

ISSN 0386-5878

土木研究所資料第3145号

土木研究所資料
中国地建における一日土研資料

平成4年11月18日(水)

建設省土木研究所

Copyright ©(1992) 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3145号1992年11月

中国地建における一日土研資料

企画部企画課

要旨

中国地方建設局管内の現場技術者からの技術的問題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)			
1 多自然型川づくりの取り組み	河川部河川計画課	都市河川研究室……………	1
2 多自然型護岸における巨石護岸(空石張)	山口工事事務所	河川研究室……………	9
3 歴史的治水施設の評価方法	鳥取工事事務所	総合治水研究室……………	12
II. (ダム)			
1 マスコンクリートのプレクーリング	温井ダム工事事務所	コンクリート研究室…………… (ダム構造研究室)	19
2 魚道の呼び水効果	太田川工事事務所	ダム水工研究室……………	25
3 ダム貯水池における水質対策	八田原ダム工事事務所	水資源開発研究室……………	30
III. (交通計画・道路環境)			
1 交通需要マネジメントの考え方と日本での適応性	道路部道路計画第二課	新交通研究室……………	38
2 動物・植物にやさしい道路計画と構造	道路部	交通環境研究室……………	41
3 植生工の考え方	浜田工事事務所	緑化研究室……………	46
IV. (土質・基礎)			
1 深い堀割りランプ設置に伴う本線部の土留め構造	広島国道工事事務所	施工研究室……………	48
2 供用中の道路における軟弱地盤対策工法	広島国道工事事務所	土質研究室……………	55
3 杭基礎の水平方向地盤反力係数の推定方法 (杭の支持力と地盤定数)	松江国道工事事務所	基礎研究室……………	61
V. (材料・その他)			
1 鉄筋のかぶり	企画部電算情報課	コンクリート研究室……………	64
2 水中部におけるステンレス鋼の適用	道路部機械課	化学研究室……………	71
3 横断歩道橋の鳩対策	浜田工事事務所	化学研究室……………	77

I-1 多自然型川づくりの取組み

(質問)

近年、河川事業において、多自然型川づくりを進めているが、工法の選択、治水上の安全度の考え方評価のための調査手法等に苦慮している。現状と今後のあり方について御教示願いたい。

(河川部河川計画課)

(回答)

1. 多自然型川づくりがめざすもの

多自然型川づくりの目的は次の2つである。

- ①河川を中心とした淡水域において多様な生物が多数生息できるような川づくりを行うこと。
- ②水辺の自然的な風景を保全・創造すること。

すなわち、人にとっても生物にとっても望ましい川づくりを行うことが目的である。現在行われている多自然型川づくりには、②の視点が欠けているものが見られるので、関係者の注意を喚起したいところである。

さて、生態系を評価する指標として、①自然度、②多様度、③現存量があげられる。これらは杉山の文献に詳しいが、「自然度」とは、手つかずの自然に近い状態かどうかを示す指標で、「多様度」とは、どの程度の生物が生息するかを示す指標で、「現存量」とはそこに棲む生物の量が多いか少ないかを示す指標である。いわゆる原生林などは自然度が極めて高いが、多様度は低い。

日本の川は山奥の川を除いて全て人間の営みの影響を受けており、原始の川のような川づくりを行うことは不可能である。したがって自然度という指標は多自然型川づくりでは優先度が落ちる指標である。我々が多自然型川づくりで目指すべき指標は、特に②多様度と③現存量になる。種々の生物がたくさん生息しうる川づくりを行うこ

とが目標となる。そのためには、河川の空間や水の流れをなるべく多様にする必要がある。

次に図示について考えてみる。図-1に自然的あるいは人工的という言葉から連想されるイメージ、素材を示した。

自然的な風景は清冽、曲線、やわらかさなどの良いイメージを持つが、一方で雑然とした、危険といった負のイメージを持つ。人工的な風景は汚濁、直線、規則的、硬いという負のイメージを持つが、一方で整然とした、安全といった正のイメージを持つ。

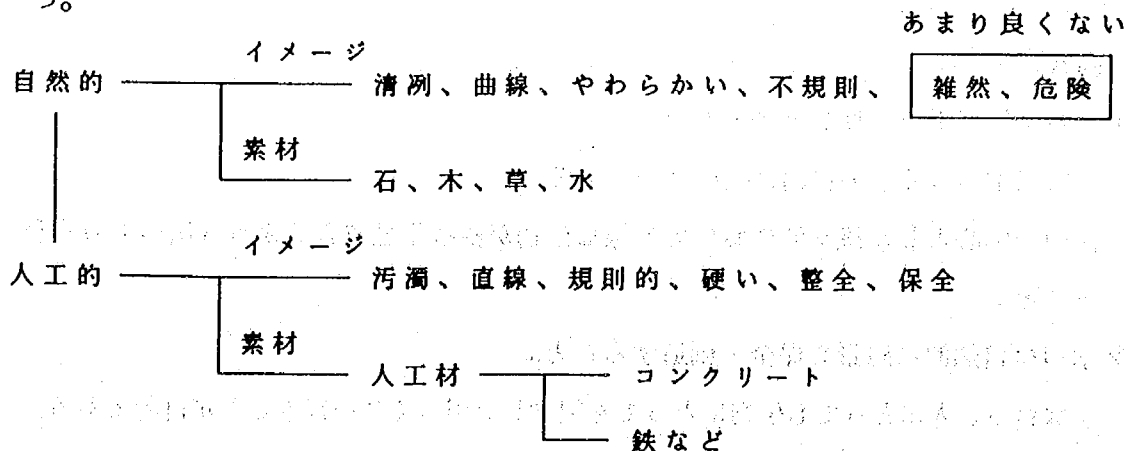


図-1

河川景観の評価実験を行うと、自然的であることと風景が良いこととはあまり相関は見られない。それは自然的な風景においても、あまりに草がボウボウと生え、雑然として、危険な印象を与えると評価は低くなる。したがって景観的にも配慮しなければ、自然的にただけでは人々に受け入れられない。人々に受け入れられる自然的な風景は、自然的要素を多く持ち、あまり雑然としない、また危険であると思われない風景である。具体的には自然的に見せるために直線や硬い折れ曲がりを用いず、あまりに雑然とならないようにする。人工材を用いる場合には、なるべく目立たないようにするなどの工夫が必要となる。

2. 多自然型川づくりのメニュー

多自然型川づくりは工法のみで完結するものではない。水量の確保や水質浄化、洪水コントロールなどの種々の施策と組み合わせて行うべきものである。

表-1 に多自然型川づくりのメニューを示したので参考にして欲しい。

なお、河道内における工法について解説すると以下のようなになる。

多自然型河川工法は、実施され始めたばかりであり、ドイツやスイスの施工例や伝統的な治水工法を参考に種々の工夫がなされているため、我が国では経験も浅く工法が確立されているとは言い難いのが現状である。また使用材料もフトンカゴや蛇カゴ類、乱杭や石積み、柳枝工や水制工を応用しているため、多孔質ではあるが伝統的治水工法の類似形になっている。このため日本の河川特性及び魚類生息状況に整合した新型工法の具体的な開発や、工法選択のための評価手法の確立を急務としている。例えば主に滞筋を生息範囲とするアユやウグイなどを対象魚とするならば、大きな栗石を詰め込んだ木工沈床や巨石を河床岩盤に埋め込んだ植石工法がよい（施工事例；福島県伊南川、長野県農具川、新潟県魚野川など）。しかしこれらの工法は、河床勾配が数百分の1程度の砂泥が堆積しない急流河川の早瀬ならば効果があるが、1/1000以下の河川では効果が薄い。また、主に河岸や水生植物帯などに生息するフナやコイ、モロコ類などのためには、ネコヤナギなど大木にならない柳枝類を用いた埋枝工法や植生魚巢護岸工法が良く、コンクリート製片法樁工を併用してやれば洪水洗掘に対しても十分な耐久力を示す（施工事例；熊本県緑川、菊池川）。更に遊泳力が弱く、トロ場や停滞水域のアシやガマ、水草などに生息するタナゴやチチブ、ヨシノボリなどを対象魚とするのであれば、水生植物の植栽を主としたワンドやクリークの造成が良い（施工事例；霞ヶ浦）。これらの工法は河道特性や魚類の生息状況に応じて変化・応用が可能であるが、水理的な河道状況と魚類の生息状況をよく観察して、柳やガマなどの水生植物を多用し現地に合った工法を創成工夫する事が重要である。

3. 事業効果の把握

表-1 多自然川づくりのメニュー

山口修の論文に加筆

内 容	具 体 的 工 法 の 例	
洪水時の外力を小さくする	・ダムなどの河道内貯留、遊水池・調節池などの河道外貯留による洪水流量の軽減 ・水制やベン工などによる外力の集中の緩和 ・落差工を多用し、縦断勾配を緩和することによる外力の軽減	
水量を確保する	・正常流量を確保し、瀬や魚道においても魚の移動を可能とする	
水質浄化	・生物の生息に必要な溶存酸素を補給する ・NH_4、生物にとっての有害物質の流入の制限、分解の促進	
自然の川の持つダイナミズムを生かす	・現河川を極力生かし、屈曲やふくらみ、せばまりを持った堤防や低水路法線形の採用 ・瀬や淵の形成など流水の特性を考慮した縦横断形の採用	
生物にやさしい河川構造物をつくる	堤 防	・堤防法面の緩傾斜化による丘のような堤防 ・堤防裏法面の拡幅と植栽による緑の堤防 ・潜在的な自然植栽による堤防法面の保護
	高水敷	・起伏をつくることにより、自然、水分条件の多様化 ・高さの異なる高水敷をつくることによって、水分条件の多様化 ・樹木の密生地、草原地、河原、湿地、ワンドなど多様な環境条件の創出 ・クリーク・池などの多様な環境条件の創出
	護岸・根固め	・流水の外力の大きさに応じて、植生、植生と石、木と石などを使い分けた河床保護 ・蛇籠・捨石・空石積など多様な空隙構造を持つ材料の採用 ・透水型の河岸施設の設置による湧水の保全
	水 制	・淀みや深みなど多様な流れが生じる形状の採用 ・巨石など多様な空隙構造を持つ材料の採用
	河 床	・浮石工の設置による藻類の増殖、産卵場の設置
	積・落差工	・自然の流れ、景観に似せた多段式落差工、スロープ式落差工の採用による全断面魚道化 ・魚の誘導・跳躍・休息に配慮した自然風の魚道の設置
	崖 線	・崖線の保全による日陰、湧水、裸地壁面の保全、創出
周辺環境の取り込み	支 川	・本川との滑らかな連続による洪水時逃げ場、産卵場の保全
生物にやさしい河川工事を工夫する	・瀬や淵の改善、避難や休息場所につながる巨石を残した河床の掘削 ・濁りなどが発生しない工法の採用 ・生物に配慮した工事実施時期、実施手順の選択	
生物にやさしい維持管理を行う	・生物に配慮した堤防や高水敷の樹木・草木の計画的伐採 ・河床を平坦化しない河床整正の工夫	

河床材料や流速・水深などの水理的特性、周辺植生、更には年間を通した魚類生息状況を調査し、河川空間の多様性、生物種の多様性を把握する事が基本である。例えば比較的自然に恵まれた河川中流域であるなら、20～30種程度の魚類が生息するのが一般的であるから、周辺河川の生息魚種も考慮に入れ、本来その河川に生息すべき魚種を想定して、現状の生息魚種を評価すべきである。また、ボラやマルタウグイ、アユ、ウナギなど海から遡上してくるべき魚が確認されないのであれば、下流の堰や落差工の魚道の不備や構造に問題があり、多自然型河川工法よりも、魚道の整備が先決問題となる。できるだけ網目を変えた投網やタモ網を用いて、特に河岸部周辺をまんべんなく調査すれば、ほとんどの魚種が採捕可能である。水深1m以下、流速30cm程度以下であるなら、本年開発した土研式定置網92型も有効である。いずれにせよ、生息魚種の多様さがその河川の多自然度を示す1つの目安となるので、多自然型河川工法の生物面からの評価は、施工前後の生息魚種の増加数をもって評価されたい。

また、景観については表-2に示す景観チェックリストにより評価することができる。

4. 多自然型河川工法の治水強度に対する考え方

基本的には、これまで実施してきた河川改修における治水強度の考え方と同じである。ただし水衝部において伝統的治水工法を多用するのであれば、そうした水衝部や洗掘予想箇所であれば、コンクリート片法棒工などを併用して、洪水による洗掘にも十分対応できる多自然型河川工法を採用する事が望ましい。ただし練り石積工やコンクリートブロックを多用した工法は、魚類や水生昆虫、水生植物などの生物生息環境を単調にしてしまうので、現場に合った自然的環境の創成に努力されたい。

なお参考資料として以下の論文を読んでいただければ幸いである。

鈴木興道、多自然型河川工法と魚類の生息環境の保全、水利科学No.204（第36巻第1号）、1992年4月、

鈴木興道、魚類の生息密度と多自然型河川工法に関する研究、環境システム研究
(土木学会) Vol120、1992年8月

全国内水面漁業協同組合連合会、魚のすみよい川への設計指針案、内水面漁場環
境・利用実態調査報告書、1987年3月、

全国内水面漁業協同組合連合会、魚にやさしい川のすがた、河川形態変化影響調査
報告書、1991年3月、

杉山恵一、生態系と環境—生態系の回復と再構成への提案—、都市の人間環境

pp. 205~241、1987.7

(都市河川研究室)

表-2 都市河川景観整備時のチェックリスト

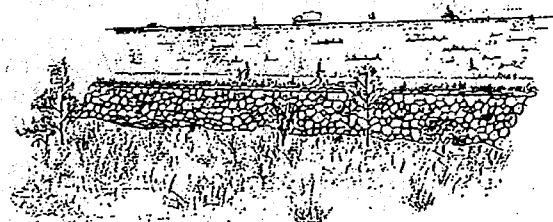
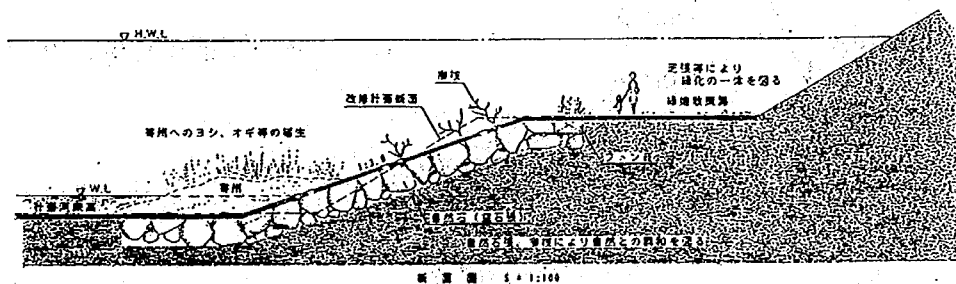
記 述 事 項 等		重 要 度 の 参 考 値
1 河道内		(正の値はプラス、 負の値はマイナスに はらんく)
① 構造物	横断構造物・水門・取水塔など	
	全ての構造物に景観上の配慮がある	+2
	景観上配慮された構造物の数がないものの数を上回る (質にもよるが)	+1
	景観上の配慮がない構造物がある	-1
	構造物がない	~-5
	さらにシンボリックな構造物がある	0
		+1
		~-5
② 河岸・護岸		
	バラベツト護岸	-2
	風景の中で目立っている(明度、彩度が高い)	-2
	護岸素材の見えの単位が大きすぎる(対岸より視角2度以上)	-1
	植生の混入	+1
	植生が混入し柔らかい感じがする	-1
	植生が混入し硬然としている	0
	どちらともいえない	
	色	
	色がばらついている	+1
	色がばらついていない	0
	どちらともいえない	
	テクスチャ	
	ざらざらしている	+1
	のっぺりしている	-1
	どちらともいえない	0
③ 河道形態	緩やかに蛇行している	+1
	視野内で一直線である	-1
④ 法肩	法肩の線が強調されて直線的に見える	-1
	法肩が曲面や植生が混入し、法肩の線が柔らかい	+1
⑤ 高水敷		
	表面	
	ほとんど露地がコンクリートで被覆されている	-3
	露地がコンクリートである部分がある	-1
	ほとんどない	0
	池やなだらかな凹凸がある	+2
	植生	
	本類	
	草が植栽され手入れされている	+2
	草が植栽され手入れされていない	-2
	木	
	本類	
	アイポイントとなる木がある	+2
	低木がある	+1
	公園	
	よく手入れされた公園がある	+2
	あまり手入れされていない公園がある	-2
	農地	
	よく手入れされた農地がある	+1
	あまり手入れされていない農地がある	-1
⑥ 水際		
	微妙な入り組みがある	+1
	水際線がはっきりしている	+1
	水際線がぼやけている	+1
	水際線が乱雑である	-2
⑦ 水面		
	水が波打っている	+2
	水が静かである	+2
	水面が波打っている	+2
	水面が静かである	+2
	水面が波打っている	+2
	水面が静かである	-2
	水面が波打っている	-5
⑧ 砂州		
	草が一面に生えている	+2
	草が一面に生えている	+1
	草が一面に生えている	-1
	草が一面に生えている	-2
	草が一面に生えている	+2
	草が一面に生えている	-2
⑨ 水質		
	水が清い	+3
	水が汚い	-1
	水が汚い	-1
	水が汚い	-2
	水が汚い	-2
	水が汚い	-2

●水深	水面に河床材料の多くが顔を出す程度いか10cm以下	- 3
①水量	(Wはみかけの水面幅、Bはみかけの川幅) W/B 0.4~0.4 0.2~0.4 0.15~0.2 0.1~0.15 0.05~0.1 0~0.05 水面幅が100m以上	+ 3 + 2 + 1 0 - 4 - 6 + 2
②派景	人がよく遊んでいる 舟がよく浮かんでいるかよく通る 鳥がよく来る 彩度の高い看板がある ゴミが放置してある	+ 1 + 1 + 1 - 2 - 2
II 連続性		
①縦断方向	川辺をずっと歩くことが可能(しかも水面が見える) 川辺を歩ける部分がある(しかも水面が見える) 川辺を歩くことができるが水面が見えない ない 川辺の道が散歩道として整備されている	+ 3 + 1 0 - 3 + 1 ~ + 3
②横断方向	水辺に降りやすい 降りるところがある 降りるところがあるが、その他は完全にフェンスで分離されている 降りることができない	+ 3 + 1 - 1 - 3
③見通し距離	見渡すことができる見通し距離 300m以上 100m以上 50m以上 50m以下 10m以下 よくわからない	+ 3 + 2 + 1 0 - 2 0
III 周辺景		
①山の視線が連続して見える		+ 2
②町並み	雑然とした町並み 整然とした町並み どちらでもない	- 2 + 2 0
③人工物の色	全ての人工物の彩度が2以下あるいは人工物がない 彩度が2以上のものはわずかである どちらでもない 彩度10以上で一辺の視角が2度以上のものがある 彩度10以上で一辺の視角が2度以上のものが10個以上ある	+ 2 + 1 0 - 1 - 2
④景観阻害物	看板がある 看板が乱立している 電柱 電柱が乱立している 鉄塔 鉄塔が目立つ 建築物 建築物を阻害する建物がある 景観を阻害する建物が林立する	- 1 - 2 - 2 - 1 - 2 - 1 - 2
⑤建造物の向き	川に向いている 川に背を向いている	+ 2 - 2
⑥樹木類	並木 立派な並木がある 並木がある 一部にある アイポイントとなる木 大木がある 中木がある 樹木群 樹木群が視角10度以上ある 樹木群が視角5~10度以上ある 樹木群が視角5度以下	+ 4 + 3 + 1 + 2 + 1 + 3 + 2 + 1
⑦公園	河川と一体となった公園が連続している 河川と一体となった公園が一部にある	+ 3 + 2
⑧河川沿いに高架道路等が連続している		- 3

I-2 多自然型護岸における巨石護岸（空石張）の構造

（質問）

佐波川においては、多自然型川づくりの一環として大崎地区（新橋～本橋）において、治水と河川特有の自然環境に留意した空石張（緩傾斜の巨石護岸）を施工するようにしている。緩傾斜の巨石護岸と木工沈床・木柵工及び捨石を組み合わせた整備を考えているが、緩傾斜の巨石護岸構造（石の大きさ、重さ、厚さ）その他施工に際しての留意点を御指導ねがいたい。



（山口工事事務所）

（回答）

巨石護岸は本来、自重の他に周囲の石とのかみ合わせでもっている護岸であり、捨石よりは石垣に近い構造物である。しかし、全ての石がかみ合わせによりもっているというものでもなく、護岸の群内の石の中には周囲の石がアーチ効果を発揮し、かみ合わせのきかない石があると想定される。しかも、近年のように熟練した施工業者がいなくなった場合にはこのような石がある可能性が高い。また、巨石護岸は捨石のように石を複数の層になるように置くものではなく一層で被覆するものであ

り、1つの石が動くと裏の土羽が流水にさらされるので、石の移動はいっさい許されるべきでない。そこで、今日のように自然石でかみ合わせが十分に期待できない場合は、石の重量、大きさを考えるにあたりかみ合わせの効果は考えないものとして、均一粒径の石が敷きならべられた状態での移動限界粒径を考えれば良いと思われる。ただしこの場合、先に述べたように1つの石が動くことも許されないので移動限界掃流力は、小さめの $\tau_{*c}=0.03$ とする。更に法面上の移動限界補正係数としてLaneの補正係数

$$K = \cos \phi \sqrt{1 - \frac{\tan^2 \phi}{\tan^2 \theta}} \quad \text{ここで } \phi : \text{斜面の角度}, \theta : \text{石の安息角}$$

を τ_{*c} に乘じ

$$\tau_{*c} = 0.03 \times K$$

$$\frac{U_*^2}{sgd} = 0.03 \cos \phi \sqrt{1 - \frac{\tan^2 \phi}{\tan^2 \theta}}$$

$$\therefore d = \frac{U_*^2}{s \cdot g \cdot 0.03 \cos \phi \sqrt{\tan^2 \theta - \tan^2 \phi}}$$

を必要粒径とする。

この他の留意事項としては、以下の4点が考えられる。

- ①石同志のかみ合わせは護岸の強度を増すのでかみ合わせがよくなるように、石の下に胴込めを入れる、すき間に石をかます等する方が良い。
- ②石の大きさを大きくしても、かみ合わせをよくしても、基礎が洗掘をうけると護岸は破壊してしまう。今回の設計図では、計画河床高までしか基礎を入れないことになっている。しかも設置箇所は水衝部なのでこれ以上の洗掘を受けることが予想される。予想される洗掘深さまで基礎を入れる、根固工で洗掘防止を図る等の洗掘対策が必要である。
- ③設計図にある木柵、沈床は洗掘対策の役目は果たさない。また、水につかったり

乾いたりする腐りやすい場所に設置されるので数10年後にはなくなってもよいという設計をすべきである。

- ④この河川は河床勾配が急なので、洪水時には高水敷上でも高流速の発生が想定される。高水敷上の緑地散策路は、洪水時の流速を想定して洗掘の有無を確認、洗掘されない対策を施す必要がある。

(河川研究室)

I - 3 歴史的治水施設の評価方法

(質問)

現在、当事務所において「歴史的治水施設の評価方法」について検討している。この評価においては、評価する項目が多いほど、精度が向上し、より客観的なものになると考えられるが、評価すべき項目の設定にあたって、注意すべき点を御教示願いたい。

(鳥取工事事務所)

(回答)

1. 歴史的治水施設の評価の目的

歴史的治水施設の評価にあたっては、先ず評価の目的を踏まえ、目的に合致した評価を行う必要がある。評価の目的としては、次の目的が考えられる。

- 1) 施設を残すかどうか (移転を含めて)
- 2) 施設を発掘するかどうか
- 3) 施設を含めた公園化 (又はモニュメント化) を行うかどうか
- 4) 文化遺産 (史跡、遺跡、名勝) として伝承していくかどうか
- 5) 歴史史料を収集するかどうか

このような評価の目的を念頭において、評価を行う必要がある。

2. 歴史的治水施設の評価項目

歴史的治水施設の評価にあたっては、評価するのに適切な評価項目を設定しなければならない。評価項目としては、以下の4項目が考えられる。

- 1) 治水施設が施設機能を有しているかどうか
- 2) " 遺産価値 "
- 3) " 文化価値 "
- 4) 治水施設に関する歴史史料が数多く存在しているかどうか

各々の項目は以下の小項目から構成される。

1)施設機能・・・治水機能を中心に評価するが、多目的の施設も数多くあるので、
利水・環境機能も考慮する

2)遺産価値・・・歴史的遺産価値、技術的遺産価値、施設としての遺産価値、施設
が及ぼした効果に関する遺産価値

3)文化価値・・・文化財指定、地域密着性、デザイン

4)歴史史料・・・施設に関する歴史史料

(例) 藩政史、郷土史、災害史、工事誌、県史・市史などの古文
書、古地図

3. 歴史的治水施設の評価に伴う措置

2. で述べた評価項目に従って、歴史的治水施設を評価した例を表－1に示す。

総合評価がAまたはBの場合に限り、施設の今後の運用について検討していくのが
良いと考える。

歴史的治水施設を移転、保存すべきか否か等の実際の事業化の検討にあたっては、
更に評価に対する措置まで含めて検討する必要がある。図－1に示した評価手順に
従い、各々の項目の評価を行うとともに、評価に伴う措置を検討しなければならない。
い。

4. 歴史的河川施設の保存例

歴史的に貴重な河川施設のなかでも、施設が老朽化したり、改修計画上問題があ
る施設については漸次改築されたり、または新たな施設に移りかわっている。

現存している歴史的河川施設もほとんどが国、県、市町村、水利組合などにより、
草刈り、施設点検等の日常的な維持管理が行われているか、又は修繕・補強が実施
されている程度で、文化財や史跡に指定されているものもあるが、保存のために整
備されたり、移転、改築されている事例は少ない。

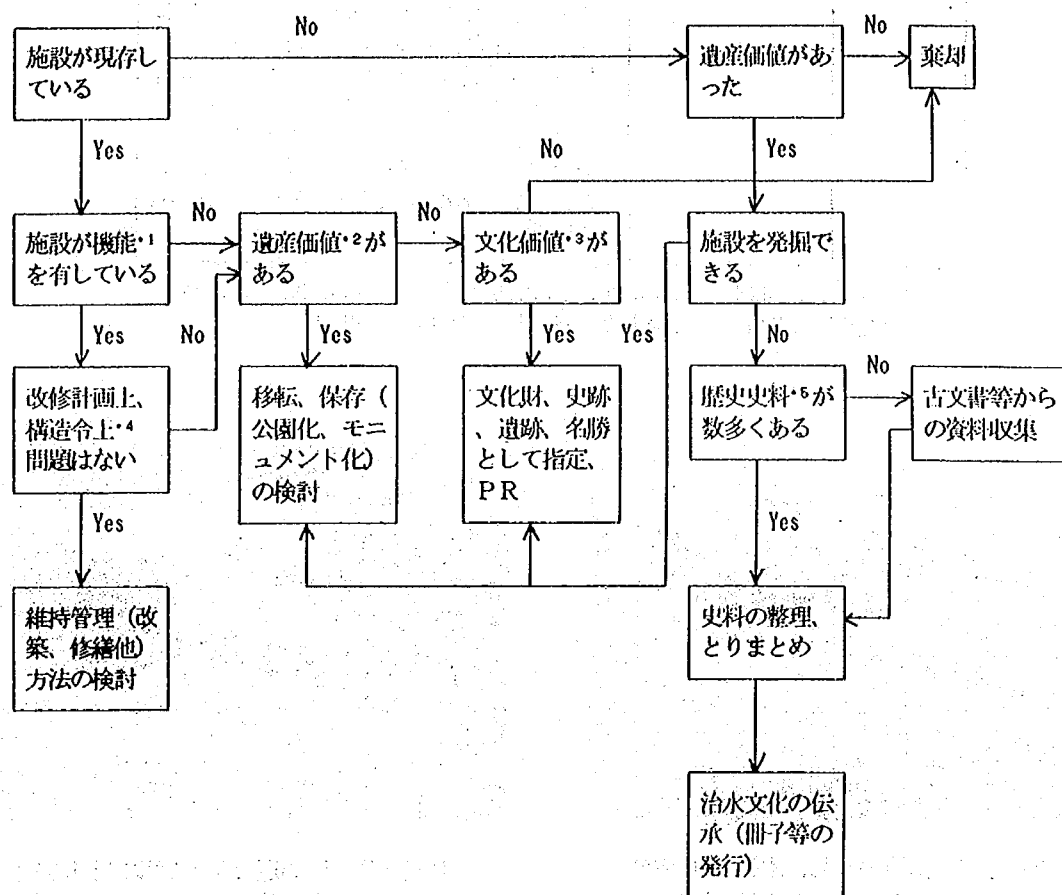
四国地建で実施された保存の1例を示せば、表－2のとおりである。

表-1 歴史的治水施設の評価例

項目	小項目	内容(キーワード)	評価			
			A	B	C	D
施設機能	治水機能	洪水防御、水害被害の軽減	○			
	利水機能	用水の確保、生産性の向上		○		
	環境機能	排水、景観、周辺環境とのマッチ		○		
遺産価値	歴史的遺産価値	伝統、伝承、歴史上の評価		○		
	技術的遺産価値	高度性、独創性、先進性	○			
	施設としての遺産価値	施設規模・能力、効用頻度		○		
	施設が及ぼした効果に関する遺産価値	土地利用の高度化、農業・経済の発展	○			
文化価値	文化財指定	文化財、史跡、遺跡、○○百選、地域の文化拠点		○		
	地域密着性	知名度、利用度、施設にまつわる祭り等の行事		○		
	デザイン	意匠、独自性			○	
歴史史料	郷土史	藩政史、県史・市史		○		
	工事・災害記録	工事誌、災害史			○	
	文書以外の史料	古地図、絵巻		○		
総合評価			B			

A：非常に評価が高い、B：評価が高い、C：あまり評価できない、D：全く評価できない

図-1 歴史的治水施設の評価に伴う措置



- * 1 治水、利水、環境機能
- * 2 歴史的遺産価値、技術的遺産価値、施設としての遺産価値、施設が及ぼした効果に関する遺産価値
- * 3 文化財指定、地域密着性、デザイン
- * 4 計画高水流量の疎通、流水阻害、径間長など
- * 5 藩政史、郷土史、災害史、工事誌、県史・市史などの古文書、古地図

表-2 歴史的河川施設の保存例

施設名	地名(河川名)	保存の概要
山田堰	高知県土佐市山田町 物部川	・灌漑、舟運のために寛文4年(1664)に設けられた堰で、老朽化に伴う取水能力の低下のため、昭和48年に上流600m地点に物部川合同堰が修築され、その機能は停止された ・堰は洪水疎通の障害となったため、昭和58年に一部を除いて撤去された。一部は史跡として高水敷の河川敷公園に保存されている ・堰周辺は環境に配慮して玉石護岸で整備された他、水門放水口が堤内地の公園に復元されている

注) 土研都市河川研究室において、建設省技術研究会「水辺空間の環境評価に関する研究」で収集された資料より、抜粋し、要約した



写真-1 山田堰のうち、水越及び排砂ゲート部分が高水敷上に残されている



写真-2 堰周辺は玉石護岸により整備されるなど、環境面での配慮がなされている



写真-3 土佐山田町により整備された山田堰公園



写真-4 公園内に復元された旧中井第二水門放水口

表-3 明治以前の主要な歴史的治水施設

西 暦	治 水 施 設	主 たる 目 的	備 考
1542 ～1560	富士川（釜無川）の信玄堤	甲府盆地を水害から守る	武田信玄による釜無、御用使、 塩川三川合流点の治水計画
1574	荒川の熊谷堤	—	北条氏
1580	常願寺川の佐々堤	富山市を水害から守る	富山城主 佐々成政
1594	宇治川の太閤堤	伏見城を水害から守る	豊臣秀吉 巨椋池と宇治川の分離
1596 ～1614	利根川に中条堤を築造	洪水防御	高さ2.1m、堤幅4.5m
—	九頭竜川の元覚堤	福井市を水害から守る	本多丹後守
1603	白川と坪井川の分離	洪水防御	加藤清正 両河川間に暗渠
1608 ～1609	木曾川左岸の御用堤	洪水防御、軍事戦略	—
1631 ～1643	筑後川の千栗堤防	久留米市、鳥栖市を水害 から守る	成富兵庫茂安 延長約12km、高さ7.2m 現在は県道、市道に利用
1674	富士川の雁堤	洪水防御	古郡孫太夫重政・文右衛門重年 延長約2.7km、高さ5.5～7.3m
1753 ～1755	木曾川の千本松原締切堤	木曾川・長良川と揖斐川 を分離し、洪水防御	延長約1km
1756	吉野川の監物堤防	住民の利害対立を緩和	徳島藩主 稲垣監物
1858	富士川の梶郷堤	災害復旧	江川太郎左衛門
1858 ～1859	淀川（木津川）の小田圃堤	—	延長約3.2km

注）新川開削、河道付替等により築造された治水施設は除外した

5. 今後の課題

日本の歴史は農地や家屋を洪水氾濫から守る水害との闘いの歴史であり、代表的な歴史的治水施設を明治以前について見ても、表-3のように数多くの施設がある。しかし、これらの施設を様々な視点から評価した例は少なく、また今後とも機能が発揮されるように整備・保存等のための手だてを行っている事例は少ない。

今後、このような歴史的治水施設については、日常的な維持管理にとどまることなく、更に積極的な老朽化防止策（延命策）を講じたり、将来的には移転・保存について検討しておくことが必要であり、そのためにも施設の適切な評価が必要であると言える。

(総合治水研究室)

Ⅱ-1 マスコンクリートのプレクーリング

(質問)

ダムコンクリートにおけるプレクーリングの方法と効果、問題点について御教示願いたい。

(温井ダム工事事務所)

(回答)

1. プレクーリングの概要

コンクリートは、その硬化時にセメントの水和熱に起因する温度上昇を伴う。ダムのようなマスコンクリートでは、この温度上昇がかなり高くなることから、この温度が降下する過程で、その体積変化が拘束されると温度ひびわれが発生することになる。このため、温度ひびわれの発生を防止する目的で、コンクリートの温度上昇の最高値およびコンクリート内の温度勾配をできるだけ小さくする方法としてコンクリートのクーリングが行われる。

コンクリートのクーリングは、まず、骨材置場に屋根を設けて直射日光を避けることや粗骨材に散水すること等の簡易な方法によって打設温度を下げることを検討した後、さらに温度規制が必要なときに検討される。

人工冷却の方法には、プレクーリングとパイプクーリングがあるが、このうちプレクーリングは、初期の温度設定を誤ると温度ひびわれが制御できなくなるという面があるものの、コンクリートの打設以前に適正な温度設定をしておけば、打設したコンクリートが均一に冷却されることになり、打設後の温度規制にともなう作業が必要なくなるという利点がある。

一般に、マスコンクリートのプレクーリングは夏期に用いられる。これは、マスコンクリートの打設後の温度上昇量は、セメント量によってほぼ決まることから(セメント量にほぼ比例する)、最高温度(打設温度+上昇温度)を低くしようとすれば、

打設温度が高くなる（材料温度が上昇する）夏期に用いて、最高温度と安定温度の差を小さくしようとするものである。

コンクリートの練り上がり温度を何度にするかは、気温、打上がり速度、コンクリートの強度特性、熱的性質等によって異なるが、外気温度よりも10～15℃ほど小さくしている例が多いようである。

2. プレクーリングの効果

次にプレクーリングによるコンクリートの温度規制効果について述べる。表1は、ダムコンクリートにおける材料温度の低減量とコンクリートの練り上がり温度の低減量との関係を、また、図1には一般のマスコンクリートにおける同様の関係を示したものであるが、いずれにしてもコンクリート中に占める割合の大きい粗骨材冷却の効果が大きいことがわかる。こうしたコンクリートのプレクーリングによる温度上昇ならびに温度応力低減効果は、図2に示すとおりである。ここで示した例は断熱した壁状のコンクリート構造物のものであるが、ダムコンクリートにおいても同じ傾向の効果があることは十分期待できる。

表1 ダムコンクリートにおける材料温度の低減量とコンクリート温度の関係の例

材 料	コンクリート1 m ² 当たりの重量 (kg)	比 熱 (kcal / kg · °C)	材料の温度を10°C下げたときのコンクリートの温度低下(°C)
セメント	140	0.12	0.3
水	100	1.00	2.0(8.7)
粗 骨 材	1,600	0.18*	5.6
細 骨 材	600	0.18*	2.1
計	2,440	0.21	10.0(16.8)

() 内は、混合水を10°Cから0°Cの水50kgと0°Cの氷50kgでプレクーリングした場合の温度低下量を示す。

* 骨材の岩種によって、比熱はかなり異なる。

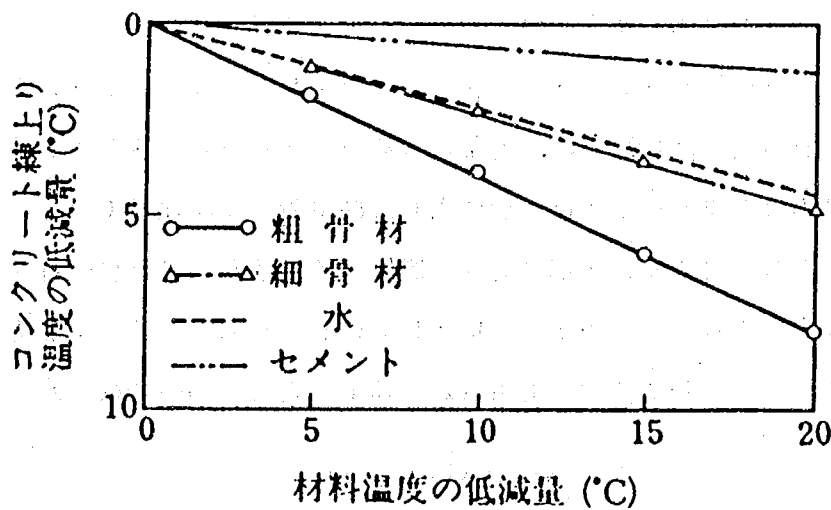
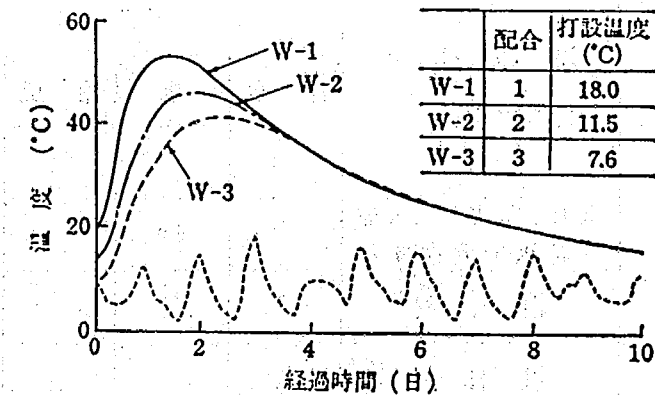
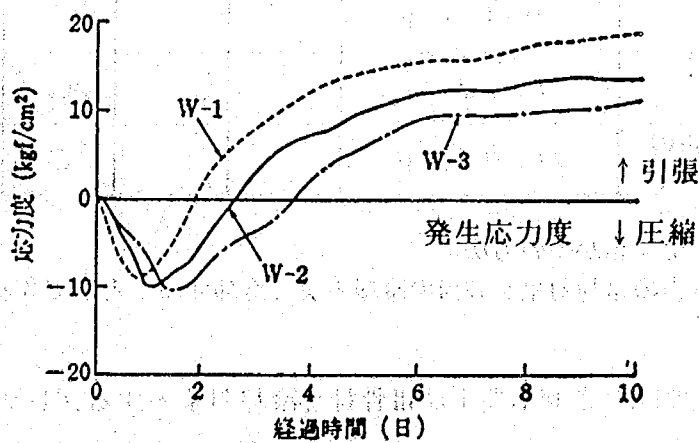


図1 材料温度の低減量とコンクリート練り上がり温度の低減量の関係



(a) コンクリート温度の経時変化



(b) 発生応力度の経時変化(有効応力計)

図2 プレクーリングの効果

3. 各種プレクーリングの方法と得失

ダムコンクリートに限らず、マスコンクリートのプレクーリングにはいくつかの方法があるが、それらを冷却段階、冷却対象、冷却手段から分類すると表2のようである。このうちダムコンクリートでは一般に水および粗骨材を冷却対象とし、水については冷却するかその一部または大部分を氷で置換する方法が、また粗骨材については冷風または冷却水を循環させる方法が採用されている。なお、セメントおよび細骨材の冷却は冷室法による冷却方法などもあるが、効率がよくないのでほとんど用いられていない。

表2 プレクーリング方法の分類

冷却段階	冷却対象	冷却手段			
		冷水	氷	冷風	液化ガス
構成材料	水	◎		◎	○
	水の一部または大部分を氷で置換する		◎		
	細骨材	○		○	○
	粗骨材	◎		◎	○
	セメント			○	○
練りませ中のコンクリート	コンクリート			○	○
練りませ後のコンクリート	コンクリート			○	○

◎ 採用実績が多い方法。

○ 該当の冷却対象を該当の冷却手段で冷却することができることを示す。

ここでは、前述の練りませ水および粗骨材を冷却対象とするプレクーリングの方法ならびに、最近ダムコンクリートにも適用されはじめている液体窒素によるプレクーリングについて、その得失を述べる。

(1) 練りませ水の冷却

この方法には、練りませ水を冷水にする方法と練りませ水の一部または大部分を氷で置換する方法がある。冷水を使用する方法は、他の冷却方法に比べて設備が簡易で安価な方法であるが、コンクリートに占める水の割合は小さく、冷却効果も小さいことから、他の方法と併用して用いられることが多い。また、水の一部または大部分を氷に置換する方法は、氷の融解潜熱(80kcal/kg)が大きいことから冷却効果も大きい。しかし、ミキサ内でコンクリートの練りませ中に氷が完全に融解しないとコンクリートの品質が低下することになるので、氷の量は水量や練りませ時間を考慮するとともに、氷の形状も比較的とけやすい形状のものにするなどの必要がある。氷の使用量は、従来は50%が上限とされてきたが、最近フレーク状にする氷製造技術の発達や液体窒素と水とを同時に噴射してフラッシュ状の氷を製造する技術の開発によって、さらに氷の比率を高めることが可能となってきた。しかし、このような場合でも冷却効果そのものは大きいものの、練りませ時間やコンクリートの打ち込み能率についての検討は必要である。

(2) 粗骨材の冷却

この方法には、冷水に浸漬する方法や冷風を送入する方法の他に冷室法や真空冷却法、さらには液体窒素で冷却する方法がある。冷水による冷却方法は1℃前後の冷水を一定時間循環させて冷却するもので、粗骨材は、冷却後水切りスクリーンを経てバッチャープラントに送られる。この方法は粗骨材の粒度別種類ごとに冷却タンクや、水切りスクリーンを設けることから設備が複雑となる。また、細骨材については水切りが難しいので適用はできない。

次に冷風を送入する方法は、骨材ビン下部から2～4℃に冷却した空気を圧入する方法で、冷風は上部で集められて再び冷却して使用方法である。この方法は設備や運転管理が比較的容易なことや粗骨材の表面水管理に問題がないことなどの利点を有するが、円錐状の底をもつ骨材ビンでは空気抵抗の少ない斜面状の壁づたいに冷風が通過するために、骨材を取り出そうとするときに周辺部分より先に抜け出そうと

する傾向のある中央部の骨材が十分に冷却されていないおそれがあることや、冷却効果の点で問題があるとされている。

なお、いずれの冷却方法による場合もビンの中の骨材の冷却時間を十分にとるために、ビンを2つに区分して交互に使用するのが一般的である。

(3) 液体窒素 (LN₂) によるプレクーリング

図3に各種プレクーリング方法とコンクリート温度の低減量 (°C) の比較を示す。これより、LN₂ を用いた冷却はその効果が非常に高いことがわかる。LN₂ による冷却は材料の冷却の他に練りませ中あるいは練りませ後のコンクリートに直接噴入して冷却する方法 (ダイレクトインジェクション) があり、設備の簡便性 (タンクを設けて噴射ノズルからLN₂ を噴入) や速効性の点で有効であるが、材料費が高価であることや、供給体制の問題などから大規模構造部への適用には十分な検討が必要とされ、宮ヶ瀬ダムにおいても試験室段階の検討にとどまった。

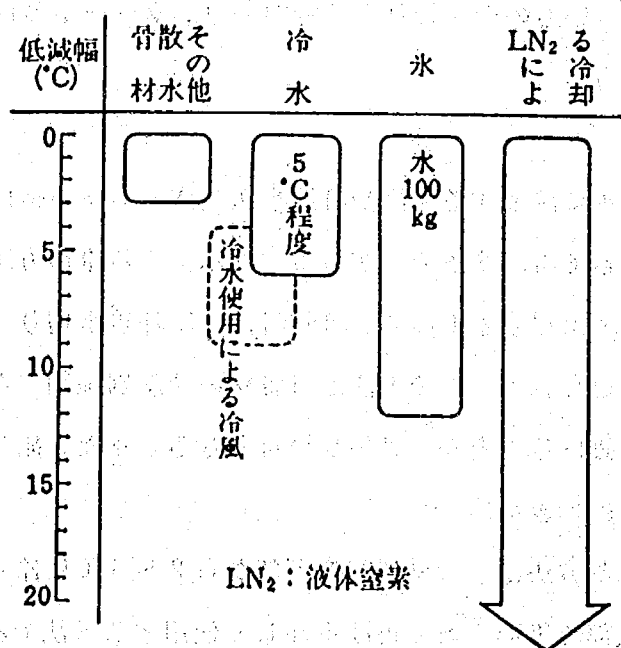


図3 各種プレクーリング方法の適用範囲

(コンクリート研究室)

II-2 魚道の呼び水効果

(質問)

太田川高瀬堰は、昭和50年3月に完成し、同10月から管理されているが、兩岸に幅6mの魚道が設置されている。魚道には呼び水効果が必要といわれているが、呼び水効果を考慮したゲート操作方法について御教示願いたい。

(太田川工事事務所)

(回答)

魚道が十分にその設置目的を果たすためには、魚道内の水理条件が対象とする魚類等の遡上に適しているのはもちろんのこと、下流から遡上してきた魚類が魚道の入口を容易に感知し、そこに集まることが重要である。

魚を集めるための手段としてはまず魚道の入口を魚が集まるところに設置することが第一である。そのつぎに考えられるのが魚道に呼び水を付加しその集魚効果を高めることである。いずれにせよ、その意図するところは、下流から遡上してきた魚が誤った進路をとってしまったり進路を見いだせずに滞留したりしないようにすることである。

階段式魚道には呼び水水路を併設するのが一般的であるが、過去の事例では呼び水水路が併設されていないものや、あるいは設置されていても規模が小さいものもある。その場合は、ゲートからの放流により魚が魚道に集まるようなゲート操作を行うのが効果的である。

河川流量が十分に大きい場合には、呼び水効果というよりも魚の強い流れに対する回避行動を利用することが考えられる。魚は遡上が困難なほどの強い流れに遭遇したときには、流れに向かって泳ぎながらも強い流れの領域を避けて、その境界線に沿って移動するものと考えられる。その境界線が河川の中央付近で下流側に膨らんだ形となっていれば魚は兩岸の堰直下流に集まるであろう。そこに魚道が設置されていればその効果は十分に発揮される。つまり、中央部のゲートからの放流量を大きくし端部のゲートからの放流量を小さくすればよいことになる。(図-1 参照)

しかし、河川流量が少ないときに多数のゲートから放流すると、1門あたりの放流量が小さくなって流速が魚の選好流速にまで低下し、かえってゲート直下流に魚が集まってしまうことが考えられる。また、アンダーフロー放流の場合はゲート開度が小さくなるためゲート振動が発生する可能性もある。

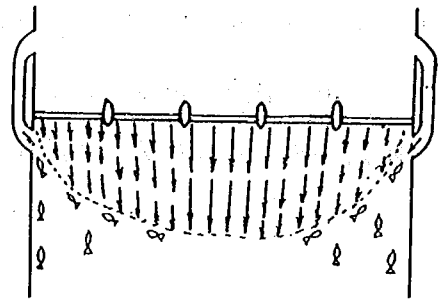


図-1 強い流れに対する回避特性を利用した放流方法

したがって、流量が少ないときには放流するゲートを限定して、ゲートからの放流水ができるだけ魚道の呼び水となるような操作を行う必要がある。

操作方法を検討するにあたって、どのような流況になれば好ましくないのかを整理すると以下ようになる。

- ①ゲートからの放流が魚道以外の場所への誘導効果をもってしまう場合
具体的には先に述べたように、ゲートからの放流水が魚道の遡上に適した流速になり、魚道入口よりもゲートの直下流に集まってしまう場合
- ②ゲートからの放流により魚道の入口が魚の遊泳能力を超える流速をもつ流れによって塞がれてしまう場合
- ③ゲートからの放流により魚道の入り口付近に規模が大きくて比較的強い循環流が生じ、遡上してきた魚が進路を見いだせずに滞留してしまう場合

よって、上記の3つの流況が生じないような操作方法を考えることとなる。

まず、①の流況が生じないようにするためには、魚道に隣接するゲートからの放流水の流速をある程度大きくするか、あるいはそこから放流しないことである。

②の流況が生じないようにするためには、魚道に隣接するゲート（一般には端部ゲート）からの放流量をある値で抑え、流速が必要以上に大きくならないようにすることである。

③の流況は、魚道に隣接するゲートから放流せずにそのさらに中央よりのゲートからかなりの流量を放流する場合に生じる可能性がある。しかし、この流況は下流河道の形状等に左右され、発生する条件は堰によって変わってくる。

以上のことを考慮すると、魚道に隣接するゲートは、そこからの放流水の流速が対象魚の遊泳能力を超え、かつ魚道入口付近の流速は対象魚の遊泳能力以下となるような放流を行うことが望ましい。その範囲の流量を超えときには順次隣接する内側のゲートから放流していき、ある程度の流量になったら図-1のような放流パターンになるようにする。端部ゲートからのみ放流すると中央部に死水域が生じ、中央部を遡上してきた魚が滞留すること考えられるが、岸沿いを遡上する魚が多いと思われることから滞留する魚は少ないであろう。

以上が魚道への集魚効果を考慮した堰のゲートの操作方法の一般的な考え方である。

しかし実際は端部ゲートを流量調節ゲートとして、平常時はオーバーフロー放流により水位維持を行っている堰が多く、その場合放流水は落下した際に減勢されて流速が大きくなり、放流水の落下点付近に魚が集まることも考えられる。このとき、ゲートの直下流に隣接して魚道入口があれば適切な集魚効果となるが、堰柱が下流側に張り出してゲートと魚道入口が離れていると、魚はゲート下流に滞留してしまうだろう。このようなときには、操作は煩雑となるが一旦アンダーフロー放流を行ってゲート直下流の流速を大きくし、集まった魚を魚道の入口のほうへ追いやることも考えられる。

また、端部ゲートがアンダーフロー放流しかできず、かつ堰の上下流の水位差が大きいときには、最小開度で放流を行っても魚道入口を魚の遊泳速度を超える流速の流れが塞いでしまうこともありうる。(図-2参照) そのときには、端部ゲートからは放流せずに中央よりのゲートから放流することとなる。(図-3)

以上のように、堰下流の流況はゲートの配置・形式・規模および下流河道の状況等によって異なるため、既存の堰で魚道への集魚効果を考慮したゲート操作を検討

するにあたっては、まず魚の遡上状況を観察し、どのような放流を行っているときに魚道へ遡上する魚が多くなるのか、あるいはどこに滞留するのかを調査して、現在の放流方法の問題点を整理し、さらにどの程度の流量について対応するのかを検討するため、流量と遡上数の関係についても調査する必要がある。そのうえで先に述べたことを考慮しつつ放流方法を検討し、実際に魚が魚道に速やかに到達しているかを確認しながら放流方法を改善していくこととなろう。

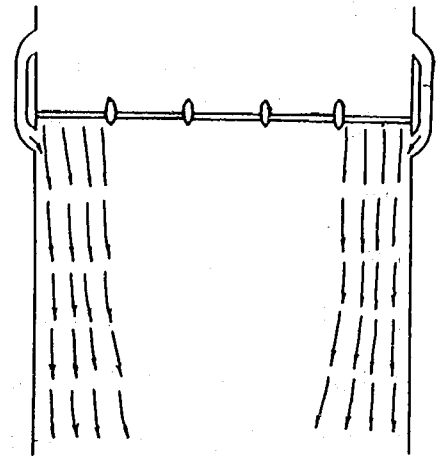


図-2 強い流れが魚道の入口を塞ぐ流況

また、今後建設する堰については先に述べたような理由から、管理橋を上流側に配置し魚道と端部ゲートの間の堰柱の下流側への張り出しを極力小さくすることが望ましい。予備ゲートの設置位置が上流側となり、堰直上流まで堆砂していると予備ゲート設置時に堆積土砂を除去する必要があるなどの問題からそれが不可能な場合は、魚がゲート直下流に近づかないよう呼び水水路からの放流水によって遮断することを考慮して呼び水水路の放流量を決定するなどの配慮をする必要がある。

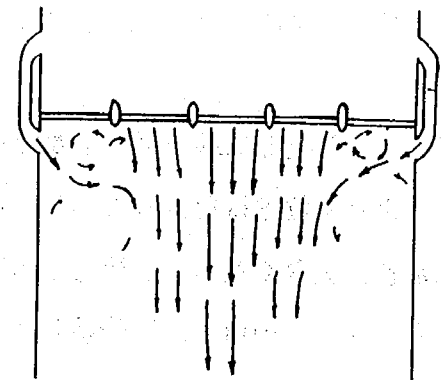


図-3 端部ゲートから放流しない例

また、河川流量が豊富でなく呼び水として利用できる流量が少ない場合はポンプによって流速を大きくして放流し呼び水効果を高めることも可能である。さらに、下流に塩水が遡上しないならば下流河川水をポンプアップして呼び水として放流し、貯水池の水を使用しないような設備の設置も考えられる。また、ポンプを用いて呼び水を放流するような設備には、パイプを魚道の下に埋設することでスペースを取らずに配置できるというメリットもある。

なお、魚道の形式に関わらず集魚効果を考慮したゲート操作が求められるものと思われ、ダム水工研究室においてこれらを含めた生態系に配慮したゲート操作について研究をすすめているところである。

(ダム水工研究室)

<参考文献>

- 1) 廣瀬利雄，中村中六：魚道の設計，山海堂
- 2) 山内彪：堰の設計，山海堂
- 3) ダム水源地環境整備センター：魚道の設計シンポジウム

Ⅱ－３ ダム貯水池における水質対策

（質問）

近年建設されたダムは里ダムのケースが多くなり、貯水池の富栄養化による障害（アオコの発生、カビ臭等）が懸念されている。環境問題の社会的高まりもあり、今後のダム建設の上で水質保全対策が重要課題と考えられる。貯水池水質対策を実施するに当たり、現時点での最適対策及び今後の対策動向等について御教示願いたい。

（八田原ダム工事事務所）

（回答）

Ⅰ．富栄養化対策の種類

富栄養化対策は、藻類増殖のメカニズムを踏まえて、それぞれの貯水池に適した対応をとることが必要である。藻類増殖の要因をまとめると、次のようになる。

- ① 栄養塩類の流入
- ② 光合成反応に必要な環境条件（光、水温）
- ③ 増殖に必要な滞留時間

ⅰ）流域対策

富栄養化対策として、根本的には①の栄養塩類の流入で抑制する必要がある。そのため、基本的には汚濁発生負荷源を対象とする流域対策（流域からの流入負荷削減に係わる対策）を実施することが最も効果的であるので、流域関係機関と密接な連携をとり、その推進に努める必要がある。

ダム流域での栄養塩類の発生負荷量としては、畜産によるもの、生活系排水によるものの割合が高い場合が多々有る。そのため、家畜糞尿のコンポスト化、下水処理の高度化が重要である。また、栄養塩類の土壌吸着を図るために、処理水の陸地散布や土壌浄化施設を設けることも有る。

また、畑地からの流出土壌には多量の栄養塩類が含まれており、表土の流出を防ぐことは濁水対策としてだけでなく富栄養化対策としても重要である。

一方、流域対策は、対象とする負荷源が広範囲にあたるため、この対策には長年月

と多大な投資が必要となることから、図-1に示すように、必要に応じ流域対策と合わせ河道内や貯水池内において対症療法ともいべき対策がとられる。

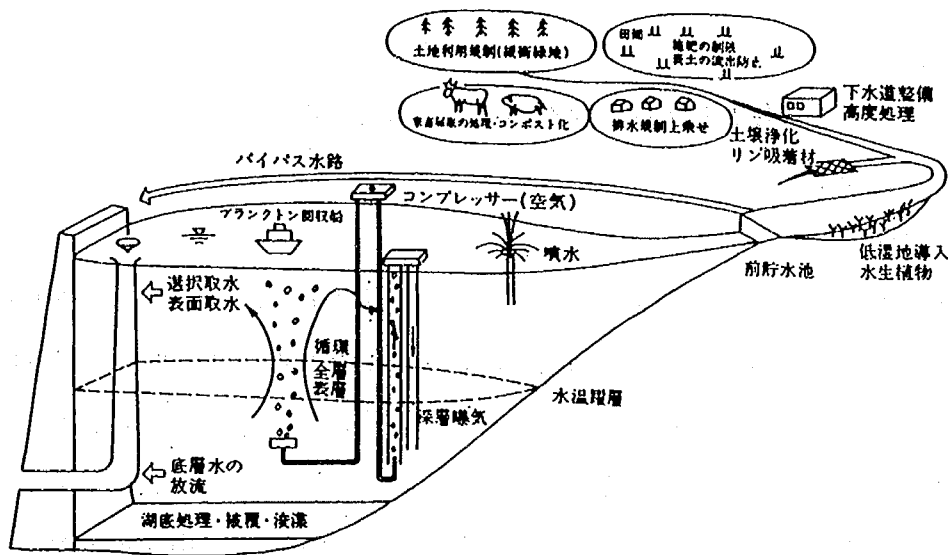


図-1 富栄養化総合対策

ii) 河川内対策

(イ) 前貯水池

流域河川の河道内における対策としては、前貯水池による栄養塩類の沈降促進などがある。

日本の河川では前貯水池として十分な栄養塩類の沈降時間を取れる容量を確保できるケースは少ないと思われるが、また、前貯水池は水位変動が少ないことから、湖岸植生による水質浄化やレクリエーション利用に使うことも可能である。

(ロ) 貯水池迂回水路

貯水池への負荷流入が一部の小河川に限られる場合にはバイパス水路により貯水池内に流入させないか、また貯水池内の取水口付近に流入させて貯水池内での滞留時間を短くさせる方法もある。

(ハ) 流入水緩速濾過

河川水が貯水池に流入する前に緩速濾過し、流入栄養塩類を除去しやすい糸状藻類

に交える方法である。広い高水敷が必要であり、また洪水時の流入には対応できないという欠点があるが、構造をうまく工夫できれば維持管理をかなり簡単にできる可能性がある。

iii) 貯水池内対策

貯水池における対策としては、貯水池内での富栄養化現象のメカニズムを踏まえて、次に示す手法がある。

(イ) 循環

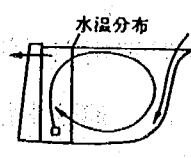
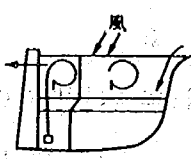
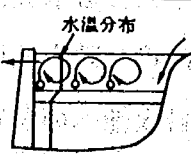
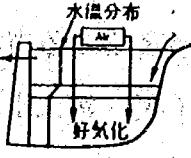
貯水池表層は一般に光が届き（有光層）、比較的水温が高いため、藻類の増殖に適した環境条件下にある。そこで、曝気やポンプにより貯水池内に強制循環を生じさせ、表層水を有光層の下まで押し下げるとともに、表層水の水温低下を図ることにより、藻類の増殖を抑制する手法である。

循環方式にはその目的及び対象とする貯水池循環流の違いから、表-1に示すように全層循環、躍層低下循環、浅層循環、深層曝気の4方式がある。

(ロ) 噴水

循環を発展させたものとして噴水の利用がある。これは循環の効果の他に、噴水のポンプを通る時の水圧の急変により藻類を死滅させる効果を考えたものである。また湖面上に新しい景観を創る効用も評価される。

表-1 循環手法の方式（ダム水源環境整備センター調査による）

方式	内 容	イメージ
全層循環	貯水池全層を循環させる方式である。水温躍層を破壊し、従って、水温分布は全層均一になる。主に光制限効果、水温低下効果、及び底泥からの溶出抑制効果を期待するものである。	
躍層低下循環	底層水を循環させるが、全層の循環までには至らず、水温躍層を低下させることによって、躍層より上部の層を循環させる方式である。主に、光制限効果を期待するものである。	
浅層循環	水温躍層の位置を現状から変更させず、躍層より上部の層（表層）を循環させる方式である。主に、光制限効果を期待するものである。	
深層曝気	水温躍層の位置を現状から変更させず、躍層より下部の層（深層）を循環させる方式である。底泥からの栄養塩類等の溶出抑制効果を期待するものである。	

(ハ) 表層取水

藻類の増殖に適した貯水池表層での水の滞留時間を短くするために、表層から取水を行うものである。

(ニ) 藻類増殖後の対策

上記の対策をとってもなおかつ藻類が異常増殖した場合には、次のような対策が取られる。

a) 選択取水

利水障害を減らす為に貯水池内の藻類の少ない深さから選択取水を行う方法である。

b) 藻類除去

発生した藻類を機械的に除去する方法であり、具体的にはアオコ除去船等による手法がある。

iv) 放流水対策

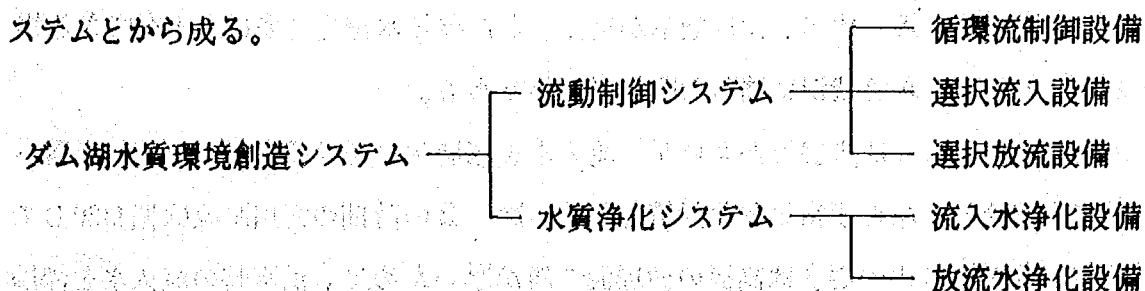
利水を含む正常流量を補給するため下流に放流した水を、異臭味障害が発生しやすい期間は緩速濾過により藻類を除去してから放流する方法が考えられる。

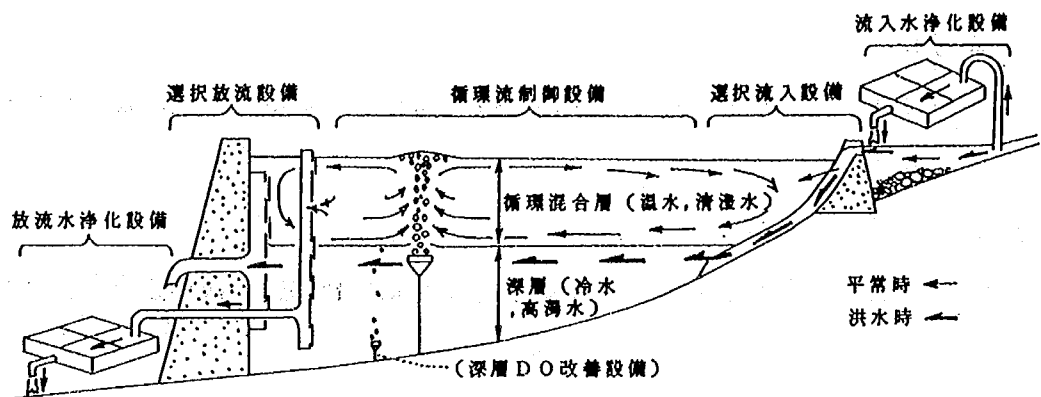
II. 富栄養化対策に対する研究動向

貯水池の水質保全を図るために、貯水池内での対策を中心として各種の施設がとられている。水資源開発研究室では種々の新しい手法の研究に取り組んでいるが、その中でも実用の可能性が高いものとしてダム湖水質環境創造システムを紹介する。

i) ダム湖水質環境創造システム

ダム湖水質環境創造システムは図-2に示すように流動制御システムと水質浄化システムとから成る。





図－２ ダム湖水質環境創造システム

流動制御システムは、平常時及び洪水時を通して貯水池の表層に清澄水でかつ高温の循環混合層を厚く形成させ続け、藻類への光と栄養塩を制限することにより、貯水池内の藻類の異常増殖を阻止するシステムである。

水質浄化システムは貯水池流入水及び放流水から藻類、栄養塩類及びカビ臭物質を除去するシステムである。

ii) 流動制御システム

(イ) 循環流制御設備

図－２はダム貯水池の水深方向の水温分布を示した図であるが、同一の貯水池で同じ動力を用いた場合の、散気管方式と間欠式揚水筒方式とを比較した図であるが、散気管方式のほうが気泡に連行される水量が多く、循環混合層が厚くなり、循環効率が高くなっているのがわかる。循環混合層が厚ければ表層で発生している藻類を有光層の下に深く追いやり、藻類の異常増殖を防ぐことができる。このように、散気管方式は間欠式揚水筒方式に比べ、循環効率が高く、また曝気水深を容易に上下動できる構造となっており、水質状況に適した曝気が可能である。

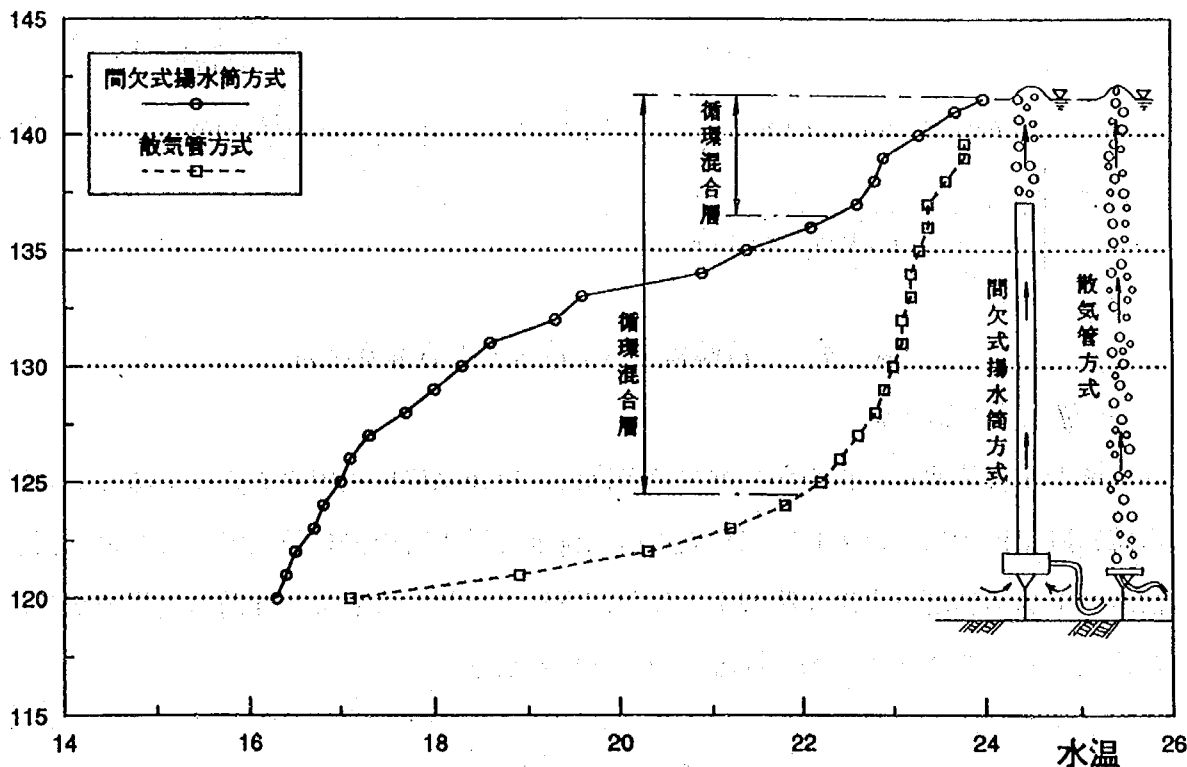
洪水時の流入水には栄養塩が多いが、流入水を深層部に導けば藻類がいる有光層への栄養塩補給とはならず富栄養化対策となる。図－２の時期の河川水温は概ね20℃であるが、散気管方式の場合は高温の循環混合層が厚いために、洪水時の流入水を深層

