

河川用ゲート設備の効率的・効果的な維持管理について

大澤 健仁

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) .

河川用ゲート設備は、その多くが建設後30年以上を経過しており、老朽化への対応が喫緊の課題となっている。こうした背景の中、設備の信頼性を確保しつつ効率的・効果的な維持管理を実現していくことが求められている。その方策は「河川用ゲート設備点検・整備・更新検討マニュアル（案）」¹⁾及び「河川構造物長寿命化及び更新マスタープラン」²⁾等において示されている。本論文では、河川用ゲート設備の効率的・効果的な維持管理の実現に向けた取り組みと課題について述べる。

キーワード 河川用ゲート設備、点検・整備、維持管理、長寿命化

1. はじめに

河川用ゲート設備は、洪水や高潮による堤内地への氾濫浸水の防止、利水取水における流水制御のために設置され、万一その機能が失われた場合には周辺地域に与える社会経済的な影響は大きい。(図-1)

特に、常時は待機状態であるが、出水時には確実に機能を発揮しなければならない、日常の適切な維持管理により機能を保持していくことが重要である。また、出水時のみの稼働であるため、一般的な産業機械設備とは異なった稼働特性を有している。

近畿地方整備局管内には河川用ゲート設備が約500施設あり、建設後30年を経過した設備は全体の約61%を占める。その割合は、10年後には全体の約80%、20年後に

は全体の約90%に達する見込みであり、このような設備の高齢化、老朽化の進行には、設備の信頼性を確保しつつさらに効率的・効果的な維持管理を実施していくことが求められる。(図-2)

そこで、効率的・効果的な維持管理を実施していく上での取り組みと課題について整理する。



図-1 河川用ゲート設備

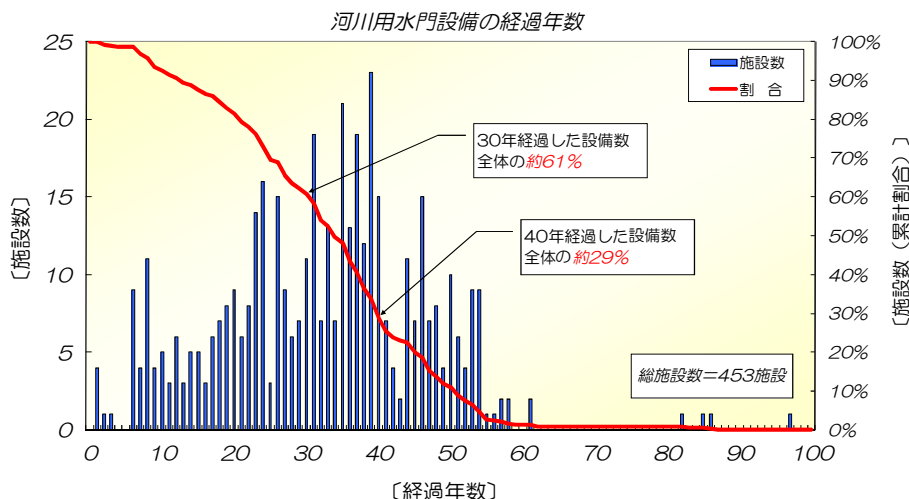


図-2 河川管理施設の建設後経過年数の推移

2. 効率的・効果的な維持管理

一般的なゲート設備の維持管理は、図-3に示すとおり
実操作→点検→整備→実操作のサイクルを繰り返しながら、
経年劣化が進んだ場合や機能の適合性に問題が生じた
場合等には診断を実施し、必要に応じて機器等の整備
や更新といった対応を行う。

高齢化した施設が増加することで、機器等の整備や更新によるさらなる維持管理コストの増加が見込まれる。その一方、厳しい財政状況の中にあつて、限られた予算の中で維持管理をしていくことが求められる。

そこで、個々の設備を取り巻く種々の条件を合理的に勘案し、計画的により優先度の高い設備から維持管理を進めていくことにより、設備の信頼性を確保しつつ維持管理コストを平準化していくことにつながる。

そこで、下記のような条件を基に、優先度の高い設備から維持管理を計画的に進めている。

①設備区分

設備・機器が何らかの故障によりその機能・目的を失った場合の影響が及ぶ範疇についての評価

②社会への影響度

設備・機器が何らかの故障によりその機能・目的を失った場合に、国民の生命・財産ならびに社会経済活動に及ぼす被害規模の大きさについての評価

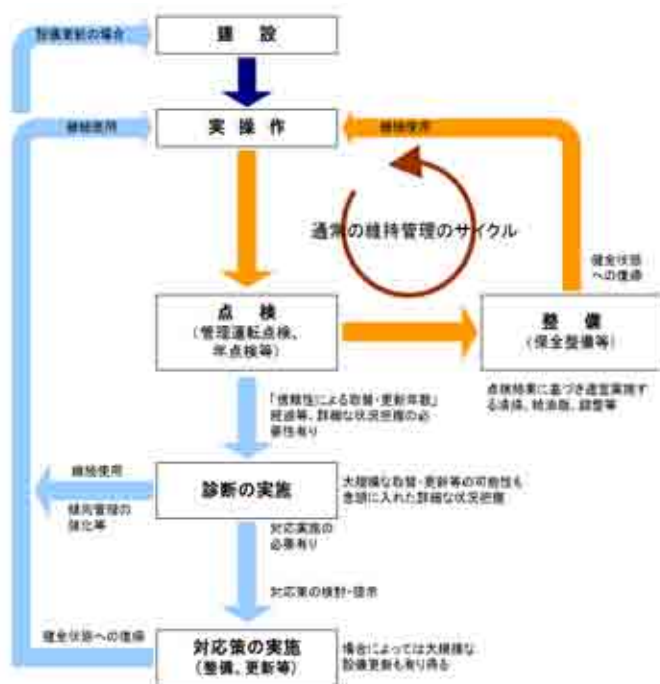


図-3 ゲート設備の維持管理の流れ

③健全度および設置条件

健全度は、設備・機器の稼働および経年に伴って発生する劣化・性能低下の状態を、正常な状態と比較した評価。

設置条件は、設備・機器の使用条件・環境条件に対する評価。その結果は健全度評価に加味する。

④総合評価

社会への影響度評価結果と設置条件を加味した健全度評価結果による総合的な評価。これにより、保全方策実施の優先度を整理する。

⑤機能の適合性

沿川環境が建設当初と比べて著しく変化したことなどにより、設備の目的・能力・機能等の見直しが必要と認められる場合や、現状設備・機器の改善の必要性が認められる場合には、その必要の大きさと保全方策（取替、更新等）を検討する。

3. 持続可能な維持管理システムの確保に向けて

「河川構造物長寿命化及び更新マスタープラン」において、今後概ね10年間に取り組むべき施策として、以下の考え方が示されている。

1) 計画的維持管理の推進

- 補修履歴や点検データの蓄積
- 劣化診断の技術開発による傾向管理システムの確立

2) 少子高齢化社会、多くの河川構造物の更新期に備えた更なる省力化、高度化の推進

- 最小限の厳選した機能の持続的な確保
- 長年にわたる貴重な技術の継承
- 抜本的な省力化，集約化
- 新技術の開発，技術力の適切な評価
- 設計の標準化

3) 確実な危機管理体制の確保

- 施設の必要最小限の機能は確実に果たすことができるような施設整備
- 将来においても持続可能な危機管理体制
- 個々の施設の現地対応の具体的な方向性

以降は、この3点に対する具体的な取り組みとその課題について述べる。

4. 計画的維持管理の推進

効率的・効果的な維持管理を進めていくため、各施設における維持管理の計画を作成する必要がある。堰、水

門、樋門・樋管、揚・排水機場、浄化施設等における維持管理の方針等を長寿命化計画として整理した。

長寿命化計画には主に下記の点を記載している。

1) 基本方針

- ・維持管理に関する事項
- ・長寿命化に関する事項

2) 年間の点検計画

近畿地方整備局管内の対象施設数は約260施設あり、平成24年度には約70施設について長寿命化計画を作成した。平成25年度以降も順次作成を進めていき、平成27年度までに全ての対象施設の計画を作成する予定である。

効率的・効果的な維持管理を持続させていくためには、計画を作成するだけでなく定期的に見直しをしていくことが重要である。その中で、維持管理の実態を反映させていくとともに、それを集約・分析し、交換サイクルの見直し、新たな整備方法の検討等を行うことにより、具体的な施設の長寿命化につなげていく。

5. 維持管理の省力化、高度化

効率的・効果的な維持管理をしていくためには、計画的な維持管理とあわせて設備の健全度を的確に把握することが必要である。

そこで、健全度を把握する2つの項目の取り組みを述べる。

(1) 傾向管理の推進

計測機器等を使用する点検項目について、点検時に計

測したデータの経年的な変化を管理し、設備や機器の劣化状態の把握、および将来整備すべき機器・部品の選定や故障時期の推定に役立てるデータ管理を傾向管理（トレンド管理）という。

設備の維持管理にとって傾向管理は非常に有効であり、これまでも実施してきているところではあるが、さらに推進していくことが必要であると考える。

現状としては、計測値の経年的な傾向把握までとなっているが、種々の設備・機器におけるデータを蓄積し、その健全度、故障の発生実態とあわせて解析を進めることにより、設備・機器の部品交換時期の推定に活用していく。

(2) 劣化診断技術の向上

設備の維持管理においては、見える箇所だけでなく、見えない箇所も存在する。それらの箇所については間接的な方法により劣化度を把握するなど、劣化診断技術の向上は有効である。

潤滑油の分析を例にみると、開閉装置や原動機の健全度の評価の一つとして、潤滑油の成分を分析することにより潤滑油そのものの劣化状況がわかるだけでなく、潤滑油に含まれる金属粉、水分、炭化物の量を分析して、装置内部で起きている摩耗、発錆などの発生状況を推定することができる。

また、その機器の振動等の計測データの傾向とあわせて分析することにより、装置内部においてどの軸受が摩耗しているかといった劣化部品の特定につながる。そして、蓄積された傾向管理データでその傾向に変化がある場合は機器の寿命も推定される。分析データ、傾向管理

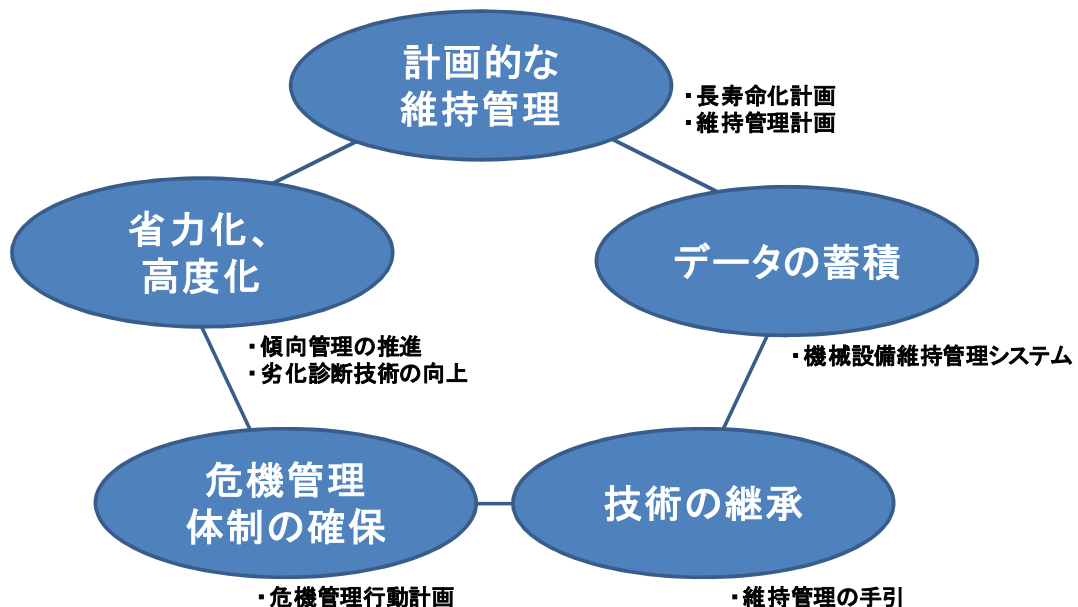


図-4 効率的・効果的な維持管理

データの有効な活用について検討を行っていくことは有効であると考ええる。

6. 点検の技術力の継承

少子高齢化社会においても持続可能な維持管理システムを確立するために、技術の継承、人材や体制の確保を進める必要がある。

(1) 点検の技術力の蓄積

現在の維持管理を取り巻く情勢は、少子高齢化社会の進行に伴い、点検技術者の高齢化、点検技術者数の減少が懸念される状況にある。このような背景において、点検技術の継承は重要な課題であり、そのために点検のノウハウの蓄積をすることが必要であると考ええる。

このような点から近畿地方整備局では「河川機械設備の維持管理手引書」を作成した。この手引書は、点検結果に対する具体的な判断基準、緊急時の復旧方法について、過去の事例を踏まえて整理をしたものである。

今後はこの手引書の試行活用を進め、更なる事例の蓄積、PDC Aサイクルの結果の反映をしていくことにより、職員の危機管理、現場対応能力の向上を図っていく。

(2) 点検の技術力の継承

施設機能の信頼性を確保するために重要なことは、適切な点検要領に基づき、その施設に関する専門的な技術力を有する技術者による点検の実施及びその結果に基づく修繕工事等の実施である。

点検結果により、修繕工事の方法、範囲も変わり、結果として施設機能の信頼性確保に直結する重要な仕事である。点検技術者に求められる必要な技術力とは、その施設に関する設計的知識及び多数の経験に裏打ちされた総合的な専門技術力である。

これらの点検技術者のベテラン層が定年を迎える一方、これらの技術者の育成は短期間では困難であるため、しっかりと若年層へ点検技術を継承していくことが課題である。

7. 機械設備維持管理システムの活用

前述してきたように計画的維持管理と点検の高度化、技術の継承を進めていくにあたっては、点検データの蓄積と共有が重要な要素となる。

各設備に関するデータを蓄積し一元的に管理する機械設備維持管理システムを全国的に構築してきたところであり、順次整備を進めている状況である。近畿地方整備

局では今年度導入する予定である。

機械設備維持管理システムでは、設備台帳の管理、点検整備データの蓄積、運転記録の管理、故障・不具合記録データの蓄積を行う。

蓄積したデータを集約・解析することにより、健全度評価の精度向上にフィードバックするPDC Aサイクルを確立するとともに、中長期的な維持管理計画の策定に活用していく。

機械設備維持管理システムの活用にあたり、継続的にシステムを活用していく仕組み作りが課題である。点検データの入力だけでも相当なデータとなるため、データ入力方法の簡素化を含めて日常の業務の中で職員が負担なく対応できる方法を検討していく必要がある。

8. 確実な危機管理体制の確保

緊急時において、施設の目的を踏まえた必要最小限の機能は確実に発揮できるような施設の整備が必要である。

(1) 危機管理行動計画の作成

施設の機能喪失によって社会経済活動に重大な影響を与えることが想定される堰や水門等の河川構造物を対象に、設備の故障等が発生した際の施設操作や応急復旧方法等の危機管理行動を、危機管理行動計画として作成する。

危機管理行動計画では、機械設備だけでなく土木的な対応も含めて、施設の機能いかに確保するかという視点に重点をおいて作成することが必要である。また、これをもって日常的に緊急時の対応についてイメージを持つておくことが重要である。

作成にあたっては、その内容についてワーキングを開催して作成する。また、PDC Aサイクルを行い、日頃から緊急時の対応を意識した管理を行っていく。

(2) 危機管理体制を意識した設備の更新

機械設備の更新にあたっては、求められる要求条件、優先順位を明確にするとともに常に最悪のケースを想定した場合の最低限必要な機能は何かを明確にしておく。

9. まとめ

河川用ゲート設備の効率的・効果的な維持管理の実現に向けた取り組みとその課題について整理をした。(図-4)

施設管理者、点検技術者それぞれが日常点検、専門点検をしっかりと実施できる技術力とそれを維持していくシステム作りが必要である。

計画的な維持管理の実施にあたっては、定期的に計画の見直しを行い、より実態にあった計画を立案できるよう検討をすすめていくことが重要である。維持管理の省力化、高度化を進めるにあたっては、傾向管理の推進と劣化診断技術の向上が必要である。維持管理システムを活用しながら計測データの活用のウェイトを高め、より的確に施設の健全度を把握できる取り組みが必要である。また、これからの社会において、点検の技術力の継承は大きな課題であり、技術の蓄積と継承をしっかりと実行できる取り組みが必要であると考え。それらを行って行くためには機械設備維持管理システムを有効に活用していくことが重要であると考え。そして、緊急時には、施設が求められている目的を確実に果たせるよう、施設

の整備と緊急時の対応訓練も含めて日常から準備を行っていくことが必要である。

以上のような課題に対して、今後も取り組みを行っていき、より効率的・効果的な維持管理の実現を行って行く。

また、河川用ゲート設備と同様に河川用ポンプ設備、ダム用ゲート設備、道路構造物における機械設備についても、同様の取り組みを広げていく方向である。

参考文献

- 1)国土交通省：河川用ゲート設備点検・整備・更新検討マニュアル（案）
- 2)国土交通省：河川構造物長寿命化及び更新マスタープラン

名松樋門水密性確認の現地実験報告

森川 修¹

¹近畿地方整備局 淀川河川事務所 管理課 (〒573-1191大阪府枚方市新町2-2-10)

平成24年9月30日～10月1日にかけての台風17号出水に伴う名松樋門のゲート操作時に、ゲート閉鎖後も内外水の連動が疑われる現象が発生した。この点について、原因調査、現地実験による検証を踏まえ、対策案を検討したので報告する。

キーワード 樋門操作、ゲート水密性、操作水位、土砂堆積

1. 名松樋門の概要

(1) 名松川樋門の位置

名松樋門は、木津川10.176km地点左岸に位置し、名松川15m³/s、および黒田川8m³/sの排水（降雨確率規模50年確率流量）を行うための2連構造の木津川本川逆流防止のための樋門である(図-2)。

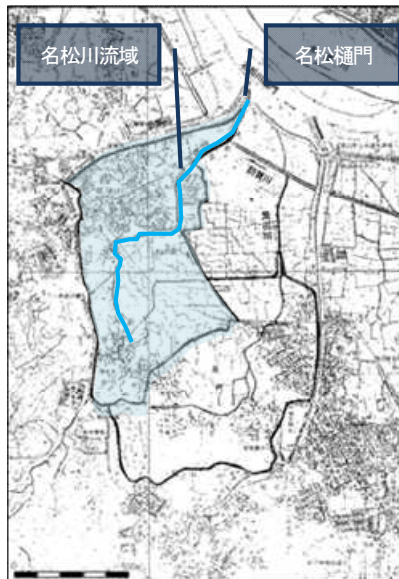


図-1 名松樋門の位置

(2) 名松樋門の特徴

名松川は、流域面積0.548km²、流路延長1350mであり、流域は地盤高がT.P.20～30mの範囲で平坦な地形を有している。また、土地利用は宅地と農耕地が主である。

名松樋門は、天井川である名松川を近接する黒田川と統合し整備された樋門である。このため、樋門敷き高が名松川河床高より3m程度低く、樋門操作水位3.1mもゲート扉体（約2mの高さ）が水没する高さに設定されている。

また、設計条件は「ダム・堰施設設計技術基準（案）」に準じている。

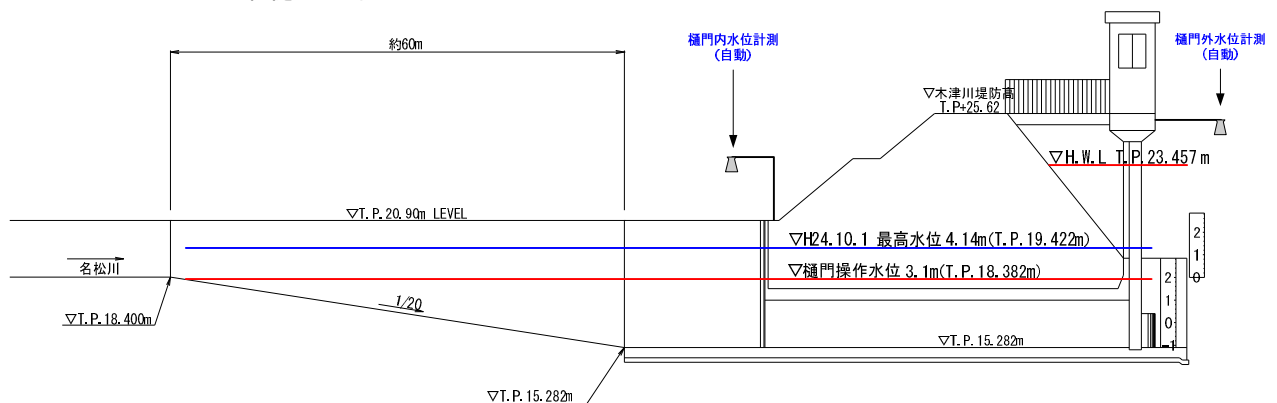


図-2 名松樋門の諸元

2. 出水時樋門操作現象についての要因分析

(1) 出水時の操作状況

通常であれば樋門操作後は内外水位差が明確に生じる場所であるが、平成24年9月30日～10月1日の台風17号時の出水に伴う名松樋門操作では、樋門ゲート全閉後も内外水位差が明確に生じることが無く連動し、外水の堤内側水路への流入も疑われる現象が生じた。樋門ゲート全閉時に開度計メーターは1cm開の表示となった。この際の閉操作は、操作員の報告によれば、「9月30日21:16に開始したが、砂が噛んで閉鎖せず数回閉操作を繰り返し、9月30日23:42に完了した」となっている。

名松樋門の操作状況と内外水位差を図-3に整理した。

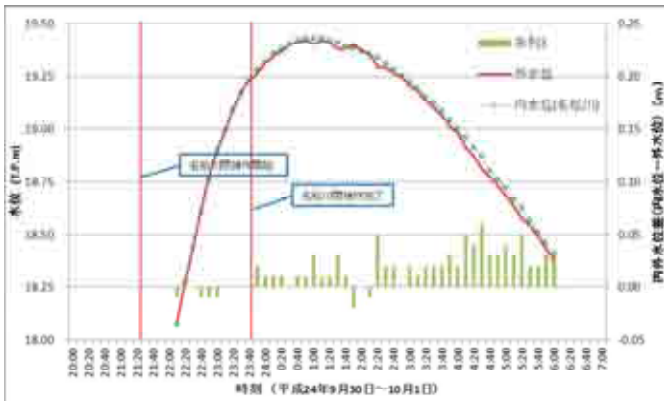


図-3 名松樋門の内外水位と操作状況

(2) 現地調査による課題の抽出

出水後の現地調査を踏まえ、内外水位が連動した現象の課題把握を行った。この結果、名松樋門における内外水位連動の課題が次の2点に集約できた。

課題 a) 異物による閉鎖障害物（土砂堆積）

天井川である名松川からの土砂流入が顕著である。約名松川が1/20勾配のスロープで、ほぼフラットな勾配の函体へ接続していることから、スロープの下端部から函体全体にわたり土砂が堆積している(写真-1)。

ゲート戸あたり部においては、20cm程度の土砂が堆積している状況であり、試験閉鎖した際も、土砂堆積の影響で下端に約2cmの開き部が残り流水を遮断することはできなかった。これより、戸あたり周辺の土砂堆積により、ゲートが完全閉鎖できない可能性が考えられる。

課題 b) 開閉構造の特性（水密性不足）

門柱構造、扉体自体の歪みなどの問題はなかった。しかし、調査時は水位が無い状態であったことから、水圧が作用せず扉体の水密ゴムと戸あたりの間に隙間が生じることが確認された。

名松樋門は閉鎖水位が高く、ゲートが水没した状態で操作されるため、実際の閉鎖時に水密性が保たれず扉体の上端および側部から漏水し、内外水が連動する可能性

が考えられる。



写真-1 名松樋門現地調査時のゲート下部の状況

3. 実験方法の検討

樋門操作での課題を踏まえ、原因追及のための現地実験を検討した。

(1) 名松樋門現地実験の目的

樋門ゲートを内外水位が同程度の状態で閉鎖した後に、内水位<外水位に移行した際は十分な水密性を確保し、外水流入を防除可能なことを確認する必要がある。特に名松樋門は堤内地盤高に対応して操作水位が3.1mと高く、2.2mの高さのゲートが完全水没した状況での操作となることから、このような状態確認はより重要となる。

また、ゲートの水密性がどの程度の内外水位差で確保されるかについては、既往データも無いため、今後の操作水位の妥当性検討に基礎データ収集が必要となる。

本実験の目的を、課題b)：開閉構造の特性（水密性不足）について関連データを得るため、次の2点とした。

目的Ⅰ：樋門操作水位3.1mで内水位≒外水位の状態から外水位上昇時のゲート水密性

目的Ⅱ：樋門内外水位差と水密性の関係性把握

(2) 実験施設

実験は、木津川約10km左岸に位置する名松樋門現地において実施した(写真-2)。

今回実験は、課題a)の状況を排除するため、ゲート閉塞の妨げとなる樋門および函体内の土砂については事前に排出した状態で実施した。また、内外水位は土嚢積みで排水路を閉塞し、名松川、黒田川の自流の貯水およびポンプ車で木津川本川から注水し調節した。

実験時の施設配置および観測員の状況を、図-4の施設配置計画図に示す。



写真-2 樋門と水路末端の土嚢と注水状況

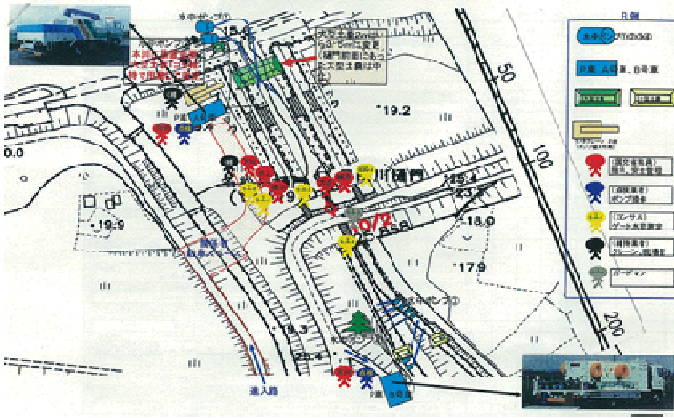


図4 現地実験配置計画

(3) 実験工程（平成25年1月24日）

実験目的を達成するために、図-5に示すとおり実験段階をSTEP1～5の5段階で実施した。

a) STEP1～2

初期状態として、内外水位0.35mの水路内に流れの無い状態でゲートを閉鎖し、水密状態を観測した。

b) STEP3

内水位を0.4mとして基本的に固定し、外水位を0.45～2.2mまで上昇させ、内外水位差毎の水密状態を観測した。※内水位は、実際は河川流入や漏水により0.4～0.71mまで上昇（STEP4と合わせ実験目的Ⅱ対応）

c) STEP4

ゲートを開放し内外水位1.8mの状態からポンプ注水により河川から堤内側の流向を形成しながらゲートを閉鎖した。

内水位を約1.8mに固定し、外水位を1.84～2.25mまで上昇させ、内外水位差毎の水密状態を観測した。（実験目的Ⅰ対応）

d) STEP5

内水位約1.8m、外水位約2.5mの状態から内水位が上昇した場合の水密状態を観測した。（一度水密状態が確保された後の推移観測）

※当初実験計画では、STEP5の次に、操作水位である3.1mまで外水位を上げ水密性を確認する予定であった。しかし、現地における土のうの状態を観察し、土のうの安定性等安全面の配慮から実験を中止した。

(4) ゲート水密性の確認方法

ゲートの水密性は、次の2つの方法により確認した。

- ①体内からのゲートの隙間及び漏水状態の目視観察、上部からゲート隙間及び流出状態の目視観察・記録
- ②ゲート天端戸当り開き量（水密ゴムの圧縮量）計測：メーカー実験資料より荷重とゴム圧縮量の関係を把握し、さらに名松樋門構造より、ゲート上部戸当りゴム（φ40mm）は最大圧縮量が3mmと確認した。

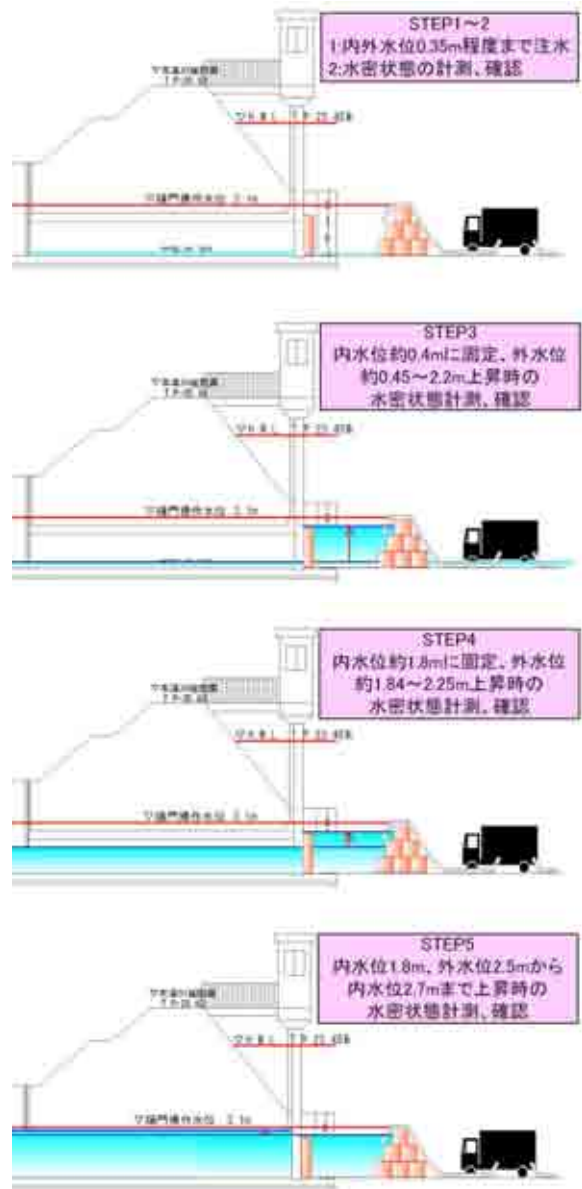


図-5 名松樋門現地実験ステップ

4. 観測結果概要

(1) STEP3の実験状況

実験は内外水位約0.4mの平衡状態から開始した(写真-2,3)。ゲート天端開き量は、当初の約3mmから、外水位1m（内外水位差0.51m）付近では約10mmに拡大し（写真-4）、漏水が生じていた。

その後、ゲート天端開き量は縮小し、外水位1.7m（内外水位差1.06m）でゲート天端が戸当りに密着したが漏水は継続していた(表-1の上段写真)。さらに、外水位2.2m（内外水位差1.5m）でゴムが2mm以上圧縮されたが漏水は継続していた。表-1の上段写真は、函体内水面部での漏水だが、ダイバー目視では水中のゲート側部、底部共に漏水が確認された。つまり、STEP3実験では、内外水位差確保によりゲート上部の水密ゴムは圧縮されたものの、水密状態は確保できなかった。

表-1 STEP3の実験状況の概要

内水位(m)	外水位(m)	内外水位差(m)	ゲート天端開き量(mm)	実験状況
0.40	0.45	0.05	3.3	実験開始時は、内外水位がほぼ平衡しており、上部光漏れ、漏水も見られない。 STEP3-1(8:02)
0.71	2.22	1.51	-2.7	ゲート天端水密ゴムが2mm以上圧縮し光漏れなし。漏水は継続 STEP3-11(10:48)

表-2 STEP4の実験状況の概要

内水位(m)	外水位(m)	内外水位差(m)	ゲート天端開き量(mm)	実験状況
1.79	1.84	0.05	11.0	実験開始時は、内外水位がほぼ平衡状態からポンプ注水し、外水位を上昇させながらゲートを閉鎖した。 浮力により、ゲート自体はSTEP3実験時よりフリーで動いた STEP4-1(12:45)
1.80	2.14	0.34	-1.0	ゲート天端水密ゴムが1mm圧縮された時点で、光漏れ、側部漏水もなくなりゲートの水密状態が確保された。 STEP4-3(13:20)

(1) STEP4の実験状況

内外水位が1.8mのほぼ平衡状態からポンプ注水し(表-2の上段写真)、外水位を上昇させながらゲートを閉鎖した。水位が1.8mとほぼゲートが水没する状況下の浮力により、ゲート自体はSTEP3実験時よりフリーで僅かな作用で動いた。実際のゲート天端開き量計測時も、数値が大きく変動した。

その後、外水位2.0m(内外水位差0.2m)と僅かな水位差でゲート天端水密ゴムは戸当りに密着したが、やや側部漏水が見られた。次に、外水位が2.14m(内外水位差約0.34m)で水密ゴムが1mm圧縮され、側部漏水もなくなりゲートの水密性は確保された(表-2の下段写真)。

5. 実験結果概要

(1) 内外水位差と水密ゴムの圧縮量の関係

内外水位差と水密ゴム圧縮量の関係を整理した。

a) 計測箇所

ゲート上部戸当りの水密ゴムは、ゲート端部から1mの2箇所を計測点とした(図-6)。A,C点はノギスで0.1mm単位の計測を行い、B点は隙間ゲージでゴムの戸あたりへの密着状況を確認した。

名松樋門は、扉体主ローラと水密ゴムとの遊間が構造上3mmである。従って、水密ゴムが3mm圧縮時に主ローラが戸当りと接触するため、これが上限圧縮量となる。

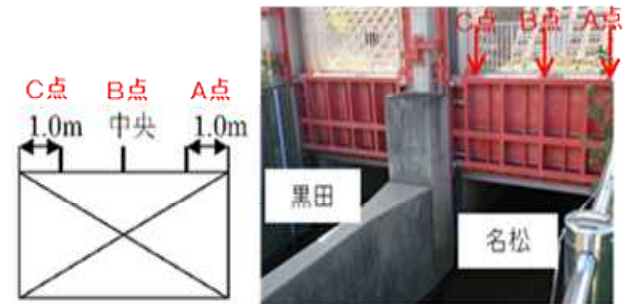


図-6 計測箇所

b) 内外水位差と水密ゴム圧縮量(実験目的Ⅱ)

内外水位差とゲート天端開き量(水密ゴム圧縮量)の関係を図-7に整理した。横軸が+値はゲートと戸当りの隙間、マイナス値は水密ゴム圧縮量を示す。圧縮量は、水密ゴムが戸当りに密着し隙間が無くなった状態を示す。

■STEP3: 実験開始時に3~4mmであった開き量が、内外水差0.4m付近(内水位0.46m、外水位0.86m)まで拡大しそれ以降は縮小した。約1.5mの内外水位差(内水位0.71m、外水位2.22m)で水密ゴム圧縮量が2mmを超過した。この状態でもゲートの漏水は解消されていない。

■STEP4: 内外水1.8m付近から開始したため、浮力の影響で天端開き量は11~12mmであった。しかし、内外水位差拡大に伴う天端開き量の縮小および水密ゴムの圧縮はSTEP3より顕著であった。内外水が共にゲート高2mに近い1.8m以上としたこのケースでは、0.34mの内外水位差で水密ゴムが1mm圧縮され、水密性が確保された。

以上から、ゲートの水密確保には内外水位差だけでなくゲート閉鎖水位が関係することが推定された。

(2) 実験結果を踏まえた名松樋門の特性の考察

a) 名松樋門の水密特性

実験より、名松樋門の水密特性は次の3点である。

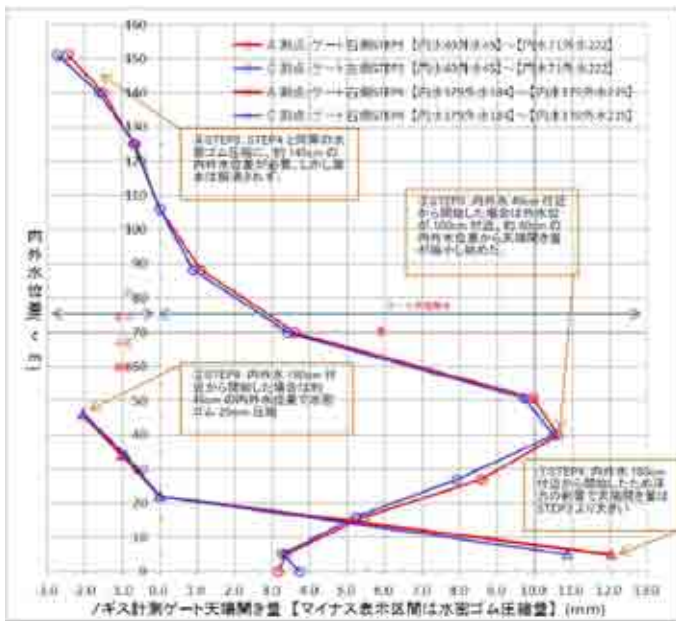


図-7 内外水位差とゲート天端開き量・水密ゴム圧縮量

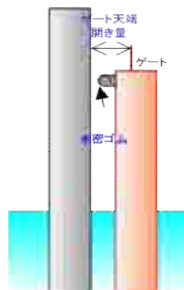
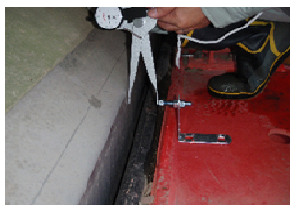


図-8 ゲート天端開き量の関係

①内水位が低い状態（水深0.5m前後）では、内外水位差が1.0mを超えるとゲート上部の水密ゴムは戸あたりに密着した（実験STEP3）。しかし、外水圧の作用点がゲート高中心より低いため押付力が一様に作用せず、ゲート側部の水密は確保されない。

→外水位が低い状態でゲート閉鎖の効果は低い

②ゲートがほぼ水没する状態（水深2.0m前後）では、内外水位差0.2～0.3mでゲートの水密性が確保される状態となる（実験STEP4）→外水位がゲート天端付近で全閉する場合、操作の妥当性有り

③内水位が高くなれば密閉状態が解放され、ゲート上部、側部から内水流出が生じる。→ゲート水密は内外水バランス（内水流出と木津川水位上昇）で逐次変化する。

上記結果を踏まえ、近年の実績樋門操作時の水位変動特性を考察する。

b) 平成24年9月樋門操作時水位動向の考察

I 段階では名松川流出により内水>外水の状態であり、II 段階で木津川水位が上昇すると内水位<外水位の状態となった。さらにIII段階(図10)に示すとおりゲート閉鎖直後に内水位<外水位状態となったが、IV段階(図10)で木津川水位が低下すると内水位≒外水位の状態が継続した。

IV段階で内外水が連動して見えるメカニズムとしては、次の二つの可能性がある。

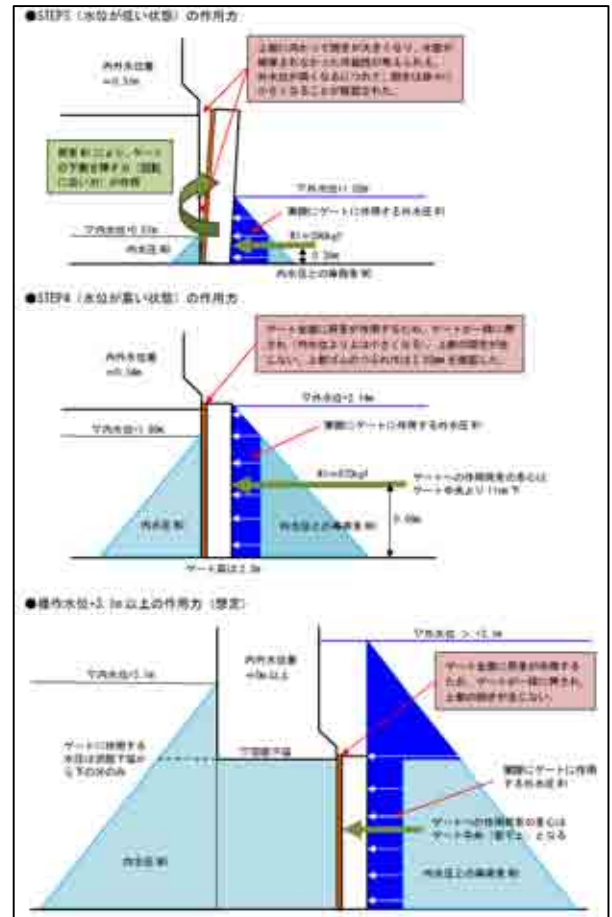


図-9 ゲートへの作用力説明

①外水位変動と内水流出に伴う内水位の変動傾向が一致した結果、内外水が連動して見えた可能性。内水流出量が0.02m³/s程度でこの関係が成立する。

②ゲート下部に土砂等を挟み込み又はゲート上部に隙間ができた状態のままでゲート水密が未確保となり、内水流出が低減したことも重なり、外水が堤内側に流入し内外水が連動した可能性

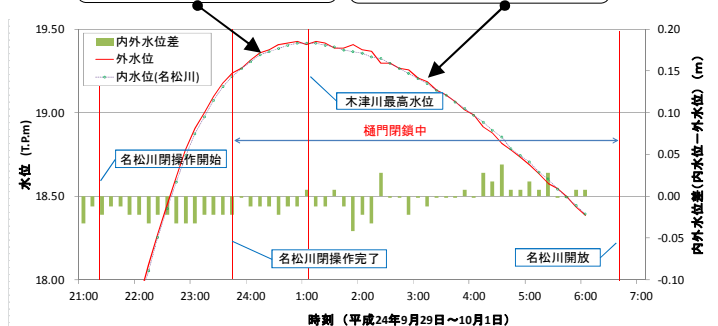
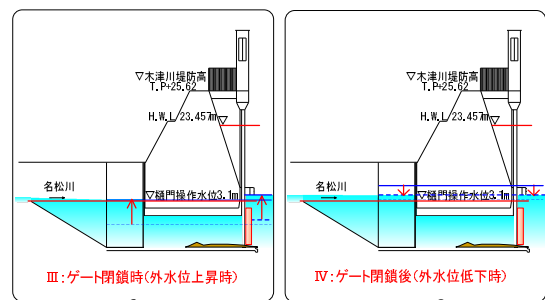


図-10 平成24年9月出水時の名松樋門ゲート水密特性の推定

6. 名松樋門の対策

名松樋門におけるゲート水密性確保についての対策案を検討する。

(1) 名松樋門操作におけるリスク要因分析

名松樋門は操作水位が高く、閉鎖時にゲートが水没する特徴を有している。そのため、現行施設操作で予想されるリスク要因を、平成23、24年の操作実績および、実験で把握した名松樋門の特徴を踏まえて整理した。

ゲートが土砂をかみ水密が確保されないことにより、木津川外水が樋門から逆流し堤内が浸水する非常事態が発生する。リスク回避のためには、内水位＜外水位状態での外水の大規模な流入を抑制する方策が必要となる。

(2) 対策案の検討

リスク要因分析を踏まえ、対策案を検討した。

a) 対策案の方向性

第一に、土砂堆積等を防ぎ操作時にゲートでの異物挟み込みの回避が重要となる。この結果、木津川水位が被害発生水位まで上昇した場合もゲートの水密性が確保され、外水侵入などのリスクは回避できる。

これより、土砂堆積防除を今回対策の基本方針とし、対策案を整理した。

b) 土砂堆積対策

土砂堆積対策で今回の問題解決が図れることから、対策案として採用した。また、維持掘削、簡易フラッシュ放流は、現有施設の改造不要で実施可能である。

7. 今後の対策

名松樋門の水密性確保対策として、3つの「土砂堆積対策」を選定した。これらを実現していくために必要となる、今後の検討事項を整理する。

(1) 維持掘削

樋門函体内、およびゲート付近に堆積する土砂の維持掘削を計画的に実施するには、流域からの流出土砂量の把握が不可欠となる。このため、次のとおり土砂流出量推定を目的としたモニタリングを実施する必要がある。

(2) 簡易フラッシュ放流操作方法検討

ゲート操作により函体内に流水を貯留して実施する簡易フラッシュは、現在、平常時管理でも実施されている。今後は、出水時の操作前に簡易フラッシュを実施する方法について、操作の可能性および操作規則の変更を含め検討する。

(3) 土砂溜の設置

名松川樋門ゲート付近への土砂堆積量を抑制する施設としての土砂溜設置については、設置位置、規模について、名松川からの土砂流出量をモニタリングし土砂溜検討が必要となる。

8. 今後の課題

今回の実験では、課題b)：開閉構造の特性（水密性不足）に関して最終的な結論に至っていないが、操作水位が低い段階では水密性を確認することができた。そのため、樋門への土砂の動向に注意しながら、次回出水に際して樋門内外水位を注視し、対応方策を含めて再検討を行う等万全な管理に努めたい。

表-3 名松樋門対応策案の比較

対策目的	対策案	概要	実施時の利点（○）・課題（△）
土砂堆積対策によるゲート閉鎖阻害防止	□維持掘削 □出水前簡易フラッシュ	□樋門の水密性確保の前提として、ゲート戸当り付近の土砂、ゴミの排除が不可欠である。 □ゲート閉鎖により函体内に湛水し、簡易的なフラッシュ放流でゲート戸当り付近の土砂を排出する（現在実施の定期点検時に加え、出水前も実施する）。	○：ハード整備不要 ○：フラッシュは運用上対応で実施可能 △：定期的維持掘削のコスト △：操作規則の改定（出水前の操作によりフラッシュ放流を行う場合）（平成25年度の出水時モニタリング）
	□土砂溜設置	□名松川の樋門函体流入部付近に土砂溜となる横断構造物を配置し、土砂排出効率を高める。	○：ゲート付近到達土砂の抑制 △：土砂溜効果の水理解析（平成25年度に堆積量をモニタリングし検討予定）
操作時水密確保	□名松川の内水位低下	□外水位が高くなる状況（内外水位差）を早く確保し、水密を確保する。 □名松樋門の水密機能を早期に発現させる必要から、排水ポンプ車を名松川に待機させ（または救急排水ポンプを設置して）、樋門を閉めた後に、本川へ放水して一時的に内水位を下げる。	△：排水ポンプ車の出動は検討可能 △：手原川の水位状況の確認 △：出動要員の確保 △：内水位＞外水位状態が継続する場合はポンプ運転 △：土砂排出用の坂路整備

利水ダムの運用改善による洪水時の 放流量低減の可能性について

衣斐 伊津佳

近畿地方整備局 河川部 河川管理課 (〒540-8586大阪府大阪市中央区大手前1-5-44)

平成23年9月の台風12号により新宮川水系に甚大な洪水被害が発生したことから、既存の利水ダムにおいて対応可能な、洪水前に貯水位を低下させて空き容量を確保し、確保された空き容量を活用して放流量の低減を図るダム運用の改善について、ダム管理者とともに検討を行い、平成24年出水期から運用を開始した。

キーワード 利水ダム、事前放流、放流量低減、試行運用

1. はじめに

平成23年9月の台風12号は、新宮川水系に甚大な洪水被害をもたらした。その際のダム操作について、下流自治体や住民から多くの意見や要請があり、ダム下流の洪水被害軽減にむけて、ダム運用の改善を図ることとなった。

新宮川水系に設置されているダムは、全て洪水調節機能を有していない利水ダムであり、ダムの貯留水は、発電や不特定用水として利用される貴重な水資源である。下流住民から、下流の洪水被害の軽減が可能な運用を強く求められる中で、利水への影響を考慮しつつ、ダムの貯水容量を効果的に活用するダム操作を実施する必要がある。このため、ダム管理者と連携し、洪水前に貯水位を低下させて空き容量を確保し、確保した空き容量を活用して洪水時のダム放流量を低減させる運用について検討を行なった。

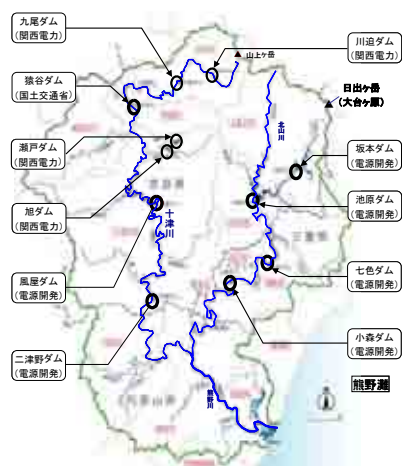


図-1 新宮川水系の利水ダム

2. 新宮川水系（熊野川）と台風12号の概要

新宮川水系（熊野川）は、幹川流路延長183km、流域面積2,360km²、奈良、和歌山、三重の3県にまたがる一級河川である。流域には、電源開発(株)が管理する池原ダム、風屋ダム等6ダムと、関西電力(株)管理の4ダムの計10の発電専用ダムと、国土交通省管理で紀の川水系の不特定用水を流域外分水している猿谷ダムの計11ダムがあるが、全て洪水調節容量を持たない利水ダムである。

平成23年台風12号は、9月3日に高知県東部に上陸し、四国地方、中国地方を縦断して、5日温帯低気圧に変わったが、動きの遅い大型台風となったため、西日本から北日本にかけての広い範囲に記録的な大雨をもたらした。特に台風12号の中心の東側となった紀伊半島では、8月31日から9月4日までの5日間で広い範囲で総雨量が1,000mmを超え、一部地域では2,000mmに達するなど、記録的な豪雨となった。

この豪雨により、紀伊半島を中心に、死者82名、行方不明者16名、全壊379棟、半壊3,159棟、床上浸水5,500棟、床下浸水16,594棟という甚大な被害が発生した。

熊野川流域では、平均最大時間雨量40mm/h、平均総雨量1,311mmとなり、平均時間雨量10mm/h以上の降雨が

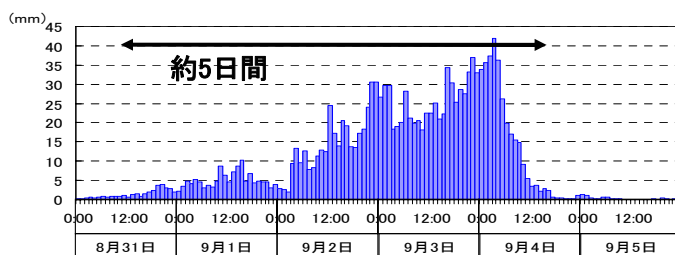


図-2 台風12号での熊野川流域における流域平均雨量

48時間継続した。

電源開発(株)管理の池原ダム、風屋ダムにおいては、洪水量（両ダムとも1,500m³/s）を超える流入が50時間以上に渡って継続し、総流入量は、池原ダム、風屋ダムのそれぞれの総貯水容量の5.8倍(581百万m³)、1.7倍(543百万m³)にも及んだ。

両ダムでは、平成6年台風26号洪水を契機に、平成9年から、利水に影響を及ぼさない範囲で、予備放流水位より低い「目安水位」を自主的に設定し、洪水時の放流量を低減するための容量を確保する運用が行われており、台風12号においても、これに基づく操作が行われた。

また、猿谷ダムにおいても、洪水量1,000m³/sを超える流入が4日間で2回発生し、これまでで最大であった昭和34年9月伊勢湾台風時の最大流入量2048m³/s、総流入量69百万m³に対し、台風12号では最大流入量1317m³/s、総流入量202百万m³という長時間の洪水となった。

3. 河川管理者の取り組み

台風12号により甚大な洪水災害が発生したことから、下流自治体や住民から、熊野川流域のダム操作に対する疑問や見直しに関する要望が多く寄せられ、治水機能を有していない利水ダムではあるが、洪水時の放流量を低減させる運用を強く求められた。

しかしながら、洪水時の放流量低減のために事前に空き容量を確保することは、ダムの貯留水が、発電ダムにおいては再生可能なエネルギー源であり、また猿谷ダムにおいては不特定用水供給のための貴重な水資源であることから、洪水後の貯水位回復に多大なリスクが生じる恐れがある。

このため、河川管理者として、利水への影響も考慮しつつ、下流の安全を確保するために現時点で速やかに取り組める対策の一つとして、ダム運用の改善によって可能となる洪水軽減方法について、ダム管理者とともに検討を行った。

電源開発(株)管理ダムについては、電源開発(株)が設置した「ダム操作に関する技術検討会」に、河川管理者である近畿地方整備局と関係3県が参画し、学識経験者の意見も仰ぎながら検討を進め、池原ダム及び風屋ダムにおいて洪水時のダム放流量の低減を図る暫定運用操作を策定し、平成24年出水期から運用できるよう操作規程の変更手続きを行い、操作内容を明文化した。

また、猿谷ダムにおいても、利水者や関係自治体との調整や学識経験者の意見もお聞きした上で、運用内容を策定し、操作規則に明文化する手続きを進めるとともに、平成24年度から試行運用を開始することとした。

また、これらの内容については、下流自治体等関係者への説明を行い、理解が得られるように努めた。

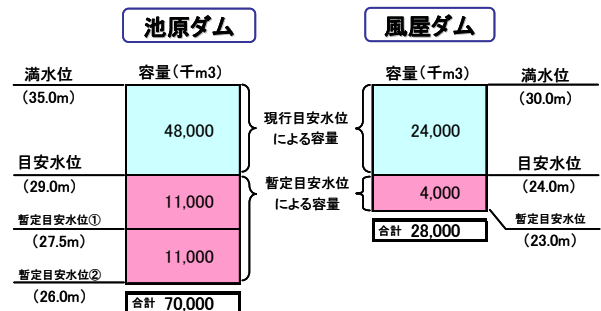
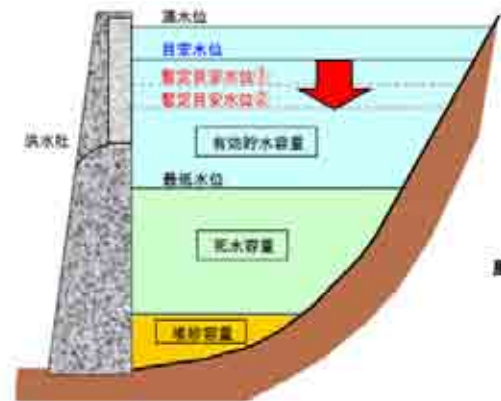
4. 利水ダムの運用改善

(1) 池原ダム、風屋ダムにおける運用改善

電源開発(株)の池原ダム及び風屋ダムについては今回の運用改善による貯水位低下の目標の貯水位である「暫定目安水位」を、ダムの放流能力や確実に事前放流を実施するための時間的な制約等から表-1のとおりとした。池原ダムでは予想される出水規模に応じて2段階でダム水位を低下することとし、これにより池原ダムで2,200万m³、風屋ダムで400万m³の新たな空き容量が確保され、これまでの運用と合わせ計1億m³近い空き容量が確保されることとなった(図-3)。この空き容量を用いて、池原ダムにおいては、ダム放流開始の遅らせ時間をこれまでの操作規定の30分（運用では2時間）から3時間に延伸することで、また、池原ダムと比べ放流能力が小さい風屋ダムでは、これまでより低い水位で自然越流状態（ゲートを全開にしてダムに入ってきた洪水を自然に任せて放流する状態）に移行させることで、洪水時の放流量の低減を図ることとした。

表-1 池原及び風屋ダムの貯水位低下の目標水位

		これまで	H24以降	
			暫定目安水位①	暫定目安水位②
池原ダム	貯水位	29.0m (6.0m)	27.5m (7.5m)	26.0m (9.0m)
	ダム容量	48,000千m ³	59,000千m ³	70,000千m ³
風屋ダム	貯水位	24.0m (6.0m)	23.0m (7.0m)	
	ダム容量	24,000千m ³	28,000千m ³	



※暫定目安水位：現行の目安水位よりも更に低下させた水位

図-3 池原ダム及び風屋ダムの運用改善³⁾

(2) 猿谷ダムにおける運用改善

猿谷ダムでは、空き容量を確保する目標貯水位を放流能力の制約から標高426mとし、昭和33年のダム完成後、流入量が洪水量 $1,000\text{m}^3/\text{s}$ を大きく上回る洪水はすべて9月上旬から10月中旬に発生していることから、9/1～10/31の間、 $1,000\text{m}^3/\text{s}$ を超える洪水が予想される場合に、標高426mを目標に貯水位を低下させて空き容量を約880万 m^3 確保することとした。紀の川水系への不特定補給は主に灌漑用水として利用されており、補給のために必要な貯水容量が9月以降は小さくなることから、9/1～9/15の間は貯水位運用により、灌漑期が終わり貯留回復期に入る9/16～10/31の間は事前放流により、空き容量を確保する試行運用を平成24年より行うこととした。これにより満水位標高からの水位低下は従前の4mから10mとなり、空き容量は約400万 m^3 から約880万 m^3 となった(図-4)。また、試行運用操作の実施基準については、台風の中心が東経128度から138度の間で北緯24度以北に達し、猿谷ダムから300km圏内への接近が予測されるとともに、

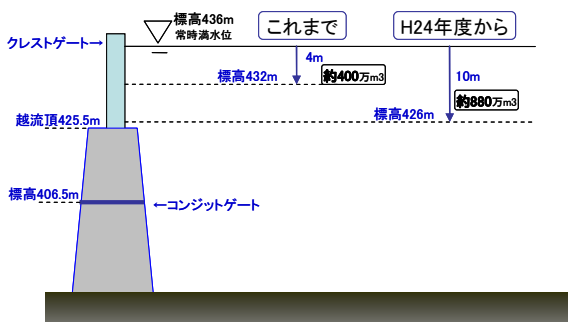


図-4 猿谷ダムの運用改善

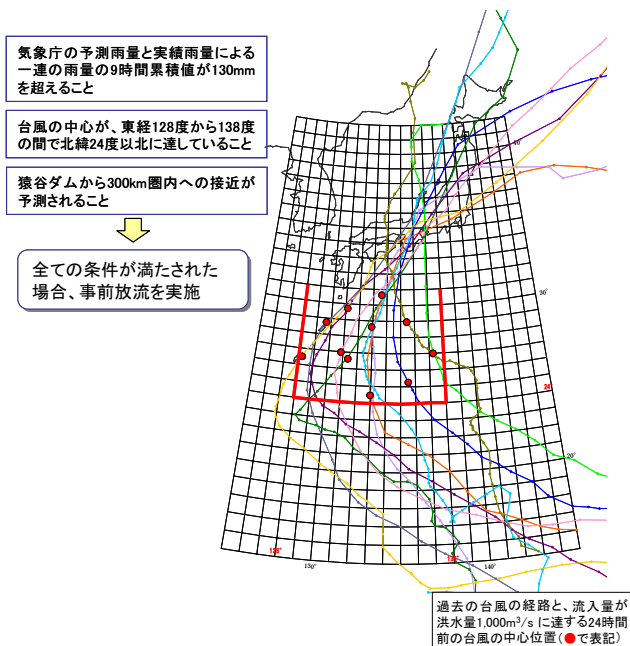


図-5 猿谷ダム事前放流の実施基準

実績雨量と気象庁MSM数値予報の予測雨量による9時間雨量が130mmを超える場合に、事前放流の実施等の対応を行うこととした(図-5)。

5. 平成24年6月台風4号と平成24年9月台風17号での効果

(1) 平成24年6月台風4号での効果

池原ダム及び風屋ダムでは、洪水前の両ダムの貯水位が暫定目標水位よりも大幅に低かったこともあり、池原ダムでは、最大流入量約 $2,100\text{m}^3/\text{s}$ に対して最大放流量約 $333\text{m}^3/\text{s}$ 、風屋ダムでは、最大流入量約 $1,400\text{m}^3/\text{s}$ に対して最大放流量約 $700\text{m}^3/\text{s}$ と、差分をダムに貯め込むことにより放流量を低減する操作を実施し、両ダムの操作により、熊野川の基準点相賀地点において、流量で約 $2,000\text{m}^3/\text{s}$ (両ダムでの貯留が無かった場合の想定流量約 $9,500\text{m}^3/\text{s}$ 、今回の最大流量約 $7,500\text{m}^3/\text{s}$ 。)、水位で約1.4m(両ダムでの貯留が無かった場合の想定水位約9.5m、今回の最高水位約8.1m。)の低減効果があったと推定された(図-6)。

また、猿谷ダムでは、5月上旬からの小雨傾向により、ダムの貯水率が最低約50%まで低下していたこともあり、ダム流域平均累計雨量が167mm、流入量が最大約 $600\text{m}^3/\text{s}$ となったが、空き容量を活用しダムからの放流を約

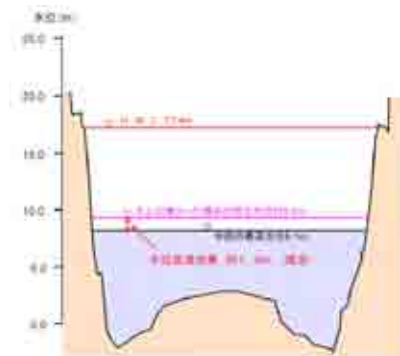


図-6 平成24年6月台風4号での相賀地点での水位低減効果

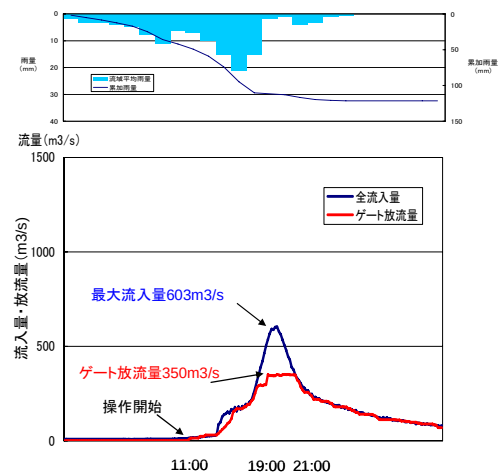


図-7 平成24年6月台風4号での猿谷ダムでの状況

350m³/sにすることができた(図-7)。

(2) 平成24年9月台風17号での効果

池原ダムでは貯水位が暫定目安水位①よりも若干高い程度であったため、通常の発電運用により事前に水位低下を実施し、確保された空き容量を活用して、ダムへの最大流入量約2,800m³/sに対して、最大放流量を約1,500m³/sに低減する操作を行った。風屋ダムでは貯水位が暫定目安水位よりも大幅に低かったことから事前の水位低下は実施しなかったが、空き容量を活用し、ダムへの最大流入量約1,400m³/sに対して、最大放流量を約700m³/sとする操作を行った。両ダムの操作により、熊野川の基準点相賀地点において、流量で約1,500m³/s(両ダムでの貯留が無かった場合の想定流量約8,100m³/s、今回の最大流量約6,600m³/s。)、水位で約1.1m(両ダムでの貯留が無かった場合の想定水位約8.5m、今回の最高水位約7.4m。)の低減効果があったと推定された。

猿谷ダムでは、灌漑期が終了した後であり、貯水位が標高約425m程度となっており、試行運用で設定している貯水位より低い貯水位の状況で、台風17号が来襲した。猿谷ダム上流域の平均累加雨量は190mmで、ダムへの流入は最大で約700m³/sとなり、洪水量1000m³/sには達しなかったが、空き容量を活用し、下流への放流を最大で約500m³/sとするゲート操作を実施し、下流の水位上昇を抑えた。

6. 今後の課題

風屋ダム、池原ダム、猿谷ダムについては、今後の実際の洪水時の操作結果から、運用改善の内容について検証し、更なる改善の可能性について検討していく必要がある。

また、11の利水ダムのうち、猿谷ダム・池原ダム・風屋ダム以外にも、電源開発(株)管理の二津野ダム、七色ダムについては、ゲートが有ること、集水面積が大きいこと、貯水容量が大きいことから、洪水軽減を図れる可能性があると考えられることから、この2ダムにおいて、実施可能な洪水軽減に向けた運用の改善の可能性についても、今後の検討課題として考えられる。

さらに、平成24年9月台風17号時でも課題となった、猿谷ダムとその下流にある風屋ダムとの運用の調整等、上下流のダムの操作の連携、あるいは、降雨の分布状況により、熊野川と北山川というそれぞれの川筋のダム群の操作の調整による洪水低減の可能性について、ダム管理者と連携し、検討していく必要がある。

参考文献

- 1) 国土交通省河川局：新宮川水系河川整備基本方針
- 2) 消防庁：第20報(平成24年9月28日15時現在)
- 3) 電源開発(株)：新宮川水系における電源開発(株)管理ダムの運用改善について
- 4) ダム操作に関する技術検討会：ダム操作の運用改善に向けた中間報告書
- 5) 熊野川の総合的な治水対策協議会(H24.12.20)資料より引用

