

ISSN 0386-5878

土木研究所資料第3398号

平成7年度

土木研究所講演会 講演集

平成8年2月2日

建設省土木研究所

Copyright © (1996) by P. W. R. I

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

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

平成7年度

土木研究所講演会 講演集

企画部企画課

要 旨

本資料は、「平成7年度土木研究所講演会」の講演内容をまとめたものである。この講演会は、土木研究所が実施している調査研究の成果や最近の土木技術に関する話題、動向などを各方面に紹介することを目的として、毎年1回開催している。

キーワード：土木研究所講演会、河道設計、ダム、建設副産物、環境、交通事故、橋梁、積算

目 次

新土木工事積算大系の整備状況について……………積算技術研究官 光家 康夫… 1

研究開発成果の活用

ーバイオフィォークスWTのその後……………下水道部長 京才 俊則… 19

建設環境問題とミティゲーション

ー日本と欧米の自然環境の相違から考えるー…環境部長 竹林 征三… 47

南関東直下地震について……………東京大学地震研究所教授 溝上 恵… 75

兵庫県南部地震においてなぜ震災の帯が発生したのか

ー震災縁辺地域の震災と地質環境ー……………地質官 江川 良武… 79

兵庫県南部地震と今後の地震防災研究……………地震防災部長 古賀 泰之…115

平成7年7月11日～12日梅雨前線豪雨による長野県・新潟県の土砂災害

……………砂防部長 青木 義光…149

新土木工事積算大系の整備状況について

積算技術研究官 光 家 康 夫

新土木工事積算大系の整備状況について

1. はじめに

近年、国際化、高齢化、価値観の多様化など、公共土木工事をとりまく社会・経済的な環境は大きく変化しており、建設事業における調査・計画・設計・積算・契約・施工管理・維持管理といった一連のプロセスを合理的なシステムとしていくための建設マネジメント技術の向上が重要な課題となっている。

このような情勢のもとで、積算技術研究センターでは、建設マネジメント技術に関する国内外の技法・制度の比較分析をはじめとして、新技術・新工法の評価・施工管理技術の研究など、総合的な建設マネジメント技術についての調査・研究を実施している。

このうち、積算・契約のプロセスについては、透明性・客観性・妥当性の向上に向けた制度の改革が急がれており、社会的にも注目を浴びているところである。

ここでは、この喫緊の課題となっている積算・契約について、実務レベルでの改善に主眼をおいた新土木工事積算大系の整備について、その概要と進捗状況について紹介する。

2. 新土木工事積算大系

2. 1 新土木工事積算大系整備の背景

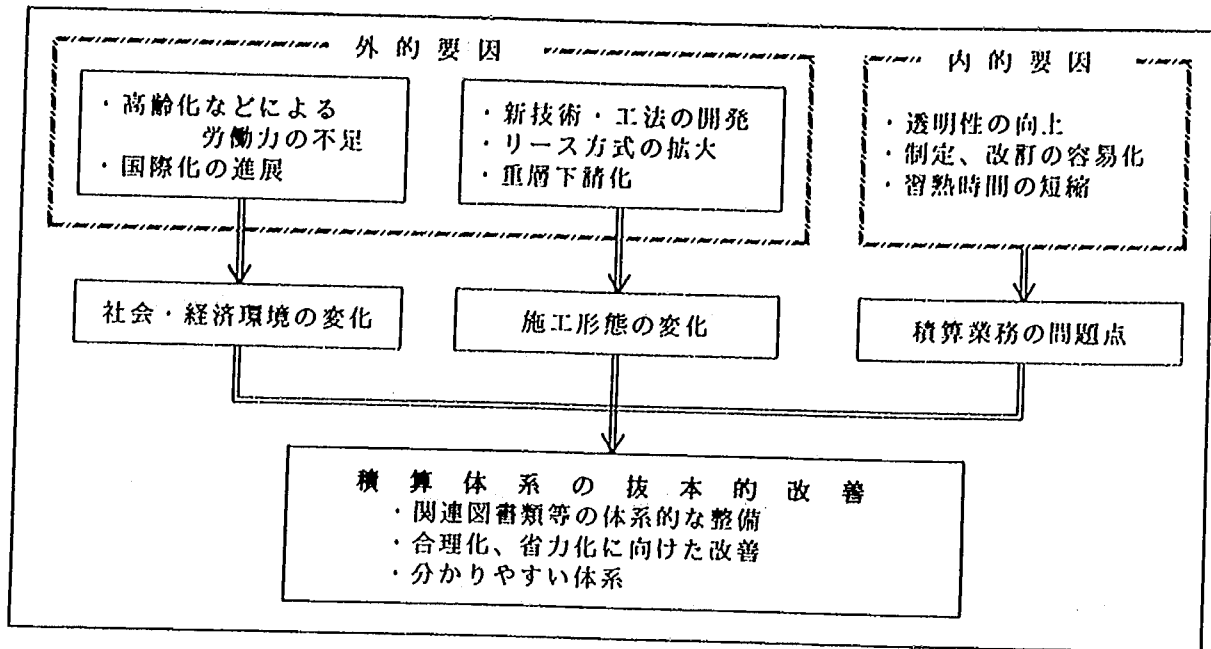
公共土木事業においては、施工環境の変化、重層下請け化の進展、リース方式による建設機械調達手段の拡大、新技術・工法の開発など、その実施状況が多岐に亘って大きく変化している現状にある。また、公共土木事業を取り巻く社会・経済環境についても高齢化社会の到来に伴う労働力不足、外国企業の参入拡大による国内建設市場の国際化の進展等が予測され、これらに備えた対応がますます重要となっている。

このような情勢のもと、建設事業の各執行段階と密接な関わりを有する契約・積算プロセスにおいても、社会環境の変化を充分視野に入れた新しい枠組みづくりが急がれている。

現在の積算体系は、これまでの長年にわたるノウハウの集大成ともいえるべきもので、非常に精緻なものとなっているが、反面、細分化・複雑化したためにわかりにくく、メンテナンスに時間を要しており、また、外部から見た場合、透明性・客観性・妥当性が十分に確保されていないとの指摘もある。

また、現在の積算体系における実務手法や関連図書類については、従来は、それぞれについて、必要に応じて個別に改善を図ってきたため、密接な関連を有しているにもかかわらず、個々の関連性という面では、必ずしも統一性・一貫性のとれたものとはなっていないのが実状である。

従って、現在の積算体系について、合理的・機動的、かつ、統一性・一貫性のある体系への見直しが必要となっている。このため、建設省では、新しい積算の枠組みづくりのため、新土木工事積算大系として体系的な整備に取り組むこととした。



図－2.1 契約・積算を取り巻く環境

2. 2 新土木工事積算大系の整備内容

新大系における具体的な整備項目とその概要については以下のとおりである。

(1) 工事工種の体系化

工事数量総括表及び工事設計書における工事内容の細分化方法を工種の分類毎に標準的に規定するとともに、使用する用語・項目毎の表示単位などの記述方法についても標準化を図り、契約内容の明確化などを図る。(詳細については3.を参照)

(2) 積算基準書の再編成

工事工種体系を考慮した内容・編成とするとともに、工事目的物毎の積算項目の組合せ、含まれる内容・条件項目の明確化などを図る。

(3) 土木工事共通仕様書の再編成

工事工種体系を考慮した内容・編成とするとともに、適用される範囲、関連基準との関係を明確に記述するなど、契約上の権限の明確化、契約条件の明確化及び事務処理手続きの明確化を行い、工事契約に関する問題の発生を未然に防止する。

(4) 数量算出要領の作成

工事工種体系を考慮した内容・編成とするとともに、工事目的物毎の数量算出項目・数量算出方法などの算出基準の統一を図る。

(5) 新土木工事積算システムの構築

工事工種体系に沿った入力順序とするとともに、対話形式とするなど操作性を向上したシステムで、さらに、データの自動チェック機能も内蔵するなど、積算業務の効率化を目指す新たな土木工事積算システムを構築する。

新大系整備項目について、それぞれの関連を示した概念図を図－2.2に示す。

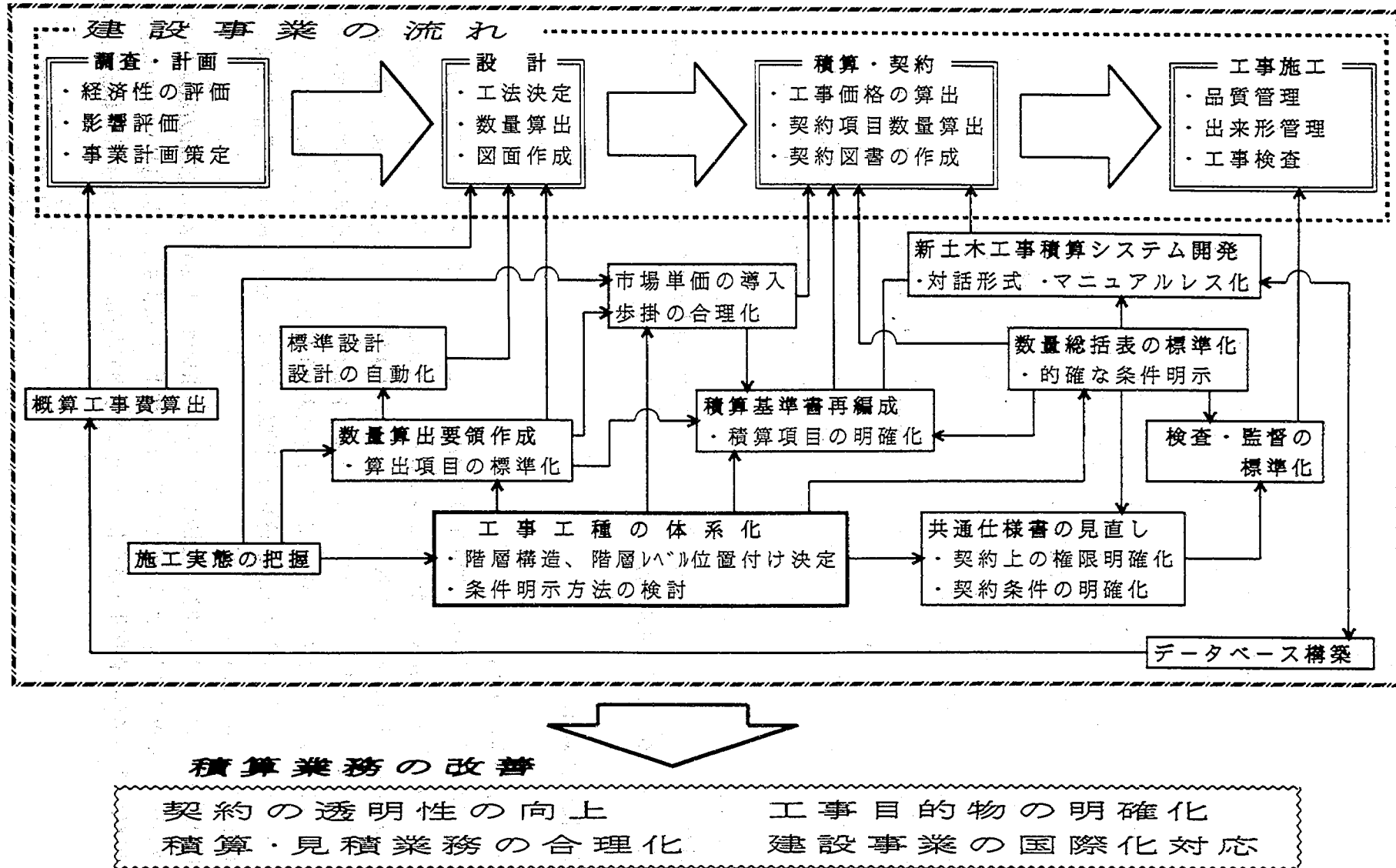


図-2.2 新土木工事積算大系概念図

2. 3 新土木工事積算大系の効果

新土木工事積算大系による具体的な改善目的と内容については以下のとおりである。

(1) 契約内容の明確化

- 1) 工事数量総括表など、入札・契約時に使用する図書類について各発注者間に存在する不統一をなくし、工事目的物等の契約内容の明確化を図るため記述方法の標準を定める。
- 2) 個々の工事目的物に適用される仕様を明確化するため、工事工種体系に対応した形での共通仕様書の再編成を行う。

(2) (発注者が行う) 積算、検収、設計変更等業務の簡素化

- 1) 積算業務を効率的、円滑に遂行できる環境を整えるため、工事工種体系の標準化、新土木工事積算システム、共通仕様書などの整備を行う。
- 2) 工事目的物を標準化することにより、積算チェック、概算工事費の算出等が容易になる。
- 3) 共通仕様書の再編成により、設計変更業務や検査業務の明確化、簡素化を図る。

(3) (受注者が行う) 見積等の容易化

発注者間の発注様式の統一が図られることにより、受注者側の見積業務等の容易化を図る。

(4) 公共工事の契約の透明性の確保

契約及び契約後の設計変更についてのルールを明確化することにより、発注者、受注者間の契約内容に対する共通認識が形成される。また、これにより、公共土木工事の契約の透明性の確保にもつながる。

(5) 国内建設市場の国際化への対応

「契約社会」で企業活動を行ってきている外国企業の国内建設市場への参入に備え、共通仕様書を含めた契約に関連する図書類の整備を行う。

3. 工事工種の体系化

3. 1 工事工種体系について

建設省をはじめとする各公共発注機関が工事を発注するにあたり、契約図書の一部となり当該工事の施工内容や施工項目毎の契約数量を示すものとして工事数量総括表がある。これは、入札時に入札参加者がこの項目により工事価格を見積もることとなり、工事施工における施工管理や検収などの単位・区分となる重要なものである。しかし、これまで土木工事が様々な条件下の現地での単品注文生産であるという特徴があることなどから、工事数量総括表の工種毎の構成や用語名称などの表示方法の標準が定められておらず、受注者側の見積業務を困難としたり、発注者側の積算業務も熟練を要するなど複雑化している現状にある。

工事工種の体系化とは、この工事数量総括表について、階層数や階層定義、細分化方法などの構成方法、用語名称や数量単位などの表示方法を工種毎に標準化・規格化することをいい、これにより契約内容の明確化、積算業務の合理化・容易化などを図るものである。工事工種体系化の構築方法を以下に示す。

(1) 工種体系の構築方法

- 1) 階層レベルは定義づけられた0から6までの7つで構成する。
- 2) 体系は、標準的な工種・項目で作成する。
- 3) 工事目的物毎に構成（クローズした構成）とする。
- 4) 体系は樹系図（ツリー）状に表示し、下位レベルに向かって細分化した構造とする。
- 5) 体系ツリー（樹系図状に表示された体系）の構成順序は、施工順序に従った構成を原則とする。

また、表－3.1に工事工種体系の各階層レベルの定義を、図－3.1、図－3.2に工事工種体系での工種の分類と、築堤護岸工事での具体的な体系ツリーの例を示す。

3.2 工事工種体系の整備状況

体系の構築は、図－3.1に示すように、体系化された工種を、工事区分で見ると28工種が基本的構築を終え、現在では、建設省の直轄工事が実施される道路、河川、砂防等の分野では特定の数工種を除き、ほとんどの部分が構築されたこととなる。

今後、工事工種体系の利用の拡大を図ることが必要であるが、現在、都道府県・政令指定市及び関係公団にも説明を行い、利用の拡大に努めるとともに、受注者側に対しては年度末に講習会の開催を予定している。

更に本年度より、公園、下水道について新たに作業に着手し、また、機械、電気設備関係についても、それぞれの所管部署において体系化の検討が実施されている。

表-3. 1 体系階層（レベル）の定義

レベル	名 称	内 容	補 足 説 明	備 考（レベル名称例）
レベル0	事業区分	予算制度上及び事業執行上の区分を中心とした区分	工事数量総括表には表示されない区分で、発注時の支出予算科目を示す。	河川改修 道路新設・改築
レベル1	工事区分	工事発注ロット及び受注者を考慮した「事業区分」（レベル0）の分割	一件の工事として通常、発注される単位を示す区分。	築堤・護岸 道路改良
レベル2	工 種	工事区分（レベル1）を構成する要素のうちで、一定の構造を持つ部位を施工するための一連作業の総称	複数の工事区分で共通的に行われる工種については、主体となる工事区分に従属し体系化する。（道路改良工事でも橋脚工が含まれる場合もあるが、橋梁下部工事で橋脚工を体系化する）	法面工 地盤改良工 橋台工
レベル3	種 別	体系全体の見通しをよくするためのワークパッケージ（レベル4）の集約	レベル2とレベル4をつなぐレベルで、工種によってはこのレベルを表示しない場合も可としている。 可能な限り、施工順序に応じた構成とする。	作業土工 場所打杭工
レベル4	細 別	工事を構成する基本的な単位目的物及び単位仮設物であって、単位とともに契約数量を表示するレベル	工種（レベル2）区分を単価算出、出来形・品質、工程等の面で管理可能な扱いやすい単位（取引単位）に分割したもの。検収対象となる「単位目的物」とならない「単位仮設物」の2種類がある。見積時はレベル4項目の数量で価格を算出することとなる。	コンクリート 鉄筋
レベル5	規 格	単位目的物（レベル4）を構成する材料等の客観的な材質・規格ならびに契約上明示する条件等	レベル4に付随して表示するレベル。 総括表では原則としてレベル4と同行に記述されるレベル。	24-8-25N （コンクリート規格）
レベル6	積算用条件	単位目的物及び単位仮設物（レベル4）の価格算定上の条件であって、契約上明示しないもの	工事数量総括表に表示されないレベル区分。 歩掛適用上の条件区分、契約上受注者の任意による施工手段の区分などを示す積算上必要となる区分。	コンクリートの打設方法 （ポンプ打設、人力打設など）

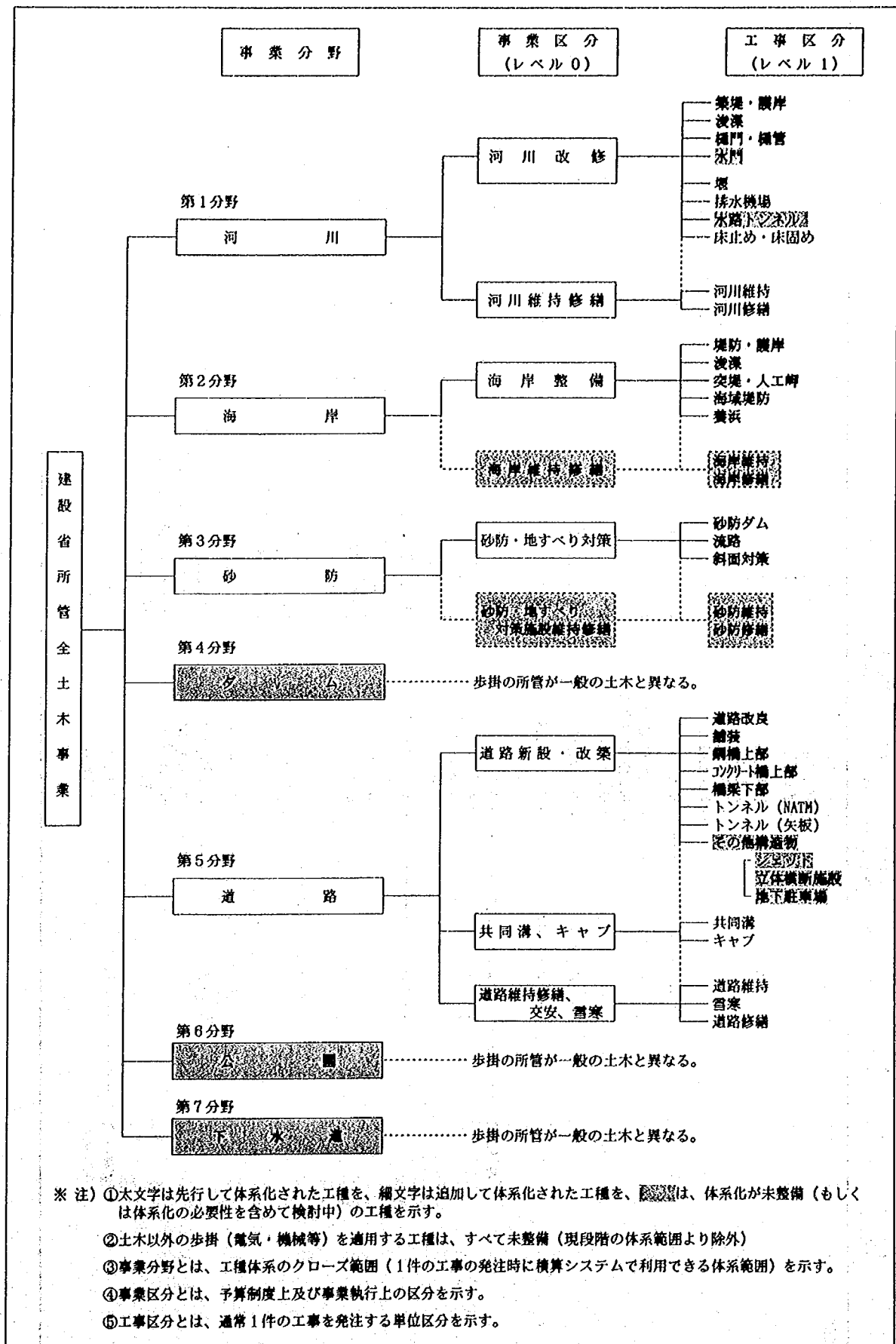


図-3.1 工事工種体系の分類

Ⅰ-Ⅰ 工事区分	Ⅰ-Ⅱ 橋梁名	Ⅰ-Ⅲ 工種	Ⅰ-Ⅳ 箇所名 工法名等	Ⅰ-Ⅴ 種別	Ⅰ-Ⅵ 箇所名 工法名等	Ⅰ-Ⅶ 細別	Ⅰ-Ⅷ 箇所名 工法名等	Ⅰ-Ⅸ 規格	積算用 単位	工事数量総 括表用単位	細別管理№	摘 要
築堤護岸		河川土工	掘削工			土砂掘削	【……】		m ³	m ³	M-011-07	任意の場合は、 Ⅰ-Ⅴの全体数 量をm3単位で 表示する
						軟岩掘削	【……】		m ³	m ³	M-011-10	
						硬岩掘削	【……】		m ³	m ³	M-011-04	
			盛土工			流用土盛土	【……】		m ³	式 or m ³	M-012-15	
						発生土盛土	【……】		m ³	式 or m ³	M-012-11	
						採取土盛土	【……】		m ³	式 or m ³	M-012-06	
						購入土盛土	【……】		m ³	式 or m ³	M-012-03	
			盛土補強工			安定シート	【材質、規格】		m ²	m ²	M-049-01	
			整形仕上げ工			法面整形(掘削部)	【土質】		m ²	m ²	M-014-02	
						法面整形(盛土部)	【……】		m ²	m ²	M-014-03	
						平場仕上げ	【……】		m ²	m ²	M-014-01	
			天端敷砂利工			天端敷砂利	【規格、敷厚】		m ²	m ²	M-061-05	
			作業残土処理工		(作業残土処理)		【……】		m ³	式 or m ³	M-013-04	
		地盤改良工	表層安定処理工			サトマット	【敷厚】		m ²	m ²	M-040-17	Ⅰ-Ⅳは表示せ ず、Ⅰ-Ⅴの単 位は式表示
						安定シート	【材質、規格】		m ²	m ²	M-049-01	
						表層混合処理	【添加材料】		m ²	m ²	M-040-08	
						置換	【置換材料】		m ³	m ³	M-040-05	
			ハ°パイロット工			既製コンクリート杭	【種別、径、長さ】		本	本	M-034-04	
						木杭	【材質、末口、長さ】		本	本	M-034-06	
						連結鉄筋	【規格】		t	t	M-063-11	
						安定シート	【材質、規格】		m ²	m ²	M-049-01	
						サトマット	【敷厚】		m ²	m ²	M-040-17	
			ハ°パイロット工			サトパイレン	【杭径、長さ】		本	本	M-040-15	
						袋詰式サトパイレン	【径、長さ】		本	本	M-040-04	
						ハ°パイレン	【種別、規格、長さ】		本	本	M-040-20	
			締固め改良工			サトコンパクションハ°パイレン	【径、長さ】		本	本	M-040-13	
			固結工			粉体噴射攪拌	【改良材料、径、打設長、杭長】		本	本	M-040-10	
						高圧噴射攪拌	【注入材料、注入長、土被長】		本	本	M-040-02	
						セメントミキサー攪拌	【改良材料、径、打設長】		本	本	M-040-19	
						生石灰ハ°パイレン	【径、長さ】		本	本	M-040-03	
		護岸基礎・ 矢板護岸工	作業土工			(床掘り)	【……】		m ³	式 or m ³	M-015-01	
						(埋戻し)	【……】		m ³	式 or m ³	M-015-09	

図-3. 2 工事工種体系におけるツリー例

4. 新土木工事積算システムの開発と利用

4. 1 新たなシステムの開発内容

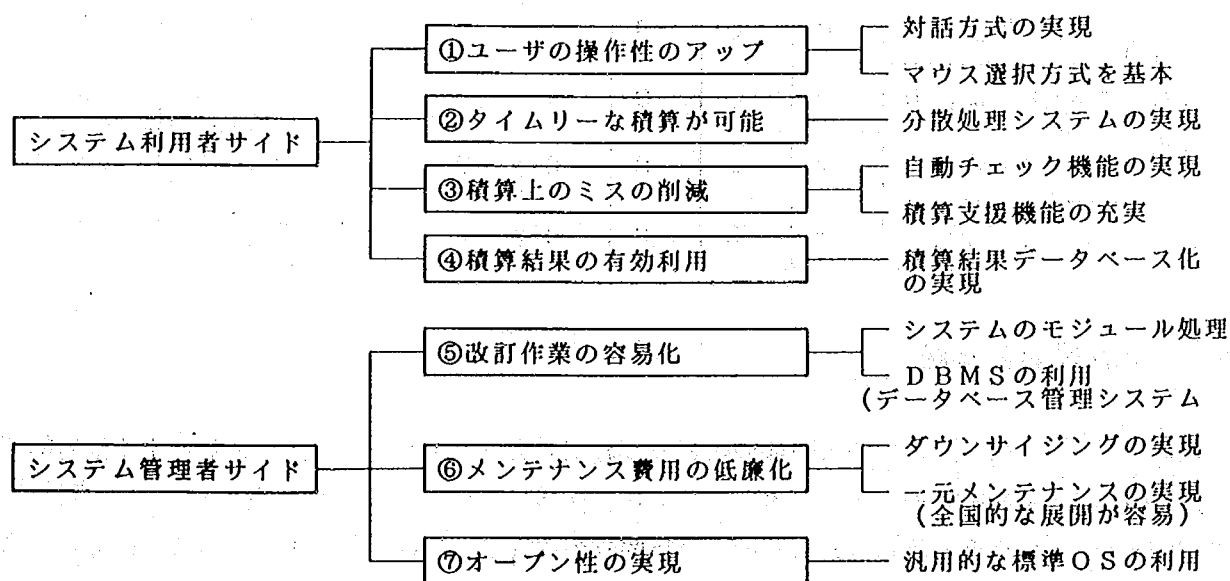
積算業務は、多くの労力と時間が費やされている。現在、建設省をはじめとする公共発注機関においては、大型汎用コンピューターを用いるなど積算業務の効率的な遂行に取り組んでいる。しかし、近年のコンピュータ技術の革新による、オープン化（異なる機種間での相互運用が可能となる）、ダウンサイジング化（小型機種の高性能化）などが急激に進展している。

また、工事工種の体系化をはじめとした積算の枠組みが大きく変わる中で、積算システムも設計思想の根本的な再検討が必要となってきた。加えて、公共発注機関が同一システムを共有することによりシステム開発・更新の合理化、費用の低減を図ることも望まれている。

このようなことから、新土木工事積算大系では、「新土木工事積算システム」と称した新たな積算システムを開発中である。

積算システム構築の検討を行う場合の視点としては、工事の積算など操作者の業務の合理化・省力化の観点で進めていくとともに、システム自体のメンテナンスなど管理者のサイドからの観点も重要である。

このため、新土木工事積算システムの開発内容の具体的な項目整理にあたっては、開発の目的毎にシステム利用者側、システム管理者側の視点で抽出した。それらの内容については表－4.1のとおりである。この内容を目標として、C/S（クライアント／サーバ）システムで開発を進めている。



図－4.1 新土木工事積算システムの開発内容

4. 2 新土木工事積算システムの試行・運用状況について

建設省では、平成6年度始めに工事工種体系の完了したパイロット先行2工種（表－4.1参照）、平成7年度上半期に、パイロット残6工種、平成7年度下半期（11月）には、追加8工種の新土木工事積算システムを完成し、それを使った積算を広範囲に試行しているところである。

表-4.1 工事工種体系16工種

パイロット先行2工種…①築堤・護岸、②橋梁下部	パイロット
パイロット残6工種 …③樋門・樋管、④海岸整備、⑤砂防・地すべり、 ⑥道路改良、⑦橋梁上部、⑧舗装	8工種
追加8工種 …⑨堰、⑩排水機場、⑪河川維持・修繕、⑫床止め床固め、 ⑬トンネル、⑭共同溝・キャブ、⑮道路修繕、⑯道路維持	

表-4.2 新土木工事積算システムによる上半期発注件数について（実績件数）

項目	地建名	東北	関東	北陸	中部	近畿	中国	四国	九州	合 計
パイ ロ ッ ト 8 工 種 別 発 注 件 数	①橋梁下部	2	1	0	1	0	2	1	1	8
	②橋梁上部	2	0	1	1	0	0	2	5	11
	③舗装工事	0	0	0	2	0	1	0	2	5
	④道路改良	6	0	0	1	0	4	1	4	16
	⑤築堤・護岸	4	2	1	2	0	4	1	4	18
	⑥海岸整備	0	0	0	0	0	0	0	1	1
	⑦砂防・地滑り	0	0	0	4	0	1	2	3	10
	⑧樋門・樋管	2	0	0	0	0	1	0	4	7
発注件数(合計)		16	3	2	11	0	13	7	24	76

5. 共通仕様書の整備

仕様書は、工事における契約書の補完内容及び施工の実施にあたり発注者が必要とする技術的要件を示すもので、契約図書の一部となるものである。仕様書に示される技術的要件としては、材料の品質・規格、仕上げ程度の許容誤差などの工事目的物の内容や、工程、施工手順、あるいは守るべき施工方法などがあげられる。

建設省における共通仕様書については、「土木工事共通仕様書」として1968年12月に制定され、幾多の改訂を経て現在に至っている。

一般的にいて、わが国の建設業に携わる者は、契約書類に深い関心を示さず、技術的な面にのみとらわれがちであるのに対して、欧米では、信頼できる唯一のものが契約書類であり、規定のない事項は基本的には、契約上拘束されないという認識といわれている。このため、工事請負契約書や仕様書は、欧米ではさまざまな事態をカバーした詳細な内容で作成されているのに対して、わが国では通

常想定される事態に対する規定が中心であり、例外的な事態に対しては当事者間の協議が重要となっているのが実状であった。

一方、仕様書においても工事工種体系と明確な関係を持たせることで、契約内容の明確化につながると考えられる。

このようなことから、建設省では、土木工事共通仕様書を見直しを実施している。

具体的には、平成7年度の改訂として、主として総則について公共工事標準請負契約約款の改正による見直しを行い、また、新大系の一環として工事工種体系との関係の明確化のための改善を進めた。

5. 1 共通仕様書と工事工種体系との整合の必要性

仕様書は発注者・受注者双方で、その内容が十分認識されることが良好な工事目的物の完成につながると考えられるため、土木工事の施工形態に配慮した、施工方法、手順などが理解しやすいものであることが重要である。土木をはじめとする建設工事では、専門工事業化が進んでおり、特定の工種や工事の特定工事目的物について施工する場合が多いため、仕様書を工種別・作業別に構成することで、適用される仕様が理解しやすくなるとともに、施工環境の変化、新たな施工技術の普及による仕様書内容の見直しも容易になると考えられる。

一方、工事工種体系と新たなシステムが整備された工種では、工事数量総括表はこの体系に基づいて作成されることとなり、この結果、積算・見積業務、施工管理・検収などの単位・区分が工事工種体系を基本とすることとなる。

このため、共通仕様書の内容を工事工種体系のレベルや順序に合わせることで、工事目的物毎の施工内容や満たすべき規定の記載箇所、仕様が明確となり、契約内容が明確化される。

5. 2 工事工種の体系に沿った構成

新たな共通仕様書では、将来的な工事工種体系の拡大を視野にいて、従来の章・節・条からなる構成に編を追加した、編・章・節・条の4つで構成し、それぞれ工事工種体系のレベル・用語名称・ツリーの構成順序に対応させることにより、工事工種体系との一貫性のある関係で構成することとした。工事工種体系と関連づけた共通仕様書の全体構成の考え方は表-5.1のとおり。

表-5.2に、本方針で抜本的に見直した平成7年度の土木工事共通仕様書の全体構成（工事工種体系のパイロット工種に対応）を示す。なお、工事工種体系の拡大に合わせて、平成8年度についても上記の考え方に従って改訂される予定である。

表－5.1 全体構成の考え方

- (1) 仕様書の記載範囲は、工事工種体系の完了工種あるいは現行仕様書に記載されている工種とし、新たに「編」構成を追加し、編・章・節・条の構成とする。
- (2) 工事工種体系化が完了した工種は、現行仕様書に記載のない工種も含めて、原則として工事工種体系に合わせた名称・順序で構成する。
- (3) 工事工種体系のうち共通的な工種は重複をさけるため、共通編としてとりまとめる。共通編は、工事工種体系の部分的な抽出を基本とした構成とする。
- (4) 現行仕様書にあるが、工事工種体系が未整備の工種は、当面（工種体系が整備されるまでの間は）適用などの構成のみの変更とし、基本的には現行仕様書の構成とする。
- (5) 各工事に共通的に使用される工種を第1編 共通編とし、以下の内容で構成するものとする。なお、共通編内の構成は、工事工種体系を念頭に置いたものを基本とする。
 1. 現行仕様書での共通的内容（総則を含む）
 2. 共通的な材料に関する事項
 3. 工事工種体系での共通の工種
 4. 各編の全てに重複して用いられる施工工種（レベル3）
- (6) 工種体系レベルと仕様書構成との関係は下表のとおりとする。

仕様書の構成	仕様書付番方法	工種体系上の区分	具 体 例
編	第1編	事業分野	河川、砂防、海岸、ダム、道路
章	第1章	工事区分（レベル1）	築堤護岸、砂防ダム、道路改良
節	第1節	工 種（レベル2）	河川土工、護岸法覆工、擁壁工
条	1－1－1*	種 別（レベル3）	掘削工、植生工、場所打杭工

※、条の付番方法は、現行の「第000条」から「0-Δ-□」に変更し、章・節番号との関係を明確化

表-5.2 仕様書の全体構成（工事工種体系のパイロット工種に対応）

編	章 構 成	備 考（従来（6年度）仕様書対応章等）
第1編 共通編	第1章 総則	第1章 総則
	第2章 材料	第2章 材料
	第3章 一般施工	第3章 一般施工
	第4章 土工	第9章 土工
	第5章 無筋、鉄筋コンクリート	第4章 無筋、鉄筋コンクリート
第2編 河川編	第1章 築堤護岸	第15章 護岸・水制工
	第2章 浚渫（川）	
	第3章 樋門・樋管	第16章 水門、樋門及び樋管
	第4章 水門	
第3編 海岸編	第1章 堤防・護岸	第23章 海岸工
	第2章 突堤・人工岬	
	第3章 海域堤防	
	第4章 浚渫（海）	
	第5章 養浜	
第4編 砂防編	第1章 砂防ダム	第17章 砂防ダム
	第2章 流路	第18章 山腹砂防
	第3章 斜面对策	第19章 地すべり防止工
第5編 ダム編	第1章 コンクリートダム	第20章 コンクリートダム
	第2章 フィルダム	第21章 フィルダム
	第3章 基礎グラウチング	第22章 基礎グラウチング
第6編 道路編	第1章 道路改良	☆遮音壁等を新規作成
	第2章 舗装	第10章 路盤工 第11章 セメントコンクリート舗装 第12章 アスファルト基層工 第14章 道路付属構造物
	第3章 橋梁下部	☆
	第4章 鋼橋上部	第7章 鋼橋 第8章 塗装（一部含まず）
	第5章 コンクリート橋上部	第6章 PC橋
	第6章 トンネル	第5章 トンネル
	第7章 道路維持	第13章 道路維持（交通安全施設を含む）

※ ①  は、平成7年度より工事工種体系に沿った構成とする範囲。

② 上記以外は、工事工種体系の進捗に合わせて順次整備していくこととしている。

③ ☆は従来仕様書になく、パイロット工種に含まれる工種

表-5.3 仕様書の標準記載方法

第◎編 △△編
第○章 レベル1

第1節 適用

1. 本章は、△△工事におけるレベル2、……、レベル2その他これらに類する工種について適用するものとする。
2. レベル2は、第1編第○章第△節レベル2の規定によるものとする。
3. 本章に特に定めのない事項については、第1編共通編の規定によるものとする。
4. 請負者は、○○の施工に際し、△△の対策を講じなければならない。
5. ……

第2節 適用すべき諸基準

請負者は、設計図書において特に定めのない事項については、下記の基準類及びその他の関係基準等によらなければならない。

○○学会 △△示方書（平成○年△月）
建設省 ××△指針（昭和△△年□□月）
…… ……

第△節 レベル2

○-△-1 一般事項

1. 本節は、レベル2としてレベル3……、レベル3その他これらに類する工種について定めるものとする。
2. 請負者は、○○の施工については、施工前に△△を行わなければならない。
3. 請負者は、レベル2の施工にあたって、△△示方書第×章○○工の規定によらなければならない。これ以外の施工方法による場合は、施工前に監督職員の承諾を得なければならない。
4. 路床とは盛土部においては、盛土仕上り面下、切土部においては掘削仕上り面下1m以内の部分を用いるものとする。
5. ……

(○-△-2 材料)

1. ××は、次の規格に適合したものまたは、これと同等以上の品質を有するものでなければならない。

JIS A …… (……)
JIS G …… (……)

2. 請負者は、××の施工に使用する材料については、施工前に監督職員に品質証明書を出し、承諾を得なければならない。

3. ……

○-△-3 レベル3

1. 請負者は、レベル4の施工については、××を行わなければならない。
2. レベル4の施工については、第◎編○-△-□ ××工の規定によるものとする。
3. 請負者は、レベル4の施工については、△△示方書第×章○○工の規定によらなければならない。これ以外の施工方法による場合は、施工前に監督職員の承諾を得なければならない。
4. 請負者は、○○にあたり……が140kg/cm²(13.7N/mm²)以上としなければならない。
5. 請負者は、○○にあたっては、××しなければならない。
6. ……

○-△-4 レベル3

1. レベル3の施工については、第◎編○-△-□ ××工の規定によるものとする。
2. ……

6. 数量算出要領の整備について

従来、建設省では、数量算出要領を各地方建設建設局ごとに定めていた。今後は工事工種の体系化及び新土木工事積算システムの構築に伴い、工事工種の体系に整合した形で数量を算出する必要性が生じてくる。これらを背景として建設省では、まず、①全国的に標準化を図り、その後、②工事工種体系に対応した編成・内容とするよう段階的な整備を進めることにしている。

6. 1 標準化の基本的考え方

段階的整備の一段目である「標準化」における基本的考え方は次のとおりである。

(1) 対象工種

標準化の対象工種は、各地方建設局の数量算出要領を基に代表的な15工種（表－6.1）とし、これをさらに67工種に細分類した。細分類にあたっては、積算基準及び工事工種の体系を参考にした。

表－6.1 標準化対象工種

第1編 共通編 1章 基本事項 2章 土工 3章 無筋・鉄筋コンクリート工 4章 法覆工 5章 基礎工 6章 構造物取壊し工 7章 仮設工 第2編 河川・砂防編 1章 護岸根固め工 2章 砂防工	第3編 道路編 1章 舗装工 2章 付属施設工 3章 鋼橋上部工 4章 コンクリート橋上部工 5章 トンネル工 6章 道路維持修繕工 7章 共同溝工
---	--

(2) 構成

細分類した各工種ごとに表－6.2のような見出しを設けることにより算出項目、算出方法等が明確になるような構成とした。例として「第1編共通編、7章仮設工、1. 土留・仮締切工」を図－6.1に示す。

表－6.2 構成

1. 適用	----- 適用範囲を示す。
2. 数量算出項目	---- 数量を算出する必要のある項目を示す。
3. 区分	----- 数量算出項目の数量を区分して算出する必要がある場合 区分の種類・方法を示す。
4. 数量算出方法	---- 数量算出項目毎の算出方法や算出上の留意事項等を示す

(3) 内容

従来の積算基準類、各地方建設局の数量算出要領に記載されている内容をもとに検討し、取りまとめを行った。その具体例としては次のようなものがある。

【例】「第1編共通編、1章基本事項」

……構造物中の容積や面積が僅少な鉄筋・水抜き穴等で、その構造物の数量から控除しなくても良いものの標準化等。

「第1編共通編、2章土工」……床掘りの余裕幅の標準化等。

また、標準化の段階ではあるが、用語についてはなるべく工事工種体系に対応させることとした。

図-6.1 構成例

7章 仮設工

I. 土留・仮締切工

1. 適用

土留（親杭横矢板工法、鋼矢板工法）、仮締切（一重締切、二重締切）、路面覆工等の仮設工に適用する。

2. 矢板工

(1) 数量算出項目

矢板工の延長、枚数、重量を区分ごとに算出する。

(2) 区分

区分は、施工箇所、規格、矢板長とする。

1) 数量算出項目及び区分一覧表

区 分 項 目	施 工 箇 所	規 格	矢 板 長 (H形鋼長)	単 位	数 量	備 考
延 長	○	○	○	m		
枚 数 (本 数)				枚 (本)		
重 量				t		

注) 1. 継矢板（杭）を施工する場合は、備考欄に明記する。

2. () 書きは、H形鋼に適用する。

2) 施工箇所区分

施工箇所（ブロック）ごとに区分して算出する。

3) 規格および矢板長（H形鋼長）区分

矢板（H形鋼）の材質、型式、1枚当り長さ（1本当り長さ）ごとに区分し算出する。

なお、親杭（中間杭）に使用するH形鋼は、杭用（生材）を標準とする。

(3) 数量算出方法

数量の算出は、「1章基本事項」によるほか下記の方法によるものとする。

1) 枚数

施工枚数は、鋼矢板の中心線の長さを1枚当りの幅で除した値とし、小数以下の端数は切上げて整数にまとめるものとする。

2) 重量

施工重量は、次式により算出するものとする。

施工重量 = 矢板長(H形鋼長) × 単位重量 × 施工枚数(本数)

6. 2 今後の作業方針

設計・積算・契約・施工管理といった業務の流れを効率的に遂行するとともに、より一層の契約内容の明確化を図る必要がある。このため、数量算出要領を工事工種体系に対応した編成・内容とするための検討及び作業を進めている。その際の基本方針は次のとおりである。

(1) 日常的に利用しやすいものとする。

数量算出要領は日常の業務で必要なものであり、その内容、量ともに利用しやすいものにする。

使用頻度が高く、歩掛等が整備されており、数量算出項目等が明確になっている工種から、積算基準との整合を図りつつ、段階的に整備して、内容の充実を図る。

(2) 工事工種体系の各レベルの位置付けを明確にする。

工事工種体系に対応した編成・内容とすることにより、契約対象となる工事目的物の明確化と同時に積算関連図書との連携により、積算者のみならず、設計者、工事請負者にも利用しやすくし、一連の業務の効率化を図る。

(3) 設計から積算までデータの流れが円滑なものになるようにする。

公共土木事業の設計・積算・契約・施工管理といった一連のプロセスにおいて、設計データから新土木工事積算システムでのデータ入力まで、円滑なデータの流れが確保できるものにする。

(4) 積算関連図書との整合を図る。

数量算出要領を含めた各積算関連図書、即ち、仕様書・数量総括表・積算基準書・積算体系基準書・施工管理基準等の整合を図るとともに各積算に関連する図書類の役割分担・関連を明確にする。

7. まとめ

これまでに、新大系の概要について述べてきたが、これを構成する実施項目毎の今後の内容について概略以下に述べることとする。

工事工種の体系化については、建設省所管の全土木工事の工種体系を早期に構築し、官民共通の認識と成り得るように努力していく必要がある。また、施工状況の変化や歩掛改訂などに対応した体系の定期的なメンテナンスを行い、良好な工種体系の維持発展に努めていく必要がある。

また、仕様書については、7年度改訂により、工事工種体系のパイロット工種に対応するとともに、公共工事標準請負契約約款の改正による見直しを図り、今年度下半期より実際の工事に適用している。今後は、残工種について体系に準拠した構成にしていくと同時に、記載内容の充実を図り、国際社会にふさわしいものとして整備していく必要がある。

数量算出要領の作成については、平成6年度までに標準化した数量算出要領については今年度より適用が開始されたが、要領が具備すべき要件、項目、内容などを検討して、工事工種体系に対応した新たな要領のケーススタディを行い、8年度末までに積算業務等がより合理的かつ効率的に遂行できるような新数量算出要領の完成をめざしている。

新土木工事積算システムについては、随時利用の拡大を図り、現行の積算システムから新積算システムに速やかに移行すべく、試行の拡大を行っている。今後、その運用状況が軌道に乗った時点で、地方自治体あるいは受注者等への利用の拡大の検討が行われると予想される。

平成3年度から着手した新土木積算大系の作業も丸5年を経ることとなり、工事工種の体系化を始

めとした様々な具体的成果があがるようになってきている。今後とも、これらの成果を更に使いやすいものへと改良し、積算業務の改善に努力していきたいと考えているので、関係各位の更なる御理解、御協力をお願いするところである。

研究開発成果の活用
ーバイオフィォーカスWTのその後ー

下水道部長 京 才 俊 則

研究開発成果の活用ーバイオフィーカスWTのその後ー

1. はじめに

本論文は、終了して6年が過ぎようとしているバイオフィーカスWT（文末、参考1）で開発された新下水処理技術は、その後、公共事業にどのように生かされてきているかについて述べたものである。

これまでに実用化された開発技術は、次の5つである。

- 包括固定化担体を用いた硝化促進型循環変法……………生物学的窒素除去法の省面積化、省エネルギー化
- プラスチックメディアを用いたろ過式前段固液分離法…1次処理の省面積化、除去率の向上
- 結合固定化担体を用いた流動床型生物処理法……………2次処理の省面積化
- 浮上分離による前段固液分離法……………1次処理の省面積化
- 移動床式好気性ろ床法……………2次処理の省エネルギー化、省面積化、維持管理の容易化

5つの開発技術は、次の8公共団体によって採用されている。

- 岩手県陸前高田市……………硝化促進型循環変法
- 福島県西郷村……………ろ過式前段固液分離法
- 栃木県高根沢町……………流動床型生物処理法
- 茨城県水戸市……………浮上分離による前段固液分離法
- 三重県二見町……………移動床式好気性ろ床法
- 日本下水道事業団大阪北東エースセンター……………硝化促進法
- 福岡県宗像市……………硝化促進型循環変法
- 宮崎県都城市……………ろ過式前段固液分離法、流動床型生物処理法

2. 公共事業において実用化された開発技術

2-1 包括固定化担体を用いた硝化促進型循環変法ー生物学的窒素除去の効率化ー

a. 開発技術の概要

湖沼、海域等の閉鎖性水域の富栄養化防止のために、その原因物質である窒素、リンの放流負荷を削減する必要がある下水処理場は、今後増加するものと考えられている。下水中の窒素除去技術は、初期には物理化学的な手法が開発されたが、現在では活性汚泥循環変法（文末、参考2）と呼ばれる生物学的な方法が主流となっている。

活性汚泥循環変法は既に多くの実績があり、確実に安定した窒素除去法と評価されるが、特に冬期に増殖速度の遅い硝化細菌を十分に保持するため、硝化槽の滞留時間を長くしなくてはならない欠点がある。このため、標準活性汚泥法の2倍程度の生物反応槽の容量が必要になる。

本技術開発は、微生物の固定化法として包括法を用いて、硝化槽内の硝化細菌の濃度を高めることにより、上記の欠点の解決を図ったものである。微生物の固定化とは生物反応槽に微生物を保持し、流出させないことである。包括法とは高分子材料で作られるゲルの微細な格子構造内に微生物を包括する方法である。

開発された窒素除去法のフローシートを図2-1-1(b)に示す。硝化細菌を含む活性汚泥をポリエチレングリコールで包括固定した3mm角のサイコロ状のペレット（硝化ペレット）を、ペレット流出防止のためのウェッジワイヤースクリーンで仕切られた硝化槽に投入していることが、従来の活性汚泥循環変法との主な相違点である。硝化ペレットの投入により、硝化槽の硝化細菌濃度は格段に高まるため、硝化時間が短縮される。

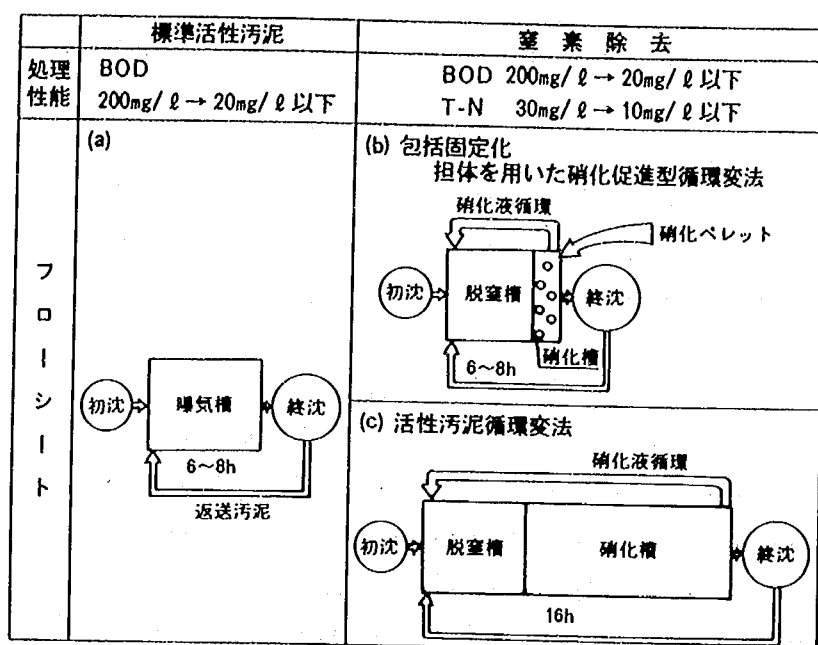


図2-1-1 標準活性汚泥法、開発システム、活性汚泥循環変法の比較

b. 開発技術の特徴

固定化材料 硝化細菌を含む活性汚泥を包括固定する材料として、5種類の高分子材料を比較検討した結果、アンモニア性窒素の透過性、微生物分解性、強度の点からポリエチレングリコールを最適材料として選定した。

ペレット製造法 滴下重合法とシート重合法を開発した。ペレットの大量生産にはシート重合法が適している。シート重合法とは、ポリエチレングリコールを主体とした薬品と活性汚泥の混合物を、緩速で移動するベルト上に注入しシート状に成形した後、ベルト末端のカッターによって、蕎麦状に、さらにサイコロ状に切断する方法である。

生物反応槽の滞留時間 通常16時間程度必要な生物反応槽の滞留時間を6～8時間と、約半分にすることができる。これは、冬期の活性汚泥中の硝化細菌の能力低下を、ペレット中の硝化細菌が補完するためである（図2-1-2）。さらに、脱窒速度も高まることも、滞留時間の短縮に貢献している。標準活性汚泥法（図2-1-1(a)）の生物反応槽の滞留時間は6～8時間程度であるので、活性汚泥法の既存施設を窒素除去施設に改造することも可能となった。

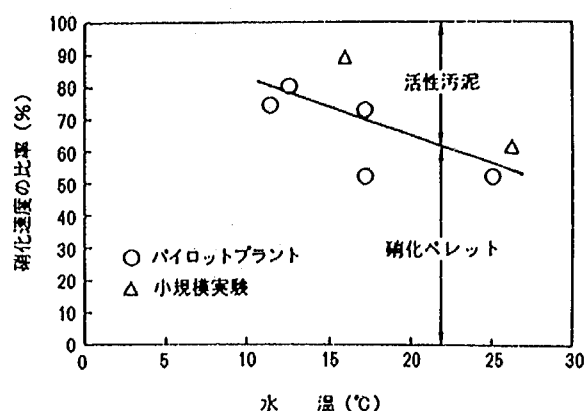


図 2 - 1 - 2 活性汚泥と硝化ペレットの硝化性能の分担比率

硝化液の循環 従来、ポンプで行っていた硝化液の循環を、エアリフトによる水位差で行うようにし、ポンプに必要な電力費を削減している。

c. バイオフィーカスWT終了後の発展

本開発は、土木研究所からの委託研究を受けた日本下水道事業団と、日立プラント建設との共同研究として実施されたが、バイオフィーカスWT終了後には以下のような発展があった。

日本下水道事業団と日立プラント建設とによる共同研究（平成2年度～平成6年度） 特徴、設計・維持管理上の留意事項を日本下水道事業団の技術評価報告書「包括固定化担体を用いた硝化促進型循環変法「ペガサス」の評価に関する報告書（平成5年3月）」としてまとめた。さらに、除去効率の向上のため、多段式の開発、及びりん除去を目的に生物反応槽にアルミニウム塩を添加する開発を行った。

東京都下水道局と日立プラント建設とによる共同研究（平成3年度～平成6年度） 省面積化のため、生物反応槽の水深を従来の2倍程度とする、深層生物反応槽への本開発の適用を検討した。

2-2 プラスチックメディアを用いたろ過式前段固液分離法－1次処理の効率化－

a. 開発技術の概要

下水処理はまず、下水中の比較的大きな固形物を最初沈殿池で沈殿除去して、続く生物反応槽の負担を軽減する（1次処理）。本開発は1次処理における沈殿の代わりに、ろ過で固形物を除去して、固形物除去率の向上、高速化による省面積化を図ったものである。

開発された装置の概要を図2-2-1に示す。流入水は沈殿ゾーンに入り、粗い固形物が除去された後に、ろ材の充填ゾーンを上向流で通過し、さらに細かい固形物が除去される。従来のろ過池では砂など、細かい粒子がろ材として用いられているが、本装置では、上記の目的を達成するために比重1.0以下の小型円筒状のプラスチックを用い、高い空隙率としている。沈殿ゾーンに溜まった固形物は適宜引き抜かれる。充填ゾーンに捕捉された固形物量が一定以上になると、下部より空気を吹き込み、攪拌した後に水を引き抜いて洗浄する。

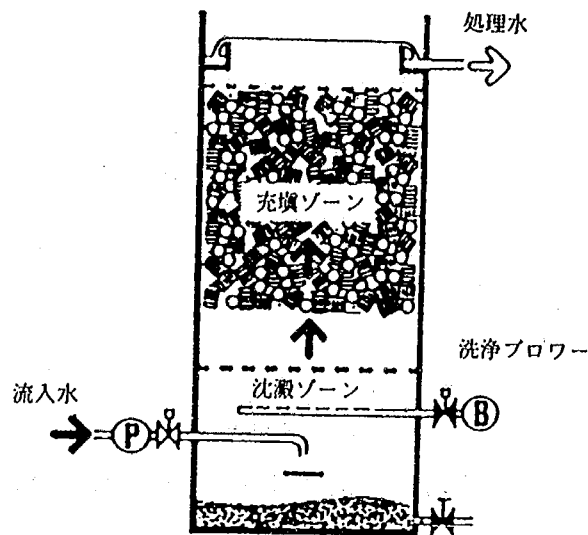


図 2 - 2 - 1 ろ過式前段個液分離装置

b. 開発技術の特徴

ろ材 大きさ、形状、比重等について種々の材料を比較し、径10-20mm、比重0.9-1.0の電線管を輪切りにしたような小型円筒状のプラスチックを選定した。

ろ材充填高さ 1.7m以上

ろ過速度 120-140m/日で、沈殿法の30-50m/日に比べ3-5倍大きくとることができる。

固形物除去率 流入下水中の固形物の80%程度以上除去でき、沈殿法に比べ20-30%向上する。これは沈殿法より細かい固形物まで除去できるためである(図2-2-2)。

洗浄間隔 ろ過は4日程度継続可能であるが、捕捉された固形物が溶解することを防ぐため、2-3日以下に1回の洗浄がよい。

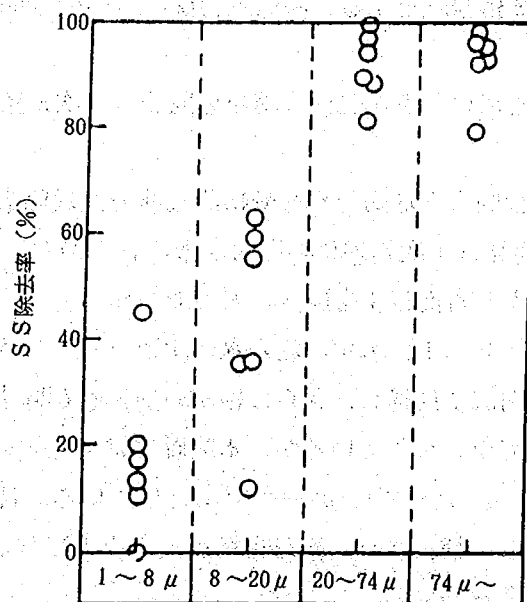


図 2 - 2 - 2 固形物の粒径と除去率

c. バイオフィォーカスWT終了後の発展

本開発は土木研究所と西原環境衛生研究所の共同研究として実施されたが、バイオフィォーカスWT終了後には以下のような発展があった。

下水道新技術推進機構と名古屋市下水道局との共同研究（平成4年度より） ここで開発された固液分離装置と好気性ろ床（文末、参考3）を組み合わせた「省面積型下水処理新技術に関する調査研究」が、既存施設の更新時に処理施設の省面積化を図り、処理場用地の有効利用を図ることを目的に実施されている。

2-3 結合固定化担体を用いた流動床型生物処理法-2次処理の効率化-

a. 開発技術の概要

現在、我が国で最も広く用いられている下水処理法である活性汚泥法には、生物反応槽内の微生物濃度が低いため処理施設が大きくなる、負荷などの条件によっては沈降性の悪い活性汚泥が発生し、後段の最終沈殿池における固液分離が悪化し、処理水質が低下する、維持管理が比較的難しいなどの課題がある。本開発は生物反応槽内に固定化担体を投入するとともに、最終沈殿池に代えてろ過池で固液分離をすることによって、これらの活性汚泥法の課題を解決しようとしたものである。

開発されたシステムのフローシートを図2-3-1に示す。微生物反応槽（バイオリアクター）内部には固定化担体が投入されている。固定化担体は底部の全面曝気のディフューザからの気泡によって流動するとともに、その表面に下水中の有機物等を分解する好気性微生物が付着する。反応槽の流出部に設けられたスクリーンによって、担体は反応槽内に留まる。汚泥返送がないため反応槽流出水中の固形物濃度は活性汚泥法と比較して低いので、固液分離は沈殿ではなく、ろ過で可能となる。

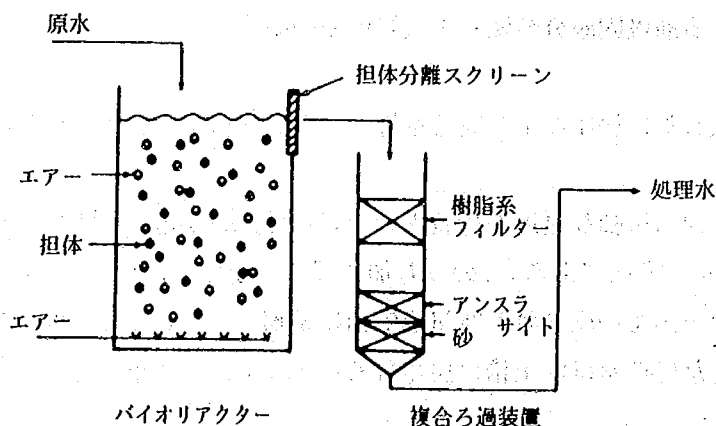


図2-3-1 結合固定化担体を用いた流動床型生物処理システム

b. 開発技術の特徴

固定化担体 生分解性、物理強度、比重、比表面積等の観点からポリプロピレンを基材とした、比重1.01、外径4mm、内径3mm、長さ5mmの中空円筒状の固定化担体を選定した。また担体投入率は40%とした。

ろ過池 固形物捕捉量を増大するため、不織布、アンスラサイト、砂からなるろ材構成の下向流式の複合ろ過池とした。

省面積性 活性汚泥法に比べ反応槽内の微生物濃度が高く、必要面積が削減される（図 2 - 3 - 2）。

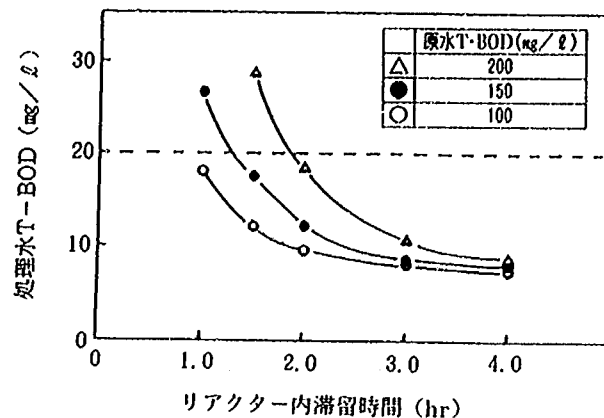


図 2 - 3 - 2 滞留時間と処理水BODのシミュレーション結果

c. バイオフィォーカスWT終了後の発展

本開発は土木研究所とNKKの共同研究として実施されたが、バイオフィォーカスWT終了後にはNKK単独で行った以下のような開発があった。

ろ過池の再検討 バイオフィォーカスWTで開発したろ過池の固形物捕捉量の向上、洗浄し易さを目的に、上向流式ろ過池の導入を検討した。従来の上向流式ろ過池では下部の支持砂利層でもかなりの固形物が捕捉されていることに着目し、22種類のろ材構成で実験を行った。

2 - 4 浮上分離による前段固液分離法 - 1次処理の効率化 -

a. 開発技術の概要

本開発は沈殿法の代わりに加圧浮上分離法を導入することにより、1次処理の省面積化を図ったものである。

浮上分離法とは固形物に微細な気泡を付着させ、見かけ比重が水より小さくなった固形物を水面上に浮上させ、固液分離する方法である。このうち加圧浮上分離法では、図 2 - 4 - 1 に示すフローシートのように、処理水の一部を加圧された空気溶解槽に循環させ、ここにコンプレッサーから空気を導入する。空気を溶解した処理水は浮上槽に戻される。ここで圧力が解放されるため、固形物に付着する微細な気泡が発生する。

b. 開発技術の特徴

無薬注 固形物の性状を変化させるための薬品を必要としない。

省面積 滞留時間は15-20分と短く最初沈殿池に比べ省面積化が図れる。

沈殿法と同等の処理成績 15-20g・air/m³の空気量、4 kg/cm²の圧力、20%の循環水量で74ミクロン以上の固形物は殆ど除去できる（図 2 - 4 - 2）。これは沈殿法と同等の処理性能である。

汚泥濃縮 浮上汚泥濃度は3.5%以上となり、汚泥の濃縮が同時に行われる。

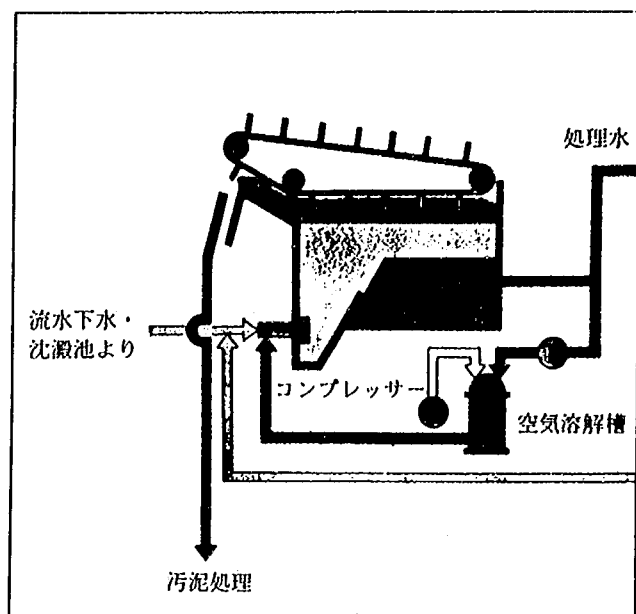


図 2 - 4 - 1 加圧浮上分離法

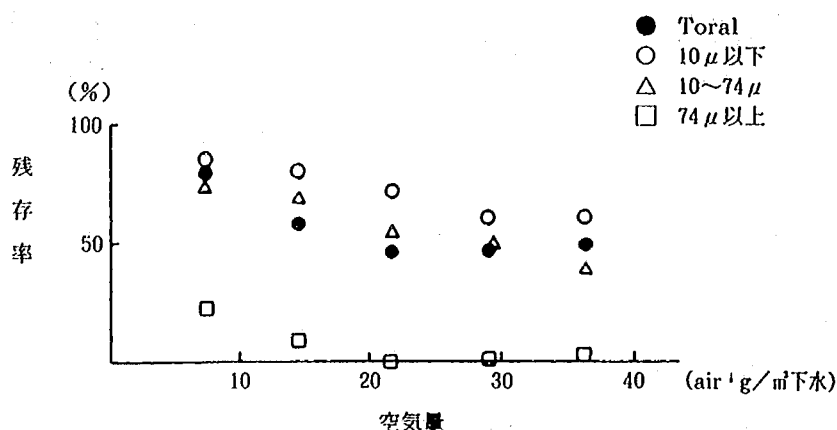


図 2 - 4 - 2 無薬注加圧浮上法による生下水の固形物除去—固形物残存率と空気量—

c. バイオフィォーカスWT終了後の発展

本開発は土木研究所と前沢工業の共同研究として実施されたが、バイオフィォーカスWT終了後には以下のような発展があった。

下水道新技術推進機構におけるマニュアルの作成 無薬注加圧浮上、好気性ろ床、汚泥脱水機からなる「汚泥処理包括型下水処理システム設計マニュアル—1993年度版—」のなかで、本開発の設計手法がまとめられた。

2 - 5 移動床式好気性ろ床法—固定床式好気性ろ床の改善—

a. 開発技術の概要

好気性ろ床法はこれまで、ろ材が移動しない固定床法が開発、実用化されてきた。固定床法は処理を継続するとろ床が目詰まりしてくるので、一定間隔で洗浄が必要である。固定床法を2,000 m³/日程度以下の小規模の下水処理場に適用すると、洗浄用水槽、洗浄ポンプなどの洗浄のための装置が相

対的に大きくなる課題がある。本開発は下水処理とろ材の洗浄をひとつの装置内で連続的に行えるようにし、上記の固定床法の課題の解決を図ったもので、ろ床が連続的に移動する好気性ろ床である。

開発した移動床式好気性ろ床の概要を図2-5-1に示す。下水は上部より流入すること、空気は下部より供給されることなどは固定床と同様であるが、洗浄方法が異なっている。ろ床下部のろ材は、中央のエアーリフト管を空気とともに上昇する間に、もみ洗いされ、付着した固形物が洗浄されるとともにろ床は下部に移動する。洗浄されたろ材と洗浄排水は、上部の洗浄排水スクリーンで分離して、ろ材はろ床上部に戻される。洗浄排水は装置外に排出され、処理される。

