

# 潜在的な危険箇所を把握し、 攻める交通安全について

吉井 貴弘<sup>1</sup>

<sup>1</sup>近畿地方整備局 道路部 交通対策課 (〒540-8586大阪府大阪市中央区大手前1-5-44)

本論文では、最近の事故発生状況からみた生活道路での事故の特性を把握したうえで、生活道路を対象としたモデル地区を選出、生活道路での ETC2.0 プローブデータによってモデル地区における交通特性を分析した。さらに、ETC2.0 プローブデータの分析結果と現地での道路交通の特性による事故発生箇所等を予測し、一連の分析を行ったうえで、モデル地区の自治体へのヒアリングを実施、それらの結果との比較によって、ETC2.0 プローブデータの分析による事故分析の効果や課題について整理した。

キーワード 生活道路, 事故分析, ETC2.0, ビッグデータ活用

## 1. 交通事故の現状と対策

### (1) 道路と生活道路における事故発生の状況

道路で発生する交通事故による死者は、1970年の16,000人をピークに3～6次に渡る交通安全施設等整備5か年計画等の様々な施策により交通事故は減少している。その発生数はさらに減少を続け、2013年では、1970年4分の1の4,373人まで減少している。さらに最近の情報によると2014年では4,113人、2015年では4,117人と横ばい状況を示すに至っている。

一方、2013年の交通事故死者数の内訳をみると、図-1にあるように約半数の2,184人が歩行中・自転車乗車中の事故による死亡となっている。図-2に示すように国際道路交通事故データベースによる人口10万人あたりの自動車乗車中の事故件数はG7中最下位にあるものの、図-3のとおり歩行中・自転車乗車中の事故による死者数は2.1人に達し、G7で最悪になっている。これは、最も低いイギリス0.9人に比べて約2.3倍を示している。

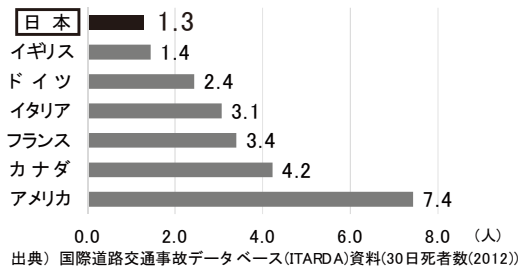


図-2 人口10万人あたり死者数(自動車乗車中)

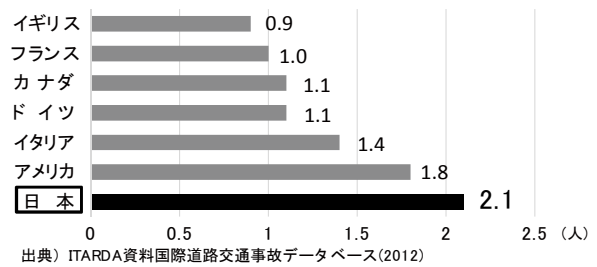


図-3 人口10万人あたり死者数(歩行中・自転車乗車中)

さらに、先の2013年の2,184人の発生箇所の内訳を図-4で見ると、自宅から半径500m以内となっており、いわゆる生活道路での事故発生が大部分を占めている。

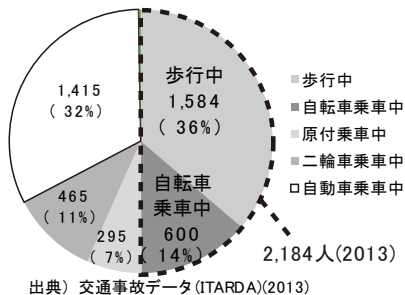
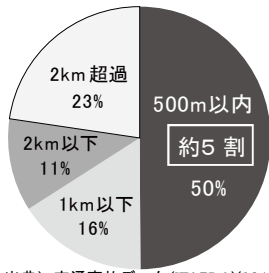


図-1 交通事故死者数4,373人(2013)の内訳



出典) 交通事故データ (ITARDA)(2013)

図4 交通事故発生箇所の自宅からの距離

## (2) 事故対策立案の流れの変化

生活道路における事故が大半を占める状況を受けて、今年からスタートした交通安全基本計画でも生活道路における交通安全対策が中心となっており、生活道路における事故分析に基づく事故対策立案への対応が急務となっている。

しかし、これまでの幹線道路での事故対策の立案では、発生する事故データの蓄積によって、事故多発箇所を抽出し、そこでの事故類型から事故対策を策定していた。事故発生箇所に関する情報が長年に渡り蓄積されておらず、また事故が発生していない生活道路での事故対策の立案では、これまでと異なるロジックでの事故対策の立案が必要となっている。

事故が発生していない状況においても分析、対策立案が必要になっている中、ETC2.0のような道路での交通事故に繋がる交通特性を分析し、事故を未然に予測するためのデータの普及により“対症療法型”から“科学的な道路交通安全対策”が進められようとしている。

まさに、①幹線道路等の整備の進展により、自動車を安全性の高い道路へ転換、②ビッグデータを活用し、個々の道路の潜在的な危険箇所を解消、③暮らしの道を自動車と歩行者の混在空間から歩行者の空間へ転換させる、これらの対応における②に関する検討について実施した。

本論文では、管内の生活道路の対策箇所として、都市部における高槻市内の実フィールドをモデル地区として検証を行うこととなった。

## 2. 利用可能なビックデータ

### (1) ETC2.0プローブデータの特徴

生活道路での道路交通の特性を分析するためのビッグデータとして、このETC2.0プローブデータを利用する。ETC2.0プローブデータとは、道路に設置されている路側機（高速道路においてはITSスポット、直轄国道においては経路情報収集装置）と自動車に搭載されたETC2.0対応カーナビ（車載器）との無線通信によって、車載器に蓄積されたプローブ情報が路側機経由で収集（アップリンク）されるデータである（図5参照）。

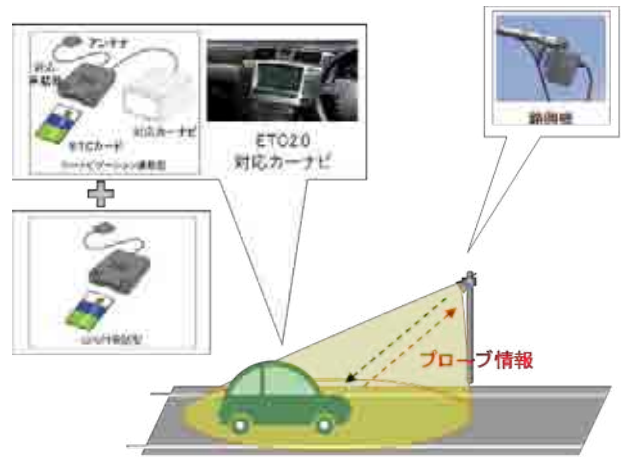


図5 ETC2.0データ取得の仕組み

ETC2.0プローブデータは、走行経路のデータ（走行履歴）と、急ハンドル・急ブレーキ発生箇所に関するデータ（挙動履歴）に大別される。

走行履歴は、時刻、緯度・経度、道路種別等のデータあり、200m走行した時点毎、または進行方位が前回蓄積した時点から45度以上変化した時点のデータが蓄積され取得される。

挙動履歴は、時刻、緯度・経度、方位、道路種別、前後加速度、左右加速度、ヨー角速度等のデータであり、左右加速度、ヨー角速度のいずれかが、設定した閾値を超えたデータのみが蓄積され取得される。前後加速度は、一般には、加速時と減速時に生じる、車両前後方向の加速度を指すが、ETC2.0プローブデータには、減速時の後方向の加速度のみが収録されている。左右加速度は、旋回時に生じる、車両左右方向の加速度である。ヨー角速度は、旋回時の重心点周りのモーメントである（図6参照）。

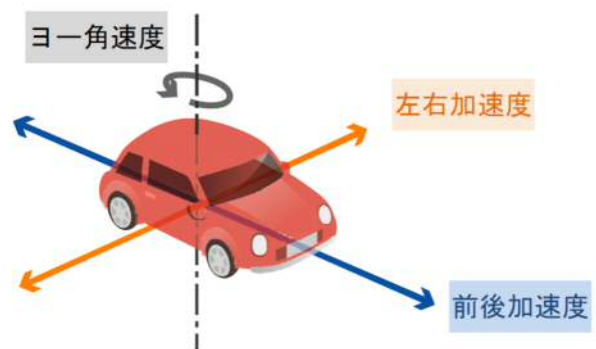


図6 前後加速度，左右加速度，ヨー角速度

### (2) ETC2.0プローブデータを使った分析方法

先のETC2.0プローブデータの特徴に応じた分析を検討したところ、次に示す分析が可能であるため、これらの分析結果をDRM（デジタルロードマップ）上に表示し、危険事象発生状況を把握、それらの発生要因を現地踏査によって確認した。

- ①位置情報（緯度経度）×速度
- ②位置情報（緯度経度）×前後加速度（急減速）

3. 対象モデル地域での分析結果

先の分析手法に基づき、対象となったモデル地区2箇所の速度分類と急減速発生箇所の分布状況を把握した。なお、対象とした2地区については自治体の協力のもと選出した。

図-7によると、モデル地区1では、地区中心部の南北道路に速度の高い区間があり、中でも区間2の速度は、30km/h から 40km/h の速度が多いなどの問題を持っている。

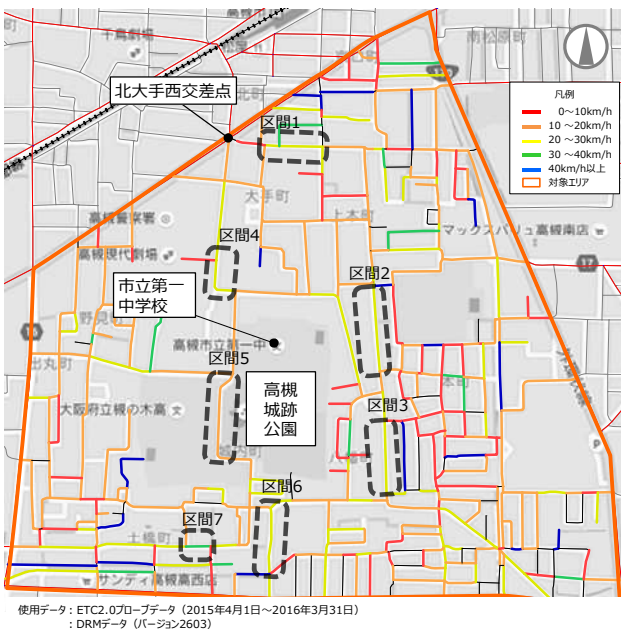


図-7 モデル地区1における速度分類の分布

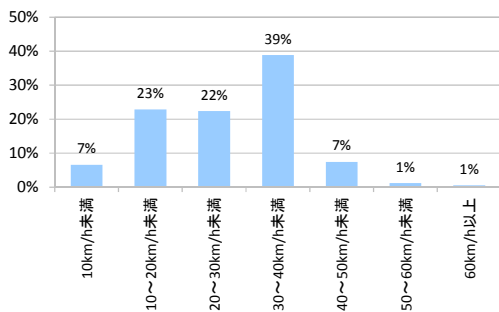


図-8 モデル地区1における区間2リンクの速度分布

また、図-9に示す挙動履歴のデータ分析によると、急減速が発生している箇所にも集中があることが分かった。

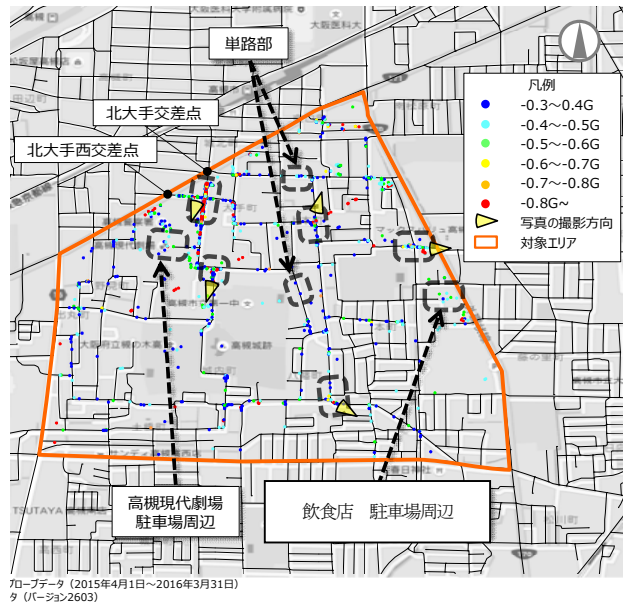


図-9 モデル地区1における挙動履歴の分布（急減速）

一方、モデル地区2についても同様の分析を行い結果をまとめたところ、図-10に示すような速度分布が得られ、東西に通過速度が高い区間2等がある事がわかった。そこでの30km/hから40km/hが多い速度分布を図-11に示す。

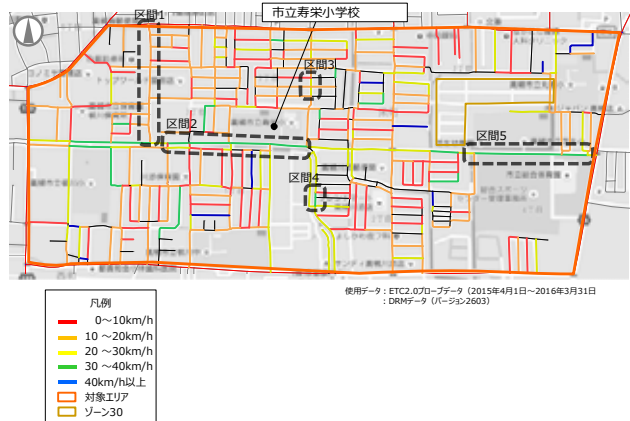


図-10 モデル地区2における速度分類の分布

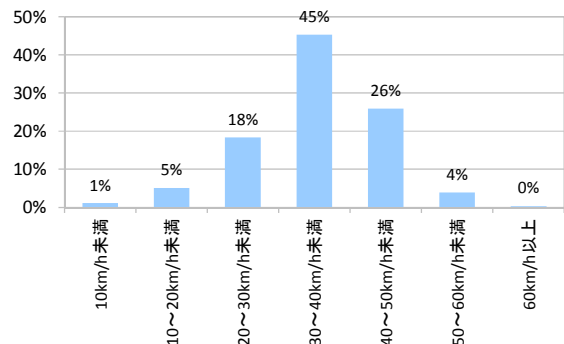


図-11 モデル地区2における区間2リンクの速度分布

また、図-12 に示す挙動履歴のデータ分析によると、急減速が発生している箇所が点在しているものの、特に大きな急減速は地域の中心部の三叉路で発生している事がわかった。

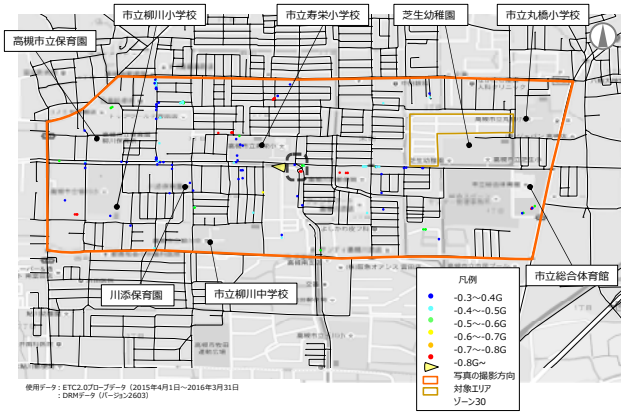


図-12 モデル地区2における挙動履歴の分布（急減速）

これまでにした2地区での速度分類と急減速発生箇所から次のことが分かった。

- 生活道路での速度が高い区間は、ある程度交通量がある区間で発生する。
- それらの速度が高い区間では、通りぬけ車両が存在する事が多い。
- 通行する車両の速度は、法定速度 30km/h を超え、60km/h 以上を示す車両も通行している。

#### 4. 自治体の意見に基づく検証

ETC2.0 プローブデータを分析した結果による危険な区間について、自治体職員と合同で現地踏査を行い、現地での通行車両や道路状況などについての印象や意見を伺った。同時に自治体職員が感じている危険箇所分析の結果と現地での整合性を確認し、検証を行った。結果を以下に示す。

##### (1) 地点1についての意見等(図-13)

- 対象地域の北東にある八丁畷交差点で渋滞が発生するために、渋滞や混雑を避けて、対象地域内を通り抜け車両が発生している。
- それらの交通量は、対象地域の南側から北側への通行となっており、対象地域内の南北区間で速度上昇を示す区間と合致している。
- また、渋滞区間の直前で対象地域の東側から地域内に入る箇所があり、それらの位置についても今後安全性の確保が必要と感じている。
- その他の意見としては、通過する車両が横断する狭い道路からの自転車と錯綜する可能性がある箇所が数箇所あり、標識や注意喚起看板の設置などで対応を図る

必要があるとの意見が挙がり、ETC2.0 プローブデータでは把握出来ていない状況について指摘を受けた。



図-13 モデル地区1におけるその他の意見

##### (2) 地点2についての意見等(図-14)

- 対象地域で発生する問題として、地域内を東西に通行する通り抜けルートが存在がある。
- そのルートは高槻市立寿栄小学校の南側を東西に通過する区間であるため、高い速度分布を示している区間と合致している。
- 先の高槻市立寿栄小学校の南側、市立総合体育館北側は通り抜けルートであり、見通しも良いため、速度の上昇が発生していると推測される。
- これらのような箇所では速度抑制の施策を実施しているが、効果が得られないため、今後は物理的デバイスの設置等による速度抑制策も検討が必要である。



図-14 モデル地区2におけるその他の意見

## 5. 結論

自治体の意見収集による ETC2.0 プローブデータの分析に基づく検証の結果、次の事が分かった。

- ・概ね通過交通や通りぬけ交通のある区間については、比較的現地の状況を ETC2.0 プローブデータで表現できている。
- ・挙動履歴については、地域内のあらゆる箇所が発生しているが、現地を見る限りでは、どの箇所も視認性が悪く、歩行者や自転車の急な発見によって、急制動が掛かる可能性のある箇所が多い。
- ・今回の検証において、ETC2.0 プローブデータは現地の再現性が高く、潜在的な危険箇所の把握が可能となっている。

今後、現地において交通安全対策を実施する予定であるが、その効果検証についても ETC2.0 プローブデータを活用することでリアルタイムでの把握が可能であり、より効果的な交通安全対策が可能となると思われる。

なお、ETC2.0 対応カーナビを搭載していない自動車からはプローブデータを取得することができないため、検証できない地域もあるが、今後の ETC2.0 の普及により検証できる地域が増えることも期待される。

**謝辞：** 検証のためのフィールドを提供して下さった高槻市役所にこの場をお借りして感謝を申し上げます。

# 高槻市における自転車利用環境整備について

大西 朋

高槻市 都市創造部 道路課 (〒569-0067大阪府高槻市桃園町2-1)

大阪府高槻市では、2012年11月に国土交通省及び警察庁から発出された「安全で快適な自転車利用環境創出ガイドライン」を踏まえ、学識経験者、市民、関係団体と議論を重ね、2015年3月に「高槻市自転車安全利用条例」を制定し、同じく2015年3月に「たかつき自転車まちづくり向上計画（基本計画）」を策定した。

本稿では、「たかつき自転車まちづくり向上計画（基本計画）」の概要及び、2016年3月に整備した、自転車通行空間に関する事例について紹介する。

キーワード 自転車，安全，計画

## 1. 高槻市における自転車の利用実態

本市における通勤通学時の自転車利用率は28%と全国的に見ても多く、全国の政令指定都市及び中核市（計62都市）の中で第4位となっている。（図-1）この自転車利用率の高さに起因し、本市では自転車関連事故が約600件発生しており、2013年の全交通事故に占める自転車関連事故の割合は37%を占め、全国（19%）や大阪府（33%）の割合に比べて高くなっている。（図-2）

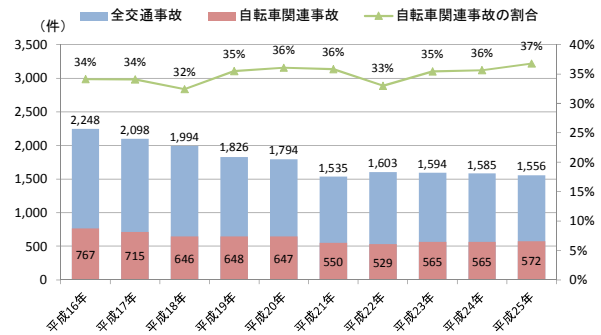


図-2 自転車関連事故の発生件数（大阪府警察資料より作成）

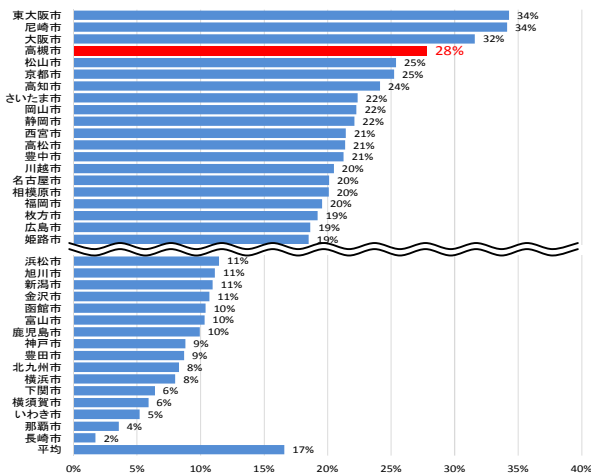


図-1 政令指定都市・中核市における通勤通学時の自転車利用率（出典：2010年国勢調査より作成）

## 2. 自転車利用条例の制定及び基本計画の策定

本市では2013年度に庁内関係部局で構成する「高槻市自転車利用環境検討ワーキンググループ」を設置し、市内の自転車利用環境整備に向けた取組の研究を行った。さらに、2014年度には、学識経験者や市民、学校関係者、関係団体、警察、道路管理者等から構成する附属機関として「高槻市自転車利用環境検討委員会」を設置し、自転車利用環境の向上に向けた総合的な施策について議論を重ね、庁内関係部局が連携を図り、2015年3月に「高槻市自転車安全利用条例」を制定し、同じく2015年3月に「たかつき自転車まちづくり向上計画（基本計画）」を策定した。本計画は、自転車利用者や関係者が一体となって、交通安全・地域活性化・健康増進・環境負荷低減などにつながる「自転車まちづくり」を推進していく

ことを目的とし、4つの基本方針（はしる（Passing）、とめる（Parking）、まもる（Promise）、つかう（Promotion））から構成されている。（図-3）



図-3 「たかつき自転車まちづくり向上計画（基本計画）」の4つの基本方針

### 3. 自転車通行空間ネットワーク路線の選定と整備優先度

#### (1) 自転車通行空間ネットワーク路線選定の考え方

自転車交通ネットワークの路線の選定については、(表-1)に示す自転車交通量や自転車関連事故発生件数等の各案件に基づき、自転車利用ニーズの高い路線を抽出するとともに、それらの区間を連続的につなぐ路線を位置づけるものとした、

表-1 自転車通行空間ネットワーク路線選定の基本的な考え方

選定基準	選定条件	備考
①自転車交通量が高い路線	自転車量が1000台/2h以上	道路構造等の制約と連携より
②自転車関連事故が多い路線	自転車関連事故が1回/km・年以上の路線	大規模警察官駐在(1回/年-4回/年)より
③アクセス良好な沿道に沿った整備されている路線	(駅) 古部駅(徒歩) 2.2km (2019年時点)	
④自転車通行空間の整備が計画されている路線	路肩幅員が1.5m以上の路線(制備予定含む)	市庁舎の周辺(びびび)より
⑤通学・通学路に指定されている路線	小学校の通学路に指定されている路線	制備優先度より
⑥高規格道路沿いの路線	高校周辺の路線(市内の高校)から500m以内の路線	高校に対する自転車専用通行帯設置より
⑦新規に計画されている路線	今後、新設整備する予定の路線	
⑧主要幹線道路沿いの路線	植栽帯と路肩主要路線(駅前と駅前を結ぶ路線)	道路構造等(直線)より
⑨道路網を強化するための主要路線	①-⑧を重なるわけ、ネットワークの連続性を確保する路線	

#### (2) 取組スケジュール（整備優先度）の考え方

選定された自転車通行空間整備ネットワーク路線の内、「自転車交通量が1000台/2h以上の路線」かつ「自転車関連事故が年5回/km以上の路線」を抽出し、その中で短中期的には駅周辺を重点的に行い、中長期的には駅周辺と周辺地域を結ぶ路線や学校周辺等の路線を対象に段階的な整備を行う予定とした。

### (3) 整備形態の考え方

本市では「安全で快適な自転車利用環境創出ガイドライン」における整備形態の選定フローを踏まえつつ、道路の幅員構成や道路空間の再配分の可能性から、(図-4)の手順で自転車通行空間の整備形態を選定するものとした。

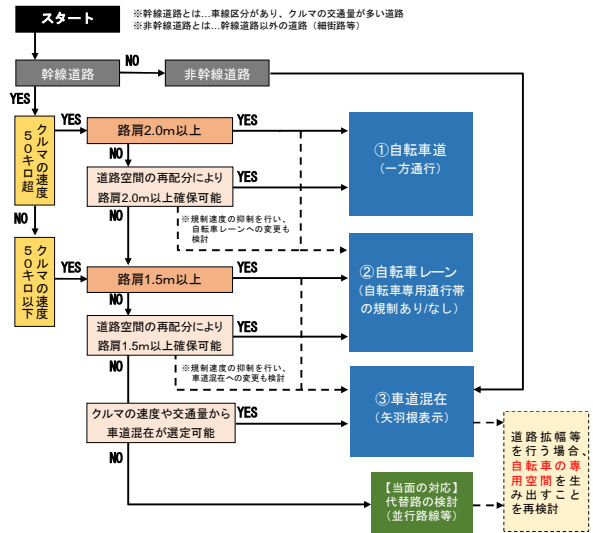


図-4 道路（路肩）幅員に基づく整備形態の選定手順

### 4. 自転車通行空間の整備事例

#### (1) 路線の選定と自転車通行空間の整備形態

自転車利用のニーズが高く、阪急高槻駅周辺の路線である高槻市道阪急北側線を選定した。整備形態については選定フローに基づき、車道混在型（矢羽根表示）とした。（図-5）

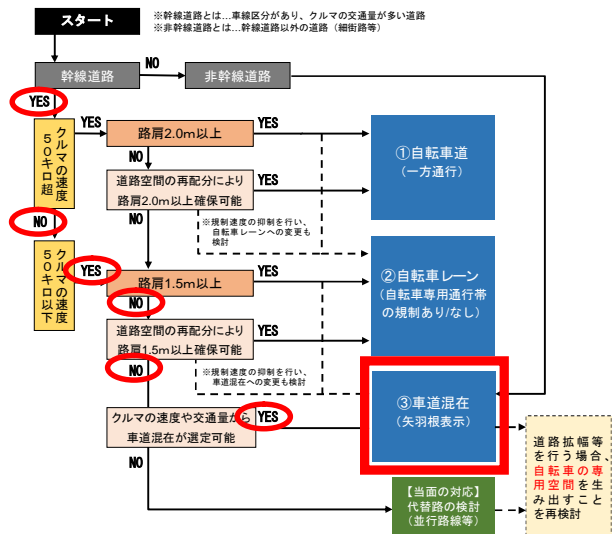


図-5 道路（路肩）幅員に基づく整備形態の選定手順

(2)設計時の留意点

a)交差点の処理

阪急北側線の中に、歩者分離式信号交差点があり、「自転車横断帯」が設けられているとともに、信号機については、「歩行者自転車専用」の扱いとされていた。車道を通行する自転車の通行位置や、従事信号を明確に判断できるように、自転車横断帯と、信号に設けられていた「歩行者自転車専用」表示板の撤去を行うこととした。



図-6 施工前 (交差点部)



図-7 施工後 (交差点部)

b)バス停部の処理

駅前のバス停留所については、自転車がバス乗降客と交錯する危険性があることに留意し、自転車通行空間を直線的に連続させることを基本とした。(図-8, 9) また、バス停留所の手前には、自転車利用に対し、「前方バス注意」といった注意喚起の看板を設置することとした。(図-10)



図-8 施工前



図-9 施工後



図-10 バス注意看板設置状況

(3)整備後の啓発活動

高槻市道阪急北側線の整備後においては、高槻市及び高槻警察と共同で通行者への啓発活動(チラシ配布, 交通指導等)を約1週間実施した。(図-11, 12, 13)



図-11 啓発チラシ





図-12 警察と連携した周知啓発活動状況(1)



図-13 警察と連携した周知啓発活動状況(2)

#### (4)整備後の苦情、意見

整備後、市民から「車道を走ると車が怖い（自転車利用者）」や「車が走りにくくなった（自動車運転者）」、といった苦情や意見が寄せられたが、自転車は「軽車両」であり、車道通行において、矢羽根等の路面表示を設置することにより、車のドライバーへの注意喚起や速度低減を図り、自転車利用者の安全性と快適性の向上に努めるという趣旨を説明し、理解を求めた。一方で、自転車通行空間を示す矢羽根の上を自動車が通過する事による振動苦情を懸念していたが一切生じなかった。

#### 5.おわりに（今後の課題など）

##### (1) 周知・啓発活動の方法

今回歩車分離式の交差点を含めた自転車通行空間の整備を行ったが、交通ルールが複雑であり、利用者に理解してもらうことが困難であると感じた。自転車通行空間の認知度も低く、また、基本的な自転車ルールについても知らない方が多いことを痛感した。今後も引き続き啓発活動については必要であると考えているが、その内容や方法については検討を要する。

##### (2) 駐輪施設へ対しての処理

駐輪施設の出入口に対し、歩道の切り下げがない箇所があった。（図-14）歩道を自転車降りて押した場合、出入口までの距離が約50m程度あったため、歩道を走る自転車が多数見られた。今後の整備に関しては、駐輪施設の利用を含めた検討が必要と考える。



図-14 駐輪施設の出入口

##### (3) 交通事業者との連携

今回自転車通行空間の整備にあたり、交通事業者への説明を行う事で連携を図ることができた。自転車の利用者だけでなく、交通事業者との連携も有効な啓発活動の一つと考える。

# 大和川流域における河川情報の活用について

柳澤 宏治

奈良県 県土マネジメント部 河川課 (〒630-8501奈良県奈良市登大路町30番地)

昨今の局所的な集中豪雨や台風などの大雨により、水防活動や避難判断の重要性が高まっている中、奈良県における河川情報の活用の初段階として、大和川水系の主要な10支川について、過去10年間の雨量・水位データをもとに、①基準水位を超過した頻度、②雨量局で観測された洪水が水位局に影響を与えるまでの時間、③基準水位に着目した水位上昇時間と雨量の3項目について、統計的な分析を行った。このことにより、各河川流域の特性を把握するとともに、水防活動や住民等への注意喚起等に活用出来る情報として、市町村に情報提供を行った。

キーワード 災害、防災、危機管理

## 1. 目的

流域に降った雨は河道の流下能力を超えて洪水となれば、河川構造物に被害を与えると共に、堤防を越えたり欠壊することにより河道から堤内地に氾濫し、住家の流出や浸水などの甚大な被害を発生させる。

また、洪水等により著しい危険が切迫している時には、各市町村長は必要と認める区域の居住者に対し、避難等の勧告や指示をするが、降雨の特性が近年大きく変化してきており、避難等の勧告や指示の判断が難しくなっている。

そこで本研究では、昨今の局地的な集中豪雨や台風などの大雨による河川が増水する頻度が増加する中、非常時における洪水予報の発信等に役立つような情報を提供することを目的に、統計的な分析を行う。

## 2. 分析内容

### (1) 対象河川

表-1に示す大和川水系の主要な水位周知河川について、統計的な分析を行った。

### (2) 対象雨量局・水位局

表-1に示す各河川流域の最上流に位置する奈良県所管の雨量局と各河川流域に位置する奈良県所管の水位局を対象とした。

### (3) 対象期間

2004年(平成16年)から2013年(平成25年)までの過去10年間とする。

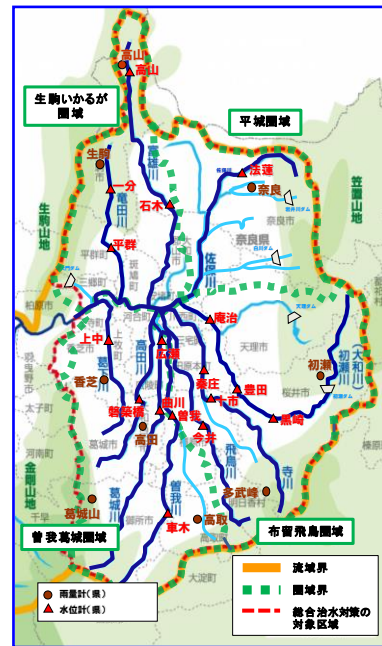


図-1 大和川流域

表-1 対象河川及び雨量局・水位局

河川名	雨量局	水位局	備考
大和川	初瀬	黒崎	
		豊田	
		庵治	
竜田川	生駒	一分	
		平群	
高田川	高田	磐築橋	
寺川	多武峰	土市	
		秦庄	
佐保川	奈良	法蓮	法蓮水位局上流域に雨量局が存在しないため、近傍の奈良雨量局を使用する
葛城川	葛城山	曲川	
		広瀬	
曾我川	高取	車木	
		曾我	
飛鳥川	多武峰	今井	今井水位局上流域に雨量局が存在しないため、近傍の多武峰雨量局を使用する
富雄川	高山	高山	
		石木	
葛下川	香芝	上中	

(4) 分析項目

分析項目としては、以下の3項目である。

①基準水位を超過した頻度については、対象期間内に発生した全洪水のピーク水位を基に、基準水位（水防団待機水位、はん濫注意水位、避難判断水位）を超過した頻度について月別に整理した。（図-2.1）

②雨量局で観測された洪水が水位局に影響を与えるまでの時間、③基準水位に着目した水位上昇時間と雨量については、対象期間内に発生したはん濫注意水位を超過した洪水を対象とする。はん濫注意水位を超過した洪水を表-2に示す。

②雨量局で観測された洪水が水位局に影響を与えるまでの時間については、はん濫注意水位を超過した洪水の10分雨量・水位データを基に、雨量局で観測された雨水が水位局に影響を与えるまでの時間（推定）を整理した。（図-2.2）

③基準水位に着目した水位上昇時間と雨量については、はん濫注意水位を超過した洪水の雨量・水位データを基に、水防団待機水位からはん濫注意水位・避難判断水位に到達するまでの時間と雨量について整理した。（図-2.3）

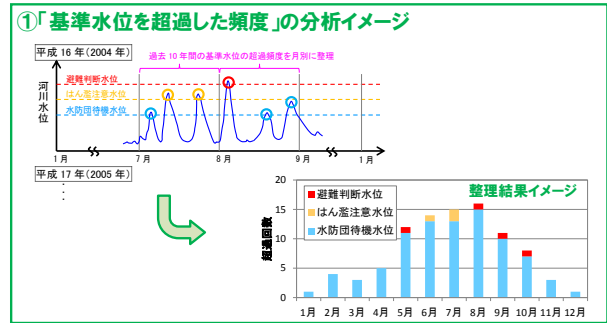


図-2.1 基準水位を超過した頻度の分析イメージ

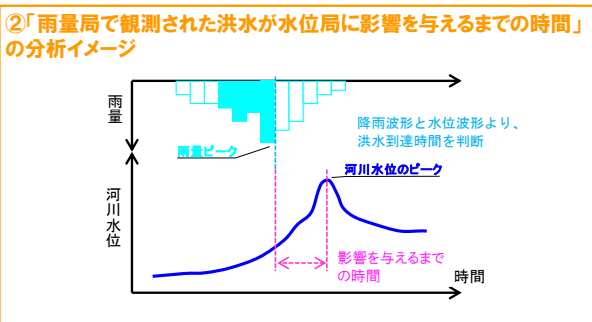


図-2.2 雨量局で観測された洪水が水位局に影響を与えるまでの時間の分析イメージ

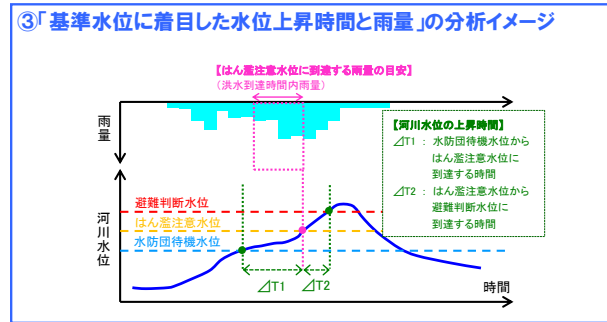


図-2.3 基準水位に着目した水位上昇時間と雨量の分析イメージ

表-2 対象洪水

洪水No.	洪水期間	大和川		電田川		高田川	寺川	佐保川	葛城川		曾我川	飛鳥川	富雄川		蜀下川		
		黒崎	豊田	庵治	一分	平群	磐築橋	十市	秦庄	法蓮	曲川	広瀬	車木	曾我	今井	高山	石木
1	2004/5/13 ~ 2004/5/14				◎												
2	2005/10/8	○															
3	2006/7/17 ~ 2006/7/19				○												
4	2007/7/16 ~ 2007/7/17	◎				◎	○	○				○					
5	2009/8/11					◎											
6	2009/10/5 ~ 2009/10/8	◎					◎					○					
7	2011/8/31 ~ 2011/9/5	○															
8	2012/6/21 ~ 2012/6/22				○												
9	2012/7/6 ~ 2012/7/7				○												
10	2012/8/13 ~ 2012/8/14				◎											○	
11	2012/9/3	◎															
12	2012/9/29 ~ 2012/10/1							◎									
13	2013/6/26	◎				◎				◎		○					
14	2013/9/14 ~ 2013/9/16	◎			◎		◎	◎		◎		◎		○			
15	2013/10/9				◎												

◎：避難判断水位 ○：はん濫注意水位

### 3. 分析結果

3(1)及び3(2)については、10河川中大和川及び竜田川を例に記載する。

#### (1) 基準水位を超過した頻度

各雨量局の基準水位を超過した回数を表-2に示す。避難判断水位を超過した回数は大和川の黒崎水位局（5回）が一番多く、続いて竜田川の一分水位局（4回）が多かった。また、はん濫注意水位を超過した水位局は、17水位局中10水位局であることが分かった。

#### (2) 雨量局で観測された洪水が水位局に影響を与えるまでの時間

大和川の対象雨量局は初瀬雨量局であるが、初瀬雨量局の降雨ピーク後、黒崎水位局では約30分後、豊田水位局では約60分後、庵治水位局では約90分後に河川水位がピークとなることがわかった。

黒崎水位局では最短で、20分間で水防団待機水位からはん濫注意水位まで上昇しており、その後10分間で避難判断水位まで上昇していることがわかった。この間のはん濫注意水位までの60分雨量は約50mmである。

その他河川においても同様の分析をしたところ、概ね30～90分と時間差があることが分かったが、竜田川の一分水位局、富雄川の高山水位局、佐保川の法蓮水位局の3水位局においては、影響を与えるまでの時間が約10分であり、非常に短いことが分かった。

#### (3) 基準水位に着目した水位上昇時間と雨量

全水位局中、水防団待機水位から避難判断水位までの水位上昇時間が最短の水位局は竜田川の一分水位局の10分間であり、この時の雨量は20分雨量25mmである。また、河川水位の変動幅は10分間に1.8m近く上昇している。

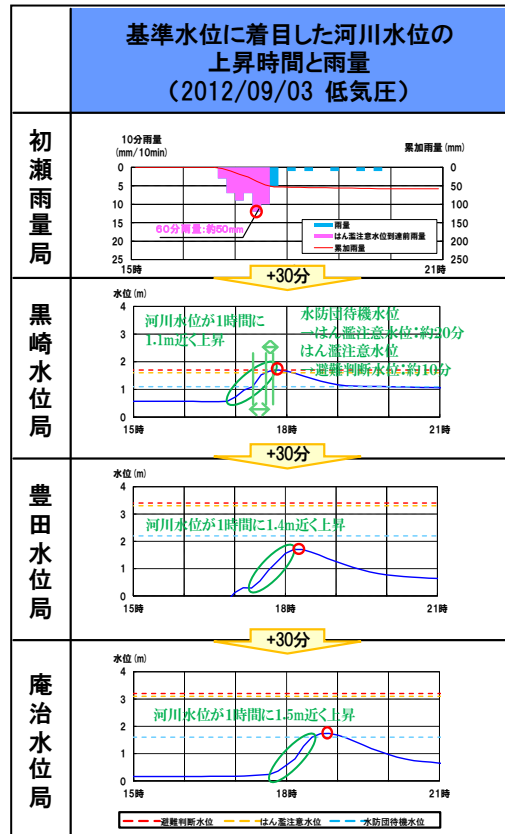


図-3.1 大和川分析結果

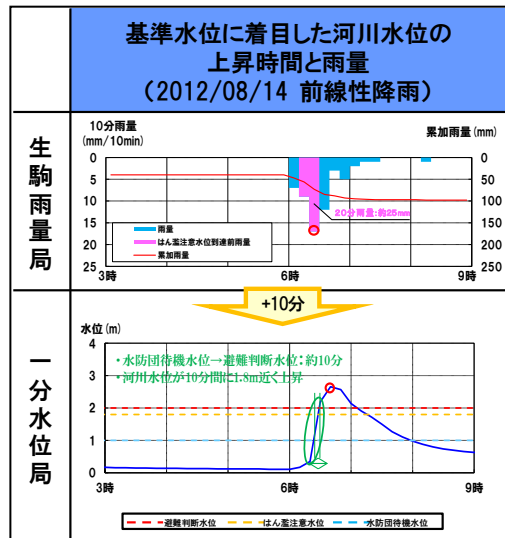


図-3.2 竜田川分析結果

表-3 基準水位を超過した頻度

河川名	大和川			竜田川		高田川	寺川	佐保川	葛城川	曾我川	飛鳥川	富雄川	葛下川				
雨量局	初瀬			生駒		高田	多武峰	奈良	葛城山	高取	多武峰	高山	香芝				
水位局	黒崎	豊田	庵治	一分	平群	磐築橋	十市	秦庄	法蓮	曲川	広瀬	車木	曾我	今井	高山	石木	上中
避難判断水位超過回数	5	0	0	4	0	3	2	0	2	0	2	0	1	1	0	0	0
はん濫注意水位超過回数	2	0	0	3	0	0	1	2	0	0	0	0	3	0	2	0	0
水防団待機水位超過回数	37	2	7	86	14	38	14	31	24	9	10	7	31	6	75	18	4

※赤字 = はん濫注意水位を超過した水位局（17水位局中10水位局）

※基準水位超過回数は、河川水位の高い基準水位のみカウント

#### 4. 考察

##### (1) 基準水位を超過した頻度

はん濫注意水位を超過した半数以上の洪水が、避難判断水位を超過しているが、これは多くの水位局において2つの水位差が比較的小さいことが原因の一つと考えられる。

##### (2) 雨量局で観測された洪水が水位局に影響を与えるまでの時間

竜田川の一分水位局、富雄川の高山水位局、佐保川の法蓮水位局の3水位局においては、影響を与えるまでの時間差が約10分である。

その他14水位局については、時間差が概ね30～90分あるため、降雨ピーク後も河川水位が上昇する可能性があるため注意が必要である。

##### (3) 基準水位に着目した河川水位の上昇時間と雨量

全水位局中、水防団待機水位から避難判断水位までの水位上昇時間が最短の水位局は竜田川の一分水位局の10

分であり、降雨時、とりわけ短時間集中降雨時においては、迅速な水防活動・避難判断が求められる。

大和川の黒崎水位局、寺川水位局の十市水位局、葛城川の広瀬水位局、飛鳥川の今井水位局の4水位局において、はん濫注意水位から避難判断水位までの水位上昇時間は10分であり、その他水位局においては、水防団待機水位からはん濫注意水位までの水位上昇時間は20分以上であり、一分水位局より時間的な猶予はあるものの、実測及び予測雨量データより水位上昇が見込まれるか否か、注視する必要がある。

#### 5. あとがき

今回の分析結果については、各河川毎にとりまとめ、流域市町村へ情報提供を行った。(図-4)

今後も精度の向上に向けて、毎年度観測データの蓄積を行い、解析・予測方法等の検討を深めて、その活用方法も検討しつつ、次の河川情報の提供に向けた検討を進めたい。

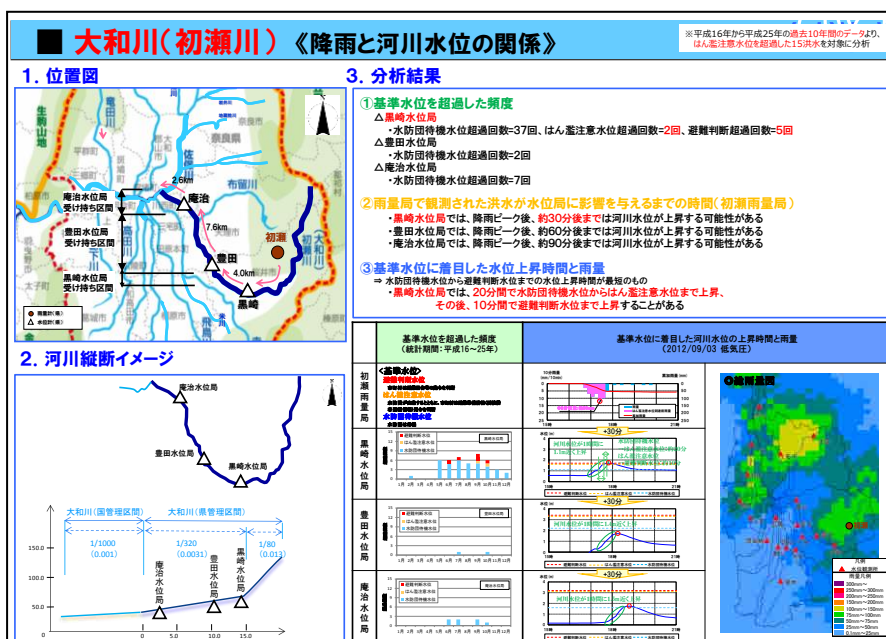


図-4 提供資料 (大和川)

# 横断歩道橋撤去に向けた取り組み ～ 社会基盤施設の撤去・統廃合を考える～

寺田 悟<sup>1</sup>

<sup>1</sup>兵庫県東播磨県民局加古川土木事務所道路第1課 (〒675-8566加古川市加古川町寺家町天神木97-1)

横断歩道橋は、これまで歩行者の交通安全に大きく貢献してきたが、その大部分は1960年代から70年代に建設され、近年、老朽化が問題となっている。兵庫県が管理する歩道橋は196箇所あり、その老朽化対策に計画的かつ効率的に取り組むことが大きな課題である。本稿では、社会情勢の変化から利用者が減少し、ニーズの低下した歩道橋の撤去を目的として、老朽化の現状や利用状況を整理するとともに、撤去に向けた選定基準やフローを提案する。また、3箇所の歩道橋をモデルケースとして、地元調整及び関係機関協議を実施し、撤去の取り組みを進めるに当たっての留意点を整理し、今後の進め方及び課題を述べる。

キーワード 横断歩道橋，撤去，統廃合，社会基盤施設，合意形成

## 1. はじめに

住民の安全・安心を確保するためには、社会基盤施設の適切な維持管理と老朽化対策が不可欠である。一方で、老朽化した社会基盤施設の増加を踏まえると、今後、維持管理と更新費の増大が見込まれ、施設更新に当たっては、少子高齢化や人口減少等の社会環境の変化を踏まえ、施設の撤去・統廃合を検討する必要がある。そこで、横断歩道橋（以下「歩道橋」とする。）を先行事例として、撤去に向けた取り組みを推進することとした。

歩道橋は、1960年代から自動車利用の進展とともに交通事故が多発し、社会問題化したなか、歩行者の交通安全の確保と自動車交通の円滑化を目的に、全国で整備が進められた。近年は、少子高齢化による利用者の減少や、バリアフリー化に伴うニーズの低下、さらには老朽化により修繕・更新の時期を迎え、撤去を検討すべき時期に

きている。しかし、今ある、まだ使える歩道橋の撤去について、利用者の理解を得ることは難しい。この原因には、撤去に関する判断基準がないこと、地元や関係機関との合意形成手法が確立されていないことが挙げられる。本稿では、歩道橋の撤去に向けて、選定基準と合意形成のためのフローを提案する。

## 2. 横断歩道橋を取り巻く環境

### (1) 歩道橋の箇所数

全国の歩道橋は11,486箇所<sup>1)</sup>、兵庫県内には625箇所あり、全国で6番目に多い(表-1)。兵庫県が管理する(以下「県内」という。)歩道橋は196箇所、そのうち加古川土木事務所が管理する(以下「管内」という。)ものは55箇所、3割弱を占め、県内16事務所の中で最も多い。管内では、国道250号(明姫幹線)で約4割を占めているおり、明姫幹線の整備時期(1967～1989)が、交通戦争と呼ばれ、歩道橋ニーズが高かった1970年頃と重なっていることが要因と考えられる。

表-1 都道府県の歩道橋箇所数

順位	都道府県	箇所	順位	都道府県	箇所
1	東京都	1,110	4	埼玉県	832
2	愛知県	1,085	5	大阪府	780
3	神奈川県	848	6	兵庫県	625

国，都道府県，政令市，市町村管理分の合計



東播磨県民局  
加古川土木事務所

管内：明石市，加古川市，  
高砂市，稲美町，  
播磨町の3市2町

人口：約71万人

面積：約266km<sup>2</sup>

図-1 加古川土木事務所管内の概要

(2) 老朽化対策

a) ひょうごインフラ・メンテナンス10箇年計画

兵庫県では、全国に先駆け主要な社会基盤施設について、計画的・効率的に老朽化対策を推進するため、「ひょうごインフラ・メンテナンス10箇年計画」（以下「10箇年計画」という。）を2014年3月に策定している。歩道橋も計画対象施設であり、計画的に維持管理・修繕を行う必要がある。

b) 老朽化状況

管内では2012年度に歩道橋の老朽化状況に関する簡易点検を行っているが、要対策（損傷等があり、計画的な対策が必要で、概ね10年以内に対策を完了）箇所は55箇所のうち31箇所が半数強を占め、早期対策箇所（「要対策」の中でも特に損傷が著しい施設で、概ね3年以内に対策を完了）箇所は6箇所が1割あり、県内でも歩道橋の老朽化が特に進展している（表-2）。

図-2の通り、県内の歩道橋の建設年は1965～1979年が多く、その大半が要対策である。なお1965～1974年の歩道橋の要対策が少ない要因は、修繕済みが含まれるためと考えられる。鋼橋の塗装の耐用年数は45年<sup>2)</sup>であり、今後多くの歩道橋が修繕時期を迎える。

管内の歩道橋は、2024年にその76%（42箇所）、2034年に95%（52箇所）が建設後45年となって修繕・更新時期を迎え、老朽化対策が大きな課題となる。

c) 維持修繕の見通し

管内では、図-3の通り、これまでも歩道橋の修繕に取り組んでおり、2009～2014年度の実績は9箇所1.7億円であった。

今後は、10箇年計画に基づき、10年間で31箇所を修繕する計画となっている（総事業費約3億円）。

加えて、前述の通り2024年に42箇所が建設後45年となり、10箇年計画で対策の対象となっている31箇所と修繕済み2箇所以外の9箇所（約1億円）の老朽化対策が必要となる。さらに、鋼橋の塗り替えの耐用年数は15年<sup>3)</sup>であり、将来的にも平均4箇所/年のペースで修繕が必要と推測され、継続的に修繕費用の予算を確保しなければならない。

表-2 兵庫県管理の歩道橋箇所数

	箇所数	要対策	
		箇所数	割合
県内	196	94	48%
管内	55	31	56%

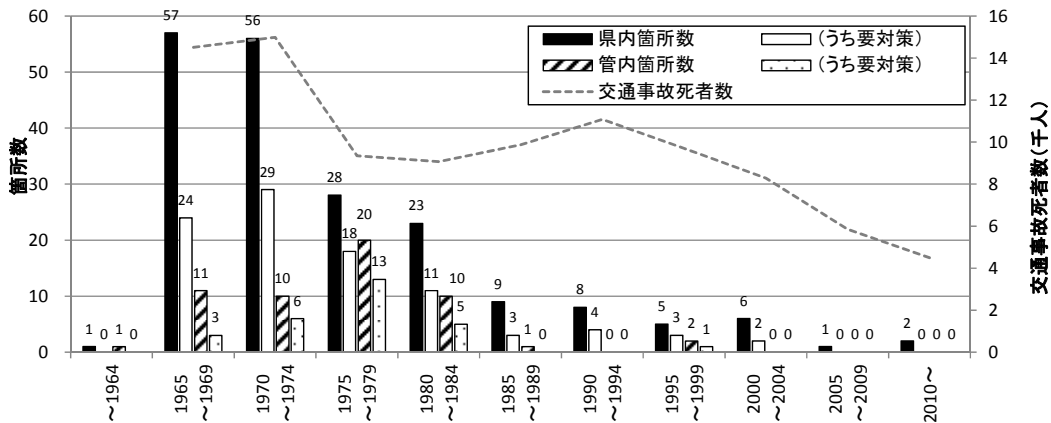


図-2 県内・管内の歩道橋建設年

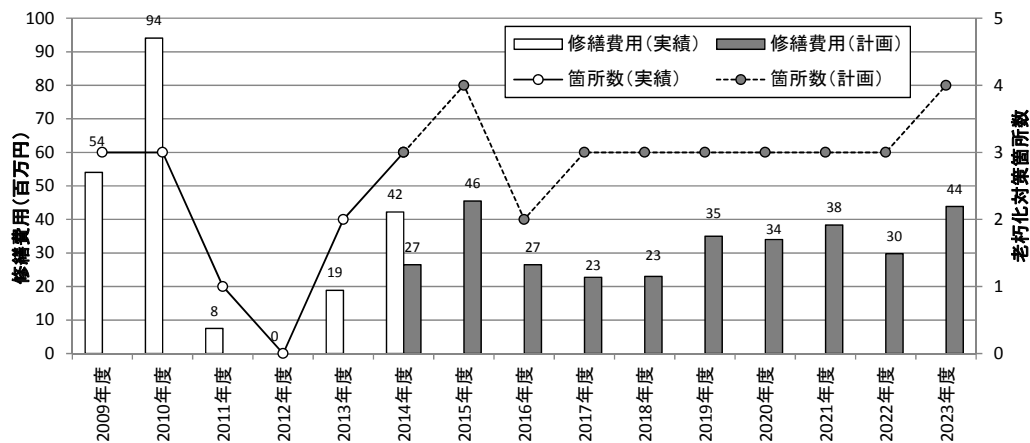


図-3 管内の修繕箇所数と費用の見通し（実績と計画）

(3) 利用状況

1960年代から多くの歩道橋が建設され、その役割を果たしてきた。しかし、社会情勢の変化から、下記の通り利用状況が変化している。

歩行者空間の整備：歩道や信号機の整備が進み、歩道橋の利用者が減少している。

少子高齢化：児童の減少、学校統廃合や通学路の見直し、歩道橋利用困難な高齢者の増加により、歩道橋の利用者が減少している。

バリアフリー化：高齢者や障害者の利用が困難な歩道橋の社会的ニーズが低下している。

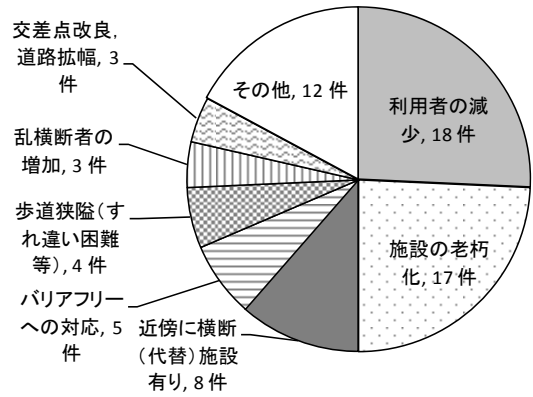


図-4 歩道橋の撤去理由

3. 撤去に向けた検討

本稿では、播磨町内の歩道橋をケーススタディとして撤去に向けた検討を行い、得られた知見や他事例をもとに、選定基準と撤去フローを提案する。

(1) 撤去による効果

a) メリット

歩道幅員の確保、バリアフリー化、景観・視距の改善、将来的な維持管理・更新費の削減等がある。

b) デメリット

歩行者事故や交通渋滞等の発生のおそれがあり、地域のニーズ及び交通状況を十分に把握した上で、撤去に向けて検討することが不可欠である。

(2) 選定基準(案)

図-4に示す全国自治体アンケート調査<sup>5)</sup>によると撤去理由は「利用者の減少」、「施設の老朽化」が多い。また、歩道橋の役割として安全な通学路の確保は重要である。これらから、撤去検討対象の選定基準(案)を表-3の通り設定する。現時点で該当箇所は県内で19箇所(10%)、管内で11箇所(20%)、将来老朽化が進展すると32箇所(16%)、17箇所(31%)が撤去対象となる。

また、提案した選定基準の考え方を以下に示す。

a) 利用者が著しく少ないこと【基準】

立体横断施設技術基準<sup>4)</sup>の設置基準として定められた「ピーク時間あたりの横断者数が100人以上」を参考に、往復の200人/12時間を下回る規模を基準とする。

管内歩道橋の12時間利用者数は、200人未満が53%(29箇所)、50人未満が22%(12箇所)を占めており、利用者の少ない歩道橋が多い(図-5)。

b) 通学路に指定されていないこと【基準】

通学路に指定されている場合は歩道橋のニーズがあると判断されるため、通学路の指定なしを基準とする。

小学校の指定通学路となっている歩道橋は、県内で77%、管内で65%である(図-6)。

表-3 選定基準(案)の該当箇所数

選定基準	該当箇所数					
	県内			管内		
利用者200人/12時間未満	97 49%	かつ	かつ	29 53%	かつ	かつ
指定通学路でない	43 22%	32 16%	かつ	19 35%	17 31%	かつ
点検結果が要対策	94 48%		19 10%	31 56%		11 20%

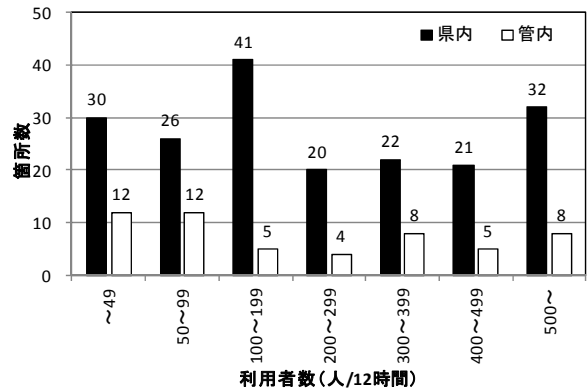


図-5 歩道橋の利用者数

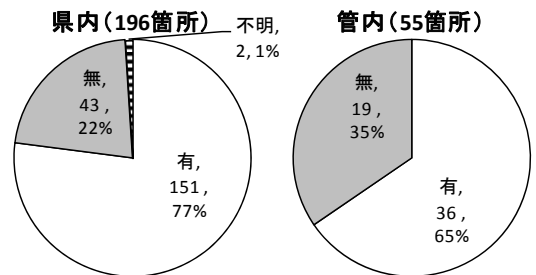


図-6 歩道橋における小学校指定通学路の有無



c) 老朽化が進行していること【基準】

5年に1回の定期点検結果が「要対策」となっている施設を対象とする。

d) その他の基準

「代替経路の有無」は、重要な判断要素で、他自治体でも基準に採用しているが、本稿では、地元・関係機関との協議の中で検討するものとし、選定基準として採用しなかった。

歩道橋から最も近い代替経路までの距離を図-7に示す。代替経路なしの歩道橋が県内で46箇所（24%）、管内で24箇所（44%）を占めるが、40m未満の歩道橋が県内で81箇所（41%）、管内で25箇所（45%）を占める。

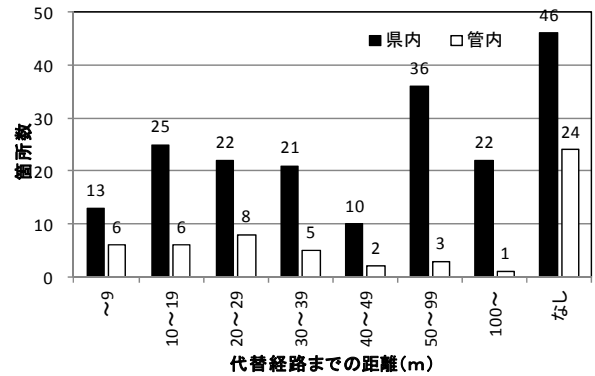


図-7 代替経路までの距離

(4) 撤去フロー（案）

歩道橋撤去に向けたフロー（案）を図-8に示す。

a) 定期点検・基礎調査

2014年に道路法が改正され、歩道橋も含んだ道路橋梁等の5年に1回の近接目視による点検が義務付けられている。利用者数や通学路等の歩道橋の利用環境は変化するため、定期点検に合わせて、表-4に例示する基礎調査（特に交通量調査）の実施が望ましい。

b) 選定基準

(3)で提案した選定基準に該当するものを撤去の検討対象とするが、地元から撤去の要望がある場合や道路改良工事が実施される場合などは、別途検討対象とする。

表-4 基礎調査項目

調査項目	調査内容
1 現地状況	設置箇所（交差点 / 単路、信号の有無） 横断幅員、歩道幅員への影響 視認性の確保状況、景観 環境への影響（ゴミ・糞害・落書き等）
2 交通量	利用者数（12時間・ピーク1時間） 乱横断者数（12時間） 近隣横断歩道利用者数（12時間）
3 通学路	指定通学路（小学校・中学校） 通学ルート（指定通学路ではない） 歩道橋横断に関する学校指導状況
4 近隣施設	公共施設、商業施設等への経路
5 事故	過去の歩行者事故発生状況
6 代替経路	代替経路の有無、代替経路までの距離
7 占用物件	占用物件（信号、標識、照明等）の有無 命名権（ネーミングライツ）
8 防災計画	緊急輸送道路の指定状況 災害時避難経路の指定状況 あんしん歩行エリアの有無 バリアフリー重点整備地区の有無

