

アセットマネジメントによる常用系ゲート設備 の健全な管理をめざして

中安 真也¹・亀井 稔²

¹近畿地方整備局 企画部 施工企画課 (〒540-8586大阪府大阪市中央区大手前1-5-44)

²近畿地方整備局 淀川河川事務所 施設管理課 (〒573-0166 大阪府枚方市)。

河川構造物である水門等は、洪水の制御や利水取水などを目的に、河川または堤防を横断して設置されており、国民の生命財産を守るとともに、快適な生活をおくる上で欠かすことの出来ない施設です。

多くの河川用ゲートは、高度経済成長期の昭和40年代後半から建設され、現在では建設後30年から40年を迎える施設が多く、老朽化による整備・更新が必要な施設が年々増加しており、施設の信頼性を確保しつつ、効果的な維持管理が求められます。

本論文では、水門のなかでも、常用系施設とよばれ、他の施設と比較しても、利用頻度の多い水門である、舟運のための水門（閘門）に着目し、平成26年度に発生した不具合事例をもとに、毛馬閘門の特徴を踏まえた今後の管理方法の改善策と対策について報告します。

キーワード アセットマネジメント、閘門、老朽化、維持管理

1. はじめに

(1)淀川の特徴

淀川は、大阪の都市部を流れる河川で、治水だけではなく、利水、舟運の面でも多く活用される重要な河川です。利水では河口から10kmの位置に、淀川大堰があり、潮止めと水位維持を行っています。水面利用では、淀川は古くから舟運が盛んで、今でも警察、消防、観光船、砂利採取船など、ほぼ毎日、多くの利用があります。しかし、淀川大堰より上流に航行するには淀川大堰を船が航行できないため、大川（旧淀川）を通り淀川大堰上流部にある毛馬閘門を利用して航行しています。

(2)閘門

閘門は、水位の異なる河川と河川をつなぐ場所に設置され、船を安全に通過させることを目的としています。

構造は、2つの閘門ゲート、閘室と呼ぶ水路、パイパスと呼ぶ閘室の水を出し入れするための設備で構成されます。

閘門を船が通過する方法(図-3)は、

- ① 船が近付くと、最初の閘門ゲートを開け、閘室に船を入れます。



図-1 淀川と毛馬閘門の位置

- ② 最初の閘門ゲートを閉め、閘室の水を出し入れし、行き先の河川水位と閘室の水位を合わせます。
- ③ もうひとつの閘門ゲートを開け、船を進ませる。
このようにすることで船は水位差を超えて行き来することが出来ます。

表-1 毛馬閘門施設の仕様

閘室		11.35m×107.0m
通船時間		約30分
ゲート	型式	ローラーゲート
	扉高	6.8m
	扉体の重量	31t
完成年月		昭和51年1月

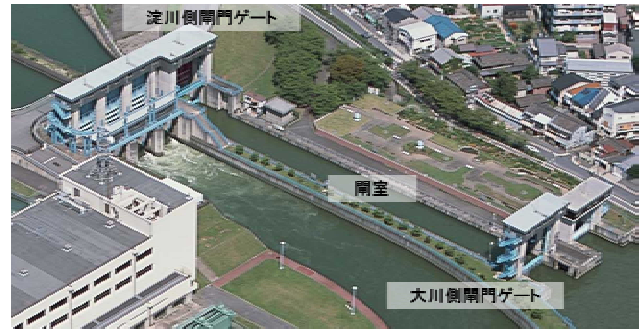


図-2 毛馬閘門の施設配置



船が入る前の閘室



船が入った閘室



船が通過する状況



図-3 毛馬閘門の通船方法

表-2 大川側ゲートの仕様

形式	ワイヤーロープウインチ式ローラーゲート
純径間	11.35m
扉高	6.8m
開閉速度	5m/分
揚程	12m
完成年度	昭和49年

2. 管理方法を見直した経緯

閘門ゲートの維持管理は他の樋門、水門、堰と同じマニュアル※1に基づき、点検、整備、更新を行っています。マニュアルでは、水門を使用用途と稼働頻度から常用系と非常用系に大別されます。閘門ゲートは役割が、水位維持であり、日常的に稼働することから、同マニュアルの常用系設備に指定されています。

マニュアルに従い、点検、整備を実施していましたが、不具合が発生し閘門の運用停止を起こしました。不具合があった施設は、2門の閘門ゲートのうち、大川側に設置したゲートでした。応急復旧により、二週間で開通しましたが、不具合の調査を行っていく中で、毛馬閘門の稼働頻度の特殊性から維持管理方法の見直しを行う必要があることが明らかになりました。

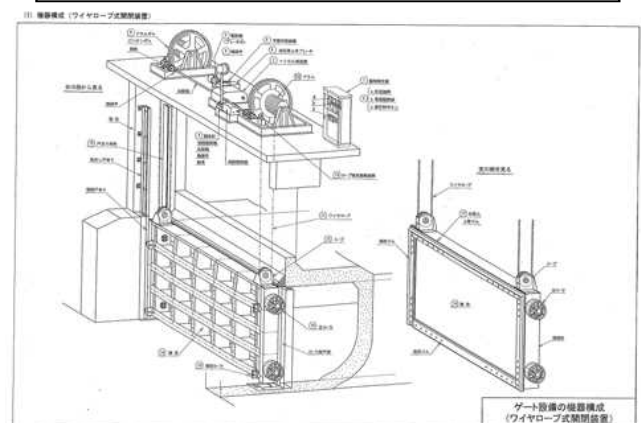


図-4 一般的なワイヤーロープウインチ式の水門※2

3. ゲートの特徴と不具合発生状況

大川側の開門ゲートは、門柱の上に設置したウインチでワイヤーロープを巻き取ることで扉体を上げ下げする構造のゲートです。

不具合のあった部位は、ワイヤーロープで扉体を吊るために設置した滑車です。滑車は仕事の原理の動滑車の役割を持ち、ワイヤーロープで巻き上げる力を軽くするために設置しており、扉体を上げ下げするときには必ず回転します。滑車は中心部の軸穴が急激に異常摩耗を起こし、軸穴の内側が13mm削られていました。軸穴は軸を通すために軸との隙間は0.5mmで製作されており、隙間が大きくなったことが原因で、ゲート全体に異音と異常振動が発生し、ゲートを動かすことが出来なくなりました。

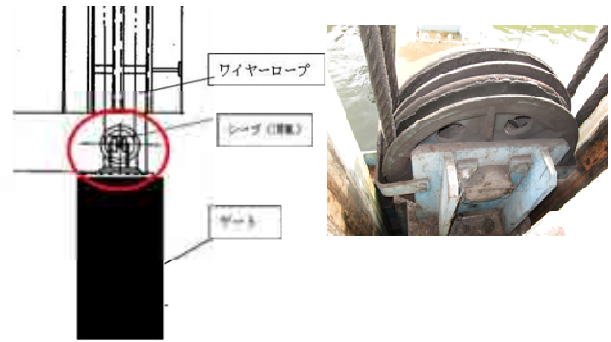


図-5 毛馬開門の滑車部の構造



図-6 正常な滑車（左）と不具合の滑車（右）

4. 発生原因とゲートの使用状況

滑車部を取り外し摩耗した表面と現地から採取した摩耗粉を精密分析したところ、磨耗分に異物がなく、表面の傷跡に異物によるものがないことから、外的要因の摩耗でなく、経年的な摩耗と判定されました。

しかし、他の施設で前例がなく、マニュアルによる点検において、滑車部は目視の点検で計測結果をもとに傾向監視を行う部位に指定されていないため、滑車部の点検方法が最適なものか、同じマニュアルで管理する他の施設と比較検討しました。

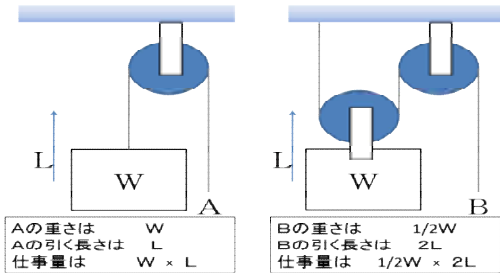


図-7 仕事の原理（仕事量が等しいときの動滑車と定滑車の違い）

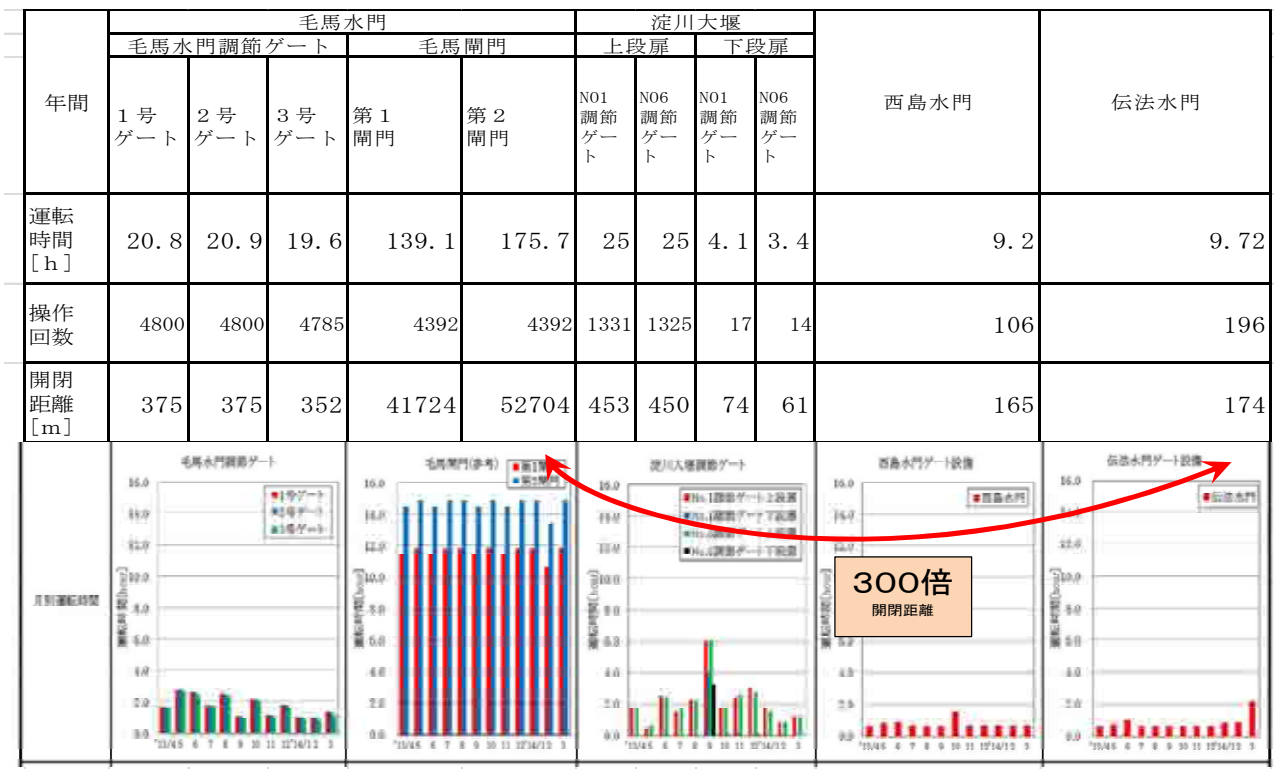


図-8 毛馬開門、毛馬調節ゲート、淀川大堰、西島水門年間運転比較表

最初に稼働頻度を比較しました。対象は、同じ構造のワイヤーロープウインチ式で異なる目的のゲートで行いました(図-8参照)。

比較したのは、管内でも設置数が多い一般的な樋門や水門の中から伝法水門と西島水門、設置数はやや少ないが流量調節を行い稼働頻度が多い施設から淀川大堰調節ゲートと、毛馬水門調節ゲートを比較しました。

図-8は、操作回数と運転時間、開閉距離を比較した図です。操作回数は、非常用系に属する水門、樋門と比較し、常用系ゲートである調節ゲート、開門ゲートは多いことが分かります。しかし、これを運転時間で比較すると、毛馬水門調節ゲートや伝法水門、淀川大堰調節ゲートでは大きな差はないが、それらに比べ毛馬開門だけが飛び抜けて稼働していることがわかります。他の常用系ゲートとの差は、調節ゲートなどは、回数は多いが全開、全閉などほとんど行わず、数センチの移動が多い。これに対し、開門は毎回、全開、全閉をするため、数メートルの移動を行う。その結果が、他の水門の一年間の稼働距離を2日間で追い越し、通常の水門と比べて、非常に摩耗しやすい条件があることがわかりました。

5. 発生原因とゲートの構造

次に、ゲートの構造と摩耗のメカニズムを調査しました。ゲートの構造はワイヤーロープウインチ式のゲート形式に属し、他の水門と同様の技術基準で設計されているため、構造、規模での特異な点はありません。そこで、摩耗した箇所に使用されていた部品に着目します。ゲートの滑車の軸穴部には、オイルレスメタルという軸受けが組み込まれており、油を注入すると長時間潤滑状態を保つ構造になっています。

摩耗は固体の物体同士が擦れることで発生しますが、油などで潤滑状態を形成するとこで摩耗の進行を軽減することができます。

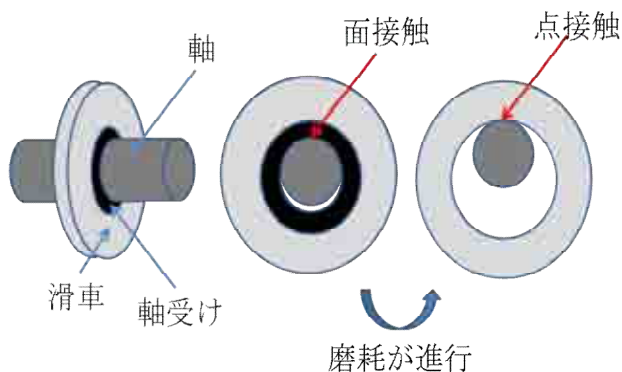


図-9 滑車と軸の摩耗

今回の毛馬開門は、残留していた摩耗粉から潤滑状態がなくなったため発生した異常摩耗と推測できるので、どの程度の間、無潤滑で稼働すると異常摩耗が発生するのか、文献調査しました。計算上からは、1ヶ月程度で異常摩耗が発生する試算となりました。その際に、異常摩耗という定義がないため、今回の場合、摩耗の進行が一定でなく、摩耗してガタツキが大きくなると進行が加速します。メカニズムは、軸と軸受けで、材質が違い、硬度は軸が硬いため、軸受けが磨耗します。すると、加重を受ける接触部が面接触から点接触に近づいていくからで、その変化点を異常摩耗と位置づけ試算しました。

6. 見直した管理方法、メンテしやすい構造

調査の結果から、管理方法の見直しが表の通りです。

点検方法では、技術基準には稼働頻度が少ないゲートの固着を防ぐ目的の目視、異音調査のみとなっているためです。マニュアルの年点検の項目に加えて滑車の摩耗によるガタツキ調査を行います。

点検頻度は、年に一回しか実施していませんでしたが、給油を行うための毎月の点検(管理運転点検)を11回追加し、潤滑状態を一ヶ月ごとに回復させることにしました。

構造においては、部品の形式、材質は設計値内にあるため、変更せずに、メンテナンスのしやすさを考慮する

表-5 維持管理の見直し項目

点検項目	従前	見直し	備考
点検頻度	年点検1回	年点検1回 管理運転点検11回	
点検方法	給油 年に1回 目視 年に1回	給油 毎月 がたつきの触診	
予備品	なし	無給油軸受け	

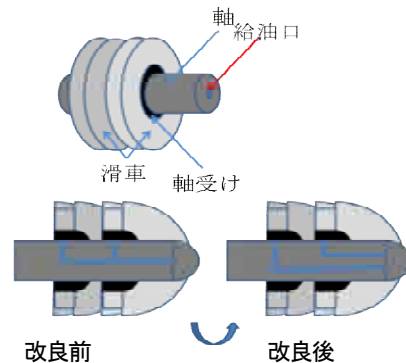


図-10 滑車への給油構造の改良

こととしました。図－10のように滑車の内部に潤滑油を注入する配管が、二個の滑車に対して一つの配管で構成され、各々の滑車まできちんと流し込めているか確認できない構造でした。今回、復旧する際に配管を分離することで、各々確認できるように改造しました。

さらに、通行止めの復旧に要した二週間を短縮するために、予備品として滑車の軸受けを保有することとしました。入手に時間を有することと、劣化しにくい、小さな部品で保管が容易なことからです。これにより、復旧期間を10日短縮できるようになります。

7. おわりに

ゲートの点検整備で用いるマニュアルや技術基準※3は、待機系ゲートと常用系ゲートとも共通であるが、治水目的である待機系ゲート設備が多いため、点検項目の中には、動作する頻度が少ない場合の点検手法となっているものがある。

本報告が、常用系ゲート設備を管理するうえでの一助となれば幸いです。

参考文献

- 1) マニュアル：河川用ゲート設備点検・整備・更新検討マニュアル(案)(平成20年3月国土交通省)
- 2) 河川機械設備の維持管理手引書(案)(平成25年5月)近畿地方整備局
- 3) ゲート点検・整備要領(案)(社)ダム・堰施設技術協会)

安威川ダムにおける環境改善放流の検討 （環境改善容量の有効活用）について

平井 幹也¹

¹大阪府 安威川ダム建設事務所 建設課 企画G（〒567-0813大阪府茨木市大住町8-11）

安威川ダムは、大阪府北部地域最大の河川である安威川における治水対策として、茨木市北部に建設する中央コア型ロックフィルダムである。当ダムでは、下流河川の環境改善の放流に活用する容量として、環境改善容量を全国で初めて建設中の段階から計画に位置付けた。この環境改善容量を有効に活用した具体的な放流計画の検討が課題であり、環境改善放流の計画策定に当たっては大阪府河川周辺地域の環境保全等審議会、安威川ダム環境改善放流検討部会での専門家の意見を参考に検討を進めており、今回フラッシュ放流計画の立案を行ったものである。

キーワード 環境改善容量、環境改善放流計画、フラッシュ放流計画、土砂還元計画、モニタリング計画

1. はじめに

安威川ダムでは、平成21年の水道事業の撤退に伴い利水容量（水道）として確保していた容量を環境改善放流（以下、フラッシュ放流とする）のための容量として、全国で初めて建設中の段階から計画に位置付けている。

この環境改善容量を有効に活用した具体的な放流計画の検討が課題であり、フラッシュ放流の計画策定に当たっては大阪府河川周辺地域の環境保全等審議会、安威川ダム環境改善放流検討部会での専門家の意見を参考に検討を進めている。その中で、現在、最適な放流計画、土砂還元計画、モニタリング計画について検討を進めており、その検討内容について報告する。

2. フラッシュ放流にかかる各諸元の検討

(1) 環境改善容量（94万 m^3 ）の設定

安威川ダムの諸元及び設定している計画容量の諸元を図-1に示す。不特定利水容量として240万 m^3 、そのうち流水の正常な機能の維持容量として146万 m^3 、環境改善容量として94万 m^3 を位置付けている。また、この環境改善容量は、収用法の申請（事業認定申請及び収用裁決申請）にも位置付けている。

(2) フラッシュ放流波形（当初案）の設定及び放流

時期・頻度の検討

a) 最大放流量（ピーク流量）の設定

安威川は大阪府の北摂地域を流れる淀川水系の一級河川である（流域面積163k m^2 、延長32km）。ダムサイト

＜安威川ダム諸元＞

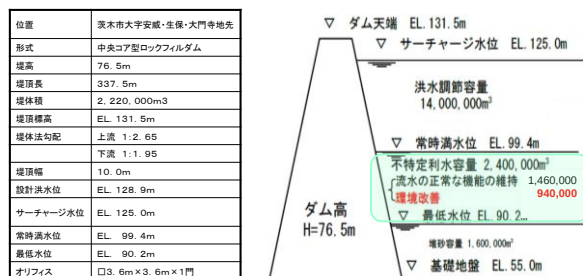


図-1 安威川ダムの諸元について

から下流においては茨木市等の市街地を流れ、下流区間（14.4km地点より下流）は高水敷を遊歩道として整備済みであり、多くの府民等が散策等に利用している。そのため、安全確保の観点からフラッシュ放流時に高水敷が冠水しない流量とする必要があることから、低水路の環境改善を目的とする高水敷が冠水しない流量として最大放流量30 m^3/s を設定した（計画断面における低水路の最大流下能力が31 m^3/s ：13.84km地点）。また、検討区間としては、支川の茨木川合流点で河道断面が倍以上に大きくなり、それより下流ではフラッシュ放流の影響が小さくなることから、ダムサイトから茨木川合流点までとした（図-2参照）。

最大放流量の決定に際しては、藻類の剥離更新が可能な流量であるかどうかについての検討も行った。放流量毎の藻類剥離効果の検討の結果、30 m^3/s の放流量では、安威川ダム下流25地点のうち23地点（92%）で付着藻類の剥離に有効とされている摩擦速度（0.071 m/s ）¹⁾以上と

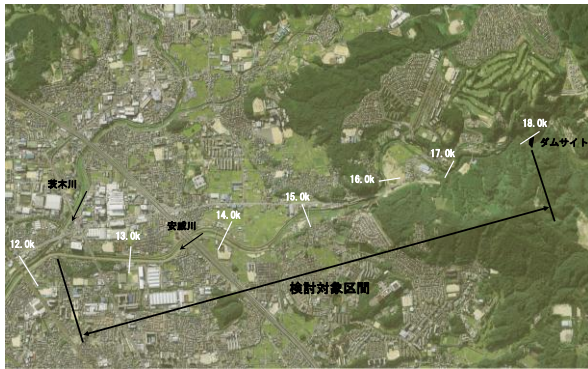


図-2 フラッシュ放流の検討区間について

なることが確認された。また、22地点(88%)で限界移動粒径が糸状藻類の剥離に有効とされる限界移動粒径(5～10mm)¹⁾の平均である粒径7.5mm以上となることが確認された。

b) 立上げ時間の検討

ダムからの放流にあたっては、放流の原則(30分当たり30cm以下の水位上昇)に配慮する必要がある²⁾。この原則に基づき維持流量を出発点として10, 20, 30m³/sまで流量を増加させた場合の所要時間を試算したところ、それぞれ最短で、60分、90分、120分と算定された。なお、試算に当たっては、断面が最小となる名神高速道路上流(13.84km地点)における計画断面で得られたH-Q曲線式を用いた。以上の点を考慮して、流量30m³/sまでの立上げ時間は2時間とした。なお、立上げ方法には、一定の水位上昇量と一定の流量増加量の2パターンが考えられるが、一定の水位上昇量での立上げ方法を採用することとした。

c) 放流継続時間の検討

既存の実験及びフラッシュ放流事例より、放流継続時間は0.5時間～3時間で付着藻類の剥離効果が確認されている¹⁾。また、土木研究所の実験結果⁴⁾では、継続時間を長くするほど剥離効果が高いことが示されている。安全性(学童の下校時間までに回帰に移る等、作業時間を10時～16時の6時間までを想定)を考慮することも重要と考えられる。また、就業時間内で一連の作業を完結させる必要性も指摘されている⁴⁾。以上のことから、最大放流量30m³/sの場合、放流継続時間を2時間とした。

d) 回帰時間の検討

回帰時間(ピーク流量から放流前流量に回帰するのに要する時間)については、特に定められた基準等は存在しないが、立上げ時間と同じか立上げ時間の半分程度の事例がほとんどである。また、回帰時間が短い場合は、無水区間における魚類の取り残しが懸念されるため、立上げと逆順の水位減少が望ましいことが考えられるが、全体の作業時間への影響も考慮する必要がある。安威川ダムから茨木川合流点まで約50分の到達時間がかかるため、放流地点で14時には回帰を開始し、下流域では16時までに平常な流水に戻す計画とする。以上より、魚類の

取り残しが生じないような水位減少とすることを前提に、30m³/sでは立上げ時間の半分の60分程度が考えられる。なお、立上げ時間の考え方と同様に、一定の水位低下量での回帰方法を採用する。

e) フラッシュ放流基本波形の設定

上記a)～d)の検討に基づくフラッシュ放流波形(当初案)の設定について図-3に示す。

項目	設定の考え方	当初案
① ピーク放流量	付着藻類の剥離更新(他事例) ・対象区間(茨木川合流点～ダムサイト)のうち、約9割の区間で非糸状藻類の剥離に必要な流速を確保 ・陸揚時以外にもフラッシュ放流を実施するため、安全上の観点から対象区間に沿って、無水状態に陥らせない	30m ³ /s
② 立上げ時間	ピーク放流量までの水位上昇量 ・30cm以下/30分とし、水位を上昇させない	2時間
③ 放流継続時間	他ダム事例 ・他ダムでのフラッシュ放流事例より	2時間
④ 回帰時間	他ダム事例、全放流時間等 ・他ダムでのフラッシュ放流事例や水位低下時の魚類の取り残し等を考慮	1時間

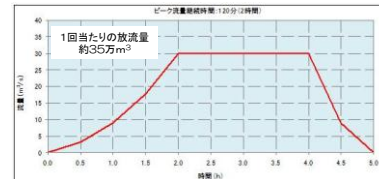


図-3 フラッシュ放流の基本波形

3. 安威川ダムにおける環境改善放流の検討内容

(1) 検討方針

安威川ダムにおいては、影響を低減するため環境改善容量(94万m³)を有効に活用し、生物の生息・生育の場としての現況河川環境の維持・改善を目指すこととした。ダム供用による河川環境への影響に対する対応と期待される効果について図-4のとおり整理を行った。図-4の内容及びこれまでに述べた安威川ダムにおける環境改善放流にかかる最大放流量等の諸元の設定内容を踏まえ、有効な環境改善放流計画の立案に向けてフラッシュ放流計画・土砂還元計画・モニタリング計画の検討を進める。以下はその具体化に向けた検討方針について述べる。

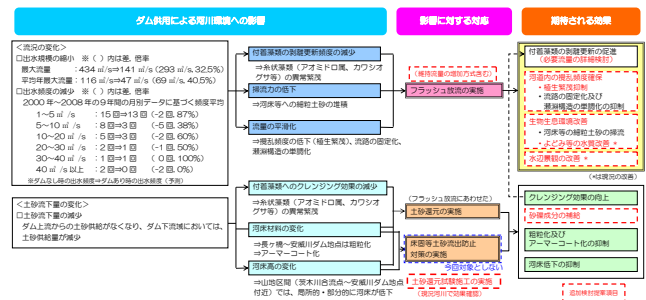


図-4 ダム供用による河川環境への影響に対する対応と

期待される効果について

(2) フラッシュ放流計画の具体化のための検討

a) 付着藻類剥離・更新を目的とした放流量

付着藻類の季節ごとの増殖速度を推定し、付着藻類の過剰繁茂を防ぐために必要な流量、頻度を季節ごとに求める。文献等から、水温による影響などを考慮して付着藻類の季節ごと(4月～11月)の増殖速度を推定する。また、前述した安威川のモニタリング調査では、平成24年秋の剥離調査結果では1週間で5割程度の回復を確認しており、夏期では更に高い増殖速度となる可能性が高

いと考えられる。

付着藻類の過剰繁茂を防ぐためには増殖速度を上回る頻度でフラッシュ放流を実施する必要があるが、実施可能な範囲で季節ごとに設定することとする。また、断面ごとに同じ流量でも発生する掃流力が異なり、付着藻類の剥離効果も異なることから、モニタリング結果による付着藻類の繁茂状況から、ターゲットとする地点を選定する。

上記を踏まえ、フラッシュ放流の流量については、最大 $30\text{m}^3/\text{s}$ として、季節やターゲットとする地点によって最適な放流量を検討する。

b) 河道内の攪乱頻度を確保するために必要となる放流量

同じ流量でも地点によって水深が違うため、砂州等の冠水状況が異なり、土砂の移動する割合が違うため、攪乱状況が異なる。地点ごとの冠水深に基づき、攪乱状況を検討する。冠水深と攪乱状況の関係を、他河川の事例やモニタリング結果から指標化し、評価基準とする。検討内容としては、代表断面で低水路部を細かく断面分割して準2次元不等流計算を実施して、砂州部冠水深と流速（掃流力）の関係を求める。また、地点ごとの土砂移動状況に基づき、攪乱状況を検討する。粒径区分ごとの土砂移動と攪乱状況との関係を、他河川の事例やモニタリング結果から指標化し、評価基準とする。

また、ダム建設後、砂州部の侵食・流失による植生の破壊と生育をほぼ平衡状態に戻すために、現状の洪水規模別の攪乱頻度などを参考にして、必要な攪乱頻度を設定し、フラッシュ放流量及び実施時期を検討する。

上記の目的達成のためには、1回の放流で2つ以上の目的を同時に達成する場合もあるが、お互いに矛盾する場合もある。以下の点を考察してフラッシュ放流計画案を検討する。

- ・自然洪水とフラッシュ放流頻度（自然洪水発生を考慮した頻度設定）
- ・水生生物のライフサイクルとフラッシュ放流の影響（産卵時期（産卵した卵が流出する可能性）や柳類の繁茂時期等 図-12指標生物等のライフサイクル参照）
- ・付着藻類の剥離等の目的ごとの放流量の設定（必要流量、流速を算定し設定）
- ・目的ごとの優先度（利水容量不足の場合）

安威川ダムのフラッシュ放流計画案の考え方（放流イメージ）について図-5に示す。また、安威川ダム完成後の予測流況とフラッシュ放流の実施イメージについて図-6に示す。

(3) 土砂還元（置き土）計画の検討

a) 土砂還元（置き土）計画の検討フロー

安威川ダムは、旧茨木亀岡線等管理用通路から貯水池

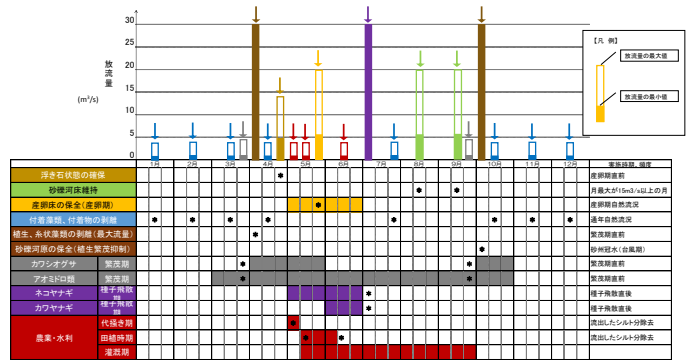


図-5 安威川ダムのフラッシュ放流計画案の考え方 (放流イメージ)

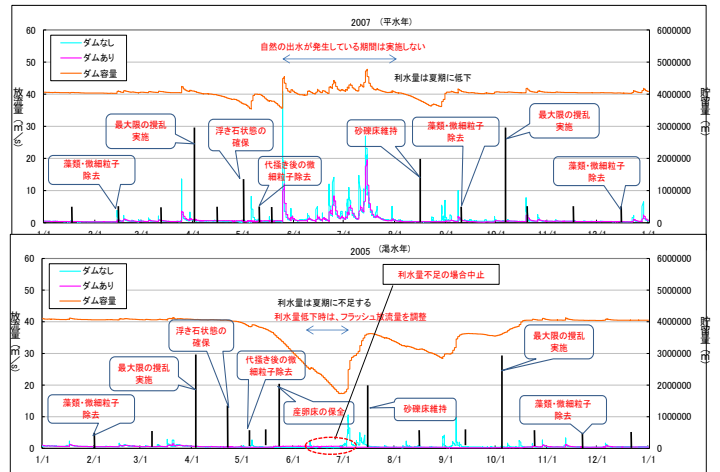


図-6 安威川ダム完成後の予測流況とフラッシュ放流の実施イメージ

（上段：平水年，下段：渇水年）

内に堆積した土砂を直接掘削・運搬ができることから土砂還元（置き土）計画を検討する。置き土計画を検討する上での検討フローを図-7に示す。

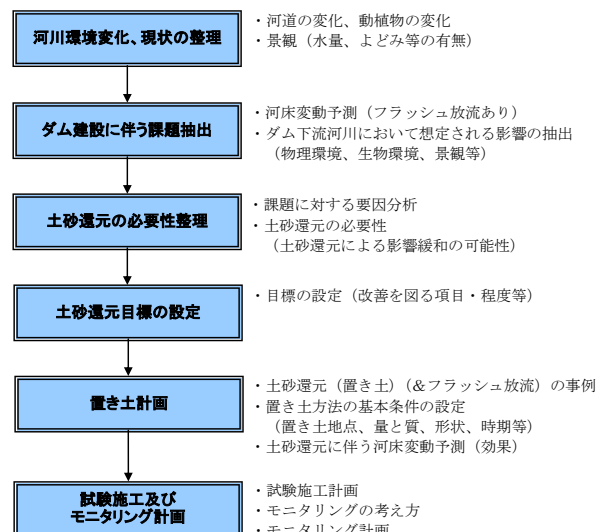
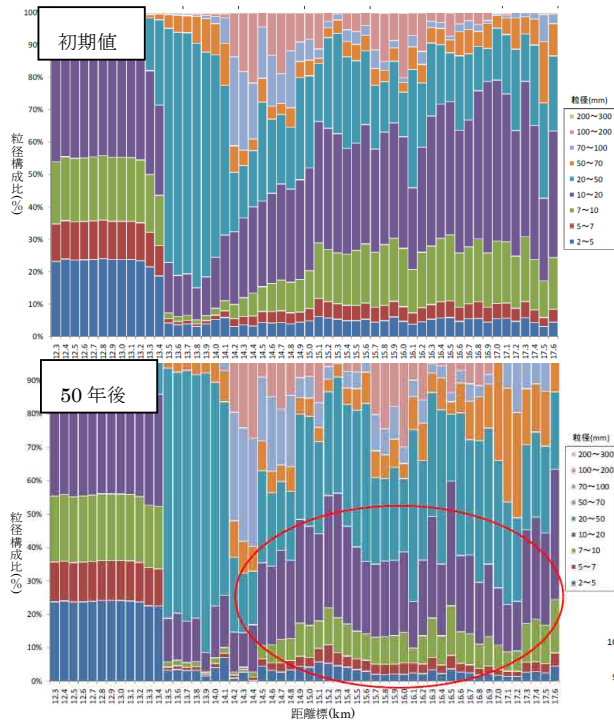


図-7 置き土計画検討フロー

b) 置き土地点の選定基準

置き土地点の選定基準については次のとおりとする。

- ・河道流下能力に余裕のある地点（洪水被害を助長しない）
 - ・取水施設の直上流を避ける（取水口閉塞を回避）
 - ・適度な冠水頻度を確保できる地点（既存の砂州等を想定）
- 出水（フラッシュ放流）時に確実に土砂流出するとともに、濁水発生が懸念されることからある程度の流量（濁度で判断）までは流出しないようにする。
- ・横断工作物の有無（土砂が補足されることから、工作物の上流は避ける）
 - ・搬入路の有無（作業の容易さ）



を実施しない場合の河床構成材料の質的变化（各断面）

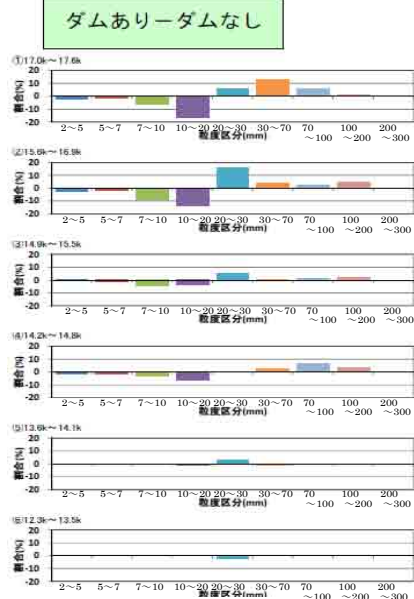


図-8 置き土を実施しない場合の河床構成材料の質的变化

c) 河床変動予測による土砂還元効果の検証

設定した置き土方法（置き土地点、置き土の質と量、置き土形状、時期等）の基本条件を基に、土砂還元に伴う河床変動予測により効果を検証する。

河床変動予測により、置き土を実施しない場合の河床構成材料の質的变化（各断面）を評価した結果、15km付近より上流においては、粗粒化の傾向があり、特に小砂利（粒径7~10 mm, 10~20mm）以下が減少する傾向にある（図-8）。

河床変動予測により洗掘が想定される箇所に置き土を実施したケースで河床変動シミュレーションを実施した。減少が想定される子砂利(粒径20mm以下)を3箇所に年1回投入（置き土量各50m³）した場合の50年間の流況での変化を評価した。下流部では置き土直下に堆積し、上流ほど下流へ流下する傾向がある（図-9）。

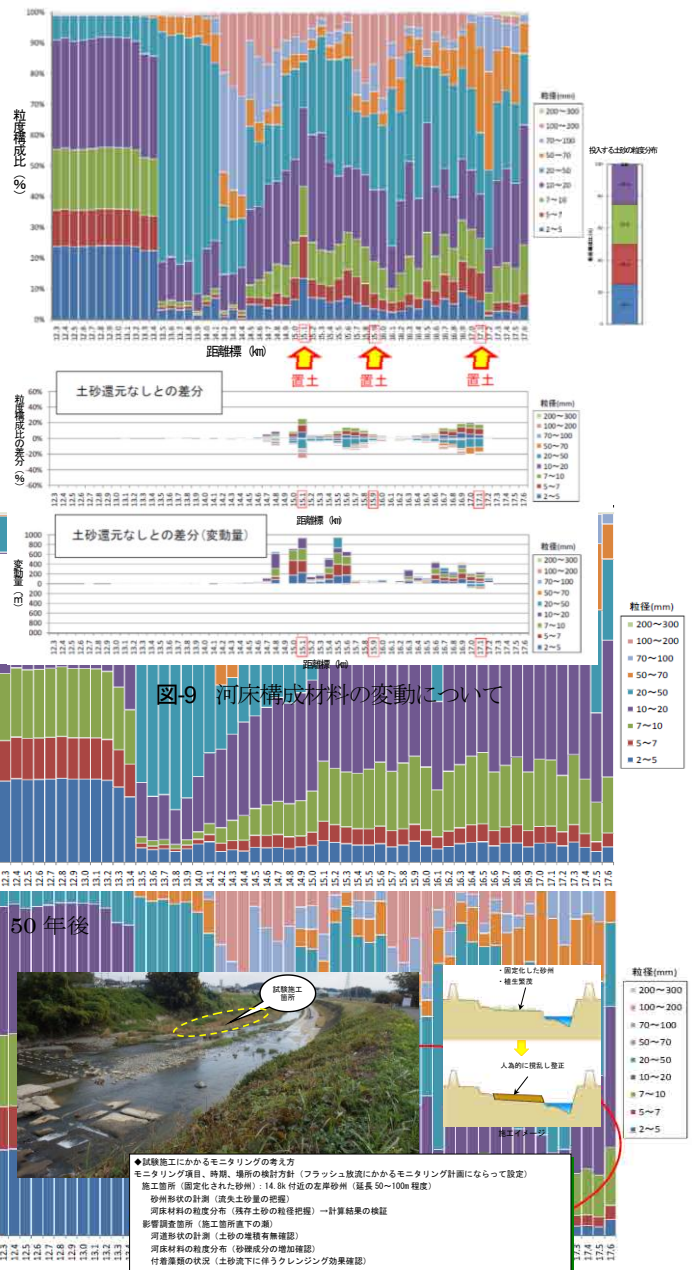


図-9 河床構成材料の変動について

図-9 (置土を実施しない場合の河床構成材料の質的变化(各断面))

(4) フラッシュ放流に関するモニタリング計画

a) 基本的な考え方

直接的及び間接的な効果と放流による弊害を確認する点に留意して、調査項目、調査地点、調査時期、調査方法等の現地調査計画を適切に立てることが必要である。フラッシュ放流等による物理的な変化を捉えるための「短期的調査」と、生物の生活サイクルを考慮した生物相の変化を捉えるための「長期的調査」の2つの視点で検討する必要がある。長期的調査と短期的調査の概念を図-11に示す⁴⁾。

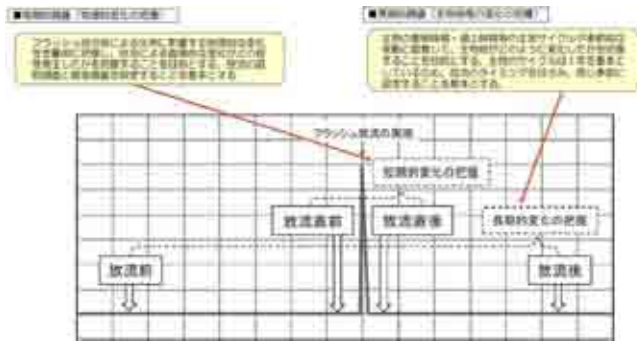


図-11 モニタリング調査の概念図

b) モニタリング計画案

安威川ダムにおける「短期的調査」及び「長期的調査」のモニタリング案を表-1に、指標生物等のライフサイクルを図-12に示す⁵⁾。現時点の案であり、今後検討を進めていく。

表-1 モニタリング案（上段：短期的調査、下段：長期的調査）

調査項目(案)		着眼点	具体的な地点	頻度
流況	流速、水位	フラッシュ放流時等の増減力確認	河川域における環境類型区分(渓流河川、里山河川、平野部河川)ごとの代表1地点	フラッシュ放流実施時(放流中)
水質・水温	水温、濁度、DO等	フラッシュ放流水の水質変化の監視(機械測定)	上流代表地点: 車作大橋 下流代表地点: 桑原橋	連続観測
河床の変化	河床材料、植生の状況(断面図)	フラッシュ放流時等の増減力確認	河川域における環境類型区分(渓流河川、里山河川、平野部河川)ごとの代表1地点	フラッシュ放流実施時の直前・直後
水生生物	種組成、個体数、体質量、有植物・無植物食有量(強助減量・強助増量)、藻類活性状況(クロロフィルa、フコフイオン)	フラッシュ放流等による増減力確認	※付着藻類の増減状況と増減力の関係を調べるため、q 数字200mm程度の標が存在している箇所	フラッシュ放流実施時の直前・直後
付着藻類	永状藻類分布	河床安定化指標		
底生動物	種類数、個体数、体質量、生活型別、水質汚染指示生物種数	河床安定化指標		
魚類	種類数(種類数、個体数、体長、遊泳量) オイカワ(親魚、仔稚魚) カマツ(親魚、仔稚魚) ムギツク(親魚、仔稚魚) カマツカ(親魚、仔稚魚) シマドジョウ(親魚、仔稚魚) アカザ(親魚、仔稚魚) カワヨシノボリ(親魚、仔稚魚)	一時的なものであることから、フラッシュ放流等による種組成、個体数の直接的変化・応答の把握困難なため実施しない。		
底生動物	ゲンジボタル(幼虫)			

調査項目(案)		着眼点	具体的な地点	頻度
流況	流速、水位	フラッシュによる影響は短期的なものであるため実施しない。		
水質	水温、濁度、DO等	ダム上下流水質の変化の監視(機械測定)	上流代表地点: 車作大橋 下流代表地点: 桑原橋	連続観測
河床の変化	河床材料、植生の状況(断面図)	河床変動状況の把握、流砂移動量の確認(生物のハビタットとしてのポテンシャル把握)	河川域における環境類型区分(渓流河川、里山河川、平野部河川)ごとの代表1地点	年1回による調査(11月頃) 長期的な変動を把握
水生生物	種組成、個体数、体質量、有植物・無植物食有量(強助減量・強助増量)、藻類活性状況(クロロフィルa、フコフイオン)	季節的消長の把握	※付着藻類の増減状況と増減力の関係を調べるため、q 数字200mm程度の標が存在している箇所	年1回による調査(6月頃) 長期的な変動を把握
付着藻類	永状藻類分布	河床安定化指標		
底生動物	種類数、個体数、体質量、生活型別、水質汚染指示生物種数	事業影響に対する生物応答把握材料の確保		
魚類	種類数(種類数、個体数、体長、遊泳量) オイカワ(親魚、仔稚魚) カマツ(親魚、仔稚魚) ムギツク(親魚、仔稚魚) カマツカ(親魚、仔稚魚) シマドジョウ(親魚、仔稚魚) アカザ(親魚、仔稚魚) カワヨシノボリ(親魚、仔稚魚)	指標種としての繁殖(生物群集維持)確認 異質性・典型性の観点から、指標種(案)を選定した。なお、指標種(案)選定に関しては、生息環境を考慮するため、遊泳量・産生量についても考慮した。 異質性: ムギツク、シマドジョウ、アカザ 典型性: オイカワ、カマツ、カマツカ、カワヨシノボリ 産生量: カマツ、シマドジョウ、アカザ、カワヨシノボリ 遊泳量: オイカワ、カマツ、ムギツク	生息環境及び産生環境として想定される箇所ごと	年1回による調査(2月頃) 長期的な変動を把握
底生動物	ゲンジボタル(幼虫)	併せて、河川の物理環境の調査(横断面図、河床材料、植生の状況(断面図))を実施。	生息環境として想定される箇所ごと	年1回による調査(2月頃) 長期的な変動を把握

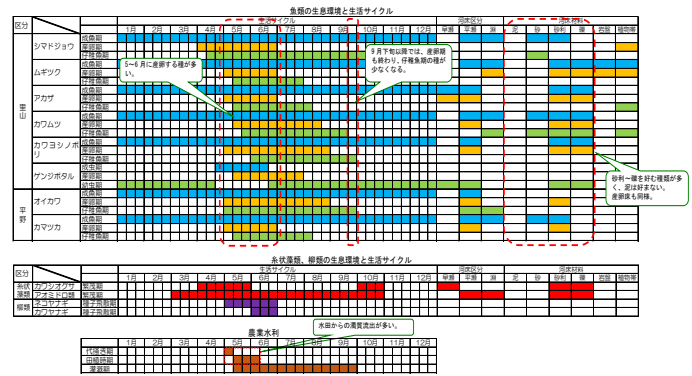


図-12 指標生物等のライフサイクル

c) 指標種の設定の考え方

フラッシュ放流等の実施効果確認のためのモニタリングに当たり、指標種の選定については、基本的には、「地域の動植物相やその生育・生息環境から地域に代表的な生物群集であり、ダム下流の河床変動の影響の可能性が考えられるもの」としている。

d) モニタリング地点の選定の考え方

ダム建設に伴う影響を適切に把握するため、安威川ダムの存在やフラッシュ放流に伴う環境変化がある区間とない区間において調査結果を比較する。支川茨木川において安威川と近似した区間に対照地区を設け、ダムによる影響以外の環境変化をコントロール地点で把握することでダムの影響を評価する⁶⁾。調査地点候補は既往調査地点でデータがある箇所から選定した。芥川の調査地点も同様に選定しているが、地形勾配等安威川ダム下流の調査対象区間と比較可能なように対象地点を選定した(図-13)。

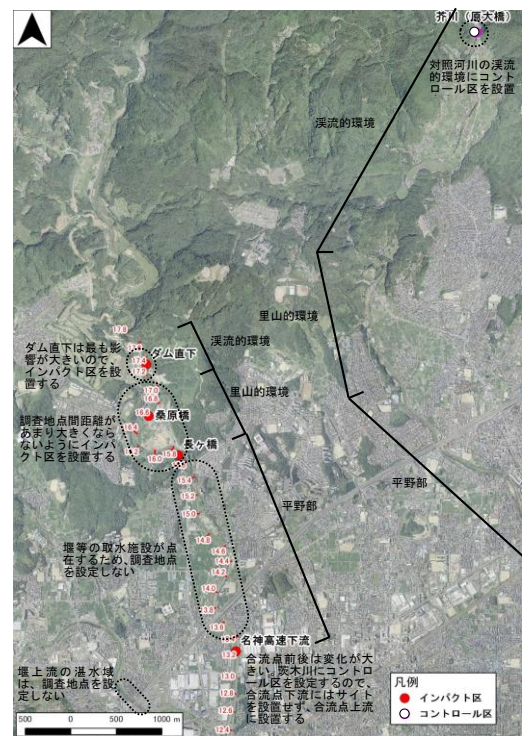


図-13 モニタリング地点の設定

4. おわりに

「人にやさしく、環境にやさしく」をキーワードに、大阪府河川周辺地域の環境保全等審議会及び安威川ダム環境改善放流検討部会において検討を進め、来年度にフラッシュ放流計画、土砂還元計画、モニタリング計画の案を立案する予定としている。その後、平成32年のダム完成に向けて、モニタリングを行いながらフラッシュ放流計画及び土砂還元計画にフィードバックさせていくPDCAによる見直し等を行い、ダム完成に向けて計画を立案していく。

参考文献

- 1) 代表研究者 東京工業大学 大澤和敏：ダム下流河床の付着藻類の剥離・更新機構に関する調査・研究，河川美化・緑化調査研究論文集，平成16年度
- 2) 国土交通省河川局河川環境課：「ダムの弾力的管理試験の手引き(案)」，平成15年4月
- 3) 土木研究所自然共生研究センター 担当研究員 土木研究所水循環グループ河川生態チーム 皆川朋子：ARRC NEWS No. 5，平成14年
- 4) ダム水源環境技術研究所 研究第一部 主任研究員 高木洋輔 研究第三部 主任研究員 熊澤 一正 上席主任研究員 大杉奉功 研究第一部長 高橋定雄：ダム下流河川の環境改善を目的とした放流手法について，平成24年度
- 5) 独立行政法人大阪府立環境農林水産総合研究所HP
http://www.kannousuiken-osaka.or.jp/zukan/zukan_database/index.html
 国土技術政策総合研究所HP 河川生態ナレッジデータベース
<http://kasenseitai.nilim.go.jp/index.php/%E6%B2%B3%E5%B7%9D%E7%94%9F%E6%85%8B%E3%83%8A%E3%83%AC%E3%83%83%E3%82%B8%E3%83%87%E3%83%BC%E3%82%BF%E3%83%99%E3%83%BC%E3%82%B9>
- 6) 国土技術政策総合研究所環境研究部 土木研究所水環境研究グループ自然共生センター：ダムと下流河川の物理環境との関係についての捉え方 国総研資料第521号，平成21年

大和川河口域の河道安定管理方策について

長坂 健

近畿地方整備局 大和川河川事務所 調査課 (〒583-0001大阪府藤井寺市川北3-8-33)

大和川は河口域の流下能力確保策として河道掘削を実施してきた。ライフサイクルコストに優れた効率的河道管理は中長期視点での持続的な流下能力管理を行っていくためには課題のひとつである。それを解決するため、掘削後に起こりうる応答性による河床変動を注視し、再現精度の高い水系土砂移動モデルの構築、管理方策の立案、シミュレーションによる施策の評価選定を行うこととした。これまでに、河床のモニタリング（連続観測の手法と結果）について中間報告を行っている。今回、これまでの経過及び施策の評価について報告する。

キーワード 河床変動調査 土砂移動 洪水時流砂量調査 河積管理

1. 大和川の概要

大和川は、笠置山地を源に上流部の奈良盆地では放射状に広がる支川が合流している。下流部では江戸時代(1704年)に、亀の瀬狭窄部を抜けた柏原地点において、淀川と分断され流路を西向きに付け替えられ大阪湾に注いでいる。幹川流路延長68km、流域面積1,070km²の一級河川である。

河口部の河床の状況は、付け替え以降、土砂堆積が顕著であったが、昭和初期から埋立土砂確保、航路確保のための浚渫等により、塩害防止の潮止め堰、河床低下防止工が設置されたことで河床高は大幅に低下した。

その後、浚渫が終了するとともに再び河口部は堆積傾向に転じた。また、これまでの定期縦横測量から、河口部が堆積傾向にあること、17k柏原堰堤下流において、河床が低下し、大阪層群の露頭により下げ止まっていることを確認している。

現在は、昭和57年8月洪水を受け、主に河川事業として河道掘削が展開された。2013年11月には大和川水系河川整備計画(国管理区間)を策定し、河口部では流下能力不足を解消するための河道掘削や、土砂動態をモニタリングしながら、流下能力の向上及び安定的な確保に資する河川改修を実施することとしている。

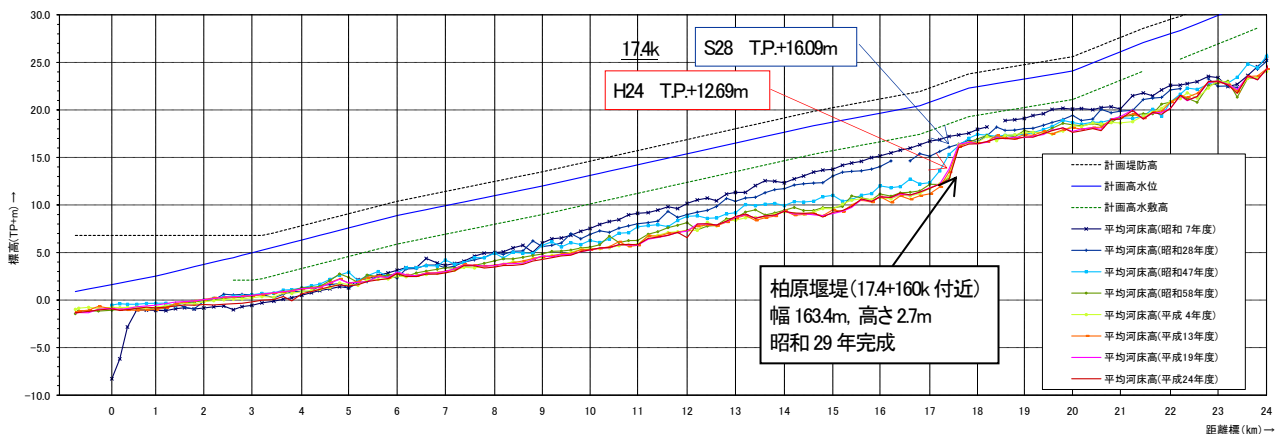


図 1：柏原堰堤下流の河床変化について

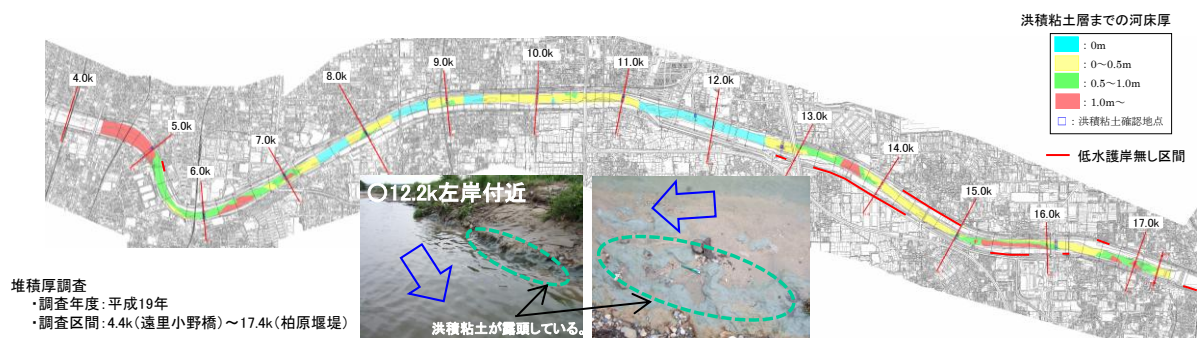


図 2：洪積粘土層(大阪層群)の露頭状況について

2. 本検討の経過と方針

河口部の流下能力の向上及び安定的な河道の確保に資する河川改修を実施にあたっては、ライフサイクルコスト、環境への影響を考慮した施策の立案・展開が重要である。

この検討ツールとして将来再現性の高い土砂移動モデルを構築し、様々な施策をシミュレートし施策評価をすることとした。

土砂動態に関するモニタリングとしては、河口部で連続データの観測(河床変動、溶存酸素、塩分)、洪水時で本支川の流砂観測(浮遊砂)を行い2014年に中間報告を行ったところである。

今回、得られたデータを元にモデルの構築、施策の立案、シミュレーション施策の評価選定を行い、河道安定管理方策について報告することとした。



桃色: 前回報告範囲 白色: 本報告範囲

図3：全体検討プロセス

3. シミュレーションモデルの構築

施策の評価を行うモデルは、一次元河床変動モデルと平面二次元多層河床変動モデルの2種類とした。

1) 一次元河床変動モデル

河道内に働く現象を縦断方向の一次元により表現するモデルである。河川における流速や水位(水深)を一次元不等流により演算する。得られた水理量を用いて各断面の流砂量を演算し、河床の連続式により河床の変動量を算出する。また、大和川の河口付近においては粒径1mm以下の砂やウオッシュロードが主な河床材料となっており、これらの挙動を把握するため、沈降・巻き上げによる非平衡性を取り入れ、流水と河床との土砂移動を考慮した河床変動計算モデルとした。

中長期的な土砂移動を把握することができることから、基本的にはこのモデルを基本に河道計画の方向性を見極めていく。

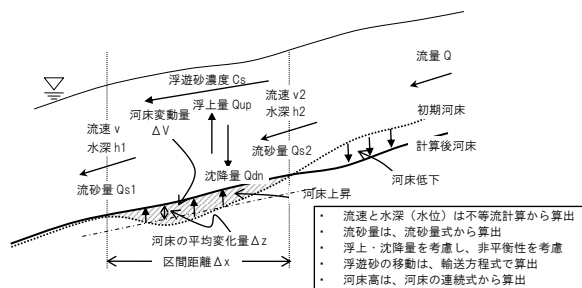


図4：一次元河床変動計算の模式

2) 平面二次元多層河床変動モデル

河道内に働く現象を縦横断方向の二次元を多層にする

ことで水深方向の準三次元で表現するモデルである。平面二次元多層流動計算過程により、流速分布、水位変動を演算し、密度の状態方程式で相互に関連する水温・塩分・溶存酸素量を計算する。これにより得られた水理量から河床変動計算過程によりメッシュ毎の河床高を算出する。

河口域では海水との密度差が生じるため、表層付近と底層付近では流れや水質は不均質であり、洪水流や潮流流、海水との化学的結合によって掃流・浮遊している可能性も考えられる。

導流堤、掘削形状の工夫など左右岸で様ではない施策も想定されることから、平面二次元多層河床変動モデルを構築した。演算処理時間が長く中長期的なシミュレートには向かないため、短期(単一洪水、大潮 平常時)における精密な評価ツールとして構築した。

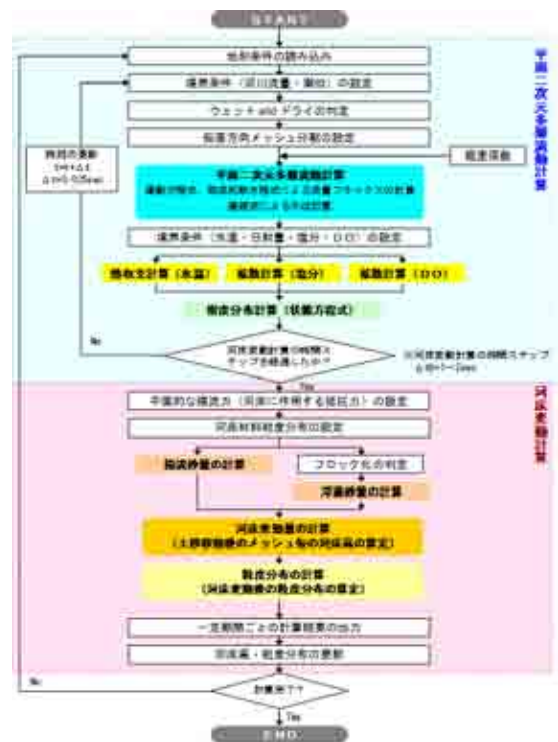


図5：平面二次元多層流動・河床変動モデルの基本構造

4. シミュレーションモデルの再現性

1) 一次元河床変動モデル

モデルの再現性は、河床変動量の再現計算と実績によることとした。対象期間を設け、実績流量及び河道条件を与え、再現計算した結果と対象期間前後の河床変動量により、再現性を確認した。

再現性を高めるために、ダムの堆砂量から算出した流域全体の供給土砂量を修正することとした。再現期間は(1)長期間のトレンドを把握するため長期データとする(2)1967年の亀の瀬地すべりによる土砂移動を異常とする理由から1993年以降のデータが適当であると判断した。その期間河口部では5.22万

m³/年（掘削量 7.42 万 m³/年、洗掘 2.2 万 m³/年）堆積が進んでいる。再現した結果、4.6k～17.4k において実現性とモデルにおいて差異が生じた。土砂移動モデルの構築は 12k 前後の極端な河床の上昇・低下について再現性は低いものの河口部の堆砂という観点では、十分なものと考えている。

なお、12k 付近に大阪層群が露頭していることから、モデルでは河床低下は生じない区間として設定している。しかし、2012 年の横断測量では滞筋に河床低下が生じている。

滞筋の局所的な河床低下が生じている原因は、12k 上流の礫間浄化施設の落差工による影響が想定される。

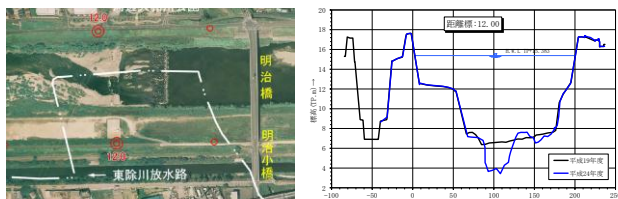


図 6：12k 付近平面図及び横断面

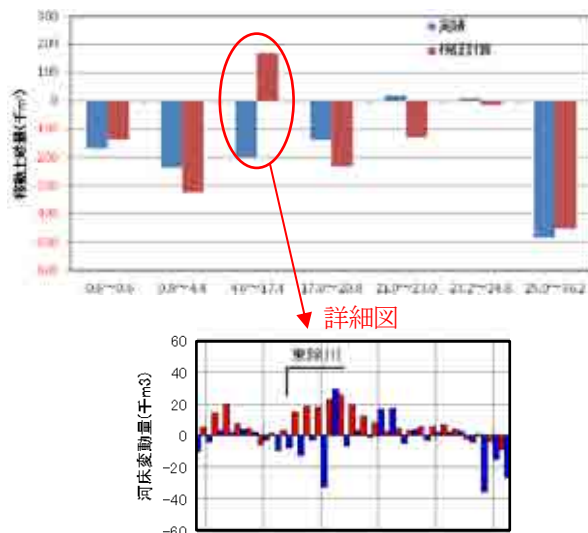


図 7：区間別河床変動量の比較

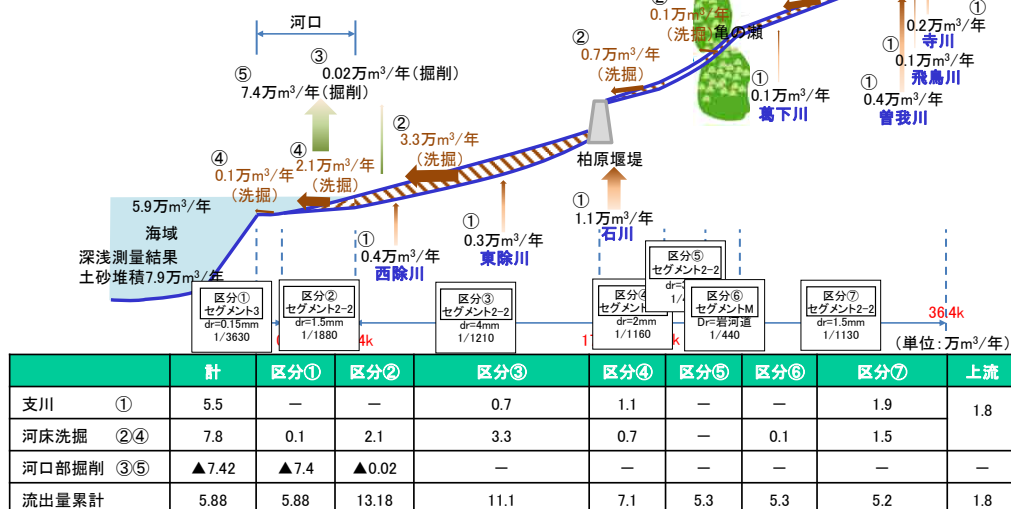
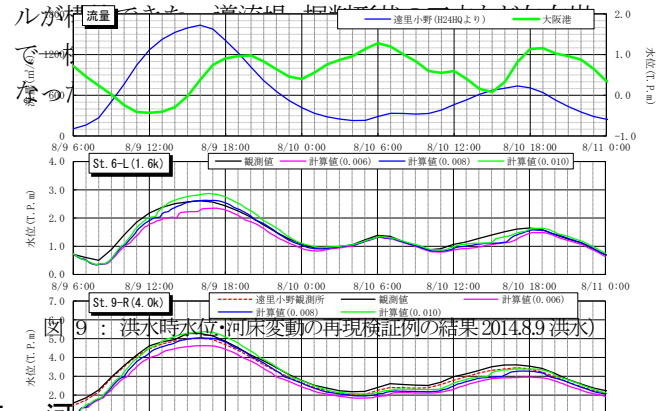


図 8：土砂動態收支図(平成5年～平成24年 20カ年平均)

2) 平面二次元多層河床変動モデル

モデルは、1つの出水時の水位及び河床変動、平常時の水質（塩分、溶存酸素量）について再現演算が実現現象を再現できるようにし、遠里小野地点で2014年の最高水位（速報値）を記録した8月出水とした。

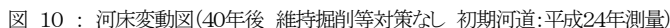
再現にあたっては、モデル定数（底面摩擦係数、流砂量係数）を同定した。その結果、実測値を概ね再現することができ、2011年～2013年までに発生した複数洪水でも同じ定数で表現でき、再現性の高いモデルが構築された。



5. 河口部の土砂動態モデル

流下能力の安定的な確保の確認のため、3. で構築した一次元河床変動モデルによる河床変動計算により過去40年間のハイドロを与え40年後の河床の予測を行った。

算出された河床を用いて戦後最大規模となる1983.8月出水と同規模の出水が生じた場合における水位計算を行った結果H.W.L.を超過し、河積管理方策の立案が必要であることが確認された。



6. 河積管理方策の立案・評価

1) 河積管理方策の絞り込み

河積管理方策については、「生産域（山地部）における対策」と「河道内における対策」に大別、細分化できる。

生産域における対策だけでは、河道域で生じている土砂堆積に対して河積を管理できない。このため、河道内における対策と組み合わせた河積管理方針とすることが必要である。また、以下の3つの理由を定性的に考慮して河道管理方針を絞り込んだ。