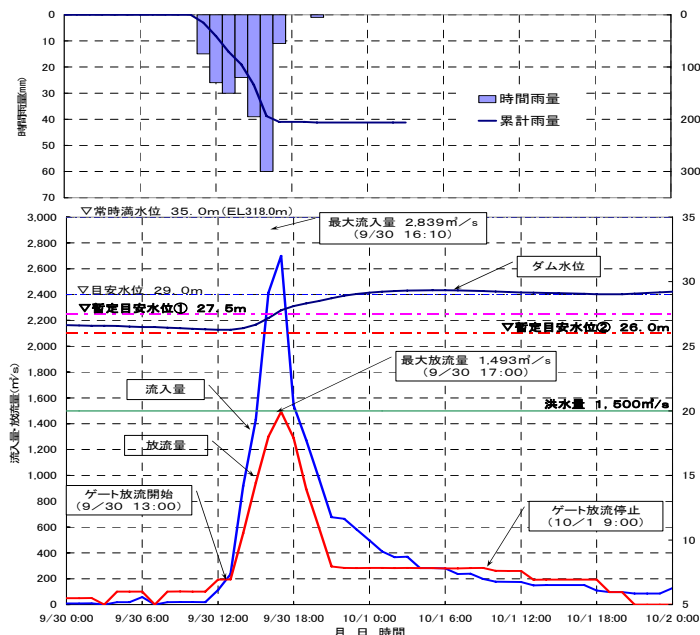


図-8 平成24年9月台風17号での池原ダムの状況⁹⁾

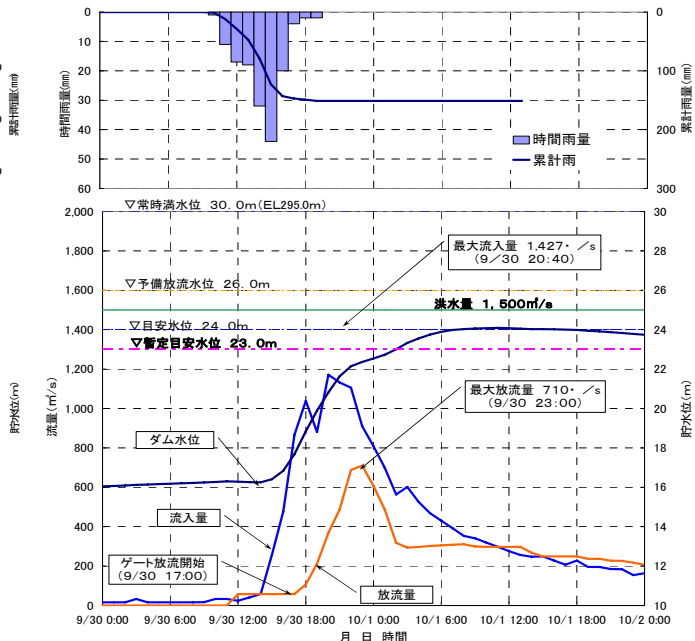


図-9 平成24年9月台風17号での風屋ダムの状況⁹⁾

淀川大堰への津波遡上について

戌亥 俊介

¹近畿地方整備局 淀川河川事務所 調査課 (〒573-1191大阪府枚方市新町2-2-10)

平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震を受け、河川管理においては、中央防災会議・東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会の「中間とりまとめ」を踏まえ、二つのレベルの津波を想定して対策を図ることとしている。一つは、住民避難を柱とした総合的防災対策を構築する上で設定する「最大クラスの津波」であり、もう一つは、河川管理施設等の整備により被害を防止する「施設画面上の津波」である。

淀川についても、海岸における防御と一体となって河川堤防、堰、水門等により津波災害を防御する必要がある、淀川河川事務所において検討した施設画面上の津波の検討過程やその遡上結果、今後の課題について報告するものである。

キーワード 施設画面上の津波、河川津波、淀川大堰

1. はじめに

平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震は、観測史上最大のM9.0という巨大な地震と津波により、広域にわたって大規模な被害が発生し、未曾有の災害となった。これを受けて「津波防災地域づくりに関する法律」（平成23年法律第123号）の施行、「津波防災地域づくりの推進に関する基本的な指針」（平成23年12月27日）が示され、発生頻度は極めて低いものの、甚大な被害をもたらす最大クラスの津波（以下「最大クラスの津波」という。）への対策を効率的かつ効果的に講じる事が必要とされている。

一方、平成23年9月2日に通知された「河川津波対策について」では、最大クラスの津波に比べて発生頻度は高く（数十年から百数十年に一度程度）、津波高は低いものの大きな被害をもたらす津波（以下「施設画面上の津波」という。）に対して、海岸における防御と一体となって河川堤防、水門等により津波災害を防御することが必要とされている。

淀川河口部は、低平地であり、大阪市をはじめとする我が国有数の人口・資産が集積する地域であることから、当事務所で管理する河川管理施設において、上記通知等に基づき、施設画面上の津波を設定し、淀川における遡上影響を把握し、今後の課題を抽出する。

2. 淀川における施設画面上の津波の設定

(1)施設画面上の津波の設定手順

海岸における設計上の津波は、平成23年7月に通知された「設計津波の水位の設定方法等について」に基づき設定する。本通知では、痕跡高や歴史記録・文献等の調査で判明した過去の津波の実績と、必要に応じて行うシミュレーションに基づくデータを用いて、一定頻度（数十年から百数十年に一度程度）で発生する津波の高さを想定（以下、「設計津波」という。）し、その高さを基準として、海岸管理者が堤防の設計を行うこととなっている。（図-1）

また、河川管理者が設定する施設画面上の津波については、平成23年9月2日に通知された「河川津波対策について」により、設計津波と同一の津波を基本として設定するものとするとして記載されている。

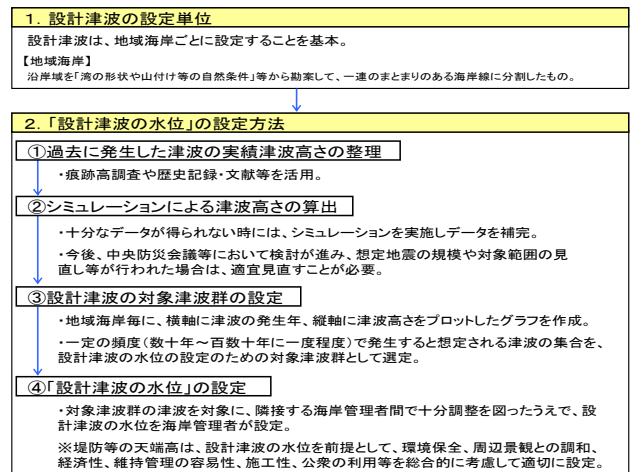


図-1 設計津波の水位の設定方法

(2)淀川河口における過去に発生した津波実績津波高さ

淀川河口において、近年発生した津波地震について津波痕跡データベース（東北大学災害制御研究センター、原子力安全基盤機構（平成22年11月）により抽出すると、慶長（南海）地震津波、宝永地震津波、安政南海地震津波、東南海地震津波、昭和南海地震津波、昭和チリ地震津波の6ケースがあり、淀川河口付近において最も大きな津波をもたらした地震は、安政南海地震津波で、1854年に発生しており、その痕跡高は大阪（中ノ島）地点で0. P+4. 3mであった。（図-2）

津波名	年	地点	痕跡高		信頼度
			T.P.m	Q.P.m	
慶長(南海)地震津波 宝永地震津波	1605	なし	なし	なし	—
	1707	堺(大浜)	2.7	4.0	Z
		堺(南瓦町)	2.5	3.8	Z
		大阪(道頓堀)	2.5	3.8	D
安政南海地震津波	1854	大阪(摂津)	2.5	3.8	D
		堺	3.0	4.3	Z
		大阪港	2.5	3.8	Z
		大阪(中ノ島)	3.0	4.3	Z
東南海地震津波	1944	大阪(築港)	0.5	1.8	A
昭和南海地震津波	1946	堺(港内)	3.0	4.3	A
		大阪(築港)	0.6	1.9	C
昭和チリ地震津波	1960	堺(港内)	1.15	2.45	A
		大阪港(築港)	1.38	2.68	A

津波痕跡の信頼度の定義※

A	信頼度大なるもの（痕跡の場所、高さが確認できているもの）
B	信頼度中なるもの（高さの確認が必要なもの）
C	信頼度小なるもの（痕跡の場所ができないもの）
D	参考値にとどまるもの
X	全く信頼できないもの
Z	別の文献の採引き、他のデータと重複、浸水の有無の確認程度に基づく

※信頼度の定義、評価は、津波痕跡データベース（東北大学災害制御研究センター、原子力安全基盤機構（平成22年11月）の情報）に基づく

図-2 既往の津波と痕跡高

(3)津波シミュレーションによる津波想定高さ

津波シミュレーションによる計算にあたっては、過去に検討された津波シミュレーション結果をベースにするとともに、津波実績が高い安政南海地震（1854年）、昭和南海地震（1946年）及び平成15年度に内閣府が検討した東南海・南海地震について津波シミュレーションを実施した。（図-3）津波シミュレーションは、海底での摩擦及び移流項を考慮した非線形長波理論により、以下の流れ（図-4）で行う。

【連続式】
$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} - \frac{\partial \xi}{\partial t} = 0$$

【方程式】
$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} + gn^2 \frac{M \sqrt{M^2 + N^2}}{D^{3/2}} = 0$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{MN}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{N^2}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial y} + gn^2 \frac{N \sqrt{M^2 + N^2}}{D^{3/2}} = 0$$

η : 静水面からの水位上昇量

D : 全水深 ($D = h + \eta - \xi$)

g : 重力加速度

n : マニングの粗度係数

M, N : x, y 方向の全流量フラックスで水底 h から水面 η まで水平流速 u, v を積分して、

$$M = \int_h^\eta u \, dz = (\eta + h - \xi) u = D u$$

$$N = \int_h^\eta v \, dz = (\eta + h - \xi) v = D v$$

で与えられる。

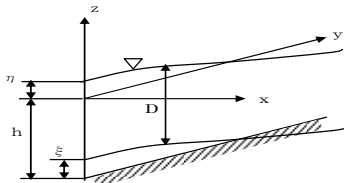


図-3 方程式の座標系

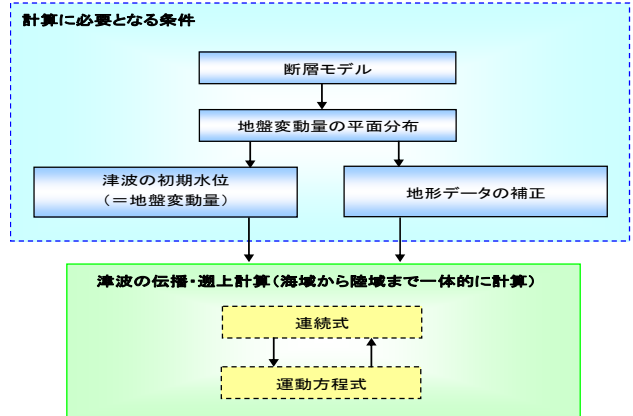


図-4 津波シミュレーションの流れ

また、津波シミュレーションの実施にあたっては、既往地震津波を再現したのち、大阪湾の津波の高さが最大となるように震源の位置を移動させる等して拡張させて実施した。

その結果得られた津波最高分布図（図-5.1～3）を比較すると、大阪湾北部では想定昭和南海地震津波が最も大きくなり、大阪湾の南部では想定安政南海地震津波の方が大きくなる。また、大阪湾の代表地点における津波の高さの計算値の比較図（図-6）の整理により、淀川河口では想定昭和南海地震が最も大きくなるが、堺以南では想定安政南海地震（M8.6）が最も大きくなる結果となった。

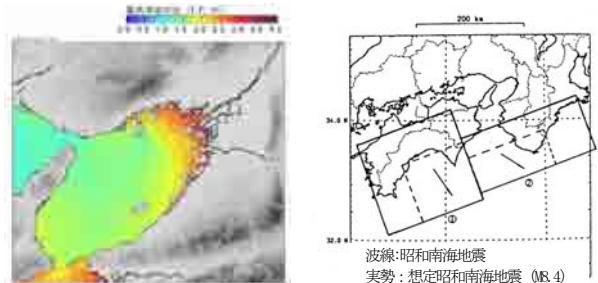


図-5.1 想定昭和南海地震津波 M8.4

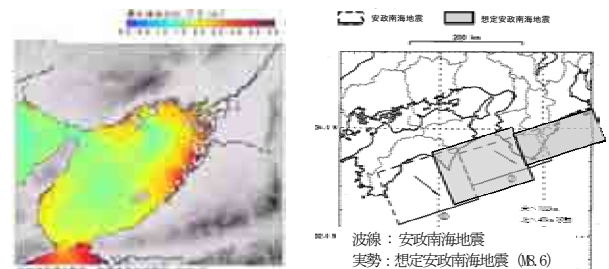


図-5.2 想定安政南海地震津波 M8.6

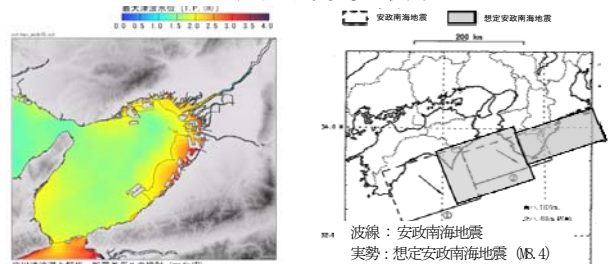


図-5.3 想定東南海・南海地震 M8.6

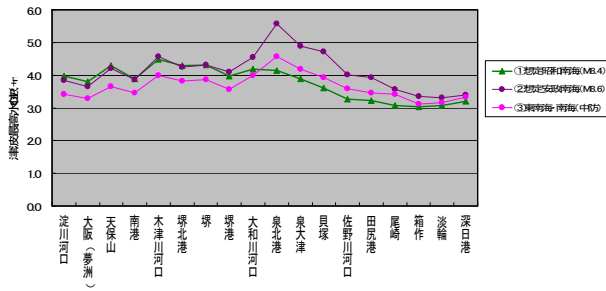


図-6 大阪湾代表地点における津波高さ（計算値）

(4)設計津波の対象津波群の設定

地域海岸の設定は、平成23年7月に通知された「設計津波の水位の設定方法等について」により設定することとあり、施設計画上の津波については、平成23年9月通知において、海岸管理者が設定する地域海岸の設計津波と同一の津波を基本として設定することとされている。

上記通知においては、設計津波の設定に関して、過去に発生した津波の実績津波高さ及びシミュレーションにより求めた津波高さから、横軸に津波の発生前、縦軸に海岸線における津波高さをとり、グラフを作成し、原則として一定の頻度（数十年から百数十年に一定程度）で到達すると想定される津波の集合を、設計津波の水位設定のための対象津波群として選定される。

従って、淀川における施設計画上の津波の選定においても、河口部付近における対象津波群を設定し、最大となる想定昭和南海地震を施設計画上の津波として選定した。（図-7）

なお、設定においては、海岸管理者である大阪府が設定する設計津波における対象津波群と齟齬が出ないように選定した。

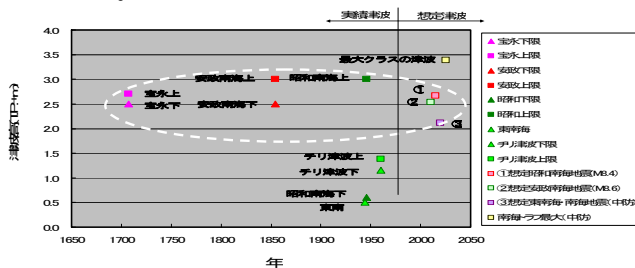


図-7 淀川河口部付近における対象津波群

(4)淀川における施設計画上の設定

(3)で選定した想定昭和南海地震津波、想定安政南海地震及び東南海・南海地震に関して、淀川大堰を全閉状態、河口の出発水位を台風期の朔望平均満潮位であるO.P.+2.2mの条件で遡上させた場合における最高の津波高を縦断的にプロットした縦断図を図-8に示す。

河口～淀川大堰区間のどの範囲においても想定昭和南海津波が高く、図-8からも想定昭和南海を施設計画上の津波として設定することの妥当性が判断できる。

以上から、想定昭和南海地震津波を淀川における施設計画上の津波として対象とした。ただし、設定にあつ

ては、算出した結果が、あくまでシミュレーションによる結果であり、実際に来襲した場合の津波の高さや周期の不確実性、波源特性により変動する可能性等を考慮して、淀川河口0.0km付近で最大となる津波高(O.P.+4.27m)及び反射波の影響により最大となる淀川大堰付近(O.P.+4.37m)を結ぶラインとし(図-9)、堤防高等との比較の為の照査外水位として設定した。

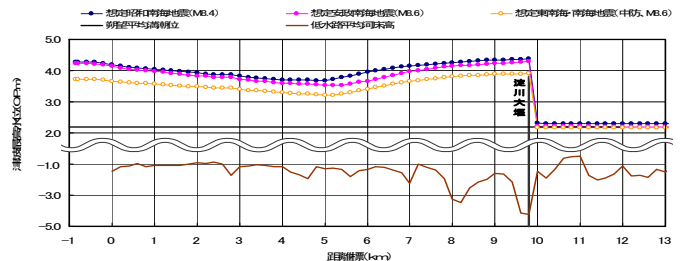


図-8 最高津波水位縦断図

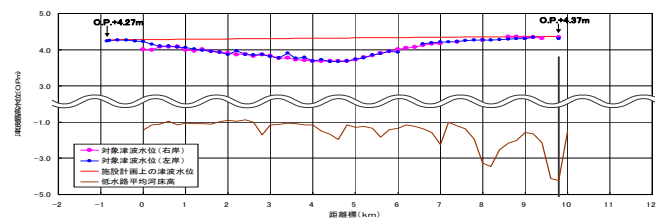


図-9 淀川における施設計画上の津波の設定

3. 淀川大堰への津波遡上

(1)施設計画上の津波における特性

施設計画上の津波として設定した想定昭和南海地震津波の特性について述べる。

淀川大堰を全閉状態とした場合、紀伊半島沖で発生した地震津波の第1波は、およそ120分で淀川河口に到達し、その後25分程度で淀川大堰まで到達する。また、第1波の津波が最も大きく淀川河口においてO.P.+約4.2m、淀川大堰付近においてO.P.+約4.3mとなる。

(図-10、11) また、流速に関しては、河道中央付近が大きく、流速2.5～3.0m/s程度となる。(図-12)

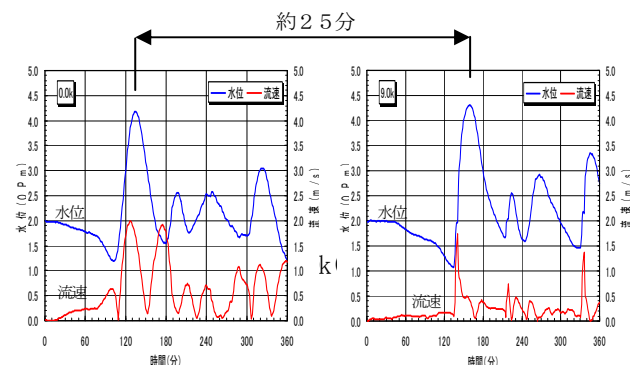


図-10 0.0k(河口)と9.0k(大堰下流)の津波水位



図-11 最高津波水位分布図



図-12 最大流速分布図

(2) 遡上した津波に対する淀川大堰の効果

淀川大堰は、①塩水の遡上を防止する潮止め機能、②都市用水等の取水や大川、神崎川へ維持用水を流入させるために必要な水位保持機能、③渇水時の都市用水を確保するために必要な調整池機能を目的として設置されたものであり、津波時においてもその目的を果たせることが望ましい。ここでは、津波発生時において、ゲートを全閉にしたケース1と調節ゲートを一部開けて、上流から大堰に到達する平水流量193m³/sをそのまま下流へ流下させたケース2（図-13）とで津波が遡上した場合における影響を比較する。ケース1では、ゲートを全閉にしている為、上流からの流入量によりゲート天端を越流し、淀川大堰の直上流でO.P.+約4.0mの高さとなり約3km上流までの一部の高水敷より高くなる。一方ケース2においては、淀川大堰の直上流でO.P.+約3.5mの高さとなり、ケース1と比較して約50cm低く、浸水する高水敷も少ない。（図-14-1、2）

ケースNo.	模式図	河川流量	淀川大堰条件			水位	
			調節ゲート	制水ゲート	毛馬水門	堰下流 (潮位)	堰上流
1		193m ³ /s	全閉	全閉	全閉	O.P.+2.20m	O.P.+3.80m 淀川大堰全閉時におけるゲート天端高
2		193m ³ /s	開	全閉	全閉	O.P.+2.20m	O.P.+3.15m 平常時の概ねの管理水位

図-13 検討ケースと諸条件

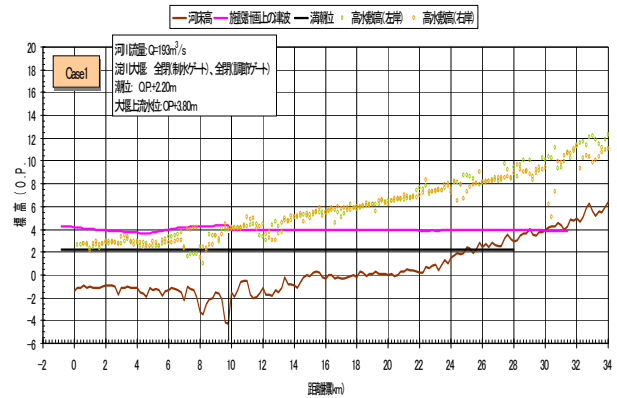


図-14-1 ケース1 最高津波水位縦断面図

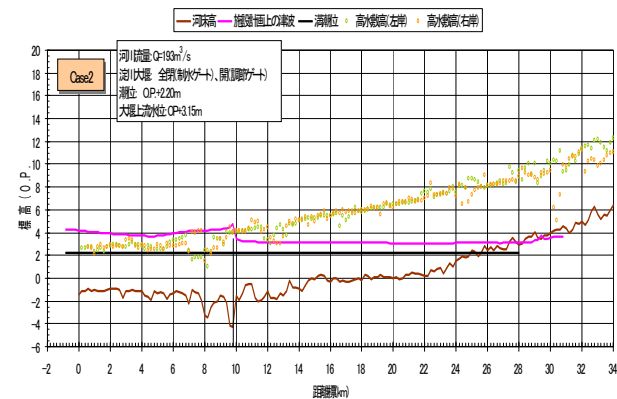


図-14-2 ケース2 最高津波水位縦断面図

4. 今後の課題

今回の検討においては、施設設計画上の津波に対して、淀川を遡上させた場合における津波高さを算出し、淀川大堰の効果を検討したが、津波遡上時における最適な待ち受け方法については、塩水に対する遡上影響やゲートに対する応力照査等の構造検討、実際のゲート操作時間を考慮した運用方法を詳細に検討した上で、決定する必要がある。また、大堰を超えて塩水が遡上した場合において、水道用水や工業用水の取水に対して一刻も早くその影響を緩和出来るよう、津波遡上後の効果的なゲート運用方法も関係機関と調整しながら検討をしていく必要がある。

また、発生頻度は極めて低いものの、発生すれば甚大な被害をもたらす津波、いわゆる「最大クラスの津波」に対しても、津波による災害の防止又は軽減が効果的に図られるようにするため、都道府県知事が設定する津波浸水想定等とともに、淀川における河川管理施設等がその減災の一助となるよう、関係機関と緊密な調整を行いながら、今後の詳細検討と具体的な対応方法の設定が必要となっている。

ダム放流設備の効果的な維持管理に向けた 健全性把握について

能登 眞澄¹

¹近畿地方整備局 滋賀国道事務所 管理第二課 (〒520-0803 滋賀県大津市竜が丘4番5号)。

ダム放流設備は高齢化により維持管理費の増加が予想されることから、それらに対し効率的な維持管理を目的とした「ダム用ゲート点検・整備・更新検討マニュアル(案)」(H23.4)が策定された。このマニュアル案では、各設備にあった機器特性、現場条件等の踏まえた維持管理が求められている。これらを踏まえ、近畿地方整備局各ダム放流設備の機器特性、現場条件を考慮した健全状況の把握方法について検討を行った。また、ダム放流設備故障時におけるダム操作要員の故障対応方法の検討を行った。

キーワード 維持管理, 健全性把握, 危機管理

1. はじめに

ダム放流設備は、高齢化による維持管理費の増加が予想されている。それらに対するため効率的な維持管理を目的とした「ダム用ゲート点検・整備・更新検討マニュアル(案)」(H23.4)(以後「マニュアル」という。)が策定され、各設備毎にあった機器特性、現場条件等を考慮した維持管理が求められている。近畿地整には5ダムの放流設備があり、そのうち4ダムの放流設備について建設後30年以上経過していることから、高齢化による信頼性の低下に対する機能確保のための維持管理費の増加が予想されている。



写真-1 ダム放流設備（天ヶ瀬ダム）

また、ダム放流設備の高齢化、維持管理上の技術伝承

が不十分等によるトラブル発生時の対応も課題となっている。

本報告はこれらダム放流設備の維持管理費の縮減、トラブル発生時の未然防止を目的として、マニュアルを踏まえたダム放流設備維持管理担当者（以後「ゲート管理担当者」という。）が各機器の健全性の判断や不具合の対応できる健全性・把握の手引き、ダム操作要員がゲート故障等トラブル発生時の緊急時対応で的確な行動がとれる故障時緊急対応手引きの作成を行った報告である。

2. 概要

各ダムのゲート管理担当者がダム放流設備の健全性の把握とダム操作要員が故障時対応を行うために現状の管理体制やダム放流設備の課題を把握し、それら課題に対応する維持管理手引書を作成した。

検討の実施に当たっては、図-1 維持管理手引書作成フローのとおり行った。

維持管理に関する課題抽出としてゲート管理担当者のヒアリングにより設備管理体制の課題、現場調査によりダム放流設備の課題、ダム管理者のWGによりダム放流時の課題を抽出した。

抽出した課題に対応するため、ゲート管理担当者やダム操作要員が設備に関する理解を深め、実際の現地で使用できる手引書を作成することとした。

手引書作成は、健全性把握に関しては設備の特性、年点検結果等で報告された過去の不具合事例から、健全性把握の着目点を検討・選定し、健全性把握シート、不具合事例シートを作成した。故障時の緊急対応に関しては、

発生している不具合事例の理解と機器類の状態把握を行的確な情報を伝える故障発生報告シートの作成や、簡単な故障機器類のリセット操作、予備回路等への切換え操作について解説した緊急対応シートを作成した。

作成した手引書（試行版）をWGによる意見、現地試行結果による修正を行った。

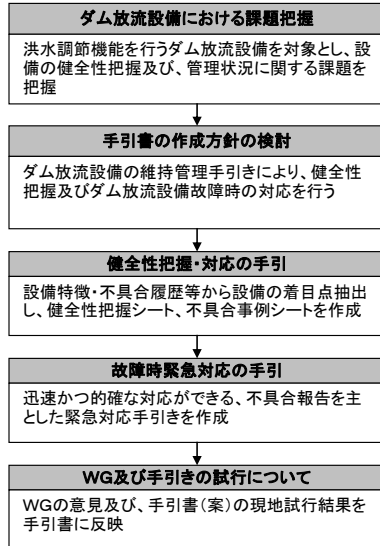


図-1 手引書作成フロー

3. ダム放流設備における課題把握

(1) 管内におけるダム放流設備の現状

近畿地整には5ダム（猿谷ダム、天ヶ瀬ダム、九頭竜ダム、真名川ダム、大滝ダム）の放流設備があり、そのうち4ダムの放流設備について建設後30年以上経過し、高齢化による信頼性の低下が懸念される。

今回、健全性把握・対応の手引き及び、故障時緊急対応の手引きの作成は、治水ダムの機能である洪水調節等を行う、天ヶ瀬ダム、真名川ダム、猿谷ダム、大滝ダムの放流設備（表-1）を対象とした。

表-1 対象ダムと対象放流設備の概要

ダム名	天ヶ瀬ダム	真名川ダム	猿谷ダム	大滝ダム
完成年	1964年	1979年	1958年	2012年
ダム形式	アーチ式コンクリートダム	アーチ式コンクリートダム	重力式コンクリートダム	重力式コンクリートダム
放流設備	常用放流設備	常用放流設備	洪水吐設備	計画水位維持放流設備
ゲート役割	洪水調節	洪水調節	洪水放流	利水
ゲート形式	高圧ローラゲート	高圧ローラゲート	2段式ローラゲート	高圧ラジアルゲート
門数	3門	2門	4門	1門
径間×高さ	3.42m×4.58m	3.90m×3.90m	10.7m×10.7m	5.0m×6.3m

(2) ダム放流設備の健全性把握における課題把握

従来、ダム放流設備の健全性把握は「ゲート点

検・整備要領（案）」（一般社団法人ダム・堰施設技術協会）（以後「ゲート点検・整備要領」という。）により点検を行っていたが、平成23年5月からマニュアルにより行うこととなった。これにより各設備構造、特徴、現地条件を考慮し点検内容を設定し点検を行うこととなった。これらを状況を踏まえダム放流設備に関する課題把握を行った。

課題把握は、ゲート管理担当者へヒアリング、各ダムへ現地調査、過去の整備履歴、年点検結果の調査により現状把握を行い、その結果から課題抽出を行った。健全性把握における現状把握は表-2のとおりである。

表-2 ダム放流設備の健全性における現状把握

項目	現状把握
構造の特徴	・ダム放流設備は、製作当時の高度な技術が使われ、構造が複雑
技術の伝承	・ダム放流設備維持管理担当者が2～3年で移動する。 ・ダム点検契約方式が単年度の一般競争のためダム点検業者が毎年換わる可能性がある。
年点検結果・整備履歴の活用	・過去の年点検結果や整備履歴は記録されているが、体系的に整理し設備の弱点等を抽出する等の活用はされていない。

機械構造の課題としてダム放流設備は、製作当時の高度な技術が使われていることから各設備で健全性把握を行う方法が異なる。常時は稼働していないため、稼働状態の変化がわからず、劣化状況の把握が難しい等の課題がわかった。また、30年以上経過した設備もあり、老朽化により今まで起こりえなかった新たな不具合が発生する可能性がある。

点検体制の課題としては、従前はゲート点検・整備要領で点検項目・内容の標準が定められており、各設備構造にあった点検方法については、ゲート管理担当者やゲート点検業者の技術力により健全性を把握していた。しかし、ゲート管理担当者は各ダムで2～3年で異動する、ゲート点検業者は単年度一般競争のため毎年変わる可能性がある。

これらのことから、各設備の健全性把握の留意事項、設備にあった点検方法、設備の特徴が伝えられない可能性があることがわかった。

その他に、年点検結果や整備履歴の活用にかかる課題として、過去の年点検結果や整備履歴は保管されているが継続的に整理し、設備の弱点等を抽出する等の活用はされていない等の課題がわかった。

(3) ダム放流設備の管理体制における課題把握

ダム放流量調節はダムの重要な機能であることから、ダム放流量調節を行うダムゲート操作体制を中心とした管理体制について課題把握を行うこととした。

管理体制の課題把握はゲート管理担当者へヒアリング、各ダムへ現地調査及び各ダム維持管理者により開催したWGにより現状把握を行い、その結果から課題抽出を行った。管理体制における課題把握は表-3のとおりである。

表-3 管理における現状把握

項目	現状把握
管理体制	・ゲート維持管理担当者がダム管理支所に常駐していない。 ・夜間、休日のゲート操作を1人の要員で行っている。
緊急時の対応	・故障発生時の復旧操作は、ゲート構造・操作方法を熟知し高い技術力が求められる。

ダム放流時のダム操作体制は、ダム管理支所職員が交代で行い、ダム放流が長期間になれば事務所職員がダム操作要員に加わり交代でダム操作を行っている。

ダム操作体制としては平日は管理支所職員全員がダム放流操作を行い、夜間・休日では交代で1名がダム操作要員としてダム操作を行っている。

このことから平日夜間・休日のゲート故障等のトラブル時には1人のゲート操作要員でトラブル対応となる。対応はゲート管理担当者及びゲート点検業者へ連絡を行い、それらゲート構造・故障復旧操作方法を熟知した者がダムへ急行し故障復旧を行う。

このトラブル対応で故障状況の報告が迅速かつ的確にできなければ、緊急対応に遅れが生じる可能性があることがわかった。また、ダム放流設備は構造が複雑のため、故障状況確認及び復旧操作等のについては訓練と技術力が必要であることがわかった。

4. ダム機械設備の維持管理手引書の作成方針

(1) ダム機械設備の維持管理手引書の作成方針

いままでで明らかになった課題の対応方法の検討を行った。平日夜間・休日のダム操作要員の増員や、点検業務の複数年契約への変更などの契約制度見直しについては、人員体制の変更や契約制度変更にもなう検証を行わなければならないため、速やかな対応ができない。

そのため、現在の維持管理体制で課題に対応できる、職員の技術力向上を促し維持管理の参考となるダム機械設備の維持管理手引書（以後「手引書」という。）を作成することとした。手引書は設備の維持管理の原点である健全性の把握を行うことができる健全性把握・対応の手引きと、ゲート故障時等の緊急時におけるゲート操作要員の対応を記載した故障時緊急対応の手引きを作成することとした。

(2) 健全性把握・対応の手引

健全性把握・対応の手引きは、マニュアルの考えを踏まえ通常の維持管理の中で各機器の健全性の判断や不具合対応方法を把握できるものとした。通常のダム放流設備の維持管理は、出水期前に行う年点検にて管理運転、分解点検で設備機能及び健全性の把握し、月点検にて管理運転を行い設備機能の確認している。点検で不具合が発見すればさらなる詳細点検を行い、その結果をもとに設備改修を行っている。この健全性を把握する年点検の中でゲート管理担当者やゲート点検業者が替わっても問題なく健全性を把握できる手引きを作成することとした。

作成は設備の特徴、現場条件、使用条件を考慮することから、各放流設備毎に設備構造・特徴の視点と、過去の不具合事例からの視点で健全性把握を行う方法について検討を行った。

設備構造からの視点は、設備を構成している機器・部品に分け、機器故障時に放流設備の稼働に支障をきたす致命的機器を抽出した。（図-2）過去の不具合事例からの視点からは、これまで発生した不具合機器・時期及び不具合に対する対応方法について整理を行い、設備の特徴から発生しやすい不具合とその対応方法を整理した。この機器の重要度と発生しやすい不具合及び対応方法から健全性把握を特に行わなければならない機器及び、点検で確認する内容を整理することとした。

また、過去の不具合事例とその対応方法は維持管理担当者が不具合時に対応方法を決定する際に有用になることから、重要不具合事例について各放流設備毎にとりまとめることとした。

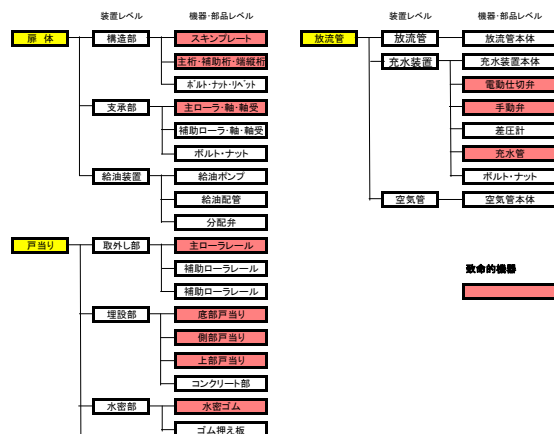


図-2 致命的機器の抽出例

(3) 故障時緊急対応の手引き

ダム操作に支障があれば放流調節操作に大きな影響を与えることから、できる限り故障対応の迅速化を図る必要がある。この対応の迅速化するためにゲート故障時の対応方法を記載した故障時緊急対応の手引きを作成することとした。

手引きはゲート管理担当者ではなくダム操作要員を対象とし、迅速にゲート管理担当者やゲート点検業者へ故障状態の必要情報を共有化するとともに、故障に対する故障復旧操作を行える手引きとした。対応内容としては、ゲート構造・故障時の特殊な復旧操作をすべてゲート操作要員が行うことが困難なことから、訓練を1～2回行うことにより習熟できる内容とした。

また、ゲート操作要員の故障確認時、故障復旧操作時の安全を確保し、故障時の復旧操作による二重故障が起こらない対応方法とした。

5. 健全性把握・対応の手引

(1) 設備概要

ゲート管理担当者が異動時にスムーズな設備構造・特徴の把握ができるように設備概要を作成した。

設備概要は、ゲート管理担当者が健全性把握に必要な設備構造・特性を理解できる資料とし、設備の特殊構造(図-3)、点検困難箇所や、機器・部品レベルの致命的な機器、特に重要である制御の保護装置等について記載した。

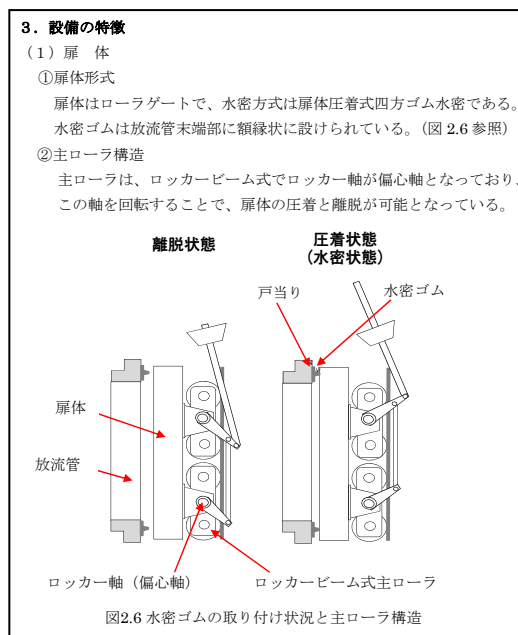


図-3 設備構造説明例

(2) 健全性把握・対応のチェックシート

健全性把握・対応のチェックシートは、実際の年点検に使用できるように、現在使用されている年点検チェックシートの項目に沿って健全性把握の着目点を記載した。(図-4)これにより、年点検前にゲート管理担当者とゲート点検業者が確認的確認な年点検を実施、年点検結果報告時に設備状態の把握ができるようにした。健全性把握の着目点として現地点検時の留意事項、狭隘な場所などの点検が困難な箇

所の対応方法や不具合発見時の追加点検方法等を記載した。

<健全性の把握・対応のチェックシート>

致命的機器 天ヶ瀬ダム 常用放流設備 主ゲート（コンジットゲート）				(着目点の記号の説明) ○：点検前の留意事項 ●：点検後の確認事項	
区分	項目	点検内容	点検条件	判定基準	健全性の把握・対応の手引
圧着装置	ベベルギアボックス	異音、振動、発熱	中	運転中、通常に比べ異常な音、振動、発熱がないこと。	健全性把握の着目点 ○●扉体圧着装置からの潤滑油やスピンドルカバーと扉体圧着装置との接続部から雨水浸入ありとの報告があるので、注意すること。 ○扉体圧着装置内面に発熱がないことを確認すること。
		変形、損傷	前	取付ボルトに地みがないこと。	
	潤滑油の汚れ	変形、損傷	前	油汚れがないこと。	○扉体圧着装置内面に発熱がないことを確認すること。
		変形、損傷	前	変形、損傷していないこと。	
	回転レバー	変形、損傷	前	回転部からグリースが漏み出ていること。	○●圧着度計数値と実際の圧着量が整合しているか確認すること。 ○●圧着時、離脱時の圧着度計の数値が規定値を表示しているか確認すること。
		動作確認	中	回転がスムーズであること、異音を聴かないこと。	
	圧着度計（全周）	圧着度計（全周）	中	ゲート圧着量0.00mmにて全周停止。	○●圧着時、離脱時の圧着度計の数値が規定値を表示しているか確認すること。
		圧着度計（全周）	中	ゲート圧着量11.5mmにて全周停止。	
	圧着度計（全周）	圧着度計（全周）	中	ゲート圧着量11.5mmにて全周停止。	○●圧着時、離脱時の圧着度計の数値が規定値を表示しているか確認すること。
		圧着度計（全周）	中	ゲート圧着量11.5mmにて全周停止。	
圧着度計	絶縁抵抗	絶縁抵抗	前	絶縁抵抗値が1MΩ以上であること。	○●圧着時、離脱時の圧着度計の数値が規定値を表示しているか確認すること。
		絶縁抵抗	前	ゲートの運転に合わせて定期検閲時間表が検閲が変化していること。	
	圧着度表示状態	圧着度表示状態	中	全周時：11.5mm、全脱時：0.00mmを計測しゲート停止後に圧着度を確認すること。	

図-4 健全性把握チェックシート例

(3) 不具合事例シート

不具合事例シートには、過去に発生した不具合事例を示すことにより設備の弱点を示し今後の維持管理の着目点として活用できる内容とした。(図-5)

なお、不具合事例は当該設備の不具合事例だけでなく、他の設備で発生した不具合についても構造上発生が考えられる不具合については確認ができるように工夫した。

不具合事例 No. 天ヶ瀬一主-F-008	点検結果 表 No. 16.24.71	1. 不具合事例の内容
設備名 コンジット主ゲート		圧着装置用の制限開閉器ボックス内端子台が発熱・腐食している。
装置 扉体圧着装置		2. 放置した場合の問題
機器 部品名 制限開閉器		・現状のまま放置すると接続不良などが起こり、通常の動作が出来ないことが考えられる。 ・圧着装置用制限開閉器に不良が発生すると扉体の開閉操作に致命的な支障をきたす致命的な機器である。そのため故障する前にとりかえる予防保全を行う
		3. 推定原因
		・気温の急激な変化による結露の繰り返し ・パッキンの劣化・損傷による放流水の浸入
		4. 対応策
		・制限開閉器ボックス内端子台のみが発熱している場合は、ボックス内端子台のみ交換する ・制限開閉器ボックス内全体が発熱している場合は制限開閉器を交換する

図-5 不具合事例シート例

6. 故障時緊急対応の手引

(1) 設備概要

ダム操作要員は普段は放流設備の故障状況確認、故障復旧操作等をしていないことから、対応方法のみを記載しても対応が難しいと考え、故障対応を行う設備の配置(図-6)、役割、点検を行う機器や計器類の配置図(図-7)等の設備概要を記載した。

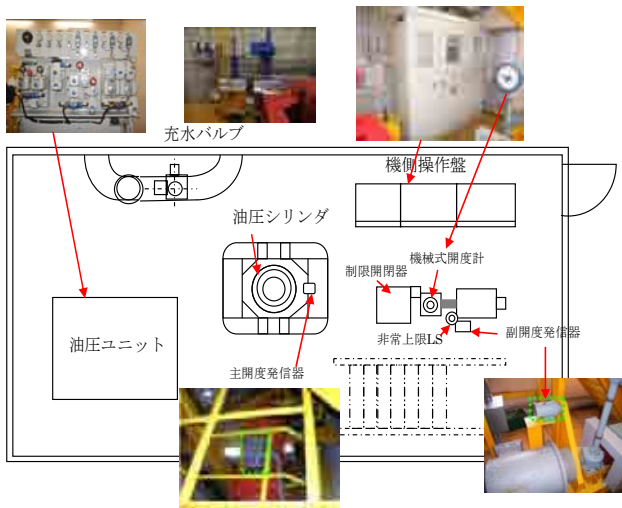


図-6 故障時緊急対応手続き設備概要例(設備配置)

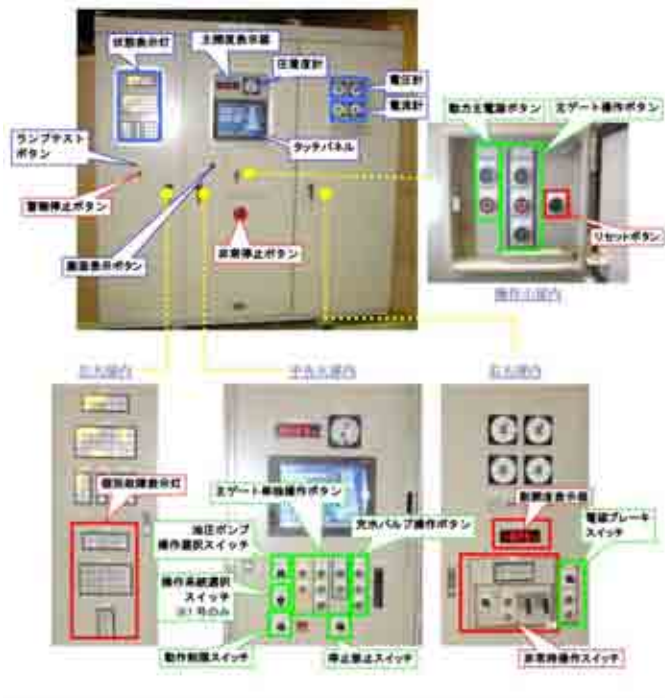


図-7 故障時緊急対応手続き設備概要例(計器配置)

(2) 故障時の対応シート

a) 故障時の対応の流れ

故障時の対応の流れは、遠方操作卓において故障発生を確認したのち、他号機での振替運用を検討するとともに、機側操作盤での詳細な故障内容の確認、故障復旧操作となる。

これらの故障時の対応を迅速かつ正確に行えるように、故障対応フローに故障状況毎の対応を記載した。故障対応フローはゲート操作要員が対応可能なようにわかりやすく記載した。(図-8)

この故障対応フローにより故障発生報告及び、故障復旧対応を行う。

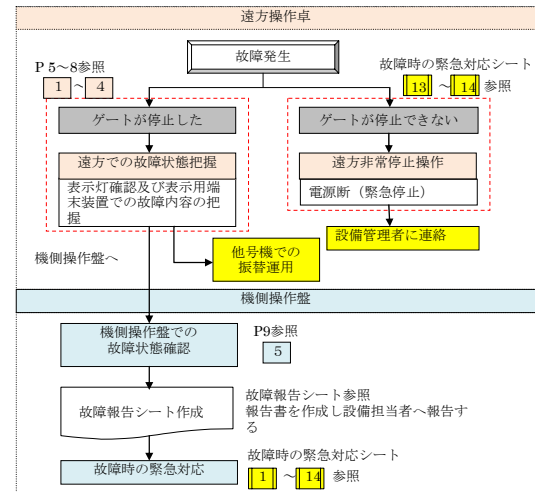
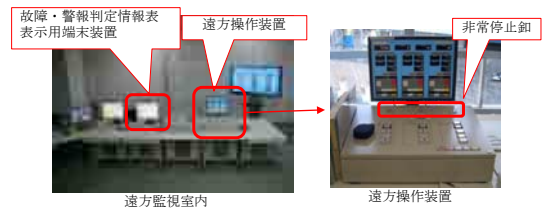


図-8 故障対応フロー例

b) 故障発生報告シート

故障発生時にはダム操作要員が、ゲート管理担当者及びゲート点検業者へ故障状態を報告する必要がある。故障状態を迅速かつ正確に報告するために、表示機器等の状態をそのまま故障報告シートに転記できる計器配置と同じ配置のシートとした。(図-9)



機側操作盤の情報を故障報告シートにそのまま記載

点灯中の表示灯に○印を記入する

機側操作盤故障報告シート

図5-2 機側操作盤表示灯点灯確認シート(左大扉内)

共通												ゲート圧着装置				
表示灯	主電源	機側電源	機側電源	機側電源	機側電源	機側電源	機側電源	機側電源	機側電源	機側電源	機側電源	機側電源	機側電源	機側電源	機側電源	機側電源
機側電源	機側電源	機側電源	機側電源	機側電源	機側電源	機側電源	機側電源	機側電源	機側電源	機側電源	機側電源	機側電源	機側電源	機側電源	機側電源	機側電源
機側電源	機側電源	機側電源	機側電源	機側電源	機側電源	機側電源	機側電源	機側電源	機側電源	機側電源	機側電源	機側電源	機側電源	機側電源	機側電源	機側電源

図-9 故障内容確認シート例

c) 緊急対応シート

緊急対応シートは、故障内容を確認したのち、ダム操作要員でも緊急対応が可能な内容を記載した。

緊急対応として冗長機能(二重化機能)を利用した二重故障が起こらない対応方法を主として写真等を使いわかりやすく記載した。(図-10) 緊急対応により職員に危険性が予想される場合は緊急対応を行わず機器状態報告のみを行うこととした。



図-10 緊急対応シート例

7. WG及び手引きの試行について

手引きの精度向上、実際の現場で使用できるものを作成することを目的として、各ダム管理者による「ダム機械設備の維持管理手引き作成に関するWG」の開催及び、現場での試行を行った。

WGではダム放流設備に関する課題把握、手引きの作成方針決定及び、手引き(試行版)の意見照会をおこなった。WGでの主な討議内容として、健全性把握・対応の手引きの位置付け、故障時対応手引きでダム操作要員がどの程度まで故障復旧操作を行うかを決定した。

また、作成した手引き(試行版)で、大滝ダムの常用放流設備、計画水位維持放流設備および天ヶ瀬

ダムの常用放流設備において、健全性評価シートによる試行点検、故障時対応手引きによる故障時の緊急対応操作等を行った。試行で発見した項目として、健全性評価では現地の水位条件による点検できない場合の対応の追記が必要、故障時対応は手引書(試行版)では一般ゲート操作要員には故障復帰操作について習熟度が高く難しいとのことであった。これら試行で発見した項目について手引書の修正を行い対応した。



写真-2 手引きの試行状況(大滝ダム)

8. 今後の課題

本手引きは試行により現地で使用し、その内容をフィードバックを行ったが、全ての部品の特徴や点検時の留意点を網羅できていないと考え、さらに実際の維持管理で使用し、より実態に合うものにブラッシュアップしてゆく必要がある。その他に、設備老朽化にともない新たに発生した不具合項目、機器交換・更新が行われた場合の手引きの内容更新が必要である。

また、設備の管理体制の見直しや点検業務の複数年にするなど契約制度の見直しについても検討を行う必要があると考える。

なお、本報告は近畿技術事務所における技術管理業務の成果であり、著者が現所属の滋賀国道事務所に異動する前の近畿技術事務所での成果を取りまとめたものである。

参考文献

- 1) 国土交通省：「ダム用ゲート設備等点検・整備・更新検討マニュアル(案)」, 2011
- 2) 一般社団法人ダム・堰施設技術協会：「ゲート点検・整備要領(案)」, 2005

紀伊半島大水害によって 120 年前に形成された 大畑瀬の土砂流出についての考察

勇川 邦浩¹

¹ 奈良県 五條土木事務所 十津川復旧復興課（〒637-1113 奈良県吉野郡十津川村大字小原 225-1）

大畑瀬は 1889 年（明治 22 年）の明治十津川大水害によって形成された堰止湖を現在も有する溪流である。堰止湖の堤部分である河道閉塞部は脆弱であるため、形成されても直後に崩壊する例が多い。そのため、大畑瀬の堰止湖は稀な例である。

平成 23 年の紀伊半島大水害によって河道閉塞部の土砂が流出したことから、地質調査を行った。本稿では、平成 23 年から実施してきた地質調査の結果とその考察を述べるとともに、明治十津川大水害及び紀伊半島大水害による崩壊過程の考察を行う。また、大畑瀬の堰止湖の安定性についても考察を述べ、今後の安定を図る方法について報告する。

キーワード 紀伊半島大水害、河道閉塞、深層崩壊、堰止湖

1. はじめに

奈良県十津川村にある大畑瀬は平成 23 年台風 12 号による豪雨によって、大規模な土石流が発生し、合流する西川は河道閉塞の状態になった。その崩壊では人的被害はなかったものの、下流部にある一般国道 425 号を破壊し、十津川村西部の集落を孤立集落になるなど大きな被害をもたらした。

そもそも大畑瀬の上流には明治十津川大水害による河道閉塞によって形成された堰止湖¹⁾があり（図-1）、今回の土砂流出では主に堰止湖の堤部分になっている河道閉塞部の土砂が崩壊した。河道閉塞は不安定な状態であり、堰止湖の残存期間が 50 年以上になるものは 10 件しか報告されていない²⁾。明治十津川大水害の際も 37 箇所の河道閉塞が形成されたが、堰止湖が維持された箇所は大畑瀬のみであり、報告された中でも日本で 8 番目の長さになる。

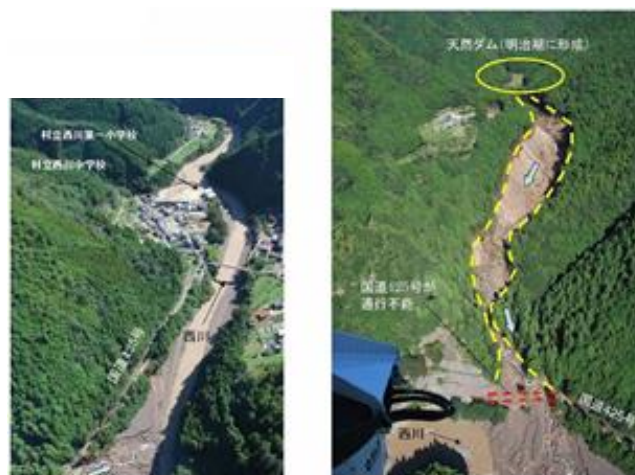


図-1 被災直後の様子

本稿では、地質調査の結果の考察を述べるとともに、明治十津川大水害及び紀伊半島大水害による崩壊過程の考察を行う。また、大畑瀬の堰止湖の安定性についても考察を述べ、今後の安定を図る方法について報告する。



図-2 等高線図

2. 流域概要

大畑瀬は、河道閉塞によって形成された堰止湖から西川までの流域面積が 1.02 km² の溪流である。

周辺は四万十帯日高川層群が分布する地域になる
3). さらに溪流周辺には玉垣内断層が存在すると推定されている。

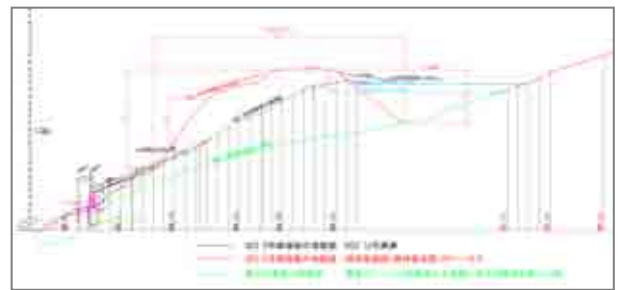


図-4 縦断面図

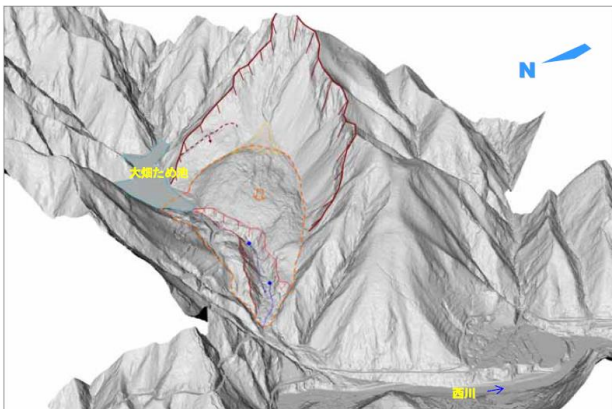


図-3 鳥瞰図 (高さ 2 倍)

LP 測量及び平板測量によって得た等高線図 (図-2) 及び図-3 の鳥瞰図から、左岸側には古い滑落崖斜面がみられ、大きな地すべりブロックと考えられる。右岸側にも左岸側と比較して小さな地すべりブロックが確認できる。また、溪流上流部は今回の土砂流出による幅約 400m、高さ約 50~150m の滑落崖斜

面が形成されている。

図-4 に縦断面図を示す。これらから堰止湖の堤部分の大きさは被災前に比べて小さくなっていることがわかる。

3. 調査結果

(1) 調査概要

大畑瀬の現状を把握するために地質調査を行った。その概要を以下に示す。

- ボーリング調査 12 箇所
- 水質調査 10 箇所
- 移動変形調査・水位観測 8 箇所
- 弾性波探査 1.4 km
- 電気探査 0.6 km

(2) 下流側の推定断面

図-3は西川近くの下流側のA断面のボーリング結果であるが、これをみるとV字型に堆積物が多く溜まった地形であることがわかる。

紀伊半島大水害による崩土と思われる箇所は一部であることから、堆積物は明治十津川大水害やそれ以前の土石流によるものと考えられる。

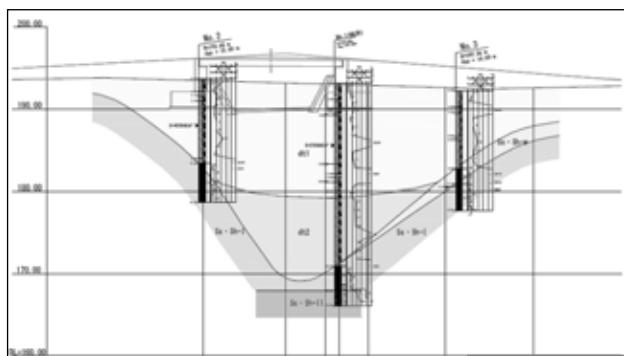


図-5 推定断面図（下流側，A断面）

(3) 上流側の推定断面

溪流上流側にあるB断面の結果を図-6に示す。

これより、明治十津川大水害の移動土塊は左岸側では約48mあり、非常に厚いことがわかった。また、岩塊部には木くずや植根は見られず、地盤がそのまますべり落ちたと推計される。右岸側は約25mと左岸側に比べると浅く、コアも全体に脆い。これらのことから、大きく崩壊したのは左岸側で、崩壊土塊が右岸側まで押したと推定される。

これらから、明治十津川大水害による崩壊は深層崩壊⁴⁾であったと判断した。

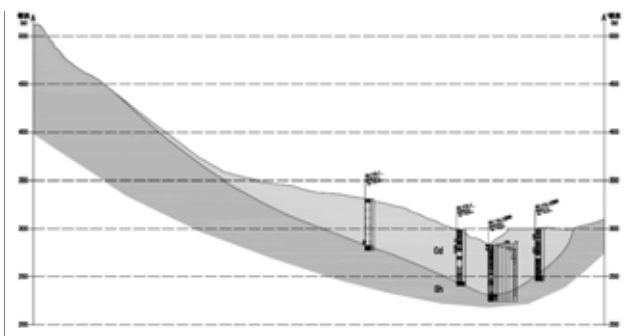


図-6 推定断面図（上流側，B断面）

(4) 移動変形調査

紀伊半島大水害によって移動土塊の末端部分が破壊されていることから、移動土塊の2次活動の可能性を把握するために、移動変形調査を実施した。

図-7に左岸側のもっとも大きな変位があったパイプ歪み計の変動図を示す。この図から、GL-2.5m付近とGL-26.5m付近にそれぞれ1ヶ月で、133μ、24μの変位が確認され、変動種別⁵⁾としてはGL-2.5m付近が潜在変動、GL-26.5m付近が潜在付近未満に区分される。

このうち、GL-2.5m付近は表層の変動を捉えたものであり、河道閉塞部の不安定化等に直接的に関係するものではないと考えられる。しかし、GL-26.5m付近の変位は、移動土塊と基盤との境界よりやや上位にあり、現時点では微少であるが右岸側斜面の挙動を表している可能性がある。また、GL-2.5m付近の変位については累積傾向があるものの、GL-26.5m付近の変位については明確な累積傾向は見られなかった。

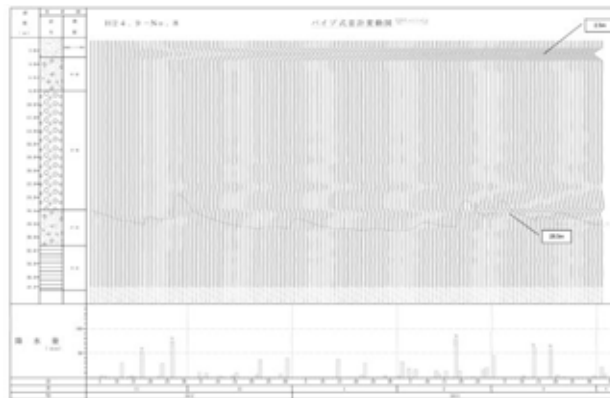


図-7 パイプ式歪計変動図

(5) 移動土塊調査

C断面の電気探査と弾性波探査の結果を図-6に示す。

これらからL=260mのところで断層がみられる。この断層は玉垣内断層と命名されている推定断層とほぼ一致するものである。

現地踏査や電気探査から、左岸東側は強固な岩質である一方で、西側には滑落崖がみられる。そのた

め、この断層を逆断層と判定した。逆断層とは断層面の下盤より上位にずれてできた断層である。そのため、逆断層では経験から断層面の下盤で、より破砕度が激しいことが知られている。

また、現地踏査から、基盤岩が風化の影響を受けやすい頁岩を主体としていることがわかった。断層による影響の大きさについては不明な点があるが、断層が明治十津川大水害の際の深層崩壊の素因となった可能性があることがわかった。

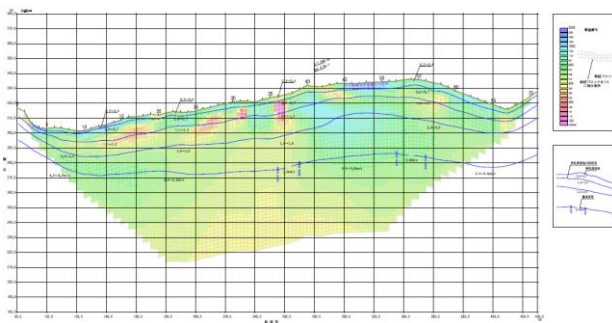


図-8 弾性波及び電気探査結果（C断面）

4. 河道閉塞部の安定性

(1) 検討方法

大畑瀬は現在も河道閉塞部の一部が崩壊したものの、堰止湖としては大部分が残った状態にある。

そのため、今後の災害が発生する要因としては、台風等による豪雨による堰止湖の水位上昇に伴う浸透流破壊、すべり破壊、堤部分への水の越流に伴う破壊の3つの破壊が考えられる。越流については越流後の堤が脆弱化していることによる破壊が進みやすく、堤の高さが約3m低くなったことによる越流する危険性はあるもの、本稿では浸透流破壊とすべり破壊について解析を行った。また、河道閉塞部の安定解析については方法が確立されていないことから、堰止湖の堤としての機能を有していることから、河川堤防に用いられる方法を採用した。

(2) 浸透流解析の解析モデル

今までの調査結果を用いて浸透流解析モデルを構

築し、堤部分の安定性について検討を行った。

モデルは2次元定常解析を用いた。また、地質はFEMモデルとし、表層は5mメッシュとし、深くなるほど荒くなるものを採用した（図-10）。また、不飽和特性曲線には、現況再現性については良好であったことから、河川堤防の解析に用いるものを準用した。

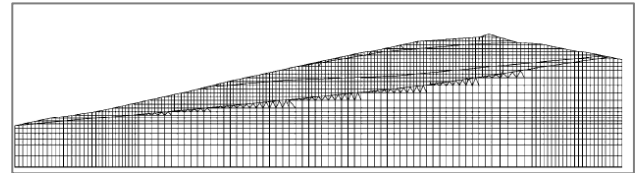


図-10 検討モデル（被災前）

(3) 浸透流解析結果（台風12号被災前）

限界動水勾配の算定した結果、限界動水勾配 i_c は1.02となった。動水勾配は約0.5と限界動水勾配に比べると小さいため、浸透破壊の影響は小さかったと推定される。

しかし、堤防浸透安定解析で一般的に用いられる浸透破壊の許容値 ($i=0.5$)⁶⁾ に対して、水平動水勾配は許容値に近い値を示すことから、崩壊の進み方によっては浸透破壊の影響は無視できないものとなった可能性があるとして推定される。

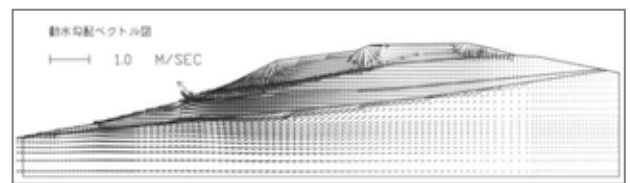


図-10 動水勾配ベクトル図（被災前）

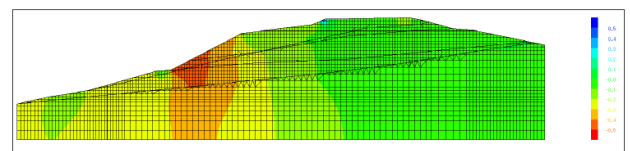


図-11 動水勾配コンター図（水平方向、被災前）

(4) 浸透流解析結果（台風12号被災後）

同様に紀伊半島大水害による被災後の状況につい

でも解析を行ったので、結果を図-12 及び図-13 に示す。

限界動水勾配は被災前と変わらず、1.02 となった。図-13 より法尻の動水勾配は約 0.2 と余裕があることがわかった。

よって、被災前に比べて被災後は浸透破壊による災害の可能性は低くなっていることがわかった。

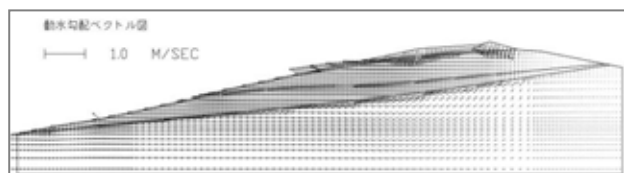


図-12 動水勾配ベクトル図（被災後）

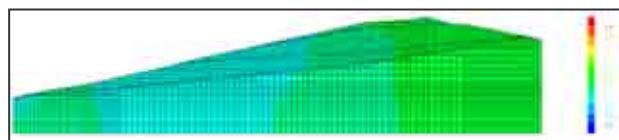


図-13 動水勾配コンター図（水平方向、被災後）

(5) すべり破壊の検討モデル

被災前後の状況把握のために安定解析を実施した。計算の簡略化のために、崩壊土については同一と仮定した。

円弧すべりの安定計算の手法としては、修正フェレニウス法を用いた。

(6) 被災によるすべりの安定性の変化

被災時の安定解析の結果を図-14 に示す。被災時の水位については越流したという地元住民の証言があることから、越流したものとして計算を行った。

これをみると、勾配が最も急となる部分（約 30° ）で最小安全率となる。最小安全率 F_s は 1.06 となり、ほぼ $F_s=1.00$ に近い値となった。この結果から、台風 12 号時は被災時の堤体部の円弧すべり発生しやすい状況にあったが、仮設構造物の最低安全率 η の 1.05 を満たしており、一定の安定状態にあったものと推定される。