部へ導くことができる。また濁水長期化対策としては、洪水時の高濁水を貯水池の深層部に導き、表層の清澄水を温存するのが望ましい。そこで本方式で表層を厚くすると、濁水長期化対策にもなる。

なお散気管方式により循環混合層が厚くなった場合にも表層から日射による熱エネルギーが供給されるため、表層水温の低下はほとんどなく、むしろ循環により熱エネルギーが深部にまで移送され貯水池全体の水温は上昇する。従って表層取水を行っている場合にも冷水化の問題が発生することはない。

循環流制御は自動水質観測装置を監視しながら貯水池及び流入水の水質状況に応じて貯水池流動を制御する。

海拔水位



図一3 散気管方式と間欠式揚水筒方式の循環効率の比較

(ロ) 選択流入設備

図一3は貯水池流入端において、洪水時の流入水を、表層で高温を保っている循環混合層と極力混合させることなく、深層部へほぼ確実に導くことができる設備である。

この設備の構造は、最近貯水池上流端に堆砂除去、水質浄化、及び親水性向上を目的として造られつつある副ダムの越流部に工夫を加えたものである。平常時に流入して来る清澄水は循環混合層へ流入し、小洪水時の高濁水は管水路を通じて循環混合層と全く混合することなく深層部に流入し、大洪水時の高濁水は水中導流壁間の開水路を通じて循環混合層と極力混合させることなく深層部へ導く設備である。

洪水時の高濁水には掃流土砂及び浮遊土砂が多く含まれるが、副ダムにより掃流土砂はカットされるため、管水路や水中導流壁間の開水路には浮遊土砂しか通過しない。浮遊土砂はフラッシュにより除去できるので水路の維持管理は容易である。

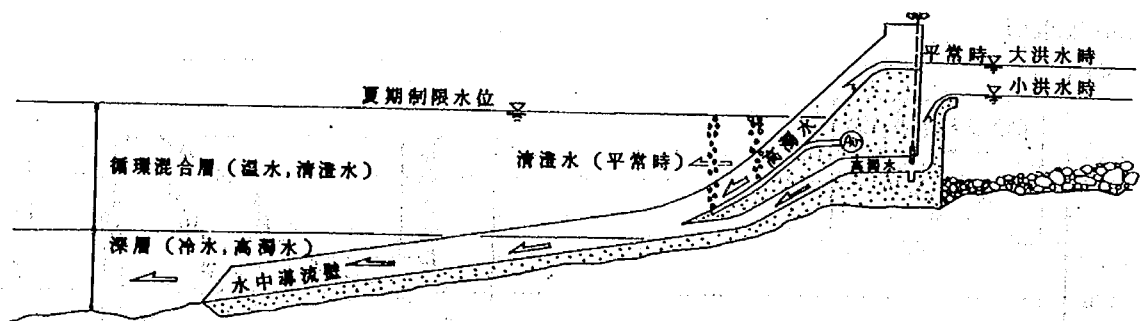


図-4 上流端にて選択流入できる導流設備

(ハ) 選択放流設備

表層から清澄水を、深層から洪水時の高濁水を任意に放流できる設備である。大洪水時に貯水池深層に流入して来た大量の高濁水を洪水時の間に放流できてしまえば、清澄水である循環混合層を維持することが可能である。これには従前の選択取水設備とは別にかなり大容量の選択放流設備が必要となる。

iii) 水質浄化システム

緩速濾過はもともと浄水場の浄化装置であるが、緩速濾過はうまく運用すれば、浄化効果が高く、維持管理も比較的容易となる。ただし緩速濾過は濾過速度が20cm/hour程度であり、広大な面積が必要である。そこで貯水池に必要な水質を確保でき、広

大な面積を必要とせず、維持管理が容易な水質浄化システムが考えられる。このシステムは目的の違いにより貯水池流入水からの栄養塩類の除去を目的とした流入水浄化設備と、利水を含む正常流量としての放流水からの藻類の除去を目的とした放流水浄化設備とに分かれる。

(水資源開発研究室)

Ⅲ－１ 交通需要マネジメントの考え方と日本での適応性

（質問）

交通政策上の主要概念として交通需要マネジメントが位置づけられてきたのは比較的新しいことである。日本における現状並びに諸外国における事例なども含め、交通需要マネジメントの考え方、今後の展開、日本における適応性について御教示願いたい。

（道路部道路計画第二課）

（回答）

自動車交通需要に対する調整策としては、公共交通機関の整備やサービスの向上によって相対的に自動車利用の利便性を減らし、一般の自動車交通をこれらの交通機関に転換させる方法と、自動車の交通需要を政策によって管理・調整する方法がある。

a. 公共交通機関等への転換による交通需要調整

- ①鉄道整備（新交通システムの整備を含む）
- ②鉄道サービスの向上
- ③バス交通優遇策（バスレーン、新バスシステムの整備を含む）
- ④公共交通機関の乗り換えサービスの向上（パークアンドライド、キスアンドライド等を含む）
- ⑤相乗り促進（カープール、HOVレーン、乗合タクシー等）

b. 交通需要の管理による交通需要調整

- ①ロードプライシング

- ②自動車入域許可制またはゾーンシステム
- ③ナンバー制（車両ナンバーによる利用日規制）
- ④駐車管理（駐車容量・時間制限、駐車規制・罰則強化等）
- ⑤通勤・業務交通対策（フレックスタイム、時差出勤、ノーカーデー等）
- ⑥課税（燃料税強化、自動車登録税・保有税の強化）
- ⑦適正土地利用による需要管理（交通アセスメント、土地利用用途・容積率の見直し）

このうちb.の対策は、その性格上社会生活に及ぶ影響が大きいことから、“駐車管理”、“通勤・業務交通対策”を除けば、我国において渋滞対策として実施されている例はみられない。また、海外において見られる実施の例を見ると問題点も多い。（表-1参照）

一方a.の対策は、現在の公共交通機関の利便性向上には多大な費用を要するが、それだけの費用を費やしたとしても自動車から転換する交通量はそれほど多くない点が問題となる。

日本の大都市部においては、既に道路に対する需要が大幅に道路の供給を上回っており、今後交通需要マネジメント導入の機運は益々高まるものと考えられる。このような流れを受けて、建設省においても大規模な沿道開発に対して道路施設の整備を義務づける交通アセスメント手法の導入について検討が開始されている。

但し、上述した様々な交通需要マネジメントを実施する場合でも、必要最小限のネットワークが整備され、交通の運用が適切になされていることが前提条件であり、日本の多くの都市ではバイパス・環状道路の整備やボトルネック解消事業を早急に実施し、適切な都市交通基盤を整える時期にあると考えられる。

（新交通研究室）

表-1 海外における交通需要マネジメントの実施例

	入 場 許 可 制		相 乗 り 推 進
	ミラノ (イタリア)	シンガポール	ロサンゼルス (アメリカ)
目 的	道路交通渋滞対策として交通制限地区への車の乗り入れを制限する「入場許可制」を85年から導入。	交通渋滞を緩和し公共交通の環境整備を行なうために75年に「入場許可制度」を導入。また自動車所有を抑制するため「新車購入権利の入札制度」などが導入された。	ラッシュ時の都心の高速道路の渋滞緩和対策として、1人乗りの乗用車の乗り入れを抑制。
内 容	制限地区は旧市街地に当たる約4km ² の地区。規制時間17:30～18:00。制限地区への流入ポイント14か所に警察官が立ち、チェックを行っており違反車には約5000円、レッカー移動された場合は約1万5000円の罰金が科せられる。ただし制限地区内に住む住民や配達車両、民間でも自己敷地内に駐車スペースを持つオフィスなどは許可証を受けた上で乗り入れが許される。	入場許可制度は朝夕のラッシュ時、都心部に乗り入れる車に有料で許可証を発行するシステム。料金は1日券が3シンガポールドル、1か月券が50シンガポールドルで郵便局や販売所で購入する。入札制度は新車購入希望者がまず買収権利を入札、落札した人だけが新車を手にできるというもの。現在は抑制策が通る所有率が低下したため夜間や週末だけが運転可というウィークエンドカーの導入が検討されている。	高速道路の入路部に信号を設置。1人乗り乗用車はその信号のランプに従い進入するが、2人以上の相乗り車はバスなどの専用レーンを利用して、信号待ちせずに進入することができる。
効 果	規制時間内で約50台、6万台の流入台数が減少。渋滞が減り、都心部のバスの速度が向上した。	通勤時のバス利用が増大、自動車利用は50%前後に減少。	都心部への通勤には相乗りを奨励するビジネスマンが、圧倒的に増えた。
問 題 点	取り締まりに人手がかかること、制限地区周辺部の駐車場の確保が難しい。	厳しい規制に対する不満の増加。	相乗りに見せるためにダミー人形を使ったり、入路部だけアルバイトを雇ってドライバーが増えたりした。

	ナ ン バ ー 制	トラフィック・セル・システム	自動車登録税強化
	アテネ (ギリシア)	イエネボリ (スウェーデン)	香 港
目 的	地中海気候で雨が多くなく大気汚染がひどいため、その緊急対策及び交通渋滞対策として「ナンバー制」を82年9月から導入。	交通渋滞の緩和と交通事故対策として60年後半から「トラフィック・セル・システム」を導入。	乗用車の私的所有を抑制するため登録税などを強化し、私利利用を減少させるため商業地域に乗り入れる車から料金を徴収する「ロードプライシング」が83年7月から85年中頃まで実験的に導入された。
内 容	ナンバープレートの末尾番号が奇数の車は奇数日のみ、偶数番号は偶数日のみ走行可能というように一般車両の利用日を制限。規制時間は日曜日を除く7:00～20:00。89年11月からはタクシーも規制対象に。違反車には高額な罰金(約1万円)が科せられる。	トラフィック・セル・システムとは、ある地域を複数のゾーン(セル)に区分し、進入禁止や一方通行など交通規制を組み合わせて通過交通を地区内から排除する方法。両市では中心業務地区を5つの地区に分け、それぞれ地区の境界を越えて乗り入れられる車両は、緊急車両と公共交通機関だけに制限する独自のシステムをとっている。	陸地面積の少ない香港では70年代半ばから自動車の私利所有が増加。交通渋滞の悪化が社会問題となり、その抑制策として82年から税金を増徴。その結果現在の新車登録税は購入費用の約10%に相当。さらに毎年の登録更新費用も購入費の10分の1に当たる。また、83年には私利利用を抑制するため「通行賦課金制」を実験的に導入、成果をあげた。
効 果	乗用車の保有台数が約22%減少。これにより汚染物質のNO _x が38%、SO ₂ が16%前後減少した。	公共交通機関と一般車両の混在する地域での交通量が減ったため、公共交通の移動時間が1台当たり平均45秒減少。セル内での交通事故も大幅に減少した。	私利所有の車が約19万台から約14万台に減少。いくつかの地域で渋滞が緩和された。
問 題 点	取り締まり警察官の人手がかかること、奇数、偶数両方のナンバープレートを持つ「複数保有」が略増され、規制対象外の2台車の保有台数が増大する懸念がある。	都心部周辺の環状道路の整備と、迂回に対する市民の理解が求められる。	強い規制に対する国民の不満。

出典：海外国の交通需要抑制策に関する調査研究報告書
平成2年3月をもとに作成

Ⅲ－２ 動物・植物にやさしい道路計画と構造

（質問）

①バイパス等の計画が、やむを得ず山間地へ設置することによって、動植物に与える影響は少なからずあると考えられる。特に貴重種が生息分布し、バイパス等の路線計画も変更が難しい箇所、近隣を通過する計画となった場合の離隔などの程度あれば良いか。又、地域をやむを得ず通過する必要がある時、どのような対策を取っているか。環境アセスメントや先例から、路線計画、構造等の対策例を御教示願いたい。

②地球環境が叫ばれている現在、自然環境を保ちながら道路を計画していく事が、21世紀をにらんで必要になってくると考えられる。近い将来の道路構造について、現時点で考えられるものがあれば御教示願いたい。

（道路部）

（回答）

1. はじめに

従来より、道路の整備にあたっては自然環境の保全にも配慮をしてきたが、近年、自然環境に対する社会的な意識が高まり、貴重種のみならず、普通に見受けられる動物や植物を含めた生態系全般との調和が社会的要請となっている。そこで、道路事業にあたってはこのような要請に的確に対応し、自然環境を守る配慮が一層必要となってきている。このため、現在の調査・対策等の手法の課題を整理するとともに最新の資料や事例を整理し、自然環境に配慮した道路整備を図る上でよりの確な手法の検討を行う予定である。この成果がまとまるまでにはあと2～3年を要すると思われるが、これまでの事例収集の結果、いくつかの保全対策事例が当面の参考になると考えられる。ここではその事例をもとに説明する。

自然環境保全の対象としては質問の内容にあるように①貴重種と②一般自然環境とがあるが、その対策という観点では、一般自然環境の保全対策が貴重種にも同じ内容で適用できたり、あるいは種類によって対策がかなり異なるなど、その分類に

よる整理は困難である。そこで、貴重種に対する事例に関しては説明の中で適宜述べていくこととする。

一般に、道路による自然環境への影響を軽減する対策としては、その計画の段階に応じて以下の分類ができる。

- ・路線計画上の対策

- ・道路構造上の対策

- ・その他の対策

この分類に従って以下説明を行う。

2. 路線計画上の対策

路線計画の際に、貴重な自然をできるだけ回避して計画を行うことは自然環境保全手法の最も基本的なものである。しかし、道路の建設及び供用による周辺の動植物への影響の程度や、その影響の及ぶ範囲についての定量的な分析は、これまであまりなされておらず、必要となる離隔幅についても明確に示したものはない。そこで、ここでは過去に行われている道路事業において、貴重種の保全を考慮して路線選定が行われ、かつその離隔が明らかである事例を次に示すこととする。

（事例1）一般道道静内中札内線

自然環境保全調査（環境庁昭和48年）において貴重種とされている高山性ヒース群落が、対象区域内に10m×30m程度分布していた。また、氷河期の遺存種といわれているエゾナキウサギが、十勝川水系札内川上流の標高700mを中心とする比較的低い標高域において生息しており、前述の群落にも生息が確認された。このため、当群落からは約100mの距離を確保して路線選定が行われ、またエゾナキウサギの生息地からは極力回避し、その離隔は100～150m、道路標高は700m以下に計画された。現在事業中である。

（事例2）一般国道11号（川之江三嶋バイパス）

対象区域内に、国の天然記念物イブキ（ビャクシン）があった。幹囲8.2m、高さ15m、樹齢1,000～1,300年の大樹であった。これを保全するため、路線選

定時に30m離して計画された。現在事業中である。

また、路線計画の際には貴重種のみならず、普通の自然環境もできるだけ考慮して決定することが望ましい。具体的には、盛土・切土のり面の面積ができるだけ小さくなるような路線選定を行うことなど、自然環境の改變量を小さくする努力が必要である。

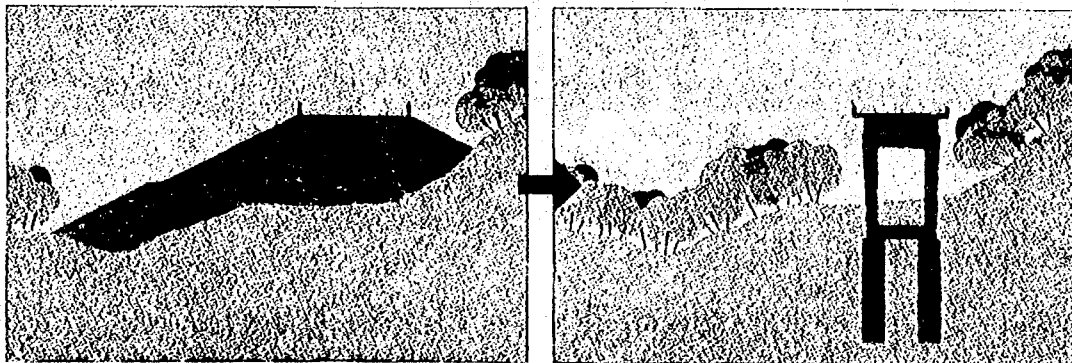
3. 道路構造上の対策

自然環境を保全するためには、そこに分布する植物、そしてその基盤となる地表面をできるだけそのままに残すことが重要である。このことが、そこで生息する動物の食物の確保、行動域の確保等にも役立つ。そこで、道路構造上の自然環境保全手法としては、a)高架橋梁の活用、b)トンネルの活用、c)切盛土のり面をできるだけ小さくした縦断設計がある。これに関する事例を以下に示す。

a)高架橋梁の活用

(事例)日光宇都宮道路(日光～清滝)

鳴虫山麓部分を通過する部分は、線形設計時には高盛土の道路構造で通過する予定とされていた。しかし、消滅する植生を最小限にとどめること、けもの道としての沢筋の確保、景観への影響の軽減等を考慮し、盛土に替えて橋梁構造にすることが決定された。これによって自然植生はかなり保全され、供用10年後の現在でもあまり変化がみられていない。ただ橋梁下の植物、動物への影響に関しては調査されていない。



当初案 対策案
図-1 高架橋梁構造による自然環境の保全

b) トンネルの活用

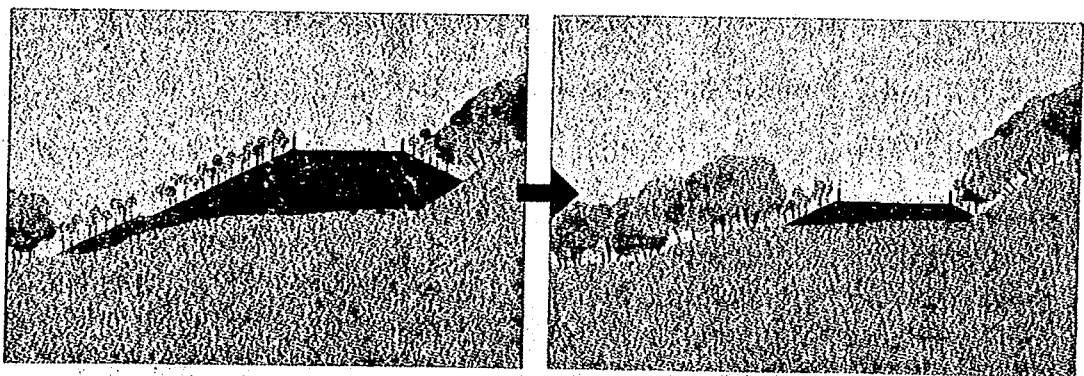
(事例) 一般国道56号(土佐道路)

国指定特別天然記念物であるミカドアゲハの幼虫は、オガタマノキ及びタイサンボクを食樹としている。計画中の筆山トンネル東側坑口付近にはそのオガタマノキが多く生育しており、ミカドアゲハも多数確認されていた。そこで、トンネルを延長し、坑口を前へ出すことによって地山のカットを少なくし、自然環境の保全が行われる計画となった。現在事業中である。

c) 切盛土の縮小

(事例) 日光宇都宮道路(日光～清滝)

高盛土構造では、広い道路敷地が必要であって、現状の植生の破壊が大きくなること、景観的に大きなのり面が目立つことなど、自然環境保全上、景観保全上問題のあることが判明した。このため、縦断を下げ、道路構造が高盛土から低盛土に替えられた。これによって周辺植生はかなり保全された。また、盛土部分には現地の土壌を使用したこともあって、供用10年後の現在かなり多くの種が出現している。



当初案 対策案
図-2 盛土の縮小による自然環境の保全

4. その他の対策

設計・施工段階や供用・管理の段階でも様々な対策が採用されている。これについて事例収集で得られた内容を箇条書きで以下に示す。

- ・盛土、切土のり面の適切な植栽（潜在自然植生、現地の植生による緑化）
- ・盛土部へ現地の表土を使用
- ・擁壁による改変面積の縮小
- ・既存植物の移植、増殖
- ・カルバートボックス、オーバブリッジ等によるけもの道の確保とその自然化
- ・けもの道への誘導、外敵からの遮蔽のための植栽
- ・鳥類の飛行障害を軽減する橋梁形式の設計（大径間の採用、桁下空間の確保）
- ・モリアオガエルの代替産卵池の造成
- ・ホタル等昆虫の飼育、増殖
- ・小動物がはい出せる皿型側溝
- ・動物の生態保護のための遮光トンネルの設置、照明の配置の検討、遮光板の設置
- ・工事中の作業地域の適切な設定
- ・工事用道路を最小限に抑える
- ・工事用道路を竣工後に植栽
- ・橋梁の基礎掘削時の汚濁水防止装置の設置
- ・動物立ち入り防止柵、網
- ・動物飛び出し注意の標識

5. おわりに

これまで述べてきたように、自然環境の保全対策として非常に多くの対策が採用されている。しかし、これら対策の効果やその後の状況については検討・確認されていない場合が多く、今後の研究で明らかにしていかなければならない大きな課題の一つである。

[参考文献]

- 1) 日本道路公団他(1986): 道路建設における自然環境保全事例調査報告書
- 2) 四国地方建設局資料(1992)

(交通環境研究室)

Ⅲ-3 植生工の考え方

(質問)

築堤に伴う法面保護工として通常は芝付を実施しているが、多自然型の川づくりを実現するため、人工的な芝に変わる植生工を模索中である。芝と現場付近の草花を比較すると次のような違いがあり、この点からも芝に変わる植生工が望まれる。

- 1 芝付については施工後3ケ年間は雑草の除去等手抜き作業となり多大な労力を要する。
- 2 芝付を行った後、数年後には近辺の雑草地の植生と同じ状態となる。
- 3 例えば築堤現場付近の草花を植生すれば違和感がない。
- 4 上記草花により四季感が自然であり労力軽減が図れる。

芝に変わる適切な植生工はないか、またそれを実施する場合の問題点等について御教示願いたい。

(浜田工事事務所)

(回答)

芝に人工的なイメージを持つ場合もあるが、通常用いられるノシバは日本在来の植物で、多く植栽されてきた実績もあり、馴染みのある風景ともなっている。また草丈が低く、ほふく茎がよく発達していることなど、植生工に広く利用されてきただけの理由がある。

現場付近の草花は自然に生育しているので、手をかけずに利用できるようにも見えるが、実際には各種環境条件のバランスの上にのっているものであり、その中から特定の草花を選び、意図した場所で生育させることは困難な場合が多い。管理をうまく行わなければ付近の雑草地と同じ状態に戻る。雑草を栽培すること(特定の種類を選んで育てること)は、作物を栽培するよりも難しい。

また一般の草花の根系は芝に比べて弱く、法面に植栽した場合には崩壊や滑落が起こりやすくなる。

多自然型の川づくりをはじめ、各種の要望にこたえ得る多様な植生工を実施して

いくためには、これらの問題点を克服できるだけの対策を検討していくことが必要である。

芝以外の植物の利用例としてはチガヤがあげられる。芝よりも少ない除草回数で維持できるとの報告がある。草丈が高くなることや市場性がないなどの問題もあるが、草丈等があまり問題とならない場所では有望な種である。

いわゆる「ワイルドフラワー」の利用も美しい景観をつくるのに有効である。ただし根があまり張らないので、勾配の緩い所での利用に限られる。またワイルドフラワーとは呼ばれていても外来種がほとんどであり、周辺の自然条件によってはかえって景観を損ねる場合もある。このような理由による場所的な制約等はあるが、インパクトの強い景観形成効果を考えると実施する価値はある。

在来種の野草を集めて植栽することは、四季感を感じさせるのに有効である。芝以上に管理の手間を要することは周知の上で実施しなければならないが、多くの人の目に触れる所ではそれなりに手間をかける意義がある。

(緑化研究室)

(参考文献)

1. (社) 日本道路協会 (1986) : 道路土工 のり面工・斜面安定工指針
2. (社) 農業土木事業協会編 : のり面保護工、(社) 農山漁村文化協会発行

IV-1 深い堀割りランプ設置に伴う本線部の土留め構造

(質問)

片盛による現道拡幅計画部に立体交差（アンダー）で接続するため、深い堀割りランプを設置することになった。これに伴い本線部の土留めとして相当な高さ（8～9m）の擁壁が必要となる。単なる経済比較ではテールアルメ工法が有力であるが、本線道路部には使用実績が少なく、将来の維持管理に不安がある。また、逆T式擁壁にすれば地山を相当量掘削しての施工となり、現道交通の確保、掘削土の仮置場所の準備や将来の圧密沈下または不同沈下への懸念を残す工法となる。

このような場合、構造的にも安定して掘削土を少なくでき経済的にも有利な工法について御教示願いたい。

（広島国道工事事務所）

(回答)

近年、本現場のように従来のコンクリート擁壁の代わりに、テールアルメ壁や多数アンカー式擁壁などの補強土擁壁の採用が検討され、また実際に採用される事例が増えている。これは、補強土擁壁は盛土内に配置された補強材と前面に設置された壁面工とにより垂直な面を持つ盛土の構築が可能で、コンクリート擁壁と比較しても以下のような特徴を有しているためである。

1) 施工が簡便

施工は、盛土材の敷均し・締固め、補強材の敷設、壁面工の処理といった施工手順の繰返しで施工が簡便である。また、コンクリート擁壁のようなコンクリートの打設・養生の作業や、鉄筋工・型枠工などの技能労働者を必要としない。

2) 工場製品を使用

補強材と壁面材は、工場製品を用いることから、品質の面で信頼性が高い。

3) 基礎処理が簡易

補強土擁壁は土圧に対して補強材により抵抗することから、壁面工の断面がコンクリート擁壁に比べて薄く、基礎処理がコンクリート擁壁に比べて簡易なものとな

る。

4) 柔な構造

コンクリート擁壁に比べて全体的に柔な構造であることから、基礎地盤の不同沈下に対してはある程度追従ができる。

5) 経済性

壁高が高くなると、一般にコンクリート擁壁よりも経済的になる。

このような特徴により、テールアルメ壁、多数アンカー式擁壁の施工例を見ると、建設省内においては昭和51年より施工が行われて以降、平成2年までに計201件（テールアルメ壁158件、多数アンカー式擁壁43件）の施工例があり、図-1、2に示すように施工件数、

施工面積ともに年々増加の傾向にある。また、図-3の壁高を見ても4～10mの施工例が最も多く、逆T型擁壁などの片持ばり式擁壁の代わりに用いられている事例が多いと考えられる。最近では最大で20mと従来のコンクリート擁壁よりもより高い土留め構造物とし

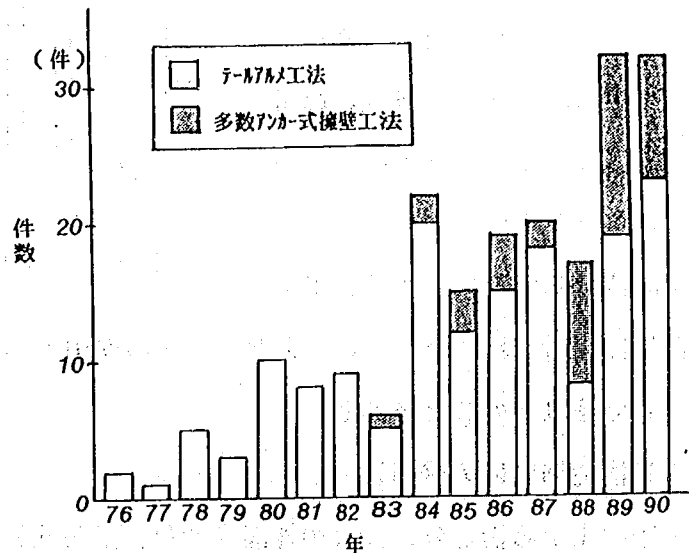


図-1 補強土擁壁の施工件数

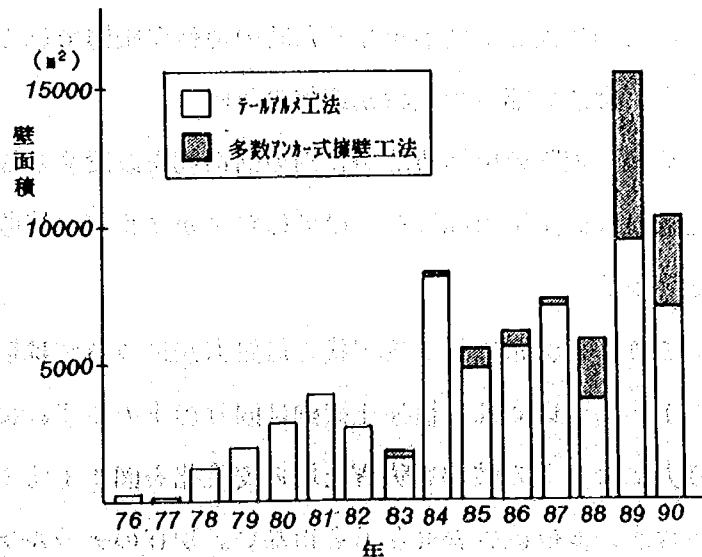


図-2 補強土擁壁の施工面積

て使用している例も見られるようになってきた。これらの適用現場を見ると、市町村道の付替工事やダム現場などの工事用道路などが多く、また一般国道の拡幅工事においても施工例が見られる。

このように、建設省内においても施工実績が増加しており、適用範囲も広がっているが、土留め構造物全体から比較すると毎年の施工面積は多いとは言えず、未だ

積極的に採用されているとは言えない。その理由として現場担当者から聞かれることとしては以下のことがある。

1) 構造物自体の信頼性

従来の土留め構造物と同等の性能(変位、耐久性)を有するか?

2) 将来の維持管理

将来的に大きな変形が生じた時の補修が困難ではないか?

3) 裏込め部への埋設構造物の設置

補強土擁壁の裏込め部分に別の構造物を設置する場合に、補強材の存在により構造物の設置が不可能になるのではないかと?また、補強材を切断してしまう可能性はないか?

これらの課題に対する現状と対処方法については以下のとおりである。

1) については、補強土擁壁は回りの土のひずみに伴って発生する補強材の引張り力により土の破壊を防ぎ土塊の安定化を図る工法であるため、施工時においてある程度の変位は許容せざるを得ない。現在のテールアルメ壁の設計・施工マニュアル¹⁾においては施工時の壁面部垂直度の施工誤差の規定値は、壁面高さの3%以内

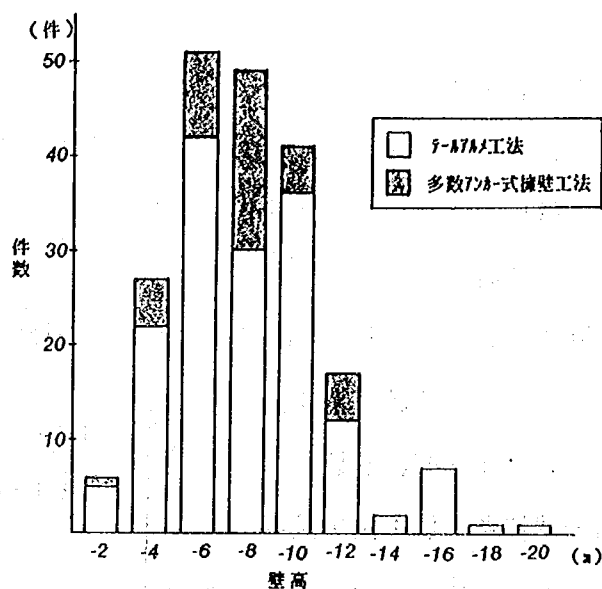


図-3 補強土擁壁の施工壁高

となっており、例えば壁面高さが10mの補強土擁壁では30cmまでの水平方向の施工誤差を許容している。安定や供用時に特に問題となるのは施工後の変位と耐久性である。施工後の変位の原因は大きく分けると、盛土材料の締固め不足または不均一さに起因するもの、盛土材の劣化に起因するもの、雨水の影響によるものなどがある。締固めについては、壁面近傍において特に締固め不足になりやすい。このため、壁面近傍では小型の締固め機械により特に入念に締固めを行う必要がある。盛土材の劣化に関しては、補強土擁壁は盛土材と補強材の相互作用により土塊を安定化させているため、擁壁の安定に対しては特に重要になってくる。このため、盛土材の材料劣化が予想される場合にはスレーキング試験やすり減り試験などを事前に実施し、材料の選別を行うか、または土質強度の低減をするなどを対処をする必要がある。雨水による影響に関しては、擁壁内にはできるだけ雨水を浸入させないように、擁壁天端や地山境界部に排水施設を設けるとともに、盛土内に浸入した雨水は盛土内の排水層により即座に排除できるようにすることにより対処できる。なお、排水施設は目詰まりなどによる機能低下が考えられることから排水設計時に留意する必要がある。また、耐久性については、壁面の破損や補強材の劣化を検討する必要がある。壁面材は通常の使用条件では、劣化や破損が生じることは考えられないが、重量の大きな車両が衝突した場合など、特殊な条件下では破損が生じることもある。このような場合には防護柵の設置などの対策も検討する必要がある。補強材の腐食に関しては、鋼製の補強材の場合は設計時に適当な厚さの腐食しろを見込むとともに、亜鉛メッキなどで十分に保護を行うことにより対処できると考えられる。ただし、施工時に補強材表面に損傷を与えると腐食の進行が速く進行することから、岩砕などの角礫を含んだ盛土材を締固める場合には特に注意する必要がある。

2) については、通常、調査、設計、施工を入念に行えば大きな変形は生じない。しかし、何らかの理由で将来的に大きな変形が生じた場合には、基本的には再度掘り返して盛土し直すのが最もよい方法であるが、変形量が比較的少ない段階では、グラウンドアンカーや地盤改良工法により補強を行い、対処することも可能である。

う。

3) については、埋設構造物の規模が大きくなると、補強材を切断する箇所が生じる。このような場合、埋設構造物を通じて補強材を図-4のように連結する方法などが取られ

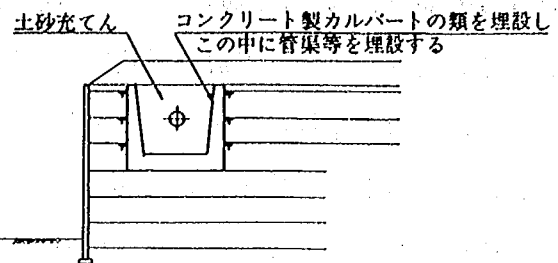


図-4 構造物の埋設方法

ている。このために、施工された補強土擁壁の断面寸法をデータベース化して保存し、他の構造物の設置時に即座に情報を引き出せるシステムをつくり上げることが考えられる。またより簡便な方法としては、壁面材に遠くからは目立たないように補強材長さ・間隔を目印として記しておくことも考えられる。

以上より、補強土擁壁に用いる盛土材料に設計時から注意を払い、必要があれば土質試験などを行い、また施工時には盛土材の締固めを入念に行い、変位に注意を払いながら施工を行うことにより、耐久性のある補強土擁壁を構築することが可能である。テールアルメ壁については諸外国では既に30年近く、またわが国でも25年以上の実績を持っている。このことから、設計・施工・施工管理時に入念な注意を払えば、テールアルメ壁を建設省事業に採用することに差し支えないと考える。ただし、多数アンカー式擁壁は、現在設計方法を整備中であり、早急な設計方法の確立が望まれるところである。なお、軟弱地盤上や斜面上などのように補強土擁壁を含む基礎地盤全体の安定が懸念される場合や二段積みのものについては、事前の調査や設計を入念かつ慎重に行うとともに、施工中においても補強土擁壁の変位や基礎地盤の沈下などの計測を行い、特に注意を払って施工する必要がある。

現場の条件によって補強土擁壁の採用が難しい場合に、通常の逆T型擁壁に代わる他の工法としては、1つには図-5に示すように地中連続壁による擁壁が考えられる。これは、地山を切り取る前に地中連続壁を建て込み、その後連続壁前面を切取って垂直な土留め壁を構築するものであり、背面土圧に対しては地盤中に埋め込まれた連続壁前面の受動土圧により抵抗するものである。高さが高く背面土圧が大

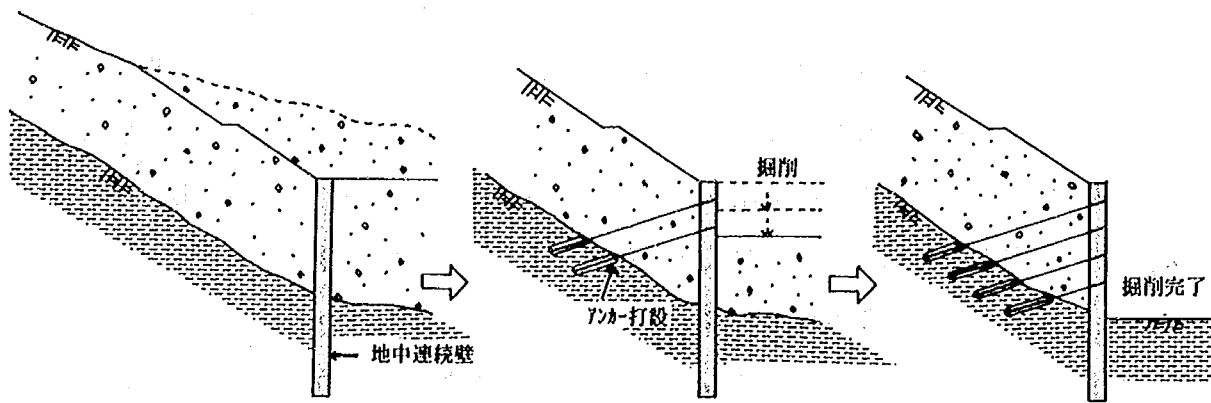


図-5 地中連続壁による方法

きい場合、または連続壁前面の受動土圧がそれほど期待できない場合には、地山を切り取る段階でグラウンドアンカーを打設することにより連続壁を補強する方法も考えられる。この工法の特徴としては、地山を掘削する土量が最小限ですみ、施工が速く、また擁壁の変状が見られた場合にはグラウンドアンカーを増し打ちすることにより対処できるなどの利点がある。ただし、緩い土砂が深くまで堆積しているような地山に対してはアンカーの定着力を十分にとることができないので採用に当たっては注意が必要である。この擁壁は、既に高速道路の土留め壁として実際に採用されている²⁾。

もう1つの工法としては、図-6に示すように、地山の掘削時に鉄筋を打設しな

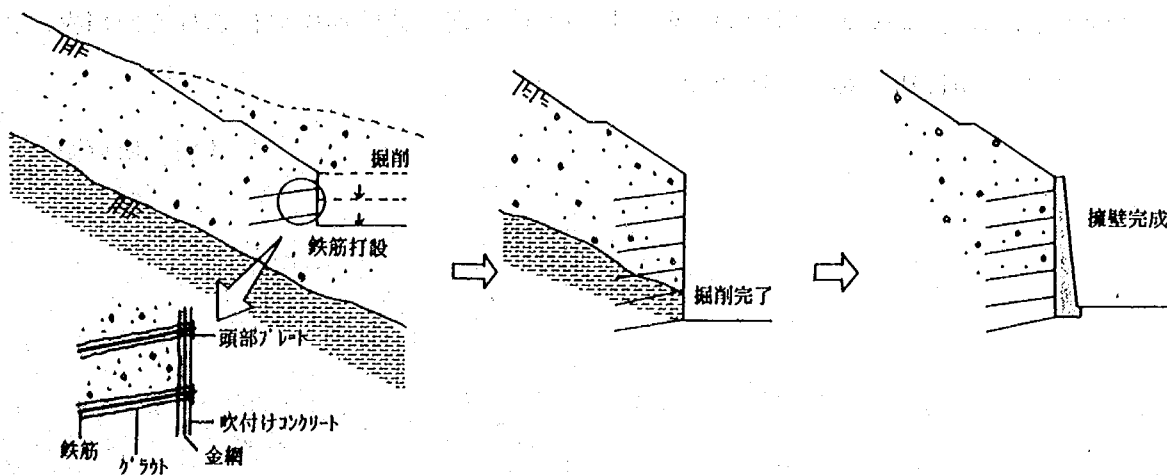


図-6 地山補強による方法

がら地山を補強して垂直な法面を構築し、その後前面に通常よりも断面の小さな重力式擁壁、半重力式擁壁を構築するものである。この方法によれば、擁壁に作用する土圧を地山に打設された鉄筋により低減でき、擁壁断面を通常よりも小さくすることができる。また、地山の掘削も垂直にできることから掘削土量が最小限ですむなどの特徴がある。ただし、この工法は鉄筋による擁壁土圧の低減率を定量的に評価できる方法が未だ整備されていないことから、早急に確立されることが望まれる。

以上、比較的高さの高い土留め構造物で逆T型擁壁などの片持ばり擁壁に代わる工法として、補強土擁壁（テールアルメ壁、多数アンカー式擁壁）、地中連続壁、地山補強工法の併用工法を紹介したが、これらの工法は対象とする地山、盛土材の持つ強度に負うところが非常な大きい工法である。このため、調査から設計・施工・施工管理、維持管理までにわたり非常に入念な検討が望まれる。十分な検討の結果、これらの工法の採用が難しい場合には、これまでの実績と信頼性から考えると逆T型擁壁などの片持ばり式擁壁を用いるのが妥当と考えられる。ただし、この場合においても調査・設計・施工にわたり慎重な検討が望まれる。

<参考文献>

- 1) (財)土木研究センター：補強土（テールアルメ）壁工法設計・施工マニュアル（第1回改訂版）、1989.3
- 2) 栗原光二、後藤俊次：新設の擁壁に用いた施工例－連続地中壁における使用例－、基礎工、Vol.10、No.2、1982.2

（施工研究室）

IV-2 供用中の道路における軟弱地盤対策工法

(質問)

昭和41年供用開始した軟弱地盤上に施工された4車線道路(盛土高 $H=6m$, ペーパードレーン工法)において現在も圧密沈下による不同沈下が進行している区間がありその対策に苦慮している。

1. 計算上の圧密沈下はほぼ終息していると思われるが、26年を経過した現在も残留沈下が進行していると思われる。その要因として何が考えられるか。
2. 残留沈下が進行していくと盛土に水平方向の変形が生じると考えられないか。
3. 供用中の国道であり当面の処置として縦断修正オーバーレイを行ったが残留沈下を促進するものでその解決策となり得ていない。対策工法として考えられる工法にはどのようなものがあるか。
4. 横断構造物は沈下を拘束されており、構造物下面には沈下の進行にともない空隙が生じていると思われる。その調査方法及び対策工法にはどのようなものがあるか。

以上の点についてご教示願いたい。

(広島国道工事事務所)

(回答)

1. 現在進行している沈下の考え方について

軟弱地盤上に盛土を築造した場合に生ずる地盤沈下を軟弱層の違いによって分類すると図-1に示すような4つの型にわけられる。

(a)の浅層型は軟弱層が薄い場合で、盛土終了後しばらくは沈下が続くが半年程度で大部分の沈下は終了する。(b)の泥炭型は盛土期間中は直線的に沈下し、沈下の速度も速い。盛土終了後半年程度で残留沈下はほとんど終了するが、地盤によっては残留沈下が長く続く場合もある。(c)の深層型は上部に厚さ10m程度の砂が堆積し、その下に粘土と砂の互層が存在する場合で、盛土高が6m程度以上になると沈下が始まる。沈下が始まると一様に連続して沈下し、盛土終了後も少しずつではあるが長い年月にわた

って沈下し続ける。(d)の複合型は地表面から厚く軟弱層が存在する場合で、沈下は(a)または(b)と(c)の深層型が同時に進行するため盛土開始と共に沈下が始まり、また下部に起因する沈下がいつまでも続く形になる。この事例では、上部に7~10mの砂層があり、その下に腐植物など有機質の混入した軟弱な沖積粘土層が層厚10~15メートルとかなり厚く堆積していることから(c)の深層型に該当するものと考えられる。

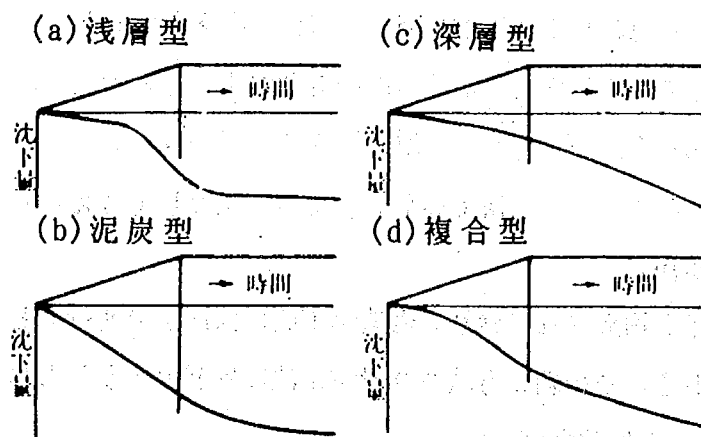
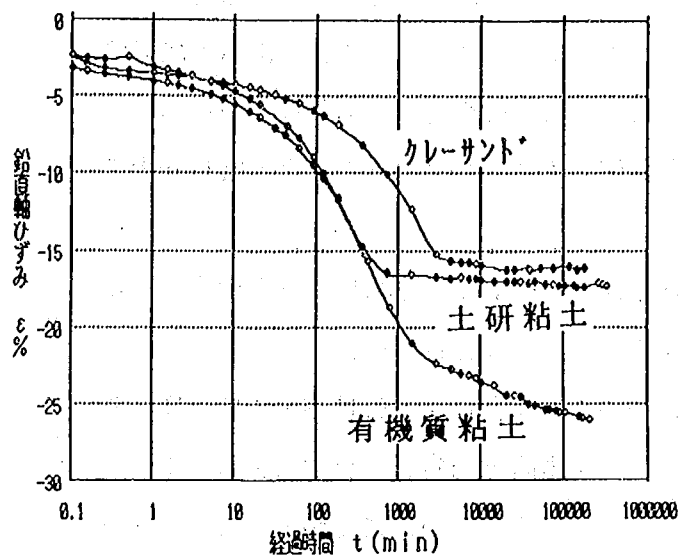


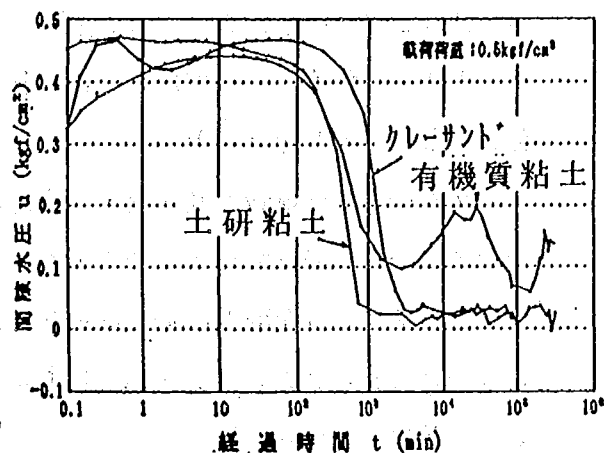
図-1 軟弱層の違いによる時間-沈下曲線の4つの型

この事例では、盛土終了後30年を経過しており、チェックボーリングの結果1次圧密はほぼ終息していると考えられる。また、軟弱地盤層が厚い場合や高有機質粘性土地盤の場合には2次圧密が卓越することが多い。したがって沈下の要因としては2次圧密の影響が支配的であると思われる。

図-2は平成3年度に土木研究所土質研究室で行った各種粘土の圧密試験結果である。ここでは直径 ϕ が30cm、高さHが10cmの供試体に 0.5kgf/cm^2 の単一載荷を行っている。この実験からも、有機質粘土は他の試料に比べて二次圧密領域における直線の傾きが大きく、二次圧密の影響が卓越する傾向がうかがえる。



載荷時間とひずみの関係



載荷時間と間隙水圧の関係

図-2 各種粘土の圧密特性

2. 残留沈下の進行にともなう盛土の水平方向の変形について

盛土による軟弱地盤の変形は、圧密変形とせん断変形（いわゆる側方移動）が複雑に組み合わされて生じる。

このケースでは上部に10m程度の砂層があり、その下部に軟弱な粘土層が10～15mの厚さで堆積している。盛土荷重によるせん断変形（側方移動）が生じるとすれば下部の粘土層での変形に起因すると考えられるが、上部の砂層で緩和されて盛土まではせん断変形が伝わりにくいと思われる。また、盛土にそのような変形が生じていれば、路面に亀甲状のクラックが生じることが多いが、現在そのような現象はみられていない。したがって、ここでは盛土のせん断変形についてはそれほど懸念は必要ないと思われる。

3. 盛土区間の沈下対策について

このケースでは軟弱地盤層がかなり厚いことと、既にベーパードレーン工法を採用し1次圧密沈下はほぼ終息していることから、今後の沈下対策としては荷重軽減工法、

固結工法，構造物による工法が有効であると考えられる。荷重軽減工法では軽量盛土工法が，固結工法では深層混合処理工法や石灰パイル工法が，構造物による工法では杭工法などが挙げられるが，この道路は供用中の主要幹線道路であることから迅速な施工が求められる。従って施工性に優れた発泡スチロールブロックによる軽量盛土工法が有効であると考えられる。

このケースでは縦断修正のための度重なるオーバーレイがさらに沈下を促進させるという悪循環に陥っている。そこでこれまでの盛土を圧密促進のためのプレローディングと考えてこれを取り除いて発泡スチロールブロックによる軽量盛土で置き換えればよいと考えられる。設計・施工にあたっては土木研究所資料「発泡スチロールを用いた軽量盛土の設計・施工マニュアル」を参考にすると良い。また図-3に発泡スチロールによる軽量盛土工法を軟弱地盤上での新設道路盛土に適用した施工例を示す。

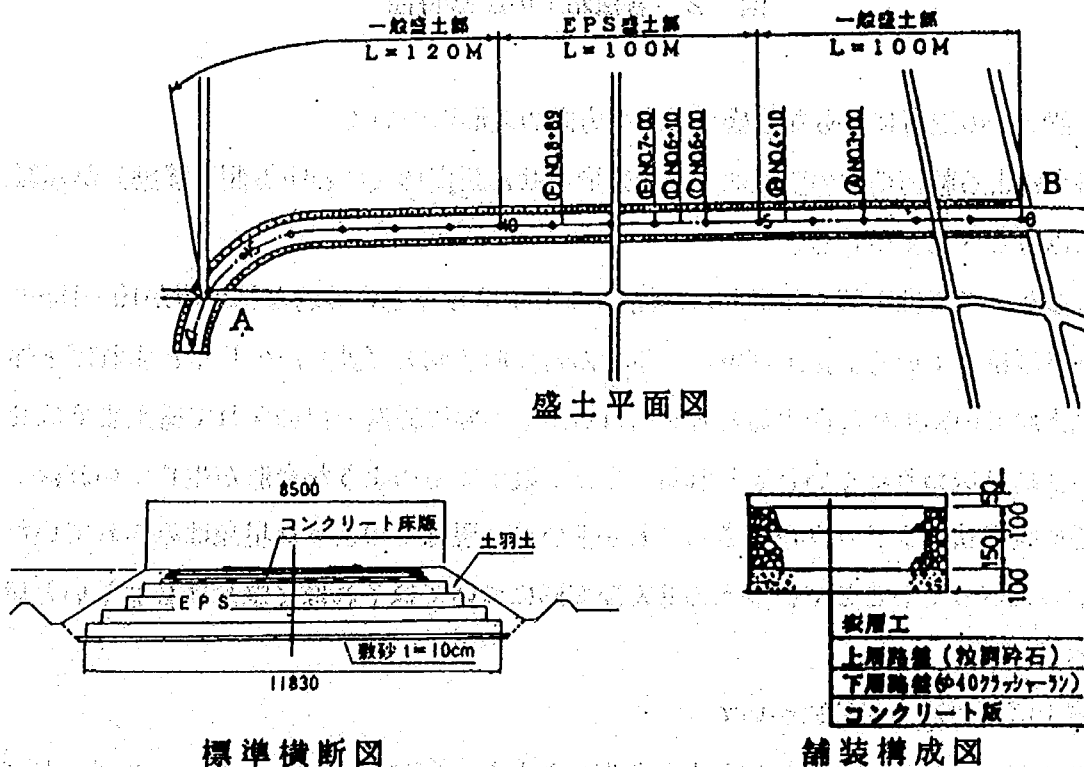


図-3 軟弱地盤上の新設盛土への軽量盛土工法の適用例

4. 地盤沈下にとまなう構造物下面の空隙への対策

①空隙の調査方法

1) 予備的検討

地盤沈下の状況，構造物の支持条件，不同沈下量，地下水流，打継目・クラック・吸い出し口の状態等から空洞の有無に関する推定を行う。

2) 直接的な確認方法

空洞の確認には開削が最も確実であるが，これは現実には難しいので貫入試験（動的貫入，スウェーデン式回転貫入等）やボーリング（抜き取ったコアの観察や検尺）を実施することが考えられる。またボーリング孔を利用してボアホールカメラやボアホールスコープによる空洞状態の検査，注水（連通管試験）や煙による連通性の調査等も有効な方法と考えられる。

しかしこのような直接的な確認を行うに際し，ボーリング孔の位置・間隔等の決定のために精度はあまり要求されないが空洞の有無やある程度の位置・大きさの情報を簡便に地表面から調査することが望まれる。そこで事前に非破壊探査技術を用いた予備調査を行うとよい。

3) 非破壊的な確認方法

主なものとして弾性波探査，電気探査，磁気探査，電磁探査などの調査手法があるが，ここでは空洞探査に適していると考えられる電磁波反射法，熱赤外線映像法，レーザ波速度法の3種類についてその概要を紹介する。

◎電磁波反射法は，非常に短い電磁波パルスを約 $1.5 \sim 6.0 \times 10^{-9}$ 秒間隔で発信し，空洞の存在にとまなう誘電率の差異に起因する反射波を受信し空洞を探査するものであり，深さ1m程度（条件がよければ2m）程度までのところに存在する空洞を捉えることができる。なお電磁波を使用するためコンクリート構造物，アスファルト舗装などの存在はそれほど大きな影響を与えないが，鉄筋が密に配置されているような場合（約10cmメッシュ以下）はその適用が困難になる。

◎熱赤外線映像法は，空洞部と正常な領域の熱物性の違いに起因する温度の差異が地

表面の微少な温度差になって現れるという現象を高精度の赤外線温度センサーで捉えるものである。ただし、探査部に一様な日射があること、気温の変動が大きいことなど、探査時の自然条件に大きく左右される欠点がある。

◎レーリー波速度法は、原理的には深層の地質探査に利用する弾性波解析法と類似の技術であるが、後者で利用するP波、S波の代わりにレーリー波（表面波の一種）を利用することにより浅層探査を可能とし機器の小型化を図ったものである。コンクリート構造物等の下面の空洞検出は困難であるが、側部など周辺の空洞・ゆるみの調査が可能である。

②構造物下面の空隙に対する対策工法

構造物は鋼管杭基礎によって支持されており、周辺地盤の沈下によって構造物の下面には空隙が生じていることが懸念される。さきに述べたような方法で空隙を探索した後、その箇所に充填材を投入すると良い。空洞充填材には軽量性、流動性、強度などが要求されるが、それらの要求性能を満たすものとして軽量充填材がある。改良充填材は主として粘性土、セメント系固化材、気泡剤および水から構成された軽量ソイルセメントの一種であり以下のような特長を持つ。

◎軽量性：気泡混入量を調節することで単位体積重量を $0.7 \sim 1.3 \text{ tf/m}^3$ の範囲で任意に調整できる。

◎固化強度：セメント系固化材の添加量を加減することにより、広い範囲で任意に固化強度を設定することができる。

◎流動性：固化する前は高い流動性を示し、pロート流下時間は15秒以下である。

◎均質性：ブリージング率は1%以下で、施工中あるいは施工後に材料分離をほとんど起こさない。

◎経済性：軽量充填材の構成材である粘性土は工事現場で発生する残土もしくは付近に存在する粘性土の利用も可能である。

このような工法を利用して空隙を充填すると良いと思われる。

(土質研究室)

IV-3 杭基礎の水平方向地盤反力係数の推定方法

(質問)

杭基礎の設計に用いる水平方向地盤反力係数は、道路橋示方書IV下部構造編において各種の調査・試験結果により得られた地盤の変形係数を用いて定めることとされている。ここで、供試体の一軸または三軸圧縮試験から変形係数を求める場合には圧縮強度の1/2 に対する歪において求めている。一方、弾性体基礎においては基準変位量を基礎幅の1%としており、上記圧縮試験より求めた変形係数と歪レベルが整合していないように思われるが、御教示願いたい。

(松江国道工事事務所)

(回答)

杭基礎が水平方向の外力を受けたときの解析法は、地盤反力度のモデル化によりいくつかの方法が考えられているが、道路橋示方書IV下部構造編¹⁾ (以下「道示」という) では地盤反力度は杭の変位量に比例すると仮定した線形弾性地盤反力法を用いている。ここで、地盤反力度とその点における杭の変位量との比を水平方向地盤反力係数と定義している。

実際の地盤においては、その強度が深さ方向に変化するため水平方向地盤反力係数も深さにより異なっているが、道示では深さによらず一定とみなしている。

このとき、杭先端の境界条件が無視できるような十分長い杭(半無限長の杭)について水平載荷試験を行うと、水平荷重Hと杭の水平変位量の関係は次式で表される²⁾。

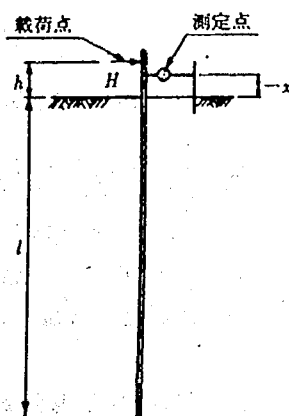


図-1 逆算k値

$$y = \frac{H}{6EI\beta^3} (\beta^3 x^3 + 9\beta^3 h x^2 - 3\beta(1+2\beta h)x + 3(1+\beta h))$$

ここに、y：地表面よりxなる点の水平変位量(cm)

x：地表面より変位測定点までの距離(cm)

H：載荷荷重(kgf)

h : 地表面より載荷点までの距離(cm)

$E I$: 杭の曲げ剛性(kgf・cm²)

β : 杭の特性値 $\sqrt[4]{k_H D / 4 E I}$

k_H : 水平方向地盤反力係数(kgf/cm³)

上式に、基準変位量（杭径の1%）における水平荷重を代入し β が得られれば、水平方向地盤反力係数 k_H は次式により求められる。

$$k_H = 4 E I \beta^4 / D$$

水平方向地盤反力係数は、上記の方法により杭の水平載荷試験結果から求めることが出来る。しかしながら、全ての基礎の設計において水平載荷試験を行うことは困難であり、道示では地盤の変形係数 E_0 を基に基礎の載荷幅の影響を考慮した推定式が定められている（道示式(解 6.6.4)参照）。

表-1 地盤の変形係数の推定法および α ¹⁾

次の試験方法による変形係数 E_0 (kgf/cm ²)	α	
	常 時	地 震 時
直径30 cmの剛体円板による平板載荷試験の繰返し曲線から求めた変形係数の1/2	1	2
ボーリング孔内で測定した変形係数	4	8
供試体の一軸または三軸圧縮試験から求めた変形係数	4	8
標準貫入試験の N 値より $E_0 = 28 N$ で推定した変形係数	1	2

ここで、地盤の変形係数の測定法としては、上表に示す4種類の方法がある。これらの試験法は、その載荷方法や対象とする歪レベルが異なるため、求められる変形係数の値が異なる。したがって、地盤反力係数の推定に当たってはこれらの相違を考慮して、上表に示す係数 α が用いられている。

一方、地震の影響を考慮する場合の固有周期算定においても水平方向地盤反力係数を用いるが、この場合は、地震時に生じる歪に相当する地盤の剛性から地盤反力係数を求めるため、変形係数も地盤の動的変形係数を用いている。このため、基礎の安定計算に用いる水平方向地盤反力係数とは大きく異なっている。この違いの要因としては、試験方法、載荷速度、歪レベルの相違などが指摘されているが、歪レ

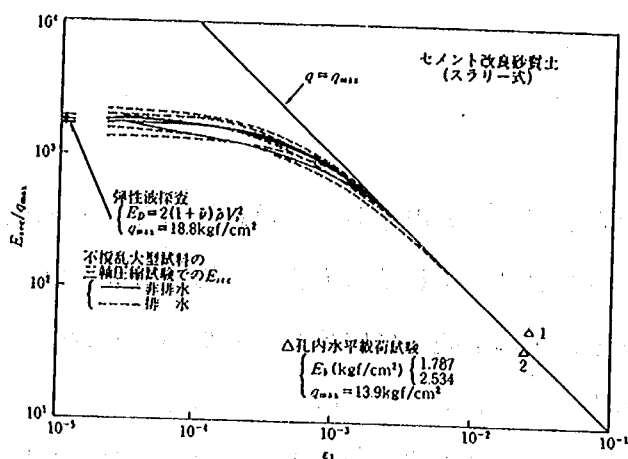


図-2 各種試験法による地盤の変形係数と歪レベルとの関係³⁾

ベルが地盤の変形係数に及ぼす影響が支配的であるとして、龍岡ら³⁾は変形係数と歪レベルの関係に関する実験を行っている。これは、室内での三軸圧縮試験において微小歪領域での変形係数を正確に測定し、原位置での弾性波探査から求めた変形係数と比較したものである。一例を図-2に示す。多くの地盤に対する調査の結果、微小歪領域において原位置試験と室内試験による変形係数は基本的に一致し、さらに歪レベルを考慮することにより室内試験、原位置試験による変形係数が連続的に表されることを確認している。

現在設計に用いている水平方向地盤反力係数の推定法は、地盤調査や設計計算モデルの精度、簡便性などを考慮して定められたものであり、質問にあるように地盤調査と設計段階で必ずしも歪レベルが一致していないが、実用的には十分な経験の裏付けがあるとして用いているものである。歪レベルの影響に関しては、今後の研究が進展すればそれを適切に評価することにより、より合理的な推定法が確立されることと思われる。

(参考文献)

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅳ下部構造編、平成2年2月。
- 2) 日本道路協会：杭基礎設計便覧、平成4年10月。
- 3) 龍岡文夫、渋谷啓三：三軸試験と原位置試験法との関連（変形特性について）、三軸試験法に関するシンポジウム、土質工学会、1991。

(基礎研究室)

V-1 鉄筋のかぶり

(質問)

鉄筋のかぶりは、現在、経済的要因もあり「道路橋示方書・同解説」「コンクリート道路橋設計便覧」「コンクリート標準示方書」、塩害対策必要箇所については「道路橋の塩害対策指針(案)・同解説」に定めてある最小値で設計を行っている。

コンクリート標準示方書によれば「鉄筋の腐食を防ぐためには、腐食性環境の中で7.5 cm以上、特に厳しい腐食性環境の中で10 cm以上必要」となっており、構造物の半永久化を進めるに当たり、鉄筋のかぶりを厚くするのが望ましいと思われるが、鉄筋のかぶりの在り方についてご教示願いたい。

(企画部電算情報課)

(回答)

1. かぶりは何故必要か

鉄筋コンクリート構造物にとってかぶりの必要な理由は、以下の2つがある。

a. 構造部材として成立させる

鉄筋コンクリート構造物は鉄筋とコンクリートが一体となって外力に抵抗するものであり、鉄筋に作用する応力をコンクリートに伝達できるだけの十分な付着・定着強度が確保できるかぶりが必要である。

b. 耐久性を確保する

コンクリート構造物はさまざまな環境にさらされており、環境条件に対して十分な耐久性を確保できるだけのかぶりが必要である。ここで、かぶりと耐久性向上の関係の深い場合(アルカリ骨材反応は除く)についてふれることとする。その場合の鉄筋コンクリート構造物の劣化の原因と形態は、表-1のように2つに分類できる。

Iについては地域が限定されるが(温泉地など)酸や硫酸塩による侵食は厳しい環境である。コンクリートが直接侵食されるため、侵食分を見込んだ十分なかぶりが必要である。

表-1 鉄筋コンクリート構造物の劣化原因と被害形態

分類	劣化原因	被害形態
I	酸、硫酸塩、すりへりなど	コンクリートが侵食される
II	塩害、中性化など	鉄筋が腐食しコンクリートにも被害を及ぼす

IIについては鉄筋のさびの問題である。鉄筋は、空気中では酸素と反応してすぐにさびてしまう。コンクリートの中に鉄筋があるとさびないのは、コンクリート中はセメントによって高アルカリに保たれていることと、かぶりによってさびの原因となる水、酸素、さびを促進させる塩素イオンを遮断していることによる。鉄筋周辺の高アルカリを維持するには、中性化を防ぐ必要があり、そのためにも炭酸ガスを遮断する性能が必要である。これら鉄筋を腐食させる因子（以下、総称して腐食因子と呼ぶ）を遮断するには、密実なコンクリートの施工と必要最小限のかぶりを確保することが重要である。

2. かぶりはどの程度必要か

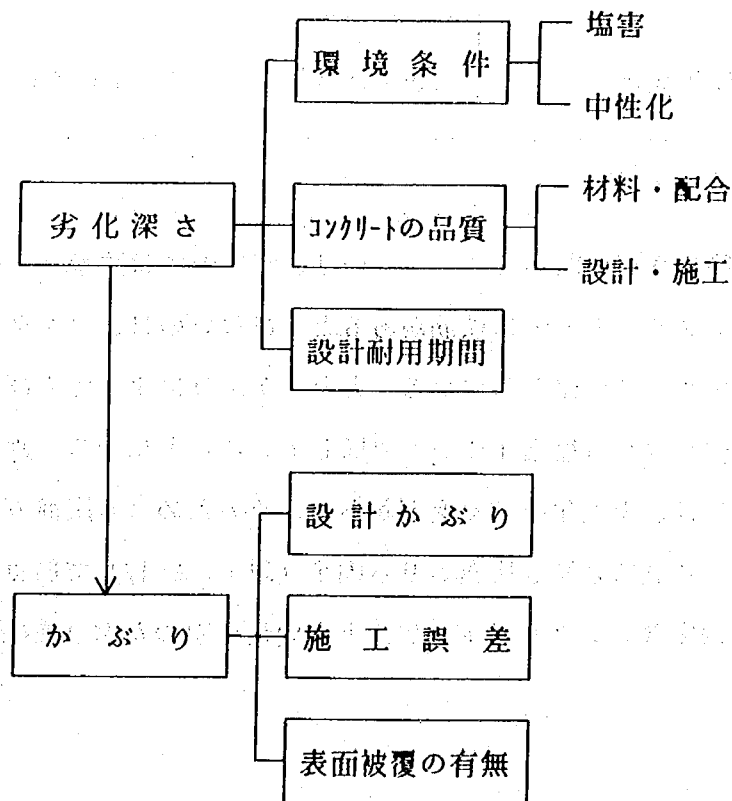
それでは次に上記に対しどの程度かぶりが必要かということ考えてみる。

aについては、通常鉄筋径程度のかぶりがあれば応力の伝達はできるといわれており、以下で述べるように耐久性から要求されるかぶりのほうが一般的に大きいので、それについて検討しておけばよい。

bの耐久性については、本来想定される構造物の寿命によって決定されるが、この他に、コンクリートの材質や構造物の種類だけでなく、環境条件によって必要なかぶりは大きく異なる。以下に耐久性を考えるうえで一般的な中性化、塩害を例にとり、

必要なかぶりについてふれる。

中性化、塩害は、前述したように腐食因子がコンクリート中に浸透（拡散）することによって生じるため、これらを防止するために必要なかぶりを決めるにあたっては図－１のようなことを考えなければならない。