理由 1：制度上

理由 2：技術上の実現性

理由3：河積管理の効果、コスト

絞り込んだ4つのパターンについて評価することとした。

- ③ 土砂掘削
- ⑤ 土砂掘削+堰堤
- ⑥ 土砂掘削+水制工
- ⑦ 土砂掘削+堰堤+水制工

2) 評価

(1) 土砂堆積に関する評価

土砂掘削を標準案として、⑤から⑦の有効性について評価した。

- ⑤ 土砂掘削+堰堤について

堰堤上流に土砂を堆積させるとともに掘削することや堰堤の落差を利用して掃流力（※）を増加させ、堰堤下流の堆砂を減らすことを目的に堰堤を整備する方策。コスト面では劣るものの維持管理頻度、河床洗掘防止の点では優れている。

- ### ⑥ 土砂掘削+水制工について

河口の川幅を狭め掃流力を増加させる目的に水制工を整備する方策。
二次元火曜変動モデルを用いて、河床変動量を確認したところ、整備計画ハイドロ、年最大流量程度の洪水において堰堤（案）においては、ほとんど効果を発現しないため、棄却することとした。

- ⑦ 土砂掘削+堰堤+水制工については、⑥で確認したとおり、水制工が評価できないことから棄却することとした。

※掃流力

$$\tau = \rho g h l e$$

τ : 掃流力 ρ : 密度 g : 重力加速度
 h : 水深 I_e : エネルギー勾配

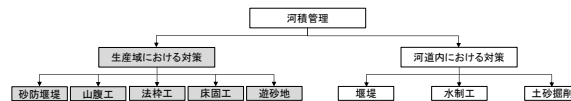


図 11：一般的な河積管理方策

対策案	①	②	③	※	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫
東武池袋線 新大塚駅～有馬町駅区間	増設	水掘工	土砂盛積	増設	増設	水掘工	増設	土砂盛積	土砂盛積	水掘工	水掘工	水掘工
				水掘工	土砂盛積	土砂盛積	水掘工			土砂盛積	土砂盛積	土砂盛積
西武池袋線 新大塚駅～有馬町駅区間								砂防堤増設	築岸工	砂防堤増設	砂防堤増設	砂防堤増設
									護岸工	護岸工	護岸工	護岸工

図 12：大和川河口域に適用可能な河積管理方策(組み合わせ案)

方策	抽出結果	方策の不採用理由
①堰堤	×	現在河口域に堆積している土砂への対策が不十分（理由1）
②水制工	×	現在河口域に堆積している土砂への対策が不十分（理由1）
③土砂掘削	×	
④堰堤+水制工	○	現在河口域に堆積している土砂への対策が不十分（理由1）
⑤堰堤+土砂掘削	○	
⑥水制工+土砂掘削	○	
⑦堰堤+水制工+土砂掘削	○	
⑧土砂掘削+砂防堰堤	×	流域全体に砂防堰堤を整備する必要があり、流入支川も多く、現実性が乏しい。（理由3）
⑨土砂掘削+床固工	×	浜流海に、床固めや流路工を整備する必要があり、現実性が乏しい。（理由1）
⑩土砂掘削+砂防堰堤+床固工	×	流域全体に砂防堰堤を整備する必要があり、流入支川も多く、現実性が乏しい。（理由3） 浜流海に、床固めや流路工を整備する必要があり、現実性が乏しい。（理由1）
⑪水制工+土砂掘削+砂防堰堤	×	流域全体に砂防堰堤を整備する必要があり、流入支川も多く、現実性が乏しい。（理由3）
⑫水制工+土砂掘削+床固工	×	浜流海に、床固めや流路工を整備する必要があり、現実性が乏しい。（理由1）
⑬水制工+土砂掘削+砂防堰堤+床固工	×	流域全体に砂防堰堤を整備する必要があり、流入支川も多く、現実性が乏しい。（理由3） 浜流海に、床固めや流路工を整備する必要があり、現実性が乏しい。（理由1）

図 13 : 河積管理方策の概略評価結果

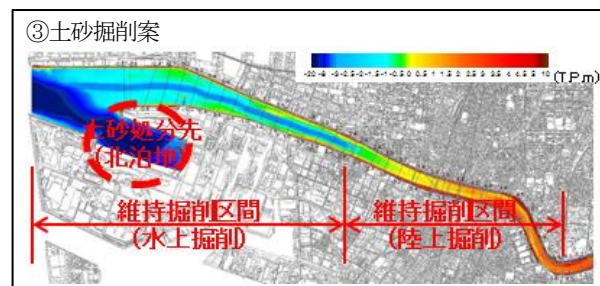


図 14-1 : 河積管理方策③

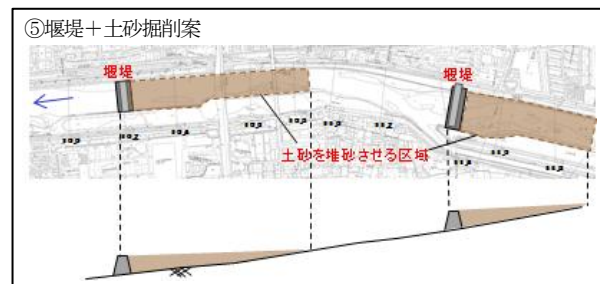


図 14-2 : 河積管理方策⑥

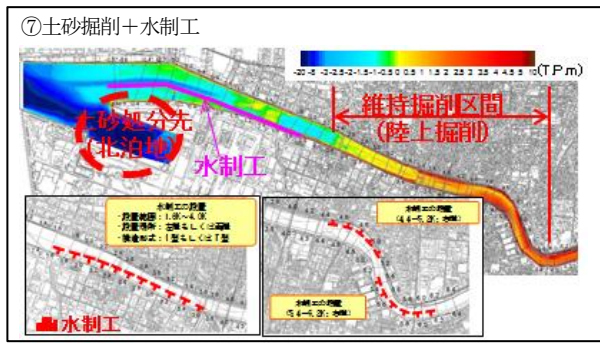


図 14-3 : 河積管理方策⑦

7. 施策の実施に向けた課題

現段階では「土砂掘削」が最適であるが、課題は大きく3つある。

(1) 大阪層群の露頭

河道全体の土砂管理を考えたマクロな視点の場合、河口から17kmまでは、河床が下げ止まっている。その主な原因は、大阪層群の露頭によるものである。

大阪層群の露頭が環境に与えている影響を分析・対策を行う事も重要な課題。

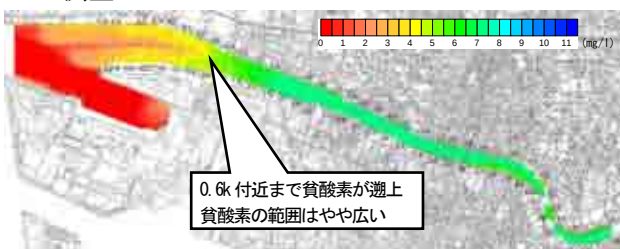
(2) 環境影響に関する評価（土砂掘削）

河口部の掘削が物理環境ではなく生物環境としてどの程度のものなのか。モニタリングを行う必要がある。

例えば、2012年の測量結果により算出した貧酸素の遡上が2011年に予測していた結果に比べ、再堆積状況からやや平面的な広がりを見せていると算出された。魚類や底生生物などの水生生物は主に干潟や河岸部で確認されていること、航路部で確認されている鳥類は移動性が高いことから、航路部の維持掘削による生物への影響は限定的であると考えられる。

ただし、ゴカイ類などの調査が実施されていないことから、それらの調査も踏まえて、水生生物への影響を把握していく必要がある。

H24 測量



H19 測量+H23 末工事反映

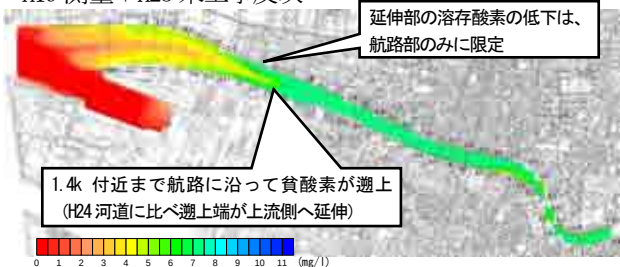


図 15 : 底層溶存酸素コンター図

(3) 将来予測の考え方（予測モデルの検証）

長期的なトレンドでは5.22万m³/年の堆砂が生じると考えられるが、2014年から2015年にかけては大きな堆積は生じていない。この理由は、2015の出水が大規模であったことと考えられる。

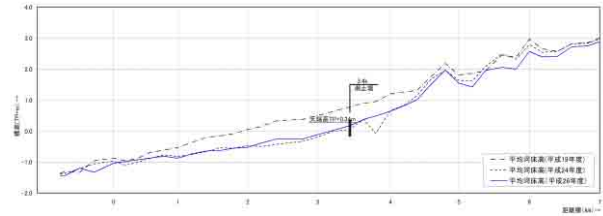


図 16 : 河口部平均河床

8. まとめ

現時点では、河口部における河積管理については、引き続き土砂掘削が有効であることを確認した。

しかし、課題もあり継続的な掘削が将来に渡って最も有効な施策であるとは判断できない。

具体的な課題の解決方法の例は以下の通り。

- ・一次元モデルの検証（再現期間の見直し）
- ・水生生物と物理環境との関係性の確認
- ・大阪層群と水生生物との関係性の確認

これらのことを踏まえてモニタリングを継続し機構解析を行い、治水・環境、流域全体の土砂管理の観点から有効な対策を具体化、展開していかなければならない。

関西国際空港2期新LCCターミナル 整備計画について

山家 史也

新関西国際空港株式会社 技術・施設部 施設計画グループ（〒549-8501大阪府泉佐野市泉州空港北1番地）

本整備は、我が国初のLCC（Low Cost Carrier）拠点として2012年に整備した第2ターミナルに続き、更なるLCC需要を取り込むため、新たなLCC拠点施設を整備するものである。本整備においては、第2ターミナルのコンセプトを継承しつつ、今後の更なるLCC需要に柔軟に対応するための高い拡張性と中大型機への対応を実現するための計画を基本理念としている。エアサイド計画においては、自走運用とプッシュバック運用の併用による施設規模の低減と運用効率性の両立や中大型機への対応が可能なスポット配置方法を検討し、整備コスト削減を図った。

キーワード 空港、計画、コスト削減、LCC

1. はじめに

2010年5月に国土交通省が策定した成長戦略の1つにLCC専用ターミナルの整備と、それに伴う各種規制緩和の実現への取組みが規程された。これを受け、関西国際空港においては、LCCの路線拡充を成長戦略の柱の一つに位置づけ、LCCの誘致や専用ターミナル（第2ターミナル）の整備に取り組んできた。

2012年10月、関西国際空港2期島に第2ターミナルがオープンしたが、LCC需要は成長著しいアジアの需要を背景に益々高まっており、その処理能力は近い将来限界が生じると予測されることから、新LCCターミナルの整備を決定し、2015年度中のエプロン供用開始、2016年度中のターミナルビル供用開始をめざして整備を進めている。

が2012年に揃って運航を開始したことから「LCC元年」と呼ばれ、着実に需要を伸ばし続けている。

関西国際空港においては、好調な国内線LCCの成長に加え、国際線LCCも急増（図-2）しており、現在、国内最多14社のLCCが乗り入れる空港となった。

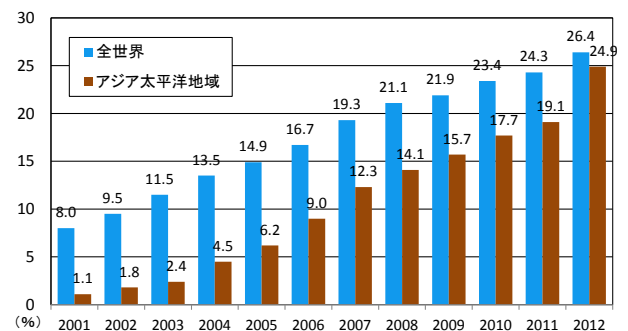


図-1 LCCの座席供給シェア年別推移

2. 関空におけるLCCの動向

LCCとは、圧倒的な低価格を武器に近年急速にシェアを拡大する低コスト航空会社のことであり、従前の航空会社と異なる単一機材、多頻度運航といったビジネスモデルを実現している。彼らの台頭により、これまで航空機を利用しなかった層が世界各地で新たな航空需要を創出している。図-1に示す通り、現在の世界航空市場におけるLCCシェアは2～3割を占めており、特にアジア太平洋地域における成長が著しい。

また、日本では、ピーチ・アビエーション、エアアジア・ジャパン、ジェットスター・ジャパンの3社

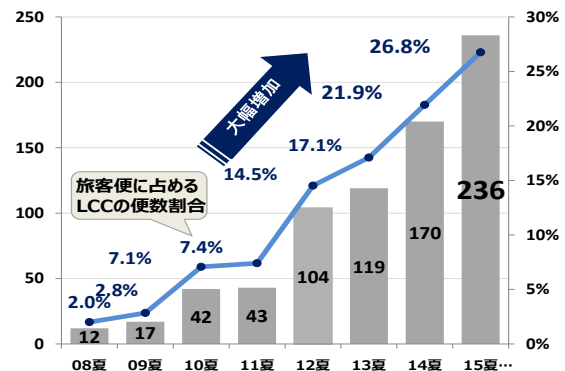


図-2 関空国際線旅客便に占めるLCC便数割合

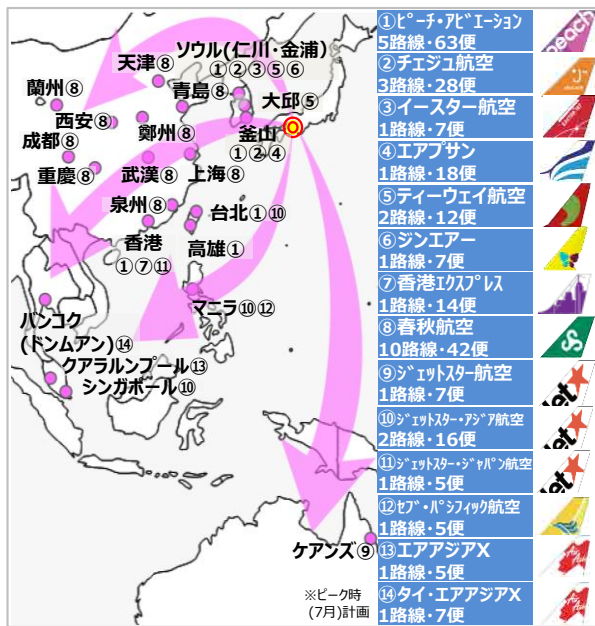


図-3 国際線LCCネットワーク図

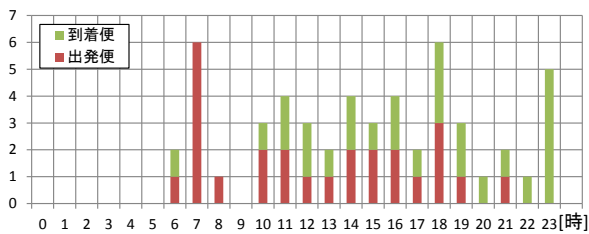


図-4 拠点型LCC時間帯別発着回数（2013年度平均）

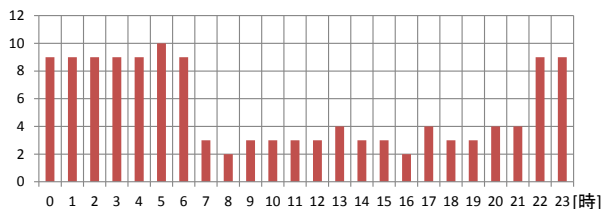


図-5 拠点型LCC時間帯別機材数（2013年度平均）

図-3に2014年冬ダイヤにおける国際線LCCネットワーク図を示す。

関西国際空港は24時間空港であり、立地的にもアジアに近いことから、LCCビジネスモデルを構築しやすい環境となっている。この強みを活かし、LCCの定着をさらに強固にするために、LCC拠点施設の整備は不可欠な要素である。

3. 拠点型LCCの特徴

新LCCターミナル整備計画の検討にあたっては、関西国際空港を拠点としているLCC（拠点型LCC）の運

航データを分析することでその特徴を把握し、LCC拠点施設に求められる要件を整理した。

(1) 拠点型LCCの特徴

拠点型LCCの2013年度時間帯別平均発着回数を図-4に示す。これより、早朝に一齐に出発し、24時間運用の強みを発揮して深夜に帰阪するというダイヤ設定となっていることが分かる。これはまさに、LCCのビジネスモデルである多頻度運航が実現されていることを示す。

また、図-5は時間帯別に駐機している航空機の数を示している。これより、LCC拠点施設では夜間早朝時間帯と昼間時間帯の間で必要なスポット数に大きな差があることが分かる。

(2) LCC拠点施設整備に求められる要件

施設配置計画においては、拠点型LCCとその他LCCのバランスを考慮しながら、早朝時間帯の出発ピークに対応できるスポット数をいかに効率的に配置するかが課題となる。

さらに、中大型LCC機材への対応や、今後の更なるLCC需要増加に柔軟に対応するための拡張性も考慮した計画を検討する必要がある。

4. 新LCCターミナル整備計画の概要

新LCCターミナル整備計画においては、シンプル、コンパクトといった第2ターミナルのコンセプトを継承しつつ、施設規模の低減、中大型機への対応及び拡張性を考慮することとした。

本章では、新LCCターミナル整備全体の計画条件及び概要を示し、次章でエアサイド計画の詳細を示す。

(1) 計画条件

新LCCターミナル整備における計画条件は、現在第2ターミナルを拠点として就航しているピーチ・アビエーションの事業計画をベースとし、その計画数値を受け入れることが可能な規模の拠点施設を整備することとした。

(2) 整備概要

整備イメージと整備概要を図-6、表-1に示す。

ターミナルビル整備においては、国内線国際線共用のチェックイン棟と国際線専用ターミナルビル（合計約33万㎡）を新築し、第2ターミナルビルを国内線専用ターミナルに改修する。

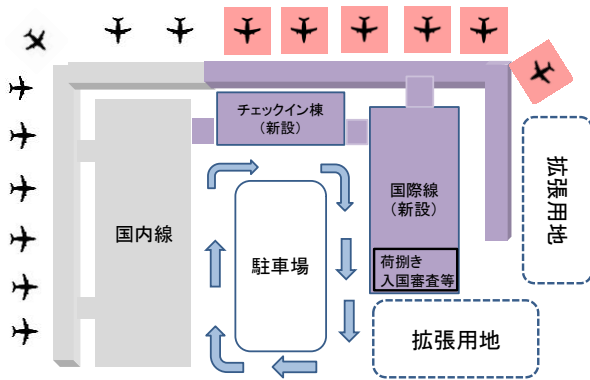


図-6 新LCCターミナル整備イメージ図

表-1 新LCCターミナル整備概要

第2ターミナル(国内線)	
建物面積	約 30,000 m ²
スポット数	9スポット
処理能力	550万人/年 25便/日
新ターミナル(国際線)およびチェックイン棟	
建物面積	約 33,000 m ²
スポット数	6スポット(コードC機材11機駐機可能)
処理能力	285万人/年 26便/日

第2ターミナル同様、平屋建て（一部2階建て）の簡素な構造とし、搭乗橋は設置せず旅客は航空機徒歩で移動する動線とした。また、荷捌き審査場等を拡張用地に面した位置に配置す将来需要が増加した際の拡張を可能とした。

アクセス施設については、第2ターミナル同様、第1ターミナルからのシャトルバス、島外からのリムジンバス、団体バス、自家用車、タクシーを前提とし、各アクセス施設の配置場所については、旅客の国内線国際線利用率、アクセス分担率等を考慮し、図-7のとおりとした。

5. 新LCCターミナルにおけるエアサイド計画

エアサイドについては、第2ターミナルエプロンのスポット配置をベースに改善策を盛り込み、6スポット（コードC機材であれば11機駐機可能、約9万m²）を整備することとした。

(1) スポット配置における課題

新たに整備するスポットを第2ターミナル同様の従来方式で配置した場合（図-8）、整備範囲が大きくなり、以下のような課題が発生する。

- ・早朝ピーク対応にあわせた施設規模となるため、昼間時間帯のスポット運用に無駄が生じる。

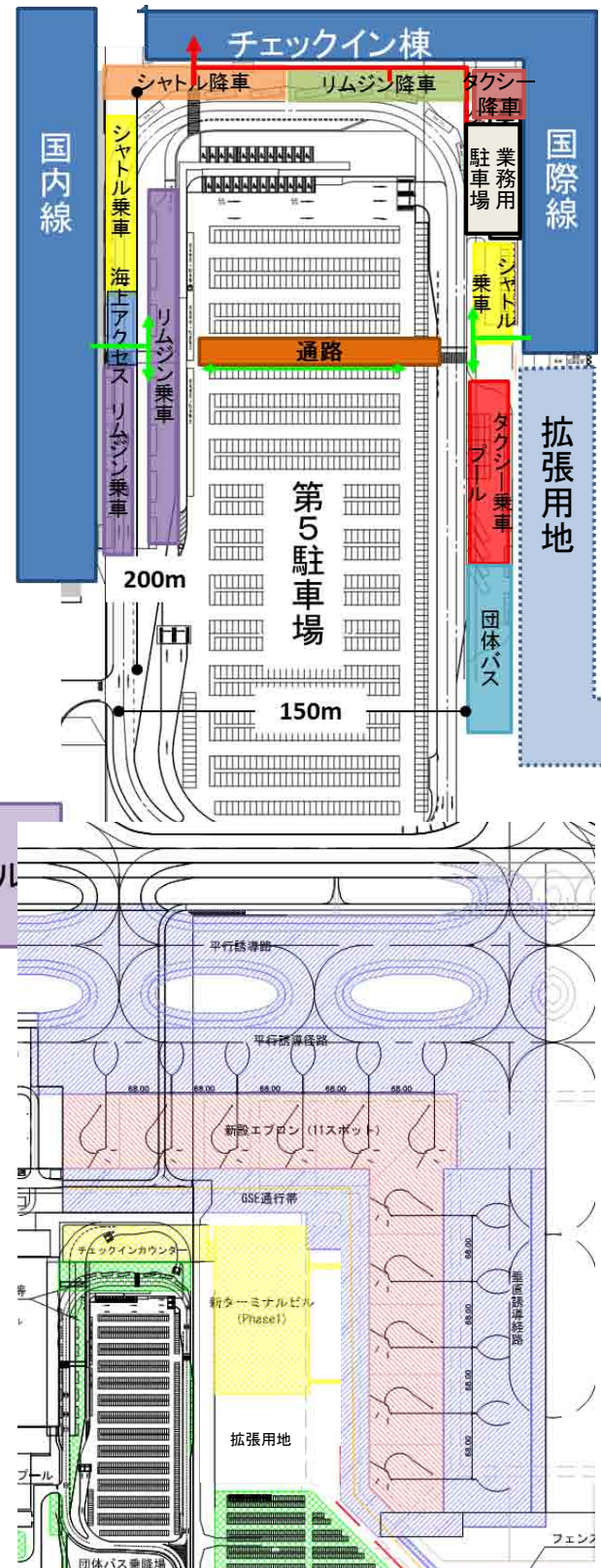


図-8 従来方式案

- ・チェックイン棟からの旅客移動距離が長く、旅客ハンドリング効率が悪い。
- ・将来拡張時、ターミナルビル前面にスポットの増設が不可能（バスハンドリングが発生）。

これらは整備コストの増加，拡張性の低下，将来スポットにおける運用効率低下の要因となる．これらの改善のためには，所要規模を満足しつつ整備範囲をコンパクトにするスポット配置が不可欠である．

(2) 自走方式とプッシュバック方式のマルチ駐機案の採用

上記課題の改善のため，自走方式とプッシュバック方式を併用したスポット配置案（図-9）を採用した．

a) マルチ駐機案の特徴

本案は，自走方式スポットとプッシュバック方式スポットを交互に配置したマルチ駐機案である．以下に本案の特徴を示す．

- ・早朝のピーク時にはプッシュバック運用を主とし，スポット占有状況によっては自走運用に切り替えることで施設規模の低減が可能．
- ・将来拡張時，ターミナル前面にスポットの増設が可能（バスハンドリング不要）．

以上のように，本案を採用することで整備範囲をコンパクト化し，従来案における課題の改善が可能である．また，旅客歩行距離の短縮，機材集約によるハンドリング効率の向上等も可能となる．

b) 従来方式との違い

第2ターミナルエプロンでは，自走運用スポット幅を60mとしたが，本案においては，スポット幅81mの自走運用スポットを6スポット配置し，各スポット間にコードC（表-2参照）プッシュバック運用スポット（空港土木施設の設置基準：幅40.5m）を5スポット配置することで，自走運用とプッシュバック運用の併用を可能とし，ピーク対応と施設規模の低減を両立した．従来方式と本案の駐機方法を図-10に示す．

また，プッシュバック方式スポットの未使用時には，自走方式スポットはコードE機材用プッシュバック方式スポットとしても使用可能であり，コードE機材を運行するLCCを昼間時間帯に受け入れる等の柔軟な運用が可能である．

第2ターミナルエプロンでは，図-11のように，コードC機材の自走運用を主としており，エプロン誘導経

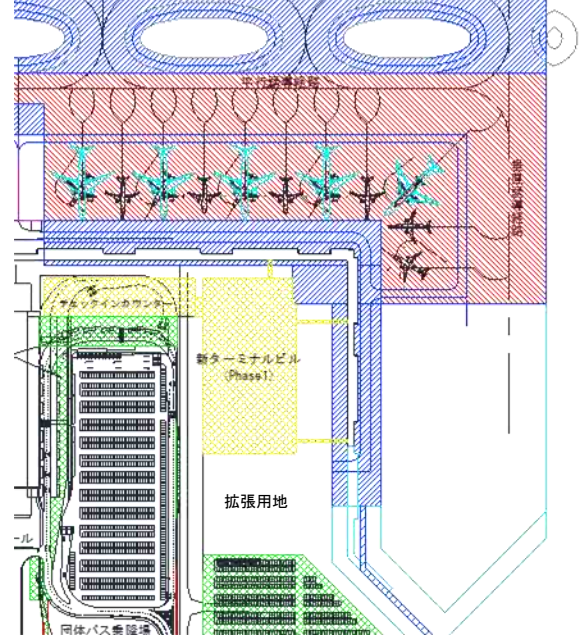


図-9 マルチ駐機案

表-2 機材コード区分

コード	翼幅	代表機材
A	15m未満	BN-2B等
B	15m以上、24m未満	CRJ200, CRJ100等
C	24m以上、36m未満	A320, B737等
D	36m以上、52m未満	
E	52m以上、65m未満	
F	65m以上、80m未満	

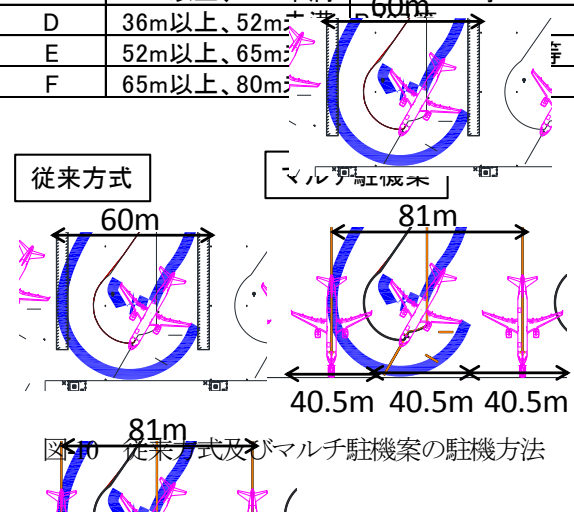


図-10 従来方式及びマルチ駐機案の駐機方法

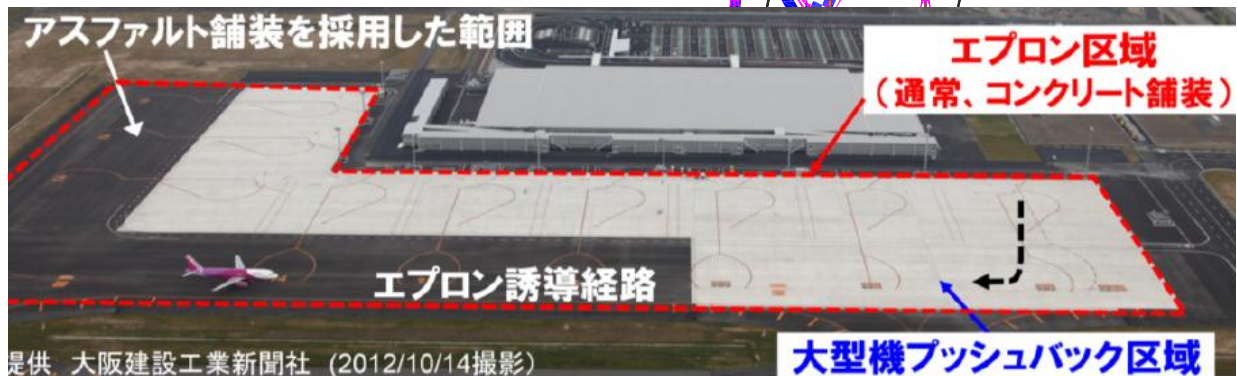


図-11 第2ターミナルエプロンにおけるアスファルト舗装の採用

路上に航空機が静止することになるコードE機材のプッシュバック運用対応スポットを除き、大部分をアスファルト舗装とした。今回整備するエプロンでは、プッシュバック運用が行われるため、全エプロン誘導経路においてコンクリート舗装を採用している。

(3) ハイドラントピット位置の検討

航空機への給油については、第1及び第2ターミナル同様、ハイドラント方式による給油を前提とした。

ハイドラント方式とは、図-12,13のように貯油タンク内の燃料を埋設配管とポンプによりスポット近傍のハイドラントピットまで圧送し、サービサーと呼ばれる給油車輛により給油を行う方式である。

ピットについては、整備コストと維持管理コストの観点から、コードC機材用とコードE機材用のピットの共通化を図るため、

- ・自走運用スポットにおいて、コードC機材右翼側への給油が可能。
- ・プッシュバック運用スポットにおいて、コードC機材右翼側への給油が可能。
- ・自走運用スポットにコードE機材が駐機した際にも、コードC用ピットを用いて給油が可能。

であることを前提条件として、その位置を検討した。

その結果、図-14に示す位置にハイドラントピットを設置することで、上記全ての場合に給油可能となった。なお、給油可能とするためには、この図において給油口とピットがサービサー周囲の曲線内に収まる必要がある。

6. まとめ

以上のように、関西国際空港の新LCCターミナル整備計画においては、第2ターミナルスポット配置や第2ターミナル供用後の運用状況から得た知見を活かし、LCCが持つ特徴的な運航形態に対して様々な工夫を盛り込むことで、施設規模の低減とピーク対応の両立を可能とし、整備コストの削減を実現した。

新LCCターミナル施設供用後、本稿で取り上げたポイントが実運用上どの程度有効であったかを検証するとともに、LCC事業者の動向を注視し、今後の発展に資するよう、LCC拠点の整備や運用に係るノウハウの蓄積に努めることとしたい。

参考文献

- 1) Centre for Asia Pacific Aviation, OAG : Profile on Low Cost Carriers
<http://www.centreforaviation.com/>

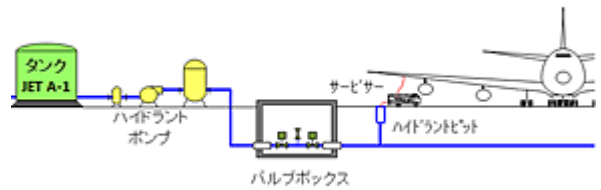


図-12 ハイドラント方式概要図



図-13 サービサーによる給油

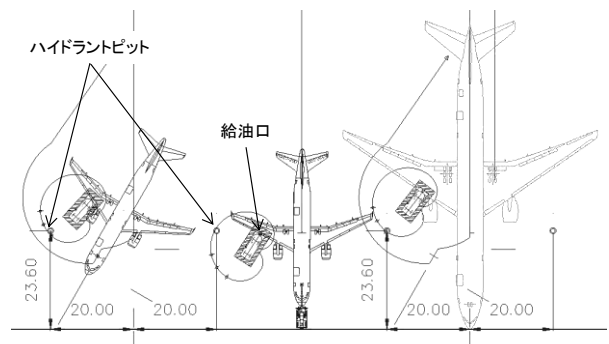


図-14 ハイドラントピット位置

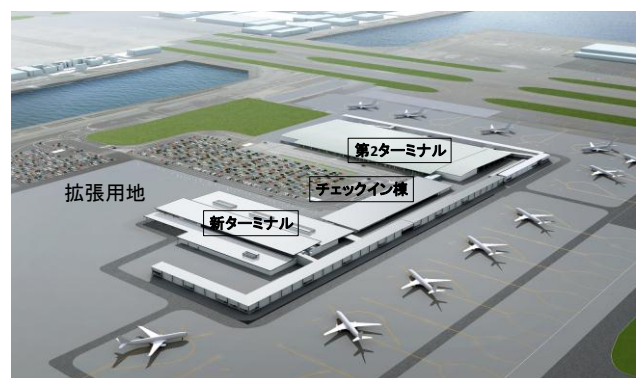


図-15 完成イメージ図

複雑な地盤条件に対する効果的な 液状化対策の検討について

藤倉 永大¹

¹近畿地方整備局 大阪港湾・空港整備事務所 工務課（〒552-0007大阪府大阪市港区弁天1-2-1-1500号）

大阪港夢洲コンテナターミナル耐震強化岸壁に附帯する荷さばき地の液状化対策は、「コンテナ蔵置エリアの平坦性」を要求性能とした設計・施工を実施してきているところである。しかし、本工事施工区域においては、旧石積護岸や広範囲に固化体の層が存在するなど複雑な埋立履歴の地盤構成となっている上、液状化層の中に想定されていなかった転石が多数混入していることが確認され、液状化対象層全体の対策には多くのコストが必要となることが判明した。そこで、平坦性確保の観点から性能規定値を相対沈下量で規定し、「モンテカルロシミュレーション」により相対沈下量を推定した。その結果、大幅なコスト縮減が図れる見込みとなった。

キーワード 液状化対策、コスト縮減、モンテカルロシミュレーション、コンテナターミナル

1. はじめに

大阪港は平成23年4月の港湾法施行令の改正により、「国際戦略港湾」として位置付けられ、大阪港夢洲コンテナターミナル耐震強化岸壁は長距離の国際海上コンテナ運送に係る国際海上貨物輸送網の拠点として機能するために必要な係留施設（水深16m以上の耐震強化岸壁）として整備を進めている。本検討の対象施設である夢洲コンテナターミナル耐震強化岸壁に附帯する荷さばき地（写真-1、以下「当該荷さばき地」とする）は、前面岸壁と一体となって機能を発揮すべく、地震後においても荷さばき地として使用可能な耐震性を有することが求められる施設である。

当該荷さばき地では、2013年度（平成25年度）より耐

震強化工事を進めているが、対象となる埋立地は複雑な埋立履歴を持つため、その地盤特性を耐震性評価へ適切に反映する必要があることが課題となっていた。本報文は、その複雑な履歴を持つ埋立地盤に対する液状化の評価・対策検討において、相対沈下量を定量的に算定可能であるモンテカルロシミュレーションを適用した事例を報告するものである。

2. 荷さばき地の地盤特性

当該荷さばき地では、平成25年度以降20地点で土質調査、液状化予測・判定を実施した（図-1）。その結果、厚さ20m程度で分布する埋立土のうち多くが液状化すると判定されたため、具体的な対策工法の選定作業および対策工事を進めてきた。

しかし、液状化対策工事施工区域においては、旧護岸や旧工事用道路と想定される固化改良体を始めとした改良体混り砂礫が広範囲に存在するなど複雑な埋立履歴の地盤構成（図-1）となっていることに加え、設計時では想定されなかった転石が液状化層中に多数混入していることが確認されるなど（写真-2）、埋立材料自体のばらつきが大きいことが明らかとなった。また、当該荷さばき地内にはPCBを含有する浚渫土（以下、PCB含有土）の処分地も存在しており、PCB含有土自体は細粒分含有率が60~80%かつ粘土分含有量も20%以上であることから液状化は生じないと想定されるが（図-2）、地震時には



写真-1 北港南地区 荷さばき地 全景

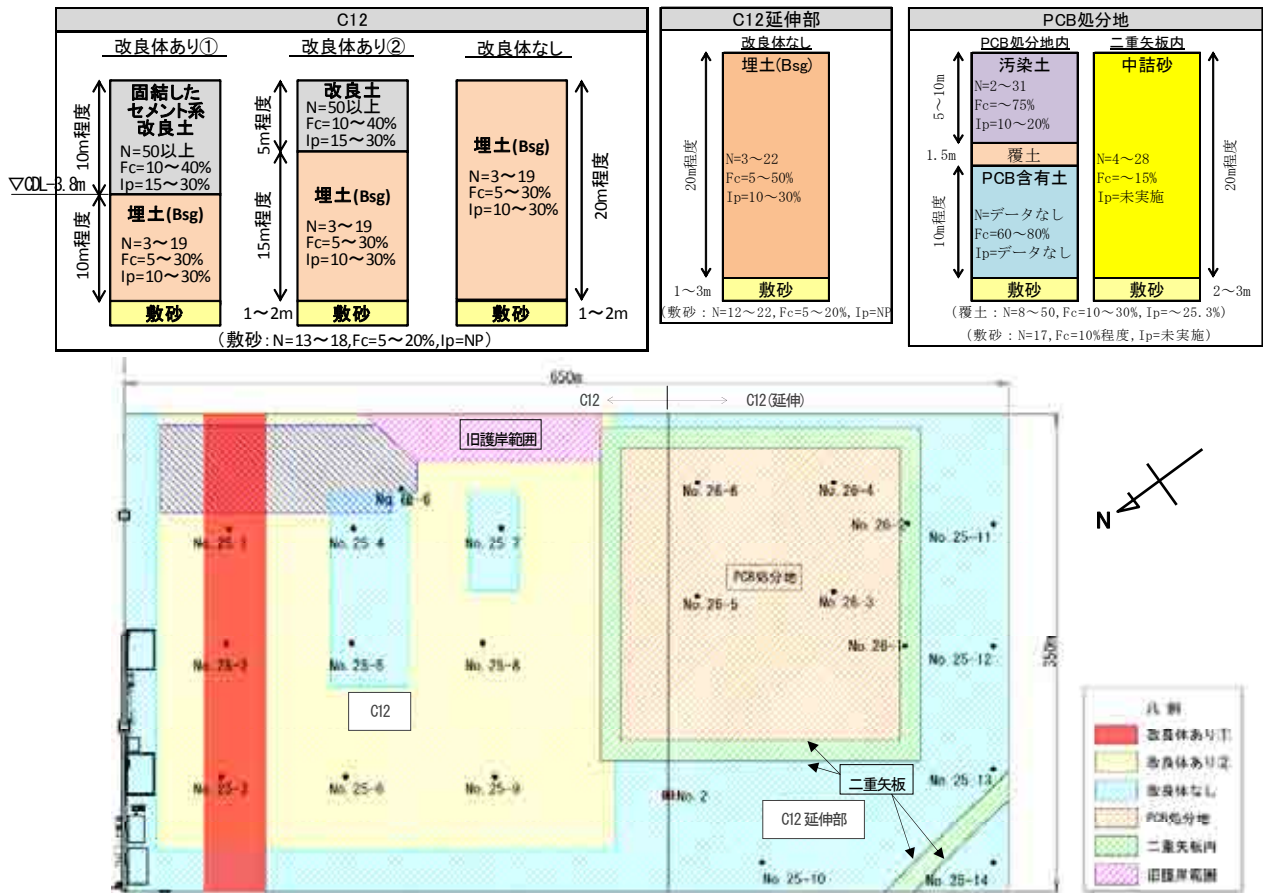


写真-2 転石状況

周辺の液状化地盤との相対沈下が生じることが想定されるため、荷さばき地としての使用性を確保し難いことも明らかとなった。

3. 荷さばき地の要求性能

当該荷さばき地は、(特定)幹線貨物輸送対応の耐震強化施設であるC-10~C-12岸壁と一体となって機能を発揮する必要がある荷さばき地であるため、「港湾の施設の技術上の基準・同解説(H19)¹⁾」(以下、「港湾の基準」とする)より、「レベル2地震動等の作用による損傷等が、軽微な修復によるレベル2地震動の作用後に当該荷さばき地に必要とされる機能の回復に影響を及ぼさないこと」を要求性能とした。

「港湾の基準」では、現時点で荷さばき地における定量的な許容限界値は設定されていない。他方で当該荷さばき地は、(特定)幹線貨物輸送対応の岸壁と一体となって機能発揮する必要があることから、港湾の基準上の要求性能は「修復性」が対象となるが、レベル2地震動作用後の荷さばき地の状況を想定した場合、被害を受けたコンテナの撤去移動等を前提とした速やかな修復作業は困難である。そのため、当該荷さばき地では、要求性

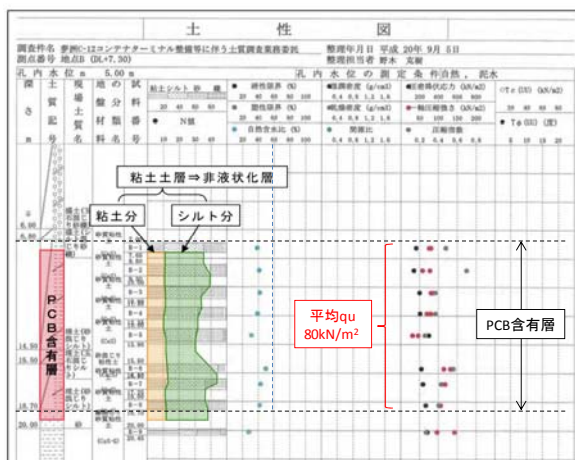


図-2 PCB含有土の土性図

能を「使用性」と同程度とし、荷さばき地機能としてのトッププライオリティである「コンテナ蔵置エリアの平坦性の確保」を性能規定として設定した。

なお、本検討では「平坦性」の確保ということに重点を置き、岸壁背後エプロンにおける使用性を対象とした許容被害「エプロン上の段差；0.03～0.1m未満」を参考として、設計限界値は相対沈下量10cmとして設定した。

4. 液状化による相対沈下量の推定

(1) 沈下量把握手法

改良体および改良体混じり砂礫（ $N \geq 50$ 程度）が散在するC12において、液状化に伴う沈下量を面的に把握し、対策工の必要性や改良範囲・深度等の諸元を設定することを目的とし、面的な沈下量を推定する。

面的な沈下量を推定する手法として、本検討では空港埋立地の広範囲の圧密沈下予測²⁾や液状化による不同沈下予測³⁾に用いられる「モンテカルロシミュレーション」により地盤材料のばらつきを確率変数として考慮する方法を適用した。この手法により液状化による沈下量を算出するには「液状化層厚」および「体積ひずみ」

（過剰間隙水圧の消散に伴う地盤の体積収縮）が必要となる。本検討では「液状化層厚」を三次元土層モデルにより設定し、各層の「体積ひずみ」をモンテカルロ法における変数とした。モンテカルロシミュレーションの概要は付録に示す。

(2) 三次元土層モデルに基づく液状化層厚の設定

当該荷さばき地の既往土質調査及び表面波探査位置平面図を図-4に示す。三次元土層モデルはこれらの調査結果に基づき、以下の手順で作成した。

- ①既往調査ボーリングから、自然地盤と敷砂の境界を面的に推定
- ②同様に敷砂と埋土層（Bsg層）の境界を面的に推定
- ③改良体および改良体混じり砂礫層の分布をボーリングと表面波探査結果から推定
- ④構造物周りの土層（基礎）をモデル化

作成した三次元土層モデルの例を図-5に示す。作成した三次元土層モデルに基づき、図-6に示すメッシュ毎に液状化層厚を整理した（図-7）。なお三次元土層モデルの作成には二重鋼矢板や旧護岸等の構造物周りの状況を反映させた（図-8）。

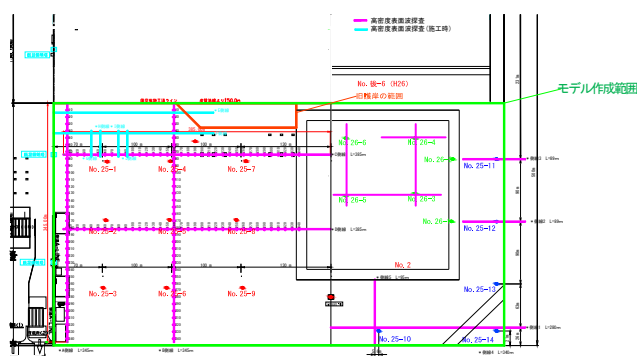


図-4 既往土質調査及び表面波探査位置図

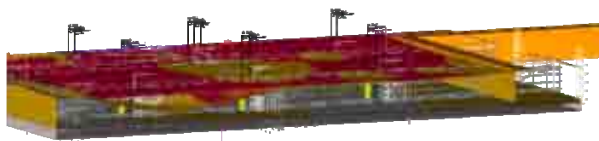


図-5 三次元土層モデルの例

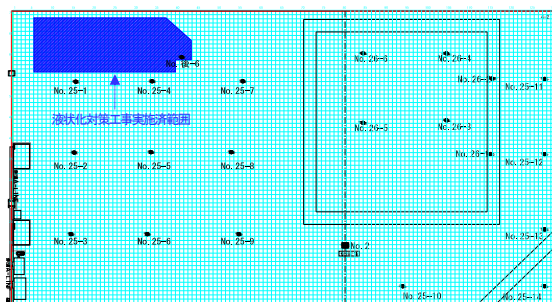


図-6 平面メッシュ図 (5m×5m)

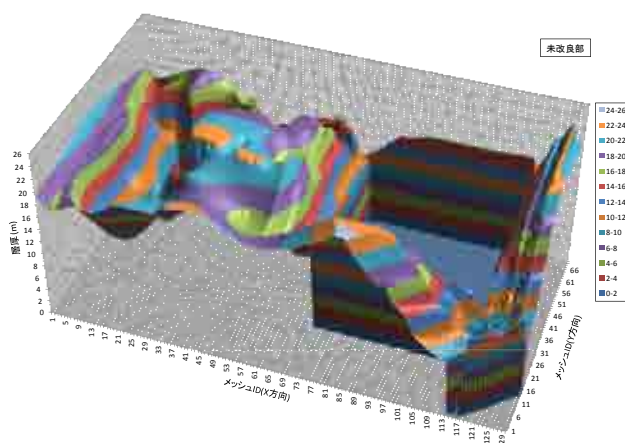


図-7 Bsg層の層厚分布

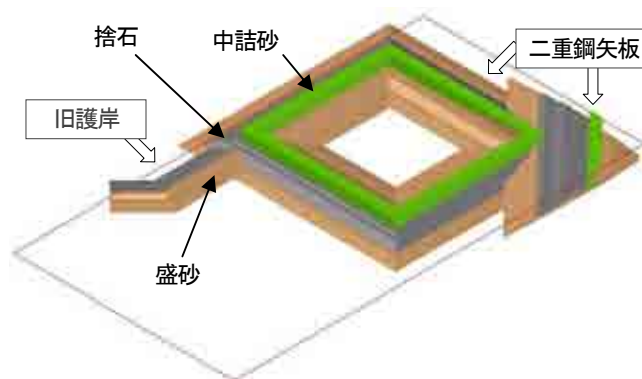


図-8 構造物周りの土層モデル

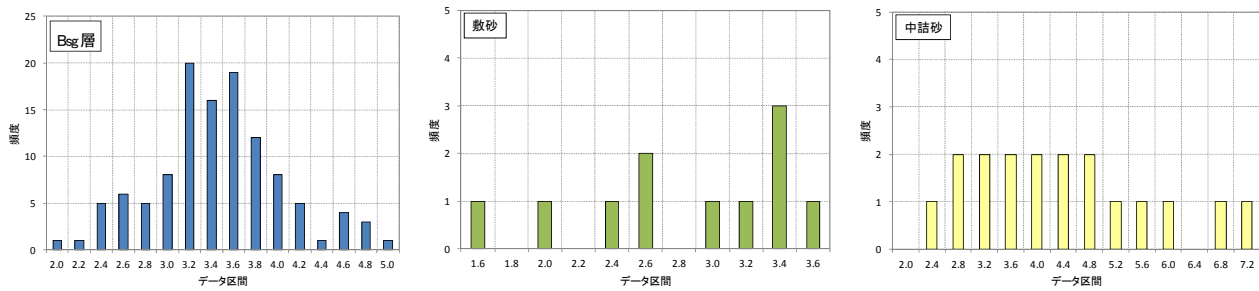


図-10 体積ひずみのヒストグラム（左：Bsg層，中：敷砂，右：中詰砂）

表-1 液状化対象層の体積ひずみ測定結果

土層	データ数	最小値	最大値	平均値	標準偏差
Bsg (C12)	92	1.97	4.89	3.336	0.575
Bsg (延伸部)	23	2.04	4.77	3.394	0.626
Bsg (C12+延伸部)	115	1.97	4.89	3.348	0.583
敷砂 (延伸部)	11	1.59	3.48	2.740	0.640
中詰砂	18	2.25	7.09	4.238	1.380

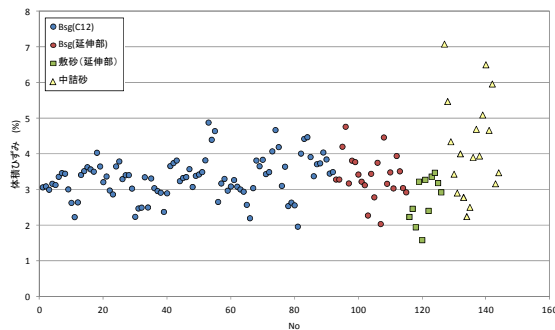


図-9 液状化対象層の体積ひずみ測定結果

(3)液状化層で想定される体積ひずみ量の設定

既往土質調査における液状化対象層の体積ひずみ測定結果を表-1および図-9に示す。また、各土層のヒストグラムを図-10に示す。図-10に示すヒストグラムから、Bsg層の体積ひずみは概ね正規分布の形状をしている事が判るが、敷砂層は試験数が11データしかなく、ヒストグラムでは正規分布となっていない。また、中詰砂についてもBsg層のように明確な正規分布とはなっていないが、平均値付近に頻度が集中している傾向が見られるため、データ数が増えれば正規分布となる可能性が高い。以上を踏まえ、各土層の体積ひずみを以下のように設定した。

- ・Bsg層：正規分布を仮定し平均±標準偏差でモデル化
- ・敷砂層：沈下量が大きくなるよう最大値でモデル化
- ・中詰砂：正規分布を仮定し平均±標準偏差でモデル化

(4)計算条件

モンテカルロシミュレーションでは、各要素の確率変数（本検討では体積ひずみ）が相互に相関を有することが前提となるが、当該荷さばき地の地盤は埋立土であることから、自然地盤と異なり地盤特性の相関性は大きくないものと考え、短めの距離（5m）を相関距離として採用し、また試行回数は100回とした。

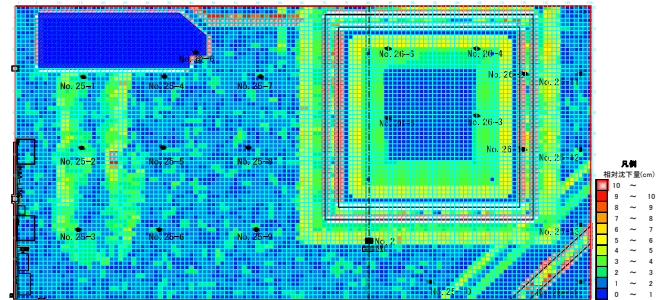


図-11 相対沈下量平面分布（対策無）

(5)検討結果

モンテカルロシミュレーションによる相対沈下量の平面分布を図-11に示す。なお、各メッシュの相対沈下量は隣接メッシュ（上下左右4方向）との最大値とした。

これより、過年度の液状化対策工事実施済範囲周辺、旧護岸位置及びPCB処分地周囲の二重矢板前後、さらに固化体が局所的に厚く分布している地点等で設計限界値である相対沈下量10cmを上回ることが明らかとなった。一方、相対沈下量10cmを下回る範囲においても相対沈下のばらつきが広範囲に分布し、かつ固化体との境界部での相対沈下の発生が顕著となっている。これらの相対沈下の発生は、地震後の荷さばき地の早期供用に対して大きなリスクとなることから、これらの相対沈下を抑制して平坦性を確保するための液状化対策が必要であると判断した。

5. 液状化対策範囲の設定

前述したとおり、当該荷さばき地は固結した改良体が局所的に分布する地盤構成となっている。そのため、改良体の有無により液状化層厚が大きく異なり、液状化層厚の差異によって不陸が生じる可能性が高い。当該荷さばき地の供用においては、コンテナクレーン及び車両の走行性の確保やコンテナが崩れない程度の変形に留める必要があるため、地震後にも不陸を抑制し、平坦性を確保する必要がある。

平坦性を確保するために最適な方法は、液状化の発生

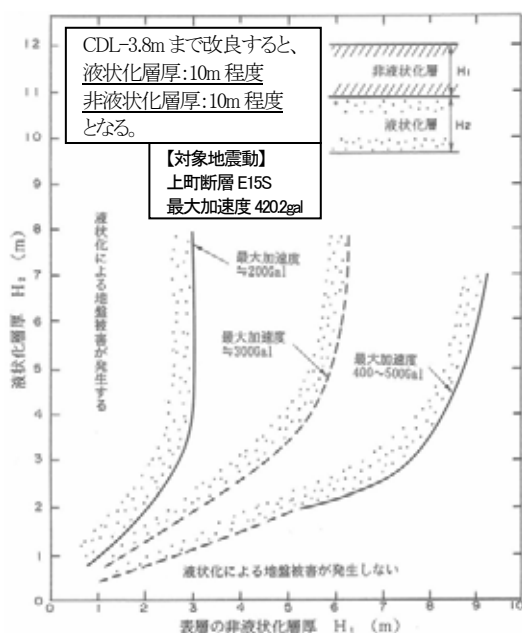
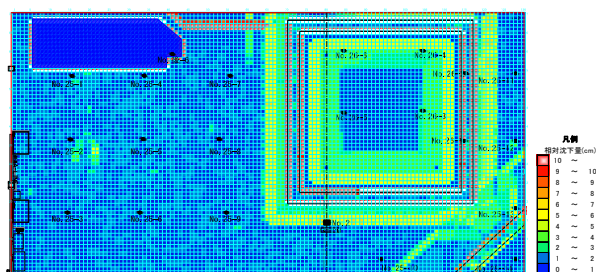
図-12 液状化による地盤被害が発生する条件⁴⁾

図-13 相対沈下量平面分布（一律CDL-3.8m対策）

が想定される全層を対象として液状化対策を行い、液状化の発生そのものを生じさせないことである。しかし、前述した現場条件を踏まえると、全層を対象とした液状化対策の実施は、多大なコストと時間を要するため現実的でない。そこで液状化が発生しても平坦性を確保するという観点から、不陸を抑制するための合理的な液状化対策範囲を設定する方針とした。

不陸を抑制する方法としては、まず液状化層厚の平準化を図ること必要である。本検討では概ね固化改良体の下端標高であるCDL-3.8mまで一様に改良を実施したモデルにより検討を実施した。ここでCDL-3.8mは、固化改良体の下端標高であるとともに、埋立地内で確認された転石分布深度の上端標高程度に該当する。地盤改良にあたって転石の除去は多大な時間とコストが必要であるため、地盤改良深度下端をCDL-3.8mとすることで大幅なコスト削減を図ることが可能である。更に、CDL-3.8mまで改良を実施することによって、液状化層以浅の非液状化層厚が10m程度造成されるため、図-12より地盤被害の発生が生じない、もしくは被害程度が軽減されるものと推測される。

なお、想定する液状化対策工法は、占有しての面的改良が可能であること、当該荷さばき地での実績があるこ

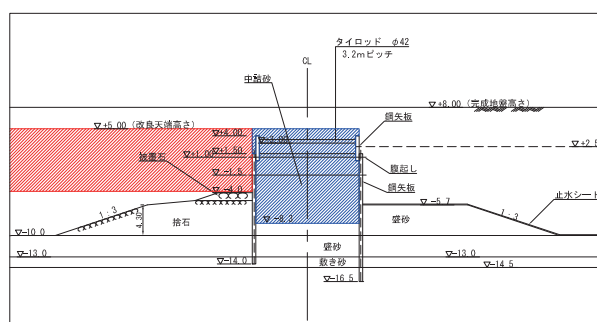


図-14 PCB処分地周辺二重鋼矢板内改良断面

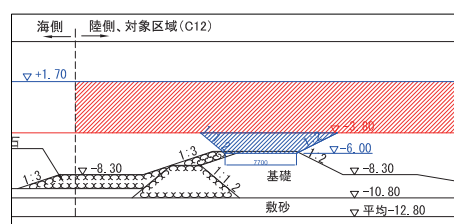


図-15 旧護岸部の摺りつけ改良断面

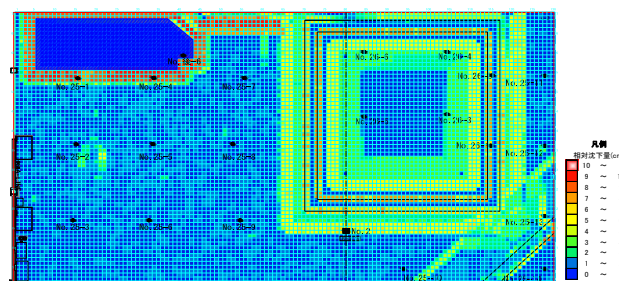


図-16 相対沈下量平面分布（摺りつけ改良実施）

と並びにコスト削減の観点から、サンドコンパクションパイル工法を基本とした。

6. 液状化対策後の相対沈下量の推定

5章で設定した「一律CDL-3.8mまで改良したケース」の相対沈下量分布図を図-13に示す。図-11に示した無対策ケースと比較すると、固化体が局所的に厚く分布する範囲では相対沈下量10cmを下回ることが確認できた。また、広範囲でばらついていた相対沈下も抑制でき、地震後の早期供用に対するリスクを低減可能であることが確認できた。

しかし、地盤条件が局所的に大きく異なる液状化対策工事実施済範囲周辺、旧護岸位置及びPCB処分地周辺等ではまだ設計限界値（相対沈下量10cm）を上回る。そこで、設計限界値を満足するよう、液状化対策工事実施済範囲の境界部及び旧護岸において改良下端深度の摺りつけを行い、緩い中詰砂が沈下要因となるPCB処分地境界部の二重鋼矢板内部は改良下端深度を深くし、沈下量の抑制を図ることとした。適正な範囲は繰返し計算により決定した。

PCB処分地周辺二重鋼矢板内部では改良深度をCDL-8.3m（図-14），旧護岸部分では旧護岸天端（CDL-6.0m）からCDL-3.8mまで1:1.2及び1:2の勾配で摺りつけ改良（図-15），液状化対策工事実施済範囲では，改良下端深度（CDL-14.2m）からCDL-3.8mまで1:1.6の勾配で摺りつけ改良を行った結果を図-16に示す。これより，全ての範囲で相対沈下量10cmを満足することが確認できた。

7. まとめ

本報文では，複雑な埋立履歴を持つ埋立地上の荷さばき地を対象とし，平坦性確保の観点から相対沈下量10cmを設計限界値とした「モンテカルロシミュレーション」による液状化対策の検討を行った。その結果，液状化対策層厚の平準化やコスト縮減，施工性の観点から，全層対策と比して対策深度を約50%としても，地盤条件が局所的に異なる地点において摺りつけ対策を行うことにより設計限界値を満足することを確認できた。

本検討では，従来空港埋立地の圧密沈下予測，液状化による不同沈下予測で用いられてきた「モンテカルロシミュレーション」による地盤材料のばらつきの評価手法を，港湾施設の埋立材料の液状化に伴う沈下予測に適用したものである。したがって，本検討で想定した条件（例えば相関距離の考え方など）について被災事例や模型実験等により今後検証されることが望ましい。

なお，本検討では設計限界値を相対沈下量10cmとしたが，絶対沈下量は30cm程度発生する結果となった。この30cm程度の絶対沈下量が，コンテナターミナル荷さばき地の供用性に与える影響を，東日本大震災の類似の被災事例等から検証する必要もあると考えている。

謝辞：本検討の実施にあたっては，国立研究開発法人港湾空港技術研究所地盤改良研究チーム森川TLに御助言・御指導を賜った。ここに記して深甚の謝意を表します。

付録 モンテカルロシミュレーションの概要

モンテカルロ法とは，数値計算やシミュレーションを乱数を用いて解く（近似解）手法の総称であり，様々な分野で用いられている。具体的には，数式化された事象の変数をランダム（乱数を用いる）に決定し，試行回数を多数行うことにより統計的（確率的）に意味のある近似解を推定する手法である。

ある層の体積ひずみは，正規分布すると仮定しその平均値，標準偏差を μ_ε ， σ_ε とする。任意の平面メッシュ（要素）に，ランダムな体積ひずみを割り付けるには，

正規乱数 α （平均値0，標準偏差1.0）を用いて，次のように求めることができる。

$$\varepsilon = \mu_\varepsilon + \sigma_\varepsilon \times \alpha$$

この方法では，隣合う要素間で大きく異なる体積ひずみが割り付けられることもありえるが，土質特性である以上，水平方向の相関性を有すると考える方が適切である。そこで，各要素の確率変数が相互に相関を持っていることを考慮して，ランダム変数を割り付ける。

$$\begin{pmatrix} \varepsilon_{1p} \\ \varepsilon_{2p} \\ \vdots \\ \varepsilon_{np} \end{pmatrix} = \mu_\varepsilon + \sigma_\varepsilon \cdot [C^*] \cdot \begin{pmatrix} a_{1p} \\ a_{2p} \\ \vdots \\ a_{np} \end{pmatrix} \quad (a)$$

ε_{ip} ：要素 i の試行 p 回での体積ひずみ

α_{ip} ：正規乱数

$[C^*]$ ：共分散マトリックス $[Cx]$ をLU分解して得られる

$$[Cx] = \begin{pmatrix} 1 & \tau_{12} & \cdots & \tau_{1n} \\ \tau_{21} & 1 & \cdots & \tau_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tau_{n1} & \tau_{n2} & \cdots & 1 \end{pmatrix} = [C^*] \cdot [C^*]^T \quad (b)$$

$$[C^*] = \begin{pmatrix} c_{11} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ c_{21} & c_{22} & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & 0 \\ c_{n1} & c_{n2} & \cdots & c_{nn} \end{pmatrix} \quad (c)$$

τ_{ij} ：要素 i と要素 j の相関係数で

$$\tau_{ij} = \exp(-r_{ij} / b)$$

r_{ij} ：要素 i と要素 j の中心間距離

b ：相関距離

参考文献

- 1) 日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説
- 2) 土田，小野：数値シミュレーションによる不同沈下の予測とその空港舗装設計への適用，港湾技術研究所報告，第27巻，第4号，4，1988.12.
- 3) 宮田，井合，一井：液状化による不同沈下の予測手法の開発，港湾技研資，No.908
- 4) 沿岸開発技術センター：液状化ハンドブック

農業用パイプラインの漏水位置特定手法の 適用性評価について

森岡 大介

近畿農政局 南近畿土地改良調査管理事務所 調査計画課

(〒638-0821奈良県吉野郡大淀町下淵388-1)

農業用パイプラインの漏水位置特定手法の適用性評価を行うため、奈良県の五条吉野地区において、トレーサーガス調査、多点相関法等の漏水調査を実施し、適用性評価を行った。

キーワード 漏水調査、トレーサーガス調査法、多点相関法

1. はじめに

過年度より農業用パイプラインの漏水調査は、各種手法の漏水位置特定技術により検証が行われてきたが、埋設場所や管種等、各諸条件下における検知性能の一般的な傾向がつかめていないのが現状である。漏水反応までは確認されるものの、試掘が行われていないため、調査結果の正当性が検証できていないことが考えられる。また、管路の漏水位置特定に影響を与える要因が多く、かつこれらが複合的に影響しているという難しさがあるため、一般的な傾向を明らかにするにはデータ不足の状況である。

漏水の発生管路において各種の漏水位置特定調査により、漏水位置を特定した後、試掘により漏水位置の確認を行い、各種調査手法の適用性を評価し、今後の調査技術の基礎資料の蓄積を行っている。本報告では五条吉野地区で行った漏水位置特定調査について適用性評価の調査計画選定から調査実施結果までを報告する。

2. 地区の概要と課題

本地区は奈良県の南西部に位置し、吉野川沿岸に展開する五條市、吉野郡下市町にまたがる受益面積1,594haの果樹を主体とした農業地域である。本地区の農業用水は、国営五条吉野土地改良事業（S49～H13）により造成した一の木ダムを水源とし、揚水機及び用水路を經由して各ほ場へ配水されている。なお、土地改良施設については、平成5年度～平成13年度にかけて建設された。

平成21年度に機能診断調査で水張試験を行ったところ、幹線用水路4-9号（写真-1）において漏水が確認されたため、漏水箇所を特定するため水圧試験及び音聴調査を実施したが、場所の特定には至らなかった。



写真-1 現場状況

3. 現場条件を踏まえた漏水調査手法の選定

本地区の4-9号幹線用水路はアスファルト又はコンクリート舗装下に埋設された小口径の塩ビ管（VPφ200～150）である。小口径の塩ビ管は振動が伝わりにくいため、上水や下水にて調査実績があり、小口径に適用できるトレーサーガス法を実施することとした。また、断水が出来ない場合の調査手法の検証として、振動測定法の中でも全国的に検証データが少なく、多点を同時に行うことで調査精度の高い多点相関法、最も安価で一般的な音聴調査、調査範囲を絞ることができる水張り試験を実施することとした（表-1）。