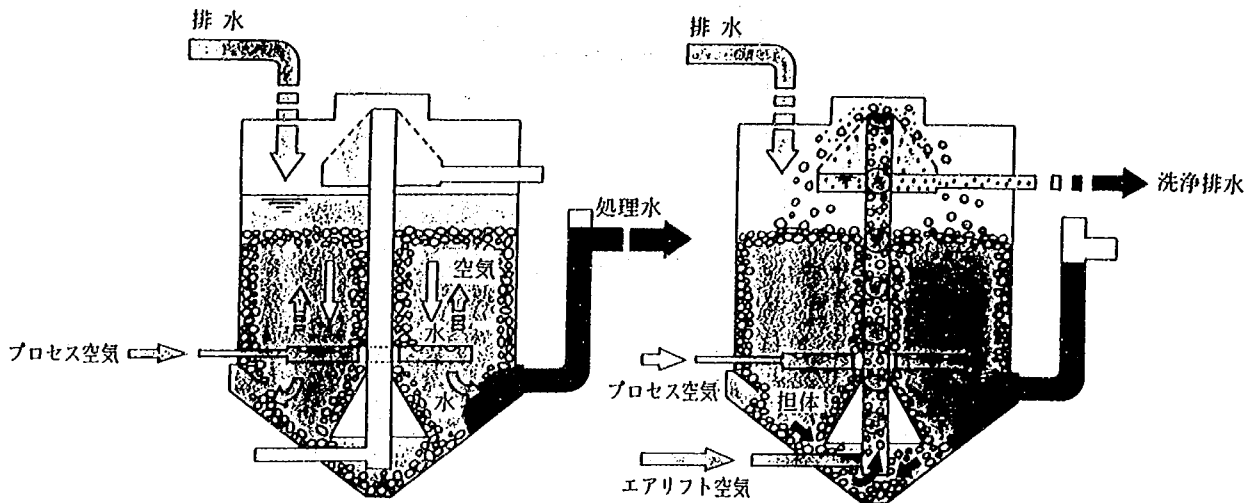


図2-5-1 移動床式好気性ろ床—左：ろ過機構、右：洗浄機構—

b. 開発技術の特徴

ろ材 径4mm程度、比重1.6程度のアンスラサイトを選定した。

水量負荷 25m³/日程度で活性汚泥法に比べ省面積となる。

固定床式好気性ろ床との比較 2,000m³/日程度以下の場合に、経済的となる。

3. 公共事業における適用例

3-1 概要

バイオフィーカスWTが終了して6年が過ぎようとしている現在、2章で述べた5つの新しい下水処理方式が8つの公共団体、下水処理場で採用されている。表3-1-1、表3-1-2にそれらの概要を示す。8下水処理場のうち、すでに6処理場では供用開始されており、残りの2処理場は建設中である。

3-2 岩手県陸前高田市陸前高田浄化センター

a. 適用された技術の概要

2-1節で述べた包括固定化担体を用いた硝化促進型循環変法が採用された。フローシートを図3-2-1に示す。開発された技術にりん除去のための嫌気槽が加えられている。また硝化槽からのペ

レット流出防止のためのスクリーンにおけるゴミ付着を考慮して、生物反応槽流入部にも微細目スクリーンを設置している。

嫌気槽（りん吐き出し）、無酸素槽（脱窒）、好気槽（硝化）の滞留時間は1.5時間、4.9時間、3.0時間で合計9.4時間となっている。窒素除去に必要な無酸素槽と好気槽の滞留時間は7.9時間である。好気槽へのペレット投入率は6%である。

全体は4系列であるが、現在は平成11年の供用開始を目指して1系列の建設が進められている。

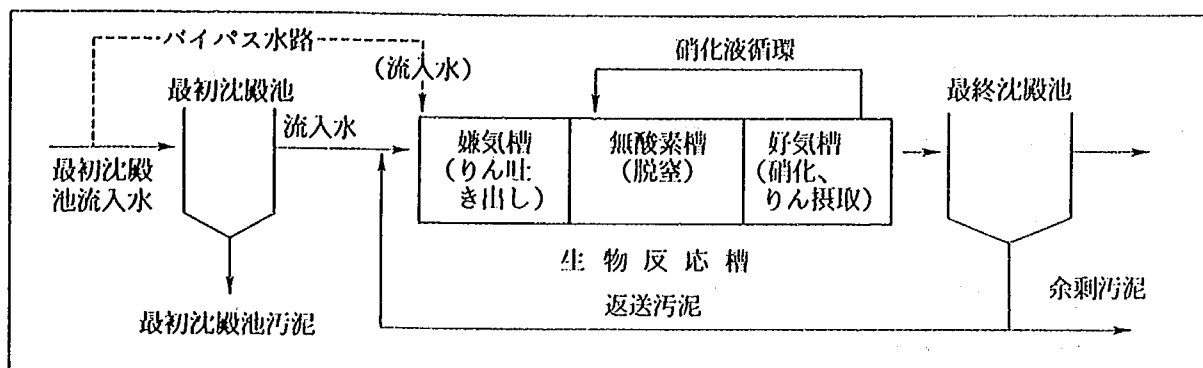


図3-2-1 陸前高田浄化センターのフローシート

b. 新技術導入の背景

陸前高田浄化センターの放流先の川原川は、陸中海岸国立公園の広田湾に流下している。また直上流は、岩手県第一の天然湖沼の古川沼となっている。古川沼は強混合型の感潮湖沼であるため、放流水の20%程度が流入すると想定されている。

現在、広田湾は比較的良好な水質であるが、夏場に水質の低下がみられており、富栄養化による有機物の内部生産が懸念されている。一方古川沼は全窒素 $1.8\text{mg}/\ell$ 、全りん $0.19\text{mg}/\ell$ と極度に富栄養化している。

広田湾の水質保全と古川沼の水質改善を目的に、本下水処理場の放流水質が検討された。古川沼流域の人為的汚濁負荷の大半は、本処理場に取り込まれる計画であることを考慮し、古川沼の将来水質は窒素・りん的环境基準の類型Ⅲ（全窒素 $0.4\text{mg}/\ell$ 、全りん濃度 $0.03\text{mg}/\ell$ ）を満たすことを目標に、放流水質の全窒素、全りんの目標濃度がそれぞれ $10\text{mg}/\ell$ 、 $1\text{mg}/\ell$ と設定された。

当初の基本計画では、オキシディションディッチ（OD）法が予定されたが、滞留時間が24時間以上と長いOD法に見合う用地の確保が困難となり、OD法の採用をとりやめ、省面積型の窒素・りん除去法の検討が行われ、a.で述べた処理方式の採用となったものである。

c. 課題等

積雪寒冷地に位置する本処理場の冬期の水温は、 10°C 程度まで低下するものと予測されている。微生物の活性は水温の低下とともに低下するが、本処理場の経験は寒冷地における窒素・りんの高度処理に対して、極めて有用な情報を提供するものと考えられる。

表 3-1-1 バイオフィォーカスWTの開発成果を用いた下水処理場(1)

都市名	岩手県陸前高田市	福島県西郷村	栃木県高根沢町	茨城県水戸市
処理場名	陸前高田浄化センター	大平浄化センター	宝積寺住宅団地 終末処理場	第2号都市下水路 水質浄化施設
処理方式	包括固定化法を用いた硝化促進型循環変法	ろ過式固液分離法 +固定床式 好気性ろ床法	担体投入型活性汚泥法 +移動床式急速ろ過法	浮上分離法 +固定床式 好気性ろ床法
下水排除方式	分流式	分流式	合流式	合流式
放流先	川原川	農業用排水路	野元川	第2号都市下水路
処理人口 (人)	全体計画 16,800 認可計画 4,270 実施計画 4,270 現有能力 0	2,000 1,900 1,900 1,300	5,200 4,110	
日最大 流入水量 (m ³ /日)	全体計画 11,000 認可計画 2,800 実施計画 2,800 現有能力 0	900 900 600 600	2,100 2,100	3,000 3,000 3,000 3,000
計画水質 (mg/l)	流入水 放流水 BOD 200 10 SS 200 10 T-N 42 10 T-P 4 1	流入水 放流水 BOD 200 20 SS 180 70	流入水 放流水 BOD 60 5 SS 50 20	流入水 放流水 BOD 100 20 SS 50 20
現況水質 (mg/l)	流入水 放流水 BOD SS	流入水 放流水 BOD 258 10 SS 191 6	流入水 放流水 BOD 33-37 4 SS 24-31 1-2	流入水 放流水 BOD 70 6 SS 56 6
経緯	基本計画策定 都市計画決定 事業認可 実施設計 工事着手 一部供用開始 現在	H3. 7 見直し H4. 12 H5. 2 H5. 5 H7. 10 H11. 4 予定 建設中	H1. 6 H2. 2 H3. 3 変更 H3. 7 H4. 6 H6. 2 H4 H5. 3	H4. 4 H4. 5 H4. 5 H4. 8 H5. 11
処理場面積(m ²)	15,000	1,930		1,430
日最大水量時の水量 当り面積(m ³ /m ² ・D)	1.36	0.97		0.48
備考		フレックスプラン	合併処理浄化槽流出 水の処理	平成4年度都市下水 路雑排水対策モデル 事業

表3-1-2 バイオフィォーカスWTの開発成果を用いた下水処理場(2)

都市名	三重県二見町	日本下水道事業団	福岡県宗像市	宮崎県都城市
処理場名	茶屋 クリーンセンター	大阪北東 エースセンター	宗像終末処理場 (第一系統)	都城浄化センター
処理方式	移動床式好気性ろ床 法	包括固定化担体を用いた生物学的 硝化法	包括固定化担体を用いた硝化促進型循環 変法	ろ過式固液分離法 +担体投入型曝気法 +上向流式ろ過法
下水排除方式	分流式	(乾燥スラッジ排水)	分流式	分流式
放流先	地先水路	大阪府渚下水処理場	釣川	大淀川
処理人口 (人)	全体計画 約9,090 認可計画 約8,450 実施計画 約8,450 現有能力 850			76,700 36,100 9,200 0
日最大 流入水量 (m ³ /日)	全体計画 2,300 認可計画 1,999 実施計画 1,000 現有能力 1,000	1,660 1,660 1,660 960	11,300 11,300 11,300 11,300	57,600 28,800 7,200 0
計画水質 (/l)	流入水 放流水 BOD 200 20 SS 160 30	流入水 放流水 NH ₄ -N 250 38	流入水 放流水 BOD 210 10 SS 250 5 T-N 40 10 T-P 6 0.3	流入水 放流水 BOD 220 20 SS 160 19
現況水質 (/l)	流入水 放流水 BOD 96 7 SS 128 10	流入水 放流水 NH ₄ -N 110 4	流入水 放流水 BOD 146 2 SS 142 3 T-N 25 6 T-P 3.5 0.2	
経緯 基本計画策定 都市計画決定 事業認可 実施設計 工事着手 一部供用開始 現在	H1. 3 H1. 10 H1. 12 H3. 6 H3. 12 (1,000m ³ 分) H5. 10. 1 認可の残りを建設中	1,2系 S63.2 1系:H2 2系:H3 1系:H2.9 2系:H5.9 1系:H3.2 2系:H6.10 H.7.1 3系事業認可	H4.3 変更 H4.4 H5.8 H6.9 第一系統は改築済み	S60.12 S62.12 S63.4変更 H3.3変更 H3.12 H4.12 H8.3 予定
処理場面積 (m ²)	1,850		15,000	65,000
日最大水量時の水量 当り面積 (m ² /m ³ ・D)	0.80		1.32	1.13
備考	フレックスプラン	場内返流水対策	既存施設の改造	平成6年度アイデア 下水道(省エネルギー型新下水処理システム)

3-3 福島県西郷村大平浄化センター

a. 適用された技術の概要

2-2節で述べたプラスチックメディアを用いたろ過式前段固液分離法が最初沈殿池の代替施設として採用された。固液分離装置からの1次処理水は、固定床式の好気性ろ床で2次処理される。フローシートを図3-3-1に示す。

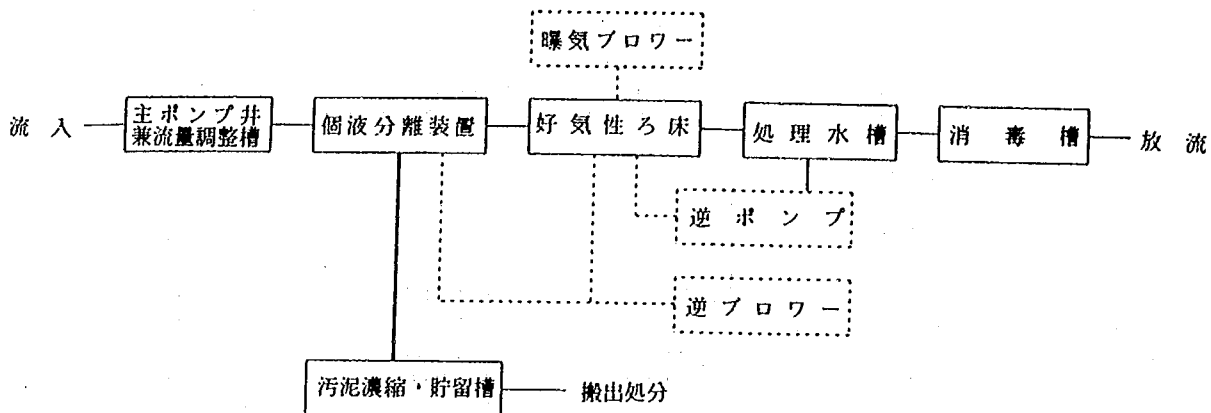


図3-3-1 大平浄化センターのフローシート

固液分離装置にはプラスチックのろ材が2m充填されている。計画ろ過速度は120m/日、洗浄頻度は1回/日である。好気性ろ床には、径4-7mmの珪藻土系多孔質粒状体が2m充填されている。計画ろ過速度は30m/日、洗浄頻度は1回/2日である。

現在は固液分離装置2基、好気性ろ床4基が設置されており、処理能力1,300m³/日である。

b. 新技術導入の背景

西郷村は福島県の最南端に位置し、東北縦貫道の白河I.C.と東北新幹線の新白河駅がある、東北地方の玄関口となっている。

村では下水を隣接している、白河市の白河都市環境センターに流入させる下水道計画によって、昭和62年より下水道整備を進めている。しかし、本計画に含まれる大平地区は、急速に宅地化が進んでおり、生活環境の悪化が懸念された。この地区は下水道計画の上流端に位置するため、白河都市環境センターへの接続は近い将来には見込まれていない。このため、大平地区の特に緊急を要する区域において、フレックスプランで下水道を整備することとした。

フレックスプランとは、早急に下水道整備が求められるが、全体計画に基づく管渠の接続に概ね10年以上要する地区において、全体計画に定める下水処理場とは別に中間的な処理施設を設置するなど、ニーズに応じた柔軟かつ機動的な下水道整備方式で、平成元年度に制度化されたものである。大平浄化センターは、全国で4番目のフレックスプランである。

フレックスプランで整備する大平浄化センターで満たすべき要件として次の3点が考えられた。

- ・建設費が安価で、公共下水道整備後の残存資産価値が少ないこと。

- ・省面積であること。敷地は公共下水道整備後に中継ポンプ場として使用。
- ・維持管理が容易であること。

上記の3点を考慮してa.で述べた処理システムが選定された。処理施設は将来の撤去を考慮して、鋼板製を基本としている。

c. 維持管理状況

処理施設は自動運転されており、大きなトラブルはない。

維持管理体制 民間委託で、6回／月の巡回点検としている。緊急時には電話回線により連絡を受けた受託会社の担当者が急行する。

流入水量 平成6年2月の供用開始以降、徐々に増加し平成7年9月には200 m^3 ／日を越える日が出てきたため、それまでの固液分離装置1基、好気性ろ床2基の運転から、それぞれ2基、4基と現有の全施設を用いた運転としている。しかし、流入水量が現有能力に達していないため、流量調整槽を利用した間欠運転を行っている。

処理成績 表3-1-1に平成7年8月までの平均値を示す。流入水のBODは、計画値を越えているものの、処理水質は計画値を満足している。固液分離装置のBOD、SSの除去率は86%、56%と沈殿法に比べ高い値となっている。

電力消費量 平成7年7月の値は1.25kWh/ m^3 、流入水量が少ないため比較的高めであるが、今後の流入水量の増加とともに計画値の0.3kWh/ m^3 に近づいていくと予測される。

d. 課題等

以下の2点が検討すべき課題となっている。

透視度 処理水質は計画値を満足しているものの、透視度は30-40cmと低めで透明感にやや欠ける。

発泡 1次処理水が、カスケードで流入している好気性ろ床上部で、泡が生じている。

3-4 栃木県高根沢町宝積寺住宅団地終末処理場

a. 適用された技術の概要

処理能力を600 m^3 ／日から2,100 m^3 ／日に増加させるため、2-3節で述べた結合固定化担体が、既設の長時間曝気槽に投入された。2次処理水は、移動床式の砂ろ過池で仕上げ処理を受ける。フローシートを図3-4-1に示す。

既存施設の主な改造、変更は次のとおりである。曝気槽内の固形物の蓄積を防止するため、曝気槽流入前に目巾2mmの微細目スクリーンを新設。曝気槽に20%の担体を投入。担体流出防止用の目巾1.5mmのウェッジワイヤースクリーンを、2槽に分割された曝気槽の流出部に設置。担体の流動を確保するため、散気方式を全面曝気方式に変更。ろ過速度200 m^3 ／日の移動床式砂ろ過池の新設。

改造による処理能力の増加に伴って、曝気槽の下水の滞留時間は約16時間から4.5時間に短縮された。滞留時間の減少に伴う活性汚泥量の減少分を、固定化担体に付着する微生物によって補おうとしたものである。また最終沈殿池の水面積負荷も約12 m^3 ／ m^2 日から42 m^3 ／ m^2 日に増えたが、この沈殿能力の不足を補うために移動床式砂ろ過池が新設された。

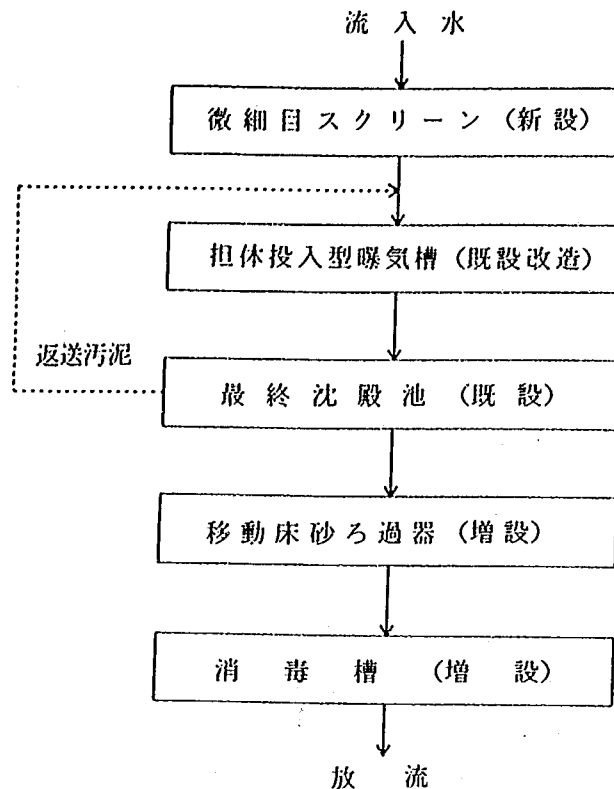


図3-4-1 宝積寺住宅団地終末処理場のフローシート

b. 新技術導入の背景

宝積寺住宅団地終末処理場は、土地区画整理事業の整備に合わせて、昭和59年に宝積寺土地区画整理組合によって建設され、昭和61年に高根沢町に移管になった施設である。処理区域は平成10年に一部供用を予定している公共下水道計画区域となっているため、当処理場はそれまでの暫定施設として位置づけられている。流入水は家庭雑排水、尿尿浄化槽処理水に雨水が加わり、合流下水となっている。放流先の野元川は、農業用水として利用されているため、関係者との協定で放流水質はBOD 5 mg/ℓ 、SS20 mg/ℓ と低くなっている。

その後、人口増加に伴い当初の計画水量を上回ることが予測されたので、平成2年度から処理能力増加のための調査が開始された。暫定施設であるため、既存施設を最大限に利用することを基本に検討が行われた結果、既存の長時間曝気槽への担体投入を基本とした改造計画が策定された。1 $\text{m}^3/\text{日}$ あたりの改造費は、約7万円で済んでいる。

c. 維持管理状況

特に大きな問題もなく、順調に稼働している。

維持管理体制 週3日の委託管理としている。

流入水量 平成7年1月から8月までの日平均流入水量は1,600 $\text{m}^3/\text{日}$ 程度で、ほぼ計画水量(1,650 $\text{m}^3/\text{日}$)となっている。

処理成績 ほぼ日最大の流入があった期間に調査を行っている。この期間の流入水のBOD、SSは33-37 mg/ℓ 、24-31 mg/ℓ と計画より薄いものの、処理水はそれぞれ4.0-4.4 mg/ℓ 、1.2-2.1 mg/ℓ

ℓと計画水質を満足していた。また、処理水のアンモニア性窒素はほぼ0で、短い滞留時間にも拘わらず、硝化能力の高さが示された。

曝気槽内の微生物濃度 活性汚泥濃度を1,600mg/ℓから860mg/ℓに低下させたとき、担体付着汚泥量は990mg/ℓから1,300mg/ℓへと増加し、活性汚泥濃度の低下を担体付着汚泥が補っており、計画どおりの担体投入の有効性が示された。

電力消費量 平成7年1月から8月までの平均は、0.79kWh/m³となっている。

3-5 茨城県水戸市第2号都市下水路水質浄化施設

a. 適用された技術の概要

2-4節で述べた浮上分離による前段固液分離法が適用された。フローシートを図3-5-1に示す。

固液分離槽の計画滞留時間は15分と短い。分離槽の流出水は、有効径3mmのアンスラサイトが600mm充填された下向流式ろ過池に入り、さらに細かい固形物が除去される。ろ過速度は100m/日である。ろ過水は固定床式の好気性ろ床に流入し、2次処理を受ける。ろ床には上部にプラスチック製リング状接触材800mm、下部に5-20mmの軽量骨材1,500mmが充填されている。ろ過速度は40m/日である。ろ過池と好気性ろ床は1日1回洗浄される。洗浄排水は固形物の浮上性改善のため、凝集剤が添加され、浮上分離へ返送され、固形物が除去される。

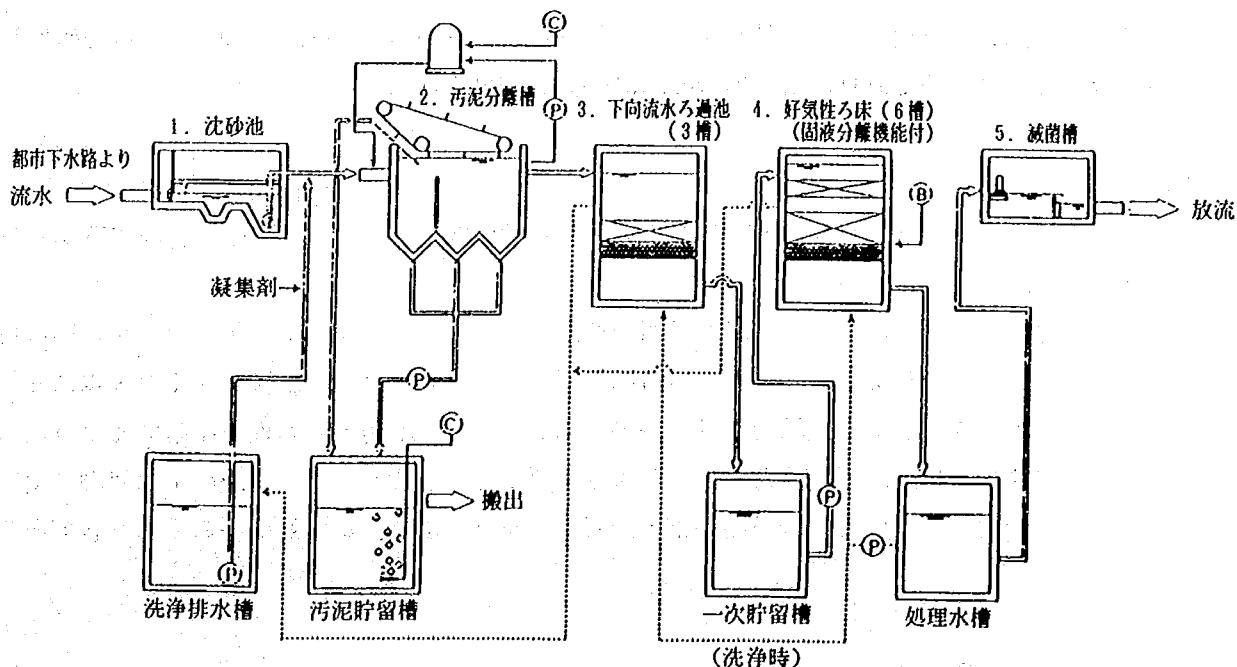


図3-5-1 第2号都市下水路水質浄化施設のフローシート

b. 新技術導入の背景

戸市は昭和61年に、21世紀に向けた水環境行政の基本方針として「良好な水環境基本計画」を策定した。本浄化施設は、この計画に基づき、1級河川の沢渡川に流入する第2号都市下水路の水質を改善するために建設された。

浄化施設建設に当たっての要件は次のようであった。

- ・省面積であること。計画水量 $3,000\text{ m}^3/\text{日}$ に対し、施設用地は $1,430\text{ m}^2$ と狭いうえに、三角形のため、実質的な用地は $1,000\text{ m}^2$ 程度 ($0.33\text{ m}^2/\text{m}^3/\text{日}$) である。

- ・用地は民家に隣接しているため、臭気、騒音が少ないこと。

- ・昼間巡回管理とするため、自動運転が可能なこと。

これらの要件に対し、通常の処理方式では対応が困難と考えられたため、上記システムを採用し、また覆蓋式としたものである。

c. 維持管理状況

施設は問題なく自動運転されており、操作箇所は少ない。

維持管理体制 当初の予定どおりの委託による昼間巡回管理としている。

流入水量 水路の流量が計画値の $3,000\text{ m}^3/\text{日}$ 以上ある時は、ポンプで $3,000\text{ m}^3/\text{日}$ 流入させている。以下の場合、流入ポンプのON-OFF運転をしている。平成6年度の平均水量は $2,057\text{ m}^3/\text{日}$ であった。

処理成績 平成6年度の平均値でみると、流入水のBOD、SSは $70\text{ mg}/\ell$ 、 $56\text{ mg}/\ell$ に対し、処理水はともに $6\text{ mg}/\ell$ と計画水質を満足していた。図3-5-2に示すように、流入水の日間の水質変動は大きい、処理水の水質は安定している。

電力消費量 照明、換気扇、分析機器等も含め、 $0.49\text{ kWh}/\text{m}^3$ 程度である。 $3,000\text{ m}^3/\text{日}$ を処理しても電力消費量はほぼ同等であり、この場合 $0.33\text{ kWh}/\text{m}^3$ 程度となる。

d. 課題等

維持管理上特に問題となるようなことが生じているわけではないが、省面積や維持管理の容易さを図った反面、次の点が危惧される。

異常発生時の対応 機器点数が多く、関連機器の連動条件等の自動運転の条件が理解しがたいなど、異常発生時の対応を難しくしている。また、短時間処理であるため、異常の影響がすぐ処理水にで易い。本施設では重大な異常があった場合には、自動的に流入ゲートを閉め、処理を中断するようにしている。都市下水路の浄化施設であるため、このような対応も可能であるが、一般の下水処理に用いる場合は、異常時の対応について、流量調整槽を設置するなど、より慎重な対応を考えるべきであろう。

3-6 三重県二見町茶屋クリーンセンター

a. 適用された技術の概要

2-5節で述べた移動床式好気性ろ床が採用された。フローシートを図3-6-1に示す。

移動床式好気性ろ床のろ材は、3-5mmのアンスラサイトで $2,000\text{ mm}$ 充填されている。ろ過速

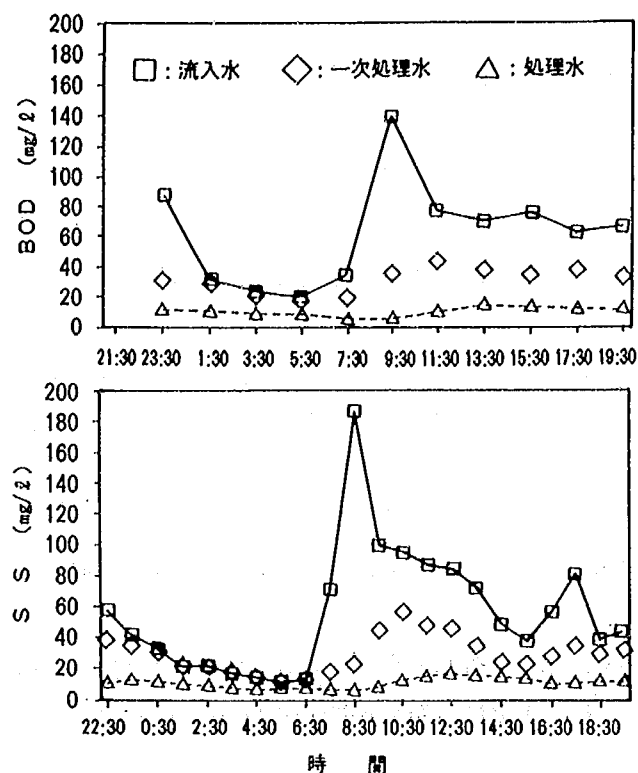


図 3 - 5 - 2 流入水と処理水の日間変動 (H 6 / 4 / 21 - 4 / 22)

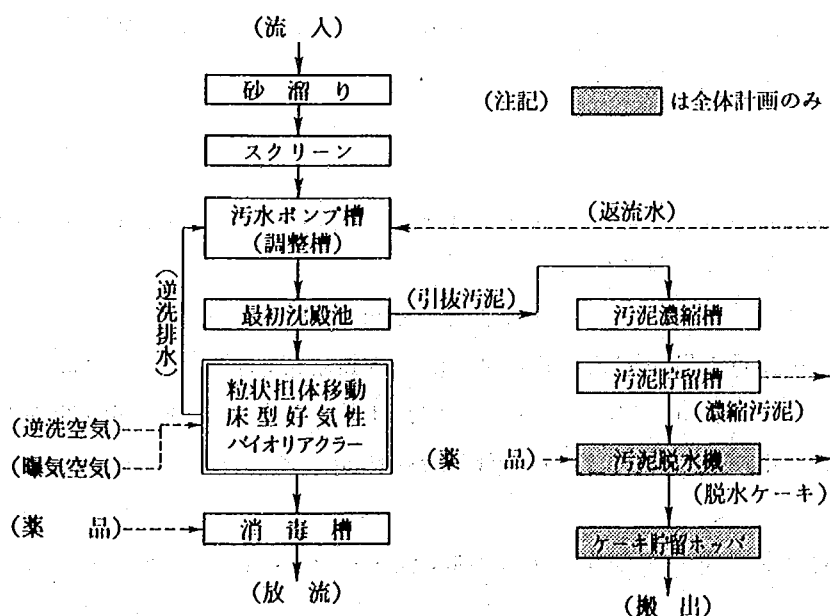


図 3 - 6 - 1 茶屋クリーンセンターのフローシート

度は25m/日である。現在の計画水量1,000m³/日に対し、径2.6mのろ床が8基設置されている。計画水量に対し比較的ろ床の数が多いのは、観光客数の変動に伴う大きな水量変動に、流量調整槽とともにろ床の台数制御で対応する計画としたこと、及び構造の制約から大型化が困難であったことに依っている。エアリフトによる洗浄は、30-40分毎に20分程度行う間欠洗浄としている。本施設はフレックスプランとして設置されているので、ろ床は鋼板製である。

b. 新技術導入の背景

白砂青松と二見浦で知られた全国有数の海水浴場があり、伊勢志摩国立公園の一翼を担っている二見町には、年間200万人程度の観光客が訪れている。

しかし、昭和40年代頃から、この多くの観光客と住民からの排水による水質汚濁が顕在化してきた。このため町では、地元住民を含め、水質汚濁防止対策を種々行ってきたが効果は上がらず、昭和61年には雑排水の処理場を建設した。この処理場は一定の効果を上げたものの、十分に満足のものではなかった。

抜本的な解決には下水道の整備が必要であったが、本町は宮川流域下水道の区域に含まれているため、その供用にはしばらく時間がかかる状況であった。そこで平成元年度に制度化されたフレックスプランによって、早急に下水道を整備することとした。

処理方式の選定に当たっての要件には次の3点があった。

- ・省面積であること。用地が狭い上にその大部分が借地であり、流域下水道へ接続された時点で更地にして返却する必要がある。
- ・既存施設を有効利用すること。雑排水処理場の施設を有効利用し、経済性を高める。
- ・早急に供用を開始すること。すでに水質汚濁問題が顕在化しているので、1日でも早く供用を開始する。

上記3点を考慮し、OD法、回分式活性汚泥法、接触酸化法と好気性ろ床法を比較検討したが、上記3点を満足する処理法として好気性ろ床法が選定された。固定床式好気性ろ床との比較においては、移動床は洗浄のための機器類が少なくコンパクトになること、洗浄に必要な電力が少なく受電電力量を小さくできることから移動床式とした。

c. 維持管理状況

施設は自動運転されており、大きなトラブルはない。エアリフト洗浄は60分毎に15分間行われ、1回につきろ材の約2%が洗浄されている。

維持管理体制 機器や外回りについて、週2回の巡回点検を委託している。

流入水量 平成5年10月の供用開始から順調に流入水量は増加している。平成7年3月に日最大計画値の1,000 m^3 /日に近い893 m^3 /日を記録したので、4月よりそれまでの好気性ろ床4基の運転から、8基運転に変更している。平成7年9月の日平均水量は500 m^3 /日であったが、日最大水量は1,130 m^3 /日を記録している。

処理成績 供用開始から平成7年9月までの放流水の平均BOD、SSは6.7 mg/ℓ 、9.6 mg/ℓ で計画水質を満足している。

電力消費量 平成7年4月から9月までの平均値で、0.59 kWh/m^3 となっている。

d. 課題等

供用開始して2年以上経過するが、大きなトラブルもなく水質も安定している。また、運転の立ち上がりも順調であった。本システムの将来の課題として、窒素・りん除去への対応があらう。

3-7 日本下水道事業団大阪北東エースセンター

a. 適用された技術の概要

汚泥溶融の排ガス処理工程から出る、スクラバー排水に含まれる、高濃度のアンモニア性窒素を、硝酸性窒素に酸化するため、2-1節で述べた包括固定化担体を用いた生物学的硝化法が採用された。フローシートを図3-7-1に示す。

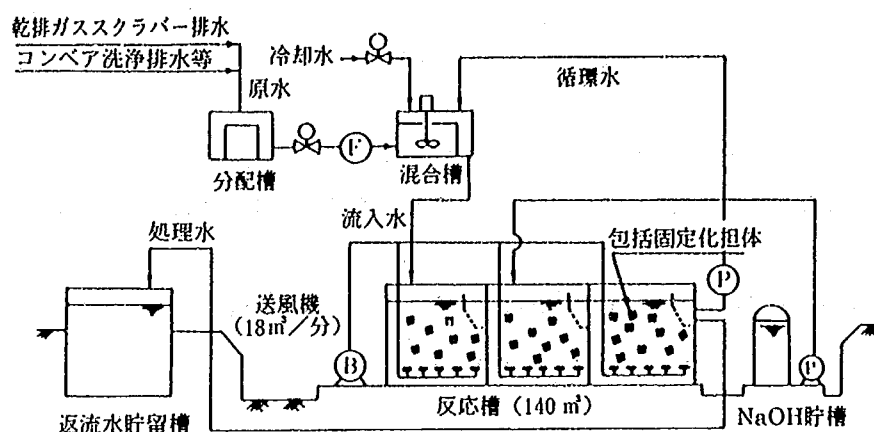


図3-7-1 北東エースセンターの排水処理施設のフローシート

生物反応槽は2系列ある。1系列の容量は140m³で、水深は3mである。反応槽は3槽に分割されており、第1槽から第3槽の各槽にペレットが24%、18%、18%（平均20%）添加されている。各槽の流出部に、目巾1.5mmのウェッジワイヤースクリーンを設け、ペレットの流出を防止している。反応槽の滞留時間は7時間である。

硝化細菌は高温では活性が低下するので、水温45℃以上のスクラバー排水は、混合槽で冷却水によって35℃以下とされる。また、混合槽に処理水を循環させ、反応槽への流入水のアンモニア性窒素とpHの変動を平滑化させている。また、硝化反応によりpHが低下するため、第2、3槽に苛性ソーダを添加している。

b. 新技術導入の背景

大阪北東エースセンターは、平成元年から大阪府淀川左岸流域下水道の渚処理場の汚泥を脱水するとともに、枚方市、交野市の公共下水道の処理場から発生する脱水汚泥を集約し、溶融処理を行っている。

汚泥処理に伴って発生する排水は渚処理場で処理し淀川に放流されるが、淀川が水道水源であることから、放流水のアンモニア性窒素5mg/ℓの管理目標が定められていた。

この目標値を満足するためには、エースセンターから発生する、場合によっては250mg/ℓを越える高濃度のアンモニア性窒素を含む、汚泥乾燥排ガスのスクラバー排水を硝化処理する必要性が生じた。

硝化処理施設で満たすべき要件として、次の4点が考慮された。

- ・建設費、維持管理費が安価であること。
- ・省面積であること。

- ・処理水質が安定していること。
- ・維持管理が容易であること。

上記4点を考慮し、本法とともに活性汚泥による硝化法、活性汚泥循環変法、礫間曝気法、好気性ろ床法、ゼオライト吸着法が比較検討され、上記要件を満たす方式として、本法が選定された。

c. 維持管理状況

溶融炉の稼働状況によって、運転槽数を制御している。運転は順調である。

維持管理体制 委託管理である。水量、水温、pHを毎日測定して、必要に応じて冷却水量、苛性ソーダ添加量を調整している。

流入水量 2系列目が本格的に稼働した平成6年11月から平成7年8月までの平均の流入水量、冷却水量は574 m^3 /日、348 m^3 /日であり流入水量に対する冷却水量の比は61%であった。

処理成績 流入水、処理水の平均アンモニア性窒素は110 mg/ℓ 、4 mg/ℓ で、除去率は96%であった。なお、1系列目の運転開始からの処理状況を図3-7-2に示す。

電力消費量 流入水をベースとして、2.0 kWh/m^3 であった。

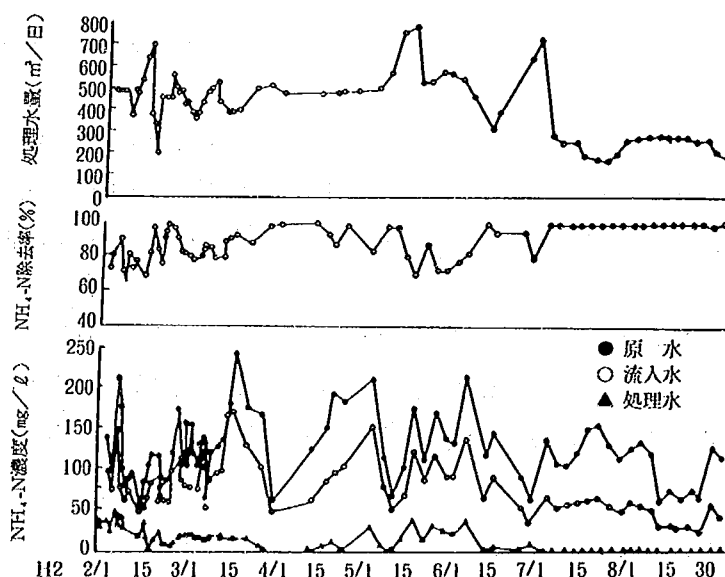


図3-7-2 運転開始直後からの処理状況

d. 課題等

運転にともなって、立方体のペレットの角がとれてきているが、これが処理成績にどのように影響するのか、あるいはペレットを補充すべきかを見守っていく必要がある。

3-8 福岡県宗像市宗像終末処理場（第一系統）

a. 適用された技術の概要

既設の標準活性汚泥法が、2-1節で述べた包括固定化担体を用いた硝化促進型循環変法に改造された。全体では4つの系列からなるが、改造後の1系列分のフローシートを図3-8-1に示す。

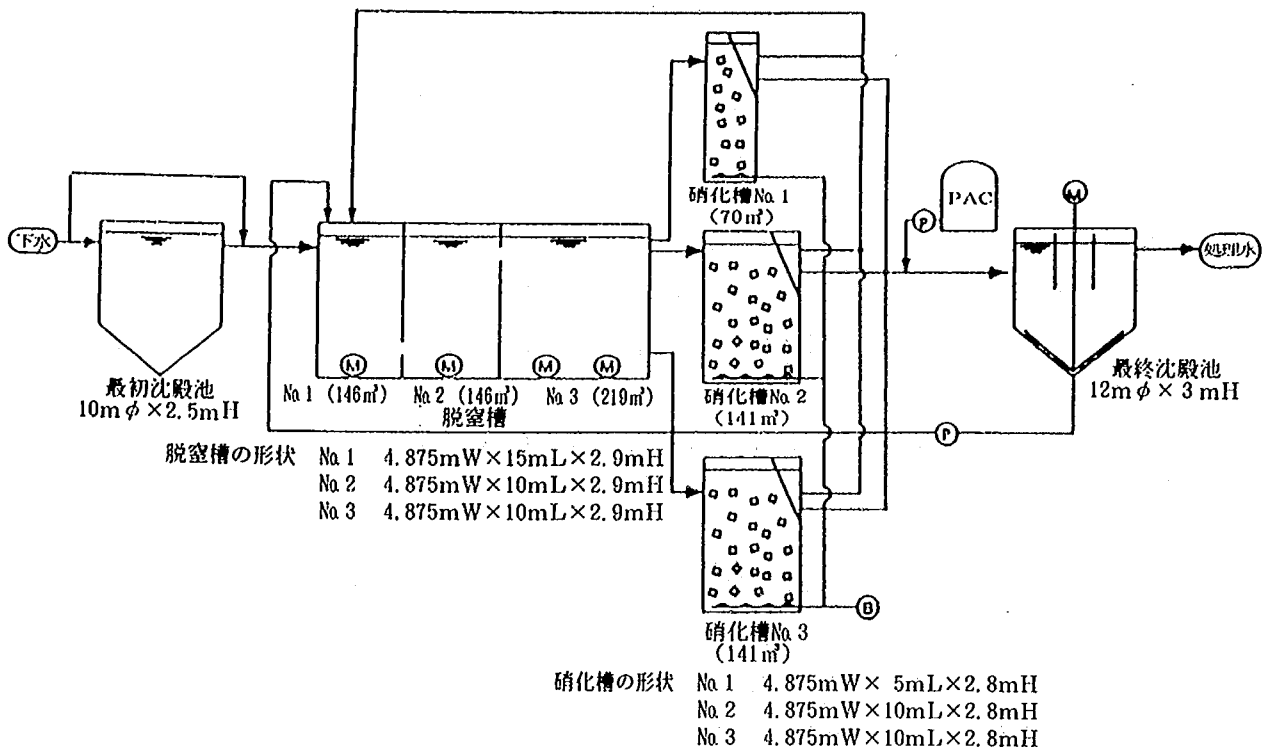


図 3 - 8 - 1 宗像終末処理場（第一系統）のフローシート

生物反応槽は脱窒槽 3 槽と硝化槽 3 槽で構成される。下水は脱窒槽を直列に、硝化槽を並列に流下する。りん除去のため、反応槽の流出部で PAC（ポリ塩化アルミニウム）が添加される。

脱窒槽の滞留時間は 4.3 時間である。硝化槽にはペレットが 7.5% 投入されており、滞留時間は 3 時間である。循環流量比は 1.5 - 3 倍で設計されている。PAC 添加率は、A1/P のモル比を 1、P = 3 mg/ℓ としており、A1 として 2.6 mg/ℓ である。

現在は 2 系列を運転している。残りの 2 系列は平成 8 年 4 月より稼働の予定である。

b. 新技術導入の背景

福岡市、北九州市の中間に位置する宗像市では、両都市のベッドタウンとして大規模な都市開発が進められている。比較的早くから下水道は整備され、昭和 45 年に宗像終末処理場の第一系統が供用された。また第二系統は昭和 59 年に通水されている。平成 6 年度末で 65,300 人分の下水を処理しており、下水道普及率は 84.5% となっている。

宗像終末処理場の放流先は、市内の中央を流れ、玄界灘に注ぐ二級河川の釣川である。釣川は宗像市の唯一の水道水源であるが、全水域に設定されている水質環境基準 B 類型（BOD 3 mg/ℓ）を達成できていない。流域面積が小さく、家庭排水等の流入があるためである。このため放流先より下流から取水する水道原水の貯水池では、富栄養化が生じている。

下水道整備の進捗とともに釣川の水質は改善されてきているが、放流水の占める割合は現在の 20% 程度から将来は 50% 以上となるため、放流水の影響が極めて大きくなる。このため、「釣川ルネッサンス計画」の一環として、宗像終末処理場に窒素・りんの高処理を導入することとした。第二系統は先行取得されている高処理用地を用いて活性汚泥循環変法を導入することとしているが、第一系

統は用地がないため、包括固定化担体を用いた硝化促進型循環変法に改造することとしたものである。この改造によって、処理能力は少し減少し、13,200 m^3 /日から11,300 m^3 /日と、85.6%になっている。

高度処理の導入によって、釣川の水質は大幅に改善され、貯水池の富栄養化は回避されると予測されている。

c. 維持管理状況

供用開始から7か月間、ペレットの馴致や設備機器等の性能試験が実施された後、平成7年6月より定常運転に入っている。担体の硝化速度など分析項目が多少増加した程度で、維持管理業務は従来の標準活性汚泥法と同等である。

返送汚泥を含む循環比は3、MLSSは1,600 mg/ℓ 程度、PAC添加率は計画値程度である。

維持管理体制 委託管理となっている。

流入水量 計画水量が流入している。

処理成績 表3-1-2に示すように、平成7年6月から9月までの処理成績は、計画水質を満足している。またアンモニア性窒素は、全期間で0 mg/ℓ となっており、完全な硝化が達成されている。窒素除去が問題となる冬期の結果が待たれる。

電力消費量 平成7年6月から9月までの電力消費量は、0.52 kWh/m^3 である。高度処理実施前と比較して、50%程度増加している。

d. 課題等

高度処理導入のための改造工事費、及び維持管理費の増加の回収を図る必要がある。このため、市民に対し新技術の導入のPRや見学会を開催し、啓蒙に努めている。

3-9 宮崎県都城市都城浄化センター

a. 適用された技術の概要

最初沈殿池の代替装置として、2-2節に述べたろ過式の前段固液分離法、2次処理装置として、2-3節で述べた結合固定化担体を用いた流動床型生物処理法、また仕上げ処理装置として、上向流式ろ過法からなる下水処理システムが採用された。フローシートを図3-9-1示す。

各装置の仕様は次のとおりである。

固液分離槽 通水速度：140 $\text{m}/\text{日}$ 。ろ材充填高さ：2 m 。SS除去率：75%。BOD除去率：40%。洗浄間隔：2日以内に1回。底部の汚泥引き抜き間隔：3-4時間に1回。

担体投入型曝気槽 T-BOD、S-BODの容積負荷：0.9及び0.6 $\text{kg}/\text{m}^3 \cdot \text{日}$ 。滞留時間：3.7時間。空気倍率：7。担体投入率：40%。曝気槽段数：3。

上向流式ろ過池 ろ過速度：100 $\text{m}/\text{日}$ 。ろ層厚：2.3 m 。ろ材構成：ろ層上部より有効径0.6、有効径1.25、2-3、3-6、8-12、20-35 mm の砂、または砂利からなる6層。最大損失水頭：2.5 m 。洗浄方式：空気洗浄+空気・水同時洗浄+水洗浄。

本システムから発生する汚泥は、固液分離槽の引抜汚泥（1次汚泥）と、上向流式ろ過池の洗浄汚泥（2次汚泥）である。各汚泥の計画水量（57,500 m^3 /日）に対する発生量は1,300 m^3 /日、4,800 m^3 /日、濃度は0.7%、0.1%程度と見積もられている。洗浄排水は大量、低濃度汚泥となるので、汚泥処

に、平成3年度に「新技術調査検討会」が設置された。検討会は実験結果を基に、標準活性汚泥法と比較して、新システムを以下のように評価した。

処理水質 標準活性汚泥法と同等以上の水質が得られ、目標水質を十分満足することができる。

建設費 汚泥処理費まで含めた建設費では、多少高くなるが見込まれたが、省面積化することによる用地費を含めればほぼ同等と見込まれる。

維持管理性 消費電力は多少少なく、運転経費が軽減される。また返送汚泥の必要がなく、バルキングの問題もないなど、維持管理が容易である。

エネルギー自立率 新システムでは、従来の最初沈殿池に代わる、ろ過式固液分離槽で効率的に流入下水中の固形物を除去することができ、消化分解率の高い新鮮な汚泥を大量に得ることができる。これによって、消化ガス発生量が標準法における場合に比べ約35%増加し、全体計画水量でのエネルギー自立率は約33%の増加と推計される。

省面積 新システムは40%程度の省面積となり、敷地を有効に活用することができる。

c. 建設計画

計画流入水量の予測などから全体を4系列に分け、第1期計画で1系列を建設し、設備はその1/2である7,200 m^3 /日に設置する。通水当初は汚泥発生量が少ないので、機械濃縮と嫌気性消化を省き、直接脱水で対応する。消化ガス発電については発生ガス量がある程度まとまってから建設する予定となっている。

工事は順調に進んでおり、平成8年4月に7,200 m^3 /日分の供用を開始する予定である。

d. 課題等

実験施設と実施施設のスケールアップに伴う問題点・相違点、実施施設での維持管理の前例がないことなどが供用開始後に生じてくるものと考えられる。

4. おわりに

新しい技術は公共事業になかなか適用されないと言われる。下水道事業では、投資額が大きいこと、都市によっては初めて最後の建設となること、建設以上に重要となる建設後の維持管理に関する経験がないこと、国の直轄事業がないため国によるパイロット事業が実施できないことなど、下水道事業の特性もこの問題を難しくしている。こうした中で、バイオフィーカスWTで開発した5つの新技術が、8つの公共団体によって採用されている。それぞれの都市が抱える要件を満足した結果ではあるが、採用に当たっての関係者のご努力は並大抵のものではなかったと思われる。その努力が新しい時代を切り開いていくのであろう。ここに、深甚の敬意を表するものである。

十分な検討を踏まえた新技術の採用であっても、供用を開始してからなお課題は出てくるものと考えられる。ひとつひとつの課題を粘り強く解決してこそ、新技術の評価も高まる。関係者の一層のご努力を改めてお願いする次第である。土木研究所も精一杯のご協力をする所存である。

最後になりましたが、本文の作成に当たり資料をご提供頂いた関係各位、及び資料等のまとめをして頂いた三次処理研究室の吉澤正宏研究員、福岡市からの部外研究員の古栃裕規氏に感謝申し上げます。

関連文献

1. 建設省, バイオテクノロジーを活用した新排水処理システムの開発報告書 (下水道編), 平成3年2月
2. 建設省, バイオテクノロジーを活用した新排水処理システムの開発概要報告書, 平成2年10月
3. 京才, 革新的な下水処理プロセス—バイオフィォークスWTについて—, 平成元年度土木研究所講演会講演集, 平成2年2月
- 土木技術資料特集号 (Vol. 32, No.12, 1990)—
4. 安中, 「バイオフィォークスWT」とこれからの下水処理, 土木技術資料
5. 京才, バイオフィォークスWTの概要
6. 高橋, 排水処理のための微生物バンク
7. 中島, 遺伝子操作の処理微生物への適用
8. 鈴木, コンパクトな下水処理用バイオリアクターの開発
9. 鈴木, 省エネルギー型下水処理用バイオリアクターの開発
10. 森山, 高度処理用バイオリアクターの開発
11. 落, 汚泥処理用バイオリアクターの開発
12. 中村・田中, アンモニアバイオセンサーの毒性モニタリングへの応用
13. 小越, 下水前処理用の高効率固液分離装置の開発
14. 京才, 新下水処理システムの提案
- 月刊下水道特集号 (Vol. 16, No.6, 1993)—
15. 安中, 「バイオフィォークス」から得たもの
16. 佐藤, 「バイオフィォークス」の意図するもの—その成果と活用策を展望する—
17. 高橋, 「バイオフィォークス」の全体像を要約すれば
18. 京才・弘元, 「バイオフィォークス」と新下水処理システムの実用化—都城市でのエネルギー自立型下水道—
19. 柏谷, バイオテクノロジーの下水処理への活用について思うこと—現状で最も緊急な研究開発の課題は—
20. 船越, 「バイオフィォークス」を活用した多機能型下水処理システムの開発
21. 江藤, 「バイオフィォークス」と高度処理—“ペガサス”実用化の現状と展望
22. 田中, 「バイオフィォークス」と施設更新—省面積型処理システムの実用化調査の事例—
23. 佐伯, 「バイオフィォークス」と小規模下水道—三重県二見町の事例—
24. 渡部・落, 「バイオフィォークス」とエネルギー・資源回収
25. 田中, 「バイオフィォークス」後のバイオセンサーの展開
26. 猪野, 固液分離機能付き接触ばう気法による水質浄化—水戸市第2号都市下水路浄化施設: 下水道協会誌: Vol. 31, No.373, 1994
27. 小池, バイオフィォークスWTで開発された施設を実用化—三重県二見町茶屋クリーンセンター, 水すまし, No.69, 1992
28. 湯浅, 二見浦の水質保全にバイオフィォークスWTの実用化施設, 土木学会誌, 1994. 3
29. 西村, 流動床式好気性ろ床法による水環境の保全—三重県二見町茶屋クリーンセンター, 下水

道協会誌、Vol. 31、No.373、1994

30. 西村、供用開始を迎えてー三重県二見町茶屋クリーンセンター、水すまし、No.78、1994
31. 日本下水道事業団、包括固定化担体を用いた硝化促進型循環変法「ペガサス」の評価に関する報告書、平成5年6月
32. 竹島、包括固定化担体を用いた硝化促進型循環変法ーペガサスによる窒素・りん除去ー、下水道協会誌、Vol. 31、No.373、1994
33. 新川・田村、「ペガサス」実用化第1号ー宗像市宗像終末処理場ー鈴木、都城市新下水道システムーバイオフィォーカスによる新技術ー、水すまし、No.70、1992

参考1 バイオフィォーカスWT

昭和60年度から5か年、建設省総合技術開発プロジェクトとして実施されたプロジェクトである。「バイオテクノロジーを活用した新排水処理システムの開発」が正式名である。本プロジェクトは、バイオテクノロジーを活用して、次に掲げる現在、及び将来の下水処理の課題を解決しようとしたものである。

省エネルギー、低コスト

省スペース

高度な処理水

有価資源の回収

容易な維持管理

有用微生物の発見

これらの目的を達成するために、研究開発はつぎの8課題に分類された。

排水処理に係わる微生物バンクに関する研究

遺伝子操作の処理微生物への適用に関する研究

微生物の固定化方法に関する研究

下水処理バイオリアクターに関する研究

汚泥処理バイオリアクターに関する研究

水質計測用バイオセンサーに関する研究

前処理用固液分離装置に関する研究

新下水処理システムに関する研究

バイオフィォーカスWTの実施に当たっては、産、学、官の学識経験者からなる委員会を国土開発技術研究センターに設け、研究開発方針、成果を検討、審議して頂いた。

本プロジェクトは、下水処理に対してある種の革命的な役割を果たすもので、従来の下水処理への異種技術の導入を図る必要があると考えられた。このため、昭和60年6月に、民間企業等とも共同研究ができるよう改訂された「建設省研究所等共同研究実施規定」によって、30の民間企業と共同研究を行った。このうち27の共同研究で、パイロットプラントによる実験を含んだ、新しい下水処理技術の開発が行われた。

参考2 活性汚泥循環変法

流入下水中に含まれる有機性窒素やアンモニア性窒素を好気性（水中に分子状の酸素がある）条件で、微生物（硝化細菌）が硝酸性窒素に変換する（硝化）。この硝酸性窒素に含まれる酸素を無酸素性（水中に分子状の酸素はないが結合性の酸素はある）、及び有機物（BOD）の存在下で他の微生物（脱窒細菌）が呼吸に用いると、硝酸性窒素は窒素ガスとなり、大気に放出され、下水中の窒素は除去される（脱窒）。

活性汚泥循環変法のフローシートを図2-1-1(C)に示す。最初沈殿池で沈降性の良い固形物を除かれた下水は、硝酸性窒素を含む硝化槽からの循環液と脱窒槽で混合攪拌され、硝酸性窒素が除去される。流入下水中の窒素は、次の硝化槽で硝酸になる。脱窒槽が硝化槽の前段にあるのは、脱窒に必要な有機物を確保するためである。

硝化細菌、脱窒細菌は有機物を除去する細菌などの微生物（活性汚泥）と共に下水と混合状態で最終沈殿池に流入し、沈殿して処理水と分離される。沈殿した活性汚泥の一部は生物反応槽の生物量を確保するため、その流入部に返送される。

参考3 好気性ろ床法

好気性ろ床では、3-5 mm程度のろ材を充填したろ床上部より最初沈殿池流出水を流入させ、ろ材間を流下する間にろ材表面に付着した好気性微生物による有機物の分解と、ろ過作用による固形物の除去を同時に行う。曝気はろ床下部より行われる。好気性ろ床には次のような特徴がある。

- ・最終沈殿池が不要となるため、必要面積を削減できる。
- ・ろ床での酸素溶解効率が高く、曝気動力を低減できる。
- ・維持管理が容易である。

建設環境問題とミティゲーション

－日本と欧米の自然環境の相違から考える－

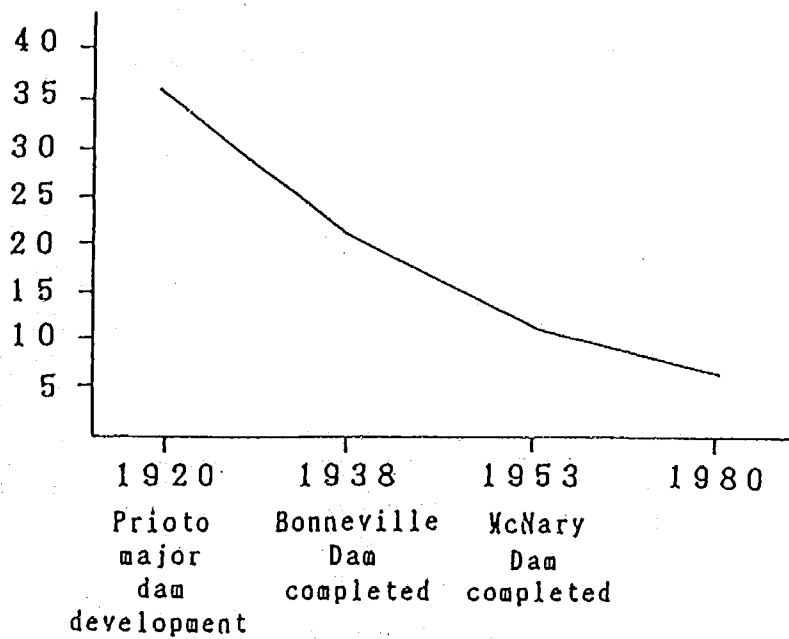
環境部長 竹林 征三

建設環境問題とミティゲーション

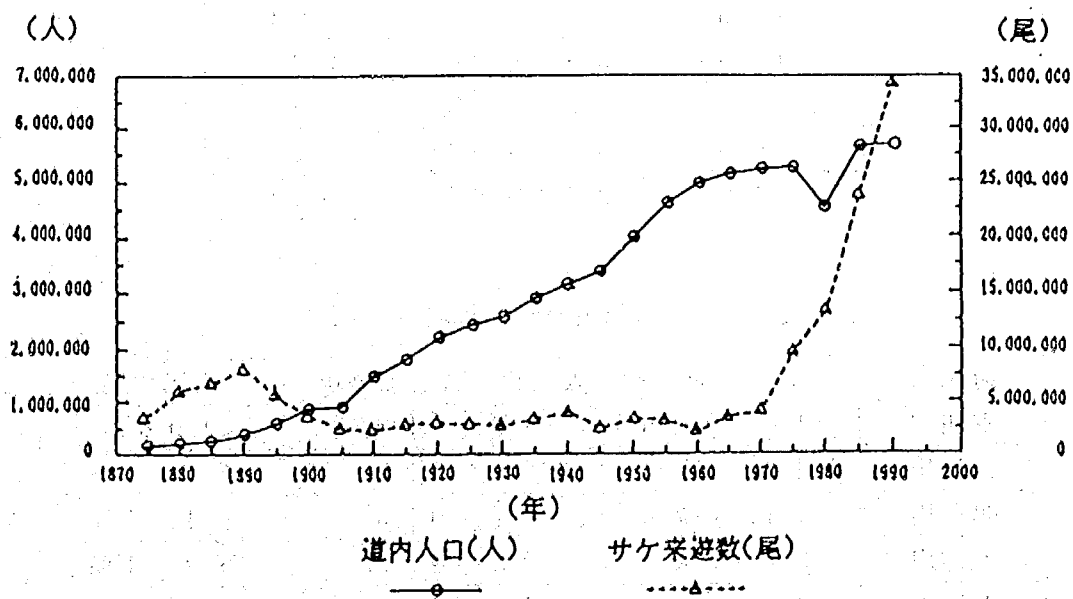
－日本と欧米の自然環境の相違から考える－

[1] はじめに

(1) 漁獲高の変化と河川事業



図－1 コロンビア川における漁獲量の推移



図－2 北海道におけるサケの来遊数と人口の推移

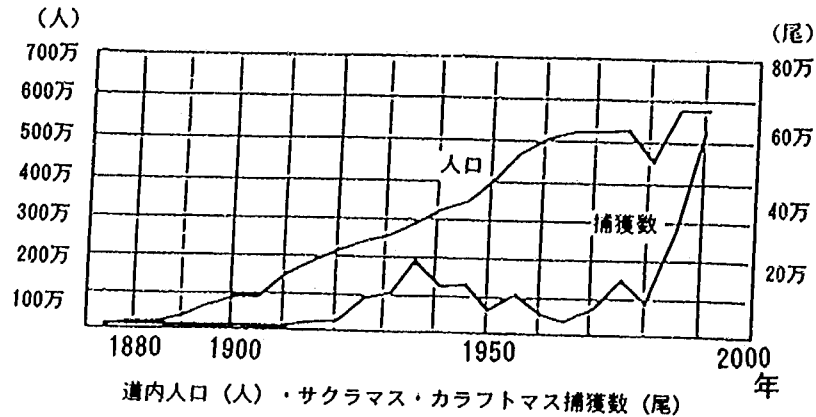


図-3 北海道のサクラマス・カラフトマスの捕獲数

表-1 アユの漁獲量の変化

河 川	S2～6年平均(a)	S62年(b)	b/a
損保川	4 5	3 2 7	7. 3
千種川	2 1	8 4	4. 0
吉井川	1 2	1 8 3	1 5. 3
旭 川	2 4	8 4	3. 5
高梁川	4 6	2 2 8	5. 0
太田川	3 3	2 0 1	6. 0
肱 川	2 0	1 4 9	7. 5

表-2 アユの漁獲量の変化

湖産アユ

年	漁獲量 ton
1 9 6 6 年	1 0 6
1 9 6 5 年～1 9 6 9 年平均	2 2 8
1 9 7 0 年～1 9 7 4 年平均	3 0 7
1 9 7 5 年～1 9 7 9 年平均	4 3 6
1 9 8 0 年～1 9 8 4 年平均	5 8 6

表-3 一級河川の人工水際率ベスト5

河川名	延 長	人工化された水際線	人工化率
本明川	1 6. 0 k m	1 6. 0 k m	1 0 0 %
長良川	1 4 7. 0 k m	1 2 4. 3 k m	8 4. 6 %
鶴見川	4 4. 0 k m	3 7. 0 k m	8 4. 1 %
天神川	3 2. 0 k m	2 5. 3 k m	7 9. 1 %
重信川	3 2. 0 k m	2 4. 5 k m	7 6. 6 %

環境庁 第3回自然環境保全基礎調査(1985年)による

(2) ダム湖水誕生と鳥類の変化

表-4 松川湖の野鳥リスト

この野鳥リストは1981. 2より1992. 3まで、松川湖ができあがる以前から現在まで奥野周辺で伊豆野鳥愛好会が観察したものです。なお種名の前に「*」が付いている鳥は松川湖ができしてから観察された鳥、「☆」が付いている鳥は松川湖ができしてから観察されていない鳥です。

●カイツブリ目
カイツブリ科
*カイツブリ

●コウノトリ目
サギ科
*ゴイサギ
*コサギ
*アオサギ

●ガンカモ
ガンカモ科
オシドリ
*マガモ
カルガモ
*コガモ
*トモエガモ
*ヨシガモ
*ヒドリガモ
*ホシハジロ
*アカハジロ
*キンクロハジロ
*スズガモ

●ワシタカ目
ワシタカ科
*ミサゴ
*ハチクマ
トビ
*オオタカ
*ツミ
*ハイタカ
ノスリ
サシバ
*イヌワシ
ハヤブサ科
ハヤブサ
*チゴハヤブサ

●キジ目
キジ科
コジュケイ
*キジ

●チドリ目
チドリ科
*コチドリ
*イカルチドリ
キジ科
*イソシギ

●ハト目
ハト科
キジバト
*アオバト

●ホトトギス目
ホトトギス科
☆ホトトギス

●ヨタカ目
ヨタカ科
ヨタカ

●アマツバメ目
アマツバメ科
*ヒメアマツバメ
*アマツバメ

●ブッポウソウ目
カワセミ科
ヤマセミ
カワセミ

●キツツキ目
キツツキ科
*アリスイ
アオゲラ
コケラ

●スズメ目
ツバメ科
*ツバメ
*イワツバメ
セキレイ科
キセキレイ
☆ハクセキレイ
セグロセキレイ
*ビシズイ
*タヒバリ
サンショウクイ科
*サンショウクイ
ヒヨドリ科
ヒヨドリ
モズ科
モズ
カワガラス科
カワガラス
ミソサザイ科
ミソサザイ
イワヒバリ科
カヤクグリ

ヒクキ科
〈ツグミ亜科〉
ルリビタキ
ジョウビタキ
*ノビタキ
*イソヒヨドリ
トラツグミ
クロツグミ
*アカハラ
*シロハラ
ツグミ
〈ウグイス亜科〉
ヤブサメ
ウグイス
*センダイムシクイ
〈ヒタキ亜科〉
オオルリ
〈カササギヒタキ亜科〉
*サンコウチョウ
エナガ科
エナガ
シジュウカラ科
☆ヒガラ
ヤマガラ
シジュウカラ
メジロ科
メジロ
ホオジロ科
ホオジロ
*カシラダカ
アオジ
☆クロジ
アトリ科
カウラヒワ
マヒワ
*ベニマシコ
ウソ
イカル
ハタオリドリ
スズメ
カラス科
カケス
ハシボソガラス
ハシブトガラス