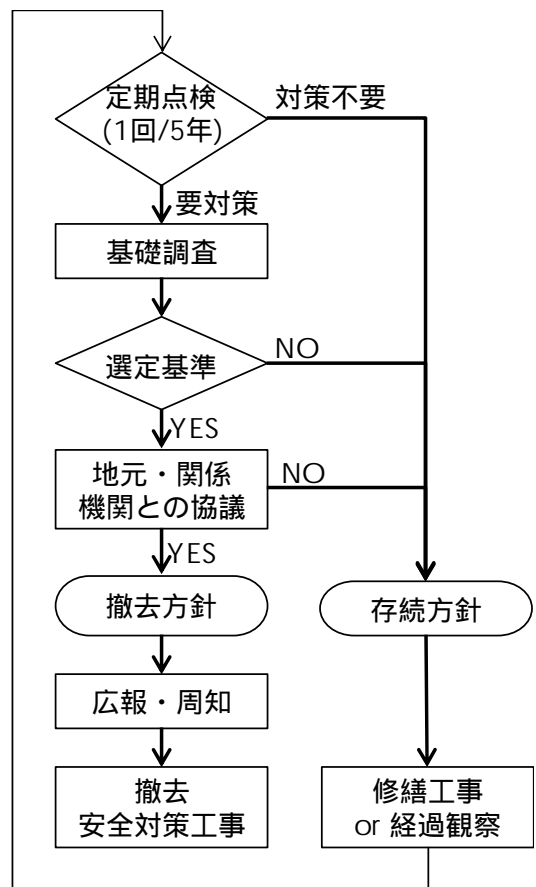


図-8 撤去フロー（案）

c) 地元・関係機関との協議

表-5に示す播磨町内の歩道橋をケーススタディの検討対象として、播磨町の協力の下、地元や学校、警察と撤去に向けた協議を行っている。ケーススタディをもとに、撤去に向けた確認項目を表-6の通り整理した。なお、協議にあたっては、次の内容に留意する必要がある。

利用者の少数意見が合意形成に重要であることから利用状況の把握に努める。

通学路の指定はなくとも児童生徒の利用が想定されるため、近隣学校へヒアリングする。

横断歩道等の代替経路の地元要望が想定されるため、設置可能性を警察と協議しておく。

地元調整に当たっては、地元市町の撤去への同意と全面的な協力が不可欠である。

d) 撤去方針の検討

地元との合意形成を図り、理解が得られた場合、撤去する方針とする。地元と十分議論をして歩道橋が必要と判断されれば、存続する方針とする。

e) 広報・周知

撤去方針について自治会や学校を中心に広報・周知を図る。全ての利用者に周知することは困難であるが、反対の少数意見が想定されることから、チラシの回覧や歩道橋への掲示等を行い、できる限り広範囲に周知することが重要である。

f) 撤去・安全対策工事

関係機関との施工協議、公安委員会協議をもとに確保可能な仮置きヤードや交通規制計画等を検討して撤去・仮設工法を立案する。また、横断歩道設置や歩行者動線変更に伴う交通安全施設の整備、信号機等の転架・占用物件の移設調整等を実施する。

(2) 撤去によるコスト縮減効果

ここでは、今回提案した選定基準に該当する歩道橋をすべて撤去した場合、50年間（2014～2063年度）のコスト縮減効果を算定した結果を表-7に示す。

表-5 ケーススタディ対象歩道橋

歩道橋名称	F	N	O
橋長	20.0m	26.5m	33.7m
建設年	1978年	1978年	1978年
通行量/12時間	33人	17人	28人
通学路指定	なし	なし	なし
老朽化状況	要対策	要対策	要対策
一番近い横断歩道までの距離	なし	31m	20m

表-6 確認項目

確認項目	内容	鑑識
1 利用状況	地域住民の日常的な利用状況	地元
	児童・生徒の通学利用状況	学校
	歩道橋横断に関する学校指導状況	学校
	学校行事等での利用状況	学校
2 代替経路	代替経路の必要性	地元 学校
	横断歩道の設置可能性	警察
3 車両交通	撤去時の交通への影響	警察
4 事故防止	周辺での歩行者事故の発生状況	警察
	歩行者事故の危険性	地元
	乱横断の状況	地元 警察
5 環境	歩道橋による景観への影響	地元
	環境の悪化（ゴミ・糞害・落書き等）	地元
6 防災	緊急輸送道路の指定状況	-
	災害時避難経路の指定の有無	市町 学校
7 占用	信号機等の移設可能性	警察

地元：自治会・町内会

学校：教育委員会、小学校、中学校

警察：所轄警察署、公安委員会

表-7 撤去によるコスト縮減効果

	箇所数				費用/50年間（百万円）		
	全体		選定基準該当		ア. 修繕ケース	イ. 撤去ケース	縮減効果 ア-イ
		要対策		要対策			
県内	196	94	32	19	8,277	7,068	1,209
管内	55	31	17	11	2,193	1,586	607

選定基準該当：「基準 利用者200人/12時間未満」かつ「基準 指定通学路なし」に該当  
設定条件

<p>修繕ケース</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>要対策箇所；2014～23で1回、2024～63までに3回の計4回修繕（再塗装の耐用年数が15年のため、40年÷15年 3回）</li> <li>要対策以外の箇所；2024～63までに3回修繕</li> <li>修繕費用は橋長×500千円で算出</li> </ul>	<p>撤去ケース</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>選定基準該当の要対策箇所；2014～23で撤去</li> <li>選定基準該当の要対策以外の箇所；2024～63で要対策となった時点で撤去</li> <li>撤去費用は10百万円/箇所で算出</li> <li>選定基準非該当箇所はア.修繕ケースと同じ</li> </ul>
---	--

a) 修繕ケース

すべての歩道橋を継続的に修繕する場合、修繕費用は県内で約82.8億円/50年間、管内で約21.9億円/50年間にのぼる。

b) 撤去ケース

選定基準に該当する歩道橋を撤去する場合、県内で32箇所撤去して約12.1億円/50年間、管内で17箇所撤去して約6.1億円/50年間のコスト縮減が可能である。

管内では、撤去により修繕費用が44百万円/年から32百万円/年と3割弱のコスト縮減効果がある。このため、今後、効率的に歩道橋を維持管理するためには、撤去に向けた取り組みが重要である。

4. 今後の課題及び展開

(1) 今後の課題

現在、播磨町内の歩道橋3箇所の撤去に向けて、学校や警察、自治会等との協議を行っている段階である。今後、地元との合意形成を図り、撤去方針について理解が得られた場合、撤去する方針とする。また管内の他市町内の歩道橋についても検討を進める予定である。

撤去に向けた今後の課題としては、下記が挙げられる。

a) 地元調整の範囲と合意の判断

利用者は広範囲にわたると想定されるため、対象とする自治会の範囲が課題である。現時点では歩道橋がある自治会及び歩道橋に隣接する自治会を対象としている。

また、存続・撤去に関する意見の集約方法（自治会長、役員会、説明会、チラシ回覧、パブリックコメント等）について市町及び自治会と十分に調整を図る必要がある。

さらに、自治会から存続の要望がある場合は、存続要望書をもらうなど自治会の意思を確認する方法が考えられる。

b) 撤去工法の選定

歩道橋撤去工法としては、上部工撤去に用いるクレーンや撤去後の仮置ヤードの配置、仮受けのベント設置等を検討する必要がある。現地状況や警察との協議を踏まえて、ヤードがどの程度確保できるか、道路の交通規制がどの程度可能かを十分に確認する必要がある。特に幹線道路沿線が市街地の場合、ヤード確保や大規模な交通規制が特に大きな課題となる。

(2) 今後の展開

ケーススタディにより得られた知見や県内の撤去事例を参考に、選定基準や撤去フローを随時見直し、下記の通り県内への展開を図る。

兵庫県内他事務所等において、提案した選定基準及び撤去フローを適用して実施

撤去の判断基準や地元調整の進め方等を盛り込んだガイドラインを策定

歩道橋以外に社会的ニーズが低下した社会基盤施設の撤去・統廃合の可能性も検討（道路、公園、住宅等）

5. おわりに

本稿では、加古川土木事務所が直面する歩道橋の老朽化対策を取り上げ、撤去の必要性及び効果について述べるとともに、現場担当者の判断に資するべく選定基準やフローを提案した。しかし、歩道橋は地域に根ざした社会基盤施設であるため、道路管理者の独断ではなく、地元との合意形成に基づき老朽化対策を進めることが最も重要である。今後とも、地域の声を聞きながら、技術的検討を進めるとともに、他の社会基盤施設の撤去・統廃合の取り組みの適用可能性についても検討していきたい。

謝辞：播磨町内の歩道橋の撤去に向けた取り組みに当たっては、播磨町土木グループの職員の方々にご協力いただき、地元調整を進めております。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 国土交通省道路局：道路統計年報 2015
- 2) 国土交通省国土技術政策総合研究所：道路橋の計画的管理に関する調査研究，国総研資料第 523 号，平成 21 年 3 月
- 3) 林田ら：鋼橋塗装の耐用年数及びライフサイクルコストに関する研究，北海道開発土木研究所月報 629，平成 17 年 10 月
- 4) 公益社団法人日本道路協会：立体横断施設技術基準・同解説，昭和 54 年 1 月 20 日
- 5) 第 3 回静岡県道路技術審議会 資料 1 「横断歩道橋のあり方の検討」，2013 年 10 月 23 日

# 南海トラフ巨大地震を対象とした和歌山県広川町における津波避難施設の新設場所の選定に関する試み

湊 文博<sup>1</sup>・秦 吉弥<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 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)

近未来に発生が懸念されている南海トラフ巨大地震の震源域では、強震動の作用のみならず、本震発生後に巨大津波の来襲が予想されていることから、地域特性を考慮した津波避難施設の新設に関する提案がこれまで行われている。一方で、近未来の地震である南海トラフ巨大地震と近年の歴史地震である1993年北海道南西沖地震は、共通点が非常に多い。そこで本稿では、まずはじめに、1993年北海道南西沖地震によって甚大な被害を受けた奥尻島青苗地区を対象に、津波避難困難区域の抽出手法の適用性について検討を行った。そして次に、適用性が確認された手法を用いて、和歌山県広川町(津波防災教育センター設置)を対象にした津波避難困難区域の評価を行うとともに、津波避難施設が今後新設された場合の減災効果についても言及した。

キーワード：南海トラフ巨大地震，1993年北海道南西沖地震，津波避難，歩行実験

## 1. はじめに

2011年東北地方太平洋沖地震( $M_w9.0$ )の発生を受け、南海トラフにおいても、 $M_w9.0$ 程度の巨大地震(以後、南海トラフ巨大地震と呼ぶ)を想定した強震動の予測が内閣府<sup>1)</sup>により行われている。その予測結果によれば、南海トラフ巨大地震の震源域では、震度6強～震度7の非常に大きな強震動の作用が予想されている。一方で、内閣府<sup>2)</sup>によれば、震源域近くの沿岸部では、南海トラフ巨大地震の発生後数分で巨大津波の来襲が予想されており、上述した強震動の作用が住民等の津波避難に大きな影響を及ぼすことが予想される。すなわち、本稿における対象フィールドである和歌山県広川町(図-1参照)では、南海トラフ巨大地震の発生によって、強震動の作用のみならず、巨大津波の早期来襲が予想されている。

これまで著者ほか<sup>3)</sup>は、南海トラフ巨大地震の発生によって津波の早期来襲が同じく予想されている和歌山県串本町(図-1参照)を対象に、強震動作用中の避難困難時間を算定し、強震動の作用が津波避難に及ぼす影響について検討を行っている。さらに著者ほか<sup>4)</sup>は、串本町の津波来襲予想地域において避難歩行時間に関する計測実験を行うことで、津波避難困難区域の抽出を試みている。しかしながら、当該抽出手法に関する適用性が過去の地震被災実績などに基づいて検討されているとは言い難い。

津波避難困難区域(津波到達時間までに津波浸水区域から高台等の安全な場所に避難することが困難な区域)の設定<sup>5)</sup>の観点によれば、南海トラフ巨大地震では地震

発生後数分で巨大津波の来襲が予想されている(津波到達時間が非常に短い)のに対して、2011年東北地方太平洋沖地震では地震発生後に沿岸域に津波が到達するまで数十分程度を要している(津波到達時間が比較的長い)ため、南海トラフ巨大地震を対象とした防災・減災対策において、2011年東北地方太平洋沖地震の実績を安易に転用することはできない。一方で、我が国で近年発生した大規模地震の中で地震発生後に津波の早期来襲が確認されている歴史地震の一つとして、1993年北海道南西沖地震が挙げられる。1993年北海道南西沖地震では、震源域に近い奥尻島を中心に津波などによる甚大な被害が発生し、その中でも奥尻島南端部に位置する奥尻町青苗(以後、青苗地区と呼ぶ：図-2参照)では、本震発生後約5分で巨大津波(波高10m程度)が来襲し、奥尻島の中でも特に甚大な被害が報告<sup>6)</sup>されている。

上述した背景を踏まえ本稿では、①青苗地区内における津波来襲地域を対象に、避難歩行時間に関する計測実験を行い、避難所要時間を算定することで、津波避難困難区域を評価した。②評価した避難困難区域に対して、1993年北海道南西沖地震による青苗地区での人的被害の実績を比較することで、評価手法の適用性について確認を行った。③上記①と同様の要領で、和歌山県広川町の津波来襲予想地域を対象に、避難歩行時間に関する計測実験を行い、避難所要時間を算定した。④上記②において適用性が確認された評価手法を用いて、広川町内における津波避難困難区域の抽出を行うとともに、避難施設が新設された場合の減災効果についても検討を行った。

## 2. 青苗地区における津波避難困難区域の評価

著者ほか<sup>7)</sup>は、1993年北海道南西沖地震における青苗地区での強震動を推定し、強震動作用中の避難困難時間を推定している。具体的には、推定地震動による瞬間計測震度<sup>8)</sup>の時刻歴を計算することで、K-NET青苗での強震動作用中の避難困難時間が約2分程度(118.9秒)であったと評価している。青苗地区における常時微動による地盤震動特性は概ね類似していることから<sup>9)</sup>、K-NET青苗で得られた強震動作用中の避難困難時間(118.9秒)を青苗地区における津波来襲地域全体(後述する歩行計測実験の開始地点:112地点)にそれぞれ援用した(図-3参照)。

青苗地区の津波来襲地域(本震時より既に存在していた主要道路上:112地点)から周辺の高台などの避難場所(本震後に新たに設置されたものを除く)までの歩行時間(避難所要時間)に関する計測実験を行った(図-4の枠内写真参照)。その際、本震時に来襲した津波高に対して十分な余裕高を有している5か所(図-4参照)を避難場所として選定した(以後、既存避難場所と呼ぶ)。歩行計測実験を行う際の仮定として、歩行開始地点から最も近い(選定した5か所の避難場所までの歩行時間が最短となる)既存避難場所までの所要時間をそれぞれ計測した。

図-4に避難所要時間の分布を示す。図-4に示すとおり、青苗地区の津波来襲地域において避難所要時間の分布に有意な差異が確認できる。ここに、歩行計測実験では、避難パターン(単独・群衆・要支援者)を考慮する方法<sup>10)</sup>と考慮しない方法<sup>11)</sup>に大別されるが、本稿では、奥尻島現地で全ての条件に見合った被験者を参集することができなかつたため、後者の方法を採用した。よって、歩行計測実験は本稿の第一著者(23歳男性)の単独歩行とした。

上述した避難困難時間(図-3参照)<sup>7)</sup>と避難所要時間(図-4参照)を合成することによって、津波来襲地域内において津波避難が相対的に困難であった区域を抽出・評価した。両時間の合成(Synthesis)には、避難困難度を表す困難区域評価係数  $K_{SYN}$  に基づく次式を採用<sup>10)</sup>した。

$$K_{SYN} = C_{SM} \cdot \frac{t_{SM}}{T_{SM}} + C_{WE} \cdot \frac{t_{WE}}{T_{WE}} \quad (1)$$

ここに、 $t_{SM}$ ,  $T_{SM}$ ,  $C_{SM}$  は、強震動(Strong Motion)作用中の避難困難時間(図-3参照)とその最大値、及びそれらに対応した影響係数である。 $t_{WE}$ ,  $T_{WE}$ ,  $C_{WE}$  は、歩行計測実験(Walking Experiment)に基づく避難所要時間(図-4参照)とその最大値、及びそれらに対応した影響係数である。影響係数  $C_{SM}$  および  $C_{WE}$  は、津波来襲地域における避難困難時間と避難所要時間(ともに112地点の平均値)の困難時間+所要時間に対する割合であり、両者の和が1.0になるように比率調整したものである。

図-5は、青苗地区の津波来襲地域における困難区域評価係数  $K_{SYN}$  (その値が大きいほど避難が困難、すなわち避難困難度が高いことを意味しており、最大値は1.0と

なる)の分布である。図-5に示すように、青苗地区における津波来襲地域での困難区域評価係数  $K_{SYN}$  の分布は一様ではなく、津波避難パフォーマンス(当該地域内の各地点が潜在的に有している津波避難に関する困難度)に有意な差異が見受けられる。特に、津波来襲地域の南端部(奥尻島津波館や徳洋記念碑緑地公園が現在位置する

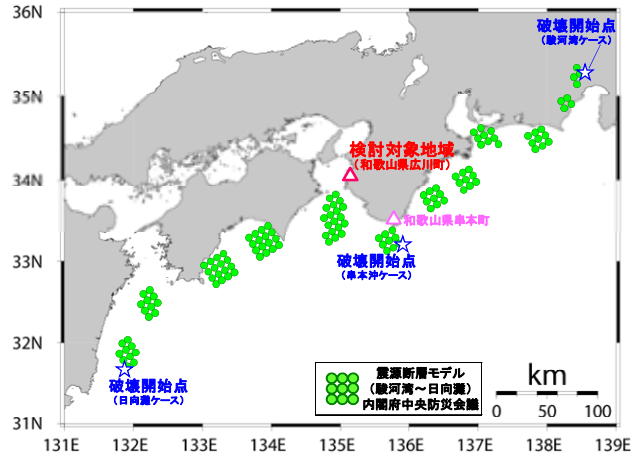


図-1 南海トラフ巨大地震における震源断層モデル<sup>1)</sup>と広川町

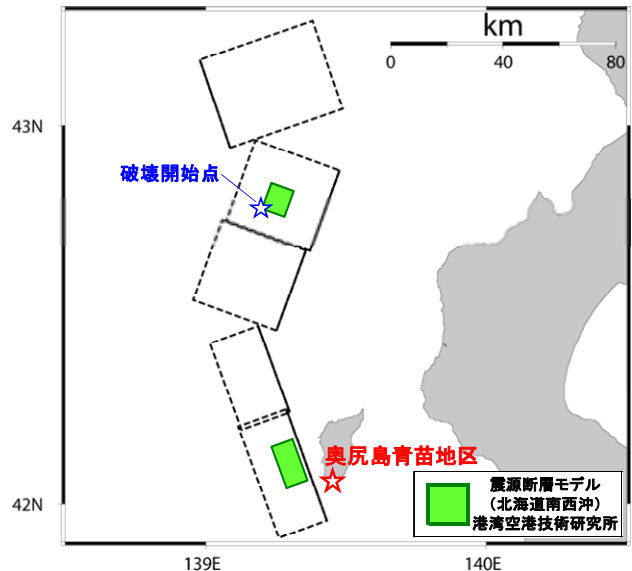


図-2 1993年北海道南西沖地震における断層モデルと青苗地区

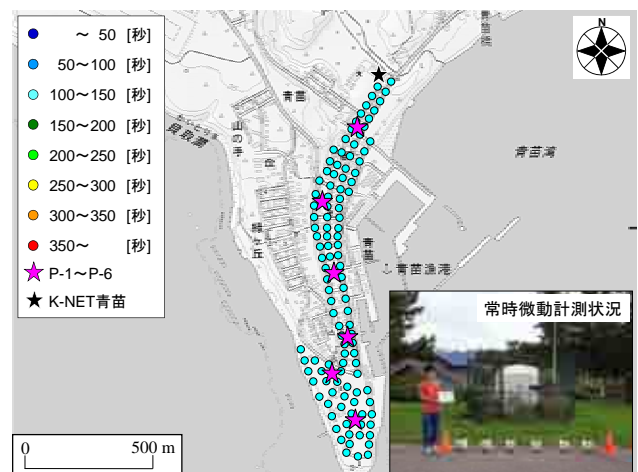


図-3 青苗地区における津波来襲地域での常時微動計測地点の分布、ならびに本震時の避難困難時間の分布

青苗岬付近の区域：枠内写真参照)において困難区域評価係数 $K_{SM}$ が比較的大きな値を示している。

図-6は、青苗地区の津波来襲地域における人的被害の実績に関する分布である。図-6の作成にあたり、既往の調査資料<sup>12,13)</sup>などを参考に、歩行計測実験の開始地点(図-4および図-5参照)の近傍における人的被害の有無を判定した。図-6に示すように、人的被害が集中的に発生している区域は津波来襲地域の南端部となっており、この区域は、上述した困難区域評価係数 $K_{SM}$ が比較的大きな値を示している区域(図-5参照)と概ね類似していることが読み取れる。この類似性は、著者らが提案している評

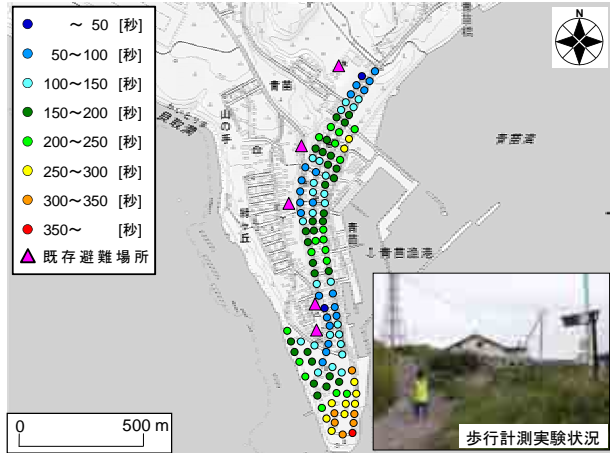


図-4 青苗地区における既存避難場所と避難所要時間の分布

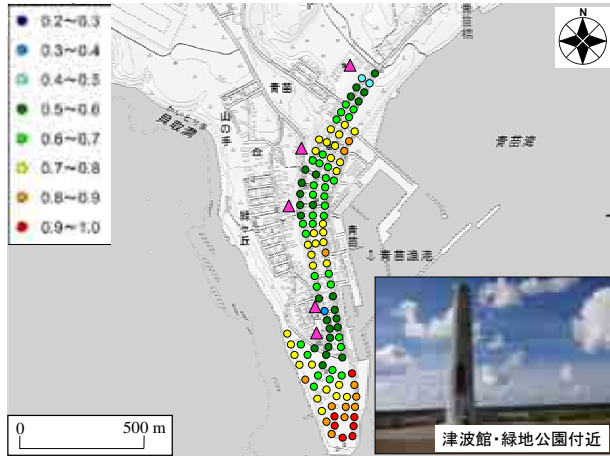


図-5 青苗地区における避難困難区域の評価

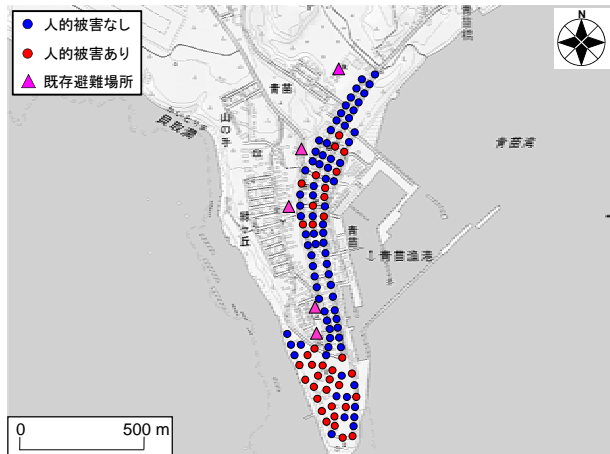


図-6 青苗地区における津波来襲地域での人的被害の実績分布

価係数 $K_{SM}$ に基づく津波避難困難区域の抽出手法<sup>10)</sup>が一定の適用性を有していることを示唆するものである。

### 3. 広川町における津波避難困難区域の評価

著者ら<sup>14)</sup>は、広川町における津波来襲予想地域を対象

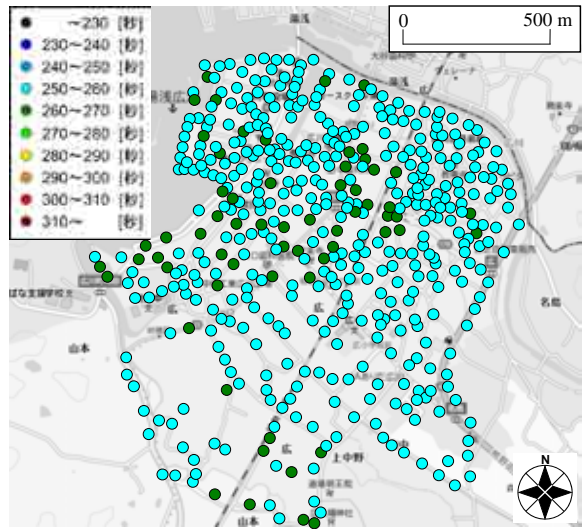


図-7 広川町での避難困難時間の分布(駿河湾ケース)<sup>14)</sup>

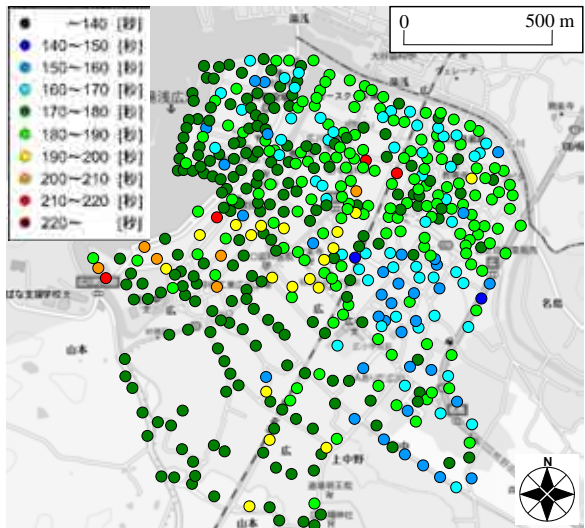


図-8 広川町での避難困難時間の分布(串本沖ケース)<sup>14)</sup>

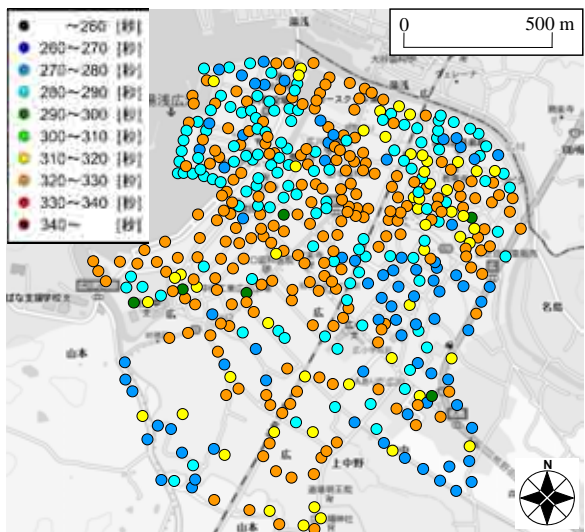


図-9 広川町での避難困難時間の分布(日向灘ケース)<sup>14)</sup>

に強震動予測を行い、得られた予測結果に基づいて、強震動作用中の避難困難時間を推定している。図-7、図-8、図-9は避難困難時間の津波来襲予想地域での分布<sup>14)</sup>を南海トラフ巨大地震のシナリオ(破壊開始点の位置を変化させた3ケース：図-1参照)ごとに比較したものである。図-7、図-8、図-9に示すとおり、破壊開始点(震源)の位置などの差異によって、同じ津波来襲予想地域内においても避難困難時間に有意な差異が確認できる。

広川町の津波来襲予想地域における強震動予測地点から周辺の指定避難場所(高台など)までの歩行時間(避難所要時間)に関する計測実験を行った。その際、最新の

広川町および近隣の湯浅町が作成した津波ハザードマップ<sup>15)16)</sup>などを参考に、以下に示すように、来襲津波の予想高に対して十分な余裕高を有する5か所を避難場所として選定した(以後、選定避難場所と呼ぶ)。

- ・ 広川町役場3階
- ・ 津波防災教育センター3階

表-1 困難区域評価係数 $K_{SN}$ 算定のための設定定数の一覧

シナリオ	避難困難時間		避難所要時間	
	最大値(s)	影響係数	最大値(s)	影響係数
	$T_{SM}$	$C_{SM}$	$T_{SM}$	$C_{SM}$
駿河湾ケース	319	0.42		0.58
串本沖ケース	220	0.34	690	0.66
日向灘ケース	325	0.46		0.54

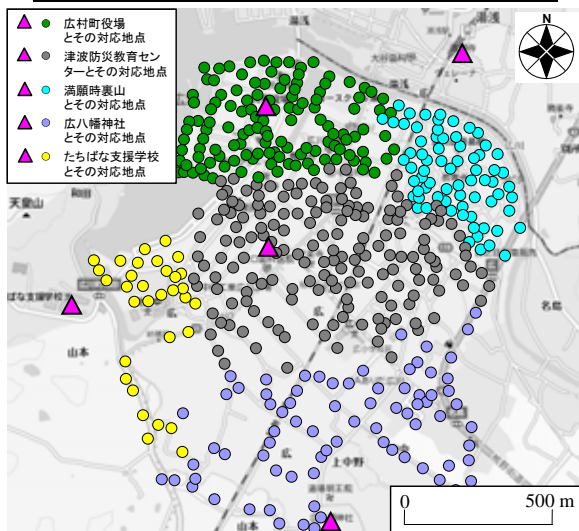


図-10 広川町での選定避難場所に関するゾーニング

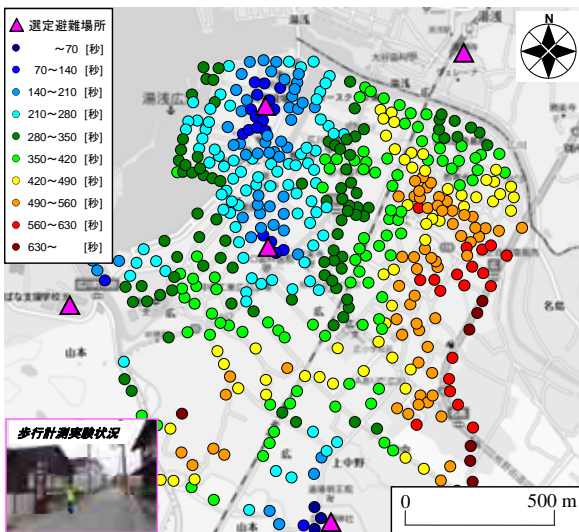


図-11 広川町での歩行計測実験に基づく避難所要時間の分布

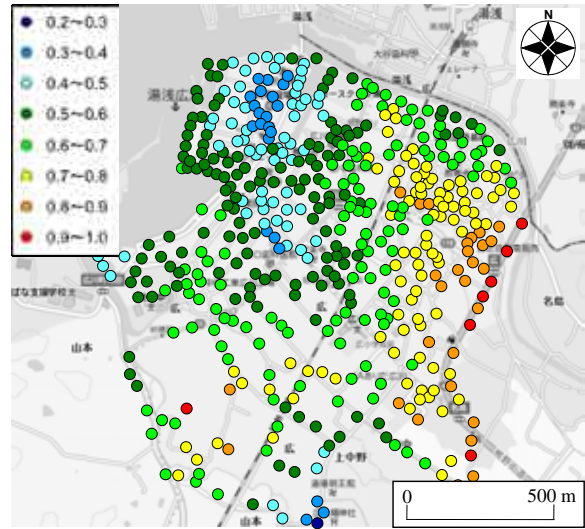


図-12 広川町での避難困難区域の評価(駿河湾ケース)

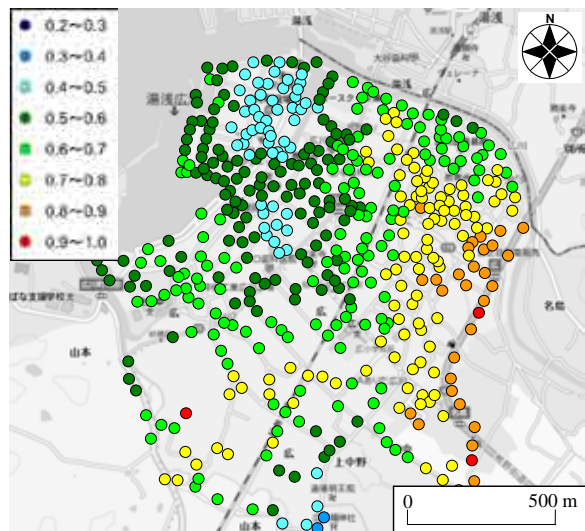


図-13 広川町での避難困難区域の評価(串本沖ケース)

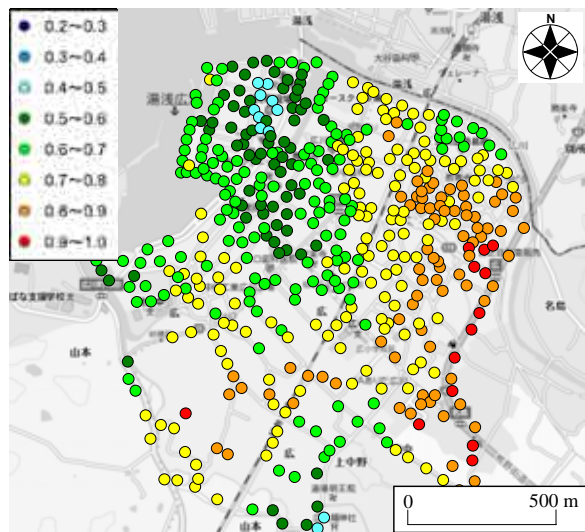


図-14 広川町での避難困難区域の評価(日向灘ケース)

- ・満願寺裏山
- ・広八幡神社(避難施設)
- ・たちばな支援学校

図-10は、選定避難場所に関するゾーニング結果である。ゾーニングは、歩行計測実験の結果に基づいて、各々の歩行開始地点(各強震動予測地点：図-7、図-8、図-9参照)から選定避難場所(候補地)までの歩行時間が最短になるようにゾーニングを施した。各強震動予測地点に対応する選定避難場所(図-10参照)までの避難所要時間の分布を図-11に示す。図-11に示すとおり、津波来襲予想地域における避難所要時間の分布に有意な差異が確認できる。ここに、被験者として本稿の第一著者(23歳男性：2と同一人物)を選定し、単独歩行を実施した。

図-12、図-13、図-14は、津波来襲予想地域での困難区域評価係数 $K_{SYN}$ の分布を南海トラフ巨大地震のシナリオごとに比較したものである。ここに、困難区域評価係数 $K_{SYN}$ の算定は、2と同様に(1)式に基づいており、各々の設定値は表-1に示すとおりである。図-12、図-13、図-14に示すように、対象地域において評価係数の分布は一樣ではなく、津波避難パフォーマンスに有意な差異があることが確認できる。また、既往の研究<sup>17),18)</sup>では南海トラ

フ巨大地震のシナリオをこれまで限られたケースしか想定できていなかったものの、本検討の実施によって南海トラフ巨大地震のシナリオの違いが津波避難パフォーマンスに比較的大きな影響を及ぼすことが明らかとなった。

図-15は、南海トラフ巨大地震のシナリオごとの困難区域評価係数 $K_{SYN}$ の分布(図-12、図-13、図-14参照)を足し合わせたもの(すなわち、最大値は3.0となる)である。図-15に示すように、対象地域東側および南西側において困難区域評価係数が比較的大きな値を示している。すなわち、対象地域東側および南西側において今後何らかの津波避難施設(例えば、津波避難タワー<sup>19)</sup>などの新設の必要性が示唆される。当該地域(例えば、対象地域南西側の(株)日東紡績和歌山工場の跡地：図-16枠内写真参照)の利活用については、広川町議会においても現在議論<sup>20)</sup>がなされていることなどから、本稿では、対象地域東側(建設会社横の敷地)および対象地域南西側((株)日東紡績和歌山工場の跡地)において、津波避難施設を新設した場合の減災効果について基礎的な検討を行った。

図-16は、対象地域東側および南西側の両候補地に津波避難施設が新設された場合の津波来襲予想地域における困難区域評価係数の分布である。ここに、両候補地に津波避難施設が新設されたものと仮定して、上記と同様の要領で歩行計測実験を再度実施した。図-16に示すように、津波避難施設を仮新設した対象地域東側および南西側において困難区域評価係数が比較的小さくなっていることから、津波避難施設が新設された場合の効果が顕著に表れている。さらに、図-16と図-15を比較すると、新設効果によって対象地域全体における困難区域評価係数が概ね同等程度の値の分布を示していること、そしてその最大値も2.5程度に留まっていることから、津波避難パフォーマンスの明らかな向上が読み取れるだけでなく、言い換えれば、両候補地における津波避難施設の新設の必要性を確認することができる。

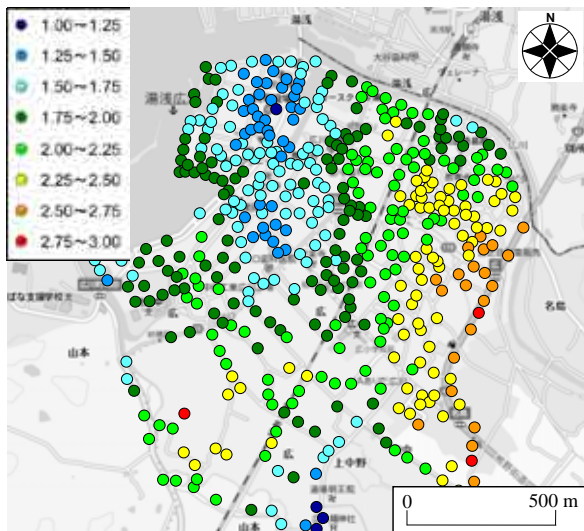


図-15 広川町での避難困難区域の評価(想定3ケースの合成)

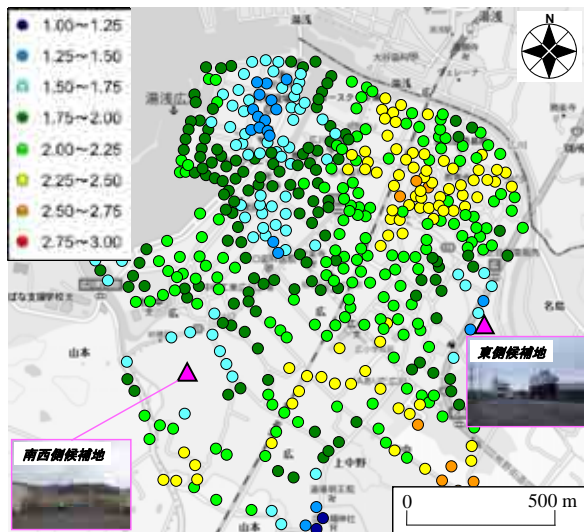


図-16 広川町での津波避難施設の新設効果(想定3ケースの合成)

#### 4. まとめ

本研究では、和歌山県広川町の津波来襲予想地域を対象フィールドとして、津波避難困難区域の抽出のための強震動予測と歩行実験の結果に関するハイブリッド評価(複合評価)を行った。以下に得られた知見を示す。

- (1) 青苗地区の津波来襲地域全体における本震時の強震動作用中の避難困難時間は、約2分間程度である。
- (2) 青苗地区の津波来襲地域における避難所要時間は、約1～6分間程度であり、避難場所(1993年当時)との位置関係などによって同地域が有する津波避難パフォーマンスに有意な差異が存在する。
- (3) 上記(1)の避難困難時間と上記(2)の避難所要時間の組合せを行い、避難困難区域を抽出した結果、津波来襲地域の南端部において困難区域評価係数 $K_{SYN}$ が比較的大きな値を示す。
- (4) 上記(3)の傾向は、青苗地区における実際の人的被害



の発生傾向と比較的類似していることから、困難区域評価係数 $K_{SN}$ に基づく津波避難困難区域の抽出手法に関する適用性が示唆される。

- (5) 広川町の津波来襲予想地域では、同地域における地盤震動特性の差異などによって、同地域が有する津波避難パフォーマンス(強震動作用中の避難困難時間)に有意な差異が存在する。
- (6) 広川町の津波来襲予想地域では、既存の避難場所との位置関係などによって、同地域が有する津波避難パフォーマンス(避難場所までの歩行計測時間(避難所要時間))に有意な差異が存在する。
- (7) 上記(5)の避難困難時間と上記(6)の避難所要時間の組合せを行い、困難区域評価係数 $K_{SN}$ を算定することで避難困難区域を相対的に評価した結果、対象地域東側(建設会社横の敷地)および対象地域南西側((株)日東紡績和歌山工場の跡地)においてそれぞれ津波避難施設の新設の必要性が示唆される。

今後は、広川町以外の地域に対して、本稿で提案したハイブリッド評価手法を適用していきたいと考えている。

**謝辞:** 津波避難に関する歩行実験の実施にあたっては、奥尻島青苗地区ならびに和歌山県広川町の住民の皆様は大変お世話になりました。本研究の遂行にあたり、常田賢一教授(大阪大学)、鍛田泰子准教授(神戸大学)、小山真紀准教授(岐阜大学)にそれぞれご支援いただきました。(公社)地盤工学会関西支部南海トラフ巨大地震に関する被害予測と防災対策研究委員会の委員の皆様には、有意義なご意見をいただきました。記して謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 南海トラフの巨大地震モデル検討会：南海トラフの巨大地震モデル検討会(第二次報告)、強震断層モデル編—強震断層モデルと震度分布について—、内閣府防災情報ホームページ, 2012. [最終閲覧日: 2016年6月1日]
- 2) 和歌山県地震・津波被害想定検討委員会：南海トラフの巨大地震及び東海・東南海・南海3連動地震による津波浸水想定について、和歌山県総務部危機管理局総合防災課ホームページ, 2013. [最終閲覧日: 2016年6月1日]
- 3) 湊文博, 秦吉弥, 山田雅行, 常田賢一, 鍛田泰子, 魚谷真基：高密度常時微動計測に基づく和歌山県串本町における南海トラフ巨大地震の強震動評価と津波避難に及ぼす影響, 土木学会論文集 A1, Vol.71, No.4, pp.I\_123-135, 2015.
- 4) 秦吉弥, 湊文博, 常田賢一, 小山真紀, 鍛田泰子, 山田雅行：強震動予測および歩行実験に基づく津波避難困難地域の評価—和歌山県串本町を例として—, 土木学会論文集 B3, Vol.71, No.2, pp.I\_671-676, 2015.
- 5) 例えば, 稲田健二：和歌山県の津波避難困難地域と津波対策について, 平成27年度近畿地方整備局研究発表会論文集, 防災・保全部門 No.11, 2015.
- 6) 例えば, 土木学会耐震工学委員会：1993年北海道南

- 西沖地震震害調査報告, 499p., 1997.
- 7) 秦吉弥, 湊文博, 山田雅行, 鍛田泰子, 小山真紀, 中嶋唯貴, 常田賢一：強震動の作用が津波避難に及ぼす影響について—1993年北海道南西沖地震による奥尻島青苗地区でのケーススタディから学ぶべきこと—, Kansai Geo-Symposium 2015 論文集, 地盤工学会, pp.235-240, 2015.
- 8) 鍛田泰子, 齊藤栄：瞬間計測震度を用いた揺れ最中の避難行動可能時間の定量化, 日本地震工学会論文集, Vol.10, No.5, pp.52-65, 2010.
- 9) 湊文博, 秦吉弥, 山田雅行, 鍛田泰子, 小山真紀, 中嶋唯貴, 常田賢一：経験的サイト増幅・位相特性を考慮した1993年北海道南西沖地震における奥尻島青苗地区での強震動の評価, 第35回地震工学研究発表会講演論文集, 土木学会, Paper No.739, 2015.
- 10) 湊文博, 秦吉弥, 常田賢一, 鍛田泰子, 山田雅行, 魚谷真基：ウォーキング実験に基づく津波避難困難地域の評価—和歌山県串本町を例として—, 地域安全学会梗概集, No.35, pp.17-20, 2014.
- 11) 秦吉弥, 湊文博, 小山真紀, 鍛田泰子, 中嶋唯貴, 常田賢一：南海トラフ巨大地震を対象とした津波避難施設の新設場所の選定に関する試み, 第6回インフラ・ライフライン減災対策シンポジウム講演論文集, 土木学会, pp.1-6, 2016.
- 12) 東京大学社会情報研究所「災害と情報」研究会：1993年北海道南西沖地震における住民の対応と災害情報の伝達—巨大津波と避難行動—, 372p., 1994.
- 13) 越村俊一, 萱場真太郎：1993年北海道南西沖地震津波の家屋被害の再考—津波被害関数の構築に向けて—, 日本地震工学会論文集, Vol.10, No.3, pp.87-101, 2010.
- 14) 湊文博, 秦吉弥, 常田賢一, 鍛田泰子, 小山真紀, 植田裕也：常時微動計測および臨時地震観測の高密度化に基づく南海トラフ巨大地震における和歌山県広川町津波来襲予想地域での強震動の評価, 第35回地震工学研究発表会講演論文集, 土木学会, Paper No.740, 2015.
- 15) 広川町総務政策課：広川町津波ハザードマップ(南海トラフの巨大地震), 広川町ホームページ, 2014. [最終閲覧日: 2016年6月1日]
- 16) 湯浅町：湯浅町津波避難マップ(平成26年発行), 湯浅町ホームページ, 2014. [最終閲覧日: 2016年6月1日]
- 17) 秦吉弥, 湊文博, 山田雅行, 鍛田泰子, 小山真紀, 中嶋唯貴, 常田賢一：強震動作用中の津波避難困難時間に関する評価精度とその向上策—南海トラフ巨大地震における駿河湾沿岸域を対象として—, 構造工学論文集, 土木学会, Vol.62A, pp.259-272, 2016.
- 18) 湊文博, 秦吉弥, 山田雅行, 常田賢一, 鍛田泰子, 魚谷真基：サイト特性を考慮した南海トラフ巨大地震による和歌山県串本町における津波来襲地域での強震動の超高密度予測, 第59回地盤工学シンポジウム平成26年度論文集, 地盤工学会, pp.395-402, 2014.
- 19) 北出悟士, 馬場研介：広村堤防からみる津波避難タワーの有効性について—和歌山県広川町広川地区を参考にして—, 災害復興研究, 関西学院大学災害復興制度研究所, 第3号, pp.189-193, 2011.
- 20) 広川町議会：広川町議会たより(10号), 議会広報編集常任委員会, 平成27年5月発行, 18p., 2015.

# 国道421号 佐目子谷橋における 自然電位法による鉄筋腐食推定

北村 知規<sup>1</sup>・奥村 浩匡<sup>2</sup>

<sup>1</sup>滋賀県 大津土木事務所 管理調整課 (〒520-0807滋賀県大津市松本1丁目2-1)

<sup>2</sup>滋賀県 土木交通部 監理課 技術管理室 (〒520-8577滋賀県大津市京町4丁目1-1)

国道421号道路整備事業では、滋賀県中部地域と三重県北部地域を結ぶ東西ネットワーク上重要な道路で、永源寺ダム湖沿いの山間部における幅員狭小、線形不良、冬期の閉鎖および異常気象時通行規制区間の解消を目的とする道路整備を実施しており、佐目子谷橋はその一端を担う橋梁として、平成26年度に完成した。

佐目子谷橋では、桁内部に鉛照合電極を埋込み、桁外部へ配線した端子から鉄筋の自然電位測定を行う自然電位法による鉄筋腐食のモニタリング装置を設置した。コンクリート構造物中の鉄筋腐食の状態を非破壊で推定する本手法を、今後の維持管理へ活用していく際の比較基礎データとなる竣工時から現在までの測定結果を報告するとともに、供用中の鉄筋腐食度合と自然電位値の関係性について考察する。

キーワード 橋梁、鉄筋腐食、自然電位、鉛照合電極

## 1. はじめに

国道421号は、三重県桑名市の国道1号を起点とし、東近江地域を通過し、近江八幡市の国道8号を終点とする約70kmの幹線道路である。このうち、未改良区間である佐目萱尾工区(図-1)は、永源寺ダム湖畔を通る約3.3kmの区間で、線形が悪く、幅員狭小のため渋滞が頻発しており、早期の改修が望まれている。佐目萱尾工区では、橋梁や現道拡幅により、永源寺ダム湖側へ道路を張り出す計画で整備を進めており、佐目子谷橋はその一端を担う橋梁として、平成26年度に完成し、前後取付け区間を含めて平成28年度に供用を目指している。

近年、社会資本老朽化が進行し、適切な維持管理が求められる時代背景を踏まえ、当事務所では佐目子谷橋架設に合わせて、新たな維持管理手法の一つである自然電位法による鉄筋腐食のモニタリングが可能な装置を設置



図-1 位置図

した。

本内容は、佐目子谷橋の概要および当橋梁に導入した自然電位法による鉄筋腐食モニタリング装置、測定結果を紹介するとともに、供用中の鉄筋腐食度合と自然電位値の関係性について考察する。

## 2. 佐目子谷橋の概要

佐目子谷橋は、佐目子谷川が永源寺ダムに流れ込む合流地点を渡河する急峻な谷地形に架かる橋梁である。

本橋梁の道路規格は、第3種3級、設計速度50km/h、B活荷重、片側1車線、有効幅員8.5mであり、逆T式橋台1基(場所打ち杭基礎)、枕梁式橋台1基(深礎杭基礎)、柱式橋脚1基(ニューマチックケーソン基礎)のPC2径間Tラーメン箱桁となっている。(図-2)

## 3. 自然電位測定を採用経緯

### (1) 社会資本老朽化の背景

滋賀県では15m以上の橋梁742橋を管理しており、建設後50年を経過する高齢化橋梁は、平成23年度末時点で61橋(全体の8%)であり、20年後には361橋(全体の49%)となり、橋梁の高齢化が急速に進行する。このような背景から、今後増大が見込まれる橋梁の修繕に要する費用に対し可能な限りのコスト縮減への取り組みが不可欠となる。橋梁長寿命化修繕計画の考え方としても、

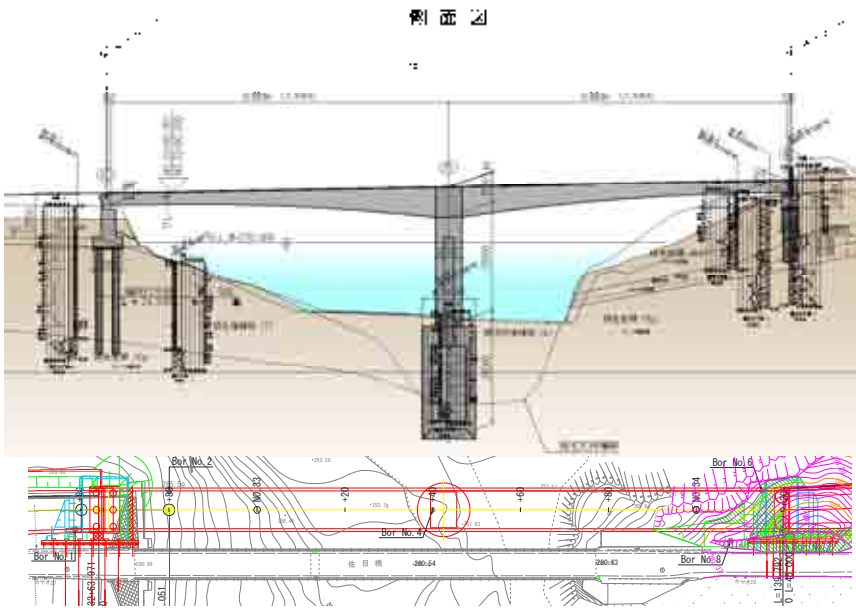
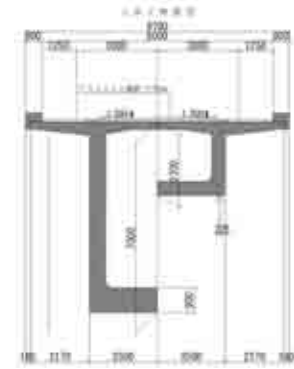


図-2 橋梁一般図



設計条件

橋	長	155.0m (道路中心線上)
設計活荷重	B活荷重	
形	上部工	PC2径間Tラーメン箱桁
	下部工	逆T式橋台(A1)、枕梁式橋台(A2)、橋脚(P1)(充実断面)
式	基礎工	場所打ち杭基礎(A1)、深礎杭基礎(A2)
		ニューマチックケーソン基礎(P1)
幅員構成	図示	
舗装	アスファルト舗装 t=80mm	
適用示方書	道路橋示方書・同解説 Ⅰ～Ⅳ (平成14年3月)	

これまでの損傷が現れてからの対症療法的な修繕ではなく、劣化や損傷が顕在化する前に計画的・効率的に修繕する予防保全に着目している。<sup>1)</sup>

(2) 装置設置の経緯

従前の橋梁点検においては、点検頻度・方法、人的労力からも損傷が顕在化する前に劣化の傾向を把握することは困難である。本装置は、非破壊試験にて鉄筋の腐食度合いを推定するための新たな手法であり、予防保全の観点からその有用性を期待して設置したものである。

4. 鉄筋コンクリート構造物の劣化要因

(1) 鉄筋コンクリート構造物の劣化要因

鉄筋コンクリートの主な劣化要因として表-1の要因が挙げられる。鉄筋コンクリート構造物の劣化は、①鉄筋腐食からひび割れを誘発する場合（鉄筋腐食先行型）、②ひび割れ発生により内部鉄筋の腐食を誘発する場合（ひび割れ先行型）の2ケースに大別でき、コンクリートのひび割れと鉄筋の腐食が相互に関連して発生する。

今回、国道421号佐目子谷橋における劣化要因としては、冬期における凍結防止剤散布が必要な環境条件から、比較的発生頻度が高いと想定される塩害による鉄筋腐食が該当する。また、塩害は多くの場合、中性化と複合して発生すると言われていることから、当橋梁においては、鉄筋腐食先行型による劣化が進行すると考えられる。

表-1 鉄筋コンクリート構造物の劣化要因

劣化の種類	劣化要因	メカニズム
①鉄筋腐食先行型	塩害	飛来塩化物や海砂、凍結防止剤等に含まれる塩化物イオン(Cl <sup>-</sup> )がコンクリート中に浸透することにより、鉄筋表面の不動態皮膜が破壊され鉄筋の腐食が進行
	中性化	大気中の二酸化炭素とセメントの水和生成物である水酸化カルシウムが化学反応し、コンクリート中のアルカリ性の環境が失われることにより鉄筋表面の不動態皮膜の形成が阻害され鉄筋の腐食が進行
②ひび割れ先行型	アルカリ骨材反応	骨材中に含まれる反応性シリカ鉱物とコンクリート中の水酸化アルカリを主成分とする水溶液との化学反応により、アルカリシリカゲルが生成され、骨材周囲より水分を吸収膨張することで、大きなひび割れへと進展
	疲労、凍害	輪荷重の繰返し作用によりひび割れや陥没を生じたり、微細な細孔を通してコンクリート内部に水が浸入し、水分の凍結膨張と融解が長年繰り返されることによりコンクリートのひび割れへと進展

(2) 鉄筋腐食のメカニズム

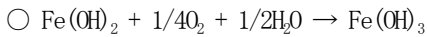
健全なコンクリートは、セメントの水和反応によって生成した水酸化カルシウムにより強いアルカリ性(pH12程度)を示す。コンクリート内部の鉄筋は、この強アルカリにより表面に不動態被膜が形成されて保護されている。ところが、塩害環境下でコンクリート内部に塩化物イオンが浸透して鉄筋位置まで到達すると、不動態被膜が破壊され鉄筋腐食が生じる。

鉄筋が腐食すると、腐食した部分は鉄が電子としてコンクリート中に溶け出すアノード反応（酸化反応）が発生する。一方で、健全な部分では、腐食部から溶け出した電子が水や酸素と反応するカソード反応（還

元反応)が発生する。

- アノード反応： $Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e^{-}$
- カソード反応： $2e^{-} + 1/2O_2 + H_2O \rightarrow 2OH^{-}$
- 全反応： $Fe + 1/2O_2 + H_2O \rightarrow Fe(OH)_2$

上記の反応により生じた水酸化第一鉄(Fe(OH)<sub>2</sub>)は、溶存酸素(H<sub>2</sub>O + O<sub>2</sub>)の供給により、次式の反応を生じて二酸化第二鉄(Fe(OH)<sub>3</sub>)の赤錆となる。<sup>2)</sup>



このように、コンクリート内部における鉄筋腐食は、電気化学反応に基づいて進行し、腐食部で鉄がイオン化することで電子(e<sup>-</sup>)が鉄筋中に残されるため、電位が低くなる。この電位の高低差から生じる電流は腐食電流と呼ばれ、電池(腐食電池)が形成されることが知られている。

### 5. 自然電位法による鉄筋腐食モニタリング

#### (1)測定原理

自然電位法とは、腐食により変化する鉄筋の電位を測定することによって、鉄筋腐食を診断する電気化学的方法である(図-3)。当方法は原理が単純で測定も簡単であり、1977年に「ASTM C576(米国工業規格)」に規格化され、(社)土木学会においても「JSCE-E601-2000コンクリート構造物における自然電位測定方法」として2000年に基準化されている。

#### (2)測定装置

本装置は、鉄筋の電位を測定するため鉛照合電極を桁端部に埋め込み、桁外部となる箱桁の内空に設置したプルボックスへ配線した。(図-4、5、6)

設置位置としては、伸縮装置からの凍結防止剤を含んだ漏水を仮定し、最も劣化の進行が速いであろう桁端部の鉄筋に着目している。

#### (3)測定方法

箱桁内部空間に設置したプルボックス内部の照合電極に電圧計(マルチメーター)を接続し、自然電位を測定する。測定状況は図-7のとおり。

#### (4)判定方法

ASTM C876(米国工業規格)に準拠し、鉄筋の腐食状況を判定する。判定基準を表-2に示す。しかし、この判定基準には不確定領域(596≧E>446)があることから、維持管理に使用するためには、腐食発生の有無を判定するための、しきい値を設定する必要がある。本橋梁は完成後一年半余りしか経過していない建設初期段階で

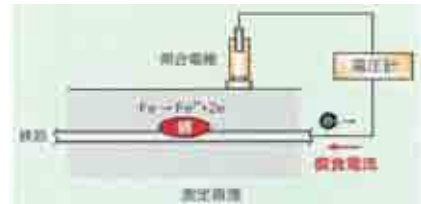


図-3 自然電位法 測定原理イメージ

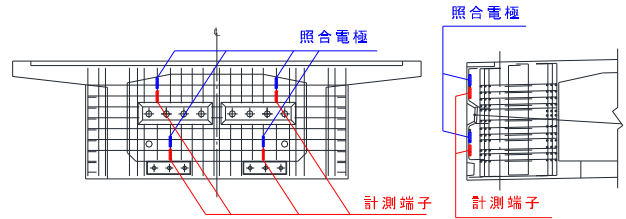


図-4 鉛照合電極、計測端子設置位置図

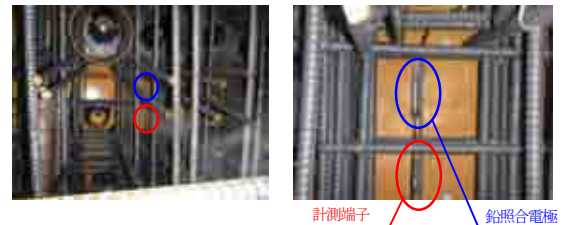


図-5 鉛照合電極、計測端子設置状況

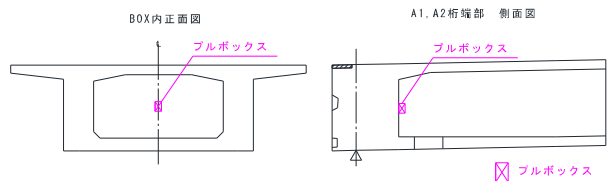


図-6 プルボックス設置位置図



図-7 測定状況

表-2 ASTM C876 の腐食判定基準

自然電位 E(mV) (vs. CSE)	自然電位 E(mV) (vs. 鉛照合電極)	腐食確率
$E > -200$	$E > 596$	90%以上の確率で腐食なし
$-200 \geq E > -350$	$596 \geq E > 446$	不確定
$-350 \geq E$	$446 \geq E$	90%以上の確率で腐食あり

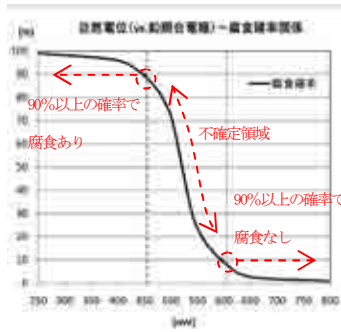


図-8 自然電位 - 腐食発生確率 (不確定区間の概念図)

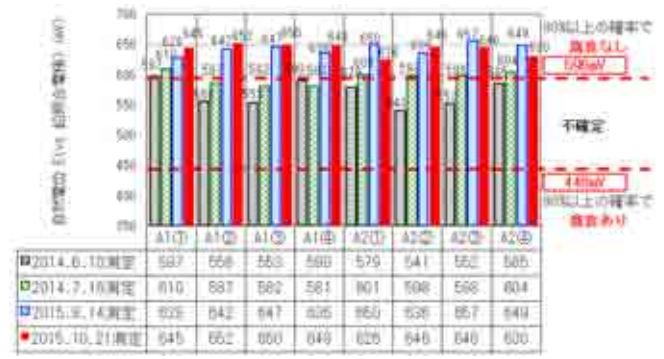


図-9 判定結果一覧

あることから、鉄筋の腐食はないと判断できるため、90%以上の確率で腐食なしと推定できる596mVをしきい値として採用する。

なお、自然電位と腐食確率の概念図が図-8に示すとおり。不確定領域においては未知な部分が多く、最悪のケースとして鉄筋の腐食が急激に進行している可能性があることから、不確定領域界以上にしきい値を設定することが望ましいと考える。

(5)測定結果

電位測定は、橋梁上部工稼働中 (躯体完成後) の平成26年6月、7月および工事完成後の平成27年9月、10月の計4回実施した。測定結果を図-9に示す。

初回 (平成26年6月) の測定結果平均は569mV、第2回 (平成26年7月) の測定結果平均は595mVとなり、しきい値として設定した596 mVを下回る結果となり、判定結果としては不確定領域となる。自然電位法による測定においては、コンクリートの含水率や温度、酸素の供給状態によって測定値が変化するため、信頼性を向上させるためには長期的な測定が必要であるとされている<sup>3)</sup>。これを本橋梁のケースとして考えると、電位装置を埋設している橋梁側径間部の躯体コンクリートの完成時期が平成26年4月であり、測定までわずか2~3ヶ月しか経過していない建設初期のため、コンクリート中の含水率が高いことが要因として考えられる。

躯体コンクリート完成後約1年半が経過した第3回 (平成27年9月)、第4回 (平成27年10月) の測定結果平均はともに643mVで、しきい値として設定した596 mVを大幅に上回る値となった。判定結果としては、90%以上の確率で腐食がないと判定できる。初回測定時期よりも暴露期間が確保できたこと、供用開始前であり凍結防止剤散布も未散布であること、また測定結果も不確定領域界であるしきい値をクリアし、腐食が発生していないと判定できることから、今後の維持管理に用いる際の竣工時基礎データとして取り扱うことができると考える。

表-3 諸元値

	採用値	採用根拠
コンクリート規格 (側径間部躯体)	40-15-20早強	工事成果品 配合報告書 <sup>9)</sup>
水セメント比 (%) $W/C$	39%	工事成果品 配合報告書 <sup>9)</sup>
コンクリート表面からの深さ (cm) $x$	5.0	工事成果品 竣工図面 <sup>9)</sup>
予測の精度に関する安全係数 $\gamma_{cl}$	1.0	標準値 (コンクリート標準示方書) <sup>9)</sup>
塩化物イオンの見かけの拡散係数 (cm <sup>2</sup> /年) $D_{ap}$	0.5	下記式(2)より算出
表面における塩化物イオン濃度 (kg/m <sup>3</sup> ) $Co$	4.0	既往論文 <sup>9)</sup> 実験値を準用

工事名：平成23年度 第AK41-5号 国道421号道路整備工事

6. 考察 (供用中の自然電位-鉄筋腐食の関係)

前章で述べたように、直近の測定結果にて、およその竣工時基礎データを得ることができた。しかし、自然電位法による測定方法においては、不確定領域における腐食の有無、挙動が不明瞭である。図-8の腐食概念図からも、供用中の測定においては、長期間におよび不確定領域内の結果を示すのではないかと想像できる。測定結果が不確定領域以下 (90%以上の確率で腐食がある) となった際には、すでに致命的な腐食が進行している可能性が排除できない。本章では、不確定領域期間における挙動を知る目安として、鉄筋腐食開始時期について各種基準、既往論文から推定する。

コンクリート標準示方書<sup>9)</sup>において、コンクリート中の鉄筋位置、供用年数における塩化物イオン濃度の推定式が次式(1)、(2)のとおり示されている。

$$C(x,t) = \gamma_{cl} \cdot Co \left( 1 - \operatorname{erf} \frac{x}{2\sqrt{D_{ap} \cdot t}} \right) \dots (1)$$

$$\operatorname{Log}_{10} D_{ap} = -3.9(W/C)^2 + 5.4(W/C) - 2.5 \dots (2)$$

式(1)に適用する本橋梁における諸元値を表-3に示す。コンクリート規格、水セメント比は工事に実際に使用した配合報告書のデータを入力し、塩化物イオンの見かけの拡散係数については、上記式(2)により算出した。表面における塩化物イオン濃度について、コンクリー

表-4 算出結果

$\gamma_{cl}$	$C_o$ (kg/m <sup>3</sup> )	$D_{ap}$ (cm/年)	$x$ (cm)	$\frac{x}{2\sqrt{D_{ap} \cdot t}}$	$erf \frac{x}{2\sqrt{D_{ap} \cdot t}}$	$t$ (年)	$C(x,t)$ (kg/m <sup>3</sup> )
1.0	4.0	0.5	5	3.54	0.9999994	1	0.00
				2.50	0.9996930	2	0.00
				2.04	0.9960858	3	0.02
				1.77	0.9876909	4	0.05
				1.58	0.9745470	5	0.10
				1.44	0.9582966	6	0.17
				1.34	0.9419137	7	0.23
				1.25	0.9229001	8	0.31
				1.18	0.9048374	9	0.38
				1.12	0.8867879	10	0.45
				1.07	0.8697733	11	0.52
				1.02	0.8508380	12	0.60
				0.98	0.8342315	13	0.66
				0.94	0.8162710	14	0.73
				0.91	0.8018828	15	0.79
				0.88	0.7866873	16	0.85
				0.86	0.7761003	17	0.90
				0.83	0.7595238	18	0.96
				0.81	0.7480033	19	1.01
				0.79	0.7361035	20	1.06
				0.77	0.7238216	21	1.10
				0.75	0.7111556	22	1.16
				0.74	0.7046781	23	1.18
				0.72	0.6914331	24	1.23
				0.71	0.6846656	25	1.26
				0.69	0.6708401	26	1.32
				0.68	0.6637822	27	1.34
				0.67	0.6566277	28	1.37
				0.66	0.6493767	29	1.40
				0.65	0.6420293	30	1.43
.	.	.	.				
.	.	.	.				

