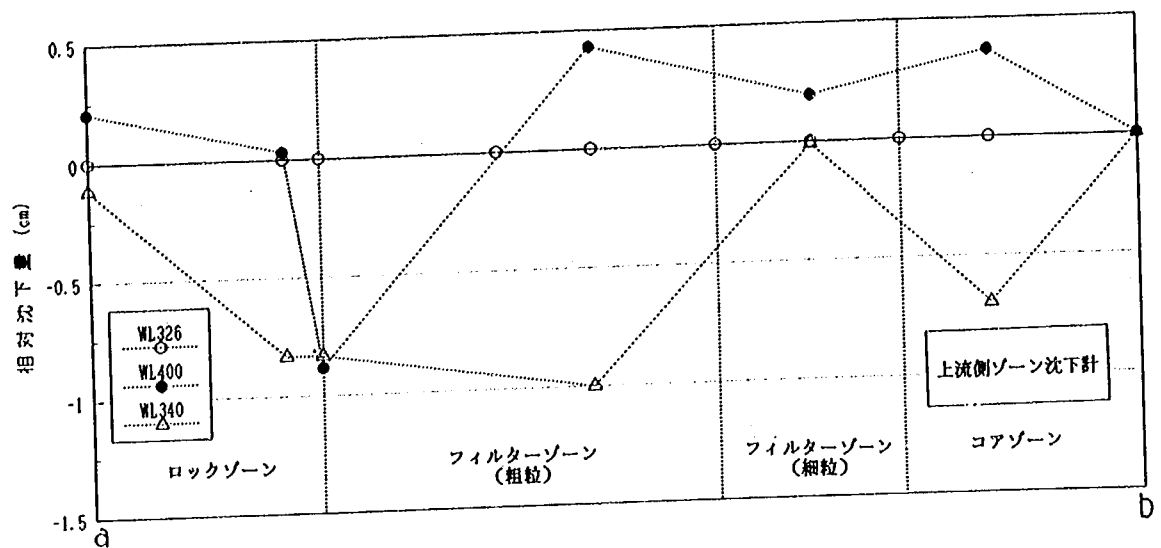


図-5 湛水時のゾーン間沈下量

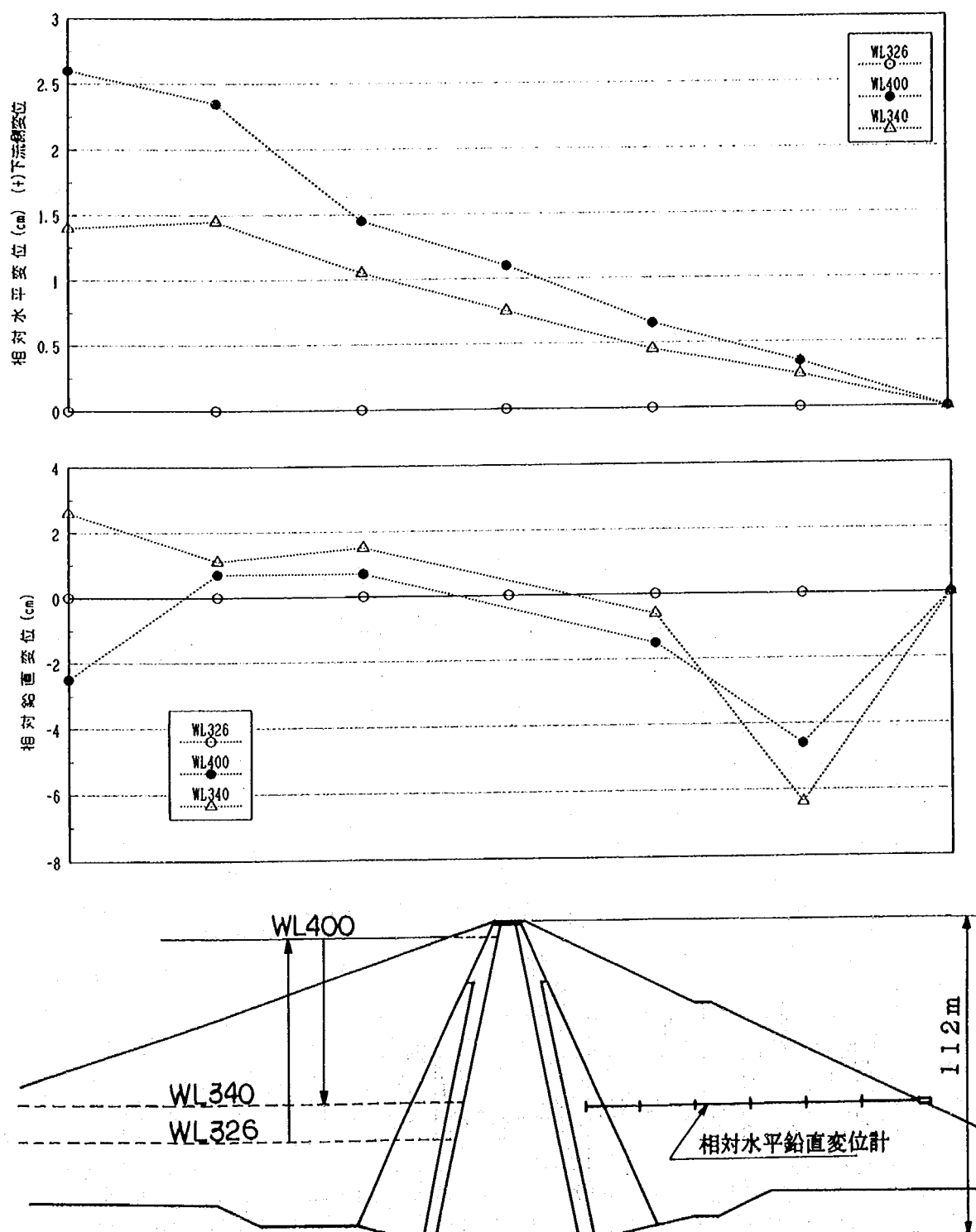


図-6 湛水時の相対水平鉛直変位置

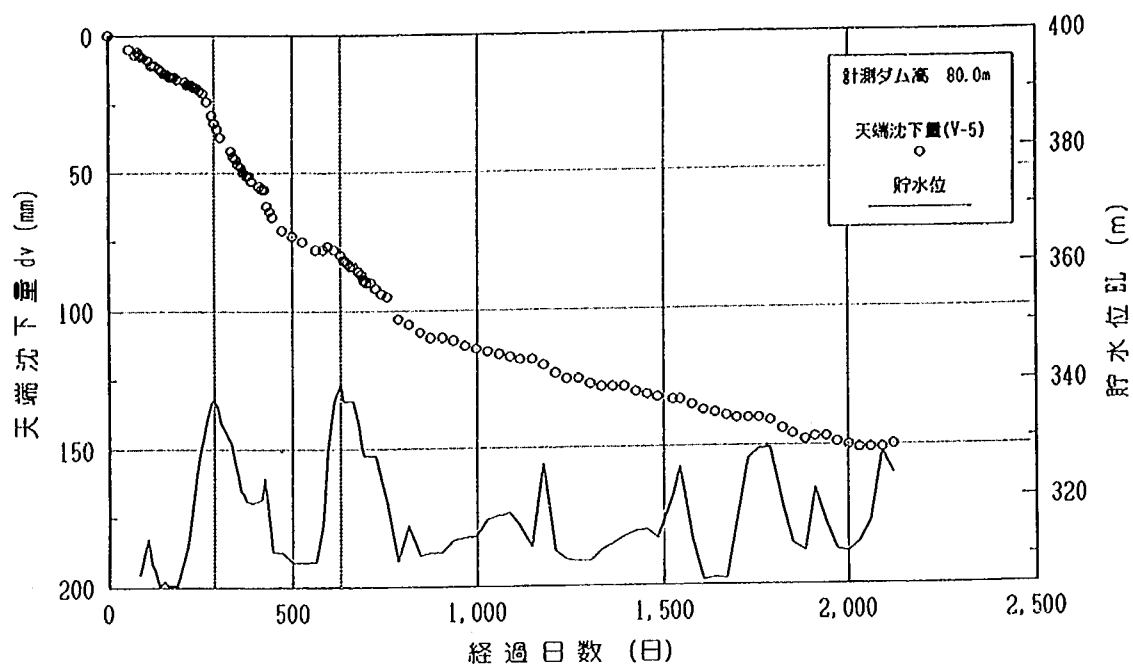


図-7 天端沈下量の経時変化

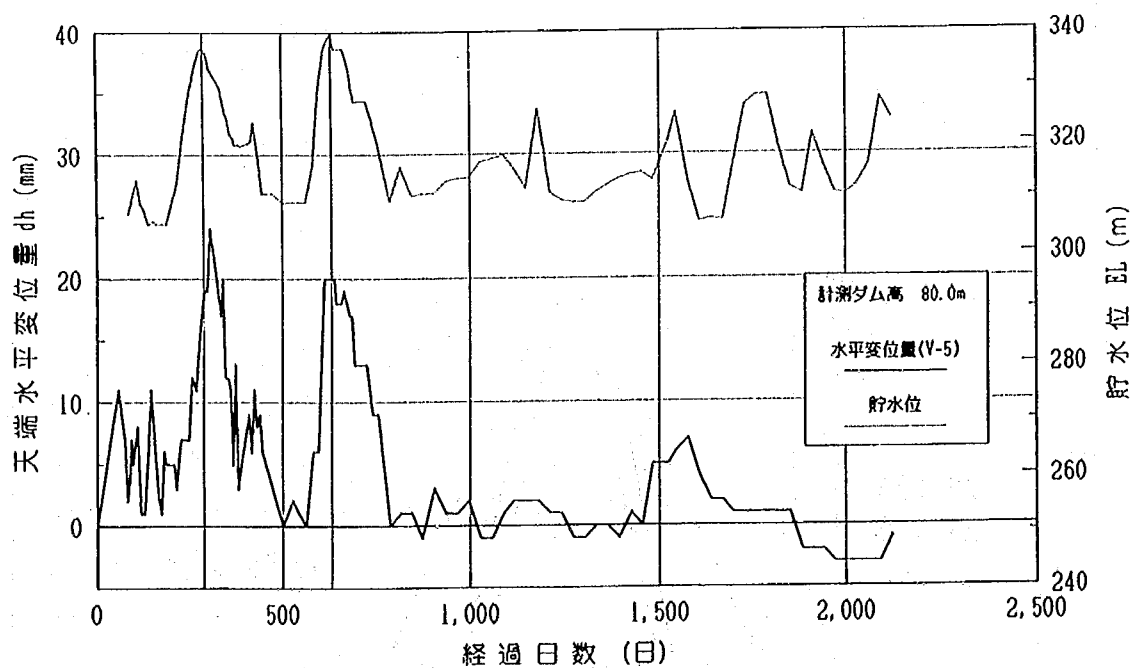


図-8 天端水平変位量の経時変化

(ツイルダム研究室)

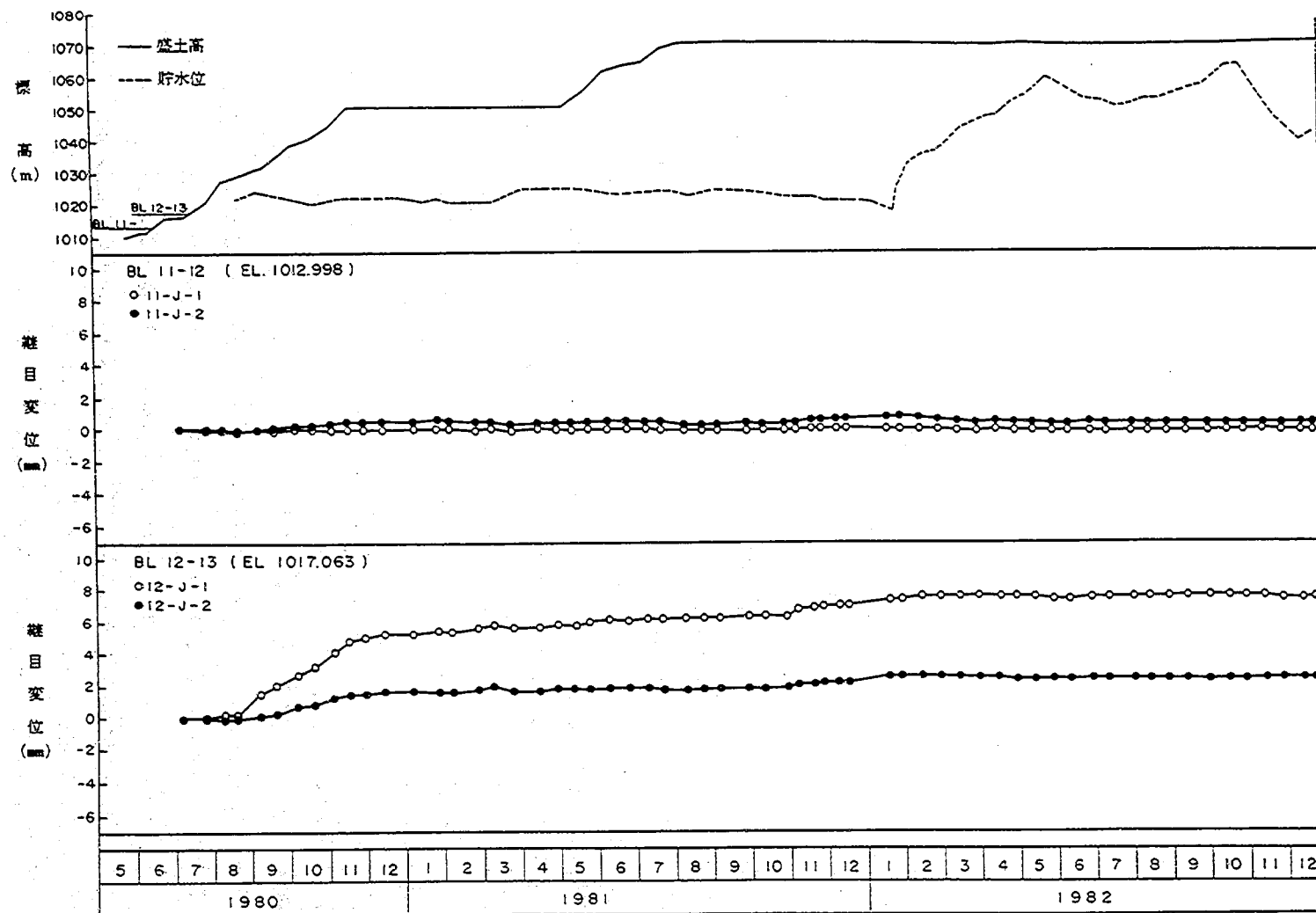


図-9 監査廊ジョイントの開きの経時変化

II-3 高堤高ダムにおける魚道設置の可能性

(質問)

近年、「ダム渓流魚道設置事業」等により、中・低堤高のダムについては、魚道の設置が進められております。今後、高堤高のダムについても、魚類等の水棲生物に対する配慮が重要になってくるものと思われませんが、高堤高ダムにおける魚道の設置について、技術的・設置効果等からの可能性について御教示願いたい。

(横川ダム工事事務所)

(回答)

戦後、堤高の高いダムが急増してきましたが、水産資源を対象として、放流種苗による現物補給や漁業権消滅に伴う補償方式が主流であったため、これら、高堤高ダムにおける魚道設置の例は極めて少ないのが現状です。

現在の日本における上下流水位差の大きい魚道を設置しているダムの例としては、星山ダム（宮崎県五ヶ瀬川 堤高25.2m 1942年竣工 主たる対象魚・鮎）の水位差25.6m、池田ダム（徳島県吉野川 堤高24.0m 1975年竣工 主たる対象魚・鮎）の水位差11.3m、二風谷ダム（北海道沙流川 堤高31.5m 建設中 主たる対象魚・サクラマス）の水位差17m、目保呂ダム（長崎県仁田川 堤高40.0m 建設中 主たる対象魚・鮎）の水位差14m等があげられます。このうち二風谷ダムの魚道は上流貯水池の水位変動が6.9mあり、既設の設備として最大の水位変動をもつ高瀬堰の3.5mの約2倍にあたることから、水路そのものを一部可動部とし、下流側を支点として上下に昇降することのできるスイングシュート式ゲートが採用されています。また、目保呂ダムでは貯水池の水位変動は4.3mですが、鮎の遡上時期を考慮して魚道ゲートの対応水位変動を2mとし、スイングシュート式ゲートを浮力で昇降させることで、無人化・無動力化したパワーシュート式ゲートを選定しています。

これらはいずれもプールタイプの階段式魚道ですが、この方式で水路勾配1/10程度を前提とするならば、魚種にもよりますが、なんらかの特別な工夫をしなければ遊泳力の面から見て水位差20～30m程度が限界ではないかと考えられます。高堤高ダムでは、ダムの上下流の水位差が数十mにもなり、プールタイプや水路タイプの魚道を設置する場合、魚類の遡上あるいは降下に適切な勾配を保つためには魚道の延長が非常に長くなります。また、高堤高ダムでは、洪水調節容量の確保あるいは用水補給により、ダム貯水池の水位変動が大きくなるのが一般的であり、魚道の上流端部にこれに対応する施設が必要となります。このため、魚道は大規模かつ複雑になるものと考えられ、今後解決しなければならない課題が数多くあります。

一方、これらの魚道が機能を発揮したとしても、高堤高ダムの上流には巨大な貯水

池があり、魚道を遡上した魚が貯水池の環境に順応できない可能性があります。魚類等の生態について明らかにされていない部分も多く、関連研究が急がれているところです。貯水池内での減耗や遡上の遅れが懸念される場合は、ダム下流に採捕式魚道を設置し、採捕して上流の河川または種苗施設へ運搬する方法も効果が大きいと思われます。椿山ダム（和歌山県日高川 堤高56.5m）では、この方式を採用しております。

高堤高ダムに対応する魚道としては、閘門（シャフト）タイプやフィッシュエレベータ、フィッシュリフト等が考えられ、外国においては実用化の例もあります。しかし、日本では昭和初期に小牧ダム（富山県庄川 堤高80m）にエレベータタイプが設けられ戦時中に撤去された例がある程度です。土木研究所におきましても、高堤高ダムに対応した効果的な魚道開発の必要性があると考えており、魚類等の遊泳力や水棲生物の生態等の研究や各種方式の魚道の水理特性の研究に鋭意取り組んでおりますが、今後の研究の成果が待たれます。また、どの方式の魚道にしても、効果を確認しつつ改良を加えながら、順次、高堤高ダムに設置していくことが必要と考えます。

ところで、魚道を設置することによる効果についても事前に良く検討しておくことが必要です。例えば、そのダムの下流、河口までの間にどのようなダムや堰があり、既に魚道が設置されているか、さらに、それらが魚類等の移動に効果的に機能しているか否かの実態を良く調査しなければ、魚道設置の効果を判断することはできません。

魚類の移動への障害を除去、軽減するという観点から、高堤高ダムへの魚道の適用の問題点を述べてきましたが、魚道の目的は、河川生態系の保護・育成を計ることにあります。これらのいずれに重点を置くかによって、魚道の計画、管理の視点が異なってきます。

河川の環境は洪水等により一時的に大きな変化を受けることがあったにしても、長い年月をかけて形成されてきたものであり、そのままにあるのが望ましいことが多いのですが、重要な目的を持ってダムや貯水池が作られる以上、ある程度の変化は許容しなければなりません。この場合、その上下流に残される水域の存在意義を十分認識し、仮にそれらが物理的に分断されるとしても、そこに新しい、好ましい生態環境を創造することを積極的に考える必要があります。「ダム渓流魚道設置事業」や「生態環境創造事業」も基本的にはこの考えに基づくものと思います。ダム水工研究室においてはこのような観点からの研究にも積極的に取り組む考えでおります。

なお、魚道についてのこれまでの知見と関連研究の成果をとりまとめた「魚道の設計」を（財）ダム水源地環境整備センターにおいて編集しておりますので参考にして頂きたいと思います。

（ダム水工研究室）

Ⅲ－１ 火山砂防計画の考え方

(質問)

雲仙岳の噴火に伴う災害を見る如く、火山災害は種類が多く規模も様々である。従来、火山対策としては、桜島に代表されるような火山地域に頻発して発生する土石流対策を指していたが、近年は範囲を広げ火砕流、泥流、溶岩流なども対象としている。

現時点での砂防としての火山対策はどこまで考えるのか。また、計画論と対策方法について御教示願いたい。

(立山砂防工事事務所)

(回答)

火山噴火に伴い発生する土砂災害は、通常の降雨や融雪による土砂災害とはその形態や規模が異なる場合が多い。

たとえば、土石流、泥流以外にも火砕流や溶岩流といったこれまで砂防計画の対象としてこなかった現象が発生する可能性があり、これらの現象を対象にした場合の計画規模は通常の砂防計画で扱う土砂量をはるかに上回ることが多い。加えて、個々の火山の生成過程、地形、地質条件によってその噴火、爆発の規模やパターンが著しく異なる。

このような様々な問題に対して現行の「河川・砂防技術基準(案)」、「土石流対策指針(案)」では十分対応できない点が多いため、火山砂防計画立案のうえでの基本的な方針を現在検討しているところである。

以下に、ハード、ソフト対策の対象となる現象と規模の設定手法、噴火に伴って発生する火山泥流、溶岩流、火砕流の対策工法、ソフト対策について概説する。

１．ハード・ソフト対策の対象となる現象・規模の設定

火山砂防事業は、火山地域及び噴火等により著しい土砂災害を受ける恐れのある

地域（以下火山砂防地域と呼ぶ）において、土砂災害を防止・軽減するため、砂防施設の整備と警戒避難体制等の整備支援などを併せた総合的な施策として実施するものである。

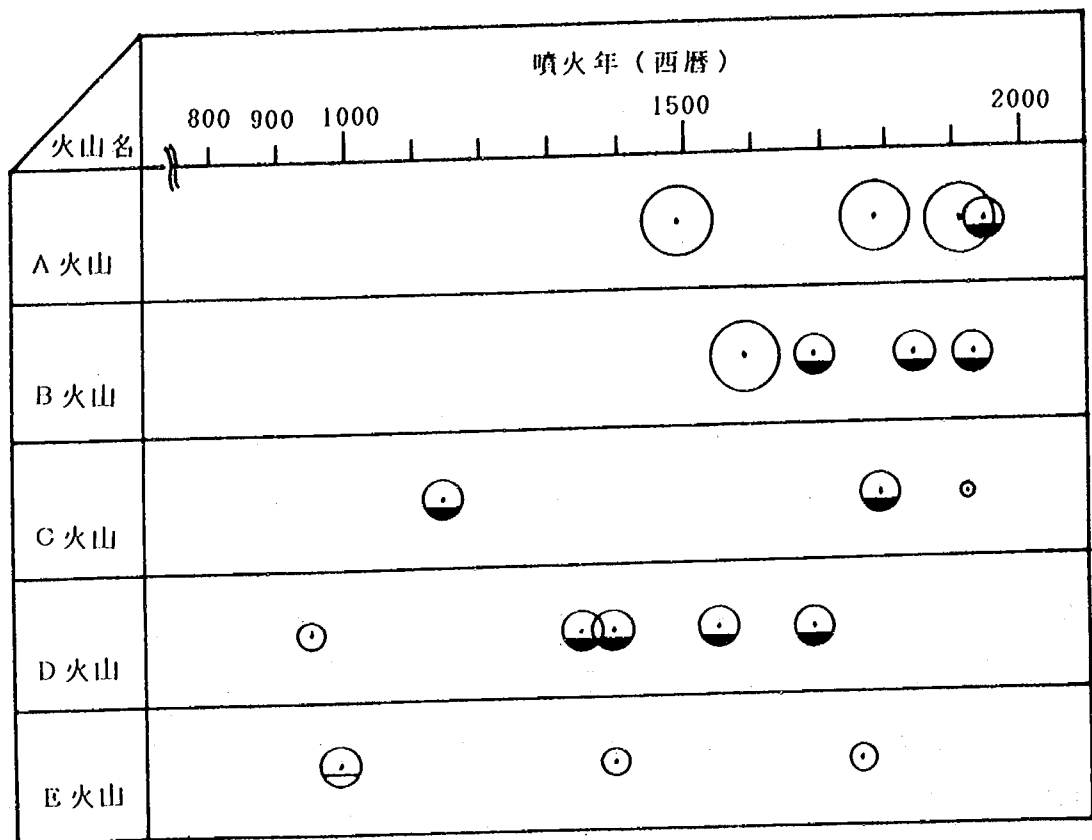
火山砂防事業を効果的かつ経済的に実施していくうえでのベースとなる火山砂防計画は、火山砂防地域において降雨等によって火山噴出物が侵食されて発生する土石流等の土砂流出に対する計画（以下、降雨対応火山砂防計画と呼ぶ）、ならびに噴火時に発生する火山泥流等の流出に対する計画（以下、噴火対応火山砂防計画と呼ぶ）からなる。

降雨対応火山砂防計画は全ての火山地域において策定する。一方、噴火対応火山砂防計画は過去200年程度以内に噴火活動があった火山、あるいは現在の活動状況、徴候、噴火の履歴等からみて、近い将来活動期に入ることが予想される火山を対象として策定する。これは、国内の代表的な火山の噴火の発生時期と噴出量の関係を調べてみると100～数100年の間隔で大規模な噴火が生じていることによるためである（図-1）。

降雨対応火山砂防計画においてハードならびにソフト対策の対象となる土砂移動現象は、降雨によって過去の火山噴出物が侵食されて発生する土石流等である。

火山砂防地域は、山体の形成年代が若く、火山活動の影響により地盤は非常に脆弱であり、他の山地と比べて降雨等による侵食がはるかに著しいことから、砂防計画で取り扱う土砂量も膨大となる。また火山砂防地域では、噴火に伴う膨大な量の火山灰の噴出や火砕流の発生により、急速に不安定土砂の量や分布状況が変化したり、恒常的な火山ガスの放出・拡散などのによって広域的に植生が破壊されて荒廃地化し、その後の降雨によって土砂の生産・流出が活発化する事例が極めて多い。さらに、火山性地震などによって山腹に崩壊が発生したり、山体に亀裂が発生するなどの原因によって不安定土砂量が増大することもある。

但し、こうした火山砂防地域での降雨によって発生する土石流等と非火山地域のそれらとは、運動機構の面で特に差が認められない。さらに、これらの現象につい



 ... $1 \sim 10 \text{ km}^3$
  ... $0.1 \sim 1 \text{ km}^3$
  ... $0.01 \sim 0.1 \text{ km}^3$
  ... $0.001 \sim 0.01 \text{ km}^3$

噴出量（円の大きさは噴出量の大小、円の中心は噴火年を各々表す）

図 - 1 火山噴火の発生頻度と噴出量（国内の事例）

での調査・研究もある程度進んでおり、施設配置計画やハザードマップの検討も可能である。そのため、これら土石流等のハード対策の計画規模は、基本的に「建設省河川砂防技術基準（案）」あるいは「土石流対策技術指針（案）」に準じて設定する。但し、「噴火対応火山砂防計画」を併せて策定する必要がある火山砂防地域では、火山活動等の影響により土砂の生産・流出に著しい変化が予想される場合、適切な調査を随時実施して、土砂移動現象の種類とその規模を設定しなければならない。

一方、噴火対応火山砂防計画においてハードならびにソフト対策の対象となる土砂移動現象は、特殊な条件で起こる火山泥流、溶岩流、火砕流であり、各火山ごとにおいて過去に発生した噴火時の土砂移動実績により設定する。ここで、特殊な条件で起こる火山泥流とは、降雨に起因して発生する火山泥流よりもはるかに規模が大きくなると推定される火山泥流のことであり、具体的には積雪が融解して発生する火山泥流（たとえば大正15年の十勝岳における火山泥流）、火口湖の水が噴出して発生する火山泥流（たとえばインドネシアのクルー火山でのラハール）等のことをいう。

噴出時の土砂移動現象のうち、山体崩壊、ベースサージについては、運動機構が不明であるとともに現象の発生の予測手法が確立されていない。さらに現状ではそれらの現象による被害想定も困難であり、有効な対策工法も十分には開発されていないため、噴火対応火山砂防計画策定の対象としない。

噴火対応火山砂防計画の計画規模としては、基本的に過去200年程度の間に発生した各現象ごとの最大量を採用する。過去200年程度の間にこれらの現象が発生していない場合、あるいは近い将来予想される噴火時の各現象ごとの量が過去200年程度の量を上回る場合はこの量を計画規模とする。これらの量は、対象とする火山の噴火特性を考慮して、各火山ごとに設定する。なお、計画規模の設定基準点については、溶岩流、火砕流は想定される火口、火山泥流は泥流の総量が最大となる地点、ならびに保全対象地区の直上流地点でそれぞれ定めるものとする。

一方、ソフト対策の計画規模については「降雨対応火山砂防計画」、「噴火対応火山砂防計画」のいずれにおいても過去の土砂移動実績図をもとに原則として有史以来発生した現象の最大規模を採用する。

2. 火山泥流、溶岩流、火砕流に対するハード対策

2.1 火山泥流に対するハード対策

火山泥流対策として、土砂等の生産抑制、流出抑制、導流等の機能を有する砂防施設の組み合わせが効果的である。

火山泥流の生産抑制工としては山腹工・砂防ダム等がある。流出抑制工として砂防ダム・遊砂地等、導流工として流路工・導流堤等のほか、流木対策工として流木止めがある。

それぞれの施設の概要を以下に示す。

1) 山腹工……山腹斜面や溪岸火山泥流の発達を抑制するために計画する。

おもな工種は土留工、植生工等である。

2) 砂防ダム・砂防ダムはその機能によって①泥流発達防止、②貯砂、③泥流流出抑制、④巨礫捕捉に分類される。

①泥流発達防止のためのダム

火山泥流の発達・流下区間等において砂防ダム（床固工）群を計画し、泥流の発達を抑える。

②貯砂のためのダム

火山泥流の流下・堆積区間等において砂防ダムを計画し、流出土砂量を減少させる。また、泥流を貯留することによってその流出を遅らせる。通常の出水で堆砂している場合は、計画的に除石しその容量を回復させておく必要がある。

③泥流流出抑制のためのダム

火山泥流の流下区間において、流路の幅を狭くして人工的に狭窄部等

を作り（開口部の大きなスリットダム等）、泥流のピーク流量を減少させる。

④巨礫捕捉のためのダム

火山泥流には多くの巨礫が含まれている場合もあり、このため下流域の被害を大きくする他、火山泥流対策の構造物に被害を与える可能性がある。そこで底面スクリーンダムやスリットダム等によって火山泥流中の巨礫を捕捉する。

- 3) 流路工……火山泥流を安全に流下させる施設である。このため計画対象量の火山泥流に対して十分な断面を確保する必要がある。通常の出水に対する流路を内に準備するような構造とする。原則として掘込み構造とするが、必要に応じて築堤構造とすることができる。
- 4) 導流堤……導流堤は、火山泥流を安全に導流できるよう計画する。また、越流しても容易に破壊されない構造とする。
- 5) 遊砂地……火山泥流の堆積・氾濫区間において火山泥流を貯留するために設ける施設であり、できうる限り先行的に確保することが望ましい。最下流には床固工を設け、原則として掘り込み構造とする。築堤の場合、越流により破壊されない構造とする。
- 6) 流木止め…火山泥流に多くの流木が含まれ、被害を大きくすることがある。火山泥流発生に伴い、流木の発生が予想される場合は、流木止めを設置する。（「流木対策指針（案）」を参照）

これらの施設配置の概念図を図－2に示す。さらに緊急時には火山活動の状況に応じ、これらの基本的な対策施設に付加して、火山泥流を安全に導流するための緊急堤の施工や砂防ダムの除石工などを行う必要がある。

2.2 溶岩流に対するハード対策

溶岩流対策として溶岩流の流出抑制、導流等の機能を有する砂防施設を組み合わせ

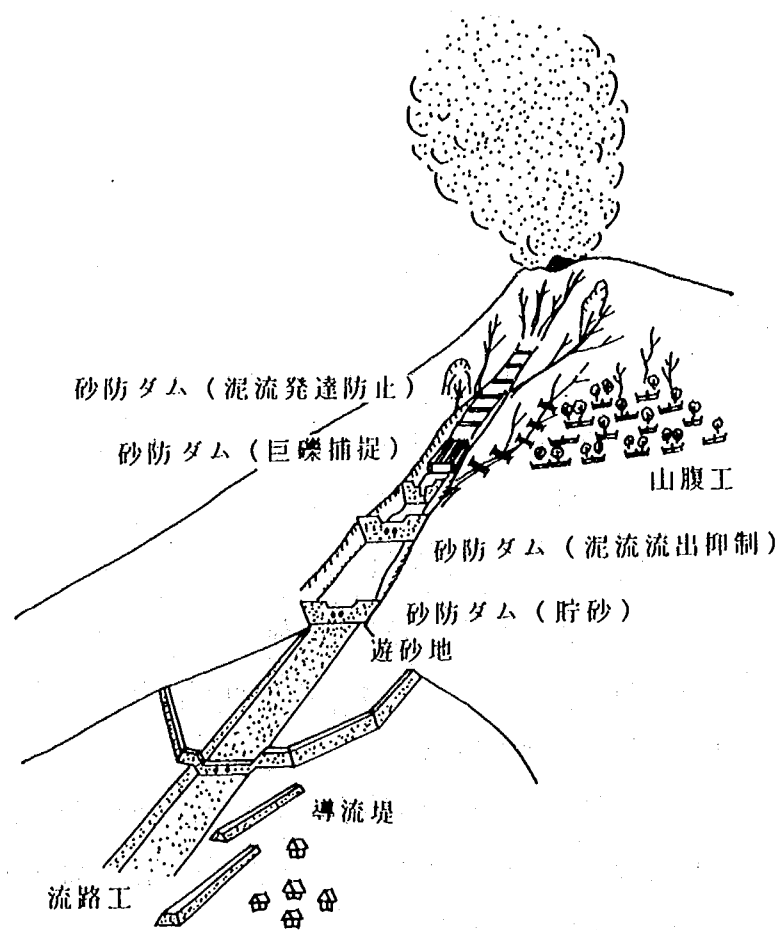


図-2 火山泥流対策施設の配置に関する概念図

せて施工する必要がある。

溶岩流の流出抑制工には砂防ダムがある。また、溶岩流の導流工には流路工、導流堤、輪中堤等がある。

これらの工種の概要を以下に示す。

- 1) 砂防ダム……砂防ダムはその機能によって①溶岩貯留、②溶岩流出抑制に分類される。

①溶岩貯留のためのダム

溶岩を貯留することによってその流出量を減少させる。また流向の制御のために用いることもある。

このような砂防ダムは、溶岩の流下経路にあたる溪流に設ける。ただし、土石流などによりダムが破壊されないような構造とする。

また、このダムは土石流対策ダム、火山泥流対策の砂防ダムとしても併用できる。

②溶岩流出抑制のためのダム

本ダムは、その貯水域で溶岩流を制御することを目的とする。すなわち、貯水池 内の水で溶岩を冷却し流下速度を減じ、到達範囲を減少させる。また、溶岩流阻止活動時の注水の水源地として利用することもできる。

ダム越流時に流向が変化する可能性を考慮して周囲に流路または導流堤を設ける。

但し、上流域から火山泥流等の流入が予想される場所では、貯水池の水が火山泥流等の規模を大きくする危険があるので、このような場所には原則的に施工しないものとする。

- 2) 流路工……流路工は溶岩流を安全な地点まで流下させるために十分な断面を確保する。通常の出水に対する水路を常水路として確保し、高水敷きに相当する部分は溶岩流出時に支障にならない範囲で多目的に利用してよい。原則として堀込み構造とするが、必要に応じて築堤構造とする。

3) 導流堤……溶岩流の流向の制御を目的とする。

溶岩流は、一般的に温度が非常に高いため、高熱にも耐えられるような材料からなる構造とする。

溶岩導流堤は、火山泥流対策の導流堤を兼ねることができる。ただし、その場合は火山泥流によって破壊されない構造とする。

4) 輪中堤……溶岩流の発生箇所、流下範囲が特定できない場合は、保全対象の周囲を堤防で囲むものとする。

導流堤と同様に、溶岩流の高熱にも耐えられるような材料からなる構造とする。

これらの施設配置の概念図を図-3に示す。さらに緊急時には、火山活動の状況に応じ、これらの基本的な対策施設に付加して、溶岩流を安全に導流するための緊急堤や新たな流路をつくるための掘削路を施工する必要がある(図-4)。

緊急堤は、溶岩流の流下・堆積に伴う地形変化によって、溶岩流の氾濫が予想される場合に、最も効果的な位置に緊急に施工するものとし、その高さ、長さは、溶岩流の流出・堆積状況や、保全対象の位置等を調査して決定する。

溶岩流導流のための流路の掘削は、溶岩流の流下・堆積に伴う流下方向の変化や、既設の流路工の機能の減少等が予想される場合に実施するものとし、その流路の法線、延長、横断構造等は、溶岩流の流出・堆積状況や、保全対象の位置等を調査して決定する。

2.3 火砕流に対するハード対策¹⁾

これまでに具体的な火砕流対策の事例は全くないが流動の実態、堆積状況等から小型の火砕流(たとえば現在、雲仙普賢岳で発生しているような溶岩円頂丘の小規模な崩壊によって発生する火砕流(写真-1))に対しては火山泥流対策の工法を準用することである程度、対策が可能であると思われる。これは、小規模の火砕流の流下速度は火山泥流とそれと同等、あるいは少し大きめで10~30m/sec程度であり、

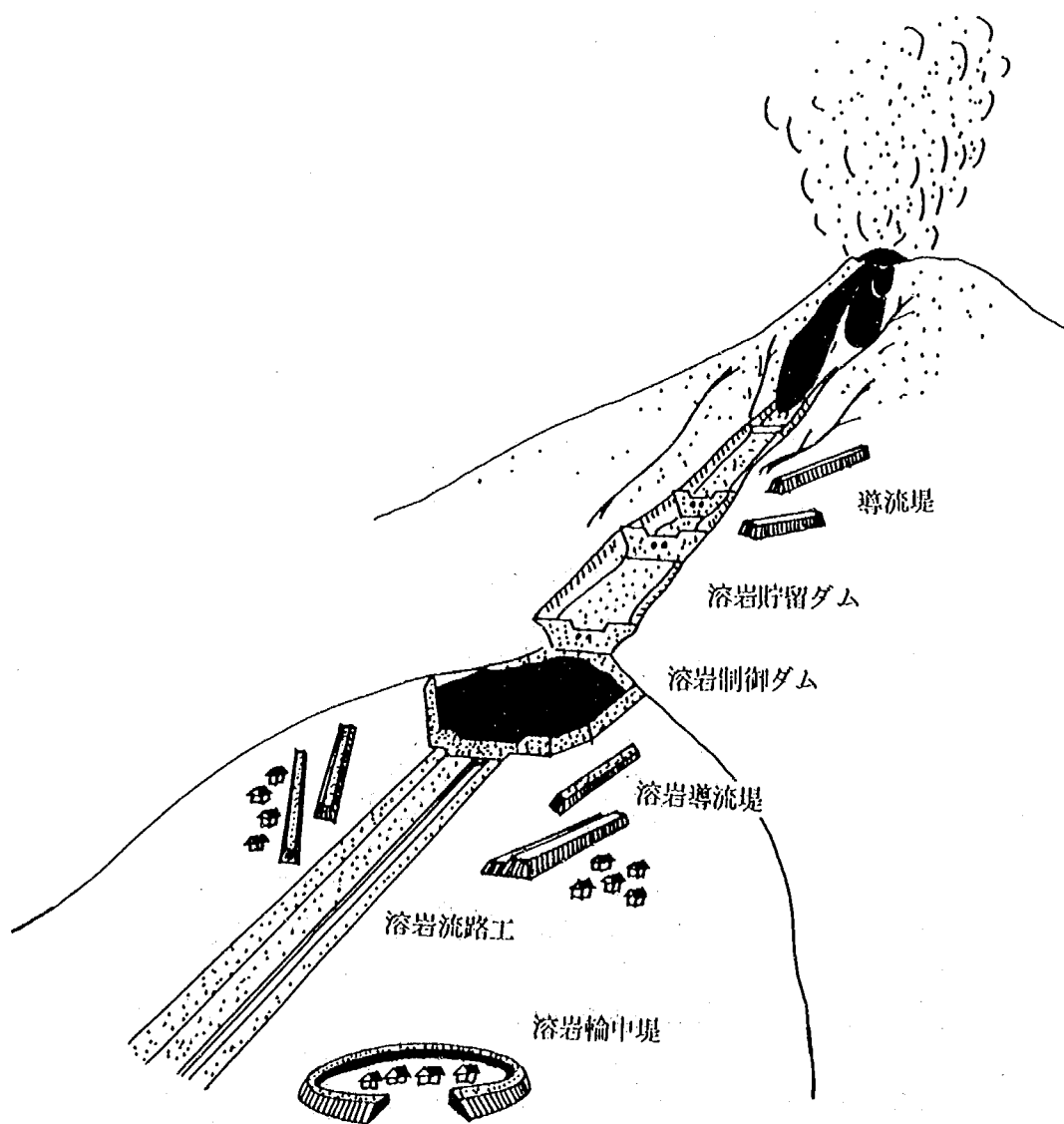


図-3 溶岩流対策施設の配置に関する概念図

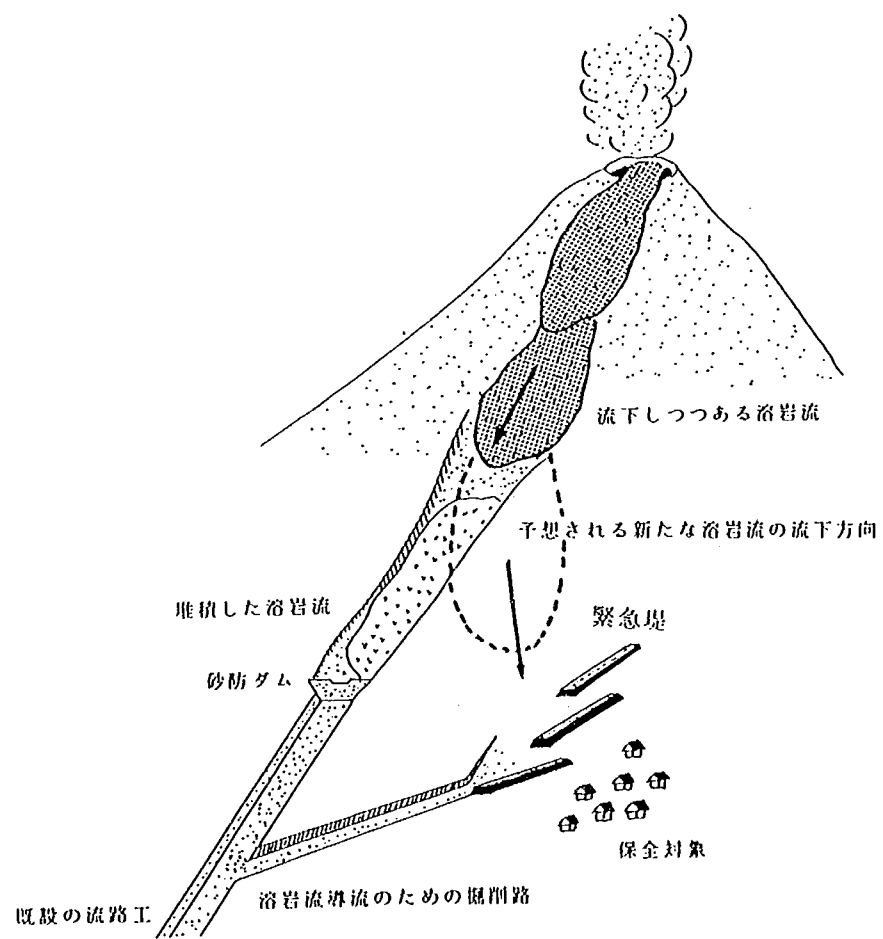
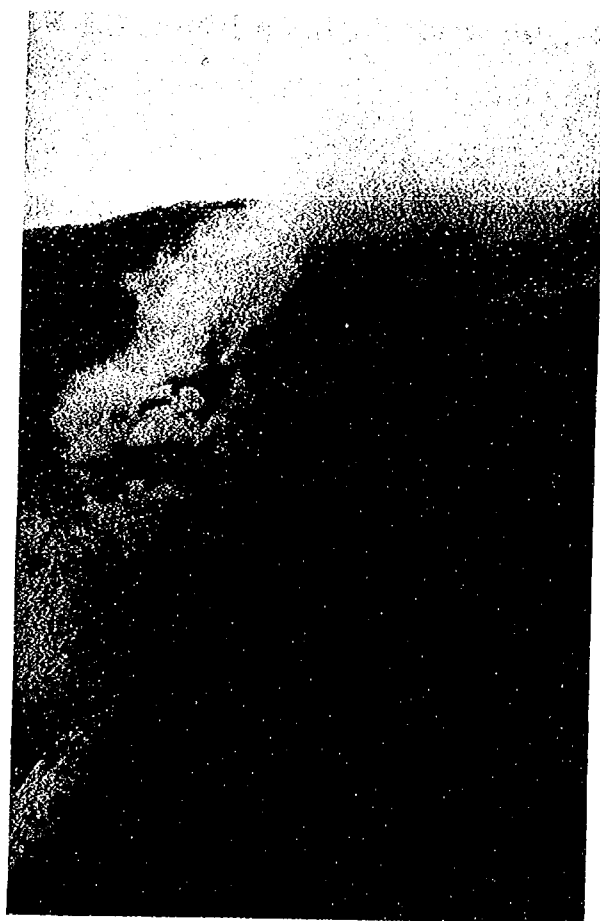


図-4 緊急堤、掘削路の施工



写真－１ 雲仙普賢岳で発生した小規模な火砕流
(1991・6・8発生)

斜面勾配に応じて加速、減速するとともに谷地形に規制されて流下することが多いためである。

地学的タイムスケールで発生するような大規模な火砕流については、流下速度が100m/secを超えるものが多いこと、流動層が100m以上にも及ぶため谷地形に規制されず流下すること、火口から100km以上も流下する場合もあること等から現段階では対応可能なハード対策工法の開発は困難である。そのため、このような大規模な火砕流はハード対策の対象としない。

ハード対策の対象とするような小規模な火砕流の構造は、粗い粒子からなる重力流動の部分（下層）ならびに下層の表面と上部の気体との間のせん断に起因する気体の乱れによって浮遊させられた微細粒子と気体からなる固・気混相流の部分（上層）によって特徴づけられる（図-5）。

以下に火砕流の下層、上層部ごとに対策工法の基本的な考え方を示す。

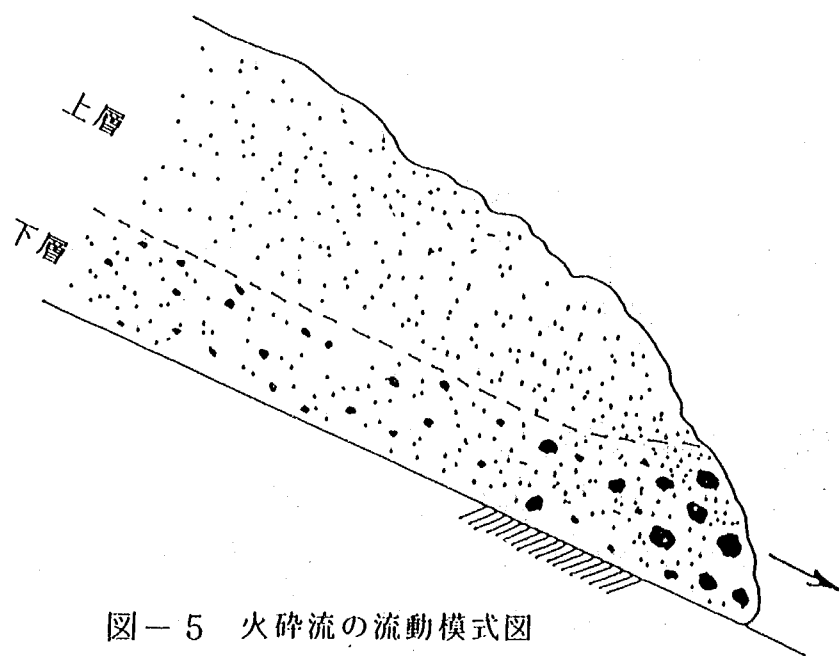
（1）火砕流下層部の対策施設の基本的な考え方

下層部の流動は高温の土砂の重力流動としての力学的特性を示す。この土砂の流れは濃度も高く勾配が緩くなると停止するようになる。従って、下層部に対してはダム工（オープンダムを含む）や導流堤などの施設が有効に働くものと思われる。但し、下層部の上を流れている上層部（ダストストーム）はそれらを比較的容易にのりこえ、下層と違った方向に流下してしまうことが予想される。

また、流下斜面にルーズな堆積物が存在すると堆積層の石礫と火砕流中の土砂と交換を生じ、その際、堆積層中の水分を急速に蒸発・膨張させ、あるいは、堆積層中の冷たい気体を膨張させ、下層部の流動を助け、上層部をより大きく発達させる原因となる。このような場合、下層部の運動をなるべく早く停止させることが肝要であるが、そのためには火砕流による侵食を防止するための施設をそのような堆積層上に施工する必要がある。

（2）火砕流上層部の対策施設の基本的な考え方

火砕流の上層部は高温の気体の乱れが微細土砂の粒子を浮遊させながら流下して



図－5 火砕流の流動模式図

いくものと考えられる。従って、下層部対策のような工法では上層部がそれらの施設を容易に越流してしまうため有効ではない。たとえば小さな入り江程度であれば火砕流の上層部は海を渡ることもある。火砕流の上層部の停止は、浮遊している微細な土砂が沈降することによって達成されるのでいかにして粒子を沈降させるか、いかにして気体の乱れをおさえ乱れエネルギーを散逸させるかが問題となる。

気体の乱れをおさえるには、乱れのスケールを小さくするような施設を設けるのが最も効果的である。

対象とする現象は異なるが、砂防林や防雪林は気体の乱れにより浮遊している細砂や雪から民家、道路や鉄道を同等の効果で堆積させることによって守ろうとするものである。従って、火砕流の上層部についてもこれらと同じようにネット工や樹林帯を設けて乱れエネルギーを減少させ、浮遊している粒子を沈降させることによって火砕流上層部を停止させることができるような施設が有効である。ある程度の広さをもった緩衝帯の利用も考えられる。

さらに緊急時には火山活動の状況に応じ、これらの基本的な対策施設に付加して、火砕流を安全に導流するための緊急堤の施工や掘削工などを行う必要がある。

但し、これらの施設の設計方法については、今後、調査・研究を行い具体的な手法を確立していく必要がある。

3. ソフト対策計画

降雨対応火山砂防計画で対象とする現象は、1で述べたように降雨等によって火山噴出物が侵食されて発生する土石流等の土砂流出である。そのため、これまで一般の山地で実施されてきたような基準雨量設定に基づく警戒避難体制と同じ内容で特に問題はないものと思われる。但し、火山活動によって流域の不安定土砂の量や質が変化する場合もあるので、常に火山活動に伴う不安定土砂の量と分布の変化、流域の土砂収支に影響を及ぼす植生の分布の変化、亀裂の発生等を監視し、これら

の結果に基づいて新たな流域の土砂環境に合うように基準雨量の見直しを随時行う必要がある。

噴火対応火山砂防計画におけるソフト対策計画には火山泥流、火砕流、溶岩流の発生・流動監視や危険地域の周知、防災体制の整備などにより災害を軽減するための対策が含まれる。

警戒避難体制の整備・強化のためには、災害実績図、ならびに、計画の対象とする噴火現象の規模に対応した現在の地形条件下での土砂移動過程や影響範囲等を現象毎に想定し図示した災害予想区域図の作成と、地元自治体への提供があげられる。さらに、工事中の安全を確保するとともに関係市町村の警戒避難体制に情報を提供できるよう、土砂移動現象の監視装置を設定する必要がある。

また、適切な避難場所がない場合は避難のための高台を確保する。さらに、これらの避難場所に安全かつ時間内に到達できるように他事業と十分調整したうえで避難路の確保を図る。

一方、火山活動のモニタリングによって土砂移動現象の規模や流下経路の変化に関係する情報を収集し、監視機器の整備・点検、監視装置の緊急配備、情報伝達経路の確認を随時行う必要がある。さらに、火山活動、噴火場所、噴火様式、噴火量、積雪量、既に流出した溶岩の堆積による地形の起伏の変化、溶岩円頂丘の発達状況等に合わせたシミュレーション計算を行って被害区域を再検討し、緊急対策、避難場所を検討し、必要に応じて適切な対策を講じることが重要となる。

参考文献

- 1) 石川芳治、山田孝、矢島重美、水山高久：(1991)、火砕流の流動機構と数値シミュレーションならびに対策工に関する研究、土木研究所資料 第3005号
(砂防研究室)

Ⅲ-2 砂防設備に魚道を設ける場合の設置手法

(質問)

近年砂防設備においても化粧型枠、玉石等を使い自然景観に配慮した構造となるよう施工を行ってきているところであるが、溪流に生息する魚類に対しても魚道を設ける等の対策も必要と思われる。魚道を設けるにあたっては、魚の遡上できる流速、休息場、満砂するまで（施工暗渠により天端を常時水が流れるとは限らない）の対策等、考慮しなければならない問題が数多くあると思われる。構造、設置方法について御教示願いたい。

(松本砂防工事事務所)

(回答)

はじめに

近年のアウトドアライフの指向、余暇時間の増大等により、我々にとって身近な溪流環境に関心が集まりつつある。こうした溪流に砂防設備を設置すると溪流環境が変化し魚にも影響を与える。これまで必要に応じて砂防設備には魚道が設置されてきたが、現在かつてないほど魚道に対し関心が高まっている。ここでは土木研究所で実施した砂防における魚道の実態調査の結果を中心に、砂防設備に魚道を計画する際の留意点を述べる。

1. 実態調査の概要

全国の直轄砂防関係工事事務所を対象に砂防設備に設けられた魚道についてアンケート調査を実施したが、回答のあった施設数は142件である。調査結果の詳細については砂防研究室でとりまとめた報告書¹⁾を参考にして頂きたい。ここでは概要を述べる。

魚道の種類は、一般に以下のようなものがある。

- | | | |
|--------|---------|-------------------|
| ・平面式魚道 | } 水路式魚道 | ・掬上式魚道（エレベーター式魚道） |
| ・導壁式魚道 | | ・閘門式魚道（ロックゲート式魚道） |
| ・階段式魚道 | | ・特殊魚道 |

これらの魚道のうち、全国の砂防設備における魚道の実態調査結果から砂防施設に

取り付けられている魚道の約93%は階段式魚道であった。また魚道に対する満足度との対比から、魚道の構造に関し検討を行った。今回の実態調査において特に満足度は魚道の勾配及び各プールの落差に大きく影響され、勾配が1/10以上の急勾配及びプールの落差が50cm以上になると満足度が小さくなる傾向が認められた。

実態調査結果から既存の魚道の概要及び今後の検討課題の項目がある程度明らかとなった。ただし、良い悪いの効果の判断は主観的なものであり、具体的な調査データに基づいているものは少ないことが問題点としてあげられる。

アンケート調査による魚道の問題点としては

- ①魚道の勾配が急である
- ②魚が魚道登り口に集まりにくい
- ③流量が少ない
- ④魚道登り口が河床低下のため浮いてしまう
- ⑤魚道が土砂により埋没する

等が挙げられた。従って今後の検討項目としてはこれらの項目を解決する対策を立てることである。

- ①魚の疲労が少なく、遡上できる魚道
- ②魚道登り口のふかみを常時確保する方法
- ③滞筋の確保のための容易な対策
- ④魚道の登り口での河床低下対策
- ⑤魚道の簡便な維持管理法
- ⑥土砂の流下、流木の流入対策
- ⑦摩耗に強い材料

等の検討を行い、魚道の構造と魚類の遡上、生態との関係の調査が必要である。

2. 砂防における魚道の設計

1. では実態調査の概要を述べてきたが、ここでは実態調査結果及び既往文献2)～5)より砂防における魚道の設計のあり方をとりまとめる。

2.1 魚道の設計手順

一般に魚道の設計は①対象魚種の選定、②基本的設計条件の設定、③位置の選定、④形式の選定、⑤内部構造の設計、⑥付属施設の設計の順に行う。まず、魚道設置の対象となる魚種を選定し、その魚類の生態または適応能力に応じて上記の②～④の外部的な条件、⑤の内部的な条件を設定する。ここで基本的設計条件の設定では①対象魚種の特性と遊泳力、および②対象期間の水力条件の二つが主要なものである。

2.2 溪流における魚道の構造

ここでは表-1に溪流での魚道という視点で必要な構造等を既往文献^{2), 4)}よりとりまとめた。また質問にある魚道内の流速は、対象魚類を明確にし、その遊泳力以下とする必要がある。魚道内の流速は魚道の設計上最も重要なものの1つであり、小山^{4), 5)}はアユの遊泳速度等の実験からアユをはじめウグイ、オイカワ等を対象とする魚道の通水速度は40~60cm/secが適切であるとしている。またサケ・マス用の場合は上記の数値の1.5倍が目安となるとしている。表-2に示すとおりアユについては研究が盛んであるが、イワナ、ヤマメなどの溪流魚については良く分かっていない。

表-2 魚種と遊泳力^{4), 5)}

(小山 1981~1983)

魚 種	体長 (cm)	突進流速 (cm/s)	巡航流速 (cm/s)	文 献
ア ユ	0.5~0.6	3~7	—	小山ら (1965)
	4~5	50~70	5~10	小山 (1978)
	5~9	100~120	40~60	
ヒメマス	25~35	180~230	—	小山ら (1965)
ニジマス	15~40	170~200	40~100	小山ら (1969)
サクラマス	10(?)	—	(40~50)	小宮山ら (1981)
ア マ ゴ	1年魚	240	70~140	国土開発 (1982)*
	2年魚	320		
イ ワ ナ	10	—	(20)	小宮山ら (1981)
シロサケ	65	500	—	佐藤 (1980)*
ウグイ	7~10	100	—	小山 (1967)
オイカワ	7.5~9.5	100	—	小山 (1967)
シラウオ	~8	40	—	遊佐ら (1980)
ウ ナ ギ	シラス	—	40	国土開発 (1982)*
	7~15	60~90	—	佐藤 (1980)*
	15~30	90~150	—	

注：カッコ内数字は、定位遊泳のときの流速である。 *：これら文献より孫引。

表一 1 砂防設備の魚道の必要な構造等

構 造 等	内 容
① 呼 び 水	魚類を魚道の入口に効率よく導くための水で、流れに対する魚の正の走性を利用したもの。効果は十分確認されている。中央呼び水水路・側方呼び水水路・パイプ呼び水水路等がある。なお、特殊な構造がなくとも、小山 ⁵⁾ ・妹尾ら ⁷⁾ が指摘するように、河川構造物直下に入口を設けることで、魚道からの流水で、同様の効果が期待できる。 また、生態のよく解っているアユでは、同様の効果をねらったものとして誘導堤、音、電気スクリーン等が考えられているが、渓流魚でも今後検討を要する。
② 位 置	魚道の最重要事項で、小山 ⁶⁾ が指摘する ①ミオ筋側に設ける ②堰の構造・水理特性を生かし、魚が自然に集合する場に設ける が渓流魚に対しても有効であるが、ダム堆砂状況への対応できるものとすべき。
③ 幅 員	広いほど有利という見方もあるが、実際は本体の大きさ、許容放水量の制約を受ける。一般には本体の4～5%といわれるが、渓流域ではこの値は小さすぎ、事例では効果が損なわれている場合もある。サケ・マス類を対象とした北海道水産部魚道設計指針の2.5m程度は確保することが望ましい ⁶⁾ 。
④ 勾配・プール長 (隔壁間距離)	魚道の勾配は、アユを対象とした場合は最大1/10 ⁶⁾ 、サケ・マス類については1/6～1/10 ⁶⁾ 程度が適正とされている。渓流魚の場合、アユ用魚道に準ずる形で設置されているが、緩勾配は満足度が高いという結果が得られている。魚類生態を考えると、遊泳速度とジャンプ力が問題で、プール長と隔壁間高差が重要。 プール長は休息の場の確保、魚が忌う乱流区域の減少という観点から、長いプール長を流量に応じて設定する必要がある。
⑤ 隔壁間高低差	「魚を疲労させない」という観点から、アユ魚道で30cm ⁶⁾ 、サケ・マス魚道では50cm以内 ⁶⁾ とされている。今後、渓流魚の生態に基づいた設定が必要。
⑥ 隔壁構造 (切欠・潜孔)	切欠は隔壁の越流流速に変化を生じさせ、魚類の選好流速に応じた遡上を可能とし、渇水期にも有利。流量調整ができない渓流域の魚道では必要な構造であり、満足度が高い。遡上効率が良い ⁷⁾ といったプラス面の報告が多い。潜孔は底生魚の遡上、低水時の遡上、洪水時の土砂洪き等の効果が期待でき、渓流域では効果が大きい
⑦ 通 水	対象とする魚類の生態を考慮し、適正な流速・水深の確保が必要。
⑧ 構造物の維持 ・管理	出水時における魚道及び砂防施設自体の安全確保が前提条件であるが、魚道内および周辺に土石・流木等が堆積し、機能が損なわれている例が多い ⁹⁾ 。土石が堆積しにくい構造を考えるとともに、維持・管理の主体・方法等基本的なルールの確立が重要。

また質問にある休息場であるが残念ながら現在のところほとんど未解明である。ただし魚道の延長の長い場合や魚道の落差が大きく連続的に続く場合などは魚にとっても遡上することが激務となるため一服場所が必要である。階段式魚道の所々に休息場として断面を大きく（特に水深を深く）とることが必要である。また魚道内の流速が早い場合は阻柱等を設け流速を低減させ休息場とすることも考えられる。

さらに砂防ダムの魚道でやっかいなのは砂防ダムの堆砂とともに堆砂面が変動していくことで、魚道の設置にあたっては図-1のように出口を複数個設置することが考えられる。魚道の出口は出水毎に閉塞しないように堆砂地のみお筋に留意する必要がある。魚道出口には土砂、流木が閉塞しやすいためこれらの管理が必要である。また当初より水抜きを閉塞させ、貯水させることも考えられる。

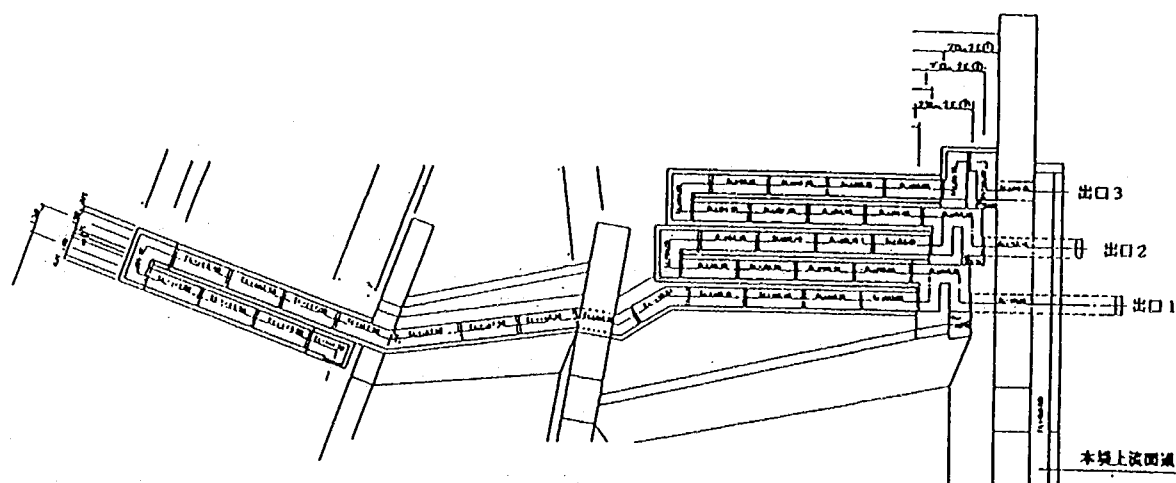


図-1 出口を複数個持った魚道¹⁾

今回土木研究所で実施した砂防設備の魚道実態調査において砂防設備の大半は床固工であり、砂防ダムへの設置例は少ない。砂防ダムのように落差が大きいと階段式魚道にするとかなり魚道の延長が必要である。このためオープンタイプの砂防ダムを魚道として検討することが考えられ、土砂対策の機能上好ましいスリット幅と、魚道として望ましいスリット幅を両面より検討する必要がある（図-2）。この場合スリットが閉塞しないよう維持管理も必要である。ただし、オープンタイプの砂防ダムでは洪水後半に土砂が多く流下するので人家直上流や流路工の直上流等には不適當である。さらに魚道以外にも、魚の採捕（インディアン水車など）、上流へ

