

# 膜モジュールを用いたダイオキシン類汚染排水の処理技術

独立行政法人土木研究所 研究員 森 啓年

## 1 はじめに

近年、増加する傾向にあるダイオキシン類汚染が顕在化した建設現場においては、環境リスクを低減するために、汚染された土壌や底質もしくは廃棄物を対象に浄化処理や掘削搬出処分、封じ込めなどの汚染拡大防止措置といった対策を行うことが必要となる。

それらの対策を行う際に発生する掘削時の地下水、浚渫時の余水、汚染土壌の含有水、使用した機械類の洗浄排水等は、ダイオキシン類により汚染された排水となるため、適切な排水処理が必要となる。しかし、現状の排水処理に使われる技術は、大型のプラント類など高額なコストがかかる場合が多く、また、複雑で特殊な運転操作を必要とするなど、施工期間中のみ排水処理が必要となる建設現場への適用は難しい。

そこで、土木研究所ではダイオキシン類に汚染された排水を経済的かつ簡便に処理できる信頼性の高い排水処理システムとして、ろ過膜モジュールを用いた小型(長さ：1.50m、幅：1.00m、高さ：1.95m)の可搬式処理装置(写真-1)を開発している。なお、本技術開発は、独立行政法人土木研究所の民提案型共同研究として、土木研究所、不動建設株式会社並びにセントラルフィルター工業株式会社が共同して、開発を進めているものである。



写真-1 膜モジュールを用いた排水処理システム

## 2 排水処理システムの概要

### 2.1 ダイオキシン類汚染排水の特性と処理の原理

土壌や底質もしくは廃棄物に含有されるダイオキシン類は、大部分は水中に溶出せず、主に水中の土粒子や有機物などの懸濁物質に付着して存在すると考えられている。実際に、ダイオキシン類に汚染された土壌や底質を対象にして行われた実験では、環境庁告示第46号法試験の条件下において土壌や底質に含有されるダイオキシン類の

うち、 $1.0 \times 10^{-5}\%$ 程度が水中に溶出しているとみなすことができる<sup>1)</sup>。

ダイオキシン類の分子量は 200 ~ 800 程度であり、粒子径は 0.001  $\mu\text{m}$  程度といわれていることから<sup>2)</sup>、通常の人工膜によるろ過処理では除去することは困難と考えられていた。しかし、上記のようにダイオキシン類の大半が懸濁物質に付着していることから、懸濁物質を除去する操作を行うことにより、排水処理が可能となる。

## 2.2 排水処理システムの概要

膜モジュールによる排水処理は、正しくは「カートリッジ式ろ過膜モジュールシステム」と名付けられ、ダイオキシン類に汚染された排水を、現地で排水基準値以下に浄化でき、処理水の直接放流が可能とする。その主な特長は表-1 に示す通りである。

表-1 「カートリッジ式ろ過膜モジュールシステム」の主な特長

高度な排水処理	ダイオキシン類に汚染された排水を、現地で排水基準値以下に浄化でき、処理水の直接放流が可能となる。
処理品質確保が容易	事前のトリータピリテテストを行うことにより、汚染水が排水基準値以下となることが確認されたる過膜モジュールを、実際の浄化処理装置に用いるので、処理水のダイオキシン類濃度は排水基準値以下になることが保証される。また、運転操作は、全て自動運転のため、特殊な運転技術は不要であるとともに、ろ過膜モジュールの破損などの不測の事態に備え、超高感度濁度計による汚染漏洩監視システムを装備している。
広範な適用範囲	処理対象の排水の性状（懸濁物質の粒度分布および成分組成、濃度、有機物や溶存成分など）の影響を「前処理プロセス」で排除し、段階的に微粒子を除去していくので、効果的な排水処理が可能となる。
機動性と柔軟性に富むシステム	小型の可搬式の排水処理システムであり、処理が必要な現場へ簡単に輸送できる。また、大量の排水処理に対しても、カートリッジ式ろ過膜モジュールを増設するだけで、容易に対処できる。
廃棄物発生が少量	吸着剤や活性炭を使用しないので、これらの吸着材料の交換などが不要であり、また汚染物はろ過膜モジュール内に全て封じ込められるので、その部分だけを最終処分すればよい。

## 2.3 排水処理フロー

カートリッジ式ろ過膜モジュールシステムは「前処理プロセス」と「分離処理プロセス」から成り、処理フローは図-1 に示す通りである。

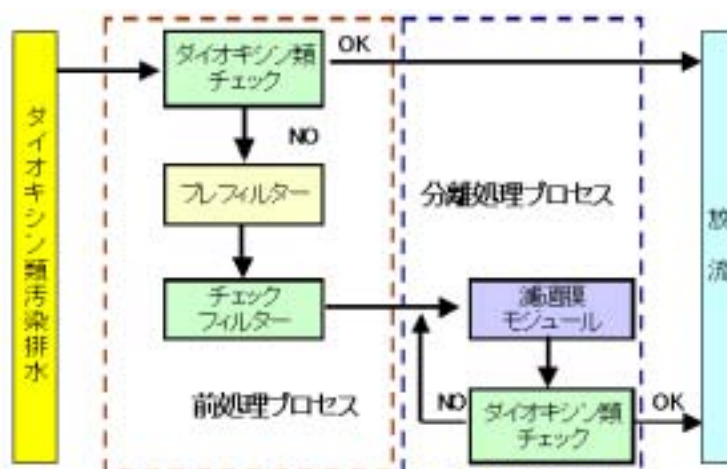


図-1 処理フロー

## 前処理プロセス

プレフィルタと精密ろ過膜で、SS 濃度で数十～数百 mg/l の汚染水を数 mg/l 程度まで除濁するプロセスである。

## 分離処理プロセス

中間タンク、ろ過膜モジュール、超高感度濁度計で構成され、コロイド分や有機物などの微粒子を除去し、処理水を外部に排出するプロセスである。ろ過膜モジュールは何百本もの中空糸膜を内蔵したクロスフローろ過方式の装置である。クロスフローろ過方式では、図-2 に示すように、汚染水は中空糸膜の内部を膜面に沿って流れる。この時、中空糸膜は膜の孔径より大きい粒子径の懸濁物質が膜壁を通過するのを阻止するので、汚染物質は元の汚染水タンクに循環する。結果として、膜の孔径より小さい微粒子と水だけが中空糸膜の膜壁を通り抜けて処理水として膜外に透過流出する。

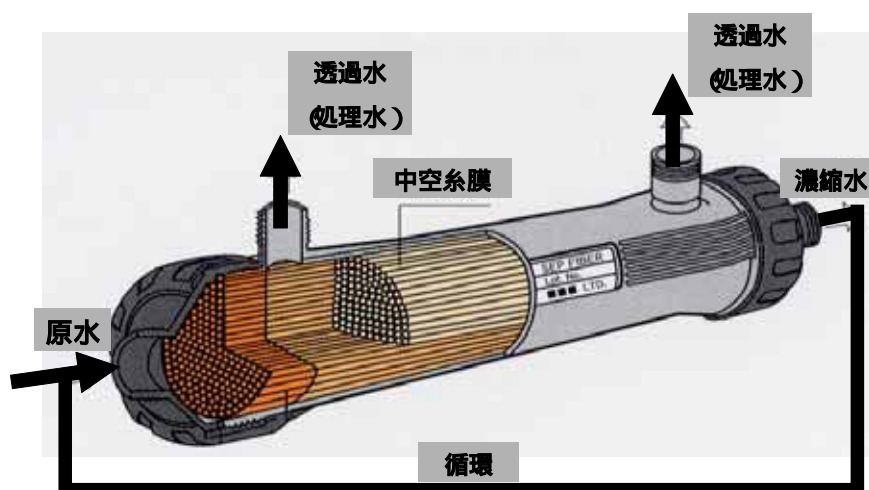


図-2 ろ過膜モジュールの構造

## 3 カートリッジ式ろ過膜モジュールシステムによる処理効果

### 3.1 試験方法

本システムの浄化効果を確認するために、カートリッジ式ろ過膜モジュールシステムによる排水処理試験を行った<sup>3)</sup>。

実験は、焼却場に起因するダイオキシン類汚染土壌(71,500pg-TEQ/g)をもとに作成した汚染排水(ケース1)および農薬工場に起因するダイオキシン類汚染底質(790pg-TEQ/g)をもとに作成した汚染排水(ケース2)を、小型のカートリッジ式ろ過膜モジュールシステムにより排水処理した。

### 3.2 試験結果

試験結果を表-2に示す。ケース1の処理前の原水(3,800 pg-TEQ/L)を分離処理した結果、3.7 pg-TEQ/Lとなった。ケース2では、同様に23 pg-TEQ/Lが0.031 pg-TEQ/Lとなった。両ケースともにダイオキシン類が99.9%以上除去されたことを確認した。

表-2 実験結果

ケース	原水濃度(処理前) pg-TEQ/L	処理水濃度 pg-TEQ/L	除去率
1	3,800	3.7	99.9%
2	23	0.031	99.9%

#### 4 おわりに

本文では、現在開発が進められている、小型で運搬可能なカートリッジ式ろ過膜モジュールシステムを紹介した。ろ過処理を主体とする本システムは、処理効果が確実で、取り扱い易さに優れており、ダイオキシン類汚染浄化対策工事の実施の際に発生する様々な排水処理に広く活用できるものと考えている。

以下の三つの課題を解決し、平成 15 年度中に実用化する予定である。

処理能力 10～100(m<sup>3</sup>/日/台) で、4 トン車程度に積載可能な実用機の開発  
 取り扱い等について利用マニュアルの整備  
 試験施工の実施

なお、試験施工が実施可能な現場については現在調査中である。本技術の適用可能な現場があれば、ご連絡頂ければ幸いである。

#### 参考文献

- 1) 森啓年、小橋秀俊、柴田靖：「建設現場で遭遇するダイオキシン類汚染対策マニュアル（素案） 汚染拡大防止措置について」、月刊土木技術、土木技術社、投稿中、2003.10
- 2) Karlheinz Ballschmiter 他：「ダイオキシン 化学・分析・毒性」pp.35-80、(株)エヌ・ティー・エヌ、1999.10
- 3) 松下正憲、桑原正彦、渡辺幸夫、森川泰、恒岡伸幸、森啓年：「カートリッジ式膜モジュールによるダイオキシン類汚染土壌からの排水処理」地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会 第9回講演集、P-132～P-133、2003.6

# 災害対策「早見」マニュアルについて

関東地方整備局 荒川下流河川事務所 管理課 島田 浩樹

## 1. はじめに

当事務所管内の想定氾濫区域内には、3百万人以上の国民が生活し、我が国の中枢をなすような社会・経済活動が営まれている。このような多くの国民の生命・財産や我が国の中枢機能を荒川の災害から守ることは、当事務所が担っている、たいへん重要な役割である。

しかし、災害時の特にいつ起こるかわからない地震発生時においては、必ずしも事務所職員全員がそろって対応できるとは限らず、阪神・淡路大震災のように休日や時間外に災害が発生すれば、とり急ぎ駆けつけた、ごく少人数で初期対応を行わざるを得ない。

危機管理を担う当事務所職員は、緊急時には誰がいつ、どこでも、どのような災害業務でも対応することができるよう最低限の準備を行っておく必要があり、このため、今回、当事務所において、独自のマニュアルづくりを行ったものである。

## 2. 従来のマニュアルの概要

現在、当事務所の災害対策計画書は、洪水、震災、水質編があり、これらは、防災基本計画（中央防災会議）の変更に伴う改訂や職員の異動による変更などの見直しに伴い、各々の防災担当課が個々に作成しているものである。内容は、関係法令、地震災害予防計画等に詳細に記されており、災害の予防や対策には必要不可欠なものである。

しかし、従来の災害対策計画書は、対象とすることを漏れなく言及しようとするため、抽象的な表現となったり、緻密な表現となっていたりしている。また、計画書の全文を読むことを前提としているため、途中の箇所を見てもわかりづらくなっている。このため、緊急時に、ごく少人数で、



あらゆる業務に迅速に対応しなければならない場【災害対策「早見」マニュアル試行版Ver.1】合に、誰でも短時間に理解することが難しいものとなっている。

## 3. 「早見」マニュアルの作成にあたっての考え方

特に地震発生時の対応において迅速に対応が行なわれないと被害等の拡大が生じるおそれがあるため、今までのマニュアルにはなかった具体的な行動の流れや、機器の操作及びその所在、現地調査等について項目毎に簡潔に取りまとめたマニュアル（災害対策「早見」マニュアル）を作成することとした。

当マニュアルについては、

緊急時に初めて見ることを前提に、短時間（例えば1項目につき5分以内）で理解できるようわかりやすく記述する。

緊急時の対応に必要な最低限の内容（情報量）にとどめ、できる限り具体的に記述する。

どのページ（項目）から見ても、どのページ（項目）だけを見ても、すぐ理解できる構成とする。

ボリュームは、1つの項目につきA4判1ページ又は2ページに収める。

縮小コピーや白黒コピーを行って使用することを念頭に置く。

という考えに加え、初動対応に重点をおいて作成した。

## 4. 「早見」マニュアルの特徴

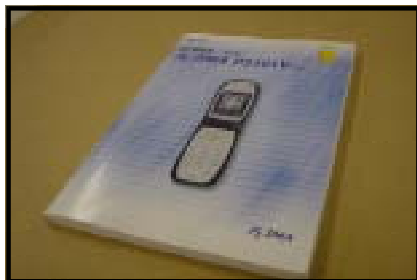
### 4.1 目次

目次は、項目及びページのみ記載されるのが一般的であるが、当マニュアルにおいては、作成者（項目ごとについて担当課で作成しているため、実際、使用している段階で不備もしくは解らない点が出てきた場合に、誰に問い合わせをすればよいか判断しやすい）と改訂年月日（項目ごとに、いつ改訂したか一目で理解できる）を項目ごとに記載した。

災害対策「早見」マニュアル 試行版Ver.1		平成15年6月				
目次						
種別	番号	項目	適用災害	作成者(問合せ先)	改訂年月日	
本編	初動対応	1	勤務時間外の支部設置促進手順	地	管理課 小笠原	H15.4.11
		2	震災発生直後(勤務時間外)の職員の行動要領	地	管理課 小笠原	H15.4.11
		3	学業途上の行動、学業時の携帯品・服装	地	管理課 小笠原	H15.4.14
		4	学業後の行動(非常学業時)	地	管理課 小笠原	H15.4.15
		5	支部設置	地	管理課 小笠原	H15.4.22

### 4.2 内容の事例

当マニュアルの具体的な内容について「FOMA操作方法」を例に紹介する。FOMAの操作について知らない人が今までは下の写真に掲載されているマニュアル（約200頁）から必要な項目を探し、操作していたが、実際、現地の映像を配信できれば、用は足りることから、操作に最低限必要な箇所だけを抜粋し作成したのが右のFOMA操作方法（1頁）である。



成したのが右のFOMA操作方法（1頁）である。



#### 4.3 配布整理

当マニュアルには、職員の連絡先や庁舎内の備品の保管場所、機器の操作方法等に関する情報が含まれている。そこで、プライバシー保護やセキュリティ確保の観点からマニュアルの管理に細心の注意を払っている。例えばマニュアルには1冊ずつ番号を付して配布し、事務所転出時には、一旦返却することとしている。また、当事務所以外の職員から「参考にするため、コピーがほしい」という要望がある際には、プライバシーやセキュリティに関する箇所をマスキングして送付している。



#### 5. 「早見」マニュアルづくりの作成過程

当マニュアルは前例や作成要領がない状況のもとで、事務所独自の試みとして行ったため、半年以上の時間を要したが、その作成過程においては、マニュアルに対する全職員からの意見募集や作成課以外の職員によるクロスチェック等を実施した。その結果、作成担当課では気がつかないような点について指摘があり、より一層、解りやすいマニュアルを作成することができた。以下に、その作成過程を示す。

平成14年9月 **マニュアル作成に着手**

- ・ 6次にわたり試作版を作成
- ・ その過程でクロスチェック
- ・ 平行して対応方法の見直し、機器の整備、備品の購入等を検討・実施

演習結果を踏まえて課題の整理

6月4日 「差替・追加版」を作成し、コピーを全職員に配布

6月5日 **非常参集訓練 + 初動対応訓練**

平成15年3月 **「試作版Ver. 6」を作成**

- ・ 4月期人事異動、災害対策室（3月末に完成）移設等を反映して修正

6月13日 **防災エキスパート説明会で活用**

5月7日 **「試行版Ver. 1」を製本印刷し、全職員に配布**

5月8日 **洪水情報伝達演習**

## 6. 「早見」マニュアルの検証

### 6.1 概要

当マニュアル、「災害対策「早見」マニュアル試行版Ver.1」が本年5月に出来上がり、職員全員に配布した。6月には、当事務所独自の取組として初動対応訓練を行った。

この訓練の主なねらいは、災害対策「早見」マニュアルの検証と職員（特に事務所参集者）の初動対応の習熟を図るものである。また、同時に新設の災害対策室の機能・機器の検証と訓練等を通じて危機管理意識の向上及び災害対策（特に初動対応）の課題の抽出等をねらいとした。