次に、被災後の安定解析の結果を図-15 に示す。被災後の水位は浸透流解析の結果を用いた。崩壊前と

比べ現在の堰き止め湖の堤部分の斜面勾配は非常に緩くなっており（ $10\sim15^\circ$ ），斜面形状としては安定化していると考えられる。このため、計算による安全率 F_s は 1.940 と約 88% の大きな増加となり、堤体のすべりに対する安定性は被災前に比べると大きく向上していると考えられる。

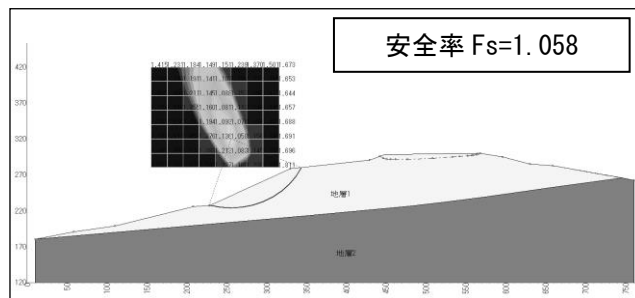


図-14 安定解析結果（被災前）

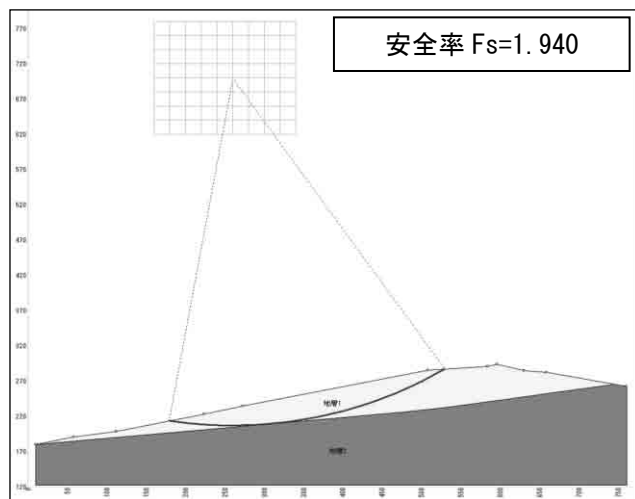


図-15 安定解析結果（被災後）

5. まとめ

本稿では明治十津川大水害及び紀伊半島大水害による被災メカニズムの解明と紀伊半島大水害による今後の影響について把握を行った。

(1) 明治十津川大水害による被災メカニズム

- ・ 玉垣内断層及び風化しやすい地質要因が素因となった可能性がある。

- ・ 明治十津川大水害による崩壊は深層崩壊である。
- ・ 崩壊は左岸側が崩壊し、右岸側まで崩壊土砂がせり上がったと推測される。

(2) 紀伊半島大水害の破壊

- ・ 限界動水勾配に比べて動水勾配は小さいことから浸透破壊の影響は小さかった。
- ・ しかし、一般に用いられる浸透破壊の許容値付近の値が見られることから浸透破壊が発生する可能性は否定できない。
- ・ 被災前は滑り破壊の発生しやすい状況であった。

安定解析等の結果から、被災前の河道閉塞部は不安定な状態であったことがわかった。それが越流するほどの水位上昇とそれをもたらした豪雨によって、今回の災害がもたらされたと考えられる。

また、堰止湖が長期間維持された要因としては仮設構造物として最低安全率の1.05を満たしていることと、動水勾配が限界動水勾配よりも小さかったことが考えられる。このことは、大畑瀨のみではなく他の堰止湖でも類似の結果が示される可能性がある。

(3) 今後の崩壊による影響

- ・ 明治期の崩壊が深層崩壊であったことから土塊のブロックが大きく、土塊の安定性には現在のところ大きな影響はみられない。
- ・ 今回の被災による崩壊後の安定性についても被災前よりも安定化している。
- ・ 被災前に比べると浸透破壊の可能性は低下している。
- ・ 堰止湖の堤部分の高さが低くなっていることから、越流による破壊の可能性は高くなっている可能性がある。

(4) 今後の対策と課題

現在、緊急対策として、堰堤工及びそれに付属する溪流保全工の工事を行っている。

越流による破壊については、堤防部分の高さ低下が発生していることと、今回の災害による破壊の1

つであることから、堰止湖から越流した場合に水を安全に流すための、流路工を計画している。

また、歪み計の観測結果からは土塊は大きく動いている可能性は低いですが、表層については動きがみられることから、これ以上の表層崩壊を防止するための工法を検討中である。

また、移動土塊の観測については多雨期を含まない4ヶ月程度の観測であるため、今後の継続的な観測が必要である。

参考文献

- 1) 宇智吉野郡役所：吉野郡水災誌 巻ノ壱・巻ノ十一、1891(十津川村 1977・81 復刻)。
- 2) 森俊勇, 坂口哲夫, 井上公夫：日本の天然ダムと対応策, 古今書院, pp-6-11, 2011。
- 3) 徳岡隆夫ほか：龍神地域の地質, 1981。
- 4) 砂防学会：深層崩壊に関する基本事項に係わる検討委員会 報告・提言, pp-12-15, 2012。
- 5) (社)地すべり対策技術協会：地すべり観測便覧, pp-301, 1996。
- 6) (財)国土技術研究センター：河川堤防の構造検討の手引き(改訂版), pp-46-49, 2012。
- 7) (社)全国防災協会, 災害復旧事業における地すべり対策の手引き, pp-50, 2006。

事前防災・減災対策としての加古川水系 氾濫予測システムの取り組みについて

関 正造

兵庫県 北播磨県民局 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)

兵庫県は、2009 年 8 月台風第 9 号による千種川水系での甚大な浸水被害を契機に、市町の避難勧告等の発令が、よりの確となる情報提供が必要と考え、県下すべての管理河川で、氾濫予測システムの整備に取り組んでいる。これにより、本システムが、市町の地域防災計画に位置付けられ、市町が発令する避難勧告等の一助となることが目的である。

本論文では、加古川水系氾濫予測システムに取り組んだ結果、直面した課題、独自に提案した課題解決の方法およびその実施結果について、述べるとともに、今後の取り組み方針等について、見解を述べる。

キーワード 水位予測、避難勧告、分布型モデル、予測精度向上

1. はじめに

兵庫県は、これまで風水害に備えた事前防災・減災対策の一環で、河川水位・雨量のリアルタイムの観測情報やCGハザードマップおよび洪水予報等の情報を住民に提供しており、さらに、市町には水位予測情報をホームページ等を通じて提供し、避難勧告等の発令を支援してきた。

しかし、2009 年 8 月の台風第 9 号では、千種川水系で急激に河川水位が上昇し、避難やその判断に時間的余裕の少ない上流域や支川で被害が多く発生した。そのため、県の台風第 9 号災害検証委員会からは、上流域における予測情報等を発信するなど、県から市町への情報提供の充実を求める提言があった。

その提言を受け、県としては、河川の上下流域に関わらず、市町の避難勧告等の発令が、よりの確となる情報提供が必要と考え、県下全 684 河川で氾濫予測システムの整備に取り組むこととした。

これにより、本システムが市町の地域防災計画に位置付けられ、市町が発令する避難勧告等の一助となることが整備の目的である。

以上を背景とし、2010 年度から千種川水系をはじめ、県下すべての水系で氾濫予測システムの整備

に取り組んでいる。

本論文では、2011 年度から現在まで、加古川水系における氾濫予測システムの構築およびモデルの精度に取り組んだ結果、直面した課題、私なりに考えた課題解決への提案、その実施結果および今後の取り組み方針等について述べる。

2. 氾濫予測システムの概要

(1) 氾濫予測システムの特徴

氾濫予測システムは、水系ごとの水位予測モデルを使用して、気象庁の降雨予測データを基に、数kmの区間ごとに3時間先までの水位を予測し、氾濫のおそれの有無をフェニックス防災システムで市町に配信するものである。

一連のプロセスは、まず、気象庁の実況降雨および予測降雨を降雨入力データに、流出解析（分布型モデル）で計算流量を算出する。

次に、観測流量を逐次フィードバックして補正を行い、H-Q式で予測水位を算定する。

その結果、評価地点の予測水位を横断図に表示するとともに、氾濫のおそれのある区間を平面的に表

示し、視認性を重視したことが氾濫予測システムの特徴である（図－１、２）。

なお、類似したもので 2007 年度に構築した水位予測システムがある。水位予測システムは、水位観測所の予測水位を横断面図に表示するだけのもので、氾濫予測システムの方が、対象とする水位データの評価地点数や表示方法が多岐にわたっている。

氾濫予測システムと水位予測システムの体系概念を示す（図－３）。前述のとおり、両システムとも予測水位を算出するまでのプロセスは同様であるが、出力内容が違っている。

(2) 加古川水系氾濫予測システムの特徴

「氾濫予測システム」という観点での加古川水系の特徴は、次の点が挙げられる。

① 県下で最も河川数が多く、総延長も長く、流域面積も大きい水系である

（河川数 130・総延長 778 km・流域面積 1,730 km²）

② 県下で最も多数の県民局・土木事務所・市町に流域が跨っている

（５県民局・５土木事務所・１４市町）

③ 下流は直轄区間であり、別途、国土交通省が洪水予測システムを構築している

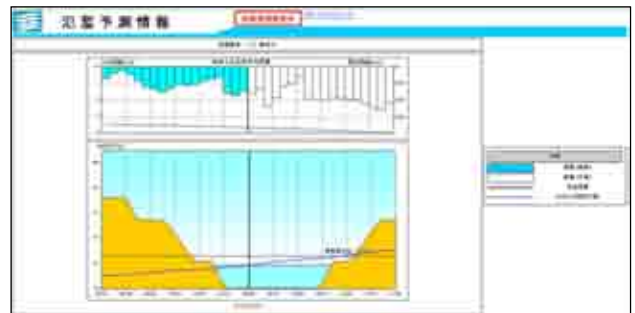
以上より、解析の対象範囲や関係者間の調整範囲が県下最大であり、その他、国土交通省も別途、システムを構築していることが特徴といえる。

避難行動が遅れ、被災することが考えられる。

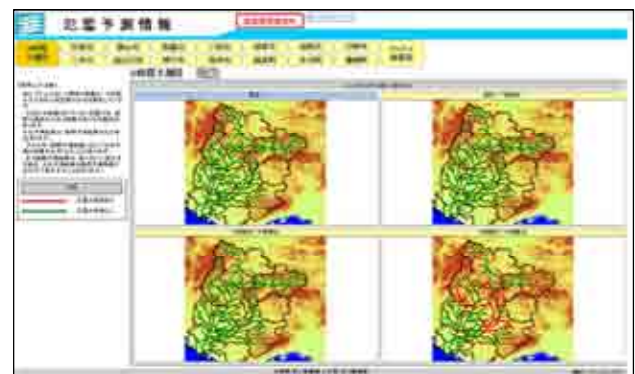
一方、実際には所定の水位に達していないにもかかわらず、予測水位の方が高いため、住民へ極端に早く避難を促してしまう場合も発生する。

そして、そのような事態が続けば、住民が避難勧告を次第に信用しなくなり、避難勧告が発令されても避難行動に転じずに被災する、最も重大な問題を引き起こすおそれもある。

氾濫予測システムは、あくまで解析で予測水位を算出している性質上、実現象と乖離するケースもあり、ある程度は“オオカミ少年”の要素も持ち合わ



図－１ 氾濫予測システム表示画面
（区間水位グラフおよび断面図）



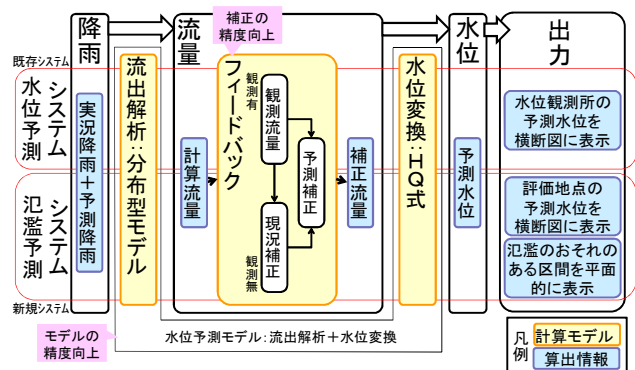
図－２ 氾濫予測システム表示画面
（３時間予測図（メイン画面））

３．システム運用上の課題および問題点

(1) 課題および問題点

これまで取り組んできた中で、システムで算定した予測水位が実測水位と合わない場合があります、システムの予測精度のレベルが重要課題となっている。

仮に、予測精度が低いレベルで市町が氾濫予測システムのみを避難勧告の判断材料とすると、実際には所定の水位に達しているにもかかわらず、予測水位の方が低いため、避難勧告の発令、については住民の



図－３ 氾濫予測システムと水位予測システムの体系概念図

せたシステムであることを認識しながら運用しなければならない。

ただし、それも程度問題で、何より重要なポイントは予測精度の向上である。

そこで、精度向上を図る上で、より具体的な課題として以下の4点を挙げ、それぞれ課題解決に向けた取り組みを行った。

a) 河道形状データの精度

前述のとおり、加古川水系には130もの河川があるため、対象河川の中には、河道形状データがない河川もある。2011年度はシステム構築が命題だったため、河道形状データがない河川は、Googleマップから地形を推測し、想定矩形断面で河道形状および流下能力を評価した。

b) 直轄区間との連続性・一体性

加古川水系において、直轄区間は国土交通省が洪水予測システムを構築している。

しかし、国土交通省は貯留関数モデルを予測の本格運用に採用しているため、本県とは流出解析手法が異なり、本県のシステムとの連続性・一体性に課題が残る。当然のことながら、加古川水系は連続して存在するため、本格運用するには課題と考える。

なお、国土交通省は、貯留関数モデルとは別に、分布型モデルも保有している。

c) モデル定数の設定

分布型モデル定数として、土層厚、間隙率、粗度係数および透水係数等が挙げられるが、流出計算を行った際の実績値の再現性が高い定数を見出し、より適切な値に設定することが課題である。

とくに、避難勧告を発令する際は、洪水の立ち上がり部分が最も重要なポイントとなることから、その点にも着目する必要があると考える。

d) 精度向上のための検証期間

本システムは、洪水が発生した際の実測流量・水位とシステムによる解析値が合致しているかどうかでモデルの再現性を評価する。

しかし、システム構築に取り組んでから、まだ洪水の発生件数が少なく、再現性を判断するには不十分である。実際、解析値と実測値が合致しているケ

ースもあれば、乖離しているケースもある(図-4)。

いかなる洪水でも再現性が高い万能なシステムを構築することは非常に重要で、目指すべきところではあるが、検証期間が今のままでは決して十分とはいえない。

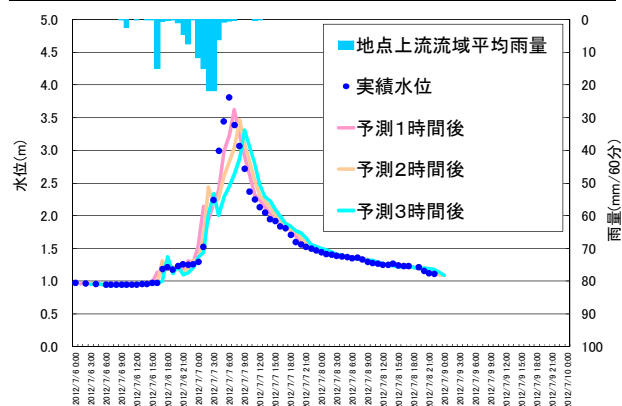
4. 課題解決に向けた提案

(1) 精度向上に向けた提案

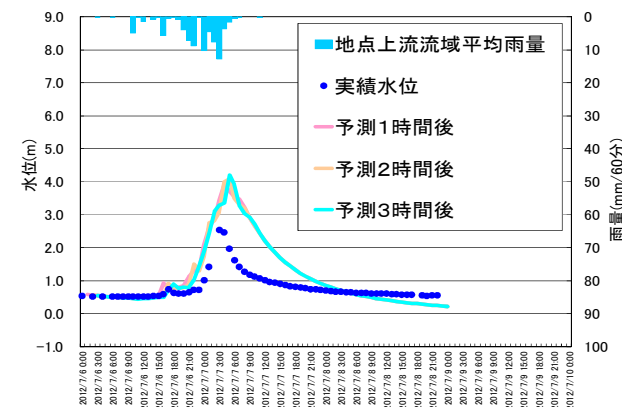
a) 現地横断測量による河道形状および流下能力評価の精度向上

河道形状データがない河川(区間)から、河道形状データがとくに必要な箇所を厳選して、簡易GPS測量および光波測量を行い、130河川(390測線)で縦横断データを作成した。

なお、簡易GPS測量および光波測量による河道縦横断形状の把握は、現地条件によっては通常の河川横断測量の1/10程度の費用で収まる上に、短時



(合致してるケース：美囊川)



(乖離しているケース：下里川)

図-4 ハイδροグラフ(実測値と解析値)

間の作業で済むことから採用している。

この結果、推定の矩形断面から正確な河道形状となることで、流下能力評価も正確になり、解析の精度向上が図られ、モデルの再現性の向上に寄与すると考えられる（図－５）。

また、正確な河道形状データを構築・ストックすることは、公物管理をする上で非常に重要なデータベースの構築にもなり、今後、様々な面で有効利用できる利点もある。

b) 分布型モデル定数の見直し

モデル定数の見直しを行い、繰り返し再現計算を何度も行った結果、とくに精度向上に寄与するパラメータは、土層厚および間隙率であることがわかった。この点に着目し、さらに洪水の立ち上がりに着目して再現計算を繰り返した結果、以下のとおりすべての予測時間帯で定量的に再現性が向上したため、モデルの精度向上が図られたと考える（図－６）。

① ピーク水位誤差

$$\text{ピーク水位誤差} = \max(H_{cal}) - \max(H_{obs})$$

計算値: H_{cal} 、実績値: H_{obs}

〔予測時間：見直し前→見直し後（差分）〕

予測 1 時間後：75%→82%（＋7%）

予測 2 時間後：66%→72%（＋6%）

予測 3 時間後：56%→64%（＋8%）

（実績と予測のピーク水位差が 50 cm 以内に収まる水位観測所数の割合（%））

② 波形誤差

$$\text{波形誤差} = \frac{\sum_{i=1}^n (H_{cal} - H_{obs})^2}{n}$$

計算値: H_{cal} 、実績値: H_{obs}

〔予測時間：見直し前→見直し後（差分）〕

予測 1 時間後：77%→84%（＋7%）

予測 2 時間後：59%→82%（＋23%）

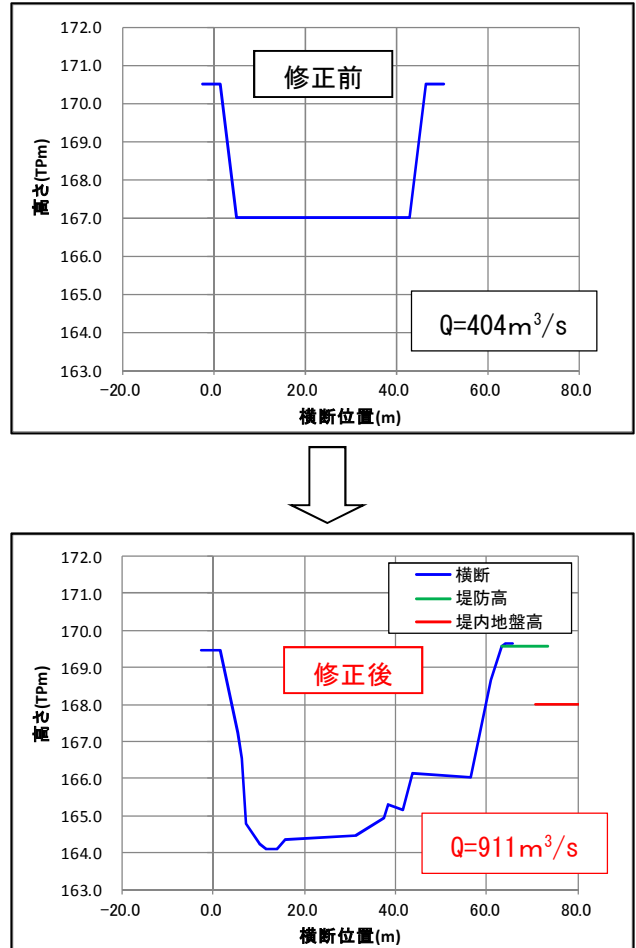
予測 3 時間後：57%→74%（＋17%）

（実績と予測の波形が 10 cm 以内に収まる水位観

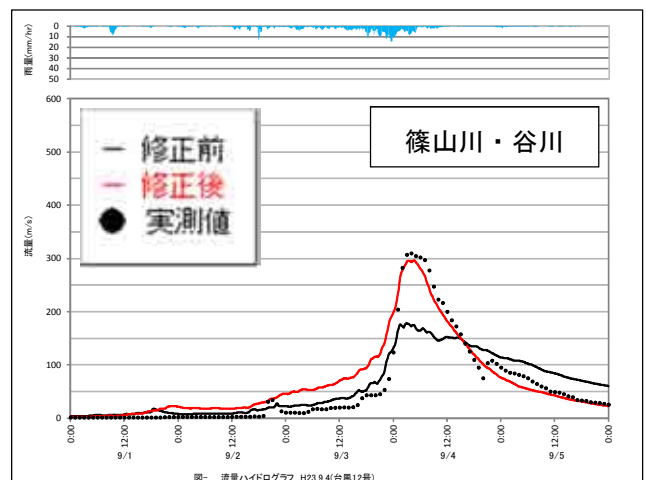
測所数の割合（%））

c) 国・県が一体となった一元的解析

本来は、国・県が一元化した流出解析手法により加古川水系全体を連続した形で解析を行うことが望ましいが、現実には、国・県が管理者単位で別々に取り組んでいる。



図－５ 河道形状および流下能力評価の修正例
（杉原川）



図－６ 分布型モデル定数の修正例（篠山川）

そこで、可能な限り国との整合を図るため、国土交通省が別途、構築済みの分布型モデルの基本条件（地盤高など）をすべて踏襲した。

この結果、分布型モデルにおいては、国・県が同じ条件下での解析となり、水系一貫でのモデルの再現性の向上に寄与すると考えられる。

d) 十分な検証期間の設定

本システムは、平水時ではなく洪水時の水位予測が主目的であるため、実際に大規模な洪水が複数発生しないと精度検証しにくい。実測値と解析値との乖離を少しでも改善していくには、より多くの実洪水の発生が必要である。

したがって、2013 年度から本格運用するが、より多くの降雨パターンによる実洪水での検証を継続しながら、今後、更なる精度向上を図る必要があると考える。

(2) その他の提案

a) 協議会の継続開催

加古川水系の対象要素が県下最大という特徴を意識して、県関係土木事務所・関係市町を参集し、氾濫予測システムについて情報共有する「協議会」を他の水系に比べ多数開催（計4回）している。

評価地点の設定、システム構築の進捗状況および運用方法の説明など、システム全般に関して、県・市町双方で意見交換し、運用上の理解を深める取り組みを展開している（図－7）。

5. おわりに

(1) まとめ

本論文では、加古川水系氾濫予測システムの構築およびモデルの精度検証に取り組んだ結果、直面した課題および課題解決に向けた提案を行った。

その結果をまとめると、次のとおりとなる。

- ① 河道形状データを早期かつ経済的な測量手法により正確なものに修正
→ 流下能力評価の精度向上に寄与

- ② モデル定数の見直し

→ 水位および波形ともに再現性が向上し、予測精度の向上に寄与

- ③ 国土交通省が所有する流出解析（分布型モデル）の基本条件を踏襲

→ 水系一貫で評価する際の連続性・一体性の向上

- ④ 十分な検証期間の設定

→ 多数の実洪水によるモデルの検証を行い、モデルのさらなる精度向上

- ⑤ 協議会を継続開催

→ 本システムの内容および運用上の県・市町の相互理解の向上

なお、加古川水系氾濫予測システムを 2013 年度から本格運用することは、すでに本県の決定事項として対外的に表明している。

したがって、本システムはまだ発展途上段階であり、本格運用後も市町が本システムを避難勧告等の発令時の判断材料とする際には、十分な注意を促し本システムの精度レベルの理解を促進していく必要がある。

(2) 今後の取り組み方針

これまで、氾濫予測システムに取り組んできた中で、私なりに見出した今後の取り組み方針は、これまで精度向上に向けて取り組んだ事項ならびに新たな科学的知見に基づく事項を必要に応じて取り入れ、十分な検証期間で複数の実洪水でシステムの精度検証を継続することだと考える。



図－7 協議会開催状況

例えば、気象庁の降雨予測データの他に、国土交通省が開発したXバンドMPレーダを取り入れることも具体策の一つと考える。

そして、今後も必要に応じて協議会を開催し、県と市町の相互理解やシステムの操作内容をより一層深めていくことも重要である。

その結果、氾濫予測システムによる水位予測の再現性の精度が向上し、市町による避難勧告の実効性が向上することで、地域住民の的確かつ迅速な避難行動へ繋がり、地域住民の安全・安心が確保されると考える。

(3) おわりに

今後、地球温暖化がさらに進行し、これまで以上に広範囲および高頻度で局地的豪雨が発生したり、計画規模を超える洪水が発生することも十分予想さ

れる。

厳しい社会経済情勢の下、これまでとは違い各種インフラへの老朽化対策予算も必要不可欠となり、長期間で巨額の費用を要することが多いハード整備の進捗が極めて困難な状況となっている。

そのため、ハード整備よりは、比較的短期間かつ安価で整備できることが多いソフト面での事前防災・減災対策は、住民の安全・安心を確保する上で非常に重要であり、有効な手段といえる。

さらに、東日本大震災を契機に、東海・東南海・南海地震や首都直下地震などの大規模災害への備えとして、事前防災・減災対策は社会的にもクローズアップされ、国民意識も高まりをみせている。

以上より、様々な観点において、事前防災・減災対策としての氾濫予測システムの精度向上への継続的な取り組みは重要と考える。

山崎断層帯地震発生時の緊急輸送路確保に関する取組

山本 正司¹・中森 康裕²

¹西日本高速道路(株) 関西支社 福崎高速道路事務所 (〒679-2204兵庫県神崎郡福崎町西田原2023)

²西日本高速道路(株) 関西支社 福崎高速道路事務所 (〒679-2204兵庫県神崎郡福崎町西田原2023) .

中国自動車道は、関西圏と中国・九州圏を結ぶ重要幹線である。当福崎高速道路事務所が管理する吉川 I C～佐用 I Cのうち、福崎 I C～山崎 I Cは山崎断層帯の一つである安富断層のほぼ直上を通過している。その他の区間についても土万断層や琵琶甲断層と並行若しくは近接している。

兵庫県の予測では、山崎断層帯地震が発生した場合、管内の各所で震度 6 弱～6 強の地震と共に液状化が発生し、周辺道路が寸断されることが予想される。過去の震災の例を見ても被災地の復旧に高速道路の果たす役割は大きく、早期に緊急車両や支援車両の通行帯を確保することが復旧の第一歩となる。そのための当管内の事業継続計画を紹介する。

キーワード 山崎断層帯地震、中国自動車道、被害想定、事業継続計画、災害図上訓練

1. 山崎断層帯地震の被害想定

(1) 山崎断層帯地震の概要

山崎断層帯は、岡山県北東部から兵庫県南東部までの全長約 80 km にかけて分布する 7 つの断層の総称である。このうち安富断層が中国自動車道(以下「中国道」という。)のほぼ直下に、そして、土万断層及び琵琶甲断層が中国道に並行し、かつ近接している。

図-1 山崎断層帯



兵庫県では、断層帯北西部、南東部、断層帯主部全体を震源域とする 3 つのパターンで地震の発生を予測しており、このうち主部南東部を震源とする地震の発生確率が最も高いとしている。その場合の地震の規模は M7.3。30 年以内の発生確率は 0.03 から 5% で、発生確率としては「高い」グループとして位置付けされている。

兵庫県の発表した山崎断層帯南東部を震源とする地震が発生した場合の震度分布図に中国道を重ね合わせたものを図-2 に示す。

図-2 管内の震度分布



これを見ると、中国道の吉川 I C～佐用間のほぼ全域で震度 6 弱。宍粟市や三木市の一部で震度 6 強となることが分かる。

さらに、沖積層の広がる姫路市や三木市の中心部ではほぼ全域で震度 6 強と、その被害は激しくなるものと予測されている。

また、液状化現象の発生も予測されており、市川や加古川沿いの沖積層からなる平野部は、液状化を起こしやすい地盤と想定されており、それによる被害により、周辺道路の寸断が予想される。

液状化現象を起こしやすい地盤の分布と中国道及び周辺道路を重ね合わせたものを図-3 に示す。

図-3 液状化現象を起こしやすい地盤の分布



(2) 道路の被害想定

河川沿いに広がる沖積層上に位置する姫路市中心部及び三木市域を中心に震度 6 弱から 6 強の地震動が予想され、これにより緊急輸送路が各所で寸断されることが予想される。(図-4)

図-4 主要道路と地震動との重ね合わせ



また、緊急輸送路は、ほぼ全域にわたって液状化を起こしやすい地盤上に重なっており、緊急輸送路や周辺道路の寸断による影響が想定される。特に盛土高さの低い一般道側の被害が大きいのと想定され、道路啓開に当たっては中国道から順次警戒していくことが効率的かと思慮される。(図-5)

図-5 主要道路と液状化地盤との重ね合わせ



中国道についても沖積層の上に施工された盛土部については液状化の影響により、図-6のような中越地震でも起こった大規模な盛土の崩壊被害が予想され、高速道路及

び周辺道路のいたる所で道路の寸断が想定される。

図-6 中越地震時の高速道路の被災状況



これらを総合すると、図-7に示すように、地震動や液状化の影響により、いわゆる播磨地域一帯において高速道路も含めた主要幹線道路が相当な打撃を受け、東西交通が遮断されることが想定され、四国ルートや山陰ルートといった代替路線も含めた広域的な復旧計画を策定しておく必要がある。

図-7 広域的な被害状況のイメージ



2. 事業継続計画の策定

過去の大規模な震災において、自衛隊や消防・救急隊が高速道路を利用して広域に移動し、休憩施設を中継基地として各被災地の現場へと向かっていることから、震災時における高速道路の果たす役割は非常に大きいと言える。(図-8)

図-8 SAを中継基地として利用(東日本大震災)



このことを踏まえ、西日本高速道路(株)では、24時間以内の緊急車両の通行帯確保を事業継続計画（以下「BCP」という。）の一つの目標としている。

以下に、中国道の早期道路啓開を目標としたBCPの概要を紹介する。

(1) BCP策定上の重点事項

中国道の被害想定を策定したBCPを策定する上で最も重点を置いた点は、以下のとおりであり、これらの一つでも欠けるとBCPが破綻することが想定され、BCPを確実に回せる着実な対応が必要である。

- ①人員の確保・・・人が集まらないと何もできない
- ②対策本部の確立・・・指揮命令系統の明確化
- ③連絡体制の確立・・・情報等の的確な把握と発信
- ④現場要員・資機材の確保・・・初動時に必要な資機材の確保と協力会社の確保

また、BCP策定に当たっては、表-1に示す地震発生時からの経過時間毎の対応内容を基本として作成した。

表-1 災害時等における相互協力協定の締結

発生後の経過時間	～1時間	1～2時間	2～3時間	3～4時間	4時間以降
初動内容	非常参集	対策本部設置	点検 お客様の安全確保	緊急 輸送路確保	応急復旧 ～本復旧
BCP 重点事項	要員の確保	指揮命令系統 と物資基地の確保	点検のための道路啓開 お客様の避難誘導	緊急輸送路を確保 する為の道路啓開	復旧に向けた 道路啓開

(2) 災害時の地域との連携強化

中国道が通過する沿線市町と当事務所間で、災害時の速やかな連携を目的として、「災害時等における相互協力協定」を佐用町・宍粟市・加西市・姫路市・加東市・福崎町・三木市の全ての沿線自治体と締結した。(図-9)

この協定の中では、休憩施設をはじめとする高速道路敷地の提供や緊急開口部を利用した緊急車両の運行、一時避難所としての敷地利用(図-10)、必要な資機材の相互提供、維持管理用車両の駐車場を利用したドクターヘリの運用(図-11)、休日も含めた緊急連絡先の相互確認等を行い、地震災害や降雨災害などが発生した場合の相互連携を常日頃から構築していくこととした。

図-9 災害時等における相互協力協定の締結



図-10 管理施設を一時避難所としての利用



図-11 ヘリポートの整備と使用状況(佐用IC)



(3) 防災基地の確保

発災時に指揮所となる事務所防災対策室は、続々と寄せられる情報の整理・分析、その結果に基づく現地対応班への指示、資機材・施工会社の確保及びお客様対応、行政との連絡調整等の要となる施設であり、これが被災し機能できないことは、絶対避けなければならない。

このため、発災時においても確実にその機能を維持するための、窓ガラスの飛散対策・ロッカー等の転倒防止対策、電源の確保対策及び通信設備の確保等を実施した。(図-12)

図-12 東日本大震災時の執務室の被害状況



また、防災対策室を運営する非常参集要員の多くが事務所から10km以上離れた姫路市内に居住していたため、地震発生から事務所に参集するまで徒歩で3～4時間要し、対策本部の立ち上げまでの時間がかかり過ぎる要員配置のため、事務所まで徒歩で1時間圏内に幹部社員3名を転居させることとした。(図-13)

図-13 非常参集要員の所在地



(4) 路面の段差

切盛境・土被りの薄いC-BOXの両側・橋台両端に段差が発生すると仮定した場合、当事務所管内で388箇所に段差が発生すると想定し、仮に段差が50cmとして、すべての段差を土嚢によって通行帯確保をするためには、約18万袋(約3千 m^3)の土嚢が必要になる。

地震が発生してから道路啓開用土嚢の調達を図っていたのでは、24時間以内の緊急輸送路の確保が困難なことから、2012年度から計画的に土嚢作成用の砂と耐久性土嚢袋の備蓄を開始した。(図-14, 15, 16)

図-14 土嚢による道路啓開の様子



図-15 段差1箇所当りの土嚢量

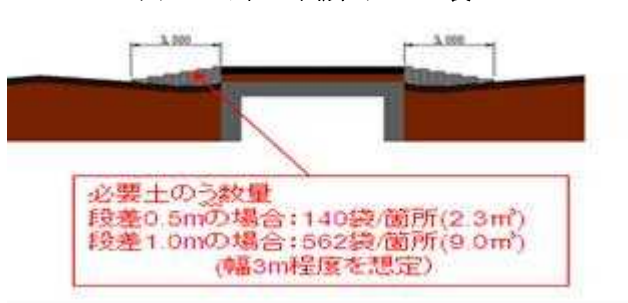


図-16 土嚢用砂の備蓄状況



(5) 旧沢地形を埋立てた用地外高盛土

本線直下に安富断層が走る区域において、地元行政が旧沢地形を埋立てた高さ約20mのグラウンドを中国道に近接して整備している。(図-17, 18)

盛土末端部は、中国道に非常に近接しており、盛土内の水位が高く常に湿潤状態であり、かつ盛土の一部では小規模な表層崩壊も発生しており、地震の衝撃で盛土全体が崩落し、中国道に多大な被害をもたらすことが予想される。

当場所は、地震発生時の中国道への影響を検討するた

め、2013年度から水位観測や盛土の安定度検討等を行い、科学的根拠を整理したうえで、地元行政を含めたなかで安全対策の検討を開始する予定である。

図-17 沢地形を埋めた用地外高盛土の状況



図-18 旧沢地形との重ね合わせ



(6) ため池による盛土の引込

管内には中国道の盛土のり尻に位置するため池が13箇所あり、地震時に本線を引き込む可能性が高く何らかの対応が必要である。

特に、ため池の中央部を盛土で横過している箇所は、盛土引込の可能性が非常に高いため、ボーリング調査・水位観測・危険度判定・連続地中壁等の対策工の検討を実施し、順次対応していく予定である。(図-19, 20)

図-19 盛土の引込



図-20 ため池部横断面図



(7) 切土部の危険個所の明示

当事務所管内では、断層直上に位置する箇所、流れ盤などの危険箇所として17箇所を選定している。その選定箇所には、地震発生時の点検を容易にするため、当該切土の起・終点に青色の視線誘導票の設置及び切土のり面の概要の分かる調書を事前準備している。(図-21)

図-21 切土の危険箇所標示(青色灯)



(8) 各種台帳の整備

地震発生時に即刻対応可能なように、復旧資材の調達先を明示したコンクリート、砕石、アスファルトプラント業者調書、復旧支援可能な施工業者、占有者とすぐに連絡がとれるように占有物件調書、橋梁調書、トンネル調書、切土調書等台の帳類を整備し、専用のロッカーにペーパーの状態で保管している。

特に橋梁については、予め協力会社に一般図と合わせ橋梁の支承反力や橋台・橋脚の図面と現地状況写真を添付した橋梁調書を共有し、直接現場に足を運び現地調査を行わなくとも、連絡一本で復旧に必要なジャッキ仕様や足場等の応急復旧資材を確保したうえで、即座に現場に向かえる事が出来る体制とした。(図-22)

図-22 橋梁台帳の共有



(9) 電源・通信設備の確保

非常用自家発電機について、燃料タンクの転倒防止対策を行うと共に、振動による燃料系パイプの破断を防止するため、フレキシブルジョイント化(図-23)を実施した。また、外部からの燃料供給がなくとも3日間は稼働できるように燃料タンクの増設を実施した。

更に、電気・通信設備についても転倒対策(図-24)を実施した。

図-23 配管のフレキシブル化



図-24 電気通信設備の転倒防止対策



(8) 仮復旧イメージの想定

実際に切土、盛土、橋梁、トンネルが被害を受けたことを想定し、あらかじめ仮復旧イメージの想定及び過去の復旧事例の収集を行い、復旧の際に係る検討時間の短縮を図ることとした。(図-25、26)

図-25 切土崩壊時の仮復旧イメージの例

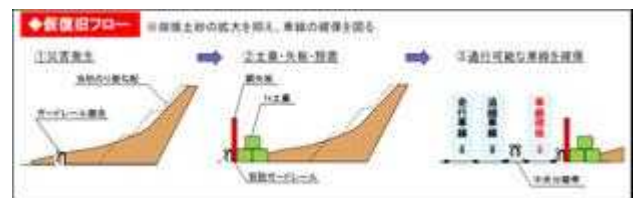


図-26 トンネルの復旧事例



4. BCPの検証

BCPの実効性を検証するため交通管理者・子会社・工事受注者を交えた災害図上訓練(以下「DIG」という。)を実施し、BCPの実現性を検証した。

以下にDIGで浮かび上がってきた課題、対応策について述べる。

(1) 24時間以内に緊急車両の通行帯を確保するための問題点と対応策

a) 土嚢の事前準備と警戒作業

BCPでは、道路啓開に18万袋の土嚢が必要であると試算しているが、DIG実施後の検証によると、地震発生直後、土嚢作成のために非常参集できる作業員は10名程度であった。

この10名で土嚢製作機を使用して、18万袋の土嚢を作成した場合、3パーティーで行っても30日かかり、24時間以内の啓開は無理があることが判明した。

その対応としては、予め作成済みの土嚢を作成し、備蓄しておく必要がある。(図-27)

また、道路啓開には膨大な数の土嚢が必要であり、使用の都度、備蓄基地に取りに帰っていたのでは効率が悪く、事前に作成済みの土嚢を本線脇に配備しておく等の工夫が必要であることが判明し、2013年度から順次中国道脇の路肩等に事前配備する予定でいる。

図-27 (参考) 土嚢製作機



b)道路啓開作業

道路啓開を行うに当たっては、道路状況を把握する点検班と道路啓開班が行動を共にすることを想定していたが、仮に交通量がピークとなる休日の16時台に地震が発生し、地震による揺れが5分間続いたと仮定した場合、120mに1台の密度で滞留車両が発生する。(図-28,29)

滞留車両からは、情報提供や救護を求められることも十分想像でき、これらに遭遇する都度対応しているのは点検・道路啓開がなかなか進まないことから、道路啓開を行うに当たっては、道路啓開班・点検班・お客様対応班が同時に行動し、お客様対応と並行して道路啓開及び点検を実施できる体制の構築が必要と思慮された。

図-28 休日の時間毎交通量データ

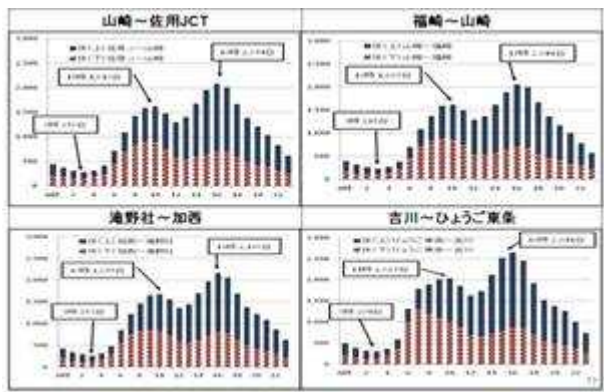


図-29 IC間別5分間交通量

区 間	ピーク時刻	時間最大交通量(台/時)	5分間交通量(台/5分)
吉川IC～ひょうご東条IC	16時	2,841	220
ひょうご東条IC～池野社IC	16時	2,371	198
池野社IC～加西IC	16時	2,156	180
加西IC～福崎IC	16時	2,090	174
福崎IC～山崎IC	17時	2,041	170
山崎IC～佐用JCT	16時	2,074	173
佐用JCT～佐用IC	16時	1,698	142
合 計		15,071	1,257

1方向約120mに1台程度の密度

c)お客様対応について

本線若しくは休憩施設等に滞留しているお客様からは、情報提供や救護要請を受けることが十分予想される。このため、事務所本部と現場間の連絡のために、衛星携帯電話の配備や、救護キットが必要と判断され、これらについては、2013年度中に整備を行う予定である。

(2) 事務所本部の継続性の確保

a)電源の確保

自家発電機用のA重油については3日分を確保できるよう、タンクの増設を2012年度中に完了している。ただし、協定を締結しているSAガソリンスタンドも含めて市中のガソリンスタンドの被災状況によっては、3日以上自家発電により電気を賄わなければならない状況も想定される。

このため、A重油の代替として軽油が使えることから、事務所に配備されている燃料タンク容量が2000ある大型除雪等車両13台の燃料タンクは常に満タンにしておき、有事の備えとする工夫を講じている。

これにより、さらに約3.5日分の自家発電機用若しくは点検用車両の燃料が確保できることになる。

b)非常参集要員の確保

西日本高速道路社員や元請け社員については、計測震度4以上で自動的に非常参集することになっているが、現場で道路啓開等の実際に作業を行う下請社員までは、自動的に非常参集することを義務付けていなかった。

2013年度以降は、元請け会社と下請け会社の間で気象庁発表震度で4以上の場合に自動的に非常参集するシステムの構築を検討中である。

5. おわりに

山崎断層帯地震が発生した場合、図-7に示したような播磨地域全域において高速道路も含めた幹線道路網の機能がマヒする可能性が非常に高い。

いち早く被災地での救援活動を開始するには、緊急車両の通行帯の確保、いわゆる道路啓開作業を如何に効率的に行うかにかかっている。

これまでのところ、NEXCOを含め各行政機関において防災計画を立案し、緊急輸送路の早期復旧を謳っているが、道路管理者間の連携等について具体的な議論や訓練がされていないのが現状である。

昨今の大規模地震災害の発生頻度の高まりを考えると、個別に防災計画や道路啓開計画を立案するところから一歩進んで、高速道路や一般道を含めた中で、効率的に被災地に向かうために必要な道路啓開の順序等について道路管理者や行政機関が一体となって議論を始めるべきであると考えている。

今回は、当事務所における取組事例を紹介したが、他機関での防災計画立案の一助になれば幸いである。

和田山八鹿道路の大屋川橋(ニールセンローゼ桁橋)に 施工した落雪防止対策の効果検証について

山田 優¹

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

大屋川橋は、平成 24 年 11 月 24 日(土)に供用した北近畿豊岡自動車道 和田山八鹿道路(延長 13.7km)の養父 IC に隣接する大屋川に架かるニールセンローゼ桁橋である。本橋のように降雪地帯に位置するアーチ橋は、左右のアーチリブ、及びこれを繋ぐ横支材に積もった雪が落下して下を走行する自動車に損傷を与える事例が見られる。

本橋では当初、雪が積もりやすい横支材とアーチリブ上面に屋根型の傾斜板を取付けて大きな塊で落雪しない構造で計画していたが、他機関により実施されている落雪対策を参考に、より効果的な落雪構造を検討・施工したものであり前回は、実物パネルを用いた確認実験までを行い、今回は、残課題について実橋での効果検証を行ったものである。

キーワード ニールセンローゼ桁橋 下路橋 落雪 落雪防止装置 ヒーター 光触媒防汚フィルム

1. 橋梁概要

大屋川橋は、浅野水源地への影響を排除するため、水源地内には橋脚を設置しない橋梁形式として計画したニールセンローゼ桁橋で、支間長 122.5m、アーチライズが 21m の平行弦、および 5 本の横支材を有している。アーチリブの断面は、幅 1.1m、高さ 1.4m で、横支材にはφ850mm の鋼管を用いている。使用鋼材は耐候性鋼材で、路面から高さ 2m 以下のアーチリブ部、及び補剛桁の外周は融雪剤の散布影響を考慮し、錆び安定化処理を施している。

橋梁諸元を表-1、一般図を図-1 に示す。

表-1 橋梁諸元

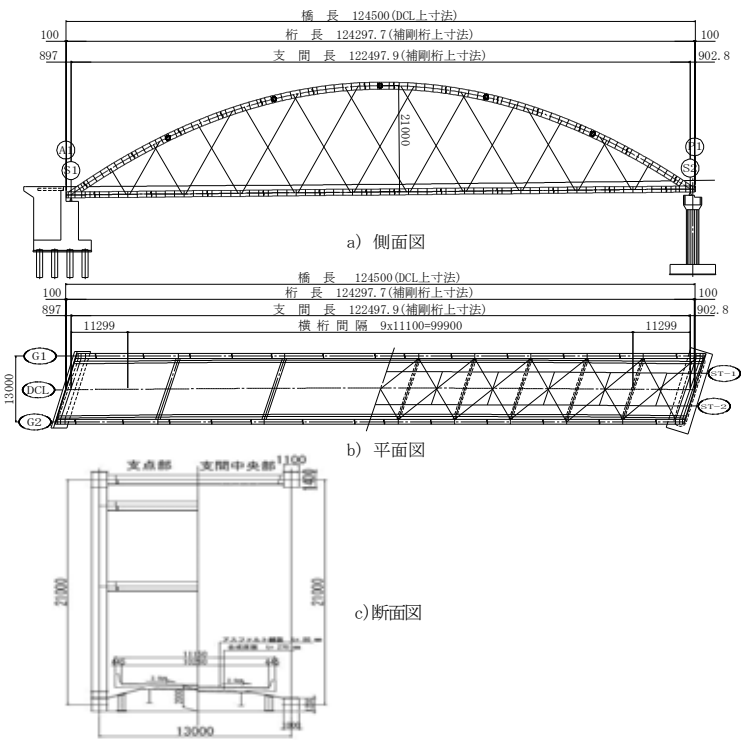
項 目	諸 元
橋梁形式	鋼ニールセンローゼ橋
橋長	124.5m
支間長	122.5m
アーチライズ	21.0m
補剛桁間隔	13.0m
総幅員	11.150m
道路線形	R = 6000m
斜角	A1側 72° 06' 15" P1側 73° 17' 35"
ケーブル本数	20本×2 = 40本
横支材	5本 鋼管(φ850)製
床版形式	合成床版 t=270mm
使用鋼材	耐候性鋼材

2. 周辺環境

架橋位置の周辺環境は、半径 15km 圏内にスキー場を有する降雪地帯で、近隣の気象データによると、過去 5 年間の最大日降雪量は、51cm/日、各年度の降雪日の平均日降雪量が 24cm/日で、最低気温については、最低は-7.3℃である。

本橋路面下には、本橋と直交する一般道路(県道養父朝来線)と養父 IC のチェーン着脱場がある。

図-1 一般図



3. 落雪防止装置

過去、国道9号（豊岡河川国道事務所管内）の同種橋梁においては、アーチリブ間をつなぐ横支材から雪が落下し、通行中の車両を損傷する事例が起きている。この対策として、豊岡河川国道事務所では、従前、高所作業車を用いて人力で雪落としを行う方法を行っていた。しかし、交通規制が必要であることや、冠雪を確認してから作業となるため作業までに雪が落下してしまう危険性が考えられる。本橋では、その課題を解決するために他機関により実施されている落雪対策を参考に、より効果的な落雪防止対策として、「融雪させたうえで滑雪される工法」について、検討し施工した。



写真-1 落雪防止装置 取付け後

■落雪防止装置の概要

落雪防止パネルの基本構造は、幅1160mm、長さ2200mmの雨樋型形状をしたステンレス鋼材である。アーチ上方の落雪防止パネルには、ヒーターを設置し「融雪」を促す構造とした。落雪防止パネルには、滑雪面の経年変化や汚れによる滑雪効果低減に対する解決策として表面に光触媒防汚フィルムを覆い、「滑雪」を促す構造とした。これによりアーチ上方で「融雪」された雪の塊が、上方からパネル面を「滑雪」し、下方の積雪を押し流してアーチ部に積雪している雪を取り除く構造を構築した。写真-1に落雪防止装置取り付け後の状況を示す。

■融雪の方法

「融雪」の方法としては、熱源として確実な上に容易にきめ細かい制御が可能な電気式のヒーターを用いることとした。かつ、経済性の観点から、アーチリブの形状を活かしてヒーターを設置する範囲をアーチリブの上部付近とした。



写真-2 落雪防止パネル 線状ヒーター固定(裏面)

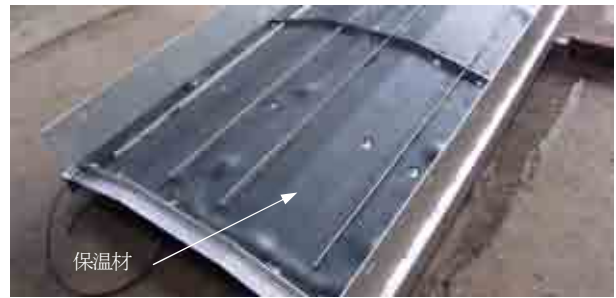


写真-3 落雪防止パネル 保温材(裏面)

ヒーターは、経済性を考慮し、自己制御型ヒーターを、雨樋型パネルの裏側に設置する後取り付けタイプとした。また、ヒーターが発生させた熱を少しでも冷まさないように雨樋型パネルの裏側には、20mm厚の保温材を設置して経済性に考慮した対策を行った。

ヒーターの作動・停止は、降雪センサを用いた自動制御システムでも行えるようにして省人力化を図ることとした。自動運転モードは、①外気温が5℃以下、②降雪センサオン(水分を検出)の2つの条件が同時に成立した時にヒーターは作動する構造とした。

■滑雪の方法

①「滑雪」の方法としては、滑雪面の経年劣化や汚れによる滑雪効果の低減に対して、光触媒技術を応用したフィルム(NE T I S登録番号 KT-020067)の特徴であるセルフクリーニング効果を活用した方法を構築した。セルフクリーニング効果とは、まず、光触媒酸化チタンに紫外線が当たることで活性種(光触媒酸化チタンが放出する活性酸素種と呼ばれる物質)が放出され、その活性種の作用で表面に付着した汚れが分解される。その後の降雨により、もう一つの効果である「超親水作用」にて雨水が光触媒膜表面に一樣に広がり、汚れと膜の間に水が浸入して汚れを浮き上がらせて洗い流すというものである。この効果により、「滑雪性能」を著しく低下させる滑雪面の汚れの付着を防止出来ると考えられる。さらに、雪が少しでも溶けて水が生じれば、「超親水作用」によって雪と膜の間に水が浸入して「滑雪」をさらに促すことが期待されるものである。



写真-4 落雪防止パネル 光触媒防汚フィルム(表面)

②アーチリブの滑雪については、交差する一般道を考慮し、外側に落とさずアーチリブの上面に沿って滑らせる方法を検討することとした。具体的には、アーチリブに設置する滑雪パネルの形状を雨樋型とすることで滑雪した雪をアーチリブ下方に誘導することとした。横支材については、雨樋型として滑雪させた雪を下方に誘導させるとすると構造が複雑になり、その複雑な部分で別の滑雪構造が必要となってしまうことから、構造の簡単な屋根型パネルを設置することとした。



写真-5 落雪防止パネル 取付け後(アーチ上部)

4. 落雪防止装置の現場検証

ヒーターを停止させる条件の把握を行うことから、落雪防止パネルに雪が降り積もった状態からヒーターを作動にして、滑雪までの時間、滑雪の状況などの検証を行った。ヒーターを作動して50分後、アーチの上方の積雪部に割れ目が生じたとほぼ同時に雪の塊が上方からパネル面を滑雪し、下方の積雪を押し流してアーチ部に積雪していた雪が取り除かれた。

(写真6, 7, 8)

降雪後、ヒーターの無い下方のパネル表面を観察すると水で一樣に濡れた状態で、上方のヒーターで解かされた雪が光触媒防汚フィルムの表面で水膜を形成したと思われ、超親水効果が滑雪に寄与していると考えられる。滑雪後、自動運転モードで連続運転を継続した。その後も降雪は続いたが、落雪防止パネルの表面に積雪することは無く、本落雪防止装置は、開発時に想定した性能を有していることが検証出来た。また、本検証で落雪防止パネル上に降り積もった状態から50分で滑雪させることが出来たことから、ヒーターを停止させる停止条件2の経過時間の設定は、落雪防止パネルに満杯に積雪した状態からでも滑雪させることが可能となる60分とすることに決定した。

また、光触媒防汚フィルムについてもはがれ、膨れ、変色もなく水分の濡れ広がり確認できたことから光触媒防汚フィルムのセルフクリーニング効果が発揮できたものと考えられる。



写真-6 落雪防止パネル滑雪状況(その1)



写真-7 落雪防止パネル滑雪状況(その2)



写真-8 落雪防止パネル滑雪状況(その3)



写真-9 供用後の落雪防止パネル滑雪状況

5. 維持管理費を踏まえた効果検証

従前、本橋のような降雪地帯に架橋した下路橋では、高所作業車を用いて人力で雪落としを行う方法で維持管理を行っている。



写真 - 10 従前の維持管理状況

近年、3 か年における国道 483 号北近畿豊岡自動車道（自動車専用道路）における雪害体制の実績は、下表のとおりである。

国道483号 雪害体制実績（単位：日）			
	H22	H23	H24
注意体制	42	52	66
注意強化体制	17	29	10
警戒体制	1	3	0
非常体制	0	1	0

表 - 2 国道 483 号雪害体制実績

仮に、注意強化体制の際に高所作業車を用いて人力での雪落とし作業を実施した場合と初期投資額も加味した落雪防止対策を用いた場合の維持管理費用との累積コスト比較を行った場合は、下図のとおりである。

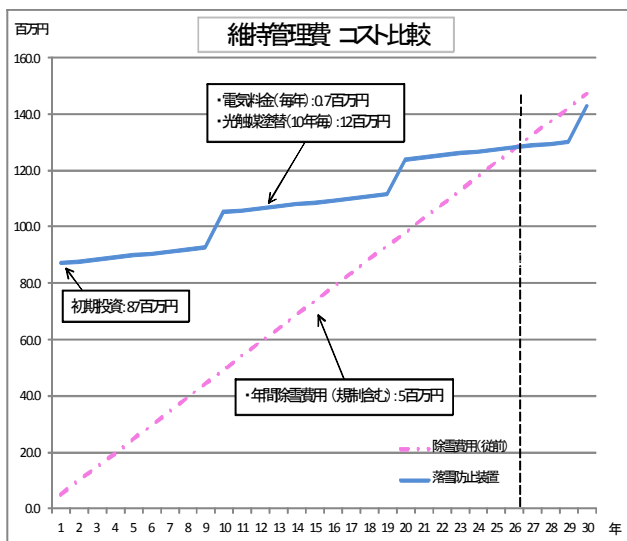


図 - 2 維持管理費コスト比較

結果として、①落雪防止対策を用いた維持管理費用が、従前の維持管理費用と比べコストの縮減となる事が分かりライフサイクルコストの縮減に寄与できることが分かった。

②何よりも自動車専用道路において通行中の車両に対して、道路上の構造物に付着した雪塊の落下に伴う車両損傷事故の防止と道路管理の高度化による通行規制の回避により、通行車両に対する安全・安心の向上に寄与できることが落雪防止対策を実施した最大の効果である。

6. おわりに

本稿では、供用後 1 年目であることから、降雪の妨げとなる落雪防止パネル表面の汚れへの対策として採用した光触媒防汚フィルムなどの耐久性について検証できなかったため、今後は耐久性についての効果検証を行い、ライフサイクルコストの効果検証について確認を行う必要がある。また、初期投資コストの縮減および今後、道路管理を行う上で生じる課題に対する改善点についても更なる検討を行う必要がある。

末尾として、本稿が、落雪防止装置を検討する際の一助となれば幸いである。

謝辞：本落雪防止装置の検討・実験を行う際に有意義な御助言をいただいた、株式会社駒井ハルテックの設計・工事関係者の方々に感謝の意を表します。

〔参考文献〕

- 1) 梅田正浩：橋梁部材からの落雪対策の研究，福井県雪対策・建設技術研究所 年報地域技術第 18 号，2005. 7
- 2) 梅田正浩：橋梁部材からの落雪対策の研究(その2)，福井県雪対策・建設技術研究所 年報地域技術第 19 号，2006. 8
- 3) 森本聡：大屋川橋（ニールセンローゼ桁橋）の落雪防止対策について，平成23年度近畿地方整備局管内技術発表会，2011. 8
- 4) 小川久志，尾崎敬之，藤川忠弥，中本啓介，林裕也，吉岡夏樹：大屋川橋の架設と落雪防止装置の開発，橋梁と基礎，2013. 4

越流による盛土の侵食特性および津波対策としての耐侵食性の向上策について

谷本 隆介¹・常田 賢一²

¹大阪大学大学院 工学研究科 地球総合工学専攻 (〒565-0871大阪府吹田市山田丘2-1)

²大阪大学大学院 工学研究科 地球総合工学専攻 (〒565-0871大阪府吹田市山田丘2-1)

2011年東北地方太平洋沖地震では、津波により防潮堤などが甚大な被害を受けたが、その復興および危惧されている南海トラフによる津波に対する防災・減災のための取り組みが必要である。本研究は、被害事例に基づいて、現在、曖昧な防潮堤の“粘り強い”の定義および防潮堤の計画、設計に必要な8つの評価項目を提示する。また、現地の被害調査から明らかになった盛土の耐侵食性を解明するために、盛土の越流実験を実施するとともに、盛土を津波防潮堤として活用するための盛土の耐侵食性、難浸透性の向上方法の技術的な可能性を提示する。

キーワード 津波、防潮、粘り強い、盛土

1. はじめに

2011年東北地方太平洋沖地震（以下、本地震）では、津波により防潮堤などが甚大な被害を受けた。将来の南海トラフによる津波が危惧されている現在、本地震の類似被害に対する防災・減災のための早期の取り組みが必要とされている。その際、中央防災会議¹⁾からは、レベル2津波に対する“粘り強い”防潮堤が課題として提起されているが、本研究は、現在、曖昧な防潮堤の“粘り強い”の定義を考察、提言するとともに、防潮堤の計画、設計に必要とされる8つの評価項目を提示する。また、本地震の現地被害調査から明らかになった盛土の耐侵食性を、さらに詳細に解明するために、盛土の越流実験を実施し、その侵食特性を明らかにするとともに、盛土を津波防潮堤として活用するための盛土の耐侵食性の向上方法の技術的可能性を提示する。

2. “粘り強い”とは

防潮堤などの被害における被害レベルの差異を知るとともに、被害レベルによる“粘り強い”および防潮構造の評価の考え方を提示する²⁾。

(1) 津波被害による被害レベルの区分

本地震の津波による防潮堤などの被害は、基本的な構造機能の保持の状態により異なる。ここで、基本的な構造機能とは、後述する“粘り強い”に関わる構造機能であ

るが、被害事例から被害レベルは、以下のレベルS、レベルA、レベルB、レベルCおよびレベルDの5つに区分できる。

a) レベルS：致命的な被害

レベルSは致命的な被害であり、破堤あるいは基本的な構造（表法、天端、パラペット）が激しく欠損し、高さが喪失するあるいは高さの保持が困難な状態となり、基本的な構造機能は完全に、あるいはほぼ喪失する被害レベルとする。**写真-1**は防潮堤が決壊し、全断面が喪失し、水面化している状況である。なお、矢印は押し波の方向を示す（以下、同じ）。

b) レベルA：背面部の大規模な被害

レベルAは表法および天端は被害が軽微であり、防潮堤などの裏法あるいは裏法先の地盤の一部あるいは全部が侵食あるいは流出した状態にあるが、基本的な構造機能は最低限、確保される被害レベルとする。**写真-2**は越流後の河川堤防である。表法はほとんど侵食が無く、天端は舗装が一部剥離しているが軽微な被害であり、裏法は大規模な侵食と欠落があるものの、天端高は保持されており、基本構造は確保されている。

c) レベルB：背面部の中規模な被害

レベルBは表法および天端の被害が軽微であり、裏法の表面に侵食、ブロックの飛散、一部欠損が発生するが、基本的な構造機能は確保される被害レベルとする。**写真-3**は法枠工の法尻が侵食し、落堀が形成されているが、裏法枠はほぼ残留し、高さも保持されている。

d) レベルC：背面部の小規模な被害

レベルCは表法および天端は被害が軽微であり、裏

法先の地盤の侵食が発生するが、基本的な構造機能は十分に確保される被害レベルとする。写真4はコンクリートブロック張構造の防潮堤であるが、裏法先の地盤は侵食されているものの、裏法、天端、表法は残留しているので、小規模な被害である。

e) レベルD：無被害

レベルDは津波の越流があっても、防潮堤などの基本的構造の損傷および裏法先の地盤の侵食は皆無であり、基本的な構造機能は通常通り確保される被害レベルとする。写真5は裏法が無く、背後が平坦地である緩傾斜堤であるが、コンクリート張りの表法の損傷は皆無である。



写真-1 決壊・流出(山元町坂元)：レベルS



写真-2 天端の軽微な剥離(仙台市井土浦)：レベルA



写真-3 裏法尻の侵食による落堀(岩沼市寺島)：レベルB



写真-4 裏法先の侵食(巨理町荒浜)：レベルC



写真-5 無被害の緩傾斜堤(旭市下永井)：レベルD

以上、実被害から被害レベルを区分したが、要求される性能レベルはレベルSが低く、レベルDに近づくほど、高く、厳しくなる。

(2) 粘り強い構造的な許容限界の概念²⁾

設計の対象は、防潮堤などの構造体の基本的な構造機能とし、構造機能における“粘り強い”は“壊れるまでには至らない”と考える。ここで、“壊れる”とは基本的な構造機能の喪失であり、それに影響しない変状・損傷は容認する。なお、基本的な構造機能の要件は、“壊れにくい”ではなく、時間経過によっても“破堤しない”であり、言い換えると、津波の場合は“高さの保持”と考える。従って、目指す“粘り強い”は、“基本構造は壊れない”、言い換えると“所定（設計時）の高さが安定的に保持される”と考える。

さて、防潮堤などの変状レベルと損傷レベル（以下、変状・損傷レベル）および地震動レベルと津波レベル（以下、地震動・津波レベル）の関係を図-1の概念で表わす。同図の構造機能許容限界は、レベル1で想定される構造機能（非変状・損傷）との連続性およびレベル2における規模の違いに応じた取り扱いの差異（大規模なほど緩和）を考慮して設定しており、設計目標とする“粘り強い”の許容限界である。そして、“粘り強い”を実現する対策レベルと許容する被害レベルを以下のように対応させる。

- ・対策レベルⅠ：被害レベルDを設計目標とする
- ・対策レベルⅡ：被害レベルC～Bを設計目標とする
- ・対策レベルⅢ：被害レベルAを設計目標とする

以上により、許容する被害レベルに応じて、対策レベルが変わることになるが、許容される被害レベルが小さい対策レベルⅠは、要求性能のレベルが厳しく、同Ⅱ、同Ⅲになるに伴い緩和する。

ここで、“粘り強い”を実現する対策レベルは3つの対策レベルのいずれでもよく、対象とする対策工法がどの対策レベルにあるかを明示すればよい。

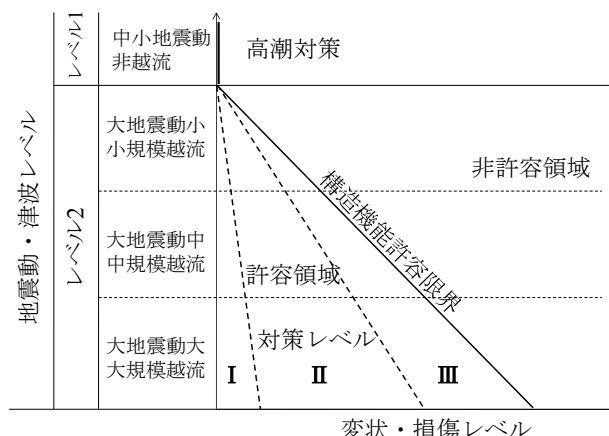


図-1 変状・損傷レベルと地震動・津波レベルの関係概念

(3) 防潮堤の要求性能の評価項目

防潮堤などでは構造機能以外に、取り巻く自然環境あるいは社会的環境を考慮した評価が必要である。構造機能を含め、評価項目として、以下の 8 つが提示できる²⁾。

- 1) 構造機能：構造が、外力（高潮、地震動および津波）に対して所要の安定性および機能性を保有すること。
- 2) 耐久性：経年による構造の変状・損傷、安定性の低下が、外力の発生に際して、所要の構造機能の安定性に影響しないこと。
- 3) 点検性・補修性：日常的な管理が容易であるとともに、経年による構造の変状・損傷、安定性の低下が容易に検知でき、補修・補強により容易に回復できること。
- 4) 津波減勢性：防潮堤などが単に構造体として安定しているだけでなく、背後地などの外部に対して及ぼす影響、効果まで考慮津波の影響が低減できること。
- 5) 海陸交流性：防潮堤などは海岸線に沿って設置され、内陸部と海浜部の境界部にあることから、海や海浜の利用あるいはそれらからの退避を阻害しないこと。
- 6) 景観性・自然性：防潮堤が置かれた場所の景観や生態を阻害しないで、さらに向上し、創出し、自然化が図れること。
- 7) 空間利用性：堤体およびその上空などの空間の多機能化、多目的利用が図れること。
- 8) 経済性：将来的にはメンテナンスフリーといった視点が必要であるが、経年レベルに応じた LCC（ライフサイクルコスト）が考慮されていること。