計13目29科87種

表一 5 ダム湖の鳥獣保護区（特別保護地）指定

地域別	ダム湖数	事例（鳥獣保護区名）
北海道	9	糖平湖、かなやま湖、シューパロ湖、亀田川水源地 その他
東北	12	美山湖、田瀬湖、湯田ダム、花山、大倉ダム その他
関東	8	田沢湖、津久井 その他
北陸	1	山中温泉（我谷ダム）
中部	3	奥野ダム、田貫湖、君ヶ野ダム
近畿	7	犬上ダム、野鳥の森（芹川ダム）、平荘ダム、引原 その他
中国	8	大原湖、美弥ダム、菅野湖、旭川湖、豊田湖 その他
四国	6	黒瀬ダム、玉川ダム、鹿野川ダム、須賀川ダム その他
九州	27	氷川ダム、市房ダム、北川ダム、日向神 その他

ハクチョウ類の飛来最多

今年5万4000羽 観察地も増える

環境庁調査

一月十五日に行われた。

日本に今年渡ってきたハクチョウ類は、調査を始めた昭和四十五年以来最多の五万四千羽にのぼることが十五日、環境庁の「カン・カモ科鳥類生息調査」で分かった。カン類、カモ類を含めた総数では百九十三万五千羽で、一昨年に次ぎ二番目だった。

ハクチョウ類は、合計五万四千六百八十八羽で、これまで最多だった昨年に二千六百五十一羽上回った。沖縄県でオオハクチョウ、

東京都でコブハクチョウが見つかると、千葉県では府県数三十一で過去最多になった。

特にコハクチョウは、昭和五十一年の二七五羽から、昨年は二万五千八百羽と、約十五倍に増えている。この六年間二万五千羽から三万羽の間で安定しているオオハクチョウとは対照的で、環境庁野生生物課では「コハクチョウの方が人が与えるエサに比較的慣れやすいせいでは」と見て

また、カン類も六種三万四千八百四十六羽が観察され、過去最多。

カモ類は百八十四万五千羽。ハクチョウ飛来地などで、餌（え）付けの多いほれにあずかることが多いオナガカモが二十万六千羽と、十九年間で四倍以上増えた。

調査は、ハクチョウ、カンカモ類が生息する湖沼、湿地、河川、海岸など全国七千九百八十五か所で今年

[2]「NATURE」は自然にあらず

－「おのずからの自然」と「みずからの自然」－

－「しかりの自然」と「しからしむの自然」－

(1) Natureの語源と意義

The Oxford English Dictionary, second edition 1989

- | | | |
|--|--|--|
| I. 1-a 物の基本的な質や特性
生れつき分離できない性質の組み合わせで何かに属し、その基礎的な性格を与えるもの | III. 9-a 人や動物の中に生れもってある支配力あるいは出来心、それによって行動や性格が直接あるいは制御されて決る。しばしば人格化されたもの | IV. 11-a 創造的そして調整された物理的な力 |
| 1-b 悪いことの度合い | 9-b 優雅の反対 | 11-b 多かれ少なかれ明確な女性としての人格化 |
| 1-c 質の表示法としての肌合い | 9-c (熟語の説明につき省略) | 11-c 傷や病気の治癒における医学的術や処置の反対 |
| 2-a 人や動物の天然の気質 | 9-d (熟語の説明につき省略) | 11-b 人工の反対 |
| 2-b 人類の一般的な性質、人間性 | 9-e 自然の感触あるいは影響(方言) | 12 (熟語の説明につき省略) |
| 2-c 人間の性格の異なる要素に関しての付属物 | 9-f 自然の行動、行為(稀) | 13-a 物質世界あるいはその集合した対象と現象特に、人間が最も直接に接触できるもの |
| 2-d 性格の容量、機能 | 10-a 生れつきの力(power and force)、それによって人間の肉体的および精神的な行動が持続される | しばしば地球それ自身の姿や生産物人間文明のものに対する概念 |
| 3-a 特別な質や性格の物や人間 | 10-b 食物によって維持される必要がある重要な機能 | 13-b, c, d (熟語の説明につき省略) |
| 3-b 大砲 | 10-c 他の肉体的要求に関連して | 14-a, b (熟語の説明につき省略) |
| 4, 5 (熟語の説明につき省略) | | 15 (さまざまな複合語の例) |
| II. 6-a 人間の活力ある物理的な力ある人の物理的な力あるいは体格事物の強度あるいは内容(中身) | | |
| 6-b (熟語の説明につき省略) | | |
| 7-a 精液、種子、 | | |
| 7-b 月経 | | |
| 8 外陰部(特に雌馬のそれ) | | |

(2) 自然の語源と意義

- 自然 (1) おのずからそうになっているさま。天然のままで人為の加わらないさま。あるがままのさま。(自然の意)
- (2) ①人工・人為になったものとしての文化に対し、人力によって変更・形成・規制されることなく、おのずからなる生成展開によって成りいでた状態。
- ②おのずからなる生成展開を怠起させる本具の力としてのものの性。本能。本質。
- ③人間を含め、山川・草木・動物など、天地間の万もの。宇宙。
- ④精神に対し、外的経験の対象の総体。すなわち、物体界とその諸現象。
- ⑤歴史に対し、普遍性・反復性・法則性・必然性の立場から見た世界。
- ⑥自由・当為に対し、因果必然の世界。
- (3) 人の力では予測できないこと
- ①万一
- ②もし、ひょっとして

①人間以外の森羅万象にかかわるもの
・物の基本物質、天然の気質、自然の法則、種類etc

②人間の生誕にかかわるもの
・生誕、精液、精子、月経、外陰部、自然の便意、etc

③自己にかかわるもの
・人間性、性格の容量、特別な性格の人生まれつきetc

④自我にかかわるもの

(4-1) 自我に関わるみずからのしかり

・人間の活力ある物理的な力
世号を創造する力
・栄養によって保持される活力ある機能
創造的そして調整された物理的な力

(4-2) 自我にかかわるみずからのしからしむ

・人間文明 (nature) ・大砲、土着
風土 (native)

・国家、国民 (nation)

⑤上記概念の派生、nature → 当然
自然 → 偶然

(5) 諸外国語におけるNatureの概念

図-4

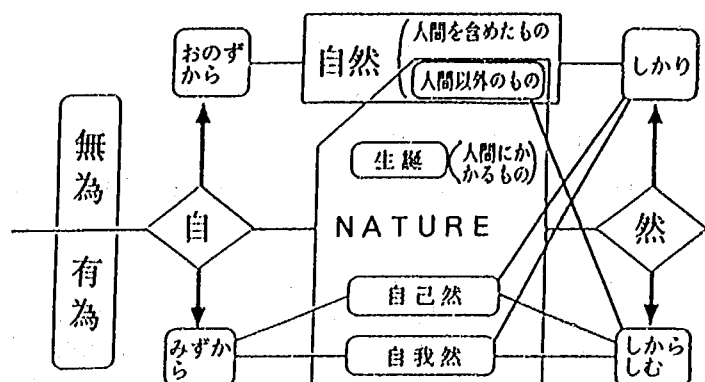


図-5

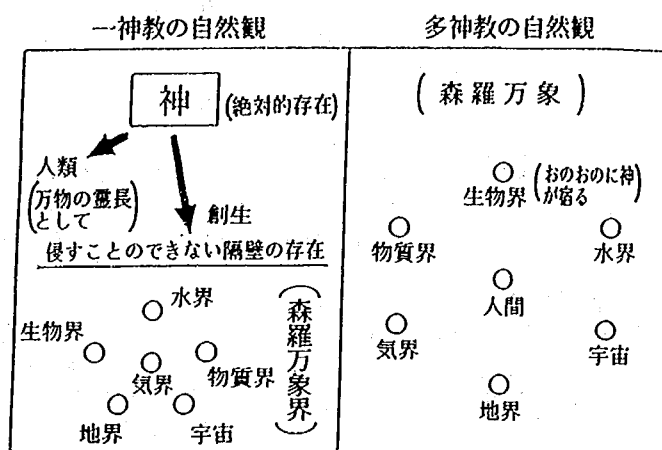


表-6

	自 然	天 然	Nature	природа (露)	natura (伊)
人間を含めた自然	○	○			
人間以外の自然		○	○	自然、自然界 種類	自然、自然界
人間に関わる自然 (生活)			○	生まれ、血統 出産	nativita (生誕)
人間の性格 自己然		○	○	本性、天性、本質	本性、天性
自我然			○		自然の女神 造化神、造物主
偶 然	○				
当 然			○		naturalaente (当然)

(3) 自然とNature

表 - 7

	みずからの自然	おのずからの自然
食料	食料として神が作ってくれた自然	恵みとしての自然
神との関係	神が天地創造した自然 人(神に似せたもの)が作った自然	おのずからそうである自然 そこには神がやどっている
人為	克服する対象としての自然	敬する対象としての森羅万象
主体	人間	自然
	自分自身の身そのものの様	その物自体のおのずから成りゆくまの様の様

表 - 8

	無 為	有 為
	(友人為の概念)	(人為の概念)
自(名詞) (副詞)	おのずから	みずから
然(動詞)	(自動詞) しかり	(他動詞) しからしめる

(4) Natureは自然にあらず

表 - 9

		自然 or 自然		Nature		備 考
		自然or自然 そのもの	自然or自然 に関連する 用語	Nature そのもの	Natureに 関連する用語	
おのずから しかり (主として 自然)	人間を含め 森羅万象 に関わる	・物体界とそ の諸現象 ・天地間の万 物、宇宙 ・おのずから そうなっ ていさま ・本性、本質 ・因果的必然 の世界	・自然教 ・自然道(金) ・自然発生 ・自然石 ・自然書 ・自然界 ・自然生 ・自然人 ・自然社会 ・自然法則			spontaneously automatically of oneself of (by) itself
おのずからの しかり or しからしむ (主として Nature)	人間以外 森羅万象に 関わる			・物の基本的質 ・天然の気質 ・自然の法則 ・種類		
みずから の おのずから	人間に関わ るもの			・生誕 ・精液、種子 ・月経、外陰部 ・自然の行為 (便意)		autogenesis
みずから しかり	自己に関わる			・人間性 ・性格の容量 ・特別な性格の 人間 ・生まれつき	human nature (人間性) Natural Singer (天性の歌手) by nature (生まれつき)	one's own personal
みずから しかり or しからしむ	自我に関わる ものとその作 り			・人間の活力あ る物理的な力 ・世界を創造す る力 ・栄業によって 保持される活 力ある機能 ・創造的そして 調整された物 理的な力	natureと同じ語 源を持つ概念 ・native(土着) (風土) ・nation(国家) (国民)	for oneself
上記概念の 結果として	派生してでき た概念	・人の力で予測 できないこと (万が一、もし、 ひょっとして) ◎ (偶然) [おのずから しかりの結果]		・人間文明 ・大砲 ・悪いことの成 合い ◎ 当然 (みずから しからしめた 結果)		

「Nature」は「自然」にあらず

[カントの言葉]

自然の歴史は善から始まる。何故ならそれは神の作品であるから
自然の歴史は悪から始まる。何故ならそれは人間の作品であるから

[3] 東洋と西洋の自然観・環境観

現在の環境問題のいろいろな展開を見る時、東洋と西洋では、いろいろの場面で大きな違いを感じるのは筆者一人ではないであろう。その要因の一つとして東洋と西洋とでは自然観すなわち環境観が大幅に異なることが挙げられる。それらについても考察していくことにしよう。

表-10 東洋と西洋との自然観

	荒 野 地 帯 砂 漠 地 帯	モンスーン地帯
自 然	ヒースの原野 黄土と飛砂 (黄色～灰色)	広 葉 樹 林 (緑 色)
人 工	緑 化 林 (緑 色)	表土とコンクリート (黄色～灰色)
世 界 観	「進展」の思想 世界は「有限」であり、始め と終わりがあ (直線的・進展の世界観)	「輪廻」の思想 世界は「永遠」に続き 流転を続ける (円環的・循環の世界観)
神の存在	神は人間を超越(一神教) 宇宙を創造して支配する全知全能 の存在	(多 神 教) 自然の中に神が宿る 八百萬の神々
生 物 観	万物の霊長(人類) 動物愛護 ・神聖な動物○○ ・不浄な動物○○ ・神が人間に食料として与えて くれた動物	一切衆生 悉有仏性 ・一木一草に仏性あり ・一寸の虫にも五分の魂 ・生命にはかけがえのない尊厳 と価値がある ・生類憐れみの令
宗 教	マホメット教 キリスト教	仏 教 儒 教 etc.

(1) 神の存在・運命・世界観

環境問題を論ずる場合に神の存在をどのように見ているかによって、その展開は異なってくる。ある見方をすれば、自然観・環境観は神の存在をどのように考え、運命をどのように見るかという宗教観、世界観そのものであると見ることもできる。キリスト教の社会では神は宇宙を創造して支配する全知全能の宇宙にただひとりの存在で、最初に作った人間がアダムでありイブである。禁断の木の実を食べれば(戒律をおかせば)神の審判によりエデンの園から追放したり、また神がいればノアの大洪水を引き起こす。

そして、運命についてはアダムの子孫である人間は全て、アダムが神命に背いて犯した人類最初の罪(原罪)を生まれながらに負って生きており、それを犯せば神判により神の裁きをうけるというのが運命観である。

キリスト教の世界観は有限であり始めと終わりがある。すなわち世界の始めの創生(天地創造)があり、そして世の終わりに人類が神により裁かれる最後の審判 The Last Judgement を受ける。善人は永遠の祝福に、悪人は永久の刑罰に定められる。これだけでは話は本当に終わってしまうので人間が死後、再び生命をとりもどす復活の思想が付加されている。

一方、仏教のお釈迦さまの教えでは運命とか人間を支配する神の存在はない。当然と思える現象は当然とし、偶然と思える森羅万象の過去・現在・未来にわたる現象も子細に調べていくと善くも悪しくもどうしてもそうでなければならず、必然の結果であるという思想である。

表-11 神の存在・運命・世界観

	キリスト教	仏 教	神 道
神の存在	神は人間を超越 (宇宙にただひとり 一神教) 宇宙を創造して支配する 全知全能の存在	存在しない	八百万の神々 (多神教) (自然そのものが神) 祖先神
運命観	神の裁き 原罪の思想	因果因縁の法	神の導き 先祖の導き
世界観	天地創造から進化の思想 世界は「有限」であり、 始めと終わりがある	輪廻と諸行無常思想 世界は「永遠」に続き流転を続ける	

いかなる現象も、幾つかの直接原因(因という)と間接原因(縁という)とが重なり合い、からみあって結果(果という)が生まれるとする。人に生まれる、そしていま生命ある、このこと全てがこの因果律の原因と結果であるとする。

仏教には運命という思想はないが、この因果律がそれにあたる。仏教の世界観は輪廻転生と諸行無常の思想である。生きとし生けるものは本能的な欲望の強い世界(欲界)と欲望がなくなった清らかな世界(色界)と物質的なものからはなれた純粋な精神のみの世界(無色界)の三界と善悪の業によって生まれ変わる地獄・餓鬼・畜生・修羅・人間・天上の六つの迷いの世界、六道の間を繰り返すとどまることがないと見るのが仏教の輪廻転生の世界観である。また一方、一切のものは生滅し、変化して、永遠不変のものはないと見るのが仏教の諸行無常の世界観である。

我が国においては、祖先神と、自然森羅万象に神々がやどるとする八百万の神々への尊崇を中心とする、我が国固有の民族信仰が外来思想である仏教儒教の影響を受けつつ神道という形で理論化されてきた。その後、本地垂迹説等の神仏混淆により、わが国固有の神の信仰と仏教信仰とが融合習合される。それらの経緯を踏まえて明治維新、神仏分離がなされ現在に至っている。このような歴史的経緯により、神道と仏教との間がやや不明瞭なところがあるが、整理して見ると表のようになる。

(2) 生物観

西洋と東洋における生物観の相違は、動く生物(動物)において顕著にあらわれる。西洋においては人間と他の動物間には絶対的なとりはらうことのできない隔壁階差をもうけている。西洋においては人類は万物の霊長であるとしている。すなわち人類は全ての生物のなかで、かしらとなる優れたもので靈妙不可思議な力を持っているとしている。

哺乳綱のサル目は11科約50属170種あり、進化的にはモグラ目から分かれ歯や四肢はあまり特殊化していないが、大脳は特によく発達し顔はまるく、両眼視することが出来る。また、指が発達し、ど

の指かに扁爪を持ち物をつかむことができる。

全ての動物の中で特にすぐれたかしらとなる動物であるとして、霊長目と位置付けている。その中で特に人類はまたその頂点に位置付けている。従って他の動物に対しては、この動物は神か人間に食料として与えてくれたから食べるし、またこの動物は神聖とされたからまた不浄とされているから食べないでいる。そして、人間か動物を大切にする時は、動物愛護という一段高い立場から恵む行為となる。

聖書の創世紀の天地創造の第6の日『神は言われた。「我々にかたどり、我々を似せて、人を造ろう。そして海の魚、家畜、地の獣、地を這うものすべてを支配させよう。」神は御自分にかたどった人を創造された。神は彼らを祝福して言われた。「産めよ、増やせよ、地に満ちて地を従力せよ。」神は言われた。「見よ、全地に生える。種を持つ草と種を持つ実をつける木を、すべてあなたたちに与えよう。それからあなたたちの食べ物となる。地の獣、空の鳥、地を這うものなど、すべて命あるものにはあらゆる青草を食べさせよう。」そのようになった。

神は造りになったすべてのものを御覧になった。見よ、それは極めて良かった。』と書かれている。これがキリスト教における生物観をあらわしている。

一方、東洋における仏教の思想では、人間と他の動物とは「一切衆生」すなわち生きとし生けるものみな全て同列に置き「悉有仏性」すなわち悉く仏性を有しているとしている。すなわち犬や猫、牛や馬全ての畜生は、たまたまこの世にそのような姿で生まれただけで御仏のいのちを持ち、次の世には人間として生まれてくれば良いとする考えである。一寸の虫にも五分の魂があるとし、蚤、虱に至るまで生きとし生けるもの全てが人間と同じ命の重さがあるとしている。

人間と犬猫等関係なく生きとし生けるものが、それぞれの中に仏のころがあるのに気づかず本能（すなわちこれを畜生心という）のままに、何の反省もなく生存しつづければ畜生となる。人間の姿形をしていても自我を満足させ、本能を充足させるだけで一生を過ごすものは人間ではなく畜生としている。人間を他の動物と区別するのはこの畜生心を以漸悉令滅さすかどうかであるとしている。人類と他の動物とは愛も悲しみもともにわかちあえる同朋・友人なのである。

(3) 緑色・森林観

我が国において国民の一般的な感覚として、緑色を見れば自然森林を思いうかべる。また表土とコンクリートの色である黄色、茶褐色、灰色系統を見れば人工を思いうかべる。

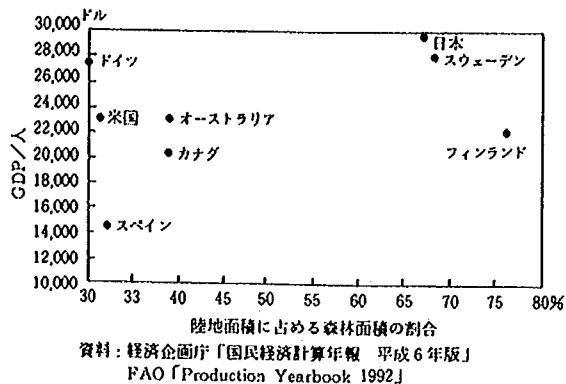
日本人としては、この極く常識的な緑色→森林→自然の発想は極く当然のように思えるが林業白書（平成5年）で統計を調べて見れば、日本人の緑色森林観は世界中から見れば非常に特殊な位置付けとなることがわかる。日本人の一般的な常識的な感覚からすればこれだけの経済成長を遂げたのだから森林は減少していると思いがちである。

林業白書によれば、

『○増大する我が国の森林資源、減少する世界の森林』

OECD加盟国の中で、一人当たりの国内総生産（GDP、名目）が1万ドル以上の国（1992年）は、我が国を始め21か国ある。この中で、陸地面積に占める割合が60%以上の国（1991年）は、我が国（67%）とスウェーデン（68%）、フィンランド（76%）のわずか3か国のみであり、他は、40%以下となっている（図-1）。また、国全体としてのGDP（名目）が1兆ドル以上の国（1992年）は、我が国のほか、米国、フランス、イタリア、ドイツ、イギリスの6か国である。我が国を除く5か国の陸

地面積に占める森林面積の割合は、おおむね30%以下となっている。さらに、GDP（名目）が1兆ドル以上の国で、人口密度が300人以上の国（1992年）は、我が国のみである（参考付表－1）。このように、我が国は、多くの人口を抱え、かつ、経済を高度に発展させながら豊かな森林を育ててきている。



図－6 一人当たりGDP 1万ドル以上のOECD加盟国の陸地面積に占める森林面積の割合

表－12 OECD加盟国の諸指標

国名	一人当たりのGDP（名目） （ドル）	GDP（名目） （百万ドル）	陸地面積に対する森林面積の割合（%）	人口密度 （人／km）
スイス	34,830	240,500	26	172
日本	29,524	3,668,907	67	330
スウェーデン	28,324	245,800	68	21
ドイツ	27,684	1,775,100	30	230
デンマーク	27,485	142,100	12	122
ルクセンブルグ	26,667	10,400	21	317
ノールウェー	26,388	113,100	27	14
アイスランド	25,385	6,600	1	3
オーストラリア	23,427	184,700	39	95
フランス	23,093	1,324,900	27	104
米国	23,060	5,880,700	31	28
ベルギー	21,815	218,700	21	317
フィンランド	21,737	109,600	76	16
イタリア	21,176	1,223,600	23	197
オランダ	21,110	320,400	9	447
カナダ	20,488	562,300	39	3
イギリス	17,987	1,040,500	10	240
オーストラリア	16,367	286,900	14	2
スペイン	14,678	573,700	32	78
アイルランド	13,758	48,800	5	50
ニュー・ジーランド	11,804	40,300	28	13
ポルトガル	8,521	83,900	32	107
ギリシャ	7,689	79,200	20	79
トルコ	1,914	112,500	26	76

資料：経済企画庁「国民経済計算年報 平成6年版」、FAO「Production Yearbook 1992」

注：1) ルクセンブルグとベルギーの「陸地面積に対する森林面積の割合」と「人口密度」は、双方の合計から算出する。
2) 陸地面積に対する森林面積の割合に1991年、それ以外は1992年の数値である。

』

以上より日本人と森林との関係は世界中でも極めて特異であることが浮かび上がってくる。

マホメット教の国々では一般的には自然からは砂漠を連想し、色でいえば黄土と飛砂の色、黄色～灰色系を連想する。

主要な英語圏の国々では森林率はイギリスで10%、アイルランドで5%、アメリカで31%、オーストラリアで14%と低い。

特にイギリスでは一般的に自然といえば荒漠としたヒースの原野を連想する。これらの砂漠地帯やヒースの原野の国々で一般的に緑豊かな森林があるとすればそれは人々が永年かけて植林してきた人工林でしかありえない。緑色からは人工を連想するのである。

環境問題を論ずる時、砂漠地帯の回教の国々や、ヒースの原野の国々の人と、緑豊かな森林に囲まれた我が国の人々では緑色森林観は正反対であることをよく認識しておくことが重要である。

(4) 東洋と西洋との環境観の相違について

以上見てきたように東洋と西洋では環境観の相違点を緑色の森林観と宗教に基づく神の存在観・運命観・世界観・生物観の相違点としてとらえてきた。しからば、そのような環境観の相違がどのような気候風土の相違により生じてきたかを歴史的に分析してみなければならない。

東洋については日本を、西洋については英語文化圏の親元である英国をそれぞれ環境事象の代表事例としてとりあげその気候風土を歴史的に比較分析することにより考察して見る。

① 種の多様性豊かな日本、貧困な英国

日本と英国の植物種の比較を行うと下表のようになる。

表-13 日英の植物種の相違

	英 国	日 本	備 考
陸 地 面 積 位 置 北 緯 平 均 気 温 年 間 降 水 量 森 林 率	約30万km ² 50°～60° 9.5℃ 750mm 10%	約38万km ² 24°～45° 15.0℃ 1,400mm 67%	理科年表平成5年版 林業白書 平成5年版
全 植 物 種	1443種 1.2%	4022種 34.1%	A・アレスとP・ギラーの 「分析的生物地理学」 より%は固有種の率
樹 木 の 種 モミ属の種 トウヒ属の種 コナラ属の種 カエデ属の種	143種 0 0 2種 1種	986種 5種 7種 15種 28種	武内和彦の 「環境創造の思想」 より

植物種から見た生物の生育生息環境は森林率から各種の植物種に至るまで生物の多様性に関する全ての項目について英国は日本より一オクターブ貧困であるといわなければならない。これは英国だけの特殊事情ではなく、フランスの場合樹木類は約220種、ドイツの場合は樹木種は更に少なく、ヨーロッパ一般にいえることである。この原因は武内和彦によれば、以下のようなものである。

氷河期イギリスは南端を除きほとんどが氷河に覆われ、多くの植物種が逃げ場を失い絶滅したという。中部ヨーロッパも北からの氷河と南のアルプスの氷河の挟み撃ちに合い、逃げ場を失い多くの植物種が絶滅したという。

一方、日本を含む東アジアでは南北が細長いため北部で一部氷河に覆われたが、植物は南方へ移動していたという。その後、氷期が終わると毎年30～50mのスピードで北上して分布域を拡げたという。現在の種の多様性の差は植物の逃げ場所Refugeの存在の差であるという。

② 自然再生能力の極めて高い日本・ほとんどない英国

英国の近代化は産業革命により始まった。イギリスの産業革命の牽引車の役目を果たしたのが、高炉による木炭製鉄であった。製鉄所の立地条件は水車による強力なフィゴによる送風すなわち豊かな流水と木炭用の森林資源であった。

イギリスのフォーレスト・オブ・ディーンとウィルド地方は現在はイングランド特有な放牧地であ

るが、かつてはうっそうと森で覆われた森林地帯であった。

当時の木炭製鉄高炉では200kmの鉄鉱石より50kgの鉄を作るのに25m³の木を必要としたという。製鉄用の1個の炭焼窯は半径1kmの森林を40日間で燃やしてしまうことになり、1000tonの銑鉄を生産するのに4万haの森林からの木材を必要としたという。

製鉄業の築栄と共に広大な森林地帯が丸裸の荒蕪地と化してしまった。

一度荒蕪地となった所は現在に至るまで森林の回復はない。

一方、我が国でも同じように中国地方を中心として木炭を燃料とした「タタラ製鉄」は最近まで行われ、明治の半ば頃まで日本の製鉄の主流であった。このタタラ製鉄用の他、神社建築用等で多くの森林地帯がはげ山に化した地域が多く知られている。しかしその後の緑化への取り組みもあって、現在、かつて、はげ山であったとは到底思えない程までに森林が再生している。

以上の木炭燃料による森林破壊とその再生度合いの英国と日本の事例から何故キリスト教社会では進化的に変化していく世界観となり、仏教社会では輪廻の世界観が生まれてきたかということが想像される。

日本の高温多湿な風土では、樹木が生長し、いずれ朽ち土に帰る。動物もいずれ死に土に帰る。その土壌から新しい芽が出て、立派な樹木が生長していく。一つの生物からまた他の生物が生まれ変わる。このような再生能力の高い自然の中で生活してきた東洋から輪廻転生の思想が展開されてきたのは当然といえる。

一方、西洋のように生物の多様性も少なく一度変化すれば、後戻りはなく再生力の小さい自然を見て生活してきた人々からは輪廻ではなく進化の世界観が展開されてきたことも素直にうなずけるところである。この自然再生能力の差異は何によって生ずるのであろうか、気候風土の差であることは間違いない。ドイツの植生学者H・ワルターが編み出した気候ダイヤグラムがその差異を良く表現している。図-2に東京とロンドン等の気候ダイヤグラムの比較を示す。(注意 降水量100mm以上はスケールが異なること)

斜線部は降水量が気温すなわち蒸発量等を上回り、植物の生育に適していることを示す。黒色部は降水量が100mm以上で植物の生育には過度な湿潤状態であることを示す。

ドット印部は降水量が気温すなわち湿度等を下まわり乾燥条件となり、植物の生育には適さないことを示している。気温がマイナスの部分は全く植物の生育には適さないことは当然のことである。

東京は植物の生育する春から夏、秋にかけて十分な温度と共に十分な降水量もある。一方、ロンドンやパリでは植物の最も生育する盛夏でも、温度は10℃ちかく低く、降水量も半分以下である。サンフランシスコやローマでは、植物の生育する夏に降水量が極端に低くなり生育不適である。

東京に代表されるように、我が国において植物の再生能力は極めて高く、一方ロンドン、パリに代表されるヨーロッパは植物再生能力は非常に低いことが如実に表現されている。サンフランシスコやローマ等においては一度、森林が喪失すれば二度と戻らない過酷な風土である。

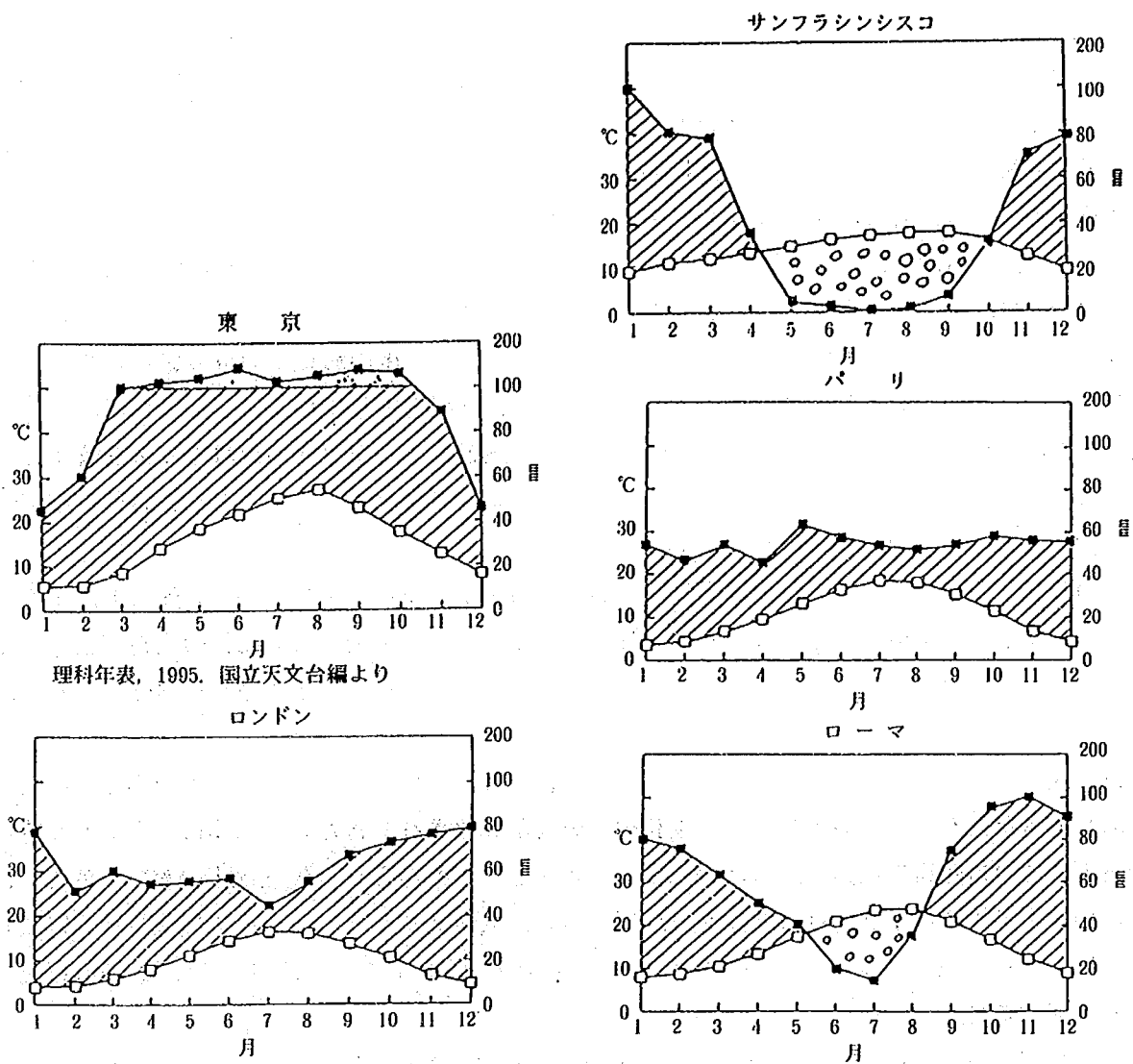


図-7

[4] 建設と環境との三つのインターフェイス

ー土木は本来、環境影響軽減対策ー

一般に社会風潮として、土木事業は環境破壊であるという固定観念が形成されてしまっているようである。ここで、土木事業は本当に環境破壊といわれても仕方ないのかどうか考えてみる。土木事業は古来より地域住民のいろいろな悲願達成の事業である。すなわち地域住民は毎年襲来する台風や洪水等のいろいろな災害から安心して住める国土にして欲しいという望み、又、一方対岸の人々と交流するために橋を架けて欲しい、峠を越えて山の向こうの人と交流するのは大変である、より簡単に交流するためトンネルを掘って欲しいそして、更には自分達が住んでいる町並みを美しくして欲しい、緑の公園にも接しうるおいとゆとりある生活をしたい、等々の地域住民のいろいろな要望をかなえる仕事であり、孫末代に豊かな社会資本を残す仕事である。

住民のこのような各種の多様な要望をかなえるための土木事業はその悲願達成の望みが大きければ大きい程、土木事業のスケールも一般的には大きくなる。

土木事業のスケールが大きくなればなる程地域の環境との関わり合いが生じてくることも確かである。

ここで土木事業が環境に与える影響については、三つの側面がある。順次それらについて考えてみることにする。

①土木は本来そもそも環境保全対策そのもの

土木事業は本来、自然環境変化が人間社会に与える致命的な影響ダメージを軽減する行為である。

古来より地球上に住む生物は地球の大きな自然環境の変化のたびに絶滅ないしは潰滅的なダメージを受けてきた。地球上に住む生物としての人類を見る時、地球の大きな営力に伴う自然環境変化すなわち洪水、山地崩壊、地震、津波、火山や海岸侵食それに渇水等により、生命や財産等が危険にさらされている。それらの環境影響軽減対策としてのそれぞれのものに対する土木事業が治水事業、砂防事業、耐震事業、防波堤、火山砂防や護岸それに水道・利水ダム等である。

以上のように土木事業とは、本来その目的とするものは環境影響軽減対策そのものなのである。

表-14 土木は本来、環境影響軽減対策である

環境変化要因	軽減対策としての土木事業
洪水	治水事業
山地崩壊	砂防事業、地這り対策
地震	耐震設計
津波	防波堤
火山	火山砂防
海岸侵食	護岸
渇水	水道、利水ダム

○洪水

近年上流域の大豪雨のたびにバングラディッシュでは国土の何分の一かは浸水し、何カ月にも及ん

でも水が引かないことが伝えられている。1988年11月のサイクロンによるバングラデシュの水害では死者約2,000人、行方不明者6,000人、負傷者2万人以上、300万人が家屋を失った。その1年前の1987年8月のモンスーンによる豪雨でも死者1,400人、浸水家屋20万戸、被災者2,000万人の大被害を出したばかりである。又、先進国である米国のミシシッピ川も昨年は中下流域が洪水で広大な地域が浸水した。我が国においても毎年、必ずといって良い程どこかで洪水の被害が報じられている。洪水で一度に国土は荒廃してしまう。世界の災害統計でも洪水がもっとも件数が多い。これは人間にとっても生物にとっても大変な環境破壊そのものである。今後、地球温暖化の傾向、更には異常気象の頻発傾向にあっては、洪水という大きな環境破壊に対し間違いない対策をしておかなければならない。次はどこに生起するか予測し難いだけに、地道な治水事業は環境破壊対策の中でも最も重要視しなければならないものである。

○山地崩壊

もともと起伏ある地形は平準化する方向の地球の営力がある。我が国のように島国で高い山岳地形の国土にあっては、高い山地は風化侵食により崩れていき、急傾斜な斜面は崩壊を繰り返している。

中部地方等隆起の大きいところでは毎年平均にしても2cmオーダーの山地が削られていっている。これらの山地崩壊は地肌をむき出しになるという見た目の環境破壊の他、土石流、地這り、等々いろいろな形で人間の生活環境を破壊している。

これらに対する各種砂防事業は山地を有する我が国では最も根幹となる環境保全対策事業と位置づけなければならない。

○地震・津波

環太平洋に位置し、プレートのサブダクションする所にある日本列島は世界最大の地震国である。死者10万人を出した関東大地震や昨年の奥尻島の地震を例にとるまでもなく、過去何度も大地震により都市や村が壊滅的な被害を被ってきている。1976年7月27日のマグニチュード7.8の唐山地震では一瞬にして24万2,769人が死亡した。民家の96%が倒壊、工場・公共施設の77%が被害を受けたことによる死者である。震度5での倒壊である。耐震設計が十分であれば死者数は何分の1であったであろう。又、1988年12月7日のマグニチュード6.8のアルメニア地震で人口5万人のスピタクの町の建物が全壊して死者は1万3,000人に達している。若干古くなるが1556年の中国の大地震では死者83万人という記録も残っている。その地域にとってこれ以上の瞬時の環境破壊は他にない我が国においては古くより地震、雷、火事、オヤジの第1位にランクされてきただけの風格を備えている。各種の耐震設計法を世界に先駆けてあみ出してきた。これらは環境対策技術の最も基本のものと位置づけられなければならない。

○火山

雲仙火山やピナツボ火山等、近年火山のニュースがやや多いような感じがしている。過去死者15,000人を出した雲仙の眉山の山体崩壊、死者115人を出した浅間山の天明の爆発、死者2,800人を出した1902年の西インド諸島マルテーク島のブレ火山の火砕流、死者25,000人を出した1985年のコロンビアのネバドデルリス火山の噴火等々大きな地域破壊をした火山を忘れることはできないが、世界的に見れば1815年のインドネシア・バリ島のタンボラ火山の爆発及び1883年のインドネシア・クラカトウ火山の噴火等は噴煙が偏西風に運ばれ全世界を覆い、全地球的な異常気象が生起し、北半球の気温がそれぞれ0.5℃、0.3℃低下したイベントがある。巨大噴火では、火山灰を含む噴煙柱が成層圏へ

達する。火山塵は数カ月くらいして対流圏へ落ちるが、SO₂などの気体成分はエアゾール粒子となって長く滞留し、日射量を減少させ数年程度の期間寒冷化を招くと言われている。これなどは地域破壊というよりは全地球的規模の環境破壊と言わなければならない。

○海岸侵食

我が国の国土約37万km²に対し総海岸延長は約134,500km（地球一周の9割）と非常に長い、世界でも有数の海岸線を保有する国である。そのうち侵食性海岸等で国土の保全のための護岸が必要な延長は約16,000kmにも及び、全海岸線の約1/2にあたる。又、現在その整備率48%と低い状態にある。

我が国の海岸線の変化は国土の変化のなかでも最も顕著な変化を示しているものである。石川海岸では昭和22年から昭和44年までの約20年間に海岸線は多いところで100m以上もの侵食を受け激変している。日本全国を見ると昭和から平成にかけての15年間で平均的に汀線から2.5m後退しているという。これらは自然の営力による海岸線の変化であるが東京湾、大阪湾、名古屋湾等々、で現状の朔望満潮位以下の海面下の土地が861km²にも及び人口200万人、資産54兆円を護岸で守っている。

海岸堤防の護岸が海岸線の変化という環境変化から人間生活を守っているのである。地球温暖化により海面が1m上昇することとなれば、面積が2.7倍の2,339km²、人口が2倍以上の410万人、資産が2倍の109兆円にもなる。このように海岸線に与える環境変化はすさまじいことになる。これは全国の面積の0.6%、人口の3%、資産の4%にあたる。

海岸堤防護岸は海岸侵食、海面上昇という大変な環境破壊外力から人間社会を守っているのである。

石川海岸では昭和44年から離岸堤工事を始め、最近までの20年間で概ね堆積に転じ、場所によっては昭和22年の汀線まで回復するまでの効果が出てきている。土木工事が環境保全工事そのものであることを如実に示す事例であろう。

○渇水

今年は梅雨は空梅雨同然だったことに加え、太平洋と大陸の高気圧が重なって、過去に類例を見ない西日本を中心とした渇水に見まわれている。古来より渇水に伴い水不足という、農地や人間社会への影響の他、イナゴの大発生とか森林への影響とかいろいろな環境への影響が生じている。

○災害は地球環境問題そのもの

アメリカ政府の海外災害救援局の世界災害統計によれば、1960年代と1970年代の年平均の災害件数は、洪水が15.1件から22.2件、干ばつ・飢餓が5.2件から9.7件、地震が6.0件から8.3件と増大しているという。'80年代統計も災害件数は増加しているという。

災害の規模や様相は外力としての自然条件による以上に、社会条件によって大きく変わっているといわれている。

自然災害という環境破壊は地球環境問題の中でも最も大きいものと位置付けなければならない。

②人間の利便性追求行為としての土木事業

土木事業は大自然の環境変化が人間活動に与える影響を軽減さす行為であると共に、人間の利便性追求の行為が環境へのきめの細かい配慮が不足すると環境への悪影響を及ぼすという側面を忘れてはならない。

新幹線網や高速道路網の建設は人間の利便性追求の活動である。より早く、より大量な交通手段の確保のために地球を改変さす。この場合、従来からの多くの事例からも、十分な事前と事後のきめの細かい環境対策を実施することにより実質上、ほとんど環境への影響を零にすることが可能であるこ

とがわかってきている。

③人間の心情の豊かさ追求の行為としての土木

人間社会の要望の中には①安心して住める国土形成への要望、②社会活動としての利便性追求の要望の他、人間の価値観の多様性と要望の高度化を踏まえて、より美しく素晴らしい心豊かな環境のもとで生活をしたいとする要望である。

美しい街並、文化の香り豊かな街、自然とふれあう自然からの恵みを肌で感じられる街等々、人間社会の要望に答えるための土木事業がある。都市公園や森林公園等々各種公園の整備や歴史文化の保存、高揚のための各種事業等々がある。

①、②の事業の実施にあわせ③の快適空間創造の目的を実施しようとするのが平成6年2月建設環境政策大綱で示された環境問題を内部目的化した建設事業ということである。

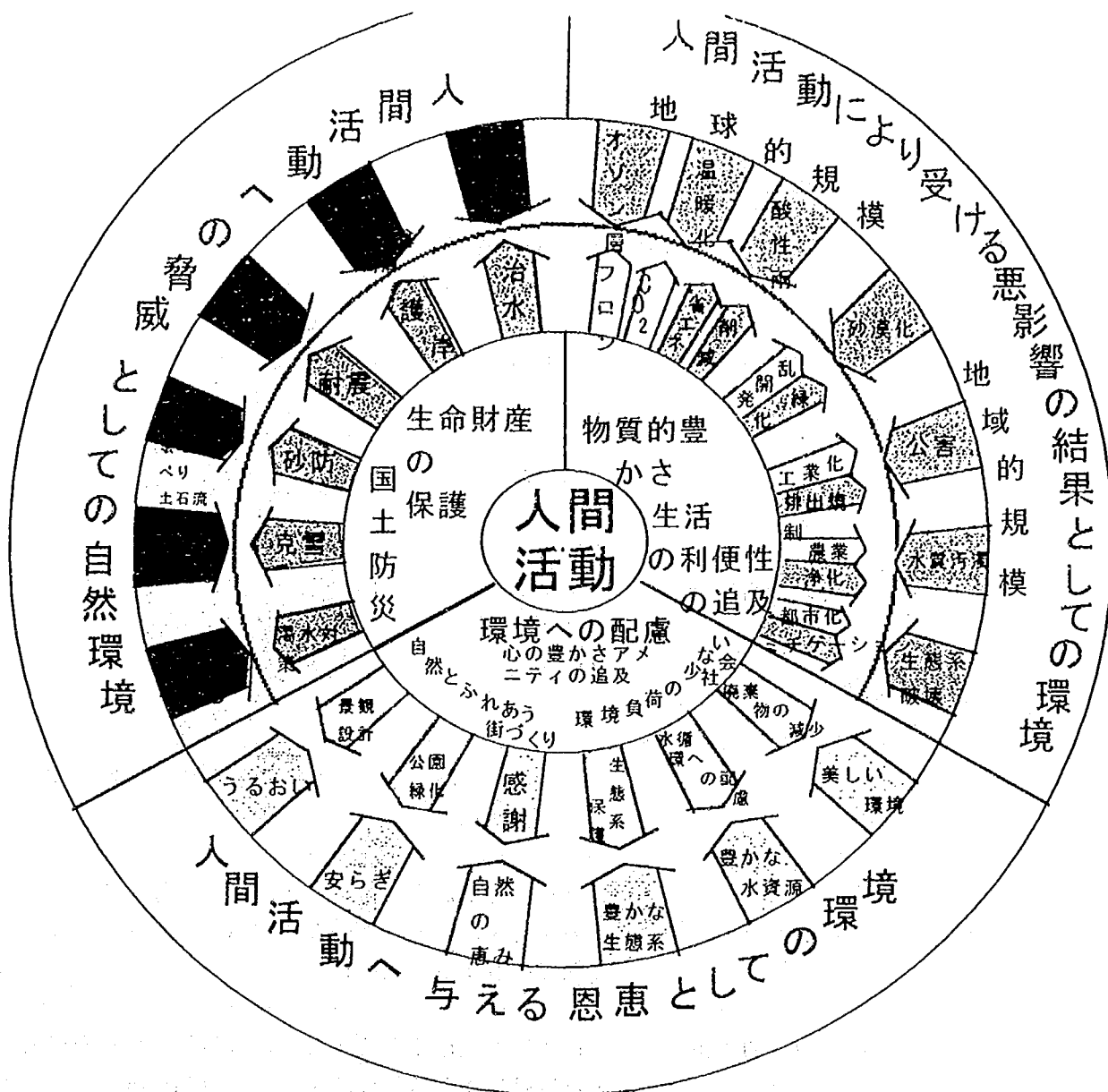
④環境と人間活動との相互作用

以上に建設事業の環境に果たす三つの側面を述べてきたが、それを環境と人間の相互作用という、とらえかたで（図－8）に図化した。環境はそれぞれ独立ではなく互いに複雑に影響し合っている。環境は生物に絶えず働きかけている。これを環境作用Actionといい、又、生物は代謝活動や生活活動によって環境を変化させている。これは環境形成作用Reactionという。又生物が生物同士、種内及び種間競争や共存等の働き合いを生物相互作用（あるいは環境共生作用）Coactionという。

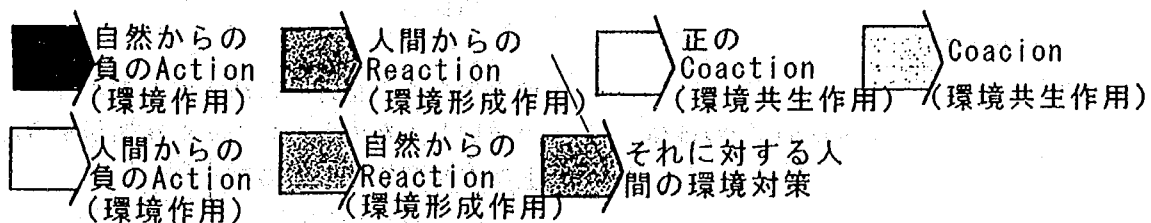
生物を特に人間に限定し、人間と環境について見ると、人間は環境の作用により適応を行って生存し続ける一方、環境を自らの生活に適するように改変して生活している。

- ・人間活動への脅威としての自然環境の側面では自然からの負の環境作用として、自然災害があるのに対し人間からの環境形成作用として生命財産保護の目的での国土防災がある。
- ・人間活動により受ける悪影響の結果としての環境の側面では人間からの負の環境作用すなわち、廃棄物、排出物の増大や土地開発等があるのに対し、自然からの環境形成作用として公害や生態系の破壊等があり、更にそれを受けて人間の環境対策として排出抑制・ミティゲーションがある。・人間活動への与える恩恵としての環境の側面では、人間からの正の環境作用としての環境への配慮があるのに対し、自然からの環境形成作用として自然からの恵沢がある。また、見方も変えれば自然からの正の環境作用としての自然の恵みがあるのに対し、人間からの環境形成作用としての自然への感謝の面もある。
- ・以上3つの側面のうち①つ目の自然災害・国土防災の側面と②つ目の廃棄排出量の増大と公害の側面においては環境作用と環境形成作用が行われる場合は、人間と環境が対立するインターフェイスであり、自然環境が潜在的能力を維持するために環境容量（Carring Capacity）の許容範囲内においては持続的に開発が可能である。（図－8）中、赤線で表示した線が人間と環境の中でこの線を超えると互いに破壊をもたらす境界の概念である。
- ・一方、③つ目の環境への配慮・恵沢としての環境の側面においては環境作用と環境形成作用が行われる場合は、人間と環境が共存するインターフェイスであり、上述の①つ目と②つ目の側面と根本的に性質を異にしている。

我々の従事している土木は決して環境破壊そのものではない。むしろ環境保全対策等の面を強くもつものである。すなわち3つの側面を正統に評価することを忘れてはならない。



環境と人間の相互作用



人間と環境が対立するインターフェイス

人間と環境の中でこの線を超えると互いに破壊をもたらす境界

人間と環境が共存するインターフェイス

図-8 環境と人類との三つのインターフェイス

[5] 建設事業におけるミティゲーション

(1) 自然保護 何に価値を求めるのか

表-15 自然保護、保全の五つの動機・考え方

希求するもの	価値を認めるもの	自然保護・保全の動機・考え方	事 例
精神と倫理の安定	信仰的価値	信仰の対象としての自然保護	山岳信仰、巨老木信仰 鎮守の森
	倫理観的価値	仏教倫理観からの生物保護	生類憐れみの令 尊厳主義
心と身体 の健康	美的風土価値 (審美的価値)	豊かな自然、美しい国土 景観の審美対象としての 保護	国立公園、国定公園 都道県立公園
	休息の場としての価値	3RすなわちRest Refresh & Recreationの対象とし ての自然保護	国営公園、自然休養村 緑地公園、レクリエーションの 森
人命と財産の安全	防災的価値	自然の脅威から生命財産 の保全を求めて各種防災 機能を有する自然の保護	水源涵養林 防風林、雪崩防止林
人類と生物との 共生	エコノミズム的価値	近代的な生産主義的思考 と行動による自然破壊を 批判する現代思想に基づ く自然保護	エコノミズム的価値観に基 づく自然保護
	生態的バランス価値	地球生命体の維持のため の適切な人為のものと生 態系と物理的な場との有 機的なバランスを図ろうと する自然保護	ガイア説 滞在遺伝子資源
学問としての真理	学術的、真理探究価値 (特例・稀少価値)	稀少でよくわかっていな い特別な自然に対し、真 理探究の対象としての価 値	特殊鳥類、天然記念物 絶滅危惧種

(2) 自然保護保全の概念

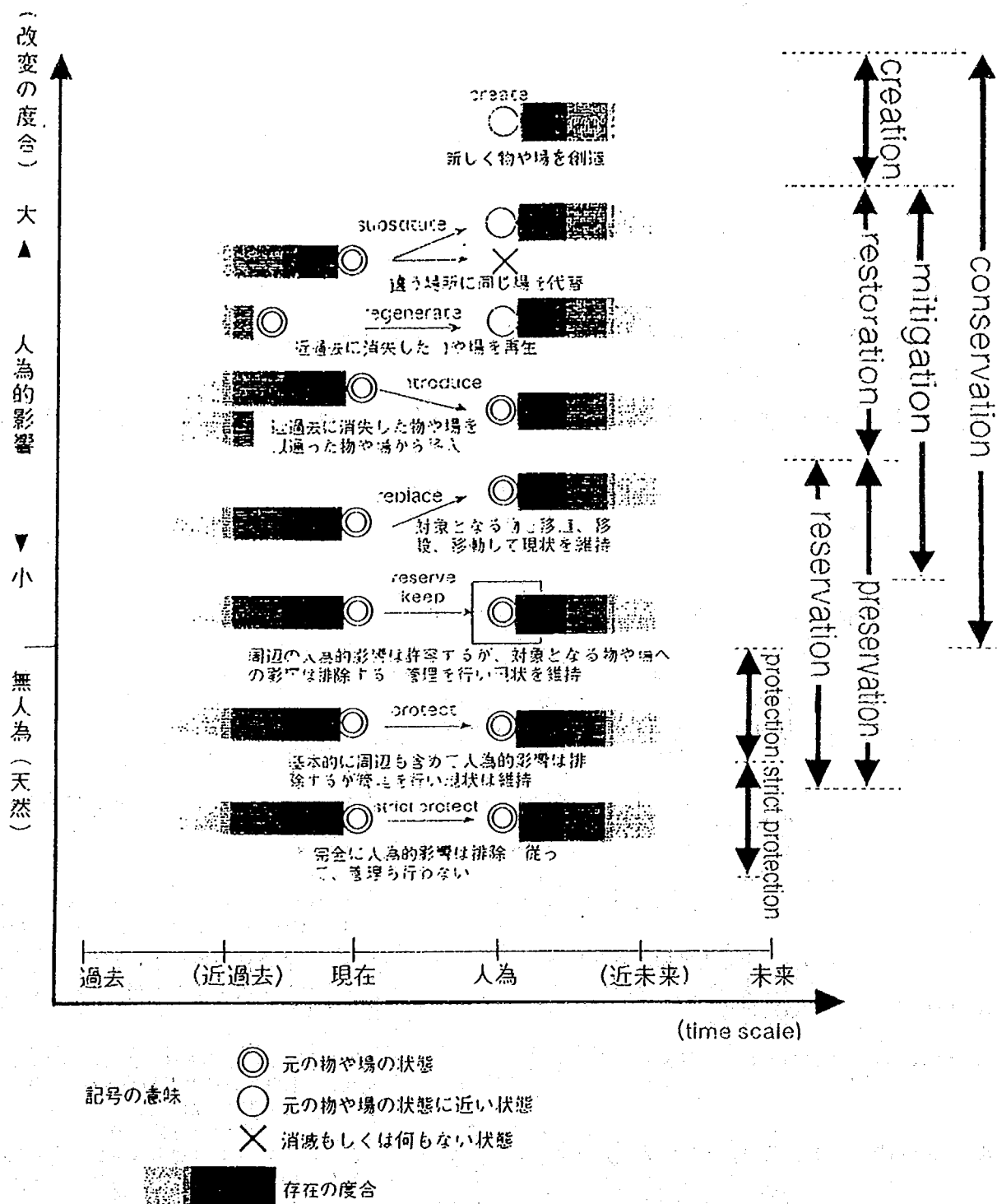


図-9 環境保全、保護、回復等の概念図

(3) ミティゲーションの概念

1. ミティゲーションの概念

Mitigate : 和らげる、静める、緩和する、軽減する

◎開発行為（プロジェクト）の実施にあたってそれがもたらすであろう環境への影響をできるだけ軽減すると共に、損なわれるであろう環境と同等の質のものを、より積極的に代替え処置を講じて、再生、修復、復元しようとする方策。

①回避 Avoiding

ある行為の全部または、一部を実施しないことにより影響Impactの回避

I. 立地変更

II. 計画内容の変更

III. 設計変更

②最小化 Minimizing

ある行為もしくはその実施の方法を制限することにより影響を最小限化

③代償 Compensating

代替しうる資源または環境を提供するか、またはそれらと置き換えることにより影響を代償

④修復・回復 Restoration

工事によってダメージを受けた環境を修復回復する

また持続的保護およびメンテナンスにより影響を軽減reducingか除去eliminatingする

2. 日本と西洋におけるミティゲーションの背景の相違

森 林 率	イギリス 10%	西 7 アメリカ 31%	洋 フランス 27%	ドイツ 30%	日 本 67 %
概 念 図	道路等 (少ない) 人為 森林 湖沼 (多い) 自然荒野 → 代償としての 森林等の造成 自然の復元力は期待できない 人為による森林、湖沼の造成				道路等 (多い) 自然の森林 湖沼 二次林業 自然の森林 への遷移の 過程の途中 (少ない) 人為の 農耕地 代償としての 森林等の造成 人為による森林の造成よりもむしろ自然 の復元力を支援する方策が望まれている 極めて少ない
要代償地区の 存在	比較的にある				極めて少ない
代償を求める 空間	自然の荒野が多くいくつでもある				自然の荒野はほとんどなく人為の農耕地に 求めざるを得ないそれも相当限定される (土地自然条件の変化大、 土地の細分所有)
ルート位置	自然荒野が中心で人為による森林等にかかわることが少ない ルート変更自由度は、地形条件より日本よりはるかに大きい				もともと用地費工事費の少ないルートを選定している。代償地となるような土地は用地費がかかるか、工事費がかかる土地しかない
維持管理の手間	もともと人為で維持してきた森林、代償林も同じような維持手間が必要 (同じ)				自然林等に隣接接続する場合は人為手間は少なくともすむが、離れている場合はミニスポットにならざるを得ず、維持の手間が増える。

3. 制度化へ進んだ西洋のミティゲーション

開発行為の許可条件としての代償措置

特に Compensatory Mitigation 「補償ミティゲーション」と別称する。

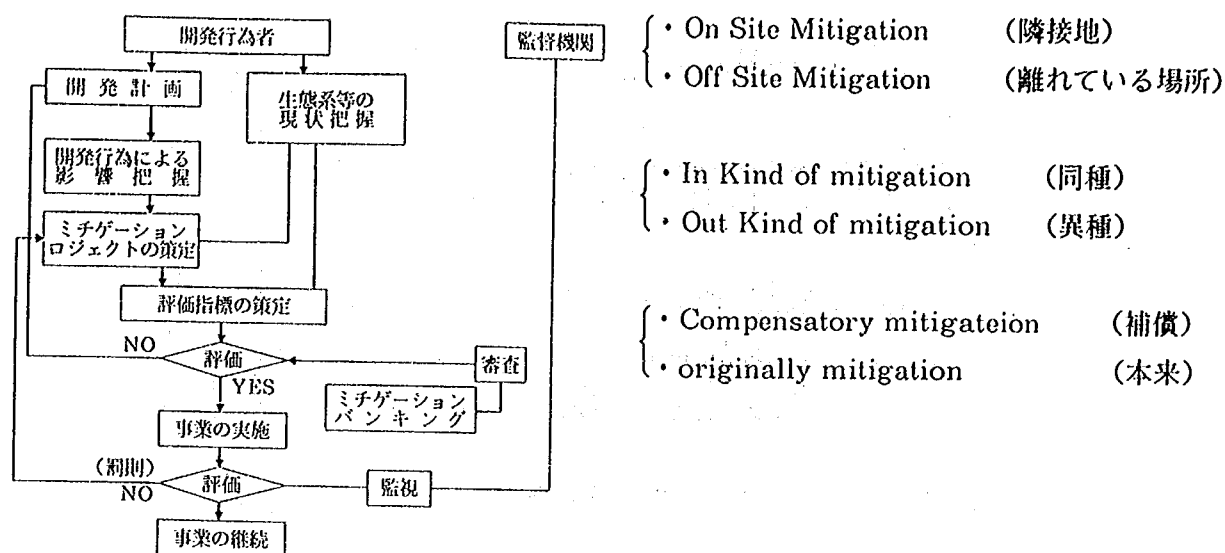


図-10 ミティゲーション評価フロー

- Mitigation Trust Funds 制度
 - Mitigation Banking 制度
- 個々のミティゲーションに要する資金をプールして豊富な資金で大規模なミティゲーションをOut of site, (Out ok kind) で行う。

↓
アメリカ的プラグマティズム ← 多くの反省事例

↓
アメリカでは過去20余年にわたる「補償ミティゲーション」の経験を経て環境保全の目的を実質的に実現するためには“環境にやさしい”方策が“補償”以上に大切であるという認識が深まっている。

“環境にやさしい” 努力が本来の語意のMitigationである。

(参考)「アメリカにおけるミティゲーション制度の回顧と展望」Choule J, Soun 1995.