表-1 漏水調査手法

調査手法	メリット	デメリット	経済性	適用条件	当該地区への適用
水張試験	・特殊な機器を要せず安価	・調査時間を要する ・絞り込みはブロック単位となる	51千円/区間	不問	○ 実施する 本年度はブロック単位での絞り込みを実施
トレーサーガス調査法	・小口径向き ・漏水音が小さい。あるいは衝撃波が伝播しにくい管種でも対応可能	・比較的高価である ・雨天時は調査できない ・強風時は調査できない	1,608千円/区間	不問	○ 実施する
自律型管内漏水探知システム（スマートボール）	・断水できない箇所でも調査可能 ・調査が正確である ・現場適用条件の制約が比較的小さい	・管径φ200より小口径は適用範囲外 ・流速が遅すぎてスマートボールが流化せず、速すぎると精度が落ちる ・水圧が低い場合検知出来ないことがある	19,527千円/区間 (23,056円/㎡ PC管φ2000)	口径φ200以上に適用	× 実施しない 管径φ200より小口径のため適用範囲外
地中レーダー法	・調査対象となる道路に損傷を与えない ・探索結果をリアルタイムで表示可能 ・収録データの再現性が高い	・漏水が少量の場合検知困難	手押し：156千円/区間 (184円/㎡)	埋設深3.0m程度以内	△ 実施しない 漏水が少量の場合検知困難
相関法 (振動測定法・多点相関法)	・断水できない箇所でも調査可能 ・滲むような漏水向き（低周波帯） ・広域の診断が可能	・データ収集後解析に日数を要する ・樹脂管の場合、管の位置が特定できれば調査困難	746千円/区間	不問	○ 実施する 相関法の中で精度が高いが、検証データの蓄積が少ない。
相関法 (振動測定法・低周波)	・断水できない箇所でも調査可能 ・滲むような漏水向き（低周波帯）	・データ収集後解析に日数を要する ・樹脂管の場合、管の位置が特定できれば調査困難	116千円/区間 (29千円/1回)	不問	× 実施しない 多点相関法を実施することによる
相関法 (振動測定法・高周波)	・断水できない箇所でも調査可能 ・噴出するような漏水向き（高周波帯）	・ピンホール等の形状からの漏水に向けた調査であり、樹脂製管には不向き ・高周波は低周波に比べ減衰が大きいため、検知できる距離的な範囲が狭い。	不明	不問	× 実施しない ・ピンホール等の形状からの漏水に向けた調査であり、樹脂製管には不向き
相関法 (AE法)	・土被りの影響を受けない ・断水できない箇所でも調査可能 ・振動周波数の分解能が高く、調査精度が高い	・音聴法や相関法（低周波）に比べ高価 ・金属系材料の亀裂等の検査に有効であり、樹脂製管には不向き	433千円/区間 (87千円/1回)	金属系材料の管路の漏水等に適用	× 実施しない ・金属系材料の亀裂等の検査に有効であり、樹脂製管には不向き
音聴法	・比較的に安価で手軽 ・断水できない箇所でも調査可能	・調査員の熟練度が要求される	136千円/区間 (180円/㎡)	不問	○ 実施する

4. 水張試験（調査前）

はじめに、漏水区間を絞り込むことを目的とした水張試験を実施した。調査の結果、表-2に示すA～D区間（図-1）の漏水箇所候補から、B区間とD区間に調査範囲が絞られた。更に、新設制水弁を両区間の間に設置し水張試験を行った結果、漏水区間はD区間のみに絞ることができた。

水張試験は、漏水の有無及び漏水箇所の絞り込みを行うには有効な調査手法であると考えられる。ただし、仕切弁が確実に機能し、確実に止水されていることを確認することが重要である。

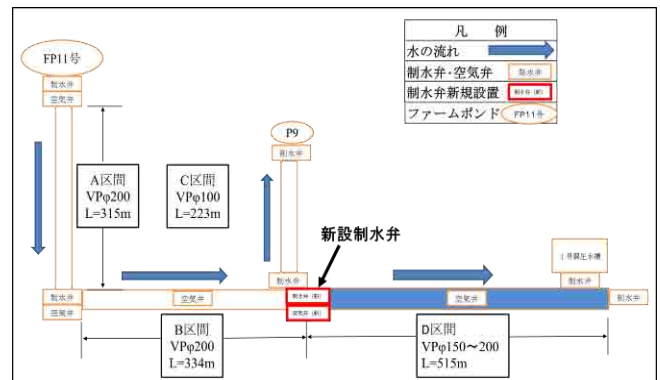


図-1 調査範囲

表-2 水張試験の結果

調査区間	判定
A、B、C、D区間 (H26年7月調査)	前回調査時と同様の調査結果であり、漏水が確認される。（約38m ³ /日）
A、B、D区間 (H26年7月調査)	上記試験と同様の調査結果であり、C区間における漏水の可能性は低い。（約33m ³ /日）
A区間のみ (H26年7月調査)	漏水は確認されず、A区間における漏水の可能性は低い。

5. 音聴調査

水張試験により特定されたD区間について、まず音聴調査（写真-2）を実施した。調査の結果、漏水箇所と思われる場所を1箇所（写真-3）概定できた。

音聴調査は安価で手軽に実施でき、埋設位置が概定できる雑音や交通量の少ない管路では、漏水箇所概定に有効な調査手法であると考えられる。



写真-2 音聴調査状況



写真-3 漏水箇所特定地点

6. トレーサーガス調査法

(1) 調査方法

トレーサーガス調査法（図-2）は、空気弁等よりトレーサーガス（水素5%+窒素95%の混合ガス）を注入し（写真-4）、漏水箇所から排出したガスを地表面で検知する方法である。まず、調査対象区間の管内水を排除し、上下流仕切弁、空気弁の補修弁の全閉を慎重に確認しガスを注入した。ガスの検知は、調査区間515mを2台のガス検知機（写真-5、6）を使用して、調査を行った。

(2) 調査結果

調査の結果、音聴調査とほぼ同じ位置（写真-7）で漏水箇所を概定できた。通常は埋設管路上のアスファルト舗装部での検知が想定されるが、調査結果では側溝側法面からより強い反応が見られた（写真-8）。これは漏れ出すガスが舗装部より未舗装部の隙間に透過しやすいことが要因と思われる。

トレーサーガス調査法は、少量のガスでも検知することができ、検知機の感度を調整することで漏水箇所の概定範囲を絞り込むことができるため、有効な調査手法と考えられる。



写真-4 ガス注入状況



写真-5 ガス検知状況①

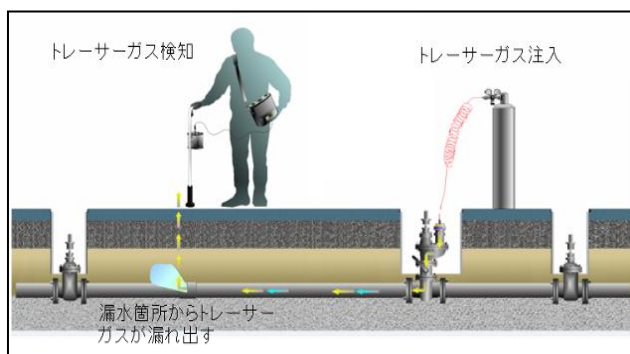


図-2 調査イメージ



写真-6 ガス検知状況②



写真-7 漏水特定箇所①



写真-8 漏水特定箇所②

7. 多点相関法

(1) 調査方法

多点相関法は、弁類や管類に複数のセンサーを設置し、同時に漏水に起因する振動波を測定・記録し、データ解析により漏水位置を特定する方法である（図-3）。

(2) 調査結果

本調査では、まず既設弁类等約150m間隔で調査を実施したが、センサー間での振動波を感知することができなかった。このことから、塩ビ管で擬似的に漏水を発生させて調査可能なセンサー間隔を調べたところ、調査可能範囲は約10mであった。漏水箇所を特定することが可能か判断するため、現在概定されている漏水箇所地点で約5m間隔に穿孔を行い、管に直接接触させた音聴棒にセンサーを設置し調査を実施した（写真-9、10）。調査は15分間隔に3回測定を実施し、異常な振動の判別を行った（写真-11）。本調査の結果、音聴法やトレーサーガス調査法と近い位置に漏水箇所と思われる場所を概定できた。

多点相関法は、小口径塩ビ管において調査可能範囲は10m以下であり、微量な漏水を探知する場合の設置距離は4.0m～5.0mが妥当であると考えられ、設置手間や、管の埋設位置が把握出来る管路である必要がある等の条件があり、困難な調査手法であった。



写真-9 センサー設置①



写真-10 センサー設置②

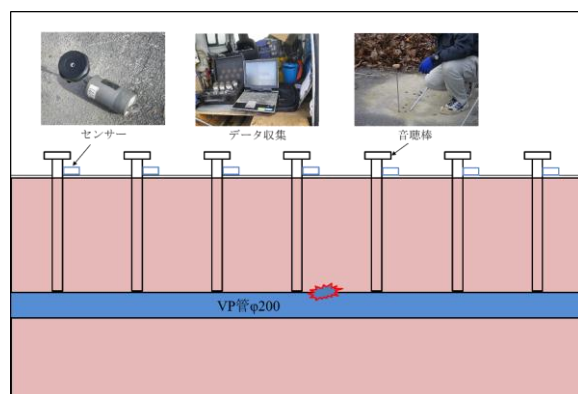


図-3 多点相関法イメージ図



写真-11 データ解析

8. 試掘調査

概定した漏水箇所について、調査結果の検証を行うため試掘を行った（写真-12）。その結果、管の継手部分に漏水箇所が発見され（写真-13）、調査手法の有効性の確認を行う事が出来た。なお、漏水箇所の補修後、再度水張り試験を行い、漏水が止まったことが確認できた。この結果により、本調査で漏水箇所の発見を全て行うことができたと考えられる。



写真-12 試掘状況

9. 考察

本調査では、それぞれの調査において漏水箇所を特定することができた。

今回調査した現場条件においては、音聴調査は安価で手軽に行うことができ、漏水調査でまず実施できる非常に有効な調査手法と考えられる。

次に、トレーサーガス調査については、路面上でトレーサーガスが検知できるかという懸念があったが、本調査の条件であれば可能ということがわかった。音聴調査で漏水が発見できない小口径塩ビ管であれば、有効な調査手法と考えられる。ただし、路肩からのトレーサーガス検知の方が反応が強かったため、調査を行う場合はトレーサーガスの抜ける位置をあらかじめ想定することが



写真-13 漏水箇所

最後に、多点相関法については、塩ビ管では設置距離の間隔（4.0m～5.0m）が短く、本条件では有効な調査手法と言えないことがわかった。

10. おわりに

本調査では、それぞれの調査手法について検証を行うことができた。ただ、限られた条件の中での結果の蓄積であり、一般的な傾向を明らかにするには、やはりまだまだデータ不足な状況である。特に、本調査管路より微量な漏水に対して、トレーサーガス調査や音聴調査が適用できるか課題である。今後も漏水が疑われる場所があれば検証を行い、農業用パイプラインの漏水位置特定手法の確立ができるよう努めたい。

リダンダンシー効果による地域経済への影響分析

片山 慎太郎¹・古市 英士¹

¹一般社団法人システム科学研究所 調査研究部（〒604-8223 京都市中京区新町通四条上ル小結棚町 428）

我が国は、世界的にも有数の自然災害大国であり、防災・減災対策に向けた取組は極めて重要である。災害時においては、とりわけ道路ネットワークの多重化（リダンダンシー）が被害軽減に大きな役割を果たすが、平常時においても企業の生産活動へ寄与するものと考えられる。本稿では、平常時におけるリダンダンシー経路（第2経路）の時間短縮が、企業の生産活動へ与えた影響を長期時系列データを用いて検討した。その結果、第2経路のアクセシビリティと社会経済データとの相関性が高くなる地域を確認することができた。

キーワード リダンダンシー、アクセシビリティ、社会経済データ

1. はじめに

我が国は、世界的にも有数の自然災害大国であり、平成23年3月11日に発生した東日本大震災では甚大なる被害が報告されている¹⁾。将来的に発生が確実視されている東海・東南海地震等の大規模災害による被害軽減に向けて、防災・減災対策への取組みは極めて重要であるといえる。災害発生後の状況下では、被災地への物資輸送、負傷者等の搬送等、道路が果たすべき役割は非常に大きく、とりわけ道路ネットワークの多重化（リダンダンシー）が被害軽減に寄与することが知られている²⁾。例えば、避難経路および物資輸送経路の確保や、企業のサプライチェーン寸断を防ぐことも大きな効果の1つとして挙げられる。リダンダンシー効果の定量的計測事例として、例えば、岩瀬ら³⁾（1998）は、仮想的市場評価法（CVM：Contingent Valuation Method）を用いて、幹線道路整備によるリダンダンシー効果の定量的な計測を試みている。また、小池ら⁴⁾（2006）は、空間的応用一般均衡モデルを用いて、新潟県中越地震の発生時における磐越道や上信越道のネットワークが、経済的被害の量的拡大・空間的拡大を抑制した効果を定量的に計測している。これらの既往研究をはじめとし、災害時におけるリダンダンシー効果の定量的な計測事例が多く蓄積されている。しかしながら、多くの既存研究では、主に「災害時」を想定したリダンダンシー効果の計測であるが、「平常時」においても、都市間モビリティの向上・選択経路数の増加に伴う多様性向上といったリダンダンシー機能が発揮されることから、平常時における効果検討も重要であると考えられる。平常時におけるリダンダンシー効果

は、特に企業への生産活動（生産リスクの低減・新規企業立地等）へ大きな影響を与えるものと推察されるが、平常時におけるリダンダンシー効果を定量的に検討した調査・研究等は、これまであまり行われたことがない。そこで本稿では、「平常時」におけるリダンダンシー経路（第2経路）の時間短縮が、企業の生産活動等へ与えた影響を、過去40年の長期時系列データ（交通データおよび社会経済データ）を用いて検討する。

2. 既存のリダンダンシー経路の考え方

(1) 防災機能評価マニュアル^{5),6)}による評価手法

国土交通省では、必要性・有効性・効率性の3つの観点で評価を実施するものとし、「主要都市・拠点間等の防災機能向上に関する計測マニュアル（暫定案）⁵⁾」ならびに、「ネットワーク全体の防災機能向上に関する計測マニュアル（暫定案）⁶⁾」（以降、2つのマニュアルを総称して防災機能評価マニュアルとする）が策定され、新規事業採択時評価に活用されている。防災機能評価マニュアルでの基本的な考え方は、対象事業あり・なしにおける、耐災害性および多重性（災害時における迂回経路の迂回率）から評価を実施するものであり、最短時間経路（第1経路：主経路）以外の経路からリダンダンシーネットワーク（第2経路：迂回経路）を評価している。また、防災機能評価マニュアルにおける第2経路は、時間もしくは距離が最短となる経路としているため、厳密には第2最短時間経路または第2最短距離経路といえる。

(2) 接続脆弱性分析⁷⁾による評価手法

接続脆弱性分析は、平常時における拠点間の到達可能性を交通需要を扱わずに評価する手法であり、近年、その研究が精力的に行われている⁷⁾。接続脆弱性分析では、拠点間の接続性を「非重複経路数」で表現し、ネットワークの途絶時に確保できる非重複経路数から、道路ネットワークの脆弱箇所を特定するものである。「非重複経路」という点では、防災機能評価マニュアルと同様の考えであるが、両分析での大きな違いの1つとして経路探索方法が挙げられる。両分析での経路探索の違いを図-1に示すが、まず防災機能評価マニュアルでは、最短経路を基本（速達性評価）とするため、この場合AB間における第2経路は探索されない。一方で、接続脆弱性分析では、経路数が最大となるように経路探索（接続性評価）を行うため、AB間の経路が2本探索される。

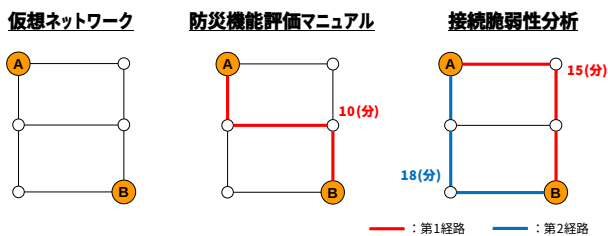


図-1 経路探索方法の違いによるリダンダンシー経路の違い⁸⁾

(3) 本稿のリダンダンシー経路の考え方

既存のリダンダンシー経路の考え方を参考とし、各評価手法と本稿でのリダンダンシー経路の考え方の違いを表-1に整理する。まず、本稿では、平常時における企業の生産活動への影響を分析するために、経路探索方法は最短経路（速達性の評価）として考える。これは、限定された労働時間の中で、より効率的に生産活動が行われているものと想定するためである。よって、本稿でのリダンダンシー経路（第2経路）を、「第1最短所要時間経路を除いたリンクでの最短所要時間経路」と定義し、第1経路と第2経路が重複しないように設定する。

表-1 既存の評価手法との違い

	防災機能評価 マニュアル	接続脆弱性分析	本稿での分析
経路の考え方	最短経路	経路数最大	最短経路
評価視点	速達性	接続性	速達性
想定状況	災害時	平常時	平常時
時点	1時点	1時点	多時点

また、本稿のもう1つの大きな特徴として、多時点での分析を行っている点が挙げられる。既存の評価手法では、評価時点を1時点とし、対象事業のあり・なしによって分析が行われていたが、本稿では多時点のネットワークを扱った時系列分析を行うため、この点も新たな試みの1つといえる。ただし、多時点でのリダンダンシー経路を考える場合、経年変化のパターンに注意が必要である。表-2では、多時点での最短経路探索を行うことで考えられる第1経路および第2経路の所要時間経年変化パターンである。なお、ここでは、「速度状況の経年変化なし・平常時における非重複経路」であることを前提条件として考える。このうち、パターン⑥～パターン⑨は、最短経路を前提とする以上、発生し得ることはないパターンであるが、分析を行う上で問題となり得るパターンは③である。これは、例えばある道路が第2経路上に整備され第1経路となった場合、第2経路はこれまでの経路よりも大きく迂回する経路となるパターンである。本稿では、これらのケースを問題提起のみに留めるが、今後リダンダンシー経路の時系列分析を行う上では、検討していく必要がある1つの課題といえる。

表-2 最短経路探索における経年変化パターンの可能性

	第1経路所要時間	第2経路所要時間	可能性
パターン①	↘ 減少	↘ 減少	○
パターン②	↘ 減少	→ 変化なし	○
パターン③	↘ 減少	↗ 増加	○
パターン④	→ 変化なし	↘ 減少	○
パターン⑤	→ 変化なし	→ 変化なし	○
パターン⑥	→ 変化なし	↗ 増加	×
パターン⑦	↗ 増加	↘ 減少	×
パターン⑧	↗ 増加	→ 変化なし	×
パターン⑨	↗ 増加	↗ 増加	×

3. 分析データの整理

(1) 地域間所要時間データ

a) ネットワークデータ

より現実的な道路ネットワークを用いた経路探索を実施するために、DRM（Digital Road Map）を使用した。ただし、DRMの全道路を対象とした場合、サービス水準の低い一般市道や細街路を含んだ経路が選択され、非現実的な経路となる可能性があるため、主要地方道以上を経路探索の対象ネットワークとして設定した。また、主要地方道以上で一括にネットワークを設定した際の問題

としては、高速道路ICのアクセス道路や拠点周辺のネットワークが限定されてしまい、利用の多い高速道路ICが経路として選択されないことや、ネットワーク密度の粗さから第2経路が探索されない可能性があるため、本稿では高速道路ICのアクセス道路及び拠点周辺の道路ネットワークを府県道を含めて密に設定した。なお、対象とする時点は、1970年から2010年までの5年毎のデータとし、40年間・10時点でのネットワークデータを作成した。

b) 速度データ

本来の交通現象を想定した場合、バイパスや拡幅事業等による交通転換により、周辺道路の速度向上が考えられるため、経年の道路整備に伴う各道路の速度変化を考慮することが望ましいといえる。しかしながら、過去の速度設定が困難であることや、本稿ではあくまで道路整備のみを起因とした地域間所要時間の変化とするため、各年の速度データは、平成22年道路交通センサスの混雑時旅行速度（府県別・政令市別・道路種別）で固定し、経年的な速度変化は考慮しないものとした。

c) 拠点データ

拠点（セントロイド）は市役所・町村役場を代表位置とし、近畿地方整備局管内である2府5県の全市町村を対象とした。ただし、設定したネットワーク上に庁舎がない場合、近傍のネットワーク上に拠点を設定した。

(2) アクセシビリティ指標

本稿では、道路整備水準（所要時間短縮）をアクセシ

ビリティ指標を用いて表現する。アクセシビリティとは、ある交通結節点での交通利便性を表す指標であり、道路整備による所要時間短縮の効果を面（もしくは点）的に捉えることが可能である。アクセシビリティ指標に決められた定義はないが、本稿では、宮城ら⁹⁾（1995）で示されたように、到達地点の社会経済規模（本稿では人口規模とした）と経年の所要時間で表現された交通抵抗を用いた関数とし、以下の様に定義した。

$$Acc_{is}^r = \sum_{j \in J} \exp(-t_{ijs}^r) w_{js} \quad (1)$$

ただし、 Acc_{is}^r ：発地域*i*の期間*s*における第*r*経路アクセシビリティ、 t_{ijs}^r ：発地域*i*から着地域*j*の期間*s*における第*r*経路所要時間、 w_{js} ：着地域*j*の期間*s*における社会経済規模（夜間人口）

また、本稿では、着地域の対象地域を、近畿管内の広域生活圏の中心都市である15都市（福井市・敦賀市・大津市・彦根市・京都市・舞鶴市・大阪市・泉佐野市・神戸市・姫路市・豊岡市・奈良市・五條市・和歌山市・田辺市）で設定した。ただし、この着地域の設定を近畿管内で閉じた設定としているが、本来は東京・名古屋といった大都市圏とのアクセス性も考慮した方がより現実的であるため、これらについては今後の課題としたい。

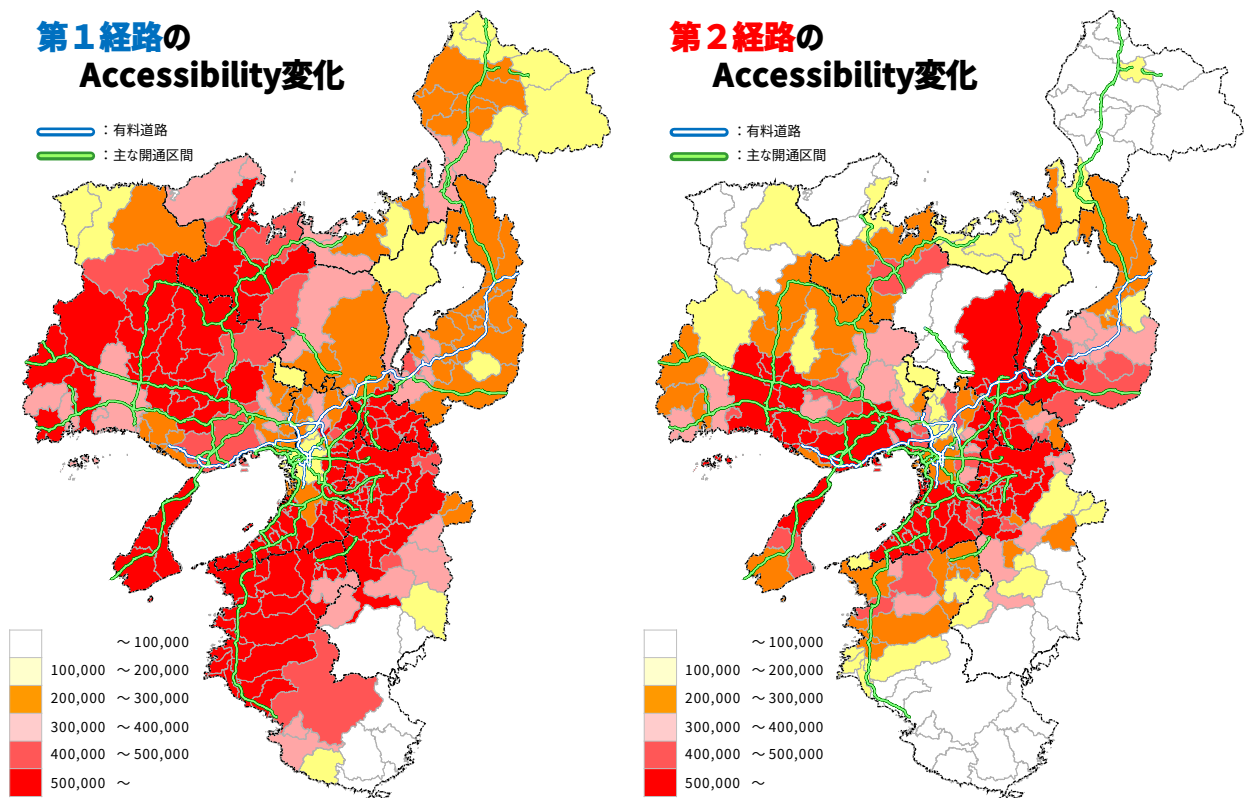


図2 過去の道路整備状況と各経路のアクセシビリティ変化量（2010年－1970年）

過去40年間の近畿管内における道路整備状況と、1970年から2010年にかけての各経路のアクセシビリティ変化量を図-2に示す。左図が第1経路、右図が第2経路のアクセシビリティ変化であるが、地域の傾向が各経路で異なっていることが分かる。まず第1経路での変化をみると、京都府（北部・南部）、大阪府（東部・南部）、兵庫県（中部）、奈良県、和歌山県（北部）で大きくなっており、高規格道路が整備されていなかった1970年代に比べ、他都市へのアクセス性向上に貢献していることが分かる。一方で、1970年代は我が国の大動脈である名神高速道路が既に整備されていたため、沿線地域ではアクセシビリティがやや低くなっていることが分かる。次に、第2経路での変化をみると、滋賀県（南部）、京都府（中部・北部）、大阪府（南部）、兵庫県（南部）、奈良県（北部）で大きくなっており、名神高速道路の沿線地域や、道路ネットワークが密に整備されてきた地域で大きくなっていることが分かる。つまり、近畿全体で見た場合、第1経路のアクセシビリティは地方部で比較的大きく、第2経路のアクセシビリティは都市部で大きくなる傾向となり、特に道路ネットワークが脆弱な地域においてリダンダンシー経路が不足している状況が確認できる。こ

れは、今後の道路整備を考える上でも重要な指標となると考えられる。

(2) 社会経済データ

我が国の製造業の実態を捉えた工業統計調査¹⁰を長系列で整理する。なお、分析対象とする指標は、事業所数、従業者数、製造品出荷額とする。ただし、データ中の秘匿箇所は「0」として取扱い、製造品出荷額はデフレーター¹¹で除した実質値で分析を行った。図-3では、各指標値の伸び率（基準値：1970年）の傾きを地域別に整理した結果である。まず、事業所数は多くの地域で減少傾向であることが確認できるが、これはバブル崩壊後における事業所数の減少が大きく影響しているためである。一方、従業者数をみると近畿管内全域では減少傾向であるものの、滋賀県（湖東地域）、京都府（南部）、兵庫県（南東部）で増加傾向であることが分かる。さらに製造品出荷額をみると、リーマンショック以降はやや減少傾向であったものの、多くの地域で増加傾向であることが確認できる。ただし、地方部に比べ京都市・大阪市・神戸市といった都市圏での伸び率は低く、特に大阪市では減少傾向であることが分かる。

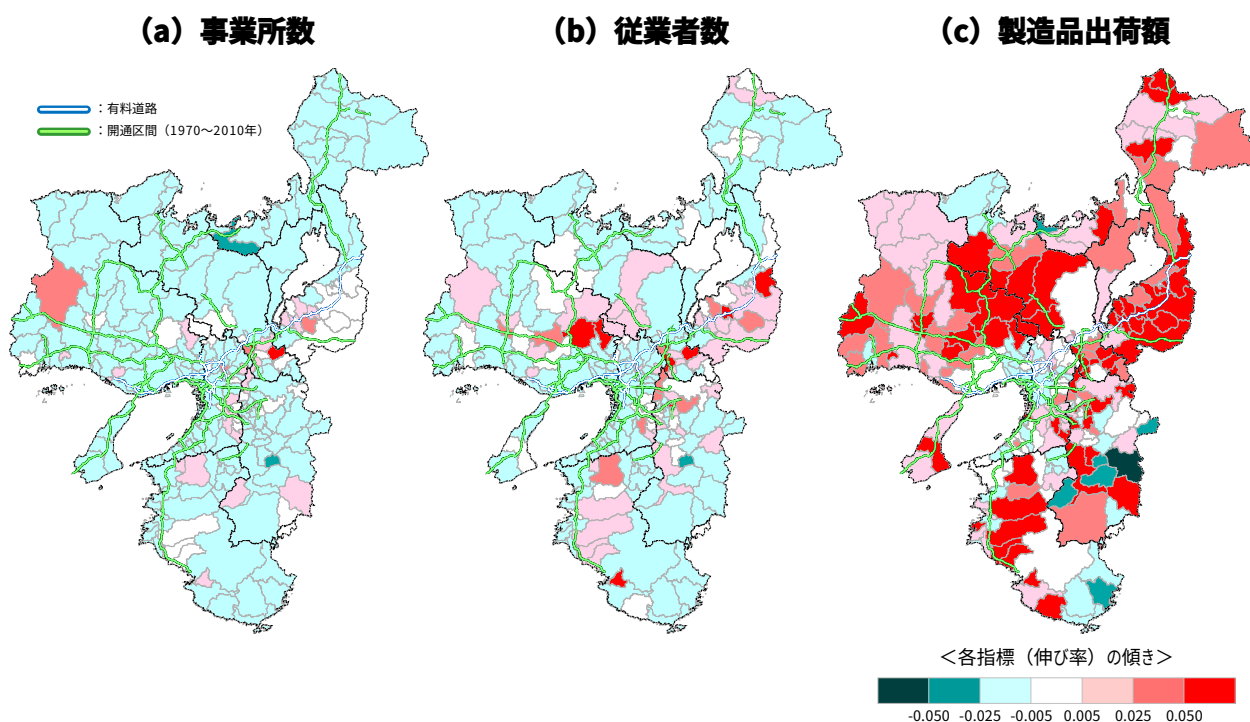


図-3 過去の道路整備状況と経済指標の伸び率変化の傾き（基準値：1970年）

4. 分析結果

(1) 検証方法

各経路のアクセシビリティと社会経済データとの相関係数を式（2）の通り算出し、第1経路と第2経路の相関

係数を比較することで、第2経路と社会経済データとの相関性が高い地域を検証する。なお、相関性が低い地域や、負の相関がみられた地域は分析対象から除外するものとし、制約条件として相関係数0.8以上を設定することで、地域の抽出を行った。

$$R_i^r = \frac{\sum_{s=1}^n (Acc_{is}^r - \overline{Acc_i^r}) (y_{is} - \overline{y_i})}{\sqrt{\left\{ \sum_{s=1}^n (Acc_{is}^r - \overline{Acc_i^r})^2 \right\} \left\{ \sum_{s=1}^n (y_{is} - \overline{y_i})^2 \right\}}} \quad (2)$$

ただし、 R_i^r ：地域*i*の第*r*経路の相関係数（0.8以上の地域のみを対象）、 y_{is} ：地域*i*の期間*s*における社会経済データ、 n ：期間数

(2) 第2経路との相関性

本稿では紙面の制約上、特に経年の伸び率が高かった製造品出荷額での分析結果を紹介する。また、小池ら¹²⁾（2009）で分析されているように、本稿でも対象期間を、全期間（1970～2010年）、経済成長期（1970～1990年）、経済低迷期（1990～2010年）の3期間に分け、期間別での相関性についても分析を行う。図-4は、各期間での製造品出荷額と第2経路アクセシビリティとの相関性が高かった地域を抽出した結果である。

まず、全期間での結果をみると、兵庫県（中部）で相関性が高い地域が多くなっていることが分かる。これは、中国自動車道・山陽自動車道といった西日本エリアを支える高速道路が整備されたことで、各地域から第2経路を利用した各都市への時間短縮に大きく貢献しているためであると考えられる。また、福井県（北部）の地域でも相関性が高くなっていることが分かる。これは、北陸自動車道が整備されたことで、第1経路として機能する

とともに、それまでの主経路であった国道8号が第2経路として機能し、アクセシビリティの相対的な向上に貢献したためであると推察される。

次に、各期間での結果をみていくと、まず経済成長期では、相関性の高い地域が全期間の結果よりも多く、兵庫県や福井県以外にも、京都府（北部）や奈良県（北部）で相関性の高い地域が確認できる。特に、供用した道路の沿線地域以外でも相関性の高さを確認できることは大きな特徴の1つである。道路ネットワークが脆弱であった経済成長期では、高速道路の整備によって、当然ながら第1経路の時間短縮に大きく貢献したものと考えられるが、一方で、それまでの主経路が第2経路として果たした役割も大きかったものと推察される。さらに、経済低迷期での結果をみると、相関性の高い地域数は少なくなり、相関性の高いほぼ全ての地域が供用した道路の沿線地域であることが分かる。これは、小池ら¹²⁾（2009）で指摘されているように、道路投資と労働生産性の相関関係が過去よりも少なくなってきたことに加え、経済低迷期の社会経済データは、道路整備以外の要因（株価・景気等）に大きく影響されているためであると考えられる。経済低迷期を含めた期間で道路整備と社会経済データの相関関係を分析する場合は、道路整備以外の要因を除去した上で分析することが必要不可欠であるが、これらの課題に対しては、固定効果モデルを用いたパネルデータ分析¹²⁾が有用であり、今後はこれらの統計的手法を活用した分析を行っていく必要がある。

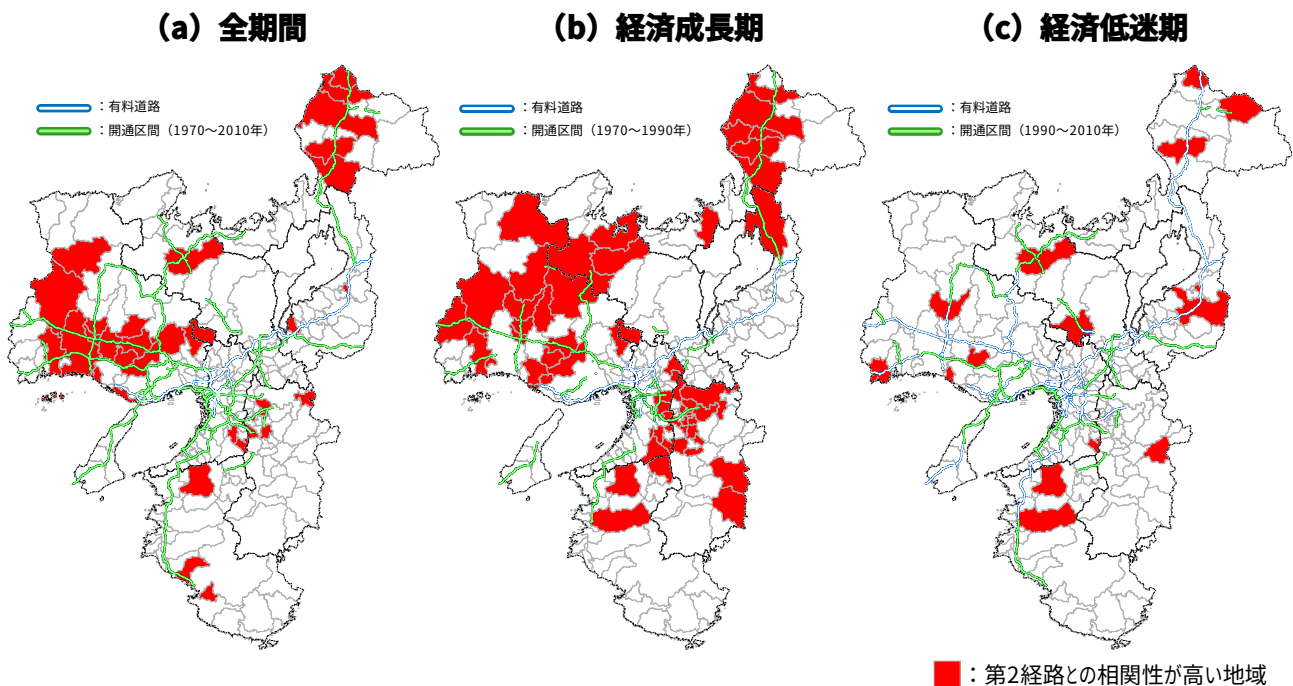


図-4 第2経路と製造品出荷額の相関性が強い地域

(3) 相関性の高い地域での各経路の経年変化

第2経路との相関性が高かった地域の中から、アクセシビリティの変化が大きかった期間を対象とし、表-2で整理したパターンと合わせながら、各経路の経年変化を整理する。まず、図-5では、パターン①に該当する経路の経年変化であり、第1経路および第2経路ともに所要時間が短縮されるパターンである。ただし、第2経路上に開通区間があるわけではなく、道路が整備されたことで第1経路が他路線へ転換し、過去の第1経路が第2経路となり得るケースである。つまり、第1経路上および第2経路上ともに道路が整備され、両経路ともに時間が短縮されるケースもあれば、今回のように、第2経路が直接的に開通区間を通過しないケースもあることが分かる。



図-5 各経路の経年変化例（パターン①）

次に、図-6では、パターン④に該当する経路の経年変化である。これは、第2経路のみが時間短縮されるパターンであるが、各経路沿線上に開通区間がない場合でも、時間短縮が起り得るケースである。つまり、第2経路でみた場合、開通区間の沿線地域以外のエリアでも時間短縮が起り得るため、道路整備による効果を適切に捉えるためには、拠点間の複数経路において時間短縮効果を捉えていくことが重要であると考えられる。



図-6 各経路の経年変化例（パターン④）

5. まとめと今後の課題

本稿では、リダンダンシー経路（第2経路）のアクセシビリティと社会経済データから、両指標の相関性が高くなる地域があることを確認した。これは、既に基幹となる道路が整備されている地域において、今後の道路ネットワークを考えていく上で重要な視点であると考えられる。ただし、本稿での検討から今後の課題も見られた。

まず、第2経路の経年変化パターンにも様々なケースが存在し、対象とする道路が所要時間を直接的に短縮させるのか、間接的に短縮させるのか等も細かく見ていく必要がある。本稿では全てのケースを対象としたが、実際の企業の生産活動へ寄与している（もしくは、企業が第2経路として選択し得る）経路を第2経路として定義し、分析を行っていく必要がある。また、本稿での検討は、社会経済データを用いた簡易な統計分析に留まっているが、実際の生産活動へ第2経路がどの程度寄与しているかをヒアリング等を通じて確認していく必要がある。特に、企業の立地行動では、どの程度リダンダンシーが考慮されているのかといったリスク軽減の視点は、今後の道路整備効果（ストック効果）を検討する上で重要であると考えられる。

参考文献

- 1) 内閣府：東日本大震災における被害額の推計について、<http://www.bousai.go.jp/2011daishinsai/pdf/110624-1kisyu.pdf>.
- 2) 国土交通省：多重性（リダンダンシー）、ネットワークの重要性の再認識、国土交通白書 2012, pp.45-49, 2012.
- 3) 岩瀬広，林山泰久：CVM による幹線交通網整備がもたらすリダンダンシーの経済的評価－支払形態パイアスの検討－，土木計画学研究・論文集，No.15, pp.187-194, 1998.
- 4) 小池淳司，右近崇：新潟県中越地震における磐越道・上信越道のリダンダンシー効果，高速道路と自動車，第49巻 第7号，pp.17-26, 2006.
- 5) 国土交通省：主要都市・拠点間等の防災機能向上に関する計測マニュアル（暫定案），2013年4月。
- 6) 国土交通省：ネットワーク全体の防災機能向上に関する計測マニュアル（暫定案），2013年4月。
- 7) 倉内文孝，宇野伸宏，夏皓清，葉光毅：台湾道路ネットワークにおける接続脆弱性解析とその活用，土木計画学研究・講演集，Vol.42, 2010.
- 8) 定金乾一郎，古市英士：接続脆弱性分析手法を用いた災害時の道路ネットワーク評価，平成25年度近畿地方整備局研究発表会 論文集，調査・計画・設計部門，No.4, 2013.
- 9) 宮城俊彦，鈴木崇児：交通ネットワークにおけるアクセシビリティの定義，土木計画学研究・講演集，Vol.18(1), pp.373-376, 1995.
- 10) 経済産業省：工業統計調査，<http://www.meti.go.jp/statistics/tyo/kougyo/>.
- 11) 内閣府：国民経済計算(GDP 統計)，<http://www.esi.ca.go.jp/index.html>.
- 12) 小池淳司，門間俊幸，藤井聡：地方部における道路投資の社会的メリット・デメリット，土木計画学研究・講演集，Vol.39, No.229, 2009.

足羽川ダム建設事業における 環境保全措置の取り組みについて

児島 広晃¹・川淵 孝之²

¹近畿地方整備局 足羽川ダム工事事務所 調査設計課 (〒918-8239福井県福井市成和1-2111)

²近畿地方整備局 足羽川ダム工事事務所 調査設計課 (〒918-8239福井県福井市成和1-2111)

足羽川ダム建設事業を推進するにあたり、自然環境等に配慮した計画とするため、環境への影響について調査、予測及び評価を実施し、2013年2月に環境影響評価書を取りまとめた。翌年3月には当事業の工事着手に伴い、環境調査や環境保全措置等の内容について、専門家から指導及び助言を得ることを目的として足羽川ダム環境モニタリング委員会を設立した。本論文では、環境影響評価の項目のうち植物に着目して、環境保全措置を実施する重要な種の選定過程を整理し、当事業の実施にあたり、環境保全措置の実施結果についてまとめたので報告する。

キーワード 流水型ダム、環境影響評価、環境保全措置、植物

1. 足羽川ダム建設事業について

足羽川ダム建設事業は、九頭竜川水系河川整備計画に基づき、足羽川、日野川及び九頭竜川下流域における洪水被害の軽減を目的として実施するものであり、九頭竜川水系足羽川の支川部子川（福井県今立郡池田町小畑地先）に建設する足羽川ダムと、水海川、足羽川、割谷川、及び赤谷川に設置する導水施設（導水トンネル及び分水堰）によって構成され、流水型ダムとしては国内最大規模である（表-1、図-1）。

福井中心市街地は、洪水時における河川の水位より低く、堤防が決壊すると甚大な被害に見舞われることとなる。2004年7月の梅雨前線の活動の活発化に伴う雨（福井豪雨）は、美山観測所(気象庁)で1時間80mm以上を記録する等、足羽川流域では観測史上まれにみる集中豪雨となり、足羽川の堤防が決壊、市街地が浸水する等の足羽川流域において過去最大の被害となった。

九頭竜川水系の長期的な河川の整備の方向を定めた河川整備基本方針を2006年2月に策定した。また、福井豪雨のような戦後最大規模の洪水に備えるため、足羽川では基準地点天神橋において目標流量2,400m³/sとし、足羽川ダムにより600m³/sの洪水調節を行うとした河川整備計画を2007年2月に定めた。現在、市街地を貫流している下流区間は福井県による激特掘削等による流下能力向上が完了し、沿川に住む方々の安全安心で豊かな暮らしの実現のため、足羽川ダムの早期供用が望まれている。

表-1 足羽川ダムの諸元

ダム本体	堤体	堤高	約 96m
		堤長	約 460m
		天端標高	標高 約 271m
	ダム洪水調節地	貯水面積	約 94ha
		常時満水位	—(常時は空虚)
		サーチャージ水位	標高 265.7m



図-1 足羽川ダム計画平面図

2. 環境影響評価法

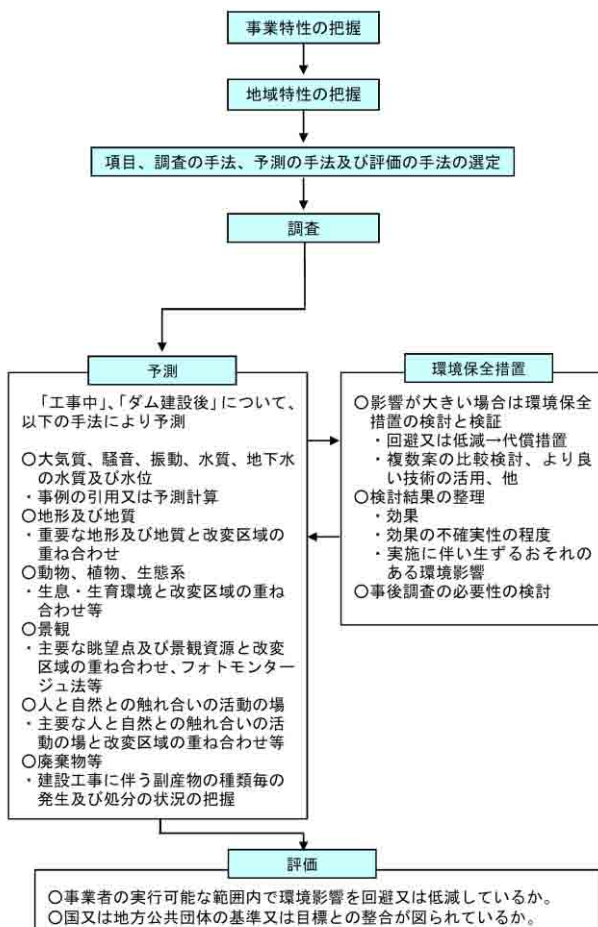
足羽川ダムは、サーチャージ水位における貯水池の水面の面積（以下「貯水面積」という。）が約94haであり、環境影響評価法上、第二種事業(貯水面積75ha以上100ha未満)に該当する。そのため、同法律第4条第3項に基づく大臣の第二種事業の判定により環境影響評価の手続きの必要が有る旨の通知を受けた後に、環境影響評価の手続きを実施することとなっているが、足羽川ダム建設事業においては、同法律第4条第6項に基づき、事

業者自ら通知することにより、第二種事業に係る判定を受けずに環境影響評価の手続きを実施してきた。

環境影響評価の流れは「ダム事業における環境影響評価の考え方¹⁾」に基づき表-2のとおりである。環境影響評価の項目については、一般的なダム事業における評価項目（大気質、騒音、振動、水質、地下水、地形・地質、動物、植物、生態系、景観、人と自然との触れ合いの活動の場、廃棄物等）に加え、事業特性を踏まえて地下水の水質・水位についても検討項目とした。

検討にあたっては環境影響評価法に基づき、2007年3月に手続きを着手した。検討内容について公告縦覧等を行い、事業に関係する住民、福井市・池田町及び福井県並びに国（国土交通大臣・環境大臣）の意見を考慮し2013年2月に「環境影響評価書」を取りまとめた。その総合評価として、「足羽川ダム建設事業の実施に係る環境影響については、調査及び予測の結果並びに環境保全措置の検討結果を踏まえ、事業者の実行可能な範囲内でできる限り回避又は低減され、必要に応じその他の方法により環境の保全についての配慮が適正になされているものと評価する。また、調査及び予測の結果については、国又は福井県若しくは池田町が実施する環境の保全に関する施策によって示されている基準等との整合が図られているものと評価する。」とした。

表-2 環境影響評価の手順



3. 足羽川ダム環境モニタリング委員会の設置

2014年3月には、足羽川ダム工事の現地着手にあたり、評価書を踏まえ環境調査や環境保全措置等の内容について、専門家から指導及び助言を得ることを目的として、「足羽川ダム環境モニタリング委員会」を設立した。委員会では当年度の環境モニタリング調査結果の報告、次年度の環境モニタリング調査計画を提案し、委員より意見を頂き、今後の調査及び環境保全措置について確認をしている。

4. 事業実施における植物に関する環境保全措置

環境影響評価書で植物について環境保全措置を実施する重要な種（以下保全対象種とする。）は四段階で整理し11種とした（表-3）。第一段階では、対象事業実施区域及びその周辺の区域（対象事業実施区域から約500mの範囲内の区域）、下流の天神橋までの足羽川及び導水施設下流の河川及び導水施設周辺の区域（地下水の水位に係る環境影響を受けるおそれがあると認められる導水施設周辺の区域）に生息する植物を過年度の調査結果や文献により整理した。第二段階では、第一段階のうち天然記念物等の法令指定種、レッドデータブック記載種等²³⁾により学術上又は希少性の観点から調査対象とする植物の重要な種を抽出した。第三段階では、第二段階のうち現地調査で生育を確認したものが該当し、第三段階より表-4に示すように工事中とダム建設後において、直接改変及び直接改変以外による環境影響を受ける種について予測を行った結果が第四段階となる。

表-3 確認された種数、重要な種の種数、予測対象種数及び保全対象種数

項目	①確認種数	②重要な種の種数	③予測対象種数	④保全対象種数
種子植物・シダ植物	1,333種	91	32	10
付着藻類	194種	7	6	0
その他の植物（蘚苔類）	264種	4	3	1
その他の植物（大型菌類）	354種	1	0	0
保全対象種の合計				11

表-4 予測対象とする影響要因と環境影響の内容

影響要因		環境影響の内容	
工事中	・ダムの堤体の工事 ・原石の採取の工事 ・施工設備及び工事用道路の設置の工事	直接改変	・生育地の消失または改変
	・建設発生土の処理の工事 ・道路の付替の工事 ・導水施設の建設の工事	直接外改変	・改変区域付近の環境の変化による生育環境の変化 ・水の濁りによる生育環境の変化 ・地下水の水位の変化による生育環境の変化
ダム建設後	・ダムの堤体の存在 ・原石山び跡地の存在 ・建設発生土処理場の跡地の存在	直接改変	・生育地の消失または改変
	・道路の存在 ・ダムの供用及びダム洪水調節地の存在 ・導水施設の存在及び供用	直接改変以外	・土地または工作物付近の環境の変化による生育環境の変化 ・ダム・分水堰下流河川の流況の変化による生育環境の変化 ・ダム下流河川の濁りによる生育環境の変化 ・地下水の水位の変化による生育環境の変化

(1)保全対象種の概要

先述のとおり、足羽川ダム建設事業を進める上で植物においては保全対象種を11種としている。保全対象種

は改変区域付近の環境の変化により、生育地点及び生育個体が消失する可能性のある種と、直接改変により生育地点及び生育個体が改変される種に大別される。それぞれ保全措置の内容が異なり、前者は生育状態等の監視、後者は生育適地への移植や種子を含む表土の撒きだしにより事業の影響を低減する（表-5）。

表-5 環境影響評価書上の保全対象種

No.	種 名	重要性		保全措置方法	生育情報
		環境省	福井県		
1	ウスバサイシン		要注目	監視	多年草 山地の林下の湿った所に生育。
2	ヤマシャクヤク	準絶	Ⅱ類	移植	多年草 山の木陰に生育。
3	イワウメヅル		Ⅱ類	移植	落葉性のつる植物。 山地の林内に生育。
4	エゾナニワズ		専門家 指摘	移植	落葉小低木。 山林中に点々と生育。
5	ミゾハコベ		要注目	表土の撒きだし	一年草 水田、溝、湿地に生育。
6	ミズマツバ	Ⅱ類	Ⅱ類	表土の撒きだし	一年草 水田、湿地に生育。
7	ミヤマゴボウ		Ⅱ類	移植	多年草 山地の湿り気の多い所に生育。
8	アブノメ		Ⅱ類	表土の撒きだし	一年草 湿地に生育。
9	エビモ		要注目	移植	多年草 池、小川に生息。
10	アシウテンナンショウ		要注目	監視	多年草 山地の林内に生育。
11	イショウウキゴケ	準絶		移植	水田や池の水面に浮遊。 水を抜いた水田にも生育。

(2) 保全措置の実施と結果

2014年度の工事実施に伴い、表-5に記載され、生育が確認されている種のうち、工事の影響を受けると評価された種はイワウメヅル、ミゾハコベ、ミズマツバ、アブノメ、イチョウウキゴケの5種であり、以下にそれぞれの環境保全措置を示す。なお、2014年度の工事施工箇所については、図-3（工事用道路、付替県道実線箇所）のとおりである。



図-3 足羽川ダム建設事業施工箇所（2014年度）

a) 落葉性植物（イワウメヅル）の環境保全措置

イワウメヅルの移植を実施するにあたり、移植適地の検討をした。選定の際には、事業用地内であつ、サーチャージ水位よりも標高が上であり、今後の工事により改変されない箇所であること、移植対象種の生態に適した生育環境（移植対象種と同種が自生している、樹林の下で半日陰）であること、用地取得箇所であることを条件

とした。

移植方法に関しては環境影響評価書上、生育個体を直接移植すること、生育個体から挿し穂を採取し、挿し木により育成した苗を移植することとしており実施した。また環境影響評価書には未記載の内容であるが、生育しているイワウメヅルの茎径が約5mmと非常に細いため、挿し木の他に本種の茎が土壌に発根しているものを株として育苗し、移植する手法を追加して実施した。なお追加した手法については専門家の了解を得ている。

それぞれの手法毎の環境保全措置後（34日後）のモニタリング結果は、いずれも良好である。しかし、生育しているが、移植時点と比較するとやや落葉している個体が多い状態である（表-6）。

表-6 イワウメヅルのモニタリング結果

	移植時の状況	移植から34日後
株育苗		
挿し木育苗		
個体移植		

b) 湿地性植物（ミゾハコベ、ミズマツバ、アブノメ、イチョウウキゴケ）の環境保全措置

湿地性植物の環境保全措置については、ダム洪水調節地のの上流部に浅い湿地を整備し、直接改変の影響を受ける個体が生育する箇所周辺の表土の撒きだし及び移植を実施した。

湿地整備箇所の選定については、事業用地内であつ、サーチャージ水位よりも標高が上であり、今後の工事により改変されない箇所であること移植対象種の生態に適した生育環境（移植対象種と同種が自生している、水田土または、シルト質に近い土質であること、定期的な攪乱があること）、用地取得箇所であることを条件とした。

湿地整備に関しては、バックホウにより掘削を行い、表土を撒きだしを実施するための容積を確保した。

湿地整備後、環境影響評価書のとおり、ミゾハコベ、

ミズマツバ、アブノメは表土の撒きだしを実施し、イチョウウキゴケについては、個体の移植を実施した。

イチョウウキゴケについて、環境保全措置後（21日後）のモニタリング結果は、良好である（表-7）。他の種については発芽が確認されていないが、2015年7月に確認可能とされており、今後のモニタリングで経過を確認する。

表-7 イチョウウキゴケのモニタリング結果

移植時の状況	移植から21日後
	

(3) 今後の課題

2014年度の環境保全措置として湿地性植物について移植等を実施したが、今後生育適地の維持管理を実施することで、保全対象種が支障なく生育するよう取り組むことが課題である。

5. おわりに

2014年度は足羽川ダム建設事業の工事着手に伴い、環境影響評価書に記された保全措置を実施する初年度であため、今後の環境保全措置、モニタリングの原点となるものであった。

本論文では、環境影響評価の項目のうち植物の保全対策について取り上げたが、2014年度実施内容は概ね良好であった。しかし、今後移植等による保全を実施する場合に、生育適地となる事業用地内でサーチャージ水位より高い地点が徐々に減少するため、生育適地の確保が困難となることが予想される。そのため、生育適地の選定については事業の進捗状況に応じて複数回移植を実施する等柔軟に対応する必要があると考える。また、移植先として選定した生育適地で経過の悪い種が確認された場合の対応（詳細な調査を実施、生育適地の整備等）についても今後検討すべきであると思われる。

謝辞：足羽川ダムの環境調査や環境保全措置等の内容について、多くのご指導及びご助言を頂きました足羽川ダム環境モニタリング委員会の委員皆様に、心より感謝致します。

参考文献

- 1) 河川事業環境影響評価研究会(1999)：ダム事業における環境影響評価の考え方
- 2) 「哺乳類、汽水・淡水魚類、昆虫類、貝類、植物Ⅰ及び植物Ⅱのレッドリストの見直しについて」(環境省 平成19年8月 <http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=8648>)
- 3) 福井県(2004)：福井県の絶滅のおそれのある野生植物—福井県レッドデータブック(植物編)

水理模型実験及び数値解析モデルの併用による 円山川河道整備に伴う瀬・淵環境の保全に関する考察 について

名村 圭司¹

¹近畿地方整備局 豊岡河川国道事務所 調査第一課（〒668-0025兵庫県豊岡市幸町10-3）

円山川上流部の稲葉川合流部付近では河川整備計画に基づく河道整備が進められており、稲葉川の付け替えと本川左岸堤防の整備により堤防法線が大きく変化している。当該地区は魚類や砂河原の植生が良好な生育場となっていることから堤防の完成後においても、瀬・淵環境が維持できるかが課題となった。本論文では、河道整備後の河床の変化傾向を判断するために実施した水理模型実験の結果、及び今後の対策工検討におけるコスト・工期の縮減のために模型実験結果を再現可能な数値解析モデルを今回構築したので、その結果について報告する。

キーワード 瀬・淵の保全、水理模型実験、平面二次元河床変動計算、コスト縮減

1. 円山川の概要

円山川は兵庫県朝木郡生野町（標高640m）を源とし、稲葉川などの支川を合流し、豊岡盆地に入った後、出石川、奈佐川などの支川を合わせて日本海に注ぐ河川である。河川延長は約68km、流域面積は約1,300km²に及び兵庫県全体の約16%を占めている。

この円山川25.2k付近左岸に流入する稲葉川の合流部は魚類等にとっての良好な生育場となる淵が形成されているが、当該地区において現在、整備計画に基づく河道整備が進められており、整備後もその生育場が維持されるかが懸念されているところである。

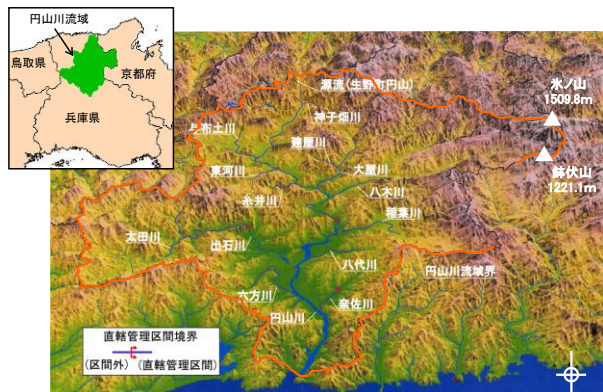


図-1 円山川流域位置図

2. 検討対象範囲

検討対象範囲は図-2に示すとおり稲葉川の合流点の上下流約1km程度を検討対象範囲とした（円山川24.2k～26.4k、稲葉川-0.2k～1.1k）。当該区間には良好な生物の生育場となるNo1～4の淵が形成されているが、稲葉川合

流点の河道整備により、特にNo2の淵の維持が懸念されている。本検討ではこのNo2の淵の変化傾向に特に着目するものとした。



図-2 稲葉川合流部航空写真（淵位置図）

3. 水理模型実験の実施

(1) 実施フロー

下記のフローに従い、模型実験を実施した。

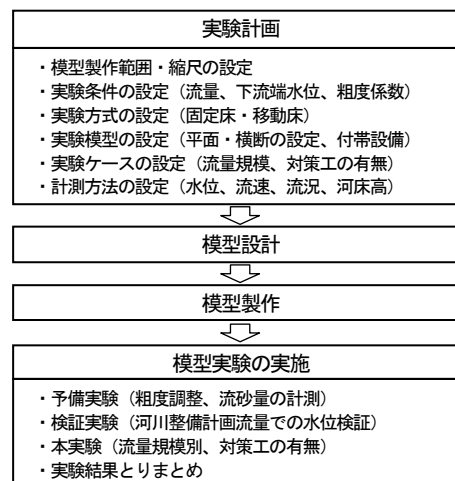


図-3 模型実験実施フロー

(2) 実施条件の設定

模型実験の実施条件を以下に示す。

① 模型範囲

- ・ 円山川の模型の範囲は、稲葉川付け替えに伴う現況の淵（No. 2、No. 3）への影響を適切に評価出来るよう、24. 2k～26. 4kを再現範囲とした。

② 縮尺

模型の縮尺は以下の理由から1/60とした。

- ・ フルードの相似則より水理量の妥当性を確認した結果、1/50と1/60が適合。
- ・ 模型製作のコスト縮減を考えると1/60の模型が有利。

③ 模型の種類

- ・ 円山川は、淵の保全、再生を検討することから移動床とした。
- ・ 支川の稲葉川は、流砂の影響が小さいことから合流量のみ考慮して固定床とした。

ト等の付帯設備を配置した。

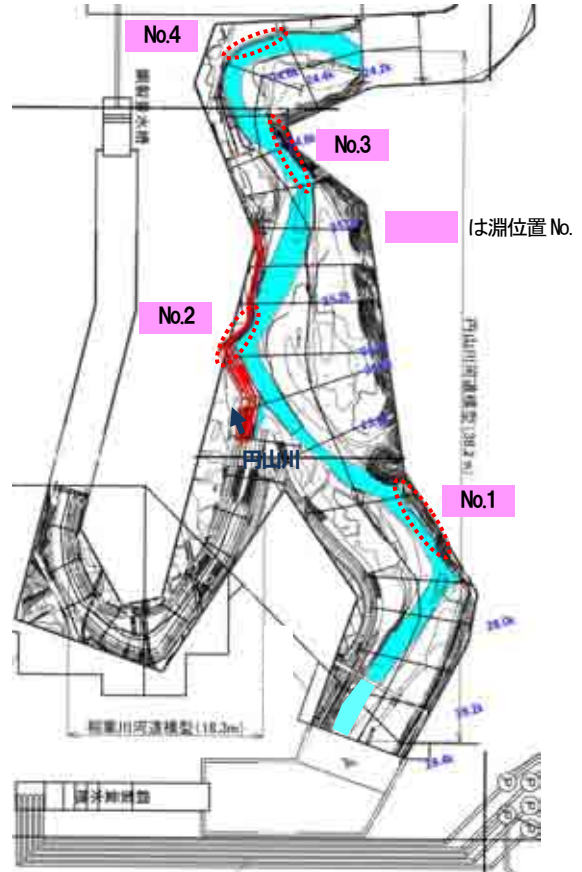


図-5 円山川河道水理模型

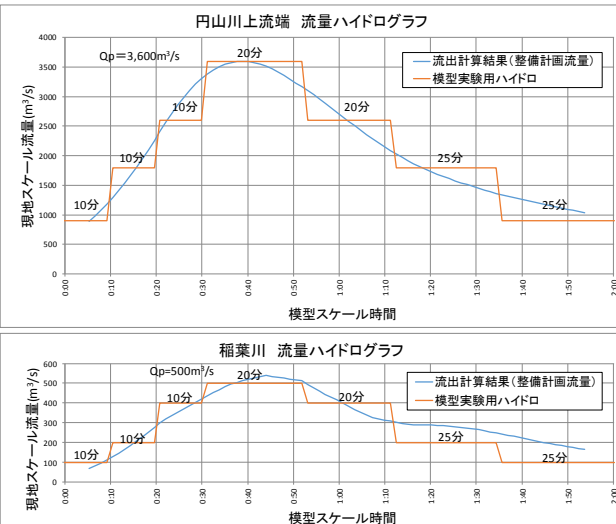


図-4 上流端流量ハイドログラフ（整備計画流量規模）

(3) 模型設計・製作

実施条件を満たす河道模型を設計した。

河道模型の諸元は円山川の横断測量成果、深淺測量結果、LPデータ、計画縦横断面図等から設定した。

河道模型を製作し、給水ポンプや量水槽、下流端ゲー



図-6 模型河道の現地写真

(4) 実験ケース

実験のケースは下表に示すとおりとし、整備計画河道を対象に、流量規模を限界掃流力程度から河川整備計画流量規模まで複数ケース通水した。

表-2 模型実験ケース

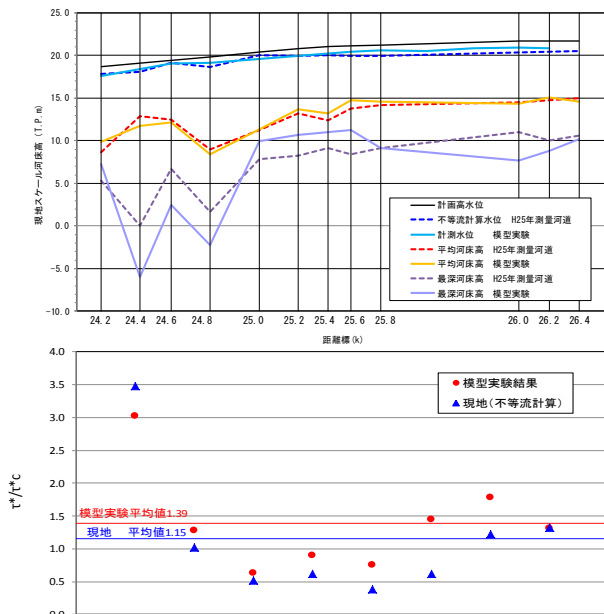
実験回数 (ケース)	対策工	流量規模	通水時間		備考
			模型	現地換算	
0	無し	4,100m ³ /s ハイドロ×2	120分 ×2	15時間 ×2	検証実験 平坦から通水し、本実験の初期河道を整形
1	無し	1,000m ³ /s 一定量	80分	10時間	ケース0の実験後の河床形状から通水
2	無し	2,000m ³ /s 一定量	90分	12時間	ケース1の実験後の河床形状から通水
3	無し	3,000m ³ /s ハイドロ	110分	14時間	ケース2の実験後の河床形状から通水
4	無し	4,100m ³ /s ハイドロ×2	120分 ×2	15時間 ×2	ケース3の実験後の河床形状から通水
5	無し	4,100m ³ /s ハイドロ×2	120分 ×2	15時間 ×2	No.2の淵の現地形状を再現した実験 樹木模型を設置
6	無し	1,000m ³ /s →2,000m ³ /s 一定量	120分	15時間	淵形成の要因分析のための実験 No.2 淵付近の河床を平坦に均して通水
7	有り	2,000m ³ /s 一定量	120分	15時間	対策工の検討(樹木模型・透過型対策工) ケース6の実験後の河床形状から通水
8	有り	2,000m ³ /s 一定量	120分	15時間	対策工の検討(不透過型対策工) No.2 淵付近の河床を平坦に均して通水