支部設置前の状況



災害対策用Box取り出し状況



非常電源の立ち上げ状況

### 6.2 検証した結果

マニュアルの理解に要する時間はおおむね予想通りだった。

大部分の項目についてマニュアルを参照し、実施できた。

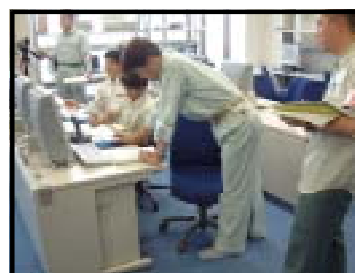
参加者の危機管理意識の向上を図ることができた。

マニュアルを活用し、3時間で被災箇所の映像配信（情報コンセント）まで行うことができた。

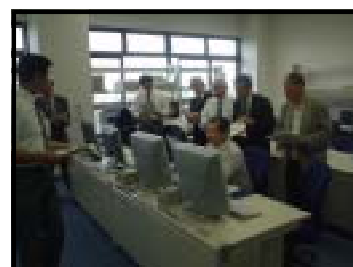
マニュアルについて、見にくい項目及び機器の説明が抜けていたものがある等の課題が明らかになった。

### 6.3 改善点

訓練の課題を整理して、災害対策「早見」マニュアルの改訂（「Ver.2」を台風期前を目途に印刷・配布）を行う。



マルチ表示システム・  
CCTV操作卓操作状況



防災エキスパートの  
CATV操作卓操作状況

## 7. おわりに

当マニュアルは、まだ試行段階である。今後とも、訓練や実際の災害対策で試行しつつ、課題等を整理して、改善を図る取り組みを積み重ねていくことが重要である。



# IT 技術を活用した道路情報共有について（ひだ雪道ガイド）

中部地方整備局 高山国道事務所 管理課 程谷 浩成

## 1. 概要

積雪寒冷地で地形が急峻である飛騨地域では、氷雪に伴う重大事故や交通障害が頻繁に発生している。このため高山国道ではITを活用して、随時変化する気象状況を予測・解析し、これらの情報を道路利用者への的確に提供することで、安全性・快適性・信頼性の高い道路情報を提供している。平成13年度に試験運用を行い、平成14年度シーズン当初から運用を始めた「ひだ雪道ガイド」は、さらに新しいコンテンツ（メール配信、バリアフリーページ）を追加し、より充実した情報を道路利用者へ提供して好評を得ている。

平成14年度、高山国道事務所は国交省道路局がまとめた国道事務所別管内の人口100人あたりのアクセス件数で全国1位となった。

また平成15年度には「ひだ雪道ガイド」を年間通じて利用できるよう、さらに情報を充実させて運用を開始している。

## 2. ひだ雪道ガイドについて

### 2.1 飛騨地域の気候、地形の特色

高山国道事務所は岐阜県の北部、飛騨地域に位置し、日本海に近い山岳地域であることから、冬季には大量の降雪にみまわれ、最低気温も氷点下10を下回ることが頻繁にある積雪寒冷地域である。国道41号線における当事務所の管理区間は、岐阜県萩原町中呂（115.2kp）から岐阜県神岡町中山（219.8kp）の105.7kmであり（図1）、標高が約400～900m、2つの峠を含む、坂道やカーブの多い山岳路である。

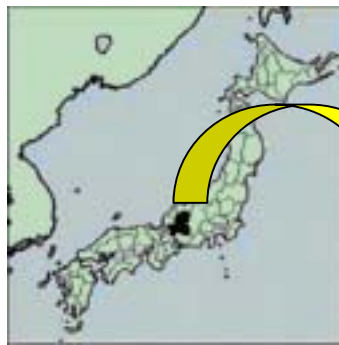


図1 高山国道事務所管理区間

### 2.2 一般利用者への情報公開の必要性について

当管内は積雪寒冷地で地形が急峻であるうえ、天候が急変しやすく、雪氷に伴う重大事故や交通障害が頻繁に発生している。国道41号は生活道路、物流道路、観光道路として利用されており、年間を通じて交通量が多く、さらに雪のほとんど降らない大都市名古屋圏を近隣に持つなど必ずしも雪道の運転に慣れ

ていないドライバーが多く利用する。このため安全で快適な信頼性の高い道路を確保するためには、刻々変化する気象状況を予測・解析し、これらの情報を道路利用者に的確に提供することで安全性・快適性の向上を図る必要がある。事故や交通障害を防止するためには、ドライバーに管内の気象や路面状況を事前に知らせ、雪道に対する備えを持ってもらうことが重要である。

### 2.3 ひだ雪道ガイドの構成・機能

平成13年度に立ち上げたシステムは「試験運用」という位置付けであったが、試験運用にもかかわらず、インターネットを利用した気温・降雪予測情報提供、ITVカメラ画像提供、道路情報板情報提供等のリアルタイム配信が好評で、日最大アクセスは36,000件を超えた（平成14年2月18日）。

平成14年度には、本運用を開始し、WEBサイト『ひだ雪道ガイド』を立ち上げた。

「ひだ雪道ガイド」では、利用者の意見を取り入れたサービスとして、新たに一般の方に気温、積雪情報をメールで配信する「メール通知サービス」、目の不自由な方やインターネットに不慣れな方に情報を配信する「バリアフリーページ」を提供し、さらに情報内容が充実した。



図2 高山国道「ひだ道ガイド」システム

### 2.4 広報・PR活動について

ひだ雪道ガイドの公開にあたり、道路利用者に広く周知をするため、運用開始1ヶ月前から、関係機関にパンフレット、ポスターといった宣伝媒体を配布し、運用開始直前には新聞広告を使って広く広報活動を行った。

また、平成14年11月14日から17日にかけて名古屋栄オアシスパーク21で開催された「ITSフェスティバル2002」でも積極的に広報、宣伝を行った。

### 2.5 アクセス数、アンケート結果から

アクセス数においては、前年度と比較して飛躍的に増加していることが分かった。試験運用から本格運用に変わったことも要因の1つと考えられるが、先に述べた広告・宣伝効果により「ひだ雪道ガイド」サービスそのものの認知度が向上

したこと、さらには道路情報のインターネットにおけるサービス提供が実際に望まれていることの現れとも言える結果となった。

[アクセス数]

平成 13 年度は 44 日間の試験運用期間で、約 33 万件弱のアクセスがあったが、平成 14 年度本運用開始後は、平成 15 年 1 月の 1 ヶ月のみでも 60 万件ほどのアクセスがあり、明らかに前年のアクセス数より増加していることが確認できた。また日最大アクセス数も、平成 15 年 1 月 29 日の大雪時に、50,481 件（うちホームページ 29,043 件 携帯 21,438 件）を記録しており、降雪時の情報提供の有意性が改めて確認できた。

国土省道路局がまとめた国道事務所別の平成 14 年度ホームページアクセス数の比較では、管内の人口 100 人あたりのアクセス件数で 549.5 回と 2 位以下を大きく離して全国 1 位となった。また前年度比較で 7.05 倍の増加であった。

[アンケート]

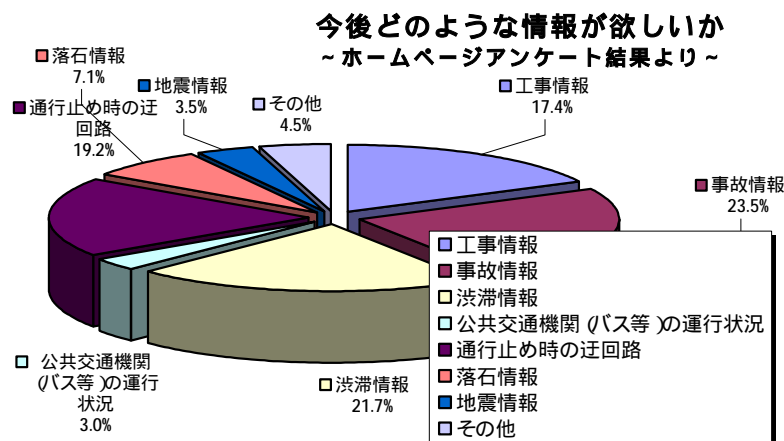
1)「ITS フェスティバル 2002」で実施したアンケートと、2) ホームページ上で実施したアンケートの結果から分析を行った。

～ ITS フェスタアンケートより～

- ・ 6 割以上の方が高山までの交通手段としてマイカーを利用している
- ・ 今後期待する情報提供手段は、[テレビ・ラジオ][インターネット][携帯電話]

～ ホームページアンケートより～

- ・ ホームページの情報が役に立つと回答した方は全体の 97%にも及んだ。
- ・ 役に立った情報は[道路状況画像]が 6 割近くを占めた。
- ・ 今後欲しい情報では、[事故情報]・[渋滞情報]という回答が多かった。



[事業評価]

事業の便益を推定するために、「情報に価値を認めて、コスト（通信代）を費やしてまでも情報を入手する、その行動こそが情報が持っている価値であり、効果である。」とするトラベルコスト（旅行費用）法の考え方を基に、利用者が支払ったコストの積み上げを情報の対価とすることで、「ひだ雪道ガイド」の便益を推定した。この評価手法によると、ひだ雪道ガイドの情報価値は 1 シーズン(11 月～ 3 月)1,500 万円と換算された。

## 2.6 ひだ雪道ガイドとデータ共有のあり方について

ひだ雪道ガイドにおける公開情報は、様々な道路管理用システムのデータを共有化することで、初めて可能となった。

道路管理用の情報として、一般公開用の素材となるデータは多いが、各システムを結びデータを一元化することは現在のシステム構成上非常に困難である。

ひだ雪道ガイドで実施したデータ共有化例として、道路情報板情報、ITV動画情報、テレメータ（気温、雨量、積雪、路面凍結）情報を共有化したことがあげられる。各システムとも導入当初は、他システムへのデータ共有を考慮した設計でなかったため、新たにデータを共有化するためのルールについて、関係者間で調整をとる必要があり、かなりの時間をとられた。このように、道路ITSを推進するためには、データ共有化のためのルールを確立し、データを一元管理することが必要である。

## 2.7 平成15年度以降取り組み及び問題点

平成15年度は、「ひだ雪道ガイド」を、年間を通じて利用できるようにするために、メールサービスや雨量情報を充実させる等、「ひだ道ガイド」へのリニューアルを行った。

一方で、中部地方整備局道路部が主体となり、「ひだ雪道ガイド」をモデルケースにした、中部地方版の道路情報の公開を行う計画が進行中である。

高山国道事務所では、今後も

安全、快適に道路を利用していただくために、利用者の声を反映させた情報公開サービスを積極的に推進していきたい。そのために渋滞情報等新たな道路情報の公開に向けて関係機関との協議、調整が課題となる。



## 3. まとめ

「ひだ雪道ガイド」は約60万件/月、最大5万件/日のアクセスを頂いており、情報提供の必要性が確認できた。

利用者の意見を受けて、システムの改造を行う一方で、広告・宣伝を積極的に展開し、情報の認知度が上がったことがアクセス件数増大につながった。利用者とのコミュニケーションの重要性を痛感した。

データの共有化を推進することで情報公開の一層の進展を目指しながら、より身近な道路行政の推進に挑戦していきたい。

# 広島湾の異常潮位について

中国地方整備局 広島港湾空港技術調査事務所 調査課 中島 剛

## 1、概要

2001年9～10月にかけて、東海地方～九州地方の太平洋沿岸、並びに広島湾において異常潮位が観測された。広島湾では、満潮時刻前後に世界遺産である『厳島神社』の回廊が冠水している。

従来、潮位としては、主として月や太陽の引力や遠心力などに起因する天文潮位、台風等の低気圧による海面の吸い上げや強風による海水の吹き寄せに起因する高潮、海底地震に伴う地殻運動に起因する津波などが知られており、港湾施設や海岸保全施設等の整備において、これらの潮位と波浪を考慮して施設の天端高が決定されている。

一方、異常潮位とは「高潮や津波以外の原因により、調和定数によって推算された予測潮と実際に観測された潮位との偏差の大きい状態が広範囲に比較的長時間続く現象」と言え、図-1に示すその他の水位上昇要因が研究者によって指摘されているが、原因の特定が困難なため、その定量的な把握や発生予測等が十分になされていない状況にあり、施設整備においてはこれらを考慮していない状況のため、高潮などの要因と同時生起した場合、越波量の増大等による被害の発生が予測され得る。

ここでは、2001年9月に広島湾で観測された異常潮位偏差40cm(第六管区海上保安本部の発表による)をケーススタディとして、異常潮位現象の発生実態の把握、発生要因の分析を行っている。

その結果、水位変動としては、黒潮の接岸・蛇行、陸棚波、北西太平洋の長期的な水位変動等の要因及び地殻変動を含む地盤の変動に起因する相対的な水面上昇と推定された。

現時点では、ケーススタディでの要因推定に留まっているが、異常潮位の定量的な予測に取り組むとともに、異常潮位を考慮した施設整備のための、技術基準類への反映を目途に、より詳細なデータ解析を実施する予定である。

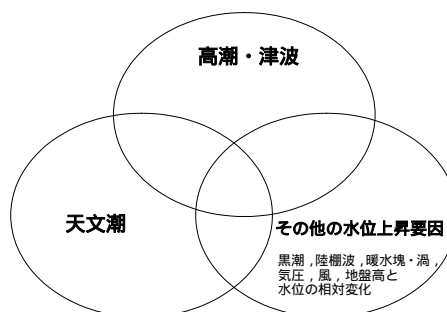


図 - 1 異常潮位発生概念図

## 2、厳島神社の冠水実態

1980～2001年までの広島検潮所における月平均潮位の変動状況を図-2に示すと2001年9月は、過去22年間で最も月平均潮位が高かったことが分かる。

また、2001年9月15～22日の潮位

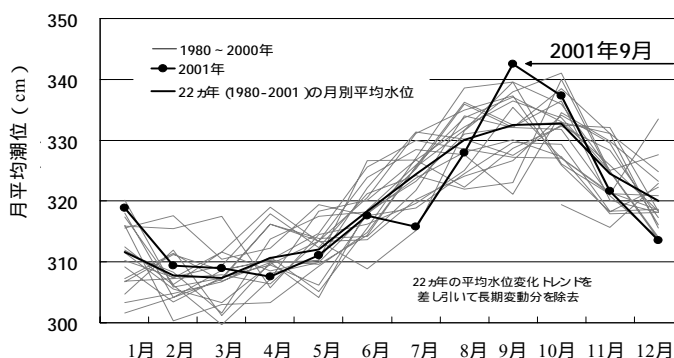


図 - 2 1980～2001年の月平均潮位変動

観測値を図 - 3 に示す。9月17日は秋の大潮期であり、その満潮時刻である17日22時はこの年の最大潮位（基本水準面より+436cm）を観測したほか、巖島神社の回廊天端高である+420cm（簡易測量による）を越える潮位も数回発生しており、これは巖島神社の冠水状況と整合している。

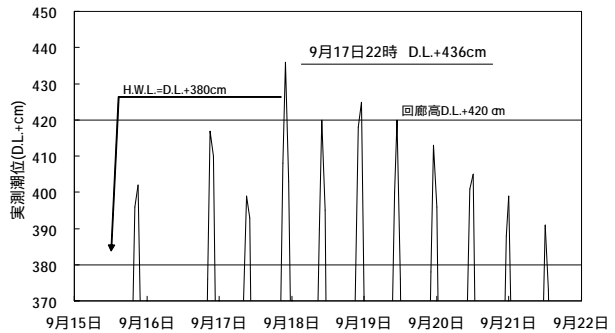


図 - 3 広島検潮所の実測潮位

### 3、異常潮位の発生要因分析

#### 3.1、潮位偏差の算出

潮位偏差は、観測潮位と予測潮の差であり、今回検討に使用した予測潮は観測潮位から求めた23分潮を用いて年毎の予測潮とした。その際、潮位偏差の経年変動を検討するにあたり、特異な変動を含まない平均的な変動が望ましいことから、全23分潮の調和定数の振幅を過去10年分用いて、スペクトル平均して経年変動を平滑化した。