以上の 8 つの評価項目は定量的な評価が難しいが、評価方法の具体は今後の課題である。

(4) 洗堰から学ぶ

津波の越流は、洪水時の河川堤防の越流に類似しているので、越流を考慮した設計が実施されている河川堤防の洗堰および調整池の越流堤の構造が参考になる。

大垣市内の大谷川下流部の左岸には、右岸堤防の破堤被害の防止を目的とした洗堰が設置されている。写真-6 は 2 度の嵩上げ後の洗堰（延長 110m）であり、一般部の天端高 TP10.88m に対して越流部は TP8.85m である。現在の洗堰の構造は、表法がコンクリート護岸、天端と裏法がコンクリート張である。HWL9.80m に対する越流深は 0.95m であり、裏法先にある幅 3.5m、深さ 1.0m の水叩きによるウォータークッションの落差は 3.95m である。また、天端の両端には写真-6 の排気管および裏法面にゴム弁が付いた排気あるいは排水用の孔がある。さらに、天端には洗堰内の盛土の沈下に伴う空洞充填用の注入孔がある。既に 50 年余が経過し、コンクリート張には補修されたクラックの痕があり、経年劣化を示す。

なお、庄内川・新川の洗堰は平成 23 年 9 月の台風 15 号の洪水による越流（設計上の越流水深 1.85m、越流時間は 7 時間程度）により、裏法下部のコンクリート版が迫り出したが、跳水に伴って発生する堤体内外水位差に



写真-6 洗堰の全景(左)と裏法コンクリート張(右)

起因する揚圧力が原因とされている。

以上のように、三面張り構造では水叩き、排気・排水や空洞の対策、コンクリート部材を含めた経年劣化に対する耐久性および点検性・補修性に留意が必要である。

3. 事例から知る盛土の津波抑制性と耐侵食性

本地震では、津波に対する盛土の“粘り強さ”，言い換えると耐侵食性，補強による侵食抑制性，津波抑制性を示す盛土の事例があり，以下に示す³⁾。

(1) 耐侵食性の事例

仙台市若林区井土浦地先には、貞山堀の山側に隣接する幅約 200m の湿地を囲むように嵩上げされた高さ 3.9m、延長約 1.5km の堤防がある。堤防天端の越流深は 3.95m（推定）である。前述の写真-2 の通り、津波の越流後の表法の侵食は皆無、天端の舗装の剥離も軽微である。また、裏法は写真-7 のように侵食し、法先で落堀が形成されて、一部の裏法が欠落しているものの、天端に至るような致命的な破壊はしていない。この原因は、洪水時の河川堤防と異なり、堤体は地下水位より上部にあり、堤体が不飽和状態にあり、かつ 30 分程度の短時間の越流では堤内への浸透が僅かであったことから、盛土の不安定化には至らなかったと推察される。従って、本例は裏法の表層的な侵食、一部の欠落はあるが、天端は保持され、破堤といった致命的な被害には至っていない盛土であり、津波に対する耐侵食性、難浸透性を示す。

(2) ジオテキスタイルによる侵食抑制性の事例

津波により侵食された盛土では、ジオテキスタイルにより補強されていた事例がある。写真-8 は写真-9 の人工盛土の隣接部であり、津波集中して越流したと思われる低盛土（高さ 1.6m）の状況である。写真から分か



写真-7 堤防の裏法および落堀の侵食状況



写真8 低盛土の覆土流出後のジオテキ補強部



写真9 盛土による津波抑制性：名取市関上

るように、厚さ 0.6m 程度の覆土が流出しているが、ジオテキスタイルで被覆された堤体は残留している。本例は、津波を意識したものではなかったが、ジオテキスタイルによる補強が津波の越流による侵食を抑制、言い換えると侵食を限定化できることを示す。

(3)津波抑制性の事例

名取市の関上漁港では海側に砂浜があるが、津波前から高さ 5.6m、天端幅 24m、表法勾配 1:2.7、延長 150m 程度の盛土が置かれていた。写真9は当該盛土付近の津波の襲来時の様子⁴⁾であるが、上記の盛土により津波の進入が抑制されており、盛土背後の保安林が残留している。この盛土の越流深は僅か(0.5m：推定)であり、表法に顕著な侵食は見られず、裏法の一部に窪みなどの越流痕があるが、盛土全体は軽微な侵食に止まっている。従って、本例は高さがある盛土は、背後地に対する津波の進入の抑制性があることを示す。

4. 盛土の耐越流性の向上の検証実験

被害事例から盛土の耐侵食性および補強による耐侵食性の向上が分かったが、2章の被害レベル A を要求性能とした対策レベルⅢを盛土により実現することを目的として、盛土モデルの越流実験を実施し、耐侵食性および難浸透性の向上策の技術的な可能性を検証した^{5) 6)}。

(1)実験方法

実験水路(延長 55m、幅 1.0m)に盛土モデルを設置し、ピストン造波板による波を盛土モデルに越流させた。盛土モデルの諸元を図-2に示す。耐侵食性の向上法に関する盛土モデルは以下の4ケースである。

- ・基本形 2 割 (Dry)：基本寸法(天端幅 14cm、底面幅

- 46cm、表法・裏法勾配 1:2、高さ 8cm)で Dry の盛土
- ・全面補強 (Wet)：基本形の法と天端の下 1cm に全面にジオテキスタイルを敷設し、覆土した Wet の盛土
- ・部分補強 (Dry)：基本形の天端の下部を包み込むようにジオテキスタイルを敷設した Dry の盛土
- ・天端補強 (Dry)：基本形の天端に不透水のアクリル板を設置した Dry の盛土

盛土材は桐生砂の購入土であるが、モデルの寸法を考慮して、フルイ分けにより 2mm 以下の粒度とした。平均粒径は 0.55mm であり、最適含水比は 11.4%、最大乾燥密度は 1.98g/cm³である。ここで、盛土モデルは Wet あるいは Dry の含水状態で行い、前者は最適含水比付近(12.0～13.0%)で締め固め、後者は最適含水比より低い含水比(4.6～6.7%)で締め固めている。なお、盛土モデルの裏法先地盤の侵食は無い固定床の実験である。

なお、ジオテキスタイルは 30g/m²、透水係数は概ね 4.25×10⁻¹cm/s、引張強力はタテ 54kN/5cm、ヨコ 39kN/5cm である。アクリル板は両法肩から 1cm を覆土部とした幅 120mm で板厚 2mm であるが、表法側の幅 20mm は浸透防止のため板厚 5mm とした。さらに、剥離防止のために 8 本のプラ棒(φ3mm、長さ 40mm)で固定した。

(2)耐侵食性

沖波の波高 6.96～7.16cm、盛土前の水深 11.1～11.6cm である。第1波とその約30後の第2波が盛土を越流したが、盛土の表法肩の水深：第1波 2.0～2.9cm/第2波 1.5～2.2cm、裏法肩同 1.1～1.4cm/同 1.1～1.4cm、越流時間同

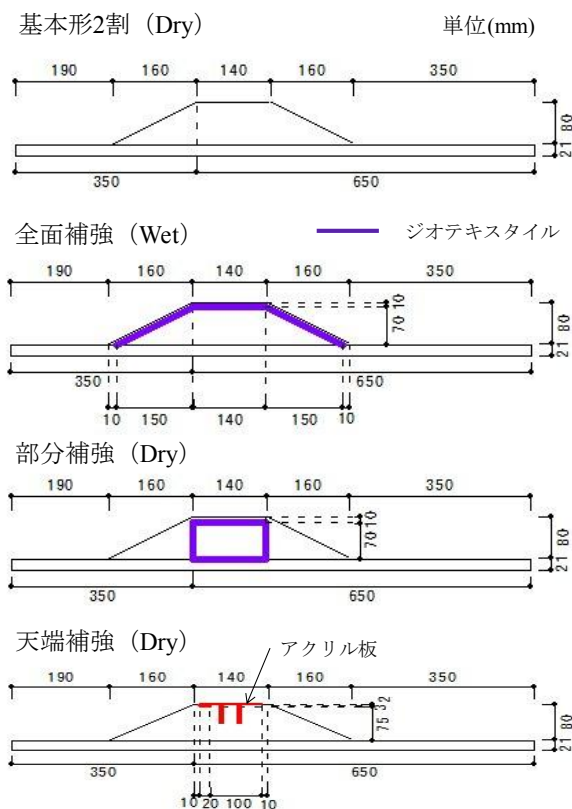


図-2 耐侵食性の向上の検証実験の盛土モデル

12.13～13.00 秒/同 4.60～7.98 秒であり、2 波を合わせた越流時間は 17.20～20.31 秒である。

レーザにより越流の前後の盛土の断面積を計測して、断面積の低減率、つまり侵食率を算出した結果が表-1 である。同表から、いずれの盛土模型でも表法の侵食は僅かであるが、写真-2 の河川堤防でも同様である。よって、侵食は天端あるいは裏法が主たる部位である。また、基本形では天端の侵食が顕著である（写真-10）が、ジオテキスタイルの全面補強、部分補強およびアクリル板の天端補強のいずれも、天端の侵食は限定的であり、侵食率は無補強の基本形 2 割（Dry）の半分強以下である。

まず、ジオテキスタイルを全面設置した場合、ジオテキスタイルから下の盛土体は侵食されていない（写真-11）。そのため、侵食は表層 1cm だけであり、侵食率は無補強の 1/3 程度（12.7%）である。被害レベルは、天端の一部で 1cm の侵食があり、盛土高は 7cm になったが、補強部の盛土高は保持されている。

次に、天端下部をジオテキスタイルで部分補強した場合、ジオテキスタイル内部の盛土体は侵食されていない（写真-12）。そのため、侵食は裏法と天端の覆土の一



写真-10 基本形 2割(Dry)の越流後



写真-11 全面補強(Wet)の越流後



写真-12 部分補強(Dry)の越流後



写真-13 天端補強(Dry)の越流後

部であり、侵食率は無補強の 1/2 強（20.6%）である。ここで、侵食率が全面補強より大きいのは、部分補強では裏法の侵食の進行が許容されるためであるが、補強部の高さは保持されている。

さらに、天端をアクリル板により天端補強した場合、侵食は裏法肩止まり、侵食率は無補強の 1/2 程度（17.5%）に止まり、特に天端の高さは完全に保持されている（写真-13）。ここで、部分補強よりも天端補強の方で侵食率が小さいのは、後者の場合、天端の侵食が裏法の肩部だけに限定され、裏法の侵食が拡大しないためである。

(3) 難浸透性

写真-8 など、堤防における難浸透性が示唆されたが、盛土模型の越流実験においては、盛土内に土壌水分計を設置し、体積含水率の経時変化から浸透状況を把握した。図-3 は部分補強（Dry）について、盛土内の 5 箇所を設置した土壌水分計による体積含水率から算出した飽和度の時刻歴例である。なお、図示のように、いずれのケースも 2 波が越流している。ここで、盛土模型毎の飽和度の経時変化は、以下の通りである。

- ・全面補強（Wet）：ジオテキスタイルの下に設置された土壌水分計は、第 1 波では変化が無く、第 2 波までに天端下上部の 1 箇所だけ上昇を始め、第 2 波で増加しているが、他の 4 箇所は変化せず、浸透していない。
- ・部分補強（Dry）：第 1 波および第 2 波によっても、ジオテキスタイルの内部のいずれの箇所でも変化は無く、浸透はしていない。（図-3 参照）
- ・天端補強（Dry）：第 1 波および第 2 波によっても、いずれの箇所でも変化は無く、浸透はしていない。

以上から、越流時の盛土内部への浸透は、無補強の場合も少ないが、ジオテキスタイルの補強により補強領域内への浸透はさらに抑制され、アクリル板の天端補強では盛土中央部への浸透は全く見られない。

表-1 越流による盛土断面の侵食率

盛土模型	全断面 (cm ²)			侵食率 (%)			
	設計	越流前	越流後	全断面	表法 	天端 	裏法 
基本形2割Dry	240.0	244.2	155.1	36.5	1.7	14.7	20.1
全面補強Wet	240.0	246.7	215.3	12.7	0.9	6.1	5.7
部分補強Dry	240.0	240.8	191.3	20.6	1.2	4.1	15.3
天端補強Dry	240.0	245.2	202.4	17.5	1.4	0.7	15.4

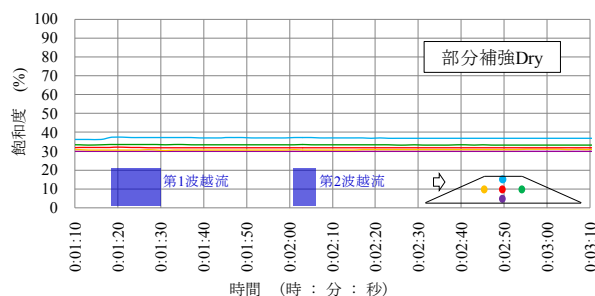


図-3 盛土内の飽和度の経時変化例：部分補強(Dry)

5. 防潮構造としての盛土の活用

実験で想定した盛土の補強構造は、図-1の対策レベルⅢに相当する。その構造的な“粘り強い”に関して、例えば、写真-2の堤防では、津波による越流深は3.95m(推定)であったが、前述の通り、被害は致命的ではなく、越流に対する盛土の耐越流性を示唆する。

ここで、前述の8つの評価項目に関して、盛土の場合、1)排気管・排水孔は必要なく、“粘り強い”構造機能があり、2)コンクリート構造のような劣化の恐れがなく、耐久性があり、3)変状が容易に把握できる点検性および手直しが容易である補修性に優れ、4)水叩きなどにより津波減勢性が可能であり、5)オーバーパスによる横断路の設置の容易性により海陸交流性の障害が少なく、6)設置が可能な緑地帯形成により景観性の向上、防潮性の向上、自然化が図れ、7)緑地・避難地・道路などの併置による空間利用性が多様であり、8)初期投資および維持管理費が少なく経済性に優れている。

さらに、越流実験によれば、“粘り強い”構造としての一層の補強が可能かつ容易であり、その効果が期待できるので、優れた防潮構造と位置付けられる。ここで、防潮堤としての盛土の活用法については、図-4の概念で例示するように、本堤あるいは二線堤が考えられる。

6. まとめ

本研究による知見は以下の通りであるが、津波特性と津波に対する盛土の耐侵食性、難浸透性を考慮することが、合理的、経済的かつ永年に渡る津波対策に繋がる。

- 1) 津波に対する防潮堤などの基本構造は高さであり、“粘り強い”は“壊れにくい”ではなく、高さに影響しない変状・損傷は容認して、所定の高さが安定的に保持されることである。
- 2) 防潮堤などの津波被害は規模の違いを理解することが必要であるが、レベルS、レベルA、レベルB、レベルCおよびレベルDの5つに区分できる。
- 3) “粘り強い”を具現する構造機能は、構造機能許容限界以下の変状・損傷レベルにあるレベルAからレベルDの許容領域にあればよく、“粘り強い”構造には取り扱いの幅があることの理解が必要かつ有効である。
- 4) 防潮堤などの評価は、構造機能に加えて、耐久性、点検性・補修性、津波減勢性、海陸交流性、景観性、空間利用性および経済性の8つの視点が必要である。なお、盛土はこれらの8つの視点で優れている。
- 5) 河川堤防の洗堰、越流堤は、津波の越流に対するコンクリート防潮構造の設計の参考にするのがよい。
- 6) 盛土は被害レベルAの“粘り強い”が発揮できる防潮構造として有用性が高く、ジオテキスタイルおよび天端

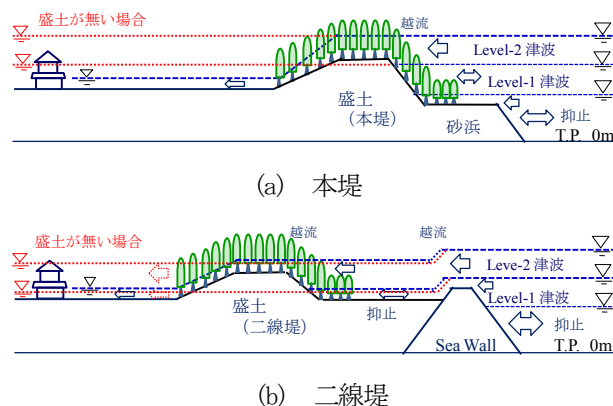


図-4 防潮構造としての盛土の活用法

の補強により耐越流性、難浸透性の向上が可能である。7) 津波の越流事例および水路越流実験によれば、洪水時の河川堤防とは異なり、締め固め管理された盛土は難浸透性があるため、津波とは要求機能が異なるフィルダムのコアのような遮水構造は不要であるとともに、被害レベルSに至る安定性の喪失の恐れは小さい。

謝辞：本研究の実施において、盛土模型の水路越流実験では東洋建設(株)鳴尾研究所の藤原隆一氏、小竹康夫氏および前田工織(株)、(社)近畿建設協会、洗堰の現地調査では国土交通省中部地方整備局庄内川河川事務所、岐阜県河川課・大垣土木事務所、(社)先端建設技術研究センターの木全俊雄氏の御協力、御支援を頂いており、ここに、関係各位に深く感謝を申し上げます。

参考文献

- 1) 中央防災会議：東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会報告，2012。
- 2) 常田賢一：津波における”粘り強い”に関する考察，第48回地盤工学研究発表会，No.184，2013。
- 3) 常田賢一・谷本隆介：津波に対する土盛構造の抑制効果と耐侵食性の事例，第47回地盤工学研究発表会，No.931，2012。
- 4) 海上保安庁：第二管区海上保安本部仙台航空基地の提供(MH906撮影)，2011。
- 5) 竜田尚希・常田賢一・鈴木啓祐・谷本隆介：津波に対する盛土の耐越流性の向上に関する実験，第48回地盤工学研究発表会，No.212，2013。
- 6) 常田賢一・谷本隆介：2011年東北地方太平洋沖地震の現地調査による防潮堤などの津波被害特性，土木学会論文集B2(海岸工学)，Vol.68，No.2，P0014，2013。

南海トラフ巨大地震に備えた津波危機管理対応について

神田 正剛¹

近畿地方整備局 和歌山河川国道事務所 計画課 (〒640-8227 和歌山県和歌山市西汀丁 16 番)

本論文の内容は、近年高い確率でおこると予想されている「南海トラフ巨大地震」に対して、津波シミュレーションを実施し、紀の川周辺域や、紀北～紀中の沿岸部への津波浸水の影響を把握し、今後の危機管理計画に反映するための基礎資料とした。

キーワード：津波、浸水、危機管理

第1章 はじめに

平成 23 年 3 月 11 日に起こった東日本大震災では、観測史上最大の巨大地震・津波 (M9) により、未曾有の災害となり、人命を守ることが最重要であるにもかかわらず、それが容易ではなかった。

また、東海・東南海・南海地震は、歴史的にみて 100～150 年の間隔で繰り返し発生している。直近では、1944 年 (東南海地震)、1946 年 (南海地震) に発生しており、今後 30 年以内に南海地震については

60%、東南海地震については 70～80%、東海地震については 88% の確率で発生すると予測されている。

(平成 25 年 1 月 11 日 地震調査研究推進本部 地震調査委員会公表)¹⁾

和歌山県において、北の和歌山市加太から南の新宮市熊野川河口付近まで海岸線が総延長 648km に及んでおり、沿岸部に市街地が存在しているため、「南海トラフ巨大地震」による津波の影響が懸念されている。

このようなことから、内閣府の中央防災会議における「南海トラフ地震の巨大地震モデル検討会」²⁾ の中間とりまとめを踏まえ、紀の川周辺及び紀北～紀中沿岸部 (和歌山河川国道事務所管内) の詳細な津波シミュレーションを和歌山県と連携しつつ実施し、今後和歌山河川国道事務所が実施すべき河川・道路における防災対策、津波対策などの危機管理計画に反映するための基礎資料として、津波浸水範囲など津波による被害を把握することとした。

第2章 津波シミュレーション

2-1. 目的

2-1-1. 紀の川周辺地域への津波影響検討

紀の川周辺地域への津波遡上の状況をふまえ、周

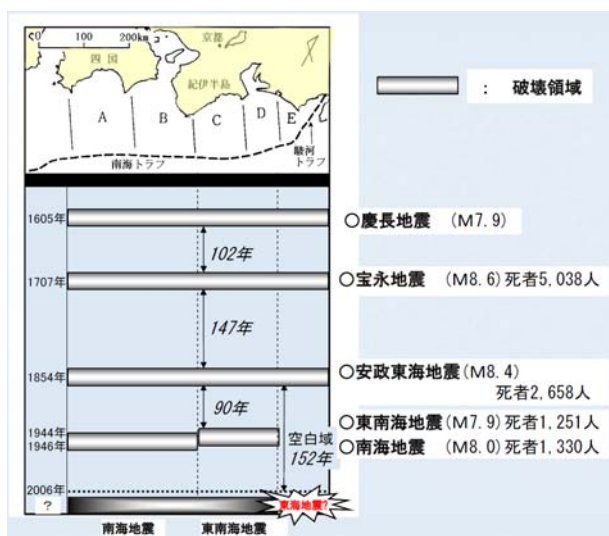


図-1 東海地震、東南海、南海地震の発生

辺地域の浸水範囲、津波到達時間、冠水時間等の津波の影響を把握し、堤防の嵩上げや防護施設等の設置の対策効果の検討を行った。

2-1-2. 沿岸部の道路への津波影響検討

紀の川周辺及び紀北～紀中地域周辺への津波遡上の状況をふまえ、周辺地域の浸水範囲、津波到達時間、冠水時間等の津波の影響を把握し、国道24号、26号、42号また阪和自動車道、湯浅御坊道路において津波による通行障害を分析した。

2-1-3.沿岸部の道路の運用検討

阪和自動車道、湯浅御坊道路、国道24号、26号、42号等の主要な幹線ルートの構造特性を整理し、2-1-2で把握した津波による通行障害を基に、避難経路や復旧・復興における緊急ルートについて検討を行った。



図-2 津波解析範囲

2-2. 解析モデル

2-2-1. 津波断層モデル

津波断層モデルは、内閣府の中央防災会議における「南海トラフの巨大地震モデル検討会」で公表された11ケースの中で和歌山市及び紀北～紀中沿岸部における津波高が最も高く（表-1）、また当該地域への浸水深や浸水範囲が大きくなるケース③を採用した。

表-1.最大津波高の比較

[illegible]

2-2-2. 地形モデル

地形モデル（水深、標高データ、構造物データ）は、平成24年8月に内閣府より公表されたデータ（格子間隔：2、430m～10m）を基に和歌山県が和歌山県域について独自に修正を加えたデータを基本とした。なお、紀の川の河床形状や堤防高のデータについては、縦横断測量結果を基に5m格子としている。

和歌山県が独自に修正したデータは、主に 10m 格子を対象に、国土地理院 基盤地図情報 5m メッシュや 10m メッシュ等の資料から最新の地盤高情報を反映している。

2-2-3.諸条件

潮位については、和歌山県内の気象庁潮位観測所 5箇所（和歌山、御坊、白浜、串本、浦神）の潮位観測結果を見ると、1995 年～2010 年の平均潮位及び朔望平均満潮位が上昇傾向であるため、各観測所の朔望平均満潮位の平均値（T.P+94cm）を 10cm 単位の切り上げ幅で評価して T.P+100cm を採用することとした。

紀の川、有田川、日高川の平均流量は近年5年間の間の最大値を採用した。設定値は、紀の川：40.02

(m^3/sec)、有田川：9.40 (m^3/sec)、日高川：23.84 (m^3/sec) とした。

海岸堤防と河川堤防の設定について、いずれも耐震検討を行っていないものとし、「津波浸水想定の設定の手引き」³⁾に基づき以下のとおりとした。

- ・コンクリート構造物（線的構造物）は、地震発生とともに高さ0まで沈下するものとした。
- ・河川堤防は、津波高が堤内地盤高よりも高くなる範囲において75%沈下することを基本とした。

第3章. 津波シミュレーションの解析結果

3-1. 紀の川周辺地域の津波被害想定

紀の川周辺地域の津波浸水域を、図-3 に示す。



図-3. 紀の川周辺地域浸水図

当該地域の津波浸水域は、紀の川右岸側は5k付近まで浸水している。左岸側に関しては、標高の高い中心部は浸水していないが、紀の川左岸2kより下流側、和歌川沿いや和歌浦周辺が広範囲に浸水している。津波の到達時間は、概ね40～50分程度である。

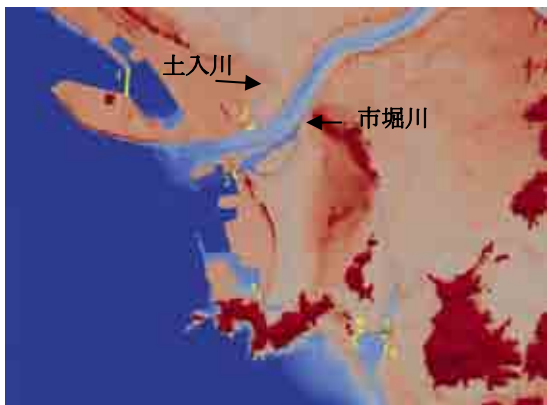


図-4. 水門の設置位置

到達後約10分で第1波の最高水位に達する。

また、右岸側は下流から2.6k付近と3.7k～4.4k付近において越流が見られ、左岸側では下流から3k付近まで越流が見られる

上記結果を踏まえ、対策として水門による防護施設の設置や堤防の嵩上げの検討を行った。水門高さについては、津波高さ以上の設定とした。

水門は、図-4に示すように和歌山市から海南市の河川や港湾の河口部に設けた場合の解析を行った。検討結果を図-5に示す。



図-5. 対策案（水門あり）の解析結果浸水図

図-3と図-5で対策の有無について比較すると、浸水深を抑制する効果と、右岸側の堤内地の浸水範囲を抑制する効果が見られる。この効果としては、和歌山北港からの津波遡上を抑制する水門（図-4.中、1の水門）の効果が大きいものと考えられる。

次に、堤防の嵩上げ対策についてであるが、紀の

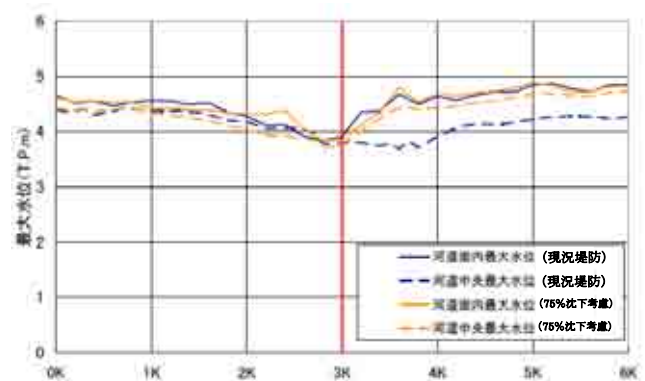


図-6. 紀の川最大水位図

川左岸については、図-6の紀の川最大水位図に示すように堤防が75%沈下した場合、堤防が沈下したため3.0kより下流で紀の川から堤内地へ越水している。しかし、3.0k付近より上流側で水位が高くなっており、堤内地からの紀の川へ越水していることが原因と考えられる。その水位は、紀の川からの越水より多くなっている。そのため、堤防を嵩上げすると、堤内地から紀の川へ越水が無くなり、堤内地への影響があると考えられる。今回、堤防の嵩上げ対策については紀の川右岸を対象とし、津波高以上の設定とした。解析結果を図-7に示す。

対策の有無について図-3.浸水図と図-7.浸水図を比較すると、紀の川の2k～4k付近の右岸側の堤内地への浸水が抑制されていることがわかる。



図-7.対策案（堤防嵩上げ）の解析結果浸水図

次に、直轄管理である水門（対策案）の土入川と堤防の嵩上げの検討結果を図-8に示す。



図-8.土入川水門（対策案）と堤防嵩上げ浸水図

図-3と図-8を比較すると、水門と堤防の嵩上げにより堤内地から紀の川に流れなくなったため、土入川の上流で浸水範囲が広がっている。

以上の対策の結果を、以下にまとめる。

- ・紀の川の左岸側の浸水範囲は、海岸から直接流入することによる影響が大きく、河川の河口部に水門を設けても、殆ど効果が期待できない。

- ・紀の川河口部の左岸側を嵩上げすると、市堀川からの堤内地への津波の遡上を助長してしまう恐れがある。

- ・紀の川の河口部の右岸側の堤内地への浸水は、和歌山北港からの流入の影響が大きい。この海岸部からの流入を抑制することができれば、浸水域を狭められることが期待できる。

- ・紀の川河口部の右岸側の堤防の嵩上げは、2kより上流側では、右岸側の堤内地の浸水域を抑制する効果が認められる。2kより下流側は海岸からの浸水の影響が大きいいため、堤防高を嵩上げしても大きな効果がない。

- ・堤防の嵩上げと土入川に水門を設置した場合、土入川上流で浸水範囲が広がる結果となった。

3-2.沿岸部の道路の津波被害想定

和歌山市から海南市までは前節の津波浸水想定で示したとおりであるが、海南市から御坊市までの結果については図-9に示す。

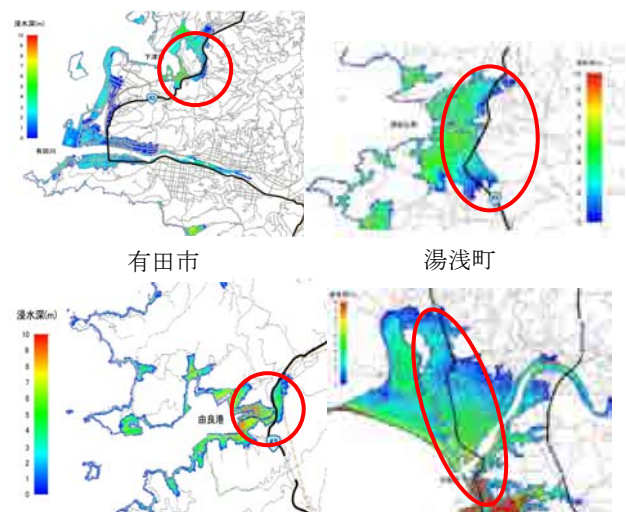


図-9.沿岸部浸水図（紀北～紀中）

有田市は地震発生後、第1波が約34分で到達し、有田川河口付近は、TP+4m～4.5m 付近の津波高となる。湯浅町は第1波が約34分で到達し、湯浅広港付近は、TP+7m～8m 付近の津波高となる。由良町では、第1波が約26分で到達し、由良港付近は、TP+8m を超える大きな津波高となる。御坊市では、第1波が約18分で到達し、日高港付近は、TP+10m（最大 TP+12.5m）を超える大きな津波高となる。各市街地付近の国道42号において（図-9 朱丸）浸水する箇所があり、津波の影響は10時間程度に及ぶ。

また、紀の川では、河口から大堰の間に1tクラス以下の漁船やプレジャーボートが存置されている。津波遡上時に、これらの船舶が漂流物となって、被害をもたらす可能性がある。橋梁桁下と津波水位の離隔が2m程度以下になる場合は、漂流船舶等の衝突の可能性がある、通行出来なくなる可能性がある。

紀の川3.0km付近より下流側を横断する橋梁に関して2mの離隔を確保できない施設が見られる。特に緊急輸送道路に指定されている紀の川大橋（国道26号）は、離隔1.73mとなり離隔がとれない。

第4章.和歌山河川国道事務所における今後の危機管理対応について

地震が発生した場合に、津波の到達時間や浸水範囲を把握し、通行車両等が津波による被害を受けないように、事前の通行止めや緊急輸送道路の確保などが必要となる。和歌山市から御坊市の和歌山河川国道事務所管内における沿岸部周辺において今後の危機管理計画を検討していく資料として、最大浸水深と津波到達時間や防災拠点、避難施設、備蓄基地等の位置、また橋梁箇所、緊急輸送道路、情報通信施設などの情報を載せたハザードマップを作成した。和歌山市から有田市周辺のハザードマップを図-10に示す。

地震が起こった場合に、最初に必要となるのが通行止めの対応である。津波の浸水想定範囲を基に、迅速に対応できる体制が必要である。

次に、地震及び津波による被災が発生した場合に早急に被災者の救助や災害の沈静化、物資の輸送等が必要となるため、緊急的な輸送道路の確保が必要不可欠である。和歌山県等が策定している緊急輸送

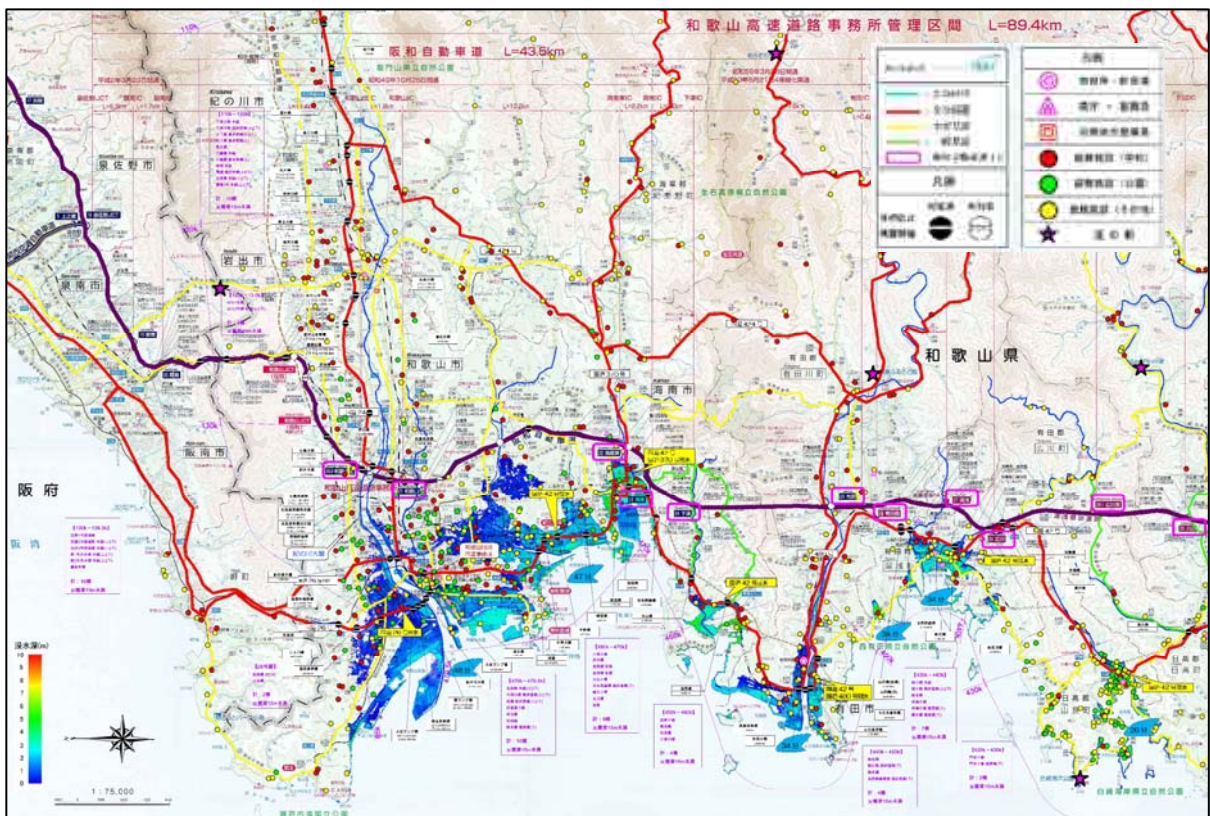


図-10.ハザードマップ（和歌山市から有田市周辺）



図-11.緊急輸送ルート（案）

道路のネットワークを中心に緊急輸送道路を確保する必要がある。阪和自動車道を軸として、次に和歌山市から御坊市までの沿岸部周辺の軸となっている国道の通行確保が必要である。今回の津波解析で判明した浸水範囲と照らし合わせた場合、耐震性や津波浸水に伴う損傷や、漂流物等の様々な要素で輸送路の遮断が考えられる。東日本大震災では津波で橋梁が流された事例もあった。図-11の赤丸範囲では国道42号が浸水しており、橋梁が流される可能性もある中で、被災箇所への復旧へのルート（案）として図-11のようなルート（案）が考えられる。

また、そのような場合に早急に応急復旧を行うために、資材が必要であり、それらを保管する備蓄倉庫等が必要である。これらの施設は被災を生じない場所を設定する他敷地が広く緊急道路と被災箇所の間に位置することが有効である。そのような可能性のある場所の情報として、現時点においては、道の駅や公園等の情報を記載した。

第5章.今後の課題

紀の川周辺の津波の影響に対して、堤防や水門設置の整備について先述で効果を把握したが、堤防の嵩上げや、水門を設置することで、被害が軽減される箇所があれば、逆に被害が拡大する箇所もあるため、対策を立てるにあたり十分に検討する必要がある。

る。また、直轄施設以外で効果の大きかった水門について、他機関（港湾など）と調整が必要となる。

次に、先述で津波により沿岸部の国道の浸水する区間が把握できた。地震が発生した際に通行車両等への津波の被害を軽減するために、通行止めの対応を検討しているが、道路の通行止めに関して東日本大震災の時に、過去に和歌山県で公表されていた津波浸水想定を基に国道を通行止めにしたが、通行車両の理解が得られず、出来なかった。そのようなことから、県民の防災意識が重要であると考えられる。H24年度末に和歌山県が津波浸水想定を公表したものに基つき、各市町村が津波防災地域づくりの計画を策定されるが、津波対策の実施に際しては、県民全体が被災状況の認識を共有するとともに、各関係機関と円滑な連携を図り対策の検討を行う必要がある。

なお、今回の検討結果で紀の川大橋など橋梁桁下と津波高の離隔が不足している箇所が判明したが、対策が困難である。そのような箇所に対してどのような対応がとれるか今後検討していく。また、被災箇所が発生した場合に、復旧をどのように行っていくか検討していく。

引用文献

- 1) 地震調査研究推進本部 地震調査委員会公表
(<http://www.jishin.go.jp/main/index.html>)
- 2) 内閣府中央防災会議：南海トラフの巨大地震モデル検討会
(<http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/model/>)
- 3) 国土交通省水管理・国土保全局海岸室、国土交通省国土技術政策総合研究所河川研究部海岸研究室：津波浸水想定の設定の手引き（Ver.2.00）、平成24年4月

～フル発電でクリーンエネルギーを還元～ 真名川ダム管理用小水力発電設備の運用改善 について

九頭竜川ダム統合管理事務所¹ 防災情報課 中矢 剛

¹ (〒912-0021 福井県大野市中野29-28)

真名川ダムの水環境改善事業の一環として、整備された小水力発電設備ですが、全国の小水力発電の共通の悩みである「流木・ゴミとの闘い」などの課題があり、これまでダムの落差を最大限活用した「フル発電」を維持することができない状況でした。

その主たる原因である維持費と発電量とのバランスを分析し、とるべき対策を検討・実施しました。結果、約1.7倍程度の増電が可能となり、河川維持流量をすべてクリーンエネルギーとして還元することができました。売電単価の見直しの影響もあり、年間の売電収益も約6倍となります。設計当初想定できなかった現場条件やそれに対する対応を現段階でまとめることで、今後の運用や更新時の参考となること、また、他のサイトでの導入時検討の参考となることを願うものです。

キーワード 小水力発電，クリーンエネルギー，運用による売電収益アップ

1. 真名川ダム管理用小水力発電設備の概要

真名川ダムは、昭和40年9月の奥越豪雨と台風24号による大洪水を契機に再検討された九頭竜川治水計画を受けて、福井県大野市下若生子に洪水調節と不特定灌漑及び発電の機能をもったダムとして建設され、昭和54年に完成しました。

ダムのすぐ下流約3kmは、川にほとんど水が流れていない区間があり、清流の回復が望まれていました。これを解消すべく水環境改善事業に取り組み、0.67m³/sを河川維持用水として日常的に放流できるよう、必要な放流施設の整備をおこないました。



この河川維持用水を無駄なく有効に利用するため、「ダム管理用小水力発電設備」を整備しました。



河川維持用水
(0.67m³/s)

真名川ダム管理用
小水力発電所



表1：発電所の諸元

	発電所諸元
運転開始年月	平成15年11月
水車形式	横軸単輪単流渦巻 フランス水車
発電機形式	横軸三相交流同期発電機
主機台数	1台
発電所出力	490KW

2. 運用開始時からの課題「フル発電の継続困難」

管理用水力発電の出力は、図-1のグラフのような特性です。使用流量により出力が変動し、使用流量が同じであれば、ダムの水位の化（落差）によります。

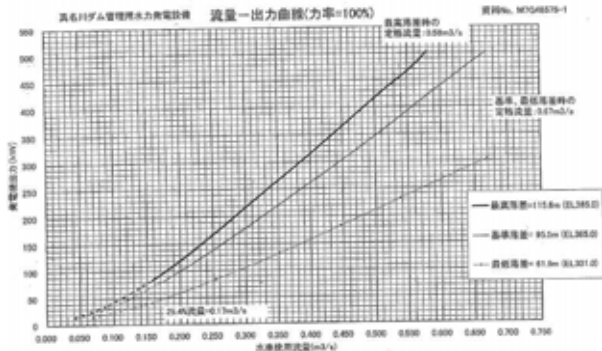


図-1：落差ごとの流量－出力曲線

おおむね図-2のように、最大限発電（青ライン）することができれば、年間2,650,000kWh発電することが可能です。

しかし実際の運転（桃ライン）では、フル発電することができない時期があります。主な理由は、以下の2点です。

- (1) 流木等で水車の出力が低下したままの運転を余儀なくされた場合
- (2) 転送遮断信号による緊急停止時に水力発電設備の故障回避するための抑制運転をおこなう場合（詳細は後述）

上記の結果、年間を通して累計した場合、フル発電の7割に満たない発電量となっていました。

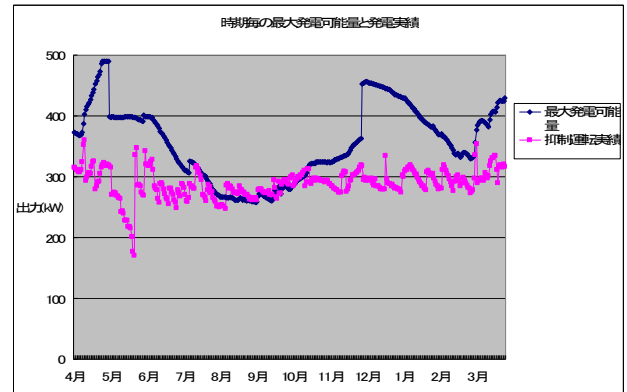
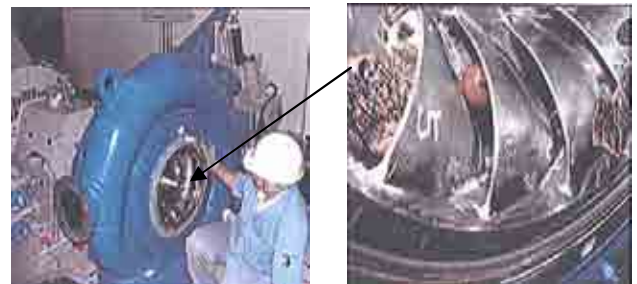


図-2：年間の最大発電可能量と抑制運転実績

3. フル発電に近づけるためにとってきた対策

少しでもフル発電に近づけるために、上記2課題に対する対策を検討し、実施しました。

(1) ランナーへのゴミ詰まり対策



ランナー清掃状況

ランナーに詰まったゴミ

①発電効率の常時監視機能追加

水車のランナーに詰まる流木やクルミは、発電機の出力を低下させる大きな要素です。全国の小水力発電設備で、その対策にあたまを悩ませているようです。

大規模な発電ではあまり問題視されていませんが、真名川ダムの水車のランナーは、隙間が約20mm～30mmでクルミなどがすり抜けるかどうかといった大きさです。

まず、詰まっているかどうかを把握することが第1ですが、目視で確認しようとしても見えないため、水力発電設備を停止させ、分解する必要があります。カバーを外す作業（写真「ランナー清掃状況」のような状態）をおこなうには5人掛かりで約1日の作業です。よって、毎回カバーを開けて目視で目詰まり点検することは断念せざるを得ず、発電出力から詰まり具合を想定することになりました。

流量とダム水位から理想的な発電出力を算出することは可能ですが、図-3のような構成であり、流量が「噴水と水力発電と維持用水ゲートの合計値」でしか把握できず、なおかつ維持用水ゲートの水位・開度・流量は手計算でしていたため、常に発電効率を把握することは困

難な状況でした。

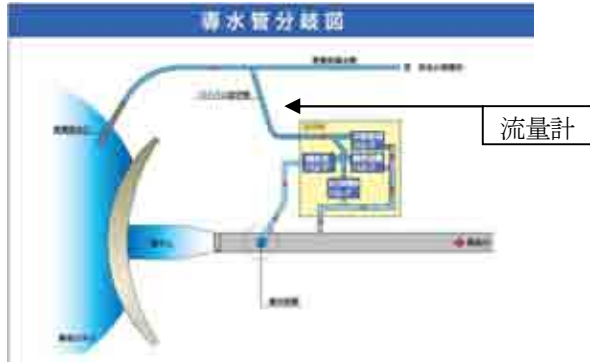


図-3：導水管分岐図

よって、監視装置に演算式を組み込み、常に発電効率を計算できるように、また効率が低下した場合には、アラームを出すように改造しました。

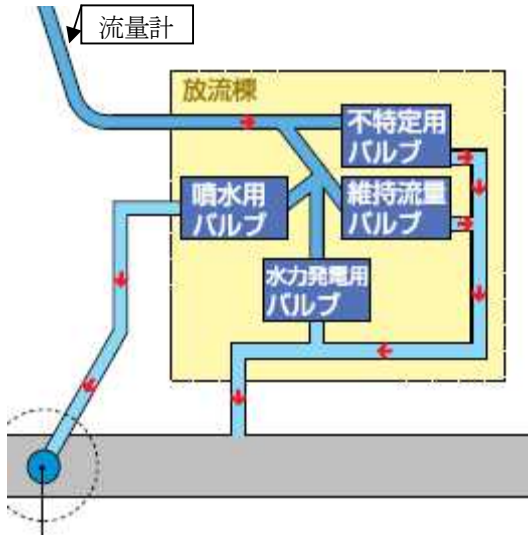


図-4：導水管分岐図のアップ

水力発電効率＝現在の発電出力／理想発電出力
 理想発電出力＝現在水位・流量から求められる出力
 水車流量＝維持流量流量計の読み
 －噴水流量（H-A-Q※）
 －維持ゲート流量（H-A-Q）
 （※ダム水位とゲート等の開度で流量がわかるもの）

また、噴水もゴミ詰まりをおこすため、効率監視を正確する場合は、一度噴水を停止して、噴水のゴミ詰まり要素を計算から排除し、シンプルにするなどの工夫もしました。

結果、カバーを分解することなく、常に水力発電の効率をチェックすることができるようになり、ランナーへのゴミ詰まりを想像できるようになりました。

効率が常時監視できるようにはなりましたが、今度は、どれくらい効率落ちれば清掃を実施するかという問題があります。1回の清掃には再組み立てを要し、

工場からの技術者派遣も必要であるため、相当な費用がかかっていました。よって、少し効率が落ちたからと言って、発電停止し清掃を実施することはできません。逆に詰まりを放置すると、振動が増え発電機などに悪影響を及ぼすことも予想され、また売電量もへるため、どこまで効率が落ちれば、回復のための清掃や点検を実施すればよいかという部分でも試行錯誤している状態でした。

②取水口網場のスクリーン改造

そもそのクルミや流木の詰まりを減少させるため、発電取水口網場のスクリーンの目を細くし（22mm→16mm）、かつ、高さを増やす（1.5m→2.0m）ことも実施しました。流木を減少させるとともに、仮に流入しても水車ランナーの隙間を通り抜けることを期待したものです。

結果、目詰まりによる出力低下は格段に減少しましたが、やはり、表層取水せざるを得ない時期や大雨でダムへの流入量が多いときには、流木が多くなり、目詰まりとなることが多くなる傾向が現れます。網場の下を通り抜けていることも想像できますが、これ以上のスクリーンの目の縮小は、同じ取水口から約14m³/s取水している発電事業者にとっては、取水口の管理面でマイナス要素が増えるため、理解を得ることが困難な状況です。

(2) ガイドベーンのゴミ詰まりによる発電機故障を避けるための抑制運転

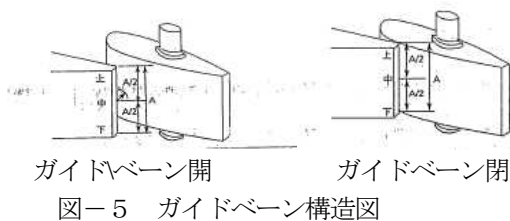
ガイドベーンは、水車に使用する水量を調整するためのものです。



「ガイドベーン」の点検のためカバーを外したもの

水車の出力調整をするためガイドベーンを開閉したり、水力発電設備を停止したりする際に、流木が噛み込んだ状態であり、必要以上にガイドベーンに力が加わると、弱点ピンが折れガイドベーンを保護するようになっていきます。その場合、ガイドベーンは閉じず、入り口弁が全閉になります。水車本体が深刻な被害を受けることを防

止する機構です。



しかし、折れた弱点ピンの交換や流木の排除には、場所によっては熟練した技術者3人掛かりでも1日は水力発電を停止しなければなりません。弱点ピンは1個20万円と高価なもののので、極力、弱点ピンを折らない運用が不可欠です。

水力発電の点検時や電力会社の配電線の工事などで停止の要請があった場合など、計画的に水力発電を停止する際は、必ずフラッシング操作（開度を一時的に大きく開くなど）を実施して、ガイドベーンの間隙に流木がつかまらないよう（弱点ピンが折れないよう）に運用していますが、停電や転送遮断（後述）、故障による緊急停止時には、フラッシングする余裕がないため、ほとんどの場合、弱点ピンが折れ、復旧の経費がかさむと共に発電停止時の売電量が低下することになります。

瞬時停電は、避けられませんが、転送遮断の回数を減らすことは可能ですので、転送遮断の回数を減らすためにとる行動は、重要なものでした。

ここで、「転送遮断」の解説です。電気の受け入れ先である北陸電力の設備の技術的制約により、受け入れ先トランス配下の工場や民家の電力需要量を上回って真名川ダムで水力発電した電力を売電する＝逆潮流が発生することが禁止されています。逆潮流がおこると、転送遮断信号が受け入れ先の設備から送信され、管理用水力発電が緊急停止します。

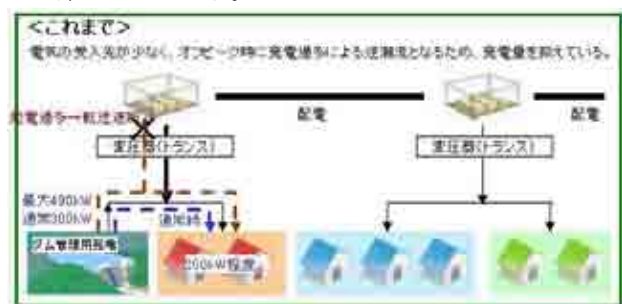


図-6 逆潮流の発生イメージ

転送遮断は、450KW送電していても、平日の日中などは、起こりませんが、季節が良い日の深夜に電力需要がオフピーク（最小値）になったときにしばしば起こります。

季節毎、時間帯毎に北陸電力からオフピークのデータを手入れし、ある程度の予測の元、逆潮流が起こらない最大の発電をおこなっていましたが、あくまでも予想であ

るため、外れた場合のリスクもあるため、どうしても過大抑制気味の運転にならざるを得ませんでした。

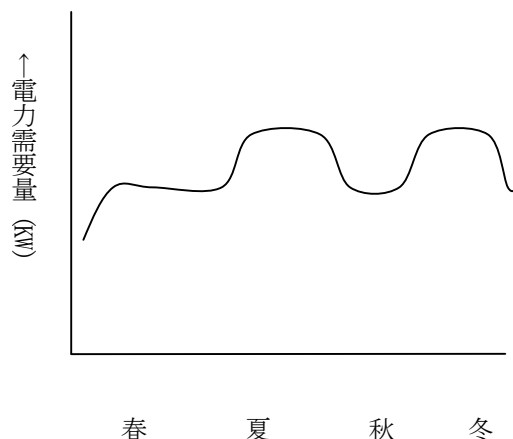


図-7 季節毎の需要電力変化のイメージ

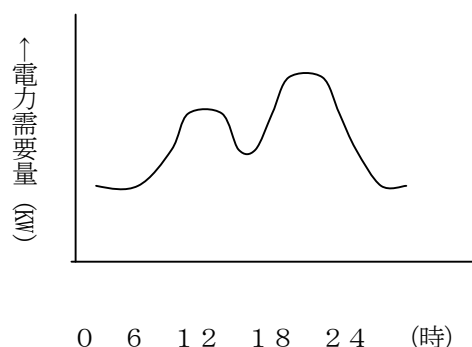


図-8 一日の電力需要量の変化イメージ

休日夜間は特に職員が常駐することが現実的に難しいので、さらに抑制運転をおこないました。平均で概ね490Kwの能力に対し、300kWの発電をおこなうのがやっとでした。

これまでの運用は、一言で言えば「故障時の対応や清掃・点検費用がかさむため、落差がある時期でも能力どおりに出力を上げられない。」というものでした。

4. 売電単価などの見直し

(1) 再生可能エネルギー認定

平成24年度に「再生可能エネルギーの固定価格買い取り制度」が始まりました。真名川ダムの管理用小水力発電設備でも、適用が可能なかを検討しました。

これまでのRPS法（新エネルギー法）に基づく買い取り単価が約4倍になるため、非常に魅力的でした。発電開始から20年間は、29円での買い取りを義務づけるものですが、20年経過後は、電気事業はとの交渉による自由契約で4円程度の単価になる可能性もありました。発電開始から10年経過していた真名川ダム小水力発電では、今後10年間しか恩恵を受けることができま

せんが、設備更新しない条件で、今後40年間の試算をおこないました。その結果、「再生可能エネルギー法」を適用したほうが約3億円有利となるため、再生可能エネルギー認定への移行を判断し、実施しました。

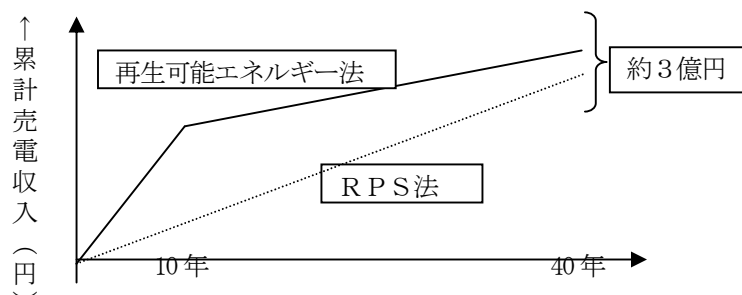


図-9 再生可能エネルギー法の優位性

(2) 売電量の見直し(受入容量アップ)

前述の逆流発生時の転送遮断信号は、平成24年12月頃よりほとんど発生しなくなりました。電力需要の変化や受け入れ先の設備の修繕工事などがあったことにより、どんなに需要が少ない時間帯でも、小水力発電の能力の最大値まで売電できるようになったということです。

これにより、年間を通じて抑制運転をする必要がなくなり、ゴミ詰まりによる出力低下や故障による停止さなければ、ダム水位を最大限利用したフル発電ができる条件が整いました。

5. 単価アップ、フル発電で変わった運用ルール

単価が約4倍、発電量が約1.7倍にあがり、真名川ダムの管理用水力発電設備の運用は大きく変わることになりました。

(1) 点検頻度を上げて、高効率を維持

売電による収入は、維持費として還元されること無く国庫に入りますが、正確では無いですが、大きく言えば、維持費に還元されるという見方もできます。

よって、点検にかかる費用に臆すること無く点検ができるようになりました。出力低下を検知すれば、計画的に水力発電を停止し、ゴミ清掃とともに、他の点検をおこなう。(ゴミ詰まりで出力低下しないうちは、定期点検も先送りにする。)という運用が可能となりました。

結果、高効率状態を維持できる時間が増え、ますます売電収入が増えることとなります。

ただし、効率低下の割合と点検清掃のタイミングについては、今後もデータを蓄積して、最良の運用を見出す必要があります。ゴミ詰まりを避けるためには、出水時は思い切って水力発電を停止するなど検討しているところです。

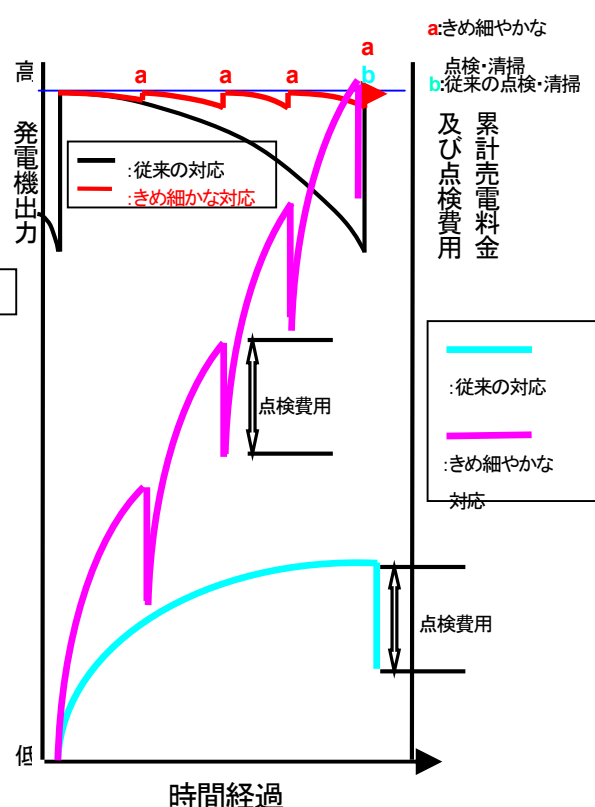


図-10 点検頻度と発電出力・売電収益

(2) 点検停止期間を極力短くし、連続フル運転を維持

点検でやむなく停止する際も、利水者と調整し、極力短時間かつやむを得ない時間帯に停止するような調整を実施しています。

「止まらない運用」を意識し、フラッシング操作など重要な運用方法はマニュアル化し徹底しています。

(3) 計画的な維持管理で故障停止期間を短縮

計画的かつ集中的に点検し、突発的な故障が発生しないようにメンテナンスをしています。また、故障時に備え、交換可能な予備品を事前に確保することで、停止時間を短縮することが可能となりました。休日夜間に故障した場合もできるだけはやく復旧することが不可欠となるため、管理体制を強化し、管理担当職員のみならず点検受注業者にも最低限の故障対応作業が可能となるよう講習会を実施しました。

(4) 噴水などの運用変更

観光目的とはいえ、噴水も維持流量を使用しています。これまで、冬期は噴水を停止し、水力発電に回していました。夜間のダム・噴水のライトアップなどもダムに親しんで頂くには非常に効果的でしたが、今後は期間を最小限に限定するなどし、夜間は原則噴水を停止するなどの運用変更を検討しています。

(5) 「一日の停止減益」という意識改革とマニュアル化

水力発電を運用管理している部署の意識にも変化が現れました。これまでは「一日動かして、約3万円の収入」という考え方でしたが、現在は、「一日停止すれば約20万円の減収」という意識が運用管理する部署に根付き始めました。これにより、今後もいろいろな工夫や知見を蓄積可能となります。例えば水力発電停止時の買電契約の基本料金は、30分間の最大使用電力（デマンド）で決定されますが、如何に水力発電停止中の最大使用電力を抑えるかなどの検討・試行も運用管理部門から始めています。これからどんどん良い改善提案が期待できそうです。

また、これまでの運用のルール元になる事象を確認する会議を実施したり、運用ルールを変更したことをマニュアルに入れるなどして徹底ができるようにしています。

6. 今後の課題

(1) 更新時の基本条件整理

「再生可能エネルギー法」では、設置後20年間のみ固定単価（高単価）での買い取りが認められます。平成35年には買い取り単価が大幅に低下する見込みです。その時点で発電機や水車はオーバーホールすれば継続使用できると想定できますが、売電単価のことも考えれば水車発電機を全面更新した場合の方が、再度「再生可能エネルギー法」の29年/kwhが適用となるため、断然有利です。

オーバーホールするのか更新するのか、ライフサイクルコスト、環境面、その他いろいろな角度から検討をおこない、更新時の考え方の整理が必要となります。

(2) 更新時の検討事項

管理用水力発電を設置する際はやはり既設取水口の能力性能を踏まえ、ゴミ（流木）などの大きさがある程度

想定しなければなりません。水力発電設備は、落差や流量、耐圧力、回転数などの諸元を示し発注するため、性能さえ満たせばランナーやガイドベーンの大きさなどは、メーカー仕様に左右されていました。今後は、ランナーの隙間などは最低となる大きさも発注者が示し、メーカーはそれ以上の大きさのものを納めるという発注方法に変更しなくてはなりません。

そのためには、流木の大きさを調査・分析することも必要です。詰まったものは全部計測し記録するなどの実際はおこなっていますが、マニュアルに明記することも必要です。

また、ゴミ詰まりを取り除くための清掃にかかる時間を短くできる構造のものであれば、水力発電設備全体の価格が高くて納入するだとか、弱点ピンを取り替える費用が抑えられるような水力発電機を納入できるような仕組み（発注仕様書等への記載など）も検討する余地があると考えます。

(3) 他のダムでの事例収集の定例化

他のダムでの管理用水力発電所の構造や運用ルール、悩みなどの最新情報を常に共有できるような仕組みがあれば、いろいろな悩みの解決に役立つことは間違いありません。真名川ダムでもこれまで、苦労している点を他のダムに問い合わせたりしていましたが、構造や運用ルールまでは収集できていません。他のダムの運用ルールや改善点などを見ることでこれまで当たり前と思っていたことやあきらめていたことも改善できる可能性があるため、引き続き情報収集が不可欠です。

7. まとめ

今回整理したこと、これまでの管理支所職員が苦労してきたことが、今後の運用に活用されるためには、運用マニュアルにきっちり記載しなければなりません。本論文と運用マニュアルが管理用小水力発電設備を新設する他のダムなどに参考となれば幸いです。

海震と証言による 橋脚の地震時破壊原因の見直し

前原 博¹・櫻井 春輔²

¹地球システム総合研究所 上席研究員 (〒604-8106 京都市中京区御池通堺町南角エクレヌ御池707号,分室)

²神戸大学名誉教授 広島工業大学名誉教授 (〒651-1333 神戸市北区東大池3丁目17-10)

海震で船舶が損壊するのは粗密波であるという、海震の常識が忘れられている現状に気付かされた事が一つの契機になり、海震の事例と証言を調べ、関連事象や橋脚の特殊な破壊形態等を見直すと、地震時衝撃破壊に関する重要な知見が得られたので昨年一部を発表した。それらに続き新たに得られた海震関連の重要な事例を紹介する。兵庫県南部地震での被災事例の代表であるピルツ橋脚の倒壊原因について、新たな知見を踏まえて住民の証言と共に破壊状態を見直すと、海震の考察と呼応し、衝撃破壊状況の一端を明確にできた。さらに過酷な被災事例等もあるので、安全対策上地震時の衝撃破壊現象に関する研究を急ぐ必要があることを述べる。

キーワード 地震波、海震、証言、衝撃波、粗密波、衝撃破壊

1. はじめに

兵庫県南部地震では構造物の特殊な破壊形態が多く見られたが、それらに対応する地震波の波形が、当時の地震計では記録されないことから、この現象に対する研究が下火になっている。しかし海震の事例や証言を基に、破壊状況を見直すと、地震時の衝撃破壊に関する状況の一端が明らかになり、得られた知見を基に衝撃破壊の代表として、橋脚の軸圧縮破壊と爆裂的な引張破壊の例を昨年発表した^{1,2,3)}。その中の文献2)を前論文と呼ぶ。

本論文では前論文の海震に関する重要な事項と、新たに得られた海震関連の資料^{4,5,6)}を活用し、破壊的な地震波の発生時期に関する考察を述べる。そしてピルツ橋脚の破壊状況を見直すと、倒壊の発生は主揺動の約3分後と証言から推定でき、橋脚の倒壊は地震の主揺動による大きな横揺れだけではないことを明らかにする^{7,8)}。