(5) 実験結果

a) 検証実験

河床を平坦にした河道に4,100m³/sの流量ハイドログラフを2回通水し、水面形の検証を行うとともに、本実験のための初期河床の整形を行った。

現況河道の平均河床勾配を良好に再現出来ていること、及び τ_*/τ_{*c} が現地と模型で大差ないことから、初期河道として問題ないことを確認した。

図-8 模型実験と現地の無次元掃流力 τ_* と無次元限界掃流力 τ_{*c} の比較

b) 本実験

① 樹木群による影響分析

No. 2以外の淵の箇所は本実験の第1回(1,000m³/s)から深掘れが発生したが、No. 2の淵の箇所は第4回(4,100m³/s)の実験でも深掘れが発生しなかった。現地では、淵の対岸の樹木群が流れを阻害し、流向を変化させている可能性があるため、樹木群模型を設置した通水実験を実施した(ケース5)。その結果、円山川上流からの流れが、左岸側に寄るようになり、No. 2の淵が深くなり拡大することが確認された。また、通水後、淵の対岸に大きな砂州が形成され、この砂州も流向を変化させた要因と考えられた。

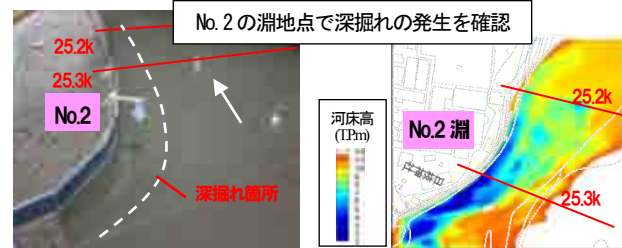


図-9 通水後の淵付近の河床形状

図-10 河床高コンター図 (No. 2 淵付近)

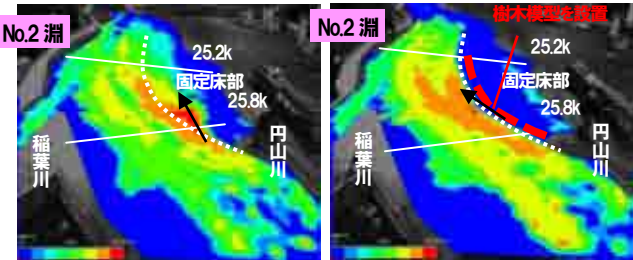
【第4回 4,100m³/s】【第5回 4,100m³/s 樹木模型設置】

図-11 流速コンター図 (No. 2 淵付近)

② 淵対岸の砂州による影響分析

No. 2の淵が拡大した主要因を明らかにするため、樹木群模型なしで通水実験(1,000m³/s→2,000m³/s)を行い、淵が再現できるかを確認した(ケース6)。その結果、樹木群模型なしでもNo. 2の淵が深くなり、規模が拡大することが確認できた。このため、淵対岸の砂州が淵の形成に重要であることが分かった。

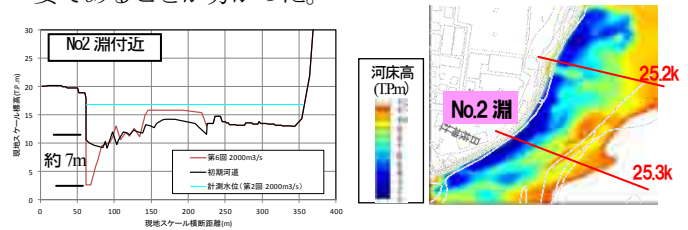
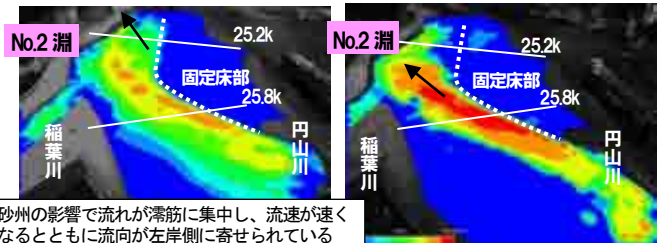


図-12 河床横断面図 (25.3k)

図-13 河床高コンター図 (No. 2 淵付近)

【第2回 2,000m³/s】【第6回 2,000m³/s】

砂州の影響で流れが滞りに集中し、流速が速くなるとともに流向が左岸側に寄せられている

図-14 流速コンター図 (No. 2 淵付近)

③ 砂州の発生と移動現象の整理

平坦河道から開始した検証実験及び2～6回目の実験結果をもとに砂州の移動現象を整理すると図-15のとおりであり、通水を繰り返すことによって砂州が発達したことが確認できる。

今回の実験結果を中規模河床形態の領域区分図にプロットすると図-16のとおり砂州の形成領域に入っている。現地の砂州の状況とほぼ一致しており、本実験が妥当なことが伺える。

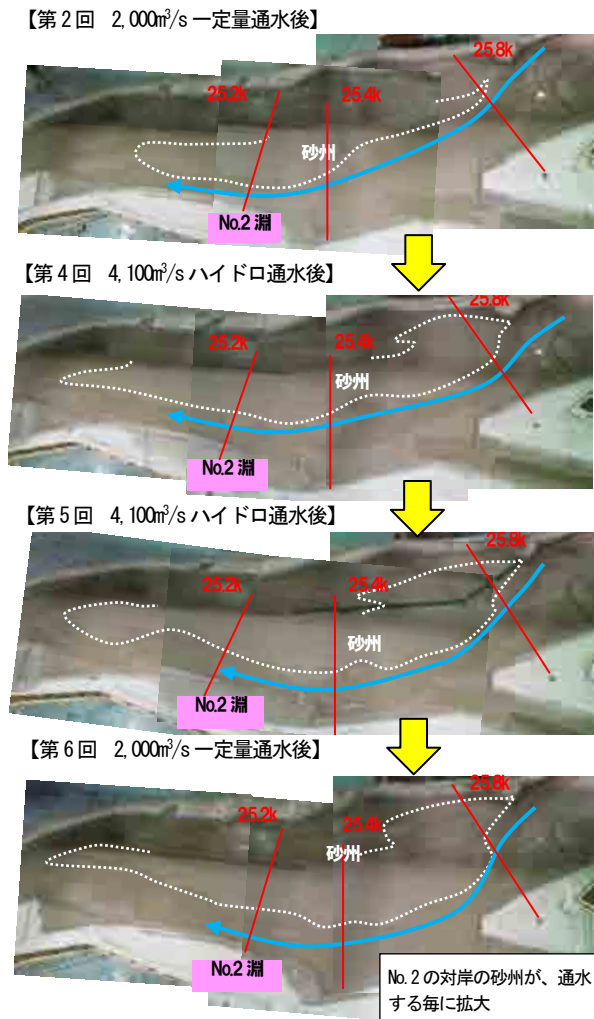


図-15 通水にともなう砂州の拡大

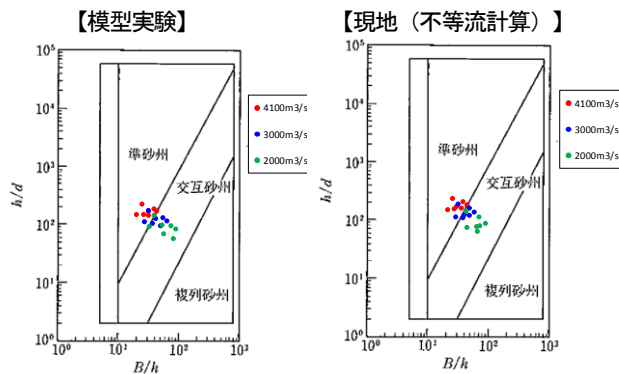


図-16 中規模河床形態の領域区分図

(6) 模型実験のまとめ

- No.2 以外の淵の箇所は、本実験の第1回目 (1,000m³/s) から深掘れが発生したが、No.2の淵の箇所は第4回目 (4,100m³/s) の実験でも深掘れは発生しなかった。
- 第5回目 (4,100m³/s) の実験では、No.2の淵が深くなり拡大することが確認された。これは、樹木の障害を考慮したことと、通水実験を繰り返したことで淵の対岸に砂州が形成され、主流の流向が淵側に変化したことが主要因である。
- ただし、堤防整備後の25.2k～25.8kにおける河道は、堤防整備前よりも蛇行の程度が緩やかになっているため、今後、砂州が移動する可能性がある。
- このため、No.2の淵を保全するためには、模型実験で流向の変化が確認された25.8k付近の樹木群の設置など、何らかの対策が必要と考えられる。

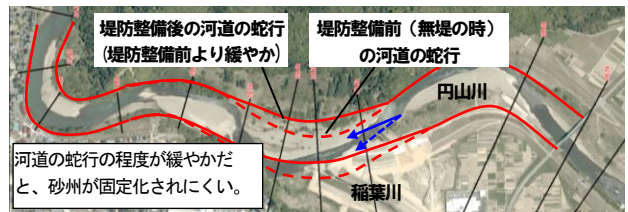


図-17 堤防整備による河道の蛇行の変化

4. 数値解析の実施

(1)目的

淵の維持のための今後の対策工検討に数値解析モデルを活用することで、コストや工期の削減を図ることを目的とし、模型実験の結果を踏まえて数値解析モデルを構築した。本検討では、模型スケール（縮尺1/60）により、代表的な模型実験結果の再現を行った後、現地スケールにおいても数値解析を実施し、河床変動の傾向を把握するものとした。

(2) 平面二次元河床変動モデルの構築

①解析手法

本検討では、平面二次元不定流解析モデルに河床変動モデル（掃流砂+浮遊砂を考慮）を組み合わせたシミュレーションモデルを構築するものとした。

②モデルの対象範囲

模型の作成範囲と同じとした。

③モデルの概要

a) 計算モデル

- 流 れ・・・一般曲線座標系による平面二次元不定流解析モデル
- 河床変動・・・掃流砂(芦田・江頭・劉の式)・浮遊砂(板倉・岸の式)を考慮した混合粒径モデル

b) メッシュ分割および河床高の設定

対象区間のメッシュ分割は、現地スケールで縦断方向は10m程度、横断方向は5m～10mを基本として分割した。なお、境界条件の影響を避けるため、対象区間の上下流端を延伸させ、約1km程度の助走区間を設定した。また、分割したメッシュに模型及び現地の地盤高を設定した。

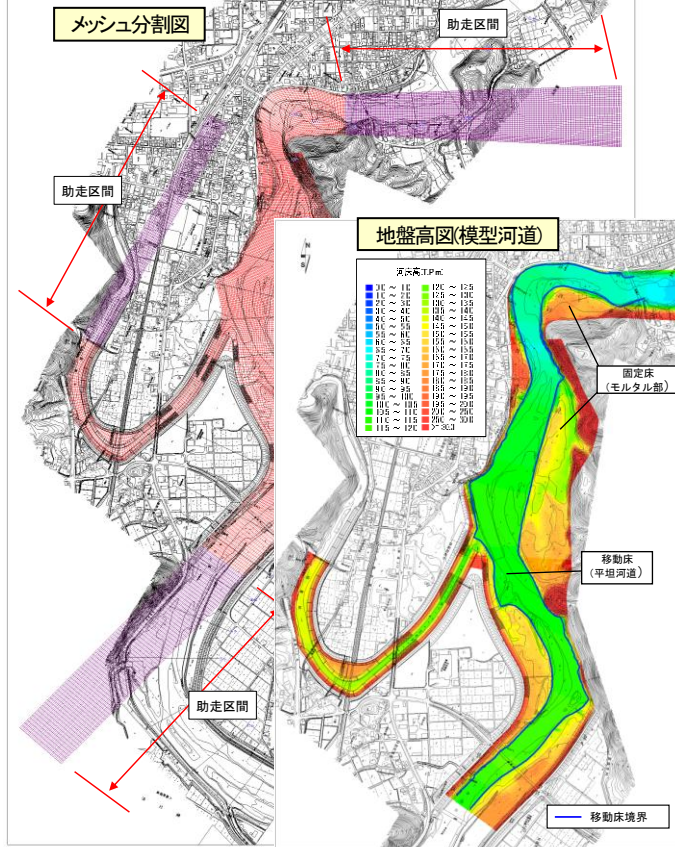


図-19 メッシュ分割と地盤高の設定

(3) 実施条件の設定

模型スケール及び現地スケールにおける河床変動解析の実施条件は表-3に示すとおりである。

表-3 数値解析実施条件一覧表

項目	模型スケール	現地スケール	備考
検討対象範囲	円山川: 24.2k~26.4k, 稲葉川: -0.2k~1.1k		
計算	流れ	平面二次元不定流モデル(一般曲線座標系)	
モデル	河床変動	掃流砂・浮遊砂を考慮した混合粒徑モデル	
対象流量	ケース1	147.0ℓ/s	4,100m³/s (整備計画流量)
	ケース2	107.6 ℓ/s	3,100m³/s
	ケース3	71.7 ℓ/s	2,000m³/s
	ケース4	35.9 ℓ/s	1,100m³/s
河道条件	初期河道	平坦河道	整備計画河道
	河床高	模型実験と同様 (平均河床高を目安に設置した移動床の高さ)	・河道横断測量 (200mピッチH25年度測量) ・H25年度測量LPデータ ・音響測深による調査結果(河床部)により作成
	メッシュ分割	・縦断方向: 0.17m程度 ・横断方向: 0.08m~0.17m程度	・縦断方向: 10m程度 ・横断方向: 5m~10m程度
	粗度係数	・円山川: 24.2k~25.0k: n=0.020 25.0k~26.4k: n=0.018 ・稲葉川: -0.2k~1.1k: n=0.015	・円山川: 24.2k~25.0k: n=0.040 25.0k~26.4k: n=0.035 ・稲葉川: -0.2k~1.1k: n=0.030
	樹木群	考慮しない	航空写真(H25)より樹木群の粗密を設定 (透過係数: 密 K=40、粗 K=55)
	粒度分布	模型河道で設置した4号珪砂(0.60~1.18mm)を設定	現地のH26年河床材料調査結果(0.14~122mm)を設定
境界条件	下流端	不等流計算によるH-Q式 (円山川24.2k)	同左
	上流端	上流端断面における平衡流砂量と流入土砂量を与える	同左

(4) 模型スケールの河床変動解析

① 検証実験 (ケース0) の再現

初期河床を平坦河床とした模型の検証実験のケースを数値解析により再現した結果は次のとおりである。

【再現結果】

- ・河床変動解析の水面形及び平均河床勾配は模型実験結果を概ね再現できている。(図-20)
- ・No.1、No.3、No.4 の淵では河床が掘れ、No.2 の淵では、河床の変動はほとんど生じない結果となった(図-21)。これは模型実験と同様の傾向を再現できている。

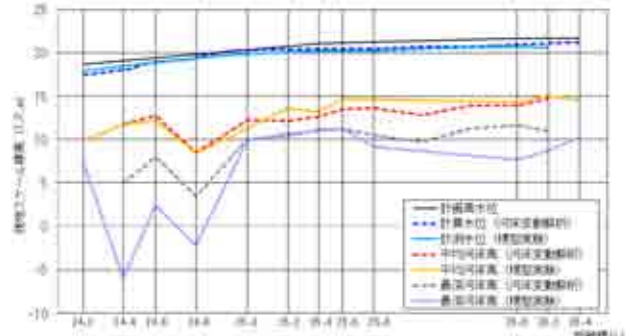


図-20 水位・河床高縦断面図 (検証実験の再現)

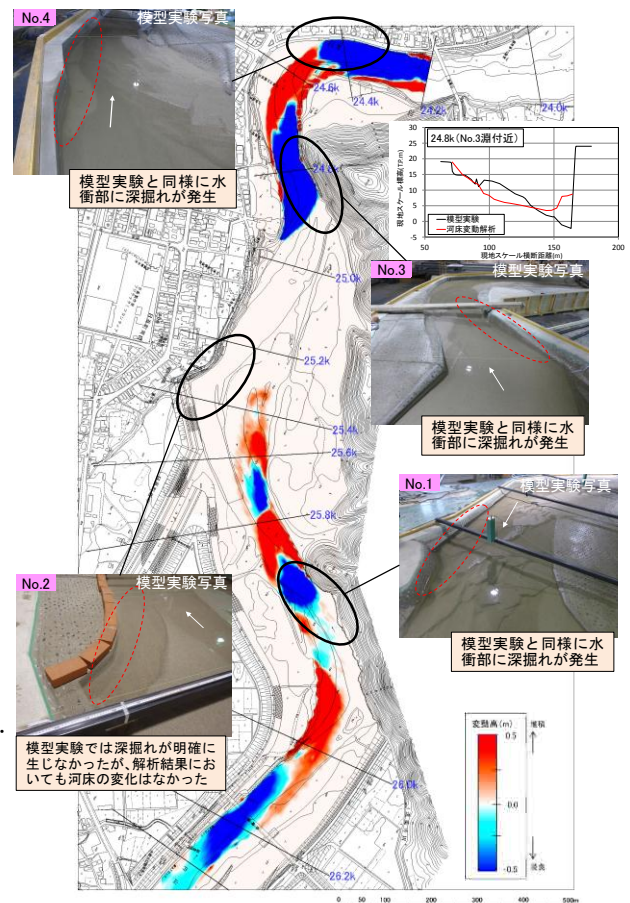


図-21 河床変動高図 (検証実験の再現)

② 本実験 (ケース1~4) の再現結果

模型実験の本実験について数値解析により再現した結果は次のとおりである。

【再現結果】

- 河床変動解析の水面形は、1000 m^3/s のケースにおいて25.4k下流で模型実験との差が大きくなったが、全体的には模型実験の水面勾配と近似している。(図-22)
- 河床の縦断変化は概ね模型実験と同様の河床勾配となっており、再現できている。(図-23)
- 2000 m^3/s 流下時の流速・流向については概ね模型実験と近似している。(図-24)
- 河床高の変化は模型実験同様にNo.1、No.3、No.4の淵ではケース毎に拡大し、No.2の淵では、河床の変動はほとんど生じない結果となった。

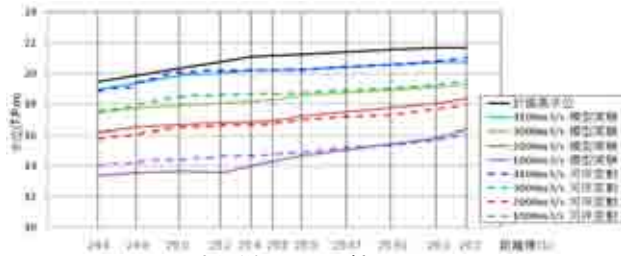


図-22 水位縦断形の比較 (ケース1~4)

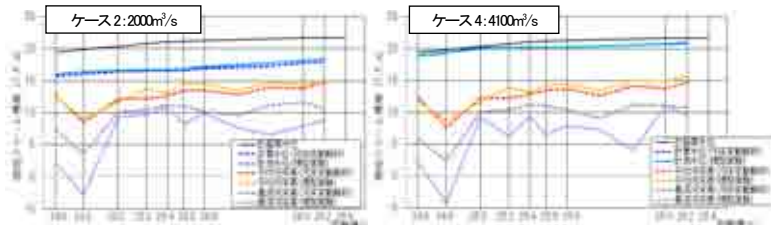
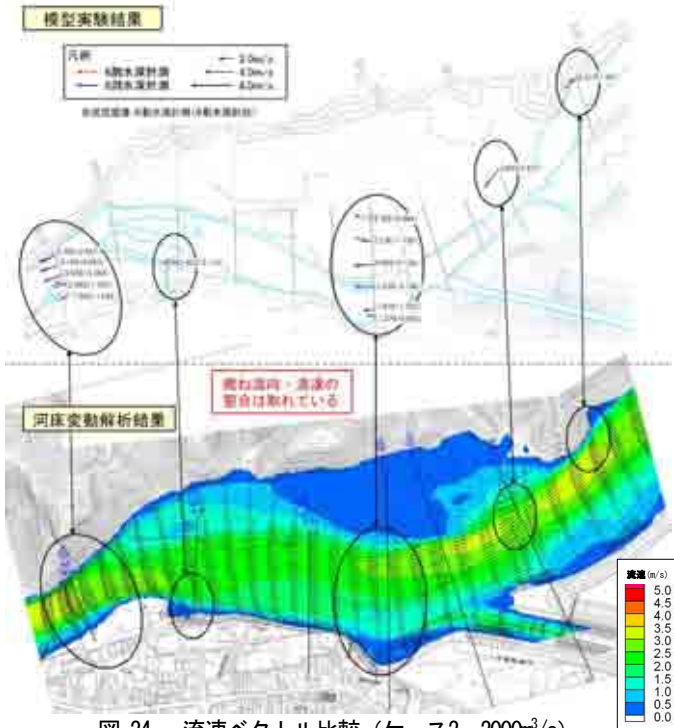


図-23 水位・河床高縦断図

図-24 流速ベクトル比較 (ケース2: 2000 m^3/s)

(5) 現地スケールの河床変動解析

模型スケールの河床変動解析モデルを現地サイズにスケールアップし、表-4のケースについて現地スケールの河床変動解析を実施した。解析結果は次のとおりである。

表-4 現地スケールの河床変動解析実施ケース

ケース	初期河道	流量規模	計算時間	備考
1	整備計画河道	2000 m^3/s 一定量	12時間	概ね過去5ヶ年の2000 m^3/s 規模以上の生起時間に相当
2		4100 m^3/s ハイドロ	16時間	H16.10.20洪水 (台風23号:整備計画流量)

【解析結果】

- 河床変動解析の水面形は、4100 m^3/s 時に、不等流計算水位の水面勾配と近似している。(図-25)
- 流速ベクトルでは、模型スケールの結果と同様にNo2の淵の上流側で死水域となり渦を巻く結果となった。
- 河床高の変動は、25.0k下流の河床変動は少なく、No2の淵では河床変動はほとんど生じなかった。(図-26)

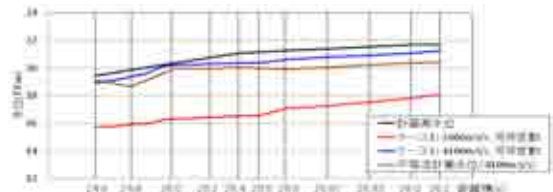


図-25 ピーク水位縦断図

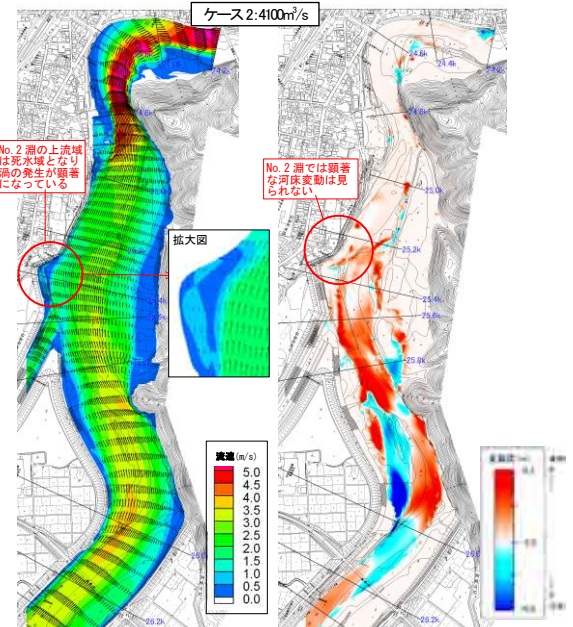


図-26 流速ベクトル・コンター及び河床変動高図 (現地スケール)

5. まとめ

- 水理模型実験結果から、No.2の淵の対岸の砂州を保全することで淵が維持されるものの、砂州の移動を考慮すると、25.8k付近への樹木群の設置など、何らかの対策が必要であることが分かった。
- また、数値解析では、対策工の効果等を確認するのに十分なモデルを構築できたと言える。
- 今後、模型実験による対策工の検討を実施していく必要があるが、今回作成した数値解析モデルで対策工のシミュレーションを実施することで、模型実験では測定できない水理諸量の補完が可能となる。
- さらに、コストや工期の面から模型実験が難しいケースについても数値解析による効果の把握を容易に行うことが可能となりコストや工期の縮減が期待できる。

山陰近畿自動車道「浜坂道路Ⅱ期」 道路概略設計の最適化に向けた新たな取り組み

南 大輔¹・鎗水 正和

¹兵庫県 新温泉土木事務所 浜坂道路第1課 (〒669-6701兵庫県美方郡新温泉町芦屋522-4)

²兵庫県 県土整備部 道路街路課 (〒650-8567神戸市中央区下山手通5-10-1)。

道路事業の総事業費は、計画から詳細設計、施工段階を経て増加する傾向にある。その主たる要因として、地質情報を十分に考慮せず道路概略ルートを選定し、詳細設計段階になって軟弱地盤や不良地山等の地質的課題に直面することが挙げられる。

そこで地域高規格道路「山陰近畿自動車道 浜坂道路Ⅱ期(仮称)」では、道路概略ルート最適化に向けた新たな取組みとして、概略設計段階で地質調査を実施することとし、その調達手法には公募方プロポーザル方式を採用した。

その結果、優れた品質の成果を得ることができたことから、本論ではプロポーザル方式による調達の効果、及び地質情報を考慮したルート最適化の成果について報告する。

キーワード 山陰近畿自動車道、道路概略設計、地表地質踏査、プロポーザル方式

1. 浜坂道路Ⅱ期の概要

浜坂道路Ⅱ期(仮称)は、京都府宮津から鳥取県鳥取市を結ぶ全長120kmの「山陰近畿自動車道(鳥取豊岡宮津自動車道)」のうち、兵庫県新温泉町柘谷から新温泉町居組までの延長約7kmの区間である。【図-1】



図-1：山陰近畿自動車道(鳥取豊岡宮津自動車道)

平成8年に調査区間に指定され、平成30年度の事業化に向けて、道路概略設計を進めている。

2. 浜坂道路Ⅱ期の特徴

本区間の起終点は、既に供用済の浜坂IC(浜坂道路)と居組IC(居組道路)で固定されているため、ルート選定の自由度は低い。【図-2】

また、急峻な山岳地帯のため、どのようなルートを選定したとしても、延長の7割以上がトンネルとなり、ルート帯中央付近の谷間部は、沖積層の深い軟弱地盤が想定される。

この特徴は、現在事業中である浜坂道路に類似しているため、浜坂道路の反省と教訓を踏まえた上で、最も適切な道路概略ルートを選定する必要がある。

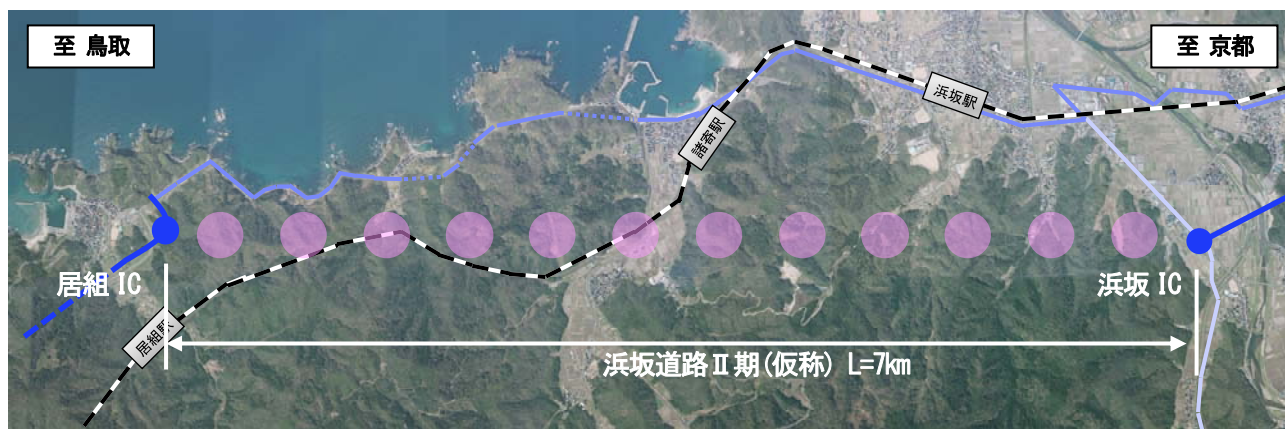


図-2：浜坂道路Ⅱ期(仮称)のルート帯

3. 浜坂道路の反省と教訓

(1) 増える総事業費

浜坂道路の総事業費は、H19新規事業評価時の245億円に対して、H26再々評価時には369億円に増加している。【図-3】

増額理由のうち「地質等」に起因するものが約63億円と最も大きくなっており、その内容は次のとおりである。

- ①トンネル部（支保パターン変更、補助工法の追加等）
- ②橋梁部（場所打杭、大口径深礎等への変更）
- ③土工部（軟弱地盤対策工の追加等）

大幅な事業費の増加は、新規事業採択の妥当性について疑問を呈され、再評価時にその増額理由を十分に説明できない恐れもあるため、厳に慎まなければいけない。

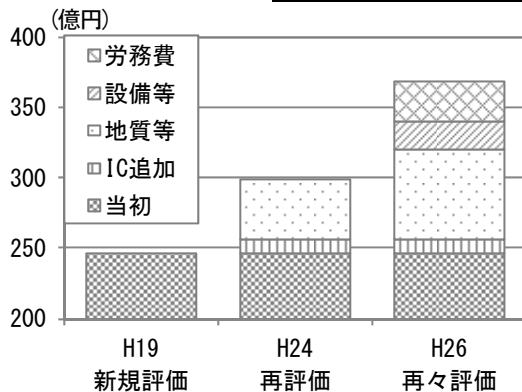


図-3：浜坂道路の全体事業費の推移

(2) 事業費増加の要因～ルート選定の問題点～

通常、ルート選定段階である概略設計では線形要素に重点をおいた検討がなされ、地質調査はルート決定段階である予備・詳細設計で初めて実施される。【図-4】

しかし、予備設計や詳細設計の段階で地質的な課題が判明しても、既定ルートの範囲内でその課題に対応できる構造物を計画するだけであり、抜本的にルートを変更するという視点はほとんど持たれない。

このため、浜坂道路において全体事業費が増加した根本的な要因は、概略設計にあると考えた。

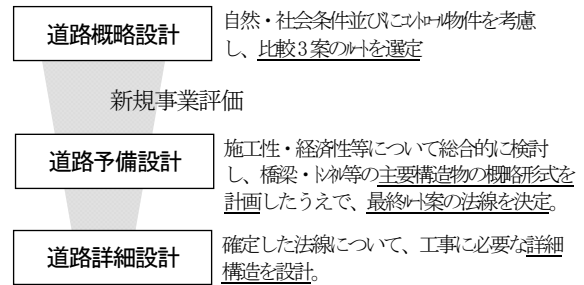


図-4：道路線形決定の流れ

浜坂道路の概略設計では、図-5 左側（概略設計）の比較工事単価に基づいて、高コストであるトンネル延長ができるだけ短くなるように、谷筋を通して土工部を増やすルートを選定している。

しかし、詳細設計の結果や実際の工事費用を分析した結果、以下の事実が分かった。

事実①：軟弱地盤対策を考慮すると、トンネルは土工よりも低コストとなる。【図-5 右側】

事実②：トンネル掘削単価は地質（支保パターン、補助工法の有無）で大きく異なる。【図-6】

※DIII-a2は注入式フォアパイル工、DIII-a3は長尺鋼管フォアパイル工を計上。

事実③：延長が短いトンネルは工事単価が割高となる。

【図-7】

このように、地質情報を十分に考慮できていなかったため、実績と乖離した工事単価を用いてルート選定していたことが、全体事業費の増加に繋がったと推察される。

(3) ルート最適化に向けた創意工夫

以上の教訓を踏まえ、浜坂道路Ⅱ期では、経済性比較において最大の不確実要素となる地質情報について、道路概略設計段階で可能な限り考慮し、道路概略ルートを最適化することとした。

また、限られた予算内で十分な品質の成果を得るために、調達手法についても一工夫し、従来の「指名競争入札」ではなく、「公募型プロポーザル方式」による調達を実施することとした。

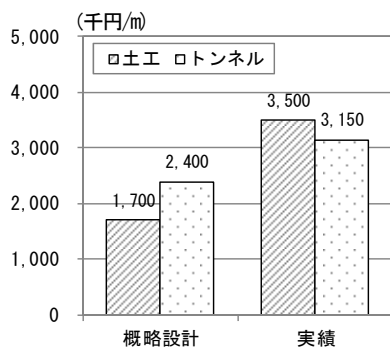


図-5：土工・トンネルの工事単価

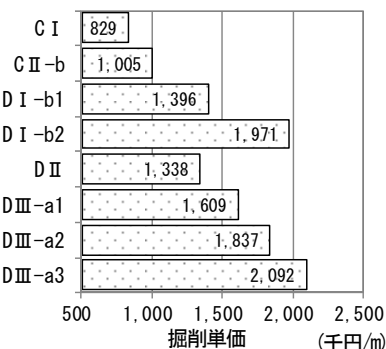


図-6：トンネル支保パターン別掘削単価

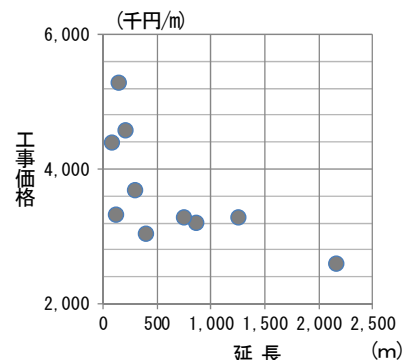


図-7：トンネル延長別掘削単価

3. 地質情報を考慮した道路概略設計

(1) プロポーザル方式の特徴

公募型プロポーザル方式は、広く技術提案を求め、その内容を審査することで、最も高品質な成果を期待できる相手方を選定する手法である。

道路概略設計は事業化されていない段階で実施されるため、地質調査のための十分な予算を確保することは難しく、限られた予算内で効率的に調査する必要がある。

また、ルート帯が未確定のため、発注者が仕様を策定するよりも、民間ノウハウを活かして調査内容・調査範囲を提案してもらう方が、より効果的な調査と高い品質の成果が期待できると考えた。

表-1：公募型プロポーザル方式の特徴

指名競争入札	公募型プロポーザル
発注者が業務仕様を確定	応募者が業務仕様を提案
価格のみの競争	価格と品質の競争
相手方の候補を指名	相手方を広く公募

(2) プロポーザル方式の実施内容

a) 企画提案競技審査会の設置

調達事務を遂行するため、兵庫県新温泉土木事務所長を委員長とし、委員5名、オブザーバ2名（京都大学教授、NEXCO西日本技術環境部長）で審査会を設置した。

なお、兵庫県では入札に関する審査会等に第3者を含める場合には、条例で定める必要がある。このため、オブザーバは採点には加わず、助言・意見を求めるだけとした。

b) 審査基準

技術点については、業務の取組方針や地質調査・概略設計の内容について評価することとし、合計250点のうち地質調査に重点を置いた。

価格点については、予算上限を15百万円に設定して、各社の見積り額と予算上限の差額を点数評価した。

また、可能な限り幅広く提案を求めるため、2段階評価は実施せず、応募者全員にプレゼン審査の機会を与えることとした。

表-2：審査項目及び配点

技術点 (250点)	業務の取組方針 (業務に対する理解、提案の視点、体制図、 配置技術者等)	85点
	地質調査の内容 (目的、効果、具体性・現実性)	120点
	概略設計の内容 (ルート最適化、設計・施工・維持管理の留意点)	45点
価格点 (50点)	予算上限と見積り額の差	50点

(3) 審査結果

公募の結果、全国トップクラスのコソサルタント8社から応募があり、審査で最も得点の高かったA社を契約の相手方に選定した。【図-8】

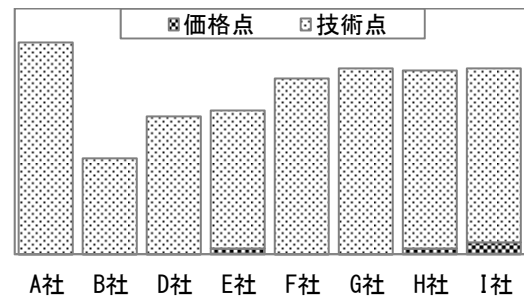


図-8：審査結果

A社の提案は主に次の2点であり、ルート最適化に向けて重視すべきポイントが適切にまとめられていた。

①入念な現地踏査と既存資料の徹底分析により、当該区間の地質リスクを確実に把握。

②橋梁・トンネル等の構造物について過去の施工実績を調査し、精度の高い事業費を設定。

また、提案前に現地踏査を実施して問題点を予め考察しており、さらに表-3の業務実施体制を整えるなど、本業務に対する強い意欲を感じられた。

表-3：A社の業務実施体制

総括責任者		技術士(総監、応用理学)
技術照査		工学博士
地質調査	地盤情報総括	技術士(応用理学)
	地盤情報担当A	技術士(応用理学)
	地盤情報担当B	技術士(総監、建設)
	地盤情報担当C	技術士(応用理学)
	地盤情報担当D	技術士(応用理学)
	地盤情報担当E	技術士補(応用理学)
概略設計	概略設計総括	技術士(総監、建設)
	概略設計担当A	技術士(建設)
	トンネル担当	技術士(建設)
	土工担当	技術士(総監、建設)
	橋梁担当	技術士(建設)

(4) プロポーザル方式の効果

今回の業務を公募型プロポーザル方式で調達した効果として次の2点が上げられる。

a) 技術力の高い相手方の選定

業務の実施体制や配置技術者の実績・有資格、プレゼン審査を通じて、業務の遂行能力・意欲が高く、最も優れた成果を期待できる相手方を選定した。

b) 発注者の技術力向上

A社以外の提案にも有意義なものが多く、想定していない視点からの提案もあるなど、当該区間における地質的課題や概略設計における視点などについて、幅広く認識できた。また、オブザーバの助言も大変参考となった。

4. 地質情報を考慮した道路概略設計の成果

(1) 地質的課題の把握

a) 地質境界の確定

文献調査の結果、当該区間に「断層」の存在が懸念されたが、地質技術者による入念な現地踏査の結果「断層」ではなく「地質不整合」であることが判明した。

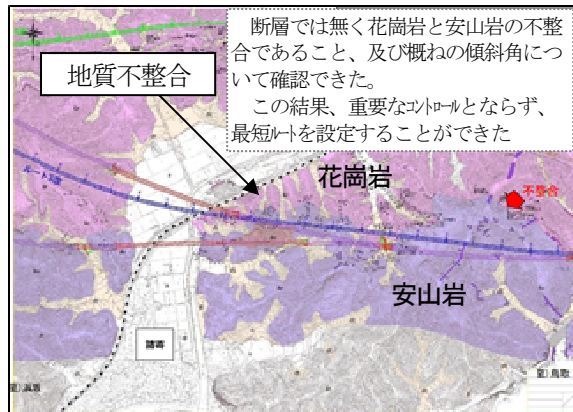


図-9：現地踏査で明らかになった「地質不整合」

c) 深い沖積層の分布

当該区間における過去のボーリング調査結果を収集・分析した結果、ルート帯中央部に流れる(二)大栃川の沖積層堆積区域は、最大深さ30mにも及ぶ軟弱地盤であることが判明した。

(2) トンネル坑口位置の精査

a) 坑口位置の選定

トンネル坑口については、コストや災害リスクの増加に繋がる「斜面斜行型」や「谷部進入型」を避けて、可能な限り「斜面直交型」「尾根部進入型」とした。

b) 横断溪流の土石流の発生リスク

横断溪流の上流部溪床に土石流予備物質の堆積が確認されたため、土石流発生リスクが懸念されることが明らかとなった。

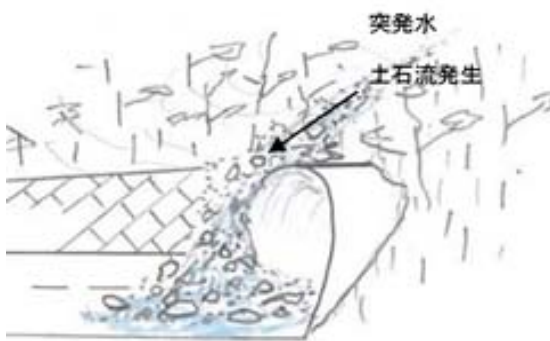


図-10：土石流発生リスク（イメージ図）

(3) 実績に応じた事業費の設定

a) トンネル支保パターンの設定

山陰近畿自動車道関連事業における過去のトンネル掘削実績を詳細に分析し、地質（花崗岩、安山岩、凝灰角礫岩）と土被りの相関関係を求めた。【図-11】

と土被りの相関関係を求めた。【図-11】

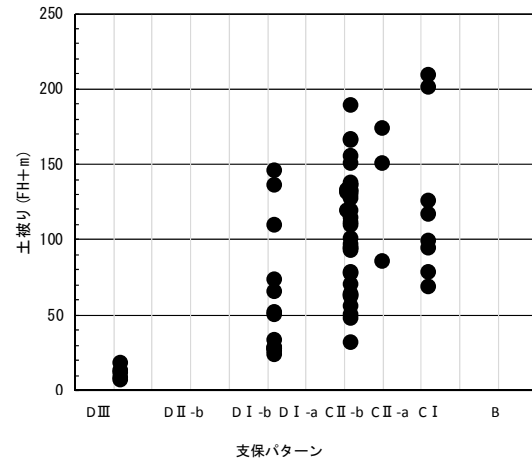


図-11：支保パターン・土被り相関図(安山岩)

この結果、土被り30m未満はDIIIパターンとし、それ以外の区間は実績を踏まえ下記の割合で設定した。

事業費については、過去の工事实績値を採用した。

表-5：土被り30m以上の支保パターン割合

地山等級	凝灰角礫岩	安山岩	花崗岩
C I	—	15%	45%
C II	60%	70%	45%
D I	30%	15%	5%
D II	10%	—	5%

b) 軟弱地盤の考慮

沖積層堆積区域については、軟弱地盤の深さを考慮して本線部橋梁基礎（場所打ち杭）、及び工事用道路の概略検討を行い、過去の工事实績値を踏まえて事業費を設定した。

(3) 最適ルートを選定

以上の検討を踏まえて、ルート比較案の経済性を評価し、地質リスクや環境への負荷などの観点も踏まえたうえで、最適と考えられる道路概略ルートを選定した。

従来、概略設計では物的なコントロールや幾何構造のみで比較検討されることが少なかったが、本業務では地質情報を考慮することで、最適なルートを選定できたと考えている。

4. おわりに

概略設計段階で地質調査を実施することは、あまり前例の無い取り組みであるが、低い予算制約にも関わらず8社から意欲的な提案があったことは、本調達の目的や意義が広く理解された結果と考えている。

プロポーザル方式による調達では、優れた品質の成果を期待できるとともに、提案書の審査等を通じて、発注者の技術力向上にも資する方式である。

今後、予備・詳細設計段階での活用や他事業への拡大についても検討していきたい。

那智勝浦地区における景観に配慮した 砂防堰堤の整備について

鈴木 誠仁¹

¹近畿地方整備局 紀伊山地砂防事務所 工務課 (〒637-0002 奈良県五條市三在町1681)

平成23年9月、紀伊半島を中心に未曾有の豪雨をもたらした台風12号により、奈良県・和歌山県では多数の崩壊が発生し、その崩壊土砂量の総計は戦後最大となるなど、大規模な土砂災害に見舞われた。特に和歌山県的那智川流域においては、各支流において大規模な土石流が発生し、大量の土砂や流木が流出した結果、流域の広範囲にわたり甚大な被害が生じた。

那智川の土砂災害対策は、国による緊急工事が着手されたが、那智川流域が国定公園の指定や世界遺産にも登録されていることから流域全体として「地域景観を積極的に保全し、後世に環境資源及び観光資源として残していく」ことが求められる地域である。したがって、事業の実施にあたっては、砂防堰堤等の構造物を違和感なく周辺景観に調和させるための配慮が必要である。

本報告は、那智川流域における景観対策について報告するものである。

キーワード 台風12号、土砂災害、那智川流域、景観

1. はじめに

平成23年8月25日にマリアナ諸島の西海上で発生した台風第12号は、発達しながらゆっくりとした速さで北上し、9月3日10時頃に高知県に上陸した。和歌山県那智勝浦町における年平均降水量は3174mmであり、図-1で示すように、8月30日から9月5日までの総降水量は、紀伊半島を中心に広い範囲で1,000mmを超え、年降水量の約1/3を占める記録的な大雨となった。(図-1)

那智勝浦町的那智川流域においても多くの斜面崩壊が発生し、流れだした土砂が土石流となり、多大な人的被害、物的被害が生じた。(写真-1、写真-2)

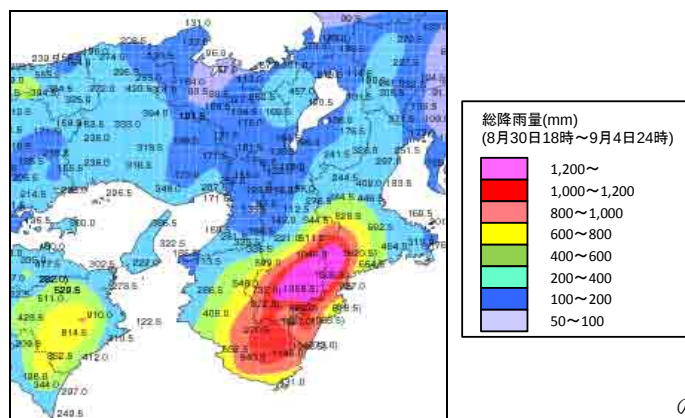


図-1 台風12号の降雨 (出典：気象庁)¹⁾



写真-1 熊野那智大社の被害状況²⁾



写真-2 那智勝浦町立小学校²⁾

那智勝浦町的那智川流域は那智大滝に代表される自然のもと、古来より旧跡、史跡、有形、無形の文化財を蔵する信仰の地である。那智山を参詣の最終地とし、その

山岳霊場とそこにいたる参詣道には現在多くの観光客が訪れる場所となっている。これらの背景を踏まえ、那智川流域の復旧工事においては文化的景観保全も必要であるといえる。（写真-3）

本項では、このような那智川流域の景観に配慮した砂防堰堤の整備についての検討状況を報告するものである。



写真-3 大門坂（熊野古道）

2. 那智川土砂災害対策検討委員会³⁾

那智川流域においては、各支流に大規模な土石流が発生し、大量の土砂や流木が那智川に流出したため、流域広範囲にわたり甚大な被害が生じた。そのため、流域広範囲にわたる土砂処理方針を検討する必要が生じた。また、国定公園の指定や世界遺産にも登録され、毎年多くの観光客が訪れる地域である。

そのため、今回の大規模土砂災害の実態を踏まえ、砂防や景観等の対策についてとりまとめることを目的に委員会が設置された。（写真-4）



写真-4 対策委員による現地調査状況

対策委員会では、各支流では、砂防堰堤により土砂や流木流出抑制を図り、那智川では、各支流以外から流出する土砂や流木流出抑制のための堆積工を整備することが基本方針として提言された。また、景観への配慮に関する基本方針として、世界遺産登録地という地域性を考

慮し、周辺景観と調和させることが基本方針として提言された。（図-2）

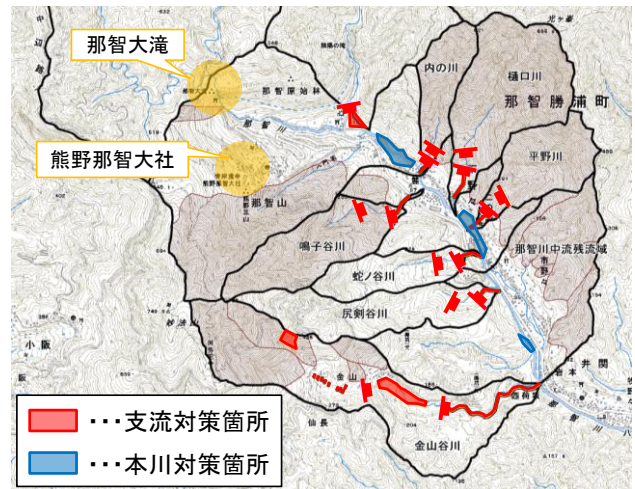


図-2 施設配置計画図

(1) 那智川周辺の景観検討

景観検討にあたっては観光客や地域住民の目に触れる機会の多い主要地方道や熊野古道等を主要動線と考え、視点場とした。（図-3）

また、砂防事業対象箇所が見通せる箇所と地域住民から身近に見える箇所では「文化的景観」を保全する対策施設と位置づけとし、世界遺産等を有する地域に馴染んだ景観を創出・復元することを目標とした。

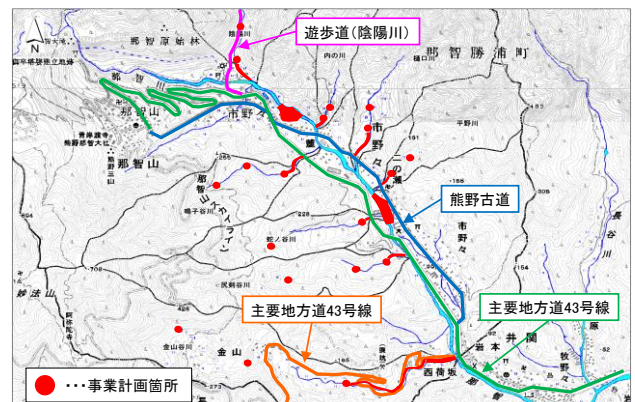


図-3 視点場と各整備箇所

(2) 対策の考え方

事業実施箇所は視点場となる主要地方道や熊野古道から見える箇所・見えない箇所が存在し景観対策を実施しても観光客や地域住民の目に触れない箇所もある。そのため、効率的に対策を実施するために視点場からの各事業対象施設の見え方についてランク分けを行い、ランク毎に整備目標を設定した。（表-1）

(3) 各ランクにおける整備目標

「Aランク」の整備目標は、文化的景観を保全す

るため、積極的に景観を創出する修景対策を行うものとし、「Bランク」の整備目標は、部分的に見通せる箇所について、周囲の景観と調和した違和感のない修景対策を行うものとした。「Cランク」の整備目標は、従来から実施されている修景対策を行うものとした。

表-1 ランク分けと整備目標

ランク	事業箇所の見え方	整備目標
Aランク	事業箇所が見通せ、遮蔽等の対策ができない場合	文化的景観を保全するため、積極的に景観を創出する対策を行う
Bランク	部分的に対象箇所が見通せ、遮蔽等の対策ができない場合	部分的に見通せる箇所について、周囲の景観と調和した違和感のない修景を行う
Cランク	部分的に対策箇所が見通せ、遮蔽等の対策が可能な場合、対策箇所が見通せない場合	従来から実施されている修景対策（化粧型枠等）を行う

(4) 実施手順

景観対策の実施に際しては、地域の代表的な景観に馴染むよう対策を進める必要がある。そのため、設計・施工時等の各段階において、学識経験者の助言を頂きながら進めることが必要であると考え、図-4に示すような景観対策実施手順で検討を行うこととした。

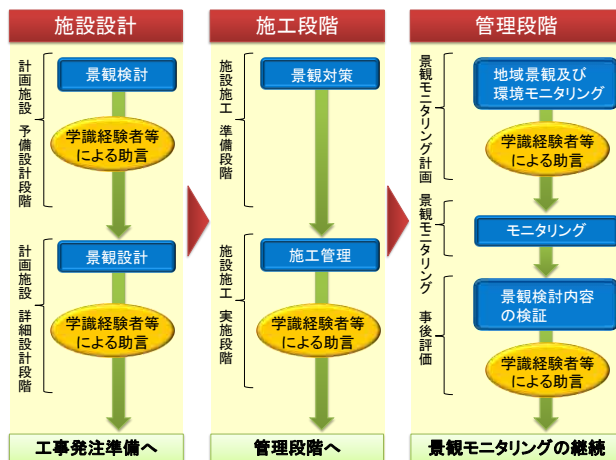


図-4 景観検討・対策実施フロー

3. 景観検討

景観検討にあたっては、対策委員会にて景観対策コンセプト及び景観対策方針・実施範囲についても審議頂き、次のとおり実施することとなった。

(1) 景観対策のコンセプト

景観対策を考える上では、防災面での復旧とともに失われた文化的景観についても修復・創出していく必要があると考えられることから、「那智川流域の地域が有し

ている文化的景観をできる限り災害発生前の状態に復旧、あるいは創出し、世界遺産資源を有する地域に馴染み、人々に受け入れられる地域景観とする」ことをコンセプトに対策の検討を行うこととなった。（写真-5）



写真-5 地域環境対策のコンセプト（内の川）

(2) 景観対策方法

那智川流域では世界遺産対象区域だけでなく、その周辺においても石材が多く使用されている。石材は自然の転石を加工せず、自然石を乱積みすることで擁壁を構築し、宅地や農地（棚田等）に活用されている。これは、那智川流域では「自然石を乱積みする」文化が根付いているものと考えられる。

このことから、原風景に見られる「自然石を乱積み」した石積み文化を那智川流域（特に砂防事業実施範囲）の「文化的景観」と位置づけ、この「原風景」を基調として周囲の景観との調和を図るため、地元の石を用いた石積みを基本とし、修景を施すことが基本的な方法とされた。（写真-6）



写真-6 那智川流域における原風景

(3) 景観対策実施範囲

現在計画されている砂防事業対象箇所について視点場から見通し、以下のとおり対策実施ランク分けを行った。
(図-5)

対策ランク	施工実施箇所
A	・砂防堰堤：5基・溪流保全工：8箇所 ・堆積工：2箇所
B	・砂防堰堤：6基・溪流保全工：1箇所
C	・砂防堰堤：8基

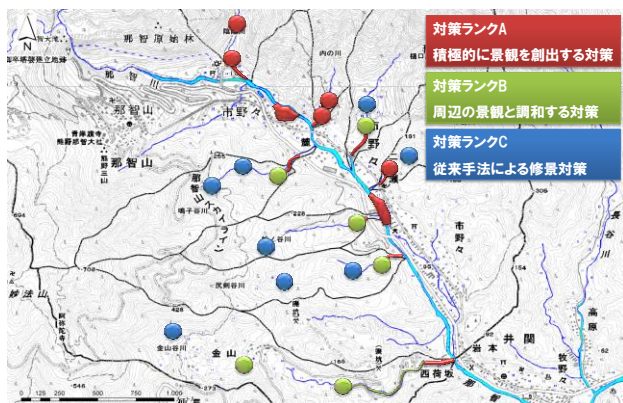


図-5 砂防事業対象箇所 実施ランク

(2) Bランク

Bランク箇所は視点場からの遮蔽等の対策はできないが部分的に事業箇所が見通せる箇所である。視点場からある程度の距離があり、砂防施設とその周囲の景観が合わせて見通せる位置にあることから、周辺の景観と調和した違和感のない修景を行う必要があるため、擬石型枠等を用いるとともに、自然石に近い色合いとするため着色等を行う修景方法とした。(写真-7)



写真-7 Bランクの砂防堰堤 (イメージ)

(3) Cランク

Cランク箇所は視点場から離れ、遮蔽等の対策が可能若しくは、対策箇所が見通せない箇所ではあるが、近隣が国定公園の指定や世界遺産登録地でもあることから、修景対策を施すこととした。なお、修景方法は従来から用いられている化粧型枠等を用いた修景方法とした。また、必要に応じBランク同様に自然石に近い色合いとするため着色等も実施することとした。(写真-8)



写真-8 Cランクの砂防堰堤 (イメージ)

4. 景観ランク毎の修景方法検討

景観設計に先立ち、各事業対象施設の見え方別に設定した各ランクでの修景方法を検討した。

(1) Aランク

観光地へ向かう主要動線及び地域住民から身近に事業箇所が見通せ、遮蔽等の対策ができない箇所であり、積極的に文化的景観を保全・創出する対策を行うことを整備目標とした箇所である。

よってAランク箇所では「原風景」を基調とした周囲にあった違和感のない修景対策を行うため、現地で採取出来る自然石を用いた修景方法とした。(図-6)

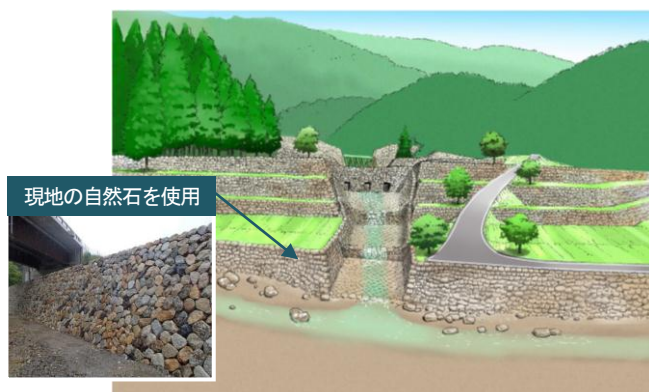


図-6 Aランクの砂防堰堤 (イメージ)

5. 施設毎の修景部位の検討

対象施設と視点場の位置・高さの関係から各施設によって見える部位、見えない部位が異なる。効率的に修景を実施するため、各施設毎に修景を行う部位の検討を実施した。

(1) 修景実施部位の検討

那智川流域には、砂防施設より高い位置で遠望から見通せる熊野那智大社や那智大滝、那智山スカイライン等の観光地がある。また、砂防施設より高い位置で近傍から見通せる遊歩道等の施設もある。

このような砂防施設においては、違和感のない修景対策を実施するため、正面部に加え上面部も修景を実施することとした。（図-7, 8）

また、砂防施設より視点場が低い場合においては、遠望・近傍に関わらず正面部のみを修景部位と設定した。（図-9）

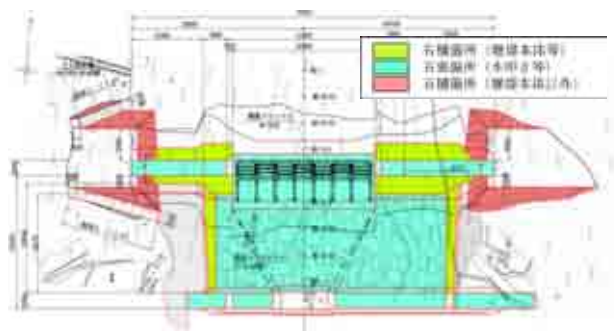


図-7 視点場が高い場合の例（陰陽川地区 堰堤）



図-8 視点場が高い場合の例
（内の川地区 溪流保全工）



図-9 視点場が低い場合の例（内の川地区 堰堤）

(2) フォトモンタージュの作成

修景部位の検討結果のフォトモンタージュを作成し、視点場からの見え方の確認を実施した。（図-10, 11）



図-10 陰陽川地区 フォトモンタージュ
（景観ランク：A 視点場：高）



図-11 内の川地区 フォトモンタージュ
（景観ランク：A 視点場：低）

6. 意見聴取

検討したランク毎の修景方法及び修景部位について、学識経験者等への意見聴取を実施し、次のような助言を頂いたが、方針や考え方については、了承を頂いた。

(1) Aランク箇所

- ・堰堤部など石積高が高くなる場合は、不安定なイメージを与える。下側には大きな石を用い、上側は小さな石を用いて安定感を与える等、安定感を与える工夫を行うことが望ましい。
- ・水辺部、石張部は、コンクリート目地が大きいと違和感が出るため、石材の大きさ、配置を配慮し、コンクリート目地を少なくすることが望ましい。

(2) Bランク箇所

- ・擬石型枠等は同じパターンの繰り返しとなり、組合せ枚数が少ない場合、幾何学模様になりやすいため、可能な限り組合せ枚数を多くすることが望ましい。

(3) Cランク箇所

- ・植栽による視野の遮蔽を採用しすることも有効であると考えられる。

7. 今後の予定

景観対策の見え方や施工性を検討するために、試験施工を実施する予定である。試験施工で抽出された課題等について、再度検討を行うとともに、地域住民や学識経験者の助言も頂きながら、最終的な修景方法を決定する予定である。

8. まとめ

那智川流域における災害復旧工事では、文化遺産が周辺に多くあることからできる限り災害前の景観に近づけ、違和感のない構造物にしていくことが重要である。そこで、各視点場からの見え方によって景観対象ランクをそれぞれ設定し、整備目標を定めた上で、学識経験者の助言をもとに、対象砂防構造物別の比較検討を行った。各工法においてはメリット・デメリットもあることから各修景工法の景観性や施工性を検証し、学識経験者や地域住民等の意見を聞くことによって、最適な工法を決定する必要があると言える。また、原風景に見られる「自然石を乱積み」した石積み文化は長い年月を経て創出されたものであり、構築した構造物の経年変化による周辺景観との馴染み具合も想定した工法選定や色合いの設定が必要である。

文化的な景観は那智川周辺に限ったことではなく、各地域によって様々に存在している。今後は那智川からそれら全ての地域に修景の重要性を発信し、景観を保全・創出していくことができれば幸いである。

参考文献

- 1) 気象庁 HP
- 2) 高知県庁「台風第 12 号紀伊半島大水害による県内の被災状況」
- 3) 那智川土砂災害対策検討委員会資料

オオサンショウウオ保護池における調査で 得られた知見について

廣瀬 真由¹

¹独立行政法人水資源機構 川上ダム建設所 環境課 (〒518-0294三重県伊賀市阿保251番地)

川上ダム建設予定地を含む木津川流域には、オオサンショウウオが生息している。川上ダムの建設により、ダム堤体やダム貯水池ができることで、オオサンショウウオの生息環境が減少することから、オオサンショウウオの保全対策を行うこととしている。そこで、事業の一環として、オオサンショウウオ保護池を設置し、河川内工事に伴うオオサンショウウオの一時保護を行うとともに、保護したオオサンショウウオについて生態調査を行い、そこで得られた知見を活かして、実際の河川での現地調査や保全対策の検証を行ってきた。本報では、保護池における調査で得られたいくつかの知見について報告する。

キーワード オオサンショウウオ、保護池、生態調査、保全対策

1. はじめに

川上ダムは、淀川水系木津川の支川である前深瀬川において、独立行政法人水資源機構が建設事業を進めている、洪水調節、流水の正常な機能の維持（既設ダムの堆砂除去のための代替補給を含む。）及び水道用水の確保を目的とした多目的ダムである（図-1）。

川上ダム建設予定地を含む木津川流域には、オオサン

ショウウオが生息している。オオサンショウウオは、日本固有かつ世界最大の両生類であり、その形態が約3,000万年前からほとんど変化していないことから、「生きた化石」とも呼ばれている¹⁾。1951年に国の天然記念物に指定され、翌1952年には特別天然記念物に指定されている。

川上ダムの建設により、ダム堤体やダム貯水池ができることで、オオサンショウウオの生息環境が減少するこ

場所	三重県伊賀市
ダム型式	重力式コンクリートダム
ダムの高さ	84m
集水面積	約54.7km ²
湛水面積	約1.04km ²



図-1 川上ダムの規模、位置等

とから、オオサンショウウオの保全対策を行う必要がある。そこで、事業の一環として、オオサンショウウオ保護池（以下「保護池」という。）を設置し、河川内工事に伴うオオサンショウウオの一時保護を行うとともに、学識者の指導・助言を得ながら、保護したオオサンショウウオについて生態調査を行い、そこで得られた知見を活かして、実際の河川での現地調査や保全対策の検証を行ってきた。本報では、保護池における調査で得られたいくつかの知見について報告する。

なお、これら一連の調査等に当たっては、オオサンショウウオの捕獲等の現状変更が生じることから、文化財保護法第125条第1項の規定に基づき、文化庁長官の許可を得ている。

2. 保護池の概要

保護池は、第1保護池と第2保護池の2つの施設で構成している（図-2）。1998年3月に、オオサンショウウオの現地調査方法に関する調査（後述する「マイクロチップの挿入による個体識別」や「オオサンショウウオの行動観察」）を行うことを主な目的として、自然河川を模した第1保護池を設置した。その後、2000年3月に、保全対策に関する調査（後述する「人工巣穴における繁殖状況の確認」や「遡上路的設置条件」）を行うための区画を持つ第2保護池を設置した。保護池の設置場所は、所要の面積が確保でき、河川水を引いてくることができる土地として、将来的に川上ダムのダム貯水池となる区域内で取得した農地の跡地とした。

3. 保護池における調査内容及び得られた知見

(1) マイクロチップの挿入による個体識別

1996年度から、川上ダムの建設予定地周辺において、オオサンショウウオの生息確認調査を行っているが、調査には個体識別が必要となる。調査を開始した当初は、捕獲したオオサンショウウオの写真撮影を現地で行い、全長や体重を測定したうえで、これらの撮影写真や測定結果を持ち帰り、過去の写真（体の斑紋等の状況）や全長・体重の記録と照らし合わせながら、新規捕獲または再捕獲であるかの個体識別をしなければならなかった。その後、確認されたオオサンショウウオが増えるにつれて、個体識別に多くの時間を要することが問題になっていた。

そこで、当時広島市安佐動物公園で行われていた、それぞれ固有の番号を持つマイクロチップをオオサンショウウオに挿入する方法を、川上ダムにおけるオオサンシ

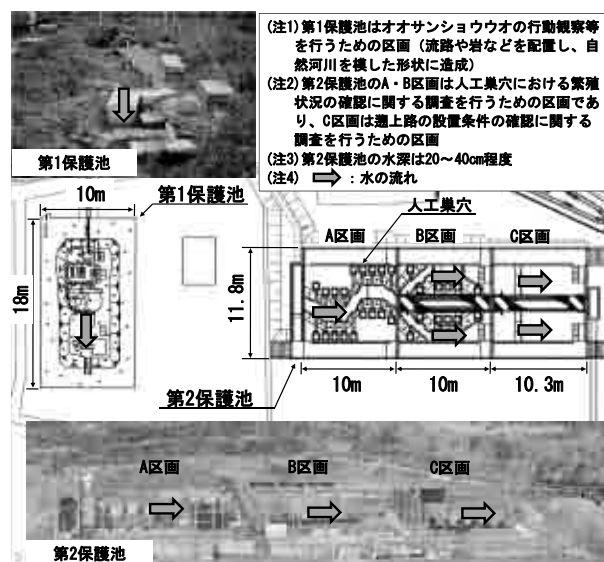
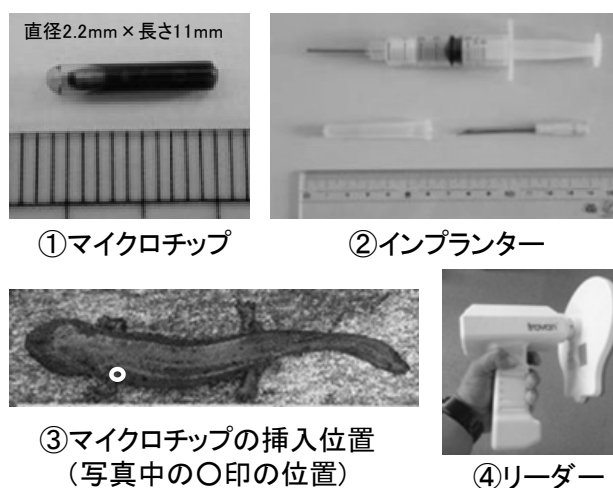