4. 実質的なきめの細かな対策に取り組んだ日本のミティゲーション

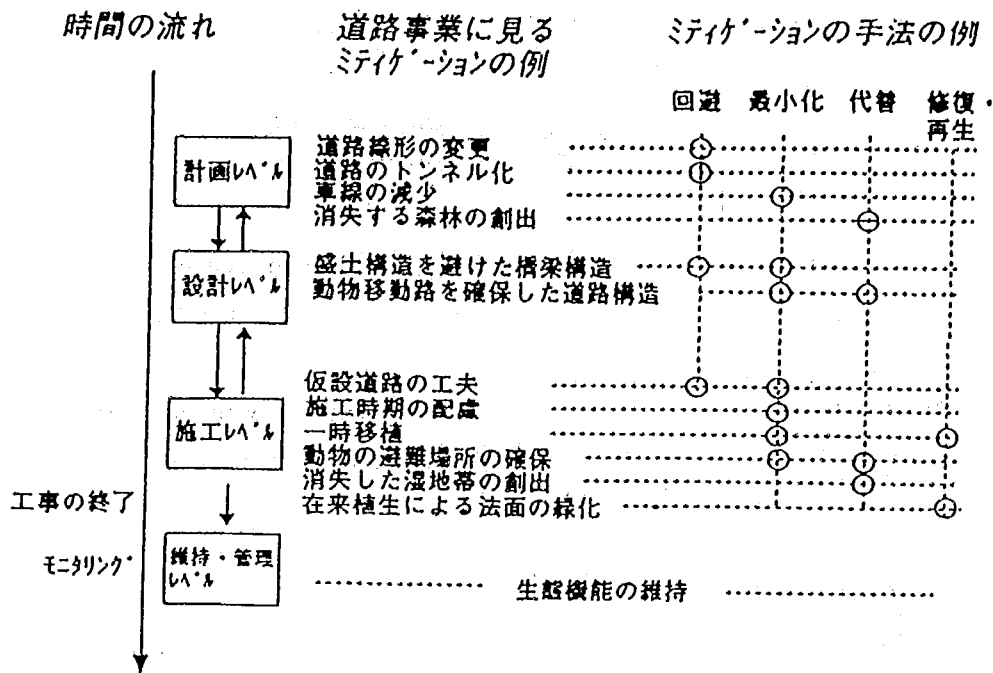


図-12 道路事業に見るミティゲーションの概念

工種毎のMitigationのなじみ

- ・河川工事……………河川工事はもともと河積拡大のための工事
守るべき民地を部分的に買収する工事
→ 用地条件 補償ミティゲーションは海岸工事等と比較してあまりなじまない。(本来の意義のミティゲーションは有効)
- ・道路工事……………通過する地域の条件によるが、日本の道路条件は欧米と比較して補償ミティゲーションはなじまない。(本来の意義のMitigationが有効である。)
- ・海岸工事……………利権の少ない海洋部に補償工事区間を延長するような工事内容、(人工漁礁、人工築成、藻場造成etc)は補償ミティゲーションはなじむ。しかし、我国の海岸線は非常に変化が大きいので、なじむ区間は欧米より担当少なく限定される。

(4) 箕面川ダムにおけるミティゲーションの取り組み

1. 箕面川ダム周辺、現在の自然の価値の評価

地域全域は大部分が二次林におきかえられている二次的自然であるものの、近傍の勝尾寺領としての保護の歴史、比較的高い国有林率から、多種多様な原生林時代の生物相と二次林に支えられた生物相が共に見られる。

本物の自然には及ばないものの、また自然は健全な働き(広義の環境調整機能)を呈しており、本物の自然への復元の高い可能性を秘めていることより、都市近郊としては稀に見る質の高い二次自然で、都市近郊では得難い極めて高い教育啓蒙的価値がある。

2. ミティゲーションコンセプト

以上のような自然価値評価に基づきミティゲーションにあたっては、以下の基本コンセプトを打ち立てた。

①箕面本来の自然を再びよみがえらせること。

本来の自然とは現在二次自然ではなく、極相林の復活をめざす計画で勝尾寺背後の天然林をモデルとした森林を復元させる。

②施工にあたっては不自然な自然破壊を行わないよう人為的介入を最小限にすること。自然が潜在的に持っている回復力に頼り、気長にそれを助けてゆくこと。

例えば、

- ・とりあえず間に合わせの緑の復元はしない。
性急な近視眼的な緑化はダメ。
- ・地域本来の生物相の保存に努め、外来種の導入は排除。
- ・市販の庭園植物による造園的修景は一切行わない。
- ・車道はもちろんのこと歩道も新設しない。自然研究路も今以上は不必要である。
- ・わずかに残っている原生林時代のデリケートな環境維持能力を喪失しないよう二次林を放置することが現在自然の保護のための管理である。

3. 具体の自然保護対策

- ・付属道路ルートは標高・トンネルを多く採用し、切土・盛土を少なくする。切取法面を少なくする路側コンクリート等の工夫。
- ・掘削地や満水面以下の場所から森林表土を集積、保存し、裸地・人為法面等へ還元し、森林表土の「埋土種子」による発芽促進。
- ・地区ごとに本来の植生である群集構成の森林を植栽、植林地は人の立ち入りを禁止し、表面はワラでマッチングし、雑草の侵入防止、水分の蒸発を防ぐ。

4. 完成後の自然回復調査

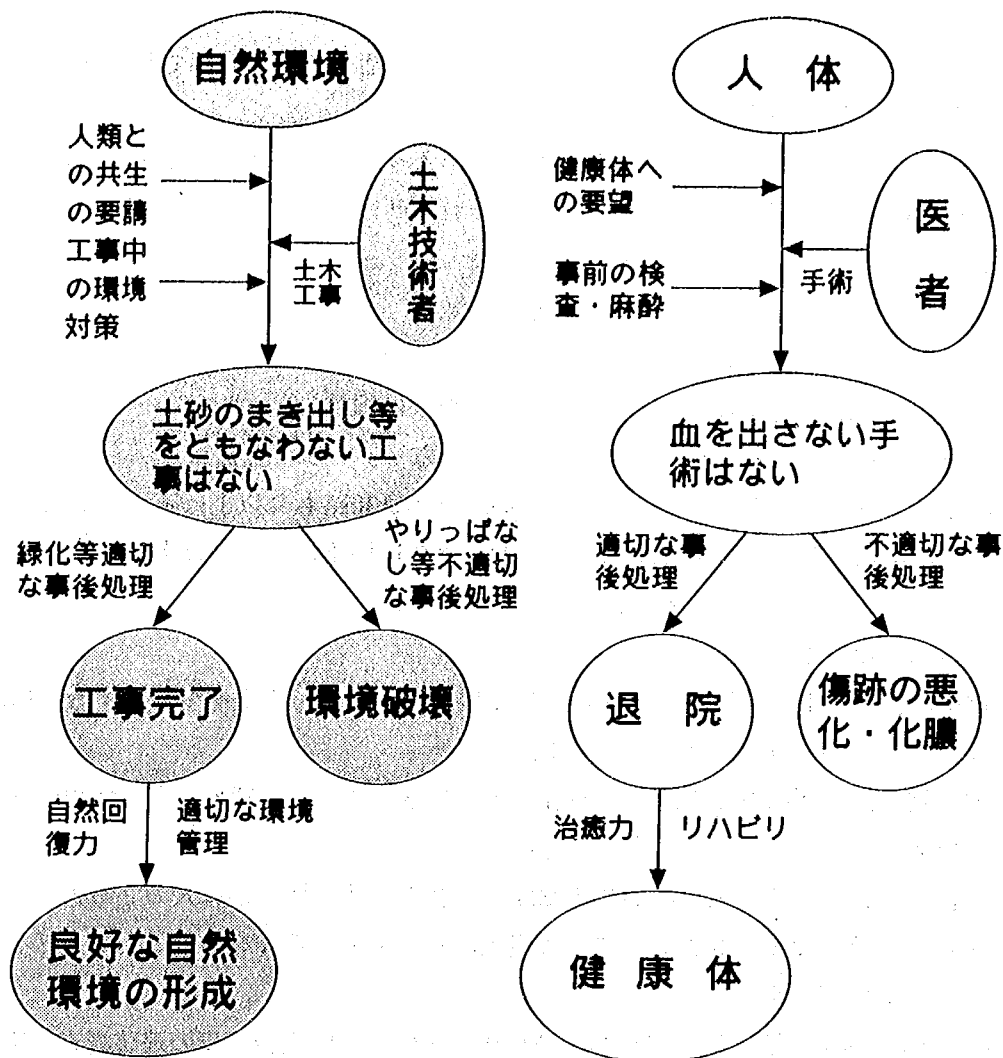
昭和57年のダム完成後、昭和63年および平成元年に自然回復後工事の追跡調査を実施して、植生の着実な回復、昆虫類等の着実な増加等の効果を検証した。

5. 土木事業として初めての「環境賞」に輝く

9年にわたる「箕面川ダムの自然環境の保全と回復の促進に関する研究」と保全にあたっての画期的な成果に対し、(財)環境調査センター、日刊工業新聞主催、環境庁後援の「環境賞」を平成5年6月に大阪府が受賞した。これは土木事業としては初めてのことである。ミティゲーションの金字塔として後世に伝えなければならない。すなわち、箕面川ダムにおいてはあくまでも本来の自然を復活させることにこだわった。このこだわりは確固たる自然観に基づいている、このことが重要なのである。

〔6〕 おわりに

(1) 土木工事と手術のアナロジー



土木工事と手術のアナロジー

(2) 環境保全の努力に応えてくれる日本の自然

1. 諸外国のものまねでなく、日本の自然条件に馴染む、独自の環境保全、回復、創成への取り組みを
2. 世界の建設環境技術の先導者たるべき役割を担う日本の建設技術

参考文献

- 1) 「実務者のための建設環境技術」竹林征三編著、山海堂、A 5 版、488pp 1995. 7. 15
- 2) 第11巻「建設環境－技術士を目指して－」竹林征三編著、山海堂、B 5 版、416pp, 1995. 6
- 3) 「環境と建設事業の三つのインターフェイス」竹林征三、土木技術資料、No.36. 12, pp18～19 1994. 12

- 4) 「建設事業と環境問題」竹林征三, 河川, No.583, pp12~25, 1995. 2
- 5) 「現代のダム建設における環境保全対策のあゆみ」ー環境保全・創造・回復の視点よりー
竹林征三「ダム日本」Vol. 600記念誌, pp15~45, 1994. 10
- 6) 「人類と生物の共生を考える」竹林征三「河川」No.570, pp23~28, 1994. 1
- 7) 「東洋の心に学ぶ環境学」竹林征三, 「ダム技術」No.104, pp 4 ~15, 1995. 5
- 8) 「環境保全対策としての建設事業」竹林征三, 「土木施工」第36巻第8号, pp12~16, 1995. 7
- 9) 「生物の楽園づくり」竹林征三, 「土木施工」第36巻第8号, pp41~47, 1995. 11
- 10) 「座談会・ミティゲーションとは」司会, 竹林征三, JACIC情報35, Vol. 9, No. 3, pp 4 ~15,
1994. 7
- 11) 「Natureは自然にあらず」ーおのずからの自然とみずからの自然ー竹林征三, 中村圭吾, JACIC
情報39, Vol. 10, No. 3, pp38~41, 1995. 7

「南関東直下地震について」

東京大学地震研究所教授 溝 上 恵

「南関東直下地震について」

南関東地域を襲う大地震というと、1923年（大正12）9月1日の関東大地震を思い起こします。この地震は相模湾を震源とするM（マグニチュード）7.9という巨大地震でした。この地震による被害は東京だけでなく、南関東一円におよび死者は14万人を越えました。この大正の関東大地震の220年前の1703年（元禄16）にも1923年の関東大地震と同じタイプの巨大地震（元禄関東大地震）が相模湾で発生しました。このように、相模湾では200年ほどの間隔で繰り返しM 8クラスの巨大地震が発生します。1995年現在からみると、次の関東大地震はまだ100年以上も先のことになります。では当分のところ安心してよいのでしょうか。残念ながら、関東大地震の他にも、直下地震と呼ばれるタイプの地震が東京を襲う危険性があるため、決して安心するわけにはいきません。では、この直下地震と関東大地震とはどのような違いがあるのでしょうか。まず関東大地震が発生する仕組みを考えてみましょう。

地球の表面は大小20数枚のプレートとよばれる岩盤の板で敷き詰められています。これらのプレートはそれぞれ異なった速度で異なった方向に移動していますので、隣合うプレートの境界ではギシギシと攻めぎ合いが起こります。その結果、プレートの境界には歪みが蓄積され、それが原因となって地震が発生します。日本の周辺では、日本列島を乗せた陸のプレート（北アメリカプレート）の下にフィリピン海プレートと太平洋プレートという海のプレートが沈み込んでいます。（図1）フィリピン海プレートは、相模湾の深い海底谷である相模トラフに沿って南関東の下に沈み込んでいます。そのため相模湾一帯の海底の岩盤には徐々に年々歪みが蓄積されていきます。約200年も経つとこの歪みが限界に達し、ちょうど縮んだバネが跳ね返るようにして相模トラフの断層が急激にずれ動きます。この断層運動により、地面が激しく揺れ動き、海底では大規模な隆起や沈降が生じ大津波となります。これが関東大地震のメカニズムです。

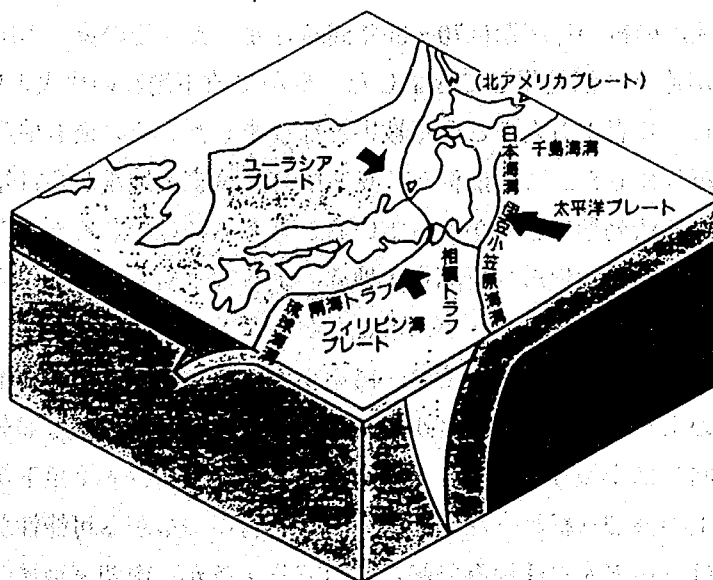


図-1 日本付近のプレートとその運動

このように関東大地震のような巨大地震が発生するには、ふつう150年から200年といった長い繰り返し間隔、つまり準備期間が必要なのです。では、この繰り返し間隔の間には大地震は起こらないのでしょうか。

1923年、関東大地震が起こった直後から、南関東一円で大小の余震が続発しました。しかし、この余震活動は1930年台の前半までにはほぼ終わり、地震活動はすっかり静まりました。こうして地震活動は静穏期に入り、最近の数十年間、東京を含む南関東一帯では大きな被害を伴うような地震は起こっていません。しかし、この静穏期にも南関東直下では、一刻の休みもなく次の関東大地震に向けて歪みが蓄積され続けています。

1923年の関東大地震からすでに71年が経ちました。関東大地震の繰り返し間隔が約200年ですから、時間とともに一定の割合で歪みの蓄積が進むとすると、南関東直下には現在すでに関東大地震のエネルギーの3分の1に相当する歪みが蓄積されたことになります。これは、最近の地殻変動の観測データから見て関東大地震の時に解放された歪みの3分の1がすでに回復していると言う事実とよく一致しています。では、次の関東大地震はまだ100年以上も先のこととはいえ、すでに3分の1の歪みが蓄積されたということは何を意味しているのでしょうか。

皆さんは、首都圏を含む南関東地域の地震活動はおおむね静かな状態だとお考えかも知れませんが、1970年代の中ごろから伊豆半島ではM6.8～7.0の地震が頻発するようになりました。もしこのような地震が東京で発生したら大きな被害につながる直下地震となったことでしょう。1980年から千葉県中部、山梨県東部、茨城県南西部、千葉・茨城県境、千葉県東方沖、銚子付近や東京都東部、東京湾南部などで1～2年に1回の割合でM6クラスの地震が起こるようになりました。これらの地震の中には、東京で震度5になった地震が2回ありますが、たまたま震源の深さが数十キロと深いとか、人口が密集する都市地域から離れていたりで幸いにも大きな被害にはつながりませんでした。しかし1987年の千葉県東方沖地震では湾岸で広く地盤の液状化が発生したり、道路、ライフラインなどにもかなりの被害がでました。この地震は「来るべき直下地震の警鐘」だといえるでしょう。いずれにせよ、南関東地域の地震活動はどうやら1980年ごろを境にして静穏期から徐々に鎌首をもたげるように活動期にさしかかりつつあるようです。

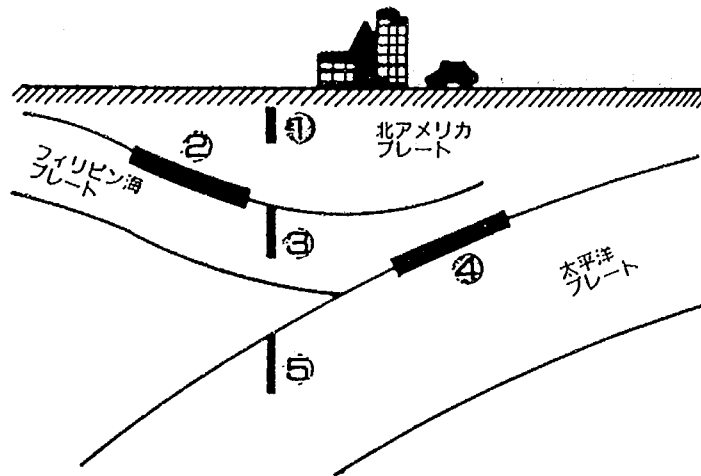
1703年元禄の関東大地震の後の静穏期は70～80年間続きました。その後、小田原地震が起こったり江戸周辺でも地震活動が徐々に活発化してきました。やがて直下地震の代表といえるM6.9の安政江戸地震が1855年に発生し、死者1万人をこえる被害となりました。その後も地震の活動期が続き1923年の関東大地震につながりました。この前例から見る限り、関東大地震から71年が経過し、南関東では「直下地震」が発生する活動期にさしかかっていると考えるのはむしろ当然といえるでしょう。

南関東地域で大きな被害を生む地震は、関東大地震のような「M8クラスの巨大地震」とその準備期間中に起こる「M7前後の直下地震」とがあることがわかります。直下地震は、巨大地震の発生に必要な歪みの約3分の1が蓄積されると、その一部を小出しに解放して起こる地震です。この直下地震は巨大地震の露払いのようなもので、エネルギーにすると巨大地震のほぼ30分の1にあたります。巨大地震に比べると1回りは小振りですが、なにぶんにも直下地震はすぐ足下が震源となるので、真上の地域では震度6以上の強烈な揺れとなり、壊滅的な被害につながる可能性があります。

では、「直下地震」は一体どんな仕組みで起こるのでしょうか。南関東地域の直下には陸のプレートのすぐ下には相模トラフに沿って沈み込んでいるフィリピン海プレートがあり、さらにその下には

日本海溝に沿って沈み込んでいる太平洋プレートがあります。このように南関東の直下では、プレートが3つともえとなっていて押し合いへしあいしているのです。日ごろから小さい地震が常時起こっています。

最近の約十年間の微小地震の分布についての詳しい観測結果や、大小様々な規模の地震の発生の仕方についての観測研究から、南関東直下の地震は次のような5つのタイプに分類されることがわかりました。(図2)



- ①地表近くの活断層による地震
- ②フィリピン海プレート上面に沿うプレート境界型地震（低角逆断層型）
- ③フィリピン海プレートの中の内部破壊による地震
- ④太平洋プレート上面に沿うプレート境界型地震（低角逆断層型）
- ⑤太平洋プレートの中の内部破壊による地震

図-2 首都圏直下で発生する5つの型の地震の模式図

(防災科学技術研究所による)

- ①地表近くの浅い地震（活断層の運動による地震）
- ②フィリピン海プレートの上面に沿うプレート境界地震
- ③フィリピン海プレートの中の内部破壊によるプレート内地震
- ④太平洋プレート上面に沿うプレート境界地震
- ⑤太平洋プレートの中の内部破壊によるプレート内地震

これらの5つのタイプの地震はおおむね①から⑤へと震源が地表近くから深さ約100キロへと深くなります。同じ規模の地震でも、震源の深さが浅いほど揺れの程度が大きく、その分だけ被害も大きくなります。荒川河口付近を震源とした1855年の安政江戸地震の規模はM6.9で死者は約1万人でしたが、そのすぐ隣の東京湾北部を震源とした1894年の東京地震の規模はM7.0で死者は31人でした。この違いの主な原因は、安政江戸地震の震源はおそらく深さ20キロ前後と深かったのに対して、東京地震は60キロ前後と深かったせいではないかと考えられています。

中央防災会議の報告によると、M7前後の直下地震は東京を含み房総半島から湘南地域にいたる南関東地域のどこでも発生する可能性があり、もしこのような直下地震が発生するならば、発生地点から半径20キロの範囲では震度が5～6といった強いゆれになるものと予想されます。直下地震の特徴は、被害の範囲が局限されまこと、地震が発生する場所が東京湾岸か都心地域か多摩地区かなどに

よって被害の内容及び大きく異なること、周辺地域では被害が軽微あるいは無傷なので、日頃から地域相互が連携した防災体制を整えておけば近隣地域からの救援が可能であるなどがあげられます。

最近の地震活動を見ると、東京を含む南関東地域の地震活動は静穏期から徐々に活動期に移りつつあるものと考えられます。そういう意味で、直下地震は絵空事ではなく、じりじりと私達の足元に迫ってきているのだと考えていただきたいと思います。昨年1月の阪神淡路大震災の例に見られるように大地震はほとんどの場合突発的に襲ってくるので、計測震度計による観測ネットの構築を含め即時に初動体制を立ち上げるためのシステム作り、建造物やライフラインの耐震性の診断と補強、緊急医療体制の確立など日ごろから地震に対する準備がなにより必要です。また地震の突発に際しては、自分の命は自分で守るという気構えがなにより大切だと思います。

兵庫県南部地震において
なぜ震災の帯が発生したのか
—震災縁辺地域の震災と地質環境—

地 質 官 江 川 良 武

兵庫県南部地震においてなぜ震災の帯が発生したのか

—震災縁辺地域の震災と地質環境—

はじめに

兵庫県南部地震では神戸から西宮にかけての約20kmの範囲に、震度7の激甚な被害が発生した。そこから約10kmの大阪市では、いつもとあまり変わらない日常生活が営まれていたのに、である。では震源に近い地域は軒並み大きな被害を受けたかという、実はそうでない。神戸からわずか2kmの摩耶山は花崗岩類より構成されているが、ここでは不安定極まりない石灯籠が整然と立っており（写真-1）、木造家屋も殆ど被害を受けていない。震源から数kmの淡路町の花崗岩山中では、お雛様が全く倒れていないなど、ほとんど被害を受けていない地域がある。震源、あるいは震源断層に近い地域に限っても、被害の少なかった地域が、決して特殊とは言えないのである。



写真-1

今回の地震では神戸から西宮にかけての震災があまりに悲惨であったために、報道機関はもとより、研究者の関心も多くはこれらの地域に向けられている。しかし今回の地震の被害は西は広島県から東は滋賀県に及んでいる。神戸から西宮に至る地域を、こうした広域的な背景の中に置くことによって、また震源の近傍であっても被害の少なかった地域との対比をすることによって、初めて震災の背景も明らかになる可能性がある。これが本研究の立場である。

なお本論文中で「地震動」とは、とくにことわりのない場合、家屋にインパクトの大きい、周期がおおむね0.3-0.5秒の地震波によるものを念頭においている。

I 地震断層沿いに地震動は大きい

地震に際して地表に表れる断層が地震断層である。明治以降、我が国においても10余の地震断層が出現している。一方「活断層」とはおよそ200万年前から始まる第四紀の後半に活動した断層をいい、したがって地震断層とは活断層の一部ということになる。しかし活断層分布図は、昭和40年代以降に整備され始めたといってもよいから、兵庫県南部地震において淡路島に出現した野島断層は、既に活断層として記載されていた断層が、地震時に動いたほとんど初めての事例であり、これが、活断層が世間の注目を集めた一つの理由であったと思われる。

地震は断層の活動により発生する。いわば地震断層は地震の原因であるが、このことが明らかになったのは比較的新しく、昭和30年代のことである。それまではむしろ地震断層は地震の結果と考えられていた。この原因の一つは、地震断層が被害を大きくしたとは思えない諸現象、例えば大きな地震動の後に断層のずれが生じるといった現象の存在であった。^{*1}

野島断層近傍においても下記の現象が見られた。

①淡路島北部の震災は野島断層の周辺でむしろ少なく、これより南西方の富島付近の方が大きかった(図-1)。

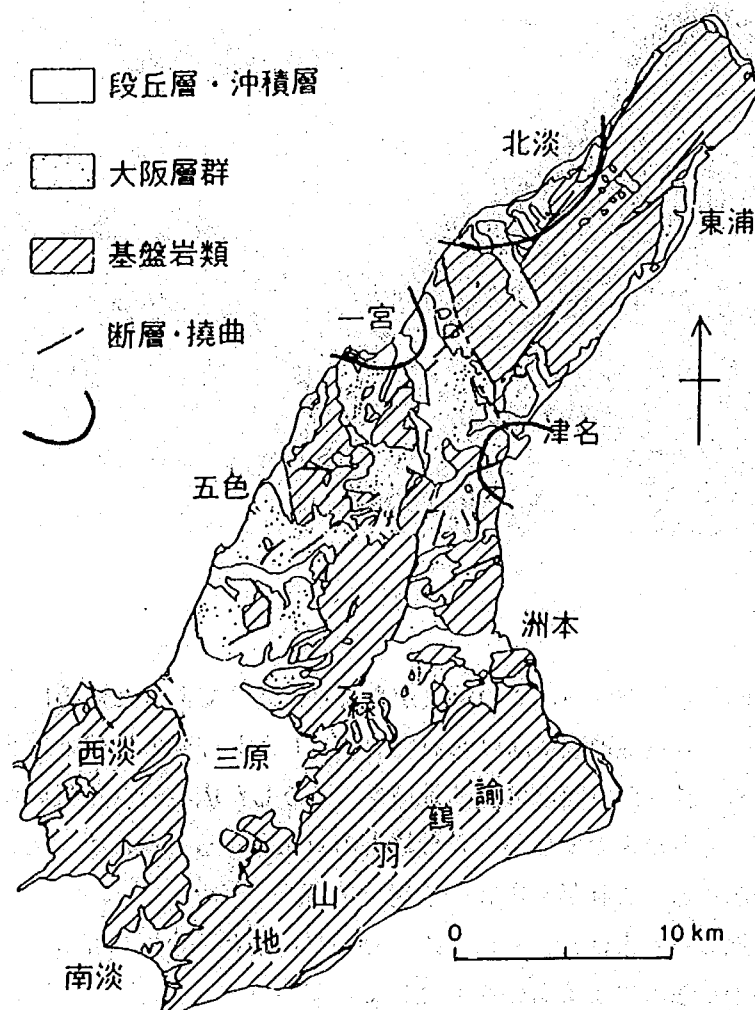


図-1 淡路島の地質と震度7の地域(水野^{*53}に加筆)

②断層上の塀は、ずれはするが倒壊を免れている。断層から1～2m離れると木造でも大きな損壊を受けていない家屋が存在する*²。

③断層沿いに噴砂の跡が見られるが、これは断層によって切られている*³ (写真-2)。

断層の破壊速度、つまり断層が広がる速度は、S波の7割といわれている*⁴。もちろんP波はS波よりもさらに早いから、初動から2～3秒の内に地震波の主要動が生じた場合には、野島付近においても地表の断層変位は地震の主要動に遅れたことは大いにあり得ることである。地表で見える地震断層が破壊が震災をもたらしたのではなさそうである。

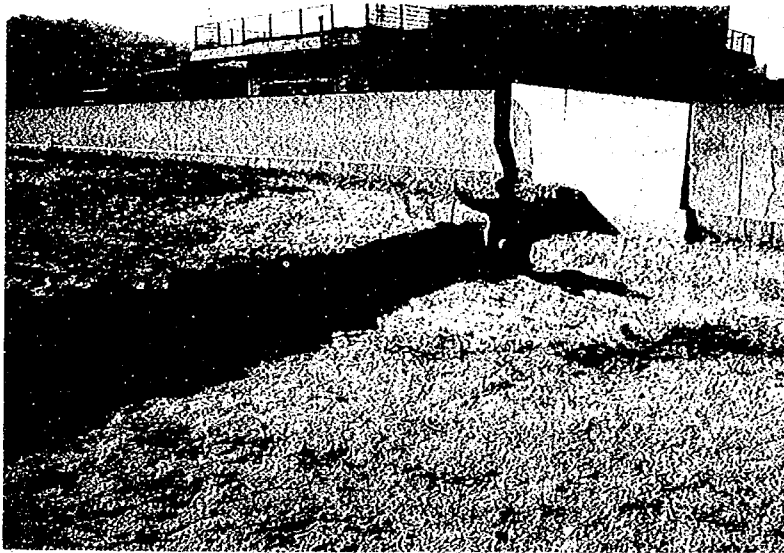


写真-2

II 破碎帯の地震動

兵庫県南部地震において野島断層は地表に永久変位を与えた。また震災前後の三角点や水準点の座標値等の比較から、六甲断層系の一部が動いたことも確実である*⁵。ただし野島断層を除いて、これらに永久変位は確認されておらず、少なくとも大月断層、五助橋断層、芦屋断層、甲陽断層といった東の方の活断層は今回は活動しなかったという見方が強くなりつつある*⁶。

しかしながら、平地部の上記活断層が伏在していると見られる地域に、家屋・河川の護岸・道路の舗装面等の被害が集中する傾向が見られる*^{7*8}。そしてこれをもって活断層の活動に原因を求める報告も少なくはない*^{9*10}。そこで山地部での、断層位置を確認できる地点での構造物の被害状況を検討する。

① 新幹線六甲トンネル内のライニングの破損

新幹線六甲トンネル内の被害については未だ公表されていない。しかし活断層付近の破碎帯でライニングの著しい破損が認められた。ただし活断層通過地点においても線路に変形が見られず、また測量によっても線路センターに異常は認められなかったという。したがって断層の永久変位は生じなかったことは確実である。

六甲山にはこれを横断する自動車トンネルが多数掘削されている。この内、西宮北有料道路・盤滝

トンネル（NATM工法）で、約77m離れた2カ所でライニングが破壊した。これは丁度、五助橋断層の派生断層と見られる「F-1断層」を挟む両側の比較的破碎の程度の弱い岩盤が、この破碎帯と接する位置にあたる*11（図-2）。

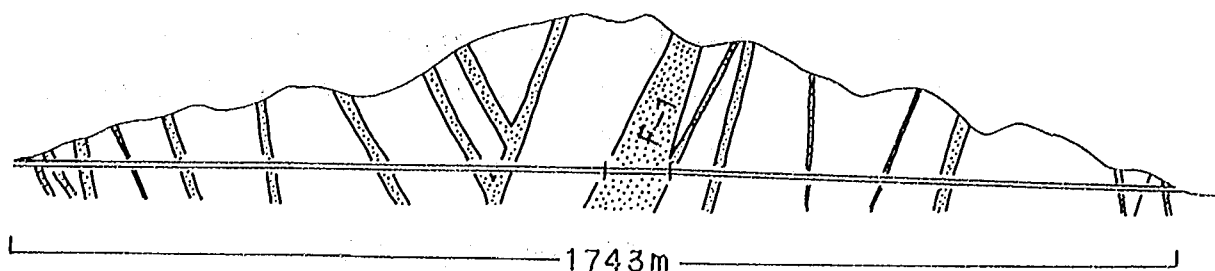


図-2 盤滝トンネルのライニングの破損（兵庫県道路公社*11を簡略化）

網点は破碎帯、トンネルに直交する単線がクラックの位置

② 墓石の倒壊

六甲山中の墓地では墓石の転倒がゼロかゼロに近いところが少なくないが、一部の活断層に沿いに、局所的な墓石の著しい転倒地区がある*12*13*14（図-3、4）。

③ 道路面の損壊

六甲山中の道路において、活断層と交差する地点で、明らかに舗装面の破損の程度が大きい*15（写真-3）。



写真-3

これらは断層に永久変位はなかったとしても、地震時に特殊な挙動をしたことを示している。

松田時彦氏は1977年の有珠火山の活動の際に、火山性の地震によって、目の前の断層を境に、両側の岩盤が差動運動するのを目撃したという。また、1974年伊豆半島沖地震の際、岩盤上のコンクリート舗装が、丁度小断層のところで割れ、やはり差動運動があったとした。京都大学は六甲山中の新幹

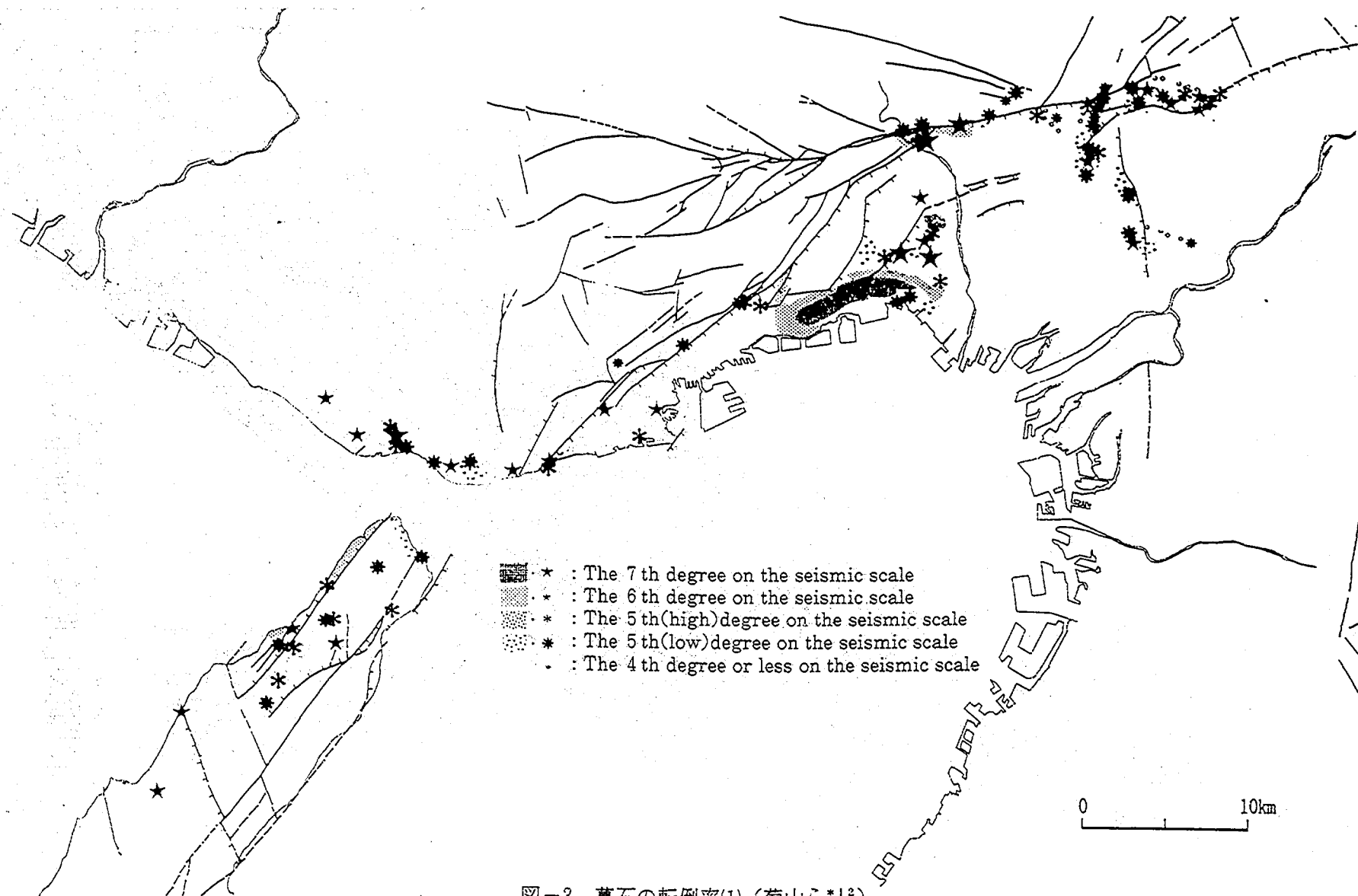


図-3 墓石の転倒率(1) (菊山ら*¹²)

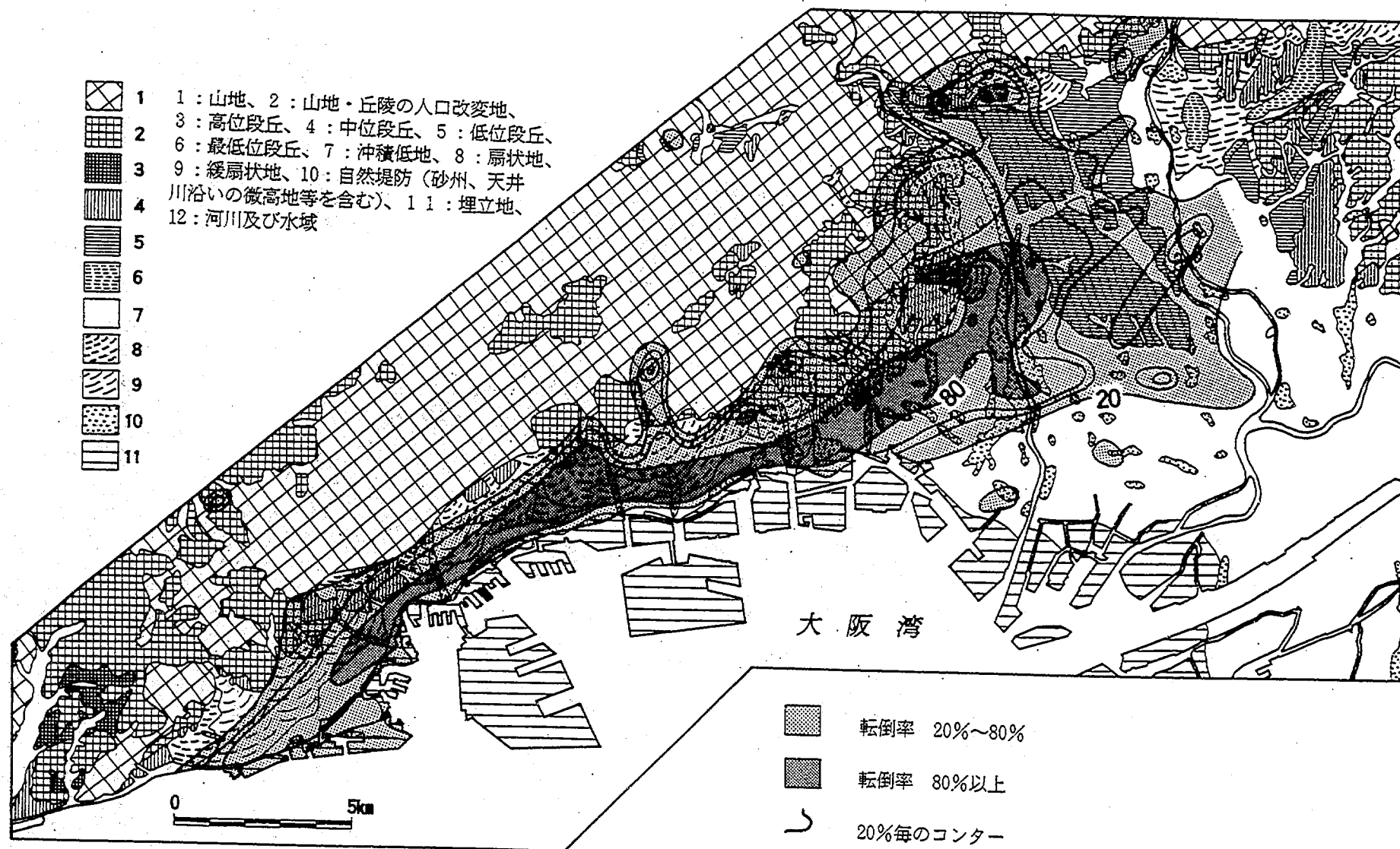


図-4 墓石の転倒率(2) (脇坂ら*¹⁴が野村ら*¹³の図を改変)

線や道路のトンネルを利用し、大月断層や万福寺断層をまたいで地殻変動観測を行っている。それによれば地球潮汐への応答の位相が、断層を挟んで全く異なるなど（図-5）、断層を挟む地塊がブロック的に挙動した可能性を指摘している^{*10*17}。したがって兵庫県南部地震においても、一部の断層・破碎帯に差動運動が生じたと思なすのがむしろ自然であろう。

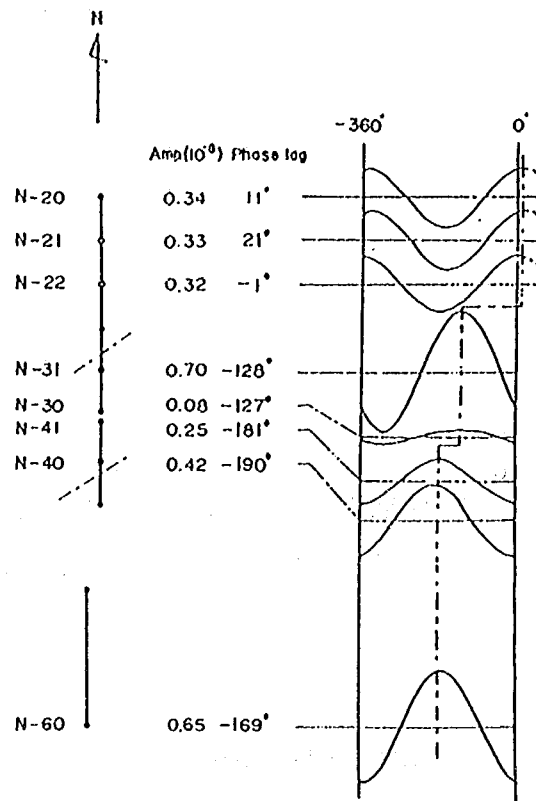


図-5 潮汐による地殻歪みの位相のズレ（田中ら^{*10}）

しかし被害が線状に分布している場合はこれで説明できるが、帯状の被害の報告も少なくない。例えば皆川ら^{*18}は野島断層の東南側、花崗岩山地中の溜池の被害を調べた。それによると、被害は野島断層から少なくとも20m以内に集中するという（図-6）。これは地震波の急激な減衰が20mで生じたことを意味するが、弾性体に近似できる岩盤中の現象としては説明が困難である。野島断層では、これに直交する余震のアレイ観測の際、破碎帯沿いに上昇してきたトラップ波とみなされる振幅の大きな波群が観測されている^{*19*20}。赤松ら^{*21}は中央構造線近傍での小地震の観測によって、断層沿いに地震波が特異な増幅をすることを主張している。兵庫県南部地震においても、帯状に地震動が大きかった現象は、断層周辺に破碎帯を想定することで初めて説明が可能となろう。これらを総合すると、破碎帯では差動運動と破碎帯全巾に及ぶ大きな地震動の双方が存在し得ると考えるべきである。

ここで大きな地震において、差動運動を起こす断層を特定する必要が生じる。断層の固結度は時間とともにCoupling（固結度）が高まることが知られており^{*22}、今の段階では、やはり若い断層である活断層において、その可能性が高いと考えるべきであろう。

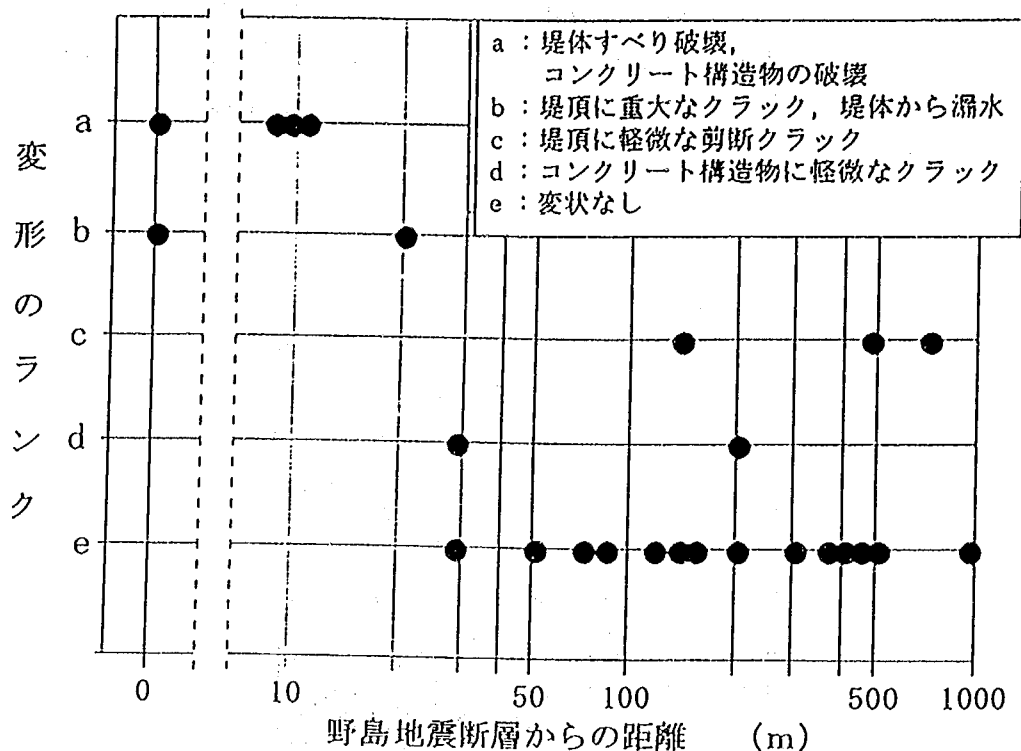


図-6 野島断層からの距離とため池の変状 (皆川ら^{*18)})

Ⅲ 岩盤上の地震動

社会活動は、平滑かつ整形可能な沖積層・洪積層や破碎・風化岩といった「地盤」上に展開され、一般に破碎、風化の影響が少ない、「岩盤」とは縁の薄い関係にある。しかし「岩盤」すなわち「地震基盤」の地震動の実態を明らかにすることは地震防災研究の第一歩である。

兵庫県南部における地質系統は花崗岩類、流紋岩を中心とする基盤岩類、神戸層群、大阪層群、段丘堆積物、沖積層である。

本論文において「岩盤」とはその内、花崗岩類、砂岩・頁岩を主体とする丹波層群、流紋岩類を主体とする有馬層群、および砂岩・礫岩を主体とする神戸層群を指すこととする。これは層準にして神戸層群以下が、兵庫県南部地震に際してほとんど被害をもたらさなかったことを根拠とする。なお、本地域における岩盤のせん断波速度・ V_s のデータは必ずしも多くない。六甲山地・花崗岩類については京都大学防災研究所・鶴甲観測室のトンネル内の弾性波探査の結果がある。それによるとCMからB級岩盤を主体とする区間で $V_s=1.5$ 、($V_p=3.3$)、CLからCHで $V_s=1.1$ ($V_p=3.1$) 程度である^{*23}。また新編大阪地盤図^{*24}によれば花崗岩のS波速度・ V_s が2.7-3.0km、神戸層群が0.5-1.0kmという。これに対して大阪層群は0.2-0.7kmの範囲にある(表-1)。

1) 花崗岩地域

ここでは丹波層群・有馬層群よりなる地域を含めて、堅固な岩盤よりなる地域を花崗岩地域と称する。

花崗岩地域における住宅地は一般に傾斜地であるから、斜面変動の影響を受けている可能性がある。また住宅地の基礎は整地を伴うから、花崗岩地域といえども、土工の可能な地山性の真砂であったり、盛土であるなど、一般には「地盤」である。従って住宅地の被害調査によっては「岩盤上の地震動の

表-1 各地盤のS波速度（新編大阪地盤図*24を改変）

	p. 単位体積重量	Vs. S波速度
	g/cm ³	m/s
埋立粘性土	1.4~1.5	90~110
埋立砂質土	1.6~1.7	110~150
沖積粘性土	1.5~1.6	90~190
沖積砂質土	1.7~1.8	110~200
大阪層群上部 (粘性土)	1.6~1.8	200~500
(砂礫土)	1.8~1.9	300~500
大阪層群下部	1.8~2.1	300~700
神戸層, 二上層群	1.9~2.1	500~1000
花崗岩	2.7	2700~3000

大きさ」が過大になる可能性がある。にもかかわらず花崗岩よりなる土地においては、大阪層群、段丘堆積層、沖積層などに比べて明らかに家屋の被害の程度が小さい*25。(図-7)

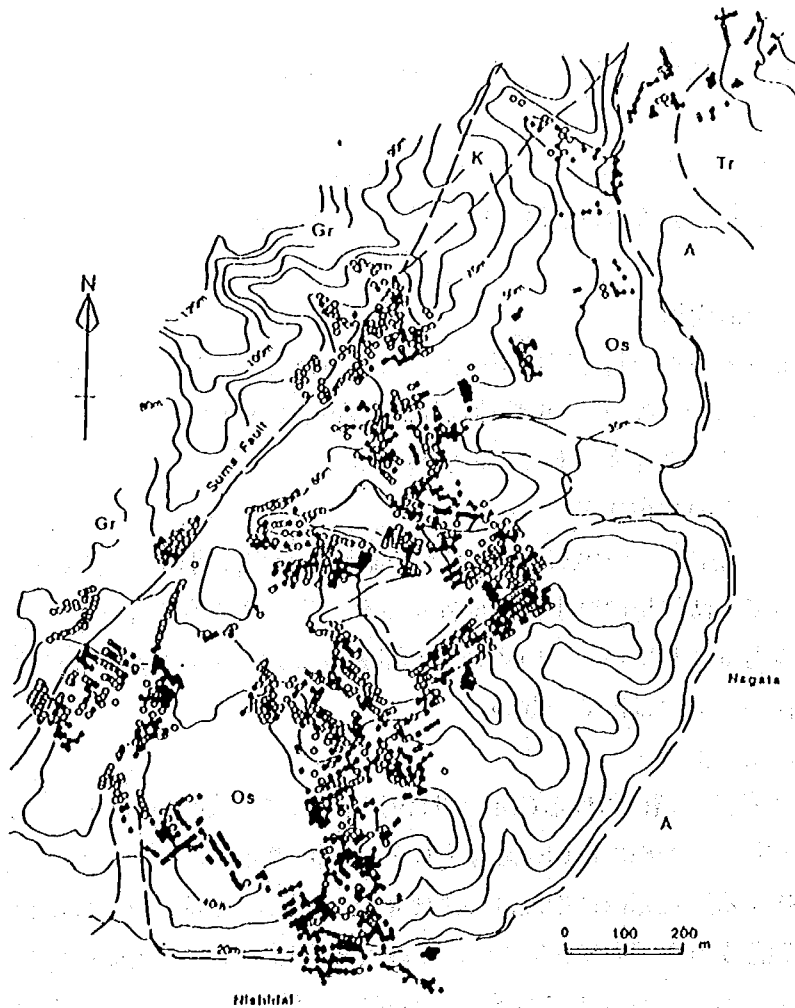


図-7 地質による屋根瓦の被害の差（長田区中央）（先山ら*25）

黒丸：屋根瓦の被害があった家屋 白丸：屋根瓦被害のなかった家屋
Gr：花崗岩 Os：大阪層群 Tr：段丘堆積物 A：沖積層

震災激甚地区近傍の「岩盤」上の加速度記録として、神戸大学工学部の地下トンネル内で得られた水平最大震度305Galが報告されている^{*26}。しかしながら伝聞では、トンネル内といえども未風化、非破碎の岩盤ではなく、真砂化が進んでいるとされ、また埋め戻し土とする説すらある^{*27}。また神戸市北区の松村組研究所のGL=-15mの岩盤では213Galが得られている^{*28}。これについても岩盤の性状が今のところ判明していない。東ら^{*29}は新神戸変電所で得られた加速度記録をもとにGL-65mのSv=780mの破碎帯内花崗岩に計算で引き戻したところ300gal程度の値を得ている。しかしこれらは仮定にもとづいた推定値である。そこで、これまで検討されることの少なかった山地部について、家屋を含む構造物等の被害状況およびダム基礎等の加速度記録から、堅固な岩盤上の地震動の大きさを検討する。

① 六甲山地の家屋等の被害状況

六甲山は花崗岩を主体とする岩盤で構成されている。山頂付近に広がる小起伏面は風化岩よりなり、もはや「岩盤」ではなく「地盤」であろうが、斜面変動の影響は受けておらず、したがって他の風化花崗岩地域よりも扱いが容易である。そして岩盤の地震動は小起伏面上よりも小さいはずである。ここに広がる別荘等の建築物には殆ど被害が出ていない。摩耶山は震度7の地域からわずか3kmしか離れていないが、摩耶山頂駅付近・登山道脇の灯籠は整然と立っていたし（前出）、摩耶天上寺においては建物、地蔵像に変状は見えず、参道の空石積階段に部分的に1cm程度のずれが認められただけであった。

墓石については既に触れたように、多くの地点で転倒はゼロかゼロに近かった（図-3、4）。気象庁震度階では、墓石が転倒するのは震度5以上であるから、六甲山地は一部を除いて震度4以下ということになる。

② 六甲山地における斜面崩壊

六甲山地に地震によって多くの斜面崩壊が発生したといわれる。しかし同程度の直下型地震に比べて崩壊の数は一桁以上少なかった^{*30}。定量的な検討は今後に残されているが、これらの被害状況から判断すると震度はせいぜい5程度であったと思われる。

③ 岩盤を基礎とするダムの被害状況

建設省^{*31}は地震直後に所定以上の震度、加速度を記録した建設省所管ダム、河川区域内の利水ダム、河川区域外であっても法河川の直上流に位置するダムの臨時点検を行った。この中には1900年に完成された五本松ダムも含まれている。いずれも天端舗装にクラックが入るなど軽微な被害にとどまり、ダムの安全性に係わる被害は出ていない。

④ 加速度距離減衰による推定

ダムは一般に田中式岩級分類におけるCM、CH級以上の岩盤に建設される。山県ら^{*32}によるとCH、CM級岩盤のボーリングコアによるSv値はそれぞれ2.0-2.5、1.5-2.1という。多くのダムで岩盤もしくは岩盤に近接する監査廊内に地震計が設置されている。建設省は記録が得られたダムの内、起震断層からの最短距離が100km以内の29について最大水平加速度値の距離減衰を検討した。距離減衰曲線は震源に近づくにつれフラットになるとする見解が多い^{*33}し、また本来、震源域近傍の加速度等を云々するものではないが、あえて直線で包絡すると（大きめに算定すると）震源では220Galになるとしている（図-8）。ただし、ダム基礎の加速度記録には逸散減衰が含まれている可能性がある。

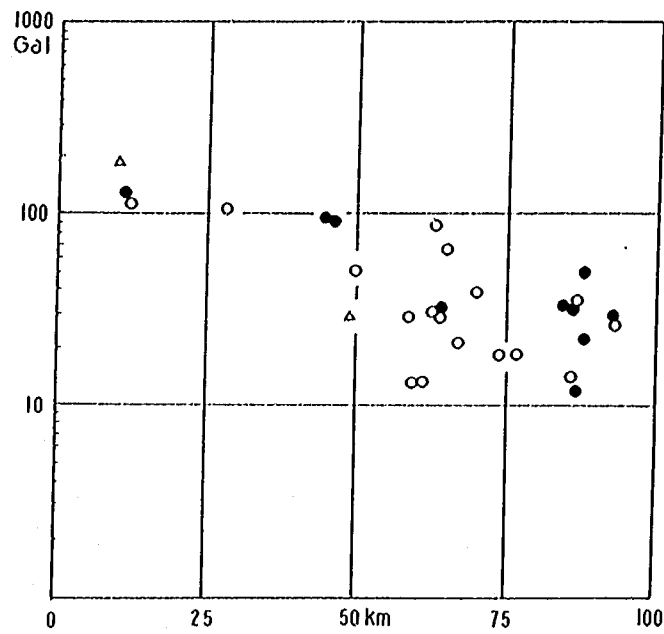


図-8・a 方向別の距離減衰（建設省^{*31}による距離減衰図を断層との位置関係で細分したもの）

黒丸：断層方向の観測点 白丸：断層に直交する方向の観測点
三角：どちらともいえない観測点

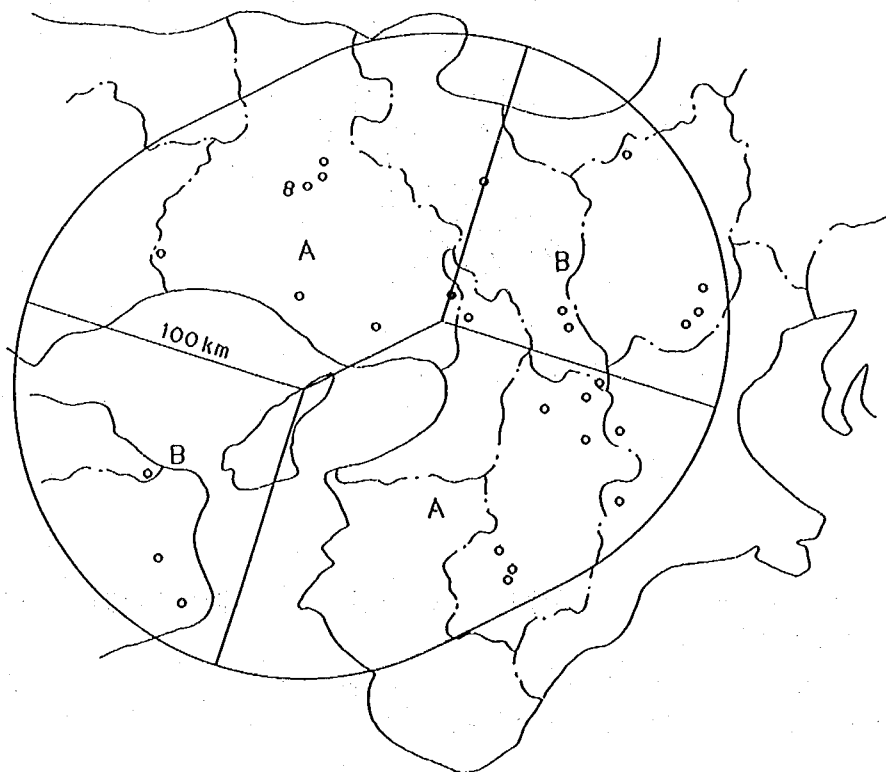


図-8・b 観測点（ダム）の配置と震源断層からの方向

白丸：観測点（ダム） A：震源断層から直交方向 B：震源断層方向

六甲山中において、芦屋ロックガーデン等、著しい斜面変動が存在した。また墓石の転倒の見られる墓地が存在するのも事実である。六甲山地においては短距離の内に被害の様相が一変する様が目に見られている^{*34}。これは山地特有の激しい地形、表層地質の変化や破碎帯の影響によるものであろう。しかし多くの地点では、上記のように震度4乃至5であった。また加速度でもって震度が一義的に決まるものではないが、距離減衰曲線からの、大き目に見た数値、220Galは一応震度5に相当するとされる。すなわち異なる方法論による地震動の大きさは、互いに調和的であり、それぞれの見積もりは妥当とみられる。

2) 神戸層群

神戸層群上にも多くの宅地がある。国土地理院^{*35}によれば須磨から垂水にかけての海岸から内陸部にかけて、被害がその東西と比べて、画然と軽微な地域がある。これは丁度、花崗岩類と神戸層群の地域に一致する^{*36} (図-9)。これら、岩盤地域の住宅地は一般に傾斜地であるため、斜面変動の影響を受けている可能性があり、住宅の被害をもとに想定すると地震動が過大になる恐れがある。芥本ら^{*37}は学校の校庭が標準的な仕様で造成されていることに着目し、地質ごとの変状を調べた。それによると神戸層群上では大阪層群、段丘層、完新統に比べて校庭の亀裂の発生が圧倒的に少なく、地震動の大きさも相対的に小さかった (表-2)。

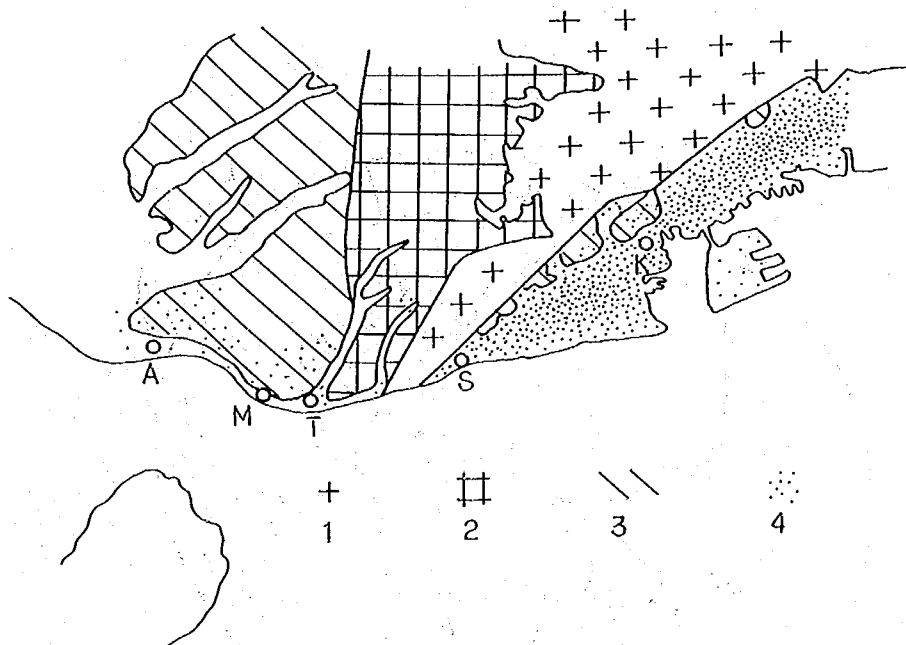


図-9 地質による被害の差 (地質図は近畿地方土木地質図編集委員会^{*36}、被害状況は国土地理院^{*35})

- 1 : 花崗岩類 2 : 神戸層群 3 : 大阪層群
4 : 被害発生地 (点の密度は被害の程度を表す)

A：高塚山断層以西（明石市、神戸市西区、垂水区）の大阪層群・段丘層（第四系）分布地域
 B：高塚山断層以东、須磨断層以西（神戸市須磨区北部、垂水区東部の神戸層群（第三系）分布地域
 C：須磨断層以东（神戸市須磨区南部、長田区、兵庫区、中央区）の大阪断群・段丘層完新統分布地域
 D：三宮以东（神戸市灘区、東灘区）の大阪層群・断丘層・完新統分布地域
 *亀裂の分布が中央区付近で連続性がとぎれること、震度7地域も不連続が報告されていることから地質条件は変わらないが旧市街地をCとDに分けた。

表-2 地質別の学校校庭の亀裂出現率（背本ら^{*37}）

ブロック (総数)	亀裂なし	亀 裂			
		変化なし	9 cm以下	10~19cm	20cm以上
A (34)	32%	26%	38%	0 %	3 %
B (14)	71%	29%	0 %	0 %	0 %
C (51)	36%	18%	9 %	16%	20%
D (23)	38%	26%	13%	9 %	17%

IV 断層と直交する方向の岩盤加速度は小さかったか

地震を発生させる断層は震源断層と呼ばれる。震源断層の復元に一般的に用いられるのは地殻変動と余震分布である。図-10は京都大学防災研究所地震予知観測センターによる精密観測結果^{*38}である。南は淡路島一宮町郡家付近から直線状に須磨断層、諏訪山断層、大月断層、五助橋断層を通り、宝塚付近に及んでいる。ただし安藤^{*39}によると、南西端は兵庫県南部地震による誘発地震の余震であるという。橋本^{*40}は測地観測から地震断層の復元を試みておりほぼ同様の結果を得ている

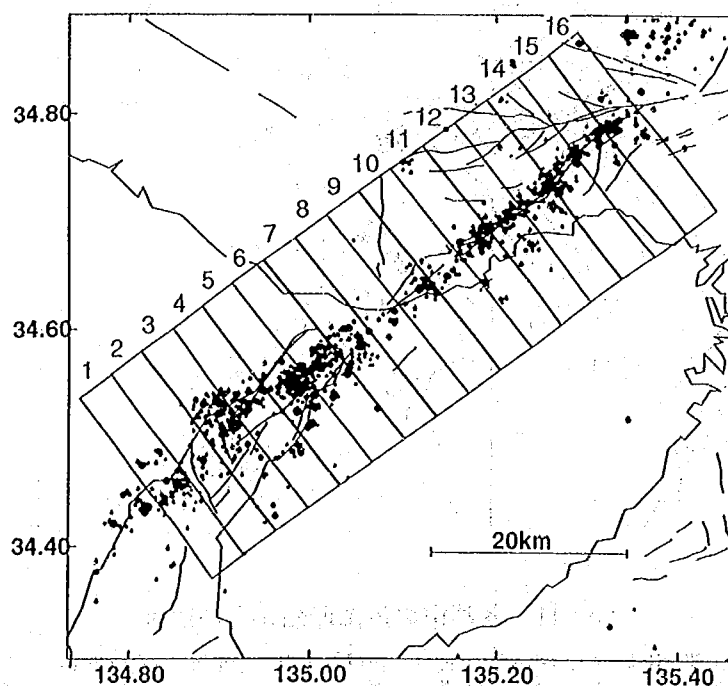


図-10 余震分布（京都大学防災研究所地震予知研究センター^{*38}）

図-11はこれにもとずいた震源断層と、これから20km圏、40km圏の範囲を示す。震害の程度は、前述の岩盤地域を除くと、震源断層との距離におおむね比例していることが判る。しかしこれからの偏倚もみられる。岩盤上の六甲山地は別としても、断層に直角方向の三田市、明石市等は10km圏内であるにもかかわらず、被害が軽度であったのに対し、伸長方向の京都は40km圏にもかかわらず、震度5を記録し比較的被害が大きかった。高田、菊池はこれを起震断層の影響としている^{*11*12} (図-12)。また土岐ら^{*13}は距離減衰曲線の比較から、断層方向の加速度が直交方向のほぼ1.5倍であるとしている。しかしこれは「地盤」の方向性であって「岩盤」のそれではないと思われる。そこで前述のダムの加速度データを用いて、断層方向及びそれに直交する方向の岩盤上の加速度の比較を行った (図-8 参照)。ダム基礎とはいえ、破碎帯や風化の程度に差があることを考慮すれば、データで見る限り、少なくとも細長い震災地域を説明できるような顕著な差があるとは認められない。また兵庫県南部地震以外の地震断層が表れた直下型地震^{*14}でも、今回のような極端な細長い震災地が出現したことはない (図-13)。このことから震災地域が著しく伸びている原因は岩盤上の、より軟質の地盤の増幅現象に求めることができよう。

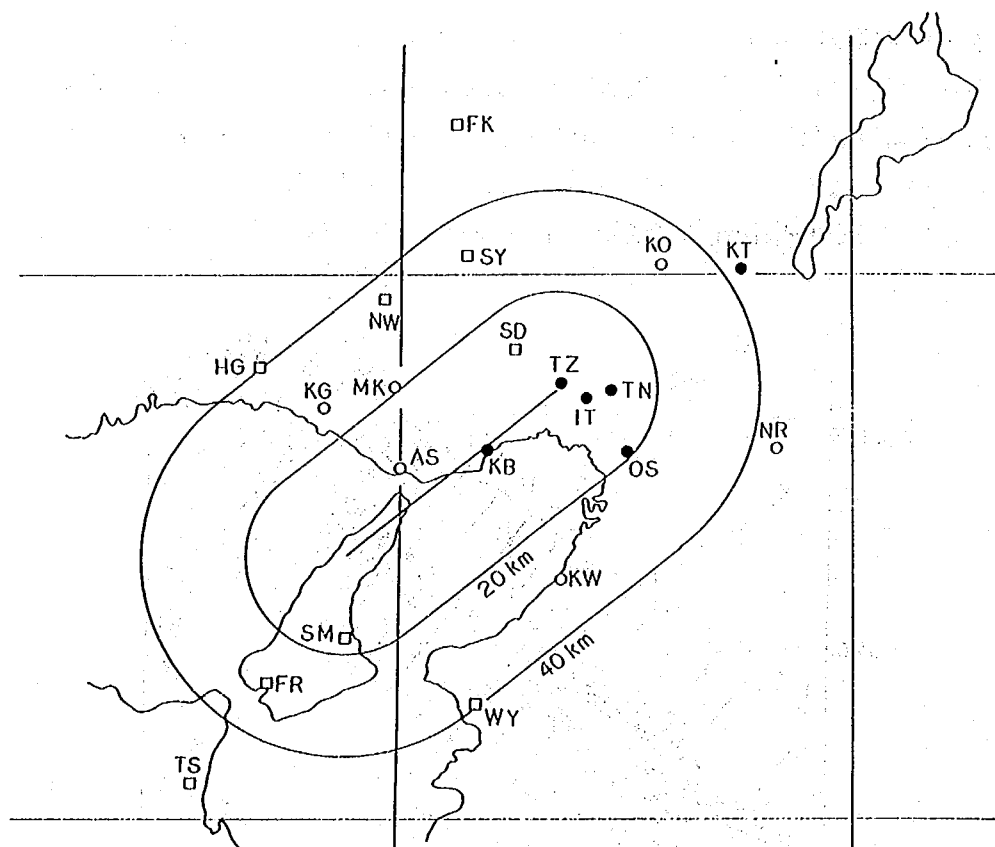


図-11 各都市の震源断層からの距離

黒丸：上部大阪層群上の都市、 KB：神戸 TZ：宝塚 IT：伊丹
 TN：豊中 OS：大阪 KT：京都
 白丸：下部大阪層群上の都市、 AS：明石 MK：三木 KG：多古川
 NR：奈良 KO：亀岡 KW：岸和田
 四角：SY：篠山 SD：三田 NW：西脇 HG：姫路
 SM：洲本 FR：福良 WY：和歌山 TS：徳島

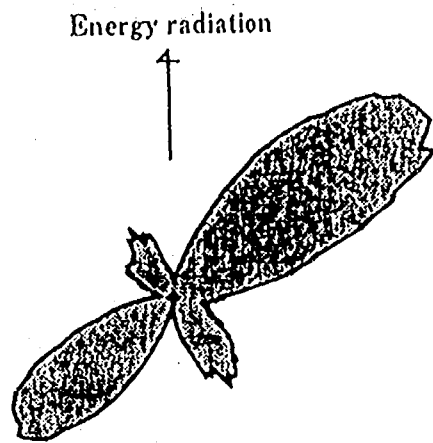


図-12 地震波エネルギーの方位分布 (菊地^{*12})

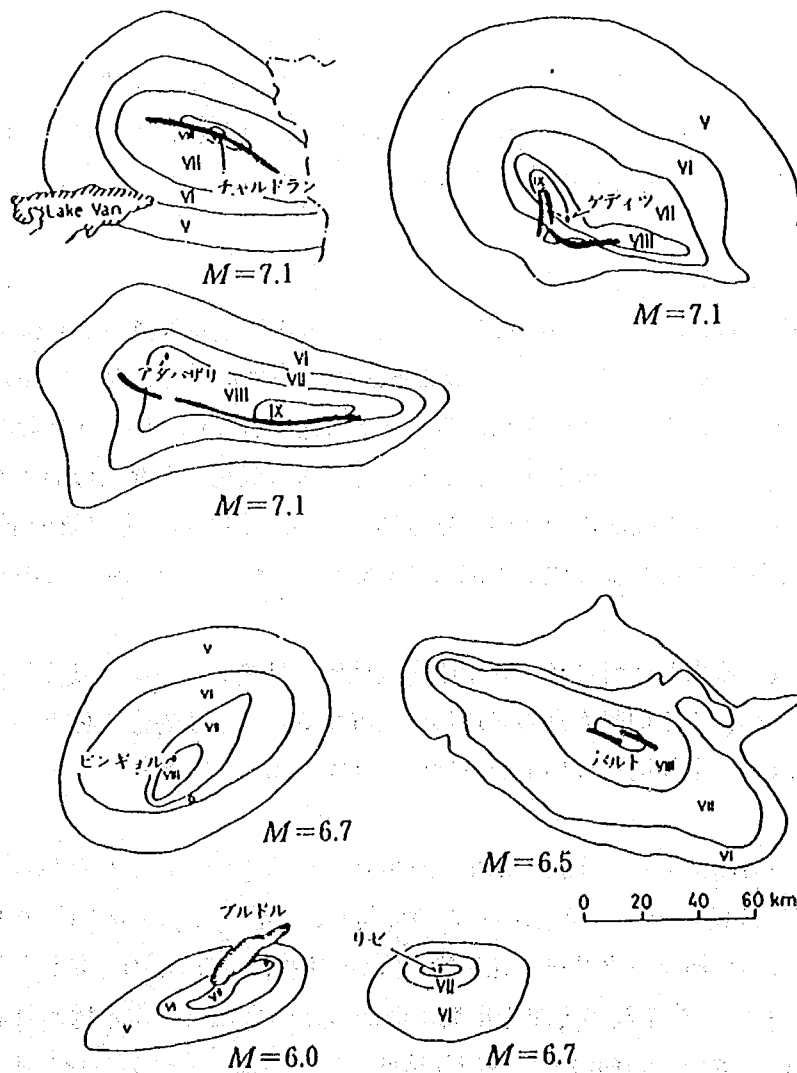


図-13 トルコにおける7つの地震の地震分布 (太田^{*14})

太線は地表断層、震度はMSK表示

V なぜ断層方向で被害が大きく直交方向で小さかったか

播磨の東端に位置する明石市（平成2年10月現在、人口270千人）は、5名の死者と1884人の負傷者を出しており、神戸以西では最大の被害を受けた。しかしJR西明石駅の加速度は400galを切っており、また隣接する神戸市（同、1477千人）が、死者3800名以上、負傷者14000名以上を出した^{*45}のと比較すると被害は軽度であったといわねばならない。三田市はさらに被害が少なかったが、岩盤と見なせる神戸層群上に位置している。しかし明石市の場合は神戸から西宮市に至る地域（以下、六甲山南麓地域と呼ぶ）と同様、大阪層群上であり、ここでの軽度の震災は大きな謎である。以下に六甲山南麓地域と明石市の位置する東播磨地域との地質環境の比較を行う。