兵庫県南部地震では衝撃的な地震波による、過酷な破壊事例は、本論文で述べたもの以外に他にも多くあるので^{1,8)}、重要な施設の安全対策には、地震時の衝撃破壊現象に関する研究を急ぐ必要があることを述べる。

2. 海震関係の資料と証言に基づく考察

(1) 海震の観測波形の例

図-1から図-4に伊豆半島東方沖地震(M6.7, 1980.6.29)の余震の海震をハイドロホンで観測した例を示す^{9,10,11)}。

図-1は位置図で、図-2は海震の頻度(a)図と海底断層の位置(b)図を示す。陸上からの震源断層位置の推定精

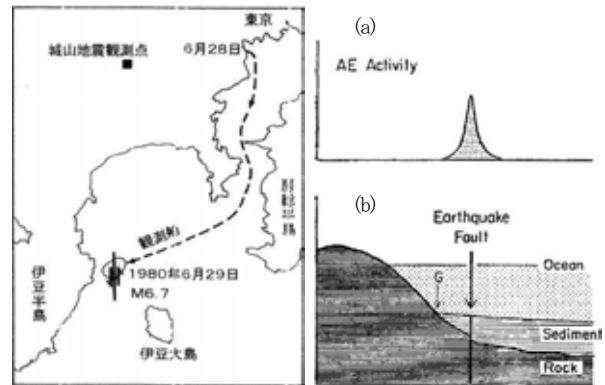


図-1 海震の観測位置図⁹⁾

図-2 断層位置と海震の頻度¹⁰⁾

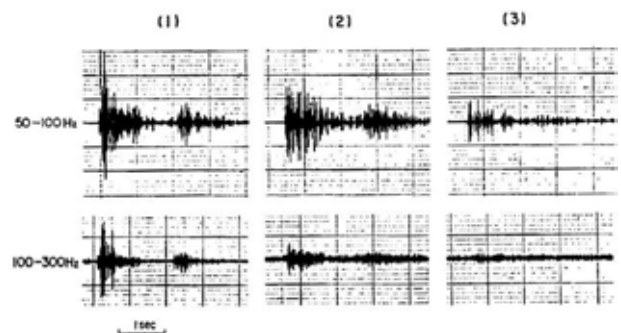


図-3 海震の観測波形・周波数帯別同時観測の例¹⁰⁾

((1)浅発型, (2)中間深さ型, (3)深発型の3分類)

度が当時は悪く、地形上の境界(G)でない断層位置が海震の観測から決められた。約千例観測してあり、波形の代表例を図-3と図-4に示す。図-3は周波数帯別同時観測

の例で、図-4は詳しい波形の例である。記録波形のパターンを3分類してあり、各々浅発型((1),A type)、中間深さ型((2),B Type)、深発型((3),C type)である。図-3では100Hz以上の高周波の波形も示してある。これらの図の波は卓越周期が明瞭な波であるが、周波数分析は行われておらず²⁾、図-4のB、Cの波形から周波数を60から70Hzと判読した(図-3の高周波の波は120~140Hzと推定)²⁾。Cの波は4秒程続いている。この周波数帯の波は従来の地震計(20~30Hz以下)では記録されない波である。

観測時に大きな余震が続いたため船を突き上げるような海震をたびたび感じている⁹⁾が、同時期に発生していた群発地震では、このような波は記録されていない⁹⁾。

高周波の地震波の観測記録はこの時の記録^{10,11)}しか現在なく、海震は粗密波であり、後述する破壊的な粗密波の発生原因と特性を考える際の貴重な参考資料なので、図-4に記録波形の特徴をわかり易く示した。

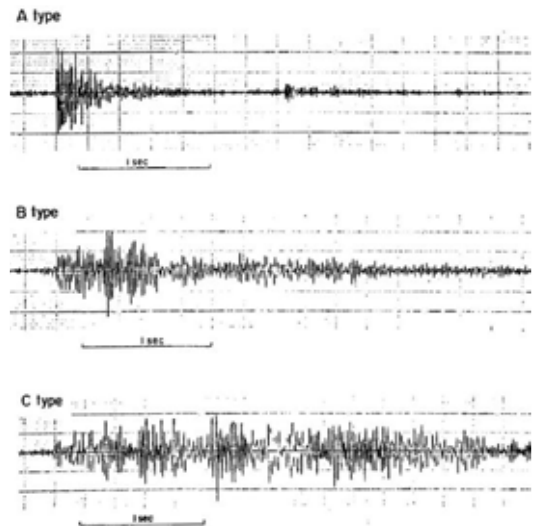


図-4 海震の観測波形・3分類の波形の詳しい事例¹⁰⁾
(A 浅発型, B 中間深さ型, C 深発型の3分類, 横棒長さ=1秒)

(2) 海震の伝承と体験証言

海震の伝承と体験^{13,14)}の古くからある例の代表として、昭和8年の三陸地震での体験を纏めたものが表-1で、損壊を伴う事例を纏めたものが表-2と図-5¹⁵⁾である。共に事例として重要なので、文献2)のものを再掲した。表-2には兵庫県南部地震の事例⁹⁾を追加している。

これらの事例は海面上の粗密波が、機材を壊す強烈な破壊力を有していることを示しており、前節の例と同じく余震でも生じている。なお、文献16,17)には図-2(a)の頻度グラフを、海底と海面の鉛直加速度比の分布で類似させた報告がある。

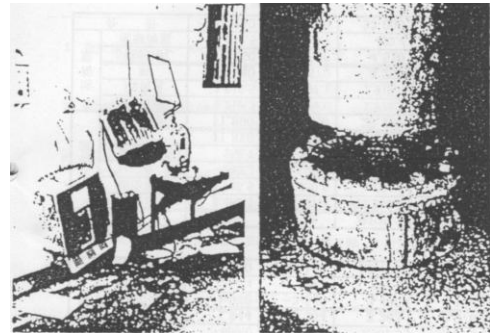
このように古くから伝承や体験例は多くあり、海震の存在は常識化していた。ところが海底火山活動以外に、国内では重大な事故が起こらなかったため、注目されなくなり近年には本論文の冒頭で述べた通りなぜか忘れられている。

(3) 海震の重要な証言と考察

兵庫県南部地震での海震の証言から重要な事実が得られ、新たな資料^{4,5,6)}を入手できた。それらの要点と考察を以下に述べる。

図-6は地震発生時の旅客船の位置図⁴⁾の一部で、明石海峡付近を示す。播磨灘沖を航行中の「フェリーおおさか」(震央距離約28km)では吹抜け部のシャンデリア2個が落下破壊した(表-2に追記)。この事は震源域近くではより強い粗密波が生じることを示唆する。

図-7は明石海峡を航行中の図-6の「あさぎり丸」(千トン級)と「クイーンダイヤモンド号」(九千トン級)の詳しい位置図を示す²⁾。両船長の証言¹⁸⁾は重要なので要点を転記する。
・「あさぎり丸」の船長の証言;『衝撃的な上下動に見舞われ、一瞬操船困難に陥った。



(a) 備品の落下 (b) 配管の切断
図-5 海震による損壊例¹⁵⁾ (3.25万トン・タンカー、ジブラルタル沖地震, M8.0, 1969.2)

表-1 海震の体験例(昭和8年三陸地震 1933.3.3)
(馬場栄一氏の資料15)に文献13)を参照し加筆)

	船名	トン数	状況
1	もんてびあ丸	9,700	エンジンの racing のような強い振動 4 分間。
2	小倉丸	7,270	激動、3 分間。
3	摩耶丸	3,145	激動、3 分間。全速でエンジンを後退したよう。
4	平安丸	11,500	上下の激動、5 分間。羅針盤が跳び出すかと思うほど。
5	得撫丸	220	強烈な振動、1 分間。
6	誠進丸	50	上下の激動、5 分間。船が折れるかと思うほど。
7	東星丸	5,484	激動、3 分間。2 秒、その後 2 回の微動。(余震)
8	光洋丸	8,000	強い上下動、3 分間。(余震)

表-2 海震による損壊例
(馬場栄一氏の資料15)と文献13,14,5)から作成)

	日付	船舶	場所	状態
1	1894.7.23 (明治 27 年)	ドイツの帆船 エンリエッテ号	ノルウエイの ロフ オデン諸島沖	強烈な海震(2 分間) 約 2 時間後に沈没
2	1952.11.5 (昭和 27 年)	米国貨物船 8000GT	カムチャッカ沖	M8.25~8.4 の地震、ハッチ コミングの両側に亀裂 (横浜で修理)
3	1969.2.28 (昭和 44 年)	タンカー 32,500T	ジブラルタル沖 西方 450km 水深 4900m	M8.0 の地震、船殻補強材 座屈、航海機器全損、パイ プ系破損(写真-参照)
4	1995.1.17 (平成 7 年)	フェリーおおさか (9,000T 級)	播磨灘沖 (震央距離約 28km) 水深 30m	M7.2 の地震、強烈な上下 震動、吹抜け部のシャン デリア2個落下

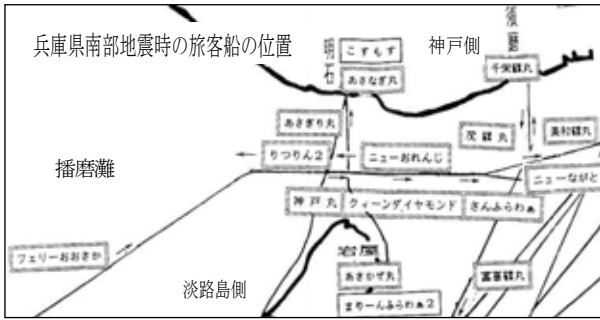


図-6 フェリーの位置図⁽¹⁾ (明石海峡付近地震発生時, 部分を編集)

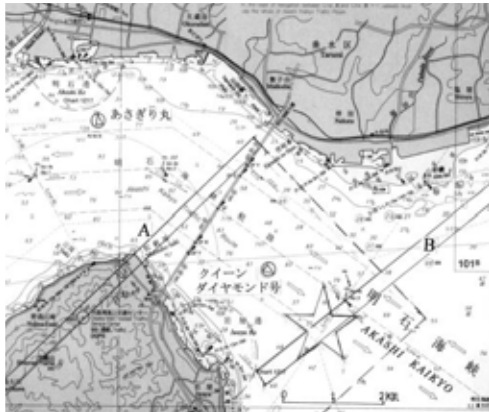


図-7 クインダイヤモンド号とあさぎり丸の位置図⁽²⁾
(☆ 震央、A 野島断層、B 須磨断層)

なんとかエンジンを止め、点検を指示し、機関部からの異常なしの返事と一等航海士の報告を受けて、再びエンジンの回転を挙げようとした時に二度目の衝撃がきた。船底にダメージを受け、潜水艦とぶつかったかと思った。』

・「クインダイヤモンド号」の船長の証言；『上空に青白いせん光を見て突き上げられて、大きな波に翻弄された瞬間、海面で船底をたたくウォーターハンマーより数倍激しい衝撃に襲われた。』

両者の証言で重要な事は、衝撃的な波動を二度受けており、二度目の方が遙かに大きな衝撃を受けていることである。証言集⁽⁸⁾には陸上部で本震より後に、二度目の大きな衝撃的な上下動を受けた証言が18例ある。

ところで、当時は火災の煙がまっすぐ上がる無風に近い気象状態で、海面に大きな波はない筈なので、後者の証言の大型船が大きな波に翻弄されて、激しい衝撃に襲われたという状況に着目する。

図-8はこの地震が起こした津波に関する文献⁽⁶⁾にある、検潮所の記録からその波源域を推定した図の一部である。この中の東二見と泉北検潮所の図柄から波速を求めると約700m/分になる。図-7の「クインダイヤモンド号」の離岸距離は約2kmである。地震の主揺動で海岸が揺れて、海面に起きた表面波が伝わり船体を揺らしたと考え、主揺動の3分弱後に衝撃を受けたと推定できる。この時間間隔は「あさぎり丸」で二度目の衝撃を受ける迄に行った点検の所要時間に馴染む間隔である。



図-8 波源域の推定図⁽⁶⁾ (波速の推定測線を記入, 部分を編集)

(4) 被害をおよぼす海震の特徴のまとめ

前論文⁽²⁾で纏めた船舶に被害をおよぼす海震の特徴を、上記の考察を踏まえて書き直すと次の通りになる。

1. 地震発生の初期に到達するP波より、海震は船を損傷さす大きな破壊力を持っている。
2. 海震の衝撃的な波は粗密波(縦波)である事は、船舶工学では常識で、余震毎に何度も発生している。
3. 海震の周波数は60~70Hzや120~140Hz程度が観測されており、古い地震計では記録されない波である。
4. 強烈な波の海震は本震後、3分頃にも生じている。

3. 橋脚の地震時破壊原因の見直し

(1) 地震時衝撃破壊の代表例

図-9に衝撃破壊の最も特徴的な例と見なしている、コンクリート橋脚の柱頭部の破壊例を示す^(1,2,8,19)。この場所は(a)図の通り、鋼製橋桁が剛な横梁と一体になった構造で、横梁を独立した二本のコンクリートの柱が、柱天端の支承版支承を介して支えている。この区間の横断方向の柱幅は1mに統一してある。

(b)図に柱頭部が崩壊する直前の状態を示す。柱頭部の鉄筋と帯筋が籠状に露出し、中のコンクリートの大部分が跳び出し、向こうが透けて見えている。



(a) 構造図(二本柱区間)



(b) 神 P465(山側柱頭部)



(c) 神 P472(海側柱頭部)

図-9 柱頭部の衝撃波による爆裂破壊の代表例^(1,2,8,19)



図-10 倒壊区間の東部(神 P130→神 P126)の状況²⁰⁾
(西側から東方を望む、図-11 も同様)



図-11 ピルツ橋倒壊区間の斜め航空写真²¹⁾
(白色の高欄線が極端に下がっている部分に着目)



図-12 倒壊橋脚の代表例 神 P132(西面)²⁰⁾



図-13 代表例 神 P132(南面)²⁰⁾
(東西共ほぼ対称的な破壊形態、基部の外側へのふくらみなし)



図-14 神 P133(東面)²²⁾



図-15 神 P133(南面)²⁰⁾

(a. 基部の鉄筋が南側にも湾曲, b. コンクリートの破壊線が柱の軸線に直角, c. 基部の鉄筋は東西共外側に大きく湾曲)

(c)図は柱頭部のコンクリートがなくなった所迄横梁が約1.5m落ちて、その部分の側面の柱鉄筋約1.2mが裸で直立している。この状態はコンクリートが壊れた区間には、水平力(せん断力)は作用していない事を表し、地震の水平主揺動で壊れたものではない事を意味する。

(b)図のコンクリートが跳び出すのは瞬間的に生じた筈で、この破壊形態を爆裂破壊と呼ぶ事にした²⁾。これは衝撃波による引張破壊の代表例である。この破壊が主揺動の前の衝撃で起きると、鉄筋は直立状態を保てないので主揺動の後で生じていると判断でき、前章で述べた海震の考察と整合する。

(2) ピルツ橋脚の倒壊原因の見直し

図-10は倒壊区間の東側の状況²⁰⁾を示し、図-11は倒壊全区間約650m(神P126～神P142)を、西側の低空から見た写真²¹⁾で、高欄線(白線)の下がり状況を際立たしている。

図-12、-13は倒壊した柱の代表例²⁰⁾で、このように全てが倒壊すれば、高欄側面が大きく下がることはない。図-11の区間中央部と西側2箇所が高欄線は下がり、その場所の橋脚は神P133、神P134、神P136、神P140である。この4基に着目して柱基部の破壊状態を特徴づける写真を、2枚ずつ示したものが図-14～図-21である^{20, 22)}。

図-14、-15は神P133基部の破壊状態を示す。柱基部の



図-16 神 P134(南西面)²⁰⁾
(柱の南西面に大きな斜め割裂塊)



図-17 神 P134(南面)²⁰⁾
(柱基部は北西側に着地、北東から南西方向に割れが発達)

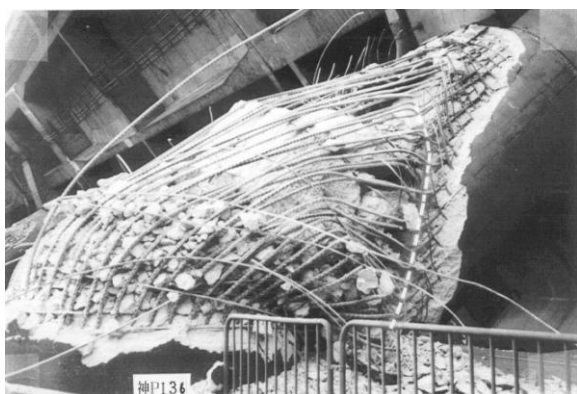


図-18 神 P136(南東面)²²⁾
(引張域迄鉄筋の直角クビレが分布(白色破線)・ズレ破壊の痕跡)



図-19 神 P136(西面)²⁰⁾
(北東から南西方向に割れが発達・北西部に落下の痕跡)



図-20 神 P140(東面)²⁰⁾
(コンクリートの破壊面に沿い鉄筋のクビレが分布)



図-21 神 P140(南面)²⁰⁾
(北東から南西方向に割れが発達・北西部に落下の痕跡)

鉄筋は軸圧縮による提灯座屈の状態を示し、柱の長さを短くしており、その後北側に倒れている。

図-16、-17は神P134基部の破壊状態で、破壊部が北西側に拡大している(図-17)。北東から南西方向に大きな割れが発達している。その割れに対し共役的な部位の、柱の南西面に大きな斜め割裂塊が見られる(図-16)。

図-18、-19と図-20、-21の2基では、柱基部の東面の鉄筋にコンクリートの破壊線に沿って鉄筋のクビレが分布しており、図-18では白い破線を付けている。倒れる前にこの面で柱がずり落ちた事を表す。柱は北西側にずれ落ちて、その方向に破壊部が拡大し、北東から南西方向に大きな割れが発達している(図-19、-21)。

すなわち、神P134、神P136、神P140の不等間隔の3基が北西側にずれ落ちたことが、柱の長さを短くして、全体を北側に倒壊さす直接の原因になっている。神P133も含め、このような破壊形態は水平動だけでは生じない。

付近の住民の証言を調べると、『(前略)・・・とても立ってはおられない、タンスが飛んできた。「もうあかんビルが倒れる」と思った最初の揺れが治まった。時計は5時48分。階下の孫二人が気に入り屋外階段の踊り場に出て、降りようとした瞬間背後で大音響が、振り向くと・・・(中略)・・・高速道路が横倒しになってゆく。衝撃で体が浮き上がる、スローモーション映画を見ているようだ・・・(後略)』との証言がある¹⁸⁾。

大音響がしたのは5時48分より後である。既存の時刻暦応答解析の結果²³⁾は鉄筋が塑性域に入った段階(塑性率3程度)にしか至ってなく、柱は自重相当の荷重では軸圧縮破壊を起こさない。鉛直衝撃波の影響が加わった事を証言は示唆しており、5時46分の主揺動後の3分程の時間差は、2章で述べた海震の考察と呼応している。

このピルツ橋の倒壊は阪神大震災の被災を代表する事例で、その倒壊原因がこれまで考えられてきた水平震動の影響だけではないことを表しており、その衝撃波による破壊は主揺動より時間差をおいて生じている。

4. まとめにかえて

本論文の2章で述べた海震の現象とその被害状況から、これまでに地震計に記録された地震波以外に、構造物を破壊する威力を持った高周波の粗密波が存在する。この過去には常識であった現象が近年忘れられている。

3章では兵庫県南部地震でのピルツ橋脚の破壊事例から、その衝撃的な破壊現象は地震の主揺動より約3分後に生じており、海震の現象と呼応している事を述べた。これにより陸上での破壊的な波の性質を、粗密波と想定すると現象と整合しやすいし、また理解もしやすいが、まだ波の性質を特定する課題は残されている。

陸上での構造物の衝撃破壊的な被害状況はいろんな状態があり、壊滅的な事例だけでなく破壊の中間状態の事例や破壊状況の証言も収集し、被害の状況と分布を丁寧に見直すことが必要です。

しかし破壊的な地震時衝撃波の発生原因は、工学的な分野だけでは解明できない。震源断層近傍の上下震動に関する最近の文献²⁴⁾には、逆断層モデルの波も検討してあり注目される。けれども地震時の衝撃破壊現象はその文献より高周波領域の現象と考えられ、強烈な破壊力の衝撃的地震波の正確な記録はまだ得られていない。

ところで昨年に、この破壊的な地震時衝撃波の問題の一端を、発表できたことが契機になり、地震時衝撃波の捕捉を意図しての観測態勢をしく、努力がなされているものと推察する。ところが破壊的な地震波の発生状況は、非常に局地的に変化しており、地震計を設置しただけで、問題の衝撃波の全容を捉えることは容易ではないと思われる。そして地震時の衝撃破壊の現象は、現在の耐震対策や災害予想には考慮されてなく、原発事故が起きた現状からは、十分な観測データが揃うまで、地震時の安全対策を保留できるような状況ではありません。

兵庫県南部地震では本論文で述べたもの以外に、過酷な破壊状態の物と資料が多くある¹⁸⁾。したがってそれらの状態をできるだけ正確に見直して、地震時の安全対策のための知見を得る研究を急いで行う必要がある。

また一方では、地震時の衝撃破壊は簡単には防げない領域も残ると考えられ、防災上の減災を意図する地震予知の実用化に関する研究も推進する必要がある。

参考文献

- 1) 前原博, 櫻井春輔: 構造物の特徴的な地震時破壊例と関連事象による新しい見解, 土木学会関西支部 平成 24 年度年次学術講演会, 1-48, 平成 24 年 6 月.
- 2) 前原博, 櫻井春輔: 構造物の地震時衝撃破壊の代表例について, 国交省近畿地整局 平成 24 年度研究発表会, 防災・保全部門 No. 19, 平成 24 年 7 月. [HP より DL 可]
- 3) 前原博, 櫻井春輔: 高架橋の柱の典型的な地震時衝撃破壊事例, 第 47 回地盤工学研究発表会, 745, 2012 年 7 月.
- 4) 神戸海運監理部運輸部運輸管理官: 平成 7 年 1 月 17 日 5 時 46 分「そのとき旅客船は…」アンケート報告, pp3, 22, 平成 7 年 8 月.
- 5) 大阪フェリー協会: 窮して通ず, 阪神大震災フェリー対策協議会活動記録, pp64, 69-70, 平成 8 年 1 月.
- 6) 鳥羽徳太郎: 1995 年兵庫県南部地震津波の規模および波源域, pp461-466, 地震 第 2 集 第 49 卷 (1997).
- 7) 前原博, 櫻井春輔: 兵庫県南部地震でのピルツ橋区間の倒壊原因の見直し, 土木学会関西支部 平成 25 年度年次学術講演会, 1-30, 平成 25 年 6 月.
- 8) 前原博, 櫻井春輔, 園田恵一郎: 地震時の破壊的な粗密波の存在と橋脚の破壊原因の見直し, 安全工学シンポジウム 2013, GS3-2, 平成 25 年 7 月.
- 9) 茂木清夫: 地震予知を考える, 岩波新書, pp84, 1998. 12.
- 10) 茂木清夫, 望月裕峰: 1980 年伊豆半島東方沖地震の震源直上でのハイドロホンによる高周波震動の観測とそれによる地震断層の位置の推定, 東京大学地震研究所彙報, Vol. 55-4, pp1017-1041, Fig. 7(1), 15, 1981. 3.
- 11) Kiyoo Mogi: Experimental Rock Mechanics, CRC Press, pp267, 2006.11.
- 12) 東大付属図書館地震研究所図書室の回答: ノイズが多いため詳細分析せず(茂木望月氏に問合せ結果), 5.07.2012.
- 13) 佐藤孫七: 海震の話, 気象, pp6-9, 1968. 2.
- 14) 佐藤孫七: 海震・体験あれこれ, 気象, pp26-28, 1978. 1.
- 15) 馬場栄一・広島大学名誉教授(船舶工学)より提供の資料.
- 16) Eiichi Baba: A Study on the Effect of Seaquakes on a Floating Body, 日本造船学会論文集, 162 号, pp90-98, 1987.
- 17) 馬場栄一: 海震に対する浮体の加速度応答について, 第 8 回海洋工学シンポジウム, pp305-311, 1988. 1.
- 18) 園田恵一郎, 小林治俊, 長野圭: 兵庫県南部地震一初期上下動の証言について, 大阪市立大学工学部紀要・震災特別号 別刷, pp189-260, 1997. 1.
- 19) Keiichiro Sonoda: IMPACT FAILURE MECHANISM OF VIADUCT COLUMNS AT INLAND FAULT EARTHQUAKES, 9th International Conference on Shock & Impact Loads on Structures, Fukuoka, Japan, pp589-603, Fig. 9, 10, Nov. 2011.
- 20) 阪神高速道路株式会社: 震災資料保管庫 震災状況写真集(橋脚) No. 13 より該当部分を複写編集.
- 21) 朝日新聞社: 報道写真全記録大震災一年, pp4, 1996 年 1 月.
- 22) 前原博收藏の写真資料.
- 23) 阪神高速道路公団: 大震災を乗り越えてー震災復旧工事誌一, pp191, 平成 9 年 9 月.
- 24) 中村真貴, 原田隆典, 金井則之, 野中哲也, 児玉善秀, 本橋英樹: 震源断層近傍の地震動上下成分・位相波特性の解析とそれに基づく上下成分波形の作成方法, 土木学会論文集 A I (構造・地震工学), Vol. 68, No. 4 (地震工学論文集第 31-b 巻), 1_1-1_12, 2012.

紀伊半島大水害における応急仮設住宅設置の取り組み

一山 くるみ

奈良県 県土マネジメント部まちづくり推進局 地域デザイン推進課

(〒630-8501奈良県奈良市登大路町30)

2011年9月に発生した紀伊半島大水害では、奈良県南部を中心に多くの被害が発生した。

奈良県住宅課では被災住民のために応急仮設住宅の建設に取り組んだ。建設するにあたり、できる限り被災住民に寄り添った仮設住宅の建設に努めたが、県内で戦後最大の豪雨災害の状況下で住宅が竣工するまで非常に苦慮した。

本論文は今後の災害時の応急仮設住宅建設において効果的に活用できるよう取りまとめ、紹介するとともに現在の復興まちづくりについて紹介する。

キーワード 応急仮設住宅、木造応急仮設住宅、地域コミュニティ、寒冷地対策

1. はじめに

2011年9月、台風12号は紀伊半島地域に甚大な被害をもたらした。各地で記録的な豪雨をもたらした。紀伊半島全体で土砂崩壊箇所は3,077箇所、崩壊土砂量は1億 m^3 と推定されている。災害による1億 m^3 の崩壊土砂量は国内歴代4位であり、戦後の豪雨災害としては歴代1位となった。

紀伊半島大水害による奈良県内の被害状況は表-1のとおりである。ピーク時には県内3,954世帯8,774人を対象に避難指示・避難勧告が発令されていた。また確認された道路の被害は全体で297箇所であり、県南部への緊急時の輸送路となる国道168号、国道169号、県道高野天川線も数日間寸断された。

現在では、道路をはじめ河川などで復旧工事が進められている。また、避難指示の解除や新たな住宅の確保等も進み、3市村の応急仮設住宅の入居世帯数も被災当初より減少し、86世帯174人(2013.5.31.現在)となっており、一日も早く被災前の日常生活に戻るように取り組んでいる。

表-1 人的被害と建物被害状況

人的被害 (2013.2.28.現在)			
死者	14名		
行方不明者	10名		
建物被害 (2013.2.1.現在)			
全壊	49棟	床上浸水	13棟
半壊	71棟	床下浸水	37棟
一部損壊	14棟	非住家被害	49棟

表-2 建設場所と建設戸数等の概要

■五條市	2カ所／合計57戸
(軽量鉄骨造(プレハブ組立ユニット)平屋建て)	
五條住宅(旧県立五條高校跡地)	40戸
大塔住宅(大塔郷土資料館駐車場)	17戸
■野迫川村	1カ所／合計27戸
(木造(在来工法)平屋建)	
野迫川村大字北股	27戸
■十津川村	4カ所／合計30戸
(木造(在来工法)平屋建)	
十津川村大字沼田原	3戸
十津川村大字谷瀬	7戸
十津川村大字湯之原	2戸
十津川村平谷	18戸

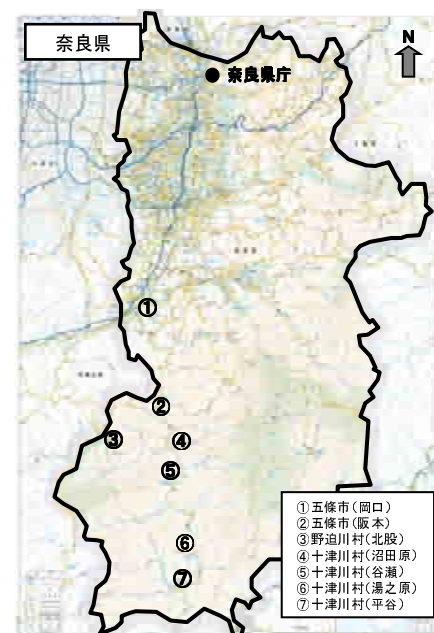


図-1 応急仮設住宅建設地

2. 応急仮設住宅の建設

(1) 被災状況の確認と建設地の選定

災害救助法の適用を受けた 10 市町村に対し、住宅被害が大きい場合は、県として応急仮設住宅を建設する旨を通知した。そこで五條市、野迫川村及び十津川村の 3 市村から建設の要望が上がった。各市村と協議を重ね、最終的に 3 市村で 114 戸の応急仮設住宅を建設することとなった（表-2、図-1）。3 市村において応急仮設住宅の設置要望から被災者が入居できるまで約 2 ヶ月を要した。

a) 五條市 写真-1

（社）プレハブ建築協会、五條市、県の各担当で協議を始めたが、まとめて応急仮設住宅を建設できる用地が見つからず、建設用地の選定には非常に苦慮した。また被災状況の把握や被災地の避難指示・警戒区域の解除が進まない中、応急仮設住宅の必要戸数・世帯人数、建設地の選定や住宅の仕様の検討など並行して作業を進めることとなった。

b) 野迫川村 写真-2

村から応急仮設住宅を木造で建築すること、標高が高い地域であることから冬の寒さ対策を講じること、12 月までに完成することの要望書が提出され、県は取り組んだ。建設用地は村が民有地を借り、被災した北股地区の住民全員が一カ所の応急仮設住宅に入居できることとなった。

c) 十津川村 写真-3

被害が全村にわたり、道路被害も非常に多かったため被害状況の把握は困難を極めた。村全域で可住地面積が4%と少ないことから応急仮設住宅の建設可能用地も限定的となり、予定していた建設候補地も警戒区域となったために変更せざるを得なくなるなど用地決定も困難を極めた。また建設用地の確保のほか、飲料水の確保、工事車両の進入路の問題なども考慮し、最終的に4カ所で建設することとなった。野迫川村と同様、村から木造で建設して欲しいとの要望書も提出された。

(2) 応急仮設住宅の建設

五條市では、県と協定を締結している（社）プレハブ建築協会に応急仮設住宅の建設要請を行い、建設に取り掛かった。また十津川村からは村内で産出された木材を使用すること、地元の建設事業者を活用することの要望もあり、これらの要望を受けて野迫川村とともに木造での応急仮設住宅の取り組みこととなった。

(3) 追加仕様

五條市大塔町や野迫川村北股は標高が高く、冬の寒さ対策や雪対策が重要ポイントとなった。基本的な仕様は114戸の応急仮設住宅においてすべて同じものとしたが、寒冷地仕様の必要性や東日本大震災での東北各



写真-1 五條市（五條住宅）の応急仮設住宅



写真-2 野迫川村北股の木造応急仮設住宅



写真-3 十津川村（谷瀬）の木造応急仮設住宅

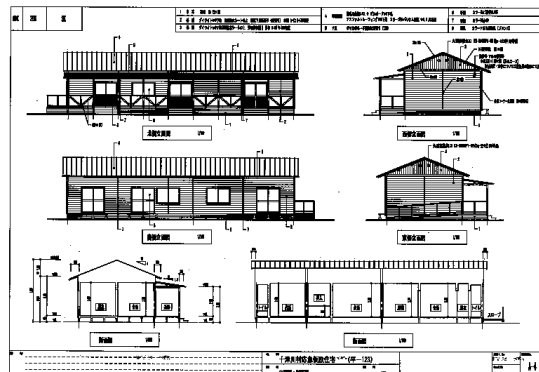


図-2 木造応急仮設住宅の立面図（十津川村）

地での応急仮設住宅の建設の教訓を活かしながら(社)プレハブ建築協会の標準仕様に表-3の内容を付加した。

3. 入居者へのアンケート調査

応急仮設住宅に入居して2ヶ月が経過した段階で、追加した仕様の成果を測り、今後の応急仮設住宅建設の参考とするため、各市村と共同で応急仮設住宅入居者(全114世帯)を対象に、アンケート調査を行った。集計結果の概要は表-4のとおりである(回収率62.3%)。

建設地については概ね満足されている。また被災地域ごとに住民が出来る限りまとまって生活できるよう考慮したこともあり、「同じ地域の住民が隣に住んでいる事がよかった」、「近所の方々と交流ができてよかった」という意見を得られ、被災前と同じように近所の方と交流ができています。さらに、当初から追加仕様を考慮したことにより部屋の寒さや騒音について、概ね満足している回答を得られた。

しかしながら、実際に生活してみると「渡り廊下やスロープに屋根がなく、雨天時や降雪時に滑って危険」、「物干し場の屋根を大きくして欲しい」などの不具合が分かった。また、標高の高い地域の寒さは予想を超えており、さらなる寒冷地対策工事が必要となった。

4. 応急仮設住宅の追加工事

アンケート調査や現場での不具合の発生から、県としても被災者の安定した生活の維持、再建に向けての支援としたいとの考えから、各市村と協議のうえ追加工事を実施することを決めた。追加工事内容は表-5のとおりである。追加工事を行ったことにより、少しでも快適な住環境を提供することができた。

5. 応急仮設住宅の建設を終えて

(1) 応急仮設住宅の建設における課題

応急仮設住宅を建設する中で、各段階で様々な問題に直面し、応急仮設住宅建設における以下の課題が明らかとなった。

① 応急仮設住宅の建設において、全国共通の標準的な仕様はあるものの、被災地域の気候・気象や立地環境により、必要とされる仕様は多様である。入居者の実際の生活状況を考慮した適切な仕様が求められる。

② 迅速に適切な応急仮設住宅の建設に確実に着手するために重要な被害状況の把握をスムーズに、確実に行える体制が必要である。

③ 県南部の過疎地域などでは災害時に応急仮設住宅の建設に携わる職人の確保や資材の確保、資材搬入ルート確保などがスムーズに行える体制を平時から準備しておくことが必要である。

表-3 標準仕様に付加した仕様

項目	仕様	
トイレ	暖房便座設置	寒冷地対策
給湯設備	台所・風呂・手洗いの3点給湯	利便性向上対策
台所	ガスコンロ(バックガード付2口グリル付)設置	即日生活対策
空調	エアコン1台設置(エアコンのない部屋にはコンセント・スロープ設置)	寒冷地対策
開口部	二重サッシ	寒冷地対策
	網戸設置	害虫対策
	掃き出し窓設置	採光確保対策
手すり	玄関・スロープ・風呂・トイレに設置	バリアフリー対策
テレビ	こまどりケーブル(ケーブルテレビ回線)設置	難視聴対策
外壁	断熱仕様	寒冷地対策
内壁	隙間風を抑えるため内壁ふかし	寒冷地対策
その他	1棟の個数を減(2戸1棟、3戸1棟)	防音対策
	ぬれ縁設置	利便性向上対策
	カーテンレール・カーテン設置	プライバシー対策
	スロープ設置	バリアフリー対策
	集会所設置(旧五條高校跡地、野迫川村)	コミュニティ対策
	デッキ(廊下)設置	コミュニティ対策

表-4 入居者アンケート調査結果(抜粋)

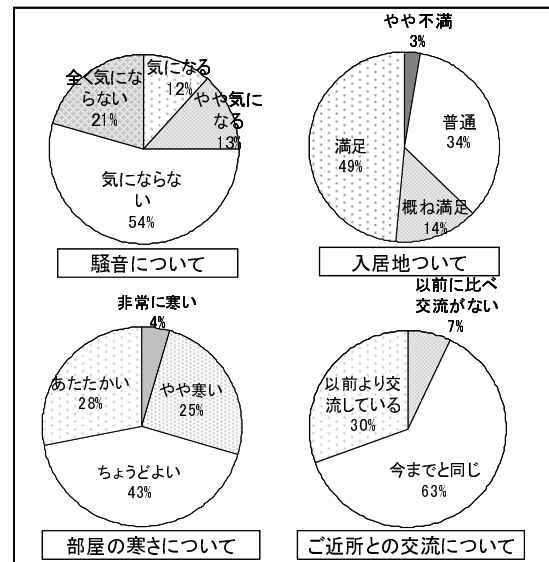


表-5 追加工事内容

五條市	
<五條住宅> ・木製渡り廊下への屋根の設置 ・掃き出し窓上部の小庇の改善 ・室内の間仕切りカーテンの改善 ・玄関に風除室の設置 ・渡り廊下の腰壁に風雨除けの板取り付け	<大塔住宅> ・掃き出し窓上部の小庇の改善 ・室内の間仕切りカーテンの改善 ・玄関に風除室の設置 ・浴室内のシャワーフックの追加 ・水道管の凍結防止対策
野迫川村 ・掃き出し窓上部の小庇の改善 ・渡り廊下のスロープに屋根を設置 ・浴室内のシャワーフックの追加	十津川村 ・掃き出し窓上部の小庇の改善 ・渡り廊下のスロープに屋根を設置 ・水道管の凍結防止対策 ・渡り廊下の腰壁に風雨除けの板取り付け



写真-4 渡り廊下の屋根設置(五條住宅)

④今回のような災害時には関係部署における協力的で柔軟な体制づくりとともに、応急仮設住宅の建設に集中的に従事でき、既存組織にとらわれない横断的な職員の確保・配置が必要である。

(2) 今後の応急仮設住宅の建設に備えて

今回の応急仮設住宅の建設を終えて、平時から議論・検討しておくべきこと、準備しておくことが以下のとおり明らかとなった。

①様々な被災状況を想定した上で、応急仮設住宅の建設が可能な敷地を調査・把握し、図示しておくこと。

②県内各地域の気候・気象の特性を把握し、応急仮設住宅に必要とされるであろう各仕様を検討しておく。

③各地域における適切な仕様は検討しつつも、応急仮設住宅は2年間の供与であり恒久的居住の住宅でないため、どこまでの仕様とするかの検討をしておく。

心身ともに不安と疲労を抱える被災者に、少しでも早く落ち着いた生活を営めるよう、早急に応急仮設住宅を提供することが求められる。

今回の取り組みの記録をしっかりと取り纏め、今後に備えることが重要であり、今後の被災時において少しでも迅速な対応をするために、平時からリスト化する等の見える形で備えておき、どの職員でも対応可能な準備をしておく必要がある。

6. 木造応急仮設住宅の利活用検討

時間的制約のあった建設時には想定していなかった応急仮設住宅の使用期限終了後の木造応急仮設住宅の利活用について、ただ廃棄物とするのではなく、今後新たな活用方法がないのかの検討も考えている。

7. 集落や住まいの復旧復興への取り組み

(1) 十津川村における取り組み

県では応急仮設住宅の建設と同時に被災市村の実情を踏まえた個別の支援を始めた。十津川村では村産出の木材を使用した木造応急仮設住宅を建設したことが、十津川村らしさを見直し、復興集落再生に向けた取り組みに繋がっている。被災者支援のための復興公営住宅の建設に留まらず、これからの十津川村における「住まい方」「地域福祉のあり方」を検討するためにこれまでの十津川村での生活を見直し整理し、過疎や高齢化に対応した集落再生の村づくりに取り組み、実現させようとしている。それらの取り組みとして、今後の村での住まい方などの検討の参考にするため、応急仮設住宅の入居者にヒアリング調査を行い、十津川村の住宅は広域で散在しているなか、応急仮設住宅での暮らしを通して「寄り添い支えあった暮らし」「集

まって住む」ことに村民はどう感じるのかななどを直接聞いている。また、村の伝統的な住宅形式や住まい方を調査し、村の大工や村民でワークショップを行い（写真-5）、復興モデル住宅を建設している（写真-6）。これは復興住宅の建設に参考とするだけでなく、十津川村における地域型住宅を提案し、林業の活性化や村の復興にもつなげようとしている。

(2) 復興公営住宅の建設

十津川村では、復興公営住宅を14戸建設予定である。

野迫川村では、小規模住宅地区改良事業により5戸の復興住宅建設に取り組んでいる。また五條市でも同様に、小規模住宅地区改良事業により6戸の復興住宅建設に取り組んでいる。

一日も早く避難者の帰宅を実現できるよう市村が行う復興集落づくりを県も支援しているところである。



写真-5 ワークショップ（十津川村）



写真-6 復興モデル住宅（十津川村）

謝辞：本稿の作成にあたり、多くの情報提供とご指導頂いた、奈良県県土マネジメント部まちづくり推進局住宅課ほか、仮設住宅の建設、復旧復興に尽力している方々に感謝の意を表する。

なお、本稿は、旧所属（奈良県土木部まちづくり推進局住宅課）からの応募により作成したものである。

参考文献

- 1) 奈良県：紀伊半島大水害の記録
- 2) (社)日本住宅協会：機関誌「住宅」2012年9月号

瀬田川水系における山腹工の効果に関する検討

関根 隆好¹・大山 誠²

¹近畿地方整備局 河川部 河川計画課 (〒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 河川部 河川計画課 (〒540-8586大阪府大阪市中央区大手前1-5-44)

瀬田川砂防管内における山腹工は、1878年（明治11年）より直轄工事にて実施され、130年以上経過した現在では、施工地の大部分で植生が回復している。しかし、その効果については、まとまった評価はなされていない。本検討では、施工された山腹工について、禿禿地の分布変化、植生回復状況や根系発達状況等を整理し、山腹工の効果について検討を行ったものである。

キーワード 瀬田川水系、田上地区、山腹工、土砂生産、植生回復、土壌回復、根系発達

1. 検討方法

瀬田川砂防管内を対象として、田上地区を中心に実施された既往調査成果などの整理をするとともに、植生・土壌・根系調査等について山腹工施工後20～50年経過した箇所にて現地調査を実施した。また、2009年度（平成21年度）に計測された航空レーザ計測データ（LPデータ）を用いて樹林解析を行った。

以上の情報を基に、瀬田川砂防管内全体の山腹工施工による禿禿地の分布変化、植生回復状況や根系発達状況等を整理し、山腹工の効果を取りまとめた。

2. 山腹工の施工状況

(1) 山腹工の施工目的

瀬田川砂防管内では、禿禿地や荒廃地に植生を導入し、侵食の拡大を防止して、土砂の生産・流出を抑制しようとする目的で、山腹工が施工されてきた。田上地区では、寺院建立の建築材としての乱伐や薪炭材としての伐採等



図1 山腹工の施工範囲及び田上山地の位置

によって、特に禿禿地が顕著に分布していたため、山腹工が広域に施工された。山腹工の施工は、1878年（明治11年）より内務省の直轄工事によって開始され、130年以上経過した現在では、施工地の大部分で植生が回復し、土砂の生産や流出が低減している。

(2) 施工範囲

瀬田川砂防管内における山腹工の施工範囲及び田上地区の位置は図1のとおりである。

(3) 施工方法

瀬田川砂防管内における山腹工の標準的な施工法を図2に示す。

田上地区では、風化花崗岩地特有の土壌が貧弱な条件下で、植栽木であるクロマツの生育を促進することを目的として、保育工が施工された。

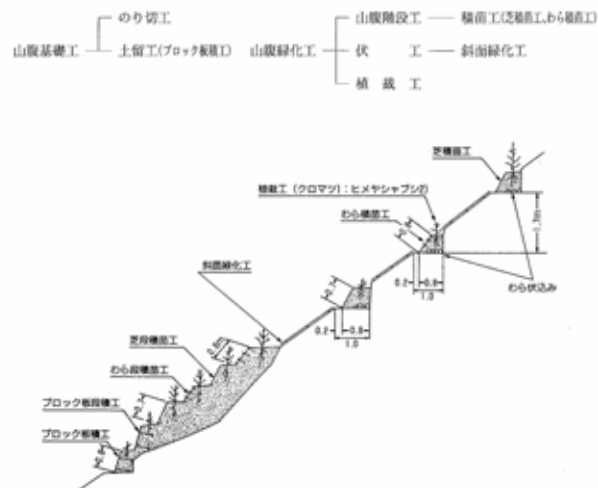


図2 山腹工の標準施工断面図

a) 保育A工

植栽後の植栽木間の被圧除去と植栽木であるクロマツの生育を促すことを目的に、山腹工施工後4, 7, 10年目に間伐および施肥を行った。1950年（昭和25年）以降の施工地は、全てこの工法で保育管理が行われた（図3）。

b) 保育B工

施工後10年以上経過した砂防植栽木（クロマツ）が風化花崗岩地帯特有の土壌条件の悪さに耐えきれず徐々に衰退していく現象への対策として植生の生育基盤の改良を目的に、床堀、施肥を行った（図4）。

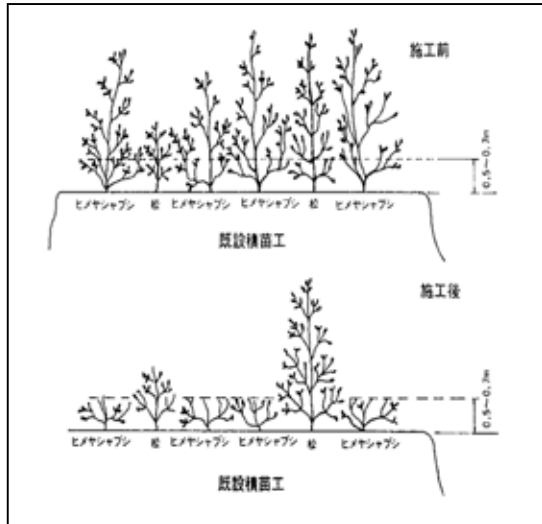


図3 保育A工標準断面図

3. 禿禿地の分布変化

現時点の管内における禿禿地の分布状況を把握することを目的として、2009年度（平成21年度）レーザデータ計測時に撮影されたオルソフォト画像を用いて、禿禿地の分布状況を判読し、GISデータとして整理した。禿禿地の判別は、「山地斜面が植被を失い、植生土壌が侵食を受けて裸地化したところ」を禿禿地として抽出した。図5、図6に禿禿地の判読結果を示す。

山腹工の施工により禿禿地の植生が回復し、山腹工施工地における禿禿地面積は、1947年（昭和22年）に比べて98%減少していることが分かった。

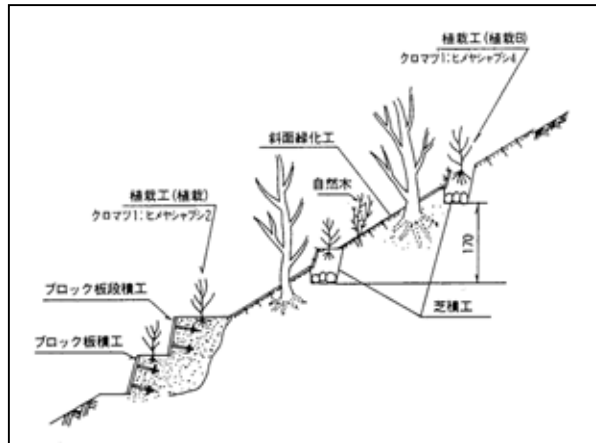


図4 保育B工標準断面図

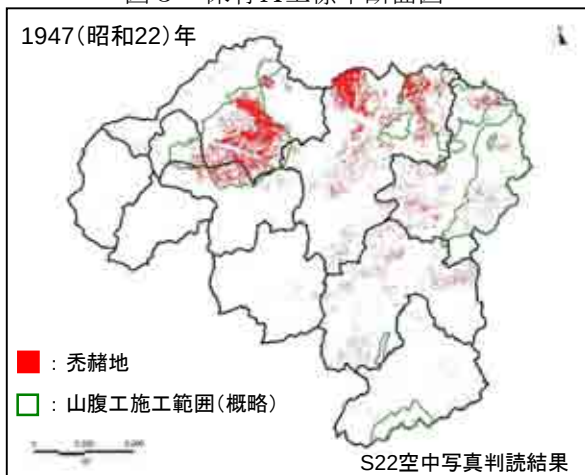


図5 禿禿地分布（1947年）

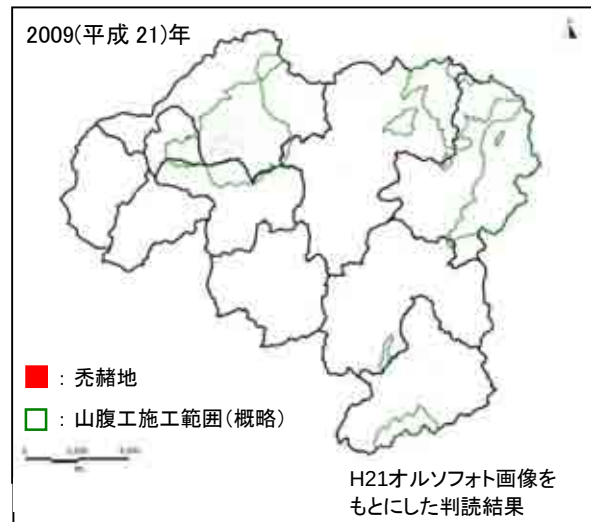


図6 禿禿地分布（2009年）

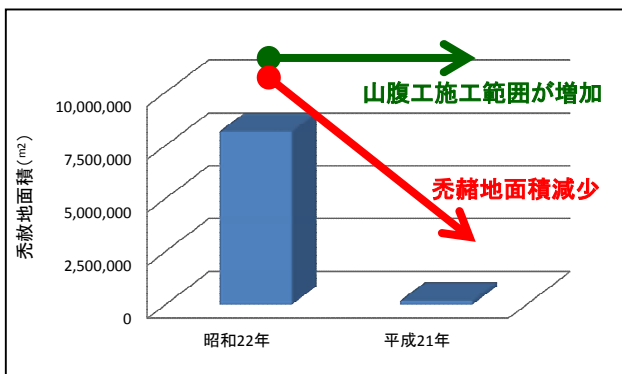


図7 禿禿地面積の推移

4. 山腹工施工と土砂生産（表面侵食抑制効果）

瀬田川砂防管内の田上地区では、裸地・山腹植栽地・森林地それぞれの試験区で、長期間にわたって土砂生産量の観測が行われてきた。

図8は、田上地区内の各試験地での土砂生産量観測結果をもとに、山腹工施工後の経過年数と土砂生産量との関係を整理したものである(鈴木・福寛(1989)の研究成果¹⁾を参考に、施工後の経過年数に対応した樹林状態を加筆)。

山腹工施工以前の裸地からの土砂生産量は、1,000～10,000m³/km²/yearである。これに対し、山腹工施工地では、施工直後の土砂生産量は100 m³/km²/year 以下と、裸地に比べて1～2オーダーにまで低減しており、裸地斜面を階段状に整形し、斜面の安定を図るために

行われた山腹基礎工の効果が発揮されていることがわかる。

さらに、山腹工施工地の土砂生産量は年々減少する傾向にあり、樹冠閉鎖した森林が形成された施工後20年以降は、土砂生産量は1 m³/km²/year程度となり、30年後にはほとんど土砂生産を生じていない。このことから、山腹緑化工によって山腹工の表面侵食抑制効果が向上していることがわかる。

以上の結果より、斜面の安定化や侵食防止を図る「山腹基礎工」及び植生の被覆を図る「山腹緑化工」によって、高い表面侵食抑制効果が発揮されると評価される。

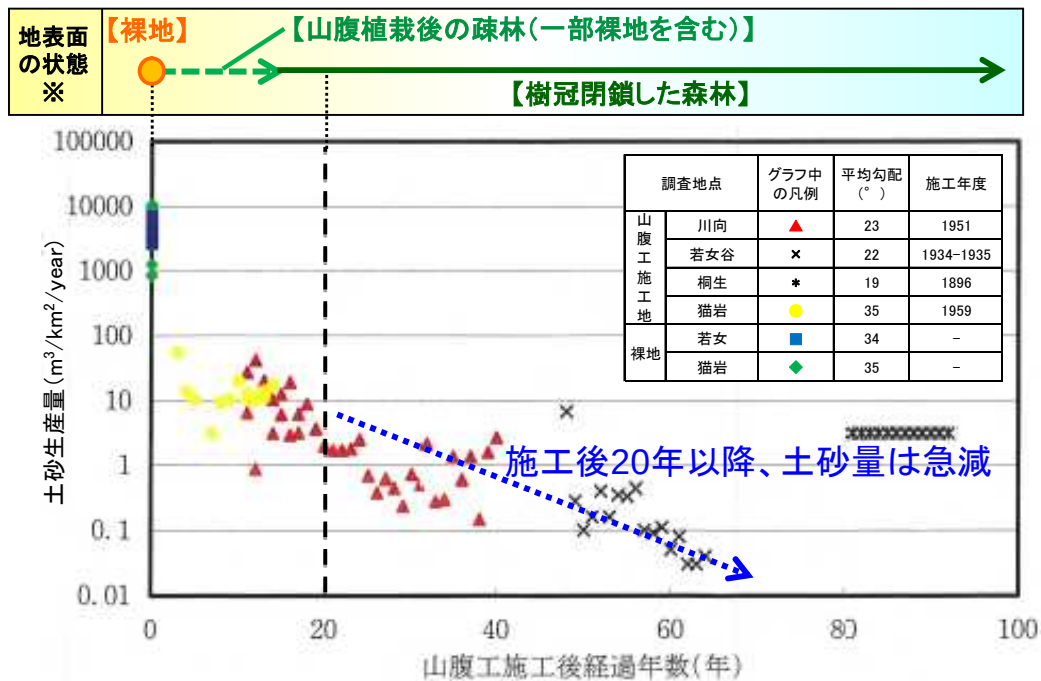


図8 山腹工経過年数と土砂生産量の関係

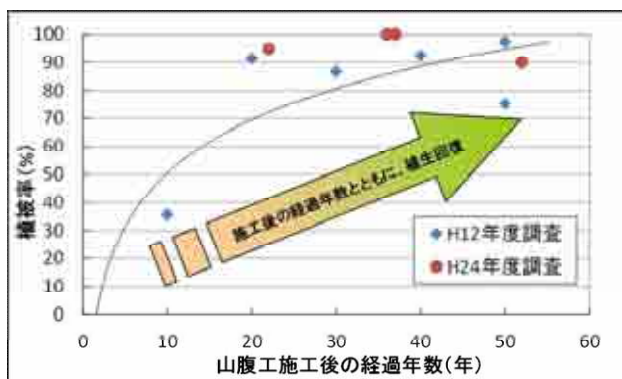


図9 山腹工経過年数と被覆率の関係

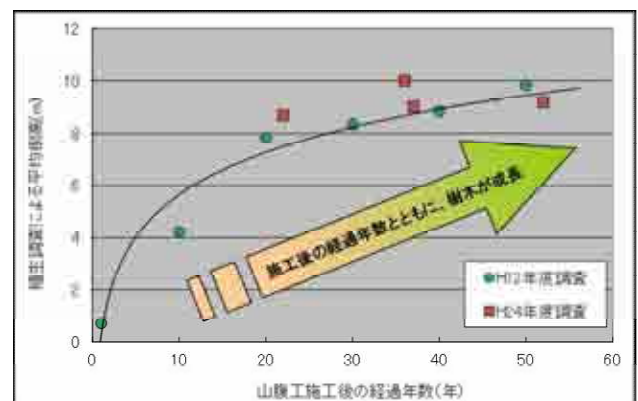


図10 山腹工経過年数と平均樹高の関係

5. 植生回復状況

(1) 植生回復

瀬田川砂防表面侵食抑制に対して降雨遮断等の効果を発揮する「樹冠」に着目し、現地調査結果をもとに、山腹工施工地の樹冠形成状況を整理した。

田上地区に位置する山腹工施工地の4地点で実施した植生調査結果をもとに、山腹工施工後の経過年数と植被率（植生の樹冠による地表面の被覆割合）との関係を取りまとめたものを図9に示す。

また、山腹工施工後の経過年数と山腹工施工地の平均樹高との関係を取りまとめたものを図10に示す。

山腹工施工後20年以上経過すると植被率は概ね80%以上、平均樹高8～10mの安定した樹林へと成長するなど、山腹工施工地では、施工後の経過年数とともに平均樹高が増加し、その増加傾向が継続しており、樹木の生長が良好に進んでいることがわかる。

(2) 植生遷移

植生遷移状況を見ると、山腹施工後22年経過した箇所では、アカマツ主体の樹林となっているが、施工後35年以上経過した箇所では、アカマツの生育本数が減少しており、亜高木～低木層に、アカマツの後継樹と

なる高木性の落葉・常緑の広葉樹が見られるようになる。施工後50年以上経過した箇所では、高木層・亜高木層にはコナラやリョウブが優先し、低木層にはネジキ・モチツツジなど落葉性の低木が多く生育している（図11）。

以上より、施工後30年以上経過すると、亜高木～低木層に、後継樹となる高木性の落葉・常緑の広葉樹が見られるようになり、今後、時間の経過とともに、徐々にアカマツ主体の樹林から、コナラなどの落葉広葉樹林や気候の極相である常緑広葉樹林（カシなど）へと良好な遷移が進行するものと考えられる。

(3) 地被状態

表面侵食抑制に対して土壌表面の保護等の効果を発揮する「地被（落葉・落枝などの林床堆積物）」に着目し、現地調査結果をもとに、山腹工施工地の地被状態を整理した。

田上地区に位置する山腹工施工地内の4地点で実施した地被調査結果をもとに、山腹工施工後の経過年数と地被量との関係を整理したものを図12に示す。図中には、自然林と裸地で実施した地被量の調査結果も併記した。また、各調査地点の50cm四方の調査プロットから採取した地被の状況を写真1に示す。

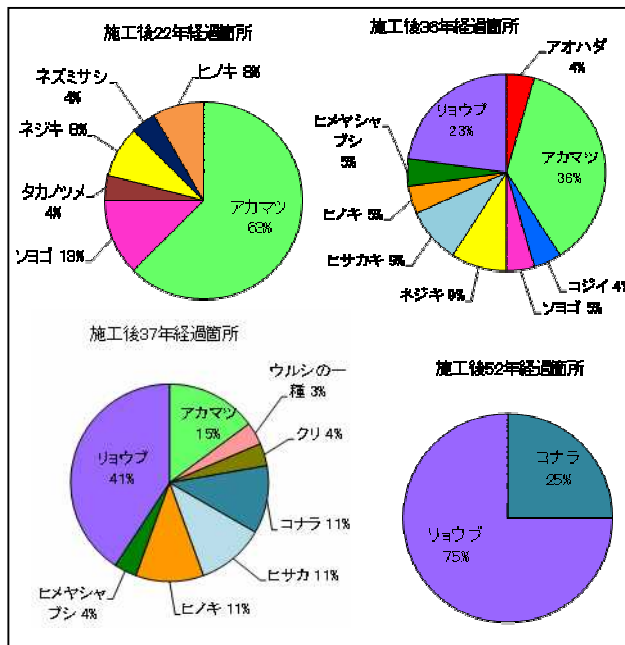


図11 山腹工経過年数と樹種の関係

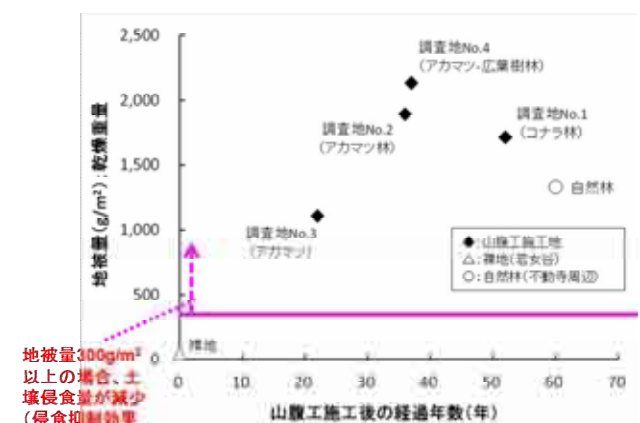


図12 山腹工経過年数と被覆量の関係

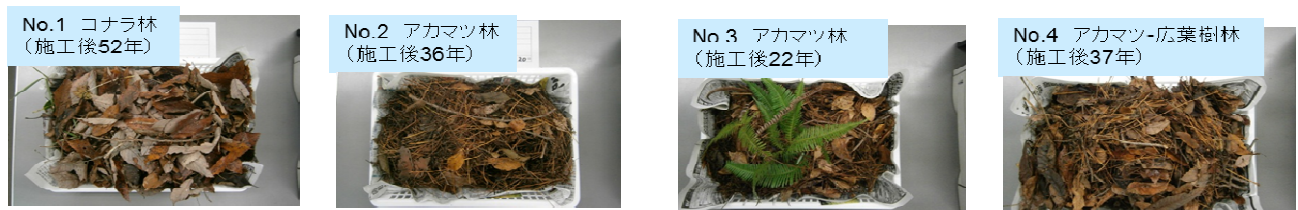


写真1 各植生ごとの被覆状況

一般に、地被量が300g/m²以上の場合、土壌侵食量が減少し、表面侵食抑制効果が期待できることが知られている²⁾。

図12より、山腹施工地では、施工後の経過年数とともに、地被量が増加傾向を示し、施工後20年以上経過した樹林では、地被量は300g/m²を上回っており、表面侵食抑制に十分な地被量が供給されていることがわかる。

6. 土壌回復状況

田上地区内に位置する山腹工施工地内の4地点の土壌調査結果をもとに、山腹工施工後の経過年数と土壌層位の関係を整理したものを表1に示す。

山腹工施工後の経過年数とともに、崩壊抑制に寄与する樹木根系の発達に必要な土壌：A層・B層（図13、写真2参照）が形成されつつあることがわかる。山腹工施工後20年以上経過する

と、A層が形成されるようになり、施工後40～50年経過すると、A層・B層が発達し、崩壊抑制に寄与する高木性の根系の生育に必要な土壌環境へと変化が進んでいる。

7. 根系発達状況

(1) 根系の伸長

表層土に対してどの程度根系が発達しているかを把握するため、根系調査を行い、表層土深と根系発達深との関係を整理した。

その結果、山腹工施工後20年以上経過すると、山腹工施工により生育した樹木の根系は、瀬田川砂防管内の平均崩壊深70cm以上に達することが確認された（図14）。

また、表層土が70cm以下の表層土が薄い場所でも、表層土の深度までは、根系が伸長し、B層以下の風化礫の亀裂への細根の伸長も確認できた（図15）。

表1 山腹工経過年数と土壌層位の関係

	調査地		土壌の層位区分
	1年経過	斜面上部 下部	C-R C-R
【H12年度 調査結果】	10年経過	斜面上部 下部	C-C2-R C-C2-R
	20年経過	斜面上部 上部 下部	A-AC-R AC-R AC-R
	30年経過	斜面上部 下部	AC-C-C2-R AC-C-C2-R
	40年経過	斜面上部 下部	A-B-C1-C2 A-BC-2C-2C2-2C3
【H24年度 調査結果】	50年経過	斜面上部 下部	A-B-2C-R A-AB-B-BC-C
	22年(No.3)	斜面上部	A-B-BC-C-R
	36年(No.2)	斜面上部	A-B-C-R
	37年(No.4)	斜面上部	A-B-C
	52年(No.1)	斜面上部	B-BC-R

土壌層位 A₀層: 落葉などの堆積有機物層

A層: 堆積有機物層の直下にある腐植に富む暗色の層

B層: A層の下位にある腐植に乏しく明るい色調の層

C層: 岩盤が風化してできた層

R層: 岩盤

※各層に付記された添字: 土壌の性質等により、層位を細分した場合の区分

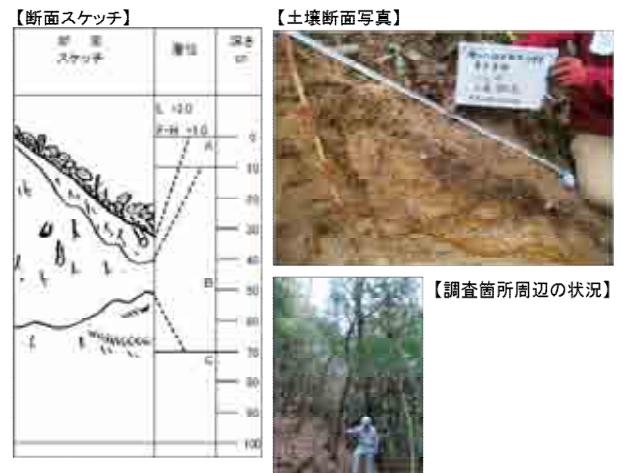


図13、写真2 土壌回復状況

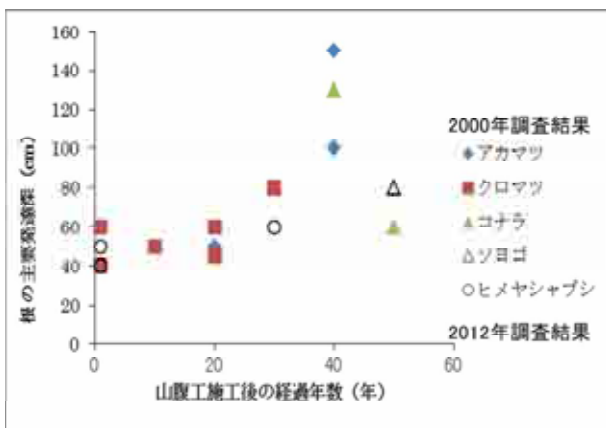


図14 山腹工経過年数と根の発達深の関係

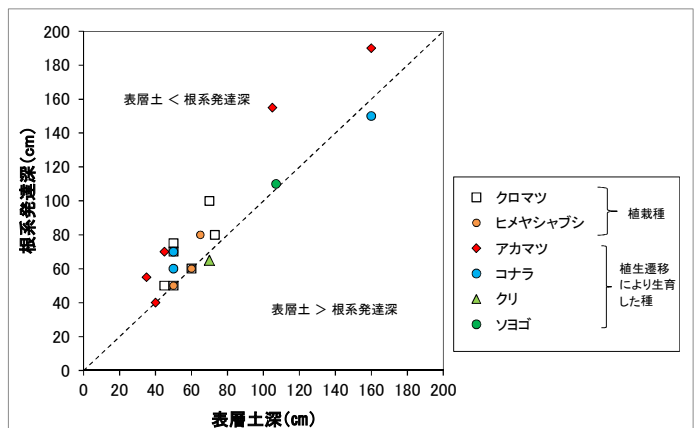


図15 表層土厚と根の発達深の関係

(2) 根系発達状況

a) 表層土70cm以上

図16は1960年に施工された山腹工施工地内に生育したコナラの根系発達状況であり、調査時点で施工後40年経過している。山腹工施工地内の表層土が70cm以上の範囲では、植生遷移により成長した樹木の根系が良好に発達していることが確認された。

瀬田川砂防管内の平均崩壊深70cmよりも鉛直根が深く伸長し、水平根も良好に発達していることから、根系による表層土の崩壊抑制に寄与していることが考えられる。

b) 表層土70cm未満

山腹工施工地内の表層土が70cm未満の範囲でも、基岩より上層の表土に根系が多く伸長していることが確認された。特に、B層以下の風化礫の亀裂に細根が板状に伸長しているのが特徴的であった(図17、写真3)。

以上より、表層土70cm未満の薄い場所でも表層土の深度まで根系が伸長し、B層以下の風化礫への細根の伸長も確認できたことから、根系

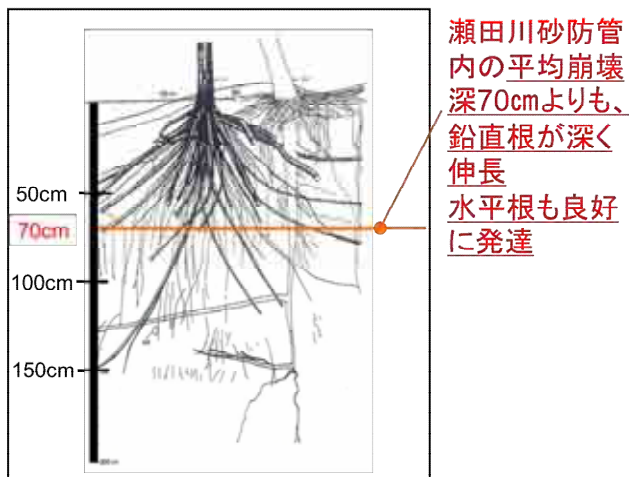


図 16 表層土 70cm 以上における根系発達状況

による表層土の崩壊抑制に寄与していることがk考えられる。

8. まとめ（山腹工の効果）

山腹工の効果について表 2 にまとめる。

9. おわりに

本検討において、瀬田川砂防管内の山腹工について多角的な視点から効果の分析を行い、その結果十分に効果が発揮されていると評価した。本検討が他事業における山腹工の評価検討の一助となれば幸いである。

参考文献

- 1) 鈴木雅一、福嶋義宏：水利科学、190、P89-100、1989
- 2) 恩田裕一編、：人工林荒廃と水・土砂流出の実態、岩波書店



図 17、写真 3 表層土 70cm 以下における根系発達状況

表 2 山腹工の効果におけるまとめ

- 山腹工施工地では、施工後20年以上経過すると植生が回復し、植被率の向上、地被の回復等により、裸地状態の土砂生産量の1/1,000~1/100,000となることから、山腹工は表面侵食を抑制する効果を有する。
- 山腹工施工後は、樹木が成長し、植生はクロマツ林からアカマツ林、さらにはコナラなどの落葉広葉樹林へと遷移が進行しており、施工後の時間の経過とともに、山腹工の効果も徐々に向上している。
- 山腹工施工後は、経過年数とともに樹林の階層構造が発達しており、山腹工の効果も徐々に向上している。
- 山腹工施工地では、植生遷移により生育した樹木の根系が発達し、施工後20年以上経過すると鉛直根は70cm以上に伸長し、表層崩壊防止に寄与する効果を発揮する。
- 山腹工施工地では、表層土が70cm未満と薄い場合でも、基岩面まで根系（特に水平根）が発達しており、表層土より深い風化礫の亀裂へ、細根が板状に伸長していることも確認できることから、表層土の崩壊抑制に寄与する効果を発揮している。
- 山腹工施工により生育した樹林では、表層土が形成されている深度までは、樹木の垂直根・水平根ともに良好に発達していることが確認されたことから、根系（垂直根・水平根）による崩壊抑制に寄与する効果を発揮している。

大阪国道事務所における ゲリラ豪雨への対応について

寺田 康弘¹・辻野 直義²

¹近畿地方整備局 大阪国道事務所 施設管理課 (〒536-0004大阪府大阪市城東区今福西2-12-35)

²近畿地方整備局 紀の川ダム統合管理事務所 管理課 (〒637-0002 奈良県五條市三在町1681) .

