

ISSN 1386-5878

土木研究所資料第3875号

土 木 研 究 所 資 料

東北地方整備局における一日土研資料

平成15年 2 月

独 立 行 政 法 人 土 木 研 究 所
国土交通省国土技術政策総合研究所

Copyright © (2003) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

建設省は、平成13年1月6日付けで国土交通省に再編

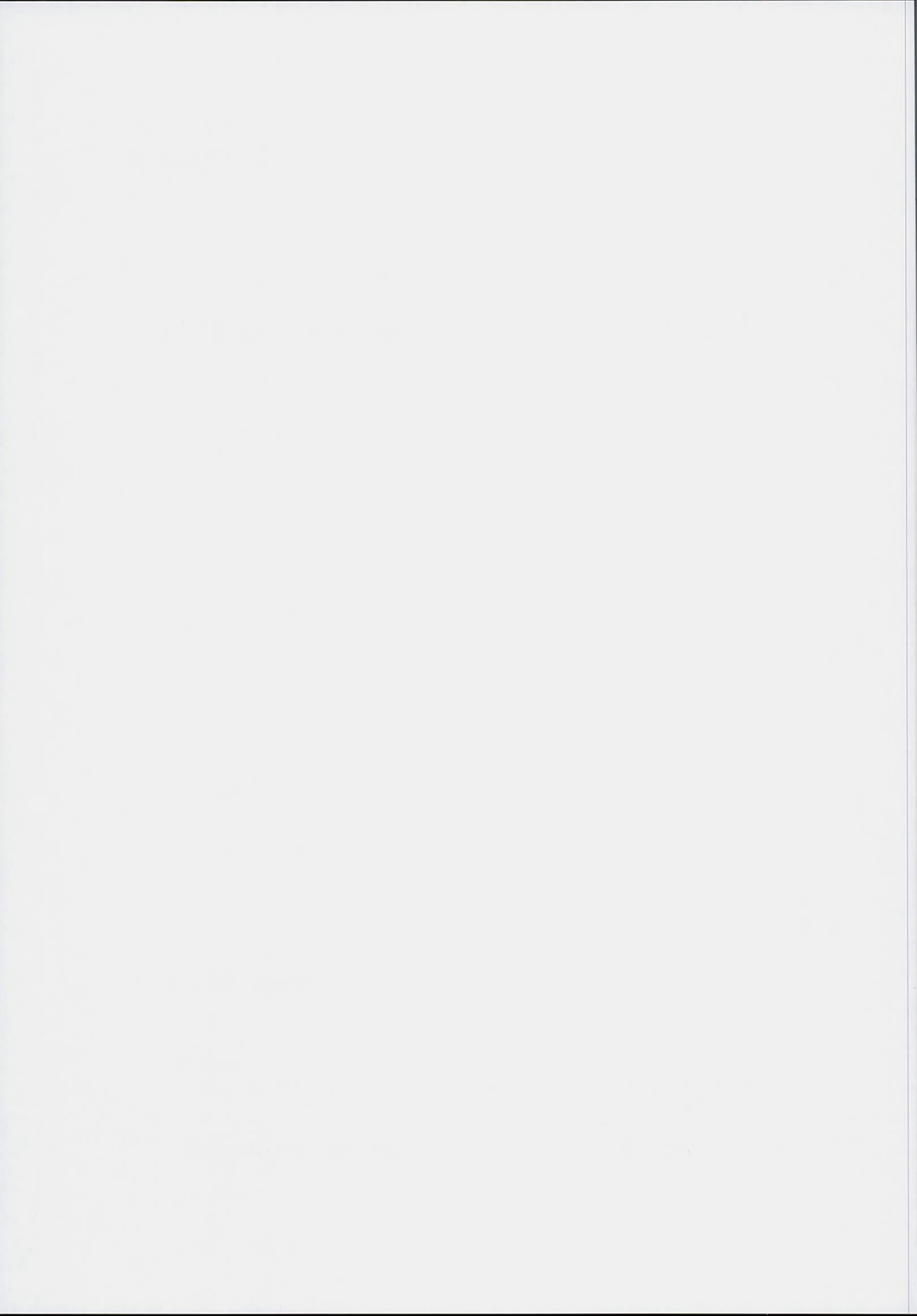
東北地方整備局における一日土研資料

企画部 研究企画課

要 旨

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

キーワード：東北地方整備局，一日土研，河川・ダム・道路・材料・施工・構造・橋梁



目 次

1. 河川・ダム部門

1.1 岩河床における低水路粗度係数の設定	東北地方整備局 河川部 河川計画課	国土技術政策総合研究所 …… 1 河川研究部 河川研究室
1.2 木製材料を用いた河川工作物の耐久性と使用区分について	東北地方整備局 青森工事事務所 工務第一課	国土技術政策総合研究所 …… 3 河川研究部 河川研究室
1.3 低水路が蛇行した複断面河道における適切な流量観測手法	東北地方整備局 河川部 河川計画課	土木研究所 …… 6 水工研究グループ 水理水文
1.4 ダム事業の費用対効果分析における「河川の正常な機能の維持による効果」の評価手法	東北地方整備局 鳴瀬川総合開発調査事務所 調査設計課	国土技術政策総合研究所 …… 8 河川研究部 ダム研究室
1.5 ダムの洪水調節	宮城県 仙台地方ダム総合事務所	国土技術政策総合研究所 …… 10 河川研究部 ダム研究室
1.6 ロックフィルダムにおけるロック材料以外のオーバーサイズ材料のロック材料への利用	東北地方整備局 胆沢ダム工事事務所	土木研究所 …… 12 水工研究グループ ダム構造物
1.7 ロックフィルダム堤体内に設置する二次締切堤築造材料の留意点	東北地方整備局 胆沢ダム工事事務所	土木研究所 …… 14 水工研究グループ ダム構造物
1.8 ロックフィルダムのロック敷きの基礎地盤の物性の評価手法	東北地方整備局 胆沢ダム工事事務所	土木研究所 …… 17 水工研究グループ ダム構造物
1.9 残存型枠を使用する場合の構造計算について	福島県 県北建設事務所	国土技術政策総合研究所 …… 21 危機管理技術研究センター 砂防研究室
1.10 急傾斜地における沢部の降雨等による表層崩壊の対策工について	日本道路公団 東北支社八戸管理事務所	国土技術政策総合研究所 …… 22 危機管理技術研究センター 砂防研究室

2. 道路部門

2.1 道路のコンクリート吹付のり面の点検方法	日本道路公団 東北支社福島管理事務所	土木研究所 …… 23 材料地盤研究グループ 土質
2.2 積雪寒冷地における重交通交差点の舗装	東北地方整備局 秋田工事事務所	土木研究所 …… 24 基礎道路技術研究グループ 舗装
2.3 排水性舗装の補修	東北地方整備局 能代工事事務所 大館国道出張所	土木研究所 …… 26 基礎道路技術研究グループ 舗装
2.4 排水性舗装の飛散度合いの計測方法	東北地方整備局 山形工事事務所 山形国道維持出張所	土木研究所 …… 29 基礎道路技術研究グループ 舗装
2.5 複合床版（サンドイッチ構造合成床版）における舗装合材の選定	東北地方整備局 郡山国道工事事務所 安積出張所	土木研究所 …… 30 基礎道路技術研究グループ 舗装
2.6 排水性舗装の耐久性に関する中間層（又は基層）に使用するAs合材の選定について	東北地方整備局 郡山国道工事事務所 安積出張所	土木研究所 …… 31 基礎道路技術研究グループ 舗装
2.7 アスファルト混合物の耐久性試験方法	東北地方整備局 東北技術事務所 調査試験課	土木研究所 …… 33 基礎道路技術研究グループ 舗装

3. 材料・施工部門

3.1 水槽構造物のひび割れ対策について	福島県 土木部下水道課	土木研究所 36 技術推進本部 構造物マネジメント技術 土木研究所 38 技術推進本部 構造物マネジメント技術 土木研究所 40 技術推進本部 構造物マネジメント技術 土木研究所 42 材料地盤研究グループ 土質
3.2 夏期におけるコンクリート養生の際の温度管理	東北地方整備局 山形工事事務所 山形国道維持出張所	
3.3 コンクリート二次製品の品質確認	東北地方整備局 東北技術事務所 調査試験課	
3.4 ボックスカルバートのスターラップの配筋方法	福島県 あぶくま高原 自動車道建設事務所	

4. 構造・橋梁部門

4.1 コンクリート橋の塩害に対する考え方について	東北地方整備局 道路部 道路工事課	土木研究所 43 技術推進本部 構造物マネジメント技術 土木研究所 44 耐震研究グループ 耐震 土木研究所 46 耐震研究グループ 耐震
4.2 橋梁の耐震設計における慣性力の考え方	東北地方整備局 道路部 道路工事課	
4.3 曲線橋の上部構造の慣性力の作用位置	福島県 あぶくま高原 自動車道建設事務所	

1. 1 岩河床における低水路粗度係数の設定

質問者：河川部河川計画課

回答者：河川研究部河川研究室(内線 3525)

質問

流下能力の検討の際、岩河床区間（河床のほぼ全面に岩が露出）や岩露出区間（ところどころに露出していて、砂礫に覆われている部分もその厚さが小さく、出水時には露出していると考えられる）では、既往洪水の観測水位と最もよく一致するように求めた、逆算粗度係数を用いている。そのような区間の粗度係数の範囲、粗度係数に変化する要因とともに、粗度係数の設定に関わる注意点についてご教示願いたい。

回答

河床が砂や礫で構成されている区間では、洪水時に水深や川幅、河床に作用するせん断力の大きさ、河床材料の粒径などに応じて、河床波と呼ばれる様々な形態を有する河床面の凹凸が形成され、それによって粗度係数も変化します¹⁾。それに対し、河床が主に岩で構成されている場合(以下、岩河床と呼ぶ)では、岩質、風化、流水、礫の衝突などが関わる侵食、溪岸から崩落したと思われる巨礫などで凹凸が形成されています。この凹凸形状は、一出水程度の短い期間ではほとんど変化がなく、長期間をかけて徐々に変化する場合が多いので、流下能力の検討においては、洪水時の水理量に無関係に一定である(固定床である)として取り扱うのが一般的です。

そのような取り扱いをして求めた岩河床の逆算粗度係数は、非常に広い範囲に値が分布しています。例えば、荒川(関東)の砂・泥岩の露出区間(54～59km)で 0.025～0.030²⁾、最上川(大淀地区：96～102km 区間)の岩露出区間で 0.049³⁾という結果が得られています。さらに米国では 0.050～0.079 となった事例があります⁴⁾。河床の凹凸の程度などが河川ごとに異なるため、標準的な値や範囲はないと考えられます。

ただし、固定床水路の粗度特性に関する一般的な知見に基づくと、以下のような注意事項があげられます。まず、粗度係数の最低値ですが、ガラスやモルタルで平滑に仕上げた水路の粗度係数は 0.02 以下となることが知られています⁵⁾。岩河床ではこれらより凹凸が大きいでしょうから、0.02 以上の値となるはずですが、また、凹凸の高さが大きいほど粗度係数が大きくなると思われますが、それだけでなく凹凸の高さと水深（もしくはフルード数： $Fr=U/(gH)^{0.5}$ 、 U は平均流速、 g は重力加速度、 H は平均水深）によっても変化します。特に山地狭隘部などの急流区間では凹凸と同程度の水深(または Fr が 1 に近い値)になり、水面が波立ちそして崩れることを繰り返すというように、非常に大きな乱れに伴う流れになります。そのような乱れの生成・消散に費やされる分だけエネルギーの損失が大きくなるため、粗度係数は比較的大きな値になります。上記のような損失を含まない小水深での粗度係数(対数則による¹⁾)が 0.05 程度ですので、おそらくこれ以上の値になると推察されます。

以上は、河床面の凹凸が流れにどのような影響を与えるかという観点からですが、そのほかに水位計算に用いるモデル(一般的には、樹木などの粗度と横断方向の流速の大小に応じて生じる抵抗をモデル化した準二次元解析法¹⁾)に関する注意事項があります。

例えば、河道の急拡・急縮や湾曲部に形成される死水域の範囲は、モデルから直接求められず、あらかじめ推定しなければなりません。また、計算水位と比較する左右岸の痕跡水位には、河道湾曲部では外岸側が内岸側より高くなる傾向があります。これは流向を曲げるのに必要な力が水位差として現れたものですが、これも別途に推定しなければなりません(なお、堤防、低水路とも蛇行しており、低水路の湾曲部外岸が堤防の湾曲内岸側に近づく場合には、堤防内岸側の痕跡水位の方が高くなる場合もある)。これらの推定法については参考文献 1)にも示されていますが、特に F_r 数が大きい流れに適用するには、さらなる工夫が必要です。この工夫が適切でないと、痕跡水位と計算水位を一致させるために粗度係数を調節した結果として、上記した目安を逸脱した値が求められる場合があります。

以上の例のように山間部のような急勾配区間では、現在使用しているモデルでは不十分な場合もあるので、既往の実験結果などを参考にしてより適切なモデルを用いたり、モデルの適用性が劣る区間を除外するなどして、逆算粗度係数を求めることが必要です。

河床波のような複雑な現象がない分、岩河床は簡単であるように思われますが、特に山間部の急流河川になると、流れ自体が複雑になりそれについての知見が必ずしも十分でないため、粗度係数の設定が困難になっています。そのような場合、持てる知見を総動員してもなお、不確かさが残るのはやむを得ません。粗度係数の設定結果だけでなく、水位計算モデルの内容、粗度係数設定における割り切り、仮定などといった、今後の更なる改良を行う際に不可欠な資料・データを必ず併せてまとめて下さい。特に流量や痕跡水位といった逆算粗度係数の算出に不可欠なデータの観測態勢に改善が必要であると考えられた場合には、早急に改める必要があります。そして、既往最大を更新する出水があった場合には、必ず調査を実施し、上記資料を参考にして逆算粗度係数の見直しを行って下さい。以上を繰り返すことでより妥当な粗度係数の設定がようやく可能となります。今回設定する粗度係数は上記のような性質のものであり、確定値ではないとお考えいただく方がよいでしょう。

参考文献

- 1) (財) 国土技術研究センター編：河道計画検討の手引き, 山海堂, 189p., 2002.
- 2) 山本晃一：沖積河川学, 山海堂, pp. 354~355, 1997.
- 3) 宇多高明・高橋晃・伊藤克雄：最上川大淀地区の河道計画に関する検討 [I], 土木研究所資料, 第 3326 号, 1995.
- 4) Roughness Characteristics of Natural Channels : Harry Barnes, USGS Water-Supply Paper, 1849, 231p., 1987.
- 5) 土木学会水理公式集小委員会編：水理公式集 [平成 11 年度版], 土木学会, p. 89, 1999.

