

ISSN 0386-5878
土木研究所資料 第3050号

平成 3 年 度

土木研究所講演会

講演集

平成4年2月7日

建設省土木研究所

Copyright © 1992 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、土木研究所長の承認を得ずしてこれを行ってはならない。

土木研究所資料
第 3050 号 1992 年

平成 3 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 3 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

目 次

ダム及びダム湖の顔づくり・ネーミング……………	ダム部長	竹林 征三…	1
ーダム湖は村おこしの主役ー			
平成3年雲仙岳噴火に伴う火砕流・土石流……………	砂防研究室長	石川 芳治…	9
特別講演	財団法人建設経済研究所		
「地価と土地政策」……………	常務理事	長谷川 徳之輔…	39
新しい下水輸送システム……………	下水道研究室長	宮原 茂…	41
欧州諸国の積算事情……………	積算技術研究官	福田 昌史…	55
道路橋の免震・制震設計技術開発の現況……………	耐震研究室長	川島 一彦…	75
耐久性のある橋づくり……………	構造橋梁部長	藤原 稔…	109

ダム及びダム湖の顔づくり・ネーミング
ーダム湖は村おこしの主役ー

ダム部長 竹 林 征 三

ダム及びダム湖の顔づくり・ネーミング ーダム湖は村おこしの主役ー

1. 村おこし

(1-1) 村おこし・ふるさと創生

① 中央から地方への4つめのK

イ. 中央から地方への3K

・「公共事業」・「米」・「地方交付金」

ロ. 4つめのKは「ふるさと創生」の創意工夫のK

② 三種の神器・一村一品

イ. 三種の神器

・「イベント」・「箱もの」・「リゾート」

ロ. 町村長の知恵くらベコンクール

・日本列島金太郎館

③ 村おこし・評価するのは他の人

(1-2) 村おこしは町村の名前を覚えてもらうことから

① 全国三千余町村

② 名は町(体)を表す, 名はルーツを表す

イ. 南部町

ロ. 小笠原

ハ. 白浜

ニ. etc.

③ 町村名を覚えてもらう

イ. 何が何でも正しく読んでもらう努力

・八尾町(富山県)・中主町(滋賀県)・南部町(和歌山県)

(難読市町村の涙ぐましい努力)

ロ. 他の同じような町村と識別してもらう努力

・富士川町の努力

(同名の他の町村にまちがわれるみじめ)

大きい市町村が小さい市町村にまちがわれるみじめ

・野球の強い池田町 池田サミット

ホークスサミット

ハ. ところでその町どこにあるの

・甲子園 大阪府

④ 観光地・名産品と町村名がリンクすれば“あがり”

イ. チューリップの砺波

ロ. こんにゃくの下仁田

ハ. 石川啄木の渋谷村

ニ. 灘, 伏見の酒・都市の名が付いていることで商品の価値が高まる

2. ダム湖は素晴らしい景観の創出

(これ以上のランドマークはない)

環境庁のおすみ付き, 素晴らしい自然景観あるいは公園のシンボル

3. 土木構造物と名前

(3-1) ノーメンフレーチャシステム 組織的命名法

(分類の), (構造的), (体系的)

あるイメージを抱くとき, 最初に思い浮かべるのが, そのものの名前である。

名前はそのものの全体を端的に表す重要なシンボルである。

名前には無形の資産的価値 equity がある

(3-2) 人の名前

① 生まれた時・時代

② 出生の順序

③ 両親の名

④ 出生時の出来事

⑤ 子供の未来への願い

(3-3) 城の名 ・姫路の白鷺城

(3-4) 建築構造物

(3-5) 橋の名 ・岩国の錦帯橋

(3-6) トンネルの名

(3-7) ダムの名

4. ダム名・ネーミングの実際

「ダム・ダム湖名称考」目次

1. はじめに

2. ダム名あれこれ

2-1 ダム名・数え歌…… (一から無量大数まで)

2-2 動物づくし, 動物の名の付くダム…… (十二支)

2-3 植物づくし, 植物の名の付くダム…… (花札)

2-4 季節・曜日・天候づくし

2-5 身体づくし, 身体部名の付くダム

2-6 麻雀づくし

3. ダム名の実際

3-1 ダム名で連想されること

3-2 ダム名称の由来分類

3-3 河川名より命名されたダム

3-4 地名より命名されたダム

3-5 人名より命名されたダム

3-6 名勝地名より(名山, 狭谷名, 島名, 峠名etc.)命名されたダム

3-7 故事来歴から命名されたダム

3-8 貯水池の形状・位置関係から命名されたダム

3-9 祈願・願望をこめて命名されたダム

3-10 築造年代をあらわすダム名

3-11 祭神信仰・遺物

3-12 シリーズダム(複数ダム一事業)の場合

3-13 嵩上げダム・再開発ダム名の場合

4. まぎらわしいダム名

4-1 同名同音

4-2 同名異音

4-3 異名同音

4-4 その他まぎらわしいダム名

4-5 別名を持つダム

5. ダム名と地元問題

5-1 地元問題の事例

5-2 ダム名と町村の解散と誕生

(1) 町村が全村水没の場合

(2) 新しい町名の誕生

(3) ダム工事により新しくできた町

5-3 県境にあるダム

6. ダム名の改名について

6-1 改名の理由

(1) ダムサイトの位置の変更

(2) ダムサイトの地点字名から水没字名へ

(3) 同名の他ダムと混同されないために

(4) 印象の良くない名の改名

- (5) 読みまちがいがやすいため
- (6) 河川名から地名へ
- (7) 観光に資するように
- (8) 何回もダム名を変更したダム

6-2 改名の時期

- (1) 調査主体が変わった時
- (2) 予備調査時点から実施計画調査時点で
- (3) 実施計画調査時点から建設事業着手時点で
- (4) 建設完了時点から管理者に移行時点で
- (5) 供用中の時点で

6-3 改名の実際手続き

- (1) 直轄事業
- (2) 補助事業
- (3) 公団事業
- (4) 電力・農林等の事業

7. ダム湖名

7-1 ダム名・貯水池名・湖名・発電所名

- (1) ダム名のみしかついていない事例
- (2) ダム名から、自然発生的に貯水池名がついた事例
- (3) 貯水池名がダム名より有名になっている事例
- (4) 湖名の方がダム名より有名になっている事例
- (5) 発電所名の方がダム名より有名になっている事例

7-2 まぎらわしいダム湖名

7-3 ダム名とダム湖名が同じ

7-4 ダム名とダム湖名

- (1) ダム名が河川名でダム湖名が地名の場合
- (2) ダム名が地名でダム湖名が河川名の場合

7-5 広域地方名が名付けられたダム湖

7-6 地元の市町村名を組み合わせたダム湖名

7-7 近傍の山岳名勝・観光地が名付けられたダム湖

7-8 近傍の溪流名勝地が名付けられたダム湖

7-9 美しいダム湖の景観を祈願して名付けられたダム湖

7-10 ダムの形状・貯水池の形状から名付けられたダム湖（ダム下流の受益地の形状から）

7-11 記念物や名産品から名付けられたダム湖

7-12 地元の伝説より名付けられたダム湖名

7-13 詩人・文化人等有名人が名付けたダム湖名

7-14 ダム所有会社の社長名、ダム施工建設会社名が名付けられたダム湖

5. 地域づくりにおけるダム及びダム湖のネーミング

(5-1) ネーミングの位置付

- ① 商品のネーミング… **一過性** でよい。ヒットするまで次々と名前を変更する。
- ② 地域や土木構造物等社会資本のネーミング… **継続性** が要求される
一度つけられた名前は余程のことがない限り長く用いられることになる。
連続的・継続的なイメージの形成が求められている。

(5-2) ネーミングの現状

- ① コンセプトを上手に表現しているというよりもむしろプロセスにおいて事務手続き上用いられている名をそのまま何となく用いられている。
- ② 管理する立場の名称
国道〇〇号線…順番をぬかすことはない。
県道〇〇△△線…起点と終点を間違えることがない
都市計画道路〇〇停車場線…都市計画とのリンクが明確である
〇〇川ダム, 〇〇川第一ダム, 〇〇川第2ダム, 地名〇〇ダム
これでは味もそっ気もない。
愛称をつけようという地域の要望がある。
変更してほしいという地域の要望がある。
- ③ 文化的な歴史的な地域の遺産を残したいという要望がある。

(5-3) コンセプトからネーミング

- ① 地域の個性・ダムの個性の発揮
- ② キャッチフレーズ
売り出したい地域のPR効果の大きいものにしたい…「コンセプト」
- ③ これに対する **ブランディングデザイン** が決まり
- ④ ネーミングされる

(5-4) ネーミングの3要素

(価値を高める) (使われる名を付ける) (歴史を残す)

- ① 歴史的蓄積のある地域にはネーミングの要素は多くある
- ② 古いものばかりを用いれば良いというものではない。
- ③ しかし、古いものには歴史に耐えてきた重みがある。
そのまま全国的にも通ずる資格がある。
- ④ 古いものには土着の匂いと強いアイディンティを見ることが出来る。
- ⑤ 歴史を残すネーミングと新しく使われる言葉のネーミングとは適度のバランスが必要である。
- ⑥ 新しく使われる言葉には新しいイメージを作る夢がある。

6. ダム名に地域の誇りを, ダム湖名に地域の夢を

(6-1) 1つのダム建設は地域をネーミングする最大のチャンス

- ① ダム名
- ② ダム湖名 (貯水池名)
- ③ 発電所名
- ④ 橋梁名
- ⑤ トンネル名
- ⑥ 付替道路名
- ⑦ 代替地名・公園・広場名
- ⑧ その他

(6-2) 地域のイメージには5つの視覚的要素がある

- ① バス…道路, 河川, 鉄道のような線としてとらえる。○○通り, ○○川, ○○線, ○○川ダム, ○○川第2ダム, etc
- ② ノード…結節点としてとらえる。港, ターミナル, 駅, 交差点
落合ダム, 二股ダム, etc
- ③ ランドマーク…目印としてとらえる。
- ④ デイストリフト…地域面としてのイメージでとらえる。
- ⑤ エッジ…境目としてのイメージでとらえる。

(6-3) ネーミングの意義

- ① 名を付けることは簡単に出来る。けれどもいつも、ふさわしい名を付けることが出来るとは限らない。
- ② 名前を付けることには様々な意味がある。
 - ◎科学的管理的な表現
 - ◎イメージやムード作りに役立つ詩的な表現
 - ◎宣伝的な表現
- ③ 名が備えている意味にはそれを付ける人の意図が盛り込まれている。
それを多くの人が使うことにより様々な情報が伝達される。
- ④ 夢が託されている名には、それをを使う人に夢を伝達することが出来る。
- ⑤ ネーミングは単にネーミングに終わらないで、夢を育て、コンセプトを作り出す力がある。
- ⑥ 名前だけが一人歩きをする。

7. おわりに

(7-1) ネーミングのチェックポイント

- ① 覚えやすい名前

記憶作用には3つある。

Ⅰ. 記銘しやすい, Ⅱ. 保持しやすい, Ⅲ. 再生しやすい

そのためには、まぎらわしいものはダメ、なじみのあるものや、印象的なもの

② 音の聞こえの良い名前

言いやすい名前、聞きやすい名前

③ 書きやすい、そして読みとりやすい名前

できればカタカナ、横文字の名前は避けたい。

○詩人の草野心平の表現によれば

・漢字は硬い感じ

・平仮名は天平美人の眉

・カタカナはジャックナイフ

④ 文字のイメージの良い名前

・ネガティブのものはだめ

・意味あいがダム湖の性格からしてポジティブなもの、観光、景観、安全性

⑤ 一過性・流行のものは避ける。宣伝やキャッチフレーズはさりげなく。

⑥ 国際化、情報化社会を迎えて、できれば外国語にも翻訳しやすい名前

または分かりやすい名前。

(7-2) 命名の手続き

① 命名者について

i. 一般公募方式

ii. 学識経験者等による委員会方式

iii. 文化人あるいは有名人による命名

iv. 事業担当者

② 名前の広報

i. 記者発表

ii. 命名板への揮毫

iii. 親柱、説明板

③ 名前の登録

i. 国土地理院への登録

平成3年雲仙岳噴火に伴う火砕流・土石流

砂防研究室長 石川芳治

平成3年雲仙岳噴火に伴う 火砕流、土石流災害

1. はじめに

長崎県島原半島のほぼ中央に位置する雲仙普賢岳(1,359m)(図-1)は198年間の眠りから醒めて噴火を開始した。噴火に伴い東麓を流れる水無川では1991年5月から現在(12月)まで土石流、火砕流が相次いで発生し、人命や家屋に多大な被害を与えた。本報告は雲仙普賢岳の噴火に伴い発生した火砕流と土石流についてその実態と特徴をまとめたものである^{1)、2)}。