の移送で魚類の移動を可能とした例（日高川、椿山ダム⁵⁾）等も参考となる。なお砂防ダム群により魚類を分断するのがやむを得ない場合でも砂防ダム間で魚類の生息が行われる生息環境づくり（瀬と淵の保全・創出等）は必要である。

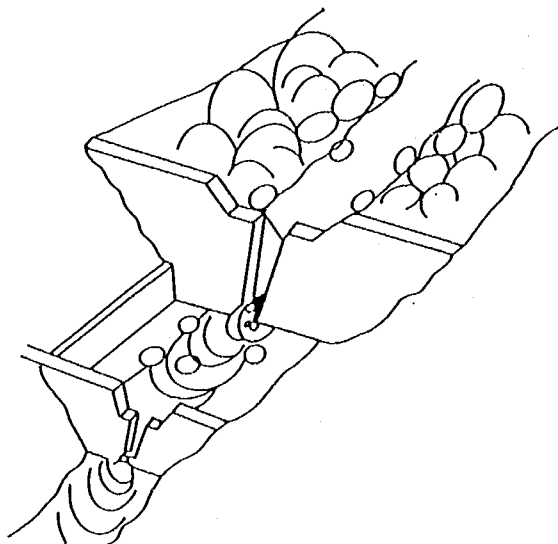


図-2 透過型ダムの検討

3. 留意点および新しい魚道のアイデアの提案

1. 2. で述べた実態調査の結果および既往文献等を参考に新しい魚道のあり方を提案する。

(1) 全断面魚道（多段落差工）の設置

魚道の登り口についてはできるだけ大きい空間を確保するのが望ましいことから、川幅全面にわたって魚道を作る例（全断面魚道と呼ばれる）も最近では少なくない。今後砂防にとって望ましい魚道を考えていく場合、砂防設備の高さが高くなく、溪流幅も狭い箇所では全断面魚道とし、落差を小刻みにつける（魚の跳躍高さ以下）工法が考えられる（多段落差工）（図-3）。ただし常時の流量が小さな溪流や勾

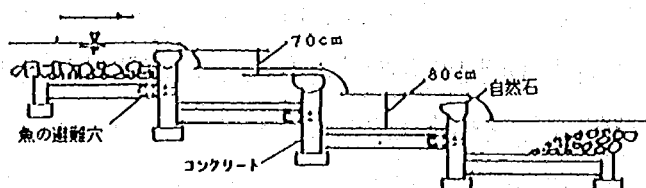


図-3 スイス連邦共和国テス川落差工模式図

配が急な傾斜では適用できない場合もある。

(2) 呼び水機能を持った扇型魚道

扇型魚道はデザイン的に優れ、また登り口を大きくするという意味では優れたアイデアであるが、上から下にくだるに従って、流量が不足してくる、という欠点を持っている。あるいは逆に下の方（すなわち魚道の登り口付近）で最適、という場合も考えられるが、この場合は最悪である。何故なら、魚は途中まで遡った状態で遡上できなくなり、危険にさらされたまま放置されることになるからである（図-4）。

この欠点を改良するためには上と下とで流況をほぼ同じとなるようにすれば良いわけで、このための補助設備をかねて、呼び水用の管路の出口を各段に適当に分布させれば良い。

(3) 天端が（横断方向に）傾いた隔壁を持つ階段式魚道

越流流速が場所的に異なるものになるため、遊泳力の違う種々の魚がそれぞれ好みの箇所を通過することをねらった魚道である（図-5）。

(4) 排砂を考えた魚道

階段式のように死水域あるいは極端に流速の遅い領域が形成されやすい形式の場合には、特に堆砂に対して、その制御あるいは排除についての配慮が必要である。従来の階段式魚道に良く設置されている潜孔は、排砂に対しても有効といわれるが、砂防施設の設置される河川は流出土砂の粒径も大きく、閉塞しやすいことが予測されるので、潜孔の大きさと配置を排砂機構の点で検討する必要がある。

(5) 構造物にぶつかった魚が横に移動することができるよう魚道の登り口を工夫する（図-6）。このため魚道登り口を横断構造物に沿って設定し、魚道を構造物の

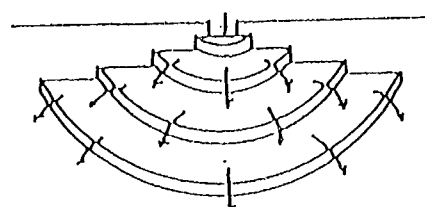
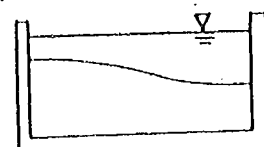
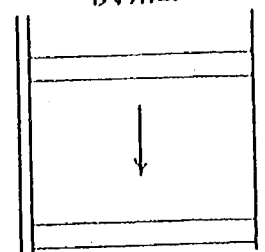


図-4 扇型魚道



横断面図



平面図

図-5 階段式魚道の隔壁形状

上流につける工夫が考えられる（引き込み型魚道（図-7））。

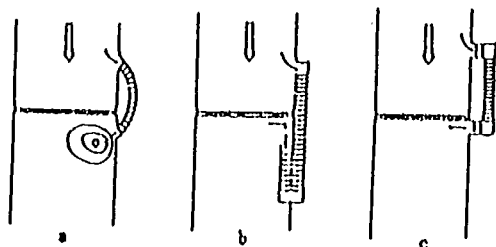


図-6 魚道の方向⁴⁾

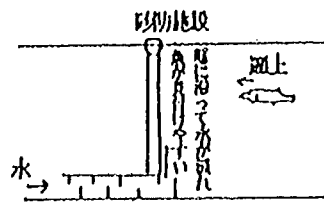


図-7 引き込み魚道（案）

また以下の(6)～(8)の項目も重要である。

(6) 魚道の登り口周辺に深みを保つようにさせる。また床固工水通し天端肩の角に勾配をつける。

(7) 砂防施設前庭部の川幅を広くし、魚の休息場を提供する。

(8) 魚の迷入対策を図る。

(9) 親水機能を持った魚道

これは必ずしも砂防設備ではないが、今後は親水施設としての魚道の機能向上の意味から魚道の側面から、水族館のように観察できるギャラリーの設置が考えられる。アメリカやカナダの、特に西海岸側にある魚道には水族館のようなギャラリーがついている魚道がかなりある。家族ぐるみで、船の運行のための閘門をヨットなどが通過する様子を見物した後、ギャラリーから魚道（の中身を魚ごと）を覗き、親水性あふれる公園を散策できるものもある。

4. 魚道の維持管理について

実態調査結果によると、既に設置された砂防ダムの魚道については、一部に維持管理の不十分さにより、機能を十分に発揮しないものがみられた。溪流では流出土砂、流木等による埋塞・流路変動等が頻繁であり、当初設計への留意もさることながら維持管理の重要性が強調される。

また魚道の効果等の追跡調査を行っている例は少なかった。より良い魚道を検討するために、魚道の効果を追跡調査することが必要である。

今回の実態調査の結果より魚道の維持管理の留意点としては次の事項があげられ

る。

①通水状況

魚の遡上期と渇水期が重なるような場合は魚の遡上にとって最悪の状態となる。

②魚道上流堆積

上流に土砂の異常堆積がある場合は遡上しきっても本川の流れにすみやかに入り込めない、あるいは魚道流量を著しく減少させ、遡上を阻害することになる。

③魚道の下流堆積

下流に土砂の異常堆積があると魚が登り口を見つけにくいし、場合によっては魚道登り口から下流滞筋までの流れが非常に浅くなり、大型の魚が遡上できなくなるケースが生じる。

④魚道下流洗掘

洪水時に魚道登り口下流部が洗掘されることがある。下流側が洗掘されると、魚道の登り口と下流河川の流れがうまく結びつかなくなる。洪水などによって下流河床が洗掘され、魚道の流れが段落ちしていれば、遡上は制限される。洗掘対策として護床工を設置するか魚道を下流の適切な位置まで延長し、滞筋の流れとうまく合流できるように工夫することが大切である。

⑤魚道内の流木・土砂

洪水時に流入した玉石や礫、流木が魚道内に堆積し、取り除かれないままにされ、魚道の役目を果たしていないものが見受けられた。

⑥魚道の破損

石礫の衝突などで隔壁などが破損していないか点検する必要がある。

⑦その他

必要によっては魚道付近での密漁や鳥などに対する監視を行う。

5. 魚のすみ良い溪流づくりによる地域の活性化

水辺を地域振興や村おこしの核に据えようという動きは、特にリゾート整備や観光開発をねらう町で盛んである。

魚のすみ良い溪流をつくりだすことは生態系の保全といった面からも好ましいが、

さらに地場産業の創出、レクリエーションとしての活用など様々な形で地域の活性化に貢献することができる。一般に砂防事業を実施している地域は山間地が多く、こうした地域は過疎化に伴う地域活力の低下、第1次産業への依存からの脱皮を目指しているところが多い。観光・レクリエーションの面や地域産業おこしといった観点からとらえてみることも必要である。

6. おわりに

平成2年10月に岐阜で「国際魚道会議」が開催されるなど内外で魚道に対し関心が高まっている。今後は砂防設備の設置される溪流の特性を考慮し、魚がより遡上しやすい魚道を検討するとともに、魚道のみならず溪流全体において魚のすみ良い環境整備を進める方法についても検討していく必要がある。

参考文献

- 1) 建設省土木研究所砂防研究室：砂防における魚道の実態調査報告書、1990.9、土木研究所資料No.2907
- 2) (財) リバーフロント整備センター：多自然型建設工法の理念と実際 まちと水辺に豊かな自然を、山海堂、1990.2
- 3) 全国内水面漁業協同組合連合会：内水面漁場環境・利用実態調査報告書 一魚のすみよい川への設計指針（案）、1987
- 4) 小山長雄：魚道の診断と設計、1986.12
- 5) 小山長雄：溪流魚の魚道—そのあるべき姿を求めて—、淡水魚7号、1981
- 6) 小山長雄：魚道をめぐる諸問題Ⅱ解説編、1967
- 7) 妹尾・梅田・窪田：自然河川に学ぶ今後の魚道計画、魚道会議'90岐阜、1990
- 8) 北海道水産部：北海道水産部魚道設計指針、1990・1991
- 9) 高橋剛一郎：砂防ダムに設置する魚道について、魚道会議'90岐阜、1990
- 10) 全般に建設省：第45回建設省技術研究会、河川部門指定課題論文集、1991.10
(砂防研究室)

Ⅲ-3 地すべり観測へのGPS測量の応用の可能性

(質問)

山岳地の広範囲な地すべりにおいては、地すべりの地表面移動量観測には毎年多額の費用を費やしている。このため、安価で精度の高い測量方法が求められているが、このような観点からGPS測量による地すべりの移動量観測の可能性について御教示願いたい。

(金沢工事事務所)

(回答)

地すべりの地表面移動量観測結果は、対策工の選定や設計、さらに警戒避難の基礎資料として必要不可欠なものである。地すべり範囲が広い箇所においては、地すべり全体の挙動を把握するに多大な経費を要し、安価で精度の高い測量方法が求められている。

GPS(Global Positioning System)は米国が開発し実用化しつつある人工衛星による電波測位システムで、その主目的は航空機や船舶の位置を100m程度の精度で知る航法用であるが、受信機を変えることにより測量等で高精度な測位が可能となる。GPS測量には単独測位と相対測位があり、相対測位には干渉方式とトランスローケーション方式がある。干渉方式は測量・測地関係で利用される傾向にある高精度測位方式で、地すべりでの利用の可能性はある。GPS測量を地すべり観測に用いた場合の特徴には、以下等が考えられる。

メリット ① 観測地点間の見通しを必要としない

② 観測地点の3次元変位が測位できる

③ 長距離計測が可能である

④ 夜間での測位が可能である

デメリット ① 受信機周辺の天空が開けている必要がある

② 受信機周辺に電波障害物がある場合は測定誤差が生じることがある

③ 現段階では受信機が高価である

精度：干渉測位受信機には1周波タイプと2周波タイプがあり、その精度は以下のとおりである。

	1 周 波 タイ プ	2 周 波 タイ プ
水平距離精度	1 cm + 基線長 × 2 ppm	5 mm + 基線長 × 1 ppm
垂直方向精度	2 cm + 基線長 × 2 ppm	1 cm + 基線長 × 1 ppm

例えば、2周波タイプで、水平距離10kmであれば水平距離精度は1.5cmとなり、この程度の精度が確保できれば地すべりに利用できると思われる。

費用：現在、受信機の価格は1周波タイプで5,000千円程度、2周波タイプで10,000千円程度であるが、今後さらに安くなる傾向にある。また、実際のGPSを用いた測量費は現地の地形条件等により格差がある。

自動観測：付属品を付けることにより可能となる。

気象条件の影響：人工衛星からの電波を利用するので気象の影響はほとんど受けないとされているが、雷は電波障害の原因になることがある。

測定時間の制限：GPS衛星は完成時（1992年予定）には24個の衛星が配備されるが、現在は完全配備となっていないため、1日のうちで利用できる時間に制限があり、その時間帯は地域によって異なる。GPS衛星が完全配備となれば24時間の観測が可能となる。

このように、GPSを現段階で地すべりに利用するには未解決の問題があるが、今後、衛星の完全配備、廉価な受信機の開発や効果的な測定方法の研究がさらに進めば、GPSによる地すべり移動量の観測や自動観測の可能性は高いと思われる。特に、地すべり範囲の広い箇所で、不動点を得難い場合など有用な方法になると考える。

（地すべり研究室）

IV-1 冬期観光（スキー）交通の評価と将来予測

（質問）

長岡国道工事事務所管内の新潟県魚沼郡湯沢町では、近年リゾートマンションの建設、スキー場の新設・拡張など、大規模なリゾート開発が活発に行われている。それらに伴う冬期観光交通（スキー客）の的確な把握、および将来予測手法に関連して、以下の事項について御教示願いたい。

- (1) スキー交通を考慮して道路計画を行う場合、どのような交通特性を持つ路線を対象とすればよいか。
- (2) スキーシーズン（12月～3月）は交通量の変動が激しいが、これらのうち、いつ（冬期休日・平日など）のどの交通量を道路計画に用いればよいか。
- (3) 冬期観光交通需要の将来予測手法としてどのような方法があり、どの方法が望ましいか。

（長岡国道工事事務所）

（回答）

- (1) オフシーズンに比較してスキーシーズンの交通量が明らかに卓越する路線を対象とするべきであると考えられるが、これらを定量的に判定する手法は今のところ示されていない。しかしながら、特にスキー場周辺の幹線道路、及びスキー場最寄りの高速道路からのアクセス道路等、スキー客が冬期交通の大部分を占める路線について、優先的に整備してゆくことが必要であると考えられる。
- (2) 道路構造令では休日交通は考慮に入れておらず、現在道路計画に用いられている計画交通量は、平均的な交通パターンが得られるとされている10月のデータに基づいているため、特にスキー交通などの季節変動の激しい観光系道路については、実態にそぐわないものとなっている。

スキーシーズンの交通需要が他のシーズンに比べて一貫して卓越している場合には、当然これらの交通（12月～3月）を対象に道路計画がなされるべきであると思われる。しかし、シーズン中のどの交通量を用いるかについては非常に難しい問題

であり、シーズン平均日交通量を用いるのも一つの方法であると考えられる。また設計基準交通量を算出する際に、スキー観光道路固有のK値を用いたり、容量が低下するものと予想される凍結道路に対しては補正係数を導入することも効果的であると考えられる。しかしながら、現在のところその様な方針は示されていない。

いずれにせよ、スキー交通をはじめとする観光系道路に対しては、従来の計画手法のみでは十分に対処することが不可能である。そのため平成2年度センサスでは、初めて休日についても平日と同様のレベルで全国的調査が行われ、休日観光交通特性についての検討が始められている。また現在当研究室でも休日観光交通を考慮に入れた道路整備手法について、目下研究中である。

(3) 休日観光交通の交通特性については明らかにされていない点が多く、また適切な休日観光交通需要の予測は、これまで十分に行われてきたとは言い難い。その理由としてまず第一に、休日観光データの不備が挙げられよう。また観光交通はトリップに周遊性があり、さらに集中量が観光地の魅力度に依存しその計測が容易でないこと、各観光地固有の季節変動が大きいこと等の、観光交通特有の困難な点が存することも大きな理由である。

当研究室ではこれまで、昭和60年センサスODデータに基づき、観光交通需要推計モデルの開発を行ってきた。これはトリップチェーンを観光第一トリップ（自宅→観光地）、観光地間トリップ、帰宅トリップの3つに分け、それぞれについて発生モデルと分布モデルを作成したものである。分布モデルは各トリップについて固有の重力型モデルを用いており、これより各トリップについてのOD表がそれぞれ作成され、これらを合成することにより観光OD表が得られるものである。

しかしながら本モデルは平日の観光データに基づいていること、観光地の魅力度の表現方法、道路そのものの魅力に依ってもひきつけられる観光交通特有の配分方法等、いくつかの問題点を残しているため、満足な予測精度は得られていない。平成2年度道路交通センサスでは、休日についても平日と同レベルの調査が実施されたため、現在これらのデータを用いてモデルの改良に取り組んでいるところである。

（新交通研究室）

IV-2 新規交通手段の交通量の予測方法

(質問)

山形県は、ごく近い将来に、ミニ新幹線と高速道路の参入を享受することになるが、これらは山形県にとって未知の交通手段であり、これらの参入による影響を定量的に予測することは困難である。特に高速道路の参入による開発交通量（通過交通を含めて考える）は、これからの県の道路網計画、観光開発計画等に大きな影響を及ぼすと考えられる。以上を踏まえて、高速道路の開発需要量の予測方法について御教示願いたい。

(山形県山形建設事務所)

(回答)

一般的に高速道路とインターチェンジの整備が行われた地域においては、

- ①新規施設の立地によるこれらの施設を発着地とする開発交通量
- ②時間距離短縮効果による他交通機関からの転換交通量
- ③一般道路からの転換交通量
- ④行動可能範囲の拡大による誘発交通量

等が発生し、一般的に自動車交通量が増加する傾向がみられます。このうち②の他交通機関からの転換量を推定するためには、パーソントリップ調査などの結果から非集計行動モデルを用いることが考えられます。しかし広域の道路交通を対象にした場合、高速道路の供用によって機関分担率が変化するODペアの数と転換交通量は全体の中でそれほど多いとは言えず、むしろ他の①、③、④の影響がかなり大きいいため、道路網計画としては②の影響についてはそれほど重視する必要はないと思います。

従って高速道路の開発交通量を予測する場合には、インターチェンジ周辺での開発（新規施設の立地）の規模の予測、一般道路から高速道路への転換率の予測、時間距離短縮による地域間交通の増加の予測を的確に行うことが必要と思われます。

また空港、港湾その他の大規模な開発が行われる場合は、その場所が高速道路と離れた地域であっても高速道路の交通量を増加させる要因となります。以下ではここで述べたそれぞれの予測について、その方法と注意点について簡潔に示すことにします。

1) 一般道路から高速道路への転換率の予測

一般道路と高速道路との転換率を推計するものとしては、日本道路公団の転換率式(式-1)が最も代表的なものといえます。この式では高速道路の利用料金、高速道利用と一般道利用の時間差等を変数にして転換率を求めています。この式で特徴的なのは、年度によって時系列的に変化するシフト率を用いている点です。これは同一の条件(料金差、時間差)であっても、高速道路の利用率が時系列的に変化していることから導入されているもので、高速道路利用料金の負担力の高まりの影響を考慮しています。

$$P = \frac{1}{1 + \alpha \left(\frac{C/T}{S} \right)^{\beta} / T^{\gamma}} \quad (\text{式-1})$$

ここでP：転換率

C：高速道利用料金

T：高速道利用と一般道利用の時間差

S：シフト率

α, β, γ ：パラメータ

2) 開発交通量の予測

開発交通量の予測においては、特に精度の高い交通量推計値が与えられている計画を除けば、まず開発される施設の種類、規模等を調べ、各施設毎の発生原単位を掛け合わせることで将来の交通量を求めることが一般的です。発生施設別の原単位

については各施設の特性や存在する地域などによりかなり変動要因が多く、現状ではまだ十分なものは存在しないといえますが、例えば開発施設では建設省都市局「大規模開発地区関連交通計画検討マニュアル（案）」（平成2年）、観光施設では（社）日本観光協会「観光計画の手法」（昭和51年）、同「観光需要の将来動向予測」（平成元年）、等が参考になります。公的機関による大規模開発の場合はその計画が前もって公にされるために、情報入手し交通量を推計することも可能ですが、高速道路インターチェンジ周辺での民間施設の立地による交通量を予測することは現状では難しく、今後の課題と言えます。

3）地域間交通の増加の予測

高速道路の整備は地域間の時間距離の短縮の効果が大きく、時間距離が短縮された地域間での新規需要の生成や分布パターンの変化をもたらします。従って、重力モデルのような時間短縮効果が考慮できる分布モデルを用いて推計を行うことが望ましいといえます。建設省道路局企画課道路経済調査室編の「将来交通量推計指針（案）」においては、今後の高規格幹線道路網の全国的整備によるゾーン間の所要時間の変化を考慮する必要から、BPR型の重力モデルを用いることとなっています。また、全体の交通量を一度に分布させる以外にも、開発施設別に分布パターンを予測することや目的別のOD表を用いることなども検討の余地があります。

以上の推計を組み合わせて行うことで、ある程度高速道路の開発交通量を予測することは可能と思われますが、民間施設の立地といった不確定要素が含まれることから、推計結果の利用に当たっては十分な注意が必要でしょう。

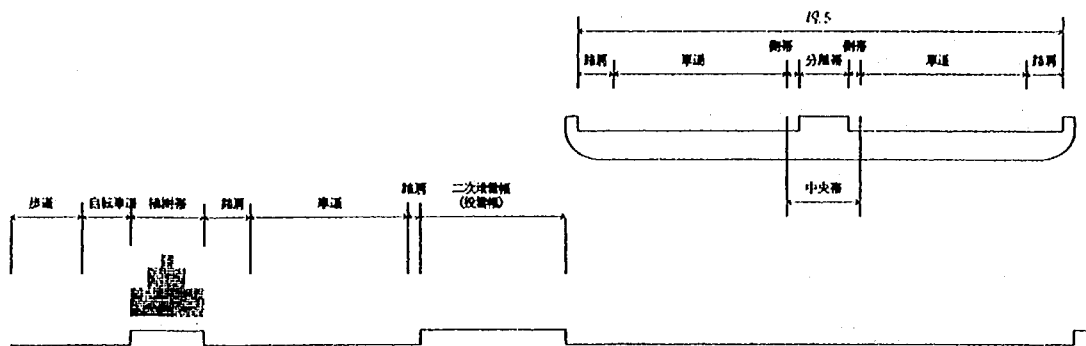
（新交通研究室）

IV-3 植樹帯設置による環境対策上の効果

(質問)

植樹帯による騒音低減効果ならびに大気汚染低減効果はどの程度あるのか御教示願いたい。

また、下図計画断面について、環境対策上の観点から、植樹計画の留意点を御教示願いたい。



(新潟国道工事事務所)

(回答)

道路周辺の植樹、緑化は、沿道の生活環境保全、景観的調和などを図る上で重要な役割を果たすものであり、数多くの効果が期待される。植樹帯の環境対策効果としては、騒音に対する効果と大気汚染に対する効果とが考えられる。

樹木が騒音伝播に影響を及ぼす物理的要因としては、次のような事象が考えられているが、個々の影響度合いについては定量的には把握されていない。

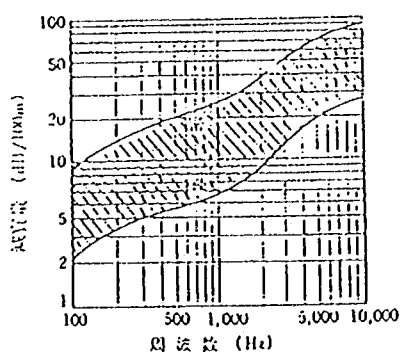
- ①葉や幹による音の吸収
- ②腐植土(地面)による音の吸収
- ③木立による音の散乱
- ④地表の温度勾配、空気の湿度、地表の流れ抵抗等に対する植物の影響
- ⑤風の勾配に対する植物の影響

⑥夜間における結露の影響

また、樹木の大気浄化作用としては、樹木による排出ガスの吸収・吸着効果、拡散効果等が考えられる。

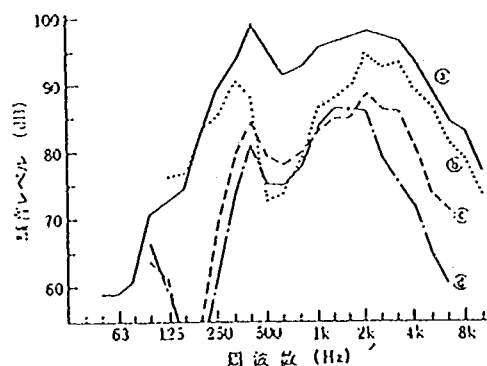
1. 植樹帯の騒音に対する効果

騒音の減衰効果について、樹木全体でどの程度の騒音減衰量が得られるかという測定調査例が幾つか示されている。しかし、その調査は、通常考えられるような道路周辺の植栽規模でなく、総じて比較的大規模な樹林帯を対象としている。一例を図-1, 2に示す。これらの結果から、樹木による音の減衰結果はある程度大きな樹林でないと期待できないものと思われる。また、樹種による効果の差は、樹木の密度や前記の6つの要因が複雑に関係しているため把握し難い。



①は非常に葉が多く、約6m元が見通せる状態。
②は葉が少なく、大きな枝がある、約90m元が見通せる状態。

図-1 密林の中での減衰(Eyringiの結果より抜粋)

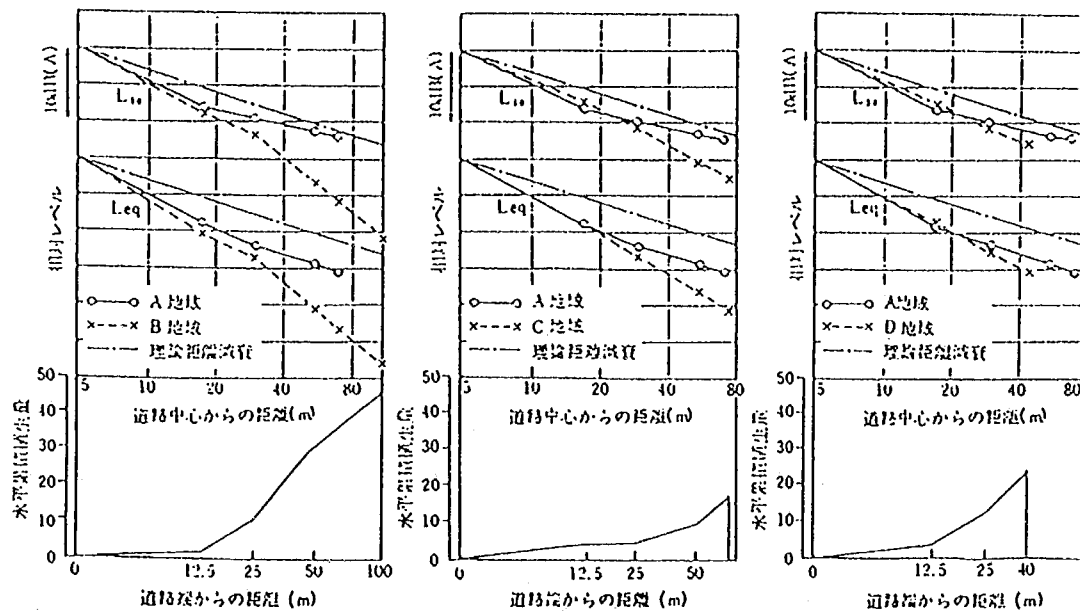


①交通騒音のスペクトル、②草地上100m離れた位置のスペクトル：空気減衰、巨量減衰を取り除いた草地の効果、③ぶなの草地帯：条件②に同じ、④ノルウェーエゾ松：条件③に同じ

図-2 交通騒音に対する樹木による過剰減衰

土木研究所が沿道に樹林帯を有する地域と有しない平坦地において、実走行の道路交通による騒音レベルの距離減衰を測定した結果は、図-3に示す通りである。画図中の実線はA地域（沿道が平坦な裸地、所々に野芝あり）の地上高さ1.2mにおける騒音レベル距離減衰を示し、点線はB～D地域（沿道に樹林を有する地域）の地上1.2mにおける距離減衰を示している。B～Dの各地域の樹林はいずれも高木類ではクロマツ、ハゼ等、低木類ではヒサカキ、クロガネモチ等、草木類ではススキ、ササなどが茂

っている雑木林の状態である。これによると、道路端から12.5m付近までは平坦裸地の地表面による過剰減衰と同程度の減衰で、この範囲の植生量ではほとんど効果は無いと言える。それ以遠で、道路からの距離が大きくなれば累積の植生量も多く、樹林の効果が見られ、道路端から25mで平坦裸地に比べて1～2 dB(A)、50mで3～6 dB(A)の効果がある。



注：水平帯植生量は地上1.2mにおける水平線上の植生量密度に距離を乗じて累積したもの

図-3 樹林の有無と騒音レベルの距離減衰

このように、樹木による減衰効果は、ある程度大きな樹林でないと期待できない。沿道的环境施設帯などにおける数m以下の植樹では地表面による過剰減衰と植樹による遮蔽の区別がつきにくく、一般には地表面による過剰減衰の効果であるといわれている。また、多少の効果があるとしても植樹範囲、樹種、密度など条件が広範であり、遮音壁などのように確実な遮音効果が期待できないため、植樹による物理的減音効果は見込みにくい。なお、樹木などが通行車両を視覚的に遮ることによって、居住者騒音に対する「うるささ」が心理的に緩和されるという面での効果は期待できる。

植栽による物理的な低減効果はあまり得られないが、道路と住居の間に植栽を配置することにより、音の散乱等による効果、上記で示した心理的な遮蔽効果等のプラスの効果は期待することができる。従って、植樹計画

については、道路緑化技術指針にある植栽形式にあるように、葉が地上付近まであるような樹木を互いに接する程度に植栽し、かつ高木、中木、低木と各高さ毎に揃えるのが良いと考えられる。また、植栽を行う場合には、道路面と同じ高さに行うよりも、むしろ築堤盛土や植栽柵等の上に行うことが望ましい。これは、築堤盛土や植栽柵自体に騒音を遮る障害物としての効果があり、音響学的には遮音壁と同様の回折効果、遮音効果を有するためである。例えば、平面道路の場合には、障害物の高さが1 m程度であっても、高さ1.2 mの受音位置で2～3 dB程度の減音効果は得られることが模型実験等により確かめられている。植栽それ自体の物理的な減音効果は余り見られないが、築堤盛土や植栽柵を併設することにより、多くの減音効果を期待することができる。

2. 植樹帯の大気汚染に対する効果

土木研究所がガスチャンバーを利用した低濃度NO_xガス実験と沿道に植樹帯を有する場所において実測した結果を紹介する。

(1) 大気汚染物質吸収効果

① ガスチャンバーを利用した低濃度NO_xガス実験により、植物がNO_xガスを吸収し、植物葉がNを蓄積することを差引法を用いて確認した。さらに¹⁵N法を用いて植物葉以外の枝、幹、根にもNを蓄積することを確認した。

② 暴露濃度の差によるNO_x吸収効果としては、暴露濃度が高くなるに従って葉中N増加量が高くなっており、暴露濃度により植物のNO_xガス吸収量は変化することが分かった。NO_x濃度0.1 ppm程度の暴露条件では概ね2 mg/dwg/33日程度の吸収量であった。

③ 樹種の差によるNO_x吸収効果を、暴露濃度0.2 ppmの平均値においてみると高木落葉樹及び草本植物が高く、次に高木針葉樹・中木落葉樹・中木常緑樹・高木常緑樹が続く、低木が最も小さかった。

④ 季節の差によるNO_x吸収効果を、暴露濃度0.2 ppmの平均値でみると、春、夏に差は見られないが、秋、冬は、春、夏に比べて小さくなっていることが分かった。これは春、夏には植物の活力が大きく、植物の沿染物質浄化機能に大きな影響を与える光合成が活発に行われるためと考えられた。

⑤ 環境施設帯として整備される緑地帯を設定して、NO_x吸収効果の試算を行った結果、自動車から排出されるガスの数%を緑地帯が吸収すると推定された。

(2) 大気汚染物質拡散効果

①野外大気実測（緑地帯高さ8 m、幅15 m、延長100 m以上）により煙流中心軸の上昇が確認された。

②鉛直方向拡散幅（ σ_z ）と排出源高さ（ H_e ）に着目して、その効果を評価することを試みた。

イ 鉛直方向拡散幅（ σ_z ）は拡大しない。

ロ 排出源高さ（ H_e ）は平面構造道路で、緑地帯なしの場合、路面位置+1 mであるのに対し、緑地帯ありの場合、4～10 mの値が得られた。

緑地帯背後から風下方向距離 $L = 100$ m程度という範囲は現行の「道路環境整備マニュアル」の予測対象範囲に概ね該当するが、この範囲内において、緑地帯による鉛直方向拡散幅（ σ_z ）の拡大はみられないが、排出源高さ（ H_e ）すなわち拡散の主軸高さは平面構造道路の設定値と比較して高くなっており、これにより緑地帯による拡散効果が確認された。

参考文献

1) 中島、山田、玉置：「環境施設帯の大気浄化機能に関する研究」土木研究所資料第2983号、平成3年3月

（交通環境研究室）

IV-4 低周波空気振動の現状

(質問)

近年、低周波空気振動が問題とされる事例が生じております。低周波空気振動に対する調査、予測、対策等の現状について御教示願いたい。

(長野県土木部)

(回答)

1. 低周波空気振動の実態

低周波空気振動は、一般環境中に常に存在している(図-1参照)。冷暖房等の空調に伴って発生する低周波空気振動のレベルは高い。また自動車の窓を一部開けた状態で高速走行すると、車内で低周波空気振動が発生する。

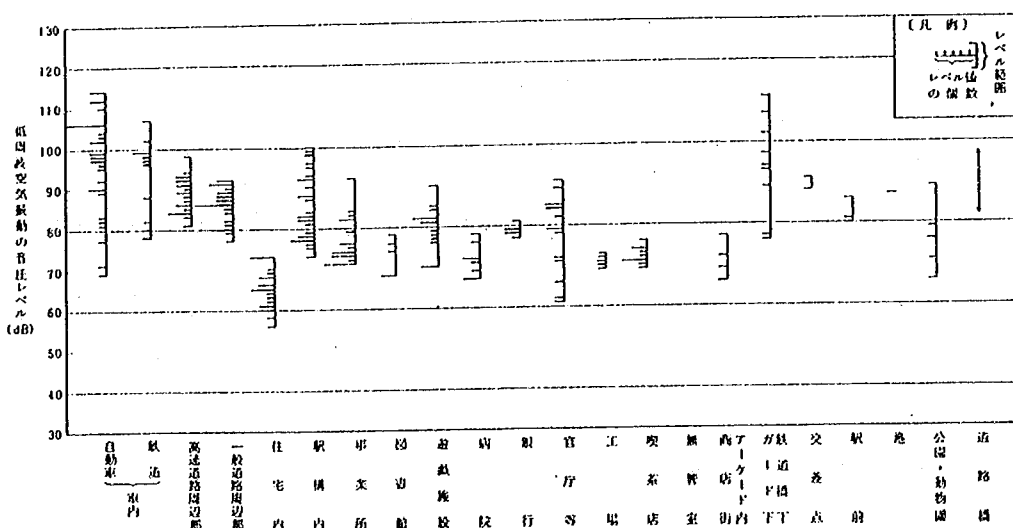


図-1 低周波空気振動のオールパスレベル一覧図
(2.5 ~ 125 Hz)

(1)人の耳には高い周波数の音、低い周波数の音は聞き取りにくい。人の耳の可聴範囲は、20~20,000Hzとされている。騒音レベルはこの特性をA特性として考慮して測定されている。20Hz以下の周波数の空気振動も音圧レベルをあげていけば感じるようになる。

(2)環境庁報告書では低周波空気振動の周波数領域を100Hz以下として取

り扱っている。低周波空気振動の測定法に定まった方式はないが、例えば2～90Hzの L_{50} で測定結果を表現すると図-2のようであり、おおむね100dB以下の値が得られている。

なお、ここでの音圧レベルの単位dBはdB(A)とは異なることに注意を要する。また、日常生活中で最も高い低周波空気振動を体験できるのは先に述べた乗用車窓半開状態であり約110dBが観測されている。

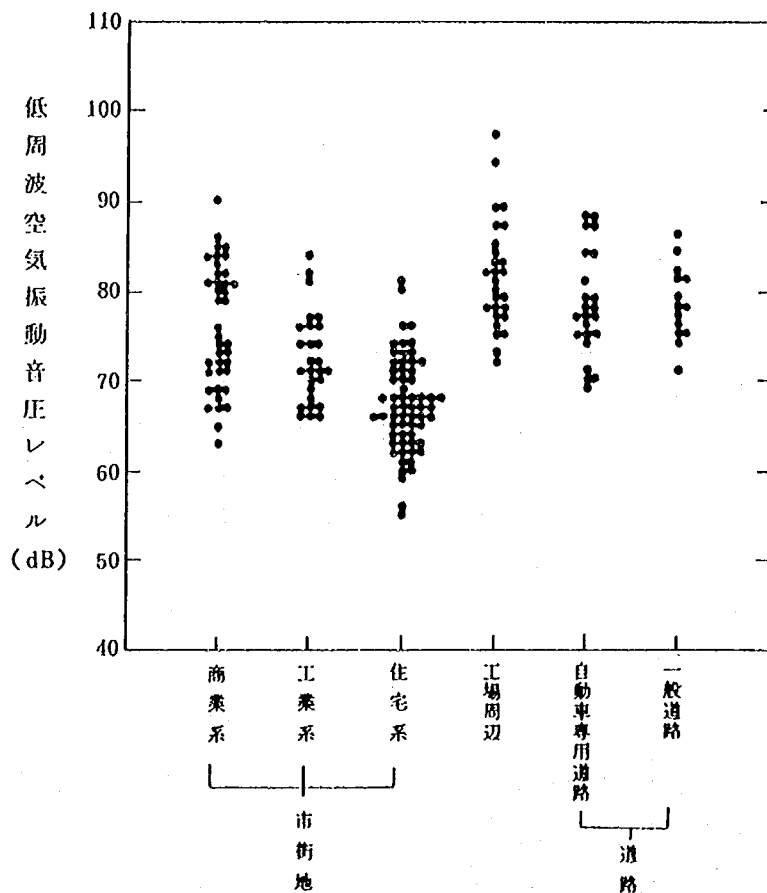


図-2 一般環境中の低周波空気振動音圧レベル(2~90Hz, L_{50})

2. 低周波空気振動の影響

(1)騒音の環境基準や騒音、振動の要請限度は、睡眠妨害や健康影響などの項目についての調査結果をもとに定められている。環境庁では同様の被験者試験を低周波空気振動についても実施している。その結果100

dB程度の低周波空気振動では睡眠妨害や健康影響等の問題は生じないことが確認されており、環境白書において、一般環境中に存在するレベルの低周波空気振動では人体に及ぼす影響を証明しうるデータは得られていないと記述されている。

(2)諸外国では、自然界や生活環境中に75～95dB程度の音圧レベルの低周波空気振動は一般に存在し、この範囲で悪影響は見られないとしている。このため100dBを越える領域での調査研究が、作業環境の面から検討されている。ちなみに耳が痛くなるのは130dB程度である。

(3)高架部では、上部構造の固有振動数に対応する2～4Hzでのピークを有する低周波空気振動が観測されているが、そのレベルは100dB以下である。5Hz以下では、100dB以上の音圧レベルでやっと人が感じるレベルであり、観測されるレベルは問題を生じるレベルではない。

(4)低周波空気振動により建具が共振現象を生じ、がたつきを発生することは確認されている。がたつきの発生は建具の構造、取り付け状態等に大きく左右されるので、低周波空気振動のレベルがあるレベル以上になると必ずがたつきが発生するという性格のものではない。

(5)騒音対策としては遮音壁が一般的に使用され効果をあげている。遮音壁は音を回折減衰させるとともに、音を通さない効果（透過損失）、音を吸収する効果（吸音効果）を併せ有している。この効果は、周波数が低くなるに従って減少するため、低周波空気振動には有効に働かない。

がたつき対策は、しっかりした構造のものに取り替えることにより、あるいは止め具をつけることにより、がたつきがなくなるといった一般的な話にとどまる。

参考文献

- 1) 足立、清家：「生活環境の場における低周波空気振動の実態」土木研究所資料第1713号、昭和56年8月
- 2) 環境庁大気保全局：「低周波空気振動調査報告書」昭和59年12月
- 3) 環境庁：「環境白書（各論）（平成3年版）」平成3年4月

（交通環境研究室）

V-1 飛来塩分による構造物の塩害対策手法

(質問)

北陸自動車道は、一部海岸に接近した箇所があり、供用以来15年を経過した頃から、飛来塩分により浸透塩分が原因で、鉄筋の腐食およびこれに起因したコンクリートの剝落が発生している。一般道においても海岸部に近い箇所では、同様な状況の被害が見受けられると思うが、このような塩害に対する有効な対策手法（主として補修工法）について御教示願いたい。

（日本道路公団金沢管理局）

(回答)

北陸地方日本海側の海岸に近い箇所に建設されたコンクリート構造物では、主として冬期の季節風がもたらす飛来塩分によって、塩害を生じている事例がかなり見受けられる。従って、今後新規に建設されるコンクリート構造物では、コンクリート中の鋼材の腐食を防止するために「道路橋の塩害対策指針（案）・同解説」、（昭和59年2月、日本道路協会）などに準じて塩害対策（鋼材のかぶりの増加、コンクリートのひびわれ制御、コンクリート品質の向上および耐食性鉄筋の使用）を実施する必要がある。一方、既設のコンクリート構造物が塩害を受けた場合には、その損傷程度に応じて何らかの補修を行う必要がある。

塩害による鉄筋の腐食とそれに起因するコンクリートの剝落といった損傷に対する補修工法としては、断面修復とコンクリートの表面被覆の組合せで行うことが一般的である。また、劣化損傷が進行して、コンクリート中に塩化物が大量に含まれている場合は、上記の対策を実施しても恒久的な対策とは成らず、コンクリート中に取り込まれている塩化物によって再度塩害が発生する懸念があるので、このような条件下でも防食効果の期待できるコンクリートの電気防食を検討するのがよい。

以下に、これらの二つの補修工法について述べることとする。

1. 断面修復とコンクリートの表面被覆の組合せによる工法

1.1 断面修復工法

図－1 に断面修復工法の標準的な作業手順を示す。断面修復工法は、下記のように分類できるが、断面修復に当たってはコンクリート劣化損傷の部位や範囲、構造物の種類に適した工法を選定する。

1) プレパックドコンクリート工法

一般に欠損断面が大きい場合に用いられる。この工法による施工は、型枠設置、修復部への粗骨材充填、注入材の注入の順序で行われる。

2) 打継ぎコンクリート（モルタル）工法

この工法は欠損断面が比較的大きく、下向きの作業が可能な場合に用いられる。施工は、型枠設置、コンクリート等の充填の順序で行われる。

3) モルタル工法

この工法は欠損断面が比較的小さい場合や他の工法を適用しにくい場合に用いられる。施工は、コテ、ヘラ等によってモルタルを塗り込む作業が中心となる。

1.2 表面被覆工法

図－2 に表面被覆工法の標準的な作業手順を示す。コンクリート表面被覆工法は、塗膜被覆工法とモルタル被覆工法の二つに大きく分類される。いずれの工法による場合でもコンクリート表面被覆は、直接外気に接する部分の全面を対象に行うのがよい。

1) 表面被覆工法

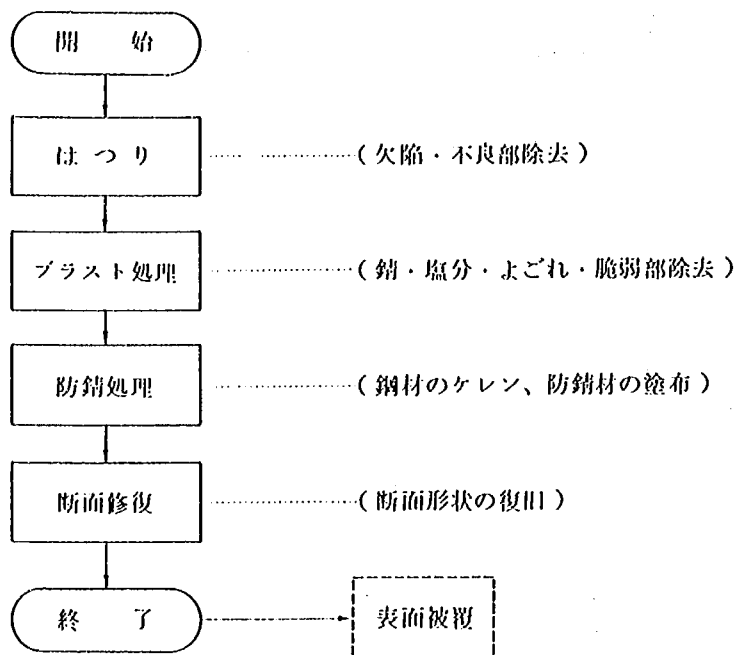
この工法はコンクリートの断面修復をした後、有機系の材料を薄く塗り重ねるもので、下塗り、中塗り、上塗りの順序で行われる。

2) モルタル被覆工法

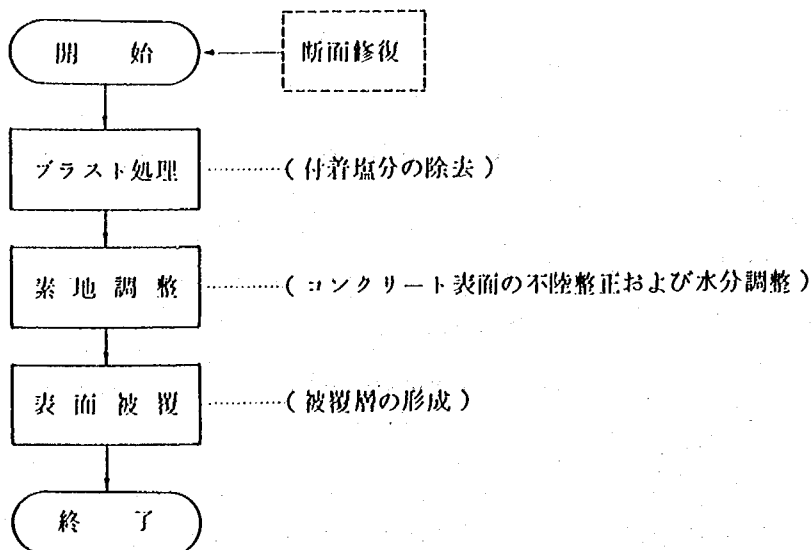
この工法の手順は、表面被覆工法と同様にコンクリートの断面修復をした後下塗り、中塗り、上塗りの順序で行われるが、下塗り、中塗りにあたる部分を無機系の材料で置き換えた工法である。

なお、断面修復およびコンクリート表面被覆に用いる材料は、「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の開発。（財）土木研究センター，平成元年5月」で得られた品質規格を満足する材料を選定するとよい。表－1 および表－2 にそれぞれの品質規格を示す。



図－1 断面修復工法の標準的な作業手順



図－2 表面被覆工法の標準的な作業手順

表-1 コンクリート断面修復材料の品質規格

(a) プレパックドコンクリートの注入モルタルの品質規格

項 目	品 質 規 格	試 験 方 法
流 動 性	20~75 (秒)	土木学会規準「プレパックドコンクリートの注入モルタルの流動性試験方法」
ブリージング率	0.0~1.0 (%)	土木学会規準「プレパックドコンクリートの注入モルタルのブリージング率及び膨張率試験方法」
膨 張 率	0.0~5.0 (%)	

(b) 硬化したコンクリートの品質規格

項 目	品 質 規 格	試 験 方 法
圧 縮 強 度	200 kgf/cm ² 以上	土木学会規準「プレパックドコンクリートの圧縮強度試験方法」及び「コンクリートの圧縮強度試験方法」
乾 燥 収 縮 度	5×10 ⁻⁴ 以下 (3ヶ月)	土木学会規準「モルタル及びコンクリートの長さ変化試験方法」

(c) 硬化したモルタルの品質規格

項 目	品 質 規 格	試 験 方 法
圧 縮 強 度	200 kgf/cm ² 以上	土木学会規準「セメントの物理試験方法」
乾 燥 収 縮 度	20×10 ⁻⁴ 以下 (3ヶ月)	土木学会規準「モルタル及びコンクリートの長さ変化試験方法」

表-2 コンクリート表面被覆材料の品質

項 目 (試験方法)	種 別	
	1 種	2 種
	腐食環境が厳しい場合および再補修が困難な場合	1 種に該当しない場合
耐 候 性 (JIS K 5400 6.17)	促進耐候性試験を300時間行ったのち、白亜化がほとんどなく被覆にわれ、はがれがないこと	
透 透 性	塩素イオン透過量が 1×10^{-3} (mg/cm ² /日)以下であること	塩素イオン透過量が 1×10^{-2} (mg/cm ² /日)以下であること
耐 アルカリ性 (JIS K 5400 7.4)	水酸化カルシウムの飽和溶液に30日間浸漬後、塗膜に変状がないこと	
コンクリートとの付着性 (JIS A 6910)	界面破壊がないこと	
ひびわれ 追 従 性 (架設試体の 曲げ載荷試験)	PC用	コンクリートのひびわれ幅が0.1mmまで被覆に欠陥が生じないこと
	RC用	コンクリートのひびわれ幅が0.2mmまで被覆に欠陥が生じないこと

2. 電気防食工法

2.1 原理と特徴

鋼材の腐食は、鋼材表面に発生する局所的な電位差によって生じるものである。通常コンクリート中の鋼材は、高アルカリ性によってその表面は不動態化しており、腐食は発生しない。しかし、塩化物が鋼材に接すると不動態化被膜は破壊され、鋼材表面に局所的な電位差が生じて腐食が起こる。

電気防食の原理は、コンクリート中の鋼材表面に発生する腐食電位を外部から電気を流すことによってコントロールし、鋼材の腐食防止を図るものである。コンクリート橋梁における電気防食の施工例を図-3に示す。

電気防食の特徴をあげると次のとおりである。

- ① 新設および補修のいずれの場合にも適用可能である。
- ② 塩化物がコンクリート中に多量に含まれている場合でも、鋼材の防食は可能である。
- ③ 腐食環境の厳しい場所においても、防食効果の持続性が期待できる。
- ④ コンクリート中の鋼材にある程度の腐食が生じている場合あるいは進行中のものにも適用可能である。
- ⑤ 他の防食工法と比べて、初期投資が多少高い。
- ⑥ 電源装置、防食電流等を定期的に点検する必要がある。

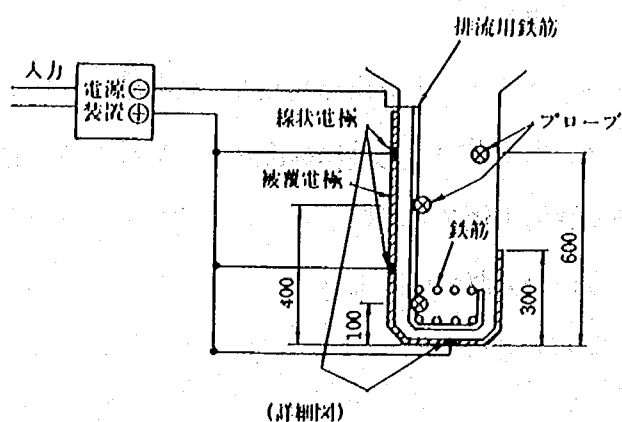


図-3 電気防食の施工例

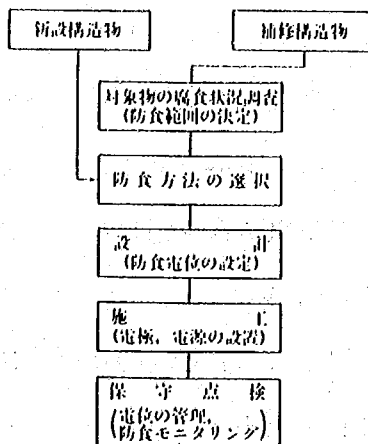


図-4 電気防食の設計施工手順例

2.2 設計施工手順

電気防食の設計施工手順例を図一4に示す。この手順の中で、補修構造物に適用する場合は、対象物の腐食状況調査を行い防食範囲を設定する必要がある。腐食状況調査方法としては、錆汁、ひびわれおよび剝落発生の有無、コンクリート中の塩化物含有量の確認、鉄筋の自然電位分布調査等がある。

2.3 電気防食の実施例

米国では大量の岩塩を凍結防止剤として道路に散布することから、コンクリート構造物の塩害が深刻な問題となっており、塩害対策として電気防食工法がかなり適用されている。一方、わが国ではこれまでに実用レベルでの実施例はほとんどないが、建設省土木研究所での研究例を示すと次のとおりである。

1) 鉄筋コンクリートT桁橋への適用

日本海側の海岸線から約60mに位置し、架設後50年以上経過しているRCT桁橋（橋長約47mの廃橋の桁の一部）に適用した。施工後約2.5年経過までの電位のモニタリング調査結果によると、図一5に示すようにいずれの箇所も100mV以上の分極量（防食効果の判断基準として、分極量が100mV以上あれば、コンクリート中の鋼材の腐食は抑制されることが明らかにされている）が得られており、防食効果は良好と判断できる。

なお、本実験に当たっては、建設省高田工事事務所の協力を得ている。

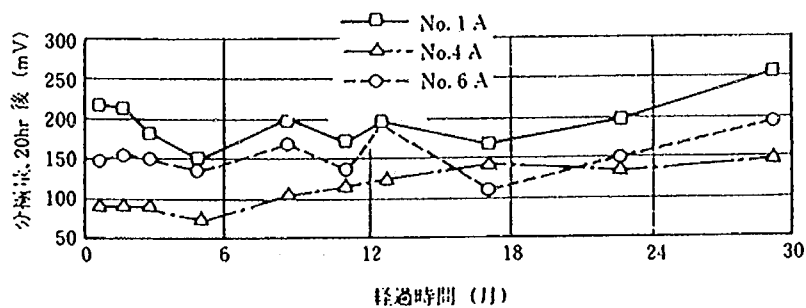
2) プレストレストコンクリート桁への適用

コンクリート中に、塩化物を 1.5kg/m^3 （塩素イオン換算）混入した形状 $35\times 90\times 500\text{ cm}$ のI型ポストテンション方式のPC桁を用い、屋外に暴露し定期的に塩水を散布して電気防食試験を行っている。施工後約1年2カ月経過までの電位のモニタリング調査結果によると、図一6に示すようにいずれの箇所もほぼ100mV以上の分極量が得られており、防食効果は良好と判断できる。

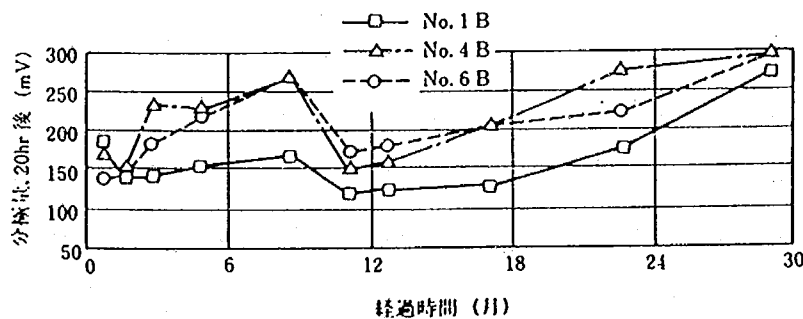
2.4 まとめ

コンクリート構造物の電気防食は、実構造物レベルでの防食効果、耐久性、経済性

等検討しなければならない問題も残されているので、現場での実用性を検証をしていくことが望まれる。なお、電気防食の適用に当たっては、「建設省土木研究所、(財)土木研究センター：コンクリート構造物の電気防食に関する共同研究報告書、共同研究報告書整理番号14号、昭和63年8月」の中に「コンクリート構造物中の電気防食要領(案)」をまとめているので参照されたい。

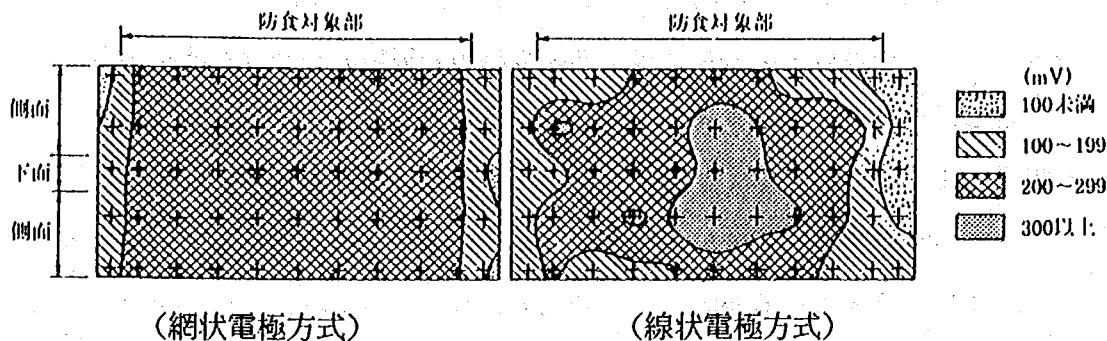


(導電性樹脂線電極方式)



(線状電極方式)

図-5 RCT桁橋における分極量の経時変化



(網状電極方式)

(線状電極方式)

図-6 PC桁における分極量展開図(1年2カ月経過後)

(化学研究室, コンクリート研究室)

V-2 外国製建設機械の導入に関する留意点

(質問)

最近、外国製建設(除雪)機械の導入が見られるようになったが、性能試験など留意しなければならない事項について御教示願いたい。

(道路部機械課)

(回答)

1. はじめに

近年、国際化の進展により、各種建設機械が活発に輸出入されているところであるが、その大部分は輸出で、油圧ショベルやホイールローダ等の量産機であり、輸入はまだ機種が少ない。建設省においては、近年、政府によるアクションプログラム推進を受けて、各種建設機械を導入しており、ますます、外国製建設機械の導入を図る場合が多くなるものと予想される。

2. 導入の背景

我が国は、第二次世界大戦後、建設用・維持用・除雪用建設機械を導入し、建設機械の改良を実施してきたが、近年の外国製建設機械の導入の背景は多少様相が違う。すなわち、対外貿易黒字の増大に対処し、日本市場の解放を進める一つのインセンティブとして、外国製品の受入れを促進している。アクションプログラム自体は平成元年度で一応最終年度を迎えているが、

表1 政府調達に関する申し合わせ

- | |
|--|
| <ol style="list-style-type: none">1. アクションプログラムに基づく契約手続きの抜本的改善が着実に進められつつあることを踏まえ、外国製品の政府調達を大幅に拡大するよう政府全体としてあらゆる努力を行う。2. 対象各機関において調達対象となりうる外国製品の発掘努力を一段と強化する。3. 外国供給者等の参入機会に関する情報提供および広報の強化に努める。4. 広報等を通じて外国供給者等の業者資格登録の拡大を図る。 |
|--|

「外国製品の政府調達の拡大について」の申し合わせ(昭和62年4月27日アク

ションプログラム推進委員会）（表1参照）を念頭に置きつつ対象機関において一層の外国製品発掘努力および積極的な情報・広報活動（特定調達に関する説明会の開催等）を行うこと等が平成元年6月30日のアクションプログラム関係局長会議で確認されており継続的努力が要請されている。建設省において、近年導入された外国製建設機械には、ロータリ除雪車、水陸両用車、除雪グレーダ等があるが、今後ともますます増加するものと思われる（表2参照）。

表2 主要な外国製建設機械

水陸両用車（車輪、履帯）、草刈車（法面、ロングリーチ）、路面清掃車、散水車、側溝清掃車、ロータリ除雪車、除雪グレーダ、圧雪整正機、薬剤散布車
--

3. 導入上の問題点

（1）導入前に留意すべき事項

- ・当該機械が有している、機械単体のみならず施工上の問題も考慮した問題点の把握
- ・保安基準（型式承認を含む）等の各種関係法令への対応
- ・外国における試験法と日本における試験法の相違点を把握した上での性能試験の相違点の把握
- ・特に除雪機械の場合には、施工対象となる雪質の違い等の条件調査

仮に、適切なデータ等が得られない場合には、民間技術審査証明制度による建設大臣の認定機関である建設機械化研究所で審査証明する等の注意が必要である。

- ・メンテナンスサービスに対する考慮

従来からよく言われることであるが、メンテナンスサービスの問題は大変厄介でありその良否が当該建設機械の評判を大きく左右するので体制の整備が重要である。このため、部品の調達、メンテナンスクルーの確保には細心の注意が必要である。

（2）導入後に留意すべき事項

- ・導入後のフォローアップの実施

導入された建設機械が施工現場に到着し、実作業に投入された場合には、その性

能を実測し導入前に予想された効果との違いや、運用上生じる問題点をユーザーサイドとメーカーサイドのそれぞれの視点より検討し、改善改良しなければならない。その場合、相手は外国企業であるため、経費・パテント等に対する姿勢が非常に厳格であり、通常アフターサービスの範疇に入らない場合が多いので、対応方策を前もって定めておく必要がある。また、その検討方策や検討内容等の解決に至る過程をまとめておく必要がある。

4. 検討事項

近年導入された機種を通してその状況を概観すると、まず、ドイツより導入された水陸両用車（写真1参照）では、同一車体において、水防用緊急車両として自動車の機能と警戒船としての船舶の機能を具備しており車検と小型船舶の登録があり、手続きが非常に複雑である。この場合、国内法令では車両か船舶かの扱いが明確になっておらず、欧州における例示を求めることが解決への第一歩であったため、常日頃より新技術に対する情報を集めておく必要がある。

次に、カナダより導入された除雪グレーダ（写真2参照）について概観すると、輸入前に判明していた事項として、車幅が保安基準を越えていた（2.5m以内）ため、車幅に関する基準緩和申請が必要であった。（730型-2.58m、780型-2.78m）また、型式認定を取れないため、一台ずつ個別審査となる外国自動車並行輸入扱いとせざるを得なかった。日本において車両類を運用するためには型式認定を取る必要がある。そこで、車検申請時に同時に基準緩和申請を行っている。しかし、各局において対応は必ずしも統一性が取れていないため注意が必要である。申請にあたっては、現行法令の基準値と緩和が必要な部分を表により対比させることが重要であり、ことさら特別なものであることを強調する必要はない。さらに、日本の保安基準に合致するように灯火類を中心として大改造を加えている。すなわち、現行の保安基準によると、光度や取り付け位置角度等厳密な拘束が存在するため徹底的に取り替えを行っている。本来、これらは事前情報により輸入前にメーカーによって対処されていなければならない事項に属すると思われる。輸入後に判明



写真1 水陸両用車（車輪式）

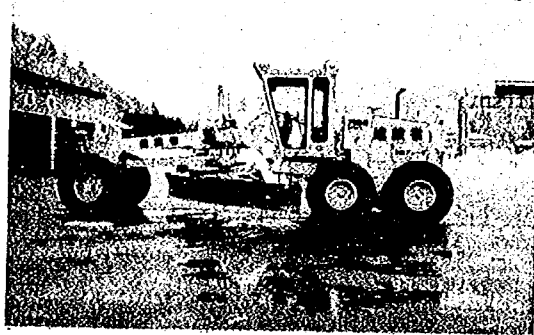


写真2 除雪グレーダ

した事項として、助手席を設置する幅が400mm必要であるが350mmしかなくスペースが不足していたため、キャビン内のドアポストを削り400mmの助手席設置スペースを確保し、その代わりにキャビンフレームの補強を実施している。これらは、施工条件すなわち除雪作業を実施する体制に対応するために欠くべからざることであるため注意を要する。

次にメンテナンスであるが、本除雪グレーダは、東北、北陸、関東、中国各地建へ導入されているが、本邦メーカー系修理工場を輸入代理店の責任において、技術力の高い地元ディーラーを教育しバックアップ体制づくりを並行して進めていることは特筆するに値するものと思われる。また、従来であれば部品供給に数カ月を要する場合もあったが、近年では2～3週間で入手できる状況である。

5. おわりに

外国製機械の導入にあたっては各種問題点が生ずる可能性があるため注意を払う必要がある。特に、導入前には当該機械について入念な調査を行う必要がある。

（機械研究室）

V-3 機械設備の信頼性

(質問)

ダム、堰等のゲート設備や排水機上でのポンプ設備等の機械設備において、最近セラミックス、SUS等の新素材やガスタービン等の原動機の採用例が見られ、各種新技術が開発・導入されるようになってきているが、これらの新素材、新機器を機械設備に導入活用する場合の注意事項や機械設備システムの信頼性をどのように評価していくべきかを御教示願いたい。