1.2 木製材料を用いた河川工作物の耐久性と使用区分について

質問者：青森工事事務所

回答者：国土技術政策総合研究所 河川研究部河川研究室（内線3523）

質 問

木製材料を、護岸などの河川工作物に使用する場合は耐用年数と、水位変動により湿潤と乾燥を繰り返すような箇所を使用する場合の対策の取り方については、明確な判断がつきにくい状況にある。

木製材料の強度や耐久性、使用箇所等の規格、基準等、判断材料となるものがあればご教示願いたい。

回 答

木製材料はコンクリートや鉄などの材料と異なり、河床変動に伴って撓むために土砂の吸い出しの防止に対応できるほか、比重が小さいため施工性に優れるなどの特徴を持つ。また、特にわが国においては現地材の入手も比較的容易である。

その反面、木製材料は強度、屈撓性、腐りやすさが樹種によって異なるため、その性質をよく把握した上で使用箇所や使用環境を決定する必要がある、従って使用にあたっての明確な規格や基準は存在しない。よって、使用にあたっての判断材料となる事項を以下に述べる。

近年多自然型川づくりに河川伝統工法を用いるケースが増加しており、木製材料を河川工作物に使用するのほとんどがこのようなケースと考えられることから、ここでは多自然型川づくりに河川伝統工法を用いる場合について述べる。

1. 強度

木製材料を河川伝統工法に用いる場合に必要とされる強度は、使用される部位、工法によって異なる。使用される部位としては、杭・丸太として使用される場合と粗朶等として使用される場合に大別できる。

最も強度が必要とされるのは聖牛に使われる丸太や法杵工に使われる杭で、聖牛の場合末口9～18cmの杉または松丸太を、法杵工の場合太さ7.5～18cmの杉または松丸太をそれぞれ部材によって使い分けている。木工沈床の場合は、常時水面下にあることを原則とした上で末口12cmの松または杉丸太を法格材として使用する。柵工の杭木としては、粗朶柵工で末口9cm、連柴柵工で末口9～12cmの松丸太を使用する。これらの柵工は将来的にヤナギによる護岸の形成を期待していることから杭木の耐用年数は2～6年程度を見込めば十分であるため、やや細めの松丸太を使用しているものと思われる。柳枝工・栗石粗朶工の場合は、柵粗朶を編み込む支柱として径4cm内外の広葉樹（カエデ、ナラ、エゴ等）の小杭を用いればよく、粗朶沈床についても元口4cm内外のナラ、カエデ、クリ等の小杭を用いることとされている。

一方粗朶の場合は、最も代表的なヤナギ粗朶は元口6mm程度のものを使うこととされており、その他の工法においてもカエデ、サクラ、ツバキ、ナラ、ウシコロシ、クロモジ、エゴ、クヌギ等の広葉樹の樹梢を用いる¹⁾。 樹種による木製材料の強度（表－1）²⁾を

比較してみると、杭木として用いられるスギの強度がやや落ちるものの、杭木としてよく用いられる松についてはヒメコマツ、カラマツ、クロマツ、アカマツの順に強度が大きくなっている。

広葉樹の大きな特徴はしなる点にあり、河床変動に追随する粗朶沈床等に適している。マツ等の針葉樹も広葉樹と同様の強度を有するが、しなりが少なく折れてしまうため粗朶等には適さない。

	曲げ強さ(kgf/cm ²)	せん断強さ(kgf/cm ²)
スギ	650	60
ヒノキ	750	75
ヒメコマツ	700	80
カラマツ	800	80
アカマツ	900	95
クロマツ	850	90
クリ	800	80
イタヤカエデ	950	120

表－1 樹種による木製材料の強度（平均値）

2. 耐朽性

木製材料の劣化は菌類によるものであり、その発育には水分と空気が必要である。菌の発育は含水率（水分を除いた木材の重量に対する木材中の水分量）が100%前後で最大となり、150%を超えると空気量の不足のために微弱となる²⁾。従って木製材料の耐久性を考えた場合、乾湿が繰り返す場合の木製材料の劣化が一番激しく、常時水面下にある場合の木製材料の劣化は微弱であると言える。同様のことが、「川づくり技術資料³⁾」においても『水中の杭だけで見ると、水面下ほど腐朽は遅く、水面上の杭は腐朽が早い。また、水中の木の方が腐朽菌類の影響を受ける森林の木よりも腐朽速度が遅い』と記述されている。

木製材料そのものの耐朽性を比較すると表－2²⁾のようになる。ただし、これは杭を半分地中に埋め込んで野外に放置して調べた結果である。また、木製材料の樹種毎の性質について調べてみると、特にアカマツとカラマツについてはそれぞれ「水中にある場合は保存性大」、「水中で耐朽性大」²⁾と記述されている。

耐朽性	樹種
大 (6～7年)	ヒノキ、スギ、カラマツ、クリ
中 (4～5年)	アカマツ、ヒメコマツ、クロマツ
小 (2～3年)	イタヤカエデ

表－2 木材（心材）の耐朽性

3. その他

(1) 間伐材の活用

森林過密化防止のための手入れの際に産出される間伐材の利用促進を図るため、平成13年に「公共工事における間伐材の利用促進」の通知がなされた。間伐材はスギ、ヒノキが主体であり、直径は数cmから20cmであることから、上記のような河川伝統工法を実施する場合に有効活用を図ることが可能である。

(2) 地域材の活用

河川伝統工法は全国各地で古くから行われてきたものであり、使用する樹種やその構造についてはできるだけその地域で培われてきたものを活用するようにしたい。また、地域材を有効に活用することによってその地域の産業の活性化につなげることも可能となる。特に水に対する耐久性の大きいマツについては輸入材が大半を占めるため、上述した強度や耐朽性を考慮した上でスギ等の地域材の使用の促進にも努められたい。

参考文献

- 1) 各工法に用いられる部材の樹種・寸法については、財団法人リバーフロント整備センター、2002.10：多自然型川づくり 河岸を守る工法ガイドブック による
- 2) 林業試験場監修：木材工業ハンドブック、1989、丸善
- 3) 建設省北陸地方建設局：伝統河川工法による川づくり技術資料、2000.

1.3 低水路が蛇行した複断面河道における適切な流量観測手法

質問者:河川部河川計画課

回答者:土木研究所水工研究グループ水理水文チーム

質 問

高水時等の流量観測には、浮子による観測手法が多用されているが、低水路と高水敷の流れが混合するような箇所では、浮子の集中などにより観測精度が低下し、流出計算結果と乖離を生じる一因になっていると思われる。低水路蛇行等の著しい複断面河道における適切な流量観測手法について、これまでに提案されてきた観測手法とその適用性についてご教示願いたい。

回 答

観測手法について述べる前に、まず、流量観測地点の選定の重要性を強調しておきたい。可能ならば、流量観測所の設置位置の見直しを行うことが望ましい。浮子測法は、一定距離の浮子の流下時間を計測する原理上、その区間の断面形状や流路・粗度条件等が大きく変化しない直線的な河道での実施が理想である。その条件を満足できない場合は、浮子流下区間の断面変化や複雑な流れ構造により、測線・区分断面毎の浮子の正常流下が困難となり精度低下の要因になる可能性がある。水位流量関係曲線の同定段階において流れ構造の変化の非定常性が大きく現れる可能性もあり、「低水路蛇行等の著しい」複断面河道において高水流量観測を実施するのは、本来は不適切というべきであろう。当該地点における流量観測が不可避の場合、観測区間前後の低水路の直線化が理想的とも言える。

しかし、河道の改変が困難であり、やむを得ず質問にあるような悪条件下での流量観測を継続せざるを得ない場合も多いと推定されるので、そのような場合に考え得る観測手法を考えてみる。

我が国の洪水流の幅広い水理条件下で簡便に適用できる浮子測法は、現時点でも最も実用性の高い洪水流量観測手法であり、悪条件下においてもいかに誤差を最小化するか、現場への適用手法の最適化を検討する必要がある。流れの構造が短い区間で変化する状況であれば、まず浮子の計測区間を可能な限り短くとり、断面変化や流れの変更の影響を最小化することを検討すべきであろう。計測区間のうち、投下した浮子の吃水が安定するために必要な距離(助走区間)については、吃水の安定を早期に図るための専用の浮子投下施設を設置することで短縮する方策が考えられる。また、第1、第2見通し区間距離については、流下時間計測の誤差を考えると最大流速(m/s)の最低10秒程度相当以上の距離が必要とされる¹⁾が、さらに短い流下距離を設定する代償として、投下する浮子を増やすことで計測時間の誤差を最小化する方策も考えられる。レーザー測距もしくはビデオ撮影画像からの評定作業を応用した個々の浮子航跡の追尾を行った事例(例えばPIV法:Particle Image Velocimetry)もあり、これらの手法を用いる余裕があれば、さらに浮子計測区間を絞り込んで微分的に浮子流下速度を計測することも可能である。これらの工夫の組み合わせにより、浮子測法の適用可能性を高めることは十分可能と考えられる。

上記の方策の現場への適用に限界がある場合や、その精度改善効果が明確でない場合には、他の独立した補助的な観測手法と組み合わせることで、観測データの比較・照査作業を通じた精度改善を図っていく方策を検討する必要があるとこよう。この場合、非接触型流速計を活用することが考えられる。

非接触型流速計は、電波または超音波を橋梁等から水面へ向けて斜めに照射し、流れる水面からの反射・散乱波のドップラー成分を計測することにより水面の表面流速を計測するドップラータイプと、水面のビデオ画像を河岸や橋梁から撮影し、水面上の波紋等の移動速度ベクトルから水面の表面流速分布を計測する画像処理タイプ(PIV法、オプティカルフロー法)に大別できる。ドップラータイプの場合、必要な測線上にセンサをそれぞれ設置する必要があり、橋梁等の横断施設が必要である。画像処理タイプの場合は、川幅が広すぎなければ片岸もしくは両岸からのビデオ撮影で十分であるが、悪天候時の制約が残されている。ここに例示した4種の手法については、土木研究所と民間との共同研究(平成11~13年度)において、魚野川や利根川をフィールドとして表面流

速から断面平均流速を推定する手法や風による吹送流の影響を除去する手法等の開発を実施した²⁾。浮子測法を補完するシステムとしてはほぼ実用レベルに到達したと考えられ、平成 15 年度から全国数カ所での実証試験運用も開始される予定である。無人で連続的な流量観測資料が得られ、浮子測法の補完手法として有効な手法である。

但し、非接触型流速計による流量自動観測システムも、本来は流量以外の水理条件（流速プロファイル）が安定していることが必要であり、そうでない場合は、浮子測法や他の独立した信頼できる計測値を用いて、表面流速値を断面平均流速値に変換する係数の検証等を、初期設置時のみならず随時実施することが不可欠となる。

上記に触れた手法以外では、実務的に適用することには現状で難があるものの個別の詳細調査・研究目的に有効と期待される開発途上の計測手法として、ADCP（超音波ドップラー流速プロファイラー）もしくは水圧式水深流速計による流量観測手法を挙げることができる。

ADCP は、超音波ビームを水中斜め下の複数方向に発射し、それぞれの方向毎のドップラー成分を計測することにより3次元流速場を評価するものであり、無人のラジコンボートに搭載する手法により、洪水流量観測への多くの適用研究が行われてきた^{3),4)}。流木が多い激しい洪水流況条件では適用が困難であるが、RC ボートの制御が可能な条件においては、一部不感領域が生じるものの断面内の流速分布全体を把握できる極めて有効な手法であり、今後の観測技術の発展が期待される。

水圧式水深流速計は、プロペラ等の可動部をなくして流水抵抗を低減し、直接洪水流中にセンサを投入することによって、ピトー管の原理により流速分布を計測するシステムである。洪水流速が極めて大きい場合、センサを投入できる深さに限界が生じるが、洪水流中の流速分布（流速とその測定位置）を直接計測できる数少ないセンサである。

参考文献

- 1) 国土交通省河川局監修、独立行政法人土木研究所編著：平成 14 年度版水文観測、（社）全日本建設技術協会、2002 年。
- 2) 独立行政法人土木研究所：共同研究「非接触型流速計測法の開発研究」報告書（印刷中）、2002 年。
- 3) 木下良作：河川下流部における洪水流量観測手法に関する一提案、水文・水資源学会誌、vol. 11, No. 5, pp. 460-471, 1998 年。
- 4) 建設省土木研究所河川部水文研究室：超音波ドップラー流速プロファイラーの河川流量観測への応用に関する研究報告書、土木研究所資料第 3719 号、89p., 2000 年。

1. 4 ダム事業の費用対効果分析における「河川の正常な機能の維持による効果」の評価手法

質問者：鳴瀬川総合開発調査事務所

回答者：河川研究部ダム研究室（内線 3 5 4 5）

質 問

ダムの治水効果については、治水経済調査により被害軽減額を便益として数値化し、利水効果についても妥当投資額などにより数値化できる。

「河川の正常な機能の維持による効果」については、どのような評価手法があるのか、ご教示願いたい。

回 答

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

河川事業の経済的評価手法は、治水経済調査要綱(案)(1970 年)、利水経済調査要綱(案)(1980 年)が策定されているが、河川の正常な機能の維持を含む河川環境については特に定められていない¹⁾。

河川環境の評価手法については、代表的なものに以下の 4 つが挙げられる。いずれの手法とも課題を有しており、決定的なものとはいえないため、様々な方面で研究が行われている段階である。

ダム事業の費用対効果分析においては、このような評価手法を参考にしつつ、住民・関係者からの合意形成に十分留意して評価を実施する必要がある。

1) 代替法(直接支出法)

事業効果の評価を評価対象社会資本と同様な効果を有する他の市場財で、代替して供給した場合に必要とされる費用によって評価する。考え方が単純で、直感的に理解しやすいが、評価対象に相当する私的財が代替財として存在しないと評価できない、という問題点がある²⁾。河川環境ではないが、治水経済調査要綱(案)はこの手法を採用している。

2) 仮想評価法 (CVM)

アンケート等を用いて評価対象財に対する支払意思額 (WTP、Willingness to pay) を住民に尋ねることで、対象とする財などの価値を金額で評価する。対象となる財の範囲が広く、既存のデータによる制約が少ないのが特徴であるが、アンケート設計、調査手法等を適切に行わないと各種のバイアスが発生し、調査結果の信頼性が低下するという課題がある。バイアスとしては、回答者が自分に有利な回答を行う戦略的バイアス、調査者の意向に合うように回答しようとする追従バイアス等がある²⁾。また、調査範囲の設定によっては、評価額に大きな開きが生じるが、適切な影響範囲を設定するのは極めて困難とされる³⁾。

3) トラベルコスト法

対象となる非市場財(環境資源等)を訪れる際、訪問のための交通費、往復・滞在の時間価値等の旅行費用を求めることによって、その施設によってもたらされる便益を評価する。訪問の対象となる項目の便益は計測可能であるが、訪問・滞在の時間価値、複数目的の処理が困難である等の課題がある³⁾。

4) ヘドニック法

投資の便益が全て土地に帰着するというキャピタリゼーション仮説に基づき、住宅価格や地価データから、地価関数を推定し、事業実施に伴う地価上昇を推計することにより、便益を計測する。客観的データを用いること、地価データが比較的豊富であることから優位な手法であるが、事業内容によっては適用できない事例が存在すること、地価関数型によって結果が大きく変動すること等の課題がある⁴⁾。

なお、環境便益の各計測手法で共通する欠点は、算定された数値が検証できないことである³⁾。そのため、算出された数値の信頼性の検証を行うには、理論に則った調査手法をとった上で、調査結果が前提条件をクリアするかどうか、すなわち経済理論上の内部的合理性を有するかどうか重要なポイントとなる。

参考文献

-
- ¹⁾ 竹林征三、安田吾郎：河川経済調査手法の体系化の現状と今後の課題、水文・水資源学会誌、第8巻(第1号)、pp19-34、1995
 - ²⁾ 栗山浩一、公共事業と環境の価値-CVMガイドブック-、築地書館、pp11-18、1997
 - ³⁾ 竹内憲司：環境評価の政策利用、勁草書房、pp11-14,80-89、1999
 - ⁴⁾ 肥田野登：環境と社会資本の経済評価-ヘドニック・アプローチの理論と実際、勁草書房、pp3-12、1997

1.5 ダムの洪水調節

質問者：宮城県仙台地方ダム総合事務所

回答者：河川研究部ダム研究室（内線 3 5 4 5）

質 問

近年、地球温暖化やエルニーニョ現象によって地球規模で異常気象が発生しているように思われる。宮城県でも平成 14 年 7 月 10 日から 11 日の梅雨前線・台風 6 号豪雨災害が発生した。

最近の降雨傾向についてご教示願いたい。また、その上で、このような状況下で基本的なダム操作規則の見直し等に今後つながっていくのか、ご教示願いたい。

回 答

日本の異常多雨・異常少雨については気象庁によると最近 20～30 年間で、少雨と多雨の開きが大きくなっており、異常少雨が増加する傾向が見られるとされている¹⁾。地球温暖化に関しては、政府間で地球温暖化問題の対策を検討するため国連環境計画と世界気象機関が 1988 年に共同で設立した気候変動に関する政府間パネル（IPCC）²⁾が 2001 年にとりまとめた第 3 次報告書では地球全体の平均地上気温の変化等をいくつかのモデルによるシナリオを用いて予測している。しかしながらその分解能は 250km 程度と粗く、ダムの洪水調節を議論するために必要なレベルで降雨傾向が明らかになっているとはいえない。

そのため、国総研では本年度より気象庁など関係機関と共同で地球温暖化による気候シナリオについて研究を始めたところであり、この気候シナリオ明らかになった降雨傾向を受けてダムの操作についても今後検討していくこととしている。

一方、地球規模の降雨傾向とは別に、下流の河川改修の進捗、既存ストックの有効利用という観点から、ダムの操作規則・細則を見直していく必要がある。平成 13 年 8 月 30 日付け河川局長通達でも、管理ダムを発展のめざましい情報通信技術等を活用しながら、より安全に、効率的に、しかも社会情勢の変化に応じて管理・運用していくことが重要とされ、洪水調節操作の前提としている計画規模を超過する洪水の発生等を鑑みて、ダム洪水調節操作の総点検を行うこととされている。このため国総研(土研)では、洪水実績、ダム管理統計資料から操作規則等を見直す方法についての研究を従来から実施しており、ダム貯水池における洪水波形の特性を検討し、洪水開始前操作やただし書き操作の問題点の抽出を行っている³⁾⁴⁾。

なお国総研では現在、総合科学技術会議の「環境分野」推進戦略中の地球規模水循環変動研究イニシアティブの下で戦略的ダム貯水池運用手法について新規予算要求しているところである。現在の貯水池運用は降水量の予測ができないことを前提に、洪水期間中は貯水池の計画規模の大洪水が生起することを想定して制限水位以下に貯水位を低下させているが、ここでは精度の高い降水量・流入予測手法を検討することにより、既存施設の機能を最大限に活用した戦略的な貯水池運用を目指すものである。

参考文献

- 1) 国土交通省土地・水資源局水資源部：平成 13 年度日本の水資源、pp57-59、2001
- 2) IPCC: Climate Change 2001:The Scientific Basis, Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, 2001
- 3) 箱石憲昭：洪水調節ダムの管理の現状と課題＜直轄・公団管理ダムアンケート調査結果＞、ダム技術、No.156、pp12-18、1999
- 4) 国土技術政策総合研究所ダム研究室：貯水池の効率的運用のための洪水処理操作に関する調査、国土技術政策総合研究所年報(平成 13 年度)、2002(発行予定)