図－１ 必要かぶりの考え方

環境条件に対しては腐食因子の侵入を減少させることであり、図－２に塩素イオンの浸透結果および計算の一例を示す。腐食因子の浸透は、通常拡散現象として考えられており、劣化深さ Cd は（１）式で表わすことが多い。

$$Cd = K \sqrt{t} \quad \text{-----} \quad (1)$$

t は時間であり、 K は劣化を促進する環境条件と劣化を遅らせるコンクリートの品

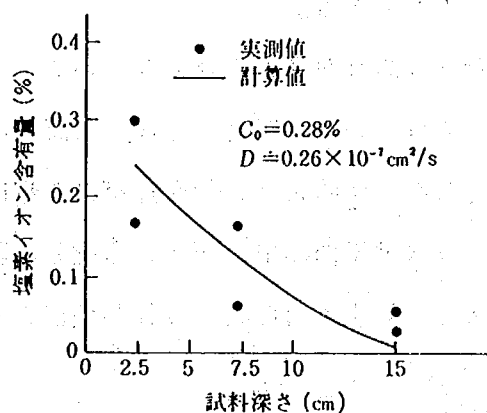


図-2 さん橋床版中の全塩素付含有量

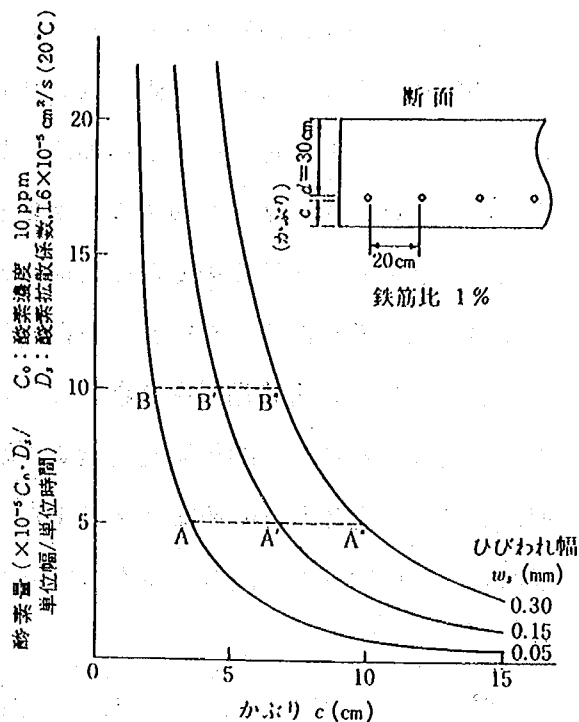


図-3 かぶり、ひびわれ幅と酸素量、腐食量との定性的関係

質に関する係数である。コンクリートの品質は、適切な材料・配合を選定し、入念な施工により密実なコンクリートを得ることが重要である。図-1に示した劣化深さが、かぶりよりも小さくなるようにすれば、その構造物は耐久的であると考えられる。

実際には、コンクリート表面にはひびわれがあり、ひびわれ幅によっては腐食因子が鉄筋に容易に到達する(図-3)ためひびわれ幅の制御も重要である。

考え方としては、このような要因をすべて考慮にいれて、かぶり厚さを決定するのがよいが、現段階ではそれぞれの要因を定量的に表わすことは難しい。例えば、我国では設計耐用期間を明確に示せるような一般的な合意ができていないのが現状である。また、その他の要因についても学協会では定量化が鋭意進められているところで、それらをコンクリート標準示方書に取り入れるまでには至っていない。

これらのことを考慮し、コンクリート標準示方書などではどちらかというと経験的

にかぶりの最小値が規定されている。コンクリート標準示方書に示された値は最小値の標準的値と考えてよく、実際にはそれぞれの構造物の指針類ではこの値に応じて変化させている。腐食環境の厳しい場合、かぶりを7～10 cm以上確保し、ひびわれ幅を制御すれば、図-2、3のように腐食因子の鉄筋までの到達に長時間を要するため、鉄筋コンクリート構造物の寿命を大幅に延ばすことができる。

なお、耐久性に関するデータも蓄積され最近耐久性設計が考えられてきている。耐久性設計では腐食劣化過程を考慮した設計が考えられている。腐食劣化は、①腐食因子が鉄筋まで到達し、②鉄筋を腐食する濃度に達し腐食が始まり、③腐食がある程度進行し被害が発生しはじめる(図-4)。このような供用期間中の変化を考慮し、保証期間内の信頼性から設計するものであり、耐久性に対する合理的な設計が期待される。

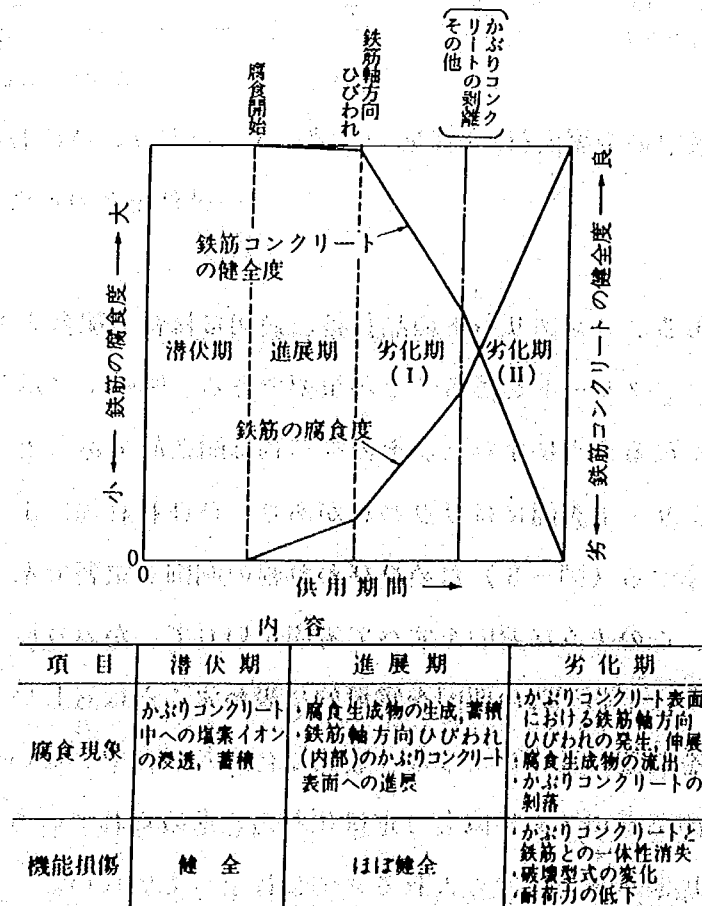


図-4 鉄筋コンクリート構造の腐食劣化過程

3. 鉄筋コンクリート構造物の耐久性向上

鉄筋コンクリート構造物の耐久性を向上させるための対策は、表－2のように分類できる。A－aの対策は、前述のとおりコンクリートによる対処であり、防食上の大原則である。しかしながら、設計・施工上の制約や、新しい材料や施工法が開発されており、条件に応じてA－aと組み合わせた対策を考えることが望ましい場合もある。

表－2 耐久性向上対策

対 策		方 法	備 考
A 腐食因子 の侵入・ 拡散の防 止	a コンクリートの 防食性向上	①適切な材料、配合の選定、施工 ②最小かぶりの確保 ③ひびわれ制御	コンクリートによ る対処
	b 表面被覆	④塗装 ⑤レジン、ポリマー、樹脂含浸コンクリート ⑥透水性、透気性の低い埋設型枠	酸、硫酸塩 による侵食 にも有効
B 鋼材の直 接的腐食 防止	a 表面被覆	⑦塗装鉄筋、めっき鉄筋	
	b 防食性鋼材	⑧耐塩性鉄筋	
	c 電位制御	⑨電気防食	

コンクリート自体が侵食される場合（表－１の劣化形態Ⅰ）は、耐用期間中に侵食される分だけかぶりを増やすか、表面を耐侵食性の高い材料で覆うことになる（例えば、温泉地の橋脚－別府大橋）。

さびの防止（劣化形態Ⅱ）については、さまざまな組み合わせが考えられる。A－aのようにコンクリートのみの対応もできるが、構造物や部材によってはその方法のみでは難しい場合もある。例えば、海岸部の橋梁を考えた場合、橋脚はかぶりのみの対応（A－a）が現実にとられているが、桁についてかぶりのみで対応しようとしても死荷重が増え、それが橋脚、基礎にまで影響を及ぼすことになる。それよりも、かぶりは小さくしておき、コンクリート表面を塗装したり（A－b－④）、塗装鉄筋を使用する（B－a－⑦）対策が考えられる。また最近建設現場における省力化や美観・景観に対する配慮も重要になってきており、高品質の埋設型枠を用いる方法（A－b－⑥）などを組み合わせる対策も今後考慮すべきと考えられる。

（コンクリート研究室）

V-2 水中部におけるステンレス鋼の適用

(質問)

近年、メンテナンスフリー等を目的にダム放流設備等にステンレス鋼を多数使用している。SS材や巻上用ワイヤーロープ（亜鉛めっき鋼）などは、異種金属接触腐食（金属電池作用による腐食）が生ずることがある。

ステンレス鋼をダム放流設備等に適用する際の対策及び設計上の留意点について御教示願いたい。

（道路部機械課）

(回答)

ステンレス鋼の特長は優れた耐食性である。特に、ダム放流設備等ではメンテナンスを軽減することを目的として、ステンレス鋼が使用されることが多くなってきた。

しかし、ステンレス鋼を使用したため新たな腐食問題が生じることもある¹⁾ので、その特長を十分に発揮させるためには、異種金属接触腐食、すき間腐食及びもらいさびについて十分留意することが必要である。

1. 異種金属接触腐食

金属材料を溶液中に浸漬すると各々固有の電位を示す。たとえば、海水中での各種金属の自然電位列を図-1に示す。

自然電位の異なる金属が水溶液中で接触すると図-2のように金属間に電池を構成し、電位の低い金属（普通鋼、亜鉛、アルミニウム等）の腐食が、電位の高い金属（ステンレス鋼、チタン等）によって加速される現象を異種金属接触腐食という。

ダム放流設備には、扉体、放流管、戸当り金物等に複数の金属材料が使用されており、異種金属接触腐食の発生が懸念される。

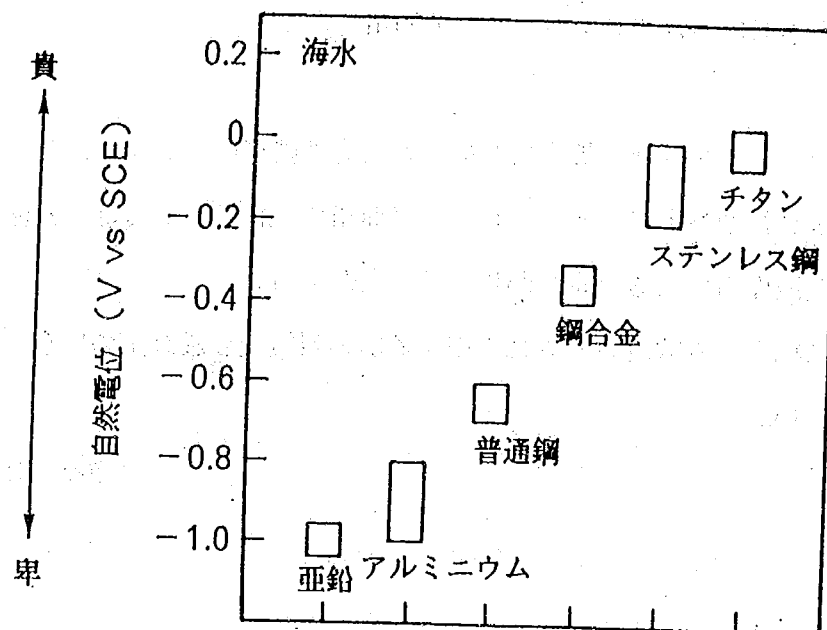


図-1 海水中における各種金属の自然電位列

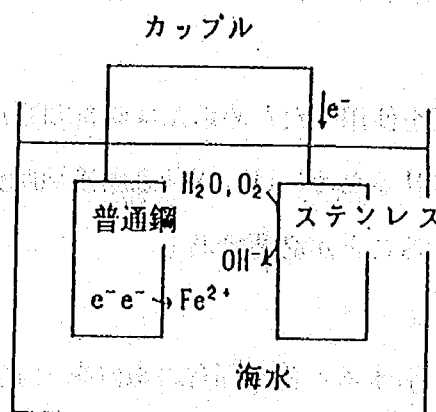


図-2 異種金属接触腐食現象

(1) 異種金属接触腐食を生じる金属の組み合わせ

① 普通鋼とステンレス鋼の組み合わせ

この場合、普通鋼が陽極となって腐食が早められる。腐食の大きさは、水質や水温によるほか、普通鋼部分の面積に対するステンレス鋼部分の面積比が大きいほど大きくなる。

ステンレスクラッド鋼を適用する場合など、ステンレス鋼の端面に普通鋼が一部露出しているような場合には、特に注意が必要である。

②普通鋼やステンレス鋼と亜鉛、アルミニウムの組み合わせ

普通鋼部分の防食に亜鉛やアルミニウムの溶射あるいはめっきを採用すると、通常の水質条件下では、周辺の普通鋼やステンレス鋼の部分との電位差が著しく大きいと、亜鉛やアルミニウムの防食寿命が極度に低下することがある。

たとえば、扉体に防食の目的で亜鉛溶射を施したところ、戸当りのステンレス鋼と接近していたため、亜鉛の消耗が加速され、扉体の鋼素地がむき出しになった例がある。

このように、戸当りなどでは、ステンレス鋼を水中で使用しているので、亜鉛やアルミニウムなどのイオン化傾向の大きい金属材料の併用には注意が必要である。

(2)異種金属接触腐食の対策

異種金属接触腐食を防止するためには、電位差によって生ずる腐食電流を零にするかまたは零に近づけることが必要である。

このためには、

1)同じ材質のものを使用する。

戸当りや放流管の水中露出部分をすべてステンレス鋼にする。

ステンレスクラッド鋼を使用する場合は、端面の普通鋼部分にステンレス鋼板を貼り付ける等の処理を施し表面の材質を同一にする。

2)電気抵抗を大きくする。

①異種金属間の接合には、強度的な問題がなければ合成樹脂製のワッシャ、ガスケット、ボルトスリーブなどを用いて電氣的に絶縁する。

②溶接構造により金属間の絶縁が不可能な場合は、表面を塗装など絶縁材で覆い電解質溶液である河川水と絶縁する。

③放流管などでステンレスクラッドと普通鋼が組合わされて溶接構造で接合されている場合には、境界部より腐食が発生することが多いため、ステンレ

ス鋼側の溶接線より50～100mm 以上ステンレス鋼側に入った部分まで塗装することが必要である。

また、このような条件下では、普通鋼の塗膜損傷部から電流が流出し、塗膜下で孔食状に腐食が進行することが多いので、防食設計には十分注意しなければならない。

3) ステンレス鋼に対して陽極となる金属の面積を大きくする。

異種金属接触腐食は電位の卑な陽極となる金属の電流密度によって支配されるので陰極面積に対し陽極面積が大きければ陽極における電流密度が小さくなり、陽極金属の腐食は軽減する。

なお、ステンレス鋼と接触する普通鋼部分を塗装によって絶縁した場合も、塗膜欠陥があればそこに腐食が集中するので、欠陥部を生じさせないことが必要である。

ステンレス鋼と普通鋼が接触した場合の面積比の違いによる腐食速度を表－1に示す場所において2～3年間実測した試験結果を表－2に示す²⁾。

表－1 暴露試験場所の水質

分析項目 年月日	Tダムサイト上流約4km (秋田県)					Oダム (青森県)					K 野田 釜石 (青森県)					Sダム (山形県)					わが国の一 級河川 203 箇所の平均 ***
	1981 11.19	1982 5.19	1982 10.30	1983 11.2	1984 10.22	1981 11.17	1982 5.22	1982 10.5*	1983 11.4	1984 10.24	1982 7.7	1982 10.8	1983 5.30	1984 5.31	1985 5.23	1982 6.22	1982 10.26	1983 5.24	1984 6.20	1985 6.13	
pH	4.2	3.8	3.5	3.6	4.4	6.8	6.1	6.7	7.0	7.0	3.8	3.5	4.2	4.4	4.4	6.9	6.6	6.8	6.3	7.3	6.9
塩素イオン(mg/l)	25.2	15.6	59	74	31	7.2	<0.02	18	7.6	5.4	23	33	17	11	10	5.0	4.5	3.0	3.3	2.9	10.0
硫酸イオン(mg/l)	13.8	9.0	34	48	17	0.7	0.2	4.7	<0.5	5.0	62	100	55	29	19	5.1	5.7	10	6.4	5.1	21.2
全固形物 (mg/l)	87	100	160	120	110	68	84	470	14	190	230	110	140	86	102	7.0	36	25	44	55	10.15
硬度(mg/l as CaCO ₃)	317	15	52	64	28	9.9	10	22	22	20	64	88	49	26	32	16	21	7.9	13	15	—
全鉄 (mg/l)	1.3	0.64	6.6	4.6	<0.01	0.3	0.24	0.57	0.4	<0.01	0.37	2.2	0.36	0.36	0.33	0.01	0.75	0.11	0.22	0.15	0.094
電導度 (μS/cm)	167	118	380	380	130	73.2	42.7	100	70	190	220	470	260	130	140	66	59	44	53	100	—
銅イオン(mg/l)	<0.02	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.02	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	—
鉛イオン(mg/l)	9.9	4.3	14	21	6.4	3.9	3.1	7.0	4.6	5.6	4.9	19	18	7.6	11	10	5.0	2.5	3.4	3.6	13.4
亜鉛イオン(mg/l)	2.4	0.97	4.1	2.7	2.9	2.4	0.48	4.0	2.5	1.5	3.6	17	2.2	1.8	1.2	1.5	2.2	0.4	1.1	1.5	2.7
BOD (mg/l)	—	—	—	<1	—	—	—	1**	<1	—	—	—	1**	—	—	—	—	—	—	2	—
COD (mg/l)	—	—	—	—	—	—	—	8**	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4	—

(注) **: 洪水時ダム工事のため、水は非常に濁っていた
 **: 1983年1月洪水
 ***: 文庫川による

表-2 異種金属接触腐食の暴露試験結果

場 所	面 積 比 期 間 (年)		SS41 : SUS304									SS41単独		
			1 : 1			1 : 2			2 : 1					
			1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
T 河 川			0.73	0.63	—	0.75	0.51	—	0.53	0.34	—	0.05	0.29	0.22
O 河 川			0.10	0.08	0.07	0.09	0.07	0.07	0.09	0.06	0.06	0.11	0.06	0.06
K 河 川			0.16	0.12	0.11	0.21	—	0.16	0.13	0.11	0.11	0.08	0.05	0.05
* S河川	間 隔 (mm)	25	0.17	0.14	0.12	0.18	0.15	0.13	—	—	—	0.14	0.13	0.10
		50	"	0.13	0.11	0.17	0.14	0.12	—	—	—			
		100	0.16	"	"	0.16	0.15	"	—	—	—			

(注) * : SS41とSUS304の間隔を変えて試験を実施

この結果によれば、電気化学的に低い電位を示す普通鋼の方がステンレス鋼に比して腐食速度の大きいことがわかる。また、Tダムサイトにおいては流速が大きいために、他の河川より普通鋼の腐食の速度が大きくなっている。Tダムサイトの普通鋼の水中（単独試験片）における2年目の腐食速度は、0.29mm/yであるが、ステンレス鋼と接触することにより普通鋼（面積比1 : 1）は0.63mm/yとなり、約2.2倍の増加となった。これを中性河川の場合で比較すると4.4～8.1倍となり、酸性度と流速が腐食速度に大きく影響していることがわかる。Oダム川（中性河川）でのSUS304と普通鋼の接触腐食試験の結果については、SUS304と普通鋼の面積比が1 : 1, 2 : 1と変わっても、普通鋼の腐食速度は0.017～0.068mm/yと大差はなかった。

2. すき間腐食

ダム放流設備に最も多量に使用されるSUS304は、淡水中での耐すき間腐食性は良好である。しかしながら、軸材などとして用いられるSUS403は、淡水中で

もすき間腐食発生事例が報告されており、水中にあるすき間部の材料として適さない。したがって、狭いすき間が生じない構造とすることが望ましく、やむを得ない場合にはすき間腐食を生じにくい鋼種を選定する必要がある。

すき間腐食は、以下に示すような部位で生じる。

- ①ボルトとワッシャの合わせ面
- ②ゴム押さえ板とゴムの合わせ面
- ③フランジ継手の接合面
- ④軸と軸穴
- ⑤ドロ、スライムの付着面周辺
- ⑥貝などの生物の付着面周辺

3. もらいさび

ステンレス鋼に普通鋼の粉末やスパッタ等が付着して生じるもらいさびは、早期に除去すればステンレス鋼への影響は小さいが、放置するとステンレス鋼に孔食を生じることがある。

もらいさびを防止するには、表面を有機被膜で覆うことが有効である。保管中の被覆としては可剥性プラスチック（ストリップペイント）を塗布したり、ビニルフィルムを貼付することが行われる。貼付後、さらに保護する場合は、ウレタン系などの透明被膜を塗装することが行われる。

（化学研究室）

参 考 文 献

- 1) 土木研究所資料第2909号：ダムにおけるステンレス鋼材の利用実態調査報告書，平成2年9月，建設省東北地方建設局道路部機械課，土木研究所化学研究室
- 2) 平井，迫口：石川島播磨技報第27巻，第5号，昭和62年9月

V-3 横断歩道橋の鳩対策

〔質問要旨〕 横断歩道橋等から鳩を追い払う方法としていろいろあると思うが、最近の対策例が知りたい。

(浜田工事事務所)

〔質問内容〕

都市部の横断歩道橋等を鳩が寝ぐらとしているが、道路管理者はもとより、一般歩行者も非常に迷惑している。鳩の糞が人の衣類に付着したり、また鋼材の耐久性にも影響する次第である。

鳩を追い払う方法として、捕獲したり、薬剤によって処理する方法もあるが、愛鳥保護団体の反感を買ったりもするため、この他にもどのような対策があるか紹介願いたい。

(回答)

はじめに

最近では、鳩が爆発的に増殖し、橋梁や高架橋部の桁下や、橋脚の上部に営巣し、その下部にある歩道や横断歩道に糞を落とし、付近の住民や通行人から苦情が持ち込まれるなどし、管理者はその対策に苦慮されている。

ところで、鳩と通常言っているのは、ドバトのことで、原種はカワラバトである。

鳩は寺に住みついていたが、明治時代になると、神社、仏閣を中心に生活していたものが、兵舎や港湾地帯で増殖をはじめ、現在は団地やマンション等、都市内にまで拡散し、都市施設のいたる所に住みついている。

ドバトによる被害

鳩の糞は酸性が強いため鉄骨のさびが早く出て、腐食を早め、また、塗膜を傷めて塗装の塗り替え周期を早くする要因の一つとなる。桁下の横断歩道や歩道を通行する人に糞害を与えるなど苦情が多い。

表-1 ドバトの害

糞	構造物、建物、歩道、車道などを汚す。 糞は酸性のため、外面部、鉄製の階段にさびを発生させ、金属の腐食を生じさす。塗膜も傷める。また、病原菌の感染源となるとも指摘されている。
羽	アレルギーの原因の一つと言われる。
巣	わらくず等が時としては散乱し、衛生上好ましくない。
鳴き声	集団になるとかなりやかましくなり、時には住民からクレームがおきる

人に対する害

外部寄生虫としてはダニ類と昆虫類があり、鳩自体に皮膚炎を起こすだけでなく、オーム病、脳炎等の病原体を伝播する場合がある。

また、ドバトの糞には クリプトコッカス真菌が多量に入っており、この菌は乾燥に強く、2年位生存しており、これがほこりとともに舞い上がり、人が吸引すると肺に入り、やがて血中に入って脳や脳脊髄膜に病変をきたすクリプトコッカス病となるとも言われている。

このようにドバトは、病原菌を拡散するもとになっているとの疑いも出ている。

ドバトの法律的取り扱い

ドバトは法的には、保護鳥と同様の扱いを受ける。

野性鳥獣の捕獲の規制は、「鳥獣保護及狩猟ニ関スル法律」（大正7年4月4日、法律第32号）の施行規制によって鳥の種類が決められている。この中に含まれないものは、保護の対象とされ、ドバトを特に保護するためのものではないが、法律解釈上、ドバトの捕獲または駆除する場合、鳥獣捕獲許可を受けてから捕獲しなければならない（法・第12条）。

また、捕獲したドバトは処分する場合、殺してはならず、他の所へ放す等の方法をとらなければならないという地方自治体もある。

ドバト公害の対策

羽数を適正な数にコントロールし、すみかを適当な箇所に固定することができればよいが、實際上これは難しいので、害が発生したら、その地域で必要な時に駆除するという方策が良いようである。

鳩対策の一覧表を表-2に示す。

対策としては

歩道橋の構造が鳩を止まりにくくするのが基本となろう。

ネットを利用する（写真－２）。鳩がすみかとする場所をなくする構造とする。

鳥の習性として、これまでの調査で次のようなことがわかっているので、これらを応用している。

鳥類は一般に臭覚が鈍感なので臭気によるものは効果がないが、鳥類は視覚が敏感なので嫌いな色を塗装する方法があろうが、鳩が嫌いな色は不明である。また、歩道橋の一部に塗装することの効果も不明である。

鳩の嫌う音（鷹の鳴き声）を出す装置が効果があった。

ミシン糸を張る。理由は不明だが鳩は嫌いらしく一本横に張っただけで効果があるとの報告があった。同様の方法で、はり（針）を張りめぐらせることもされる。

新しいアイデアとしては、磁気を用いたものがある。

磁気を用いたものは、鳥の帰巢性と磁気感覚を利用したものである。

最近、鳥は地磁気（磁気感覚）によって帰巢するという説が発表されたが、これは、鳥の頭部に生物磁石を持っており、地球の磁気を感じながら方向を決めて飛行しているという説である。そこで、鳥の磁気感覚を刺激して帰巢を狂わせることにより飛来を防止しようというものである（写真－３）。

塗料膜表面を振動させ、低周波～高周波領域の音を発生させるものも開発されている。塗装を振動させ、鳩が忌避する周波数を用いて飛来を防止しようというものである。

また、粘着性のものを塗布する粘着剤を用いる方法もある。効果はあるらしいが、塗り替え塗装時に粘着物の除去に苦勞するようである。

ただし、このような鳥の習性を利用したものは、いずれの方法でも鳥が慣れるという学習効果があり、次第にその効果が劣ってくるようであり、長期にわたる効果については不明である。

まとめ

いうまでもなく、鳥が止まりにくい構造（デティル）とすることが最も確実な方法であり、次に効果があるのはネットを張ることである。

ネットが張れない場所では、決め手となる手法はないが、比較的効果があるのは忌避剤を用いたり、磁気を用いる方法であろう。

これらは、効果の持続時間の問題があり、ある程度まとまった地区を集中して行ったり、付近の条件・構造条件等を考えながら、ケースバイケースの対策を組み合わせることが必要になるかもしれない。

今後、鳥の習性をさらに利用した確実で簡易な方法を材料面からも開発する必要があるだろう。

参考文献

1. 鳩による被害と対策について — 維持管理上の新たな問題 — , 岡山国道工事事務所 藤井靖夫, 鈴木秀章, 松本治男, 中国地方建設局管内技術研究会論文集 (1982)

2. 鳩公害と防止対策, 設備と管理 (1981)

3. 自然界における病原性, 神戸市環境保健所研究報告 14 (1982)

(化学研究室)

表-2 鳩 対 策

商品名	施 工 方 法	特 長	短 所
捕 獲	1. 知事あて有害鳥獣捕獲申請 2. 捕獲器設置 3. ドバト回収	1. 広範囲のドバトによる被害を減少させることができる 2. 法手続きが必要で、捕獲期間が長期間必要（最低1～3ヶ月）	1. 約1年で元に戻る。
ネット	1. 清掃 2. 金網または樹脂性網を風圧によりはずれないように固定する	1. 鳩が入らないよう、隙間のないように設置 2. 主桁間、杵のまわりの施工が難しいが、ゴルフネットでは垂れて美観上好ましくない（金網が良い）	1. 美観を損ねる 2. 破れやすい 3. コストが高く施工性が悪い
忌避剤	1. 清掃し、汚れ・糞を除去 2. 害鳥忌避剤を幅5cmに1本位の割合で塗る	1. 無臭性など薬品の種類に注意する 2. 永久的でない（1～1.5年で更新） 3. 施工実績が多い	1. 粘着性忌避剤、塗布面が汚れ美観を損ねる 2. 初期のみ効果有り 3. 薬品代がかさむ
磁 気	1. 清掃 2. 磁気を帯びた小球を取り付け固定する。	1. 簡単に取り付けられる	1. 学習効果については不明
ハ リ	1. 清掃 2. ステンレス針帯を設け、鳩が侵入しないようにする。 3. 針の長さ15～20cm	1. はりにさびが発生しないように取り付け、固定する	1. ハリの上に巣をつくる（逆効果） 2. 施工性が悪い



写真-1

鳩よけ網の例

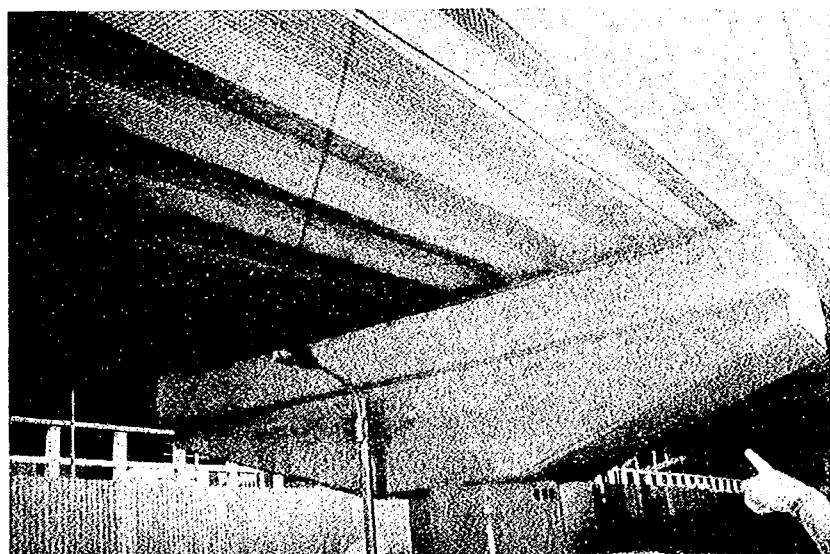


写真-2

鳩よけネットを下面全面
に張った例

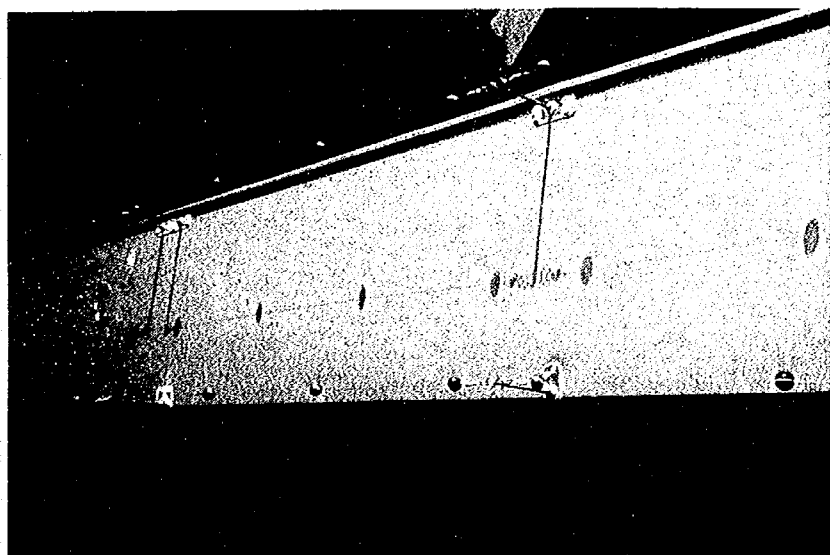


写真-3

磁気を用いた例
(黒い球が磁気発生源)

共通部門目次

	(質問者)	(回答者)	
1 RCD用コンクリートの骨材水分管理	八田原ダム工事事務所	ダム構造研究室……………	85
2 標準設計の鉄筋コンクリート構造物の材料強度	道路部道路工事課	コンクリート研究室……………	90
3 鉄筋の段落とし部の定着方法	道路部道路工事課	基礎研究室……………	93
4 構造物設計における許容応力度	企画部電算情報課	コンクリート研究室……………	96
5 非破壊による舗装厚測定装置の開発	企画部技術管理課	機械研究室……………	106
6 盛土に伴う軟弱地盤中の既設埋設管の不等沈下対策	松江国道工事事務所	施工研究室……………	110
7 ジオテキスタイルの耐久性	企画部電算情報課	土質研究室……………	114
8 グラウンドアンカーの設計	山口工事事務所	施工研究室……………	127
9 補強土工法（鉄筋挿入工法）の現場への適用	鳥取工事事務所 浜田工事事務所	施工研究室……………	131
10 火砕流堆積物を用いた切土、盛土の施工	斐伊川・神戸川総合開発工事事務所	土質研究室……………	134
11 擁壁類の設計土質定数（粘着力）の決定方法	本州四国連絡橋公団第三建設局	施工研究室…………… システム課	138
12 岩盤を支持層とする杭の支持力	企画部電算情報課 倉吉工事事務所 山口県土木建築部	基礎研究室……………	141
13 中掘り杭工法における施工法と支持力	企画部電算情報課 広島国道工事事務所	基礎研究室……………	144
14 杭基礎を有するボックスカルバートの設計	山口工事事務所	基礎研究室……………	146
15 重力式（無筋）橋台と杭基礎の組み合わせ	松江国道工事事務所	基礎研究室……………	148
16 軟弱地盤上における橋梁基礎工の最適工法	松江国道工事事務所	基礎研究室……………	150
17 杭周面にはたらく最大周面摩擦力度	企画部電算情報課	基礎研究室……………	153
18 プレキャスト製品を使用する場合の最小部材厚	浜田工事事務所	コンクリート研究室……………	155
19 特殊な事業における遮水矢板の必要性	浜田工事事務所	土質研究室……………	158

2 0	旧基準で暫定供用の高架橋の 4車線化における設計の考 え方	広島国道工事事務所	基礎研究室……………	160
2 1	精密工場にあたる道路の微 振動予測	福山工事事務所	構造研究室……………	162

(質問)

RCD用コンクリートのコンシステンシーは練りませ水量の変動に連動して敏感に変化します。したがって、RCD工法においてはバッチャープラントでの練りませ水量の管理が特に重要となりますが、このうちコンクリートの練りませ水量に最も大きな影響を与える骨材の水分管理について、その留意点を御教示願いたい。

(八田原ダム工事事務所)

(回答)

RCD工法とは、超硬練りの貧配合コンクリートをブルドーザーで薄層に撒き出し、これを振動ローラーで締固めてコンクリートダムを築造する施工方法で、コンクリートダムの施工の合理化を目指して建設省が世界に先駆けて開発した施工方法です。RCD工法に用いる超硬練りコンクリートをRCD用コンクリートといいます。このRCD用コンクリートの品質は、コンクリートの配合のほか、その締固め密度によって大きな影響を受けます。一方、RCD用コンクリートを締固める場合、その締固めエネルギーを一定に管理した施工が行われるため、RCD用コンクリートのコンシステンシーはその締固め密度に大きな影響を与え、ひいてはRCD用コンクリートの強度に大きな影響を与えることになります。

ところで、RCD用コンクリートのコンシステンシーを表すVC値は単位水量に敏感に反応し、単位水量が増加するとVC値は減少し、単位水量が減少するとVC値は増加します。なお、

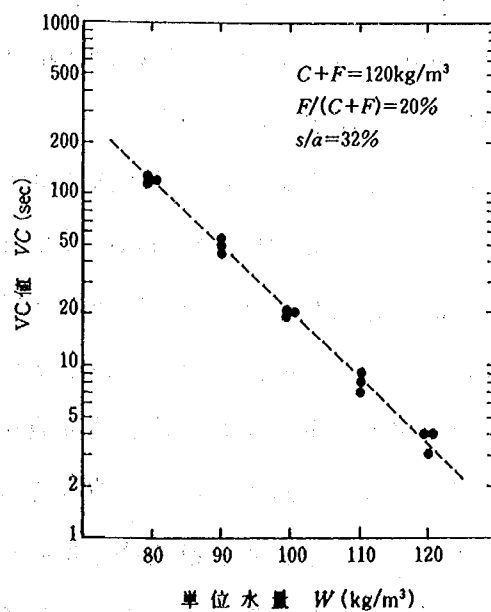


図-1 単位水量とVC値の関係

横軸に単位水量、縦軸にVC値の対数

をとって整理すると、両者の関係は図-1に示すように傾きが負の直線で近似することができます。

RCD用コンクリートの品質管理では、配合中の単位水量、すなわち実際に練りませる時の練りませ水量の管理が重要となります。そして、この練りませ水量に大きな影響を及ぼすものが細骨材や粗骨材の表面水率です。RCD用コンクリートの一般的な配合ではコンクリート 1m^3 当たりの単位水量は 100kg 程度です。一方、骨材の単位量は粗骨材の場合で約 1600kg 、細骨材の場合で $650\sim 730\text{kg}$ 程度ですから、それぞれの表面水率が $\pm 1\%$ 変動するとコンクリート 1m^3 当たりの単位水量は $\pm 16\text{kg}$ 、 $\pm 7\text{kg}$ も変動することになります。しかし、粗骨材は粒径が大きくて比表面積が小さいため、一般にその表面水率の変動は小さいことがわかっています。反面、細骨材はその粒径が小さくて比表面積が大きいことから、表面水率の値は $4\sim 6\%$ と大きく、その変動も比較的大きいことがわかっています。そこで、骨材の水分管理においては特に細骨材の水分管理が重要になります。以下、細骨材の水分管理の留意点について記述します。

まず、細骨材の表面水率の測定に影響する要因としては次の二つが考えられます。

①細骨材の表面水率測定機器の測定精度

②細骨材の表面水率の変動

細骨材の表面水率を測定する方法には①直接法と②間接法があります。直接法の代表的なものとしてはJIS A 1111の「細骨材の表面水率試験方法」があります。また、この測定方法をバッチャープラントで機械化し自動化したものに重量式水分計があります。一方、間接法としては水素原子の中性子吸収量から水量を測定するRI（ラジオアイソトープ）方式、高周波伝導電流を流して静電容量から水量を測定する静電容量方式、水のマイクロ波（電磁波）の吸収量から水量を測定するマイクロ波方式などがあります。直接法を用いた重量式水分計はJISの試験法を自動化した測定機ですから、荷重計（ロードセル）で正しく重量が測定できるように設置すればその測定精度上は特に問題ないと考えられます。一方、間接法ではその測定値が

測定材料の比重、吸水率の影響を受けるため実際の材料を使って較正式を作成する必要があります。したがって、途中で使用骨材の比重、吸水率が変化した場合には較正式を修正することが必要です。また間接法では測定時間、測定場所の環境条件（温度、湿度、振動、粉塵）などが測定値に影響する場合があります。したがって、細骨材の表面水率測定機器については、測定機器の特性を十分引き出すように定期的に精度の確認試験を行うことが望まれます。

次に細骨材の表面水率が変動する場合としては下記のものが考えられます。

- ① 細骨材の水切りが不十分である場合
- ② 同一貯留ビンから細骨材を引き出すときに表面水率が変動する場合
- ③ バッチ内で表面水率がばらつく場合

以下、各項目について解説します。

- ① 細骨材の水切りが不十分である場合

細骨材製造後の貯蔵方式を大別すると野積み方式とビン方式の2つがあります。いずれの場合も、水切りの程度に影響する要因としては貯留日数、排水施設の効果が考えられます。貯留日数は貯留量と打設量の関係で定まりますが、

打設計画と設備計画の段階で十分な貯留容量を確保し、貯留日数をできるだけ長くとれるように設計しておくことが必要です。

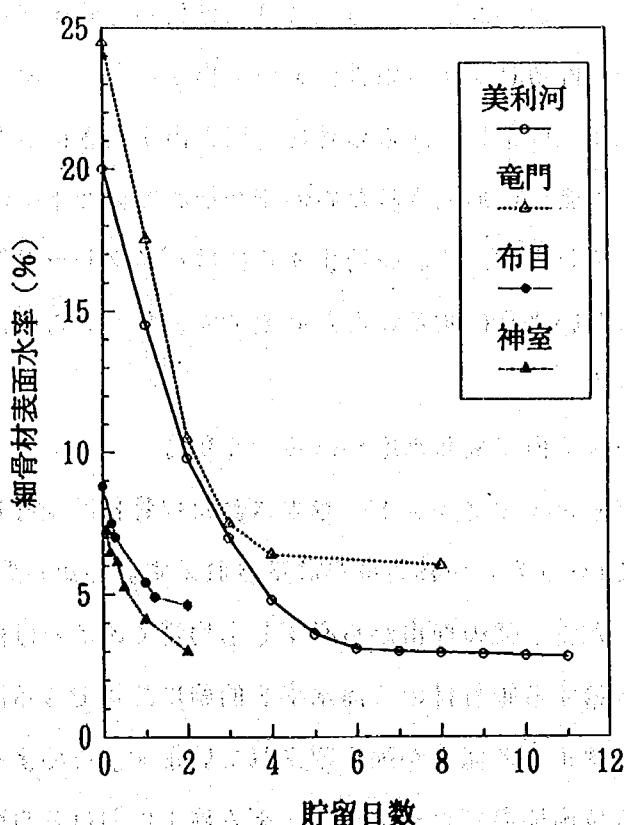


図-2 細骨材の貯留日数と表面水率変化

なお、図－2の測定データは屋根付きの野積み方式のストックヤードで得られたもので、これによると貯留日数が4日以上になると表面水率がほぼ一定になるようです。

また排水施設は骨材の表面水率を安定化させる上で有効な手段です。ストックヤード（野積み方式）ではその底面に排水勾配を付け、排水管を並べたり砂利を敷いて排水効果を高めることが必要です。また、貯留ビンではその底部および側面に排水管を設け排水効果を高めることが必要です。またその他の配慮として、ストックヤードおよび貯留ビンの引き出し口を基面から少し高い所に設け、できるだけ表面水率の安定した箇所から細骨材を引き出すことが有効です。なお、排水の容易さを考慮すると、貯留ビン方式よりも野積み方式を採用することが有利と考えられます。

②同一貯留ビンから細骨材を引き出すときに表面水率が変動する場合

まず、貯留ビンから細骨材を引き出すときに表面水率が変動する原因としては、ビンの側壁に形成された砂の壁が崩れて表面水率の異なる砂が引き出されることが考えられます。これを防止するにはバイブレータ等で十分な外力を与えて砂の壁ができないようにすることが必要です。なお、このような問題は野積み方式では生じません。

③バッチ内で表面水率がばらつく場合

バッチャープラントへ搬入された細骨材は受材ビンに一時貯められ、計量槽によって1バッチずつ必要量が計量されます。しかし受材ビン内の細骨材の表面水率は上述した①、②の理由から必ずしも均質であるとは限りません。したがって、計量槽に供給する細骨材の表面水率を的確に評価できる測定方法（全量測定、リアルタイムの補正）の開発が強く望まれています。このような測定方法については、現在、総合技術開発プロジェクト「ダム施工における自動化技術の総合化に関する研究」の一環として精力的な研究が進められており、その成果が期待されています。

以上、RCD用コンクリートの骨材水分管理の留意点について記述しましたが、現段階では各バッチ毎に骨材の表面水量を正確かつ確実に測定する方法は必ずしも

確立されているとはいえません。したがって、現状では細骨材の貯蔵段階において細骨材の水切りを確実にやり、表面水率を安定化させることが最も重要と考えられます。なお、一般論としては、水切りが容易な野積み方式が骨材の貯留方式として優れていると考えられます。

(ダム構造研究室)

共-2 標準設計の鉄筋コンクリート構造物の材料強度

(質問)

土木構造物標準設計のうち、擁壁、ボックスカルバート、下部工等の鉄筋コンクリート構造物の材料強度については、コンクリートの設計基準強度を 210kgf/cm^2 、鉄筋の材質をSD295で設計がなされている。しかし、今後の高規格道路の増加等に対応するために、高強度(240kgf/cm^2 、SD345)の材料を使用したいと考えているが、標準設計での採用の可能性について御教示願いたい。

(道路部道路工事課)

(回答)

コンクリート構造物に係る諸基準(道路橋示方書、土工指針等)では、耐久性の面からの鉄筋コンクリート部材の最低設計基準強度 210kgf/cm^2 と、鉄筋の種別に対応した許容引張応力度を規定しているが、構造物の種類あるいは構造規模に対応した材料強度の規定はなされていない。

したがって、設計の標準化に当たっては、標準となる何らかの材料強度を定める必要があり、標準設計では次のような理由からコンクリートの設計基準強度を 210kgf/cm^2 、鉄筋の材質をSD295としている。

①標準設計は、直轄だけではなく、地方公共団体においても広く採用されているので、何よりも材料が入手しやすく、施工も特に困難を伴わないことに配慮する必要がある。

②標準設計の対象構造物に採用可能な鉄筋種別として、SD295とSD345とがあるが、材料単価を比較すると前者の方が安価である。また、コンクリートのひび割れ幅を考慮した常時の許容応力度は両者とも同じであるので、ボックスカルバートや擁壁(標準設計の対象規模の範囲)のように、常時状態で構造諸元が決定される構造物ではSD295の方が経済的に有利となる。

③標準設計で対象としている擁壁、ボックスカルバート、下部等では、鉄筋種別としてSD295を採用した場合、 210kgf/cm^2 のコンクリートで十分対応できる（コンクリートの圧縮応力度が許容値に達する前に鉄筋の引張応力度が許容値に達する）。

④規模の大きい橋脚など一部の構造物では、高強度の材料を採用した方が経済的に有利となる場合も考えられるが、部分的に材料強度を変えると現場での材料の取扱い等のミスが生じやすい。

以上、現行標準設計における材料強度選定の基本的な考え方を述べたが、現場によっては種々の制約を受ける場合もあり、そのような現場では、その条件にあった材料を選定すべきである。例えば、次のようなケースが考えられる。

①質問にも関連するが、公団基準の構造物では直轄や県と異なる材料強度で設計しているので、それらの構造物が複合する現場で各種の異なる強度のコンクリートや鉄筋・鋼材を使うと現場が混乱し、施工ミスにつながる恐れがあるため、公団基準に統一する必要がある場合。

②何らかの制約から断面を小さくするため、コンクリート強度を大きくする必要がある場合。

③構造物の形状寸法をそろえるため、作用荷重の大きい構造物のコンクリート強度を大きくする必要がある場合。

④耐久性等の関係から水セメント比が制約され、そのためにコンクリート強度を大きくする必要がある場合。

⑤施工性等から強度の大きい鉄筋を用いて、鉄筋本数を減らす必要がある場合。

次に標準設計の高規格道路への対応については、高規格道路に係る構造物の場合、設計自動車荷重として現行標準設計のTL-20の他にTT-43を考慮する必要があること、及び標準設計対象工種において設計自動車荷重TL-20路線の構造物が大半を占めている現状を考えると、現時点における高規格道路の標準設計の必要性は低いと思われる。したがって、高規格道路の構造物設計については、標準設計を補完するものとして、（財）国土開発技術研究センターを通じて広く一般に提

供している自動設計プログラムでの処理をお願いしたい。自動設計プログラムは、標準設計の対象工種の他に、連続プレートガーダー橋、杭基礎、ケーソン基礎及び鋼管矢板基礎等があり、高規格道路の設計自動車荷重の処理の他、上記で述べた現場条件にあったコンクリートの設計基準強度及び鉄筋・鋼材の種別（又は許容応力度）についても指定することができる。

（コンクリート研究室・システム課）

共-3 鉄筋の段落とし部の定着方法

(質問)

道路橋示方書Ⅳ下部構造編(以下「道示」)では壁および柱の段落とし部において引張り側で鉄筋を定着する場合には、鉄筋を止める点の付近でコンクリートに有害なひびわれを発生させないため図-1(a),(b)のいずれかの定着方法によることとなっているがこれらについて次の点についてご教示願いたい。

- ① 図-1(a)の方法を適用する場合、計算上不要となった断面から、有効高に等しい長さだけ延ばし、その位置から鉄筋を適当な角度で折曲げて定着することとなっている。しかしながらその角度、曲げ半径など具体的な加工方法が示されていないが、どのように加工したらよいのか
- ② 図-1(a),(b)において共に計算上不要となる点から延ばす必要定着長について、は、それぞれ1のように $\tau_m = \frac{2}{3} \tau_{s2}$ 、 $\tau_m = \frac{2}{3} \tau_{s1}$ をそれぞれ満たすことになっている。これは、必要定着長の区間内全ての断面が満足する必要があるのかどうか。

(道路部道路工事課)

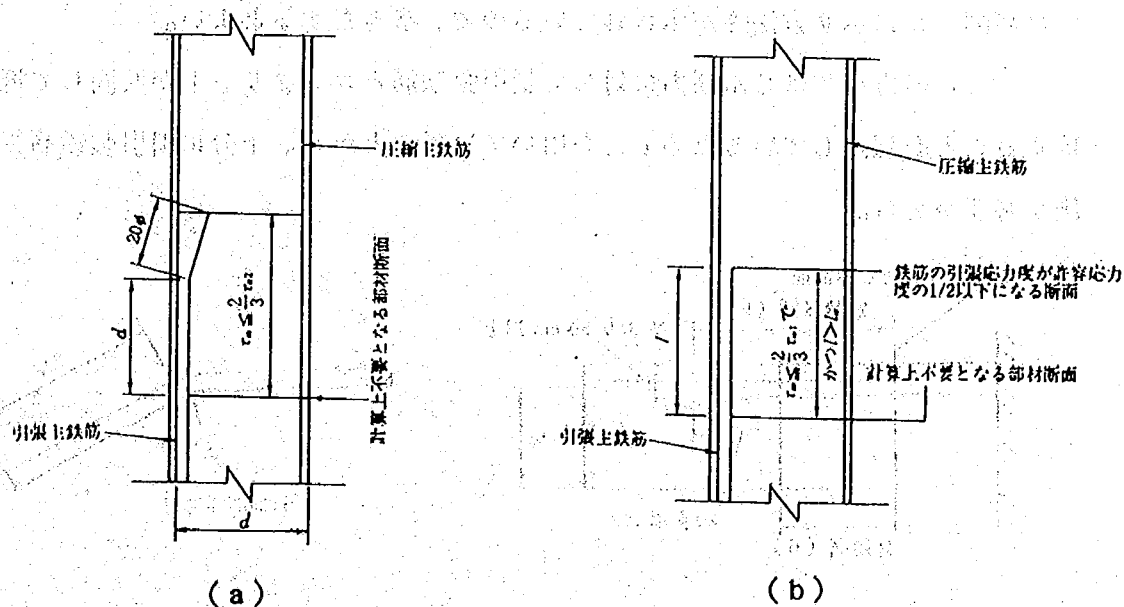


図-1 道示で示されている定着方法

(回答)

一般に鉄筋は引張応力を受けないコンクリートに定着するのが望ましい。しかしながらそれが困難でやむをえず引張部に定着する場合には鉄筋をとめる点の応力度や横方向鉄筋の補強などに関して適切な配慮を行い、有害なひびわれが生じないようにして定着する。

「道示」では柱などの段落とし部で、定着した鉄筋が部材のせん断耐力、ひびわれ性状等に悪影響を及ぼさないような定着方法を示しており、これらの方法によれば有害なひびわれは生じないものと考えられる。

なお、この他の定着方法を用いる場合には曲げモーメント、せん断力に対して、有害なひびわれは生じないことを確認しなければならない。

① 図-1(a)の方法で有効高に等しい長さだけ延ばすのは柱厚分のモーメントシフトにより単純梁で計算した値より実際の応力が大きくなることを考慮したものであり、さらにそこから折曲げて 20ϕ 延ばして止めるのは定着部先端でのかぶりを増してコンクリートの割裂を防ぐとともに十分な定着長をとるためである。その曲げ加工の方法はとくに示していないが、他の規準³⁾⁴⁾の中で同様の目的を果たすため図-2に示す方法等が示されているので、参考とするとよい。

ここでこの方法ではせん断力に対して斜引張鉄筋とコンクリートが共同して抵抗することを想定しているため τ_{cs} を用いていることから、十分に斜引張鉄筋を施す必要がある。

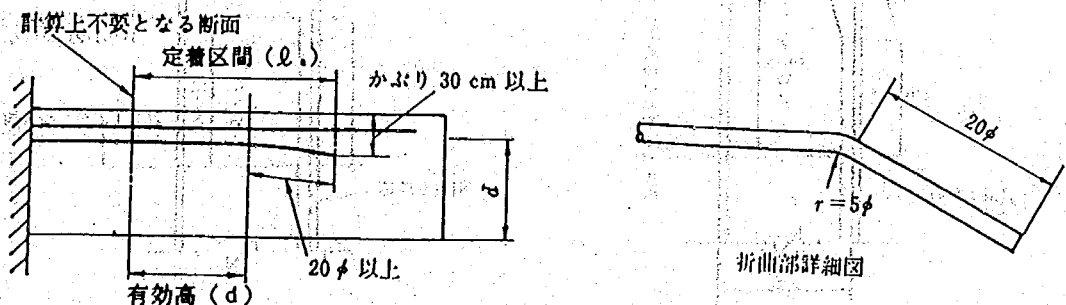


図-2 鉄筋の定着部の加工方法の例

② 図-1(a), (b)ともに定着部でのせん断破壊に対する安全度を高めるため、平均せん断応力度は許容せん断応力度の $2/3$ 以下にすることが必要である。これは定着区間に大きなせん断応力度が作用すると、そこからひびわれが発生し脆性破壊に至ることがあり、それを防ぐためである。したがって、これらの条件は計算上不要になる部材断面からの定着区間すべてにおいて満たされなければならない。

(参考文献)

- 1) 日本道路協会、道路橋示方書IV下部構造編・同解説、平成2年2月
- 2) 土木学会、コンクリート標準示方書、昭和61年10月
- 3) 土木学会、太径鉄筋D51を用いる鉄筋コンクリート構造物の設計指針(案)、昭和50年6月
- 4) 土木学会、太径鉄筋D51を用いる鉄筋コンクリート構造物の設計指針、昭和52年8月

(基礎研究室)

共一 4 構造物設計における許容応力度

(質問)

構造物設計における許容応力度はコンクリートの場合、設計基準強度の $1/3$ 、鉄筋の場合 S D 2 9 5 で 1800 kg/cm^2 と定められている。今日の土木施工技術の進歩や、土木材料の品質向上を考慮すると、許容応力度（安全率）を改訂し、経済的な構造物を設計するのが得策と思われる。現在の許容応力度の考え方について、技術的根拠に基づいた回答を御教示願いたい。

(企画部電算情報課)

(回答)

許容応力度法は鉄筋コンクリート部材の開発当初から標準的な設計法として採用され、現在でも広く一般に用いられているものである。許容応力度設計法で設定された許容応力度の値は、若干の変更はあるものの長らく据え置かれている。近年の土木技術の進歩を考慮すると、当然許容応力度の増加の可能性の疑問が生じる。この疑問が生じるのは、許容応力度の技術的根拠が明らかになっていないためである。ここでは、そもそも許容応力度法はどのような設計理念に基づいているか、許容応力度法が歴史的にどのような変遷をたどって運用をなされてきたのかを解説し、許容応力度の変更がコンクリート構造物の設計にどのような影響を及ぼすかを明らかにし、許容応力度改訂の是非を検討する。

1. 許容応力度設計法および許容応力度について

許容応力度設計法は、「部材断面を仮定して、想定された荷重によりその断面に生じる最大応力が、材料強度に対して十分安全であること、言い換えると断面に生じる最大応力が、十分な安全率を考慮して決められた許容応力度以下であること」を照査するものである。このとき想定された荷重から部材断面に生じる最大応力を

求める際は弾性理論を用いた構造解析による。

ここで、仮定した荷重条件・材料条件・構造解析法が必ずしも実態を表現できていないため、この誤差を補うための安全率を考慮した照査が必要となる。この誤差要因は厳密に考えると数多くあるが、代表的なものを挙げると以下のようなものがある。

①荷重条件における不確定要因………実構造物に作用する荷重は構造解析で想定した荷重を上回る可能性がある。また荷重の作用位置・作用方向も異なる可能性がある。

②材料条件における不確定要因………実構造物に用いられた材料は応力照査の際に想定した材料強度を下回る可能性がある。特にコンクリート強度については鋼材と異なり材料の計量、練り混ぜ、コンクリート打設、締固め、養生といった施工方法にも影響を受けるので強度のばらつきは大きく設計基準強度が発現できていない危険性がある。

③構造解析における誤差要因………構造解析では弾性理論を用いているが実際にはコンクリートの応力－ひずみ関係は非線形であり、またコンクリートではクリープの影響も大きく、線形理論による構造解析結果が実部材にそのまま当てはまらない可能性がある。また、構造解析では平面保持の仮定に基づいたはりの理論を適用しているため、荷重の作用点近傍などの局所的な応力が無視されていることも実部材と設計における構造解析の隔たりの要因となっている。

④部材寸法・配筋における誤差要因………コンクリート部材寸法、鉄筋の配置位置は施工誤差により必ずしも設計時の仮定と実部材とは一致しない。このことも、構造解析結果の誤差に結びつく。

設計法が実用的であるためには、以上に挙げたような誤差要因を見込んで、十分な安全な照査結果を与えるものでなければならない。許容応力度設計法では、限界状態設計法で行われているような各々の誤差要因に対する安全率を個別に設定するといった方法ではなく、各々の誤差要因に対する安全率を一括して許容応力度の値に

集約する事により、照査結果の安全性を与えて実用化しているものである。

このことから、許容応力度は非常に多くの要因を加味した安全率であると解釈できるので、その値の決定においても総合的な判断が要求される。それぞれの要因に対し個別に安全率を決定することを考えた場合、どの要因についても技術的根拠を持った適切な値を設定することは容易ではなく、まして許容応力度のように各要因を総合した安全率を表現するパラメータは、理論的に妥当な値を見いだすことはほぼ不可能である。このため、許容応力度の決定は高度な工学的・経験的判断によらざるを得ない。後述するように、わが国の許容応力度の変遷をたどっても、その根拠は諸外国の基準を参考にして、工学的判断により定められている。

2. わが国における許容応力度の変遷

わが国のコンクリートの許容応力度の変遷をたどることにより、現在の許容応力度がどのようにして決定されているか知る手がかりを得ることができる。表-1にコンクリートの許容曲げ圧縮応力度の移り変わりを示す。

表-1 コンクリートの許容曲げ圧縮応力度の変遷

示方書 種別	大正3年(1914) 鉄筋混凝土橋梁設計 心得(配合1:2:4)	大正15年(1926) 内務省道路橋構造 細則(配合1:2:4)	昭和6年(1931) 土木学会	昭和15年(1940) 土木学会	昭和24年(1949) 土木学会
曲げ強度	42	45	$\leq \sigma_{ss}/3, \leq 65$	$\leq \sigma_{ss}/3, \leq 70$	
示方書 種別	昭和31年(1949) 土木学会	昭和42, 49年(1967, 74) 土木学会	昭和55年(1980) 土木学会		
曲げ強度	$\leq \sigma_{ss}/3$	$\leq \sigma_{cs}/3$			

わが国最初の鉄筋コンクリート設計施工示方書は大正3年の鉄筋混凝土橋梁設計心得であり、そこではコンクリートの許容圧縮応力度は 4.2 kgf/cm^2 とされていた。この当時は水セメント比の法則が見いだされておらず、配合設計理論が確立してい

なかった。このためコンクリート強度はばらつきが大きく、強度に対する信頼性に乏しかった。当時の平均的な1:2:4（セメント1:砂2:砂利4）配合のコンクリート強度が 170 kgf/cm^2 程度であったことから許容応力度は設計基準強度の $1/3$ 以下の値を採用していたことが分かる。当時のコンクリートに関する技術書では4週強度の $1/5$ を推奨しているものも少なくなかった。

その後、大正15年内務省道路橋構造細目において許容曲げ圧縮応力度がわずかに引き上げられ 45 kgf/cm^2 となった。

さらに昭和6年、土木学会による初のコンクリート標準示方書が制定された。この示方書において、コンクリートの許容曲げ圧縮応力度が材令28日の圧縮強度の $1/3$ に引き上げられ、その上限は 65 kgf/cm^2 と定められた。許容応力度の上限がかなり低く定められてはいるが、許容応力度を28日材令のコンクリート強度の $1/3$ とする基本規則ができあがったのは、この示方書においてである。この規定が定められた経緯に関する資料がないので、許容応力度が引き上げられた明確な根拠は明らかにできないが、当時の状況を考えると次のことが推量できる。

この示方書が策定される数年前に水セメント比の法則が発見され、さっそく示方書に取り入れられた。この結果、所定のコンクリート強度を発現させるために、水セメント比を定めるという配合設計理論の基礎がほぼ確立した。またコンクリート工事の実績も積み重ねられ、コンクリート強度に対する信頼性も当然向上したと考えられる。このような背景のもとで、諸外国の示方書を参考にしつつ、コンクリートの許容応力度の引き上げられたものと考えられる。

続いて昭和15年に許容応力度の上限が 70 kgf/cm^2 に引き上げられた。昭和24年の土木学会示方書解説には、コンクリートの許容応力度が、材令28日強度の $1/3$ とした理由について「実験結果や各国の標準示方書を参考にして定めたもの」としている。

昭和31年の示方書改訂時に上限値の規定が廃止され現在の形に至った。ただし、 400 kgf/cm^2 を越えるような高強度コンクリートについても、適用されるもので

はなく、通常の鉄筋コンクリートで用いられる範囲のコンクリートを対象としたものである。このときの改訂理由として昭和31年制定の示方書解説には「実験結果や各国の規定を参照して十分安全に定めたものである。また現在では、 σ_{28} が相当大きいコンクリートが確実に作ることができるし・・・」とある。この時点で通常のコンクリートの配合設計技術、施工技術はほぼ確立しているといえる。

以上を総合するとコンクリートの許容応力度は、コンクリートの配合設計の確立、施工実績の蓄積などによる施工法の確立に従いコンクリート強度の信頼性が向上したことを背景とし、併せて諸外国の規定などを参考にし、現在に至っていることがわかる。

前節にも述べたとおり、許容応力度はさまざまな誤差要因に対し、総合的に安全率を評価して決定されたものである。上記に述べたコンクリートの品質向上を根拠とした許容応力度の見直しは、ほぼ一定のレベルに達していると考えられ、今後、許容応力度の改訂を行うことを考えた場合、他の不確定要因の解明（例えば、設計荷重の高精度化）に根ざしたものでなければならないと考えられる。

一方、鉄筋の許容応力度も徐々に増加してきているが、鉄筋の材質規格の変更がなされてきたため、単純に従来の値と現在の値を比較することはできない。しかし、鉄筋の許容応力度についても上記の議論が当てはまり、材料そのものの問題よりは、設計荷重の決定法、構造解析の方法等に起因する不確定性把握がネックとなり、また鉄筋コンクリート構造物の耐久性確保の面から、許容応力度向上が難しくなっている状況であるといえる。

3. コンクリートおよび鉄筋の許容応力度を変化させた場合の影響について

ここでは、コンクリートの許容曲げ圧縮応力度、および鉄筋の許容引張応力度を変化させた場合について、設計された鉄筋コンクリート部材にどのような変化が生じるか考える。

最初に、コンクリートの許容曲げ圧縮応力度について、鉄筋コンクリート部材の

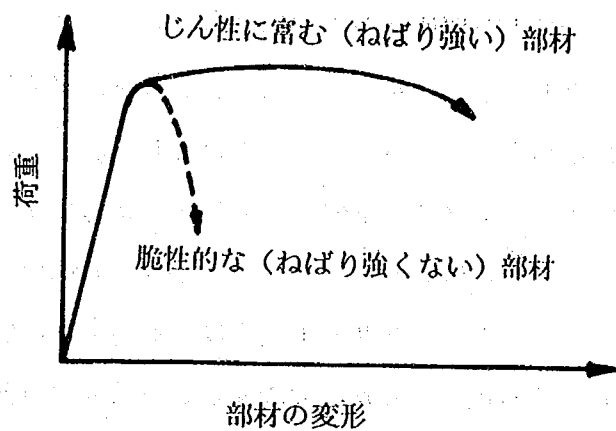


図-1 鉄筋コンクリート部材のじん性

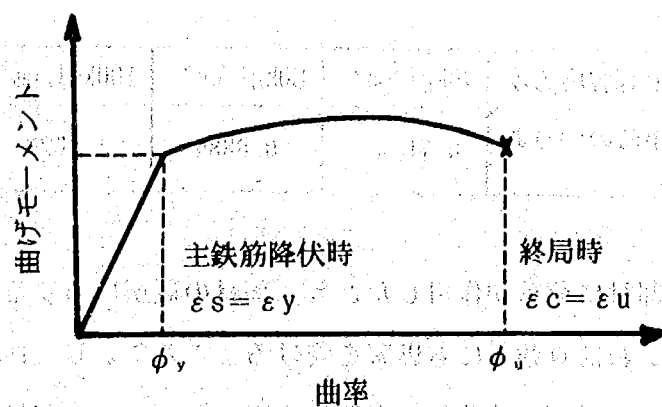
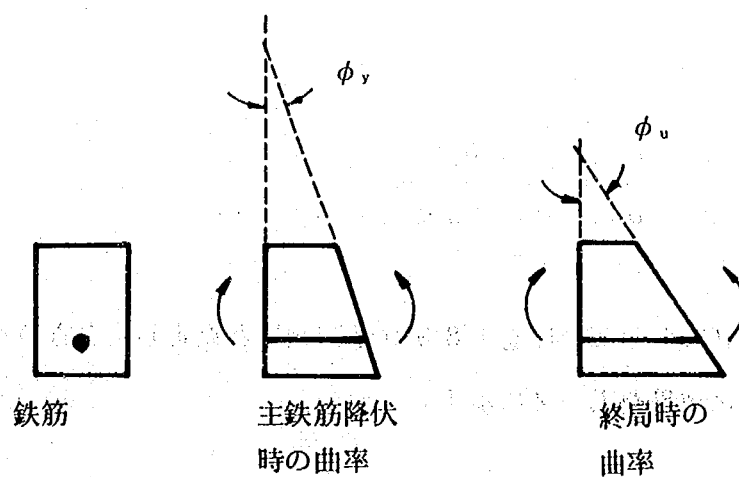


図-2 鉄筋コンクリート部材のモーメント曲率関係

終局状態における破壊の危険性との関連性から、述べることにする。

許容応力度法で鉄筋コンクリート部材を設計した場合、材料の経済的な利用を行うため、設計荷重作用時には引張鉄筋とコンクリートがそれぞれ許容応力度に達するように配置される。このため、コンクリートの許容曲げ圧縮応力度が増加した場合、鉄筋の配筋量も増加する。このことは、鉄筋コンクリート部材断面の力のつりあい条件から導くことができる。ここでコンクリートおよび鉄筋両方が許容応力状態になるときの鉄筋比をつりあい鉄筋比として ρ_a で表すと、単鉄筋の断面について、 ρ_a はコンクリートの許容応力度 σ_{ca} および鉄筋の許容応力度 σ_{sa} 、鉄筋とコンクリートのヤング係数の比 n （設計では通常 $n=15$ とする。）を用いて次式で表される。

$$\rho_a = \frac{1}{2} \frac{\sigma_{ca}}{\sigma_{sa}} \frac{n \sigma_{ca}}{\sigma_{sa} + n \sigma_{ca}}$$

上式から鉄筋の許容引張応力度を 1800 kgf/cm^2 と仮定したときのつりあい鉄筋比 ρ_a を算定した結果を表-2に示す。

表-2 コンクリートの許容応力度とつりあい鉄筋比の関係

コンクリートの許容応力度	70kgf/cm ²	80kgf/cm ²	100kgf/cm ²
許容応力度作用時のつりあい鉄筋比	0.716%	0.888%	1.262%

鉄筋コンクリート部材に荷重が作用したとき、部材の破壊に対する危険性は部材の強度だけではなく、ねばり強さにも影響を受ける。ここで、じん性に富むねばり強い部材と、脆性的な脆い部材の荷重変形関係を図-1に示す。部材がねばり強い場合、部材に有限時間に過大な荷重が作用しても、その塑性変形性能により、荷重