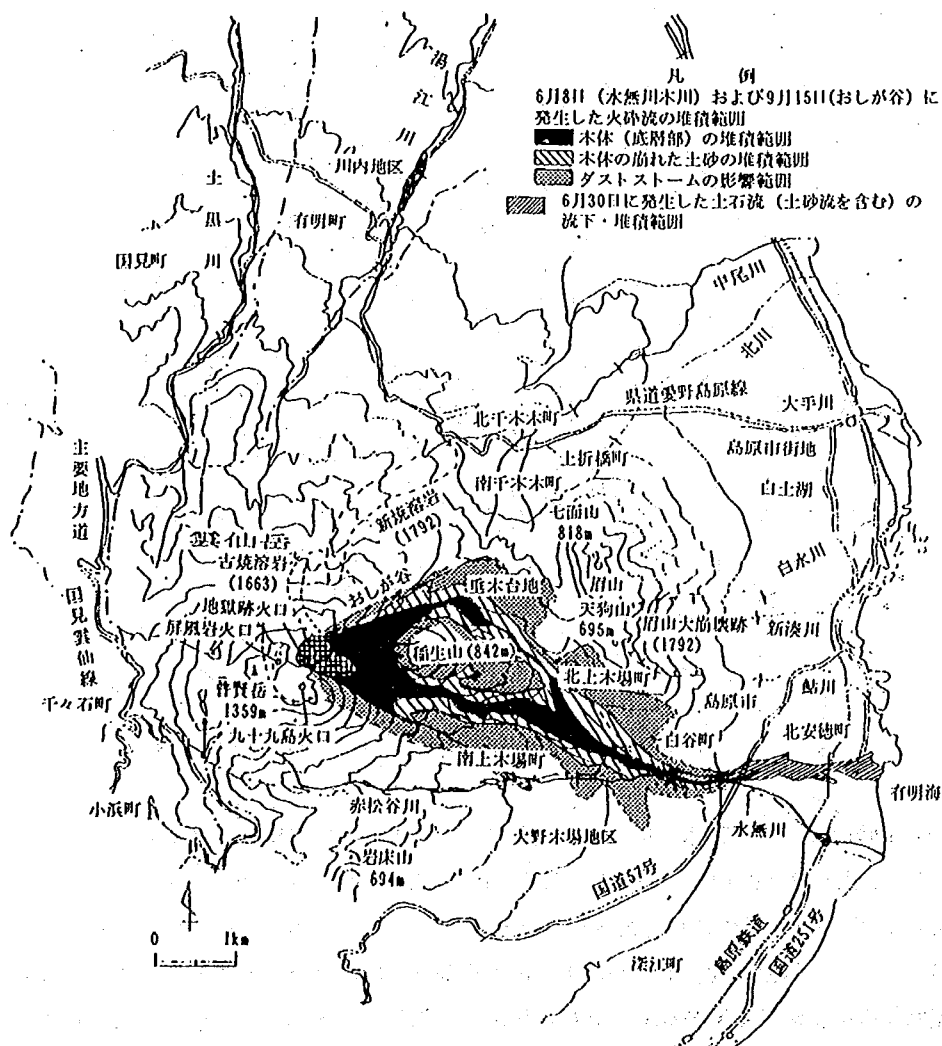


図-1 雲仙普賢岳周辺位置図

2. 噴火の開始と土石流の発生

1990年7月頃から島原半島及びその西方では地震および微動が増加し、1990年11月17日には雲仙普賢岳山頂東側の地獄跡火口と九十九島火口で噴火が始まった。その後、噴火は静まったが、1991年2月12日普賢岳山頂付近の屏風岩火口で噴火が始まり多量の火山灰を噴出した。この火山灰は山頂付近では厚い所で約1.5mも堆積し、浸透能の低下等により土石流の発生する危険性が高まった(図-2)。

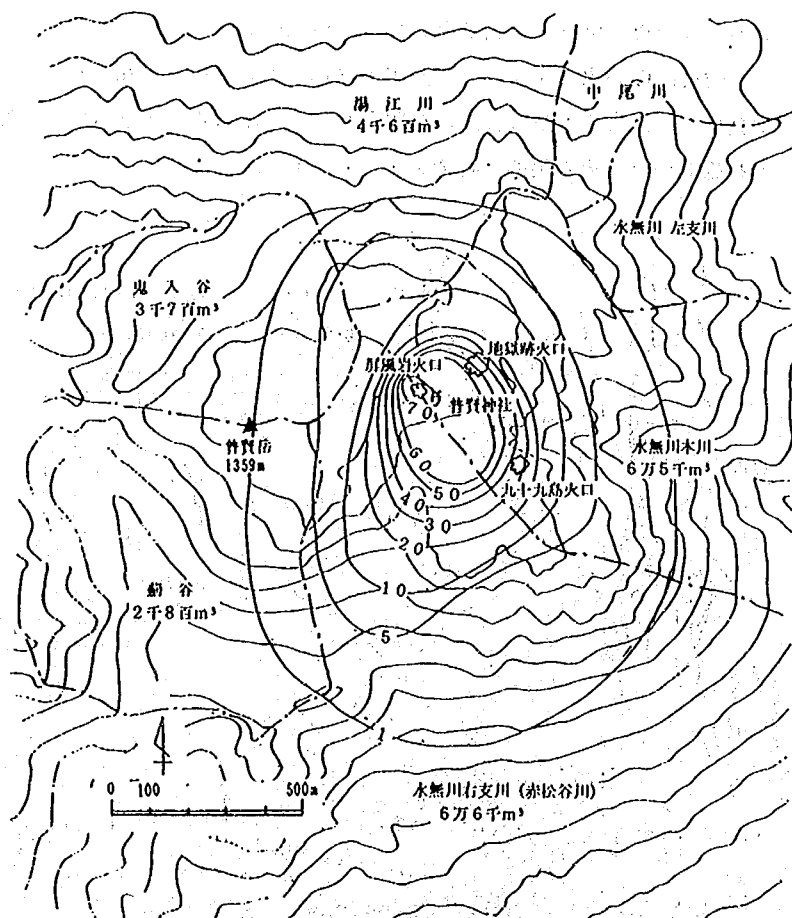


図-2 降灰堆積厚分布図 (1991年3月10日調査、単位；cm)

5月15日1時48分、水無川本川に設置されたワイヤーセンサーが噴火以来初めての土石流を検知した。この日、土石流は断続的に発生し、約7万 m^3 の土砂が水無川本川の上流部から流下し、そのうち約2万 m^3 が砂防ダムにより捕捉され、約5万 m^3 が下流の河道に堆積した。その後も19日、20日、21日、26日と土石流が発生したが、土石流監視装置、除石ならびに下流の流路工や河川工事による河道断面の確保が効果を発揮し、さらに住民の避難や土石流に対する対応も比較的スムーズに行われたこともあって、人的被害や人家への被害は発生せず、わずかに橋梁2基、小屋1棟、電柱3本の被害が生じたのみであった。

溶岩ドームの出現と火砕流の発生

5月13日頃からは雲仙普賢岳山頂直下で地震や微動が頻発し始め、5月20日には地獄跡火口に溶岩ドーム（第1ドーム）が現れた。この溶岩ドームは日毎に成長して、24日には火口東側の水無川本川源頭部に溶岩の一部がこぼれ落ち始めた。これが今回の火砕流の開始であり、その後連日、ごく小規模の火砕流が頻発している（図-3）。

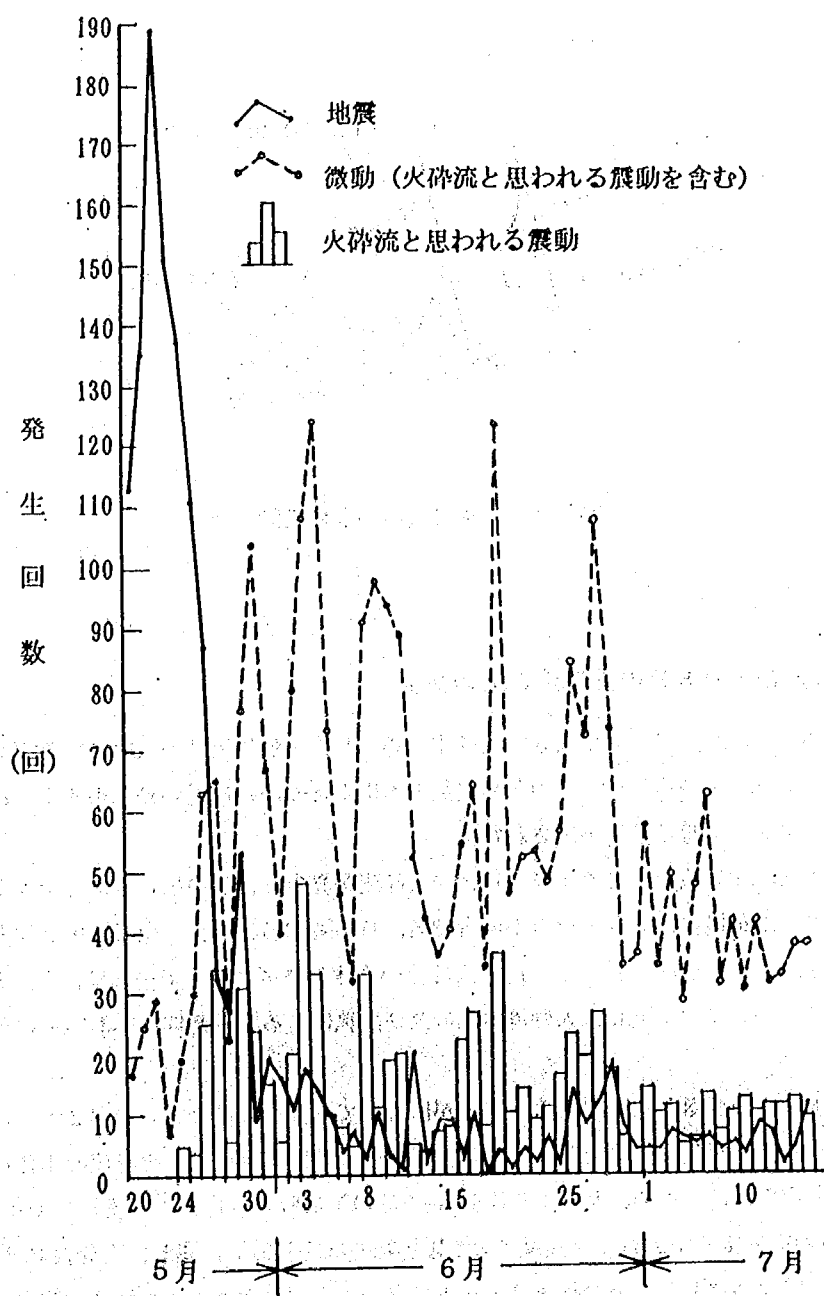


図-3 火砕流・地震等の発生回数

火砕流とは、高温の溶岩片、軽石、火山灰がそれらから発生する高温の火山ガスにより浮いた形で山腹斜面を流下する現象で、流下に伴って空気の乱れやガスの噴出に伴う熱雲を伴って高速で流動する。一般にその温度は摂氏数百～1,000度、速度は数10～100m/秒以上にも達する。火砕流も、重力で流下する他の流体と同様、地形的に低い所に沿って流動するが、高速のため低い尾根は容易に乗り越える。火砕流の流れの構造は図-4に示すように本体である底層部 (debris avalanche) と上部 (dust storm) からなる。

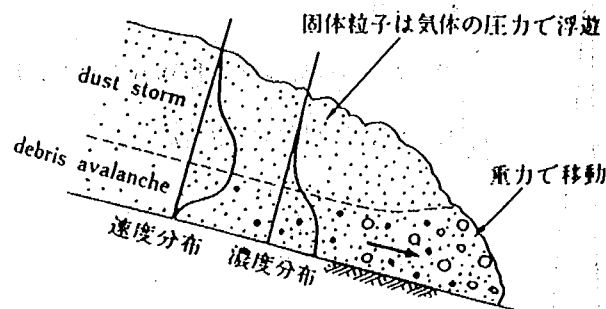


図-4 火砕流の流動模式図

4. 6月3日及び6月8日の火砕流とその被害

5月26日、29日には水無川でやや大きな火砕流が発生し、水無川流域の人家まで約200mのところまでダストストームが到達した。このため水無川本川の谷の出口に近い島原市北上木場等では火砕流と土石流を警戒して避難勧告が出された。

6月3日午後3時50分頃それまでで最大規模の火砕流が発生し、谷の出口にあった北上木場町及び南上木場町の一部を襲い、死者・行方不明者43名、負傷者10名、焼失・全壊家屋49棟という大惨事が発生した(図-5、写真-1、表-1)。火砕流の本体及びダストストームは、それぞれ火口から約3.6km及び約4.5kmまで流下し、火砕流の土砂及び熱風による影響範囲は約3.3km²に達した(写真-2)。

その後第1ドームの崩落した跡に第2ドームが出現して成長を続けた。この第2ドームの大部分が崩落して、6月8日19時50分頃それまでで最大規模の火砕流が発生し、火砕流の本体は水無川沿いに流下して河道を土砂で埋め、火口より約5.5km下流の国道57号付近まで到達した(図-6、写真-3)。この時の火砕流の土砂および熱風による影響範囲は約6.0km²に達し、火砕流による焼失・全壊家屋は更に72棟増加した。その後第2ドームは普賢岳東側斜面で成長を続け、溶岩ドームの一部が崩落することにより極く小規模な火砕流が水無川本川上で連日発生した。