1.6 ロックフィルダムにおけるロック材料以外の オーバーサイズ材料のロック材料への利用

質問者:胆沢ダム工事事務所

回答者:土木研究所水工研究グループダム構造物チーム(内線4433)

質問

ロックフィルダムのロック材料以外の堤体材料採取時に発生するオーバーサイズ材料をロック材料として有効利用する場合の留意点についてご教示願いたい。

回答

1. オーバーサイズ材料の特徴

コア、フィルタ材料は、最大粒径 150~200mm 程度の材料である。そのため、図-1に示すように、それ以上の粒径の材料を有する原材料の利用を考えた場合にはオーバーサイズ材料が発生する。これらの材料はコア材料およびフィルタ材料を採取する場所によって岩石の硬さ、粒度分布などが異なるが、概ね大玉を含む均一粒度となることが多い。いわゆる均等係数が小さい材料で大型施工機械によっても大きな密度を得ることが難しく、これまでその利用はリップラップ材料などに限られていた。しかし、環境保全、材料の有効利用の観点から、材料特性を把握したうえで、適切な改良を行い設計および施工の工夫を行うことによってその利用範囲を広げられる可能性はあると考えられる。

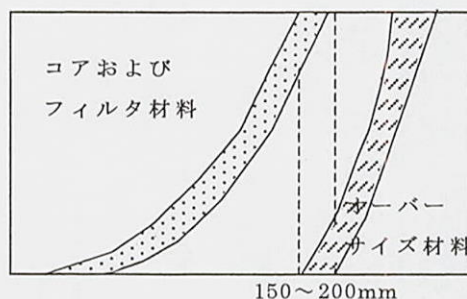


図-1 オーバーサイズ材料の
粒度の概念

2. ロック材料に求められる性質とオーバーサイズ材料の工学的性質¹⁾

ロック材料としては、せん断強度が大きく、排水性の高いものが良好といえる。前述したように均等係数が小さいオーバーサイズ材料については、その排水性に問題はないが、均等係数の大きい材料に比べて締固め密度が小さくなるため、せん断強度は小さくなる可能性がある。図-2は、同じ花

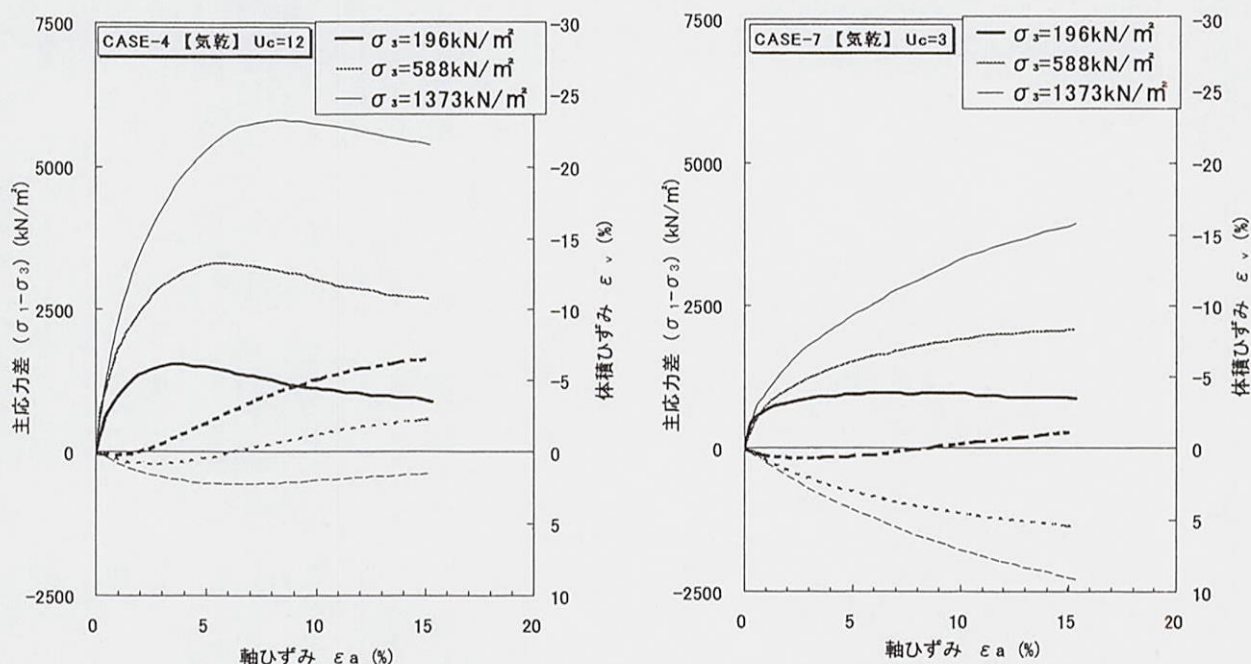


図-2 花崗岩に対する三軸圧縮試験より得た応力ひずみ曲線の比較

崗岩を用いて粒度調整して作製した均等係数の大きい材料 ($U_c=12$) と小さい材料 ($U_c=3$) に対して三軸圧縮試験を行って得た応力ひずみ曲線の一例である。この試験は、均等係数の大小によらず、良く締められた状態 (相対密度 85% 以上) の結果である。すなわち、均等係数の大きさによって応力ひずみ曲線が異なり、 $U_c=12$ では $U_c=3$ に比べて、ひずみの小さいときにピーク強度が生じ、 $U_c=3$ ではピーク強度が明瞭でなくなり、側圧が高いほどその傾向は強い。図-3は、 $U_c=12$ と 3 の三軸圧縮試験から得たモールの応力円の包絡線と曲線近似したものである。この図より $U_c=12$ の方のせん断強度が大きい結果を示していることがわかる。

以上、静的荷重条件のもとでのせん断強度についての説明であるが、動的荷重条件下においても均等係数の大きい材料 (排水性能は十分有していることを前提として) のせん断強度の方が大きいと考えられる。

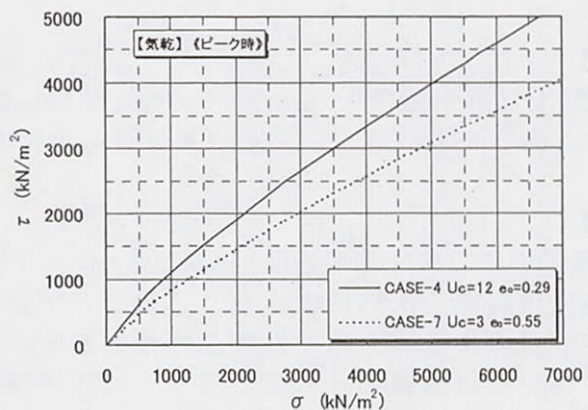


図-3 モール応力円包絡線の
曲線近似式の比較

3. オーバーサイズ材料のロック材料としての利用方法

現在、ロックフィルダムはロック材料等の築堤材料を大型施工機械により薄層転圧施工しているが、比較的堅固で均一なオーバーサイズ材料を良く締めた密度状態に現場施工を行うことは困難である。そこでオーバーサイズ材料のロック材料への流用を考える場合には、粒度改良の必要性がある。一言でいえば、オーバーサイズ材料を小割りするか、細粒径の材料を混合して、粒度分布を良くする必要がある。

ただし、これらのオーバーサイズ材料の粒度改良に過大なコストを要したり、環境改変が逆に大きくなったりすると、オーバーサイズ材料の有効利用の効果がなくなるので注意が必要である。そのため、オーバーサイズ材料の粒度改良については、コスト、環境、工期など総合的な観点からの評価を行うことを前提に、より簡便で、効率的かつ効果的な手法の選択あるいは開発が望まれる。

参考文献

- 1) 中村昭, 豊田光雄: ロック材料のせん断強度定数の評価, 土木技術資料 38-3, pp38~43, 1996.3.

1.7 ロックフィルダム堤体内に設置する二次締切堤築造材料の留意点

質問者:胆沢ダム工事事務所

回答者:土木研究所水工研究グループダム構造物チーム(内線4433)

質問

内部土質遮水壁型ロックフィルダムの堤体内に取り込み、最終的に本堤体の一部とする二次締切堤を本堤体のロック材料以外の材料で築造する場合の留意点等についてご教示願いたい。

回答

1. 堤体内に二次締切堤を取り込んだ事例

本堤体内に二次締切堤を取り込むことにより本堤体積の縮小化が図られるとともに、貯水池容量の小さいダムでは容量の増加が図れるなどの利点がある。本堤体に取り込むにあっては、仮設構造物としてではなく本体構造物、つまり永久構造物としての設計、施工および施工管理を行う必要がある。そのため、施工工程、用土計画等から必ずしも内部土質遮水壁型ロックフィルダムにおいて二次締切堤を本堤体内に取り込むことが得策とならない場合もあることに注意が必要である。

本堤体内に二次締切堤を取り込む最も一般的なパターンは、図-1¹⁾に示すように、二次締切堤を中央土質遮水壁型ロックフィルダム型式とし、本堤体と同様のロック材料、フィルタ材料、コア材料が用いられているというものである。また、この型式の二次締切堤

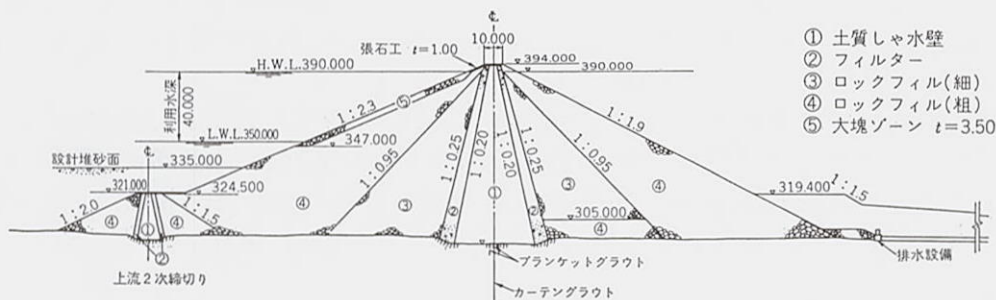


図-1 本堤体と同様の築堤材料を用いた中央土質遮水型
ロックフィルダム型式の二次締切堤 (新冠ダム)¹⁾

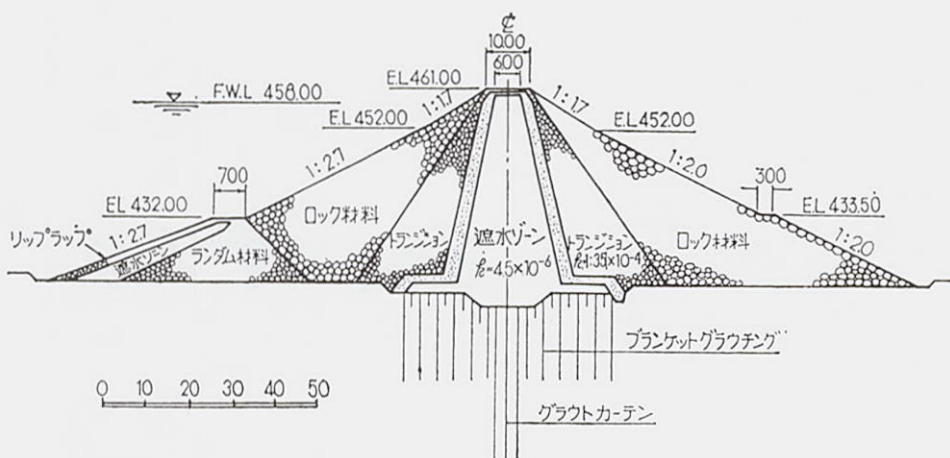


図-2 ランダム材料を用いた傾斜土質遮水壁型
ロックフィルダム型式の二次締切堤 (日出生ダム)²⁾

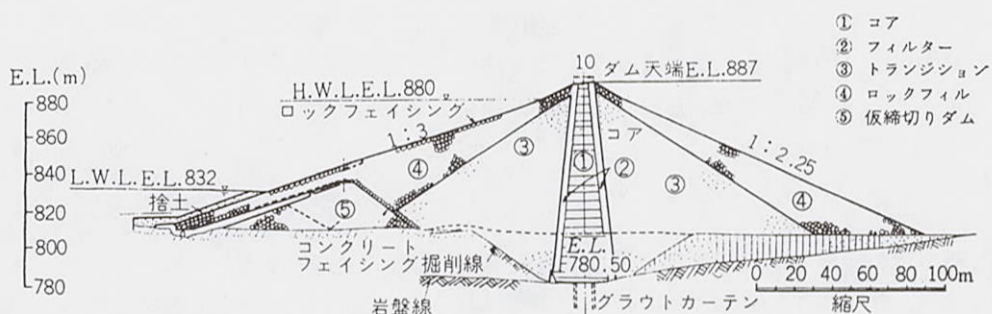


図-3 コンクリート表面遮水壁型ロックフィルダム型式
の二次締切堤（牧尾ダム）¹⁾

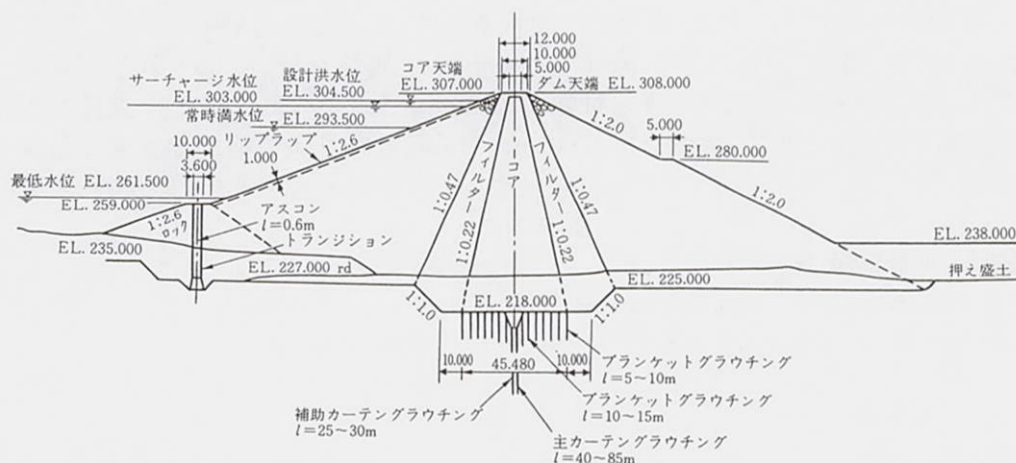


図-4 アスファルト内部遮水壁型ロックフィルダム型式の
二次締切堤（七ヶ宿ダム）³⁾

では本堤体施工の試験施工を行えるという利用価値がある。

また、本堤体のロック材料と同等の機能を要する材料ではなく、図-2²⁾に示すようにダムサイトにおける掘削材料などの若干物性の劣る材料をランダム材料として、本堤体に取り込むことを考慮して本堤体と同様の設計、施工および施工管理がなされる場合もある。このような二次締切堤を築造している事例は農業用のダムで見られる。

さらに、上記に示したような岩石質材料のみではなくコンクリート表面遮水壁構造を有する牧尾ダムの二次締切堤の事例（図-3¹⁾）やアスファルト内部遮水壁を有する七ヶ宿ダムの二次締切堤（図-4³⁾）もある。しかし、築堤材料と人工遮水壁材料の変形性の差に起因する応力集中や亀裂の発生などについて、詳細な安全性評価を行う必要がある。

2. 二次締切堤を堤体に取り込む際の留意点

①本堤体と同様な設計、施工および施工管理を行う。

二次締切堤は、本堤体内に取り込むことにより本体構造物（永久構造物）となるため、本堤体と同様な設計、施工および施工管理を行う必要がある。

②本堤体とのなじみを良くする。

二次締切堤を堤体中に取り込む場合、それを本堤体の上流側先端部に配置するため、二次締切堤の下流面が本堤体上流部と接合する。そのため、二次締切堤が単に安定性を保つということにとどまらず、接合部における本堤体との材料の違いに起因する変形性の違いや接合面でのなじみを良くするなど施工性からの対応も必要である。なお、このことは二次締切堤と本堤体との接合部で両者の材料が異なる場合に特に重要である。

③地震時に本堤体と極端に異なった変形挙動を示さないようにする。

本堤体と二次締切堤の振動特性があまり変わらない材料および構造とすることで、堤体内に安全性に影響を与えるような応力集中を発生させないようにする必要がある。特に、二次締切堤の中央部に地盤材料より剛性のかなり大きい人工遮水材料を配置する場合には、動的解析等により振動特性を考慮したより厳密な設計を行う必要がある。

3. ロック材料以外の材料を二次締切堤の主材料に用いる場合の留意点

近年、環境保全およびコスト削減の観点から廃棄材料をなるべく少なくするなどの材料の有効利用が望まれており、ダムサイト掘削材料、フィルタ材料などのオーバーサイズ材料の有効利用も検討する必要がある。ただし、これらの材料のおおまかな特徴は、前者では礫以外に細粒分を含む材料もある。そのため、粒度分布が良く、締固め密度を大きくするとせん断強度を大きくできる反面、透水係数が小さくなる。一方、後者は均等係数の小さい大玉を有する材料で粒度分布が悪いため、締固めにくく、前者の材料の工学的性質と逆の傾向を示す。これらの材料を用いて、二次締切堤を築造するにあたっては、①材料特性を把握するため十分な試験を行い、②それらの工学特性を利用した構造形式、特に風化の可能性のある材料では締固めを十分行い、また拘束圧がかかるところに配置するなどの工夫をするなど、本堤体内のゾーニング設計と同様の検討が必要となる。

参考文献

- 1) (社)電力土木技術協会：最新フィルダム工学，p.767，1981.3.
- 2) 農林水産省構造改善局：土地改良事業計画設計基準，設計ダム，p.167，1981.4.
- 3) 建設省東北地方建設局七ヶ宿ダム工事事務所：七ヶ宿ダム工事誌，1992.3.