また、予測潮算出に用いる平均潮位は、観測潮位を年毎に単純平均したものをを用いた。

なお、今回の手法で算定した潮位偏差を算出偏差と記し、海上保安庁発表の潮位偏差と区別した。

#### 3.2、異常潮位発生要因の整理と算出偏差の関連解析

既往の知見から水位上昇の発生要因を整理すると、風の吹き寄せを始め、暖水塊、黒潮接岸・蛇行、陸棚波、北西太平洋振動の影響などが考えられる。そこでこれら要因の指標となる風速、海水温、黒潮の流軸距離、算出偏差の平面的な時系列変動の比較、算出偏差の振幅の平面分布について解析を試みた。

風速については南風が強い時の水位上昇が一部で見られたが、解析対象期間での例が少なく、明確な相関が確認できなかったことから要因から除外した。

水温については算出偏差の減少とともに水温が低下する状況が確認されたが、観測期間が短く、また算出偏差上昇時の確認が不十分で、更に他の期間での相関解析等による裏づけが得られていない事から、水温に関する影響については言及しない。

一方、黒潮流軸距離の変化や算出偏差の伝播状況から、黒潮接岸・蛇行、陸棚波、北西太平洋の長期的な水位変動の影響があることが示唆されたことにより、これらについてより詳細に解析を行った。

#### 3.2.1、黒潮の影響

海上保安庁発行の海洋速報をもとに、2001年8～10月までの黒潮流軸変動を図 - 4 に示す。全期間で、黒潮は四国沖から紀伊半島沖に接岸した後、石廊崎沖の冷水渦を迂回し八

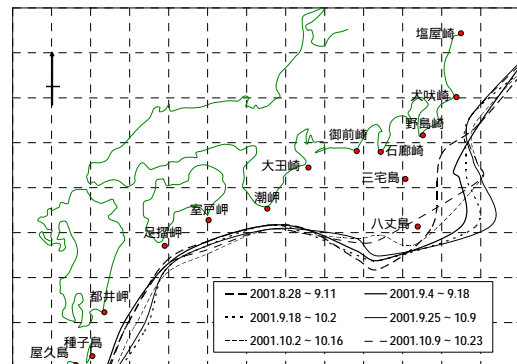


図 - 4 黒潮流軸の変動

丈島の沖合まで蛇行しながら房総半島沖合で再び接岸する蛇行型であった。

詳細には、9～10月はその前後に比べて四国沖から紀伊半島への接岸傾向が強いほか、遠州灘沖において渦の発達しやすい楕円形状に近い反流となっていた。これに対し、図-5にて布良（南房総）～油津（日南市）間の太平洋沿岸にかけて算出偏差が上昇していることから、この水位上昇に黒潮が大きく影響しているものと考えられる。

### 3.2.2、北西太平洋振動による影響

広島では、2001年9～10月の約2ヶ月にわたり、10cm程度の算出偏差が継続的に観測されているほか、9月末に20cm、10月上旬に25cmの算出偏差が観測され、厳島神社が冠水した9月17～19日には13～15cmの算出偏差(移動平均処理前の値 15～20cm)が発生している。また他の地点を見ると、布良～油津の間で算出偏差が高いほか、全体的には北東側の偏差が小さく、南西側がやや高い傾向となっている(図-5)。このことは、黒潮の影響が大きいことに加え、北西太平洋振動のような海洋現象の影響があることを示唆している。

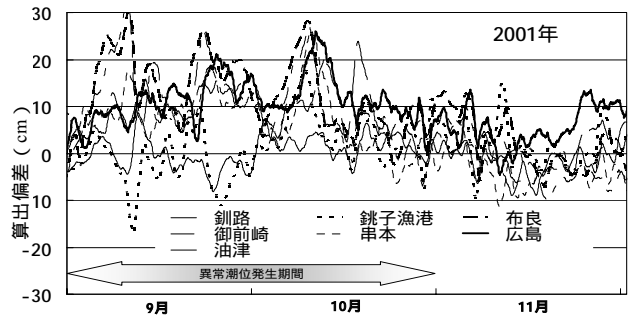


図-5 算出偏差の時系列比較

### 3.2.3、陸棚波の伝播状況

陸棚波の伝播解析においては、ピークの発生時刻や位相差などの情報が重要となるため、花輪ら(1985)によるタイドキラフィルターを用いて、48時間より短い周期の変動成分を除去した。そして、銚子漁港から広島までの検潮所の算出偏差の時系列グラフを比較し、陸棚波による水位上昇の伝播状況を整理した。

なお、ここでは豊後水道側からの影響結果を図-6に示した。図中のピーク出現状況を見ると、銚子漁港～浦神までの太平洋沿岸と、室戸岬～広島に至る豊後水道では明らかにその伝達速度が異なっている。

ピークの出現時間と検潮所間の距離から、陸棚波及びその影響と思われる偏差の伝達速度を求めると、太平洋沿岸では2.3m/s、豊後水道側では6.4m/sであり、前者は過去の異常潮位の発生要因分析として整理されている(吉田, 1971)太平洋沿岸の陸棚波の伝達速度(2～4m/s)とほぼ同じ数値を示しているのに対し、後者はそれより速い。これは地形

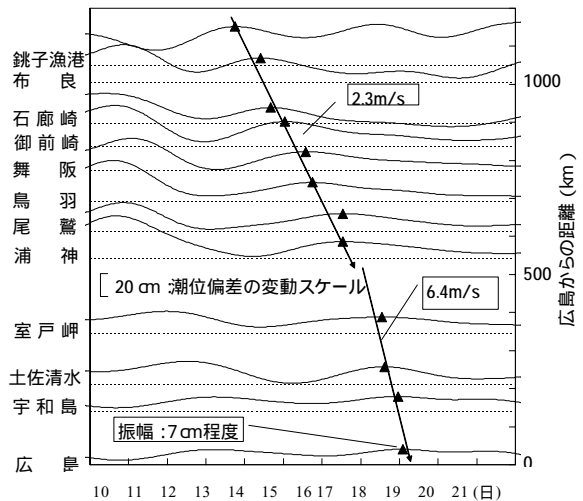


図-6 陸棚波の伝播状況(2001年9月)

の影響等による波動現象のメカニズムが異なったものと思われる。

陸棚波の振幅について、銚子漁港～浦神間の太平洋沿岸では10～15cmの水位上昇が伝播しているが、室戸岬～広島間の豊後水道では7～10cm程度と水位上昇量は小さくなっており、その内、豊後水道を通じて広島に到達した陸棚波と思われる影響は7cm程度であった。

#### 4、地盤変動高と水位変動について

既に述べたように2001年9月17日の潮位偏差は40cmと報道されていたが、今回算定した算出偏差は半分の20cm程度であったことから、この差の20cmについては長期的な地盤高と水位の変動によるものと考えられる。そこで、広島検潮所の年平均水位の経年変化を図 - 7 に示す。

広島検潮所では1965～2001年迄の約40年間で、水位が約20cm上昇（平均5mm/yr）している。また潮位観測データには、地盤変動の影響が含まれていることが想定されることから、地盤変動分と水位変動分の分離について、海岸昇降検知センターで取りまとめられている「加藤・津村の方法」による地盤変動状況を見ても、広島検潮所の地盤は年間約5mmの割合で沈下しているという結果が出ている。

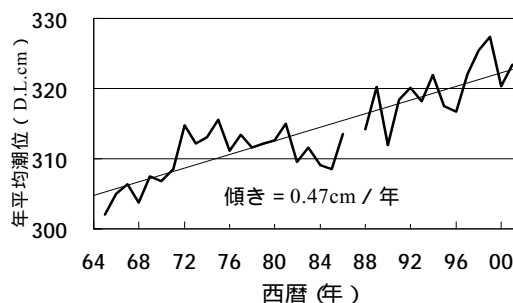


図 - 7 広島検潮所の年平均水位

#### 5、まとめ

海上保安庁による厳島神社冠水時刻前後の潮位偏差は約40cmであり、この値には1965年以降の長期的な地盤高と水位の相対的な変動が約20cm含まれているほか、算出偏差は15～20cmであり、このうち太平洋沿岸を伝播した陸棚波と思われる影響として、豊後水道～広島に到達した算出偏差は約7cm、残りの約8～13cmは黒潮の接岸・蛇行、北西太平洋振動など長期的な水位変動によるものと考えられる。

#### 6、今後の方向性

現状における港湾等施設整備においては、異常潮位を考慮していないことから、他の要因と同時生じた場合、甚大な被害の発生が懸念される。そこで、今回の調査により各港の水位・地盤変動等の結果から、平均海面の上昇に対応した設計潮位とする基準の改訂を行うことにより、既存施設の管理はもとより、将来においても初期機能を充分果たせる施設整備が可能となる。

また現状では、検潮所データから地盤の沈下及び海洋現象による水位上昇を正確に分離することが困難なため、各検潮所にGPSの設置が可能となった場合には、地盤変動分を厳密に測定することができる。

更には防災体制の強化から異常潮位予測システムの構築や長期的な水位変動予測手法の確立などを行い、より安全で安心できる港づくりへと寄与していく。



# 既設トンネルにおける歩行者安全対策について — 現地実証実験結果及び対策方針 —

徳島河川国道事務所 交通対策課 交通対策係

サタ・カネタカノリ  
定金 孝典

## 1、はじめに

現在供用している一般国道において、一次改築当時に施工されたトンネルには歩道が未設置あるいは歩道幅員の狭い区間が多数存在しており、歩行者にとっては安全対策が急務となっている。四国地方整備局徳島河川国道事務所管内においても新聞投稿や道路利用者から安全性向上に関する要望を数多く受けているところである。

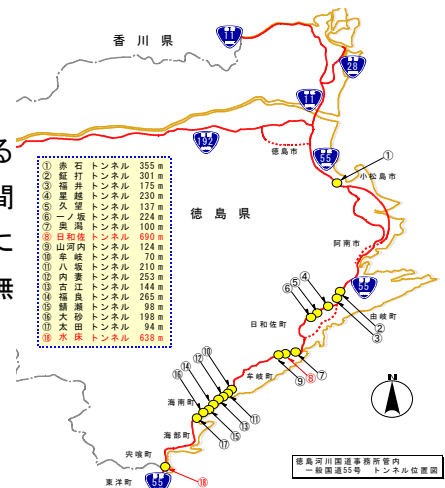
これらのトンネルに対し、従来通り拡幅や歩行者専用トンネルを整備するだけでは多大な時間と予算を要し、無歩道（又は幅の狭い）トンネル全てについて直ちに対策を行うことは現実的に難しい。

そこで、短期間で効果が現れると思われる無歩道（又は幅の狭い）トンネルの安全対策について、地域内の生活道路及び遍路道として歩行者交通量が多く、かつ無歩道（又は幅の狭い）トンネルが数多く存在する一般国道55号について、検討を行った。

## 2、検討の対象

### 2.1、対象とするトンネル

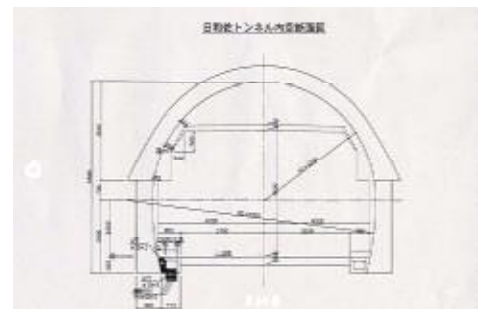
本検討で対象とする国道55号は、徳島市を起点とする徳島県南部の幹線道路であり、県内区間約90kmの区間に18本のトンネルが存在する。そのうち、約3分の2に歩道が整備されていない状況である。今回は、そうした無歩道トンネルのうち、特に延長の長い（600mを超える）日和佐トンネルと水床トンネルを対象に検討を行った。



### 2.2、トンネルの現況

#### 2.2.1、日和佐トンネル

日和佐トンネルは、延長680m、全幅8.0m（車線幅3.0m、路肩部分1.0m 監査廊含む）の2車線トンネルであり、歩道は設置されていない。また、トンネルは山間部に位置し、周辺には民家も少なく歩行者の利用は徳島から高知に向かうお遍路の通行が主となっており、狭い歩行空間、排ガスによる空気の汚染・照明の視認性の悪さ及び騒音等が安全上の問題となっている。



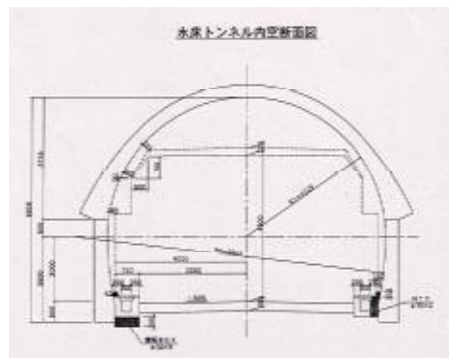
#### 2.2.2、水床トンネル

水床トンネルは、延長639m、全幅8.0m（車線幅3.0m、路肩部分1.0m 監査廊含む）の2車線トンネルであり、日和佐トンネルと同じトンネル断面となっている。構造的には、トンネル付近の平面線形はほぼ直線であり、徳島から高知に向かって

一様な1.4%の上り勾配となっている。したがって、トンネル内において、平面線形が歩行者に危険を与える影響はほとんど無いものと考えられるが、上り坂であり、日和佐トンネルに比べ緩勾配であるもののふらつきや水路蓋の部分的なガタツキのため走行している車両と接触する危険性を含んでいる。

また、トンネルは周辺に道の駅や観光旅館・学校や民家が存在することから、トンネルは自転車通学やお遍路さん、その他近隣の住人に利用されている。

現況の歩行空間は水路により20cm路面から嵩上げされており、自転車による通行が困難で実際は車道を通行している状況であり、過去に自転車による接触事故が発生している。(平成9年以降の事故状況資料では内で3件〔自転車の追突事故2件、1名死亡〕)トンネル内の状況は日和佐トンネルと同様であり、自転車・歩行者にとっては安全性に問題を抱えている。



### 3. アンケートの実施

#### 3. 1. 調査目的

日和佐・水床両トンネルにおいて、トンネルの利用状況・希望する対策や安全性・快適性等についての印象を具体的に調査するためのアンケートを実施した。

#### 3. 2. 調査方法

トンネルアンケートの実施においては、地元自治体の協力の下、下記地域・期間にて行われた。

- ・日和佐トンネル：日和佐町在住の方より無作為抽出された方（約400名）及び日和佐トンネルを通行された方
- ・水床トンネル：穴喰町及び東洋町在住の方より無作為抽出された方（それぞれ約400名）及び水床トンネルを通行された方
- ・調査期間：平成14年12月11日(水)～平成14年12月20日(金)

#### 3. 3. アンケート結果概要

トンネルの印象では、特に、徒歩・自転車での印象で「非常に通行しづらい」と感じられていることが分かった。(日和佐、水床両トンネルを合算集計)

(回収数：507、回収率：42%)

トンネルの改善策では、ドライバーと歩行者の視点の違いに関係なく、「車道と歩行空間とを区別する」ことが最も重要であると感じられていることが分かった。

### 4. 実証実験

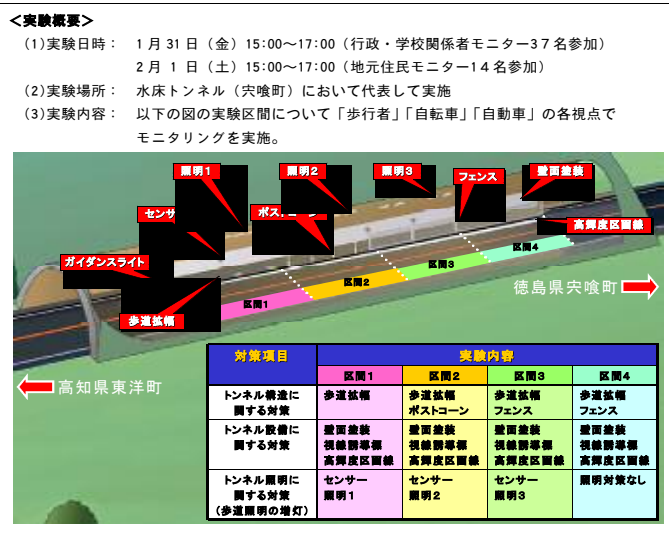
#### 4. 1. 実験の内容

アンケート結果及びトンネル内の安全対策工法をふまえ、地域住民や行政関係に現地トンネル(水床トンネルで代表)内に設置された対策の利用印象や改善点を把握する。

実際には、車道を狭め歩行空間を拡幅するとともに歩行空間と車道とを分離することを基本として、壁面塗装、高輝度区画線、歩車道の境界設置(視線誘導標・ポストコーン・フェンス)人をセンサーで感知し点灯する歩行空間専用照明の設置等によりバリエーションを設けることで、4種類の区間を設置して実験を行った。