図-2 保護池の概要



- (注1) ①のマイクロチップを②のインplanter（専用の注射器）を用いて、オオサンショウウオの肩の皮下(③)に挿入する。挿入後、④のリーダーをオオサンショウウオにかざすことにより、マイクロチップが持つ固有の番号を瞬時に読み取ることができる。
- (注2) 1998年7月に川上ダムで行った調査では右肩の皮下に挿入していたが、1999年6月以降の調査では左肩の皮下に挿入している。（2012年3月に策定された三重県と奈良県の保護管理指針（参考文献1））でも左肩の皮下に挿入することが定められている。）

図-3 マイクロチップ等

ョウウオの生息確認調査にも適用することが可能であることを確認することとした。1998年7月に、専用のインplanter（専用の注射器）を用いて肩の皮下にマイクロチップを挿入し、オオサンショウウオに影響が生じないかを観察する調査を行った（図-3）。

マイクロチップを挿入後、1週間程度オオサンショウウオの状態を観察したが、特段の異常は認められなかったため、現地調査への適用が可能であると判断した。

マイクロチップの採用により、捕獲したオオサンショウウオが新規捕獲または再捕獲であるかの個体識別を現地で正確かつ速やか（数秒程度）に行うことができるようになり、大幅に作業が効率化した。なお、2012年3月

に策定された三重県と奈良県のオオサンショウウオ保護管理指針¹⁾においても、個体の情報を確実に記録するため、新規確認個体には肩付近にマイクロチップを挿入することが定められている。

(2) オオサンショウウオの行動観察

オオサンショウウオの生息確認調査を行うにあたっては、限られた時間と予算の中で、どのようにすればオオサンショウウオが実際の河川で効率的に確認できるかが大きなポイントとなる。そのための方法の一つとして、オオサンショウウオの行動が活発な時期・時間帯を把握し、その時期・時間帯に調査を実施することが有効と考えられた。

そこで、保護池の中でオオサンショウウオの常時観察が可能とする設備を整えた1999年3月から2000年6月の間にかけて、オオサンショウウオの行動を暗視カメラで観察する調査を行った。調査はカメラで24時間連続して第1保護池内を撮影・確認し、オオサンショウウオの行動確認時間（動いていることが確認できた時間）を記録する方法により行った。

図-4に1999年4月から2000年5月までのオオサンショウウオの行動確認時間とその時の水温を示す。図の棒グラフは各観察日におけるオオサンショウウオの1個体当たりの行動確認時間（平均）を示している。これによれば、オオサンショウウオの行動は毎月確認されたものの、水温が10度を下回る冬季（図の陰影部分）は他の期間と比べて行動確認時間が著しく低減することが分かった²⁾。

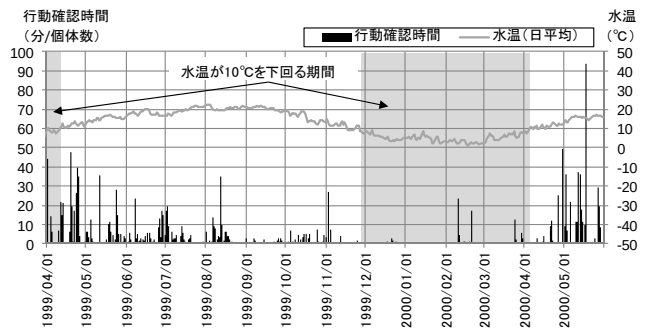
次に、オオサンショウウオの繁殖期を含む1999年9月から10月までのオオサンショウウオの時間帯別行動確認時間を図-5に示す。図の棒グラフは各時間帯におけるオオサンショウウオの1日・1個体当たりの行動確認時間（平均）を示している。これによれば、行動の大部分は夜間（図のハッチ部分）であることが分かり、オオサンショウウオが夜行性であることが改めて確認された²⁾。

オオサンショウウオの行動が活発な時期・時間帯が実証的に把握できたことを踏まえて、以後の現地調査は春季から秋季までの夜間を中心として行うこととした。

(3) 人工巣穴における繁殖状況の確認

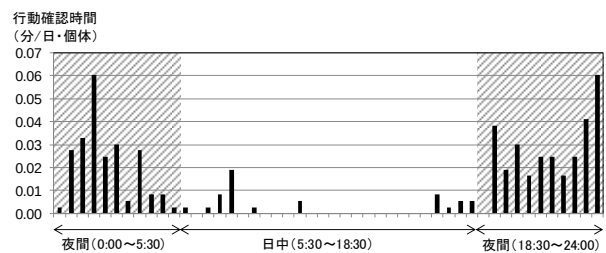
オオサンショウウオは川岸にあり水が入る横穴（以下「巣穴」という。）で産卵や孵化といった繁殖活動を行う³⁾。ダム堤体やダム貯水池となる区域に生息しているオオサンショウウオの保全対策としてオオサンショウウオを他の場所に移転する場合、移転先のオオサンショウウオの生息密度が増加するため巣穴が不足することが考えられる。このため、不足する巣穴を補う措置として、人工の巣穴（以下「人工巣穴」という。）を設置することが考えられたが、実際の河川に設置する前に人工巣穴の有効性を確認しておく必要があった。

そこで、保護池において、人工巣穴で実際に繁殖活動



（注1）1999年4月～2000年5月のデータを用いて作成した。なお、この期間の個体数は次のとおりである。
1999年 4月 1日～1999年 6月16日 4個体、1999年6月17日～1999年 7月20日 3個体、
1999年 7月21日～1999年 7月28日 0個体、1999年7月29日～1999年 8月 2日 1個体、
1999年 8月 3日～1999年 9月 2日 2個体、1999年9月 3日～1999年10月24日 3個体、
1999年10月25日～2000年 5月31日 2個体

図-4 オオサンショウウオの行動確認時間



（注1）1999年9月～10月のデータを用いて作成した。なお、この期間の個体数は次のとおりである。
1999年 9月 1日～1999年 9月 2日 2個体、1999年9月 3日～1999年10月24日 3個体、
1999年10月25日～1999年10月31日 2個体
（注2）横軸の目盛間隔は30分である。
（注3）1999年9月1日の三重県津市の日出時間（5:25）・日入時間（18:22）を基に、5:30～18:30を日中、0:00～5:30・18:30～24:00を夜間とした。

図-5 オオサンショウウオの時間帯別行動確認時間

（産卵及び孵化）が行われるかを確認することとし、2000年3月に第2保護池を設置する際に、当時、他の地域で繁殖実績が報告⁴⁾されていたコンクリート製マンホール型巣穴（図-6）を第2保護池のA区画とB区画に設置し、その後、2010年まで人工巣穴において繁殖活動が行われるかを確認する調査を実施した。その結果、2002年、2003年、2004年、2006年及び2009年に、人工巣穴においてオオサンショウウオの繁殖活動が行われていることを確認した（図-7）。

保護池内の人工巣穴という条件下で繁殖したオオサンショウウオが、果たして通常の飼育条件下で繁殖したものと同じように成長するのかどうかを確かめるため、全長の変化を追跡することとした。その結果を図-8に示す。個体差はあるものの、孵化から3年経過後に全長が概ね20cm以上に、5年経過後に全長が概ね30cm以上になっていることが確認された。これは、飼育下における他の事例⁵⁾と概ね同等以上の全長となっている。

これらの知見（繁殖に成功した人工巣穴の内部形状等）を基に、実際の河川において、現地での施工性も考慮した簡易的な人工巣穴を考案・試験設置したところ、オオサンショウウオが産卵に利用していることを確認できた（図-9）⁶⁾。

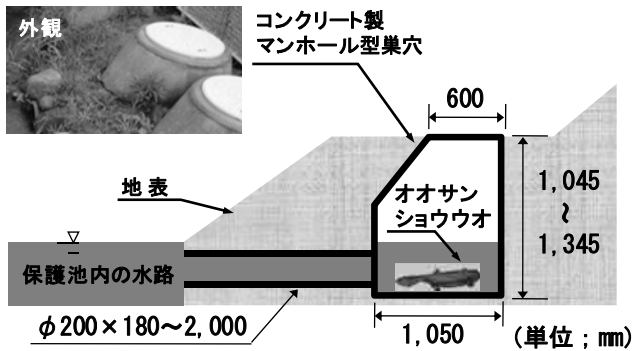


図-6 保護池の人工巣穴の概要

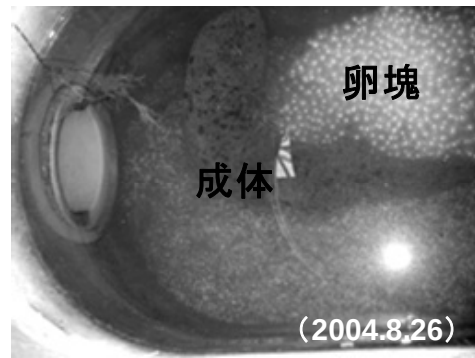


図-7 保護池の人工巣穴における産卵状況

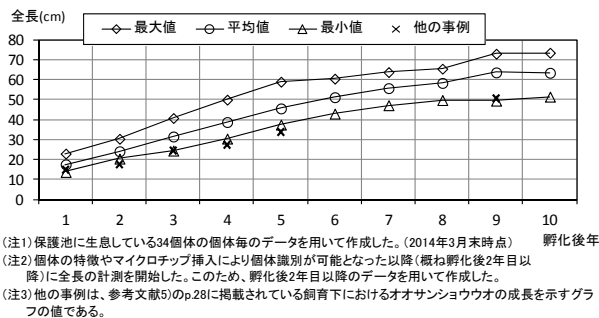


図-8 保護池のオオサンショウウオの全長の経年変化

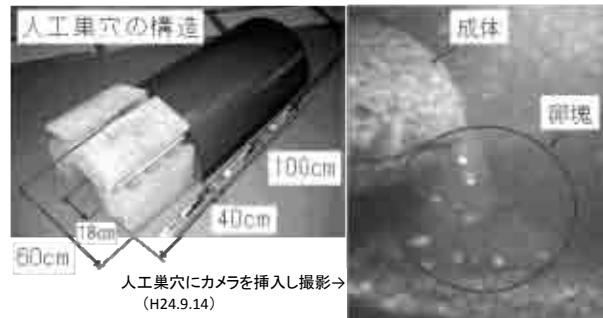


図-9 河川に試験的に設置した人工巣穴における産卵状況

保護池において得られた知見と、その知見を踏まえた現地での試験結果により、人工巣穴の有効性が確認できたことから、川上ダムにおけるオオサンショウウオの保全対策の一つとして、人工巣穴の設置を位置付けることとした。

(4) 遡上路的設置条件

オオサンショウウオは繁殖期に入ると雄による産卵場所の探索行動が始まる。多くの場合は河川の上流に遡上するといわれているが⁷⁾、行く手に遡上困難な横断構造物があると、そこから川を遡上できずにいる個体の姿が見られることもある³⁾。このような横断構造物は、繁殖の機会を減らすとともに出水により下流に流された個体が上流に戻ることを阻害することにもなる。そのため、遡上困難な横断構造物に遡上路を設置することにより、上下流の往来が可能となって生息環境が拡大するとともに、生息環境の連続性も確保されることが期待できる。もちろん、実際の河川に遡上路を設置する前に、その有効性や遡上に適した設置条件を確認しておく必要がある。

そこで、保護池において、遡上に適した構造・設置条件を確認するための試験を行うこととし、オオサンショウウオの繁殖期を含む2007年6月から10月にかけて、第2保護池のC区画において、①斜路構造と階段構造、②遡上路上に側壁が有る場合と無い場合、③遡上路上に水が流れている場合と流れていない場合をそれぞれ組み合わせ、

オオサンショウウオがどのような構造を好むかを確認するために、遡上に利用する回数を確認した（図-10）。その結果、①階段構造よりも斜路構造、②遡上路上に側壁が無い場合よりも有る場合、③遡上路上に水が流れていない場合よりも流れている場合の方がオオサンショウウオが遡上に利用する回数が多いということを確認した⁸⁾。

これらの知見を基に、実際の河川（井堰）において、側壁を付けた斜路構造の遡上路を、流水が流れるように工夫して試験設置し、その効果を確認してみたところ、オオサンショウウオが遡上路を利用することが確認できた。また、周辺を石で被覆するなどの改善を行った階段構造の遡上路を他の井堰に試験設置したところ、そこにおいても、オオサンショウウオが遡上路を利用することが確認できている（図-11）⁹⁾。

オオサンショウウオの生息確認調査結果を利用して、河川（井堰）に遡上路を試験設置した前後のオオサンショウウオの遡上個体数を比較したところ、遡上設置前の年当たり個体数は0.3個体/年～0.8個体/年であるのに対し、遡上設置後の年当たり遡上個体数は5.5個体/年～9.6個体/年まで増加していることが確認できた（図-12）⁹⁾。

保護池において得られた知見と、その知見を踏まえた現地での試験結果により、遡上路的有効性が確認できたことから、川上ダムにおけるオオサンショウウオの保全対策の一つとして、遡上路的設置を位置付けることとした。

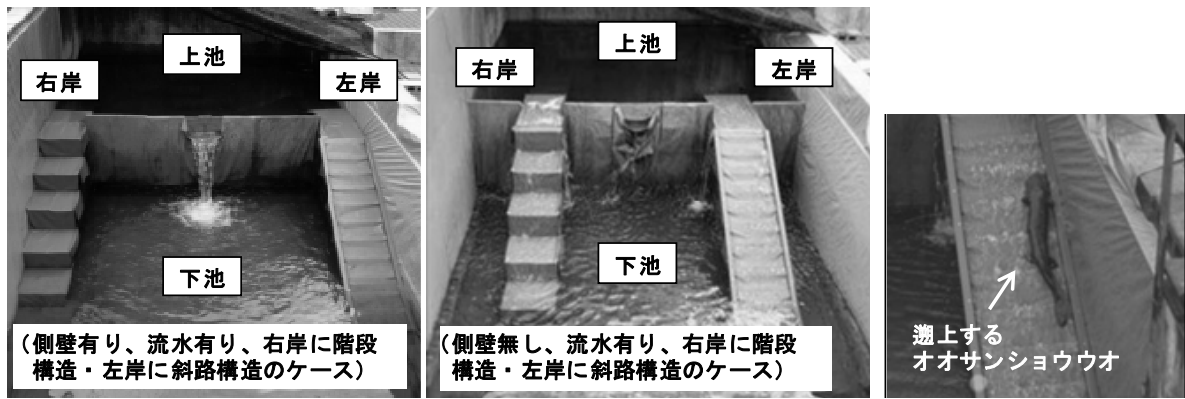


図-10 保護池における遡上路的設置条件の調査状況



図-11 河川に試験的に設置した遡上路で確認された利用状況

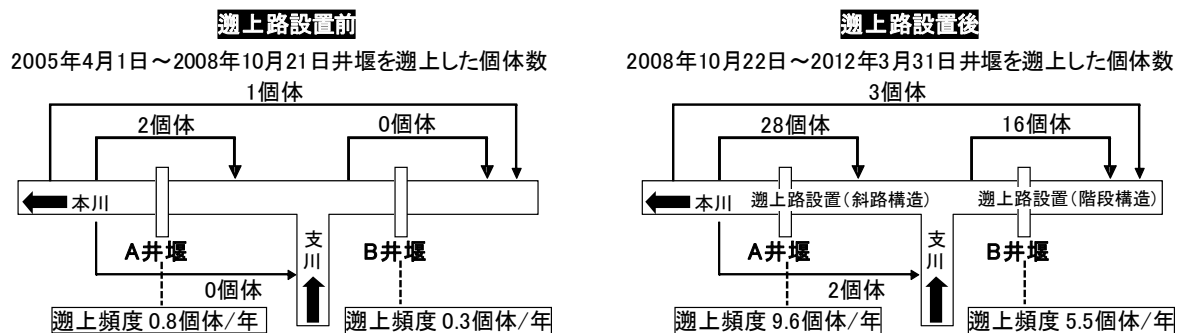


図-12 遡上路設置前後のオオサンショウウオの遡上個体数の比較

表-1 保護池における調査で得られた知見とその活用

項目	調査で得られた知見	知見の活用
マイクロチップの挿入による個体識別	マイクロチップの挿入によるオオサンショウウオへの異常は認められない。	現地調査の際の個体識別を現地で正確かつ速やかに実施できるようになった（現地調査に活用）。
オオサンショウウオの行動観察	オオサンショウウオの行動が活発な時期・時間帯（春季から秋季までの夜間）を把握できた。	行動が活発な時期・時間帯に絞って現地調査を行うこととした（現地調査に活用）。
人工巣穴における繁殖状況の確認	人工巣穴の有効性が確認できた。 ・保護池の人工巣穴においてオオサンショウウオの産卵・孵化が行われていることを確認 ・保護池の人工巣穴の内部形状等を基に、施工性も考慮した簡易的な人工巣穴を考案し、実際の河川に試験設置したところ、産卵が行われていることを確認	川上ダムにおけるオオサンショウウオの保全対策の一つとして、人工巣穴の設置を位置づけた（保全対策に活用）。
遡上路的設置条件	遡上路的有効性が確認できた。 ・保護池で遡上に適した構造・設置条件を確認 ・保護池で確認した構造・設置条件を基に、実際の河川に遡上路的を試験設置したところ、オオサンショウウオの遡上に利用されていることを確認	川上ダムにおけるオオサンショウウオの保全対策の一つとして、遡上路的の設置を位置づけた（保全対策に活用）。

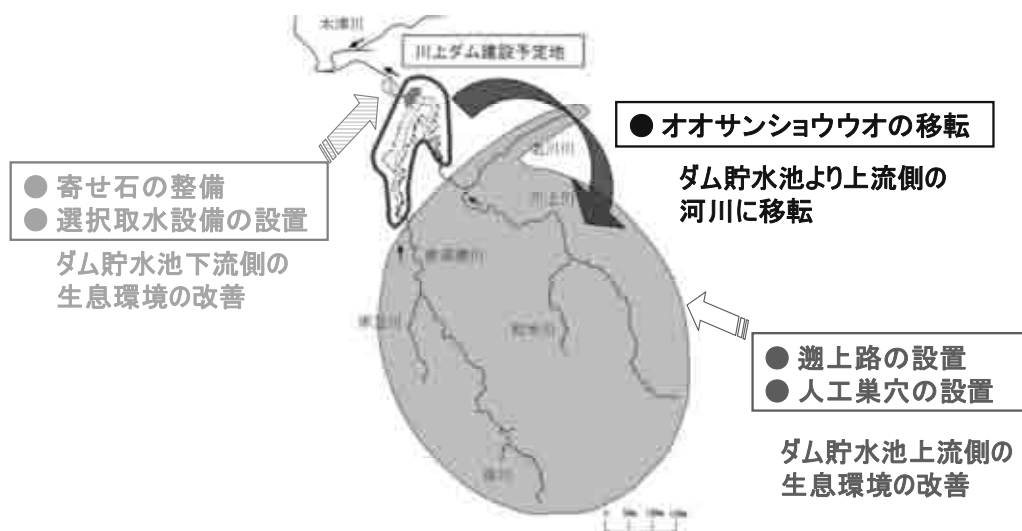


図-13 川上ダムにおけるオオサンショウウオ保全対策の基本方針

4. おわりに

保護池におけるこれまでの調査により、オオサンショウウオの現地調査方法や保全対策に関する知見を得ることができた。調査で得られた知見とその活用を改めて整理すると表-1のようになる。

今後は、ダム堤体やダム貯水池となる区域に生息するオオサンショウウオのダム貯水池上流側への移転や、移転先における生息環境の改善（遡上路的や人工巣穴の設置）などから構成する保全対策の基本方針（図-13）に従って、具体的な保全対策を進め、モニタリングを行うこととしている。

謝辞：保護池における調査等を行うにあたり、長期にわたってご指導・ご助言をいただいていた川上ダムオオサンショウウオ保全対策検討会の委員をはじめとする学識者の皆様にこの場を借りてお礼を申し上げます。

参考文献

- 1)三重県教育委員会、奈良県教育委員会：特別天然記念物オオサンショウウオ保護管理指針 2012, 2012.3
- 2)古畑勝政、松本潤：川上ダムにおけるオオサンショウウオの保全に関する取り組みについて-保護池における暗視カメラを用いた行動観察-、平成 13 年度(第 4 回)関西ブロック技術研究発表会資料集, pp75-82, 2001.9
- 3)内山りゅう、前田憲男、沼田研児、関慎太郎：決定版日本の両生爬虫類、平凡社、2002.9
- 4)栃本武良：兵庫県市川水系におけるオオサンショウウオの生態 X.繁殖生態について (4)人工巣穴設置による産卵場所復活の試み、動物園水族館雑誌 37(1), pp13-17, 1995.11
- 5)広島市安佐動物公園：オオサンショウウオの解剖・症例・手技、財団法人広島市動植物園・公園協会、2012.3
- 6)久納誠、加藤正典：オオサンショウウオ生息環境保全策の現地試験、応用生態工学会第 17 回研究発表会講演集, pp269-272, 2013.9
- 7)松井正文：これからの両棲類学、裳華房、2005.8
- 8)磯野正典、大村朋広、古賀勝之：川上ダムのオオサンショウウオ遡上試験について、平成 20 年度(第 42 回)水資源機構技術研究発表会資料集, pp259-266, 2008.11

長田川サイホン出口部における浮遊物処理方法の検討について

菅野佑治¹

¹近畿農政局 東播用水二期農業水利事業所 工事課 (〒651-2304神戸市西区神出町小束野30-19)

紀伊平野地区の小田井水路は、水路延長約29km、一級河川「紀の川」の右岸に広がる約600haの農地をかんがいする水路である。小田井水路は、主に開水路形式となっており、自然ごみ等（以下、「浮遊物」という）が流入しやすく、河川横断サイホンでは水路断面が変化するため、その構造上、浮遊物が溜まる場所となりやすい。本報では、長田川サイホンを事例として、水理模型等により浮遊物滞留の原因と浮遊物処理に効果のあるサイホン出口部構造について検討した経緯を報告する。

キーワード サイホン、トランジション、浮遊物、滞留、水理模型

1. 事業概要

国営大和紀伊平野農業水利事業は、奈良県の北西部に位置する奈良市他 9 市 11 町村（20 市町村）からなる大和平野と和歌山県の北部に位置する和歌山市他 5 市 2 町（7 市町）からなる紀伊平野の両平野にまたがる農地面積約 13,400ha を受益地としている。

本地区の農業水利施設は、築造後 40 年～50 年を経過していることから老朽化等による性能低下が著しく、早急な対応が望まれている。また、近年の営農形態の変化や都市化の進展に伴う農地面積の減少等により、農業用水の需要に変化が生じてきている。

そこで、本事業ではこれら機能低下した農業水利施設の整備を行い、農業用水の安定供給と適正利用を図るとともに、その結果生み出される余剰水を地域の上水道に転用し、地域の水資源の有効活用に資するものである。

2. サイホン出口部の浮遊物

(1) 長田川サイホンの構造特性

長田川サイホンは小田頭首工の下流約 20km に位置する図-1 のような全長 171.6m、口径φ1200～1350、再編流量 $Q=2.85\text{m}^3/\text{s}$ の河川横断円形サイホンである。本事業により本管は平成 22 年度に FRPM 管で改修されており、トランジションにより下流開水路に接続されている。

サイホン出口部のトランジションは、図-2 のように地形的な制約から台形屈曲形となっており、サイホン出口から開水路に向かって断面が B1350×H3290 から B3400/2340×H1290 へと変化しており、断面①から断面③において特に浮遊物が滞留しやすい場所となっている。



写真-1 出口トランジション部

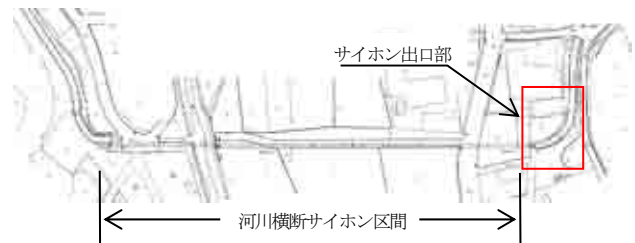


図-1 長田川サイホン全体図

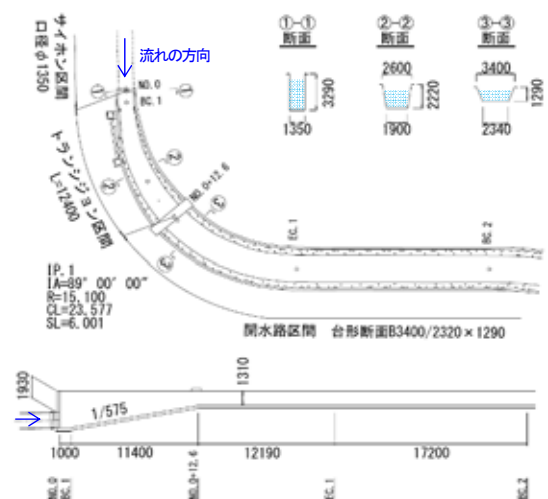


図-2 出口トランジション断面図

(2) 浮遊物滞留に対する問題

上流から流下する浮遊物は草木の枝葉といった自然ごみの他、ポリエチレン、ビニル製品等の生活廃棄物も含まれており、送配水への影響を防ぐため人力によって浮遊物処理を行っているが、多大な労力が掛かり、近隣住民から浮遊物の腐敗臭等に対する改善要望も出されていたことから、現場にて応急対策を行ってきた。

(3) 応急対策の実施経緯

平成 21 年度から建設所職員によって対策を実施してきた経緯を表-1 にまとめた。サイホン出口のごみが水面へ浮上し滞留するのを抑制するために 3 パターンの対策工を実施しており、経過観察を行った結果、ネット張り工法は、直営施工が可能であり、一定の効果が得られる手法になり得るが、かんがい期間を終えると、ネットへのゴミの目詰まり、材料のサビ、劣化等でメンテナンスフリーの永久構造物とはなっていない点を改善する必要が生じた。

表-1 応急対策の経緯

対策案	考察
	試験施工 1 (網状ロープ) ペットボトルなどの質量が軽いゴミの浮き上がりを抑えるには範囲が足りない
	試験施工 2 (鋼製ネット) 出口部を完全閉塞し、出口部の浮き上がりは抑制できるが、水面を逆流して滞留してしまう
	試験施工 3 (逆流防止付き) 浮上がり及び表面逆流による滞留は防止できるが、ネットの目詰まり破損が生じる

3. 浮遊物処理に対する検討

(1) 永久構造物としての検討

小田井水路における浮遊物は、維持管理面から長田川サイホンより下流の調整池にて処理する仕組みになっており、施設管理者から浮遊物を滞留させない構造とすることが求められた。そのため、以下の条件に基づき、浮遊物処理に対する検討を行った。

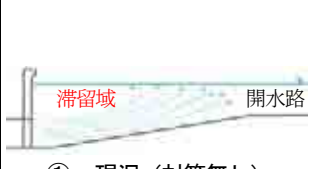
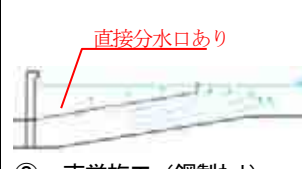
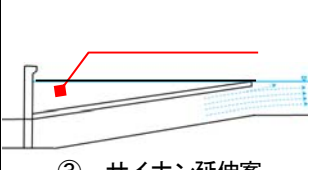
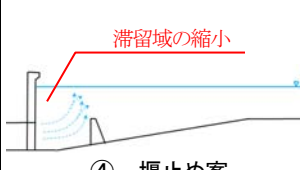
- 住宅近隣であり除塵施設は設けない
- 浮遊物を滞留させないサイホン出口構造とする
- サイホン出口部に直接分水工があり閉塞しない
- 既設コンクリートは取壊さず経済的な工法とする

(2) 浮遊物処理のための設計

浮遊物処理に確実に効果があるのは勾配を緩くしサイホン延長を長くすることであるが、改修にはコストが掛かる点と、トランジション区間において直接分水が 3 箇所あり管理面から上部を完全に閉塞できないという問題があった。そのため、別途、模型実験による水理解析により、コスト面で有利となりそうな堰止め方式を検討することとした。

検討手順は、浮遊物が滞留する原因と考えられる滞留域の形成範囲を模型で確認し、次に堰止め高さ、位置の違いにより滞留域の形成がどのように変化していくのかを検証した。①現況パターンのように滞流域をもつ現況の流れを改善するために、②鋼製ネットにて試験施工を行ってきたが、別の手法として③サイホンの延長、④堰止めする方法を考えた。

表-2 対策パターンの考え方

	
① 現況 (対策無し)	② 直営施工 (鋼製ネット)
	
③ サイホン延伸案	④ 堰止め案

4. 水理模型実験 (簡易版)

浮遊物の滞留の仕方を見るために写真-2 のような簡易な水理模型を作成した。材料は発泡スチロール、アクリル板、牛乳パック、塩ビパイプで構成される。

ここに水を流すと同時に、浮遊物に見立てたシュレッダーごみを流下させる。表-3 に水理模型に実際に水を流した結果をまとめた。現況形式ではパイプから出た浮遊物が逆流して水面に滞留している様子がわかる。

サイホン延伸形式を試してみると、浮遊物の多くは速やかに流下するが、天井部分に浮遊物が溜まっている様子がわかる。さらに、堰上げ形式を試してみると、浮遊物が滞留する範囲を制限できることがわかった。



写真-2 水理模型 (簡易型)

表-3 水理模型（簡易型）による実験結果

模型形式	考察
	＜現況形式＞ 流水のみ（ごみ無し）
	＜現況形式＞ パイプ出口にごみが浮遊物となって滞留している。
	＜サイホン延伸形式＞ 水路内のごみは流下し易いが、天井部にごみが滞留する。
	＜堰上げ形式＞ 堰上げの位置によって、水面上の浮遊物の滞留域を小さくできる。

5. 水理模型実験（1/5 スケール）

写真-3 のように約 1/5 スケールの縮尺模型を京都大学及びコンサルタントの協力のもとに作成し、現場と同様の流れを再現した。実験スペースの関係から現場とは左右対称となるが、出口トランジションについても写真-4 のように現場と同様の曲線形を再現した。ここで、滞留域を小さくすれば、浮遊物が逆流する余地を限りなく小さくできると仮定し、モルタルブロックや堰板によって出口トランジションの下流を堰止めし、パターン毎の流れの違いを見ることとした。



写真-3 水理模型の全景



写真-4 出口トランジション模型

(1) 軽石による表面流実験

まずは、堰止めする位置の違いによって、水面が逆流している範囲がどう変化するかを、軽石を水面に浮かせて検証した。この実験から、止水堰を下流方向に移動させれば、水面の逆流範囲が長く滞留域が大きくなり、一方で、滞留が無く最も速やかに軽石が流れるのはサイホン出口付近にブロックを3段積みしたパターンと、堰板を立てるパターンであることがわかった。この実験により、より上流に止水壁を設置する方が、滞留域が壊れやすいことがわかった。

(2) トレーサ試験による流下速度の検証

次に、トレーサ試験によって、染料の流れ方と滞留域の形成に相関関係があるかどうかを検証した。試験方法は、サイホン出口から染料を流してトランジション下流の定点において、単位時間毎の水中濃度をサンプリングするものである。試験結果及び試験状況を図-3、図-4 に示す。

まず、軽石実験により滞留域の形成がもっとも大きかった現況（パターン0）の濃度波形を見ると、時間帯が20sec～28sec と早い段階で濃度が急に高くなっている。これは、サイホン出口の上部に水の流れがない滞留域が形成され、染料が一気に流れるものと仮定された。逆に、濃度の波形の出現が遅くゆるやかな波形が、滞留域を小さくすると考えた。

こうして結果検証すると、パターン NEW は濃度波形が低くてピークの出現も遅く、滞留域を小さくすることに効果的なパターンであると想定された。一方、パターン New と同様な堰上げ方式であるが、パターン8はピークの波形の出現が20sec～48sec と速かった。

以上の結果により、滞留域が形成されにくい堰止めパターンと考えられるパターン NEW と、類似しているがピークの出現が速いパターン8を含めて、三次元流速計にて結果検証することとした。

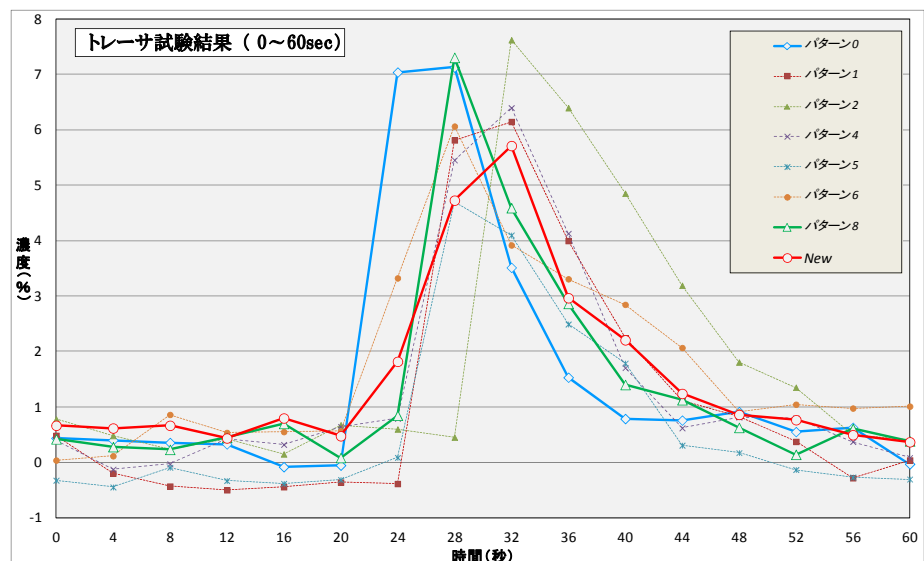


図-3 トレーサ試験による実験パターン及び結果

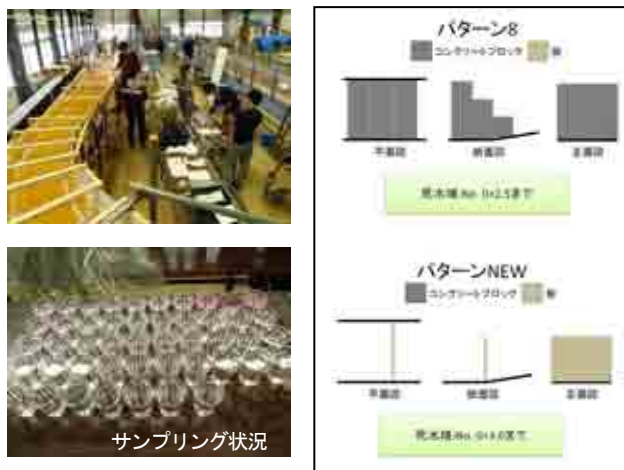


図-4 トレーサ試験の実施状況と代表的なパターン

(3) 三次元流速計試験

トレーサ試験の結果から、現況（パターン0）、ブロック3段積み（パターン8）、堰板（パターンNEW）の3パターンにて三次元流速計による実際の滞留域を形成する流れを可視化することを試みた。計測方法は、図-5のように、縦断方向に6断面（section）、横断方向に3測線、深さ方向を4～8区分して計測した。

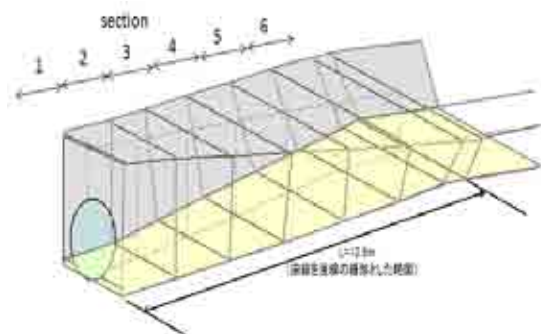


図-5 三次元流速計の測定セクション断面図

(4) 流速計測結果

図-8～10に、セクション毎の流速分布を示す。各断面図は右側がサイホン出口であり、左側が下流の開水路である。図中の矢印は水流を流速ベクトルで表しており、流れの方向がイメージできる。この結果を見ると、図-6 パターン0（現況）は流心が底版近くであり、表面付近で逆流していることがわかる。

また、図-7 パターン8（ブロック3段）と図-8 パターンNEW（堰板）を現況と比較すると、下流方向への流心は水路表面に向かっていくが、特にパターン8はブロック積背面にて対流が起こっている様子がわかる。この結果により、パターンNEW（堰板）が背面の対流が少なく、最も水面での逆流を抑制することが出来ることがわかった。

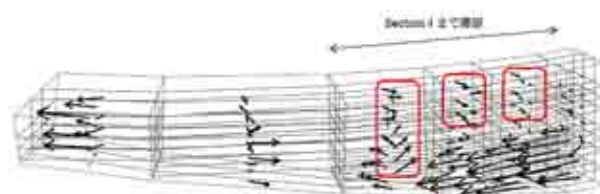


図-6 パターン0（現況）における流水ベクトル図



図-7 パターン8（ブロック3段）における流速ベクトル図

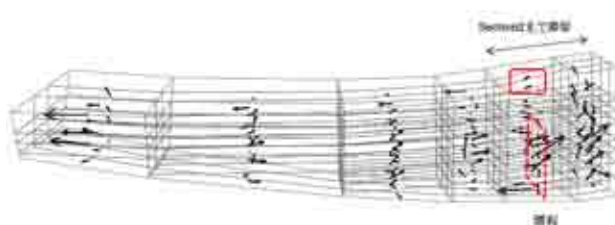


図-8 パターンNEW（堰板）における流速ベクトル図

6. 浮遊物処理方法の検討結果

以上の実験により、現況の滞留域を破壊し、浮遊物を流下させるには、サイホン出口の勾配変化点に堰板を設置し、流れの方向を上向きに変えることが有効であることがわかった。現場での対策としては、サイホン出口に堰板を設置した際の水面上昇と、サイホン入口のバックウォーターのに対する、水路壁余裕高のチェックする必要がある。また、実施工では堰板背面の土砂堆積や、浮遊物が水流に与える影響を考慮した対策を行うこととしている。

7. おわりに

今回の検討では、サイホン出口オープンランジションの浮遊物処理について、有識者の意見を踏まえながら対策方針としてとりまとめることができた。本報告が開水路における浮遊物処理の事例として、現場担当者の一助となれば幸いである。

謝辞：本検討を進めるに当たり、模型実験フィールドの提供及びデータとりまとめに関してご協力頂いた京都大学大学院農学研究科地域環境科学専攻水資源利用工学研究室、（株）都コンサルタント、紀伊平野農業水利事業建設所職員の皆様に心より感謝いたします。

フィルダムの嵩上げのための 技術的課題と最適設計法

李 永学¹・常田 賢一²

^{1,2}大阪大学大学院 地球総合工学専攻 (〒565-0871大阪府吹田市山田丘2-1)

近年の社会基盤施設の長寿命化などの社会的要請に応える姿勢として、既存施設の利・活用がある。例えば、異常気象による洪水、渇水に対して、既存ダムの嵩上げによる貯水容量の増加があるが、韓国では貯水池ダムの嵩上げが実施されつつある。本研究は、既存のフィルダムの嵩上げに付随する技術的課題を提示し、構造安定性、機能確保のための解決策として、新コア・旧コアのジョイント部の拡幅構造を提案する。そして、浸透流解析および地震応答解析により漏水性および耐震性を検証し、拡幅の構造的な有効性を示す。さらに、拡幅に伴うコストアップに対して、漏水を負の便益、漏水損失コストとして評価する方法を提示し、水の価値により拡幅が経済的にも成立することを示し、構造性と経済性から最適化を図る設計法を示す。

キーワード 既存ダムの嵩上げ、コアの拡幅、構造性の評価、経済性の評価

1. まえがき

韓国では、地球温暖化に伴う渇水あるいは洪水に対して、既存のフィルダム、農業用ため池ダム（以下、フィルダム）の嵩上げにより対処するプロジェクトが進行中である。他方、既存インフラの利・活用による長寿命化の流れにある我が国でも、将来、フィルダムなどの嵩上げは想定される。従って、フィルダムの嵩上げに伴う構造的課題を明らかにし、その解決策を検討することが緊要である。

本研究は、嵩上げに際しては、旧コアと新コアのジョイント部（以下、ジョイント部）が構造的、機能的な弱部になることから、旧コアの構造（幅、透水係数）を踏襲するのではなく、ジョイント部の強化のためにその拡幅を提案する。その場合、構造的、機能的な技術課題は、以下の通りであり、課題 1～3 の透水性に対しては非定常浸透流解析により、課題 4 の耐震性に対しては地震応答解析により、ジョイント部の拡幅の有効性を検証する。

課題 1：漏水量の抑制性

課題 2：水位低下時のコア内部の飽和度の残留性

課題 3：新コアの透水係数の影響

課題 4：ジョイント部の耐震性

一方、上記の課題に加えて、ジョイント部の拡幅に伴う工事費の増加に対して、以下の経済的な評価課題にも着目しているのが特徴である。

課題 5：ジョイント部の拡幅による工事費増加に対する経済性の評価

ここで、経済的評価では、漏水による“負の便益”を漏水損失コストとして定義し、拡幅に限った目的初期建設コストと漏水損失コストの合計である目的ライフサイ

表-1 鶏龍貯水池の諸元

諸元	嵩上げ前	嵩上げ後
型式	中央コア型アースフィルダム	
堤高	14.30 m	17.10 m
堤頂標高	60.49 m	64.40 m
堤頂長	288 m	300 m
堤頂幅	6.00 m	6.00 m
計画高水位標高	60.95 m	62.00 m
満水位標高	59.43 m	61.00 m
有効貯水量	3,412,410 m ³	4,717,730 m ³

クルコストにより、ジョイント部の拡幅の経済評価法を提示し、水の価格によりジョイント部の拡幅が経済的に成立することを明らかにする。

以上、本研究は、既存のフィルダムの嵩上げに際して、構造安定性および経済性の両視点からジョイント部の拡幅の最適設計法を提示しており、将来の我が国における類似の嵩上げに有益な知見を提示するものである。

2. 対象フィルダムのモデル

(1) 構造諸元

検討対象は、実際に傾斜型コア構造で嵩上げされた韓国・忠清南道の鶏龍市北西部に位置する鶏龍貯水池である。鶏龍貯水池の諸元を表-1 に示すが、韓国において嵩上げが既に完了しているゾーン型アースダムのうち、鶏龍貯水池は堤体の基礎的データの入手が容易であったため、検討対象として選定した。

(2) ジョイント部の拡幅

鶏龍貯水池の堤体の FEM モデル図を図-1 に示す。なお、新設コアの構造は韓国における嵩上げ施工の設計基

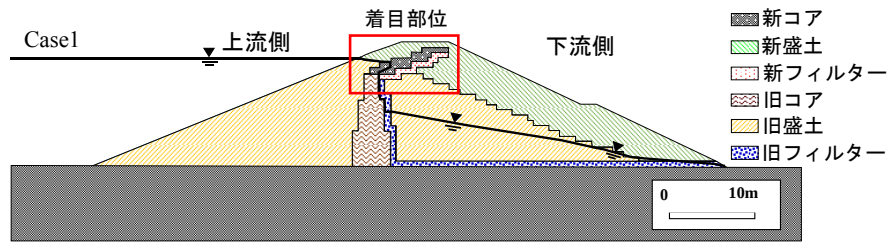


図-1 堤体のFEMモデル

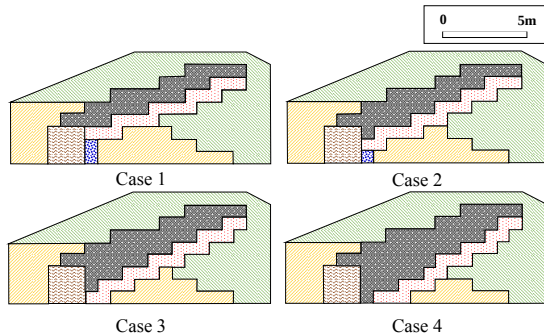


図-2 各ケースにおける注目部位付近の拡大図

準りにより決定されているが、嵩上げ後の堤高が 30 m 未満の場合、新コアの幅は 1.5~3.5 m と定められており、鶏龍貯水池での幅は 2m である。

本研究では、特にジョイント部が構造的な弱部であることに着目して、図-2 に示すように、浸透流解析および地震応答解析ともに、新コアの規模を 4 種類に変化させて、パラメトリックスタディを実施した。ここで、旧コアと新コアの接続方法は、鶏龍貯水池で実施された Case 1 のモデルを基本ケースとして、旧コア天端から下流側側面に接する堤体部分(盛土部分とフィルター部分)を下方へそれぞれ 0.7 m (Case 2), 1.4 m (Case 3), 2.1 m (Case 4) の深さまで掘削した後、新コアの天端の位置と幅は変えないように、新コアを拡大する拡幅構造を模擬した。また、FEM モデルの要素は、浸透(コアやフィルターの狭い幅と関係する透水性)および動的解析における誤差を最小化するため、すべて 1 辺 0.7 m の格子とした。なお、要素規模の影響を確認するため、格子規模を 1 辺 0.35m に細分化した場合も比較計算したが、堤体の浸透量は 1 辺 0.7m 格子の場合と約 3% の差異であったので、本文では 1 辺 0.7m の格子によるモデルを用いた。

3. 透水性とジョイント部の拡幅の有効性

本章では、動的解析に先立って非定常浸透流解析を行い、堤体内での浸潤線の変化を評価した。

(1) 不飽和浸透流解析

本検討における浸透流解析では、ダム上流側の水位変動による不飽和堤体の挙動を把握するために、非定常

表-2 使用物性値

材料	透水係数 k (m/s)	不飽和状態での土壌水分特性			
		残留体積 含水率 θ_r	飽和体積 含水率 θ_s	α (1/m)	n
旧盛土	2.00×10^{-6}	0.221	0.565	1.470	6.656
新盛土	5.75×10^{-7}	0.221	0.565	1.470	6.656
旧コア	1.14×10^{-7}	0.078	0.535	4.760	1.248
新コア	3.11×10^{-8}	0.078	0.535	4.760	1.248
旧フィルター	1.00×10^{-5}	0.000	0.365	5.478	1.629
新フィルター	5.45×10^{-5}	0.000	0.365	5.748	1.629
基礎地盤	5.00×10^{-11}	0.078	0.535	4.760	1.248

解析とした。堤体は不飽和状態であると仮定し、上流側の水位を低水位(6.8 m)から計画高水位(14.7 m)まで 10 日間で上昇させ、堤体内の浸潤線の位置が安定するまで高水位の状態を維持した。

a) 使用物性値

浸透流解析に用いた鶏龍貯水池の堤体材料物性値を表-2 に示す。嵩上げ部分(コア、盛土およびフィルター)の透水係数は実際に鶏龍貯水池の嵩上げ施工現場で得られたデータを使用している。一方、既存部分は築堤から 50 年が経過しており、盛土内の細粒分が水中に流出している等の原因から、盛土材料とコア材料の透水係数の値が上昇していると推測される。そのため、既存盛土材料については、比較的最近、建設された韓国の農業用アースダム 4 箇所における各々の盛土材料の透水係数²⁾の平均値を使用した。さらに、既存コア材料は、ダムの老朽化試験に関する既往の研究³⁾を参考に、韓国の農業用アースダム 3 箇所(上述した 5 箇所とは別のアースダム)における透水係数の変化記録に基づき、50 年前に記録された鶏龍貯水池におけるコア材料の透水係数と比較して、その透水係数を推定した。

(2) 漏水量の抑制性

本節では、コアの拡幅構造について、パイピングのリスク、新コアの浸透量およびジョイント部での流速を検討した。パイピングの検討では、図-3 に示すように堤体の中心軸から流れる浸透量と下流斜面での動水勾配に着目した。

表-3 に浸透解析の結果を示すが、Case 1 ではパイピングの安全基準⁴⁾(動水勾配 0.5 以下)を満足している。また、コアの拡幅規模が増加するのに伴い、各 Case での浸透量と動水勾配は徐々に減少することが分かる。

一方、新コア(長さ約 10 m, 図-4 参照)を通過する

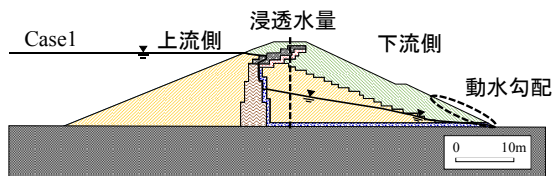


図-3 浸透水量および動水勾配の評価位置

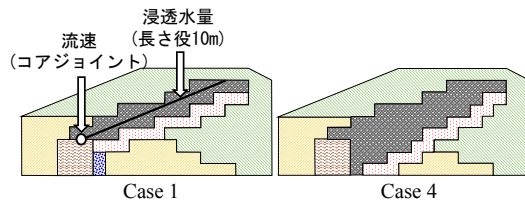


図-4 新コアの浸透量と流速の評価位置

表-3 浸透解析から検討した結果

検討位置	堤体の中心軸	下流斜面	コアジョイント	新コア
項目	浸透水量 (m ² /d)	動水勾配	流速 (m/s)	浸透水量 (m ² /d)
Case 1	1.92×10^{-1}	0.25	6.72×10^{-08}	9.61×10^{-8}
Case 2	1.85×10^{-1}	0.25	6.34×10^{-08}	8.94×10^{-8}
Case 3	1.80×10^{-1}	0.23	4.48×10^{-08}	7.31×10^{-8}
Case 4	1.68×10^{-1}	0.22	3.81×10^{-08}	6.32×10^{-8}

浸透量とジョイント部での流速について、コアの拡幅規模の増加に伴い大幅に減少する。例えば、Case 1 に対して Case 4 は、浸透量は 0.67 倍、流速は 0.56 倍である。

以上から、ジョイント部の拡幅により、浸透に対するパイピング抑制、漏水量の減少による機能向上が図られ、構造的な補強として有効であることが明らかになった。

(3) 水位低下時のコア内部の飽和度の残留性

本節では、水位が低下した状態における、ジョイント部の拡幅規模による飽和度の水準と範囲を検討する。図-5 は、高水位 (14.7 m) から低水位 (6.8 m) で水位が低下した後、水位が約 30 日間一定に維持された時点において、Case 1 と Case 4 を例示として、新コア部の飽和度分布を示す。同図によれば、特に新コア部の飽和度は、Case 4 に示されるように、新コア部の拡幅に伴い、高い飽和度で残留する領域が広くなることが分かる。ここで、乾燥期など、水位が低下した状態において、新コア内部の飽和度が低くなると、地震動などに対して脆弱になる恐れがあるため、高い飽和度の残留は、ジョイント部、新コアの脆弱化の抑制といった構造的安定性の確保が期待できる。この点からも、ジョイント部の拡幅の有効性が示唆される。

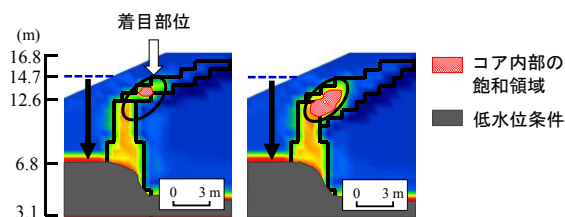


図-5 水位低下時のコア内部の飽和度の残留性

(4) 新コアの透水係数の影響と評価

通常、新コアの透水係数は旧コアのそれ以下にするが、新コアの透水係数は嵩上げの施工費あるいは施工性と関連し、仮に設計条件が緩和できれば、材料の選定の幅が広がり、作業効率の向上が期待できると思われる。そのため、本節では、旧コアに対する新コアの透水係数の変動が漏水量に及ぼす影響を把握し、新コアの透水係数の設計範囲について考察する。

本研究で対象の貯水池ダムを始め、一般的にコアの設計透水係数は 1×10^{-6} m/s 以下とされている。ここで、コアに使用される土の透水係数は、土の特性 (粘土の含有率) と締固めに関連し、施工費や施工性に影響する。本文で、新コアの透水係数の範囲の拡大に着目する理由は、次の 2 点である。

- 新コアのゾーンは堤体の上段に位置しているので、水圧によるコアへの影響が旧コア部に比べて、比較的小さいこと。
- 新コアの設計透水係数が旧コアのそれより大きくとも、貯水池堤体に要求される許容浸透量 (例えば、貯水量の 0.05%) を満足すれば、浸透量の増加は或る程度許容できること。

そのため、本研究では、表-4 に示すように、鶏龍貯水池の旧コアの透水係数 (k_{old} : 1.14×10^{-7} m/s) を基準として、新コアの透水係数 (k_{new}) の旧コアの透水係数 (k_{old}) に対する比率を 0.3, 0.5, 1, 5, 10, 20, 40, 60, 80 と変化させ、FEM 浸透解析により各比率ごとの浸透量を検討した。

表-4 は、浸透解析における Case 1 の場合の透水係数の比率と浸透量の結果である。ここで、縦軸は透水係数の比率が 1 である時の浸透量により、他の比率での浸透量を正規化 (以下、正規化浸透量と呼ぶ) した。Case 1 と Case 4 の結果を対比して図-6 に示す。両図によれば、Type 1 (比率 0.3) から Type 3 (比率 1) までと、Type 4 (比率 5) から Type 9 (比率 80) とは、分布傾向が異なる。そのため、本検討の目的である、1 以上の透水係数の比率と正規化浸透量の関係は、Case 1 が破線の log 曲線、Case 4 が実線のそれで近似し、それぞれ式 (1a) および (1b) で定式化した。

$$\text{Case 1: } y = 0.0401 \ln(x) + 0.9985 \quad (1a)$$

$$\text{Case 4: } y = 0.0242 \ln(x) + 1.0014 \quad (1b)$$

ここに、 y : 正規化浸透量、 x : 透水係数の比率

ここで、例えば、透水係数の比率 1 における浸透量に対して 10% 増まで浸透量を許容できるとすると、正規化

表-4 Case 1 における浸透解析の適用条件と結果

Case 1	k_{new} (m/s)	k_{old} (m/s)	比率 $\frac{k_{new}}{k_{old}}$	浸透水量 (m ³ /d)	正規化
Type 1	3.11×10^{-8}	1.14×10^{-7}	0.3	58.76	0.98
Type 2	5.70×10^{-8}	1.14×10^{-7}	0.5	59.07	0.99
Type 3	1.14×10^{-7}	1.14×10^{-7}	1	59.82	1.00
Type 4	5.70×10^{-7}	1.14×10^{-7}	5	63.66	1.06
Type 5	1.14×10^{-6}	1.14×10^{-7}	10	65.19	1.09
Type 6	2.28×10^{-6}	1.14×10^{-7}	20	66.67	1.11
Type 7	4.56×10^{-6}	1.14×10^{-7}	40	68.40	1.14
Type 8	6.84×10^{-6}	1.14×10^{-7}	60	69.52	1.16
Type 9	9.12×10^{-6}	1.14×10^{-7}	80	70.58	1.18

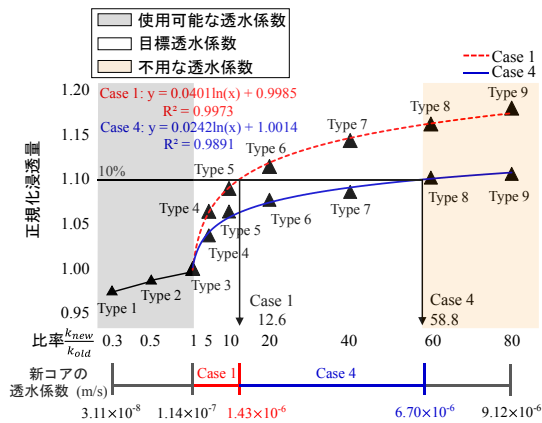


図-6 新コアの透水係数の緩和方法

した浸透量の 1.1 に対する透水係数の比率が求まるが、その比率は 1 より大きいので新コアの透水係数が緩和できることになる。その場合、例えば、図-6 に示すように、Case 1 では、新コアの透水係数は比率が 12.6 の 1.43×10^6 m/s まで、Case 4 でのそれは比率が 58.8 の 6.70×10^6 m/s まで設計範囲が拡大できる。さらに、Case 1 と Case 4 を比べると、Case 4 が Case 1 より約 4.68 倍まで透水係数を拡大できることが分かる。

以上において、正規化浸透量の上限值は、貯水池の浸透量の許容値 (=高水位での全体貯水量の 0.05%以下) を考慮して、5%増(1.05)、10%増(1.1)あるいは 15%増(1.15)などに設定すればよい。

以上から、今後の新コアの施工計画において、正規化浸透量を考慮して嵩上げる新コアの透水係数の緩和すると、コア用に使用できる土の品質条件が現在の基準よりも低くなり、貯水池周辺で利用可能な土取場の領域が増えたり、コア用の締固め車両(ローラーなど)の作業回数が減少され、結果的に新コアの施工で施工期間の短縮および施工性の効率を図ることが期待される。

4. 耐震性とジョイント部の拡幅の有効性

浸透解析で使用した解析モデルを用い、まず、正弦波を入力した動的解析を実施し、その結果を踏まえ、実際にフィルダムで観測された地震波形を入力し、ジョイント部の拡幅構造の耐震性を検討する。

(1) 正弦波入力と作用方法

a) 正弦波による特性

まず、正弦波の入力により、基本的な応答特性を把握した。堤体の地震時応答として、コア形状の影響が直接的に評価できるせん断応力分布に着目しており、検討位置としてジョイント部で発生したせん断応力を対象とした。正弦波の加速度振幅は、設計水平震度 0.1584 で設計されている鶏龍貯水池に基づいて 150 Gal とし、周期は算出したダムの固有周期の 0.16 秒を用いた。

表-5 使用物性値

材料	粘着力 c (kPa)	内部摩擦角 ϕ (deg.)	湿潤重量 γ_t (kN/m ³)	飽和単位重量 γ_{sat} (kN/m ³)	ポアソン比 ν	せん断弾性係数 G_0 (kPa)	弾性係数 E (kPa)
旧盛土	31.00	30	19.70	21.02	0.35	1.06×10^5	2.46×10^5
新盛土	16.70	24	18.25	19.42	0.35	1.06×10^5	2.46×10^5
旧コア	26.00	12	19.28	21.38	0.45	9.00×10^4	2.20×10^5
新コア	34.30	9	17.65	19.57	0.45	9.00×10^4	2.20×10^5
旧フィルター	0.00	33	18.63	19.63	0.33	1.06×10^5	2.46×10^5
新フィルター	0.00	33	18.63	19.63	0.33	1.06×10^5	2.46×10^5
捨石	0.00	45	22.56	22.56	0.23	7.22×10^5	1.61×10^6
基礎地盤	18.19	35	20.62	22.00	0.30	2.61×10^6	6.00×10^6

b) 使用物性値

動的解析に際し入力した堤体材料物性値を表-5に示す。基礎データは、農漁村公社によって提供された物性値を使用している。弾性係数は、鶏龍貯水池と規模・形式・堤体の高さが類似した日本のダム実績⁹⁾を参考にして算出した。各材料の動的変形特性(G/G_0 , $h \sim \gamma$ 曲線)は、堤体の全材料(盛土, コア, フィルター, 捨石)の動的変形特性に基づき、佐藤ら⁷⁾により同定された日本のアースダムにおける地震観測記録に基づく動的変形特性を適用した。

c) 解析結果

図-8(a) (後述) に、ジョイント部において生じるせん断応力絶対値の変化を示す。正・負が同じ振幅である正弦波の入力に対して、下流側の応答時と上流側の応答時で堤体あるいはコアのせん断応力に差異があるのは、非対称なコアの構造に起因しているためと推察される。すなわち、新コアは下流側に傾斜しているため、下流側への作用時は新コアが下流側に変形しやすくなる。

(2) 地震動入力と作用方法

入力地震動は、日本における内陸地殻内地震発生時の、フィルダムでの観測波形を適用した。具体的には、権現ダム波(1995 年兵庫県南部地震)⁵⁾、箕面川ダム波(1995 年兵庫県南部地震)⁵⁾、荒砥沢ダム波(2008 年岩手・宮城内陸地震)⁶⁾、石淵ダム波(2008 年岩手・宮城内陸地震)⁶⁾の 4 波形を採用している。なお、本研究では、上述の 4 波形について、それぞれ正転波(採用したオリジナル波形)と反転波(採用波の正負を逆にした波形)を入力している。なお、堤体の動的応答評価は、ジョイント部およびその付近のせん断応力に着目して行った。図-7 に入力地震動の検討位置および解析結果を示す。ここで、地

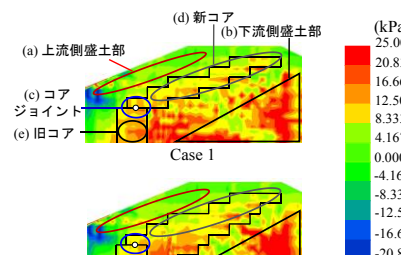
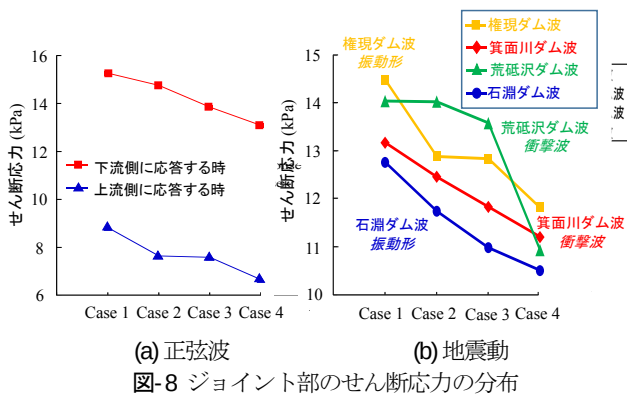


図-7 せん断応力の検討位置および解析結果(権現ダム波)



震動の作用方向は、正弦波の解析結果に基づき、正転波および反転波のいずれの場合も、下流側への作用時のせん断応力の分布に着目している。

(3) ジョイント部および周辺堤体の耐震性

解析は全32ケースであるが、本文では権現ダム波(正転波：150 Gal)のCase 1とCase 4の比較を図-7に例示する。同図において、上流側盛土部(a)では、せん断応力がごく僅かであり、ジョイント部の拡張による影響が見られなかった。反面に下流側盛土部(b)に作用するせん断応力は大きく、ジョイント部の拡張によってせん断応力が少し増加する傾向が見られる。その理由は、傾斜型コアのしたに位置している盛土部がコアの拡張によって圧縮応力が作用したと考えられる。一方、コア部においては類似なせん断応力の変化が見られた。具体的に、コアジョイントの拡張によって新・旧コアおよびジョイント部に生じるせん断応力は徐々に減少する傾向が確認された。

特に、本研究で着目しているCase 1～4のジョイント部のせん断応力の分布は、図-8(b)に示すように各ダム波形について減少度合いが一定ではないが、ジョイント部の拡張に伴い、全体的に減少する傾向が分かる。

以上から、ジョイント部の拡張は、耐震性の向上に有効であることが分かった。

5. ジョイント部の拡張の経済性の検討

本章では、ジョイント部の拡張に伴うコストアップに対して、水需要の観点から堤体での漏水量を漏水損失コストとして評価する経済性の評価方法を提示し、それにより経済評価を行うとともに、コアの最適設計法を検討する。

(1) 経済評価の方法

本研究では、式(2)によるジョイント部の拡張という特定の目的に限ったライフサイクルコストにより経済性の評価を行う方法を提示した。

$$OLCC = OICC + OLC \quad (2)$$

ここで、OLCC (Objective Life Cycle Cost)は目的ライフサイクルコストである。また、OICC (Objective Initial Construction Cost)は目的初期コストであり、図-9の着目部

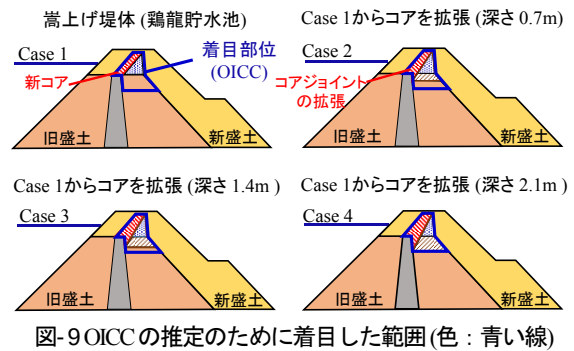


表-6 水の価値(例：韓国, 1 ウォン≒0.1 円)

項目	目的	水の価値 (ウォン/m³)
上水道 (Daejeon City Hall, 2014)	家庭用	560
	一般用	730
	浴用	630
	産業	775
	商業用	520
下水道 (Daejeon City Hall, 2014)	家庭用	390
	ビジネス用	450
	商業用	440
	浴用	490
	産業用	223
ダム水 (KWRC, 2014)	河川水	313
	沈降水	413
	精製水	50.3
	灌漑用	

位に関わる施工コスト(材料費+施工費)である。さらに、漏水は“負の便益”と見なせるが、本文では OLC (Objective Loss Cost)：漏水損失コストとして位置付けて、ライフサイクルコストの1つとして考慮することにした。

なお、漏水損出コストは、年数の経過による上昇を考慮した水の価値を考慮して、ダムの耐用年数である60年間の漏水量に基づいて総漏水損失コストとして算出した。ここで、水の価格は韓国の国家予算処 7)によって2013年に設定された物価安定目標2.5～3.5%の範囲を考慮して、3%を平均物価上昇率とした複利法に拠って各年の水の価格を設定した。

ここで、水の価値は、地域の特色、水管理環境、気象条件などにより変化し、現在(2014時点)の韓国での水の価値は表-6の状況にあるが、将来的には変動する可能性がある。そのため、本研究では、水の価格を変動させて、ジョイント部の拡張構造の経済性を比較した。

(2) 水の価値によるジョイント部の拡張の経済性

表-7は、目的ライフサイクルコスト(OLCC)をジョイント部の拡張構造 Case 1～Case 4 で比較した結果である。ここで、最適なジョイント部の拡張規模の判断は、Case 1のOLCCを基準として、少なくともそれと同一であるか、低額である場合、経済的であると判断した。同表のように、各CaseのOLCCの大小関係は、想定する水の価格により変動する。その際、変動パターンを決定する水の価格の基準値は、132, 150, 158, 168 および 216 ウォン/m³である。つまり、132 ウォン/m³以下、133-149 ウォン/m³、150-167 ウォン/m³、168-215 ウォン/m³ および 216 ウォン/m³以上の5パターンに分けた評価ができ、各パターンでの最適設計の拡張構造は、それぞれ、Case 1,