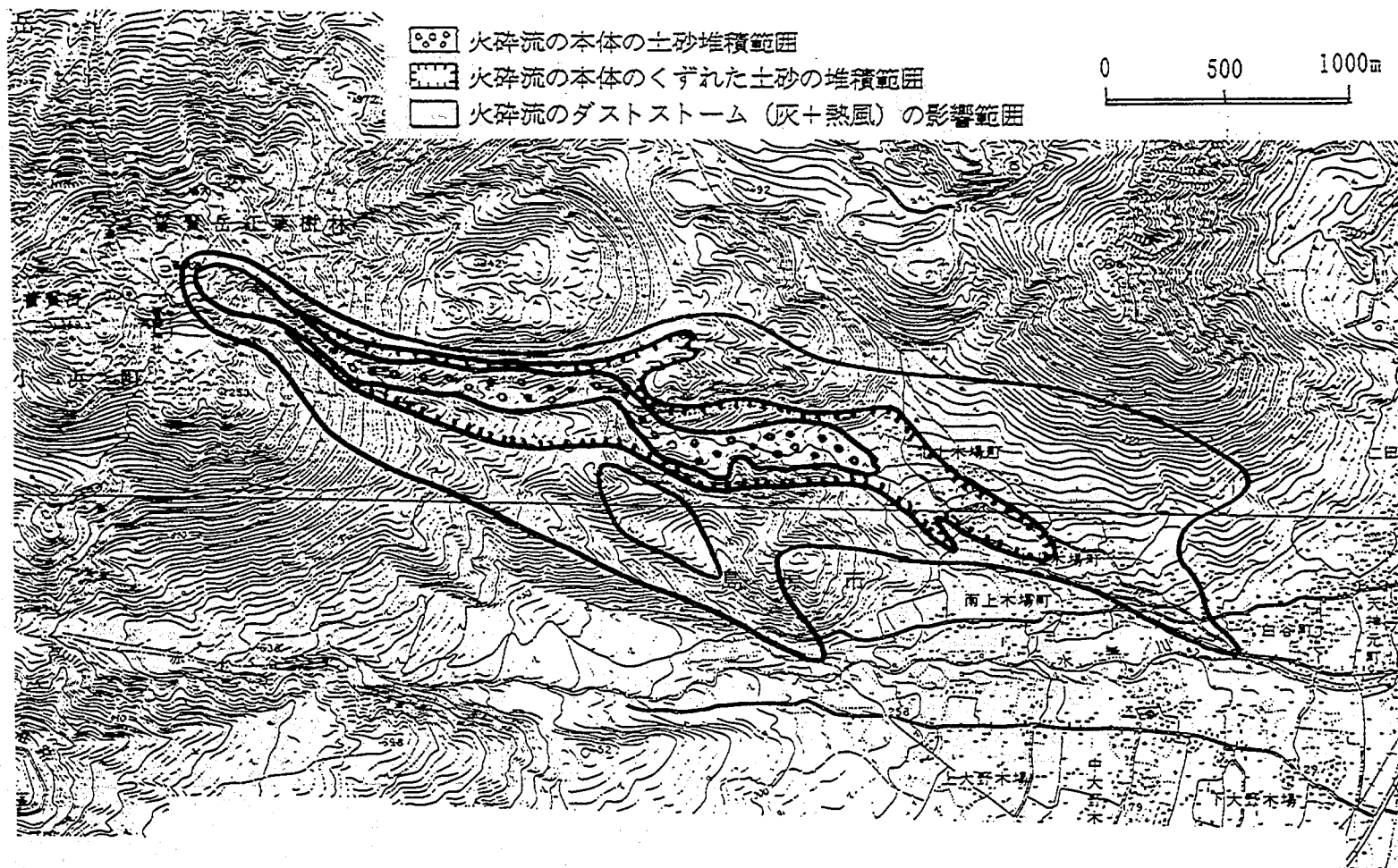


図-5 6月3日に発生した火砕流の堆積範囲

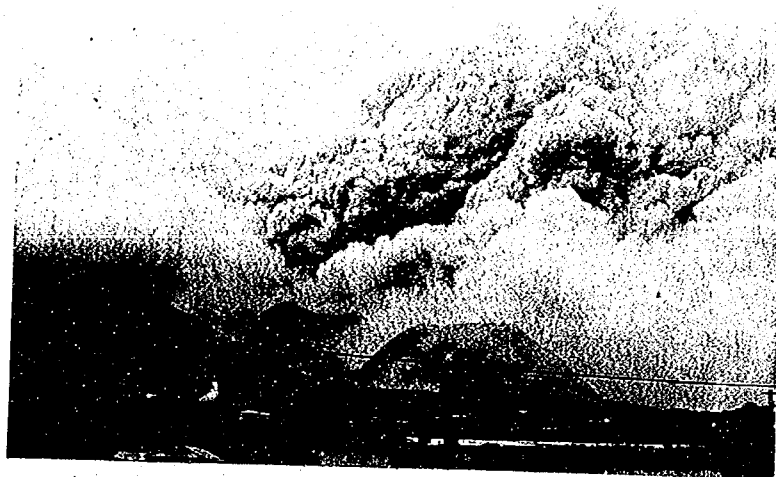


写真-1 6月3日に発生した火砕流によるダストストーム
(南方より水無川本川中流域を望む)

表-1 火砕流・土石流による人命・家屋への被害

種 別	発生日月	河川名	人的被害（人）		家屋の被害（棟）			
					住家（棟）		非住家（棟）	
			死 者	負傷者	全壊	半壊	全壊	半壊
火砕流	5月29日	水無川	0	1	0	0	0	0
	6月3日	水無川	43	10	49	0	130	0
	6月8日	水無川	0	0	72	0	135	0
	9月15日	水無川	0	0	49	0	144	0
土石流	5月15日	水無川	0	0	0	0	0	1
	6月30日	水無川	0	0	40	17	61	16
		湯江川	0	1	0	8	0	17
合 計			43	12	210	25	470	34

注）死者とは行方不明者も含む。

注) 死者には行方不明者も含む (11月10日現在)



写真-2 6月3日に発生した火砕流の流下・堆積域全景
(正面が雲仙普賢、右手が眉山)



写真-3 6月8日に発生した火砕流の下流堆積部

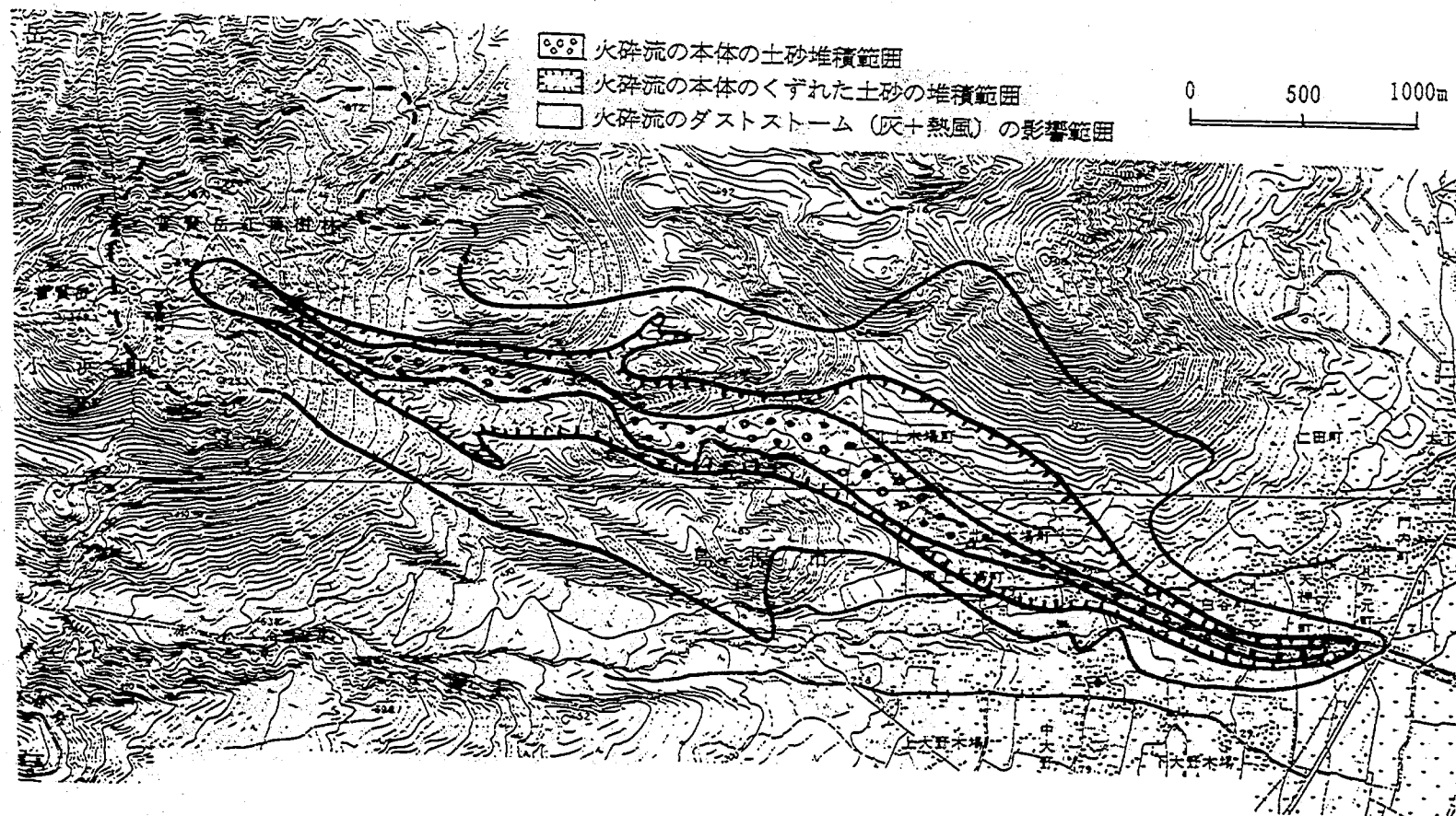
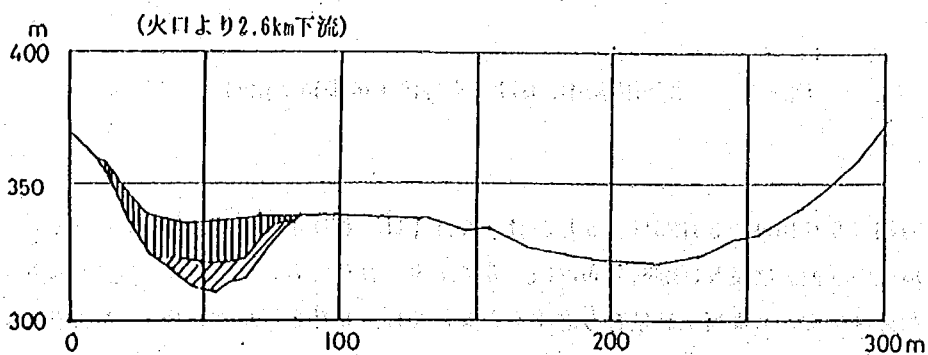
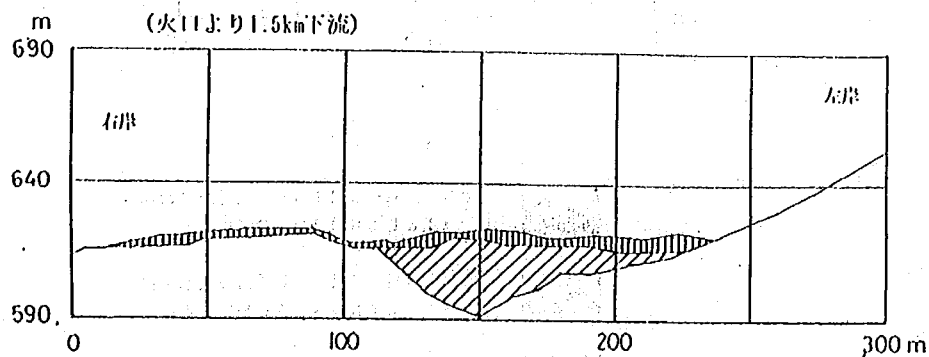
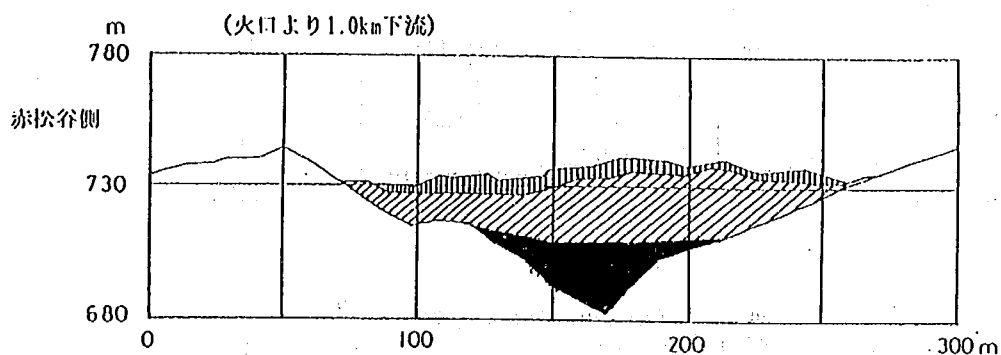
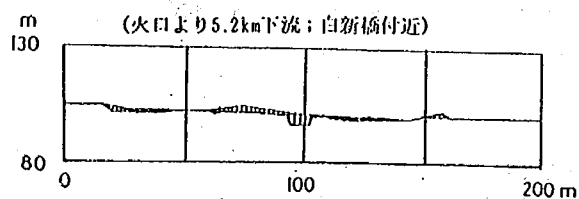
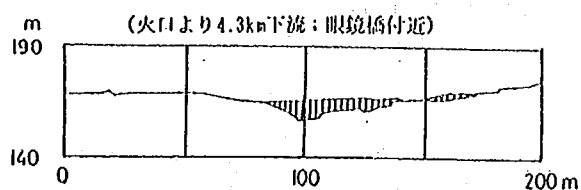
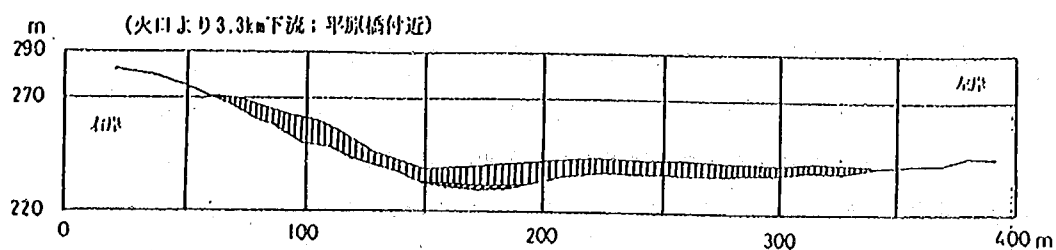