法が今後の維持管理の新たな選択肢の一つになれば幸いである。

参考文献

- 1) 滋賀県土木交通部道路課：滋賀県橋梁長寿命化修繕計画
- 2) 独立行政法人土木研究所ほか：自然電位法による鉄筋腐食診断技術に関する共同研究報告書
- 3) 土木学会：コンクリートライブラリー107 電気化学的防食工法 設計施工指針（案）
- 4) 平成23年度 第AK41-5号 国道421号道路整備工事 成果品
- 5) 土木学会：コンクリート標準示方書（維持管理編）
- 6) 青山 實伸ほか：凍結防止剤によるコンクリート構造物中への塩分浸透状況 -土木学会第58回年次学術講演会-

<sup>1</sup> 前所属：滋賀県 東近江土木事務所 道路計画課  
(〒527-0023 滋賀県東近江市八日市緑町7-23)

ト標準示方書では、臨海部における海水の塩化物イオンの影響を受ける構造物に対する実績値しか記載がない。そのため、既往論文<sup>6)</sup>より本橋梁に近似する凍結防止剤散布による塩化物イオンの影響を受ける現場環境での実験値である4.0(kg/m<sup>3</sup>)を準用した。なお、既往論文における実験値によると、凍結防止剤散布によるコンクリート表面での塩化物イオン濃度は、臨海部での海岸からの距離0.1km程度並みに高いことが明らかとなっている。

以上の条件にて、本橋梁における鉄筋の腐食開始と推定できるコンクリート中の鋼材腐食発生限界濃度である1.20(kg/m<sup>3</sup>)<sup>5)</sup>に達するまでの供用期間(t)を算出すると、供用後24年で限界濃度を超える1.23(kg/m<sup>3</sup>)となり腐食が開始すると推定できる。(算出結果：表-4)

これは、塩害に特化した推定期間であり、塩害は多くの場合、中性化を複合して劣化が生じるとされているため、腐食開始時期はさらに前倒しされることも視野に入れ、維持管理に努めていきたいところである。

今後は限られた予算の中、維持管理費の平準化が必要であり、効果的な維持管理のためには、より広い視点で損傷状況を見極めることが重要になると考える。

自然電位法による鉄筋腐食推定は、不明な点も存在し、今後の更なるデータ蓄積が必要ではあるが、本手

# 南海トラフ巨大地震への備え ～紀南河川国道事務所の取組～

濱本 敬治<sup>1</sup>

<sup>1</sup>豊岡河川国道事務所 道路管理課 (〒668-0025兵庫県豊岡市幸町10-3)

東日本大震災の発生から早や5年の歳月が流れた。被災地では、復興に向けた懸命の取組が続けられているものの復興はおろか、未だ多くの被災者が元の生活を取り戻すことさえ出来ない状況にある。近い将来、南海トラフ巨大地震の発生により甚大な被害が確実視されている和歌山県沿岸部にとって、東日本大震災の被災地の皆様方が復興に向けて懸命な努力を続けられている姿は、もはや他人事ではすまされない状況にある。たとえ、和歌山県沿岸部が南海トラフ巨大地震に見舞われたとしても、迅速な復旧作業が少しでも円滑に進むことを目指して、緊急復旧計画を策定したので紹介する。

キーワード 被害想定、道路啓開計画、津波避難階段、海拔表示、対空標示、道路啓開訓練

## 1. はじめに

駿河湾から九州にかけての南海トラフの領域(図-1)では、マグニチュード8を超える巨大な地震が、概ね100～150年の間隔で繰り返し発生しており、先の地震から160年以上の空白がある(表-1)。

また、東海地震、東南海地震、南海地震は連動して発生することが指摘されており、地震や津波の被害が広範囲に及ぶことが懸念されている。平成24年8月の内閣府による「南海トラフ巨大地震の被害想定」によると、巨大地震の揺れが最大となるケースでは、和歌山県の海岸周辺に最大震度7の地震が発生すると想定されている<sup>1)</sup>(図-2)。

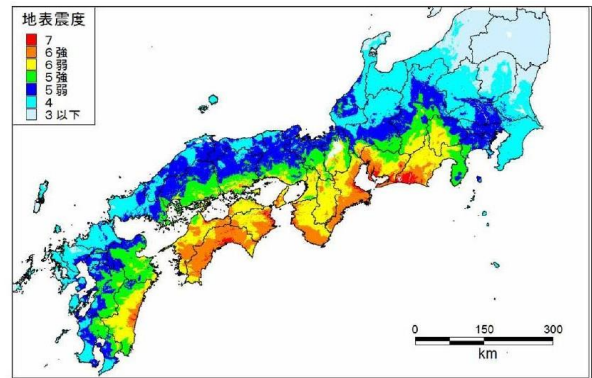


図-2 南海トラフ巨大地震(Mw 9.0)による震度分布  
(強震断層モデル・陸側ケース 平成24年8月内閣府公表)



図-1 南海トラフの巨大地震モデル検討会 中間とりまとめ  
資料集P1 (平成23年12月27日 内閣府公表)

表-1 過去に発生した巨大地震

西暦	地震名	南海	東南海	東海
1605	慶長地震	○	○	○
		102	102	102
1707	宝永地震	○	○	○
		147	147	147
1854	安政地震	○	○	○
			90	
1944	東南海地震		○	
		92		162
1946	南海地震	○		
		70	72	
2016	—			
現在				

○は発生した年、数字は間隔を表す。

## 2. 当事務所管内の被害想定

紀南河川国道事務所が管理している国道42号は、沿岸部に位置していることから、南海トラフ巨大地震が発生した場合には、被災する危険性が極めて高いと予想される。そこで、当事務所では、あらかじめ被災状況を想定し、迅速に復旧活動ができるよう緊急復旧計画を策定することとした。

内閣府の上記被害想定をもとに、和歌山県が平成25年3月に作成した<sup>2)</sup>当事務所管内における津波の規模は次の通りである。すさみ町は、最大19m、高さ10mの津波が15分で襲来する。また、串本町では最大17m、高さ10mの津波がわずか3分で、那智



写真-1 津波遡上のイメージ(串本町)

勝浦町は最大 14 m、高さ 10 m の津波が 4 分でそれぞれ到来することが想定されている。

写真-1 は、津波遡上のイメージであり、最大高さの津波襲来時ではなく、それより高さが低くなると想定される第 1 波到達時を想定したものである。

和歌山県の公表データによると、管内の国道 42 号、約 166 km の内、約 48 % にあたる約 80 km が浸水エリアとなる。また、東日本大震災の被災状況を分析した結果、津波によって流出した橋梁は、概ね浸水深 5 m 以上に分布している傾向が確認された(図-3)。これを管内の国道 42 号に当てはめてみると、数十橋の橋梁が流出することが想定される。

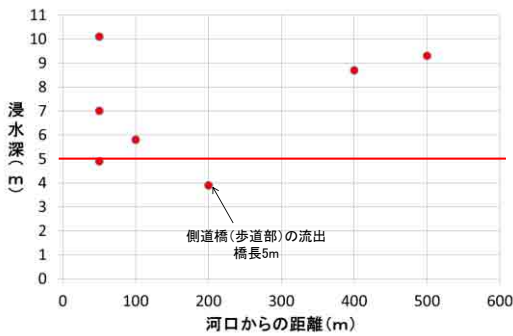


図-3 東日本大震災により流出した直轄国道の橋梁

同様に、東日本大震災の津波で崩壊し車両の通行が不可能となった海岸擁壁は、主に浸水深 5 m 以上だったことから(図-4)、これを管内の国道 42 号に当てはめてみると、数十km に及ぶ海岸擁壁(写真-2)が崩壊することが想定される。

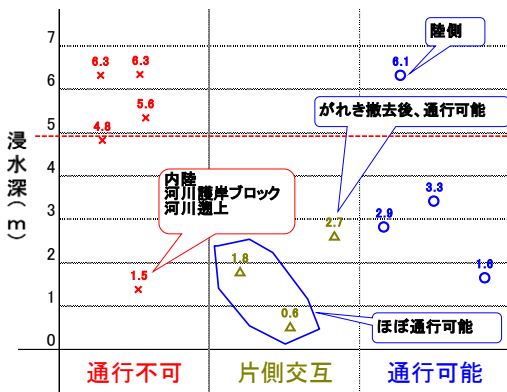


図-4 東日本大震災により崩壊した海岸擁壁

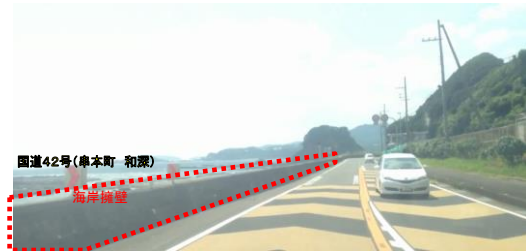


写真-2 海岸擁壁(国道42号串本町和深)

さらに、内閣府の第一次報告における建物被害では、浸水深 2 m を超えると家屋が全壊となる割合が大幅に増加する傾向にあることから(図-5)、それをもとに分析した結果、管内の国道 42 号では、数十km に及ぶ範囲の家屋が倒壊し、がれきが堆積することが想定される。

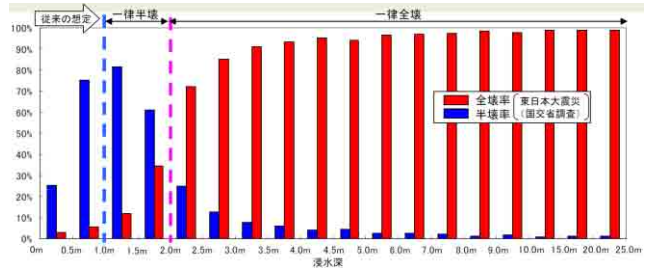


図-5 南海トラフの巨大地震での建物被害(H 25.8月内閣府公表)

### 3. 災害時の対策

#### (1) 道路啓開計画

道路啓開とは、「災害時における救助・救援の要として、がれきで塞がれた道を切り開く等、緊急車両の通行を確保すること」と定義した。

津波によって流出すると想定される橋梁を迅速に復旧し、緊急車両を通行させるため、河床から橋梁部までの高さが低い場合は、コルゲート管、大型土のう、敷板を利用し、緊急復旧(道路啓開)を行う計画である(図-6、写真-3)。

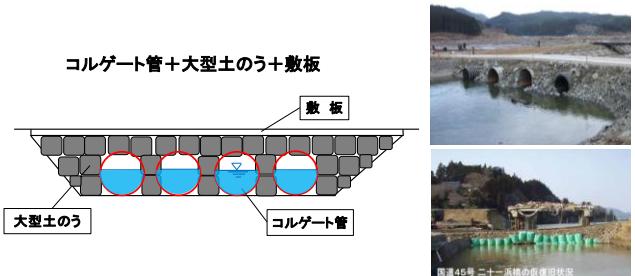


図-6 流出橋梁の緊急復旧方法

写真-3 緊急復旧のイメージ

復旧資材として、コルゲート管、大型土のう、敷板を計画的に購入し、緊急復旧の備えとして国道 42 号管内近隣の那智勝浦町～白浜町間の 7 カ所に分散して現地に配備する計画である(写真-4)。



写真-4 コルゲート管、大型土のう、敷板の配備状況



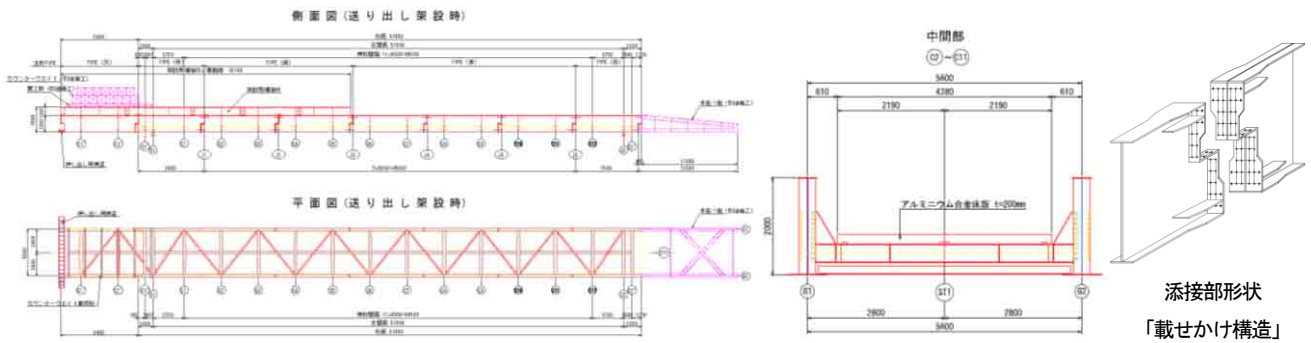


図-7 緊急仮設橋 構造一般図

また、河床から橋梁部までの高さが高い橋梁の場合には、前述のコルゲート管等での対応は困難であることから、橋長が最長で 60 m まで対応することが可能で、短時間で組み立てができる構造の緊急仮設橋を利用して、緊急復旧（道路啓開）を行う計画である（図-7）。

緊急仮設橋の開発については、以下のコンセプトを設定している<sup>3)</sup>。

- ①緊急路構築が最も困難である条件を勘案した橋梁計画。
- ②災害時の緊急車両（救急，消防，最小限の重機）の通行を優先した設計荷重の採用。
- ③災害時の混乱状況を勘案し，経験の少ない作業員でも組立が容易に行える構造の選定。
- ④運搬・作業性に優れ，組立時間が短縮可能な構造形式。
- ⑤被災した現地状況に合わせた順応性のある構造と架設工法の採用（支間長と架設工法のバリエーション）。

## (2) 地元建設業協会との連携

道路啓開活動を効率的に実施するため、地元の建設業協会との連携のもと、あらかじめ国道 42 号の道路啓開範囲を箇所毎に取り決めた協定を締結し、災害時に素早く道路啓開作業ができる仕組みを設定することとした（図-8）。発災後、災害協定業者から速やかに資機材・人員の確保状況を把握した上で自主的に出動し、「啓開ルート」等の巡回・点検等の報告を受けることとしている。

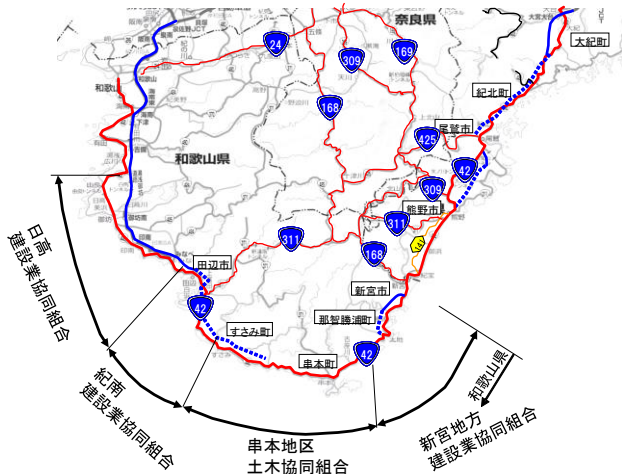


図-8 地元建設業協会と連携し道路啓開範囲を設定

## (3) すさみ防災基地の整備

紀勢自動車道は、近畿で最も南海トラフ巨大地震の震源に近く、紀伊半島の救命・復旧を行うための重要な高規格幹線道路である。この紀勢自動車道のすさみ IC に「すさみ防災基地」の整備を行った。この基地は、大規模災害時における TEC-FORCE 隊員（緊急災害対策派遣隊：国土交通省が大規模災害発生時または、発生する恐れがある場合において、被災地方公共団体等、災害応急対策に対する技術的な支援を円滑かつ迅速に実施することを目的としたもの）及び復旧資機材の集結拠点となり、「すさみ防災基地」を中心として、国道 42 号を含む周辺地域において迅速な復旧活動を支援することが可能となる。さらに、紀南地域は、全国でも有数の台風が上陸する地域（台風銀座）であり、異常気象時の待機詰所及び災害発生時の最前線基地として活用する計画である。また、建設機械の稼動のため燃料を備蓄できる巨大タンクの整備も行っている（写真-5）。



写真-5 すさみ防災基地

## (4) 津波避難階段の設置

東日本大震災で甚大な津波被害をもたらした教訓を踏まえて、津波被害を軽減するための対策の一つとして、津波による浸水想定区域内の集落等から高台にある道路又は、避難場所に緊急避難するための階段を設置した。

国道 42 号の既供用区間の官地及び市（町）有地の法面等を活用して設置している。写真-6 は、田辺バイパスの高架下の法面を有効活用した避難階段を整備しており、これにより、海拔 3.0 m から 15.6 m へ短時間で避難することが可能となる。



写真-6 津波避難階段

(5) 海拔表示シート

津波被害の軽減を目的に、管理する国道 42 号の道路施設等に海拔情報を表示することとした。地震時の津波発生時には、海拔表示を参考に速やかに高台に避難ができるよう情報提供を行っているものである。

管理している国道 42 号(串本町二色地域内)において、全国第一号となる「全国统一仕様」の海拔表示シートを設置したのち、当事務所が管理する(新宮市～御坊市間)道路標識柱等約 700 箇所を設置したところである(図-9)。設置対象物としては、標識柱、門型柱、歩道橋柱等の構造強度が高い道路施設等である。

また、設置位置として、歩行者及びドライバーの目線の高さにあわせて、地盤から 1.5 m 程度の高さに設置するものとしている。なお、表示する海拔(東京湾平均海面(T.P.)を基準)は整数(小数点以下は四捨五入)とする(※表示する海拔は、既存の測量成果や国土地理院の基盤地図情報等を有効活用する)。

今後も引き続き、警察や電柱管理者と調整を図り、信号柱や電柱への設置を進める予定である。

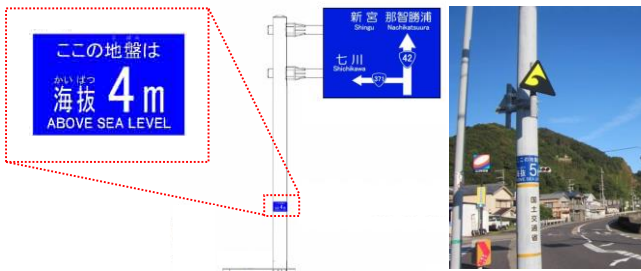


図-9 海拔表示シート

(6) 対空標示の設置

「対空標示」とは、緊急輸送道路の被災状況を迅速かつ的確に把握するため、ヘリコプターから視認可能な距離標を車道路面に標示するものである。設置区間については、目的物がないなど上空のヘリコプターから被災の位置が特定しづらい海岸部や山地部を中心に整備を行った。これにより、大規模災害時の緊急輸送道路の被災状況を迅速かつ的確に把握することができ、効率的な道路啓開を支援できるものと考えている。国道 42 号及び和歌山県が管理する国道において、概ね 1 km 毎に設置が完了している。また、10 km 毎に路線番号についても標示を行っている(写真-7, 8, 図-10)。



写真-7 国道 42 号(串本町田子)



写真-8 国道 168 号(新宮市高田)

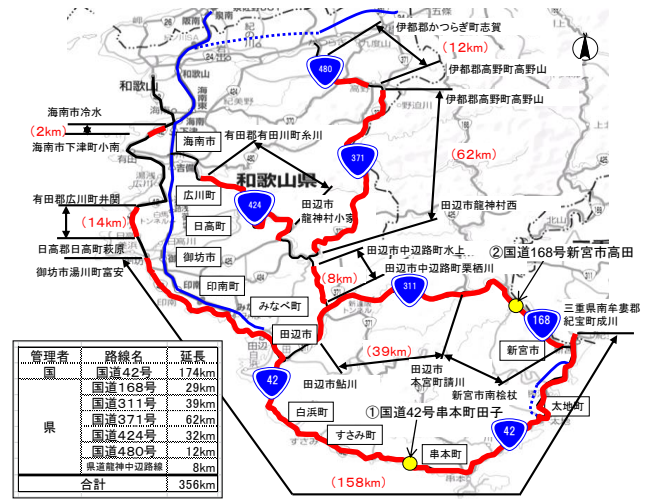


図-10 対空標示整備区間

4. 訓練の実施

(1) 道路啓開訓練

平成 27 年 11 月に和歌山県日高川町において、大規模地震・津波を想定した道路啓開訓練を実施した。

孤立集落への唯一の救援ルートとなる国道 42 号が被災した場合、橋梁流出等の想定される被害に備えた対策が必要である。この訓練は、大規模地震・津波に備え、道路啓開活動時の関係機関の連携を確認することを目的に実施しており、和歌山県をはじめ、陸上自衛隊、日高建設業協同組合、紀南建設業協同組合など、多くの機関が参加した。この訓練では、和歌山県南方沖で M 8.7 の地震が発生し、和歌山県内では震度 5 強～7 の揺れを観測。それに伴い沿岸部では津波による被害も発生しており、県内のいたる所で崩土や橋梁流出により通行不能箇所を確認。その想定下において、早急な救援ルートの確保を目的に道路啓開訓練を実施した。まず、放置車両及びがれき(流木)を除去し、津波で流出した国道 42 号の橋梁をコルゲート管及び陸上自衛隊の所有する自走式架柱橋等を用いた「流出橋梁復旧訓練」を実施した(図-11, 12, 写真-9, 10, 11, 12)。

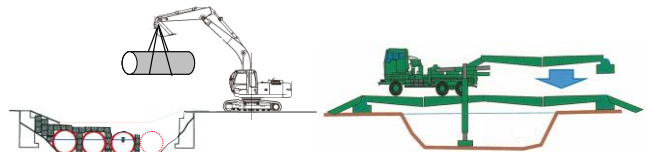


図-11 コルゲート管等による橋梁復旧

図-12 自走式架柱橋による橋梁復旧



写真-9 コルゲート管等による橋梁復旧



写真-10 自走式架柱橋による橋梁復旧



写真-11 放置車両の除去



写真-12 がれきの除去

### (2) 緊急仮設橋組立訓練

平成 27 年 12 月には、紀勢自動車道の「すさみ防災基地」において、大規模地震・津波を想定した緊急仮設橋の組立訓練を実施した（写真-13）。

この訓練は、大規模地震・津波等災害時の混乱状況を勘案し、経験のない作業員での組立訓練を目的として、串本地区土木協同組合、日本橋梁建設協会などが参加した。訓練内容は、7 ブロックに分割している緊急仮設橋の主桁の内、2 ブロックを高力ボルトにより結合させ<sup>4)</sup>、その上に、アルミニウム床版を載せた後、緊急仮設橋の主桁や床版の移動作業に用いた 25 t 吊りのラフタークレーンを走行させる作業である。



写真-13 緊急仮設橋組立訓練

### (3) バイク隊の編成及び走行訓練

地震時に国道 42 号や付帯する施設の被災状況を把握するための手段として、バイクを使用することとした。

迅速な災害調査を行うことを目的に、紀南河川国道事務所の職員によるバイク隊を平成 27 年度に編成した。

災害時において、四輪車による被災状況調査が困難な場合に、代替手段としてバイクを活用する新たな計画である。バイクは津波によるガレキが堆積しても通行可能なオフロードタイプとした。平成 27 年 12 月に和歌山県上富田町の富田川河川敷において、NPO 法人 和歌山レスキューサポートバイクネットワーク (WRB) の方々の指導のもと、バイク隊による走行訓練を実施した（写真-14）。今後も、隊員の運転技術の向上のため、定期的な訓練を実施する予定である。



写真-14 バイク隊走行訓練

## 5. 「道の駅」防災利用の推進

東日本大震災等の災害時に「道の駅」が自衛隊の活動拠点や住民の避難場所、水、食料、トイレを提供する貴重な防災拠点として機能しており、「道の駅」が防災に果たす役割は大きなものとなっている。

国土交通省近畿地方整備局、和歌山県及び紀南地域の市町村は、当該地域における「道の駅」について、防災（災害復旧、救助・救援活動を含む）に関する利用について、平成 27 年 11 月 17 日に基本協定書を締結した。

この協定は、和歌山県紀南地域内における「道の駅」の防災利用の推進に関し、基本的な事項について定めることにより、今後発生が予測される南海トラフの巨大地震・津波又は紀伊半島大水害に代表される台風による豪雨・出水による大規模災害をはじめとする災害発生時において、迅速かつ的確な応急対策等を実施するため、関係機関が協働し、効率的でかつ迅速な防災活動と啓発に努めることを目的としている。防災利用の内容としては、災害発生時において、その管理する「道の駅」の施設を防災活動への利用に努めるものとしている。

防災利用の内容について、以下に示す。

- ①道路に関する通行情報、被災情報の提供。
  - ②道路啓開に必要な活動拠点及び資機材等の運搬に係る中継場の提供。
  - ③住民が避難・休憩するための施設の提供、救援物資の提供・保管、その他防災活動を支援するための業務。
- また、防災活動への平素からの取組みとして「津波防災の日」（毎年 11 月 5 日）における防災啓発活動をはじめ、平素から地域住民と協働して「道の駅」の防災活動が効率的かつ迅速に行えるよう努めるものとしている。

## 6. 道路啓開協議会の設立

大規模災害時の状況下において救助・救援活動に必要なかつ不可欠なのは、その活動に資する道路の通行の確保

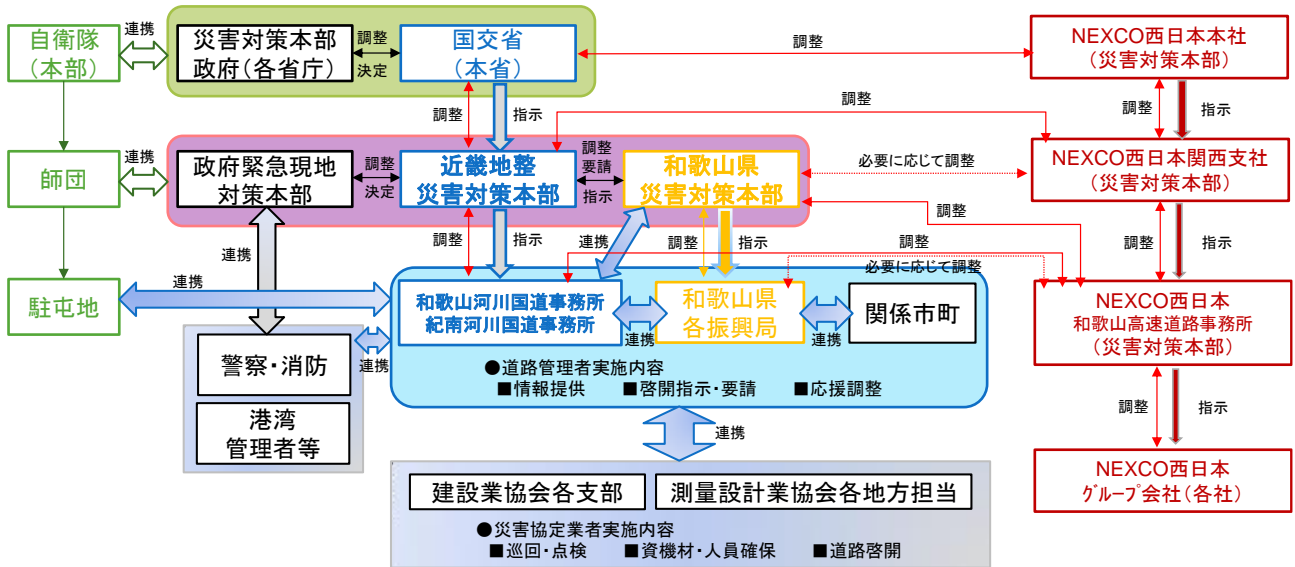


図-13 関係機関の応援・協力体制

である。東日本大震災では、道路管理者、自衛隊、警察、県市町村の関係機関、建設会社等それぞれの連携により、早期に道路啓開を完了でき、救援・救助活動に貢献できた経験を鑑みて、南海トラフ地震に伴う津波浸水による大規模な道路災害に対して、関係行政機関及び関係業団体等の連携・協力により、道路啓開を強力かつ着実に推進することを目的に、道路法第 28 条の 2 に基づき「南海トラフ地震に伴う津波浸水に関する和歌山県道路啓開協議会」を平成 27 年 11 月 20 日に設立した。

各関係者の協働により、和歌山県の道路啓開計画を策定し、道路啓開の考え方や対応を示し、関係者間で共通認識のもと、発災時の救出、救助を支える「道路の啓開」がより迅速・適切に行えるものとしている。関係機関の応援・協力体制としては、まず、各道路管理者からの被災情報を近畿地方整備局及び和歌山県災害対策本部で集約する。次に、政府緊急現地対策本部、近畿地方整備局及び県災害対策本部で調整・指示し、国道事務所・和歌山県・関係市町の連携により「啓開ルート」を決定することとしている（図-13）。今後は、和歌山県及び市町村と調整をしつつ、各ブロックにおける被災状況を把握し、孤立集落をなくすための「避難経路の確保」、各地域の主要部へと結ぶアクセス道の啓開計画の策定及び把握方法等について、詳細に調整・検討を行っていく予定である（写真-15）。



写真-15 南海トラフ協議会

## 7. おわりに

南海トラフの領域では、これまでに大規模な地震が繰り返し発生している。そのため、対策の検討にあたっては、あらゆる可能性を考慮した上で、最大クラスの地震・津波を想定することが重要である。

紀南河川国道事務所では、南海トラフ巨大地震等、大規模な災害が発生した場合を想定し、迅速に復旧活動ができるよう、関係行政機関及び関係業団体との連携を一層強化し、人命救助を最優先とした道路啓開計画を取り決めて参りたい。

**謝辞：**バイク隊走行訓練において、NPO法人 和歌山レスキューサポートバイクネットワーク (WRB) の方々にご指導、ご協力を頂いた。この場をお借りして感謝申し上げます。また、和歌山県の防災担当職員の方々を始め、道路啓開計画にご協力頂いた関係行政機関及び関係業団体等の方々に感謝申し上げます。

## 参考文献

- 1) 内閣府：南海トラフの巨大地震モデル検討会中間とりまとめ、2011.12.
- 2) 和歌山県：南海トラフの巨大地震による津波浸水想定について、2013.3.
- 3) 鈴木勝，玉越隆史，沢田道彦：緊急仮設橋の開発について、橋梁と基礎、2015.11.
- 4) 山口隆司：鋼橋接合技術における技術革新の方向性、橋梁と基礎、2015.8.

# 平成 23 年紀伊半島大水害時の那智川 流域における住民の避難行動に関する ヒアリング調査について

筒井 和男<sup>1</sup>・西岡 恒志<sup>1</sup>・

<sup>1</sup>和歌山県 土砂災害啓発センター（〒649-5302 和歌山県東牟婁郡那智勝浦町市野々3027-6）

土砂災害に関して、従来避難しない人の心理について研究した事例は多い。近年土砂災害に関する情報の充実化が進んでいるが、どのような情報が避難行動に影響を与えるかは明らかになっていない。平成 23 年紀伊半島大水害時の那智川流域における避難行動に関するヒアリング調査について分析を行い、被害軽減のための情報提供について提案する。

情報の受け手の属性や避難行動に関する平面的な分布について検証を行った。避難警戒情報の入手や認識に性別による差があること、避難の有無や情報の認識に偏在性があることが分かった。率先避難者による呼びかけや安心できる避難所の確保が有効と考えられる。

キーワード 避難行動，ヒアリング調査，土砂災害，警戒避難情報

## 1. はじめに

近年、各地で予測困難な集中豪雨による土砂災害が原因となり、人的被害が多く発生している。土砂災害による被害の特徴として屋内での被災が多いと指摘されている<sup>1)</sup>。以前より、土砂災害時に避難しない理由として、累積的に進む現象に対し心理的な慣れが生じるとされる<sup>2)</sup>。災害調査においてそのような報告事例<sup>3-6)</sup>や、心理学的プロセスによる避難行動について調べた事例<sup>7)</sup>は多い。

土砂災害による被害軽減のためには、早期の避難が有効であり、分かりやすい土砂災害情報やリアルタイムな情報提供に向けた取り組み<sup>8)・9)</sup>や、警戒避難情報の充実化<sup>10)</sup>が進められている。一方で、最近になり、中山間地域での土砂災害時の住民避難率の分析が整理され始めたところであり<sup>11)</sup>、避難状況等詳細な検証は進められていない。行政機関が提供する情報の充実化だけでは、受け手に正確に伝わらなければ効果が期待できない。これまで受け手の状況や属性に応じた情報伝達について調べた事例は少ない。本研究の目的は、土砂災害における警戒避難情報に関して、どのような情報が避難行動に影響を与えるかを明らかにすることである。

本研究では、まず、土砂災害により多数の人的被

害が発生した 2011 年（平成 23 年）那智川災害の被災地域で実施された住民や自治体関係者へのヒアリング調査結果<sup>12)</sup>および行政機関の情報提供について検証した。次に、情報の受け手の属性の違いによる警戒避難情報の確認状況や入手手段の検討を行った。最後に、土砂災害の危険性は、地震や津波などによる災害と異なり、空間的に均質に存在しないことから、住民意識や避難行動の空間的な違いに着目し、分析を行った。このような情報の受け手の属性や意識の空間的な偏在性を考慮することは、効果的な避難計画の立案にも重要である。以上から土砂災害による被害軽減のための情報提供について提案する。

## 2. 調査地と調査方法

### (1) 調査地の概要

紀伊半島にある那智川流域では、平成 23 年 8 月 30 日から 9 月 4 日にかけて台風 12 号による記録的な豪雨により、大規模な表層崩壊とそれに伴う土石流や、支川からの土石流の流入による河川氾濫により多くの人的被害が発生した（死者 28 人、行方不明者 1 人）。那智川流域の位置を図-1 に示す。特に、9 月 4 日の未明には、和歌山県が設置する市野々観測所において最大時間雨量 123mm、0 時から 4 時に

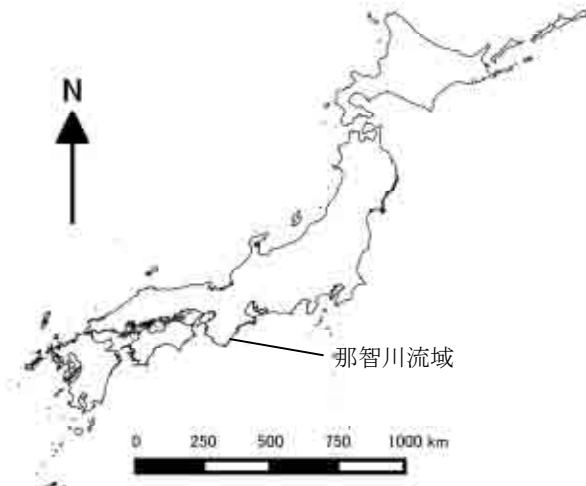


図-1 那智川流域の位置図。「地球地図日本(国土地理院)」をもとに作成。

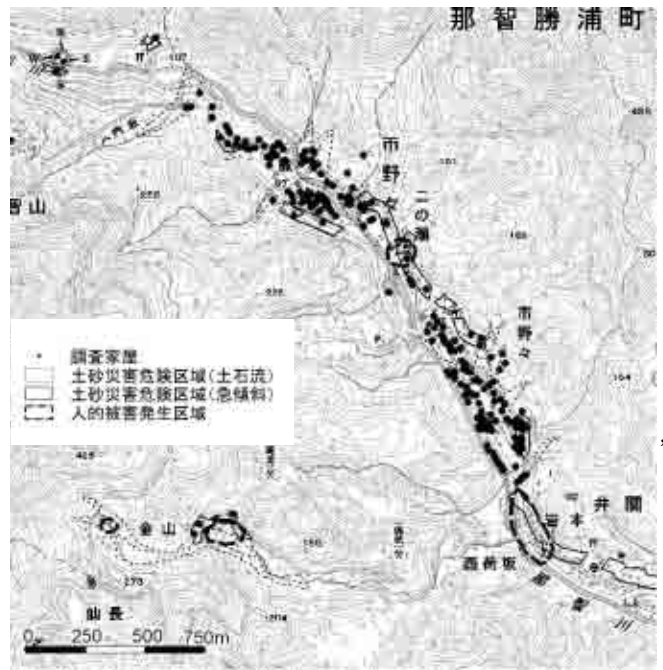


図-3 住民ヒアリング調査対象家屋

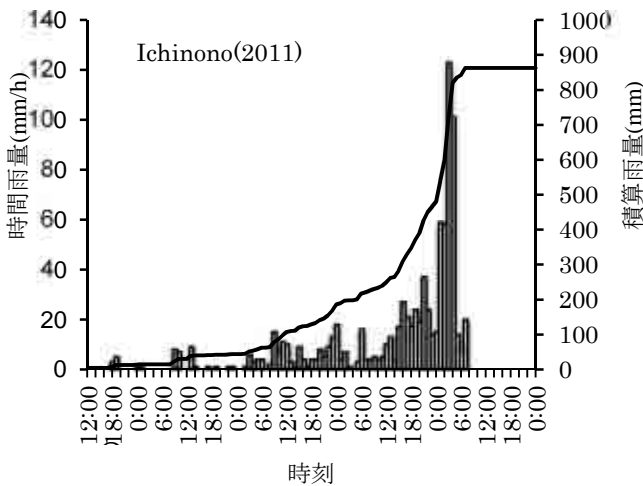


図-2 災害時の時間雨量と積算雨量

341mmを観測した。時間雨量および積算雨量の時系列を図-2に示す。

なお、当該地には9月1日13時50分に大雨注意報、9月2日4時15分到大雨・洪水警報、9月2日の21時55分に土砂災害警戒情報が発表されている。

土砂災害発生時の状況把握のため、那智勝浦町役場防災担当者、消防関係者、地区区長にヒアリングを実施されており、表-1に概要を示す。併せて、土石流により被害の発生した市野々地区および隣接する地区の一部において、住民ヒアリング調査されている。表-2にその概要を示す。ヒアリングが実施できた家屋、土砂災害危険区域および人的被害の発生した区域を、図-3に示す。なお、災害発生当時は、土砂災害防止法による土砂災害警戒区域等の指定はなく、土砂災害危険区域が公表されていた。主な質問項目は、年齢・性別・居住暦の属性情報、土砂移

表-1 土砂災害状況調査概要

調査対象	那智勝浦町役場防災担当者 消防団長、 自治会長
調査機関	平成24年3月9,21日
調査方法	個別訪問し用紙沿った聞き取り

表-2 住民ヒアリング調査概要

調査対象地域	市野々地区 井関地区(一部)、那智地区(一部)
調査機関	平成24年3月10~11日
調査方法	個別訪問し用紙沿った聞き取り 不在の場合、郵送回収
訪問戸数	288戸
回答数	220票(聞き取り210票, 郵送回収10票)

動現象・警戒避難情報の確認の有無、情報収集方法、避難の有無とその理由、近隣住民間の情報伝達や助け合い状況、避難ルートの設定や家族の話し合い等の日頃の備え等である。

また、平成27年に市野々地区で開催された「自然災害から命を守る！ワークショップ」(内閣府主催)や、和歌山県土砂災害啓発センターにおいて、地域住民からヒアリング(以下、追加ヒアリングとする)を行っており、これらで得られた意見も含めて考察を行う。

### 3. 土砂災害状況調査

防災担当者等のヒアリングにより取りまとめた、多数の土砂災害が発生した9月3日から9月4日の事象の時系列を表-3に示す。住民ヒアリング調査を実施した市野々地区において、この地区を対象とした避難勧告・避難指示は発令されていないものの、9月3日の22時30分には市野々小学校が避難所として開設している。市野々小学校の1階には土砂や流木が流れ込んだが、事前に2階以上に移動していたため、大きな被害は免れた。最も大規模な土石流が発生した金山谷川では、土石流発生時刻が9月4日

3時頃と判明した。那智勝浦町役場からは、大雨・洪水警報の発表や、那智川における水位状況等の情報提供が防災行政無線により行われていた。また、消防団や地元地区による警戒や避難誘導の呼びかけが行われていた。

#### 4. 住民ヒアリング調査

調査対象 288 戸に対し、220 戸でヒアリングが行われている。

まず、住民ヒアリング調査の信頼性を評価する。有限集団における必要標本数は、一般的に

$$n \geq \frac{N}{\left(\frac{e}{p}\right)^2 \frac{N-1}{p(1-p)} + 1} \quad (1)$$

で評価される。ここで n：必要標本数、N：母集団の大きさ、e：最大誤差、z：信頼率に対する正規分布数、p：予想される母集団の比率。

これに母集団の大きさを 288、また最も安全側となる母集団の比率を 0.5 として式(1)に代入すると必

表-3 平成 23 年 9 月 3 日～4 日の時系列

日時	事象
9/3 16:10	那智川下流の川関観測所の水位が3.14m (氾濫注意水位 2.60m)
9/3 20:30	井関保育所避難所開設
9/3 22:00 頃	那智川本川水位上昇、転石が流れる音
9/3 22:30	市野々小学校避難所開設
9/4 1:00 頃	那智川本川での堤防決壊により浸水が発生 井関保育所避難者が市野々小学校に移動
9/4 2:30	支川(金山谷川を除く)で土石流発生 市野々小学校の1階が浸水
9/4 3:05	金山谷川で土石流発生 20分程土石流の流れる音が聞こえる

表-4 住民ヒアリング調査結果の概要

項目		件数	比率
属性	性別	男性	99 45.0%
		女性	121 55.0%
	年齢	60代未満	87 39.5%
		60代以上	133 60.5%
	居住年数	10年以下 11年以上	61 159 27.7% 72.3%
土砂移動	認識	確認した	184 83.6%
		確認していない	19 8.6%
		不在その他	17 9.8%
警戒避難	大雨・洪水警報	知っていた	106 48.2%
		知らない、その他	104 51.8%
	土砂警戒情報	知っていた	19 8.6%
		知らない、その他	201 91.4%
避難行動	避難した	80 36.4%	
	避難しようとしたができなかった	66 30.0%	
	避難しようとしなかった	53 24.1%	
避難先 ※有効回答中	避難所	4 5.0%	
	家族・知人宅	29 36.3%	
	自宅の2階	21 26.3%	
日頃の備え	災害履歴の把握	土砂災害	27 12.3%
		洪水	69 31.3%

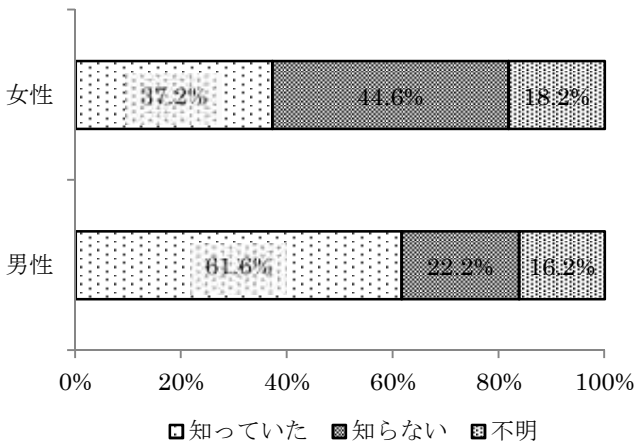


図-4 性別による大雨洪水警報の認識

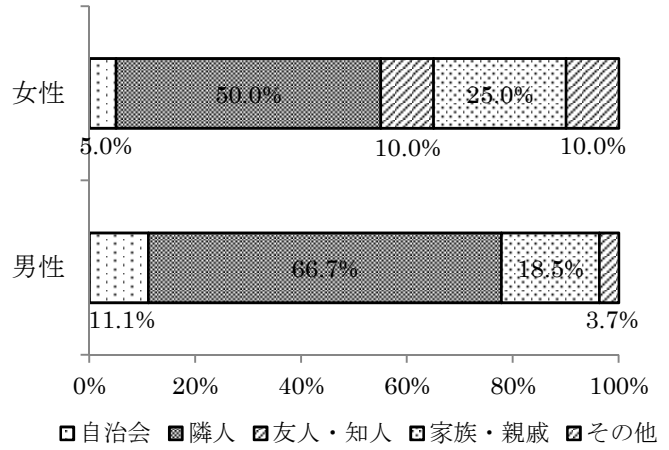


図-6 性別による地区内での情報収集先

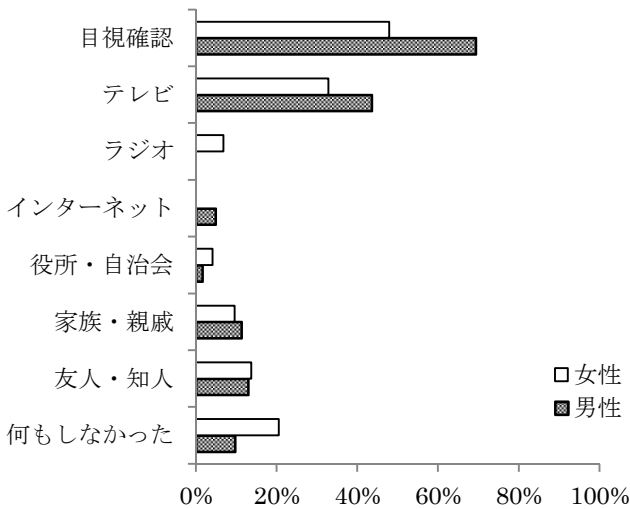


図-5 性別による情報収集の手段（複数回答）

視」による情報収集を答えた人が、どちらも最も多かったが、男性は 69.4%、女性は 47.9%となり、男性は、直接状況を確認する傾向があることが分かった。一方で、「何もしなかった」という回答が、男性の 9.7%に対し、女性は 20.5%と高かった（図-5）。

地区内での情報収集源について、回答のあった 67 人（男性 27 人・女性 40 人）の結果を図-6 に示す。男性では「隣人」の割合が 66.7%と高い傾向にあった。しかし、避難した人の判断理由を整理すると女性に「近所の人から危ないと電話があった」、「周りの家と相談した結果」、「娘が呼びに来たから」、「消防団の指示」等の直接のコミュニケーションを挙げる回答が多かった。男性は浸水状況から自ら判断していることを示す回答が多かった。近年、女性は周囲との協調性が高く、男性は論理性があるといった性別による思考パターンの違いが明らかとなっており、これを踏まえた行動様式への配慮が必要とされている<sup>13)・14)</sup>。土砂災害に関する情報伝達においても、行政機関はこの点に配慮した情報伝達が必要である。

また、洪水避難時における世帯の行動特性として、世帯員で役割分担があると指摘されている<sup>15)</sup>が、クロス集計による結果から、避難行動において性別により行動パターンが異なる傾向が示唆されている。追加ヒアリングでは、男性が屋外等で情報収集し、女性が避難準備を進めていたとの意見もあった。

以上から、女性に対しては、近隣地区において率先避難者を設定し、直接的な呼びかけや地区外に住む家族からの直接の情報伝達、男性に対しては切迫性の伝わる情報提供が早期の避難に有効と考えられる。

## (2) 空間分布の分析

土砂災害の危険性の偏在を踏まえ、住民の意識や

要標本数は 164.85 となる。したがって、ヒアリング調査数 220 は信頼性が得られたと判断できる。

住民ヒアリング調査結果の概要を表-4 に示す。対象地には、災害発生の 2 日前に大雨・洪水警報、土砂災害警戒情報が発表されていた。それぞれの認知度は、48.2%および 8.6%に止まった。避難行動については、66.4%が避難を試みたが、そのうち半数は実際に避難できなかった。逃げ遅れが多く発生したことを示している。一方、24.1%の人が避難しなかったが、その理由として、「自宅の方が安全」や「危険を感じなかった」と答える意見が多数を占めた。

## (1) クロス集計による分析

属性別のクロス集計の結果を以下に示す。

大雨・洪水警報の認識について、男性は 61.6%が「知っていた」と答え、一方、女性では 37.2%であった（図-4）。これは $\chi^2$ 検定により、有意な差が確認できた（有意水準 5%）。

また、情報収集の手段（複数回答）について、「目





図-7 居住年数の分布



図-8 前兆現象の確認状況の分布



図-9 避難行動の分布



図-10 避難開始時刻の分布

災害発生時の避難行動に関して平面的な空間分布について分析する。

まず、住民の居住年数は、11年以上の人が72.3%を占めることが判明している(表-4)が、空間分布を図-7に示す。新規に宅地開発された区域には居住年数が少ない人が集中している。これにより、地域での土砂災害への知識に偏在が生じ、避難行動に影響がある可能性がある。ただ、この宅地開発区域に近年引っ越した住民に対する追加ヒアリングでは、入居にあたり、土砂災害危険箇所の情報収集を町役場にて行ったとの回答があった。生まれ育った場所で長く生活している人に比べて、新規で居住しているの方が、行政が提供する地域の防災に関する情報への関心が高い可能性がある。

次に、「土のにおい」や「木が倒れるような大きな音」、「石のぶつかり合う音」等の前兆現象を確認したとの意見があった。前兆現象の確認状況を図-8に示す。土石流が発生した鳴子谷川の下流部で「土のにおい」を確認した回答が多かった。また、これらの現象は、土石流が発生した直前の9月4日の1

時から2時にかけて確認されていた。土石流発生直前の現象のため、追加ヒアリングにおいて、これらによる早期避難は確認できなかった。

避難行動について、平面分布を図-9に示す。上に示したとおり、全体の30.0%の人が「避難しなかったが避難できなかった」と回答したが、一部区域に集中していることが分かる(図中aの区域)。この区域は、災害当時に公表されていた土砂災害危険区域(急傾斜地)にあたり、土砂災害が想定されていた区域で、逃げ遅れが発生していた。その理由として「避難できる状況でも川に近い小学校には行かない」、「道路が冠水して移動できなかった」と答えている。土砂災害危険区域の公表が避難行動に有効に働いていなかった。

また、ヒアリングで確認できた避難行動の開始時刻の分布を図-10に示す。土砂災害が発生した9月4日の未明に集中しており、危険が切迫した状況で避難を開始したことが分かる。避難途中に被災した人もあり、避難所への移動についても早期の避難でなければ危険をとまなう。ただ、少数ながら、9月3

日以前の早期に避難している人もあり、河川に隣接もしくは谷部に住んでいる人であった。追加ヒアリングでは、「地区外の家族からの早期避難が求め」や「以前から台風接近が予想される際は避難する」心掛けを挙げている。避難先として「地区が提携する宿泊施設」、「所有する地区外の別宅」があることが早期避難を誘導していることが分かった。安全かつ安心できる環境があれば、早期に避難が行われる。地区外に安価に泊まれる宿泊施設との提携が有効であることを示している。

## 5. おわりに

本研究では、平成23年に土砂災害により、多数の人的被害が発生した那智川流域におけるヒアリング調査結果の分析、追加ヒアリングを実施し、警戒避難に関する情報提供について整理した。また、住民の属性や防災意識の空間分布に着目し、性別による情報収集手法及び前兆現象の確認、避難行動の有無、避難開始時刻の空間分布の特徴を分析した。次の点が明らかとなった。

- 1) 性別により、警戒避難情報の認識に差があることが分かった。また情報収集においても、手法や地域内でのコミュニケーションにおいても、男女間で異なる傾向があった。行政機関はこの点に配慮した情報伝達を行う必要がある。
- 2) 住民の避難行動には、空間的な偏在性があり、一部区域に「逃げ遅れ」が集中していたことが分かった。その理由は、油断による警戒意識の欠如と避難所の方が危険と考えたことであった。
- 3) 住民への追加ヒアリングの結果、台風が来る前での地区外の安全な避難場所の提供が早期避難に有効であることが分かった。

今後の課題として、切迫性の伝わる情報提供等、有効な情報提供の検討を進めたい。

**謝辞:** 紀伊山地砂防事務所には、貴重なデータを提供いただいた。国立研究開発法人土木研究所には、全般に渡りご指導いただいた。ここに謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 牛山素行・横幕早季：発生場所別に見た近年の豪雨災害による犠牲者の特徴，災害情報，No. 11，pp. 81-89，2013.
- 2) 廣井脩：土砂災害と避難行動，砂防学会誌，Vol. 51，No. 5，pp. 64-71，1999.
- 3) 近藤観慈・金田明香里・林拙郎：山間地域における豪

- 雨災害時の住民避難—2004年9月台風21号三重県宮川村災害の事例—，砂防学会誌，Vol. 59，No. 4，pp. 32-42，2006.
- 4) 菊井稔宏・佐野寿聰：土砂災害における住民等の意識と警戒避難対応について，砂防学会誌，Vol. 60，No. 6，pp. 48-51，2008.
  - 5) 安永文香・林博徳・大槻順朗・佐藤辰郎・立道大伸・島谷幸宏：2010年10月奄美大島豪雨時の氾濫特性と住民行動，河川技術論文集，第18巻，pp. 511-516，2012.
  - 6) 宮瀬将之・菊井稔宏：土砂災害における避難要因について，砂防学会誌，Vol. 62，No. 3，pp. 55-61，2009.
  - 7) 木下猛・青柳泰夫・伊藤孝司・平川了治・伊藤誠記・安仁屋勉・山本品：風水害における避難行動に関する心理学的プロセスについての一考察，砂防学会誌，Vol. 63，No. 4，pp. 4-15，2010.
  - 8) 山越隆雄・栗原淳一・田村圭司・麿島直樹・大谷忠夫・臼杵伸浩・佐口治：分かりやすい土砂災害情報に関する社会実験について，砂防学会誌，Vol. 60，No. 6，pp. 20-27，2008.
  - 9) 木下篤彦・神野忠広・岡本敦・一言正之・小野寺勝・桜庭雅明・杉山実：六甲山系におけるリアルタイムハザードマップシステムの構築，砂防学会誌，Vol. 66，No. 1，pp. 15-22，2013.
  - 10) 富田陽子・秋山怜子・岡本敦：「土砂災害警戒情報」及び「土砂災害警戒情報を補足する情報」の運用実態，砂防学会誌，Vol. 66，No. 1，pp. 53-57，2013.
  - 11) 水野正樹・富田陽子・桂真也・小山内信智・花田良太・安田武道：災害情報を用いた土砂災害時の住民の避難率の分析，砂防学会誌，Vol. 65，No. 3，pp. 29-34，2012.
  - 12) 国土交通省近畿地方整備局：平成24年度金山谷他砂防堰堤設計業務報告書，2014.
  - 13) 三田雅敏・伊藤知佳・指宿明星：男女の思考パターンに違いはあるか？男脳・女脳の分析，東京学芸大学紀要，自然科学系 59，pp. 37-41，2007.
  - 14) Hedges, L.V., and Nowell, A.: Sex differences in mental test scores, variability, and numbers of high-scoring individuals, Science, 269, pp. 41-45, 1995.
  - 15) 及川康・片田敏孝・浅田純作・岡島大介：洪水避難時における世帯行動特性と世帯員の役割分担に関する研究，水工学論文集，第44巻，pp. 319-324，2000.
  - 16) 石塚久幸・和田滉平・宮島昌克：被災地域へのアンケートに基づく土砂災害における避難を促進する情報に関する基礎的研究，土木学会論文集 F6 (安全問題)，Vol. 69，No. 2，pp. I\_127-I\_134，2013.