(信濃川工事事務所)

(回答)

1. まえがき

近年、ステンレス鋼材、クラッド鋼材、セラミックス等を始めとする新素材、2軸ガスタービン、油圧回路の電磁切り換え弁等の要素技術、フェイルセーフに代表されるシステムティックな機械設計思想、プログラマブルコントローラ、ICカード等のエレクトロニクス技術等の新技術が開発されている。

これらの新技術のなかには機械設備に導入が始まっているものがあるが、機械設備の設置環境や要求機能の特殊性から導入に慎重を期すものもある。機械設備の機能向上を図り円滑な社会活動に資するためには、有効である新技術は積極的に導入していくべきである。

新技術の導入にあたり何らかの判断材料が必要となるが、機械設備は必要時に所用の働きをする信頼性、イニシャルコスト、メンテナンスコストさらには更新に必要なコストを総合的に判断して導入するか否かを決定しなければならない。

機械設備における新技術の動向、信頼性の評価方法および導入に際しての留意事項に付いて取りまとめた。

2. 新技術導入の傾向

2.1 新技術の種類

新技術を分類すると、素材、機構、その他に分類できる。素材は金属系と非金属

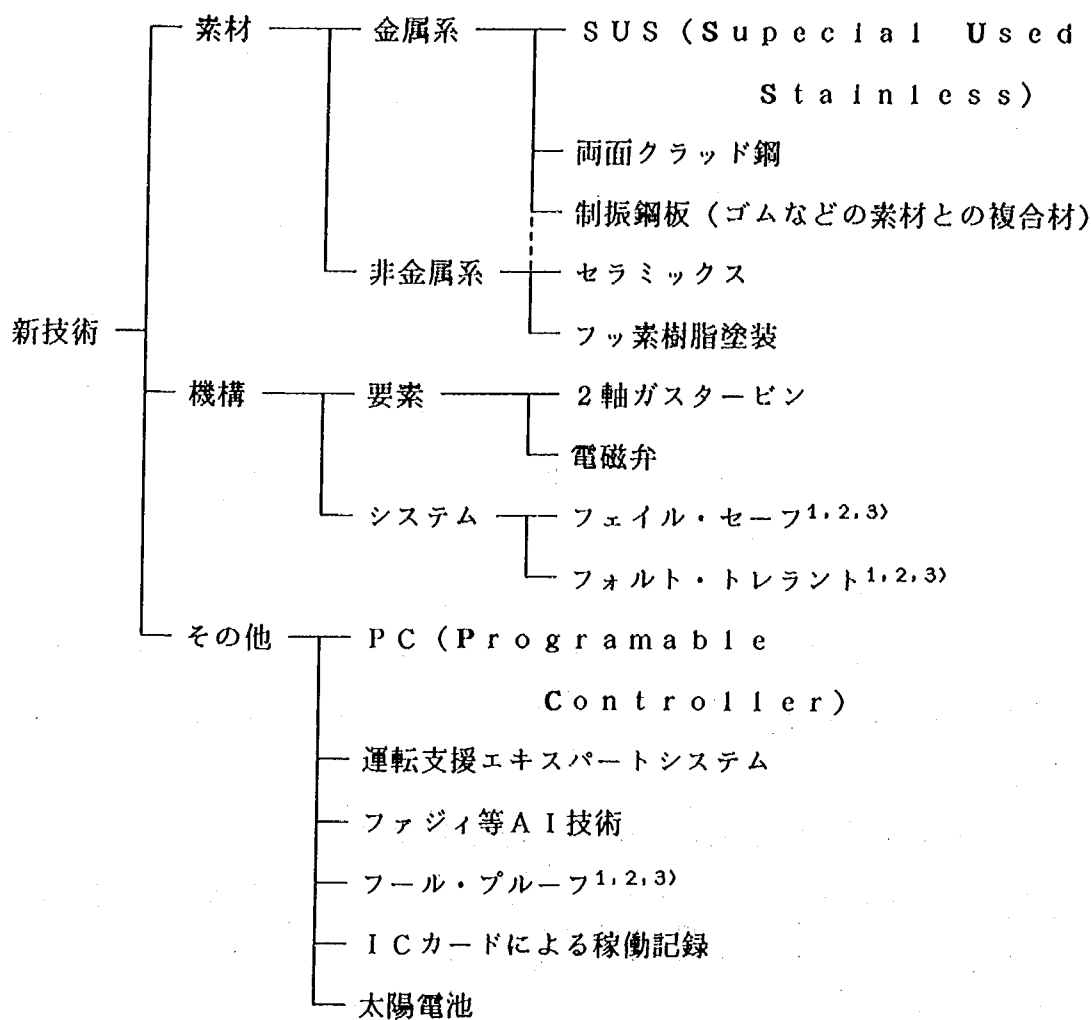


図-1 新技術の分類

系に、機構は要素とシステムに各々分類できる。

2.2 新技術導入の現状

①素材

・SUSに関しては、ダム・河川の水門、放流管等の構造物に10年来使用されている。

・両面クラッド鋼に関しては、東北地方建設局の浅瀬石川ダムにおいて鋼構造物に使用されている。

- ・内水排水機用軸受にセラミックス軸受が使われて始めている。

②機構

- ・2軸ガスタービンに関しては、排水ポンプ設備の自家発電用に東北、関東、中部等の地建を始め数多く導入されている。また、主動力にも導入される動きがある。

③その他

- ・PCに関しては、排水機場において昭和59年度から管理設備に導入され始め、平成2年度現在10件の導入事例が報告されている。
- ・実験段階であるが、トンネル換気設備の運転制御にファジィが用いられている。

2.3 普及が望まれる新技術

①稼働中の機械設備に不都合が生じても安全側に動作するフェイル・セーフ、不都合により機能を保持するフォルト・トレラントおよび人的ミスを最小限に抑えるように操作機器を設計するフール・プルーフのようなシステムチックな設計思想。

②エンジン等の騒音・振動対策のための制振鋼板の使用。

③熱に強く潤滑が簡便で変形の少ないセラミックスや腐食に比較的強いフッ素樹脂塗料、摩耗に強いファイバー混合素材等の非金属系素材。

3. 信頼性評価方法

3.1 信頼度

信頼性とは、「系、機器、部品などが、与えられた条件で、規定の期間中、要求された機能を果たす性質」とJISにおいて定義されている。これを、機械設備に当てはめると「ダム用ゲート開閉装置（油圧式）が、規定のゲートを必要時に、更新時期まで設計速度で設計開度開閉できる性質」のようになる。

しかし、信頼性は定性的な表現であるので、直接評価すなわち比較する事は出来ない。そこで、信頼性を評価（比較）可能な数値に対応させる。その数値の事を「信頼度」といい「系、機器、部品などが、与えられた条件で、規定の期間中、要

求された機能を果たす確率」とJISにおいて定義されている。これを、機械設備に当てはめると「ダム用ゲート開閉装置（油圧式）が、規定のゲートを必要時に、更新時期まで設計速度で設計開度開閉できる確率」のようになる。

3.2 FTA

機械設備のような多くの構成要素によって成り立っている系の信頼度を算出する手法の一つに、原子力発電設備や航空機の信頼度算出に用いられ実績のある故障木解析（Fault Tree Analysis：以下FTA）がある。この手法によって昭和59年度から3年間トンネル換気設備、排水ポンプ設備を対象として、機械設備への適用を試みた。（FT図の例を図-2に示す。）

FTAの機械設備への適用が確認されたので、以降ダム用ゲート開閉装置（油圧式）（昭和62年度～平成元年度）および河川用ゲート開閉装置（平成2年度～）の信頼度の算出を行っている。

現在のところ、FTA以外に機械設備の信頼性を評価する手法が存在しないので、機械設備の信頼性評価はFTAによって行わなければならない。

4. 導入時の注意事項

新技術導入にあたり以下の点に注意しなければならない。

- ①機械設備の信頼性が低下してはならない。
- ②導入や点検・整備に従来技術よりコスト高にならない方がよい。
- ③点検・整備が行い易い構造にする方がよい。
- ④適切な導入単位でなければならない。
- ⑤更新時期が予測し易いものの方がよい。
- ⑥更新コストが低いものの方がよい。
- ⑦比較的普及しているか、普及が期待できるもの。

①に対しては、機械設備の性格上必要時に所用の機能を発揮しなければならないので、当然の事である。②に関しては、新技術であるので、導入時のコスト高は許容しなければならないが、これに関しては信頼性の向上との兼ね合いで決定しなけ

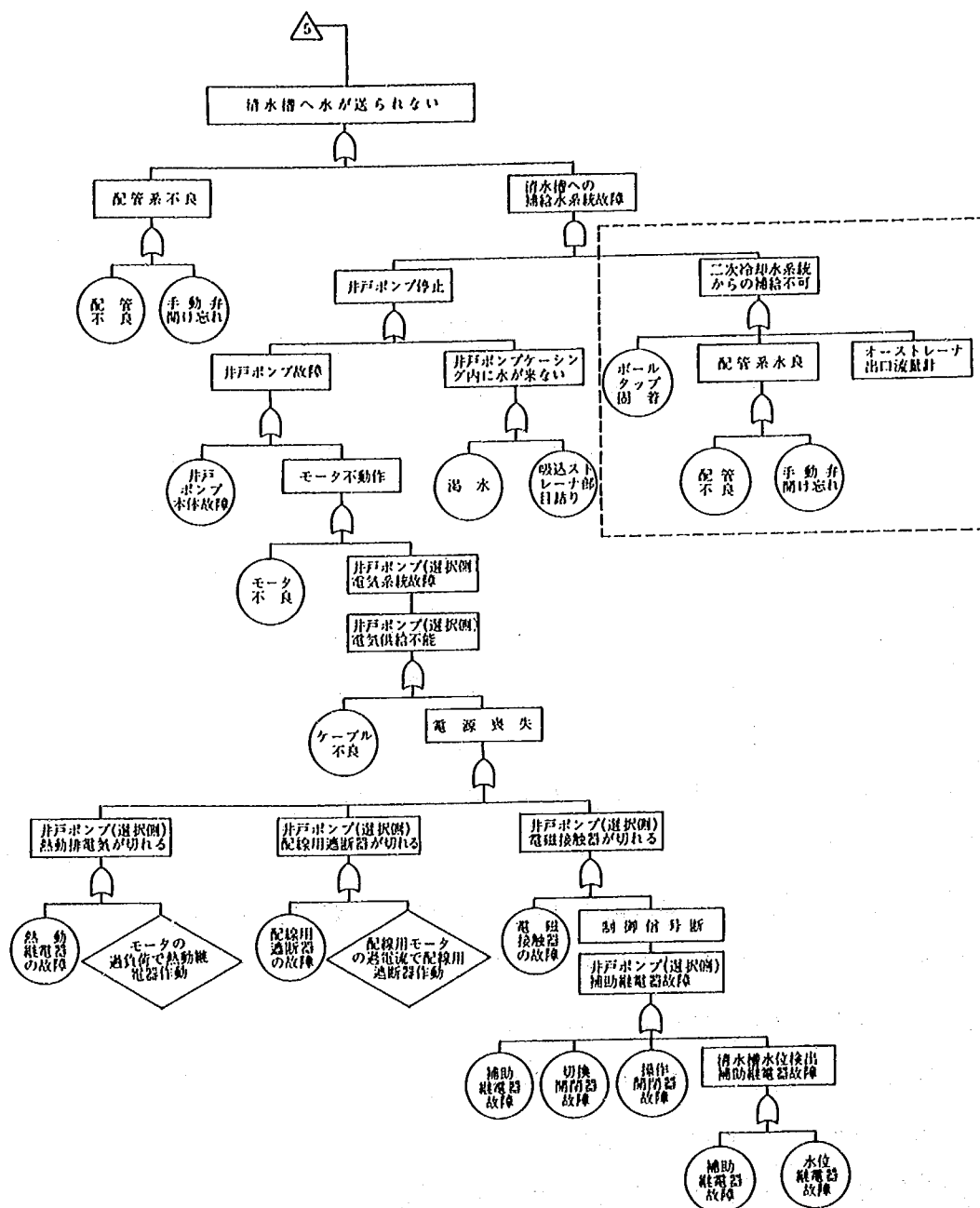


図-2 FT図の例

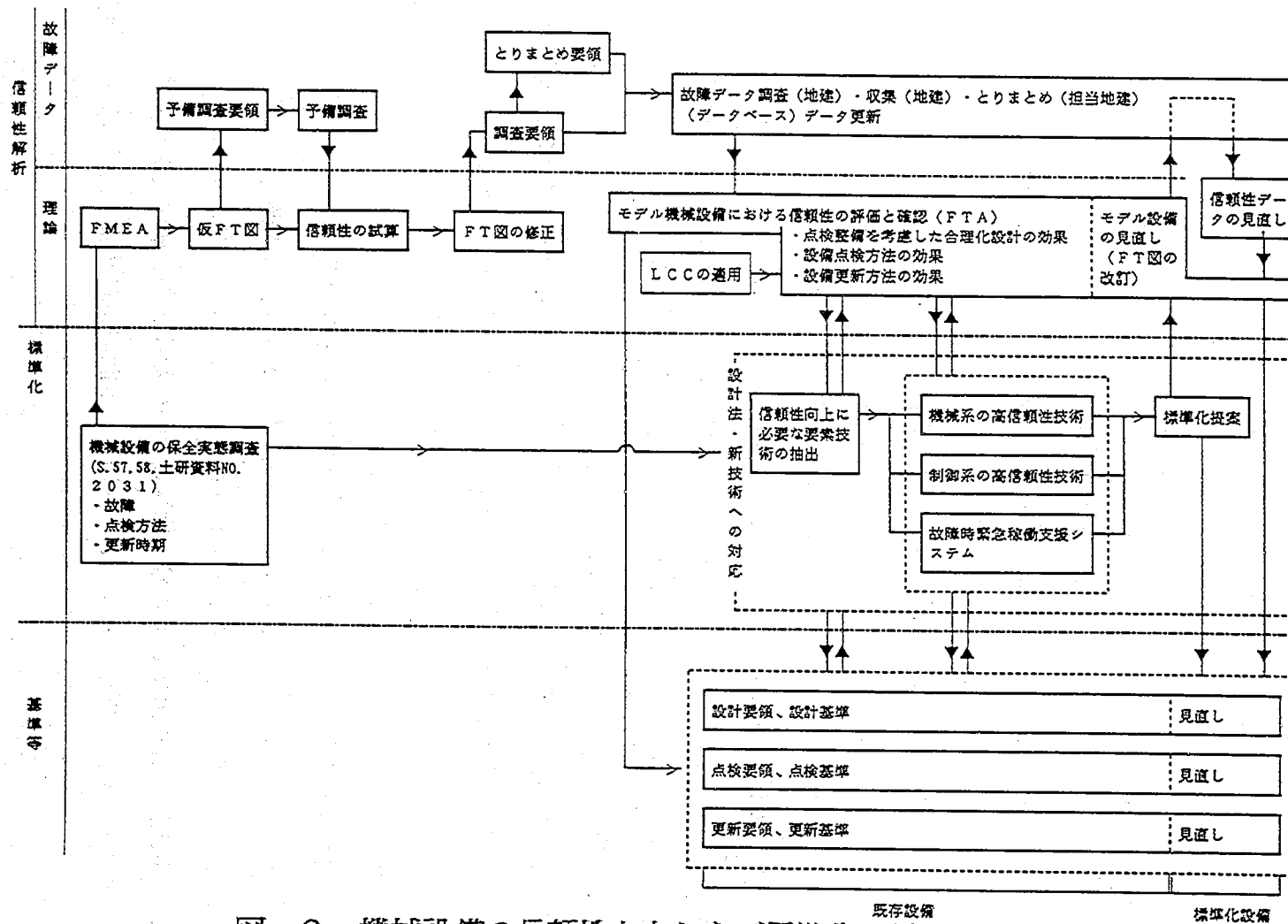


図-3 機械設備の信頼性向上および標準化に係る調査フロー

ればならない。また、これからのメンテナンスコスト高を考慮すると、点検・整備に対するコストは低いものであるのが望ましい。③に関しては、参考文献5において、点検・整備を十分行くと機械設備の信頼性が向上する事が報告されており、信頼性向上のためには点検・整備は欠かす事の出来ない要素である。④に関しては、油圧に関する新技術の場合ユニット単位による導入を行わないと、新技術のメリットが半減する事もあるので、導入単位は重要な要素である。⑤、⑥および⑦に関しては、機械設備が老朽かすると必ず更新を行わなければならないので、更新のしやすさも重要な要素である

また、新技術を導入した機械設備の信頼性を評価する場合、対象とする新技術の機械設備での使用実績がない場合が多いので、F T Aに用いる故障率データは多分野での実績値を用いなければならない。過去のトンネル換気設備、排水ポンプ設備およびダム用ゲート開閉装置（油圧式）においても、データブックの値を用いてF T Aを行ったが不都合が生じていないので、既存のデータブックの使用には問題は生じる事はないと思われる。しかし、継続的にデータを収集する事で、新技術に対する故障率データを確かなものにしなければならない。

最後に、機械設備の信頼製鋼状に有用な新技術を定着させるために設計要領、点検整備要領さらに更新要領を作成し基準化していかなければならない。

参考文献

1. 塩見弘、信頼性・保全性の考え方と進め方、技術評論社
2. Parag K. Lala、フォールト・トレランス入門、オーム社
3. J. グレイ他、フォールト・トレラント・システム、マグロウヒル社
4. 土木研究所資料第2870号、機械設備の信頼性評価に関する調査研究
5. 土木研究所資料第2988号、ダム用ゲート開閉装置（油圧式）の信頼性評価に関する調査研究

（機械研究室）

VI-1 D J M (深層混合処理) 工法の品質管理

(質問)

北陸地方建設局では、深層混合処理工法の一つであるD J M工法で地盤改良を行う事例が増えてきている。現在、このD J M工法の品質管理として、コアボーリング(φ66mm)でサンプリングし、一軸圧縮強試験を行っておりますが、品質管理の考え方やコアボーリングによる管理法での留意点を御教示願いたい。

(道路部道路工事課)

(回答)

D J M工法やC D M工法は、総称して深層混合処理工法(D M M工法)と呼ばれ、現地盤と地盤改良材を強制的に攪拌混合して、主に深い層の地盤改良を行う工法である。これらの改良工法では、改良された地盤が柱状となり、一般的に未改良部分と比較して非常に大きな強度になることが特徴である。一般的には、改良部分と未改良部分を含めて複合地盤として取り扱うが、場合によっては、改良部分を特別の構造体として取り扱う場合もある。

品質管理は、全体の改良地盤に対する評価と、個々の改良柱体に対する評価とでは、自ずから考え方が異なる。前者は、柱体の配置や接合の具合、複合地盤のせん断強度など地盤全体としての実質的な改良効果などに着目し、改良後の盛土施工にともなう地盤の変位やすべり破壊、沈下など、いわゆる動態観測によって得られる設計条件の確認、構造体としての安定などが評価・管理対象になる。一方、後者は個々の柱体の強度とその分布及び改良体の形状に着目し、その確認を行うものである。この個々の改良柱体の品質は、深層混合処理工法の改良効果を決定するもので、品質管理の基本的な重要な要素である。

個々の改良柱体の品質のうち改良柱体の形状は、もともと深層混合処理工法が機械的に改良材と軟弱土を攪拌混合処理するために、正確にできるものであり、これ

までの掘り起こし調査からも確認されている。

柱体の強度とその分布に関する試験方法としては、現状では、サンプリングコアによる一軸圧縮試験が用いられているが、この方法はサンプリングの良否にその結果が左右され、乱さない改良土をサンプリングするには良質のボーリング機械と熟練した技術を要する。また、費用が高く、破壊検査であることから、試験のサンプル数が制限され、試験の結果が得られるまで時間がかかり、現場では試験ができないなどの問題もある。

しかしながら、現状では、コアをサンプリングして強度試験をする方法がより確実な方法であり、当面は品質検査の手段として用いられるものと思われる。

一般に品質管理試験の頻度は、改良にバラツキが大きいほど検査の回数を多くする必要がある。品質管理の理論からすると、サンプルデータとしては何本に1本という頻度だけではなく、最低限必要なサンプルの数が定められる。一般に、試験対象の持つバラツキ（分散）と管理基準が明かな場合は、サンプル数は理論的に計算される。例えば、一軸圧縮強度の平均値を管理基準とする場合、サンプル数の平方根に比例して改良柱体全体の平均強度の推定精度が向上する。

深層混合処理工法の品質管理では、このほか、改良の目的や規模、形式、目標強度、さらに地盤の地層や土質の状態等も管理試験の頻度を決める重要なファクターとなる。このため図-1の規模別のチェックボーリングの頻度の実績などを参考に、構造物の重要性や設計条件等を考慮し検討を行う必要がある。

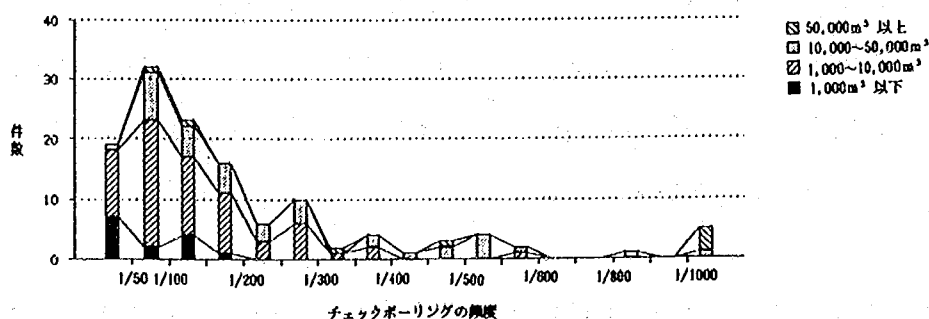


図-1 工事規模別のチェックボーリングの頻度

なお、土木研究所では、コアーサンプリングに替わる、安価で即時性の高い管理試験法として回転貫入サウンディング（ロータリーサウンディング：RPT）を用いた品質管理方法の開発研究を行っている。このRPTは、切削刃を回転貫入させ、この時の地盤の切削抵抗から図-2のように一軸圧縮強度を推定するもので、改良柱体の鉛直方向の強度のバラツキを連続して把握することが可能である。この試験法は、現在、実用化のための検証が行われており、今後、深層混合処理工法の品質管理方法として普及するものと思われる。ただし、RPTも破壊検査であることに変わりはなく、全数検査を行う方法ではない。

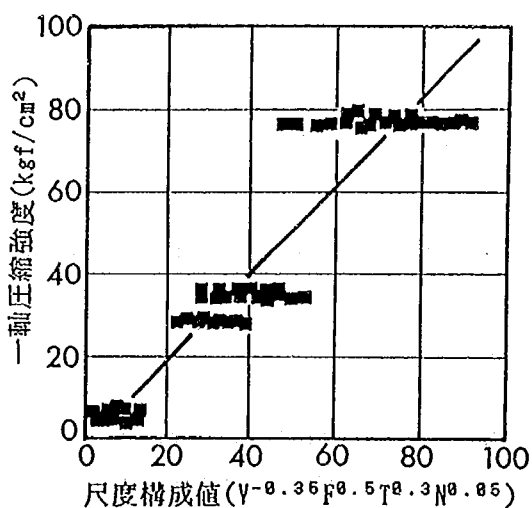


図-2 尺度構成値と一軸圧縮強度 $\overline{q_{u28}}$ との関係

この他、標準貫入試験（SPT）、コーン貫入試験（CPT）などが用いられるが、改良後の地盤では強度は増加するものの、塑性が著しく低下している場合があり、これらの貫入試験では改良柱体を破壊させる可能性がある。SPT、CPTは、改良強度が弱く、改良柱体が塑性を保っている範囲か、未改良部分を対象とした試験に適していると言えよう。

（施工研究室）

VI-2 深礎杭の帯鉄筋

(質問)

山岳道路における構造物の基礎として、経済性や施工性などから深礎杭が多く用いられている。しかしながら、深礎杭の設計における帯鉄筋の配置については道路橋示方書Ⅳ下部構造編では特に明記されていないため、その設計法について御教示願いたい。

(長岡国道工事事務所)

(回答)

杭本体の設計において、杭体各部は軸力、曲げモーメントおよびせん断力に対して安全であるように設計しなければならない。このうち、軸力および曲げモーメントに対してはコンクリートと軸方向主鉄筋により抵抗させており、各々の応力度が許容応力度以下であることを確認すればよい。一方、せん断力に対してはコンクリートおよび帯鉄筋により抵抗させることができ、せん断応力度に対する照査を行えばよい。

ここで、道路橋示方書Ⅳ下部構造編¹⁾の場所打ち杭の設計においては、杭頭部はフーチングに剛結されているため応力集中を受ける柱の固定端付近と同様に配慮して、帯鉄筋で十分補強することとし、構造細目において帯鉄筋の中心間隔を15cm以下かつ鉄筋量は側断面積の0.2%以上とするよう規定している。なお、この場合、帯鉄筋はせん断力に対しても有効に働くと考えられるため、この範囲ではコンクリートのせん断応力度の照査は行わなくて良いこととしている。

質問にある深礎杭は、場所打ち杭の一種であるため基本的には上記の規定をそのまま適用してよい。しかしながら、深礎杭は杭径が大きいため、この規定の帯鉄筋量を満足させるためには鉄筋径が著しく大きくなり、施工上困難な場合がある。このような場合の設計法については道路橋示方書Ⅳ下部構造編では特に規定されていないため、これまでの施工事例などを参考に地盤条件や荷重条件、経済性などを考慮し、総合的に判断されたい。

参考として道路公団における設計事例を紹介する。

深礎杭の帯鉄筋は杭本体に生じるせん断応力に対して安全となるように設計する。

ここで、鉄筋径はD16以上、中心間隔30cm以下とし、杭頭部から下方に杭径の範囲には間隔を主鉄筋の間隔または15cm程度で配置することとしている。なお、帯鉄筋の最大径は施工性などの点からD22とし、必要鉄筋径がこれを超える場合は杭体のせん断応力度の照査を行っている。

(参考文献)

1) 日本道路協会：道路橋示方書IV下部構造編，平成2年2月。

(基礎研究室)

VI-3 中掘り杭の「セメントミルク噴出攪拌工法」の適用工法

(質問)

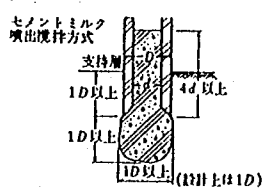
市街地の基礎工法では環境問題から低振動低騒音工法が求められており、当事務所でも既製杭の施工は「セメントミルク噴出攪拌工法」を採用するケースが多くなっています。このため、中掘り杭の適用工法について御教示願いたい。

(長岡国道工事事務所)

(回答)

道路橋示方書Ⅳ下部構造編(以下「道示」という。)は、周知のように平成2年2月に改訂され、中掘り杭については、従来の既製コンクリート杭に加えて鋼管杭への適用が明確になるとともに、セメントミルク噴出攪拌工法(砂質系地盤のみ対象)の先端支持力度が、表-1に示すように改訂された。これにより、従来より同じN値の地盤に対しても大きな支持力を期待できるものとなった。これは、近年の施工技術の進歩および載荷試験データの蓄積によって、より合理的な支持力の見直しを行うことが可能になったためである。ただし、道示で対象とする工法については、既往の10例以上の載荷試験において、杭頭支持力が支持力推定式で求められている支持力と同等以上であることが確認されているもので、かつ施工管理手法の確立されているものに限定している。

表-1 旧道示との比較

	昭和55年道示	平成2年道示
先の 端方 処法 理		セメントミルク 噴出攪拌方式
支の 持算 力定 度法	先端支持力度 (t/m^2) $q_d = \begin{cases} 10N (\leq 400) & \text{砂層} \\ 15N (\leq 600) & \text{砂れき層} \end{cases}$ ここに、N: くい先端位置のN値	極限支持力度 (t/m^2) $q_d = \begin{cases} 15N (\leq 750) & \text{砂層} \\ 20N (\leq 1,000) & \text{砂れき層} \end{cases}$ ここに、N: 杭先端地盤のN値

これは、セメントミルク噴出攪拌工法は、掘削・沈設方法と合わせて根固め球根の造成方法によって施工法別に種々の工法があり、さらに先端の球根に先端支持力を依存する割合が大きい工法であるため、施工法による支持力への影響について、載荷試験により工法の信頼性の保証を確保するためである。なお、道示において示している管理項目とは、セメントミルクの水セメント比、噴出攪拌位置、噴出圧力、噴出量などがあげられ、また、根固め球根の強度についても、設計上の先端極限支持力以上であることを確認しておくのがよいとしている。

以上のことより、種々のセメントミルク噴出攪拌工法の中から適切な工法の選定を行うには、個々においてそれぞれの工法の特徴を十分に把握し、道示における規定を満足するものであるかを確認し決定することが必要となる。

〔参考文献〕

- 1) 道路橋示方書Ⅳ下部構造編，平成2年2月 （社）日本道路協会

（基礎研究室）

VII-1 液状化地盤地帯における地下空間活用に当たっての留意事項

(質問)

液状化は、新潟地震で一躍有名になった現象であるが、新潟市においては、その液状化の可能性のある地盤地帯に地下歩道、地下街等の地下公共空間を造り、地下空間を活用する計画がある。

そのため、液状化に対しても安全な地下公共空間を造るに当たっての留意事項について御教示願いたい。

(道路部道路計画第一課)

(回答)

甚大な被害をもたらした1964年の新潟地震から既に27年経過しているが、この地震において特徴的であった地盤の液状化については、その後数多くの調査、研究が実施され、道路橋を始めとして液状化の発生の予測技術、構造物の設計・対策技術は格段に向上してきている。しかしながら、近年の構造物の多様化に伴い、構造物の構造特性や被害形態を考慮したより合理的な対策技術の開発が求められており、調査、研究すべき課題も数多く残されているのが実状である。

ここで対象となっている地下歩道、地下街(以下、地下歩道等と呼ぶ)は新潟地震当時には無かった地中構造物であるが、類似の構造形態、設置条件を持つ下水道管路、マンホールでは、新潟地震において液状化による浮き上がり等の被害を受けている(写真-1参照)。現在、液状化に対する具体的な設計法が提示されている地中構造物としては共同溝があり、既に設計指針(昭和61年3月)が規定されているが、地下歩道等は道路下の地中構造物として、共同溝と類似の構造と考えられるため、共同溝に対する対応が参考となる。

しかしながら、共同溝指針における共同溝は単一断面としての取り扱いが基本であるのに対して、地下歩道等は複雑な構造形態を持つ構造物であり、また、その利用目的も共同溝とは異なっているので、それらの特性、条件を十分把握しながら、調査、設計および対策の方法を検討することが必要である。

以上のことを踏まえると、地下歩道等による地下空間構築のための調査、設計に際して、液状化に対して留意すべき事項は次の通りである。



写真－１ 液状化による下水管路、マンホールの浮き上がり（新潟地震）

１）利用目的・構造特性の把握

調査・設計に際して、まず地下歩道等の対象構造物の利用目的、構造特性、被災による影響度等を明確にしておくことにより、液状化の影響度、構造物の安定性、対策レベル等を評価する際の判断の目安とすることができる。

共同溝と対比すると次のような地下歩道等の特性が考えられるが、計画対象地域について、これらを明確にしておく必要がある。

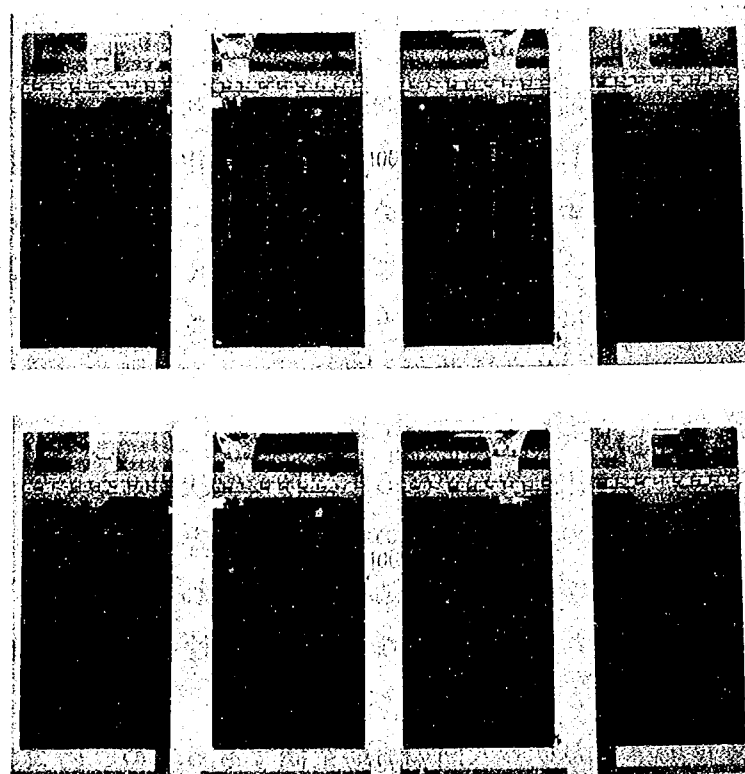
- （１）共同溝はライフライン施設の収容が目的であるが、地下歩道等は常時の人間の活動空間としての利用が目的である。
- （２）共同溝は単一断面の比較的単純かつ小規模な線状構造が主体であるが、地下歩道等は歩道と広場の結節、歩道の分岐、地上との連絡といった複雑な広がりを持つ比較的規模の大きい構造体で構成される。
- （３）地下歩道等は独立した構造物ではなくて、隣接建築物と一体化、複合化した構造物として構築される場合がある。
- （４）地下歩道等は地下における人間の活動空間であるため、防災、安全性に対する重要度が極めて高い。
- （５）その他

2) 液状化の発生特性とその影響の基本認識

地下歩道等は広がりを持つ比較的規模の大きい構造体で構成されるため、地盤条件が場所により大きく変化してくることが予想される。そのため、液状化の発生およびその影響の度合も複雑に変化することを考慮し、それらの特性が把握、評価できるような調査の実施が必要である。

広がりを持つ地盤を対象とした場合、次のような液状化の発生特性及びその影響を考慮しておく必要がある。

- (1) 縦断方向に液状化の発生範囲とその程度が異なり、それにより地下歩道等の浮き上がり等の影響範囲とその程度が異なる。
- (2) 横断方向に液状化の発生範囲とその程度が異なり、それにより地下歩道等の浮き上がり等の影響範囲とその程度が異なる。
- (3) 地表面が傾斜している場合、液状化により地盤が傾斜方向に流動することがある（写真－2 参照）。



(A) 加振前

(B) 加振後
地盤模型に設置
された白い縦線
が、地表面の傾
斜方向（左側）
に変形している。

写真－2 液状化による地盤流動（振動台実験）

(4) 構造体の規模により液状化発生の影響度合が異なり、構造体の変化部及び隣接構造物との接続部にその影響が出ることが予想される。

(5) その他

3) 地盤特性調査

地下歩道等では液状化の発生を広範囲に把握することが前提であるため、その目的に沿った地盤特性の調査を行うことが必要である。その際、次の点に留意するのがよい。

(1) 計画対象地域を包含した広範囲な地盤構成を把握するための地盤図等の資料収集。

(2) 計画地域内及びその周辺での既存ボーリング、土質試験データの収集。

(3) 新たに実施の必要な地盤調査の箇所、範囲及び調査内容（ボーリング、サンプリング、土質試験、動的変形・強度特性試験等）の検討。

(4) 地形、土質、地盤構成等の条件の面的（深さ方向及び構造物の縦・横断方向）な変化特性の把握。

(5) その他

5) 液状化の判定及び液状化の影響・構造物の安定性の予測

液状化の判定法の代表的なものとしては道路橋示方書（平成2年2月）があるが、現行の共同溝設計指針もこれに準じた方法となっている。また、液状化による地中構造物の安定性の予測法は、共同溝設計指針が基本となっている。地下歩道等を対象とした液状化の判定法さらに安定性の予測法が提示されていない現在では、これらの手法を基本とするのがよいが、これらの評価法には次のような特徴がある。

(1) 地盤が構造物の横断方向に成層状態にあることを想定しているため、各断面で代表させた（通常は1つの）ボーリングデータに基づいて液状化の判定を行い、過剰間隙水圧による揚圧力を算定している。

(2) 地中構造物に対する液状化の影響あるいは安定性の予測は、浮き上がりに対する安全率、つまり浮き上がりの有無で行うこととしている。

(3) 構造物の横断方向の断面については変状（＝浮き上がり）の予測を行うこととしているが、縦断方向の構造体の液状化による変状の予測については、具体的には記述されておらず、適宜予測することとしている。

(4) その他

従って、2)で述べたような特性を考慮した地下歩道等の合理的な安定性の予測を行うためには、次のような事項に留意することが必要である。

- (1) 地盤条件が構造物の横断方向に変化している場合の液状化の判定法及び地下歩道等の安定性の予測を行うための判定結果の取扱い方法。
- (2) 浮き上がりの有無だけでなく、液状化による浮き上がりの程度を考慮できるような安定性の予測法。
- (3) 液状化による縦断方向の構造物の変状の予測法。

(4) その他

これらに関しては、現時点では個別のプロジェクト毎に各々の実状に合わせて検討されているので、既往事例あるいは関連研究の成果を調査しながら、検討方針を設定するのがよい。

なお、計画対象地点の地域性を考慮した詳細な液状化判定を行う場合は、地盤の動的変形・強度特性試験および地震動特性の解析の実施が考えられるが、それらの手法の検討が必要である。

6) 液状化対策の設計法

液状化の判定結果及びそれによる構造物の安定性の評価結果から、液状化対策の要否を総合的に評価して、対策の必要な箇所、区間の抽出を行い、対策規模(レベル、範囲)を考慮した経済的、効果的な液状化対策の設計を行うことになる。ここで、液状化対策には各種あるが、現地の立地条件、地盤条件、施工条件、工費、工期等を踏まえて、選定根拠を明確にした計画策定をすることが必要である。その際、次の事項に留意が必要である。

- (1) 地盤条件、液状化の発生およびその影響が縦・横断方向に複雑に変化していても、必要以上に液状化対策の適用工区を細分化することは避ける。
- (2) 地下歩道等に係わる隣接構造物に対する液状化対策(工法、対策レベル等)を把握して、それらとの取合いを考慮した対策とする。
- (3) その他

(振動研究室)

VII-2 落橋防止構造

(質問)

落橋防止構造の設置については、道路橋示方書（V、耐震設計編）に「可動支承に移動制限装置を直接設けた構造は落橋を引き起こすような異常な状態では破壊している場合が多いことから、原則としてこれを落橋防止装置に含めないものとする」とあるが、P C 橋のように支承とは別に、移動制限装置（アンカーバー）を設けた構造であれば、移動制限装置の設計水平震度の値を2倍以上とした設計を行い、落橋防止装置と兼ねた構造としてもよいか御教示願いたい。

(道路部道路工事課)

(回答)

移動制限装置は、地震時に過大な上下部構造間の相対変位を生じさせないことを目的として可動支承部に設けるものであり、構造的には可動支承に直接設ける場合と、可動支承とは別に設ける場合とがある。一方、落橋防止装置は、いかなる事態においてもけたが下部構造頂部から逸脱して落橋するのを防ぐことを目的としてけた端部に設けるものである。

可動支承に移動制限装置を直接設けた構造とは図-1に示すような、鋼製の可動支承に突起を設けこれを移動制限装置として機能させるようにした構造を指すものである。このような構造は、過去の震災例によれば、落橋を引き起こすような異常な状態では破壊している場合が多く、たとえ、設計水平震度の2倍以上の地震力に対して設計したとしても道路橋示方書V耐震設計編では「原則としてこれを落橋防止装置に含めない」と規定されている。

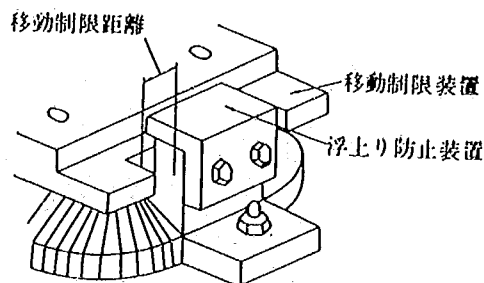


図-1 可動支承の移動制限装置
(可動支承に直接設けたもの)

御質問のケースのように、支承とは別に移動制限装置としてアンカーバーを設けた

場合には、道路橋示方書Ⅴ耐震設計編の移動制限装置および落橋防止装置の規定をともに満足するような構造、すなわち、桁の移動及び回転等支承としての機能を損なわず、かつ、死荷重による鉛直反力×設計水平震度の2倍以上の地震力に対して設計された場合には、移動制限装置および落橋防止装置としての機能を果たすとみなしてよい。

なお、支承部の設計にあたって注意しなければならないのは、死荷重による鉛直反力に0.1の設計鉛直震度を乗じた値に相当する上揚力を考慮しなければならない点である。これは、一般の鋼製の支承によって上部構造を支持している場合だけではなく、ゴム支承等により上部構造を弾性支持している構造の場合においても例外ではない。ただし、ゴム支承等が単体で死荷重による鉛直反力に0.1の設計鉛直震度を乗じた値に相当する上揚力を支持できない場合には、アンカーバー等によってこれに対応させてもよい。支承部の設計に対してのみ通常の耐震設計では考慮していない上下方向の慣性力に対して考慮した理由としては、既往の震災例によると、上部構造と下部構造とが分離したとしか考えられないような現象が観察されていることからである。

(耐震研究室)

Ⅶ-3 地震予知の可能性

(質問)

地震による被害を軽減するためには、地震をあらかじめ予知し、地震前後における対策を立てておくことが必要だと思われる。最近の地震予知は、時間、場所、規模等についてどの程度まで可能なのかを御教示願いたい。

(長岡国道工事事務所)

(回答)

1. はじめに

世界有数の地震国である我が国にとって、地震の予知は極めて重要な問題であるとともに、早急にこれを実現すべく多くの研究がなされている長年の課題である。地震予知は、地震の発生機構や地震現象を力学的な観点から究明する地震学の分野に属する問題であるが、ここでは、工学的な観点から地震予知技術の現状を俯瞰するとともに、これをどのように理解して施策に反映すべきであるかを示すこととする。ただし、これは非常に難しい問題であり、あくまで一つの見方に過ぎないことを最初に断っておきたい。

2. 地震予知の方法

地震予知の方法は、大別して、既往の地震の発生パターンに基づく方法、地殻ひずみのモニタリングに基づく方法、及び、地震先行現象の観測に基づく方法の3種類に分類される。各々の方法について、基本的な考え方をまとめると次のようになる。

1) 既往の地震の発生パターンに基づく方法

過去に蓄積された地震記録を統計的に処理して、震央位置の移動パターン、及び、海洋プレート同士の接触部(サブダクション・ゾーン)における地震の繰り返しパターン等、地震の発生パターンの規則性を見い出そうとする方法である。主として、日本や中国など比較的長い歴史を持つ国々において研究が進められている。

一例として、我国の東海～南海地域における大規模地震の発生パターンを示

すと図-1の通りであり²⁾、この地域における大規模地震の繰り返し間隔の平均値は117年、標準偏差は35年と推定されている。

2) 地殻ひずみのモニタリングによる方法

サブダクション・ゾーンにおける地震の発生原因であるプレート運動に着目して、プレート運動に伴い地殻に生じるひずみを連続的に観測する方法である。地殻ひずみがある限界値を超えると地殻が破壊し地震が生じることから、地殻ひずみを観測しようとするものである。ただし、一般には、観測を開始した段階でもともと存在した地殻ひずみの初期値がわからない場合が多い。また、限界ひずみにも幅がある。

我が国では、大規模地震の発生確率が高いとされる東海地域及び南関東地域を中心に8箇所の特定観測地域及び2箇所の観測強化地域を設定し、建設省国土地理院に事務局を置く地震予知連絡会のもとで、図-2に示すように²⁾高密度な観測が実施されている。

3) 地震先行現象の観測に基づく方法

地震に先駆けて発生する種々の異常現象を観測する方法である。異常現象と

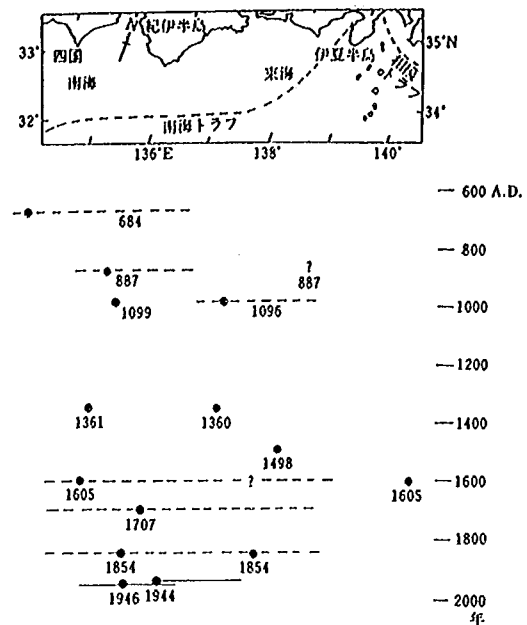


図-1 南海～東海ゾーンにおける巨大地震発生の時間～空間パターン²⁾

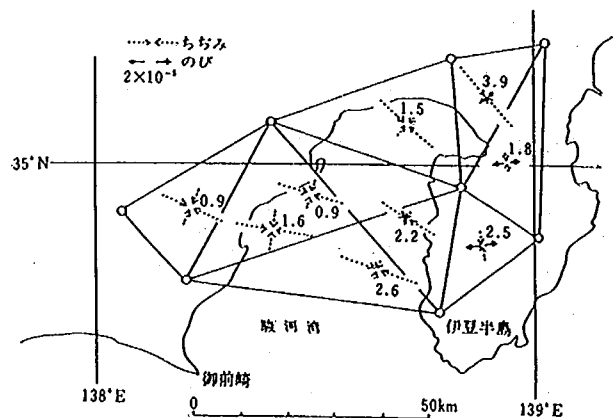


図-2 1931～1973年の期間に発生した駿河湾地域の水平ひずみ。数字は 10^{-5} 単位の最大ずれひずみ(国土地理院、1974c)²⁾

しては、土地の異常変形、海水面の異常変動、地球潮汐の異常変動、地球磁場の異常変動、重力の異常変動、地下水位の異常変動、地下水に含まれる化学物質の異常変化、動物の異常行動、及び、前震活動等を挙げることができる。

いろいろな研究が行われているが、既往の地震における異常現象の先行時間 T (日) を調査すると、図-3 に示すように²⁾、地震の規模 M (マグニチュード) とある関係があると言われている。すなわち、先行現象には $\log_{10} T$ が M に比例する第1種先行現象、 T が M に無関係で2~3時間の値をとる第2種先行現象、及び、 T が4~5日の値をとる第3種先行現象があるとされている。これらを用いれば、異常現象が出始めてからどの程度の期間で地震が発生するかを知る手がかりになると考えられている。しかし、これは対数グラフに示される関係であり、大きなばらつきがあることに注意しなければならない。

3. 現在考えられている地震予知の戦略

地震予知を定量的に行うための戦略としては、次に示す4段階のアプローチが提案されている²⁾。

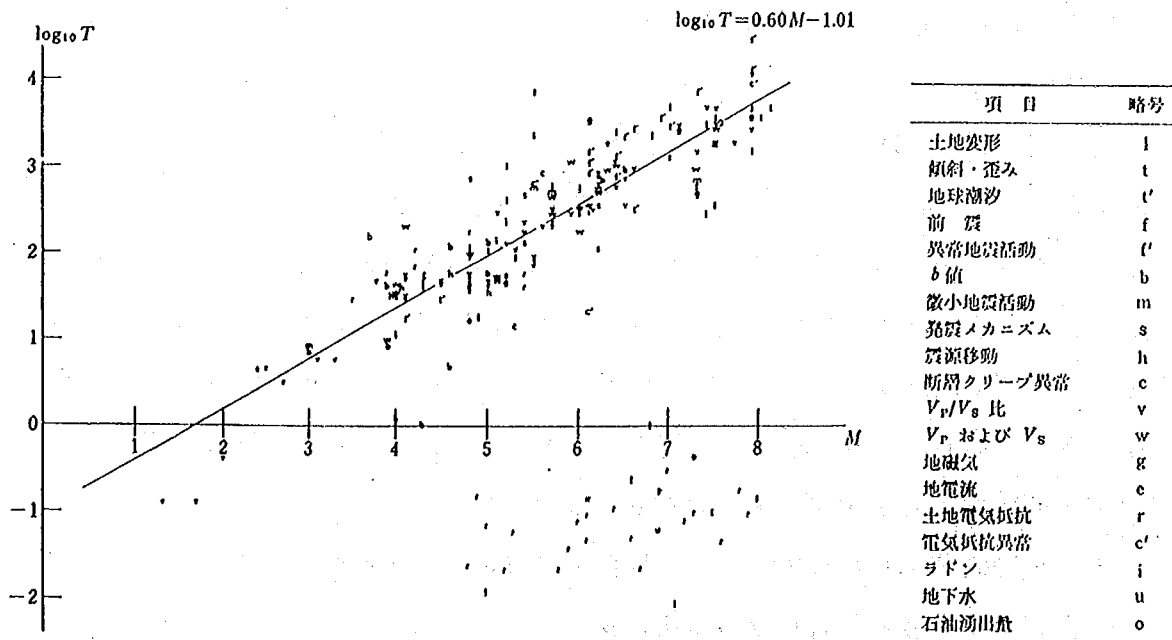


図-3 地学的地震先行現象の先行時間 T (日) の常用対数とマグニチュード M との関係²⁾

1) 統計的予測 (予備的段階)

地震予知には、どこで、どの程度の大きさの地震が、いつ生じるか、という3つの要素がある。予備的段階では、既往の地震の発生パターンを検討することにより、歴史的な観点から、地震の発生位置、規模、及び、時間の見当をつける。

2) 長期的予測 (ひずみ蓄積段階)

地殻ひずみのモニタリングにより得られたひずみ蓄積量と限界ひずみ量を照らし合わせることににより、長期的な観点から、地震の発生位置、規模、及び、時間を推定する段階。

3) 中・短期的予測 (第1種先行現象出現段階)

長期的予測により地震発生確率が高いと考えられる地域で、第1種先行現象の観測を強化することにより、地震の規模及び発生時間の絞り込みを行う段階。

4) 直前予測 (第2、3種先行現象出現段階)

中・短期的予測により予想される地震の発生時間が迫ってきた段階で、第2種及び第3種先行現象の観測を強化することにより、地震の規模及び発生時間の特定を行う段階

我が国における地震予知のための施策は、新潟地震の翌年である昭和40年に開始されている。現在では、図-4に示すように¹⁾、建設省をはじめとして気象庁、科学技術庁、国土庁、文部省等の関係省庁による地震予知体制が構築されており、地震前兆現象の観測、地震予知計画の策定、及び、大規模地震対策特別措置法に基づく地震防災対策強化地域の判定など、地震予知に係わる様々な施策が推進されている。現在、地震予知連絡会において行われている、地震予知の戦略の基本的な考え方を示すと次の通りである。

1) 全国的基本観測に加えて、特定観測地域において測量の強化・観測所の建設を行い、地震の先行現象の検出に務める。

2) 異常が観測された地域を観測強化地域に指定し、移動観測班等を派遣することにより観測を強化する。

3) 異常が地震の発生に関係すると認められた場合には、当該地域を観測集中地域に指定して、集中的な観測を実施する。

4. 工学的に役立つ地震予知は可能か

地震予知を目指した弛まぬ努力が続けられた結果、現在では、東海地震をはじめとした大規模地震の発生に関していくつかの仮説も得られるまでに至っている。しかし、工学的な観点から見て地震予知ができるか否か、すなわち、施設管理者の立場から防災対策の拠り所とするに十分な精度で地震の発生位置、時間、及び、規模を推定することが可能であるかということになると、現状では極めて難しいと言わざるを得ない。この理由は以下の通りである。

1) 地震の発生位置及び規模の推定に係わる困難

24時間体制の観測から警戒宣言の発令までの地震予知体制が整備されているのは、マグニチュード8クラスの大規模地震が想定される東海地域だけであり、これ以外の地域における大規模地震やマグニチュード7クラスの直下型地震に対しては、現状の予知体制では十分ではないと言われている。

2) 地震の発生時間の推定に係わる困難

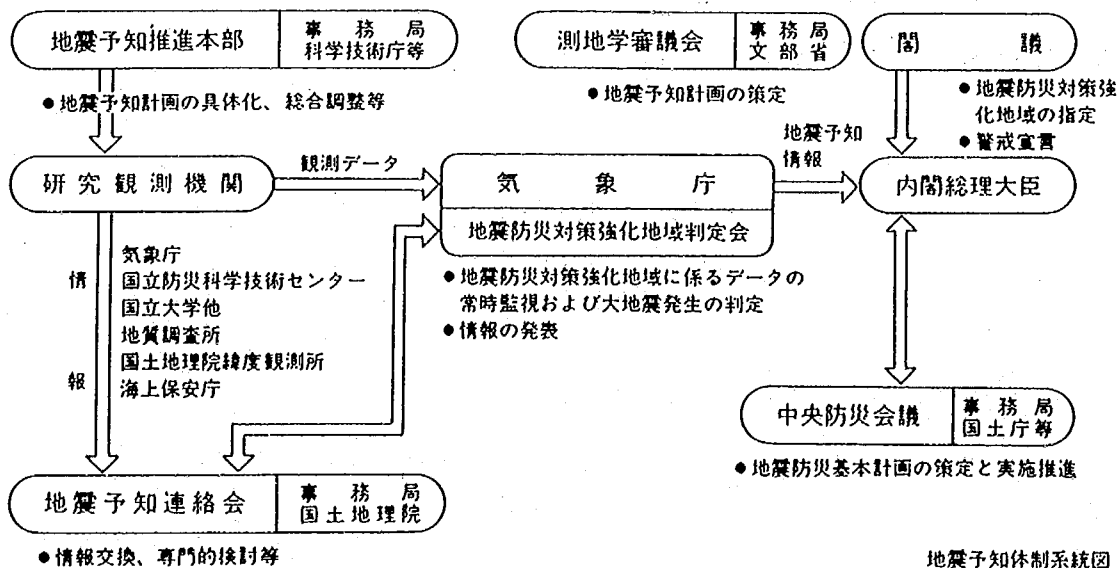


図-4 地震予知関係機関および組織¹⁾

地震の発生時間を絞り込む上で重要な地震先行現象は、その全てが一斉に発生するわけではなく、地震によって発生する異常の種類が複雑に変化している。このため、信頼性の高い推定を行うためにはできるだけ多くの異常を高密度に監視する必要があるが、現状の観測網では必ずしも十分ではないと言われている。

冒頭に示したように、地震予知が実現すれば、防災対策を行う上で極めて有効と考えられる。しかし、世界的に見ても科学的根拠に基づく地震予知が成功した事例は少ないのが実情であり、地震予知を拠り所とした防災対策の立案は現状では難しいと言わざるを得ない。また、地震予知のみに基づいた防災対策の実施は、予知できない地震に対する危険を作り出すことにもなりかねない。したがって、現段階では、予知できるかできないかに係わらず地震は将来必ず生じるものであることを念頭において、突然生じる地震を想定した防災対策を講じておくことが基本的に重要であろう。

【参考文献】

- 1) (社)全国防災協会：二次災害の予知と対策、1987.10
- 2) 力武常次：地震予報・警報論、学会出版センター、1979.6
- 3) 宇津徳治：地震学、共立全書、1979.10

(耐震研究室)

共通部門目次

	(質問者)	(回答者)
1 下水処理における嫌気・好気法	新潟県土木部	三次処理研究室 107
2 鋼製枠型砂防ダムの設計	富山県土木部	砂防研究室 109
3 建設機械への新技術(AI、ファジィ、ニューロ等)の応用と可能性	北陸技術事務所	機械研究室 111
4 建設機械の排ガスのクリーン化等	金沢工事事務所	機械研究室 119
5 橋台の安定計算において浮力を考慮する場合の土圧の考え方	富山県土木部	基礎研究室 133 システム課
6 未利用エネルギーの建設省所管施設への導入効果と経済性	企画部企画課	システム課 135
7 雪崩発生予測手法の適用	道路部道路計画第二課	新潟試験所 143

共－１ 下水処理における嫌気・好気法

（質問）

(1)標準活性汚泥法での処理能力に対し、嫌気・好気法で実施した場合（エアタン上流１／２池：嫌気、下流１／２池：好気）処理能力的には何割程度まで対応できるのか御教示願いたい。（当浄化センターでは、標準法での処理能力 $15,000\text{m}^3/\text{日}$ に対し流入水量が $7,500\sim 8,500\text{m}^3/\text{日}$ で５～６割程度となっており、現在は非常に良好に処理されている。）

(2)標準法エアレーションタンクでの嫌気好気法の実施

エアタン阻流壁の構造（旋回流式のエアタン）は、設計指針等においてもあまり明確にされておらず、特に嫌気・好気法に適した池の構造等は完無に等しいと思われる。今後の分流式処理場の建設において、バルキング対策を考慮した設計（標準法と嫌気・好気法の共存？）を考えていく必要があると思われるが、この点につき御教示願いたい。

(3)嫌気・好気法の実施とりん酸マグネシウムの結晶の析出

嫌気・好気法の実施により、リンの除去率が９０％前後となっている。

また、消化汚泥の中にりん酸マグネシウムの結晶が析出していることが汚泥サンプリングでわかった。

リン除去のために特別な装置を設けているわけではなく、またなぜ結晶が析出したのか原因がよく分からない。今後結晶析出の諸条件（消化槽内で析出されたと思うが）を調査していきたいが、他処理場での結晶析出の実態と状況はどうか御教示願いたい。

（新潟県土木部）

（回答）

(1)標準活性汚泥法で設計されたエアタンを改造して、嫌気・好気法で運転する場合の処理能力ですが、流入する下水の水質にあった設計がされていれば、標準活性汚

泥法の処理能力とはほぼ同じと考えてよいと思います。ただし、質問の内容にあるように、嫌気槽：好気槽＝１：１の容量比で設計した場合、冬場の水温低下時に好気槽容量が不足し、硝化反応の悪化を引金として処理全体がうまく行かなくなるでしょう。嫌気槽：好気槽の容量比はできればパイロットプラント実験などを通して決めたいところですが、それができない場合、ＢＯＤ：Ｎ比など過去の水質データおよび比較的条件の類似した処理場の運転経験などから決定することになります。これについては、建設省高度処理会議のリン・窒素除去法設計資料Ⅱ（循環式硝化脱窒法設計資料）があります。

(2)嫌気・好気法を考慮したエアタンの設計指針についてですが、現在、下水道施設設計指針の改訂作業が始まっており、この中では嫌気・好気法についても触れる予定であります。この作業が完了するまでは、他の事例を参考にしつつ、個別に対応することとなりますが、嫌気・好気法の場合、以下の点に注意する必要があります。

①嫌気槽と好気槽間の隔壁構造および開口比について

②嫌気槽の攪拌方式について

③好気槽の曝気量制御方式について、ＯＲＰ制御などを行い好気部脱窒効果を狙うかどうか

④嫌気部：好気部の容積比

(3)質問にりん酸マグネシウムとあるのはりん酸アンモニウムマグネシウム（MAP）のことではないかと思います。これはりん酸とアンモニウム、マグネシウムがそれぞれ１：１：１で生成する結晶のことで、マグネシウムなどを加えなくても、海水の浸入の多いところなどでは見受けられます。これについては、沖縄県および福岡市でかなり以前から認められており、リンの除去と回収を狙って、積極的にこの反応を応用して行こうという研究も上記２自治体の他、下水道事業団技術開発部において行われています。

（三次処理研究室）

共-2 鋼製枠型砂防ダムの設計

(質問)

鋼製枠型砂防ダムの設計について、以下の項目についてご教示願いたい。

- 1、鋼材の腐食を前提とする断面の決定と、これにともなう構造全体の耐久年数の考え方。
- 2、土石流が発生し、構造物の一部に想定以上の外力が作用する恐れがある場合の対応策。

(富山県土木部)

(回答)

1、鋼製砂防構造物は腐食対策としてさび代を見込むか、さび代と亜鉛メッキを併用することによって耐久性を保証することを原則としている。さび代は、酸性河川でないこと、清澄な大気中であることを前提として片面1.5mmとし断面を決定すること標準としている。¹⁾これは、地域別腐食量資料²⁾などから、年間平均腐食量を0.025~0.030mmと想定し、構造物の耐用年数を50~60年と見込んで決定したものである。しかしながら、ダムを設置する河川環境(流量、流砂量、pH)と腐食の関係に関する調査は多くは実施されておらず、河川周辺の環境による影響については十分把握されていない。そこで、今後これまでに施工された鋼製砂防構造物について追跡調査を行い、構造形式、流量、流砂量、pHの違い等による腐食量の実態を明らかにする必要がある。³⁾

2、鋼製枠型砂防ダムについては、土石流の衝撃力に対する安全性については確かめられておらず、標準的な設計指針¹⁾の中でも土石流の衝撃力は考慮されていない。したがって、原則としては土石流の発生流下するような区間にこのタイプのダムを設置することは望ましくない。しかしながら屈とう性や透水性、工期の短縮などの条件が強く求められ、やむを得ずこのタイプのダムを選択する場合は、巨礫の衝突に対する十分な対応が図られなければならない。最も確実な対策としては、上流に

土石流捕捉ダムを設置し、土石流中の巨礫を捕捉する方法がある。

鋼製枠ダム自体への補強対策としては、鋼製スリットダムの袖として設置した、鋼製枠構造物の上流法及び水通し側面を厚さ50cmのコンクリートを覆った例がある。

3) また、砂防ダムではないが、土石流の導流堤として設置した鋼製枠構造物について、緩衝材としてその流路側に天端幅で約 2~3mになるように土砂を積んで補強した例もある。今後、これらの対策の有効性を確かめる追跡調査も必要である。

この他、摩耗、腐食対策として水通し部を50cm厚のコンクリートや形鋼で補強する方法がとられている例も多いが、土石流の衝撃力対策としては十分な対策とは言えない。

参考文献

- 1) (財) 砂防・地すべり技術センター、鋼製砂防構造物設計便覧、昭和60年
- 2) 鉄鋼協会、腐食防食討論会論文集、昭和46年
- 3) (財) 砂防・地すべり技術センター、鋼製砂防構造物設置事例集、平成3年
(砂防研究室)

共-3 建設機械への新技術（A I、ファジィ、ニューロ等）の応用と可能性

（質問）

産業機械等では、最近A I、ファジィ、ニューロ等の新技術を使った技術開発が盛んに行われ、一部実用化、製品化されている。建設機械でも生産性の向上、安全性、苦労性の軽減のため、自動制御技術を取り入れた機械が開発されている中で、今後これらの新技術を応用した建設機械の技術開発を行っていく必要があるが、これらを進める中で、A I、ファジィ、ニューロ等の新技術を使った製品の実用例、周辺技術の問題点、導入、応用のための条件、実現の可能性（時期）等について御教示願いたい。

（北陸技術事務所）

（回答）

1. まえがき

近年、産業界においてはファジィ、ニューロ等のA I技術を用いた大は地下鉄から小は携帯血圧計にいたるさまざまな商品開発が成されている。A Iの研究は古くはニュートンの時代から始められているが、正式にA I研究が認知されたのは1956年からである。これらA I技術は、人間の持ち合わせている曖昧な情報の処理をコンピュータで代用させているものである。

建設機械においては、その操作が複雑且つ多くの曖昧な情報の処理を要するものであるので、従来の制御技術に馴染み難くその自動化や高度化が加速されなかった。そこで、曖昧な情報の処理を得意とするA I技術の導入により従来の制御技術では得意としなかった建設機械の高度化を図る事が考えられている。

産業界におけるA I技術の現状や推進工法のファジィコントローラ等の導入例を分析し、A I技術の建設機械への導入における問題点、応用のための条件等を取りまとめた。

2. A I等の新技術の現状と問題点

2. 1 歴史

人工知能（AI）研究が正式に始まったのは、1956年に行われたダートマス会議である。その後、AI研究は知能活動をシミュレーションして知能のメカニズムを解明する純科学的な方向と、知的機能をコンピュータに持たせる事で、計画、制御等の種々の問題を解決しようとする工学的な方向に分離した。

工学的な研究では、1965年にカリフォルニア大学のZadehの提唱に始まるファジィ、1965年にスタンフォード大学のFeigenbaumによって開発された化学構造式同定システムDENDRALに始まるエキスパートシステム、1967年に東京大学の甘利によって学習方法概念が提唱された階層型ニューラルネットワークに代表されるニューロコンピュータ等がある。

2. 2 定義と特徴

1) AIの定義と特徴

人工知能（Artificial Intelligence）の略であり、人間の知能機能（問題解決、推論、学習など）を模倣した、コンピュータ技術全般を言う。特に、エキスパートシステムをAIと呼んでいた時期があったが、現在ではエキスパートシステム、ファジィ、ニューロコンピュータ等を総称してAIと呼ぶ。