表-7 水の価格を考慮した目的ライフサイクルコスト(OLCC)によるジョイント部の拡幅構造の経済比較

水の価値	132 ウォン/m ³ 以下	133-149 ウォン/m ³		150-157 ウォン/m ³	
各Case間のOLCCの相対比較					
経済的に最適な順位	-	① Case 2		① Case 2 ② Case 4	

水の価値	158-167 ウォン/m ³		168-215 ウォン/m ³		216 ウォン/m ³ 以上
各Case間のOLCCの相対比較					
経済的に最適な順位	① Case 4 ② Case 2		① Case 4 ② Case 2 ③ Case 3		① Case 4 ② Case 3 ③ Case 2

--- Case 1のOLCC

Case 2, Case 2次いで Case 4, Case 4次いで Case 2, Case 4・Case 2・Case 3の順および Case 4・Case 3・Case 2の順となる。従って、水の価格が 158 ウォン/m³ 以上であれば、Case 4が経済的にも最適であることになる。

以上から、本文で提案した OLCC によれば、嵩上げあるいは本研究で提案するジョイント部の拡幅に対して、浸透性、耐震性の構造的な最適化に止まらず、経済的な最適化を図ることの可能性が明らかになった。

6. あとがき

以上、フィルダムの嵩上げに伴う技術的課題に対して、提案したジョイント部の拡幅構造の構造的な最適化と経済性による評価の結果、以下の知見が得られた。

- 1) ジョイント部・新コアの拡幅により、パイピング、コアジョイント部の流速および新コアの浸透水量が抑制され、構造的な安定性、機能の向上が図れる。
- 2) ジョイント部・新コアの拡幅により、水位低下時の新コア内部に残留する飽和度は、旧コアより高く、かつ飽和領域が広くなり、新コアの脆弱化の抑制が図れる。
- 3) 許容漏水量内において漏水量を緩和することにより、旧コアの透水係数以上の設計が可能となり、新コア材料の選定、施工性の向上が図れる。
- 4) ジョイント部・新コアの拡幅により、傾斜型コア構造の耐震性の向上が図れる。
- 5) 提案した漏水損失コストを考慮した目的初期建設コスト(OLCC)によれば、ジョイント部・新コアの拡幅に対して、構造的な最適化のみならず、経済的な最適化が可能になる。それによれば、水の価格により拡幅構造が経済的にも成立する。

謝辞：(公社)韓国農漁村公社から、本研究で解析に用いた現場調査データ及び基礎資料等貴重なデータの提供を

頂いた。また、経済性および耐震性の評価に際して、大阪大学大学院の貝戸清之准教授、秦吉弥助教、川口 潤君に御指導、御協力を頂いた。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (MLTM): Guidelines for Dam Design 2011, Korea Water Resource Association, 2011 [in Korean].
- 2) Kim, M. H., Lee, D. W.: Safety evaluations of reservoir embankment by instrument system, *Jour. of Korean Society of Agricultural Engineers*, Vol.50, No.2, pp.37-44, 2009 [in Korean with English abstract].
- 3) Kim, S.H. 2011. Research on the characteristics of aging effect in dam core material and hydraulic fracturing in homogenous dams by dismantling and investigating a real dam. *Korea Advanced Institute of Science and Technology*: 112p [in Korean with English abstract].
- 4) 国土技術研究センター：河川堤防の構造検討の手引き, JICE, No.111002, 46-47, 2012.
- 5) 猪股純, 安田成夫, 金銅将史, 佐野貴之, 吉岡英貴, 川崎秀明, 平山大輔, 稲垣謙司, 永山功, 山口嘉一, 佐々木隆, 富田尚樹, 佐藤弘行, 金縄健一：大規模地震に対するダムの耐震性能照査に関する資料, 国土交通省国土技術政策総合研究所資料, No.244, 192p, 2005.
- 6) 秦吉弥, 中村晋, 野津厚：本震観測記録を利用した地震動推定手法の精度とその向上策—2008 年岩手・宮城内陸地震における震源域を対象として—, 土木学会論文集 A1, Vol.69, No.2, pp.186-205, 2013.
- 7) National assembly budget office (NABO), 2013. Fiscal Outlook 2013–2017. pp71-75. [in Korean]

宮城県への災害派遣における技術提案と 今後に向けた提言

～南貞山運河河川災害復旧事業を通じて～

関 正造

兵庫県 加東土木事務所 河川砂防課 (〒673-1431兵庫県加東市社字西柿1075-2)

本論は、東日本大震災に伴う宮城県への災害派遣において、南貞山運河河川災害復旧事業で行った技術提案，ならびにこの災害派遣の経験を通じ，災害派遣の体制と被災地宮城に対し，今後に向けた提言を行うものである。

キーワード 災害派遣，技術提案，技術の連携・伝承，叡智の結集，復興の息吹

1. はじめに

2011年3月11日に発生した「東北地方太平洋沖地震」は、宮城県はじめ東北地方に揺れのみならず巨大津波をもたらし、本地震に伴う災害「東日本大震災」は、死者19,225人¹⁾，全壊住家127,830棟¹⁾という未曾有の広域スーパー災害となった。地震後、全国各地から多様な形で被災地への支援活動が展開されるなか、2013年10月から半年間、地方自治法に基づく災害派遣職員に任命され、宮城県仙台土木事務所(以下、「仙台土木」という。)で被災地宮城の復旧・復興業務に従事した。

本論では、仙台土木で従事した業務に取り組むなかで、直面した課題および課題解決のために行った技術提案に

ついて述べる。さらに、この災害派遣の経験を通じ，災害派遣の体制と被災地宮城に対し，今後に向けた提言を行う。

2. 従事した業務—南貞山運河河川災害復旧事業—

従事した業務は、仙台湾南部海岸の近傍に位置し、仙台空港に近接する名取川(なとりがわ)水系の一級河川「南貞山運河(みなみていざんうんが)」の河川災害復旧事業であった(図-1)。一定災で採択され、復旧延長4,895 m，実施保留解除額14,171,110千円という、これまで経験したことのない大規模な事業であった。



図-1 南貞山運河復旧計画平面図

3. 直面していた課題および解決への技術提案

(1) 貞山堀の概要

南貞山運河は、五間堀川(ごけんぼりがわ)から分流し、広浦(ひろうら)に流入する延長約5 kmの運河である(図-1)。南貞山運河を含む貞山運河は、総じて「貞山堀(ていざんぼり)」と呼ばれ、旧北上川河口から阿武隈川河口を結ぶ総延長46.4 kmに及ぶ我が国最長の運河である。伊達政宗が仙台城を築いた際、新田開発と船舶航路建設のため、運河開削に着手した経緯があり、南貞山運河は慶長年間(1597年～1601年)に開削を行っている。

現在は、歴史的に価値の高い文化財となり、新たな水辺空間として注目され、被災地宮城の復興のシンボルに位置付けられている(図-2)²⁾。

(2) 復旧方針

南貞山運河に隣接する仙台空港は、発災時に、以下の効果をそれぞれ発揮した。

①避難施設としての防災効果

巨大津波が襲来した際、仙台空港のターミナルに避難したことで、人々が命を取り留めた。

②物流施設としての経済効果

発災後33日目には、東京、大阪との間の臨時便がそれぞれ運航し、人の移動や物資の輸送など、復旧・復興活動に大きく寄与した³⁾。

以上より、仙台空港は極めて重要な施設で、南貞山運河復旧事業では“空港用地は掛けない”——つまりコントロールポイントとする——方針であった。

(3) 迎えていた局面

発災時から工事発注の要件となる「実施保留解除」までに約二年半(実施保留解除日：2013年9月12日)も要したため、急ピッチで事業推進する必要があった。

とりわけ、仙台空港に最も近接した箇所は、発注単位で最大規模の工区だったことから、工事発注に向けて仙台空港との近接協議を整えることが急務であった。



図-2 風光明媚な貞山堀【被災前】

(4) 直面していた課題

a) 仙台空港用地の突出箇所の存在

工事発注に先立ち、空港用地の範囲を再精査した結果、運河側に一部突出した箇所の存在が判明した。さらに、運河堤防の計画断面をそのまま通した場合、事業用地が空港用地に掛かることがわかった(図-3, 4)。

このままでは“空港用地は掛けない”とする宮城県の方針と齟齬が生じるため、空港用地を掛けない方策を見出すことが課題であった。

b) 仙台空港保安上の問題

運河堤防の裏法が空港用地に近接することで、運河堤防と空港フェンスとの離隔が狭まるとともに、空港フェンスと空港背後地との高低差が縮まる(図-4)。その結果、外部から空港フェンスを乗り越え、空港用地に侵入されるおそれがある。空港にとって、施設の保安はテロ対策上極めて重要で、運河堤防の計画断面をそのまま通すと、空港保安上重大な問題となる。

したがって、外部から空港フェンスを乗り越えて、空港に侵入されない方策を見出すことも課題であった。

(5) 提案した課題解決策

上記二つの課題の解決に際し「早期解決」を着眼点に、以下を満足するよう解決の方向性を思案した。

- ・仙台空港に関するあらゆる事項(権利、環境等)は、現状のままとする
- ・すべて当方が主体的に思案・実施し、合法的に費用も全額負担する
- ・これまでの宮城県の方針と合致する



図-3 仙台空港近接箇所平面図【当初計画】

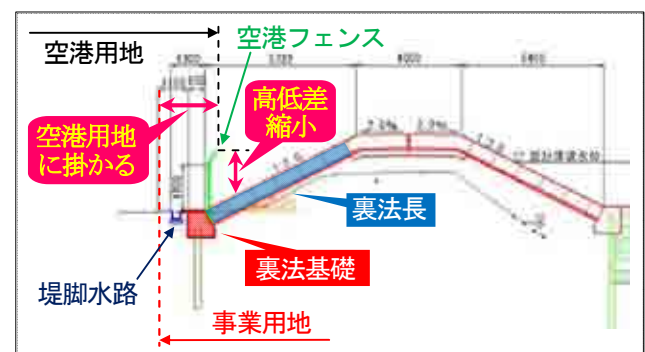


図-4 仙台空港近接箇所横断面図【当初計画】

この方向性に沿って思案した末，“運河堤防の「裏法基礎の大型化」＋「裏法長の短縮」の併せ技”を提案した（図-5、6）。

また、当初計画と本技術提案を定量的に比較したものを示す（表-1）。

この提案だと、前述した内容をすべて満足するとともに、以下の状況となるため、仙台空港としても何ら不具合はなく、事業推進できると考えた。

- ・当初計画より運河堤防の裏法長が短くなることで、当方の事業用地として空港用地は掛からない
- ・空港フェンスからの離隔および空港背後地との高低差も現状と変わらず、空港保安上も問題ない

(6) 提案した結果

本提案はあくまで私見であり、とくに本件のように対外的に物事を進める場合、事業者である宮城県の判断を仰ぐ必要がある。よって、宮城県の最終判断を仰ぐべく、宮城県庁で本提案の審議に臨んだ。

a) 宮城県河川課での審議

宮城県河川課での審議内容は、次のとおりであった。

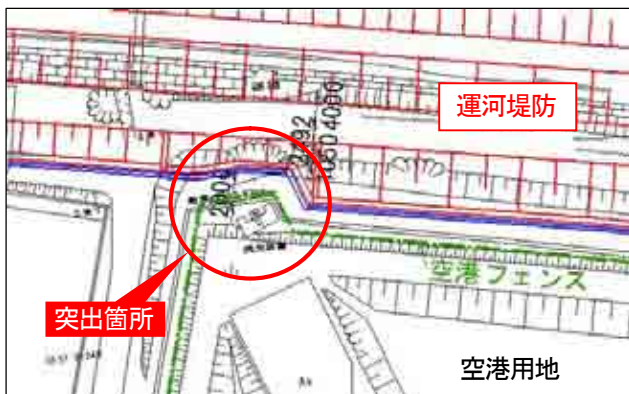


図-5 仙台空港近接箇所平面図【技術提案】

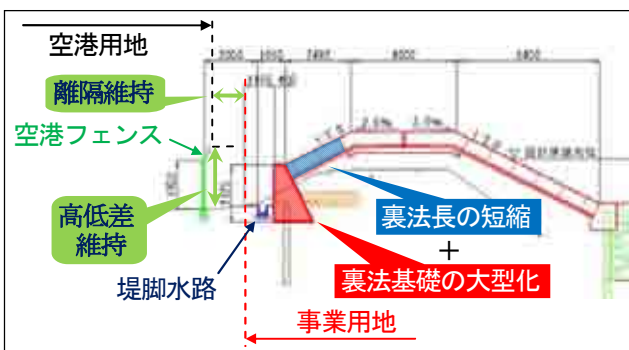


図-6 仙台空港近接箇所横断面図【技術提案】

表-1 当初計画と技術提案との比較

項目	当初計画 ①	技術提案 ②	差 ②-①	比率 ②/①
裏法基礎 横断面積	0.9 m ²	2.0 m ²	+1.1 m ²	2.2倍
裏法長	6.41 m	2.79 m	-3.62 m	0.4倍

①必要堤防断面が不足

→裏法基礎は特殊堤とみなせ、かつ土堤より強固なコンクリート構造のため問題なし

②堤脚水路がいわゆる2Hルール⁴⁾に抵触

→裏法基礎を特殊堤見合いに改変した結果、堤防断面の影響範囲外とみなせるため問題なし

③景観上のギャップや背後地から裏法基礎を見た際の威圧感

→対象区間は20 m程度で、両岸延べ事業延長9,745 mに占める割合は、わずか0.2 %のため問題なし

以上より、本提案は宮城県河川課から承諾され、仙台空港との協議に進んだ。

b) 仙台空港との近接協議

次に、仙台空港との近接協議に臨んだ結果、本提案はすみやかに快諾され、この結果、事業進捗に遅滞なく、本提案で工事発注できる環境が整った。

4. 災害派遣で得た知見

宮城県への災害派遣を経験して得た知見は、次のとおりである。

①兵庫県で培ってきた技術的知識の適用性

本技術提案に至る思考プロセスは、すべて、これまでに兵庫県で培ってきた技術的知識に基づいている。

提案した結果が示すように、兵庫県で培ってきた技術的知識は、宮城県でも十分通用することがわかった。

②組織内における技術的知識の連携強化の必要性

私自身の反省点でもあるが、業務にまい進している反面、担当者個人の見識に偏重した傾向となっているため、他の職員との技術的知識の組織横断的な連携を強化する必要があることがわかった。

③ハード整備における“復興”要素の必要性

対津波機能が增強され、施設の機能は飛躍的に向上しているものの、施設の復旧に加えた復興の要素がハード整備に十分に反映されていないことがわかった。

5. 今後に向けた提言

(1) 災害派遣の体制および被災地宮城に向けて

前述の知見から、今後に向けて次のとおり提言する。

①これまでに培ってきた技術的知識を最大限適用

災害派遣によって他の組織で業務を行う場合でも、臆せずに、これまでに培ってきた技術的知識を最大限適用し、物事を進めることが肝要である。

実際、われわれ技術系職員は、各種技術基準等に基づき構造物を設計・施工し、完了検査や会計検査等へも対

応していることから、組織が異なる場合でも、技術的事項に関する考え方の乖離は少ないと考える。

②体系的に“技術の連携・伝承”が行える体制の構築

とくに、派遣職員を要して災害復旧事業に取り組む場合は、組織内で技術的知識の連携や継承を体系的に行う体制を構築すべきである。

災害派遣は、限られた期間で次々と派遣職員が入れ替わるのが常である。その際、これまでに蓄積された技術的知識が途切れる可能性もあり、そのような事態は未然に防止する必要がある。また、派遣職員は、限られた派遣期間で一定の成果達成にまい進するため、不慣れた環境でも、あらゆることに、とくに迅速に対応していかななくてはならない。

そこで、災害派遣時の業務体制フローを構築し、業務に取り組むことを提案する（図-7）。

この業務体制フローで取り組むことで、前述した事項の対応策になるとともに、これまでの提案事例を参考とすることで、直面した課題解決策として提案事例を適用したり、解決策のヒントにもなる。さらに、技術者としての知識や経験値も向上する。

以上より、この体制を構築し、組織的に継続して取り組むことで“技術が好循環”を成し、よりよき内容で、より迅速に災害復旧事業が推進すると考える。

③景観に配慮した護岸仕様の採用

貞山堀の風光明媚な景観の再生に向けて、護岸は景観に配慮した仕様に改良すべきと考える。

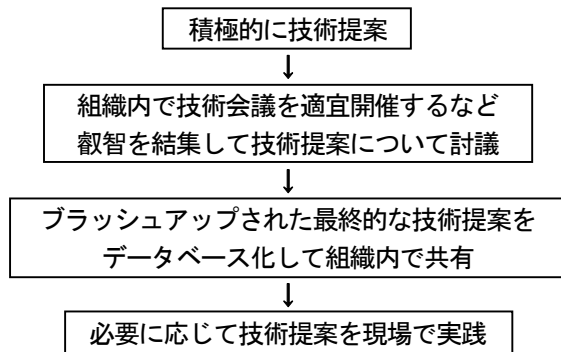


図-7 災害派遣時における業務体制フロー【案】

実例として、南貞山運河の近隣で国交省が代行施行している海岸堤防は、人目に触れる堤防裏法の護岸を擬石仕様としている（図-8）。あるいは、堤防表面の覆土式の実例として、近隣の岩沼海岸では、国交省が「緑の防潮堤」の整備を行っている（図-9）。これら景観への配慮は、地域に賑わいや安らぎが戻る復興の要素であり、被災地復興のため、この災害復旧事業を契機に、後世に残る景観に配慮した護岸仕様に改良すべきと考える。

ハード整備を通じてインフラに“復興の息吹”を吹き込むことに技術者としての価値があり、それは地域の復興に寄与するとともに、技術者の気概にもなる。さらに、地域住民との合意形成の促進にも繋がり、さまざまな相乗効果も生まれると考える。

(2) 提言に関するその後

前述した提言③に関し、その後の状況を述べる。

今年2月に仙台土木を訪問し、現場も視察する機会に恵まれた。その際、後任の兵庫県派遣チームが担当する中貞山運河(なかにいざんうんが)において、運河堤防の覆土式を具現化していた（図-10）。

現在、覆土式の施工方法を現場で試行錯誤中で、施工方法と歩掛かりが確立し次第、宮城県全土に配信し、各所で展開するとのことだった。

私の提言が継承され、具現化されたことは、まさに技術の連携・継承が実践された証であり、このうえない喜びである。



図-9 緑の防潮堤



図-8 景観に配慮した海岸堤防の護岸



図-10 中貞山運河における堤防表面の覆土式【試行中】

6. おわりに

今後、地球温暖化の進行等に伴い、自然災害の頻度増および激甚化が予想される。実際、昨年度では、洪水・土砂災害(丹波市)、大規模土砂災害(広島県)、御嶽山の噴火(長野県)ならびに爆弾低気圧など、多種多様で大規模な自然災害が多発し、多数の犠牲者も出た。今年度も、地震が頻発したり、火山活動が活発化している。さらに、発生が懸念される巨大災害として、南海トラフ巨大地震や首都直下地震があり、これらの状況を踏まえると、今後、全国的に災害派遣の機会増や長期化が予想される。

そうなった場合、被災者が“実感できる”復興となるよう、われわれ技術者は“戦略的に”ハード整備に取り組み、復興の“見える化”を実践しなければならない。

その際は、技術の連携・伝承によって“技術の絆”を深め、災害復旧・復興業務にまい進すれば、必ずやよりよき内容で事業推進するとともに、そうすることが技術者の責務だと考える。

参考文献

- 1) 総務省消防庁災害対策本部：平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震(東日本大震災)について(2015年3月1日現在)(第151報) p4
- 2) 宮城県土木部河川課：第2回貞山運河の景観デザインに関する学識者意見交換会資料(2014年2月7日) p3
- 3) 社団法人日本損害保険協会：東日本大震災と仙台空港の復旧(そんぽ予報時報2012vol.249) p21
- 4) 建設省治水課：堤内地の堤脚付近に設置する工作物の位置等について(1994年5月31日建設省河治発40号治水課長通達)

航空レーザ計測を用いた 山腹工の整備効果（木津川砂防）

西條 俊和¹・中島 一也²

¹ 木津川上流河川事務所 工務課（〒518-0723 三重県名張市木屋町 812-1）

² 紀ノ川ダム統合管理事務所 猿谷ダム管理支所（〒637-0408 奈良県五條市大塔町辻堂）

今回の発表は、木津川上流域の禿^{とく}禿^{しゃち}地を対象に施工されてきた砂防山腹工について、高密度航空レーザ計測を用いて解析を行い、施工地の植生回復状況を把握した事例を報告する。今回の調査手法は、現地での調査に比べ作業効率が大きく向上することから、全国的に展開している砂防山腹工の整備効果を把握するための一助になるものである。

キーワード：新手法 整備効果 植生回復

1. はじめに

本研究で対象とした木津川上流域は、一級河川淀川水系木津川の上流域として、三重県と奈良県にまたがった約700km²の地域である（図-1）。

この地域は、かつて薪炭材^{しんたんざい}や神社仏閣の用材の乱伐が繰り返され、広範囲に禿^{とく}禿^{しゃち}地が分布する荒廃山地であり、豪雨時には多量の土砂生産・流出、河床上昇が生じて土砂災害や洪水氾濫が頻発していた。



図-1 対象流域の位置

このため、明治初期の淀川洪水氾濫災害を契機とし、明治11年より木津川上流域で直轄砂防事業が開始され、山腹工を主体とした砂防工事が実施されてきた。

山腹工とは、表土が流出して植物が成長し難い斜面を、成長し易い斜面に改良し（積苗工）、植栽樹木を混植（ヒメヤシバシとクロマツ）することにより樹木が回復し、安定した山腹を復元させる工法である（写真-1、図-2）。明治から昭和30年代までに施工された山腹工の面積は、延べ2,500haを超えて



写真-1 禿^{とく}禿^{しゃち}地に対する山腹工の施工状況（昭和25年）

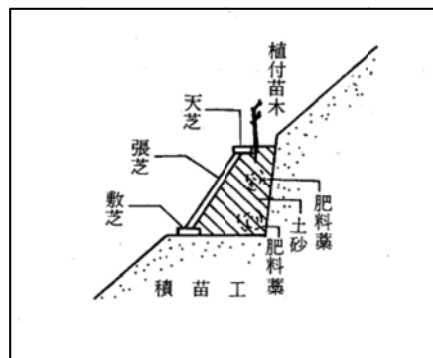


図-2 山腹工標準施工断面図

いる。

現在ではこの山腹工の効果により、大規模な禿^{とく}禿^{しゃち}地は大幅に減少していることを空中写真判読調査等により確認しているが、山腹工の施工箇所における

植生の具体的な回復状況について、定量的に調査されたことはなかった。

本研究では、航空レーザ計測による解析という新しい手法を用いて、植生の量・質の回復状況を把握し、山腹工による土砂発生抑制効果についてとりまとめを行ったものである。

2. 航空レーザ計測による調査と指標値設定

対象流域内の代表的な山腹工施工地において、航空レーザ計測を実施した（図-3）。

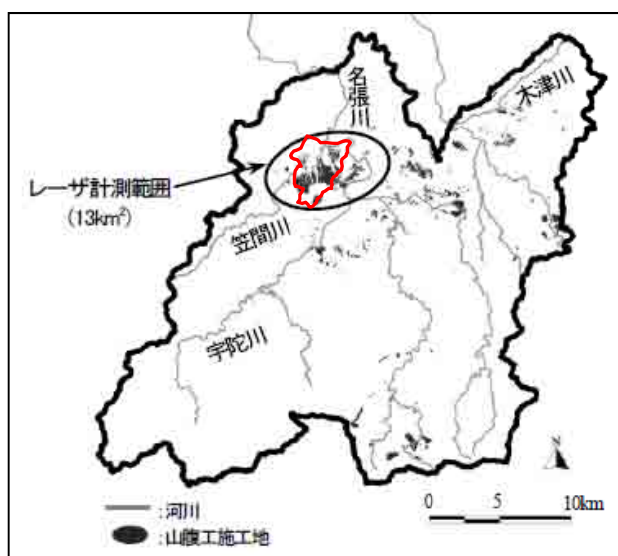


図-3 対象流域と航空レーザ計測範囲

航空レーザ計測は、樹林状況を詳細に把握するため、高密度照射（照射密度：1m×1m あたり8点以上）で実施した（図-4）。

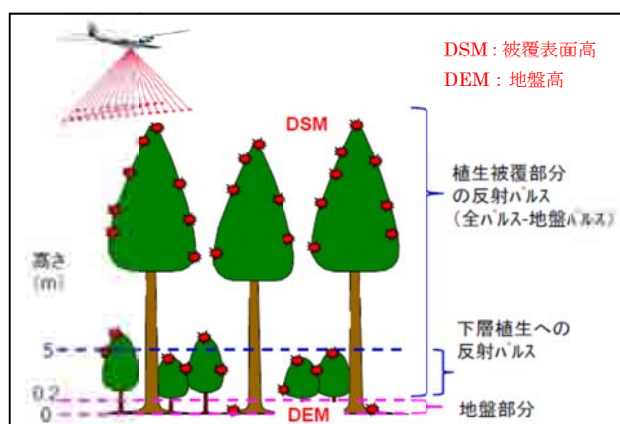


図-4 航空レーザ計測の概念図

航空レーザ計測データを用いた解析では、施工地の植生回復状況の指標として、「植生被覆率」「樹高」「下層植生の発達状況」を5mメッシュ単位で定量的に把握した。それぞれの指標値のデータ設定は、以下のとおり。

「植生被覆率」：全照射パルスのうち地盤に到達しなかったパルスの比率（%）

「樹高」：DSMデータとDEMデータの差分（m）
DSM(Digital Surface Model)
DEM(Digital Elevation Model)

「下層植生の発達状況」：地盤から0.2～5mの高さに分布する反射パルスの取得率（%）

また、樹林の階層構造について、中間層の反射パルスから把握した。

取得したパルスをグラフ上にプロットし、スギと広葉樹林の内部構造を可視化した一例を図-5に示す。

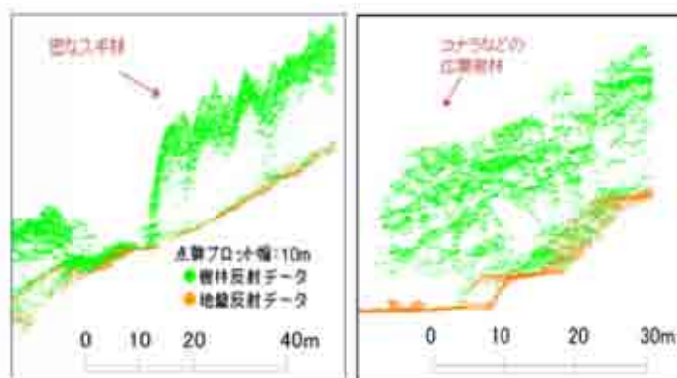


図-5 取得パルスのプロット図の一例

3. 調査結果

航空レーザ計測をもとに、山腹工施工地に回復する植生の「植生被覆率」「樹高」「下層植生発達状況」について解析した結果を以下に示す。

調査範囲を着色した図（図-6, 8, 10）は、5mメッシュ単位で各指標データの数値を色分けし、調査範囲全体の傾向を把握したもの、メッシュ数-指標値グラフ（図-7, 9, 11）は、各指標値における構成割合を示したものである。

また、航空レーザ計測データの精度を確認するため、代表的な箇所について現地調査を実施した。

(1) 植生被覆率

図-6 は、植生被覆率が80%以上を示したメッシュを緑色に着色したもの。人家、河川、ゴルフ場等は、植生被覆率が低いことがわかる。

図-7 は、メッシュ数と植生被覆率の関係をグラフで示したものである。

山腹工施工地では、その一部にゴルフ場等の開発地もあるが、施工地全体における構成割合としては、植生被覆率が80%以上を示しており、安定した樹冠をもつ樹林が生育していると思われる。

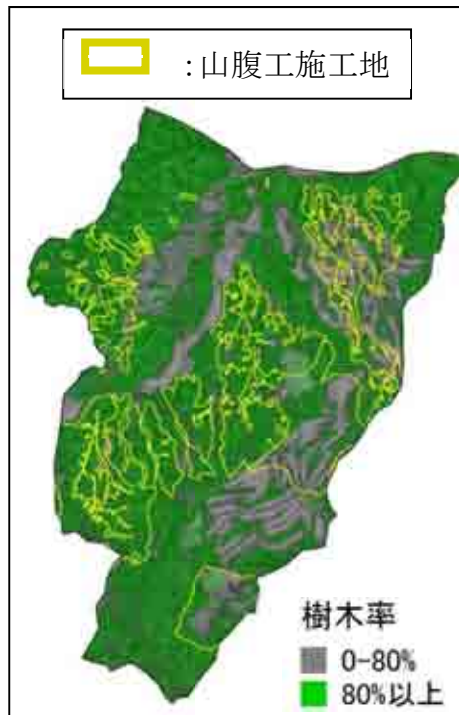


図-6 植生被覆率 区分図

(2) 樹高

図-8 は、15m以上の樹高を示したメッシュを緑色に着色したもの。

図-9 は、メッシュ数と樹高の関係をグラフ化している。

山腹工施工地では、15m以上の樹林が最も広範囲に分布している。樹高15m以上に達する高木は、施工地の65%程度を占めている。



図-8 樹高 区分図

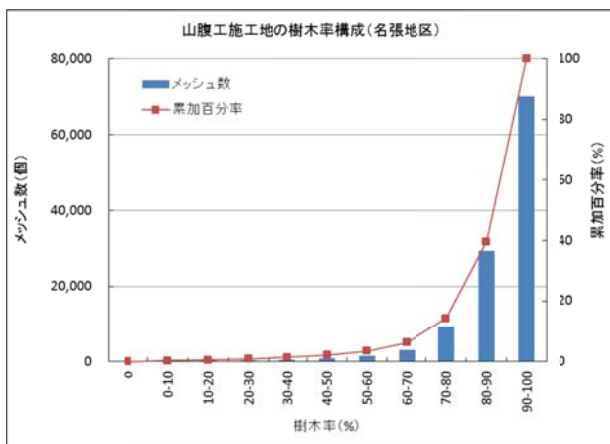


図-7 メッシュ数-植生被覆率 グラフ

(山腹工施工地の全メッシュ数: 116,243)

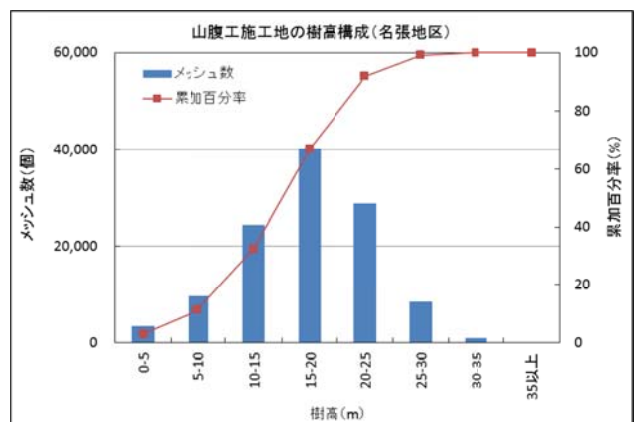


図-9 メッシュ数-樹高 グラフ

(3) 下層植生発達状況

図-10 は、下層植生からの反射パルスを取得したメッシュを緑色に着色したもの。

図-11 は、メッシュ数と下層植生の関係をグラフ化したものである。

山腹工施工地における下層植生の発達状況は、9割以上のメッシュで下層パルスが取得されていることから、樹林内に下草や低木が生育していることがうかがえる。



図-10 下層植生 区分図

(4) 現地調査によるデータの精度検証

航空レーザ計測により取得したデータの精度を確認する為、現地調査を実施した。

代表地点の取得パルス断面と現地でのスケッチを照査した結果 (図-12)、計測データは樹林状況を良好に再現している事を確認した。

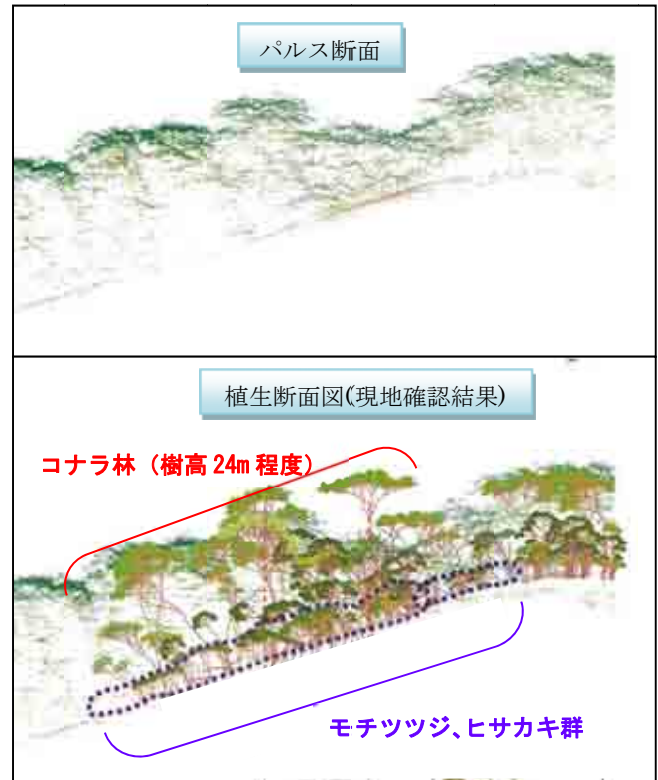


図-12 現地調査による照査

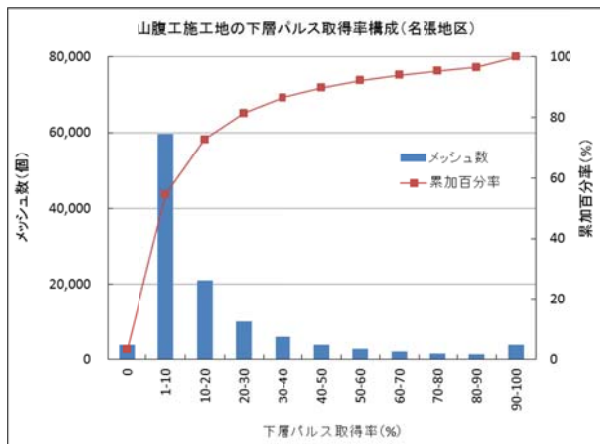


図-11 メッシュ数ー下層植生 グラフ

4. 山腹工施工後の経過年数と植生回復状況

既存資料より施工時期を特定することができた山腹工施工地を対象として、施工後の経過年数と樹木率及び樹高との関係をとりとまとめた（図-13）。

図中には、昭和20年代当時に禿禿地の履歴がある未施工地の結果も併記した。

施工後62年の山腹工施工地では、植生被覆率は85%以上を示し、樹高は10m以上の樹林が形成されている。

施工後80年以上経過すると、さらに植生回復が進み植生被覆率は90%以上、樹高は20m前後に達している。

また、施工後80年以上の施工地では、未施工地と比べると、植生被覆率が10%程度高く、樹高は10m以上高いことが確認された。

山腹工施工地では、経過年数とともに植生が順調に回復し、未施工地に比べ回復速度が速いと思われる。

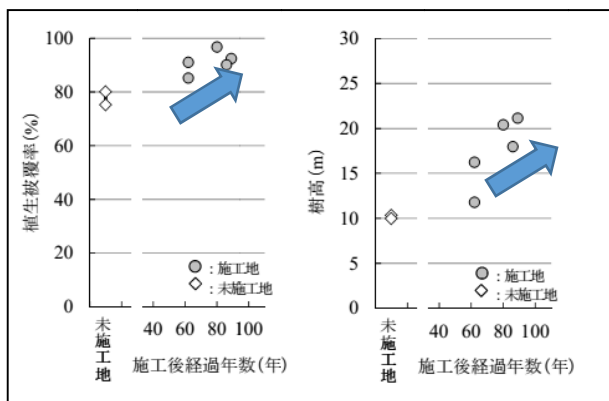


図-13 施工後の経過年数と樹林の成長

5. 樹林の階層構造

計測データにより得られた反射パルスデータをもとに、山腹工施工地に生育した樹林の階層構造を把握した結果を示す（図-14）。未施工地の状況も併記した。

施工後62年、80年の施工地では、高木層・亜高木層・低木層といった樹木が発達し、階層構造を形成していることがわかる。

62年では樹高20m程度で均一に樹冠閉鎖している状況が認められる。

80年では、樹冠にバラつきが生じ、植生遷移がみられる。

それに対し未施工地では、植生が回復してはいるものの、樹高が10m程度であり、施工地に比べ高木の成長が遅いことがわかる。

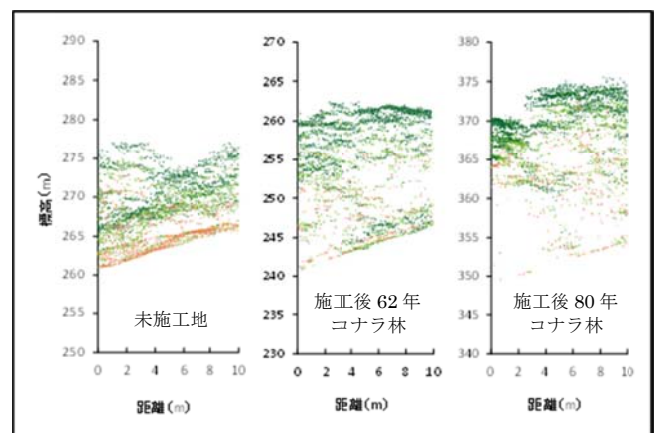


図-14 樹林の階層構造

6. 植生回復状況の評価

山腹工施工地では、その効果により植生が回復し、既往研究（安田ら 2009）で示された値（有害土砂流出のない樹林の植生被覆率 60%）以上の樹林が生育していることを確認した。

また、低木や下層植生も回復し、施工後に再荒廃することなく、現在では高木が生育するような緑のある山腹へと順調に植生回復していることがわかった。

さらに、その階層構造においてもコナラ高木を主体として発達しており、樹冠のバラツキから、順調に植生遷移が進行し、多様な樹種構成に移行している様子が確認できた。

これらのことから、施工後の経過年数とともに、土砂生産抑制効果の高い植生へと移行していると思われる。

7. 考察

木津川上流域では、山腹工工事によって、かつて禿禿地であった範囲に植生が回復し、施工後 60 年～80 年が経過した施工地では樹冠や樹高、健全で安定した階層構造が発達していることから、禿禿地からの土砂生産が相当程度抑制されていると推察される。

今回実施した高密度航空レーザ計測は、植生の回復状況を確認するうえで、十分なデータを取得し、詳細な解析に耐え得るものであるといえる。

しかしながら、樹冠が繁茂している樹林では、中間から下層パルスが取得しきれていないところも見受けられ、場所によっては現地調査を補足的に実施し、より詳細なデータを整理することが重要と思われる。

今後は、高密度計測による解析結果と、従来の航空測量データとの相関性を利用し、管内全体における広域的な植生状況や土砂生産抑制状況について、把握するための作業を進めていく等の大きな可能性がある。

謝辞：本論文は、関係する方々のご協力のもとに執筆出来たものであり、資料をご提供頂いたアジア航測（株）の関係者の方々に対し謝意を表します。

付録：^{とくしやち}禿禿地とは禿げ山のこと。乱伐などにより斜面が風化し、降雨時には表土が流出する。

参考文献

- 1) 木津川砂防百年のあゆみ
- 2) 木津川水系砂防整備効果調査業務 平成 27 年 3 月
- 3) 木津川水系砂防整備効果調査業務 平成 26 年 3 月

北近畿豊岡自動車道の整備延伸に伴う但馬地域への影響について

関井 茂裕¹

¹近畿地方整備局 豊岡河川国道事務所 調査第二課 (〒668-0025兵庫県豊岡市幸町10-3)。

兵庫県の但馬地域は長らく高速道路空白地帯と言われており、京阪神との時間距離が長く、地域振興に課題があった。一方、当該地域では、コウノトリや山陰海岸ジオパーク、国家戦略特区（農業特区）など、地域の資源を活かした振興策に熱心に取り組まれているところであり、これら取り組みを支えるインフラとして北近畿豊岡自動車道の延伸整備は欠かせない。

本論文においては、現在まで整備されてきた北近畿豊岡自動車道による地域への影響を定量的に説明し、今後の整備延伸についての効果を示すものである。

キーワード 地域活性化, 整備効果, 定量的評価

1. はじめに

北近畿豊岡自動車道は、豊岡市を基点とし丹波市に至る延長約70kmの高規格幹線道路であり、兵庫県北部の但馬地域と丹波地域を直結し、さらには京阪神都市圏との連結を強化し、地域の活性化を支援する自動車専用道路である。

北近畿豊岡自動車道は、舞鶴若狭自動車道春日JCT・ICから整備を進めており、2005年7月4日17日及び2006年7月22日に春日和田山道路、2012年11月24日に和田山八鹿道路までが暫定2車線で開通した。現在、その延伸部となる八鹿日高道路、日高豊岡南道路において工事を、また、最北端の豊岡南～豊岡北区間においては早期事業着手を目指して、調査を鋭意進めているところである。

この道路整備による効果は渋滞解消や事故減少とどまらず、様々な方面の影響が現れており、例えば、京阪神圏との時間短縮による温泉やスキーなど自然を活かした観光産業の活性化、広大な地域を受け持つ唯一の第三次救急医療施設のアクセス向上に伴う地域医療の信頼性向上等が挙げられる。

本稿においては、こういった整備効果について様々な指標を用いて分かりやすく示すことにより、北近畿豊岡自動車道の地域に占める重要性・必要性について報告を行うものである。



図-1 北近畿豊岡自動車道の整備状況

区間	【春日和田山道路Ⅰ】 (起)兵庫県丹波市青垣町通坂 (終)兵庫県丹波市春日町野村	【春日和田山道路Ⅱ】 (起)兵庫県新米市和田山町市保堂 (終)兵庫県新米市山東町柴	【和田山八鹿道路】 (起)兵庫県養父市八鹿町高柳 (終)兵庫県新米市和田山町市保堂	【八鹿日高道路】 (起)兵庫県豊岡市日高町久斗 (終)兵庫県養父市八鹿町高柳	【日高豊岡南道路】 (起)兵庫県豊岡市上佐野 (終)兵庫県豊岡市日高町久斗
道路延長	24.4km	7.3km	13.7km	6.1km	9.7km
構造規格	第1種3級				
設計速度	80km/h				
車線数	4車線				
標準幅員	W=22.0m				
都市計画決定	-	-	2000年3月	2006年1月	2006年1月
事業化	1990年度	1992年度	1997年度	2006年度	2006年度
用地着手	1992年度	1994年度	2001年度	2010年度	2010年度
工事着手	1996年度	1998年度	2006年度	2012年度	2012年度
事業進捗	2005年4月 6.9km (水上IC～春日JCT/IC) 2006年7月 17.5km (遠坂トンネル有料道路境～水上IC) 暫定2車線開通	2006年7月 暫定2車線開通	2012年11月 暫定2車線開通	2016年度 開通予定	未定

図-2 北近畿豊岡自動車道の計画概要

2. 道路整備に伴う但馬地域への影響

北近畿豊岡自動車道は、但馬地域におけるミッシングリンクを解消し、舞鶴若狭自動車道、播但連絡道路、将来は山陰近畿自動車道と高速道路ネットワークを形成することにより、地域交通のみならず国土の骨格としての重要なネットワークとなるべく、舞鶴若狭自動車道の春日JCT・ICから豊岡方面に順次整備されているが、既に整備されている区間においてはその効果を発揮している。この章は、その効果及び整備延伸されることにより期待される効果について、道路利用者が受ける直接的な効果と、地域に波及する間接的な効果に分けて述べる。

(1) 春日JCT・IC～八鹿水ノ山ICの開通による整備効果

a) 直接的な整備効果

直接的な整備効果とは、道路利用者が直接受ける効果のことで、所要時間短縮、渋滞緩和、事故率の低減などが挙げられるが、北近畿豊岡自動車道においては図-3、図-4、図-5の通りである。

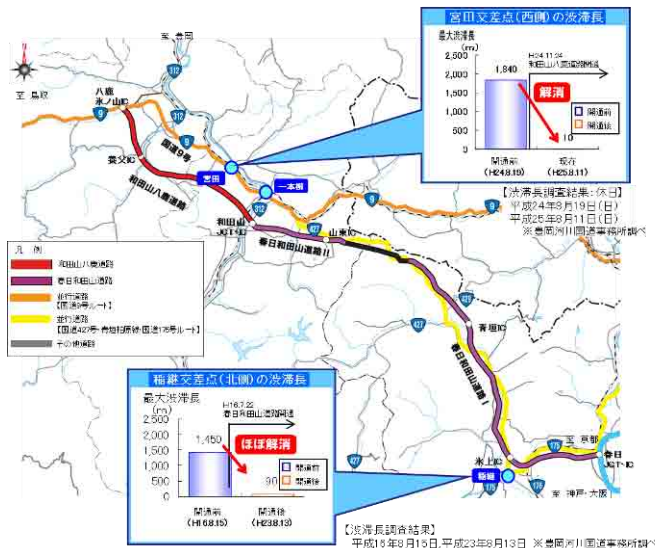


図-3 開通前後による渋滞長の変化

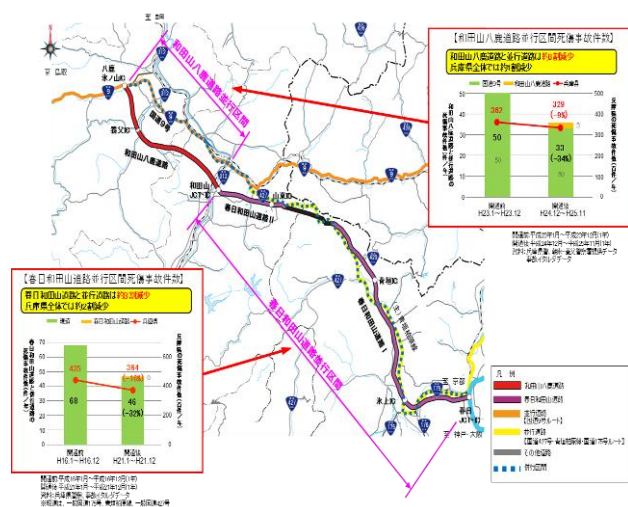


図-4 開通前後による事故率の変化

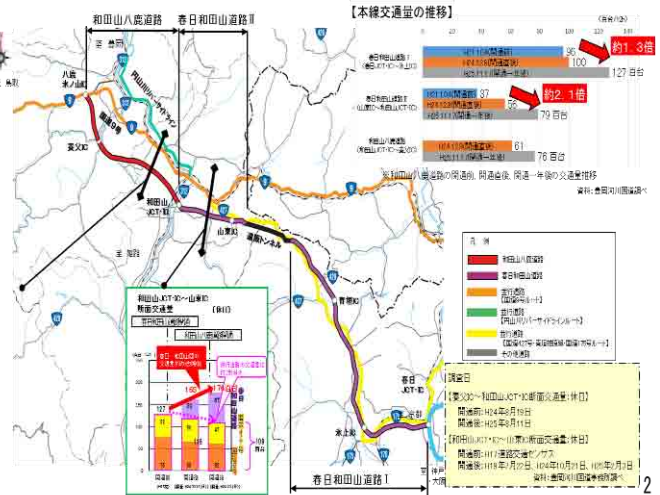


図-5 開通前後による並行路線の交通量の変化

並行路線においては、休日に発生していた1kmを越える渋滞の解消、死傷事故件数が2～3割減少し、北近畿豊岡自動車道の本線交通量が増加した事に伴い、並行路線の交通量が約2割減少するという交通の分担率の変化が見られた。

b) 間接的な整備効果

間接的な整備効果とは、道路整備により地域の利便性が向上し、民間等の経済活動が活発になったことにより地域にもたらされる効果のことで、例えば、物流の効率化、旅行者の増加等が挙げられる。

北近畿豊岡自動車道が通過しているのは、温泉、スキー、コウノトリの繁殖、山陰海岸ジオパーク等豊かな自然を活かした観光が魅力の但馬地域であるが、反面、人口減少・少子高齢化による地域経済の衰退の課題も抱えている。これら地域が持つ課題に対しどのように貢献しているのかを把握するため、関係団体・自治体へのヒアリング等を行い、代表的な指標を表-1として選定し、各々の効果を整理した。

表-1 間接的な整備効果の評価指標

観 点	内 容
地域・産業振興	名産品の都市圏への出荷量
企業立地	道路整備に伴う企業進出
観光振興	観光地への入り込み客数
医療貢献	救急医療施設へのアクセス
防災	災害緊急時の代替路

地域・産業振興面については、但馬を代表する名産品であるブランド「松葉ガニ」と呼ばれるズワイガニの出荷量について、その関連性を整理した。図-6は、兵庫県産ズワイガニ（鮮魚）の東京卸売市場における出荷量を示しているが、北近畿豊岡自動車道の整備に伴い、年々シェアが拡大していることがわかる。関係者へのヒアリングによれば、「今まで関東への発送は午前中だけであったが、北近畿豊岡自動車道が供用したことにより午後発送でも間に合うようになった」とのコメントもあり、道

路整備による時間短縮効果が貢献していることが伺える。

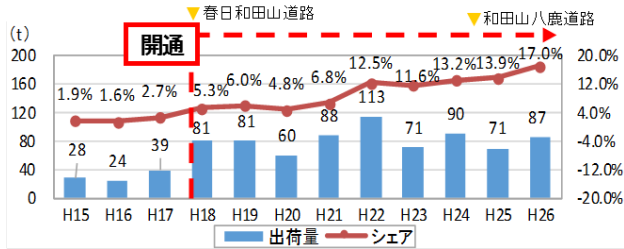


図-6 兵庫県産ズワイガニの東京卸売市場における出荷量

企業立地面については、企業進出について整理した。但馬地域は少子高齢化による過疎化で、小学校の統廃合による空き校舎の顕在化しているが、北近畿豊岡自動車道が開通・延伸し、都市圏へのアクセス性が向上したことにより、その空き校舎に新規企業が進出し、新たな雇用を産み、地域課題である「空き校舎」と「雇用創出」の解決に少なからず貢献している(図-7)



図-7 空き校舎への企業進出

観光振興については、但馬地域は観光資源が豊富で、温泉・海水浴・スキー等多くの観光客が訪問されている。近年では、城崎温泉のミシュラン二つ星獲得や地域固有の資源となっているコウノトリの放鳥、円山川ラムサール条約湿地登録や山陰海岸ジオパーク加盟認定、天空の城竹田城跡ブーム等により知名度が向上し、外国人訪問客にも人気となっている。

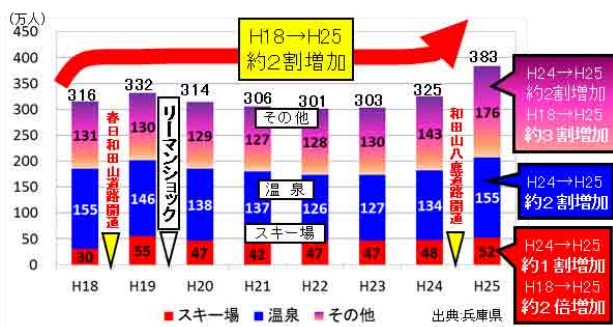


図-8 但馬・丹波地域の主要観光地への入込客数の推移

医療貢献については、和田山八鹿道路供用後、公立八鹿病院への、また、養父消防署からの搬送時間30分圏域のカバー人口・面積が約1割程度増加しており(図-9)、養父消防署の隊員の方々からも搬送し易くなったとの声もあり、搬送時間の短縮、傷病者の負担軽減に効果を発揮している。

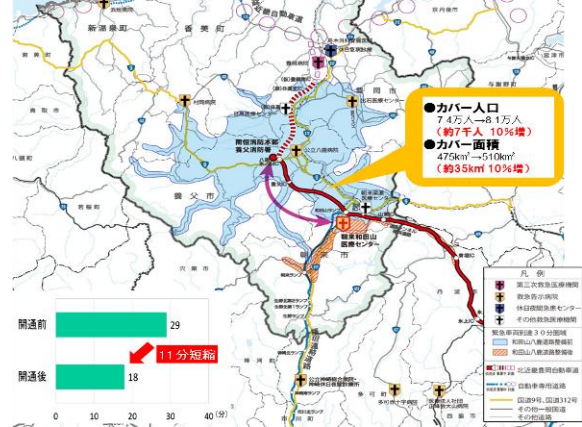


図-9 養父消防署からの搬送時間30分圏域

最後に防災面については、2013年9月16日に上陸した台風18号により、京都府福知山市と但馬地方南部を結ぶ国道9号、国道429号等の幹線道路で約半日にわたる通行止めが発生した際、周辺の主要な道路が通行止めとなる中、北近畿豊岡自動車道が但馬と周辺地域をつなぐ代替路として機能し、防災上も信頼性の高い道路であることが確認された(図-10)



図-10 台風18号上陸時の但馬地域の交通状況

(2) 八鹿氷ノ山IC～(仮称)豊岡北IC(延伸区間)により期待される整備効果

北近畿豊岡自動車道は将来的に(仮称)豊岡北ICまで延伸する予定となっており、それにより前述(1) a)、b)に示すような、直接的・間接的效果の更なる向上が期待出来る。観光面においては山陰海岸ジオパーク再認定の際には観光客増加を期待出来るとし、北近畿豊岡自動

車道の延伸を奨励している。その中で特に今回注目したものが緊急・医療面についての効果である。

a) 台風23号による地域の状況

2004年に上陸した台風23号では、土砂崩れや円山川周辺の路面冠水等大きな被害を受けた。通行止め等の通行規制が行われたため、救援物資等の輸送や救急救援活動が困難を強いられ、スーパーで食料品が届かない、病院が浸水し医療活動に支障が出るなど、豊岡市街地は孤立し未曾有の危機にさらされた。北近畿豊岡自動車道はそういった自体を避けるための「命の道」としての役割も兼ねている。



図-11 2004年台風23号被災状況と現在の道路ネットワーク

b) 但馬地域の医療

但馬地域は約2,100km²と東京都と同様の面積にも関わらず、第3次医療機関（高度医療機関）が、唯一公立豊岡病院の1か所しかいないため、この病院の地域に果たす役割は大きなものとなっている。但馬地域の救急医療体制は「豊岡モデル」と呼ばれ、医師を豊岡病院に集約し、患者が重篤であると連絡があった際には、救急医がヘリや車に乗り込み（前者の場合を「ドクターヘリ」、後者を「ドクターカー」と呼ぶ）現場に駆けつけ早期に医療介入を実施し、救命率を上げる対応を実施している。しかし、最も迅速な対応が出来るドクターヘリは有視界飛行のため、荒天時や夜間は使用できず、その為の補完としてドクターカーを使用している。

c) 北近畿豊岡自動車道の果たす役割

前述の通り、ドクターヘリが使用不可の補完としてドクターカーを使用しているが、道路が不便である救急医療的に孤立する地域が出てくる。「豊岡モデル」による医療体制と、北近畿豊岡自動車道を整備することにより、早期医療介入のための30分圏域人口カバー率を大幅に拡大（36%から90%に）することができ、地域の救命率向上に寄与することが出来る（図-12）

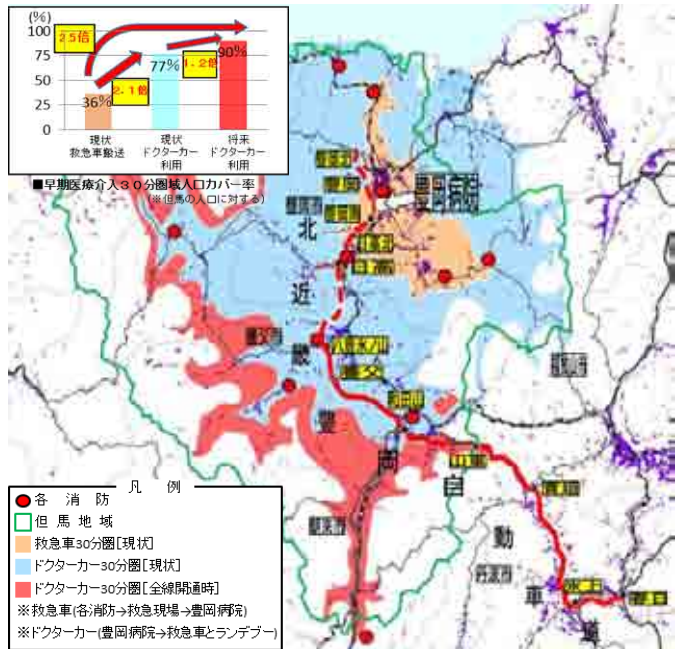


図-12 但馬地域における早期医療介入30分圏域図

3. おわりに

北近畿豊岡自動車道は、八鹿日高道路・日高豊岡南道路も早期開通のため鋭意工事を進めている。更に、2015年5月には、兵庫県都市計画審議会にて豊岡南～豊岡北までの都市計画が可決されるなど、早期整備は悲願であり、地元住民からも期待も高く、当該道路整備により但馬地域の観光、医療等の様々分野に貢献すべく、いち早い開通を目指して鋭意事業を進めて参りたいと思っている次第である。

工事借地後の原形復旧の取り組みについて ～山林を借りるということ～

桐山 竜二¹

¹独立行政法人水資源機構 本社用地管財部 用地補償課（〒330-6008さいたま市中央区新都心11番地2）

本論は、ダム事業において必要となる道路工事を土地所有者の山林を借りて実施し、その後原形復旧を行ったうえで土地所有者に返還を行った事例を紹介するものである。

借地を行う地目が宅地や農地、あるいは雑種地の場合は、比較的容易に原形復旧が可能であるが、山林の場合、そこに生育する樹木により土地が形成され水源涵養的に保全されているという状態が多く、元あった状態に戻すこと、つまり樹木が立ち並ぶ姿に戻すには相当な年月を費やすことになる。そこで、この原形復旧においては、土地所有者の意見も取り入れながら工事完成後に植栽を実施していく課程で、川上ダムで環境対策として取り組んでいる育苗地の樹木を活用し、植栽時に課題となった獣害対策について、専門家等の意見を参考に担当者として苦悩した点、あるいは関係課と連携して創意工夫した点を中心に取り組んだ内容について紹介する。

キーワード 山林借地，原形復旧，育苗地，獣害対策，用地アセスメント

1. はじめに

皆さん、もし自然豊かな環境のなかに山を所有していたら何をしたいと考えるでしょうか、別荘を建てたい、散策道を整備してみたい、秋には紅葉が映える美しい姿に変えてみたい。なかには本格的に用材林を育て林業にチャレンジしたいという方もいるでしょう。そうです。山は様々な魅力に溢れ、それに関わる人々の心を浄化してくれるなどの作用を併せ持つ素敵な空間と言えるのではないだろうか。我々ダム事業に携わる者の多くが、そういった自然環境のなかで日々仕事に取り組んでいる。

私は、この“山”をテーマに、川上ダムで取り組んできた業務報告を通じ、事業に携わる方々に何らかのメッセージを残せたら幸甚であると考えている。

2. 川上ダムの諸元等

川上ダムは、独立行政法人水資源機構が淀川水系木津川に注ぐ前深瀬川及び川上川の合流点に建設中の多目的ダムであり、洪水調節、流水の正常な機能の維持（既設ダムの堆砂除去のための代替補給を含む）及び伊賀市の水道用水確保を目的としており、平成34年度の完成をめざし鋭意工事を実施している。図-1

○位置

淀川水系前深瀬川
右岸：三重県伊賀市青山羽根地先
左岸：三重県伊賀市阿保地先

○堤体諸元等：

型式 重力式コンクリートダム
堤 高 84m（天端標高EL.282.0m）
堤 頂 長 334m
集水面積 54.7km²
湛水面積 1.04km²
総貯水容量 31,000,000m³
洪水時最高水位 EL.276.9m
平常時最高貯水位 EL.262.0m



図-1 川上ダムの諸元及び位置図

3. 工事の概要

川上ダムでは、ダム建設により水没する県道の付替工事を平成29年度の供用開始に向け鋭意工事を進めている。そのなかで、平成24年度に発注された「付替県道青山美杉線貯水池横断橋上流部整備工事」は、付替県道工事の一部として計画され、当該工事は主に三重県伊賀市が進める市道計画との交差点部を設けるものであり、その周辺には貯水池を横断する橋梁やトンネルといった構造物が隣り合う川上ダム建設事業用地内では完成した施設も含め、最も工事が集中している場所でもある。図-2

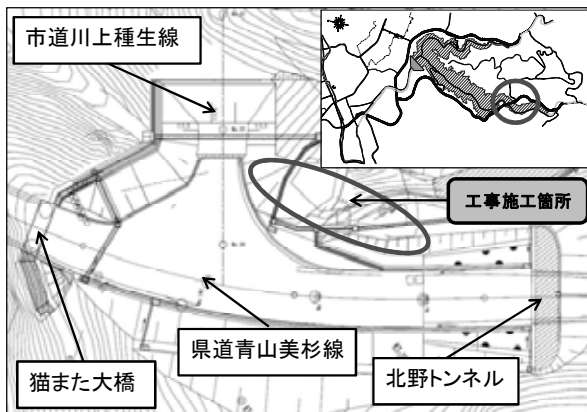


図-2 整備工事概要図（施工箇所位置図）

本工事では交差点改良工事に合わせてその周辺で必要な法面対策を実施することになっており、その工事は地権者の土地を借地して実施する計画となっていたため、工事施工範囲を確保する用地部隊にとって、発注段階から難題を突き付けられることになった。一般的に我々が実施する公共工事は、実施計画に基づき地権者の土地を速やかに取得していくが、本工事では施工箇所が直接県道の用に供さない土地、即ち道路引き渡し時に県道用地とならない場所であるため、地権者から借地して工事を実施する必要があったのである。

4. 工事計画に伴う用地的課題

当該交差点部の地形は深い谷となっており、谷を埋めて工事を実施する必要があったことから、谷部を流れる沢水を工事期間中迂回させることになる。これは、ダムサイトの工事現場などに見られる本川を迂回させるための仮排水トンネルのようなイメージである。しかしながら山林にトンネルを掘り仮排水路を設けることは現実的に困難なため、写真-1のとおり、仮設の大型パイプを山の地形に沿って這わせる計画となったため、そこで多くの立木が支障となる結果を招いてしまうことになった。そこは、掘削等直接工事を実施する箇所ではなく、まさに仮設パイプを設けるためだけに立木を伐採するという

ことである。いくら事業計画とは言え、木を伐ってしまったらその山が再生するには相当な年月を費やすことになるのである。



写真-1 付替県道青山美線上流部整備工事の様子

5. 工事計画に伴う用地交渉

(1) 協力依頼と同意の取り付け

山を借りて工事をするためには、そこに生育している立木のうち工事で支障となる範囲の立木は伐採を余儀なくされることになる。地権者に対して関係課と一緒に工事計画について丁寧に説明を行うことで工事に対する理解は得られたものの土地については、「丸坊主になった山だけ返されても困る。工事をやりたければ必要な土地を買収してやればよい。」という意見が出された。しかしながら工事期間中だけ必要な用地を取得することはできないことから、借地については、植栽などを施し責任を持って原形復旧を行い土地を返還させて頂くということで地権者から概ねの理解を取り付けることができた。

(2) 地権者の気持ちと向き合う努力

地権者は山や自然に特に愛着がある方であり、常日頃から我々が実施する事業に対して、時には厳しく時には寛容に叱咤激励をいただいている。ここで、この地権者に対し、事業計画や工事の内容を説明している交渉過程のなかで、深く印象に残っている言葉を紹介する。

「あなたたちが必要だからと言って伐採している時に聞こえるチェーンソーの音は、木々の悲鳴、叫び声なんだ。ダムの移転者として苦渋の決断の末、慣れ親しんだ故郷を離れる決意をした時から、ダムという国家が決めた計画に反対する気持ちはないし必要な事業のためにやむを得ないこともあるだろう。ただ、そういった木々や命を絶たれる自然の生き物一つひとつの気持ちも考えて事業を進めてもらいたい。」まさに心に染みる言葉であるとともに、我々公共事業に携わる者のみならず、自然を相手に仕事をする者は、あらためて肝に銘じなければ

ならないと感じさせられる言葉であった。そこで我々はそういった思いに応えるべく植栽を成功させることを決め実行することとした。

6. 植栽の基本方針

(1) 郷土種を活かした植栽（育苗地の活用）

順調に進められた工事は終盤を迎え原形復旧に伴う植栽をどのように実施していくか具体的に検討に入っていた。そこで、川上ダムでは植栽の基本方針として、主に3つのテーマを掲げて取り組んでいくこととなった。

まずはじめに、郷土種を活かした“育苗地”の活用である。

川上ダムでは、平成21年7月に公表した「川上ダム建設事業における環境保全への取り組み」のなかで、事業により改変された裸地については、郷土種を用いた植樹を行い、動植物の生育・生育環境の回復を図っている。そこで設けられた育苗地は、上記のような取り組みを実施するために、川上ダム建設所隣の土地に、事業実施区域周辺で採取した郷土種の種子を撒き、苗木の段階まで育てるための施設である。これまでも育苗地で育てた苗木をダムサイト左岸部で実施した付替県道工事において工事期間中使用されていた沈砂地跡地に、山林再生のため移植した実績がある。同じ環境や気候で育った個体であれば山に根付いてくれる可能性が高いという期待もあり、育苗地を管理保全している環境課の職員とともに、育苗地で育てている樹種の中から移植する候補を検討することになった。写真2

地権者にも川上ダムの環境保全活動の取り組みについて説明を行い植栽計画等について意見を伺ったところ、「川上ダムでそのような取り組みを実施していることは大変素晴らしいことだ。是非、育苗地の木々を私の山で再生させてもらいたい。」という言葉をいただき、移植時期に向け本格的に植栽計画が進められることになった。