#### 4. 2. 実験方法

モニターには、歩行者、自転車利用者、自動車利用者のそれぞれの視点から、実験トンネル(水床トンネル)内を利用してもらい、設置された安全対策の評価等をその場で調査票に記入してもらった。

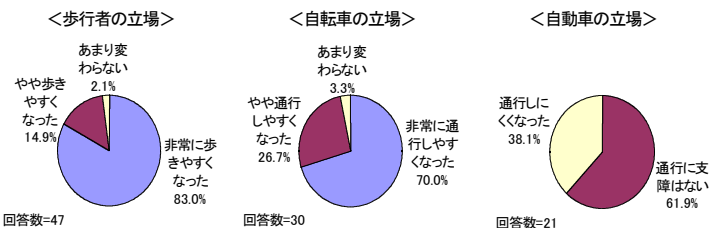


### 5. まとめ

#### 5. 1. 実験結果

##### 5. 1. 1. 歩行空間の拡幅

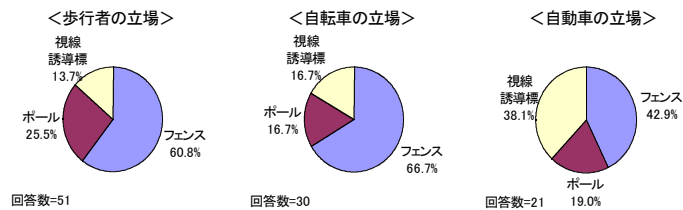
- 歩行者、自転車の立場では、モニターの約7割以上の方が「非常に歩きやすくなった」と回答。
- 自動車の立場では、約6割の方が「通行に支障なし」、約4割の方が「通行しにくくなった」と回答



- 歩行者、自転車の立場からは歩行空間の拡幅が強く要求される一方で、自動車の通行性も十分配慮した対応が必要であることが分かった。

##### 5. 1. 2. 歩行空間と車道の境界

- 歩行者、自転車の立場では、モニターの約6割の方が「車道との境界が明確で安心感がある」等の理由により「フェンス」を支持。
- 自動車の立場では、同様の理由により「フェンス」が約4割の方の支持を集める一方で「圧迫感がない」との理由から「視線誘導標」も約4割の方の支持を集める結果に。



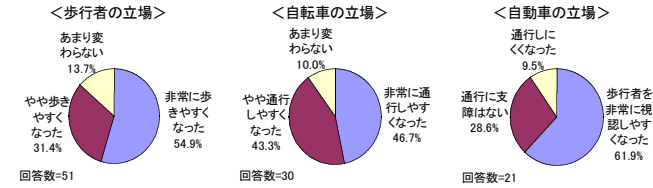
項目	歩行者の立場	自転車の立場	自動車の立場
フェンスを1番とする理由	車道との境界が明確 など	車道に落ちない安心感 など	車道との境界が明確 など
ポール1番とする理由	突起物があると安心 など	歩行空間が広い など	圧迫感が少ない など
視線誘導標を1番とする理由	歩行空間が広い など	通行に支障が少ない など	圧迫感がない など

- 歩車道境界のあり方については、歩行者・自転車から見た「安心感」と自動車から見た「圧迫感」の調和が求められる結果となった。

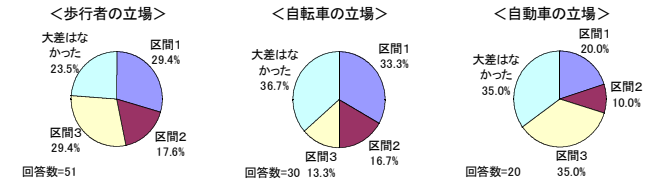
### 5. 2. 3、照明の増灯（センサー感知式）

- ・ 歩行者、自転車の立場でモニターの約5割の方が「非常に通行しやすくなった」と回答。
- ・ 自動車の立場では、モニターの約6割が「歩行者を非常に認識しやすくなった」と回答。
- ・ 照明増灯は歩行者・自転車の通行だけでなく、自動車からの視認性向上にも効果があることがわかった。

【印象】

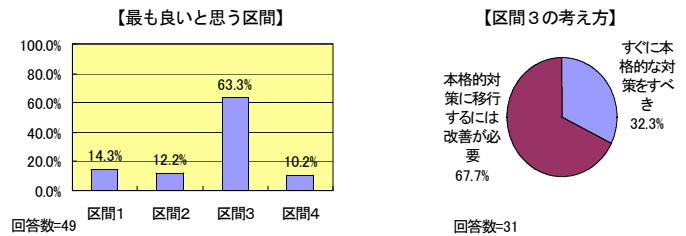


【最も良い区間】



### 5. 2、区間別評価

区間別評価では、モニターの約6割の方が「区間3」がもっとも良いと回答し、高い支持を集める結果になった。しかしながら区間3をもっとも良いとした方のうち約7割の方が、「本格的対策に移行するには改善が必要」と回答した。（区間3の改善意見については以下の通り）



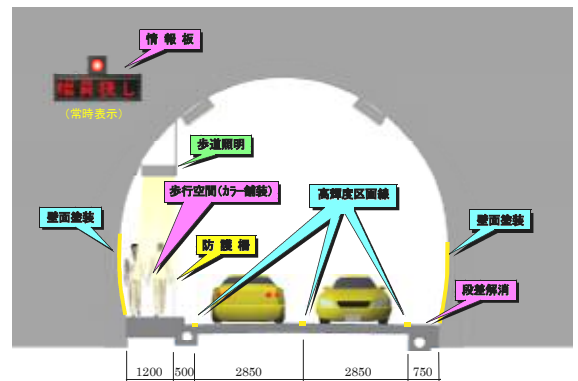
- ① 歩道の見直し（歩行者・自動車同士の適切な離合距離確保）
- ② フェンスの高さの見直し（車両から見た圧迫感の緩和）
- ③ 歩道舗装の工夫（カラー舗装等歩行性の向上）
- ④ 壁面塗装の工夫（反射の抑制）
- ⑤ トンネル入り口部での歩行者・自転車の適切な誘導（危険横断防止）

### 5. 3、まとめ

空間的制約のあるトンネル内における早期効果発現可能な安全対策手法について検討した。日和佐・水床両トンネルでの安全対策は平成15年度中に実施する予定である。対策実施1年間程度は、効果についてのフォローアップ調査を行い、それに基づき必要な改善を実施する予定である。また、今回の検討成果をもとに、四国全体のトンネル安全対策方針の検討も成されることとなっている。



（対策後平面イメージ）



（対策後横断イメージ）

# 国道9号豊岡管内におけるリスクマネジメント手法を用いた法面評価方法の検討

近畿地方整備局 豊岡河川国道事務所 道路管理課 国土交通技官 喜多 弘

## 1、はじめに

近年の道路管理を取り巻く状況は、管理施設の量的な増大及び老朽化、それに対して急激な伸びを期待できない維持管理費等の問題により、急速に変化している。このような背景を受けて、効率的・効果的な維持管理の実施及び道路利用者でもある国民への説明責任が強く求められている。

道路法面防災においては、従来から斜面の安定度や崩壊危険箇所数等から対策工の優先順位が検討されてきたため、斜面崩壊による直接的損害や間接的な社会損害のような事項は、主に各々の道路管理者の判断に委ねられてきた。

防災対策を行う法面の選定にあたり、斜面に潜在する危険度をリスク（災害発生確率と災害発生時の被害規模との積）という指標で評価することができれば、定量的に危険度を把握でき、リスクを基

にした客観的・合理的な対策優先順位の決定が可能となる。また、リスクに基づく対策優先順位は、効率的・効果的な維持管理、国民への説明責任の担保へと貢献し、さらには、道路管理者の意思決定支援にもつながることが期待される。

以上のような背景から、本検討では、リスクマネジメント手法を国道9号豊岡管内における法面に適用し、対策工実施の優先順位の決定を試みた。

## 2、リスクの算出方法

リスクについては、学問分野で様々な定義がなされているが、本検討では式 - 1 の定義に従った。

$$R = \sum_{i=1}^J (P_i \times C_i) \quad \text{式 - 1}$$

R：リスク（損失期待値）、 $P_i$ ：事象  $i$  が発生する確率、 $C_i$ ：事象  $i$  が発生する場合の損失



図 - 1 評価対象地域

### 3、評価対象法面及び評価方法

本検討では、図 - 1 に示した評価対象地域において、地震及び降雨を検討対象の災害（ハザード）とした。評価対象法面は、地震ハザード・降雨ハザードともに平成 8 年度道路防災総点検の要対策箇所（全 92 箇所）より選定した。また、リスクマネジメント手法を用いた法面評価手順を図 - 2 に示した。

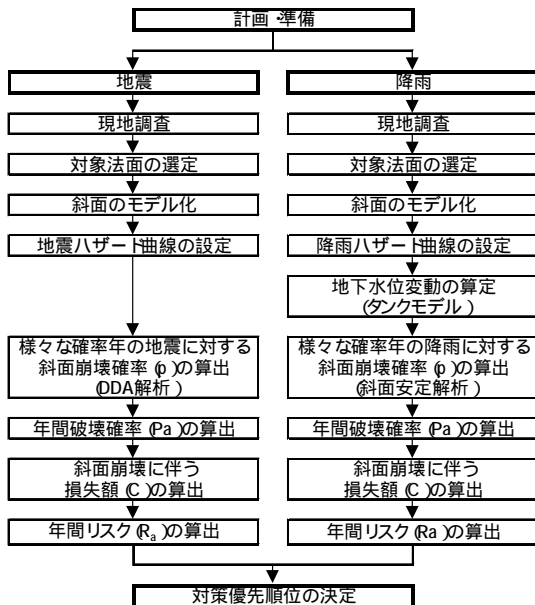


図 - 2 法面評価手順

## 4、地震

### 4.1、現地調査・対象法面の選定

本検討では、既存資料及び現地調査結果より選定した 17 箇所にて 1/100 確率年の地震リスクを算出した結果、最大リスク地点 1 箇所（施設管理番号 B002：兵庫県美方郡村岡町用野）を対象法面とした。

### 4.2、斜面のモデル化

既存資料及び現地調査結果より、崩壊解析を行うためのモデル断面を作成した。

### 4.3、地震ハザード曲線の設定

気象庁震源カタログより、対象法面付近における半径 150km 以内の地震デー

タ（599 年 5 月 1 日～2000 年 12 月 31 日）を用いて、図 - 3 のような地震ハザード曲線を設定した。

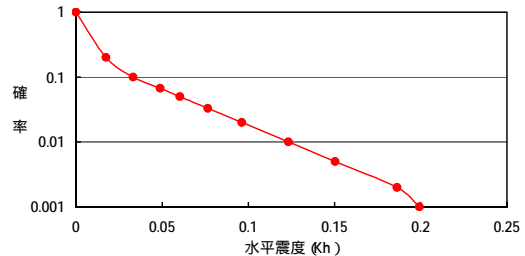


図 - 3 地震ハザード曲線

### 4.4、斜面崩壊確率の算出

斜面崩壊確率は、DDA 解析により算出した。その結果を表 - 1 に示した。

表 - 1 斜面崩壊確率計算結果

確率年	10	50	100	200	500
斜面崩壊確率	0%	5%	65%	100%	100%

### 4.5、年間破壊確率の算出

年間破壊確率（ $P_a$ ）は、上記検討結果を基に、想定したハザードレベルごとに得られる条件付き破壊確率である  $pf( )$  に、そのハザードレベルが一年間に発生する可能性を重み付けした形で積分することにより算出した（式 - 2）。ここで、対象法面における算出結果は  $P_a=0.013$  となった。

$$P_a = \int_0^{\infty} pf( ) \cdot \frac{dP( )}{d} \cdot d \quad \text{式 - 2}$$

### 4.6、斜面崩壊に伴う損失額の算出

斜面が崩壊した場合、事業者または利用者が被る損失額を図 - 4 に示すイベントツリーを用いて算出した結果を表 - 2 に示した。

### 4.7、年間リスクの算出

年間リスク（ $R_a$ ）は、リスクの定義（式 - 1）に従って式 - 3 により算出した。年間リスクを用いることにより、降雨ハザードとの比較検討が可能となる。

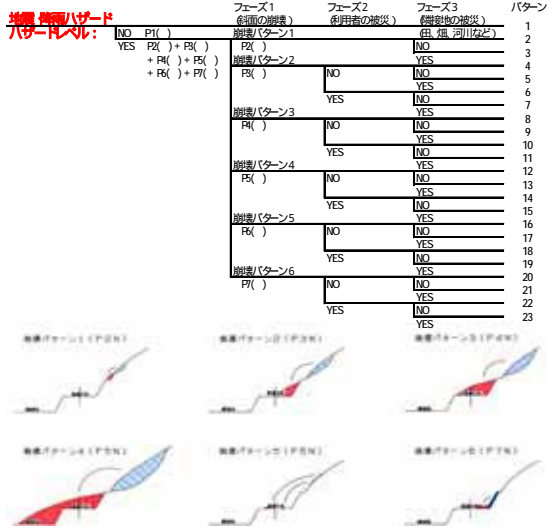


図 - 4 イベントツリー（切土斜面・自然斜面の場合）

表 - 2 損失額算出結果

事業者損失(千円)		利用者損失(千円)			損失額C(千円)
通行車両及び歩行者に対する被害	撤去及び復旧費用	計	時間損失	走行損失	
25,600	791	26,391	140,776	15,589	182,756

年間リスク(R<sub>a</sub>)=年間破壊確率(P<sub>a</sub>)×損失額(C) 式 - 3

$$=0.013 \times 182,756$$

$$=2,376 \text{ (千円)}$$

## 5、降雨

### 5.1、現地調査・対象法面の選定

降雨による斜面崩壊のほとんどが崖錐層のすべりであることから、平成8年度道路防災総点検の要対策箇所のうち、崩壊形態の異なる「地すべり」、「雪崩」及び「土石流」を除く全80箇所に対し現地調査を実施し、36箇所(32断面)を対象法面として選定した。

### 5.2、斜面のモデル化

地震と同様に、既存資料及び現地調査結果より、崩壊解析を行うためのモデル断面を作成した。

### 5.3、降雨ハザード曲線の設定

雨量観測所4箇所(和田山町、八鹿町、村岡町、温泉町)のアメダスデータ(1979年～2001年)のうち、過去最大である1990年9/18～9/19(台風19号)の雨量

データを用いて、図-5のような降雨ハザード曲線を設定した。

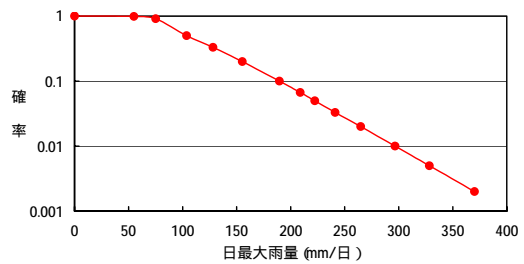


図 - 5 降雨ハザード曲線（村岡町の場合）

## 5.4、地下水位変動の算定

地下水位変動の検討にはタンクモデルの考え方を適用し、各確率降雨に対する地下水位の変動を算定した。

## 5.5、斜面崩壊確率の算出

斜面安定解析を実施し、各モデル断面における崩壊確率を算出した。

## 5.6、年間破壊確率の算出

地震と同様に、式-2を用いて年間破壊確率を算出した。

## 5.7、斜面崩壊に伴う損失額の算出

地震と同様に、斜面が崩壊した場合の事業者または利用者が被る損失を図-4に示すイベントツリーを用いて算出した。

## 5.8、年間リスクの算出

地震と同様に、式-3を適用して対象法面の年間リスクを算出した。

## 6、対策優先順位の決定

これまでに算出した地震及び降雨に関する年間リスクに基づいて対策優先順位を決定した。その結果を表-3に示す。

## 7、対策優先順位の妥当性の検証

平成8年度道路防災総点検における評点(H8評点)と年間リスクとの相関関係を調べたところ、相関係数が0.776と比較的高く算出された。このことから、本

検討における対策優先順位は妥当であると考えられる。

## 8、まとめ

本検討では、リスクマネジメント手法を用いて、道路法面防災の対策優先順位を決定した。以下にそのまとめを記す。

リスク評価の結果、一般的に降雨に対するリスクの方が地震に対するリスクよりも大きく算出された。これは、地震は非常に稀にしか発生しないため、1年間にならした場合のリスクは小さくなるためである。このことから、道路法面防災においては、降雨災害に着目した対策の必要性が高いといえる。