# 朝倉氏遺跡における杭丸太を用いた 法面对策について

久保 光<sup>1</sup>

<sup>1</sup>福井県丹南土木事務所鯖江丹生土木部 道路課 (〒916-0133福井県丹生郡越前町気比庄3-17)

特別史跡「乗谷朝倉氏遺跡庭園部」において斜面崩壊が発生した。特別史跡「乗谷朝倉氏遺跡」は、文明3年(1471)に「乗谷初代の朝倉孝景」が築城し、5代義景が織田信長に天正元年(1573)滅ぼされるまでの百余年間、越前の首府として栄えたところである。史跡は歴史的に意義を有すると同時に、空間的にも重要なものであるため、斜面对策においても通常公共工事で用いられているのモルタル吹付工等の工法は利用できない。このため、自然素材である杭丸太を用いて、斜面崩壊対策を検討し施工した。施工後、約5年経過したが、斜面は安定しており問題もなく景観性にも優れていることが分かった。

キーワード 木杭、杭丸太、腐朽、法面对策

## 1. はじめに

特別史跡「乗谷朝倉氏遺跡 特別名勝「乗谷朝倉氏庭園」は、福井市南東約10キロに位置している。越前中央山地を西に向かって流れる足羽川に合流する「乗谷川」の流末に位置する谷地である。谷の奥行きが5キロ程度で北側に足羽川が流れ福井平野に接続されている。平成20年3月13日未明、館跡庭園のつづら折れ水路が位置する斜面の崩壊が起こった(写真-1)。崩壊斜面の修復工法は、斜面が庭園の重要な構成要素であることや、つづら折れ水路を治水・利水として利用してきた経緯を考慮すると、安定勾配まで掘削することや、法枠などを用いた法面保護工は考えにくく、切土補強工(高強度ネット+鉄筋挿入工)や木杭による補強と伝統的な修理方法を組み合わせることで検討された。その結果、崩壊斜面の修復工法として、杭丸太(以下木杭)と版築工による斜面安定化工事が行われたのでその概要を報告する。



写真 1 斜面の崩壊

## 2. 崩壊斜面の修復工法の検討

地質調査結果および地下水位観測結果から、崩壊した斜面は粘土層で斜面勾配は滑落崖で約60°であるため(1:0.6)、いずれ崩壊に至ると懸念された。特別史跡及び特別名勝「乗谷朝倉氏館跡庭園修理整備指導委員会」にて主にジオファイバー工法による斜面修理が検討されたが、いくつかの問題点が判明した。具体的には、金属製アンカー打ち込み機械の侵入が困難なことに加え、つづら折れ水路の護岸石や景石の修景作業が困難であること、湧水によるファイバー硬化層との分離などが懸念された。そこで、伝統的な斜面安定化で、「乗谷」に城下町がおかれた16世紀半ばにも工法として成立していた技法を検討し、木杭による斜面の安定化と版築による斜面安定化という工法が検討された。木杭の設計は円弧すべり計算を基に杭の設置位置や杭の長さ、配列等を検討した。

## 3. 木杭工事の概要

### 3.1 杭間隔の設計

木杭は杉材(直径10cm、長さ1.5~3m)を防腐処理したものをを用いる。図-2は、地盤想定断面図を示す。木杭を打設する目的は、表土(DI1層)と支持地盤(DI2層)との間に存在するせん断力不足を補うことである。図-3は、木杭打ち込み千鳥配置図を示す。上下杭間隔は15cm程度となるが、二段あることにより一列の場合よりも杭間の土砂移動が軽減されると考えられる。

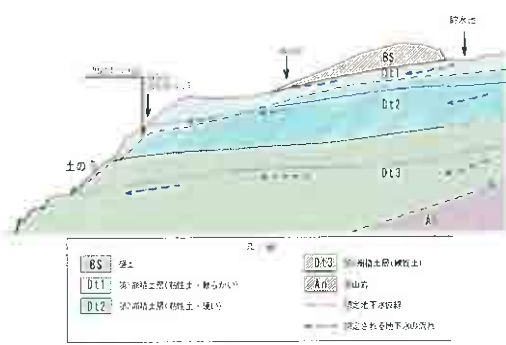


図-2 地盤想定断面図<sup>1)</sup>

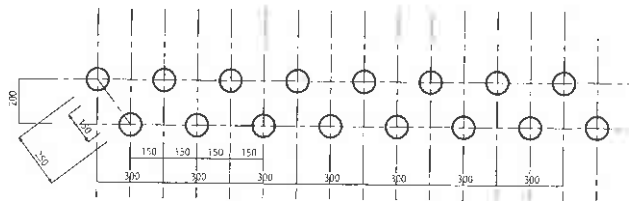


図-3 木杭打ち込み千鳥配置図<sup>1)</sup>

### 3.2 木杭打ち込み作業の検討

杭打ち高さは、園地部より6m前後の高低差があり、打ち込み作業も困難であると想定されたため、図-4に示すような足場を設置して木杭を打設した。図-5は、木杭工事足場の状況を示す。また、木杭打設時の注意事項は以下のとおりである。

- (1)地層が固い場合の対処として、30cm程度の上下列へ位置調整は許容範囲である。
- (2)斜面に浮石が多いので、作業安全のためにネットなどで景石等をカバーして作業を行うこと。
- (3)機械の振動が大きいため、以前の崩壊箇所に振動を与えると、新たな崩壊が起きる恐れがあるので留意すること。
- (4)掘削孔を十分深くなるまでおこない、できるだけ振動が少ない方法を検討すること。
- (5)湧水があった場合にはただちに周囲を埋め、穴に水が浸入しないようにすること。
- (6)杭頭は斜面版築工事の際に切り落とし、斜面復元すること。

杭打ち込みは、硬い地盤への打ち込みが少ないため、ハンドオーガーによる事前穴あけもしくは、ドリルにより位置を特定し、人力で打ち込むほかエア-杭打ち機械を用いた(図-6)。

図-7は、木杭配置修正位置及び杭打設実施位置図を示す。アの崩落層DT1の上量の最も大きい断面では、より強い摩擦力を獲得するため、杭列を3列とした。イは、造営前より尾根部と考えられ、AN層(安山岩)が表土直下にあるため、想定以上に杭が入らず広範囲で取りやめた。ウは、DT3層がほぼ露出しており、列を後退させることで、DT1層の支持部分を拡大させた。エは、DT2

層が薄くその下に堅いDT3・AN層があり、杭が入らなかったため、上部に移動した。オは、上部で摩擦力を獲得できたので下段は取りやめた。カは、遺構石に衝突するため、その下部に杭列を移動した。

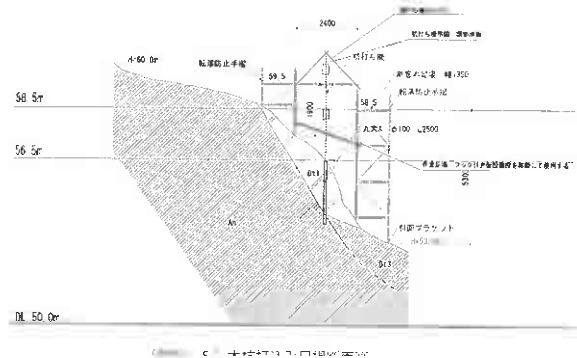


図-4 木杭打ち込み足場断面図<sup>1)</sup>



図-5 木杭工事足場の状況<sup>1)</sup>



図-6 エア-杭打ち機の状況<sup>1)</sup>

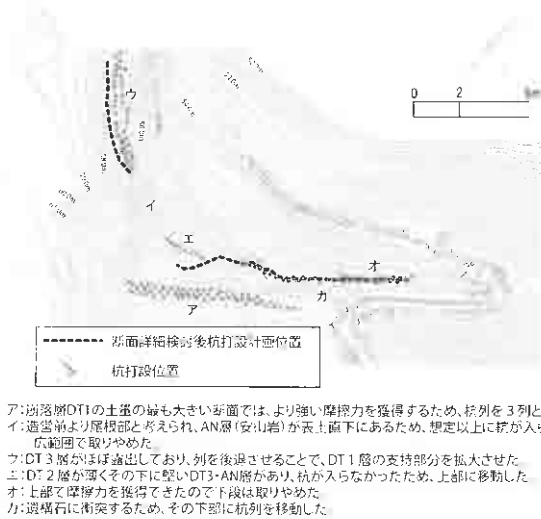


図-7 木杭配置修正位置及び杭打設実施位置図<sup>1)</sup>

4. 版築工事の概要

木杭によって崩落層DT1のすべりは低減したが、その上下には崩落層があったため、それらを除去し、そこに版築を行い、つづら折れ水路の構造物や景石の新たな支持地盤を形成せねばならなかった。そこで、修理指導委員会では、一乗谷が城下町をおいた16世紀半ばでも存在していた版築が検討された。施工範囲は、斜面崩壊を起こした範囲に加え、洗掘等の複合的な原因で傷んだ斜面やつづら折れ水路をカバーし、DT1層の堆積が深い杭施工範囲を包括する部位であった。

図 8は、版築施工実施図を示す。伝統工法の一つである版築は、通常粘りある粘土や土と石灰、にがりなどを混ぜ、版木により囲われた枠の中で、突き固めながら積み上げてゆくものであるが、本施工現場では、軟弱表土を撤去した地山面への密着力や強度を見極めながら版築材料を決定する必要があった。そこで、文化財保存技術者協議会選定保存技術者の徳村盛山氏らの監修のもと、材料試験が行われた。その結果、粘りと竹材の耐力、地山からの湧水対策の観点から版築材料の配率（重量比）は、粘土3：石灰1：バラス1とされた。版築を行うばん木はラワン材曲面型枠板と異形鉄筋の組み合わせとし版築が乾燥後にそれらを取り除くこととした。また、版築高さは勾配により決定した。版築厚みは、約10cm～20cmを基本とし、勾配がきつい場合はそれ以上の場合も許容し斜面復元に対応した。

版築層の上の仕上げとして斜面土壤層を設置し、その表層保護として植生シート敷設を実施した。植生シートは、ヤシ繊維で肥料等植生基盤を持つものが使用された。これにより、周辺表土散布によるシードバンク式の植生面形成により、植物の繁茂が進行した場合、下部にある粘土層と一体化すると考えられる。版築工事とは、復元断面を水系により現場に落とし、仕上げ厚を考慮して、ば

ん木を設置しながら下から突き固めていった。版築および表層突き固めはすべて人力で施工された。突き固めには木槌やハンマー、手製の工具なども製作され。微細な表現も可能とした。

地山より漏水があった箇所は排水シートを敷設して防水層の上に版築を施工した。なお、一部想定断面より浅い位置にDT2層が表出し、版築施工を行わない部位があった。なお、今回の版築作業は施工者の惜しみない努力と工夫によるところが大きい。

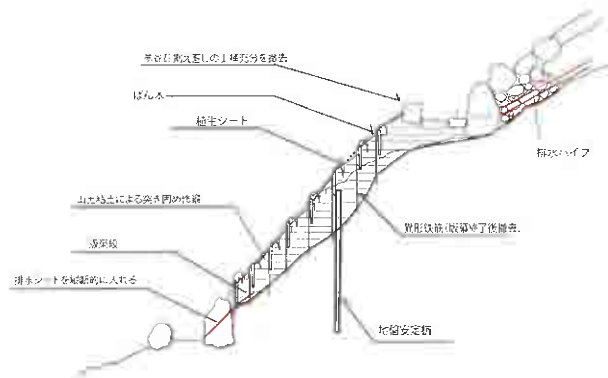


図-8 版築施工実施図<sup>1)</sup>

5. 追跡調査

写真-2, 3は、崩壊斜面修復後約5年経過した状況を示す。周辺環境に溶け込んでおり、斜面修復工事を実施したことがわからない状況であった。また、新たな崩壊等の形跡は見られなかった。

設置した植生シートにより、植物が繁茂し、降雨による表面浸食を防止していると考えられた。

湧水は特に見られなかった。



写真 2 崩壊斜面修復後約5年経過した状況（正面）



写真-3 崩壊斜面修復後約5年経過した状況（側面）

## 6. まとめ

朝倉館跡の庭園は、東側山麓の河岸段丘を削って造成されたと推定されるが、崩壊後の斜面は急勾配で、放置すれば再び崩れることは明らかであったと考えられる。

安全のために安定勾配まで掘削することは、当時の地形を大きく変えることになり、また肝心のつづら折れ水路を保存するためにも認められる工法ではなかった。コンクリート等が見える表面保護工も、斜面が庭園の背景であり景観上からも好ましくなかった。ジオファイバー工法も検討されたが、つづら折れ水路の護岸石の支持基

盤にしにくいことや湧水によるファイバー硬質層と地盤の分離が懸念された。そこで斜面の保護には木杭打ち込みと、朝倉氏時代には存在していた伝統的な工法の版築が併用された。傾斜地にある土壌と支持地盤との間に存在するせん断力不足を補うため、木杭列を設けた。

施工現場を追跡調査した結果、約5年経過したが特に問題となることは確認できなかった。周辺環境にも溶け込んでおり、工事をしたことがわからない状況であった。

今回、崩壊した斜面の地盤安定化対策として木杭と版築を用いた法面对策工事が行われたことは、実験的ではあるが、今日において最も有効な修理方法だったと言える。

謝辞：今回、朝倉館跡庭園修理（崩壊斜面对策部分のみ）に携わることができましたのも、荒井克彦福井大学名誉教授にお声かけいただいたお陰です。また、特別史跡及び特別名勝 一乗谷朝倉氏館跡庭園修理整備指導委員会（会長：藤原武二氏）の皆様始め多くの関係者に大変お世話になり有難うございました。ここに記して感謝の意を表します。

## 引用並びに参考文献

- 1) 特別史跡 一乗谷朝倉氏遺跡 特別名勝 一乗谷朝倉氏庭園 朝倉館跡庭園 修理整備報告書：福井市教育委員会発行、2012.3

# 防災業務の「見える化」の取り組みについて

陶山 武士<sup>1</sup>

<sup>1</sup>独立行政法人水資源機構 木津川ダム総合管理所 管理課（〒518-0413三重県名張市下比奈知2811-2）

近年、出水時のダム操作は、より高度な操作を求められる傾向があり、防災時における速やかな各種情報の把握が求められることから、防災情報の「見える化」は、防災業務を遂行していくうえで欠かせないものとなっている。一方、防災時の一般の方への情報発信の場面においても、わかりやすく正確な情報を迅速に公表することが肝要である。

今回、(独)水資源機構関西・吉野川支社淀川本部（以下、「淀川本部」という。）では、水管理情報処理設備の改造により、「淀川本部管内のダム操作の見える化」の一助となる取り組みを推進している。本稿では、その取り組み事例について報告するものである。

キーワード ダム操作、情報発信、SNS、ダム管理支援

## 1. はじめに

2013年（平成25年）の台風18号では、淀川本川及び桂川、宇治川で計画降雨量を超える、または迫るような降雨があり、淀川水系の桂川、宇治川において河川整備計画目標流量に匹敵する流量を観測し、桂川、宇治川で計画高水位を超え、木津川では氾濫危険水位を超え、名張川で避難判断水位を超えた。

特に桂川の嵐山地区では、2004年（平成16年）台風23号出水を超える93戸の浸水被害が発生し、周辺の旅館等にも甚大な被害が発生した。

また、更に桂川下流に位置する久我橋下流付近の右岸では、9月16日7時過ぎに堤防から河川水の越流が始まり9時30分頃には約400mの区間で越流していた。しかし、桂川・小畑川水防事務組合、自衛隊が懸命な水防活動を行うとともに、桂川上流の日吉ダムのほか宇治川・木津川の上流ダムも防災操作を行い、淀川三川（桂川、宇治川、木津川）の合流部の水位低下を図り、桂川の洪水を流れやすくすることによって桂川の水位を低下させ、堤防の決壊という最悪の事態を免れることができた。

一方、これらのダム操作についてのマスコミ報道やSNSの情報には誤った情報が含まれ拡散する状況も見られたことや、限られた防災要員でダム操作を行いつつ情報発信を行うためにはより一層の工夫が必要であるなどの課題も確認されたことから、随時改善を図っているところである。

## 2. 防災業務の「見える化」への着目点

防災業務の改善については、次の2項目に着目して実施している。

- ・ダム管理支援の一環として、防災業務を行う職員が、水位・流量等のデータの把握をより容易に行うための工夫（内部での見える化）
- ・一般の方への情報発信をより迅速に、わかりやすくするための改善（外部への見える化）

### (1) 「内部での見える化」の必要性

#### a) 淀川流域の特徴

淀川本部管内にある7ダム（図-1）の高水管理・運用の特徴として以下の点が挙げられる。

- ・ダム下流の河川が整備途上であるため、治水安全度の低い地域がある。
- ・河川の治水安全度にあわせ、ダムの洪水調節方法を暫定操作としているダムが多い。
- ・ダムの洪水調節方法が暫定操作を採用していることから、異常洪水時防災操作を実施する可能性が相対的に高い。
- ・暫定操作による洪水調節を実施しても、下流河川で浸水被害が発生する場合があり、河川管理者との調整のもと、ダム下流域を見据えた操作を行わなければならない。
- ・複数のダムが並列あるいは直列しており、複数ダムでの連係操作が効果を発揮する場合がある。

#### b) 「内部での見える化」推進の必要性

淀川水系ダム群では、上記a)に示す特性があることから、常にダム下流域を意識した防災業務を実施する必要がある。即ち、ダム上流域での降雨実績・予測データをもとにダム流入量の予測を行うとともに、下流河川水位



図-1 淀川流域のダムの位置図

をみながら河川管理者と調整を図りつつ、操作方法を決定するという、高度な操作が要求される。そのため、ダム管理支援の一環として、防災業務を行う職員が、水位・流量等のデータの把握をより容易に行うための工夫として、「データの見える化」の取り組みを行う必要がある。

## (2) 「外部への見える化」の必要性

### a) これまでの広報対応と新たな課題

従前からの取り組みとして、洪水調節を行った施設では、洪水調節終了後（概ね翌日）にダムの効果について報道機関への記者発表を行うとともに、その資料をHPへ掲載していた。しかしながら、浸水被害等が発生するような災害においては、多くの報道は被害状況や復旧状況、交通手段に関する報道などに内容の大部分が占められる傾向にあることから、なかなか「ダムの効果」について取り上げてもらえる機会が少ないのが実情である。

一方、ダムの効果について発表するまでに概ね1日程度時間を要していたことから、資料発表の前に、あたかもダムが原因となって浸水被害が発生したかのように受け止められる報道が確認された事例もある。

### b) 「外部への見える化」推進の必要性

2013年（平成25年）に発生した台風18号の際には、SNS（ソーシャル・ネットワーキング・サービス）の普及に伴い、一般の方の情報を得る機会が報道機関からの情報だけでなく、様々な情報ツールにより取得できる状況であった。しかし、SNSの情報には誤った情報も含まれており、誤情報が拡散することで、更に混乱を拡大させるという悪循環を生み出すケースも見受けられた。

一方、SNS利用者の中には、ダムの操作を理解し解説をしてもらえる方も見られることから、ダム管理者においても防災対応中でも適時・的確な情報発信を行う必

要性が高まっている。

しかし、現実的に各ダム管理所では、防災対応中は限られた要員で防災対応を行いながら、一般からの問合せへの対応を行っており、リアルタイムにダムの効果を広報することが困難な状況である。そのため、防災対応時の各ダム管理所の業務負担軽減を目的として、淀川本部の防災本部で広報業務を実施することとした。

## 3. 「内部での見える化」 取り組み事例

### (1) 流域全体の状況の見える化

従来、ダム諸量グラフや下流河川水位のグラフはそれぞれ個別に確認することは可能であったが、一画面で見ることができないため、状況把握に時間を要していた。

今回、ダム地点における流入量と放流量に関するグラフと下流河川の水位グラフを一目で見られるよう、水管理情報処理設備の改造を行った。画面の作成にあたっては、ダムと河川水位観測地点の位置関係を配慮し、名張川3ダム（青蓮寺・室生・比奈知）は1画面で3ダムの情報を記載するなどの工夫を行った。

実際の運用画面例として、日吉ダム（2015年台風11号対応時）の運用画面（既存データを元に構築再現した画面）を図-2に示す。

### (2) 出水初期のチェック体制強化

出水初期の対応の遅れは、洪水調節容量への不必要な貯留につながり、場合によっては洪水調節容量が不足することも懸念されることから、初期対応のチェックは重要な観点である。このため、今回、初期対応のチェック機能として、貯水位・流入量の表示が設定値により黄色や赤色で表示できるよう水管理情報処理設備の機能改造を行った。現在、貯水位は、洪水貯留準備水位から-20cmで黄色に、洪水貯留準備水位を超過した時点で赤色に表示を変更するとともに、流入量は、洪水量を超過した時点で黄色に表示を変更する設定で運用を行っている。

また、この色表示の設定は、ダムの運用状況に合わせて定数の設定変更ができるようシステムを構築している。

### (3) 2015年台風11号での活用

2015年の台風11号において日吉ダムでは洪水調節を実施した。この防災対応時には図-2に示すように、日吉ダムの状況と下流河川の水位変化（警戒水位等との関係）を一目で確認できるようになったことから、淀川本部においても各防災要員が容易に状況把握ができ、操作の検討や情報発信の作業に力を注げるようになり、その有効性が確認されたと考えられる。



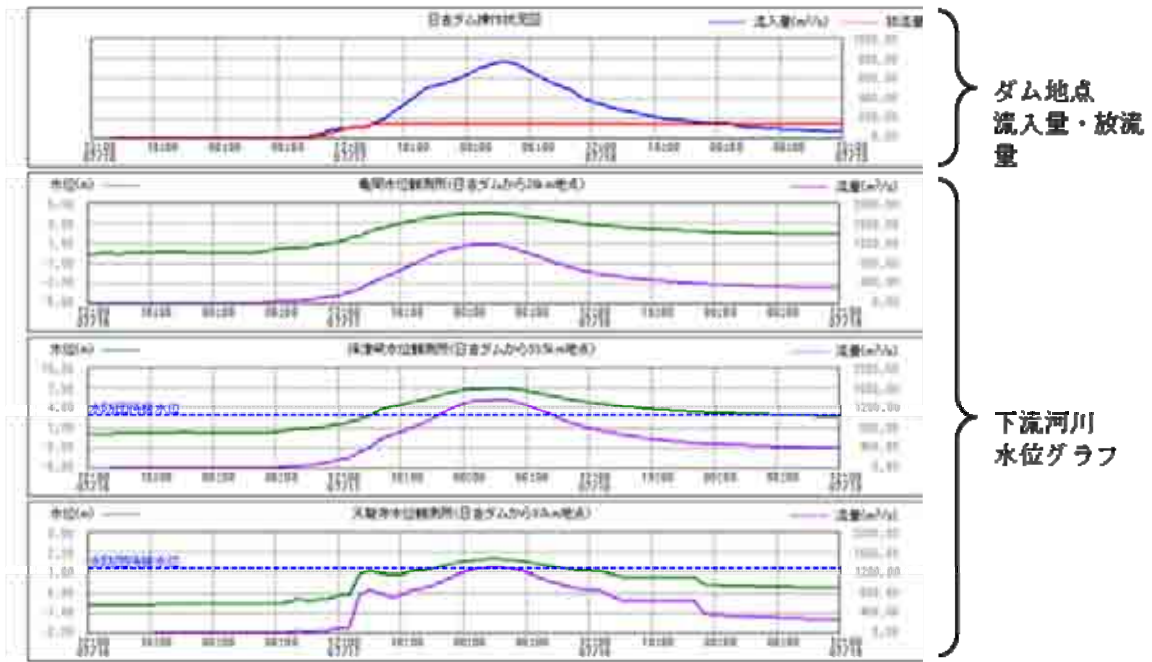


図-2 2015台風11号対応時における日吉ダム操作状況と下流河川水位グラフ

4. 「外部への見える化」 取り組み事例

(1) リアルタイム広報資料の作成

a) 広報資料のフォーマット（初期版）の構築

広報資料の作成は、費用のかからない汎用の表計算ソフト（エクセル）を使用することとし、以下の要件を満足させるようフォーマットを構築した。

- ・防災要員がだれでも作業可能であること。
- ・複雑な計算をその都度実施しないよう、予めシステム化しておくこと。（ただし、計算過程は別シートで確認できるようにしておくこととした）
- ・H-Q式（河川水位と流量の相関式）の更新に対応可能であること。

b) 入力作業フロー

広報資料作成の作業フローは図-3のとおりである。

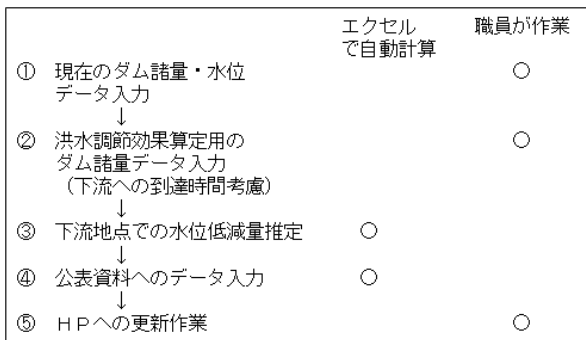


図-3 作業フロー

c) 「わかりやすさ」の工夫

今回の広報資料作成にあたっては、数値のみならず、模式図をグラフで作成することにより、視覚的にもわかりやすい資料になるよう心がけた。現時点で運用している資料を図-4に示す。具体的には①ダムの洪水調節容量内に貯め込んでいる量、②下流の河川水位観測地点での河川断面と観測水位・ダムが無い場合の水位のイメージなどを淀川本部において管理所の意見を聞き取りながら作成した。

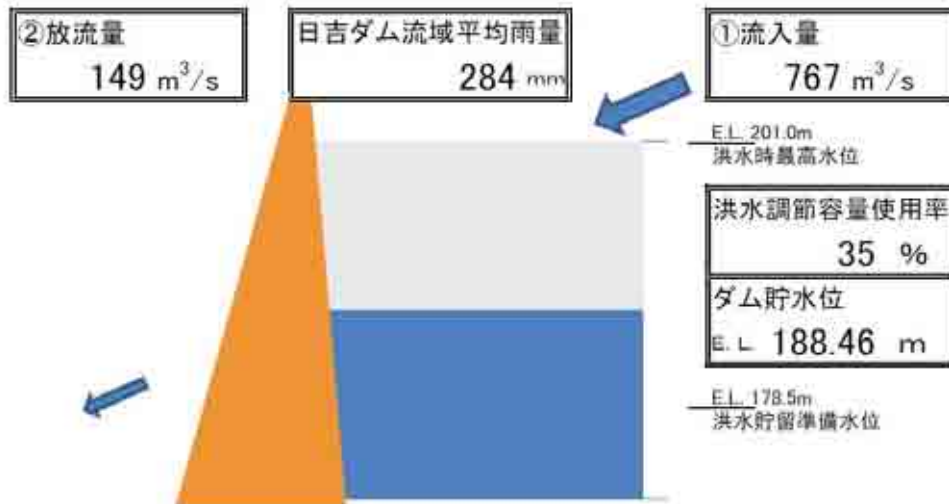
d) 「貯水率」の誤解

一般的に「ダムの貯水率」とは、①有効貯水容量に対する貯水率、②利水容量に対する貯水率、の2種類が公表されている。しかし、台風襲来時には、この貯水率の意味が正しく理解されず、誤った情報としてSNS等で拡がっている事例が多数確認された。そのため、図-4においては、洪水調節容量に貯め込んだ水量の率を「洪水調節容量使用率」として記載することとした。なお、この数字は全国的に定義づけられているものではないため、本資料以外では使用していない。

e) 各管理所HPからのリンク

各ダム管理所でのHP更新作業などを軽減するため、予め各管理所のトップページから淀川本部の防災情報のHPへリンクを行うこととした。また、淀川本部の防災情報のページは常時開設しておき、適宜、ファイルを追加できる体制を整え、各管理所で個別のHPの更新作業を省略するなど、防災業務中の作業の効率化に努めた。

日吉ダム の 7月18日3時0分時点の防災操作の状況



ダムで貯めている量 (①-②)  
**618 m<sup>3</sup>/s**

ダムに流れ込む水を貯めて川の水を減らした効果  
(亀岡市保津橋地点)

③ダムに流れ込む水を貯めなかった場合  
**推定水位 4.74 m**  
※推定水位には誤差が含まれます

④ダムに流れ込む水を貯めたことによる実際の水位  
**観測水位 3.99 m**

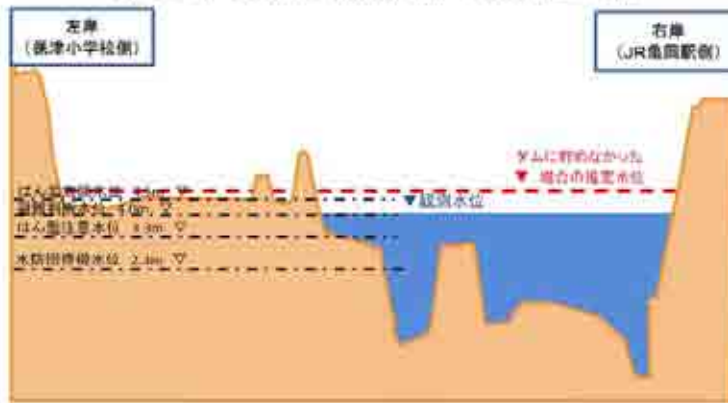
ダムに水を貯めたことによる効果 (③-④)  
**亀岡市保津橋地点の水位を  
約 0.75 m低下**

※この数値は速報値です

- ※ 氾濫危険水位 4.5 m
- 避難判断水位 4.0 m
- 氾濫注意水位 3.3 m
- 水防団待機水位 2.3 m

図4 リアルタイム広報資料 (1)

7月18日3時0分時点の保津橋地点の河川水位の状況



ダムに流れ込む水を貯めて川の水を減らした効果  
(亀岡市保津橋地点)

③ダムに流れ込む水を貯めなかった場合(赤い点線)

**推定水位 4.74 m**

※推定水位には誤差が含まれます

④ダムに流れ込む水を貯めたことによる現在の水位(青く塗りつぶした水位)

**観測水位 3.99 m**

ダムに水を貯めたことによる効果(③-④)

亀岡市保津橋地点の水位を  
**約 0.75 m低下させています**



(参考資料)

直近4時間の保津橋地点の河川水位の状況(速報値)

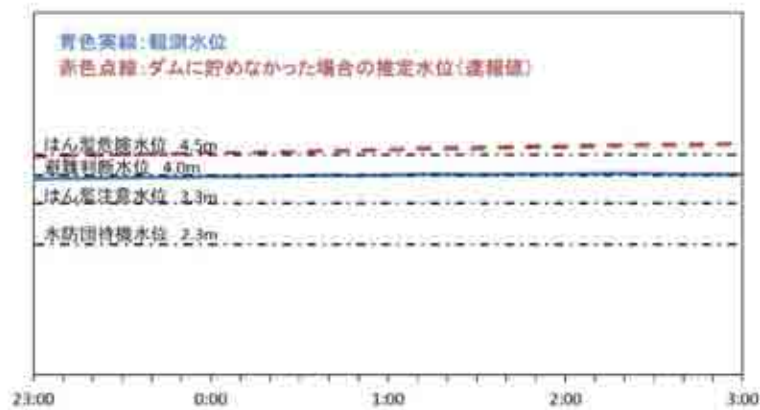


図4 リアルタイム広報資料 (2)

(2) 2014年度の運用課題

2014年度の防災対応のうち、延べ9回の洪水調節時にリアルタイム広報を実施した。

なお、8月上旬より接近した台風11号では、管内7ダムすべてが洪水調節を実施し、それに併せてリアルタイム広報を行ったが、手入力による作業を行ったところ、①淀川本部広報班として少なくとも1人以上の専属要員が必要であったこと、②7ダム全てが洪水調節を行った場合には、1時間に2～3施設の更新が精一杯であり、結果として、人員が確保された状況においても3時間毎の更新サイクルが限界であるとともに、職員の負担が大きかった。

(3) リアルタイム広報資料の自動化の取り組み

2014年度出水期の課題をふまえ、リアルタイム広報資料の作業簡略化を目指すこととし、図-3に示す作業フローの中の①及び②の部分を実行することとした。

データ取り込みには、エクセルのwebクエリ機能を活用することとした。webクエリ機能とは、表計算ソフトのExcelで、webページにある表データをワークシートに取り込む機能のことであり、この機能によりダム諸量や河川水位のデータをワンクリックで最新のデータに更新できるものとした。

データ取得自動化後の作業フローを図-5に示す。

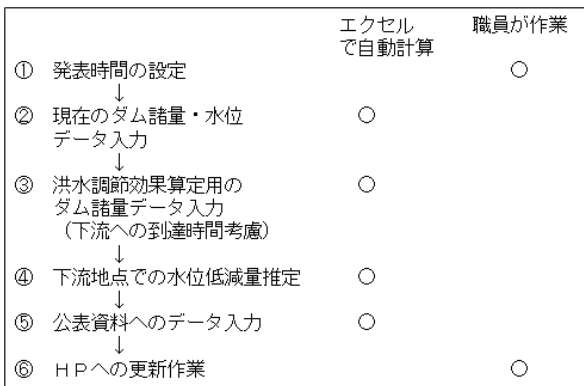


図-5 データ取得自動化後の作業フロー

このデータ取り込み自動化の取り組みにより、以下のメリットが挙げられる。

- ・作業時間を短縮し更新作業を軽減することができ、更新頻度を高めることができる。
- ・入力ミスの防止（到達時間等の確認ミスの防止や複数ダムの資料作成時におけるデータ取り違え防止）
- ・連続データの取得が可能となり、河川水位（ダムあり・ダムなし）の変動グラフが同時に作成できるようになった。

今回の改良にあたっては、水位データ欠測時などに誤ったデータが発信されることを防ぐため、作業開始時とHP更新作業にあわせた内容確認の作業は職員が直接行うこととしている。なお、留意点として水位観測所データが欠測となった場合には、自動取り込みができないため、手動入力のファイルについても同時に習熟訓練が必要となっている。

(4) 2015年台風11号での運用実績

2015年台風11号時には、広報班（主に事務系職員）が作業を担当し、日吉ダム及び一庫ダムのリアルタイム広報発表を実施した。台風11号では各ダム下流域での降雨も多く避難勧告等も発表されていたことから、毎正時の発表を実施することとした。下流河川水位低減推計値は毎時15分後には作業を終えることができ、迅速性をもった情報提供ができたと考える。

また、出水中には、本資料がSNSで紹介されるとともに、内容がわかりやすいとのコメントも確認された。

5. おわりに

ダムの操作に関する一般の方への情報提供のあり方としては、①即時性、②わかりやすさが求められており、機構全体でより一層の「見える化の工夫」が必要である。

今回、既存のシステムに若干の改造を加えることで防災業務の「見える化」の一助になったと考える。

このような取り組みは横断的に情報を共有しながら取り組むことが有効であると思われる。引き続き、よりわかりやすいダム管理の情報を、より効率的に、かつ職員の負担が増えることなく、情報発信できるよう取り組みを進めていきたい。

# 類似台風検索システムを活用した 防災行動計画について

大橋 幸一郎<sup>1</sup>

<sup>1</sup>近畿地方整備局 紀南河川国道事務所 調査第一課 (〒646-0003和歌山県田辺市中万呂142)

熊野川では、平成23年の台風12号による出水で、甚大な被害を受けた。この被災を教訓とし、紀南河川国道事務所では事前防災行動計画（タイムライン）の策定を行った。その中で、タイムラインの高度化に向けた取り組みとして、類似台風検索システムの構築を実施した。当システムは過去の台風の進路や気圧等を基に類似台風の選定を行い、より迅速かつ確実な事前防災行動を行うことを目的としている。本稿では、類似台風検索システムを構築し、平成27年度に活用した結果と課題についてとりまとめ、タイムラインにおける当システムの有用性とこれからの取り組みについて説明するものである。

キーワード 類似台風 タイムライン クロノロジー 洪水予測

## 1. はじめに

### (1) 熊野川の概要

熊野川は、その源を奈良県吉野郡天川村の山上ヶ岳に発し、途中で北山川と合流し、熊野灘に注ぐ流域面積2,360km<sup>2</sup>、幹川流路延長183kmの一級河川である。紀南河川国道事務所では、図-2のように熊野川本川は河口から5km、支川市田川は本川合流点より2km、支川相野谷川は本川合流点より5.7kmを国管理区間として管理している。



図-1 熊野川流域図



図-2 熊野川管内図

生するなど大きな被害が発生した。

これを受け、熊野川では、平成23年12月に激甚災害対策特別緊急事業に採択され、台風12号の再度災害防止を目的として、熊野川本川の河道掘削、堤防整備、堤防強化等及び、支川である相野谷川の輪中堤嵩上げ等を実施している。



写真-1 熊野川の越水による浸水



写真-2 鮎田水門付近の状況



写真-3 高岡輪中堤の転倒



写真-4 新宮市相筋地区の浸水

### (2) 平成23年台風12号による被害

平成23年8月25日に発生した台風12号は、熊野川上流の大台ヶ原地点にて6日間の総雨量が2,000mmを超える未曾有の豪雨をもたらした。基準地点（相賀）においては、計画規模（19,000m<sup>3</sup>/s）を大きく越える約24,000m<sup>3</sup>/sの洪水が起こり、国管理区間沿川で約3,000戸の家屋浸水が発

## 2. タイムラインの策定

### (1) タイムラインとは

近年、災害に対応するツールとして、米国のハリケーンに対する取り組み<sup>1)</sup>として導入しているタイムラインが注目されている。

タイムラインとは、事前にある程度被害の発生が見通

せるリスクについて、被害の発生を前提に時間軸に沿った防災行動を策定しておくことである。

熊野川において、浸水被害を生じさせる水害の多くは台風によるものであるという特徴がある。これまでに発生した主要洪水を表-1に示す。

表-1 熊野川における主要洪水

発生年月日	降雨成因	被害状況		
		浸水面積(ha)	床上浸水戸	床下浸水戸
昭和57年8月	台風10号	約270	約580	約2080
平成2年9月	台風19号	約280	約210	約370
平成6年9月	台風16号	約180	約40	約80
平成9年7月	台風9号	約380	約380	約1050
平成13年8月	台風11号	約170	約70	約30
平成15年8月	台風10号	約130	約40	約10
平成19年8月	台風11号	約110	約40	約10
平成23年8月	台風12号	約430	約2160	約1180

※上記の浸水面積及び浸水戸数については新宮市・紀宝町の合計値

タイムラインを導入することによって、以下の効果が期待され、今後の災害対応に関する手段として非常に有用なものである。

- ・ 早めの防災行動による避難行動・防災活動の余裕確保
- ・ 既往災害の「ふりかえり」を行うことにより、課題や教訓の継承が可能

(2) 熊野川タイムライン<sup>2)</sup>

紀南河川国道事務所では、従来、風水害対策運営計画に基づき、台風の進路を考慮しつつ、雨や水位の状況に応じて行動を実施する後追い型の防災行動を行っていた。しかし、水防警報や水位危険情報を出す際、昼夜問わず水防団待機・出動指示をする可能性があり、後追い型の防災行動では突然の待機・出動指示では対応しきれない恐れがある。沿川自治体等へ操作委託している樋門や水門の操作時も同様で、河川管理施設の確実な操作ができない恐れがある。

そのため、台風の状況に応じた対応レベルを表-2のように整理した。台風の接近状況、水位状況から各レベルに分別し、いつまでに誰が何をしなければならないかについて整理している。レベル2では専門調査員が流量観測施設の動作確認を行い、レベル3では電通・機械係が河川管理施設の点検業者へ待機指示を出す等具体的に整理した。

また、図-3に従来とタイムライン導入後の防災行動比較表を示す。従来では台風の進路や水位上昇等に合わせて防災行動を実施していたが、タイムラインを導入することで早めの防災行動を実施することができ、台風接近時における防災行動の余裕確保や必要な防災行動をより確実に行うことができる。

3. 熊野川洪水危機管理システムの構築<sup>3)</sup>

(1) 類似台風検索システムの構築

事前防災行動を認識し、行動する際に、災害対策本部を立ち上げ、その中で各班・係が業務をこなすのが通常の対応である。

表-2 各レベルの防災行動の事前整理

状況レベル	基準	防災行動項目	実行する係
レベル1	台風の発生～台風の中心位置が北緯20度以上、東経120度～145度にある	体制要員確保	全係
		河川管理施設の点検・調査	機械係
		災害対策用資機材の確認	地域防災調整官
		CCTV、テレメータの動作確認	電気通信係
		災害対策車の動作確認	機械係
レベル2	台風の中心位置が北緯20度以上、東経120度～145度にある～台風上陸2日前	工事施工業者への注意喚起	工務係
		流量観測浮子投下施設の現地動作確認	専門調査員
		洪水予測システム業者への注意喚起	調査係
レベル3	台風上陸2日前～水防団待機水位に達する	各種防災会議への出席	調査係
		流量観測業者待機指示	専門調査員
		航空写真撮影業者待機指示	調査係
レベル4	水防団待機水位～冠氾注意水位に達する	点検業者への待機指示	電通・機械係
		災害対策車の事前移動	機械係
レベル5	冠氾注意水位以上	水防警報(待機→準備→出動)	地域防災調整官
		洪水予測、水門・樋門の情報を自治体に提供	地域防災調整官
		水門・樋門操作員への出動指示	電通・機械係
		流量観測指示	専門調査員
		リエゾン派遣(必要時)	調査係
		随時操作指示	機械係
		監視体制強化	全係
		水門・樋門操作員の選定検討	機械係
		空操業者への出動指示	専門調査員
		避難・被災情報の収集	調査係
被害情報を本局へ情報提供	地域防災調整官		
応急復旧対策を検討	工務係		
記者発表資料の作成	調査係		



図-3 紀南河川国道事務所の防災行動の比較

今回策定したタイムラインを進める上で重要な要素の1つとなるのが、具体的にどの程度の期間内で、どの程度の内容の事前防災行動を行う必要があるのか把握することである。熊野川の主要洪水は台風に起因するものが多いことから、過去の類似台風を検索し、当時の水位や浸水状況を時系列順に把握できれば、行動及び判断を支援できると考えられる。さらに、確実な行動の確認を行う上で、チェック機能も併せ持った防災行動記録(クロノロジー)に基づくシステムの構築が必要である。ここに、クロノロジーとは、活動内容、気象情報、ライフライン状況、外部機関との連絡調整事項などのさまざまな情報を時系列で記録していくことを意味する。先に示したように、台風の状況に対して防災行動を行うタイミングを計るため、過去の類似台風の選定、資料整理及びクロノロジーや防災行動の完了及び未了のチェックについては、最後まで人の手で進めていた。そのため、図4に示すような構成で、これらを効率化するためのシステム構築を行った。

実際の運用方法は、統一河川情報システムから配信される現接近台風のデータを基に類似台風を検索することで、

- ① 当時の台風の水位の上がり方や浸水の範囲がわかる

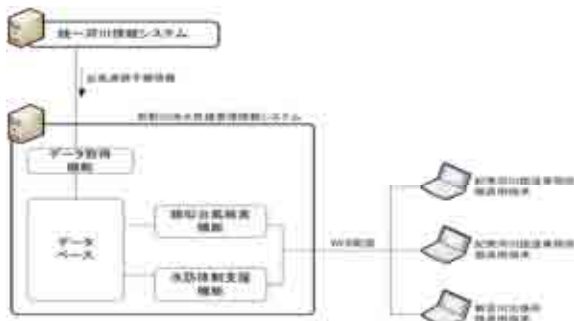


図-4 システムの概要

②過去の水防警報や避難指示のタイミングを把握することができる

これらのデータから、現接近台風に対して、水位の上がり方から水防警報のタイミング、あるいは避難勧告・指示のタイミングを計ることができるため、タイムラインにおける防災行動実施にあたって有益な情報となる。

(2) データベースに登録する台風の選定

類似台風検索システムにおける、台風のデータベース登録にあたって、熊野川に水害をもたらした可能性のある台風を整理する。熊野川に水害をもたらした可能性のある台風として、半径300kmの範囲を通過した台風を、検索システムのデータベースに登録した (162個)。

ここで、検索システムとして、162個の台風を類似台風の候補にすると、数が多いため業務に混乱を生じさせる可能性もある。また、熊野川に被害を発生させていないものも対象にしてしまう可能性がある。ここで、水防体制を支援するために必要な台風情報とは数ではなく、代表的な台風での水位、流量の予想や浸水被害の状況といった情報の提供であるので、162個の台風から以下の条件に合致する台風のみを選定した。

- ・熊野川において降雨量の多い台風
- ・治水基準点である相賀地点の流量が概ね10,000m<sup>3</sup>/s

以上となった台風

以上の結果から、表-3に示す21台風が選定された。この21台風の水文水理資料から想定される水位流量情報や、想定浸水範囲や浸水深について整理した。また、選定された21台風については、それぞれどのような特性を持つのかを検討した。台風の中心位置のトラックを繋げた線の情報では、台風コースの傾向を分析することが難しい。そこで、台風コースの整理方法として、北緯東経各2度のメッシュ情報として整理した。各メッシュサイズの例を図-5に示す。メッシュサイズを2度に決定した理由は、コースが判別できるとともに、データの“飛び”も発生しにくいサイズが2度のメッシュサイズであったからである。上記の方法で整理した台風コースを目視によってパターン分析することとした。

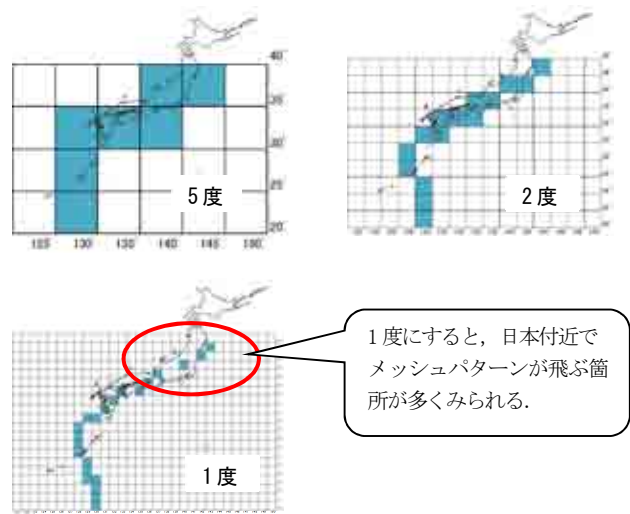


図-5 メッシュで表現された台風のコース

【例 平成26年台風19号 (201419)】

この結果、21台風のコースを図-6に示す5つのコースに分類した。また、台風のコースと気圧配置、前線の有無などを表-3に整理した。

表-3 選定された台風の諸元と分類されたコース

No	台風番号	出水名	発生時期	コースの分類	最低気圧 (hPa)	上陸直前気圧 (hPa)	日本付近の前線	前線の位置	日本付近の通過速度	相賀地点		備考
										2日雨量 (mm/2day)	実績水位 (m)	
1	195313	S280925	9月	①	900	930	有り	南寄り	速い			
2	195817	S330825	8月	①	970	970	有り	南寄り	速い			
3	195915	S340927	9月	①	895	950	有り	南寄り	速い	361.0	16.40	伊勢湾台風
4	196016	S350830	8月	①	970	970	有り	東寄り	速い			
5	196524	S400917	9月	⑤	935	945	有り	南寄り	速い	260.7	7.10	
6	196804	S430728	7月	③	925	970	有り	北寄り	ゆっくり・速走	529.4	13.60	
7	197123	S460830	8月	③	915	970	有り	東寄り	ゆっくり	345.0	10.82	
8	197506	S500822	8月	②	965	970	有り	東寄り	速い	486.2	13.15	
9	198210	S570801	8月	④	900	960	有り	東寄り	速い	364.0	10.42	
10	199019	H020919	9月	⑤	890	985	有り	北寄り	速い	380.0	12.56	
11	199426	H060929	9月	①	925	945	有り	東寄り	速い	401.0	11.99	
12	199709	H090726	7月	①	920	960	有り	北寄り	ゆっくり・速走	547.0	13.57	
13	200111	H130821	8月	③	960	965	無し	—	ゆっくり	513.0	11.72	
14	200310	H150808	8月	⑤	945	950	有り	北寄り	速い	408.0	10.58	
15	200411	H160804	8月	④	996	998	有り	北寄り	速い	293.0	11.86	
16	200423	H161020	10月	⑤	940	950	有り	南寄り	速い	293.6	11.80	
17	201106	H230718	7月	③	935	960	無し	—	ゆっくり・速走	627.0	12.78	
18	201112	H230902	9月	④	970	970	無し	—	ゆっくり	1159.6	19.18	平成23年台風12号
19	201115	H230920	9月	③	940	950	有り	真ん中	速い	288.9	10.56	
20	201318	H250916	9月	③	960	980	有り	北寄り	速い	444.0	10.08	
21	201411	H260810	8月	⑤	935	970	有り	真ん中	速い	546.0	10.85	

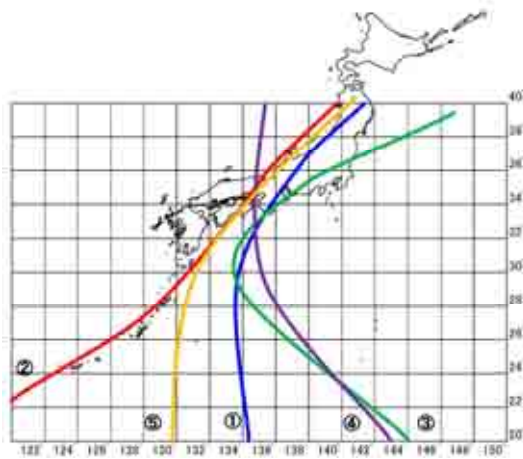


図-6 選定された21台風のコース

- ①南から北向きに進み、近畿地方付近を横断するコース
- ②南西方向から近畿地方へ一直線に進むコース
- ③南東方向から北西方向に進み、四国沖付近で大きく屈曲し東北方向へ進むコース
- ④南東方向から紀伊半島の南岸に進み、その後北向きに日本列島を横断するコース
- ⑤南南西方向から四国沖に進み、その後、北東方向に進むコース

**(3)ニューラル・ネットワークによる台風検索**

類似コースによる台風検索機能として、多量のデータから適合度の高いデータのパターン認識が可能なニューラル・ネットワークを用いて、以下の手順で検索を行った。詳細については、様々な文献等<sup>4)</sup>で紹介されていることから、説明を割愛する。

- ①ニューラル・ネットワークを用いて、過去の台風コースのパターンを記録（学習）する。
  - ・データを学習させることで、発生した台風に対して最も類似したパターンを選定することが可能である。
  - ・入力は、図-5のメッシュ化した台風コースを想定
  - ・出力は、表-3の台風番号を想定
- ②台風発生時は、「実況+予測」の台風コースを入力することで、学習したパターンに適合した台風番号を出力する。

構築したネットワークモデルを用いて、学習計算後、モデルを用いて計算に利用した台風コースを入力し、入力した台風を検索可能か検証した。これによれば、熊野川近傍を通過した台風による学習（162台風）では、的中率は21%と低い。この原因として、同様のコースを通過する台風が多いために、的中が困難となったと考えられる。一方、熊野川において降雨量の多い台風による学習（21台風）では、的中率は100%と高い。これは、学習ケースが少ないために学習が容易であったためと考えられる。

**(4)水防体制支援システムの構築とタイムラインの課題**

熊野川洪水危機管理情報システム上で、類似台風検索システムとは別に、災害対策本部運営計画、水防計画書より防災行動項目を整理し、状況レベルごとに防災行動を整理した水防体制支援システムを構築した。

統一河川情報等より得た現接近台風の予測データを基に現在状況がどのレベルにあるかを表示し、いつ、誰が、何をしなければならないのかを抽出している。

また、このシステムには各班の役割、災害行動の対応、未対応をチェックする機能がある。これらを駆使することで、

- ①いつ、誰が、何をするのかを把握でき、漏れの無い防災行動が可能となる。
- ②従来口頭もしくは手書きで行っていた防災行動のチェックがシステム上で可能となり、かつ関係職員に共有ができる。

これらの利点から、より確実な事前準備、河川情報提供、河川管理施設の操作へ寄与すると考えられる。

タイムラインにおける防災業務の中で、レベル2では、必須項目（直ちに対応すべき事項）が多く、必要に応じて実施する事項が少ないことがわかった。レベル3以降では、台風が接近するに伴って、河川の水位、雨量などを確認しながら、必要に応じて実施する事項のウェイトが多くなる。もし、台風が予測進路からはずれ、流域に被害をもたらすような降雨が発生しなくても、行政側の事前準備が万全である状態になるということを示している。

このような体制の下で、既往の特性の異なる台風が接近したことを想定し、各レベルでの時間を算定した。その結果を表-4に示す。

表-4 各レベルにおいて確保される時間

代表的な台風	レベル2	レベル3	レベル4	備考欄
S34.9.27	9時間	2.5日間	2.3日間	伊勢湾台風
S50.8.22	1.8日間	1.2日間	2時間	
S43.7.28	2.5日間	21時間	12時間	
H23.9.2	6.3日間	10時間	3時間	紀伊半島大水害
H2.9.9	2.5日間	1.7日間	4時間	

これによれば、伊勢湾台風でのレベル2での事前準備に要する時間を確保することが、台風の色度が高いため厳しく、余裕がない状況にある。一方で、レベル3,4では2日程度あるため、レベル3段階でレベル2の残務があっても、挽回できる結果となった。また、紀伊半島大水害をもたらした平成23年9月台風12号は、レベル2の時間が長く、事前準備の時間が確保できるが、レベル3,4では時間を確保することが難しくなることがわかった。これは、太平洋上をゆっくり進みながらも、台風上陸前から降雨が降り続いたことから、河川水位が台風上陸前から上昇し、レベル3,4での対応が迫られる中で時間が確保できないという状況にあったことが予想された。

このようにタイムラインでの対応を考える際には、台



風に着目しても、特性の違いによりそれぞれのレベルでの対応に要する時間の確保が難しくなることが想定される。今後、速度によらず、降雨・流出が上陸前に発生することも踏まえた防災体制を想定しておくことが重要である。

#### 4. 平成27年9月台風18号でのシステム運用

前述のシステムを、平成27年9月台風18号接近時に実際に使用した。その際の類似台風の選定及び水防体制支援システムの操作実績から、今後のシステム運用上における課題の抽出を行った。

##### (1)類似台風の選定

今回発生した台風が熊野川にどれだけ影響を与えるのか把握し、タイムラインにおける防災行動を支援するため、類似台風検索システムから本台風と類似性を持つ台風について検討し、選定を行った。気象庁の発表では、台風18号は9月7日午前3時に発生し、上陸予想地点は紀伊半島の東側になる予報であった。この類似台風の選定は後の事前防災行動の動きに影響を与えるため、早急に決定する必要があった。その中で、紀南河川国道事務所では一つの決定方針として、台風が北緯25度付近に到達するまでに類似台風を選定することとした。類似台風検索を台風発生確認後の9月7日16時および北緯25度付近まで接近した9月8日9時の時点でを行った。

この2回の類似台風検索によって、コースの類似性の高い台風が9つ、中心気圧の類似性の高い台風が5つ、計14台風が選出された。一方で、台風18号は、紀伊半島の東側に上陸後、近畿地方周辺を通過し、日本海に抜けることが気象庁から予報されていた。検索によって選出された14台風の中で、上記予報を満たした台風は1つのみとなり、昭和57年8月台風10号(8210)が検索から選出された。選定した類似台風を図-7に示す。しかし、昭和57年8月台風10号(8210)の中心気圧は予測最低気圧900hPaで、台風18号の中心気圧は予測最低気圧985hPaと大きく相違する結果となっていた。これらも踏まえて、総合的に判断した場合、この台風が最も類似していると判断した。

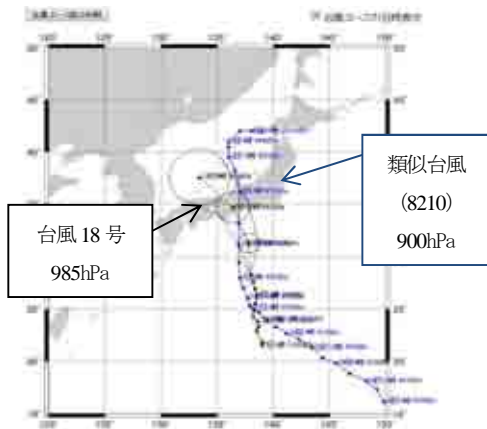


図-7 類似台風検索結果

##### (2)防災体制

＜台風発生時（タイムライン始動）＞

台風が発生したタイミングで、類似台風の選定作業と同時進行で、事務所の事前防災行動として、レベル2、レベル3の対応を行った。レベル2、レベル3の実施行動については、今回台風発生から最接近までの期間が、気象庁の予報では2日間しか猶予がなかったため、7月14日～7月16日に接近した台風11号時に詳細にレベル2、レベル3の確認をしていたことから、今回台風接近時では再度確認の範囲で実施することにした。このような判断が可能になった背景には、水防体制支援システムに台風11号時の行動を保存していたことがある。これから先データの蓄積が進むことで、台風接近時の行動がより効率化できることが期待できる結果となった。

＜上陸1日前（類似台風選定時）＞

類似台風の選定が完了したことで、類似台風と台風18号を時刻同期させ、水防警報等の発令時刻、水位・流量のピーク時刻を予測する。類似台風との時刻同期の方法として、

- ①選定時点の台風位置情報を元に時刻同期させる方法
- ②上陸予定時間を元に時刻同期を行う方法

の2つの方法で時刻同期を行った。①の方法では、台風18号のピーク流量・水位のタイミングが9月9日午前3時となった。気象庁発表の上陸予定時間は9月9日12時頃の予報となっており、上陸予定時間より9時間早くピークとなる結果となった。これは、昭和57年台風10号は台風18号より進行速度が速かったためであると考えられる。

次に、②の方法で時刻同期すると、ピーク流量・水位のタイミングが9月9日12時となり、台風上陸時間とほぼ同じとなった。よって時刻同期は②の方法で実施した。時刻同期を行ったことによる水位予測と、水防体制支援システムへの反映状況を図-8に示す。結果として、支川相野谷川流域の高岡地区で、9月9日午前2時に水防警報を発令するという予測となった。この時刻を目安に、気象庁の予報等に注意しながら防災行動を行うこととなった。

＜上陸10時間前（選定結果のタイムライン反映）＞

今回の台風では、9月9日午前2時頃に注意体制に入る可能性が高くなったことを受けて、深夜に防災体制を実施する形で防災行動計画を見直した。また、水位予測を確認すると、高岡地区でピーク時7m付近まで上昇する予測となっていたため、レベル5を見越して準備する必要がある結果となった。ただし、選定台風と今回発生台風との間で中心気圧が大きく違うため、その部分に関しては注意して実情を見ていく必要がある。また、類似台風の選定結果について沿川自治体に情報共有した。図-9に紀宝町とのテレビ会議中の状況を示す。

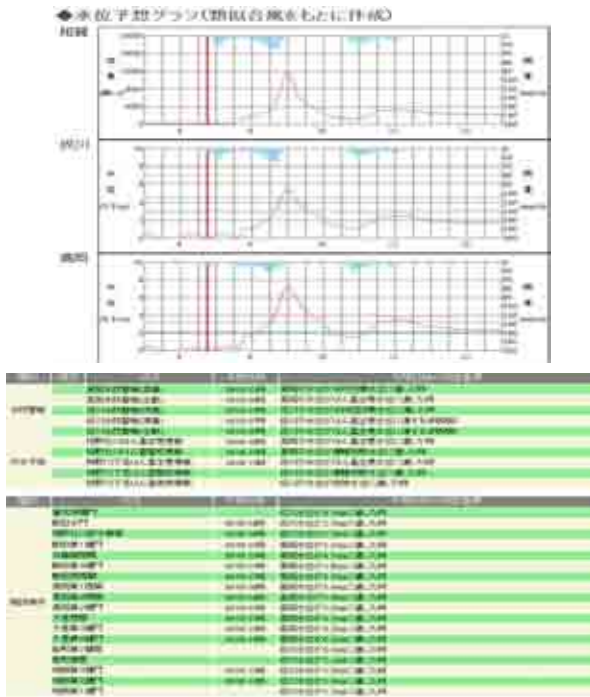


図-8 ピーク流量と水位予想グラフおよび水防体制支援システムへの反映



図-9 紀宝町テレビ会議の状況

<上陸時(台風最接近時)>

台風18号接近時、実際、降雨量は予想されたほどではなかった。最も水位が上がる予測であった相野谷川高岡水位観測所の水位は2m程度で収まる結果となった。予測と水位が大きくずれた理由として、類似台風と実際台風の間にある中心気圧差によるものが大きいと考えられる。類似台風選定时に、台風コースだけでなく、実際の台風の状態を注視していく必要があると認識していたが、想像以上に水位が上がらず、レベル4に移行しなかった。

(3)システム運用における課題

台風18号接近時にシステムを運用してみて、一番の課題となったのが、過去台風からの選定であるため、現接近台風とのずれが生じる点である。このずれはタイムラインの対応時間に直結するため、ずれが大きいほど、確実な行動をとれない可能性が高くなる。類似台風の結果だけでなく、気象庁の台風予報、降雨予報値、洪水予測結果から適宜情報収集し、総合的に防災行動を判断す

ることが必要なることを改めて確認した。現在のシステムでは、図-10に示すように、トップ画面で洪水予測システムや気象庁ホームページとリンクしており、他のシステムと連携を取りやすい内容に構築している。



図-10 洪水危機管理情報システムのトップ画面

また、類似台風の選定までの速度が、後の事前防災行動に変化をもたらすことから、迅速な類似台風選定が必要となってくる。今回の台風のような、発生から接近までの時間が短い台風にも対応できるように、誰でも素早く選定できるよう、ある程度の選定基準が必要になってくると感じた。

5. おわりに

タイムラインのさらなる高度化のため、熊野川洪水危機管理情報システムを構築し、平成27年の出水時に活用した。結果として、台風18号に類似した台風を選定し、過去の台風を例にして、事前防災体制を行うための参考となった。

今後の課題として、類似台風と実際の台風の間にあるずれをどうタイムラインに反映させるのか考える必要がある。この課題に対して、実際の台風に対してどのような行動を行ったのか記録し、実績とシステムによる防災行動計画とのずれを蓄積していくことが重要である。蓄積したデータから、情報のずれについて精度向上を図ることで、タイムラインにおける防災行動を確実に行うことができ、さらなる防災、減災につながると考えている。

参考文献

- 1) 国土交通省：米国ハリケーン・サンディに関する現地調査、先を見越した水害対応（事前行動計画）について、平成25年10月  
(<http://www.mlit.go.jp/river/kokusai/disaster/america/>)
- 2) 加藤：熊野川タイムラインの取り組みについて、平成27年度近畿地方整備局管内技術論文，防災・保全部門：No.09
- 3) 田中・由良・佐々木・白波瀬・下川・加藤：実績台風進路に基づく防災事前行動計画の作成とそれを支援する類似台風検索システムの構築，河川技術論文集第21巻，2015年6月
- 4) 熊沢：学習とニューラル・ネットワーク，電子情報通信工学シリーズ，森北出版，1998年7月

# 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開通後の検証について

前中 遼<sup>1</sup>・板 真二<sup>2</sup>

<sup>1</sup>近畿地方整備局 豊岡河川国道事務所 道路管理課 (〒668-0025 兵庫県豊岡市幸町10-3)

<sup>2</sup>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、2012年11月24日（土）に供用開始し、供用から4年目を迎える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。本橋は降雪地帯に位置し、同地帯のアーチ橋に見られる、左右のアーチリブ及びそれを繋ぐ横支材に積もった雪が落下して本線上の走行車両に損傷を与える事象を防ぐために、落雪対策構造を検討・施工したものである。

今回は、開通後3年4ヶ月を経て発生した落雪事故を受け、その対策方法と今後の維持管理について検討を行うものである。

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

本橋は、路面が主桁の下部にある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、及び5本の横支材を有している。左右合わせて40本の斜めケーブルで支持され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。

大屋川橋の諸元を表-1に、一般図を図-1に示す。

表-1 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、近隣の気象データによると、架設までの過去5年間の最大日降雪量は、51cm/日、各年度の平均日降雪量が24cm/日で、最低気温は-7.3℃である。

本橋路面下には、本橋と直交する一般道と養父ICのチェーン着脱場がある。

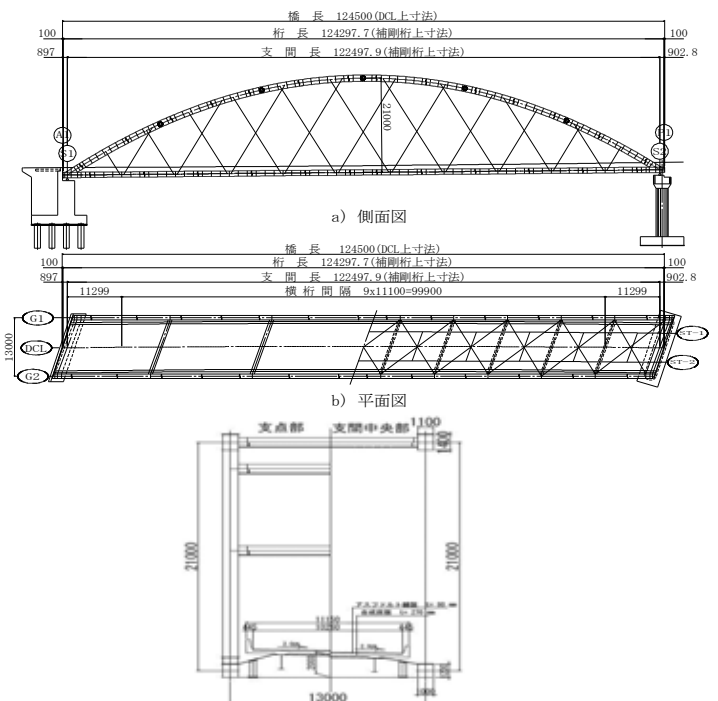


図-1 一般図

### 3. 落雪防止装置

豊岡河川国道事務所管内においても、一般道である国道9号の池田橋（2010年に撤去）で2004年1月9日にアーチリブを繋ぐ横支材から落雪し、通行車両が損傷する事例が発生している。この対策として、高所作業車を用いて人力で雪落としを行っていた。しかし、当該路線は、自動車専用道路であり、交通規制が必要であることや冠雪を確認後の作業となるため落雪が起きてしまう危険性が考えられる。本橋では、これら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し、効果的な落雪防止対策として、「融雪させようで滑雪させる工法」を検討し施工した。