地質環境は、沖積層・段丘層等の表層地質と、大阪層群、神戸層群、花崗岩類といった基盤に分かれる。まず、表層地質は場所々の変化の激しいものであって、六甲山南麓地域と東播磨地域といった広い地域のそれぞれに、固有の特徴を備えた表層地質を設定すること自体が無理である。また明石市等では、震災は表層地質の種類を超えて発生しているのが明瞭であり^{*46}、特定の表層地質が震害を発生させる主要な要因でないことも明らかである。したがって、東播磨地域と六甲山南麓地域、淡路島という広域の地質環境に対照があるとすれば、局所的な変化の激しい沖積層や段丘堆積物ではなく、もっと大局的な地質構造が関与していると考えの方が自然である。

1) 六甲山南麓地域

阪神地域の地下構造については岩崎^{*47}によって示されている。これによれば地震基盤たる花崗岩類の海岸線付近の深度はおおむね1000mである。しかし最近の反射法探査によれば神戸市東灘区の海岸線付近では基盤は-1.9kmと、予想以上に深いことが明らかになってきた^{*48}（図-14）。大阪は神戸付近よりも調査が進んでいるが1500mを超えるデータは知られていない。すなわち、花崗岩類の深さは近畿地方の中でも六甲山南麓で最も深く、これに重なる大阪層群も最も厚い可能性が大きくなってきた。六甲山南麓には上部大阪層群の露頭が見られ^{*49}、また層厚からも礫質の下部層から、砂層、粘土層などの比較的細粒の堆積物より成る上部層までそろっていることは確実である。

2) 東播磨地域

当地域の基盤を構成する大阪層群には、六甲山南麓地域とは著しい対照が見られる。すなわち東播磨地区は六甲山地を中心とする地殻変動の縁辺部に位置するため、礫層を主体とする大阪層群下部層または最下部層より成り、上部層を欠いている^{*50*51}（図-15）。

3) 淡路島地域

淡路島は断層の伸長方向にある。また一部では震度7の認定も受けた。しかし六甲山南麓地域では、木造家屋の全壊率がほぼ100%のところもあったのに対し、一宮町で最大の33%であった。また六甲山南麓地域では学校等の鉄筋コンクリート建築物も大きな被害を受けたのに対し、淡路島では一部に限られた^{*52}。これらから、淡路島の方が地震動が弱かったのはほぼ確実と思われる。一部で家屋の倒壊が著しかったのは、敷地の制約の多い海岸沖積低地に、戦前の家屋が多く、瓦の産地であるため重厚な屋根を備えていたこと、間取りの大きな総二階建て造りであったことなどが関係していよう。

東播磨地域の大阪層群は上部層を欠き層厚は小さく礫質であったが、淡路島においても同様である^{*53}（図-1）。いずれも六甲山南麓地域よりも地震動は小さい。両者には因果関係があると考えるのが自然であろう。大阪層群の上部層と下部層の物性に原因があるのか、あるいは上部層の存在に見

られる、大阪層群全体の大きな層厚が効いているのか、等は今後の課題である。

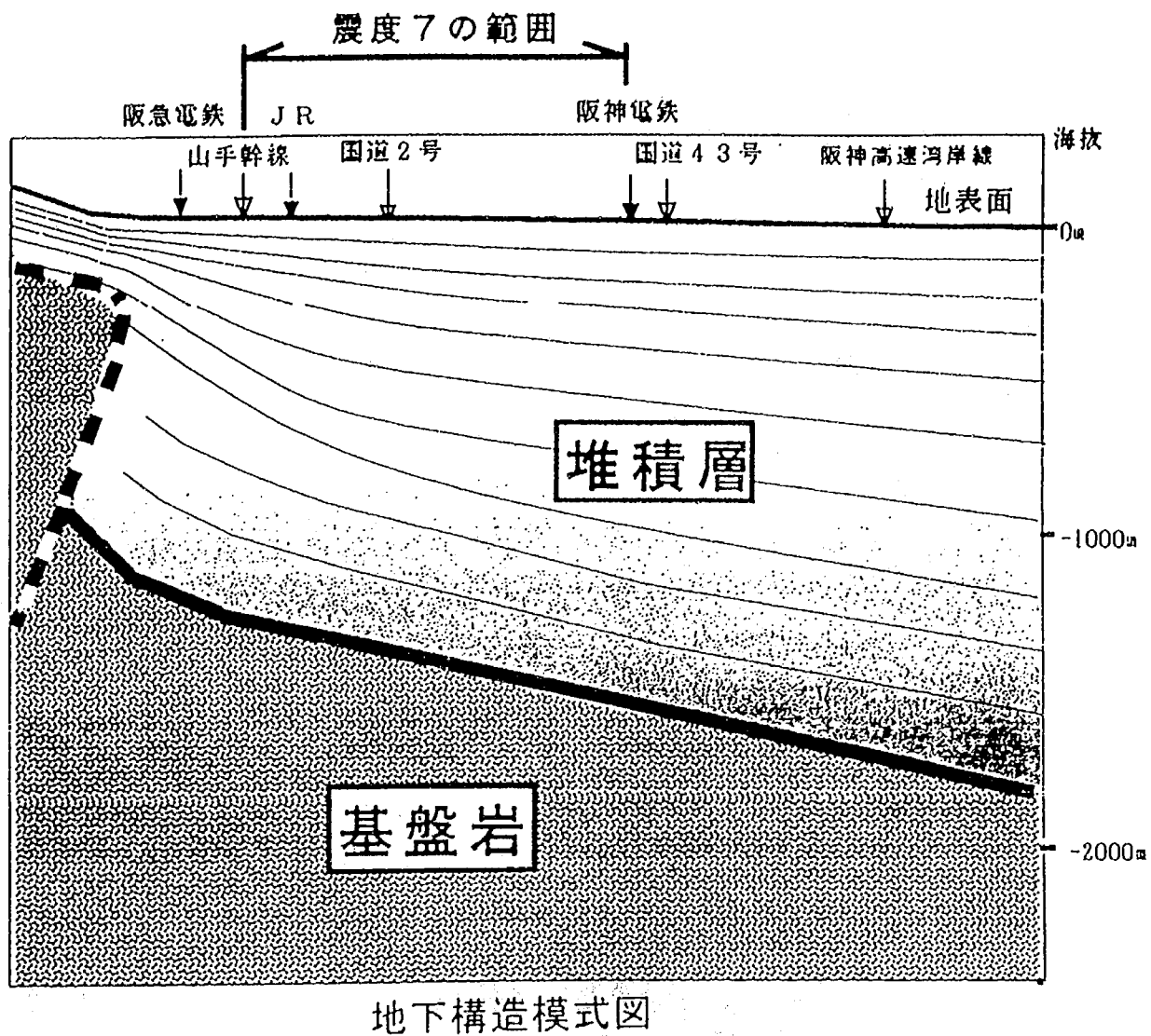


図-14 東灘区付近の地下構造（兵庫県^{*18}）

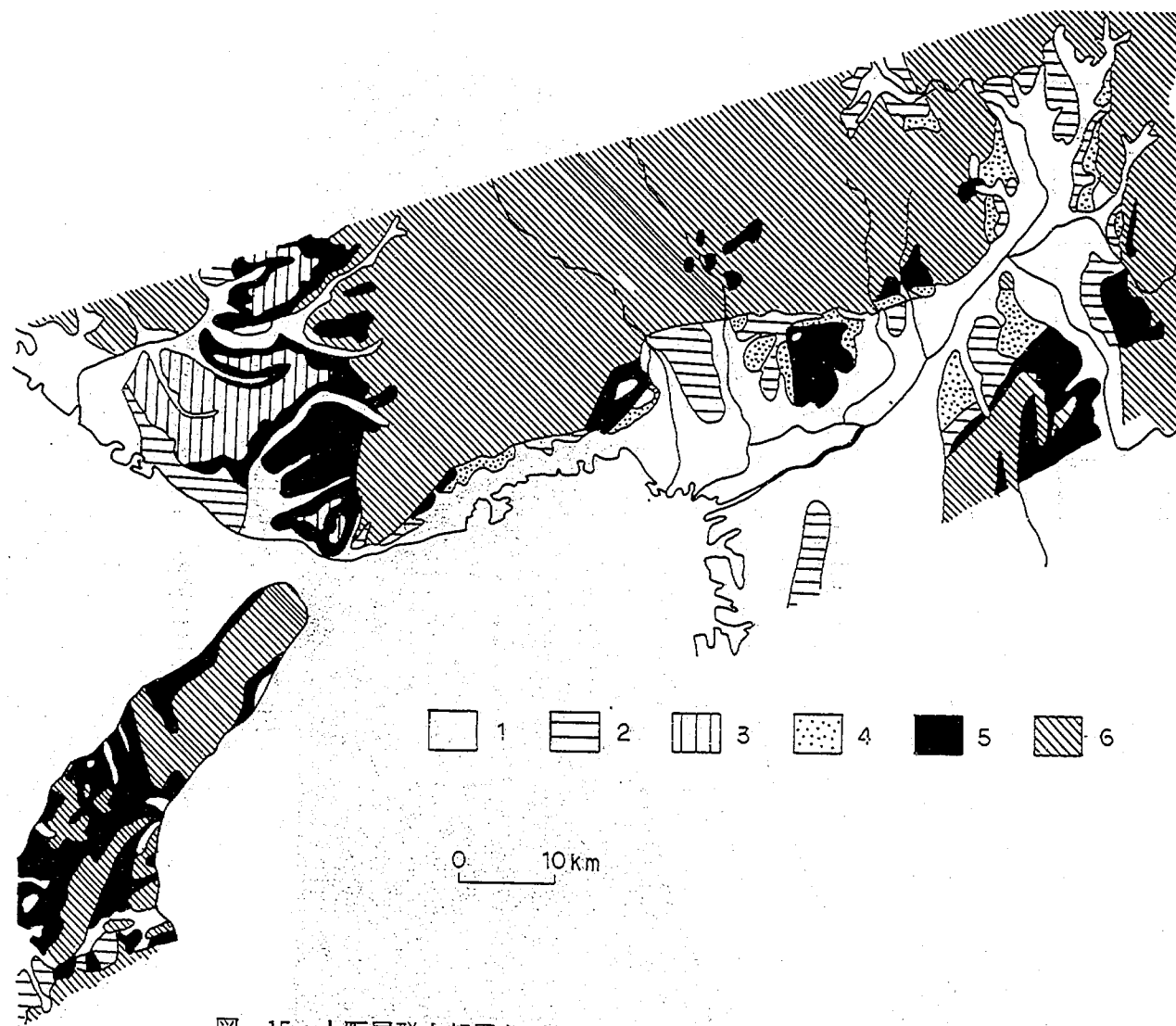


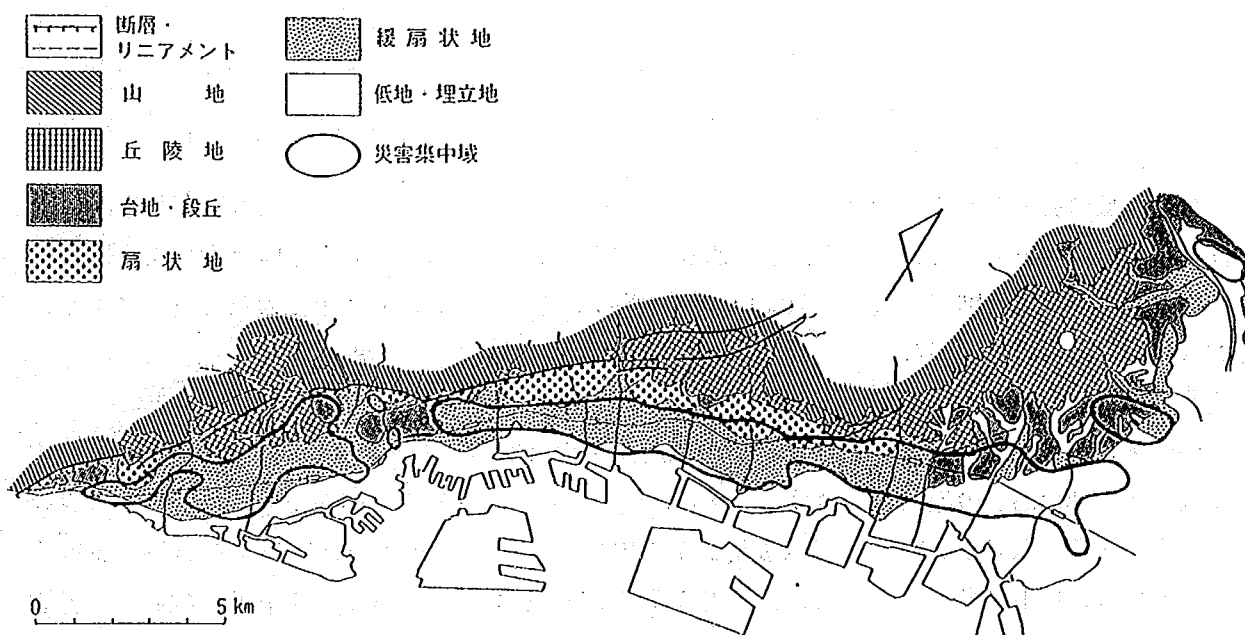
図-15 大阪層群上部層と下部層の分布 (市原^{*51}を簡略化)

- 1 : 沖積層 2 : 低位・中位段丘堆積層 3 : 高位段丘堆積層
4 : 大阪層群下部層 5 : 大阪層群上部層 6 : 基盤岩類

VI 六甲山南麓での地盤と震災

神戸から西宮に至る六甲山南麓地域の特徴は、おおむねJR線と阪神電車に挟まれた巾約2 kmの狭い带状の地区に、激甚な震害が現れたことである^{*51}。本論の主題も、何故、この現象が現れたかにある。著者は、この六甲山南麓でなされている極めて多くの調査研究を念頭におきつつも、広域を貫く地盤と震災の一般関係を先ず調べ、その上で六甲山南麓の帯条の被害分布もこの一般関係で説明できるかどうかを検討しようとしている。そこで本節ではこれまでに得られた諸成果を簡単に触れるにとどめる。

六甲山南麓地域は六甲山地からの土砂供給により、比較的粒度の大きな堆積物より成り、地盤の良いところとされてきた。このことが、かえって我が国の都市地域としては、最も調査の遅れた地域としてしまった。兵庫県南部地震以降、土木研究所をはじめ、各方面で反射法探査、大深度ボーリング、ボーリング孔を利用した検層などが精力的に進められており、いずれ詳細が明らかにされよう。また表層地質の概略は地形分類によって明らかにすることができるから、各機関によって地形分類図が作成されている^{*55*56*57*58}。関口ら^{*59}によるものを図-16に示す。これにより以下が明らかである。



- ① 緩傾斜扇状地は主に砂層より成る。震災激甚地区はおおむねこれに一致する
- ② 段丘や急勾配の扇状地は砂礫層より成る。ここにおいて被害は一般に少ない。震度7が途切れている本山地区はこの例である
- ③ 三角州性低地は海成層より成る。ここにおいて被害は比較的少ない
- ④ 長田区の後背湿地性低地は陸成の粘質土よりなる。ここにおいて被害は激甚である

しかし震災と地盤の相関をこれで説明し切れる訳ではない。震災は表層地質のみならず深層の地盤の影響を受けているからである。

兵庫県南部地震においては、あらかじめ設置していた計器による本震観測、および本震後に急速展開した余震観測から、不整形地盤による地震波の増幅、および地盤の非線形性による減衰を示す貴重なデータが得られている。これらは、帯条の震災激甚地区の発生に重要な関りがあると考えられる。

「地盤の不整形」の内容は研究者により様々である。基盤岩と堆積層が鉛直の断層で接しているモデル、両者を傾斜したアバット関係とするモデルがあり、また基盤岩と堆積層を、それぞれ花崗岩類と大阪層群とする場合^{*00*01}、大阪層群と沖積層に当てはめる場合^{*02*03}などの差異がある。いずれも基盤岩と堆積層の交互作用により、地表における基盤岩と堆積層の境界から一定の距離で地震波の大幅な増幅が見られることが計算実験によって示されている。

「非線形性」とは、一般に地震波が地表に近づくにつれ加速度等が大きくなるのに対し、非常に大きな入力波の場合に、堆積層の塑性体的な挙動によって逆に地震動が小さくなる現象である。ポートアイランドにおける鉛直アレイによって、この非線形性はMa-13と呼ばれる沖積粘土層および盛土で最も著しく現れる現象が観測された^{*13*01*04}。地形分類図で三角州性低地とされた地域は、このMa-13が分布する地域であり、被害が比較的軽度であったのと整合している。

VII 震災縁辺地域での地盤と被害

六甲山南麓地域の研究によって得られた諸原則が、被害の軽度であった震災縁辺地域にも適用できるのか明らかではない。また縁辺地域の方が現れやすい現象もあろう。そこで震災縁辺地域での地盤と被害の関係を検討することとする。

震災縁辺地域の震災と地盤の関係を検討する上で問題となるのは、入手できる震度図が気象庁による震度7に限った図であることである。広域的な震度図については気象庁や大学関係者によって資料の整理中と聞かすが、現段階では公表されていない。従ってここでは断片的に手に入れた資料による、暫定的な検討にならざるを得ない。

1) 明石地域

六甲山南麓は震災が激甚であったが、西方の須磨から垂水にかけては急に被害が軽くなる^{*12}。これは花崗岩類、神戸層群の地域と一致する。さらに西方の垂水区西端から明石市東部にかけては再び被害が目立つようになるが、ここでは大阪層群が露出している^{*50}。明石市西部は再び被害が少なくなり、大阪層群は地下に没するとともに、周辺の丘陵には流紋岩等より成る相生層群が現れ、その層厚が減少していることをうかがわせる。

明石市旧市街は沖積層に載るが被害は少なく、むしろ中位段丘上の住宅地で半壊・一部損傷が多かった^{*12}。

2) 伊丹・尼崎地域

伊丹・尼崎地域は伊丹段丘、沖積平地より成る。いずれも家屋の被害は一般に屋根瓦の落下程度であり、その程度は伊丹段丘上よりも沖積層上でわずかに大きい^{*11} (図-17)。当地域の沖積層はポートアイランドで非線形性を示した海成粘土層・Ma-13を夾在しており、伊丹より西側の地域ではむしろ被害の少ない地盤に当たっていた。

伊丹段丘層と大阪層群はほぼ整合的に接しており、従って地震工学上の不整形地盤とは対極の地質構造を成している (図-18)。しかし伊丹段丘の東端だけは「中位段丘」があり、段丘崖には大阪層

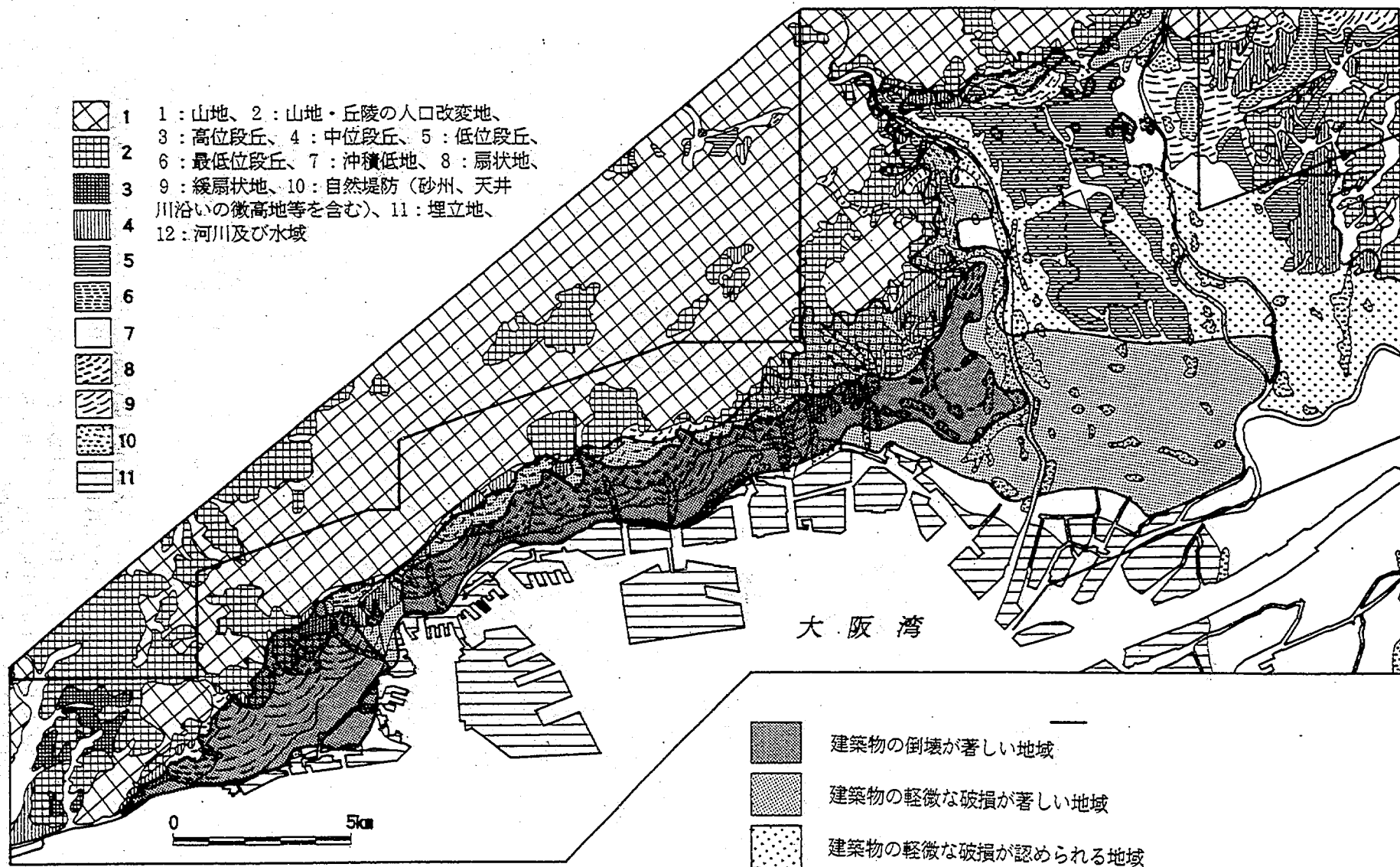


図-17 伊丹・尼崎地域の微地形と被害状況（脇坂ら^{*14}）

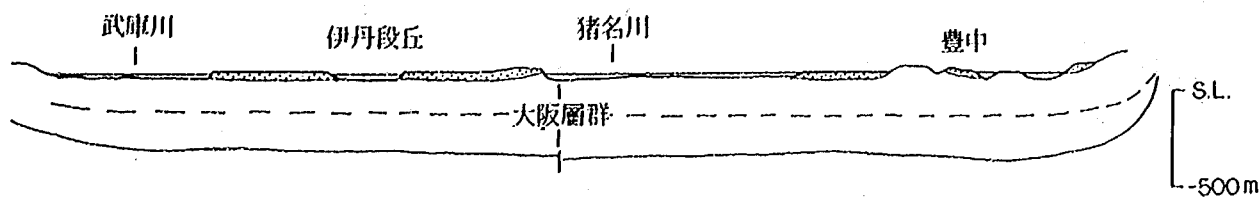


図-18 伊丹付近の地質断面（藤田ら^{*10}を改変）、網点は段丘層

群が露出している^{*10}（図-19）。従ってこの付近から段丘崖下の猪名川右岸の沖積低地にかけて、段丘層および沖積層は大阪層群に対して傾斜関係で接している。全壊した阪急伊丹駅は伊丹段丘と「中位段丘」の接点に位置しているし、また猪名川低地においては「中位段丘」に接する付近で家屋の被害が大きい。「不整形地盤」との関係で注目されるところである。

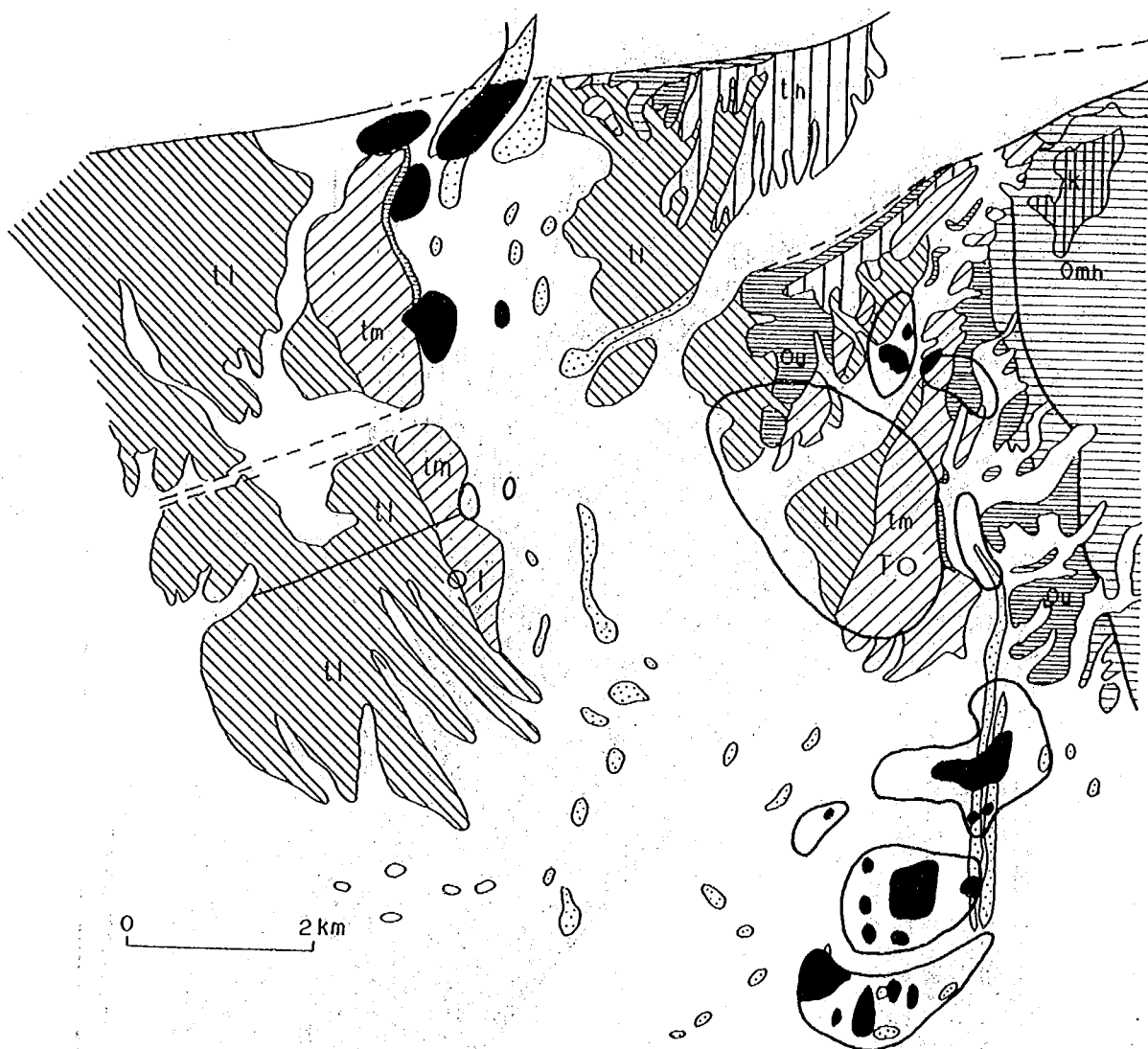
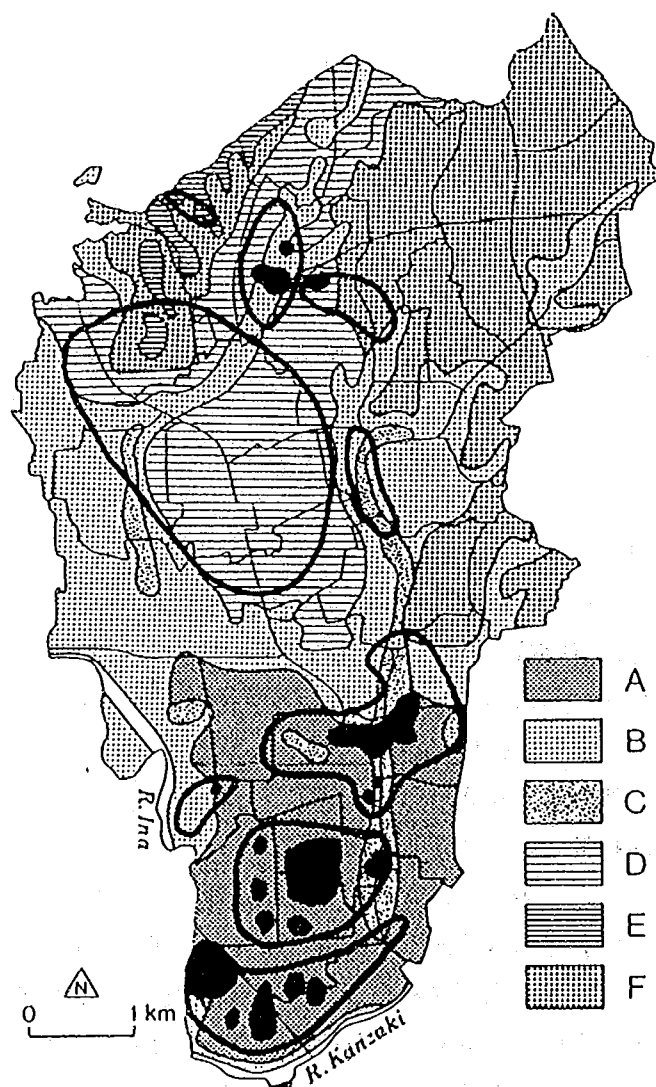


図-19 伊丹、豊中付近の地質と被害状況（地質図は藤田^{*10}らによる。被害状況については、伊丹付近は国土地理院^{*35}、豊中付近は香川^{*65}による）

I : 伊丹 TO : 豊中 Ou : 上部大阪層群 Omh : 中部・下部大阪層群
tl : 低位段丘 tm : 中位段丘 th : 高位段丘 網点 : 自然堤防
黒で塗りつぶしたところ : 被害密集地域 太線で囲ったところ : 被害集中地域

3) 千里丘陵西麓

千里丘陵西麓に位置する豊中市は大阪府の死傷者の65%を占め、大阪府中、最大の震災を受けた^{*15}。豊中市では沖積低地、低位・中位段丘および上部大阪層群上に被害の集中地域が見られる^{*16}。一方、高位段丘上および中部・下部大阪層群上では震災が少なかった(図-19、20)。上部・中部大阪層群は下部大阪層群と仏念寺山断層と接している。また藤田ら^{*10}によれば、上部大阪層群は中部大阪層群にアバットしているという(図-21)。したがって沖積層と上部大阪層群、上部大阪層群と中部大阪層群はそれぞれ「不整形地盤」関係に当たる。



第4図 地形分類図

A: 三角州性低地 B: 扇状地性低地 C: 自然堤防
D: 段丘(中・低位) E: 段丘(高位) F: 小起伏丘陵地
(国土庁土地局(1976年)『土地分類図(大阪府)』を筆者が一部修正)。

図-20 豊中市の微地形と被害状況(香川^{*16}の図を集約)

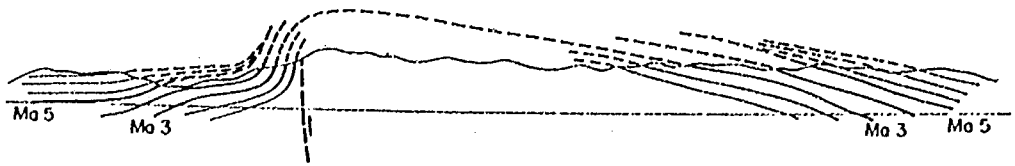


図-21 千里丘陵西端（豊中）の地質構造（藤田ら^{*19}）

注目すべきは、段丘面から沖積地に移行する部分で震災の状況が系統的に変化するとはいえない事実である。これはこの地の震災の原因が沖積層そのもの、または段丘堆積物そのものにあるのではないことを示している。その一方で、沖積地については神崎川と猪名川に挟まれた三角州性低地、まさに豊中市の市域が他のいかなる府域よりも家屋の被害が大きかった。層厚は最大で約15mにすぎず、鋭敏粘土も存在しないから^{*21}、当地域の沖積層が西宮・尼崎や、府下の他地区に対して特異であったという根拠は見あたらない。にもかかわらず段丘地区よりも、また尼崎地域や他の大阪府の沖積低地よりも被害が大きかったことは記憶にとどめておくべき事柄である。

4) 大阪・上町台地

大阪市では湾岸部や現河川、埋め立て地、旧河道での地盤の液状化、側方流動に伴う家屋の被害が大きかった。しかしこれらの地盤変状とは直接関係しない家屋の被害は、境筋に沿って南北に伸びている。御堂筋や谷町筋、その他では認められないという^{*63}。この線は丁度、上町台地の西斜面にあたっている（図-22）。上町台地は中位段丘層と見なされる上町層と下位の大阪層群上部層で構成され、西端は上町断層によって限られている。

5) 茨木・高槻・枚方地域

これらの地域は地区によって、屋根瓦や壁の全体が破損を受けるといった被害を受けた。茨木市は被害状況図^{*66}を公表しており地質環境との対比をやりやすい（図-23）。まず、被害が目立つのは沖積層上である。地質断面図^{*66}によると一部を除いて沖積層の層厚は15m以内であり、砂質地盤よりもシルト質地盤で被害が大きい。低位段丘がこれに次ぐ。大阪層群では小さく、そのなかでは上部層上が相対的に大きい。丹波層群、花崗岩類では例外的となる。有馬・高槻構造線沿いは被害が多い傾向はあるが、地溝状の沖積低地と一致するため、どちらの影響によるのか明らかでない。

高槻市については、市の未公表資料にもとずき記述する。被害は東海道本線よりすぐ北の大阪層群上部層上で目立つ。さらに北方の大阪層群下部層では被害が僅少である。なお、有馬・高槻構造線は大阪層群が分布する地域、または大阪層群上部層と沖積層の境界部付近を通過している。沖積層上の被害は、場所によってその程度が大きく異なり一般性を見いだすことは難しい。竹ノ内町など一部の沖積地に被害が大きかったのは、生駒断層の北方延長線上とする見方もある^{*63}。高槻市の沖積地は一般に後背湿地にあたり、沖積層の空間的变化も乏しいとみられる。層厚は最大で10mである。ただし道鶴町・上牧町等の河跡湖の跡地^{*67}で被害が特に少ないのが注目される。

枚方台地をふちどる段丘上、大阪層群上では震災は少ないようである。むしろ淀川沿いの沖積低地、八幡市であれば京阪橋本駅の淀川側、枚方市であれば枚方大橋の南・出口付近の沖積層上の震災が顕著であったという。

6) 京都盆地

京都盆地の震災―地盤関係については安松^{*68}、天白ら^{*69}、西村^{*70}らによる報告がある。先ず京

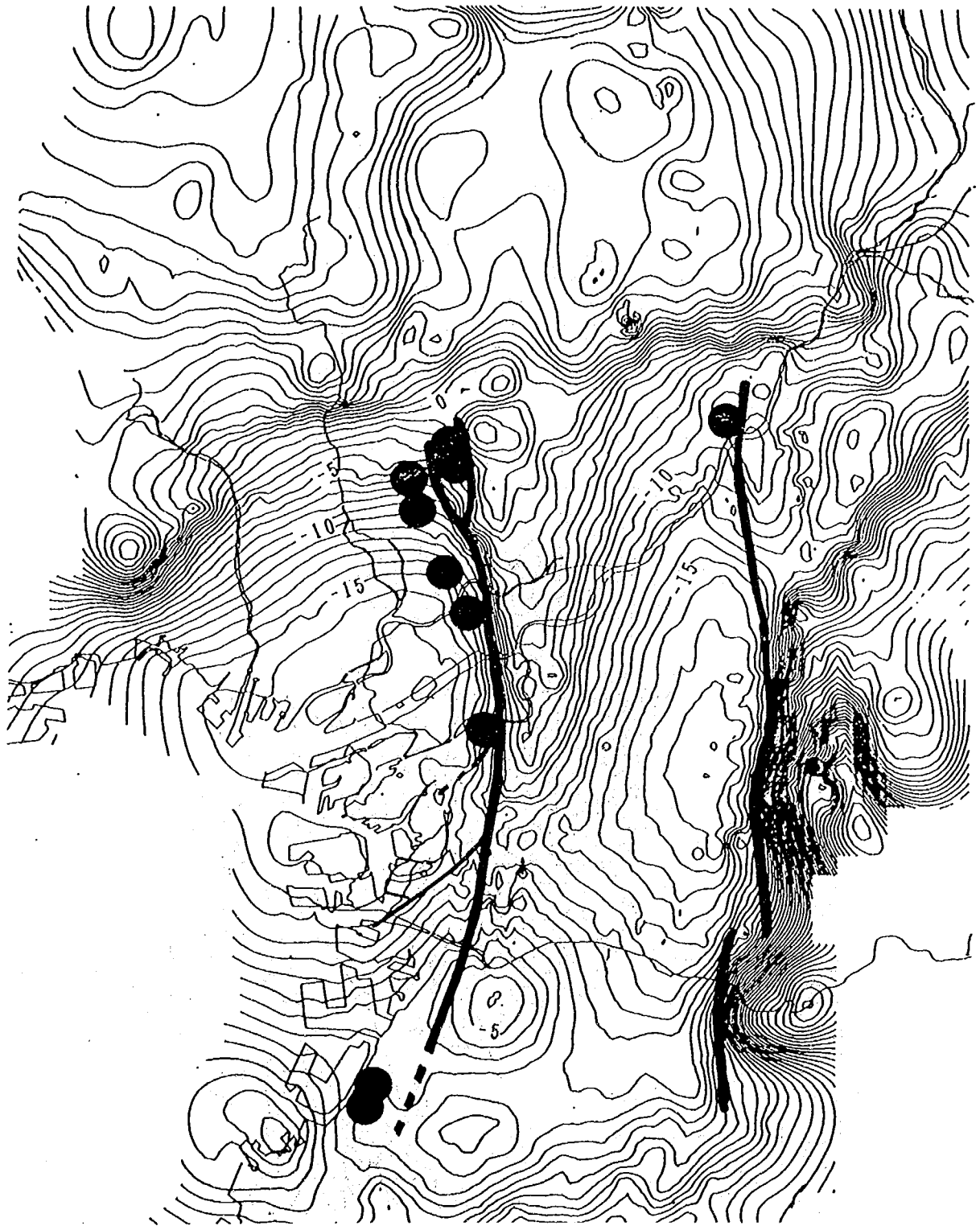


図-22 液状化や側方流動とは無関係の家屋・構造物の被害の分布と仏念寺山断層・上町断層および生駒断層（中川^{*63}）

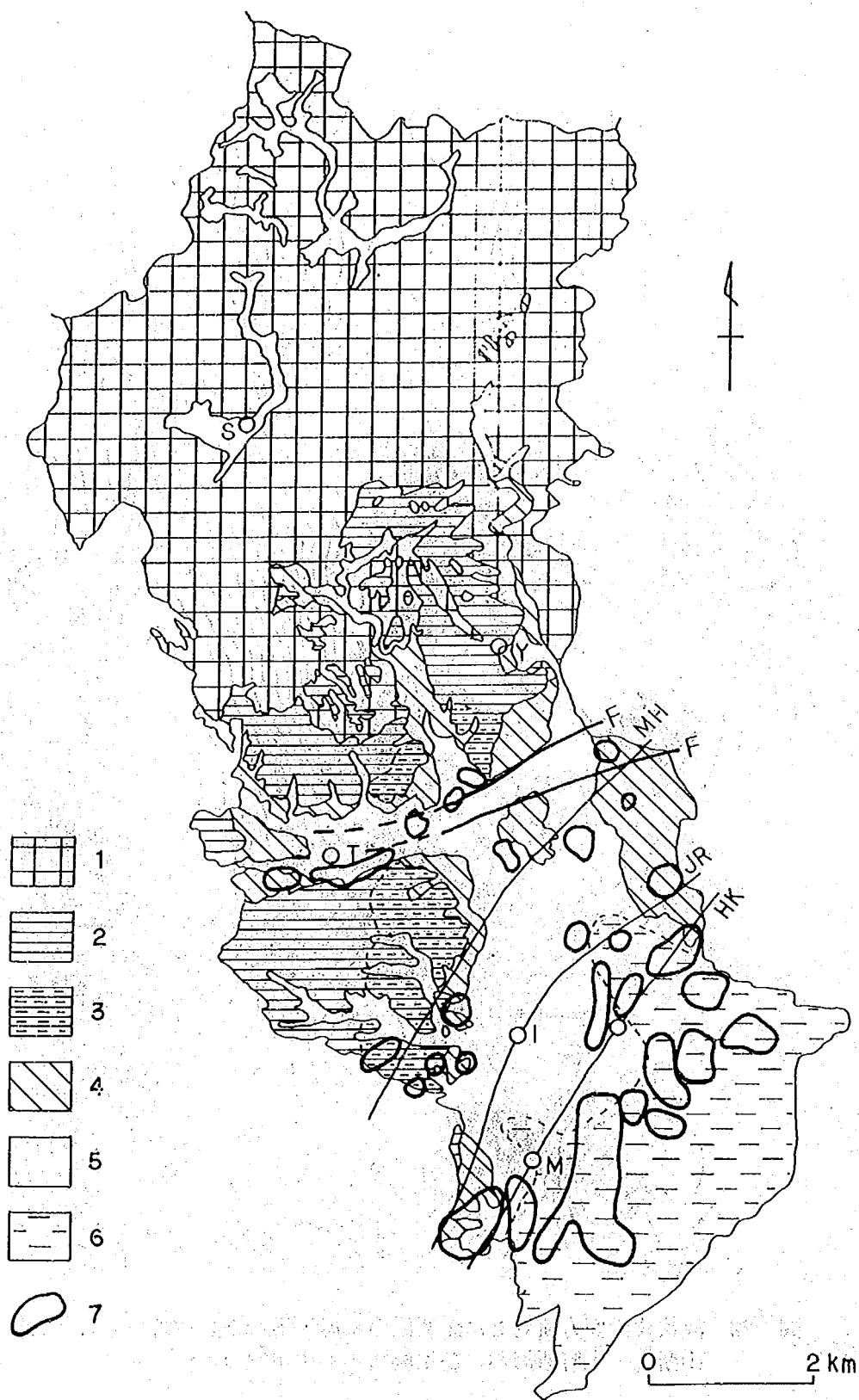
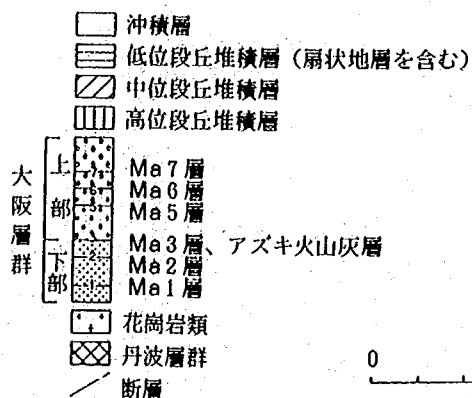
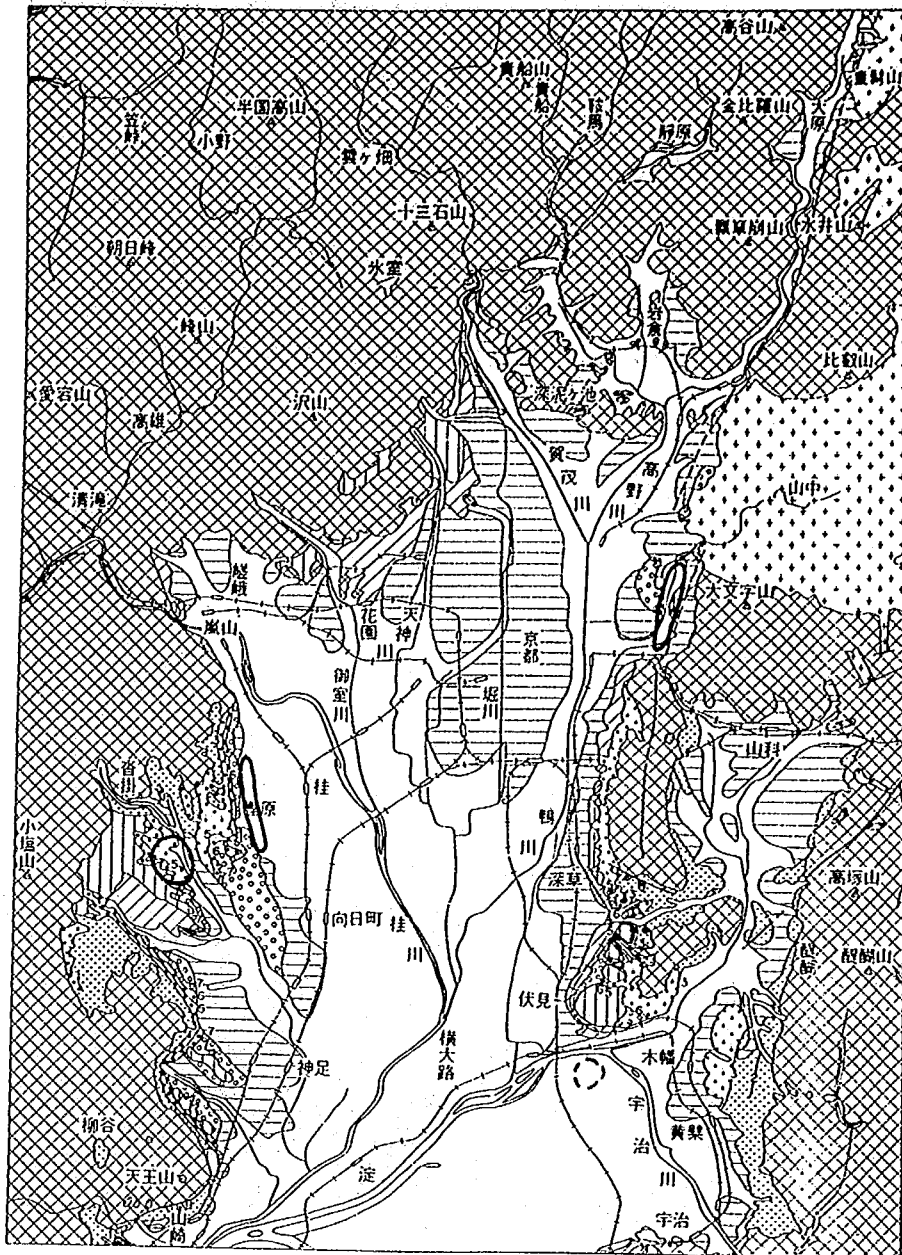


図-23 茨木市の地質と被害状況（茨木市^{*66}の図を集約）

- 1 : 基盤岩類 2 : 下部大阪層群 3 : 上部大阪層群 4 : 段丘
5 : 沖積層 6 : 沖積層（シルト質） 7 : 被害集中地区

都盆地内では吉田山と東山に挟まれた花折断層沿いの狭長な地域と、西山山麓の檜原を中心とする檜原断層沿いの狭長な地域の2ヶ所で屋根瓦が落ちるなどの震災が顕著であった(図-24)。前者は白川の沖積地であり、昔は汁田と呼ばれる「緩い」砂地であったという。後者においても、沖積低地側の構造的沈降運動に起因する軟弱地盤が、丁度、檜原付近を中心に発達している。しかし軟弱地盤は東山、西山の山麓に限られたものではないにも係わらず震災がここに集中することは、断層の影響を考えざるを得ないとしている。また洛西ニュータウン付近の被害が大きかったというが、これは上部大阪層群の分布地に当たる^{*7)}。大規模な土工が影響しているかも知れぬが、いずれにせよ地震動が大きかった結果であろう。その他の沖積層上では向島での震度が最も強かったという^{*8)}。



0 5 km

図-24 京都地域の地質と被害状況 (地質図は*71、被害状況は安松*68、天白ら*69、西村*70)

太線で囲った地域が被害集中地域

VIII 震災縁辺地域の共通性

地震において大阪層群、不整形地盤、断層、非線形性等が果たす効果について災縁辺地域のデータを中心に検討する。

1) 大阪層群

これまでに記述してきた大きな被害を受けた地域においては、沖積層の下位には一般に大阪層群が存在している。例外は多数の半壊家屋を出したとされる洲本市であって、沖積層の下盤は和泉砂岩層である。一方、同じ沖積層であっても、被害の小さかった震源の直上に位置していた淡路島・岩屋地区や、震源断層から十数kmしか離れていなかった三田市は、神戸層群上の沖積層であった（表-3）。また沖積層と段丘堆積層の性状が全く異なるにもかかわらず、同様の被害を見せている地域が多い。これらは、下位の大阪層群が、大きな被害をもたらす必要条件であることを暗示しているように思われる。

表-3 地質の差による、地震断層から同程度の距離の都市の被害比較

岩盤（含・神戸断群）		大阪断群	
三 田	△	豊 中	○
岩 屋	▲	富 島	◎
三 木	△	大 阪	○
洲 本	○		

大阪層群は礫質の下部層と、砂・粘土層を主体とする上部層に分かれる。先に断層に直交する方向である明石市や淡路島で地震動が小さめであったのは、下部層を基盤としているためである可能性を指摘した。豊中市、茨木市や高槻市等の個々の地域の内部でも、被害が出ているのは上部層にほとんど限られている。また京都盆地で被害が出ているが類似の地形の山科盆地ではそうではない。前者は上部層、後者は下部層を直接の下盤としている。また被害の大きかった大阪市上町台地周辺も上部層に接している。これらの事実は大阪層群も上部層において地震波の増幅が大きかったことを暗示している。

大阪層群による地域は丘陵地でもあるため、地盤の重力による下方変動を受けている箇所が多い^{*7}。大阪層群上の被害は、これら地盤の破壊によるものと、振動によるものを分離して検討しなければならないが、いずれにしても、上記の事実は、大阪層群も上部層において地震波の増幅が大きかったことを暗示している。我が国の大都市はほぼ例外なく、鮮新-更新世の大阪層群相当層に展開されている^{*6}（図-25）から、今後もこの点の検討を、鋭意、進める必要がある。

2) 不整形地盤・断層

六甲山南麓を除いたとしても、震源断層からの距離の割には被害の大きかったとされる伊丹段丘東端、豊中市、上町台地、京都市東山・西山山麓等は、何れも大阪層群と沖積層が不整形地盤を形成している。段丘層も、傾斜地上の水平層の宿命として、大阪層群と同様の不整形地盤にあたる。一方、

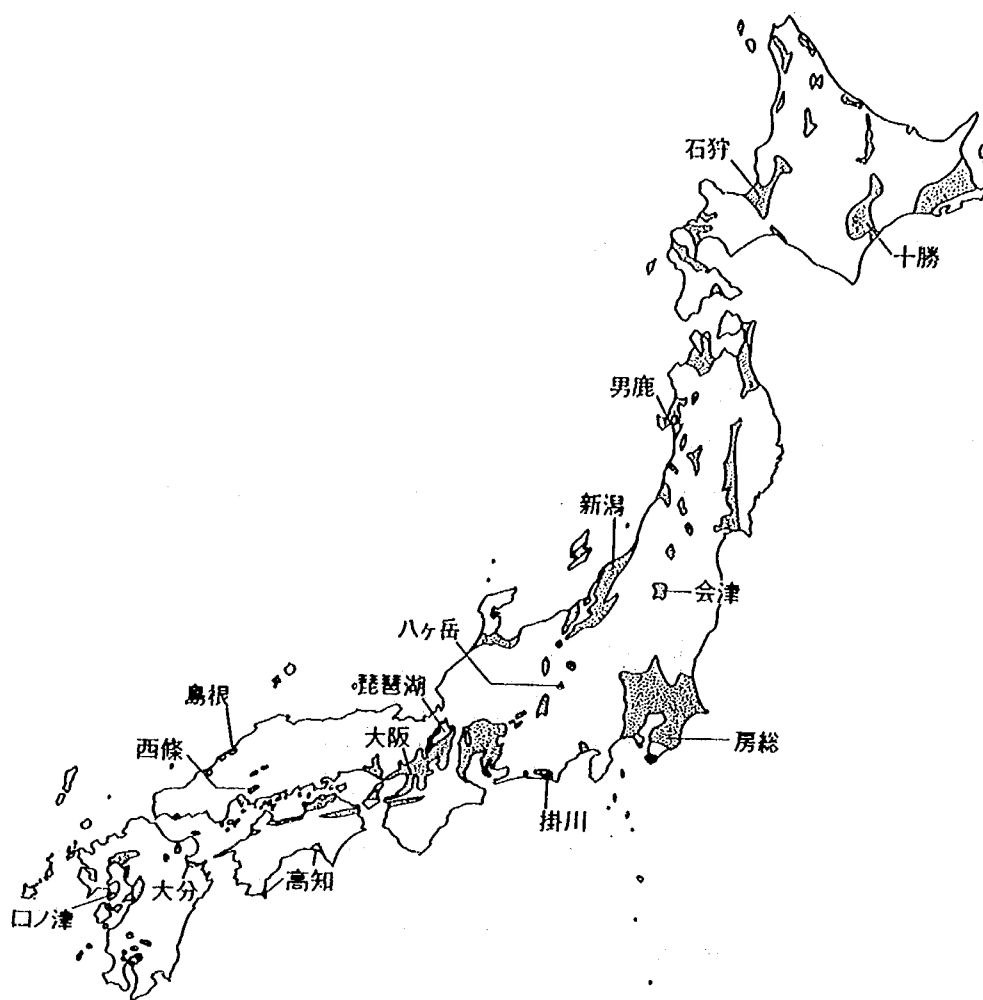


図-25 大阪層群とその相当層の日本における分布 (市原^{*51)})

尼崎の沖積層や伊丹段丘は下位の大阪層群と単純な累重関係にあるが、周囲と比べてむしろ被害は小さいという印象を受ける。

不整形地盤をなす地域は、一般に活断層の通る地域と一致する。豊中市、上町台地、京都市東山・西山山麓における仏念寺山断層、上町断層、花折断層、榎原断層がそれである。これらの地域で被害が大きかったのは、活断層沿いの地震動が大きかったためである可能性がある。しかしながら豊中市では、断層と被災地が1 km以上離れているなど、事柄は単純ではない。両者の効果の分離は今後の課題である。

3) 非線形性

神戸から西宮にかけての三角州性低地は他の地盤に比べて比較的被害が軽度であったが、これは地盤の地震入力に対する非線形的挙動により、S波の減衰を生じたためとの見解が強い。P波は一般にS波の1/2程度とされるが、非線形性が現れた場合はS波が小さくなるためP/Sは1に近づく。入倉はこの境界を、おおむね100Gal付近にあるとした^{*61} (図-26)。ここで中・低位段丘・扇状地性沖積層と三角州性沖積層の、震災の程度の差が震源断層からの距離とともに変化するのかどうかを対比してみる (表-4)。家屋の倒壊・破損は地盤要因だけではないから多少の不合はあるが、伊丹

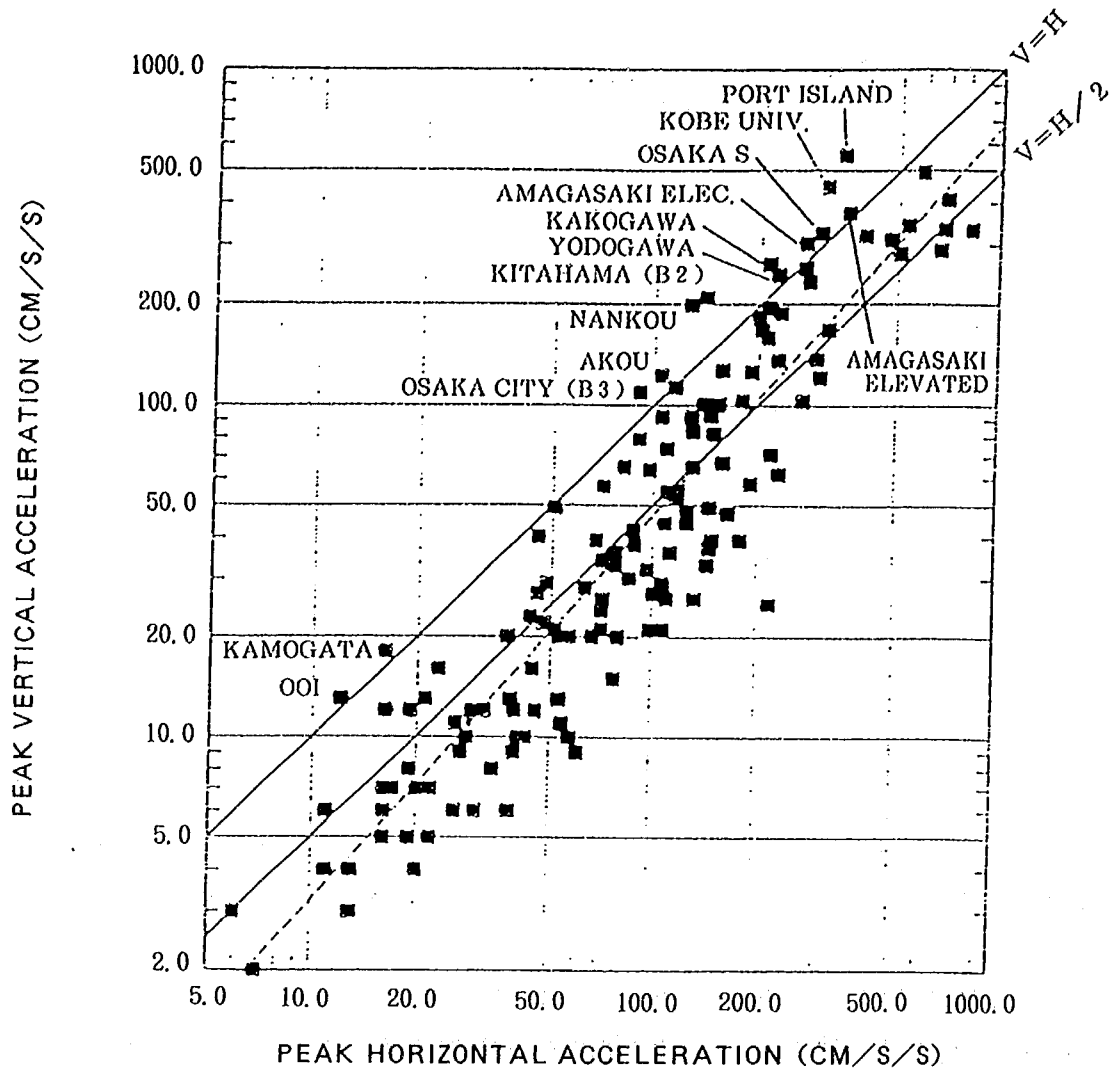


図-26 最大加速度の水平動と上下動の関係 (入倉⁶¹⁾)

表-4 表層地質と災害の程度

○、△はそれぞれの地域内での相対的な被害の程度を表す

	低位段丘	扇状地性 沖積層	三角州性 沖積層
六甲山南麓	○	○	△
伊丹・尼崎	○		○
豊中	△	△	○
茨木・高槻	△	○	○
八幡・枚方	△	△	○
京都	(○)		○

・尼崎付近を境に、それより東北方（震源断層から離れる方向）で、粘土質沖積層の方が低位段丘・砂質沖積層よりも被害が大きくなるように見受けられる。これは粘土質沖積層の非線形性を表すのであろう。しかし震源断層からの距離に伴って長くなる、振動の継続時間等、他の要因が効いているかも知れず、さらに検討を進める必要がある。

入倉^{*27}は地震工学的手法によって、被害地域での地震動が大きくなった原因を「基盤の2次元形状による干渉効果と極表層（約20m）での重複反射による増幅の相乗効果」としている。これまで取り上げてきた事実、また同じ大阪層群上にあっても高位段丘では被害が少ない事実、逆に海成、陸成の差はあるにしても、同じ軟弱地盤である神戸以東の海岸低地と長田区で、被害の状況が全く異なる事実なども、表層地盤と基盤のそれぞれの性状および両者の接し方が複合して震災を左右したことを示している。

IX なぜ震災の帯が現れたのか

これまでみてきたように震災を左右する地盤条件は数多い。あらためて整理すると以下になる。

- ①震災の帯の北方、六甲山地は岩盤であるため加速度は200ガル程度、震度にして4乃至せいぜい5であった。
 - ②六甲南麓の平地部は地震基盤がマイナス2000m近くあり、近畿地方のなかでも大阪層群の層厚が最も大きい可能性が強くなってきた。層厚が大きいことはそれだけ地震波の増幅も大きくなる可能性がある。
 - ③六甲山地と平地の間には六甲断層と総称される活断層が走っている。その内、活動が地表に及んでいない活断層についても、地震時には両側の地塊が差動運動を起こしたり、破碎帯沿いの地震動が大きくなり被害を大きくしている。
 - ④山地が平地に移行する付近は不整形地盤となるが、多くの地域で不整形地盤は震害を大きくしている。
 - ⑤山麓線と海岸線に挟まれた平地部の中間には、一般に、ゆるい砂地の緩傾斜扇状地で構成されているが、ここで大きな地震動があった。余震・常時微動の観測によって、0.4秒付近にピークがあることが明らかにされた阪急電鉄の南側は、おおむねこの地域にあたる。
 - ⑥海岸線に近い三角州性沖積層はS波の減衰が大きく震害を小さくする効果があった。
- これらの要因が重なり合って震災の帯が現れたと考えられる。

本論文は途中でも述べたように予察的な検討結果にすぎない。地盤の研究は点的あるいは線的でもなく、面的な作業を要する。兵庫県南部地震後の諸研究のなかでも最も遅れた分野である。到底、一機関では明らかにし得ない分野であり、今後も各方面の研究者と連携し、兵庫県南部地震の経験を今後の地震防災に生かすべく研究を進めていきたい。

引用文献

- 1) 小出 仁・山崎晴雄・加藤碩一：地震と活断層の本，国際地学協会，1995。

- 2) 原口 強：兵庫県南部地震に伴って出現した地震断層，地盤からみた「阪神大震災」緊急報告会資料，(財)全国地質調査業協会連合会，1995.
- 3) 林 愛明・宇田進一・三沢隆治：兵庫県南部地震により野島地震断層沿いに起きた瞬間型の液状化，応用地質，36-3，1995.
- 4) 菊池正幸：地震波でみた地震の一生，科学，65-4，1995.
- 5) 国土地理院：近畿地方の地殻変動，地震予知連絡会会報，54，1995.
- 6) 藤原悌三：平成6年度の研究成果の概要，兵庫県南部地震の被害調査研究・研究報告会資料，文部省科学研究費（総合研究A）研究チーム，1995.
- 7) 妹尾正晴：有馬-高槻構造線周辺の被害状況，「阪神大震災」緊急合同報告会資料集，日本地質学会・日本応用地質学会・関西地質調査業協会・断層研究資料センター・大阪市立大学「阪神大震災」学術調査団共催，1995.
- 8) 南場敏郎・木村一成・田結庄良秋昭・田崎正和・都築 宏：西宮市宝生ヶ丘における地震災害の地質学的検討，シンポジウム「阪神・淡路大震災と地質環境」論文集，日本地質学会環境地質研究委員会，1995.
- 9) 平野昌繁・波田重熙：六甲山地東南部の断層の活動と変位地形，「阪神大震災」緊急合同報告会資料集，日本地質学会・日本応用地質学会・関西地質調査業協会・断層研究資料センター・大阪市立大学「阪神大震災」学術調査団共催，1995.
- 10) 宮田隆夫・洪 景鵬・前田保夫：神戸市街地の隠された活断層，シンポジウム「阪神・淡路大震災と地質環境」論文集，日本地質学会環境地質研究委員会，1995.
- 11) 兵庫県道路公社：内部資料，1995.
- 12) 菊山浩喜・横山俊治：墓石・灯籠の点灯からみた1995年兵庫県南部地震の地震動，シンポジウム「阪神・淡路大震災と地質環境」論文集，日本地質学会環境地質研究委員会，1995.
- 13) 野村亮太郎・川崎輝男：墓石・石構造物の転倒から見た地震被害分布土地形特性，1995年1月17日兵庫県南部地震調査速報会記録，49-50，日本第四紀学会・第四紀研究連絡委員会，1995.
- 14) 協坂安彦・黒木貴一・秋山一弥・佐々木靖人：地形・地質と地震災害，土木研究所報告，建設省土木研究所，1995，印刷中.
- 15) 中曽根茂樹：日本工営内部資料、未公表，1995.
- 16) 田中 豊・林 守孝・加藤正明・藤田和夫：六甲断層破碎帯における地殻変動の連続観測（第一報），京都大学防災研究所年報第15号B，29-41，1995.
- 17) 京都大学理学部：六甲高尾基線における地殻変動，地震予知連絡会会報，Vol. 52，536-538，1994.
- 18) 皆川 潤・大槻憲四郎・青野正夫・大友淳一・中村教博：野島地震断層の性状，応用地質，Vol. 36，No. 2，154-166，1995.
- 19) 合同アレイ観測グループ：野島断層（平林）における破碎帯トラップ波の観測，日本地震学会講演予稿集，1995年度秋季大会，1995.
- 20) 伊藤久夫・桑原保人：野島断層平林におけるトラップト波，日本地震学会講演予稿集，1995年度秋季大会，1995.
- 21) 赤松純平・賀来宏之：和歌山県かつらぎ町・中央構造線断層系近傍における脈動の振動特性，京

都大学防災研究所年報, 第36号B-1, 149-158, 1993.