本検討では、定量的に法面の危険度を評価し、対策優先順位を決定した。しかしながら、その対策優先順位は、現在のところ、道路管理者が法面維持管理を行

う際の判断材料のひとつとして提供されるものである。

本検討では、降雨ハザードのリスクについて、タンクモデルの考え方を適用し、地下水位変動の予測を行った。その際、降雨量は対象法面内の降雨のみを対象としていることから、沢地形など後背地を抱える法面についてはリスクを過小評価していることに注意する必要がある。

今後の展開として、本検討において対策優先順位が高いと評価された法面に対し、費用対効果を考慮した対策工を選定することが重要であると考えられる。

本検討による法面評価方法を今後さらに追及し、それを確立させることで、実際の道路管理への導入が期待される。さらには、今後の道路管理における道路法面防災のあり方を転換する可能性を秘めている。

表 - 3 対策優先順位一覧表

ハザード	施設管理番号	所在地	点検対象項目	ブロック	事業者損失(千円)		利用者損失(千円)		損失額C(千円)	年間破壊確率Pa	年間リスク(Pa×C)	優先順位	H8評点	施設管理番号	
					通行車両及び搭乗者に対する損害	撤去及び復旧費用	時間損失額	走行損失額							
降雨	G014	養父郡関宮町尾崎	擁壁	C	129,931	179,629	2,661,746	92,338	3,063,644	0.121	370,701	1	110	G014	
	G007	養父郡養父町上野	擁壁	A	31,596	69,458	501,450	56,338	658,842	0.293	193,041	2	105	G007	
	G044	美方郡温泉町歌長	擁壁	E	24,263	67,195	466,820	55,507	613,785	0.279	171,246	3	95	G044	
	G013	養父郡関宮町尾崎	擁壁	C	129,931	64,085	684,017	23,729	901,762	0.167	150,594	4	85	G013	
	A066	美方郡温泉町湯	落石・崩壊	C	30,733	83,830	688,361	81,850	884,773	0.165	145,988	5	68	A066	
	G051	美方郡温泉町湯	擁壁	E	24,263	24,648	257,147	30,576	336,634	0.381	128,257	6	105	G051	
	G030	美方郡村岡町	擁壁	C	42,852	131,744	203,580	7,582	385,758	0.183	70,594	7	75	G030	
	G033	美方郡村岡町	擁壁	C	53,136	892,535	1,120,560	41,731	2,107,963	0.027	56,915	8	70	G033	
	A043	美方郡村岡町鹿田	落石・崩壊	D	65,049	120,669	1,241,387	137,468	1,563,973	0.030	46,919	9	71	A043	
	A040	美方郡村岡町	落石・崩壊	C	32,567	40,334	71,340	2,657	146,898	0.231	33,933	10	71	A040	
	A055	美方郡村岡町	落石・崩壊	E	22,645	35,606	292,751	34,810	385,812	0.065	25,078	11	60	A055	
	A036	美方郡村岡町	落石・崩壊	C	23,997	23,676	47,850	1,782	97,305	0.163	15,861	12	71	A036	
	A056	美方郡温泉町春菜	落石・崩壊	E	24,263	48,042	360,005	42,806	475,116	0.029	13,778	13	63	A056	
	A034	美方郡村岡町	落石・崩壊	C	35,996	141,149	217,500	8,100	402,745	0.033	13,291	14	73	A034	
	G029	美方郡村岡町	擁壁	C	44,566	544,919	726,450	27,054	1,342,989	0.009	12,087	15	80	G029	
	A059	美方郡温泉町歌長	落石・崩壊	E	24,263	40,746	340,225	40,454	445,688	0.027	12,034	16	65	A059	
	A045(B003,G037)	美方郡村岡町入江	落石・崩壊	D	31,475	40,334	524,710	58,105	654,624	0.012	7,855	17	72	A045(B003,G037)	
	G023	養父郡関宮町関宮	擁壁	C	25,711	31,501	314,940	11,729	383,881	0.014	5,374	18	70	G023	
	F012	養父郡関宮町関宮	盛土	C	29,139	28,091	273,180	10,174	340,584	0.014	4,768	19	70	F012	
	F011	養父郡関宮町関宮	盛土	C	25,711	23,716	237,510	8,845	295,782	0.012	3,549	20	70	F011	
	A077	美方郡温泉町千谷	落石・崩壊	F	35,169	107,714	197,446	14,236	354,566	0.009	3,191	21	72	A077	
	G040	美方郡村岡町	擁壁	E	22,645	7,112	324,400	38,573	392,730	0.007	2,749	22	75	G040	
	地震	B002	美方郡村岡町用野	岩石崩壊	D	25,600	791	140,776	15,589	182,756	0.013	2,376	23	84	B002
		F019	美方郡村岡町熊波	盛土	E	27,498	30,578	1,388,591	165,110	1,611,777	0.001	1,612	24	50	F019
		A068	美方郡温泉町竹田	落石・崩壊	F	23,446	17,287	47,866	3,451	92,050	0.011	1,013	25	65	A068
		A054	美方郡村岡町熊波	落石・崩壊	E	22,645	41,019	332,312	39,514	435,490	0.001	435	26	60	A054
		A004(G003)	朝来郡山東町金浦	落石・崩壊	A	31,596	37,297	288,835	32,450	390,178	0.001	390	27	77	A004(G003)
A028		美方郡村岡町八井谷	落石・崩壊	C	25,711	51,751	77,430	2,884	157,776	0.002	316	28	63	A028	
A063		美方郡温泉町湯	落石・崩壊	E	27,498	86,786	597,371	71,030	782,685	0.00035	274	29	63	A063	
A075		美方郡温泉町千谷	落石・崩壊	F	31,820	78,505	151,574	10,929	272,828	0.001	273	30	64	A075	
A057		美方郡温泉町春菜	落石・崩壊	E	24,263	36,483	308,576	36,691	406,013	0.00019	77	31	68	A057	
F017		美方郡村岡町熊波	盛土	E	22,645	11,738	518,249	61,622	614,255	0.00012	74	32	50	F017	
A071(G058)	美方郡温泉町鐘尾	落石・崩壊	F	25,121	17,721	44,874	3,236	90,952	0.00034	31	33	63	A071(G058)		



## 1 はじめに

大地震時の都市災害を軽減するためには、震源域の周辺地域において、事前に安全性の高い構造物を普及させておくことが重要である。しかしながら、個人や企業が所有する私的な建築物については、原則として各々の費用負担で地震防災対策を講じる必要があり、建築物の所有者自身が、いつ起きるかわからない地震に対して投資するケースは少ない。特に、政府地震調査委員会などにより大地震の発生確率が高いと発表されている震源域<sup>1)</sup>の周辺地域では、新築および既存建物について、適切な防災対策への誘導が急務である。

本稿の第2章では、建物所有者を防災対策への投資に誘導することを目的として新たに開発された、地震リスク・マネジメント手法を紹介する。従来の手法とは異なり、本手法では、政府地震調査委員会の成果、および、関連学問分野(地震学、地盤工学、構造工学、経済学など)の知見を最大限に活用し、防災対策のメリットを建物所有者に説明することができる。

第3章では、この地震リスク・マネジメント手法を、東京のオフィス・ビル(鉄骨9階建て)に適用した事例を紹介する。ここでは、制振ダンパーの設置に初期投資しておくことで、建物所有者の総支出(LCC:ライフサイクル・コスト)を効果的に軽減できることを示す。

第4章では、日本周辺で最も大地震の発生確率が高い宮城県沖地震(ここ30年で98%)を考慮して、宮城県に建つ戸建住宅(木造2階建て)の事例を紹介する。ここでは、免震工法に初期投資しておくことで、LCCを軽減できることを示す。

## 2 地震リスク・マネジメント手法の概要

地震リスク・マネジメントとは、図1のように、幾つかの耐震設計案の中から建物所有者にとって最適な案を選ぶ、いわゆる意思決定問題と定義できる。設計案は例えば、建築基準法の要求通りの設計、構造体の剛性・強度・靱性の向上、免震/制振化、地震保険の購入などが挙げられる。各設計案を実現した際の地震リスク、すなわち、建物所有者の総支出(LCC:ライフサイクル・コスト)を計算し、それらを比較することにより、どの設計案が良いかの意思決定が行われる。LCCに注目することにより、例えば、何らかの耐震部材の設置に初期費用を支払っても、ライフスパンで考えれば総支出の少ない設計案を選ぶことができる。

LCCは将来の値なので確定値としては予測できないが、最小期待損失基準によるとLCCの期待値(平均値)が最小となるものを最適設計案として選ぶことができる。各設計案のLCCの期待値( $E[C_L]$ )は(1)式のように定式化される<sup>2)</sup>。

$$E[C_L] = C_I + \sum_{\text{all sources}} \sum_{j=1}^K E[C_D(m_j)] \int_{t_0}^{t_0+t_{life}} Q^{t-t_0} \sum_{n=1}^{\infty} f_{W_n}(t, m_j | W_1 > t_0) dt \quad (1)$$

(1)式の詳しい説明は文献2)に譲るが、 $C_I$ は初期費用、 $C_D(m_j)$ はマグニチュード $m_j$ の地震に対する損傷費用、 $f_{W_n}(t, m_j | W_1 > t_0)$ はマグニチュード $m_j$ の地震の発生確率である。ここで $C_D(m)$ は、図2に示

すような断層破壊及び弾性波の伝播、表層地盤の増幅、建物の応答、損傷費用の発生までの一連のプロセスを、関連学問分野（地震学、地盤工学、構造工学、経済学などの）において開発された最新のシミュレーション・モデルを用いて算出できる。また、 $f_{wm}(t, m_j | W_1 > t_0)$ については、政府地震調査委員会が発表する最新の地震発生確率<sup>1)</sup>を直接導入できる。したがって、(1)式を用いることにより、信頼度の高い結果に基づいて、建物所有者に適切な判断を促すことができる。

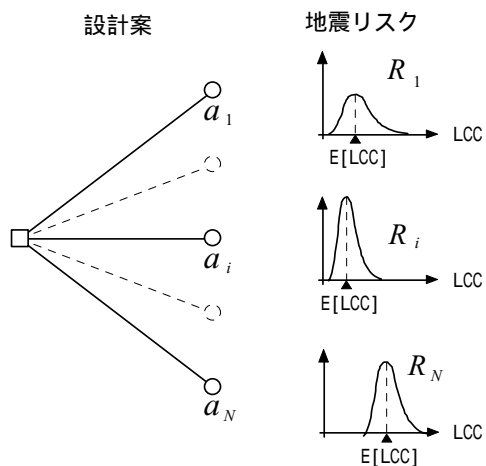


図1 地震リスク・マネジメントの概念図

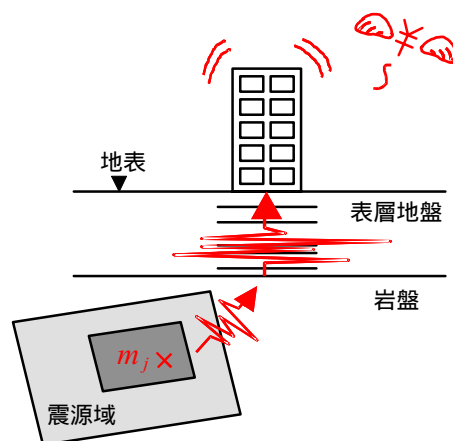


図2 断層破壊から損傷費用発生までのプロセス

### 3 東京のオフィス・ビルを対象とした事例研究

1999年竣工の(株)構造計画研究所新社屋(地上9階建て鉄骨造・図3に外観を示す)を対象とする。建設地点は東京都中野区である(図4中の印)。設計案は、(A)鉄骨フレームのみと(B)各層の層間にオイル・ダンパーを設置したものの二つとし、両者の期待LCCを比較する。鉄骨建物の総額は15.12億円、建物の各層に設置されたオイル・ダンパーの総額は0.36億円である。したがって、設計案(A)および(B)の初期費用はそれぞれ15.12億円、15.48億円となる。

震源域として、相模トラフを考慮する(図4中の網掛け部分)。地震カタログに掲載されている過去の記録地震を図4に印で示す。マグニチュード8.0( $m_3 = 8.0$ )の地震について、政府地震調査委員会により用いられているBPT(Brownian Passage Time)モデル<sup>1)</sup>(平均再現期間 = 200年、 $\lambda = 0.24$ )を適用すると、その発生率は図5のようになる。



図3 対象建物の概観

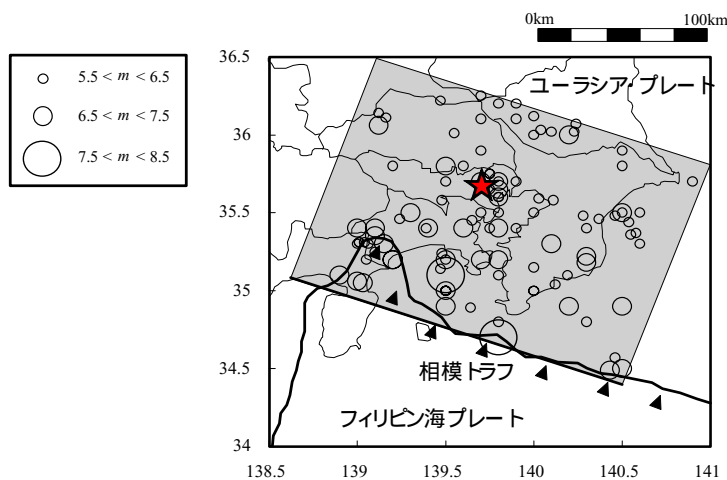


図4 建物位置( )および相模トラフ周辺の歴史地震( )

初期費用  $C_0$ 、図 5 の地震発生率、最新の解析モデルを用いたシミュレーションにより求められた  $E[C_D(m)]$  を(1)式に代入し、建物の供用期間と期待 LCC の関係を示したのが図 6 である。制振ダンパーを設置することにより、初期費用は上がるが、将来の地震による損傷が低減されるために、建物の供用期間 ( $t_{life} = 50$  年) で考えると期待 LCC (建物所有者の総支出) を軽減できる。なお、建物の供用期間における両設計案の期待 LCC の差 (2.09 億円) は、リスク・マネジメントにおいて、ダンパーを採用したことにより建物所有者もたらされる利益を表す。

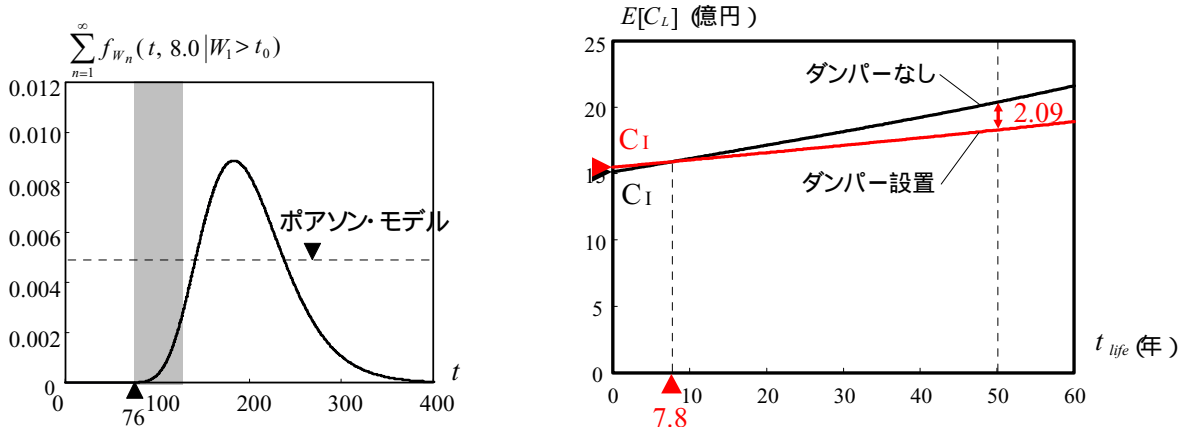


図 5 BPT モデルの地震発生率 ( $m_3 = 8.0$ ) 図 6 供用期間 - 期待 LCC (BPT モデル :  $t_0 = 76$ )