突発的に発生するゲリラ豪雨が近年頻発し、短時間に設計上考慮されていない時間降水量による冠水被害が、管内各所で発生している。しかし、道路維持工事等での緊急的な対策で道路管理者が対応できる範囲は限られており、下水道管理者等の関係機関との調整なくしては対策が難しい事例も多い。

これらの、都市部の排水システムの脆弱点びに関係機関との調整の実施事例を報告するものである。

キーワード 防災, 異常気象, 対策検討

1. はじめに

近年、積乱雲が急速に発生し局所的に短時間で記録的な降水量をもたらす、いわゆるゲリラ豪雨が頻繁に発生している。前線や低気圧、台風などに伴う集中豪雨に比べるとゲリラ豪雨は事前に予測することが難しく、事前対策が十分に取れない中で都市部の道路や中小河川の急激な増水による浸水や洪水をもたらしている。

都市部の国道を管理している大阪国道事務所管内の道路側溝及び地下道の排水の大半は下水道へ接続されているが、下水道の流下能力を超える降雨が発生しており流下能力を超えることにより道路の冠水及び地下道への流入が発生している。

これらの状況を踏まえ大阪国道事務所でのゲリラ豪雨

に対する緊急対応および下水道管理者との調整事例について報告する。

2. ゲリラ豪雨の傾向について

表－1から表－4は気象庁が公開している過去の気象データから抜粋である。表－1の日最大降水量上位10位のデータを元に年代別に整理した表－2から、大阪市では1990年以降「1時間降水量」で3回、「10分間降水量」においては5回も記録的な降水量があったことがわかる。しかし、1960年代～1980年代には「1時間降水量」で2回、「10分間降水量」では発生していない。

ゲリラ豪雨という言葉が一般的に使用されるようになったのは、2000年代以降といわれているが、データからもゲリラ豪雨が近年になって増加傾向にあることが

表－1 観測史上 1～10位の値(年間を通じての値)

大阪(大阪府)

要素名/順位	1位	2位	3位	4位	5位	6位	7位	8位	9位	10位
日最大10分間降水量 (mm)	24.5 (1997/ 8/ 5)	22.5 (2011/ 8/27)	22.2 (1939/ 9/26)	22.0 (2012/ 8/18)	22.0 (1952/ 8/ 5)	21.7 (1941/ 8/20)	21.5 (1940/ 8/ 2)	19.6 (1958/ 9/ 1)	19.5 (2012/ 9/ 1)	19.5 (1997/ 7/13)
日最大1時間降水量 (mm)	77.5 (2011/ 8/27)	77.5 (1979/ 9/30)	65.0 (1978/ 7/10)	64.5 (1990/ 9/13)	63.8 (1940/ 7/10)	63.2 (1941/ 8/20)	61.8 (1896/ 8/30)	60.0 (1957/ 7/16)	59.4 (1957/ 7/10)	58.0 (2012/ 8/18)

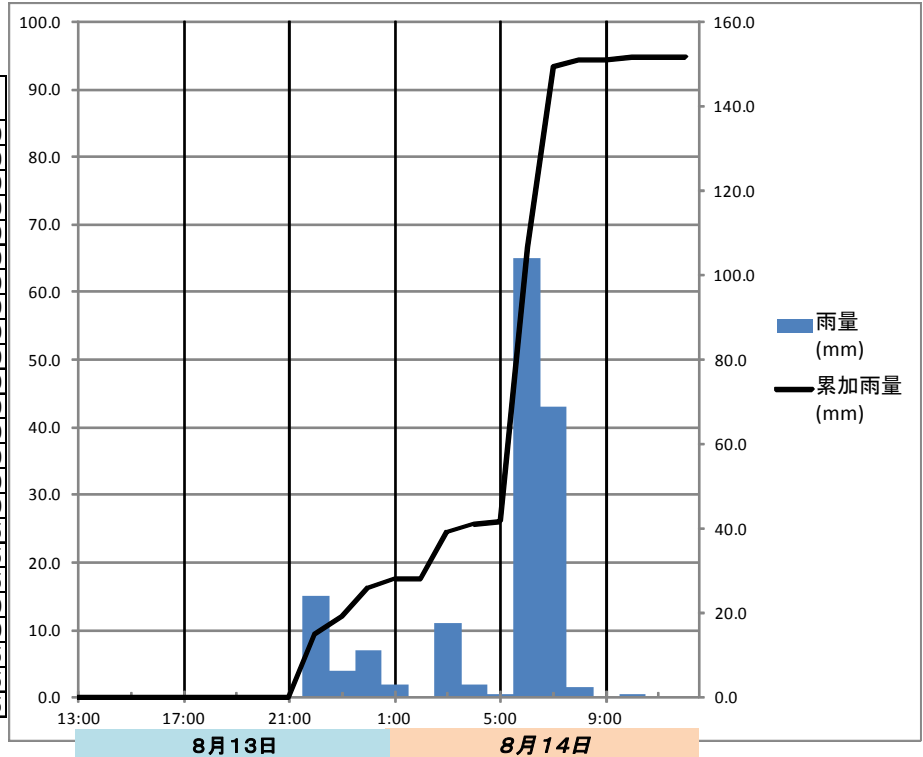
表－2 年代別 1～10位の値

年代	2000～2012	1990年代	1980年代	1970年代	1960年代	1950年代	1940年代	1930年代	1920年以前
日最大10分間降水量 (mm)	2位: 22.5mm 4位: 22.0mm 9位: 19.5mm	1位: 24.5mm 10位: 19.5mm				5位: 22.0mm 8位: 19.6mm	6位: 21.7mm 7位: 21.5mm	3位: 22.2mm	
日最大1時間降水量 (mm)	1位: 77.5mm 10位: 58.0mm	4位: 64.5mm		2位: 77.5mm 3位: 65.0mm		8位: 60.0mm 9位: 59.4mm	5位: 63.8mm 6位: 63.2mm		7位: 61.8mm

う

表－3 枚方市1時間ごとの降水量
(8月14日)

月日	時間	雨量 (mm)	累加雨量 (mm)
8月13日	13:00		0.0
	14:00		0.0
	15:00		0.0
	16:00		0.0
	17:00		0.0
	18:00		0.0
	19:00		0.0
	20:00		0.0
	21:00		0.0
	22:00	15.0	15.0
	23:00	4.0	19.0
8月14日	0:00	7.0	26.0
	1:00	2.0	28.0
	2:00		28.0
	3:00	11.0	39.0
	4:00	2.0	41.0
	5:00	0.5	41.5
	6:00	65.0	106.5
	7:00	43.0	149.5
	8:00	1.5	151.0
	9:00		151.0
	10:00	0.5	151.5
	11:00		151.5
	12:00		151.5



図－1 テレメータ雨量 (枚方 気象)

かがえる。

次に、大阪府北部から京都府南部において多くの冠水被害が発生した、平成24年8月14日のゲリラ豪雨時の枚方市の降水量データを基に降雨傾向を考察する。

表－3・表－4および図－1から、枚方市では5時から6時の間に急激に降雨が強まり、その後2時間ほどで降雨は終息していることがわかる。

特に表－3に注目すると、降り始めの5時20分から5時30分までの10分間で、21mmもの降水量を記録していることが確認できる。さらに、6時10分までの40分間は10分間ごとに10mm以上の降水量が継続し、その後は、わずか**1時間程度で終息**している。

このように、近年多発するゲリラ豪雨は、局地的かつ分単位で急激に記録的な降水量をもたらし、短時間で終息する傾向がある。

表－4 枚方市10分ごとの降水量
(8月14日)

時間	降水量 (mm)
5:00	0.0
5:10	0.0
5:20	0.5
5:30	21.0
5:40	18.5
5:50	12.0
6:00	13.0
6:10	17.0
6:20	9.5
6:30	3.5
6:40	9.5
6:50	2.5
7:00	1.0
7:10	0.5
7:20	0.5
7:30	0.0
7:40	0.5
7:50	0.0
8:00	0.0
8:10	0.0
8:20	0.0
8:30	0.0
8:40	0.0
8:50	0.0
9:00	0.0
9:10	0.0
9:20	0.0
9:30	0.0
9:40	0.0
9:50	0.5
10:00	0.0

3. ゲリラ豪雨による冠水状況について

平成24年8月14日、18日のゲリラ豪雨では、大阪国道事務所管内においても冠水被害が多数発生した。

これらの主な冠水箇所を図-2に被害状況を写真-1から写真-6に示す。

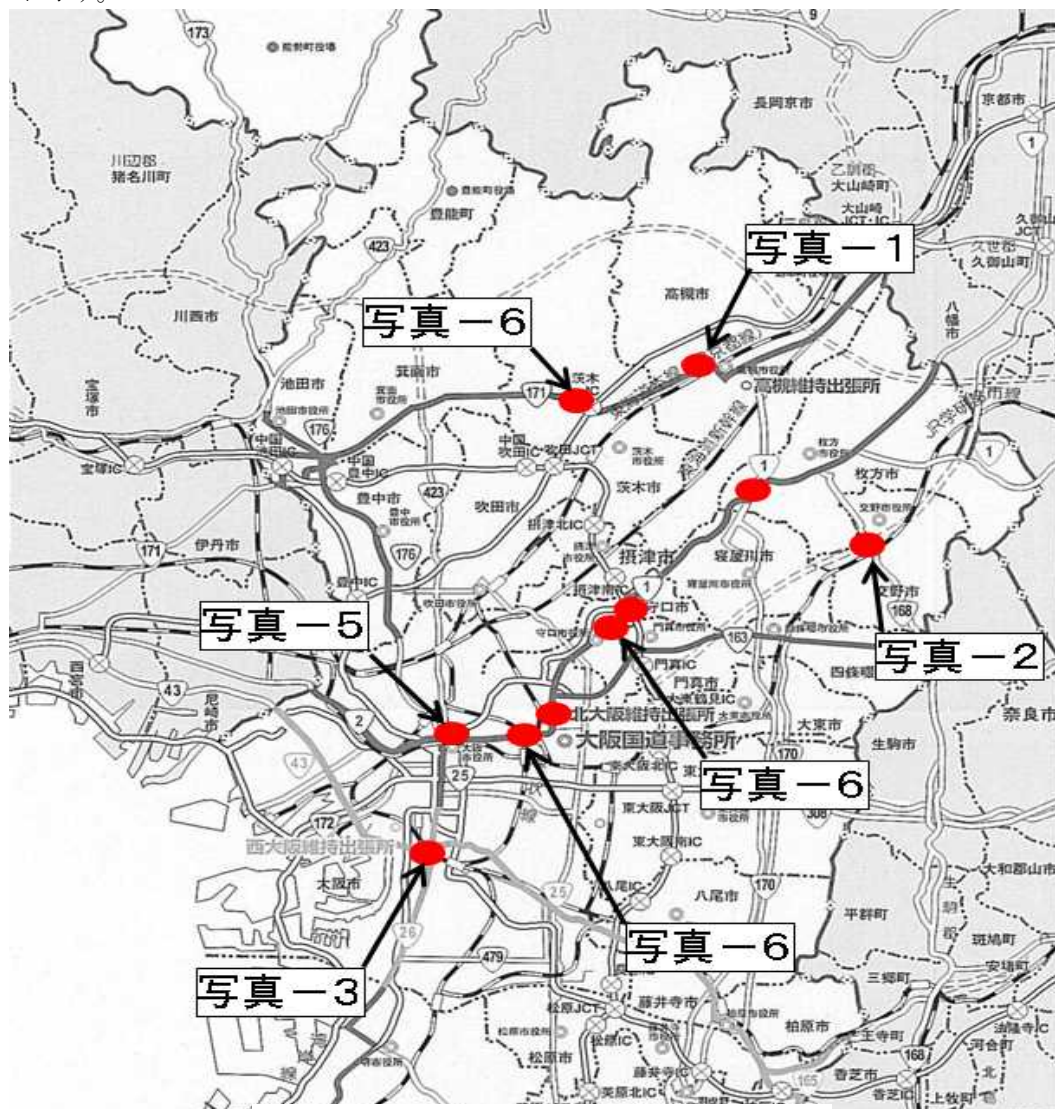


図-2 大阪国道事務所管内での主な冠水箇所



写真-1 国道171号高槻市内での冠水状況



写真-2 国道1号(第二京阪)交野市内での冠水状況



写真-3 国道26号大阪市内での冠水状況



写真-6 共同溝内の浸水状況



写真-4 冠水後の状況



写真-5 梅新地下歩道での冠水状況

4. 対応事例

(1)エンジン付き仮設ポンプの配備

過去に冠水した箇所への排水対策として仮設ポンプを配備した。発生予測が難しく、発生後は急激な被害をもたらすゲリラ豪雨に対応出来るように、下記の点に着目して仕様を決定した。写真-7に導入したポンプを示す。

- ・地下道からの排水も考慮して高揚程型
- ・発電機等の電源確保が不要なエンジン付き
- ・人力（2人程度）でも設置可能な重量
- ・2tトラックやライトバンでも運搬可能なコンパクトタイプ

また、仮設ポンプの排水先については、ゲリラ豪雨時に流下能力を超えている下水道系統を除外し、流下能力に余裕がある箇所及び別系統等の排水箇所を調査して排水箇所を決定するとともに設置マニュアルを作成した。

写真-8に実際の使用状況を示す。



写真-7 エンジン付き仮設ポンプ



写真－８ 使用状況

(2)下水道管理者との調整事例

下水道はいくつかの下水ポンプを経由し、最終的に下水処理場へ流れ込んでいる。下水道の流下能力を上げる有効的な対策として下水道幹線を大口径化がある。

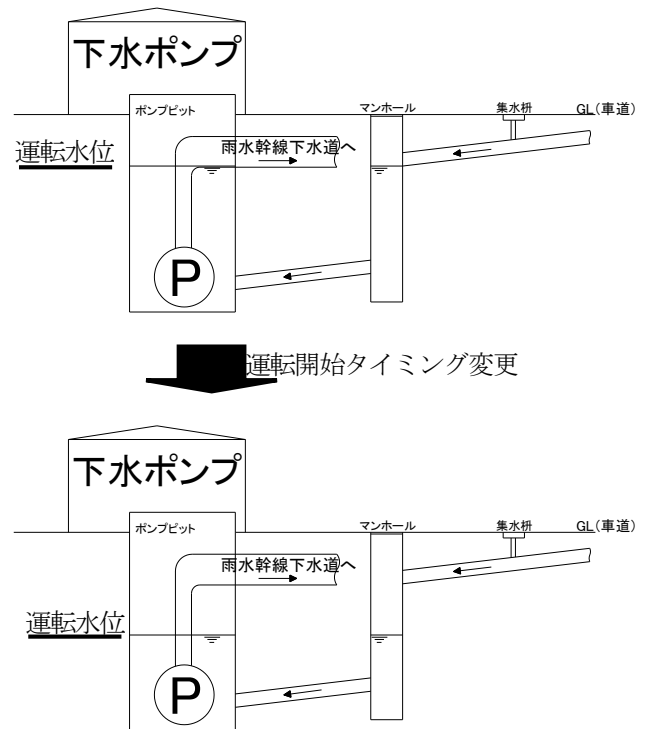
下水道幹線は、図－３に示すように地下に埋設されており、大口径化工事による早期の対応は難しい。

よって、当面の対策として、大阪国道事務所では下水道管理者と調整して下水ポンプの運転水位を下げた運転開始タイミングの調整を行った。運転開始タイミングを早めることで、ポンプピット内に雨水が流入してから下水幹線に排水するまでのタイムラグが小さくでき、降雨量急増時には路面からの雨水をポンプピットまでスムーズに導くことができるようになる。

これにより、降雨ピーク時の冠水の軽減が見込まれる。



図－３ 大阪市関目周辺の下水道系統図



図－４ 関目下水ポンプ概念図

5.おわりに

道路管理者は道路維持工事等に対応できる日常的な清掃に加え、側溝、集水桝等の改修や排水ポンプの設置などの抜本的な対応も必要となっている。

また、都市部の道路側溝及び地下道の排水の大半は下水道や周辺の中小河川へ接続されていることから、ゲリラ豪雨対策には下水道管理者や水路管理者と調整・連携が必要である。さらに今後はゲリラ豪雨発生時に迅速に対応するための予報も含めた速やかな降雨情報の入手・伝達方法の確立や、一旦冠水してしまった際の適切な通行規制の実施体制の確立が求められている。

ダム下流地域への河川・防災情報発信の改善

吉川 賀庸¹

¹近畿地方整備局 紀の川ダム統合管理事務所 防災情報課 (〒637-0002奈良県五條市三在町1681)

平成23年9月3日に紀伊半島を通過した台風12号により奈良県や和歌山県で多大な被害が発生した。猿谷ダム警報区間においても奈良県五條市大塔町宇井地区において深層崩壊による土砂崩れ及び河道閉塞による水位上昇で甚大な被害が発生した。

既存の情報発信手法だけでは、ダム放流に伴う警告が十分伝わらない恐れが今後も想定されるため、ダム下流地域への河川・防災情報発信について改善すべく検討後、整備を行ったので紹介する。

キーワード ケーブルテレビ, 河川情報板, 台風12号, 五條市, 宇井地区

1. はじめに

台風第12号は、9月3日10時前に高知県東部に上陸した。上陸後もゆっくり北上を続け3日18時頃に岡山県南部に再上陸、中国地方を北上して4日未明に山陰沖に抜けた。

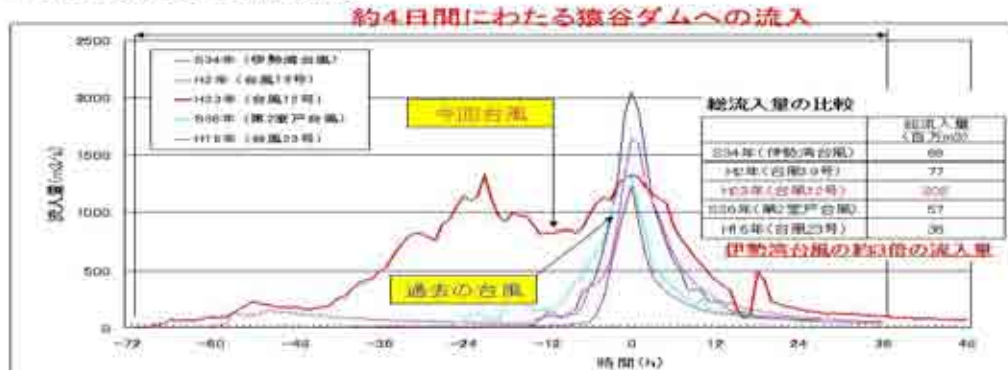
台風は大型で、動きが遅く大雨をもたらした。猿谷ダム流域平均雨量は約950mmとなり、記録的な大雨となった。

猿谷ダムにおいては過去最大の総流入量202百万m³を記録し、猿谷ダム下流においても大きな被害等が発生した。今回と過去の出水の比較を図-1、猿谷ダム下流状況を図-2に示す。



図-2 猿谷ダム下流状況

■今回と過去の出水の比較



- ・過去の洪水: 短時間の洪水
- ・今回の洪水: 長時間の洪水

※総流入量は過去最大であった
※1000m³/s以上の二山流入は今回が初めてであった

図-1 今回と過去の出水の比較

五條市大塔町宇井地区については深層崩壊により、土砂崩れが発生し、河道が一時的に閉塞した。その際、猿谷ダムの放流による水位上昇が発生し、宇井地区の集落に大きな被害が発生した。宇井地区河道閉塞箇所を図-3に示す。



図-3 河道閉塞箇所（宇井地区）

2. 自治体及び住民との対話

猿谷ダム下流において深層崩壊による土砂崩落及び崩落に伴う河道閉塞による増水で大きな被害のあった大塔町地区住民と対話を行った。その際、猿谷ダムの放流量が800m³/s程度で冠水する生活道路等がある為、猿谷ダムの放流量によって、独自の避難基準を持たれている住民の方からの発言があった。また、猿谷ダムの放流量が、避難等の目安となるので、積極的に発信すべきだとの意見もあった。インターネットにおいて、川の防災情報等で猿谷ダムの放流情報を提供していたが、住民の大半は高齢者であり、インターネットを使わない人が多数をしめることがわかった。また、放流警報設備を鳴らしていたが家の中の住民からは聞こえなかったとのご意見があった。

3. 猿谷警報区間における放流警報設備の検証

猿谷ダム下流域は急峻な谷沿いの斜面に民家が点在し、出水による河川の増水が生活道路や民家周辺に及ぶ場所も存在する。また、住民との対話において放流警報設備による警報が聞こえなかったとの意見があった。放流警報設備更新業務を行いその中で、既設放流警報設備の音達範囲について調査設計を行った。その結果、放流警報対象区域をカバーしていることを確認出来たが、より早期かつ確実に情報が伝達出来るように、新たな情報発信について検討することにした。

4. 新たな情報発信の検討について

（1）ケーブルテレビ活用についての検討

紀の川ダム統合管理事務所では、平成18年より奈良県吉野郡川上村の運営するこまどりケーブルテレビ11c h川上村情報チャンネルに対し、大滝ダムの映像及びダム諸量を提供している。川上村情報提供画面を図-4に示す。



図-4 川上村情報提供画面

五條市と市町村合併により統合した西吉野町及び大塔村については地上デジタル化に伴う、中継局整備の代わりに奈良県、五條市等自治体、近鉄ケーブルネットワークが出資する第三セクターのこまどりケーブルテレビに全世帯加入している。こまどりケーブルエリアを図-5に示す。

五條市西吉野支所に五條市西吉野町、五條市大塔町地区にケーブルテレビを配信する設備を川上村と同様に有している。テレビはインターネットと違い、幅広い年齢層において身近情報入手手段である為、こまどりケーブルテレビの11c h五條市情報チャンネルに対して川上村と同様な情報提供出来ないか検討することにした。猿谷提供出来ないか検討を行った。

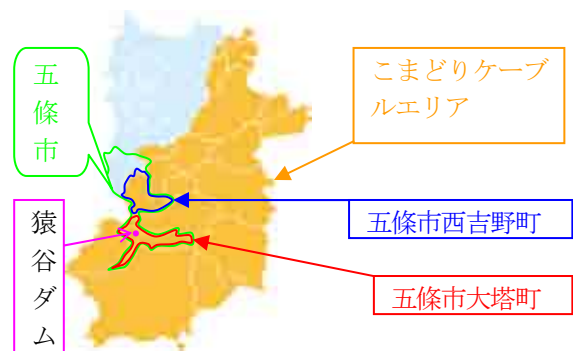


図-5 こまどりケーブルテレビエリア図

ケーブルテレビ放送を中継設備を管理する五條市に対して協議を行った。ケーブルテレビの中継局が西吉野支所にあり、そこから西吉野町、大塔町全域に放送する為、猿谷ダムの下流域ではない、西吉野地区の住民に対しては直接関連性が低い情報が流れることを指摘された。また、奈良県においては独自に気象庁の提供する大雨注意報、大雨警報、土砂災害警報が発令された際、奈良県全

域の各自治体放送に割り込みをかけ、自治体放送の代わりに独自の防災情報を提供する設備を整備し、運用を行っている。奈良県防災情報提供画面を図-6に示す。

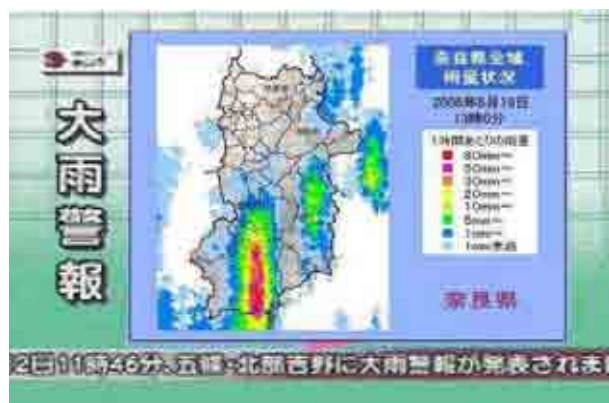


図-6 奈良県防災情報提供画面

配信エリアが、猿谷ダムの放流影響を受ける地域以外にも流れ、奈良県の情報も地域住民に対しては重要な情報であることから。五條市及び奈良県の情報に対し、L字型のテロップを挿入し、自治体チャンネルに対して猿谷ダム放流時に放流情報を流す方式を五條市及び奈良県と協議し、了解を得た。住民に対しても、説明会等で説明

し了解を得た。本設備については平成24年6月より運用開始している。猿谷ダムケーブルテレビ情報提供を図-7に示す。



図-7 猿谷ダムケーブルテレビ情報提供

(2) 河川情報板にダム放流量表示

猿谷ダムには河川情報板が下流に3箇所設置されている。目的は、河川の周辺に人家が密集している所、河川敷地内に水泳・キャンプ・釣人等が多く集まる箇所に設置し、サイレン・スピーカによる警報を知らずに河川にちかづく人に対して設置を行っている。設置箇所は五條市大塔町辻堂地区と十津川村谷瀬地区である。猿谷ダム警報区間における情報板設置図を図-8に示す。



図-8 情報板設置図

今回大きな被害があった宇井地区には情報板が設置されていなかった。住民説明会にて河川情報板の有用性について聞くと現行の河川表示板はダム放流を注意喚起する文字だけが表示されるので、あまり危機感を感じないとの意見があった。また、既設河川情報板設置箇所が幹線道路沿いなので、河川周辺の人家密集地に対して発信が出来ていないとの意見もあった。ダム放流量を表示すれば猿谷ダム下流においては放流量によって、避難等自主判断する人もいるため、放流量をリアルタイムに表示することは有用であると判断し、放流量が表示可能な情

報板について宇井地区への設置検討を行った。宇井地区は住居地区への進入は土砂災害前は十津川側より入るルートと五條市側から入るルートがあり、十津川村より入るルートは現在復旧工事の為、通行止である。その為、集落への唯一の進入路であるふれあいトンネル北側坑口と台風12号による避難住民の避難箇所にもなった五條市ふれあい交流館に設置する案を住民に提示した。宇井集落情報板設置候補を図-9に示す。

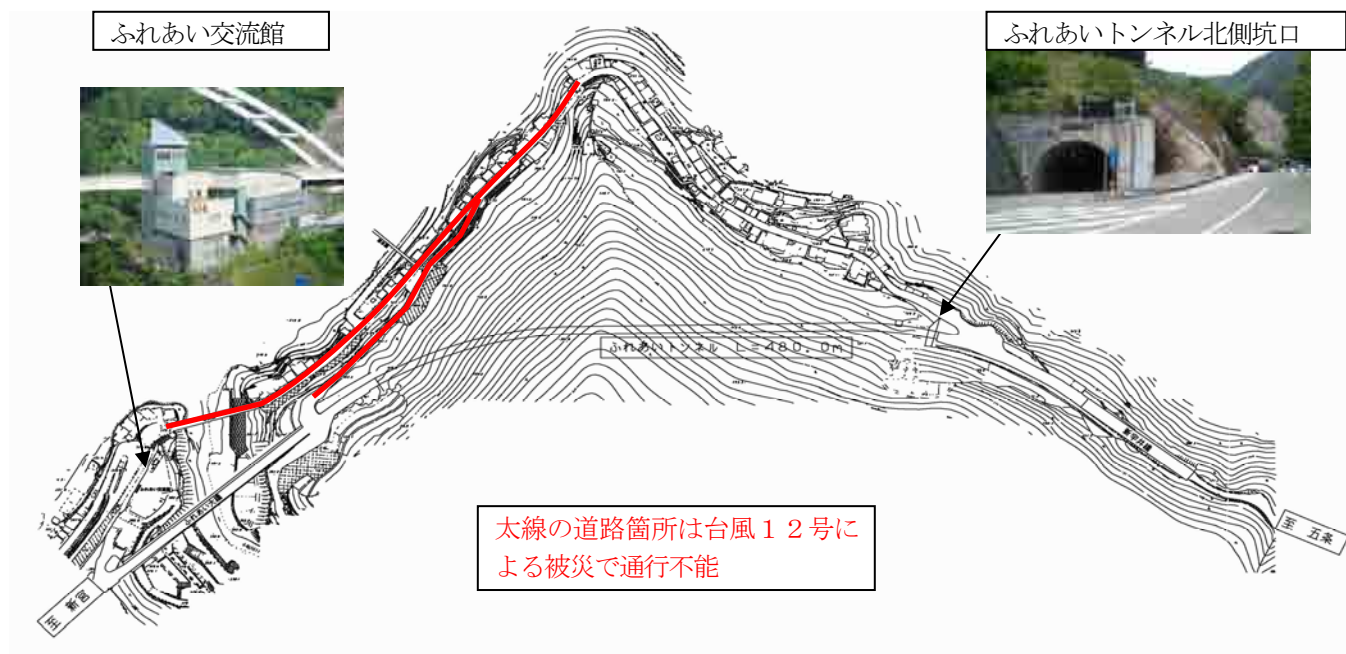


図-9 宇井集落情報板設置候補図

住民の意向を反映し、ふれあいトンネル北側坑口に設置することになった。(図-10 新設河川情報板写真)

線の支柱(図-11五條市防災無線支柱回転灯設置写真)に設置することとした。



図-10 新設河川情報板写真

しかし、ふれあいトンネル北側坑口河川情報板では集落の入り口でしか表示出来ないため、集落内にとどまっている住民については、情報を得ることが出来ない。被害のあった集落内すべてをカバーするために、河川情報板を複数設置するのはコスト面で困難である為、回転灯を設置し、その点灯個数で放流量がイメージ出来れば簡易的ではあるが、安価に放流量を通知出来ると考えた。回転灯により、集落内に対して情報提供する案について住民及び五條市に提案し、了解が得られた。具体的な回転灯設置箇所について宇井地区住民及び五條市と協議し、設置場所を決めることになった。ふれあいトンネルの十津川村坑口と集落内の2箇所回転灯を設置する方向で調整を行った。最後まで難航した集落内に設置する回転灯については住民の意向も踏まえ五條市が新設する防災無



図-11 五條市防災無線支柱回転灯設置写真

台風12号による大規模な地滑等発生により、電力会社の発電所及び送電網が被災したため、長時間の停電が発生した。また、民間事業者の有線通信回線が途絶したため電話、携帯電話、インターネット回線等が使用不能になった。また、自営光回線についても切断された為、河川情報板及びCCTVカメラが使用不能になった。よって、電源については72時間運転可能な非常用発電機を設置した。通信回線については、自営光ケーブルと民間事業者の衛星回線を用いて二重化を行った。宇井地区への河川情報板の設置状況を図-12に示す。

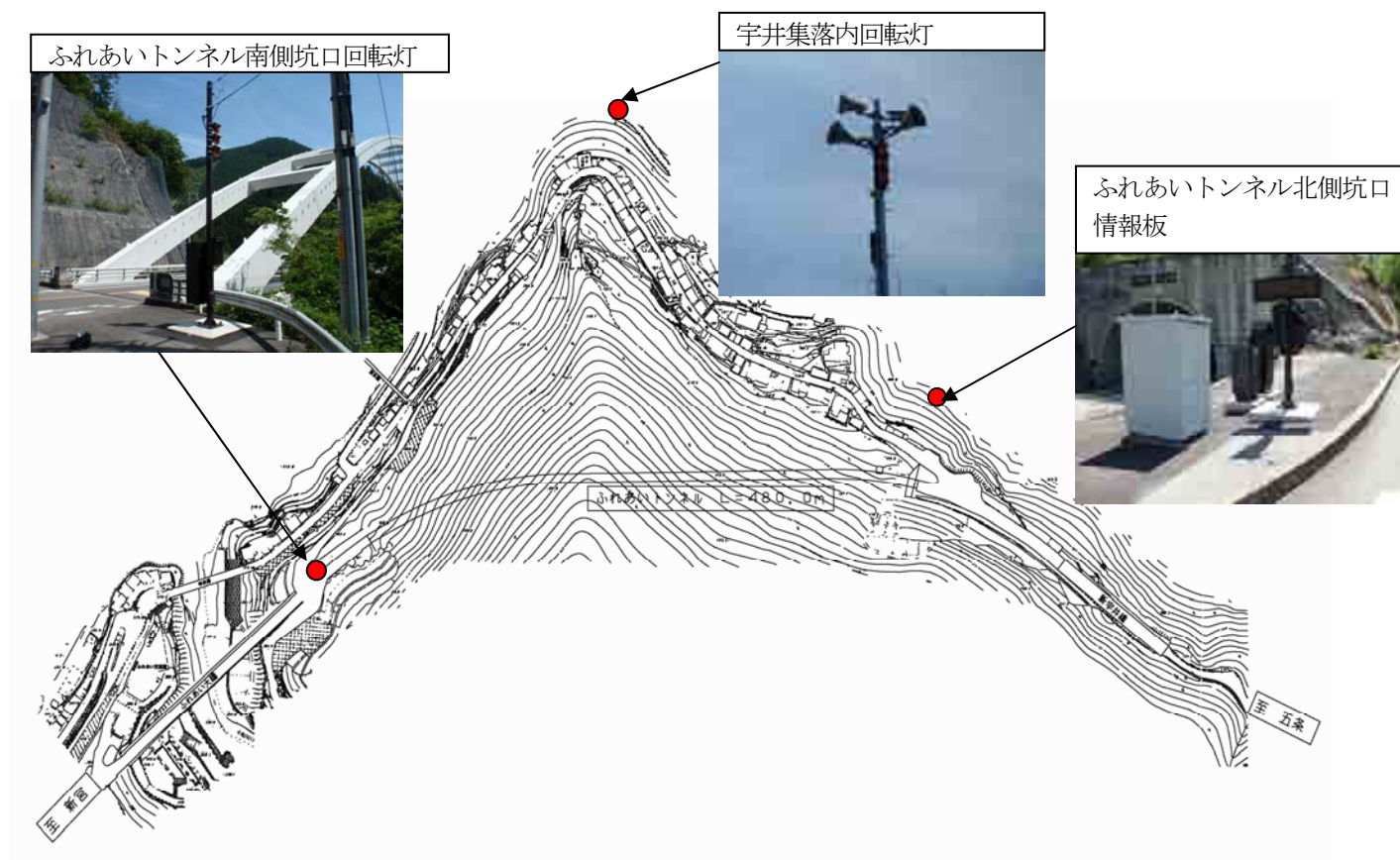


図-12 宇井地区河川情報板設置状況

5. 考察

今回、ケーブルテレビとダム放流量表示可能な河川情報板をあらたな情報提供手法として整備し、運用を行っている。

ケーブルテレビへの配信については、自治体、住民等と調整した結果、こまどりケーブルテレビ五條市自治体チャンネルに、猿谷ダム諸量等を文字情報としてL字型テロップにより提供することになった。

猿谷ダム放流の際、奈良県の提供する防災情報、五條市の提供する行政情報と同時に五條市自治体チャンネルの視聴者に対して提供することが可能となった。

河川情報板については、台風12号が発生する前は、五條市大塔町宇井地区にも従来型の河川情報板設置を計画していたが、設置場所及び表示内容等について住民等との調整が難航した為、設置出来なかった経緯がある。宇井地区における河川空間の主たる利用者である地元住民や自治体とコミュニケーションを行う中で、目的意識を共有化することが出来、利用者のニーズにあった設備整備を進めることが出来た。

関係者とのコミュニケーション及び目的意識の共有化が、情報提供設備を整備する上で重要と感じた。

6. 今後の課題

今回整備した河川情報板及び回線灯は平成23年度12月に大きな被害が発生した五條市大塔町宇井地区に先行して設置した。既設河川情報板については通信回線の2重化が出来ておらず、また、停電時運転可能な非常用電源を備えていないので、整備を検討していく必要がある。

今回整備した大塔町宇井地区では放流量を表示することがより高い注意喚起効果を期待できると判断し、整備した。しかし、外部からのキャンプ客の多い奈良県吉野郡十津川村谷瀬地区においては、具体的な放流量を表示しても外部からきたキャンプ客が放流量を目安に危険度を判断出来ない恐れがあるため、場所毎に検討する必要がある。

ケーブルテレビへの情報配信については、今回、大きな被害があった五條市に対して情報提供を行った。しかし、停電すると猿谷ダムの放流情報が提供出来ないため、河川情報板、放流警報設備、自治体防災無線等と連携し、猿谷ダムの放流情報を的確に伝達できるように進めていく必要がある。

大規模災害に備えた次期災害対策用機械 の導入に向けて

田中 和嗣¹

¹近畿地方整備局 近畿技術事務所 施工調査・技術活用課（〒573-0166 大阪府枚方市山田池北町11-1）。

本報は、大規模災害に備えて災害対策用機械の仕様・機能の向上に向けた提案を行うものである。これまでの大規模災害における災害復旧活動の経験を踏まえて、照明車に関する仕様・機能の改良を検討しており、本報では、車両の小型化、監視装置（カメラ装置）の装備について報告する。車両の小型化として、従来機械と照明車（10m級 2柱式）の使い分けによる災害復旧支援能力の向上を提案している。監視装置として、アナログ方式の高感度カラーカメラとパソコンを組み合わせた装置仕様を提案している。

キーワード 大規模災害、災害対策用機械、照明車

1. はじめに

わが国は、東北地方太平洋沖地震（以下、「東日本大震災」と称す）や平成23年台風12号による紀伊半島大水害のように大規模な自然災害が頻発しており、今後も南海トラフ地震の発生が予想されている。災害発生時の国土交通省は、災害対策用機械を派遣して様々な災害復旧支援活動にあたり、近畿技術事務所も、多数の災害対策用機械を運用している。国土交通省の災害対策用機械は、河川や道路災害の復旧経験を踏まえて開発した機械であるが、大規模災害では津波被災箇所での復旧や堰止め湖の排水活動など、過去に経験の少ない広範で長期にわたる用途で活動している。

本報は、近年の大規模災害の経験を踏まえて、災害対策用機械の機能向上について検討したものである。検討は、災害対策用機械のうち、照明車、対策本部車と待機支援車を対象に行っているが、本報では、照明車に関する

提案について報告する。

2. 提案方針

災害対策用機械は、災害復旧活動の経験などから使用用途に合わせて必要な機能を装備している。機能向上の提案は、災害復旧活動の実態を踏まえて、各機械の改良項目を抽出して行う。改良項目の抽出は、災害対策用機械を運用した全国の実務経験者からワーキンググループにより意見収集して行う。

3. 照明車の活動事例

国土交通省が導入する照明車の建設機械標準仕様は、「照度75lx以上が幅50m以上にわたり確保できる照度分布」となっており、ブーム高さ20mの高所から現場内を広く照らすものである²。照明車は、災害現場に自走で出勤して、迅速に災害復旧活動にあたり、

河川や道路災害における照明車の代表的な活動事例を図-2と図-3に示す。図-2は水害時の夜間緊急排水作業における照明支援の事例である。図-3は道路擁壁上部で発生した土砂崩れの復旧における照明支援の事例である。

照明車は、照明支援だけでなく、搭載した監視装置（カメラ装置）による災害現場の情報収集や監視活動も行っている。図-4は、土砂崩れ現場の災害復旧で、二次災害発生に備えた昼夜にわたる監視活動の事例である。

これらのことから、本提案では、照明車の使用用途を次のように捉えて行う。

- 照明車は、災害復旧支援活動において、機動的に活動して、夜間照明や情報収集を行う災害対策用機械である。



図-1 照明車（20m 級）



図-2 河川堤防上からの排水作業の夜間照明支援



図-3 土砂崩れによる道路復旧の夜間照明支援



図-4 土砂崩れ現場の監視（昼夜）

4. 照明車の次期仕様への提案

(1) 照明車の改良項目

ワーキンググループにより抽出した照明車の仕様・機能に関する改良項目を表-1に示す。主要な改良項目として、「車両の小型化」「監視装置の装備」がある。本報では、これらについて特に述べる。

車両の小型化は、被災地内の道路状況などを踏まえた改良項目である。例えば、東日本大震災で被災地内の道

表-1 照明車の仕様・機能に関する改良項目（抜粋）

区分	課題	背景
車体構造	車両の小型化	瓦礫撤去した応急復旧路は道幅が狭い(1.7m程度)。住宅地などへの派遣は、進入路が狭い。
	車両の機動性・操作性向上	広域派遣、山間部派遣などの活動がある。
基本機能	照度調整機能の追加	市街地などの活動で、災害箇所外へ照明が漏れる。
	遠距離照射能力	二次災害の危険性があり、接近困難なことがある。
	灯具の見直し(LED照明の採用)	被災地の燃料供給不足から、低燃費化が望まれる。メタルハライドランプは、ランプ切れが生じる。
	監視装置の装備	危険箇所の情報収集などを実施している。

路は、被災により大きく損傷している箇所や、道路啓開で瓦礫撤去した道路の幅が小型自動車(車幅1.7m)が通行できる程度のみ箇所がある。

監視装置の装備は、照明車の情報収集能力向上を図るものである。現在、国土交通省が保有する一部の照明車は、監視装置(カメラ装置)を装備している。照明車の監視装置は、高いブームの先端にカメラを設けており、高所から捉えた災害現場の映像情報を災害対策本部などに伝えることで、その効果を発揮している。反面、監視装置の仕様が統一していない。これまでの装備実績を踏まえて、的確な装置仕様をまとめることが望まれている。

(2) 照明車の小型化

車両の小型化は、災害現場への進入条件や設営場所の条件を緩和する反面、照明装置の仕様や機能に制約を与えることが予想できる。図-5は、近畿技術事務所が導入している照明車(10m級 2柱式)の事例である。当該機械は、全長が約4.7m(従来の約2/3)で、車幅も約1.7mと小型である。本提案では、照明車の仕様・機能に関する改良項目を見直した上で、従来の照明車(20m級)と照明車(10m級 2柱式)の2機種を用途に合わせて使い分けることで災害復旧支援の対応能力を向上することを考えている。

車両の小型化は、災害現場への進入条件や設営場所の



図-5 照明車(10m級 2柱式)

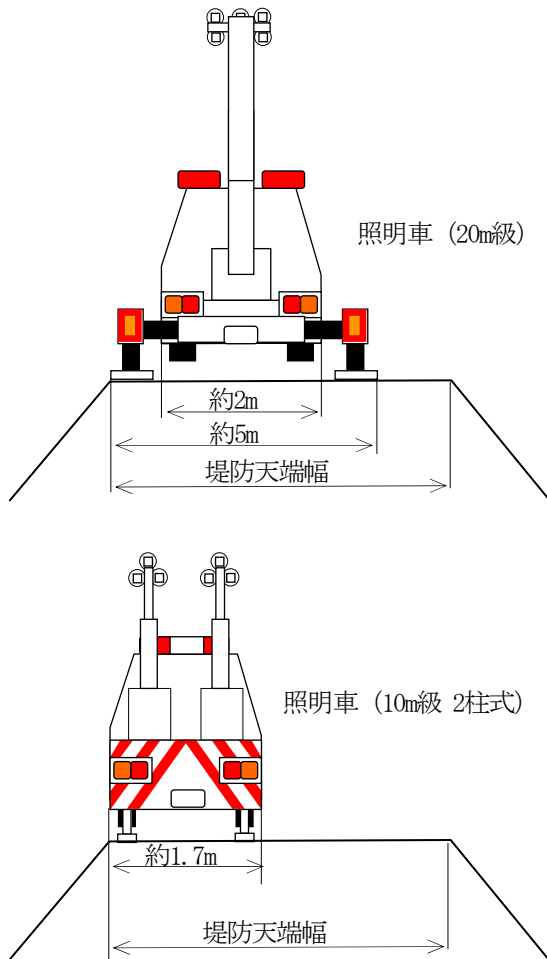


図-6 堤防上への照明車の設営（模式図）

表-2 堤防上への照明車の設営

堤防 天端幅	適用性		備考
	照明車 (20m級)	照明車 (10m級 2柱式)	
10.0m	◎	◎	
7.0m	○	◎	計画高水流量 10,000m ³ /s以上
6.0m	○	◎	計画高水流量 5,000m ³ /s～10,000m ³ /s
5.0m	○	○	計画高水流量 2,000m ³ /s～5,000m ³ /s
4.0m	×	○	計画高水流量 500m ³ /s～2,000m ³ /s
3.0m	×	○	計画高水流量 500m ³ /s未満

◎：パトロールカーが通過できる幅が残る。
○：設営できる。
×：設営できない。

条件を緩和する。図-2のような堤防上への照明車設営では、図-6と表-2に示すように照明車（20m級）は、堤防天端幅4m以下の堤防に設営困難であるが、照明車（10m級 2柱式）は、容易に設営できる。

照明車の小型化は照明能力に制約を与える。表-3は、照明位置から10m離れた100m×100mの領域を照明する時の水平照度を計算した結果である。照明高さ20mと照明高さ10mからの照明は、手前領域（50m×50m）で平均照度100lx以上を確保している。しかし、照明高さ10mからの照明は、遠方領域（50m×50m）の平均照度が11lxと低く、JIS Z 9126の規定によれば工事領域の照

表-3 照明高さと照度分布の違い

照明条件	照明高さ	
	20m	10m
照明位置		
領域①		
領域②		

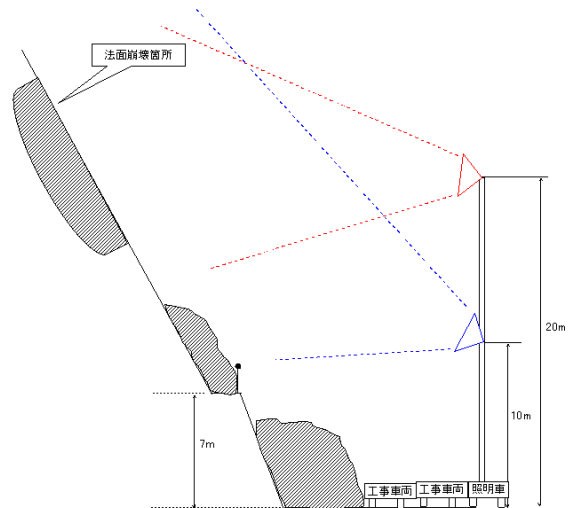


図-7 土砂崩れ箇所の照明のイメージ

表-4 擁壁高さと照明車の適用性

擁壁の高さ	適用性		備考 (擁壁の種類)
	照明車 (20m級)	照明車 (10m級 2柱式)	
5m以下	○	○	重力式擁壁
7m以下	○	○	ブロック積（石積）擁壁
3～10m	○	○	片持梁式擁壁
10m程度	○	△	控え壁式擁壁
15m程度	○	×	井げた組擁壁
3～18m程度	○	×	補強土擁壁

明として不足である。また、垂直面照度は、照明高さによる違いがないが、照明できる範囲が異なる。図-3のような道路擁壁上部で発生した土砂崩れ災害では、高所の照明が必要となる。図-7と表-4に示すように、控え壁式擁壁、井げた組擁壁や補強土曜壁は、10m以上の高さがあり、照明車（10m級 2柱式）は照明が困難になると予想できる。

(3) 監視装置の装備

照明車へ搭載実績のある監視装置のカメラは、高感度

表-5 照明車への監視装置の装備事例

	事例A	事例B	事例C	事例D
カメラ規格	アナログ方式 高感度 カラーカメラ	アナログ方式 高感度 カラーカメラ	アナログ方式 高感度 カラーカメラ	デジタル方式 IPカメラ
撮像素子	3CCD	単板CCD	1/4CCD	1/3CCD
有効画素数	41万画素	38万画素	38万画素	38万画素
水平解像度	850本	500本	480本	480本相当
最低照度 (通常時)	0.009lx	0.008lx	不明	0.8lx
ズーム比	21倍	10倍	35倍	4倍
外観				



図-8 照明車に搭載する監視装置の操作機器（事例）

カラーカメラとIPカメラがある。照明車への搭載事例を表-5に示す。各事例とも、夜間照明点灯状態で、映像撮影できることが実証済みである。ただし、IPカメラは、撮影画像を圧縮して伝送するため、画像が劣化する欠点がある。

監視装置の操作機器は、専用機器とパソコンの2つがある。前者は、高感度カラーカメラの操作に用いており、図-8に示すように照明車の運転室に固定した機器である。後者は、IPカメラの操作に用いており、LANケーブルや無線LANを用いてカメラと接続している。

カメラ設営は、照明車後部にあるブーム操作装置と監視装置の操作機器で行う。カメラ映像を確認しながらブームを操作して位置決めした後、操作機器でカメラ角度などを調整する。照明車は、カメラ映像を操作機器でしか確認できないため、運転室に固定した操作機器での操作は、設営作業が繁雑である。また、照明車の映像情報は、対策本部車などで利用する。利用目的などによりカメラ設営位置を調整する場合、照明車は、対策本部車などの指示を受けながら装置を操作する必要がある、操作が繁雑である。監視装置の運用実態から、操作機器は、照明車のブーム操作装置近傍（運転室外）や対策本部車などで操作できる方が利便性が高い。

本提案では、高感度カラーカメラをパソコンで操作する監視装置の仕様を提案する。照明車ブーム先端に設け



図-9 照明車のブーム操作と監視装置の操作
た高感度カラーカメラで映像情報を撮影し、照明車の運転室内へ送信する。カメラ操作は、IPエンコーダでデジタル化した映像を参照しつつ、運転室内やLAN接続したパソコンを用いて、運転室内外や対策本部車内などの遠方で行うことを提案する。

(4) 照明車の次期仕様に関する提案

本提案では、照明車(10m級 2柱式)導入による車両の小型化、監視装置の仕様提案のほか、本報では省略するが、種々の改良項目について見直しを行い、次期照明車の標準仕様作成に向けて提案を行っている。

5. おわりに

本報では、大規模災害に備えた次期災害対策用機械の開発導入に向けて、照明車の仕様・機能の改良について提案している。また、本報では省略するが、対策本部車と待機支援車についても、同様に仕様・機能の改良を提案している。今後、本提案内容を、建設機械標準仕様の見直しに提案していきたい。本提案が、次期災害対策用機械の開発導入に役立ち、大規模災害発生時における災害対策用機械の復旧活動がより効果的なものになることを願うものである。

参考文献

- 1) 国土交通省, 建設機械標準仕様書 照明車(2 k W×6 灯) (2012).