1.8 ロックフィルダムのロック敷きの基礎地盤の物性の評価手法

質問者：胆沢ダム工事事務所

回答者：土木研究所水工研究グループダム構造物チーム（内線4452）

質問

ロックフィルダムのロック敷きの基礎地盤を段丘堆積物とする場合、基礎地盤としての所要物性の評価方法や評価時の留意点についてご教示願いたい。

回答

1. はじめに

基礎地盤条件の良好なサイトを選定してダムを建設できた時代には、比較的層厚の薄い表層の緩み、風化部分を除去するだけでダムを建設することができた。しかし近年では、軟岩あるいは砂礫、泥流堆積物、崖錐等により基礎が構成されるサイトにもダム建設に対する要求が高まってきている。この際、ダム型式としては基礎に対する自由度の高いフィルダムが選択されることが多い。基礎が岩盤で構成されている場合は、一般にその強度はフィルダム堤体の強度よりも大きく、フィルダムの安定性が基礎の強度に左右されることはほとんどない。しかし現在、所要の安全性を確保した上で劣化、風化の著しいD級岩盤や砂礫、崖錐堆積層等の掘削量を最小限に抑え、フィルダムの建設コストの縮減を図ることが望まれている。このような場合、これらの地層の三次元的分布およびその物性値に基づき、フィルダムの安全性ならびに工期、経済性等も考慮して基礎地盤の処理についての設計を行う必要がある。さらに、フィルダム基礎として必要な地盤の物性値に基づいて掘削管理基準を作成し、適切かつ効率的な施工管理の実施が望まれる¹⁾。ここでは、内部土質遮水壁型のロックフィルダムを対象として、質問の基礎地盤、特にロック敷きとなる基礎地盤の物性評価のほか、それに基づく施工管理の方法について事例を交えて紹介する。

2. フィルダム基礎地盤の物性評価方法と掘削管理の考え方

内部土質遮水壁型のロックフィルダムの遮水（コア）ゾーンの基礎は、以下のような理由から一般に岩盤としている。つまり、遮水ゾーンは堤体の遮水機能を受け持つため、それと境界をなす基礎は、堤体よりも十分大きな強度を持ち（基礎を切る円弧すべり面は堤体設計上問題なく）、大沈下や不等沈下という変形上の問題もなく（コンクリート構造物である監査廊設置部では特に変形の問題は重要である）、かつグラウチングによる遮水処理が可能である必要がある。広く、かつ比較的厚く砂礫や泥流堆積物が分布しているサイトに、これらを極力残してフィルダムを建設する場合でも、図-1に示すようにコアトレンチを設けて遮水（コア）ゾーンを岩着させることが一般的である。岩盤であれば、強度および変形性の急激な不連続といった局所的な問題を除いて強度および変形性の問題が発生することはほとんどなく、グラウチングにより所定の遮水性を確保できるか否かが掘削管理上の最重要点となる。

しかし、遮水（コア）ゾーンの岩着のための掘削土工量が膨大であったり、堤高が低い場合、つまり全建設コストに対して基礎掘削コストの占める比率がかなり高くなることが予想される場合には、砂礫や泥流堆積物上に遮水（コア）ゾーンをのせること

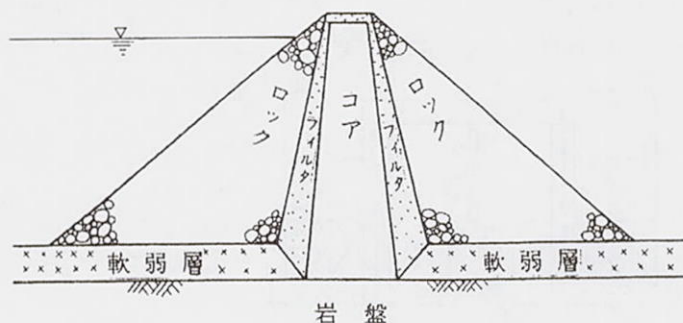


図-1 コアトレンチの例

を検討する必要性にせまられることがある。さらに、遮水処理法としてグラウチングを採用しない場合も考えられる。

一方、透水（ロック）ゾーンや半透水（フィルタ）ゾーンの基礎では、ゾーンを構成する材料の粒度と基礎地盤の亀裂や間隙の大きさの関係および変形上の問題を考慮して、基礎地盤の緩んだ部分や風化・劣化の著しい部分を取り除く程度の掘削を行えば良い場合が多い。しかし、透水（ロック）ゾーンの基礎であっても、ダム の規模や基礎の性状によっては、かなりの規模での掘削除去が必要になることもある。特に、質問の透水（ロック）ゾーンの基礎地盤については、その力学的特性、特に強度が透水（ロック）ゾーンを構成する透水性材料の強度よりも十分大きければ全く問題がない。しかし、その強度が透水性材料の強度と同程度ないしはそれ以下の場合には、基礎地盤として残置することが技術的に可能か、また技術的に可能であっても経済的な観点から妥当な選択であるかの評価が必要となる。具体的には、対象となる地盤の強度を評価し、それを用いて堤体および基礎地盤の両方をモデル化したうえですべり安定解析を行い、所要の安全率を満たす設計を行うことになる。

まず、調査設計段階では、対象地盤の強度を乱さない試料ないしは密度条件を現場のそれに合わせた再構成試料を用いて三軸試験などの強度試験を行い、直接内部摩擦角 ϕ や粘着力 c の強度定数を評価する。また、調査設計段階で強度の評価点数を増やしたり、掘削管理を行う場合には、直接的に強度（ c 、 ϕ ）を測定するほか、密度、 N 値、 CBR 値などの諸試験値と強度との関係をあらかじめ求めておき、この関係を利用して間接的に評価管理する手法とがある。

特に、施工管理手法の選定にあたっては、対象地盤の性状を十分考慮したうえで、十分な管理精度が得られることのほか、必要な頻度での管理が行える簡便性も考慮する必要がある²⁾。

3. 掘削管理の実施例

内部土質遮水壁型ロックフィルダムの軟弱基礎の掘削管理基準の例を表-1に示す。この表から、基礎の掘削管理基準を直接強度試験結果により設定している事例は少ないことがわかる。これは、試験の実施にかなりの時間と費用を要し、試験数を増やせないためである。例えば、大内ダム²⁾では、図-2に示すような原位置簡易ブロックせん断試験装置により直接せん断強度を求め、掘削管理基準値、つまり円弧すべり面法による安定解析上問題にならない強度を有していることを検証した。原位置試験によれば、乱さない試料に対する室内強度試験よりも、ありのままの基礎地盤の強度値を得られると考えられるが、検証対象位置まで掘削が進まないという課題もある。さらに、大内ダムの原位置簡易ブロックせん断試験の供試体の寸法は、30cm立方であるが、この大きさが、試験対象地層の粒度構成、特にその最大粒径に対して十分大きなものとなっているかが試験結果の精度に大きく影響してくるので、試験計画の立案にあたっては供試体寸法についての十分な考察が必要となる。大内ダムにおいても、当初の70cm×70cm×60cmの供試体を用いる原位置大型ブロックせん断試験から簡易試験に変更する際、この点については十

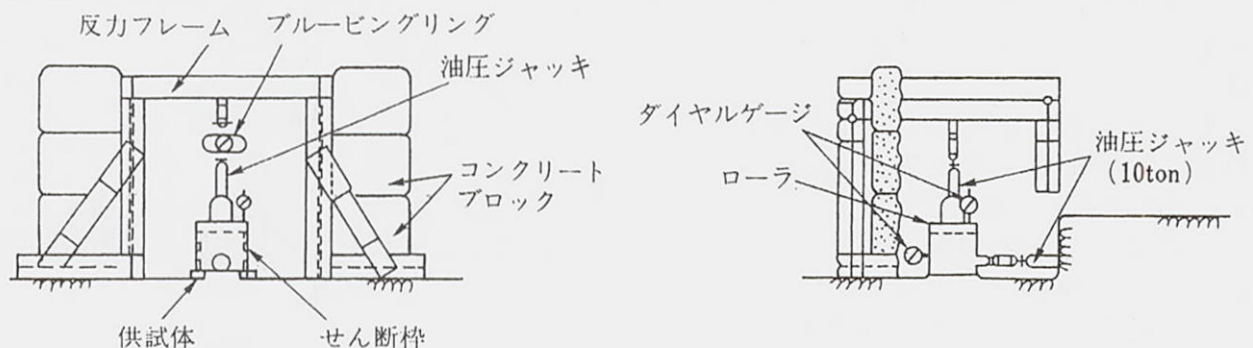


図-2 原位置簡易ブロックせん断試験装置（大内ダム）²⁾

表－１ フィルダム基礎地盤の掘削管理基準調査結果一覧

ダム名(所在地)	堤高 (m)	堤頂長 (m)	堤体積 ($\times 10^3 \text{ m}^3$)	管理対象地質	品質管理手法	対象領域	竣工年	所有者	備考	文献
沼原ダム (栃木県)	38.0	1597.0	1,260	火山泥流層	(主)現場CBR試験 (従)一面せん断試験	基礎全域	1973	電源開発(株)	試験数を増やしやすい CBR試験を強度との 関係を求め設計値を十分満足するような管理 基準を設けたうえで、 主にCBR試験値により 管理した。	3)
カッサダム (新潟県)	90.0	487.0	4,450	同上	同上	透水ゾーン 基礎	1978	電源開発(株)	同上	4)
七倉ダム (長野県)	125.0	340.0	7,380	崖錐および 砂礫層	粒度構成から5種類に 分類し各タイプの密度 に対応した強度を大型 三軸圧縮試験により求 めておき、密度により 品質管理。	透水および 半透水ゾ ン基礎	1979	東京電力(株)	透水ゾーン基礎部では 掘削除去。	5)
山瀬ダム (秋田県)	62.0	38.0	1,625	泥流堆積層	室内三軸圧縮試験結果 に基づく安定解析。 局所的な軟質部はコー ンペネトメーターの 結果に基づいた管理。	透水ゾ ン基礎	1991	秋田県		
漢那ダム(脇ダム) (沖縄県)	37.0	500.0	1,050	砂礫層	乱さない試料に対する 室内三軸圧縮試験結果 とN値の関連をとり、 N値により管理。	基礎全域	1992	沖縄総合 事務局		
瑞慶山ダム (沖縄県)	本ダム	33.5	441.0	876	砂礫層	同上	全ゾ ン基礎	1995	沖縄総合 事務所	
	脇ダム	15.0	200.0	68						
	第一	55.5	175.3	645						
	第二	44.5	397.1	987						
	第三	23.5	208.0	159						
太田ダム (兵庫県)	第四	29.3	406.0	517	D級岩盤	乱されない試料に対する 多くの三軸圧縮試験結 果から密度とせん断強 度の関係を求め、密度 により品質管理。	透水ゾ ン基礎	1992	関西電力(株)	透水ゾーン基礎部は、 原則としてCL級以上 の岩盤とした。
	第五	26.5	101.5	113						
	大内ダム (福島県)	102.0	340.0	4,459	未固結の第 四紀堆積層	原位置簡易ブロックせ ん断試験	透水ゾ ン基礎	1991	電源開発(株)	透水ゾーン基礎では、 グラウチング効果が上 がらないことを理由に 除去。

分な検討がなされたものとする。ただし、試験規模を決定する要因は、供試体の粒度構成以外に試験時間、費用等があることを忘れてはならない。

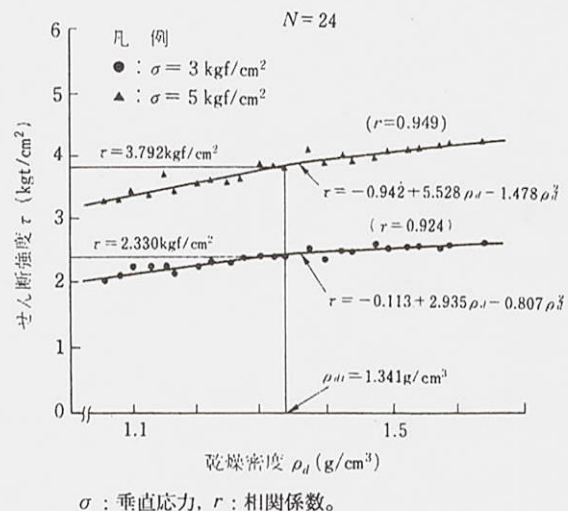
上記のように、原位置でせん断試験を実施し、その結果に基づいて掘削管理基準を設定するよりも、掘削作業を本格的に実施する前に、N値、CBR値、密度等と強度の関係を求めておき、実際の掘削作業に際しては、簡易に実施できるN値等を求める試験を行い、それと強度の関係から間接的に掘削管理を行う事例が多い(表－1参照)。こうした間接的な掘削管理基準設定の際の留意点を以下に述べる。

(1) 試験の規模

間接評価の場合、試験方法そのものが簡易であることに加えて、試験規模が小さいことも多い。そのため、対象地層の粒度構成等も十分考慮した間接評価法の選定が必要になってくる。なお、この試験規模の問題は、原位置あるいは乱さない試料に対する室内強度試験においても考慮すべき重要事項であることは前述したとおりである。

(2) 強度との相関のばらつき

対象地層のN値、CBR値、密度等と強度の相関関係を求めた場合、図－3の太田ダムの乾燥密度 ρ_d とせん断強度 τ の関係のようにその相関が高ければ平均的な



図－３ 乾燥密度とせん断強度の関係
(太田ダム)

対応関係に基づいて掘削管理を行っても大きな問題がない。しかし、これらの関係を示すデータがばらついている場合には、まず、試験規模等の試験上の問題がないかの検討が必要である。その結果、問題があれば間接評価指標を変更する必要がある。逆に問題がなければ、地質的な考察を加えて、試験データを地層の年代、分布場所等に基づいてグループ分類し、各グループ内での相関を検討する。それでも、ばらつきが大きい場合は、強度の下限値の包路線をもって管理基準とするなど、実務的な立場からの判断が必要になってくる。

(3) 試験実施頻度

試験実施頻度については、現在ダムごとに決定しているのが実状である。また、事例が必ずしも多くないため、過去の事例に基づく標準的頻度の提案は必ずしも容易ではない。したがって、現状では、過去の事例、強度との相関の程度のほかに、地質的な観察結果を踏まえて試験頻度を決定し、また実施工時には実際の状況を踏まえてその頻度を修正していくことが必要である。

(4) 地質情報の活用

基礎の掘削管理基準を、直接的であれ間接的であれ強度として定量的に評価することは、設計に携わる立場の者からすると極めて理想的な状態である。しかし、その値がどのような方法でどの程度の数の試験により求められたのか、また実際にはどの程度のばらつきを有するものなのかを十分吟味する必要がある。さらに、地質情報を全体評価に活用し、定量的評価を補っていくことが望まれる。

参考文献

- 1) (社) 日本大ダム会議：ダム施工マニュアル、第2版、pp. 631～636、1984年4月。
- 2) (社) 土木学会：ダムの岩盤掘削、第1版、第1刷、pp. 169～171、1992年4月。
- 3) 高橋光雄、ほか：沼原特集号、4. 上池の設計と施工、発電水力、No. 127、pp. 21～51、1973年11月。
- 4) 城所宏治：堆積層内遮水カーテンの設計とその施工ーカッサダム基礎の特性と基礎処理グラウチングー、大ダム、No. 75、pp. 17～36、1976年3月。
- 5) 小林純夫：七倉ダムの基礎処理(2)ー堆積層の処理についてー、電力土木、No. 151、pp. 26～36、1977年11月。
- 6) 安福 滋・景山 学・多田隆司：大河内水力発電所太田ダムの基礎掘削管理、電力土木、No. 232、pp. 71～80、1991年5月。

1.9 残存型枠を使用する場合の構造計算について

質問者：福島県県北事務所

回答者：危機管理技術研究センター砂防研究室（内線 3 9 2 3）

質 問

砂防ダムの型枠として残存型枠を使用する場合、残存型枠を構造体の一部とみなして構造計算すべきと考えるが見解を伺いたい。

回 答

本省河川局砂防部保全課は、砂防堰堤施工時に残存型枠を使用する際には、残存型枠は構造計算上の構造体の一部とはみなさないよう指導している。

これは、残存型枠を砂防堰堤の構造体の一部として考えるためには、残存型枠が砂防堰堤本体と完全に一体化していることが前提となるが、このことは施工状況に大きく影響され、現時点で全ての残存型枠が砂防堰堤と完全に一体化していることを確認することが困難であることによるものである。