からもたらされる外力エネルギーを吸収し、部材の破壊を免れることができる。

一般的に、引張主鉄筋比が大きくなると、鉄筋コンクリート部材は脆い破壊をしやすくなり、鉄筋比が小さいほどじん性（ねばり強さ）が増大する傾向があることが知られている。よって、鉄筋コンクリート部材の崩壊防止の観点からすると、鉄筋比をあまり大きくしないことが望ましい。このことを、以下に計算例をもとに示す。

コンクリートの設計基準強度を 210 kgf/cm^2 ・コンクリートの終局圧縮ひずみを 0.35% とし、鉄筋の降伏点を 3000 kgf/cm^2 と仮定したとき鉄筋コンクリート部材のねばり強さが鉄筋比によりどの程度変化するか試算を行う。ねばり強さは鉄筋コンクリート部材の載荷位置における終局変位に対する降伏変位の比（じん性率）で与えられるが、ここでは簡略的にねばり強さを、図-2 に示すように鉄筋降伏時の曲げモーメントによる曲率（ ϕ_y ）と、終局時の曲率（ ϕ_u ）の比によって評価する事にする。この比が大きいほどじん性に富む部材が設計されていること

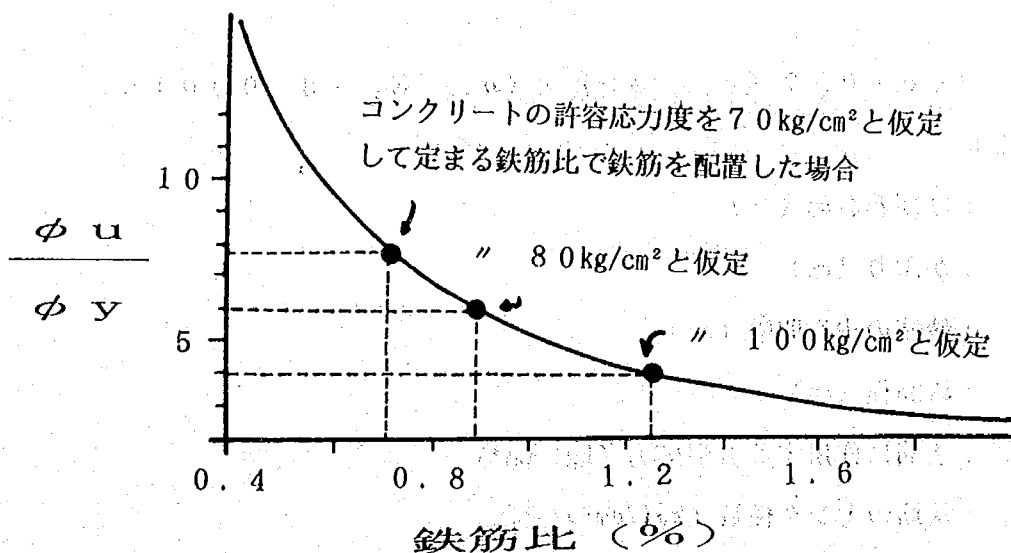


図-3 鉄筋比とじん性（ ϕ_u / ϕ_y ）の関係

になる。単鉄筋断面で、鉄筋比の変化による ϕ_s/ϕ_y の変化の計算結果を図-4に示す。この計算結果からもわかるとおり鉄筋比が増大するにつれ、鉄筋コンクリート部材のねばり強さは大きく低下している。ここで、表-1に示した許容応力度によって定まる鉄筋比での ϕ_s/ϕ_y の値を図-3中●で示している。この計算結果から、コンクリートの許容応力度を上げた場合、設計面では過剰な鉄筋の配置につながりやすく、この結果脆い鉄筋コンクリート部材が設計される傾向があり、許容応力度を大きく設定することは好ましくないと言える。

次に鉄筋の許容応力度を大きくした場合について、鉄筋コンクリート部材の耐久性（鉄筋の腐食）との関連について述べることにする。

鉄筋コンクリート部材では、曲げによる引張ひび割れの発生を許容している。しかし、常時作用すると考えられる荷重に対し、幅の大きなひび割れを許容すると、鉄筋の腐食による耐久性な低下が起こるため好ましくない。ここで、曲げモーメントを受ける鉄筋コンクリート部材に生じるひびわれ幅は、次式によって近似的に求められることが明らかにされている。

$$w = \{4c + 0.7(c_s - \phi)\} \cdot (\sigma_s / E_s + 0.00015)$$

ここに

w : ひびわれ幅 (cm)

c : かぶり (cm)

c_s : 鉄筋の中心間隔 (cm)

ϕ : 鉄筋径 (cm)

σ_s : 鉄筋に作用する引張応力 (kgf/cm²)

E_s : 鉄筋のヤング係数 (kgf/cm²)

上式に従い、かぶり 3 cm、鉄筋の中心間隔 6 cm、鉄筋径 2.2 cm、鉄筋に作用する引張応力度を 1800 kgf/cm² の仮定の元でひびわれ幅を試算すると 0.147 mm となる。一般の環境において、耐久性を維持するための許容ひびわれ幅は

$w_a = 0.005c$

ここに

w_a : 許容ひびわれ幅

であり、かぶり 3 cm の場合許容ひびわれ幅は 0.15 mm となる。このように、常時作用荷重に対し鉄筋の引張応力が許容応力度レベルにあった場合、ひびわれ幅は学会の許容値に非常に近い。鉄筋の許容応力度を現状の値以上に設定すると、常時作用荷重に対するひびわれ幅が過大となり、鉄筋腐食の危険性が増し、耐久性が低下することが予想される。

4. まとめ

以上をまとめるとつぎのようになる。

①コンクリートの許容応力度は様々な要因を考慮して定められている。

②これまでの示方書の変遷をたどると、許容応力度の向上は主にコンクリートの品質の向上を考慮して定められており、この観点のみからさらに許容応力度を向上する可能性の余地は少ない。言い替えると荷重の設定法、構造解析法の高精度化を図らなければ許容応力度向上の根拠を与えることができない。

③安易に許容応力度を変化させると、部材の終局時の安全性、常時の荷重作用時の耐久性が低下する恐れがある。

以上のことから、現時点では許容応力度を改正することは容易ではない。さらに、設計を合理的に行うには、現行の許容応力度法よりはむしろ限界状態設計法で各要素ごとに安全率を検討してゆくことが早道であると思われる。ただ、現在建設省をはじめとする公共事業では、許容応力度法で蓄積してきた膨大な指針類、標準設計類などの資料を有しており、直ちに限界状態設計法に移行することは不可能であるので、現在種々の検討が行われている。

(コンクリート研究室)

共－５ 非破壊による舗装厚測定装置の開発

（質問）

中国地建にて、官民共同開発で非破壊による舗装厚測定装置の開発に取り組んでいるが、現行の施工管理機器の開発水準に照らして、今後開発された機器が管理基準の目安となる必要があると考え、開発した機器を活用するために試験施工時のデータ収集方法等について御教示願いたい。

（企画部技術管理課）

（回答）

アスファルト舗装工における施工項目を、その施工過程により分類すると骨材や瀝青材料等の品質に関する材料管理と、それら材料の配合及び加熱混合等の合材の品質に関するプラント管理、さらに施工の結果でき上がった舗装版の品質及び出来形に関する施工管理に大別できる。

これらの施工管理について、材料管理やプラント管理は主として試験室やアスファルトプラント内で行われる室内試験による品質管理といった性格のもので、アスファルトプラントの自動制御や集中管理が普及し、安定した混合物が生産されるようになってきた現在、試験項目や頻度の見直しが必要であると言える。一方、品質及び出来形に関する施工管理は、そのほとんどが施工後に行う事後管理であって、施工へのフィードバックが難しく、コア採取による舗装面の破壊やその判定に時間を要している。また、コア採取後の処理によってはポットホールやクラック発生の原因になるなど道路維持管理上の障害になることもある。このため、舗装面上から非破壊で自動的に施工管理を行う装置システムの開発が求められている。

このような状況において、現行の施工管理機器開発状況としては、締固め度（密度）を把握するための機器として散乱型ＲＩ測定器が、また、舗装厚を把握するための機器として電磁波レーダが普及しつつある。

まず、散乱型ＲＩ測定器とは、放射性同位元素の線源と検出管が地上にあり線源より射出された放射線のうち、地盤の構成原子と相互作用した（散乱した）放射線

を検出することが可能な測定器である（図1参照）。その原理は、ガンマ線が物質中を通過する際、物質を構成する原子中の電子と衝突してコンプトン散乱を起こしエネルギーが小さくなり、その割合が途中で出会う電子の数に比例することを用いたものである。電気的に中性である物質の原子には、電子と同じ数の陽子が含まれており、また多くの物質は陽子と中性子がほぼ一定の関係にあることから、物質の密度は電子の密度に比例しているとみなせるものである。

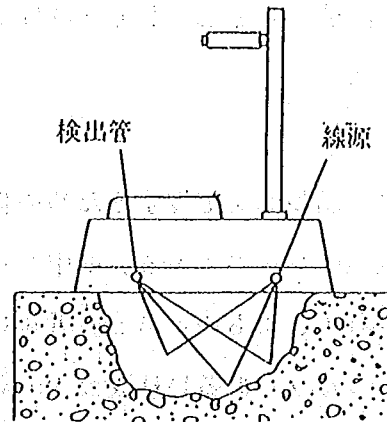


図1 RI計の原理（散乱型）

ここで、散乱型RI測定器を利用しデータを収集する場合、RI計の測定精度に影響を与える因子として、①合材の種類②舗装路面の凹凸③測定時間等に注意を払う必要があると考えられる。昭和62年度～平成元年度にかけて実施された「機械化施工における施工管理手法に関する研究」によれば、次のようになる。

- ① 混合物性状のうち、アスファルト量は測定精度に影響を及ぼさないが、骨材粒度に関しては、粒度が粗くなると密度が低く求められる傾向が見られる。このため、RI計を適応させるには骨材粒度による影響を補正する方法を確立しなければならない。
- ② 路面のきめが粗くなると密度が低く出る傾向にあり、標準砂による表面処理（目潰し）を行うと、この傾向は改善される。従って、砂による表面処理を標準的に行うのが望ましい。
- ③ 測定時間が短い場合はバラツキが大きく、測定値も低くなるため、測定は少なくとも2分以上としなければならない。なお、2分測定の場合変動係数は1%以内であり、実用上問題のない繰り返し精度が期待できる。

④ RI 密度は実際のコア密度より $0.2 \sim 0.3 \text{ g/cm}^3$ 低く出る傾向にあるが、両者の相関関係は良い（相関係数は 0.9 程度）。このため、回帰式を換算式として内部演算装置に記憶させることができれば密度の近似値が得られ密度管理が可能になると考えられる。

次に、舗装厚を把握するための機器として近年利用されるようになってきたのが電磁波地中レーダである。地中レーダはもともと道路面下空洞探査等を行うために開発されてきたものである。近年は、供用後長い期間が経過し設計書が保存されていなかったり、あるいは改良や改築等によって、当初の構造から変更されていたりして、補修・維持工事の履歴が必ずしも常に引き継がれていない現状の舗装の把握のために利用されつつある。また、フィニッシュの敷均し作業を高速化するため、敷均し厚さをリアルタイムで測定表示し、敷均し作業にフィードバックされる研究も進みつつある。

ここで、電磁波地中レーダ法とは、アンテナから放射されたパルス状の電磁波が、図2に示すように比誘電率の異なる層の境界で部分的に反射されることを利用して、舗装構成材料の境界面からの反射の時間差を測定し、構成材料固有の比誘電率によって層厚を求めるものである。すなわち、ある厚さをもつ物質中を透過する電磁波の

$$V = 30/\sqrt{\epsilon}, \quad D = 1/2 \cdot V T$$

V : 伝搬速度 (cm/ns) ϵ : 比誘電率

D : 厚さ (cm) T : 電搬時間 (ns)

したがって、比誘電率 ϵ が既知であれば層厚は電磁波の反射に要する時間（遅れ時間）によって簡単に求められるのである。

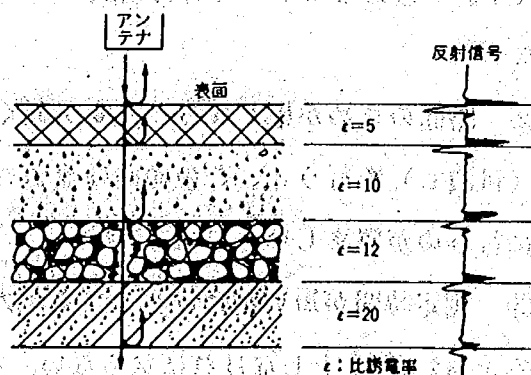


図2 地中レーダの原理

このように、電磁波による舗装厚の測定においては、比誘電率を確実に同定しなければならないが、アスファルト混合物の比誘電率に影響を及ぼすと考えられる要因には、混合物の種類、粗骨材の材質、締固め度、水分等がある。

①比誘電率の目安としては、アスファルトコンクリート4～6、路盤材6～10という報告もあるが、材料により変動が大きいいため、材料ごとになるべく多くのデータを集め比誘電率を決定する必要がある。

②混合物の締固め度、水分の影響については、影響はない、すなわち、混合物の比誘電率は類似しているという報告がある。しかし、その報告のデータ数は少なく、また、比誘電率を固定して測定しているため、再精査が必要であると思われる。

③粗骨材の材質については、砂岩・安山岩を使用したアスファルト混合物の測定値は同程度であるが、石灰岩を使用したアスファルト混合物は若干大きい値を示すため、今後は岩の種類による影響を精査しなければならない。

以上の点を踏まえつつ、非破壊による舗装厚測定装置の開発に取り組んでいく必要があると思料される。

(参考文献)

1. 長ら, 機械化施工における施工管理手法の合理化, 土木研究所資料第2995号, 平成3年3月, p154～175
2. 伊東ら, 電磁波による舗装厚の非破壊測定に関する2・3の実験, 第18回日本道路会議論文集, 平成元年10月, p. 546～547
3. 古財ら, 電磁波によるアスコン厚の非破壊測定に関する2・3の実験, 土木学会第44回年次学術講演会, 平成元年10月, p. 62～63

(機械研究室)

共一 6 盛土に伴う軟弱地盤中の既設埋設管の不等沈下対策

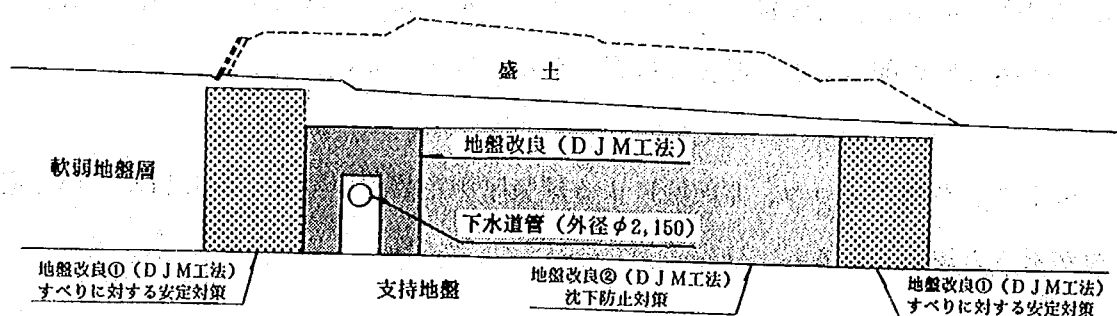
(質問)

盛土構造となる軟弱地盤箇所において、シールド工法により埋設された既設の下水道管（コンクリート製、内径 $\phi 1,500$ 、外径 $\phi 2,150$ ）があり、盛土に伴う下水道管路の不等沈下および破損が懸念される。この対策工法として、深層混合処理工法（DJM工法）により管路周辺を門型に改良して保護すること（下図参照）を考えている。以下の点について御教示願いたい。

①この方法で保護効果が期待できるかどうか。また、この方法により対策する際の留意点についても併せて御教示願いたい。

②このほかに考えられる対策工法はどのようなものか。

（松江国道工事事務所）



(回答)

①深層混合処理工法（DJM工法）による下水道管路の不等沈下対策について

深層混合処理工法は、原地盤の軟弱土と地盤改良材を強制的に混合攪拌して地盤改良を行う工法で、主に深い軟弱地盤層を施工対象としている。この工法では、原地盤の中に柱状の改良地盤（以下「改良柱体」という）が形成され、改良柱体は未改良部分と比較して一般に非常に大きな強度になるのが特徴である。

深層混合処理工法は、軟弱地盤上の盛土工事においては、すべり破壊や圧密沈下、周辺地盤の引き込み沈下や隆起、側方流動などを防止するための対策工法として、採用される事例が多い。また、鋼矢板締切等による掘削工事においては、底盤のヒービング防止や切梁を施工するまでの間の変形を軽減するための先行地中梁として採用される事例が増えている。

さて、今回の質問のケースでは盛土によって軟弱地盤に大きな不等沈下や側方流動が発生し、それに伴って下水道管路は縦断勾配の減少や縦断的な凹部の発生、下水道管路の強度を上回る荷重による管路の破壊が考えられる。したがって、下水を流下させる流路としての機能および管路の構造から許容できる不等沈下量や水平移動量、管路に作用する荷重に対し、十分な保護を行うことのできる対策工法を選定する必要がある。

一般には、施工順序が逆、すなわち構造物が既にある箇所にシールド工法などにより構造物の基礎に近接して掘削する場合が多く、このような場合は近接構造物に与える影響を軽減するため、薬液注入工法等の地盤改良工法により掘削断面を囲むように地盤改良して施工する事例は多い。このような場合は新たな上載荷重の増加はなく、現状の荷重を掘削地山周辺に再配分するために応力が集中する掘削地山周辺の地盤改良が有効となる。

今回の場合は、荷重増加による地盤の変形が障害となるために、管路周辺を補強し、管路と管路の下方の軟弱地盤に作用する荷重を増加させないことが基本となる。

質問で提案されている改良形式について考えてみると、この改良形式では盛土による上載荷重が、まず盤状の改良部分に鉛直荷重として作用することになる。盤状の改良部分で受けた鉛直荷重は、その両端を支持する改良柱体が柱の役目をし、これを介して荷重を支持層に伝達する構造となっている。

このような改良を行う際には改良体自体が沈下しないことが必要となるため、まず、両端を支持する改良柱体は支持層まで到達させておくことが条件となる。

盤状の改良部分から両側を支持する改良柱体への荷重伝達は、盤状の改良部分の曲げに対する抵抗性、あるいは十分な盤厚がある場合にはアーチ効果によることになる。この際盤及び盤と柱が一体化していることが必要で、盤状を構成する改良柱体が相互に、また、盤の改良柱体と両端で支持している改良柱体も相互に十分接合していることが必要である。

この改良柱体相互の接合は、機械攪拌方式に比べて噴射攪拌方式の方が施工原理からしても信頼性が高く、高強度が求められる工事では一般に噴射攪拌方式の深層混合処理工法が用いられている。

盤状の改良部分を一体的なものに見なして曲げに抵抗させる例としては、図-1に示すような立坑等の深い掘削における底盤改良があげられる。この場合、質問の

ケースの天地を逆にしたのと同じ様な改良条件と考えればよいことになる。深さ30～50m程度の立坑掘削においてヒービング防止対策に噴射攪拌方式の深層混合処理工法を用いて底盤改良を行って成功した例は多い。^{2) 4)}

この際の設計法としては両端を支持された梁と同様の考え方で盤状の改良部分の応力計算を行って、せん断強度および曲げ引張強度から所要の盤厚を決定するという計算方法がとられている。^{1) 3)} 曲げ引張強度は、過去の試験結果から改良土の粘着力の2/3程度の値が用いられている。³⁾

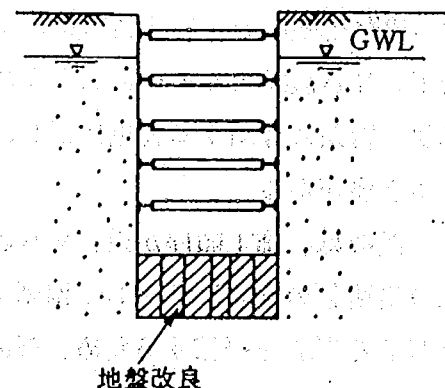


図-1 深い掘削における底盤改良

管路を保護するために門型の改良形式をとると、他の部分に比べ沈下量がわずかなため、この部分に盛土荷重が集中するので、カルバートの設計法などを参考に検討しておくことが必要である。また不同沈下のために、改良部と周辺部との間に段差が生じる恐れがある。そのための対策として盛土中に補強材を敷設することも検討する必要がある。

いずれにしても、この方法は鉛直荷重に対する対策であり、地盤の側方流動や盛土のすべり破壊等の水平方向の荷重に対しても、別途十分な対策を検討する必要がある。

この他、D J M工法等の機械攪拌方式の深層混合処理工法では施工時に周辺地盤を押広げることがあり、これにより下水道管路に影響を及ぼすことが考えられる。沈下防止対策としてD J M工法による地盤改良の施工にあたっては、施工順序や施工手順などに配慮し、側方への力を逃がす方策を検討するとともに、地盤変位の観測を行うことが必要である。

②その他の工法による下水道管路の不等沈下対策について

下水道管路の沈下対策としては、管路に作用する荷重を増加させない、もしくは荷重が加わっても管路が変形しないよう対策することが必要である。このために

管路を門型に囲むか、管路を含め地盤全体を改良することが必要となる。したがって、①で検討した門型の地盤改良においては、盤状の改良部分に替えて、地盤を掘削して鉄板やコンクリート床板にする方法や柱の部分に杭にする方法などが考えられる。

管路を含め支持地盤まで地盤全体を改良する方法では、噴射攪拌方式の深層混合処理工法で図-2に示すように改良する方法がある。この噴射攪拌方式の深層混合処理工法では、 $\phi 150\text{mm}$ 程度の削孔ロッドから高圧の水や改良材、空気を噴射し、 $\phi 2,000\text{mm}$ 程度までの改良柱体を

造成することができ、構造物などの障害物下方の地盤改良も可能である。また、ある程度の斜め施工も可能である。

地盤改良の方法としては、図-2に示すように、管路から適当な施工余裕をとって管路の両側に管路を挟み込むよ

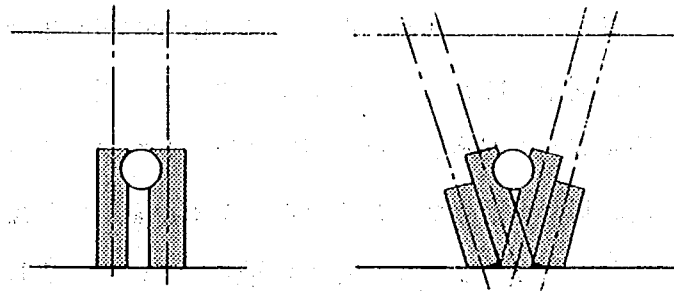


図-2 改良方法の例

うに地盤改良を行うか、または斜めに穿孔してノズルを管路下部に到達させ、必要な範囲の地盤改良を行う方法が考えられる。なお、この際に噴射圧による下水管への影響が懸念されるが、土木研究所での実験結果では、施工時の排土に注意すれば、管路に作用する圧力はわずかであり、その影響は少ないと考えられる。ただし、このような改良を行うと、改良材が固結するまでの一時的な間、地盤に支持力がなくなることになるので、その影響については施工手順や方法等を別途検討する必要がある。

《参考文献》

- 1) 佐々木道雄, 開削工事における補助工法 - 問題点とその対策としての補助工法 - : 基礎工, 1988.5.
- 2) 鈴木明, 吉田幸正: 高圧噴射注入工による立坑底盤改良 - コラムジェット工法による深層部地盤改良実績 - : 土木技術, 46巻12号
- 3) 日本ジェットグラウト協会, ジェットグラウト工法技術資料(第3版): 平成4年6月
- 4) 日本ジェットグラウト協会, ジェットグラウト工法主要施工例集: 平成4年6月
- 5) 門田伸一他: 狭小谷軟弱地盤における高盛土の施工, 土木技術, Vol.46, No12, 1991, 12

(施工研究室)

共-7 ジオテキスタイルの耐久性

(質問)

盛土等でジオテキスタイルによる工法が採用されているが、耐久性に関する検証方法とジオテキスタイルの材料の耐久性に関する評価基準等があればご教示願いたい。

(企画部電算情報課)

(回答)

ジオテキスタイルに関しては、昭和63年～平成2年までの間、建設省土木研究所と民間企業20社で「ジオテキスタイルを用いた補強土の合理的な設計法に関する共同研究」を実施し、その研究成果としてジオテキスタイルを用いた補強土工法の技術的基準を定めた「ジオテキスタイルを用いた補強土の設計・施工マニュアル」¹⁾ (以下、マニュアルと称す) 作成している。そして、マニュアルの中には耐久性に関する考え方を示しているので、このマニュアルの基づき、ご質問に回答する。

1. ジオテキスタイルの耐久性と材料安全率の関係

ジオテキスタイルを盛土の補強材に用いる場合の設計定数として設計引張強さを決定するが、設計引張強さは単にジオテキスタイルの最大引張強さをを用いるのではなく、式(1)に示すようにクリープ、耐久性、施工時の損傷など考慮した材料安全率を見込んで設計引張強さを定めることにしている。したがって、盛土の補強材に使用されるジオテキスタイルは事前に各種の耐久性試験によってクリープ、耐久性、施工時の損傷といった特性を確認し、適切な安全率を設定しておくことが原則である。一般的には、ジオテキスタイルの設計引張さ T_A は、ジオテキスタイルの最大引張強さ T_{max} の $1/3 \sim 1/5$ 程度の値が採用されていることが多く、耐久性等を考慮してかなりの材料安全率が設計時点で見込まれている。

$$T_A = \frac{T_{max}}{F_{or} \times F_D \times F_o \times F_B} = \frac{T_{or}}{F_D \times F_o \times F_B} \quad \text{.....式(1)}$$

ここに、 T_A : ジオテキスタイルの設計引張さ

T_{max} : ジオテキスタイルの最大引張強さ

F_{or} : クリープを考慮した材料安全率

F_D : 耐久性を考慮した材料安全率

F_o : 施工中の損傷を考慮した材料安全率

F_B : 接合部の強度低下を考慮した材料安全率

T_{or} : クリープを考慮したジオテキスタイルの限界引張強さ

T_{or} はジオテキスタイルの最大引張強さ T_{max} にクリープ低減係数 μ を乗じる
か、クリープを考慮した材料安全率 F_{or} で割った式(2)のように表される。

$$T_{or} = \mu \cdot T_{max} = \frac{T_{max}}{F_{or}} \quad \text{.....式(2)}$$

ここに、 μ : クリープ低減係数

2. ジオテキスタイルの耐久性の検証方法

表-1にジオテキスタイルを一般的な盛土構造物の補強・安定に関する特性を評価するための試験項目を示す。また、表-2にジオテキスタイルの供用に際しての環境（土質、気候等）や施工条件が特殊な場合の耐久性に関する試験項目を示したものである。なお、我が国における一般的な土中の環境条件とは、温度-5 ~ 30℃、pH5 ~ 9の範囲で有害な化学成分を含まない条件である。

以下に、ジオテキスタイルの各種耐久性試験の具体的な試験方法の概要について述べる。

1) クリープ試験

盛土の補強材にジオテキスタイルを用いる際に、土の破壊ひずみにあった引張強さやクリープを考慮した限界引張強さを設計定数に用いるのが通常の方法である。なお、クリープを考慮した限界引張強さ T_{or} は前述、式(2)によって求めるものとする。

表-1 一般的な盛土構造物の補強・安定に関する特性を評価するための試験項目

用途	目的	強度変形特性試験		摩擦特性試験	水理特性試験		
		引張試験	クリープ試験	引き抜き・一面せん断試験	面内方向 通水性試験	垂直方向 透水性試験	開孔径試験
		引張強度特性	長期強度特性	摩擦特性	面内方向通水性	垂直方向透水性	A. O. S
盛土	盛土本体の補強	◎	◎	○			
	盛土内排水	△		△	◎	○	○
	圧密促進	△		△	◎	○	○
	盛土のり面の侵食防止	△		△	△	△	△
	盛土のり面の補強（転圧補助）	◎		○			
	耐震性の向上	◎	○	○		△	

◎印：設計値を求めるために製品ごとに必ず実施しておかなければならない試験（設計値として使用される試験）

○印：設計値を求めるために実施しておくことが望ましい試験

△印：設計上は直接必要とはしないが、適用に当たってジオテキスタイルの使用適正を判断するための特性値。

例1) 盛土内排水においては引張り試験は設計上必要としないが、通水性を確保するための連続性を保持するためには適当な強度が必要である。

例2) 摩擦特性試験は、水理特性に優れたジオテキスタイルでも、土粒子間との境界面での滑りが土構造物の弱点とならないことを確認するため

に必要である。

	設計上必要	設計上参考
実施する必要がある	◎	○
実施しておくとう望ましい	○	△

表-2 環境（土質、気候等）や施工条件が特殊な場合の試験項目

考慮すべき状況	内容	試験項目				
		引裂試験	破壊試験	耐薬品性試験	貫入試験	耐候性試験
通常条件	〈インデックス試験〉			●		●
土質	礫質土・ズリ 強酸土 強アルカリ土 産業廃棄物	○	●	●（酸） ●（アルカリ） ●	○ ○	
環境	屋外暴露部 水の影響			●		●
施工時	重機の使用 礫材・栗石の投入	○ ○	● ●		○ ○	

● ジオテキスタイル全般に共通

○ 不織布系ジオテキスタイルに適用

※耐熱性、耐寒性については、現場状況に応じた試験を実施しなければならない。

クリープを考慮した限界引張強さ T_{or} の定義として、クリープによる破壊現象が明瞭に表れる材料では、荷重を加えてから一定時間に破壊を生じるときの応力で定義される「ジオテキスタイルの破壊強さ」を用いるが、破壊現象が明瞭でなく、クリープひずみが徐々に漸増するような材料では荷重を加えてから一定時間にある規定されたクリープひずみを生じる応力で定義される「クリープの限界強さ」を用いる場合もある。なお、土木用に市販されているジオテキスタイルは、クリープひずみの絶対量が大きく、土の破壊ひずみに相当する10～15%のひずみを越えて徐々に漸増するものが多いので、クリープを考慮したジオテキスタイルの限界引張強さ T_{or} は「クリープの限界強さ」を用いる場合が多い。

次に、クリープ試験方法を表-3および表-4に示す。また、クリープひずみは、式(3)によって求める。

$$\varepsilon_t = \frac{l_t - l_0}{l_0} \quad \dots\dots\dots \text{式(3)}$$

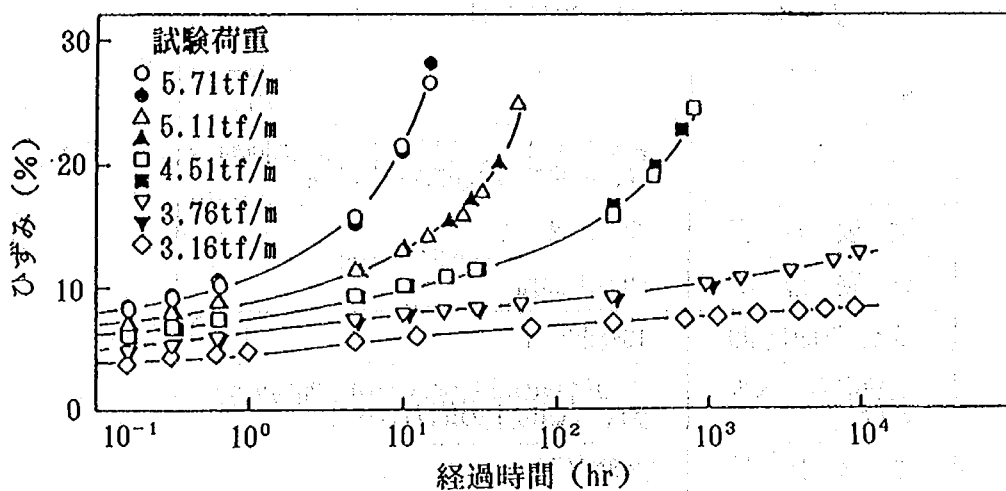
ここに、 ε_t : クリープひずみ

l_t : 試験荷重を加える前の標線距離 (mm)

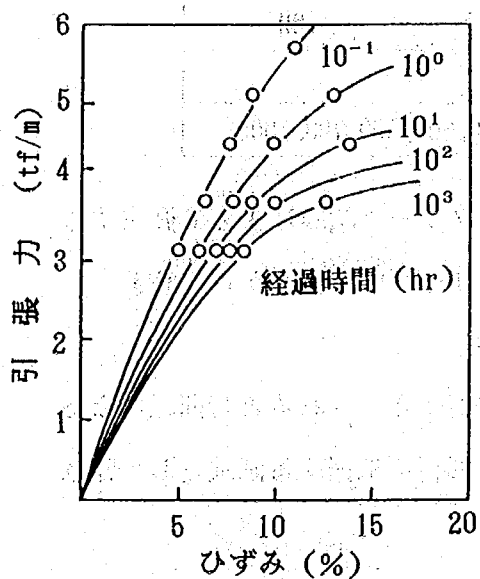
l_0 : 負荷後任意の経過時間後の標線距離 (mm)

上記、式(3)で求められたクリープ試験の結果の整理は、図-1に示すように3種類ある。

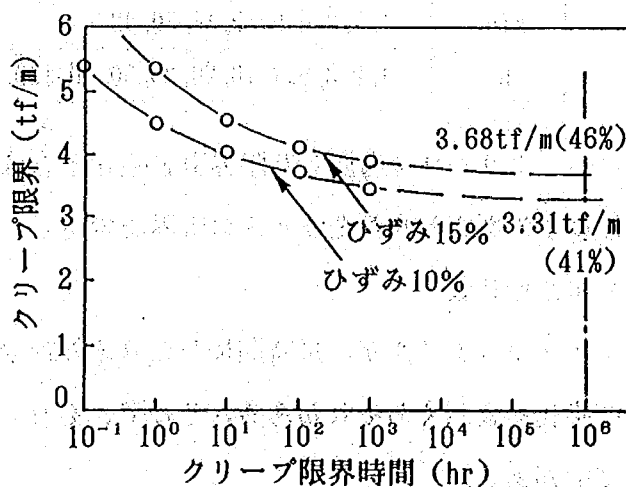
- ①クリープ-時間線図：横軸に経過時間 (hr) を対数目盛、縦軸にクリープひずみを等間隔目盛で応力毎に整理したもの (図-1, a) 参照)。
- ②等時応力-クリープ時間図：クリープ-時間線図から、同じ経過時間に対するクリープひずみを各応力毎に読み取り、横軸にクリープひずみ、縦軸に応力を等間隔目盛でとり、時間毎に整理したものである。(図-1, b) 参照)。
- ③クリープ限界線図：クリープ限界線図は横軸にクリープ限界時間を対数目盛で、縦軸にクリープ限界を等間隔目盛でとり整理したもの (図-1, c) 参照)。
この場合、規定されたクリープひずみを明記する。



a) クリープひずみ-時間線図



b) 等時応力-クリープひずみ線図



c) クリープ限度線図

図-1 ジオテキスタイル (ジオグリット) のクリープ試験結果の整理方法

表-3 クリープ試験における共通条件

項 目	適 用
試 験 機	負荷時および試験中に供試体に振動などの影響を及ぼさないもの
試 験 温 度	23° ± 2° C
試 験 湿 度	50%±20%
状態調節時間	16時間以上
試験応力レベルの数	その材料の破断強さの10~90%の範囲で5個以上の応力レベル
供 試 体 数	3個以上
測 定 時 間	表-4 参照

表-4 クリープひずみ測定のタイムスケジュール

単位	測 定 時 間
min	1, 2, 3, 4, 6, 12, 18, 30, 42
h	1, 2, 3, 5, 7, 10, 20, 30, 50, 70, 100, 200, 300, 500, 700, 1000

なお、クリープを考慮した限界引張強さ T_{cr} は、クリープ試験によって発生する弾性ひずみを合わせた全ひずみの限界を設定し、クリープ限界線図から求める。

2) 耐候性試験

ジオテキスタイルが、長時間にわたり紫外線や雪雨にさらされると時間経過とも強度劣化をまねくおそれがある。そこで、それらの影響を把握する試験として耐候性試験がある。

試験方法は屋外暴露と促進暴露の2種類あり、それぞれ一定時間暴露後に引張強さ・破壊ひずみを計測し保持率（暴露後の引張強さ・破壊ひずみ/ 暴露後の引張強さ・破壊ひずみ）を求めるものである。なお、屋外暴露試験はJIS A1410（プラスチック建築材料の屋外暴露試験方法）を準用して行い、暴露時間は暴露時間は100~40,000時間で、その間定期的に試験片を採取し引張試験を行うものである。また、促進試験はJIS A1415（プラスチック建築材料の促進暴露試験方法）を準用し、

光源はWS（サンシャイン）型を用いて暴露し暴露時間は100～10,000時間とし、屋外暴露同様、定期的に試験片を採取し引張試験を行うものとする。なお、屋外暴露、促進暴露とも引張強さの保持率が30%を下回った場合には、その時を暴露終了の目安とする。なお、図-2に耐候性試験結果の例を示す。この図より、ここで紹介するジオグリットの例では、耐候性について引張強さ、破断強さとも高い保持率を有している。一方、不織布は引張強さ、破断強さとも暴露することによって保持率の低下が見られた。

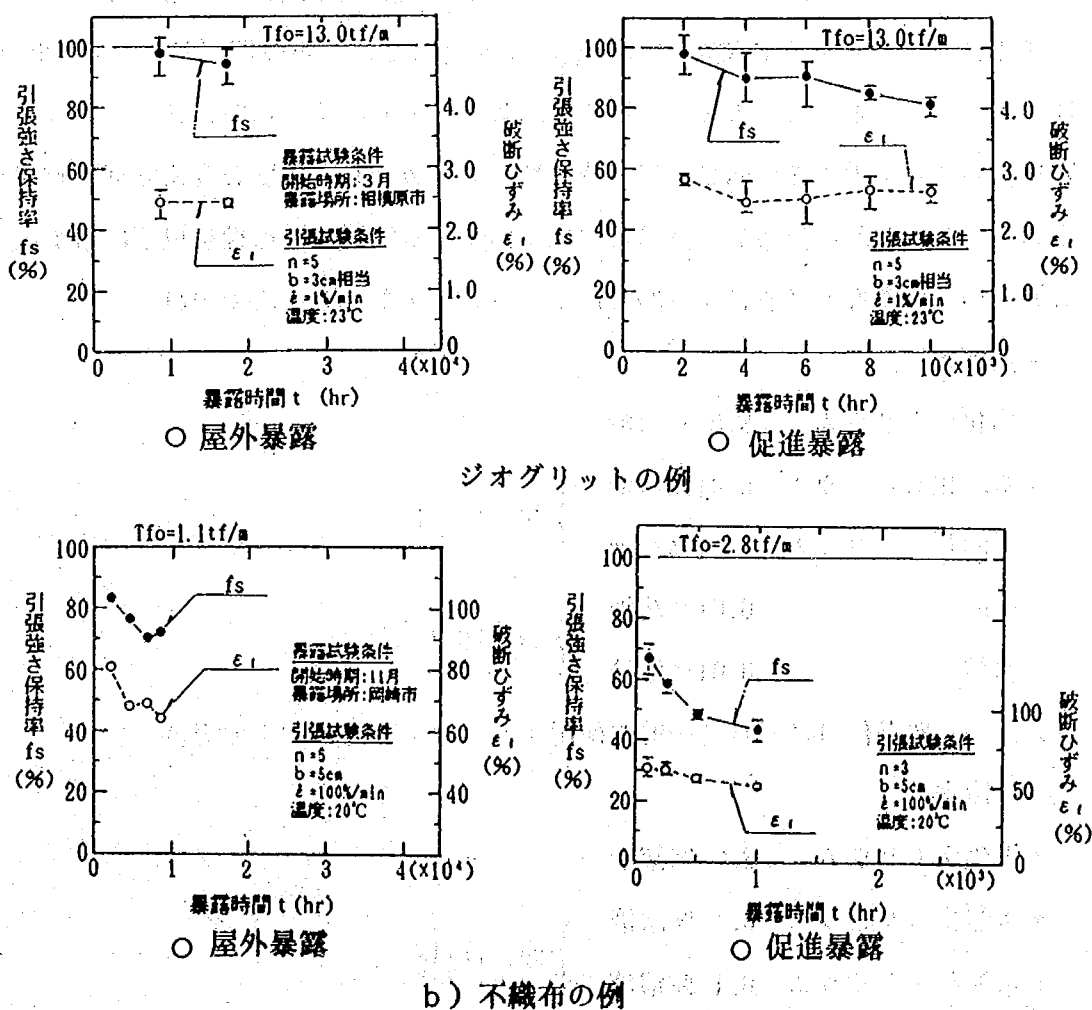


図-2 耐候性試験の例

3) 耐薬品性試験

土の物性として、pHを調べるとpHは土壌によってが広範囲になっており、酸性やアルカリ土壌中のジオテキスタイルの耐久性を検討しておく必要がある。特に、温泉地帯（pH=1.0~9.95）やセメント固化材による改良地盤（pH=10 ~ 13）等の特殊な条件下でジオテキスタイルが使用する場合には注意が必要である。そこで、化学成分によるジオテキスタイルの強度変化を調べるため耐薬品性試験がある。

試験方法は、JIS K7114(プラスチックの耐薬品性試験方法)に準用して行い、ジオテキスタイルを所定の濃度の水溶液に静的浸漬し、一定時間（250 ~ 1,000 時間）浸漬後に引張試験によって保持率を求めるものである。なお、ジオテキスタイルを敷設する土の物性に応じて浸漬液（酸，アルカリ）の濃度を変えて試験を行うものである。なお、耐薬品性試験に用いる具体的な浸漬液の条件は以下に示す。

a) 土の一般条件A（pH=6~8）で使用するジオテキスタイルの場合

- 蒸留水
 - 塩化ナトリウム 3.0 %溶液
 - 水酸化カルシウム 0.01%溶液
 - 水酸化ナトリウム 0.01%溶液
 - 硫酸 0.01%溶液
 - 塩酸 0.01%溶液
- } 約 pH=11
- } 約 pH=3

b) 土の一般条件B（pH=5~9）で使用するジオテキスタイルの場合

- 蒸留水
 - 塩化ナトリウム 3.0 %溶液
 - 水酸化カルシウム 0.1 %溶液
 - 水酸化ナトリウム 0.1 %溶液
 - 硫酸 0.1 %溶液
 - 塩酸 0.1 %溶液
- } 約 pH=12
- } 約 pH=2

c) 特殊条件 ($\text{pH} \leq 4$, $\text{pH} \geq 10$) で使用するジオテキスタイルの場合

- 蒸留水
- 塩化ナトリウム 3.0 %溶液
- 水酸化カルシウム 飽和溶液
- 水酸化ナトリウム 10%溶液
- 硫酸 10%溶液
- 塩酸 10%溶液

次に、図-3に特殊条件下での耐薬品性試験の例を示す。図より、ここで紹介するジオグリットの場合では、特殊条件下での耐薬品性について引張強さ、破断強さとも高い保持率を有している。一方、不織布の特殊条件下での耐薬品性については引張強さ、破断強さとも浸漬することによって保持率の低下が見られた。

4) 施工中の損傷の程度を調べるための耐久性試験

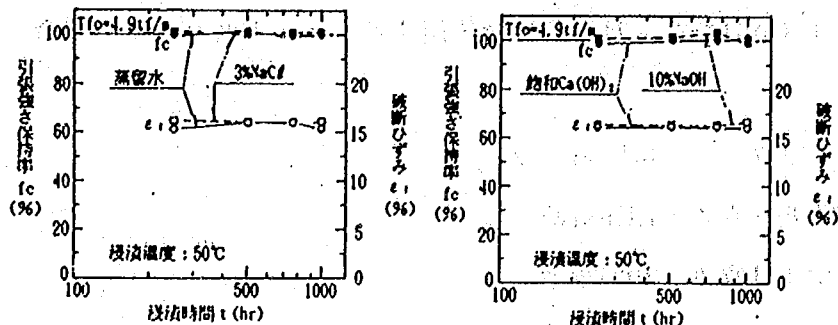
ジオテキスタイルの敷設面や盛土材に礫分を多く含有していると、施工時の転圧や建設機械の走行によってジオテキスタイルが損傷する場合がある。そこで、施工中の損傷の程度を調べるための耐久性試験として、貫入試験、転圧試験、引裂き試験を行い、その特性を把握する必要がある。

図-4に貫入試験方法を示す。貫入試験は、図に示すような貫入ロッドを押しつけ破壊時の荷重を計測するものである。

転圧試験は、事前に実際に使用される盛土材を用いて試験施工を行い、転圧後のジオテキスタイルから試験片を採取し引張試験を行い保持率を計測することが望ましい。ただし、図-5に示すように人工的にジオテキスタイル試験片に繰返し荷重を加えのち、引張試験を行って保持率を計測する方法もある。

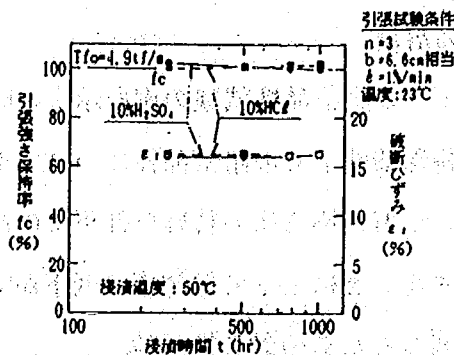
次に、図-6に引裂き試験の方法を示す。試験は、JIS L1096 のトラペゾイド法を使用する方法である。

以上、現在におけるジオテキスタイルの耐久性の検証方法の概要を述べてきたが、ここで紹介した各種耐久性試験により、環境条件に適合する製品の選定をする



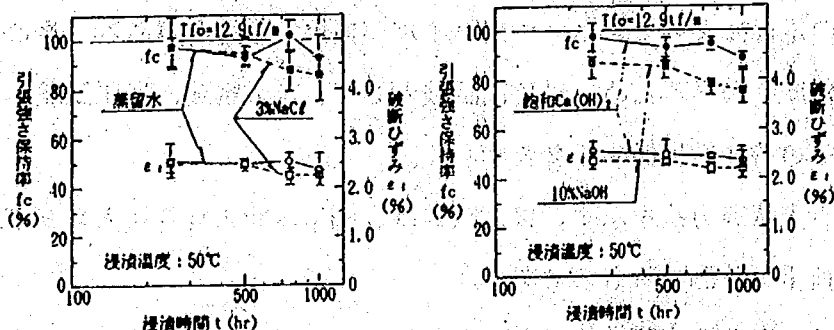
○ 水・塩水の影響

○ アルカリ性溶液の影響



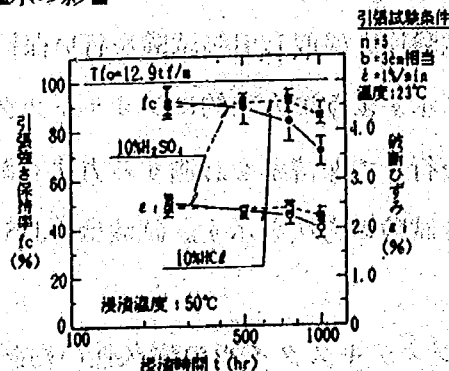
○ 酸性溶液の影響

a) ジオグリットの例



○ 水・塩水の影響

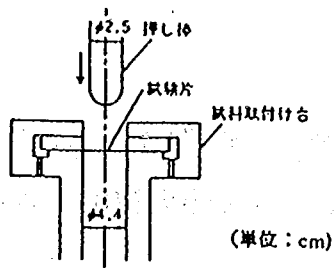
○ アルカリ性溶液の影響



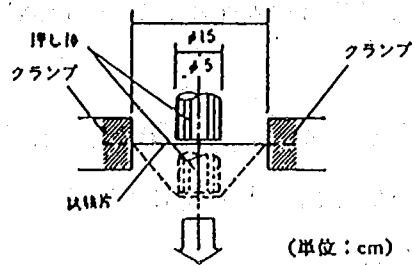
○ 酸性溶液の影響

b) 不織布の例

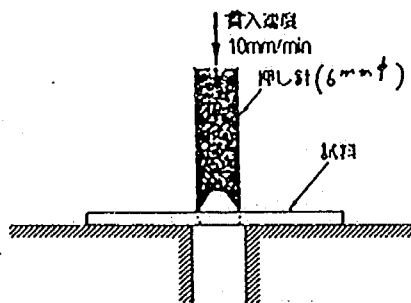
図-3 特殊条件下の耐薬品性試験の例



(a) JIS L 1096(B法) の破断強さ



(b) CBR 試験に準ずる貫入試験



(c) SM式貫通抵抗試験

図-4 ジオテキスタイルの貫入試験

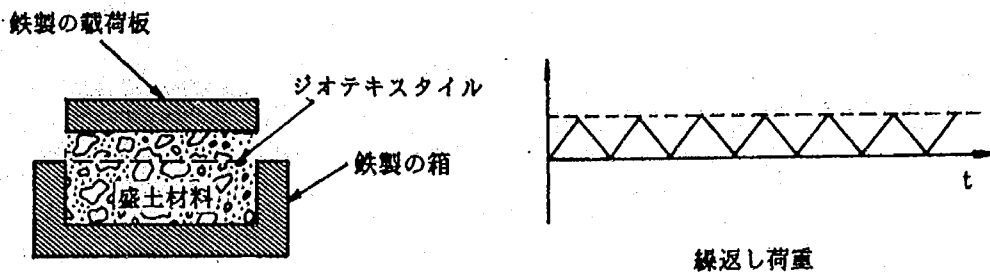


図-5 室内における転圧試験

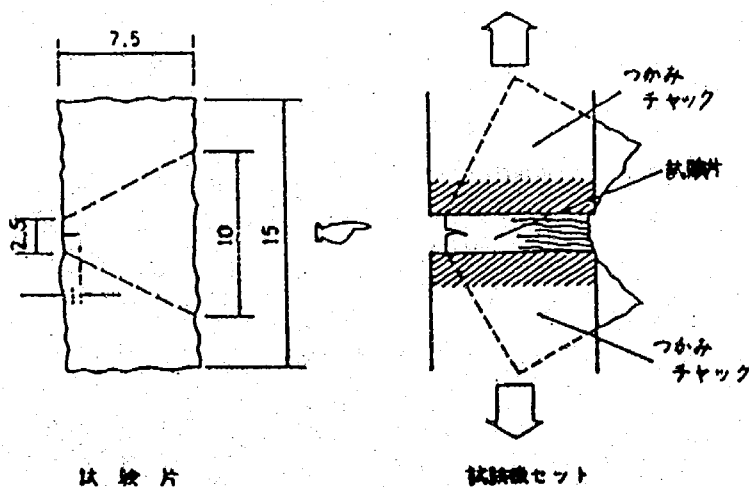


図-6 引裂試験方法

とともに、適切な材料安全率選定する必要がある。

〔参考文献〕

- 1)建設省土木研究所 土質研究室，施工研究室，動土質研究室：「ジオテキスタイルを用いた補強土の設計・施工マニュアル」，土木研究所資料第3117号，平成4年3月

(土質研究室)

共-8 グラウンドアンカーの設計

(質問)

グラウンドアンカーの設計において、グループ効果についてご教示願いたい。

- 1) 「引張り型アンカー」、「圧縮型アンカー」の違い
- 2) グループ効果とは
- 3) 影響円錐の相互干渉の範囲は、「アンカー体定着部」、「アンカー体定着長+引張り部」のどちらで考えるのか。

(山口工事事務所)

(回答)

- 1) 「引張り型アンカー」、「圧縮型アンカー」の違い

引張り型アンカーと圧縮型アンカーは、テンドンからアンカー体への力の伝達方法の違いにより分類される。緊張時に、テンドンに作用する引張力を、テンドンとグラウト材の付着により、アンカー体に伝達するものが引張り型であり、この引張力を、圧縮力に換え、アンカー体に伝達するものが圧縮型である。圧縮型ではアンカー体に引張力が作用しないため、引張り型において生じる緊張クラックが発生しないという利点がある。図-1に引張り型アンカーの例、図-2に圧縮型のアンカーの例と力の伝達順序を示す。

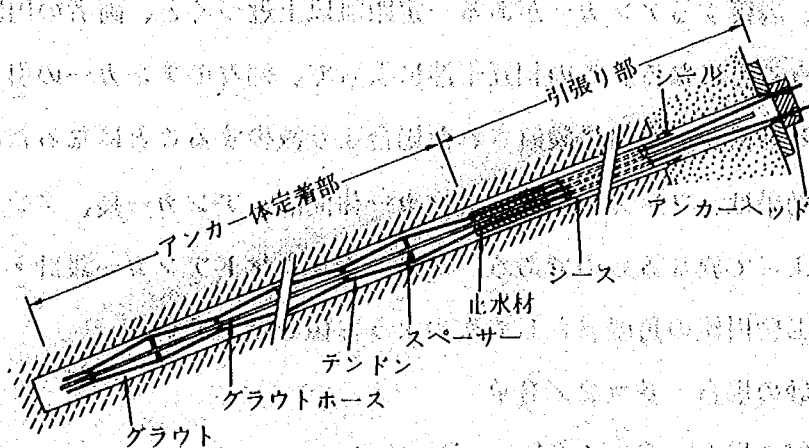
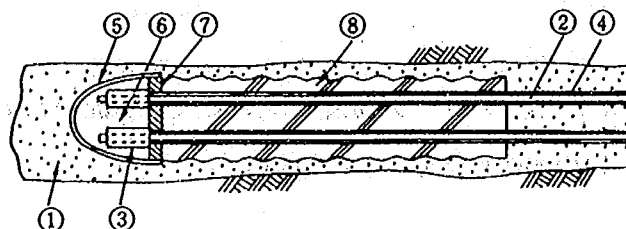


図-1 引張り型アンカー（テンドンにPC鋼より線を使用した例）



- ① グラウト材
- ② テンドン
- ③ グリップ
- ④ シース
- ⑤ オイルキャップ
- ⑥ 防錆油
- ⑦ 耐荷体
- ⑧ 強化アンカー体

荷重→テンドン→グリップ→耐荷体→強化アンカー体→定着部→地盤

図-2 圧縮型アンカー（アンカー体定着部）

2) グループ効果とは

アンカーの引き抜き抵抗に関するグループ効果とは、複数のアンカーを近接して設置した場合、単独に設置した場合のアンカーの引き抜き抵抗に比べ、一本当りの引き抜き抵抗が小さくなることである。このグループ効果は、次のように説明される。各アンカーの引き抜き抵抗に動員される地盤を、図-3のように円錐形と仮定すると、隣接するアンカーがある一定距離以上近づくと、両者の円錐形の一部が重なりあうことになる。この相互干渉によって、個々のアンカーの引き抜き抵抗に動員される地盤が、単独に設置された場合より減少することになるためである。従って、この効果は、アンカー型式、アンカー体間隔、アンカー長、アンカー径、地盤性状等によって異なるものである。なお、グラウンドアンカー設計・施工基準、同解説では、影響円錐の角度 β として次のような値を示している。

土砂の場合 $\beta = 2/3 \psi$

岩盤の場合 $\beta = 45^\circ$

また、上の解説において、グループ効果を考慮したアンカー力の低減率について解説しているが、これはアンカーが鉛直の場合であり、斜めアンカーの場合は、その破壊性状が異なると考えられていることから、別途全体の安定を考慮した検討を行う必要がある。

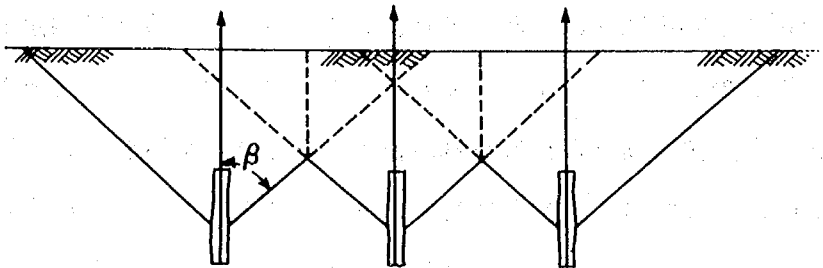


図-3 影響円錐の相互干渉

3) 影響円錐の相互干渉の範囲は、「アンカー体定着部」、「アンカー体定着長+引張り部」のどちらで考えるのか。

影響円錐は、アンカーの引き抜き抵抗に関するグループ効果を説明するのに用いられるものであるが、このアンカーの極限引き抜き抵抗力を決定する要因としては、

- ① テンドンの引張り強さ
- ② テンドンとグラウトの付着強さ
- ③ アンカー体と地盤との周面摩擦抵抗
- ④ 地盤のせん断強さ

等、が考えられる。このうち、①～③については、上記のようなグループ効果を考慮するケースではない。④について、上記のグループ効果の対象となる。言い替えば、④の地盤のせん断強さが、極限引き抜き抵抗力を決定する要因となっている状態において、アンカー体が地盤深くに挿入されればされる程、影響円錐の相互干

渉部分が大きくなり、グループ効果として、個々のアンカー力を単独設置時と比べて、低減して考える必要がある。しかし、一定の深さ以上に設置されると、極限引き抜き抵抗力を決定する要因が、地盤のせん断強さからテンドンの引張強さやグラウトとの付着強さのような、④以外の要因によって決定される状態に移行することと考えられ、影響円錐をもってグループ効果を評価することは意味がなくなる。

影響円錐の相互干渉の範囲は、あくまで、このようにアンカーの極限引き抜き抵抗力として、地盤のせん断強さがその決定要因とされる場合についてであるが、アンカーの引き抜き抵抗に動員される地盤の範囲をもって定められることになる。仮に、一様な地盤に比較的浅く設置されたアンカーの場合、アンカーの定着部とアンカー頭部の間に介在する地盤が、引き抜き抵抗に動員されうる地盤と考えられ、深度方向の範囲としては、アンカー長ということになる。

共－9 補強土工法（鉄筋挿入工法）の現場への適用

（質問）

切土における補強土工法（鉄筋挿入工法）については、土木技術資料（34－1，1992）により設計法の提示がなされているが、現時点での他工法と比較しての補強土工法（鉄筋挿入工法）の位置付け及び永久構造物としての信頼性について御教示願いたい。

（鳥取工事事務所・浜田工事事務所）

（回答）

補強土工法（鉄筋挿入工法）は、自然斜面や切土のり面に適当な間隔、長さで鉄筋（補強材）を挿入・打設することによって、補強材の持つ引張抵抗力、せん断抵抗力などで地山の持つ強度的弱点を補って、切土のり面・斜面の補強、安定を図るものである。この工法は、従来のアンカー工法などに比べて比較的簡便、かつ経済的に施工できる他に、施工の際に比較的小型の機械を使用するので山岳地帯といった施工条件の悪い場所での施工が可能である。また、施工途中でののり面の変状に対して補強材の本数や長さ、間隔を変更できるといった特徴がある。このため、近年道路建設などに伴う切土のり面や自然斜面、表層の崩壊が予想される急傾斜地、仮設山留めなどにおいて使用例が年々増えている。このような状況を考慮し、土木研究所では土木技術資料（34－1，1992）において設計法の提示をしている。

しかし、以上のような特徴を有する鉄筋挿入工法も、他の工法と比較すると、永久構造物としての信頼性に欠けるということが現場から指摘されている。その原因としては、施工後の鉄筋の腐食や、地山の風化や雨水による浸食による劣化、また、鉄筋挿入工法自体の補強効果の信頼性などが懸念されているためであろう。

鉄筋の腐食については、鉄筋の回りはグラウトの充填によりモルタルもしくはセメントミルクなどで覆われているために、通常の地山での使用においては特に大きな問題とはならないと思われるが、グラウンドアンカーのような防食に関する基準は整備されていない。現状では現場技術者の判断で必要な対策を施し、永久構造物

として用いられている。施工にあたって、グラウトの充填をする際に孔壁が崩壊してグラウトが不均一に充填されたり、鉄筋が孔内の偏った位置に設置されると、鉄筋は部分的かつ集中的に腐食し、非常に危険な状態となる。このため、崩壊性の地山においてはケーシングを併用して孔壁の崩壊を防止しながら削孔する。また、鉄筋はスペーサーを取り付けて孔内の中央部に設置されるように注意する必要がある。グラウト材は水密性に優れ、腐食を促進する有害物を含まない良質な材料で均一に充填する必要がある。この他、腐食に対する耐久性を増すために、鉄筋をあらかじめ亜鉛メッキなどにより防食しておくことも行われている。重要な構造物や地山が化学的に腐食性のある場合には、腐食に対して特別な配慮が必要である。例えば、径 $\phi 50 \sim 55 \text{mm}$ 程度の波状のプラスチック製シース（鉄筋を保護する筒）に鉄筋を挿入し、その回りをセメントミルクなどで充填固化させたものを補強材として用いることも行われている。これにより、鉄筋への地下水の浸入を防止するとともに、波状の突起でグラウト材との付着を確保することができる。また、特殊な例として、近年ではFRP（繊維強化プラスチック）製の補強材も開発されており、一部実際に使用されている。

地山の劣化については、鉄筋挿入工法は鉄筋と地山との相互作用により安定化を図る工法であるため、補強効果に大きな影響を及ぼすことになる。このため、永久構造物として用いる場合には、吹付けコンクリートの厚さを増したり2次吹付けを行ったり、また、プレキャストのり枠を用いたり、型枠にコンクリートを打設することなどにより剛性の高いのり保護工を形成し、地山の保護を行う必要がある。ただし、どの場合においても、地山からの排水は十分に行う必要がある。

鉄筋挿入工法の補強効果の信頼性については、鉄筋挿入工法は地山の変位に伴って鉄筋に発生する引張り力により補強効果を発揮するために、補強効果を事前に十分に確認することは難しい。このため、設計において十分な調査を行う共に、施工中・施工後に鉄筋の軸力や地山の変位等を計測することにより補強効果を確認しながら施工することが考えられる。もし補強効果が不十分である（変位が大きいなど）

場合には、鉄筋の増し打ちを行ったり、設計の変更を行うなど柔軟に対処する必要がある。また、鉄筋挿入工法の補強効果を左右するものに鉄筋の引き抜き抵抗があるが、この値を設計時に十分に把握することは難しい。このため、実際に現場において鉄筋の引き抜き試験を実施し、設計時において設定した引き抜き抵抗が得られるか確認することが必要である。

以上の点に留意して十分な調査に基づき設計・施工を実施すれば、鉄筋挿入工法を永久構造物として使用することは可能と考えられる。ただし、対象とするものが自然の地山であることから、予期せぬ事態が発生する可能性も少なからず考えられることから、鉄筋挿入工法に限らず維持管理を十分に行う必要がある。なお、鉄筋挿入工法はアンカー工法や抑止杭工法などに比べてすべりに対する抑止力がそれほど大きくない。このため、地すべり等の大きな抑止力を必要とする箇所においては、適用を避けるべきであり、鉄筋挿入工法の効果を十分に生かせる場所において主に用いるべきであると考えられる。今後、工法の選定に当たっては、それぞれの工法の適用範囲、特徴を十分に検討すべきである。

(施工研究室)

共-10 火砕流堆積物を用いた切土、盛土の施工

(質問)

当事務所の現場にかかる土質は、三瓶山の火砕流堆積物（とくに細粒の火山灰質粘性土）が多く、切土及び盛土施工を困難にしている。よってその場合の施工に関する留意点等を御教示いただきたい。

なお、その土質の特徴は、地中にあるときN値=50以上あり、掘削され水を含むと泥化するものである。また、粒度組成は、礫及び砂分含有率が50～55%、細粒分含有率が45～50%で、自然含水比が約40%となっている。

(斐伊川・神戸川総合開発工事事務所)

(回答)

(1)切土のり面対策について

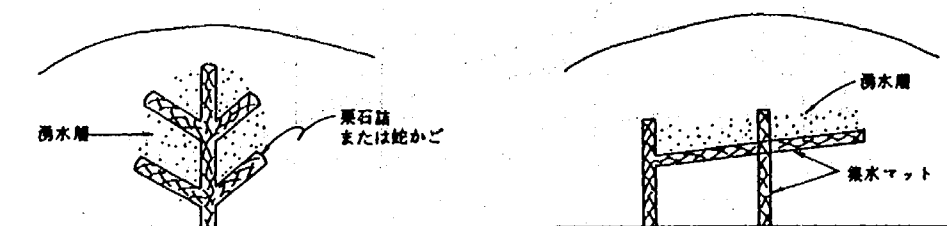
一般に、切土のり面では応力解放に伴う強度低下や含水比の増加に伴う強度低下が生じやすい。とくに、火砕流堆積物は、表面水による侵食に弱く、湧水の影響も受けやすいことから、掘削後のり面安定に問題が生じやすい。このため、切土のり面勾配ならびに湧水処理を含むのり面保護工等の検討が必要である。

切土のり面勾配については、標準のり面勾配が「道路土工のり面工・斜面安定工指針」(P123)に示されており、それによると、軟岩で1:0.5～1:1.2、粘性土で切土高10m以下に対し1:0.8～1:1.2となっている。今回の火砕流堆積物は地中にあるときN値が50以上あるので、軟岩と考えてもよいが、掘削後、湧水のある箇所では徐々に軟弱化が進行して、最終的には粘性土に近い性状を示すと思われるので、湧水が多い場合には粘性土の標準のり面勾配の範囲のなかでも1:1.2に近いできるだけ緩いのり面勾配を採用するのが望ましい。

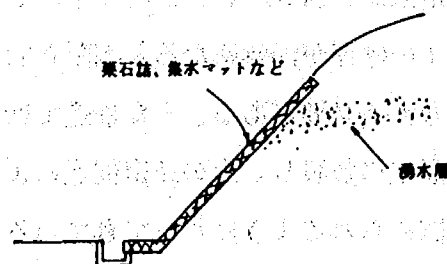
また、のり枠工や擁壁等ののり面保護工を採用する場合には、地山での湧水処理を十分に行うとともに、のり面保護工からの排水が自由に行えるよう、ふとんかご

工、じゃかご工、栗石詰のり枠工、井桁組擁壁工等の開放型ののり面保護工を用いるのがよい。

地山での湧水処理は、図-1に示すように、湧水箇所に溝を掘り、栗石またはじゃかごなどを設置してのり尻まで導く。また、のり肩排水工や小段排水工などののり面排水工を設置しておく必要があることはいうまでもない。



(a) 正面図



(b) 横断図

図-1 湧水処理の例

(2) 盛土の施工法について

火砕流堆積物は、こね返しや含水比の増加による強度低下が著しいと予想され、盛土施工中におけるトラフィカビリティの確保や盛土の安定等に問題が生じやすい。

トラフィカビリティの判断は、こね返しによる強度低下特性を把握する必要がある。

る。たとえば、室内での突固め試験により、2.5kgランマーの突固め回数の増加に伴うコーン指数やCBRの低下の度合いを調べる方法がある（図-2参照）。

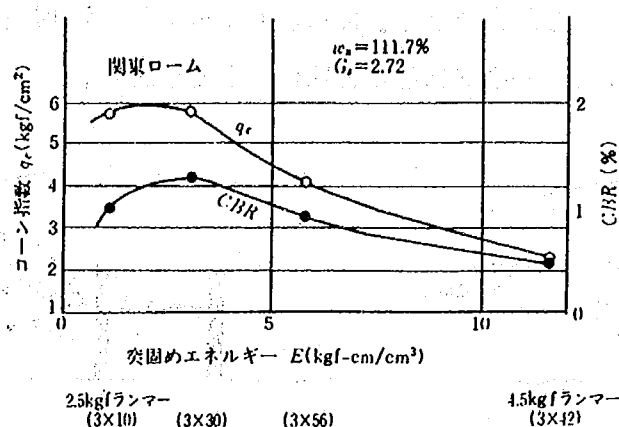


図-2 突固めエネルギーと強度変化

こね返しにより、コーン指数が3 (kgf/cm²) 程度以下になる土では、盛土施工中におけるトラフィカビリティの確保が困難になると判断されるので、セメントや石灰等による土質安定処理を考える必要がある。また最近では、排水機能をもつジオテキスタイルを密な間隔で層状に敷設し、土の圧密促進による強度増加を図りながら盛土の施工を行う方法も試みられるようになってきている。