津波浸水想定の設定について

松岡 一成

近畿地方整備局 河川部 地域河川課 (〒540-8586大阪府大阪市中央区大手前1-5-44)

平成23年3月11日に発生した東日本大震災を教訓に、災害には上限が無い、ハードのみの対策ではなくハード、ソフトの施策を総動員した多重防御による対策が望まれ、「津波防災地域づくりに関する法律」が定められた。この法律においては、都道府県知事が「津波浸水想定」を国土交通大臣の情報の提供、技術的な助言等により設定することが規定されている。本論では、「津波防災地域づくり」の作業の流れと、津波浸水想定設定における、国と近畿の各府県との調整内容についてとりまとめた。

キーワード 津波防災地域まちづくり、津波浸水想定、津波浸水シミュレーション、最大クラスの津波、断層モデル

1. 津波防災地域づくり

平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震に伴う津波のような大規模な津波に備えていくためには「災害には上限がない」ことを教訓に、なんとしても人命を守るため、ハードとソフトの施策を総動員した「多重防御」による津波防災地域づくりを進めていく必要がある。

津波防災地域づくりは、被災地の復興において推進することはもちろん、全国においても行うことが求められていることから、津波防災地域づくりのための一般的な制度として、「津波防災地域づくりに関する法律（平成23年法律第123号）」が定められた。

津波防災地域づくりに関する法律第8条第1項において、都道府県知事は、「津波浸水想定」（津波があった場合に想定される浸水の区域及び水深）を設定することが規定され、また、同条第2項において都道府県知事は、津波浸水想定を設定しようとするときは、国土交通大臣に対し、情報の提供、技術的な助言、その他必要な援助を求めることができると規定されている。

本論は、以上の趣旨を踏まえて、津波浸水想定区域図の作成を実際に行っている近畿の府県で、南海トラフ巨大地震の影響を受ける太平洋側に海岸を持つ、2自治体の取り組み内容から、実際に作成する場合に留意した点等をとりまとめたので紹介する。なお、津波浸水想定区域図の作成の基本的な手順は津波浸水想定の手引き¹⁾に従っておこう。

2. 津波浸水想定の位置づけ

科学的知見に基づいて設定される津波浸水想定は、警戒避難体制の整備や土地利用の規制といった各種施策を効果的に組み合わせるための基礎情報であり、最大クラスの津波は、地域海岸ごとに過去に発生した津波の実績津波高及びシミュレーションにより想定した津波高や発生が想定される津波の津波高などから、津波高が最も大きい津波を設定する。各市町村が実施する推進計画の作成、津波防護施設の管理等、警戒区域及び特別警戒区域の指定等は、津波浸水想定を踏まえて行うものとする。図-1に津波地域づくりにおける津波浸水想定の位置づけを示す。

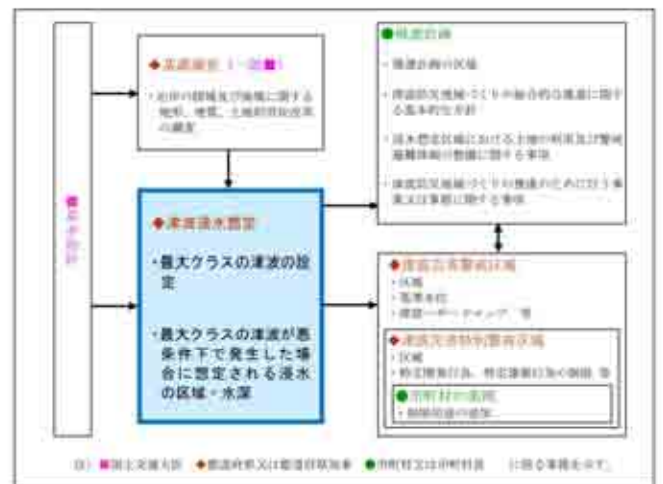


図-1 津波防災地域づくりにおける津波浸水想定の位置づけ

3. 津波浸水想定の作成の流れ

津波浸水想定の設定は、①最大クラスの津波の設定、②計算条件の設定、③津波浸水シミュレーション、④浸

水の区域及び水深の出力の手順で実施する。

(1) 最大クラスの津波の設定

最大クラスの津波は、地域海岸ごとに過去に発生した津波の実績津波高及びシミュレーションにより想定した津波高、発生が想定される津波の津波高などから津波高が最も大きい津波を設定する。

近畿の2自治体においては、中央防災会議「南海トラフ巨大地震モデル検討会（第2次報告）」（H24.8）によりだされた断層モデルを基本に検討している。（図－2 参照）



図－2 南海トラフ巨大地震の設定震源断層域

中央防災会議で示された断層モデルは、その破壊のしかたから11ケースに分けられており2自治体は、それぞれの地区（地形的区分等）において最大となるケースとなる断層モデルを基本選定している。また、過去の津波の記録より、採用した断層モデルの津波がその記録以上であるか確認を行った。

(2) 計算条件の設定

計算条件の設定は、以下の設定を行う。

- 1) 津波の初期水位
- 2) 潮位
- 3) 計算領域及び計算格子間隔
- 4) 地形データの作成
- 5) 粗度係数
- 6) 各種施設の取り扱い
- 7) 地震の地盤変動
- 8) 計画時間及び計画時間間隔
- 9) 各種施設の条件設定

1) 津波の初期水位

津波の初期水位は、地震の断層モデルによって計算される海底基盤の鉛直変異分布（隆起や沈降）を海面に与える方法を用いることを基本とする。近畿の2自治体においては、中央防災会議で示されたデータを利用している。

2) 潮位

津波浸水シミュレーションにおける潮位は、朔望平均満潮位とすることを基本とする。

3) 計算領域及び計算格子間隔

津波浸水シミュレーションの計算領域及び計算格子間隔は波源域の大きさ、津波の空間波形、海底・海岸地形の特徴、対象地区周辺の微地形、構造物等を考慮して、津波の挙動を精度よく推計できるように適切に設定するものとする。実際には、海域では変化がないので大きな格子間隔とし、変化の大きい陸域については一般に細かく格子間隔をとっている。

4) 地形データの作成

国土交通省等による航空レーザ測量の結果を活用している。

5) 粗度係数

津波が沿岸域に到達し、陸域に遡上する場合には、海底や地面による抵抗を粗度係数として考慮することを基本とする。一般には表－1の小谷らによる粗度係数の設定例を使用している。

表－1 粗度係数の設定例（小谷ほか、1998）

土地利用	粗度係数 $m^{-\frac{1}{3}} \cdot s$
住宅地（高密度）	0.08
住宅地（中密度）	0.06
住宅地（低密度）	0.04
工場地等	0.04
農地	0.02
林地	0.03
水域	0.025
その他（空地、緑地）	0.025

出典：小谷美佐、今村文彦、首藤伸夫「GISを利用した津波遡上計算と被害推定法」（海岸工学論文集第45巻、平成10年11月）

6) 各種施設の取り扱い

津波の伝搬過程や遡上過程にあつて地盤より高い線的構造物については、計算格子間隔より幅のひろいものは地形データとして、計算格子間隔より幅が狭いものは越流条件を適用する格子境界として整理することを基本とする。格子間隔が10m等細かい場合は、堤防等を地形データとして取り扱ってしまう可能性があるため、注意を要する。

7) 地震による地盤変動

地震により陸域や海域の沈降・隆起については表－2のように浸水においてより厳しい条件で設定する。

表－2 陸域及び海域における隆起・沈降の取り扱い

	隆 起	沈 降
陸 域	隆起量を考慮しない。	沈降量を考慮する。
海 域	隆起量を考慮する。	沈降量を考慮する。

8) 計算時間及び計算時間間隔

計算時間は、津波は先の東日本大震災でも起こったように第一波が最大とは限らず、津波の初期水位や沿岸の挙動によっては、第二波以降に浸水の区域や水深が最大となることが考えられるので、それぞれの津波条件、地形等を考慮して十分な計算時間を設定する。

計算時間間隔は、計算格子間隔に対する計算の安定性を考慮して以下に示すCFL条件を満たすように設定する。

$$\Delta t \leq \frac{\Delta x}{\sqrt{2gh_{\max}}}$$

ここに、 Δt は計算時間間隔、 Δx は計算格子間隔、 $h_{\max}$ は最大水深、 g は重力加速度とする。

9) 各種施設の条件設定

各種施設の条件設定で大きなものとしては、津波を陸域で一番最初に防ぐ海岸堤防、河川堤防、水門、陸閘等が考えられる。海岸堤防、河川堤防については、以下の3パターンが考えられる。

パターン1：地震後の沈下なし、津波越流により破壊

パターン2：沈下量を定量的に評価し、沈下後の高さを津波が越流することにより破壊

※定量評価と既往地震による沈下量の傾向より比高75%とする2ケースある。

パターン3：地震と同時に比高ゼロまで破壊

近畿の2自治体のうち一つは、河川堤防等の土構造物については、パターン2（比高75%）をとり、コンクリート構造物については、パターン3とした。

もう一つの自治体においては、土構造物、コンクリート構造物両方において、パターン2（定量評価）により沈下量を与えた。

水門、陸閘については、より厳しい条件とするためすべて開いている状況を基本とした。

（3）津波シミュレーション

上記（2）の計算条件のもと、シミュレーションを実施する。

（4）浸水の区域及び水深の出力

上記（2）の計算条件のもと、シミュレーションを実施した内容を、わかりやすく誤解を招かないように、また周辺府県との整合を合わせたものを出力し公表する。

4. 津波浸水想定 の公開例（和歌山県）

和歌山県により公表された津波浸水想定区域図（和歌山市域）を以下に示す。

図より、浸水深の色分けをして用語の定義について説明を加え、津波は第二波以降に最大となることもある等注意事項を書くことによって、津波に対して“正しく恐れる”という目的に即した公表内容となっている。また、浸水深の色については、誤解を与えないよう全国的にその色あいについて統一を図っている。



図-3 津波浸水想定 公表資料（和歌山県）

5. まとめ

現在、近畿地方整備局管内の府県で津波浸水想定区域図を公表しているのは、和歌山県のみで、今後、南海トラフ巨大地震の津波の影響を受ける2自治体で近々公表予定である。日本海側は、現在国の方で断層モデルの検討を行っており今後発表される予定であるので、その後日本海側においても検討がなされる予定である。

和歌山県は、中央防災会議の南海トラフ巨大地震のモデル発表（断層モデル）から、近畿では一番初めに公表がなされ、またある自治体では各種施設の条件設定において河川堤防、海岸施設の地震による沈下量を定量的に解析し算出する方法を取り入れるなど、各府県でそれぞれ特徴がある対応している。

整備局としては、直轄河川の解析方法との整合、公表する府県の周辺の県への調整等を行った。また、今後、公表する府県へ、今回の公表に向けた調整内容の経験を踏まえて、今後もスムーズに公表が行えるように協力するとともに、津波浸水想定区域図以降の推進計画やハザードマップ作成について府県の相談役、調整役として役割を果たしていく予定である。

謝辞：近畿の各府県関係者には、各解析の進め方、考え方等のご教授等、多岐にわたるご協力をいただきました、この場をかりて謝意を表す。

参考文献

- 1) 国土交通省水管理・国土保全局海岸室、国土交通省国土技術政策総合研究所河川研究部海岸研究室：津波浸水想定の設定の手引き（Ver.2），平成24年10月

平成 23 年台風 12 号により大規模な崩壊が発生した 那智川流域の地質特性に関する検討

北川 眞一¹・大山 誠¹

¹ 近畿地方整備局 河川部 河川計画課 (〒540-8586 大阪府大阪市中央区大手前 1-5-44)

2011(平成 23)年の台風 12 号により発生した那智川中流域の大規模な崩壊について、地形判読、地形解析、物理探査、調査ボーリング等を実施して、流域毎に土砂移動現象の把握や崩壊発生機構について検討した。崩壊は、主に熊野層群(堆積岩)と熊野酸性岩類(花崗斑岩)との地質層界付近で発生していることが多く、那智川右岸側で大規模崩壊、左岸側で表層崩壊が多発している。地質層界付近の花崗斑岩は、節理が発達して風化が進んだ脆弱な岩盤で、地質層界付近から湧水が認められる。このことから、地質特性や地下水が崩壊発生に影響を与えていると考えられる。

キーワード 大規模崩壊、風化岩、リニアメント、パイピングホール、熊野酸性岩類

1. はじめに

2011(平成 23)年台風 12 号による総雨量は、和歌山県西川(古座川町)で 1,186mm、色川(那智勝浦町)で 1,152.5mm に達し、和歌山県那智川では大規模な土石流が発生した。那智川中流域の支溪流では、大規模な崩壊が発生し、那智川本川河道内に流入した土石流や流木によって一時的に本川河道が閉塞され、これによる土砂氾濫が被害を甚大にした。中でも金山谷川で発生した崩壊は、斜面長約 150m、幅約 100m、崩壊深約 5m と大規模で、流出した土砂が約 2km 流下し、下流で大きな被害を出した。本研究は、那智川中流域の支溪流で発生した崩壊の実態を把握し、その崩壊機構を明らかにすることを目的としている。調査対象地を図-1 に示す。

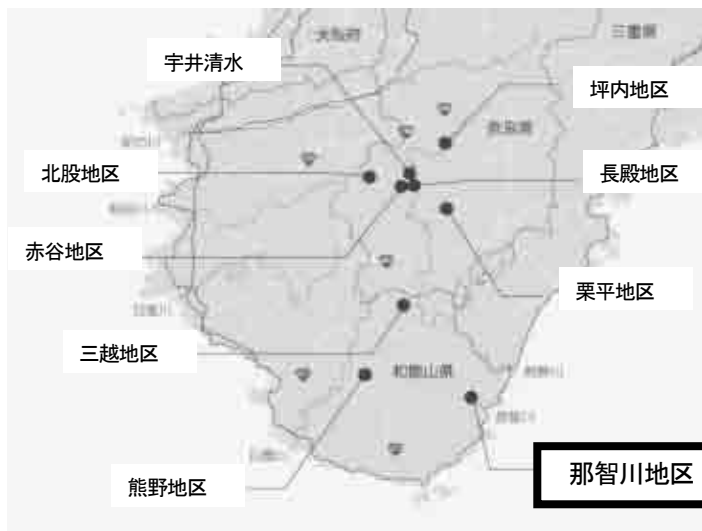


図-1 調査位置図

2. 対象地の概況および調査方法

(1) 地形・地質概況

調査地周辺は、第三紀中新世の熊野層群と熊野酸性岩類の地質層界付近に位置する(図-2)。

熊野層群は、泥岩、シルト岩、砂岩泥岩互層、砂岩および礫岩からなり、石炭層を挟在する。

熊野酸性岩類(以下、花崗斑岩と称す)は、那智



図-2 那智川中流域地質平面図

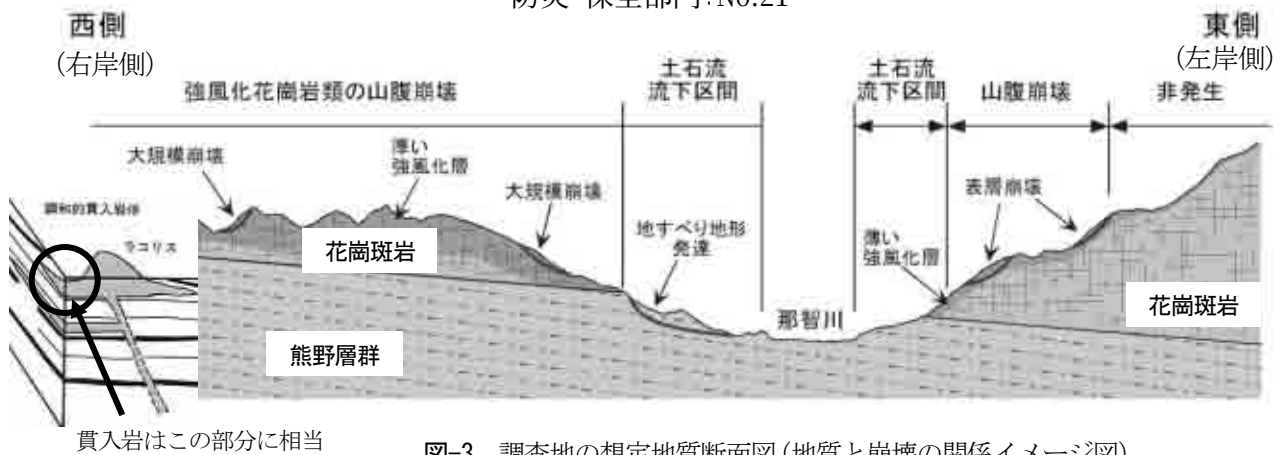


図-3 調査地の想定地質断面図(地質と崩壊の関係イメージ図)

川流域の標高の高い場所に分布し、主に花崗斑岩から構成されている。この花崗斑岩は、約 1,400 万年前の中新世中期に活動した火成岩類で、妙法鉱山では金、銀、銅の採掘が行われていて、周辺の岩盤は熱水変質も認められる。

那智川中流域の両岸では、花崗斑岩と熊野層群の地質層界が追跡でき、層界は主として 10° ~ 30° で東へ傾斜している(図-3)。しかしながら、那智川上流側では急傾斜となっていて、層界の傾斜は様でなく、波打っている可能性がある。層界付近の花崗斑岩は、節理が発達し風化が進んで脆弱な地質となっている。層界付近には、湧水がある場合が多く、地下水が層界付近に集まっていると想定される。

(2) 調査方法

那智川流域を対象に、2012(平成 24)年 3 月のレーザープロファイラー結果を利用して、微地形判読を実施した。また、1940 年代の米軍航空写真から台風 12 号災害前までの航空写真を利用して、崩壊地形の抽出を行った。地表踏査では、流域毎に崩壊状況、地形・地質、湧水状況についてとりまとめ、崩壊形態を分類した。溪岸の古期土石流堆積物には、炭化木片が混入していたので、流出土砂の年代を推定するために、放射性炭素年代測定(^{14}C)を実施した。

また、崩壊地の詳細な地質状況を把握するために、代表的な崩壊形態について物理探査(電気探査、弾性波探査)を実施し、代表的な箇所調査ボーリングを行い、地下水位計やパイプひずみ計を設置した。

3. 調査結果

(1) 地形解析

a) 空中写真判読による崩壊地地形抽出

空中写真判読結果を図-4 に示す。台風 12 号による崩壊は、那智川流域内で 105 箇所判読され、熊野

層群と花崗斑岩の地質層界付近の花崗斑岩が分布する溪流の源頭部や山腹で発生している。崩土が斜面に残存している場合と下流へほとんどが流出している場合とがある。台風 12 号で発生した崩壊の崩壊面積率は、蛇ノ谷川 2.8%、平野川 2.0%、金山谷川 1.1%、内の川 1.0%、尻剣谷川 0.7%、鳴子谷川 0.4%、樋口川と陰陽川 0.1% の順に高い。大規模な崩壊は、那智川右岸側の金山谷川と尻剣谷川に集中し、那智川左岸側は表層崩壊が主体である。

台風 12 号によりも前に発生した崩壊地も、主に花崗斑岩が分布する地区に判読でき、花崗斑岩の分布域が崩壊発生場となっている。

b) リニアメント抽出

微地形解析で判読されるリニアメントは、地層の走向や割れ目、断層、地形変換点などを示す場合が多い。リニアメントが多い区域は、岩盤に割れ目や節理などの不連続面が発達していて、崩壊の要因となっている可能性がある。

複数のリニアメントが交差することで生じるリニアメント交点の密度は、複数方向の外力により岩盤が受けた破碎の程度を示す指標と考えられる。そこで、熊野層群と花崗斑岩の地質層界からの距離とリニアメント交点および崩壊位置の関係をグラフ化して図-5 に示す。

那智川流域内のリニアメント交点の分布を見ると、地質層界からの距離で 1 km 未満と 1 km 以上の二群のリニアメント交点の分布傾向が確認され、特に 200m 以内の距離にリニアメント交点が卓越する。リニアメント交点の高密度域では、崩壊地形の判読頻度も高くなる傾向がある。特に、台風 12 号による崩壊は、熊野層群と花崗斑岩の地質層界から 200m 以内の距離に 62 箇所、全体の約 60% が集中している。このことから、地質層界付近の花崗斑岩は、亀裂が発達した岩盤で、崩壊しやすいことが示唆される。

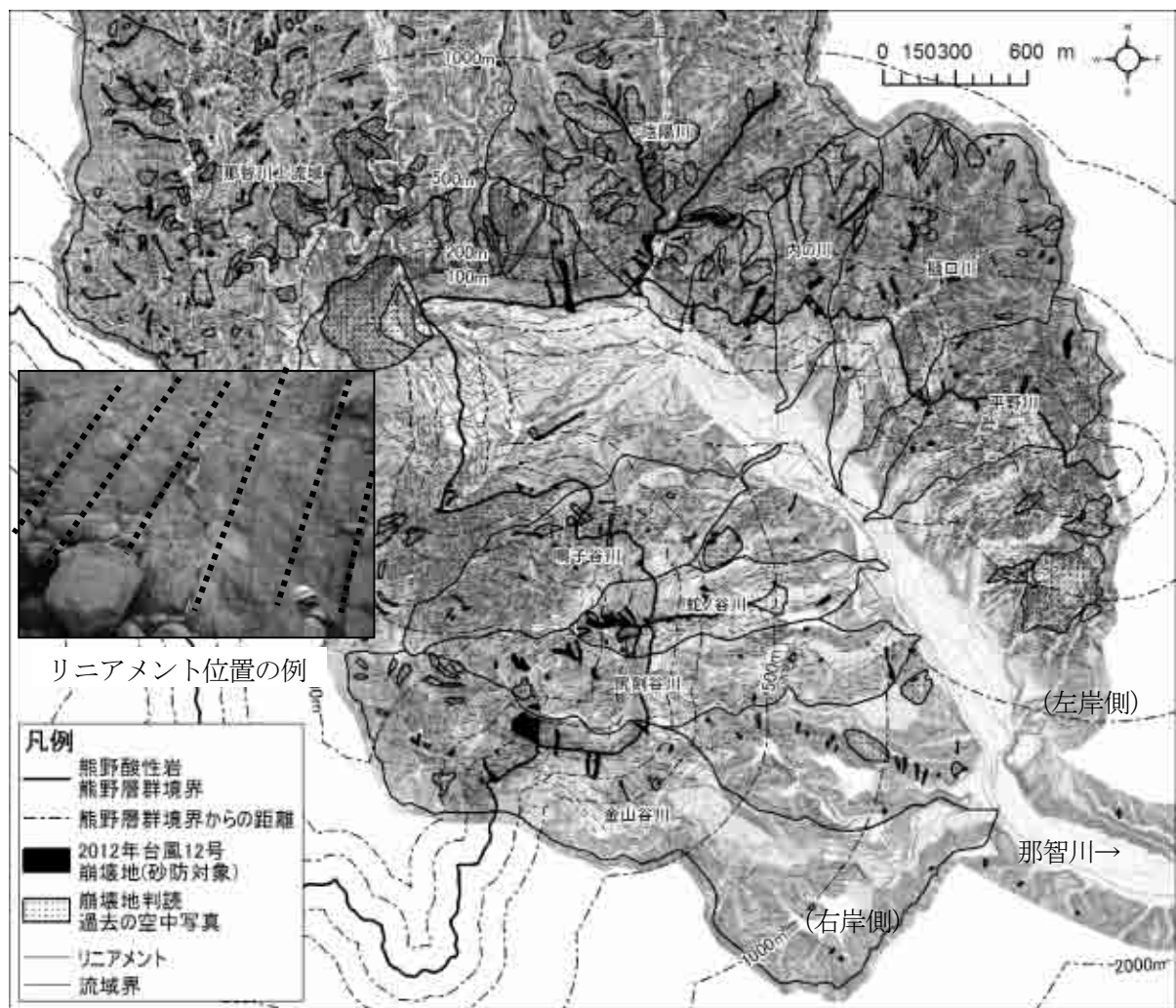


図-4 空中写真判読結果

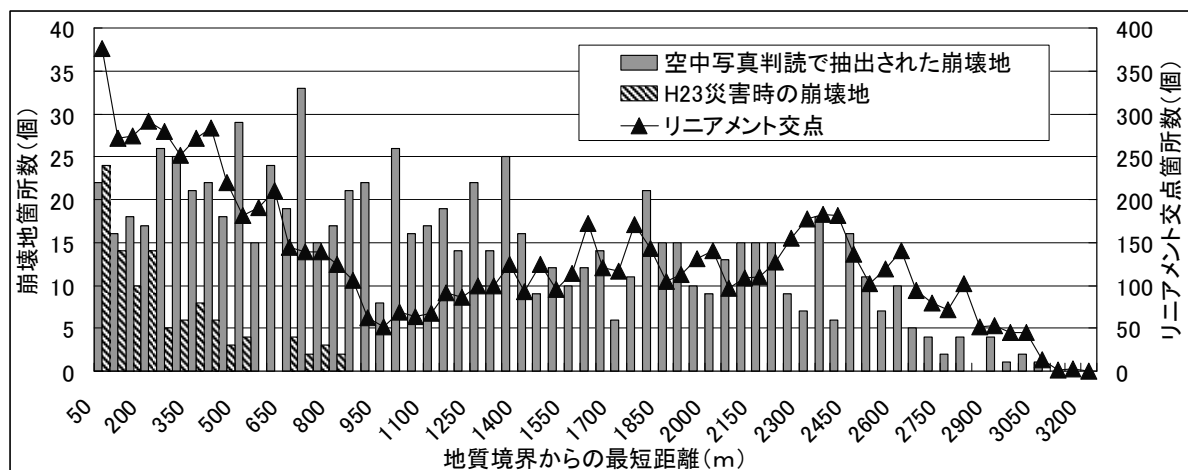


図-5 崩壊地とリニアメント交点の熊野酸性岩熊野層群境界からの距離に関する分析結果

(2) 地表踏査による台風12号による崩壊形態

地表踏査から、台風12号で発生した崩壊の形態は、下記のように分類される。

a) 熊野層群・花崗斑岩層界付近の大規模崩壊

主に那智川右岸側で発生している。那智川右岸側の花崗斑岩は、風化層が厚く数10mに及ぶ場合もある(写真-1a, 図-6a)。風化層は、更に強風化部と風化部に区分でき、層界にはパイピングホールも認

められた。花崗斑岩には、縦方向と水平方向の節理が発達している。縦方向の節理は、開口していて地下水が流下した痕跡(褐鉄鉱汚染)もある。崩壊地内では、水平方向の節理が斜面に対して流れ盤になっていて、花崗斑岩が巨大なブロック状に分離して岩盤の緩みが生じている。熊野層群と花崗斑岩の地質層界付近では、常時、湧水している場合が多い。

金山谷川の崩壊は、台風12号で崩壊した最大規模

で、幅 100m、高さ 80～100m、崩壊深さは 2～6m 程度である。斜面が南西向きのため、熊野層群は斜面に対して受け盤になり、層界からは常時湧水が認められる。

b) 強風化花崗斑岩・崖錐堆積物の表層崩壊

主に那智川左岸側で発生している。表層崩壊を主とし、台風 12 号により多発した崩壊形態である（写真－1b 図-6b）。花崗斑岩の強風化部や山腹凹地に堆積した崖錐堆積物が崩壊していて、崩壊深は約 1～5m 程度である（写真－1b）。崩壊の滑落崖では、強風化層や層状の崖錐堆積物が認められ、崩壊面には弱風化または未風化の花崗斑岩が露出する。強風化岩および崖錐堆積物とその下位の基岩の層界付近には、多数のパイピングホール（写真－1, b）が認められ、岩盤からの湧水も確認された。

c) その他

上記の a), b) の崩壊土砂が、流下中に、溪岸や河床に堆積した古期土石流堆積物を侵食しながら流出している（写真－1c）。古期土石流堆積物は、層厚が 10m を越える場所もあり、複数の土石流堆積物が確認でき、堆積物中に炭化木片が混入している場合もある。

(3) 崩壊地の地質調査結果

a) 地表踏査による崩壊地の地質調査結果

熊野層群および熊野層群と花崗斑岩の地質層界は、那智川右岸側では斜面に対して緩い流れ盤となり、地すべり地形も多数確認できる。また、風化層の厚さが那智川左岸に比べて深部まで及んでいる。図-3 の断面図に示すように、那智川右岸側は浸食が進み地質層界からの層厚が薄く、貫入時に急冷されて形成される縦方向と水平方向の節理や亀裂が密に発達した区間が地表に露出するため、風化を受けやすいことが想定される。一方、那智川左岸側では、地質層界が受け盤となっていて、花崗斑岩の層厚も厚く、

冷却の影響が西側より弱いことが想定される。そのため、層界付近では花崗斑岩の絶壁が連なり、風化深度は 5m 以内と浅く、硬質な岩盤が分布する。そのため、表層崩壊が発生しやすい特徴がある。



a) 金山谷川大規模崩壊地

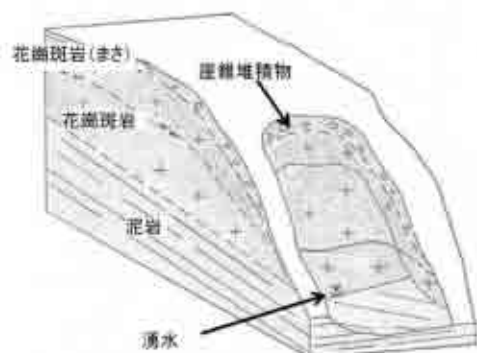


b) 表層崩壊とパイピングホール（平野川）

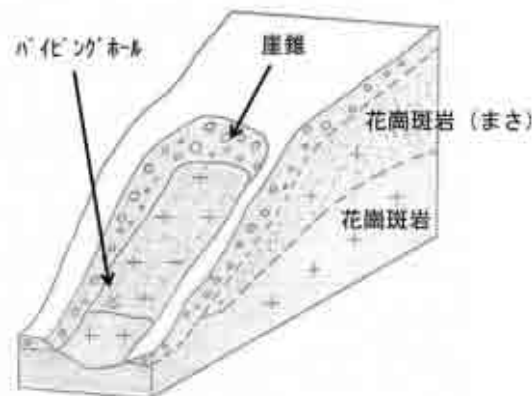


c) 古期土石流堆積物の侵食（内の川）

写真－1 崩壊地状況写真



a) 熊野層群と花崗斑岩層界付近の大規模崩壊模式図



b) 強風化花崗斑岩・崖錐堆積物の表層崩壊模式図

図-6 崩壊形態の模式図

b) 水文調査結果

熊野層群と花崗斑岩の地質層界付近の水文状況を把握するために、樋口川で電気探査と調査ボーリングを実施した(図-7)。地下水検層の結果、熊野層群中に流動層はなく難透水層となっている。花崗斑岩には地下水は形成されておらず、透水性が高い。両者の層界付近では、流動層があり地下水の流入が確認できた。しかし、降雨量が少ない時期のため地下水位は低く、降雨による水位上昇は確認できていない。付近に湧水もあるので、豪雨時に地下水位が上昇すると考えられる。層界からの湧水は、周辺より

も電気伝導度がやや高い傾向があり、岩盤内を流動して湧水する深層地下水と推定される。

また、強風化花崗斑岩と崖錐堆積物の水文状況を把握するために、表層崩壊が発生した平野川において、簡易貫入試験による土層分布の把握、1m地温探査による平面的な地下水の把握、定点カメラおよび温度計によるパイピングホールからの湧水観測を実施した。観測期間中、降雨量が少ないため、パイピングホールからの湧水が確認できなかった。パイピングホールは、平常時はパイプ内に水流はなく、豪雨時のみパイプ内に水流が生じていると推測される。

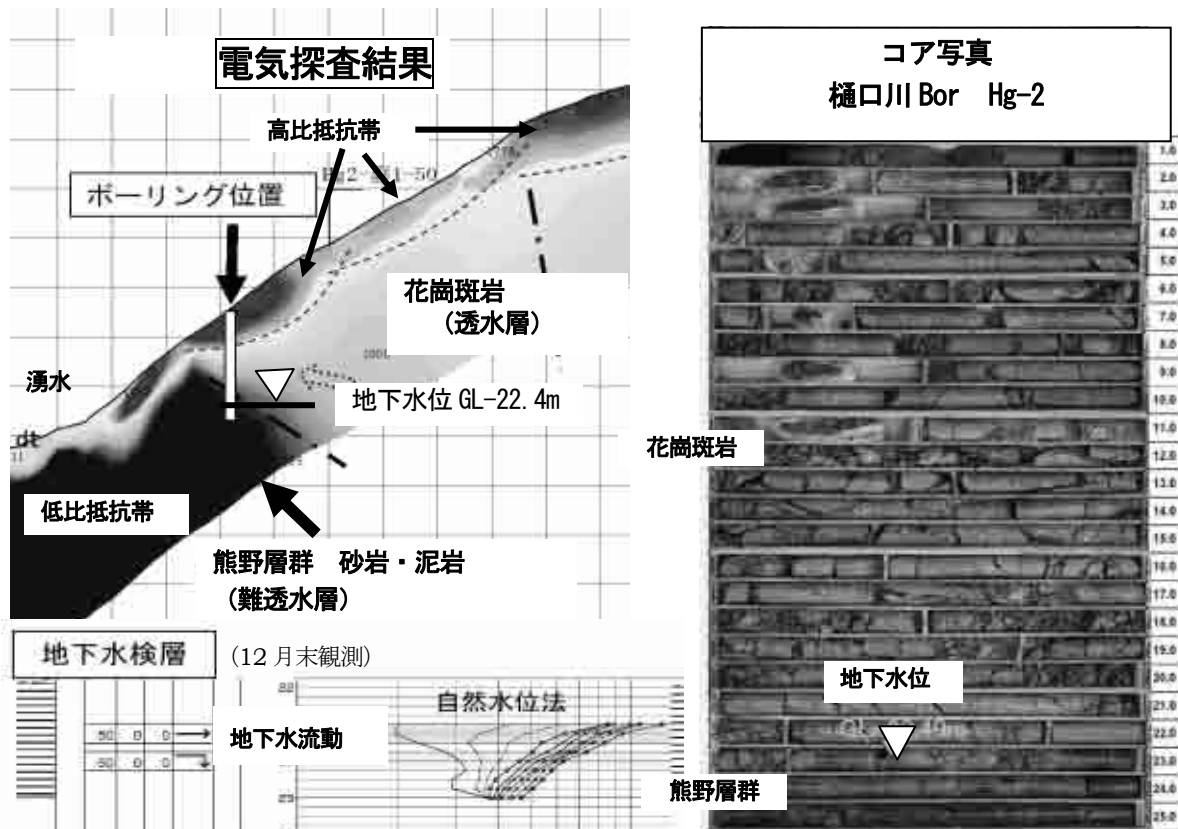


図-7 熊野層群と花崗斑岩層界付近の地質調査結果と水文特性対比図(樋口川,)

表-1 放射性炭素年代測定結果

流域名	番号	AD2000	AD1500	AD1000	AD500	AD0	BC2000	BC4000	BC6000	BC8000
那智川右岸側	金山谷川									
	1									
	2									
	3									
	4									
	5									
	6									
	7									
	8									
	9									
	10									
那智川左岸側	平野川									
	1									
	2									
	3									
	4									
	5									
	6									
	7									
	8									
	9									

c) 流出土砂の年代推定結果

渓流内には古期土石流堆積物が厚く堆積している。流出土砂の年代測定を実施するために、土石流堆積物に含まれる炭化木片を採取し、放射性炭素年代測定(^{14}C)を実施した。放射性炭素年代測定結果を表-1にまとめる。

古期土石流堆積物は、縄文時代まで遡ることができ、紀元前400年頃と1800年代に集中している。那智川右岸側は、紀元後は崩壊発生が少なく、那智川左岸側では紀元後に頻繁に発生している。金山谷川と平野川は、発生回数が多くなっている。

古期泥石流堆積物の年代測定結果から、那智川流域では、台風12号で発生したような大規模な土砂流出が過去にも発生していると推測される。

4. 考 察

台風 12 号による崩壊は、熊野層群と花崗斑岩の層界から 200m 以内の距離に全体の 60% 程度の崩壊が集中し、1,000m 以内の範囲に全ての崩壊地がある。崩壊の形態は、熊野層群・花崗斑岩の層界付近の大規模崩壊と強風化花崗斑岩・崖錐堆積物の表層崩壊とに大きく区分することができる。

(1) 熊野層群・花崗斑岩層界付近の崩壊発生機構

崩壊機構の概念図を図-8 に示す。熊野層群は、亀裂が少ない泥岩や砂岩が地下水の難透水層となっている。層界付近の花崗斑岩は、縦方向と水平方向の節理や亀裂が発達し、節理が開口して緩みが生じている。また、風化層も厚く透水性に富み、地下水が浸透しやすい水文構造となっている。そのため、地質層界付近で常時湧水する場合が多い。豪雨時には、地下水の流入量が排水量を上まわり、層界付近に高い間隙水圧が形成されて、大規模な崩壊が発生しやすいと考えられる。

那智川右岸側では、花崗斑岩の深部まで風化が進み、脆弱となっているので、今後も金山谷川のような大規模な崩壊が発生する可能性がある。

(2) 風化花崗斑岩・崖錐堆積物の崩壊発生機構

崩壊機構の概念図を図-9 に示す。強風化花崗斑岩や崖錐堆積物は、透水係数が基岩の未風化岩に比べて大きいため、未風化岩の上面の形状が谷地形となっている場合は、地下水が集中しやすい。強風化花崗斑岩や崖錐堆積物には、細粒物や粘土鉱物が生成されている。地下水が基岩との層界付近を流下すると、周辺の地層から地下水により細粒物が流亡してパイプが形成される。同時に基岩内の節理や亀裂に沿っても地下水が流動することで、パイプが基岩内にも形成される。豪雨時には、これらのパイプを通して地下水が流入し、斜面が変形するとパイプが遮断され、有圧地下水が形成されて崩壊に至ると考えられる。

台風 12 号より前の崩壊の一部には、崩土が山腹に崖錐堆積物として多数残存している。また、時間と共に風化層の厚さが厚くなり、強風化層が形成される。強風化層や崖錐堆積物が集水斜面に存在している場合、今後も豪雨時に崩壊する可能性がある。

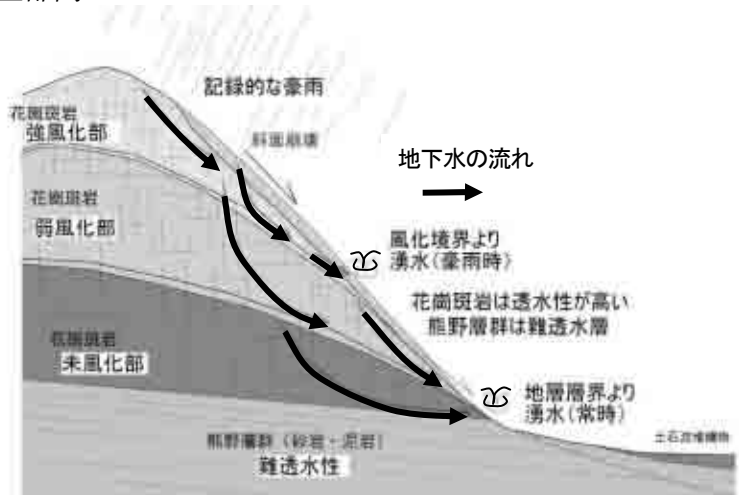


図-8 熊野層群・花崗斑岩層界付近の崩壊機構概念図

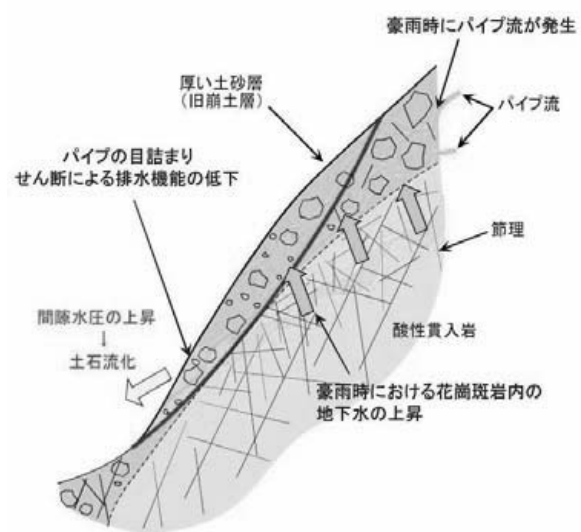


図-9 強風化花崗斑岩・崖錐堆積物の崩壊機構概念図

5. おわりに

熊野層群と花崗斑岩の地質境界付近の花崗斑岩は、節理や亀裂が発達して風化を受けやすく、脆弱な岩盤で崩壊が発生しやすいことが判った。また、過去にも繰り返し大規模な崩壊が発生していたことを示唆された。

観測体制が整備されたのが冬場で、今後の降雨による地下水位の変化を把握して、崩壊発生機構を再検討するために、崩壊面となった土層の特徴を把握すること、層界付近の地下水挙動を明らかにすること、パイプの実態および形成過程を明らかにすること、パイプと地下水の関係を明らかにすることが必要である。

AR技術を用いた防災教育ツールの活用に向けた社会実験について

富岡 祥平¹・小山 真紀²

¹大阪市立大学大学院 創造都市研究科 (〒558-8585大阪市住吉区杉本3-3-138)

²京都大学大学院 工学研究科 (〒615-8530京都市西京区京都大学桂)

甚大な自然災害を契機に、今後の防災・減災について様々な議論が展開されている。自然災害は繰り返されるものとして既往災害の履歴に立ち戻り、如何に被害を軽減させるか、ハードとソフトの施策を総動員させて対応すべきとされている。本稿は、水害に関するソフト施策として、自助力向上のため平常時において浸水想定を効果的に情報共有する方策と、防災訓練への参加促進に寄与する有効な防災教育ツールの活用を提案し、社会実験によりこれらの効果や実現の可能性について考察した。

Key Words : disaster measures, hazard map, Augmented Reality, gamification

1. はじめに

我々は東日本大震災を経験し、ハード整備により自然の猛威を封じ込めることの限界と、避難行動における一刻の差で生死が分かれることを痛感した。未曾有の津波災害の後、半年後には紀州半島で台風12号による歴史的な土砂災害等が発生し、さらに近い将来には南海トラフ巨大地震や首都圏直下型巨大地震が発生することが懸念されており、東日本大震災を教訓として様々な災害対策が検討されている。

これらの検討では、今般の災害を後世に伝承することや、防災教育のあり方など、ソフト対策についても言及されている。これは、震地震発生直後に、中学生が小学生の手を引き率先して避難したことで尊い命が守られた自助と共助の好事例があったように、一部では防災教育の成果が顕著に表れたことを踏まえ、今後はソフト対策をより成熟させる必要があることを示している。

2. 背景—「自助」に関する課題—

自助力向上のための、平時における「住民が気づくための施策」と、「住民が動くための施策」について、現状の課題を整理した。

(1) 平時における防災基礎情報の共有に関する課題 (住民が気づくために)

全国各地に津波襲来や河川氾濫による災害記録が石碑

として残されている。これらは、災害を風化（忘却）することのないよう石碑として現地に記録することで、貴重な被災情報を後世にまで共有化した先達の知恵である。これらの一部には、災害の記録を刻むだけではなく、実績浸水位を明示し「この高さより下には家を建てるな」と、具体的な戒めも見られる。また、大阪市大正区の大地震両川口津浪記石碑には、地震の生々しい被災状況が克明に記録されている他、その地震以前の大災害が後世に伝えられていなかったことで、同じ過ちを繰り返す多くの犠牲者が出た反省として教訓をしっかり残す旨も記されている。さらに、碑文の最後には「ここに記録しておくので、心ある人は時々碑文が読みやすいよう墨を入れ伝え続けてほしい」と記されており、現在でも地域の方々が定期的に墨を入れ、日々手入れされている。

現代の科学的知見に基づく災害に備えるための情報共有は、主要洪水の貴重な浸水記録を「浸水実績区域図」として地域へ配布することや、今後予想される洪水についても浸水を想定し「浸水想定区域図」へ発展させ、さらに避難を意識して「洪水ハザードマップ」へと進化させている。つまり、情報の伝え方は、過去の実績（記録）を情報共有する段階から、今後の予測として想定される情報や、避難誘導を図る段階に拡充している。

しかし、既往の調査では自治体がハザードマップを各戸に配布しても活用されず、災害への備えとして効果発現は期待できそうになことが伺える¹⁾。

以上より、自助力向上のため、防災上重要な基礎情報を住民が如何に認識するか（住民に気づかせるか）、情報共有施策の拡充が喫緊の課題となっている。

(2) 平時における防災訓練の運用施策に関する課題 (住民が動くために)

平時に自分の置かれたリスクを正しく認識できても、有事における避難行動のとり方によっては生死が分かれることもあるため、実践的な訓練が必要となる。しかし、訓練の必要性が理解できても、発災はいつか分からないため、訓練の形骸化が避けられず、訓練を運営する側が苦慮する問題となっている。東日本大震災を契機に、防災訓練の重要性が再認識されても、当事者意識を持って積極的に参加する住民と、そうでない住民に二極化される。災害時に犠牲者を最小限にするため、如何に工夫して訓練参加者を増やし実践を継続するかが、防災教育における重要な課題である。

一方、教育業界での工夫として「ゲーミフィケーション(gamification)」が脚光を浴びている。これは、米国で始まったマーケティング手法で、日本でもゲーム業界や広告業界及びインターネット業界を中心に広がっている。通信教育業界大手の株式会社ベネッセコーポレーションでは、ニンテンドーDSを利用した「得点力学習DS」シリーズが好評のように、ゲーミフィケーションを取り入れた教材の開発が進んでいる。これらは、例えばテレビゲームにプレイヤーが熱中していくように、ゲームの要素を利用して学習意欲を高める仕組みとなっており、このような教育コンテンツにより8割以上の生徒で成績が向上した事例も報告されている²⁾。

防災訓練においても、このような柔軟な発想を適用することで成果が上げられ、持続性も兼ね有効な防災教育として運用できると期待できる。

以上より、自助力向上のため、有事の際に避難行動を適切に実行できるよう、まずは如何に多くの住民が訓練に参加し災害に備える力を会得するか(住民を動かせるか)、防災訓練の運用施策の拡充も喫緊の課題である。

3. 自助力向上に関する既往研究実績等の調査

住民の自助力向上のための施策事例について、文献調査等の結果を報告する。一般的に、地域における防災ワークショップ等のスタイルによる「手作りハザードマップ」の取り組みが代表的であるが、以下に防災教育の先進事例を紹介する。

(1) 新しい防災基礎情報ツールの開発

AR(Augmented Reality)技術を用いた防災情報ツールとして、株式会社キャドセンタによる「防災情報可視化アプリ」が一部の自治体で運用している。特定地域の防災基礎情報(避難場所等)の他、津波・洪水による浸水想定、地震による建物倒壊危険度、火山危険度、火災危

険度が携帯情報端末でAR表示できるパッケージとして商品化されている。これまでの運用は、東京都葛飾区、神奈川県茅ヶ崎市で実績がある。

(2) 新しい情報ツールを利用した防災訓練の取り組み

ヤフーとTwitter Japan、J-WAVE、森ビルは合同で「ソーシャル防災訓練」を展開している。平成24年9月に六本木で開催され、ソーシャルメディアを利用し、当日発表された指定の避難施設まで避難する訓練を実施した。避難途中にはアクシデントが設定され、避難中の様子や危険箇所を写真付きでツイートするなどTwitterを使って情報を入手したり発信しながら避難訓練する。今後は渋谷駅周辺でも予定されている。

以上のとおり、AR技術を用いた新しい防災基礎情報ツールが運用段階にあり、ソーシャルメディアを活用し参加促進が期待される新しい取り組みも始まっている。しかし、防災分野においてAR技術の運用事例は稀であり、現時点でAR技術を発展させ地域の防災訓練で活用する取り組みは見当たっていない。

4. 目的—自助の課題対応に向けた提案と調査—

本稿では、自助力向上に寄与する方策として、「AR技術によるハザードマップ補完の活用と、ゲーミフィケーションによる防災教育への展開」を提案し、調査する。

(1) AR技術によるハザードマップ補完の活用

例えば洪水ハザードマップは、想定される浸水域が地域の平面図に着色され、色の識別により浸水深の程度を示すものである。浸水深の色分けは数段階で表現されるため、マップを見ただけでは想定される浸水の状況が現実的にイメージできない場合も多い。また、浸水区域の表示単位はこれまで250mの平面メッシュを標準としており、起伏に富んだ地形の区域では想定される浸水深が現実味を帯びない場合もある。さらに、洪水ハザードマップの利用実態は十分に活用されていない状況となっている¹⁾。

そこで、洪水ハザードマップの補完を目的とし、AR技術に着目した。既に、想定される津波や洪水による浸水状況をAR技術により表現する防災システムが数社で技術開発されている。AR技術とは、見ることができない事象を想定としてアニメーションでリアルに表現する斬新なツールである。この特徴を活かせばハザードマップを補完できる有効なシステム(ツール)として期待できるが、本格的な運用には至っていないため、今後は活用することを提案し、有効性を実証調査することとした。

(2) ゲーミフィケーションによる防災訓練への展開

地域の防災訓練においては、多くの方に参加して頂く必要があり、実践的に継続することが肝要であるため、ゲーミフィケーションに着目した。一般的に地域の防災訓練では、住民が率先して参加することは稀で、仕方なく参加する姿勢が多く、若い世代も含め地域全員が取組む規模には至らない。率先して参加する一部の方だけで訓練しても、災害に強い地域は実現しない。地域全員が当事者意識を高め、有事のための訓練を実践し継続する必要がある。先ずは、一人でも多くの方に参加して頂く必要があるが、無関心な方に訓練の必要性を説いても期待できない。

そこで、AR技術を用いた既存の防災情報ツールについて、有効な防災訓練の実現に向けゲーミフィケーションの要素を加味した新しいツールへの改良を提案し、これによって住民が自主的に地域の防災訓練に参加する可能性について併せて調査した。

5. 社会実験による実証調査

AR技術を用いた防災情報ツールについて、ハザードマップの補完に関して簡易的社会的実験による実証調査（デモ体験、アンケート）を実施し、有効性と実現性を確認した。また、AR技術とゲーミフィケーションによる防災教育ツールの発展についても調査した。

(1) 対象地区の選定

実験の実施場所は、洪水ハザードマップを公表済みで想定浸水深が比較的深く水害への備えが必要な住宅街として、淀川水系猪名川の下流に位置する尼崎市東園田地区を選定した（図-1、写真-1）。猪名川は、高度経済成長期から宅地等の急激な開発により下流域への洪水流



図-1 猪名川の紹介(流域及び諸元)



写真-1 尼崎市東園田地区の紹介(航空写真)

量が増加したことで、昭和54年より総合治水対策特定河川事業として、河川対策と併せ流域対策及び被害軽減対策が進められた都市河川である。流域全体で住宅が増え、転入者にも地域の水害特性を知って頂く必要があるため、猪名川流域総合治水対策協議会では、昭和56年に浸水実績図を公表、昭和59年には浸水実績表示看板も設置した。さらに、平成14年には猪名川浸水想定区域図が公表され、各自治体からは洪水ハザードマップを順次公表し、平成20年にはマルマチHM（まるごとまちごとハザードマップ）を設置（写真-2）している。



写真-2 住宅街に設置されたマルマチHMの例(川西市内)

(2) 実験の方法(「浸水想定ARシステム」の概要)

実験においては、国際航業株式会社より技術支援（既存の「浸水想定ARシステム」の使用）を頂いた。また、実験のため当該地域における洪水の浸水想定（浸水想定区域図ベースの浸水位データ等）は、近畿地方整備局より提供頂き浸水想定ARシステムに構築した。実験用機材にはタブレット型情報端末iPadを用意した。

浸水想定ARシステムは、iPad内臓カメラのリアルタイム映像に、想定される浸水のイメージをAR技術により可視化したアニメーションを画面に合成表示するシステムである。iPadにはGPS(Global Positioning System)による現在地の特定、他、3軸ジャイロ及び加速度センサーによ

り端末のモーションを検知することで、AR技術による浸水イメージのアニメーションを内蔵カメラの映像に空間同定できる(図-2)。さらに、システムにはLP(Laser Profiler)による高精度の地盤高が構築されており、特定された現在地で想定される浸水位(浸水想定区域図ベース)との差により、現実的な想定浸水深を推算できる。これをAR技術によるアニメーションで、よりリアルに表現した浸水状況の映像を、一般の方が被験者としてデモ体験する(被験者はiPadを手に取り、見たい方向をiPadの画面に映して眺めるだけ)。なお、被験者にはデモ体験後にアンケート調査を実施した。



図-2 浸水想定ARシステムの画面イメージ (iPad利用による)

(3) 実験の進め方(日程・場所・対象者等)

デモ体験には、屋外で安全が確保された歩行移動可能な実験ヤードが必要となる。このため、当該区域にて事前告知のうえ、平成24年12月16日(日)の午後に、尼崎市立園和小学校の校庭にて、オープンハウス形式で実施した。なお、実施にあたり留意した事項は以下のとおりである。

- ・地元の行政、町会、防災活動団体等との事前調整。
- ・緊急連絡先等の連絡体制と安全管理体制の確立。
- ・地元の防災活動団体等の協力により開催案内リーフレットを当該区域に配布(事前告知)。

6. 実験結果の分析(アンケート調査結果)

実施の時間帯は13時から17時とし、機材8台、調査員6名で対応し、アンケートには68名(有効回答:63)が回答した。浸水想定ARシステムによる洪水ハザードマップの補完及び防災訓練への展開についての実験結果(アンケート調査結果)を以下に整理した。

(1) 率直な感想

浸水想定ARシステムをデモ体験した率直な感想を被験者に伺ったところ、図-3に示すように、85%以上の方が良好な反応を示した。一方、「つまらない」と感じた9名については、うち6名は防災訓練について「参加したことがない」若しくは、「参加したが参加して良かったとは思わなかった」と回答していることや、自由記述にて関心が無い旨を示した。

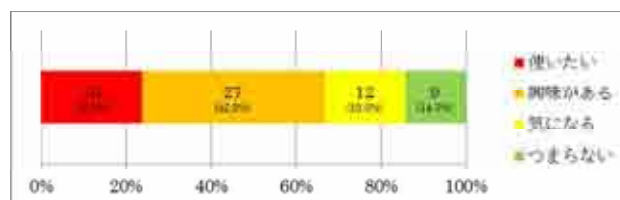


図-3 浸水想定ARシステムを体験した感想(N=63)

(2) システムの手軽さ(操作性)

デモ体験において、システムの手軽さ(操作性)の評価を伺った。図-4に示すとおり、概ね50%の方が良好と評価し、やや良好と評価した方を含めると概ね70%の方が良い評価を示した。

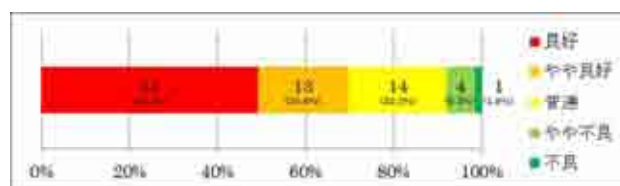


図-4 浸水想定ARシステムの手軽さ(操作性)評価(N=63)

(3) システムの分かりやすさ(視認性)

システムの分かりやすさ(視認性)についての評価を伺った。図-5に示すとおり、50%以上の方が良好と評価し、やや良好と評価した方を含めると概ね85%の方が良い評価を示した。

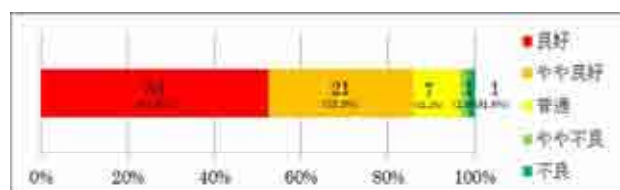


図-5 浸水想定ARシステムの分かりやすさ(視認性)評価(N=63)

(4) アプリ利用とした場合の費用(経済性)

浸水想定ARシステムが、スマートフォン等でアプリとして利用できるとした場合、その費用がいくら程度なら利用するかを伺った。図-6に示すとおり、約40%の方が無料なら利用すると回答し、200円程度までなら利用する意向のある方は約70%を占めた。

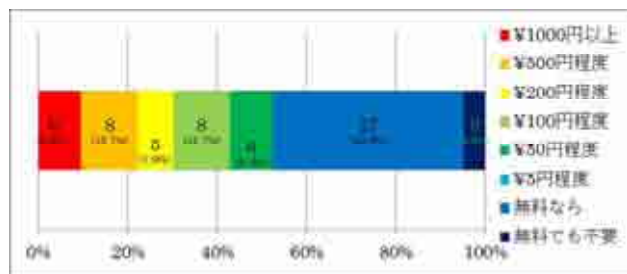


図-6 浸水想定ARアプリを利用する費用の感度 (N=63)

(5) 防災訓練における面白さの賛否(展開性)

浸水想定ARシステムに、ゲーミフィケーションを取り入れ改良を加えた防災訓練用ツールの構想に関して調査した。防災訓練は非常事態を想定した訓練として真剣な取り組みであるが、防災訓練に一部でも楽しさや面白さがあれば、参加者が増えると思うかどうかを伺った。図-7に示すとおり、90%以上の方が「面白さや楽しさがあれば、参加者は増えると思う」と回答した。また、被験者にはこれまでの防災訓練に対する参加スタンスを質問しており、被験者の防災訓練の参加スタンス別の整理では、「防災訓練に参加したことがない」と回答した方の90%以上で、防災訓練に「面白さや楽しさがあれば、参加者が増えると思う」と回答した。一方で「防災訓練に進んで参加した」と回答した方の概ね10%が、防災訓練に「面白さや楽しさがあっても、参加者は増え

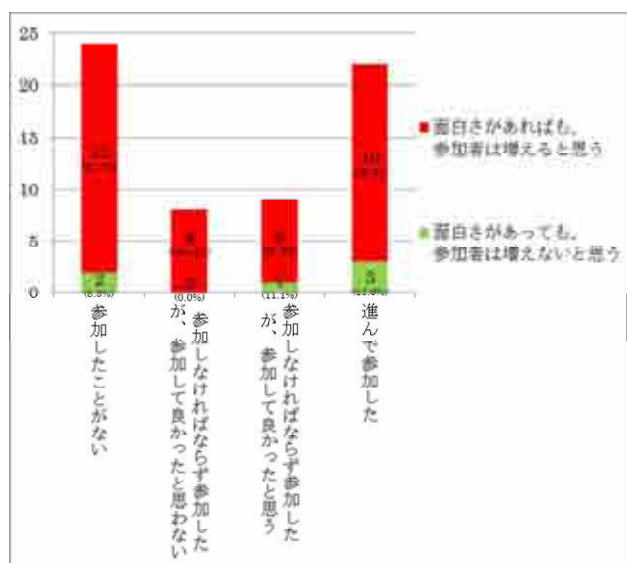


図-7 防災訓練の参加スタンス別の、防災訓練における面白さの賛否 (N=63)

ないと思う」と回答し、率先し防災訓練に参加する方の中には効果がないと考えている方もいることが分かった。

(6) 防災訓練へのゲーミフィケーションの提案(展開)

浸水想定ARシステムに、ゲーミフィケーションを取り入れた防災教育ツールへの改良(案)として図-8を被験者に提案した。今後の防災訓練において、ゲーム感覚で地域の災害に関する特徴を学習できるプログラムの利用を具体的なイメージとして説明し、賛否を伺った。



図-8 ゲーミフィケーションを取り入れ改良した防災教育ツール(案)を利用する防災訓練の提案(イメージ)

図-9に示すとおり、概ね60%の方が「面白そうなので参加したいと思う」と回答し、概ね全員が良好な反応を示した。また、被験者の防災訓練の参加スタンス別の整理では、「防災訓練に参加したことがない」と回答した方の全員が、防災訓練にゲーム的訓練があれば「面白そうなので参加したいと思う」等の良い反応を回答した。

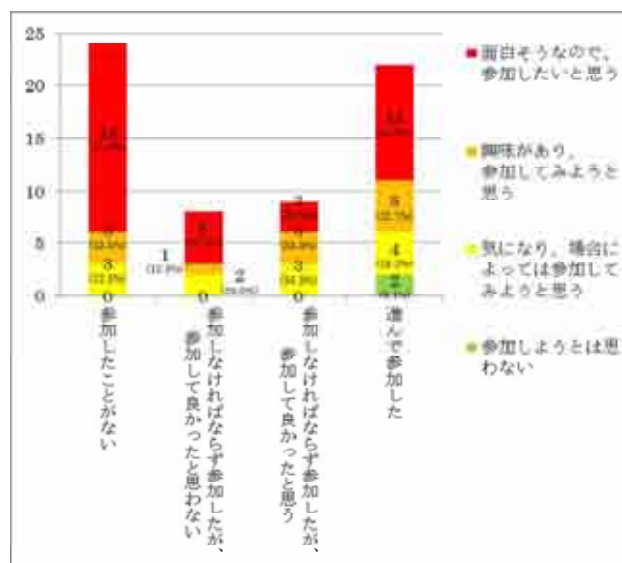


図-9 防災訓練スタンス別の防災訓練におけるゲーム的訓練の賛否 (N=63)

7. 考察

実験結果の分析より、浸水想定 AR システムは、今後更に普及する見込みの携帯情報端末にて、端末の内蔵カメラをかざして画面を見るだけで、想定される浸水のイメージが直観的に把握でき、手軽に利用できることが確認できた。またアンケート調査では、被験者の性別、年齢、携帯情報端末の利用状況も伺っており、これらの属性には左右されない可能性も伺えた。AR 技術を用いた既存の浸水想定 AR システムに、ゲーミフィケーションを取り入れ改良する防災教育ツールの提案については、これまで訓練に参加しなかった方々でも防災訓練に面白さや楽しさがあれば参加者が増えると思われ、ゲーム要素を踏まえた防災訓練の企画が、何としても命を守るための防災訓練への参加促進に期待できると推察できる。

現段階において、浸水想定 AR システム等が本格的に運用されない理由の一つに、整備と運用における費用の問題が考えられる。そこで、今回の社会実験結果を南海トラフ巨大地震に備え津波対策の検討を展開している和歌山県内の各市町へ報告し反応を調査した。対象は、県内で洪水ハザードマップ又は津波ハザードマップを作成している26の市町（防災実務担当者）とし、概要を説明し実現性等についてアンケート調査を実施した。調査は文章で依頼し、平成25年1月15日（火）から一週間で23市町より回答を得た（回答率：89%）。結果は、図-10～11に示すとおり、概ね80%の担当者から

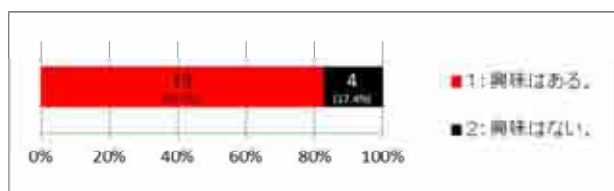


図-10 ハザードマップを補完するARを活用したシステムに興味はあるか (N=23)

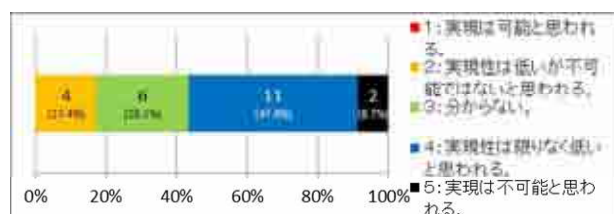


図-11 ハザードマップを補完するARの運用可能性 (N=23)

システムに興味があるとの反応があったが、費用の条件を示したうえで運用の可能性を伺うと、運用不可能の旨を回答した担当者が半数を占めた。主な理由は、携帯情報端末の普及を待つことになる他、津波避難路の整備等を優先する意見が目立った。

基礎自治体の反応は、システムの有効性には理解を示すものの、切迫した財政事情による予算面や、携帯情報端末の普及が隘路となっていることが伺える。

8. まとめ

ハザードマップの補完施策として、AR 技術を用いた新しいツールについて、社会実験により有効性と発展性について有益な結果を得た。今後、これらを活用することで、住民の自助力向上に寄与するものと推察される。実現にあたり、費用面では200円程度の有料アプリとしての運用可能性や、携帯情報端末の一層の普及と利用や継続についての課題はあるものの、ビックデータ社会の到来の他、当該システムにより有事における避難場所への誘導案内（ナビゲーション）や、避難場所の開設状況も確認できるような魅力的な拡充も見込まれ、防災・減災としてソフト対策の成熟に寄与するものと思料される。

謝辞：本研究に関して終始ご指導ご鞭撻を頂きました京都大学大学院の安東直紀特定准教授、山田圭二郎特定准教授に心より深謝致します。また本研究活動にあたり助言を頂いた、近畿地方整備局の小山下英文環境調整官、既存の「浸水想定 AR システム」の技術支援を提供頂いた国際航業株式会社の大島明氏、水上幸治氏、フィールドワークとして地元でお力添え頂いた藻川の堤防を考える会の細川ゆう子氏に、感謝致します。

参考文献

- 1) 中央防災会議 防災対策推進検討会議 津波避難対策検討ワーキンググループ第5回会合：資料4，pp.19, 2012.
- 2) 松本多恵：ゲーミフィケーションを活用したeラーニング教育の可能性について，教育システム情報学会研究報告 27(3)，pp.35-40，2012.

(2013. 6. 21 受付)

道路防災総点検結果を利用した道路斜面 に対する新たな安定度評価手法の提案

小田 和広¹・伊藤 真一²

1大阪大学大学院 工学研究科 (〒565-0871大阪府吹田市山田丘2-1)

2大阪大学大学院 工学研究科 (〒565-0871大阪府吹田市山田丘2-1)

大雨によって不安定化する危険性を潜在的に有している斜面であっても、不安定化を引き起こすに必要な雨量を経験しなければ崩壊が生じることはない。つまり、斜面災害は、斜面の持つ崩壊の素因と誘因である降雨の関係によって決まる。ところで、近年、過去に経験にない局地的・突発的な集中豪雨が多発している。したがって、過去に崩壊を起こしていない斜面であっても、未経験の降雨を受けることにより崩壊する可能性がある。すなわち、崩壊の素因を有する斜面を抽出し、その安定度を評価しなければならない。本研究では、人工知能技術の一つである自己組織化マップと質的データによる判別分析法である数量化Ⅱ類を組み合わせることにより、豪雨による斜面崩壊に対する新たな安定度評価手法を提案した。提案手法は、崩壊斜面の抽出精度が高いだけでなく、崩壊に対する潜在的な危険性が高いと考えられる斜面の抽出における“漏れ”が少ないことを明らかにした。

自己組織化マップ (SOM) 数量化Ⅱ類 安定度評価

1. はじめに

豪雨や地震などにより毎年数多くの斜面が崩壊している。これに伴う人命や経済的損失を考えると崩壊の危険性の高い斜面を選び出し、それらに対して防災対策を実施しなければならない。道路斜面に対しては、このような目的で道路防災総点検が行われている。道路防災総点検の対象となった斜面は、災害の発生確率が高いことが知られている。すなわち、道路防災総点検によって得られた情報を効果的に活用できれば、道路斜面の安定度を効率的に評価できると考えられる。

ところで、一口に道路斜面といっても斜面の幾何学的形状、地形、地質など斜面を特徴付ける指標は多種・多様である。これらの指標は程度の違いはあるものの崩壊と密接に関連しているものと考えられる。ただし、道路防災総点検による点検情報は定性的なものが主であるため、定量的な分析になじみ難い。

ところで、近年、ビッグデータをビジネスへ活用しようとする動きが盛んである。ここで、ビッグデータとは、意図せずに蓄積されたデータの集合体であり、一種のデータベースである。ビッグデータには、量的な情報だけでなく、質的なそれも玉石混淆の状態に含まれている。現在、このようなデータを効果的に解析する統計学的手法が普及しており、それがビッグデータの活用にあおられている。筆者らはそのような技術のうち、自

己組織化マップ（以下、SOM）の技術を使って、道路盛土を特徴毎にクラスタリングした。そして、地震によって崩壊した盛土とそれらの類似性から、地震に対する安定度評価手法を提案した¹⁾²⁾³⁾⁴⁾。本研究では、この手法の基本的な考え方を保持しつつ、新たに数量化Ⅱ類を組み合わせることにより、豪雨時の斜面安定に対する新たな安定度評価手法を提案する。そして、その手法を主として切土斜面に対して適用し、その有用性を検証する。

2. 自己組織化マップの概要

図-1はSOMの構造を模式的に示している。SOMは、入力層と競合層（出力層）からなる2層構造の教師なし学習ニューラルネットワークである。SOMは高次元データの分類・解析に効果的な技術として知られている。つまり、図-1に示すように高次元のベクトル集団を2次元の平面上に写像し、視覚的に理解しやすくすることがで

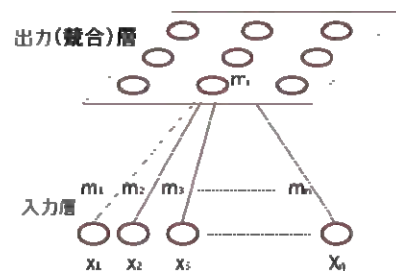


図-1 SOMの構造⁵⁾

きる。つまり、似ているベクトルは2次元のマップ上の近い位置に配置され、似ていないそれは遠い位置に配置されるという特徴を持つ。これにより、高次元ベクトルの集団であっても、特徴の類似したものの同士を容易にクラスタリングすることが可能となる。

3. 数量化Ⅱ類

数量化Ⅱ類は性質的な要因から性質的な外的基準を予測するための判別分析の一種である⁶⁾。図-2はカテゴリースコアと判別区分点の関係を模式的に表している。図-2における上表のように、道路斜面を特徴づける指標（カテゴリー）に対してスコアをつける。同時に、外的基準として崩壊・非崩壊にスコアをつける。これを数量化Ⅱ類に基づき解析すれば、下表を得る。ここで、カテゴリースコアとは重みのようなものであり、これを上表に適用することにより、サンプルスコアを得る。そしてサンプルスコアと判別区分点の値との関係から崩壊・非崩壊を判別する。

	道路斜面の特徴					外的基準
	地形		...	高さ		
	集水地形	無し		H≥30	30>H	
道路斜面			...			崩壊
1	1	0	...	1	0	1
2	0	1	...	1	0	1
...	...	...	...	...	...	...
n	1	0	...	0	1	0

	地形		...	高さ	
	集水地形	無し		H≥30	30>H
	カテゴリースコア	b ₁₁	b ₁₂	...	b _{n1}

判別区分点	P
-------	---

図-2 カテゴリースコアと判別区分点（抽出基準）

4. 安定度評価手法

図-3は本研究において提案するSOMと数量化Ⅱ類を組み合わせた道路斜面の安定度評価手法を模式的に示している⁷⁾。また、図中には従来型の数量化Ⅱ類のみを

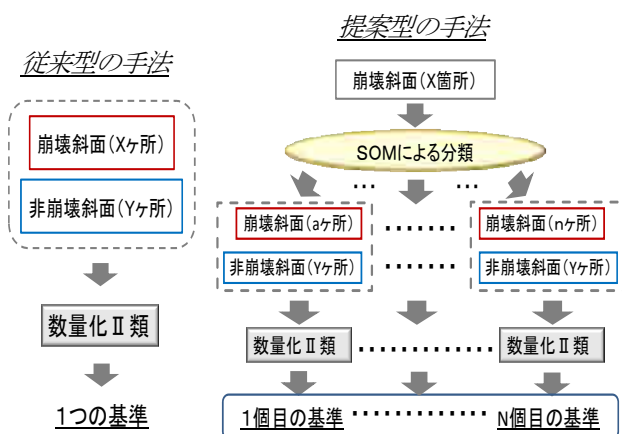


図-3 提案する安定度評価手法

使用した安定度評価も併せて示している。従来型の数量化Ⅱ類のみを使用した安定度評価の場合、崩壊斜面（Xヶ所）と非崩壊斜面（Yヶ所）の情報を一つの集まりとして数量化Ⅱ類に適用し、1つの抽出基準が作成される。しかし、崩壊斜面の特徴は必ずしも一種類ではない。このことが、数量化Ⅱ類による判別の精度を低下させている。そこで、提案手法では、まず、崩壊斜面に対してSOMを適用する。そして、崩壊斜面の特徴に応じて崩壊斜面Xヶ所を複数のクラスターに分類する（ $X_{(ヶ所)} = a + \dots + n_{(ヶ所)}$ ）。これにより、各クラスター内の崩壊斜面の特徴は統一される。その結果、斜面の特徴に関して非崩壊斜面とのコントラストが強くなると考えられる。そして、各クラスターの崩壊斜面と非崩壊斜面Yヶ所の情報を一つの集まりとして数量化Ⅱ類に適用する。その結果、N個の抽出基準が作成される。つまり、各抽出基準毎に崩壊の危険性が高い斜面が算出される。最後に、いずれかの基準に1つでも崩壊の危険性が高いと判断された斜面すべてを危険性の高い斜面として判断する。

5. 解析対象

本研究では、高速道路斜面128ヶ所（うち、崩壊履歴有8ヶ所）とその周辺の国道の道路斜面89ヶ所（うち、崩壊履歴有29ヶ所）の計217ヶ所の斜面をランダムにほぼ7:3になるように152ヶ所（うち、崩壊履歴有26ヶ所）と65ヶ所（うち、崩壊履歴有11ヶ所）に振り分けた。そして、152ヶ所は教師データとして、65ヶ所は検証データとして使用した。また、道路斜面の特徴付けに関してはH8年度防災総点検で使用された、9アイテム（27カテゴリー）を使用した。すなわち、①のり面地形、②崩壊性の土質、③崩壊性の岩質、④流れ盤、⑤不透水性基板、⑥表土、⑦湧水、⑧被覆状況および⑨高さである。そして、それぞれのアイテムについて、該当する（1）・該当しない（0）の（1，0）方式で道路斜面の特徴づけを行った。

5. 安定度評価

表-1は教師データに従来型の手法を適用して得られた結果（抽出基準A）を示している。ここで実績群とは実際の事象であり、推定群とは数量化Ⅱ類によって判断されたそれを示している。例えば、実績群が崩壊、推定群が非崩壊であれば、当該斜面が実際には崩壊しているにも関わらず数量化Ⅱ類の推定では非崩壊と判断したことを示している。表-1から実際に崩壊している斜面26ヶ所のうち20ヶ所（76.9%）を崩壊と判断している。また、126ヶ所の非崩壊斜面のうち、21ヶ所（16.7%）の斜面を

表-1 推定結果（教師用データ，抽出基準A）

		実績群		
		全体	非崩壊	崩壊
	全体	152	126	26
推定群	非崩壊	111	105	6
	崩壊	41	21	20

表-2 推定結果（検証用データ，抽出基準）

	実績群			
		全体	非崩壊	崩壊
	全体	65	54	11
推定群	非崩壊	49	54	4
	崩壊	16	9	7

崩壊と判断した。

表-2は検証データを抽出基準Aに適用した際に得られた推定結果を示している。実際に崩壊している斜面11ヶ所中7ヶ所（63.6%）を捕捉できている。ただし、当然のことながら教師データによる推定精度よりも検証データによるそれは低下している。また、54ヶ所の非崩壊斜面のうち、9ヶ所（16.7%）の斜面が崩壊すると判断した。

次に、同じデータに対して提案手法を適用する。まず、教師データに対してSOMを適用することにより、崩壊斜面をその特徴に応じて複数個のクラスタに分類する。図-4は教師データに対する自己組織化マップを示している。図から分かるように4つのクラスタに区分される。このことは崩壊斜面の特徴は主に4種類に大別できることを意味している。そして、各クラスタの崩壊斜面と教師データの非崩壊斜面126ヶ所を一つの集まりとして数量化Ⅱ類に適用することにより、4つのクラスタから4つの抽出基準B～Eを作成した。教師データ段階における

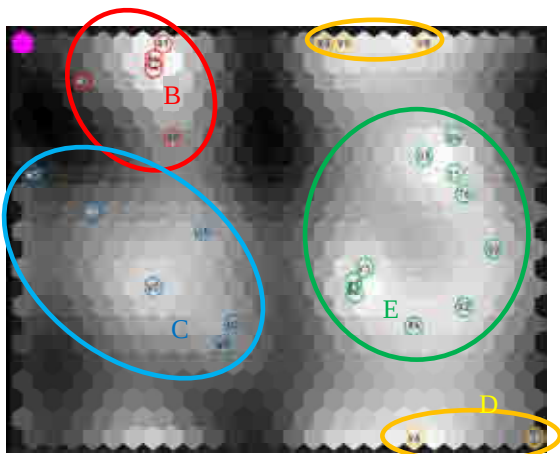


図-4 教師用データのクラスタ分析

表-3 推定結果（教師用データ，抽出基準 B）

	実績群			
		全体	非崩壊	崩壊
	全体	131	126	5
推定群	非崩壊	97	97	0
	崩壊	34	29	5

表-4 推定結果（教師用データ，抽出基準 C）

	実績群			
		全体	非崩壊	崩壊
	全体	132	126	6
推定群	非崩壊	122	122	0
	崩壊	10	4	6

表-5 推定結果（教師用データ，抽出基準 D）

	実績群			
		全体	非崩壊	崩壊
	全体	131	126	5
推定群	非崩壊	124	124	0
	崩壊	7	2	5

表-6 推定結果（教師用データ，抽出基準 E）

	実績群			
		全体	非崩壊	崩壊
	全体	136	126	10
推定群	非崩壊	126	126	0
	崩壊	10	0	10

表-7 非崩壊斜面中の崩壊斜面の抽出数

抽出基準	非崩壊斜面数	崩壊と推定され斜面数
B	126	29 (23.0%)
C	126	4 (3.2%)
D	126	2 (1.6%)
E	126	0 (0.0%)

抽出基準B～Eのそれぞれの推定結果を表-3～6に示す。抽出基準B～Eでは実際に崩壊している斜面のすべてを捕捉できている。このことから教師データの段階では、従来の手順で作成された抽出基準Aよりも精度が高い。また、表-7は、非崩壊斜面中の崩壊斜面の抽出数を示している。抽出基準Bによる抽出数が圧倒的に多く、29ヶ所の斜面が崩壊すると判定された。先に述べたように、抽出基準B～Eでは、実際に崩壊している斜面のすべてを捕捉できている。このことから、抽出の精度が高いと判断すると抽出基準Bで分類される特徴を有する斜面は、崩壊の危険性を潜在させつつ存在しているが、抽出基準C、DおよびEで分類される特徴を有する斜面では、そのほとんどが既に崩壊していることが推察される。

表-8～11は検証データをそれぞれ抽出基準B～Eに適用

表-8 検証用データへの適用（基準 B）

	実績群			
		全体	非崩壊	崩壊
	全体	65	54	11
推定群	非崩壊	48	40	8
	崩壊	17	14	3

表-9 検証用データへの適用（基準 C）

	実績群			
		全体	非崩壊	崩壊
	全体	65	54	11
推定群	非崩壊	60	51	9
	崩壊	5	3	2

表-10 検証用データへの適用（基準 D）

	実績群			
		全体	非崩壊	崩壊
	全体	65	54	11
推定群	非崩壊	64	5	10
	崩壊	1	0	1

表-11 検証用データへの適用（基準E）

	実績群			
		全体	非崩壊	崩壊
	全体	65	54	11
推定群	非崩壊	60	53	7
	崩壊	5	1	4

表-12 推定結果（検証用データ，抽出基準B～E）

	実績群			
		全体	非崩壊	崩壊
	全体	65	54	11
推定群	非崩壊	39	37	2
	崩壊	26	17	9

した際に得られた推定結果を示している。学習用データを適用した場合は異なり、一見すれば、すべての抽出基準において、実際の崩壊斜面に対する捕捉の精度が非常に悪いように見える。しかしながら、検証用の11ヶ所の崩壊斜面は特定のクラスタに属するものでない。それらは、図-4における4つのクラスタから満遍なく選ばれている。したがって、抽出基準が対象としているクラスタ以外に属する斜面は、たとえそれが実際に崩壊したものであっても崩壊の危険性は低いと抽出基準は判断したものである。つまり、事前にSOMによって特徴の類似している斜面をクラスタリングしておくことは、数量化Ⅱ類による判定精度の向上に寄与しているものと考えられる。また、学習用データを適用した場合と同様に、非崩壊斜面中の崩壊斜面の抽出数は抽出基準Bによるものが圧倒的に多い。これは、学習用データを適用した場合と同様の傾向を示している。

表-12は、提案した安定度評価手法に基づき、表-8～11に示す結果をまとめた最終的な安定度評価結果を示している。実際に崩壊した斜面11ヶ所中9ヶ所（81.8%）を捕捉できている。この結果は、数量化Ⅱ類のみを適用した抽出基準Aによる結果よりも勝っている。特に、抽出基準Aを作成する際に学習用データを適用したときの値よりも精度が高いことは注目値する。また、非崩壊斜面54ヶ所中17ヶ所を潜在的に崩壊の危険性があると判定している。抽出基準Aでは9ヶ所しか危険性があると判断しなかったことから、提案手法は崩壊の危険性の高い斜面に対する抽出の“漏れ”を少なくすることが可能であると考えられる。

7. 結論

本研究では、事前に自己組織化マップによって崩壊斜面をクラスタリングし、各クラスタ毎に数量化Ⅱ類によって潜在的に崩壊の危険性の高い斜面を抽出する方法、すなわち、豪雨時の安定度評価手法を提案した。また、提案手法を道路防災総点検のデータに適用し、潜在的に崩壊の危険性の高い斜面の抽出を試みた。以下に、本研究で得られた主な知見をまとめる。

1. 数量化Ⅱ類だけを用いた場合、必ずしも実際に崩壊した斜面を全部捕捉しない。
2. 提案した安定度評価手法は、非常に高い精度で実際の崩壊斜面を捕捉することができる。
3. 提案した安定度評価手法は、数量化Ⅱ類のみによる手法に比べ、潜在的に崩壊の危険性の高いと考えられる斜面の抽出における“漏れ”が少ない。
4. 提案した安定度評価手法は、数量化Ⅱ類だけを用いる手法に比べ有用である。

7. 謝辞

本研究は、新都市社会技術融合創生研究会における「ゲリラ豪雨時における道路斜面安定性評価に関する研究（H22-24）」の一環として行われたものである。貴重なサポートをいただいた関係各位に謝意を表す。

8. 参考文献

- 1) 神田真太郎，工藤俊祐，小田和広，小泉圭吾：被災盛土のグルーピング化に対するSOMの適用性に関する研究，第45回地盤工学研究発表会，pp.97-98, 2010.
- 2) 小西貴士，上出定幸，神田真太郎，工藤俊祐，小田和広：マクロ評価による道路盛土の安定度評価とそのグルーピング化，土木学会第65回年次学術講演会概要集，III-36，pp.71-72, 2010.
- 3) 神田真太郎，工藤俊祐，小田和広，常田賢一：地震時に不安定化する可能性がある盛土のSOMによる抽出，土木学会第65回年次学術講演会概要集，III-458，pp.915-916, 2010.
- 4) 小田和広，神田真太郎，小泉圭吾：自己組織化マップによる道路盛土のクラスタリング方法とその応用，斜面・のり面の維持管理と防災マネジメントに関するシンポジウム発表論文集，pp.7-12, 2011.
- 5) 徳高平蔵，大北正昭，藤村喜久郎，権田英功：自己組織化マップとそのツール，シュプリンガー・ジャパン，2008.
- 6) 内田治：すぐにわかるEXCELによる多変量解析，東京図書，1996.
- 7) 神田真太郎，小田和広，工藤俊祐，小泉圭吾，上出定幸，小西貴士：豪雨時に不安定化すると考えられる道路斜面のSOMによる抽出，第46回地盤工学研究発表会，pp.1943-1944, 2011.
- 8) 神田真太郎，小田和広，小泉圭吾，上出定幸：SOMと数量化Ⅱ類を組み合わせた道路斜面の安定度評価手法の提案，第47回地盤工学研究発表会，pp.1779-1780, 2012.