従って、残存型枠を砂防堰堤の構造体の一部として評価するための検査手法及びその基準がない現段階においては、残存型枠は構造体と評価することはできない。

1.10 急傾斜地における沢部の降雨等による表層崩壊の対策工について

質問者：日本道路公団東北支社八戸管理事務所

回答者：危機管理技術研究センター砂防研究室（内線 3927）

質問

八戸道の一部に、沢部の自然斜面で降雨により局部的に表層崩壊が発生し、地山が露出している箇所が見受けられます。

今のところ、緊急補修の必要はないと判断していますが、今後長年月に徐々に侵食されるおそれが考えられるので、どのような対策があるのか、急傾斜地ののり面対策あるいは砂防関係の対策工等についてご教示願いたい。

回答

道路構造物と砂防施設あるいは急傾斜地崩壊防止対策施設とでは設置目的が異なるうえ、道路構造物は道路用地内においてのみ設置可能である等の制約があります。このため、必ずしも砂防関係の対策工が質問のような場合に役立つとは限りませんが、質問の内容から判断すると長期的な侵食及び崩壊の拡大防止対策が求められており、砂防関係の対策工についても参考になると思われます。

砂防関係の崩壊地の侵食、拡大の防止を目的とした工法としては山腹工があげられます。山腹工は、山腹における崩壊地等の荒廃地に土木的工事を補助手段として植生の導入を図ることによって、山腹斜面からの土砂移動を軽減するとともに、環境や景観的にも優れた山腹斜面を回復することを目的とするものです。

質問の箇所は、沢部の急傾斜地であり降雨により崩壊が徐々に拡大していると考えられるため、山腹基礎工を主体として斜面の安定を図り、その後、表層の侵食防止等を目的とした山腹緑化工を導入することが望ましいと考えます。また、沢部における侵食が激しい場合は、山腹基礎工として侵食防止および山脚固定を目的とした谷止め工を計画した後、土留め工等の検討を行う必要があります。

山腹工の基本は、土木的工事を補助手段として植生が持つ土砂移動防止機能を発揮させるものであり、植生の生育には長期間を必要とすることから、一般的な土木工事のような品質管理にはなじみません。また、近隣の植生の特性、地質、気象条件等の現場条件を考慮して設計する必要があることから、現場ごとに過去の施工事例等を参考にしながら計画しているのが実情です。計画の基本、工種の選定等については「建設省河川砂防技術基準（案）同解説」¹⁾²⁾を参考にしてください。また、各種施工事例集等³⁾もありますので参考にしてください。

なお、斜面を直接的に保護する工法としてはのり面保護工があげられます。急傾斜地崩壊防止対策施設におけるのり面保護工については「新・斜面崩壊防止工事の設計と実例」⁴⁾に詳しいですので参考にしてください。

参考文献

- 1) (社)日本河川協会編、建設省河川局監修：建設省河川砂防技術基準(案)同解説・計画編、p.188～p.191,1997
- 2) (社)日本河川協会編、建設省河川局監修：建設省河川砂防技術基準(案)同解説・設計編(Ⅱ)、p.27～p.39,1997
- 3) 例えば、砂防山腹工工法集編集委員会編：わかりやすい砂防山腹工工法集、(社)北陸建設公済会、1994
- 4) 急傾斜地崩壊防止工事技術指針作成委員会編、建設省河川局砂防部監修：新・斜面崩壊防止工事の設計と実例-急傾斜地崩壊防止工事技術指針-、(社)全国治水砂防協会、1996

2.1 道路のコンクリート吹付のり面の点検方法

質問者：日本道路公団 東北支社 福島管理事務所

回答者：独立行政法人土木研究所 材料地盤研究グループ土質チーム 小橋秀俊（内線 4143）

質 問：

道路のコンクリート吹付のり面の点検について、実施例が多く、点検成果としても評価のある方法があれば紹介してほしい。

回 答：

旧建設省土木研究所土質研究室では、平成 4～8 年度の 4 年間、民間 8 社との間で、建設省官民連帯共同研究「熱赤外線映像法による吹付のり面老朽化診断技術の開発」に取り組んできた。そのなかで、吹付のり面の維持管理の実態について全国アンケートを実施し、旧地方建設局、都道府県、日本道路公団の約 600 事務所より回答があった。まず、吹付のり面の点検方法の現状として、「目視のみ」が 57%、「写真撮影」が 18%、「スケッチ及び防災点検票」が 13%、「打診音法」が 11%と、特殊な技術が使用されている事例はほとんどないのが現状であった。また、問題点として「点検に時間がかかる」が 38%、「点検マニュアルが少ない」が 31%にもおぼり、具体的には点検対象数が多い、高所作業に伴う危険、判別結果に主観が入りやすい、背面の風化に起因する崩壊や抜け落ちといった老朽化現象に対応できない等の点が指摘された。

こうした背景のもと、上記共同研究では 4 年間の研究成果として、「熱赤外線映像法による吹付のり面老朽化診断マニュアル」をとりまとめたので、詳細については本書を参考にさせていただきたい。マニュアルでは老朽化現象を類型化しており、目視調査、周辺踏査、熱赤外線映像をどのように総合評価して老朽化パターンを把握するか、また、老朽化パターンによる補修対策選定法などを、具体例を交えながら言及している。

日常管理において本法を用いて、同一のり面を時系列に追跡しておけば、変状が進行している部分の発見などで、有効性がさらに高まるものと考えられる。マニュアル入手については下記までお問い合わせください。

「熱赤外線映像法によるのり面診断研究会」

財団法人土木研究センター技術研究所 研究開発三部 木本

TEL 0298-64-2521 FAX 0298-64-2515 E-mail: kenkyu3@pwrc.or.jp

参考文献

- 1) 三木博史，小橋秀俊，古田光弘：熱赤外線映像法を用いた吹付のり面の老朽化診断事例，土木技術資料 37 巻 1 号 pp52-57，平成 7 年 1 月
- 2) 熱赤外線映像法による吹付のり面老朽化診断マニュアル，建設省土木研究所，平成 8 年 1 月

2.2 積雪寒冷地における重交通交差点の舗装

質問者：秋田工事事務所

回答者：土木研究所基礎道路技術研究グループ舗装チーム（内線4623）

質問

近年、低騒音舗装として、排水性舗装の採用が主流となっていますが、積雪寒冷地の状況を見ると、越冬後ポットホールや表面の目づまりが発生している。特に重交通の多い交差点においてはわだちと見られることから、このような箇所での適切な舗装はどうあるべきかご教授願いたい。

回答

ご質問の通り、積雪寒冷地での排水性舗装は、一冬経過した時点で骨材表面のアスファルトモルタルが剥離し骨材が露出したり、わだち掘れが発生する事例やわだち部の剥離（骨材飛散）が進行し、基層まで達している事例（写真－1参照）が報告されている。これらの原因として、積雪寒冷地特有の気象条件やそれに伴うタイヤチェーン等の使用による路面の摩耗が影響していると考えられる。



写真－1 わだち部の剥離

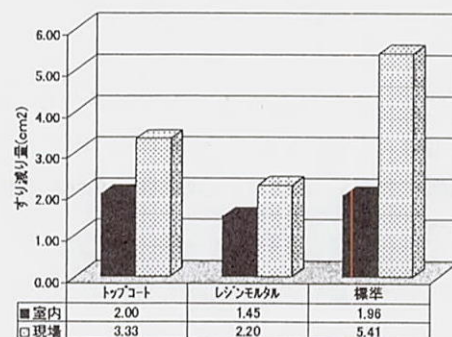
また、剥離したアスファルトモルタルが空隙内に押し込められ、目詰まりを起こし、排水機能や低騒音機能の低下を招いている。

このタイヤチェーンの使用による目詰まりや多量の雪氷水の影響による排水不良により、骨材飛散やポットホールの発生も多い。特に交差点部での発生例が多い。

このような箇所での適切な舗装としては、タイヤチェーンで叩かれても壊れにくい耐摩耗性舗装、目詰まりの起こしにくい舗装、耐骨材飛散抵抗性の高い舗装、骨材接着性の高い舗装が有効と思われる。

現在、交差点部における排水性舗装の耐摩耗性や骨材飛散を抑制する方法として、熱可塑性エラストマーの添加量を増加させバインダを高性能化することにより混合物をの耐久性を向上させる方法、混合物の配合面からの対応、樹脂コーティング等補強剤を表面に散布する方法などが行われている。

北海道開発局土木研究所において、アスファルトモルタルの剥離抵抗性を大きくすることを目的とした空隙率を低減した舗装、繊維を添加した補強舗装の有効性を検討¹⁾している。その結果では、空隙率の低減と繊維の添加は、骨材飛散抵抗性、耐摩耗性および圧裂強度の向上に効果はあるが、水（雪氷）に対する抵抗性はないことが分かったと報告されている。また、樹脂コーティング等補強剤を表面に散布したトップコート工法や透水性レジンモルタル工法について、室内試験と試験施工を行い、その有効性を検討している²⁾。その結果、室内試験ではトップコートとレジンモルタルとも、耐骨材飛散と耐摩耗性に有効であった。参考までに図－1にすり減り量の試験結果を示す。試験施工の結果では、これまでのところ明確な優位性は得られていない。



図－1 すり減り量試験結果²⁾

これらのことから、現在市販されている排水性舗装の中で、寒冷地対応の記述がある排水性舗装は、有効と思われる。排水性舗装の路面を強化、または機能の維持延命をはかったトップコート工法や透水性レジンモルタル工法も有効と思われる。

また、目詰まりや排水不良を改善し、排水機能を持続させることに有効な機能回復車の定期的な使用も有効と思われる。

今後、これら工法の効果について検討を行い、積雪寒冷地における有効性を実証していく必要がある。

参考文献

- 1) 早坂保則, 高橋守人, 山村芳久: 北海道の排水性舗装の課題と対策検討, 第8回北陸道路舗装会議技術報文集, pp. 29-32, 2000, 10.
- 2) 早坂保則, 高橋守人, 山村芳久: 排水性舗装の表面強化工法と補修材の適用について, 第45回北海道開発局技術研究発表会発表概要集, 2002, 2.

交差点部では骨材飛散の可能性が高く、空隙詰まりや空隙つぶれが発生するため透水性に持続性が必要である。

⑥すべり抵抗性が高いこと。

(4) 排水性機能の回復方法と回復させる時期について

排水性舗装の機能回復については、具体的なマニュアルはまだ作成していないが、今後機能回復の方法と効果などを整理してマニュアル案を作る予定である。現在までに土木研究所で分かっていることを以下に示す。

1) 排水性舗装の回復方法

- ・排水性舗装の回復方法としては、機能回復車による方法が一般的であるが、効果が顕著に現れない、施工単価が高い、回復効果が持続しない等の理由から余り実施されていない。
- ・機能回復車（国所有1台、民所有8台）は各種タイプがあり、特徴も様々である。大別すると以下の4タイプがある。写真－1に機能回復車の一例と図－2に機能回復車の仕組みの一例を示す。

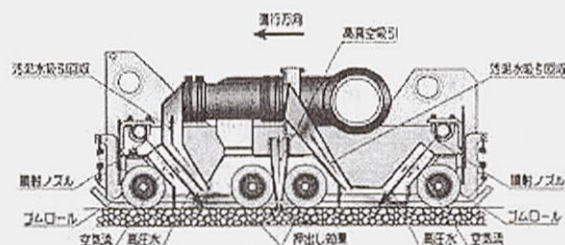
通常行われている従来型の機能回復車の清掃速度は0.6km/h程度と遅く交通規制を行い実施しているが、高速タイプでは10km/h程度でも作業が可能となっており、交通規制がいらな



写真－1 機能回復車の1例

- ①高圧水・真空タイプ、②高圧水・高真空タイプ、③高圧水・真空・高速タイプ、④真空・高速タイプ（無水）

- ・交通量、周辺の土地利用、気候などにより、機能の低下傾向が異なり、諸条件を考慮して、低コストで効果の高い機能回復方法を選定する必要がある。
- ・機能回復作業により、排水機能は向上するが、低騒音機能は必ずしも回復しない。これは、路面表面のテクスチャーに関係している。
- ・空隙つぶれを起こした排水性舗装の機能回復は期待できない。別の方法として、表面処理によって平坦性、吸音性などを回復し、騒音低減機能を回復させる方法などが考えられる。



図－2 機能回復車の仕組みの一例

2) 回復させる時期

- ・厚さが5cmの場合は、残存透水率が40～50%以上の時に作業が望ましい。
- ・厚さが2.5cmの薄層の場合は、残存透水率が10%程度でも効果が期待できる。
- ・北陸地方整備局では、「排水性舗装清掃要領（試案）H9年3月」により試行しており、その要領によれば、舗装機能寿命を3～4年とすれば、交通量1万台程度で、半年で2回程度の清掃が必要としている。
- ・定期的に機能回復清掃することが、透水量を維持する上で重要である。

参考文献

- 1) 交差点部排水性舗装の骨材飛散対策，舗装技術の質疑応答、第8巻、p254，平成13年10月

2.4 排水性舗装の飛散度合いの計測方法

質問者：山形工事事務所

回答者：土木研究所基礎道路技術研究グループ舗装チーム（内線4622）

質問

骨材の剥脱、飛散等（特に排水性舗装において）の評価方法は確立されていないの現状である。効果的な評価手法があれば紹介していただきたい。

回答

ご質問の通り、排水性舗装の骨材の剥脱、飛散に対する評価方法は確立されておらず、材料評価ばかりか、現場での実態調査も定まった方法がないのが現状である。従って、ここでは、多少の検討例のある室内試験方法について検討状況を紹介するとともに、現場調査法としてどんなものが可能性あるのか、紹介する。

【室内試験法】

室内試験法では、低温カンタブロ試験が使われ始めている。また、交差点部のすえ切りへの抵抗性を評価するため、すえ切り試験というものも試験されることがある。

○低温カンタブロ試験：

低温で行うカンタブロ試験で、-20℃で行う方法が多い。日本道路公団では基準を設けていて、表のようになっている。しかし、この損失率と供用性との関係は示されておらず、今後、供用性との関係の調査をもとにした目標値の設定が必要である。

J H舗装設計基準

地域区分	供試体温度	損失率
一般地域	20℃	20%以下
積雪寒冷地域	-20℃	20%以下

○すえ切り試験：

すえ切り試験は、呼び名も定まっておらず、道路会社を中心に様々な方法のものが検討されている。30cm×30cmの供試体上を半径5～10cm程度の半径で小径タイヤが走行するものが多いが、供試体は同じサイズでもタイヤが走行せずに同じ場所をすえ切るものや横にスライドするものなども考案されている。評価方法もタイヤの沈下量であったり、骨材飛散量を率にしていたりと、様々なものがある。試験温度は60℃としている場合が多いが、これも実際の破損が起きる条件から考えると適切かどうか検討が必要なところである。

現在、土木研究所と民間企業からなる研究会（つくば舗装技術交流会）で、すえ切り試験の標準化のための作業を行っている。15年度中に報告書をまとめる予定である。

【現場調査法】

現場で骨材の飛散の状況を表す方法も確立していないので、ここではどのような方法が考えられるか、列举してみる。

- ・スケッチ（ひび割れ調査と同じ）
- ・面積（または体積）
- ・テクスチャー計測器（MTMなど）を使った変化量
- ・飛散のある、なし（目視）
- ・メッシュで区切って、飛散あるなしのブロック評価

今後、これらの方法を使って調査を行い、どの評価方法が骨材飛散を表現するのに適切なのか検討していく必要がある。また、室内での試験法と合わせ、室内の性状が現場での程度の効果になるのか、等を整理していくことにより、より効果的なものになると思われる。

2.5 複合床版（サンドイッチ構造合成床版）における 舗装合材の選定

質問者：東北地方整備局 郡山国道工事事務所

回答者：土木研究所基礎道路技術研究グループ 舗装チーム（内線8093-4625）

質 問

複合床版（サンドイッチ構造合成床版）における舗装合材の選定

- （１） 複合床版における橋面舗装の基層に使用するアスファルト合材は粗粒度アスファルトでも問題ないか。
- （２） 鋼床版と同様に表層にはグースアスファルトまたは通常のコンクリート床版と同じ舗装と考えて良いのかご教示願いたい。

回 答

（１）複合床版における橋面舗装の基層に使用するアスファルト合材は粗粒度アスファルトでも問題ないか。

複合床版の構造概略図を図-1に示す。複合床版にアスファルト舗装を行う場合は、デッキプレート上に施工を行うため、コンクリート床版ではなく鋼床版をイメージする必要がある。

鋼床版上の舗装では、基層に用いられるアスファルト合材に必要とされる機能性として、耐久性だけではなく、たわみ追従性と防水性等が考えられる。ここで、たわみ追従性については、床版が複合床版であり、たわみが一般的に使用されている鋼床版よりも小さいため、あまり考慮する必要がない。そこで防水性という面から考えると、粗粒度アスファルトは防水性能が低いいため基層に用いることは出来ないと考えられる。特に端部では十分な締固め度が得られにくいため、防水性能がさらに低下することも考えられる。従って、基層には、グースアスファルトなどの防水性に優れている材料を使用することが望ましいと言える。