#### 4 宮城県の戸建住宅を対象とした事例研究

2003 年完成の戸建住宅 2 階建て在来軸組木造 (図 7 に外観を示す) を対象とする。建設地点は宮城県古川市である (図 8 中の 印)。設計案は、(A) 基礎固定と (B) 基礎免震したものの二つとし、両者の期待 LCC を比較する。住宅建設の費用は 4,500 万円、免震化工事には 718 万円が掛かる。したがって、設計案 (A) および (B) の初期費用はそれぞれ 4,500 万円、5,218 万円である。

宮城県沖地震の発生が予想される地域を震源域とする (図 8 中の矩形部分)、地震カタログに掲載されている過去の記録地震を図 8 に 印で示す。マグニチュード 7.5 ( $m_3 = 7.5$ ) の地震について、政府地震調査委員会により用いられている BPT モデル<sup>1)</sup> (平均再現期間 = 37.1 年、 $\lambda = 0.176$ ) を適用すると、その発生率は図 9 のようになる。



図 7 対象戸建住宅の外観

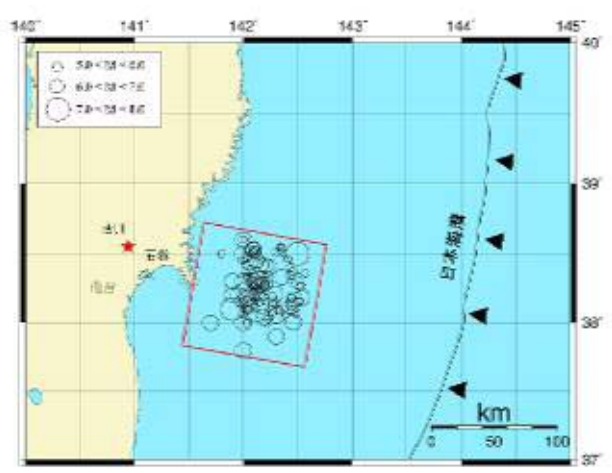


図 8 住宅位置 ( ) および震源域付近の歴史地震 ( )

初期費用  $C_0$ 、図 9 の地震発生率、最新の解析モデルを用いたシミュレーションにより求められた  $E[C_D(m_j)]$  を(1)式に代入し、建物の供用期間と期待 LCC の関係を示したのが図 10 である。免震化することにより、初期費用は上がるが、将来の地震による損傷が低減されるために、住宅の供用期間 ( $t_{life} = 50$  年) で考えると期待 LCC (建物所有者の総支出) を軽減出来る。

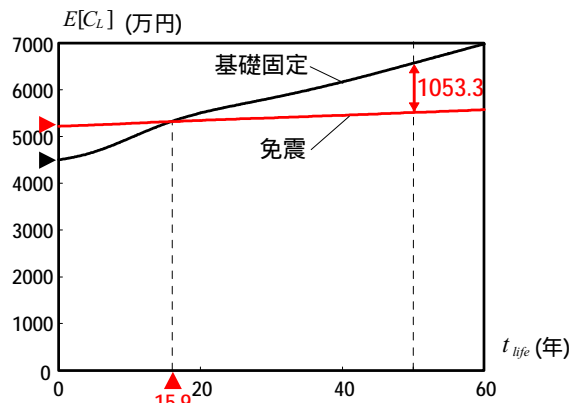
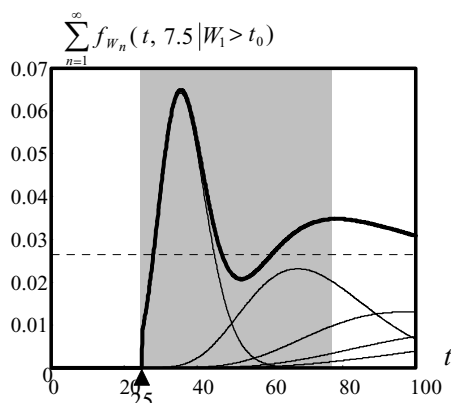


図 9 BPT モデルの地震発生率 ( $m_3 = 7.5$ ) 図 10 供用期間 - 期待 LCC (BPT モデル :  $t_0 = 25$ )

## 5 まとめ

本稿の第 2 章では、地震防災対策促進を目的とする、地震リスク・マネジメント手法を紹介した。本手法では、政府地震調査委員会の成果、および、関連学問分野 (地震学、地盤工学、構造工学、経済学など) の最新の知見を体系的に導入し、建物所有者に合理的な判断を提供できる。

第 3 章および第 4 章では、東京のオフィス・ビル、宮城の戸建住宅を対象にした事例研究を紹介した。それぞれ、制振ダンパー、免震工法に初期投資することで、建物所有者のライフサイクル間の総支出 (LCC : ライフサイクル・コスト) を効果的に軽減できることが確認された。

以上の二つの事例研究は、建物所有者に対して、適切な防災対策に投資をすることのメリットを示すためのプロトタイプであり、他の建築物にも広く適用できる。都市的な観点からは、地震危険度の高い地域において耐震安全性の優れた建築物を普及させ、都市災害軽減に貢献できる。

同時に、建物所有者の防災対策への関心を高め、防災分野に対する需要を喚起し、経済の活性化にも寄与できる。現在筆者は、公団、設計事務所、ゼネコン、免震 / 制振装置メーカー、ソフト・メーカーと共同研究「建築物の地震リスク・マネジメント手法の開発および地震危険度の高い地域の建築物の防災対策への適用 (研究代表者 : 高橋雄司、期間 2002 年 12 月 ~ 2005 年 3 月)」を組織し、本稿で紹介した地震リスク・マネジメント手法の実用化を進めている。このような地震リスク・マネジメント技術を、地震危険度の高い地域において、建物所有者を適切な防災対策に誘導するためのツールとして活用していく。新たな結果がまとまり次第、改めて報告させて頂きたい。

## 【参考文献】

- 1) 地震調査研究推進本部 HP、<http://www.jishin.go.jp/main/index.html>
- 2) Takahashi, Y., Der Kiureghian, A. and Ang, A.H-S., "Decision methodology in seismic risk management of a single building based on minimum expected life-cycle cost", *UCB/SEMM Report-2002/02*, Department of Civil & Environmental Engineering., UC Berkeley, CA, 2002.

# 正面衝突事故対策としてのランブルストリップスの開発について

(独)北海道開発土木研究所 交通研究室 平澤匡介

## 1. はじめに

北海道の交通死亡事故の特徴の一つは、正面衝突事故が多いということである(図-1)。正面衝突による死亡事故の割合が全国に比べ約2倍で、全死亡事故の約2割を占める。一方、米国では、路外逸脱事故の防止対策技術として、ランブルストリップスの目覚ましい効果が報告されている。ランブルストリップスは、舗装路面上に設置された隆起状あるいは溝状の直線パターンである。その目的は、運転者に対し、車線逸脱の警告を与えることであり、うっかり・ぼんやりや居眠りによる交通事故に対し有効な対策手法であると言える。

本研究は、正面衝突事故の事故原因の約4割は、居眠りやうっかり・ぼんやり等による発見の遅れであるため、より効果的で適用性の高い正面衝突事故対策として、

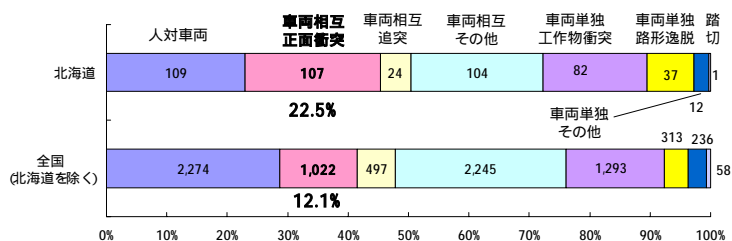


図 1. 北海道と全国の事故類型別死亡事故件数(H14)

ランブルストリップスを、センターライン上に設置することを試みたものである。本報告は、施工方法、試験道路における走行実験、実道の一般国道5号八雲町における評価(交通状況調査、通過車両ドライバーへのアンケート調査)、および費用対効果の検討結果について報告する。

## 2. 施工方法

ランブルストリップスは、施工法により、切削式、転圧式、成形式、隆起式の4種類に分類される。切削式は、安価でかつ迅速に施工が可能な工法であり、音や振動による警告効果も高く、米国で最も普及している工法である<sup>1)</sup>。



写真 1. 施工機械の異径車輪

そこで切削式ランブルストリップスを検討することとした。日本国内において切削式ランブルストリップスは、施工実績が無く、施工機械も無かった。そこで、写真1のように、この切削機の走行車輪を異径に改造し、ランブルストリップスの施工を可能にした。異径にすることにより、切削機の走行に従って切削ドラムが上下して、ランブルストリップスの溝を切削する仕組みである。なお、この施工機械は、北海道開発土木研究所と(株)日本舗道、(株)ヴィルトゲン・ジャパンの共同で特許出願中である。

## 3. 苫小牧寒地試験道路における試験施工と走行実験

ランブルストリップスは、大きく、深いほど音と振動の警告効果が高くなるが、バイクや自転車の操縦性に対する影響が懸念された。そこで適正な規格を決めるために、深さが9mm, 12mm, 15mmの規格の異なる3種類のランブルストリップスを、平成13年度に苫小牧寒地試験道路において試験施工し、北海道開発局や北海道警察関係者による試験走行や62名の一般道路利用者による自転車やバイク、自動車を使った走行実験を行った。その結果、深さ12mmのランブルストリップスが、自転車やバイクに対し、危険性が無く、音

や振動の警告効果もある程度高いことが分かった。図

2 は、試験結果を基に、実道に設置した規格である

#### 4 . 一般国道 5 号八雲町に設置した正面衝突事故対策

一般国道 5 号八雲町は、郊外部で直線かつ平坦な 2 車線道路であり、良好な交通環境であるが、正面衝突による死亡事故が多発していた。そこで北海道開発局と北海道警察と北海道開発土木研究所は、正面衝突事故対策として、中央分離帯、センターポール、チャッターバー、ランブルストリップスを設置し、その効果を比較し、今後の正面衝突事故対策技術の確立を目指すこととした。図 3 に示すように函館側から中央分離帯、センターポール、チャッターバー、ランブルストリップスの 4 種類の対策を設置した。中央分離帯の区間は、幅員を 3m 拡幅して設置し、車道幅員を片側 3.5m 確保したが、他の区間では、幅員は拡幅せず、対策工を幅 50cm の追越し禁止黄色 2 本線のセンターライン内に施行し、車道幅員を片側 3.25m のままで施工した。

苫小牧寒地試験道路においてランブルストリップス上を小型車で、60km/h で走行したときの車内騒音は、80.5dB を記録した。一般国道 5 号に施工した後に、ランブルストリップス上を走行した時も、車線逸脱警告として十分な振動と音の発生が確認できた。

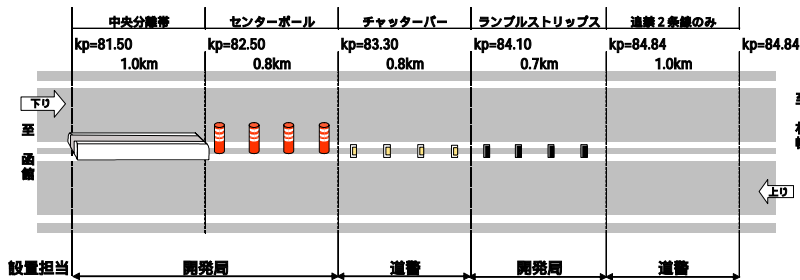


図 - 3 . 一般国道 5 号八雲町における正面衝突事故対策の設置状況

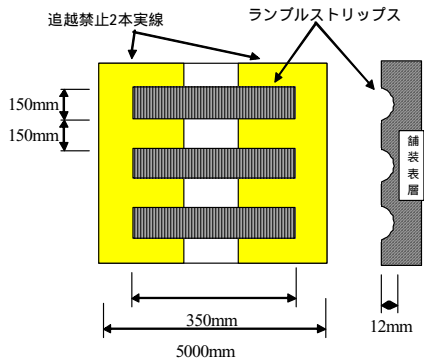


図 - 2 . 実道に設置したランブルストリップスの規格



写真 - 2 . ランブルストリップス設置状況

#### 5 . 対策区間の交通状況調査

一般国道 5 号八雲町において、ビデオカメラを使用して走行速度、通過位置の調査を行った。各区間の平均速度は、小型車、大型車共に大差がなく、ランブルストリップスは走行速度に影響を与えないと推察される。

通過位置は、走行車両の外側のタイヤの位置を、外側線から 20cm 毎に路面にマーキングしてビデオカメラにより測定した。図 - 4 は、上り方向の大型車の通過位置を示す。センターポールは、構造的に弱い路肩を走行する車両も見られるほど、最も通過位置が外側に变化した。次に外側に变化したのは、チャッターバーおよびランブルストリップスであった。小型車も大型車と同様の傾向を示し、また下り方向についても同様であった。ランブルストリップスには、

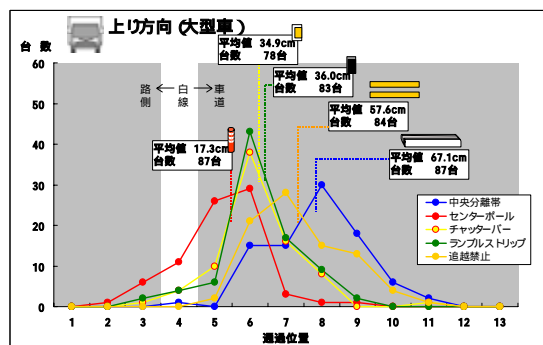


図 - 4 . 車両の通過位置 (上り・大型車)

外側に通過位置を変えることによる事故抑止効果もあると推察される。

ランブルストリップ施工区間にビデオカメラを設置し、ランブルストリップを踏んだ車両の挙動を観測した。観測は、24 時間連続で行った。車両挙動は、ランブルストリップを単に踏んだだけの「はみ出し」と追越しを行った「追越し」に分類した。その結果を、表 - 1 に示す。車線をはみ出し、ランブルストリップを踏んだ車両は、上り下り方向併せて、24 時間で 54 台の車両が計測された。ただし数台は、明らかに居眠りやふらつきにより車線を逸脱し、ランブルストリップの効果により元の車線に復帰した可能性が高いと推察される。写真 - 3 は、夜間に大型車が対向車線上で迫ってくる状況において、小型車がセンターラインを越えて対向車線にはみ出したが、あわてて車線に復帰する状況が記録されたものである。危険な状態を回避できた典型的な例である。

	はみ出し(台)	追越し(台)	交通量(台)	大型車混入率(%)
上り	43	48	5,282	36.3
下り	11	20	4,849	38.2



車がセンターラインに寄っていく ランブルストリップを踏む あわてて車線に戻る  
写真 - 3 . ランブルストリップにより大型車との正面衝突事故を防いだ場面

## 6 . 道路利用者へのアンケート調査

アンケートは、対策箇所を走行する全車両を警察の協力により路側駐車帯に一旦止め、主旨を説明して配布し、後日郵送回収する方法で行った。平成 14 年 11 月 8 日に実施し、

601 通の配布のうち、229 通が回収され、回収率は 38% であった。アンケート項目は、運転者の属性、各対策工の印象、各対策工の特徴を示したうえで、各対策工に対する意見、から構成されている。アンケートの結果を図 - 5 に示す。走行した道路の感想は、中央分離帯が、「走行しやすい」、「安全を感じた」という意見が特に多い。センターポールは、「走行しづらい」という意見が特に多く、通過位置が最も外側に变化したことがうなずける。対策工に対する意見は、設置費等を明示したため、「積極的に設置すべき」という回答は、ランブルストリップが最も多く、道路利用者による高い支持が示されたと考えられる。

Q : 走行した道路の感想は ?