近畿地方整備局における河川情報の監視と水文観測データの品質照査について

小高 茂治¹

¹近畿地方整備局 河川部 水災害予報センター (〒540-8586大阪府大阪市中央区大手前1-5-44)

河川情報（雨量、水位、ダム諸量、水防警報、洪水予報、レーダ雨量等）は、水災害による被害の未然防止や水災害発生時における被害の軽減にとって、非常に重要な情報であることから、観測器機の故障や通信異常等による欠測・未受信、異常値が発生してはならない。欠測・未受信、異常値を未然に防止することも重要であるが、そのまま配信されてしまう可能性があることから、河川管理者として河川情報が正常に配信されていることを把握することが重要である。また、河川情報の中でも、雨量、水位、流量の観測データは、河川計画・管理上の重要な基礎資料として活用されている。

本報告では、近畿地方整備局管内における河川情報の監視や水文観測データの品質照査に関する現状について整理し、報告するものである。

キーワード 河川情報、情報監視、水文観測データ、品質照査

1. はじめに

近年、台風の大型化や梅雨前線の活発化等により、時間雨量80mm、100mmを超える集中豪雨の発生が相次いでおり、水災害や土砂災害等により多くの人命や資産が脅威にさらされている。近畿地方整備局管内においても、2008年7月には、神戸市都賀川での水難事故の発生（10分間で1.34mも川の水位が上昇し、児童3名を含む5名が増水により川に流され亡くなった。）、2009年8月には、兵庫県佐用郡佐用町での熱帯低気圧・台風第9号による大雨で浸水被害の発生、2011年9月には、台風12号により紀伊半島の一部で2,000mmを超える大雨で多くの死者、浸水被害等の発生により、迅速かつ的確な情報提供の重要性が認識されている。とりわけ、洪水予報、水防警報、雨量・水位の観測データ等のリアルタイムで発信している河川情報については、河川管理者、地方自治体の防災担当者や住民の関心が非常に高まっている。これらの河川情報については、平成14年度から河川管理者向け「統一河川情報システム」、一般向け・市町村向け「川の防災情報」によりインターネットで配信されている。現在、誰もが必要な情報を必要なときに入手でき、今後、更なる関心の高まりとともに観測精度の向上とそのデータを正確・迅速に配信することが河川管理者の重要な責務となっている。

一方、雨量、水位、流量の観測データについては、河川計画・管理上の重要な基礎資料として活用することか

ら、相互に大きな矛盾がなく、河川流域全体の降雨から流出現象を精度よく把握し、信頼性の高い品質を確保することが求められている。

本報告では、近畿地方整備局河川部水災害予報センターにおける水災害の監視と水文観測データの照査に関する取組について報告する。

2. 河川情報の監視

本報告において、河川情報とは「河川管理者向け『統一河川情報システム』や一般向け・市町村向け『川の防災情報』」（以下、「川の防災情報」という。）から提供している情報のことを言い、その情報は主に河川管理者が提供している雨量、水位、ダム諸量、水防警報、洪水予報、レーダ雨量など多様な情報となっている。

(1) 川の防災情報による提供情報とデータの流れ

河川情報は、河川管理者が適切な河川管理を実施するための情報であるとともに、水防管理団体、住民に対する情報としても的確に情報を提供する必要があり、川の防災情報（システム）を介して、必要な情報を配信している。

a) 川の防災情報による提供情報

表-1に「川の防災情報」の提供情報の内容を示す。河川管理者向けの情報と市町村向けの情報はほぼ同じもので、河川管理者と同様に河川の状況を総括的に判断できるようになっている。一般向けは、固定端末および携帯

端末とも河川管理者向けや市町村向けと比較すると提供情報は少なくなっているが、避難の準備や避難を行うための基礎情報としての河川情報（降雨の現状や河川の現況）を分かり易く的確に把握できるものとなっている。

「川の防災情報」は、災害時において被害をできる限り回避、軽減できるように、河川管理者、水防管理団体、住民が自助、共助、公助としての役割を効率的に全うするために、河川情報を共有することを前提としたシステムとして開発された。

表-1 統一河川情報システムからの提供情報

		固定端末版			携帯端末版		
		河川管理者向け	市町村向け	一般向け	河川管理者向け	市町村向け	一般向け
テレメータ	雨量	○	○	△	○	○	△
	積雪深	○	○	△	○	○	△
	水位	○	○	△	○	○	△
	流量	○	○	△	○	○	△
	水質	○	○	△	○	○	△
	ダム諸量	○	○	△	○	○	△
	堰諸量	○	○	△	○	○	△
	排水機場諸量	○	○	△	○	○	△
	海岸	○	○	△	○	○	△
	気象	○	○	△	○	○	△
レーダ情報	Cバンドレーダ	○	○	△	○	○	△
	水防警報	○	○	△	○	○	△
予警報	洪水予報	○	○	△	○	○	△
	水位周知河川情報	○	○	△	○	○	△
	ダム放流通知	○	○	△	○	○	△
気象情報（警報・注意報）		○	○	△	○	○	△

注)「○」:河川管理者向けと同じ情報を配信しているもの。
「△」:河川管理者向けと一部配信している情報が異なるもの。
「-」:配信していないもの。

b) 川の防災情報によるデータの流れ

川の防災情報は全国で運用しているシステムであり、取り扱っているデータは、国土交通省水管理・国土保全部所管の観測データだけでなく、気象庁、道路局、都道府県、利水事業者等、多岐に至る観測データを配信している。これらの観測データを効率的に運用可能とするシステムとして構築されている。

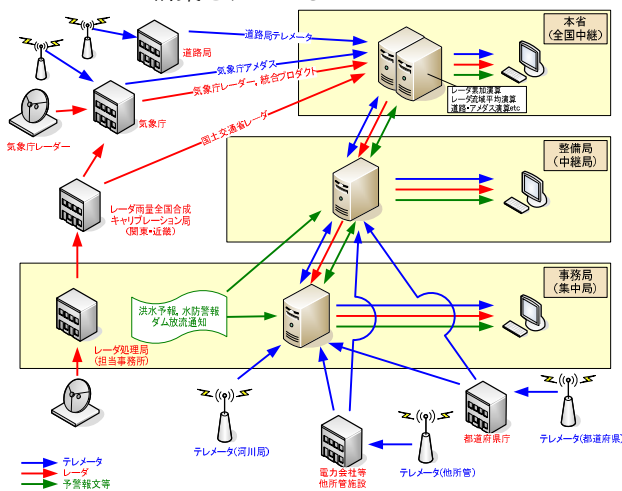


図-1 「川の防災情報」システムのデータの流れ

(2) 川の防災情報における提供情報の監視

提供情報の監視は、川の防災情報で表示される観測所の観測データを常時監視し、欠測・未受信、異常値を抽出する「データ監視」と、川の防災情報で表示している河川情報が正常に情報提供されるかを監視する「画面監視」の二つの方法で、24時間体制で提供情報を監視している。

a) データ監視

データ監視は、川の防災情報で提供している観測データに、欠測・未受信、異常値が発生していないか、次の項目について監視基準を設定し、提供情報の常時監視を実施している。

- ・雨量情報（時間雨量）
- ・水位情報（時刻水位）
- ・水質情報（水温、導電率、DO、PH、濁度、シアンイオン、塩素イオン）
- ・ダム諸量情報（貯水位、全放流量）
- ・海岸情報（実測潮位）
- ・積雪深情報（積雪深）
- ・堰諸量情報（上・下流水位、全放流量）
- ・排水機場情報（内・外水位）
- ・気象情報（気温、風向・風速、気圧）

データ監視は、機械的に観測データを監視するため、異常値を抽出するための目安として、「基準値超過データ抽出基準（案）」を作成している。基準値を超過した観測データは、正常値又は異常値を判断するため、図-3の「基準値超過データ処理フロー」に基づいて、レーダ雨量や近隣雨量観測所との比較、上下流観測所の水位変化、保守点検の実施の有無、ダム放流の有無等の確認を行っている。

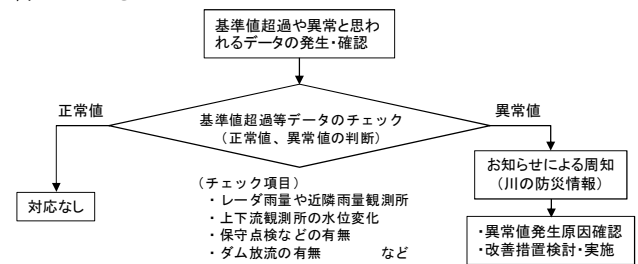


図-2 基準値超過データ処理フロー

b) 画面監視

画面監視は、川の防災情報で提供している次の表示画面を直接目視し、提供情報の常時監視を実施している。

- ・Cバンドレーダ雨量画面（予測情報を含む）
- ・テレメータ雨量画面
- ・テレメータ河川水位画面
- ・テレメータ積雪情報、海岸情報、堰諸量、水質、排水機場諸量画面
- ・テレメータダム諸量画面
- ・気象情報画面
- ・洪水予報・水防警報・ダム放流通知画面

(3) 2012年（平成24年）の提供情報の監視結果

川の防災情報で配信している雨量、水位のテレメータ等によりデータとして配信している観測項目を対象に、2012年1月から12月までの一年間分の監視結果を報告する。なお、本報告では、「国と水資源機構等」（以下、「国」という。）、「府県」に分けて整理し、監視対象の観測データは、正時データとする。

a) 監視対象の観測項目

2012年12月31日現在の監視対象の観測項目は全体で2,209項目、国が645項目（全体の約29%）、府県が1,564項目（全体の約71%）となっている。また、雨量・水位だけで1,933項目あり、全体の約88%を占めている。

表-2 監視対象観測項目（2012年12月31日現在）

	国	府県	計
雨量	283	822	1,105
水位	186	642	828
水質	52	0	52
ダム諸量	33	50	83
海岸	4	0	4
積雪	11	0	11
堰諸量	7	5	12
排水機場	63	45	108
気象	6	0	6
計	645	1,564	2,209

注) 国には水資源機構の観測所を含む。

b) 欠測・未受信, 異常値の発生状況

国における欠測・未受信, 異常値の発生回数は全体で2,955回, その中でも水位の1,117回が全体の約38%を占めている。次いで水質の656回, 堰諸量の356回, 雨量の337回を合わせると全体の約83%を占めている。

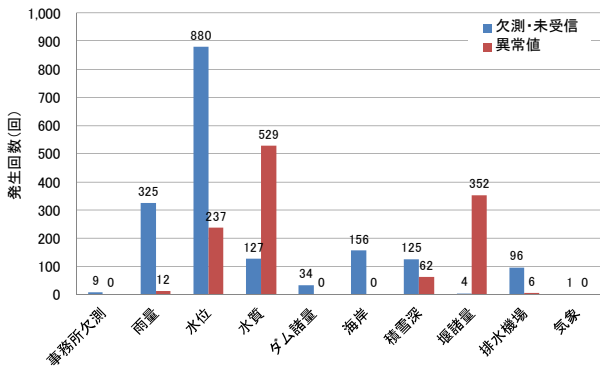


図-3 欠測・未受信, 異常値の発生回数 (2012年, 国)

府県における欠測・未受信, 異常値の発生回数は全体で3,845回, その中でも水位の2,539回が全体の約66%を占めている。次いで雨量の1,181回を合わせると全体の約97%を占めている。

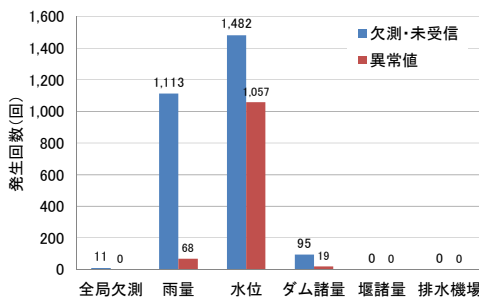


図-4 欠測・未受信, 異常値の発生回数 (2012年, 府県)

欠測・未受信, 異常値の発生割合については, 国, 府県とも同じ傾向を示しており, 異常値と欠測・未受信の割合が概ね3:7~4:6の関係となっている。

欠測・未受信の発生割合では, 国では水位が約50%, 次いで雨量が約19%を占めている。府県では, 国と観測項目は異なるものの, 水位と雨量で約96%を占めている。

異常値の発生割合では, 国では水質が約44%, 次いで堰諸量が約29%, 水位が約20%を占めている。府県では国と観測項目は異なるため, 水位が約92%を占めている。

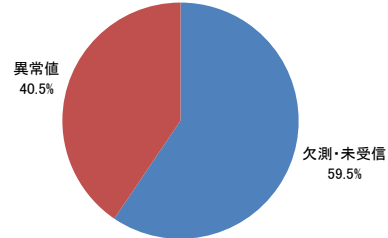


図-5 欠測・未受信, 異常値の発生割合 (2012年, 国)

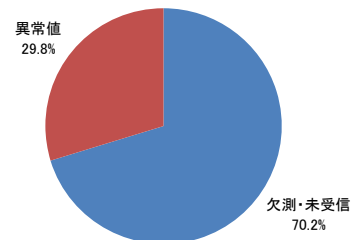


図-6 欠測・未受信, 異常値の発生割合 (2012年, 府県)

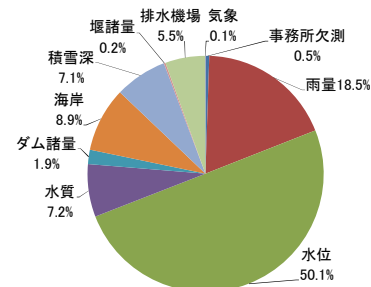


図-7 種別毎の欠測・未受信の発生割合 (2012年, 国)

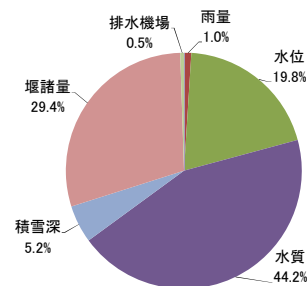


図-8 種別毎の異常値の発生割合 (2012年, 国)

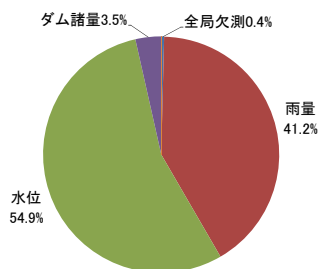


図-9 種別毎の欠測・未受信の発生割合 (2012年, 府県)

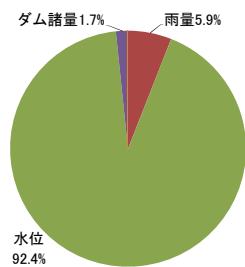


図-10 種別毎の異常値の発生割合（2012年，府県）

c) 種別毎の発生原因

府県の観測項目については十分に原因究明ができていないため、本報告では国の監視結果に対する発生原因について報告する。なお、集計結果については管理事務所等から報告のあった発生原因に対する調査結果に基づいて整理している。

国において発生した欠測・未受信、異常値の発生原因（発生割合）は図-11に示すとおり、必ずしも発生原因を明らかにできていない場合が多い。表-3に発生原因の概要を示す。

表-3 種別毎の発生原因の概要（2012年，国）

監視項目	主な発生原因
事務所欠測	通信機器異常（通信制御装置の故障等）によるもの
雨量	通信経路異常（気象や外来電波等による障害）や通信機器異常（無線中継所等の装置故障等）によるもの
水位	観測機器異常（計測装置の故障）やその他（測定下限値による欠測処理）によるもの
水質	観測機器異常（計測装置の故障）やその他（滞筋の変化による影響）によるもの
ダム諸量	その他（利水ダムのダム諸量の欠測によるもの、通信経路異常と推定）によるもの（原因不明）
海岸	その他（観測下限値による欠測処理）によるもの
積雪深	通信経路異常（気象や外来電波等による障害）によるもの
堰諸量	その他（流入量の算定方法）によるもの
排水機場	その他（排水機場操作以外の外水位未測定による欠測処理）によるもの
気象	その他によるもの（原因不明）

注）「事務所欠測」とは、管理事務所の全観測項目が川の防災情報において「欠測（又は未受信）」表示となった場合のことを言う。

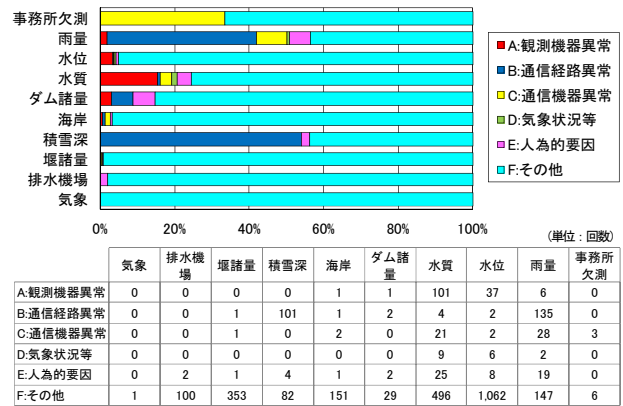


図-11 欠測・未受信、異常値の発生原因（2012年，国）

特に、観測項目における雨量と水位の占める割合（約73%）が高いことから発生原因について次のとおり考察

する。

雨量と水位を比較すると、雨量では「通信経路異常」が約40%と最も多いのに対して、水位では「その他」が約95%を占めており、欠測・未受信、異常値の発生原因の傾向は異なる。雨量の「通信経路異常」（約40%）の発生要因として「気象や外来電波等による障害」と考えているが、現状では効果的な改善策がなく、対策ができていない現状である。また、水位の「その他」（約95%）の発生要因の内訳の約77%（水位全体の1,117回の内、861回）が水位低下により、水位計の測定下限値を下回ったことによる「欠測」表示によるものであった。この水位低下による「欠測」表示の改善策として、さらに水位計の測定下限値を下げることや堆積した土砂の除去等考えられるが、いずれも対策費用の面で課題がある。

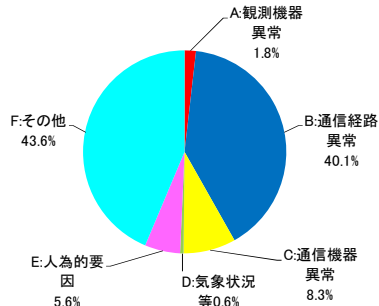


図-12 雨量の欠測・未受信、異常値の発生原因（2012年，国）

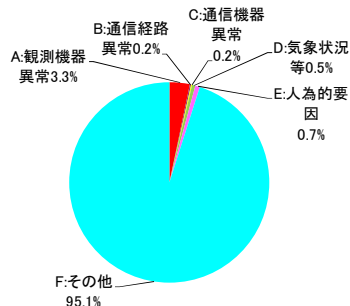


図-13 水位の欠測・未受信、異常値の発生原因（2012年，国）

3. 水文観測データの品質照査

(1) 品質照査の項目と流れ

水文観測データの品質照査は、観測施設の保守点検記録を基に行う「観測器械の異常値補正」と、異常値補正後の観測データに対して行う「品質照査」に分かれる。

品質照査は、近畿地方整備局所管の観測所に対して実施しており、観測所を管理している事務所（以下、「管理事務所」という。）が行う「標準照査」と、近畿地方整備局が行う「高度照査」の二段階で実施している。その中で、全てのデータをプログラムにかけて、自動的に異常と疑われるデータを抽出する「AQC(Automatic Quality Check)」と、抽出されたデータを技術者が観測施設の保守点検記録、近隣観測所の観測データ等との比較により正常値・異常値を判断する「MQC(Manual Quality

Check)」を実施している。

水文観測データの品質照査の具体的な照査方法は、「水文観測データ品質照査の手引き（案）」（平成16年9月）に基づき、現在、次の項目について品質照査を実施している。

a) 観測器械の異常値補正

観測施設の保守点検記録、自記記録の回収結果を受けて、管理事務所が観測器械の異常値を補正する。

b) 標準照査

管理事務所が行う標準照査は、照査対象観測所単独の雨量および水位データについて、次の項目について照査を行う。

- ・時間雨量強度の設定上限値超過
- ・日雨量強度の設定上限値超過
- ・水位の上下限值超過
- ・水位変動量の上下限值超過
- ・同一水位の長時間継続

c) 高度照査

近畿地方整備局が行う高度照査は、近隣の雨量観測所やレーダ雨量、上下流の水位観測所、流量観測データなどを用いて、次の項目について複数の観測データ系列の矛盾がないか照査を行う。また、「水文観測データ品質照査の手引き（案）」には定められていないが、近畿地方整備局では、雨量データについては、「凍結・融解及びお降雪・融雪による影響」、「地震発生による影響」や各観測所のこれまでの課題等を踏まえて照査を実施している。

- ・近隣雨量の相関（日雨量）
- ・近隣雨量の相関（総雨量）
- ・水位の上下流相関
- ・水位の急激な増減
- ・ピーク水位の発生順序
- ・ピーク流量の発生順序
- ・水位流量曲線の妥当性

d) 品質管理組織による審議

品質管理組織では、高度照査結果を基に、近畿地方整備局所管の雨量、水位、流量観測所の観測データについて審議し、確定値化の判断を下す。また、観測所の維持管理や観測の高度化等についても提言を行う。

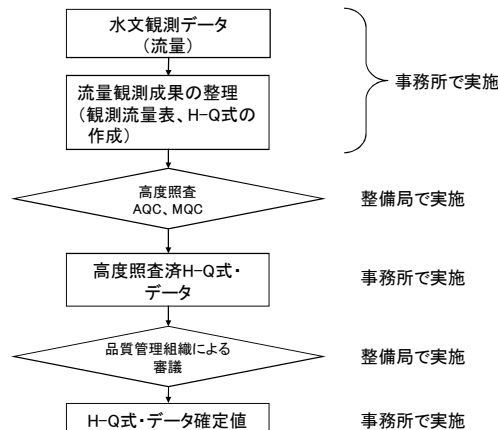


図-14 流量データ（水位流量曲線）の品質照査の流れ

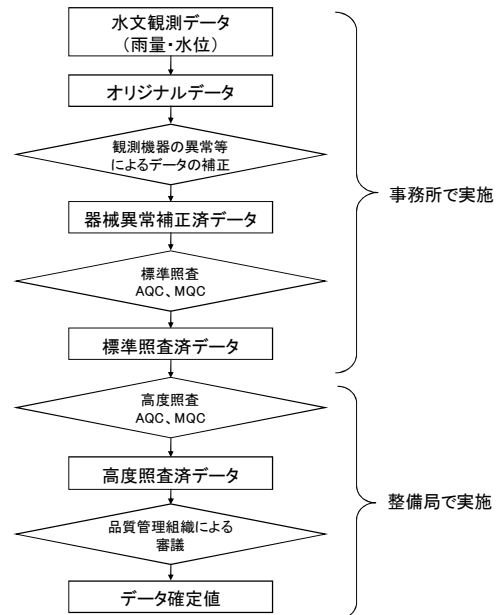


図-15 雨量・水位データの品質照査の流れ

(2) 2012年（平成23年）下半期及び2013年（平成24年）上半期の観測データの照査結果

近畿地方整備局では、水文観測業務規程に基づく第1～3種の観測所の雨量・水位・流量データの高度照査を実施し、観測データの確定値化を行っている。雨量・水位データの高度照査は、上半期（1～6月）と下半期（7～12月）に分けて実施している。また、流量データの高度照査は、一年間分（1～12月）を実施している。これは、流量データは雨量や水位のように連続で観測しているデータではなく、流量観測（低水：年間36回以上実施、高水：洪水時に適切に実施）から1年間を基本に水位流量曲線式を作成し、水位流量曲線の妥当性を判定したうえで流量を連続して算出することからである。従って、高度照査が完了するまで時間を要するため、観測データは暫定値扱いとなる。

2012年下半期及び2013年上半期に雨量・水位データについて高度照査を実施した観測所数は、雨量が276観測所、水位が253観測所である。また、2012年の流量データ（水位流量曲線）を高度照査した地点数は104地点である。

表-4 照査対象観測所数

	雨量	水位	流量
観測所数（地点数）	276	253	104

なお、本報告では、雨量データと水位データの高度照査結果について報告する。

a) 雨量データの高度照査結果

雨量データについて、「近隣雨量の相関（日雨量）」、「近隣雨量の相関（総雨量）」等の照査項目に基づいて

高度照査を実施した結果、異常値と判断した件数は延べ88件、全観測所数の約16%に該当する。

表-5 雨量データの高度照査結果

		2011年下半年	2012年上半年	計
照査対象観測所		276	276	552
AQC 実施 結果	検出観測所数	208	125	333
	検出の割合	75.4%	45.3%	60.3%
MQC 実施 結果	正常値と判定した観測所数	184	212	396
	異常値と判定した観測所数	24(2)	64(2)	88
	異常値の割合	8.7%	23.2%	15.9%

注) 1. 括弧内の数値は異常値が発生した原因を特定できず、データ修正を保留している観測所数を示す。

雨量データにおいて異常値が発生した主な原因は次のとおりである。

- ・近隣観測所で降雨が確認されず、レーダ雨量でも無降雨であるが、照査対象観測所で降雨が確認されたもの。
- ・テレメータ化されていない照査対象観測所での自記記録紙からの転記ミスによるもの（人為的なもの）。
- ・原因は特定できていないが、近隣観測所やレーダ雨量計と比較すると、照査対象観測所の降雨と大きく乖離しているもの。
- ・近隣観測所と比較して、凍結・融解及び降雪・融雪の影響により、照査対象観測所の降雨時期にズレが生じているもの。

特に、2011年下半年と2012年上半年を比較すると2012年上半年の異常値の割合（約23%）が高い理由として、1月～3月において「凍結・融解及び降雪・融雪の影響」を受けている観測所が多いことが挙げられる。この対策として、雨量計をヒータ付又は温水式のものに更新することが考えられるが、更新費用や電気代等の課題を整理し、今後、改善の検討を行う必要があると考えている。

b) 水位データの高度照査結果

水位データについて、「水位の上下流相関」、「水位の急激な増減」、「ピーク水位の発生順序」等の照査項目に基づいて高度照査を実施した結果、異常値と判断した件数は延べ14件、全観測所数の約5%に該当する。

表-6 水位データの高度照査結果

		2011年下半年	2012年上半年	計
照査対象観測所		153	153	306
AQC 実施 結果	検出観測所数	129	116	245
	検出の割合	84.3%	75.8%	80.1%
MQC 実施 結果	正常値と判定した観測所数	121	112	233
	異常値と判定した観測所数	9	5	14
	異常値の割合	5.9%	3.3%	4.6%

水位データにおいて異常値が発生した主な原因は次のとおりである。

- ・テレメータ化されていない観測所でのデータ入力ミスによりピーク水位の発生順位が上下流観測所で逆転したもの（人為的なもの）。
- ・量水標（水位計）の流失により水位の急激な増減が生じたもの。
- ・観測機器異常により不自然な水位波形が生じたもの。
- ・土砂堆積、滲筋の変化、導水管詰まり等により量水標の読み値と自記（テレ）水位に差が生じたもの。

これらの異常値については、管理事務所による観測データのチェックや保守点検の記録等から標準照査において補正することが可能であり、今後、管理事務所に対して標準照査の実施方法等の講習会等を行い、改善していく必要があると考えている。

4. まとめ

河川情報の監視は、リアルタイムで配信している提供情報の信頼性と確実性を高めるものであり、水文観測データの品質照査は、河川計画・管理上の重要な基礎資料としてデータの透明性と品質を確保するものである。双方ともチェックの時期が異なるだけであるが、その作業は基礎的なものであり、実施しなくてはならない重要な作業である。

河川情報の監視、水文観測データの品質照査とも、膨大なデータをチェックするものであり、異常値の判断とその原因を究明するには非常に労力が必要となる。また、そのデータが異常値なのかを判断するのは技術者であり、効率性を高めるために、システム化、自動化が望まれるが、基準値を定めて自動で異常値を抽出システムを構築できたとしても、現状では異常値の判断とその原因を特定することは技術者でなければ困難と言える。技術者としてそのデータが示す意味を理解できる知識や判断能力を要求されるため、その研鑽を積む必要がある。

5. おわりに

本報告では、水災害予報センターの実務の一部を紹介した程度に過ぎず、「河川情報の監視」と「水文観測データの品質照査」における合理化、効率化と担当者の技術力の向上について、今後さらに課題を整理、分析し、次の機会に報告できればと考える。

謝辞：本報告は、「平成24年度河川情報システム監視運営業務（平成25年3月）」と平成24年度「近畿地方整備局管内水文観測データ照査評価業務（平成25年2月）」の委託業務の結果をとりまとめたものである。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 国土交通省河川局河川環境課監修：水文観測業務規程関係集、(財)河川情報センター、2002
- 2) 国土交通省水管理・国土保全局：河川砂防技術基準調査編、2012

老朽化した堤防の補修の施工について

土肥 雅史¹

¹近畿地方整備局 豊岡河川国道事務所 八鹿国道維持出張所（〒667-0044兵庫県養父市八鹿町国木134-1）

福知山河川国道事務所が管轄する由良川には、京都府福知山市寺町地先から呉服町地先付近に位置するコンクリートの特殊堤防「岩沢堤」を始め、堤防完成から数十年が経過し、老朽化が進行している施設が多数存在している。本論文は、既存堤防の老朽化対策として実施した補修事例（補修概要、補修結果）及び今後に老朽化対策を行っていくにあたっての課題等について報告するものである。

キーワード 施設補修，老朽化，補修手法

1. はじめに

由良川は京都・滋賀・福井の府県境三国岳を水源に、北桑田郡の山間部を流れ、高屋川、上林川などを合わせ綾部市を流れ、福知山市内に出て土師川と合流し、方向を変え北流し大江町を経て舞鶴市及び宮津市の市境において日本海に注ぐ一級河川である。

福知山・綾部市街地が位置する由良川中流部においては、洪水などから防御する築堤を昭和20年代から着手し、現在、福知山・綾部市街地部の築堤は概ね完成している状況であり、堤防の中には完成から数十年が経過し、老朽化が進行している施設が、多数存在しているのが現状である。

由良川の堤防の中には、一般的な土堤防だけではなく、特殊堤防と言われるコンクリート堤防や堤防を保護するための護岸など多数の施設があるが、完成から数十年経過しているものもあり、様々な損傷が確認されており、補修等の対策が必要な状況である。

また、補修が必要な施設の中には、背後地に住家等が近接している等により、抜本的な改修が出来ない箇所もあるのが現状である。

本論文は、福知山河川国道事務所において実施した既存堤防の老朽化対策の補修事例（補修概要、補修結果）について紹介するとともに、今後、老朽化対策を行っていくにあたっての課題等について報告するものである。

2. 補修概要について

既存堤防の補修は、一般的な改築事業とは異なり、構造物の損傷状況、現場条件等により、異なった手法が必要となる。今回報告する補修事例は、次に示すとおりである。補修箇所は図-1に示すとおりである。



図-1 補修箇所位置図

(1)補修事例1：堤防堤脚部補修

京都府綾部味方地先の堤防の堤脚部において損傷（ひび割れ、背面の空洞）が確認されたため、補修を実施したものである。補修箇所の状況は写真-1に示すとおりである。



写真-1 補修事例1の状況

損傷の状況は、**写真-2**に示すとおりである。



写真-2 損傷の状況

補修は、**図-2**に示す背後地の状況（建物の有無）により、区間毎に異なった手法による施工を実施した。



図-2 背後地の状況（平面図）

a) 背後地に建物がない区間

背後地を工事用ヤード等として使用可能であることから、**図-3**に示すとおり通常の工法である全面改築を実施した。

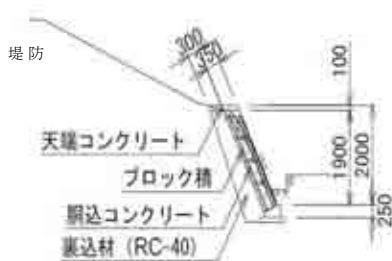


図-3 標準断面図

b) 背後地に建物がある区間

建物が近接しており、工事用ヤード等の確保が出来ないことから通常の工法である全面改築は不可能であった。そのため、狭い場所で作業が可能であり、かつ全面改築と同等程度の効果を得ること出来る工法を検討する必要があった。結果、当該箇所においては可塑性グラウト注入工法（パフェグラウト工法KT-090052-A）による空洞充填を採用した。当該工法の特長は以下のとおりである。

（工法の特長）

- ・ 可塑性を備えており、空洞箇所に確実な充填が見込める。
- ・ 空洞充填箇所において、一般のコンクリート並

の一軸圧縮強度が発現出来る。

- ・ 大型重機が不要であり、狭い作業空間でも施工が可能である。

また当該箇所では、表面からのコンクリート剥離防止を目的に表面被覆も併せて実施した。表面被覆についても狭い場所でも作業が可能である工法（アドバンテージ工法）を採用した。

作業状況は、**図-4**及び**写真-3**に示すとおりである。

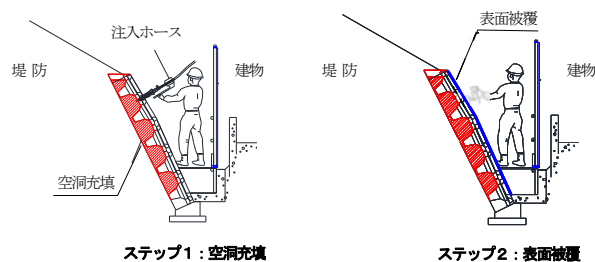


図-4 施工イメージ



写真-3 施工状況

(1) 補修事例2：特殊堤防補修

京都府福知山市寺町地先から呉服町地先に位置するコンクリートの特殊堤防（岩沢堤）の老朽化に伴う補修を実施したものである。

損傷状態としては、圧縮強度試験等によりコンクリート自体は健全である事は確認されたが、ひび割れ・剥離等が多数確認されたため、この状態を放置しておく、高水時の河川水の浸透し堤防を弱体化する恐れが懸念されるものであった。

補修箇所の状況は**写真-4**及び**写真-5**に示すとおりである。



写真-4 補修事例2の状況



写真-5 損傷の状況

また**写真-6**に示すとおり、背後地に住居等があり、堤防天端が市道として利用されていたため、全面改築が出来ない状況であった。



写真-6 背後地の状況

そのため、補修にあたっては、既存の施設を残した状態で、構造物表面のひび割れを補修を施し、最後に表面からの河川水の浸透を防止するために、靱性モルタルライニング工法（SK-110007-A）による表面被覆を実施した。

工法の特長は以下のとおりである。

（工法の特長）

- ・ 既存の施設に直接吹付を行うため、全面改築が不要である。
- ・ 靱性のある材料で吹付を行うため、有害なひび割れが大幅に低減され、高い防水性が見込める。
- ・ 無機質系材料のため、紫外線による劣化が少ない。

施工状況は、**図-5** 及び **写真-7** に示すとおりである。

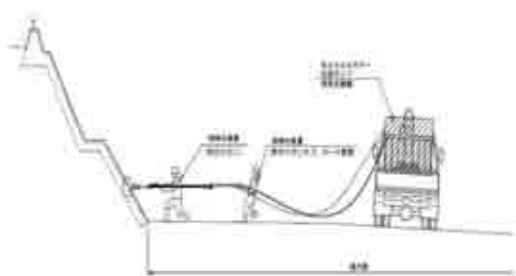


図-5 施工イメージ



写真-7 施工状況

3. 補修結果について

今回の補修は、いずれの箇所においても、適切に施工を完了する事が出来た。

また、現時点でいずれの補修箇所においても特に問題等は、発生していない。

施工後の状況は、**写真-8**のとおりである。

《補修事例1：堤防堤脚部補修》

（背後地に建物なし）



（背後地に建物あり）



《補修事例2：特殊堤防補修》



写真-8 補修箇所の施工後の状況

今回実施した堤防補修は、現場条件、施設の機能及び施設の損傷状態に応じて、対策を選定し施工したことにより、全面改築出来ないような箇所においても、既存施設を活かした状態で、施設の機能を回復させる事が出来た。

また、既存施設の補修箇所については、表面被覆を施した事により、**写真-9**のとおり全面改築した部分と比較しても違和感がなく、景観上も配慮した施工を実施することが出来た。



写真-9 全面改築箇所と既存施設補修箇所との比較状況

以上のようなことから、今回実施した堤防補修の工法選定から施工に至る部分までにおいて、一定の評価が出来るものであったと考える。

4. 補修対策の今後の課題

今回の事例を通じて感じた、今後、堤防等の老朽化した施設の補修を実施していくにあたっての課題は、以下のようなものがあると考えます。

- (1) 今回のような河川管理施設の大規模補修については、事例も少なく補修手法も確立されていない状況であり、工法選定する際の評価が難しい。
- (2) 補修実施後に期間が経過した施設がほとんどなく、補修後の施設の劣化や長期的な機能維持について、十分な評価が出来ていないため、工法選定時に維持管理に関する評価が難しい。

そのため、今後増加していく老朽化した施設の補修を効果的に実施していくためには、今回のような事例を含め、様々な条件下においての施工実績及び経年変化状況の蓄積を行った上で補修工法においての評価を行い、現場条件、施設機能及び施設の損傷状態等に応じた補修手法について確立していく必要があると考える。

謝辞：今回の補修工事にあたり、協力をいただいた関係機関等の皆様に感謝するとともに、本論文の作成にあたり協力いただいた皆様に感謝します。

＊本稿については、筆者が福知山河川国道事務所在職時に携わった業務に関するものである。

国道25号における堤防兼用道路の防災計画

的羽 正樹

近畿地方整備局 奈良国道事務所 管理第二課 (〒630-8115 奈良県奈良市大宮町3-5-11)。

平成24年7月7日、王寺町亀ノ瀬地先の堤防道路部において、河床部の蛇籠が豪雨により洗掘され復旧する必要が生じた。平成23年7月にも近傍の箇所と同様の被災が生じている。対象区間は、並走する大和川の流下能力不足や亀ノ瀬狭窄部の影響により、出水時には兼用道路が冠水することがある。同時に、道路法面と堤防護岸を兼用しているため、出水時には河川水による道路法面の洗掘や水位変動による崩壊等に対して、安全・安心な道路交通機能の確保が求められる。

本論は、今後の防災対策の策定と堤防道路の防災設計に資する基礎資料を作成することを目的に、過去の被災履歴、対象区間の道路・河川特性、及び現在運用されている道路交通規制の課題を整理した上で、当該区間で想定される被災メカニズムを検討・整理し、堤防兼用道路区間における通行規制の運用基準について、今後の検討方針を述べるものである。

キーワード 道路防災, 兼用道路, 規制基準

1. はじめに

国道25号は、起点である三重県四日市市から、奈良県を経由し、終点を大阪府北区とする総延長145kmの一般国道である。

本国道は、奈良県王寺町から大阪府柏原市までの区間において一級河川大和川と並走しており、一部区間では大和川の管理用通路との兼用道路となっている。当該区間は、古くから幾度となく地すべり災害に見舞われている亀ノ瀬地区をはじめとした急峻な山間部に位置しており、山間部の谷筋に国道25号と大和川、さらに一部区間でJR関西本線が並走している。

当該区間は、大和川の狭窄部であり、河積が小さく流

下能力も低いいため、出水時に冠水することもあり、通行止めを実施したこともある。ただし、河川が蛇行し狭窄しているという複雑な形態を呈しているため、出水時の流況を把握することが難しく、適切な交通規制基準の設定が課題となっている。さらに、道路法面は、堤防護岸を兼用しているため、出水による洗掘や水位変動による崩壊が道路の安全性の低下を招いている。そこで、この破壊メカニズムを解明し、適切な防災対策を検討する必要がある。

本論では、対象区間における国道25号の通行止め措置の実態を把握し、運用に関する課題を抽出することで、今後の防災対策と堤防道路の防災設計に資する基礎資料とすることを目的とする。



図 - 1 位置図



写真 - 1 被災写真

2. 対象区間の特性

対象区間の下流部に位置する亀ノ瀬地区は、兩岸が山付き部となり、左岸側の堤防天端に国道25号が並走している。川幅は、図-2に示すように亀ノ瀬地区の下流では130m、上流側では150m程度であるのに対して、亀ノ瀬地区では60m程度と約1/2に縮小されているため、治水上のネック点の1つとなっている（図-2）。そのため、対象区間上流部は勾配の緩い地形特性と狭窄による堰上げにより、洪水時に水位が上昇し、洪水氾濫や浸水等の被害を受けやすい地形的特性を有している。

また、対象区間の河川特性として、河道が狭窄していることから急激な水位変動を生じることが挙げられる。対象区間の河川特性を把握するため、対象区間付近で大きな浸水被害を及ぼした平成19年7月洪水時の藤井観測所及び国豊橋観測所の観測水位を図-3に整理した。その結果、国豊橋観測所では、ピーク時には1時間に約1.7mの水位上昇が生じており、最大水位も計画高水位を大きく下回っていた。これに対し、藤井観測所では1時間に最大約2.5mの水位上昇が生じ、上昇開始4時間後には計画高水位を上回る水位が観測された。また、水位低下においても、国豊橋観測所では1時間で最大0.50m程度

の低下であったが、藤井観測所では最大0.75m程度の低下となり、国豊橋観測所の1.5倍程度の低下速度であった。

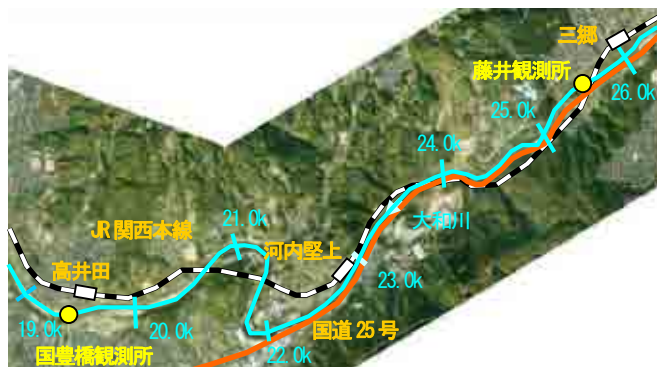
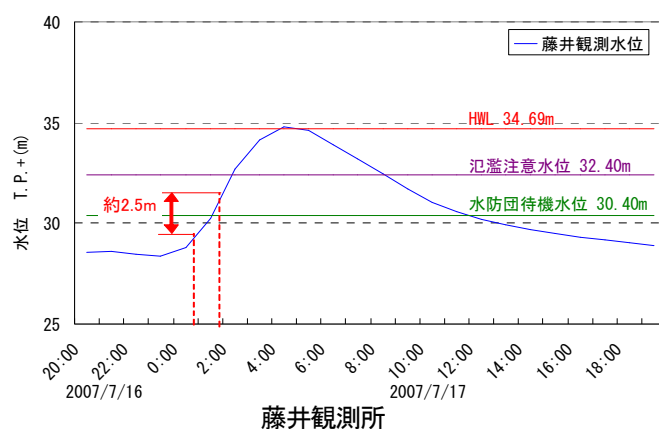
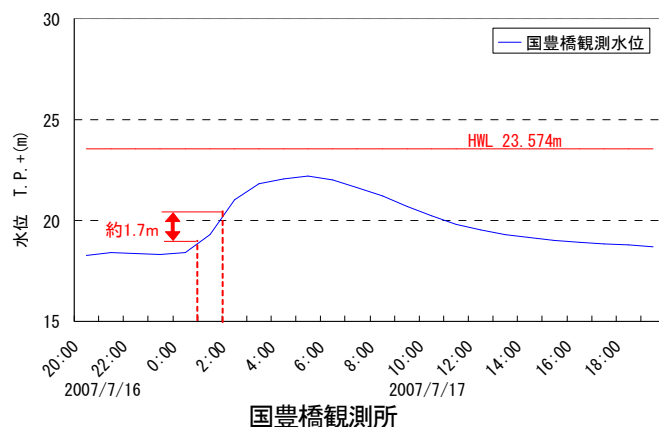


写真-2 航空写真



藤井観測所



国豊橋観測所

図-3 出水時の観測所水位

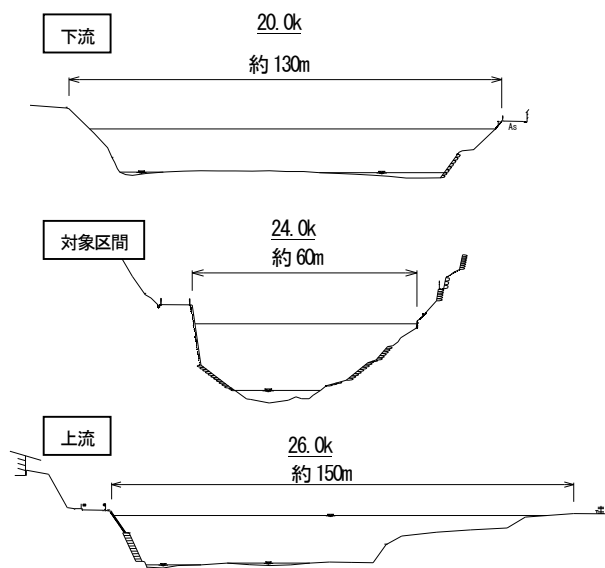


図-2 代表横断面図



図-4 対象区間平面図

3. 道路通行規制の運用と課題

(1) 現在の運用基準の整理

対象区間は、多降雨時に冠水や斜面崩壊の恐れがあることから、事前通行規制基準を設けている。現在の通行規制の適用基準は、以下のとおりである。

- a) 連続雨量が200mmに達した時
- b) 道路が危険な時

ここで、a)は当該区間の地山の斜面崩壊の発生条件を基に設定されており、b)は道路の冠水が発生した際や道路法面の崩壊が発生した際などに適用される。



写真 - 3 現地案内版

(2) 対象区間における通行止めと法面(河岸)崩壊の実績

平成5年から平成24年までの過去20年間では、対象区間において3回の通行止め措置が講じられている。発生年月日及びその理由は、表 - 1のとおりである。3回のうち、a)の条件による措置が1回、b)の条件による措置が2回である。

法面(河岸)崩壊は、新亀の瀬橋下流側において、平成23年7月、平成24年7月に発生している。(図 - 5、写真 - 4)

表 - 1 通行止め実績

発生年月日	理 由	該当条件
平成 7 年 7 月 4 日	大和川増水による冠水のため	条件 b)
平成 10 年 6 月 23 日	亀ノ瀬における転石のため	条件 b)
平成 11 年 8 月 11 日	亀ノ瀬における連続雨量が200mmに達したため	条件 a)

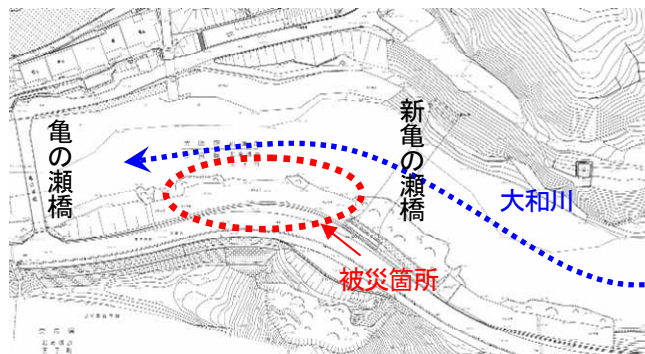


図 - 5 平成 24 年 7 月出水による被災箇所



写真 - 4 平成 24 年 7 月出水による被災状況写真

(3) 運用に関する課題の把握

現在の通行規制基準は、斜面崩壊の観点から連続雨量200mmが設定されているが、道路冠水や道路法面(河川護岸)の崩壊の観点からは「道路が危険な時」との条件のみで、明確な基準が設定されていない。そのため、道路冠水及び道路斜面(河岸崩壊)による事故を未然に防止することを目的とした新たな通行止めに関する運用基準を検討する必要がある。

a) 道路冠水の観点による基準

各距離標断面のH-Q式を用い、以下の流量に対して、対象区間における水位を算定し、道路高と計算水位を縦断的に整理した。

- ①対象区間における整備計画目標流量1,900 m³/s、②過去の主要洪水であり、多降雨により通行止め措置が講じられた平成7年7月4日におけるピーク流量、③同平成11年8月11日におけるピーク流量

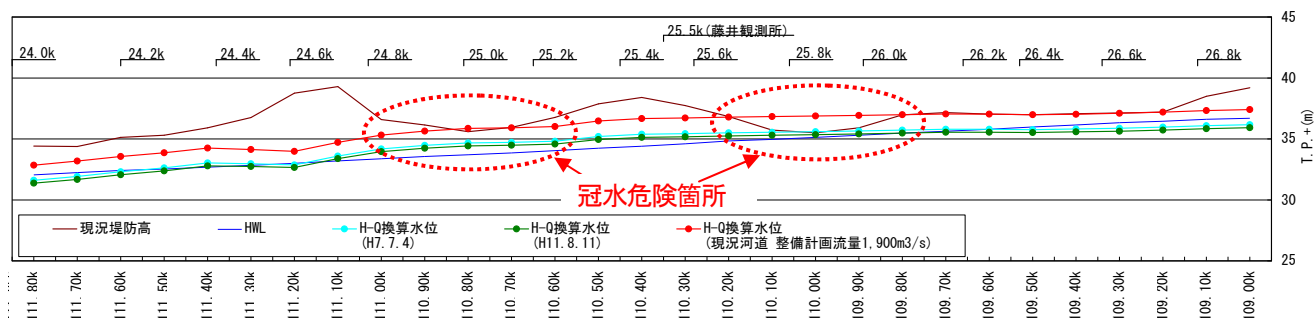


図 - 6 道路高と計算水位の比較

なお、上記②③出水時におけるピーク流量は、平成7年7月4日が $1,437\text{m}^3/\text{s}$ 、平成11年8月11日が $1,354\text{m}^3/\text{s}$ であった。水位算定結果を図-6に示す。

算定の結果、整備計画目標流量流下時と平成7年7月4日の出水時には $25.6\text{k}\sim 26.2\text{k}$ 付近を中心に、計算水位が国道25号の道路高を上回る結果となった。したがって、このような規模の出水時には、通行止めの措置が必要となるが、現状の通行止め区間は 25.0k 付近より下流側であり、上述の区間とは異なる。そのため、道路冠水の危険範囲を踏まえ、通行止め区間の見直しが必要である。また区間下流側の亀ノ瀬狭窄部やその堰上げ効果、流路が蛇行しているという複雑な河道特性から、実際の出水時の流況が非常に複雑であると想定される。そのため、H-Q式による計算水位は実際の水位と大きな誤差が生じていると考えられる。したがって、道路冠水の観点からの道路交通規制基準の設定に当たっては、こうした複雑な流況を適切に評価できる計算手法を用い、観測所水位と対象区間における水位の関係性を把握する必要がある。

b) 道路法面崩壊の観点による基準

当該区間における堤防道路の川表のり面は、河岸防御と道路法面の両方の機能を有している。そのため、堤防道路の安全性評価にあたっては、堤防と同様に、河川水位上昇期と低減期に分けて考える必要がある。

【河川水位上昇時】洪水による河川水位の上昇は、流速の増大による河岸侵食や護岸基礎部の洗掘をもたらす。

【河川水位低下時】洪水後の河川水位低下時には、法面(河岸)内の残留水圧によって、すべり破壊が生じる。

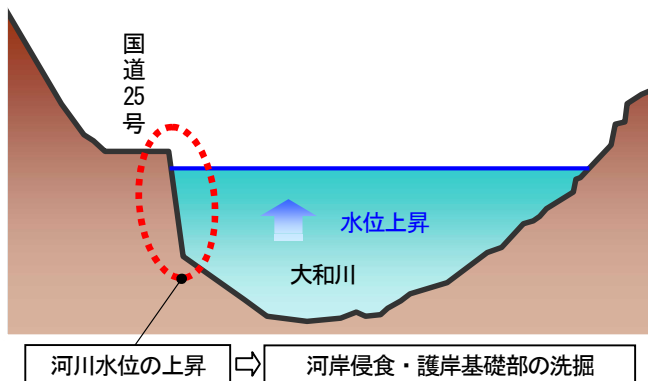


図-7 河川水位上昇時に想定される影響

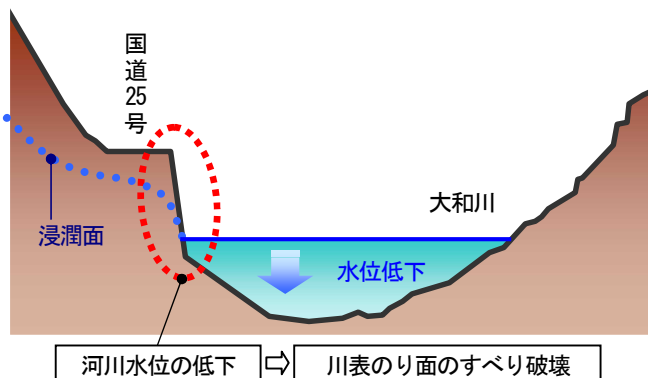


図-8 河川水位低下時に想定される影響

水位上昇時の侵食や洗掘に関しては、平成23年に新亀の瀬橋直下流の左岸側に設置されている蛇籠が河床洗掘により基礎工が崩れ、被災している。洪水時の河岸の安定性を評価する上では、洪水時の水理現象を捉え、被災要因を分析することが重要であり、様々な観点から洗掘メカニズムを解明する必要がある。対象区間における道路法面(河岸)の崩壊の要因としては、以下のような被災形態が想定される。

①河床洗掘による被災

護岸基礎周辺の河床の局所洗掘により、基礎部に空洞が発生し、護岸裏の土砂が流出し護岸が被災するケース。

②残留水圧による崩壊

河川水位上昇時に堤体内に浸透した水が、水位低下後も法面内に残留することで、残留水圧により道路法面が崩壊するケース。

③天端からの侵食による崩壊

洪水流が護岸天端を超える場合等に、護岸天端から侵食され、護岸裏を空洞化して道路法面が崩壊するケース。

洪水低減期に関しては、道路法面である堤防川表のり面は、洪水終了後の残留水位が高い時点ですべり破壊が発生しやすいと考えられる。残留水位の上昇は、長時間の降雨や洪水継続時間を要因とすることから、河川水位の低下速度と降雨の浸透を考慮した法面安定計算を行い、斜面安定性を評価する必要がある。

4. 今後の道路通行規制の検討方針

今後の道路交通規制は、「斜面崩壊」に加え、「道路の冠水」と「河川水の影響による道路法面破壊」が発生する前に講じる必要があるが、本線での交通規制による影響は多大であるため、適切な規制条件の設定が必要である。また、規制条件となる指標は、雨量観測所における観測雨量や水位・流量観測所における観測水位の常時観測されている指標である必要がある。そのため、これらの指標と、道路の冠水や道路法面破壊の発生の関係性を適切に把握する必要がある。

対象区間は、蛇行区間や狭窄部を含むことから、複雑な流況や河道の急激な縮小による死水域の発生といった平面的な水理量の違いを表現できる平面二次元不定流計算を用い、冠水発生地点と水位、その時の観測所水位や流量との相関性を見出す必要がある。

また、道路法面破壊と観測水位、流量との関係を把握するに際しても、河川流速や流向分布の把握のため、平面二次元不定流計算を行う必要がある。また、水位低下後の道路の安全性検討のため、河川水や降雨の浸透を考慮した法面安定計算を実施し、安全性が脅かされる水位を把握した上で、水位と観測値との相関性を把握する必要がある。

それらの相関性を見出した上で、堤防兼用道路における規制基準として警戒水位や危険水位等の段階的な通行規制の運用基準を検討していくことが必要である。

5. おわりに

本論では、国道25号の堤防兼用道路区間における通行止め措置の現状を把握し、地域特性や河川特性を分析することで運用に関する課題を把握し、対象区間における今後の通行止めの運用基準の検討方針を述べた。

規制基準の検討に際しては、「道路冠水」「斜面崩壊」の観点から考察した。既往のH-Q式より算出した洪水時水位と、堤防高（＝道路高）を比較し、道路冠水危険範囲を推定し、通行止区間の見直しの必要性を明らかにした。また、斜面崩壊のメカニズムについて、洪水上昇期、低減期に分けて検討を行い、道路法面（河岸）の崩壊の要因として、河床洗堀による被災、残留水压による崩壊、天端からの侵食による崩壊について考察した。

当該地区は、堤防兼用道路区間であり、並走する大和川は、下流区間には亀ノ瀬狭窄部があり、河道は蛇行しているため、出水時には急激な水位上昇や複雑な流況となることが想定される。このことから、出水時の特性を適切に評価し、運用基準を検討することが重要となる。こうした対象区間の特性を踏まえ、今後以下の検討を進めていく。

①複雑な特性を評価するための、平面二次元不定流計算による精度の高い流況把握、②ボーリング等による土質特性の把握、③河川水や降雨の浸透を考慮した法面安定計算

これらの解析等による結果を基に、道路冠水、道路法面(河岸)の崩壊の両観点から、安全性を脅かす水理諸元を算定し、堤防兼用道路区間における通行規制の運用基準を検討する。