2) ファジィの定義と特徴

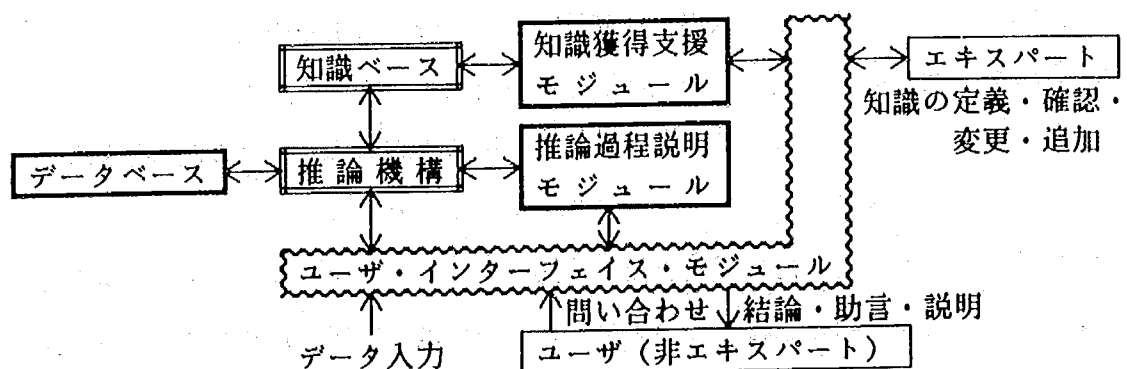


図-1 エキスパートシステムの基本的構造

ファジィ (Fuzzy) とは「曖昧」という意味である。ファジィ理論では、自然界の現象を「YES」か「NO」で表すのではなく、「どちらかと言えばYES」とか「かなりNO」のように人間の感覚に近い表現をし、推論や制御を行う。推論や制御のルールが簡単に作成できる。

3) ニューロの定義と特徴

ニューロとは、人間の脳細胞の事である。ニューロコンピュータは特に小脳の細胞をハード的またはソフト的に模倣し、情報を処理するコンピュータである。一般的にニューロコンピュータと言えば、学習機能を持ったニューラルネットワークの事を言う。

2.3 AIの問題点

ファジィ、ニューロおよびエキスパートシステムの共通の問題点として、「出力された結果が適切である保証がない」ことである。これは、ファジィ等のAIについてシステム工学で問題とされる「収束性」に関する理論的考察がなされていないからである。

また、制御や推論の基になるルール等の情報をどの様に入手するかが問題である。AI組み込むデータの優劣によって、システム全体の優劣が決定するからである。現状で、人間が判断や操作を行っているたり解析がなされている作業対象に関しては、必要とする情報を入手できるが、未知のものに対しては、成す術がない。

しかし、ある種のニューラルネットワーク（ボルツマンマシーンと呼ばれているもの）に関しては、多少未知のものに対しての適応性があるが、現在のところ研究段階であるのでその実用にはまだ時間を要する。

3. 要素技術と産業界における使用例

3.1 要素技術

AIの要素技術として、ハードに関するものとソフトに関するものがある。

(1) ハードに関するもの

①ファジィチップ

ファジィの演算を高速で行う専用 I C。現在商品化され、パーソナルコンピュータとの接続も可能である。

②ニューロチップ

光素子を用いてニューロを模倣し、それを自由に配線できるようにした I C。一部商品化されているが、まだ研究段階であるといえる。

(2) ソフトに関するもの

①エキスパートシェル

エキスパートシステムにおける「知識ベース」と「推論機構」をモジュール化したソフトウェアパッケージで、数多く商品化されている。

②ファジィエンジン

ファジィ演算をソフトウェアで実現したもので、演算速度はファジィチップには及ばないが、現在「ファジィ」と称するものの多くはこのファジィエンジンが組み込まれている。

③ニューロシミュレータ

ニューロをシミュレートするソフトで、階層ニューラルネットワークのシミュレータを始め多くの種類のものが市販されている。

3. 2 産業界における使用例

①ファジィに関して

その工学的応用が始められたのは 1974 年にロンドン大学の M a m d a n i のスチームエンジンの制御の実験に始まりデンマークの F. L. S m i d t h 社のセメントキルンの制御ではじめて実用化された。日本におけるファジィの応用は、1984 年の地下鉄運転システムに始まり現在では、管渠の推進機械の方向制御システム（官民連帯共同研究「小口径管渠掘進制御システムの開発」の成果）を始め洗濯機、掃除機等の電化製品にも用いられるようになった。

②ニューロに関して

音声認識、ポートフリオシステム等の開発が、なされているがそのほとんどが

表-1 産業界におけるファジィ実用化報告

調査年月日	件数	調査年月日	件数
1986. 8. 27	20	1988. 3. 3	86
1987. 6. 1	50	1988. 8. 24	100
1987. 11. 5	72	1989. 3. 15	124

注) 法政大学 廣田教授による

研究段階である。実用例は、電化製品のファジィルールを予め与えられた入力信号で、希望とする出力が得られる様に自動的に決定する生成する段階で応用されている程度である。

③エキスパートシステムに関して

橋梁設計支援システム等が提唱されているが、それらの多くが試用段階である。

4. 建設機械へのAI等技術の応用例

AI等技術の建設機械への応用はさほど多くなく、そのほとんどがファジィを利用したものである。ファジィを利用したものを上げると

①1987年に開発された自動浚渫船

②1988年に開発されたシールドマシンの方向制御システム

③1989年に開発され1990年より実用に入った推進機械の方向制御を行う共通コントローラ（建設省官民連帯共同研究「小口径管渠掘進制御システムの開発」）

となる。なかでも、③の共通コントローラは下水道管渠等の推進工事において積極的に使用されており、「一号機が最初で最後」になりがちな建設機械の自動化技術とは全く違うものである。

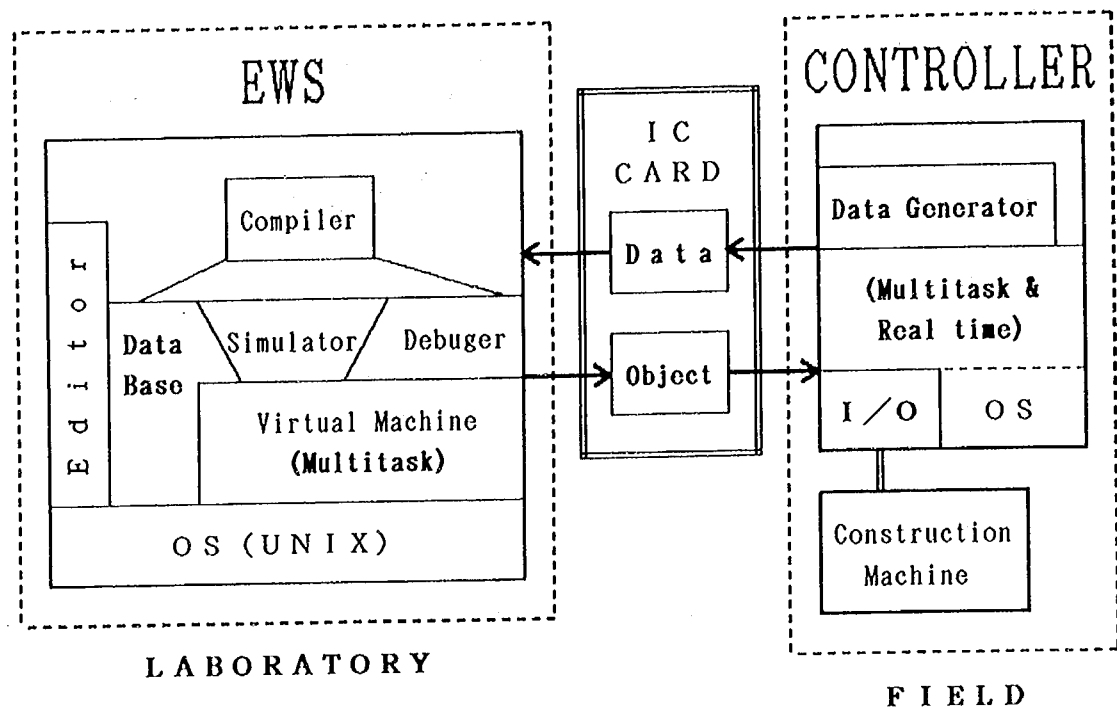


図-2 共通コントローラ概念

5. 展望

産業界での導入例および建設機械の導入例を考慮すると、実現性の高いAI技術はファジィであるといえる。以下は、ファジィの建設機械への導入における問題点とその解決策さらに導入時期について述べる。

産業界および建設機械でのファジィ導入例見ると、その多くが、

- ①制御対象たくさん有っても、各々を独立で制御しても残り問題がない。(1変数の制御系)
 - ②変位や圧力等の計測技術および機械側への制御信号の出力等のインターフェース技術が確立されている。
 - ③制御対象の特性が既知であるか、もしくは未知でも感覚的に把握できている。
- という特徴を持っている。

一般に建設機械においては、上記の3つの特徴を持ち合わせていないものが多い。

そこで、ファジィの導入にあたっては、制御する対象を上記の特徴をできるだけ持つようなものにしなければならない。つまり、ファジィを建設機械に合わせる事に加えて、建設機械をファジィに馴染むように変えてなければならない。しかし、建設機械をファジィに馴染むように変えるのは単純な1変数の制御系になるように、機構や作業形態の変更をしなければならないので、建設機械で上記の3条件を満たす部分より、ファジィを導入していくべきである。また、建設機械は振動、粉塵等の悪環境での使用が多いので、環境対策も必要となる。

振動、粉塵等の環境条件が比較的良好な場合は、現在あるファジィ制御機器やファジィエンジン等の応用で早期導入が可能と思われるが、環境条件が余り良くない場合は早期導入の可能性は低いといえよう。

最後にこれは一つの考えでありオーソライズされていないが、建設機械へのA I導入は概ね以下の順番で進むものと思われる。

- ・仕上げ工程におけるグレーダおよびブレードのレベル調整（一部A Iを用いない制御が成されているが、A Iを導入する余地はまだ残されている。）
- ・走行式建設機械の低速走行時における、走行速度制御。（これは、仙台地下鉄におけるファジィ制御技術の応用である。）
- ・ショベル等の定置型建設機械の旋回動作制御。（一部クレーンの旋回動作の自動化は成されているが、ショベルは定置型であるが作業が進むにつれて定置位置が変化するのでA Iで処理する余地は残されている。）
- ・走行型建設機械のフィールド内での郡制御システム。
- ・人間が作業計画を立案し、人間から指示によって自動化された作業を実行する、イージーオペレーション型建設機械。
- ・全自動建設機械が作業し易い環境（障害物等の除去）、施工手順、作業対象等が整備された後に、全自動建設機械（ある意味での建設ロボット）が開発される。
- ・建設機械配置計画支援システム。

参考文献

1. 人工知能とファジィ理論（その基礎と応用）、日本機械学会第665回講習会
2. 菅野道夫、「ファジィ制御」、1988年、日刊工業新聞社
3. 古田均、エキスパートシステム技術の現状と展望、土木技術資料第32巻11号（1990）
4. コンピュートロール 24「特集／ニューロコンピュータ」、1988年、コロナ社
5. コンピュートロール 28「特集／ファジィ制御」、1989年、コロナ社
6. 「ミニ特集ファジィ制御」、社団法人計測自動制御学会、計測と制御vol. 28 NO. 11、1989
7. 池田雅夫、「ファジィ制御への過大な期待に対する疑問」、社団法人計測自動制御学会、計測と制御vol. 29 NO. 8 pp. 70-73、1990
8. Takatsu, T. and Takeda, H., 1989, "On an application of the adaptive control theory to the micro-tunnelling", Preprints of ISCIE '89-5, pp. 161-162.
9. Takatsu, T. and Takeda, H., 1989, "On an application of the modern control theory to the micro-tunnelling", No-dig '90 Osaka Pre-Conference, pp. 1.1.1.-1.1.5, Japan Society for Trenchless Technology (JSTT).
10. Takatsu, T. and Takeda, H., 1989, "A study of the parameter identification with a parameter's dynamics", SICE Preprints of Dynamical System Theory Symposium, pp. 274-277
11. Muramatsu, T. and Cho, K., 1989, "A concept of control system for construction robot", IEEE IROS '89, pp. 128-135.

（機械研究室）

共－４ 建設機械の排ガスのクリーン化等

（質問）

資源枯渇・地球環境保全等の観点から、建設機械においても、排気ガス対策等を積極的に展開する必要があると考えるが、今日の技術要素の到達点、クリアすべき問題点等について御教示願いたい。

また、クリーンエネルギーの開発・導入の展開の可能性等について御教示願いたい。

（金沢工事事務所）

（回答）

1. まえがき

今日、世界的に地球環境の保全が叫ばれ、オゾン層保護のためのフロン使用の禁止、地球温暖化防止のための二酸化炭素の規制問題等が取り上げられている。

また、それに伴い最近では電気自動車が活発に研究開発され、コストや実用性は別にして、性能では問題のないものも開発されつつあり、限定的であれば実際に採用できるものとなりつつある。

以下に公害に対する規制法律及び対策技術について、現状及び今後についてみてゆき、建設機械に関しての考察を行う。

2. 規制法律等

我国の公害関係法の体系を定めているのは昭和42年に制定された公害対策基本法である。この公害対策基本法に基づいて、工場、事業場や自動車からのばい煙の排出を規制している法律が大気汚染防止法である。大気汚染を防止するための法規制は、昭和37年に「ばい煙の排出の規制に関する法律」が制定されたのに始まる。この法律の制定により、工場、事業場のボイラー等から発生する硫黄酸化物と粉じんについて、初めて法的規制が行われることになり、濃度基準が定められた。その後、昭和43年6月に大気汚染防止法が制定されたが、これは「ばい煙の排出の規制に関する法律」が発展的に解消されて制定されたもので、これによ

り指定地域の拡大、自動車の排出ガスの規制、排出基準設定方式の合理化（硫黄酸化物のK値規制）特別排出基準の新設等の改正が行われた。その後も改正されてきた。

また、自動車の排出ガス規制については、新車を中心に一酸化炭素、炭化水素、窒素酸化物の規制が実施されているが、特に窒素酸化物については乗用車（ガソリン、LPG車）に対し昭和48年度より規制を実施し、逐次強化し、ディーゼル車は49年度より規制を実施してきた。これにより、窒素酸化物についてみれば、未規制時に比べ、ガソリン車で7～9割、ディーゼル車で5～7割以上削減している。

これに対応して、NOx低減のために表－1に示すように対策が施されてきた。

世界的な最近の動向を見てみると、現在「気候変動に関する枠組み条約（地球温暖化防止条約）」で二酸化炭素排出抑制として二酸化炭素排出量の安定化が検討されている。それに伴い、経済協力開発機構（OECD）加盟各国が環境税制の検討がなされており、CO₂税が有力視されている。これは、石油、石炭、天然ガス等の化石燃料を大量に扱う燃料生産者等に対し、燃料の種類ごとにCO₂排出量に応じた税率で課税する間接税である。

昨年末、米カリフォルニア州は、排ガス対策のため州内で自動車を販売するメーカーは1998年から全体の2%を電気自動車等の低公害車にすることを義務づけるという新法を制定した。例えば、トヨタや日産の場合、現在の計算で年間4千～6千台の電気自動車を販売しなければならないこととなる。

また、米国では今年1月、ブライアン上院議員による規制強化法案が提出され、米上院議員による規制強化法案が提出され、米上院で審議されている。1988年を基準として1996年モデルから20%、2001年モデルから40%、各自動車メーカーの企業平均燃費の向上を義務付ける内容だ。順調に行けば来年末にも完成する可能性がある。

ここで、建設機械について目を向けてみると、公道を走行する自動車に関して

表-1 NOx及び黒鉛低減の対策技術と問題点

	対 策 技 術	問 題 点
I 燃 焼 室 系	(1) 燃 焼 室 形 状 の 最 適 化 (リップ付燃焼室の採用)	◦ピストン、シリンダ、ヘッド等の熱負荷増大
II 燃 料 噴 射 系	(1) 燃 料 噴 射 時 期 の 遅 延	◦始動性悪化 ◦排気温度の上昇 ◦出力低下 ◦燃費悪化
	(2) ノズルの噴口径、数、長さの最適化	◦ノズルの耐久性
	(3) 高 噴 射 率 化 (カムリフト増大等)	◦燃料噴射ポンプ及び噴射パイプの耐久性 ◦NOx増加の為、更に噴射時期の遅延要
	(4) 初期噴射率の低減と安定化	◦安定した噴射率制御が可能な装置の開発
III 吸 排 気 系	(1) 吸気のスワール・乱れ最適化	◦熱負荷の増大
	(2) 吸 排 気 系 抵 抗 減 少	◦ポンピングロスの増加に共なうフリクション増大
	(3) 慣性過給による容積効率の向上	◦コントロール装置の信頼性
	(4) 吸 排 気 弁 開 閉 時 期 変 更	◦ピストンの信頼性
IV そ の 他	(1) 排 気 量 の 増 加	◦騒音増大 ◦フリクション増大(燃費の悪化)
	(2) 定 格 回 転 数 の 低 下	◦最高出力の減少
	(3) 品質のばらつきの押え込み	

は道路運送車両法に規定する道路運送車両の保安基準によって、ばい煙、悪臭のあるガス、有害なガスの発散防止装置について規定されているが、公道以外の例えば建設現場等では適用外となっていた。近年ディーゼル車より排出される窒素酸化物の問題がクローズアップされるに及び、トンネル工事等の閉所作業での作業環境の改善のために、建設省は、平成2年度から建設大臣の私的諮問機関である「建設技術開発会議」に「建設機械のユーザー仕様高度化推進専門部会」を設置して、窒素酸化物対策としてトンネル作業用建設機械の排出ガス基準について昨年検討を行った。

今後は、一般の建設機械についても基準の検討を行う予定である。

また、代替エネルギーとして、現在、電気自動車、メタノール車、ハイブリッド車、ソーラーカー等代替エネルギー車の研究開発が行われているが、コスト的には既存のものよりかなり割り高である。そのため、環境庁は今年度、電気自動車を中心にした低公害車を地方自治体に普及させるための本格的な助成策に乗り出した。

建設機械に関しても、新技術を普及させるためには、例えば、建設ロボットを取得する際の初期投資負担を軽減するため、「中小企業新技術体化投資促進税制（通称：メカトロ税制）」の中で建設作業用ロボットに税制上の優遇措置がされているように、低公害車を対象にした特別償却制度など、税制面からの支援が必要であると考えられる。

3. 対策技術

対策技術としては、現在のエンジンの改良及びクリーンエネルギーの使用等が考えられる。以下では、これらについてみていく。

3. 1 有害物質の削減

1) 車用技術

ディーゼルエンジンの排ガス対策技術としては、表-2に示すものが考えら

れる。

表-2 ディーゼルエンジンの排ガス対策技術総括

No.	技 術 名	効 果	現 状	建 機 へ の 適 用	リードタイム
1	燃料噴射時期遅延	NOx低減	自動車では最も一般的に普及	比較的容易	1~2年
2	排気ガス再循環	NOx低減	一部のディーゼル乗用車で採用	非常に困難	5~10年
3	後処理装置 (ディポジット)	粒子状物質除去	実用化されたものはない	非常に困難	5~10年
4	高圧噴射	燃焼改善, 黒煙低減	プロトタイプ的なものは発表されている	困難	3~5年
5	燃焼室改善	燃焼改善, 黒煙低減	信頼性向上が必要	困難	3~5年
6	電子制御	燃焼条件の制御	信頼性向上が必要	比較的容易	2~3年
7	インタークーラ付過給機	燃焼改善, 黒煙低減	自動車の一部で採用	困難	3~5年
8	触 媒	CO, HC, NOx等の低減	ディーゼルエンジンに対しては研究の段階	不明	不明
9	燃料, 潤滑油の改善	排気ガス再循環の採用を効果的にする。	研究中	容易	5年以上

a. 燃料噴射時期遅延

ディーゼル車は数回にわたる規制強化に対応して、NOx低減のために図-1に示すように、燃料噴射時期を遅延させることにより窒素酸化物の低減を進めてきた。

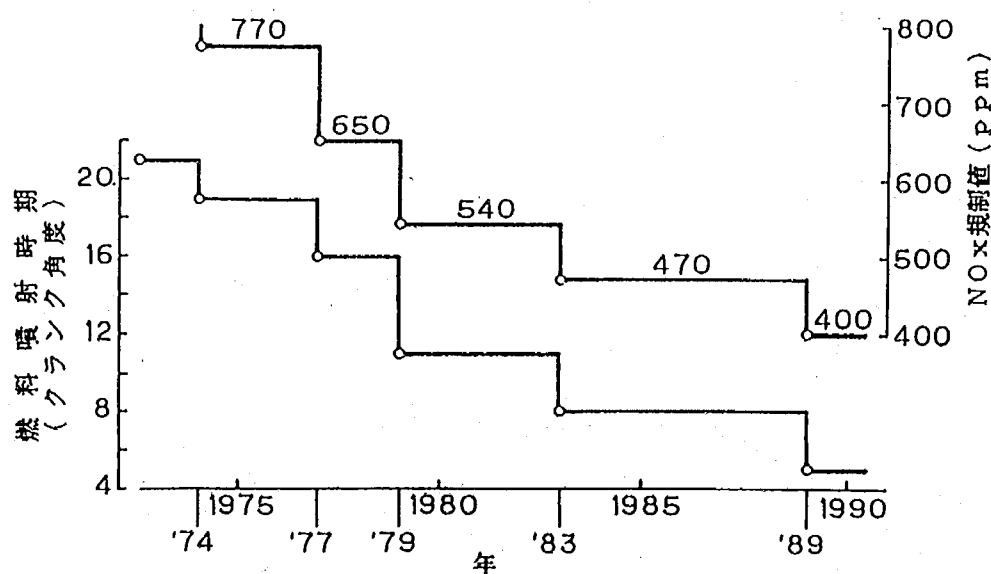


図-1 NOx規制強化に伴う燃料噴射時期の遅延

しかし、窒素酸化物 (NO_x) の低下とは反対に、粒子状物質 (PM) や炭化水素 (HC) 等が増加する。

また、既に限界に近いものがあり、今後更に燃料噴射時期を遅延することによる効果は大きな期待はできないと思われる。

b. 排気ガス再循環

NO_x 低減対策として高負荷時に非常に有効と考えられる。しかし、CO及びHCも増加しPMは激増する。

c. 燃料噴射系の対策

燃料噴射時期遅延や排気ガス再循環を採用することにより、出力の低下、黒鉛の悪化等が生じる。高圧噴射は空気との混合が改善され燃焼が促進されるために黒鉛の低減と燃費の改善をもたらす。しかし NO を増加させるので噴射時期及び噴射率の最適制御等を行うために電子制御技術の確立等が必要である。

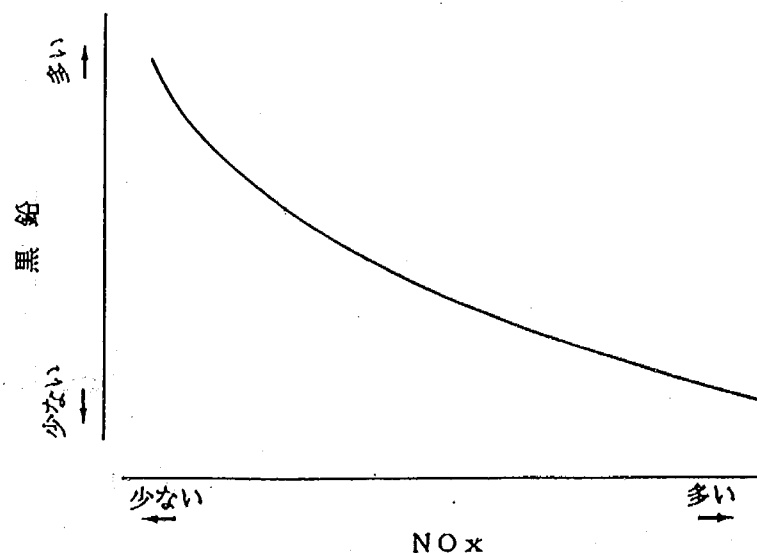


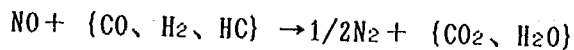
図-2 NO_x と黒鉛の関係 (大型トラック用直噴式ディーゼルエンジン)

d. インタークーラー付過給機

過給によりエンジンに十分な空気を導入すれば、黒鉛及びPMを低減できる。更に過給空気を冷却し燃焼温度を低下させることにより、 NO_x を低減させることが可能である。また、燃費の低減にも効果があり、シリンダ内の熱負荷低減にも有効である。容量可変ターボは、過渡時の黒鉛減少に有効である。

e. 触媒

排気中の窒素酸化物 (NO_x)、一酸化炭素 (CO)、炭化水素 (HC) を触媒によって、還元及び酸化を行い、1つの触媒装置により3成分を同時に低減させる。



これは、3元触媒と呼ばれ、3成分を同時に低減するために各成分の濃度がある範囲内でつり合っていることが必要で、エンジンに供給する混合気の空燃比をきわめて狭い幅におさえなければならない。3成分の転化率を常に80%以上に保つのに必要な空燃比幅は±0.25程度であり、電子燃料噴射装置等により制御されている。

空燃比を理論値付近に保持可能なガソリンエンジンでは上記の3元触媒が用いられているが、空気過利率が大きいディーゼルエンジンでは、 NO_x の還元は非常に困難であるのが現状である。

現在、自動車排ガス対策用に、プラチナとロジウムを使用した触媒が広く用いられているが、最近では、プラチナとロジウムを全く使用しない新しい触媒が開発されている。これは、安価なパラジウム金属だけで排ガス中に含まれる窒素酸化物、一酸化炭素、炭化水素の3つの有害物質を同時に除去するもので、これにより触媒装置の製造原価を従来の1/3以下に抑えられる。

f. リーンバーン (希薄燃料)

最近では、自動車メーカー数社がリーンバーン (希薄燃焼) システムで20%強の燃費低減を実現させている。シリンダ内で、空気と混合気 (空気とガ

ソリン)の各々の縦渦を混ざり合わないよう発生させ、希薄混合気で安定した燃焼を可能にした。燃料と空気の割合を測る空燃比センサを採用し、あらかじめ設定した空燃比になるよう燃料噴射量をキメ細かく制御できる。熱損失や吸気抵抗増大などによる出力上のロスがあった。吸気流が空気のみ縦渦と、空気とガソリンの混合気からなる縦渦の2つの大きな渦を発生させるようにした。混合気側で着火すると、火炎が急速にシリンダー内に伝わって安定した希薄燃焼が得られる仕組み。これにより、出力ロスの発生を防ぐことができる。

g. ディーゼル車のブレーキ充電

また、ディーゼル車では、ブレーキすると充電される装置を装着したものがある。これは、発車の際にディーゼルエンジンからばい塵が最も発生するため、ブレーキの際に貯めた電力をモーターによる発車に使っている。

2) 大型装置用技術

最近では、火力発電所やアスファルトプラントなどにおいて窒素酸化物を効率よく除去する装置が設置されている。

3. 2 低公害システム

最近では、代替エネルギーを使用した車として、電気自動車を中心に、メタノール車、ハイブリッド車、ソーラーカー等代替エネルギー車の研究開発が行われており、その現状と将来性について述べていく。

1) 電気自動車

電気自動車は、1973年の石油危機をきっかけに注目された。しかし石油価格が低迷により見向きされない時期もあった。しかし、近年の環境問題や前述の米カリフォルニア州等での厳しい排ガス規制への対応のため、自動車メーカーを中心に研究開発が盛んに行われている。

表-3 電気自動車の最近の研究開発

会 社 名	走行距離	最高速度	その他
日本メーカー より販売中	80～ 110km	70～ 80km/h	充電時間8～9時間 パンタイプ
トヨタ自動車	160km	85km/h	
日産自動車	250km	130km/h	40%補充電時間は6分間 200kgの電池 0～400m発進加速20秒
ゼネラル・モーターズ	200km	160km/h	0～100km/h加速8秒
東北電力 他	200km	90km/h	
アリゾナ・パブリック サービス サン・カリフォルニア ・エディソン	200km	135km/h	ペースト状にした亜鉛と特殊な 触媒に酸素が触れて発電する「亜 鉛・空気式電池」を開発。従来に 比べ8倍強力
米ルズ・イン ターナショナル	450km (見込み)		泥状の亜鉛を燃焼させてエネル ギー源とする交換式の電池で、所 要時間は4～6分

電気自動車の難点として次のことが挙げられる。

- ①蓄電池は低価格だが非常に重量物であり車重が増加する。
- ②1回の充電で走行できる距離及び最高速スピードがガソリン車と比べ劣る。
- ③充電時間が長い。
- ④充電ステーションが全国に配備されておらず、行動領域が限られる。
- ⑤ガソリン車と比べ高額（軽自動車タイプで3～5倍）になる。
- ⑥カーエアコン、カーステレオ等の快適性
- ⑦発電過程での公害

この対応のために、以下のことが考えられる。

a. 電池

対鉛蓄電池エネルギー密度を見てみると、リチウム電池は4倍とガソリン車に劣らない性能を発揮すると思われる。ニッケル・カドミウム電池は使用されてきたが、しかし、他は寿命、安定性及びコストの面等に難点があるため今後の改良が期待される。

表-4 各種電池の対鉛蓄電池エネルギー密度

電池の種類	ニッケル・カドミウム	トリウム・硫黄	リチウム
対鉛蓄電池エネルギー密度	1.6倍以上	2～3倍	4倍

b. 走行距離及び最高速

表-3に示すように、最近では実用性能を満足したものが開発されている。今後、電池の改良、車体に新素材を用いての軽量化等により向上するものと思われる。

また、モーターに関しては、技術的にはかなり完成された感があるが、常温超電導が実現されれば、強力なモーターができるため飛躍的な向上が図れる。

c. 充電時間

表-3に示すように、最近では充電時間が6分とガソリンを入れるのと変わらないものが開発されてきている。

d. 発電過程での公害

電気自動車自体は公害を排出しないが、電気の供給源、例えば火力発電所等では公害が発生する。しかし、その場合は対策を発電所の1箇所に施せば良く、また、水力発電等のクリーンな発電の割合を増やせば良い。ここで、これらの発電等について少し触れておく。

・ コージェネレーション

熱エネルギーから電力を取り出す効率は、普通約40%で、残りの60%は排熱となる。この排熱を給湯や暖房等の熱源として利用することは可能で、こうした熱利用も含めると、総合熱効率は80%まで上げることができる。

この総合効率を高めるという考え方のもとに登場したのが、熱と電力を同時に利用して熱効率を高めるコージェネレーション（熱電併給）システムである。欠点としては、電力は遠隔地へ送電できるが、熱を遠くへ輸送する技術はまだない。また、ユーザー側からみると、熱と電力の需要は各々別々に変化するが、コージェネでは熱と電力が比例して発生する。このため現在は、全エネルギー需要よりも小さいコージェネを置き、熱の不足は補助ボイラーで補うようにする傾向が強く、省エネ効果は少ないのが実情である。

・ 燃料電池

燃料電池は、燃料の持つ科学的エネルギーを穏やかな酸化反応により直接電気に変換する装置である。燃料コンバータ、触媒、電極などから構成される。

これは、大気を汚す NO_x や SO_x がほとんど発生せず、発電効率が40~60%と高い、小型から大規模発電まで対応できる等のメリットがある。ただ、現在のところ発電コストが高い。

・ 太陽電池

太陽電池の利用は、ソーラーカー等で研究レベルでは進んでいるものの、これはまだ実用化には達せず、離島等での電力源のような限定的な用途で利用されているのが現実である。この問題としては、天候に左右され、また、高純度のシリコンを使用しなければならず、これが重さ1kg当り数百ドルと高価であり発電単価が非常に高い、エネルギーの安定供給が図れない等が挙げられる。このため、補助的なエネルギー源の確保が必要と考えられる。

今までの太陽電池は高純度のシリコンを使用しなければならず、他のエネ

ルギと比較してコストパフォーマンスがかなり悪かった。

しかし、最近では、これまで用途がなかった重さ1 kg当り2ドル前後の低純度のシリコンを使った新型光発電薄膜が開発されたことにより、発電電力1 W当り1.5~2ドルと従来の太陽電池の1/10近い設備費で済む。この新製品はアルミはく上に微少な球形の光発電セル（細胞）が4インチ角の面積にセルが17,000個入る密度でのる。折り曲げることもでき、軽く耐久性も高い。

・ 常温核融合

これは最近試験管の中でできるということで注目を集めたが、実用化は21世紀中にできるかどうかと考えられる。

・ 常温超電導

ここ4、5年ブームになり、かなり高温での超電導物質も発見されているが常温での超電導はいつできるか（できるかどうかも含め）は判断できない。ただ、この技術が開発されれば、長距離の送電線による送電損失（現状では約半分に減る）がなくなり、また余剰電力を100%貯蔵できる。

また先に述べたように、非常に強力なモーターが開発できる。

2) 水素エネルギー

これは、かなり現実性の高いものである。

水素エネルギーは、クリーンなエネルギーであり、輸送・貯蔵が容易であり、発電及び自動車用燃料を始め多岐にわたる分野で使用が可能である。ただ、これも水素をつくるための電力が必要であるため、電気自動車で述べたような発電過程の考慮が必要である。

これらについて建設機械の立場からみていく。

現在のエンジンの改良という視点では、建設機械用エンジンと自動車用エンジンとの主な違いを見ていかなければならない。

①高負荷連続で使用

②低回転・高トルクの出力特性の要求

- ③高い噴射ポンプガバナ制御特性が必要
- ④始動特性が不利
- ⑤冷却系仕様が不利（作動油クーラ+ラジエーター、車風速無し）
- ⑥粗悪燃料、粗悪オイル、不良冷却水が使用され、メンテナンスも悪い。
- ⑦少量多種生産

このため、自動車エンジンの対策技術を建設機械用エンジンに適用させた際の
問題点及び対応策を表-5 にまとめる。

表-5 建設機械用ディーゼルエンジンの排ガス対策技術と問題点

系	自動車用エンジンの 対策技術	建設機械用エンジンへの 適用上の問題点	対 応 策
燃 焼 室 系	1. 燃焼室形状の最適化	・使用条件が異なることによる個別 の熱負荷対策要	・建設機械用固有のピストン、ピス トンリング等の設定 ・オイルクーラ、オイルフィルタの 容量アップ
燃 料 噴 射 系	1. 燃料噴射時期の遅延	・始動性悪化 （オイルポンプの引きずり） ・排気温度上昇 ・燃費悪化による冷却性能の悪化	・スタータ容量アップのほか 自動車用プラスαの対策要 ・ターボチャージャのマッチング ・ファン、ラジエータ等の容量 アップ
	2. ノズル噴口径、数、 長さの最適化	・粗悪燃料使用時のノズルつまり	・燃料フィルタの強化、改良
	3. 高噴射率化 プランジャ径、カム リフトの増大	・オールスピード型ガバナの 燃料噴射量、回転数制御が困難	・ガバナの新開発 ・電子ガバナの採用
	4. 初期噴射率の低減と 安定化	↑	↑
吸 排 気 系	1. 慣性過給による 容積効率の向上	・コントロール装置の信頼性、 ・機台側のレイアウト変更要	・信頼性向上 ・機械メーカーのレイアウト検討
	2. ターボチャージャの 最適化	・燃料噴射時期遅延等による個別の 対応要	・ターボチャージャのマッチング
	3. 空冷インタークーラの 採用	・機台側のレイアウト変更要 ・冷却性能の悪化	・機械メーカーとエンジンメーカー の共同開発要 ・建設機械の冷却系構造変更要 ・ファン、ラジエータ等の容量 アップ

また、クリーンエネルギーを使用する場合を考えると、例えば現在盛んに開発されている電気自動車の技術を建設機械に適合させた際には、電気自動車と比較して次の点が考えられる。

1. 高負荷連続で使用するため、モーターの特性には適合しにくい。
2. 行動領域が工事現場に限定されているため、小容量の軽い電池で済み、また、充電ステーションの整備を行う必要がなく電池を交換式にするなどすればよい。

結論的には、コストを考慮にいれなければ、電気建設機械とするには、土工等の負荷が変動し高負荷がかかる作業には向かず、例えば道路の打替え工事等のように、一定の負荷で作業を行える場所が適していると考えられる。

参考文献

- 1) 日本化学会，窒素酸化物，1977年11月25日，丸善株式会社
- 2) 公害防止設備機材辞典編集委員会，公害防止設備機材辞典，1977年10月20日，産業調査会
- 3) 国際応用システム分析研究所，グローバル・エネルギー・パス，1983年7月25日，電力新報社
- 4) 通商産業省，エネルギー'81，1981年8月20日，電力新報社

(機械研究室)

共一5 橋台の安定計算において浮力を考慮する場合の土圧の考え方

(質問)

示方書Ⅰ共通編2.1.10「浮力または揚圧力」では橋台の安定計算のうち、転倒や滑動などの場合、浮力や揚圧力を考慮することとなっている。そのため、土圧計算においても地下水位以下においては、水中単位重量を使うなどしているが、標準設計では常時のみ考慮し、地震時には考慮していないのはなぜか御教示願いたい。また、橋台前面の水位（水圧）は、考慮すべきかどうか御教示願いたい。

(富山県土木部)

(回答)

示方書Ⅰ共通編2.1.8「土圧」の解説では、常時土圧について地下水位以下にある土の単位重量は浮力として0.9だけ低減するとしている。地震時土圧については同様の説明はないが、常時と同じく低減するのが基本である。しかしながら、標準設計においては以下の理由により浮力を考慮していない。

- ①標準設計では、橋台の場合の水位の位置をフーチング上面としているため、浮力の影響はあるもののあまり大きくない。
- ②地震時に橋台に作用する水平荷重およびモーメント荷重は、上部工慣性力および浮力の影響を無視した地震時土圧が支配的であり、浮力の影響はあまり大きくない。また、浮力の影響を無視した場合、安全側の結果となる。
- ③浮力の影響を無視した場合、土圧の計算が簡単となる。

したがって、水位がフーチング上面よりも高く、浮力の影響が小さくないと考えられる場合はこれを考慮する必要がある。

また、御質問の二点目は、地震時に橋台前面の水位と裏込め内の水位の差を考慮すべきかどうかと考えられるが、このような状況で地震がおこる可能性は小さいた

め、一般的には考慮しないことが多い。ただし、水位変動の著しい箇所においては、地震時においても水位差を考慮する必要があるものと考えられる。なお、水位差の有無にかかわらず地震時動水圧を示方書Ⅴ耐震設計編3.5「地震時動水圧」により作用させる必要がある。

(基礎研究室、システム課)

共一6 未利用エネルギーの建設省所管施設への導入効果と経済性

(質問)

化石エネルギーに代わる未利用エネルギーの活用については、平成3年度建設省重点施策で取り上げられているように、今後積極的な導入を図る必要があると考えますが、導入した事例と効果並びに経済性について御教示願いたい。

(企画部企画課)

(回答)

未利用エネルギーの有効活用については、温暖化の抑制や化石燃料の低減などの観点から、各方面で利用技術の研究・開発が進められている。土木研究所においても、地球環境への負荷の小さい未利用資源・エネルギーの利用技術の開発を含め、地球にやさしい国土建設技術の開発をめざした、建設省総合技術開発プロジェクト「省資源・省エネルギー型国土建設技術の開発」を平成3年度から開始したところである。

本稿では、既存の検討事例をもとに、水熱エネルギー、太陽熱エネルギーおよび地熱エネルギーの利用について紹介したい。

1. ヒートポンプを利用した水熱エネルギーの利用

ヒートポンプは、冷媒を利用して低温の熱源から熱エネルギーを取り出し、それをより高温で利用しやすい熱エネルギーに変換する装置である(図-1)。

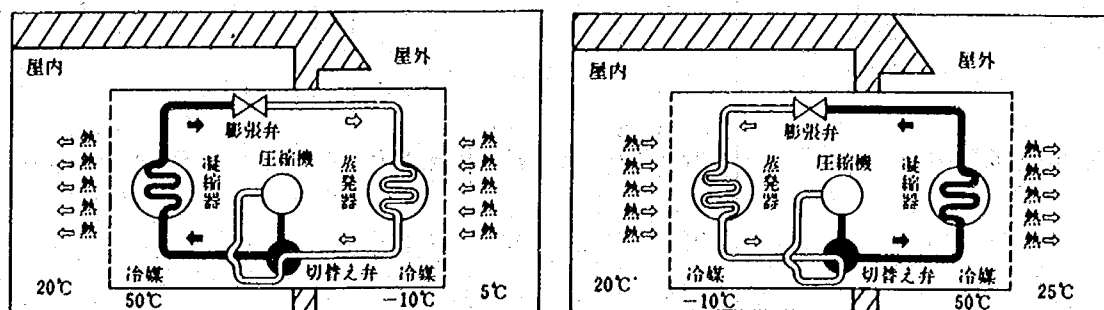


図-1 ヒートポンプのしくみ (エアコン)

近年、ヒートポンプの有する、省エネルギー（効率は電気ヒーターの3倍、同一設備で冷暖房ができる）、安全（火を使わない）、無公害（大気汚染、騒音、振動等の問題がない）等の利点が注目され、この活用についての検討が進められている。

表-1に示すように、これまでにヒートポンプを利用して、上水・下水処理水、河川水などを熱源とする空調、地域冷暖房や、温泉湯、地下水を熱源とする消雪、地域冷暖房などが行われている。

表-1 上水、下水処理水、河川水利用ヒートポンプ 実施例

場 所	年	所在地	用途	容量 (kcal/h)	備考
相模原浄水場本館	1973年	神奈川県	空調用	冷暖 710,000 708,000	上 水
伊勢原浄水場本館	1974年	神奈川県	空調用	冷暖 293,000 255,000	上 水
落合処理場	1986年	東京都	空調用	冷暖 530,000 498,000	処理水
土別市下水処理場	1987年	北海道	暖房用	暖 8,900	処理水
金沢下水処理場	1988年	横浜市	空調用	冷暖 108,000 146,000	処理水
日本橋箱崎地域冷暖房施設	1988年	東京都	地 冷	冷暖 9,676,000 6,800,000	河川水
木場ポンプ所	1988年	東京都	空調用	冷暖 240,000 240,000	生下水
西長沢浄水場	1988年	神奈川県	空調用	冷暖 116,000 78,100	上 水
今池処理場	1990年	大阪府	空調用	冷暖 272,000 370,000	処理水
幕張テクノガーデン	1989年	千葉市	地 冷	冷暖 7,560,000 3,558,000	中 水
湯島ポンプ所	1988年	東京都	空調用	冷暖 172,000 63,000	生下水
新河岸処理場	1990年	東京都	空調用	冷暖 600,000 580,000	処理水
花と緑の博覧会 (咲やこの花館)	1990年	大阪府	空調用	冷暖 13,000 20,000	処理水

ヒートポンプの経済性については、熱量1,000Kcalを得るのに必要なランニングコストの比較計算例によると、電気ヒーターと比較しておおよそ1/3以下であり、また、ボイラーと比較しても安価であるという結果になっている（表－2）。

表－2 ランニングコストの比較計算の例

電気ヒーター	34.9円	発熱量 860Kcal/KWH 効率 1 電気代 30円/KWH	$\frac{1000}{860 \times 1} \times 30$
ボイラー	14.3円	発熱量 8000Kcal/l 効率 0.7 石油代 80円/l	$\frac{1000}{8000 \times 0.7} \times 80$
ヒートポンプ	12.6円	COP3の場合 モーター効率 0.29 電気代 30円/KWH	$\frac{1000}{860 \times 3 \times 0.29} \times 30$
	7.6円	COP5の場合	$\frac{1000}{860 \times 5 \times 0.29} \times 30$

熱源としての河川水、ダム、下水、地下水等は、大気に比較し、夏期は低く冬期は高く、年間を通じて安定した温度特性を有しているとともに、その熱容量も大きいことから、安定的な熱エネルギーの供給が期待されている。「省資源・省エネ」総プロでは、ヒートポンプ利用にあたって、熱利用後の排水温が水質・生態系へ及ぼす影響の調査を行い、適切な水熱利用技術について、熱エネルギー利用指針として取りまとめるべく研究を進めている。

1.1 河川水熱

河川の水熱エネルギーの利用方策としては、地域冷暖房、道路や家屋の融雪、公共施設や地域産業用の空調、河川等の異常生物増殖制御用、浄化処理施設の生物分解速度促進のための補助エネルギーなどの熱エネルギー源としての適用が考えられている（図－2）が、平成3年3月現在で実施されているのは、岡田川箱崎地区の地域冷暖房システムのみである。このシステムは、東京電力㈱が22.7haを対象として平成元年4月から供給を開始しているもので、その概要は表－3のとおりである。

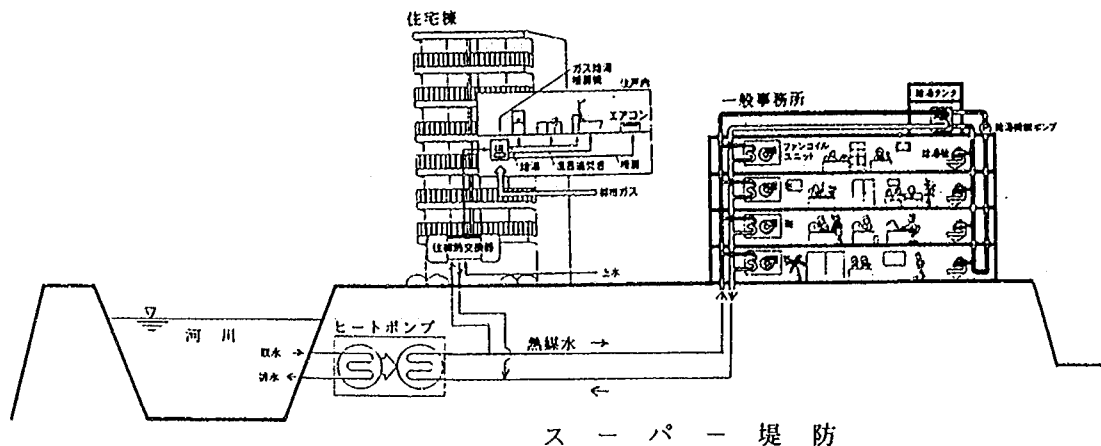


図-2 河川水熱エネルギー利用イメージ(地域冷暖房)

表-3 箱崎地区地域冷暖房システム概要

供給区域面積	22.7ha (将来 40~50ha)				
	プラント面積	1,633m ²			
プラント建設費	約60億円				
供給熱媒	温度(業務用)	冷水(往)..... 7℃ 温水(往)..... 47℃ 冷水(往)..... 9℃ 温水(往)..... 45℃ 給湯(往)..... 60℃ 圧力(業務用)..... 2~ 4 kg/cm ² (住宅)..... 2~13 kg/cm ²			
	熱源設備	水熱源ヒートポンプ (熱回収型、ヒートポンプ付)	冷却 RT 加熱Mcal/h	1,600 3,400×1台	1,600 3,400×1台
		水熱源ヒートポンプ (ヒーティングタワー方式)	冷却 RT 加熱Mcal/h	1,600 3,400×1台	1,600 3,400×1台
		水熱源ヒートポンプ	冷却 RT 加熱Mcal/h		1,600 3,400×1台
		給湯用ヒートポンプ	加熱Mcal/h	35×2台	35×2台
		冷熱合計	RT	3,200	8,000
温熱合計	Mcal/h	8,870	17,070		
蓄熱槽	冷水槽	950m ³			
	温水槽	560m ³			
	冷温水槽	3,470m ³			
	蓄熱槽合計	4,980m ³			

冷媒:
水+臭化リチウム

蓄熱効率:
82~85%

東京電力側では、河川水熱の他、ビルや工場の排熱、下水処理水排熱などを熱源とした熱供給事業を14地点で実施しており、それらによる効果をまとめているが、これによれば、15地点合計での削減率は、重油 25%、CO₂ 63%、NO_x 94%、SO_x 72%となっている。

また、大阪中之島西部地区(土佐堀川利用)でも、大阪府および関西電力が河川水熱エネルギー利用を目的として実験を行っている。

1.2 ダム貯水熱

ダム貯水池におけるヒートポンプによる熱利用の概念を図-3に示す。貯水池におけるヒートポンプを活用した事業計画としては、北海道芦別市に建設中の滝里ダ

ムにおいて、ダム管理所における空調設備、駐車場の融雪、ダム周辺整備計画としてゴルフ場、室内温水プールなどのレジャー施設や、ラベンダーなどハーブの施設園芸など第三セクターの実施する事業への熱供給が検討されている（表-4）。北海道開発局の調査によれば、これらの施設で熱エネルギーの利用方法による経済性を比較する

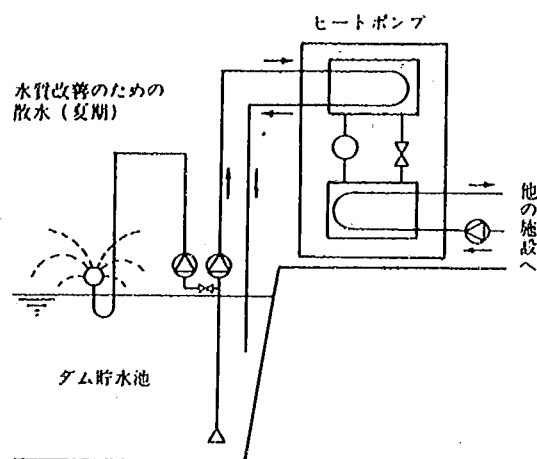


図-3 ダム貯水熱利用概念図

表-4 滝里ダムのヒートポンプ計画

番号	対象	設備の様式		運転条件	
		ヒートポンプ方式	従来方法	運転日数 日数/年	運転時間 h/年
①	駐車場の融雪	加熱量 200,000 kcal/h ヒートポンプ 55 kW	ボイラー 0.4 トン	150	1800
②	室内温水プール	加熱量 1,202,500 kcal/日 ヒートポンプ 90 kW	ボイラー 2.0 トン	300	3000
③	空調・ダム管理所	暖房 166,000 kcal/h 冷房 130,000 kcal/h 給湯 ヒートポンプ 75 kW	ボイラー 0.5 トン 冷房機	160 15	2400 160
④	空調・宿泊研修施設	暖房 248,400 kcal/h 冷房 207,000 kcal/h 給湯 ヒートポンプ 130 kW	ボイラー 1.0 トン 冷房機	160 15 300	2400 160 3000
⑤	真空乾燥冷凍装置	冷凍機 100 kW	冷凍機 120 kW	300回/年	4500
⑥	施設園芸温室	加熱量 330,000 kcal/h ヒートポンプ 130 kW	ボイラー 0.7 トン	150	2400
⑦	傾斜道路の融雪	加熱量 810,000 kcal/h ヒートポンプ 210 kW	ボイラー 2.0 トン	150	1800
⑧	空調・ゴルフ場のハウス	暖房 360,000 kcal/h 冷房 300,000 kcal/h 給湯 ヒートポンプ 160 kW	ボイラー 1.5 トン 冷房機	180 120 180	1800 1200

と、初期コストはボイラー等による場合に比べてヒートポンプは1～1.5倍と高価であるが、ランニングコストでは、ヒートポンプがボイラー等の30%～80%と安価である（表-5）。

表-5 熱エネルギー利用方法の経済性比較表（ボイラー等を1とした場合）

項目	用途	融雪・橋梁		融雪・駐車場		ゴルフ場クラブハウス		温水ポンプ	
		ヒートポンプ	ボイラー加熱	ヒートポンプ	ボイラー加熱	ヒートポンプ	ボイラー + 冷房機	ヒートポンプ	ボイラー加熱
設備費		1.09	1	1.39	1	1.16	1	1.33	1
ランニングコスト		0.33	1	0.32	1	0.70	1	0.30	1
項目	用途	空調・グム管理所等		空調・宿泊研修施設		真空乾燥凍結		施設園芸試験場	
		ヒートポンプ	ボイラー + 冷房機	ヒートポンプ	ボイラー + 冷房機	グム湖水 利用冷凍機	冷凍機	ヒートポンプ	ボイラー加熱
設備費		1.42	1	1.26	1	1.02	1	1.55	1
ランニングコスト		0.33	1	0.33	1	0.81	1	0.60	1

1.3 地下水熱

従来行われてきた消雪のための地下水汲み上げにより、地盤沈下が深刻な問題となっていることなどから、地下水を熱源とするヒートポンプを利用した道路の融雪や地域暖房などが実施されている（図-4）。ヒートポンプを利用した方式では、

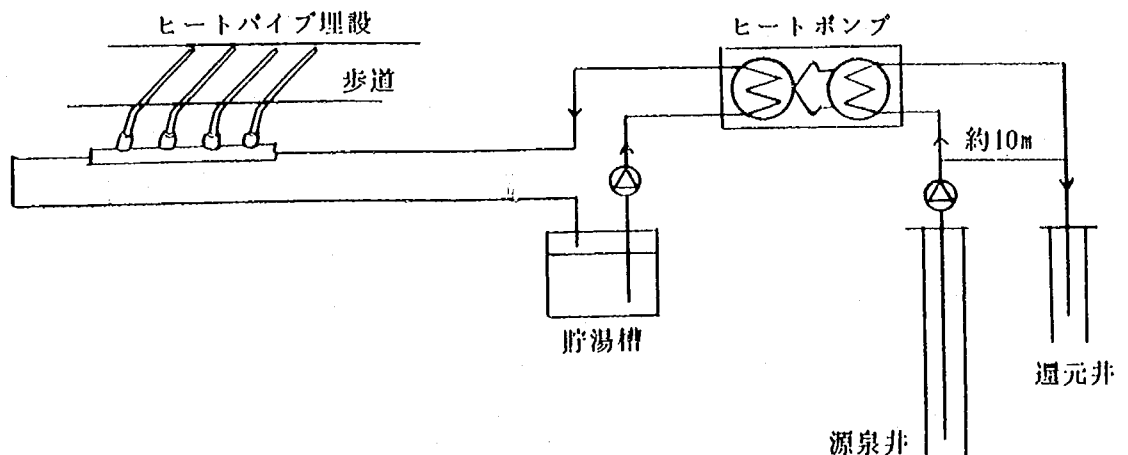


図-4 地下水熱利用ヒートポンプ施設例（歩道融雪）

地下水の有する熱エネルギーのみを利用して、地下水自体は元の帯水層へ還流することができるため、地盤沈下等地下水障害を防止することができる。また、昭和57年度から61年度にかけて行われた建設省総合技術開発プロジェクト「雪に強い都市づくりに関する総合技術の開発」において経済性に関して検討した結果によれば、

融雪施設の例で、地下水利用によるヒートポンプ方式と、重油利用による埋管方式を比較すると、初期コストではヒートポンプが重油の1.5倍、ランニングコストでは30%と試算されている。

なお、「省資源・省エネ」総プロにおいても、ヒートポンプを利用した地下水熱の活用について、地域冷暖房への応用を中心に検討を進めているところである。

2. 太陽熱

太陽熱を利用したシステムとしては、日本道路公団が開発を行っている盛土内蓄熱・融雪システムがある(図-5)。このシステムは、蓄熱部として高速道路下の盛土を利用し、夏期に路面およびのり面に降り注ぐ太陽熱を保存し、冬期の路面融雪に利用するものである。太陽熱の集熱および盛土内への運搬・放熱には、路面直下やのり面に埋設したヒートパイプが使用されている。ヒートパイプによる熱伝導のしくみを図-6に示す。蓄熱によって盛土内の土の温度は、最終的には35℃前後になる。

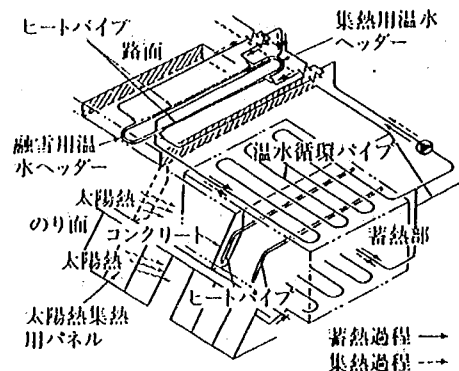


図-5 システム概念図

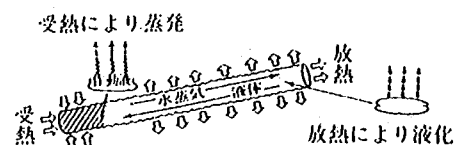


図-6 熱伝導模式図

降雪時には、センサーにより自動的に融雪システムが作動し、盛土内に蓄えた熱によって温められた温水循環パイプ内の熱水を循環させて、路面直下に配管されたヒートパイプを熱し路面の融雪を行う。既に、平成2年度に日本道路公団仙台建設局秋田工事事務所管内に、融雪面積 200㎡、路面からの集熱面積 400㎡、蓄熱部の体積3000m³の規模で、約2億730万Kcalの熱を蓄熱し、時間当たり2cmの降雪に対し8時間連続運転、80日分(計12.8m)の雪を溶かすことのできるシステムが試験施工されている。試験目的の施設のため、建設費は1㎡当り25万円と高価なものとなっており、また、ランニングコストについては、現在計測中である。道路公

団では、同システムを広島で計画中であるが、この場合の建設費は1㎡当り約10万円、ランニングコストは1㎡当り年100円程度と見積られている。

また、この他にも、建設省、道路公団等において太陽熱を利用した夜間照明や、デリニエーター・速度表示等の交通施設への応用についての研究が行われているが、いずれも実験開発の段階であり、経済性については明らかになっていない。

3. 地熱

駐車場や歩道など小規模の融雪を行うための方法として、地熱を利用したヒートパイプの開発・導入が進められている。福井県雪害対策技術センターでは、コンクリート基礎杭の内空に水を貯め、その水が地熱で温められることを利用して駐車場等の融雪を行うシステムの開発を行っている。また、NTT信越支社では、電柱支線の積雪をヒートパイプを利用して地熱を吸収・放熱することで溶かす方法を導入を行い、効果を上げている。

(システム課)

共－7 雪崩発生予測手法の適用

（質問）

冬期の安全で円滑な道路交通を確保するためには、路面管理に加えて雪崩対策が重要である。雪崩には大別して表層雪崩と全層雪崩があり、それぞれに対して各機関で各種の予知・予測手法が検討されているところである。そこで、これらの予知、予測手法について次の2点について御教示願いたい。

（1）予知・予測手法の種類と特徴（長所・短所）

（2）予知・予測技術の現状と課題

（道路部道路計画第二課）

（回答）

雪崩発生予測手法については、昭和62年度から平成元年度までの3ヶ年にわたって土木研究所砂防部急傾斜地崩壊研究室、道路部道路研究室及び新潟試験所が中心となり全国の直轄事務所、県のデータを収集し雪崩の発生予測について検討した経過がある。したがって、ここではその検討結果を紹介する。

（1）予知・予測手法の種類と特徴（長所・短所）

雪崩の予知・予測手法としてはおもに次の方法がある。

- 1 気象条件を考慮した統計的手法
- 2 地形条件を考慮した統計的手法
- 3 積雪の脆弱化を考慮した手法

1の手法は、過去の雪崩発生時における気象条件（気温、積雪深等）に関するデータを統計的に解析することによって雪崩発生予測式を作成し、観測所で観測された気象条件に関するデータ（気温、積雪深、降雪量など）を入力することによって、地域全体としての雪崩発生の危険度を評価するものである。したがって、この手法では地形条件が考慮されていないため雪崩の発生に対して危険な斜面を特定することはできないが、予測手法が簡易なため地域全体としての雪崩監視パトロール体制の編成等においては有効的に役立つものと考えられる。

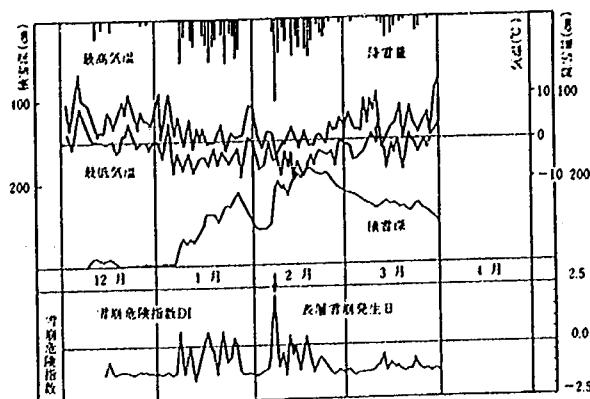


図-1 気象条件を考慮した統計的手法の出力の一例

2の手法は、過去に発生した雪崩について雪崩発生時の気象条件（気温、積雪深等）および発生地点の地形条件（斜面勾配および植生等）に関するデータをファジ理論を用いて統計的に解析することによって雪崩発生予測式を作成し、斜面ごとの地形条件および観測所で観測された気象条件に関するデータ（気温、積雪深、降雪量など）を入力することによって、斜面ごとの雪崩発生の危険度を評価するものである。したがって、斜面ごとの雪崩発生危険度を把握することには有効的に役立つと考えられるが、地形条件の的確な設定など解析手法として難しい部分もある手法である。

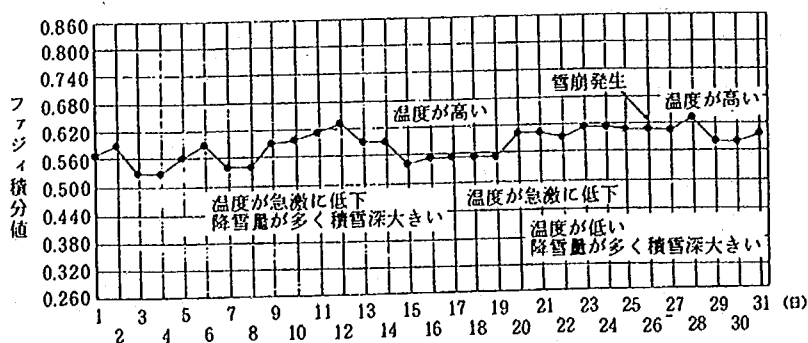


図-2 地形条件を考慮した統計的手法の出力の一例

3の手法は、雪崩対策上特に重要な斜面における雪崩発生危険度を把握しようとするものであり、重要斜面近傍で観測された詳細な気象データ（気温、積雪深、降雪量、風向、風速、日射量）を用いて、重要斜面における斜面積雪内部の各積雪層における剪断抵抗力と上載荷重とのつりあい条件から雪崩の発生の予知予測を行うものである。

この手法は、最も高い精度が期待できる手法の一つと考えられるが、雪崩発生の危険度を把握しようとする斜面近傍に詳細な気象データを観測するための機器を設置する必要がある。

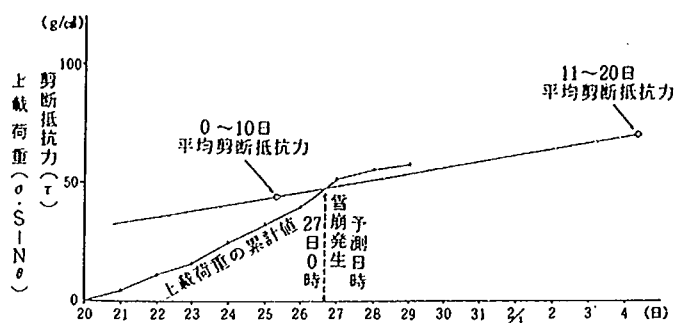


図-3 積雪の脆弱化を考慮した手法の出力の一例

(2) 予知・予測技術の現状と課題

雪崩の発生予測について、区域全体の危険性を評価する場合や斜面を特定して発生予測を行う場合には、一般に統計的手法によって推定することが可能であると考えられる。しかし、これらの手法を用いて現場での利用を考えると、雪崩発生のデータ、たとえば発生の日時、場所、気象条件などを収集していないと、予測手法はあっても、検討すべきデータがないということになる。そこで、雪崩が発生した場合には、現地調査により斜面条件に関するデータを収集するとともに発生時の気象条件に関するデータを収集し、今後より精度の高い予知・予測手法の検討を行う際の基礎資料として準備しておく必要がある。また、積雪層の脆弱化を考慮した雪崩発生予知・予測手法についても、現地における詳細な気象データを継続的に調査し、より精度の高い予知・予測手法の検討を行う際の基礎資料とする必要がある。

(参考文献)

- 1 雪崩の予知・予測技術 下村忠一 土木技術資料 Vol.33 No.3 1991
- 2 雪崩発生の予知・予測に関する研究 第43回建設省技術研究会
- 3 雪崩発生の予知・予測に関する研究 岡邦彦 ゆき3号 (1991,4)

(新潟試験所)