図-6 6月8日に発生した火砕流の堆積範囲

5. 5月、6月に発生した火砕流による土砂の流下・堆積特性

5月16日、5月28日、6月4日、6月16日に撮影した空中写真を用いて水無川流域の火砕流堆積地区を川沿いに100m間隔で空中横断測量を行い各測線毎に横断図を作成する（図-7）とともに、各撮影期間毎の火砕流による土砂の堆積量を求めた。6月16日迄の水無川上流域における土砂堆積厚は最大で約60mにも達し、隣の赤松谷との境をなす尾根との高低差がほとんど無くなり、このため火砕流の一部は赤松谷川の支川内に流入している。





FL 例



6月4日～6月16日の火砕流堆積物
(主として6月8日火砕流による)



5月28日～6月4日の火砕流堆積物
(主として6月3日火砕流による)



5月16日～5月28日の火砕流堆積物
(主として5月26日の火砕流による)

図-7 水無川本川における火砕流土砂堆積変化図 (横断面図)

3時期(5月16日～5月28日、5月28日～6月4日、6月4日～6月16日)の火砕流による水無川流域への堆積土砂量及び縦断分布は図-8に示すとおりである。この3時期間に発生したごく小規模な火砕流による堆積土砂量を考慮すると5月26日、6月3日及び6月8日に発生した火砕流による堆積土砂量(流下土砂量)はそれぞれ約30万 m^3 、約250万 m^3 、約350万 m^3 と推定される。

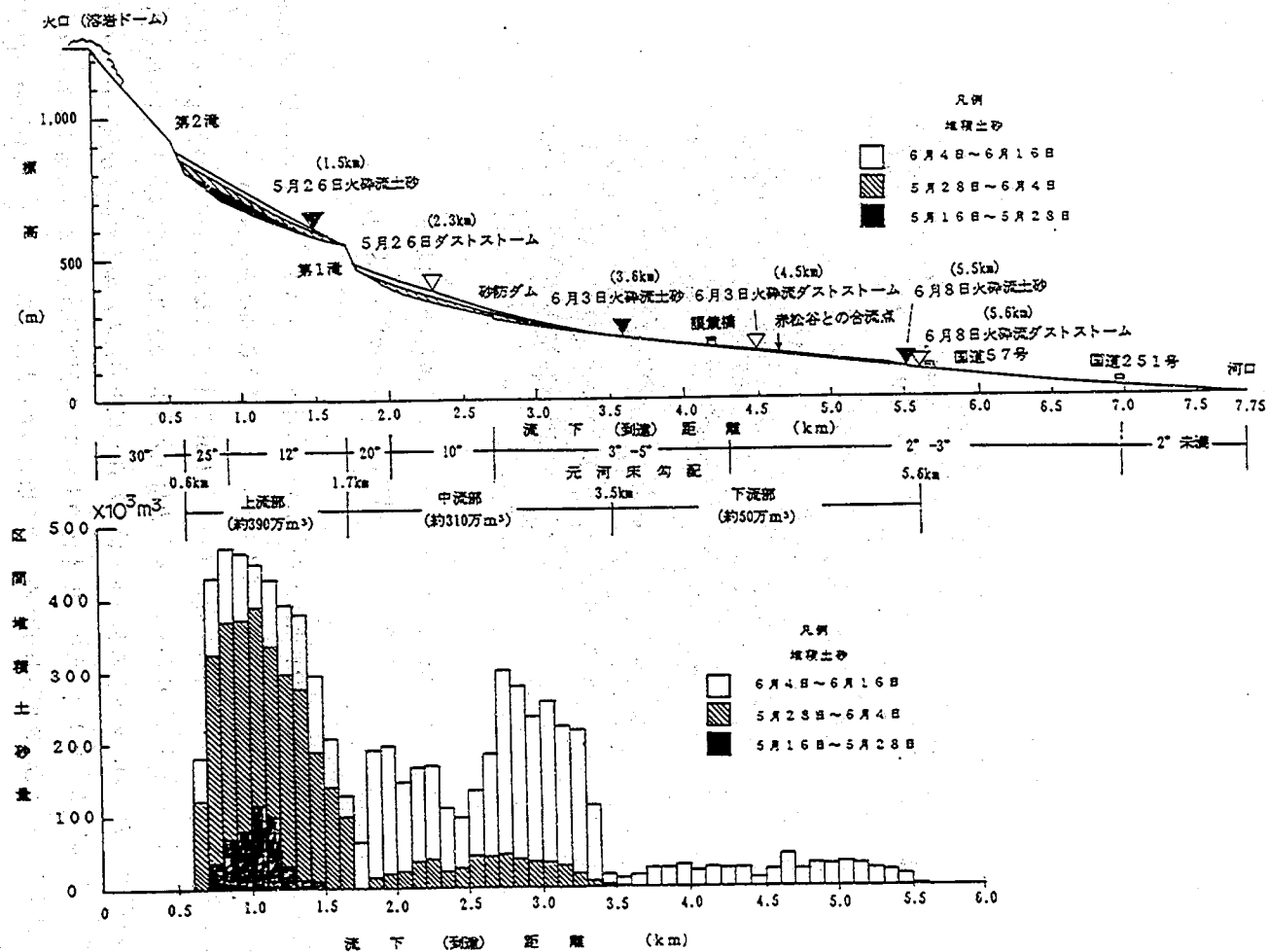


図-8 水無川本川における火砕流の土砂流下・堆積

6. 火砕流のダストストームによる災害

6月3日及び6月8日に雲仙岳水無川流域で発生した火砕流ではダストストームによる被災範囲はそれぞれ約 2.3km^2 及び約 4.1km^2 で火砕流本体の土砂の堆積範囲約 1.0km^2 及び約 1.9km^2 の2倍以上にも達している。

ダストストームが流下した範囲では木造家屋が炎上し、自動車のタイヤが焼失した（写真－4）。



写真－4 火砕流のダストストームにより焼けた自動車

（島原市北上木場町、タイヤが焼失している）

木材が着火する温度及びタイヤの着火温度から谷の出口付近でのダストストームの温度は約 450°C 以上はあったものと考えられる。また、ダストストームの流下範囲にある樹木やコンクリート電柱の倒れ方、裏返しになった自動車等を考慮すると、6月3日の火砕流では谷の出口付近で瞬間最大風速 $40\sim 50\text{m}/\text{秒}$ に匹敵する風圧が働いたものと推定される。水無川沿いには針葉樹及び広葉樹の森林が広がっていたため、ダストストームの流下に伴う風圧のために多くの樹木が倒された（図－9、写真－5）。図－5，6より、火砕流の本体の土砂はある程度谷地形に沿って流下するがダストストームは小さな谷地形に影響されずに直進する傾向があると言える。このような性質は導流堤等により火砕流の本体の土砂の流下方向を変化させてもダストストームの流下方向は必ずしも同様に変化しないことを示し、火砕流対策施設の計画、設計を行う上で重要である。

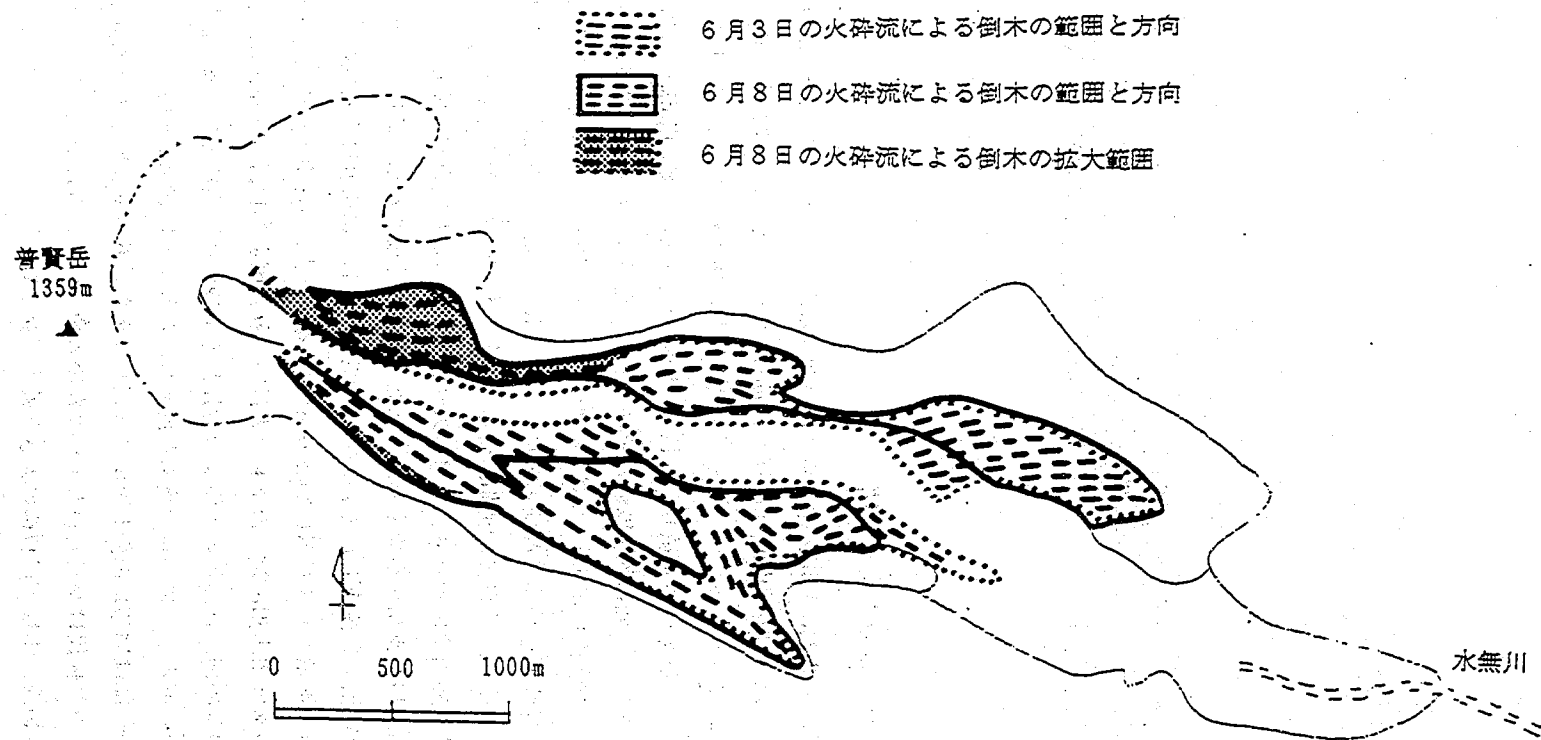


図-9 6月3日と6月8日の火砕流による倒木の範囲と方向



写真-5 6月3日の火砕流の熱風による倒木

7. 6月30日発生 of 土石流による災害

6月30日、島原半島東北部は梅雨前線の活発化に伴う雷雨性の豪雨に見舞われた。最大時間雨量及び6月30日の日雨量は雲仙岳測候所でそれぞれ64mm、188mmに達した。水無川と湯江川では土石流が発生したが発生時刻はワイヤーセンサーの切断時刻から18時30分頃と推定される。

水無川での土石流発生は火砕流堆積物が堆積している本川（流域面積約2.3km²）ではなくて、水無川左支川のおしが谷（流域面積約3.2km²）及び水無川右支川の赤松谷川（流域面積約5.9km²）からである（図-10）。水無川本川の上・中流部に堆積していた火砕流の堆積物が土石流の発生源とならなかったのは、火砕流堆積物の温度がまだ高く、降雨が蒸発して表面流の発生が困難であったためと考えられる。今後この火砕流堆積物が冷却すると土石流の発生源となる可能性が高い。

6月30日時点では水無川の河道は6月8日の火砕流堆積物により国道57号付近まで埋まっていたため、赤松谷川と水無川左支川から流下してきた土石流は合流後水無川の河道の左岸側（相対的に低い）に集中して扇状地上を流下した（写真-6）。空中写真判読によれば土石流による新たな土砂氾濫範囲は約35万m²で堆積した土砂量は約38万m³である。一方、土石流の一部は土砂流となって国道57号より下流の水無川本川河道を流下したと推定され、国道251号付近の河道に約8万m³の土砂が堆積した。このため河床は護岸の天端まで上昇して土砂流は周辺に氾濫し家屋に被害を与えた。