（２）鋼床版と同様に表層にはグースアスファルトまたは通常のコンクリート床版と同じ舗装と考えてよい。

（１）で述べたように複合床版に適する舗装は、鋼床版上に使用する舗装構成が望ましいと考えられる。従って、基層にはグースアスファルトなどの防水性の高い材料を使用し、表層には、密粒度タイプのものを使用するのがよい。

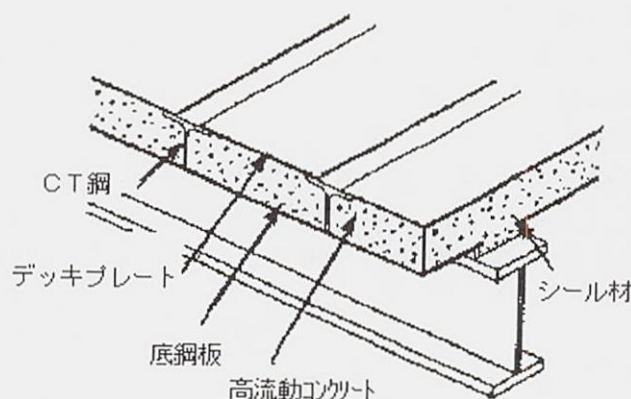


図-1 サンドイッチ型複合床版概要図

2.6 排水性舗装の耐久性に関する中間層（又は基層）に使用するAs合材の選定について

質問者：郡山国道工事事務所

回答者：土木研究所基礎道路技術研究グループ 舗装チーム（内線8093-4625）

質 問

ここ数年、騒音対策で排水性舗装を実施しているが、2年程度で①局部流動②わだち掘れ③骨材飛散を起こしている箇所が多く、手直し等の補修を行っている。

その原因は、中間層（基層）の耐久性低下に起因するものと考えられている。

排水性舗装の下層部は雨水、油分等に暴露される状態になっている。そのため、中間層（基層）であっても、表層と同じレベルとして取り扱うべきと考えられる。

しかしながら、中間層（基層）に密粒度Asを採用するところまでは踏み込めないでいる状況下にある。（道路公団は、密粒度のようです）

そこで、排水性舗装の下層部に使用するAs合材の選定にあたっての、検討項目、判断材料、最近の情報を具体的にご教授願いたい。

回 答

（1）排水性舗装の下層部について

図-1 に一般的な排水性舗装の舗装構成例を示す。そのうち、基層に設けるアスファルト混合物（不透水性の層）は、粗粒度アスファルト混合物が現在多く用いられている。不透水層は路盤以下に水を通過させない役割と同時に水に対する抵抗性にも配慮する必要がある。基層部のアスファルト混合物が滞水により、強度的に弱くなり表層との強度差が生じ、その結果として表層の排水性混合物層にまで影響が出る可能性が考えられる。

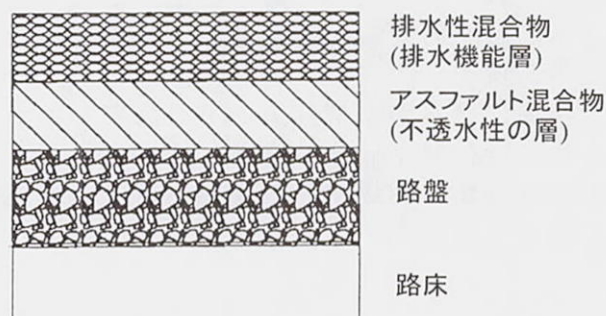


図-1 排水性舗装の構成例

現在、この基層部の滞水が原因で排水性舗装に局部流動やわだち掘れといった現象が発生していることが報告され始めている¹⁾。

（2）排水性舗装の下層部に使用するAs合材の選定について

1) As合材選定における検討項目

選定における検討項目としては、「耐はく離性」、「耐流動性」が考えられる。基層にある不透水層のアスファルトと骨材とのはく離、または基層部の流動が排水性舗装におけるわだち掘れや局部流動の原因の一つと考えられている。特にアスファルト混合物におけるアスファルトと骨材とのはく離は、修復が難しいとされているため、はく離抵抗性を高めることが必要となる。以下にはく離防止対策例を挙げる。

①フィラーの一部に消石灰やセメントを利用（使用量：アスファルト混合物全質量の1～3%）

②はく離防止剤の使用（使用量：アスファルト全質量に対して0.3%以上）

③水密性の高いアスファルト混合物の使用

2) As 合材選定の判断材料

判断材料として、選定における検討項目は「水密性」、「はく離抵抗性」、「耐流動性」が考えられる。まず水密性を検討する上で有効な試験法として、「加圧式透水試験」が考えられる。また耐はく離性は「水浸ホイールトラッキング試験」(以下、水浸WT試験)、耐流動性は「ホイールトラッキング試験」がそれぞれ有効な試験方法と考えられる。

排水性舗装の基層部における耐水対策の日本道路公団(以下JH)の検討例では、水密性やはく離抵抗性、耐流動性などに着目して、基層用混合物の提案まで行っている。図-2によると、はく離面積率と水浸WTはく離率との相関は高いことがわかる²⁾。従って、はく離抵抗性を検討する際、評価方法としては水浸WT試験が有効である。また図-3によると、加圧透水試験において空隙率と透水係数との間に相関があり³⁾、水密性向上には空隙率を小さくすることが有効であることもわかった。しかし、あまり水密性が高すぎると耐流動性が低下するため、ある程度の耐流動性を持たせることを考慮し、基層部混合物の設定を行う必要がある³⁾。

現在、はく離抵抗性等の下層部アスファルト混合物の評価基準値は設定されていない。また今後、排水性舗装において、下層部が原因で局部流動やわだち掘れという現象の発生が多くなる可能性もある。そこで今後、早期に評価基準値の設定を含めた検討が必要である。

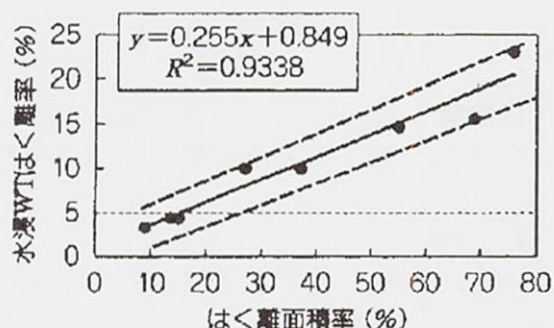


図-2 水浸WTはく離率とはく離面積率の関係

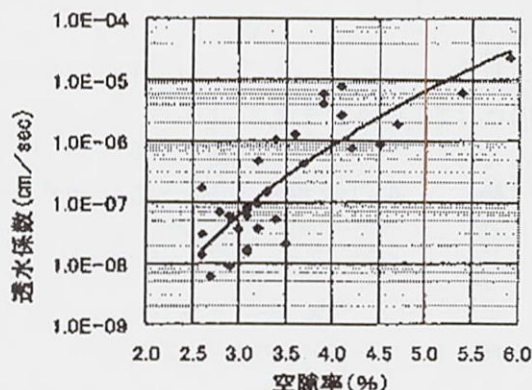


図-3 空隙率と透水係数の関係

参考文献

- 1) 川村、高橋他：JHにおける高機能舗装化に伴う下層部の耐水対策、舗装、2002.3
- 2) 菅野他：高機能舗装の基層に関する検討、第8回北陸道路会議技術報文集、2000.6
- 3) 高橋、菅野他：高機能舗装化に伴う基層用混合物の検討、土木学会第56回年次学術講演会、2001.10

2.7 アスファルト混合物の耐久性試験方法

質問者：東北技術事務所工事事務所

回答者：土木研究所基礎道路技術研究グループ 舗装チーム（内線 8093-4625）

質 問

現在、耐久性を評価する手法として「カンタブロ試験」が代表的かと思われる。しかし、その基準は「概略20%以下」と言われているが、明確な根拠が見当たらないので、ご教示願いたい。

また、最近は改質アスファルトの性能向上が目覚しいが、従来の試験方法（ホイールトラッキング試験）では測定上限値を超えており、評価に苦慮している。新しい評価手法について、情報があればご教示願いたい。

回 答

（1）カンタブロ試験について

カンタブロ試験では、アスファルト混合物の骨材飛散抵抗性を評価するために用いられ、損失率が結果として得られる。現在のところ、この損失率の基準値は規定されていないが、日本道路公団に限って排水性混合物の設計基準で20%と規定している。従って、この「20%以下」とはJHの基準のことである。JHがカンタブロ損失量を20%以下とした根拠としては、「排水性舗装設計施工要領（案）、平成6年3月、日本道路公団（すでに廃止）¹⁾」に、『試験研究所で実施した試験では排水性舗装用改質アスファルトでは概ね10%前後の収束値を示し、これを参考に20%とした。』との記述がある。図-1のとおり、バインダー量が増えるに従いカンタブロ損失量が減っており、OAC(図中の数字)付近ではどの配合でも概ね10%となっている。このことからJHでは、他の配合で多少損失量が大きくなることも想定して20%以下としているようである。

以上のことから分かりますとおり、「カンタブロ損失量20%以下」というのは、配合設計から出てきた数値であり、骨材飛散などの性能との関係は明らかとなっていない。従って、カンタブロ損失量を供用性能と評価する目的で使用する場合は、これらの関係をよく調査した上で使用すべきである。

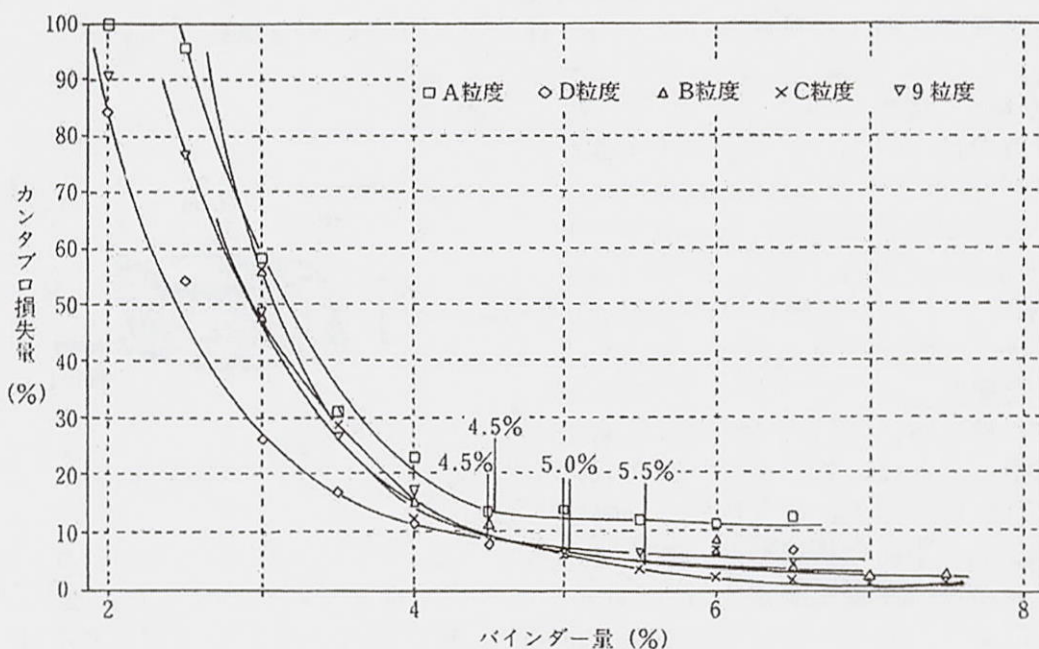


図-1 カンタブロ試験結果²⁾

(2) 耐久性における新しい評価手法

1) 耐久性評価方法の現状

現在、耐久性の評価手法として一般的に用いられている試験方法はホイールトラッキング試験(以下、WT試験)である。しかし、この試験方法では高耐流動性混合物には適用できないと言われている。図-2 にアスファルトの粘弾性と動的安定度DS(WT試験値)の関係を示す³⁾。図-2よりDS値が6000(回/mm)以上の高耐流動性混合物の場合、試験値がばらつくため評価が正しくできないことがわかる。正しく評価できない理由として、DS

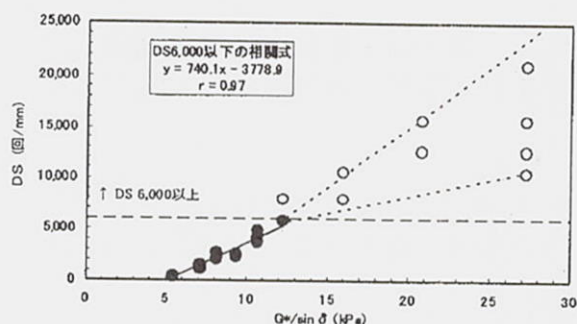


図-2 アスファルト粘弾性とDSの関係は変形量により算出されるが、高耐流動性混合物ではこの変形量が小さいため、変形量の読み取りが0.01mmずれても、DS値が大きく変動することが上げられる。

以上のことから、DS値が6000(回/mm)以上の高耐流動性混合物には、現状のWT試験法では有効に評価できるとは言えない。そこでここでは高耐流動性混合物のWT試験による測定方法の検討例と全く新しい評価方法の検討例の2つを紹介する。

2) WT試験の精度向上に関する研究

WT試験の測定精度は0.01mmであり、高耐流動性混合物の場合では微少な変形しか起きず、測定値が大きくばらつく傾向にある。また、通常の変形量測定位置は供試体中央部の1カ所のみであり、変形量は供試体の出来(骨材の微少なずれ等)に大きく左右されてしまう。そこでつくば舗装技術交流会では、図-3に示すとおり、変形量測定位置を5カ所に増やし試験精度を高めることを提案している⁴⁾。変形量測定位置を増やすことによって、供試体の出来にあまり左右されずに評価を行うことが可能となる。現在もつくば舗装技術交流会では試験精度向上や試験値のばらつき低減を目標に研究を継続している。

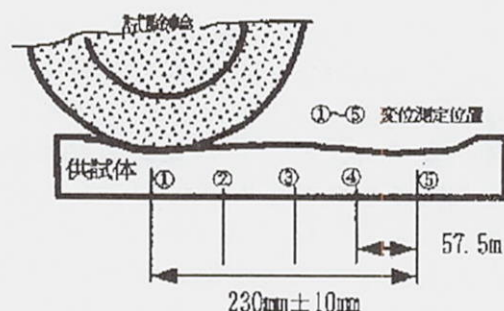


図-3 変形量測定位置

3) 新しい評価方法

土木研究所では、米国 SHRP 計画の中で開発された SST(SUPERPAVE Shear Tester)による評価法の中で、耐流動性評価に最も有効であった RSCH(Repeated Shear Test at Constant Height)をもとに新しい評価試験の検討を行った。その結果、RSCH 専用試験機の試作および評価方法を開発した^{3,5)}。図-4にRSCH試験で使用する供試体、図-5にRSCH試験で用いる評価指標SDR値の概念図をそれぞれ示す。

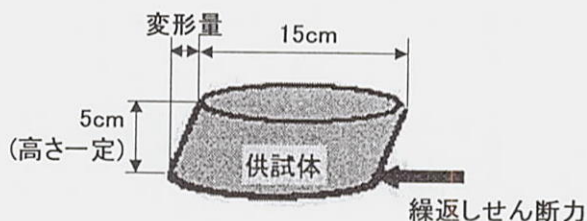


図-3 供試体図

測定方法は試験供試体の上面を固定し、高さを一定にしながら下面に繰返しせん断力を加えていく。そしてせん断力を加えている間、同時に供試体のひずみ量を測定する。測定されたひずみ量とせん断ひずみ量の関係は図-5に示すようになる。繰返しせん断回数が4000回と5000回の各せん断ひずみ量を用いて、SDR値を求め評価を行う。

SDR値とDSの相関関係については、図-6に示すとおり非常に高い相関関係を示すこと

が明らかになり、RSCH 試験は高耐流動性混合物の評価に有効であることが確認された。
 現在では、供用中の舗装から供試体を抜き取り、実道における追跡調査を実施している。