Q : 意見をお聞かせください。

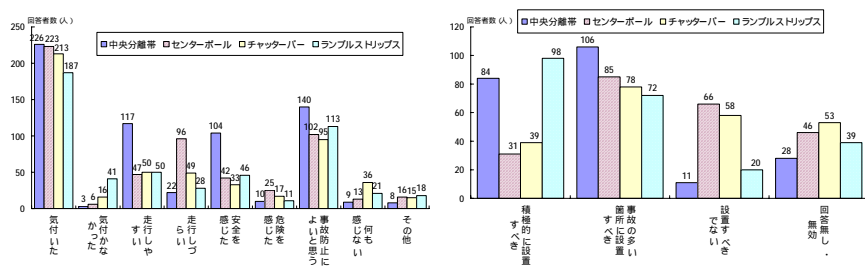


図 - 5 . アンケート集計結果

## 7. 費用対効果の検討

一般国道5号八雲町に敷設した場合の費用対効果を試算した。図-6に示すように、北海道の国道で発生した正面衝突事故の第1当事者の人的要因の39%を、居眠りやぼんやり等の発見の遅れが占めていた。ランブルストリップスの覚醒効果により、これらの事故を

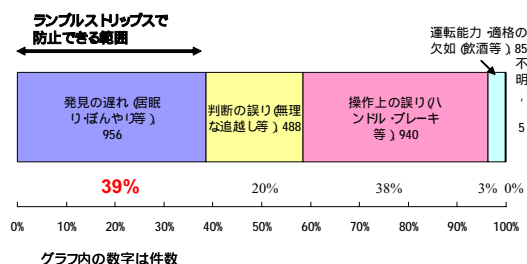


図-6 北海道の国道における正面衝突事故 (H7～H11, 非市街地) の事故原因

防止すると仮定して試算を行った。ランブルストリップスの耐久性は、車道本線上の車輪通過位置に設置されるものではないので、10年間は耐久できると仮定した。ランブルストリップス設置区間を含む一般国道5号キロポスト70～90kmにおいて、10年間(H2～H11)に発生した正面衝突事故は、事故件数：74件(内死亡：16人、重傷：25人、軽傷：94人)である。また、人的損失額を、事故死亡者3,304万円/人、事故負傷者166万円/人、物的損失額を事故36.4万円/件とした<sup>3)</sup>。便益額を以下のように推計した。

・人的損失額: { 16人 × 3,304万円 + (25 + 94)人 × 166万円 } ÷ 20 km × 39% = 1,416万円

・物的損失額: 74件 × 36.4万円 ÷ 20 km × 39% = 53万円

したがって、ランブルストリップスの便益(B)は、1,469万円 1,500万円となる。

苫小牧寒地試験道路に試験施工したランブルストリップスの施工費(C)は150万円/kmだったので、従って費用対効果(B/C) = 1,500万円 ÷ 150万円 = 10.0と計算された。

## 8. あとがき

ランブルストリップスの長所は、高い覚醒効果を得られるとともに、センターポールやチャッターバーよりも走行上安全であること、除雪作業の支障とならないこと、安価であること、耐久性が高いこと、走行速度に影響を与えないこと、及び道路利用者から高い支持が得られることである。さらに実道において、路面標示を覆うような圧雪路面でも音と振動の効果が持続することが確認された。また窪みに貯まった雪も凍結防止剤散布により散逸したので、特に冬期路面管理においても不利になる場面は見受けられなかった。従ってランブルストリップスは、正面衝突事故による交通事故死者数が多い北海道にとって、切り札となる可能性があると考えられる。米国・コロラド州においてセンターラインに設置したランブルストリップスは、正面衝突事故を約36%削減した実績<sup>4)</sup>があるという報告があり、北海道においても30%以上の正面衝突事故の削減が期待されると考えられる。北海道開発局、北海道警察との連携により、平成15年度末までに、19箇所35km以上の施工を予定している。今後は、普及に向けた課題や設置マニュアルの検討、さらに路肩に設置するための新たな規格の開発を行う予定である。

## 参考文献

- 1) FHWA (Federal Highway Administration) web site (<http://safety.fhwa.dot.gov/programs/>)
- 2) 平澤、浅野：北海道におけるランブルストリップの開発について、北海道開発土木研究所月報 8月号、No.591、pp.7-20、2002。
- 3) 自動車保険データにみる交通事故の実態2002、(社)日本損害保険協会、2002.3
- 4) William. Skip. Outcalt, Centerline Rumble Strips, Colorado DOT Research Branch, 2001



# 急勾配海岸における新技術を用いた侵食対策工法について

北陸地方整備局 黒部河川事務所 工務課 岩井 久

## 1. はじめに

富山県東部に位置する下新川海岸は我が国でも有数の侵食海岸であり、特に黒部市生地地先の通称「生地鼻」周辺では海底勾配が1/3程度と非常に急勾配、かつ大水深であり過去より非常に侵食が激しい。

その為、富山湾特有の「寄り回り波」を始めとする高波浪のエネルギーは衰退することなく海岸に押し寄せ汀線の後退・越波による家屋の破壊のみならず既設護岸の安全性すらも懸念されている。

また生地鼻は外海と富山湾の境界であり、下新川海岸のかなめにあたる。生地鼻が存在することにより下手側の波高が小さくなり海水浴場などがある下手側の侵食が抑えられている。

このように生地鼻は侵食対策上非常に重要な箇所であり、早急な対策が必要となっていたが、極端な急勾配・大水深であるため、通常の工法では有効な侵食対策を講じることは困難であった。

このため、平成元年より対策に関する検討を行った結果、新工法を用いた全国初となる透過型有脚式突堤を建設することとした。

本工事の大きな目的は下記の3点である。

- ①従来の侵食対策工法が困難であった当地先において、有効な侵食対策を講ずる。
- ②新技術を積極的に活用し、新しい海岸保全整備の方策を探る。
- ③多様な契約方式の1つである性能規定設計・施工一括発注方式(デザイン・ビルド方式)を用いることにより、より良質で安価な社会資本を整備する。

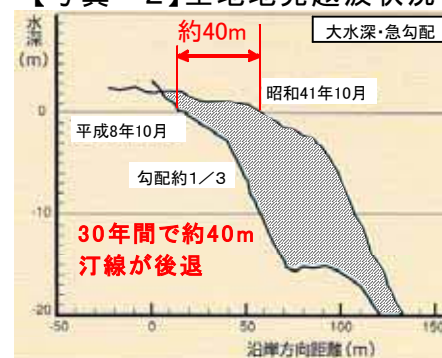
本稿はこの計画、施工及び施工後の考察について報告を行うものである。



【写真-1】生地鼻比較写真



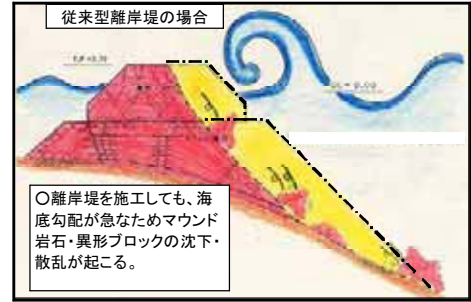
【写真-2】生地地先越波状況



【図-1】生地鼻海底勾配図

## 2. 生地鼻における侵食対策の問題点

従来、海岸の侵食対策工法としてはブロック式離岸堤、人工リーフ等が用いられてきた。下新川海岸においてもこれらの工法により侵食対策を講じてきたところであるが、本地先においては大水深かつ非常に急勾配であり、従来工法では施工及び維持が困難、かつコストがかさむため、非常に重要な箇所であるにもかかわらず有効な侵食対策を講じることができなかった。



【図-2】従来型離岸堤イメージ

## 3. 侵食対策工法の検討

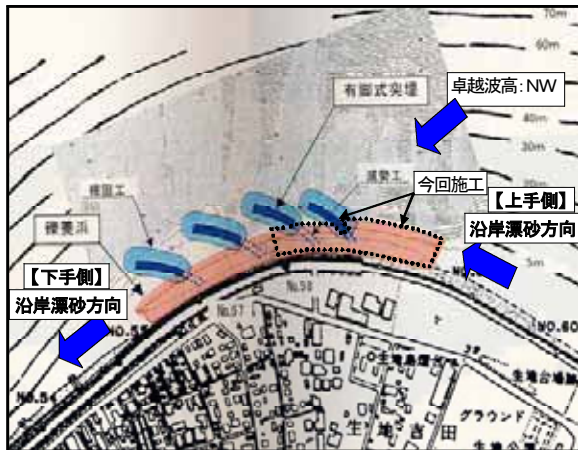
そこで対策について多方面からの検討を行い、さらに平成3年より有識者で構成する委員会を設置し計約10回にもわたり議論し、対策工法の検討を行った。また、生地鼻に従来型離岸堤などの不透過型構造物を施工すると上手側からの沿岸漂砂が遮られ下手側の侵食を助長してしまう。よって本地先における対策工の条件として、以下の2点を満足する工法を選定する必要がある。



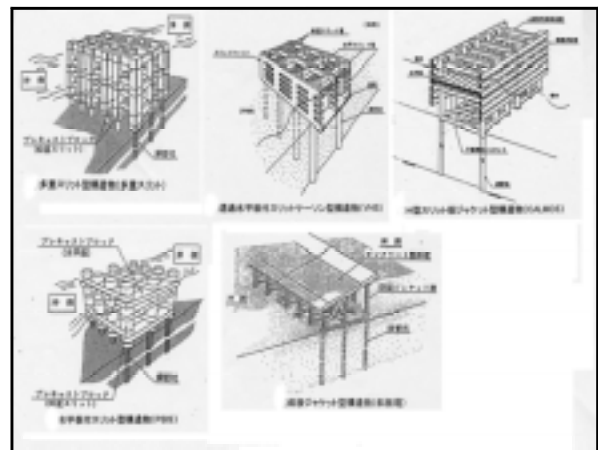
【図-3】透過型有脚式突堤イメージ

- ①急勾配・大水深でも施工・維持可能な構造物であること。
- ②沿岸漂砂を遮断しない透過型構造物であること。

この2点を満足する工法として数タイプの杭支持構造の透過型有脚式突堤（離岸堤としての性能・構造を有しているが波向から突堤形状を呈している）を4基と、開口部対策として鋼管杭及び角形ポストによる減勢工と、打ち上げ高減衰と浜辺空間の創出のために養浜工（玉石100～150mm）の施工を決定した。



【図-4】計画平面図



【図-5】各種の透過型有脚式突堤

## 4. アカウンタビリティ

生地鼻は全国放送にも登場した富山湾の冬の風物詩として有名な「地曳網」や刺網漁などが盛んに行われており下新川海岸の中でも絶好の漁場となっており、工事の実施にあたっては地元及び漁協の理解が不可欠であった。このため、施工に先立って説明会を開催す

ることとした。さらに個別にも幾度となく足を運び理解を求めた。さらに工事への理解を求め  
るため必要性・進捗状況などをホームページや、新聞折り込みチラシとして各家庭に配布し  
ている当事務所の広報誌に掲載、地元のラジオ放送局「ラジオ・ミュージー」で説明を行うなど、  
アカウントビリティの履行に努めた。

## 5. 性能規定設計・施工一括発注方式(デザイン・ビルド方式)の実施

従来の工事発注にあたっては、公平さを確保しつつ品質の良いものを安価に調達する観  
点から「設計・施工分離」を原則としているが、メーカーや施工業者が設計技術を有する工  
法など、設計と施工を一体的に行う方式が有効な場合があると考えられている。今回の工  
事発注において候補となった数タイプの透過型有脚式突堤についてはMMZ(マリン・マルチ・ゾ  
ーン)計画に基づき開発された新技術であり、それぞれの工法に特許が存在しており、施工  
業者特有の技術を活用し、コスト縮減を期待するということで試行的に性能規定設計・施工  
一括発注方式(デザイン・ビルド方式)を採用した。

公募に応募してきた3社には技術資料(性能:透過率 $\leq 0.6$ 、反射率 $\leq 0.5$ を満足するVE  
提案)と見積りを求め、非常に困難かつ膨大な作業とはなったが3社分の見積全てについて  
それぞれ官積算を行い(コンクリート打設など一般的工種は旧建設の土木工事標準積算基  
準書、海上作業は旧運輸の港湾請負工事積算基準、基準が存在しないものについては見  
積に基づいた)最も安価なものを予定価格とした。(3社の提案した透過型有脚式突堤のタ  
イプは異なるが、今回は性能規定であるので、提示した性能を満足していればタイプは問  
わない)

そして3社の価格競争入札を行い、落札者が提案した透過水平板付スリット・ケーソン工  
法(通称VHS工法:以下VHSという)を施工することとなった。

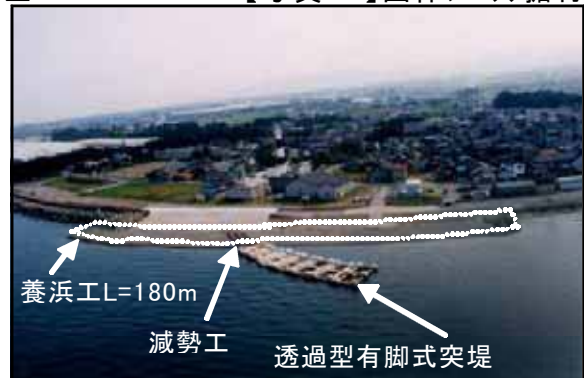
## 6. 透過型有脚式突堤の施工

通常の方法では函体ブロック最大重量約550tを吊上げる  
には日本海側には存港しない1,200t吊クラスの大型の起重  
機船が必要となるが、今回は函体ブロックを3~5個に分割  
し製作・据付を行うこととしたため、函体ブロックの最大重量  
は約150tとなり、富山県内に在港する250t吊起重機船で運  
搬・据付を行うことが可能となり、船舶を入手可能な港と現  
地とを往復する回航費が約7,000万円削減され全



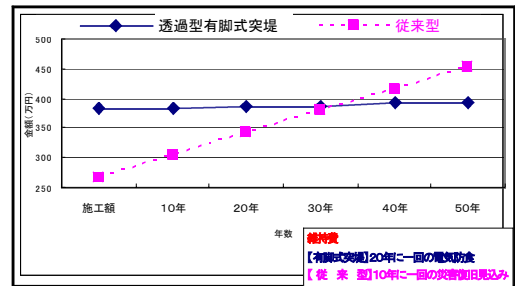
【写真-3】函体ブロック据付

体工事費が大幅に縮減された。また、当箇所  
は漁場となっているため施工に際しては漁協  
及び地元等との調整が必要であり、さらにVH  
Sは他に施工例が2基しかなく相当の精度と技  
術を要求される構造であるため難易度の高い  
施工であったが、トラブルもなく無事に施工を  
終えることができた。 【写真-4】完成写真



## 7. 従来型工法とのコスト縮減

参考として生地鼻に従来型離岸堤及び有脚式突堤を施工した場合のコスト比較は図-6のとおりである。施工額は有脚式突堤の方が高価だが、従来型は前述の通り度々被災を受けると考えられるので、50年間のランニングコストを加味すると有脚式突堤の方がコストパフォーマンスに優れる。



【図-6】50年間のコスト比較

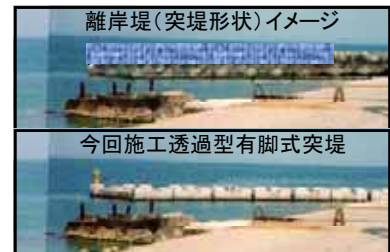
## 8. 透過型有脚式突堤工法によるメリット

透過型有脚式突堤のメリットは以下のとおりである。

- ①【水質保全】透過型構造のため、堤内外の海水交換性に優れ、水質保全が図れる。
- ②【漂砂を遮断しない】透過型構造のため上手側からの沿岸漂砂を遮断しないため、下手側の汀線の保全が図れる。
- ③【メンテナンスフリー】杭支持構造であるため従来のブロック式離岸堤で起こる堤体の沈下・ブロックの散乱等による機能低下がなく、ランニングコストが軽減できる。
- ④【美観】従来の離岸堤より天端高が低く、(離岸堤 T.P+2.7 m、VHS T.P+1.02m) スッキリとした外観で景観に優れている。「富山湾が一番美しく見える町」としてPRしている地元住民にも好評である。
- ⑤【集魚効果】函体内は空洞となっており、集魚効果を持つ。(写真7は、VHS付近で遊泳するイシダイ)



【写真-5】VHS模型



【写真-6】景観比較



【写真-7】集魚効果

## 9. 施工後の検証

本工事は平成14年11月10日に完成し、昨冬に初の高波浪が発生する冬季を迎えることとなった。効果の確認にあたっての追跡調査は図-7のとおり行った。当初提示した設計条件の透過率、反射率については現在解析中である。



【図-7】追跡調査実施平面図

## 10. おわりに:まとめと今後の課題

多数の関係者が一丸となり熱意と努力をもって長年にわたり検討した結果、当初の目的・様々な問題点・条件をクリアし非常に満足のゆく結果が得られた。本年度から透過型有脚式突堤2基目に着手するが、今後2基目施工後も継続し波浪低減効果の検証とさらなるコスト縮減、又は更に優れた侵食対策について検討し下新川海岸を侵食から守っていきたい。【参考文献】MMZ計画策定の手引き(案)建設省土木研究所