赤松谷川では、土石流とともに多量の流木が流下し、これが赤松谷第2砂防ダム下流の橋梁に詰まったため土石流の一部は周辺に氾濫し家屋に被害を与えた。6月30日時点では水無川下流域は警戒区域に指定されており住民は全員避難していたため人命への被害はなかったが、土石流の氾濫、堆積により全壊家屋40棟、半壊家屋17棟の大きな被害が発生した。

一方、普賢岳の北側斜面を流れる湯江川（流域面積約13km²）でも6月30日の豪雨により山頂付近

の溪床堆積物が流動化することにより土石流が発生した。土石流は流下途中で溪岸及び溪床侵食により土砂及び樹木（杉、檜が多い）を巻き込んで土砂量及び流木量を増大させながら流下した。土石流とともに流下した流木は山頂より約6 km下流の川内地区で町道に架かる高野橋（通水幅約7 m、高さ約3 m）、水分橋（通水幅約5 m、高さ約3 m）を閉塞したために土石流は2ヶ所で氾濫し、負傷者1名、半壊家屋8棟、橋梁の流出1基等の被害を与えた。このように湯江川における土石流の氾濫は主として土石流に含まれていた流木による橋梁箇所の河道閉塞が大きな原因と考えられる。



図-10 6月30日に発生した土石流の流下、氾濫、堆積範囲



写真-6 6月30日水無川に発生した土石流の氾濫・堆積

8. 土石流発生と降雨及び降灰の影響

火山噴火に伴う降灰により山腹斜面に火山灰が堆積するとこれが降雨による水を含んで透水性が低下し表面流出率が増大する。さらに堆積した火山灰自体が水を含んで流動化し、これが泥流となって流下することから小さな降雨でも土石流や泥流が発生し易くなることは、有珠山³⁾や桜島^{4), 5)}の例からも知られている。雲仙普賢岳においても2月12日の噴火の際に多量の火山灰が噴出して山頂付近に堆積した。この火山灰は60%粒径が約0.2~0.5mmで20%~30%の粘土及びシルト分を含んでいる細粒のものである。2月12日以降も多少の降灰があったが5月15日に噴火後最初の土石流が発生するまでに山頂付近の降灰分布には大きな変化は見られなかった。

2月12日の多量の降灰以後の雲仙岳測候所における日雨量及び最大時間雨量の推移と土石流の発生の関係を図-11に示す。5月15日の日雨量と最大時間雨量は2月12日の降灰以降ではそれまでで最大であり、この豪雨が水無川における土石流発生の直接の引き金になったと判断される。また、降灰後、土石流が一度発生すると小さな降雨でも土石流（土砂流）が発生し易くなる傾向が認められる。5月26日、29日には、それまでと比較してやや大きな火砕流が発生して上流の河道に多量の火砕流堆積物を堆積させたため小さな降雨では土石流が発生しなくなり、さらに6月3日及び8日の比較的大きな火砕流の発生後には土石流の発生が見られなくなった。6月30日の最大時間雨量64mmはこの地区のほぼ4年確率雨量にあたる雨量であることから、噴火による降灰が土石流を発生し易くする大きな要因となっていると判断される。また、図-12に示すように5月15日~26日の土石流（土砂流に近いものも含む）の発生時の時間雨量は約10mm前後、連続雨量も約20mm~100mmと通常の溪流での土石流発生時の雨量に比較して小さく、水無川上流域への多量の降灰による影響が認められる。

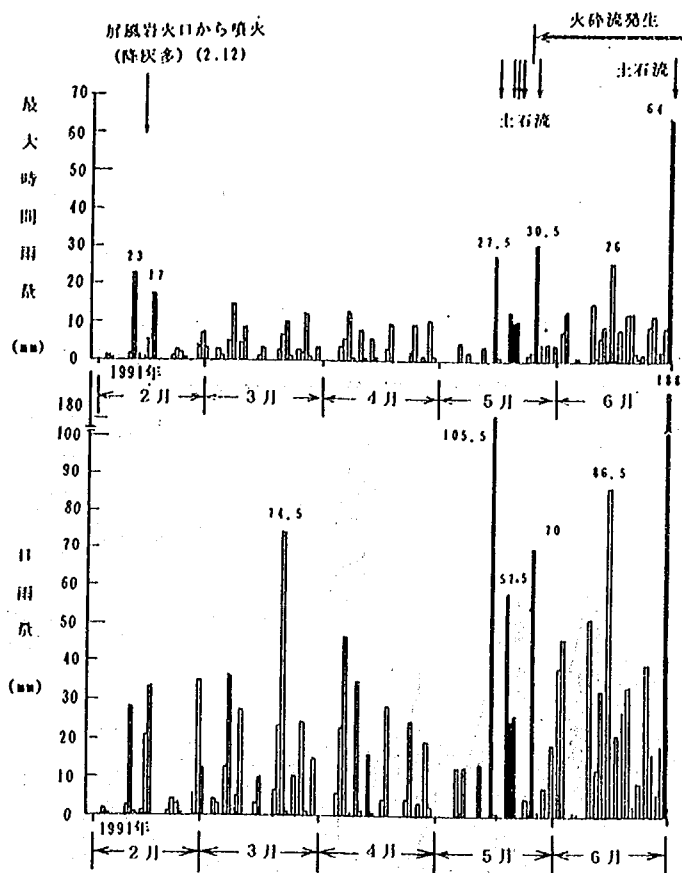


図-11 日雨量、最大時間雨量の推移と土石流の発生（雨量観測所：雲仙岳測候所）

有珠山においては1977年8月7日～13日の噴火に伴う多量の降灰直後から時間雨量10mm前後、日雨量20mm前後で周辺の溪流において泥流が発生したが、最大の被害が出たのは1978年10月24日に周辺の溪流で発生した大規模な泥流によるものであった³⁾。このように降灰による泥流（土石流）の発生に対する影響は長期間に渡るものと考えられる。加えて水無川に堆積した火砕流の温度が低下した後の状況を考慮すると、雲仙岳周辺の溪流においても長期的な土石流発生に対する警戒と対策が必要と考えられる。

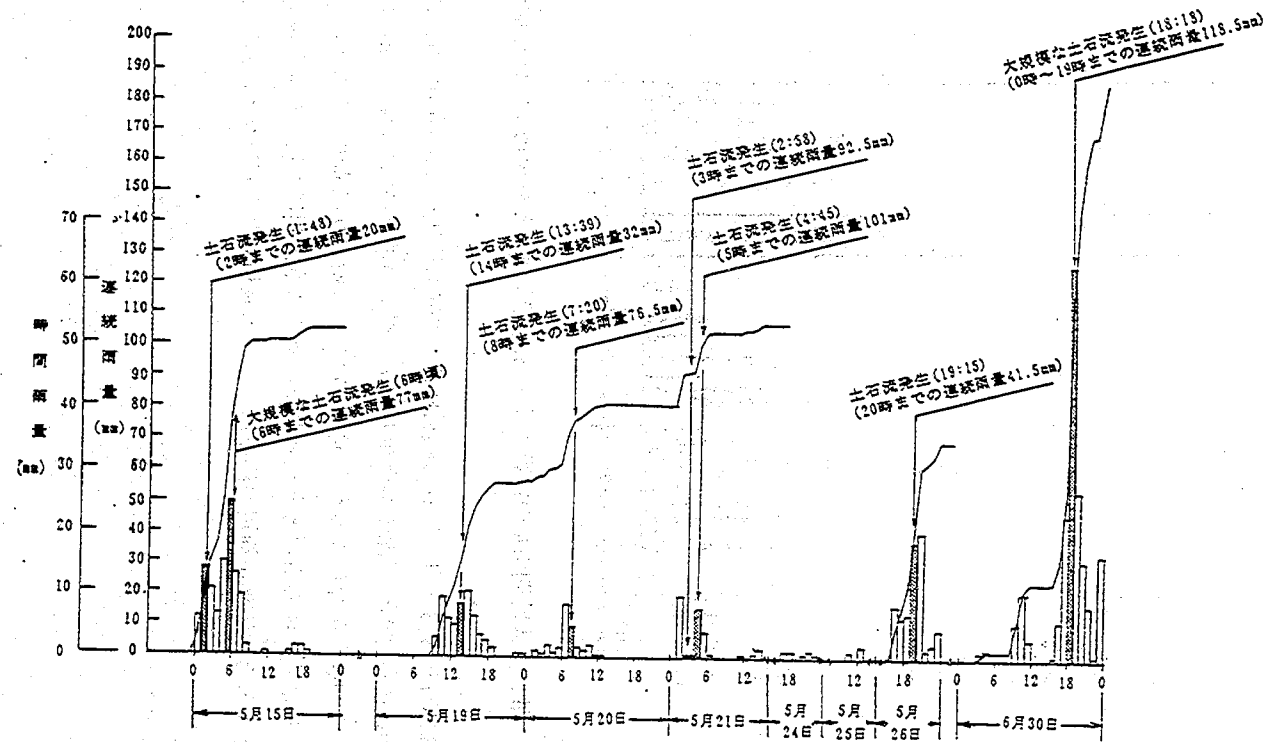


図-12 雨量の推移と土石流の発生 (雨量観測所：雲仙岳測候所)

9. おしが谷に発生した火砕流

8月12日からは火山性地震が急増し、8月14日にはそれまで水無川本川に火砕流をもたらしていた溶岩ドーム（第2ドーム）の西端に新たな溶岩の湧きだし口ができ、新しい溶岩ドーム（第3ドーム）が成長していることが確認された。この第3ドームの成長に伴う溶岩塊の崩落により北東斜面（水無川左支川であるおしが谷）に極く小規模な火砕流が発生し始めた。8月26日午前7時47分にはおしが谷でそれまでで最大規模の火砕流が発生した。火砕流の本体は山腹途中にある稲生山（標高842m、比高約40m）に衝突して左に進路を変えおしが谷に流下したと推測される（図-13）。おしが谷を流下した本体は火口より約2.0km下流にある垂木台地（標高560～580m、比高約40～80m）に衝突して右方向に進路を変えおしが谷の流路に沿って流下し、火口より約2.4kmの地点まで到達した。ダストストームの一部は幅約500mに渡って垂木台地の上に広がり樹木を焦がした（写真-7）。その後も第3ドームの成長は続き、極く小規模の火砕流が頻発した。

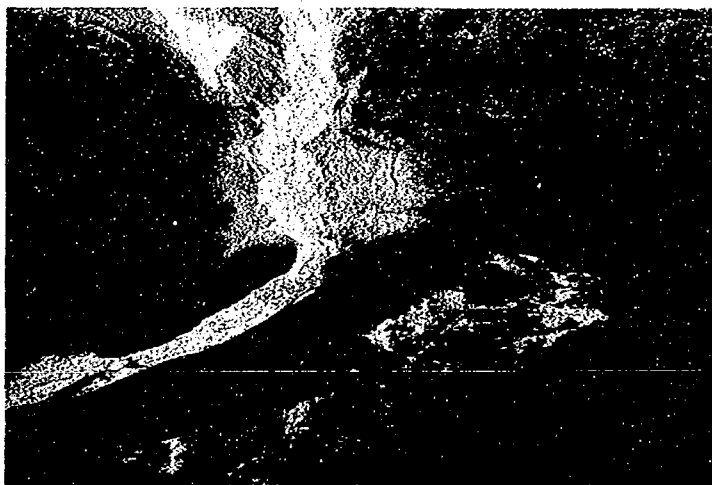


写真-7 8月26日におしが谷で発生した火砕流の堆積状況
（上方が雲仙普賢岳の山頂、右手が垂木台地）

9月6日午後9時21分にはおしが谷でそれまでで最大規模の火砕流が発生した。火砕流の本体は稲生山方向と直接おしが谷方向の2方向に分かれて発生したが、火口から約1.5km下流付近で合流し、本体は垂木台地に衝突して右に曲がり、おしが谷に沿って流下し、火口から約2.6kmの地点まで到達した。ダストストームは垂木台地の上に広がり、一部は台地を乗り越えて中尾川の上流域に侵入し、南千本木町の人家まで約600mの地点に達した（図-13）。なお、この時のダストストームの先端はおしが谷に沿って流下し火口から約3.1kmの地点に到達した。

第3ドームの崩落は9月15日午後4時頃から活発化し、おしが谷で火砕流が頻発したが、午後6時54分には継続時間が11分10秒の、おしが谷ではそれまでで最大規模の火砕流が発生した。この火砕流は垂木台地にぶつかり、方向を右に変えて流下し、水無川本川に合流した後、本体（底層部）