盛土施工中の安定については、こね返した状態の土の三軸UU試験および場合によって三軸CU試験を実施し、土の強度定数 C_u 、および圧密による強度増加率

$m = \frac{1 - \sin \phi_u}{1 + \sin \phi_u}$ を求めて、円弧すべり安定計算を行う必要がある。その結果にもとづき、

安全率1.2が確保できるのり面勾配を決定する。

一般に、このような土で高盛土を施工する場合には、盛土内に適当な上下間隔で水平排水層を設け、過剰間隙水圧の消散を図りながら、緩速施工により盛土を立ち上げていくケースが多い。その場合には、圧密による強度増加を見込んだ安定解析

及び水平排水層の間隔と圧密時間の検討を行い、施工速度と水平排水層の設置間隔を決定する。

一方、盛土の安定を土質安定処理によって確保する場合には、安定処理土の必要強度を円弧すべり計算から求め、室内配合試験により、適切な添加材の配合を決定しなければならない。その場合、現場強度は室内強度の $1/3 \sim 1/5$ 程度しか期待できない場合が多いことを念願において添加材の混合率に安全率を見ておくことが大切である。

(土質研究室)

共-11 擁壁類の設計土質定数（粘着力）の決定方法

（質問）

建設省の標準設計によれば、安定計算において粘着力（ c ）を考慮していないが、土質試験結果により粘着力を考慮する場合、試験結果をそのまま設計に用いるのは過大ではないかと思われる。

実際に設計に用いる粘着力をどのようにして決定すればよいかご教示願いたい。

（本州四国連絡橋公団第三建設局）

（回答）

通常の擁壁に作用する土圧を算出する場合の計算に用いる土質定数の求め方は、（社）日本道路協会発行の「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）」によると、『計算に用いる土質定数は土質試験により決定することが望ましいが、粘着力 c を考慮する場合は、施工中の乱れの影響を考慮し過大評価とならないよう注意する必要がある。なお、高さが8m程度以下の擁壁で土質試験を行うことが困難な場合には、表-1に示す値を用いて土圧を算定してもよい。』と記述されている。これは、施工条件や裏込め土の長期的な変動要素（含水状態など）を設計段階で把握し、その影響を考慮するのは容易ではなく、さらに c 、 ϕ などの土の強度に関する試験方法の選択や試験結果の解釈にはかなりの技術的な経験が必要とされるからである。また、裏込め土に発生土を用いる場合、実際の工事では現場が広く土層構成も変化に富んでいることが多いことから、設計段階で裏込め

表-1 土圧算定に用いる土質定数¹⁾

裏込め土の種類	内部摩擦角（ ϕ ）	粘着力（ c ）注2)
礫質土 注1)	35°	—
砂質土	30°	—
シルト・粘性土（ただし $w_L < 50\%$ ）	25°	—

注1) きれいな砂は礫質土の値を用いてよい。

注2) 計算上は、粘着力 c を無視している。しかし、実際には粘着力 c が存在するので、内部摩擦角 ϕ より急勾配のり面も存在する。

土を特定することが難しく、購入土を用いる場合でもあらかじめ土取場の土質を特定することは容易でないことから、実際に設計段階で土質試験を行うことが困難な場合が多いためである。このため、土質定数を適切に評価することが現実には容易でないので、通常規模の擁壁については従来の工事实績や経験に基づいて表-1のように標準的な土質定数を設定しているわけである。

強度定数の設定において、砂質土の場合は ϕ のみで評価できるが、細粒土が混入してくると粘着力 c の影響が大きくなっていく。しかしながら、 c は締固めの度合い、含水状態、経時変化などの影響を受け、その評価が難しいことや、粘性土の施工中にこね返しの影響で値がかなり減少すること、あるいは c の値が十分に発揮されるためには相当量のひずみが伴うことなどが考えられ、表-1に示したように、 c の値は表面に出さないで、その影響を ϕ の値に適度に反映させた経験的な値が用いられている。

ただし、擁壁高さが8m程度を越える場合には土質試験を実施し、土の c 、 ϕ を決める必要がある。土質試験の方法としては、一般に擁壁の設計段階ではあらかじめ裏込め土の原位置試験を行ったり、不攪乱試料を準備することはできないので、いったん乱した状態で採取した試料を加工して室内せん断試験を行うことになる。擁壁は施工直後および降雨後が危険状態となり、状態の変化が比較的短時間に生じるので非排水条件の試験が適当であり、通常は圧密非排水三軸圧縮試験により c 、 ϕ を求める。試験の状態としては、擁壁が主働崩壊を起こすときの応力状態に近い載荷条件（応力レベル、載荷速度など）で、かつ長期的な変動を考慮に入れた試料の物理的状態（密度、含水比など）について試験を行う必要がある。 c 、 ϕ の値の設定方法であるが、土質試験時に実際の現場条件を十分に予測することは難しい。また、上述したように細粒土の多い土では粘着力はひずみが大きくなって発揮されるものであり、粘性土で裏込めした場合、主働土圧状態は壁面の変位が大きくなってから生じる。一方、擁壁の変位はある程度制限される必要があることから、擁壁の設計段階においては粘着力の効果を十分に見込むことは難しい。このため、擁壁

の土圧の算出に用いる粘着力の値は、土質試験で求められた値を低減して用いる必要がある。粘着力の値の低減方法は、一般的に用いられている方法はなく、土質試験結果の値に安全率を見込んだ値を採用するなど、技術的な経験に基づいて判断されているのが現状である。ここであえて方法を提案すると、「土圧の算出に用いた粘着力の値が将来的に $c = 0$ となっても、擁壁が滑動・転倒・支持力に対して極限状態で安定を保つことができる」という安定条件を満足する範囲で粘着力を設定する方法が考えられる。つまり、土質試験結果による c の範囲内において、ある粘着力の値を見込んで設計した擁壁断面に対して、粘着力を $c = 0$ として再度安定計算し、滑動・転倒・支持力に対して安全率が $F_s = 1.0$ を満足するか確認し、この条件を満足する粘着力の値までは粘着力を設定できるというものである。この方法によると、採用し得る粘着力の値が定量的に求められるが、この値はあくまで計算上の目安の値であり、最終的な決定はやはり技術的な経験に基づいて判断すべきと考える。

<参考文献>

- 1) (社)日本道路協会：道路土工—擁壁・カルバート・仮設構造物工指針—、1987.5
- 2) 土質工学会編：設計における強度定数— c 、 ϕ 、 N 値—（土質基礎工学ライブラリー—32）、1988

（施工研究室、システム課）

共-12 岩盤を支持層とする杭の支持力

(質問)

中国地方には花崗岩が分布する地域が多く、そのため岩盤を支持層とする杭基礎の事例が多い。また、騒音や振動の関係から中掘り杭工法および場所打ち杭工法を採用する事例が多くなっている。しかしながら、道路橋示方書Ⅳ下部構造編においては、岩盤を支持層とする中掘り杭、場所打ち杭の先端支持力について明記されておらず、問題となっている。したがって、岩盤を支持層とする場合における、中掘り杭の先端処理方法と先端支持力、場所打ち杭の先端支持力の考え方について御教示願いたい。また、これらの杭の支持層への根入れ長は杭径程度必要であるとされているが、岩盤を支持層とする場合など、支持層の状態に応じて根入れ長を軽減できないかについても御教示願いたい。

(企画部電算情報課、倉吉工事事務所、山口県土木建築部)

(回答)

従来、岩盤は杭基礎の支持層として良質であり、その鉛直支持力については問題になることがないと考えられてきた。このため、岩盤を支持層とする杭の支持力については、載荷試験や研究の実績がほとんどなく、道路橋示方書Ⅳ下部構造編¹⁾

(以下「道示」)においても、打込み鋼管杭の場合を除いて規定されていない。したがって、岩盤を支持層とする杭基礎の設計においては、設計者の技術的判断により様々な方法で支持力の算定が行われているのが現状である。

杭の支持力は、地盤条件のほか施工法の影響も受ける。中掘り杭の場合、道示では先端処理方法によって3種類に区別し、それぞれに対して先端支持力の算定方法を定めている。しかしながら、これらの先端処理方法のすべてが岩盤に適用できるわけではない。最終打撃方式の場合は、杭先端の破損のほか先端閉塞が不十分であることによる支持力の低下などが問題となる²⁾。セメントミルク噴出攪拌方式の場合は、もともと砂質土を対象とした工法であるため、岩盤に適用できるかどうかと

いう問題がある。上記2方法で施工できない場合にはコンクリート打設方式によるものとし、この場合は、場所打ち杭の先端支持力の考え方に準じることとなる。

場所打ち杭の先端支持力は、過去の一曰土研でも述べているように³⁾、杭先端地盤の緩みや孔底処理などの問題があるため、道示では、杭頭に過大な変位が生じない範囲で杭先端の極限支持力度を与えることとし、道示表-解9.4.2に示すように砂質地盤においては地盤強度にかかわらず一律 300tf/m^2 、硬質粘性土地盤については一軸圧縮強度の3倍としている。ただし、最近の土研の研究成果⁴⁾から、砂れき地盤の場合には先端極限支持力度として $500\sim 600\text{tf/m}^2$ 程度は評価できそうであることがわかっている。これらの研究実績および施工実績を考慮すると、岩盤を支持層とする場合には、現在のところ確立された支持力評価法はないが、軟岩や土丹を支持層とする場合には一軸圧縮強度($200\sim 300\text{tf/m}^2$ 程度まで)の3倍程度を極限支持力度の目安としてよい。ただし、岩石試験による一軸圧縮強度は必ずしも岩盤としての力学的特性を示すものではなく、設計に用いる一軸圧縮強度の設定には慎重を期す必要がある。硬岩のように一軸圧縮強度の高い岩盤を支持層とする場合においても、上記の諸問題を考慮し、設計に用いる杭先端支持力の設定には慎重な配慮が必要である。

なお、道示表-解9.4.2に示す極限支持力度は杭先端が支持層へ杭径程度貫入されていることが前提となっていることに留意しなければならない。杭の先端支持力は支持層への根入れ比の影響を受けるので、何らかの理由で根入れ比を軽減する場合には、先端支持力について十分な検討が必要である。

(参考文献)

- 1) 日本道路協会「道路橋示方書・同解説 IV下部構造編」平成2年2月
- 2) 岡原美知夫ほか「軟岩を支持層とする杭の支持力に関する実験的研究」土木研究所資料第2720号、平成元年2月
- 3) 例えば、「場所打ち杭の先端極限支持力度」四国地建における一曰土研資料、土木研究所資料第2804号、平成元年11月

4)岡原美知夫ほか「単杭の支持力と柱状体基礎の設計法に関する研究」土木研究所
資料第2919号、平成3年1月

(基礎研究室)

本報告は、単杭の支持力と柱状体基礎の設計法に関する研究の成果をまとめたものである。単杭の支持力は、土質条件、杭の形状、埋入深度、打撃エネルギーなどによって大きく異なる。柱状体基礎の設計法は、土質条件、柱の形状、埋入深度、打撃エネルギーなどによって大きく異なる。本報告では、単杭の支持力と柱状体基礎の設計法に関する研究の成果をまとめた。単杭の支持力は、土質条件、杭の形状、埋入深度、打撃エネルギーなどによって大きく異なる。柱状体基礎の設計法は、土質条件、柱の形状、埋入深度、打撃エネルギーなどによって大きく異なる。本報告では、単杭の支持力と柱状体基礎の設計法に関する研究の成果をまとめた。

本報告は、単杭の支持力と柱状体基礎の設計法に関する研究の成果をまとめたものである。単杭の支持力は、土質条件、杭の形状、埋入深度、打撃エネルギーなどによって大きく異なる。柱状体基礎の設計法は、土質条件、柱の形状、埋入深度、打撃エネルギーなどによって大きく異なる。本報告では、単杭の支持力と柱状体基礎の設計法に関する研究の成果をまとめた。単杭の支持力は、土質条件、杭の形状、埋入深度、打撃エネルギーなどによって大きく異なる。柱状体基礎の設計法は、土質条件、柱の形状、埋入深度、打撃エネルギーなどによって大きく異なる。本報告では、単杭の支持力と柱状体基礎の設計法に関する研究の成果をまとめた。

本報告は、単杭の支持力と柱状体基礎の設計法に関する研究の成果をまとめたものである。単杭の支持力は、土質条件、杭の形状、埋入深度、打撃エネルギーなどによって大きく異なる。柱状体基礎の設計法は、土質条件、柱の形状、埋入深度、打撃エネルギーなどによって大きく異なる。本報告では、単杭の支持力と柱状体基礎の設計法に関する研究の成果をまとめた。

本報告は、単杭の支持力と柱状体基礎の設計法に関する研究の成果をまとめたものである。単杭の支持力は、土質条件、杭の形状、埋入深度、打撃エネルギーなどによって大きく異なる。柱状体基礎の設計法は、土質条件、柱の形状、埋入深度、打撃エネルギーなどによって大きく異なる。本報告では、単杭の支持力と柱状体基礎の設計法に関する研究の成果をまとめた。

共-13 中掘り杭工法における施工法と支持力

(質問)

道路橋示方書Ⅳ下部構造編“13.3.4 掘削および沈設”の解説において「掘削作業中は、原則として杭先端より先掘りを行ってはならない。(中略)ただし、中間層が比較的硬くて貫入が困難なために、杭先端部にフリクションカッターを取付けたり、杭径程度の先掘りを行うことはやむを得ないが、杭径以上の拡大掘りを行ってはならない。」とあるが、中間層がそれほど硬くなく杭の貫入が問題にならない場合に杭径程度の先掘りを行ってもよいか御教示願いたい。

(企画部電算情報課・広島国道工事事務所)

(回答)

中掘り杭工法は振動・騒音などの環境問題に対処するための既製杭の低振動・低騒音工法として旧道路橋示方書Ⅳ下部構造編¹⁾に規定されたものである。その後、先端支持力の推定法の見直しが行われ現在の道路橋示方書Ⅳ下部構造編²⁾(以下「道示」と称す。)に至っている。道示における中掘り杭工法とは先端開放の既製杭の中空部にスパイラルオーガなどを挿入し、杭中空部の地盤を掘削しながら所定の深さまで沈設したのち、所定の支持力が得られるように先端処理を行う工法である。この工法により施工した杭の極限支持力を求める方法としては計算により推定する方法と載荷試験により判定する方法がある。

極限支持力を計算により推定する場合には、適切な地盤調査結果に基づき推定する。このとき、極限支持力は先端支持力と周面摩擦力の和として算定される。先端支持力の算定法は先端処理方法(最終打撃方式、セメントミルク噴出攪拌方式、コンクリート打設方式)別に異なっている。周面摩擦力の算定は地盤種別に従って表-1を用いて推定してよい。この推定法は掘削途中において杭径以上の拡

表-1 最大周面摩擦力度²⁾

施工法			中掘り杭工法
地盤の種類			
砂	質	土	0.1N(≤5)
粘	性	土	0.5Cまたは0.5N(≤10)

大掘りおよび先掘りをしないことを前提としている。ただし、中間層が比較的硬くて杭の貫入が困難な場合、一般にフリクションカッターを取付るがその厚さは周面摩擦力をできるだけ低下させないために9mm以下とする。

杭径以上の拡大掘りおよび先掘りを行うことは、周辺地盤あるいは地盤と杭の接触面を乱し、周面摩擦力の低下および過大な水平変位が生ずることがあるため、先掘りや拡大掘りは極力避けなければならない。

なお、上記以外の条件で中掘り杭の施工を行った場合や大きな水平力が作用すると予想される場合には、載荷試験を行って極限支持力や水平抵抗を確認することが望ましい。

(参考文献)

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書Ⅳ下部構造編，昭和55年5月
- 2) 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)

共-14 杭基礎を有するボックスカルバートの設計

(質問)

道路土工 擁壁・カルバート・仮設構造物工指針ではカルバートの基礎は直接基礎を原則としているが、杭基礎を有するボックスカルバート（プレキャスト製を含む）の本体および底版の設計法について御教示願いたい。

（山口工事事務所）

(回答)

ボックスカルバートの基礎形式は、直接基礎が一般的である。この理由は、ボックスカルバートの内空断面が大きく自重が小さいため、本来、地盤沈下が生じにくいこと、地盤沈下が生じる場合も周辺地盤の沈下とともにボックスカルバートも沈下させ、路面に不陸を生じさせない配慮によるものである。しかし、ボックスカルバートの沈下が許されない場合は杭基礎となる。この場合、現場打ちコンクリートによるボックスカルバートの場合はカルバート本体を杭で直接支持し、プレキャスト製ボックスカルバートの場合は底版コンクリートを介して杭で支持する。

現場打ちボックスカルバートの場合、基礎が直接基礎と杭基礎とで設計が異なる点は、ボックスカルバートに作用する鉛直荷重（ボックスカルバートの自重を含む）に対し、前者では底面地盤反力によって支持するのに対し、後者では杭頭反力によって支持する点である。直接基礎の場合、カルバート本体に作用する底面地盤反力は軸直角方向断面に対しては直線分布、軸方向断面に対してはカルバート本体を分布バネに支持された梁として算出するのが一般的である（図-1 参照）。したがって、杭基礎の場合も杭頭反力は軸直角方向断面に対しては直線分布（ただし、幅が広い場合は杭頭バネで支持されたラーメンとして算出）、軸方向断面に対してはカルバート本体を杭頭バネで支持された梁として算出するのがよいと考えられる（図-2 参照）。

プレキャスト製ボックスカルバートの場合、ボックスカルバートに作用する鉛直

荷重が底版を介して杭に伝達されることを考慮する必要がある。この場合、実際にはボックスカルバートの剛性と底版の剛性の関係によって荷重伝達の状況が変化するが、これを考慮して設計することは困難である。このため、ボックスカルバート本体に作用する底面地盤反力は直接基礎の場合と同様に算出し、設計してよいものと考えられる。また、底版については、ボックスカルバートに作用する鉛直荷重が底版に均等に伝達すると仮定し、底版を杭頭バネで支持された梁として設計するのがよいと考えられる。

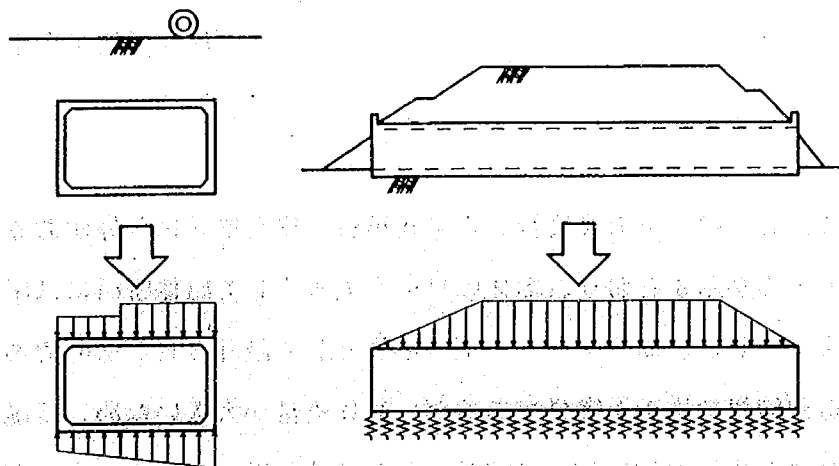


図-1 カルバート本体に作用する底面地盤反力の算出

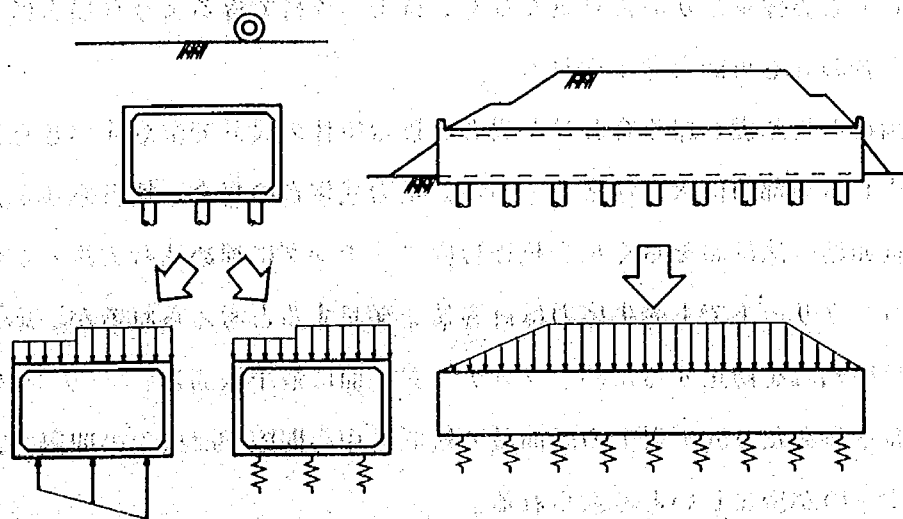


図-2 カルバート本体に作用する杭頭反力の算出 (基礎研究室)

共-15 重力式（無筋）橋台と杭基礎の組み合わせ

（質問）

掘込み河道の橋梁基礎形式を杭基礎で、橋台高さが低い場合、逆T式と重力式を比較した結果、経済性から重力式となった。この場合、重力式橋台は地震時や長期の安定性から杭基礎との組み合わせは妥当かどうか御教示願いたい。また、妥当な場合、ひび割れ防止鉄筋の必要性について御教示願いたい。

（松江国道工事事務所）

（回答）

橋台の形式としては、重力式橋台、逆T式橋台、控え壁式橋台等がある。重力式橋台は、その名称が示すとおり、本体の自重を大きくして躯体断面には圧縮応力だけが生じるようにし、無筋コンクリート構造物として設計されるものである。重力式橋台は構造が簡単で施工も容易であるが、躯体重量が大きいので、基礎形式はフーチングを良質な支持地盤にじかに載せられる直接基礎で、かつ、高さが5m程度までの場合が一般的な適用条件と考えられる。しかし、橋台躯体高さが極端に低く、重力式にしても躯体重量があまり重くなく、杭でも支持できるような場合は、杭基礎との組み合わせも可能と考えられる。

重力式橋台と杭基礎を組み合わせた場合、橋台躯体の設計で留意すべき点は杭頭結合部に生じる局部的に大きな応力である。重力式橋台の場合、橋台躯体が無筋であるので杭頭結合法はおそらく杭を杭径程度フーチングに埋め込む方法Aが用いられ、無筋コンクリートでも発生応力は許容値を満足すると考えられるが、応力分散を図り、ひび割れを防止するため、フーチング下面に最小鉄筋量（フーチングの表面に沿った長さ1mあたり 5cm^2 以上の断面積の鉄筋を中心間隔30cm以下の間隔）程度の鉄筋を配置するのが望ましいと考えられる。

なお、重力式基礎でも躯体の一部分（パラペット部分、堅壁背面等）に引張応力が

生じることを許し、この部分に鉄筋を配置する方法もある(一般に半重力式橋台と呼ばれている)。

(基礎研究室)

共-16 軟弱地盤上における橋梁基礎工の最適工法

(質問)

現在、支持層である基盤岩が深く（-30m程度）、しかも、中間層は軟弱なシルト質粘性土を挟んでいる地点で橋梁下部工を施工中である。近隣は、住宅地域であることから、場所打ち杭（オールケーシング工法）を選定したが、ハンマーグラブ稼働の振動による苦情から、しばしば工事を中断せざるを得なかった。今後、引き続き終点側の連続高架橋を施工するにあたり、さらに沿道の条件は厳しくなることから、これらの沿道環境に配慮した基礎杭の施工法についてご教示願いたい。

（松江国道工事事務所）

(回答)

通常、構造物基礎の計画にあたっては、支持層の設定と基礎工法の選定を的確に行うことが最も重要である。このうち基礎形式を決定する際の選定条件としては、①上部工条件（荷重条件）、②地形・地質条件、③施工条件（施工空間、陸上、水上施工等）、④環境条件（騒音、振動）に大別される。表-1は上記4条件に対し、杭基礎の施工法との適合度を調査・検討し、取りまとめたものである。

一般に、杭の施工法としての場所打ち杭工法は、低騒音・低振動の施工法として知られている。しかし、今回問題のオールケーシング工法（ベノト工法）では、ハンマーグラブが掘削地盤にぶつかる際の騒音・振動およびケーシング揺動時の振動が問題となる場合がある。したがって、これにかわる施工法として、表-1を参考に今回施工地点の地盤条件から判断すると、先端をセメントミルクもしくはコンクリートで処理した中掘り杭工法、並びにリバース工法による場所打ち工法が適当である。ただし当該地点では、支持層までの深さが30mを越える杭もあり、リバース工法による場所打ち杭が最適であると考えられる。なお、最近では杭基礎にかわる基礎工法として地中連続壁基礎工法が脚光を浴びており、検討の対象となり得ると思われる。

いずれにしても工事に関する近隣住民の同意は、必要最低限なことであるので、

表-1 基礎形式選定表¹⁾

要因項目 カテゴリー区分			杭基礎						
			中掘り杭			場所打ち杭			深礎杭
			最終打撃	セメント根固	コンクリート打設根固	オールケーシング	アースドリル	リバーズ	
環境条件	公害対策		×	◎	◎	○	○	◎	◎
	隣接構造物への配慮		○	○	○	○	○	○	△
荷重条件	荷重規模	200tf以下	◎	◎	◎	○	○	○	△
	フーチング底面に作用する橋軸方向常時、鉛直力	201tf～500tf	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
		501tf～1000tf	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
		1001tf～2000tf	○	○	○	◎	◎	◎	◎
		2001tf～5000tf	△	△	△	◎	△	◎	◎
		5000tf以上	×	×	×	△	△	△	△
施工条件	施工空間	制約を受ける場合の適合性	×	×	×	×	×	△	◎
	材料、機械の搬入	搬入路がない場合の適合性	×	×	×	×	×	△	◎
	陸上、水上の別	水							
		深							
地盤条件	支持地盤までの深さ	1m～5m	△	△	△	×	×	×	○
		6m～10m	○	○	○	△	△	△	◎
		11m～15m	○	○	○	◎	◎	◎	◎
		16m～20m	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
		21m～30m	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
		31m～40m	○	○	○	○	△	◎	×
		41m～50m	△	△	△	○	△	◎	×
		51m以上	×	×	×	×	×	◎	×
	中間層の状態	粘土層	◎	◎	◎	◎	△	◎	△
		シルト層	◎	◎	◎	◎	○	◎	○
		砂層	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
		砂利層	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
		礫層	径5cm以下	○	○	○	○	△	○
			径5～10cm	△	△	△	○	×	△
			径10cm以上	×	×	×	×	×	○

凡例

- ◎ 適合度が高い
- 比較的適合する
- △ 検討を必要とするが全く適合しないこともない
- × 原則的に適合しない

地元への工事の説明を十分に時間をかけ、慎重に行うように留意して頂きたい。

参考文献

- 1)建設省土木研究所：構造物基礎形式の選定手法調査、土木研究所資料第2528号、昭和63年1月
- 2)日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅳ下部構造編、平成2年2月
- 3)日本道路協会：地中連続壁基礎設計施工指針・同解説、平成3年7月
- 4)多田、大志万、岡原：地中連続壁基礎工法ハンドブック 施工編、平成3年7月、総合土木研究所

(基礎研究室)

共-17 杭周面にはたらく最大周面摩擦力度

(質問)

道示では杭の極限支持力の算定において、施工方法（打込み、場所打ち、中掘り）により最大周面摩擦力度の推定値が設定されているが、場所打ち杭はさらに多種多様な施工法があり、推定値の増減は考える必要はないかご教示願いたい。また、深礎杭の設計を行う場合周面摩擦力は考慮されないが、地山とライナープレートの間にグラウト注入を行っているので摩擦抵抗力を考慮できないかご教授願いたい。

(企画部電算情報課)

(回答)

1) 場所打ち杭にはいくつかの工法があり、それぞれ施工手順が異なる。オールケーシング工法ではケーシングにより地山の崩壊を防いでいるが、アースドリル工法あるいはリバーササーキュレーション工法では泥水により地山を安定させており、地山の安定処理の方法は全く異なった方法をとっている。このため、施工法によって出来上がった杭体と地山の間に発現する周面摩擦力も異なる可能性があり、オールケーシング工法の場合、アースドリル工法やリバーササーキュレーション工法に比べ割り増した周面摩擦力をとらせているものもあるが¹⁾、一般的には道示も含めてそれらの差は考慮されていない。

道示における推定式は、限られたデータ数の中で周面摩擦力度（ f ）とN値の分布から単回帰分析により設定されている。場所打ち杭の中での各種施工方法（オールケーシング工法、リバーササーキュレーション工法など）ごとのデータはばらつきが大きく、その分布において有為な差が生じなかったため、これらの施工方法ごとで推定値を区別する必要はないと判断し、場所打ち杭のデータとして支持力式を導いたものである。

2) 深礎杭の施工において一般に地山の掘削は素掘りで行われ、孔壁の安定はライナープレートにより保たれる。また、ライナープレートと地山の間にはグラウトが注入

される場合があるが、この場合、

- ①グラウトを施工した場合の合理的な周面摩擦力度の評価方法が確立していないこと
 - ②地山とライナープレート間に注入されるグラウトも、その配合などの統一された規定もなく、品質はばらついたものである可能性が高いこと
 - ③一般に深礎杭は直接視認した良質な支持地盤（岩盤上など）に設置されることを原則としており、このため底面支持力のみで設計できる場合が多いこと
- により、一般に設計上、杭体と地盤の間に生じる周面摩擦を無視することが妥当であると考えられる。

なお、設計上周面摩擦力を考慮するためには、上記で述べたようにグラウトに関する十分な品質管理や、載荷試験による周面摩擦力の確認が必要であると思われる。

<参考文献>

- 1)石塚忠行：最近の場所打ち杭工法の現況，基礎工，1989年3月

(基礎研究室)

共一18 プレキャスト製品を使用する場合の最小部材厚

(質問)

下記の理由により、樋門にプレキャスト製品を使用すれば工場製品のため品質も現場打ちに比べ充分で、最小部材厚を減じてよいのではと思われるが、設計基準等によれば最小部材厚は35cmと規定されており御指導をお願いしたい。

イ. 工場製品で品質管理が徹底出来る。

ロ. 有力化の中で工場製品の使用を高める。

ハ. 労働力不足、施工性から軽量化を図る。

(浜田工事事務所)

(回答)

コンクリート構造物では十分な施工がなされていれば、物によっては座屈を考えなければならない例もあるが、一般には耐荷力の点からは最小部材厚さを規定する必要はなく、与えられた外力の条件に耐えうる断面を持てばよい。しかしながら、一般に耐久性の点から必要な鉄筋のかぶりを確保し、施工上必要な鉄筋間隔等をとれば、おのずと最小部材厚さは決まってくる。また現場打ちのコンクリート部材では、特に打設、締固めが十分に行えるようにするためにはある程度の部材厚が必要となる。水密構造物では水密性を考慮して部材厚を検討することもある。設計基準等に示された最小部材厚は、こうした理由から定められている。

さて、プレキャスト製品の利用は、御指摘のように施工の合理化につながるとして、現在建設省でも検討委員会を設けてその活用が検討されている。プレキャスト製品を利用し施工の合理化を目指そうとするとき、ある程度製品を大型化しないと合理化につながらないことになる。これはプレキャストコンクリートの場合、部材と部材の接合が設計・施工上のポイントとなるからである。この際、大型化に伴う重量増は施工時には施工の機械化等で対応できるとしても、どうしても運搬時の重量制限からネックになってくる。一方、プレキャスト製品は製作機械の高度化や品質管理の徹底のし

やすさから、例えばかぶりなどの制限が場所打ちコンクリート等より緩く、ある程度の断面の縮小が可能である。このため、なるべく部材厚を小さくしたいという要求が生じてくる。

次に具体的に樋門にプレキャスト製品を使う場合を考えると、樋門はそれほど小さな構造物ではないので、製品はかなり大型化すると思われ、なるべく断面を小さくしたいところである。工場製品では打込み、締固めは特別の機械により効率よくできるため、施工性を考慮した部材の最小厚さの考え方は特に必要ではなくなる。水密性等についても、一般にはプレキャスト製品では比較的高い強度のコンクリートを使用することが多くコンクリート自体の水密性よりは継ぎ手部分の水密性の方がはるかに重要になってくる。このため接合部の水密性が確保できれば水密性からの最小部材厚さも定める必要性は薄くなる。このため基本的には荷重に対して耐えられ、必要な構造細目とかぶりを確保できれば特に最小部材厚さを定める必要はないと考える。ただし、部材厚があまりに小さいとブロック間の継手の構造がむずかしくなるし、また継手の施工も容易でなくなるので、これに対する考慮も必要となる。この他にも、流水・流砂の影響等を受ける位置に設置される部材では、すりへりしろをかぶりの中に見込んでおかなければならない。

少し特殊な例となるが、建設省で検討した「軟弱地盤上の樋門・樋管設計の手引き（案）」（平成3年12月、国土開発技術研究センター）がある。これは軟弱地盤上の堤体の沈下に対して、杭などを用いて強固に支持されるよう設計されていた従来の樋門・樋管では堤体にクラックや空洞を生じる危険性があったため、沈下に対して追従するような柔構造の設計法を提案したものである。この手引きでは函体の最小部材厚を現場打ちコンクリートに対し35cm、現場製作のプレキャストコンクリートに対し35cm、工場製作のプレキャストコンクリートに対して25cmという値を提案している（内空断面としては100×100cm以上を想定）。この値は、土の沈下・変形に対する安定性や、継手の施工性等を考慮して定められている。

なお、参考までに道路関係では日本道路協会が出している共同溝設計指針にはボッ

クスカルバートの最小部材厚さは300mmと規定されているが、国土開発技術研究センターで出している鉄筋コンクリート製プレキャストボックスカルバート道路埋設指針及び同P Cボックスカルバート道路埋設指針では、それより小さい部材厚の製品も規定している。（例えば内空1000mmに対し、最小厚はR Cで130mm、P Cで125mm。）

（コンクリート研究室）

共-19 特殊な事業における遮水矢板の必要性

(質問)

一般に、築堤方式による改修であれば「樋門・樋管設計基準」のとおり遮水矢板が必要であるが、浜田工事事務所では、堤防によるつぶれ地が大きく宅地や耕地がなくなるなどの問題から築堤方式による改修ではなく、背後地を堤防高さまで嵩上げする事業による改修を行うが、その際の遮水矢板の必要性の考え方（呑口部のうなぎ止めのものだけで良いか）を御教示願いたい。

(浜田工事事務所)

(回答)

樋門、樋管は、河川堤防を横断して設けられる函渠構造物であり、軟弱地盤上で、堤体と函体との間に沈下差が生じてゆるみが発生したり、長期間の内に函体にクラック等が生じて漏水の原因となることもあると考えられてきた。従って、このような漏水やパイピングを防止する目的で設置される遮水矢板やうなぎ止め等の遮水工は、通常の堤防では極めて重要な役割を有している。そして、これらの遮水工の効果は、レインの荷重クリープ比によって検討することになっている。

しかしながら、今回の宅防事業による改修では、図-1に示すように低内地側に盛土をするため、裏のりからの漏水やパイピングの心配はないので、遮水矢板等は不要であると考えられる。なお、堤体材料の透水性が比較的小さく、堤防に十分な遮水効果が期待できる場合は、堤内地の浸潤線が地表近くの土地利用に悪影響を及

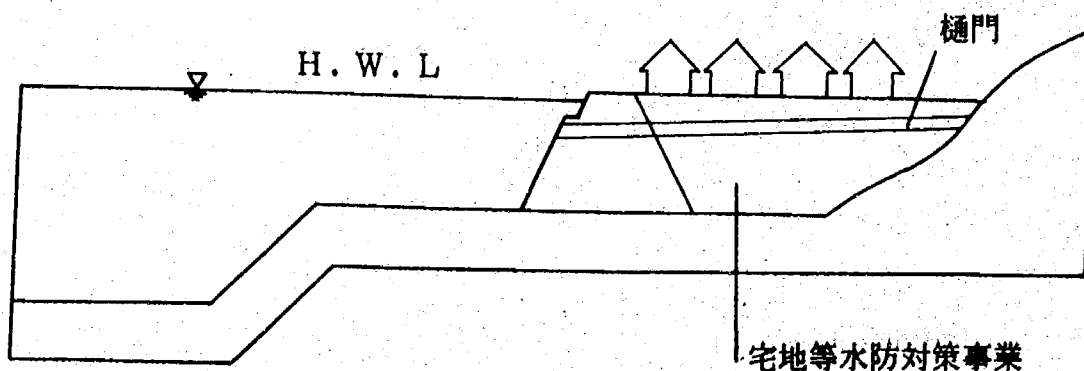


図-1 宅防事業による改修の概要図

ばすおそれはないが、堤体材料の透水性が大きく遮水効果が期待できない場合には、堤内地の水位上昇による悪影響が生じるおそれもあるので、場合によっては堤体内にドレーンを設けて排水を行うことが望ましい場合もあると考えられる。さらに、表のり面の樋門の端部には、胸壁等を設置して、土粒子の移動及び吸い出しを防止して堤防の安定性を図ることが望ましい。

(土質研究室)

共-20 旧基準で暫定供用の高架橋の4車線化における設計の考え方

(質問)

昭和49年に暫定供用している高架橋の4車線化において、道路橋の設計基準の改訂にともない単純に当てはめれば当然のことながら様々な点で応力度がクリアできない計算結果がでている。これは、主に設計水平震度の設定や上部構造の変更による設計荷重の増加に起因している。したがって、4車線化する際の設計基準の考え方、応力上クリアしない場合の箇所または部材毎の対応方法について御教示願いたい。

(広島国道工事事務所)

(回答)

道路橋下部構造に関する技術基準は、昭和39年の「道路橋下部構造設計指針・くい基礎の設計篇」に始まる8冊の指針として整備された。その後、昭和55年にこれらを整理統合して「道路橋示方書」が刊行され、それぞれIV下部構造編およびV耐震設計編として整備された。さらに、平成2年には道路橋示方書改訂が行われ、現在に至っている。

このような基準整備の過程のため、御質問の橋梁においては、昭和49年の暫定完成以降、2度の技術基準の変更を経ている。このため、設計水平震度などが当初設計より増加し、橋脚の基部やフーチングにおける部材の応力度が許容値を超えたり、杭基礎の反力が許容支持力を超えるなどして、基礎が不安定となっている。

今回の4車線化において、当初設計をそのまま用いる方法も考えられるが、技術基準はその後の知見を取り入れてより合理的な設計法となっているため、適用する設計法としては現時点におけるものが望ましい。しかしながら、御質問のように不安定となる箇所があり、設計においてこれらに対処しなければならない。その方法としては、下記の方法が考えられる。

① 上部工荷重の軽量化

上部工の形式を再検討し、自重を低減させ、地震時慣性力の低下を図る。

② 支承条件の変更による下部構造への反力の分散化

固定支承の位置の変更や、上部構造構造の連続化などにより、下部構造への反力を分散させる。この際、免震支承の利用なども検討されると良い。

③ 不安定箇所への補強

橋脚基部など部材断面が不足している箇所については、鋼板接着などにより補強させる。また、杭基礎において杭支持力が不足する場合には増し杭などが必要となるが、用地の確保、既設構造物との一体化などについて十分検討されたい。

（基礎研究室）

（基礎研究室）

（基礎研究室）

（基礎研究室）

（基礎研究室）

共-21 精密工場に於ける道路の微振動予測

(質問)

道路に併設している用水路(2.5m×2.0m)を隔てて、精密工場が設けられている。この用水路を函渠(2.0m×1.5m)構造で埋め立てた場合、道路の表面振動がどの程度工場側に伝わるのか、有効な微振動予測手法があれば御教示願いたい。

(福山工事事務所)

(回答)

1. 微振動の予測方法における一般的な考え方

平面道路、盛土道路、切土道路、掘割道路および高架道路からの交通振動が人の健康、生活環境に及ぼす影響については、『建設省所管道路事業環境影響評価技術指針』にもとづいて予測を行うこととなっている。しかし、今回の御質問のような精密工場に対する微振動の影響を評価する一般的な方法は現在のところ確立されておらず、このような場合には、

①FEM(有限要素法)解析を用いた方法

②類似地点の実測値から推定する方法

が有力である。以下にFEM(有限要素法)解析による予測方法について述べる。

2. FEM(有限要素法)解析

FEM解析を行うにあたって、振動源から発生する振動は放射状に伝播し、また、道路および周辺地盤の形状・特性も均一でないため、厳密には三次元モデルによる解析法が適当である。しかし、他の数値解析と同様に、モデルの簡易化あるいは計算時間の短縮等の制約から、今回のような道路を振動源として発生した振動が周辺構造物に及ぼす影響を解析する場合も道路横断方向の断面を考えた二次元モデルとし、自動車による移動荷重を点加振状態に変換して解析することが一般的である¹⁾。

道路交通振動予測における一般的なFEM解析は図-1に示すとおり、予備解析→本解析→対策の必要性の判定→有効な対策(案)の検討の手順により行われている。これらの作業手順の内、重点事項および注意事項を以下に示す。

(1) 予備解析

F E M解析においては、本解析を行う前に、本解析の解析手法、解析条件の妥当性を検証することを目的とした予備解析を実施するのが一般的である。予備解析は、当該地点または類似地点における実測結果と同地点のシミュレーション解析結果を対比し、振動レベルの減衰傾向、卓越振動数等が一致していることを確認することにより解析手法、解析条件の妥当性を検証するための解析である。

2次元モデルとして解析する場合は、3次元の問題を2次元として近似的に置き換えるため、境界条件の設定には注意が必要である。すなわち、半無限のモデルとして解析を行う必要があるが、有限要素の個数の制約もあるため、モデル化に際しては、遠方の地盤の剛性やエネルギー放散の効果を仮定の粘性境界を設けることやできるだけ広い範囲をモデル化する等の配慮が必要である。

(2) 入力波の作成

自動車による移動荷重を2次元としてF E M解析する場合には、解析断面における車両走行位置に自動車荷重を点加振入力して、任意の接点での応答を求める方法が一般的である。入力荷重波形には、交通量、大型車混入率、速度および路面の平坦性の因子が含まれるが、入力荷重波形が異なると構造物の応答も異なることが予想される。このため、交通量、大型車混入率、速度および路面の平坦性が、予測地点と類似している場所における路肩等からの加速度の実測値を入力荷重波形として用いる場合が多い。

(3) 評価

『建設省所管道路事業環境影響評価技術指針』では、評価の場所は官民境界となっているが、今回のような微振動を扱う場合は、官民境界ではなく建物床または建物基礎等での評価とした方が、より正確な比較が可能となる。

なお、振動制御の対象となる精密機械の詳細は不明であるが、半導体製造工場における製品の評価装置として用いられている走査型電子顕微鏡の場合の許容値は、測定に必要な時間により異なるが、装置の固有振動数が2～5 Hz付近にあるためこ

の近辺での振動が最もきびしく、床におけるその許容振幅は $0.5 \sim 1 \mu\text{mP-P}$ 程度以下と思われる²⁾。

(4) 有効な対策(案)の検討

有効な軽減対策については、道路側における対策として地中防振壁の設置やEPS(発泡スチロール)の路盤への適用等が考えられるが、多くの経費が必要となる。しかし、精密機器に防振装置を設置する方法や建物における防振対策は、道路側からの対策に比べて、経費が少なくてすむと思われる。精密機器の防振装置としては、i)精密機器を支持する架台の下部にコイルバネとダンパー、防振ゴムとダンパー、空気バネとダンパー等を組み合わせた防振装置²⁾やii)空気バネに微小な加圧制御ができる機能を付加することによりアクティブに微振動を制御する装置がある³⁾。また、建物における防振対策として、精密機器の支持装置を建物の基礎と一体化構造とし、地盤からの振動入射を防ぐ方法もある。

対策が必要となる場合には、精密機械工場における建物構造、使用している機器、対策の効果等を考慮した上で、最も適当な対策を検討することとなる。

<参考文献>

- 1) 建設省土木研究所振動研究室：道路交通振動の軽減対策に関する研究，土木研究所資料第1736号，昭和56年10月
- 2) 監修：時田保夫，森村正直：精密工学ハンドブック，フジテクノシステム pp. 394～399.
- 3) 二井義則：精密機器の振動防止技術，音響技術，No.60/dec.1987, pp.33～36.

(構造研究室)

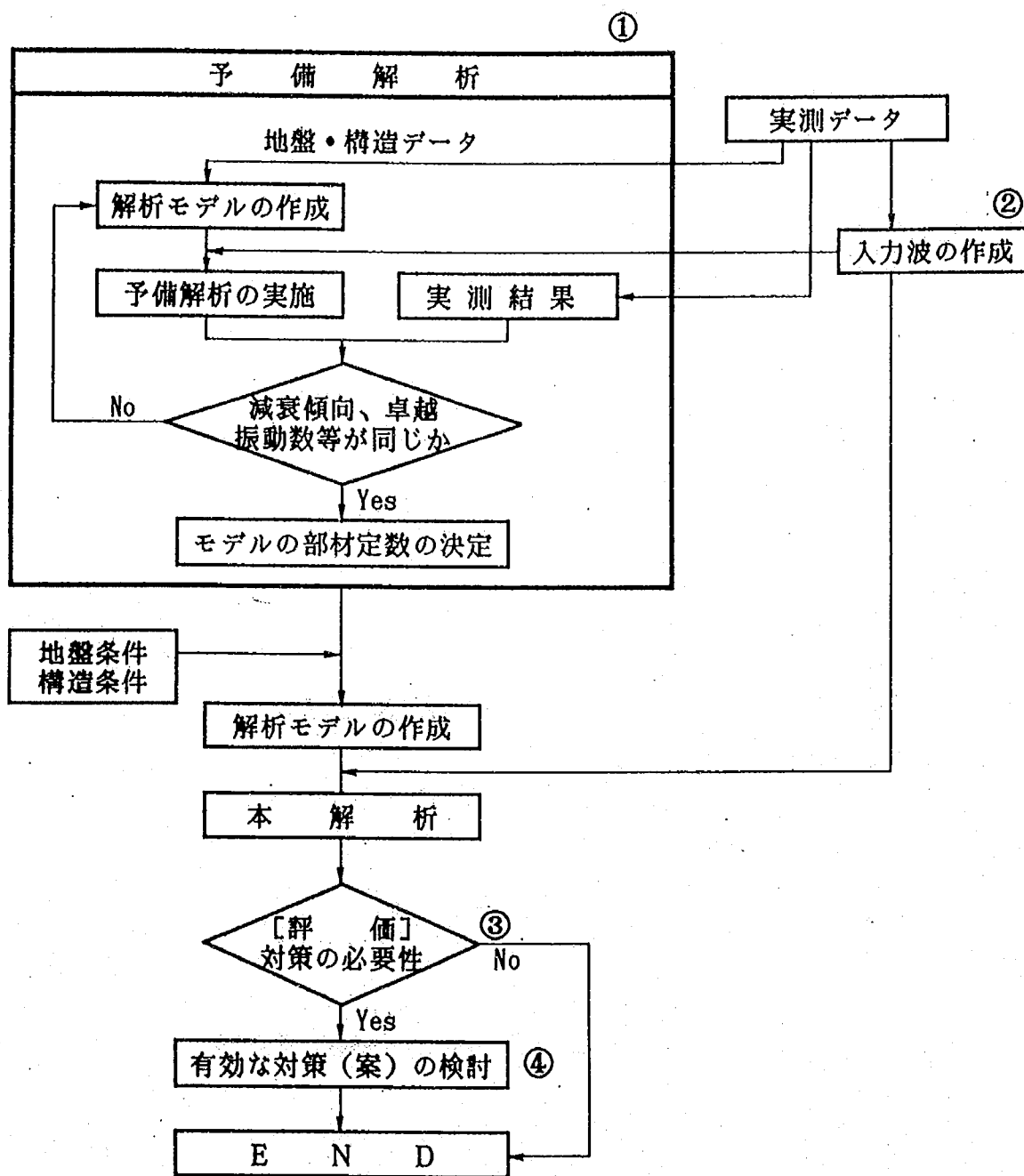


図-1 交通振動予測における一般的なFEM解析のフロー

河川部門目次

	(質問者)	(回答者)
1 河道内締切堤防の設計上の留意点	岡山河川工事事務所	河川研究室…………… 167
2 河幅の狭い小河川における環境整備	広島市建設局土木部	都市河川研究室…………… 169
3 急勾配河川における多自然型川づくり	芦田ダム工事事務所	砂防研究室…………… 178
4 軟弱地盤上での高潮堤防築造法	太田川工事事務所	土質研究室…………… 180
5 河川環境管理計画における景観からの検討	出雲工事事務所	都市河川研究室…………… 185
6 残土処理に伴う河道付け替えの計画	斐伊川・神戸川総合開発工事事務所	砂防研究室…………… 187
7 河口閉塞対策	浜田工事事務所	河川研究室…………… 189
8 ヘッドラインを計画する際の留意点	倉吉工事事務所	海岸研究室…………… 192
9 耕土の富栄養化に与える影響	江の川総合開発工事事務所	水質研究室…………… 196
10 面的工法を採用するダムにおける合理的な放流管設計方法	八田原ダム工事事務所	ダム水工研究室…………… 197
11 利水放流設備の規模の決定	江の川総合開発工事事務所	ダム水工研究室…………… 200
12 河口堰における魚道	福山工事事務所	ダム水工研究室…………… 203
13 ダム工事における仮排水トンネルの湧水処理	河川部河川工事課	ダム構造研究室…………… 207
14 ダムへの魚道設置	斐伊川・神戸川総合開発工事事務所	ダム水工研究室…………… 210
15 ダムの堤体コンクリートの黒ずみとその防止対策	弥栄ダム管理所	コンクリート研究室…………… 212 ダム構造研究室
16 ダムの景観設計	斐伊川・神戸川総合開発工事事務所	ダム水工研究室…………… 215
17 ダムサイトにおける高透水性ゾーンの調査および対策	殿ダム工事事務所	フィルダム研究室…………… 219
18 ダム貯水池及び放流水の冷・濁水対策におけるゲート操作	斐伊川・神戸川総合開発工事事務所	水資源開発研究室…………… 221
19 スリットダムの構造と砂防計画上の位置づけ	河川部河川計画課	砂防研究室…………… 225

河－1 河道内締切堤防の設計上の留意点

(質問)

支川合流点の変更を目的に現河道内に支川と本川を隔離するための締切堤防を造る際の、堤防設計上の留意点について御教示願いたい。

(岡山河川工事事務所)

(回答)

普通の堤防と締切堤防（背割堤）との違いに着目して、締切堤防設計にあたっての留意点を述べる。なお、質問にある締切堤防の設計条件は背割堤と同様と考えられる。河川砂防技術基準(案) [参考1.1.3] にある背割堤の設計の考え方を参照されたい。

普通の堤防と締切堤防との最も大きな違いは、後者が堤防の両側から流水外力を受けることである。したがって、堤防の両側から水圧を受け、堤体内の浸潤線の上昇が速くその程度も大きいと考えられるから、法面の浸透破壊に対して十分な検討が求められる。このため、地盤と堤防の材料、堤防両側の水位時間変化を適切に反映させた浸透流解析を行い、堤防破壊を防止するために必要な措置（堤防材料の選定を含む）を検討しなければならない。なお、締切堤防の場合、漏水が多量でも堤防破壊や両川の水位変化につながらなければ大きな問題とはならないので、必要な措置の検討に当たっては、漏水防止ではなく浸透による堤防破壊防止に重点を置くよう留意する。また、浸透抑制対策（護岸や矢板、ブランケット等）を検討する際には、堤防内の浸透流に与える影響を充分考慮するとともに、それらの経年的な劣化とそれに伴う機能変化に留意する。

締切堤防の場合、洗掘作用に対しては堤防の両側について必要な措置（護岸等）が施されなければならない。その措置の内容自体は普通の堤防と同様の方法により決定すれば良い。

堤防の諸元（高さ、法線）は背割堤と同様に、当該区間の河道計画や計画高水位をもとに検討する。その際には特に、堤内地への氾濫防御を目的とした普通の堤防

河－２ 河幅の狭い小河川における環境整備

（質問）

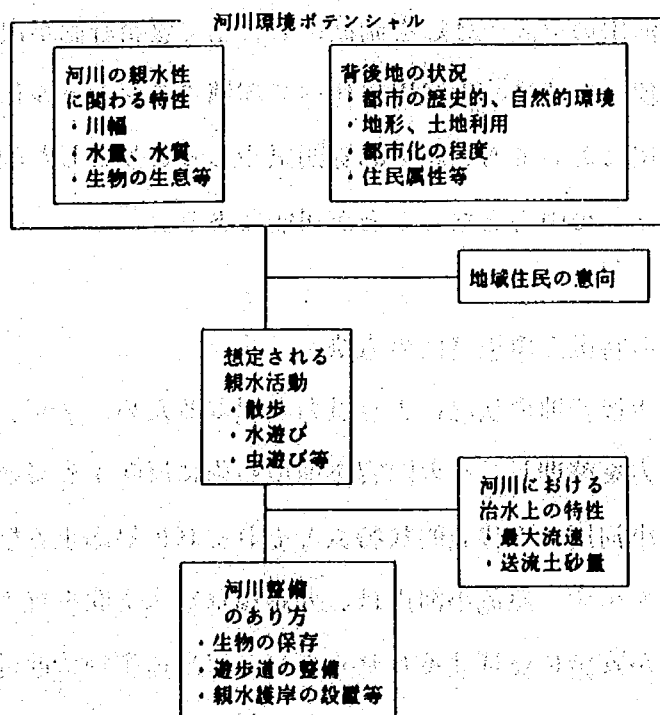
近年本市の河川事業においても親水性護岸、ホタル護岸など一部施工してきましたが、急流で河幅の狭い小河川が多いため、その手法等についてどのようにすれば良いか苦慮しています。ついては河幅の狭い小河川における環境整備の手法、留意点等について御教示願いたい。

（広島市建設局土木部）

（回答）

１．環境整備手法の考え方

図－１に河川において、環境に配慮した整備を行う場合の基本的な考え方をフローチャートに示す。



図－１

河川環境の出発点は、対象とする区域のテーマを定めることである。そのテーマに基づいて具体的な設計、つまり演出が行われる。

基本的なテーマは、その河川にとってふさわしく、また地域住民が期待している親水活動を基にして策定される。すなわち、河川あるいは周辺で展開されるべき親水活動を求めることが、基本的なテーマ策定の柱である。もちろんその親水活動は1つではなく、場所、季節を異にして複数であっても構わない。その親水活動を場所、季節と絡めて具体化することによって、テーマは具象化していく。

基本的なテーマの柱となるふさわしい親水活動は、次の手順で決定される。河川のもっている環境ポテンシャルを客観的に評価し、その評価されたポテンシャルを地域住民に提示して河川のもっている環境ポテンシャルに対する地域住民の十分な理解を得る。河川環境ポテンシャルは、河川の規模や環境の質と河川を取り巻く背後地の状況により決まる。

このように河川的环境ポテンシャルの客観的評価が出発点である。これを基に地域の置かれている河川的位置づけ等を明確にした上で整備計画が決定される。小河川では空間が狭いために、大河川に比べて環境ポテンシャルはあまり大きくない。しかし、小河川においても、歴史的雰囲気やしっとりとした趣があれば、その地域のアメニティーの中心となることが可能である。

2. 急流小河川での特徴と環境整備の方法

河川はその規模や背後地の状況により魅力が異なるため、まず、当該河川や背後地の持つ特徴や魅力を整理し、その内容を環境整備に反映する必要がある。

図-2は、急流小河川での代表的な特徴とそれぞれに対応する整備のポイントや親水活動、テーマを示す。急流小河川は、大規模な親水空間を有さないが、スケールが手ごろで小児が安全に遊ばせるせせらぎや、容易に生物に近付ける施設を設けることが可能である。これらは大河川にはない魅力となっている。また、水に直接水に触れることができない場合でも、背後地の持つ特性、例えば、歴史的な街

並や河岸沿いの緑道等と組み合わせる水辺の散歩道を整備することにより、水辺が街のシンボリック的存在となりうる。つまり、小河川では「散歩」、「水遊び」といった2つの親水活動を念頭に置きながら、当該河川の基本的なテーマを設定するとともに環境ポテンシャルを評価し、整備計画を具象化していく。ただし、「散歩」「水遊び」といってもその楽しみ方は様々であるので、現段階での「散歩」、「水遊び」に関する知見をまとめた。

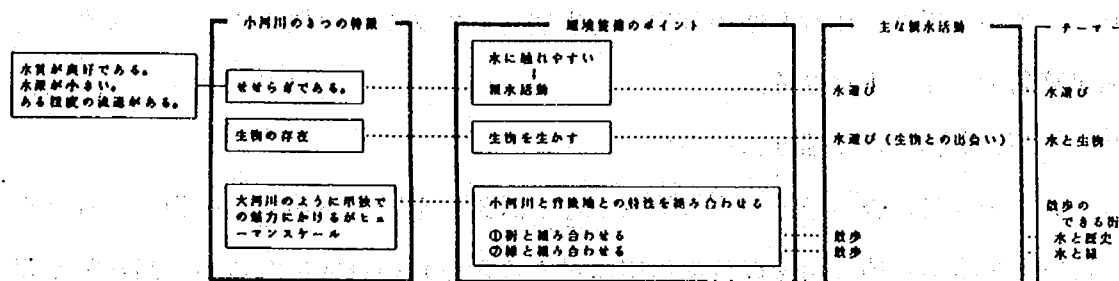


図-2

①散歩について

人が散歩を始めると、自分の住む街もじっくり歩けば新しい発見があることに気づき、また、足を延ばせば以外に知らない風景に出会うことがある。運動不足を解消し、街や自然と親しむために散歩する人は、近年都市部で多くなっているが、川辺は、散歩コースとして好まれる代表である。以下に散歩を分類した結果を示す。

①健康型 : 健康増進のために行う散歩で、中高齢者層が主に行う親水活動である。小河川でも、十分効果が期待できる親水活動である。

②気分転換型 : 気分転換のためにぶらぶらと川沿いを歩く散歩である。小河川においても、緑、水の流れ歴史性、季節感などが感じられれば十分この活動に対応可能である。

③八景型 : 広い川面に映る夕日、春の桜、夏の蛍がり、秋の紅葉など、時間と場所が限定された景観を楽しむ散歩である。この場合、誘致圏は①や②にくらべひろくなる。この場合、当該河川にどのような拠点が

あるかあるいは整備するかが必要になる。

④深訪型 : 河川に関わる名勝地や史跡などを訪ね歩く散歩である。当該河川に何等かの歴史がある場合には積極的にその事実をアピールし、各史跡等の動線を上手に結ぶことが重要である。

以上の様に、一口に散歩といってもその特性が異なるため、背後地や河川の特性を考慮し、どのような「散歩」に比重を置くかを意識した整備が必要になる。いずれにしても、安全な歩行空間の創出と遊歩道へのアクセスの難易やアクセスする間隔が整備のポイントになる。

②水遊び、魚捕り、虫捕りについて

これらの活動は専ら子供や家族連れが行う活動である。直接水や生物にふれ合うこと事ができるため、情操教育や河川に対する愛護心の育成になるが、高水敷や親水公園などの空間を創出するだけの川幅が必要となる。

小川遊び型 : 小川のせせらぎ等で行う水遊びで、子供や小児を連れた家族などが頻繁に行っている。子供はちょっとした水辺でも喜んで水に入るので、良好な水質、ある程度の水量、あまり深くない水深で整備することができる必要な施設は階段、小規模落差工である。

魚・虫捕り型 : 魚類や水生昆虫等が豊富な場所では、子供が集まり網等を使って積極的に遊んでいる。従って、当該区間で生物が豊富な場所では、ポイント的に水辺に近付ける整備を行うだけで十分な環境整備となる。

生物観察型 : 子供から大人まで比較的幅広い年齢層に受け入れられるだけでなく、環境教育という面からも意義深い親水活動である。小河川でも、水辺の植物や魚類、鳥類、昆虫類が生息する空間の確保と、それらを観察できる場所を整備することが重要となる。

以上の様に、水に接する遊び方を大きく分類したが、これらの親水活動や先に述べた散歩等を意識した整備を複合的に行うことにより、より効果的な環境整備を行うことが出来る。ただし、整備に当たっては、1で述べた様に、河川の特長や背後

地の状況を十分検討することが必要である。

では、次に、これらの親水活動を具体的に計画に盛り込むための手法を示す。図-3は、「散歩」、「水遊び」といった2つの親水活動を考える際の留意点とそれぞれの留意点に対応する親水施設を示す。また、図中の丸印は整備する上で留意すべき優先順位を示す。また、活動内容では、前述した親水活動がどの留意事項及び施設に対応するかを示した。

「散歩」においては最も重要なのは、「歩きやすいこと」である。足元が泥々していたり、全く座る場所がなければ②以下の整備を行っても効果が薄れる。②以下の留意点は、後述するように散歩の内容に幅をもたせ多種多様な散歩の楽しみ方を提供する素材となる。

「水遊び」においては、「水のきれいさ」、「川底のきれいさ」、「水辺へのアクセス」が最も重要になる。急流小河川の場合、この条件は満たしている場合が多いと思われるので、「水辺へのアクセス」の条件さえ満たせば、水遊びは可能になるが、流れに変化をつけ川らしさを演出することにより、その効果は向上する。また、魚類等の生物の生息は親水活動に面白味を増すだけでなく、情操教育や河川に対する愛護心を育む効果がある。

3 環境整備の具体的事例

①一の坂川（山口県山口市）－水と生物に着目した例（写真－1）

小規模河川改修でホタル護岸を実施した例で、元の河床を約1 m掘り下げ底底と水路を設けている。旧河底に生息していたカワニナも掘削により一時消滅したが、改修後新たにカワニナを放流してホタルの復活をはかった。この河川は計画河床勾配が1/120と急なため、平水時の流速が速すぎてホタルの幼虫の水中生活に支障をきたすため、落差工を用い流れをゆるやかにした。しかも、これを蛇行させ流速の変化をはかるなど、ホタルの生息のため数々の工夫を行っている。急流小河川において、底底水路および底落差工の設置は、景観上あるいは生物の保全上一

	留意事項	具体的な施設等	活動の内容			
散歩	① 整備された散歩道	散歩道のアクセスの良さ 足元のきれいさ ベンチ等の設置	健康型	気分転換型	八景型	探訪型
	② 周辺の風景・緑の存在	並木、散歩道の植樹				
	・水の流れ	小落差工の設置 低水路の設置 (ゆるやかな蛇行 河岸の緑化)				
	・生物の存在	河岸の多孔質化 植物・繁茂地の確保 塵埃の保全 湧水の確保				
	・その他 夕日や朝日等	視点場の整備 拠点の抽出あるいは整備				
	② 水辺へのアクセス	階段 低水敷散歩道				
	③ 水に関係ある施設との組合せ	水と関わりのある史跡調査 ルート道ルートアップの整備 案内版の設置(川の由来) モニュメントの設置				

	留意事項	具体的な施設	活動の内容		
水遊び	① 水のきれいさ 川底のきれいさ	接触酸化浄化施設	小川遊び型	魚・虫鳥型	生物観察型
	① 水辺へのアクセス	階段 低水敷			
	② 水音がする 流れに変化がある	小落差の設置 低水路の設置			
	③ 生物の存在	河岸の多孔質化 植物繁茂地の確保 塵埃の保全 湧水の確保			
	④ その他	生物を観察する 施設整備 (1ニ観察小屋等)			

図 - 3

つの方策である。



河川名：一の坂川 地名：山口市 施設名：ホタル護岸

(写真－１)

②広瀬川（群馬県前橋市）－「水と緑」に着目した例（写真－２）

古くから前橋市民の生活と関わりの深かった広瀬川は、昭和３０年代後半からそ

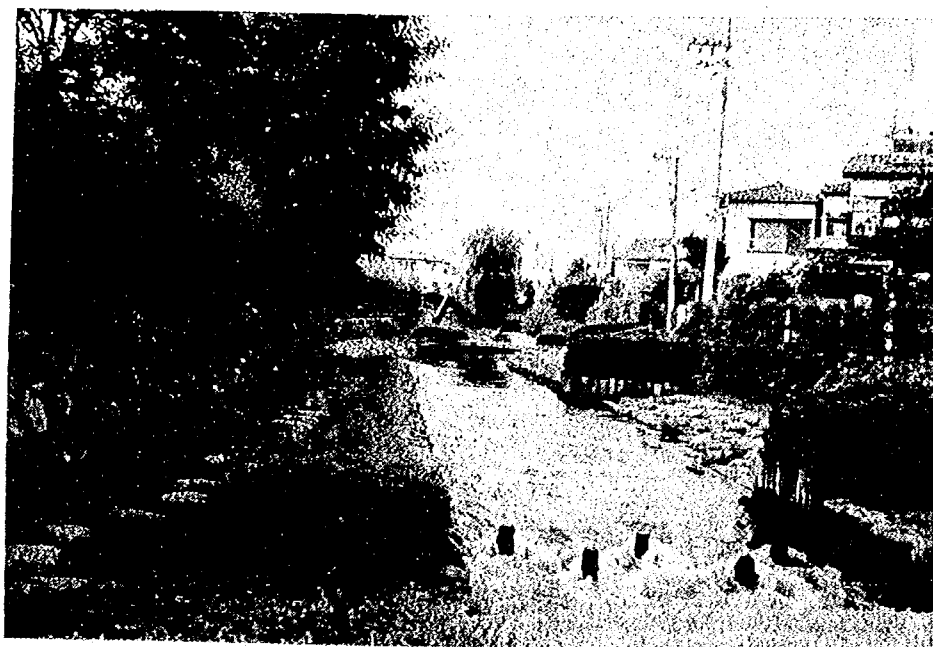


(写真－２)

の清流にも汚れが目立ち始め、昭和40年には広瀬川に蓋をする計画まで持ち上がった。しかし、「広瀬川」を守る市民運動が起こり、現在では繁華街の約1kmに及ぶ川岸は柳並木が並び、きれいな緑道として整備され、街のシンボルの河川として市民に親しまれている。広瀬川の良い環境と背後地が市街化していることから散歩だけでなく通勤、通学と日常的に使用されており、各所にベンチやモニュメントが設置され、歩いていて楽しめる歩行空間となっている。河川自体には、特別な手をかけていないが、水辺を沿って歩ける緑道の整備手法は、一つの有効な手法といえる。広瀬川は残念なことに緑景が多すぎ、水辺と街並が隔絶した感じになっており、もう少し、水辺と街の親和性が欲しいと思われるが、国内では、成功した例といって良い。

③二ヶ領用水（神奈川県川崎市）－河川と活動に着目した例（写真－3）

二ヶ領用水は、農業用水路として開削された神奈川県下で最も古い人工用水の一つで、現在の川崎市の繁栄の礎となった用水路である。現在は「ふるさとの川モデル事業」にも指定されており、指定区間を除く約85%が改修済みで、昭和60年代当初から親水護岸の設置など意欲的に環境整備に取り組んで来ている。現在これ



（写真－3）

らの区間は、連続的に良好な景観を呈し、所々水辺に降りることができるため、周辺の住民の散歩や子供達が水辺に降りて遊ぶ姿が見られる。

(都市河川研究室)

河－3 急勾配河川における多自然型川づくり

(質問)

砂防事業で実施しているような、急勾配な河川の改修（支川取付）を行う場合、落差工が連続する工法を用いることとなるが、このような場合でも多自然型川づくりは可能でしょうか。ご教示願いたい。

(苫田ダム工事事務所)

(回答)

砂防事業で行う流路工は、一般的に河床勾配が1/100より急なところで実施され、流水による縦横侵食の防止等の機能を達成するため、通常、床固工（落差工）を用いて河床勾配を緩和する工法がとられている。また、急勾配な上、土砂を含んだ流水を通過させるため、外力に対する十分な安全性が要求される。このような厳しい条件の中で、全国で環境に配慮した砂防事業が、様々な形で展開されている。しかし、これらのパイロット的事業は、現場条件によってかなり制約が生じ、環境への配慮の方法も異なってくる。

石積護岸や巨石の利用の護岸、スロープ式床固工、魚道の設置などは急勾配な場所も含め、広く実施されている。勾配が緩く、河岸に対する外力が小さい区間では、緩傾斜護岸や螢護岸、魚の生息環境を考えた低水路の設置などが試みられている。