- 22) 鷺谷 威: 四国の地殻変動とプレート間カップリング, 地球惑星科学関連学会, 1995年合同大会, 369, 1995.
- 23) 狐崎長琅・後藤典俊・竹内文朗: 六甲地殻変動観測甲における, 地震探査による弾性波速度分布の測定, 京都大学防災研究所年報, 第15号B, 7-13, 1972.
- 24) 土質工学会関西支部・関西地質調査業協会: 新編大阪地盤図, コロナ社, 1-285, 1987.
- 25) 先山 徹・小林文夫: 神戸市北～西部における兵庫県南部地震の被害と地盤の関係, シンポジウム「阪神・淡路大震災と地質環境」論文集, 日本地質学会環境地質研究委員会, 1995.
- 26) 岩崎好規: 阪神域の地盤構成と平成7年兵庫県南部地震による地震記録, 土と基礎, 43-6, PP. 15-20, 1995.
- 27) 入倉孝次郎: 1995年兵庫県南部地震による強振動, 月刊地球, 号外 No.13, pp. 54-62, 1995.
- 28) 建設省建築研究所: 平成7年兵庫県南部地震被害調査中間報告書, 1995.
- 29) 東 貞成・澤田義博・佐々木俊二・矢島 浩・芝 良昭: 兵庫県南部地震における地震動特性, 日本地震学会講演予稿集, 1995年度秋季大会, 1995.
- 30) 奥西一夫: 六甲山地の斜面崩壊災害, らんどすらいどNo.11, 19-32, 1995.
- 31) 建設省: ダムの耐震性に関する評価検討委員会中間報告, 国土開発技術センター, 1995.
- 32) 山県 守・栗野純孝: 岩盤分類, 応用地質 特別号, 応用地質学会, 91-102, 1984.
- 33) 福島美光: 地震波の発生・伝搬の理論を背景とした入力時振動の経験的予測, ORI研究報告, 93-7, 1994.
- 34) 清水由紀子・三浦大助: 宝塚市西部斜面における地震被害の特徴, シンポジウム「阪神・淡路大震災と地質環境」論文集, 日本地質学会環境地質研究委員会, 1995.
- 35) 国土地理院: 平成七年兵庫県南部地震災害現況図(第Ⅱ版), 国土地理院技術資料, D/1-No. 322, 1995.
- 36) 近畿地方土木地質図編纂委員会: 近畿地方土木地質図, 1981.
- 37) 皆本 格・磯野 清: 兵庫県南部地震で神戸市の学校の校庭などに現れた亀裂, シンポジウム「阪神・淡路大震災と地質環境」論文集, 日本地質学会環境地質研究委員会, 1995.
- 38) 京都大学防災研究所地震予知研究センター: 兵庫県南部地震の余震分布の高精度再決定, 地震予知連絡会会報, 54, 建設省国土地理院, 1995.
- 39) 安藤雅孝: 兵庫県南部地震の前震・本震・余震・誘発地震, 兵庫県南部地震の被害調査研究報告会資料, 文部省科学研究費(総合研究A)研究チーム, 1995.
- 40) 橋本 学: 兵庫県南部地震による地殻変動と断層運動の推定, 地質ニュース, 490, 1995.
- 41) 高田至郎: 地震と地震動, 神戸大学工学部兵庫県南部地震緊急被害調査報告書(第2報), 1995.
- 42) 菊池正幸: 遠地実体波による震源のメカニズム, 月刊地球, 号外 No.13, 1995.
- 43) 土岐憲三・後藤洋三・江尻 譲・澤田純男: 兵庫県南部地震の震源特性と地盤振動特性, 土木学会誌, 9月号, 32-43, 1995.
- 44) 太田 裕: 断層と地震災害, 地震と断層, 島崎邦彦・松田時彦編, 東京大学出版会, 210-233, 1994.
- 45) 国土庁: 平成7年版防災白書, 1995.

- 46) 太田陽子・堀野正勝：1995年兵庫県南部地震の際に出現した野島地震断層と被害状況，地学雑誌，104-1，1995.
- 47) 岩崎好規：阪神域の地震環境と兵庫県南部地震における強震動記録，土と基礎，43-3，1995.
- 48) 兵庫県・阪神地域活断層調査委員会：読売新聞，10月13日，朝刊，1995.
- 49) 藤田和夫・笠間太郎：大阪西北部地域の地質，地質調査所，1982.
- 50) 居川信之・市原 実：播磨盆地-とくに明石地域を中心にして-，大阪層群，創元社，1995.
- 51) 市原 実：大阪層群，概説-地質と地形，研究史-，創元社，1993.
- 52) 日本建築学会：1995年兵庫県南部地震災害調査速報，1-193，1995.
- 53) 水野清秀：淡路島，大阪層群，創元社，1995.
- 54) 嶋本利彦：“震災の帯”の不思議，科学，65-4，1995.
- 55) 吉岡敏和・地質調査所緊急調査グループ：1995年兵庫県南部地震による阪神地区の被害分布と微地形区分，「阪神大震災」緊急合同報告会資料集，日本地質学会・日本応用地質学会・関西地質調査業協会・断層研究資料センター・大阪市立大学「阪神大震災」学術調査団共催，1995.
- 56) 高橋 学：古環境からみた阪神大震災-過去の土地条件を知る，地理，40-4，1995.
- 57) 池田 碩：阪神大地震と地形災害，地理，40-4，1995.
- 58) 中央開発株式会社：阪神大震災・災害調査報告書，1995.
- 59) 関口辰夫・堀野正勝・根本寿男・津沢正晴・国土地理院災害地理調査班：兵庫県南部地震の災害現況図と地形特性について，1995年1月17日兵庫県南部地震調査速報会記録，49-50，日本第四紀学会・第四紀研究連絡委員会，1995.
- 60) 源栄正人・永野正行：神戸市の基盤不正形構造を考慮した地震動の増幅特性に関する解析的検討，土と基礎，43-7，1995.
- 61) 入倉孝次郎：兵庫県南部地震の強震動の特徴，平成7年兵庫県南部地震とその被害に関する調査研究，平成6年度文部省科学研究費（総合研究A），研究成果報告書（課題番号06306022），1995.
- 62) 竹宮宏和：縦と横に伝わる波が鉢合わせ地盤の加速度が異常に増幅，日経コンストラクション，1995，7.
- 63) 中川康一：大阪周辺域での震害と地盤構造，「阪神大震災」緊急合同報告会資料集，日本地質学会・日本応用地質学会・関西地質調査業協会・断層研究資料センター・大阪市立大学「阪神大震災」学術調査団共催，1995.
- 64) 国生剛治・佐藤清隆・松本正毅：1995年兵庫県南部地震での地盤の非線形振動特性，土と基礎，43-9，1995.
- 65) 香川貴志：兵庫県南部地震による豊中市の被災状況，地理学評論，68A-8，pp 550-562，1995.
- 66) 茨木市：みんなの防災ハンドブック（もし地震がおこったら！），1995.
- 67) 高槻市：高槻市史，1984.
- 68) 安松貞夫：兵庫県南部地震で花折，榎原断層近くの住宅に被害がなぜ集中したか-花折断層について そのⅦ-，東山学園研究紀要第40集，pp 133-152，1995.
- 69) 天白駿馬・馬淵博夫：兵庫県南部地震時における洛水校区の建築物の揺れについて，京都地学，第14号，pp 7-11，1995.
- 70) 西村昌能：兵庫県南部地震（1995/1/17）における向陽高校校区の地震動調査について，京都

地学, 第14号, pp 12-15, 1995.

- 71) 那須孝悌・市原 実: 京都盆地・亀岡盆地, 大阪層群, 創元社, 1993.
- 72) 釜井俊孝・鈴木清文・磯部一洋: 兵庫県南部地震による都市地域の斜面変動-人工地形改变に伴う都市型斜面変動-, 「阪神大震災」中間報告会-人工改变と地震災害-, 予稿集, 日本応用地質学会, 112-121, 1995.
- 73) 住吉リニアアレイ地震観測グループ: 神戸住吉での南北縦断リニアアレイによる地震・常時微動合同観測, 平成7年兵庫県南部地震とその被害に関する調査研究, 平成6年度文部省科学研究費(総合研究A), 研究成果報告書(課題番号06306022), 1995.

「兵庫県南部地震と今後の地震防災研究」

地震防災部長 古 賀 泰 之

「兵庫県南部地震と今後の地震防災研究」

1. まえがき

昨年1月17日に発生した兵庫県南部地震は、近代的な都市の直下型地震であったために、数多くの人的被害に加えて、住宅・建築物、道路・鉄道等の交通施設ならびに電気・通信・上下水道・ガス等のライフライン施設に多大の被害を与えた。この地震では、わが国における近年（約50年）の地震においては十分見えていなかった地震防災上の多様な課題が顕在化したと考えられる。ここでは、この地震がどういう地震であったか、また、この地震以来、土木研究所が各分野において対応した技術的側面、ならびに、各所で現在進められている各種構造物の耐震設計基準や地震防災計画の見直し等に伴い、必要とされる技術の研究開発の課題・動向を土木研究所が関わる範囲において紹介する。

2. 兵庫県南部地震の特徴

2. 1 定性的考察

1) 震度7について

まず、兵庫県南部地震における各地の震度を図1に示す。さらに、被害の著しかった地域として、淡路島の北端部の一部、神戸市から芦屋市、西宮市、宝塚市にかけての広範囲にかけて震度7とされた。このように、今回の地震では1948年の福井地震後に定められた震度7が始めて適用されたとして、特に激しい地震動が作用したものと一般に考えられている。このような今回の地震の激しさが特別のものであったかは、わが国の既往の地震被害の様相を少し調べてみれば容易に分かる。今回の地震が内陸活断層の運動により生じたものであるから、特に内陸あるいは陸地近くの活断層に起因する地震について調べる必要がある。文献1)は、1891年から1976年までの主要内陸地震について地震断層付近の震害の状況が海外の主要な事例も含め広くまとめられている。この文献に引用された地震等を参考にして、今世紀のわが国における活断層による既往の主な被害地震を理科年表等からまとめると表1のようになる。これらの地震における地震動の激しさを表す指標として、気象庁等の地震観測記録や気象庁（中央气象台）震度階がある。また、それら以外に基石の移動・転倒や家屋の倒壊率等で推定することも行われる。既に文献2)の中では、報告書に残る記録から最大震度の大きさを推定することが行われており、現在の視点から見ると、福井地震のみならずこれらの中の多くの地震において震度7にも相当する強い地震動があったことが推察されている。例えば、1923年関東地震による木造家屋の市町村別全壊率の資料は広範囲にわたって残されているが（震災予防調査会）、この資料によると震源断層からの距離のみならず地盤条件等の影響があることも推定されるが、概して言えば、東京市内では家屋全壊率が5～10%程度であるのに対し、横浜から小田原にかけては30%以上、所によっては60%以上にも達する結果が報告されている²⁾。

なお、山中等で構造物の被害はないものの、土中に半埋没したまたは地表にあった石・岩等が飛び出したことから、1Gを超えるような大きい加速度が生じたものと推定される国内外の例が多くある³⁾。

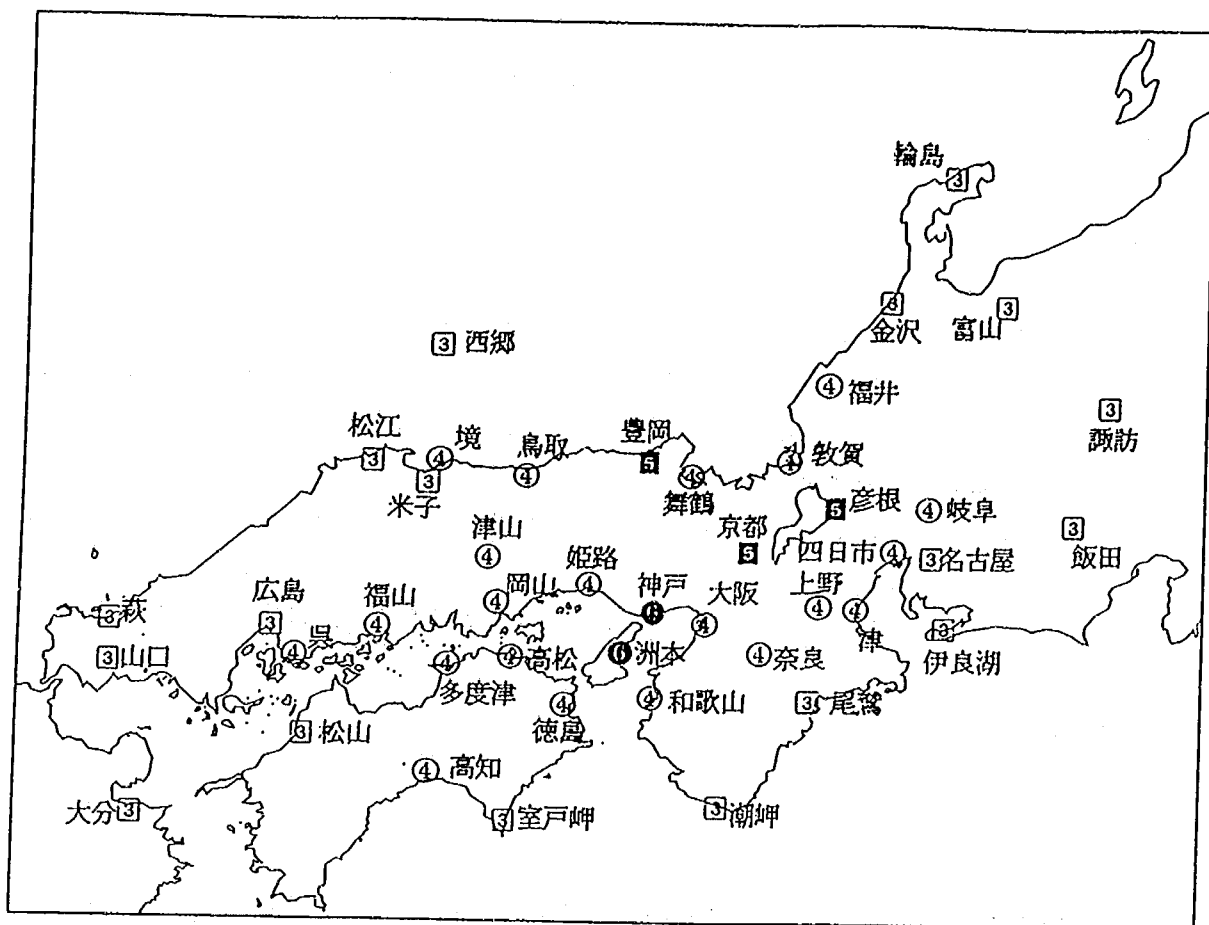


図1 気象庁による震度の値

表1 既往の活断層地震

発生年	マグニチュード	地震名	人的被害	家屋被害
1909	M=6.8	姉川地震	死者 41	倒壊 980
1923	M=7.9	関東地震	死者 99,331 行方不明 43,476	倒壊 128,266 焼失 447,128
1925	M=6.8	北但馬地震	死者 428	倒壊 1,295 焼失 2,180
1927	M=7.3	北丹後地震	死者 2,925	倒壊 12,584 焼失 9,151
1930	M=7.3	北伊豆地震	死者 272	倒壊 2,165
1943	M=7.2	鳥取地震	死者 1,083	倒壊 7,485
1945	M=6.8	三河地震	死者 1,961	倒壊 5,539
1948	M=7.1	福井地震	死者 3,769	倒壊 36,184 焼失 3,851
1974	M=6.9	伊豆半島沖地震	死者・行方不明 30	倒壊 134
1984	M=6.8	長野県西部地震	死者 29	倒壊・流出 14
1995	M=7.2	兵庫県南部地震	死者 5,502 行方不明 2	倒壊 100,827

これらのことから、内陸活断層による地震の場合、断層の規模・深さによっては震度7クラスの激しい震動は決して稀なことではないといえる。ただし、ここにいう震度7は主として木造家屋の倒壊率等の報告から推定したものであって、それらが今回の地震で生じたような近代建築物や橋梁等を倒壊させるような性質をもっていたかどうかは、当時被災地にその種の構造物がなかったため正確には分からない。

2) 震災の帯について

前述の震度7の範囲は狭い帯状に分布し“震災の帯”と呼ばれた。神戸市内の震災の帯以外にも、断層に直角方向の三田市、明石市等は10km圏内にもかかわらず被害は軽微であったのに対し、断層方向には神戸から約60kmの京都、約100kmの彦根において震度5が記録されており、断層方向に振動の減衰が小さかった。全体的な等震度線、特に上記の震度7の分布は、地震自体の特性のみならず表層の地質構成、地形の特徴等にもよるが、概略的には活動断層の方向に沿って伸びており、従来よく見られるような震央からの距離とともに低減する同心円的なものではない。このような帯状の震度分布が何故生じたかは大いに興味のあるところである。今回の地震のように、内陸または陸地近くで発生した地震で陸上で詳細な被害分布や墓石等の転倒分布が調べられた場合、断層に沿って震度の大きな分布が見られることは、これまでも数多く報告されている⁴⁾。断層の進行方向に加速度が大きく伝わることは、ディレクティビティとして理論的にも説明されている⁵⁾。ただし、今回は極端に細長い震災地域が出現しており断層だけでは説明することは難しいかも知れない。今回の震災の帯に関する詳細な議論には、以下のようなさまざまな考え方が述べられている。

○断層に帰着するものとした議論：

- ・地下伏在断層の震源断層説（断層は地表に現れなかったが、かなり地表近くにまで達したとする）⁶⁾。
- ・震源断層と無関係な断層の真上や真近部での地震動の増幅によるとする説⁷⁾。

○断層よりも地形や地質に帰着するものとした議論：

- ・表層の微地形または都市化以前の土地利用等による軟弱層の分布により説明できるとする説⁸⁾（地層の内、表層の影響が支配的とする考え）。
- ・六甲山地から海に向かって基盤の上の軟らかい堆積物の層厚が変化しているという地質構造による震動増幅説、これには、その結果として南北方向断面の特定のところで地震動が重なりあって特に地盤震動が大きくなるという地震動のフォーカシング効果（またはなぎさ効果）を強調したものがある⁹⁾。

最近の議論では、断層よりも地層・地形による説明の方が優勢のようであるが、今後とも引き続き被害の分布状況や地層構成・微地形、各地の地震動特性等の詳細かつ総合的な研究が必要である。これらの内、震動増幅に注目した解析結果の例を3.2.2(2)に示す。

2. 2 強震記録からみた今回の地震の特徴

兵庫県南部地震では、多くの機関において数多くの強震記録が記録された。これらの多くは地震後比較的初期の段階で暫定値を含みながらも文献¹⁰⁾にとりまとめられた。土木研究所においても、

後述するように従来より建設省所管の諸施設について現場各所の協力を得ながら地震観測を行っている。今回の地震においても数多くの地震動記録が収録された。これらの主なものについては、記録の吟味の後、数値化ならびに地震動の特性の分析を行い、資料¹¹⁾に公刊している。これらの記録により、地震動の特徴の定量的分析が可能となる。強震記録の特徴を表す指標には種々あるが、図2に最大加速度の分布を示す¹²⁾。以下、記録された強震記録について、既往の強震記録の特性との対比を行う。

1) 加速度波形等の特徴

今回観測された加速度記録の例として海洋気象台における加速度波形¹⁰⁾を図3に、また、一庫ダム(重力式コンクリートダム底部通廊)で観測された加速度波形を図4に示す¹³⁾。海洋気象台の地質の詳細は地震後に土木研究所と気象庁とにより共同調査が行われているが、れきの多く混じった洪積土層である。一庫ダムの基礎岩盤は中古生代の粘板岩・砂岩の互層である¹³⁾。震源断層からの距離はそれぞれ10km程度である。なお、今回の地震で生じた地震断層に関して、淡路島側についてはほぼ意見の一致を見ているが、神戸側においては地表において地震断層は確認されていない。ここでは、淡路島側では野島断層から、神戸側では余震域中央からの距離とした。両者の波形から以下のことが読み取れる。

	最大水平加速度	継続時間
・海洋気象台	818 gal (南北方向)	約15秒
・一庫ダム	183 gal (上下流方向)	約5秒

すなわち、緊硬な岩盤では、断層距離がほぼ等しいにもかかわらず、最大加速度及び継続時間ともかなり小さい。地震動の継続時間については従来よりさまざまな研究があるが、例えば、川島らは最大加速度に対してある割合以上の値となった開始時間からその値以下となった最終時間までの継続時間の算定式をマグニチュード、震央距離、地盤種別の関数として導いている¹⁴⁾。文献14)に示された数値の内、最大値に対する割合の値を0.1または0.2、地盤種別をI種、震央距離を10kmとすると、 $M=7.2$ の場合、それぞれ18.9秒または10.1秒となり、上記の海洋気象台の観測結果とそれほど異なる値ではない。

2) 岩盤での加速度/最大加速度の距離減衰

土木構造物の内、ダムは岩盤等級が C_H または C_M 以上の緊硬な岩盤に建設されるのが通常であり、弾性波速度 V_p は2~3 km/sec以上である。このような岩盤で観測された最大加速度とダム以外の土質地盤上でのデータとが図5のように比較されており¹³⁾、最大加速度は震央距離が大きくなるにしたがって減少する傾向が認められるとともに、ダムサイト岩盤で観測された最大加速度は、同じ震央距離にある土質地盤でのものより小さくなる傾向があることを示している。道路橋示方書では地盤による地震動への影響を地盤種別で表し最も硬いI種地盤の概略の目安を岩盤としているが、実際には地盤の特性値 T_0 で地盤を分類しており、ダムの分野で言う岩に比べるとかなり軟らかい物も含まれていると考えられる。

3) 水平・鉛直加速度成分

最大加速度の水平成分と鉛直成分を比較したものを図6¹²⁾、図7¹³⁾に示す。図6は土質地盤上の

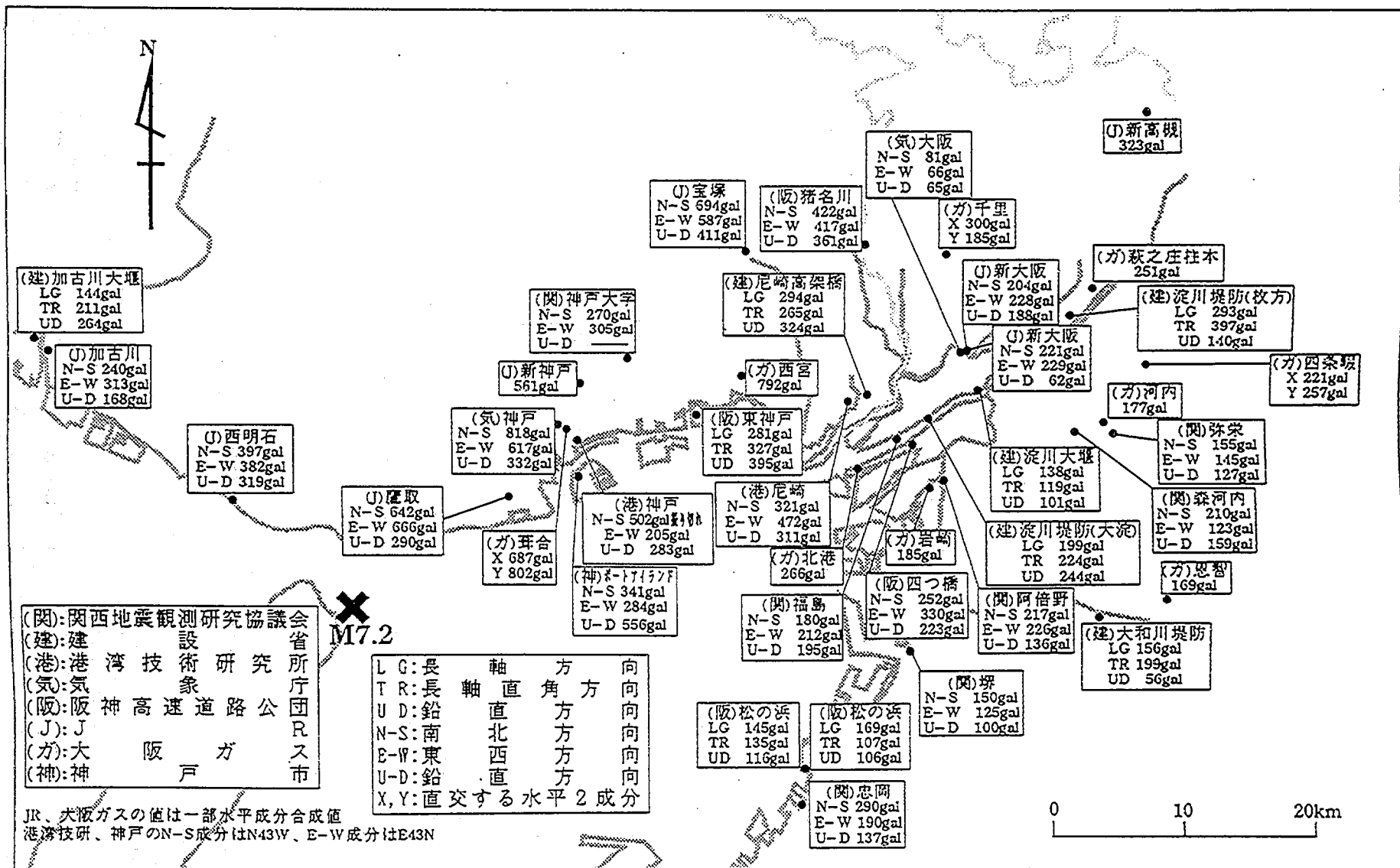


図2 主な強震観測地点で観測された最大加速の値^{1,2)}

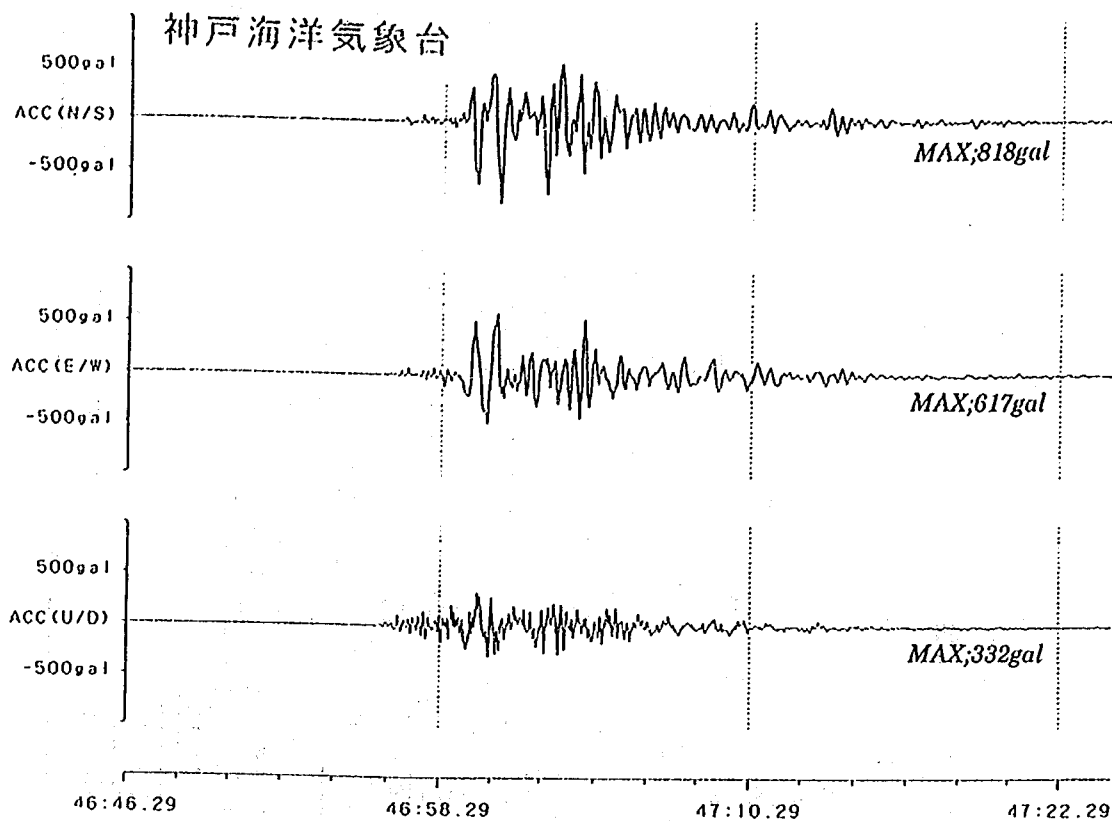
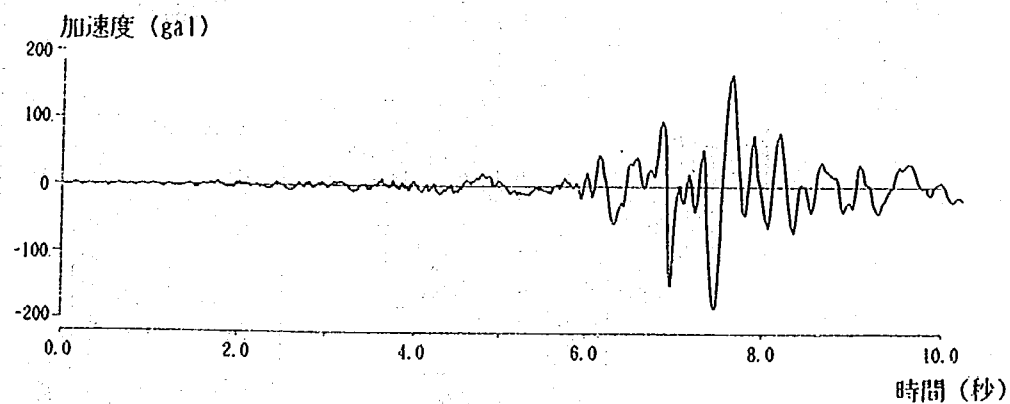
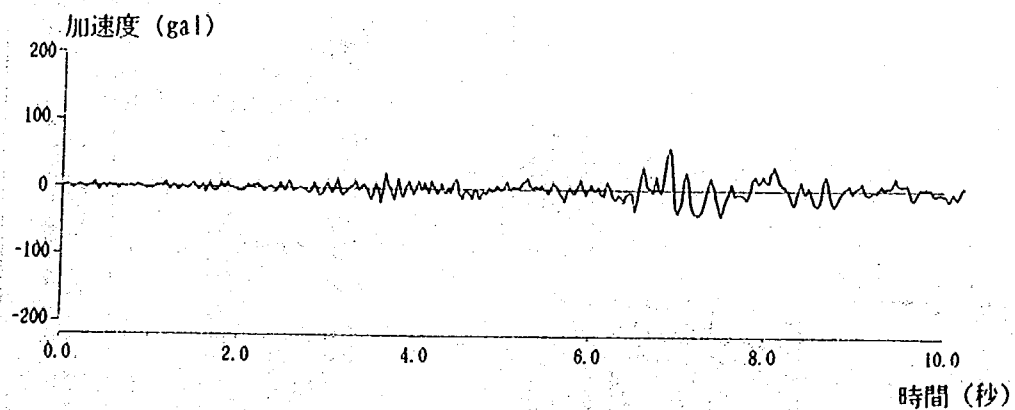


図3 神戸海洋気象台における観測波形¹⁰⁾

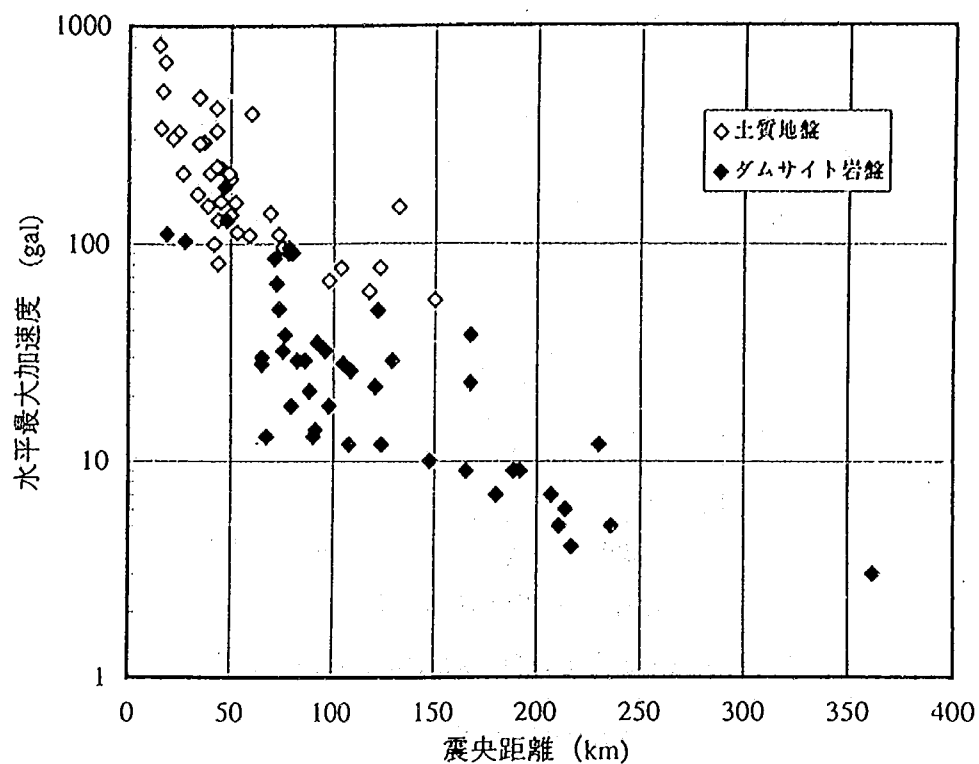


(1) 上下流方向水平加速度

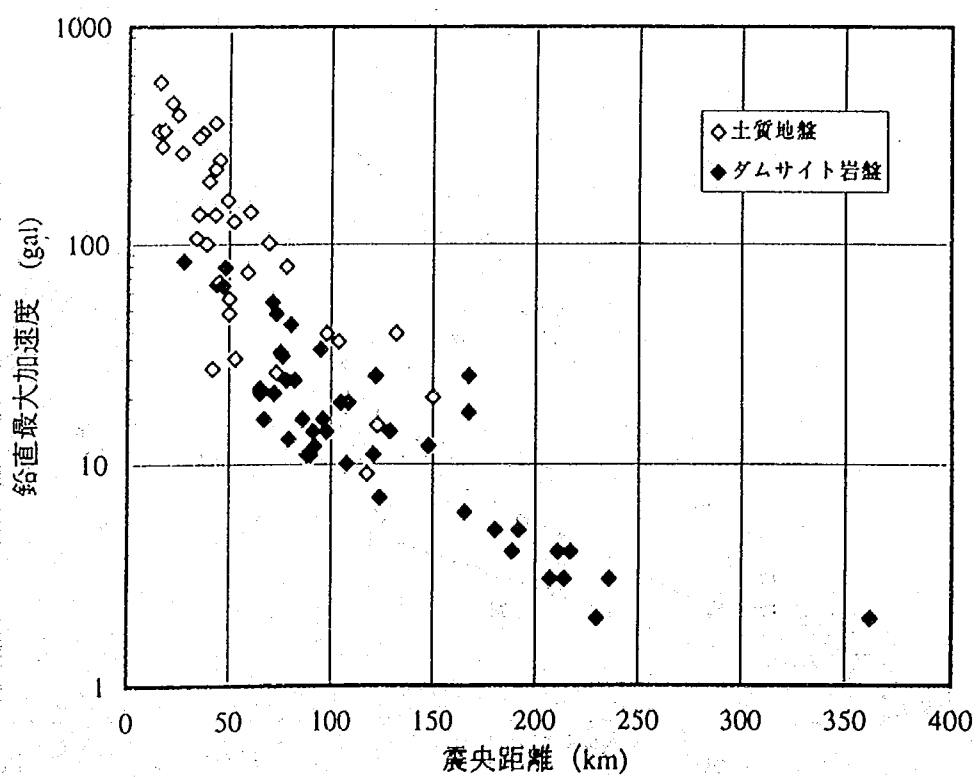


(2) 鉛直加速度

図4 一庫ダムにおける観測波形¹³⁾



(1) 水平最大加速度 (水平方向 2 成分のうち大きい値)



(2) 鉛直最大加速度

図 5 最大加速度の距離減衰¹³⁾

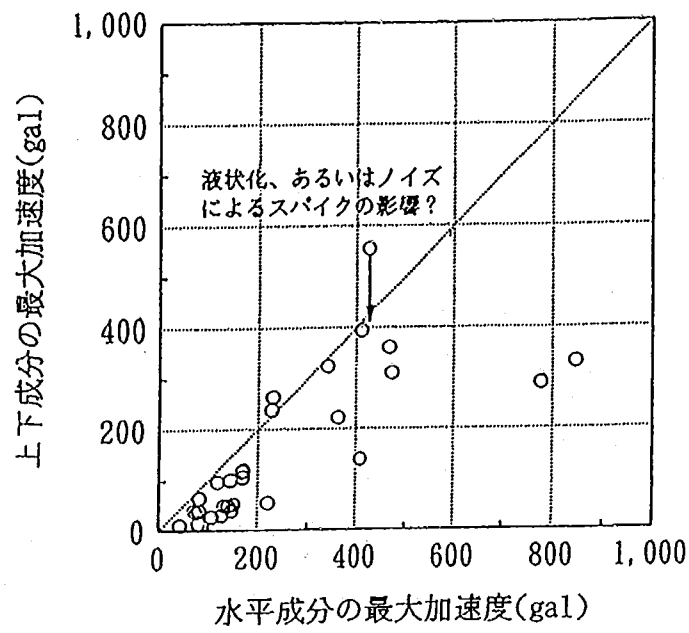


図6 水平成分と上下成分の最大加速度の比較¹²⁾

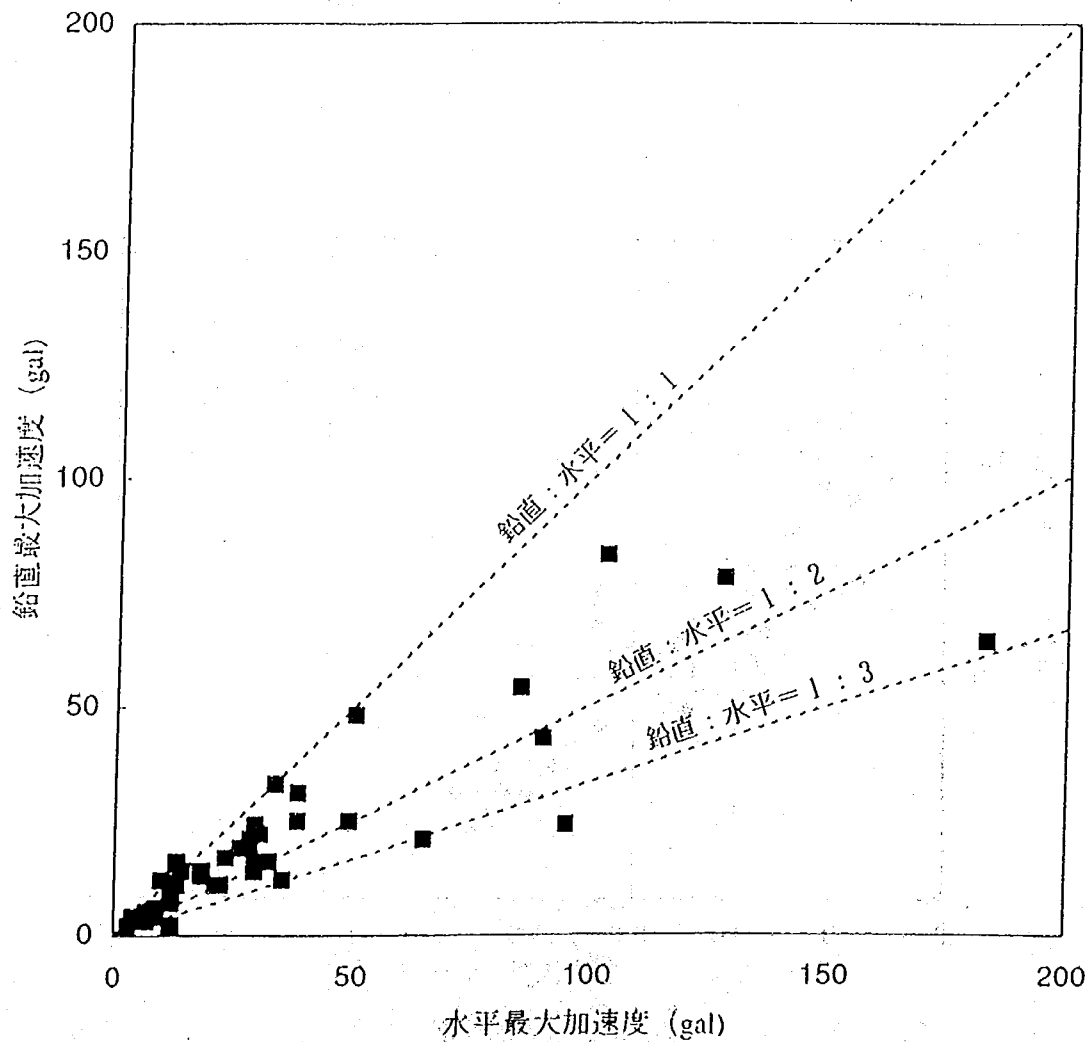


図7 水平成分と上下成分の最大加速度の比較 (ダムサイト)¹³⁾

記録に対して、水平成分の値としては、水平2成分を合成して算出した水平面内の最大値が用いられている。この図では、水平成分が350gal以下の場合には水平成分を上回る上下成分が観測されている箇所があるが、水平成分がこれよりも大きくなると上下成分は水平成分のおおむね $1/2 \sim 1/3$ となっている。なお、水平成分が430gal程度のデータはポートアイランドの地表における記録であるが、上下成分に液状化にともなうスパイク的成分または記録上のノイズと見られる面があり、検討の余地がある。図7はダムサイトでの観測記録からの関係を示したものである。図から、岩盤においても鉛直成分と水平成分の比率は30～100%の範囲にあるが、水平加速度が大きくなると鉛直加速度と水平加速度の比率は小さくなる傾向が見られた。

4) 最大加速度の方向性

地盤上の記録に対して、南北成分と東西成分とが図8のように比較されている¹²⁾。この図により、神戸海洋気象台では南北成分が卓越しているが、大多数の記録では東西方向と南北方向はほぼ同程度の加速度となっている。一方、断層近傍では、加速度は断層方向に大きく法線方向に小さいという研究¹⁵⁾があるので、いくつかの記録について断層方向を仮定して両方向の成分を計算したが、そのような傾向を見いだすことは困難であった。

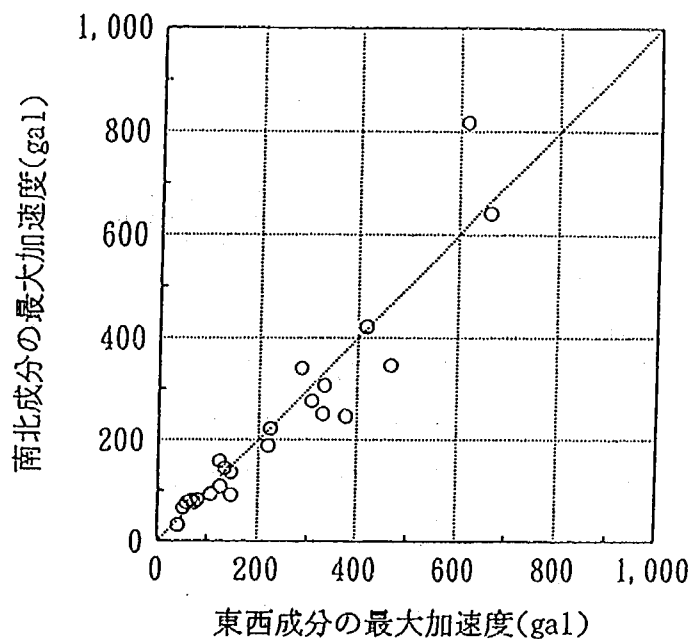


図8 南北成分と東西成分の最大加速度の比較¹²⁾

5) 強震動と地盤の影響

地表面地震動が表層地質の影響を受け、またそれが構造物の被害と密接な関係があることは関東地震以来広く認識されてきている。その一方、軟弱地盤において、一般に地震被害が大きいことから、道路橋示方書等の設計基準に設けられた設計震度の地盤補正係数は地盤が軟弱なほど大きいものとされている。地盤の重複反射理論と等価線形モデルを合わせた応答解析によると、軟弱地盤において地盤が揺れにくくなる結果が見られ、現実とそごがあるのではないかという疑問が投げられていた¹⁶⁾。これに対し、Idrissは、1985メキシコ地震、1989ロマ・プリエタ地震における軟弱地盤（地盤種別は、軟弱土、岩盤、その他とされている）での観測記録及び岩盤入力地震動の大きさを変えた応答解析の

結果をまとめて図9を示している¹⁷⁾。この図における観測記録は必ずしも地表・地下における鉛直アレー観測のものではないが、ここでは、今回の地震及び近年の他の地震（北海道東方沖地震における十勝川堤防及び駿河湾地区における鉛直アレー）において観測された地表・基盤（厳密なものではない）の最大加速度を図9と同様に整理し図10に示す。比較は水平同一方向の記録について行った。地盤条件の違いは地盤種別で表した。整理された記録数は十分ではないが、一般に入力加速度が小さいときに増幅度は大きく、入力加速度が大きいときに増幅度が減少する傾向があることは図9と同様である。また、この図でⅢ種地盤であるポートアイランド、東神戸大橋では液状化が生じたと報告されており、そのことが地表での加速度の増幅を特に低下させた原因と考えられる。同じく、Ⅲ種地盤に分類されている十勝川堤防は、釧路沖地震の際に被害を受けたために復旧の際にサンドコンパクションによる地盤改良を実施しており、このことが地盤の剛性の増加に大きく寄与したものと考えられ、当初のⅢ種地盤と見なすことは不適当と考える。

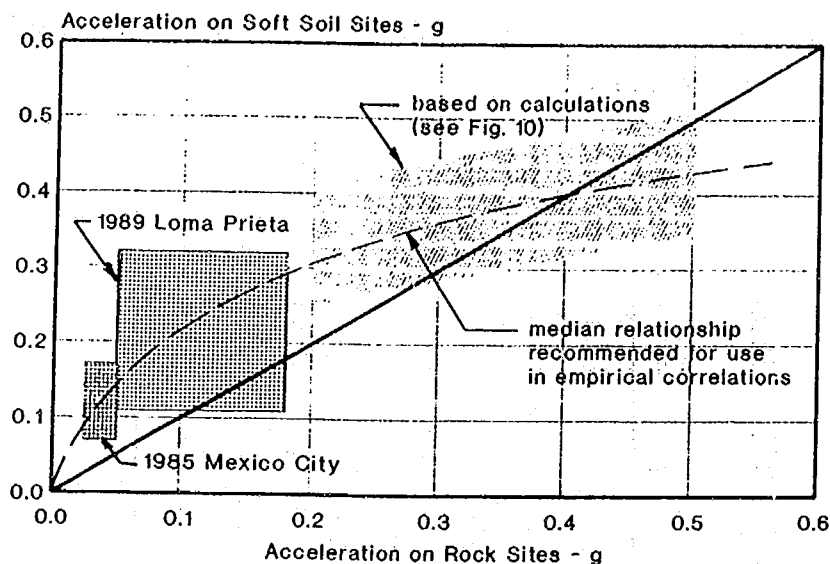


図9 軟弱地盤と岩盤における加速度の変化¹⁷⁾

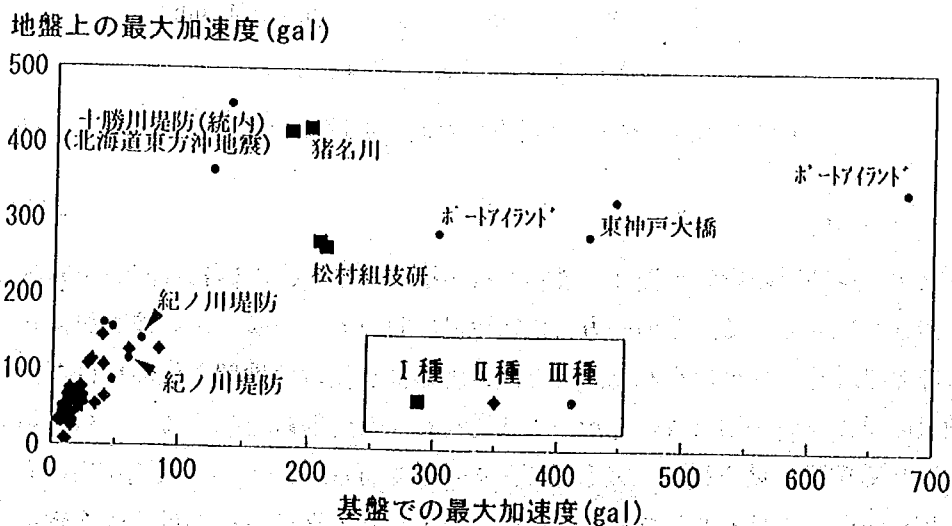


図10 基盤加速度に対する地表加速度の変化

地盤振動と地盤特性の関係を調べるため、地表面における最大速度と最大加速度の比を地盤種別により整理したものが図11である。振動が正弦波的であれば、この比の値は表層の固有周期と関連づけられる可能性がある。同図によれば、I種よりII種、II種よりIII種と比の平均的な値は増加する傾向があり、このことは上述の可能性を少しは残すものであるが、データのばらつきは大きく、震源からの距離や振動の大きさ等との関係についてより多くのデータの分析が必要である。なお、III種地盤で比の値が0.21以上となっているのは、液状化が生じたといわれる地盤である。

6) 応答スペクトル

構造物の応答または被害と地震動との関係を見る上で、各種の応答スペクトルが有効である。今回の地震では、800galを越す大きな加速度が観測され、また大きな被害が生じ、その原因の究明が大きな課題である。一方、今回の地震が生ずるまでは、釧路沖地震等で今回の値をも上回る最大加速度が観測されたにもかかわらず（釧路沖地震時に釧路気象台で水平最大加速度919gal、北海道南西沖地震の余震時に函館北方乙部町で1,586gal等）、なぜ被害が生じないのかが課題であった¹⁸⁾。このような課題に対して答えるためのスペクトル解析は後述する。

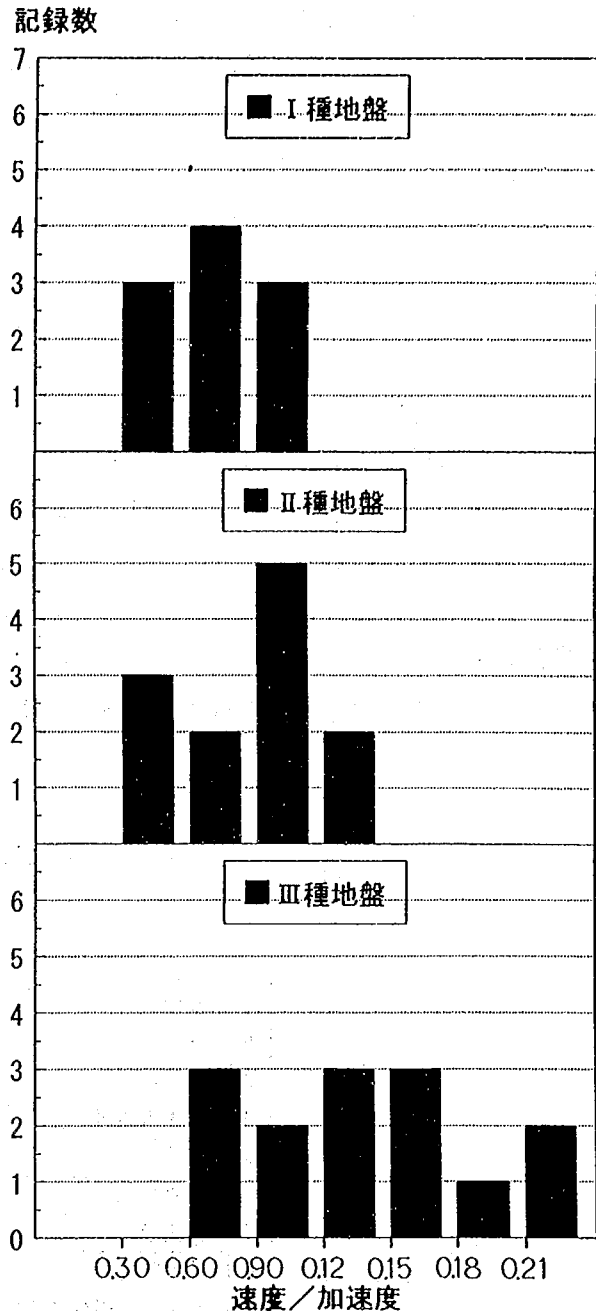


図11 地盤種別ごとの速度の加速度に対する比

2. 3 地震被害から見た今回地震のレビュー

今回の地震の被害の概要は既にさまざまな機関によって報告されているので、ここでは、以下の事項について簡単にふれる。

- ・地震による被害と被害額
- ・建設省関連の施設被害の概要
- ・今回の地震からの課題と教訓

(1) 地震による被害と被害額

地震に対する観点にはいろいろな観点があるが、経済的観点にたつと今回の地震による被害額は表2のようである。

一方、地震による全被害は表3のような項目からなると考えられる。このような観点からみた場合、表2にまとめられたもののほとんどは、地震動による施設等被害に属するものであり、その他の被害は金銭に換算し難いものであったり、どこまでを地震の影響と見るか等、被害評価は容易ではない。なお、表2は、ほとんどが施設被害に関するものであるから、地震の発生の季節や時刻には火災の発生を除いてあまり影響を受けないと考えられる。しかし、実際に生ずる影響・被害、特に人的被害、社会の混乱等は、地震の発生時期の影響を大きく受けるものであり、表2は被害のごく一面を表したものである。

表2 被害総額の状況(推計)

(平成7年4月5日)

項 目	金 額
1 建築物	約 5兆8,000億円
2 鉄道	約 3,439億円
3 高速道路	約 5,500億円
4 公共土木施設	約 2,961億円
5 港湾	約 1兆 円
6 埋め立て地	約 64億円
7 文教施設	約 3,352億円
8 農林水産関係	約 1,181億円
9 保健医療・福祉関係施設	約 1,733億円
10 廃棄物処理・し尿処理施設	約 44億円
11 水道施設	約 541億円
12 ガス・電気	約 4,200億円
13 通信・放送施設	約 1,202億円
14 商工関係	約 6,300億円
15 その他の公共施設等	約 751億円
計	約 9兆9,268億円

(兵庫県調べ)

表3 地震による被害の分類

	施設等被害	人・生活・社会経済
地震時の直接被害	・地震動（振動）による施設被害 ・地盤災害・土砂災害 ・地盤破壊による施設被害 ・津波による施設被害 ・火災による施設被害	・施設倒壊・家具転倒・付属物落下等による事故・人的被害
地震後の二次災害 ・中長期的災害	・放置・供用に伴う被害の進展 ・余震による被害の拡大 ・降雨・洪水による被害の拡大	・生活環境の悪化・生活機能の低下 ・経済の停滞 ・生活環境の悪化に伴う心身への影響

(2) 建設省関連の施設被害

ここでは、主として建設省関連の施設被害の特徴を要約する。

1) 道路橋関連¹²⁾

- ・地震発生直後、落橋（9カ所）、橋脚の損壊等大規模かつ広範囲の被害により、27路線、36区間が交通止め。
- ・4157径間、3396橋脚、5741支承線について被害調査：
鋼製橋脚355橋脚、RC橋脚3041橋脚のうち、比較的被災度の高いB以上と判定された橋脚は、鋼製が51橋脚（14%）、RC製が394橋脚（13%）。
- ・橋脚では、昭和46年以前の示方書が適用された路線の被害が大きく、昭和55年以降の示方書が適用された路線では比較的被害が小さい。
- ・基礎については、340基を調査：
掘削による目視観察またはボアホールシステムによる調査の結果、多少の曲げ破壊は生じていたが、地震時の安定性に影響のある沈下や鉄筋の破断、コンクリートの剝離等の構造的な被害は生じていなかった。
- ・阪神高速道路湾岸線の地盤流動が観測された箇所の地盤変位と橋脚の変位を測量した結果、液状化に伴う地盤の流動が生じた箇所では、残留変位が生じた基礎があった。ただし、この場合でも基礎に生じた損傷は曲げひび割れ程度。

2) 道路関連^{10) 20)}

- ・舗装の被害：車道については軽微なクラック程度。
- ・安全施設の被害：
横断歩道橋・地下横断施設：支障のある損傷なし。
- ・沿道の倒壊家屋と道路：
車両・歩行者の通行の完全妨害となるもの数多く発生。
- ・道路の防災・空間機能：
道路（幅員4～6m程度）で焼止まりとなった。
- ・被害後の道路交通状況と規制：
著しい交通渋滞、緊急車両も走行困難。

3) 地下構造物関連 (主として道路管理者としての観点から)^{10) 20)}

- ・地下鉄：大開駅他に大被害。
- ・共同溝、CAB：
共同溝（神戸市内、尼崎市内、2箇所7km）：目地の破損・漏水等、構造物・収容物に影響なし。
CAB（神戸市内4km）：一部周辺地盤に変状。
- ・地下駐車場（神戸市内8箇所）：ジョイント部破損・漏水、壁面剝離程度。

4) 河川関連^{10) 20) 21)}

河川管理施設等の被災件数は、直轄管理32件を含め合計355件。

- ・堤防の被害：
 - ・淀川下流部を中心に著しい堤体の沈下・崩壊：右岸で0.2～1.5mの沈下、左岸で最大3mの沈下。特に、左岸西島地先では、延長1.8kmにわたり最大約3m程度の沈下。
 - ・藻川：堤体天端に最大1mの沈下。
 - ・その他神崎川、武庫川、中島川等で天端・高水敷等に亀裂等発生。
- ・自立式特殊堤：軽微な被害。
- ・水門・樋門：被災箇所少ない。
- ・暗渠河川：開削ボックス構造：目地部の破損。
- ・トンネル河川：
 - ・塩谷川放水路（NATM：φ6.4m）：横尾山断層付近で覆工コンクリートに最大10cmの目違い。

5) ダム関連^{13) 19) 20)}

- ・臨時点検（25gal以上、または震度階4以上）を251ダムについて実施：
軽微なクラック程度の変状のみ、安全性の問題なし。
- ・震源断層から約1kmの距離に、日本で最古の重力式コンクリートダム（五本松ダム、堤高33.3m）、野島断層から700mにアースフィルダム（常盤ダム、堤高33.3m）、ともに無被害。
- ・現地調査を30ダムで実施。
- ・45ダムで岩盤の加速度測定、同じ震央距離にある土質地盤での加速度より小さい傾向（2.2.2）参照）。
- ・最大の加速度（183gal）は震源断層から10kmで観測 → 今回の地震において、ダムサイトとなりうる岩盤で生じた加速度の上限は220gal程度と推定。
- ・ダム天端の応答倍率は、コンクリートダム、フィルダムとも1～5倍まで変化。
- ・一庫ダム（重力式コンクリートダム）と箕面川ダム（ロックフィルダム）について観測波形を用いた応答解析を実施し、挙動が再現できることを確認。
- ・ダムサイトでの入力地震動の水平最大加速度を250galに設定した応答解析により「震度法」で設計されたダムの耐震性を照査。

6) 砂防関連^{19) 20) 22)}

- ・山腹及び斜面崩壊：
 - ・六甲山系東側に多く分布。
 - ・大部分の崩壊地は比較的規模の小さい表層滑落（幅約10m～20m、長さ約50m～100m、厚さ約1～2m）。

- ・芦屋川中流部における岩盤斜面崩壊（高さ約50m、幅約40m、崩土の河道への堆積）。
- ・砂防施設（砂防ダム、流路工）の被害：小規模なクラック程度。
- ・地すべり及び急傾斜地崩壊：
 - ・地すべり危険箇所、急傾斜地崩壊危険箇所約1,200箇所を緊急点検。
→Aランク（継続監視）：71箇所。
 - ・仁川の地すべり。
 - ・西岡本の造成住宅地：のり枠工破損・後背地に多数の亀裂発生。
- ・対策工の被害：全体に軽微。

7) 下水道関連^{10) 20) 23)}

- ・下水処理場・ポンプ場：
 - ・兵庫県・大阪府・京都府内の43処理場中、兵庫県内8処理場で処理機能に影響。
 - ・神戸市東灘処理場に大被害：水路継手部が破断、エアレーションタンクの目地開き・一部に亀裂、地盤の液状化・流動化が影響。
- ・管渠施設：多数の被害、目視による一次調査：約1,600カ所で被害、テレビカメラ調査を含む二次調査が実施。

(3) 今回の地震からの課題と教訓

今回の地震に基づいた課題・教訓が多く場で整理され²⁴⁾、今後の地震対策のための必要課題が提案・計画されている。例えば、さる7月に改訂された防災基本計画（中央防災会議）もそのひとつである。ここでは、これらを踏まえた必要な対策として表4のように分類・整理してみた。これは、地震対策を地震前対策及び地震後対応に、さらに施設整備を伴うハード対策と主として運用に関わるソフト対策とに分けた。しかし、地震後の対策は地震前の対策なしには機能し難いものであり、またソフト対策もまったくそれを支える設備なしには機能しないものもありこれらの区分は便宜的なものも多い。

表4 各種の地震対策

	ハード（施設）	ソフト
震前対策	防災計画 構造物の耐震性強化 公共施設の耐震性 ライフラインの耐震性強化、 リダンダンシーの確保 地震観測体制の充実 避難地の確保 情報・通信設備の整備 消防設備の強化 仮設住宅・応急物資等の準備	防災計画 職員の動員体制 広域応援体制 防災訓練・教育 マニュアル整備・チェック 防災研究
震後対応	被災者の収容・物資の調達 構造物復旧 し尿、がれき処理対策等 ライフライン機能の回復	情報の収集・伝達 救急・消防活動 交通規制・緊急輸送 被災者の避難場所への誘導、 生活維持 広域応援の実施 ボランティアの活用

これらの対策はそれぞれ重要なものであるが、これから研究・検討が必要なものと現時点で実施方法が具体的になっているものとに分けられる。また、土木の分野に属するもの、さらには、建設省が関与すべきもの等を抽出することが可能であろうが、これらを考慮した研究課題は次章において述べたい。

3. 土木研究所における地震防災研究と兵庫県南部地震における対応

3. 1 土木研究所におけるこれまでの地震防災研究

土木研究所においては、1922年（大正11年）の発足以来、地震防災に関する研究は大きな柱の一つとなっている。多くの研究は、個別の構造物ごと、例えばダム、橋梁、地中構造物、土構造物等の耐震設計・対策等に関するものであるが、それら以外にも、官学民の研究開発技術の有機的な連携により関連分野の総合的技術の推進を目的として建設省において1972年から開始された総合技術開発プロジェクト（総プロ）において、「新耐震設計法の開発」、「土木構造物の震災復旧技術の開発」、「災害情報システムの開発」、「大都市地域における地震防災技術の開発」を実施してきており、その時々に対応した技術開発を行ってきた（表5）。

また、地震防災に関して基本的に必要とされる強震動に関しても、1960年頃より地方建設局や関係公団等の協力の下に強震動観測を推進してきている。地震観測施設の現状は表6に示すとおりである。主要な強震観測記録については、記録の吟味の後、数値化ならびに地震動の特性の分析を行い公表している。

表5 「地震防災関連」建設省総合技術開発プロジェクト

プロジェクト	内 容
「新耐震設計法の開発」 1972～76	「新耐震設計法」 土木・建築の整合性、地震マップ他 → 建築：1981 建築基準法の耐震規定追加 土木：各施設毎の耐震規定に反映 1980 道路橋示方書・耐震設計編 1990 同 上
「震災構造物の復旧技術の開発」 1981～85	「土木・建築構造物の震災復旧マニュアル」 （土木構造物：河川・海岸・砂防施設、道路施設、下水道施設） → 各施設毎の耐震点検・震後対応マニュアル等に反映
「災害情報システムの開発」 1987～92	「災害情報システムガイドライン」 （震災復旧編・水害復旧編・土砂災害復旧編） 基本技術編：ヘリテレビ、空中写真、GIS 基幹施設編：震災時に必要な情報、災害情報地上検知システム、 震災・復旧情報収集システム、情報伝達システム、 地震時地表変状の予測、地中構造物・道路施設等の被害予測
「大都市地域における地震防災技術の開発」 1993～98	地盤震動： 地盤振動増幅（特に不整形地盤）、断層調査法、断層近傍地震動 液状化： 液状化因子の再検討（密度、不規則性）、液状化対策 都市内構造物： 高架・地中等の近接構造物、杭基礎の地震時耐力を考慮した設計 RC構造物地震時せん断耐力、地中構造物の非破壊探査手法

表6 建設省所管土木施設の強震計設置状況

(H7.9.1現在)

施設区分	合 計	
	地点数	台 数
道路施設	1 7 2	5 8 3
河川施設	5 8	1 4 0
ダム施設	1 1 1	3 9 3
下水道施設	6	1 3
合計	3 4 7	1 1 2 9

なお、これらの研究成果の多くは、各種の技術基準・マニュアル等に反映されている。

3. 2 兵庫県南部地震における土木研究所の技術的対応

これらの研究の背景の下に、土木研究所においては今回の兵庫県南部地震に際しても、災害直後以来現場の技術的支援を可能な限り行ってきた。

今回の地震に限らず、このような被害地震時において土木研究所がなすべきことは以下のようなものであろう。

- ・強震記録・被害情報の体系的収集・記録
- ・重要な被害メカニズムの解明
- ・合理的な復旧方法への技術的支援
- ・今後の地震防災技術の進展のための研究開発の実施

ここでは、このような側面から、いくつかの事例を紹介する。

土木研究所が調査対象としたものは、基本的には2.3.2)に記述した建設省の所管する公共土木構造物の施設被害の範囲に限られる。なかでも、今回の地震の場合、地震動(強振動)による施設被害、地盤破壊による施設被害、液化化や地すべり等の地盤災害に関して広範囲に調査を実施した。また、強い地震動を受けたにもかかわらず、被害が軽微であった施設等も重要な調査対象であった。建設省の場合、管理施設の被害への対応に重点があるため、地震当初は、広い地震被災地域のうち点ないしは線状に分布した施設及びその周辺における調査が主体となり、被害の状況あるいはその原因を面的に広域的な観点から探ることは遅れがちである。

今回の地震直後以来、表7に示すように各施設ごとに原因究明及び今後の対応方針を検討する委員会が建設省各部局に設けられた。土木研究所ではこの委員会等と共に調査検討を進めてきたが、既に多くの委員会から一応の原因解明結果ならびに当面または今後の方針・提言がとりまとめられている。

表7 諸施設に対する地震対策委員会

委員会	検討項目	提言等
兵庫県南部地震道路橋 震災対策委員会	①被災原因の究明 ②今後の対応に関する提言	・2月 復旧仕様通知(耐震設計の基本方針、動的解析、免震設計、RC橋脚の保有水平耐力の照査、鋼性橋脚の保有水平耐力の照査、橋脚基礎の耐力、支承、落橋防止地盤流動) ・3月 委員会中間報告(地震動特性、被災の特徴、被災メカニズム、今後の耐震設計基準のあり方) ・5月 復旧仕様の準用通達 ・6月 復旧仕様の準用に関する参考資料 ・12月 委員会報告
河川構造物地震対策 技術検討委員会	①河川構造物の被害特性 ②確保すべき安全性の検討 ③耐震性向上の考え方と外力の検討 ④対策工法の検討	・3月 委員会中間報告(河川構造物の被害特徴、河川堤防の確保すべき耐震性、地震対策工法の選定の考え方) ・3月 河川堤防耐震点検マニュアル ・5月 河川構造物(水門、樋門、および樋管)耐震点検マニュアル ・7月 揚排水機場耐震点検マニュアル ・9月 自立式特殊堤耐震点検マニュアル ・8月 河川堤防の液状化対策工法設計施工マニュアル(案)(参考資料) ・H8年1月 委員会報告(予定)
ダムの耐震性に関する 評価検討委員会	①今回の地震力評価 ②ダムの耐震性の評価	・11月 委員会報告 ダムの被害調査(点検)結果 ダムサイト岩盤の地震動特性 ダムの耐震性評価(実ダム挙動解析、動的解析による耐震性照査)
地すべり防止施設等 の耐震性に関する 検討委員会	①施設の被害実態の整理・分析 ②現行基準の妥当性検討	・6月 委員会中間報告 施設の大きな被害はなし、従来からの耐震性の考え方の妥当性 点検・復旧マニュアルの整備の必要性、他 ・H8年1月 最終報告(予定)
下水道地震対策技術 調査検討委員会 (H6～8年度)	①被害状況の把握・原因解明 ②下水道施設の耐震性のあり方(構造、システム) ③施設の耐震設計法 ④地震被害発生後の対応 ⑤下水道施設の地震対策マニュアルの作成	・4月 第1次提言(被害の特徴、地震対策のあり方(全般)、耐震診断の必要性) ・8月 第2次提言(処理場・ポンプ場の耐震設計のあり方) ・H8年3月 被害調査報告(予定)
阪神大震災関連地下 構造物等検討委員会	①地下構造物の被害実態の整理・分析(共同溝、CAB、地下駐車場、地下鉄) ②被害メカニズムの考察	