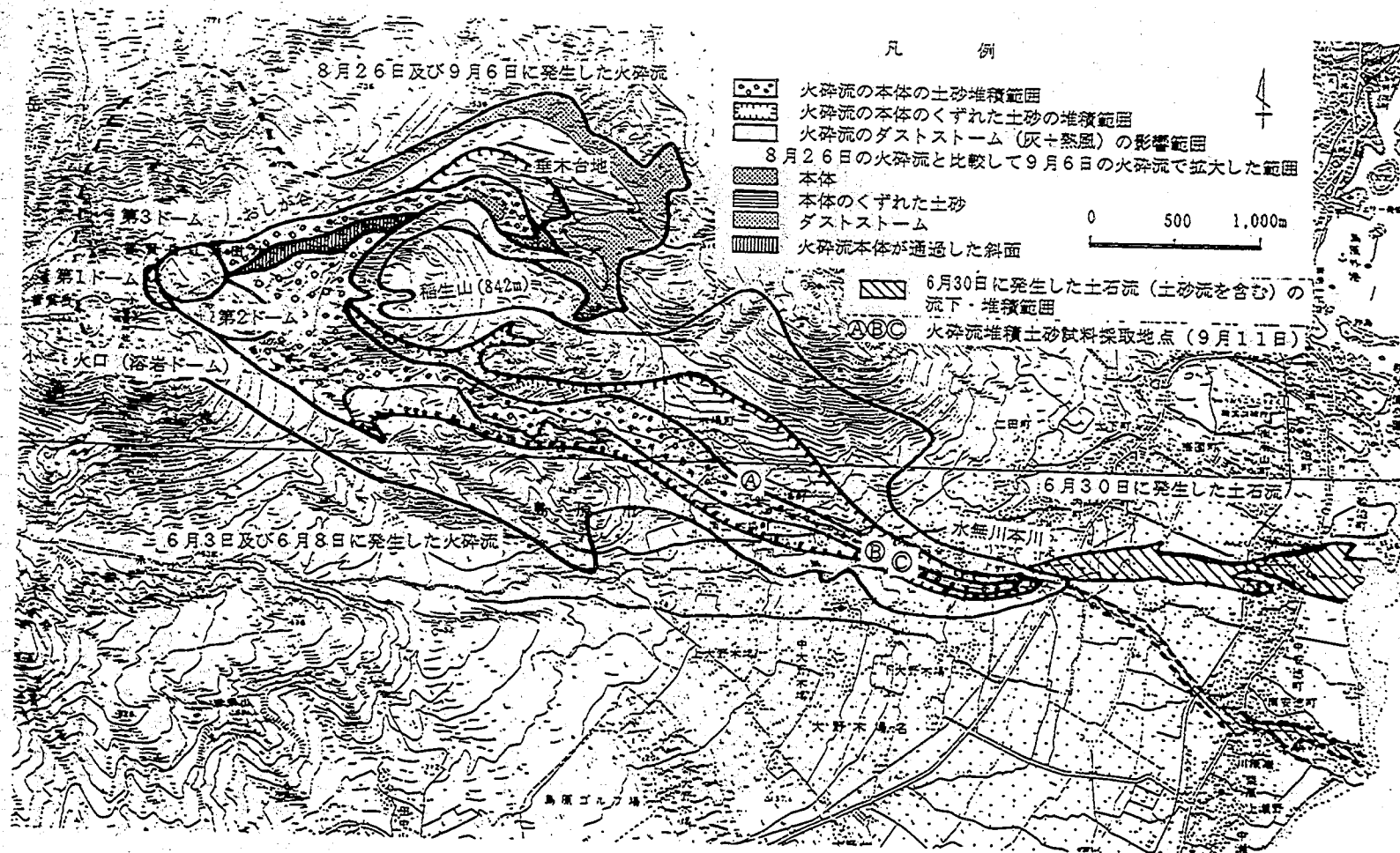


図-13 8月26日及び9月6日に発生した火砕流の堆積範囲

は左に進路を変え水無川本川に沿って流下し火口から約5.8km下流の白谷橋付近に到達した（図－14）。一方、ダストストーム（熱風＋火山灰）は一部を除いて垂木台地を乗り越えないで本体と同様に右に進路を変えて流下し、水無川本川に合流した後、本体とは違ってほぼそのまま直進し、幅約900m、最大長さ約600mで拡散し、島原市土木場地区および深江町の大野木場地区を襲った（図－14、写真－8）。被害のあった区域は警戒区域となっていたため人的な被害はなかったが、本体のくずれた土砂およびダストストームにより住家48棟、比住家128棟が焼失した。なお、平成3年の噴火に伴う雲仙岳周辺での火砕流・土砂流による人命・家屋への被害を表－1に示す。



写真－8 9月15日の火砕流の堆積状況
（中央が稲生山、左下が深江町大野木場地区）

10. 9月に発生した火砕流による土砂の流下・堆積特性

おしが谷で火砕流が発生する前の7月28日とおしが谷で火砕流が発生してからの9月8日（9月15日の大火砕流の発生する前）、9月22日（9月15日の大火砕流の発生した後）の3時期に撮影された航空写真を用いて、おしが谷流域の火砕流堆積地を川沿いに100m間隔で空中横断測量を行い各測線毎に横断図を作成する（図－15）とともに、各撮影期間毎の火砕流による土砂の堆積量を求めた（図－16）。9月22日までおしが谷における土砂堆積厚は横断図により最大で約50mにも達し、垂木台地付近ではおしが谷と垂木台地の比高は減少していた。このため、今後おしが谷への火砕流による土砂の堆積がすすめば、大規模な火砕流が垂木台地を乗り越えて島原市の千本木地区に達する危険性もあり、千本木地区と上折橋地区では住民が避難を行っている。

2時期（7月28日～9月8日、9月8日～9月22日）の火砕流による水無川左支川おしが谷流域への堆積土砂量は表－2に示すとおりである。なお、表－2には5月下旬以来水無川流域で発生した火砕流による堆積土砂量も合わせて示す。8月29日（8月26日の小規模火砕流の発生後）、9月5

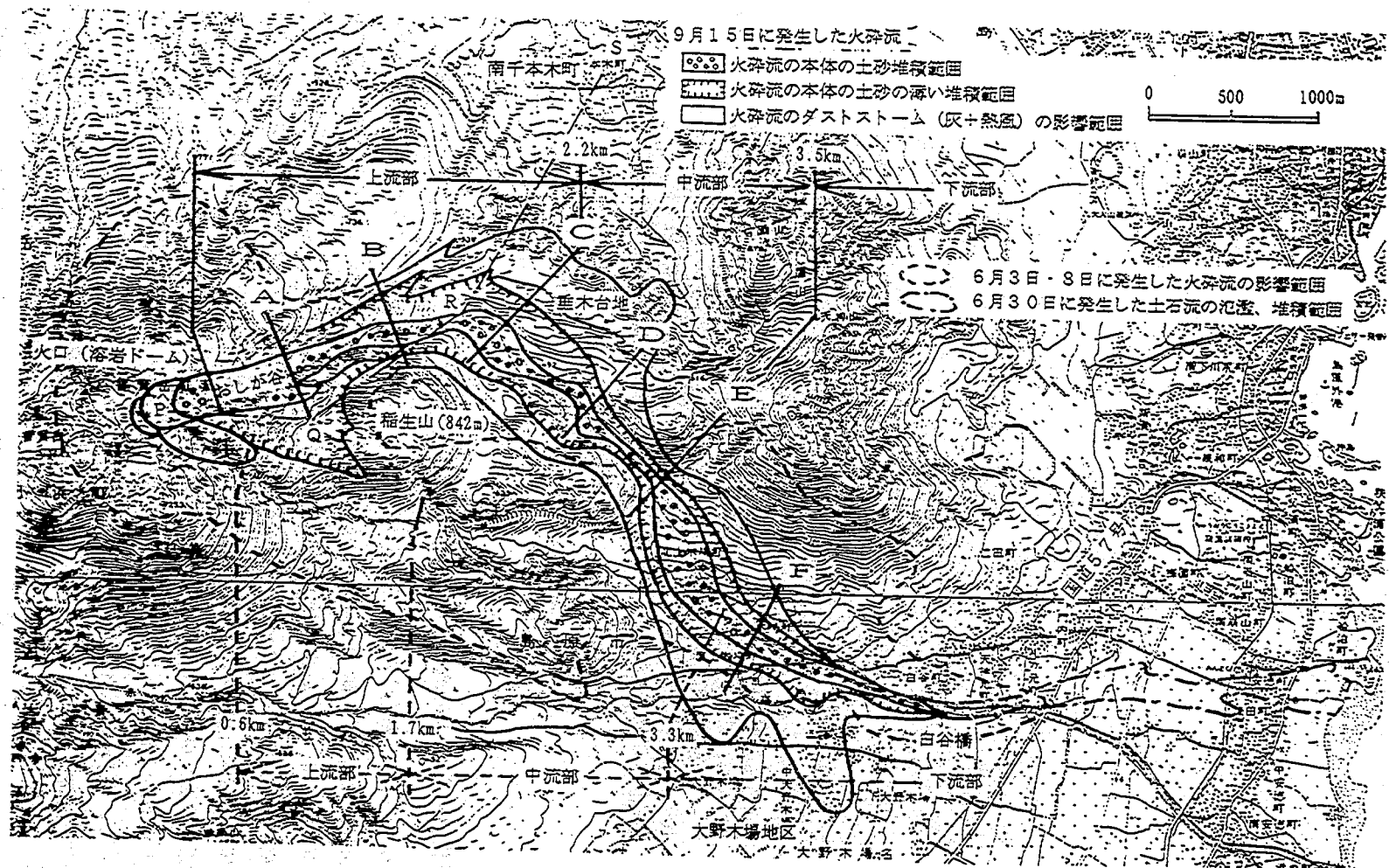
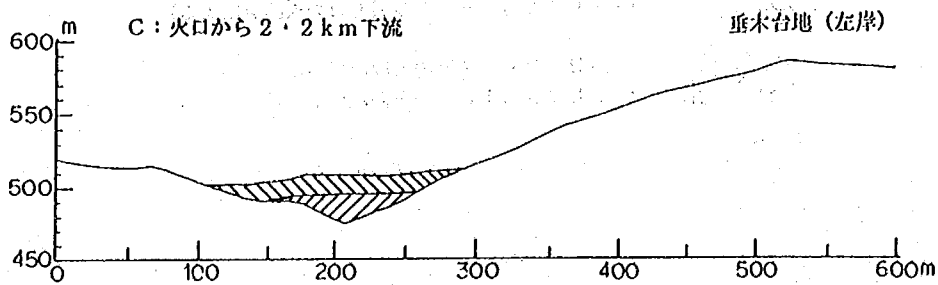
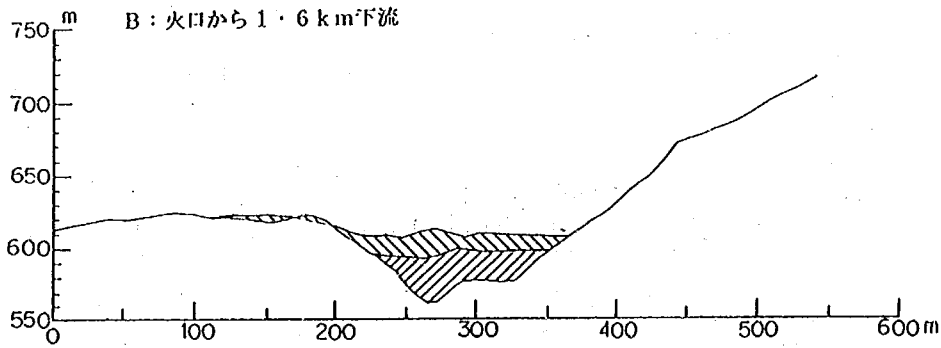
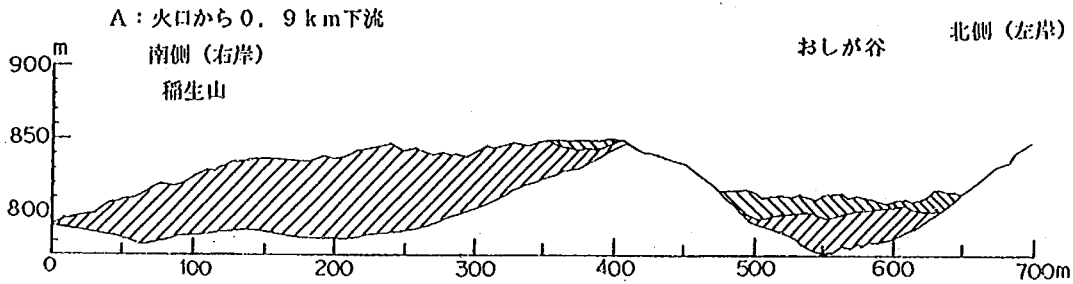
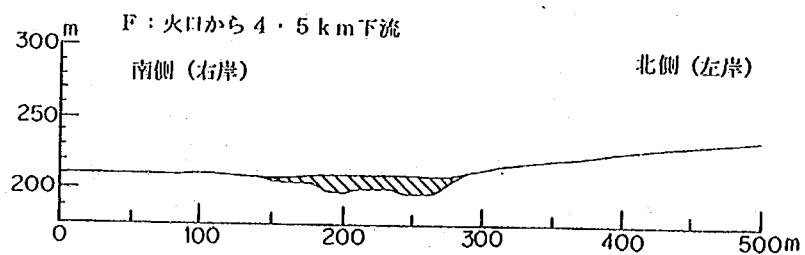
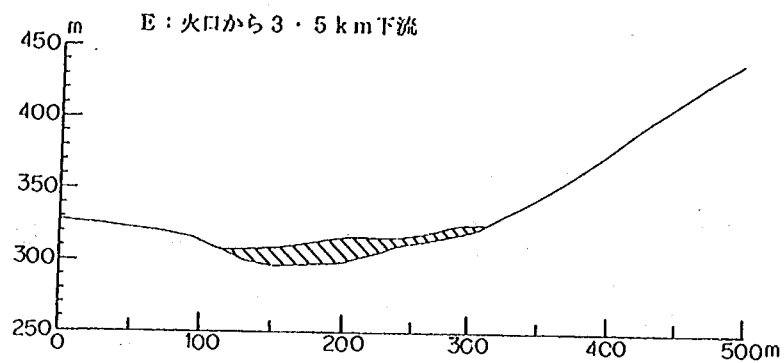
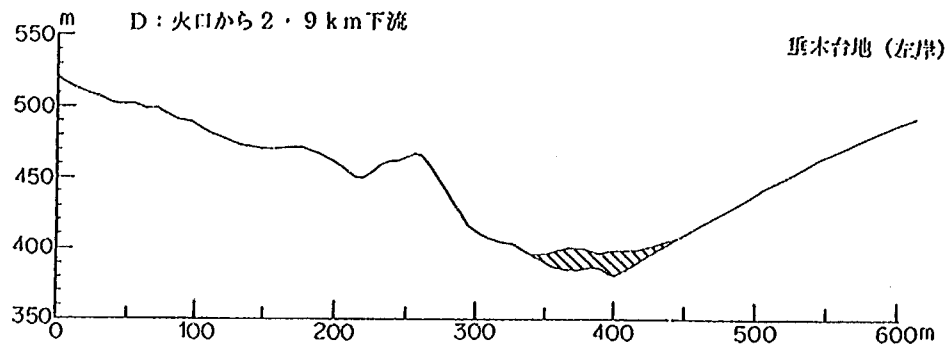