落雪防止装置として、幅1160mm、長さ2200mmの雨樋型形状をしたステンレス鋼材の落雪防止パネルを設置した。また、融雪及び滑雪をさせるため、パネル表面に光触媒防汚フィルムを、写真に示すように、アーチリブ上方にヒーターをそれぞれ取り付けた。

パネルの形状は、アーチリブにおいて、本橋と交差する一般道への落雪を防ぐために、雨樋型を採用した。そして、横支材においては、アーチリブへ滑雪させることが構造上、困難であることから、光触媒防汚フィルムにより滑雪させるよう、屋根型パネルを設置した。

写真-1に落雪防止装置取付後を示す。

#### (1) ヒーターによる融雪

融雪には、制御・管理のしやすい電気式の線状ヒーターを用い、電気受電施設及び経済性を考慮し、設置する範囲をアーチリブ上方とした。これは、アーチリブ上方で解けた雪が下方に滑雪し、そこに積もった雪を併せて取り除くような構造を想定したものである。また、ヒーターによる熱を少しでも逃がさないために、パネルの裏側に、20mm厚の保温材を設置した。

ヒーターの制御に関しては、降雪センサを用いて、自己制御で行えるようにし、外気温が5℃以下であることと降雪センサが水分を検出したことの2つの条件がそろったときにヒーターが作動する構造とした。

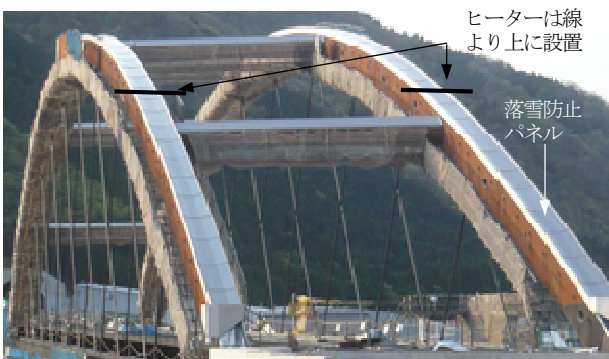


写真-1 落雪防止装置取付後

#### (2) 光触媒防汚フィルムによる滑雪

光触媒防汚フィルム（以下、フィルム）は、光触媒技術の特徴であるセルフクリーニング効果を利用し、滑雪面の経年劣化や汚れによる滑雪効果の低減を防ぐことができる。その効果とは、光触媒酸化チタンが紫外線に当たることによって放出される活性種（活性酸素種）の作用により、フィルムの表面に付着した汚れ等が分解される。その後、表面に水が発生すると、もう1つの効果である「超親水作用」により、水がフィルム表面に一様に広がり、汚れとフィルムの間に水が入り込み、汚れを浮き上がらせて洗い流すという効果である。これによって、滑雪効果を低下させる汚れの付着を防止でき、雪が解ける等で水が発生すれば、汚れとともに滑雪させることができる。

### 4. 発生した落雪による車両損傷事故

上記で述べた対策を施していたが、2016年3月1日12時35分頃に高さ11mの最も南側に位置する横支材から長さ約3m、幅0.57mの落雪が起きた。走行車両のフロントガラスに直撃し、損傷している。

写真-2,3に落雪時のドライブレコーダの画像、表-2に事故当時の周辺の積雪等気象状況を示す。



写真-2 落雪時のドライブレコーダ（その1）



写真-3 落雪時のドライブレコーダ（その2）

表-2 事故当時の周辺の積雪等気象状況

時刻	気温℃	積雪深cm	風向	風速(最大)m/s
9:00	-0.2	15	無風	0(0)
10:00	3.1	14	東南東	1.1(2.1)
11:00	3.5	12	北	1.2(3.3)
12:00	5	8	南東	1.6(2.5)

## 5. 現場検証

落雪事故を受け、高所作業車を用いて、現場検証を行った。雪が落下した横支材を高所作業車を用いて、近接目視し、以下の3点を確認した。

- ①落雪した箇所フィルムにずれや剥離があること。
- ②他の横支材にフィルムの無いパネルがあること。
- ③アーチリブのフィルムに剥離があること。

①の落雪した箇所を写真-4に、③の箇所を写真-5に示す。写真からも分かるように、フィルムがずれ、上部がめくれたことにより、その部分が抵抗となり、雪塊となって落ちてきたと考えられる。

現場検証の際に、工事受注者及びフィルムを施工した業者にも立会を依頼し、現在、フィルムの機能がまだ生きているのか、なぜ、めくれやズレが発生したのかを分析して頂いた。

光触媒の機能については、表面に水を拭きかけたところ、水滴ができず、すぐに流れ落ちたことから親水作用は残っていることは確認できた。

写真-6に落雪箇所での光触媒機能確認試験を示す。

フィルムのはがれ等については、フィルムが全体的に下方にずり落ちていたことや写真-7に示すように、浮きによりフィルムに気泡ができていたことから、パネル接着面のステンレス板との相性の悪さや温度差等の環境の影響



写真-4 落雪した箇所（剥離が発生）



写真-5 アーチリブのフィルムの損傷

響が粘着剤にとって悪条件となり、経年劣化が予想よりも進んでしまっている。

以上のことから、フィルムの耐久性は限界に近い状態となっていることが予想され、ずれやはがれが進行すれば、今回同様の落雪事故が発生するリスクがより高まることが考えられる。よって、フィルムをすべて取り外し、新たな落雪防止対策を講じるなどの検討が必要である。

写真-7に、チェーン着脱所を利用した現場検証を示す。

## 6. 今後の対策案の検討

横支材への新たな落雪防止対策として、6つの対策案について検討を行った。

### a) 光触媒防汚フィルム

光触媒防汚フィルムは本橋の横支材及びアーチリブに施されており、光触媒の効果は前述したとおりである。しかし、現在、このフィルムを製作しているメーカーが無く、施工するのは困難である。

### b) 光触媒塗装

光触媒塗装は光触媒の効果塗料に用いた施工方法である。今のところ、施工された例はなく、フィルムによる滑雪効果については実証されているが、塗装について、その効果は未知数であり、耐候性についても同様である。

### c) ふっ素塗装

ふっ素の撥水効果により滑雪させる工法である。北海道や新潟県、岐阜県の橋梁に用いられており、施工実績が多い。しかし、滑雪の効果は年が経つ毎に激減してし



写真-6 落雪箇所での光触媒機能確認試験



写真-7 チェーン着脱所を利用した現場検証

まい、3年程度で塗り替えが必要となる。

d) ステンレス板

北海道の橋梁に用いており、金属表面のなめらかさにより滑雪させる工法である。汚れの付着等により滑雪効果が低下するため、一定のサイクルで洗浄や研磨が必要である。

e) ヒーター

本橋のアーチリブ上方に用いている電気式ヒーターを用いて融雪する工法である。北海道や新潟県の橋梁でも施工実績がある。本橋の実績により、融雪効果の確実性が高く、現在まで、ヒーターの制御に関するトラブルは報告されていない。

f) 散水

水を用いて着雪を防ぎ、融雪する工法である。現在までに施工された実績はなく、電気式ヒーターに比べると、確実性には劣ると考えられるが、未知数である。また、散水融雪設備が必要となるため、設備及びそれを取り付ける施工規模が大きくなることと考えられる。

落雪防止装置としての効果の確実性及び施工性を考慮し、横支材への新たな落雪防止対策としてヒーターを設置することとした。

①については、横支材が計5本、1横支材当たり7枚のパネルがあるため、合計で35枚を取り外す。取り外したパネルは本橋路面下の養父ICのチェーン脱着場に保管する。③については、アーチリブの電線の子備管を用いるため、横支材に近接するアーチリブの雨樋型パネルを取り外し、通線を行う。また、ヒーターを追加するため、制御盤の改造も必要である。

④についても、①の取り外しと同様に、横支材にヒーターを設置した屋根型パネルを取り付ける。

施工手順より、②を除く作業において、全面通行規制が必要である。そのため、年に1度行うリフレッシュ工事期間を利用し、通行規制区間を養父ICから八鹿氷ノ山ICの区間とする10日間の終日全面通行規制が必要である。

写真-8にパネルに設置している線状ヒーターを、表-3にヒーター設置にかかる概算費用をそれぞれ示す。

北近畿豊岡自動車道は今年度に八鹿～日高間の延伸・開通を予定しており、交通量の増加が予測される。降雪時期に今回発生したような落雪事故を起こさないための対策を講じる必要があるが、9月～10月に予定しているリフレッシュ工事期間内で作業を完了しなければならないため、現在、降雪効果のあるふっ素塗装での暫定的対応を検討している。

7. 横支材へのヒーターの設置

アーチリブを繋ぐ横支材への光触媒防汚フィルムに変わる落雪防止対策として、アーチリブの上方に設置している電気式のヒーターを横支材にも施工することを検討した。大屋川橋架設工事でのヒーターの施工業者に横支材パネルへのヒーターの取付に関する依頼し、その内容について、打合せを行った。施工の手順は以下のとおりである。

- ①横支材の屋根型パネルを取り外し、本橋路面下のチェーン脱着場に保管。
- ②チェーン脱着場で取り外したパネルにヒーターを取付。
- ③制御盤から横支材に通線。
- ④チェーン脱着場に保管された屋根型パネルを横支材に取付。



写真-8 パネルに設置されている線状ヒーター

8. おわりに

本稿では、供用開始から4年目を迎え、落雪防止装置を施工していたが、落雪事故が発生した。これにより、光触媒防汚フィルムの耐久性が当初想定していたよりも早い段階で限界に近い状態になっていたことが明確となった。

今後の維持管理として、横支材への新たな落雪防止装置の設置について、関係機関との調整及び予算の確保を行い、横支材へのヒーターの設置と今年度の雪寒時期への対策として降雪効果のある塗装の施工を検討し、迅速に対応を進めていく必要がある。

末尾として、本稿が、橋梁に対する落雪防止装置を検討する際の一助となれば幸いである。

表-3 ヒーター設置にかかる概算費用

設計費	1,900,000
パネル取り外し、取付費	6,800,000
ヒーター材料・設置費	12,200,00
合計（諸経費含む）	30,000,000

**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，宇部エクシモ株式会社，株式会社テクノカシワの設計・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)山田優：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，平成25年度近畿地方整備局管内技術発表会，2013.7
- 5)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

# 2015年9月関東・東北豪雨による 鬼怒川の越流破堤要因および 模型実験による粘り強い堤防構造の検討

常田 賢一<sup>1</sup>

<sup>1</sup> (一般財団法人) 災害科学研究所 (〒565-0871 大阪市高麗橋4-5-13)

本文は、2015年9月の関東・東北豪雨により越流破堤した鬼怒川の堤防について、現地調査に基づいて、堤内地の落堀による浸水流速の増加が、堤防の侵食、破堤区間の拡大の一要因であることを指摘している。さらに、上記の浸水被害を受けて、堤防技術検討小委員会は越流に対して粘り強い堤防構造として、天端舗装、裏法尻のブロック設置を例示したが、本文は、現地調査に基づいた越流対策の考え方を提示するとともに、その具体化策として“かご工”に着目し、期待される粘り強さ機能を想定し、越流模型実験により検証した結果を報告する。

キーワード 洪水、越流破堤、現地調査、室内実験、粘り強さ、越流対策、かご工

## 1. はじめに

2015年9月8日から10日にかけて、関東地方では台風18号によって刺激された秋雨前線の降雨に加え、台風から変わった温帯低気圧と台風17号により、鬼怒川上流域では線状高水帯と呼ばれる状況になり、長時間にわたり強い雨が降り続いた。その結果、10日の12:50頃、左岸21km地点の常総市三坂地区において、堤防が約200mにわたり決壊し、甚大な浸水被害が発生した<sup>1)</sup>。

本文は、越流により上記の破堤箇所の堤内地に形成された落堀に着目し、越流破堤さらに破堤の拡大との係わりを考察する。また、現地調査などから越流に対する粘り強い堤防構造を整理する。さらに、治水対策検討小委員会<sup>2)</sup>は、上記の浸水被害を受けて、越流に対して粘り強い堤防構造として、天端舗装、裏法尻のブロック設置を例示したが、本文では、具体的な越流対策として“かご工”に着目し、越流模型実験により裏法尻の越流に対する粘り強さの向上性を検証する。

以上の結果、落堀が越流破堤と破堤拡大に深く関係すること、“かご工”の技術的な可能性が得られた。

## 2. 破堤・浸水状況と落堀に関する現地調査と知見

洪水および越流、浸水に関しては、鬼怒川堤防調査委員会（以下、調査委員会）の調査結果<sup>1)</sup>の多くを参考に

するとともに、落堀に着目した現地調査に基づいて考察して、得られた知見を報告する<sup>3)</sup>。

### (1) 越流、破堤、浸水の状況

調査委員会の資料に基づく、越流、破堤および浸水の基本的な状況は、以下のように整理できる。

#### a) 破堤地点の堤防高

破堤地点は堤防高 Y.P.20.88m、地盤高 Y.P.18.00m であり、堤防高は 2.88m、ほぼ 3m である。なお、Y.P. (江戸川工事基準面) は Yodogawa Peil の略であり、江戸川堀江の水量標の 0 を基準とした江戸川、利根川、那珂川等の水位の基準である (Y.P.=T.P.+0.84m)。

なお、上流 160m 地点 (堤防高 Y.P.22.08m) と下流 120m (同 Y.P.21.13m) 地点の間で、堤防の天端高が線形的に推移していると仮定すると、破堤地点の天端高は 0.66m 低かったと推察される。



写真-1 12:10頃の越流状況<sup>1)</sup>



**b) 破堤地点のピーク水位とその時刻および越流深**

写真-1は12:10頃の越流の状況であるが、越流深は浅く、天端からパトロールのライトバンの車体底部までの高さ(約20cm)が確認されている。さて、破堤箇所の上流の水位観測点の鎌庭地点(27.34k)では、水位のピークは12時に5.76mであり、他方、下流側の鬼怒川水海道地点(10.95k)では、水位のピークは13時に8.06mである。従って、破堤地点(21.0k)では、上流の鎌庭地点から23分後の12:23に水位がピークに達し、両観測地点のピーク水位から、破堤地点の水位は6.65mと推察される。

よって、12:10頃の20cm程度の越流深は、ピーク水位の12:23頃に、20cmより増加し、破堤の12:50頃まで越流が続いたことになる。ここで、鎌庭地点のピーク前の6時の水位4.46mと12時の水位5.76mからは、時間当たりの水位上昇量は0.21m程度になる。従って、破堤地点も同様な上昇率とすると、12:10から12:23までは0.05m増加したと推察される。同様に、鬼怒川水海道地点の水位変化からは0.11mの増加になる。

以上から、破堤地点のピーク水位時の越流深は、 $20\text{cm} + 5 \sim 11\text{cm} = 25 \sim 31\text{cm}$ 程度であり、最大でも0.3~0.5m程度と推測される。

**c) 越流開始の時刻と越流継続時間**

国土交通省の職員、情報把握員、河川巡視員の聞き取り、写真によると、遅くとも11時11分に越流が開始し、12:05時点では破堤していないと推察される。また、破堤地点の対岸にある篠山水門のカメラは、破堤の開始に気が付いて撮影開始したとされ、その時刻は12時52分16秒である。そのため、破堤の開始を12:52頃として、越流開始を11:11とすると、破堤開始までの越流の継続時間は1時間40分程度と推測される。

**d) 破堤の進行継続時間と浸水が停止した時刻**

破堤の経緯は、12:50頃に20mが決壊し、13:36に80m

に拡大し、最終的に200mに拡大したとされる。その途中、破堤箇所の近傍で撮影された写真および15:18の空撮の**写真-2**によれば、13:27~15:18までの破堤幅がほぼ同じ程度であり、15:40では14:16よりやや下流側に侵食が拡大している。

従って、少なくとも、破堤開始の12:50から15:40までの2時間50分の破堤の範囲は、**写真-2**のGSの北側の80mの区間の付近に止まり、GSの南側(下流側)の破堤の拡大、進行はしていないと推測される。

その後、破堤区間の下流端の侵食が進行し、破堤は拡大を続け、GS背後の木立は流出し、破堤区間が200m付近まで拡大したが、想定水位の時刻歴によると、水位はY.P.20m程度に低下しているので、破堤幅80mから200mまでは39分の経過であり、80mまでより破堤の拡大は早かったと推察される。

以上から、破堤の進行継続時間は3時間30分程度であり、その後、河川水位の低下により浸水の勢いは低下し、10日の22:00頃に堤内地盤高のY.P.18mに達した時点で、堤内への浸水は止まったと推察される。

従って、破堤の進行終了後の堤内地への浸水時間は、16:19から22:00までの5時間40分程度であり、堤内地への浸水継続時間は、11:11から22:00までの10時間50分程度と推測される。

**e) 堤内地への浸水、侵食状況**

浸水による堤内地の地盤の侵食、落堀の形成は、浸水状態(浸水方向、浸水時間など)に左右される。**写真-2**から、以下の侵食状況が推察される。

- i) 流れ①と②が波立って勢いよく流入し、これらの流路に当る現地盤の侵食、落堀の形成が顕著となった。
- ii) 破堤区間の中央部の流れ③が緩やかなのは、ゾーンIの侵食が僅かであったからである。これは、浸水終了後の堤防底面の地盤の残留からも分かる。



写真-2 15:18の破堤状況：国土交通省関東地方整備局の提供／追記は著者による

iii) 堤内地での浸水の主たる流れは、流れ④と⑤であるが、破堤の初期に流れ④が先行したため、流れ④の流路の侵食が顕著であり、測定の結果からも分かる。その後、南側に拡大し、復旧延長の201mに至った。

iv) 破線⑥は県道 357 号であり、流れが乱れているが、道路を越流して落水している。従って、15:18 時点では、道路の決壊箇所の舗装は残留していたと思われる。

v) ゾーンⅡの流れは穏やかな状態にあり、測定結果あるいは浸水終了後の現地状況からも分かるが、侵食は軽微なゾーンである。

vi) ガソリンスタンド (GS) の南側は、写真-2 の 15:18 以降、侵食が拡大し、浸水するが、北側よりも⑦の浸水が遅れたため、堤内地の侵食、落堀の形成も GS の北側と異なり、小規模に止まった。そして、GS およびその南側の道路の舗装は残留した。

vii) 初期の破堤延長は 20m とされ、この破堤後は、破堤区間に隣接する堤防での越流は無く、浸水による上下流の破堤断面の侵食により、破堤が拡大している。

以上のように、浸水の流向を左右する要因は、堤防の拡幅部、立木、住宅などがある。例えば、写真-2 で堤内地の上流向きの流路④の形成原因は、破堤区間の下流端付近にある GS 背後の堤防拡幅部、倉庫が浸水による侵食に粘り強く抵抗したためと推察される。

る。延長 400m～500m ほどの範囲に、浸水痕、つまり落堀が形成されている。水が溜まっている部分は特に深掘れした箇所であり、浸水方向に細長く、落堀は卓越して形成されている。本文では、浅く広がる侵食を一次侵食(面)、さらに深い侵食を二次侵食と呼ぶ。

10月3日に侵食、言い換えると落堀の深度の把握を実施した。滞水域である二次侵食箇所(写真-4)の水深は、釣竿で重りと浮子を付けた釣り糸を投げ入れて計測した。計測した水深に水面と一次侵食面の比高差、一次侵食面と侵食前の地表面の比高差を加算して侵食深を算出した。計測結果は図-1 であるが、最深部は4.9m であり、その分布から落堀の形成特性などが推察できる。



写真-3 堤内地の落堀：関東地方整備局の提供／追記は著者



写真-4 堤内地に形成された落堀：9月26日

## (2) 落堀の形成特性と破堤、拡大の関係

堤防の越流、さらには破堤による浸水により堤内地の地盤は侵食され、大規模な落堀が形成されている。現地調査では、落堀の形成状況の把握と水深の簡易計測を実施し、洪水による落堀の諸特性を把握した。

### a) 落堀の形成状況

写真-3 は9月16日の破堤地点付近であるが、幅 150m、堤内地に形成される落堀の分布は一様ではなく、浸水の流向、その継続時間などに応じて主たる流路が形成され

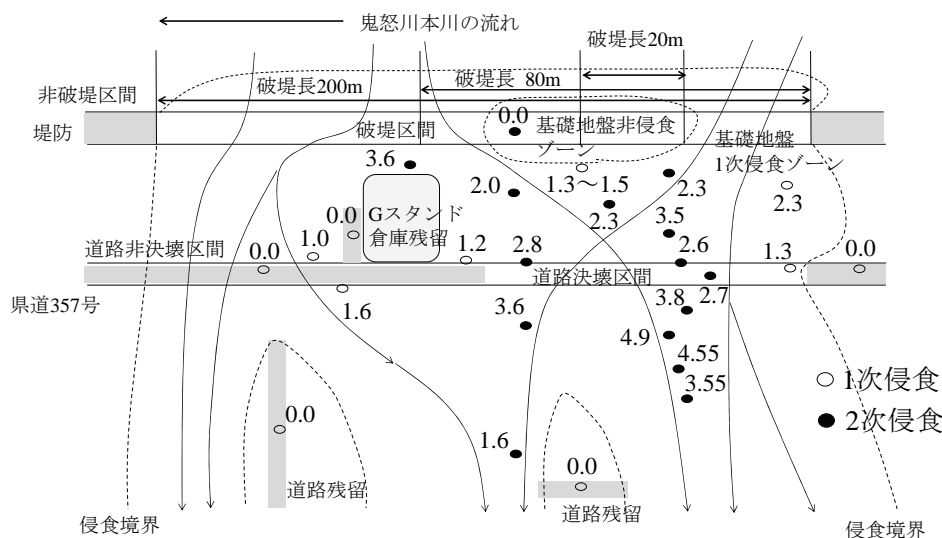


図-1 落堀（一次侵食および二次侵食）の深度の計測結果：10月3日

b) 落堀と越流破堤、拡大の関係

破堤初期の延長 20m 規模の破堤後は、破堤区間に隣接する堤防での越流は無く、破堤区間の上下流端の堤防側面の侵食により、破堤区間が拡大したと推察される。内地に落堀が形成されるのに伴って、河川水位との落差が増加し、それにより浸水の勢いが増加し、堤防の侵食、破堤拡大が助長されたと推察される。

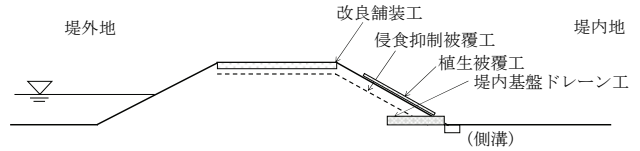


図2 堤防を越流に対して粘り強くする構造例<sup>3)</sup>

3. 現地調査などによる越流対策の考察

洪水時の破堤は浸透破堤と越流破堤に区分でき、従来は前者に対する対策が主であったが、鬼怒川の越流破堤を受けて、後者に対する対策の必要性が堤防技術検討小委員会<sup>2)</sup>で謳われ、認識が高まったと言える。本文は、越流破堤に関して具体化を試行するが、浸透は越流破堤にも関わることに注意、配慮が必要である。

越流破堤に対する基本姿勢は、レベル2津波の対策と同様に、想定以上の出水による越流に対して“粘り強い”堤防にすることである。前章の現地調査によると、越流破堤・浸水に対する減災のための堤防の粘り強さには、以下の2つの視点が必要である。

視点1：破堤させないあるいは破堤を遅らせること。

視点2：破堤後、破堤幅の拡大を抑制すること。

ここで、堤防調査委員会では視点2までは言及していないが、破堤拡大が浸水量に直結するので重要である。

(1) 越流破堤・破堤拡大抑制の対策の一般化

現地調査<sup>3)</sup>、加えて類似の津波越流に対する対策<sup>4)5)</sup>を参考にすると、視点1による破堤抑制策は、図-2のように考えることができる。

i) 堤内の不飽和化・浸潤面の低下

近年、浸透破堤の抑制のために、堤内地側の法尻にふとんかごを設置することが多くなったが、法尻部だけでなく、50cm程度の層厚の砕石ドレーン層を堤体の奥まで敷設することが行なわれている。本文では、“堤内基盤ドレーン工”と呼ぶ。津波の越流に対する河川堤防の難侵食性を参考にすると、日頃から“堤体内の含水量、浸潤面の低下”を図り、洪水時にも浸潤面上昇を遅らせること、言い換えると、“不飽和化”により越流侵食に対しても堤体を粘り強くすることが期待できる。

ii) 天端補強による難浸透化・裏法侵食の抑制

鬼怒川の出水でも堤防天端の舗装の効果が指摘されたが、越流に対する粘り強さを向上させるために、堤防天端の補強が考えられる。

具体的な構造として舗装があり、治水対策検討小委員会でも越流対策として例示しているが、従来から、さらに津波越流<sup>3)</sup>でも侵食抑制の効果は認識されてきている。また、津波を模擬した水路越流実験<sup>4)5)</sup>により、舗

装が裏法から天端に拡大する侵食を抑制することが分かっている。ここで、一般的なアスファルト舗装に止まらず、構造を工夫（改良）して、裏法の侵食を抑制することが考えられるので、本文では“改良舗装工”と呼ぶ。

iii) 裏法面の難侵食化

津波の越流に対する法面植生の効果を参考にすると、越流が発生する前から、越流による侵食に対して裏法面の抵抗性を高くしておくことが有効であり、以下のような方法が考えられる。

方法1：裏法の表層下をジオテキスタイルなどで被覆し、強化して侵食を抑制する。本文では、“侵食抑制被覆工”と呼ぶ。

方法2：出水期は、裏法面の草本類を繁茂させる。植種の選定・開発が必要であるが、葦、笹類は抵抗性が高いと思われる。この場合、地元の理解が必要である。本文では、“植生被覆工”と呼ぶ。

方法3：裏法の緩傾斜化により侵食代（＝侵食断面の余裕）を設定する。本文では、“堤防断面拡大工”と呼ぶ。高規格堤防は具体策であるが、鬼怒川の破堤からは、部分的な断面拡大の効果も期待できる。

iv) 裏法尻の難侵食化

越流により、法尻の侵食が引き金になり、裏法、天端、さらに表法に侵食が拡大する。従って、法尻部の侵食抑制が必須である。ここで、治水対策検討小委員会<sup>2)</sup>は、裏法尻部でのブロックの設置を例示しているが、ブロックだけの設置では侵食を増長する恐れがあるので、注意が必要である<sup>4)</sup>。

次に、視点2の破堤拡大抑制策は、殆ど議論されていないが、出水時対応と事前対応に区分できる。前者には、何らかの浸水抑制措置があり、後者には、既存技術としての裏法尻付近に設ける“樹林帯”が相当すると思われる、部分的な堤防断面の拡大も考えられる。

以上の他、水防活動による越水防止・抑制策として、土のうによる嵩上げ（高さ：30～50cm）、土のうの代替構造・装置の設置などがある。

(2) かご工による粘り強さ機能

洪水時に図-2の天端舗装が越流に対して裏法の侵食抑制機能を発揮していると、河道の水位上昇、越流により発生する現象は図-3で想定できる。つまり、堤内の浸透と浸潤面上昇、裏法での越流水の流速増加、法尻部の堤体侵食、法尻下部地盤の侵食、裏法先地盤の侵食、堤内地地盤の侵食・落堀の形成および裏法の侵食がある。

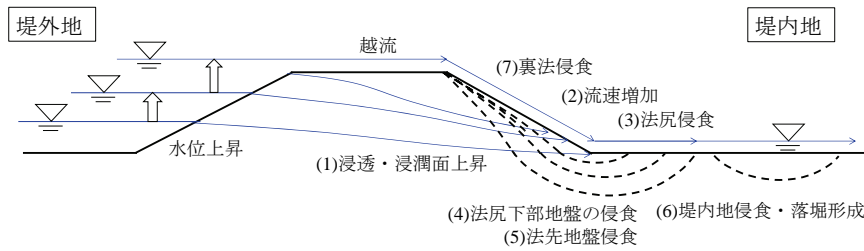


図-3 河道の水位上昇と越流により発生すると想定される現象

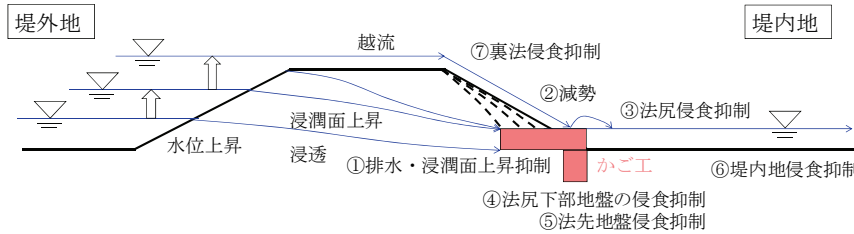


図-4 浸透・越流に対するかご工の粘り強さ機能

これらの現象の対策策として、図-4の裏法尻部とその下部にかご工を設置する構造を考える。これにより、図-3で想定した現象は、それぞれ以下のように対処できるので、堤防の粘り強さの向上が期待できる。

- ①排水（ドレーン）機能による浸潤面上昇の抑制
- ②かごの緩衝による越流水の流速抑制（減勢）
- ③②によるのり面・法尻の侵食の抑制
- ④②による法尻下部地盤の侵食の抑制
- ⑤②による法先地盤の侵食の抑制
- ⑥②による堤内地の侵食・落堀の形成の抑制
- ⑦かごの存在による堤体の侵食拡大の抑制

以上の内、“かご工”は越流水の減勢と法尻・法尻下部地盤・法先地盤の侵食抑制が主要な機能と考えられる。

#### 4. 越流に対するかご工の粘り強さの模型実験

前章(2)で提示した“かご工”について、越流水の減勢および法尻・法尻下部地盤・法先地盤の侵食抑制に着目した室内小型模型実験を実施し、粘り強さを検証した。なお、本文は実験の一部の報告であり、研究発表会において総括する。

##### (1) 実験方法

図-5は実験模型（盛土高100mm，基礎地盤厚150mm，奥行き100mm，法勾配1:2）であり，天端はアクリル板で被覆して舗装を模擬し，越流時に侵食が卓越する裏法～法尻～法先地盤を再現する。ここで，法尻からの法面侵食でなく，法尻部の侵食を先行させるために，図-6のように法尻から法面の中央までをアクリル板で被覆して越流水を法尻に誘導し，法尻部の侵食の再現に特化する。

堤防模型と基礎地盤模型の土質材料は，2mm以下にふるい分けした笠間砂（粘性土質砂／砂分82.1％・シルト

分12.5％・粘土分5.4％，最大乾燥密度1.78g/cm<sup>3</sup>，最適含水比14.4％，土粒子密度2.67 g/cm<sup>3</sup>）であり，締固め度90％（乾燥密度1.60g/cm<sup>3</sup>，含水比8.80％）で作成する。

本文の実験は，無対策と図-6のかご工設置の2ケースである。砕石を詰めたかご工模型（写真-5，長さ100mm・幅100mm・高さ20mm，密度1.63g/cm<sup>3</sup>）の中心を法尻に合わせて設置する。かご工の盛土内の埋設部分は吸出し防止材を巻く。越流は，図-5の右側からのポンプの給水（約1.3×10<sup>-3</sup>m<sup>3</sup>/s）で行い，左方向への流水は貯水し再循環する。越流（天端の越流深：2cm程度）による盛土，基礎地盤の侵食状況は，土槽の側面と法面の正面からの動画撮影し，写真判読する。

##### (2) 実験結果

写真-6および写真-7は，それぞれ無対策およびかご工設置について，越流開始15秒後の越流，侵食状況である。同時間経過で，写真-6（点線が初期断面）では法尻，法先地盤が侵食しているが，写真-7では越流水がかご工で緩衝され，法先地盤の侵食が見られず，かご工設置の効果

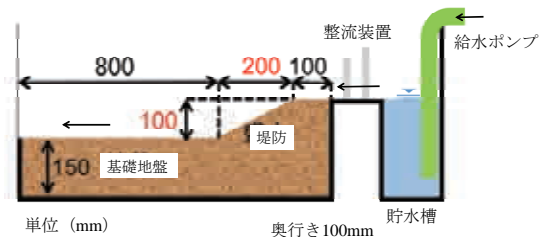


図-5 越流実験模型の概要

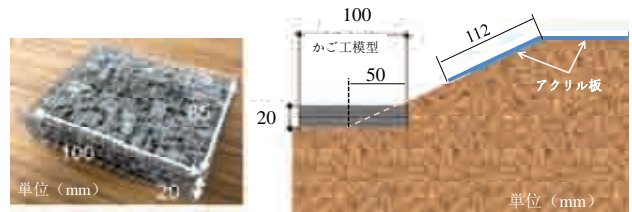


写真-5 かご工模型

図-6 かご工の設置：水平敷設例

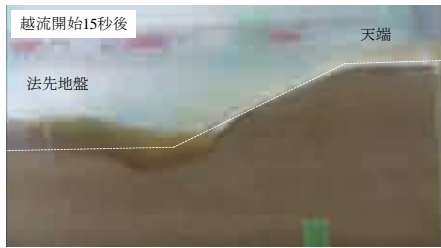


写真-6 無対策の越流状況：越流開始15秒後



写真-7 かご工設置の越流状況：越流開始15秒後

(粘り強さ)が示唆される。

また、図-7(a)および(b)は、それぞれ無対策およびかご工設置について、越流開始から60秒間の堤防および基礎地盤の侵食の推移である。同図から、かご工が無い場合、越流開始の30秒後において、基礎地盤は60秒後とほぼ同じ40mm程度の深度まで侵食しているが、かご工がある場合は、30秒後では20mm程度の侵食深に留まるとともに、その後の侵食も徐々に進行しており、かご工による侵食抑制が伺える。

ここで、全体的な侵食深や侵食範囲では、かご工の有無により大きな差異が無いように見えるが、これは写真撮影が側面からという実験上の制約のためである。つまり、側面の状態が奥行き方向の侵食を代表していない、つまり、土槽の側面とかご工の隙間への浸水により、かご工周りの侵食の増長が伺え、かご工の残留状況からは、中央部の侵食は側面ほど進行していないと思われる。従って、図-7の実験結果の解釈に注意が必要であるが、それでもかご工の効果は示唆されている。

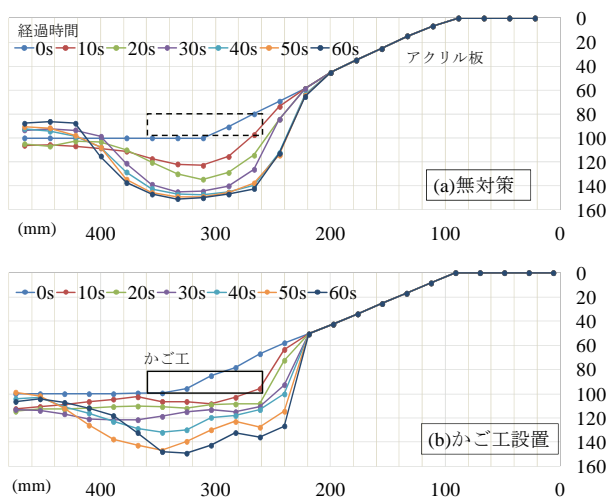


図-7 かご工設置の有無による侵食の推移の比較

## 5. まとめと課題

鬼怒川の越流破堤・侵食状況および落堀調査、さらに越流対策に関する検討の結果、以下の知見が得られた。

- 1) 破堤初期の延長 20m規模の破堤後、破堤区間に隣接する堤防での越流は無く、破堤区間の上下流端の堤防側面の侵食により、破堤区間が拡大した。
- 2) 堤内地に落堀が形成されるのに伴って、河川水位との落差が増加し、それにより浸水の勢いが増加し、堤防の侵食、破堤拡大が助長された。
- 3) 堤防の越流対策では、津波と同様に、堤防の“粘り強さ”向上を基本とすることが有効である。
- 4) 堤防の“粘り強さ”は、破堤させない・破堤を遅らせる“破堤抑制”だけでなく、破堤後、破堤幅の拡大を抑制する“破堤拡大抑制”も必要である。
- 5) 越流の破堤抑制策には、堤内の不飽和化・浸潤面の低下、天端補強による難浸透化・裏法侵食の抑制、裏法面の難侵食化、裏法尻の難侵食化などがあり、破堤拡大抑制策には、樹林帯、部分的な堤防断面拡大などがあるが、今後、具体的な技術開発が必要である。
- 6) 越流破堤には、堤内浸透も関わり、複合的な要因の考慮が必要である。
- 7) 越流対策例として“かご工”を提示し、排水による浸潤面上昇の抑制、越流水の緩衝による減勢、法尻・法尻下部地盤・法先地盤・堤内地の侵食の抑制が期待できるが、越流模型実験により減勢・法尻・法尻下部地盤・法先地盤の侵食抑制の可能性が示唆された。

謝辞：現地調査では、日本テレビ放送網（株）報道局社会部の牧尾太知氏と（一財）災害科学研究所の支援、室内実験では、（株）共和ハーモテックの協力を得ている。

## 参考文献

- 1) 国土交通省関東地方整備局：第1回鬼怒川堤防調査委員会（平成27年9月28日）、第2回鬼怒川堤防調査委員会（平成27年10月5日）、第3回鬼怒川堤防調査委員会（平成27年10月19日）の資料。
- 2) 国土交通省：第1回大規模氾濫に対する減災のための治水対策検討小委員会（平成27年10月30日）の資料。
- 3) 常田賢一：平成27年9月関東・東北豪雨による鬼怒川の破堤箇所の現地調査による知見と考察、一般財団法人 災害科学研究所平成27年度災害等緊急調査報告書、平成27年10月13日。（<http://csi.or.jp/>）
- 4) 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, 2012.
- 5) 常田賢一・秦吉弥：2011年東北地方太平洋沖地震の津波から学び粘り強い盛土で減災、理工図書（株）、2016.

# 大雪STOP&GO作戦の 取り組みの紹介について

岡部 浩司<sup>1</sup>・斎藤 哲也<sup>2</sup>

<sup>1</sup>近畿地方整備局 福井河川国道事務所 道路管理課 (〒918-8015 福井市花堂南2-14-7)

<sup>2</sup>近畿地方整備局 足羽川ダム工事事務所 工務課 (〒918-8239 福井市成和1-2111ポラリスビル内)

一般国道8号福井県越前市～同敦賀市間では、大雪による通行障害がたびたび発生している。2006年度豪雪以降、関係機関が連携を取りつつ対策強化を図ってきたが、2014年度も通行障害が発生し、各方面から交通確保に向けた社会的要請を受けることとなった。このため福井河川国道事務所は、雪害による社会的影響を少しでも軽減する新たな措置として「大雪STOP&GO(ストップアンドゴー)作戦」を計画するとともに、新たに民間企業や交通管理者との協力関係を築き、実施に向けた取り組みを行った。

キーワード 除雪の効率化、スタック防止、民間企業との協力、タイヤチェーンの委託販売

## 1. はじめに

福井県内は全域が豪雪地帯に指定されており、大野市勝山市、今立郡池田町、南条郡南越前町は豪雪地帯対策特別措置法による特別豪雪地帯に指定されている。

福井河川国道事務所が管理する国道8号は石川県境から滋賀県境を縦貫する幹線道路で、平行する主要な路線として中日本高速道路(株)が管理する北陸自動車道がある(図-1)。このうち、越前市から敦賀市にかけては山間や海沿いの急峻な地形となっており、冬期においては大雪による交通障害がたびたび発生した。雪害による長時間の交通障害は物流の停滞や経済活動の損失をもたらし、

ひいては報道等により地域のイメージダウンにつながる。

特に敦賀市は、嶺北地方と嶺南地方、関西・中京方面への結節点にあたり、日本海側と太平洋側を結ぶ物流の結節点でもあり、円滑な交通の確保が求められる。しかし、2006年度および2011年度には丸一日近く国道8号と北陸自動車道が同時に通行止めとなり、地域活動が麻痺状態に陥った経緯がある。その教訓から福井河川国道事務所では、道路管理者間の各情報収集・発信を一元化する「福井県道路情報連絡室」の開設や啓発活動の強化などのソフト面のほか、CCTVカメラの増設、除雪機械の増強、チェーン着脱場の整備などのハード面の双方で対策を進めてきたところであった。

しかし、2015年2月9日～10日にかけて、敦賀市内でのスタック車両2台の発生を発端に、南条郡南越前町赤萩～敦賀市赤崎の16.7kmの区間で約590台の立ち往生が発生した。除雪作業が著しく停滞する中で、福井河川国道事務所は緊急車両の通行確保を目的として災害対策基本法を適用し、2月10日3時00分～9時55分にかけて当該区間を通行止めとし、除雪作業とスタック車両の排除を行うこととなった。



図-1 福井県の主要国道位置図

## 2. 大雪STOP&GO作戦の取り組み

国道8号における長時間の通行止めをはじめとする大規模な交通障害を繰り返さないために、福井河川国道事

務所は「大雪STOP&GO（ストップアンドゴー）作戦」（以下、「SG作戦」という）と称して、スタック車両の発生を抑えるための連続した集中除雪作業の取り組みを行った。作戦を実行する区間は過去のスタック車両発生の実態に加え、国道上での除雪作業等で通行規制が生じる場合、平行する補助国道（国道364号、476号）等を経

路案内が可能な区間として、南条郡南越前町赤萩～敦賀市赤崎の間に選定した（図-2）。

SG作戦とは、福井県嶺北地方南部と嶺南地方東部に大雪警報が発令され、かつ北陸自動車道が通行止めとなった場合を条件に、①降雪が強くなり路面状態が悪化傾向の場合は、一時的な通行規制または通行止を実施し区間内の集中除雪を行う（STOP状態）。②路面状況が改善し除雪機械を先頭とする除雪体制が整った後に、除雪機械を先頭に「先導除雪」をしながら後続車両を追従させて通行状態を確保する（GO状態）。③SG作戦においては、除雪機械を区間内の作業に専念させる。雪が弱く路面状況が比較的良好なうち、通行規制は行わず除雪車先導による開放を継続し、気象状況が悪化傾向になれば①②を繰り返すことで、区間内の道路状況を維持し、スタック車両の発生を防ぐというものである（図-3）。



図-2 STOP&GO作戦の区間

■ STOP&GO作戦の状態

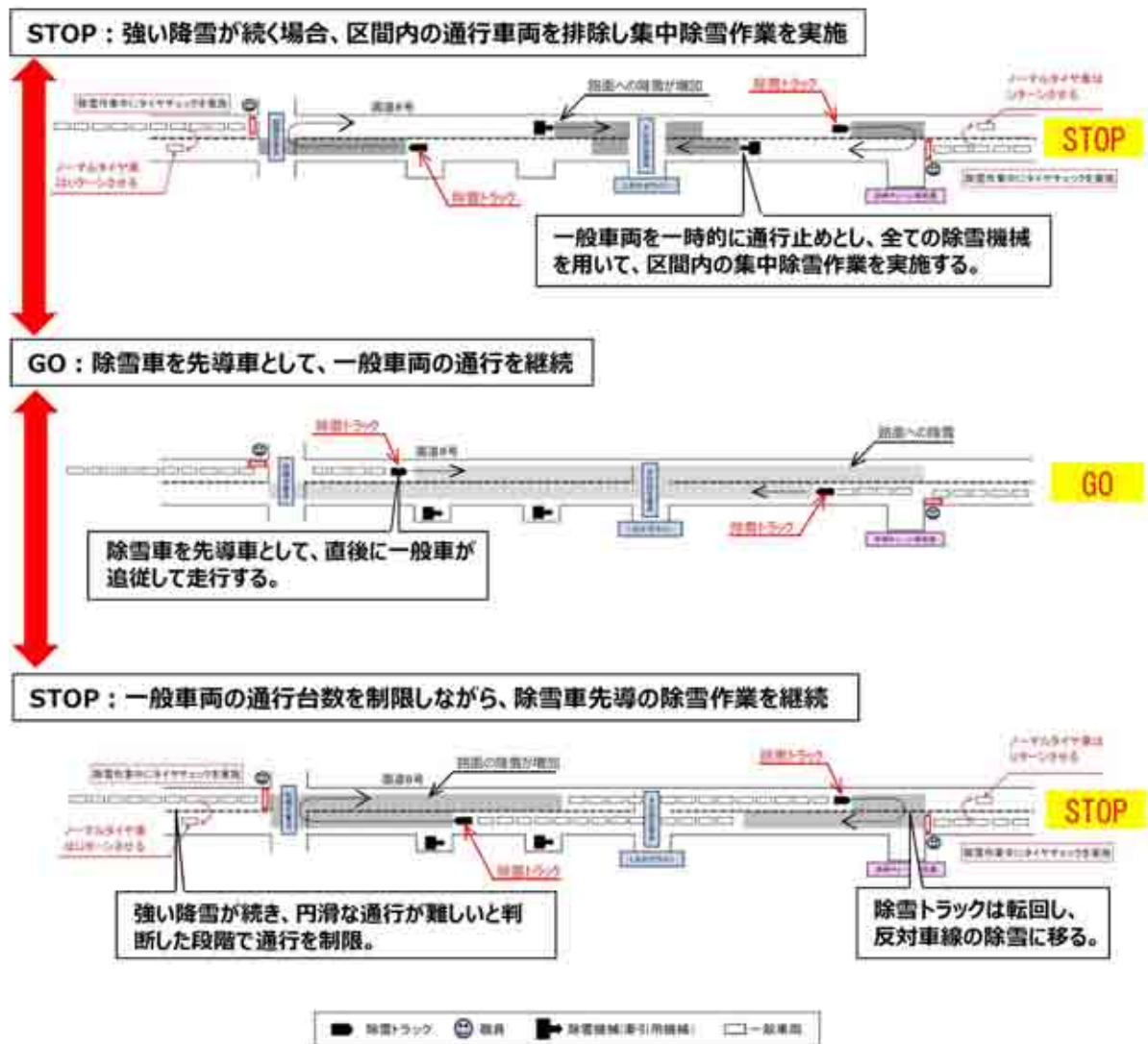


図-3 STOP&GO作戦の概要

3. 作戦実施に向けての問題点と課題

(1) 交通管理者との連携

SG作戦では起終点では通行車両に対する一時的な通行規制や交差点内での除雪車の転回が生じる。この際、通行車両の安全確保と効率的な除雪作業のため、交通管理者（警察）との連携が必須となる。この連携は、安全、確実な作業を目的とする道路管理者と、交通規制時間の短縮を理想とする交通管理者の双方の公益実現を、可能な限り調整することとなる。よって、限られた要員で現場で混乱なくかつ効率的に作業を行うため、計画段階において警察本部および所轄警察署と懸案事項の整理、課題解決を図った。この課題解決の具体的内容は、下記のとおりである。

a) 交差点内の信号制御

SG作戦の起点側は信号交差点となっており、除雪作業による通行規制や一時的な通行止めの際の事故防止のため、交通誘導の明確化が必要である。一旦事故が起これば、事故対応が優先されるため除雪作業は中断せざるを得なくなるからである。

警察との調整の結果、道路を通行するドライバーは信号現示に従うことが基本であることから、作戦時に点滅現示とした場合に不要な混乱を招く恐れがあること、また点滅現示にすることで交差点内の交通誘導に多くの要員を割くことになるとの判断から、通行規制時においても、通常の信号現示を継続するとした。

b) 先導除雪作業における警察パトカーの配置

先導除雪は約17kmの区間を連続して低速で作業するため、後続の通行車両が除雪トラックを追い越すことが想定された。除雪車の先の路面状況の悪い箇所でスタック車両が発生すれば、車両の救出が最優先となるため、除雪作業を中断せざるを得なくなる。これを防ぐために、先導除雪を行う除雪トラックの直後に警察のパトカーを配置することでドライバーの心理面に訴えかけ、追い越しの抑制が期待できると考えた。この趣旨に交通管理者も理解を示し、作戦時には所轄警察署よりパトカーの派遣が可能となった。

(2) 効果的なノーマルタイヤチェック

福井河川国道事務所では従来から大雪警報発令時に国道上で所轄警察署と協力して、国道上の通行車両に対してノーマルタイヤチェックを行っている。タイヤチェック時にはスタッドレスタイヤ等の装着状況の確認と同時にノーマルタイヤ車に対しては、雪道走行の注意喚起及び現場での引き返しを要請していたところである。しかし、道路管理者としては強制力がないため、要請に従わずに通過したり、天候や道路状況が回復するまで道路

上に滞留し、除雪作業の支障となってきた。また、今回、SG作戦を交通管理者に説明した際には、限られた要員で作業を行う以上、より効果が発揮できるタイヤチェックの手法がないかの意見が出された。これら課題の検討を行った結果、ノーマルタイヤ車の現地でのタイヤチェーン装着が、ドライバー自らが対策できる内容であり、かつスタック車両の発生抑制につながると考えた。

a) タイヤチェーンの委託販売

SG作戦の区間の前後にはガソリンスタンドやコンビニエンスストアが立地している。これら店舗にタイヤチェーンを商品として陳列し、購入者がその場でタイヤに装着することにより、区間内のより安全な通過が可能になるとの視点で発案したものである。

次に、沿道の自動車関連商品を扱う企業や大手コンビニチェーンには順次職員が直接訪問し、担当者に対して過去の雪害状況やSG作戦の趣旨に対する理解を得たうえでタイヤチェーン委託販売協力を要請した（図-4）。その結果、タイヤチェーンの提供元としてA社、委託販売先として大手コンビニチェーンC社ならびにE系列のガソリンスタンド2社から理解を得て、具体的な委託販売方法等について調整を進めた。

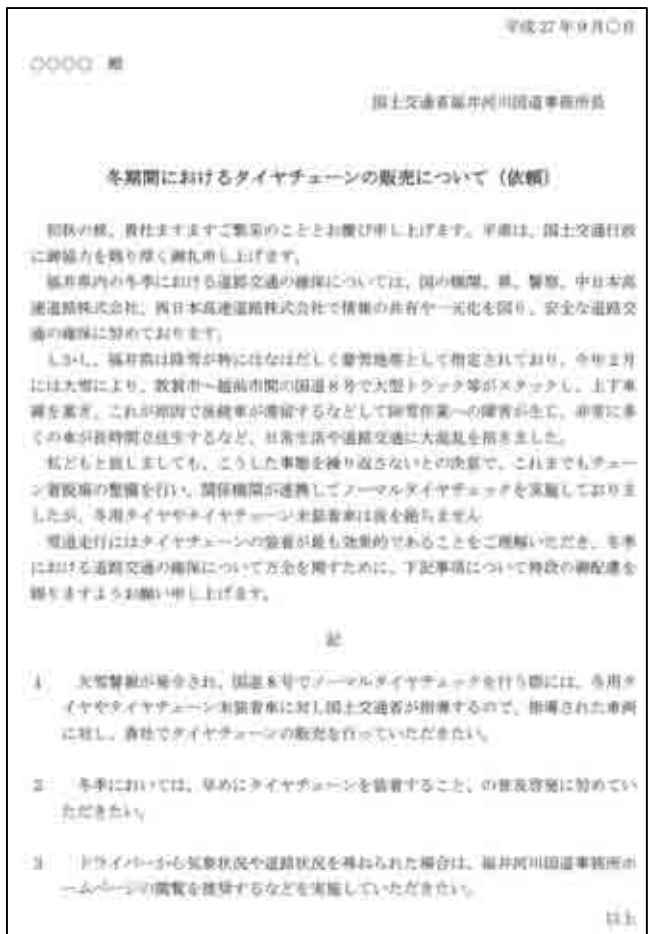


図-4 協力依頼文書



b) 店舗への趣旨説明及び協力依頼

相手方へは主に以下の観点で協力依頼を行った。

『大雪により幹線道路が通行止めになった場合、渋滞が発生するだけでなく物流停止となって商品の調達が滞り、結果として店舗の営業に影響を与えること。』

『コンビニやガソリンスタンドにはトイレがあり、大型のガソリンスタンドにおいては休憩施設等も併設されている。このためノーマルタイヤ車や運転の不慣れたドライバーに対しては、天候や道路状況が回復するまでの一時的な休憩所としての利用が可能であること。これによりノーマルタイヤ車の侵入を減らすことで、スタック車両の発生を防止できること。』

『店舗の営業時間が決まっている場合、SG作戦時には閉店時間を可能な限り延長し、チェーン購入希望者の対応をお願いしたいこと。』

これらの説明を行った結果、スタック車両の発生を防ぐことが物流確保に直結し店舗側にも大きなメリットがあるとの理解をいただくことができた。委託販売の協力店舗としてA社は支店がある越前市内と敦賀市内の2店舗、ガソリンスタンドは越前市と敦賀市内の2店舗、コンビニエンスストアは越前市内、南越前町内、敦賀市内の12店舗が取り扱い店舗となった(図-5、写真-1,2)。なお、タイヤチェーンの各店舗への納入及び商品管理、精算方法等については各企業間が調整した。



写真-1 啓発ポスターの掲示協力依頼の様子



写真-2 コンビニエンスストア店内におけるタイヤチェーン及びSG作戦ビラの陳列状況



図-5 店舗に掲示した啓発及びタイヤチェーン販売ポスター

c) タイヤチェーンの装着講習会

タイヤチェーンの購入客は冬用装備を行っていないまたは雪道に不慣れである場合が多いことが想定される。店舗で購入するだけでなく現地で装着ができなければ、スタック車両の発生を防ぐことにはならない。このため、委託販売に先立ち、A社よりコンビニエンスストアの各店舗責任者に対してタイヤチェーンの装着講習会の開催を依頼し了承を得ることができた(写真-3)。講習会は



写真-3 タイヤチェーン装着講習会の様子

A社の店舗がある越前市内と敦賀市内において、それぞれ近隣のコンビニエンスストアの店長等を対象に実施した。現在の冬用装備の主流はスタッドレスタイヤのため、予想どおり委託販売店舗の担当者らはタイヤチェーンの装着経験は皆無であったため、この講習会は不可欠であり、委託販売の実効性を大きく左右する要素であることが確認できた。

#### d) 高機能標識車及びタブレット端末の配備

国道8号が通過する敦賀市は、福井県における関西や中京方面との結節点であり、雪道の運転技術が不十分なドライバーは少なくない状況であると推測できる。このため、北陸方面へ向かう車に対する情報提供手段として、SG作戦の終点側にある赤崎チェーン着脱場内にSG作戦区間内のCCTVカメラ映像を表示できる「高機能標識車」の配備を行った(写真-4)。

高機能標識車は主に交通規制時において文字情報を表示する機会が多いが、CCTVカメラの機器と接続することで、リアルタイムのライブ映像を表示することが可能である。これにより、SG作戦区間内にあるCCTVカメラ13基の映像を数秒おきに順次表示することで、ドライバーに対して現地での最新情報の提供が可能となる。さらに映像を見たドライバーが場合によっては引き返すか、あるいはタイヤチェーンを購入して引き続き走行を行う等の判断を行うための選択肢を提供することが期待できる。なお、後述の現地訓練時には、訓練の区間内において訓練とは関係ない一般車両による交通事故が発生した。このとき、事故現場の状況をライブ映像で表示したことで、訓練による一時的な通行規制により現場で待機していた他のドライバーは道路状況を直接把握できたため、混乱や苦情が生じなかった。よって、実際の作戦時にも有用な情報提供手法であると評価した。

一方、ノーマルタイヤチェック時には職員が現地に派遣される。ここでも現地での情報不足に加え、ドライバーから情報提供を求められた際に、迅速な対応ができていない苦情を受ける場合がある。これを解消するために、



写真-4 高機能標識車によるライブ映像表示状況

WEB情報表示や通話機能およびメール機能等を搭載したタブレット型端末を配備した。端末を現地で携帯することで、除雪車の位置情報、事務所や現地間での情報提供・共有を可能となる。これら「見える化」によりドライバーから情報提供を求められた場合にも視覚的に確実な手段により、迅速かつ多数の車両に、適切に情報提供することが期待できる。

## 4. SG作戦を地域へ浸透させる取り組み

### (1) 現地訓練

過去の豪雪被害を教訓に大雪警報発令時には「福井県道路情報連絡室」を開設しており、毎年の雪害対策期間前には机上訓練を実施している。平成27年度においては従来の訓練内容に加え、SG作戦の現地訓練を行った。

実際のSG作戦を想定して警察パトカーの除雪トラック追従走行、除雪トラックの交差点内の転回、高機能標識車の稼働確認、スタック車両を想定した大型トラックのけん引・排除作業を行った(写真-5)。なお、除雪トラックの転回及びスタック車両の排除時には、所轄警察署の協力を得て、2回に分けて国道を30分程度通行止めに行っている。このとき通行止めにより道路上に待機していた通行車両に対して、職員によるノーマルタイヤチェック作業の手順確認の訓練と併せてSG作戦およびタイヤチェーン委託販売店舗紹介のビラ配布を通行車両に対して行った(図-6)。

### (2) 協力企業へのフォロー

2015年度は暖冬だったため、雪害対策期間中のタイヤチェーンの販売実績については数セット程度にとどまった。しかし、コンビニエンスストアやガソリンスタンドにおける貴重な経営資源である物販スペースに数ヶ月間にわたってタイヤチェーンやSG作戦のビラを陳列していただいたことは、適切な道路管理への大きな貢献である。この点に関する謝意を伝えるため、2016年年4月に協力



写真-5 警察パトカーと協力した現地訓練の様子

**STOP&GO (ストップアンドゴー) 作戦の概要** 表紙

福井河川国道事務所では、平成27年2月に起きた国道8号における長時間の通行止めをはじめとする大規模な交通障害を繰り返さないために、今冬から、スタック車両の発生を抑えるための連続した集中除雪作業等の取り組みを実施します。

**■ 位置図**

**■ 作戦イメージ図**

**■ 作戦概要**

- スタック多発区間で連続した集中除雪を行う。
- 除雪車の直後に一般車両を通行させることで、除雪仕度の悪い状態で走行を避ける。
- ⇒ 除雪状態を確保することで、スタック車両の発生を抑える。
- スタック車両牽引用車輪を予め待機させることで、スタック車両の早期救出が可能。
- 早期救出により区間内の交通停滞を軽減する。
- 除雪作業中にタイヤチェーンを行い、ノーマルタイヤ車へチェーン装着を促す。

**ノーマルタイヤの方は、記載の店舗でタイヤチェーンの購入が出来ます。**

タイヤチェーン販売店舗一覧表

店舗名	住所	電話番号
1. (株)北武野建設	福井県高根町一丁目	0770-21-1333
2. ナール	福井県武生町二丁目1番1号	0770-24-4927
3. ナール	福井県白旗町立道350号	0770-28-4893
4. ナール	福井県南越前町1丁目	0770-21-2242
5. ナール	福井県上越町2丁目1番1号	0770-22-6558
6. ナール	福井県三上町1丁目1番1号	0770-22-0207
7. ナール	福井県新加高町1丁目10号	0770-21-3400
8. ナール	福井県中津町二丁目1番1号	0770-21-2223
9. ナール	福井県津久井町1丁目1番1号	0770-21-3400
10. ナール	福井県丹波町1丁目1番1号	0770-21-3400
11. ナール	福井県山本町1丁目1番1号	0770-22-9865

図-6 コンビニ店舗店舗内及びSG作戦時に現地配布したピラ

企業へ感謝状の贈呈を行った(写真-6)。併せて感謝状の贈呈に関する記者発表を行った結果、地元ケーブルテレビが取材に訪れ、後日、その様子が地域に放送されるに至った。

これらの内容をもとに2016年度には他の大手コンビニチェーンや自動車部品販売会社に対して福井河川国道事務所の取り組みを紹介していき、タイヤチェーンの委託販売先の拡大に努めていきたいと考えている。



写真-6 感謝状贈呈の様子

(3) 広報

これら国交省の取り組みを多くの道路利用者に対し周知・広報するため、各種記者発表の他、タイヤチェーンの委託販売の依頼やチェーンの装着講習会の際に地元テレビ局やケーブルテレビ局に情報提供を行った。その結果、同行取材により各メディアで複数回にわたる報道となった。特に県内のテレビ放送では11回にわたって取り上げられ県民や地域の方々に広く発信・啓発する機会を得ることとなった。このうちケーブルテレビにおいては番組構成上、1週間にわたって毎日数回の繰り返しの放送内容となり、今後、様々な取り組みを地域へ浸透させるには適したメディアになっていくと考えている。

5. おわりに

～道路管理の「輪」を増やす・広げる～

大雪による交通障害を繰り返さないために従来の雪害対策に加え今回、交通管理者との協力によるSG作戦と、民間企業との協力によるタイヤチェーンの委託販売という新たな手法を試みた。また、訓練時においては、交通管理者の全面的な協力により実際に一時的な通行止めの状況を作り出した。これにより除雪車の転回をはじめとするSG作戦の一連の作業を確認することができ、より実践的な訓練内容となった。暖冬の影響もあり現時点で取り組みの実績や効果を十分検証できる状態ではないが、道路管理者と関係機関の双方の公益性実現を両立できる内容を考えることで、新たな連携を築くことができたことは、今後へ繋がる大きな契機であると評価している。

昨今、道路利用者の道路管理者に対する要求水準は高くなっている。これは道路が機能的にもネットワークとしても整備され日々の維持管理を含め、利用者の道路管理者に対する評価と期待の現れである。雪害対策の実態は主に道路管理者による除雪作業や啓発活動が主であるが、道路利用者の安全運転や雪道走行の意識向上も道路管理の「両輪」として必要不可欠である。そのためにも、道路利用者に対する降雪時への対処方法の確保が道路管理のソフト面から重要である。

今後も冬期の道路情報提供やさらなる啓発活動に加え、タイヤチェーンの委託販売に類する民間企業と提携した新たな雪害対策の手法・展開も模索し、冬期間の「地域」ネットワークの安定を確保するとともに、関係機関のネットワークを更に緊密にして福井の道路管理に協力できる「輪」を広げ、雪に強い国道8号を目指すべく、具体化を進めていきたい。

# 鴨川災害復旧助成事業 の取り組みについて

橋本 剛<sup>1</sup>

<sup>1</sup>高島土木事務所 河川砂防課 (〒520-1621 滋賀県高島市今津町今津1758)

平成25年に発生した台風18号による豪雨に伴い、鴨川では高島市宮野地先において右岸側が破堤し、沿川各地で家屋浸水等の甚大な被害が発生した。そのため、再び被害が発生しないよう、国庫補助事業による災害復旧助成事業を申請し、延長3.2kmの区間で採択を受け、現在も事業を進めている。

本稿では、堤防決壊部分の応急仮復旧、対策工の設計、用地買収、工事の実施状況について報告する。

キーワード 台風18号, 鴨川, 災害復旧,

## 1. はじめに

鴨川は滋賀県高島市の南部に位置しており、比良山地に源を発し、八田川、中の川といった支川を合流し、J R湖西線、国道161号等の主要幹線の下を流下して琵琶湖に注ぐ河川延長18.0km、流域面積50.0km<sup>2</sup>の一級河川である。今回採択を受け事業を行うのは琵琶湖から4.2km地点より上流3.2kmの未改修区間である。(破堤地点は4.7km～4.8km) (図-1)