# 結晶片岩地域で発生する表層崩壊の発生機構の解明に向けて

四国地方整備局 四国山地砂防事務所 調査課 前川 美紀子

## 1. はじめに

近年、崩壊跡地でパイプ（【補足資料】参照）の存在や斜面からの湧水が確認されたという報告事例が多くみられ、パイプの存在が崩壊現象に大きく関与していることが指摘されている。特に、パイプに関する研究の進展に伴い、パイプ内で生じる地下侵食（土砂流出）やパイプ内閉塞が崩壊発生に影響を及ぼす因子であることが示されている。以上の事項を勘案すると、崩壊発生の予測を精度よく行なうためには、パイプの存在を考慮した土砂災害発生危険度評価システムの確立が望まれるところである。また、既往研究（【補足資料】図-7 参照）により提示されたパイプの存在と斜面崩壊との関係を勘案すると、パイプからの流出状況やパイプ内での地下侵食土砂量を追跡することで崩壊発生の予知・予測を行うことができるものと判断される。

本調査では、パイプの存在を指標とした土砂災害発生危険度評価システムを構築するための基礎情報を得ることを目的として、崩壊地源頭部に形成されたパイプからの流出状況並びにパイプ内で生じる地下侵食の実態 - 土砂流出特性 - を把握するとともに、流出土砂量の再現計算を実施した。そして、得られた知見を基に、パイプからの流出量と流出土砂量を指標として土砂災害発生の危険度評価を行なうことの可能性について検討を加えた。

## 2. 調査対象斜面

調査対象斜面は、徳島県三好郡西祖谷山村内に位置する「とびのす谷 C 支溪」である（図

-1）。とびのす谷では、1999年6月29日に四国および中国地方を襲った梅雨前線によって（6月29日の日雨量：476mm、善徳雨量観測所）A 支溪、B 支溪、C 支溪

の中腹で計 5ヶ所の斜面崩壊が発生した（図-1）。これらの崩壊土砂

の一部は、写真-1～2 に示すように、土石流として下流に流出し、谷の出口にあるホテル（鉄筋コンクリート 5 階建）や土産物店（木造一階建）を損壊した。

崩壊発生翌日（1999年6月30日）の B・C 支溪崩壊地周辺の状況を写真-3 に示す。写真-3 に示すように、C

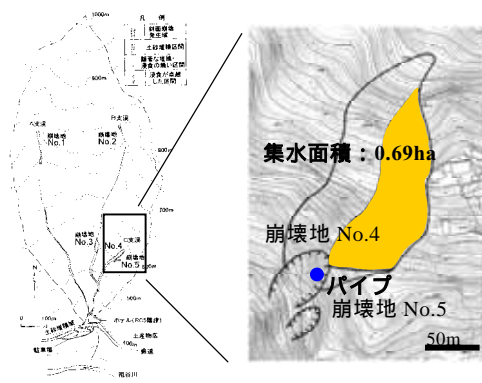


図-1 とびのす谷流域平面図・表層崩壊の発生状況および対象斜面（C 支溪崩壊地上流斜面）の地形状況



写真-1 とびのす谷下流部の土砂堆積状況（写真上部の左側が B 支溪の崩壊（No.3）、右側が C 支溪の崩壊（No.4））



写真-2 ホテルの被災状況

支溪右岸崩壊地  
 (図-1 中、崩壊地 No.4) では、崩壊発生翌日の現地調査時に崩壊地からの多量の湧水が確認された。さらに、右岸崩壊地(崩壊地 No.4)の周



写真-3 崩壊発生翌日の B・C 支溪崩壊地周辺の状況  
 (撮影日：1999年6月30日)

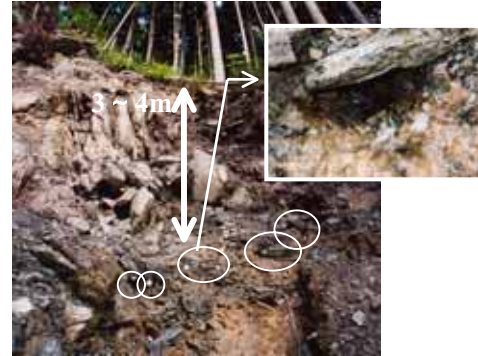


写真-4 C 支溪で発生した右岸崩壊地源頭部の状況とパイプの出口状況  
 (撮影日：1999年8月19日撮影)

辺部では、顕著な谷地形が認められないことに加え、集水面積が 0.69ha とわずかであるにもかかわらず(図-1)、崩壊発生 24 日後(1999 年 7 月 24 日)にも多量の湧水が確認された。崩壊発生 51 日後である 8 月 19 日には、写真-4 に示すように、崩壊地源頭部の 5 箇所パイプが確認され、全てのパイプから湧水が認められた(これらのパイプからの湧水は、崩壊発生後から現在(2003 年 9 月)まで約 4 年間停止することなくみられている)。

写真-4 を眺めると、礫間の細粒土砂は湧水(土層内部の浸透水)により洗い流され、パイプ出口付近には 2~3cm 程度の小礫がみられる。これらの礫の大部分は、片理の発達とともに剥離した偏平な礫であり、パイプは偏平な礫と礫の間に形成されている(崩壊の源頭部から 3~4m 下方; 標高 600m 付近)。このようなパイプ出口周辺の状況を勘案すると、崩壊発生時には、表層土中に多数存在する礫と礫の間を通る流れが存在していたことが想定され、右岸部で発生した崩壊には、パイプ流が関与していたことが示唆される。

このような現象は結晶片岩地域で生じやすいものと考えられ、本調査では C 支溪右岸崩壊地の上流斜面をモデル斜面として抽出し、パイプからの流出量と流出土砂量(地下侵食土砂量)の定期計測(1 週間に 1~2 回を原則)を実施した。以下に、2001 年 6 月 25 日~2002 年 12 月 25 日の観測結果をとりまとめたものを示す。

### 3. パイプからの湧水状況と土砂流出特性

パイプの流出量と日平均流出土砂量の経時変化を示す図-2 より、パイプからの流出量は 14.25~2,885.67cc/sec と広範囲にわたって変化しているものの、日雨量が 40~50mm 以下では反応しないことがわかる。また、無降雨が継続する期間にもパイプからの流出は途絶えることなくみられることより、C 支溪には降雨とは無関係に崩壊地源頭部へと供給される地下水流すなわち基底流出量が存在することが示唆される。

一方、日平均流出土砂量は 0.02~49.78g/day を示し、パイプ流量の増減に対応した挙動を示して

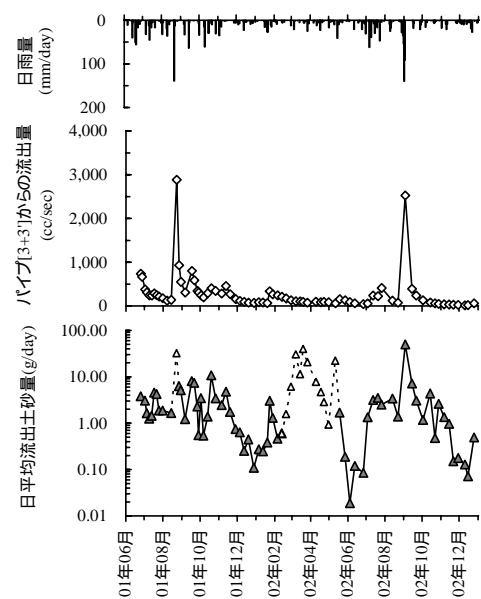


図-2 パイプからの流出量と流出土砂量の経時変化

いることがわかる（総流出土砂量：1,500.31g）。さらに、日平均流出量と日平均流出土砂量との関係を示す図-3より、パイプからの日平均流出土砂量は日平均流出量を用いて累乗近似可能となることが確認された。

既往流砂量式（浮遊砂量式：芦田・道上式、掃流砂量式：Brown式）によるパイプからの流出土砂量の再現計算結果（図-4）は、パイプからの流出量波形や流出土砂量（実測値）と類似した挙動を示すものの、浮遊砂量式（芦田・道上式）により得られた計算値は実測値より2～11オーダー小さく、逆に、掃流砂量式（Brown式）より得られた計算値は4～7オーダー大きく算定される結果となり、流出土砂量を忠実に再現するまでには至らなかった。図-4中には、後述する地下侵食土砂量推定式によるパイプからの流出土砂量の再現結果も併記した。

#### 4. パイプからの流出土砂量の再現

パイプからの流出量と流出土砂量を指標として崩壊発生の予知・予測を行うためには、これらを精度よく再現する（すなわち、予測モデルを用意する）必要がある。対象斜面に形成されたパイプからの流出量は、簡単な一段タンクモデルを用いることにより、再現可能であることが確認されている（平松ら、2002）。ここでは、前章（3. パイプからの湧水状況と土砂流出特性）で得られた結果を考慮し、パイプからの土砂流出実験を実施することにより、パイプ内で生じる土砂の移動現象や閉塞条件を加味した「地下侵食土砂量推定式」の提示を試みた。

##### 4.1 パイプからの土砂流出実験

実験装置は、給水用の定水位タンクと長さ76cm、幅7.2cm、高さ15cmの亚克力製水路により構成されている（図-5）。水路上流端に地下水面を形成し土層全面に給水することにより、パイプ流を発生させた。実験ケースは、水路勾配を5°、10°、15°と3段階変化させ、各水路勾配においてパイプ上流端のパイプ内水深を種々変化させた場合の計8ケースである（図-5）。

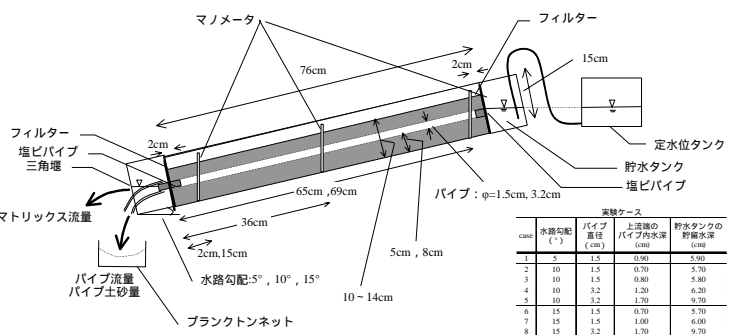


図-5 実験装置の概要

##### 4.2 地下侵食土砂量推定式の提示

土砂流出実験より得られた無次元掃流力 $[q_B/u_*]$ と無次元流砂量 $[q_B/u_*d]$ との関係を示

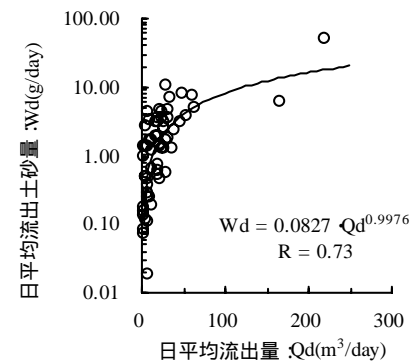


図-3 パイプからの流出量と

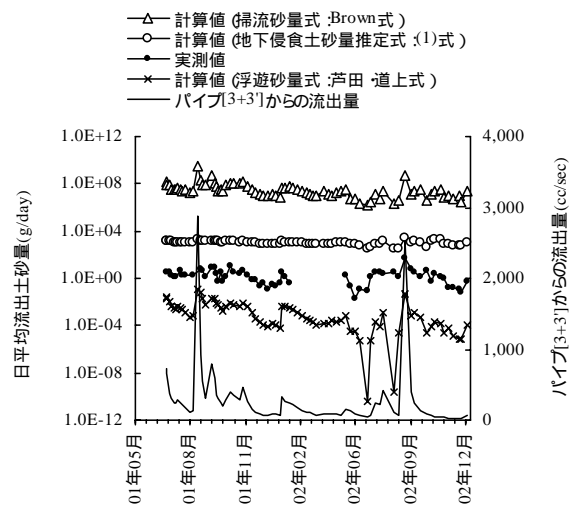


図-4 既往流砂量式によるパイプからの流出土砂量の再現

す図-6 より、無次元流砂量は (1) 式を用いて表されることがわかる。(1) 式は、流出量と流出土砂量とが累乗関係にあり式形が単純な Brown 式に基づいたものである。

$$\frac{q_B}{u_* d} = 4.91 \times 10^{-4} \cdot (\frac{u_*}{u_{*c}})^{0.16} \quad \dots\dots (1)$$

ここに、 $q_B$ : 単位幅あたりの流出土砂量 ( $m^3/sec/m$ )  
 $u_*$ : 摩擦速度 ( $m/sec$ )、 $d$ : 代表粒径 ( $m$ )、 $*$ : 無次元掃流力、 $u_{*c}$ : 無次元限界掃流力 (0.05) である。

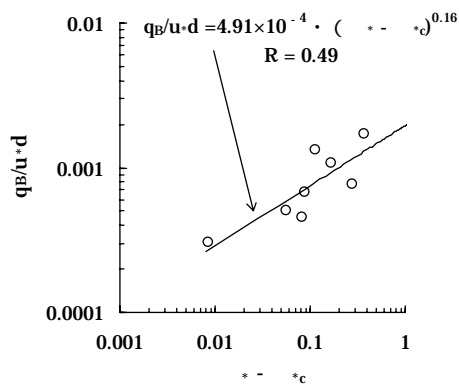


図-6 地下侵食土砂量推定式の提示

### 4.3 現地流域への適用

(1)式をC支渓崩壊地源頭部に形成されたパイプに適用し流出土砂量の再現計算を試みたところ、同式による計算値は実測値より1~4オーダー程度大きく算出されたものの、既往流砂量式による計算結果と比較して再現精度が3~4オーダー向上したことがわかる(図-4)。以上の結果、同式の予測精度を向上させる必要があるものの、同式を用いてパイプからの流出土砂量を予測し得る可能性が示唆された。

### 5. おわりに

本調査の結果、C支渓に形成されたパイプからの流出量は日雨量40~50mm/day以下の降雨に対しては反応しないこと、基底流出(降雨以外の供給水源)が存在することが推測された。また、パイプからは流出量逡減期にも土砂流出がみられ、パイプ内では常に地下侵食が生じていることが明らかとなった。特に、とびのす谷では、「礫間を流れる速い地下水流」の存在が地下侵食を促進し、崩壊発生に大きく関与したことが推測される。このような現象は、さらに他流域での検討が必要となるものの、剥離しやすいといった地質学的特性を有する結晶片岩地域では同様にみられると考えられる。

以上の事項と、本調査において、地下侵食土砂量推定式を用いてパイプ内で生じる地下侵食を定量的に評価(予測)できる可能性が示されたことを考えあわせると、同式の再現精度を向上させることによりパイプからの流出量と流出土砂量を指標として崩壊の危険度予測を行う可能性が示された。

今後は、パイプからの流出量および流出土砂量の計測を継続するとともに、パイプからの流出量と流出土砂量の予測手法を確立し、これらを指標とした土砂災害発生危険評価システムの構築を目指し土砂災害による被害の軽減に努めたい。

【補足資料】「パイプ」の説明 ~パイプに関する既往研究成果の整理~

定義: 山地源流域(土層中)に存在する大孔隙や連続した空洞、あるいは周囲の土層と比較して高透水性の部分を用いる。降雨流出・流出機構: 山地源流域で土層内に供給された雨水は、パイプを通して斜面外に流出している。特に、豪雨時には、パイプ流速が地表流に匹敵し、パイプからの流出量が斜面からの流出量の大部分(90%以上)を占める。パイプの存在と斜面安定・崩壊発生: パイプの排水能力を超えない場合には、パイプは良好な排水システムと機能し斜面安定に寄与する反面、パイプ内部で進行する地下侵食やパイプ内閉塞が崩壊発生を引き起こす場合もある。(図-7参照; 内田ら、1996)

【引用文献】平松晋也・前川美紀子・小山西信智(2002): 結晶片岩地域で発生した崩壊地の源頭部に形成されたパイプの変遷とパイプ流の降雨応答特性、地形 Vol.23, No.4, p.585-609 / 内田太郎・小杉賢一郎・大手伸人・水山高久(1996): パイプ流が斜面安定に与える影響、水文・水資源学会誌 Vol.9, No.4, p.330-339

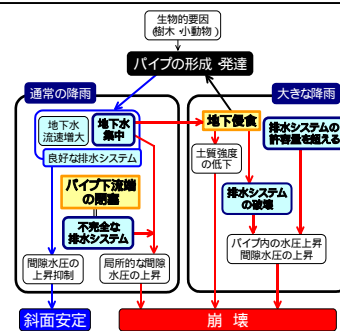


図-7 パイプ形成と斜面崩壊との関係のダイアグラム(内田ら、1996)