図-14 9月15日に発生した火砕流の堆積範囲

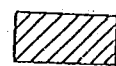
凡 例

-  7月28日～9月8日の火砕流堆積物
(主として8月26日と9月6日の火砕流による)
-  9月8日～9月22日の火砕流堆積物
(主として9月15日の火砕流による)

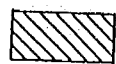




凡 例



7月28日～9月8日の火砕流堆積物
(主として8月26日と9月6日の火砕流による)



9月8日～9月22日の火砕流堆積物
(主として9月15日の火砕流による)

図-15 おしが谷における火砕流土砂堆積変化図
(横断面図)

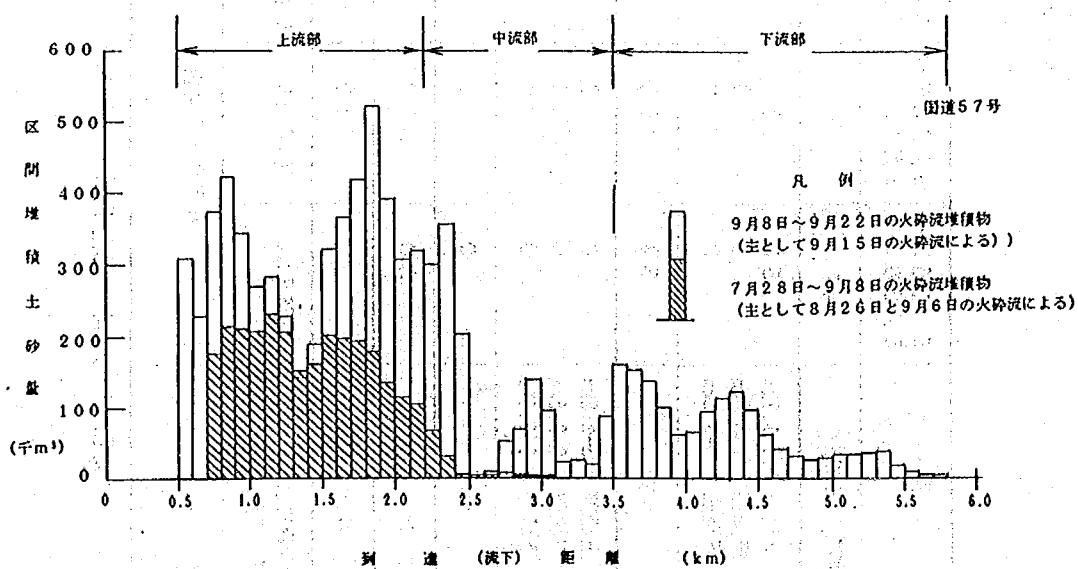
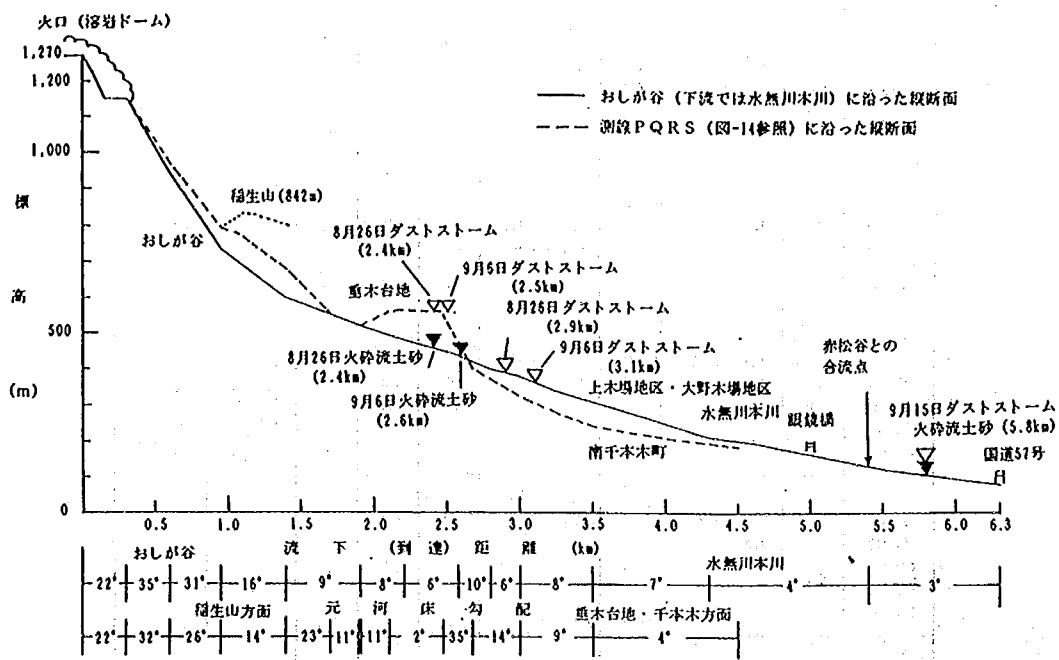


図-16 おしが谷における火砕流の土砂流下・堆積

表-2 火砕流による堆積土砂量

期 間		5月16日～ 5月28日	5月28日～ 6月4日	6月4日～ 6月16日	6月16日～ 7月8日	7月8日～ 7月28日	7月28日～ 9月8日	9月8日～ 9月22日	計
計測期間(日間)		4*	7	12	22	20	42	14	121
水無川 本川 (万m ³)	上流部 0.6-1.7km	50	250	90	520	350	620	50	1,930
	中流部 1.7-3.3km	0	50	260	0	0	0	0	310
	下流部 3.3-5.6km	0	0	50	-20	0	0	0	30
	小計	50	300	400	500	350	620	50	2,270
おしが谷 (水無川 左支川) (万m ³)	上流部 0.5-2.2km	0	0	0	0	0	270	260	530
	中流部 2.2-3.5km	0	0	0	0	0	10	130	140
	下流部 3.5-5.8km	0	0	0	0	0	0	150	150
	小計	0	0	0	0	0	280	540	820
水無川 計 (万m ³)		50	300	400	500	350	900	590	3,090
水無川 累計 (万m ³)		50	350	750	1,250	1,600	2,500	3,090	3,090
主要な火砕流による 堆積土砂量 (万m ³)		5月26日:30	6月3日:250	6月8日:350	—	—	8月26日:80 9月6日:100	9月15日:400	
備 考		6月24日発表			8月7日発表		今回、航空写真測量、現地調査結果から算定		1日当り 約26万m ³

* 5月24日(火砕流の発生開始)からの期間

日～7日（9月6日の小規模火砕流の発生前と後）、9月11日および18日（9月15日のそれまでで最大の火砕流の発生前と後）に実施したヘリコプターおよび地上からの現地調査結果およびそれぞれの期間に発生した極く小規模な火砕流による堆積土砂量を考慮すると、8月26日、9月6日および9月15日に発生した火砕流による堆積土砂量はそれぞれ約80万 m^3 、約100万 m^3 及び約400万 m^3 と推定される。

5月下旬以来水無川流域で発生した火砕流の堆積（流下）土砂量及び溶岩ドームの崩落量（堆積土砂量の単位体積重量より、堆積土砂量を0.59倍して求めた）と火砕流の到達（流下）距離の関係を図-17、18に示す。図-17、18より火砕流の流下土砂量（溶岩ドームの崩落量）が多い程火砕流の先端は下流に到達する傾向が認められる。この関係を利用すれば火砕流の流下量（溶岩ドームの崩落量）から火砕流の先端の到達範囲をある程度推測できる。

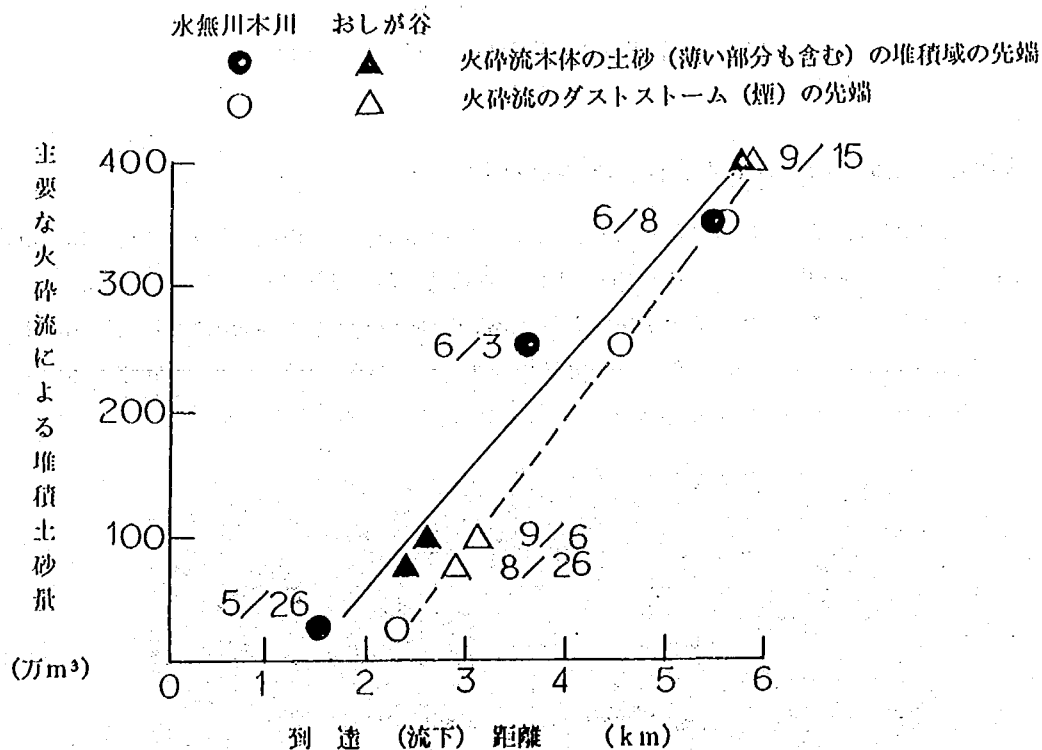


図-17 主要な火砕流の堆積土砂量とその到達距離

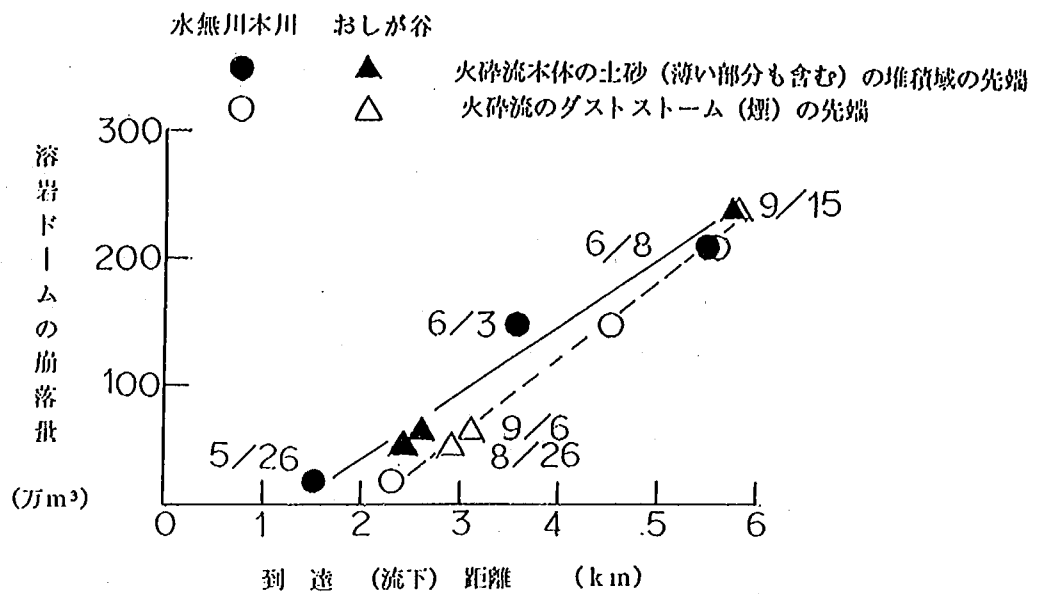


図-18 溶岩ドームの崩落量と火砕流の到達距離

11. 火砕流堆積地の現地踏査と火砕流堆積物の土質

平成3年9月11日、筆者らは火砕流により甚大な被害を受けた水無川中流流域に当たる島原市北上木場町、白谷町を現地踏査した（図-13）。火砕流堆積地の観察結果は以下のとおりである。