写真2 郷土種の種から育った育苗地の木々

(2) 獣害（食害）を受けにくい植栽

近年、山間部の集落等でよく耳にするのが獣等による食害であった。山間部の農家ではせっかく育てた畑の作物が猿や鹿、猪といった野生動物に食い荒らされてしまうといった現状を我々も目の当たりにしており、実際に多くの農家が頭を悩ませている状況であった。これらの動物は我々人間に直接危害を加えるわけではないが、近年鹿による樹木への食害の例が少なくない。

地元の方々の話によると冬眠しない鹿は、餌の少ない冬場は木の皮などを食べて飢えをしのいでおり、また春先には芽吹いた柔らかい新芽を好んで食べるという習性があるとのことであった。川上ダム周辺でも決して例外ではなく、いたる所で鹿の被害を目にすることがある。せっかく植栽した木を鹿に食べられてしまう前に何か対策ができないか。一番に被害が想定されるターゲットを鹿に絞り対策を練ることになった。そこで、環境課と連携し植栽を成功させるために鹿の被害に遭いにくい樹種について検討が進められた。その結果、森林組合など専門家の意見や植物の専門書などによる情報をもとにある一つの樹種に注目が集まった。その樹種は“アセビ”という植物である。アセビはツツジ科に属する常緑低木で、漢字では「馬酔木」と表記されている。

a) 奈良公園におけるアセビの効果

アセビは、もともと中国原産の広葉樹で国内では西日本を中心に北海道を除き全国で目にすることができる植物である。川上ダム周辺でも3月頃にスズランに似た白い可愛らしい花をつけている姿が見られる。さらに調査を進めると、このアセビが大量に繁殖している場所が身近にあることが分かった。「奈良公園」である。写真4



写真4 奈良公園の鹿とアセビの木

奈良公園と言えば世界遺産、東大寺の大仏殿が有名であるが、その傍らには悠々と生活している鹿の群れを思い浮かべる方も多いのではないだろうか。

アセビにはグラヤノトキシンという毒が含まれており、これらを含む葉や花を摂取すると全身がしびれるような症状がみられると言われている。奈良公園の鹿は本能的にあるいは長年の慣習によりアセビの脅威については熟知しており、その知識は子や孫に引き継がれているもの

と思われる。

(3) 地権者の意向に沿った植栽

育苗地には現在約40種類の木が育てられており、そのなかで、実際に移植する樹種を地権者の意向も尊重し決定していくこととした。地権者は常々、「新しい道路が開通することで自分の山が人目につく機会が増えるため、荒れた風景ではなくきれいに整備された山を残したい。春や夏には美しい花々が咲き、秋には鮮やかな紅葉が見られる姿となることが理想である」と語っておられた。そこで、育苗地以外でも花芽をつける木について調査を行い、それらを事業用地内で探索することになり、キンシバイ、ツバキ、ムラサキシキブなど、川上の山で育つ樹種も植栽計画のなかに取り入れていくこととなった。

7. 各課との連携と植栽計画（植栽配置図）

(1) 協力依頼と同意の取り付け

これら3つの基本方針を軸に環境課と連携し植栽計画を考案することになった。鹿が嫌うアセビを植栽する木々の周りに配置し、そのなかにはモミジやカエデ、ヤナギやケヤキなどといった紅葉樹、その他に地権者の意見を取り入れた花芽をつける樹種を図-2のとおり植栽計画に盛り込むこととなった。実際に移植作業にあたる工事課とも植栽計画について綿密に打合せを行い、配置の誤りなど作業に手戻りが生じないように調整を行った。

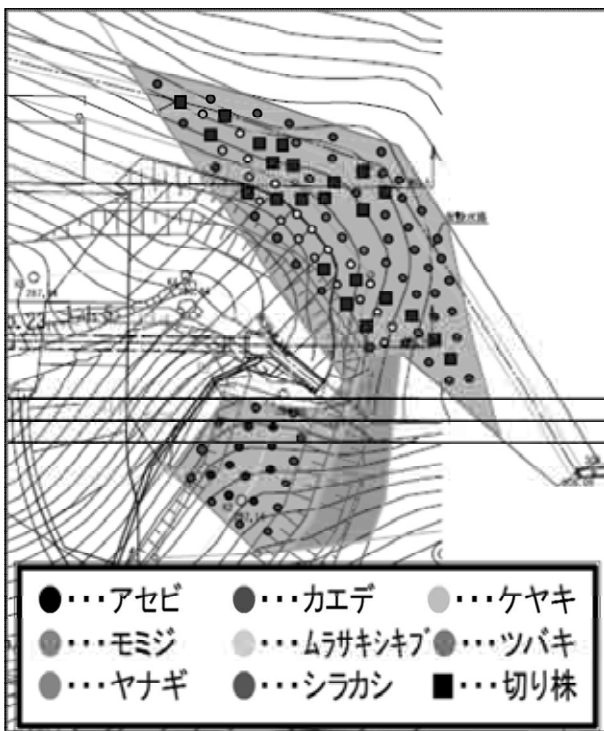


図-2 植栽の配置イメージ

(2) 移植作業

具体的に移植する樹種と配置が決定し、育苗地や川上ダム事業用地などから作業員らの手により一つひとつ大切に移植が行われた。無事に植栽された姿を見たときは、これまで作業に携わった一人ひとりが達成感を味わえた瞬間となった。写真-5



写真-5 移植された育苗地のモミジ

8. 原形復旧を終えて

工事実施後の山林を100%元の状態に戻すことは容易なことではない。山を借りて工事を実施するということは、工事完了後の姿を常に想像し、責任を持って原形復旧を実施していこうとする強い気持ちが必要となる。今回の工事を通じて我々は原形復旧という言葉を改めて認識する必要があると考える一方、工事工程や移植を実施せざるを得なかった時期など、様々な制約が課されている困難な状況であっても、少しでも地権者の思いに応えるための努力を行ったことで、鹿の食害を完全に食い止めるとまではいかず、決して満足できる結果とは言えないが、地権者の気持ちに寄り添い事業を進めることができたのではないかと考えている。

我々の実施する事業は、用地を買収し工事を完成させれば終わるというものではない、多少時間を要しても、計画段階から最善の工法を選択、決定していく過程において、地権者要望や管理移行後の在り方など、“用地アセスメント”においても検討時間を十分に確保することで、より良い事業に繋げていけるのではないかと感じた次第である。

謝辞：今回、川上ダムでの原形復旧の取り組みに関しご指導や助言等いただきました伊賀森林組合はじめ、携わって頂いた多くの皆様にご場をお借りしてお礼申し上げます。

道路機械設備の効率的・効果的な 維持管理について

宮崎 諒¹・土山 成²

¹近畿地方整備局 企画部 施工企画課 (〒540-8586大阪府大阪市中央区大手前1-5-44)

²近畿地方整備局 兵庫国道事務所 管理第二課 (〒650-0042神戸市中央区波止場町3-11)。

国土交通省では社会資本の老朽化対策に省を挙げて取り組むため、2013年度を「社会資本メンテナンス元年」と位置づけ、点検・診断結果に基づいた必要な対策を適切な時期に着実かつ効率的・効果的に実施するとともに、これらの取り組みで得られた施設の状態や対策履歴等の情報を記録し、次の点検・診断等に活用する「メンテナンスサイクル」の構築に向けた各種の取り組みを推進しているところである。

本報告は、そのひとつの取り組みとして、国土交通省が管理する道路機械設備について現状の維持管理に係る課題を踏まえてとりまとめた新たな点検整備要領等について報告するものである。

キーワード 道路、機械設備、維持管理、老朽化、点検整備

1. 道路機械設備の概要

過年数が必ずしも設備の老朽化度合いを示すとは限らないが、総体として老朽化が進行している。

我が国では、高度経済成長期に集中的に整備された社会資本が今後急速に老朽化することが見込まれ、厳しい財政制約の中、今後も不足する社会資本の整備を着実に進めるとともに、既存の社会資本を効率的に活用し適切かつ確実に維持管理・更新を進めることにより、国民の貴重な財産である社会資本を次世代に引き継ぐことが喫緊の課題となっている。

社会資本のなかには、施設の設置目的から土木構造物に機械設備が付帯し、機械設備部分が稼働して機能発揮するものがあり、機械設備が常に安定して稼働できるよう機能を維持することが重要となる。

本報告では、道路事業におけるトンネル換気設備、トンネル非常用施設、消融雪設備、道路排水設備、共同溝付帯設備、機械式駐車場設備、車両重量計設備、車両計測設備、道路用昇降設備を道路機械設備として総称する。

表-1に近畿地方整備局が管理する道路機械設備の設備数、図-1に代表的な外観写真事例を示す。

2. 道路機械設備の現況の課題

(1) 老朽化の進行

近畿地方整備局が管理する道路機械設備の経過年数状況を図-2に示す。

道路機械設備の設備種別によっては、部分的な更新、取替によって機能復旧が可能なものがあり、設置後の経

表-1 近畿地方整備局が管理している設備数
(2015年3月末現在)

事務所名	トンネル換気設備		トンネル非常用施設		消融雪設備		道路排水設備	
	箇所数	台数	箇所数	箇所数	延長 (km)	箇所数	台数	
福知山河川国道					10	8.1	6	11
豊岡河川国道	6	25	6	48	36.6			
姫路河川国道	2	3	4	10	5.5	1	2	
和歌山河川国道							3	6
紀南河川国道			2				3	8
福井河川国道	3	12	5	75	53.1	11	17	
滋賀国道	2	4	3	47	41.7	13	26	
京都国道							43	82
大阪国道			2				26	58
兵庫国道							21	42
奈良国道				2	0.3	19	39	
合 計	13	44	22	192	145.3	146	291	

事務所名	共同溝付帯設備				車両重量計	車両計測設備	道路用昇降設備
	箇所数	延長(km)	ポンプ台数	ファン台数	箇所数	箇所数	箇所数
福知山河川国道					1		
豊岡河川国道							
姫路河川国道					2		
和歌山河川国道	1	1.2	12	6	1		
紀南河川国道							
福井河川国道					2		
滋賀国道					1		1
京都国道	6	16.0	222	99	2		1
大阪国道	14	37.4	283	123	3	3	6
兵庫国道	5	12.6	98	73	3	5	5
奈良国道	1	0.9	8	2	1	1	
合 計	27	68.1	623	303	16	9	8



トンネル換気設備



消融雪設備

図-1 道路土木機械設備の例

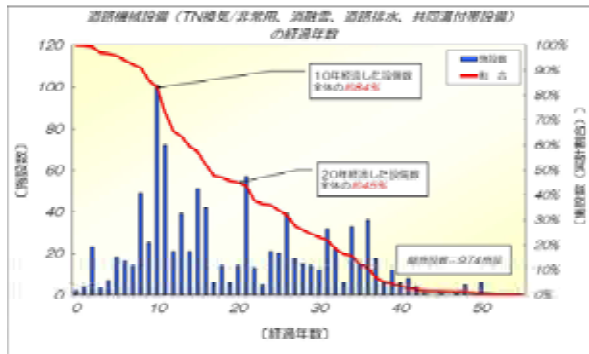


図-2 道路機械設備の経過年数状況

(2) 現状の点検・整備の課題

全国の点検整備の実態を確認すると、各地整、各事務所毎で異なった点検表を使用し、且つ点検頻度についても統一されていない。

従って、同じ設備であっても地整・事務所によって設備機能維持に対する信頼度が異なっている事が考えられる。

また、点検項目、方法についても設備の機能維持の観点から対応したものとはなっていない。さらには、最近の点検技術の進歩、データベース化や傾向管理項目に対応した効率的で効果的な点検の実施が求められている。

a) 設備区分による点検レベル

道路機械設備には、設置目的の異なる様々な機能をもった設備があり、構成機器等の故障に伴う機能喪失が道路利用者に与える影響も異なる。例えば、トンネル換気設備の場合、故障で換気機能が停止すれば、トンネル内環境が悪化し、道路利用者の安全に直接影響を及ぼすことになる。しかし、機械式駐車場の場合、仮に設備機能が喪失しても利用者の利便性に与える影響はあるが、安全に対する影響は小さい。このように、設備区分により故障に伴う機能喪失が道路利用者に与える影響を踏まえた点検レベルの設定が必要である。

b) 設備機能確保の観点からの保全方法

各道路機械設備を構成する、装置・機器等の故障が設備機能の喪失に直接影響するかどうかといった観点から保全方法を検討する必要がある。例えば道路排水設備の場合、道路に溜まった水を排水する機能を有しており、ポンプ本体の電動機部が故障すれば、ポンプは動かず排

水は不可能になり、設備機能を失うが、ポンプ室の換気扇が故障しても、排水機能には直接影響ない。このように、設備機能に直接影響する装置・機器等は、故障する前に当該装置・機器等を修繕・取替する予防保全方式、また、設備機能に直接影響しない故障については、故障後に装置・機器等を修繕・取替する事後保全方式の検討を行う。

c) 機能確保の観点からの適正な点検周期

現状道路機械設備の点検周期については、年点検は1回/年、月点検の回数は、図-3のように地整、事務所によって相違が見られる。設備区分毎の現状点検回数と故障等不具合発生状況から適切な点検周期の設定が必要である。

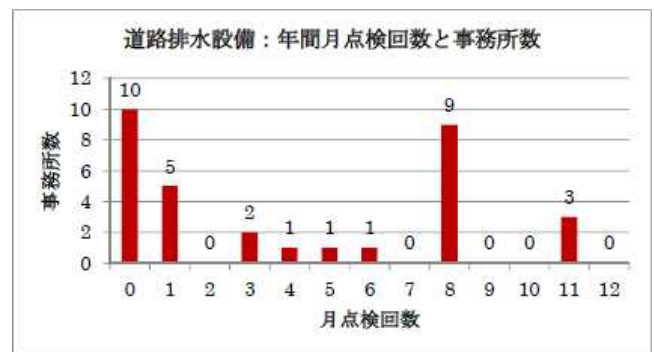


図-3 道路排水設備の年点検年点検回数と事務所数

d) 設備状況の適切な把握

稼働及び経年劣化に伴い発生する材料の物理的劣化、機器等の性能低下、故障率の増加などにより設備状態の健全性を○：（良好）、△：（異常傾向有り）、×：（機能に支障有り）で評価し、修繕・取替などの保全の優先順位を決め予算要求している。

しかし、現状の○△×では、△評価の件数が多く異常傾向等の状態も幅広く、適切な優先順位を決めることが難しい状況にあり、適切な予算要求への反映が困難となっている。

そのため、△評価を細分化することで優先順位を明確にし、より適切な予算要求に反映できる仕組みの検討が必要である。

以上、述べたような課題を解決することで、設備の機能確保の観点からの効率的で効果的な点検要領の作成を目指す。

3. 道路関係設備（機械設備）点検・整備・更新マニュアルの検討

現況の課題を踏まえ、全ての道路機械設備を対象に、設備の信頼性を確保しつつ効率的な維持管理を実現するための点検・整備・更新に関する標準的な実施方針を定

めることを目的として、2014年度に近畿地方整備局において詳細検討を行うとともに、国土交通本省において学識経験者と行政担当者とで組織する「道路関係設備（機械設備）点検・整備・更新マニュアル（案）策定委員会」を設置し、「道路関係設備（機械設備）点検・整備・更新マニュアル（案）」（以下、「道路マニュアル」という。）を取りまとめた。

以下に、その主な内容を記載する。

(1) 維持管理の基本方針

まず、一般的な維持管理の流れを図-4に整理した。通常の維持管理においては、実操作→点検→整備→実操作のサイクルを繰り返し、設備の劣化が生じた場合には、装置、機器単位での整備や更新の必要性を判断するため、点検結果に基づいて健全度評価を行い、対処の方策と実施時期を決定し、中長期保全計画に反映することになる。

効率的・効果的な維持管理とは、全ての装置、機器等を画一的に維持管理するのではなく、設備の信頼性を確保しつつ該当設備の設置目的（設備区分）、機器等の特性を反映した最適な維持管理手法を適用することである。

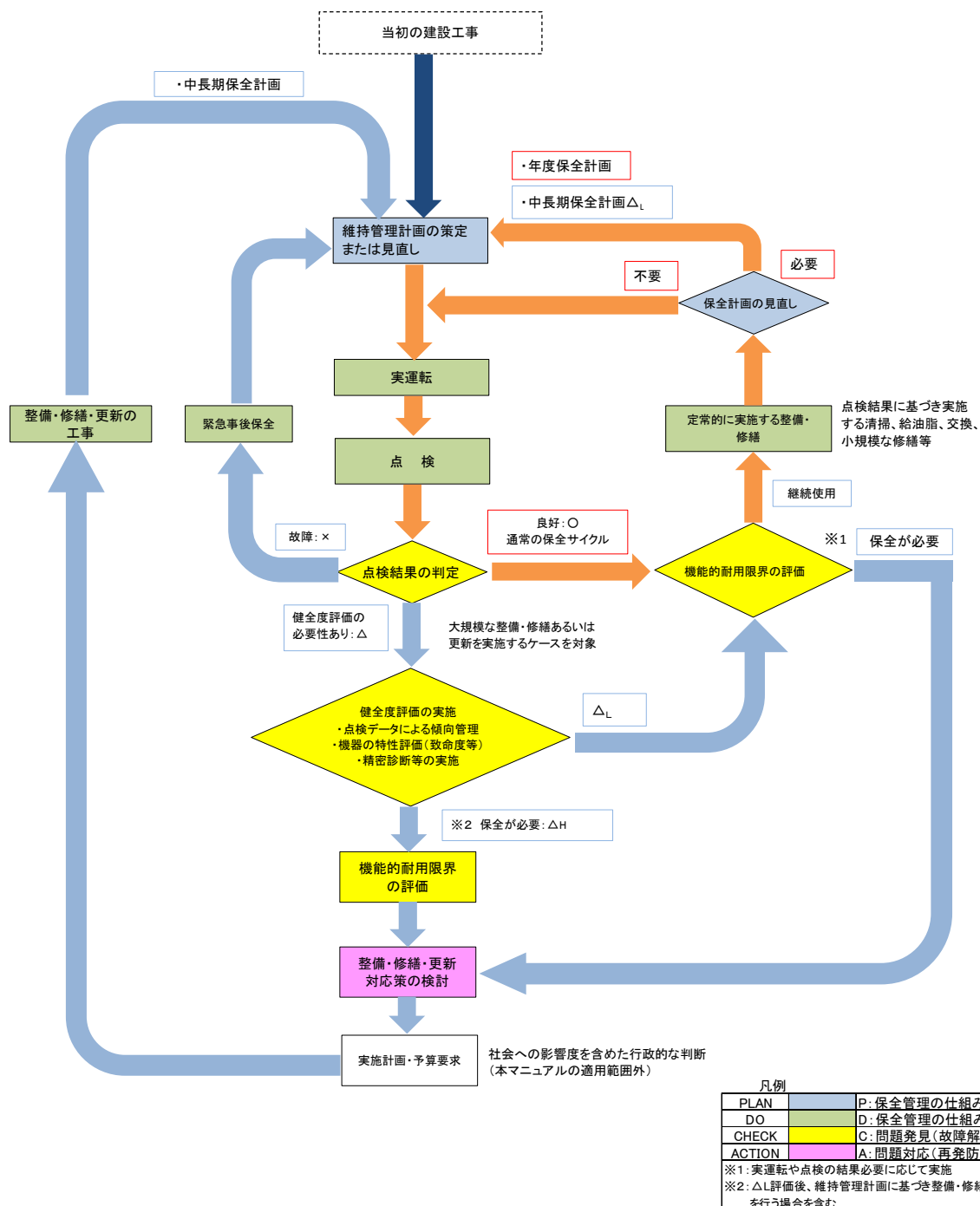


図4 道路機械設備の維持管理の流れ

(2) 設備区分

既存の点検整備要領では、設備区分による重要度、影響度の区分は行っていなかったが、今回の道路マニュアルにおいては、既存の点検実績、故障した場合の影響範囲、程度によって以下に示すレベルⅠとレベルⅡに区分した。

<レベルⅠ>

設備が故障し機能を失った場合に道路利用者の安全に直接的に影響を及ぼす恐れのある設備

- ・トンネル換気設備
- ・トンネル非常用施設
- ・道路排水設備（アンダーパス排水設備）
- ・消融雪設備
- ・道路用昇降設備

常時計測による行政指導の根拠データ取得など、継続的な精度確保および欠測防止が重要な設備

- ・車両計測設備

<レベルⅡ>

レベルⅠ以外の設備

- ・道路排水設備（地下横断歩道排水設備）
- ・共同溝付帯設備
- ・機械式駐車場設備
- ・車両重量計設備

(3) 致命的機器の抽出

前項での現状の課題に対する対応として、設備機能確保の観点から設備機能に直接影響する装置・機器等を致命的機器と定義し、それ以外は非致命機器として分類することで点検内容や保全形態にメリハリを持たせることとした。

今回、設備種別毎に装置・機器等の各レベルに構成要素を分類し系統的に整理した構成要素分解図を作成したうえで、設備機能に直接影響を及ぼす装置・機器等を致命的として抽出した。

道路排水設備の構成要素分解図及び致命的機器の抽出結果を図-5に示す。

設備構成要素分解図 致命的機器の抽出
(道路排水設備 - レベルⅠ、Ⅱ)

設備レベル	装置レベル	機器レベル	部品レベル
道路排水設備	ポンプ設備	ポンプ	ケーシング
			羽根車
			軸受
	配管設備	配管	メカニカルシール
			電動機
			水中ケーブル
	操作制御設備	ポンプ操作盤	水位計
			計測器
			遠方監視機
	電源設備	配電設備	受電盤
			配電設備
			予備発電設備
	除塵設備	スクリーン	スクリーン
			チェーンブロック
			換気ファン/換気扇
その他設備	換気設備	ダンパー	消音器
			換気設備
			照明器具
	照明設備	照明分電盤	照明器具
			照明器具
			照明器具
	上屋	ポンプ槽	ポンプ槽
			ポンプ槽
			ポンプ槽
	水路類	排水路	排水路
			排水路

図-5 構成要素分解図及び致命的機器（道路排水設備）

(4) 点検区分

前項でも述べたように道路機械設備は、設置目的の異なる様々な機能をもった設備があり、故障での機能喪失による道路利用者に対する影響も異なることから設備区分、稼働形態、機器特性に応じた点検レベルを設定することで過不足なく実施することが重要である。

今回、道路マニュアルにおいて設定した点検区分及び保全形態を図-6に示す。

ここでは、点検の合理化という観点から(3)致命的機器の抽出により定めた非致命的機器については、状態確認のための年点検のみ実施し、事後保全での対応を基本とした。

また、保全形態は、レベルⅠの致命的機器については予防保全を基本とするが、レベルⅠの非致命的機器およびレベルⅡについては事後保全を基本とすることによって、保全の合理化も図ることとした。

設備区分	稼働形態	機器特性	点検区分		保全形態
			年点検	月点検	
レベルⅠ	待機系／常用系	致命的	○	○	予防保全
		非致命的	○	—	事後保全
レベルⅡ	待機系／常用系	致命的	○	○	事後保全
		非致命的	○	—	事後保全

図-6 点検区分及び保全形態

(5) 点検周期

点検周期については、前項での直轄における実績や関係法令を踏まえ従前どおり年点検1回、月点検毎月を基本としつつ、図-7のとおり設定した。

ただし、点検の合理化の観点から、図-7はあくまで標準であって、設備の機能・目的、構造等によっては各現場において必要に応じて個別に点検周期を設定できることを記載した。

設備区分	設備名	点検周期	
		年点検	月点検
レベルⅠ	トンネル換気設備	年1回	月1回
	トンネル非常用施設	年1回	月1回
	道路排水設備（アンダーパス）	年1回	月1回
	消融雪設備	降雪期の前・中・後、各1回	
	車両計測設備	年1回	—
	道路用昇降設備	年1回	毎月、3ヶ月、6ヶ月
レベルⅡ	道路排水設備（地下横断歩道）	年1回	月1回
	共同溝付帯設備	年1回	月1回
	機械式駐車場設備	—	月1回
	車両重量計設備	2年に1回	—

図-7 点検周期

(6) 健全度評価

健全度は、設備の稼働および経年に伴い生じる材料の物理的劣化や性能低下、故障率の増加などの機器等の状態を表すものである。前章で述べたように既存の点検要領での課題を踏まえ今回の道路マニュアルでは、

図-8に示す4段階の評価とした。

従前の○、△、×の3段階評価に対して△評価をさらに△H、△Lの2段階評価に細分化し4段階評価にしたものであり、簡単に言えば△H評価は数年以内に何らかの措置を行うことが望ましいもので、△L評価は異常の兆候はあるものの当面は経過観察をしながら継続使用して問題ないものとなる。

この△評価の細分化によって、より適切に不具合に対する対処を行うことが可能となり、結果として整備の効率化に繋がるものと考えている。

健全度の評価	状 態	健全度の評価指標	
		傾向管理が可能なもの	傾向管理が不可能なもの
×	点検の結果、設備・装置・機器・部品の機能に支障が生じており、緊急に措置（取替・更新・修繕）が必要な状態	設備・装置・機器・部品の機能が低下あるいは停止もしくは運用不可能である場合	
△ _H	点検、精密診断、総合診断等の結果、設備・装置・機器・部品の機能に支障が生じていないが、数年以内に措置（取替・更新・修繕）を行うことが望ましい状態	点検の結果、計測値が注意値を超過している場合 ・精密診断、総合診断により、数年以内に措置を行うことが望ましいと評価した場合	点検の結果、目視、触診・指触、聴診・聴覚、臭覚によって異常が確認でき、かつ次の条件のいずれかに該当するもの ①総合診断等により数年以内に措置を行うことが望ましいと評価した場合 ②数年以内に故障を起す可能性が高いと判断した場合
△ _L	点検の結果、設備・装置・機器・部品の機能に支障が生じていないが状態の経過観察が必要な状態	点検の結果、計測値が異常傾向を示しているが注意値以下の場合	点検の結果、目視、触診・指触、聴診・聴覚、臭覚によって異常が確認できるが、過去の点検結果などから継続使用が可能と判断できる場合
○ (健全)	点検の結果、設備・装置・機器・部品の機能に支障が生じていない状態	点検の結果、計測値が正常値である	点検の結果、目視、触診・指触、聴診・聴覚、臭覚によって異常が認められない場合

図-8 道路土木機械設備の健全度評価

(7) 優先順位のとりまとめ

整備の優先順位については、健全度評価のほか、致命度、使用年数、故障履歴、稼働頻度等を総合的に勘案し、優先順位をとりまとめるものとした。

(8) 傾向管理（トレンド管理）

計測機器等を使用した点検項目・内容を定量的に把握し、経時変化を管理していくことにより装置や機器等の劣化状態を把握する傾向管理（トレンド管理）の必要性を明記したうえで、各設備で機能確保を図るうえで最適な傾向管理項目を定めた。

また、状態監視技術の高度化で、トンネル換気設備のジェットファンにおいて既に一部の設備で導入されているケーシングや軸受の振動値の常時監視も傾向管理項目についても記載した。

(9) 維持管理計画

諸元台帳、維持管理計画、維持管理台帳の作成内容を定めるとともに、維持管理計画策定、見直しの基礎データとなる点検計測値等の系統的な収集・整理を行い、データベースに保存・管理することとした。

合わせて、これらのデータの活用方法についても記載した。

4. 今後の課題

道路マニュアルを適用し、効率的かつ効果的な維持管理を実現するための今後の課題を述べる。

(1) 機械設備維持管理システムの整備・PDCAサイクルの構築

維持管理に必要な各種データの蓄積を目的として、近畿地方整備局では、2014年度から河川機械設備を対象に機械設備維持管理システムを導入している。機械設備維持管理システムの概要を図-9に示す。

今後、道路機械設備についても同様に、機械設備維持管理システムの整備をすすめ、各種データを蓄積し、さらに蓄積したデータを集約、解析することによって今後の維持管理方針、計画にフィードバックするPDCAサイクルを効率的に実施する必要がある。

今回作成した道路マニュアルについても適用するなかでの課題について不断の見直しをしながら運用していくことが重要である。また、今回データ不足により、十分な解析が出来なかった点検周期や整備更新年数について、今後データを蓄積していくことが重要である。



図-9 機械設備維持管理システムの概要

(2) 状態監視技術の高度化

ジェットファン設備における振動常時監視については、計測結果の評価手法を定める必要がある。2015年度に国土交通省内で異音・振動に対する評価について判定基準を検討する予定である。

(3) 点検の技術力確保

点検の基準を定め、その内容を適確に履行することは設備の機能を維持するためにももちろん重要であり、道路マニュアルの策定においては健全度評価の細分化も行ったが、実際に点検を行うのは“人”であり、点

検技術者の技術力を確保することが基本となる。

点検技術者には、設計的知識と経験に基づく判断力が求められる。これらは一朝一夕に身に付くものでは無いため、ベテラン技術者のノウハウを若年層へ継承する仕組みづくりが課題となっている。

また、技術力を補助するための仕組みとして、近畿地方整備局では、2014年度、点検不具合や故障に対して学識者による常設委員会を用いて原因究明や復旧方法提案を行う土木機械設備診断制度を立ち上げた。まずは河川機械設備を対象としたが、今後は道路機械設備へも展開する必要がある。

(4) 入札契約における品質確保

上記(3)で述べたように、実際に点検を行うのは“人”であり、設計的知識と経験に基づく技術力をもった業者が点検を履行する事で効率的・効果的な維持管理に寄与される。したがって、今後、点検整備の入札契約においては、入札時に業者の技術力を評価する総合評価方式や点検終了後に業者の点検結果を評価する成績評定制度の導入等を行うことによって、点検整備の適切な履行の確保を図ることが重要となっている。

5. まとめ

本報告では、道路機械設備の効率的・効果的維持管理に寄与する現在の取り組みならびに今後取り組むべき課題についてとりまとめた。

国土交通省では、2014年度から「老朽化が進む機械設備の維持管理技術に関する検討」と題して、維持管理に関する各種課題の対応を検討している。ここで紹介した道路マニュアルの新規制定もその取り組みのひとつである。

今後、マニュアルに定めた事項を着実に履行するとともに、新たな入札契約方式の導入についても検討を行い、道路機械設備の適切な維持管理に努めるものである。

第二阪和国道建設に伴う 重要種保全対策の取り組み ～ゲンジボタルの保全対策について～

三浦 雅史

近畿地方整備局 浪速国道事務所 工務課 (〒573-0094大阪府枚方市南中振3-2-3)

一般国道26号第二阪和国道（淡輪ランプ～大谷ランプ）は、平成28年度の暫定2車線供用を目指して事業を進めており、現場での施工が急ピッチで進められている。一方、平成23年度に策定した希少動植物保全計画に基づき、自然環境保全対策に着手に取り組んでいる。

平成26年度には、保全対策種として選定された7種（植物4種、動物3種）のうち、本事業によって生息環境が改変されるゲンジボタルについて、地元の理解・協力を得、工事関係者との連携を図りながら、幼虫及び餌となるカワニナの移植、付替河川における生息環境の再生に向けた保全対策に取り組んだ。

キーワード 環境保全対策、ゲンジボタル、自然再生、移植

1. はじめに

道路建設事業の実施にあたっては、動植物等の生息環境に配慮し、周辺の自然環境との共生を図る必要がある。

第二阪和国道の整備が進められている大阪府泉南西部地域は、海浜部まで連なる豊かな自然環境が残った地域であり、事業の推進にあたっては、平成23年度に策定した希少動植物保全計画に基づき、自然環境保全対策を実施することとなっている。

保全対策種7種（植物4種、動物3種）のうち、ゲンジボタルは里山における河川の代表的な動物である。地域の豊かな自然環境を象徴し、環境に配慮した道路事業推進のシンボリックな種として、保全対策が求められている。



図-1 対象地区内の河川環境とゲンジボタル

2. 地域の概況

第二阪和国道（淡輪ランプ～大谷ランプ）は、大阪府泉南郡岬町淡輪地内の淡輪ランプを起点とし、和歌山県和歌山市大谷地内の大谷ランプを終点とする延長9.4kmの区間において、自動車専用道路を整備するものである。平成28年度の暫定2車線供用を目指して、工事が急ピッチで進められており、平成26年度には大阪府と和歌山県の境に位置する孝子地区において、本事業により改変される大川の一部で付替河川工事に着手した。



図-2 第二阪和国道位置図

3. これまでの経緯

第二阪和国道（淡輪～孝子地区）の環境調査は、平成21年2月から実施されており、平成23年度には確認され

た種ごとに影響を予測・評価して保全対策の対象種が選定され、希少動植物保全計画が策定されている。

ゲンジボタルについては、周辺住民における「人と自然の触れ合い活動」という視点から、保全対策の対象種として選定されている。生息している大川において一部河川付替工事が発生し、工事時の濁水土砂の流入や供用時の路面排水の流れ込みによる環境悪化、さらに、道路・鉄道の照明による繁殖活動の阻害の可能性等、生息環境が改変されることから、幼虫や餌動物であるカワニナへの影響が考えられた。このため、移植等の対策を実施することとしていた。



図-3 地元の自然保護活動

4. ゲンジボタル等保全対策の検討

平成26年度には、ゲンジボタルが生息する河川での付替工事に着手するため、ゲンジボタル幼虫及びカワニナの移植実施が必要となった。

移植時期は幼虫が蛹化する前で、かつ体長が大きい方が見つけ易くなるため、およそ11月～2月が適期となる。期間が短く限られるため、工事工程との調整を行ったうえで、効率的な移植手法が求められた。さらに、付替工事による改変によって消失された生息環境は容易に回復できないことが想定されたことから、付替工事に合わせ、現河川の河床材料を活用して、付替河川における多様な河床構造形成の骨組となるよう敷設・配置を行い、瀬淵や砂州の形成を促進する対策についても併せて検討した。



図-4 保全対策前の付替河川

(1) 対象箇所

対象箇所は、孝子地区内の付替河川4区間である。各区間は、さらに数箇所の施工区に分かれており、各施工区の工程調整を行い順次実施した。また、新たに付替河川を新設する箇所と現河道の改修を行う箇所があり、これらの施工内容も把握しながら対策を進めた。

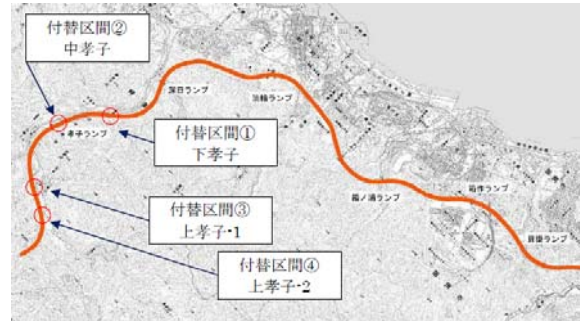


図-5 保全対策実施箇所

(2) 保全対策の実施手順

ゲンジボタル幼虫及びカワニナの保全対策として、「移植」及び「生息環境の復元」について実施することとした。各対策における課題として、①「移植」時期についてゲンジボタルの生活史を考慮する必要がある、②「生息環境の復元」について現況河川からの河床材料採取・仮置き、工事完了後の速やかな石礫配置を行う必要がある、の2点が挙げられる。

上記の課題と工事工程を調整しつつ、図-6に示すフローに基づき保全対策を実施した。

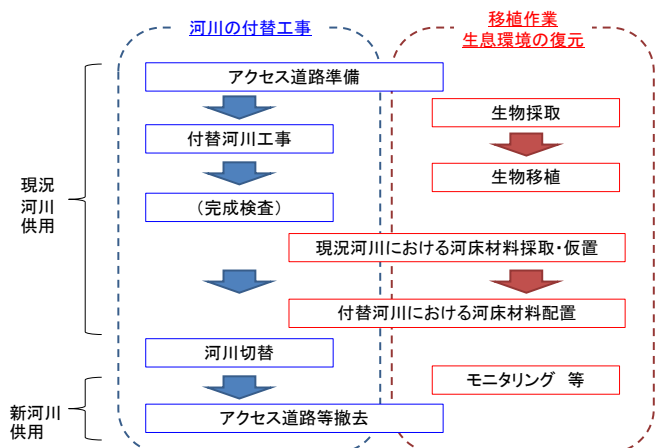


図-6 保全対策全体フロー

(3) ゲンジボタル幼虫及びカワニナの採取・移植

ゲンジボタル幼虫及びカワニナ等の移植は、従来、石礫等を人力で動かしながらタモ網等による採取を行っていたため、労力がかかるうえに実際の採取数が限られており、施工中の限られた工程の中での対策としては、実効的と言えず、改善の必要があった。

これに対し、①可能な限り多くの生息種の保全を図る、②限られた工程の中で効率的に採取・移植するこ

とを目的とし、従来の手法に対し、表-1のような改善手法により試験施工を行ったうえで、本施工に適用した。



図-7 従来の採取法

表-1 採取・移植方法の改善

作業手順	作業状況
①事前準備 ・現河川の水位・水量を極力下げる。 ・河床の石礫等が見える程度が採取作業に適する。 ・必要に応じて仮設流路を設置する。	
②耕運機を用いた攪拌 ・小型耕運機により河床の石礫を掘り起こすように攪拌する。 ・岩盤の場合は行わない。	
③高水圧洗浄機による採取 ・石礫や岩盤に付着している幼虫等を高水圧で洗流す。 ・高水圧で流した生物を小礫等と一緒に網で回収する。	
④採取生物選別・同定 ・回収物より石礫や落葉等の夾雑物を取り除く。 ・採取された生物を確認し、移植先に応じて区分する。	
⑤上流側への移植 ・ゲンジボタル幼虫及びカワニナについてはあらかじめ選定した大川上流の工事影響のない箇所に移植する。	

(4) 河床材料(石礫)の配置による生息環境再生

付替河川工事によって、ほぼ直線的なコンクリート張りの護岸になってしまうことに加え、治水安全上川幅をより広くとっているため、流れがより緩やかになる。

このため、砂州形成の骨格となる比較的大きい石礫(直径30～50cm)を交互に配置し、砂州や瀬、あるいは淵等の多様な河床構造が形成されるようにした。

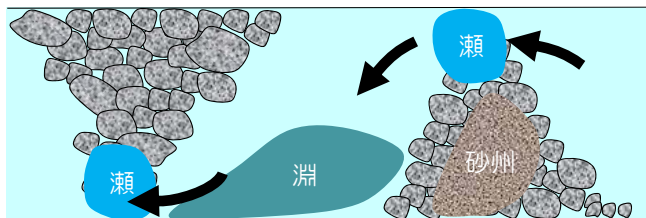


図-8 生息環境(瀬淵のある河床構造)のイメージ

使用する河床材料は、可能な限り、現河川の河床材料を採取・仮置きして活用した。不足分については、護岸掘削箇所等より発生する石礫を代替として活用した。



図-9 現河川からの河床材料採取

河床材料の敷設手順は以下の通りであり、当初区間で実施したモデル施工において、施工手順や歩掛等の確認を行ったうえで作業仕様を確定し、本施工に適用した。

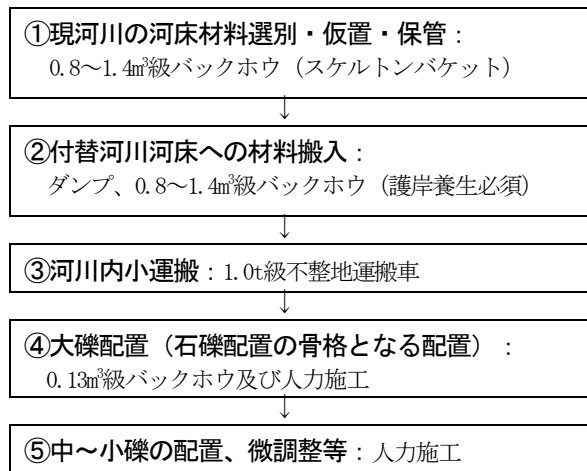


図-10 河床材料配置手順

5. 保全対策実施

(1) ゲンジボタル幼虫及びカワニナ採取・移植

1) 実施状況

採取・移植作業は、各区の施工進捗と調整を行いながら、11月～1月に順次実施した。なお、6月には事前の成虫確認調査を行い、11月には、先行区間（中孝子）でモデル施工を行い、施工手順や手法等の確認を行った。

表-2 保全対策（採取・移植）実施箇所及び実施時期

付替区間	延長 (m)	実施時期
①上孝子-1	150	2015/01/27～29
②上孝子-2	250	2015/01/08～10
③中孝子	400	2014/11/10～12 ※ 2014/11/19～20
④下孝子	600	2014/12/01～06 2014/12/24～27 2015/01/06～07 2015/01/16～29

※モデル施工として実施

2) 事前の成虫確認調査（2014年6月）

上孝子～下孝子地区の18地点において、成虫確認調査を行い、138匹/日の飛翔を確認した。



図-11 成虫調査

3) 移植箇所の選定

採取したゲンジボタル幼虫及びカワニナは、大川の付替区間より上流部又は工事によって影響を受けない支川に移植することとし、現地確認調査を行ったうえで、上孝子、中孝子の2箇所を選定した。



図-12 移植箇所の状況

4) モデル施工（11月）

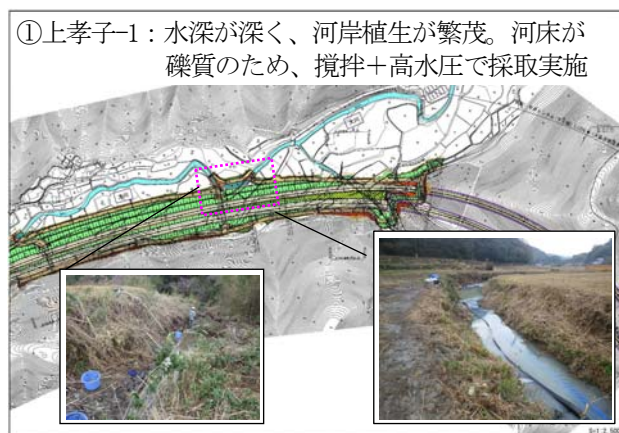
アドバイザーによる現地指導、施工業者等による見学会を行い、本施工での実施に向けた情報共有を図った。



図-13 モデル施工実施状況

5) 各施工箇所の実施状況（2014年11月～2015年1月）

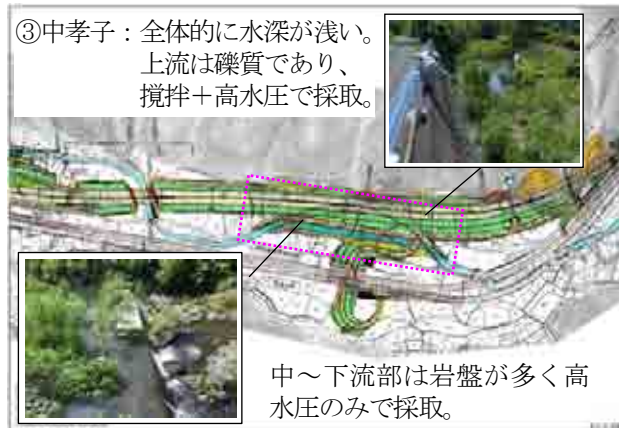
①上孝子-1：水深が深く、河岸植生が繁茂。河床が礫質のため、攪拌+高水圧で採取実施



②上孝子-2：河岸にツルヨシが繁茂し、成虫調査でも多数生育が確認された箇所。河床が礫質であり、主に攪拌+高水圧で採取。

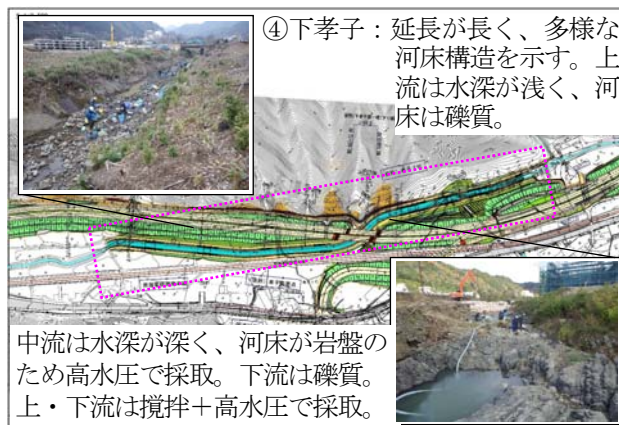


③中孝子：全体的に水深が浅い。上流は礫質であり、攪拌+高水圧で採取。



中～下流部は岩盤が多く高水圧のみで採取。

④下孝子：延長が長く、多様な河床構造を示す。上流は水深が浅く、河床は礫質。



中流は水深が深く、河床が岩盤のため高水圧で採取。下流は礫質。上・下流は攪拌+高水圧で採取。

6) 実施状況のまとめ

アドバイザー（和歌山大学教授 養父先生）による現地指導、施工業者等による見学会を行い、本施工での実施に向けた情報共有を図った。

①ゲンジボタル幼虫及びカワニナの採取数

採取方法の改善によって、これまでの採取実績に比べてゲンジボタル幼虫の採取数が大幅に増加した。

表-3 改善手法による採取個体増加

ゲンジボタル	従来手法		改善手法
	平成24年度	平成25年度	平成26年度
採取数	44個体	3個体※	925個体
調査距離	約1,500m	約500m	約1,100m
単位距離あたり採取数	約3個体/100m	約0.6個体/100m	約84個体/100m

※平成25年度は出水後であったため採取数がやや少ない



図-14 ゲンジボタル幼虫

カワニナは、全区間を通じ約8万個体が採取できた。



図-15 カワニナ

②採取・移植作業効率

採取及び移植に関する作業効率は、5～7名体制で約150㎡（延長約100m）/日の施工を行い、各施工区につき2～3日程度の作業で対応ができた。

③その他生物の保全への寄与

改善手法によって、他の水生昆虫や魚類等も多数採取できた。採取した生物については、施工の影響が少ない上・下流部に移植し、保全に寄与できた。



図-16 改善手法により採取された水生昆虫

(2) 河床材料配置

採取・移植作業を実施した箇所のうち、河川付替工事が完了した下孝子地区において河床材料の配置を行った。

1) モデル施工

先行区間での施工（2015年2月2～4日）をモデル施工として位置付け、施工手順等の確認を行った。



図-17 モデル施工実施状況

2) 石礫配置作業の実施

直線部は、石礫を交互に、かつ水衝部を形成させて流れに強弱ができるよう配置した。落差工部にも石積とたまりを形成し、魚類遡上が可能となるように配慮した。



図-18 石礫配置状況

3) 実施状況まとめ

①河床構造形成への対応

下孝子地区（延長600m、施工面積5,000㎡）において河床材料配置を行い、砂州や瀬淵形成に必要な多様な流れを創出することができた。施工後、除々に砂州形成等の様子が確認されている。



図-19 多様な河床構造の形成状況

②河床材料配置作業効率

石礫配置作業に関する作業効率は、8～10名体制で約250㎡（延長約20～30m）/日の施工を行い、各施工区3～5日程度の作業で対応ができた。

6. 今後の課題と対応

(1) 河岸部植栽

石礫配置による多様な流水の効果によって形成された砂州や淵には、クサヨシ等の抽水植物が定着・生育し、多様な生物生息環境が形成されていくことが期待される。これら植生については、河床構造が形成されていくとともに、少しずつ自然に侵入してくると考えられるが、前述のとおり、流れが緩やかになり比較的自然境乱の少ない条件下では、その回復も緩やかな時間経過を要することが考えられ、成長の早い外来種の侵入等のリスクも懸念される。

したがって、河床構造の再生とあわせ、望ましい植生種の定着を促進することは、早期の適正な環境復元に有効であると考えられる。今後、改変のない現河川から、部分的にクサヨシ等の植生を採取・移植し、定着を促進させることを検討していく。



図-20 現河川のクサヨシ群落

また、道路照明や、近接する南海電鉄からの照明をさえぎるための河岸部分への植栽等、蛹化等を含めたゲンジボタルの生息環境整備も検討していく必要がある。



図-21 付替河川河岸部分(右側が南海電鉄)

(2) 地元との協力・連携

ゲンジボタルの保全は、「人と自然の触れ合い活動」という視点を目的としており、今後の再生状況のモニタリングや将来的に必要な河川環境の維持管理についても、地元との協力・連携が必要不可欠である。事業実施に伴う一過性のイベントではなく、地元住民への負担とならないような持続的な仕組みづくりについて検討し、少しずつ実践していくことが必要である。

地域関係者との連携については、以下のようなものが考えられる。

- ・既存の地域環境活動団体との協力・連携
- ・地元小学校等の環境学習への導入
- ・近隣大学(和歌山大学)と連携したモニタリング 等

7. まとめ

道路建設に伴う現況河川環境の消失に対し、生息するゲンジボタル幼虫及びカワニナ等の移植保全について、効率的な採取・移植手法を導入したことにより、限られた期間で多くの生息個体の保全が可能となったのみならず、その他の水生生物の保全にも寄与できた。

また、河川付替工事によって消失された生息環境復元を図るため、現河川の河床材料を活用した石礫配置を行うことができた。

今後は、生息環境の早期復元のため、河道内の砂州や淵へのクサヨシ等の植生移植や、河岸部への植栽等、生息環境の早期復元を図るための対策を検討していくこととしている。

さらに、これらの取り組みにあたっては、地元関係者と一体となった協力・連携体制を構築し、「地域と一体となった環境にやさしい道づくり」を推進するとともに、将来の持続的な環境管理の体制づくりについても、ゲンジボタルをシンボルとした活動として構築できればと考えている。

謝辞：本検討を遂行するにあたり、本事業のアドバイザーとして、貴重な御意見・御示唆を頂きました和歌山大学システム工学科教授 養父先生に深く感謝いたします。

また、限られた期間での保全対策の遂行にあたっては、地元の方々をはじめ、施工関係者の皆様のご理解とご協力があつた賜物です。深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 養父志乃夫：ビオトープ再生技術入門

瀬切れ河川における河川整備計画段階の水環境確保手法の提案

花房 大輔¹・福永 智之²

¹滋賀県 土木交通部 流域政策局

²滋賀県 土木交通部 監理課

本報告は、滋賀県の天井川における伏没・瀬切れ特性を踏まえ、河川整備計画段階における水環境確保手法を提案するものである。提案に際し、モデル河川の瀬切れ実態、河道内地下水位の現地観測を実施し、瀬切れ事象を再現できる簡易予測モデルを構築した上で、従来の「正常流量検討の手引き（案）」に基づく河川流量の確保と河道形状の工夫を組み合わせ、実現可能な対策について検討した。また、試験施工した水制によるシュルター（避難場）確保の可能性を確認し、モデルの妥当性を検証した。さらに、他の瀬切れ河川においても適用できるようにするため、瀬切れ河川における河川整備計画段階での現実的な水環境確保方策を検討する際の道筋を示した「河川維持河相の手引き(案)」を作成した。

キーワード 天井川、瀬切れ、河川整備計画、正常流量、水環境確保手法

1. はじめに

河川整備計画では「流水の正常な機能の維持」を目的として、各河川の正常流量を記述することとなっている（河川法第16条の2）。検討にあたっては、「正常流量検討の手引き（案）」（国土交通省河川局河川環境課平成19年9月）を参照し、10年に1回程度の渇水時においても確保すべき必要流量を設定されることが慣習的となっている。しかし、滋賀県の扇状地の天井川の多くは、毎年のように「瀬切れ（流水が途切れる現象）」が発生し、手引きを適用した正常流量を確保することが難しい。

本報告は、滋賀県の天井川における伏没・瀬切れ特性を踏まえ、従来の「正常流量検討の手引き（案）」に基づく河川流量の確保と河道形状の工夫を組み合わせることに着目し（図-1）、高時川を事例として、河川整備計画段階における水環境確保手法について提案する。

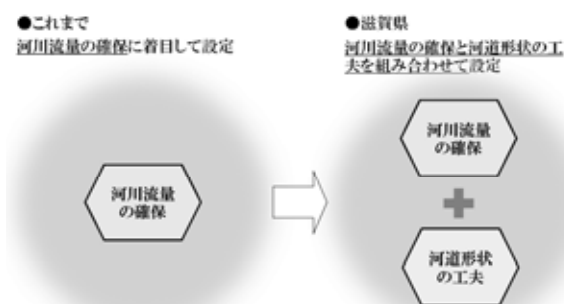


図-1 滋賀県の着眼点

2. 瀬切れ簡易予測モデルの構築

瀬切れの有無を予測する統計モデルの構築および説明変量を得るために、河道微地形等のデータの収集整理、現地調査による瀬切れ実態、河道内地下水位、伏没量（地表水が地下へ流出する流量）の現地調査を行った。

(1) 河川微地形データ整理

面的な河床微地形データを作成するため、LP（レーザープロファイラ）測量結果および航空写真から、予測モデルでの河道微地形を表現できるメッシュサイズ（5m×5m）の地盤高データ（高さの精度は±15cm程度）を整理した。

(2) 瀬切れ実態調査

瀬切れ予測モデルの検討対象範囲（約10km）において瀬切れ実態調査を行った（写真-1）。調査時期は、過去データに基づき、高時川で瀬切れが頻発する時期（6月～10月）を対象に、2012年7月から2013年10月の計14回、目視観測および定点写真撮影を実施し、河川流量と河道内の瀬切れの平面分布や瀬切れ箇所を把握した。この結果にあわせて、（1）で作成したメッシュ毎に水面の有無を整理し、河川流量と水面分布の予測モデルの検証データを作成した。



写真-1 瀬切れ実態調査 (左: H24/7/31, 右: H24/8/8)

(3) 河道内地下水調査

瀬切れ・伏没後の河道内水位の低下範囲を把握するため、本検討では、検討対象範囲のうち3箇所において、最深河床高から約3m程度の深さにダイバー水位計を設置し、2012年7月から2013年11月の約17ヶ月間の地下水位の連続観測を行った。

(4) 簡易予測モデルの構築

瀬切れ現象の予測モデルには、表流水と地下水を一体化した水理モデル（詳細モデル）ではなく、より簡便で短時間にモデル構築が可能な統計モデルとして、一般線形混合モデルによるロジスティック回帰分析を用いて構築した（図-2）。

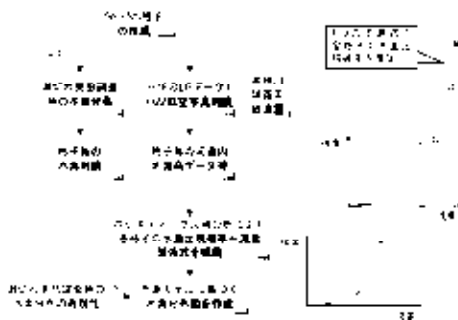


図-2 瀬切れ簡易予測モデルの検討フロー

本検討では、「河道形状の工夫」や「河川流量の確保」の組合せに応じて、瀬切れ対策を評価することが可能なモデルを構築するため、目的変数を瀬切れ実態調査のメッシュ毎の水面出現状況とし、調査時の河川流量(x1)、河川微地形データより算出したメッシュ毎の地盤高(x2)、水面との比高差(x3)、縦断距離区分(x4)および、低水路幅(x5)を説明変数として、メッシュ毎に求めた水面出現確率から水域分布を推定した。なお、説明変数間に強い相関関係が存在する場合は予測モデルの信頼性が低くなることから、分散拡大係数（VIF）を事前に算出し、VIFが10以上の説明変数については、目的変数との関係が強い方を採用した。

解析の結果、水面の出現状況と有意な相関関係（ $P<0.05$ ）のみられる説明変数として、河川流量(x1)、水面と地盤の比高差(x3)、縦断距離区分(x4)、低水路幅(x5)が選択された。また、水面の出現には「流量」の影響が最も大きく、次いで「河床高」の影響が大きいこと

が読み取れる。また、「低水路幅」からは、水が通常流れる場所を深めに掘り、かつ幅を狭くすること（低水路掘削）が効果的と考えられる（表-1）。

表-1 ロジスティック回帰分析結果に基づく瀬切れ対策の考察

変数	影響度 (z値)	説明	対策
高時川流量 (x1)	1.63 0.18748	水面の出現に最も影響する要因であり、高時川流量の増加に伴い水面出現確率が增加する	河川流量の確保
水面と地盤の比高差 (x3)	2.93 0.0041	流量に次いで水面出現への影響が大きく、河床が低いほど水面出現確率が高くなる	河道形状の工夫 ・水路等による 局所的な水深確保
縦断距離区分 (x4)	3.61 0.00017	下流側で水面出現確率が低く、塞滞の発生や河床材の堆積の影響が考えられる	瀬切れが顕著な下流の対策を優先的に実施
低水路幅 (x5)	4.68 0.00001	影響度は最も低い低水路幅が狭いほど水面出現確率が高くなる	河道形状の工夫 ・低水路掘削による 局所的な水深確保

予測モデル式を式(1)に示す。

$$p = \frac{1}{1 + \exp(4.90 - 0.67x_1 - 0.93x_3 - 0.08x_4 + 0.02x_5 - 2.22)} \quad (1)$$

ここに、p：水面出現確率、 x_n ：説明変数($n=1,3,4,5$)

水面出現確率に対して水面の出現・非出現を判断するROC解析を行い、最も識別力が高くなる閾値を求めた結果、水面出現確率pは41%以上となった（図-3）。

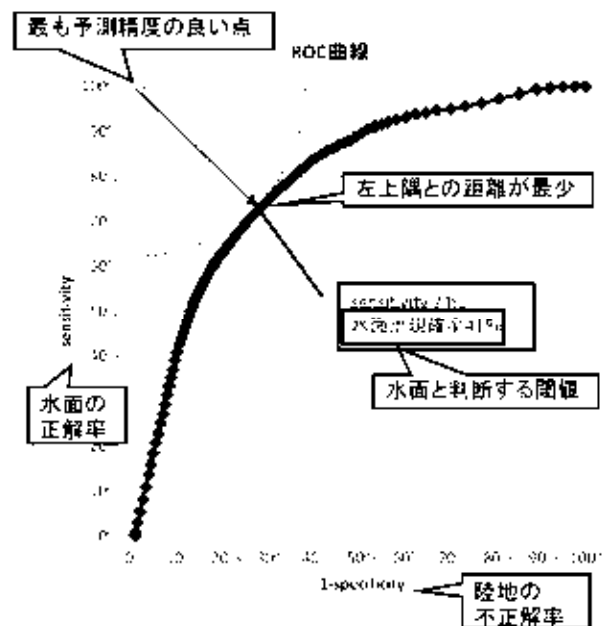


図-3 ROC曲線(水面正解率と陸地不正解率をプロットしたもの)

(5) モデルの検証

構築した簡易予測モデルを用いて作成した水面分布図と現地調査結果を比較した結果、瀬切れが顕著な 3.4k～11.0kにおける予測結果の正解率（現地調査と予測結果が一致したメッシュ数/全メッシュ数）は80.9%であり、現状を再現することができた。

また、現地調査において、瀬切れ区間で確認した点とする淵（深み）の再現性を検証した結果、現地調査で水

面が確認された箇所とほぼ同じ箇所でも水面出現を予測できた（図-4）。

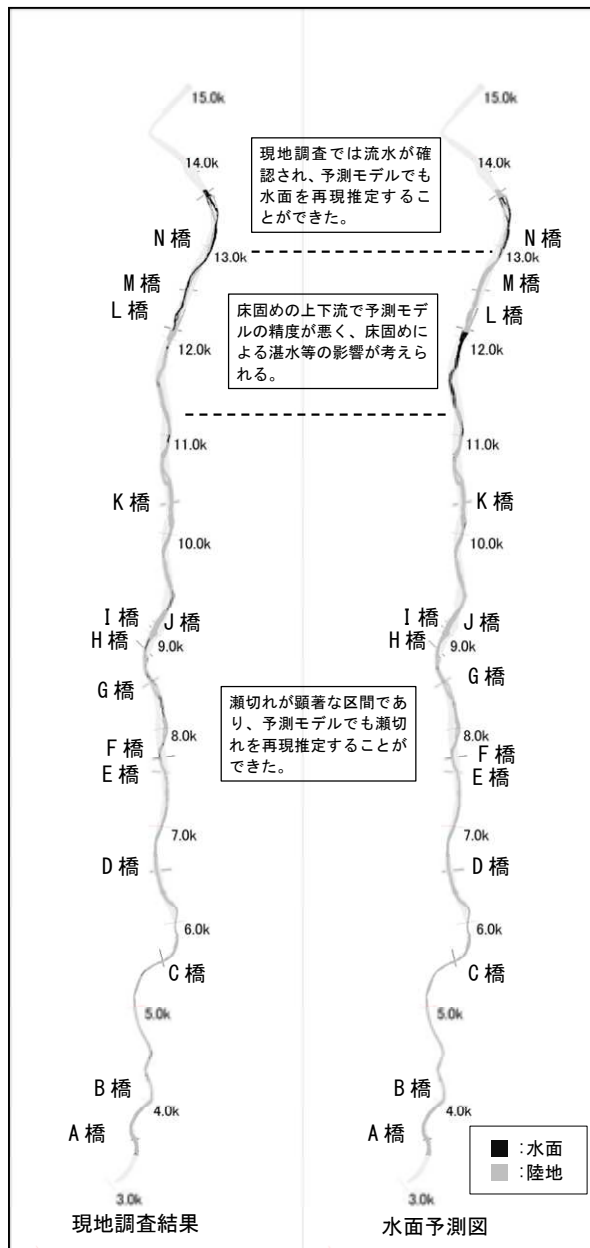


図-4 現地調査と予測結果の比較

3. 河川整備計画段階での河川環境目標(案)の設定

(1) 対象生物種の選定

流量が減少し、河川が瀬切れした場合、最も影響を受けるのは、流水環境下で、遡上、生息、産卵する魚種と考えられる。代表種としては、高水温、溶存酸素不足、流水の止水化等の生息環境の変化が他の魚類に比べ敏感で、かつ、滋賀県内での産業的価値がある「アユ」を指標とすることが、河川が瀬切れした場合の最低限の機能維持を評価するのに適切であると考えられる。

(2) 河川整備計画段階における対応方針の検討

アユの生活史（遡上期・成長期・産卵期）に着目し、「河道形状の工夫」と「河川流量の確保」の組合せにより、生態系維持に必要な水環境の確保方針を整理した（図-5）。これを踏まえ、河川整備計画段階においては、まずは「河道形状の工夫」を実施し、「河川流量の確保」については今後の社会情勢等の変化も踏まえながら、利水者を含む関係者間の問題意識の共有化を図った上で対応方針を検討していくものとした（図-6）。

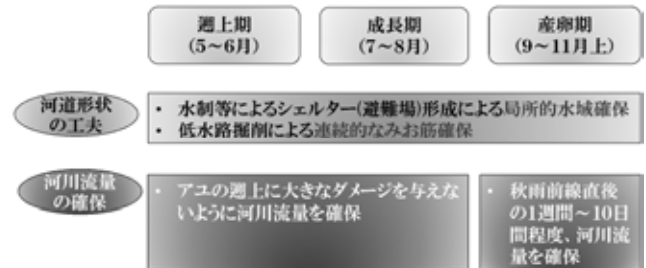


図-5 アユの生活史に着目した水環境の確保方針

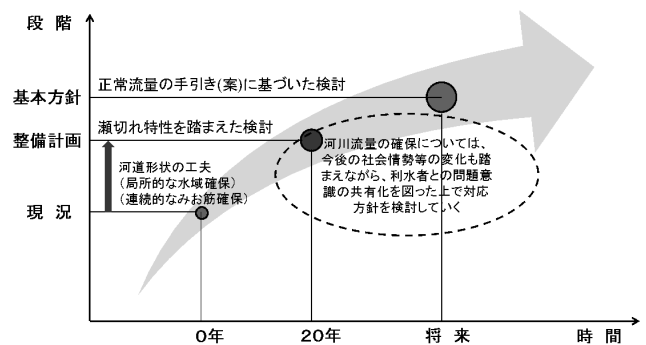


図-6 河川整備計画段階における対応方針のイメージ

(3) 河道形状の工夫

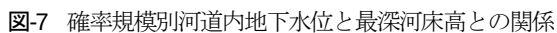
a) 対応方針

当面の対応としては、上述のロジスティック解析結果に基づき、以下に示す河道形状の工夫により、生態系維持に必要な水域（水面）を確保するものとした。

- ・河川の維持管理の一つとして実施する低水路掘削の副次的効果により、連続的なみお筋を確保すること
- ・水制工(シェルター)を設置することで淵を形成し、流量低減時にも魚類等の一時避難場所となる局所的な水域を確保すること

b) 瀬切れ対策区間の抽出

河道内地下水位と同時期の堤内地地下水位の相関から、過去8カ年の確率規模別河道内水位の最低水位を推定したところ、瀬切れが頻発する7月～8月では河床から約1mの河道内地下水位が約1/2確率規模に相当し、約1m以上の淵を形成すれば、瀬切れ時も水面が出現し易いものと想定される（図-7）。



水制工1基を試験施工した(写真-2)。簡易予測モデルでは、河床低下1m時に水面が出現しやすいとの予測に対し、同年の瀬切れ発生日の観測では河床が1m程度低下し、水面の確保およびアユの生息が確認された(写真-3)。

引き続き、淵形成ポテンシャルの高い区間で、水制工の試験施工を追加実施し、水制の規模（高さ、長さ等）と洗掘深の関係、淵形成効果を確認していく予定である。



写真-2 試験施工の実施（水制工）



写真-3 試験施工箇所のモニタリング



高時川では、河道形状の工夫による瀬切れ対策として、みお筋位置の安定した河岸に異形ブロックによる横向き

アユの遡上期や産卵期は、河川流量の確保が必須条件であり、河道形状の工夫の取り組みと並行して検討する必要がある。河川流量の確保は、今後の社会情勢等の変化も踏まえながら、利水者を含む関係者間の問題意識の共有化を図った上で具体的な対応を検討していくことが必要である。

以上の検討結果をもとに、高時川にて、アユの期別に対策場所、対策方法を具体的に示した河川整備計画段階での河川環境目標(案)を設定した(図-9)。



図-9 河川整備計画段階での河川環境目標(案)

4. 河川維持河相の手引き(案)の作成

本検討の成果を踏まえ、滋賀県内のみならず、全国の河川での適用も想定した天井川での現実的な瀬切れ対策について「河川維持河相の手引き(案)」の作成を試みた(図-10)。

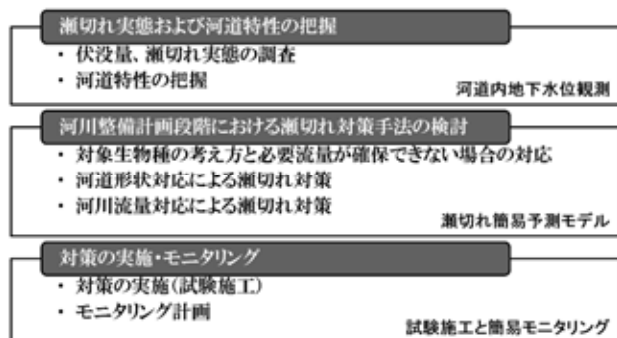


図-10 河川維持河相の手引き(案)の骨子

5. 今後の課題

今後の課題として、主に以下の3点が考えられるので、引き続き対応していく。

(1)河道形状の工夫の実施およびモニタリングに向けた具体的検討

- ・水制配置計画の検討(水制の基本諸元、配置計画、みお筋掘削位置 等)
- ・治水面への影響評価(水位上昇、対岸の侵食 等)
- ・河床安定性の予測と検証、現地モニタリング計画検討

(2)関係者との情報共有に向けた根拠データの蓄積

- ・水利用の状況について、関係者との情報共有を進めていくうえで、必要となる根拠データの蓄積を進める。
(維持流量(地域用水)の実態把握、遡上期と成長期における限界の瀬切れ継続日数の評価 等)

(3)瀬切れ簡易予測モデルの適用可能性の検討

- ・高時川で構築した瀬切れ簡易予測モデルについて、他河川への適用可能性について検討する。(適用条件、適用時の留意事項、適用範囲および必要な現地調査の検討 等)

6. おわりに

本検討では、滋賀県内のモデル河川を対象に、瀬切れ河川における河川整備計画段階での現実的な水環境確保方策を検討する際に、「正常流量検討の手引き(案)」に基づく「河川流量の確保」と「河道形状の工夫」を組み合わせた「維持河相」という概念を取り入れることにより、生態系の保全や渇水影響の緩和に貢献できる可能性を示唆することができた。

今後、県内の河川整備計画の策定において、「流水の正常な機能の維持」を目的とした正常流量を検討する際に、今回提案した手法を参考にしていくとともに、滋賀県のみならず、「維持流量」の確保が難しい日本全国の河川において、参考になれば幸いである。

謝辞：本報告をまとめるにあたり、長浜土木事務所および長浜土木事務所木之本支所のご担当のみなさまには多大なるご協力を頂きました。ここに、感謝の意を申し上げます。

参考文献

- 1) 兼頭淳, 三橋弘宗, 辻光浩, 瀧健太郎, 福永智之, 北村裕二, 竹内義幸: 瀬切れ河川における河川整備計画段階の生息場所確保手法の提案, 応用生態工学会 第18回研究発表会講演集, ポスター発表 PM-58, 2014

天ヶ瀬ダムゲート放流に伴う 低周波音の抑制について

藤川 紘邦¹・餅原 保夫²

近畿地方整備局 淀川ダム統合管理事務所 管理課 (〒573-0166大阪府枚方市山田池北町10番1号) .