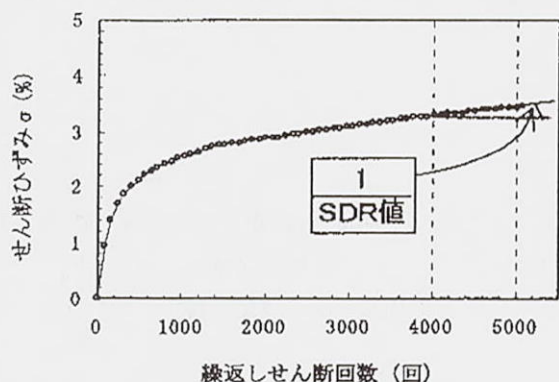


図-5 繰返しせん断回数とひずみの関係

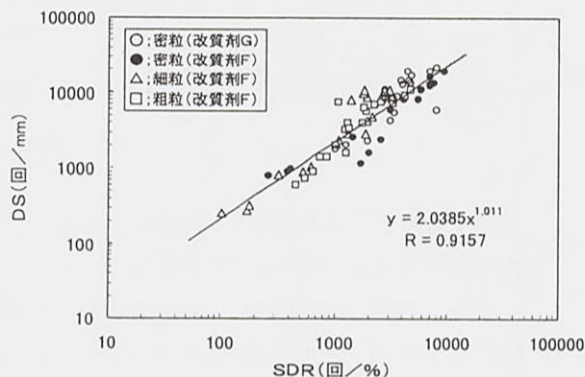


図-6 SDR と DS の関係

参考文献

- 1) 日本道路公団：排水性舗装設計施工要領（案）、平成6年3月
- 2) 日本道路公団：日本道路公団試験研究所報告 Vol.29 P.43、平成4年11月
- 3) 新田、吉田他：アスファルト混合物の新しい耐流動性評価手法の開発、土木研究所資料第3802号、2001年1月
- 4) つくば舗装技術交流会：TPT Report No.1、2001年8月
- 5) 市岡、新田他：高耐流動性アスファルト混合物の評価試験に関する検討、土木学会第55回年次学術講演会、2000年9月

3. 1 水槽構造物のひび割れ対策について

質問者： 福島県土木部下水道課

回答者： 土木研究所 技術推進本部 構造物マネジメントチーム

質問

本県では、下水道施設の水槽構造物について、予防策として誘発目地を設置し、クラックの分散・減少を図る必要があると考えますが、明確な基準がないことから対処に苦慮しています。

また水槽構造物に発生したひび割れについては、樹脂の注入や防水シートの貼付によって対応していますが、恒久的な対応にはなっていません。

以上のことからひび割れ対策についての予防策や対処方法についてご教示願いたい

回答

マッシュな壁状の構造物などでは、セメントの水和熱による温度応力および温度ひびわれに対する検討が必要になります。温度ひび割れを制御する対策としては、①コンクリートの温度上昇を抑制する方法、および②ひび割れ誘発目地を設け、誘発目地以外の部分での計画外のひび割れの発生を抑制する方法、③膨張材を用いる方法、④ひび割れの発生は認めるもののひび割れ幅が過大になるのを防ぐため用心鉄筋を配置する方法、が考えられます。ここでは、ご質問の趣旨から、①および②についてご説明します。

コンクリートの温度上昇を抑制する方法としては、発熱量の少ないセメントを用いる、単位セメント量を減らすなどの配合上の対策と、打込み時のコンクリートの温度を下げる、一回あたりのコンクリートの打込み高さを少なくする、(特に大規模な構造物の場合) 打込み後にパイプクーリングを行うなどの施工上の対策があります。

ひび割れの発生を防止するために設ける誘発目地の間隔については、前述のようなコンクリートの配合や施工の条件などの他に、部材の寸法や鉄筋量などに影響されるため、基準として一律に定めるのは難しいところです。なお、土木学会のコンクリート標準示方書〔施工編〕の解説では、誘発目地の間隔の目安として、一般的にはコンクリート部材の高さの1～2倍程度とするとよいと紹介されています。また、誘発目地部の処理方法についても例示されていますので、参考にしてください²⁾。

ただし、以上のような対応を行っても、ひび割れを完全に防ぐことはきわめて難しいのが現状です。このため、どうしてもひび割れを防ぎたい場合などは、膨張材を用いるのも一つの方法です。しかし、いずれにしてもコストが上昇するため、費用対効果を考えると発生したひび割れを補修する方が効果的な場合が多くあります。

ひび割れが発生してしまった場合の対策には、表面処理工法(塗膜)、注入工法、充填工法などがあります。通常温度ひび割れに対しては、ひび割れ幅が0.2mm以上の場合は注入工法、0.2mm以下の場合には表面被覆工法を適用する場合があります。補修はひび割れが十分に開いた状態で施工するのが効果的で、打設後コンクリートの温度が十分に下がってきた時点で、気温の低いときに行うのが良いでしょう。使用する材料によっても施工性や耐久性などが異なります。

したがって、ひび割れ幅やひび割れ幅の変動の大きさなどを考慮して、材料・工法を選定することが重要です。各種補修材の性能については、日本コンクリート工学協会の「コンクリートのひび割れ調査、補修・補強指針」³⁾に詳細にまとめられていますので、参考にしてください。

表 ひび割れに応ずる補修工法の分類

補修目的	ひび割れ幅の変動	ひび割れ幅(mm)	補修工法				
			表面処理工法	注入工法	充填工法	その他の工法	
						浸透性防水剤の塗布工法	その他
防水性	小	0.2 以下	○	△		○	
		0.2～1	△	○	○		
	大	0.2 以下	△	△		○	
		0.2～1	△	○	○		

※ ○印 適当と考えられる工法 △印 条件によっては適当と考えられる工法

※日本コンクリート工学協会「コンクリートのひび割れ調査、補修・補強指針」の表-5.1 (p.90) を一部改変して作成した。

【参考文献】

- 1) 土木研究所：「中部地方整備局における一日土研資料」、コンクリートの温度ひび割れ対策，p.47，2002.2
- 2) 土木学会：「2002 年度制定コンクリート標準示方書 [施工編]」，pp.130-131，2002.3
- 3) 日本コンクリート工学協会：「コンクリートのひび割れ調査、補修・補強指針」，pp.89-103，1997.5

3.2 夏期におけるコンクリート養生の際の温度管理

質問者：山形工事事務所 山形国道維持出張所

回答者：土木研究所技術推進本部構造物マネジメント技術チーム

質 問

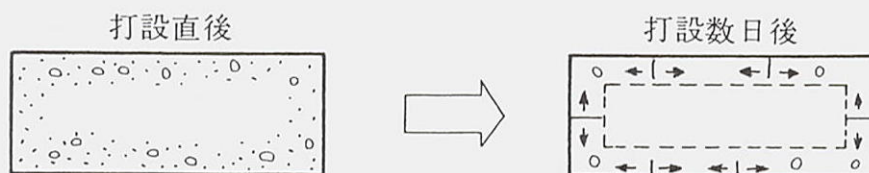
コンクリートのひび割れ抑制には部材内外の温度管理が重要であり、外気温の低い冬期にはジェット等による養生を行うが、夏期においても通常養生では、部材内外の温度差が大きくなってしまい、ひび割れ発生の要因になると思われる。適切な温度管理・養生方法についてご意見を伺いたい。

回 答

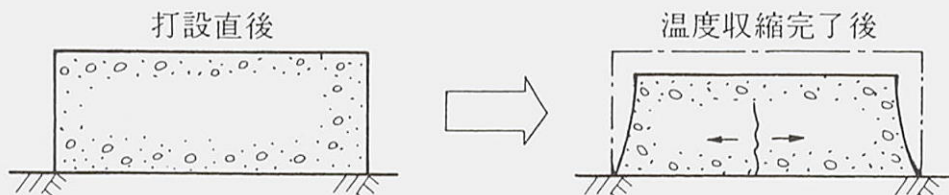
コンクリートの施工に際しては、温度ひび割れの発生をできる限り防ぐことが重要です。

温度ひび割れの発生メカニズムについては図－1に示すように内部拘束によるひび割れと外部拘束によるひび割れがあります。内部拘束とは、コンクリート打設後のまだ内部のコンクリート温度が高い時点で、外部のコンクリートが冷却されると、収縮しようとする外部のコンクリートが内部のコンクリートに拘束され、これによってひび割れが発生します。外部拘束とは、コンクリート全体が冷えていく段階において、コンクリート全体の収縮が岩盤や先打ちコンクリート等によって拘束され、これによってひび割れが発生します。特にコンクリートの打設温度が高くなる夏期は外部拘束による温度ひび割れの発生の可能性が高いといえます。また、夏期ではコンクリートの凝結が早まることによるコールドジョイントの発生や、打設直後のフレッシュ状態でのコンクリート中の水分の蒸発が早いことによる乾燥ひび割れの発生についても注意が必要です。これらのことから、コンクリート標準示

① 内部拘束



② 外部拘束



図－1 温度ひび割れの発生概念図

方書では外気温が 25℃を超える場合には「暑中コンクリート」として特別な配慮が必要であることが述べられています。

夏期における温度ひび割れを防ぐ方法としては、コンクリート温度をできるだけ上げないこと、速やかな打設を行うこと（コンクリートの凝結が促進されない工夫をすること）、乾燥による水分の蒸発を抑えることが重要です。設計、材料、製造・運搬、施工の各段階における一般的な留意点を以下に整理します。

(1) 設計

- ・適切なブロック割を行う。
- ・ひび割れ幅を抑制する目的で用心鉄筋を配置する。
- ・必要に応じてひび割れ誘発目地を設ける。

(2) 材料

- ・焼成直後の温度の高いセメントの使用を避ける。
- ・発熱量の小さな混合セメントや低発熱セメントを使用する。
- ・良質な骨材を用いたり減水効果の高い混和材を用いるなどして単位セメント量を低減する。
- ・遅延型の減水剤を使用する。

(3) 製造・運搬

- ・骨材に直接日光が当たらないように日よけを設ける。
- ・練混水に冷水を使用する。
- ・アジテータ車のドラムに覆い付ける。

(4) 施工

- ・ポンプ配管に直射日光が当たらないように覆いを付ける。
- ・型枠（特に鋼製型枠）が高温にならないように散水等を行う。
- ・コンクリートを打ち込む岩盤面や先打ちコンクリートの表面が乾燥しないように湿潤状態を確保する。
- ・コンクリート練上りから打設完了までの時間を短かくし（コンクリート標準示方書の「暑中コンクリート」では90分以内と規定されています）、連続的に打設する。
- ・打設完了後は速やかに養生シート等で覆い、水分の蒸発を防止する。
- ・硬化が進んでいない時点で、急激な乾燥によるひび割れが発生した場合には、直ちに再振動締めやタンピングを行う。
- ・硬化後も養生シートや散水による湿潤養生または膜養生を十分な期間（コンクリート標準示方書では普通ポルトランドセメント使用コンクリートで5日、高炉セメント使用コンクリートで7日と規定されています）行う。

また、大規模な構造物（マスコンクリート）で一般的な対策を行っても重大な温度ひび割れの発生が予測される場合には、打設を夜間に行ったり、また、プレクーリングやパイプクーリングが実施される場合もあります。

なお、コンクリートに発生する温度ひび割れをまったく生じさせなくすることは、非常に困難であったり、多大なコスト増加を伴うこともあります。このような場合は(1)にも記述しましたが、ひび割れ誘発目地を設けたり、ひび割れ幅が過大になることを防ぐために用心鉄筋を配置するなど、構造的に問題の生じない範囲でひび割れを許容する設計を行うことが実用的です。

3.3 コンクリート二次製品の品質確認

質問者：東北技術事務所

回答者：土木研究所技術推進本部構造物マネジメント技術チーム（内線3543）

質 問

東北地方の寒冷地では、JIS 製コンクリート二次製品の中に使用後 1 ～ 2 年の早期にひび割れやはく落崩壊する凍害などの劣化現象が各地で見られ、維持管理や安全管理の面で問題になっている。この原因として適正な空気量の不足や蒸気養生管理の不適切さなどが指摘されている。コンクリート二次製品の現場受入時にできるだけ簡便に製品の良否を判定できる方法をご教示願いたい。

回 答

コンクリート工場製品の凍害による早期劣化は、関東地方などそれほど寒冷でない地域でも発生しています。この原因は、多くの場合、ご指摘のとおり空気量の不足と不適切な蒸気養生にあります。

コンクリート製品ではともすると、製造の効率を上げるため、硬練りのコンクリートを用いて型枠の転用を早め（即脱）、蒸気養生も急激に温度を上昇させて早期に強度発現を得たあと急激に下降させる傾向があります。蒸気養生時の急激な温度上昇・下降は表面に微細なひび割れを生じさせますが、内部にも微細なひび割れが生じていると思われます。また、硬練りコンクリートは空気を連行し難いこと、製品の仕上がり状態（見栄え）を良くするため空気を入れたがらないという問題があります。このようなことから、コンクリート製品は凍害を生じやすくなっている場合があります。

ここでは、配合設計（空気量の確保）、製造時（蒸気養生）の留意点、そしてご質問の受入時の簡便な検査方法についてお答えします。

(1) 配合設計時の注意事項

使用材料は良質なものをを用いること、特に東北地方は良質な骨材が得難いので注意すること、配合は耐凍害性を確保できる水セメント比の上限値が守られているかといったことはもちろん、空気量の確保が重要です。

硬練りコンクリートに空気を連行する場合、起泡力、安定度の優れた起泡剤を使用する必要があります。このような混和剤としては、高級アルコール硫酸エステル塩を主成分とするものなどがあります。

(2) 蒸気養生の注意事項

蒸気養生は、通常、図-1 のように前養生期間、温度上昇期間、等温養生期間、徐冷期

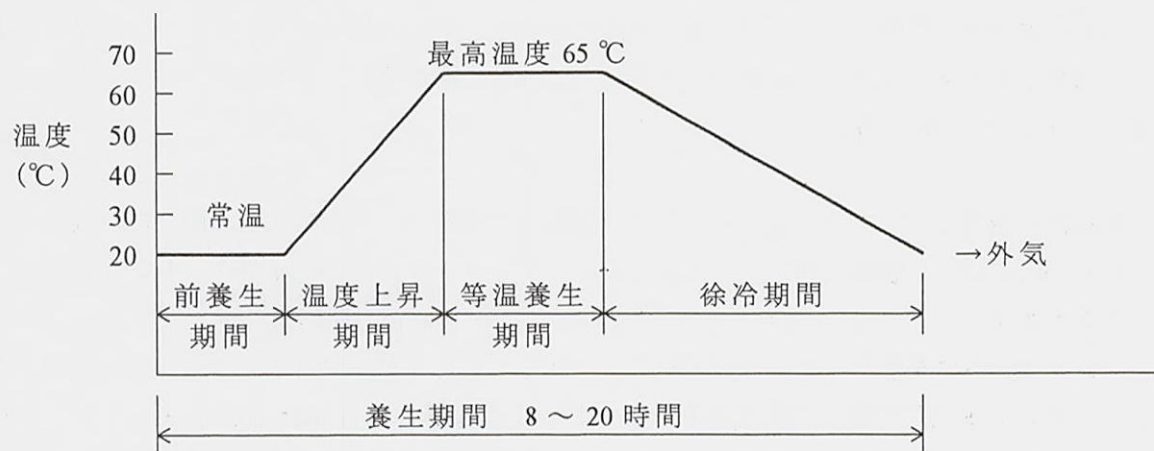


図-1 蒸気養生サイクル

間のサイクルで行なわれます。成形後、直ちに急激な加熱を行ったり、最高温度を高くしすぎたり急冷しすぎたりすると、ひび割れを生じたり、十分な強度を得られなくなりますので、コンクリート標準示方書[施工編]15.4.5 項にしたがって行なわれているかどうかを確認しておくとい良いでしょう。

また、養生室の構造の確認も重要です。蒸気の吹き出し口から蒸気が製品に直接あたらないようになっているかどうかを確認しておくことが重要です。現場で設置されたコンクリート製品の中には、一定間隔ごとにひび割れやはく落を生じる場合がありますが、この原因は養生室の構造と製品の置かれている位置の関係があるものと考えられていますので注意が必要です。

(3) 受入時の簡便な検査方法

コンクリート製品の一般的な検査項目は、外観、形状、寸法、圧縮強度です。空気量、微細なひび割れの有無の検査方法は、今のところありません。これらの簡便検査な方法は、まだ確立されておられません。現状では次のような方法が考えられます。

空気量については、まず、AE 剤を使っているかどうかをチェックすべきです。工場製品で凍害に対して有効な AE 剤が使われないのは、購入者側にも責任があります。必要以上に外観を重視し、気泡などが無いものを良しとする傾向があり、そのために AE 剤の使用が進みません。表面の多少のあばたよりは AE 剤を使って所要の空気量が確保されているかどうかを重視すべきです。

コンクリート製品に所要の空気量が入っているかどうかを簡便に検査する方法は、製品の形状・寸法精度は高いと考えられることから、質量測定を行なうことが考えられます。この場合、事前に空気量と質量の関係をつかんでおくこと、継続的に測定を行ない、変化を見極めることが必要です。

養生については、工場ごとに養生に関する社内規定を設けているはずです。それらが守られているかどうかをチェックすることも有効でしょう。

微細なひび割れについては、たとえば超音波により音速を測定する方法が考えられます。図-2 のように表面の 2 点間を、距離を変化させて何点か測定し、音速の絶対値で全体の品質を、音速の変化を見ることによって表面と内部の品質の差を知ることができる可能性があります。これを実用化するためには、データの蓄積が必要です。