河川部門目次

	(質問者)	(回答者)
1 緩傾斜堤防の水理的機能と設計の考え方	阿賀野川工事事務所	河川研究室 147
2 遮水シートを用いたアーマ・レビーの設計法	信濃川工事事務所	河川研究室 158
3 河川堤防護岸の水抜き孔設置	富山工事事務所	河川研究室 166
4 人工リーフによる河口処理の可能性	河川部河川計画課	河川研究室 168
5 河道内の植樹	千曲川工事事務所	都市河川研究室 170
6 森林における洪水調節、濁水緩和機能	河川部河川管理課	水文研究室 171
7 流量観測の今後の手法	河川部河川管理課	水文研究室 176
8 緩傾斜堤の設計	新潟県土木部	海岸研究室 179
9 環境基準値の大腸菌群数とその分析方法	河川部河川管理課	水質研究室 183
10 ダムの安全管理における機能不良計器の取扱い	大町ダム管理所	ダム構造研究室 184
11 排砂計画を考慮したダム貯水池計画	河川部河川計画課	ダム水工研究室 187
12 流水の貯留形態と水質の悪化の関係	河川部河川計画課	水資源開発研究室 189
13 環境を考慮した流路工計画	湯沢砂防工事事務所	砂防研究室 191
14 砂防施設の景観対策	立山砂防工事事務所	砂防研究室 197
15 砂防ダム水叩きの設置基準	金沢工事事務所	砂防研究室 204
16 遊砂地の構造	飯豊山系砂防工事事務所	砂防研究室 208
17 オープンタイプ砂防ダムの機能、構造、効果	河川部河川計画課	砂防研究室 211
18 高さ15m以上のフローティング砂防ダム	河川部河川工事課	砂防研究室 218
19 騒音対策を考慮した落差工の構造	福島県土木部	砂防研究室 221

20	深層地すべりにおける地下水 排除工としての集水井を考え た場合のその構造	新潟県土木部	地すべり研究室 223
21	急傾斜地における樹木の斜面 安定に及ぼす影響	新潟県土木部	急傾斜地崩壊研究室 226
22	樋門・樋管における遮水矢板 と一般鋼矢板との接続部	新潟県土木部	基礎研究室 229
23	除排雪機能及び融雪時の出水 を考慮した流路工	福島県土木部	新潟試験所 230

河－１ 緩傾斜堤防の水理的機能と設計の考え方

（質問）

近年、河川利用を含めた堤防の質的向上が重要視されつつあるが、そのメニューの１つである緩傾斜堤について、以下の点につき御教示願いたい。

- ・緩傾斜堤の水理機能は、従来型堤防の水理機能とどのように異なるか。
- ・水衝部に緩傾斜堤を採用する場合、護岸設計をどのように考えればよいか。

（阿賀野川工事事務所）

（回答）

１．緩傾斜堤の水理機能を考えるにあたって

本質問に的確な回答を与えることはそう簡単でない。この理由は、第一に「緩傾斜堤」の定義が未だ定まっていないこと、第二に従来型堤防に求められる機能とそれが持っている機能の両方が必ずしも完全かつ定量的に把握されている訳ではないので、従来型堤防と緩傾斜堤の評価につながるような機能の絶対的比較〔要求される機能を基準とした発揮可能な機能の定量的比較を意味する〕ができないこと、第三に堤防設計の考え方は非常に多様な要素についての総合的判断から決められるべきものであり、水理機能という一つの側面についてだけ抜き出して考えることが、その限定条件を十分踏まえたとしても必ずしも適切でないこと、の３点にある。

しかし、新しい堤防のあり方を検討することは、河川に対する新しい要求に積極的に応えて行くことはもちろん、従来型堤防の機能絶対評価と設計合理化を触発するという意味においても非常に重要であり、この場を使って緩傾斜堤について現在考えられる事項を整理してみたい。その際問題となる上記３点については、本回答においては次のように扱う。まず、第一の問題点については、堤防表法面の勾配が

2割よりも相当緩い（5割程度を普通に考える）堤防を緩傾斜堤と定義することにする。また、第2の点については、従来型堤防との水理機能の相対的比較にとどめ、絶対的比較は行わない。第3点については、次項2. で述べる水理機能とは別に3. において、緩傾斜堤の評価において考慮すべき諸事項をまとめて述べる。なお、質問中の2項目は相互に深く関連しているので、特に分けて回答することはしない。

2. 水理機能の相対比較

従来型堤防（表法勾配2割前後）と緩傾斜堤との水理的側面における比較を行う。

（1）疎通能力

図1に示すように、いわゆる計画横断面形を変化させず表法肩位置を同一として堤防の形状だけを変える場合には、緩傾斜堤の方が疎通能力が小さくなる。これは、緩傾斜堤河道の河積が小さいことに加え、主流部に比べ平均流速の小さい表法面上の流れ領域（図中のハッチ部分）の占める割合が緩傾斜堤においてより大きくなることによる。したがって、上記の条件で堤防の緩傾斜化を図る際には、それに伴う疎通能力の変化に応じた計画断面変更を検討しなければならない。

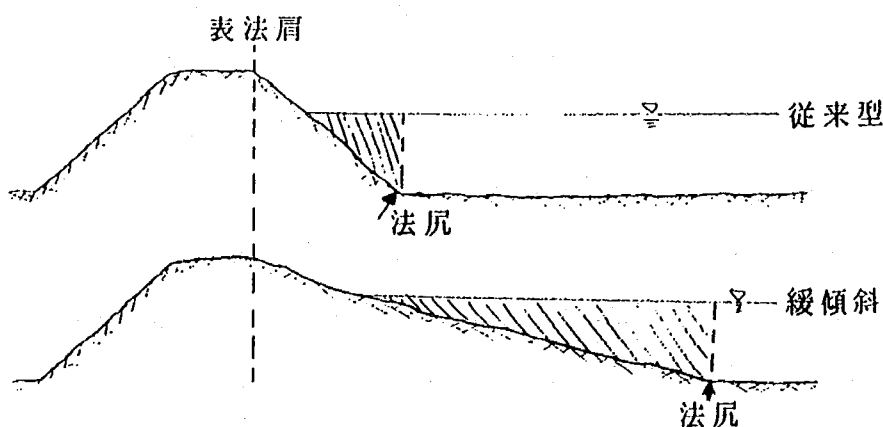


図1 疎通能力に与える法面勾配の影響

ただし疎通能力は、計画横断面形だけでなく他の要素にも支配されるので、実際に上記のような疎通能力変化がそのまま起こるとは限らない。たとえば、従来型堤防近くに密な植生が繁茂し粗度要因となっていた状況下で緩傾斜化が行われると、

植生管理が行き届く範囲が広くなり粗度係数が低下する状況も考えられ、このような場合には、疎通能力の変化が計画横断面形変化だけから予想されるよりも小さくなる。また、低水路が隣接する堤防・護岸の緩傾斜化によって低水路の横断形が変化する場合にも同様のことが言える（この点については（5）で詳述する）。いずれにしても、疎通能力の変化は、計画横断面形状の変化だけでなく、それに伴って生じる種々の河道状況変化の実態を見通して見積もることが重要である。

（2）せん断力

図2に示すように、堤防法尻での水深が同一で法尻から河道中央に向って相当距離（水深の10倍以上程度）同じ水深が続く横断面形においては、表法勾配の変化にともなうせん断力の変化は図3のように現れる（文献(1)より；ただし5割勾配については推定）。この図からわかるように、法勾配が直立に近い場合には、法面には、法尻より河道側の河床面と同程度のせん断力が法面ほぼ全体に作用する。法勾配が5割程度になると、法面上のせん断力はその上に載る水重量の河道流下方向成分に対応したものに近くなるため、法面全体としてはせん断力が小さくなり、特に堤防表法肩に近づくほどせん断力減少の割合は大きくなる。緩傾斜化が、大きなせん断力の作用する領域を表法肩から遠ざける効果を持つことがわかる。

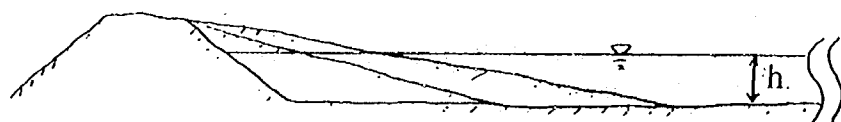


図2 法面せん断力比較条件

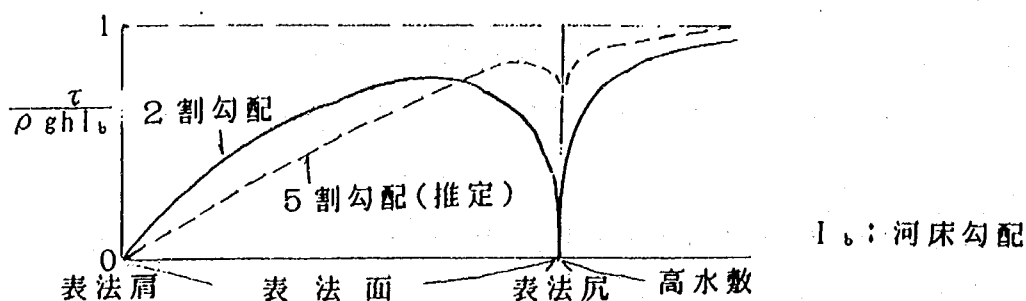


図3 法面勾配の変化に伴うせん断力分布の変化特性

(3) 耐侵食力

堤防表面の土が砂礫質で粘着性が低く、また植生による保護効果があり期待できない場合には、図4に示すように法勾配の減少は耐侵食力の増加に直結する（文献(2)より）。特に、2割勾配から4割勾配の範囲で耐侵食力の増大が大きいことがわかる。一方、粘性土やシルト混じり土など粘着性が高い場合には、勾配変化の影響はそれほど顕著でなく、また、植生による侵食防止機能が高い場合も勾配の効果が現れにくくなる。しかし、これらの定量的な評価は現段階では行われていない。いずれにしても、勾配の減少は耐侵食性の向上につながるが、その程度は堤体表面の土質や植生の条件によって大きく異なると言える。

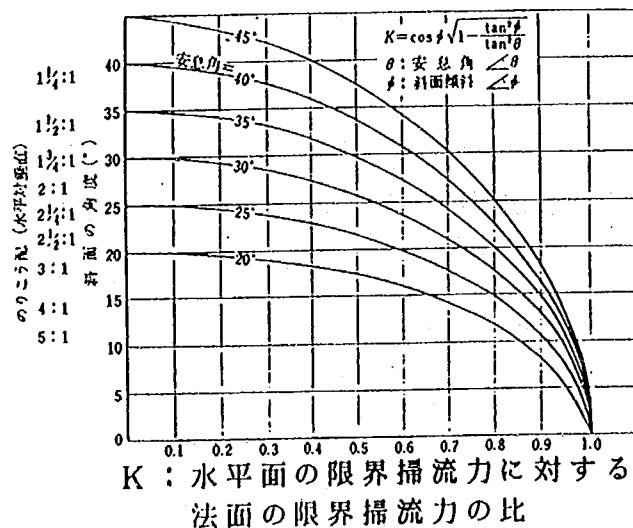


図4 法勾配による限界掃流力の変化

(4) 護岸強度

式(1)は、表法面上におかれたブロックに流水が作用したときの力のつりあいを表わしたものであり、不等号が成立するときブロックは安定となる（文献(3)参照）。

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

①

②

③

④

ここで、 W_w : ブロック1個の水中重量、 D : 抗力、 L : 揚力、 μ : ブロックとそ

の下地盤との静止摩擦係数、 θ ：法勾配、である。また、①：ブロックに作用する重力による力、②：抗力による力、③：揚力による力、④：①②③の力に対抗してブロック移動を阻止しようとする力、である。図5は、ブロックの移動を阻止しようとする力（式（1）右辺④）に対するブロックを移動させようとする力（式（1）左辺①、②、③）の比（縦軸）と作用するブロック近傍流速との関係を、あるブロックが2割勾配の法面に単体で置かれた場合について示したものである。この図から、重力（①）がブロックの安定性を強く支配していることがわかる。このことは、法勾配の減少がブロックの安定化に大きく寄与することを意味している。図6は、同じ形状を持つブロックを対象に、その近傍に1 m/sの流速が作用したときに単体ブロックが安定であるために必要なブロック重量を、法勾配2割と0割の場合について比較したものである。この図から、勾配が小さくなると必要ブロック重量が大幅に減少することがわかる。以上のことは、表法勾配の減少が、護岸のり覆工ブロックの安定化に大きく寄与すること、同じ安定度を満足させるためのブロック重量や厚さを少なくできることを示している。

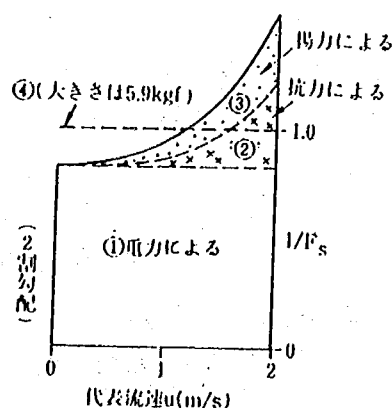


図5 ブロック移動を抑える力に対する
移動させようとする力の比

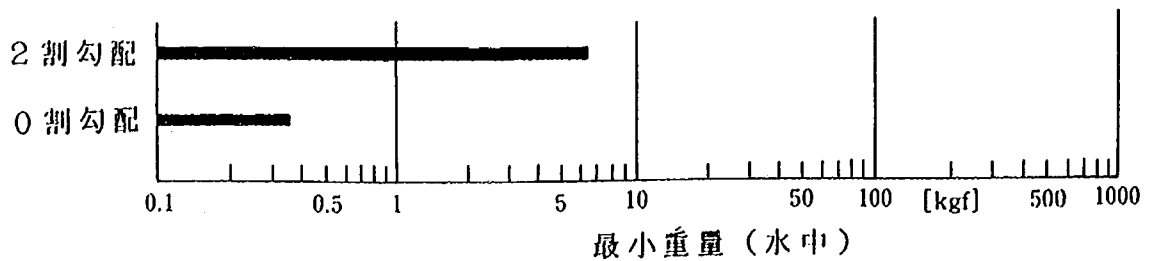


図6 ブロックが安定であるための最小重量(水中)算定例
(あるブロック形状が単体で1 m/sの流速が
作用する法面に置かれた場合)

ただし、護岸の強度を支配する最も大きな要因は護岸基礎の安全性であり、護岸全体の強度比較を議論するには、基礎の安全性の違いを検討しなければならない。この点については(5)で述べる。また、法覆工の安定性増加という上記の勾配効果は、勾配が小さくなり法面面積が増大しても法面が平坦な状態を保つことを前提に成立するものであることにも留意しておく必要がある。

(5) 側岸侵食防止効果

低水路に隣接し、側岸侵食の恐れがある堤防を緩傾斜堤とする場合、2種類の緩傾斜化法がまず考えられる。1つは、図7 a)に示すように、ある高さ(たとえば高水敷高や平均低水位)までを緩傾斜とし、その下に従来型の法勾配を持つ護岸、根固め工を設置するという方法であり、もう1つは、図7 b)に示すように堤防・河岸全体を緩傾斜にするというものである。この場合、少なくとも法面下部は護岸、根固め工など非侵食性の法面で造ることになる。前者のタイプは、(2)～(4)で述べたように、緩勾配部分の法覆工安定化と耐侵食力の向上、大きなせん断力が作用する部分を堤防表法肩から遠ざけるという効果を持つ(量の大小は別にして)。また、万一侵食とそれに伴うのりすべりが生じた時の削り代が大きくなり、側岸侵食の進行を遅くするという効果もある。ただし、河道中央方向に勾配が増大する部分(図中のA点)で滑動についての土質的安定性が減少する恐れがあることに留意しなければならない。また、低水路河床形状に与える影響は(6)で述べる法線形修正効果によるもの以外には小さいと考えられる。一方、後者のタイプ(図7 b))

は、前者の持つ上述の諸効果に加えて、低水路河床形状にかなりの影響を与える可能性を持っている。このことを水衝部で深掘れが生じている河岸を対象に少し詳しく見てみる。（深掘れ部の河床にとどくまで緩勾配で護岸・根固め工などの非侵食法面を造ることは施工的に簡単ではないが、そのような施工が可能なものとしてここでは議論を進める。実際には相当困難な場合もあると予想される。）

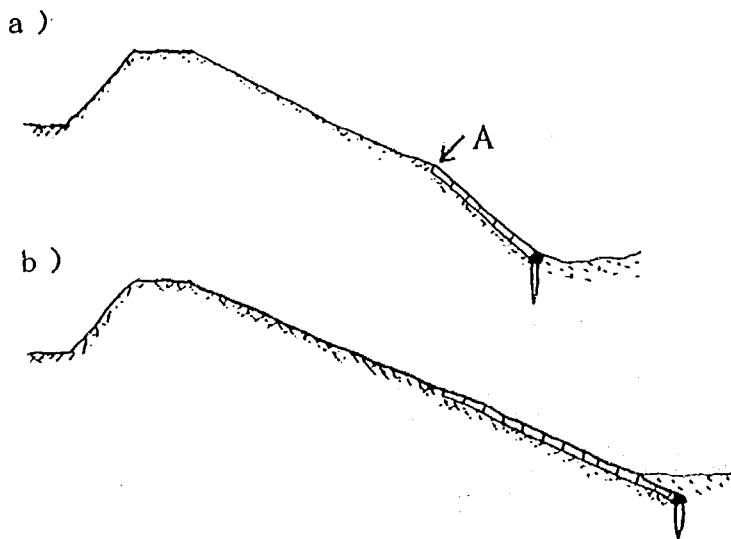


図7 低水路が近接した堤防の緩傾斜化のタイプ

まず、流れの収束・発散による深掘れの代表である砂れき堆による水衝部については、水理実験によって、河岸法勾配を直立から2割まで変えた範囲において、法勾配変化が河岸深掘れ深に大きな影響を与えなかったことが明らかになっている（文献(4)参照）。法勾配がさらに小さくなると、河岸（特に法尻付近）の流速低下や非侵食性法面による深掘れ領域の一部被覆による洗掘深の減少という効果が現れると考えられるが、これらの定量的な評価はまだなされていない。

湾曲部の2次流による深掘れがある河岸（外岸側）を緩傾斜とした場合には、図8からわかるように、深掘れ部を埋め戻し流水により移動しない材料で置換したと似た効果をもたらす。図9は、土木研究所で行った実験結果から、湾曲部外岸の深掘れを移動しにくい材料で埋め戻した場合の横断形状を埋め戻す前の横断形状と比

較したものであり、深掘れ部を緩傾斜護岸で覆った場合の河床形状の特徴がある程度類推できる。これらから、湾曲部外岸の緩傾斜化に伴う河床横断形変化特性を推定すると以下のようなになる。

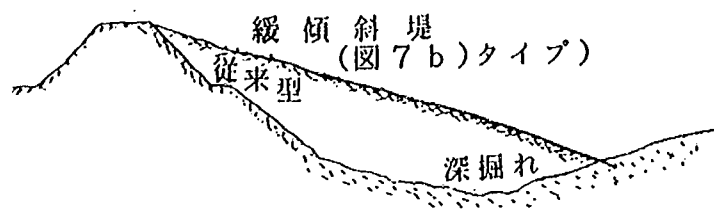


図8 緩傾斜化による既存深掘れ部の被覆

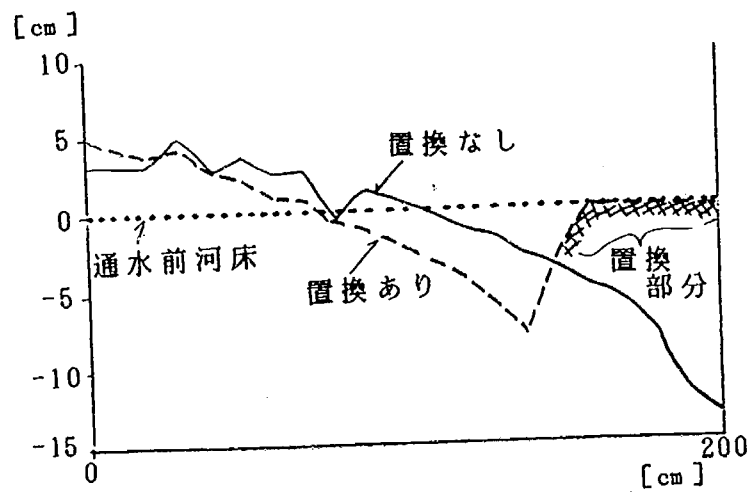


図9 湾曲外岸深掘れ部分を難侵食材料で埋め戻した(置換工法)場合の横断河床形状(実験結果の例)

緩傾斜化に伴い深掘れ部は緩傾斜河岸の前面に新たに生じるが、その深さは従来型河岸前面の深掘れよりもかなり小さくなる。このことは、護岸の安全性を左右する護岸基礎の維持が容易になることを意味する。また、深掘れが緩傾斜河岸により埋め戻された形になるため、流れが横断方向に一様化し、湾曲部内岸に堆積していた砂州が縮小する。この結果、深掘れ部が埋め戻されたことによる河積減少から予想されるほどの疎通能力が減少しないことになる。

(6) 法線形の変化

従来型堤防は流れの方向を変える効果をほとんど持たないが、緩傾斜堤防になると、表法尻と表法肩との横断距離が40 m以上に及ぶ場合も考えられるので、河道法線の河道中央方向への‘押出し’という形で、一定の影響を流れに与えることがありうる。この場合、法勾配を縦断的にあるいは左右岸で変化させると、河道の法線形を積極的に修正させる効果を持たせることもできる。河道法線形の修正は河道横断形を改良する効果を持つ場合もあり（文献(5)には、湾曲部での水制適正配置により法線形修正と同じ効果を与え、これにより湾曲部の深掘れ、堆積をかなり軽減させた事例が示されている）、法線形改良による河床形状積極制御という観点から緩傾斜堤の機能を評価することも重要である。

(7) 機能相対比較の注意点

今まで6項目にわたって述べてきた機能の比較は、従来型堤防と緩傾斜堤防の機能の相対比較である。構造物の種類、型式を選定する際には、要求される機能（外力を含む）を基準とした機能の絶対比較によって評価がなされるべきである。相対比較だけに頼ると、さして重要でない機能の差によって構造物型式を選定する恐れが生じる。したがって、当該河道の堤防あるいは河岸に求められる機能を充分認識した上で、今まで述べてきた相対比較の結果を吟味することが大事である。

3. 総合評価の重要性

堤防設計においては、今まで述べてきた水理機能以外の種々の要因が同時に考慮されなければならない。すなわち、土質的安定性、浸透の点から見た緩傾斜化の効果、維持・管理の労力と難易、景観や親しみやすさ、川への近づきやすさ、河岸および流水中の生態活動への影響、施工の難易と費用などが併せて吟味されなければならない。特に、緩傾斜化が法面長のかかなりの増大につながることから、その維持・管理を踏まえた検討が求められる。

堤防構造選定は、それらの要因についての吟味の上に総合評価を行うことでなされるべきである。その際には、単一機能についての評価を積み重ねただけで適否を

判断するのではなく（おそらくその方式だけでは決められない）、堤防・河岸のあるべき姿、持つべき総合的機能を、各河道の置かれた状況や社会的・歴史的背景などから充分検討することが肝要である。この過程では、従来の堤防と違った概念の堤防が議論されることもあり得よう。そのような検討を経て各河道固有の堤防評価の視軸を確立することが、必要最小限の機能から脱皮した新しい堤防づくりに踏出すための必要不可欠な推進力になると考えられる。

4. 今後の検討の方向性

第一に、緩傾斜堤と従来型堤防の機能相対比較を行う必要がある。水理機能に関しては、2. で取上げた6項目について定量的な比較を行うことは概ね可能であり、その際には、問題に応じて計算、水理実験、現場実績調査等を使い分ければよい。この調査は厳密な精度を求めなければ比較的容易である。第二に、一番目の調査成果を用い、また堤防に求められる機能を明らかにし、それを基準とした緩傾斜堤と従来型堤防との機能絶対比較を行うことになろう。この検討は、現在ある堤防の設計の考え方とも関係を持つので、従来型堤防に要求される機能と持っている機能についての十分なレビューが同時に求められる。第3は、当該堤防のあるべき姿についての評価基準、‘哲学’の確立であろう。この検討においては、物理的な堤防機能検討以外のプラス α が必要となる。

これら3つの調査項目は、いずれも完全な解答がすぐに得られるものではなく、また、相互に関連し互いに触発される関係を持っているので、できるところから、またなるべく並行させて進めることが大事であろう。

<参考文献>

- (1) Ven Te Chow: Open-Channel Hydraulics (International student edition), McGraw-Hill, pp.168-170, 1981.
- (2) 吉川秀夫: 河川工学, pp.207-209, 1966.
- (3) 土木研究所河川研究室: 護岸法覆工の水理設計法に関する研究、土木研究所資

料第2635号、第4章、1988.

(4)福岡・浅野・林：洪水時における護岸近傍深掘れ深の予測方法、第40回建設省
技術研究会報告、pp.929-936, 1986.

(5)福岡・高橋・渡辺：水衝部対策工としての水制工の新しい配置法、土木技術資、
料、第31巻12号、1989.

(河川研究室)

河-2 遮水シートを用いたアーマ・レビーの設計法

(質問)

アーマ・レビー工法の1つに堤体表面を遮水シートで被覆する形式がある(その基本構造を図1に示す)。この型式によるアーマ・レビーの標準的な構造と設計法については、文献(1)、(2)に詳述されているが、現場への適用を検討する際、さらに次のような点が課題になると考えられるので、それらについて御教示願いたい。

- ①遮水シートの河道縦断方向の接続を接着や溶着などによらず、重ね継手方式によった場合、重ね幅をどの程度とればよいか。
- ②天端幅が大きい堤防(10m)に遮水シートを布設する場合、中間部にアンカー等の押えは必要ないか。
- ③法面が小段を持つ場合、小段法尻部の構造に関する留意点は何か。
- ④法尻保護工標準構造(図2参照)に関する以下の点についてどう考えたらよいか。
 - ・ 連接ブロックの布設長さ(横断方向長さ)をどう決めればよいか。
 - ・ 玉石の入手困難、労務者の不足、コンクリート基礎の省略等から、ふとん籠を連接ブロックで代用した図3のような構造を考えることは妥当か。妥当であれば、諸元をどのように決めればよいか。

(信濃川工事事務所)

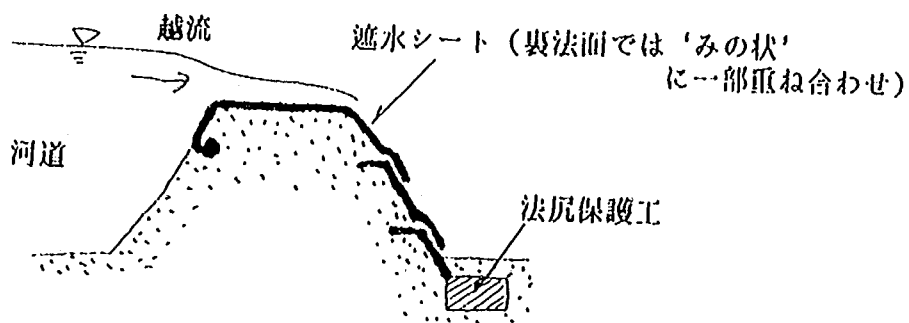


図1 遮水シートを用いたアーマー・レビーの基本構造

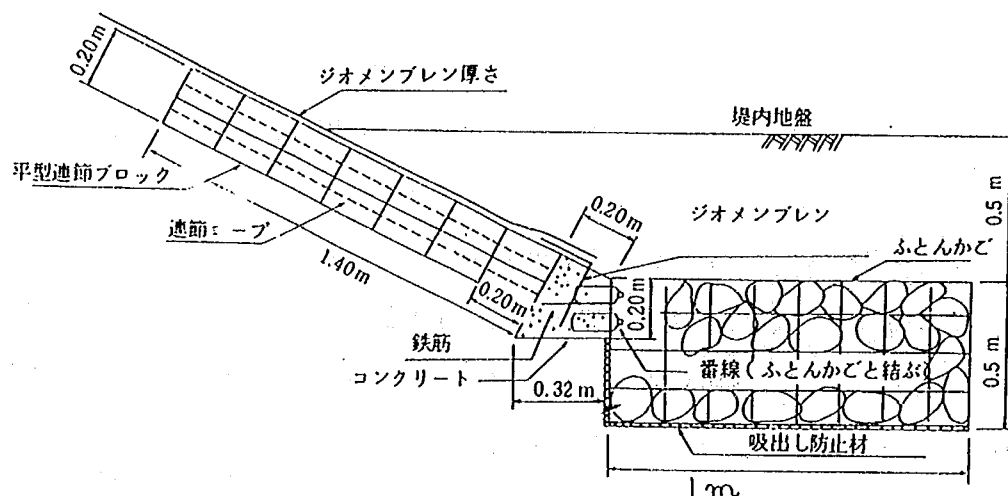


図2 法尻保護工の標準構造(文献(2)より)

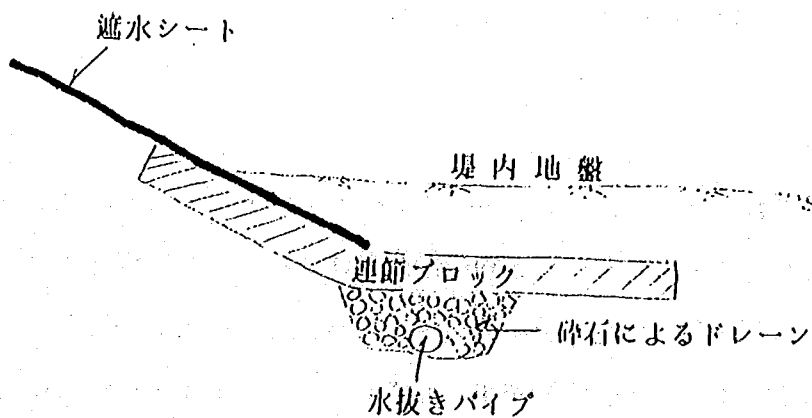


図3 ふとんかごを省略した法尻保護工案

(回答)

アーマ・レビーの標準構造と設計の考え方が詳述されている文献(1)、(2)の内容を前提とした上で回答したい。また、以下の回答は、河道方向の変化が緩やかで標準的な横断面形を持つ堤防を対象としており、堤防形状が不規則な場合や堤防法線と直角に近い形で越流する場合には別途検討を要する。また、回答内容は、単位幅当たりの越流流量 $0.8\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$ 以下の堤防越流実験により得られた知見を基にしていることに留意されたい。

なお最初に、シートを耐越水工法として用いることの特徴を述べておく。石やブロックなど通常用いられる被覆工と遮水シート被覆工との最大の違いは、遮水シートに自重がほとんどない一方で、流水による侵食から堤体土を守る効果が極めて高い(シート下に水が流れなければ完全)ことである。このことは、遮水シートが原位置にとどまり、破断せず、シート周囲からの侵食がなく、シートと堤体土表面との隙間への水の侵入がなければ、非常に高い保護効果を期待できる一方で、これらのいずれかの条件が一度破れると、自重があり連接されたブロックなどに比較して耐力の低下が著しいことを意味する。したがって、耐流水に遮水シートを用いる場合の基本的な留意事項として、▲遮水シートの安定性、▲強度、▲周囲の処理(シートが始まり、また終わるところの処理)、についての細心の注意があげられる。とりわけ周囲の処理については、設計上での良否の判断が難しいため、実験、現場試験等を含めた十分な検討を行うことが肝要である。

1. 質問①について

堤体表面に設置されたシートは、アンカーやシート下の土との摩擦力により流水力に対抗し安定を保っている。もともと均一性が保証されていない堤体土が相手であるため、たとえ施工が完全でも、上記のシート支持力には場所的なばらつきが生じる。シートの単位(1枚の大きさ)を小さくすると、シート1単位の支持力のばらつきが大きくなり、設計越流量以下の外力でシート移動が始まる危険が高くなる。

したがって、シート支持力のばらつきの影響を除去するために、シートの単位はできるだけ大きくする必要がある。遮水シートを用いたアーマ・レビーの場合、排水や排気のため裏法側シートが分割されており、河道横断方向のシート単位が小さくなっている。したがって、縦断方向のシート単位はできるだけ大きくすべきである。

このような観点から、シート縦断方向の接続は極力接着あるいは溶着によって行い、シート単位間で力が伝達する状況を確認すべきである。やむなく重ね継手方式をとる場合には、隣り合う重ね継手間の距離を充分大きく取り、重ね部分については以下のように配慮する。

- 1) 図4に示すように、上流側シートを上、下流側シートを下にする。
- 2) 図4に示すように、上流側シートの断端に角度 θ を持たせる。
- 3) θ は、越流水の裏法面流下方向が最も上流側に傾いた場合でも、重ね部分で上のシートから下のシートへ流れる状況が確保できるように定める。すなわち、
 $\theta > \theta_r$ θ_r : 図4参照
- 4) 法尻での重ね幅 L (図4参照) は、横断方向の重ね幅以上を目安とし、最低でも1 m以上とする。

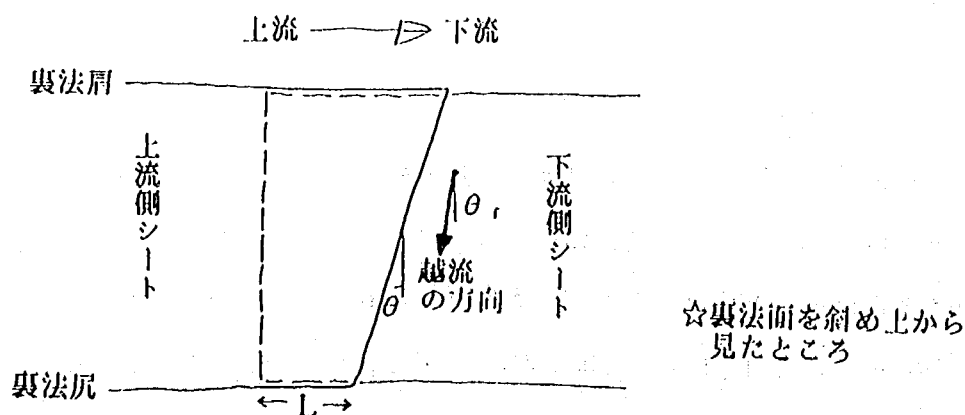


図4 シートの縦断方向接続部の処理
(やむをえず重ね継手方式をとる場合)

2. 質問②について

天端から裏法肩、裏法面最上部にかけて布設される1単位のシートの設計において満たすべき重要な条件は、シート（特に裏法部分）に作用する流水力に対して充分対抗できる土との摩擦力およびアンカー支持力を確保することと、シートの河道側の端がめくれることのないよう充分配慮することの2点である。このうち前者については、土との摩擦力、流水力を適切に見積もって必要なアンカー支持力を確保し、後者については、シートを表法肩まで延ばし、その端をアンカーとともにしっかり埋め込んで、越流水によりシートの端が露出しない処理を施さなければならない。

天端幅が大きくなっても、これらの条件を満たすために天端中間部にアンカーを施す必要はなく、シート河道側の端でのアンカーで充分である。また、天端上の越流水は、裏法に比較して流速が遅く水深が大きい。このことは、シートを動揺させる原因となる流速に比較して、動揺を抑える水圧が大きいことを意味している。したがって、天端幅が大きくなっても、動揺を抑制するための押えが必要となる理由も特にない。

以上から、天端中間部にアンカー等の押えを施す必要はない。

3. 質問③について

小段法尻部では越流水の流向が大きく変えられるため、堤体方向に大きな力が作用する（図5参照）。この力自体はシートの安定性に大きな影響を与えないが、この力によりシート下の堤体土が変形すると、流れが大きく乱れるだけでなくシート下に空洞が生じて付加的な力が局部的に作用し、シートに悪い影響を与える恐れが出てくる（図5参照）。このため、法尻部での堤体変形が生じないように、図6に示すような接続ブロック等による補強が必要である。補強幅（横断方向の）は、小段法尻から堤内・外それぞれの方向に予想される水深の10倍程度を目安とすればよい。

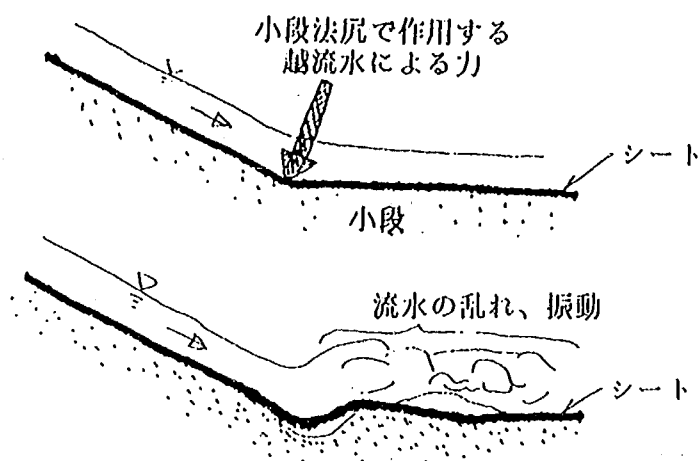


図5 小段法尻部で起こり得る変状（シート下に補強処理がない場合）

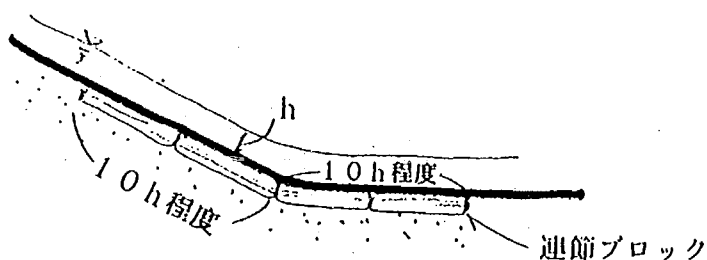


図6 小段法尻部における補強処理

4. 質問④について

まず、接続ブロックの布設長さ（横断方向長さ）については次のように考える。
堤防法尻部の接続ブロックは、3. で述べたシート下の堤体局所変形を防止する機能のほかに、ドレーン（堤体内の水排除）機能、シートや法尻工（特にふとん籠）が多少ずれてもシートと法尻工との間で堤体土が露出しないための余裕部分（のりしろ）としての機能があり、ここが小段法尻の接続ブロック設計と異なる点である。最初の機能については3. で述べた目安を用いればよく、2, 3 番目の機能については、起こり得るシートおよび法尻工の想定ずれ幅、必要法尻ドレーン長を各堤体の置かれた条件から定める。これら3つの機能に関する必要条件を総合して布設長を決定する。

次に、ふとん籠の代用としての接続ブロックの利用については、基本的には適切な工法と言えない。法尻工の主構造としてのふとん籠の機能は、図7に示すように、▲裏法からの高速流を確実に跳ねて下流への流向を水平にし堤内側の洗掘を軽減する、▲シートの終端である法尻の位置を固定する、▲法尻工直下にできる洗掘孔の影響を堤体側に一切及ばないようにすること、である。これらの機能を満たすには、1)洗掘孔の深さ以上の厚さを持ち法尻工下からの吸出しを許さない、2)流水作用時にも自立できる、3)流水による侵食を受けない、4)屈撓性があり土によくなじみ周囲との隙間が生じにくい、5)長期にわたり機能を維持する、6)ドレーン機能を併せ持つ、という条件を満足させなければならない。接続ブロックは、3、4（、5、6）番目の条件を満足させるが残り2つの条件を満たさないため、ふとん籠の代用工法とはならない。すなわち、越流によって図8に示すような状況を呈し、法尻での侵食が堤体に及ぶ危険が大きい。これを防ぐには、堤内側への接続ブロックの延長を非常に大きく取らなければならない、非現実的である。

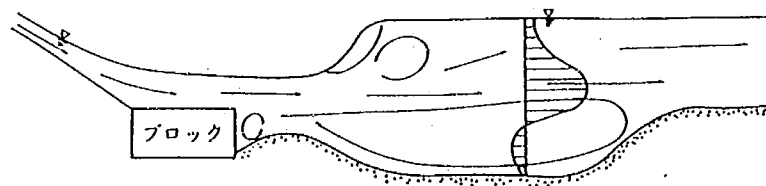


図7 法尻保護工周辺の流況

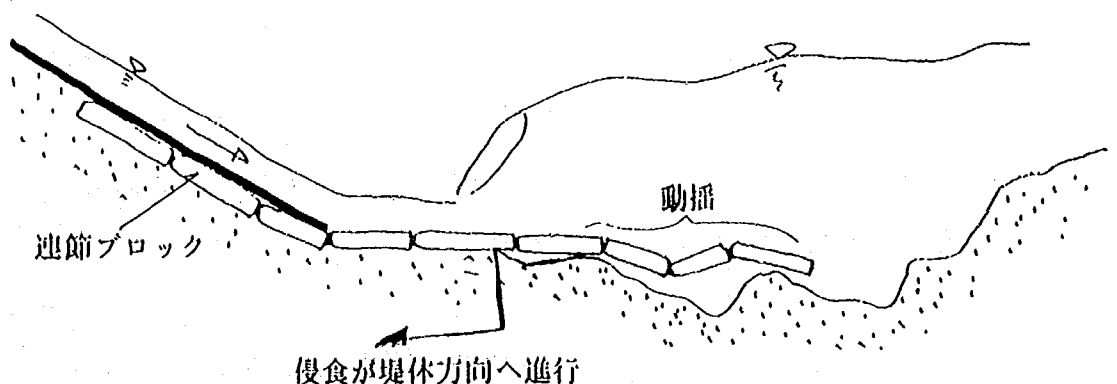


図8 予想される状況（連節ブロックを法尻工主構造に用いた場合）

ただし、ふとん籠を用いた法尻工とは別に、上記の5条件を満足させる代替工法を創意工夫により開発することは重要である。たとえば、図9に示すようなマス・コンクリートを用い、その周囲にドレーン機能を加えた工法も検討対象となろう。いずれにしても、各代替案に対して、上記の6条件を満たしているか、文献(1)に示した法尻保護工設計要件に適っているかを充分検討し、必要があれば実験的検討を加えなければならない。

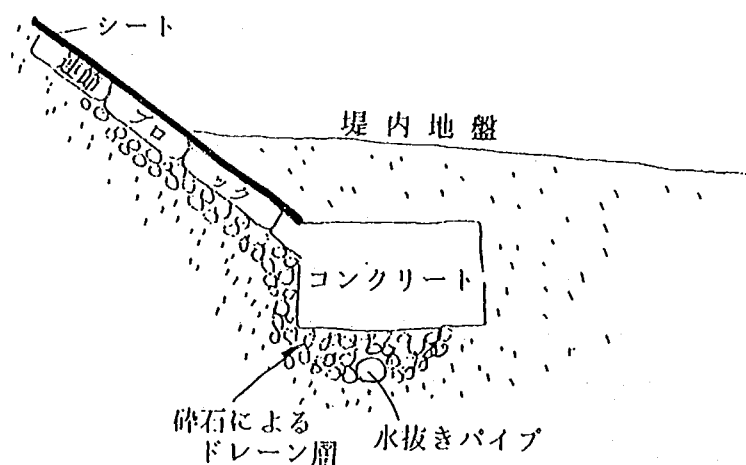


図9 ふとんかごの代りにコンクリートを用いた
法尻保護工の一案

<参考文献>

- (1)福岡・藤田・加賀谷：アーマー・レビーの設計、その2－越水対策一、
土木技術資料、第30巻3号、1988.
- (2)建設省土木研究所河川研究室・土質研究室：加古川堤防質的強化対策調査報告
書、土木研究所資料、第2621号、1988.

(河川研究室)

河一 3 河川堤防護岸の水抜き孔設置

(質問)

堤内地の地下水位以下の堤防法面や、天端等から雨水浸透の生じる堤防法面に、練り石張りや間知ブロック張り等の法覆工を実施した場合、堤体内水位が高くなり堤防の安定に支障を与える場合も考えられる。そのため水抜き孔の設置を考慮すべきと思われますが、その必要の有無、並びに設置するとした場合土砂の吸い出し防止に適した構造や配置計画の考え方について御教示願いたい。

(富山工事事務所)

(回答)

堤防や護岸は、それが設置される場が異なると水抜き設置の考え方も異なる。水抜き設置の考え方を分ける場は次の3つの要因で区分される。1つは、護岸と堤防の位置関係である。護岸には図-1に示すように高水護岸、低水護岸、堤防護岸の3つがある。このうち、高水護岸と低水護岸では置かれる水理的条件が異なることから、水抜き孔設計の考え方も多少変る。高水護岸、堤防護岸の高水護岸部は図のように堤内地盤高より高い所に位置することから地下水の排水は考慮する必要がなく、雨水、外水の残留水が水抜きを考える上の外力となる。これに対して低水護岸は地下水の浸透も重要な外力となる。

2つめは堤防、護岸下の地盤に不透水層があるかどうかである。堤防、護岸下に不透水層がない場合には、雨水や残留水は下に抜けてしまうため水抜きの問題はない。ただし、地下水の川側への浸透がある場合には水抜きを考えねばならない。

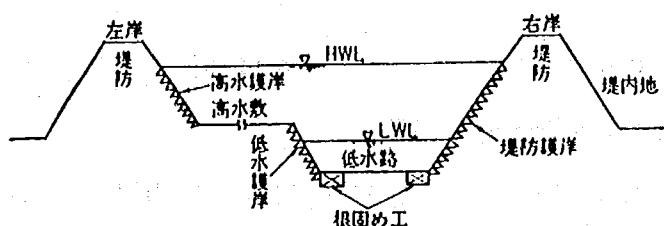


図-1 護岸の種類

3 つめは堤防にとって外水の浸透が重要な問題となるかどうかである。堤防は、外水の浸透によって漏水したり、飽和度が増すことによって堤体強度が弱くなる。基本的には、堤防は外水をなるべく入れたくないが、外水の浸透が重要な問題となるかどうかは洪水継続時間や堤体土質、基礎の地盤条件によって異なるため、外水の浸透に対する考え方は河川毎に異なる。洪水の継続時間が長く、漏水、堤体強度の低下が心配される自然堤防帯河川、デルタ河川等では護岸の裏に遮水シートを入れて外水の浸透を防止する場合もある。このような場所に水抜きを設置する場合には、外水の浸透に配慮しなければならない。具体的には図-2のように逆流防止弁をつけた排水孔を設ける。堤防から離れた低水護岸で、下に不透水層があり下部から水が抜けられないような場所に遮水性の高い護岸を設置する場合には水抜きを考えなければならないが、この場合に外水の浸透を防止する工法を採用しても堤防と低水護岸の間の高水敷から外水が浸透するため逆流防止弁としなくてよい。

高水護岸、堤防護岸の水抜きの配置密度、間隔等は排水量から適宜定める。吸い出し防止対策としては裏込材の下に吸い出し防止材を敷く。

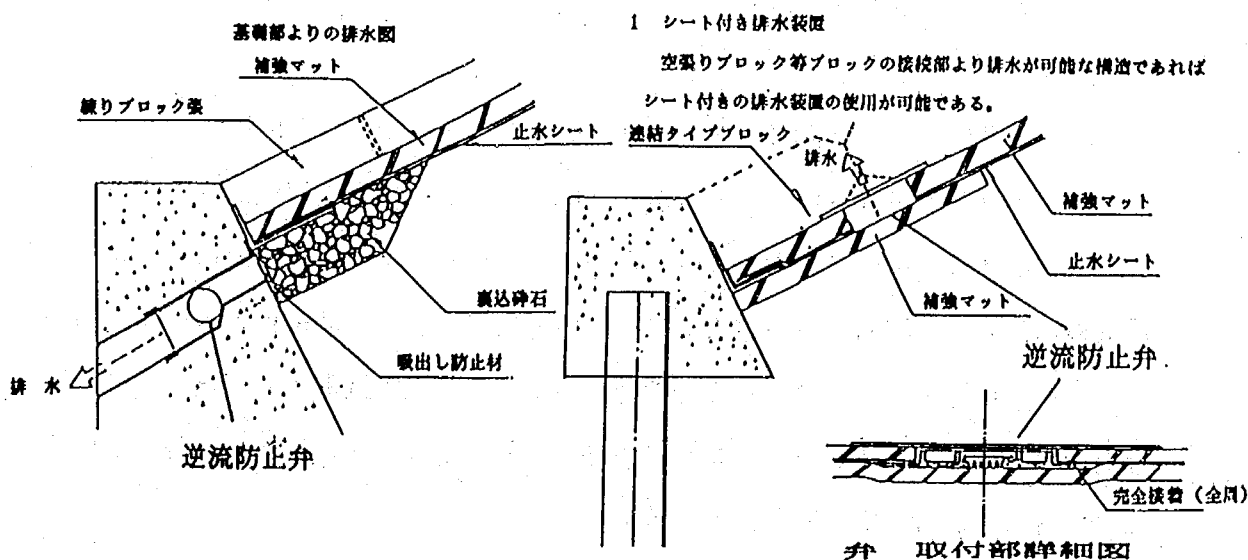


図-2 水抜き施設設置例

(河川研究室)

河－４　人工リーフによる河口処理の可能性

（質問）

河口閉塞対策は、従来より導流堤で実施される場合が多いが、それは周辺の海岸土砂環境に影響を与えやすい。そこで土砂の移動を完全に阻害することなく河口への侵入波浪を小さくし、河口に形成される砂州を小さくすることが、人工リーフを用いることによって可能なように思われるが、この可能性について御教示願いたい。

（河川部河川計画課）

（回答）

河口処理工法として、導流堤による河口維持対策が古くから数多く実施されている。この河口導流堤の機能としては、次のようなものが考えられる。

- ① 河口位置の固定
- ② 滞筋の安定
- ③ 河口水深の維持
- ④ 河口部の洪水時水位の低下
- ⑤ 河口閉塞の防止（平水位の低下）

各河川に設けられている河口導流堤は、このような機能のうち解決すべき目的に応じて、より効果が得られ、その機能が維持されるように導流堤の長さ、間隔、方向および高さ等が決められ施工されてきている。なお、このような河口処理を行ったために生ずる二次的な問題点としては、河道延長の影響、波浪侵入の増加、高潮の侵入および海岸侵食等の治水上の問題がある。利水上の問題としては、河道内塩分濃度の上昇、平水位と地下水位の低下等があり、他に河川、海岸構造物への影響、漁業に対する影響なども考えられよう。

一方、人工リーフは天端が水面下に没した消波構造物であり、海岸保全施設としての防災機能に加え、海岸環境を保全する機能も有する構造物である。このような人工リーフを河口処理工として適用した場合、その機能や問題点は、先に述べた導

流堤に対し、次のようなものが考えられる。

まず、人工リーフによる効果や利点は、

①消波効果による波の打ち上げ高の低減、すなわち河口砂州高を低くおさえ、その規模を小さくできる。

②河口および河口砂州の位置を固定し、かつ海浜の安定化が図れる。

③砂州高を低くすることによって、河口部の洪水時の水位を低下させることができる。

④河道内への波浪侵入および高潮の侵入を防止できる。

⑤河道内への海水侵入をある程度防止できる。

などとなろう。したがって人工リーフによる河口処理の可能性としては、河口水深を維持するために河口砂州の発生を積極的に防ごうというのではなく、河口位置や砂州の変動を防ぎ、砂州高をある程度低くするのに有効と考えられる。

とくに近年は、河川からの流出土砂の減少によって、周辺海浜の侵食や河口砂州が河道内に入り込み、支川が閉塞したり、砂州規模の縮小による波浪侵入の問題が顕在化しているので、人工リーフはこれに対する対策ともなろう。

以上のような効果に対し、人工リーフによる河口処理の問題点としては、洪水時の水位に及ぼす影響、船舶の航行等の問題がある。洪水時の水位については、没水型構造物であり、かつ海中であることから、リーフによる水位上昇はほとんどないと考えられるが、離岸距離や天端幅、天端水深に対する水位への影響等について検討しておく必要がある。さらに河口流出を阻害するような構造物となることから、河口部の埋立て法線との関係についての問題等、調整すべき事項も考えられよう。また、人工リーフは、水中に没しているため海上からの視認性が悪く、しかも天端幅が広いので、船舶の航行に対しては、標識等の安全対策を取っておく必要がある。いずれにしても人工リーフによる河口処理対策は、検討事例が一例あるのみであるので模型実験や水理計算による十分な検討が必要である。

(河川研究室)

河-5 河道内の植樹

(質問)

河道内の植樹については、現在、植樹基準(案)に基づいて実施しているところであるが、これによると実質的に植樹可能な箇所はかなり限定されることになる。河道内への植樹要望が多い昨近、基準緩和の可能性があるのかどうか見通しを御教示願いたい。

(千曲川工事事務所)

(回答)

河道内の樹木の取り扱いについては、その水理的影響、倒木・流木の可能性、維持管理の問題など、河川管理上難しい課題を抱えており、現在、治水課を中心に「河道内等の樹木に関する検討会」を開催し、種々の検討を行なっている。

これまでの調査によって、地域別の生育可能な樹木種、水理的影響の算出手法、樹木の対洪水抵抗能などについて多くの知見を得ている。現在は、将来の具体的な管理を念頭において、河道内の樹木の在り方について議論を深めている段階である。当検討会は、河道内の植樹の要望が多いということを十分認識しているので、その意を踏まえた形で、遅からず、河道内の樹木の在り方について指針が示されるものと思われる。

(都市河川研究室)

河-6 森林における洪水調節、渇水緩和機能
(質問)

今日、森林の洪水調節、渇水緩和機能については、森林関係のパンフレット等で治水・利水上の効果が認められると記述されている。しかし、これらの科学的根拠は示されていないのが一般的である。森林における洪水調節、渇水緩和機能について、具体的な効果の実態を御教示願いたい。

(河川部河川管理課)

(回答)

森林は洪水や渇水を緩和すると一般に考えられることが多いが、過去の研究では、このような一般的な解釈で森林機能を評価しえないことが指摘されている。

これは、洪水調節、渇水緩和機能は多孔質な森林土壌の表面透浸量の大きいことのみに注目することから生じる考えと思われるが、実際には、森林は以下に列挙するようなさまざまな機能を持ち、水循環に影響を及ぼしている。

これらの機能には洪水調節、渇水緩和という面からプラスに働く（洪水を小さくするまたは長期流出を大きくする）ものもあればマイナスに働く（洪水を大きくするまたは長期流出を小さくする）ものもある。森林が、洪水や渇水を緩和するかどうかはこれらの諸機能を総合的に判断しなければならない。以下に森林のもつ主要な機能を整理する。

1) 降雨の遮断機能

森の中で雨にあい大きな木立に陰で雨宿りした場合、弱雨ならば木陰は完全に雨を遮断し、ぬれることを防いでくれる。この遮断量は年雨量に対して15~20%と見積もられ、最終的には蒸発するため、渇水緩和効果には大きくマイナスに、洪水緩和効果にはプラスに一般に作用する。

2) 増雨機能

森林中に霧が流れ込み樹体に付着すると水滴となって林内地表に滴下する機能を指す。この機能による増雨は量的には問題にならないと考えられている。

3) 蒸散機能

林木の成長には水分の補給が必要でこれに消費される水分を蒸散という。一般に年間200~600mmの一定の水分量と考えられているが、この機能は洪水時のような短期間の流出についてはほとんど洪水緩和効果に寄与しないと考えられ、逆に渇水緩和効果にはマイナス要因として大きく影響すると考えられている。

4) 林地面蒸発抑制機能

林内では森林のうっ閉効果で日射量は少なく、気温が低く、風速が弱まる。しかも湿度は森林のない地区と比べ高いから、林内での蒸発量は明らかに少なくなる。林内の蒸発量は無林地の40%程度という数値が示されている。この蒸発抑制機能により、林内の表層土の土壤水分は高く保たれているので、弱雨によっても流出の発生をみたり、豪雨時には表面流出量を増大させる効果をもつ場合もある。したがって、渇水緩和効果にはプラスに作用するが、洪水緩和にはマイナスに作用する効果であると考えられる。

5) 土壌浸透機能の増強、維持機能

森林はその根系の発達と共に落葉層や腐蝕層の良好な発達を促すことから、透水性の大きな表土層を構成するため、森林表層土の表面浸透能は草地や裸地（森林や草地でおおわれていない土地）に比べ相対的に大ではあるが、洪水流出の緩和効果としてみる時、保水能は草地や裸地とそれほど変わらない。高浸透能は中間流出を促進することも多いため、必ずしも洪水緩和にプラスに作用するとは限らない。

渇水緩和効果は浸透量を増大させ表面流出量を減じ降雨の地下水への転換を促すことからプラスに評価される。

6) 融雪遅延機能

樹冠による被覆のため林内気温は林外地にくらべ低く、日射量も少ないことから、林内の融雪は遅れる。多雪地方では1ヶ月程度林内に積雪が残ることもあり、この機能は渇水緩和にはプラスの効果であるが、春先の雨による洪水時には一度に融雪が進行することも生じるので洪水緩和効果には一般にマイナス効果と考えられる。

7) 積雪変更機能

森林の存在により風速が緩和され吹きだまり等の分布も変化することから積雪の形態が山腹斜面で変更されることになる。この機能は洪水や渇水の緩和機能とは直接的な関係はないと考えられる。

8) 地表流出緩和機能

森林内の落葉層とその下の森林土壌や草地の存在は一般に地表流出を緩和する機能を有している。林内の降雨はすみやかに浸透するが、落葉の堆積の仕方によっては落葉上からいったん浸透した中間流出水は表面流出と同様な形で流出することもある。この機能は渇水緩和、洪水緩和に対し、一般にプラス効果がマイナスの効果より大であると考えられる。

表1 森林理水機能の効果

森林の理水機能	理水機能の効果	
	渇水緩和	洪水緩和
降雨遮断	—	+
蒸散	—	+
土壌浸透能の増強・維持	+—	+—
増雨	+	—
林地面蒸発抑制	+	—
融雪遅延	+	—
積雪変更	0	0
地表流出緩和	+>—	+>—

- + 明らかにプラス効果あり
- 明らかにマイナス効果あり
- +>— 一般にはプラス効果がマイナス効果より大と判断される項目
- +— どちらともいえない項目
- 0 ほとんど無視できる項目

これらの効果を取りまとめたのが表-1である。トータルで見ると洪水緩和機能はプラスともマイナスともつかない、渇水緩和機能は明らかにマイナス、つまり森林は年流出量を減少させ、流況を悪化させるということが判明している。

これらは、森林を人工的に伐採して流出変化を調べる多くの森林理水試験による結果により明確に示されている。洪水への影響は図1に示すとおり森林伐採により直接流出高が増加する場合もあれば減少する場合もある。それは洪水が発生したときの条件によって異なり、図の例では流域の乾湿の程度によって影響が異なっている。渇水への影響は、図2に示すとおり、森林伐採により年流出高は300mm以上増加する。表-1に示したとおり蒸散が非常に大きいためである。

〈参考文献〉

- 1) 中野秀章「森林水文学」，共立出版
- 2) 土木研究所「土地条件の改変に伴う流出変化に関する調査」昭和60年度河川事業調査費報告

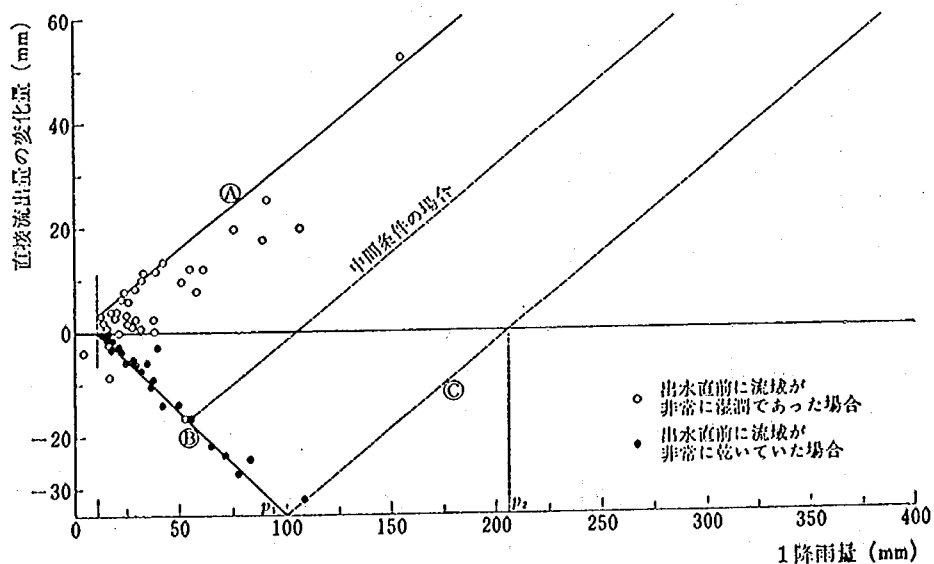


図1 皆伐による直接流出量の変化
出水直前に流域が非常に湿潤であった場合の増加と反対に非常に乾燥していた場合の減少（竜の口山 北谷）

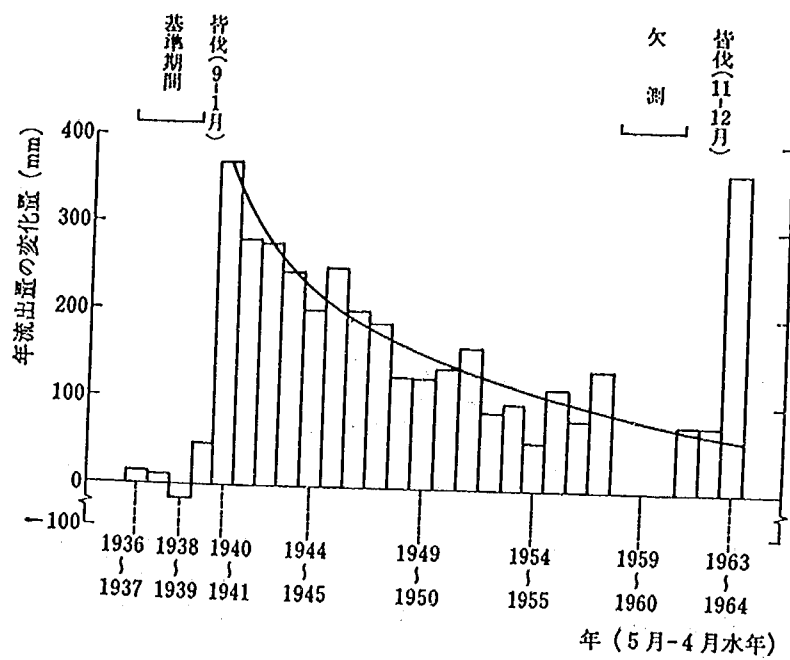


図2 皆伐と伐跡地への樹草再生による
年流出量の変化 (Coweeta No.13)

(水文研究室)

河－7 流量観測の今後の手法

(質問)

低水、高水観測について、人力主体から機器等を使った観測手法に移行するべきであると考えられるが、将来に向けてどのような観測手法を考えていくべきなのかを御教示願いたい。

(河川部河川管理課)

(回答)

1. はじめに

河川の流量データは、河川流域における治水・利水・親水の計画・管理の根幹となる基礎情報である。河川流域を取り巻く自然的条件の変化（地球規模の気候変動、流域の都市化など）や社会的条件の変化（利水や親水への需要・住民意識の変化など）に対応して、河川の流出特性はダイナミックに変化していくと同時に、河川管理者は適切にそれを管理・運用していかなければならない。この意味で、精度の高い河川の流量データを欠測なしに確保していくことが、今後とも重要であり続けることは明らかである。

しかし、御質問の趣旨の通り、近年の水文観測をめぐる状況の変化により、より安全で省力化され、かつ所定の精度を確保できる流量観測手法が求められるようになってきている。このような中で、どのような方向で観測手法を検討していくべきかを考えてみたい。

一般に、流量観測は2つの局面からなるものと考えられる。すなわち、水位流量曲線法等の長期継続的観測手法の諸定数を決定し、キャリブレーションを実施するために必要となる流量計測と、その水位流量曲線法に代表されるような長期継続的観測の2つである。この2段階に分けて以下論じることとする。

2. 水位流量曲線の作成・校正のために必要となる流量計測法の現状と動向

まず、最初に認めなければならないことは、河川の流量計測法として、いかなるキャリブレーションも用いることなしに精密に一般河川の流量を測定できると広く認められた手法としては、堰・フリューム等の水理構造物による手法を除けば、現在のところ、流水断面を適切に小断面に分割し、各小断面内の点（または対象とする線・面）流速を流速計

(回転式流速計、可搬型電磁流速計など)で測定して流水断面全体にわたって積分する方法しかない、という点である。この流速計による計測法は、次の2点、すなわち、1)流速(または対象とする線・面における平均流速)の計測原理が明確でかつ検証されており、現地での計測開始時に他の手法による校正が不要であること、2)流水断面内の流速分布を直接的に把握・反映できること、を満たしており、方法の単純性とコストの要因もあって、広く一般的な手法として認められてきたものと考えられる。既存の流量観測手法で上記の2点を同時に満たす手法は、水理構造物による手法を除いて他にない。