また、勾配が1/30よりも急で、底幅が3m以下と狭い河川の場合、これまでは経済性を考えて、縦断侵食の防止を図るために底張り工法を実施する場合もあった。しかしながら、河川に生息する生物や自然景観への配慮



写真1、巨石による護岸工

を考えると、底張りは避けた方がよい。¹⁾そこで、経済的には不利になるが、護岸の根入れを十分に取りする方法や帯工を密に設置して底張りを避ける工法が実施されている。また、護岸については、河床勾配が緩く単位幅流量も少ない河川では、石積護岸も可能であり、やむを得ず底張りにする場合でも、少しでも生物の生息環境を保全することに繋がる、石張りを実施している事例もある。



写真2、石張りによる多段落差工

以上、勾配の急な砂防区間で実施している、環境に配慮したいくつかの工法を示したが、これらは多自然型川づくりが意味する、「河川が本来有している生物の良好な成育環境配慮し、あわせて美しい自然景観の保全を保全あるいは創出する」²⁾につながるものと考えられる。ここで紹介した以外にも、植生の導入などの工法が検討、実施されており、今後ともより生物にやさしい、新しい工法が開発されるものと考えられる。

参考文献

- 1)池谷 浩；砂防流路工の計画と実際、昭和63年改訂、(社)全日本建設技術協会
- 2)建設省河川局治水課、都市河川室、防災課；多自然型川づくり実施要領、平成2年度

(砂防研究室)

河-4 軟弱地盤上での高潮堤防築造法

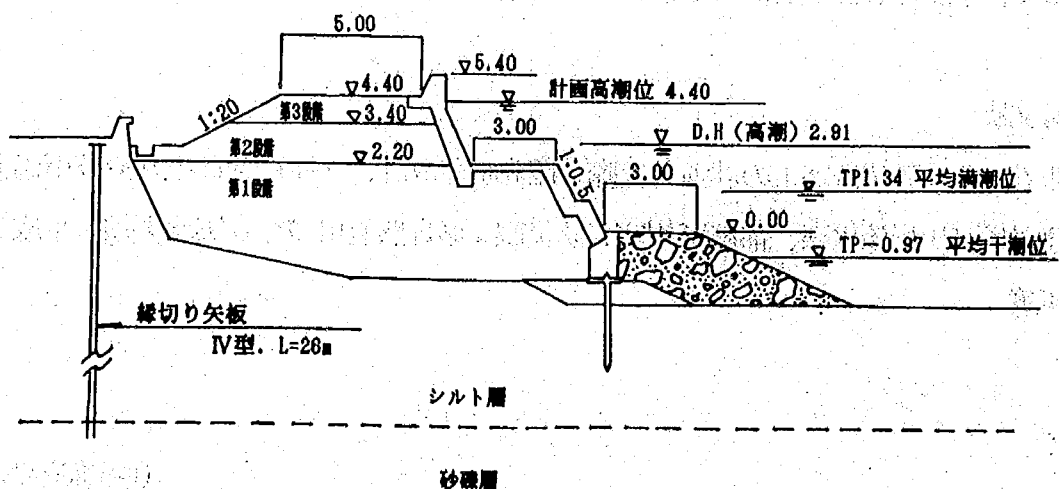
(質問)

太田川高潮対策事業は、昭和55年度着手し、順次下流から施工中であるが、太田川下流部デルタ地帯の地質は、砂礫層及び沖積層が厚く堆積しており、特に軟弱なシルトの層圧は20m程度と厚く圧縮性の高い有機質、無機質粘土である。

そこで、太田川高潮堤防では、沈下対策工法として、堤防築造を階段施工(3段階)とし、圧密沈下の影響を最小限に留める方策を採用しているが、完成までに長年月を要し、高潮防御効果の発現までに多年を要する結果となっている。また、背後地のつれこみ沈下を防ぐため、堤脚部に縁切り矢板(Ⅳ型 $L=26\text{m}$)を打ち込んでいるが、これがコスト増につながっている。昨年の台風19号において、広島デルタでは高潮が発生し、多大な被害をこうむり、堤防完成の期待は極めて高い。

当事務所としては、円滑な工事の進捗と堤防効果の早期発現を図り、今後の事業展開に役立てるために、このような軟弱地盤での高潮堤防築造法について、御教示願いたい。

(太田川工事事務所)



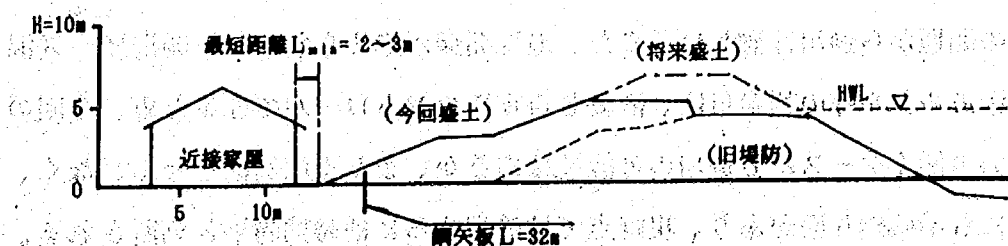
(回答)

軟弱地盤対策工の効果については、表－１のようにまとめられる。

今回の太田川高潮堤防では、工期の短縮を図ることと盛土周辺への影響を軽減することがポイントとなる。まず工期の短縮を図るためには、バーチカルドレーン工法を用いて、圧密を促進させることが考えられる。バーチカルドレーン工法とは、粘土質の地盤中に鉛直な排水栓を設け、排水距離を短縮して圧密排水を促進し、併せて地盤のせん断強さ増加を図る工法である。

さらに今回のケースでは、背後地に民家が隣接しているため盛土による周辺地盤や近接した構造物への影響を考慮して工事を進めなければならない。周辺地盤への影響を軽減する対策工としては、質問にある矢板工法の他に深層混合処理工法、軽量盛土工法などが考えられる。矢板を用いて周辺地盤の変形を抑制した事例として、兵庫県豊岡工事の例があり、図－１にその施工概要図、図－２に土質特性図を示す。この地域の地盤は、表層部に細砂が薄く分布するが、それ以深には軟弱な粘性土が厚く分布している。この粘性土は典型的な沖積粘土であり、 N 値 ≤ 4 、自然含水比 $W_n \approx 60\%$ および一軸強度 $q_u \approx 0.6 \sim 1.2 \text{ kgf/cm}^2$ を示す。近接する家屋は、のり尻から $2 \sim 3\text{m}$ に位置しており、つれ込み沈下の発生が予測され、縁切工法として鋼矢板を下部砂層まで打設した。その結果、鋼矢板を境界にして、堤外地側では $25 \sim 40\text{cm}$ 沈下しているのに対し、堤内地側では 1.5cm 以下の沈下に抑えられており、さらに水平変位も 7cm 以下と小さいことから鋼矢板の縁切り効果が発揮されていることがわかる。

上記の豊岡工事の例では、鋼矢板を地表面から 30m の深度にある下部砂層まで打設して、鋼矢板の下端の変位を拘束しているため、十分な効果が発揮されているが、



図－１ 施工概要図

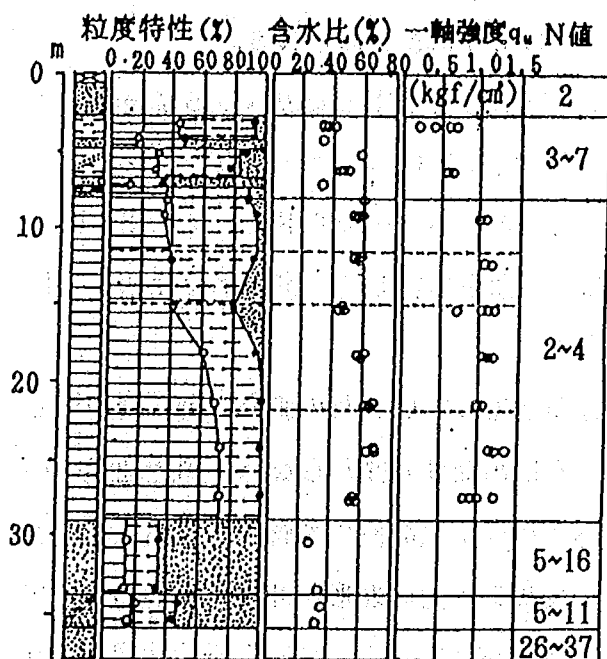


図-2 土質特性図

として石灰、セメント系の安定材を地中に供給して、原位置の軟弱土と強制混合することによって深層に至る強固な柱体状、ブロック状または壁状の安定処理土を形成する工法で、周辺地盤への側方変位を抑制するほか工事中の振動や騒音を抑えることができるなどの利点を有している。コスト的には、径1m程度の改良柱体を施工するなら矢板工法より有利であるが、ある程度径が大きくなると改良柱体の曲げ剛性が十分に期待できないことや安定材を供給するときの空気圧の影響で、堤内地に盛り上がりが生じることも考えられる。さらに、軽量盛土工法のうち、発泡スチロールのブロックを用いるEPS工法は、今回のように計画洪水位が高いケースでは、浮力などの問題から適用は難しい。また、最近開発が進められている発泡ビーズ混合土や気泡モルタル等の軽量材は、密度を自在にコントロールできるため、今回のように浮力の働くケースにも適用の可能性はあるが、まだ実施例はほとんどなく、コスト的にも不確定な面があり、現時点では適用するには時期尚早と判断される。

以上より、今回のケースでは、鋼矢板を打ち込んでつれこみ沈下を防ぎながら、

鋼矢板を粘性土中に止めると鋼矢板下端の変位を拘束できないため、効果は半減すると考えられる。今回の太田川高潮堤防の場合は、シルト層の下に砂礫層があり、また表層にも薄い砂層が存在することから、矢板を軟弱層下部の基盤まで打ち込むことにより、上下部の砂層で水平方向の移動を拘束して、矢板の変形を少なくすることができると考えられ、矢板工法による効果が十分に期待できる。

一方、深層混合処理工法は、主と

パーチカルドレーン工法を併用して、工期の短縮を図る工法が適していると考えられる。また、圧密による強度増加をはかり、側方変位の発生を低減させるため、できるだけ盛土速度を緩やかに施工することも望まれる。 (土質研究室)

表-1

工 法		A	B	C	D	E	F	G
表層処理工法	敷設材工法							
	表層混合処理工法			◎	○	○	○	
	表層排水工法							
	サンドマット工法							
置換工法	掘削置換工法		○	○			◎	○
	強制置換工法							
押さえ盛土工法	押さえ盛土工法			○			◎	
	緩斜面工法							
盛土補強工法	盛土補強工法			○			◎	
荷重軽減工法	軽量盛土工法		◎		◎			
緩速載荷工法	漸増載荷工法			○	◎			
	段階載荷工法							
載荷重工法	盛土荷重載荷工法							
	大気圧載荷工法	◎				○		
	地下水低下工法							
バーカルト・レーン工法	サント・ト・レーン工法	◎		○		○		
	カート・ポート・ト・レーン工法							
サト・コンパクション工法	サト・コンパクション・バール工法	○	◎	○			◎	◎
振動締固め工法	ハイ・ロー・ローテーション工法		○				○	◎
	ロッド・コンパクション工法		○				○	◎
	重錘落下締固め工法		○	○				◎
	深層混合処理工法		◎	○			◎	
固結工法	石灰パイル工法							
	薬液注入工法		◎				◎	
	凍結工法							
構造物による工法	矢板工法			◎			◎	
	くい工法		◎	◎			◎	
	カルバート工法		◎		◎			

A: 沈下対策: 圧密沈下の促進
 B: " : 全沈下量の減少
 C: 安定対策: せん断変形の抑制
 D: " : 強度低下の抑制

E: 安定対策: 強度増加の促進
 F: " : すべり抵抗の増加
 G: 地震時対策: 液状化の防止

◎: 主効果 ○: 効果

河-5 河川環境管理計画における景観からの検討

(質問)

現在、各河川において水環境計画を策定中であるが、景観からの水量は都市河川研究室等の研究から法線間（みかけの河川幅）の0.2以上あれば満足されることになっている。これは、一般的に橋梁等の河川横断工作物の中心部分から見た時の数値と考えるが、検討箇所には橋梁等が無い場合は、堤内地の高台や、堤防上から斜めに河道内を見るケースが考えられその時の検討手法を御教示願いたい。

(出雲工事事務所)

(回答)

高台（水面からの比高＝1.5m）及び堤防上から見たときの俯角の取り方についてであるが、水面からの比高1.5mという高さはそれ程高くない。直轄河川の場合、橋梁が視点の場合、水面との比高が1.0mを越えることもよく見られる。したがって、基本的には、高台及び堤防に視点を設ける場合も橋梁と同様に俯角 $1^{\circ} \sim 5^{\circ}$ の範囲の平均的なみかけの W/B を求めればよい。水衝部などで、眼下に水面が広がっている場合は、その状況に応じて測定する俯角の範囲を広げてよい。

堤防上に視点を設ける場合の留意点としては、参考資料「みかけの W/B の求め方（河川環境対策室）」p.7で述べてあるように

- ① 流軸方向が見通せる場所であること
- ② 水面まで、比較的大きな俯角（例えば 3° 以上）が得られる場所であることが挙げられる。これらの条件を満たすのは湾曲部外岸すなわち、水衝部であることが多い。したがって、ここでは、水衝部を事例として挙げ解説する（図-1参照）。

視軸は、橋梁上と同様に流軸方向とする。
上流・下流が見渡せる場合には、その水

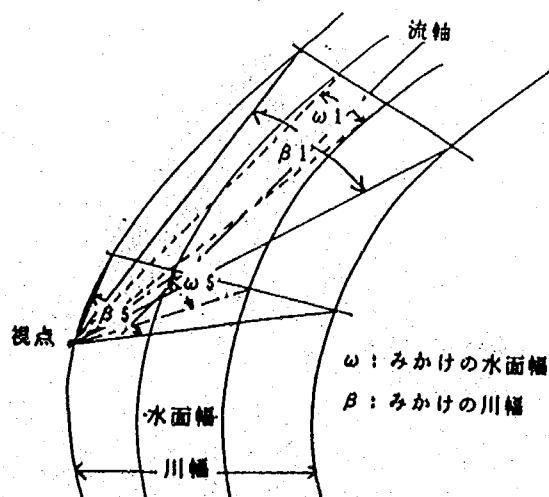


図-1 堤防に視点を設けた場合

量感を支配していると思われる一方にするか、判断がつかねる場合は、両軸を対象として、 W/B を求め、その平均または大きい値をとる。

適正な W/B は、本来、河川ごとに異なるはずであるが、ガイドラインにおいても述べたように、一つの目安として $W/B \geq 0.2$ （堤防上に視点を設ける場合も含めて考えている）を参考とする。あるいは各河川の検討箇所の景観の特徴を把握し、現場実験等により独自に評価基準を定める。

（都市河川研究室）

河－6 残土処理に伴う河道付け替えの計画

(質問)

3600年前の火砕流堆積物が浸食されて形成された溪流(砂防指定地・2級河川区域)で残土処理を実施しようとしている。その一つの方法として河道付け替えを計画したが、一部の区間で河道が盛土部の上になる予定である。このような場合における河道の設計及び施工における留意点、他の事例などがあればご教示願いたい。

(斐伊川・神戸川総合開発工事事務所)

(回答)

盛土部に河道を設けることは施工後、構造物の不等沈下による災害が生ずる危険があるため原則的には避けるべきである。但し、地形条件などからやむを得ず河道の一部が盛土部のうえになるような場合は下記の点に留意して河道の設計・施工を行うものとする。

河道の付け替えによって流路が短縮される場合は河床勾配が急になるため、洗掘力が増大する。そのため、上流部の土砂は洗掘され下流に堆積が生じる。そこで、河道の付け替えをする場合は、付け替え区間上下流の河床勾配になじむような縦断計画とし、それに従って床固工などの横工を計画する。ただし、自然河川における流路は水理学的な安定性から直線流路とならず、蛇行もしくは網状流路となる場合が多い。従って、川幅が広い場合は流路内で蛇行・乱流しやすくなり、局所洗掘や部分的な堆積による河床上昇を引き起こすことがある。

河道の付け替えに当っては単なる直線流路ではなく、施工箇所の地形、残土処理後の地形などを考慮した法線とし、蛇行の修正とそれによる流出土砂量の抑制が十分なされるようにする(但し、土砂および洪水流を一気にフラッシュさせることを目的とした場合の法線は直線がよい¹⁾)。

以上のように、河床勾配の緩和、流路の規制を目的として河道内に床固工ならびに護岸工を設置することが望ましい。この際、床固工、護岸工の基礎は図-1に示すように施工後の不等沈下を防止するため地山（旧河床）に付けることが重要となる²⁾。

なお、古い火砕流の堆積地に河道を計画、設計、施工する場合でも一般の地盤と同様に特別な配慮は必要ないと思われるが、火砕流堆積地の土質が悪い場合には、粒度試験、締固め試験、液性限界試験、塑性限界試験、透水試験、せん断試験などを実施して、火砕流堆積地の沈下や施工中の間隙水圧の発生、盛土、切土の安定、施工性などを検討する必要がある。

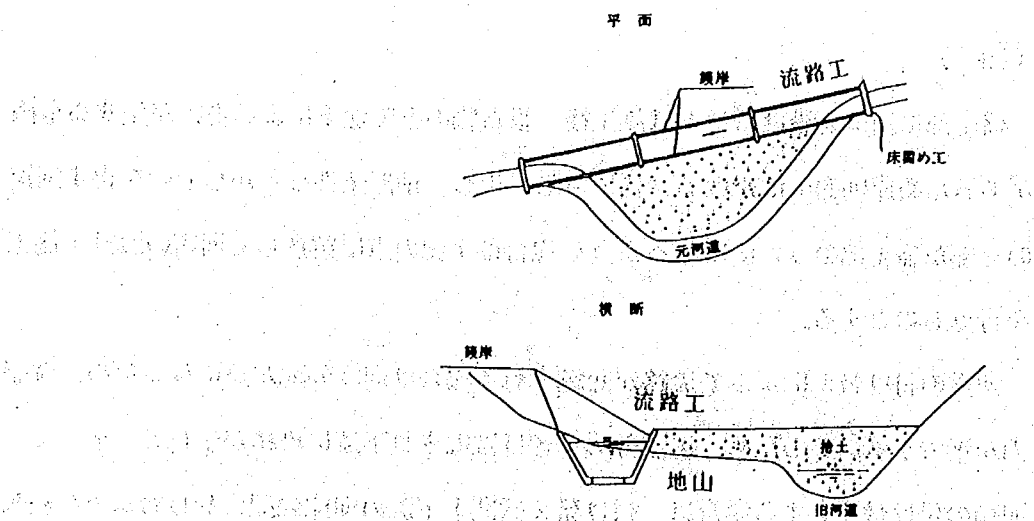


図-1 河道の付け替えに伴う構造物の基礎の取扱い

参考文献 1) 池谷浩(1977): 砂防流路工の計画と実際

全建シリーズ第25巻、pp142~144.

2) 阿座上新吾(1990): 砂防技術の変遷と展望

(財)砂防地すべり技術センター、pp257~258

(砂防研究室)

河-7 河口閉塞対策

(質問)

高津川においては、風浪による河口閉塞があり、出水期前に開削を行っているが、2～3日で閉塞する状況である。航路も毎年のように浚渫（県港湾）を行っている。

天然アユの遡上が多い河川であり「魚がのぼりやすい川づくり事業」等が推進されており、河口閉塞解消を図る抜本的な対策方法等について御教示願いたい。

(浜田工事事務所)

(回答)

河口は、河川流のみならず海から波の作用を絶えず受けている。このため掘削によって河口砂州を取り除いても、ある程度沖まで延びた導流堤がないと短時間のうちに元の砂州とほぼ等しい高さの砂州が発生してしまう。さらに導流堤内の水深が浅ければ、同様に導流堤内に砂州が短時間で発生し、導流堤内の水深が深くなればなるほど底質材料が動きにくくなるので砂州は発生しにくくなる。

現在の高津川河口は、砂州が西から東に向かって延び、航路維持のため約250mの右岸側導流堤および中導流堤によって、流路幅が約100m（導流堤先端で約75m）維持されている。また、砂州によって洪水時に河道内の水位が上昇するため、出水期前に砂州フラッシュを容易にするために中導流堤左岸側の砂州掘削等も行われている。このような状況のもとで、河口閉塞を抜本的に解消するための方策としては、河口全体を導流堤によって港のように囲むようなことをしない限り難しいと言える。

したがって、アユの遡上のために、現在の中導流堤の左岸側砂州部を常時開口させておく手段は今のところないと判断される。中導流堤先端を迂回せずにアユがのぼれるようにするには、この中導流堤を中間で分断し、ここを重複させて開口させるような形状にでもしなければ無理と考えられる。

なお、中導流堤左岸側の砂州は、出水期前に開削を行っているが、その高さはあまり低くまで掘削しなくとも良いと判断される。実河川の砂州フラッシュ状況や実験結果等によると、砂州フラッシュ時における河口部のピーク水位は、砂州フラッ

シュによって開口する領域の平均砂州高に0.5mを加えた高さ以上にはならない。これは砂州部を越流した直後付近がピーク水位となり、砂州越流後は急激に砂州フラッシュが進行して、水位はむしろ低下してしまうことによる。このようなことから砂州部は、河口の計画高水位より0.5m以上低く掘削しておけば計画高水位以下で疎通可能と考えられるためである。

導流堤内で砂州が発生するかしないかについて、山本²⁾は現地の導流堤間の砂州発生状況と導流堤内河床高の関係、河口模型実験例により、導流堤間水深が4m以上あれば、その水深は1年ぐらい維持でき、2～3mでは強波浪時に浅くなることがあり、2m以浅では砂州の発生を見ている。ただし、実河川河口では、水深が維持可能であっても、導流堤間の底質材料が動かず浅くならないということではなく、1年ぐらいの期間では導流堤内に土砂がたまらず、多少浅くなっても洪水によって掃き出されると考えるべきであるとしている。

導流堤によって河口砂州の発生を防ぎ、現状において安定している河床を浚渫によって低下させれば、河川からの流出土砂によって必ず堆積することになる。この場合その堆積速度を把握し、維持浚渫を考えておく必要がある。とくに掘削河道がその河川が持つ動的な平衡河床高と大きくかけ離れている場合には堆積速度が早くなる。河口近くの河床高や勾配を決める支配流量を Q で代表し、河口部で川幅の変化がないとすると、動的平衡状態では、河口の水深は等流水深となり

$$h = \phi^{-2/3} \cdot g^{-1/3} \cdot B^{-2/3} \cdot I^{-1/3} \cdot Q^{2/3}$$

となる。ここで ϕ は、流速係数で u_m/u_* 、 I は勾配、 Q は平衡状態を決める支配流量である。 Q の値は、河川特性によって異なるが、年一回洪水流量程度と考えられる。通常の河口は、砂州等によって河口幅が狭められているので、砂州上流での水位のせき上げにより、川幅一定の場合の動的河床高より河床高が高くなっている。このため導流堤によって砂州の発生を防ぐことができれば、砂州上流の河床高は多少低くなるが、河川自身では上述の等流水深以上にはなり得ず、河床をより低くするには維持浚渫にたよるほかない。

<参考文献>

- 1) 山本晃一：河口処理論 [I]，土木研究所資料1384号，1978
- 2) 山本晃一：河川の流量改訂に伴う河口処理の問題点，土木技術資料Vol. 20-2，
1978

(河川研究室)

河-8 ヘッドランドを計画する際の留意点

(質問)

皆生海岸の西側に広がる弓ヶ浜半島では近年侵食が進んでおり、侵食対策としてヘッドランドが有力となっています。そこでヘッドランド計画を立案する上で留意すべき点があれば御教示願いたい。

(倉吉工事事務所)

(回答)

1. はじめに

近年、各地で海岸侵食が著しく進んでいますが、いくつかの海岸では侵食対策としてヘッドランドが造られつつあります。例えば茨城県の鹿島灘沿岸では12基のヘッドランドが建設されつつあり、かなりの効果をあげています。写真-1には既に完成した10号堤の全体状況を示します。突堤部・ヘッド部の長さは共に150mでして、ヘッドランドは滑らかに湾曲したイカリの形をしています。以下では、ヘッドランドの配置や施工順序の考え方、そして海岸に流入する小河川の河口処理とヘッドランドとの取り合わせなどについて考えてみます。

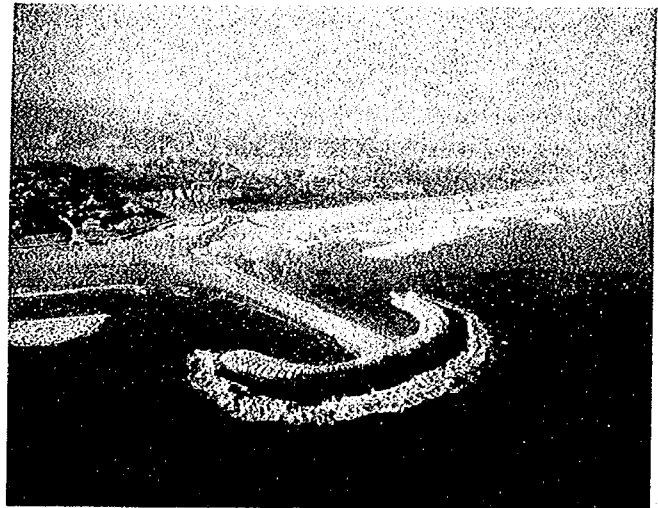


写真-1 鹿島灘のヘッドランド10号堤の全体状況(1991年12月)

2. ヘッドランドの配置

ヘッドランドの配置を考える場合、まず注意しなければならないのは、ヘッドランドは岬や防波堤など沿岸漂砂を阻止する構造物によって区切られた全体区間を安定化させるよう配置すべきことです。沿岸漂砂の卓越する海岸において、ある区間のみの汀線後退を止めようとする手段としてヘッドランドを用いますと、ヘッドランドの下手側に新たな侵食区域が発生してしまうことになります。

ヘッドランド群により安定な海岸線を創出したい場合、その間隔と長さの関係は基本的に突堤の場合と同一でして、図-1のようにまとめられます。ヘッドランド間の距離を ℓ 、ヘッドランドの長さを ℓ' 、卓越波の入射角を θ 、旧汀線と護岸との距離を B としたとき、

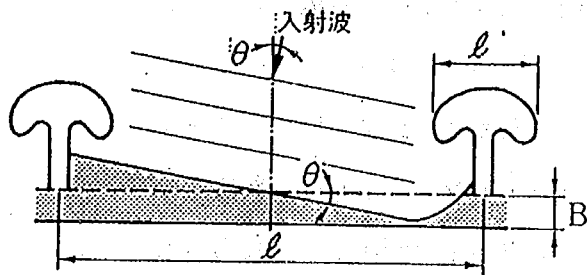


図-1 ヘッドランドの平面配置

$$B - \frac{\ell - \ell'}{2} \tan \theta \geq B. \quad (1)$$

を満足しなければなりません。ここに B は余裕汀線幅として、可能であれば20m程度は必要です。また、突堤の長さは $(\ell - \ell')/2 \cdot \tan \theta$ より十分長くなければなりません。さもないと、ヘッドランドの先端を越えて沿岸漂砂が下手側へ流出してしまうからです。上式の関係によれば、ヘッドランドが長いほどそれらの間隔を開けられることとなります。ヘッドランドは、その間の海浜砂が沿岸方向に流出するのを防止することにより効果を発揮します。このため原理的にはヘッドランドの先端水深は波により顕著な地形変化の生ずる限界水深（地形変化の限界水深）に近い所まで延ばす必要があります。我が国沿岸で外海に面した海岸ではこの水深は10m付近にあります¹⁾。したがってヘッドランドの規模はかなり大きくなります。ただ実際にはヘッド部（横堤部）を築くと、そこでは入射波のエネルギーが急激に吸収され、沿岸流を作るエネルギーが減少することから、ヘッド部では砂を運ぶ沿岸流が弱まります。したがって上述の水深まで延ばさなくても、ヘッド部を設ければ沿岸漂砂の阻止効果はかなり高くなります。

3. ヘッドランドの施工順序

ヘッドランドが計画されるような海岸は、河川からの流入土砂量の減少や、漁港等の防波堤が延ばされて沿岸漂砂の均衡が失われた海岸であることがほとんどです²⁾。例えば、防波堤により沿岸漂砂が阻止されて侵食が進んだ場合を考えてみましょう（図-2参

照)。この場合、時間の経過とともに侵食域は下手側へと広がりを示します。下手側の被災区域での侵食を止めるために、被災区域のすぐ下手にヘッドランドを造れば、新設のヘッドランドの下手側が新たに侵食されることになります。一方、漂砂の最も下手端から造るのでは、ひどく侵食されている箇所の対策として役立たないことは明白です。こうしたことから、ヘッドランドはできる限り同時に多数基の工事を行い、効果と影響を均等化する必要があると言えます。

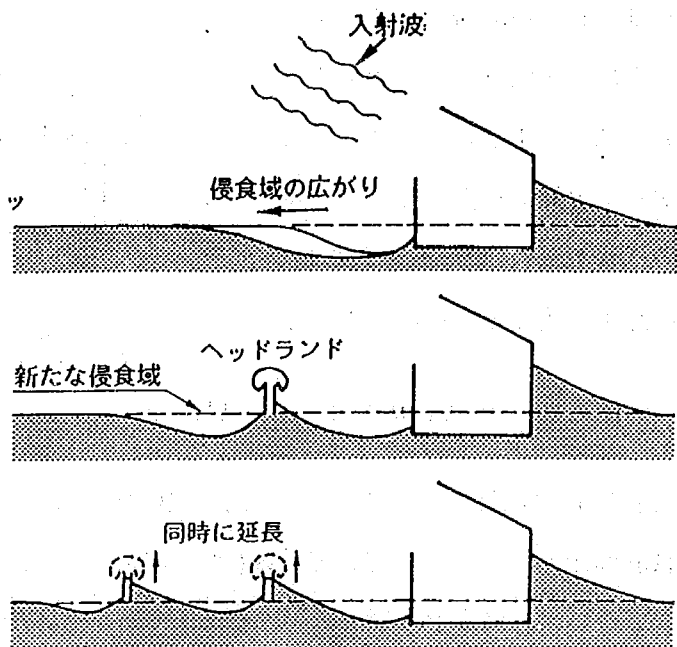


図-2 ヘッドランドの施工順序

4. ヘッドランド計画と河口処理の関係

ヘッドランドをある海岸線に配置する場合、ヘッドランドの間隔に応じて沿岸に何基かのヘッドランドが並ぶことになります。一方、一般にヘッドランドが計画されるような海岸ではしばしば小河川が流入し、それらの処理が問題となることが多いのです。こうした小河川は流量規模が小さいために、河口に砂州が発達すると河口が閉塞されて問題となりますが、新たにヘッドランドを造りますとその影響も加わります。図-3をもとに考えてみましょう。もし、ヘッドランド

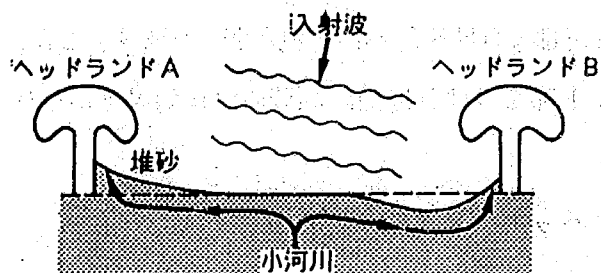


図-3 ヘッドランドと河口処理

の中央部より河川が流入する場合、両側にヘッドランドが存在するためここではヘッドランドの建設以前より波高がやや増大傾向となります。小河川の河口に形成される砂州の高さは波高のオーダーですから、以前より河川は海へ流入しにくくなることを意味します。したがってヘッドランドと河川間の距離がそれほど離れていなければ河川は右または左方向に蛇行し、ヘッドランド背後の波の静穏な場所を見出してそこから海へ流入することになります。以上のように蛇行すれば小河川はヘッドランドに沿って海へ流入し易くなりますが、卓越波が右側より来る海岸ではヘッドランドの右側隣接部では土砂が堆積するので、その分左側より不利となります。結局、右側より卓越波が入射する条件では、小河川はヘッドランドBの左側側面に沿う形で流出させるのが最も合理的と言えるでしょう。この方法によれば河道はかなり安定に保たれますが、汚濁度の高い河川の場合、河川の流入した海域の水質が悪化し、海浜でのレクリエーション利用などに支障となる欠点があります。しかし、このような場合には河川の水質改善が先と言わざるを得ません。

<参考文献>

- 1) 宇多高明(1992)：建設技術Q & A [波による海底地形変化が収束する限界水深はどの程度の値を持つのでしょうか]，土木技術資料，Vol. 34，No. 3，pp. 20-21.
- 2) 宇多高明(1990)：海岸侵食の全国実態と今後の対策のあり方について，海岸，Vol. 30，pp. 14-20.

(海岸研究室)

河-9 耕土の富栄養化に与える影響

(質問)

貯水池内に水没した水田、畑からは窒素(N)、リン(P)等の栄養塩の流出が考えられる。それらが貯水池の富栄養化に与える影響について御教示願いたい。

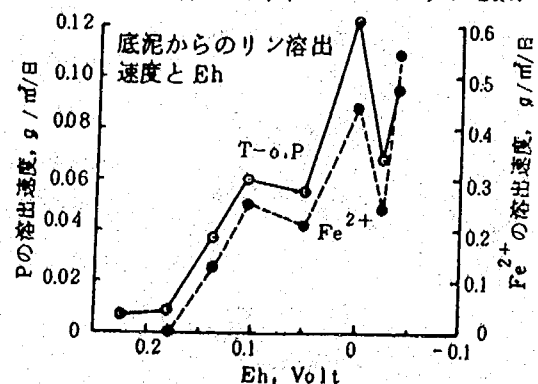
(江の川総合開発工事事務所)

(回答)

貯水池に水没した耕土単独の栄養塩類の溶出について取り扱った研究はないが、耕土の影響の大小は基本的には表流水からの栄養塩類の流入量との比較で議論されるべきである。ここでは土木研究所で行った土壌試験、溶出試験等の結果から、耕土からの栄養塩類の溶出について述べてみたい。

まず、耕土表層部でN成分の大半は硝酸態(NO_3^-)に酸化され、降雨により地下水中へ流出するか、生物学的脱窒により窒素ガスに変化するのが一般的である。このため、作物収穫後の耕土の総窒素含有量は、0.1~0.4mg/g程度となっている。これは例えば霞が浦の悪化した底泥の窒素含有量6.5mg/gに比較すると1/15~1/65の窒素含有量であり、耕土からの窒素溶出で大きな影響は考えられない。

次にPについてであるが、我国の耕土のリン含有量は約5mg/g程度であり、鉄塩やアルミ塩の形で存在しているものが多い。これは例えば霞ヶ浦の悪化した底泥のリン含有量0.6~1.2mg/gに比較するとかなり高い含有量である。貯水池底泥からのリンの溶出速度は底泥中の酸化還元電位(ORP, Eh)に依存し、図-1のようにEhが+の領域でもリンの溶出があることに注意を要する。特に夏期における貯水池底層部の溶存酸素濃度(DO)の維持が重要であり、底層部におけるORPあるいはDOの自動連続監視によるDO供給装置のリアルタイムでの制御も一つの方法であろう。



(水質研究室) 図-1 Ehとリン、鉄の溶出量(鳥屋野潟)

河-10 面的工法を採用するダムにおける合理的な放流管設計方法

(質問)

コンクリートダム施工法の合理化(RCD工法、全面レアー工法等)に伴い、堤体内埋設構造物、特に放流設備の据付け・埋設の合理化が重要な課題となっております。このように、ダム施工法を面的な工法で実施する場合にその特長を阻害しないような放流管の設計の考え方について御教示願いたい。

(八田原ダム工事事務所)

(回答)

近年、コンクリートダムにおいて合理化施工方法が発達し、堤体の打ち上がりのスピードが早くなっています。それに伴い放流設備や通廊等の堤体内埋設構造物の施工が堤体の施工工程に与える影響も大きなものとなってきました。この影響が施工の合理化のメリットを失わせることのないようにするためには、放流設備のレイアウト等の設計上の課題と放流設備の据付け・埋設等の施工上の課題という二つの側面からの対応が必要と考えられます。

放流設備の設計にあたっては、その必要機能を確実に達成できるものとするのが基本であり、この制約条件のもとで合理的な施工が可能となる選択肢の中から、それぞれのダムに最も適したものを選択していくことになります。施工工程の調整上の難しさから、放流設備施工の弊害のみ強調されるきらいがありますが、堤体施工上のちょっとした配慮で改善可能な部分も数多くあります。放流設備の運用はダム完成後も長期にわたることから、維持管理等の負担を増すような修正は避ける必要があります。この前提にたち、設計上及び全体の施工計画も含めた施工上の十分な配慮を行うことによって、全体的な施工の合理化を行う必要があります。

これらの問題については、平成元年度から平成三年度にかけて直技の河川部門指定課題「ダム・堰の計画・設計に関する研究」の中でも取り上げられてきました。

ポイントは4つに集約されます。

①ゲート室の位置

②放流管の傾き

③打設面に生じる標高差 ④コンクリート運搬設備の移動

ここでは、これらを踏まえながら一般的な考え方について示すものとします。

放流設備の設計上の課題としては、①放流設備の設計・施工計画と本体施工との事前調整のあり方、②放流設備の形式選定における施工性の評価のあり方の2点が考えられます。

また、ポイントとしては放流設備の側からは、①ゲート室の位置、②放流管の傾きが、堤体の側からは③打設面に生じる標高差、④コンクリートの運搬があげられます。

放流管の設計については、まず、ゲート室の配置の観点からⅠ型とⅡ型について、比較されることになります。これは非常用洪水吐き等放流設備全体の配置等の関係から決定されることが多いところですが、合理化施工との関係で評価が逆転することもあります。ゲート室の存在はそれ程大きな工程上の障害とはなりませんが、ゲートの据付等でゲート室天井を塞ぐ時期に制約を受けます。これはゲートを下流に持ってくれば問題を緩和することができます。これらは、打設面に生じる標高差の問題と関連してくるものです。ゲートを下流に持ってくることで鋼製放流管は長くなりますが、放流管を水平とすることで据付期間を短縮することができます。この場合は、放流管の規模が大きいとコンクリート運搬設備のダンプ等の移動が困難になります。このようにいずれの形式にせよダム各特性や施工設備等との関係で、有利な点、不利な点が異なり、合理化施工法に適したものは、どの形式と決めてしまうことはできません。各ダムの諸条件により変化していくことになるわけです。そのため、コンクリートや放流管部材の運搬方法やコンクリート施工と放流管施工の競合関係等を整理して決定する必要があります。

すなわち、水理特性、堤体設計との関係、堤体施工との関係（施工性）、工程、経済性、維持管理費の各項目についての評価をおこなって、形式を決定する必要があります。各項目のなかで堤体施工との関係として放流設備の据付に際し、合理化施工への影響をうけるリフト数および据付時の分断対策の難易度、放流管・基礎材

・扉体・開閉装置据付日数の比較等が考えられます。これらを、評価する手段として直技では「放流管形式比較検討評価フォーマット」を提案していますので、参考にしたいと考えます。

また、最初で述べたように、放流設備の施工法の合理化についても実施していく必要があります。放流設備施工法の改善について、本体施工の工程に大きく影響を及ぼす手段として、①主放流設備の戸当り、放流管、整流板等の組立・据付および溶接工、②取水設備の堤体内に貫通埋設する放流管の組立・据付および溶接工が考えられます。これらに対する改善策として①大ブロック化による堤体上での据付作業時間の短縮、②溶接作業の合理化、③据付架台等コンクリート埋設部構造配筋の考慮等があげられます。これらについて、各ダムにおいて各種の検討が行われ、施工されてきています。

(ダム水工研究室)

河-11 利水放流設備の規模の決定

(質問)

管理のしやすさを考慮して利水放流設備の規模を決定したいが、その基本的な考え方について御教示願いたい。また、ゲートレスダムにおいては洪水操作が無いメリットがあるが、その場合における利水放流設備の規模決定の留意点についても併せて御教示願いたい。

(江の川総合開発工事事務所)

(回答)

ダムの放流設備の目的は、ダム及び貯水池の安全確保、流水の正常な機能の維持と増進、治水・利水の効果発揮の3つに大別されるが、それぞれの目的に該当する放流設備とその機能についてふれておく。

1. ダム及び貯水池の安全確保

i) 非常用洪水吐き

洪水調節計画を上回る規模の出水時にダム及び貯水池の安全を確保するため、設計洪水位において常用洪水吐き等と合わせてダム設計洪水流量を放流する能力を有する設備である。

ii) 水位低下用放流設備

堤体の点検、修理および貯水池管理などの際に貯水位を低下させるための設備で、想定される流入量に対して十分に水位低下可能な放流能力が必要であり、設置標高は可能な限り低いほうがよい。

2. 流水の正常な機能の維持と増進

i) 低水放流設備

河川の正常流量を放流する設備で、後述する利水放流設備と兼用することが多く、選択取水設備を設け水質面での配慮がなされる場合が多い。

3. 治水・利水の効果発揮

i) 常用洪水吐き

サーチャージ水位以下において、ダムの洪水調節計画を満たすための放流を行う設備である。

ii) 利水放流設備

利水計画により必要とされる流量を、要求される水質も満たして補給するための設備である。また、冷水や濁水の放流をできるだけ避けるため、所要の水温・水質の層から選択的に取水可能な選択取水設備を設けることが一般的である。

iii) 水位維持用放流設備

利水放流設備の最大放流量から常用洪水吐きの最小可能放流量に見合う流入量を放流し、利水放流設備および常用洪水吐きと連携して貯水位を維持するための設備であり、具体的な設置目的としては①常用洪水吐きの使用頻度を少なくし、大規模ゲートの微小開度放流を避ける。②融雪出水時に大規模ゲートの長期にわたる使用を避ける。等の管理の合理化があり、さらに中標高に設置される低圧オリフィスあるいは利水放流設備と兼用し選択取水を行う場合には③かんがい期の低温水の放流や洪水期における長期間の高濁度水の放流を避けるという効果もある。

実際に設備計画をたてるにあたっては、これらの放流設備の移行操作がスムーズに行われることを考慮すべきであり、いたずらに放流設備の種類を多くすると操作および維持管理の煩雑化、システムの複雑化等を招くことがあるため、兼用できるものは極力まとめること等の配慮が必要であり、さらに設備の放流能力に適切なオーバーラップ幅をもたせ、設備間の移行操作を判別式や方程式で定式化することが重要である。

利水放流設備について考えてみると、利水放流設備が兼用可能な設備としては低水放流設備、水位低下用放流設備および水位維持用放流設備があり、それらの機能を発揮するために必要な施設規模と構造を考慮し、兼用の可能性を検討することとなる。

管理のしやすさという観点からみると洪水調節開始流量以下の頻度の高い出水に

対応する水位維持用放流設備の機能が重要な位置を占めると考えられる。その機能を利水放流設備での兼用として考える場合は、利水最大放流量と常用洪水吐きの最小可能放流量との差が大きくなければ利水放流設備の多少の能力アップで対応できるが、その差が大きい場合は、利水放流設備には一般に選択取水設備が設けられること、また水位維持用放流設備としてもできるだけ表層からの取水が求められることから、選択取水設備の規模からの制約も生じ、独立して水位維持用放流設備を設けるほうが経済的かつ現実的となることがある。

ゲートレスダムでは、常用洪水吐きの呑口敷高が洪水調節開始水位となっており、特に水位維持用放流設備は必要とされない。そのため流量調節装置をもつ放流設備が利水放流設備のみというダムも多い。このときには、利水放流設備が試験湛水時の放流量調節機能や水位低下用放流設備としての機能を有するため、それらに必要な放流能力や呑口敷高を考慮にいれて配置・規模を決定することとなる。

また、ゲートレスの常用洪水吐きの初期放流量が急激に増加することが予想される場合には、利水放流設備の放流能力を大きめに設定し、段階的に放流量を増加させる操作を行うことにより洪水初期の放流量の立ち上がりを緩和させる能力をもたせることも考えられる。

(ダム水工研究室)

河-12 河口堰における魚道

(質問)

現在、当事務所において河口堰に既設放流口を利用したロック操作式の魚道の導入を進めているが、湛水区域において工業用水を取水しているため、塩分の遡上を防がなければならない。ロック操作の目的は遊泳力が弱い下層部の魚類を遡上させることと考えているため、魚道の下部を開く必要がある。そうした場合塩水を遡上させることとなるが、当事務所ではできるだけ塩水の流入を少なくするような操作方法の検討をしている。新設を含めて考えたとき、どのような設備（ゲート構造）、操作方式をするのがよいか御教示願いたい。

(福山工事事務所)

(回答)

ロック式魚道は、船通し閘門と同じような方法で魚を遡上させようとするもので国内にもいくつかの事例がある。このタイプの魚道はアユ等はもちろんのこと、底生魚を含めたすべての魚種に適応可能と考えられる。しかし、河口堰でこの形式を適用し操作するにあたっては、直下流まで塩水が遡上しているときには下流ゲートを上げたときに閘室に塩水が侵入し、上流ゲートを上げたときに貯水池に塩水が入り込む可能性もある。

潮汐による海水と河川水の混合形態は3種類に大別される。(図-1)

(a) 弱混合型

潮差が小さい場合に河川水が上層となって流下し、下層の海水はくさび状をなしで河道を遡上する(塩水くさび)。日本海沿岸では潮差が少ないため、この形態が生じていることが多い。

(b) 緩混合型

潮汐の影響が増大するにつれて海水と河川水の混合が顕著となり、境界面は不明瞭かつ急勾配となる。太平洋沿岸の河口で観測される塩水くさびの多くはこの形態である。

(c) 強混合型

潮汐による河道内への海水流入が顕著となり、流入水先端の強い乱れのため淡水と塩水は完全に混合する。特に潮差の大きい有明海沿岸では、この形態を示す河川もある。

この混合過程は潮位、潮差、河川流量、河口地形等によって変化するものであり、常に一定の形態が観測されることは少ない。また、河川の単位幅流量が大きいと感潮区間長や塩水遡上距離は短くなるが、混合の度合いは強まる傾向がある。つまり、堰地

点での淡水と塩水の混合状況も先に掲げた図-1 潮汐による海水と河川水の混合形態要因により変化するものである。いずれにせよ塩水の遡上量をできるだけ少なくするためには、閘室内に遡上してきた塩水をできるだけ希釈してやることが考えられる。

小山が考案したロック式魚道は流水式ロック・ゲート式魚道というもので、下流側ゲートで下端放流を行って閘室内に流れをつくりだし、魚の走流性を利用してはやくロックから退室させようとするものである。アユを対象魚とした流水式ロック式魚道のゲート操作方法は以下のとおりである。(図-2 参照)

- ① 下流ゲートを開ける。上流2段式ゲートの上段を下げて越流させ、魚を滝落ち部に集めることにより閘室に誘導する。上流ゲート直下流の流速は60cm/sを越えないようにする。下流ゲート付近の流速は20~40cm/sになることが望ましい。
- ② 下流ゲートをおろして下端放流を行う。閘室の水位は次第に高まる。
- ③ 閘室内水位が上流水位と同じになったら上流ゲートをあげる。すると、魚は

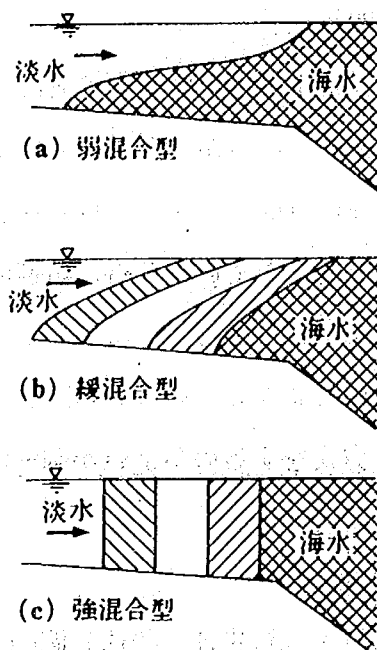


図-1 潮汐による海水と河川水の混合形態

しだいに退室する。上流ゲート直下流の流速は60cm/sを越えないようにする。

下流ゲート直上流の流速は 120cm/s以下に抑えることが必要である。

- ④ 魚が閘室から退室したら上流ゲートを閉めたのち、下流ゲートを開けて①の状態に戻す。上流ゲート直下流の流速は60cm/sを越えないようにする。下流ゲート付近の流速は20~40cm/sになることが望ましい。

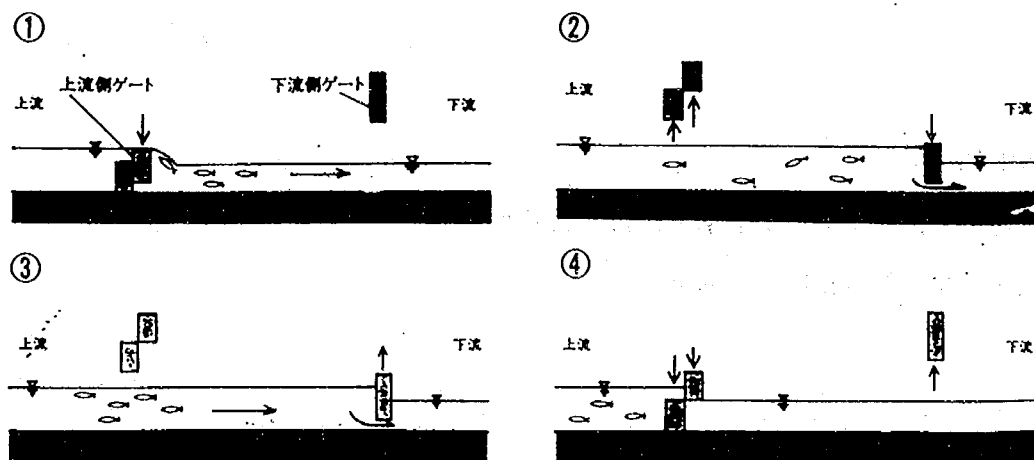


図-2 流水式ロック式魚道のゲート操作方法

このような操作方法は、下流に放流することにより閘室内に流れをつくり効率よく魚を遡上させようと考えられたものであるが、上流ゲートから越流させることによる閘室内への淡水の供給と下流ゲートからの下端放流による閘室内の塩水の排出による塩分の希釈効果が期待できる。また、常に下流へ放流することにより閘室への塩水の侵入を低減する効果もあろう。

さらに効率よく塩水を希釈するために、ポンプを用いて閘室から強制的に塩水を排出し淡水を注入する方法が考えられるが、排出管および注入管の設置位置等詳細については現在研究を進めているところである。

また、ゲートタイプとしては、上流側ゲートのみならず下流側ゲートも2段式として越流放流を可能としておけば、(a)弱混合型あるいは(b)緩混合型の混合形態で塩水くさびの遡上が懸念されるときには下流ゲートも越流操作により対応し、塩水くさびの貯水池への侵入を防止することができる。ただしこのときは底生魚の遡

上は困難となるかもしれない。

しかしながら、先に述べたように淡塩水の混合過程は潮位、潮差、河川流量、河口地形等によって変化するものであるから、堰下流の塩分濃度の実績から淡塩水の混合形態とロック式魚道からの塩水の遡上が取水に影響を与える頻度を予測して対策を検討する必要がある。

(ダム水工研究室)

<参考文献>

- 1) 廣瀬利雄，中村中六：魚道の設計，山海堂
- 2) 山内 彪：堰の設計，山海堂

河-13 ダム工事における仮排水トンネルの湧水処理

(質問)

ダム工事における転流工としての仮排水トンネルの施工に際しては、将来、これを閉塞することに十分に配慮しておく必要があると考えられますが、湧水の多い仮排水トンネルにおいて、閉塞区間は別として、閉塞区間から上流側および下流側について覆工裏面に防水シートを布設したり、インバート下部に排水パイプを設置するなどの対策工を施工しても良いか御教示願いたい。

(河川部河川工事課)

(回答)

一般のトンネルの施工では、湧水がある場合、湧水の多い箇所には防水シートを布設したり、湧水を1箇所を集めて、インバート下部に設置した排水溝や排水管(アンダードレーン)に引き入れて排水するなどの処理を実施しています。これらの処理により、湧水による施工時の作業環境の悪化を防ぎ、またコンクリート打設時にコンクリートが洗い流されることを防いでいるわけです。また、覆工後もアンダードレーンを残し、トンネル内への漏水を防ぎ、また覆工背部に過度の地下水圧が外力として作用するのを防ぐのが通例です。

本質問は、ダム工事における転流工としての仮排水トンネルにおいて、将来閉塞する区間は別として、湧水の排水のために設置した排水工を閉塞区間の上下流部に残してよいのかという懸念について訊ねられたものです。

結論を述べる前に、まずダム工事における仮排水トンネルの閉塞工がどのように設計・施工されるのかについて述べておく必要があると思います。仮排水トンネルの閉塞長は、滑動に対する安全性および岩盤内の浸透路長を確保するように決定されています。閉塞は、トンネル内にプラグコンクリートを打設することによって行いますが、この場合、プラグコンクリートの打設位置はダム本体のカーテングラウチングによる止水ラインに一致させる必要があります。また、プラグの施工方法には、仮排水トンネルのライニングの取り壊しの有無によって以下の

2つの方法があります。

①ライニングを取り壊す方法

この方法は、仮排水トンネルの閉塞部分だけライニングを取り壊し、新鮮な岩盤まで掘削した後、プラグコンクリートを打設する方法です。

②ライニングを取り壊さない方法

この方法は、当初から閉塞区間を定めておき、その部分には閉塞を考慮した入念な施工管理のもとにライニングを打設し、閉塞時にはライニングを取り壊さないでプラグコンクリートを打設する方法です。

また、仮排水トンネル周辺の岩盤は、その施工時における発破などの影響で相当緩んでいる恐れがあります。このため、プラグ部分の周辺の岩盤にはその一体化を目的にコンソリデーショングラウチングを実施し、さらに、ダム基礎岩盤の止水処理を目的としたカーテングラウチングの施工面に合わせてプラグ部からファンカーテングラウチングを実施し、仮排水トンネル周辺の岩盤の止水性を確保しています。

さて、このような点を考慮して、仮排水トンネルにおける排水工の残置の是非について述べることにします。まず、閉塞工の目的から考えると、閉塞部では周辺岩盤との一体化を妨げ、あるいは止水上障害となるような構造物があってはならないことは明白です。したがって、閉塞部には排水工を残置することはできません。ライニングを取り壊す方法では、閉塞工施工時にこれを撤去することもできますので大きな問題はありませんが、ライニングを取り壊さない方法でプラグコンクリートを打設する場合には特に注意が必要です。

次に、閉塞部から下流では、閉塞部での止水効果を期待すれば、たとえ排水工があったとしても止水上、またはパイピングなどの発生防止の面で特に大きな問題はないと考えられます。ただし、この場合、排水工の末端部に湧水量の計測装置を設置して、湛水の前後で湧水量に変化がないかどうか、また湛水後も湧水量の大きさに異常が生じていないかどうかを計測することが必要です。

一方、閉塞部から上流では、仮排水トンネルがダム完成後利水放流設備の一部などとして転用される場合と、単に工事中の仮設の構造物として施工される場合とでは取り扱いが異なります。前者の場合、仮排水トンネルの上流部は満水状態で使用されることになりますから、水路トンネルで言う圧力トンネルとして設計・施工されることになります。圧力トンネルでは、全長にわたって周辺岩盤との一体化を図るため高圧グラウチングが実施されます。したがってアンダードレーンのような排水工を残置することはできません。後者の場合、あくまで仮設の構造物であるため、特にグラウチングなどは実施されず、トンネル全長に渡って若干の空隙が残ることになります。したがって、排水工が残置されたとしても実質的な状況に変化はないと考えられます。また、閉塞部およびその下流の岩盤に対しても、プラグ部の閉塞長が岩盤の浸透路長を考慮して適切に設定され、かつグラウチングなどによりプラグ部と周辺岩盤の一体化が確実に図られていれば特に問題は生じないと考えられます。

以上、基本的な考え方について回答しましたが、特殊なケースで判断に迷った場合については土木研究所ダム部と相談して頂きたいと思います。また、湧水が特に多いような場合には、その処理を考える前に、ダム基礎岩盤の安定性、止水性の面から、その原因、湧水の経路などについて詳しく検討することが重要です。そのためには十分な地質調査を実施する必要があります。この点につきましては調査・設計時に十分に配慮して頂きたいと思います。

<参考文献>

- 1) 豊田高司：現場技術者のためのダム工事ポケットブック
- 2) トンネル標準示方書（山岳編）・同解説、土木学会

（ダム構造研究室）

(質問)

尾原ダムの堤高は90mと高く、また、貯水池の運用は夏期制限水位方式を採用することとしております。このようなダムに対して魚のすみやすい河川をどのようにして創造していけばよいのか御教示願いたい。

(斐伊川・神戸川総合開発工事事務所)

(回答)

近年、多自然型の川づくりがすすめられ、魚類の生息環境の改善が積極的に行われています。ダム事業においても「ダム湖と魚のあるべき姿」の課題に取り組んできており、また「溪流魚道設置事業」、「生態環境創造事業」等もこの一環として実施されております。ダム湖と魚の関係という概念は2つの側面を持っています。ひとつは、ダム建設によって生じる貯水池という人工湖を魚類等にとってすみやすい環境に整備し、積極的に利用を図っていくものです。もうひとつは、ダムに魚道等の魚類施設を設置することによって上下流の移動を可能とし、魚の受ける影響を軽減していくことです。

具体的な方策を検討するためには、まず最初に、現在の河川において遡上、降下する魚種が生息するか、その生息数はどのくらいか、現在のダム下流にある堰等の改修を行えば、現状はどう変化するのか、ダム建設によって上流河川の一部は水没するが、さらに上流域に生息区域が残るのか、等をまず調査する必要があります。また、ダム周辺で遡上、降下する魚種が生息するのであれば、その産卵場所、いつ、どうやって遡上・降下するのか、その移動時期における(完成後の)落差、水位変動、流量等の状態を把握しなければなりません。

既存のダムにおいて、ダム建設による生息魚種等の変化および貯水池の利用状況を調査した結果、新しくできた貯水池という人工湖には、魚の移入が多くみられました。また、鶴田ダム、横山ダムなどのように、陸封化された鮎が自然再生産しているダム

もあり、このような例はいwana、やまめなどの鮭、鱒類、わかさぎなどの魚種にも多くみられます。しかし、天然湖と異なり、貯水池内の水位変動があるため魚類によっては再生産に必要な産卵床の確保が困難となることもあります。その場合には、人工河川や、浮島等を利用した人工産卵床を貯水池内あるいはダム周辺に新たに設けてやる方法が考えられます。いずれにしても、貯水池周辺の新しい環境として、産卵場、生活場所等の整備は効果的です。

一方、ダム上流に産卵場所が存在する等、魚を下流河川からダム上流に遡上させることに意義があれば、何らかの方法による移動の手段を考えることも必要です。現在、日本国内において魚道が設置されているダムの例としては、星山ダム（堤高25.0m、魚道落差25.6m）、池田ダム（同24.0m, 11.3m）、二風谷ダム（同31.5m, 17m）、目保呂ダム（同40.0m, 14.0m）があげられます。これらのダムに設置されている魚道は、いずれもプールタイプの階段式魚道という魚の遊泳力に頼って遡上させる形式で、勾配を1/10程度とすれば、これまでの実績では上下流落差20～30mが最高となっております。また、これらのダムの魚道には貯水池内の水位変動に追随させるため、スイングシュート式ゲート、パワーシュート式ゲート、連動式ゲートなどを利用しています。これまでの実績では、その操作可能範囲は二風谷ダムの6.9mが最大となっています。なお、ダム水工研究室では高落差で水位変動の幅が大きいダムにも適用可能なシャフト式魚道を現在開発中です。一方、採捕式魚道を利用した樺山ダムのように、遡上の手助けをしてやることにより効果を上げている実例もあります。

このように、尾原ダムにおいてもダム湖と魚のあるべき姿をとらえたうえで、貯水池および周辺的环境整備、魚道の検討等を行っていくことが必要と考えます。

（ダム水工研究室）

河-15 ダムの堤体コンクリートの黒ずみとその防止対策

(質問)

弥栄ダムは平成2年10月に竣工し、平成3年度から管理段階に移行しているが、最近、堤体下流面のコンクリートに黒ずみが目立ち始めている。そこで、このような黒ずみの原因とその防止対策についてご教示願いたい。

(弥栄ダム管理所)

(回答)

コンクリート表面の黒ずみを汚いと見るかどうかはある意味で主観的な問題である。自然の中では白くて輝度の高いコンクリートよりも多少黒くなったコンクリートの方が周囲の緑に馴染むという意見さえある。しかし、コンクリート表面に色むらが出るようになると、これは明らかに美観上の問題となる。

コンクリート表面の色調が変化する原因には、コンクリート自体の変化によるものと他の物質の付着によるものがある。ひび割れなどから析出する白色のエフロレッセンス（いわゆる遊離石灰）は前者の例であり、コケやカビの繁殖によって生じる黒ずみは後者の例である。

以前は、コンクリート表面のひび割れから析出したエフロレッセンスが、美観上よりも構造物の耐久性の面から問題視されていた。しかし、最近では、環境への配慮や景観設計などの立場から、本質問にあるようにカビなどの繁殖によるコンクリートの黒ずみが問題視されるようになってきている。

コンクリート表面に繁殖する生物には大きく分けて2種類がある。一つは藻類、地衣類、コケ類などの植物であり、もう一つはカビ類である。前者の例としては、堤体のコンクリートの打設中、養生水が流れている堤体の上下流面に見受けられる赤茶色の藻類があげられるが、この汚れは比較的簡単に洗い流すことができるものである。

さて、質問に取り上げられている黒ずみは主としてカビの繁殖によるものであるが、pHが高く栄養分がないコンクリート表面にいきなりカビが生えることはない。

まず、濡れて汚れたコンクリート表面に藻類が付着し、その死骸にカビが繁殖すると言われている。堤体コンクリートの傾斜した部分に黒ずみが生じ、鉛直な部分に黒ずみが生じないのは、鉛直な部分が濡れにくく、また汚れにくいことに関係している。

次に、このような黒ずみを防止する手段には原理的に3つの方法が考えられる。第1の方法は材料面での対策である。コンクリートの表面に塗料を塗ったり、コンクリート中にカビが嫌う物質を添加するなどの方法がこれにあたるが、現在のところ、恒久的な対策法として利用できる適切な材料は見つかっていない。第2の方法は機械的な対策である。ブラシや圧力水を用いた洗浄、希塩酸などの薬液による洗浄がこれにあたるが、この方法は現段階では最も確実な方法である。しかし、ダムの下流面全体を清掃するとなると、これはかなり大がかりな作業となる。このためには清掃ロボットなどの開発が必要になると考えられるが、そのようなロボットの開発も現在土木研究所において官民で共同研究開発を進めている。第3の方法は構造的な対策である。堤体の下流面を濡らさないというのは不可能であるが、汚水が下流面を流れないようにすることは可能である。例えば図-1に示すように、天端道路の排水を上流面に流すなどの処置はカビの発生防止にとって有効である。また、水切り処理を行うことによって表面に水が伝わらない構造にすることも有効である。

1) また、最近では景観設計の面から、化粧型枠を用いて堤体下流面を石張り風に仕上げる例が見られるようになっているが、このような場合、その目地部を利用して特定の水みちを造るといった方法も可能であろう。また、

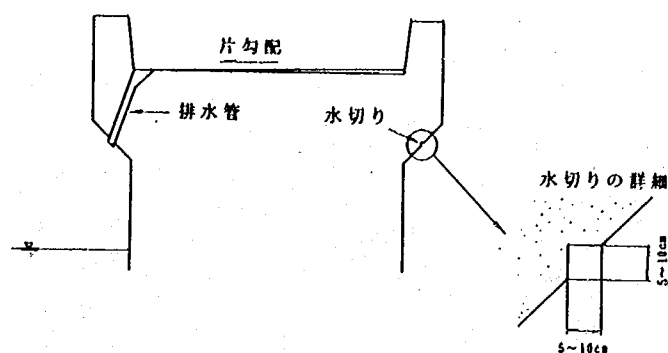


図-1 天端道路の排水方法

さらに積極的に黒ずみを景観設計に取り込もうとしているダムの例もあるが、これについては色々な意見があると思われる。

以上、ダムコンクリートの黒ずみの原因と対策法について解説したが、現時点では、コンクリート表面の清掃を除いて有効な対策法は見いだされていない。そこで、今後はさらに有効な方法を開発する必要があるといえるが、環境面や景観面から特別な配慮が必要なダムでは、下流面を定期的に清掃するなどの処置も当然ながら考えていくべきであろう。

なお、冒頭に述べたように、コンクリートの黒ずみも一様なものであれば、ある程度まで自然の中に馴染むものである。美観上大きな問題になるのは黒ずみのむらであり、特に堤体の水平打継目やひび割れから析出した白いエフロレッセンスと黒ずんだカビの組み合わせはダムの美観を最も損なうものである。そこで、補足的な注意事項ではあるが、エフロレッセンスの析出の原因となるひび割れを防止するため、コンクリート表面の養生は十分過ぎるほど丁寧にに行って頂きたい。

(コンクリート研究室、ダム構造研究室)

<参考文献>

- 1) 監修 建設省河川局開発課：改訂 コンクリートダムの細部技術、(財)ダム技術センター、1992.3

河-16 ダムの景観設計

(質問)

近年、開かれたダム造りが推進されつつあり、周囲の自然環境と調和した人工構造物が要望され、ダム本体の景観設計が重要視されるようになってきています。ダムの景観設計にあたっての留意事項についてご教示願いたい。

(斐伊川・神戸川総合開発工事事務所)

(回答)

景観設計にあたっては確かなデザインコンセプトのもとに以下に示す意見や注意事項を参考に、多くの人の目に美しくうつり、心地良い感動を与えるような設計を心がけることが基本です。近年、価値観の多様化が進んできていますが、注意はひくけれども、力学的合理性を無視したものや奇をてらったもの、いたずらに凝ったものは景観設計の基本からはずれるものであることを十分に理解する必要があります。景観設計の基本条件としては次の3条件があげられます。

- ① その構造物が位置する場所に無理なくおさまるその周辺環境に調和している設計であること。
- ② 力学的に合目的な形状等になっていること。すなわち小さいものの上に大きなものがのるような見た目に不安定な構造物は好ましくないこと。
- ③ 景観設計のため、そのものの持たねばならない本来の機能を犠牲にしてはならないこと。

ダムが左右岸に違和感なくうまくすっぽり納まることが景観設計上重要なポイントです。一般的にダムサイトの左右岸の峡谷の大きさに比しダム本体が小さい場合には、あまり景観上の特段の配慮をしなくても自然山体にすっぽり納まり調和することとなりますが、峡谷の大きさ一杯にダム規模が峡谷の大きさ一杯になる場合には左右の自然山体との調和を計るため、景観上のいろいろな配慮が必要となります。

構造物そのものの景観の善し悪しの他に、構造物がもともとなかった場合の周辺

の自然景観のうち良好な景観の部分、例えば、背景となる美しいランドマークとなっているような山並み等のスカイラインを新しく造る構造物が遮蔽するというマイナス面があるとするならば、このマイナス面を出来るだけ少なくするという事も景観設計の大きな注意点でもあります。

また、素晴らしい視点場を積極的に設置することも重要です。通常、見る者に一段と大きな感動を与える特定の視点場が何ヶ所かはあるものです。

一方、文化財的存在となって地域の人々が誇りとしている景観を演出している人工構造物があれば、新たに建造する人工構造物との間に、心地よいハーモニーが生まれてくるような設計を心掛ける必要があります。すなわち、ローカルアイデンティティーを育てるコンセプトをもつことも必要です。

景観設計上のポイントを示すと以下ようになります。

①左右対称は均整がとれて美しく見えること。

堤体の形状はダムサイトの堅岩線の形状により決まっていますが、一般的に、左右対称に近い形状は均整がとれていて美しく見えるものです。アーチダムが美しく見えるのはアーチの弧線がやさしいリズムミカルな曲線美ということに加えて弧そのものが左右対称ということも良い効果を与えています。