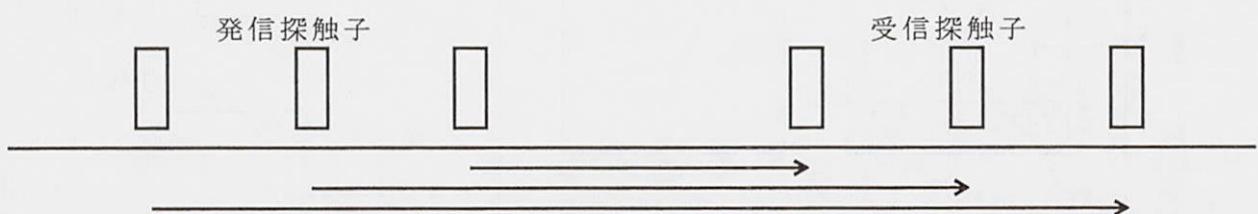


図-2 超音波による表面の音速測定

3.4 ボックスカルバートのスターラップの配筋方法

質問者：福島県 あぶくま高原自動車道建設事務所

回答者：国土技術政策総合研究所総合技術政策研究センター建設システム課

(内線 3 7 3 5)

土木研究所材料地盤研究グループ土質チーム (内線 4 1 4 4)

質 問

ボックスカルバートの頂版及び底版は、荷重状態により引張領域、圧縮領域が異なる。頂版では、部材中央部は下側が引張、部材端部では上側が引張となる。このような場合に、ボックスカルバートの頂版及び底版で、せん断補強筋が必要となった場合のスターラップの配筋方法について、鋭角フックと直角フックをどのように定着すればよいか、ご教示願いたい。

回 答

ボックスカルバートの頂底版では曲げモーメントが交反するため、区間ごとに配置を替えなければなりません。

また、スターラップは、引張側主鉄筋を取り囲む形状とする必要があります。

ご質問のような、引張側主鉄筋を取り囲まない、鋭角フックと直角フックとした形状のスターラップで配筋筋と共同してその機能を確保する場合には、鋭角フック側と直角フック側の機能上の差は小さいと考えられますが、引張側に鋭角フックを配置するのがよいと思われます。

鋭角フックを引張側に配置する場合を図-1に示します。スターラップの向きを変える位置は、死荷重作用時で決定すればよいと考えます。

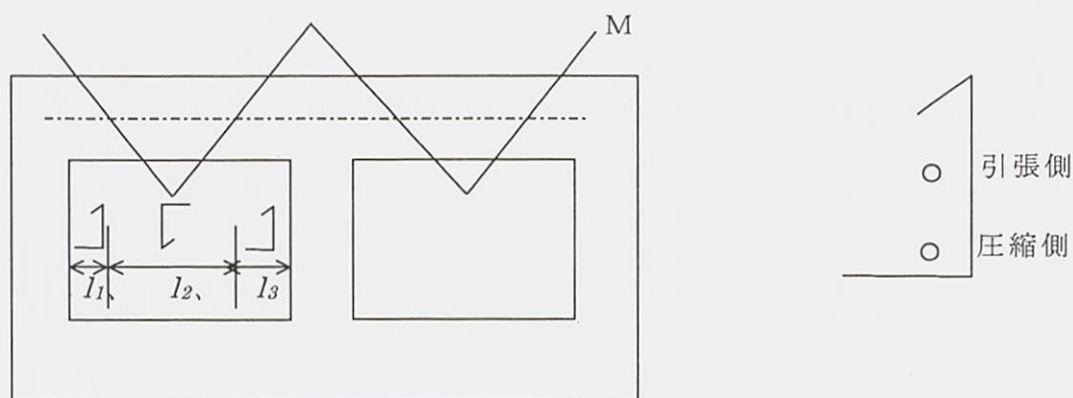


図-1 スターラップの配置要領

4.1 コンクリート橋の塩害に対する考え方について

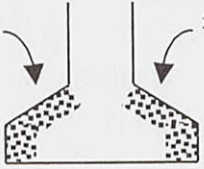
質問者：本局道路部道路工事課

回答者：土木研究所技術推進本部構造物マネジメント技術チーム（内線3545）

質 問

塩害の影響地域においてコンクリート橋を計画する場合、橋梁構造についてできるだけ隅角部を少なくし、塩分の付着面積を少なくする等の配慮を行うこととされているが、具体的に、これを特に配慮すべき地域区分や海岸線からの距離等の目安をご教示願いたい。

回 答

ご指摘の内容は、道路橋の塩害対策指針（案）・同解説（昭和59年2月）の3章「3.1 一般」に記述があり、道路橋示方書・同解説（平成14年3月）では、Ⅲ コンクリート橋編の5章「5.2 塩害に対する検討」の解説（2）でも同様の記述があります。塩害に関する過去の調査事例では、右図に示したような隅角部の多い構造の場合には、コンクリートの表面積が大きく、で示した部分に塩分が滞留して付着し易く、塩害が多く発生しているのに対し、隅角部の少ない左の構造の場合には、塩分が飛来しても滞留し難いという結果が得られています。

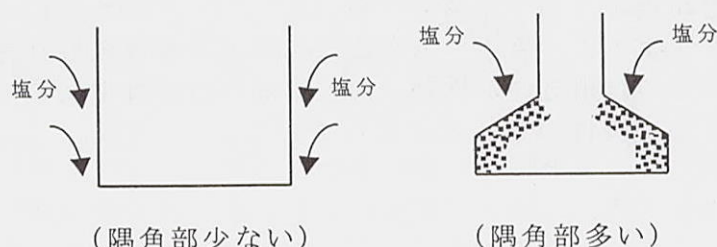


図 構造物形状の違いと塩分付着との関係

表 塩害の受け易さとかぶり、橋梁構造の関係
（コンクリートの品質が一定の場合）

かぶり 隅角部	大きい	小さい
多 い	腐食時期：遅い 腐食面積：大	腐食時期：早い 腐食面積：大
少 ない	腐食時期：遅い 腐食面積：小	腐食時期：早い 腐食面積：小

一般に、コンクリート構造物の塩害は、かぶりコンクリート中への塩化物イオンをはじめとする劣化因子

の浸透によって生じるとされています。この場合、隅角部の多い構造などの場合では、隅角部の少ない構造に比べて絶対的な表面積が増え、塩化物の付着の機会が増大し、また、上記のような滞留も増えるため、侵入塩化物イオン量が多くなり、塩害を受け易い傾向を示すと考えられます。なお、塩害の発生し易さに対しては、隅角部の多少のほかにかぶりの大小が影響を及ぼしますが、これらの組合せと塩害との定性的な関係をまとめると表のようになります。すなわち、コンクリートの品質が一定であれば、かぶりが小さく隅角部の多い構造のものが塩害の被害を最も受け易いことになります。

以上の内容をまとめると、少しでも塩害の影響を受ける可能性がある場合には、隅角部が少なく表面積の小さな構造とするのが維持管理上好ましいと考えられます。

なお、近年では、塩害の影響の度合いが激しい地域においては、実際に箱桁などの隅角部の少ない構造が採用されているようです。

参考文献

- 1) 日本道路協会編：道路橋の塩害対策指針（案）・同解説，pp.12-13，1984
- 2) 日本道路協会編：道路橋示方書・同解説，Ⅲ コンクリート編，pp.171-175，2002

4.2 橋梁の耐震設計における慣性力の考え方

質問者：東北地方整備局道路部道路工事課

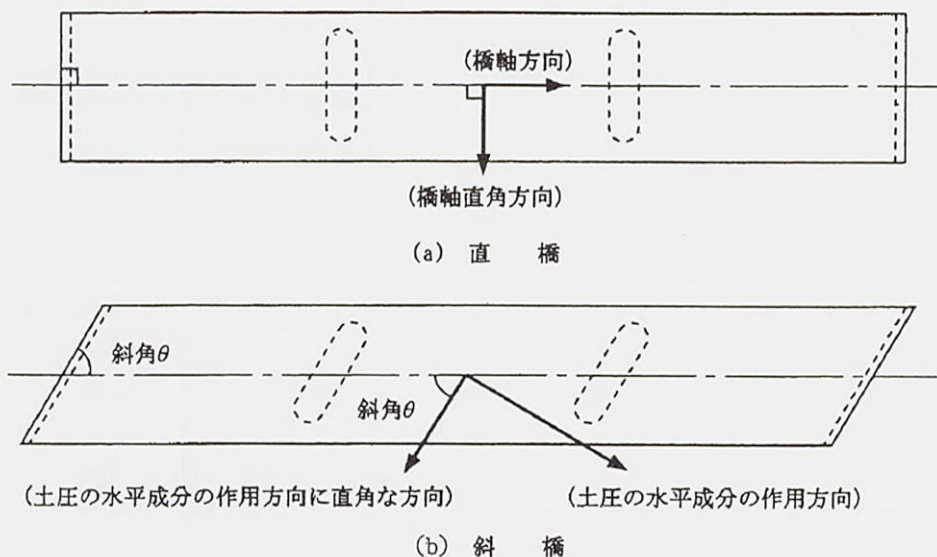
回答者：土木研究所耐震研究グループ耐震チーム（内線4231）

質問

橋梁の耐震設計にあたり、斜角 60° 以上の斜橋の場合、慣性力の作用方向については、直橋とみなしてよいこととされているが、上部構造の慣性力の作用位置については直橋（橋軸方向の作用位置を支承の底面とする）とみなして設計することは適切ではないものかご教示願いたい。通常のゴム支承を有する橋を想定している。

回答

道路橋示方書Ⅴ耐震設計編 6.2.2 においては、上部構造の慣性力の作用方向は、図－1 に示すように、直橋の場合には橋軸方向及び橋軸直角方向とし、また、斜橋等で土圧の水平成分の作用方向が橋軸方向と異なる場合は土圧の水平成分の作用方向ならびにそれに直角方向に慣性力を作用させることとされている。ここで、斜角が大きい斜橋（一般に 60° 以上）の場合には計算の簡便さを考えて直橋とみなして橋軸方向及び橋軸直角方向の慣性力を求め、これをそれぞれ土圧の水平成分の作用方向及びこれに直角方向の慣性力とみなしてよいと解説されている。これは、斜橋に対する慣性力としては、道路橋示方書Ⅴ耐震設計編 6.3.2 に示されるように斜角の影響を考慮して慣性力を算出する必要があるが、計算の簡便さを考えて直橋とみなして慣性力を算出し、これを土圧の水平成分の作用方向とそれに直角方向に作用させてよいというものである。



図－1 慣性力の作用方向

一方、斜橋の上部構造の慣性力の作用位置は、いずれの方向に対しても上部構造の重心位置としなければならないこととされている。これは、斜橋の場合には斜角によって支承の変位方向や回転方向が変化し、このような条件に応じた計算が煩雑となるため、上部構造の慣性力の作用位置は本来の上部構造の重心位置とされている。ただし、斜橋の場合でも、支承の回転方向あるいは可動方向の条件によっては、その方向のモーメントあるいはせん断力の成分が伝達されないため、このような条件と慣性力の作用方向の関係を考慮して下部構造天端に作用する慣性力を求めてもよいとされている。例えば、支承の回転によ

りキャンセルされるモーメント成分や可動支承の可動方向の摩擦力以外のせん断力成分などが該当する。

このように下部構造天端に作用する慣性力を求めてよいのは、どのような支承配置の斜橋の場合でも適用することができる。ただし、この場合には、斜角や支承の設置位置、支承の変位方向・回転方向などを適切にモデル化に考慮した上で下部構造天端に作用する慣性力を求める必要がある。

例えば、力の伝達を考慮すると、図-2に示すような斜橋の支承条件の場合には以下のように考えることができる。

(1) 土圧の水平成分の作用方向

1) 全ての支承の回転軸が同一で支承線の方法（土圧の水平成分の作用方向に直角方向）と一致する場合には、土圧の水平成分の作用方向に対する水平力に起因するモーメントが支承を介して下部構造に伝達されなくなるため、上部構造の慣性力の作用位置は支承の底面（下部構造天端）とすることができる。例えば、ゴム支承などで全方向に対する回転が自由な支承構造の場合にはこれに該当する。

2) 支承の回転軸が支承線の方法（土圧の水平成分の作用方向に直角方向）と一致しない場合には、上部構造の慣性力の作用位置は上部構造の重心位置とし、斜角の影響を考慮して同方向に対する下部構造天端における慣性力を算出することができる。

(2) 土圧の水平成分の作用方向に直角な方向

同方向に対する上部構造の慣性力の作用位置は、水平力に起因するモーメントが下部構造天端に作用するため上部構造の重心位置となる。

したがって、質問の回転を拘束しないゴム支承の場合には、上記（1）1）に該当するため、上部構造の慣性力の作用位置は支承の底面と考えることができる。

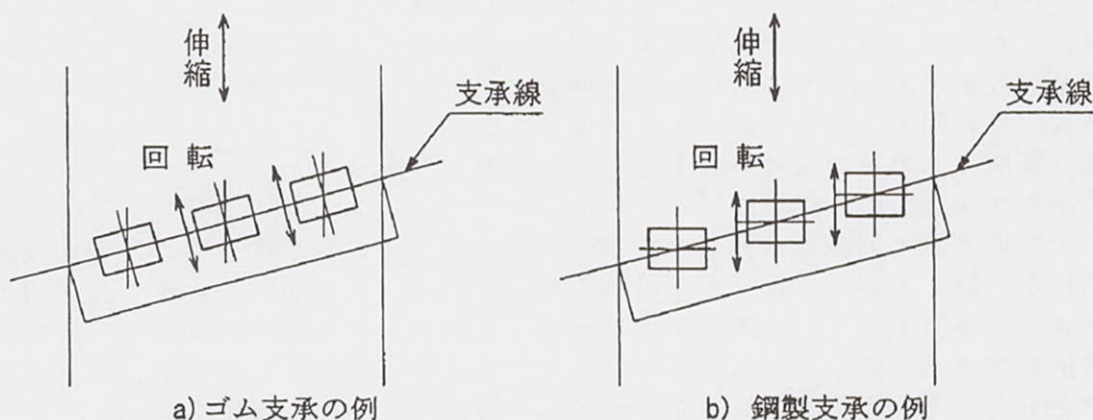


図-2 斜橋における支承の配置と変位方向、回転方向

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書V耐震設計編、1990、1996、2002
- 2) 日本道路協会：道路橋支承便覧、1991、2002

4.3 曲線橋の上部構造の慣性力の作用位置

質問者：福島研あぶくま高原自動車道建設事務所

回答者：土木研究所耐震研究グループ耐震チーム（内線4231）

質問

斜橋の場合には、斜角によって支承の回転方向が変わるので、上部構造の慣性力の作用位置は、上部構造の重心位置としており、直橋以外は全てが該当するとされているが、道路法線に対して直角な橋台を有する曲線橋の場合にはどのように考えるべきかご教示願いたい。

回答

道路橋示方書Ⅴ耐震設計編 6.2.2 においては、上部構造の慣性力の作用方向は、その重心位置とすることとされている。ただし、下部構造の設計における上部構造の慣性力の作用位置については、橋の構造条件に応じた慣性力の伝達機構を考慮してこれを求めてよいこととされている。

慣性力の伝達機構に関しては、上部構造の重心位置に作用する慣性力が支承を介してどのように下部構造に伝達するかがポイントとなる。採用する支承や支承の回転方向あるいは可動方向の条件によって、その方向のモーメントあるいはせん断力の成分が伝達されないため、このような条件と慣性力の作用方向の関係を考慮して下部構造天端に作用する慣性力を求めることができる。例えば、直橋の場合に上部構造の慣性力の作用位置を支承の底面としているのは、支承は上部構造の回転を許すためにモーメントが伝達されないこと、支承の高さの影響は比較的小さいことから、設計の便宜上支承の底面としてよいとされている。

このように下部構造天端に作用する慣性力の伝達機構を考えることができるのは、斜橋や曲線橋、またどのような支承配置の場合でも適用することができる。ただし、この場合には、支承の設置位置、支承の変位方向・回転方向などを適切にモデル化に考慮した上で下部構造天端に作用する慣性力を求める必要がある。

例えば、質問の曲線橋の場合を想定して力の伝達を考慮すると、

（１）土圧の水平成分の作用方向

１）全ての支承の回転軸が同一で支承線方向（土圧の水平成分の作用方向に直角方向）と一致する場合には、土圧の水平成分の作用方向に対する水平力に起因するモーメントが支承を介して下部構造に伝達されなくなるため、上部構造の慣性力の作用位置は支承の底面（下部構造天端）とすることができる。例えば、ゴム支承などで全方向に対する回転が自由な支承構造の場合にはこれに該当する。

２）支承の回転軸が支承線方向（土圧の水平成分の作用方向に直角方向）と一致しない場合には、上部構造の慣性力の作用位置は上部構造の重心位置とし、斜角の影響を考慮して同方向に対する下部構造天端における慣性力を算出することができる。

（２）土圧の水平成分の作用方向に直角な方向

同方向に対する上部構造の慣性力の作用位置は、水平力に起因するモーメントが下部構造天端に作用するため上部構造の重心位置となる。

したがって、道路法線方向に対して直角な橋台を有する曲線橋で、全ての支承の回転軸が同一で支承線方向（土圧の水平成分の作用方向に直角方向）と一致する構造の場合には、上記（１）１）に該当するため、土圧の水平成分の作用方向に対する上部構造の慣性

力の作用位置は支承の底面、土圧の水平成分の作用方向に直角な方向に対する上部構造の慣性力の作用位置は上部構造の重心位置と考えることができる。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書Ⅴ耐震設計編、1990, 1996, 2002
- 2) 日本道路協会：道路橋支承便覧、1991, 2002