また、高水時には、流速計を流水内に固定することは困難であり、ごみのからみつき等の問題もあり、浮子測法が代わりに用いられている。この手法は現在のところ洪水時唯一の直接的流量計測法であり、定められた基準にのっとり一定の精度を確保することが、現状では重要であると考えられる。もちろん、洪水時でも使用可能な洪水流速計が開発されれば、それによる流速-断面積計測法を採用する方が、期待できる観測精度からみて望ましい。その意味で、洪水流速計の開発は今後の重要な検討課題の一つである。

さて、既述の2条件を満足することによって流速計による流速-断面積計測法にとって代わることでできる測定手法としては、超音波測法の原理を工夫して応用することが現状で最も近いように思われる。しかし、これも今後の研究課題であろう。いずれにせよ、流速計による流速-断面積計測法は、今後ともしばらくすべての流量観測のレファレンスとして利用されていく必要がある。

3. 長期継続的流量観測手法の現状と動向

水位流量曲線法が現在最も広く利用されている。水面勾配の変化が無視できる範囲内で極めて有効な手法である。しかし、流れの非定常性が無視できない場合や、潮位、堰・水門等の操作、下流合流河川の影響を受けている場合にそのままでは使用できない、という欠点がある。このような場合に、一般には超音波流速計⁴⁾を適用すること、あるいは、特に川幅が50m程度以内で計測断面のコンクリート3面張りが可能であるときには、全流水断面の平均流速を点流速計による流速-断面積計測法と同程度で計測できる開水路電磁流量計^{5)・6)}を適用すること、を検討することは、観測精度向上の面から十分価値がある。

すなわち、超音波流速計は水位流量曲線法で所定の精度での流量把握が困難であった重要な基準点の長期流量観測において、また、開水路電磁流量計は都市域の中小河川や、河川・ダムへの小規模な流入水路の長期流量観測において、広く応用することができるシステムである。

また、洪水時に継続観測を行う場合には、電波流速計による洪水流況監視システムを応用することにより観測を省力化することを検討する価値がある。電波流速計により直接観測できるのは表面流速のみであるが、その分布及び流速の水深方向の分布を把握していれば、適切な測線間隔により洪水流量の把握も可能であることが判明している⁷⁾。また、河川表面に現れる渦の流下速度、または、浮子の流下速度をビデオ標定システムによって計測し流量を把握するシステム⁸⁾も、今後検討していくべき手法と考えられる。

以上述べた4手法の有効な適用範囲、問題点等については、それぞれの参考文献を参照いただきたい。その他の手法も含めて、今後とも、流量観測の省力化と観測精度の確保を両立できる観測システムの開発・検証に土木研究所としても継続して実施していく予定であるが、それと同時に、それぞれの現場においても、その状況に応じたシステムの開発研究に取り組まれることを期待したい。

<参考文献>

- 1) 水文研究室: 建設技術Q & A, 土木技術資料, Vol. 31, No. 5, 平成元年
- 2) 水文研究室: 河-24, 関東地建における一日土研資料, 土木研究所資料2680号, 昭和63年
- 3) 水文研究室: 河-5, 四国地建における一日土研資料, 土木研究所資料2804号, 平成元年
- 4) 水文研究室: 超音波流量計の現状に関する調査報告, 土木研究所資料1056号, 昭和50年6月
- 5) 水文研究室他: 開水路電磁流量計の開発研究, 第44回建設省技術研究会報告, 平成2年11月
- 6) 益倉他: 開水路電磁流量計の現地における観測性能, 水工学論文集第35巻, 平成3年2月
- 7) 信濃川工事事務所: 電波流速計を用いた流量観測の合理化について, 平成3年度北陸地方建設局技術研究発表会論文集
- 8) 岩手工事事務所: 流況観測システムの一般河川への適用可能性, 平成2年度(第42回)管内技術研究発表会, 東北地方建設局

(水文研究室)

河-8 緩傾斜堤の設計

(質問)

近年、各地で緩傾斜堤が使われるようになったが、その利用方法、設計時の留意点、根入れ深さおよび基礎形式などについて御教示願いたい。

(新潟県土木部)

(回答)

1. 緩傾斜堤の現況

最近、緩傾斜堤の被災に関する全国実態調査が行われた¹⁾。選定された35箇所のデータのうちH. W. L. 時における堤脚水深(d)と根入れ深さ(h)の頻度はそれぞれ図-1 a), b)に示す状況であった。ここに、図-1 a)の中で、負の d は堤脚が陸上に、正の d は水中に位置することを示す。図-1 a)によると、 $-1\text{m} < d \leq 0$ mの堤脚水深を有する緩傾斜堤が最多の9箇所であるが、その前後を合わせた $-2\text{m} < d \leq 1\text{m}$ の間に22箇所と全体の約63%が入る。また、根入れ深さ(h)は、2m未満の場合が最多頻度であり、根入れ深さが深くなるほど施工箇所は少なくなる。

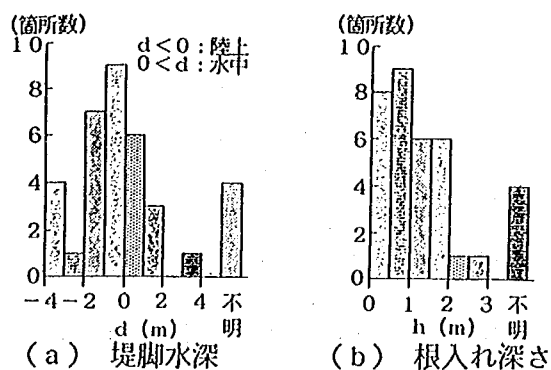


図-1 堤脚水深(d)と根入れ深さ(h)の頻度

2. 緩傾斜堤の被災原因としての裏込めの吸い出し現象

土木研究所では緩傾斜堤の被災機構に関する模型実験²⁾を行った。これによって得られた裏込めの吸い出しの発生過程を図-2に示す。従来の考え方では静水面付近で被覆ブロック間の間隙、および被覆ブロックの孔からマウンドの栗石(碎石)や砂が抜け出して被覆ブロックが崩壊すると考えられてきた。しかし、実験時の観察によれば、吸い出し現象は図-2のようにまとめられる。のり面に遡上した水塊が被覆ブロック面下に浸透したとき、引き波に変わると基礎地盤表層の砂がのり先方向に動き出す。このとき、堤体前面の基礎石も初期状態は保てず、沖方向に持ち去

られるか、沈下してしまう。こうなると、水塊はのり先から被覆ブロック面下に入り込むようになり、被覆ブロック面下の浸透流により栗石が徐々に持ち去られる。そして、波のうちあげ高が到達する位置まで奥に向かって吸い出しが進んでいく。また、吸い出しの結果として被覆ブロック面の不陸が生ずる。ここで図-2に示す被覆ブロック面上の栗石や砂はのり先を回り、波の遡上に伴いうちあげられたのである。

3. 堤脚水深と緩傾斜堤の安定性

緩傾斜堤の堤脚位置はその安定性に深く関与している。前出の模型実験²⁾では堤脚水深を $d = 4, 0, -4\text{cm}$ と3通り変えて実験を行った。緩傾斜堤ののり面の被災状況をのり先の被覆ブロックが沈下する場合(タイプa)、のり先と中央部で被覆ブロックが沈下する場合(タイプb)、吸い出しはあってものり面の被災はない場合(タイプc)に分けて分類し、堤脚水深(d)と被覆ブロックの最大沈下量($\eta_{\max}$)との関係として図-3に示す。ブロックの沈下量は、のり先が汀線にあるとき最大になる。のり先が静水面下($d = 4\text{cm}$)にあるときには各タイプの被災が生じるが、最大沈下量の大きいのはタイプbである。のり先が汀線($d = 0\text{cm}$)にあるときには、のり面の被災が比較的大きいタイプbしか生じないことが分かる。

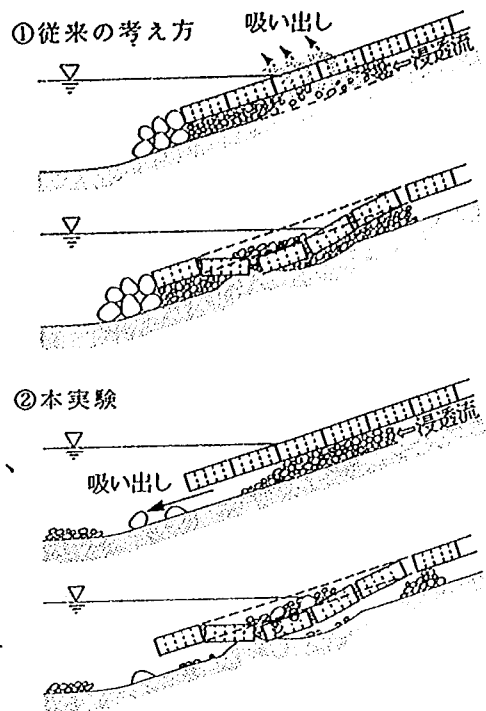


図-2 緩傾斜堤の吸い出し現象の模式図

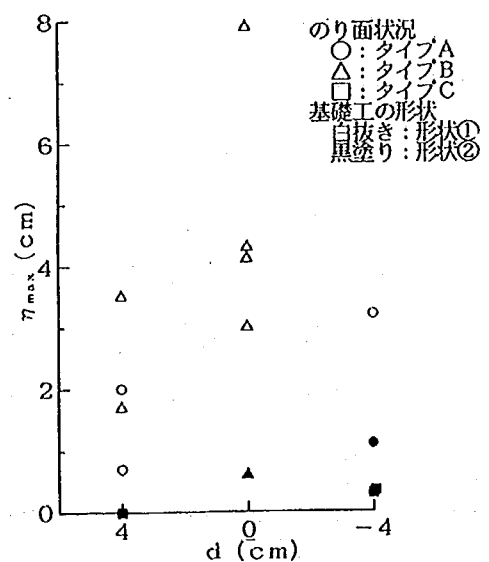


図-3 堤脚水深(d)と最大沈下量($\eta_{\max}$)の関係

次に、現地データによるH. W. L. 時の堤脚水深(d)、根入れ深さ(h)および被災の有無の関係は図-4のようにまとめられる。図には外洋に面した海岸と内湾、入江に位置する海岸のデータの区別も付けた。内湾、入江のデータでは被災例が一つしかないので精度は落ちるが、 $-1\text{m} \leq d \leq 0\text{m}$ でのみ被災が生じる傾向がある。一方、外洋に面した海岸では、No.32のデータを除けばほぼ $d \geq -1\text{m}$ に被災有が集中している。堤脚がH. W. L. より1m以上陸側に来る場合($d < -1\text{m}$)設置位置を問わず緩傾斜堤は安定傾向を示す。またその場合安定性には根入れ深さはほとんど無関係である。

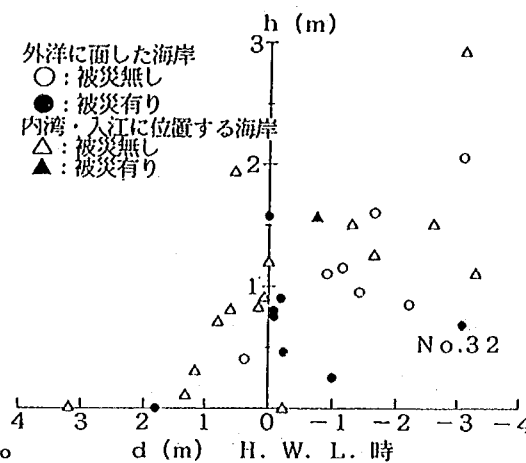


図-4 堤脚水深(d)と根入れ深さ(h)による被災の有無の分類

図-4で他のデータと大きくはずれたNo.32 (岸良海岸)の緩傾斜堤は、計画時より施工

される予定であったが、実際には侵食が進み、堤脚水深は $d = 1.31\text{m}$ に近づいたことから、実際には矛盾がない。結局、緩傾斜堤を確実に安定させるには $d < -1.0\text{m}$ とすることが望ましいことが分かる。また、波浪が比較的静穏な湾内や入江に位置する海岸であれば、堤脚が水中にあっても安定性は確保できる。

4. 緩傾斜堤の望ましい施工法

一般に、緩傾斜堤は直立堤に比較して海浜へのアクセスの改良になると言われている³⁾。図-5を参照した時、タイプAでは直立堤から汀線域へと入りにくく、また昇降路はあっても汀線と陸域を断絶する感じは否めない。しかし、この場合少なくとも堤防前面には砂浜があり、それは波が構造物に至るまでの緩衝帯の役割を果たしていることに注意が必要

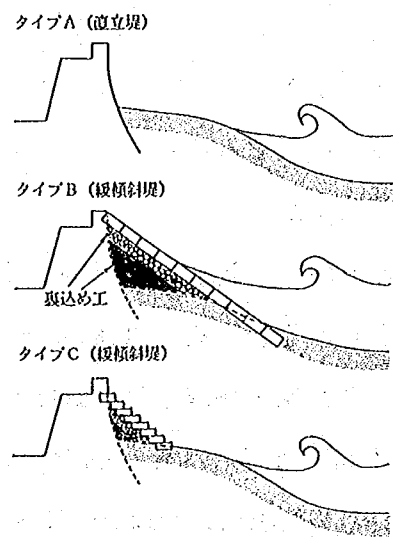


図-5 直立護岸と緩傾斜堤の比較

である。直立堤におけるアクセスの悪さを単純に考え、表のり面の勾配を緩くすれば問題は片付くと考えるのは早計である。もし、図-5のタイプBのようにすれば確かに表のり勾配は緩くなるが、それによる代償も大きい。なぜなら、この緩傾斜堤は貴重な前浜(緩衝帯)を消失させてしまうからである。このように造られた場合、緩傾斜堤ののり先は汀線付近に来ることになるが、ここでは波による底質移動が盛んであるから、のり先より堤体の基礎が吸い出されることによって緩傾斜堤は非常に被災し易くなる。特に、それほど広くない前浜をもつ海岸において、既存の堤防法線より緩傾斜堤の法線を海側へ移したり、あるいは天端高を高めたときタイプBの緩傾斜堤は被災し易い、また、本来の目的である消波効果から見たとき、タイプBでは緩傾斜堤ののり先が水面下まで来るので、波は遡上し易くなり、必ずしもタイプAより消波効果の向上につながらない。さらに、のり先が常に海水に接した状態になれば、汀線付近の2~3段には必ず生物が付着し、そこは滑り易くなるので、事実上汀線へ近づけず、アクセスの改良にならない。緩傾斜堤の使用法の望ましい姿として、ここでは図-5のタイプCを提案したい。すなわち緩傾斜堤はできる限り控えめに造り、緩傾斜堤ののり先に砂浜または礫浜を残すよう設計することである。緩傾斜堤を造った効果としてこのような形で土砂が堆積することはあり得ないので、ヘッドランドや離岸堤などの構造物により土砂の移動を制御し、海浜を保全する必要がある。このようにできれば、海浜へのアクセスの改良が図れ、また緩傾斜堤が被災することも少なくなるはずである。

参考文献

- 1) 宇多高明・小菅 晋・柳沢 修(1991): 緩傾斜堤の安定性に関する全国実態調査, 海岸工学論文集, 第38巻, pp. 651-655.
- 2) 宇多高明・柳沢 修(1991): 緩傾斜堤の被災機構と安定化のための方策, 海岸工学論文集, 第38巻, pp. 656-660.
- 3) 建設省河川局海岸課監修(1989): 緩傾斜堤の手引き, (社)全国海岸協会, pp. 42-43.

(海岸研究室)

(質問)

生活環境項目で大腸菌群数が規定されているが、管内河川では約90%の地点で基準を超えており、記者発表で問題とされるなど今後の対応が懸念される。基準見直し(分析方法、数値等)への提言を行うなど考えられないか御教示願いたい。

(河川部河川管理課)

(回答)

公共用水域の環境基準に大腸菌群数が取り入れられている理由は、人のふん便による水域の汚染の有無を調べ、細菌による汚染をその水域の水利用に相応した程度に抑えるためである。大腸菌群についての細菌学的定義に基づき、現在の大腸菌群数の測定方法(表-1)が開発されている。しかし、測定はその定義に示されている、「乳糖を分解しガスと酸を生成する通性嫌気性菌」という特性を利用している。

本当に大腸菌群であるかどうかを知りたいのであれば、推定、確定、完全試験の3つから成る確認試験を行えばよい。ただし、確認試験を行って得られた大腸菌群が人のふん便由来か否かは確かでなく、動物のふん便由来あるいは土壌由来の細菌の場合も考えられる。このように、現在の大腸菌群の測定方法は本来の測定目的にそぐわない点を有している

が、「大腸菌群が測定されなければ、人のふん便による汚染は無いと断定できる」という、そもそもの細菌学的測定の目的は達成されている。従って、測定の手間、精度等で現在のBGLB発酵管による以外に特に優れた測定方法が無いのであれば、この方法とふん便性大腸菌群を測定するEC培地法とを併用するのが現実的対応と考えられる。

表-1 大腸菌群数の測定方法

1. 平板培養法
 - ・デスチン化カルシウム酸塩培地法
 - ・M-INT[®]培地法
 - ・EMB培地法
 - ・M-FC培地法
 - ・メンテリフォルム法
2. 最確値法
 - ・LB発酵管法
 - ・BGLB発酵管法
 - ・EC培地法
3. その他の方法
 - ・IMViC試験法

(水質研究室)

河-10 ダムの安全管理における機能不良計器の取扱い

(質問)

当ダムの安全管理を行うにあたっては、ダム堤体の挙動を種々の計測計器によって測定していますが、ダム完成後、年数を経るとともに、機能不良（性能低下）となりデータとしての信頼性がなくなる埋設計器が増えています。このため、今後これらの埋設計器の維持管理やダムの安全管理をどのようにすればよいのか御教示願いたい。

(大町ダム管理所)

(回答)

ダムにおける計測の目的は、①施工管理、②完成後の安全管理、③設計高度化のための研究の3つの目的に分類されますが、本質問がコンクリートダムの管理所からのものであることから、ここでは主にコンクリートダムにおける安全管理の立場から質問に回答することとします。

ダムの安全管理は、ダムの完成後の年数に応じて、次の3時期に分類されています。

① 第1期：湛水開始から試験湛水終了後所要の期間（概ね2ヶ月）を経過するまで

② 第2期：第1期経過以後、ダムおよび基礎岩盤の挙動が安定状態に達するまで（試験湛水終了後概ね5年まで）

③ 第3期：ダムおよび基礎岩盤の挙動が安定状態に達した以降

なお、ここにいう安定状態とは、貯水位や堤体の温度等の外的な要因を一定とした場合に、計測されたデータがほぼ一定の値となる状態を指します。

各期間における安全管理の要点は次のとおりです。すなわち、第1期は、ダムおよび基礎岩盤の処理が所要の安全性を満足するように設計、施工されたかどうかを確認するための期間です。また、第2期は、第1期において確認されたダムおよび基礎岩盤の安全性が継続的に確保され、より安定した状態に向かっているかどうかを確認するための期間です。さらに、第3期は、安定状態に達したダムおよび基礎

岩盤の安全性をより合理的、省力的に管理していくとともに、ダムの構造的機能に劣化の現象が現れていないかどうかを絶えず監視していくための期間です。

このような各期間における安全管理の要点の違いから、各期間において必要となる計測項目、計測頻度も当然ながら変わってきます。したがって、当初から計測されている項目が必ずしも第2期、第3期まで必要になるとは限りませんし、また計測頻度もそれに応じて変えていく必要があるといえます。

ダムおよび基礎岩盤の安全管理を行うための計測項目としては色々なものがありますが、これらは、ダムおよび基礎岩盤の安全性を直接的に評価できる項目と、これを補足し、より詳細な安全管理を行うために用いられる項目に分類することができます。前者には、漏水量、変形量、揚圧力などの計測項目があります。また、後者には、応力、歪などの単独で安全評価に利用できる計測項目と、温度など他の計測項目を評価するための補足データとして利用される計測項目とがあります。一般的には、前者の漏水量、変形量、揚圧力などの計測項目だけでも十分にダムおよび基礎岩盤の安全管理を行うことができますが、アーチ式コンクリートダムや特に大規模な重力式コンクリートダム、特殊な設計を行ったダムなどでは、水圧荷重や発生応力の大きさ、また設計上の不確定要素などを鑑み、前者の計測項目に後者の計測項目を加えることが多いようです。

漏水量、変形量、揚圧力といった計測項目は、その異常が大なり小なりダムおよび基礎岩盤の安全性に関係してきます。このため、第1期から第3期までのあらゆる期間を通じて計測を行う必要があるといえます。このため、これらの計測を行うための計測機器は、耐久性があり更新の容易な機器であることが必要です。

一方、応力、歪などの計測項目は、ダムおよび基礎岩盤の挙動をより詳細に把握する上で必要な項目で、万が一にも異常が生じた場合に、その異常の原因、異常箇所を確認する上で有効ですが、反面、局所的な現象にも左右されやすく、単独でダムおよび基礎岩盤の安全性を判断することは難しいと考えられます。このため、アーチ式コンクリートダムや特に大規模な重力式コンクリートダムでは、ダムおよび基礎岩盤の安全性を確認する上で最も重要な第1期、および第2期の前半において

は必要な計測項目と考えられますが、ダムおよび基礎岩盤の挙動が安定した状態に達した第2期後半または第3期以降は特別な事情のない限り計測する必要がない計測項目といえます。

質問の大町ダムは時期的に第2期末から第3期にあると考えられ、ダムおよび基礎岩盤の挙動が安定した状態に達していることを確認すれば、計測項目をかなり簡略化することができると思われます。この場合、漏水量、変形量、揚圧力の計測だけでも十分に安全管理を行うことが可能であり、他に特別な事情がなければ、応力、歪などの計測を省略しても良いと思われます。ただし、ダム堤体の温度の計測についてはダム堤体の変形量の計測結果を解釈する上で非常に有効ですから、変形量と相関の高いものを2, 3点残しておくことが望ましいといえます。なお、このような計測項目の中止に関して判断に迷ったときは、土木研究所ダム部まで遠慮なく相談して頂きたいと思います。

一方、これらの計測項目を省略した後も、漏水量、変形量、揚圧力の計測は継続して行わなければなりません。このためには、これらの計測項目の測定を行う計測機器を常に良好な状態に維持しておかなければなりません。特に、基礎排水孔の目詰まりは、揚圧力の増加をもたらす、ダムの安全性を損う可能性がありますから、基礎排水孔の状態は常に良好な状態に保っておくことが必要です。また、状況によっては基礎排水孔を削孔しなおすといった配慮も必要となります。

ダムの安全管理を最も確実にを行う方法は、数多くの計測を実施することではありません。計測データを詳細に分析してその特性を把握し、万が一にも異常が生じた場合に、それを素早く発見することにあります。したがって、各時期において本当に必要な計測項目を正しく選択し、その計測機器を常に良好な状態に保っておくこと、また、計測されたデータを正しく整理しておくことが重要となります。このような点を十分理解して的確なダムの安全管理を実施して頂きたいと思います。

<参考文献>

- 1) 建設省土木研究所ダム部：ダムの安全管理、土木研究所資料第1834号、1982年
(ダム構造研究室)

河-11 排砂計画を考慮したダム貯水池計画

(質問)

ダム貯水池における堆砂計画に、貯水池上流端における砂利採取等による排砂計画を考慮することの問題点について御教示願いたい。

(河川部河川計画課)

(回答)

ダム貯水池の堆砂容量は、年平均堆積土砂量の100年分を確保するのが原則です。この100年という値は、計画上の目安ではありますが、貯水池管理の上で特別の措置を取らないでも、十分に長い期間、ダム貯水池の運用に問題が生じないことを期待したものと考えられます。この中には、比較的大きな出水により、流入土砂量が多くなっても、貯水池管理上支障を生じないようにすることも含まれており、計画するダムの近傍にあるダム等の実績値のほか、流域の地形、地質、植生、気象、河川の水利や開発状況等を勘案して、適切な年平均堆積土砂量を決める必要があります。

十分な容量を確保せず、機械力による掘削除去を貯水池計画に組み入れることは、土捨場の確保あるいは管理費用等、貯水池管理上の問題を先送りすることになり適当でないと考えます。なお、堆砂容量は必ずしも貯水池内に確保する必要はなく、同じ事業で設置される貯砂ダムの容量や上流既設ダムや既設砂防ダムの調節効果を考慮することは妥当であると考えます。

一方、近年管理中のダムで、流域内における崩壊地状況に大きな変化が生じて、計画を上回る堆砂により貯水池運用に支障をきたしている、あるいはきたす恐れがあるダムもでてきています。このため、ダムの機能保持のため浚渫等を行い貯水容量を復活させたり、貯水池末端部の貯砂ダムにより堆砂と掘削除去を実施している例も出てきています。これらは、あくまでも緊急避難的なものであり、骨材資源として活用できる地域においては継続的な運用が可能となっている状況ですが、それ以外の地域においては土捨場の確保等の問題から、管理上支障をきたしているところもあります。このため、再開発事業等で流入土砂のバイパス水路(トンネル)が新たに計画されている例もあります。

当初から流入土砂量が非常に大きなことが想定され、積極的な排砂対策を考慮しなければダムの計画が成立しないような場合、上述のバイパス水路や排砂設備を計画し、その効果を見込むことになります。その場合、当然その維持管理上の課題に対して十分に検討しておかなくてはなりません。また、堤体付近の排砂設備についても、水位を低下させる必要があることから貯水池の運用上の課題を解決する必要があります。

流域全体で考える場合、バイパス水路や排砂設備等により河川の従前の機能を維持しかつ貯水池利用も有効に行えるものとする事は有益で重要なことです。これらの施設が適用できるところは限られておりますが、土砂管理が重要となっている水系については、施設計画等において可能な限り整合を計っていくことが必要であると思います。

なお、バイパス水路や排砂設備等の計画・設計については、土木研究所において、貯水池の運用計画、設備の水理設計、設備の摩耗対策について研究を実施してきており、基本的事項や検討すべき項目については、既に相当な知見の蓄積がなされております。

また、大洪水等で堆砂が異常に促進された場合、その除去等は災害復旧の費用で出来るようにならないかということで、開発課の方で関係筋と折衝していると聞いております。

(ダム水工研究室)

河-12 流水の貯留形態と水質の悪化の関係

(質問)

ダム建設における問題の一つは下流受益地と上流水没地とが異なることである。この解決案の一つとしては市街地の地下等に貯留施設を設置し、洪水時に流水を貯留し、新規利水開発する計画が考えられるが、水質の悪化のため、利水開発に適さないのではないかと懸念がある。

これより、貯水池容量、貯留水の回転率等流水の貯留形態と水質の悪化の関係について御教示願いたい。

(河川部河川計画課)

(回答)

市街地の地下等に洪水時に流水を貯留し洪水被害を軽減することを目的として建設される施設として地下調節池があるが、全国的にもまだ例は少なく、貯留による水質変化についての知見は決定的になっているとは言えないので、数少ない事例を参考に注意すべき点について述べることとする。

まず、市街地の地下に洪水時の流水を貯留するという形態をもつことから、そもそもの流入水質が余り良好でない場合が多いことを考慮に入れると利水の形態としては、上水、工業用水等には余り適当でない場合が多いと考えられる。利水の形態としては非洪水期に貯留した水を道路の融雪等に利用することが考えられる。

利用に際して注意すべき水質項目は、その利水の用途によって異なるが、上水、工業用水には利用しないとして、浮遊物質(SS)、溶存酸素量(DO)、生物化学的酸素要求量(BOD)、水素イオン濃度(pH)等が挙げられるであろう。

O市の地下調節池及び河川の堆積物の性状及び貯留水、放流水の水質の一例を表-1及び表-2に示す。堆積物については、下水臭が甚だしかったと報告されていると共に、放流水はSSが大きくこのため、放流後、河川にかなりの堆積が見られたほか泥の性状が表-1に示されるように排水口付近と調節池内とはかなり似通っており悪臭等の苦情も寄せられているようである。

表-1 堆積物の性状

項目	単位	調節池内	I 川（排水口付近）	I 川（水門付近）
泥 温	℃	17.5	25.5	26.0
外 観		粘土質シルト	砂質シルト	シルト
色 相		黒褐色	黒色	黒色
臭 気		ドブ臭	ドブ臭	ドブ臭
COD	mg/l	9.5	7.4	11.0
pH		8.1	7.5	7.3
含水率	%	39.3	32.8	52.4

表-2 貯留水の水質

これらの結果は、洪水直後に測定されたものであることから長期間にわたり貯留されたものではない。長期間貯留した場合SSは沈降により低下すると考えられるものの、有機物の分解等でDOの欠乏やさらに悪臭が発生することもあると考えられるため酸素の供給の必要性が生じる可能性もある。

項 目	単位	表面水	放流水
pH		8.8	8.4
BOD	mg/l	12	27
COD	mg/l	23	35
SS	mg/l	4	150
大腸菌群数	個/ml	1.7×10^2	2.7×10^2

（参考文献）

西尾 誠；平野川調節地の稼働実績 トンネル式地下調節池の維持管理の事例報告一；第5回都市河川セミナーテキスト

（水資源開発研究室）

河-13 環境を考慮した流路工計画

(質問)

流水のエネルギーを減少させるため、流路工内の床固工落差は計画水深程度（一般的には2m～3m）とすることが望ましいとされているが、魚類などを含めた生息生物の環境を考慮した魚道などを設置する場合は、床固工の落差を低く計画することが望ましいと考える。

また、生息生物に適する環境面から、流路工内に瀬と淵が作れないかと考えるが、技術基準に基づく流路工法線では工夫が必要かと思われる。

環境面を考慮した流路工にするために、①床固工の落差をどの程度に計画することが適当であるか、②瀬と淵を形成するためには、どのような点に配慮すべきであるか、この2点について御教示願いたい。

(湯沢砂防工事事務所)

(回答)

砂防事業の主たる実施対象の場である溪流は、土砂の移動による災害の多い場でもあり、近年の都市化、山地開発等による保全対象の増加により一層の砂防事業の推進が必要である。一方、最近の社会構造の変化、住民意識の多様化は溪流の施設に対して、さらに多面的な機能を求める傾向にあり、溪流の自然度、親水性、景観等への配慮も重要な要素となっている。また、公共事業投資の面からは、21世紀に向けて生活関連分野を中心に重点投資されることから、溪流における施設整備に際しても広い意味での質的向上を目指していかなければならない。幸い溪流は、多様な水の表情、石礫や砂州の存在、溪流空間の動植物の豊富さ、多様さなど、これまで比較的的自然環境が保全されており、非常に魅力に富んでいる空間と言え、今後ますますアメニティ空間としての役割が期待されるであろう。

質問にあるように、実際に低落差の床固工や瀬と淵を創り上げる試みも行われつつある。今後、砂防設備の整備にあたっては「溪流の自然にもやさしい」気持ちで取り組んでいきたいものである。しかし、当然ながらこうした環境に配慮し

た施設は、防災施設である面を忘れてはならない。環境に配慮した流路工の検討にあたっては、このような溪流についての土砂動態を十分認識するとともに豊かな生態系等をもっと知ることが求められる。以下に低落差床固工及び瀬と淵の創出手法についてまとめる。

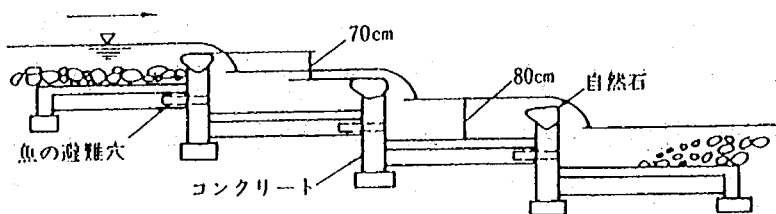
1. 低落差床固工の検討

最近、質問にあるように環境面に配慮するため床固工を低落差にする事例が増えている。検討にあたっては、治水上持っている床固工の本来の機能を損なわないようにする必要がある。流路工における床固工は計画河床を安定させ維持するために設けることから^{1) 2)}、低落差床固工の設計においても流路工の計画河床勾配を変えることは好ましくない（このため床固工の間隔が密となる）。また溪流幅の比較的広い河床に低落差床固工群のみを設けることにより護岸なしでも流路の固定が可能となる³⁾。ただし、河床勾配が1/10程度以下の急な区間は低落差の床固工群を連続的に設けると落差によって位置エネルギーが運動エネルギーに変換されて次の問題が生じる⁴⁾。(1)流入流速に対し多段落差工からの流出流速が加速され大きくなる。このため下流河道が三面張でない場合激しい洗掘が起こる。(2)落差工間で縮流が原因となり、横断方向への「せり上り」が顕著になり溢水する。これらの問題に対しては事前に十分に検討しておく必要がある。

次に環境面からの評価について述べる。低落差床固は環境面から要望されるものであるので、落差についても以下に述べる項目を総合評価する必要がある。

低落差床固工群とすることにより水の流れの美しさを表現できる。さらに床固工の下流法を景観等を考慮して粗度のより大きい大礫を並べたりすることにより人工の滝風にしたり扇形に設計することも考えられる⁵⁾。場合によっては滝はウォータープール、滑り台として絶好の水遊び場になる。さらにこれらの施設は落差の低い工作物を用いることから、魚類の河川内移動を保障する上で非常に有利である。一般に魚道の登り口についてはできるだけ大きい空間を確保するのが望

ましいことから、川幅全面にわたって魚道を作る例（全断面魚道）も考えられる。この場合落差を魚の跳躍高さ以下とする（図－1）。ただし常時の流量が小さな溪流や勾配が急な溪流では適用できない場合もある。また、全断面魚道の天端を同じ高さにしないで中央部を低くして、両側がやや高くなるように勾配をつければ、渇水時においてもみお筋をつくれ中央から岸にかけて、落下する水の勢いに差をつけることができる。大小さまざまな魚は、好みの水勢の所を選んで、遡上することが可能になる。一方床固工下流面を斜路とし、転石等を配置して魚道とする試みも行われている。この場合にも落差高、流速等に留意する必要がある。また、親水面においても落下高が小さいことにより利用者にとっても安全であり、床固工間の移動も容易となる。さらに都市内では床固工からの落下水の消音効果も評価できる。現段階では治水面及び環境面に配慮した低落差床固工の基準はないが、治水本来の機能とこれらの環境面の効果を総合的に勘案して設計することが必要である。



図－1 スイス連邦共和国テス川落差工の模式図(6)

2. 瀬と淵の創出の検討

自然の川は大なり小なり蛇行して流れている。そして、その蛇行点には淵ができ、その間をつなぐ直線的な部分が瀬となっている。しかも瀬と淵とは必ず交互に出現してくる。このことが川に住む生き物にとって大変大事な意味を持っている。瀬には魚の餌になる水生昆虫の数や付着藻類の量が、淵の底より多い。したがって、瀬は魚達の餌場として大事な所である。また瀬は多くの魚類の産卵場所である。一方、昼間は瀬で餌をとっている魚たちも、夜になると淵へ移動して休

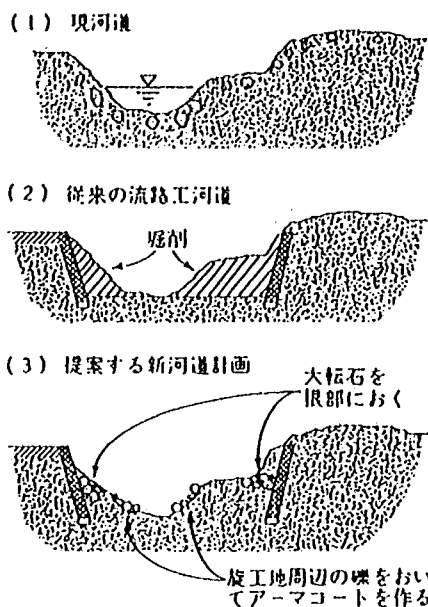
む。また深い淵は、人や天敵動物からの絶好の隠れ家でもある。洪水時には、淵は魚や水生昆虫の避難場所になる。

こうした瀬と淵を保全するため池谷⁷⁾は水理実験と現地調査から、砂防河川における河道断面の処理について、現河道を全て掘削修正する従来の方法に対してできるだけ現河道を利用した河道計画を提案している。具体的には、河道に存在する石礫を利用して人工的にアーマコートを造ることにより、洗掘防止と流路固定を図るものである（図-2）。この方法により溪床微地形の複雑さが保たれ、流れの多様性が維持されることから、生物の生息環境に都合が良いと考えられる。

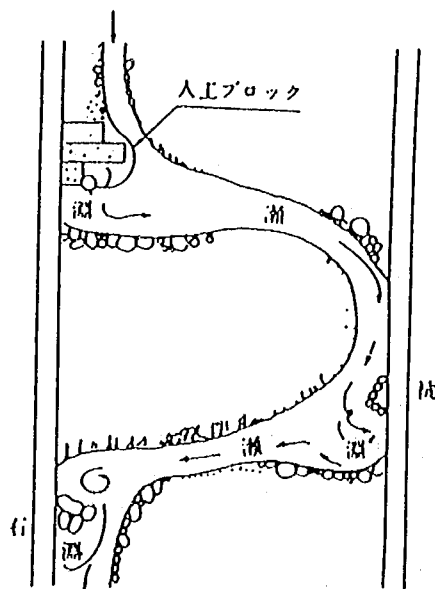
瀬・淵の造成例については、主に河川域ではあるが表-1に示すような事例が報告されている⁸⁾。これらの多くは屈曲や膨らみを持った低水路法線を採用したり河道内に人為的にブロックや杭、巨石等を投入して瀬と淵を創り出したものである（図-3）。しかし神流川では投入した巨石が流出したり埋没したりしており、また円山川では造成した淵が再び埋まるなど、必ずしも成功した例ばかりとは言えないようである。瀬・淵の造成にあたっては、疎通能力に影響を与えたり、洪水時の局所洗掘や土砂の局所堆積を生じさせないように細心の注意を払う必要があり、河川の土砂動態や魚類の生態を十分に配慮する必要がある。また瀬と淵の造成により河道地形が大きく変化する場合には水理模型実験により検討する必要もあると考えられる。

表-1 瀬・淵の造成例

河川名	瀬・淵の造成内容
太田川	平坦化した平瀬を掘り込み・平瀬から早瀬造成
西城川	中洲を撤去し、巨石を残すことによって早瀬・平瀬造成
太田川・神流川 鳴瀬川・三面川・農具川	巨石を投入し、早瀬や淵を造成
太田川・円山川	瀬を掘削し、淵を造成



図一 2 河道の微地形を尊重した
河道断面計画



図一 3 人為的に瀬と淵を形成
させる手法の模式図

3. 今後の課題

これまで述べてきた低落差床固工や瀬と淵を創り上げる工法を適用するには、一般に従来の均一断面の流路工と比較して幅広い用地が必要となる場合が多いこと、また施工費用や維持管理費が増大する恐れがあることなど、従来の考え方と相容れない点も多いことから、自然豊かな溪流づくりに対する一般の理解を広く求めていくことも必要となろう⁹⁾。こうした工法を適用していくにあたっては、様々な課題が残されているが、人間生活と調和する自然豊かな溪流づくりは、これからの砂防設備の整備を進める際の重要な方針の一つであると考えられる。治水上の安全性を確認した上で、自然の多様性を育む様々な試みを行い、データの蓄積を図りながら、自然豊かな溪流づくりを進めていく必要がある。

参考文献

- 1) (社) 日本河川協会編：建設省河川砂防技術基準(案) 設計編 [Ⅱ]、山海堂、1985. 10
- 2) (社) 全国治水砂防協会：改訂版砂防設計公式集(マニュアル)、1984. 10
- 3) 東 三郎(1982)：低ダム群工法、北海道大学図書刊行会
- 4) 水山高久、栗原淳一：多段落差工の水理と水位上昇防止工法、新砂防 Vol. 42, No. 2、1989
- 5) 上原敬二：井戸、滝、池泉、ガーデンシリーズ第5巻、1979
- 6) (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」、山海堂、1990
- 7) 池谷 浩：流路工計画における計画河幅の考え方、新砂防、Vol. 31, No. 1、1978
- 8) 全国内水漁業協同組合連合会：「内水面漁場環境・利用実態調査報告書―魚のすみよい川への設計指針(案)」、1987
- 9) 山口 修：河川の自然環境を保全し創造する河川技術、河川5月号、1991
(砂防研究室)

河-14 砂防施設の景観対策

(質問)

景観対策を十分に考えた施設計画を行う必要が、急速に求められている。山地溪流で工事を行う機会が多い砂防工事の場合、周囲の自然環境と如何に調和させるかが課題となる。景観対策の考え方と、具体的なメニューについて、御教示願いたい。

(立山砂防工事事務所)

(回答)

近年、人々の価値観が急速に変化し、環境保全や自然保護に対する要求の高まりとともに、従来どちらかといえば機能性、耐久性に重点がおかれていた土木施設に対しても快適性が求められるようになってきた。砂防施設に対してもこの動向は例外ではなく、災害からの安全性を高めることと同時に、豊かな生活環境が求められている。砂防施設は自然環境の度合いの高い山地溪流に設置されることが多く、積極的に自然を保護し潤いと安らぎのある環境を形成しようとする事業であるともいえる。

ここでは溪流景観について整理をし、砂防施設の景観設計の手法についてとりまとめる。

1. 溪流の景観に求められるもの

景観は環境の眺めであり、人が風景を見てその価値を認めることにより成立するものである。従って眺める主体（視点）がどのような環境におり（視点場）、眺められるもの（対象）をどのように見るかによって景観は異なったものとなる。対象も中心となるもの（主対象）とそれをとりまく周囲の環境（対象場）とに分けられる。溪流景観とは溪流を主対象とする景観を意味する。

溪流景観の特徴は、下流河川に比べ川幅が狭く、水の流れも早く河床には石がごろごろしており、水の流れは変化に富んでいる（湍、瀬、淵、落ち込み、滝等）。また溪流部には、河畔林等自然度の高い植生が存在していることが多い。

このように砂防事業の主たる事業実施対象の溪流は下流の河川に比べ水平的な広がりといった面は少ないものの、水辺、谷、河畔林、山、空等の構成要素が絡み合い溪流環境を組み立てていると言える^{1)、2)}。

溪流景観はその構成要素のほとんどが自然物であることを特徴としており、景観的に価値のある溪流景観とはその自然度の高さを意味するところが大きい。そのため人工物である砂防施設は災害防止という目的を持つ重要な存在ではあるものの、非日常的な現象（災害）を対象として設計されているため、一般的な溪流景観の構図とそぐわないことが多い。

つまり溪流景観における砂防施設を含む人工物に求められる最も重要なことは、本来の機能を損わず川らしさ、つまり水の流れとそれを取りまく自然物の特徴の中に違和感なく納めることにあるといえる。

2. 溪流の景観設計の手法³⁾

景観設計の手順の大きな流れを示すと、条件の整理→設計目標の設定→設計→予測・評価となる（図-1）。この中で特に重要となるのは、景観設計を行うことによってその対象地をどうしたいのかという設計目標の設定である。景観設計には現在の景観をより良いものにしていこうとする方向と、現在の景観より悪くならないように維持しようとする方向がある。

景観設計の目標は、①見せたい②隠したい③調和させたいの3つに大別される。「見せたい」は対象物を周辺の中から目立たせるといったように、対象物ができることにより、景観が良くなることを前提とした積極的な整備を目標としたものである。「隠したい」と

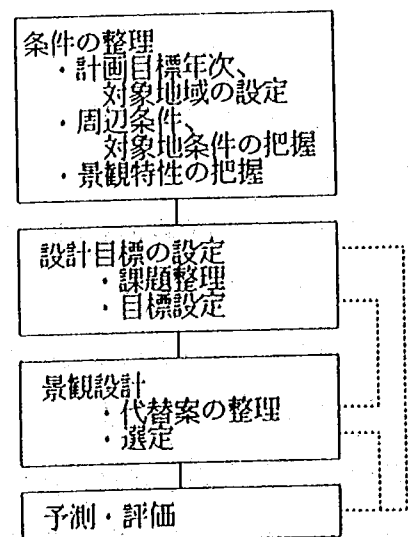


図-1 景観設計の手順

は対象ができること観設計の手順ることにより景観が悪くなるため、その存在をできるだけないものにする消極的な整備を目標としたものである。「調和させたい」は、その2つの中間的な位置付けとなるが、「見せる、隠す」両方の場合にも求められることがあり特に「隠したい」は調和させることによってその目標を達成させることが多い。また、同じ1つの目標を設定した場合にも複数の設計手法が提案され、その中から地域に最も適した手法を選定していくこととなる。

設計の予測・評価は、どのような景観が形成されるかを目で確認できるようにし、それが地域の特性、目標にあったものとなるかどうかを評価するものである。現在の景観構成要素に、景観設計による新たな要素を加えこれらを変化させることによって予測し、評価を行う。合わない場合は、景観設計へ、又は目標設定にさかのぼって再検討する場合もでてくる。

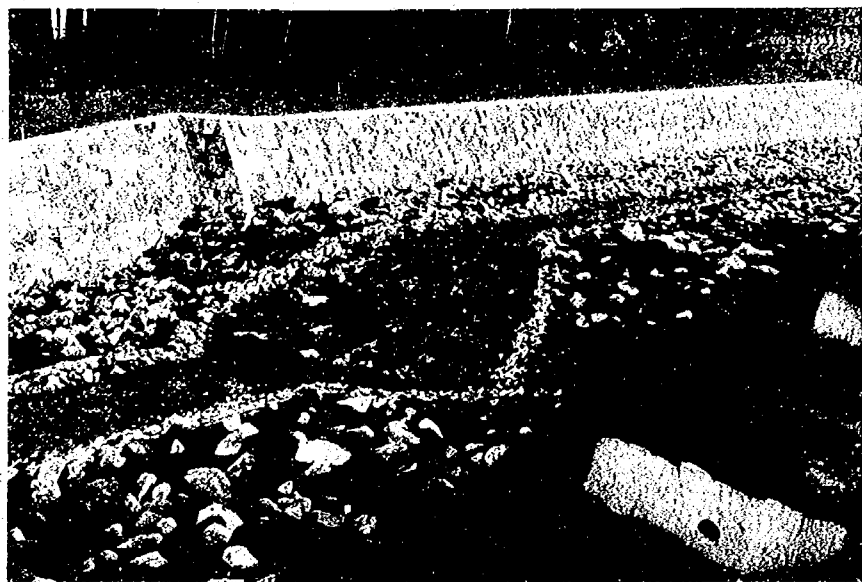
3. 砂防施設の景観設計

溪流空間は前述のとおり（人間の生活圏にあっても）比較的自然の要素から成立している空間である。その中にあって砂防施設は非常に人工的な印象を与える要素となることから溪流に砂防施設等を設置する場合に「景観に配慮する」とは、極端に言えば、周辺の自然・景観にとけ込むように、目立たなく、水と緑を豊富に配慮することと考えられる。砂防施設を景観の面からみると、主として形状と素材の二つに大別できる。景観に配慮した工法としては構造上からは直線的な形状や平面的な形状を避けて、曲線や曲面、凹凸を入れたり（写真-1、-2）、材料ではコンクリート（一般に日光の反射が強い）の変わりに自然石や木材、植物等を用いる等の方法が考えられる。

このうち、土木研究所で砂防ダムの明度について検討を行ったので紹介する。竣工後長年月たった砂防ダムはコンクリート表面が変化し、自然に調和している例が多いことから、砂防ダムのコンクリートの明度の経年変化を調べてみた。砂防ダムの施工後、15年程度を経過し、コンクリートの明度段階が5程度以下になると、



写真-1 緩傾斜落差工（中部地建、
天竜川上流工事事務所）



FUJICOLOR 90

写真-2 曲線、曲面を活かした落差工（北海道
開発局、旭川河川事務所）

砂防ダムは周囲の環境に調和することがわかっている⁴⁾。このことから、砂防設備を施工直後から見やすくするためにコンクリートに黒色酸化鉄等の顔料を混合させ明度を変化させることが考えられる。コンクリートと酸化鉄の含有率の関係を示すと図-2のようになる。図-2よりセメントの使用量の2%程度の黒色酸化鉄を混合すると、砂防設備は施工の直後から目立たなくなるものと期待される⁵⁾。さらに、別の方法としては、砂防ダム表面に凹凸（ブロック）をつけて影をつくり、コンクリート表面の明度を低くする効果があることから、砂防設備と視点の位置関係、時間帯などを考慮して、最適なブロックを選択することがあげられる。

表-1に挙げた景観設計手法は、砂防施設の事例やその他構造物の景観設計の手法より、溪流景観に適用できるものを選定したものである。実際の設計に際してはこれらの内から各対象地の特性、目標の重要度等を勘案し、各手法を組み合わせたり、形状・色等を地域に適したものに本来の機能に支障をきたさない範囲で変えたりしながら、最もその地域に適した設計を行うことになる。

現在、溪流空間の砂防施設を対象とした景観検討手法の確立が急務となっていることから、ここで挙げた設計が溪流景観の中でどのような効果があるか（どのように見えるか）の予測・評価を行うことが今後の検討課題となる。

なお、予測手法には透視図、フォトモンタージュ、コンピューター・グラフィックス、模型等様々な方法がある。溪流景観という自然要素の多い景観を対象としているため、複数の設計手法について予測を行うことも考えられ、それに対応できる予測手法を選定しなければならない。ここでは、砂防施設をできるだけ自然環境に違和感なく調和させることに主眼をおいて説明してきたが、さらに今後は、自然風の滝や瀬と淵をつくるなど新たに自然景観を創り出していくといった検討もされて良い。

表-1 溪流空間における砂防施設の景観設計手法総括表

手 法	対 象 施 設					効 果	留 意 事 項
	砂防ダム	流路工	床固工	護岸工	遊砂地等		
形 状	①規模を小さくする	○		○		○ ・構造物の存在感を軽減する ・周辺との違和感を軽減する ・分断感	・機能に支障のないこと
	②単純な形状とする				○	・すっきりとした印象を与える	・機能に支障のないこと
	③丸み・曲線を取入れる	○	○	○	○	・やわらかさを与える ・自然渓流の演出	・機能に支障のないこと
	④水際に近づきやすくするー緩勾配		○	○	○	・親水利用ができる ・やわらかさを与える	・適正な場所の選定 ・安全性(滑りにくい等)
	⑤水際に近づきやすくするー階段		○	○	○	・親水利用ができる	・適正な場所の選定 ・安全性(滑りにくい等) ・周辺とのバランス
	⑥飛び石・中洲を整備する		○	○		・親水利用ができる ・自然渓流の演出	・機能に支障のないこと ・適正な場所の選定
	⑦滝を創出する	○	○	○		・自然渓流の演出	・機能に支障がないこと ・適正な場所の選定(水量、視点場等)
素 材	⑧自然石積・自然石組	○	○	○	○	・自然の風格を与える ・周辺との一体感を与える ・自然渓流の演出 ・汚れが目立ちにくい	・機能に支障のないこと ・材料の入手 ・施工・維持管理の経済性
	⑨自然石 自然石ブロック パネル等	○	○	○	○	・自然の風格を与える ・周辺との一体感を与える ・自然渓流の演出 ・汚れが目立ちにくい	・材料の入手 ・施工・維持管理の経済性 ・土台の表出
	⑩化粧型枠	○	○	○	○	・自然石のような印象を与える	・模様の人工物としての印象(規格目地等)
	⑪仕上げ材 (タイル、レンガ ブロック等)	○	○	○	○	・構造物の演出 ・利用時の楽しい雰囲気演出	・周辺とのバランス ・施工・維持管理の経済性
	⑫着色	○	○	○	○	・色彩により様々な雰囲気演出が可能	・周辺とのバランス ・施工・維持管理の経済性 ・適正な色彩の選定
	⑬絵・模様 (レリーフ、タイル 張含む)	○	○	○	○	・地域性の演出(シンボル化) ・ランドマーク ・利用時の楽しい雰囲気演出	・周辺とのバランス ・適正な絵柄の選定 ・施工・維持管理の経済性
	⑭緑化ブロッ ク				○	・周辺との一体感演出 ・植物種によっては華やかさ の演出も可能	・施工・維持管理の経済性 ・適正な植物の選定
	⑮つる植物に よる波壁	○	○	○		・人工物被覆による構造物の 違和感を軽減する	・目的達成に時間がかかる
	⑯張芝、植栽				○	・すっきりとした印象を与え る公園の様な利用ができる	・適正な場所の選定
	⑰木 材		○	○	○	・周辺との一体感を与える	・機能に支障のないこと ・施工・維持管理の経済性
	⑱擬 木	○	○	○	○	・木材のような印象を与える ・汚れが目立ちにくい	・施工の経済性 ・人工物としての印象
	⑲蛇籠、布団籠		○	○	○	・周辺との一体感を与える ・歴史ある砂防施設の演出	・機能に支障のないこと

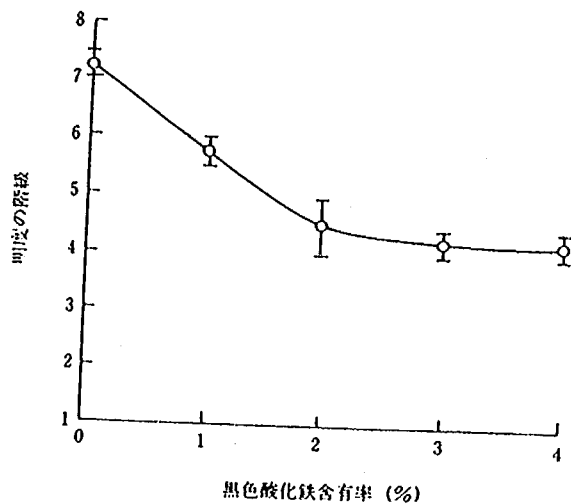


図-2 黒色酸化鉄の含有量と明度の
関係

参考文献

- 1) 「水辺の景観設計」 1988 土木学会編 技報堂出版
- 2) 「河川景観計画マニュアル (案) 水辺の景観作り」 1982 建設省九州地方建設局
菊池川工事事務所 アイ・エヌ・エー新土木研究所
- 3) 「景観工学」 1990 石井一郎、石田良孝 鹿島出版会
- 4) 水山高久、中野陽子；砂防ダムコンクリートの明度の経年変化、新砂防
Vol.41、No.5、1989、pp.30～31
- 5) 阿部宗平、水山高久、矢島重美；環境を考慮した砂防設備のコンクリート表面
処理の評価、土木技術資料Vo.31、No.6、1990、pp.67～72
- 6) 水山高久他；自然環境を考慮したコンクリート表面の処理、新砂防Vol.44、No.
1、1991、pp3～11
- 7) 全般に建設省；第45回建設省技術研究会、河川部門指定課題論文集、1991年10
月

(砂防研究室)

河-15 砂防ダム水叩きの設置基準

(質問)

河川砂防技術基準(案)によれば、「ダム基礎及びその下流が硬岩で亀裂が少なく、また砂礫基礎であっても想定される最大洗掘深よりダム基礎が深く、かつ両岸の崩壊及び下流洗掘に対しても支障がなければ水叩きを設置する必要はない」とされている。しかしながら、水叩きを必要としない基礎岩盤の程度や洗掘深の求め方が明示されていない。そこで、水叩きの必要性を判断するときの基礎岩盤の程度(ex、岩級区分)や砂礫地盤における洗掘深の算定法について御教示願いたい。

(金沢工事事務所)

(回答)

砂礫基礎上に砂防ダムを築設した場合、ダムを越流した落下水によってダム下流部が洗掘され、底ぬけあるいはダムの破壊という結果を招くことがある。このような事態を避けるために、副ダムを設置しウォータークッションを設けて減勢させたり、水叩工を設けて洗掘されないようにするなどの方法がとられる。

水叩きは、ダム下流の河床の洗掘を防止し、ダム基礎の安定及び両岸の崩壊防止に対する所要の効果が十分発揮されるとともに、落下水、落下砂礫の衝突及び揚圧力に対して安全なものとなるよう設計される。しかしながら質問にもある通り、水叩きの設置基準については必ずしも明確でない。そこで河川砂防技術基準(案)及び各地方建設局で採用している設計の考え方を集約してとりまとめると図-1の通りとなる¹⁾。ここで、ダム基礎地盤の評価であるが、一般的には土木工事の標準積算基準に用いられている岩分類を用いる(表-1)²⁾。なおここで硬岩はいわゆる中硬岩も含める。

また、河川砂防技術基準(案)には主ダム下流の洗掘深の求め方が記述されていないが、林の式³⁾、Schoklitschの式、伏谷の式等により求める。ここでは林の式を紹介する。

$$T = h - h_1 \quad \frac{h}{d_m \sin \theta} = c \left[\frac{q v_0}{g d_m^2} \left(\frac{D}{d_m} \right)^\alpha \right]^\beta$$

ここに、 T ＝洗掘深さ (m)、 d_m ＝砂礫の平均粒径 (m)、 θ ＝水脈の貫入後の角度、 q ＝単位幅流量、 $v_0 = \sqrt{2gh_0}$ 、 D ＝水脈の厚さ＝ q/v_0 、 h_1 ＝ダム下流部溪床上の水深 (m)、 c 、 α 、 β ＝実験定数である、パラメータのとり方を図-2に示す。なお、実験の結果から、 $c=1.63$ 、 $\alpha=0.13$ 、 $\beta=2/3$ が与えられている。

このように主ダム下流洗掘深と砂防ダム基礎根入れを比較することになるが、越流水深が小さくかつ砂礫の平均粒径がかなり大きくないと一般に主ダム下流洗掘深は砂防ダム基礎根入れより小さくならず、通常は洗掘深の方が上まわるため、水叩きの設置が必要となる。また水叩き＋垂直壁工法は通常の洪水も少なく、小流域の溪流に設置されることが多い。なお溪流の生物の環境（特に魚類の遡上）を考慮するとウォータークッション工法がよいと考えられる。

参考文献

- 1) 建設省；第42回建設省技術研究会 河川部門指定課題論文集、1988年11月
- 2) 国内各機関の岩盤分類；応用地質、昭和59年8月
- 3) 林 拙郎；砂防ダム下流部における洗掘深さについて、新砂防, Vol.26・No4、1974

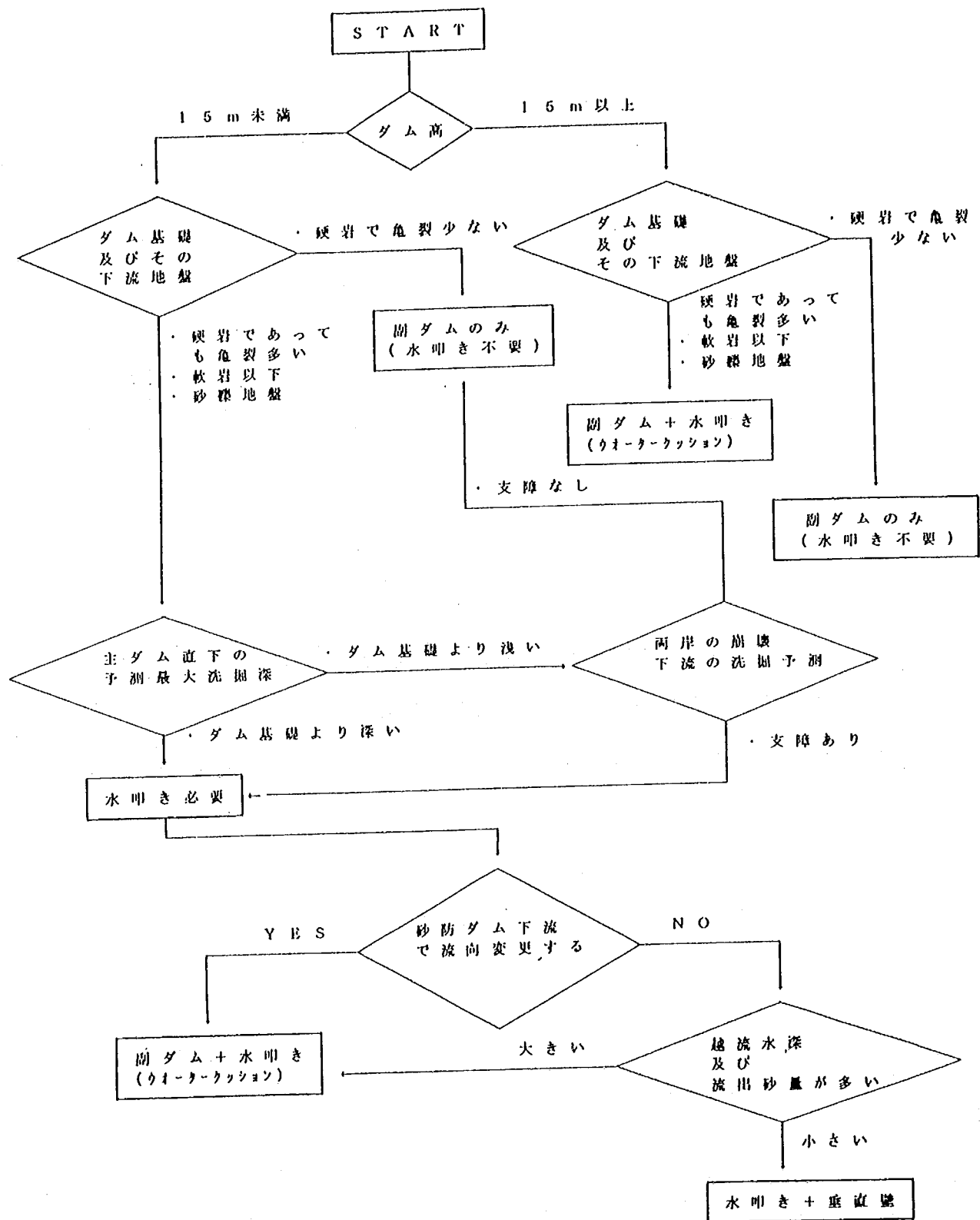
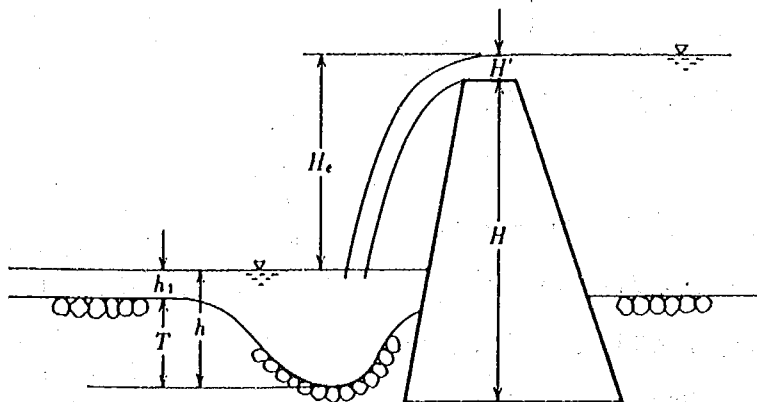


図-1 前庭保護工の選定基準 (案)

表—1 岩分類

名 称			説 明
A	B	C	
岩	軟	I	第3紀の岩石で固結の程度が弱いもの。 風化がはなはだしく極めてもろいもの。 指先で離しうる程度のものでクラック間の間隔は1～5cmくらいのもので第3紀の岩石で固結の程度が良好なもの。
		II	風化が相当進み、多少変色を伴い軽い打撃で容易に割れるもの、離れ易いもので、き裂間隔は5～10cm程度のもの。
	岩	I	凝灰質で堅く固結しているもの、風化が目によって相当進んでいるもの。
		II	き裂間隔が10～30cm程度で軽い打撃により離しうる程度 異質の固い互層をなすもので層面を楽に離しうるもの。
	硬	I	石灰石、多孔質安山岩のように、特にち密でなくても相当の硬さを有するもの、風化の程度があまり進んでいないもの、硬い岩石で間隔30～50cm程度の、き裂を有するもの。
		II	花崗岩、結晶片岩などで全く変化していないもの、き裂間隔が1m内外で相当密着しているもの、硬い良好な石材を取り得るようなもの。
岩	硬	I	けい岩、角岩などの石英質に富む岩質で最も硬いもの。風化しておらず新鮮な状態にあるもの、き裂が少なく、よく密着しているもの。
		II	



図—2 砂防ダムの洗掘

(砂防研究室)

河-16 遊砂地の構造

(質問)

遊砂地について事例をもとに計画し及び構造上、留意すべき点、配慮すべき点についてご教示願いたい。

(飯豊山系砂防工事関係事務所)

(回答)

一般的に、砂溜工のうち河道拡幅面積が比較的大きく、上下流の河床に比較して著しく掘り下げていないものを遊砂地と呼ぶ。砂溜工には、その貯砂容量を除石により回復させ、繰り返し利用するという特徴がある。河川砂防技術基準(案)¹⁾によると、「砂溜工は、上流域の砂防工事で下流流路の許容流砂量まで流出口砂を減じることができない場合に設けるものである。流路の一部を拡大して土砂礫を堆積させるもので、土石流の常襲地帯、扇状地、流路工の上端に設ける場合が多い。」とある。