図-1 位置図

## 2. 気象および被害の概要

### (1) 気象概要

平成25年9月13日に小笠原諸島の近海に発生した台風18号は、本県に15日から16日にかけて襲来し、この台

風を取り巻く雨雲や湿った空気が次々と流れ込んだことから記録的な大雨となり、滋賀県、京都府、福井県で全国初の「大雨特別警報」が発表された。県内のほぼすべての雨量観測局で最大24時間雨量が100mmを超えるなどの戦後最大級の記録的な大雨となった。(図-2)

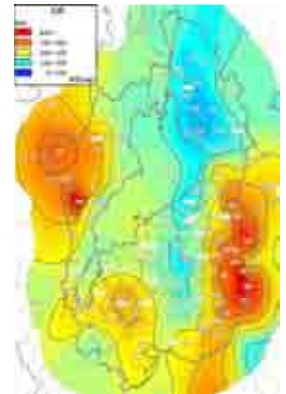


図-2 時間雨量および累加雨量

### (2) 鴨川における降雨・水位の状況 (図-3)

ガリバー雨量観測地点における降り始めからの累加雨量が409mmの大雨であった。

- ・鴨川橋地点では氾濫注意水位を8時間にわたり超過していた。
- ・痕跡水位からは越水は確認できていない。

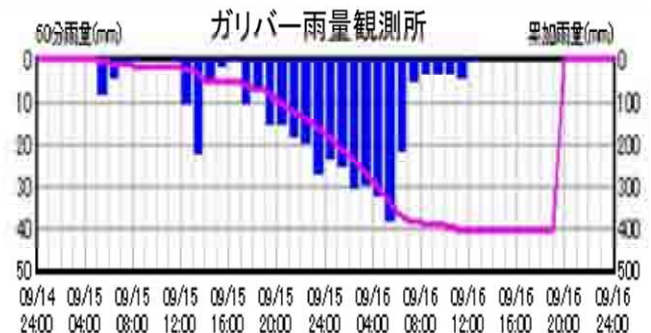


図-3 鴨川(ガリバー雨量観測所)の降雨状況

水位は降雨とともに急激に増加し、午前4:30に最大水深3.04mを記録した後、降雨があるものの水位が急激に下がったことから、この時点で破堤したと考えられる。(図-4)

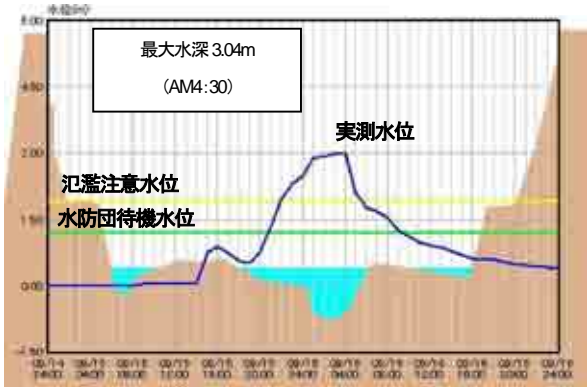


図-4 鴨川観測局水位データ

(3) 被害状況

破堤地点が天井川だったことから、大量のはん濫水、土砂約29,000m<sup>3</sup>が堤内地に流入し、床上浸水67棟、床下浸水109棟をはじめ道路、農地等に甚大な浸水被害が生じた。また上流部においても万年橋および迎出井堰付近からの溢水により、数戸の家屋が浸水する等、沿川で被害が発生した。(図-5)



図-5 破堤状況、浸水状況(高島市内)

3. 決壊要因

(1) 決壊箇所の特徴

- ・鴨川は、琵琶湖河口から河道拡幅を目的とした河床掘削等の河川改修が進められているが、今回決壊した箇所は未改修区間であった。
- ・堤防高は5.6mと比較的高く、堤体材料は砂礫主体で構成されている。
- ・護岸工、護床工が設置されており、構造物周辺の著しい深掘れ等は確認されていなかった。

(2) 決壊箇所の河道特性

- ・高水敷幅は、5m未満で非常に狭い。
- ・裏のり面勾配は1:2.0で、標準的である。
- ・平面形状として、低水路が右岸側によっており、その右岸側で堤防法線、低水路法線ともに湾曲している。(曲率半径700m, 湾曲角72°)
- ・河床高は堤内地盤高より少し高く天井川に分類される。(図-6)



図-6 被災状況平面、断面図

(3) 決壊要因のまとめ

a) 侵食破壊

決壊箇所では根固ブロックが部分的に整備されているが、護岸のみの整備区間と同様に護岸被災が発生し、堤体、高水敷が侵食された結果、決壊に至った可能性が考えられた。

b) 浸透破壊

浸透破壊が決壊の直接的原因となった可能性は高くはないが、決壊に影響を及ぼした可能性はあると考えられた。

c) 決壊箇所の横断面の特徴

高水敷幅、堤防高さを勘案すれば、出水時の侵食あるいは浸透の影響を受けやすい形状といえる。

d) 決壊要因の推定

長時間の出水に起因した河床洗掘による護岸被災発生および堤体侵食と、堤体断面積の減少に伴う浸透破壊の2つの要因による複合的な決壊の可能性が高いと考えられた。

4. 鴨川河川災害復旧助成事業の採択まで

平成25年9月16日に鴨川が破堤したことをうけて、直ちに応急復旧工事に取り組むとともに、ほぼ全区間で施設被害があり、再度災害防止のため河積の拡大等を行う「災害復旧助成事業」を申請することを決定した。

助成事業は平成2年の日野川、愛知川の採択以来、滋賀県では23年ぶりの事業であり、申請のノウハウ等が失われていたため、他県から情報収集することから始まった。並行して現地調査を進め、一定区間ごとにコンサルタントに測量・設計・調査を分けて業務を発注した。親災・助成を含めると、最終的には10社を超えるコンサルタントが関わることとなった。

10月1日には東京事務所を通じて国土交通省防災課と

初回の打合せを行った。申請する改良復旧延長については、当初は特に被害が甚大である破堤箇所付近のみをカバーできればよいと考え、中道橋 (No. 42) ~ 行司橋 (No. 62) の2.0kmで考えていたが、流下能力が不足する区間全てをカバーできる計画 (「山付から山付」) への修正を指示され、第2回 (10月24日) の防災課との打合せで、最終的に大谷川合流点 (No. 74) までの、延長3.2kmを申請することになった。

また、災害査定までには多自然川づくりアドバイザーとの計画協議が求められるため、本事業においては国土技術政策総合研究所の河川研究室長と主任研究官の2名をアドバイザーとして、11月27日に助成計画の現地調査が行われた。それまで基本計画として、河川整備計画 (案) を踏襲していたが、そこで河道計画の根本的な見直しを迫られ、助成計画はほぼ一からのやり直しとなった。

12月10日に、防災課と査定前の最終打ち合わせを行い、アドバイザーとの協議結果および修正事項等について協議し、堤防の浸透対策についても追加することになった。査定日ぎりぎりまで作業を行い、当日はほぼ申請額通りで現地調査 (災害査定) による親災が確定した。年明け1月からは防災課と打合せを行い、事業案を複数作成し、財務省と協議していった。2か月にわたる協議の結果、最終的には平成26年3月11日に災害費:改良費=1:1.8で採択された。この事業は平成29年3月までの4年間 (採択時期が25年度末だったことから実質3年と数日) となっており短期間で進めていくこととなった。(図-7)

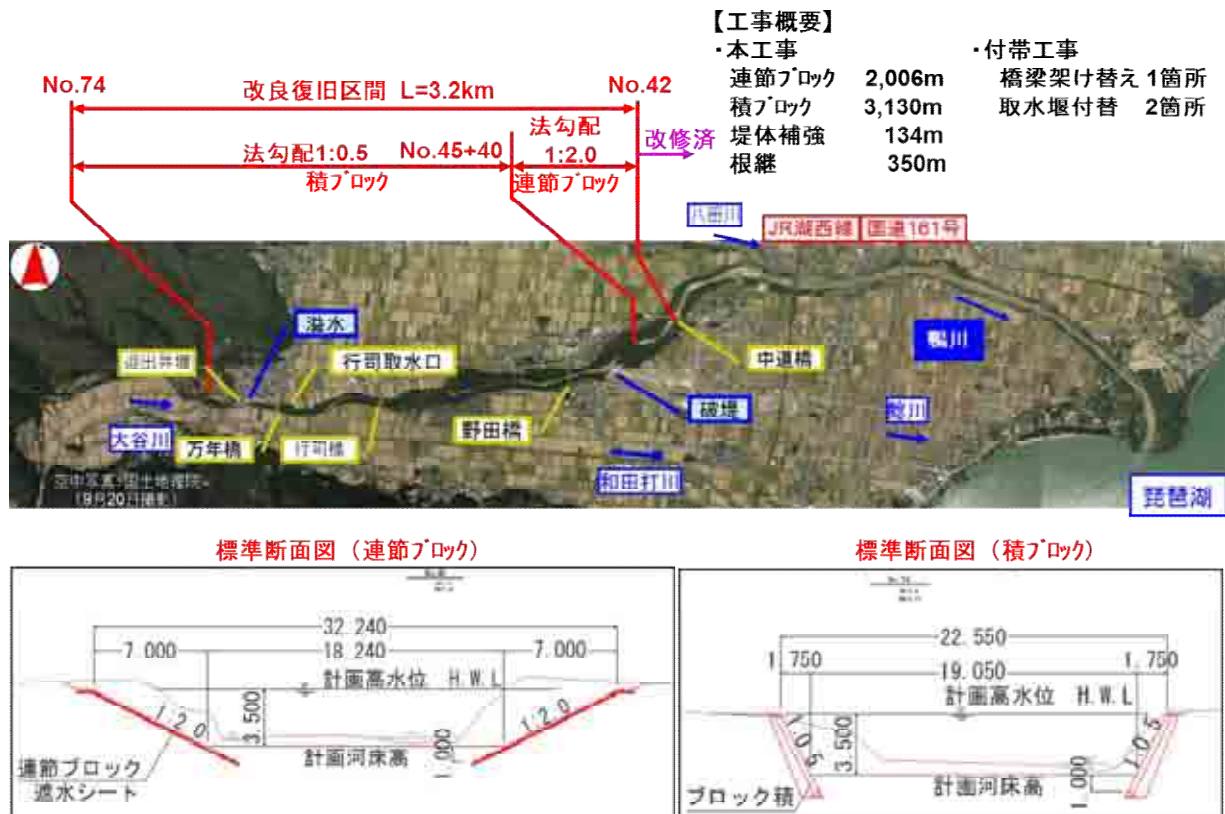


図-7 災害助成事業概要

## 5. 多自然河川づくりアドバイザー制度

### (1) 現地踏査

被災から約2ヶ月後の11月27日に、国土技術政策総合研究所から河川研究室長、主任研究官をアドバイザーに迎え、当該河川の状況（河川特性、生物、景観等）の把握を目的とした現地踏査を実施した。

現地踏査後、アドバイザーから当該河川を改修する上での留意点や施工上配慮すべき事項等について、講評を受けた。（図-8）



図-8 現地踏査状況

### (2) アドバイザー協議時の指摘事項及び河道計画等への反映

アドバイザー協議を5回実施し、アドバイザーから受けた助言を踏まえ、生物、生態学的見地、工学的見地、事業コストの観点等から総合的、多面的に十分に検討のうえ河道計画等へ反映した。以下に、協議時の指摘事項及びその対応について記述する。

#### a) 指摘事項1

河道計画の検討にあたっては、「川の働きによって形成される複雑な地形を保全、回復する」、「川の働きを許容する空間を確保する」、「川の連続性を保全回復する」ことを可能とするような平面、縦断横断形を設定することが重要であると指摘を受ける。

#### 【対応】

①河道の法線は、その位置を極力変更しないように設定した。②計画高水位は、現況高水敷高以下となるように設定した。③流下能力増大に必要な河積の確保は川幅の拡大により行うものとし、そのスケールは高水敷上の竹林等をモデル化できる「準二次元不等流計算」を行い決定した。④超過洪水時の上下流バランスを考慮した河道計画を策定した。

#### b) 指摘事項2

河岸、水際部において、河岸域の河道特性（背後地の土地利用状況、侵食、洗掘に対する耐力、湾曲部内岸側等の水裏部等）を勘案し、メリハリをつけた改修計画を検討するようにと指摘を受ける。

#### 【対応】

①下流区間の河岸ののり勾配は、現況の川幅確保の観点から2割勾配、中上流部区間の河岸ののり勾配は、低水路の側方侵食を考慮し高水敷幅を極力多く確保する観点から5分勾配とした。②法覆工は設計流速等を勘案し、5分勾配区間はニューストーン間知石型ブロック工法、2割勾配区間は環境保全型大型覆土連結ブロック工法を採用した。③高水敷幅が広く湾曲部内岸側等の水裏部での護岸設置は不要ではないかとの指摘を受けたが、地元要望を踏まえ両岸とも護岸を設置する計画とした。

#### c) 指摘事項3

河岸、水際部の設計、計画において、現在の良好な河岸やみお筋は保全すること。また、大規模な洗掘が予想される箇所には根固工を設置した方が良いと指摘を受ける。

#### 【対応】

①みお筋は現況位置を目安に復元し、構造は低水路の水際には粒径の大きなものを優先的に配置し小出水で侵食を受けないよう配慮した。（図-9）



図-9 みお筋形成イメージ写真

②既設根固工を利用する区間、大規模な洗掘が予想される箇所および橋脚部には、代表流速を算定し根固工の重量や敷設幅を決定した。

#### d) 指摘事項4

当該河川は護岸が非常に目立つ存在となるため、護岸のり肩に植生を持つこと、護岸が目に触れる部分を小さくすること、護岸素材の明度・彩度等を周辺環境に調和させる配慮が重要であると指摘を受ける。

#### 【対応】

①天端コンクリートは天端ブロック上面から少し低い位置に打ち、天端に盛土し草地とした。（図-10）②護岸素材の明度は6以下となるような製品を選定した。③橋梁から見える区間（概ね100m）の小口止工は、コンクリートを3cm程度増打ちし、チップングによる表面処理を行うことにより明度を抑えた。

e) 指摘事項5

床止め工の構造について、護床工長は計画流量時で検討しているが、小さい流量についても検討し、いずれか大きくなるケースで長さを決定すべきである。また、落差高の割に減勢工長が長いのではないかと、魚道形式の決定理由は等の指摘を受ける。

【対応】

①護床工長が最も長くなる対象流量時の場合を採用した。②跳水が発生せず、フルード数も2.0未満であるため、跳水後の乱れた流れを抑生するのに設けられる護床は省略する。③洪水時には河床材料の移動が多く、比較的大きな転石が含まれているため、埋塞の可能性が小さく損傷の危険性も低い「粗石付き斜路式の全面魚道」を採用した。

(図-11)



図-13 応急復旧2日目の施工状況

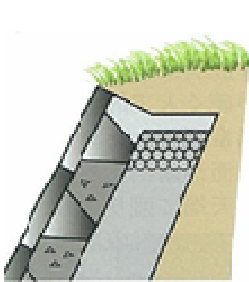


図-10 天端処理



図-11 魚道イメージ写真

6. 復旧工事

(1) 応急復旧

9月16日から9月30日の2週間において、建設業協会との災害応援協定に基づく応援要請を行い、地元建設会社協力のもと、2度の瀬替えと築堤盛土により、破堤区間L=150mの応急対策を実施した。(図-12、図-13)

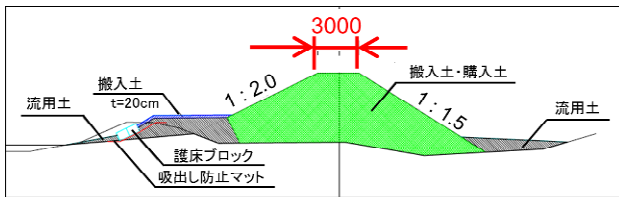


図-12 破堤箇所復旧断面および施工状況

(2) 本復旧



図-14 改良復旧予定図

1) 中道橋～野田橋下流間 (No. 42～No. 48+37)

5月中旬の公有財産審議会において、用地単価等が決定し、6月上旬には関係4集落で一括調印による用地買収を行った。工事は国アドバイザーとの協議等に日時を要していたことから、早期に工事着手できるように工区を分け工事用道路の造成を開始し、7月には本格的に工事を開始した。早期完了を図るため、4工区に分け発注し、接続ブロックによる護岸工、破堤箇所部分については堤防への侵食、浸透作用に対して十分な強度を確保するため、高水敷幅の確保と堤防強化対策工法(遮水シートによる表法面被覆工法+鋼矢板による川表遮水工法)による復旧工事を実施した。(図-15、16)

施工期間中には平成26年台風11号が来襲し上流の武曾地区では浸水する等、施工区間、未施工区間で応急対応に迫られた。(図-17) 出水期の最中での工事ながら各受注業者の努力により、翌年平成27年3月に約500mを完了することが出来た。(図-18)



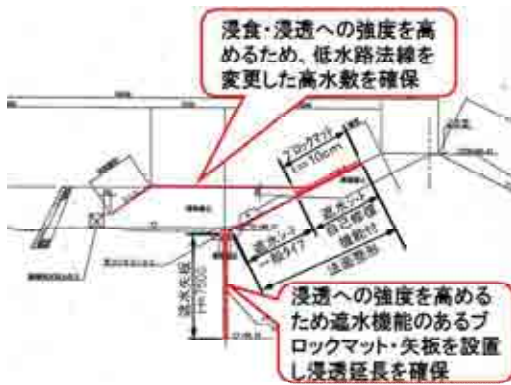


図-15 本復旧断面



図-16 現地施工状況（遮水矢板打設）



図-17 台風11号対策状況（大型土のう）



図-18 工事完成（中道橋より上流を望む）

2) 野田橋下流～行事橋上流間 (No. 48+37～No. 62+92.1)

平成27年2月には引き続き、野田橋下流より行事橋上流区間を3工区に分け発注し、積みブロックによる護岸工および根固めブロックによる護床工を実施した。工事は順調に進められていたが、平成27年7月16日の台風11号通過に伴う大雨により本川が増水し、行事橋下流付近にて施工済のブロック積の背後が河床洗掘による吸出しを受け損壊した。(図-19) 各工区復旧や台風による出水対応しながらも受注者の努力で工期を大幅に短縮し約1.6kmを完成させた。(図-20)



図-19 施工済区間における被災状況



図-20 工事完成（行司橋より下流を望む）

7. おわりに

昨年度から担当となり事業に携わるようになって着工に至るまでの道のりがいかに大変だったかを改めて実感するとともに、今こうして事業が進められるのは、関西広域連合をはじめ、コンサルタント会社や建設会社等の各関係者、地域の方々の協力によるものであり、皆様に深く感謝申し上げます。

現在、残る1.1kmの完成に向け事業を進めているところである。平成25年台風18号による災害に見舞われた住民の方々の不安を早期に解消し、より良い安心できる暮らしを提供できるよう、引き続き精励してまいります。

# 六甲山系における砂防堰堤 長寿命化計画について

百瀬 広淳<sup>1</sup>

<sup>1</sup>近畿地方整備局 六甲砂防事務所 調査課 (〒658-0052 兵庫県神戸市東灘区住吉東町3-13-15)

六甲砂防事務所管内には、昭和30年以前に建設された施設も多数あり、老朽化が進行して機能・性能への影響が顕在化し始めている施設も見られる。このため、新規施設整備と併せて、既存施設の機能や性能を適切に維持していくことが課題であった。そこで、砂防関係施設の長寿命化計画策定ガイドライン（案）（以下、「ガイドライン」）や砂防関係施設点検要領（案）（以下、「点検要領」）に準じ、管内の砂防設備の機能等を持続的に維持することを目的に、設備の健全度（健全性・安定性）を評価し、その結果を基に長寿命化計画を策定した。本論は、長寿命化計画策定において実施した検討概要及び持続可能な計画とするために実施した劣化予測と予測に基づく管理水準、コスト縮減等について報告する。

キーワード 長寿命化, 劣化予測, コスト縮減

## 1. 対象地の概要

六甲山系における直轄砂防事業は昭和13年7月の阪神大水害を契機に災害対策砂防工事として着手し、これまで六甲山系24水系（仁川流域を含む、図-1）において砂防堰堤538基、溪流保全工49箇所（2015年3月末時点）が整備されてきている。

管内では毎年管轄する全砂防施設を対象に施設点検を実施しているが施設の構造や損傷の程度に地域、水系ごとの大きな違いはみられない。このため、管内全域を単一の計画対象区域（六甲山系直轄砂防区域）として扱い、砂防施設の長寿命化計画を検討した。

## 2. 管内の砂防施設の概要



図-1 検討対象流域

長寿命化計画を策定するにあたり、管内の砂防施設の状況について、整備状況や補修の実施状況、施設の種類や構成材料等の観点から把握・分析した。

主な分析結果は下記のとおりである。

- 竣工後50年以上経過している施設が30%（180基）、30年以上が70%（395基）（図-2）
- 堰堤の35%（188基）、溪流保全工の90%（45箇所）が市街地内もしくは都市近郊といった生活圏に近い地域に立地
- 内部材料が粗石Coや粗石混合積の堰堤が20%（116基）を占める
- 施設点検結果における要対策（C判定）施設は9基（1.5%）、経過観察（B判定）施設は27基（4.6%）
- 修繕改築実績は災害復旧を含め125件
- 機能付加向上を伴わない修繕改築64%、伴う改築25%、災害復旧11%
- 修繕改築実績のある堰堤は80基でこのうち約半数（55%）の44基が粗石Coおよび粗石混合積

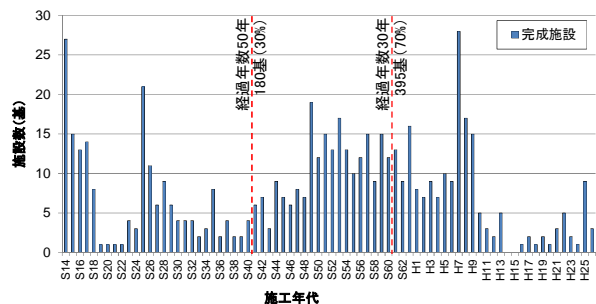


図-2 施工年代別の施設整備基数



図-3 修繕改築実績の内訳

3. 日常的な維持管理の方針設定

砂防施設の長寿命化計画では、日常的な維持の方針を定め、日常的な維持に必要な費用を年度当初に確保することが望ましい。そこで、管内における日常的な維持行為の現状を把握し、必要となる維持管理行為についてその項目と規模、費用を設定した。

平成22年度～26年度の5カ年で実施された管内における日常的な維持管理行為は主に下記の4項目であった。

- 親水性を考慮した施設の除草作業
- 溪流保全工の機能維持を目的とした伐木・塵芥処理等の清掃作業
- 安全確保のための維持作業
- その他応急処理作業

各項目の実績をもとに年間で実施する維持管理行為の規模および年間で必要となる費用を設定した(表-1)。

表-1 日常的な維持管理の項目、規模、費用

項目	頻度	規模	直接工費(万円)
親水性を考慮した施設の除草作業	1回/年	9,900m <sup>2</sup> /年	471
溪流保全工の機能維持を目的とした清掃作業	不定期(必要時)	2箇所/年	217
安全確保のための維持作業	不定期(必要時)	8箇所/年	278
その他応急処理作業	不定期(必要時)	11箇所/年	706
合計			1,672

4. 健全度評価

(1) 健全度評価の基準

施設の健全度は、定期点検時にガイドラインおよび点検要領に準拠して評価を実施している。健全度は、施設の機能の低下、性能の劣化状況と施設周辺の状況から図-4に示す考え方を基本として、表-2に示す基準に基づき評価する。施設の機能の低下および性能の劣化状況は、施設の部位ごとの変状レベルに基づき表-3の判定基準に基づき評価する。

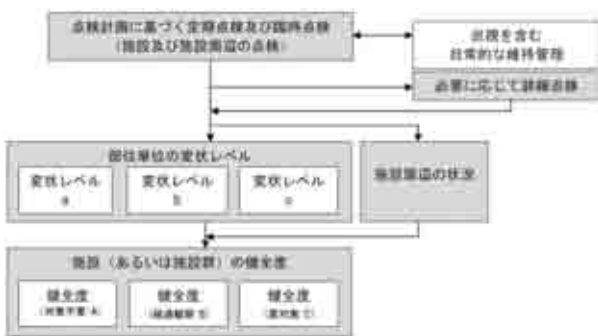


図-4 健全度評価の基本フロー(「点検要領」より)

表-2 健全度の評価基準(「点検要領」より)

健全度	損傷等の程度	表記
対策不要	当該施設に損傷等は発生していないが、軽微な損傷が発生しているものの、損傷等に伴う当該施設の性能の劣化が認められず、対策の必要がない状態	A
経過観察	当該施設に損傷等が発生しているが、問題となる性能の低下及び性能の劣化が生じていない。現状では対策を講じる必要はないが、将来対策を必要とするおそれがあるため、定期点検や臨時点検等により、経過を観察する必要がある状態	B
要対策	当該施設に損傷等が発生しており、損傷等に伴い、当該施設の性能低下が生じている。あるいは当該施設の性能上の安定性や強度の低下が懸念される状態	C

表-3 変状レベルの判定基準(「点検要領」より)

変状レベル	損傷等の程度	備考
a	当該部位に損傷等は発生していないもしくは軽微な損傷が発生しているものの、損傷等に伴う当該部位の性能の劣化が認められず、対策の必要がない状態	
b	当該部位に損傷等が発生しているが、問題となる性能の劣化が生じていない。現状では対策を講じる必要はないが、今後の損傷等の進行を確認するため、定期点検や臨時点検等により、経過を観察する必要がある状態	
c	当該部位に損傷等が発生しており、損傷等に伴い、当該部位の性能上の安定性や強度の低下が懸念される状態	

(2) 点検結果を踏まえた健全度の整理

a) 機能の低下、性能の劣化状況の把握

平成27年度の定期点検結果から、要対策施設(健全度C)は堰堤8基および溪流保全工1箇所、経過観察施設(健全度B)は堰堤27基であった。

図-5は竣工後の経過年数区分別にみた健全度評価の結果である。これより、施設に何らかの損傷が発生しており、機能の低下や性能の劣化が生じるおそれのある健全度Bおよび健全度C評価は竣工後30年以上経過した施設において多くみられる傾向が確認された。

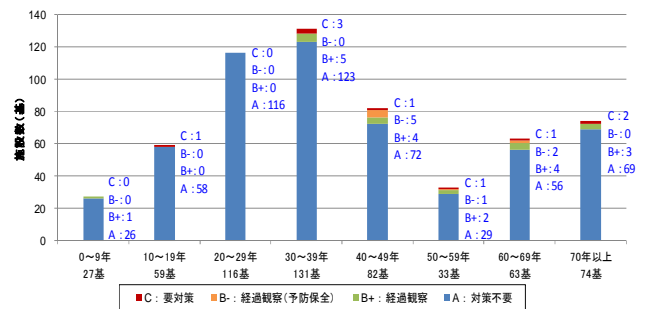


図-5 竣工後の経過年数ごとの健全度評価結果

図-6は健全度Bおよび健全度Cの堰堤35基に関する堤体の内部材料の内訳である。これより、堰堤35基中の27基がコンクリートであり、全体の75%を占めていた。残りの8基中7基が粗石コンクリート、1基が粗石混合積であった。一般に粗石コンクリートや粗石混合積は純コンクリートに比べ材料強度が劣り、変状が生じやすいと考えられるが、平成27年度の点検結果からはこの傾向はみられなかった。これは、過去に実施されてきた修繕・改築工事が粗石コンクリートや粗石混合積の堰堤を対象としたものが多く、粗石コンクリート116基のうち42基、粗石混交積4基のうち2基が既に何らかの修繕・改築が行われており、現状で大きな変状が生じていないためと考えられる。

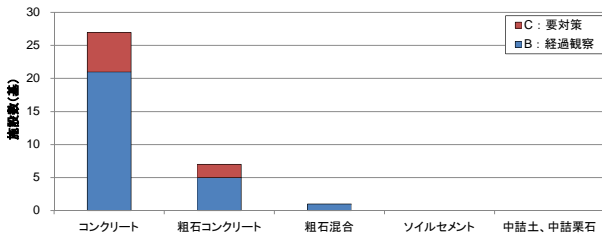


図-6 内部材料別の健全度評価結果の内訳

b) 健全度の整理

図-7, 8は点検結果から健全度の評価結果と変状レベルの関係を整理した結果である。これより、健全度C（要対策）の施設における変状レベルは、9基中8基がcレベルであり、安定性や強度の低下が懸念されるレベルの損傷が生じている部位がみられる施設が大半であった。一方、健全度B（経過観察）の施設における変状レベルは、27基中の8基がcレベル、16基がbレベル、残りの3基は周辺状況から判定されたもので変状レベルは未設定となっており、施設部位の損傷程度に幅があることが確認された。

このようにガイドラインに準じた健全度評価を行った場合、健全度B（経過観察）の評価区分は同一評価内での変状の幅が広がる傾向にあると考えられる。

本計画では、予防保全的な対策や施設の変状に応じた

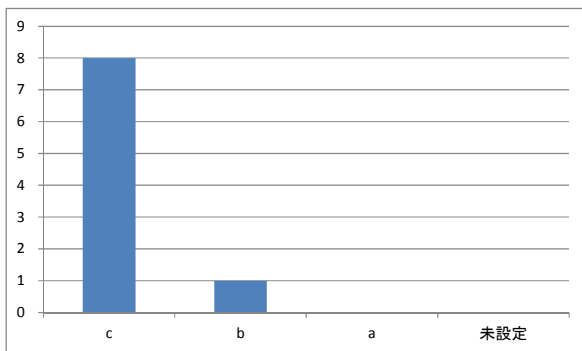


図-7 健全度C施設の変状レベル内訳

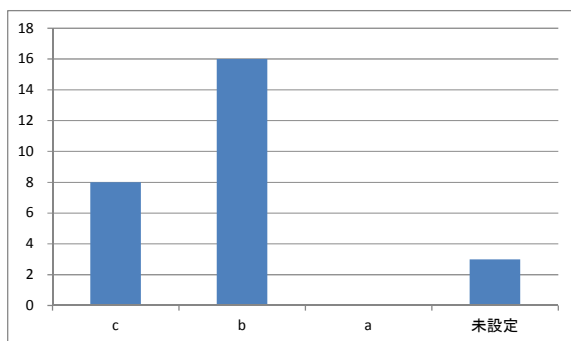


図-8 健全度B施設の変状レベル内訳

重点的な経過観察といった対応を可能とするため、健全度Bの評価区分を図-9に示す手順により「B+」、「B-」に細分化し、健全度を4区分で評価することとした。

これにより、健全度Bの堰堤27基を健全度B+19基、健全度B-8基に細分化し、健全度B-の8基を予防保全的な対策および重点的な経過観察対象として位置付けた。

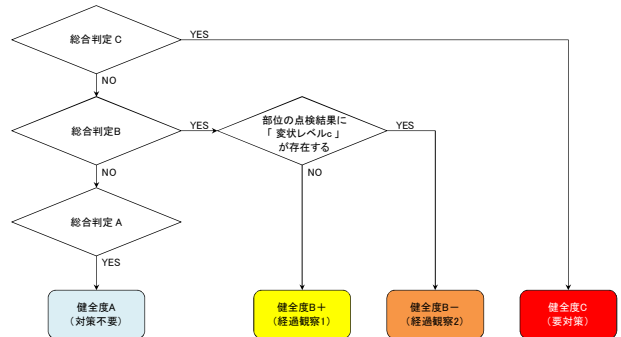


図-9 健全度評価手順

5. 修繕、改築、更新の優先順位

(1) 対象施設

管内ではこれまでも新規施設の整備と併せて施設の改築工事が進められている。近年は、施設の安定性と保全資産への影響に着目した改築優先度を設定し、事業を進めてきている。このため、新たに長寿命化対策としての優先順位を設定するにあたり、当面の改築等に関する優先度を明確とするため、点検結果を踏まえた健全度から選定する施設に加え、既往の改築優先度上位に位置する施設を含めた検討を行うものとし、下記の基準で対象施設を選定した。

- ①健全度C（要対策）および健全度B-（予防保全的な対策および重点的な経過観察対象）の施設
- ②保全資産直上流に位置する施設
- ③安定性の評価結果が極限状態を超えて転倒、滑動、沈下が生じるおそれのある施設（NG2）

ここで、安定性の評価がNG2の施設とは、現行基準による安定性照査の結果、所定の安定条件を満足しない状態（NG1）を超え、以下のような状態にある施設とした。

- 滑動の安全率が1未満となり滑動する状態
- 合力の作用線が底版から外れて転倒する状態
- 最大地盤反力が地盤の極限支持力を上回って沈下する状態

管内では図-10に示すように13基の堰堤がNG2の状態に該当するという結果となった。

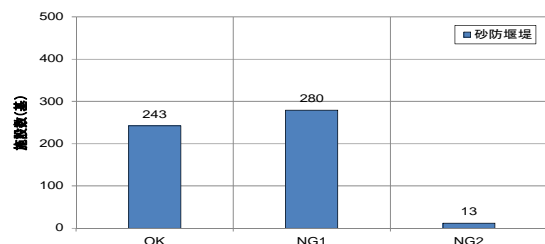


図-10 砂防堰堤の安定性照査結果

(2) 評価手法

優先順位はAHP法による重み付けを考慮した点数評価方式により評価した。評価指標は長寿命化対策の観点からの健全度、施設の安定性、保全資産への影響、土砂災害防止の観点からの施設の重要度に着目して設定した。また、各指標の評価点は、健全度や安定性、保全対象への影響といった対策の緊急性に関する評価を重視した配点とした(表-4)。

表-4 優先順位の評価指標および評価点

評価指標	評価項目	評価方法	評価点	
			配点	最大値
施設の健全度	施設点検による健全度評価	施設健全度 A	0	6
		施設健全度 B+	1	
		施設健全度 B-	3	
		施設健全度 C	6	
施設の安定性	安定計算結果	OK 所定の基準を満足する状態	0	6
		NG1 計算上、転倒しない状態	3	
		NG2 計算上、転倒する状態	6	
保全資産への影響	施設位置	施設下流に保全資産なしまたは流路内 土石流危険渓流下流堰堤	0	6
		保全資産の上流	3	
		土石流危険渓流に指定されている渓流に位置する堰堤	6	
施設の重要度	土石流危険渓流	土石流危険渓流以外の渓流に位置する堰堤	0	3
		土石流危険渓流に指定されている渓流に位置する堰堤	1	
		水系被害に対する被害軽減効果 被害軽減額 10億円未満	0	
		被害軽減額 10億円以上	1	
荒廃状況	施設直上流に1,000㎡以上の崩壊地は存在しない。 施設直上流に1,000㎡以上の崩壊地が存在する	施設直上流に1,000㎡以上の崩壊地は存在しない	0	
		施設直上流に1,000㎡以上の崩壊地が存在する	1	

※施設位置…下流に砂防堰堤が存在する場合は、施設間における保全資産を対象とした。

(3) 優先順位

AHP法による重み付け係数を変えた優先順位を5ケース設定したうえで、長寿命化対策の観点、保全資産への影響などの観点から最適案を選定し、当面の修繕、改築、更新に関する優先順位を設定した(表-5)。

優先順位は事業の取り組み易さに応じて事業対象を柔軟に変更できるように評価点が同等の施設をグループ化した優先度として設定した。

表-5 優先順位の設定結果(抜粋)

No.	施設情報		評価配点				評価点				評価点合計	優先順位	優先度	
	健全度	安定性	施設位置	I 施設の健全度	II 施設の安定性	III 保全資産への影響	IV 施設の重要度	I 施設の健全度 重み係数	II 施設の安定性 重み係数	III 保全資産への影響 重み係数				IV 施設の重要度 重み係数
1	C	NG1	○	6	3	3	2	3.36	0.30	0.75	0.20	4.61	1	
2	C	NG2	-	6	6	0	1	3.36	0.60	0.00	0.10	4.06	2	
3	C	NG1	-	6	3	0	3	3.36	0.30	0.00	0.30	3.96	3	
4	C	NG1	-	6	3	0	1	3.36	0.30	0.00	0.10	3.76	4	
5	C	NG1	-	6	3	0	0	3.36	0.30	0.00	0.00	3.66	5	
6	B+	NG1	◎	3	3	6	1	1.68	0.30	1.50	0.10	3.58	6	
7	B+	NG1	◎	1	3	6	2	0.56	0.30	1.50	0.20	2.56	7	
8	B+	NG1	◎	1	3	6	0	0.56	0.30	1.50	0.00	2.36	8	
9	A	NG2	◎	0	6	6	1	0.00	0.60	1.50	0.10	2.20	9	
10	B-	NG1	-	3	3	0	2	1.68	0.30	0.00	0.20	2.18	10	
11	B-	NG1	-	3	3	0	2	1.68	0.30	0.00	0.20	2.18	10	
12	B-	NG1	-	3	3	0	2	1.68	0.30	0.00	0.20	2.18	10	
13	A	NG2	◎	0	6	6	0	0.00	0.60	1.50	0.00	2.10	13	
14	B-	NG1	-	3	3	0	1	1.68	0.30	0.00	0.10	2.08	14	
15	B-	NG1	-	3	3	0	1	1.68	0.30	0.00	0.10	2.08	14	
16	A	NG1	◎	0	3	6	2	0.00	0.30	1.50	0.20	2.00	16	
17	A	NG1	◎	0	3	6	2	0.00	0.30	1.50	0.20	2.00	16	
18	A	NG1	◎	0	3	6	2	0.00	0.30	1.50	0.20	2.00	16	
19	A	NG1	◎	0	3	6	2	0.00	0.30	1.50	0.20	2.00	16	
20	A	NG1	◎	0	3	6	2	0.00	0.30	1.50	0.20	2.00	16	
21	A	NG1	◎	0	3	6	2	0.00	0.30	1.50	0.20	2.00	16	
22	A	NG1	◎	0	3	6	2	0.00	0.30	1.50	0.20	2.00	16	
23	A	NG1	◎	0	3	6	2	0.00	0.30	1.50	0.20	2.00	16	
24	B-	NG1	-	3	3	0	0	1.68	0.30	0.00	0.00	1.98	24	
25	B-	NG1	-	3	3	0	0	1.68	0.30	0.00	0.00	1.98	24	
26	A	NG1	◎	0	3	6	1	0.00	0.30	1.50	0.10	1.90	26	
27	A	NG1	◎	0	3	6	1	0.00	0.30	1.50	0.10	1.90	26	
28	A	NG1	◎	0	3	6	1	0.00	0.30	1.50	0.10	1.90	26	
29	A	NG1	◎	0	3	6	1	0.00	0.30	1.50	0.10	1.90	26	
30	A	NG1	◎	0	3	6	1	0.00	0.30	1.50	0.10	1.90	26	
31	A	NG1	◎	0	3	6	1	0.00	0.30	1.50	0.10	1.90	26	
32	A	NG1	◎	0	3	6	1	0.00	0.30	1.50	0.10	1.90	26	
33	A	NG1	◎	0	3	6	1	0.00	0.30	1.50	0.10	1.90	26	
34	A	NG1	◎	0	3	6	1	0.00	0.30	1.50	0.10	1.90	26	
35	A	NG1	◎	0	3	6	1	0.00	0.30	1.50	0.10	1.90	26	
36	A	NG1	◎	0	3	6	1	0.00	0.30	1.50	0.10	1.90	26	
37	A	NG1	◎	0	3	6	1	0.00	0.30	1.50	0.10	1.90	26	
38	A	NG1	◎	0	3	6	1	0.00	0.30	1.50	0.10	1.90	26	
39	A	NG1	◎	0	3	6	1	0.00	0.30	1.50	0.10	1.90	26	
40	A	NG1	◎	0	3	6	1	0.00	0.30	1.50	0.10	1.90	26	
41	A	NG1	◎	0	3	6	1	0.00	0.30	1.50	0.10	1.90	26	
42	A	NG1	◎	0	3	6	1	0.00	0.30	1.50	0.10	1.90	26	
43	A	NG1	◎	0	3	6	1	0.00	0.30	1.50	0.10	1.90	26	

※施設位置…◎保全資産直上流、○土石流危険渓流下流

6. 長寿命化対策による効果

(1) コスト削減効果

長寿命化対策による効果を施設の健全度と経過年数から推定される耐用年数、劣化速度と修繕、改築の実績から推定する平均的な対策コストから算定したコスト削減効果により評価した。

a) 耐用年数

一般にコンクリート構造物の寿命は50年や100年と言われるが、砂防施設の耐用年数について明確に示されたものはない。ここでは、点検結果に基づく健全度と竣工後の経過年数から劣化速度を設定し、耐用年数を推定した。図-11に示すように管内の健全度評価結果から、平均的な耐用年数は55年程度と推定された。図中case-1~3に示す他の直轄事務所における事例と比べると若干劣化速度が大きくなっている。

推定した耐用年数をもとに表-6のとおり長寿命化対策(予防保全)によるコスト削減効果を760千円/年、延命効果を1.91倍と試算した。

また、推定した劣化速度を用い、事後保全による対策と予防保全による対策(長寿命化対策)の効果と比較した(図-12)。比較結果からも事後保全(更新、改築)に対する予防保全のコスト削減効果が確認された。

表-6 長寿命化対策によるコスト削減効果の試算

項目	長寿命化対策なし (事後保全)	長寿命化対策あり (予防保全)	削減効果
使用見込み期間(年)	55年	105年	1.91倍の延命
修繕・改築費(千円)		120,000	
初期費(千円)	220,000	220,000	
LCC(千円)	220,000	340,000	
単年度LCC(千円/年)	4,000	3,238	762

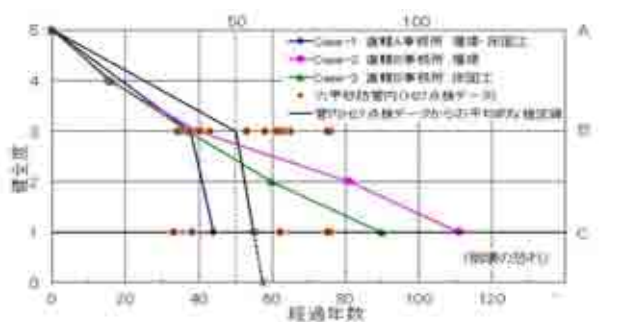


図-11 平均的な劣化速度と耐用年数の推定結果

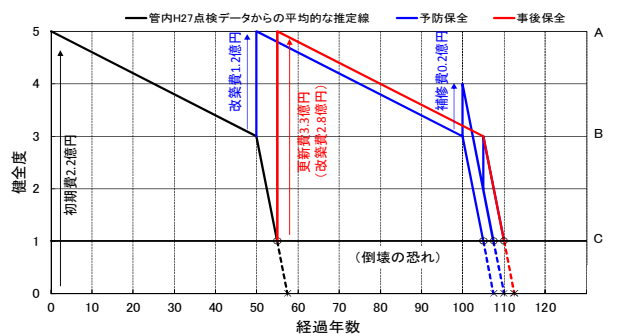


図-12 事後保全と予防保全(長寿命化対策)の比較

(2) 劣化予測

a) 劣化予測モデル

劣化予測は、点検結果をもとに健全度低下の速度や傾向を分析し、確率論的手法により行った。健全度と竣工後の経過年数から求めた健全度の遷移確率を表-7のとおり設定し、これに基づく劣化予測モデルを作成した。モデルの検証として新設堰堤100基の100年後までの劣化予測結果と管内の改築実績を比較した結果、健全度Cの遷移と改築実績割合がほぼ同様の推移となり、モデルの妥当性が確認できた(図-13)。

表-7 健全度の遷移確率

現状	遷移状態(10年経過)			
	A	B+	B-	C
A	現状維持 97.1%	低下1ランク 2.0%	低下2ランク 0.6%	低下3ランク 0.3%
B+	-	現状維持 56.4%	低下1ランク 43.6%	低下2ランク 0.0%
B-	-	-	現状維持 92.7%	低下1ランク 7.3%
C	-	-	-	現状維持 100.0%

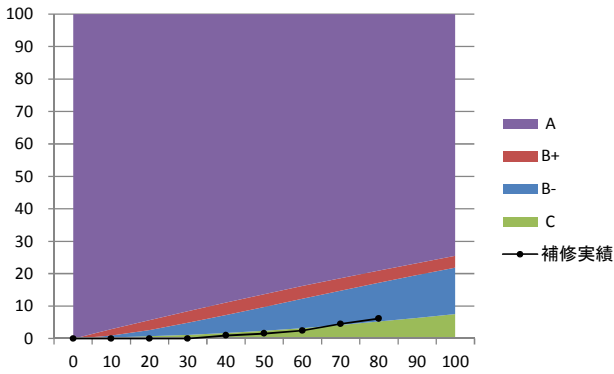


図-13 劣化予測モデルの検証結果

b) 管理水準

劣化予測モデルを用い、将来的な劣化予測とコストシミュレーションを行うことで、管理水準および予算規模の推移を予測した。

劣化予測の初期条件としては、表-8に示す現状での健全度分布を与え、さらに管内の実績から10年間に28基の新規施設の設置を考慮した。

コストシミュレーションの対策コストは既往工事実績から設定した新築、改築、修繕等に係る平均工事単価を用いた(表-9)。

劣化予測、コストシミュレーションは、対策を実施しない無管理の劣化予測ケースをリファレンスとして、予防保全と事後保全、応急処置といった対策の組合せにより表-10に示す予測ケースにより実施し、対策に応じた管理水準と維持管理費用を算出した。

劣化予測の結果、予防保全を主体とした対策(表-10のcase-3)を行うことで健全度C、B-施設の保有割合を低位に抑えられ、かつ経年的な変動も小さくなることが確認された(図-14)。

表-8 劣化予測の初期値

	施設数			割合
	砂防堰堤	溪流保全工	合計	
A:対策不要	501	48	549	93.8%
B+:経過観察	19	0	19	3.2%
B-:経過観察	8	0	8	1.4%
C:要対策	8	1	9	1.6%
	536	49	585	-

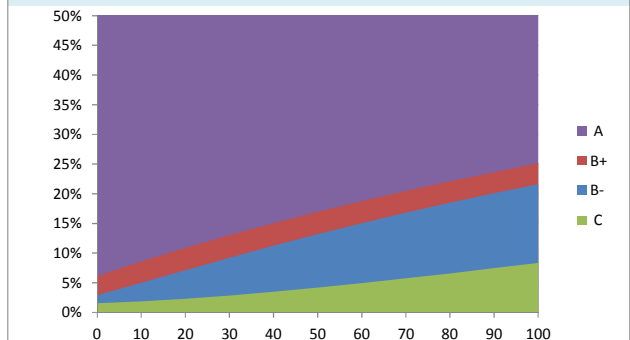
表-9 対策コストの標準単価

項目	内容	概算工事費(万円/件)	実施タイミング(健全度)	実施後健全度
新設コスト	新設工事	22,000	-	A
更新コスト	更新工事	33,000	C	A
改築コスト(事後保全)	改築工事	28,000	C	A
改築コスト(予防保全)	改築工事	12,000	B-	A
修繕コスト(予防保全)	修繕工事(応急処置)	2,000	B~C	B+~B-

表-10 劣化予測実施ケース

No.	種別	内容
CASE-0	無管理	・修繕、改築等の対策を行わず、新規施設の設置のみを実施
CASE-1	事後保全(改築)のみ	・健全度レベルCが生じた時点で改築工事(事後保全)を実施
CASE-2	予防保全(改築) + 事後保全(改築)	・健全度レベルB-の改築工事(予防保全)を毎年1基ずつ実施 ・健全度レベルCの改築工事(事後保全)を実施
CASE-3	予防保全(改築)主体 + 事後保全(改築)	・健全度レベルB-が生じた時点で改築工事(予防保全)を実施 ・健全度レベルCの改築(事後保全)を実施
CASE-4	応急処置(修繕)のみ	・健全度レベルCの修繕工事(応急処置)を実施
CASE-5	予防保全(改築) + 応急処置(修繕)	・健全度レベルB-の改築工事(予防保全)を毎年1基ずつ実施 ・健全度レベルCの修繕工事(応急処置)を実施
CASE-6	予防保全(改築)主体 + 応急処置(修繕)	・健全度レベルB-が生じた時点で改築工事(予防保全)実施 ・健全度レベルCの修繕工事(応急処置)を実施

対策未実施の場合の予測結果



長寿命化対策を実施した場合の予測結果

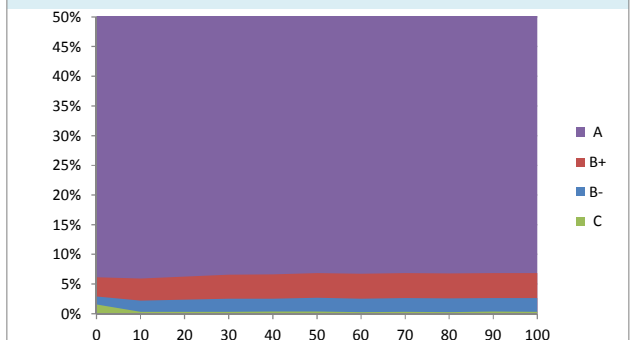


図-14 劣化予測結果(case-3)

## 7.まとめ

六甲砂防事務所管内の砂防施設は阪神大水害を契機に施工されてきており、完成から長期間を経て、既に補修・改築を受けているものも多数あるという状況にあった。

計画区域内の土砂災害に対する安全性を低下させることなく、個々の施設の適切な維持管理の両面を考慮し、対策優先度の高い施設から修繕、改築するため計画を作成した。

砂防関係施設は、現役の防災施設であることから施設状況が常に変化する可能性があるため、管内の砂防施設の防災機能が適切に発揮し続けられるよう定期的に見直しを図っていくことにより、施設の管理水準の維持に努めていく。

### 参考文献

- 1) 国土交通省水管理・国土保全局砂防部保全課：砂防関係施設の長寿命化計画策定ガイドライン（案）
- 2) 国土交通省水管理・国土保全局砂防部保全課：砂防関係施設点検要領（案）

# 小学校における交通安全教育の実態と 児童の安全意識

小畑 亜樹<sup>1</sup>・矢野 円郁<sup>2</sup>

<sup>1</sup>神戸女学院大学大学院 人間科学研究科 (〒662-8505 兵庫県西宮市岡田山4-1)

<sup>2</sup>神戸女学院大学 人間科学部 (〒662-8505 兵庫県西宮市岡田山4-1)

近年、自転車の利用方法や交通事故が社会問題となっており、自転車を利用し始める児童期からの継続的な交通安全教育が重要であると考えられる。本研究では、小学校での交通安全教育の実態調査を行い、児童の交通安全意識と認知機能の発達との関係を調べた。

キーワード 小学校, 自転車, 認知機能

## 1. 問題

### (1) 自転車に関する交通事故発生状況とその要因

近年、環境保全や健康志向、また趣味で自転車を利用する人が増加している。自動車のように運転免許を取得する必要がないため、誰でも手軽に利用することができる。自転車利用者数は増加傾向にある一方、自転車に関する交通ルールやモラルを学ぶ機会が少ないことから、子供に限らず大人も、自転車で不適切な場所を走行したり、無灯火やイヤホンの装着などの危険な運転をしたりしている。そのため、自転車の利用方法や交通事故が社会問題となっている。中でも、一時不停止や信号無視、逆走、乱横断等が自転車事故原因の問題行動として挙げられ、中学生の行動観察調査では見通しの悪い交差点での一時停止や、左右の安全確認作業を行っていない生徒がほとんどであることが示されている<sup>1)</sup>。

交通場面における行動(以下、交通行動)は、日々の行動の積み重ねで形成されるため、児童期に形成された交通行動を大人になって修正することは容易ではない。例えば、高齢者の自転車走行に関する教育プログラムでは、高齢者は自身の運転の危険性を自覚しておらず、危険性の指摘を受容しない傾向がある<sup>2)</sup>。高齢者は、客観的に自己の運転を顧みることが難しく、長年の運転経験から自己の運転技術を過大評価してしまうようである。

また、自動車運転免許の保有者と比べて、非保有者は、安全確認行動が不十分であることや、危険な場所を走行する傾向が指摘されているが<sup>3)</sup>、運転免許非保有者は、自転車走行の危険性について学ぶ機会がほとんどないことが原因であると考えられる。自転車は、子どもから高齢者まで長年に渡って利用する人が多いため、生涯で運転免許を取得しない人も安全に利用することができるよ

うに、自転車に乗り始める児童期からの継続的な安全教育が必要である。

### (2) 学校での交通安全教育の現状

子どもが交通安全教育を受ける機会は、家庭、学校、交通安全教室など、様々な場所でありうるが、等しく教育を受けられる学校の役割は大きい。学校教育の中で行われている交通安全教育の実態を把握することが求められる。兵庫県内の学校を調査した小竹ら<sup>4)</sup>によると、小学校では多くの場合、授業形式と体験型の交通安全教育が実施されているのに対して、中学校、高校での教育が不十分であり、生徒の交通安全に対する関心や法規の理解度は低い。また、学校での交通安全教育の多くは教員が担当しているが、決まったカリキュラムがなく、担当者が短期間で替わるため、一貫した教育が困難であり、日常の交通行動への教育効果の確認も行われていないことも報告されている。小竹らの研究は、調査結果を小・中・高でひとまとめにしているが、学校ごとの交通安全教育の内容や頻度の差も大きいと考えられる。

自転車を利用するだけでなく、将来ドライバーになる子どもに対する早期からの交通安全教育は、将来の交通事故を防止するために有効であると考えられ、多くの交通安全教育が考案されてきている。しかし、教育後に実際の行動が改善されるのかという教育効果の検証の研究はほとんどなされていない。大谷ら<sup>5)</sup>の研究は、効果検証を行っている数少ない研究の一つであるが、低学年児童を対象とする道路横断訓練を行った結果、模擬道路を用いた学内での訓練時には安全確認回数の増加がみられたが、実路での横断行動の観察では、安全確認行動の改善は示されなかった。訓練時だけでなく、実際の日常の交通行動の改善につながるような教育方法を考える必要



がある。

本研究では、小学校を調査対象とし、各学校で現在実施されている交通安全教育の実態を把握するとともに、その教育効果を、交通安全にかかわる児童の知識や認知を測定する課題の成績との関係から検討する。

### (3) 交通行動にかかわる認知機能

子どもが交通場面で安全に行動できるようになるためには、様々な認知機能の発達が必要である。交通行動において必要とされる主な認知機能には、交通ルールの知識を定着させる記憶力だけでなく、ハザード知覚や注意力、心的回転等が挙げられる。

ハザード知覚とは、運転中や歩行中の危ない対象を見つけ出すことである。小学生のハザード知覚能力を調べた研究では、低学年の正答率が低く、3年生でほぼ理解が進むが、個人差も大きいことが示されている<sup>5)</sup>。

このようなハザード知覚には、危険物に関する知識(記憶)だけでなく、注意力も必要とする。あるものが危険なものであると知識として知っていても、目前にあるそれに気付かなければ危険を避けることができない。注意の機能には、持続的注意や集中的注意、分割的注意など様々ある。持続的注意とは、注意を長期にわたって持続する機能であり、日常場面で単純な作業を持続できる時間は30分が限界といわれている。また、集中的注意は、視野内の限られた範囲にある情報に注意を向ける機能であり、処理容量に限界がある。交通場面で危険を認識するためには、広範囲にわたって様々な対象に注意を持続的に向けなければならないが、子どもは歩行中に前方の狭い範囲しか注視していないため<sup>6)</sup>、停車している自動車等が視界を遮ることで、接近する対象に気付くのが遅くなり、事故を起こすことがある。次に、分割的注意は注意を複数の作業に分配して行動を並行させたり、切り替えたりする機能である。分配可能な注意の容量には限界があるため、同時に複数の作業を行うことには危険が伴う。携帯電話を使用しながら運転したり、音楽を聴きながら運転するといった「ながら運転」をすると、運転に必要な注意が不足し、事故につながる恐れがある。

次に、心的回転とは、イメージの中で対象を回転させる能力であり、自分の見え方と異なる他者の見え方をイメージする他者視点取得能力の基盤となる。交通場面では、自分からはよく見えている車でも、その運転手からは自分が見えていない可能性があることを認識するなど、他者視点取得能力が重要である。小学5年生頃までに心的回転能力が発達するとことが報告されており<sup>7)</sup>、小学校高学年を対象とした他者視点取得能力を促す自転車の交通安全教育も考案されている<sup>8)</sup>。

子どもの交通安全教育は、これらの認知機能の発達段階を考慮したプログラムにする必要がある。本研究では、児童の交通安全意識と認知機能との関係を調べる。

### (4) 本研究の目的

本研究では、小学校で実施されている交通安全教育と児童の交通安全意識および認知機能との関連を検討するとともに、現在行われている交通安全教育の効果を推定し、今後求められる交通安全教育を検討することを目的とする。具体的には、兵庫県尼崎市、大阪府高槻市、香川県観音寺市の3つの小学校を対象に、交通安全教育の実施内容を校長先生へのインタビューによって調査するとともに、児童を対象とした質問紙調査によって、児童の生活場面や交通場面における危険検出能力や交通ルールの知識を測定し、学校間比較および学年間の比較を行う。

## 2. 方法

### (1) 学校の実態調査

調査対象は兵庫県尼崎市のA小学校、大阪府高槻市のB小学校、香川県観音寺市のC小学校の計3校の校長であり、平成27年4月～5月に質問紙とインタビュー調査を行い、全ての学校から回答を得られた。

調査内容は、「児童にとって校区内が危険かどうか」、「自転車に関する交通ルールの知識」等について質問紙調査と、「児童の自転車利用の条件」、「学区内の危険箇所」、「登下校の方法」等についてインタビューした。

### (2) 児童を対象とした認知課題

調査対象は兵庫県尼崎市のA小学校、大阪府高槻市のB小学校、香川県観音寺市のC小学校の計3校の2年生、4年生、6年生の児童であり、平成4月～7月に配布、回収した。得られた調査票数は全部で617票(A小学校2年生140票、4年生116票、6年生103票:B小学校2年生26票、4年生29票、6年生24票:C小学校2年生68票、4年生50票、6年生61票)であった。記入漏れや複数の調査項目を一つにまとめて回答している無効回答は該当の問のみ除外して分析を行った。調査内容は、APP検査<sup>9)</sup>の問1～4(生活場面と交通場面における危険検出課題、注意力を測定する課題、心的回転を測定する課題)に加え、筆者が独自に作成した自転車走行時の危険検出課題の計5問であった(表-1)。

表-1. 課題の構成

問1. 公園や学校での中で危険な行動を絵から探す (生活場面における危険検出)
問2. 踏切や交差点など交通場面で危険な行動を探す (交通場面における危険検出)
問3. 複数の図形の中から特定の図形の数を数える (注意力)
問4. 自分から見た絵と対応する反対側から見た絵を選択する (心的回転)
問5. 自転車の危険な行動を絵から探す (自転車走行時の危険検出)

本来、APP検査は問8までの構成であるが、本調査では、朝の会等の短時間内で担当教員に行ってもらった計画のため、問1~4のみを使用した。調査内容は学年ごとにレベル分けがなされており、2年生には低学年用、4年生には中学年用、6年生には高学年用を用いた。

自転車走行時の危険検出課題（問5）は筆者が独自に作成した課題であり、低学年用は交差点、踏切、歩道の3つの場面において、中学年用と高学年用は車道を加えた4つの場面において、絵の中で危険なことをしている人を見つけて○をつけ、何が危険なのかを絵の下に自由記述で回答する課題である。13歳以上は自転車は原則車道での通行となるが、自転車に乗り始める頃の低学年は歩道走行を促されることが多いため、「車道」の課題を除外した。自由記述は作成者が意図した危険行動以外の回答を把握するために設けた。

### 3. 結果

#### (1) 学校の実態調査の結果

A小学校、B小学校、C小学校の校長に対して交通安全に関する質問紙調査を行った。その結果、全ての校長が自動車あるいはバイクの運転免許を保有していた。また、自転車の交通安全教育を学んだのは自動車学校と家庭内が各2名、小学校、中学校、その他（自転車に関する市の委員会）が各1名であった。全ての校長は、各小学校の児童は交通ルールを守れているかという問いに「まあまあそう思う」、校区内は児童にとって「やや危険である」と回答し、児童の交通安全教育は現状で「保護者」、「学校の先生」が行うのが理想であると回答した。その他の選択肢で、A小学校は「PTA、地域の人々」、B小学校は「交通ルールに詳しい安全教育の専門家」、C小学校は「警察」とそれぞれの校長で回答が異なった。

各小学校のインタビュー調査を表-2にまとめた。インタビュー調査の中で得られなかった回答は各項において

表-2 各小学校での交通安全に関するインタビュー

	A小学校	B小学校	C小学校
交通安全教育	有	有	有
対象学年	学級ごと	全校生	①1年生 ②4年生
指導者	担当教員	警察	警察・教員
内容	歩行指導 3年生から 自転車につ いて話	歩行指導自 転車の乗り 方・車のブ レーキ等	①実際の交 差点で横断 練習 ②運動場で 自転車実走 訓練
頻度	-	1回/5年	1回/年
自転車利用の決まり	無	無	ヘルメット 校区内
市内の取り組み	-	セーフティ ボランティア 活動	交通担当教 員の指導者 研修
PTA・地域	-	市の交通安 全教育に保 護者も参加	イエロー隊 (10年前に 自主的に発 足)

- で示す。A小学校とB小学校は自転車利用に学校の決まりはないが、C小学校は4年生での自転車実走教室を受講するまで公道での自転車走行を制限しており、受講後はヘルメット着用で走行範囲を学校区内までとしている。

#### (2) 児童を対象とした認知課題の結果

それぞれの課題間にどのような関係性が存在するのかを検証するために、ピアソンの積率相関係数を算出した。また、3つの小学校において、課題の平均値（表-3）に差があるかどうかを検証するために、独立変数を学校、従属変数を得点とする対応のない1要因の分散分析を行った。統計的に有意な主効果がみられた課題について、TukeyのHSD検定による多重比較を行った。

表-3 各学校における学年ごとの課題の平均得点

項目		低学年			中学年			高学年					
		配点	A	B	C	配点	A	B	C	配点	A	B	C
生活場面	MEAN (SD)	5	2.89 (0.74)	3.00 (0.69)	2.79 (0.70)	6	4.81 (0.54)	4.79 (0.41)	4.84 (0.42)	6	4.88 (0.40)	4.92 (0.28)	4.84 (0.37)
交通場面	MEAN (SD)	4	3.58 (0.58)	3.92 (0.27)	3.72 (0.45)	5	4.82 (0.45)	4.83 (0.38)	4.62 (0.57)	7	5.76 (0.59)	5.67 (0.57)	5.79 (0.69)
自転車	MEAN (SD)	6	3.91 (1.22)	4.28 (1.24)	4.00 (1.27)	8	5.47 (1.33)	5.66 (0.97)	5.72 (1.18)	8	5.47 (1.31)	5.65 (1.15)	6.44 (0.94)
注意力	MEAN (SD)	5	3.97 (1.10)	4.27 (0.87)	4.10 (0.81)	5	4.41 (0.88)	4.24 (1.02)	4.38 (0.70)	6	4.58 (1.18)	4.25 (1.11)	4.90 (0.96)
心的回転	MEAN (SD)	4	2.61 (1.42)	3.27 (0.87)	3.09 (1.14)	5	3.55 (1.38)	4.31 (1.29)	3.86 (1.28)	5	4.16 (1.19)	3.83 (1.37)	4.23 (1.19)

a) 低学年における課題の相関と学校間の差

生活場面と自転車走行時の危険検出, 交通場面と自転車走行時の危険検出との間に有意な正の相関関係が認められた(順に,  $r=.16, r=.14, p<.05$ ) .