3. 2. 1 被害メカニズムに関して

上述したことから、ここでは、施設を中心として行ってきた被災調査の中から基本的な被害原因にかかわるものとして、記録地震動のスペクトル特性解析、地盤構成による地震動増幅解析結果ならびに地盤液状化に関して紹介する。

(1) 観測記録に基づく地震動の特性

既に、2.において今回の地震動が特に特徴のある地震であったかを定性的に述べた。ここでは、今回観測された主要な地震動記録について応答スペクトルの観点から既往の地震動記録との対比を行った結果¹²⁾を紹介する。

図12に神戸海洋気象台の強震記録に対する加速度応答スペクトル及び速度応答スペクトルを示す。加速度応答スペクトルは固有周期が0.4秒～1秒の間で2 Gに、速度応答スペクトルは固有周期0.6秒～1.5秒の範囲で200 cm/secを超えており、非常に大きな影響を構造物に与えた地震動であったことを示している。図13はこれまでに地盤上で得られた主要な地震記録の加速度応答スペクトル及び速度応答スペクトルを示したものであり、これらと比較しても、今回の地震による神戸海洋気象台の記録は、固有周期1秒程度までの広い周期帯域にわたって大きな応答を示しており、特に大きな地震動であった。なお、1993釧路沖地震における釧路気象台での最大加速度は922 galという大きな値であり、図13中の加速度応答スペクトル及び速度応答スペクトルの最大値はいずれも今回の神戸海洋気象台のものより大きい、(橋梁)構造物に対する影響の大きい固有周期0.5秒以上の領域では、神戸海洋気象台の記録の方がはるかに大きい。次に、阪神高速道路5号湾岸線の東神戸大橋近傍地盤上での強震記録の加速度応答スペクトル及び速度応答スペクトルを図14に示す。この地点では地表付近の軟質地盤が強い地震動を十分伝えなかったために、最大加速度自身は地表面下33mよりも小さくなっている可能性があるが、反対に長周期領域における加速度及び速度応答スペクトルは極めて大きくなっている。これは、図12の神戸海洋気象台の応答スペクトルと比べても明かである。

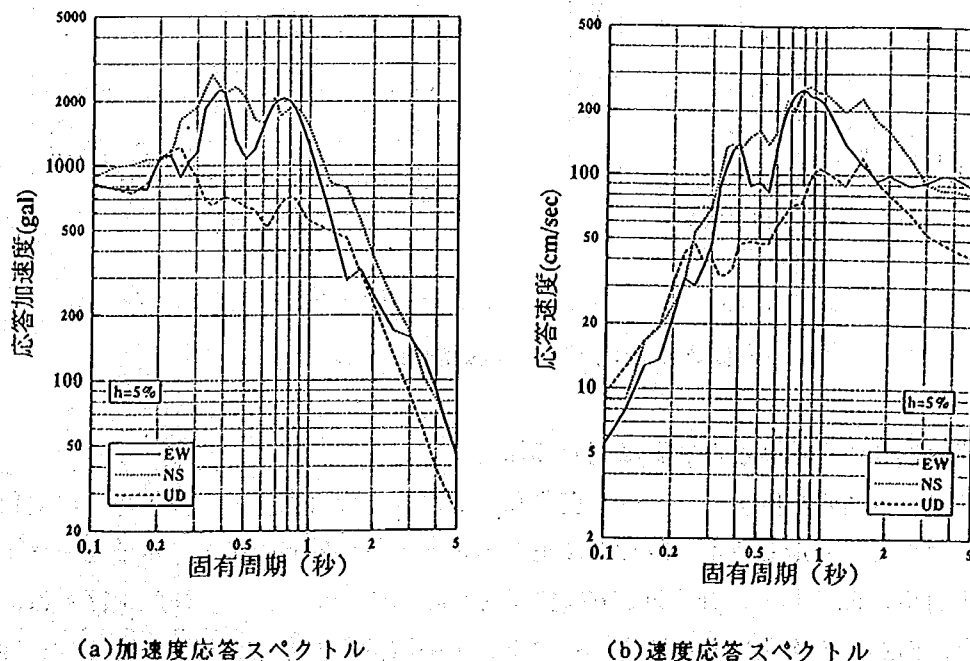
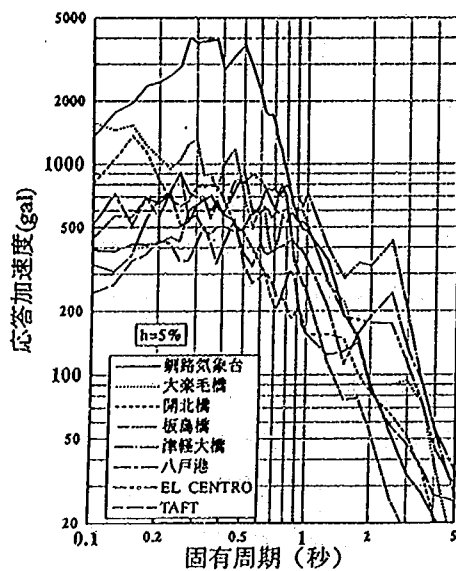
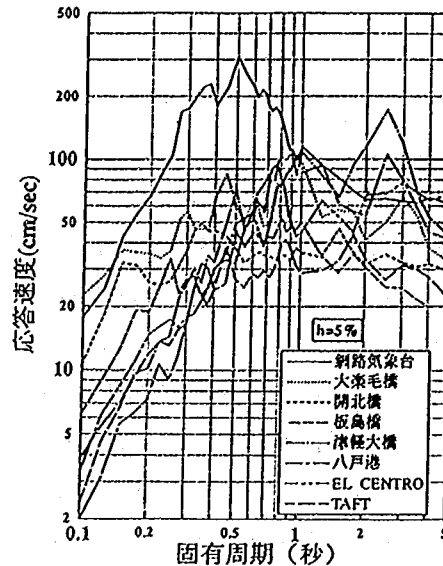


図12 神戸海洋気象台の観測波形の応答スペクトル¹²⁾

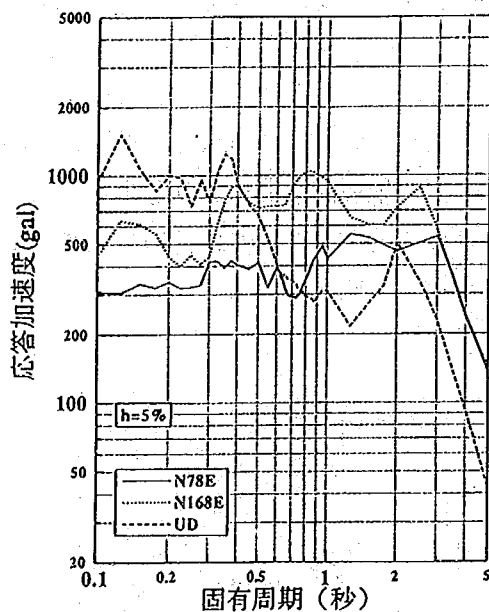


(a) 加速度応答スペクトル

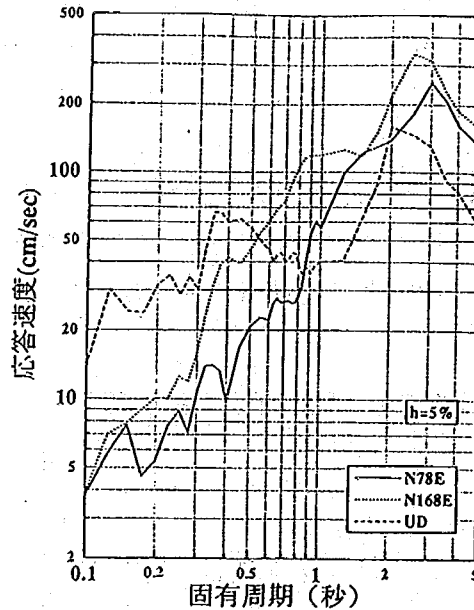


(b) 速度応答スペクトル

図13 既往の強震記録の応答スペクトル¹²⁾



(a) 加速度応答スペクトル



(b) 速度応答スペクトル

図14 東神戸大橋近傍の地盤上での観測波形の応答スペクトル¹²⁾

(2) 地震応答解析に基づく地層と地震動増幅の関係

今回の地震では、帯状の震度7のゾーンが現れたことが多くの研究者の疑問・興味の対象となった。このことは、ほぼ平行して走る2本の阪神高速道路の被害の差の解明の上でも重要な事項であった。

道路橋の震災分析に関連して、神戸地区の地盤振動解析が行われた¹²⁾。神戸地区では、六甲山系の岩盤線が海岸に向かって南北に潜り込み、その上に大阪層群、上部洪積層群、沖積層の順で地層が堆積している。このような地層構成の変化による地震動の変化を、図15に示すような神戸市深江地区

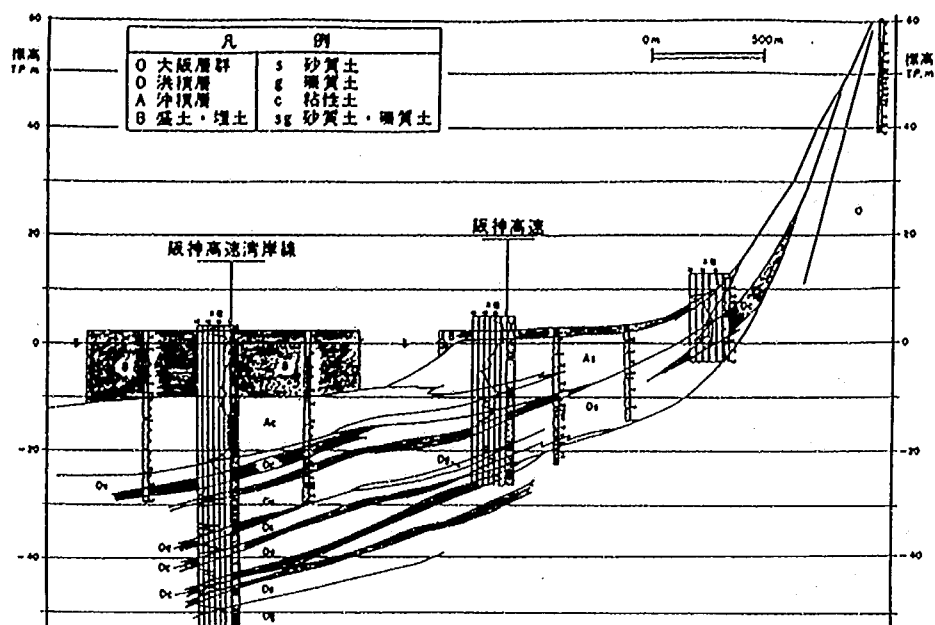


図15 南北方向の断面図（深江地区）¹²⁾

を通る南北方向の断面をモデルとして解析が行われた。解析は地盤を2次元有限要素法によるモデル化し、等価線形化手法により行われた。入力地震動としては、東神戸大橋周辺地盤の地表下33mでの観測記録をモデルの深さ33mの位置に与えた。図16は、地表面における最大加速度及び最大変位の分布を示す。全体として、最大加速度は山地側で大きく、臨海部でやや小さいが、概ね700gal程度となっている。また、変位は加速度と反対に臨海部で約55cm程度と最も大きい。

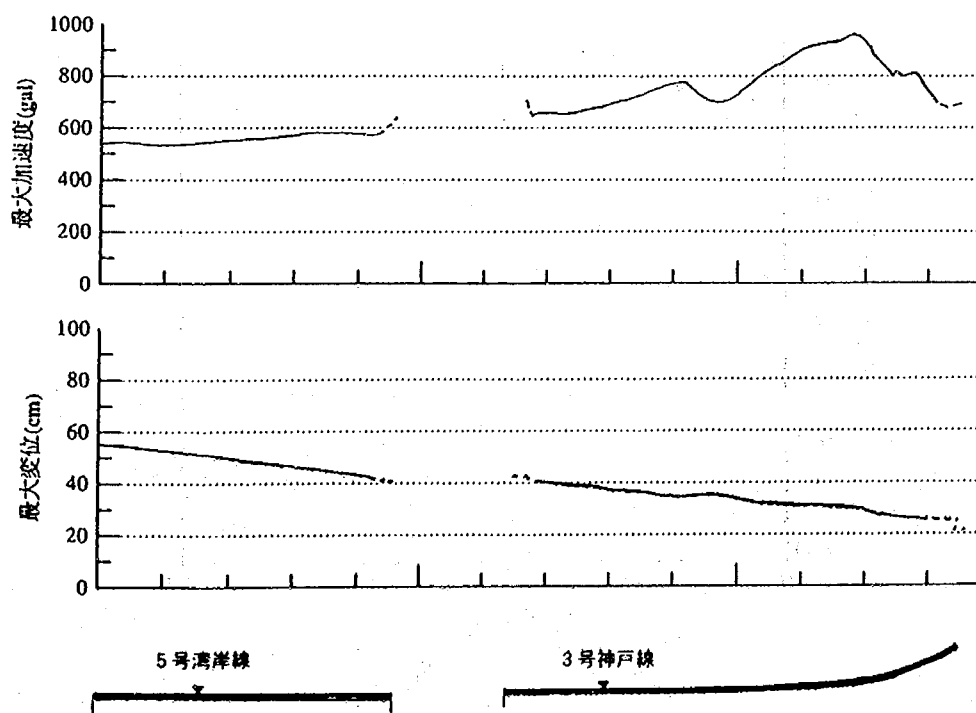


図16 地表面における最大加速度及び最大変位の分布¹²⁾

この解析においては、震度7のゾーンを十分説明するには至っていないが、地震動入力方向、震源断層が浅く近い場合の入力の与え方、大ひずみの場合の等価線形化手法の適用性等今後の課題は多い。

(3) 地盤の液状化特性

今回の地震では、地震動が特に強かったことが原因となって、従来液状化の経験がほとんど知られていなかった粒径の粗いれきを含むまき土が液状化を生じ、また、人工島や埋め立て地等の水際線近くで液状化・流動化にともなう各種の構造物被害が生じた。後述するように、今回の経験を踏まえて従来の液状化判定基準を見直すことが急務とされるが、その一環として、まず今回の地震における液状化現象の実態と構造物被害の関連、さらにそれに先だって今回の地震動の大きさと地盤液状化の関係を把握することが必要とされた。

図17は、現時点で収集しえた地点情報に基づき、液状化の発生の有無とせん断応力比とを比較したものである。同様のデータの整理は過去の地震に対しても行っているが、同図は兵庫県南部地震に限って示す。各地点の液状化の発生は、地表面での噴砂・噴水等の状況から判定し、対象深さでのせん断応力比は、周辺で観測された地表面最大加速度及び地表面下のせん断応力の低減特性に関する既往の経験式（道路橋示方書のrd）から算定した。このように、図17は非常に概略の情報に基づく整理であり、土の種類も多岐にわたっているが、図に引いた暫定的な限界線を基準にデータを見ると、この暫定限界線より右下の領域に来る場合には、液状化がほとんど発生していないことが分かる。この暫定限界線の左上の領域には液状化したと見られるものが多いが、一部液状化の発生が確認されていないものも多く、今後、後述するような関連研究と併せて、液状化判定基準の高精度化を図る必要がある。なお、現時点では、このような液状化の発生判定基準と構造物の被害との関連を分析するには至っていない。

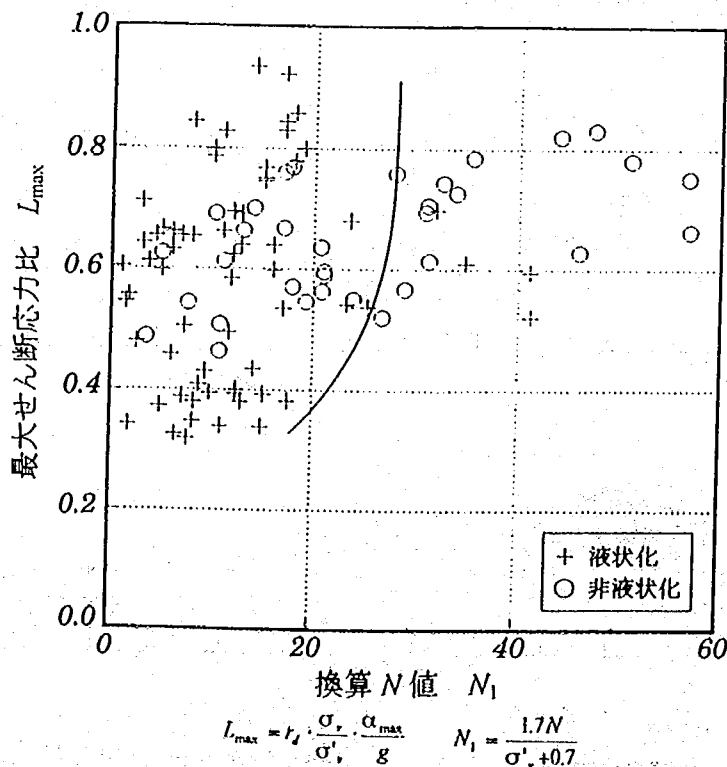


図17 液状化の発生とせん断応力比（兵庫県南部地震）

3. 2. 2 構造物の復旧への技術的支援

地震後においては、被害原因の解明とともに被災した構造物の復旧を速やかに進める必要があり、そのために合理的な復旧工法を提示することが課せられた。復旧を必要とする構造物には種々のものがあったが、ここでは道路橋及び河川堤防について紹介する。

(1) 道路橋の場合

道路橋については、資料²⁵⁾に今後の対応の方向が述べられている(表7参照)。ここでは、これらに関連して主要な技術的支援の概要を紹介する。

1) 復旧仕様スペクトル²⁵⁾

3. 2. 1(1)に述べたような今回ならびに既往の地震記録の分析に基づき、また今回の地震により地震記録が観測された地点の地盤条件等を考慮し、I種地盤については神戸海洋気象台、II種地盤についてはJR西日本鷹取駅、III種地盤については東神戸大橋の記録を参考にすることが述べられている。また、復旧仕様に規定される非線形動的応答解析の簡便法として、上述した地震動記録を照査用震度に置き換え、地震時保有水平耐力の照査用震度を図18のように示した。

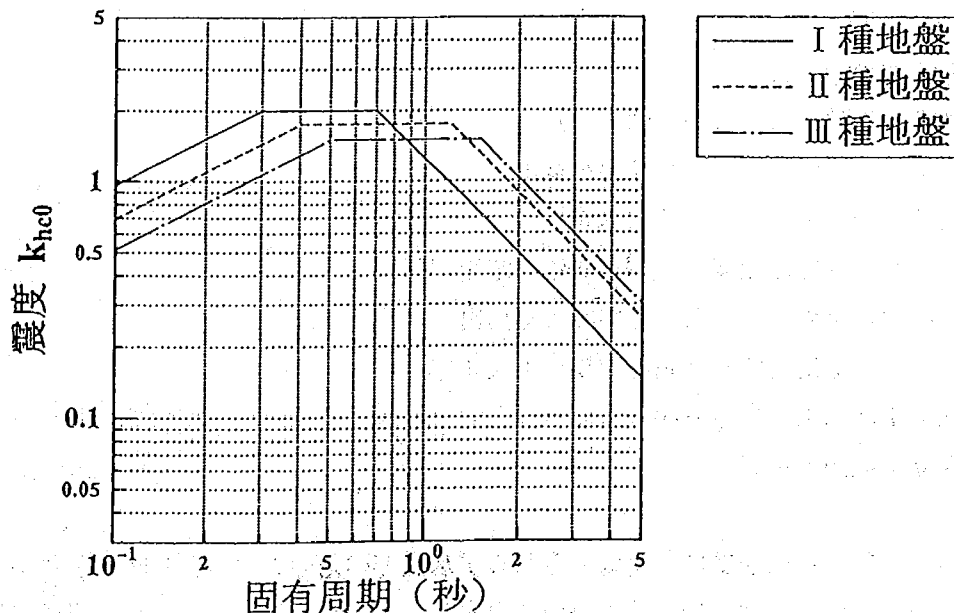


図18 地震時保有水平耐力照査用震度²⁵⁾

2) 免震設計

橋桁の激しい揺れを抑制すると同時に、減衰性を向上させて橋脚に作用する力の低減を図るため、橋梁の免震設計を望ましいとした²⁵⁾。道路橋の免震設計については、従来より以下のような研究開発が実施されてきてきた。

○免震装置を有する道路橋の耐震設計研究委員会(国土開発技術研究センター)

- ・委員長：東京大学片山恒雄教授
- ・研究期間：昭和61年度～63年度
- ・研究成果：道路橋の免震設計法ガイドライン(案)

○道路橋の免震構造システムの開発

- ・土木研究所と民間28社の共同研究（土木研究センター）
- ・研究期間：平成元年度～3年度
- ・研究開発のポイント：道路橋用の免震装置及び免震設計法の開発
- ・研究成果：道路橋の免震設計法マニュアル

これらの研究開発と平行して、建設省のパイロット事業として、免震橋梁が静岡県宮川橋（平成3年3月竣工）を初めとして5橋が建設された。

その後免震設計は実用化の域に達しており、計画中を含め40橋の設計が行われている。実務上は、上記マニュアルを参考とすることができる。

なお、比較的小さい地震動に対してではあるが、免震橋梁の効果があることが実際の観測例からも見られている²⁶⁾。

3) RC橋脚の補強

RC橋脚の耐震性判定及び耐震補強については以下のような研究経緯をたどってきている。

○主鉄筋段落とし部の地震被害

- ・1978年宮城県沖地震（新江合橋、閑上橋）
- ・1982年浦河地震→静内橋で顕著な被害が発生

○昭和61年道路施設の震災点検で点検が導入

- ・模型実験を通じた判定法の開発（昭和58年～昭和63年）
- ・段落とし部の損傷が先行するものを精度よく抽出

○耐震補強工法に関する研究開発（昭和62年～平成3年）

- ・鋼鈑巻き立て工法による補強方法
- ・有効な巻き立て範囲の検討

さらに、今回の地震の経験を受け、橋脚のみならず基礎部の耐力との整合を図る必要があることから、曲げ耐力制御式鋼鈑巻き立て補強法について提案し、実験的に検証を行った（図19参照）²⁷⁾。この工法のポイントは以下のである。

- ・段落とし部の補強
- ・曲げ耐力の向上
 - アンカー筋による鋼鈑フーチングへの定着（フーチングへ伝達される地震力をコントロール）
- ・じん性能の向上
 - 橋脚全体としての耐震性の向上

(2) 河川堤防の場合

今回の地震によって被災を受けた淀川等の堤防においては地震後の迅速な応急復旧作業の結果及び著しい河川水位の上昇がなかったことにより、堤内地への二次災害はなかったが、特に人口や資産が集中したいわゆるゼロメートル地帯における地震対策が急がれることが改めて認識された。

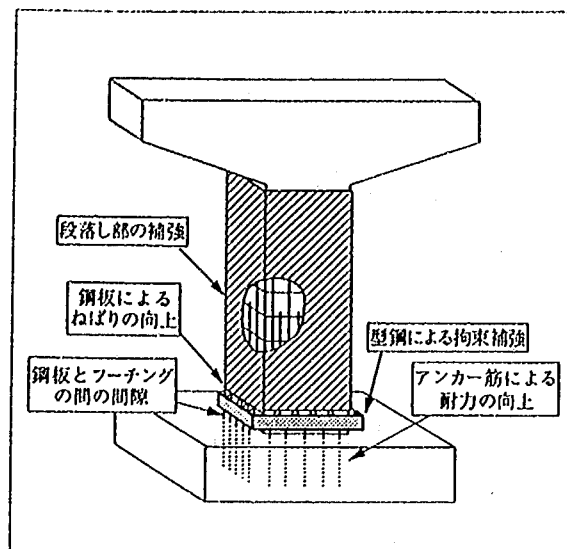


図19 曲げ耐力制御式鋼板巻き立て工法の概念図²⁷⁾

淀川下流部における被害は地盤の液状化に起因するものと考えられたため、復旧に際しても、液状化の影響を防止・軽減する工法の選択が望まれた。堤防を含む盛土構造物の液状化対策については、経済性・都市内の施工等を考えると未だ研究開発途上であるといえる。この分野に関して、土木研究所では以下のような研究開発を行ってきた。

○耐震地盤改良工法に関する共同研究

- ・土木研究所と民間6社の共同研究（土木研究センター）
- ・研究期間：昭和60年度～平成3年度
- ・研究成果：耐震地盤対策工マニュアル（案）

○軟弱地盤耐震対策工法に関する共同研究（土木研究センター）

- ・土木研究所と民間17社の共同研究
- ・研究期間：平成4年度～8年度
- ・研究開発のポイント：
 - ・既設構造物直下の地盤改良に適用できる工法
 - ・施工、振動、隣接物への影響等施工上の制約がある場合に適用できる工法
 - ・大規模な土地造成に経済的に適用できる工法
- ・予定研究成果：液状化地盤対策マニュアル

○大都市地域における地震防災技術の開発／軟弱地盤の震害対策技術の開発

- ・建設省総合技術開発プロジェクト（表5参照）
- ・研究期間：平成4年度～平成9年度
- ・予定研究成果：液状化地盤対策マニュアル（同上）

以上のような既往及び進行中の研究成果をもとに、以下のようないくつかの新しい地盤対策工が淀川堤防の災害復旧で適用された。

1) 深層混合工法による格子状改良液状化対策（淀川西島地区）

従来軟弱粘性地盤において用いられてきたセメントを地盤中で噴射または攪拌混合する深層混合処理工法により、液状化性の砂質地盤中に格子状の改良体を形成し、液状化による地盤破壊・地盤変形を防止するものである。この工法は元来既設盛土の側方に施工し、地盤変形を抑制することをねらったものであったが、今回は堤防の破壊が著しい全面切り返し箇所において堤防直下地盤の液状化対策とされた。また、堤防全体の安定を増すために、川表5割、川裏2割という傾斜が緩く大きな断面が採用された（図20参照）。

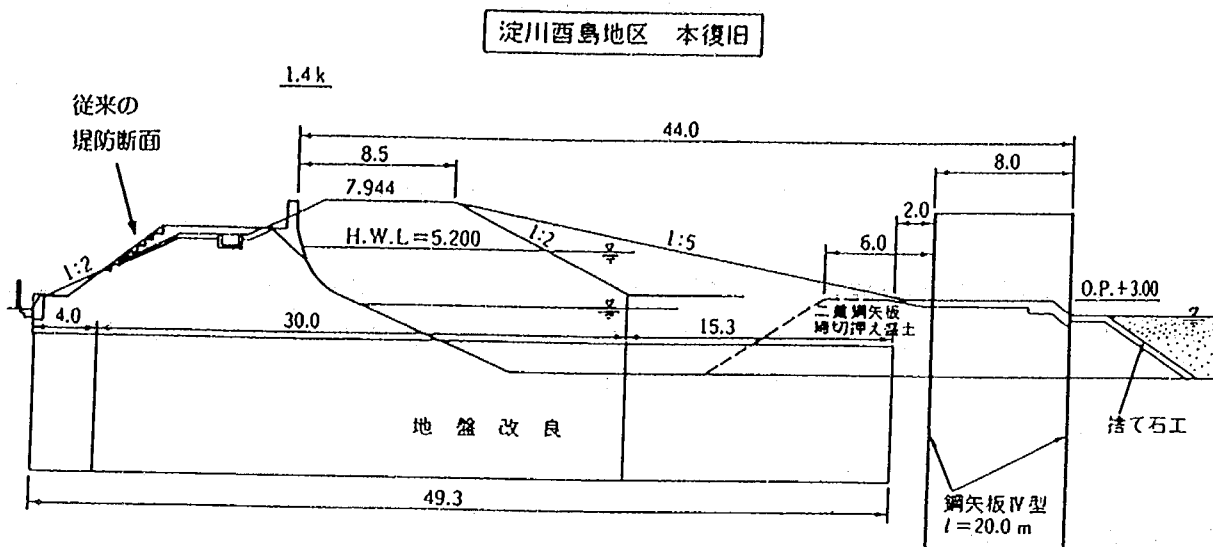


図20 淀川堤防本復旧断面図（西島地区）

2) 排水機能付き鋼矢板工法による地盤安定対策（淀川高見地区、西島地区）

堤体の変状の少なかったところでは堤防の本体をできるだけ残して復旧する工法が採用された。この際、のり尻部の碎石置換工法と併せてストレーナーにより排水機能を付加する事により液状化の発生を抑制し、すべりにも抵抗する鋼矢板工法が用いられた。

3. 3 今後の地震防災技術に関する研究課題

最後に、土木研究所に関わって今後の地震防災の進展のために必要と考え実施している研究課題の一部を紹介する。これらの研究期間は、地震後1年程度と非常に短期間に一応の成果が要求されるものから、数年以上の中長期的な研究が必要なもの等、さまざまである。

今回の地震被害及びその影響が実にさまざまな分野に及んでいることを見ると、地震防災分野において必要とされる事項は数多い（表4参照）。個人としては十分整理できてはいないが、単なる技術のみならず、法制度等も含む社会の仕組みに関連して、多様な分野における対策が必要であることは明らかである。また、災害は一般に局地的に襲い迅速な対応が必要とされるものであるから、第一次的には各地方自治体にその対応が要請される。このように考えると、土木研究所で実施する地震防災技術の研究開発は図21のように位置づけられよう。そして、研究課題は、①耐震設計基準等に関わる課題、②地震防災計画等に関わる課題に大きく分けられよう。

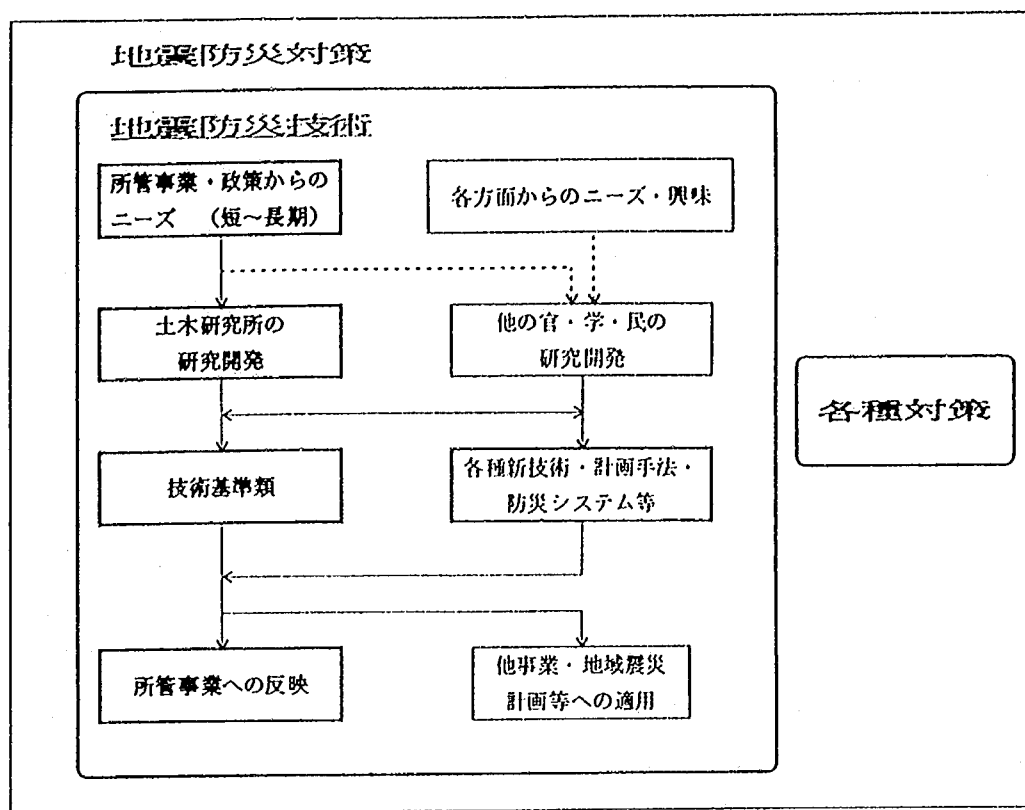


図21 地震防災対策における土木研究所の技術開発の役割

(1) 耐震設計基準に関わる課題

今回の地震により多くの種類の構造物に甚大な被害が生じたことから、従来の耐震設計基準の妥当性に関して再検討が必要となった。この検討には、①設計地震動の設定法、②耐震設計法、③耐震点検・耐震補強法等の多くの検討課題が含まれるが、主たるものは次のようなものと考えている。

1) 設計地震動設定の考え方

これには二つの問題に分けられる。

一つは、設計地震動の設定の方法論、すなわち、既往の歴史地震記録（当然既往最大も含む）に基づいて将来の地震動の期待値を推定する方法と、各地に存在する活断層の場所・大きさ・活動度等に基づいて将来の地震動を推定する方法のいずれに重きを置いて設計地震動を定めるかという問題である。今回の地震を受け、特に内陸活断層の重要性が認識されたが、場所・活動度の特定等に関しては、未だ調査研究が必要な段階と考えられ、現時点で直ちに全国に適用される設計基準に盛り込むことは困難と考えられる。ただし、活断層の同定手法や、断層近傍における地震動の評価は今後重要な課題であり、中長期的な研究課題として実施している。

他の一つは、個々の構造物において、どのような水準の設計地震動を考えるかという問題である。言うまでもなく、これは、ある水準に対して各構造物を建造するのに必要な投資額とその構造物が地震によって被災したときに生ずる影響の大きさとの比較が一つの立場であり、その判断は構造物の種類により大きく異なる。

頻度の稀な地震動の大きさの推定と併せて、そのような地震動に対して各構造物がどのような状態

を保持しなければならないかは、その構造物に対する社会的要請と地震動に対する構造物特性の分析が必要であり、これらが耐震設計の出発点となる。また、従来より、耐震設計を本格的に行ってきた土木構造物は橋梁とダムであるが、道路橋の場合、今回の被害・地震動の分析から、従来以上の大きさの地震動を耐震設計の目標とするように方向を向けつつある。これに対して、従来から経験に基づく構造規定を力学計算による耐震設計の代用とするとともに、震災を受けた場合には迅速に復旧することにより被害の影響を最小限に留めるという立場を取ってきた数多くの土構造物（河川堤防や道路盛土等）において、道路橋と同程度の水準の地震動を耐震設計の目標とすべきか、言い換えれば、そのような強い地震動に対して土構造物がどのような挙動を示すか、そしてどのような状態が社会的に許容し得る状態か等は慎重に検討を進める必要があり、被害の実態・構造特性等の分析に基づく研究を進めているところである。

2) 強震動に対する地盤振動の予測

今回の地震において生じた“震災の帯”に見られるように、地震動の大きさは断層との位置関係や断層運動の特性ならびに地形・地層構成等に大きく依存する。また、例えば、基盤地震動の大きさによって地表面の地震動の増幅性状も異なることが見いだされつつあり、これらの多くの要因の影響を考慮した地盤振動の解析法・予測法の確立に向けた研究が必要である。このような研究の一環として、神戸地区で詳細なボーリング調査と併せた地震動・地盤応答解析を実施している。また、従来より駿河湾地区・土木研究所（筑波）において高密度地震観測を実施してきたが、今後、神戸、小田原、幕張、館山の諸地区において観測網の強化を行う。

さらに、液状化地盤における構造物の設計には、液状化時における地盤振動の性状を如何に設計に簡易に取り入れるかということが重要な課題となる。

3) 地盤の液状化判定法の見直し、地盤流動の予測・設計上の取り扱い

今回の地震の経験を踏まえると、地盤液状化の判定法に関する課題・研究方法は図22のように示される。これらの内、今回の地震による液状化地盤の概略的分析結果は図17に示したようである。さらに、広範囲の条件の地層について凍結サンプリングにより高品質の試料を採取し液状化強度を再評価することを開始した。それと併せて既往のデータも含めた分析を実施しているが、現時点で図23のような結果を得ている。図17と図23は似たような図であるが、縦軸は若干異なった指標である。現行の道路橋示方書の記号を用いて若干の説明を加える。現行の示方書では、地震時せん断応力比 $L = \tau_{dmax} / \sigma_v'$ と比較すべき地盤内での動的せん断強度比 R は、次式で与えられるものとしている。

$$R = C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot C_4 \cdot C_5 \cdot R_{L20}$$

ここに、

R_{L20} : 繰り返し回数20回に対する繰り返し三軸強度比（5%軸ひずみ）

C_1 : $(1 + 2K_0) / 3$ (K_0 : 静止土圧係数、 $K_0 = 0.5$ のとき $C_1 = 0.67$)

C_2 : 地震波の不規則性に対する補正係数

C_3, C_4, C_5 : サンプリング、土質試験時、多方向せん断等の影響に対する補正係数

現行示方書では、いくつかの仮定の下に、 $R = R_{L20}$ としている。この場合、 $C_2 = 1.5$ としていることになる。

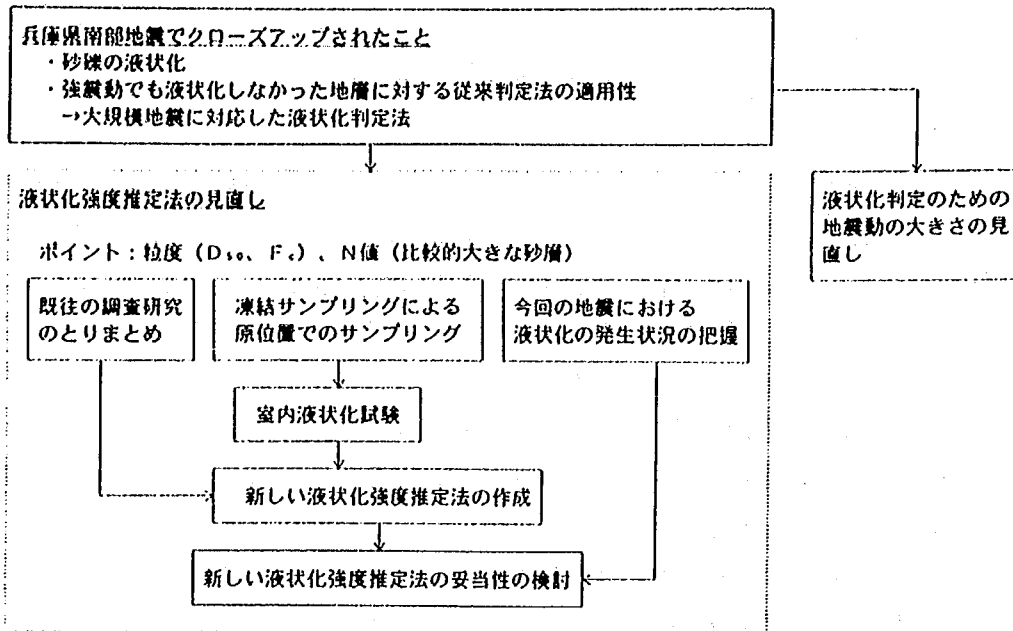


図22 地盤の液状化判定法の再検討のフロー

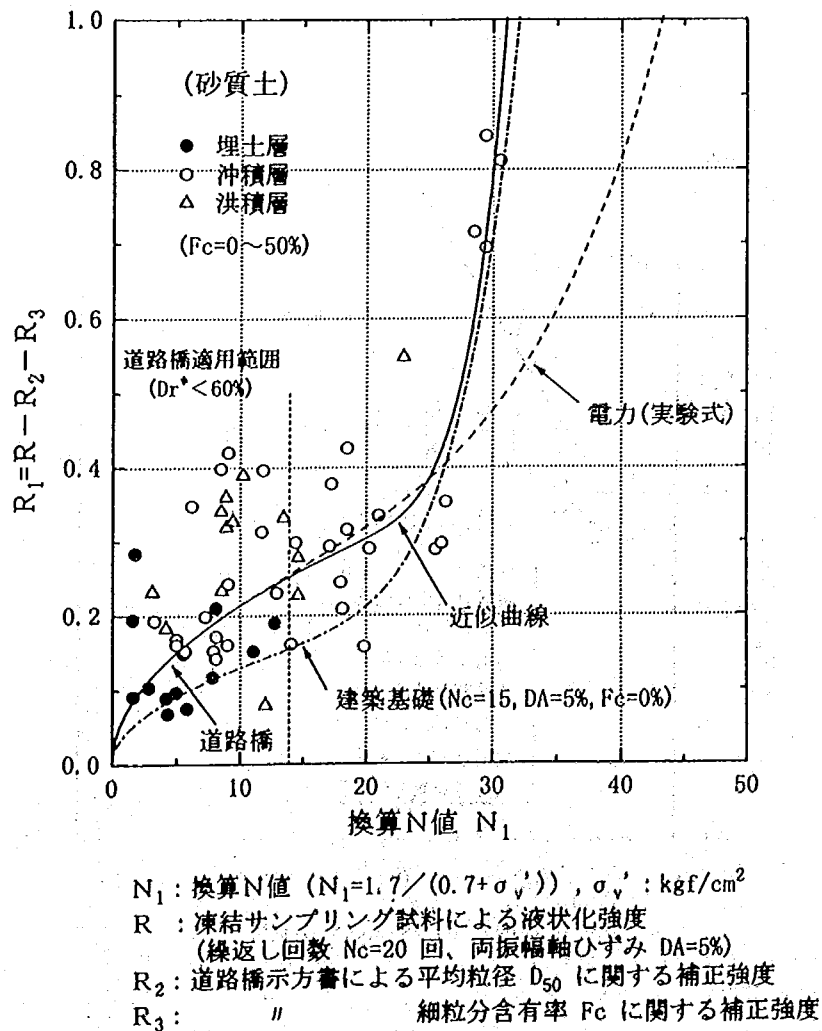


図23 凍結サンプリングによる液状化強度

Rと R_{L20} を結ぶ補正係数を

$$C_w = C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot C_4 \cdot C_5$$

とにおいて、 C_2 のみに地盤密度(液状化強度)及び地震動波形の不規則性の影響を考慮したときに(他の補正係数は従来通りとして) C_w がどのように変化するか、またそれによって、Rと R_{L20} の関係がどのようなになるかを示す。密度の異なる攪乱再構成砂の液状化強度に関する研究成果²⁸⁾を標準的な一つの強度特性として、累積損傷度理論とを組み合わせると、 C_2 に関して図24のような関係が得られる。ここで検討の対象とした地震動波形は、海洋型で中規模及び大規模なものならびに直下型のものを採用した。このような C_2 の特性と、図22に示した液状化強度 R_{L20} とを組み合わせると、図25のような地盤内の動的せん断強度Rが導かれる。これは、一つの液状化強度特性を用いる等検討の作業段階の内容であるが、このような方向で基準改訂に向け現在研究を進めている。

さらに、液状化による地盤流動が、水際構造物に大きな影響を与える場合があることが認識された。土木研究所では、従来より地盤流動変位のメカニズムならびに予測手法に関する研究を実施してきたが²⁹⁾、今回はそれに加えて、①地盤流動の基礎構造への影響に関する実態分析、②水際構造物の変状の分析から見た流動地盤での作用外力の推定、③地盤流動対策に関する実験的研究を実施している。これらの内容も各種基準類に至急盛り込むべき内容である。

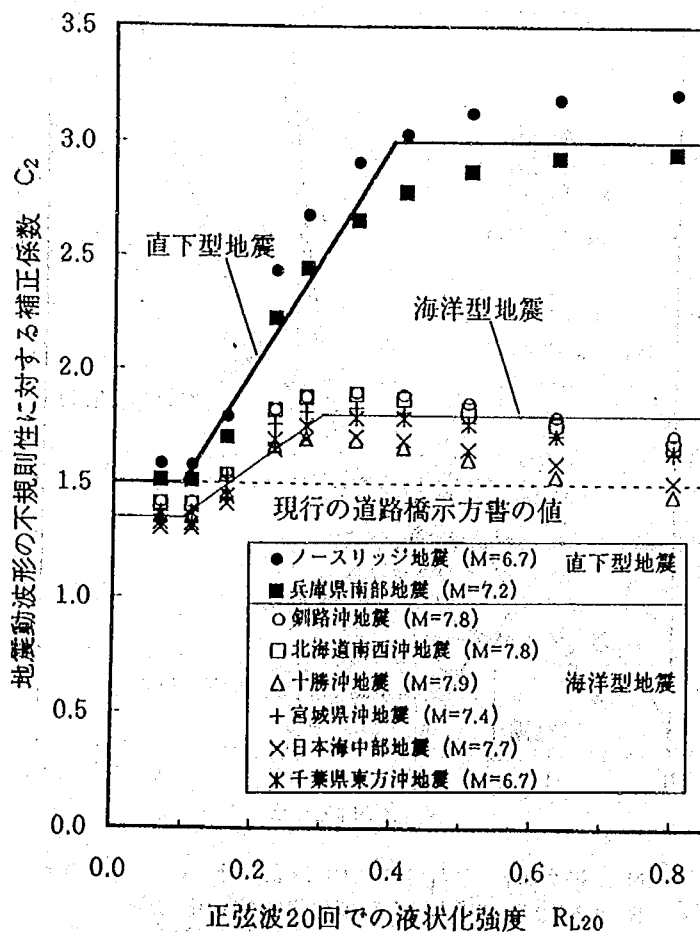


図24 地震動波形の不規則性に対する補正係数

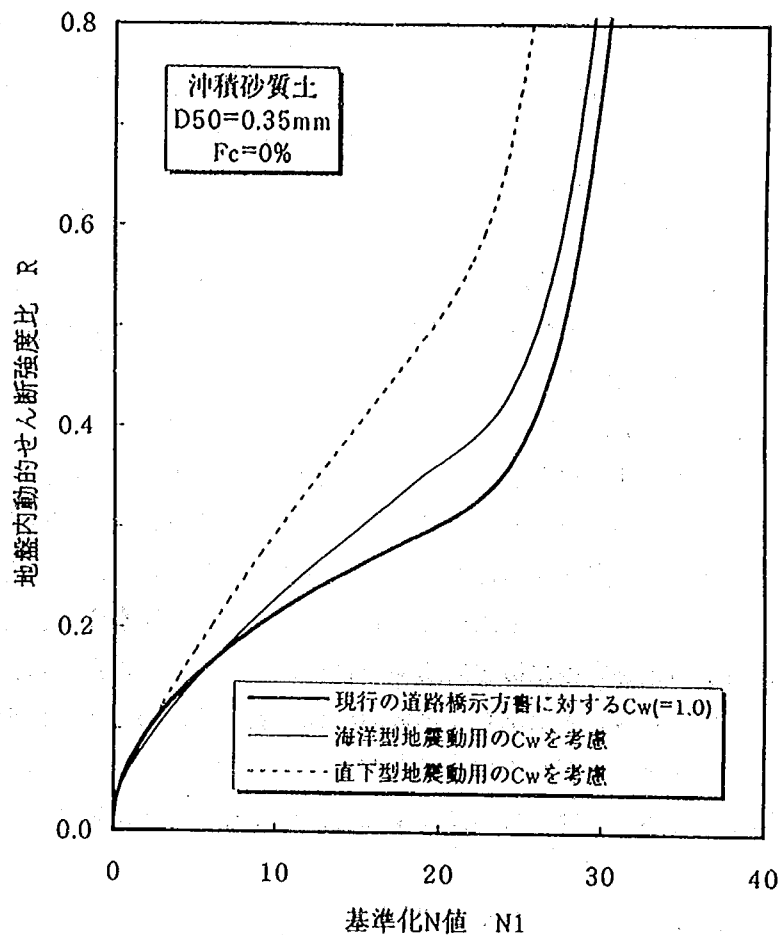


図25 地盤内動的せん断強度比

液状化に伴う地盤の流動は、上述したように今回水際構造物に大きな影響を与えたが、主として護岸等を与えた影響及び護岸の変位によって引き起こされた現象を除くと、地震動が大きく液状化範囲も広範囲にわたったことが報告されている割には、例えば埋め立て地等における地中構造物の浮き上がり等の液状化に伴う典型的な被害現象は顕著ではなかったように思われる。この原因については、構造物設置場所での地下水位、地震動の継続時間や地盤材料・密度等による大変形時の剛性回復特性等の影響が考えられるが、今後研究が必要な課題の一つである。

4) 各種構造物の耐震点検・耐震補強法

地震防災の観点から見て、新規に建造する構造物の耐震性向上のみならず、既存の多くの構造物の耐震水準の向上を図ることが必要である。そのために、各種の構造物に適した耐震点検法ならびに耐震補強法が必要とされる。既に3.2.2(1)に紹介したように、土木研究所では、従来より、RC橋脚の補強法や液状化対策に関する研究を実施してきたが、これらへの各種の新材料等の適用や鋼性橋脚や各種土構造物等の補強法に関しても実証的研究を実施する。

5) 大型実験施設を用いた実験的研究

災害をもたらす自然現象ならびにその際の構造物の挙動は複雑であり、現象の解明には、まず現地での現象の詳細な調査・分析が不可欠である。一方、外力や境界条件をある程度想定した場合の構造

物やその部材の挙動の解明、補強法の有効性の検証等については現場または室内における実験が必要かつ有効である。実験の目的は、①現象メカニズムの解明、②実構造物・実部材の挙動の検証等に大別できるが、既往の手法が適用できる分野だけではなく、今後新しい実験手法の開発をも目指さねばならない分野があろう。このような観点から、今回の地震動以上にも相当する強い地震動条件を再現することの可能な大型振動台ならびに大規模な構造物・地盤系に相当するモデルに対して強い振動を与え得る動的遠心力試験装置の整備を進めている。

(2) 地震防災計画に関する研究

構造物の耐震化は必要不可欠ではあるが、想定以上の外力が作用した場合等において一旦被害が生じた場合には、それだけでは対応しきれない。そのため、地震による被害が生じた場合を想定した対応を円滑に行う方法等についても研究が必要である。

1) 地震後即時被害予測システムの開発

所管施設に被害の出るような地震が発生した場合、被害の概況を速やかに把握し、被害の調査計画さらには復旧計画の立案を行う必要がある。建設省においては、従来気象庁の震度4が報ぜられた事務所管内においては、管理施設を点検することになっており、現実の被害の発生と必ずしも直接リンクしていない場合もある。また、被災箇所重点を置いて効率よく点検をするという観点にやや欠けている。このような背景から地震直後に被災箇所やその程度を速やかに推定するために、強震計を密に配置し事務所等に即時伝送することにより、地域内の地震動の強さの分布を把握し、それに基づいて施設の被害を推定するシステムの開発らびに導入が進められている。システムにはいくつかの整備段階があるが、図26に概要を示す。開発のポイントには次のような点がある。

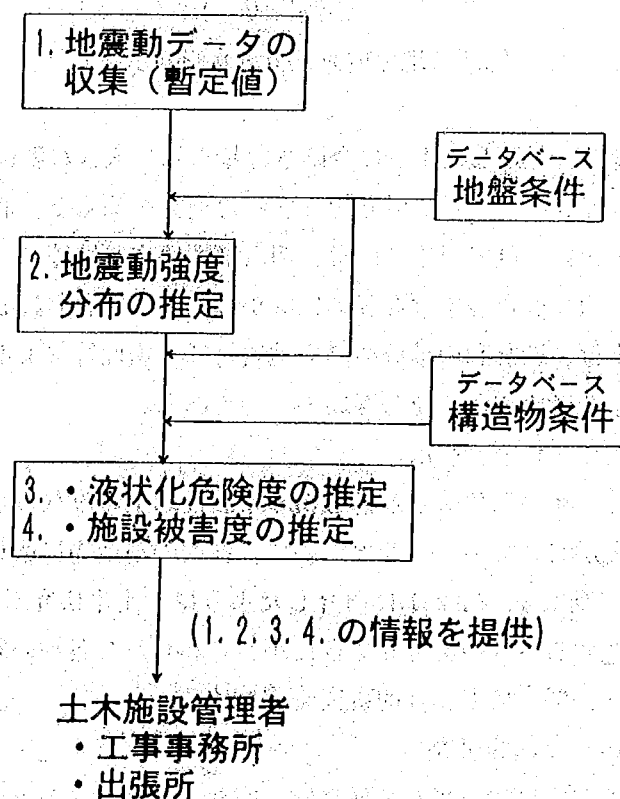


図26 地震後即時被害予測システムの概要

- ・周辺観測記録から強震計の設置されていない箇所の地震動を推定する方法：
地盤条件による影響を迅速に考慮する手法が必要となる。
- ・構造物の被害状況を簡易に判定するための地震動の指標と構造物の耐力の表現法、それらを用いた構造物の被災予測手法：多くの構造物に対して、最大加速度だけでは必ずしも構造物被害と結びつかないことが明らかになりつつあり、構造物種類ごとに適切な指標・手法の開発が必要である。
- ・観測・推定地震動を用いた地盤の液状化・流動の簡易判定法
- ・これらの評価のために必須の地盤情報等の望ましいデータベース

2) 都市震災の社会経済的影響評価法

既に2.3(1)で述べたように、地震による影響には、例えば表2で表されるような構造物の物理的損害のみを考慮した直接的な被害だけではなく、地震直後、さらには完全復旧・復興に至るまでにさまざまな影響がある。妥当な地震対策のための投資分野・額を設定するために、地震によって生ずるさまざまな被害の波及過程を分析し、直接的な被害のみならず、間接的な被害をも可能な限り計測化し、地震後に想定される影響または被害額を最小にするように、事前対策さらには復旧の優先順位を決めるという方法が考えられる。このために、今回の地震で生じた被害の波及過程を、主として道路施設の被害を例として調査研究を行っている。

3) 公園・緑地等の防災機能計画手法

今回の地震では、公園・緑地・広幅員の道路等が、火災の延焼の防止に役立った例が報告されている。また、公園・緑地は、被災者の避難所として有効に活用された。このようなことから、常時のみならず、震災時にも有効にこれらの空間を生かすための計画手法を組み立てることを課題として研究を開始している。

4. あとがき

兵庫県南部地震による被害そのもの及び地震防災研究の課題への影響はあまりにも広範囲であり、ここには紙面の制約ならびに筆者の能力不足から全体の一部分を紹介するにとどまった。今後ともこの分野の研究を進めていく過程で課題の追加や軌道修正を行っていく必要があると考えている。最後に、この小文をまとめるにあたり、兵庫県南部地震に関わる数多くの報告書等及び進行中の研究成果の一部を引用させて頂いた。関係各位のご努力ならびにご好意に敬意及び謝意を表したい。

参考文献

- 1) 国立防災科学研究センター：地震断層付近の震害に関する調査—1891～1976年の主要内陸地震について—，防災科学技術研究資料，第39号，1979。
- 2) 例えば，望月利男，松田磐余，宮野道雄：サイスミック・マイクロゾーニングにおける震度分布の評価手法について，総合都市研究，第11号，1980。
- 3) 翠川三郎：地震時に物体の跳躍現象が生じた事例の調査，地震，第47巻，1994。
- 4) 例えば，松田磐余，田村俊和：1974年伊豆半島沖地震の地震断層とそれにともなう被害，地学雑誌，83，4，1974。

- 5) 笠原慶一：地震の力学，鹿島出版会，1983，pp.91-92.
- 6) 例えば，嶋本利彦ほか：神戸市・芦屋市・西宮市における地震被害と推定地震断層，1995年兵庫県南部地震調査速報会記録，日本第四紀学会，1995，2.
- 7) 妹尾正晴：有馬一高槻構造線周辺の被害状況，「阪神大震災」緊急合同報告会資料集，日本地質学会ほか，1995.
- 8) 例えば，石川浩次ほか：兵庫県南部地震の神戸の地盤と被災状況調査，応用地質，36，1995.
- 9) 例えば，入倉孝次郎：1995年兵庫県南部地震による強震動，月刊地球，号外No.13，1995.
- 10) 防災科学技術研究所：強震観測事業推進連絡会議強震速報No.46、平成7年兵庫県南部地震，1995，2.
- 11) 建設省土木研究所：土木構造物における加速度強震記録（No.21），土木研究所彙報，Vol.64，1995，6.
- 12) 兵庫県南部地震道路橋震災対策委員会：兵庫県南部地震における道路橋の被災に関する調査報告書，1995，12.
- 13) ダムの耐震性評価検討委員会報告書，1995，11.
- 14) K. Kawashima et al. : Duration of Strong Motion Acceleration Records, Proc. of JSCE, Structural Eng./Earthquake Eng. Vol. 2, No. 2, 1985.
- 15) 小山順二：短周期地震波の方位依存性，地震，第40巻，1987.
- 16) 例えば，山崎文雄：軟弱地盤はよく揺れるか揺れないか？実測とSHAKEの矛盾を考える，土木学会第45回年次講演会，1990.
- 17) I. M. Idriss : Response of Soft Soil Sites during Earthquakes, Proc. H. B. Seed Memorial Symposium, Ed. J. M. Duncan, BiTech Ltd., 1990.
- 18) 伯野元彦：史上最大の地震動で何故壊れないのかー動的強度研究の重要性ー，土木学会第49回年次講演会，1994.
- 19) 建設省土木研究所：平成7年兵庫県南部地震土木研究所被害調査速報，土木研究所資料3362号，1995，3.
- 20) 建設省土木研究所：阪神・淡路大震災特集，土木技術資料37-4，1995，4.
- 21) 河川構造物地震対策技術検討委員会報告書，1996，1.
- 22) 地すべり防止施設の耐震性に関する検討委員会中間報告書，1995，5.
- 23) 下水道の地震対策についての第1次提言，1995，4.；同第2次提言，1995，8.
- 24) 例えば，亀田弘行：兵庫県南部地震をふまえた大都市災害に対する総合防災対策の研究（文部省緊急プロジェクト），1995，3.
- 25) 日本道路協会：「兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係る仕様」の準用に関する参考資料（案），1995，6.
- 26) 建設省土木研究所：実測記録に基づく免震橋梁の地震時振動特性に関する研究，土木研究所資料3383号，1995，11.
- 27) 川島一彦ほか：曲げ耐力制御式鋼板巻き立て工法による鉄筋コンクリート橋脚の耐震補強，土木技術資料37-12，1995.
- 28) 大塚久哲ほか：密な砂の液状化判定法に関する実験，土木技術資料，36-7，1994.
- 29) 常田賢一ほか：液状化による地盤流動変位の簡易予測，土木技術資料，35-5，1993.