②リズムミカルなインパクトは心ちよく感じられること。

バットレスダムやマルチプルアーチダムはリズムミカルな印象を強く受けます。しかし、途中で別スパンのものが不規則に入れば、リズムミカルに視線を追って行く中で途中でガタンと調子はずれ、ある種の期待感がうらぎられる感じを受ける事になります。少しの程度であれば新鮮なインパクトとして心ちよく感じられるかも知れませんが、不規則な構造物は見る者を混乱させ、その結果不安感を与えることになります。

③デザインの基調を統一すると美しさが強調されること。

アーチダムの場合、アーチの弧線が最大のデザインコンセプトです。アーチは横

線である下流面の中段にあるキャットウォーク等を色調で強調することによりアーチの美しさはより以上に強調されることになります。すなわち、アーチダムの場合には、縦線的なものがあっても出来るだけ強調しないように設計すると良いものになります。また、堤頂長の長いダムも横線がデザインコンセプトです。特に、自由越流頂の長いダムは、天端橋梁の下空間が横線を強調することになります。一方、バットレスダム、狭い谷に建設される重力式コンクリートダムあるいは導流壁の大きな重力式コンクリートダムは縦線が最大のデザインコンセプトとなります。これらのダムは縦継目や、エレベーター室、取水塔等、縦系統の構造線をできるだけ強調すると美しく見えるものです。

④急変部は極度な緊張感を与えること。

ナイフや刃物のような鋭利な形状は見る者に極度な緊張感を与え身構えさせられます。鋭角でなく直角や鈍角でも、急変部は見る者にやはりある種の緊張感を与えることになります。視線を追ってある所で突然とぎれたり、また、横方向のものが縦方向に急変する部分は見る者の注意をひきつけるものです。その急変所にその構造物のスケールにあった適当な大きさのまる味をつけると、おどろくほど見た目に優しくうつることになります。

⑤安定感のあるものが安心感を与えること。

土木構造物のなかでどんな大地震があってもビクともせず、どんな大きな洪水が来てもガッチリ受けとめてくれることが期待されているのがダムです。ダムは見た目にも重量感と安定感が最も要求されている構造物なのです。ダムの景観設計にあっては、いくら見た目に美しいすばらしい設計であっても軽い感じを受けるものは見る者になんともいえない不安感を与えることになります。そのような観点からはダムの景観設計の最大の基本コンセプトは安全感や重量感をどのように表現するかということといえます。

⑥一様な反射面は落ちつきを感じられないこと。

乱反射する面は落ちつきを感じますが、一様な反射面はなぜか落ちつきを感じられません。何故か自然界の万物全ての表面は乱反射しており広い面が一様な面反射するようなものは人工の鏡的なもの以外はほとんどありません。従ってそのような広い下流面を持つダムは何故か違和感を覚えるものです。すなわち、乱反射を促進させることによって景観対策が出来ることになります。乱反射をうながす方策としては、タイルを張るとか化粧型枠を使用するとか、あるいは目地等を積極的に設け変化を強調するとかの対策が有効です。

具体的な設備計画にあたっては、放流設備のレイアウトと堤体本体と付属施設との調和をはかることの2点がキポイントとなります。

まず、放流設備は広い下流面の最大のアクセントとなることです。先の、意見を考慮して設計すれば、景観上優れたものとなります。一般的には下流の減勢効果等を考えて機能設計すれば自ら左右のバランス、規則性のあるレイアウトとなり、景観上の問題点は生じないことが多いようです。しかし、極端に複雑な貯水池運用計画から無理をした放流設備設計を要求した場合等には、非常にアンバランスとなり景観上非常に不釣り合いになることもあります。

ダム本体の周辺にはダム管理所、ゲート室、エレベータ室、取水塔、艇庫、油庫、予備発電機室さらには焼却炉等の建造物の他無線用タワーが高くそびえ、それぞれに、非常に目につくものです。堤体の設計にあたってはダム堤体に近接して建設されるこれらの多くの建造物との同一の景観設計コンセプトのもとに周辺の景観も考慮に入れてトータルなグラウンドデザインをすることが重要と考えます。

景観と言う概念の性質上、多少、主観が入ってしまいますが、以上の意見を真剣に受け止めて設計を行えば、子々孫々の長きにわたり多くの人達の目に心地よい感動を与えるダムが実現できるものと思います。とにかく、本筋のものを追求して頂きたいと思います。

(ダム水工研究室)

河-17 ダムサイトにおける高透水性ゾーンの調査および対策

(質問)

ダムサイト河床部にルジオン値が20を越える透水性の高いゾーンが存在していることが、確認されている。高透水性ゾーンの分布、地下水透水経路等の把握及びグラウト等による対策工の可能性が、ダム軸、ダム構造決定の重要な要素となることから、高透水性ゾーンの分布（規模）及び状態（水圧、流速、経路等）を把握するための調査手法、調査に当たっての留意事項、さらにはカーテングラウトによる止水実績（類似例）及び調査結果からの止水効果の可能性に対する判断要素について御教示願いたい。

（殿ダム工事事務所）

(回答)

これまでダムの止水処理（カーテングラウチング）範囲は、アバット方向にはサーチャージ水位と地山地下水位が交差する範囲、ダム敷下向き方向には目標とする透水性を有する岩盤までとされているのが一般的であり、通常この考えに基づき止水処理は実施されている。ところで、上記範囲が調査段階において明確に決定し得ない場合も個々のダムサイトで見受けられる場合がある。本ダムもそのうちのひとつとも思われる。

まず、河床深部まで透水性が高いという点については、B20、B19、B47ボーリング孔におけるTb部の透水性についてであろうと思われる。しかし、B21、B28、B26、B48、B49等では比較的Tb部においても透水性は小さい。従って今後、Tb部の透水性情をコア観察を含めて高透水を示す部分の理由等の把握に努める他、調査範囲（上、下流、アバット、深さ方向）を拡大し全体像を明らかにすることが必要であろう。

つぎに、これらの調査に関連して、Tb上位に分布するKANの分布と透水性の全体的な把握、右岸下部に存在するKBa、Vc、Lap等の分布と透水性の把握等に努めるべきであろう。このような調査の結果、河床部における地層の分布と透

水性の分布が明らかになり止水処理計画のポイントが絞られてくることになる。左右岸アバットメントにおよび河床部K A n上位部分については、特に構成する各地層が薄いこともあって、各層の透水性の把握には、透水テスト区間長等工夫が必要とも思われる。これらの地層の透水性と面的な広がり、連続性等の把握が必要であろう。地下水位が左岸において低くかつ連続していないこと、河床部において2層存在すること等の理由はこれらの調査によって明らかになってくる可能性もある。当然、ボーリング掘進時の地下水の変動は正確に押さえておくべきである。なお、アバット部の地下水の不連続の原因として断層粘土も考えられる。断層系の分布も考慮する必要がある。

以上をまとめると、各地層と透水性の分布の把握が最も重要であり、このことにより地下水分布等の理由も明らかになると思われる。またこの作業により貯水池からの浸透経路（入口、出口を含む）として注意すべき点も判明してこよう。何はともあれ、現ダムサイトで通常の方法で左右、河床部どこまで止水処理すれば良いかの確認が先となる。上記検討はこれらに対する安全性の確認としても使用し得る。

事務所の調査方針は概ねこれまで記した方向で進んでいる。調査方法等についても十分と考える。

(フィルダム研究室)

河-18 ダム貯水池及び放流水の冷・濁水対策におけるゲート操作

(質問)

ダム貯水池及び放流水の冷・濁水対策のためのゲート（特に選択取水設備）の操作方法（運用）を定めるに当り、検討すべき項目やその方法留意点について御教授願いたい。又、上記の運用を定め、実際に冷・濁水（特に濁水）をコントロールしているダムがあれば、その内容を紹介願いたい。

（斐伊川・神戸川総合開発工事事務所）

(回答)

I. 濁水対策のためのゲート操作方法の留意点

ダム貯水池及び放流水の濁水の軽減を図るために、取放水操作によって貯留される濁質物質の総量を低下させ濁度の低い層からの選択取水を容易ならしめるような、種々の取水、放水方法が考えられる。

大規模貯水池においては、洪水直後、もしくは洪水からある期間後に、貯水池水は清水と濁水に層状に分離される。この時期に清水を選択的に取水すれば、下流河川の濁水期間を大幅に短縮することができる。また、濁水が層状に滞留することは、その層に取水による流れのじょう乱が存在するからであり、取水層の切替えによって濁水層が静止すれば懸濁物質の沈降が促進されるという二重の効果を生ずる。

選択取水を効果的に行うために必要な条件は次の2点である。

- ① 平常時において安定した水温成層の形成および維持をはかること。
- ② 洪水による水温成層の変形ないしは破壊を極力防止すること。

①のためには貯水池低標高および表層に2段の取水口を設け、低標高の取水口を常時の取水設備とする。成層型の貯水池においては、この場合2段の躍層を持つ水温分布が形成される。中小規模の洪水はほとんどの場合、2次躍層上に流入する。そして、洪水規模に応じた期間の後に水温成層は洪水流入以前の状態に復元し、表層に清水層が形成され、懸濁物質は中層に滞留する。表層の水温成層が回復して、表層水の選択取水が可能になった時点から表層取水口に切替える。

この結果、中層の活動は停止し、懸濁物質は沈降をはじめめる。懸濁物質が2次躍層以下に沈降すれば取水によってじょう乱する恐れはなくなるので、低標高取水口に切替える。1~2m/dayの沈降が期待できる場合は、大中規模洪水後においても2~3週間後に表層取水口への切替えが可能であろう。

表層取水を長期に継続することは大気からの受熱量を排出してしまう結果となり、水温成層の安定度を保つ上で好ましくない。表層取水を行っている期間に新たな洪水の生じた場合には、直ちに低標高取水口に切替えて、できるだけ濁水の排出をはかるべきである。

2次躍層以下に沈降した懸濁物質はさらに沈降が続けるが、大循環による対流が2次躍層以下に及ぶのは、洪水期から数カ月後であるから、沈降には十分な時間的余裕があり、懸濁物質の再浮上の恐れはないものと考えられる。

②のためには、洪水の表層からの放流を極力避けることが望ましい。このためには貯水池低標高にある程度の規模の洪水放流設備を設けることが有効と考えられる。

貯水池が全面的に混合してしまうような大規模洪水時には対処できないが、中小規模の洪水時には洪水の放流をできるだけ低標高の放流設備で行ない、表層水を温存することが望ましい。

Ⅱ．冷水対策のためのゲート操作方法の留意点

混合型の貯水池では、貯水池内の水温は流入河川の水温と概ね等しいので、貯水池から放流される水の水温はダムがなかった時の河川水温とほぼ同じであり、ダムが原因となる冷水問題は起り得ない。しかし、成層型の貯水池では、底層水の水温は年間を通じて低い温度で一定に近い値になっているので、取水口の位置が水温躍層よりも深い場合には、流入河川水の水温よりも、低い水温の水が放流される場合がある。

一般には、成層期の表面近くの水温は流入河川の水温よりかなり高いので、冷水のみが問題になっている場合は、表層水を取水することで解決する。表層の高い温度の水のみを放流する場合には逆に暖水化の障害が起こる可能性もあり注意を要する。ま

た、他の要因、たとえば、冷水の他に濁水の長期化問題や富栄養化問題がある場合には、水質の状況を総合的に見て適切な深さから取水する必要がある。

Ⅲ．ゲート操作の基礎となる観測資料

ゲート操作方法を定めるに当たり、検討に必要な観測資料について以下にあげる。ただし、ダム本体と同時に選択取水設備を設置する場合は（ロ）（ハ）についてはシミュレーション解析によって求める必要がある。

（イ） 流入水

- a) 流量、水温、濁度の経時変化
- b) 流量と濁度の関係
- c) 流入水の懸濁物質の粒度分布

（ロ） 貯水池内定点

- a) 水温、濁度の鉛直分布

（ハ） 選択取水設備等の放流設備の放流水

- a) 流量、水温、濁度

（ニ） 気象

- a) 気温、湿度、日射等

Ⅳ．ゲート操作の運用

観測資料をもとに季節別、洪水別のシミュレーション解析を行い、Ⅰ．で述べた留意点を考慮して、選択取水設備のゲート操作の運用規則を定める。実際に運用している例として、Aダム選択取水設備ゲート操作判定フローを図－1に示す。

（水資源開発研究室）

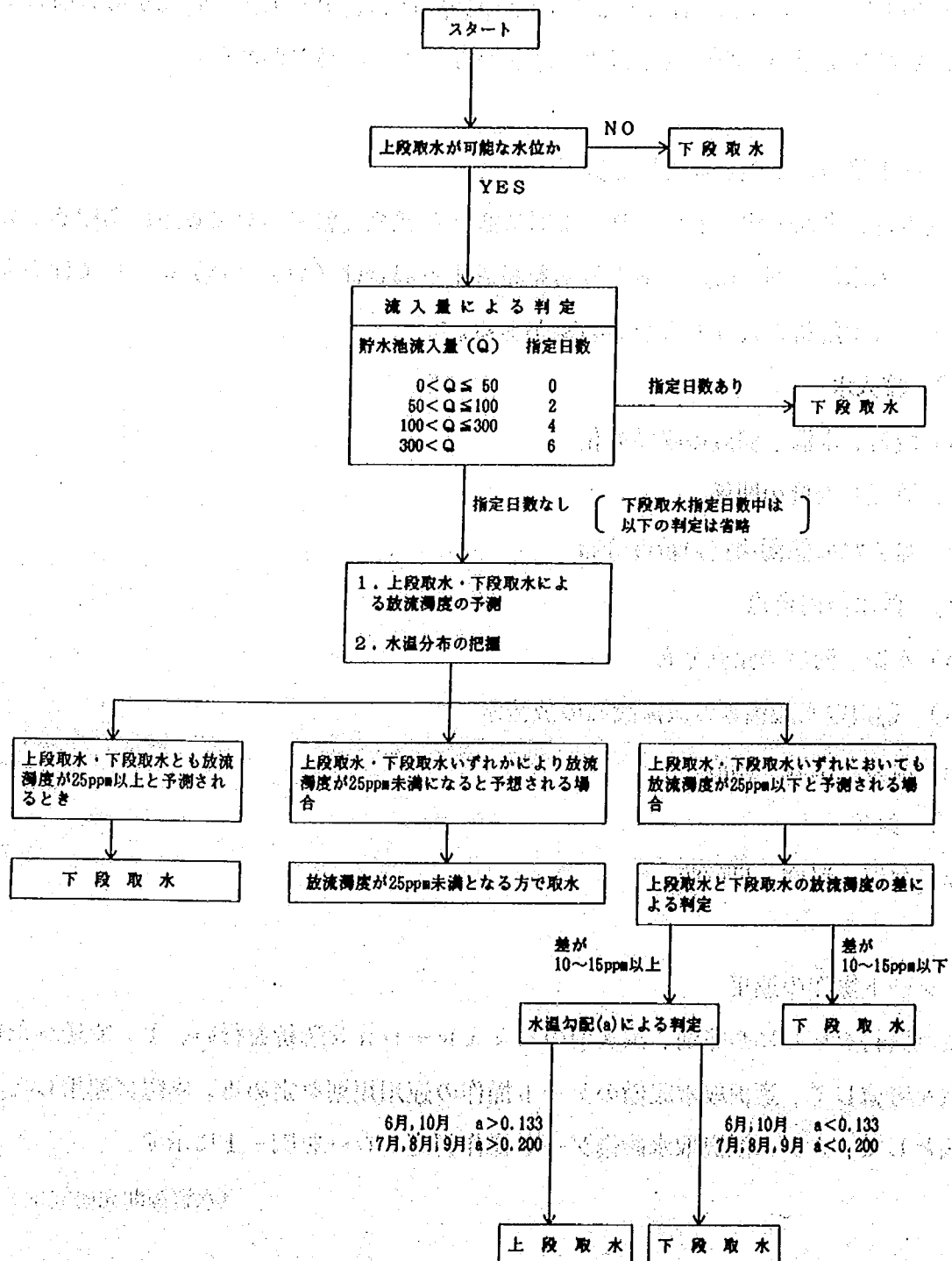


図-1 Aダムにおける選択取水設備ゲート操作判定フロー

河-19 スリットダムの構造と砂防計画上の位置づけ

(質問)

流木対策、魚道機能を有するということからスリットダムの建設が推進されているところであるが、中小洪水時に土砂が排出されることから、下流河道への堆積土砂による被害、環境変化等が懸念される。このため、上記観点からスリット構造を決定する必要がある、この検討方法についてご教示願いたい。また、砂防計画、通常の砂防ダムで考慮する土砂流出抑制効果、調節効果について同様の考え方で良いのか、ご教示願いたい。

(河川部河川計画課)

(回答)

はじめに

スリット砂防ダムは、平常時の無害な土砂は堆砂させずに下流に流し、多量の土砂が流出する出水時には堆積させ、出水の後半及びその後の出水で土砂を流下させる機能を有するものである。通常の砂防ダムは平時の出水で土砂を堆積させるので、土石流等の多量な土砂の流出に備えて除石する作業が必要となるが、スリット砂防ダムは土砂を貯留しないので空容量を確保するための除石作業を必要としないメリットがある。

以下に、スリット砂防ダムの特徴を示し、その設計手法について述べる。

1. 整備土砂量の考え方

スリット砂防ダムの整備土砂量は、扞止量に調節量を加えた量とする。調節量の概念を図-1に示す。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。

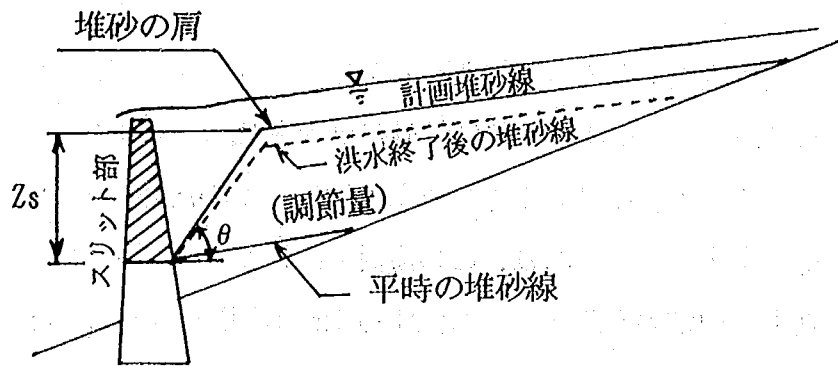


図-1 調節量の概念図

$$Z_s = \left\{ \frac{F_r^2}{2} \left(\frac{1}{(3\sqrt{\gamma})^2} - 1 \right) + \frac{3\sqrt{\gamma}}{\gamma} - 1 \right\} \left[\frac{n \cdot Q}{B_s \sqrt{I}} \right]^{0.6} \dots (1)$$

ここに、 Z_s ；堆砂の高さ、 F_r ；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 ；マンニングの粗度係数、 Q ；計画流量である。

実際には、出水時の後半に堆砂の肩が崩れて土砂が下流に流出するが、この土砂量は、スリットの大きさ、流量ハイドログラフ、粒径等によって異なるものの、出水の後半に流出する土砂量は、砂防ダムの下流近傍に堆砂して下流への流出は少ないものと考え、これを無視している。この算定手法では、大きな出水後、複数の小さな出水で徐々に堆積物が侵食されて流出して平常時堆砂面まで低下すると仮定している。この調節量の自然回復が十分に期待できない場合は、除石により人工的に調節容量を回復させる必要がある。

2. スリットの形状の決定方法

1) スリット部の流量

スリット部の流量は、スリットの壁面勾配を垂直とする時、次式で求められる。

$$Q = \frac{2}{3} \cdot \mu \cdot b \sqrt{2g} \cdot h^{3/2} \quad \dots (2)$$

ここに、 b ；スリット幅、 g ；重力の加速度、 h ；スリット敷高までの水深、 Q ；流出量、 μ ；流量係数である。

スリット幅 (b) と水通し幅 (b_0) の比に対して流量係数 (μ) を示すと、図-3 のようになる。図-3 より流量係数は、通常の0.65に対して幅の狭いスリットでは0.4以下程度まで減少するようである。従って、具体的にスリット砂防ダムを設計する場合には、水理模型実験を行って水位と流量の関係を確認する必要がある。

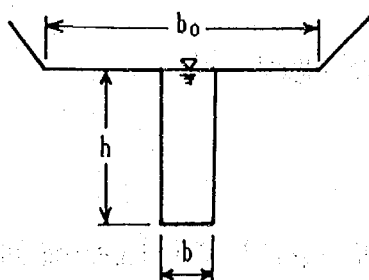


図-2 記号の説明

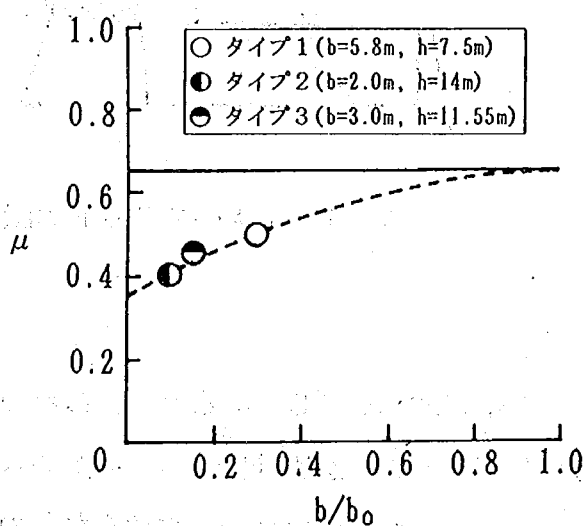


図-3 流量係数(μ)と(b/b_0)の関係

土砂調節効果は、スリット幅が狭く、深いスリット程大きくなるが、礫や流木で完全に閉塞しない程度に広くする。式(2)において、スリット幅 (b) を狭くすると、スリット敷高までの水深 (h) が大きくなるので、スリット敷

高が副ダムの天端高と等しくなる時のスリット幅が下限値になる。スリットの敷高を副ダムの天端高より低く計画すると、土砂の流出を阻害する恐れが生じる。また、スリットの閉塞は偶然性を伴うものであり、スリットが閉塞した場合の除石の容易さを考慮したスリット幅を計画することが大切である。

2) スリットの深さ

流れが砂防ダムによって堰上げられた状態の時、砂防ダムの近傍において堆砂肩が形成される。従って、堆砂肩の前面で跳水対応水深が生じるのに必要なスリットの深さが必要である（図-4）。

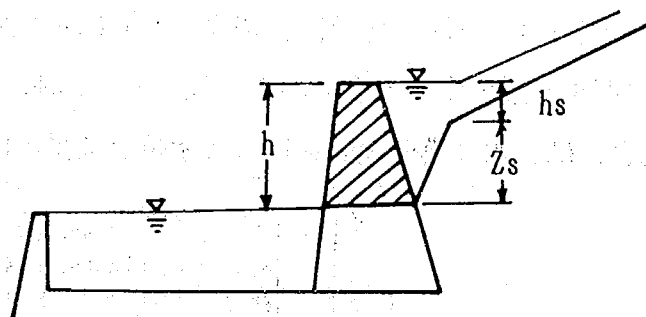


図-4 最大のスリットの深さの概念図

3) スリットの数

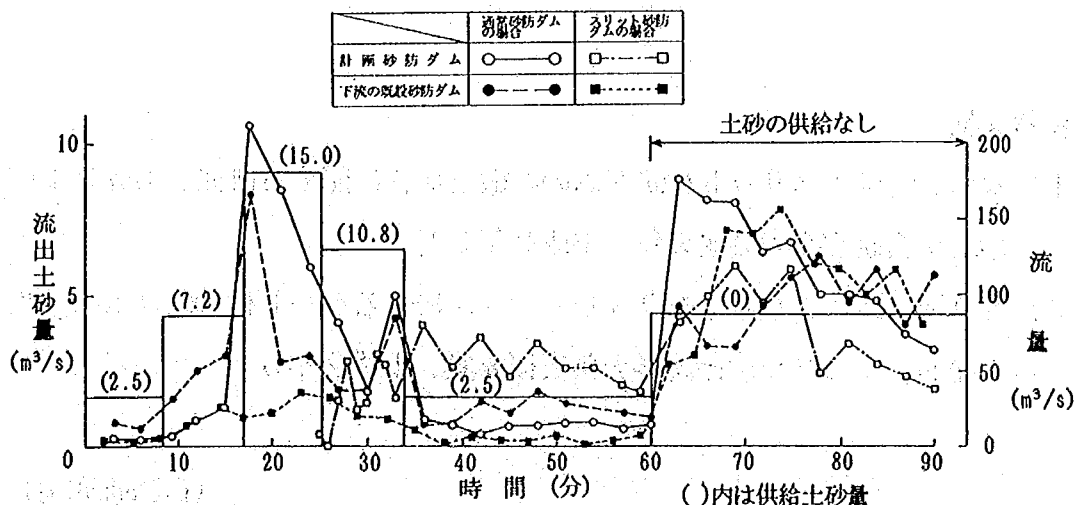
スリット幅の総和が同じであるとき、複数のスリットにしても土砂調節効果はほぼ同じであることが実験によって確かめられている¹⁾。よって、スリットの数、スリット底部の摩耗や、水替えなどの施工性に配慮して決めればよいことになる。

4) 下流河道への土砂流出の影響

通常の砂防ダムでは、満砂する間、平時の流水により下流の河床は低下する。これに対してスリット砂防ダムは、平時に下流河道の安定化に必要な土砂を供給することができる。スリット砂防ダム及び下流の砂防ダムから流出する土砂

の時間的な変化の例を図－5に示す。スリット砂防ダムは、大きな出水時に出水の前半で一時的に堆砂を促進させ、土砂の流出を平滑化する。ただし、出水後半の小流出の時に土砂濃度の高い多量の土砂が急激に流出して、スリット砂防ダムの下流、近傍に堆積して河床を上昇させる可能性がある。砂防ダムの直下流に流路工や保全対象物がある場合には、このような出水後半の土砂流出により土砂災害を生じる可能性もあるので、そのような場合には、スリット砂防ダムの下流に通常の砂防ダムや遊砂地を設けて、土砂流出の影響を緩和する必要がある。しかし、下流河道でスリットから流出する土砂を安全に調節できる場合には、そのような対応は不要となる。

なお、具体的な計画・設計に当たっては、このような下流河道への流出土砂による影響については現地の地形によって異なると考えられるので、水理模型実験¹⁾やシミュレーション計算²⁾により検討する必要がある。



図－5 流出土砂量の時間的な変化（スリット幅2.0m、高さ14.0m）

5) 下流河道の環境に対する影響

スリット砂防ダムの下流河道で想定される環境変化には、出水直後の下流河道での土砂堆積による植生の破壊や、出水後に流下する微細土砂による植生や魚類等の生態系への影響などが考えられる。

洪水などの大規模な土砂流下の直後には直下流に土砂が流下し、植生を多少破壊したり、魚類などに影響を与えることも考えられる。しかしながら、多量の土砂が下流に流出するような大出水の頻度は少なく、このような土砂流出時にはスリット砂防ダムがなければ更に大きな被害を与えると予想されるので、むしろスリット砂防ダムが被害を軽減させると考えられる。一方、洪水時以外の平常時に下流の河道に流下する土砂量は少ないため、それほど大きな影響は与えないと考えられる。むしろ、スリット砂防ダムにより、下流に徐々に土砂を供給した方が適度な河床変動が起こり、より自然な環境になると考えられる。

これらの下流河道における環境の変化については、未だ不明な点もあり、今後さらに調査・研究を進める必要がある。

参考文献

- 1) 水山, 阿部; 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, 平成2年5月
- 2) 井良沢, 水山, 福本; シミュレーションによるゲート付砂防ダムの効果検討, 平成2年度砂防学会発表概要集, 平成2年5月

(砂防研究室)

道路部門目次

	(質問者)	(回答者)	
1 長大法面緑化手法の最近の動向	温井ダム工事事務所	緑化研究室……………	231
2 松枯れ対策	国営備北丘陵公園工事事務所	緑化研究室……………	233
3 ワイルドフラワーの選定・施工等	国営備北丘陵公園工事事務所	緑化研究室……………	237
4 法面の草刈	三次工事事務所	緑化研究室……………	241
5 大規模店舗などの駐車場規模と駐車待ちによる幹線道路への影響予測	道路部道路計画第一課	新交通研究室……………	243
6 各種開発(リゾート)に係わる交通量予測	道路部道路計画第一課	新交通研究室……………	246
7 転石混じりの長大斜面の防災対策	三次工事事務所	急傾斜地崩壊研究室……………	248
8 路面の横断勾配の引き上げ	企画部電算情報課	道路研究室……………	257
9 高規格道路におけるランプの構造規格のハイグレード化	企画部電算情報課	道路研究室……………	259
10 一般道路における防音対策	道路部道路管理課	舗装研究室…………… 交通環境研究室	260
11 舗装設計における路床の評価	福山工事事務所	舗装研究室……………	264
12 アスファルト舗装における密度管理	中国技術事務所	舗装研究室……………	268
13 道路舗装材としての廃タイヤの有効利用促進とシャープ計画	中国技術事務所	舗装研究室……………	270
14 暫定供用時におけるトンネル内避難通路の取扱い	福山工事事務所	トンネル研究室……………	272
15 大断面トンネルの支保構造の決定手法	福山工事事務所	トンネル研究室……………	273
16 トンネル内分合流部における路肩幅員	福山工事事務所	トンネル研究室……………	277
17 トンネルの土被り厚さ	山口工事事務所	トンネル研究室……………	278
18 トンネル近接施工	鳥取工事事務所	トンネル研究室……………	279

道－1 長大法面緑化手法の最近の動向

(質問)

長大法面の緑化方法について最近の動向、手法等について御教示願いたい。

長大法面の安定対策工として、アンカー工、法枠工、モルタル吹付等を実施しているが、景観を考慮すると全面緑化が望ましいと考える。

特にダムの本体掘削法面は長大でしかも広い範囲に岩盤面が露出し、落石・表層すべり対策として吹付け法枠などの対策を実施するようになるので、法枠も含めて全面的に緑化する手法について御教示願いたい。

(温井ダム工事事務所)

(回答)

のり面を緑化する工法は各種のものが開発されており、地山の状態及び傾斜等を考慮して選択する。長大法面においては、崩壊、滑落の防止に特に配慮する必要があるので、安全性が充分に高い工法を用いる。

切土法面上に、植物が生育するのに十分な厚さの基盤を確保し、崩壊、滑落にも強いという点において、厚層基材吹付工が優れている。これは、有機質の基材に、肥料、接合材、植物の種子等を混ぜて吹き付ける方法である。崩壊を防ぐために、基礎工としてラス金網を張る。接合材としてはセメント系のものと高分子系のものがあり、植物の生育にとっては高分子系のものの方がよいが、長大法面においては崩壊、滑落の防止を重視してセメント系のものを利用した方がよい。吹付け厚は3～5cm程度が標準的である。吹付枠工によって安定性を確保した上で、枠の中に厚層基材を吹付けるという組合せが有効である。

また、不適期に施工を行うと植物が活着しないので、適期に行うように心がける。3～6月頃の施工が望ましい。

植物材料は法面の環境に耐え、周辺の景観とも調和するものを選ぶ。木本植物と草本植物とを比較すると前者の方が深く根を張り、土壌を緊迫する力が強い。また長大な法面が出現するような場所は周囲が森林であることが多く、その景観に調和

しやすいという意味においても木本植物を主体とすることが望ましい。早期に緑化を図り、表面侵食を防ぐために草本植物の種子も混ぜるが、過繁茂すると木本植物を被圧することになるので播種量は少なめにする。播種量の目安は日本道路協会発行の「のり面工・斜面安定工指針」に掲載されているが、草本植物についてはこれを上限程度に考えて少なく抑える。

木本植物の種類としては、周辺が常緑広葉樹林の場合はネズミモチ、シャリンバイ等、落葉広葉樹林の場合はハギ類等を用いるとよい。

木本植物の苗木植栽を併用する工法についても土木研究所で研究中である。また、法枠を隠すためにはつる植物（ヘデラ類など）の枝を枠の周辺に挿し木し、繁茂するのを待つ方法もある。

（緑化研究室）

（参考文献）

1. 建設省土木研究所緑化研究室（1989）：厚層基材吹付工法に関する調査研究報告書（土木研究所資料第2725号）
2. （社）日本道路協会（1986）：道路土工 のり面工・斜面安定工指針
3. （社）農業土木事業協会編：のり面保護工、（社）農山漁村文化協会発行

道-2 松枯れ対策

(質問)

国営備北丘陵公園の主要な植生はアカマツ林であるが、松枯れが進行して大きな松から順に枯れてきている。

これに対して事務所では、毎年枯損木の伐倒駆除と、誘引器の設置により、被害の拡大を押さえようとしているが、被害は拡大する一方であり、アカマツの数は当初の3分の2位にまで減少してしまった。

したがって、有効的かつ経済的な松枯れ対策について総合的判断より御教示願いたい。

(国営備北丘陵公園工事事務所)

(回答)

現在、松枯れの原因は大部分マツノザイセンチュウによるものと考えられている。このマツノザイセンチュウの主要な伝播者がマツノマダラカミキリであり、伝播経路は次のとおりである。①マツノマダラカミキリは、マツノザイセンチュウを体表又は体内に保持して、枯損したマツから羽化脱出する。②マツノマダラカミキリがマツの枝や樹皮を後食（カミキリムシ等の成虫が羽化後、性的に成熟するまでの短期間摂食加害すること）する際に、後食により生じた傷からマツノザイセンチュウがマツの樹体に侵入する。③マツノザイセンチュウにより樹勢の弱ったマツにマツノマダラカミキリが産卵する（健全な松に産卵しても幼虫は発育しないといわれている）。

以上のような伝播経路を勘案すると、マツノザイセンチュウによる松枯れを防止するためには、マツノマダラカミキリの生息数を減少させ、後食を予防することが必要である。このために、①春期における羽化脱出後に薬剤を空中散布又は地上散布して成虫を駆除する方法と、②秋期以降にマツノマダラカミキリの幼虫が生息している枯損木を伐倒し、伐倒木を破碎又は焼却するか、伐倒木に薬剤を散布して、幼虫を駆除することにより、翌年のマツノマダラカミキリの羽化脱出を阻止する方

法が一般的に行われている。これら2つの方法の効果は定量的に比較されていないが、他の昆虫の生息等の自然環境や周囲の人間の生活環境、農業等に与える影響は後者の方が少ないので、このような点に配慮すべき地域では、後者の伐倒駆除が行われている。

伐倒駆除を行うに当たっては次のような点に留意する必要がある。①枯損木、衰弱木の全てを伐倒するようにする。マツノマダラカミキリは新しい伐倒木や衰弱木の発する特有の匂いに誘引されて飛来するといわれており、衰弱木が残存しているとマツノマダラカミキリを誘引する可能性があるので注意を要する。衰弱木は樹幹に穿孔した場合の樹脂の流出が停止するので、これにより判定できる。②伐倒木、特に春期に伐倒駆除した伐倒木は、前述のようにマツノマダラカミキリを誘引する可能性があるので、速やかに林外に搬出し、チップ化、炭化等の処理を行う。なお、薬剤散布、チップ化、炭化等の処理をしていない伐倒木の移動は、松枯れの被害を広域化させる危険があるので、注意を要する。③なるべく秋期に伐倒駆除を終えるようにする。伐倒木への薬剤散布の効果は、季節によってばらつきがあり、秋期における効果は常に高いが、冬期、春期においては効果が低下し、かつ、ばらつきという試験結果が報告されている。

誘引器の設置によりマツノマダラカミキリ成虫を捕捉する方法は、誘引器という性格上、これだけで当年の枯損を予防するのは無理であるが、マツノマダラカミキリの生息状況調査等総合的な松枯れ防除対策の一環として利用していく方法がある。なお、誘引器の設置位置は、樹高の高い林分では、高所（6～7 m）に誘引器を設置すると低所（1.5 m）の2.5倍の成虫が捕捉されるという試験結果が報告されている。

その他の対策としては、天敵の活用や予防のための薬剤の樹幹注入といった方法がある。前者については、キツツキ類（アカゲラ、アオゲラ等）やオオコクヌスト（鞘翅目：コクヌスト科）の幼虫がマツノマダラカミキリの幼虫を捕食することが知られており、岡山県ではアカゲラの誘致のための巣箱の設置を試験的に実施し

ているということである。また、天敵微生物（糸状菌、細菌、昆虫寄生性線虫）の懸濁液（微生物が液体中に分散したもの）を伐倒木表面に散布する方法についても研究が進められているが、薬剤に比べると、環境条件のわずかな違いが効果に微妙に影響して、効果がばらつく難点がある。後者については、マツノザイセンチュウを直接の防除対象とする薬剤（メルフェンフォス、酒石酸モランテル等）を樹幹注入するアンプル型の樹幹注入器が開発されており、防除対象以外への薬剤の飛散がないことから、薬剤散布のできない場所での予防方法として定着しつつある。ただし、マツ一本一本に対して薬剤を注入するため、国営公園のように面積が広く、マツの本数も多い場所では、多くの費用と労力を要することから、マツを保護する必要性が高い区域に限定して実施する等の対応が必要である。

以上のように、マツノザイセンチュウによる松枯れの防除方法にはいくつかの方法があり、それぞれ長所、短所を持ち合わせていることから、防除対象場所の立地条件、環境条件を勘案し、効果の高い方法を採用することが肝要である。また、いくつかの方法を組み合わせることも必要になろう。

さらに、被害が激甚である場合等は、公園の基本計画等に照らして、松林として維持することが適当であるかどうかを判断し、樹種転換を実施することも被害の連続的拡大を防止することにつながると思われる。

<参考文献>

- 1) 越智鬼志夫：マツ類を加害するカミキリムシ類の生態（Ⅱ）*Monochamus*属2種成虫の羽化と産卵習性などについて、日本林学会誌，第51巻，第7号，pp.189～192，1969
- 2) 徳重陽山，清原友也：マツ枯死木中に生息する線虫 *Bursaphelenchus* sp.，日本林学会誌，第51巻，第7号，pp.193～195，1969
- 3) 岸洋一：松くい虫の捕食者，オオコクヌスト (*Temnochila japonica* REITTER)（鞘翅目：コクヌスト科）について，日本林学会誌，第52巻，第7号，pp.215～217，1970

- 4) 森本桂, 岩崎厚: マツノザイセンチュウ伝播者としてのマツノマダラカミキリの役割, 日本林学会誌, 第54巻, 第6号, pp.177~183, 1972
- 5) 西村正史: マツノマダラカミキリ成虫の行動の連続観察, 日本林学会誌, 第55巻, 第3号, pp.100~104, 1973
- 6) 越智鬼志夫, 片桐一正: マツノマダラカミキリの生態学的研究 (I) 幼虫の齢構成の動き, 日本林学会誌, 第56巻, 第1号, pp.7~11, 1974
- 7) 越智鬼志夫, 片桐一正: マツノマダラカミキリの生態学的研究 (II) 野外個体群における成虫の大きさ等について, 日本林学会誌, 第56巻, 第11号, pp.399~403, 1974
- 8) 岸洋一: マツノザイセンチュウのマツノマダラカミキリからマツ樹体への侵入経過, 日本林学会誌, 第60巻, 第5号, pp.179~182, 1978
- 9) 羽賀正雄: 松くい虫被害の現状と防除対策, 林業技術, 第444号, pp.8~9, 1979
- 10) 岸洋一, 早坂義雄, 横溝康志, 武田丈夫: マツノマダラカミキリ蛹室の深さの変異, 日本林学会誌, 第64巻, 第6号, pp.239~241, 1982
- 11) 農林水産省林業試験場: 最近の研究成果選集, 1985
- 12) 農林水産省林業試験場: 昭和61年度林業試験場年報, 1986
- 13) 池田敏弥, 山根明臣, 遠田暢男, 尾田勝夫, 横原寛, 伊藤賢介, 大河内勇: マツ伐倒木揮発成分のマツノマダラカミキリに対する誘引性, 日本林学会誌, 第68巻, 第1号, pp.15~19, 1986
- 14) 松くい虫に天敵アカゲラ, 科学朝日, 第52巻, 9号, p.52, 1992.9

(緑化研究室)

道-3 ワイルドフラワーの選定・施工等

(質問)

国営備北丘陵公園においては、国兼池湖畔等に花であしらった広場を広い面積に設ける計画であり、このうちのいくつかにあたっては、複数の花が順番に咲き続ける、いわゆるワイルドフラワーを活用したいと考えているが、実施にあたって必要な以下の点について御教示願いたい。

1. 選定方法

ワイルドフラワーについては、いくつかの会社がいろいろな種類の種を組み合わせた商品を開発しているが、比較検討した結果があれば御教示願いたい。

また公園内でも施工に先立って、土壌条件、気象条件に適した製品を選ぶために試験施工を試みようと考えているが、留意すべき点があればご教示願いたい。

2. 施工・管理方法

施工にあたって、下地となる土壌条件や施肥、他の雑草の侵入に対する防除方法等、留意すべき点について御教示願いたい。

(国営備北丘陵公園工事事務所)

(回答)

ワイルドフラワーについては、日本に導入されてまだ日も浅く、研究が十分に行われていないのが実状であり、また植栽場所、地域等によっても条件が異なるため、一概には言えないが、現時点における既存の研究、知見について取りまとめたので参考にされたい。

まず一般的な、ワイルドフラワーに対する基本的な考え方を示す。

- ・事前に、ワイルドフラワーによる修景を行う目的、イメージを十分固めておくことが、全国同じようなワイルドフラワー景観にしないためにも、また長期間にわたり修景が維持されるためにも必要である。
- ・ワイルドフラワーは植栽場所、地域等により、生育状態に差が出るため、それぞれの場所において事前調査を行い、そこに合った種類、植栽手法を決定すること

が必要である。

- ・各社のパンフレット等には、花がいっぱいの状態の写真が載せられているが、そのような状態は、1年目の限られた期間のものであることを認識する必要がある。
- ・ワイルドフラワーといえども、管理が全く不必要ということではなく、除草、施肥、灌水等必要に応じて実施する必要がある。
- ・一度播種を行うと数年間花が咲き続けることがもちろん望ましいが、現時点の施行事例からは、除草、施肥等の管理を施しても2年目以降の開花は減少するため、ある程度の追播種は必要である。

次に質問事項についての知見を示す。

1. 選定方法

花の種類の組み合わせや、各社の製品について比較を行った実験等の報告はない。「ワイルドフラワーによる緑化の手引き」及び近藤らの研究（参考文献参照）によると、次のものについて比較的良好な生育が期待されるとのことである。

・単一種を播種する場合

1年草：キバナコスモス、クレオメ、コスモス、ハナナ、ハナビシソウ、
ハルシャギク、ヒナゲシ、ムシトリナデシコ、ムラサキハナナ、
キバナコスモス等

宿根草：オオキンケイギク、オオテンニンギク、カワラナデシコ、
宿根ルピナス、ノコギリソウ、フランスギク、ルドベキア、
ヘリアンサス・ゴールドンピラミッド、ムラサキバレンギク等

・複数種を播種する場合

1年草：カスミソウ、ハルシャギク、ベニバナアマ、クラーキア、
ヤグルマギク

宿根草：オオテンニンギク、ルドベキア、チェイランサス、
シロバナムシヨケギク（ジョチュウギク）等

一般的にこぼれ種子による2年目以降の開花、増殖はあまり期待されないため、追播種は必要である。またのり面等においては、土壌浸食防止及び種子の流失防止の観点から、芝草（ケンタッキー31フェスク）との混播や、種子テープ等の使用も有効である。

試験施工については、基盤状態（改良を行う厚さ、耕耘方法、改良材等）、種子量（例：各社仕様とその半分程度との比較）、除草時期等を中心に、比較試験を行うことが望ましい。花の種類や組み合わせについては、試験条件が多くなりすぎ、また試験結果の評価が難しいため、比較試験を行うよりも、発注者のイメージを固めることを優先すべきであると思われる。

2. 施工・管理方法

・基盤整備

播種を行う基盤が固い（山中式土壌硬度計の指標硬度で25mm以上程度）場合は耕耘（深さ10～20cm程度）が必要であるが、過度の耕耘は、雑草等の埋土種子を活性化させる恐れがあるため慎重を要する。

排水不良のところでは、暗渠排水溝を設けるか、あるいはパーライト等による土壌改良が必要である。改良土については、表土は養分を多く含んでいるが、雑草等の埋土種子も多いため事前に焼却するか、あるいは心土を用いる方が望ましい。

・播種量

雑草の生育を妨ぐという観点から一般的に播種量を多めにしているようであるが、過密による生育障害や、花後の花殻摘み等を考慮すると、適正播種量は、現在各地で実施されているより小量でも十分であると思われる。

・施肥

土壌の養分が少ない場合や、連作障害の対策等のため施肥は必要である。しかし過度の施肥は、雑草の繁茂を助長することになるため、緩行性肥料や、低度化成肥料を少なめに施すことが効果的であると思われる。

・除草

ワイルドフラワーの管理で最も重要なのが除草である。雑草を目立たない程度にするには、少なくとも年2～3回の人力除草が必要である。雑草については、イネ科のものが多いため、イネ科を選択的に枯らす除草剤を用いることも有効ではあるが、除草剤の使用はできる限り避けたい。

・花殻摘み

播種量が多い場合等においては、開花後のしおれた花が見苦しく、開花時との差が激しいため、花殻摘みを行うことが望ましいが、大面積の花畑的な場合等人手がかかり、現実的には困難である。

・灌水

生育初期の灌水は、ワイルドフラワーの発芽、生育を助長し、その後の着花状態を高め、開花期間を長くさせるなど有効である。

ワイルドフラワーについては、さまざまな修景形態に対応した望ましい手法を確立するためにも、今後さらにデータの蓄積を行い研究を進めていく必要がある。

なお、現在土木研究所において、ワイルドフラワーを含め花卉による修景緑化全般についての計画・管理に関するマニュアルを作成すべく調査中である。

(参考文献)

- 1) (社)道路緑化保全協会 ワイルドフラワーによる緑化の手引き 1990
- 2) 鈴木、近藤 ワイルドフラワーによる緑化に用いる草種ならびに施工、管理実態について 日本緑化工学会誌 第16巻 第3号 1991
- 3) 近藤他 緑化に用いる「ワイルドフラワー」の適性草種、ならびに造成・管理手法について 造園雑誌 第54巻 第4号 1991

(緑化研究室)

道一 4 法面の草刈

(質問)

法面保護のため植生工を実施している。環境問題に配慮して全面の草刈を実施しているが、草刈の経費は毎年相当な額になる。そこで管理を省力化するために次のような2つの手法を考案した。

1. つる植物を法尻に植栽して雑草の成長を抑える。
2. 黒色ビニールを法面の縦断方向に、50～100cmの間隔を空けて敷き、目串で固定して雑草の繁茂を抑える。

これらの案の適用可能性について御教示願いたい。

(三次工事事務所)

(回答)

つる植物が十分に繁茂すれば雑草の成長を抑えることが可能である。ただし、つる植物にも様々なものがあるので、適切な類を選ぶことが必要となる。のり面に植栽する場合、根がよく張って崩壊や滑落を防ぐような植物が望ましいが、このような特性については、のり面に通常植栽されているような植物に匹敵できるつる植物は見あたらない。そこで、つる植物だけによる緑化は傾斜の緩い(概ね30°未満)のり面に限定される。法尻部の傾斜を緩くして利用するなどの手法も考えられる。

次に常緑の植物であることも必要条件である。落葉性の植物でもクズなどの場合には他の植物の成長を抑えて一面に茂ることがあるが、枯れた時期には他の雑草の進入を許し、法面を守る力も弱く、見栄えも悪い。

比較的使いやすいと思われるつる植物にヘデラ類があるが、この仲間は日陰に強いかわりに強い日差しを受ける所では葉が日焼けを起こして生育状態がかえって悪くなるという弱点もある。

北向きの法面や橋の下などで、傾斜の緩い所に限定してヘデラ類を利用するといった方法が現実的である。

黒ビニールによる被覆は一時的には効果があるが、暗い所でも発芽する雑草も多く、ビニールの下の温度が高いためにかえってよく成長することになる。しかも植物は光を求めて伸びるため、長さ方向への伸長は暗い所ほど速くなる。勢いのよい雑草はやがてビニールを突き破って伸びてくる。したがってよほど厚いビニールを用いなければ雑草の成長を十分に抑えることはできない。また風などによって破れたり剥されたりすることを防ぐための固定はかなり難しい。

雑草の成長を抑えるために開発された各種のマルチング資材が市販されているので、これらを利用した方が効果は高いといえる。ただし費用もかかるので、景観的に重要な場所に限定しての利用となるだろう。

また、環境に配慮した上で、成長抑制剤を利用する方法もある。

(緑化研究室)

(参考文献)

1. (社)日本道路協会(1986):道路土工 のり面工・斜面安定工指針
2. (社)農業土木事業協会編:のり面保護工、(社)農山漁村文化協会発行

道－5 大規模店舗などの駐車場規模と駐車待ちによる幹線道路への影響予測

(質問)

大規模店舗などの駐車待ちによる渋滞等の影響予測に関して、

1. 道路沿道に建設された大規模なショッピングセンターや娯楽施設の利用の車が駐車待ちの行列を作り、幹線道路にまで渋滞を発生させている箇所が見受けられるが、これら施設の駐車場の規模（容量）について基準等や導入する道路の構造、設置の必要性が検討されていれば御教示願いたい。
2. 大型店舗などへ入る為の駐車待ちの路上駐車が与える交通への影響予測について何かあれば御教示願いたい。

(道路部道路計画第一課)

(回答)

大規模施設において必要とされる駐車場規模は、その施設に対する来訪者（車）数と平均的な駐車時間に依存する。但し、来訪者数は日によって、また時間によって一定ではなく、特にデパート・ショッピングセンター等では日曜日の午後に利用が集中する傾向がみられる。このように施設の利用が集中する場合には、ピーク時の駐車場の需要に対してどれだけの割合で駐車場の設置を義務づけるかというサービスレベルの問題にたどり着く。理想的にはピーク時においても1台の待ち行列も生じさせない規模の駐車場を整備すべきであるが、現実的には都市部に於てこれだけ大きな駐車場を確保することは不可能に近いし、たとえ確保できたとしてもこれらの駐車場は平日殆ど利用されないわけであり、施設側にとっては到底容認できないコスト負担をもたらし、また土地の有効利用の観点から見ても問題が残る。

このような問題を解決する画期的な手法としては、平日のみ駐車場の需要がある他業種との駐車場の共同利用や公的機関による公共駐車場整備等が挙げられるが、このような手法はどこにでも適用できるわけではなく、駅前の商業・業務混合地域で近くに適当な駐車場用地が確保できる等の極く限られた地域に限定される。

従って、必要最小限の駐車場整備レベルを定めておき、駐車待ち行列が幹線道路の交通に対して著しく影響を与える場合、例えば2車線道路での待ち行列、交差点直近での待ち行列、休日でも非常に混雑する道路上での待ち行列を発生させる場合には、施設の開発者と道路管理者が応分の負担をして、敷地内対策としての駐車場整備や道路対策としての付加車線の設置といった対策を事前に行い、幹線道路の交通を阻害することがないようにする必要がある。

上記で述べたことを、大規模開発施設に対する交通アセスメント¹⁾の基本的な考え方(案)として、これに沿って質問事項1、2に回答する。

まず1の施設の駐車場の規模(容量)についての基準であるが、これから全国規模で調査を行い今年度中に取りまとめる段階であるため、現状では御指摘の基準は存在しない。ただし、渋滞長を評価指標として取りまとめる方針である。次に2の路上駐車の影響であるが、一般の路上駐車が本線交通へ与える影響についての研究²⁾は見られるが、駐車待ち車両による本線交通への影響に関する研究は殆ど存在しない。基本的には一般の路上駐車によるものとほぼ同等の影響があると考えられるが、右折によって駐車場へ入ろうとしている車による影響、駐車場出入口における本線交通との輻輳の影響が大きい場合は、別途影響予測をする必要がある。なお、右折による影響については、駐車場出入口を信号の無い交差点と考えることで、幹線道路の交通容量を算定することが出来る。また、駐車場出入口の安全性に関する研究が、交通安全研究室によって行われたことがある。

1) 交通アセスメントとは、沿道における大規模開発事業が道路交通の円滑性に著しい影響を及ぼす恐れがある場合、その計画段階において影響を事前に予測、評価し、

開発事業者等及び道路管理者が協力して必要な予防的対策を講じることによって、その道路交通上の支障を緩和、解消し、大規模開発事業と円滑な道路交通との調和を図ることを目的とした現在検討中の制度。

2) 例えば、川島、宇佐見、柳沢：交通渋滞と路上駐車問題，第19回日本道路会議特定課題論文集，1991、など

(新交通研究室)

道-6 各種開発（リゾート）に係わる交通量予測

（質問）

交通量に大きな変動を与える各種開発（リゾート）の影響予測について御教示願いたい。また、地域活性化のために、これらの開発を道路建設者が提案するとした場合の課題等についても御教示願いたい。

（道路部道路計画第一課）

（回答）

一般に観光・レジャー関連の開発による交通量は、各施設入り込み客数の積み上げによる年間入り込み客数を推定した後、機関分担率、平均乗車人員を用いて年間の自動車台数を求めるという手順に従って算定する。また開発による分布交通は、その開発の魅力度を T 、ゾーン i の人口を A_i 、ゾーン i と開発地域との時間距離を d_i とすると、

$$\text{開発による分布交通量} = \sum_i K \frac{T^{\alpha} \cdot A_i^{\beta}}{d_i^{\gamma}} \quad \dots\dots\dots \text{(式-1)}$$

ここに、

K 、 α 、 β 、 γ ：パラメータ

で表せる。式-1は一般的な重力モデルの応用例であり、 T で表される魅力度は各開発内容別に定められ、施設の延べ床面積などの関数となる。従って、開発が予想される施設の種類と規模（延べ床面積等）の一覧表を作成し、それぞれについて原単位を定めて足し合わせたものがそのリゾートの魅力度となる。次に同様な観光地において式-1を適用して求めたパラメータあるいは道路交通センサスやパーソントリップ調査の観光娯楽目的のOD表に適用したときのパラメータを用いることで、おおよそのゾーン間交通量を推計することが出来る。

この後ネットワークを組み、一般的な分割配分を行うことで路線交通量を算出し、さらにK値（観光道路であれば10～15%が多い）を用いておおよその計画交通量の目安をつけることが可能である。ただし、現在では休日交通（ここでは年間交通量）に対する望ましいサービスレベル（具体的には第X番目交通量を取るか）についての明確な基準がないため、現実には観光系道路の設計基準交通量を定めることはできない。

次に、幹線道路網の整備による観光・レクリエーション主導の地域振興や活性化を道路管理者側から働きかけようとした場合、

①観光地と人口の多い都市との時間距離を短縮する

②交通量の集中の多い施設、滞留時間の長い施設を中心にした開発を行う

ということが一般的な戦略である。施設の種類の年間利用者数では、参拝施設が大きい値を示していることから、このような集客力の高い施設と滞留時間の長い宿泊施設などを適度に組み合わせることが必要と思われる。あるいは車利用による観光周遊コースをいくつか想定し、道路の改良によって新たな施設を周遊コースに組み入れるなどの計画を立て、コースの魅力度を高める・滞留時間を増加させる等の提案をすることも有効であろう。なお、余暇施設の整備については、「土木工学ハンドブック」（第4版）の第47編が参考になるので、こちらの方も参照されたい。

（新交通研究室）

道-7 転石混じりの長大斜面の防災対策

(質問)

当地建管内において長大斜面が約10kmにわたって連続している区間があり、斜面上には最大直径8.0mの転石が無数点在している。またその中でトンネル掘削を行うのであるが、近傍の小学校裏斜面にも転石があり掘削時の発破による影響も懸念される。このような長大斜面の続く区間の長期的な道路防災対策の在り方や長大斜面の管理手法について御教示願いたい。

(三次工事事務所)

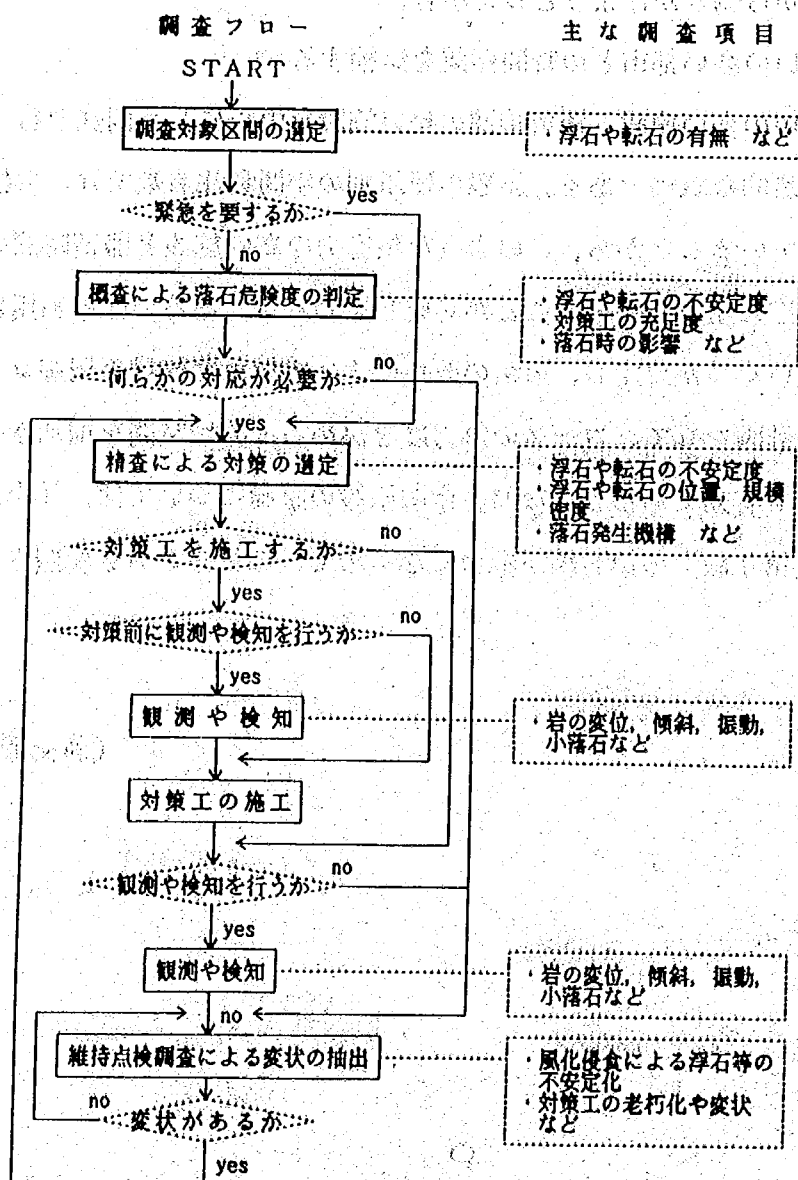


図-1 調査全般のフロー

(回答)

1. 概説

落石対策に必要な長大斜面を有する路線では、質問のように転石が区間全体にわたって点在し、対策工の施工に膨大な費用・時間を必要とする。よって完全な対策工を施すことは非常に困難なことが多い。このようなことを考えると、まず路線中の落石発生危険斜面を抽出しその上の浮石・転石の危険度を正確に把握するための調査と、定期的な点検により浮石・転石の危険度が変化していないかをチェックすることが必要である。よってまず対策工施工前の調査とその後の斜面管理のための点検について

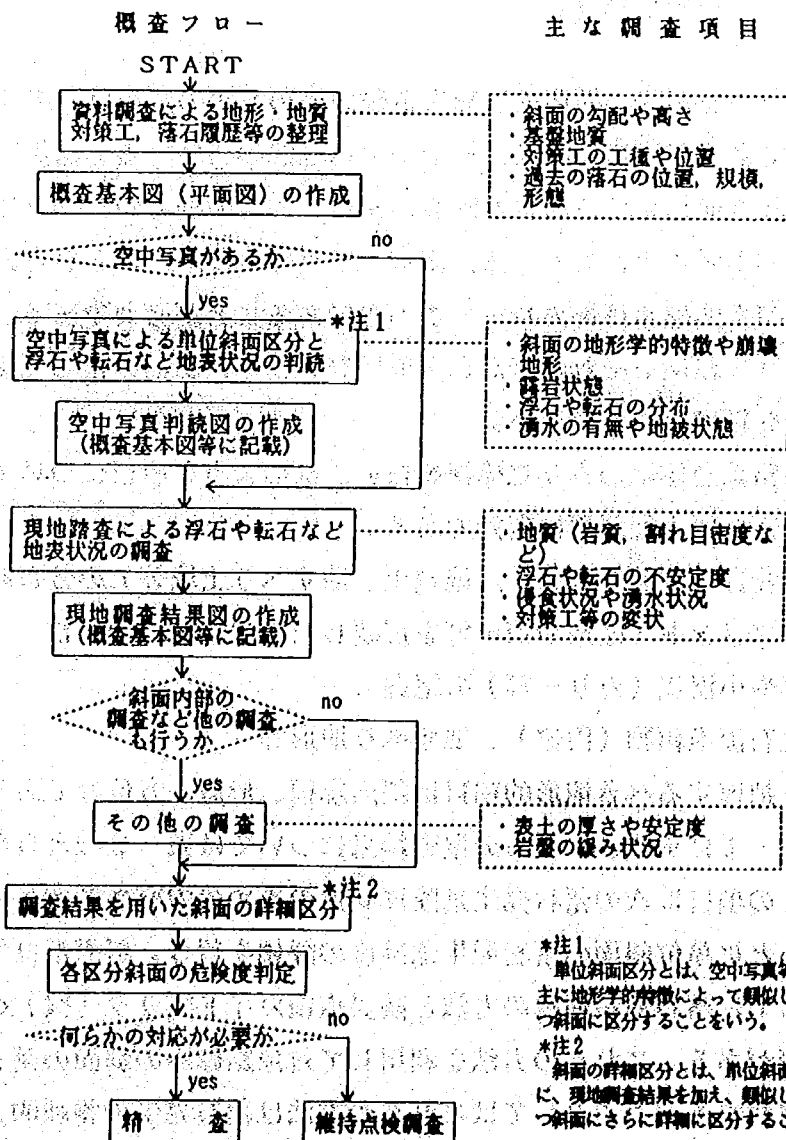


図 - 2 概査のフロー

述べる。次に落石対策工の計画について述べ、最後にトンネル掘削時の発破の振動が斜面上の転石に及ぼす影響の評価手法について述べる。

2. 調査

まず落石発生危険斜面の調査について述べる。これは路線全体の中から落石発生危険斜面を抽出するための概査と、概査により落石発生の危険があると判断された斜面に対して行い対策を検討するための精査の2段階に分けられる。また維持点検調査により道路防災構造物及び斜面の劣化や不安定化を定期的にチェックする。これらの調査全体のフローは図-1に示される。

2-1. 概査

図-2に概査のフローを示す。一応落石発生危険斜面のための調査はこのフローに従って行われるべきであるが、道路防災点検や国土地理院の実施する道路災害対策調査・基礎調査等により今回提案する概査と同等の精度・内容の調査が行われている場合はそれらの結果を利用することもできる。概査では路線全体が対象となるため資料として使用する図面等も路線全体をカバーするものであることが必要である。また調査範囲が大きいと調査精度もそれほど高い必要はない。単位斜面の落石発生危険度を判定するのに十分な精度であれば良い。

空中写真判読では路線全体にわたり立体視を行い、次のような項目について把握する。特に道路から見えない上部斜面に有効である。

- a. 斜面上の不安定物質（崖錐堆積物、崩壊残土、地すべり土塊等）の分布状況
- b. クラックやリニアメント（断層や節理等を反映した線状模様）の分布
- c. 植生の被覆状況や小溪流（ガリー等）の把握
- d. 落石崩壊跡、土石流堆積物（円錐）、地すべり地形等

次に現地踏査により把握すべき地形的項目は斜面規模、形態、方位等であり、地質的項目については表-1に示す。これらの概査結果については表-2のような項目について整理する。この項目は次の落石発生危険度判定のための内容も考慮している。

これらの結果をもとに単位斜面の落石発生危険度の評価を行う。斜面単位で危険度評価を行う方法としては落石対策便覧の方法と防災点検ガイドブック（案）の落石・崩壊の安定度評価表がある。これらの方法を利用して対象路線中の斜面の落石発生危険度を決定する。注意すべき点としてはこれらの方法は落石発生の物理的メカニズ

地 質 構 造	地 層 分 布	地層の分布状況の把握（地質境界の確認）
	走 向 ・ 傾 斜	地層の走向・傾斜の把握，流れ盤斜面，受け盤斜面の区別
	断層・破砕帯	断層・破砕帯の確認，規模・性状（破砕度，湧水状況など）の把握
	節理等の裂力系	節理幅・長さ・密度・方向の把握
岩 盤	岩 相	岩相の把握（組成，組織，層理，片理などの発達状況）
	岩 質	岩質の把握（硬度，強度，割目頻度など）
	風 化 ・ 変 質	風化，変質の状況，風化層の厚さや性状の把握
未固結堆積物	種 類 構成物の性状	段丘堆積物・崖堆積物・岩屑・火山灰など 未固結堆積物の厚さ，性状（組成，含水状況，旬の微候など）の把握

表－１ 現地で観察すべき地質情報

調 査 の 諸 元 ①		地名，距離標，年月，調査者等
位 置 の 情 報 ②		単位斜面の位置（山地，丘陵地等），範囲（面積）
地 形 情 報	斜 面 形 状	高さ，勾配，縦横断形等
	一 般 地 形	崖壁，段丘，丘陵，火山，一般斜面等
	異 常 地 形	オーバーハング，崩壊地，遷急線等
地 質 情 報	地 質 ， 岩 質	地層，岩相
	裂 カ 系	断層，破砕帯，節理
	地 質 構 造	走向，傾斜，構造
	風 化 ， 変 質	風化状況，変質状況，強度
	未 固 結 堆 積 物	種類，構成物，層厚等
表 層 の 情 報	浮石・転石の分布	規模，分布密度，不安定度
	植 生	種類（木本，草地，裸地等），密度，成育状況
	湧 水	有・無，量
人 工 構 造 物	種 類	落石防止欄，擁壁，吹きつけ等
	規 模	高さ，延長，ポケット等
	変 状	亀裂，はらみ出し等
所 見	災害要因の状況と予想される災害発生形態	記述方式
	対策工の状況と適・不適	記述方式