近畿地方整備局 淀川ダム統合管理事務所 管理課 (〒573-0166大阪府枚方市山田池北町10番1号) .

天ヶ瀬ダムは1964年に完成した多目的ダムであり、宇治市中心部から2kmあまりという立地条件と、上流には琵琶湖があり瀬田川洗堰の放流により洪水後等の琵琶湖水位低減のための主ゲートからの放流を長期間行うことが非常に多いというダム操作上の特徴がある。

管理開始直後、ダム下流の左岸地区から主ゲート放流時に発生する低周波音に関する苦情に対応した経緯があるが、近年になって、右岸地区からも低周波音による建物振動等の苦情が寄せられるようになり、2006年より当該地区を対象に低周波音の調査を行っている。

本論は、天ヶ瀬ダムゲート放流に伴い発生すると考えられる低周波音について、ダム下流の右岸地区において、過年度測定されていない3門放流（放流パターン左岸1：左岸2：右岸1（次頁図-2参照））時における低周波音レベルの把握を行い、過年度に測定された3門均等放流（放流パターン1：1：1）時の低周波音レベルとの比較、及び天ヶ瀬ダムゲート放流がない日を対象とした低周波音の状況（バックグラウンド）について、報告するものである。

キーワード ダム放流、低周波音、放流パターン

1. はじめに

天ヶ瀬ダムは、淀川水系宇治川に1964年に完成した淀川水系で最も古い多目的ダムであるが、宇治市中心部から2kmあまりという都市型ダムであるという立地条件や、上流琵琶湖の水位低下に伴う瀬田川洗堰の放流により洪水後等の琵琶湖水位低減のための主ゲートからの放流を長期間行うことが多いというダム操作上の特徴がある。

主ゲート放流時において低周音が発生していることが確認されており、管理開始直後より左岸地区から苦情が寄せられ、1974年～1975年に調査が実施された経緯がある。近年になって、右岸地区から苦情が寄せられるようになり、2006年以降低周波音の調査を行っている。確認されている低周波音の影響は、家屋内の建具の振動等、状況によって影響が現れたり現れなかったりする微妙なものであるため、今回は、過年度に測定されていない3門放流（放流パターン1：2：1）時における低周波音レベルを把握し、過年度測定結果と比較することにより、運用面での低周波音レベル低減の可能性について検討を行った。また、天ヶ瀬ダムゲート放流がない日を対象とした低周波音レベルの状況（バックグラウンド）を把握することにより、ダムゲート放流時の低周波音レベルの影響について確認するとともに、今後、測定を行っていく上での留意事項について整理を行った。

2. 調査地点

調査地点は、図-1に示すダム下流の右岸地区の各地点において低周波音レベルを測定した。なお、低周波音は風の影響を受けやすいことから風速についても合わせて測定した。

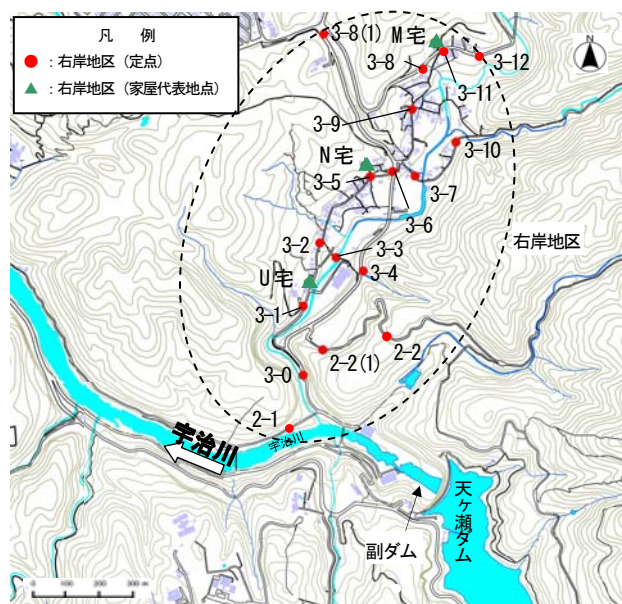


図-1 低周波音調査地点位置図

3. 調査内容

各調査地点において、以下の低周波音レベル等の調査（2014年8月13日）を実施した。

(1) ゲート3門放流時の低周波音レベル等調査

天ヶ瀬ダムには3門の主ゲートがあり、通常、主ゲート放流時には3門均等放流（放流パターン1：1：1）を実施しているが、図-2に示すとおり放流パターンを変更（1：2：1）した場合の低周波音レベルを調査し、右岸地区の定点や家屋代表地点において低周波音レベルや家屋内の建具等のがたつきがどう変化するかを確認した。



図-2 3門放流（放流パターン1：2：1）の状況

(2) ゲート放流がない日における低周波音レベル調査

天ヶ瀬ダムゲート放流がない日を対象とした低周波音レベルの状況（バックグラウンド）を調査し、ゲート放流に伴う低周波音レベルの影響について確認した。

4. 調査結果の整理・分析

測定した低周波音データについては、ノイズ等の影響を排除した後、音圧レベルとJIS（日本工業規格）において定められた1/3オクターブバンド中心周波数の周波数分析を行った。

(1) ゲート3門放流時（放流パターン1：2：1）の低周波音レベル

①右岸地区（定点）

ゲート3門放流時（放流パターン1：2：1）の右岸地区定点における低周波音レベルの結果（F特性AP値）を、図-3に示す。

その結果、過年度3門均等放流（放流パターン1：1：1）時の調査結果と同様、副ダムから距離が離れるほど、概ね低周波音レベルが小さくなっている。

②右岸地区（家屋代表地点）

また、右岸地区の家屋代表地点における低周波音レベル及び各家屋内の建具等のがたつきの有無を整理し、2013年度の調査結果と比較したものを、表-1、図-4に示す。これによると、今回は2013年度に比べて、ゲート放流量が100m³/s多い状況（2013年度は3門均等放流（放流パターン1：1：1））であったが、すべての家

屋代表地点で低周波音レベルは減少傾向を示した。特にN宅においては、表-2の周波数帯ごとの測定結果によると、5～10Hz付近で2013年度より約3dB低い結果となっており、2013年度に家屋内の建具等のがたつきが確認されていたものが、今回の調査ではそのがたつきは確認されなかった。

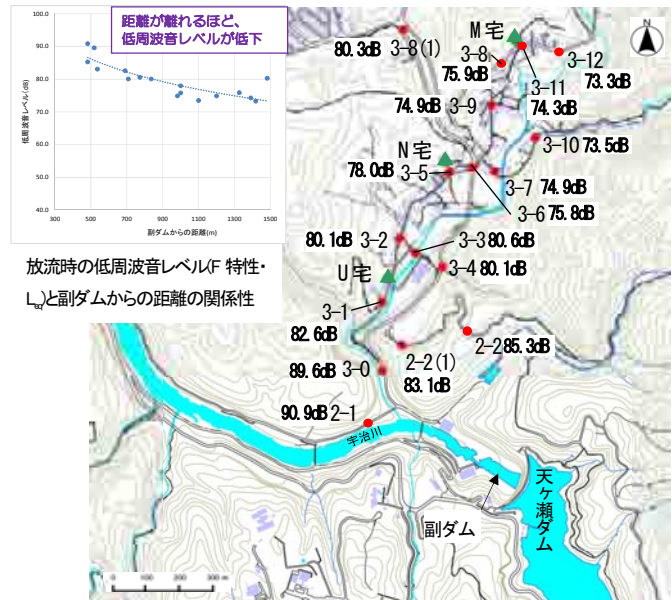


図-3 ゲート3門放流時（放流パターン1：2：1）の低周波音レベル〔F特性AP値〕（2014年8月13日15時）

表-1 右岸地区家屋代表地点における2013年度調査結果との比較

対象		2013年度			2014年度（今回）		
		コンジット放流量 (m³/s) ・放流パターン	低周波音 レベル(dB)	がたつきの有無	コンジット放流量 (m³/s) ・放流パターン	低周波音 レベル(dB)	がたつきの有無
右岸地区	M宅	450 2門放流(均等)	66	無	583 3門放流(1:2:1)	64	無
	N宅	460 3門放流(均等)	67	有	583 3門放流(1:2:1)	64	無
	U宅	460 3門放流(均等)	73	無	583 3門放流(1:2:1)	72	無

注）低周波音レベルはF特性5～20HzのAP

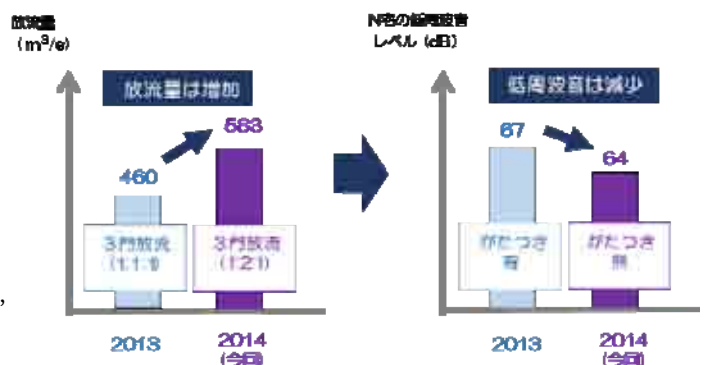


図-4 放流量・放流パターン及びN宅低周波音レベル・がたつきの有無についての2013年度調査との比較

表-2 右岸地区家屋代表地点における周波数分析結果の比較

対象	距離 (m)	年度	放流量	ダム放流量	ゲート数	ガツツキ の有無	周波数帯域(Hz)						
			(m³/s)	(m³/s)			5	6.3	8	10	12.5	16	20
M宅	1,263	2013	630	450	2門(均等)	無	60.4	59.3	57.1	54.2	54.3	55.4	57.7
		2014(今回)	688	583	3門(1:2:1)	無	61.1	58.8	54.4	48.1	45.1	48.6	50.1
N宅	895	2013	640	460	3門(均等)	有	61.9	63.1	59.9	55.3	51.6	49.1	47.2
		2014(今回)	688	583	3門(1:2:1)	無	59.2	60.5	56.4	51.0	48.8	47.0	45.9
U宅	573	2013	640	460	3門(均等)	無	67.0	66.7	67.8	64.9	60.6	57.9	55.0
		2014(今回)	688	583	3門(1:2:1)	無	65.3	64.2	65.8	64.3	60.0	57.5	55.6
低周波音による物的苦情に関する参照値(環境省)							70	71	72	73	75	77	80

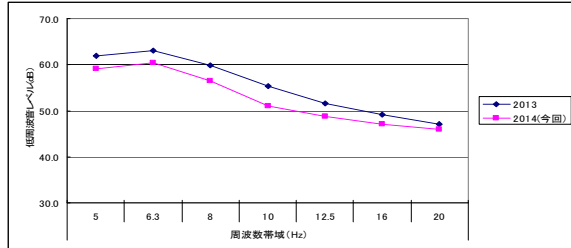


図-5 N宅における周波数分析結果の比較



図-6 N宅における低周波音レベル測定状況

(2) ゲート放流がない日における低周波音レベル（当該地域のバックグラウンド）

①右岸地区（定点）の低周波音レベル

天ヶ瀬ダムのゲート放流がない日を対象として、右岸地区定点における昼間の低周波音レベルの結果（F特性AP値）を、図-7に示す。これによると、ゲート放流時に見られたような副ダムから距離が離れるほど、低周波音レベルが小さくなるような傾向は見られなかった。

また、各調査地点特性が分かるように昼間、夜間の1/3オクターブバンド分析結果について、それぞれ等価騒音レベル（ L_{eq} ）と95%時間率騒音レベル（ L_{95} ）で整理した結果（F特性AP値）を表-3に示す。これによると、以下の事項が確認された。

○ L_{eq} と L_{95} の差分が大きい地点は、道路沿道で自動車の通行等の影響が考えられる地点である。

相対的に自動車交通の多い昼間の方がその差分は大きく、夜間の差分は小さい。

○遠方の地点では、地点3-8や地点3-11のように非放流時の低周波音が放流時のそれを上回っている地点も確認された。（ゲート放流による低周波音レ

ベルが非放流時の低周波音レベル（バックグラウンド）に埋もれている地点もある。）

○ L_{95} に着目した場合、昼間と夜間の差分が概ね小さいことから、特に昼間と夜間で異なるバックグラウンド（低周波音）は見られなかった。

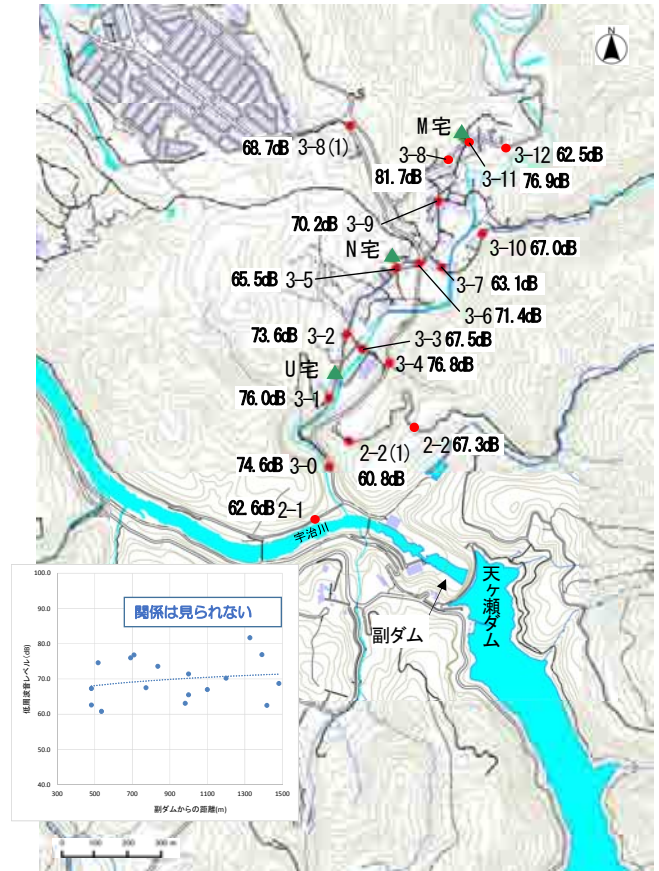


図-7 ゲート放流がない日の昼間の低周波音レベル（F特性AP値）

表-3 右岸地区（定点）の非放流時の低周波音レベル調査結果

地点名	副ダムからの距離(m)	調査時の低周波音レベル(dB)	非放流時の低周波音レベル(dB)					
			昼間			夜間		
			L_{eq}	L_{95}	差分	L_{eq}	L_{95}	差分
2-1	482	80.3	62.8	56.2	6.6	56.2	53.6	2.6
2-2	482	80.3	67.3	55.4	11.9	54.0	51.6	2.4
2-1(1)	536	81.1	60.8	54.0	6.8	53.8	49.8	4.0
3-0	518	89.8	74.8	58.5	16.3	58.4	54.2	4.2
3-1	691	82.6	76.0	63.5	12.5	67.3	55.0	12.3
3-2	838	80.1	71.8	58.4	13.4	55.1	51.1	4.0
3-3	773	80.6	81.5	58.8	22.7	54.5	52.9	1.6
3-4	718	80.7	76.8	59	17.8	54.2	52	2.2
3-5	1000	78.0	65.5	54.0	11.5	63.5	50.1	13.4
3-6	1000	78.8	71.4	56.0	15.4	55.8	49.8	6.0
3-7	982	74.9	63.1	53.5	9.6	52.4	50.2	2.2
3-8	1227	75.9	81.1	54.5	26.6	69.1	48.4	20.7
3-8(1)	1482	80.2	68.7	55.0	13.7	65.8	51.1	14.7
3-9	1206	74.9	70.3	51.8	18.5	49.2	47.0	2.2
3-10	1100	73.5	67.0	51.1	15.9	51.7	49.4	2.3
3-11	1391	74.5	76.8	53.0	23.8	69.4	48.2	21.2
3-12	1478	73.3	62.5	54.5	8.0	54.1	51.7	2.4

②ゲート3門放流時低周波音レベルとの比較

ゲート3門放流時とゲート放流がない日の周波数帯ごとの低周波音レベルの比較結果の総括を図-8に示す。これによると、以下の事項が確認された。

- 副ダムから近い箇所では、ゲート放流による低周波音レベルの影響がすべての周波数帯域（特に低い周波数帯域）で確認された。
- 副ダムから距離が離れるにしたがって、特に高い周波数帯域でゲート放流による低周波音レベルの影響が確認しにくくなる。
- 遠方でも、比較的自動車の影響を受けない箇所では、主に低い周波数帯域でゲート放流による低周波音レベルの影響が確認された。
- 一方、遠方でも比較的自動車の影響を受ける箇所では、ゲート放流による低周波音レベルの影響が非放流時の低周波音レベル（バックグラウンド）に埋もれて、ほとんど確認できない状況であった。

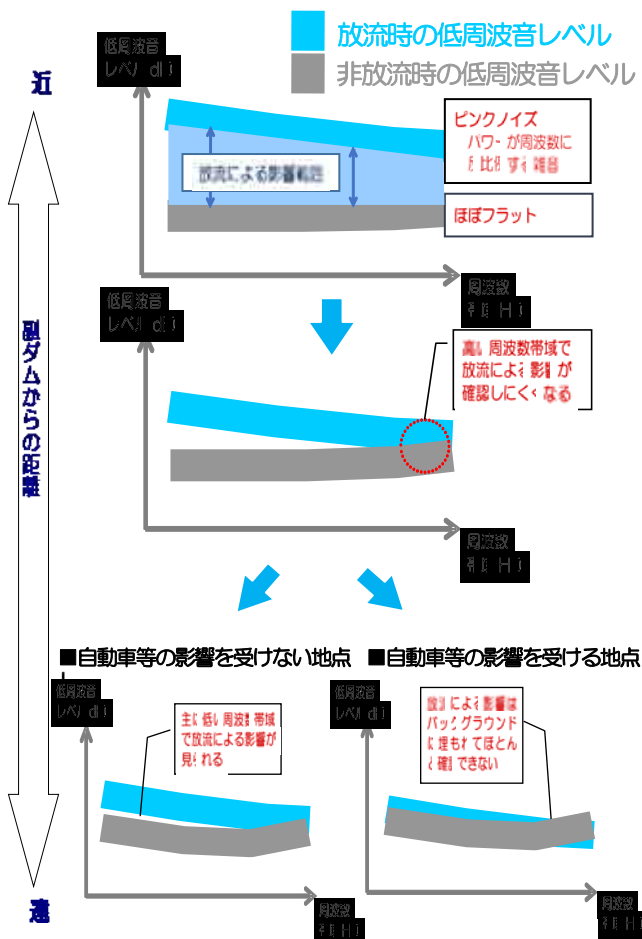


図-8 放流時と非放流時の低周波音レベルの比較総括

4. まとめ

本論のまとめは以下に示すとおりである。

(1) ゲート3門放流時の低周波音レベル等調査

今回、ゲート3門放流のパターンを変更（1：2：1）した場合の低周波音レベルを調査し、2013年度のゲート3門均等放流（1：1：1）に基づく調査結果と比較することにより、以下の事項が確認された。

- 今回のゲート放流（583m³/s）は、前回のゲート放流（460m³/s）より約120m³/s多い状況であったが、右岸地区（家屋代表地点）の低周波音レベルは小さくなり、前回屋内の建具等のがたつきが確認されたN宅では今回はがたつきも無かった。

(2) ゲート放流がない日における低周波音レベル調査

天ヶ瀬ダムゲート放流がない日を対象とした低周波音レベル（バックグラウンド）を調査し、ゲート放流に伴う低周波音レベルと比較した結果、以下の事項が確認された。

- 副ダムから距離にかかわらず、ゲート放流による低周波音レベルの影響は、主に低い周波数帯域で確認された。
- 副ダムから遠方で比較的自動車の影響を受ける地点では、ゲート放流による低周波音レベルの影響が非放流時の低周波音レベル（バックグラウンド）に埋もれて、ほとんど確認できない状況であった。ゲート放流の規模・パターンにもよるが、今後、これらの地点では、定点として低周波音レベルの測定を継続する必要性は低いと考えられる。

5. さいごに

今回の調査では、主ゲートの3門放流のパターンの変更（1：1：1⇒1：2：1）といった運用面で、右岸地区（家屋代表地点）の低周波音レベルが低減することが確認された。

今回の調査結果をもとに、右岸地区の各定点の測定継続の必要性を精査するとともに、常時監視地点の調査結果等も活用しながら、引き続き、主ゲートの放流量、放流パターンと低周波音レベルの関係性について検討していく必要があると考える。

日吉ダムの低水管理と利水容量温存の取組

松本 潤

独立行政法人水資源機構 日吉ダム管理所（〒629-0335 京都府南丹市中神子ヶ谷68）

日吉ダムの位置する桂川中流部においては、かんがい用水などの不特定用水の利用が多く、ダム下流の亀岡市から京都嵐山にかけては舟運観光業が盛んに営まれている。このような河川利用形態の中、日吉ダムは管理開始後 17 年間で利水貯水率が 50%を下回った年が複数発生しており、平成 12 年渇水時にはダム下流への用水補給により貯水率が 4.4%まで低下し、頻発する渇水に対して、より効果的なダム運用が求められている。日吉ダムでは日頃からきめ細かなダム操作を行うとともに、平成 25 年度には利水容量の温存を考慮した、洪水貯留準備水位に向けた貯水位低下操作計画の見直しを行った。本稿は、日吉ダムの低水管理及び利水容量温存の取組とその効果について報告するものである。

キーワード 低水管理、利水補給効果、貯水位低下操作計画、利水容量温存

1. はじめに

(1) 日吉ダムの概要

日吉ダムは、淀川総合開発の一環として、洪水調節、流水の正常な機能の維持、および都市用水補給を目的に、淀川水系桂川に建設された多目的ダムである。平成 10 年 4 月に管理が開始され、今年で 18 年目を迎える。

日吉ダム流域の流況は、管理開始以降の月平均でみると、梅雨時期の 6 月、7 月及び台風期の 9 月に出水が多く、3 月は融雪により流入量が多いという特徴があり、8 月は流入量が比較的少ない。このような気象環境のなか、洪水及び渇水を幾度も経験し、その度にダムの効果を発揮してきた。

また、日吉ダム下流域の水利用の特徴として、既得農業用水以外に舟運による水利用がある。亀岡から京都の名勝嵐山までの約 16 km の溪流区間を下る歴史ある保津川下りは、国内外問わず年間を通じて約 30 万人の観光客が訪れる。

(2) 日吉ダムの主要な放流設備

a) 低水管理用設備

低水管理用設備として、水温及び濁度等の変化の状況に合わせて任意の標高からの取水を可能とする選択取水設備を有する。貯水位が選択取水範囲以下（EL. 173.0m 以下）になった場合、又は、ダムからの放流量が選択取水能力（27m³/s）を超える場合は、底部からの取水にならざるを得ない。なお、底部からの取水位置は EL. 162.6m、

最大取水量は 50m³/s である。

b) 洪水放流設備

洪水放流設備として、常用洪水吐き設備及び非常用洪水吐き設備を有する。常用洪水吐きの最大放流量は、500m³/s（250m³/s×2 門）、非常用洪水吐きの最大放流量は、3,100m³/s（775m³/s×4 門）であり、合計 3,600m³/s の放流能力を持つ。

c) 新庄発電所

日吉ダム上流の世木ダムにおいて、関西電力（株）の発電用取水設備が設置されており、ここから日吉ダム下流の新庄発電所に送水し、発電を行っている。新庄発電所は日吉ダム建設に伴い、既設発電所をダム調節式発電から発電容量を有しない流れ込み式発電に計画が変更となり、日吉ダムの完全従属運転となっている。新庄発電所の取水量は 1.16～11.6m³/s であり、下流河川への利水補給の一部として活用している。

(3) 日吉ダムの利水計画

日吉ダムの水資源開発は、桂川における流水の正常な機能の維持と増進を図るとともに、淀川水系に水源を依存する諸都市に対し、水道用水を供給することを目的としたものである。

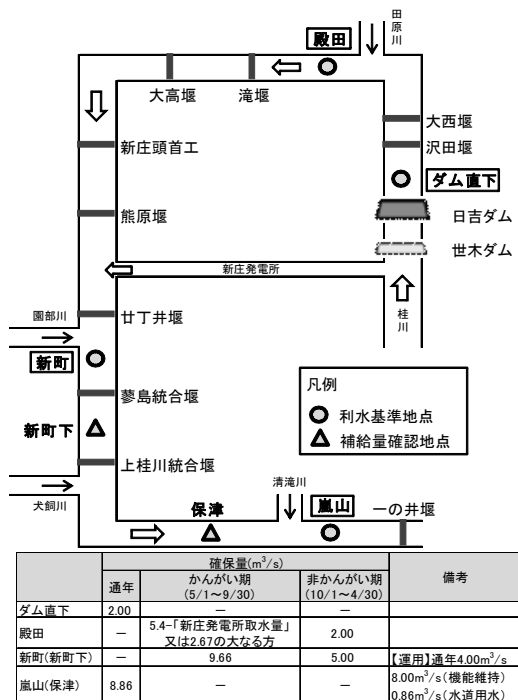


図-1 利水基準地点等位置図

流水の正常な機能の維持としては、舟運、河川環境の維持及び既得農業用水等を確保するために、ダム直下、殿田、新町及び嵐山の各基準地点において維持用水を確保するものである。

水道用水は、京都府南部地域、大阪府、伊丹市、阪神水道企業団など併せて3.7m³/sの取水を可能としている。

日吉ダム関連の利水基準地点等位置図を図-1に示す。

2. 日吉ダムの低水管理

(1) 日吉ダムの低水管理

a) 管理体制

ダムの利水容量を効果的に利用するためには、利水基準地点の流況の把握、不足水量分のダムからの補給操作をきめ細かに行うことが重要である。

日吉ダムにおいては河川流量の他、ダム諸量や雨量等の情報を携帯電話及びPCから閲覧できるため、管理所不在時でも昼夜を問わず監視することができるとともに、観測値が設定値に達した場合には、職員が所持する携帯電話に通知される。また、夜間・休日の職員不在時は、外部委託による監視体制を執っており、職員からの指示に応じた下流への補給量の変更操作が可能な体制が確保されている。

b) 確保流量の考え方

河川流量については、テレメータ水位を基に水位流量

曲線式(H-Q式)にて演算処理を行っており、これを確認しながら、各利水基準地点の全てにおいて「日平均」で確保流量を満足するように、ダムからの補給により不足分を補っている。しかし、保津地点における確保流量には舟運に必要な流量が含まれており、その他河川利用者等にも配慮する必要があるため、1日の中で河川流量が大きく増減を繰り返し、河川利用に支障を来すことが無いよう留意しなければならない。また、保津地点は各利水基準地点の最下流に位置し、低水時のダム放流水の到達時間が半日程度を要する。このため、河川水位の変動状況やダムからの補給の到達状況をこまめに把握し、補給が遅れないよう昼夜を問わず適切なタイミングで操作を行う必要がある。

c) 河川流況の特性と管理実態

日吉ダムは管理開始以降、度々、夏渇水に見舞われてきた。管理開始から現在までを通じて、かんがい期(5/1~9/30)において補給の際にネックとなるのは概ね新町下地点である。すなわち、複数の利水基準地点で補給を要する状況において、新町下地点の確保流量をクリアできれば、他の利水基準地点の確保流量を概ね満足する。但し、ダム下流支川の水量や農業用水の還元状態によっては必ずしも確保されない場合があるので注意を要する。また、非かんがい期(10/1~4/30)においては、保津地点がネックとなる傾向がある。淀川本川の枚方地点向けの補給については、河川管理者(国交省)からの補給指示に基づき行うこととしている。

なお、日吉ダム下流は、農業用水の井堰が多数有り、不定期の取水量の変更や堰操作による下流への落水の一時的変動によって、当該井堰下流の流況が急激に変化することがあるので、特に注意を要する。

低水管理時に操作する頻度の高い分岐管バルブ及び新庄発電所について、直近3ヶ年における操作回数を図-2に示す。年間を通じて見ると、水利用の多いかんがい期において、操作回数が多い傾向にある。また、少雨に伴うダムからの補給量が増大した時期だけでなく、降雨があった場合には貯留に努めるため、操作回数が多くなっている。直近3ヶ年の内、最も操作回数が多かったH25年度は、年間で約1,000回もの操作を繰り返したことに伴い下流の利水補給に努めた。当該年の特徴は、流域平均雨量が年間1,755mmと平年並みであったものの、5月~8月までは平年比65%と低く、特にかんがい期が始まる5月は管理開始以降ワースト2位、6月はワースト5位の少降雨であった。このため、かんがい期の水需要の増加と相まって、利水補給のために操作回数が増大したものと考えられる。

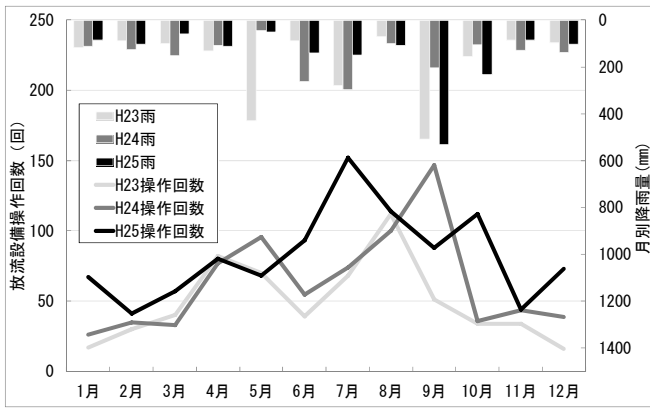


図-2 直近3ヶ年における放流設備操作回数

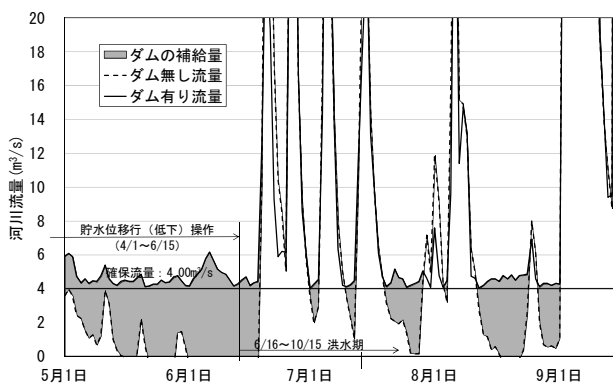


図-3 新町下地点における河川流況改善効果(H25)

(2) 日吉ダムによる利水補給効果

利水基準地点におけるダムによる利水補給の効果として、ダム有り流量とダム無し流量を比較することで、河川流況の改善効果を評価する。かんがい期に補給のネックになることが多い新町下地点を代表に、H25年度の河川流況の改善効果を図-3に示す。また、過去10ヶ年における新町下地点において確保流量を下回った流量を図-4に示す。

ダムができたことによる河川流況の改善は一目瞭然であり、仮にダムが無かった場合には、年間を通じて確保流量を下回ったであろう流量は、過去10ヶ年平均で約1,600万m³/年と推定され、京セラドーム大阪約13杯分に相当する量が毎年、ダムができたことにより補われたと評価できる。

3. 貯水位低下操作計画の見直しと効果検証

3.1 貯水位低下操作計画の見直し

近年、6月16日からの洪水貯留準備水位に向けた貯水

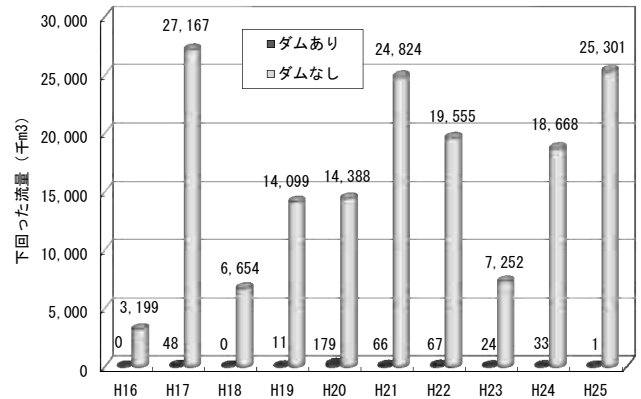


図-4 新町下地点において確保流量を下回った流量

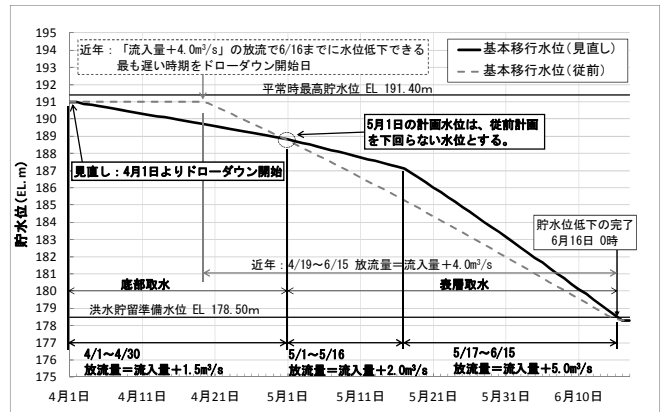


図-5 洪水期に向けたドローダウン計画の見直し内容

位低下操作（以下「ドローダウン」という。）を、4月19日頃開始している。ドローダウン操作時は、自流入に乗せて放流を行うため、①下流の河川利用者に極力影響を与えない放流量とすること、②出水に伴い流入量が一定量を超えた場合は「出水」と見なしてドローダウン操作を中止すること、以上をドローダウン操作の基本的な考え方として、洪水期に入る6月16日迄に目標とする貯水位に低下できる最も遅い時期として、貯水位低下操作開始日を設定してきた。

H25年度は、これまでのドローダウン計画を図-5に示すとおり見直すこととしたが、その見直し内容と背景は次のとおりである。

○5月中旬以降は、農業用水の需要増加に伴いダムからの補給量も増加する時期となり、従前のドローダウン時において、計画放流量を上回る放流（補給）により、6月16日以前に洪水貯留準備水位に達し、その後も引き続き貯水位が低下した例がある。そこで、利水容量の温存を図り、かつ効果的なドローダウンを行うため、5月中旬時点の貯水位を従前より高く計画し、利水補給量が増加する5月中旬以降の計画放流量を大きくした。

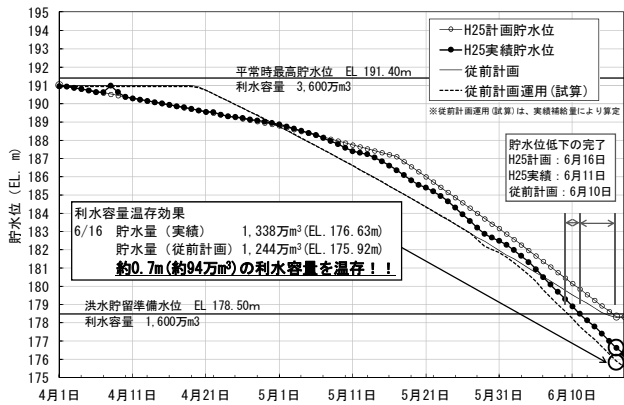


図-6 H25 ドローダウン操作の実施状況とその効果

○かんがい期に入る 5 月 1 日時点においては、従前の計画貯水位を下回らない利水容量を確保する。また、5 月からは稚アユ等に配慮して、冷水放流対策のため表層取水を行っており、表層の温まりが不十分な 5 月前半の貯水位低下速度を従前より遅くすることで、表層付近の温水層の温存と拡大が期待できるものとなった。

○4 月は非かんがい期のため、補給が本格化する前であり、融雪等の影響により流入量が比較的多いことから、ドローダウンの開始時期を 4 月 1 日からに早めても利水面で支障ないものと考え、底部取水による冷水の早期排出により、表層付近の温水層の拡大促進及び温存を図ることとした。これにより、4 月上旬の貯留可能量(空き容量)が増加し、春期の小規模出水時において、従前より放流量を小さくすることが可能となるため、ダム下流河川で営業を営む舟運観光業への影響も緩和できる。

以上、今回見直しを図ったドローダウン計画は、利水容量の温存、冷水放流の軽減及び春期出水時の放流調整に有効なものであり、農業、漁業及び舟運への影響を軽減できるものとする。

(2) 貯水位低下操作計画見直しによる効果検証

H25 年度に見直しを行ったドローダウン操作の実施状況について、図-6 に示す。5 月は例年の 70%程度(ダム流域平均雨量)と少雨傾向であったこともあり、5 月中旬以降の利水補給がドローダウンの計画放流量を上回り、貯水位の低下が計画以上のものとなった。その結果、計画より 5 日早く洪水貯留準備水位に到達し、更にその後の補給により貯水位の低下は継続した状況であった。

しかし、従来のドローダウン計画であれば、更に貯水位の低下が予測される。仮に、従来のドローダウン計画で利水補給を同様に行った場合、H25 年度実績よりも 1 日早く洪水貯留準備水位に達し、また、洪水期開始とな

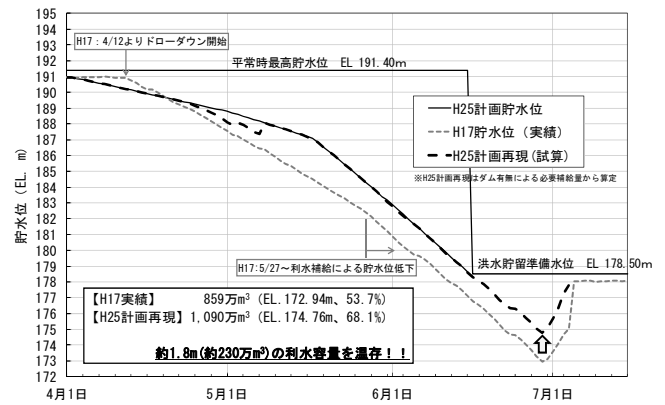


図-7 H25 ドローダウン計画再現による利水効果

る 6 月 16 日時点では、更に約 0.7m 低下していたと試算される。よって、今回見直しを行ったドローダウン操作で利水容量の温存が図られたことにより、ダムの貯水位低下が緩和され、利水面で効果的であったと評価できる。H25 年度同様に、6 月 16 日以前に洪水貯留準備水位に達し、その後も引き続き、利水補給によりダム貯水位の低下が見られたケースがある。この当該 H17 年に対し、今回見直しを図ったドローダウン計画を再現した結果を図-7 に示す。利水容量温存効果としては約 230 万 m³ と推定され、京セラドーム大阪約 2 杯分に相当する量が温存可能であったと評価できる。また、再現した当該年は渇水対策本部を設置しているが、その対応も見送ることが可能であったと考えられる。

4. おわりに

近年の気象状況では、「異常気象」「記録的豪雨」と言った言葉を良く耳にする。H25 年度の日吉ダムを例にとると、5 月に管理開始以来最少となる降水量(ダム地点)を記録し、9 月上旬には最低貯水率となったが、台風 18 号に伴い管理開始以来最大となる流入量を記録した。このような、異常とも言える気象状況が全国的に相次ぐ中、これまでの想定外を想定内と受け止め、状況に応じて適切にダムを運用しながら、限りある水資源の有効利用に努めていきたい。

本稿で記述する利水容量温存の取組を今後も継続し、PDCA サイクルに基づき計画・実行・検証・改善を繰り返して行っていくことで、より効果的なダム運用を見いだしていきたい。

谷池における太陽光発電の実証実験について

小賀 正樹¹

¹近畿農政局 淀川水系土地改良調査管理事務所 (〒612-0855京都府京都市伏見区桃山町永井久太郎56番地).

太陽光発電は「土地改良長期計画」において土地改良区等の維持管理費の低減を目的として導入を促進することとしている。このうち、谷池における実施例は皿池に比べ水位変動の大きさや地形や植生の影響が想定されることもあり兵庫県東播地域において確認出来ない。

このため、谷池において、①フロートに設置したType B、②Type Bに水冷による更なる冷却を期待したType C、並びに③Type A及びBとの比較を目的に陸上に設置したType Aの3タイプの太陽光発電により発電量や係留方法等について実証実験を行った結果を報告する。

キーワード 太陽光発電, 谷池, 兵庫県, 加東市

1. 目的

太陽光発電は、土地改良長期計画(2012年3月)において、農業水利施設等を活用した再生エネルギーの一つに位置付けられ、土地改良区等の維持管理費の低減を目的として導入を促進することとしている。

次に兵庫県の東播地域に位置する平野部に設けられた皿池では、浄谷新池(小野市)において、2013年7月から兵庫県が40kWの実証実験を実施している。また、2014年9月から前ノ池(兵庫県小野市)において850kWの施設が稼働すると共に、東出池(兵庫県加東市)では2014年12月時点では建設が進められていた(写真-1)。

この様に皿池における実施例が認められるものの、これに比べ水位変化が大きいため浮体の方位を保った係留が困難かつ、周辺の地形や植生の影響で発電量の減少が想定される谷池の実施例は確認出来ない。

このため、谷池における太陽光発電手法の検討を目的に実証実験を行った。



写真-1 東出池施工状況

2. 実験方法

(1) 測定期間

2014年4月1日(火)～9月30日(火)(183日間)

(2) 概要

安政池は、兵庫県加東市松沢に位置する谷池である(図-1、写真-1)。



図-1 安政池 位置図



写真-2 安政池¹⁾

諸元は以下のとおり。

堤 高：29.0m
 堤 長：185.0m
 総貯水量：676.0千 m^3
 有効貯水量：559.0千 m^3

(3) 実験方法

a) 実験施設

ため池に設置することによりパネル温度の低下による

発電効率の向上²⁾を期待したType B、水冷により更なる冷却効果を目指したType C、並びにType B及びCとの比較を目的に陸上に設置したType Aを実施した(表-1、図-2及び写真-3)。

b) 係留方法

現場条件から、人力による運搬によらざるを得ないため、重量50kgの方位安定錘(コンクリート製)により、3方向から浮体を支持する係留索に緊張を与え、風や波などの外力と水位変化による係留索の弛みに伴う浮体の変位を解決することとした(写真-4、図-3及び図-4)。

表-1 調査概要

名 称		Type A	Type B	Type C	備 考
設置場所		陸上	水上 浮体(発泡スチロール製)		送電ケーブル (600V-2PNC-T-2C □3.5mm ² L=120m)
冷却方法		空冷		水冷	水冷運転時間：9:00～17:00
定格出力		750W	750W	750W	750W ÷250(W/枚) ・3(枚)多結晶シリコン(250W-U-R160)
測定項目	電圧 V (V)	○			測定間隔：1分
	電流 I (A)	○	○	○	
	パネル温度(℃)	○	○	○	
	日射量(W/m ²)	○			
	冷却水温(℃)	—		○	

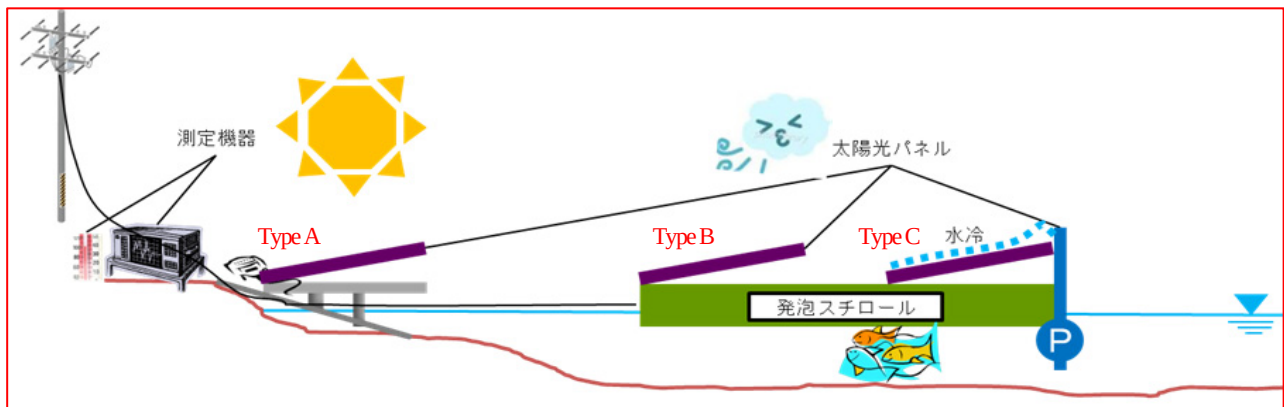


図-2 測定方法概要

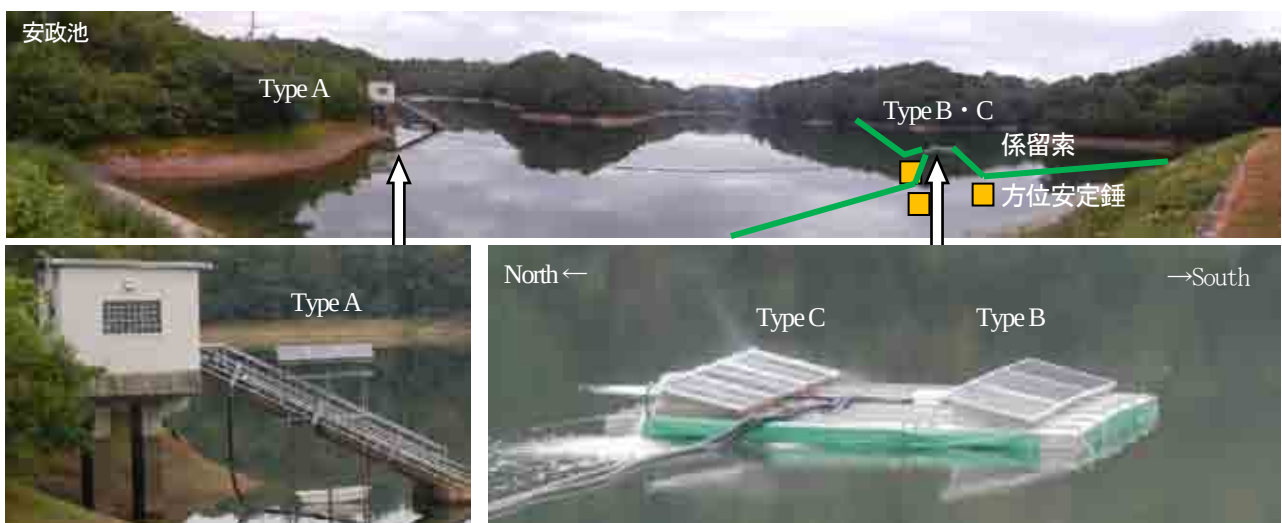


写真-3 実証調査

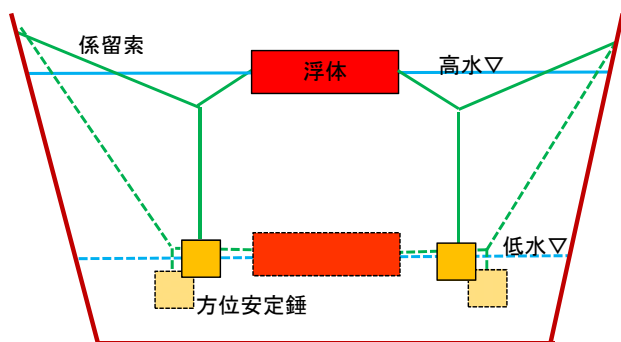


図-3 係留方法概念図



写真-4 方位安定錘

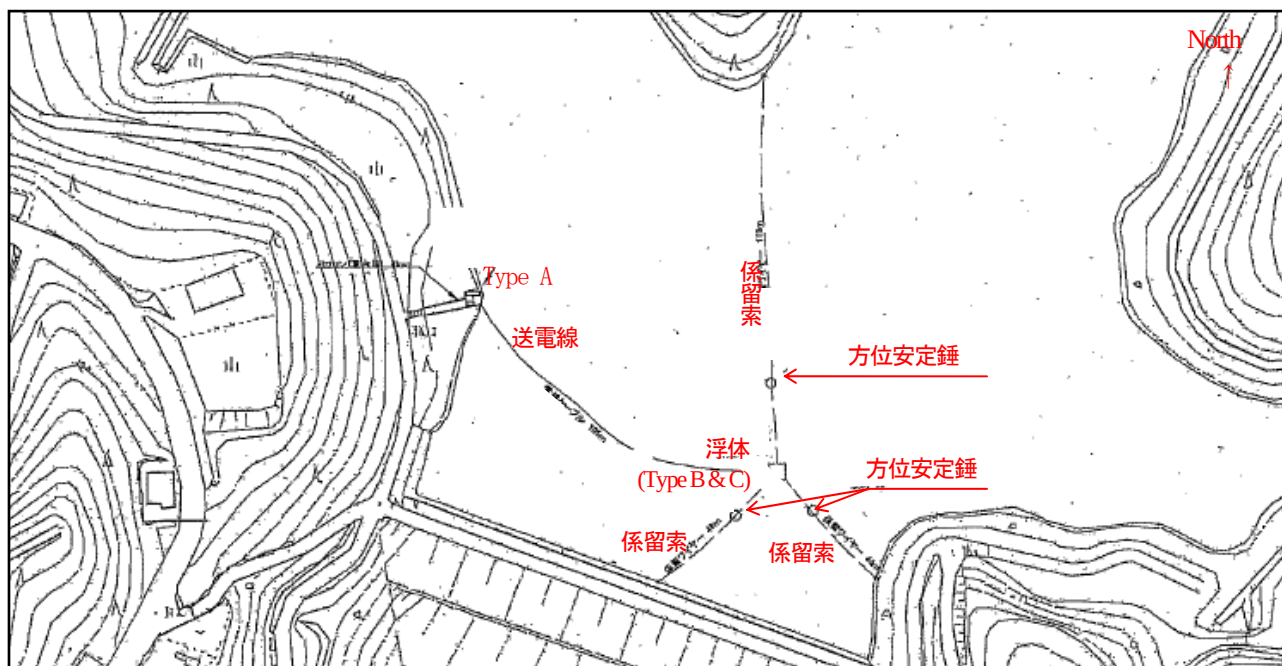


図-4 係留方法平面図

3. 結果

今回の実証実験により、条件に恵まれない谷池 (Type B 及び Type C) でも陸上 (Type A) と同程度、若しくは、それ以上の発電量が確認出来た。このことは、方位安定錘により浮体の方向を保つことが出来たことに起因するものと考えられる。詳細は以下のとおり。

(1) 発電量 他

a) 処理

測定した電圧 V 及び電流 I を測定間隔 (1分) で以下の処理を行い、調査期間における集計を行った。なお、計算に用いた回路概要図は図-5に示すとおり。

発電量 (kWh) = 送電損失 (kWh) + PCS 入力量 (kWh)

送電損失 (kWh) = $R_L \cdot I^2$ (Type B 及び C のみ)

PCS ※ 入力量 (kWh) = $V \cdot I$

R_L 送電抵抗 (Ω) = 1.3296

= 最大導体抵抗 (Ω/km)^③・延長 (km)

※: PCS: パワーコンディショナー (Power Conditioning System) の最も基本的な役割は、太陽光パネルで発電した直流電流を交流電流に変換することである^④。

b) 発電量 等

測定期間の総発電量と時間別の平均発電量を基に比較

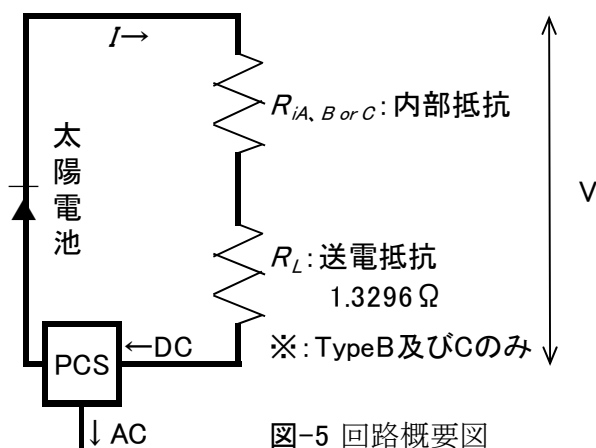


図-5 回路概要図

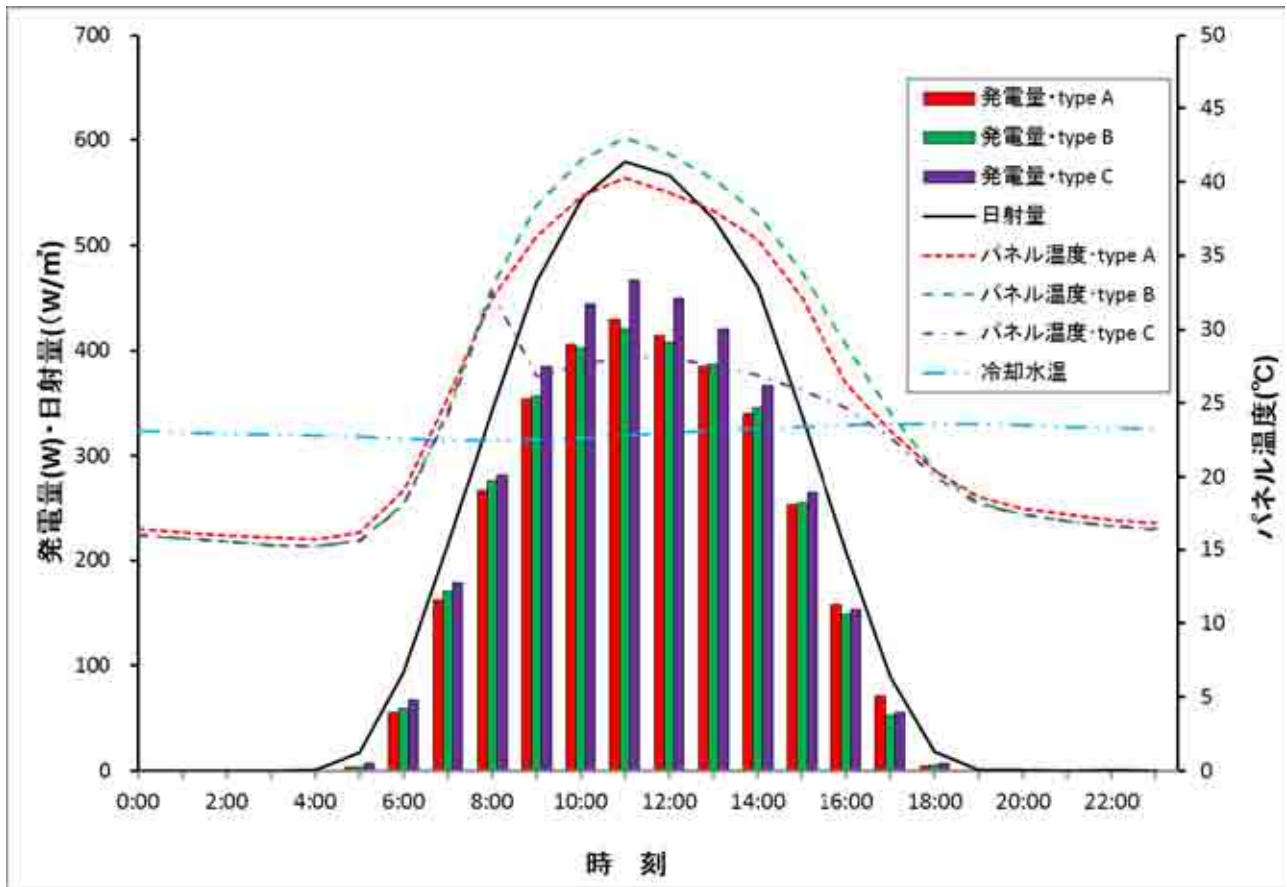


図-6 発電量・パネル温度・冷却水温

表-2 調査結果(0.75kW)測定期間計

Type	発電量 (kWh)	送電損失 (kWh)	PCS入力量 (kWh)
A	604.7	—	604.7
B	602.5	41.8	560.7
C	649.9	48.5	601.4

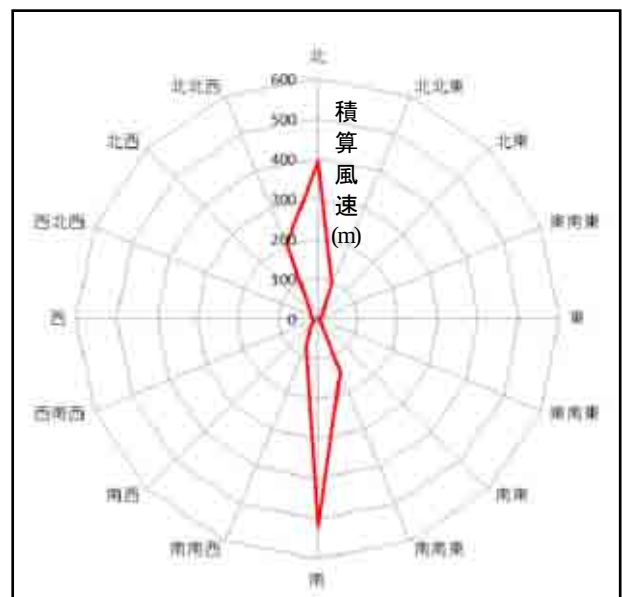
すると、当初の想定どおり、Type Cは水冷により最もパネル温度が低かったことによる発電効率の向上に伴い、発電量が最も大きかった。反面、Type AはType Bに比べパネル温度が僅かに低かったことに伴い、発電量が僅かに大きかった(図-6及び表-2)。

この原因について、近隣の気象観測地点である西脇における風向及び風速に着目し、測定期間における日照のある時間の平均風速を風向(16方位)別に積算したところ、パネルの前面及び背面に直接当たる北及び南からの積算風速が顕著であった(図-7)。あわせて、安政池は概ね上流が北、下流(堤体)が南に位置していることから類似の傾向が想定される(写真-2)。このため、北風による冷却効果が期待出来るType Aと北側に位置するType Cが障害となって風通しの悪いType Bとの差により、パネル温度の差が生じたものと考えられる。

(2) 係留方法

測定期間中、3.45mの水位差があったものの、陸上に固定されたType Aと水位変化に伴う影響を受けたType B及びCの発電量に優位な差は認められなかった(図-8及び表-2)。

また、台風8号による強風(観測点：西脇 瞬間最大風速(7月10日)：12.7m/s)後も含め、月点検時における目視確認の結果、方位安定錘を含む係留方式により浮体の方位を保持していた。

図-7 風向別風速積算図⁵⁾

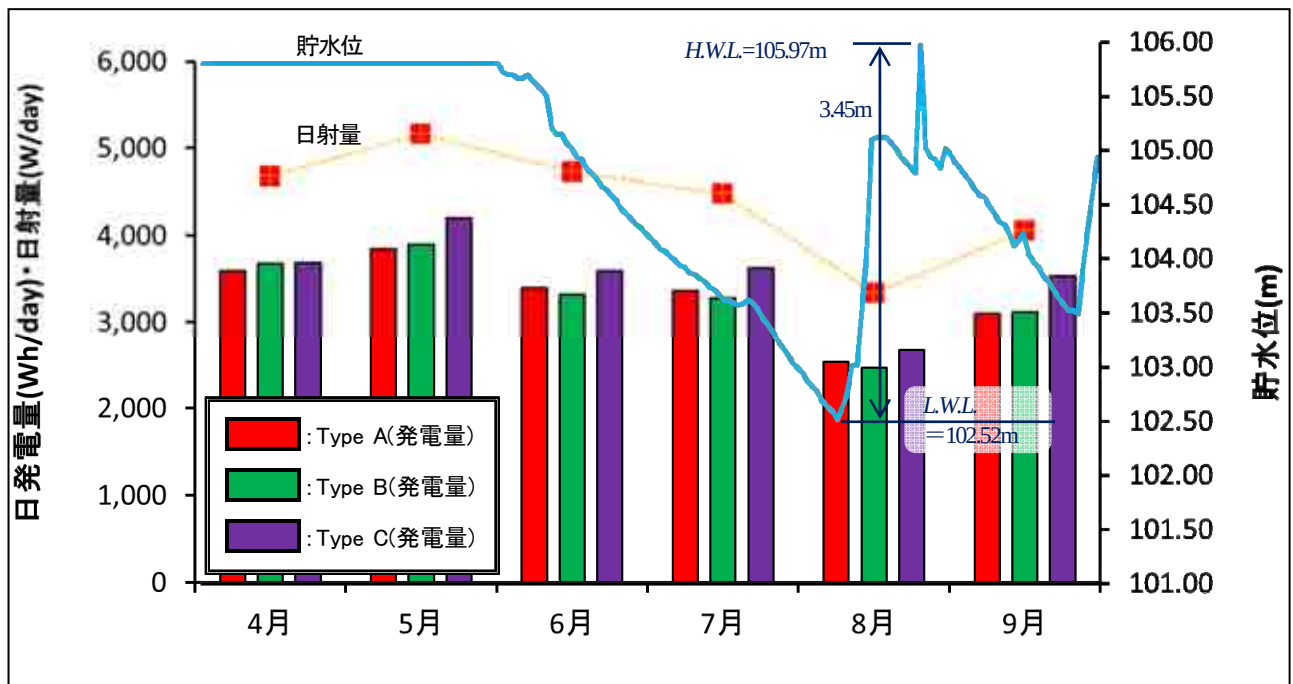


図-8 貯水位・発電量

4. あとがき

最後に、太陽光発電を取り巻く情勢としては、10kw以上の調達価格が平成26年度契約分の32円/kWhから本年6月30日までの契約は29円/kWh、それ以降の契約は27円/kWhと段階的に見直されると共に、電気の使用が少ない時間帯等において、未補償を条件に接続を制限(以下「出力制御ルール」)する年間上限を出力:500kW以上30日から2015年4月1日以降、50kW以上360時間に変更となった。

このうち、出力制御ルール変更の影響について、今回の実験結果を基に以下の試算条件で試算すると従来の手法では最大12.2~12.7%であった出力制御が17.3~17.6%と約5%増加した(表-3)。経済効果算定に伴う感度分析の参考となれば幸甚である。

試算条件

出力制御ルールの対象となる場合は、電力使用量が少なく、太陽光発電量が多い場合と想定した。

(1) 電力使用量が少ない場合

空調の運転が少ない場合とし、消費地である大阪の日最高気温(旧)又は(時間)気温(新)が25℃以下とした。

(2) 太陽光発電量が多い場合

調査期間が半年(183日間)であるため、日最高気温25℃以下かつ日発電量(旧)の上位15日(=30日/2)又は(時間)気温(新)が25℃以下かつ時間発電量(新)の上位180時間(=360時間/2)の累計とした。

表-3 出力制御試算結果

区分	年間上限	項目・試算条件	実験・試算結果		
			Type A	Type B	Type C
旧	30日間	総発電量(調査期間)	604.7kWh	602.5kWh	649.9kWh
		日最高気温25℃(大阪)以下	76.1kWh	76.7kWh	79.6kWh
		かつ発電量上位15日(=30日/2:半年)計	12.6%	12.7%	12.2%
		(時間)気温25℃(大阪)以下	106.3kWh	106.5kWh	112.6kWh
新	360時間	かつ発電量上位180時間(=360時間/2:半年)計	17.6%	17.7%	17.3%

参考文献

- 1) 兵庫県水土里情報
- 2) 太陽電池の温度特性, イーテック H.P. (取得: 2015. 1. 14)
- 3) 日立金属(株)パンフレット(取得: 2015. 1. 8), 600V2

心 3.5 mm 2, P. 8

- 4) 日経テクノロジーオンライン(取得: 2015. 1. 14)
- 5) 気象庁 H.P. (取得: 2015. 1. 14)