平成7年7月11日～12日梅雨前線豪雨による
長野県・新潟県の土砂災害

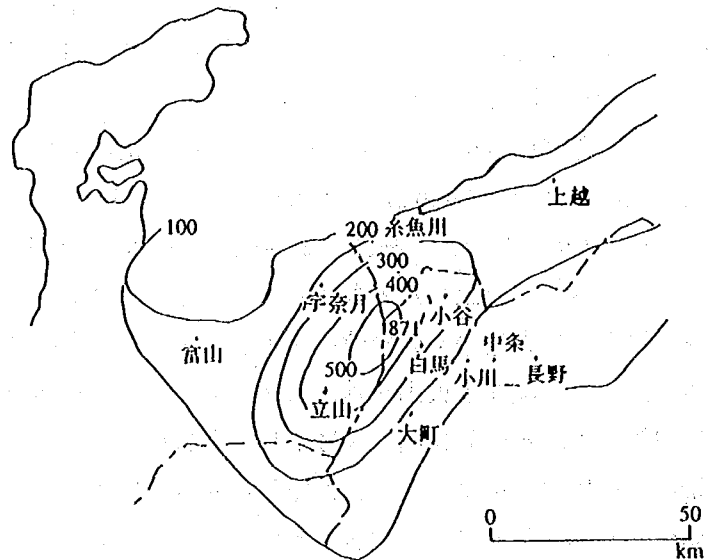
砂 防 部 長 青 木 義 光

平成7年7月11日～12日梅雨前線豪雨による 長野県・新潟県の土砂災害

1. はじめに

平成7年7月11日から12日にかけて梅雨前線性豪雨（図－1）が、長野県北部から新潟県南西部を襲い、各地に山腹崩壊・土石流・地すべり・急傾斜地崩壊などを生じさせ、家屋の破壊、道路・鉄道の途絶、河床の著しい上昇など甚大な被害を生じさせた（表－1）。

ここでは、この災害の特徴、および人的被害の軽減に役立った砂防施設の効果と警戒避難について、姫川流域を中心に述べる（図－2）。



図－1 等雨量線図（7月11日0時～12日18時）

表－1 豪雨による被害状況（（ ）内数字は土砂災害による被害）

区 分		被 害 数 （7月11日～22日）	
		長 野 県	新 潟 県
人的被害	死者・不明者	0人 (0)	2人 (0)
	負傷者	1人 (0)	4人 (0)
家屋被害	全 壊	46棟 (9)	24棟 (0)
	半 壊	107棟 (4)	15棟 (0)
	一部破損	20棟 (14)	15棟 (5)
	床上浸水	131棟	723棟
	床下浸水	466棟	3,417棟
土砂災害 発生件数	土石流	74件	25件
	地すべり	69件	56件
	急傾斜地崩壊	19件	7件

2. 姫川流域の概要

2. 1 姫川流域の自然的条件

(1) 地形・地質

姫川は、長野県白馬村佐野坂に源を発し、途中において飛驒山脈等を水源とする土砂流出の激しい急流支川を合流しながら、小谷村を北上し、新潟県糸魚川市で日本海に注いでいる。その本川流路は、本州を東北日本と西南日本に分断する大断層「糸魚川－静岡構造線」にほぼ沿っている。その流域面積722km²、本川流路延長60km、平均河床勾配1/20の急流河川である。

糸魚川－静岡構造線は、新第三紀には形成を始めており、断層活動は現在に及んでいる。その西側の飛驒山脈は50万年の間だけでも2,000m以上も隆起したとされている。糸魚川－静岡構造線の東側は、「フォッサマグナ」と呼ばれる地域で、約2,500万年前（新第三紀）に日本列島がアジア大陸から分離し日本海が誕生したときにできたと考えられており、その当時すでに陸地であった飛驒山脈や関東山地からは大量の土砂や礫がフォッサマグナの海底に流出して数千mの厚さに堆積し、その後の地殻変動による隆起と火山活動によって現在のような地形になったとされている。

姫川流域の地質概要は図－3に示したとおりである。

姫川の西側の山地は、中・古生層から成っているが、糸魚川－静岡構造線の影響を受けて、地層が断層により乱されており、大きな起伏量となっている。また、白馬乗鞍岳は第四紀更新世に噴出した火山で、大量の火山碎屑物と大きな起伏量を有している。

姫川の東側の山地は、フォッサマグナ地域に属しており、新第三紀の堆積物（砂岩と泥岩の互層）から成っているが、糸魚川－静岡構造線の活動の影響を受けて、地層は褶曲し、断層によって切られている。そのため、地下水によって粘土化しやすく、土谷川・中谷川・横根沢などに地すべり地が密集している。

また、この地域は豪雪地帯で、湖沼や湿原が点在し、豊富な地下水による大規模な山崩れの危険性を秘めているといえる。

(2) 気候

姫川流域の気候は概ね、冬の積雪量が多い日本海型気候に属しているが、3,000m級の高峰をひかえる上流域と、標高の低い下流域ではその特性が異なっている。白馬村・小谷村を中心とした上流域は、年平均気温は低めながら、内陸型気候のため寒暖の差が大きい。年間降水量は1,500～2,000mmで、そのうち冬期の積雪量の占める割合が大きく、根雪の期間も長い。下流の糸魚川市は比較的温暖で、年間降水量は3,000mm程度と上流域に比べて多い。

(3) 植生

北アルプスの稜線付近の高山帯に属する地域はハイマツ・ゴケモモ群集等が成立しているが、概して植生が貧弱である。しかし、この区域は中部山岳国立自然公園地域に指定されており、高山植物等は保護されている。標高の高い亜高山帯ではダケカンバ群落の中にシラビソ・オオシラビソ群集が点在し、やや低い山地帯ではブナ・ミズナラ群落が卓越している。本川および大きな支川に沿ってスギ、ヒノキ、カラマツ等の針葉樹の人工林が点在しているが、大部分は天然林の広葉樹または混交林である。白馬村から小谷村南部の開発の進んだ一部の地域を除き、概して人の手の入らない自然が残された地域であるといえる。

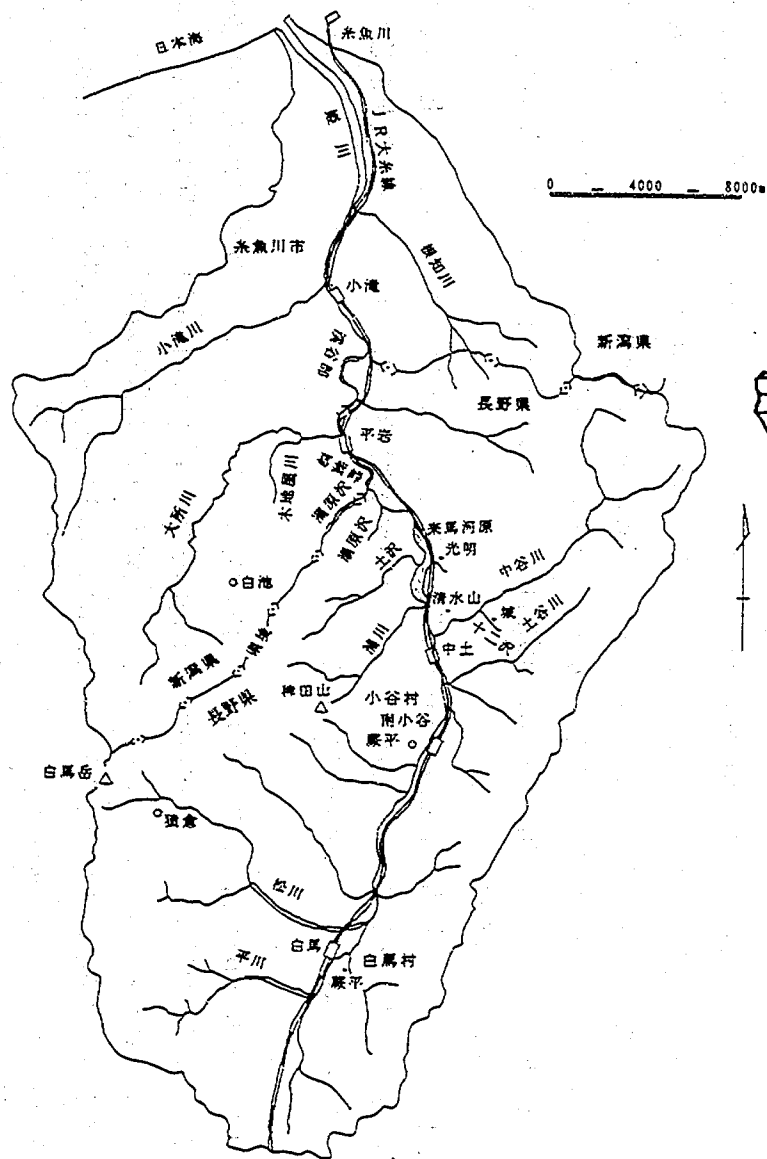


图-2 姬川流域平面图

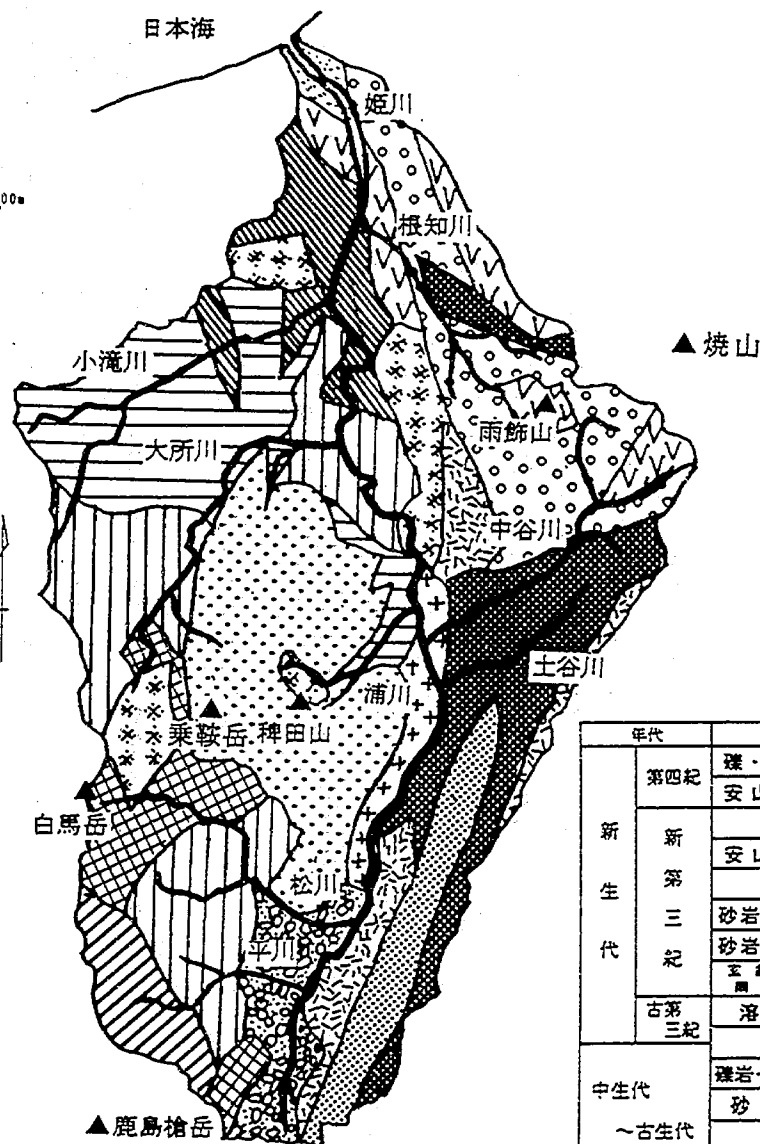


图-3 姬川流域地质概要图

凡例		
年代	地質名	記号
新 生 代	第四紀	礫・砂・泥（堆積物）
		安山岩（火山噴出物）
	新 第 三 紀	泥 岩
		安山岩質凝灰角礫岩
	古 第 三 紀	安 山 岩
		砂岩・泥岩互層（小川層）
		砂岩・泥岩互層（青木層）
		玄武岩質安山岩凝灰岩 間質凝灰角礫岩
中 生 代 ～ 古 生 代		溶 結 凝 灰 岩
		花 崗 岩
		礫岩・砂岩・泥岩（宋馬層群）
		砂 岩 ・ 泥 岩 互 層
		蛇 紋 岩
		珉質泥岩（姫川層群）

2. 2 姫川流域の社会的条件（土地利用・開発プロジェクト）

姫川流域の社会的特性は、地形的条件に規定される形で各村・市毎に大きく異なっている。

最上流の白馬村においては、中・小起伏山地や平川、松川の扇状地は従来利用されていなかったが、砂防施設の整備により安全性が向上したことから、近年スキー場や別荘地等のリゾート開発がめざましい。

一方、小谷村においては、南部では白馬村と同様に多くのスキー場があるが、北部は姫川本川沿いの狭い河岸段丘上、および比較的大きな支川に沿った山腹斜面または台地上に集落が形成され、わずかな緩傾斜地上に農地を拓いているという状況である。

県境を越えて糸魚川市に入ると、大所川の合流部付近に平岩、大所、中川原といった集落が集まっているが、それより下流の姫川本川は峡谷部となるため、小滝川合流部付近まで集落は全く無くなる。

ウインタースポーツを中心にして発展めざましい上流地域と、温泉を含めて自然の恵みの中でくらす下流地域という構造であるが、現在は1998年に開催が決まった冬期オリンピックに向けて、競技施設や宿泊施設を始め、下流部も含めて道路等の基盤整備も急ピッチで進んでいる。

2. 3 過去の土砂災害と砂防事業

姫川流域の主な土砂災害と直轄砂防事業の変遷を表-2に示す。

(1) 過去の土砂災害

姫川流域は前述のように、地質構造が複雑で、断層や褶曲が入り組んでおり、大規模な崩壊が反復的に発生している。

中でも、明治44年8月9日の浦川上流の稗田山の大崩壊は、現象・被害ともに特記すべきものである。この時の崩壊土砂量は1億8千万 m^3 と推定されており、土石流となって浦川を流下し、石坂部落では23名の死者を出した。このときの土石流堆積物は、浦川の溪岸に平均150mの厚さの段丘を形成している。また、土石流の先端は姫川に押し出し、合流点には高さ60m、長さ300m、幅100mの天然ダムが形成され、姫川本川の上流3kmにわたり湛水し、下り瀬部落の43戸が床上浸水した。その後、この天然ダムを開削し、湛水を放流して8月12日には水位が10mほど低下したが、放流とともに土砂が浸食、流出し、下流の来馬部落の村役場・小学校・民家18戸・水田34ha・畑15haを流失した。その後も、昭和40年くらいまで浦川（稗田山、風吹岳）から流出した土石流はしばしば姫川に堰止め湖を出現させ、下流に被害を与えている。

一方、白馬村の平川、松川は上流の古生代の砂岩・泥岩互層、蛇紋岩の急崖から絶えず土砂を流出させ、複合扇状地を形成している。したがって、現在の細野地区等の別荘地は元々土石流が氾濫する場所であり、昭和30年代までは災害が頻発していた。

(2) 砂防事業等

明治44年の稗田山崩壊以降、浦川、平川、松川を始めとして土砂災害は頻発していたが、姫川上流域における本格的な砂防事業等は昭和10年の補助治山事業、あるいは昭和17年の補助砂防事業の開始からということになる。基幹施設の整備としては、昭和7年に農村振興砂防事業によって着手した平川・源太郎砂防ダムが、膨大な流出土砂のために3回の嵩上げを行ったのち昭和38年に5段の落差を持つ高さ20mのダムとして完成した。

その間、昭和37年に平川、松川、浦川が直轄砂防区域となり、松川・北股第1号砂防ダム、平川・

表-2 姫川流域の主な土砂災害と直轄砂防事業の変遷

姫川流域の主な災害		姫川直轄砂防事業の変遷	
1726. 1842.6. 1844.6.	浦川上流、稗田山の金山沢が崩壊し、姫川をせき止める。 浦川上流、風吹岳より押出し、来馬下寺部落流失。 浦川の奥（風吹岳と思われる）が崩壊して泥土を押出し、来馬下寺の人家・耕地を流出。		
M44.8.8 S6.7.9 S9.7.11	浦川上流、稗田山大崩壊、姫川を堰止める。 松川・平川大洪水で大被害。 平川堤防決壊、北城地区大水害。	S10. S17.	長野県による補助治山事業開始 長野県による補助砂防事業開始
S34.7.10 S37.5.	平川・松川氾濫被害4,500万円 平川の河床上昇により埋没寸前となった大糸線平川鉄橋の架替工事行われる（大糸線、国道148号橋梁埋没）。	S37.4. S37.	姫川水系直轄砂防事業開始（予算7,000万円） 松川・北股第1号砂防ダム、南股第1号砂防ダムに着手（高13m、高15m） 平川・平川第1号砂防ダムに着手（高13m） 浦川・浦川第1号砂防ダムに着手（高15m）
S39.8.29	浦川上流、風吹岳の崩壊により土石流発生。浦川の河床上昇は12～20mに及び、姫川本川を堰止め多大の被害発生。国鉄大糸線不通。	S39.	
S40.5.8	浦川上流、風吹岳崩壊により40万m³の土砂崩れがあり20万m³が押し出して姫川を堰止め大糸線不通、橋梁流失多し。	S40.	長野県災害復旧工事を受託し浦川砂防ダム（高17m）に着手
S41.	浦川に土石流発生。		
S42.	大所川赤禿山の地すべり性大崩壊による災害（平岩地区・姫川温泉に被害発生）。		
S43.	浦川に土石流発生。		
S54. S56.5.12	浦川に土石流発生。 浦川に大規模な土石流が発生し姫川まで達した。	S45. S47. S51. S54.	大所川・大所第1号砂防ダム（高17m）に着手 平川流路工工事着手（平川第1号床固） 姫川本川・葛葉第1号床固工着手 小滝川直轄砂防事業着手
H3.8. H4.4.8 H7.7.11	小滝川ヒスイ峡に大規模な地すべり発生。 浦川に大規模な土石流が発生、砂防ダムがこれを止める。 姫川流域全域で土砂災害発生、姫川本川に大量の土砂が流出し大糸線、国道148号が寸断。	S63. S63. H3.3. H4.8.	松川流路工工事着手 根知川直轄砂防事業着手 平川流路工竣工（第1期） 小滝川・ヒスイ峡小滝護岸工着手

平川第1号砂防ダム等に着手した。その後、昭和45年から大所川、昭和54年から小滝川、昭和63年から最下流の根知川と、土砂流出の多い大支川を直轄砂防事業で対応している。

一方、長野県の補助砂防事業では中谷川、土谷川といった地すべり性崩壊の多い姫川右岸側の大支川や土石流危険渓流対策を中心に行っており、現在では土石流危険渓流のうちの約7割に何らかの砂防施設が入っている。

3. 姫川流域の土砂災害

3. 1 土砂災害の概要

姫川流域の白馬村猿倉観測所では7月11日3時から12日11時までの累積雨量は550mmに達し、糸魚川市白池観測所では時間最大雨量62mm/h（11日17時～18時）を記録した。特に11日17時から20時の3時間に強雨が集中し、土石流等の発生もこの時間帯に集中していた（図-4）。

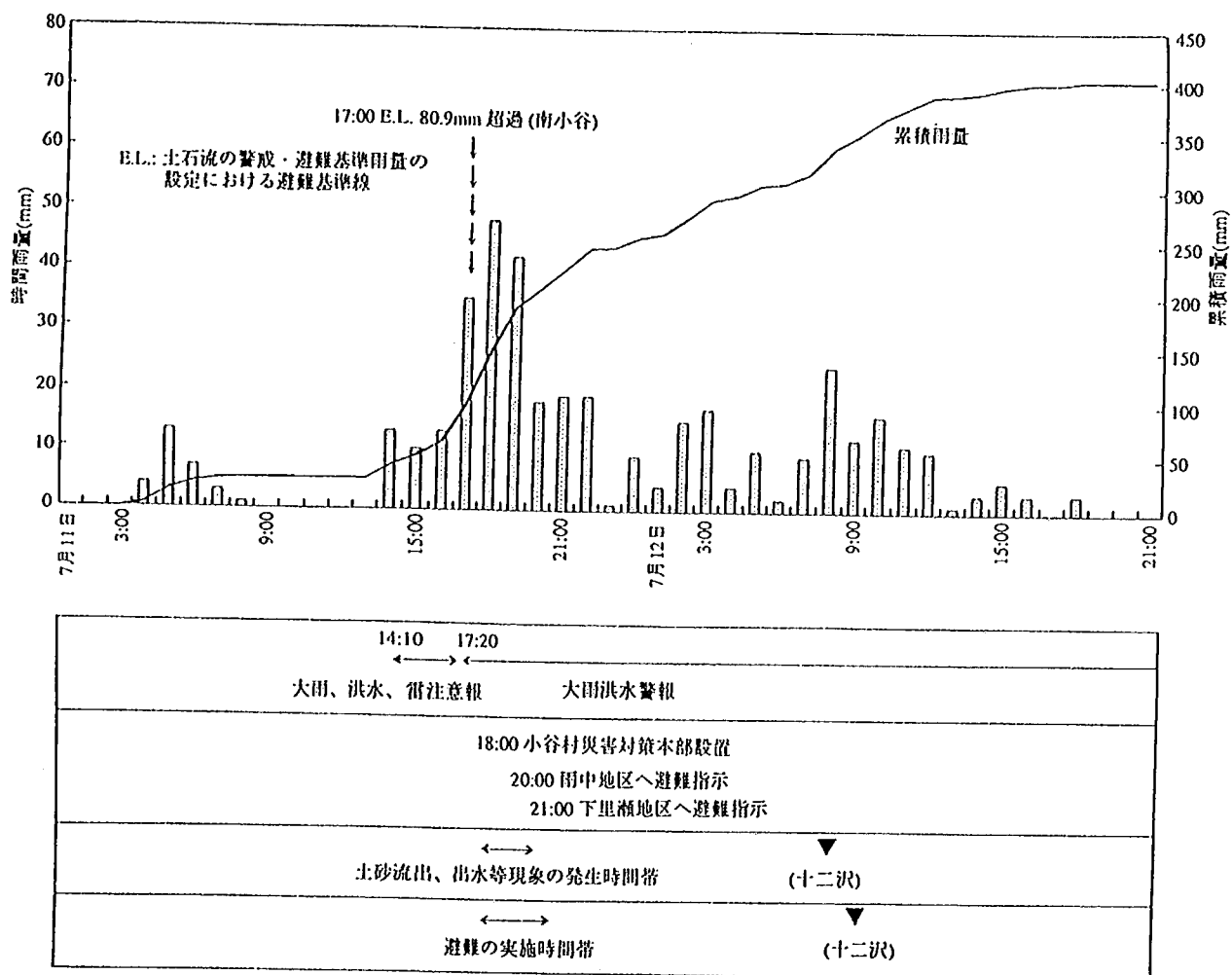
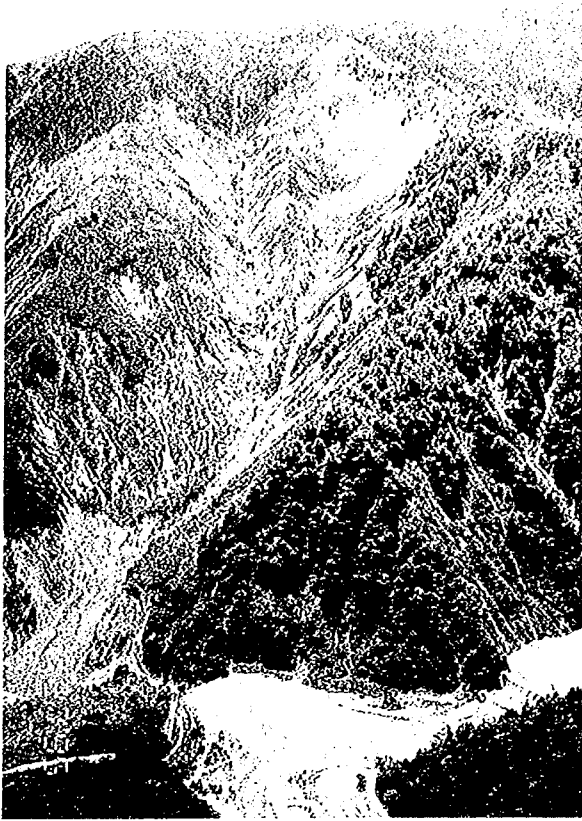


図-4 降雨状況（南小谷観測所）と小谷村の警戒・避難の推移

今回の災害では、崩壊の形態が地質によって異なっていたことが特徴の一つであった。平川、松川上流域の古生層（写真－１、２）の地域では、既往崩壊が表層崩壊的に拡大し、０次谷および１次谷から多数の土石流を発生させている。



写真－１ 平川上流の崩壊と砂防ダムによる
流出土砂の捕捉状況



写真－２ 松川上流・南股入の崩壊状況

姫川右岸の新三紀堆積岩類（砂岩、泥岩）の地域（小川層；特に土谷川、中谷川流域）では、地すべり的で崩壊深の大きい大規模な山腹斜面崩壊が多発した（写真－３）。



写真－３ 地すべり性崩壊の多発した中谷川流域

第四紀火山岩類の地域のうち、浦川上流域の稗田山周辺（写真－４）では既往の大規模な崩壊が、崩壊深はそれほど大きくないものの拡大し、溪床不安定土砂とともに土石流化している。



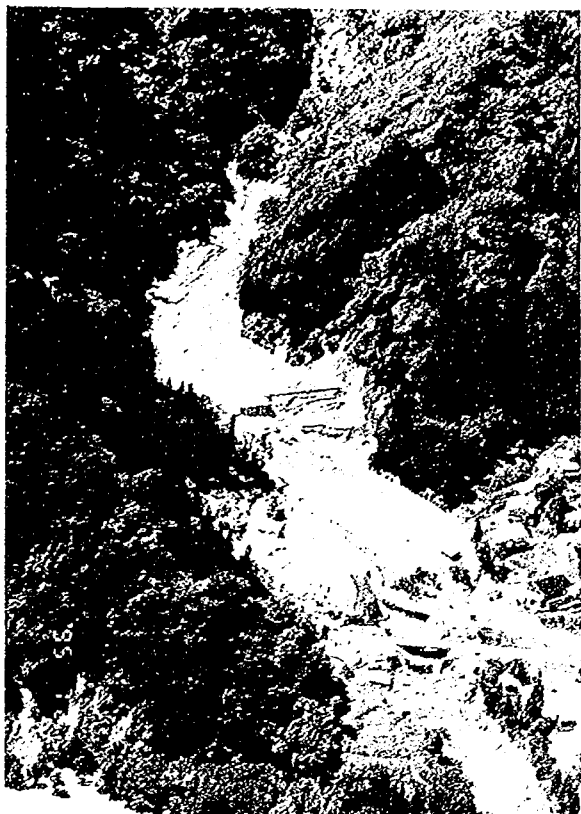
写真－４ 浦川源頭部（向かって左が金山沢、右が唐松沢）

姫川本川の来馬河原では、土谷川、中谷川、浦川および直接流入する土沢等の支溪からの土砂供給により河床が約 2 ～ 3 m 上昇した（写真－５）。

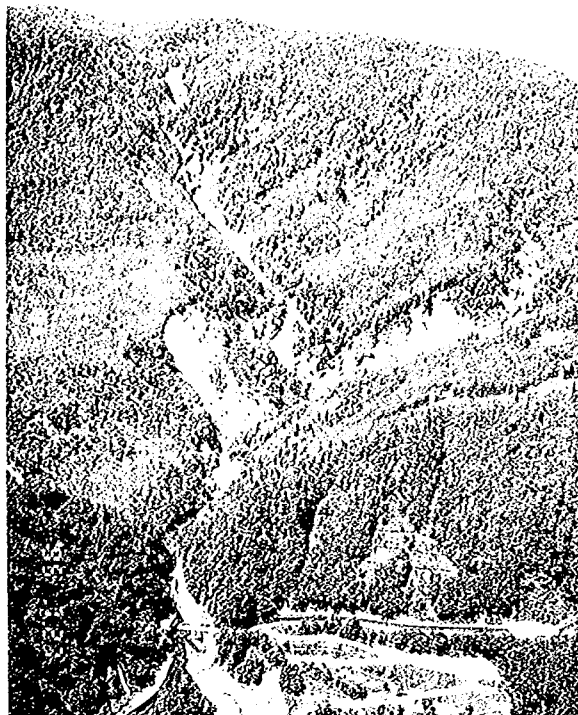
浦川以北、姫川左岸の中生代堆積岩類（来馬層）地域に流出する支溪では、第四紀の火山噴出物が覆う上流部で比較的規模の大きな新規崩壊が発生し、土石流が谷出口の集落等に被害を与えると同時に、姫川本川に大量の土砂を供給した（写真－６）。



写真－５ 河道が埋塞し、流路が段丘上を乱流した来馬河原

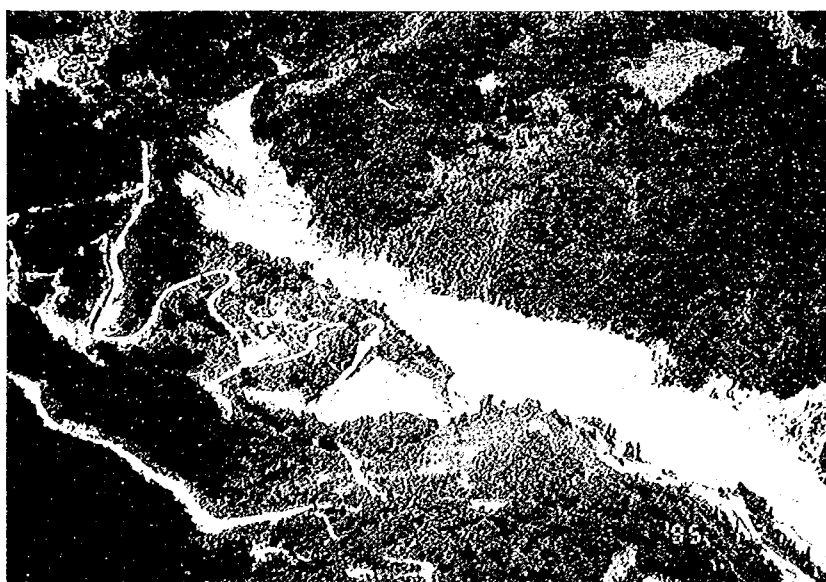


写真－6 湯原沢の土石流被害状況
(谷出口の施工中の砂防ダムがあり、土石流が左岸袖部を乗り越え、氾濫・堆積した)



写真－7 蒲原沢の新規崩壊による大規模な土石流

また、姫川本川では河岸崩壊や支川からの土砂流入により顕著な河床上昇が起こり（図－5）、家屋、国道、JR等に対する被害が発生した。特に、平岩地区では湯原沢（写真－6）、蒲原沢（写真－7）等の支溪からの土石流、葛葉峠付近の溪岸崩壊、および大所川からの（主に右支木地屋川の土石流と合流点付近の溪岸崩壊による）土砂流入（写真－8）により、河床が約10mも上昇し、河岸段丘上の家屋、道路、鉄道等への被害が特に甚大であった（写真－9）。



写真－8 大所川第2号砂防ダムの堆砂状況

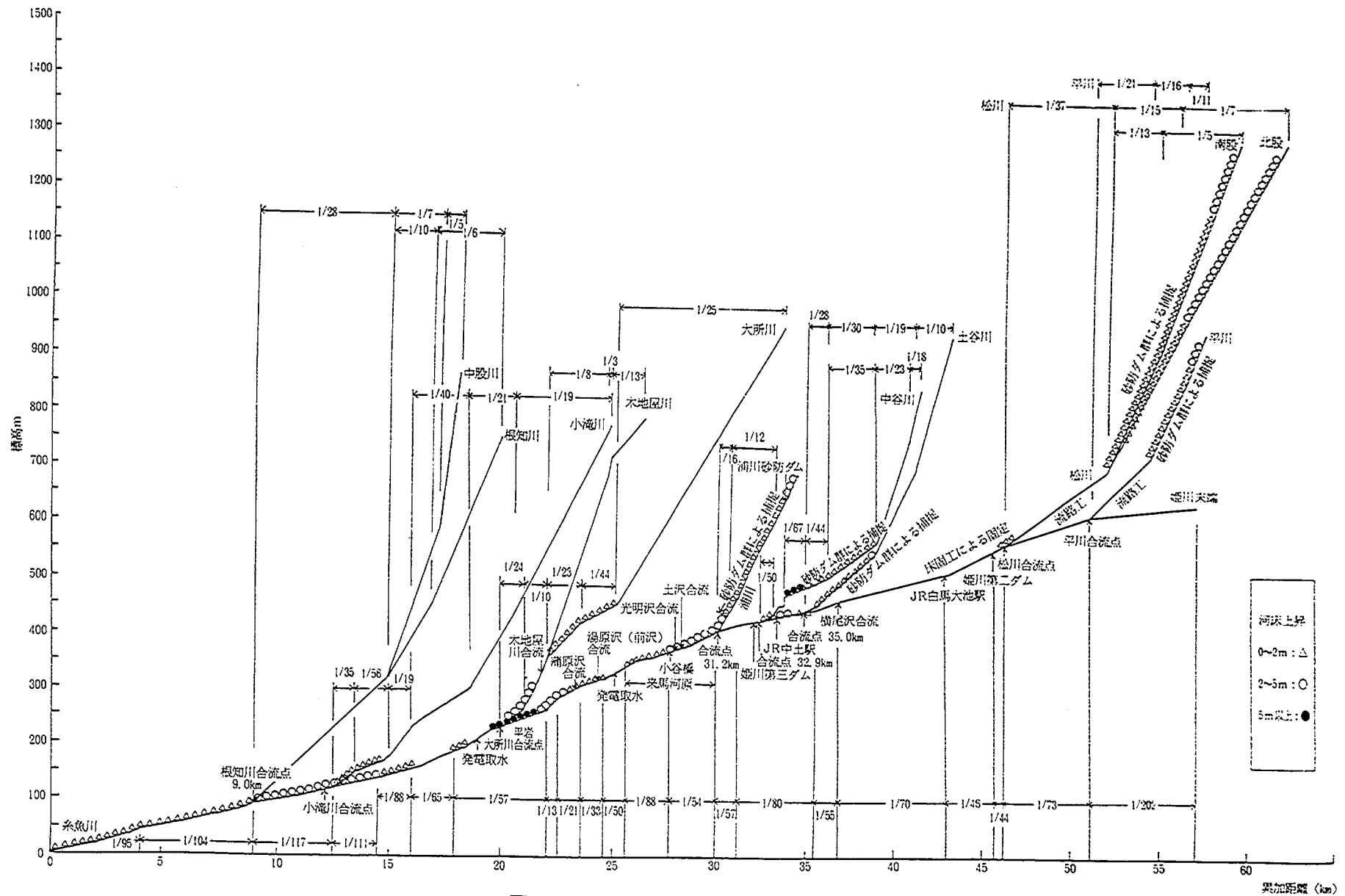


図-5 姫川縦断および土砂堆積状況図

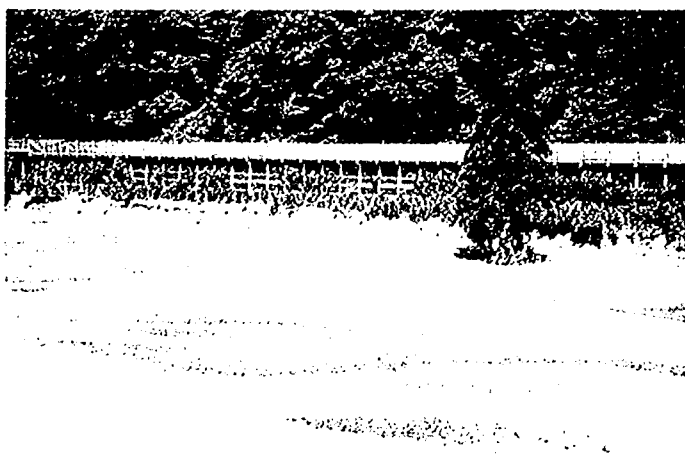


写真－9 河床上昇の最も激しかった
糸魚川市平岩地区付近
(左からの流入支川が大所川：推定堆
積土砂量101万 m^3)

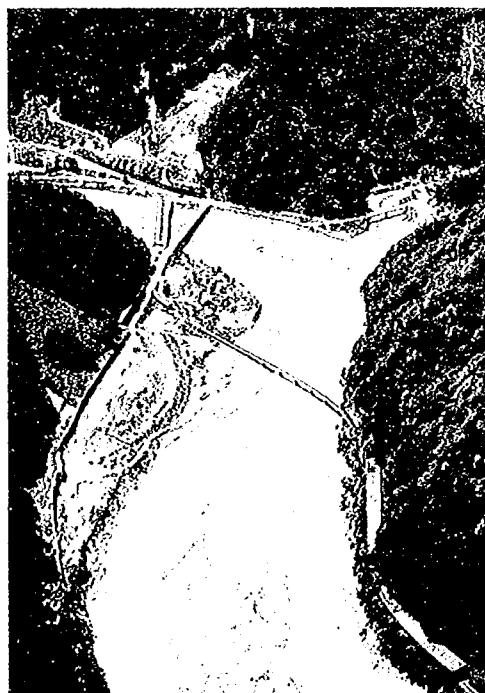
平岩より下流の渓谷部における河床上昇は顕著でないが、平成7年7月末現在、小滝駅付近の拡幅部から上流に向かって1.5km程度の区間は2～3m程度河床が上昇しており、災害後も上流から流送されてくる比較的粒径の小さい礫が堆積を続けているようである（写真－10）。

平地河川となる小滝川合流点から根知川合流点の区間は、下流河川区間の中では土砂堆積が著しく、災害後の河床低下も進んでいない（写真－11）。

なお、小滝川・根知川の流域には大きな崩壊は見られず、流出土砂量は多くなかった。



写真－10 小滝駅上流の河床上昇状況
(対岸のJR大糸線はいたる所で冠水被害を破っている)

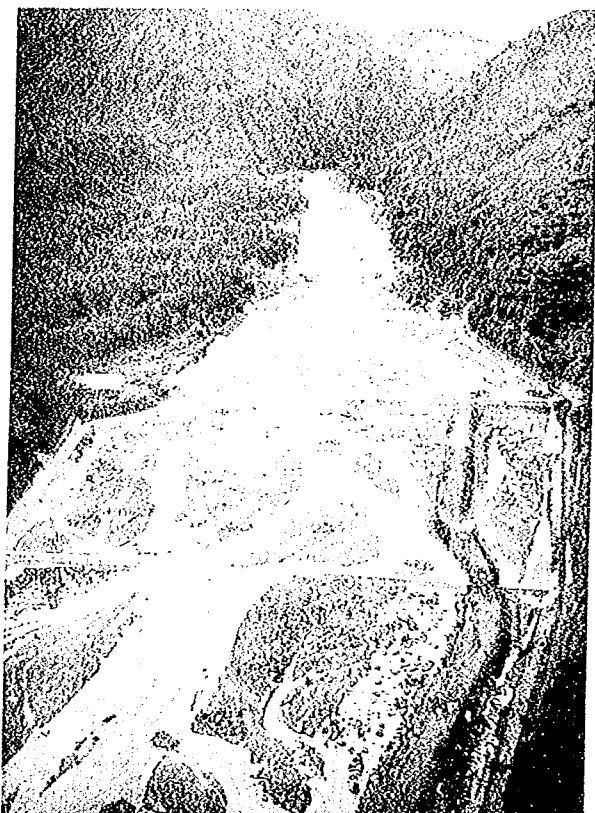


写真－11 小滝川合流点付近（右上からの流入支川が小滝川：姫川渓谷～根知川合流点までの推定堆積土砂量121万 m^3)

3. 2 主な支川の砂防設備等の効果

(1) 平川、松川

平川・松川の源頭部はもともと急崖の崩壊地となっており、今回の豪雨でも表層崩壊等により生じた土砂は土石流となって流下したが、上流域には規模の大きな砂防ダムが比較的密に設置されていたため、これらにより土石流は捕捉・調節され、下流の平川、松川流路工区間への土石流形態での土砂の流入は防止されたため、下流での人家等への被害は発生しなかった。また、流路工区間では新たに土砂が移動したことによる砂礫堆が見られ、大出水が生じたことを示しているが、流路工が整備されていたため河床からの土砂の生産や河道外への洪水の氾濫は防止された（写真－12）。



写真－12 松川流路工上流部
（網状砂礫堆が形成されている）



写真－13 土石流を捕捉、調節した砂防ダム群
（中谷川小支千沢）

(2) 土谷川、中谷川

姫川右支土谷川および中谷川は、今回の豪雨による崩壊、地すべり等の発生が最も激しかった流域である。この流域はもともと地すべりが多発している地域であり、今回の豪雨で多くの斜面が滑動または崩壊を起こし、河道に大量の土砂を供給し、一部は土石流となって流下した。これらの流域には既に多くの砂防施設が設置されており、それらの大部分は土砂生産・流出抑制効果および土砂捕捉効果を計画どおりに発揮し、支溪流の下流にある人家等への土石流災害を防止軽減した（写真－13）。一方、一部の支溪では地すべり性崩壊が発生し、供給土砂量が多かったため、これらの土砂は砂防ダムでは完全には調節できず、姫川本川へも土砂を流下させている（写真－14）。



写真-14 土谷川合流点下流の姫川本川の河床上昇（中土駅付近）

(3) 浦川

浦川源頭部は明治44年の稗田山崩壊以来の大規模な崩壊地となっており、平時より土砂供給の盛んな区域である。今回の豪雨によっても土石流は発生しているが、既設の砂防ダム群により多くの土砂（推定、50万 m^3 程度）が捕捉されている（写真-15）。特に、浦川砂防ダムより上流の砂防ダムによって土石流の大部分は捕捉され、それより下流では分級調節を受けながら土砂流状態で流下していったと考えられる。

浦川下流5号砂防ダムの堆砂域右岸側に災害直後に土砂を採取した跡がトレンチ状に残されており、表面は直径20cm程度の中礫でアーミングされた状態になっているが、内部は細粒分まで含めてランダムに堆積しており、土砂が集合運搬されてきたことが確認できた（写真-16）。



写真-15 大量の土砂を捕捉した浦川砂防ダム群
（手前が浦川下流第4号砂防ダム）

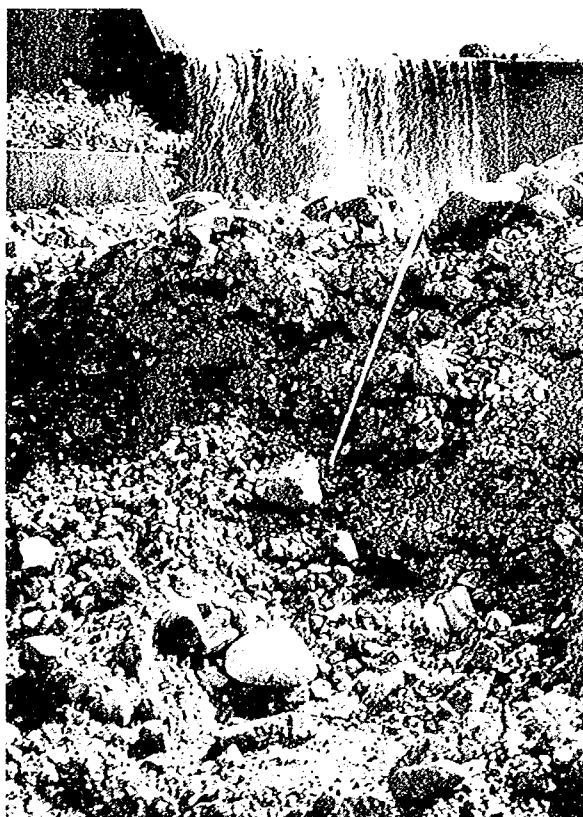


写真-16 堆積土砂の内部構造

3. 3 土砂整備率と被害形態の関係

今回の災害で実際に土石流が発生した土石流危険渓流において、何らかの砂防設備が設置されている着手率は100%であり、地先砂防としての対応はある程度進んでいる地域であったといえる。各渓流における整備率は必ずしも十分なわけではないが、図-6に示したように、小谷村の土石流危険渓流の土砂整備率と被害の形態（程度）には一定の傾向がうかがえる。土砂整備率が20%未満の渓流では家屋の全半壊を伴う被害が多いのに比較して、20~30%を境に被害程度が軽減される傾向がみられ、これは昭和63年7月の広島県西部災害時の調査結果（図-7）と同様の傾向を示している。

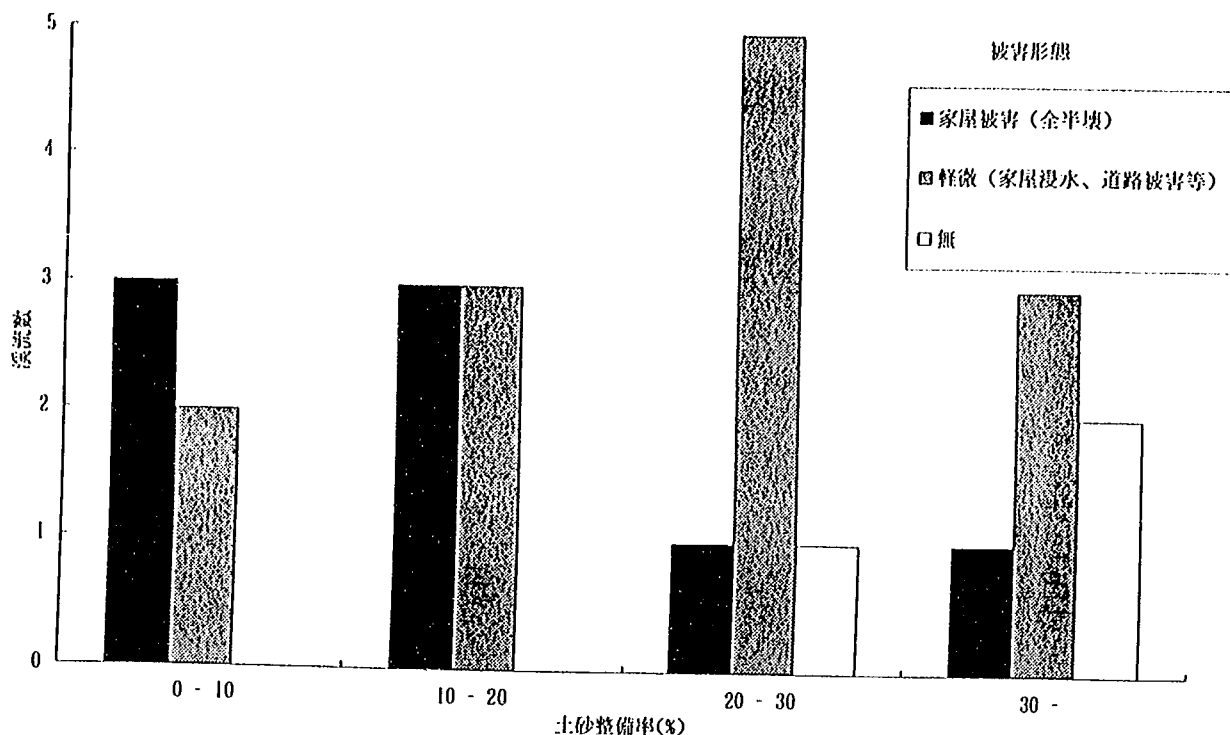


図-6 土砂整備率と被害形態の関係（小谷村）

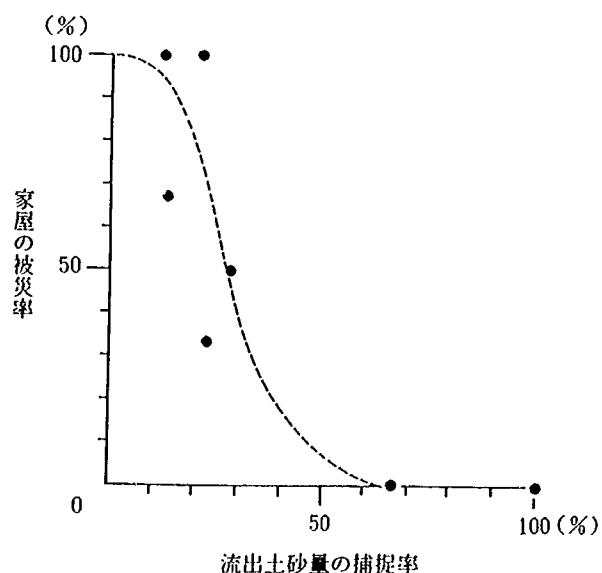


図-7 昭和63年7月広島県西部災害における流出土砂量の捕捉率と家屋の被災率

3. 4 警戒・避難の実態

災害後、7月25～28日に現地での聞き取り調査を、また8月に長野県小谷村および新潟県糸魚川市の住民に対するアンケートを実施し、警戒・避難の実態把握を行った。アンケート調査の結果の一部を図－8に示したが、これらを含めて今回の災害時の避難行動の特徴を整理した。アンケートの回答数は小谷村1,170（回答率87%）、糸魚川市43（回答率23%）であった。なお、小谷村では54の全集落の区長等を通じて配布・回収を行ったが、糸魚川市では平岩、大所、山之坊、小滝の各集落に配布し、回答は郵送としたために回答率に大きな差が出た。また、図－8の(c)、(d)は家族の全員または一部が避難した人の回答であり、それ以外は全回答者によるものである。

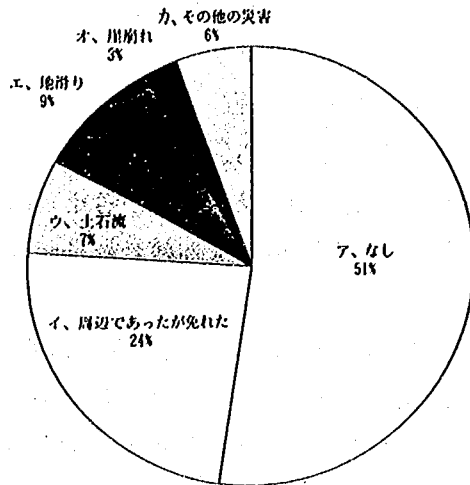
小谷村北部地区、糸魚川市平岩地区（大所、山之坊を含む）では11日16～18時頃からNTT回線、有線等が切断され、災害の初期の段階で住民と役場等との連絡は困難になっていた。したがって、避難は消防団員を中心とする地区住民が状況を判断し、自主的に行われたものがほとんどであった。したがって、図－8(d)から判るように避難の判断の情報源としては消防署員・団員からの情報が圧倒的に多く、次いで自治会や近所の人からの情報の占める割合も高く、孤立した中でミニコミ情報に頼って避難行動をとっていたことが判る。ただし、小谷村北部地区においてはアマチュア無線が、平岩地区においては立ち往生した登山バスの車載無線があったことから、断片的にはあるが情報収集に効果を発揮していたことは今後の防災体制の整備方針にとって示唆的である。

避難が比較的スムーズに行われたのは、過去の災害経験（図－8(a)）に基づく住民の防災意識の高さ、地域的なつながりの強さなども背景にあると考えられる。さらに、今回の災害では、被害の発生および避難の実施が17時頃から始まったことが、人的被害が全く無かった要因の一つと考えられる。すなわち、家族が揃いやすい時間帯であり、夏季であったため日没前で状況判断が行いやすかったのである。また、小谷村の山間部においては、非常に小さな集落の中で（ごく短距離にある）知人の家へ自主的に避難するという形態が多かったことも避難が迅速に行えて、避難時の2次災害を回避できた理由と考えられる。

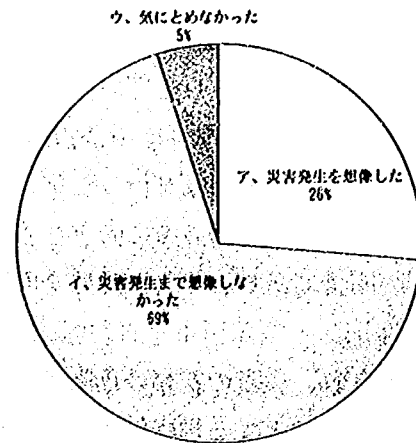
実際のところ、図－8(b)に示したように気象台の注意報・警報を聞いて災害を予想した人は、（他の地域に比べれば多いと思われるものの）全体の1/4にとどまっており、図－8(c)からも避難も災害現象を実際に見たり、役場や消防等からの避難の指示があってからということが判る。聞き取り調査の結果からも、避難は土砂流出の現象発生と同時か、やや遅れて実施されていることを考えると、タイミングとしては遅すぎたといえる。今回、土石流が発生した土石流危険渓流には全て砂防設備が設置されていたことを考えると、砂防設備が土石流等の発生規模を抑制したり、急激な流下を阻止したことで家屋等への直撃が防止され、人的な被害が生じなかったものと考えられる。

一方、避難勧告等の指示に対してはほとんどの人が肯定的に受けとめており（図－8(e)）、また図－8(f)からは、今後の防災対策についてはハード面の整備を極めて強く求めているとともに、情報伝達の機器・体制の整備の重要性を今回の災害を踏まえて認識したことが伺える。

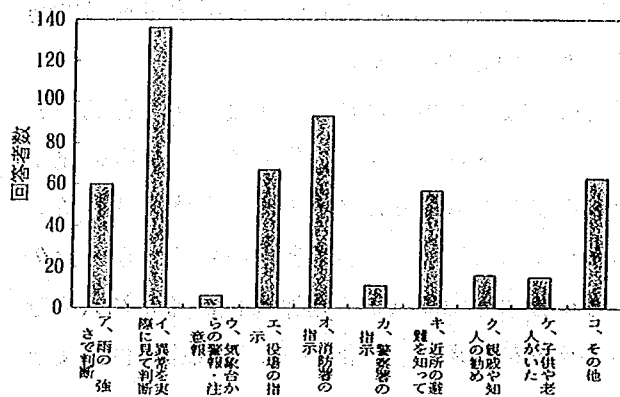
(a) 過去の災害の経験



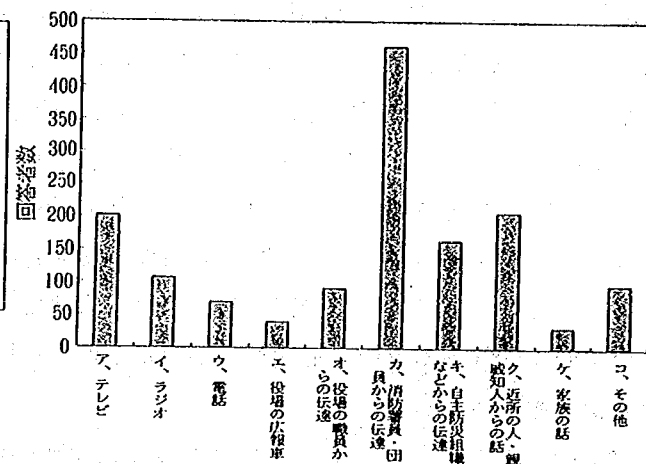
(b) 7月11日の注意報・警報を聞いてどう思ったか。



(c) 避難をした動機 (複数回答)



(d) 避難に関する判断に役立った情報源 (複数回答)



(e) 避難勧告は空振りを恐れずに積極的に出すべきか (f) 今後の土砂災害対策で推進してもらいたいことは何か

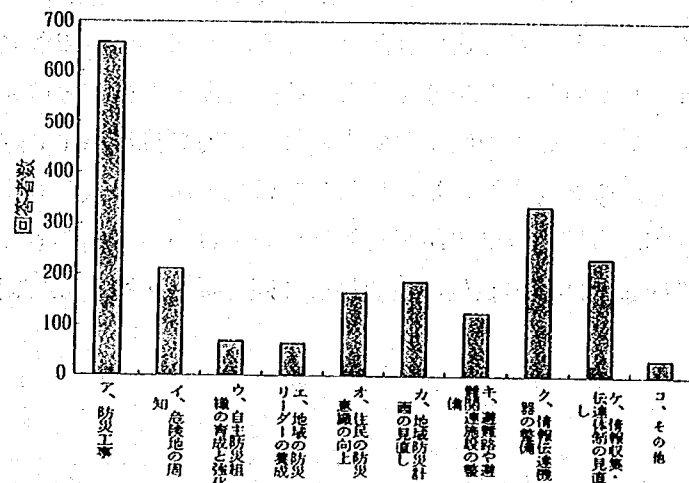
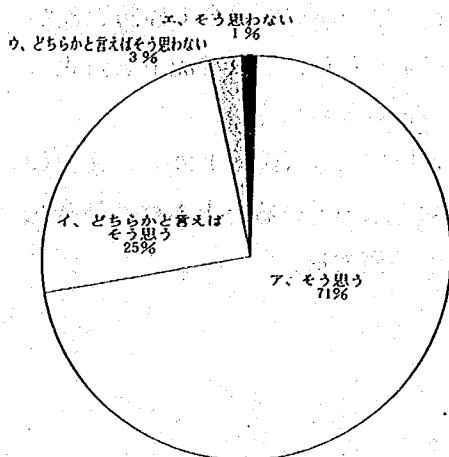


図-8 警戒・避難に関する住民アンケート結果 (抜粋)

4. 地すべり

4. 1 地すべり災害の発生状況

姫川流域では土谷川、中谷川流域に地すべり地が多く分布している。これら流域では、一般に新第三紀中新世後期、小川層（砂岩、泥岩の互層）で発生している地すべりが多い。特に、中谷川下流域に位置している清水山地すべり付近では断層に沿った貫入岩の影響による地すべりが発生している。姫川流域における地すべり災害の発生箇所は33箇所にのぼっている。このうち地すべり防止区域は29箇所、その他の箇所は4箇所であった。

これら地すべりの発生時期は、一部を除いて降雨の激しい時期と一致している。人家に被害を与えた地すべりの規模としては長さ、幅ともに50mを越えるような比較的大規模なものは少なく、地すべり地の表層部が崩壊したものが多く見られる。

姫川流域で被害の大きかった中谷川支流の城地すべり(写真-17)及び清水山地すべり(写真-18)の概要を以下に述べる。

(1) 城地すべり

城地すべりは、姫川の右支川である中谷川の左岸に位置する地すべり防止区域である。当地区では、地すべり発生時において地すべり対策工は実施されていなかった。本地すべりは、地すべり地を流れる十二沢の右岸側に長さ200m、幅200mの範囲で大規模な地すべりが発生し、移動した土砂が土石流化して流下したものである。土石流は十二沢下流に位置する民家の敷地内にも流れ込んだ。地元の方からの聞き取り調査によると、土石流は7月12日9時頃から5回位にわたって流下



写真-17 城地すべりと中谷川

し、土石流は中谷川本川の流れを滞らせたという。十二沢と中谷川の合流点には厚い土砂の堆積がみられることからその規模の大きさがうかがえる。現地の状況から見て、城地すべりはいくつかのブロックに分かれて発生し、移動した土砂が水分の供給を受けて土石流化したものと推定される。

(2) 清水山地すべり

清水山地すべりは、中谷川の右岸に位置する地すべり防止区域である。当地区は地すべり現象が顕著で長野県により古くから対策が実施されてきた地すべり地である。当地区では平成6年4月の融雪期に地すべりが発生し、災害関連緊急地すべり対策事業により対策工が施工中であった。4つの地すべりブロックを考慮し集水井、水路工等の抑制工と法枠工、アンカー工、杭工等の抑止工が対策工として計画されていた。今回の降雨により、対策工が施工途中であった長さ150m、幅50mの範囲が再び移動した。しかし、移動土塊は既に施工済みであった床固め工で停止した。

4. 2 地すべり防止施設の効果

これまでに施工されてきた地すべり防止施設の効果を評価することは現段階では難しいが、対策工が施工されていたブロックでの地すべりの発生はわずかであったことから、既に対策工が施工されていた箇所では対策工の効果があったものと考えられる。施工中の地すべり地では、対策工の機能がまだ十分に発揮されていなかったため、地すべりの発生が見られた。

また、中谷川下流部右岸に位置する小谷村清水山地区では、平成6年度に移動した箇所が、今回の豪雨で長さ150m、幅50mの範囲で再移動したが、幸いにも災害関連緊急事業で既に施工されていた床固工（高さ約7.5m）が地すべり土塊の下流への流出を押さえ、被害を最小限に食い止めた（写真-19）。床固工天幅では約4mの高さで土砂が堆積していた。



写真-18 清水山地すべり



写真-19 移動土塊の流出を防いだ床固工
（清水山地すべり）

4. 3 警戒避難の状況

今回の地すべり災害による人的被害は幸いにも皆無であった。この理由としては、降雨状況、出水状況から地すべり発生を危惧し、消防団の自主的判断により地すべり発生前に避難を行った箇所（城など）、地すべりの規模が小さかったために人的被害を免れた箇所（曾田、光明）、地すべりが発生したが、地すべり防止施設が地すべりの土塊流出を抑えさせた箇所（清水山）、幸運にも住人が当日いなかったため、人的被害を免れた箇所（北雨中）などであり、全ての箇所で十分警戒避難がなされていたとはいいいがたい。人家に被害を与えた地すべり地における警戒避難の状況を表－1に示す。また地すべり規模の大きかった城地区の警戒避難の状況を以下に述べる。

城地区では、7月11日夜、十二沢下流の地区の全住民に対して消防団は降雨状況、沢の出水状況より自主的に判断し、村で整備した有線回線を用いて各戸に避難を指示した。避難先は十二沢から100m程の距離にある中土小学校であった。地すべり発生の時刻は不明であるが、12日9時頃に地すべり土塊が土石流化し、十二沢を流下してきたようである。地区住民の話によると土石流は20分程度継続し、その後5回位にわたって土石流の流下があったという。13日には十二沢沿いの6軒を除いて帰宅した。消防団の自主的な判断によるものと思われる。残りの6軒は、15日もしくは16日（未明）に帰宅したとのことである。

表－3 地すべりによる被害状況及び避難状況（長野県小谷村）

流域	箇所名	防止区域 (ha)	被害状況			地すべり規模		避難状況	避難勧告 発令時刻	避難した 時刻	地すべり 開始時刻	家屋が破壊を 受けた時刻
			全壊	半壊	一部	長さ(m)	幅(m)					
姫川	北雨中	30.4			1	50	10	発生当時、誰も住んでいなかった。 (避難勧告は発令されていない。)	—	—	—	7/11 p.m.
	光明	—		1		10	5	災害の発生後、避難勧告を発令。	7/13 22:00	7/13 23:24	7/13 20:00 頃	7/13 20:00 頃
土谷川	曾田	34.2			4	10	10	消防団の判断により避難を指示。	7/12 12:20 (指示)	7/12 12:31	7/12 12:30	7/12 12:30
中谷川	城	25.1			1	200	200	消防団の判断により避難を指示。	7/11 p.m. (指示)	7/11 p.m.	7/12 9:00～ 10:00	同左時刻 5,6回発生

防止区域(ha)：地すべり防止区域として指定されている面積

5. 急傾斜地崩壊

5. 1 急傾斜地崩壊災害の発生状況

今回の災害で、報告された長野県の急傾斜地崩壊災害は、19件(家屋全壊1・半壊1・一部破損4)であった。特に今回雨量の多かった長野県白馬村・小谷村で、11件が発生している。表－4に白馬村・小谷村での急傾斜地崩壊災害の状況を示す。

表-- 4 急傾斜地による被害状況及び避難箇所（長野県白馬村・小谷村）

村名	箇所名	危険区域	被害状況			崩壊規模		避難した時刻	崩壊日時	備考
			全壊	半壊	一部	長さ(m)	幅(m)			
白馬村	内山	-	-	-	-	10	10			
	北谷地	-	-	-	-	7	10			
	ワビ平	-	-	-	1	30	15	7月12日 11時頃	7月12日 11時頃	湧水の前兆有り 崩壊後避難
	青鬼	-	-	-	-	7	6			7月11日20時45分、孤立したため避難要請有り
	通	-	-	-	-	10	10		7月11日 夕刻	土砂崩れのため 孤立
小谷村	峯	-	-	-	1	50	20	7月11日 18時頃	7月11日 20時頃	湧水、落石などの前兆有り
	ワビ平	-	1	-	-	30	20	7月11日 20時05頃	7月11日 20時11分	折からの豪雨により自主避難
	伊折	-	-	-	-	5	5	避難せず	7月11日 19時頃	
	光明	-	-	1	1	40	20	7月11日 17時頃	7月12日 0時12分	隣接斜面で小崩壊 (7/11 17時頃)
	下寺2	○	-	-	-	10	10		7月11日 19時05分	
	李平	-	-	-	-	20	10			7月11日19:07 白井沢流出の連絡有り

危険区域：急傾斜地崩壊危険区域として指定の有無

5. 2 急傾斜地崩壊防止施設の効果

白馬村・小谷村には、13箇所の急傾斜地崩壊危険区域が存在しており、崩壊防止施設が整備されていた。今回の急傾斜地崩壊災害発生箇所の11件のうち、急傾斜地崩壊危険区域内での崩壊発生は1箇所だけであった。

今回、急傾斜地崩壊危険区域の小谷村下寺2号地区で発生した崩壊の概要を以下に示す。

小谷村下寺2号地区では、擁壁工と擁壁上に落石防護柵が施工済みであった。崩壊は、擁壁工の背後斜面で長さ10m、幅10mの規模で発生した。崩土は擁壁工の背後の緩斜面（ポケット）に堆積しており、擁壁工がなかったら人家に被害が及んだ可能性があったと思われる。

5. 3 警戒避難の実態

白馬村・小谷村役場の聞き取り調査によると、実際に住民の避難、村の避難勧告の判断の主体となったのは、地元の消防団によるものが多かった。しかしながら、消防団は、主に水防活動に追われていたことから、急傾斜地崩壊危険区域への事前のパトロール等を行う余裕は少なく、崩壊が起こったと連絡が入った後に消防団が現場を確認して、2次災害のおそれがある場合、住民の避難および村の避難勧告をうながしていた。

また、今回の災害で、家屋被害が発生した6箇所（白馬村ワラビ平地区、小谷村峯地区・ワラビ平地区・光明地区、三水村釜淵地区、長野市池平地区）についての市村役場・地元住民の聞き取り調査においても、崩壊前に避難した箇所は小谷村峯地区と小谷村ワラビ平地区の2箇所であった。

(1) 白馬村ワラビ平地区

本地区では、ホテルの一部破損の被害を生じた（写真-20）。崩壊前の12日9時頃、斜面の下部より異常な湧水が認められていた。このことから、斜面崩壊の危険を考え、その日はマイクロバスを斜面から離して駐車させていた。崩壊斜面とホテルの間は、駐車場によって約30m程隔てられていたが、斜面は長さ30m、幅15mにわたって崩壊し、崩土がホテルの事務室まで到った。

(2) 小谷村峯地区

本地区では、家屋一部損壊1の被害が生じた（写真-21）。崩壊地は、長さ50m、幅20mである。本地区では、当該斜面から異常な湧水が認められ、家屋裏に落石があったことから、11日18時頃に自主避難を実施している。避難先は、体の不自由な老人がいたため約40m離れた親戚宅であった。崩壊は、その2時間後の20時頃に発生している。

(3) 小谷村ワラビ平地区

本地区では、家屋全壊の被害が発生した。崩壊地は、上部に村道及び擁壁がある傾斜 30° 前後の斜面で、崩壊は長さ30m、幅20mにわたり発生した。全壊の被害を受けた家屋は崩壊地の下方に建っており、折からの豪雨により崩壊の危険を感じた住民がたまたま崩壊の少し前に自主避難をしていたため、難を免れている。



写真-20 白馬村ワラビ平地区の崩壊状況



写真-21 小谷村峯地区の崩壊状況

(4) 小谷村光明地区

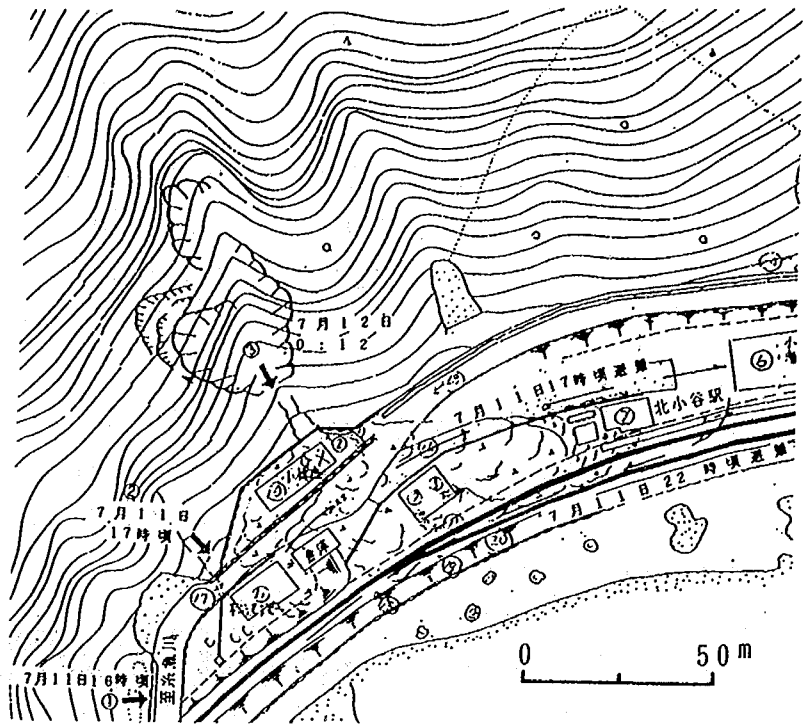
本地区では、家屋半壊・一部破損の被害を生じた。今回半壊の被害を受けた家屋は、すでに放棄された後で住民は住んでいなかった。そこで、一部破損を受けた家屋住民の避難の状況を記す（図－9 参照）。本地区では、折からの降雨により、11日16時頃に、当地区の北側、小谷橋付近の沢地形から鉄砲水がでた。続いて、17時頃に隣接斜面で小崩壊が発生した。この崩壊土砂は、直下の家屋に流入した。家屋に土砂が入ってきたことから、住人は、急遽、自主避難を実施した。まだ光明地区の崖は現在のように崩れておらず、小石が流れ出てきていた。

役場に入った連絡によると、本地区の崩壊は12日0時12分に発生した（写真－22）。

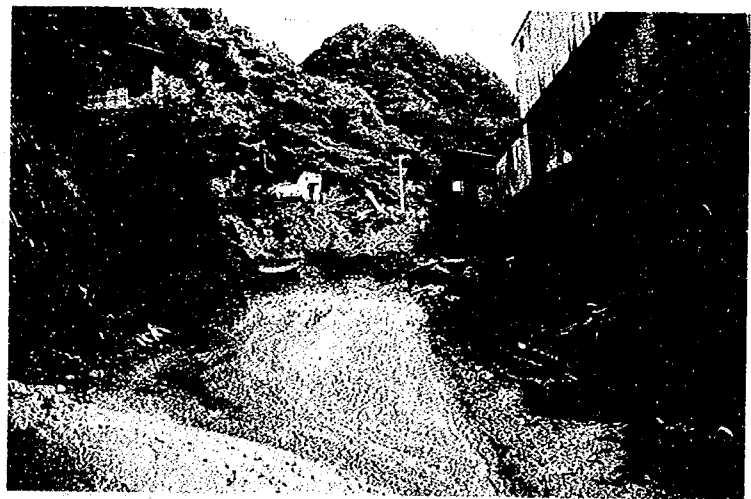
このように、聞き取り調査の結果、事前に斜面に異常な湧水や落石など崩壊の前兆現象が認められた箇所については、避難などを実施している例があったが、他の箇所では、斜面崩壊が発生した後で、避難を実施しており、崩壊位置が異なれば、大惨事に到った可能性もあった。

6. まとめ

平成7年7月11日から12日にかけて梅雨前線性豪雨が、長野県北部から新潟県南西部を襲い、各地に山腹崩壊・土石流・地すべり・急傾斜地崩壊などを発生させ、家屋の破壊、道路・鉄道の途絶、河床の著しい上昇など甚大な被害を生じさせた。この災害について、姫川流域における災害後の現地踏査等から次のことが判明した。



図－9 避難の状況



写真－22 小谷村光明地区の崩壊状況

(1) 災害発生の原因

災害発生の原因は、平成7年7月11日から12日にかけての梅雨前線性豪雨で、南小谷観測所では、最大時間雨量48mm/h（11日17時～18時）、累積雨量407mmであった。特に、11日16時～19時の3時間に125mmの強雨が集中した。

(2) 土砂移動の発生時期

山腹崩壊・土石流・地すべり・急傾斜地崩壊などの土砂移動現象が多発した地域は、累積雨量や時間雨量が大きかった地域であった。

また、土砂移動現象が発生した時刻は、強雨が集中した7月11日16時～19時に多かった。しかし、中谷川左支川十二沢の地すべりなどのように、強雨の集中した時刻から半日以上経ってから発生した事例もあった。

(3) 流域の地質と土砂移動の形態

今回の災害では、流域の地質によって土砂移動の形態は異なっていた。

古生層の地域（平川・松川の上流域）では、既往の崩壊地が表層崩壊的に拡大し、0次谷および1次谷から多数の土石流を発生させた。

新第三紀堆積岩類の地域（土谷川・中谷川の流域）では、地すべり的で崩壊深の大きな大規模な山腹斜面崩壊が多発した。

第四紀火山岩類の地域のうち、浦川の上流域では、既往の大規模崩壊地が崩壊深はそれほど大きくなく拡大し、溪床不安定土砂とともに土石流下した。また、土沢・湯原沢・蒲原沢・大所川の流域では、やや規模の大きな新規崩壊が発生し、谷出口の集落に土石流被害を生じさせるとともに、姫川本川に大量の土砂を供給した。

(4) 砂防設備等の効果

既設の砂防設備等は、土砂の生産・流出を抑制し、流下土砂を捕捉・調節して、被害の防止・軽減に効果を発揮した。しかし、施設の整備が十分でない場合は、土砂の流下を防止しきれず、被害が生じた。

(5) 土砂災害の形態

土砂災害の形態は、土石流や急傾斜地崩壊が直接に家屋・道路・鉄道に被害を与えたものと、流下した土砂が姫川本川の河床を上昇（糸魚川市平岩地区では10m）させ氾濫を引き起こし、沿岸の家屋・道路・鉄道等に被害を与えたものがあった。

(6) 警戒避難

災害初期の段階でNTT回線・有線等が切断され、役場と住民との連絡が困難となったため、住民が状況を判断して自主的に避難を行ったものがほとんどであった。

今回、住民の避難が比較的スムーズに行われたのは、過去の災害経験に基づく住民の防災意識の高さ、地域的つながりの強さなどが背景にあったと考えられる。しかしながら、一部で前兆現象を察知して避難した例があったものの、多くの場合、土砂移動現象が発生してから避難を開始しておりタイミングとして遅すぎた。にもかかわらず人的被害を免れたのは、砂防設備等が土石流等の規模や流下速度を抑制し、家屋等への直撃が防がれたものと考えられる。

7. おわりに

現地調査やアンケート調査を行うにあたり、お世話になった北陸地方建設局、長野県、新潟県、地元市役所・村役場および住民の方々に厚く御礼申し上げます。

<参考文献>

- ① 北陸地方土木地質図編纂委員会：北陸地方土木地質図・解説書，平成2年3月
- ② 建設省土木研究所砂防部砂防研究室・地すべり研究室・急傾斜地崩壊研究室：平成7年7月11日～12日長野県・新潟県豪雨による土砂災害（速報），土木技術資料VOL. 37No.10, 1995, 10
- ③ 長野県土木部：長野県北部7. 11～12梅雨前線豪雨災害，平成7年7月
- ④ 長野県土木部：平成7年長野県北部梅雨前線豪雨災害の記録，平成7年8月
- ⑤ 新潟県土木部：平成7年7・11水害，平成7年7月
- ⑥ 新潟県土木部：平成7年夏期豪雨<第2報>，平成7年9月

土木研究所講演会
講演集

ISSN 0386-5878
土木研究所資料第3398号
平成8年2月(1996)
企画部企画課

要旨:

本資料は、「平成7年度土木研究所講演会」の講演内容をまとめたものである。
この講演会は、土木研究所が実施している調査研究の成果や最近の土木技術に関する話題、動向などを各方面に紹介することを目的として、毎年1回開催している。

キーワード: 土木研究所講演会, 河道設計, ダム, 建設副産物, 環境, 交通事故,
橋梁, 積算

○

郵便はがき

切手を
はって
下さい

305-□□

茨城県つくば市大字旭一番地

建設省土木研究所

企画部企画課 御中

No. _____

No. _____

配布先氏名

配布先住所

○

○

土木研究所資料第3398号（土木研究
所講演会講演集）部

上記のとおり受領しました。

所 属（住所）

氏 名



○

土木研究所資料第3398号

土木研究所講演会講演集