砂溜工の構造は河道の一部を拡幅し上下流の水路より掘り下げ護岸を行う形が一般的であるが、築堤を行い扇状地に広く土砂を溜める空間を確保する方法をとる場合もある。

砂溜工は、その中に床固工が配置されていることが多い。。これは、元河床勾配と平行に掘り込んだだけでは砂溜工としての十分な機能を期待することができず、適切な数の床固によって砂溜工全体の計画河床勾配を緩くする必要があるた

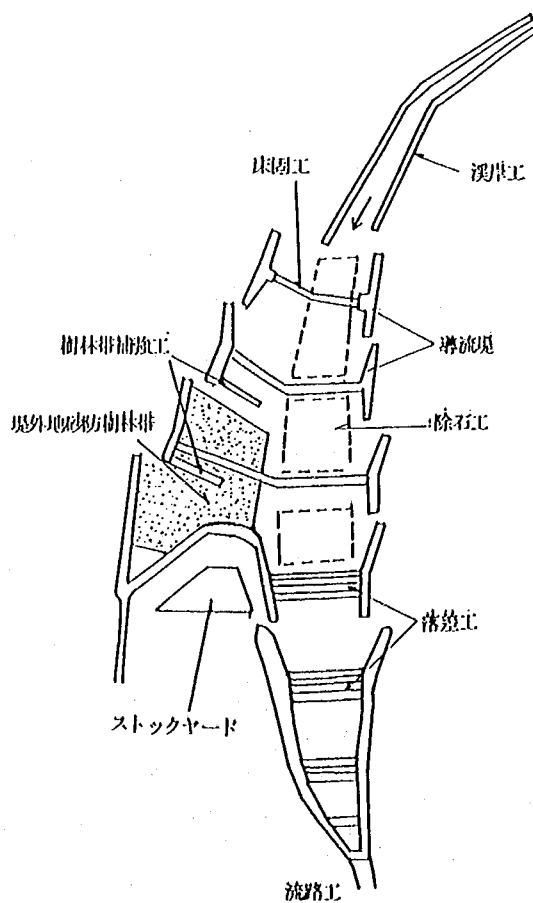


図1 大沢扇状地平面図

めである。²⁾ 砂溜工計画のポイントは、この床固工を適切に配置し、遊砂空間を有効に使って、所定の土砂量を堆積させることができるかどうかという点にある。

図1に富士山、大沢扇状地の遊砂地計画例を示した。³⁾ 大沢川の上流の大沢崩れからは毎年約20万 m^3 の土砂が生産されており、大きな出水時には数10万 m^3 から100万 m^3 を越える土砂が一度に流出する。しかし、上中流域は勾配が急なため大きな調節量を持つ砂防ダムが早急に期待できないため、下流扇状地に150万 m^3 の貯砂容量を持つ遊砂地が計画された。⁴⁾ 施設は現在ほぼ完成している。この計画の立案に際しては、非常に広い遊砂地に土砂を効果的に分散堆積させるため、模型実験を主に、土砂が流入する遊砂地上流部の平面計画、縦横断計画を中心に検討が進められた。

4) 5) 6)

床固工の構造は、自在性、補修の容易さ等の理由から、異形ブロックによる積工を採用している。また、遊砂地を開む導流堤は堤内地からの雨水の流入が容易なように霞堤方式がとられており、その構造は築堤に護岸を施す形となっている。⁴⁾

この遊砂地の特徴の一つに堤外樹林帯があることが挙げられる。遊砂地の中を流れる土砂流を樹林帯で減勢、捕捉しようというものである。樹林帯だけでは十分な効果が発揮できないので鋼製スリット形式による樹林帯補強工が設置されている。また、近年この樹林帯を緑の砂防ゾーンとして整備して行く計画もある。³⁾

図3に富士川支川大武川の砂溜工検討例を示した。流路工上流端の拡幅部を掘り下げた貯砂量300,000 m^3 の砂溜工である。⁸⁾ 実験結果⁹⁾より砂溜工の内部には計画河床を維持す

るため3基の床固工が配置されており、横断形状は低水流量を流す部分を確保す

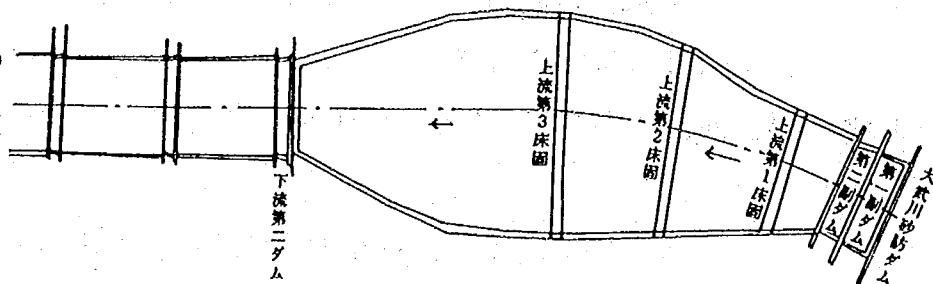


図2 大武川砂溜工平面図

るため複断面形となっている。このような比較的小規模な砂溜工の場合は、土砂の堆積促進とともに、堆積させた土砂の二次流出を最小限にすることを中心とした検討となる。護岸はもたれ式のコンクリート護岸となっている。

以上、事例を中心に砂溜工の計画、構造上のポイントについて述べてきたが、今後は、遊砂地に単に土砂捕捉機能をもたせるだけでなく、広大な遊砂空間を利用した環境対策（例えば樹林帯の設置）も積極的に検討して行く必要があると考えられる。

参考文献

- 1) (社)日本河川協会、建設省河川局監修；建設省河川砂防技術基準(案)設計編Ⅱ、山海堂、昭和60年
- 2) 水山高久、坂東高、安養寺信夫；砂溜工の機能と構造に関する事例研究、新砂防、144号、昭和61年5月
- 3) 建設省中部地方建設局富士砂防工事事務所；DRAMATIC FUJI、平成3年
- 4) 建設省中部地方建設局富士砂防工事事務所；富士山大沢くずれ扇状地砂防計画、昭和55年10月
- 5) 建設省土木研究所；富士山大沢崩れ砂防計画 扇状地砂防計画に関する調査及び水理模型実験(1)、土木研究所資料、昭和45年3月
- 6) 建設省土木研究所砂防部砂防研究室；富士山大沢扇状地水理模型実験報告書、土木研究所資料、昭和59年3月
- 7) 建設省土木研究所砂防部砂防研究室；富士山大沢扇状地水理模型実験報告書Ⅱ、土木研究所資料、昭和60年3月
- 8) 建設省関東地方建設局富士川砂防工事事務所；大武川流路工計画概要書、昭和62年
- 9) 建設省土木研究所；大武川流路工水理模型実験報告書、昭和54年2月

(砂防研究室)

河-17 オープンタイプ砂防ダム¹⁾の機能、構造、効果

(質問)

調節量の増大、下流への無害土砂供給などの目的で、オープンタイプの砂防ダムが計画、実施されているが、これらオープンタイプ砂防ダムの機能、構造、効果等において以下の点について御教示願いたい

1. スリットダムの構造決定方法と計画論上の「整備土砂量」「調節量」の考え方について御教示願いたい。

・スリットダムの構造について、必ずしも模型実験をしなくても良いのではないか。

・計画土砂流出時に閉塞を前提とするスリットと閉塞を前提としないスリットでは、砂防計画論上の調節量の考え方に違いがあるのではないか。

・スリット幅が狭い場合、土砂、流木によりスリットが閉塞しやすく、これらが流出した場合、下流への影響が懸念される。

2. これまで、実施されてきたオープンタイプ砂防ダムの実態調査などにより効果が確認されている例があれば教えて戴きたい。

3. 現在実施されているオープンタイプ砂防ダムの他に有効なタイプ、構造があれば御教示願いたい。

(河川部河川計画課)

(回答)

はじめに

オープンタイプ砂防ダムは大出水や土石流に備えて土砂調節・捕捉機能¹⁾を高めるために、平常時の流出土砂は通過させ、計画的に砂防ダムの空容量を確保することを目的とした砂防ダムである。オープンタイプ砂防ダムはその土砂調節・捕捉機能からスリットを通過する巨礫を捕捉するタイプ(土石流対策技術指針(案)¹⁾では透過型砂防ダムと定義)とスリットによるせき上げ作用により土砂調節能力を向上させるタイプとに分けられる。いずれのタイプとも主に次のような機能を期待している。

(1) 平常時においては無害の土砂は堆砂させずに、下流に流下させることにより砂

防ダムの空容量の確保をはかる。

(2) 平常時においては下流河道に無害な土砂を供給する。

(3) スリットの開口部の大きさを適切に設計することにより、粒径の大きい土砂を積極的に捕捉する。

(4) 副次的な作用として、魚道としての活用も場合によっては期待する。

以下にスリットにより巨礫を捕捉するタイプと、せき上げにより土砂を調節するタイプとに分けて述べる。

1. 巨礫を捕捉するタイプ (透過型ダム)²⁾

一般に土石流の先端部には巨礫が集中することから、スリット間隔を適切に設定して土石流中の巨礫を捕捉する。これまでの研究によれば、開口部の大きさが最大礫径の1.5 倍より小さければ、巨礫はほぼ確実に捕捉され、2.0 倍以上では巨礫の一部は捕捉されるが、完全に捕捉されない。したがって、巨礫を確実に捕捉しようとする場合は、開口部の大きさを最大礫径の1.5 倍程度以下とし、巨礫のみの捕捉やピーク土砂量の減少のみを目的とする場合は、開口部の大きさを最大礫径の2 倍以上とする (図-1)。

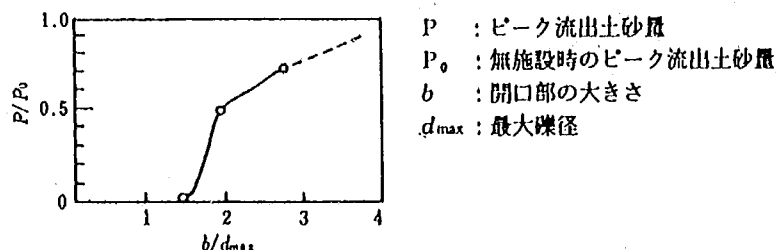


図-1 開口部の大きさとピーク流出土砂の減少率

2. せき上げ背水により土砂を調節するタイプ³⁾

スリット砂防ダムでは洪水時に流れがせき上げられることにより、図-2に示す様なデルタ型の堆砂肩が形成される。洪水終了時において、水位はピーク時の計画堆砂線より低下し、さらにその後の中小洪水により、堆砂面が洗掘され、平時の堆砂線まで低下する。この様な堆砂～回復過程が繰り返されることになる。またスリット幅(b)は最大粒径の石礫が閉塞しない幅以上とする。一般にスリット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 (図-3)。

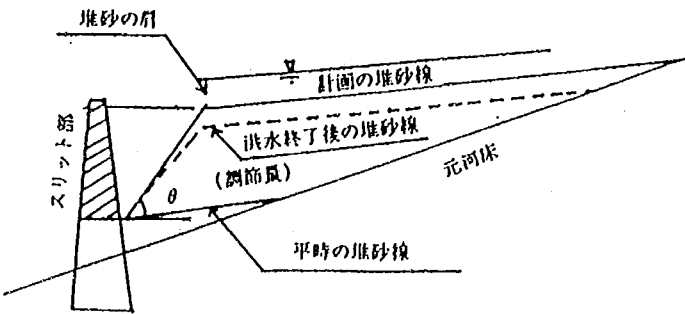


図-2 スリット砂防ダムの堆砂モデル

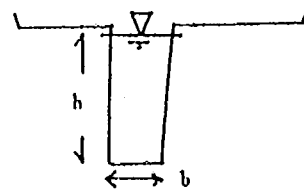


図-3 スリットダムの
深さ(h)と幅(b)

3. スリット砂防ダムの構造決定方法と計画論の考え方について

土石流対策の鋼製砂防構造物については標準設計⁴⁾がある程度整備されており、水理模型実験を行わなくても対応できる事例がでてきている。しかし、せき上げ背水により土砂調節するタイプでは洪水時及び平常時の流量、流砂量、河床の粒径、砂防ダム堆砂地の状況、スリットの形状等により土砂調節量が大きく変化し、さらに下流への河床変動の影響を検討する必要がある、水理模型実験により確認する必要があるといえる。また流木対策を目的としたオープンタイプダムについてもまだ標準的な設計ができておらず、水理模型実験の実施が望まれる。次に砂防計画論上の調節量の考え方について述べる。巨礫を捕捉するタイプにおいては土石流対策技術指針(案)¹⁾にのっとり計画堆砂勾配を求める。計画堆砂勾配は一般に既往実績等によりダム地点の現溪床勾配の $1/2$ から $2/3$ の間の勾配とする。ただし i_2 (計画堆

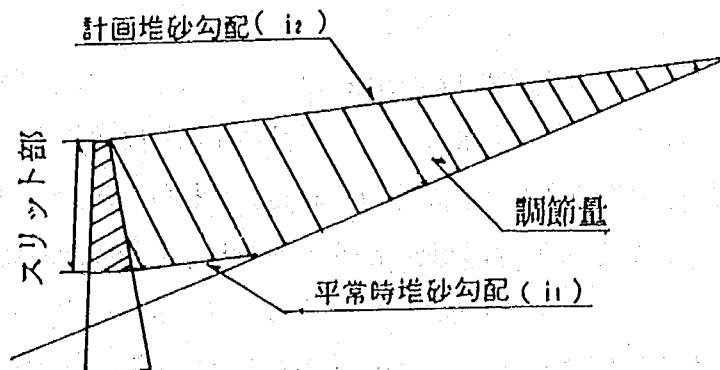


図-4 巨礫を捕捉するタイプの堆砂モデル

砂勾配) は1/6 の勾配 ($\tan \theta$) を上限とする。また、地質条件により堆砂勾配が緩勾配になることが知られている場合は既往実績によって地域別に決定する。ここで調節量は計画堆砂勾配と河床勾配の間の量である。

せき上げ背水により土砂を調節するタイプの調節量の概念を図-2で説明する。調節量は平時堆砂面と計画堆砂面との間の土砂量とする。平時堆砂面と計画堆砂面は、それぞれ底面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 の勾配で引いた面とする。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、堆砂の高さ (Z_s) は次式によって求める。

$$Z_s = \left\{ \frac{Fr^2}{2} \left[\frac{1}{(\sqrt[3]{\gamma})^2} - 1 \right] + \frac{\sqrt[3]{\gamma}}{\gamma} - 1 \right\} \left[\frac{n \cdot Q}{B_s \sqrt{I}} \right]^{0.5}$$

ここに、 Z_s : 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 (B_d/B_s)、 B_d : ダム地点の流れの幅、 B_s : 堆砂肩の位置の流れの幅、 I : 計画堆砂勾配、 n : マニングの粗度係数、 Q : 計画流量である。

質問にあるとおり大量の土砂流出や土石流を阻止したりしてスリットが閉塞した場合、そのまま放置しておくと思わぬ時に抜けて下流に被害を与えることが懸念される。閉塞の原因が流木の場合には特にこの危険性が大きい。空容量を継続的に確保するなど機能回復するためにも、閉塞後の除石対策を計画しておくべきである。また、透過型砂防ダムの下流には不透過型の砂防ダムを組み合わせることが必要である。さらに上流から土砂だけでなく多量の流木の流下が予測されるヶ所では流木対策施設も必要である。

4. オープンタイプ砂防ダムの実態調査

オープンタイプダムで実際の土砂流出に対して効果を発揮した例は施工経過年数がそれほどたっていないことからまだ少なく、神通川水系白水谷第2砂防ダム⁶⁾や富士川水系大棚沢第2砂防ダムの事例が上げられる。これらの事例はいずれも土石流対策として計画された立体格子型鋼製砂防ダムであり、石礫のかみ合いにより土石流を捕捉した。しかし、1回の土石流で満砂するような大規模の土石流は発生しておらず、この様な大規模な土石流による衝撃力とダムの機能効果を調査するため継続して調査観測を実施する必要がある。せき上げ背水により土砂を調節するタイプに

においては大暗渠砂防ダムとして小武川第1砂防ダム及び石空川砂防ダムの事例が上げられる。いずれも出水中一度はせき上げ背水により天端近くまで堆砂し、出水の後半に多量の土砂の再流出が認められた。

5. 今後の検討が期待されるオープンタイプ砂防ダム

これまでオープンタイプ砂防ダムとして巨礫を捕捉するタイプ（透過型ダム）とせき上げ背水により土砂を調節するタイプとに分けて述べてきた。現在進められている新たな形式の鋼製オープンタイプ砂防ダムとして、港湾分野で用いられている鋼製セル構造⁷⁾を利用して、これを適当な間隔で配置する鋼製セル型砂防ダムがあげられる（図-5）。本構造は①工期が短い、②河床材や床掘土砂を中詰材として処理可能、③地耐力の小さな地盤にも適合、④セグメントに分割したセル殻の採用により運搬率と施工性がよい、など特徴を有している。これとは別にスリット部にゲートを設け、流上土砂のコントロールをゲートの開閉により行い、土砂調節機能を確実にし、かつ増大させるいわゆるゲート付き砂防ダムが検討されてきている⁸⁾。なお、参考までに砂防研究室で製作したゲート付き砂防ダムの模型を写真-1に示す。写真では、砂防ダムの水通し部をスリット（ゲートのない状態及び開けた状態ではスリット砂防ダムとなる）とし、スリット部に横ヒンジと下ヒンジ方式の2種類の

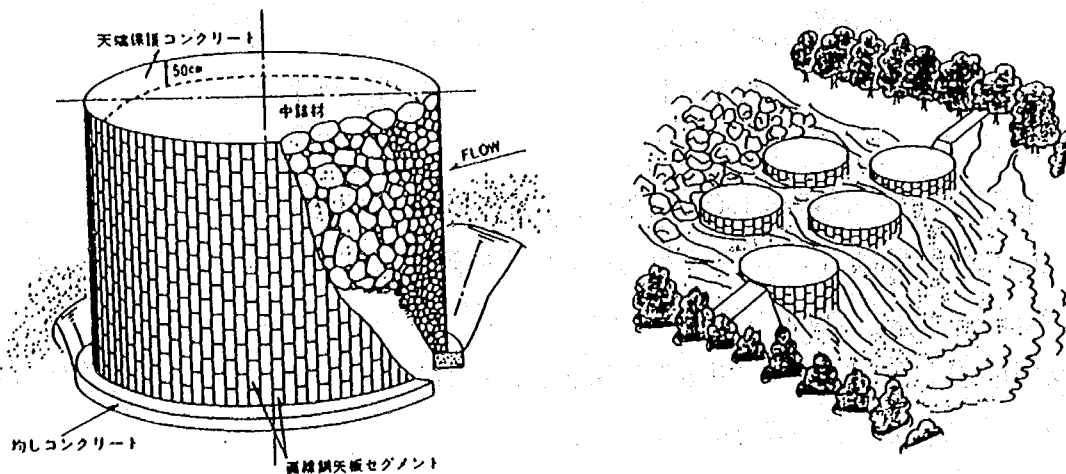


図-5 セル型鋼製砂防ダム

ゲートを取りつけている。また底面水抜きスクリーン（土石流ブレーカー）も広い意味でオープンタイプ砂防ダムといえる。これらのタイプの砂防ダムは現地に施工されている例も少なく、効果をさらに把握するとともに現地での追跡調査が必要である。

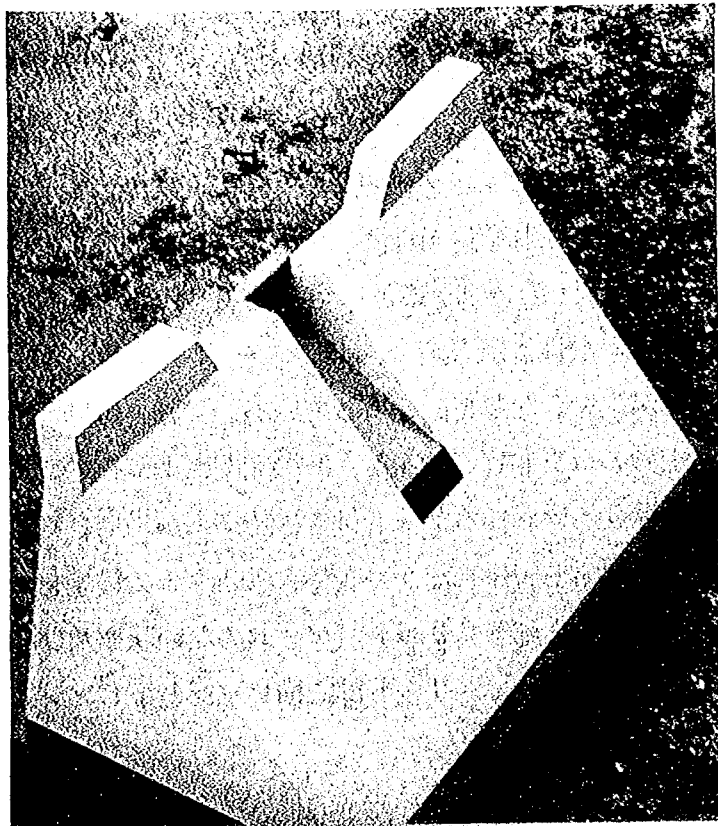


写真-1 ゲート付き砂防ダムの模型（砂防研究室作成）

参考文献

- 1) 建設省河川局砂防課：土石流対策技術指針（案）、平成元年10月
- 2) 池谷浩、上原信司：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、1980年3月
- 3) 水山高久、阿部宗平：スリット砂防ダムの特徴と形状に関する研究、平成2年度砂防学会研究発表会概要集
- 4) 鋼製砂防構造物研究会：鋼製砂防構造物設計便覧、（財）砂防地すべり技術センター、1987

5) 流木対策検討会：流木対策指針（案）、平成2年10月

6) 高梨、村岡、佐藤：立体格子型鋼製砂防ダムの機能について、新砂防Vol.39、
No.5、1987

7) (2) (社) 日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説、昭和54年3月
(砂防研究室)

河-18 高さ15m以上のフローティング砂防ダム

(質問)

河川砂防技術基準(案)では、「重力式コンクリートダムを砂礫基礎上に造る場合には、高さ15m未満を原則とする」となっている。しかし、ハイダムを造れるような良好なダムサイトが少なくなってきたので、今後は砂礫基礎上にハイダムを計画する場合が出てくると考えられる。このような場合のダムの設計手法及び問題点を御教示願いたい。

(河川部河川工事課)

(回答)

重力式砂防ダムを砂礫基礎上に設置する場合の安定条件は大きく以下の4つが挙げられる(ただし、砂礫層を掘削し、岩着させる方法は別途検討とする)。

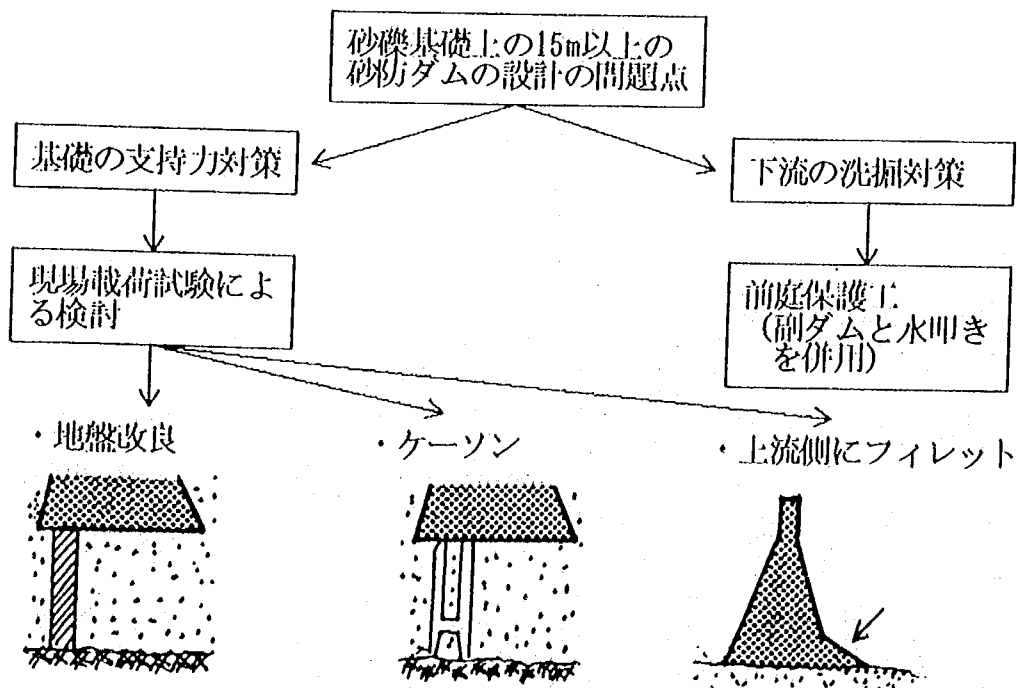
- (1) 基礎の支持力不足による転倒
- (2) ダムの下流洗掘による転倒
- (3) 基礎のパイピングによる転倒
- (4) 基礎のせん断力不足による滑動

このうち、高さ15mを越えるために、特に考慮を加える必要があるのは、(1)と(2)である。(3)と(4)については15m未満のものと同様の検討を行うこととなる。

まず(1)の基礎の支持力不足についてであるが、これはダムが高くなり、自重が大きくなることから、より高い基礎の支持力が要求される。また、砂礫基礎の場合、ダム底面の全面にわたって、均一な支持力が得られるとは限らず、不等沈下を起こす危険性がある。よって調査にあたっては、現場載荷試験を、何点かで行い、実際の支持力と、支持力の弱い部分の分布を詳細に把握する必要がある。その結果、支持力が不足すると判断された場合には、上流側にフィレットを設けて荷重を分散させるか、コンクリート置き換え等の地盤改良、あるいはケーソンを用いる等、支持力の増加を検討しなければならない。

次に(2)のダムの下流洗掘については、ダムが高いために水脈の落下距離が大きく、砂礫基礎の場合には下流洗掘が大きくなるので、15m未満のダムに較べると下流洗掘対策を十分行う必要がある。一般に15m以上の砂防ダムでは、副ダムと水叩きを併用し、必要に応じて副ダムの前庭保護工も行う。また大きなダムを設置した場合、一時的に土砂の流出がカットされ、下流の洗掘が進む場合があるので、副ダム下流の洗掘対策も必要となる場合が多い。

参考として、重力式コンクリートダム以外の、砂礫基礎上に設置しうるダム形式を挙げると、ロックフィルダムとホローグラビティダム(中空ダム)が考えられる。ロックフィルダムは基礎の応力を分散させ、現地の転石等を有効に利用することができる。しかしオーバートッピングに弱いので、越流部はコンクリートで施工する等の対策が必要である。ホローグラビティダムはコンクリートダム内部に中空部を設けることにより、ダム本体の単位体積重量を減らすことができる。このタイプのダムは、一般に施工が煩雑であるが、これについては最近簡易化を試みた例もある。



参考文献

- 1)平成3年度砂防研究報告会資料：「平成2年に実施した代表的な調査の概要」
P63～66
- 2)八千代エンジニアリング(株) 滑川第一砂防ダム報告書 S54.9
- 3)河川管理施設等構造研究会「解説・河川管理施設等構造例」

(砂防研究室)

(質問)

近年、市街地に限らず農山村の集落においても騒音効果を考慮した落差工の設置が要望されている。本県においても近年、一部設置例がある。今後このような要望が増加することが予想されるので、騒音対策を考慮した落差工の構造について具体例と研究例を御教示願いたい。

(福島県土木部)

(回答)

過去に砂防ダム等からの落下水の騒音対策がとられた例としては、新庄工事事務所管内の肘折ダム、越美山系砂防工事事務所管内の坂内ダム¹⁾などがある。両者とも融雪時の中規模出水時に騒音(異常音)が発生して下流住民から苦情が出されたものである。

騒音の種類としては、一般の騒音と低周波振動に大別される。一般の騒音の原因として、落下水が水叩きや下流河床を叩く時発生する音があげられる。この対策としては、落差を小さくする、水深を小さくする、コンクリートブロックを設置する等が考えられる。

また、低周波(振動)の発生原因としては、ダムから落下する越流水膜が気柱を作り、その気柱の固有振動と落下水膜の振動が同位相になると大きな低周波を発生する²⁾。振動が発生した砂防ダムの越流水膜の幅(B)と落下高(H)との比(B/H)の関係を図-1に示す。越流水膜の幅が25m以上で、(B/H)

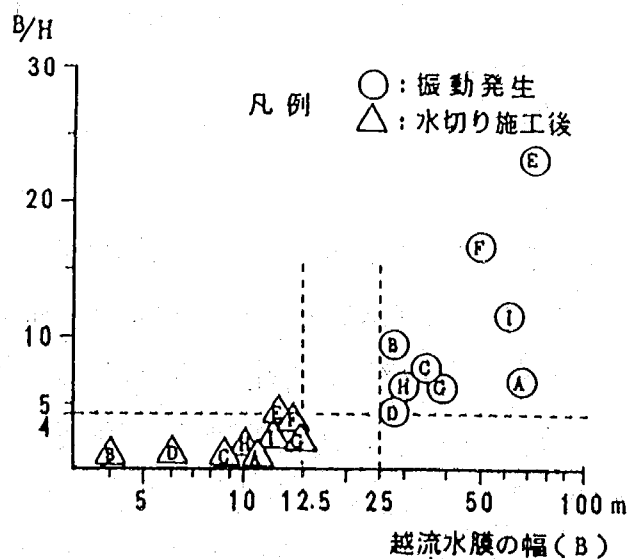


図-1 越流水膜の幅(B)と落下高(H)の関係

が4以上の砂防ダムにおいて大きな振動が発生している³⁾。そこで、振動防止対策として図-2に示すような水切りを設けて水膜を縦に切斷することにより、越流水膜の幅(B)と落下高(H)の比(B/H)を小さくすると、低周波振動が少なくなり騒音は解消される。

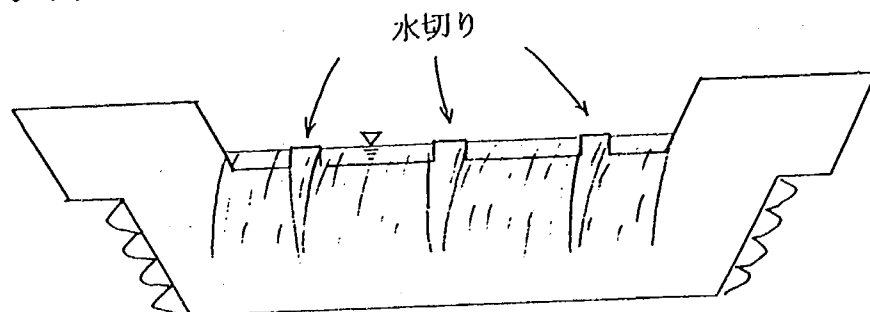


図-2 水切りの形状(模式図)

騒音対策を行い、そのうえ魚道も設置した事例については特にないが、階段状の全断面魚道や扇形魚道などは落差を小さくするため騒音を少なくする効果もあると考えられる。

工事費については、実際に水切りを施工した場合は設けない場合と比較して水切りの部分のコンクリート体積分の費用がよけいにかかるが、全体の工事費に占める割合は小さい。

参考文献

- 1)砂防ダムからの落下水による異常音発生とその処理：梅景継郎，平田智弘，矢島達一，水山高久，新砂防Vol.34 No.3，昭和57年1月
- 2)堰堤から発生する低周波空気振動と対策事例：杉山正晴，奥平文雄，早川友邦，公害と対策，昭和54年9月
- 3)砂防ダム(床固工)の落下水による振動：米沢谷誠悦，中野泰雄，昭和58年度砂防学会研究発表会概要集，昭和58年5月

(砂防研究室)

河-20 深層地すべりにおける地下水排除工としての集水井を考えた場合のその構造

(質問)

末端部のすべり面の深さが80~100m程度、大量の湧水が観測される地すべりで、地下水排除工を行う場合、工法としては、排水トンネル工、集水井工、集水ボーリング工等考えられる。このうち集水井工についてであるが、このような地すべり地では、その深度は40~50mにも及ぶことになると思われる。このような集水井工を施工するにあたり、その計画・施工について、(a)三紀層すべり、(b) 破碎帯すべりの2つの場合の、径、材料、構造（剛構造にする等）、あるいは施工性について、特に深度の深いすべりであることを考慮した形で御教示願いたい。

(新潟県土木部)

(回答)

一般的には、集水井の深度が30mを越すと集水井の施工が困難であることから、排水トンネル等の他の工法を検討する必要がある。しかし、現場の状況から深度が40~50mに及ぶ集水井の必要性が生じ、施工された事例がある。その際の施設設計では、三紀層、破碎帯地すべりの区別はせず、従来の方法が適用されている。すなわち、河川砂防技術基準（案）による鋼構造の（ライナープレート、コルゲート）集水井の設計は、以下のようなになる。集水井外周面に作用する荷重は土圧のみとし、原則として水圧は考慮しないものとする。土圧は主動土圧と見なすものとし、計算上は地すべり土圧は考慮しないものとする。しかし、実際には地すべりの挙動は複雑であることから、必要に応じてラテラルストラット及びバーチカルステイフィナーを用いるものとする。

集水井周面に作用する最大土圧（ $P_{t \max}$ ）は、周囲の土のアーチアクション（円弧作用）を考慮して次式（テルツァギーの式）により求める。

$$P_t = \left\{ \frac{12(3m-2)}{H_o^3} H^2 + \frac{6(3-4m)}{H_o^2} H \right\} P$$

$$(P_t \max) = \frac{3(3-4m)^2 P}{4(2-3m)H_0}$$

$$H = \frac{3-4m}{4(2-3m)} H_0$$

P_t : 地表面より任意の深さにおける水平土圧 (tf/m²)

H_0 : 地表面より集水井の深さ (m)

H : 地表面から P_t の作用点までの距離 (m)

m : P の作用点の深さの H_0 に対する割合 ($m=0.50 \sim 0.65 \doteq 0.55$)

P : 深さ H_0 にわたり主動土圧 q (t/m²) が作用したとするときの単位幅当たりの土圧の合力 (tf/m)

$$q = K_a \gamma_t H_0$$

$$P = \frac{1}{2} q H_0$$

なお、土圧の分布は放物線分布に近いといわれているが、土圧の合力 P は土圧をクーロンの三角形分布と仮定した場合の合力と同等と考える。

γ_t : 土の単位体積重量 (t/m³)

K_a : 主動土圧係数

(1) 砂質土の場合

$$K_a = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right)$$

(2) 粘質土の場合

$$K_a = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) - \frac{2c}{\gamma_t H_0} \tan \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right)$$

c : 土の粘着力 (tf/m²)

ϕ : 土の内部摩擦角 (度)

座屈に対して安全な部材の断面決定（板厚）は、上式より求めた P_{tmax} を用いて次式によって決定するものとする。

$$q_n = \frac{3 E I}{f R^3} > P_{tmax}$$

これは、鋼板の波型の影響を考え、ポアソン比を0とした場合の外圧を受ける薄肉円筒の単位長さ当たりの座屈の式である。

q_n : 集水井周囲の許容外圧 (tf/m²)

R : 集水井半径 (m)

E : ヤング率 (2.1×10^7 tf/m²)

I : ライナープレート、コルゲートの深さ 1 m 当たりの断面二次モーメント (m⁴/m)、ただし、集水孔、ボルト孔等を考慮して有効断面二次モーメントは $0.8 I_0$ (I_0 : 集水孔、ボルト孔がない場合の断面二次モーメント) とする。

f : 安全率 (1.5~2.0)

上式で満足しない場合は、ライナープレート、コルゲートの水平継目又は内側に H 型鋼による補強リングをはめ込んで補強するものとし、補強リングの間隔を単位長に換算して断面及び間隔を決定する。

この他、深度が深くなるために生じるライナープレートの自重による変形を防ぐために、地表面で集水井を吊り下げるように集水井周辺に設けた吊りコンクリートや、集水井側面に集水井を固定するための固定コンクリート等を設けている事例がある。

安全の面からは、酸欠及び転落の防止、十分な揚水能力をもったポンプを用いるなど浅い集水井に比べて一層の注意が必要と考えられる。

(地すべり研究室)

河-21 急傾斜地における樹木の斜面安定に及ぼす影響

(質問)

近年、環境に考慮した事業への要望が高まりつつあり、これにともない、

1. 既存樹木を斜面に残した施工

2. 樹木を用いた斜面の緑化

等の施工事例が増加している。しかしながら、植物の斜面に及ぼす影響は定量化されておらず、施工に際しその影響をどのように評価するか、判断に苦しんでいる。

よって、以下のものについて現在までの研究で分かっているところまで御教示願いたい。

1. 一般に、斜面上の樹木が斜面安定にどれほど寄与しているのか。(設計の際の安全率の設定のガイドライン等、事業の際、実際に用いられるようなものがあればそれも)
2. どのような樹木が斜面安定にいい影響を及ぼすのか。(残存木選定、導入樹木の選定の参考になるようなもの)

(新潟県土木部)

(回答)

1 について

一般に樹木が斜面安定に寄与している点としては、根系による風化土層の緊縛効果あげられるが、樹木根系の生長状況は、樹木特性に加え土壌条件にも大きく左右されるため、樹木根系の斜面安定に対する定量的な評価を難しくしている。既往研究では、工学的観点から樹木根系の補強効果を評価する試みがなされている。

・無補強時の土のせん断抵抗力

$$\tau = c + \sigma \tan \phi$$

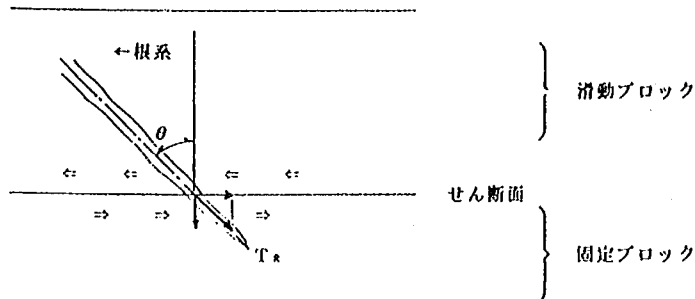
・補強時のせん断抵抗力

$$\begin{aligned}\tau' &= \{c + T_R/A_s \cdot \sin \theta\} + \{\sigma + T_R/A_s \cdot \cos \theta\} \tan \phi \\ &= c + \sigma \tan \phi + T_R/A_s (\sin \theta + \cos \theta \cdot \tan \phi)\end{aligned}$$

T_R : 根系の引張強度 (kgf) .

A_s : せん断面面積 (cm²)

$T_R/A_s (\sin \theta + \cos \theta \cdot \tan \phi)$: 根系の補強効果 (τ_R)



このときの T_R (根系の引張強度) は、①根の引き抜き抵抗 (固定ブロックより引き抜かれるときの最大抵抗) ②根の抗張力 (根の引張破断時の引張力) のうち小さい値が相当する。①については根系の引き抜き試験、②については根系の引張試験を行い関係式を求めている。

ちなみに塚本は¹⁾ ①について

q : 最大引き抜き抵抗 (kgf)

$$\log_{10} q = 0.447 + 1.45 \log_{10} d \quad d : \text{根の直径} \quad (\text{mm})$$

陶山は²⁾ ②について

P : 破断時の最大張力 (kgf)

$$P = 4.2656 D^{1.85} \quad D : \text{破断部直径} \quad (\text{mm})$$

という関係式を導いている。

これらのモデルによる根系の補強効果をせん断面に分布する根系にあてはめ、合計したものが樹木の斜面安定に及ぼす効果といえる。現時点では、根系の分布状況もモデル化の域を出ていないので、具体的な定量的評価までには至っておらず、今後の課題となっている。

2について

1の冒頭でも述べたが樹木根系の生長状況は、樹木特性に加え土壌条件にも左右される。すなわち個々に土壌条件の異なる斜面上に生育する樹木についての類型区分の選定方法はない。しかし、斜面の表層崩壊に関しては、すべり面以下に達する樹木根系の存在が斜面安定に寄与していると考えられることから、根系量や根系の

分布状況といった要因は、樹木選定に参考になると思われる。一般には、樹木はその根系の形態より下図のように分類されている。³⁾

深 浅			形			
深 い	中 間	浅 い	斜出根の分岐が多い	太く長い少数の垂下根	太い斜出根と短い垂下根	水平根が発達
アカマツ リギダマツ モ ミ クヌギ ミズナラ	ヤマハンノキ カラマツ ス ギ	ニセアカシア チョウセンゴヨウ	ヤマハンノキ クヌギ ミズナラ	アカマツ リギダマツ モ ミ	ス ギ カラマツ ク リ	ニセアカシア チョウセンゴヨウ

これは樹木特性による分類なので、実際に表層崩壊が起こるような表層厚の薄い斜面では樹木の性質（深根性、浅根性）よりもその場での土壌条件の方が根系の生長に大きく影響を及ぼすので深根性樹木といっても必ずしも深根になるとは、限らない。この点を留意して残存木の選定をする必要がある。

参考文献

- 1) 塚本良則ほか：斜面の基盤構造と樹木の斜面安定効果 緑化工技術第11巻第1号
1984
- 2) 陶山正憲ほか：樹木根系の工学的評価に関する実験的研究—木質根系の引張強度特性について—S61砂防学会研究発表会概要集(1986)
- 3) 村井宏ほか：林地の水および土壌機能保全に関する研究（第一報）—森林機能の差異が地表流下、浸透および侵食に及ぼす影響— 林試研究
報告274号(1975)
(急傾斜地崩壊研究室)

河-22 樋門・樋管における遮水矢板と一般鋼矢板との接続部

(質問)

一般部の鋼矢板護岸と樋門・樋管胸壁部の遮水鋼矢板との接続部では、両側の矢板の変位が異なるため損傷が発生しやすく堤体破壊の原因となるが、どのような対策が考えられるか御教示願いたい。

(新潟県土木部)

(回答)

一般に護岸部の背面盛土材の締固め状態の良好度、あるいは基礎地盤の状態等によって相対変位量の大きさが変わるので、それに応じた対策の例として、①胸壁に隣接する数枚の矢板の天端をコンクリートで巻き、胸壁の天端と一体化させることによって相対変位を抑え、胸壁の損傷を防止する、②矢板同士の継手部分にゴムを注入し、相対変位をある程度吸収することにより、胸壁の損傷を防止する、といったものが従来とられてきた。

それに対して、相対変位をより吸収しやすくする方法として、③可撓性止水鋼矢板を接続部に使用する工法が開発されており、各地方建設局では設計要領・マニュアル、あるいは設計の手引き等部内資料にその運用方法を記してある¹⁾ので参考にされたい。

(参考文献)

1) 例えば、北陸地方建設局「土木工事設計要領(河川編)」平成3年4月、関東地方建設局「河川構造物設計施工の手引き(案)」昭和63年3月

(基礎研究室)

河-23 除排雪機能及び融雪時の出水を考慮した流路工

(質問)

本県の会津地方は豪雪地帯であり、冬期間は屋根の雪下ろし等の除雪作業は住民の生活において大きな負担となっている。このため、当地方の集落内において実施する流路工を除排雪機能を持つ構造として計画したいので御教示願いたい。

(福島県土木部)

(回答)

流路工の除排雪機能としては雪を流水によって流す流雪機能、流路工の中に雪を捨てて堆積させる堆雪機能、流水の水温で雪を融かす融雪機能の3つの機能が考えられる。このうちいずれの機能を利用するかは、流路工の構造と利用可能流量と処理すべき雪の量によって総合的に判断されるものである。また春先には融雪洪水が発生するためこれに対する安全を確認しておく必要がある。

以下にそれぞれの機能を発揮させる方法について述べる。

1 流雪処理

流路工を利用した流雪処理計画は、処理時間を考慮した処理雪量から必要流量を求め、これを利用可能流量と照合する必要がある。

また、流路工内に投入された雪塊を流送するためには、ある限界以上の水深と流速が必要であることから、利用可能流量を基に、流路幅を設定する事になる。もし設定された流路幅が著しく小さく、砂防設備としての基準を満足しない場合には、複断面流路工の導入を検討する必要がある。

2 堆雪処理

河幅が広く、流量が少ない流路工では堆雪処理を導入するケースが多くなるが、堆雪中を浸透して流下する流量は僅かであるため、融雪洪水対策は十分検討しておく必要がある。

洪水対策としては、機械的手法、もしくは構造的手法の選択が大きなポイントとなるが、前者の代表的なものとしては「河川除雪」、後者の代表的なものとしては

「仮設構造物による断面確保」や「複断面（側水路）」という方法がある。

3 融雪処理

融雪処理は、水量が少なく流雪処理に適さない流路工において、ウォータークッションを利用したり、人工的にダムアップしてウォータープールを設け、流水のもつ熱エネルギーによって雪を融解して処理する方式である。したがって、流雪処理のように短時間で大量の雪を処理することは出来ないが、既設の流路工でも、単純にダムアップする事で利用可能となり、流末処理の問題もなくなる。しかし現段階では、水温、流量、ウォータープールの規模と、融雪処理能力との関係が明確でなく、処理可能な雪量も少ないことから、処理対象雪量が極めて多い地域では、あくまでも他の処理方式の補助的手段として考えた方がよい。

4 融雪洪水流量の算定

融雪洪水には融雪初期におこる比較的小規模なものと、融雪の最盛期に発生する大規模なものに二分される。後者の場合は、河川断面の拡大や、貯水ダムといった大規模な対策が必要となるため、計画にあたっては、対象とする洪水を明確にする必要がある。

気象条件から融雪量を推定する方法としては、①熱収支法 ②空気力学方法 ③気温日数法の3種が提唱されているが、①、②の方法については、放射、気温、湿度、風速などを全地域にわたって正確に求めることが困難であり、適用しにくい場合が多い。そのため、一般的に用いられている③の気温日数を採用するのが適当である。

一方、積雪の減少が全て融雪によるものと仮定した場合、日々の積雪深の推移から融雪量を算定することができる。

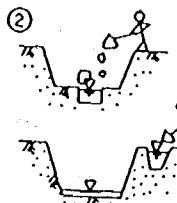
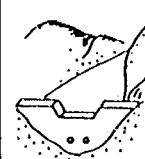
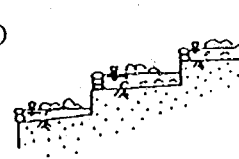
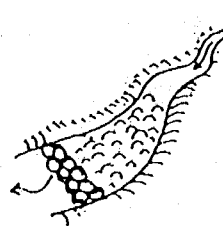
なお、融雪洪水には降雨を伴うものが多いが、降雨と融雪量の関係が特定できないため、降雨量は全て融雪量に置き換えて考える。

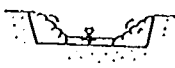
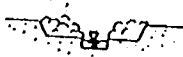
計画にあたっては、以上の気温日数法、積雪深の推移、および降雨量から独自にもとまる洪水流量のうち、何れか大きい流量を採用する。

5 その他

課題名に相当する流路工の施工実績はない。しかし、この課題についての研究は行なわれており、計画の手順をマニュアル形式にまとめ、モデル地区を設定し、計画を作成しているので詳細は次の報告書を参考にされたい。

砂防設備の克雪利用に関する調査報告書 土木研究所資料 第2937号

	砂防ダム	沈砂池	落差工	流路工
流雪	—	—	—	①  ①通常断面での処理 ②  ②坂断面化して処理
融雪	 ①貯留水を利用した融雪処理。	・①沈砂池を融雪プール化。	①  ②  ①ウォータークッション利用の融雪処理 ②仮設構造物でのウォータークッション化	①  ①仮設構造物による流路のプール化。 ②  ②河川をせきとめた「河川プール」を利用した融雪池。

	砂防ダム	沈砂池	落差工	流路工
堆雪	 ①堆砂域を利用した雪ダム	 ①沈砂域を利用した雪ダム	—	①  ①階段式護岸 夏期は親水広場。 冬期は階段部を通 水断面として確保 し、堆雪利用。 ②  ②複断面化により 通水路を確保し堆 雪利用。 
堆雪	—	—	—	③  ③仮設構造物によ る複断面化。 ④  ④長大流路幅、及 び高・低水敷を有 す流路で、洪水断 面を確保した上で の堆雪処理。 

図－１ 流路工を含めた砂防設備の除排雪機能のイメージ図

(新潟試験所)

道路部門目次

(質問者)

(回答)

1 洞門内面のコンクリート塗装の仕様	高田工事事務所	化学研究室 235
2 ランプ接続端間の距離	新潟国道工事事務所	道路研究室 237
3 中央帯設置に伴う効果	道路部道路計画第一課	交通安全研究室 239
4 ブロック積擁壁に施工するガードレール	富山県土木部	交通安全研究室 241
5 歩道舗装、路肩舗装の設計における路床の考え方	道路部道路工事課	舗装研究室 243
6 風等による農作物への影響	富山工事事務所	緑化研究室 246
7 自由勾配側溝の設計	石川県土木部	施工研究室 247
8 井桁組擁壁の設計方法	新潟県土木部	施工研究室 250
9 軟弱地盤上の工事用道路	日本道路公団新潟建設局	土質研究室 253
10 道路構造物の置換え基礎の設計	道路部道路工事課	土質研究室 259 基礎研究室
11 落石衝撃力の推定式	富山県土木部	動土質研究室 262
12 杭頭のヒンジ結合の構造細目	道路部道路工事課	基礎研究室 265
13 ニューマチックケーソンの沈下促進工法	高田工事事務所	基礎研究室 267
14 中掘り杭の摩擦杭形式の採用	新潟県土木部	基礎研究室 269
15 直接基礎の構造物の現場での支持力確認	金沢工事事務所	基礎研究室 272
16 風荷重	日本道路公団新潟建設局	構造研究室 274
17 積雪寒冷地における橋梁の縦断勾配	長野県土木部	新潟試験所 275

道－1 洞門内面のコンクリート塗装の仕様

（質問）

洞門の環境条件（飛来塩分による塩害、コンクリートのアルカリ骨材反応、桁上面からの雨水の侵入、排気ガスによるコンクリートの中性化等）、壁面の管理条件（高圧ジェット洗浄、ブラシ洗浄等）に対する適切なコンクリート塗装の仕様がありましたら御教示願いたい。

（高田工事事務所）

（回答）

洞門内面のコンクリートが飛来塩分による塩害、アルカリ骨材反応、中性化などによって劣化することを防ぐためには、壁面の洗浄等の管理条件を考慮すると、水や塩分のコンクリートへの浸透を遮断する性能に優れ、かつ耐磨耗性に優れた塗装仕様であることが必要である。

これらの条件を満たす塗装仕様は、「道路橋の塩害対策指針（案）・同解説」（昭和59年2月、（社）日本道路協会）、の表－1に示すC種塗装系を適用することが望ましい。

ただし、塩害、アルカリ骨材反応によって劣化したコンクリートを補修するときは、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の開発（土木構造物に関する研究成果）の「塩害を受けた土木構造物の補修指針（案）」及び「アルカリ骨材反応被害構造物（土木）の補修・補強指針（案）」（平成元年5月、（財）土木研究センター）に準拠することが望ましい。

なお、洞門内部の自動車排気ガスによる汚れが目立たなくさせるには、これら塗装仕様の上塗り塗料を艶消しにすると効果がある。

また、桁上面からの雨水の侵入を防ぐには、コンクリート天端上面に防水層を設けることが望ましい。

表一 1 コンクリート塗装の種類「道路橋の塩害対策指針（案）・同解説」

① A種の塗装系

工 程	使 用 材 料	塗 装 条 件			塗装間隔
		目標膜厚 (μ)	標準使用量 (kg/m ²)	塗装方法	
前 処 理	プライ マー	—	0.10	エアレスス プレー (はけ ローラー)	各工程の 間隔は、 1日以上 10日以内 を標準と する
	パテ	—	0.30	へら	
中 塗 り	エポキシ樹脂塗料中塗 り	60	0.32 (0.26)	エアレスス プレー (はけ ローラー)	
上 塗 り	ポリウレタン樹脂塗料 上塗り	30	0.15 (0.12)	エアレスス プレー (はけ)	

② B種の塗装系

工 程	使 用 材 料	塗 装 条 件			塗装間隔
		目標膜厚 (μ)	標準使用量 (kg/m ²)	塗装方法	
前 処 理	プライ マー	—	0.10	エアレスス プレー (はけ ローラー)	各工程の 間隔は、 1日以上 10日以内 を標準と する
	パテ	—	0.30	へら	
中 塗 り	柔軟型エポキシ樹脂ま たは柔軟型ポリウレタ ン樹脂塗料中塗り	60	0.32 (0.26)	エアレスス プレー (はけ ローラー)	
上 塗 り	柔軟型ポリウレタン樹 脂塗料上塗り	30	0.15 (0.12)	エアレスス プレー (はけ)	

③ C種の塗装系

工 程	使 用 材 料	塗 装 条 件			塗装間隔
		目標膜厚 (μ)	標準使用量 (kg/m ²)	塗装方法	
前 処 理	エポキシ樹脂プライマ ーまたはポリウレタン 樹脂プライマー	—	0.10	エアレスス プレー (はけ ローラー)	各工程の 間隔は、 1日以上 10日以内 を標準と する
	エポキシ樹脂またはビ ニルエステル樹脂パテ	—	0.30	へら	
中 塗 り	厚膜型エポキシ樹脂ま たはビニルエステル樹 脂塗料中塗り	350	1.20	エアレスス プレー	
上 塗 り	ポリウレタン樹脂塗料 上塗り	30	0.15 (0.12)	エアレスス プレー (はけ)	

道-2 ランプ接続端間の距離

(質問)

ランプ接続端間の距離については道路構造令6-4-3インターチェンジの設計基準表6-14に最小値及び標準値が示されている。実際の設計において、各種制約から最小値を用いなければならない場合があるが、その時の設計上の留意事項を御教示願いたい。

(新潟国道工事事務所)

(回答)

ランプ接続端間距離はドライバーに判断の余裕時間を与えるためにAASHTOで規定している標準値以上をとることが望ましい(表-1)。しかし、地形上やむを得ない場合には最小値まで縮小することができる。ただし、この場合、AASHTOで規定している最小値と表-2、表-3に示す減速車線長、加速車線長と比較して長い方に従わなければならない。インターチェンジが近接していると、オンランプの後にオフランプが続く場合が考えられる。このとき、織り込み区間としてランプ接続端間距離を考えるだけでなく、オンランプ、オフランプそれぞれに必要な車線長からの検討も必要である。

織り込み交通量、および本線交通量が多い場合には集散路を設けるとよい場合があるが、以下にあげる集散路の長所をふまえた上で採用すべきである。

- ①2つのオフランプを一つにまとめることができる。
- ②本線上の織り込みを減少させることができる。
- ③標識による案内誘導が容易である。
- ④本線上のオフランプの形態に統一性をもたせることができる。

実際の設計において最小値を用いる場合、ドライバーに分合流部の存在を的確かつ早期に知らせ、適切な誘導を行なう安全対策が必要である。オフランプについてはランプの存在だけでなく、目的地への案内誘導標識を設置することが望ましい。オンランプについては登り勾配は避け、ノーズ付近の見通し確保区域を十分にとり、本線とランプ相互の見通しをよくすることが大切である。

表-1 AASHTOによるランプ接続端間距離

設計速度 (km/h)		48以下 (30マイル /時以下)	64~80 (40~50 マイル/時)	96~113 (60~70 マイル/時)	129 (80マイル /時)
走行速度 (km/h)		37~45	60~70	84~93	103
距離 L(m)	最 小	60	120	150	275
	標 準	120	215	275	365

表-2 道路構造令の解説と運用による減速車線長

道 路 の 区 分	第1種, 第2種, 第3種道路					
設 計 速 度 (km/h)	120	100	80	60	50	40
テ ー パ 部 を 除 く 減 速 車 線 長	100	90	80	70	50	30
平行式減速車線の標準 テ ー パ 長	70	60	50	45	40	40

表-3 道路構造令の解説と運用による加速車線長

道 路 の 区 分	第1種, 第2種, 第3種道路					
設 計 速 度 (km/h)	120	100	80	60	50	40
テ ー パ 部 を 除 く 加 速 車 線 長	200	180	160	120	90	50
平行式加速車線の標準 テ ー パ 長	70	60	50	45	40	40

(道路研究室)

道-3 中央帯設置に伴う効果

(質問)

現在、現道2車線道路の4車線拡幅事業を数箇所では実施しているが、地元設計協議の段階で、沿道地権者から4車線拡幅に伴う中央帯の設置に反対する意見が多く出される状況にある。中央帯設置に伴う交通事故の減少等の効果・事例についてご教示願いたい。

(道路部道路計画第一課)

(回答)

車線数が4以上である第1種、第2種または第3種第1級の道路には、中央帯を設け往復の方向別に分離することが定められている。また、車線数が4以上のその他の道路については必要に応じ中央帯を設けることとなっている。

中央帯は以下の機能を有している。

- ① 往復の交通流を分離する事により、対向車線への逸走による致命的な事故を防止するとともに、道路中心線側の交通抵抗を減少させ高速度の走行を可能とする。
- ② 多車線道路における対向車線の誤認を防止する。
- ③ 転回(Uターン)等を防止し、交通流の乱れをなくして安全性を高める。
- ④ 特に平面交差点をもつ道路では、十分な幅員があれば右折車線を設けることができるので、交差点における交通の処理上有利となる。
- ⑤ 相当に広い中央帯を設ければ、夜間走行時の眩光は防止される。また、幅員が小さくとも植樹、防眩網の設置によって眩光を防止することができる。
- ⑥ 安全島と同等の機能を有し、歩行者の横断が安全かつ容易となる。
- ⑦ 特に幅員の大きい中央帯を設置すれば、横断に際してまず右方に注意して中央帯まで横断した車が中央帯の幅の中で一時停止し、次に左方からの交通の間隙を利用して横断することができる。
- ⑧ 道路標識、信号機等を設けるスペースとなる。

また、中央帯の設置によって、

- ① 設置区間の事故率が未設置区間の事故率に比較して大幅に低下する。
- ② 設置区間において自動車類の転回、右折に関する事故が防止される。
- ③ 横断歩行者の乱横断による事故が減少する。
- ④ 車両単独事故が減少する。
- ⑤ 速度の高い事故の減少効果が高い。

などが調査結果から明らかになっており、交通事故防止効果の高い施設である。

しかしながら、中央帯の切り口部では、

- ① 転回、右折待ちの車両に係る追突事故
- ② 右折時の対向車との事故

が集中して発生することが観測されており、中央帯を設置する場合はその連続性を確保することが、交通の安全と円滑な交通流を確保するために重要である。

なお、詳細は、「交通安全対策の効果分析に関する研究」（土木研究所資料、昭和61年3月）及び「交通安全施設の整備効果に関する研究」（道路部門直技指定課題、昭和62、63年度）を参考にされたい。

（交通安全研究室）

道-4 ブロック積擁壁に施工するガードレール

(質問)

ブロック積擁壁天端コンクリート中にガードレールを、構造物建込用として設置する場合の運用事例について御教示願いたい。

(富山県土木部)

(回答)

ガードレールは「防護柵設置要綱」(以下要綱という)にしたがって設置することになっている。防護柵設置要綱には、ガードレールの支柱の設置方法については土中建込式とコンクリート構造物建込式の2種類が示されている。

ブロック積擁壁の天端にガードレール支柱を建込む場合には、両方の設置の考え方が適用できる。

①土中建込式の考え方で設置する場合

ブロック積擁壁より道路側に支柱を打ち込むが、その際支柱の影響範囲(図-1、要綱 P115 付図-11)における土の重量(影響範囲内のブロック積のコンクリート重量を含む)が支柱1本当りの衝突に関与する土などの重量(表-1、要綱 P112 付表-3)以上になるようにする。

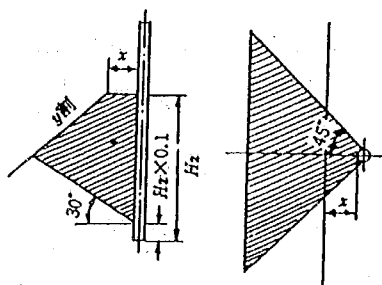


図-1 支柱の影響範囲(付図-11)

この方式を採用する場合には以下のようなことについて注意する必要がある。

表-1 支柱1本当りの衝突に関与する土などの重量 W_2 (付表-3)

(ガードレールおよびガードケーブルの場合) 単位(t)

設置場所	A	B	C	S
土中に設置する場合	2.0	1.5	1.2	2.5
コンクリートに設置する場合	2.5	1.8	1.5	2.5

支柱埋込部分の背後にコンクリートブロックがあることや天端のコンク

リートに接した位置に設置することなどから、支柱拘束条件が構造物建込式に近いものとなるので支柱間隔を短縮することが安全性の上から望ましい。具体的には施工性を考慮して2 mが望ましいものと考えられる。支柱間隔を短縮した場合には影響部分の必要重量が支柱間隔に応じて低減できるが、その場合でも1 t以下になることは避けること。

②コンクリート構造物建込式の考え方で設置する場合

ブロック積擁壁部分を低くし、上部をコンクリート擁壁のような形状(図-2)にする。この場合のコンクリートの大きさは、支柱1本当りの衝突に關与する土などの重量(表-1、要綱 P112 付表-3)以上の重量になるようにする。また、支柱1本当りに加わる力(表-2、要綱 P113 付表-4)が作用しても滑動や転倒しない連続的な形状とし、ブロック積とコンクリートの特別な連結対策はしなくても構わない。その他については、通常

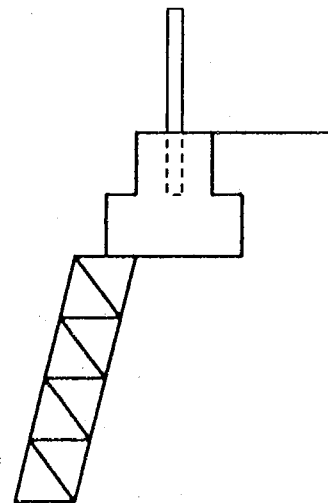


図-2 コンクリート設置図(例)

のコンクリート設置の場合と同様とする。コンクリートの加わる力に対する検討や補強筋の必要量などについては要綱(P116以降)の計算例を参考にするものとする。

表-2 支柱1本当りに加わる力(付表-4)

(ガードレールおよびガードケーブルの場合) 単位(t)

種 別	A	B	C	S
設置場所				
土中に設置する場合	1.6	1.0	0.9	1.8
コンクリートに設置する場合	2.5	1.6	1.4	2.5

W_s を1.0tとした場合には、 f は0.7tである。

(交通安全研究室)

道－5 歩道舗装、路肩舗装の設計における路床の考え方

（質問）

アスファルト舗装要綱に提示されている歩行者系道路舗装の舗装断面を定めた際の路床土の支持力（設計CBR）の設定方法を御教示願いたい。また、同要綱では路肩部の舗装構造は原則として車道よりも簡易な構造でよいとしているが、路床に関する規定はなく、路肩部の盛土の設計・施工について御教示願いたい。

（道路部道路工事課）

（回答）

現アスファルト舗装要綱では、歩行者系道路舗装の設計区分として、歩行者、自転車の交通に供する歩道、自転車道（区分Ⅰ）と歩行者や自転車以外に最大積載量4t以下の限定された車両の通行を想定した道路（区分Ⅱ）の2種類に区分している。

このうち区分Ⅰについては荷重が十分に小さいことから、舗装断面はこれまで経験的に採用されている断面を参考にして決定されている。路床に対しては特に規定されていないが、施工機械のトラフィカビリティが確保され、施工後も路床の沈下や舗装の破損の原因にならないと判断される路床（一般の路床）であればよい。しかし、比較的含水比の高い粘性土、シルト質土、粘土等からなり、路床の沈下や舗装の破損の原因となりやすいと判断される路床（軟弱路床）の場合は、必要に応じて改良、良質土による置換、地下排水溝の設置等により一般の路床と同程度の支持力が得られるように処置しなければならない。この他、寒冷地域では除雪車の進入を考慮する場合があります。また、凍上のおそれのある箇所では路床の一部に凍上抑制層を設ける必要がある。凍上抑制層の厚さは一般に15cm程度であるが、歩道除雪を常時実施する箇所等、凍上の影響を受けやすい箇所ではさらに対策を講じる必要がある。北海道開発局では路床上に断熱材を用いる工法や歩道路床を車道路床にすりつける工法等が検討されている。

区分Ⅱの場合は、荷重条件として最大積載量4t以下の限定された車両の通行（総重量8t（前輪1.2t、後輪2.8t）、交通量10台／1方向・月）を想定するととも

に、路床条件として前記の一般路床の支持力に相当する設計CBR 2～3以上を想定している。構造設計にあたっては、この荷重条件と路床条件から求められる必要等値換算厚(T_R)を満足するとともに、施工性等も考慮に入れて断面が決定されている。歩行者系道路舗装では路床の設計CBRによって舗装厚を変えることをしていないが、これは設計が繁雑になるのを防ぐためと施工性を考慮してのことである。

なお、コンクリート平板舗装、インターロッキングブロック舗装等の舗装断面は、アスファルト舗装の舗装断面と同程度の耐久性を有すると考えられる舗装厚を目安として決定されている。