また, 3つの小学校において, 対応のない1要因の分散分析を行った結果, 交通場面における危険検出, 心的回転において統計的に有意な主効果が認められた(順に,  $F(2)=5.57, F(2)=4.85, p<.01$ ) . 多重比較の結果, 交通場面における危険検出においてB小学校の平均点はA小学校より有意に高く, 心的回転においてB小学校とC小学校の平均点はA小学校より有意に高いことが判明した.

b) 中学年における課題の相関と学校間の差

生活場面と交通場面における危険検出, 交通場面と自転車走行時の危険検出, 生活場面と自転車走行時の危険検出, 心的回転と自転車走行時の危険検出との間に有意な正の相関関係が認められた(順に,  $r=.23, r=.23, p<.01, r=.18, r=.16, p<.05$ ) .

また, 3つの小学校において, 対応のない1要因の分散分析を行った結果, 交通場面における危険検出と心的回転において統計的に有意な主効果が認められた(順に,  $F(2)=3.34, F(2)=4.01, p<.05$ ) . 多重比較の結果, 交通場面における危険検出においてC小学校の平均点はA小学校よりも有意に高く, 心的回転においてB小学校の平均点はA小学校より有意に高いことが判明した.

c) 高学年における課題の相関と学校間の差

生活場面と交通場面における危険検出, 交通場面と自転車走行時の危険検出, 注意力と自転車走行時の危険検出, 生活場面における危険検出と注意力, 交通場面における危険検出と注意力との間に正の相関が認められた(順に,  $r=.26, p<.001, r=.22, r=.21, p<.01, r=.18, r=.18, p<.05$ ) .

また, 3つの小学校において, 対応のない1要因の分散分析を行った結果, 自転車走行時の危険検出, 注意力において統計的に有意な主効果が認められた(順に,  $F(2)=13.28, p<.001, F(2)=3.36, p<.05$ ) . 多重比較の結果, 自転車走行時の危険検出においてC小学校の平均点はA小学校とB小学校より有意に高く, 注意力においてC小学校の平均点はB小学校より有意に高いことが判明した.

4. 考察

(1) 交通安全意識と認知機能の関係

低学年から高学年にかけて, 課題間の相関関係の数が増加し, 高学年では4つの課題間ですべて有意な相関関係がみられた. 特に, 学年が上がると注意力を測定する課題と有意な相関がみられた課題が増加した. 注意力は様々な場面において, 多くの情報から危険を発見するために重要な認知機能である. このことから, 注意力を鍛えることで危険を検出する全般的な能力が向上するこ

とが期待される.

一方, 本調査では心的回転課題は他の課題との高い相関がみられなかったが, 交通場面において心的回転は自分の行動を他者の視点で考え, 危険を回避するために必要な認知機能であると考えられるため<sup>8)</sup>, 児童の学力を揃えたり, 担当教員への教示方法を統制して, 再検討する余地がある.

子どもを対象とする交通安全教育プログラムを考案する際には, 日常の交通行動の改善に結びつくような内容にするために, 認知機能の発達段階を考慮する必要がある.

(2) 学校における交通安全教育の効果

高学年において, 自転車走行時の危険検出課題のC小学校の平均点がA小学校とB小学校より有意に得点が高く, 標準偏差が小さかった. このことは, 学校において一斉に安全教育を受けることで, 児童間で共通した安全意識が形成されたことを反映していると考えられる. しかし, A小学校, B小学校では学校で決められた自転車の指導は行っておらず, 担任の先生や全体集会等で講話することどまっている. 学校で教育を受けていない場合は, 保護者が乗り方や交通ルールの指導を行う必要があるが, 指導を行うためのマニュアルはなく, 家庭間で安全意識の育成に差が生じるため, 自転車走行時の危険検出課題の得点のばらつきが大きくなったと考えられる. 交通ルールの知識が乏しく, 教育する時間的余裕がない保護者が多いため, 等しく教育を受けられる学校などの教育機関での安全教育が重要であると考えられる.

次に, 3年生や4年生で自転車に関する講話や自転車教室が実施されている学校が多いことから, 自転車に乗り始めるのが小学校中学年であると考えられる. そこで, 小学校によって中学年から高学年にかけて自転車に関する危険認識が変化するかどうかを検証した. その結果, C小学校においてのみ中学年と比較して高学年の自転車走行時の危険検出課題の得点が有意に高かった. 表-2に示したように, C小学校では, 4年生で自転車実走教室を受講するまで, 公道での自転車利用を制限している. 自転車で公道を走行する前に, 自転車に関する様々な危険や交通ルールについて学習し, その後, 実際に公道を走行することで学習がより定着すると考えられる. A・B小学校のように, 教育を受けないまま公道で自転車を利用すると, 不適切な走行場所やスピード, 他者の交通行動等に関する危険を認識しないままの運転が定着してしまい, ヒヤリハットや事故につながる恐れがある. よって, 悪い運転の習慣がついてしまう前の, 自転車に乗り始める早い時期に, 自転車の正しい乗り方を教育することが重要である.

(3) 今後求められる交通安全教育

交通安全教育は, 学んだことを行動に移すことが重要

であり、小学生に対してはより具体性が求められるため、特に実際の道路での実習は屋内や学内で行なわれる交通安全教室に比べて効果が期待される。しかし、学校で行われている交通安全教育は教室内や学内の運動場で一斉に講話を聞いたり、代表者数名が体験をしたりすることが多い。校外の実習には時間がかかるうえに危険が伴うため、安全に実習を行うために十分な指導員の確保が困難であるためと考えられる。

C小学校において、1年生で実際の交差点での横断練習や、4年生での全員による自転車実走教室が実施可能であるのにはいくつかの要因が考えられる。一つ目は、児童数が1学年50名～70名と少人数という点である。児童の人数が少ないため、教員や指導員の管理下で実践的な交通安全教育の実施が可能であると考えられる。また、実際に、学校近辺で交通事故が多発しているために、保護者や地域の人々の交通安全教育への関心が高いことが要因の一つと考えられる。児童の祖父母を中心としたイエロー隊という地域見守りのボランティアグループの結成や、保護者や駐在所の警察官等の連携の強さなどに、関心の高さが反映されている。さらに、C小学校のある市内には公共交通機関が少なく、子どもの移動手段として自転車が必須であり、中学に進学すると自転車通学になる子どもが多いことが、より実践的な交通安全教育の必要性を高めている。

C小学校のように、通学で自転車を利用するなど、自転車利用の必然性が高くない場合でも、多くの子どもや大人が自転車を利用しているという現状があるため、利用環境にかかわらず、自転車に乗り始める時期から、学校などの教育機関において等しく継続的に教育することが重要であろう。前述したように、時間と安全性の確保の問題から、多くの学校では、C小学校のような教員が主体となって実施する実践的な実習を行うことは困難であるが、学校で教育を行わない場合は、家庭による教育の差がでてきてしまう。学校で一斉に交通安全教育を行うことで、児童間で共通した危険認識が芽生え、その地域での交通安全が保たれやすくなると考える。そこで、学校（教員）の負担を増やさずに、学校で充実したこう告安全教育を行うための一つの方法として、企業や民間団体が出前授業として行っている交通安全教育を取り入れるという方法が挙げられる。団体によって様々なプロ

グラムがあり、それらを利用することで学校では用意できない大がかりな設備や道具を利用した実習も可能となる。そもそも、交通安全教育への関心が薄い学校に対しては、まずは関心を持ってもらうことが求められる。地理的条件や児童数が似ている学校で行なわれている交通安全教育の内容を共有することは、教員の交通安全教育への関心を高めることに有効だと考えられる。

一方、学校でどんなに充実した交通安全教育を実施しても、保護者など子どもの身近にいる人々が日常的に危険な交通行動をしていては、それを見ている子どもの安全意識は高まらないであろう。自転車の正しい乗り方の知識を持っている大人が多いとはいえない現状があるため、子どもだけでなく、保護者と一緒に学べる交通安全教育を考案する必要がある。

### 参考文献

- 1) 国際交通安全学会（2010）：子どもから高齢者までの自転車利用者の心理行動特性を踏まえた安全対策の研究 国際交通安全学会平成21年度研究調査報告書
- 2) 国際交通安全学会（2012）：子どもから高齢者までの自転車利用者の心理行動特性を踏まえた安全対策の研究 国際交通安全学会平成23年度研究調査報告書
- 3) 大谷亮・橋本博、岡田和未・小林隆・岡野玲子（2014）：低学年児童を対象にした道路横断訓練の有効性 交通心理学研究
- 4) 小竹雄介・日野泰雄・吉田長裕（2012）：児童生徒の自転車利用意識と交通安全教育の課題に関する調査研究 土木学会論文集
- 5) 蓮花一己・向井希宏（2012）：交通心理学 放送大学教育振興会
- 6) 小池洋平・浜岡秀勝・清水浩志郎（2003）：子供の視点を考慮した安全な歩行者空間に関する研究 土木計画学研究・講演集
- 7) 福田由紀（1991）：視覚的イメージ操作に関する発達の研究—三つ山課題とメンタル・ローテーション型課題の比較—教育心理学研究
- 8) 矢野円郁・菅野甲明・松岡晋・青木裕典・濱口あゆ美・向井希宏（2013）：自転車シミュレータを用いた小学校高学年の交通安全実習～他者視点取得に焦点をおいて～ 日本交通心理学会
- 9) 安全能力開発研究会（編）（1990）：新APP検査 小学校・低学年用・中学年用・高学年用 東京心理

# 既設防潮堤における沈下対策の 取り組みについて

吉川 和宏<sup>1</sup>

<sup>1</sup> (公財) 兵庫県まちづくり技術センター 企画部情報政策課

(〒540-8586兵庫県神戸市中央区栄町通6-1-21) .

兵庫県では、南海トラフ巨大地震等に備える地震・津波対策を効果的かつ効率的に進めるため、かねてから「津波防災インフラ整備5箇年計画（暫定版）」を策定するなどいち早く対応してきたが、この度、地震動による防潮堤等の沈下対策の検討を行い、これを反映した津波対策後の浸水地区の縮減対策を取りまとめた「津波防災インフラ整備計画」を2015年6月に策定した。計画では、甚大な浸水被害が想定される地区を「重点整備地区」に設定し、全ての津波対策の完了を10年間（2023年まで）として、計画的・重点的に津波対策を推進することとしている。

県が管理する尼崎西宮芦屋港海岸は、南海トラフ巨大地震による津波被害が想定されており、特に、背後に人口・資産が高度に集積する「尼崎地区」「鳴尾地区」「西宮・今津地区」が重点整備地区（図-1）に設定され、既設防潮堤の沈下対策が喫緊の課題となっている。

本論文では、既設防潮堤の沈下対策を迅速に進めるために実施した「複数工区で進める設計の思想や条件を統一するための会議」や、「先行工事による液状化対策工法の効果検証」などの取組みと課題を考察する。

<キーワード 南海トラフ巨大地震, 既設防潮堤, 液状化対策, 津波対策>

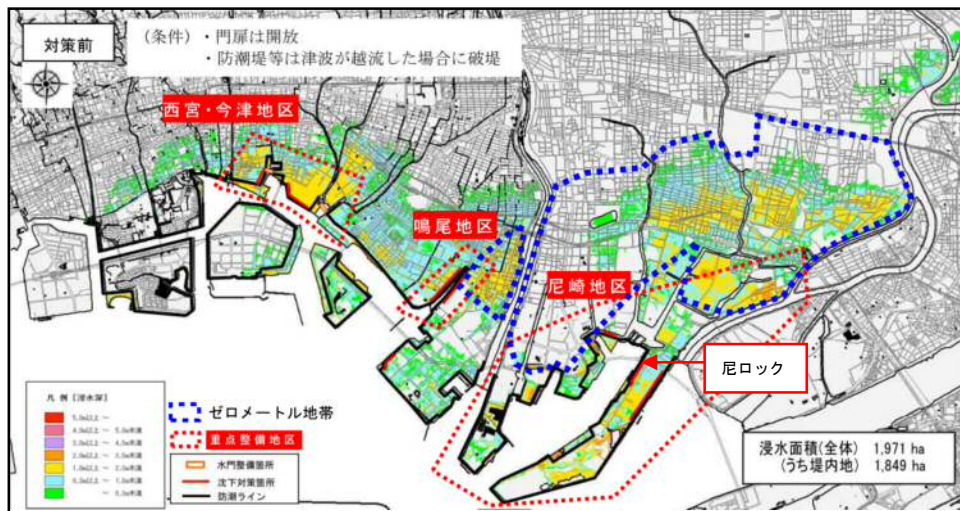


図-1 尼崎西宮芦屋港海岸 重点整備地区

## 1. 防潮堤をとりまく現状

### (1) 地形特性

尼崎西宮芦屋港海岸は、人口・資産が高度に集積する地域を背後に控え、特に尼崎市では工業地帯を中心に地下水の汲み上げによる地盤沈下が進んだため、一部西宮市域を含む国道2号付近までゼロメートル地帯が存在している。

### (2) 施設の現状

#### a) 高潮対策

尼崎西宮芦屋港海岸線では、1950年のジェーン台風や、1961年の第2室戸台風による甚大な高潮被害を契機とし

て、1951年～1998年にかけて海岸線約58kmに第一線防潮堤を整備している（図-2）。



図-2 防潮堤建設状況

b) 阪神淡路大震災による被害と災害復旧

1995年の阪神淡路大震災では、地盤の液状化により約16kmにわたって防潮堤が沈下するなどの被害を受けたため、災害復旧事業で嵩上げ等の原型復旧を行ったが、液状化層の地盤改良など被災原因の対策は行っていない。

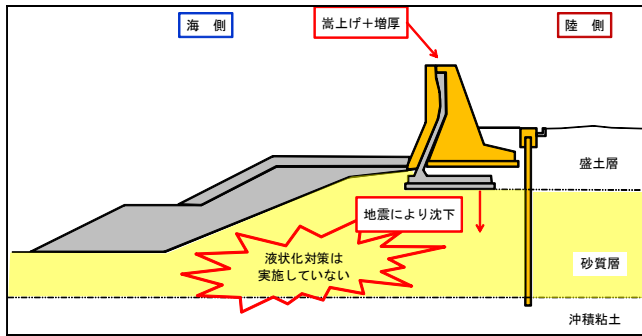


図-3 災害復旧断面図

c) 津波対策

2008年に尼崎市、西宮市、芦屋市など県内市町が「東南海・南海地震防災対策推進地域」に指定されたことを受けて策定した「兵庫県海岸保全施設耐震対策整備計画」において、安政南海地震（M8.4）を想定した耐震・耐津波照査の結果、耐津波性が不足する箇所が判明したため、防潮堤の増厚補強工事を実施し、2011年までに対策を完了している。これにより、100年に1回のレベル1津波については安全性が確保されている。

(3) 南海トラフ巨大地震による被害想定

東日本大震災を契機として、国が新たに南海トラフ巨大地震（M9.1）に伴う津波（レベル2津波）の想定結果を発表したことを踏まえ、県独自で防潮堤等の耐震照査及び浸水想定を行った。結果、地震動により堤体直下の基礎地盤が液状化し、防潮堤が約0.5m～2.3m沈下すること、その後押し寄せるレベル2津波に対して天端高さが最大1.1m不足し、津波の越流により防潮堤の背後地約1,971haが浸水することが明らかになった。そこで県では「津波防災インフラ整備計画」を策定し、効果的かつ効率的な津波対策を計画的に推進することとしている。

表-1 設計条件表 (抜粋)

種類	項目	内容	設計C1	設計C2	設計C3	設計C4	設計C5	決定内容
土質調査	ボーリング調査	調査開閉						地盤条件、構造物の条件に応じて適宜設定 C-1 軸圧縮試験 → N値から算定 C-3 軸圧縮試験 → 港湾基準に基づきN値、土壌により推定 T、P
	土質定数	C、φの決定方法						
測量調査		設計基準面						対象施設近傍の1級水準点から設定 ・港湾の施設の技術上の基準・同解説 ・海岸保全施設の技術上の基準・同解説 ・土木技術管理規程集 ・津波防災インフラ整備計画
		基準点の位置、座標						
設計	1) 設計思想	準拠基準類						・L1津波：津波防災インフラ整備計画記載の各地区の調査 ・L2津波：R25・12類公費の津波シミュレーションにおいて予測した近傍の津波評価地点の津波水位 ・L1：地盤照査・重要度係数、地盤種別情報より設計震度も設定 ・L2：最近傍の南海トラフ巨大地震震害ケース（中央防災会議）を方向補正
	2) 共通事項	津波						
	4) 老朽化対策	対象変状						
		電対						
		県、コンサルがそれぞれ設計に必要な条件、疑問事項を提示		各受注コンサルが思想・を記入				
8) 沈下対策	地盤評価の方法						・液状化照査を実施し、その結果を踏まえてFLIPにより沈下量を予測する ・水平方向：対象施設から100m ・鉛直方向：工事対象地盤の直下まで ・港湾基準P330の定義による 下方にある全ての土層が以下のいずれかに当てはまる土層の上面 ① 地盤：20kN/m <sup>2</sup> 以上の砂質土層 ② 軸圧縮強度が650N/m <sup>2</sup> の粘性土層 ③ せん断強度係数 $\tan\delta$ が0.01以上の土層 ・設計地点の南海トラフ巨大地震 ・設計地点施設法線直交方向に角度補正 ・水平せん断流、上下方向のみ Max7.1.9以上※マルスクリンが要求適用	
FLIP解析	1) 解析条件	解析モデル範囲						標準入力試験結果 ・過剰間隙水圧比95%以上の場合→「過剰間隙水圧消散後の体積ひずみと最大せん断ひずみの関係」グラフより算定 ・過剰間隙水圧比95%未満の場合→「過剰間隙水圧消散後の体積ひずみとせん断過剰間隙水圧比の関係」グラフより算定 ・過剰間隙水圧比の関係、グラフより算定 ・過剰間隙水圧比の関係、グラフより算定 ・過剰間隙水圧比の関係、グラフより算定 ・過剰間隙水圧比の関係、グラフより算定 ・過剰間隙水圧比の関係、グラフより算定
	1) 解析条件	工学的基礎面						
	2) 入力地震動	レベル2地震動						
	3) 使用プログラム	FLIPバージョン						
	4) 解析定数設定	N値						
5) 出力項目	排水沈下量計算法、抽出箇所							

2. 沈下対策実施にあたっての課題

当該重点整備地区の防潮堤沈下対策は、全箇所早急に進める必要があるため、2014年から複数同時に調査・設計に着手する中、設計を進める上で以下の課題が生じた。

(1) 対策にかかる設計基準

南海トラフ巨大地震による津波対策については、詳細設計実施時点では、統一的な基準がなかったため、国への確認や他府県からの事例収集などをもとに設計条件を整理することとした。特に、レベル2津波に対する性能規定値（沈下対策の要否判定の基準値も同様）については、地震時の変位量（沈下量、傾斜角、水平移動量等）に対し、県独自の目標値を設定する必要があった。

(2) 液状化対策の効果検証

防潮堤直下に液状化層が存在する場合の沈下対策については、液状化層に対して地盤改良等の液状化対策が必要となるが、県内での施工実績がなく、その効果検証や課題の抽出を行いながら設計を進める必要があった。

3. 課題の解決策及び得られた成果

(1) 設計条件にかかる調整会議

設計思想や基準を統一して共有化するため、事務所、本庁主管課（港湾課）、各受注コンサルタントの担当者で構成する設計条件にかかる調整会議（以下、「調整会議」という。）を設置し、先行工事を除く7箇所の詳細設計を並行して実施した。調整会議では、設計思想や土質定数の設定など、設計に必要な条件を抽出するとともに、抽出された条件に対して各受注コンサルタント毎の考え方を整理した設計条件表（表-1）を基礎として検討を重ね、設計条件等の統一を図った。

a) 統一の結果

設計思想、土質定数の設定、性能規定、地盤耐震解析

の条件等については、各地区の間でバラつきが改善された。また、土質調査の頻度、地盤の改良範囲など現場ごとに設定が必要な項目も、各地区の状況も踏まえて考え方が統一化され、設計期間の短縮、手戻り防止を図ることができた。

b) 性能規定

「兵庫県海岸保全施設耐震対策整備計画検討委員会（以下、「委員会」という。）」の助言により、「沈下対策の判定条件」＝「性能規定値」としていたが、設計を進める中で天端幅が広い防潮堤の水平変位量の考え方について課題が出たため、調整会議を活用して他府県事例を収集する等により、性能規定値（図-4）の設定に寄与することができた。

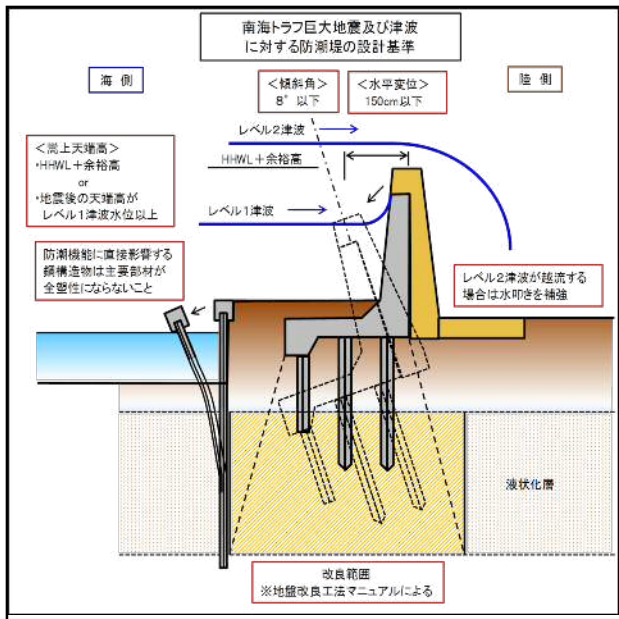


図-4 性能規定イメージ図

c) 会議による副次的効果

防潮堤の沈下対策に関わる担当者全員が調整会議に参加することで、各地区の持つ課題、対策方法等を情報共有できたことにより、技術レベルの底上げに繋がった。更に、各設計コンサルの得意分野、不得意分野を互いに補い、より良い成果へと導くことができた。

(2) 先行工事による液状化対策の効果検証

尼崎地区の尼ロック西側にある第一線防潮堤は、津波から背後のゼロメートル地帯を護る重要な施設であるが、耐震照査の結果、地震で矢板が塑性化することが判明している。加えて、津波が越流浸水すると排水処理に長期間を要し、復旧に困難を極めることが予想されるため、液状化対策工法の効果検証も含め2014年から先行工事を実施した。

a) 対策工法の選定

耐震照査の結果、液状化に伴う地盤のせん断変形により防潮堤の変状が確認されたため、委員会の助言を踏まえ、液状化対策を主とする地盤改良工法を中心に検討し

た結果、堤体直下の改良が可能で、周辺地盤への影響が少ない恒久グラウト剤を使用する「薬液注入工法」を採用した。

b) ボーリング調査の重要性

先行工事は近傍の既存土質調査結果をもとに工事発注し、施工時に確認ボーリング(100m毎)を実施することとした結果、液状化層の層厚が想定と大きく異なり（図-5）、修正設計が必要となったことから、これを教訓として、他工区の設計ではジャストポイントでの土質調査結果を踏まえて設計することとした。

特に、軟弱地盤を埋め立てた地区においては、河口部であっても地層の分布が一様でないことに留意する必要があることがわかった。

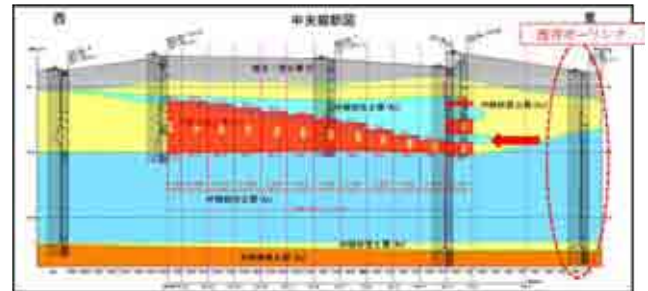


図-5 土質縦断面

c) 工事の結果

先行工事において、施工後の改良層のサンプルを採取し、強度試験を実施した結果、改良範囲、強度において、所定の効果が確認できた。また、地盤改良工事による周辺地盤等の変形や地下水への影響について、地盤高の測定や水質を計測した結果（図-6、表-2）、周辺地盤・堤体及び水質への影響がほとんど認められなかった。このことから、薬液注入工法は背後に建物があり周辺地盤の変形に配慮が必要な箇所でも適用可能であることが確認できた。

表-2 施工管理項目

観測種別	計測等位置	計測項目	
		垂直変位	水平変位
変位計測	防潮堤天端	垂直変位	水平変位
	背後地盤	〃	〃
改良後強度	上部	一軸圧縮強度	
	中間		
	下部		
観測孔採水	改良層背後	PH値	

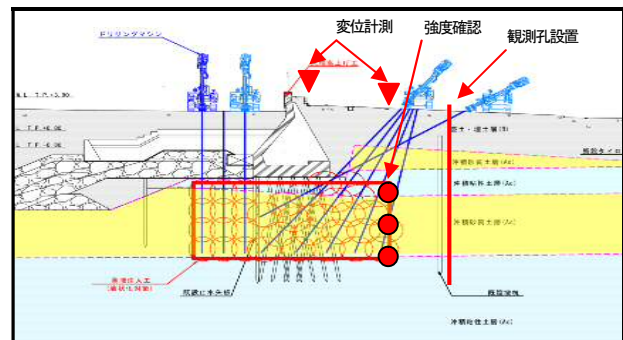


図-6 対策工断面図

e)対策効果のPR

本対策では目的物が地中にあるため、対策効果が目に見えないことから、住民に対する事業効果PRを積極的に実施する必要があると考えた。先行工事では、施工業者の協力を得てビジュアルな取り組みとして以下のことを実施した。

- ・液状化対策効果のわかる模型の製作・展示 (図-7)
- ・液状化対策工法のPR看板の製作・展示 (図-8)

工事現場見学会においてこれらを用いて説明を行った結果、事業効果の住民への理解に寄与できたことが確認できた。

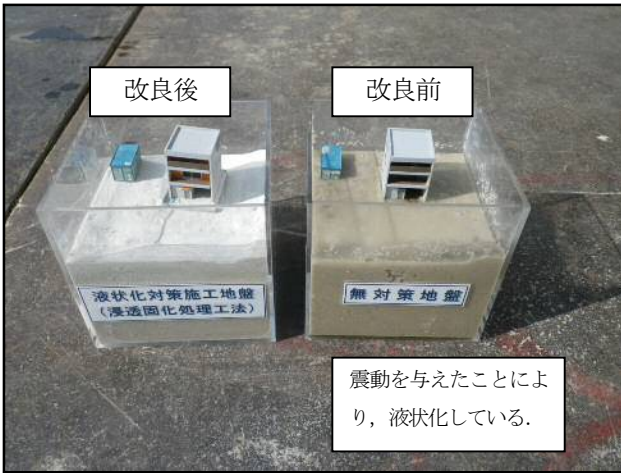


図-7 改良前・後の土層模型



図-8 PR看板

f) 先行工事から得られた成果

先行工事の結果、対策工法の効果、周辺への影響、土質調査の重要性について確認することができ、結果、そ

の他工区的设计・施工に反映することができた。

以上、施工実績の少ない工法を設計する場合の、先行試験工事を実施することの有効性が実証された。

また、工事PRの必要性についての課題及びその一つの解決策を得ることができた。

4. おわりに

南海トラフ巨大地震の30年以内における発生確率が70%と言われる中、住民の津波防災インフラ整備に対する関心が高まり、津波に対する迅速なハード対策が求められている。

今回の設計過程でとりまとめた設計手法は、震度法による設計だけではなく、性能規定の考え方も取り入れるなど、今後の軟弱地盤上の防潮堤の設計を進める上で有用な成果を得たと考えている。

現在も設計及び工事は継続中であり、工法検討中の工区も複数ある中、委員会で提唱された工法では対策が困難な箇所も発生している。今後、更なる課題に遭遇することが予想されるが、常に最新の知見を取り入れることにより、技術力を高め、技術者同士情報を共有しながら課題に取り組むことにより、解決できるものと考えている。本論が新たな設計を進める上での参考となり、土木技術向上の一助となれば幸いである。

※異動に伴う対応

発表者は人事異動があり、本論は従前の所属である兵庫県阪神南県民局 尼崎港管理事務所 港湾整備課における所掌内容である。

謝辞：本事業を進めるにあたり、多くの知識及び協力を頂いた設計コンサルの皆さま、工事現場においてPRのため、創意工夫をもって協力いただいた請負業者の皆さまに感謝します。また、日常の議論を通じて多くの知識や示唆を頂いた尼崎港管理事務所、本庁港湾課の皆さまに感謝します。

参考文献

- 1) 兵庫県海岸保全施設耐震対策整備計画 (2008)
- 2) 津波防災インフラ整備計画 (2015)
- 3) 尼崎閘門建設誌



# メンテナンス会議に於ける事務所の 取り組みと保全対策についての一考察

浦西 勝博

近畿地方整備局 大阪国道事務所 (〒536-0004大阪府大阪市城東区今福西2丁目12番35号)

大阪府道路メンテナンス会議は、平成26年5月23日に設立されて既に2年が経過しているが、メンテナンス会議の構成員として、メンテナンスサイクルを国・地方自治体のすべてに定着させるという大きな目標に向かって、大阪国道事務所が取り組んできた内容について紹介する。また、今後の道路インフラの保全対策の進め方、地方自治体への技術支援等のあり方について考察する。

キーワード メンテナンス会議，メンテナンスサイクル，道路インフラ，保全対策，技術支援，老朽化対策，広報活動

## 1. メンテナンス会議が設立された経緯について

メンテナンス会議は、全国の都道府県毎に設置されており、設置されたきっかけは、平成24年12月に発生した中央自動車道笹子トンネル上り線での天井板の落下事故である。この事故により9人の尊い命が犠牲となり、長期にわたって通行止めとなった。これは老朽化時代が本格的に到来したことを告げる出来事であった。

この事故の発生により、一時的に多くの国民が道路インフラの老朽化に関心をもつようになりました。そこで、国の諮問機関である社会資本整備審議会道路分科会は、「道路の老朽化対策の本格実施に関する提言」を国に建議し、国がこの提言を受け入れて、国や地方自治体など大阪府内の道路管理者から構成される「大阪府道路メンテナンス会議」が設立されるに至ったのである。この会議は、大阪府内に於ける道路施設の高齢化や老朽化による不具合への対応、施設の大量更新時期への備えなど、道路の維持管理を効率的・効果的に行うため、各道路管理者が相互に連絡・調整を行うことにより、円滑な道路の維持管理を促進することを目的として設立されたものである。

## 2. メンテナンス会議の構成・役割について

大阪府道路メンテナンス会議は、大阪国道事務所、大

阪府、大阪市及び堺市を含む大阪府内の43市町村、西日本高速道路株式会社、阪神高速道路株式会社、大阪府道路公社から構成されており、その役割は、以下のとおりである。

- 1) 技術研修会・講習会の開催の調整
- 2) 点検・修繕において、優先順位等の考え方に該当する路線の選定・確認
- 3) 点検・措置状況の集約・評価・公表
- 4) 点検業務の発注支援（地域一括発注等）
- 5) 技術的な相談対応
- 6) その他、道路の維持管理等に関連して必要と認められる事項等

## 3. メンテナンス会議の必要性

直轄国道は全道路交通量の30%の交通量を担っている。しかし、橋梁の数に於いては、図-1に示すとおり橋梁の全体数に占める国管理橋梁数の割合は僅か4%にすぎない。国単独では、いくら頑張ったところで、道路インフラ全体で見れば、老朽化をくい止めることが出来ないという状況に置かれている。

そこで、地方自治体と手を携えて、道路インフラの老朽化対応をしていくという新しい枠組みが必要となり、道路メンテナンス会議が誕生したのである。

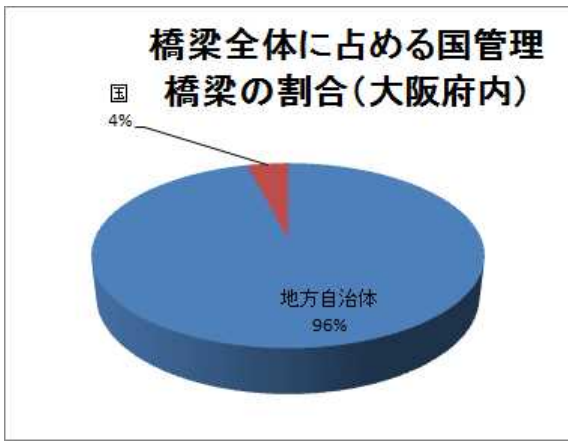


図-1 大阪府内の全橋梁数に占める国管理橋梁数の割合

また、図-2に示すように、各自治体が抱える課題に対する対策を講じていくという点でも、道路メンテナンス会議は必要なのである。

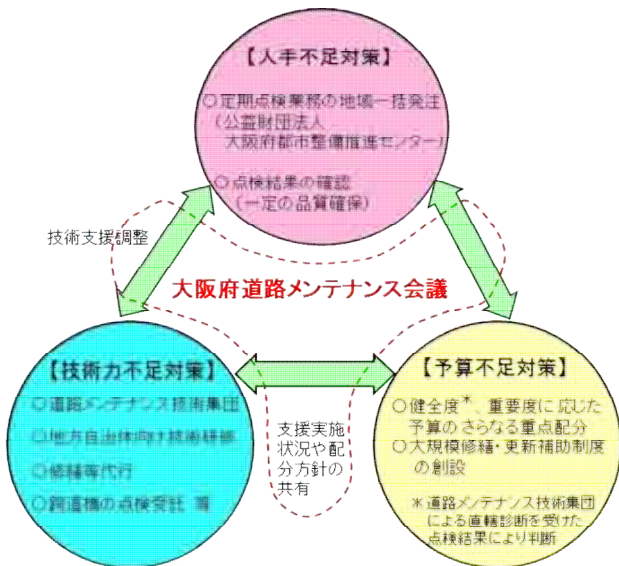


図-2 各地方自治体が抱える課題

#### 4.メンテナンス会議に於ける事務所の取り組み

これらの役割の中で、大阪国道事務所として取り組んできたのは技術研修会・講習会の開催、技術的な相談対応、老朽化対策の広報が実施されている。大阪国道事務所は、総括保全対策官室(通称、「保全チーム」と呼ばれている。)という他の事務所にはない業務体制を敷いて、それらに取り組んでいる。

##### (1) 技術研修会・講習会の企画

技術研修会、講習会が必要な施設として、構造が複雑で、種類が多い橋梁が挙げられる。以下に技術研修会・

講習会を企画する際に留意すべき点を挙げる。

- 1) 定期点検要領(案)への理解を深めること。
- 2) メンテナンスサイクルという概念への理解、メンテナンスサイクルを定着させること。
- 3) 受講者となる地方自治体職員の技術レベルを把握すること。
- 4) 地方自治体職員が受講したい研修を自分で選ぶことができるように、年間の研修実施計画(研修シラバス)が系統立てて組まれていること。

以下にメンテナンス会議の研修シラバスの内容を紹介する。

大阪府道路メンテナンス会議研修会による技術習得目標と技術習得レベル

研修名	日 時	場 所	内 容 【題】番号 【題】種別	技術習得の目標(※1)				技術習得レベル(※2)	出席人数(人)
				基礎	標準	応用	発展		
第1回	H26.7.25 (土)	国道171号 箕面車庫	【題】点検要領、M3調査 -修繕事項の統合、劣化点検 -修繕要領、修繕計画試案作成	●	●			●	44
第2回	H26.8.29 (月)	府庁 大講堂	【題】調査 橋梁調査会 熊川 氏 -点検要領(官公体版)の解説 【題】-支那組立/分析点検 -新基準設計の試案作り(実案) -耐震補正工法の紹介(実案) -橋梁点検要領	●●●●				●	156
第3回	H26.9.13 (水)	府庁 大講堂	【題】点検要領(官公体版)の解説 【題】-調査点検要領	●●●●				●	45
第4回	H27.2.3 (土)	府庁 大講堂	【題】-修繕製作工事の製作工程の習得 【題】-定期点検要領(官公体版)の解説 -修繕事項の紹介とその修繕工法 -修繕要領の解説(大阪府大府庁)	●●●●				●	53
第5回	H27.6.26 (土)	大阪府庁 大講堂	【題】定期点検要領(官公体版)の解説 【題】-修繕要領(官公体版)の解説 -M3/点検要領試案 -シミュレーション/修繕要領試案	●●●●				●	46
第6回	H27.9.20 (土)	大阪府庁 大講堂	【題】定期点検要領(官公体版)の解説 【題】-調査要領(官公体版)の解説 -修繕要領	●	●			●	49
第7回	H27.11.14 (水)	府庁 大講堂	【題】点検要領(官公体版)の解説 【題】調査点検要領	●●●●				●	120
第8回	H27.12.18 (土)	大阪府庁 大講堂	【題】点検要領(官公体版)の解説 【題】調査点検要領	●●●●				●	30
第9回	H28.2.2 (土)	大阪府庁 大講堂	【題】点検要領(官公体版)の解説 【題】調査点検要領	●●●●				●	49
第10回	H28.2.19 (土)	府庁 大講堂	【題】点検要領(官公体版)の解説 【題】調査点検要領	●●●●				●	30
第11回	H28.3.8 (土)	府庁 大講堂	【題】点検要領(官公体版)の解説 【題】調査点検要領	●●●●				●	35

図-3 研修年間実施計画(研修シラバス)

##### (2) 技術研修会・講習会の題材選び

技術研修会、講習会の題材選びをするうえで留意すべき点は以下のとおりである。

- 1) 受講者に分かり易い内容であること。
- 2) 自治体の現場も取り入れること。
- 3) 実際に計測機器等を使って目の前で体験すること。
- 4) 実際に近接目視が出来ること。

H26年度、H27年度に実施した技術研修会・講習会では、上記の1) から4) に留意して題材選びを行った。



写真-1 MT検査の体験 (第5回研修会)



写真-2 定期点検要領 (案) の解説 (第5回研修会)

A flyer for a bridge inspection training seminar. The title is "大阪府道路メンテナンス会議自治体支援策【統報】市町村管理橋梁を活用した点検研修会". It lists the date as平成27年11月14日～15日, the number of participants as 24 local governments (120 staff), and the organizers as Osaka Prefecture Road Maintenance Conference. It also mentions the seminar's purpose: to improve bridge inspection skills for local governments. Photos show participants at various sites: H27.11.14 (Kashiwa City, 13 participants), H27.11.15 (Miyagi Prefecture, 2 participants), and H27.11.16 (Yamaguchi Prefecture, 4 participants).

図4 地方自治体の橋梁を題材とした点検研修会の実施状況

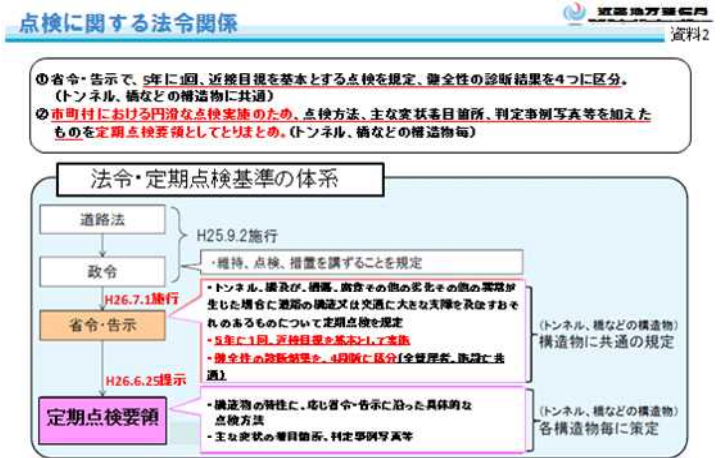


図5 定期点検要領 (案) の解説内容

(3) 技術研修・講習会の実施

技術研修・講習会の実施にあたっては、大阪国道事務所のみで行えるものではなく、研修会場の提供や研修講師の手配、研修テキスト等の作成、会場設営等について、大阪府道路メンテナンス会議事務局の多大な協力を得て行われている。同事務局は、大阪国道事務所、大阪府、大阪市、堺市、西日本高速道路株式会社、阪神高速道路株式会社の6者から構成されており、研修以外にも、メンテナンス会議本会議の準備や広報活動等に対しても協力して推進していく体制を取っている。

(4) 技術研修・講習会を通じて、地方自治体に最も伝えたいこと

- 1) 点検は近接目視によるものであり、5年以内の周期で計画的かつ継続的に行う義務があること。定期点検を行う義務は、当該道路施設が供用されている期間すべてに生じるものであること。
- 2) 定期点検を実施した結果、健全度Ⅳが確認された時は、速やかにメンテナンス会議に通報することと当該道路施設の通行止め等の緊急措置を講ずること。
- 3) 健全度Ⅲが確認された時は優先的に修繕を行う必要があること。遅くとも次の点検(5年以内)までに修繕を済ませる必要があること。
- 4) 健全度Ⅱの補修をすることは、その施設の寿命を延ばすことであり、補修が早ければ早いほどその延命効果は高いこと。
- 5) 道路インフラのメンテナンスについての悩み等を単独で抱え込まずに、メンテナンス会議に相談して欲しいということ。
- 6) 道路インフラの劣化の現状を各自自治体住民に理解

してもらえるように努力すること。道路ストックは日常生活において欠かすことの出来ないものであり、特に昨今頻発している地震災害時には、生命線となる存在であること。

(5) 技術的な相談対応について

技術的な相談対応については、大阪府道路メンテナンス会議が設立されてから現在に至るまでに地方自治体から寄せられた相談は、舗装の施工に関する事等が寄せられている。国総研、土研、地方整備局本局も技術的助言等で対応していることもあって、事務所単独での相談件数は少ないが、地方自治体に最も近い国の機関として、相談しやすい環境を整えていく必要がある。

(6) 老朽化対策の広報活動について

老朽化対策の広報活動については、大阪府道路メンテナンス会議が設立されてから現在まで絶やすことなく、各自治体等をリレーして、パネル展示を行っている。以下にパネルの展示状況を示す。



写真-3 展示されたパネルの閲覧状況

写真-3から、道路インフラの老朽化対策に関心を示す市民は少なからずいるという事が分かる。

大阪国道事務所は、大阪府道路メンテナンス会議の構成員として、他の構成員との協力体制を維持し、老朽化対策の広報活動についても、将来に向けて定着させるべく日々努力しています。

また、図-6に展示されたパネルの一部を示す。

老朽化による損傷事例  
(大阪府の道路橋の事例)

一般国道26号(大阪府堺市) 堺高架橋(さかいこうかきょう)  
コンクリートの劣化(アルカリ骨材反応)



- 1980年建設(33年経過)
- アルカリ骨材反応と呼ばれるコンクリートの劣化によるひびわれが橋全体に発生しています。
- 建設時はアルカリ骨材反応の抑制対策が決められていなかったため、写真のような損傷が発生してしまいました(現在は抑制対策が規定されています)。
- 現在も損傷が進行しているため、慎重に補修を繰り返しています。

一般国道2号(大阪府大阪市) 淀川大橋(よどがわおほし)  
横桁の損傷(破断)



- 1926年建設(87年経過)
- 戦争も経験しており、当時は鉄道も走行する橋梁でした。
- 現在に至るまで適時適切な補修を実施することで、安全性を確保しながら使用し続けています(写真は横桁を補修した事例)。

図-6 展示されたパネルの一例

5. 今後の道路インフラの保全対策の進め方、地方自治体への技術支援のあり方について

メンテナンスサイクルという概念を定着させるためには、これから予算をいかに確保していくかが重要な鍵となる。

「老朽化対策に必要なお金は、惜しまず支出する必要がある。」という事を国民の皆さまに理解してもらえるよう継続的に努力していく姿勢が大切である。

大阪府道路メンテナンス会議を取り巻く大阪府の府勢について、以下の図-7及び図-8に示す。大阪府の人口は約880万人、府内総生産は約3,600万円であり、近畿地方整備局管内全体の4割~5割を占めている。

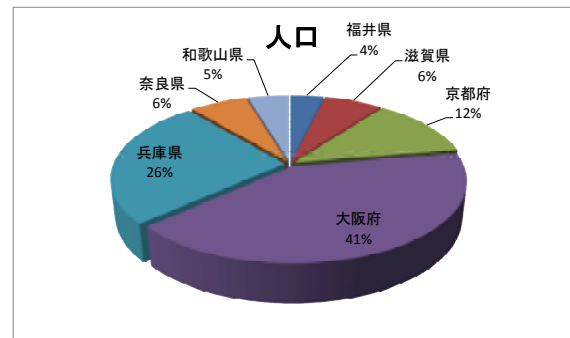


図-7 近畿地方整備局管内の府県の人口

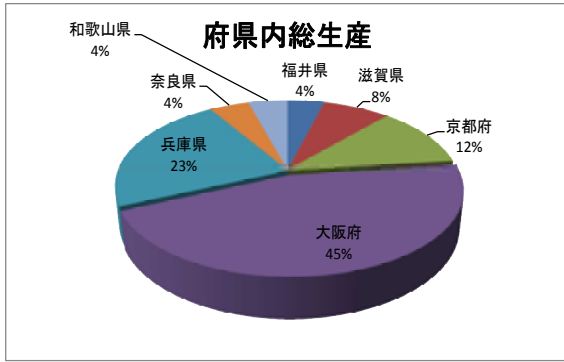


図-8 近畿地方整備局管内の府県の府県内総生産

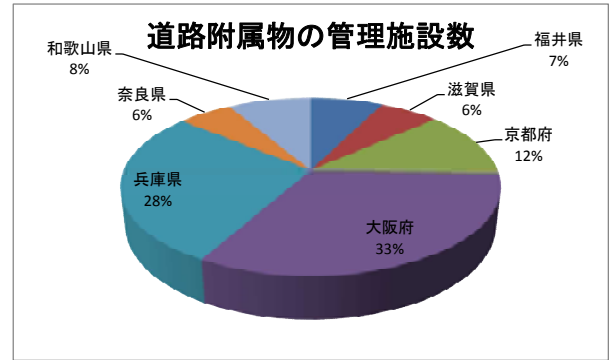


図-11 近畿地方整備局管内の道路附属物の管理施設数

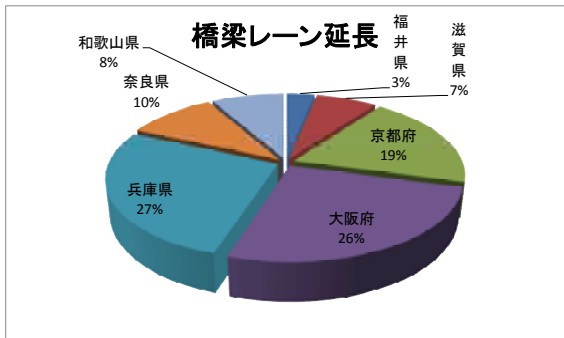


図-9 近畿地方整備局管内に於ける直轄橋梁のレーン延長

また、大阪府内の直轄橋梁をレーン距離という概念で示したのが図-9であり、大阪府内に於ける直轄橋梁のレーン距離は、近畿地方整備局管内全体の約25%を占める。つまり、橋梁の総面積が近畿全体の4分の1を占めるので、橋梁の補修・補強費（床版、塗装等）に近畿全体の予算額の4分の1以上が必要であり、予算がこれに満たなければ、近畿地方整備局管内の中心部である大阪平野の道路インフラの劣化は明白である。図-10では橋梁点検に於ける健全度Ⅲの発生率を示している。これから大阪府内（直轄）の橋梁点検に於ける健全度Ⅲの発生率が極端に高いことが分かる。

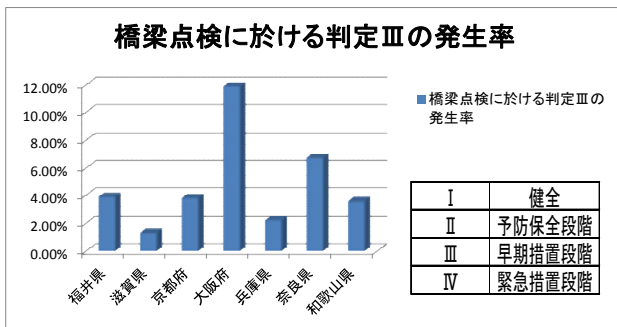


図-10 近畿地方整備局管内に於ける橋梁点検の実施に於ける健全度Ⅲの発生率

図-11では道路附属物の管理施設数について示しており、ここでも大阪府内（直轄）が最も高いことが分かる。

図-12では直轄に於ける管理系職員数について示しており、附属施設の管理施設数が多く、橋梁の健全度Ⅲの発生率が高い割に管理系職員数が少ないということが分かる。

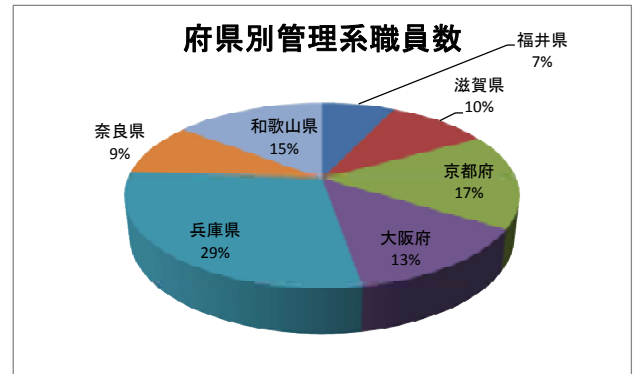


図-12 近畿地方整備局管内の管理系職員数

このような道路環境において、老朽化を放置しておいたらどうなるかという事についても、国民の皆さまに十分理解して頂けるよう、技術支援や広報活動を展開していく予定である。

数年前に、「もったいない。」という言葉が世の中で話題を呼んでいましたが、高額なお金がかかる公共事業はもったいないという発想にもなりかねない状況でありました。人の貴い命に関わる重要な事である故、道路インフラの老朽化対策の必要性を国民の皆さまに十分理解してもらい、納得してもらう為にも、国・地方自治体が一丸となってその技術レベルの向上を図ることが重要である。

また、技術レベルが更に向上すれば、自治体職員が自ら点検を出来るという大きな効果が期待出来、自治体の予算不足対策ともなり得る。

つまり、技術研修・講習会による国・地方自治体の技術レベルの向上を図ることは、国民、自治体住民への説明力の向上や予算不足対策にもつながるものと考えられる。

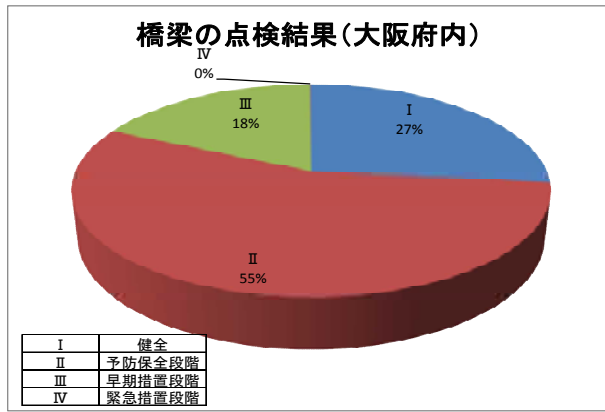


図-13 橋梁の点検結果(大阪府内) H27.6月末現在

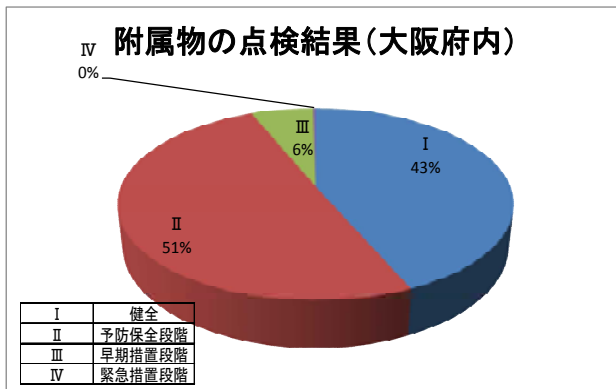


図-14 附属物の点検結果(大阪府内) H27.6月末現在

道路インフラの定期点検を開始して2年が経過しますが、図-13及び図-14で示す点検結果を見れば、健全度Ⅱ及びⅢがいかに多いかが分かる。点検を実施した時点では、健全度がⅡ、Ⅲであっても時間が経てば経つほど老朽化は進行するので、時間との勝負である。健全度Ⅲの対策と平行して健全度Ⅱの対策に取りかからなければ、全体として補修・修繕が追いつかないだろう。健全度の判定区分は以下の図-15のとおりである。

I	健全	構造物の機能に支障が生じていない状態
II	予防保全段階	構造物の機能に支障が生じていないが、予防保全の観点から措置を講ずる事が望ましい状態
III	早期措置段階	構造物の機能に支障が生じていないが、予防保全の観点から措置を講ずべき状態
IV	緊急措置段階	構造物の機能に支障が生じている、又は生じる可能性が著しく高く、緊急に措置を講ずべき状態

図-15 健全度の判定区分

現状では、定期点検は点検計画を立てて計画的に実施することが徹底されているが、補修・修繕計画については、点検計画ほどに徹底されていない。

今後の保全対策の進め方として、各年度毎の補修・修繕計画の実施を徹底していく事が必要である。いつまでに「Ⅲ」の対策をすべて完了させ、いつまで

に「Ⅱ」の対策を完了させるという保全計画の管理が出来るのは道路メンテナンス会議の存在があってこそ出来ることであり、道路インフラの老朽化対策の定着には欠かすことが出来ない。

## 6. 結論

以上の考察から、道路インフラの老朽化対策を将来に向けて定着させるためのポイントを纏めると、以下ようになる。

- 1) 定期点検の結果、健全度がⅢ、Ⅱとなった施設の補修については、道路メンテナンス会議に於いてその計画立案及び実施を徹底していくことが必要である。
- 2) 国民、自治体住民に道路インフラの老朽化対策の必要性を理解してもらうためには、国民、自治体住民への直接的な呼びかけも重要であるが、国・地方自治体職員の技術力を向上させることは、「国民、自治体住民への説明力の向上」という観点から更に重要であり、技術研修等による技術支援は今後も継続的に行う必要がある。
- 3) 大阪平野に於ける道路インフラのメンテナンスサイクルを定着させるためには、組織の人員体制と予算の確保、技術力向上に向けた取り組み(自ら点検出来る職員を増やす取り組み)は必要不可欠である。

# 見落とされてきた破壊的鉛直地震動の現象とその特徴 — 地震予知の効果的な普及に向けて —

前原 博<sup>1</sup>・櫻井 春輔<sup>2</sup>

<sup>1</sup>地球システム総合研究所 上席研究員 (〒604-8106 京都市中京区丸木材木町671,エクレース御池707号)

<sup>2</sup>神戸大学都市安全研究センター 内陸直下地震における耐震問題研究会代表 (〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1)

強烈な衝撃的鉛直地震動には地震の初期または最中に起きるものと、主震動の後から起きるものとの2種類があることを、過去4回の当研究発表会で明らかにし、昨年(2011年)の日本地震学会秋季大会にも報告できた。これらの強烈な波は地震計でまだ正確に観測できていない。東日本大震災で大津波による原発事故が生じ、その耐震脆弱性が露呈した。原子力施設の安全性には強烈な鉛直地震動も考慮する必要がある。本文ではこれらの波が存在する論証の要点と、波の特徴を纏めると共に、熊本地方での大地震の連鎖発生を受け、正確で綿密な観測と防災対策の充実を促すために、既存の有効な地震短期予知法を普及させす事にも言及する。

キーワード 地震, 海震, 衝撃的震動, 衝撃破壊, 局在波, 地震予知

## 1. はじめに

2011年3月11日の東日本大震災で原発事故が発生し、耐震脆弱性が露呈した。大津波だけでなく耐震安全性には強烈な鉛直地震動の現象も考慮しなくてはならない。しかし、この問題の現象は地震計でまだ正確に観測されていない。それゆえ構造規準等はこの現象の影響が反映できていないだけでなく、その存在に関する認識が欠けている。

この認識を補うには海震の事例を研究するのが効果的なので、橋脚等の損壊事例の他に海震の資料を集め、過去4ヶ年順次発表してきた<sup>1-8)</sup>。その結果強烈な鉛直地震動には、地震時の初期または最中に起きるものと、主震動の後から起きるものとの2種類があることがわかった。前者の地震動には多くの証言があり、比較的広い範囲で生じている。後者の地震動は多くの場所で生じているが局地的に生じており、局在波的な形態を示している。この現象の発見は従来の地震波の通念を変える発見であり<sup>7)</sup>、関連

する話題と共に昨年(2011年)の日本地震学会秋季大会(阪神淡路大震災20周年記念大会)に報告できた<sup>9-11)</sup>。

本文では問題の波が存在する論証の要点と、最近の資料も紹介し、その波の特徴等を纏めることを当初の目的としていた。ところが4月下旬に、熊本地域から別府地域で大地震が連鎖的に発生した。他にも大地震の誘発が懸念されるので、この問題の波を正確に観測する事と、防災対策を急ぐ必要があるので、既存の有効な地震短期予知法を普及させす事を優先し、5回の発表の締め括りとして4章で言及する。

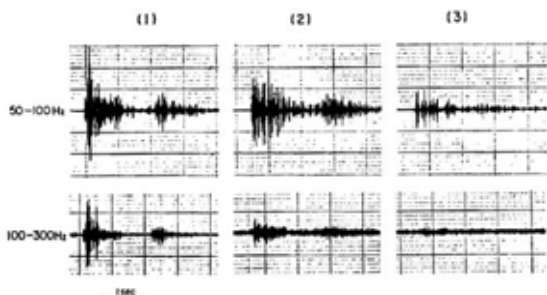
なお、この研究は従来の研究成果を否定するものではなく、それらに加えて必要なことを意味する。

## 2. 今迄の発表内容の要点と新たな情報

### (1) 海震の調査結果の要点

調査できた海震の特徴を以下に要約する。

図-1は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<sup>12)</sup>した代表例で、別



(1) 浅発型, (2) 中間深さ型, (3) 深発型

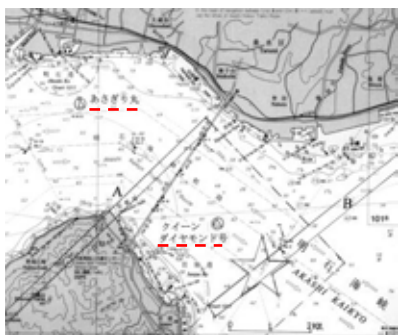
図-1 海震の観測波形・周波数帯別の例<sup>12)</sup>

表-1 海震による損壊例<sup>14-16)</sup>

	日付	船 船	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	ノルウェイの ロフ オテン諸島沖	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 プ系破壊
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-2 フェリーの位置図<sup>17)</sup>



(☆ 震央、A 野島断層、B 須磨断層)

図-3 あさぎり丸とクイーンダイヤモンドヤモンド号の位置

表-2 最近の海震遭遇例<sup>20)</sup>  
2000.11.18 (5°S,153°E 付近)

遭遇時刻	水深 (m)	継続時間 (sec)	震度階級	
			ルドルフ	ジーベルグ
7:03	1100	15	4	2~3
10:16	2500	10	4~5	2~3
10:40	2500	10	2	1
12:05	5800	15	2	1

の拡大波形図から卓越周期は60-70Hzと判読した。この地震に先行した群発地震では観測されず、このような波が船底を突き上げていた<sup>13)</sup>。

表-1は海震による損壊例4点を纏めた表で、3点は国外の事例で<sup>14,15)</sup>、4点目に兵庫県南部地震での播磨灘の大型フェリー(図-2参照)のシャンデリア2個が落下した事を加えた<sup>16)</sup>。船舶工学の専門家は「海震の粗密波(縦波)が船舶を損壊させることは常識である」と指摘している<sup>1,3,5,7)</sup>。陸ではこの常識が関係者に現在すっかり忘れられており、構造規準等には強烈な縦波(粗密波)の影響は反映されていない。

図-2は兵庫県南部地震での明石海峡付近の旅客船



写真-1 独立二本柱橋脚の代表構造<sup>1)</sup>



(a) 神P465山側



(b) 神P472海側



(c) 神P477海側

写真-2 独立二本柱橋脚の裸鉄筋の直立<sup>1)</sup>

表-3 ルドルフの海震震度階級<sup>20)</sup> (1898)

震度	説明
1	単に一種に音響と感ずる程度にして、多くは甲板以下に在る乗員のみに感得す。
2	睡眠中の乗員を醒ましむる位の程度にして、多くは甲板以下の人に感ず。
3	船体全部に震動を感じ、あたかも甲板上に置き器具を転落した様の感を起こさしむ。
4	あたかも錨を深所に投げ、錨が急に繰り出される時に感じる震動に似たるもの。
5	船体が珊瑚礁、砂州、海底等に触れ、これを通り越したる如く感じ、また他の小なる船体と衝突しこれを通り越した様に感ず。
6	皿鉢などの食器またはコップ等が動き出し、ガチャガチャと鳴り響く程度の震動。
7	甲板上に直立するの不可能なる程度の震動
8	帆柱、帆架、卓子など並びに甲板上の物体は、衝突に為に震動し、羅針儀、寒暖計などの破壊することある程度。
9	船体が一方に押しやられ、震動を起こし、航行不可能となる程度。
10	甲板上の人は投げ出され、重き物体も投げあげられ、甲板の接合部は剥がれ難船することある程度。

表-4 ジーベルグの海震震度階級<sup>20)</sup> (1923)