表－２ 概査結果の整理

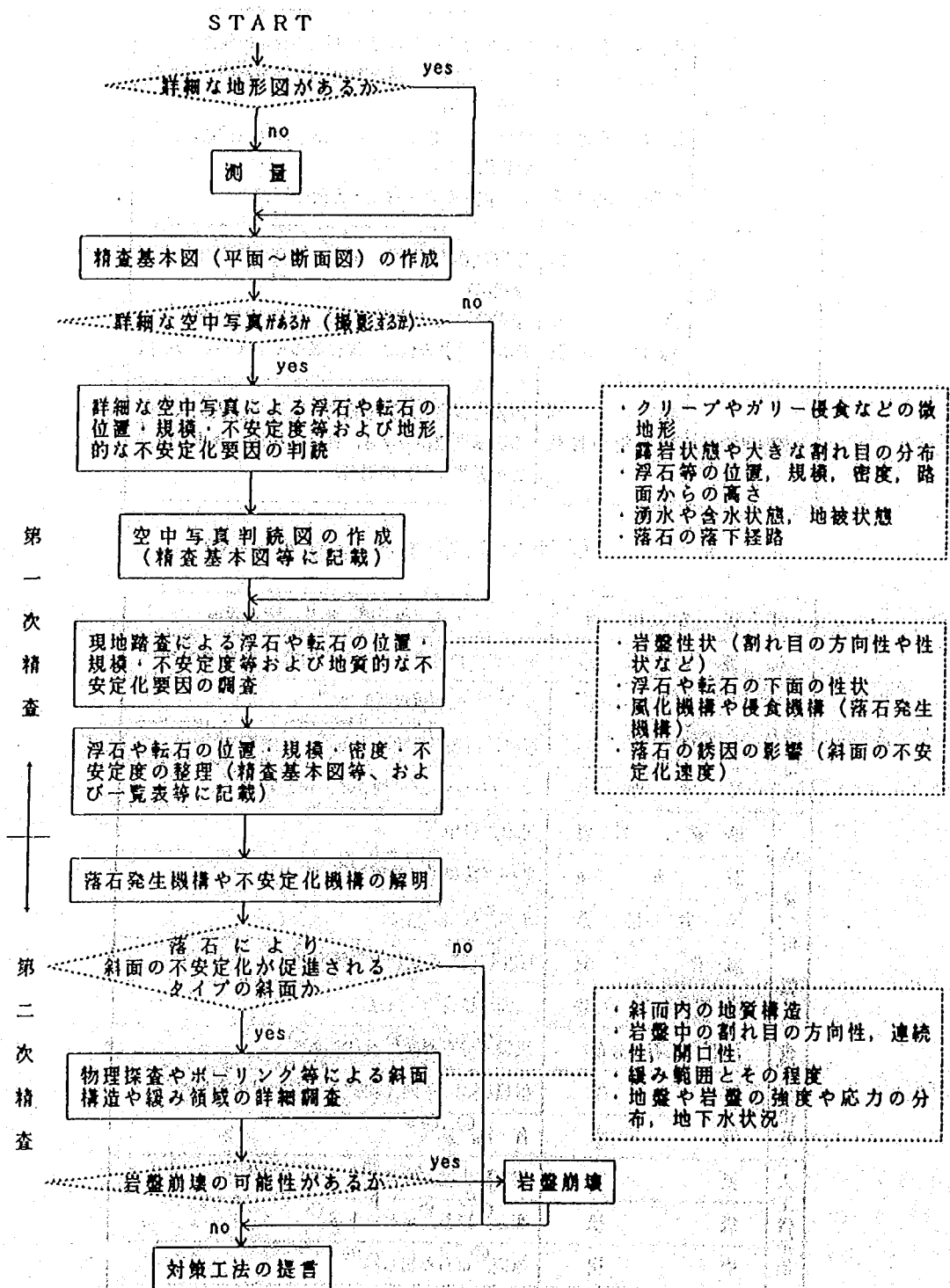


図 - 3 精査のフロー

ムの考察により作られたものではなく、経験的な項目の整理により作られたものであり、あくまでも客観的な落石発生危険度を求めるのみである。

2-2. 精査

概査により精査が必要と判断された斜面について行う。そのフローを図-3に示す。精査の目的は落石の形態・規模・経路、発生機構、対策工の基礎地盤強度等の対策工の計画・設計に直接関わる項目の把握であるので、対象も個々の斜面や浮石・転石となり、非常に高い精度が要求される。使用する図面や空中写真も個々の斜面が対象の大縮尺のものとなる。また調査手法としても斜め写真、熱映像等のリモートセンシング技術やボーリング・サウンディングなどを使用する場合も多い。また地表踏査も観察項目は概査段階と大差はないが、より詳しく行い、個々の浮石・転石の安定性について把握するものである。これらの調査結果と対策工の計画・設計に必要な項目を対比すると表-3のようになる。

2-3. 維持点検調査

前述したように構造物及び斜面の劣化や不安定化を、定期的に調査・比較することにより把握するためのものである。これはいくつかの着目点のチェックを主体とした簡単な現地踏査及び前回調査との比較による劣化進行部の確認とに分けられる。

3. 対策工

以上の結果をもとに対策工の計画・設計を行う。ここでは対策工選定についての基本的な考え方のみ述べる。詳細については落石対策便覧を参照のこと。

図-4に対策工の選定の考え方を示す。まず斜面上の浮石・転石を斜面に固定する予防工について検討し、ついで斜面下部で落石を受けとめる防護工の選定に当たることを原則とする。またより具体的な対策工選定のフローを図-5に示す。

4. 発破の振動が斜面上の転石に与える影響

トンネル掘削時の発破振動の大きさの予測についての考え方の例を以下に示す。火薬の爆発による振動に関し、振動速度振幅・薬量及び振源距離の関係に関し吉川は次式を提案した。

$$v = c \cdot W^{2/3} \cdot d^{-2} \quad \text{----- ①}$$

ここで v ：速度振幅 (m/sec)、 W ：薬量 (kg)、 d ：振源までの距離 (m)、 c ：爆破法や装薬密度、地質により定まる定数でトンネルでは100～1,000位の値となる。振動速度振幅は次式による。

$$v = \sqrt{V^2 + V_{h1}^2 + V_{h2}^2} \quad \text{----- ②}$$

ここに V ：上、下方向速度振幅、 V_{h1} 、 V_{h2} ：互いに直行する水平方向の速度振幅である。

次に発破振動により地盤や壁面に発生する応力に関しては以下の式により求められる。入射する振動波による粒子の変位速度を v (cm/sec)、媒体の縦波伝播速度を V_p (cm/sec)、横波伝播速度を V_s (cm/sec)、密度を ρ ($\text{g/cm}^3 \div 980 \text{cm/sec}^2$) とすると、波動の波面に対し直角方向に生じる垂直応力 σ およびせん断力 τ は近似的に次式で示されるとしている。

$$\sigma = \rho \cdot V_p \cdot v \quad \text{----- ③}$$

$$\tau = \rho \cdot V_s \cdot v \quad \text{----- ④}$$

以上の式を用いることにより、トンネルの発破爆破地点から離れた地盤や壁面に生ずる応力が求められる。

参考文献

- 1) 日本道路協会：落石対策便覧、昭和58年7月
- 2) 鈴木光：岩盤の計測と解析、土木工学社、昭和57年3月、pp.102～107
(急傾斜地崩壊研究室)

調査項目	対策工の計画・設計目的	評価方法
落石予備物質	位置、分布	落石エネルギー、落下経路等の基礎データ
	大きさ	分布図表示
	形状	落下エネルギー算出のため
	岩質(硬度)	落下途中の破砕の程度を知る
	不安定度	対策の優先順位決定のため
斜面形状	凹凸度	落石の跳躍高決定
	植生の状況	落石の落下経路の状況、落石跳躍高決定
	縦横断形状	平坦な落石落下経路の決定
	勾配	落石落下経路と跳躍高決定
	高さ	同上
斜面地質	割れ目の方向性・卓越性	対策工法の選定
	割れ目の密度	同上
	割れ目の開口性	同上
	表層の岩盤硬度	落石の跳躍高決定のため
	岩盤の構成物と強度	アンカー等の定着部を決定するため
斜面下部の地盤強度		地盤支保力決定のため
斜面下部から道路までの間の距離		落石跳躍高の決定

表-3 調査項目と設計に必要な項目の対比

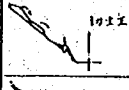
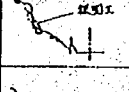
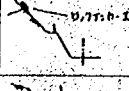
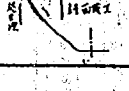
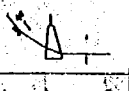
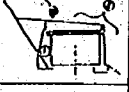
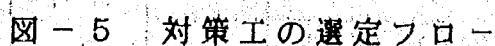
対策の考え方	現場の状況	対策工	工法略図	備考
落石対策工	危険な転石、浮石を限定する事が出来、それを切土または除去する事が可能な箇所	切土工 除去工		
	危険な転石、浮石を限定し、それを斜面上に固定する事が可能な箇所。 (転石、浮石の下部がえぐられている場合)	根固工		
	危険な転石、浮石を限定し、それを斜面上に固定する事が可能な箇所。 (転石、浮石の上部を固定する事により安定すると判断される場合)	ロックボルト工		アンカーの長さは状況に応じて増減する。状況に応じて短いロックボルトを採用する。
	浮石型落石の発生源として場所が限定される箇所。	斜面覆工		コンクリート吹付、コンクリート張付法等により行う。
防犯基準	のり面、斜面上に落ちた小規模落石が心配される箇所。 (防犯網あるいは、防犯網構造物の上部に防止網を設ける余裕がある場合)	防止網工		
	のり面、斜面上に落ちた小規模落石が心配される箇所。 (防犯網あるいは、のり面が防犯側にせまっており、防止網を設ける余裕がない場合)	ポケット式 ロックネット工		
	中・大規模落石が心配される箇所。沢部などのように防犯側に余裕があり、待ち受け設置が出来る場合。	待ち受け 設置工		
	中・大規模落石が心配される箇所。落石発生源、落石の規模、飛びはね高さ等から他の対策が取れない場合。	洞門工		地形的な状況によっては、暫定的に①を施工し、後に②を施工する方法が考えられる。
発生源・防犯対策の組み合わせ	斜面上に無数の転石・転石があり、落石源としての対応が必要な場合など。	上記対策工の組み合わせが必要		

図-4 現場の状況と対策工の選定の考え方



道-8 路面の横断勾配の引き上げ

(質問)

道路構造令における横断勾配の標準値は、1.5%又は2%となっている。しかし、路面にわだちが発生した場合、わだちに水がたまり、速やかに路面排水が行われずに、ハイドロプレーニング現象および歩行者への水はね等が発生している。特に高速道路におけるハイドロプレーニング現象は大事故につながり問題となっている。以上のことから、横断勾配を引き上げることでより排水機能を改善し、このような問題の解決が図られないか御教示願いたい。

(企画部電算情報課)

(回答)

我国における横断勾配の事実上の最大値は2%である。2%を超えると操作にかたよりが感じられ、意識的に自動車のハンドルを修正する必要がでてくる。湿潤路面、凍結路面では横すべりのおそれがあり、乾燥路面でも急ブレーキの際は同様のことが起こり得る。また、我国の2車線道路は屋根型勾配を基本としているため、追越し時に路頂を横切る際に横断勾配が急に変化し（横断勾配2.5%ならば変化は5%）、高速走行している車両、重心の高い車両にとってハンドルをとられ危険である。

米国の基準では、2車線道路の標準は1.5～2%である。しかし、降雨の多い地域では運転上好ましくなくとも2.5%の横断勾配を認めている。片側3車線の場合は最大4%の横断勾配をとることができることとなっている。

独国の基準では、横断勾配の最大値は2.5%である。2車線道路は片側勾配が一般的であり、これは屋根型勾配の欠点である追越し時の横断勾配の急激な変化を嫌ったものである。片側勾配の欠点は流水長が長くなるということであるが、この点は仕方のないものと考えている。

横断勾配と水膜厚の関係は図-1のとおりである。横断勾配の引き上げにより水膜厚は確実に小さくなるといえる。したがってハイドロプレーニング現象が問題となる高速道路、または路面凍結のおそれのない地域の一般道路において、横断勾配の最大値を2.5%まで引き上げることが現在検討中である。

また、排水機能を高めるために横断方向に溝切りを行うこともある。問題となる箇所の排水機能を比較的簡単に向上させることができるが、溝がつぶれてしまったり、段差になってしまう等の問題もある。

(道路研究室)

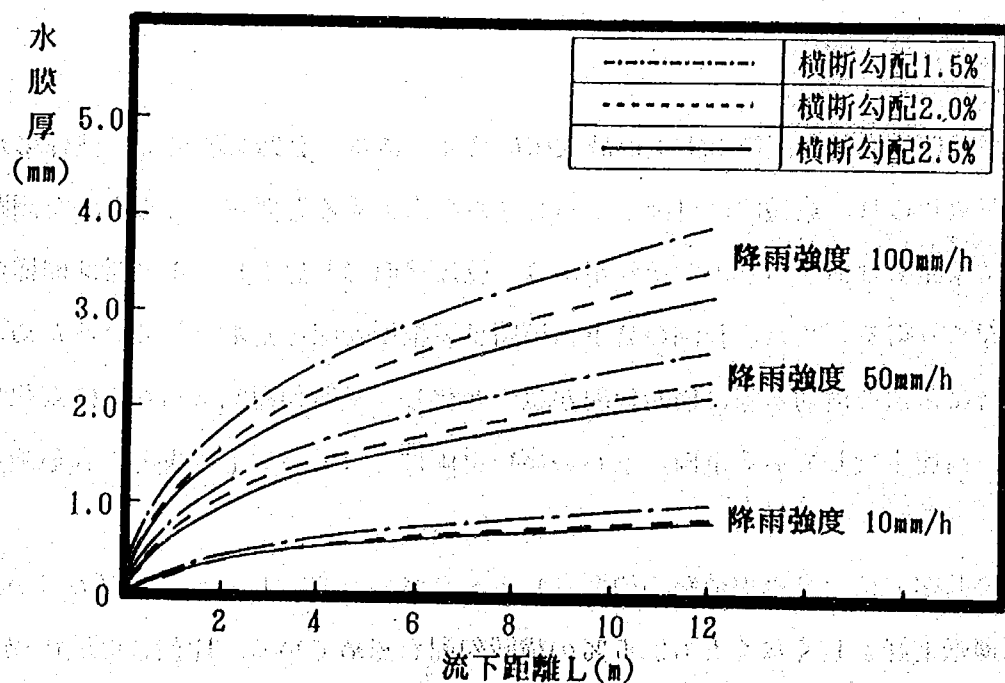


図-1 横断勾配と水膜厚の関係

道-9 高規格道路におけるランプの構造規格のハイグレード化

(質問)

現在の構造令及び道路公団の設計要領に準拠したランプの規格は、現実の走行速度あるいは減速状況と比較した際、あまりにも貧弱であると考えられる。交通安全の観点からの設計速度の水準向上といった幾何構造の見直しについて御教示願いたい。

(企画部電算情報課)

(回答)

一般的に、高速で長時間運転を続けてきたドライバーは速度の感覚が麻痺し、実際の速度を過小評価する傾向にある。Schmidtらの実験によると高速走行の時間が長いほど、ドライバーは自分の速度を低く感じている(表-1参照)。そのため、オーバースピードでランプに進入し、曲がりきれずに発生した事故が多数報告されている。対応策としてランプの設計速度の引き上げも含めてランプの構造規格を見直す必要があるものと考えており、具体的な方策を検討中である。

(道路研究室)

表-1 ドライバーの速度に対する感覚の変化

実験条件	実速度
0→40mph (停止状態から加速)	41.4mph
70mph→40mph (70mphで5秒間走行)	44.5mph
70mph→40mph (70mphで20mi1走行)	50.5mph
70mph→40mph (70mphで40mi1走行)	53.4mph

Schmidtの実験の概要
スピードメーターを隠して、70mphの走行状態から40mphの指定速度に減速するようにドライバーに指示、ドライバーが40mphと感じた実速度を計測した。

(Distination of driver estimation of automobile speed as a function of speed adaptation, Schmidt and Tiffin, Journal of Applied Psychology, 1969)

道-10 一般道路における防音対策

(質問)

道路交通騒音の対策として、消音効果のある舗装材・施工方法の開発状況について現在の方策及び今後の方針についてお伺いしたい。また、一般道における事例があればその結果について紹介願いたい。

(道路部道路管理課)

(回答)

1. 舗装材・施工方法の開発状況の概要

建設省では、排水性舗装の騒音低減効果に着目した調査研究に平成2年度から着手している。各地建は試験施工を行い、騒音低減機能及び舗その持続性に関する調査を実施している。土木研究所では、舗装研究室が配合設計手法に関する研究を担当しており、交通環境研究室では、騒音低減のメカニズムの解明に関する研究を担当している。また、施工方法に関しては、民間舗装施工会社等で検討されている。そこで、これらの研究あるいは検討結果を参考にして、以下のような観点から、排水性舗装に関する開発状況ならびに今後の課題を示した。

(1) 混合物及び舗装としての耐久性

当初は、アスファルトの劣化(混合物のアスファルト分が赤茶けて変質し、甚だしい場合には混合物中の骨材の結合が失われる)・荷重による変形に対する抵抗性の低さ(ひびわれ、流動わだち、摩耗わだちがしやすい)等が懸念されていた(参考文献(1))が、地方建設局が平成2年度に施工した試験施工区間における調査結果等によれば、施工後1年程度経過した時点においては、それらの問題が発生している箇所は見られていない。

(2) 機能の持続性

地建における調査結果からは、空隙率が15%程度以上であれば、排水機能の評価指標

である現場透水係数は施工後1年程度で低下するものの、雨水が舗装の表面に溜まるような現象は見られていない。しかし、騒音低減機能については、施工直後における1～5dB(A)程度の効果が、施工後の時間の経過とともに低下する傾向が見られる。したがって、機能の持続性が最も問題となるのは、騒音低減機能であることがわかった。

ところで、騒音低減効果に影響を与える舗装の配合設計要素としては、空隙率とバインダーが挙げられる。また、空隙率が高いほど騒音低減効果が大きく、その持続性は高い。バインダーは、高粘度樹脂入りあるいはゴム樹脂入りアスファルトを用いたものの方が、ストレートアスファルト+消石灰+植物繊維入りアスファルトよりも騒音低減の持続性が高い。(図-1参照)

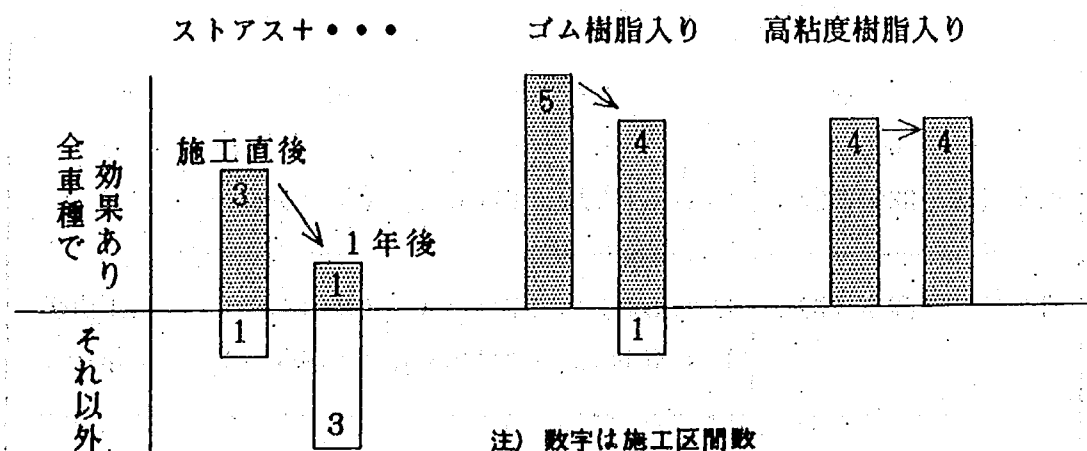


図-1 バインダーの材質による騒音低減効果の持続性

また、報告例としては少ないが、施工直後でも騒音レベルの低減がみられないものもある。騒音レベルの周波数分析結果から、その要因としては、舗装表面から舗装体内に及ぶ空隙が確保されていない可能性が推定される。したがって、転圧のかけすぎ等の施工方法による騒音低減機能に与える影響も無視できないものと思われる。

以上のような結果が現在のところ明らかになっており、今後は舗装の耐久性の追跡調査を行っていくと同時に、機能の持続性のうち特に騒音低減機能の持続性を高める必要があると考えられる。そのためには、排水性舗装の目潰れ・目詰まりの起きにくい排水性舗装の改良が必要になる。具体的には、骨材として利用する碎石の強度の向上及びアスファルトバインダーの改良等が挙げられる。また、配合設計方法及び施工方法の改善も進めてゆく必要があると思われる。

また、土木研究所では、試験走路を用いた走行騒音測定を本年度行っており、排水

性舗装の騒音低減のメカニズムを明らかにする予定である。現在のところ、騒音測定が終了し、データを整理及び分析している途中である。来年度からは排水性舗装の騒音低減効果を高めるための調査研究を行う予定である。

2. 排水性舗装の対策例について

地建の排水性舗装試験施工区間における単独車両のパワーレベル測定調査結果（参考文献（2））を集計したものを表－1に示す。

表－1 排水性舗装を走行する自動車のパワーレベル

舗 装 種 別	パワーレベルの算出式	
通常（57～62年規制）	$L_w = 86 + 0.2V + 10 \lg_{10} (a_1 + 5a_2)$	
排水性（空隙率10%）	$L_w = 85 + 0.2V + 10 \lg_{10} (a_1 + 4a_2)$	施工直後
	$L_w = 87 + 0.2V + 10 \lg_{10} (a_1 + 3a_2)$	1年後
〃（〃 15%）	$L_w = 84 + 0.2V + 10 \lg_{10} (a_1 + 4a_2)$	施工直後
	$L_w = 86 + 0.2V + 10 \lg_{10} (a_1 + 4a_2)$	1年後
〃（〃 20%）	$L_w = 82 + 0.2V + 10 \lg_{10} (a_1 + 5a_2)$	施工直後
	$L_w = 85 + 0.2V + 10 \lg_{10} (a_1 + 4a_2)$	1年後

注）パワーレベル L_w （単位：dB（A））式中の記号の意味を以下に示す。

V ：走行速度（km/h）

a_1 ：小型車混入率

a_2 ：大型車混入率

表－1に示されるように、現行の「道路環境整備マニュアル」にある最新段階の規制に従って設定しているパワーレベルに比べて、排水性舗装におけるパワーレベルは、大型車混入率に掛かる係数または定数項が小さくなっており、全般的に騒音は低くな

っているといえる。

例えば、大型車混入率を30%とすると、表-2に示されるような騒音低減効果が期待できる。

表-2 パワーレベルの低減量の一例（大型車混入率30%）

舗 装 種 別	パワーレベル低減量 (dB(A))	
排水性（空隙率10%）	-1.6	施工直後
	-0.4	1年後
〃（〃 15%）	-2.6	施工直後
	-0.6	1年後
〃（〃 20%）	-4.0	施工直後
	-1.6	1年後

表-2から、騒音低減効果を期待するのであれば、排水性舗装の空隙率は大きい方がよいといえる。ただし、1年後における騒音低減量は施工直後におけるものよりもかなり低下しているので、騒音低減機能の持続性を高めるための調査研究を行ってゆく必要があると考えられる。

（参考文献）

- 1) 安崎, "排水性舗装の騒音低減効果", 道路 1991-6
- 2) 明嵐、宮川、中島, "排水性舗装の自動車騒音低減効果について", 第19回日本道路会議、特定課題論文集, 平成3年10月

（舗装研究室・交通環境研究室）

道-11 舗装設計における路床の評価

(質問)

真砂土は粒度によってCBRがかなり高い値を示すが、繰返し荷重により粒度変化し、強度が低下することが知られている。その場合の舗装設計はどのようにすべきか御教示願いたい。

(福山工事事務所)

(回答)

質問のように、真砂土が繰返し荷重によって強度低下を起こす要因としては土粒子が破碎し、細粒化することによって支持力を失うようである。また、繰返し荷重以外にも含水量が増加することによって過転圧となりCBR値が減少する場合があるのでその点についても注意する必要がある。

このような特性から、真砂土を路床材料として適用するにあたっては、第一に含水量の変動に注意を払う必要がある。不安定な地域については排水施設等の設置を勘案し、できるだけ含水量を一定に保つ工夫が必要である。

また、設計CBRの決定については、繰返し荷重による影響をCBR試験の突固め回数の違いによって捉え、異なる突固め回数の基でCBRがどう変化するかを観察する方法がある。さらに、含水量の影響が懸念される地域については、その現場において変化すると考えられる範囲内で含水比を変動させ、それに応じて突固め回数を変えたCBR試験を行い、その中で最も小さい値を設計CBRとして採用すればよい。

試験方法はある任意の含水比において突固め回数を10、25、40および55回として5層に分けて締固め、4日間水浸させた後、CBR試験を行う。(図-1参照)

突固め回数の増加に連れ、CBRも増加する場合(a)は25回および55回突固め時のCBRの平均値を採用する。またピークが現れる場合(b)は10回突固めとピーク時のCBRを採用する。CBRが減少する場合(c)は、25回突固め時のCBRをこの場合の設計CBRとして採用する。

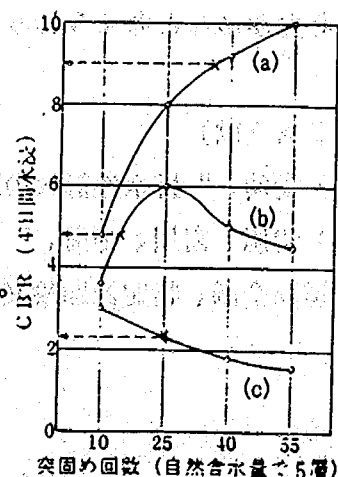


図-1 設計CBRの決定

このような設計CBRの決定法については昭和36年度版のアスファルト舗装要綱に詳しく記述されているので参照されたい。

以上のように真砂土は、外的要因によって常に変化することから未解決な点も多く、その適用にあたっては現場の状況を的確に把握すると同時に慎重な対応が必要とされる

(舗装研究室)

(質問)

地下水の高い地区において道路縦断が制限され、路床部内に地下水位が入らざるを得ない場合、舗装設計はいかにすべきか御教示願いたい。

(福山工事事務所)

(回答)

地下水の高い地区において舗装設計を行う場合、まず第一に考えなければならないのは地下水位を如何に路床下に抑えるかである。質問のように舗装の計画高が制限され、かつ路床内に地下水位があるような場合は、路床下に地下排水施設を設け、地下水位を低下させる方法が有効な手段だと考えられる。

その一般的な構造は図-2に示すように、軟弱路床の改良および排水機能をよくするために、路床の一部(設計上必要な厚さ)を砂に置換え、道路の両側に地下排水溝を設ける。

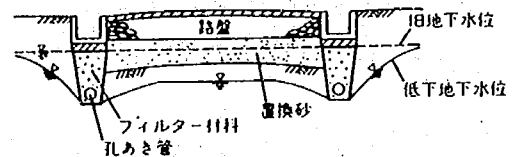


図-2 地下排水施設の構造

地下排水溝の深さは1.0~2.0m程度が標準だが、地形や土質、地下水位等の条件を十分に考慮して決定する。地下排水溝は集水管およびフィルター材によって構成され、集水管にはコンクリートあるいは合成樹脂等で作られた透水管、有孔管が用いられ、その周囲を土砂流入を防ぐと同時に透水性のよいフィルター材料(クラッシュラン、砂)によって保護されている。

次に、排水機能の評価にはキャサデランデらの近似法を用いて以下のとおりを行う。まず、路床内において完全に飽和したと仮定し、その50%が排水されるまでの日数を求める。その日数が通常、10日以内であればよいとされている。

50%排水に要する日数(t_{50})は次式によって与えられる。

$$t_{50} = \frac{n_o \cdot L^2}{172,800 \times \kappa (H + L \cdot \tan \alpha)}$$

ここに、 n_o : 路床の有効間隙率

L : 路床の両側に設けられた排水溝の間隔の1/2(cm)

H : 路床厚(cm)

κ : 路床の透水係数(cm/sec)

α : 路床の傾斜角(度)

このような条件下において地下排水施設の設置は極めて有効な手段であり、地下水の高い地域において広く施工されている。

なお、これら地下排水の詳細については日本道路協会発行の道路土工排水工指針を参照されたい。

(舗装研究室)

道-12 アスファルト舗装における密度管理

(質問)

アスファルト舗装工事における施工後の密度確認は、コアを採取して試験を行っている。近年、非破壊による密度測定の研究が進められていると聞くが、どのような研究がなされているか、国内外における現状と今後の見通しについて御教示願いたい。

(中国技術事務所)

(回答)

アスファルト舗装工事における締固め度の管理にあたっては、コア密度を測定することが一般的であるが、これには測定に手間や時間を要すること、完成した舗装を破壊すること等の問題点が指摘されている。このため、舗装体の密度を非破壊でしかも迅速に測定するための技術に関して、各機関において盛んに研究が行われているところである。

この中で最も研究が進んでいると考えられるのが、放射性同位元素(Radio Isotope)を用いて対象物質の密度を測定するR I密度計である。R I密度計の測定原理は、線源から発せられた放射線(γ 線)と測定対象物質の相互作用を利用しており、 γ 線が対象物質中を通過する際に散乱される度合が、物質の単位体積当りの電子数に比例することから物質の密度を求めている。測定方法には測定対象物質の表面から放射線を散乱させる散乱型と、直径2cm程度の穴に線源棒を挿入して放射線を発する透過型の2種類があり、それぞれ1～4分程度で測定可能である。

R I密度計に関する研究例は多く、発表されている論文数も多い。R I密度計は路床工や転圧コンクリート舗装工においては既に実用化されており、それぞれの試験方法は「舗装試験法便覧」、「転圧コンクリート舗装技術指針(案)」(いずれも(社)日本道路協会発行)に示されている。しかし、アスファルト舗装工においては、研究例は多いものの、測定精度(測定値のばらつき、コア密度との相関)や使用性(キャリブレーション)等が十分でないために、まだ実用化の域には達していない。

わが国においては、R I 密度計の放射線量は法律で $100\mu\text{ci}$ に制限されており、それが測定精度の制約ともなっているが、外国においては高線源のR I 密度計をアスファルト舗装の締固め度管理に用いている例もある。

R I 密度計以外の密度測定方法としては、コンパクションメーター、インピーダンスヘッド落下法等がある。コンパクションメーターとは、振動ローラに装着して転圧と同時に舗装体の密度を測定するもので、地盤反発力の増加により生じる振動加速度の波形の乱れから密度を推定するものである。一方、インピーダンスヘッド落下法とは、インピーダンスヘッド（重錘）を地面に落下衝突させたときの衝撃力と振動速度を計測し、地盤の反発力から密度を推定するものである。これらは、いずれも土工を対象として開発された技術であり、舗装工への適用性の検討はまだ始まったばかりである。

今後の見通しとしては、施工管理の省力化、測定結果の施工へのフィードバック等の観点から、これらの非破壊測定技術の信頼性が確認されるにつれて、導入が進んでいくことが期待される。中でもR I 密度計はこれまでの研究実績の多さや測定原理（他の2方法は地盤反力からの間接的推定）の点から、最も可能性が高いものと考えられる。R I 密度計に関しては、現在、散乱型測定器を応用して走行測定が可能なタイプの計器についても研究が行われており、施工中のリアルタイム管理という点からもその動向が注目されるところである。

参考文献

- 1) 土木研究所舗装研究室：「舗装におけるR I 密度計の活用の現状と課題」
（建設技報、1992. 3）

（舗装研究室）

道-13 道路舗装材としての廃タイヤの有効利用促進とシャープ計画

(質問)

1. 排水性舗装に廃タイヤの粒状化ゴムを混入し使用することにより、従来の排水性舗装が有する機能に路面の氷結抑制機能を付加すると共に、騒音の低減や排水機能の改善を図ることが出来ないか。また、廃タイヤの粒状化ゴムを混入し、歩きやすく、疲れにくい等、歩行性の改善を目指した開発が出来ないか。以上について、土木研究所の見解及び廃タイヤの道路舗装材への利用状況等を合わせて御教示願いたい。
2. シャープ計画の動向及び課題や現状の取りまとめ状況について御教示願いたい。

(中国技術事務所)

(回答)

1. 廃タイヤの粒状化ゴムを表層用アスファルト混合物に混入することにより、舗装体のたわみ性を増し、路面の氷結抑制を行うという技術については既に実用化されてはいるが、その耐久性については未だ問題が残るとというのが現状であると思われる。排水性舗装用混合物は通常のアスファルト混合物と異なり、骨材と骨材を点でつなぐ構造となっているため、これにより大きなたわみ性を持たせることは骨材の飛散につながると思われる。また、排水性舗装の路面には滞水しないのが原則であり、雪による影響も、北陸地建などの事例では、従来の除雪作業で対応できている。排水性舗装の機能の向上については、特に騒音低減の観点からは可能性があるとと思われるが、上記の耐久性の問題があり、この問題を解決した上で検討を行っていかなければならない。

歩道舗装に廃タイヤの粒状化ゴムを利用するという技術は、アスファルト舗装表面に粒状化ゴムによるコーティングを行うという形で既にいくつかの民間企業で実用化されている。ただし、その適用範囲は主にゴルフ場などの限定された箇所であり、利用実績はあまり伸びていないのが現状である。また、粒状化ゴムを舗装体に混入して利用する技術については、歩道では実績がない(大林道路 高橋氏に要相

談)。

2. SHRP計画 (Strategic Highway Research Program、新道路研究計画) は1987年に発足し、今年度がその終了年度に当たる。その研究課題は大きく分けて、

①アスファルト

②コンクリート構造物

③道路の管理

④舗装の長期供用性

の4つである。現在、計画終了に際して各課題別に成果が報告されてきているが、特にアスファルトに関しては、アスファルトバインダ及び混合物の供用性に基づく新しい仕様の提案がなされ、注目を浴びている。

わが国は舗装の長期供用性に関して試験舗装を設置し、その追跡調査を行うという形で協力しているが、この長期供用性については5年間で成果が出るものではないため、FHWA (Federal Highway Administration、連邦道路局) がこれを引き継ぎ、さらに10～15年程度継続して調査が行われる予定となっている。舗装の長期供用性に関しては、現在、SHRP本部において参加各州ならびに各国の調査方法の違いについて調査を行い、これを入力データフォーマットに反映するように検討されているところである。わが国としては、今後も引続き追跡調査を行い、その調査結果をSHRP本部に送付していく予定である。

(舗装研究室)

道-14 暫定供用時におけるトンネル内避難通路の取扱い

(質問)

火災時等にトンネル内の運転者等をトンネル外に避難させるための避難通路は、上下分離トンネルを連絡する方法を取っているのが一般的であると思うが、片側のみの暫定供用を長期間行う場合の避難通路に代わる施設に着いて御教示願いたい。

(福山工事事務所)

(回答)

暫定供用が長期に渡る場合には二期線の位置に避難坑を建設するのが一般的である。その場合、避難坑は永久構造物とは考えられないので、例えば二次覆工を省略することなども行われている。

(トンネル研究室)

(明石事務所)

道-15 大断面トンネルの支保構造の決定手法

(質問)

ランプの加減速車線がトンネル内に入ることにより生じた大断面トンネル（掘削断面150m²程度）の支保構造を決定するにあたっては、どのようなことに注意し、どのような手法により決定したら良いか具体的に御教示願いたい。又、その手法により必要となるデータの具体的な調査も併せて御教示願いたい。

(福山工事事務所)

(回答)

大断面トンネルについては、現在標準支保パターンが定められていないので、各現場毎に支保構造を決定している。設計に当って最も重要な手法は、過去の似たような施工事例を調べ、それと設計条件（地質、断面積等）が似ているなら同じような支保構造にするという実績主義の考え方に基づく手法である。別表に現段階での施工実績表を示す。これらは文献に発表されたものであるが、より詳しい報告書はトンネル研究室にもある。

FEM解析は上記の手法と併用して参考として用いることができる。FEMの解析手法についても一般的に方法は定められていないが、当研究室でもFEMのマニュアル案作成に向けて作業を行っている段階である。（H4で土研資料等にまとめる予定）

(トンネル研究室)

施 工 事 例 — 覧 表 (1/3)

1991年現在

工 事 名 称	工事場所	用途	工 期	掘削断面積 (幅×高さ)	施工延長	主 要 地 質	土 被 り	掘 削 工 法	掘削方式	補 助 工 法	地表沈下量	天端沈下量	内空変位量
1 所領トンネル(5- 工)	神奈川県	道路	1989. 3~1990. 9	Max 150m ² (15×9.5)	5~215m 掘削215m	スラットロ-ム	7m~	NATM 掘削機・トレンチ	機械	ウレタン注入 膨張材・7mパイプ	RJFP部 隆起 15mm 沈下 20mm	RJFP部 27mm	RJFP部 拡大 4.2mm 収縮 5.5mm
2 新都心東野トンネル 工事	神奈川県	道路	1986. 8~1989. 5	約 140m ² (14.5×9)	新築延長800m 掘削298m	足柄層群、古土層	30m~100m	NATM 掘削機 CDI、LPDI	機械・発破	ウレタン注入・7mパイプ 法面地盤改良	—	Max 79mm	拡大Max39.5mm 収縮Max 5.1mm
3 東名改築 馬手山トンネル	神奈川県	道路	1986. 5~1988. 10	約 130m ² (15.8×9)	842m	足柄層群	7m~70m	NATMCDI、掘削 機・トレンチ	掘削機	ウレタン注入 噴吹付け、他	Max 10mm	7~43mm	2.4~29.5mm
4 鹿児島バイパス 武田トンネル	鹿児島県	道路	19 — ~1987.	約 100m ² (12×9)	1506m	1次シス	2m~	掘削機・トレンチ NATM	掘削機・人力	ディーブウェル 薬液注入 他	Max 125mm	— mm	— mm
5 Mount Baker Ridge トンネル工事	アメリカ	道路	—	467m ² (φ24.4)	406m	シルト、粘土	—	掘削機・トレンチ	—	—	— mm	— mm	— mm
6 Gigerachトンネル	オーストリア	道路	1974. ~1976.	Max 175m ² (9.7×15.1)	180m	片岩、石灰岩 、千枚岩	—	NATM	—	—	— mm	— mm	14mm
7 リューゼン市バイ パストンネル	ベルギー	道路	19 — ~19—	155m ² (—×12.6)	1300m	石炭シーム層	—	NATM 頂設導坑先進	機械	グラウト注入	— mm	Max 14mm	— mm
8 アルプス市6車線 高速道路工事	ドイツ	道路	19 — ~19—	150m ² (—×—)	1000m	未固結海成層 (粘土、砂)	5~25m	シールド工法	機械	—	— mm	— mm	— mm
9 Cornish Road トンネル	イギリス	道路	—	120m ² (13.7×9.5)	340m	風化粘板岩	3m~16m	掘削機・トレンチ	掘削機	斜ロックボルト	— mm	— mm	— mm
10 Ramat トンネル	イタリア	道路	1992年現在	70~100 m ² (12.4×9.6)	約500m	含水堆積層 (粘土質)	2m~	—	掘削機・人力	膨張材・トレンチ グラウト注入	— mm	— mm	— mm
11 Mannheim City バイパストンネル	西ドイツ	道路	—	90m ² (22.7×9.8)	184m	砂、シルト、粘土	—	NATM	掘削機	凍結工法	— mm	— mm	— mm
12 Mauth トンネル	オーストリア	道路	1970. ~1972.	約80m ² (9.78×6.58)	208m	硬砂岩と千枚 岩の互層	—	NATM	—	—	— mm	— mm	— mm
13 Klamm トンネル	オーストリア	道路	1971. ~1974.	約80m ² (10.6×7)	1600m	—	—	—	—	PSアンカー	— mm	— mm	— mm
14 Klammsteintal トンネル	オーストリア	道路	1958. ~1959.	約75m ² (10.0×6.65)	103m	(堅い岩盤)	—	—	—	—	— mm	— mm	— mm
15 東海高速線 習志野台トンネル	千葉県	鉄道	—	約80~160m ² (—×—)	2630m	成田砂層	5m~12m	NATM CDI、CRDI	掘削機	薬液注入工法 パイプルーフ他	CDI 77~84mm CRDI 26~30mm	— mm	— mm

工 事 名 称	工事場所	用途	工 期	掘削断面積 (幅×高さ)	施工延長	主 要 地 質	土 質	掘 削 工 法	掘削方式	補 助 工 法	地表沈下量	天端沈下量	内空変位量
16 成田空港第8工区	千葉県	鉄道	1979. 7~1981. 3	136m ² (14×11)	216m	成田下部層	3m~7m	パイロットNATM工	掘削	水平水抜き工 ミニパイプ 他	40~50mm	16mm	5~8mm
17 京葉線心線東京地下駅工事	東京都	鉄道	-	約130m ² (11×13)	72.7m	-	-	23パイロットNATM	-	垂直掘地ボルト 薬液注入工 他	-mm	-mm	-mm
18 福知山線第一武田尾トンネル	兵庫県	鉄道	-	130m ² (19×10.2)	120m	凝結砂層	20m~100m	特殊掘削機 ATM	-	パイプルーフ他	-mm	-mm	-mm
19 成田空港第9工区	千葉県	鉄道	-	122m ² (13×11)	155m	成田下部層	7m~8m	特殊掘削機 NATM	掘削	薬液注入 ミニパイプ 他	5mm	32mm	-mm
20 福岡市地下鉄1号延伸工事	福岡県	鉄道	1987. ~1988.	Max 120m ² (8×16)	570m	凝結砂層、砂層	12m 以下	NATM シャフトベンチ	掘削	フォアパイプ、 注入 他	18~43mm	4~16mm	2.5~19.4mm
21 北総線栗山トンネル	千葉県	鉄道	-	Max 100m ² (12.4×8.9)	1820m	成田砂層	10m 以下	NATMシャフトベンチ CD工、パイロット工	-	掘削機、フォアパイプ ディーゼル 他	-mm	-mm	-mm
22 京王帝都相模原線由木平トンネル	東京都	鉄道	1985.11~1986. 7	約90m ² (-×-)	543m	固結シルト層	10m~30m	23パイロットベンチ	掘削	フォアパイプ パイプルーフ他	-mm	Max 10mm	Max 10mm
23 北神トンネル(布引工区)	兵庫県	鉄道	1981.12~1985.	72~56m ² (8.5×7.2)	353m	未固結洪積層	-	NATMシャフトベンチ	掘削	ミニパイプ パイロット工 他	-mm	-mm	-mm
24 北総線大橋トンネル	千葉県	鉄道	1986. 3~1988. 1	72m ² (10×8.6)	155m	関東ローム層 常総粘土層	3m~6m	NATM パイロット工、CD工	-	掘削機 掘削機 他	-mm	-mm	-mm
25 ベネチア駅工事	イタリア	鉄道	-	約500m ² (28.2×20)	216m	砂層(シルト、砂、砂礫)	3.9m~	特殊掘削機 NATM	掘削	大口径パイプ 事前薬液注入	5mm以下	-mm	-mm
26 香港アイランドライオン駅部工事	香港	鉄道	19 - ~19 -	306m ² (24×14)	251m	花崗岩	13~85m	NATMベンチ	発破	PSアンカー グラウト工	-mm	-mm	-mm
27 英仏海峡トンネル	イギリス	鉄道	19 - ~1990. 8	240m ² (21×15)	164m	良好な石灰岩	36m	パイロットNATM	掘削	-	-mm	-mm	-mm
28 ワシントンDC地下鉄工事	アメリカ	鉄道	1983. ~19 -	Max 160m ² (17×11.6)	210m	凝結砂層	-	NATM	-	-	-mm	-mm	-mm
29 Rengershausenトンネル工事	西ドイツ	鉄道	-	120~150m ² (-×-)	1597m	砂岩、粘土	~500m	パイロットNATM	-	ロビンソン工法	-mm	-mm	-mm
30 ローマ・フィレンツェ高速鉄道工事	イタリア	鉄道	1985. 9~19 -	110m ² (-×-)	44000m (トンネル)	片岩、固結粘土他、変化大	平均30m	NATMベンチ	掘削	パイロット、RJP、PS7 他、PS7 他	-mm	-mm	-mm

施 工 事 例 — 覧 表 (3/3)

1991年調査

	工 事 名 称	工事場所	用途	工 期	掘削断面積 (幅×高さ)	施工延長	主 要 地 質	土被り	掘 削 工 法	掘削方式	補 助 工 法	地表沈下量	天端沈下量	内空変位量
31	Gossensass トンネル工事	イリ オーストリア	鉄道	-	100㎡ (-×-)	7200m	-	-	鉄道NATM	-	-	- mm	- mm	- mm
32	Campanoso トンネル工事	イリ オーストリア	鉄道	-	約 100㎡ (-×-)	6500m	石灰岩、頁岩	-	鉄道NATM	-	-	- mm	- mm	- mm
33	ボン市地下鉄工事	西ドイツ	鉄道	19 - ~19 -	-㎡ (-×-)	150m×2 550m	緩くてもろい 砂利層	-	鉄道NATM	-	フォアパイル	- mm	- mm	- mm
34	椎子川分水路 開水工区工事	神奈川県	水路	-	111㎡ (12.6×10.5)	532m	砂土層、砂利層	18m~40m	3重シャフト工法	機械	ディーブウェル 薬液注入工 他	4.7 mm	- mm	- mm
35	国分川分水路下流 トンネル工事(402)	千葉県	水路	1989.10~1990.9	63㎡ (8.8×8.4)	337m	成田砂層	21m程度	NATMシャフト工法	機械	AB7+7パイプ ファイバース 他	平均 8 mm	平均 3 mm	平均 1 mm
36	喜撰山発電所	京都府	発電	1967.3~19 -	1272㎡ (-×-)	60.4m	-	~250m	鉄道NATM	-	-	- mm	- mm	- mm
37	蛇尾川排水発電所 新設工事	栃木県	発電	1987.9~1994.6	1150㎡ (28.0×51.0)	165m	流紋岩	200m程度	NATMベンチット	機械	PSアンカー	- mm	- mm	- mm
38	石油地下貯蔵 基盤地盤改良工事	愛媛県	実掘削	1988.1~	約 600㎡ (20.5×30.0)	230~448m ×7本	花崗岩	100m程度	NATMベンチット	発破	なし	- mm	- mm	- mm
39	久慈地下石油貯蔵 岩盤タンク等工事	岩手県	実掘削	1987.1~1992.3	336㎡ (18×22)	540m×10m	花崗岩	200m程度	NATMベンチット	発破	なし	- mm	- mm	- mm
40	草木野地下石油貯蔵 基盤地盤改良工事	鹿児島県	-	-	336㎡ (18×22)	555m×10m	安山岩、礫岩	約 240m	NATMベンチット	発破	なし	- mm	- mm	- mm
41	ランプスバーク 地下駐車場工事	西ドイツ	実掘削	1986.6~1990.7	250㎡ (18×16)	182m	泥灰土、粘土	-	シャフトNATM	機械	7mパイプ	学校部80mm	- mm	- mm
42	須賀ベトコンクリート 基礎工事	兵庫県	実掘削	19 - ~1989.3	197㎡ (17×13.5)	89m	砂岩(砂岩層)	60m~	2重シャフトNATM	発破	水平ボーリング 削り出し 他	- mm	- mm	- mm

道-16 トンネル内分合流部における路肩幅員

(質問)

トンネル内に分合流部を設ける場合において、ノーズからテーパー端間のランプ路肩幅員について、トンネル内本線部路肩幅員を適用すべきか、ランプの路肩幅員を適用すべきか設計・施工事例を含めて御教示願いたい。

又、合わせて、トンネル坑口付近に交差点を設置する場合の交通安全対策について、設計・施工事例を含め御教示願いたい。

(福山工事事務所)

(回答)

トンネル内分合流についてはまだ一般的に設計法はない。設計法も分合流が坑口に近いか否かで異なると考えられる。本件と似たような事例は、概略計画段階であるが、建設省相武国道工事で行っている八王子J.Cの例がある。八王子J.Cではトンネル内路肩は0.75mで、トンネル外ではすりつけ区間においてランプ規格の路肩(右1m、左2.5m)としている。ただし、これは概略設計であるので、今後詳細設計段階ではトンネル坑口付近の渋滞対策も考えて、トンネル幅員の通用、すりつけの位置などの検討が必要となろう。また、それ以外にもトンネル内入口照明のあり方等について特別の検討が必要であるが、これについては事例と併せて「トンネル内分合流検討調査報告書 昭和62年3月 国土開発技術研究センター／建設省相武国道工事事務所」を参照されたい。

トンネル坑口付近に交差点がある場合にはトンネル内に標識を設置して注意を喚起する例がある(例 石川県道路建設課九十九(つくも)湾トンネル)。標識の設置手法も特別の注意が必要でこれについても同上の報告書を参照されたい。

(トンネル研究室)

道-17 トンネルの土被り厚さ

(質問)

トンネルの上部において開発行為(土砂採取)がなされており将来跡地は住宅団地としても利用される予定がある。この為、トンネル上部において土被りが2.0m程度しか確保することが出来ないが、その対応について御教示願いたい。

(山口工事事務所)

(回答)

土被り厚が小さい場合、トンネル施工時に地表面に構造物があるか否か、また地山の強度特性、地下水の状況等により設計・施工法は異なる。トンネル施工時に、地表面に構造物がなく地山分類はB又はC級で地下水の流出がなければ、本件の場合では一般的の設計を行い施工時の状況により必要な対策を探るやり方で良いと考えられる。将来の開発行為による上載荷重の増大については、その大きさにより対策の要否を判断する必要がある。

(トンネル研究室)

道-18 トンネル近接施工

(質問)

既設トンネルに近接して、切土を計画しているが、既設トンネルに変状が生じることが予定される。既設トンネル（未供用の鉄道トンネル）に対する事前の対策工法及び変状に対する補修工法等を御教示願いたい。

(回答)

(鳥取工事事務所)

トンネルの上載荷重を除去する場合、一般的には図1のようにトンネルは上方向へ変位し上下方向に引張られるように変形するのが一般的である。トンネル研究室で開削工事のリバウンド（地盤の浮き上がり）も含めて似た施工事例を集めて表にしたのが表1である。これによるリバウンド量とカット量は図2のような関係である。そこで用いられた計算手法を表2に示す。しかし、トンネル保護の設計についてはFEM等の計算で求める適節な手法はまだ確立されていない。本件での対策工としてはトンネル例ではトンネル周辺の裏込め注入、変位の計測、地盤薬液注入、切土側ではなるべく均等に土荷重が減るようにカットする方法が考えられる。

(トンネル研究室)

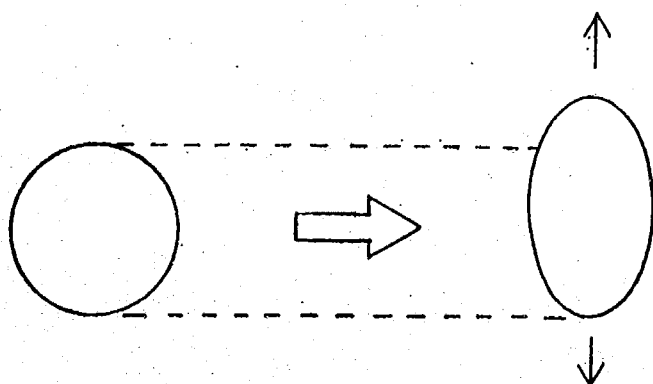


図1 トンネルの変形

表1-1 根切り等によるリバウンドについての文献調査 計測編(1)

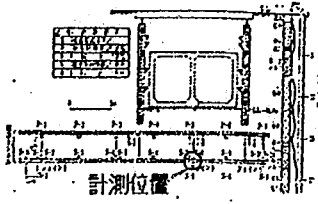
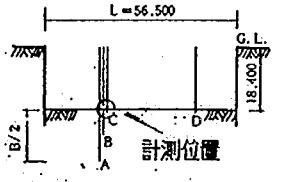
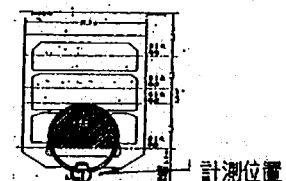
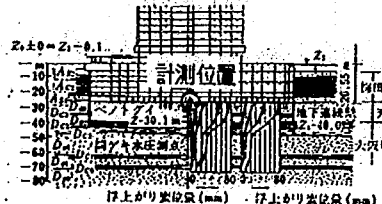
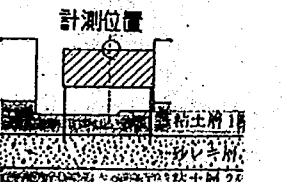
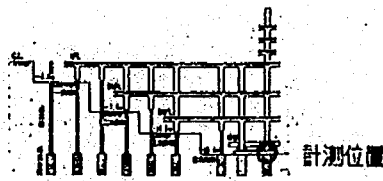
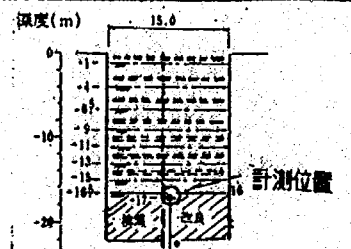
N O.	タ イ ト ル	トンネルの有無	カット量 (m)	掘削 による 除荷量 (tf/m ²)	リバウンド の実測値 (mm)	計 測 位 置	地 質 概 要	土 の 性 質						備 考	文 献 名
								γ t/m ²	C kg/cm ²	ϕ °	qu kg/cm ²	N値	E kg/cm ²		
①	既設トンネル直上での地下鉄 開削工事 (既設トンネルの挙動)	有り、外径3.7m 当初土被り14.7m カット後土被り3.0m 浮き上がり量8.6mm	11.7	28.74			土被り部分 砂質シルト層 トンネル部分 砂層 トンネル下部	1.8				30 30 50	200 200	トンネルの回りは凍液注入工 使用、ディーブウ工使用	土と基礎、28-6(269)
②	深い根切り工事に伴う地盤の リバウンドについて (地盤のリバウンド)	無し	18.43	32.87	22.8		根切り底以上 砂層 根切り底以下 砂、礫層	1.9	0:1	20	0.3		500 850	ベタ基礎の高層ホテル(地上 17階地下3階)、 ディーブウ工使用	東急建設技術研究所報、NO.9
③	地下駅改築工事例 (既設トンネルの挙動)	有り、外径7.80m 当初土被り12.5m カット後土被り0.0m 浮き上がり量31.0mm	19.8	38.8			土被り部分 砂礫層 トンネル下部 粘土 砂、砂礫					30 50	200 400	近鉄難波線、ディーブウ工 使用	大阪地盤、土質工学会、p268~ 280 基礎工、1979年、8月号、p57~ 58
④	逆打工法における浮上りの実 測例 (逆打工法のリバウンド)	無し	26.75	45.6	78.8		根切り底以上 粘土層 根切り底以下 砂礫、粘土互層							基礎杭はベント杭使用、 G.L-68m 以深の地盤でも浮上 がりが生じている。	大阪地盤、土質工学会、p268~ 280
⑤	地下鉄オープン掘削における 実測例 (既設トンネルの挙動)	有り、地下鉄 当初土被り2.4m カット後土被り0.0m 浮き上がり量32.0mm	22.8	48.7			根切り底以上 砂層 根切り底以下 洪積粘土層 洪積砂層	2.02 1.57 1.99					1100 823 1750	既設地下鉄の下に新線を建設 した時に生じた変形の測定。 既設地下鉄はH鋼により砂礫 に支持される。	大阪地盤、土質工学会、p268~ 280
⑥	大規模構造物のリバウンド・ セツトに関する観測施工例 (逆打工法のリバウンド)	無し	15.4	25.4	49.8		根切り底以上 洪積粘土層 根切り底以下 洪積砂層 洪積粘土層	1.65 1.75					3800 1000		土と基礎、37-11(382)
⑦	軟弱地盤の開削工事における リバウンド計測 (軟弱地盤のリバウンド)	無し	16.5	24.8	56.3		根切り底以上 沖積細砂層 根切り底以下 沖積粘土層	2.8			12			溝水渠建設工事。G.L-11.5m ~22.5mまで生石灰杭による 地盤改良。G.L-40mからリバ ウンド測定を行っている。	鉄高組技報、NO.18

表1-2 根切り等によるリバウンドについての文献調査 計測編(2)

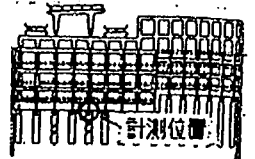
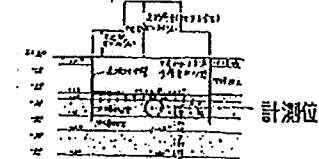
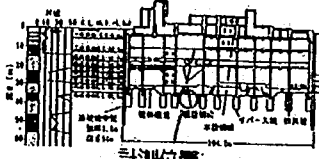
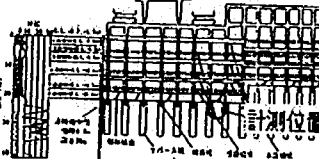
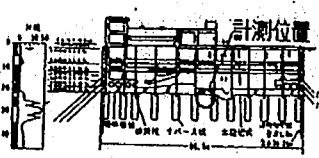
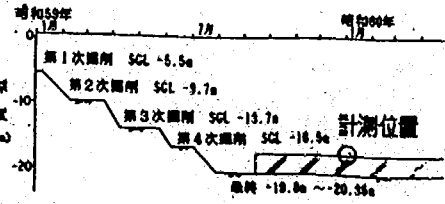
No.	タイトル	トンネルの有無	カット量 (m)	掘削による 除荷量 (t/m ²)	リバウンド の実測値 (mm)	計測位置	地質概要	土の性質						備考	文献名
								γ t/m ²	C kg/cm ²	ϕ °	qu kg/cm ²	N値	E kg/cm ²		
㊦	大規模掘削による地盤のリバウンド (逆打工法のリバウンド)	無し	21.6	35.4	87.0		根切り底以上 沖積シルト層 根切り底以下 洪積礫層	1.65 1.90	5.0 0.0	0 30		5 50		基礎杭はリバース杭使用	第17回土質工学研究発表会、 231
㊦	根切りに伴う地盤のリバウンドについて (逆打工法のリバウンド)	無し	23.0	17.0	45.0		根切り底以上 沖積粘土層 根切り底以下 洪積砂礫、粘土						170	建物荷重34.0t/m ² 、掘削除荷 重17.0t/m ² 、層別沈下計設置	第17回土質工学研究発表会、 232
㊦	土留め掘削低部地盤における リバウンドの力学挙動解析 (逆打工法のリバウンド)	無し	33.2	60.6	35.0		根切り底以上 洪積砂層 洪積粘土層 根切り底以下 洪積砂層 洪積粘土層					50 20 50 20		ディープウェル工法、基礎杭は リバース杭を使用し、建物は 地上二階建てである。	土木学会論文集、第418号 Ⅲ-13
㊦	b、海老江ポンプ場	無し	21.6	35.4	71.0		根切り底以上 沖積粘土層 根切り底以下 洪積砂礫層	1.65 1.90	5.0 0.0	0 30	1.2 2.0	5 50			
㊦	c、千島ポンプ場	無し	20.8	35.6	53.0		根切り底以上 軟弱沖積粘土層 根切り底以下 洪積粘土層	1.80 1.80			1.0 2.0	0 15			
㊦	宅地造成工事に伴う既設トン ネルの挙動 (既設トンネルの挙動)	有り、外径10.03m 当初土被り31.0m カット後土被り0.0m インバート部レベル 増加値26mm	31.5	56.7			泥岩							トンネルの内空変位は、鉛直 方向増加値7mm、水平方向 減少値6mm。	(仮称)長浦宅地造成工事に伴う 既設の京浜急行長第2トンネル 変状計測 計測結果報告書 (株)勤労者財形宅センター 戸田建設・東急建設共同企業体
㊦	根切りに伴うリバウンド及び 再圧縮量について (建物接合時の地盤のリバ ウンド)	無し	約20.0	34.9	13.5		根切り底以上 砂層 根切り底以下 砂層(5m) 粘土層(8m)					40 40 15		同一建物を一期二期の二つに 分割して施工した場合、二期 目の掘削除荷量が一期目の根 切り地盤に与える影響につい ての計測。	第23回土質工学研究発表会、 467

表1-3 根切り等によるリバウンドについての文献調査 計測編(3)

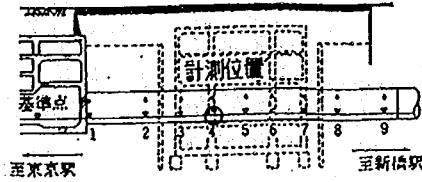
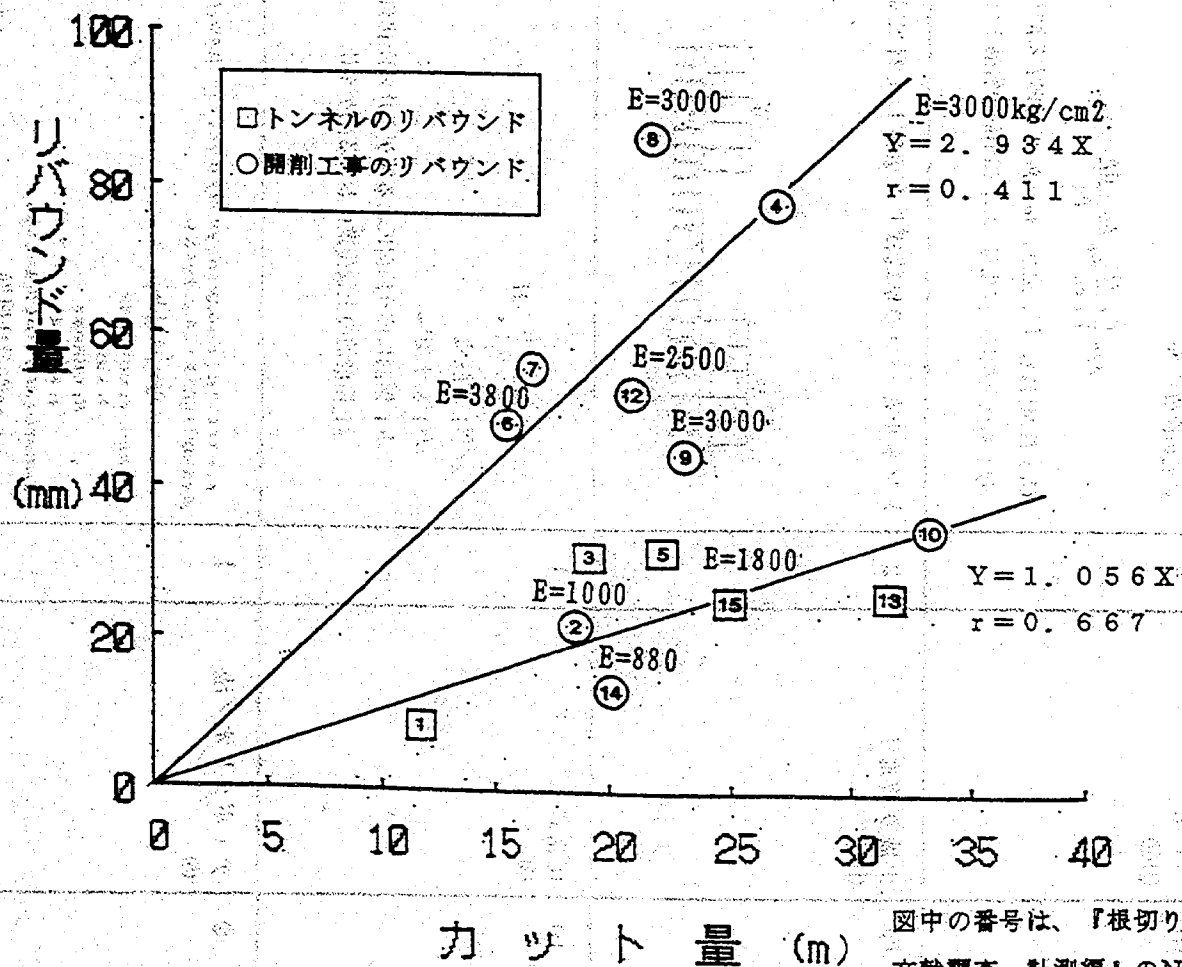
N O.	タ イ ト ル	トンネルの有無	カット量 (m)	掘 削 による 除荷重 (tf/m ²)	リバウンド量 (mm)	計 測 位 置	地 質 概 要	土 の 性 質						備 考	文 献 名
								γ t t/m ²	C kg/cm ²	ϕ °	qu kg/cm ²	N値	E kg/cm ²		
⑤	横須賀線シールド仮設工	有り、外径7.06m 当初土被り18.69m カット後土被り0.0m 浮き上がり量 計25.0mm 掘削13.4mm 棄注11.6mm	24.95	42.8			土被り部分 沖積砂層 トンネル部分 洪積粘土層				改良前 5.6 改良後 7.4	50	改良前 900 改良後 1800	京葉線東京駅ディープウェル工 法により地下水をTP-28.0m (仮受盤-3 m)まで下げて施 工。棄注範囲はシールド上部 1.0m、下部3.0mである。 変形防止工等採用。	東工技法特集号、1998年 トンネルと地下、第21巻1号

図2 カット量とリバウンド量の関係



図中の番号は、『根切り等によるリバウンドについての文献調査 計測編』のNO. に対応している。

表 2-1 根切り等によるリバウンドについての文献調査 (計算方法) (1)

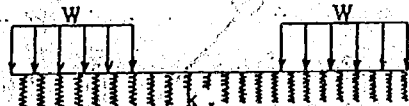
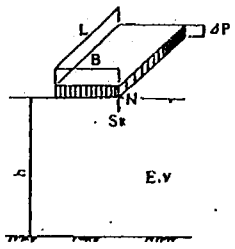
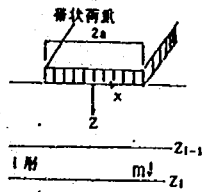
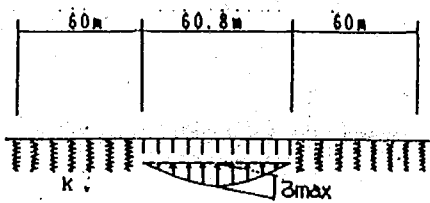
NO	方法名、文献番号	件数	概 要
①	FEM ②⑥⑧⑨⑩	5	
②	CS 法 ④⑧	2	地盤の変位量 δ_r $\delta_r = \frac{C_r \cdot H}{1 + e_m} \log \frac{p_m + \Delta p}{p_m}$ C_r: 膨脹指数, H: 層厚, e_m: p_m に対応する間ゲキ比, Δp: 有効上載圧の変化量, p_m: 掘削前の有効上載圧,
③	土被り荷重法 ①⑩	2	トンネルを一つの単純ばりと仮定して計算を行う。 
④	圧密式 ③	1	$\Delta H = \frac{\Delta e}{1 + e} \cdot H$ ΔH: 膨脹量 H: 粘土層厚 Δe: 掘削に伴う除荷による間ゲキ比の変化量 e: 掘削前の上載荷重における間ゲキ比
⑤	チェボタリオフ法 ⑥	1	チェボタリオフによれば密着荷重が圧縮面の厚さ H であるような地盤に載った場合、地盤の弾性変形による低下量 S は次式で求められる。 $S = 2.0 \frac{q}{E} \log \left(1 + \frac{1.154 H}{b} \right) \quad \dots\dots (7.2)$ ただし、E: 地盤の弾性係数 b: 基礎幅 H: 圧縮面の厚さ q: 均等密着荷重 圧縮面が基礎底面から H_1 から H_2 まである場合は、 $S = 2.0 \frac{q}{E} \log \left(\frac{1 + 1.154 H_2}{1 + 1.154 H_1} \right) \quad \dots\dots (7.3)$ となる。式 (7.3) を用い掘削底面以下の各層の厚上りを求め、それらを加算すれば掘削底面の総厚上り量となる。ただしこの計算は掘削幅の中央での厚上り量である。

表2-2 根切り等によるリバウンドについての文献調査(計算方法)(2)

NO	方法名、文献番号	件数	概 要
⑥	層別鉛直方向変形量法 ⑥	1	変形量 ρ $\rho = H * \Delta \sigma' / E$ H: 各土層厚さ、$\Delta \sigma'$: 有効応力の変化、 E: 各土層の弾性定数 全層の浮き上がり量 S $S = \sum \rho$
⑦	スタインブレナー式 (弾性式) ⑦	1	$S_A = \frac{dPv(1-\nu^2)B}{E} \left(K_{01} + \frac{1-2\nu}{1-\nu} K_{02} \right)$ $K_{01} = \frac{1}{\pi} \left(m \log \frac{(1+\sqrt{m^2+1})/\sqrt{m^2+n^2}}{(1+\sqrt{m^2+n^2}+1)} \right)$ $+ \log \frac{(m+\sqrt{m^2+1})(1+n^2)}{m+\sqrt{m^2+n^2}+1}$ ここに、 dPv: 減少荷重 E: 地盤のヤング率 ν: ポアソン比 (砂0.3, 粘土0.45) B×L: 長方形荷重短辺, 長辺長 h: 地盤厚 
⑧	スゲンブトン・ ピエラム法 (圧密式) ⑧	1	$S_A = \int_0^z m v dU dz$ dU: 前項(1), (2)式 $\left(\frac{d\sigma_v}{d\sigma_h} \right) = \frac{dPv}{\pi} \left(\tan^{-1} \frac{x+z}{z} - \tan^{-1} \frac{x-z}{z} \right)$ $\pm \frac{2xz(x^2-z^2-4z^2)}{(x^2+z^2-2z^2)^2+4z^2z^2}$ 
⑩	地盤変位からの解析 ⑩	1	解析モデル 

中国地建における一日
土研資料

土木研究所資料第 3145 号
平成 4 年 11 月 (1992)

企画部 企画課

キーワード：一日土研

要 旨

中国地方建設局管内の現場技術者からの技術的問題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3145号
(平成4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