路肩部の盛土については、道路土工施工指針では路肩部と車道部の区別はなく、路肩部も車道部と同様の品質をもつように設計・施工するものとする。路肩は盛土の端部にあたるため締固めにくい、十分な締固め度が得られるよう入念に締固めなければならない。

路肩の舗装は原則として車道より簡易な構造でよい(図-1参照)。しかし、側帯ないしこれに相当する車道の外側の25cm以上の部分は車道と同じ構造とするのが望ましい。また、路肩の幅が狭く、側溝等の路側構造物に接続している場合で、車道より簡易な構造となる部分の施工が困難な場合は、路肩全幅にわたって車道と同じ構造とするとよい。

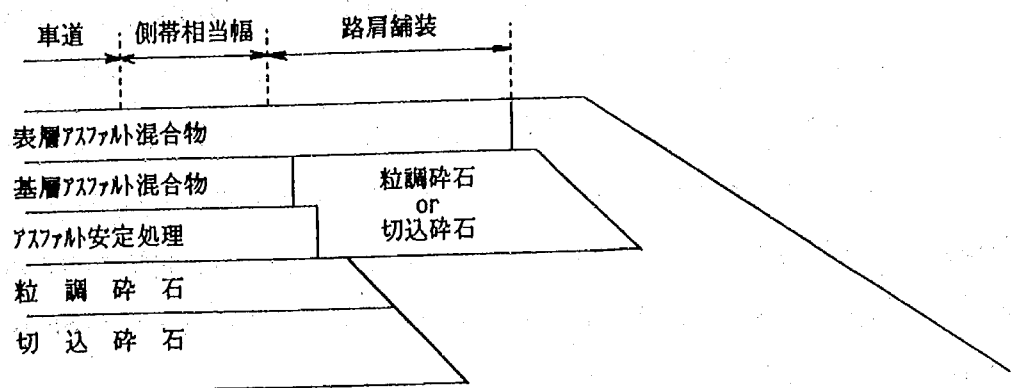


図-1 路肩の舗装構造の例(直轄国道の場合)

日本道路公団では路肩の舗装について、 $T_A = 15 \sim 20$ 程度の舗装構造とすると規定している。図-2に示す例では、車道部の $T_A = 22.5$ 、路肩部の $T_A = 18.4$ となっている。

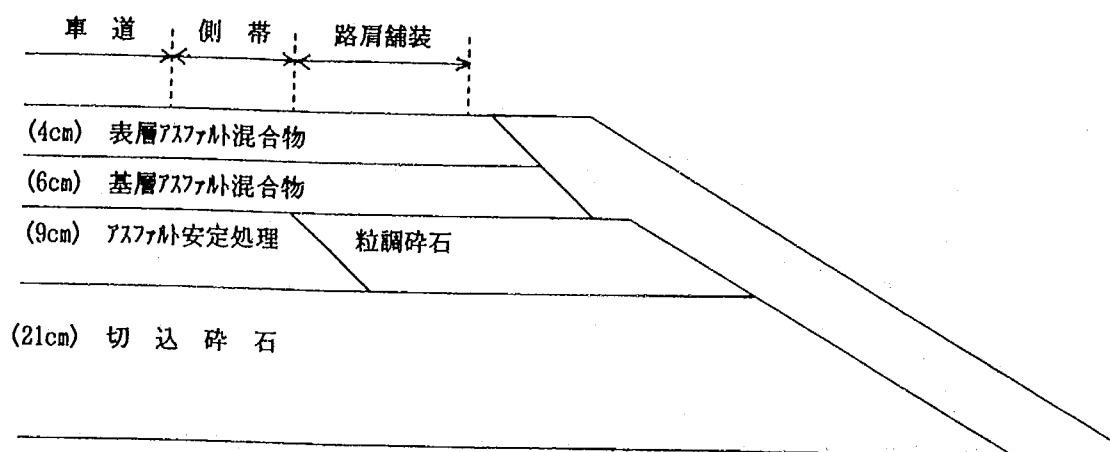


図-2 路肩の舗装構造の例（高速道路の場合）

参考文献

- 1) (社)日本道路協会：「アスファルト舗装要綱」、昭和63年11月
- 2) 住宅・都市整備公団：「歩行空間の舗装の設計・施工の手引(案)」、昭和58年6月
- 3) 北海道開発局土木試験所：「断熱材を用いた歩道舗装の調査結果について」、昭和54年2月（北海道開発局技術研究発表会資料）
- 4) (社)日本道路協会：「道路土工施工指針」、昭和61年11月

（舗装研究室）

道-6 風等による農作物への影響

(質問)

道路本体高盛土（高架橋）による風等による農作物への影響について御教示願いたい。

(富山工事事務所)

(回答)

道路建設により風向が変わるなどの道路に起因する風等のために、農作物に影響が生じることがあるが、それには次の場合が想定される。

- ①冷気停滞（高盛土）
- ②寒風、霜、潮風、高温風（フェーン現象等）等の経路の変化（高盛土）
- ③風向の変化による大気汚染物質の滞留（高盛土）
- ④堆雪個所の変化に伴う雪がなくなることにより、寒風に露出する樹木等に対する凍害等（高盛土）
- ⑤伐開除根等による防風林等の機能低下（高盛土、高架橋）等

以上の中で、高盛土に係る事項の①～④については、事前に作付け状況、地形、気象条件等を調査することが重要となる。しかし、局地的な地形・気象条件が関わるため、詳細な調査を行わない限り、予測等を行うことは困難であると思われる。

そこで、詳細調査の範囲を絞るための方法としては次の事項が考えられる。

- ・地域の公的な農業研究機関等の調査データを収集する。
- ・風の通り道、温度、風による被害等に関する伝聞情報を収集する。
- ・山で囲まれた谷部を道路の高盛土が堰止めるような場所に注意する。
- ・トンネル間に短い明り部がある場所等に注意する。

対策としては、通気等を考慮の上カルバートボックス等を設置する、高盛土形式を高架橋に変更する等が考えられる。

ただし、④、⑤に関わる事項については、盛土のり面での防風林等の設置、高架橋両脇での植樹帯の設置等により、堆雪個所の変更、防風機能等を代替させることが考えられる。

(緑化研究室)

道-7 自由勾配側溝の設計

(質問)

最近の労働者不足等に鑑みコンクリート側溝の二次製品化が進んでいる。この中で自由勾配側溝で民地側に土地がない場合、側溝高が高くなると滑動等に対して不安定となることから道路側側壁をL型とした自由勾配側溝（土留タイプ）が製品化されている。このL型の自由勾配側溝の安定計算について御教示願いたい。

(石川県土木部)

(回答)

近年、現場における工期の短縮等のため、擁壁、側溝、カルバート等、従来は現場でコンクリート打設していた構造物をコンクリート二次製品で施工する事例が増加している。また、メーカーも種々の現場条件に対応するため、施工性の改良だけでなく、植栽可能な積みブロックや自然石模様の擁壁などの高付加価値化、大型ブロック、側溝付擁壁、逆Y擁壁等の新製品の開発等を積極的に行い、一層の普及に努めているところである。今後も、建設業における労働者不足等により、二次製品の利用は増加するものと考えられる。

質問にある自由勾配側溝は、比較的新しいコンクリート二次製品で、逆U字形の底のない側溝である。一般に用いられているU形の二次製品は動水勾配に合わせて設置した基礎コンクリート上に製品を設置していくが、自由勾配側溝は、路面の縦断線形と並行に作成した基礎コンクリート上に側溝を並べた後、側溝の底版を動水勾配に合わせて現場で施工するもので、施工後の側溝上面と路面がフラットなまま、各現場条件に合った動水勾配の側溝を作成することができる。必要な動水勾配を確保した状態で上面を路面とフラットにできるので、交差点内でも使用することができる。他、路側部に使用することで、従来は使用が困難であった側溝上部空間を有効に利用できる有効幅員が広がる。また、用地幅の関係などで道路の外部に側溝を設置できない場合でも、側溝上を歩道や車道として利用することで、歩道や車

道などの構造物内に側溝を設置することができるので土地の有効利用が可能になる。

製品の側壁は大型車両の荷重を考慮した設計を行っているので、当該製品を歩車道境界や交差点内に使用する場合は、設計上の特別な配慮は不必要であるが、官民境界境界などに設置する場合で外側が田畑などで低くなっている場合は、盛土側からのみ土圧が作用することになるので、擁壁と同様に土圧により滑動、転倒しないように安定検討を行う必要がある。

路側用の自由勾配側溝は、盛土側からの土圧に対する安定を確保するため、盛土側の側壁下端からコンクリート版を側壁とコンクリート版がL型になるように付けている。これにより自由勾配側溝全体は逆T式擁壁やL型擁壁と同様に、底版上の土を躯体の自重として安定計算を行うことができる。

L型擁壁としての設計を実施する場合、擁壁の自重及び底版上の土の重量により土圧に抵抗するが、自由勾配側溝の場合の自重のとり方は、コンクリート版及び基礎コンクリートを底版の重量とすることができる。これは、図-1に示すようにコンクリート版に開口部

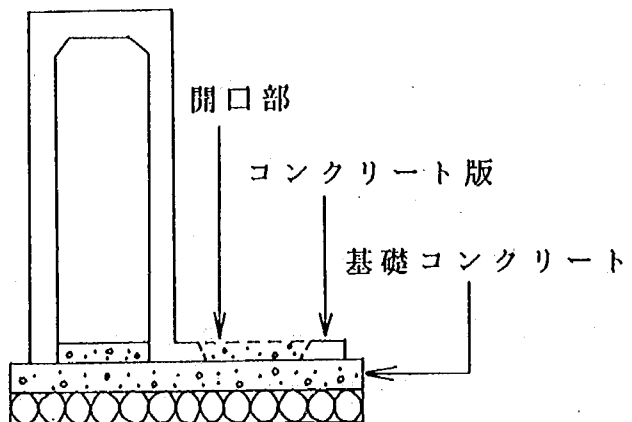


図-1 自由勾配側溝の断面

があり、開口部にコンクリートを打設することで基礎コンクリートとコンクリート版が一体化するためである。ただし、確実に一体化させるために、開口部にコンクリートを打設する際には、レイタンスの除去など基礎コンクリート上部の処理を十分に行わなければならない。

安定計算の結果、滑動や転倒に対する所要の安全率が確保できない場合は、コンクリート版に現場打ちコンクリートを打ち継ぐことで底版幅を広くし、所要の安全率を確保する必要がある。

安定計算の方法は、逆T式擁壁やL型擁壁と同様、底版端部（かかと部）から鉛

直に仮想背面を引き、仮想背面から前方を擁壁と考え、仮想背面に盛土からの土圧を作用させる。土圧は、クーロン系の土圧である試行くさび法によるとよい。土圧の計算方法、及び安定計算方法については、道路土工－擁壁・カルバート・仮設構造物工指針を参照されたい。

(施工研究室)

道-8 井桁組擁壁の設計方法

(質問)

井桁組擁壁の設計方法は「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、(社)日本道路協会)によると重力式擁壁に準じて行くと記述されているが、地震時を含めた設計方法について御教示願いたい。

(新潟県土木部)

(回答)

井桁組擁壁は、一般に他の擁壁が現場打ちコンクリートにより施工するのに対し、桁状のコンクリート二次製品を組み合わせて構築する擁壁で、次のような特徴を有している。

- (1) 桁状のコンクリート二次製品を格子状に積み上げていく施工法なので、施工が比較的容易で、コンクリート擁壁に比べて施工が速く、また、現場打ち擁壁の施工に必要な型枠や足場の設置が不用である。そのため、現場条件の厳しい山岳部の盛土のり面や切土のり面の保護工として用いられることが多い。
- (2) 桁状のコンクリート二次製品の組合せ構造なので、壁体全体がフレキシブルで、基礎地盤の沈下や地震時の変形等に対する壁体の追従性が良い。
- (3) 二次製品を格子状に組み合わせた中には砕石等を詰めるので、擁壁全体の通水性が高い。そのため、擁壁背面部に湧水がある場合、地下水位が高い場合、背面土に水が浸透する危険性が高い現場条件等の場合、擁壁背面の水を速やかに排水することができる。また、重力式擁壁やもたれ式擁壁等のコンクリート擁壁に比べて壁体内部の空洞部分が大きいため、コンクリート擁壁に比べて壁体の単位体積重量が軽くなっている。その結果、擁壁底面の地盤反力も小さくなり、通常の擁壁の場合よりも基礎地盤の許容支持力に対する条件が緩い。
- (4) 一般に井桁組擁壁は部材を2連、3連と連結させることにより壁体の幅を変えることができるので、外力に応じた壁体断面を設計することができる。

井桁組擁壁は、前述のように桁状のコンクリート二次製品を枠状に組上げていく擁壁であり、壁体自体も柔構造的な擁壁であり、他のコンクリート擁壁とは異なっている。しかし、擁壁の安定性の面からは、擁壁背面からの土圧等の外力に対しては重力式擁壁等と同様に、擁壁の自重により抵抗し、その安定を保っているため、設計方法は重力式擁壁や片持梁式擁壁など通常のコンクリート擁壁の設計法に準じて行うことができる。ただし、他のコンクリート擁壁のように壁体が一体化しておらず、壁体の任意の高さの断面において擁壁を分割することができるので、切土部に用いる場合で、切土のり面の地質が下部が岩盤で上部のように上部にのみ土圧が作用する場合は、現場条件を十分に検討し、場合によってはその面から上部だけの検討も行う必要がある。壁体幅が高さの途中で急変する場合も同様である。

安定計算の結果、滑動に対する安全率が不足している場合、一般の擁壁では前面の受働土圧を考慮して安全率を確保することがあるが、井桁組擁壁で受働土圧を考慮した場合、擁壁前面の地盤面の高さで壁体が滑動する危険性があるので、安全率が不足する場合は、壁体の幅を増やすことで対処しなければならない。

設計に用いる土圧は、通常の設計に用いるクーロン系の試行くさび法による土圧を用いる。破壊時の壁体の挙動を考えた場合、コンクリート擁壁は壁体が剛であるため、擁壁全体が一体とした挙動を示すのに対し、壁体に柔軟性がある井桁組擁壁では、擁壁各部の変位モードが異なることが想定されるが、破壊の形態としては他の擁壁と同様に背面からの土圧により壁体が前方に転倒、または滑動すると考えられるので、土圧についても同様に考えることとする。井桁組擁壁は壁体に柔軟性があるため作用土圧が、通常の剛体な擁壁に作用する土圧と異なるとも考えられるが、柔な壁面を有した実物大実験においても、擁壁下部からほぼクーロンの主働崩壊線の形状で破壊しており、クーロン系の土圧を用いることに問題はないと考えられる。

井桁組擁壁は山岳部での利用が多いため、のり面の長さや地形によっては擁壁が高くなることが少なからずあるが、高さが概ね8mを越える場合は通常の擁壁同様、地震時の検討も実施する必要がある。また、壁高が8m以下の場合においても、擁

壁の倒壊が周辺に重大な損害を与える場合、倒壊後の復旧がきわめて困難な場合、路線が幹線道路であったり倒壊時の迂回路がない場合のように重要性が高い場合も、地震時の設計が必要になる。

地震時の設計は、高さが概ね8 m程度までは常時土圧と擁壁の地震による慣性力を考慮し、それを越える場合は地震時土圧と擁壁の地震による慣性力を考慮するものとする。

土圧の計算方法、擁壁の安定計算等、具体的な設計手法については、道路土工―擁壁・カルバート・仮設構造物工指針を参照されたい。

(施工研究室)

道-9 軟弱地盤上の工事用道路

<質問>

当地は阿賀野川及び信濃川流域にあり旧洪水原としての沖積土が堆積し数十mの軟弱層を形成している。殊に表層より3mまでは腐植土の堆積で200～600%の含水比を示す超軟弱層となっている。

工事は当地に高速道路建設の為の工事用道路を直接建設しようとするものであるが、通常の施工法では、軟弱層への重機の陥入、盛土材のめり込み、軟弱土の盛土層への吹き上がり、軟弱地盤の側方流動による盛土の異常沈下等が予想される。これらに対する対策として、殊に施工開始時点での対策が最も影響が大きく、決め手となるためここに焦点を絞り、シート工法による検討を行いたいと考えているがその設計法について御教示願いたい。

(日本道路公団新潟建設局)

<回答>

1. 本現場に対するシート工法の適用について

(1) 適用上の問題点

シート工法には、覆土工法と敷設材工法とがある。ここでは、道路盛土のような帯状の荷重の直下に限られた幅でシートを敷設する工法を敷設材工法とよぶ。一方、覆土工法は、広い面積の超軟弱地盤上にジオテキスタイルを敷設し、更に土を撤き出して人工地盤を構築する工法である。ジオテキスタイルを敷設した地盤の支持力増加機構は、現在のところ、十分解明されていないが、現在考えられている支持力増加機構だけでも、以下のようなものがある。(図-1参照)

- a) ジオテキスタイルの上向きの引張力によるハンモック効果
- b) ジオテキスタイルが地盤隆起を抑制する効果
- c) 根入れ効果

- d) ジオテキスタイルと土の摩擦力による効果
- e) ジオテキスタイルの引張力によるすべり抵抗の増加効果
- f) ジオテキスタイルと土とが一体となった盤状構造による荷重分散効果

しかし、これらの効果はそれぞれ独立して発揮されるものではなく、相互に関係していると考えられる。また、埋め立て地等の様に広い面積にわたって敷設材を敷き、充分な定着が図れることが前提となっている。

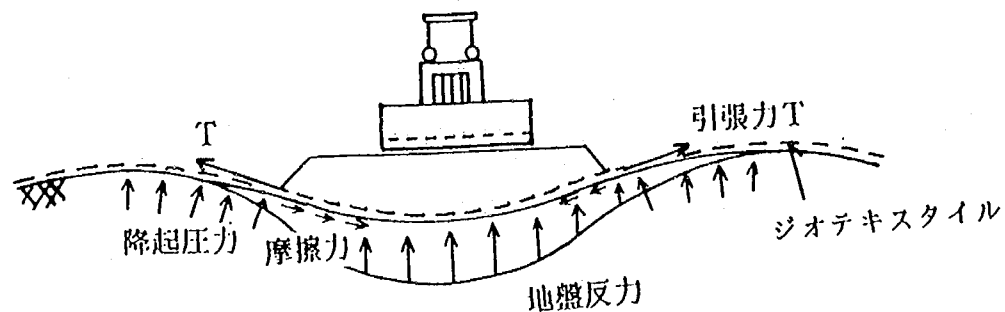


図-1 ジオテキスタイルの支持機構概念図

そのため本ケースの様に帯状の敷設を行った場合は、敷設材の引張り力が充分発揮されていない可能性があり、ハンモック効果、地盤隆起を抑制する効果を充分期待することは難しい。

このようなケースでの引張り力の評価方法については理論的に未確立の状況にあり、当研究所においても2, 3の試験施工例により実地的に検討が進められている。例えば、土木研究所共同研究報告書第15号”ジオテキスタイルによる軟弱地盤の表層補強に関する共同研究報告書pp.55～pp.61 昭和63年9月”では軟弱地盤層2.5m、一軸圧縮強度 1.0kgf/cm^2 、交通条件は4.4tトラックを想定した試験施工実績がある。しかし、今回のケースはN値が0.5程度、一軸圧縮強度が 0.2kgf/cm^2 程度、平均含水比500%程度の腐植土層が地表面より3m近くまで及ぶ超軟弱地盤であること、工事中は10tダンプトラックが延べ70,000台走行し、工事終了後は副道として供用すること等、前記実績例に比べて非常に厳しい条件下にあることに留意する必要がある。

(2) 具体的対策案

以上の理由から当ケースに仮に敷設材を適用しても、確実に期待出来るのは軟弱土の吹き上がり防止効果のみであり、重機の陥入や側方流動による沈下を抑え、十分な支持力を発揮させるためには、表層固結処理（腐植土層3mのうち表層より1m程度を固結）を行うのが最も確実な方法と考える。（図-2参照）

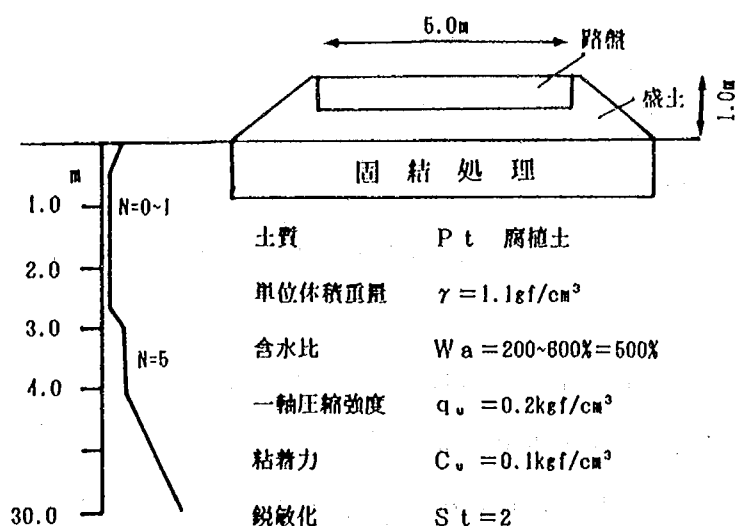


図-2 現場状況と対策概要

2. 覆土工法の設計方法一般について（参考）

本現場ではシート工法の適用には限界があると考えられるが、以下、参考までに覆土工法で提案されている設計方法について説明する。

(1) Terzaghiの支持力理論の概要

設計に用いる支持力算定式として何種類かのものが存在するが、その中でも代表的なものとして、Terzaghiの支持力理論を基本として山内等が提案した式がある。（概念図-3）

$$q_d = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 = \alpha \cdot c \cdot N_c + \frac{2T \sin \theta}{B} + \frac{T}{r} N_q + \gamma \cdot D_f \cdot N_q \quad \dots\dots (1)$$

ここに、 q_d : 極限支持力

α : 基礎地盤の形状係数 (= 2/3)

c : 軟弱地盤の粘着力 (tf/m²)

N_c : 支持力係数

T : ジオテキスタイルの引張力 (tf/m)

θ : 荷重近傍でのジオテキスタイルと水平面のなす角度 (°)

B : 載荷幅 (m)

r : 荷重近傍の地盤の変形を近似的に円とみなしたときの円の半径 (m)

N_q : 支持力係数

γ : 軟弱地盤の単位体積重量 (tf/m³)

D_f : 軟弱地盤のめり込み量 (m)

提案式は、ジオテキスタイルを敷設した地盤の支持力増加のメカニズムとして、

q_2 : ジオテキスタイルの上向きの引張力によるハンモック効果

q_3 : ジオテキスタイルが地盤隆起を抑制する効果

q_4 : 根入れ効果

を考慮したものである。

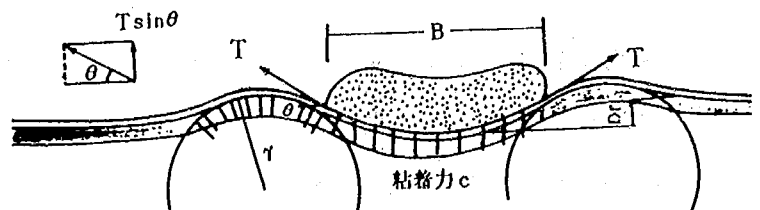


図-3 支持力理論概念図

(2) 未知パラメーターの推定

支持力算定式の中で、図-3に示すような地盤の変形状況を表す定数 r 、 θ 、 D_f が未知パラメーターとしてある。設計上重要なパラメーターに関わらず、経験的に決められているのが現状である。図-4は、西林等によって、計測結果を地盤の強度と

D_f/H 、 θ 、 r の関係で整理したものである。これらの計測結果が設計に用いる未知パラメーター r 、 θ 、 D_f の一つの目安となると考えられる。

H：軟弱地盤厚

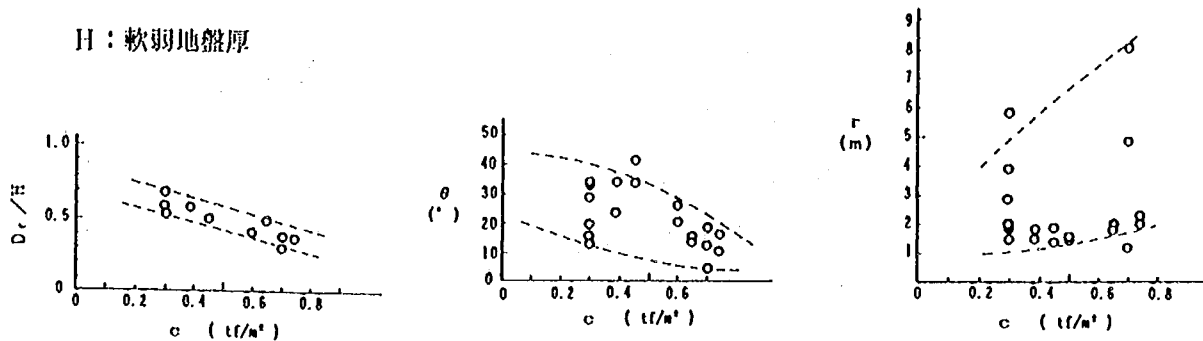


図-4 未知パラメーターと地盤特性との関係実測例

(3) ジオテキスタイルの引張力

設計で用いるジオテキスタイルの引張力は、施工中の短期の安定が問題となるので、通常の施工状況、環境状況のもとでは、ジオテキスタイルの引張試験で求められる材料保証強度を用いることができる。

なお、上記の引張力は、ジオテキスタイルに十分な定着長が確保されてり、端部の引きずり込みがないという条件が前提であり、端部の引きずり込みがある場合は、定着長に応じた抵抗力を設計引張力とする。

(4) 上載荷重

上載荷重は、覆土荷重と施工機械の荷重とする。施工機械の荷重は、施工機械の総重量をクローラーを通じて45度に分散させ、分散した面積の中で近似的に等分布で載荷する。衝撃係数は $i = 0.2$ とする。(図-5参照)

$$q = q_B + q_M \dots\dots\dots (2)$$

ここに、 q : 上載荷重 (tf/m^2)

q_B : 覆土による荷重 (第1層の撤出し厚) (tf/m^2)

q_M : 施工機械による荷重 ($=W(1+i)/(D'+L')$)

W : 施工機械の重量 (tf)

i : 衝撃係数 ($=0.2$)

D' 、 L' : 45度の荷重分散によるジオテキスタイル面上の載荷幅 (m)

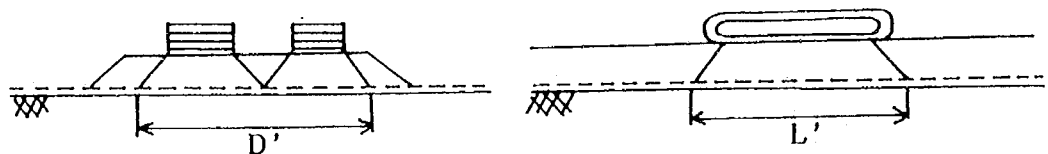


図-5 施工機械の荷重分散概念図

(5) 安全率

支持力に対する安全率は次式で算定する。

$$F_s = \frac{q}{q_d} = \frac{q_B + q_M}{\alpha \cdot c \cdot N_c + \frac{2T \sin \theta}{B} + \frac{T}{r} N_q + r \cdot D_f \cdot N_q} \dots\dots\dots (3)$$

設計安全率は、 $F_s = 1.5$ とする。

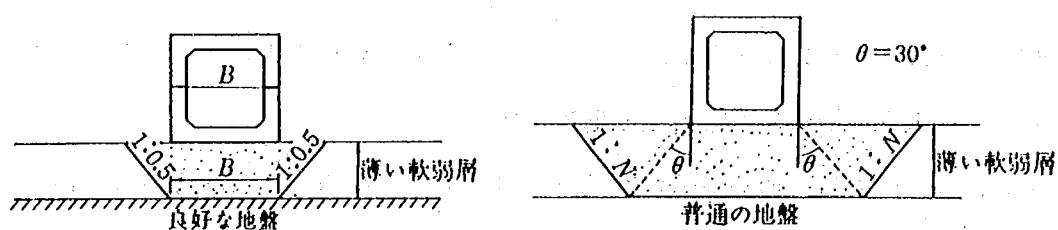
(土質研究室)

道-10 道路構造物の置換え基礎の設計

(質問)

道路土工・擁壁・カルバート・仮設構造物工指針では、ボックスカルバートの基礎の選定において、「軟弱層が地表近くで、かつ厚さが薄い場合は、置換え基礎とする。」とあるが、置換え基礎の設計で以下の事項についてご教示願いたい。

- (1) 置換え材の形状を図に示すように支持地盤の良否で変えている（良好な地盤は荷重分散無し、普通の地盤は荷重分散考慮）が、普通の地盤とはどのような地盤をいうのか。
- (2) 道路土工指針によれば、活荷重の分布角度は 45° 、また置換え基礎の設計における荷重分布角度は 30° としているが、この違いはどうして生じるのか。
- (3) 置換え基礎を採用するかどうかは、軟弱層厚の大小（経済性）だけでなく構造物の機能・重要度によっても異なってくるものと考えられるが、ある程度の沈下を許容し得る構造物で、かつ良好な支持地盤が深い場合の置換え基礎の設計方法（置換え深さの決定方法）について。



(a) 軟弱層の下に良好な地盤がある場合

(b) 軟弱層の下に普通の地盤があり荷重の分散を考えた方が妥当な場合

置換え材の形状

(道路部道路工事課)

(回答)

はじめに、ボックスカルバートの基礎の設計において一般的に考慮しなければならない事項について述べたうえで、ご質問の回答を述べることにしたい。

ボックスカルバートの基礎は、カルバートとしての機能の確保や、函体の破損等を防止する意味から、函体の沈下や変形はできるだけ少なくしなければならない。しかし、軟弱地盤で函体の沈下を許さない支持杭を用いれば、函体と周辺盛土の不同沈下によって路面に段差が発生して維持管理上好ましくない。このため、取付盛土との段差防止の観点から、支持杭ではなく、できるだけ沈下を制御する摩擦杭や地盤改良工法（プレロード工法、固結工法、置き換え基礎等）を施した上で直接基礎を採用し、沈下量を函体の上げ越しや余裕断面等に対応するといった考え方も最近見直されるようになってきている。この場合、函体の許容沈下量を定めて、函体に支障の生じないように基礎の設計に当たらなければならない。許容沈下量は、継手の変形への追従性、函体のスパン割等によって変わるので一概には決められないが、これまでの実績等から判断すれば、20～30cm程度を目安にしてよいと考えられる。なお、基礎の設計においては、ボックスカルバートの場合、支持力が問題となることは少ない。これは、中空構造であるカルバートは土砂よりも重量が軽いために、周辺盛土が安定していれば、カルバート箇所での地盤の破壊は生じにくいためである。ただし、ボックスカルバート施工時にカルバートが沈下・変形すれば、継手施工等に支障をきたすことがあるので、施工中のボックスカルバートの安定が確保できるような地盤の支持力は最低限必要である。

さて、ご質問の(1) についての回答を以下に示す。道路土工指針でいう「良好な地盤」とは、荷重分散をはからずとも支持力や沈下に対して十分な耐力を有する地盤と考えることができる。また、「普通の地盤」とは、支持層とみなすことはできないが、想定される荷重に対して沈下が許容値内におさまる程度の耐力を持つ地盤と解釈することができる。ここで「良好な地盤」の目安は、構造物の規模、支持地盤に作用する荷重、さらには構造物の重要度によって支持地盤とみなせる地盤の強度が異なってくる。例えば、橋台や橋脚では荷重も大きく、構造物の重要度も高いことから道路橋示方書で示されている支持地盤は、N値による規定で粘性土で $N \geq 20$ 、砂質土で $N \geq 30$ とされている。また、道路土工－擁壁・カルバート・仮設構造

物工指針では、支持地盤の一応の目安として、砂質土で $N \geq 20$ 、粘性土で $N \geq 10 \sim 15$ と書かれている。以上のことから、通常の規模のボックスカルバートでは、「良好の地盤」の目安として道路土工指針に示された値（粘性土で $N \geq 10 \sim 15$ 、砂質土で $N \geq 20$ ）程度を考えればよいと思う。また、「普通の地盤」の目安としては、通常の盛土工事における軟弱地盤でない地盤を考えてよいと思われる。すなわち、粘性土地盤で N 値が4以下や、砂質土地盤で N 値が10以下は軟弱地盤として沈下や安定、地盤の液状化について考慮しなければならないので、「普通の地盤」の目安は、粘性土地盤で $4 \leq N \leq 10 \sim 15$ 、砂質土地盤で $10 \leq N \leq 20$ 程度と考えられる。

次に、ご質問(2)の回答を以下に示す。荷重による地盤内の応力の分布を求めるには、ブーシネスク等の理論式がある。しかし、実務上の便を考慮した簡略法として、荷重をある分散角で地盤内に分散させる方法が通常用いられる。荷重の分散は、土の種類によって異なるが、一般的に $30 \sim 45^\circ$ 程度といわれている。変形係数や内部摩擦角の大きな土（礫、砂等）は荷重の分散は大きく、逆に変形係数や内部摩擦角の小さな土（粘土等）は荷重の分散が小さい。このため、活荷重は、舗装による荷重の分散が大きいことから、従来より荷重分散角は $\theta = 45^\circ$ が慣用的に用いられている。また、支持力等の問題で土中の応力分散を考える場合には、安全側の設計となるように、荷重分散角を $\theta = 30^\circ$ が用いられることが多い。

最後に、ご質問の(3)の回答を以下に示す。軟弱地盤上のボックスカルバートの基礎の設計は、はじめに述べたように支持力で設計することは稀で、涵体変形の過大によるカルバートとしての機能確保の面や涵体に破損を考慮して、地盤の沈下計算で設計する。このため、置換え基礎の設計においても、置換え基礎の下の軟弱地盤の沈下量を即時沈下、圧密沈下で計算し、これが許容値内に入るように置換え深さを決定する。したがって、軟弱層が厚い場合には、通常の置換え深さ $2 \sim 3$ m程度の置換え工法だけでは沈下を抑制することが困難であるので、他の対策工法で対処するのがよい。

（土質研究室、基礎研究室）

道-11 落石衝撃力の推定式

(質問)

「落石対策便覧」によると、ロックシェッドの設計に当たっての落石衝撃力の推定式には振動便覧の式、吉田らの式、鋼材倶楽部の式などがあるがどの式を使うべきか御教示願いたい。

(富山県土木部)

(回答)

落石衝撃現象においては、一般に考慮される石の大きさ、落下高などにくわえ、石の形状、落下斜面の状況、落石覆工上の砂の性状、厚さなど様々な要因による影響が考えられ、その特性は複雑なものとなる。したがって、落石衝撃力は、単純な理論的計算によって定まるものではなく、実験などによって裏付けられた特性によるのが合理的である。昭和58年に「落石対策便覧」を作成した時点において、落石覆工上の砂の上に落石が落下する場合の衝撃力に関しては鋼材倶楽部や金沢大学、建設省土木研究所においてある程度の規模の実験が行われていた(図-1)。実験結果は上述したようないくつかの要因の影響を受けて落石の衝撃力の実験値にはかなりのばらつきがみられた。

質問中の3つの式の内、吉田らの式、鋼材倶楽部の式は実験結果から求められた推定式である。鋼材倶楽部の式の根拠となる実験は、デッキプレートをコンクリートで充填した構造の屋根版上に緩衝材として50cmの川砂を敷いたところへ、0.3~1.0tfの重錘を3~10mの高さから落下させたものである。吉田らの式は プレストレストコンクリート製の床版上に厚さ30~150cmの緩衝

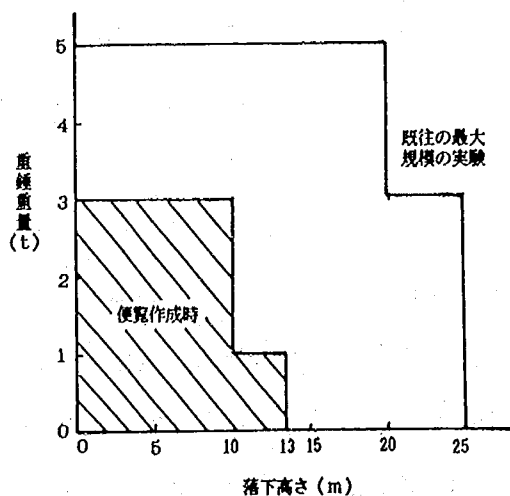


図-1 これまでに行われた落石実験の範囲

材を敷き均し、0.3、1.0、3.0 t f の重錘を高さ 1 ～ 1 4 m から落下させて求めたものである。

一方、落石の衝突現象を弾性体間の衝突現象とみなし、落石を球形、覆工の側を半無限の平面と仮定し Hertz の衝突理論を用いて落石の衝撃力を理論的に求めたものとして（土木学会）振動便覧の式がある。この式によると、落石衝撃力は、落石の重量、落下高、砂層の弾性係数 λ （ラーメ定数）によって定まることになる。この振動便覧の式において $\lambda = 100 \text{ tf/m}^2$ とし、上記の実験式と比較したのが図 - 2 であり、振動便覧の式の値は実験式の値より大きく安全側の値を与えることがわかる。さらにその後、金沢大学、北海道開発局開発土木研究所など各所において落石重量、落下高をより大規模にした実験結果やそれらを対象とした解析が行われた（図 - 1）。図 - 3 は金沢大学で行われた実験結果とそれを対象に土木研究所で行った数値解析の結果をまとめたものであるが、これらによる推定値も $\lambda = 100 \text{ tf/m}^2$ とした振動便覧式の推定値をおおむね越えないことがわかる。

以上のことより、実際の設計に当たっては振動便覧の式を設計に使うのが適当であるといえよう。

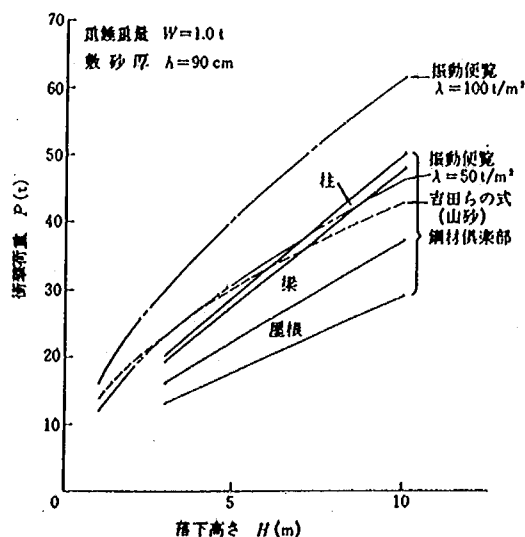


図 - 2 衝撃荷重推定式の比較 ($W=1.0 \text{ t}$)
（「落石対策便覧」より抜粋）

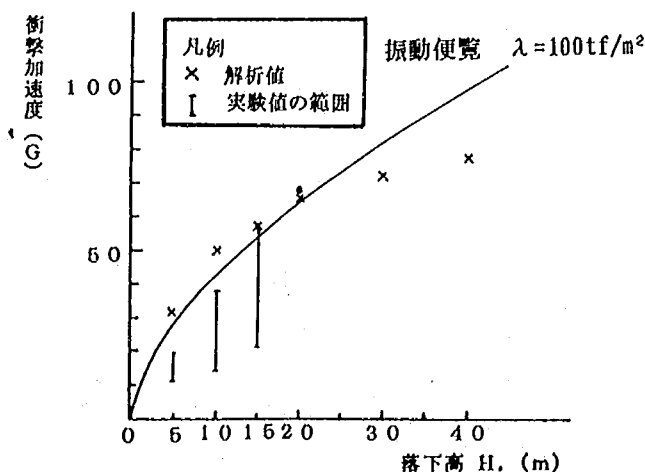


図 - 3 衝撃加速度と落下高の比較 ($W=3.0 \text{ t}$)
（衝撃荷重 = 重錘重量 × 衝撃加速度）

なお、これまでに落石によって破壊された落石覆工の多くは設計時に想定された以上の規模の落石・崩壊によるものであるので、落石覆工の計画に際しては対象とする落石の規模について留意することが大切である。

(動土質研究室)

道-12 杭頭のヒンジ結合の構造細目

(質問)

擁壁等の構造物に杭基礎を用いる場合、道路土工「擁壁・カルバート・仮設構造物工指針」によれば、構造物の規模・重要度等により、杭頭の結合方法を剛結合とヒンジ結合から選定することとなっている。剛結合の場合の構造細目は、「道路橋示方書Ⅳ下部構造編」に準ずるが、ヒンジ結合については記述されていない。ヒンジ結合を用いる場合の構造細目についてご教示願いたい。

(道路部道路工事課)

(回答)

道路土工「擁壁・カルバート・仮設構造物工指針」においては、擁壁・カルバート等は周辺地盤と一体となって挙動するのが望ましいことから直接基礎を薦めている。ただし、構造物の規模が大きい、重要度が高いなどの場合は、杭基礎を用いてよいこととなっている。

杭基礎を用いる場合の杭頭結合方法は、剛結合とヒンジ結合があるが、構造物の規模が大きく重要度が高い場合には、道路橋杭基礎の場合と同様に剛結合を用いるのがよい。剛結合による杭基礎は、不静定次数が高く耐震上も好ましいと考えられるからである。一方、構造物の規模が小さい場合、ヒンジ結合の採用も考えられるが、この場合の設計法として特に規定したものはほとんどなく、設計者の判断によって設計がなされているのが現状である。図-1, 2にその例を示す。

ヒンジ結合構造を設計するに当たっては次の点に留意する必要がある。

1. 杭頭結合方法の選定にあたっては、構造物周辺の地盤条件、近接する構造物、許容する変位量などを十分検討したうえで設計する。

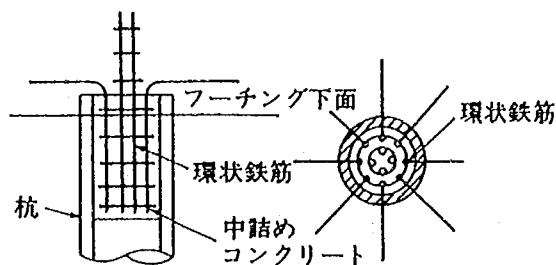


図-1 ヒンジ結合の設計例(1)

「杭基礎の設計とその解説」²⁾より

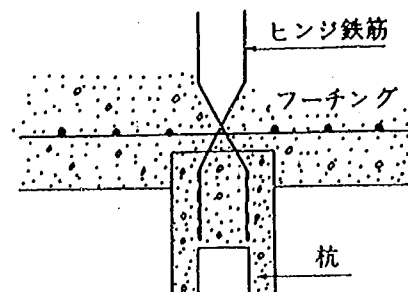


図-2 ヒンジ結合の設計例(2)

「港湾の施設の技術上の規準・同解説」³⁾より

2. 塑性ヒンジは、基礎スラブと杭体との接点部分がわずかに破壊することにより生じることから、その破壊が必要以上に広がり、基礎スラブの鉄筋および杭体に有害なクラックとならないようにする。
3. ヒンジ結合では、杭頭が水平方向に大きく変位すると有害なクラックが生じるおそれがあるため、設計にあたっては、水平方向のせん断力に対して抵抗するための用心鉄筋を入れるなど注意が必要である。また、杭頭に引抜き力が作用する場合についても十分検討する必要がある。

(参考文献)

- 1) 道路土工-擁壁・カルバート・仮設構造物工指針、1987.5、日本道路協会
- 2) 杭基礎の設計とその解説、1985.12、土質工学会
- 3) 港湾の施設の技術上の規準・同解説、1979.3、日本港湾協会

(基礎研究室)

道-13 ニューマチックケーソンの沈下促進工法

(質問)

高気圧(約3.0気圧)のケーソンで、累加抵抗力が累加沈下荷重を最大1800t程度を上まわることとなる。こういう場合の有効な沈下促進工法として、どの様な工法を採用すれば良いか御教示願いたい。

(高田工事事務所)

(回答)

ケーソンが沈下抵抗に打ち勝って容易に沈下するかどうかは施工上大きな問題であり、設計時点において理論沈下曲線を作成して沈下の可否を検討する必要がある。もし、合計沈下荷重が沈下抵抗より小さい場合、ケーソンの沈下が困難となることが考えられる。

合計沈下荷重が沈下抵抗より小さい場合、以下に示すように、その不足分の大きさに応じた対策をとることが一般的である。

合計沈下荷重の不足分が小さい場合はケーソンの壁厚を厚くしてケーソン本体の重量を増大させたり、ケーソン内部に水や土砂などの沈下用荷重を載荷したりして沈下荷重を大きくする対策がとられる。

合計沈下荷重の不足分が沈下抵抗の30%程度以下の場合は摩擦減少装置を取り付けて沈下抵抗を減じることが一般的である。摩擦減少装置としては、ケーソン躯体にフリクションカットを設ける場合のほか、壁面より壁面と地盤との間にベントナイト泥水を注入することが多い。従来は空気や水をジェット噴出させることもあったが、周辺地盤を乱す可能性が高いため最近はあまり用いられないようである。

合計沈下荷重の不足分がさらに大きい場合はケーソン本体に鋼材を載荷したり、ケーソン周辺に打設したアースアンカーによってケーソン本体を圧入する対策を用いることが多い。

この他、沈下にあわせてシートをケーソン本体壁面と地盤の間に挿入し、沈下抵抗を減少させる方法もある。ただし、シートがケーソン沈下中に切断されてはがれると、その箇所の沈下抵抗が他より大きくなり、ケーソンの傾斜の原因となる恐れがあるので注意を要する。また、対策工法の中には特許工法となっているものもあるので、設計にあたっては事前に資料を検討して施工時のトラブルを避ける必要がある。

なお、減圧沈下は周辺地盤を大きく乱し、所定の支持力を期待できなくなるので、これを前提とした設計を行ってはならない。また、施工時に沈下しなくなった場合においても、上記の対策の採用を検討した上で、やむを得ない場合以外用いてはならない。

(基礎研究室)

道-14 中掘り杭の摩擦杭形式の採用

(質問)

道路橋示方書Ⅳ下部構造編“9.4.1 一本の杭の軸方向許容押込み支持力”の解説において「中掘り杭の摩擦杭形式は、これまでの実績がなく、支持力特性も明らかでないので原則として採用してはならない。」とあるが、人家連坦部で明確な支持層がない場合は、どのような工法や支持力算定式を採用すればよいのか。例えば、杭先端部での支持力を0とし、杭周面の摩擦力度のみ道路橋示方書Ⅳ下部構造編の値を用いて、杭の支持力を算出することも可能であるが、この方法でよいのか御教示願いたい。

(新潟県土木部)

(回答)

杭の支持力は、先端支持力と周面摩擦力の和として表わされる。これらの値は地盤のほか杭の施工法によって大きく異なるため、道路橋示方書Ⅳ下部構造編¹⁾(以下「道示」という)においては施工法により杭を分類し、各々について支持力推定法を示している。

また、先端支持力と周面摩擦力はそれらの値が極限值に達する変形量が全

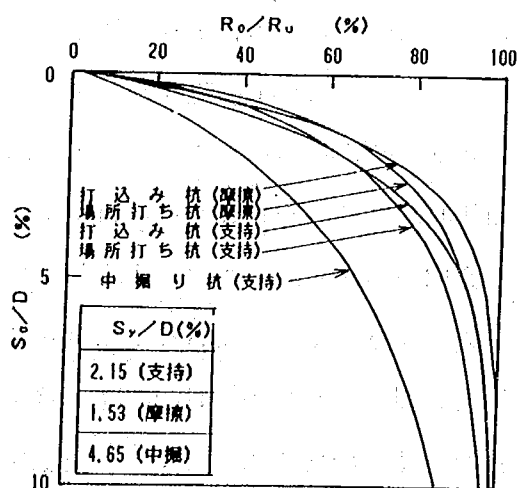


図-1 杭の荷重-沈下特性²⁾

く異なっていることが知られている。一般に、杭に鉛直力を作用させたとき、まず杭周面の摩擦力が発現し、周面が塑性化した後、先端抵抗も増加してくる。このため、杭に荷重を載荷したときの荷重と沈下量との関係は図-1のようになる。この図は関係各機関で行われた多数の杭の鉛直載荷試験データを土木研究所²⁾が収集し、整理したものである。

図-1において、場所打ち杭や打ち込み杭のように周面摩擦力が十分期待できる杭

では沈下量が杭径の2%付近に達したところで降伏が認められ、その後沈下量が急増している。これに対し、中掘り杭では載荷初期から沈下量が他に比べて大きく、また明確な降伏点も認められない。これは、中掘り杭では施工時に杭周辺地盤をゆるめるため周面抵抗が小さく、載荷初期から先端支持力に依存する割合が大きいという支持力特性によるものと考えられる。

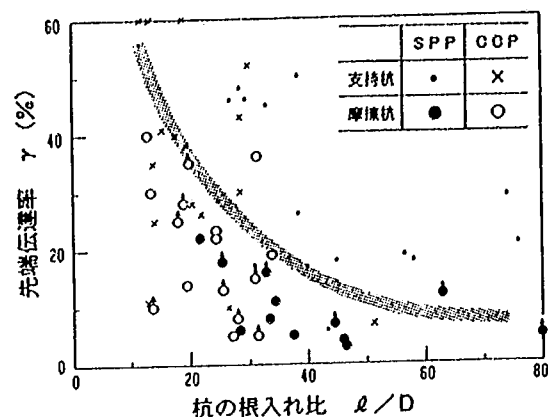


図-2 杭の先端伝達率と根入れ比²⁾

摩擦杭と支持杭の支持力特性の違いを表すものとして図-2²⁾がある。図において、杭の根入れが大きい場合には摩擦杭の先端支持力の割合は小さく、鉛直荷重に対して主に周面摩擦力により支持されていることが認められる。一方、杭長が短くなってくると摩擦杭でも先端への伝達率が大きくなっていることが認められるが、その値は大きくばらついており、杭の過大な沈下を避けるためには杭先端の支持力を期待しないことが望ましい。道示ではこれらのことに配慮して摩擦杭の先端支持力は原則として考慮しないこととしている。

前述のように中掘り杭は周面抵抗が負担する割合が小さい杭であり、摩擦杭とした場合、周面の摩擦力だけでは十分な支持力を期待できない。また、道示では中掘り杭の支持力特性を考慮して最大周面摩擦力度を小さい値に抑えているが、この値はフリクションカッターの厚さ(最大9mm)や杭先端からの先掘りの程度(中間部では原則として禁止)など施工状態の影響を受け易く、施工管理が不十分だと摩擦力が十分発揮されず過大な沈下を生じる恐れがある。このため、道示では中掘り杭の摩擦杭形式を原則として採用しないこととしている。

したがって、摩擦杭を用いる場合は杭周面の摩擦力を確実に発揮できる施工法によることが望ましい。ここで、人家連坦部においては打込み杭は施工困難なことから場所打ち杭が有効といえよう。

(参考文献)

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書Ⅳ下部構造編，平成2年2月.
- 2) 岡原美知夫ら：軸方向押込み力に対する杭の支持特性に関する研究，土木学会
論文集 第418号，Ⅲ-13，1990.

(基礎研究室)

道-15 直接基礎の構造物の現場での支持力確認

(質問)

浅い基礎の支持力は、基礎の寸法、根入れ深さのほか荷重の偏心と傾斜によって変化する値であるため、道路橋示方書では地盤の粘着力 c 、せん断抵抗角 ϕ をパラメーターとする静力学公式を用いて許容支持力を求めることとしている。現場で支持力を確認する方法として、平板載荷試験を行って c 、 ϕ を推定する方法があるが、 c 、 ϕ のいずれか一方を仮定し、逆算によりもう一方を求めるものであり、使用しづらい面がある。現場で支持力を確認する適切な方法があれば御教示願いたい。また、基礎の設計では変位に対する検討も行うことになっているが、現場で構造物の変位量を推定する方法および許容変位量の設定方法も合わせて御教示願いたい。

(金沢工事事務所)

(回答)

平板載荷試験は、地盤の支持力・変形特性を原位置で求めるための代表的な試験であるが、鉛直中心載荷試験であることや、実大基礎と載荷面積が大きく違うことから、実際の基礎の偏心傾斜荷重に対する極限支持力を直接求めることはできない。したがって、道路橋示方書Ⅳ下部構造編では、平板載荷試験結果を静力学公式(道示式解7.3.5)にあてはめて粘着力 c およびせん断抵抗角 ϕ を確認し、この c 、 ϕ を用いて偏心傾斜荷重を考慮した静力学公式(道示式7.3.1)に従い支持力を算出するものとしている。しかしながら、平板載荷試験結果だけでは c 、 ϕ を一義的に決めることができないため、土質試験結果や既往の資料からどちらかを仮定する必要がある。現在のところ、他に現場で支持力を確認する方法が基準化されていないので、道示の方法に従い、土質試験結果等も参照して総合的に判断するのがよい。

また、基礎の許容変位量としては、上部構造から決まる許容変位量と下部構造から決まる許容変位量とがある。このうち、下部構造から決まる許容変位量は、有害な変位を生じないように設定されるべきものである。しかしながら、直接基礎の場合

合は、鉛直方向については最大地盤反力度の上限値を規定することによって過大な変位が生じることを避けており、水平方向については底面の許容せん断抵抗力で照査するため、特に許容変位量を設けていない。したがって、直接基礎の許容変位量としては上部構造から決まる許容変位量を考慮すればよい。

なお、基礎の変位量としては弾性変位量と圧密沈下量を考慮する必要がある。現場で推定する場合、弾性変位量については、平板載荷試験結果等を参考にすることができる。圧密沈下量の検討は現場では難しく、圧密試験結果が必要である。

(基礎研究室)

道-16 風荷重

(質問)

道路橋示方書 I-2.1.11「風荷重」によれば、上部工の並列橋梁の風荷重の補正は図一解 2.1.26で S_h および S_v が $S_h \leq 1.5B_1$ かつ $S_v \leq 2.5D_1$ の場合行うことになっている。ここで $S_v=0$ の場合の取扱いはどうすれば良いか。また風上側橋梁地覆と風下側橋梁地覆の間がない場合補正係数1.3が必要なのかどうか御教示願いたい。

(日本道路公団新潟建設局)

(回答)

(1) $S_v=0$ の場合は $S_h \leq 0.5B_1$ に含まれる。

(2) 並列する橋梁が密着する場合、形状的には並列する2橋を1橋とみなせるため、風上側橋梁に作用する風荷重と風下側橋梁に作用する風荷重の総和は、並列する2橋を1橋とみなした値に近づく。ただし、近接する並列橋においては、風上側橋梁には風向と一致する風荷重が作用し、風下側橋梁には風向と反対方向の風荷重が作用する場合があることが、風洞実験によって確かめられている。

これと類似な現象は単独橋においても見られ、風下側の遮音壁等には風向と反対方向の風荷重が作用する。ただし、単独橋では風上側と風下側の風荷重は一体となった構造が受け持つため、このような荷重の分布は重要にならない。しかし並列橋梁では上流側橋梁と下流側橋梁の間に応力の伝達がないため、形状的には一体の橋梁と見なせても、上流側と下流側で分担する荷重を、それぞれの橋梁に作用する風荷重として評価するのが妥当である。このような理由から並列橋梁においては離間距離が0の場合でも1.3の補正を行うのが望ましい。

なお、橋桁が偏平になるに従い、ここに説明した効果は小さくなる。この場合は1.3倍の補正はやや安全側になる可能性もある。このような場合の補正係数についてはデータが不十分であるため、現在、土木研究所において検討が進められている。

(構造研究室)

道-17 積雪寒冷地における橋梁の縦断勾配

(質問)

長野県は、新潟県境を中心に多くの積雪寒冷地域を有しており、このような場所に橋梁を計画する場合の縦断勾配について、脱スパイク、スタッドレス時代を向かえてサービスレベルの向上という観点から、どの程度まで落とせるのか御教示願いたい。

(長野県土木部)

(回答)

橋梁部の縦断勾配は、基本的に一般部の縦断勾配と変わらないと考えられるので、ここでは、積雪寒冷地における一般的な道路の縦断勾配の考え方について述べる。

“道路構造令”では、凍結や圧雪を考慮した縦断勾配について、特に定まった値を示していない。そのため、それぞれの路線について、道路や交通の状況、気象状況等を考慮し、最適な縦断勾配を求めることが必要となっているが、道路構造令の実際の運用について述べている“道路構造令の解説と運用¹⁾”では、積雪寒冷地の縦断勾配について、坂路で停止した車両の再登坂の困難さ、降坂時の視距の増大等を考慮し、最急勾配値として8%以内、冬期交通が多いと予想される場合には6%程度におさえるべきであるとしている。さらに、縦断勾配を低く保つのが困難な場合もあることを考慮し、表-1の値を示している。一般的にはこの表の値以下となるように縦断勾配を定めることが望ましいと考えられ、橋梁部の縦断勾配についても、この値に準拠すべきであると考えられる。

しかし表-1の値は、登坂能力の劣る車両でも円滑に登りきれる勾配を示したものであることから、大型車両のほとんど通らない道路や交通量の少ない道路、融雪

表-1 積雪寒冷の度のはなはだしい地域の縦断勾配

設計速度(km/h)	120	100	80	60	50	40	30	20
縦断勾配(%)	4	5	6	7	7	7.5	7.5	7.5

氷装置の整備、凍結防止剤の散布、チェーン規制等により路面や交通の管理が十分行える道路等で、表-1の勾配に基づく必要がないと判断される道路では、それぞれの道路に適した条件を設定することで、最適な縦断勾配が計算できるものと思われる。これらの計算については、道路構造令の解説と運用で勾配算出の考え方や計算式が示されているので、これを参考にされたい。

ただし、計算に用いる諸々の数値については、その値を採用する根拠を十分明らかにすることが前提となる。

なお、道路構造令の解説と運用では、車両の性能と登坂勾配や登坂長との関係については説明があるが、車両が坂路で一旦停止してしまった時に、その坂路をさらに登坂する場合の勾配については十分説明されていない。例えば、長い坂路の途中に信号交差点があり、必ず坂路で停止する車両がある場合等には、登坂可能勾配についても、十分考える必要がある。

そこで、以下に車両の運動からみた坂路発進の考え方について示す。縦断勾配を検討する際の参考にされたい。

坂路における登坂勾配は、おおよそ次の式で求めることができる²⁾³⁾。

$$W \cdot \beta \cdot f \geq W \cdot \{ \sin \theta + f_r + \alpha \cdot (1 + \varepsilon) / g \} \cdots \cdots (1)$$

ここで W : 車両総重量 (kgf) β : 荷重配分係数 f : 駆動時の摩擦係数

θ : 登坂角度 (°) f_r : ころがり抵抗係数 α : 発進加速度 (m/sec²)

ε : 回転部分相当重量係数 g : 重力の加速度 (m/sec²)

(1) 式の左項は車両の発揮できる駆動力、右項は走行抵抗力であり、駆動力が走行抵抗力を上回れば、車両は発進できることになる。

ここで、登坂勾配が十数%程度までは、 $\sin \theta \approx \tan \theta = i$ (登坂勾配、%) とすることができるので、登坂勾配を i (%) で表し、これを求める式に変換すると、

$$i \leq \beta \cdot f - f_r - \alpha \cdot (1 + \varepsilon) / g \cdots \cdots (2)$$

が得られる。

(2) 式を使って実際の登坂可能勾配を計算する場合に、それぞれの因子についてどの値を入力するかにより、得られる勾配もかなり異なったものとなる。これについては、過去の研究事例では、表-2~4に示す程度の値が用いられているようである。これによると、積雪寒冷地でも凍結、圧雪などの路面性状によりそれぞれ値が変わっており、特に凍結路面ではころがり抵抗係数、駆動時の摩擦係数ともに小さいことが分かる。

表-4における f の最大値と空転値の関係を示すと図-1のようになる。

図-1において、最大値に至る前の状態(a区間内)で発進を開始できれば、比較的大きな勾配でも発進は可能となる。しかし、急激な発進を行った場合タイヤは

表-2 発進加速度、回転部分相当重量係数

項目 車種	α/g	$\varepsilon^{2)3)}$	変速機	備考
乗用車	0.05	0.70	2速	緩発進
	0.03	0.54	1速	荒い発進
トラック	0.03	0.56	1速	

*) 文献4) 及び実測値による。

表-3 荷重配分係数⁵⁾

車種	積載状態	空車時	積載時
乗用車	FR	0.35	0.42
	FF	0.65	0.55
	4WD	1	1
トラック		0.37	0.55

表-4 各種摩擦係数の分布範囲⁴⁾⁻⁸⁾

タイヤ等	リブタイヤ		スノータイヤ		スタッドレス		リブ+金属チェーン	
路面	凍結	圧雪	凍結	圧雪	凍結	圧雪	凍結	圧雪
f (最大値)	0.16 ~ 0.20	0.19 ~ 0.65	0.29 ~ 0.48	0.27 ~ 0.47	0.40 程度	0.40 程度	0.43 ~ 0.70	0.48 ~ 0.82
f (空転値)	0.10 ~ 0.13	0.06 ~ 0.25	0.13 ~ 0.16	0.16 ~ 0.17	0.10 程度	0.15 程度	0.29 ~ 0.48	0.34 ~ 0.58
f_r	0.02	0.04 ~ 0.05	0.02	0.05	—	—	0.03	0.06 ~ 0.07

は空転を始め、摩擦係数はかなり低下する（b区間内）ことから、発進できる勾配も小さなものになってしまう。交通量が少ない路線であれば、渋滞の心配がないため、車両は何度か坂路を後退しながら、円滑な発進を試みることは可能であるが、交通が多く、一度停止すると後続車も続くため後退ができないような道路では、タイヤが一度スリップを始めると空転値程度の小さい摩

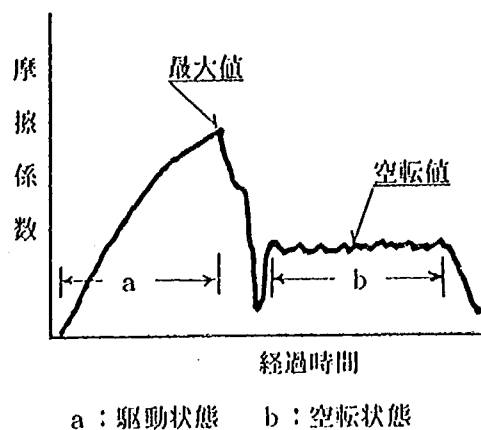


図-1 発進時の摩擦係数の変化⁵⁾

擦係数しか期待できないため、発進が困難となり渋滞の原因となることが多い。

ちなみに、(2)式に表-2～4の値を入れて、スノータイヤを装着したトラックが、凍結路面上を空車状態で登坂できる勾配を計算してみると、円滑に発進できれば4～11%の坂を登坂することができるが、タイヤが空転した状態では0%でも発進が困難となる。

これらのことから、積雪寒冷地の道路において縦断勾配を決める際は、道路や交通状況、気象条件等を十分に考慮し、円滑な交通流を確保できる勾配を求めることが必要である。特に橋梁部では、一般部に比べて交通が集中しやすいことや幅員が制限されることなどにより、交通のネックとなりやすい性質を有しており、また一般部と比べ凍結等の発生しやすい箇所でもある。そのため、表-1に示すような縦断勾配がとりにくい場合には、道路構造令の解説と運用で示している縦断勾配の考え方や、ここで述べた登坂可能勾配の考え方を参考に、路面管理等の対策を含め、十分な根拠に基づいて最適な勾配を求める必要がある。

参考文献

- 1) (社)日本道路協会：道路構造令の解説と運用、昭和58年2月、丸善㈱
- 2) (社)自動車技術会：新編自動車工学ハンドブック、昭和49年1月、

図書出版社

- 3) (社) 交通工学研究会：交通工学ハンドブック、1987年8月、技報堂出版
- 4) 酒田他：積雪寒冷地における道路線形について、第37回建設省技術研究会、
昭和58年11月
- 5) 高田他：雪氷路面のすべりに関する報告書、土木研究所資料第2848号、
建設省土木研究所
- 6) 下村他：路面管理のための摩擦係数に関する一考察、北陸地建技術研究会、
平成2年7月
- 7) 藤田他：凍結および圧雪路面のすべり特性、土木技術資料Vol.24, No. 11、
1982年11月
- 8) 高田他：凍・圧雪路面と各種タイヤのすべり抵抗に関する調査、
第1回雪と道路の研究発表会、平成元年2月

(新潟試験所)

北陸地建における一日
土研資料

土木研究所資料第 3038 号
平成 3 ・ 11 (1991)

企画部 企画課

キーワード：一日土研

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点に関する質問に対しての回答をまとめたものである。

郵便はがき

41円切手を
はって下さ
い

3 0 5 - □ □

茨城県つくば市大字旭一番地

建設省土木研究所

企画部企画課
行

No.

配布先氏名

配布先住所

No. _____

土木研究所資料第3038号
(平成3年度一日土研)

部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

印