震度	説明
1 (軽震)	海が静かなとき、船室の中でわずかに震動し隔壁が軽くきしむ程度。
2 (弱震)	底触れまたは船体が岸壁をこするときのような、あるいは錨鎖を急速に繰り出すときのような震動を感じる。船腹や構造物の震動がはっきりわかる。
3 (中震)	砂州、岩礁、または暗礁に乗り上げたとき、または衝突したときのような激動、あたかも甲板上に重き物を投げ出し、または棒を転がすような、あるいはスクリュウの翼が折れたときのような衝撃を感じる。吊下げ物がはなはだしく揺れる。索具や船体構造物が鳴動する。
4 (強震)	前記の状況がさらに強くなり船は縦横に動揺し、操舵員は舵輪を握る手に衝撃を感ずるようになり、帆桁、デリック棒が鳴動し、座りの悪い器物は転倒転落する。
5 (烈震)	船上に立つことが困難となり大きい物体も位置がずれたり転倒したり、台から飛び出したりする。マスト、甲板構造等、全船鳴動し、構造の弱い部分は弛んでぐらぐらするようになる。船の航行が困難になることもある。
6 (激震)	船体が海中から跳ね上げられることもあり、縦目目が離れたり、帆桁、マスト、甲板構造に損害が起こる。このために浸水して、甚だしいときは沈没に至ることもある。

の位置図<sup>17)</sup>で、この内のあさぎり丸(1千トン級)とクイーンダイヤモンド号(9千トン級)は、間隔をあけて海震の衝撃を2度受けた<sup>18)</sup>。両船の詳しい位置を図-3に示す。2度目の衝撃の方が遙かに強く、その時間間隔はクイーンダイヤモンド号の船長の証言から、地震の主震動が起こした海面の表面波(速度約700m/分)<sup>19)</sup>が、離岸距離(約2km)を渡り本船を翻弄した時に、同時に受けた衝撃として主震動の約3分後と推定した<sup>3)</sup>。他の船舶からは明確な2度の衝撃の体験記録がなく<sup>16,17)</sup>、2度目の衝撃は局部的に生じている。

すなわち、主震動が治まった後でも衝撃的な鉛直震動は局部的に生じる事を意味している。

(2) 新たに入手した海震の資料

表-2は長崎大学の練習船鶴洋丸がシドニーに向か





(a) 神P150 (b) 神P240 (c) 神P688  
写真-3 T型と門型橋脚の裸鉄筋の直立 (矢印部に直立裸鉄筋)<sup>7,8)</sup>



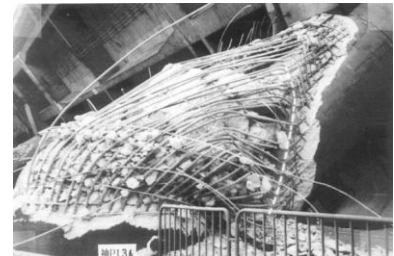
T型橋脚・神P57  
写真-4 柱の圧縮破壊<sup>7,8)</sup>



(西) (縦向きを横に図示) (東)  
写真-5 倒壊区間の航空写真<sup>21)</sup>



(a) 神P133 (全周で提灯座屈)



(b) 神P136 (柱の全断面に分布)  
写真-6 倒壊区間内での軸圧縮破壊の痕跡<sup>3,4)</sup> (↑白破線付記)

う途中の、ニュージーランド北東海域で遭遇(2000.11.18)した海震の報告<sup>20)</sup>から、4回の海震を纏めたものである。この海震が最近の遭遇例と思われ、海震の粗密波(縦波)が相当な威力を持って深海から海面に伝わっている。表-3と表-4はその文献<sup>20)</sup>にあるルドルフの震度階表(1898)とジーベルグの震度階表(1923)である。陸では現在忘れられている資料なのでここに転載した。海震は古くから経験されていた事を二つの震度階級表は物語っている。



写真-7 桑原浩治氏の路面の描画<sup>23)</sup>

### (3) 橋脚破壊事例の調査結果の要点

#### a) 衝撃的鉛直地震動による破壊の典型例

写真-1は鉄筋コンクリート(RC)の独立二本柱の橋脚が橋桁を支える区間(約650m)の構造を示す。兵庫県南部地震で生じた鉛直震動による、RC橋脚破壊の典型的な例を写真-2と-3に3例ずつ示す<sup>1,7,8)</sup>。

写真-2の3例は写真-1の区間内で、柱頭部のコンクリートが引張り力で壊されている。写真-2(a)ではコア・コンクリートが跳び出しており高周波の作用を暗示している<sup>1)</sup>。写真-3の3例では橋脚の横梁が、柱上部コンクリートの一部と一緒に突き上げられて、梁側面部の柱の帯筋を切断した直後に、柱躯体を圧縮し、破壊している。上横梁は側方にずれていない。上記6例の裸鉄筋が直立していることは、この破壊には水平力が関与していないことと、この破壊が主震動の後で生じたことを表している<sup>1,7,8)</sup>。

#### b) ピルツ橋区間の倒壊の真相

写真-4は柱の長さが約3m短くなる軸圧縮破壊をした橋脚の破壊状況である。柱が3m短い事を手掛かりにピルツ橋の倒壊区間を調べた。写真-5はピルツ橋脚の倒壊区間の斜め航空写真で<sup>21)</sup>、縦向きを横向きに図示した。中央部から西側で高欄線が大

きく下がった部分が3ヶ所ある。そこでは4基の橋脚の柱長さが3m弱短くなっていた。その内の2基は写真-6に示すように、(a)神P133では柱鉄筋が全周で外方向に提灯座屈をし、柱は圧縮座滅破壊をした。(b)神P136では鉄筋の直角クビレが斜めの全断面にあり(白破線を付記)、この面に沿って落下し柱長さを短くした。柱の軸圧縮破壊の痕跡は倒壊の前に起きている<sup>3)</sup>。

付近の住民の証言<sup>18)</sup>では、主震動が治まった後に見た置時計は5時48分で、階下の孫2人が気になり、階下に降りようと屋外階段の踊り場に出た時に大音響を聞いて、その後にスローモーション的に倒れる高速道路の光景を見ている。この大音響は主震動で損傷した橋脚(鉄筋の塑性率3程度で自立)の内4基を、強力な鉛直震動が破壊して、この区間の倒壊(全17基)の引き金になった時の音とも考えられる<sup>3)</sup>。

#### (4) 新たに入手した高速道路走行者の証言と描画

この倒壊路面を西向きに走行していた桑原浩治氏の証言<sup>22)</sup>を抜粋すれば、“道路がへびのように横にくねくねと揺れ、前輪と後輪が捻れるようでした。車は横にスリップし、十秒ぐらいしてから、今度は



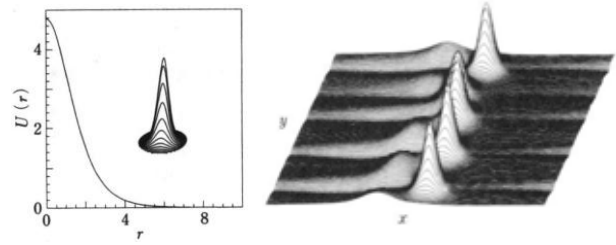
写真-8 跳び笠石<sup>24)</sup>



写真-9 タンクのダイヤモンド座屈<sup>25)</sup>



1階は全面破壊・中央部の柱は全階で破壊  
写真-10 函館大学校舎の破壊例<sup>26)</sup> (1968)



(a) 切断図と立体図 (b) 列状の発生例

図-4 釣鐘型孤立波の例 (ソリトン)<sup>27)</sup>

縦に震動し始めました。道路の継ぎ目が上に行ったり、下に行ったりした。”と話されている。写真-7はその様子を描かれた絵<sup>23)</sup>で、伸縮継ぎ手部で折れ、路面が上下変位をする状況が表されている。

同様な証言が、2径間の落橋部で墜落を免れた観光バス(スキーバス、神P40橋脚の上で前輪部張出し)の運転手の福本良夫氏の証言<sup>22)</sup>にもある。証言を抜粋すると、“スピードは出ていませんでした。横揺れがきたので、とりあえず止まることと思いましたが、こんどは縦揺れで、道路が波打つんです。ブレーキをかけ、止まったとたん、前がバサッと落ちました。”と語られている。

### 3. 新たな呼称：後発鉛直キラーパルス

強力な鉛直地震動の存在を示す最近得られた資料に、写真-8の跳び笠石<sup>24)</sup>と写真-9のタンクのダイヤモンド座屈<sup>25)</sup>がある。この両写真は強力な鉛直地震動の存在を端的に物語っている。より強烈で複雑な鉛直地震動の痕跡があるのは、昨年紹介<sup>7,8)</sup>した写真-10の函館大学校舎の破壊例<sup>26)</sup>である。1階の柱は全面的に崩壊し、写真中央部の8パネルの間では4階建ての各階で柱が破壊している。それらが横方向にはらみ出していないことから、この破壊は主震動の後で起きていると判断できる。

前章で述べた海震と、橋脚の破壊事例から、強烈な鉛直地震動は主震動より10秒～3分程遅れて到達しており、その生じ方は場所により連続した破壊事例もあるが、写真-2,-3,-4,-6の例のように、多くは隣り合う橋脚で異なる破壊程度や形態を生じている。

その地震波は主震動が痛めた構造物をさらに破壊する波で、波の立体的なイメージは、エネルギーが

局所的に集中した局在波の形態で、図-4に示す釣鐘型<sup>27)</sup>の孤立波や列状の形が想像される<sup>7,8)</sup>。

このような形態の波は従来の地震波とは、特に波長の規模が全く異なる波である。発生の時刻もずれていることから発生原因も異なることが予想される。さらに写真-10では非線形の波の可能性もある。

そこで従来の地震波とは区別する意味で、主震動の後から生じる強烈な鉛直震動を、“後発鉛直キラーパルス”と便宜的に呼ぶことにする。

### 4. 地震短期予知の早期実用化に向けて

4月14日～16日に熊本地域から別府地域にかけて発生した大地震の連鎖現象は、東日本太平洋沖地震の影響により、地殻の微妙な均衡を変化させていることが一因とも考えられ、日本列島全域が地震の活性期に入っていることを見せつけている。

前述の“後発鉛直キラーパルス”の正体を正確に掴むには、地震の短期予知の実用化が不可欠である<sup>5)</sup>。また地盤の歪み分布を詳細に把握しておれば、地震の発生と、発生後の展開も混乱なく的確に予測できるようになるはずである。

地表地盤の変化を超高精度で計測する事と同等の作業をしているのは、高エネルギー加速器研究機構(KEK)で、粒子加速器の運転管理の一環として地震の短期予知を実務上行っている<sup>28)</sup>。その短期予知の手法を早急に普及させる必要があると考えたので、一昨年の発表<sup>5)</sup>より詳しくその要点を述べる。

#### a) 潮汐と気圧の変動による地表変位量

図-5は延長2.8kmの粒子加速器が周長変化をしているデータをフーリエ分析した図<sup>28)</sup>で、中央部に潮

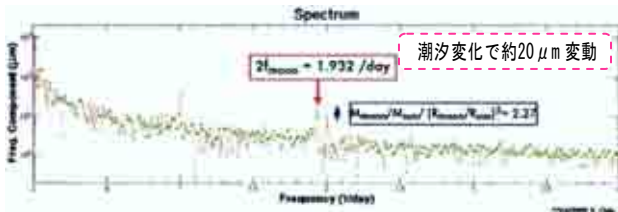


図-5 粒子加速器周長変化のフーリエ分析<sup>28)</sup> (一部加筆)

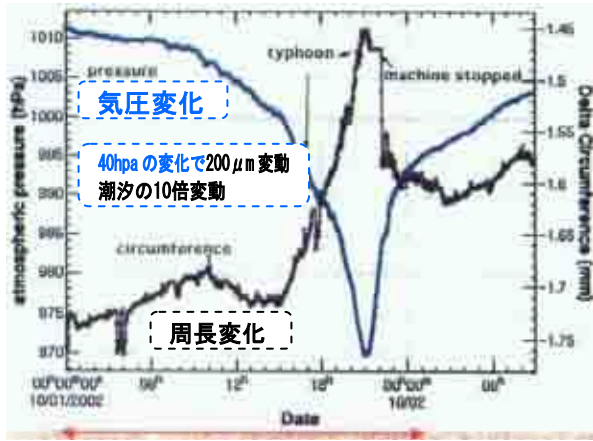


図-6 台風による気圧と周長変化の推移<sup>28)</sup> (一部加筆)

汐の変動が記してあり、約20 μm変動している。

図-6は台風(2002.10.1,台風21号)による加速器の周長変化を示した図<sup>28)</sup>で、40hPaの変化に対し約200 μm変動し、潮汐の10倍の影響量を示している。200 μm余の変化で運転を停止している。

**b) 高性能水管傾斜計による観測**

周長変化を測る事は手間なので、その変化を代表して表す器具として高性能水管傾斜が考案された。

図-7は水管傾斜計のテスト計測をしている時に、兵庫県南部地震に遭遇した時のグラフ<sup>28)</sup>である。中央部で大きくずれているところが地震の発生時で、その5日前から観測波形の下端が揃う現象が生じており、地震後は解消している。

すなわち、通常は大小の潮汐変化が疑似的軸対称の弾性変化をするが、地震発生時が近づくと軸非対称変化をする。この原因は震源断層が現れる近くの地盤が塑性化(非弾性化)するためとの仮説がある。

このグラフは非常に重要で、1例しか確認できていないのでこれ迄公表を控えてきたが、地震予知技術の現状を打破するために今回公表する事にした。

高性能水管傾斜計設備の制作と観測はそれ程高価ではなく、観測点を多く設定でき、相互のデータの検証がし易い利点がある。そして地震発生を数日前に予知できる価値は非常に高いものがある。

**c) 超高精度地表変位観測**

図-8はリング状の加速器の周長変化量から周期変動要因の量を除き、地殻変動要因のみの変化量をX、Y成分に分けて、変位が推移する状況を図示したものである<sup>28)</sup>。地表は細かくはブラウン運動をしているが、時にはいろんな方向にも動きを示し、巨視的にはある優勢な変位の方向がある事を示している。

この変位量は加速器の周長当たりの変位量なので、

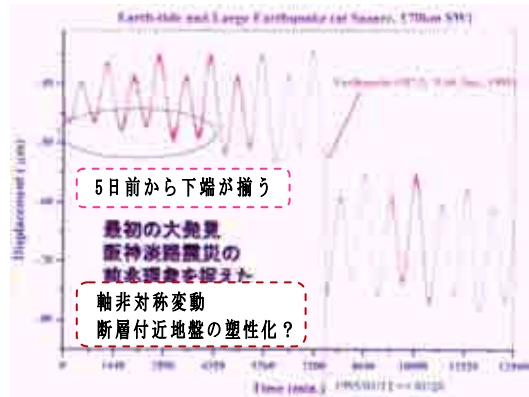


図-7 水管傾斜計の軸非対称変動<sup>28)</sup> (一部加筆)

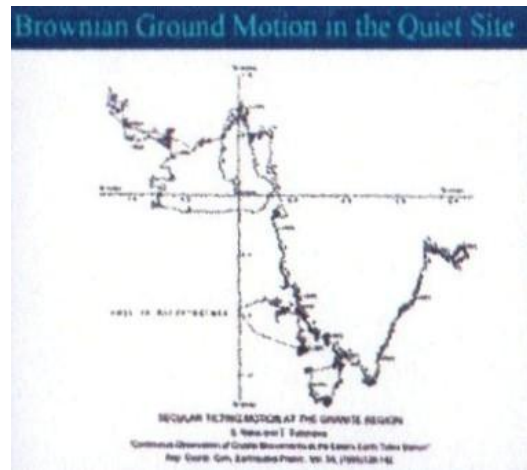


図-8 地表の2方向変位の状況<sup>82)</sup>

この精度の変位を把握するには延長1km 余のトンネルを2本直交させた計測設備がいる事になる。1kmを1 μmの精度(10<sup>-9</sup>)で計測するので、20kmの距離を1mmの精度(10<sup>-7</sup>)で計測する GPS 観測より2桁精度が高く、この精度で実用的に有意な観測になる。

加速器の運転管理では周長の変化が規定値を超えると運転を停止する。この規定値の変位を起こす要因が、数百km離れた断層近傍に限界歪みに近い変形を起こさせている現象を捉えていると想定される。

**d) KEKでの地震短期予知手法の骨子**

KEKでは加速器の運転管理で、超高精度地表変位量の観測(歪み蓄積の検出)と、高性能水管傾斜計の観測(破壊時期の推定)とで、有害な地震の影響を避けている。地震学が規定する地震予知の規格とは異なるが、その地点に有害な地震が起こるか起こらないかを判断できれば、実用的にはこの地震予知法で充分役に立つのである。

**e) 地震短期予知法の普及に向けて**

南海巨大地震の発生に対して高性能水管傾斜計でその兆候を掴むと有益である。この方法は現在確立した手法ではないが、広範囲の多数の地点で観測をした結果が有意なもの判断できれば、地震防災上大変役立つことになる。

延長1km余のトンネルを直交させた変位観測設備が拠点的に国内で10数ヶ所程できれば、GPSの観測

網を補え、国土全体の地殻歪みの正確な蓄積情報が徐々に整備できる。これは国土の保全と地震・火山防災にも、地震学の進歩にも不可欠の事業になる。

地震短期予知に関しては各種の電磁波観測法や東海大学で開発されたRTM法等と組み合わせる事でより精度を向上できる<sup>5)</sup>。

## 5. むすび

熊本地震でも鉛直震動による破壊例<sup>29)</sup>が見られ、より強烈的な破壊現象(写真-10)を考慮すると、緊急の課題としてウラン燃料棒の耐震安全性が危惧される。5年前に東日本大震災の発生で感じた、破壊的な鉛直地震動の現象に対する原子力施設への危惧が、熊本地震での大地震の連鎖的な発生を受けより深刻に感じられて、懸案の解決を急がねばならない事態になっている。

破壊的な衝撃的鉛直地震動の現象について、本文の2章と3章で新たに入手した資料も交えてその特徴の要点を説明した。主震動の後から起きる問題の地震波は従来の地震波とは特徴が異なるので、“後発鉛直キラパルス”と便宜的に呼ぶことにした。しかし、この現象を起こす地震波は地震計で、3次元的な構成形態を含め、正確にはまだ観測されていない。

これを正確に観測するには地震の短期予知の実用化が不可欠である。その有効な手法について、一部検証が不十分な情報も含むが、地震防災上からも早急に手を尽くす必要があるので、4章で高エネルギー加速器研究機構が行っている、有害な地震の影響を避ける地震予知法の要点を、一昨年の発表に加えて少し詳しく紹介した。この方法の効果的な普及が望まれる。

見落とされてきた破壊的鉛直地震動の現象に関連する課題が、一日でも早く解決されることを期待して、5回にわたる一連の発表のむすびとする。

### 参考文献

- 1) 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]
- 2) 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
- 3) 前原博, 櫻井春輔: 海震と証言による橋脚の地震時破壊原因の見直し, 国交省近畿地整局 平成25年度研究発表会, 防災・保全部門No. 13, 平成25年7月. [HPよりDL可]
- 4) 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.
- 5) 前原博, 櫻井春輔: 地震時の破壊的衝撃動の特徴と地震直前予知の実用化について, 国交省近畿地整局 平成26年度研究発表会, 防災・保全部門No. 22, 平成26年7月. [HPよりDL可]

- 6) 園田恵一郎, 前原博, 櫻井春輔: 都市直下型大地震での公共構造物の被害の特徴ー阪神大震災からの教訓ー, 安全工学シンポジウム2014, GS6-2, 平成26年7月.
- 7) 前原博, 櫻井春輔: 阪神淡路大震災での衝撃的鉛直地震動とその局在的性質, 国交省近畿地整局 平成27年度研究発表会, 防災・保全部門No. 19, 平成27年6月. [HPよりDL可]
- 8) 前原博, 園田恵一郎, 櫻井春輔: 見落とされている強力な衝撃的鉛直地震動の問題を考える, 安全工学シンポジウム2015, GS6-2, 平成27年7月.
- 9) 前原博, 園田恵一郎, 櫻井春輔: 巨大地震での高架橋RC橋脚の鉛直衝撃破壊とその出現形態, 日本地震学会 2015年度秋季大会 講演予稿集S22-13, pp48, 2015年10月.
- 10) 櫻井春輔, Chouh Nawawi, 石川信隆: 兵庫県南部地震(1995)における上下動は存在した, 日本地震学会 2015年度秋季大会 講演予稿集S22-14, pp48, 2015年10月.
- 11) 園田恵一郎, 櫻井春輔, 野中泰二郎: 直下地震における構造物への衝撃的突き上げ力, 日本地震学会 2015年度秋季大会 講演予稿集S22-15, pp49, 2015年10月.
- 12) 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, 1981. 3.
- 13) 茂木清夫: 地震予知を考える, 岩波新書, pp84, 1998. 12
- 14) 佐藤孫七: 海震の話, 気象, pp6-9, 1968. 2.
- 15) 馬場栄一・広島大学名誉教授(船舶工学)より提供.
- 16) 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.
- 17) 神戸海運監理部運航部運航管理官: 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
- 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) 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巻(1997).
- 20) 吉村浩, 合田政次, 村尾彰: ニュギニア東方海域で遭遇した海震と海震震度階級について, 日本航海学会誌 149. 号, NAVIGATION pp107-110, 平成13年9月.
- 21) 朝日新聞社: 報道写真全記録大震災一年, pp4, 1996年1月.
- 22) 佃為成: 大地震の前兆と予知, ASAHI NEWS SHOP 朝日新聞社, pp65-67, 1995年4月.
- 23) NHK 巨大地震メガクエイク, 2010. 1. 17放映の画像
- 24) 竹内隆・元神戸新聞社情報科学研究所職員より提供
- 25) 消防庁編集: 阪神淡路大震災の記録 第1巻, グラビア pp7, (株)ぎょうせい発行, 平成8年1月17日.
- 26) <http://www.setsunan.ac.jp/~cibata/Photo3.htm>
- 27) 川原琢治: ソリトンからカオスへー非線形発展方程式の世界ー, p161, 朝倉書店, 1993. 5.
- 28) 吉岡正和: 大型加速器計画と岩盤工学, 建設工学研究所, 岩盤工学講演会資料, 2009年2月.
- 29) 例えば熊本市内の1 階がパンケーキ型クラッシュのビル(千場歯科ビル, 赤茶色のマンション・ビル等)

# 鋼橋の塗装塗替管理計画 (近畿地方整備局管内) の取り組みについて

南城 輝美<sup>1</sup>・片山 則哲<sup>1</sup>

<sup>1</sup>近畿地方整備局 近畿技術事務所 維持管理技術課 (〒573-0166大阪府枚方市山田池北町11-1)

近畿地方整備局における橋梁定期点検は2巡目を終え、橋梁の損傷データが蓄積されつつある。橋梁損傷の経年変化や原因分析、補修補強対策事例についても継続的に調査を実施しているが、その中で鋼橋の腐食は環境条件が厳しい地域では他の損傷より進行が早い一方で、再塗装実施割合が低い状況にあり、計画的に予防保全として塗替を行うことが重要であることが確認された。予防的・計画的な塗替実施に向け、定期点検で得られた鋼材の腐食状況により近畿管内の直轄管理鋼橋約1,200橋の塗替管理計画を立案したのでここに紹介する。

キーワード 橋梁, 塗装, 塗替計画, 定期点検, 維持管理

## 1. はじめに

近畿地方整備局管内に限らず、日本の橋梁の多くは高度経済成長期に架設された。近畿管内の直轄管理橋梁(4,904橋: H27.12月時点)の内、架設50年を越える橋梁は現在30%、20年後には60%を超える。



図-1 近畿管内直轄橋梁 架設50年超過割合

維持管理にかかる費用が増大していく中で適切な時期に適切な補修を行うためには、橋梁の状態を詳細に把握する必要がある。

定期点検においては平成26年に点検要領<sup>1)</sup>が改訂され、橋長2m以上の橋・高架を5年に1回(初回は供用後2年以内)の頻度で、近接目視により点検を実施している。

点検結果はこれまでも橋梁補修設計等に活用されてきたが、蓄積された膨大なデータの更なる利用の一端として本計画でも判定指標に用いることとした。

なお、本計画は「将来にわたる塗替のインターバル」を計画するものではなく、「次回の塗替計画」を立案するものである。

## 2. 塗替計画の基本方針

本計画立案における基本方針は、以下の3点である。

### (1) 定期点検結果の活用

本計画では橋梁毎に塗替の要否・塗替時期・範囲・塗装系を決定し計画を立案する。

近畿管内の直轄橋梁の内、鋼橋は1,201橋、その全ての橋梁毎に計画を作成するには統一した指標が必要である。

そこで、定期点検結果から主桁の腐食損傷に着目し、損傷評価及び対策区分を指標に用いることとした。

### (2) 塗替の目的は「構造的安全性」

鋼橋の防食機能は塗膜に寄るところが大きいが、本計画では鋼材自身の耐食性に期待し、「塗膜の健全性」は問わない(劣化を許容する)ものとした。

橋梁が置かれている環境、定期点検で確認された鋼材の状態によって、鋼材の腐食が進行しなければ塗膜は健全でなくてよいという判断基準を導入した。

### (3) コスト縮減

従来の橋梁塗替工事は全面塗替が基本であったが、本計画では部分塗替が可能か判定できるものとした。

塗替範囲は桁端部(桁端から橋台全面まで)のみ部分

塗替する場合と全面（桁端部・中間部の両方）塗替する場合を判定する。

これにより必要最小限の塗替計画となり大幅なコスト縮減が可能となる。

なお、塗替における塗装系は重防食塗装系のRc-I（素地調整は1種ケレンとし旧塗膜は完全除去）を標準とした。

通常塗替工事においては一般塗装系であるRc-III（素地調整は3種ケレンとし旧塗膜の活膜を残す）を採用するが多い。

耐久性に優れるRc-Iを採用することで、施工費は上がるが長期的なコスト縮減を目指すものである。

### 3 計画単位

橋梁には複数の構造で施工されているものもあり、また同一構造であっても径間毎に桁下環境が異なる場合がある。

本計画では以下の条件で橋梁を計画単位に区分する。

#### (1)構造形式

1 橋の橋梁で構造形式が異なる場合は構造形式毎に区分する。

特に桁橋以外の特殊橋（アーチ橋、トラス橋、斜張橋）は桁橋と区分して計画を立案する。

鋼製橋脚については特殊橋に区分する。

#### (2)ローカル環境

同一の構造形式であっても桁下等のローカル環境（陸上、河川上、海上など）が明らかに異なる場合には、そのローカル環境が異なる径間毎に区分する。

更にローカル環境が同じでも腐食状況が明らかに異なる場合には、その腐食状況の異なる径間毎に区分する。

なお、鉄道を跨ぐ跨線径間は施工条件が異なることから別の計画単位とする。

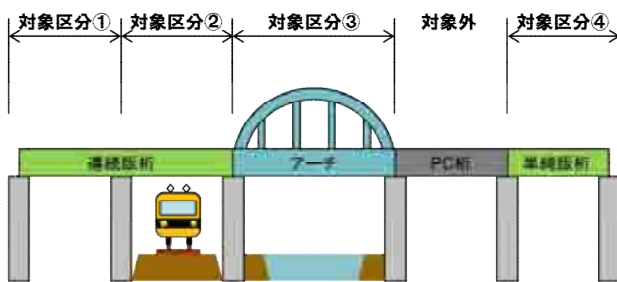


図-2 計画単位のイメージ

#### (3)防食仕様

既設の塗装系によって塗替要否・範囲の判定が異なるため、区分して計画立案することとした。

区分は一般塗装系、重防食塗装系、耐候性鋼とする。

これまで述べた区分毎に近畿管内の直轄鋼橋1,201橋を整理する。計画単位は1,705区分となった。

表-1 計画単位毎の分類

構造形式区分	防食仕様区分	区分数	比率
桁橋	一般塗装系 (A系・B系新設、Rc-III)	1371	80%
	重防食塗装系 (C系新設、Rc-I)	234	14%
	耐候性鋼 (裸仕様、表面処理仕様)	71	4%
特殊橋（アーチ橋、トラス橋、斜張橋）		29	2%
計		1705	100%

以降は全体に占める区分数比率が80%と高い「桁橋：一般塗装系」について述べる。

### 4 本計画に用いた定期点検結果

判定指標として用いた定期点検結果（損傷程度及び対策区分）について詳述する。

#### (1)損傷程度評価（塗替要否の判定指標）

定期点検では橋梁の要素毎に確認した損傷の程度を評価し、部材毎に対策区分判定を行う。

本計画で用いる指標として主桁鋼材の①腐食に着目した。

表-2 点検項目の標準<sup>1)</sup>

部位・部材区分		対象とする項目（損傷の種類）
		鋼
上部構造	*主桁	①腐食
		②亀裂
		③ゆるみ
		④破断
		⑤防食機能の劣化
		⑩補修・補強材の損傷
		⑬遊間の異常
		⑯定着部の異常
		⑳漏水・滞水
		㉑異常な音・振動
		㉒異常なたわみ
		㉓変形・欠損

塗装塗替における判定指標に⑤防食機能の劣化を用いなかったのは、基本方針で述べたとおり塗替の目的は「構造の安全性」であり、本計画では「塗膜の健全性」は問わないからである。

損傷程度はa（損傷なし）～e（腐食深さ大・面積大）の5段階で要素毎に評価する。

本計画では損傷程度の全数に占めるd・eの割合が80%以上の場合は全面塗替、80%未満の場合は後述する補修（塗替）履歴にて判定する。

全要素ともa・b・cの場合、現時点では塗替不要と判定できるが、防食上の弱点である桁端部のみRc-Iに

塗替することで長期的な構造の安全性を図るものとする。

(2)対策区分判定（塗替時期の判定指標）

本計画では主桁に対する対策区分判定を塗替時期の判定指標とした。

対策区分判定は構造上の部材ごとに、以下のフローにしたがって評価を行う。

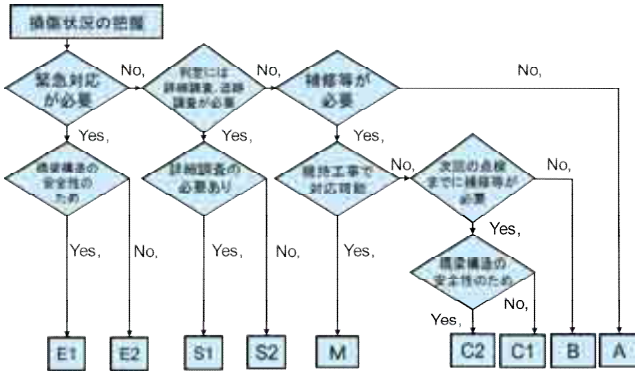


図-3 対策区分の流れ<sup>1)</sup>

塗替時期は、主桁毎の対策区分判定にE判定が1つでも含まれる場合には「1年以内」、それ以外はA～Cの対策区分判定の中で最も多いものに着目し判定を行う。

5. その他の判定指標

定期点検結果以外にも本計画に用いた判定指標には以下のものがある。

(1)マクロ腐食環境

海からの距離により腐食環境が厳しい地域においては、腐食の有無等その他の指標に係わらず、重防食塗装系Rc-Iによる全面塗替を行うものとする。

表-3 マクロ腐食環境判定指標

腐食要因	判断基準	腐食環境
海からの距離	日本海沿岸部Ⅰ：20km以内 (福井県以北)	厳しい
	日本海沿岸部Ⅱ：5km以内 (京都府以南)	
	太平洋沿岸部2km以内	穏やか
	瀬戸内海沿岸部1km以内 上記以外	

(2)橋長

橋長が15m未満の橋梁は中間部の延長が短いため、重防食塗装系Rc-Iによる全面塗替を行うものとする。

(3)ローカル腐食環境

ローカル環境が腐食に対して厳しい場合は中間部においても塗替を行う。具体的には表-4により判定する。

表-4 ローカル腐食環境

厳しい	河川上で水面近接
	陸上で桁下湿潤状態 凍結防止剤散布地域
穏やか	上記以外

(4)補修（塗替）履歴

過去の塗替履歴から、平均塗替周期（10年未満、10年以上or不明）、前回塗替からの経過年（5年未満、5年以上or不明）により塗替範囲の判定を行う。

平均塗装周期が10年未満の場合は、防食機能を維持するために短い周期で塗替する必要があったことを意味する。

前回塗替からの経過年については、前述した損傷程度d・e割合80%未満かつ経過年が5年未満の場合、塗替から短い年数で損傷が現れていることを意味している。

よって両指標ともに中間部の塗替要否の判定に用いるものとする。

6.塗替判定フロー

これまで延べた判定指標を「桁橋：一般塗装系」の塗替判定フローとして整理する。

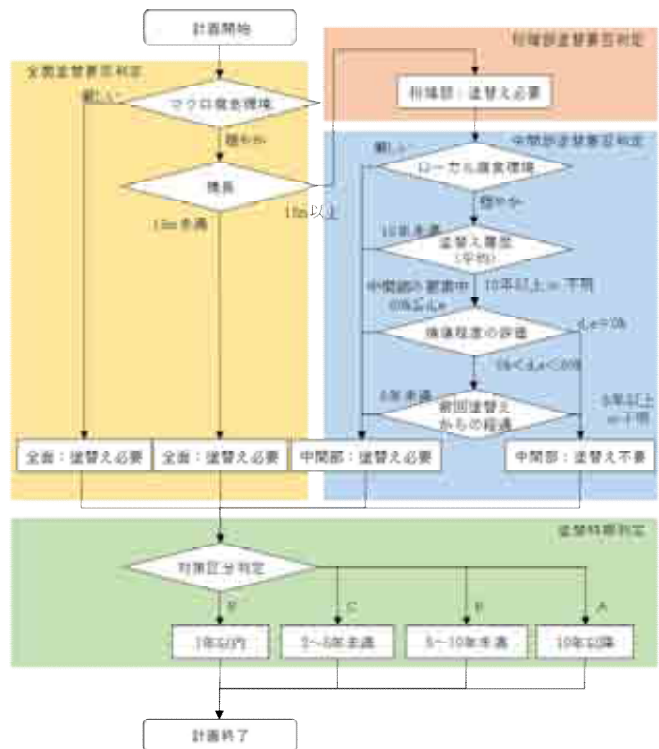


図-4 塗替判定フロー「桁橋：一般塗装系」

上記フローでは背景着色毎に全面、桁端部、中間部の塗替要否と塗替時期を判定している。

塗替判定フローは、上記「桁橋：一般塗装系」と、「桁橋：重防食塗装系」「桁橋：耐候性鋼」の3種類を作成し、計画単位毎に判定を行う。

なお特殊橋においては、防食上の弱点が桁端部に留まらず部材同士の各交点や定着部に現れる場合があるため、既設塗装が一般塗装系の場合は全面Rc-Iにて塗替することを基本とするためフローは作成しない。

塗替時期の判定には上記フローと同様に対策区分判定を用いる。

特殊橋の既設塗装が重防食塗装系の場合は「桁橋：重防食塗装系」のフローにより判定する。

7.塗替計画診断票の整備

本計画に使用した橋梁の諸元や定期点検結果は、工事図書・橋梁カルテ・点検調書などから抜粋したものである。これを橋梁毎、計画単位毎にとりまとめ個票を作成する。

本計画は2015年時点の橋梁諸元・最新の定期点検結果で立案しており、今後は5年毎に実施する定期点検結果を用いて時点修正していく必要がある。

橋梁毎の個票を作成することで、本計画立案の経緯が明らかになるとともに、以後の時点修正にも活用できる。

図5 塗替計画診断票の例

個票には塗替工事計画時の目安となるよう塗装範囲(全面または桁端部)の面積と概算工事費を記入する。

塗装面積は建設当時の完成図書や、点検調書の塗歴板写真などから転記する。確認できる資料が無い場合はデザインデータブックの実績データより算定する。

桁端部のみ塗替を行う場合の面積は、桁端から2mとして計算する。

施工単価は市場単価を採用する。

既設塗装が一般塗装系(A・B塗装系)の場合、さび止めに含まれる鉛対策として剥離剤による塗膜除去費用を概算工事費に計上する。

8.塗替管理計画の分析

近畿地整全体の塗替管理計画の結果を、計画単位の分類毎に整理したものを表-5に示す。

現橋が桁橋で一般塗装系の場合、総数1,371区分に対して全面塗替が418区分(30%)、桁端部だけの部分塗替が953区分(70%)となり、全体の2/3に対して部分塗替の適用が可能との結果となった。

表-5 近畿地整全体塗替計画の特徴

現在の防食仕様	全面塗替え	部分塗替え	塗替不要	計
一般塗装系	418 (30%)	953 (70%)	0 (0%)	1371
重防食塗装系	25 (11%)	0 (0%)	209 (89%)	234
耐候性鋼	0 (0%)	41 (58%)	30 (42%)	71
特殊橋	25 (86%)	0 (0%)	4 (14%)	29
計	468 (27%)	994 (58%)	243 (14%)	1705

一般塗装系に着目し、塗装費用の試算を表-6により比較した。

一般塗装系橋梁の場合、部分塗替はその70%に適用が可能であり、その結果塗替費用は全面Rc-I塗替の橋梁も含め約263億円となった。一方で従来の標準的な塗替え方法である全橋全面Rc-IIIで塗替を行った場合は約488億円となり、46%のコスト削減効果が得られることが分かった。なお、参考までに全橋に全面Rc-Iを適用した場合の費用は約752億円となった。

表-6 一般塗装系のコスト削減効果

	塗装系別面積(1000m2)			塗装工事費(億円)
	全面Rc-III	全面Rc-I	桁端部のみRc-I	
本計画	—	893	195	263.5
全面Rc-III	3,146	—	—	488.1
全面Rc-I	—	3,146	—	751.8

46%減

9.さいごに

塗装塗替管理計画に定期点検結果を導入し、多くの判定指標を示したことは、計画的に塗替工事を施工できるだけでなく、事務所・担当者間で判定がばらつくことなく、次回塗替がいつなのか、どの部分を塗り替えばよいか、その場合工事費がどれくらいかを把握することを可能とするものである。

今後は本計画を鋼橋の維持管理に有効活用しながら、適宜時点修正を行うことが必要である。

参考文献

- 1) 橋梁定期点検要領 (平成26年6月) 国土交通省 道路局 国道・防災課



# 斜面監視システムによる 斜面状況の観測及び情報提供について

東谷 和輝

奈良県 県土マネジメント部 中和土木事務所 (〒634-0003奈良県橿原市常盤町605-5)

紀伊半島で発生した豪雨被害以来、奈良県五條市大塔町辻堂地区において発令されていた避難指示及び勧告が、2014年12月26日に解除された。避難指示及び勧告の解除に至るまでに、辻堂地区では、災害復旧工事（ハード対策）が進められてきた。一方で、より一層住民が安心して暮らせる地域を目指し、崩壊した斜面の異常を周辺住民及び通行車両へ迅速に周知し、自主避難を促す取り組みを行った（ソフト対策）。本論では、この取り組みについて報告を行う。

キーワード 紀伊半島大水害、災害復旧、斜面監視、積極的な情報提供、自主避難の促進

## 1. はじめに

2011年の台風第12号により、紀伊半島では一部地域で雨量が2,000ミリを越えるなど記録的な豪雨に見舞われ、後に『紀伊半島大水害』と称される甚大な被害が発生した。紀伊半島大水害では、紀伊半島の各地で土砂災害、河川はん濫が発生し、多くの被害が出た。これらの被害により、被災地へ向かう道路（国道168号等）が寸断され、孤立集落が多数発生する事態となった。<sup>1)</sup>

土砂災害においては、紀伊半島では3,000カ所以上発生した。奈良県南部に位置する辻堂地区においても、鍛冶屋谷（かじや）谷及び柳（やなぎ）谷で大規模な山腹崩壊が発生し人家や国道168号に被害を与えた。

鍛冶屋谷では、山腹が崩壊し、国道168号を超え熊野川まで土砂が流出し、家屋や道路に被害を与えた。（写真-1）また、柳谷では、支川源頭部で大規模な山腹崩壊が発生したが、幸いにも流出土砂は本川との合流点で停止したものの、不安定な土砂・流木が溪流途中に残ることとなった。（写真-2）

これらの状況により、国道168号が通行止めになるとともに辻堂地区に避難指示・勧告が発令された。

避難指示・勧告の解除による住民の帰還及び国道168号の交通の回復に向けて、紀伊半島大水害以降、堰堤設置等の災害復旧工事（ハード対策）を進めた。

また、崩壊した溪流の直下に人家があることから、帰宅後、避難指示や勧告に頼らず、自主的に避難することが辻堂地区では求められる。そこで、より一層の安全性を確保すべく、斜面の異常を感知し情報提供を行うシステム（斜面監視システム）の構築を鋭意進めた。



写真-1 鍛冶屋谷 被災直後の様子



写真-2 柳谷 被災直後の様子

## 2. 被災概要

台風12号の影響により8月31日～9月5日の間に連続雨量989mm,最大時間雨量36mm（大塔観測局）を記

録し,辻堂地区の11世帯20人に避難指示及び避難勧告が発令された。

(1) 鍛冶屋谷の被災状況

- ・本川右岸の斜面で崩壊が発生し,国道168号の約40mにかけて土砂が流出
- ・流出土砂により谷筋付近の国道168号に面していた家屋が流失
- ・流出土砂は,国道168号の下側の市道やデイサービスセンターに到達し,熊野川まで流出
- ・建物全壊7件,建物半壊2件,床上浸水3件
- ・橋梁流出3基
- ・国道50m,市道100mにわたり被災

(2) 柳谷の被災状況

- ・支川源頭部で崩壊が発生したが,流出土砂は,本川との合流点付近で停止し,国道には到達せず
- ・不安定な土砂及び流木が溪流途中に残存 (図-1参照)

3. 斜面監視システムの構築について

(1) 目的

鍛冶屋谷及び柳谷のハード対策は,最下流の両砂防堰堤が完成 (H26.12) したものの全ての対策が完了したわけではない。その中で斜面の異常を感知し,周辺住民及び通行車両に周知する斜面監視システムを構築し,住民の自主避難に役立てることを目的とした。

(2) 課題の整理

a) 地形的条件からくる課題 (課題①)

両溪流ともに直下に人家及び国道が存在する。また,急峻な地形となっており,土砂災害が起きた場合,人家や国道へ到達する時間は極めて短いと考えられる。そこで,斜面の変状を感知した場合,迅速に周辺住民及び通行車両に周知し,自主避難を促す必要がある。

b) 斜面監視を機器で行う上での課題 (課題②)

機器により斜面監視を行うと,原因が何であれ機械的に異常として感知してしまう。例えば,土石流センサーの場合,ワイヤーが破断することで異常を感知するため,実際に土石流の発生以外,落石や倒木,動物が原因でも斜面異常として感知してしまう。遠方目視や現地踏査により原因はわかるが,上述したように辻堂地区では迅速な情報提供が求められる。このように様々な事象を異常として感知してしまうことへの対策が必要である。

c) 情報提供における課題 (課題③)

上記のような状況の中,監視機器から得た情報を周辺住民及び通行車両へ発信する基準について検討する必要がある。

以上の3点を課題と考えた。

(3) 課題へのとりくみ

a) 課題①への取り組み

迅速に斜面の異常を感知するため,監視対象を明確にし,その近くに観測機器を配置した。また,周知方法とし

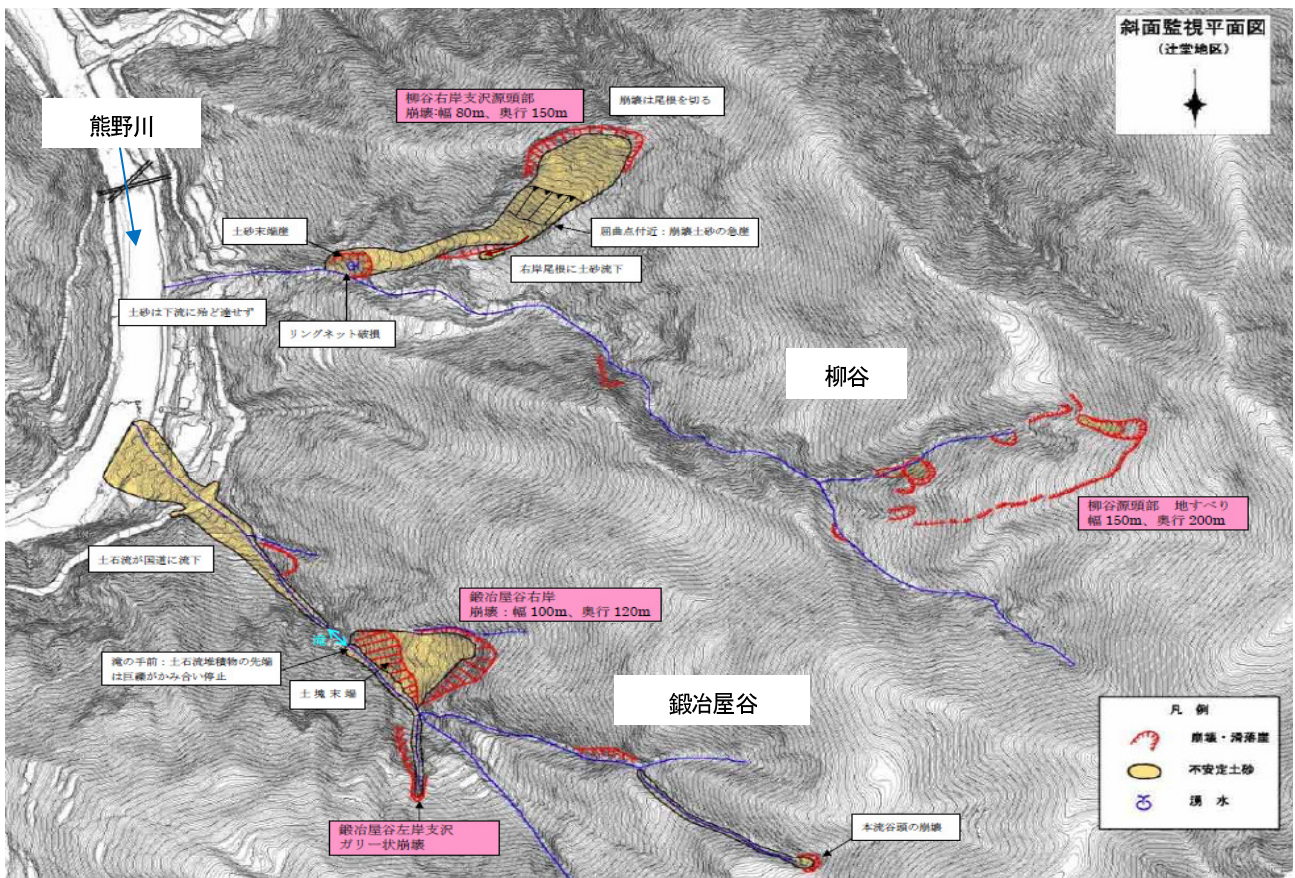


図-1 紀伊半島大水害後の斜面状況概要図

て、異常を感知した場合、辻堂地区内で回転灯及び警報音が作動することで、住民へ迅速に情報提供することを可能とした。さらに、異常を感知すると、自動でメールが配信されることで、豪雨時等の音が聞こえない状況でも、どの機器が作動しているかを把握することができるようにした。

通行車両へは、溪流の前後に設置した電光表示板を監視機器と連動させることで、迅速に斜面情報を提供することを可能とした。

監視機器の配置は、土石流になりうる溪流内の土砂だまりへの対策として、直下に土石流センサーを配置した。



図2 斜面監視システム 機器配置図

また、崖地形に亀裂が確認されている箇所対策として、伸縮計を設置した。(図-2参照)

b) 課題②への取り組み

異常の原因がすぐに特定できないこと及び様々な事象を異常として感知してしまうことから、情報の受け手側に、様々な異常があることを周知した。具体的には、斜面監視システムから配信される異常には、動物等に起因する緊急性のない情報も含まれているが積極的に情報提供することを、地元説明会を開き、周辺住民の理解を得た。また、同時に異常の原因を速やかに把握するため、溪流を監視するカメラを設置した。(図-2参照) この監視カメラはインターネット回線を通して閲覧が可能のため、離れた場所からでも斜面状況を確認できる。このように課題の解決を図った。

c) 課題③への取り組み

情報提供は、異常が起きる前の「事前の情報提供」と、起きた後の「事後の情報提供」に分けて考えた。

「事前の情報提供」として、雨量を基準とする情報提供を検討した。これは、紀伊半島大水害以降の観測結果から、降雨に起因して土砂が移動することがわかっているためである。本システムでは、災害の採択要件（連続80mm）及び既存の雨量規制の基準値（連続110mmまたは時間25mm）を準用した。また、過去の降雨と溪流内での土砂の移動の関係から、連続雨量200mmという基準を独自に設け情報提供を行うこととした。

土石流センサー等が斜面に異常が起こってから情報提供（事後の情報提供）するのに対し、雨量を基準にすることで、異常が起こる前に情報提供し、自主避難を促すことを可能とした。情報発信基準を表-1に示す。

辻堂地区では、砂防堰堤の完成及び本システムの稼働により、2011年9月から発令されていた避難指示・勧告が2014年12月26日に解除され、住民の方々が仮設住宅等から帰宅された。未だに斜面には土砂だまりや流木があり、

表-1 斜面監視システムから周辺住民・関係者への情報発信基準

周知方法	雨量計についての情報発信		土石流センサー・伸縮計についての情報発信					
	地域住民への周知		通行車両への周知		土石流センサー・破断時	伸縮計 ・2mm/時間が連続2回 ・1時間4mm		
雨量	メール配信	回転灯・警報音	電光表示板	回転灯・警報音	メール配信	①回転灯・警報音 ②電光表示板		
連続雨量 80mm 以上	あり (段階的に配信)	なし	「斜面異常/通行注意」	なし	あり	あり		
連続雨量 110mm以上 又は 時間雨量 25mm以上			「斜面異常/通行注意」					
連続雨量 200mm以上			「斜面異常/通行止め」				「斜面異常/通行止め」	①作動(2.5分間) ②「斜面異常/通行止め」
無降雨(時間雨量2mm以下)で4時間以上経過			「通行注意」				なし	①作動(2.5分間) ②「斜面異常/通行注意」

ハード対策を進めている状況である。

そのため、より一層の住民の安全性を確保するためにソフト対策による情報提供及び自主避難の意識が重要である。

## 5. おわりに

奈良県南部はその多くが山にかこまれ、急峻で風化の進んだ地形が多く、斜面に機器を設置し監視しているところも多く存在する。しかし、辻堂地区の鍛冶屋谷や柳谷のように下流側に人家や国道といった保全対象が近くにある溪流は稀である。そのような地区特有の条件から、住民に自主避難の意識を強く持ってもらうことにより、はじめて本システムが有効に機能すると感じた。

南北を結ぶ命の道である国道168号の通行や、なにより、住民が安心して暮らせる地域づくりのために、地元と協力し、積極的に情報提供していく姿勢が今後も求められる。

**謝辞：**本発表にあたり、日頃から災害復旧工事にご協力いただいている地域の皆様に心から感謝申し上げます。また、五條南・野迫川復旧復興課において災害発生直後から災害復旧にご尽力をいただいた関西広域連合をはじめとする職員の皆様及び工事関係者の方々など、関係各位に深く感謝の意を表します。

※本論は、著者が前所属（奈良県五條土木事務所五條南・野迫川復旧復興課）で担当した内容についてまとめたものである。

## 参考文献

- 1)国土交通省近畿地方整備局：2011年紀伊半島大水害 災害対応の記録

# 紀伊半島大水害からの復旧復興に向けた 取り組みについて～熊野川河川災害復旧事業～

西川 敦清

奈良県 県土マネジメント部 まちづくり推進局 奈良公園室 (〒630-8501 奈良県奈良市登大路町30番地).

紀伊半島大水害(2011年8月30日～9月5日の台風12号による豪雨出水)により、奈良県五條市大塔町清水地区(以下、清水地区)で大規模な山腹崩壊が発生した。これにより、崩壊地の直下を流れる熊野川に約47万 $m^3$ の土砂が堆積し、河床が大幅(約2～5m)に上昇した。この影響により、五條市では死者7名・行方不明者4名・全壊家屋17戸という甚大な被害を受けた。本論文は、紀伊半島大水害からの復旧復興に向けたこれまでの段階的な取り組みを紹介し、熊野川を挟んで崩壊地の対岸に位置する宇井地区の地域振興に向けた、今後の整備計画のあり方について考えるものである。

キーワード 紀伊半島大水害, 堆積土砂撤去, 土捨場整備, 復旧復興, 地域振興

## 1. はじめに

紀伊半島大水害により、清水地区で大規模な山腹崩壊が発生した。これにより、崩壊地の直下を流れる熊野川に約47万 $m^3$ の土砂が堆積し、河床が大幅(約2～5m)に上昇した。さらに川を挟んで崩壊地の対岸に位置する宇井地区では、土石流により民家や学校のグラウンド等が流失し、河道閉塞が起きた。またそれに伴い、崩壊地より上流に位置する辻堂地区では大規模な冠水が発生した。



図-1 奈良県全域図



写真-1 事業箇所の詳細

## 2. 復旧復興に向けた取り組み

災害発生後からこれまでの取り組み内容として、災害復旧事業として整備してきた内容を紹介する。

### (1) 河道閉塞の解消

清水地区で発生した山腹崩壊に伴い、川を挟んで崩壊地の対岸に位置する宇井地区では、民家や小中学校のグラウンドが流失した。土砂はグラウンドや河道部一体に堆積し、集落付近で河道閉塞が発生した。そのため、2次災害対策として、次年度の出水期をむかえる2012年6月15日までに、河道閉塞を起こしている土砂撤去工事を行った。また撤去した土砂については、宇井地区のグラウンド整備（詳細は(2)-bで紹介）を行うことから、グラウンド跡地へ盛土を行った。

破線・・・河道



写真-2 被災直後の宇井地区グラウンド流失地



写真-3 河道閉塞解消後の状況

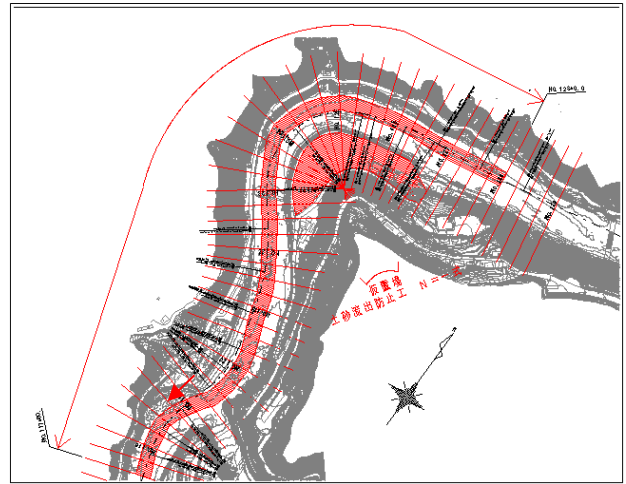


図-2 河道閉塞解消工事の計画図

### (2) 堆積土砂撤去及び土捨場整備

河道閉塞の解消後、河川内に堆積した土砂の撤去工事を本格的に行った。土砂処分方法として、当初は公的処分地への搬出を計画していたが、経済性・施工性を考慮した再検討の結果、現場に近い位置に土捨場を整備する方が優位であるため、土捨場整備による土砂処分を行う事とした。箇所選定については、多量の盛土を行う十分なスペースがあること、今後の土地利用を有効的に行うこと等の観点から候補地を選定し、関係機関と協議を経て、宇井地区に2か所の土捨場を整備する計画とした。

公的処分地へ土砂処分を行った場合			土捨場整備による土砂処分を行った場合 (宇井地区グラウンド・小原川残土処分場)		
項目	備考	設計額(単位:円)	項目	備考	設計額(単位:円)
土砂運搬費	運搬距離:L=42.7km (土砂処分費含む)	2,630,200,000	土砂運搬費	運搬距離:L=2.1km	305,600,000
交通誘導員費	1日あたり4人配置	40,100,000	交通誘導員費	1日あたり2人配置	20,040,000
			工事用道路費	現場～残土処分場 までの河中道路	21,400,000
			土捨場整備費	護岸工、排水工、 法面工など	1,010,000,000
合計		2,670,300,000	合計		1,357,040,000

表-1 土砂処分方法による工事費の経済比較表

#### a) 小原川土捨場

熊野川の支流にあたる小原川の河道を利用して土捨場を計画した。曲線部の内側を一部開削して河道線形を見直し、旧河道部を土捨場として利用した。土捨場足元には護岸工を施工し、災害復旧事業の堆積土砂処分場とした。土砂運搬時には、河中道路を設けて重ダンプ(14m<sup>3</sup>積み)を走行させる等、工期短縮に向けて様々な取り組みを行い、2015年2月に土捨場は完成した。現在当該土捨場の平地は、他工事の資材置場や作業ヤード等に利用されており、効率的な運用が図られている。

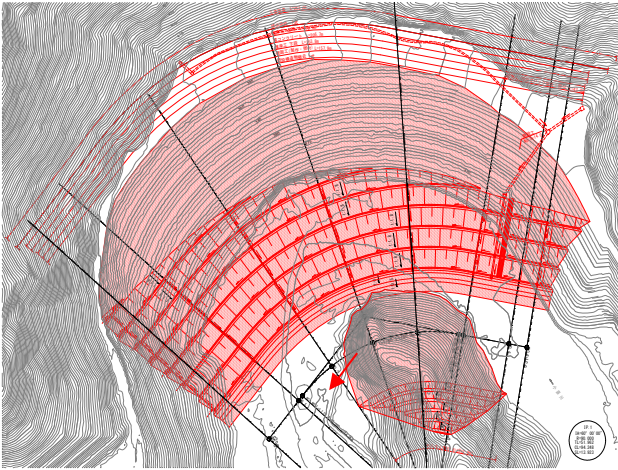


図-3 小原川土捨場の計画図



図-4 宇井地区グラウンド流失地の土捨場計画図

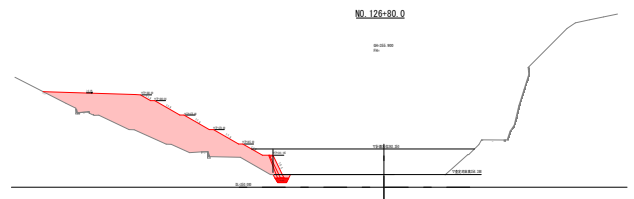
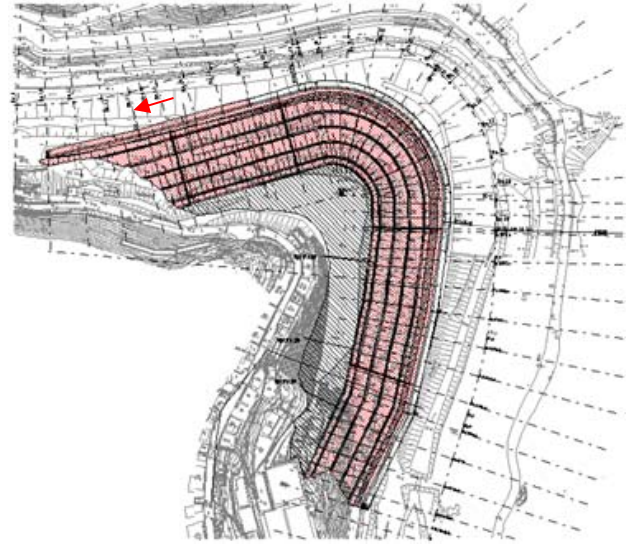


写真-5 現在整備中の宇井地区グラウンド

写真-4 整備後の小原川土捨場



#### b)宇井地区グラウンド整備

甚大な被害を受けた宇井地区においては、奈良県と五條市が一体となって復旧復興事業を行う事となった。まずは災害復旧事業として、奈良県がグラウンド流失地に土捨場を整備し、五條市が平地部に復興住宅や地域広場等の面的整備を行う計画となった。2013年12月に土捨場の設計が完了し、2014年4月から整備工事に着手した。また2014年7月には、五條市の復興住宅の整備が完了した。なお堆積土砂で造成した平地に建築物を整備する事が困難であったことから、地山と一体化したスラブを設け、その上に復興住宅を建築している。また土捨場整備工事は出水期をはさむ工事であったことから、護岸工事を非出水期に行うなど、綿密な工程管理を行って施工しており、2016年12月完了予定である。現在は、土捨場整備に向けた残工事、および五條市の面的整備（グラウンドや進入路、宇井地区周辺の市道整備など）を行っている段階である。

### 3. 地域振興に向けた課題と考察

災害復旧事業として、河川の堆積土砂撤去及び土捨場整備等が概ね完了し、一定の河積を確保することで再度災害の防止を行う事が出来た。また五條市による復興住宅の整備も完了しており、地元住民の生活基盤が整いつつある状況である。これにより、復旧復興に対する取り組みが概ね完了し、宇井地区の新たなコミュニティ基盤が完成し、今後は地域振興に向けたソフト面での取り組みが必要になったと考えられる。今後の地域振興に向けたハード面の取組みとして必要なことは次の通りである。

#### (1) 宇井地区周辺の河川環境整備

堆積土砂撤去工事を進めていく過程で、被災直後に確

認出来なかった護岸構造物等の新たな被災が確認され、また宇井地区グラウンドの土捨場の一部を消防用通路や周遊歩道に利活用するなど、災害復旧の範囲を超えてフォローすべき項目が新たに見つかった。生活基盤の整備が形になりつつある今日、被災前よりも活発なコミュニティを形成するため、五條市や地元住民との調整を行いながら、河川管理者として関係機関と連携をとりつつ、役割分担を行って整備促進を図っていく必要がある。



写真6 被災前の宇井地区グラウンド

## (2) 新たな被災に負けない対策

被災箇所の整備を進めている一方で、中には被災を受けずに健全な状態で機能している河川構造物も存在する。しかしながら、それらの多くは老朽化が進んでおり、今後の出水時に被災を受ける可能性も否定できない状況である。奈良県では毎年、河川の巡視点検を行っており、護岸構造物の状態を把握する取組みを行っている。今後は、それらの情報を十分に理解し、新たな被災を生み出さないような維持管理を努めていく必要がある。

## 5. おわりに

この事業の最大目標は、単に災害復旧工事としての堆積土砂撤去だけではなく、被災前よりも活発な地域コミュニティを再生すること、いわゆる「復興」と「新たな地域振興」であり、また地域住民もそれを求めていると考える。紀伊半島大水害による被災の影響で、長年住み慣れた地に戻りたくても戻れない人達がいる事は事実であり、過疎化を防ぐためにも、地域の人達が安心して暮らせるようなまちづくりが必要である。そのためには、災害復旧事業と他事業を連携させた包括的な整備計画の立案を検討し、復旧復興から地域振興につながる取り組みが必要と考えられる。

そして何よりも大切なのは、このような未曾有の災害の存在を忘れないことである。宇井地区では毎年9月上旬に慰霊祭を行い、被害に遭われた方々への追悼を行っている。災害に強い活発な地域社会を作るためにも、災害の存在を共有し、県や市町村がいかに有効な整備による地域の基盤作りを担えるかを検討する必要がある。



図5 宇井地区グラウンドの整備計画図（イメージ）

謝辞：本論文の作成にあたり、数々のご指導を頂いた皆様、また日常の議論を通じて多くの知識や示唆を頂いた関係者の皆様に、深く感謝いたします。