① 火砕流のダストストームにより焼失した地域および本体の崩れた土砂が薄く（約10cm以下）堆積した地域では植生（草本類、竹類）が回復しつつあった（写真-9）。一方、火砕流本体の土砂が厚く（約1m以上）堆積している地区では植生はほとんど生じていなかった。

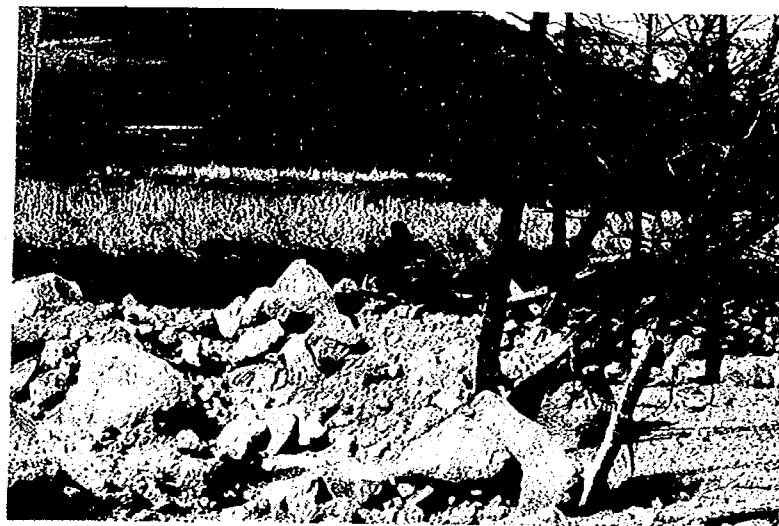


写真-9 火砕流堆積域での植生の回復状況
（島原市白谷町）

② 火砕流の熱風を受けた地域では家屋は完全に焼失していた。また道路のアスファルト舗装が一部溶け出していた。さらに自動車のタイヤが焼失していたこと等から火砕流本体およびダストストームの温度は約400℃以上あったものと推定される。

③ 火砕流の堆積物（本体及びダストストーム）は未固結であり手でも掘ることができる状態であった。このため火砕流堆積物は表面流水により侵食されやすい状態にあった。

④ 6月30日に発生した土石流の流下跡のうち水無川本川と赤松谷川との合流点付近から国道57号の上流付近では、河道への火砕流堆積土砂の再侵食が起っており、河床が若干低下して流水は元の河道付近を流れていた。

⑤ 火砕流および土石流により巨礫（長径7 m、短径5 m）が本川と赤松谷川との合流点付近まで運搬されていた。

さらに10月16日の現地踏査においては次の点が観察された。

⑥ 水無川本川の上流部には幅、深さとも数mに及ぶ侵食溝が出来始めていた。これは、8月末以降の火砕流の流下がおしが谷を中心としているため、水無川本川上の火砕流堆積物の温度が低下し、降雨により表面流が発生して侵食傾向が始まったためと考えられる。今後この傾向が続くと降雨による大規模な土石流の発生する可能性がある。

9月11日の現地踏査時に火砕流の堆積地から土砂の試料を採取して（図-13）各種の土質試験を行った。それらの結果を表-3に示す。これらより火砕流堆積物は土質区分では礫あるいは砂であり未固結であるが比較的締まっていることが判明した。

表-3 火砕流堆積土砂の土質試験結果

項目		試料名	①	②	③	備考
単位体積重量 (gf/cm ³)			1.41	—	—	
粒 度 (%)	礫分(2mm-75mm)		23	69	21	75mm未満の 粒径の土砂 のみ使用
	砂分(75μm-2mm)		69	27	67	
	シルト分(5μm-75μm)		6	3	10	
	粘土分(5μm未満)		2	1	2	
土粒子の密度 (gf/cm ³)			2.577	2.596	2.592	
pH			7.4	7.3	7.2	
火砕流堆積区域の分類			本体のくずれ	本体	本体	

12. おわりに

雲仙普賢岳噴火に伴う土砂移動現象は平成3年2月から12月迄の間に噴火に伴う多量の降灰、水無川における土石流の頻発、火砕流の頻発、土石流の発生、さらにおしが谷における火砕流の発生と多岐に渡って同一流域で発生している。そして、その結果として現地の地形を一日毎に変化させている。溶岩ドームは現在も一日当たり約30万 m^3 供給されており、比較的大きな火砕流の発生の危険性は依然として残っている(12月2日現在)。このため、島原市および深江町は水無川流域のほぼ全域および中尾川流域の一部を警戒区域、避難勧告区域に指定しており、自主避難の周辺住民を含めて約8千人の人々が避難している。

今回の雲仙普賢岳噴火においても言えることであるが、火山噴火に伴う土砂災害の対応に当たっては正確な情報を迅速に得るための監視、観測装置の整備が不可欠である。さらに噴火活動中は火口及び周辺への立入りが危険となる場合が多いため、火山噴火に伴う火砕流、土石流災害を防止、軽減するためには平常時から対策施設を建設しておくことが重要である。さらに、早急に住民の生命の安全を確保するためには、土石流や火砕流の災害予想図を作成することが望まれ、これを用いた警戒避難体制を整備することが重要である。

最後になりましたが、噴火とそれに続く火砕流及び土石流による災害への対応でお忙しい中、調査等に御協力を頂いた建設省河川局砂防部砂防課、長崎県土木部砂防室及び島原振興局建設部の方々に心より感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 池谷 浩、石川芳治：平成3年雲仙岳で発生した火砕流、土石流災害、砂防学会誌、Vol. 44, No. 2, pp46-56, 1991
- 2) 池谷 浩、石川芳治：平成3年雲仙普賢岳で発生した火砕流、土石流災害(第2報)、砂防学会誌へ投稿中
- 3) 北海道土木部砂防災害課：有珠山土石流と闘う一砂防対策事業の記録一、北海道土木工業新聞社、P.222、1979
- 4) 下川悦郎、地頭蘭隆、原口勝則：大正三年桜島大噴火が火山周辺域の侵食に及ぼした影響、平成元年度砂防学会研究発表会概要集、PP. 47-50、1989
- 5) 地頭蘭隆、下川悦郎：桜島における火山活動が土石流・泥流の発生や流出に及ぼす影響、砂防学会誌Vol.43, No.6, PP. 9-15、1991

特別講演
「地価と土地政策」

財団法人建設経済研究所常務理事 長谷川 徳之輔

— 七 —

_____ 又 _____ 七 _____

新しい下水輸送システム

下水道研究室長 宮 原 茂

新しい下水輸送システム

1. はじめに

わが国の下水道整備の状況は、表-1に見られるように、都市の規模によりその整備状況に著しく格差のあることが特徴となっている。全国の総人口に対する下水処理人口の割合を示す下水道普及率は平成2年度末現在で44%である。これを都市規模別にみると、人口規模が100万人以上の都市では90%の高普及率を示しているのに対し、人口規模が5万人以下の都市ではわずか9%と極めて低い水準にある。

表-1 日本の都市人口ランク別下水道実施状況

(2年度末)

人口規模	100万人以上	50～100万人	30～50万人	10～30万人	5～10万人	5万人未満	計
総人口(万人)	2,477	583	1,661	2,439	1,569	3,587	12,316
処理人口(万人)	2,239	332	854	1,141	512	319	5,397
総都市数	11	9	43	148	228	2,802	3,241
実施都市数	11	9	43	147	212	890	1,312
供用開始都市数	11	9	43	143	188	475	869

(注) 1. 総都市数3,241の内訳は、市656、町1,999、村587(東京区部は市に含む。)

2. 実施都市数は、公共下水道と特定環境保全公共下水道の合計

平成2年7月、都市計画中央審議会は「今後の下水道整備と管理はいかにあるべきか」について答申を行なったが、この中でも、「特に、中小市町村における下水道整備が遅れている状況にある。」と述べている。

また、この答申において長期的な整備目標として「21世紀のなるべく早い時期において、処理人口普及率を9割程度まで引き上げる。」としている。このためには、中小市町村における下水道整備

の一層の促進が必要となる。

ところで、農林センサスによると、市街化区域以外の集落形態は、図-1に示すように4つの形態に分類される。

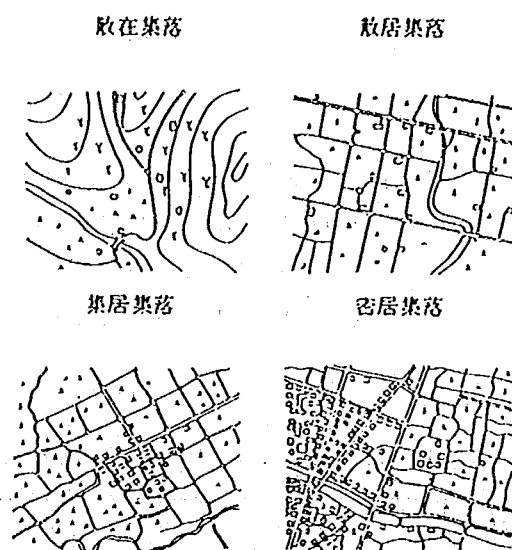


図-1 集落形態の模式図

この集落形態のなかで、公機関の管理による下水道を集居集落まで整備した場合の人口構成比を表-2に示す。西暦2000年において集居集落まで下水道整備が行われた場合、普及率は92%、下水道整備人口は1億1,800万人となり、平成2年度末の整備人口5,400万人を差し引くと、今後下水道の整備が必要な普及区域にすむ人口は6,400万人となる。この大まかな内訳は、市街化区域内3,400万人、市街化区域外3,000万人であり、この3,400万人の大半が集居集落に居住している。

表-2 集落形態別人口構成比

		西暦1980年			西暦2000年		
		人口(千人)	構成比(%)	累積比(%)	人口(千人)	構成比(%)	累積比(%)
市区 街 化 域	D I D	62,672.5	53.5	53.5	81,163.9	63.4	63.4
	D I D以外	10,991.5	9.4	62.9	7,894.5	6.2	69.5
市街化区域外	密 居	6,509.0	5.6	68.5	5,859.0	4.6	74.1
	集 居	25,732.0	22.0	90.5	23,162.4	18.1	92.2
	散 居	7,203.0	6.2	96.6	6,483.9	5.0	97.2
	散 在	3,948.8	3.4	100.0	3,554.4	2.8	100.0
合 計		117,057.0	100.0	100.0	128,118.1	100.0	100.0

図-1でわかるように集居集落においては家屋が比較的独立しており、このような地域においては下水を収集する費用が高くなる傾向がある。わが国全体における下水管渠工事費は、全工事費の80%以上となっていることから、集居集落まで下水道整備を図るためには、下水収集システムの費用を軽減することが特に望まれている。

このため、従来の自然流下方式の下水道布設工法において、管渠の小口径化、簡易マンホールやマンホールポンプの採用等多くの工夫がこらされてきているが、これに加え、自然流下方式以外の下水の輸送システムについても目が向けられてきた。

一方、市街化区域においても、今後約3,400万人の人に対して下水道整備が必要である。この区域のなかには地形上、自然流下方式が不可能な地域もあること、既存の地下埋設物との取合で自然流下方式が著しく困難なところがあること、都市の再開発地区における下水量の増加に対応して新たに下水管を埋設する場合があること等により自由にレイアウト出来る管渠システムが望まれている。

以上より、全く新しい汚水収集システムの開発が必要になり、圧力式下水道や真空式下水道が検討されることとなったのである。

これらの背景を模式的にまとめると、図-2のようになる。

2. 圧力式下水道システム

圧力式下水道システムは、各戸、もしくは数戸に1個のGP（グライNDERポンプ）ユニットと呼ばれる「汚水ます」を設置し、処理場あるいは自然流下の下水管まで下水を圧送するものである。すなわち、図-3に示すように、タンク内にGP、フロートスイッチ等を収納したGPユニットを設置し、ここに汚水を流入させてGPと圧力管により圧送するシステムである。

このシステムで用いられるポンプ（GP）は、ポンプの吸い込み口に固形物を粉碎する粉碎機（グライNDER）を備えたものであり、これにより下水管内のつまりを防止すると共に、吐出口において小口径の下水管の使用が可能となっている。図-4にGPユニットの一例を示す。

GPより下流側に設置された圧力管は、硬質塩化ビニル管、ポリエチレン管が原則として用いられる。管径は30～150mmである。

3. 真空式下水道システム

真空式下水道システムとは、真空の吸引力を利用して汚水を収集するシステムである。このシステムは図-5のように真空ます、真空下水管、真空ポンプ場により構成される。真空ポンプ場で発生した真空は、真空下水管を通じ、多数の真空ますに供給される。真空ますは一個または数戸に一つずつ設置される。このシステムでは次のようなフローで汚水が輸送される。

- 1) 各家庭の汚水は自然流下により真空ますに流入する。
- 2) 真空ます内の汚水が増加し一定量になると、真空弁が自動的に開く。
- 3) 真空の吸引力により、真空管を通じ真空ポンプ場まで汚水が収集される。
- 4) 真空ポンプ場から下水処理場までは圧送ポンプにより搬送される。

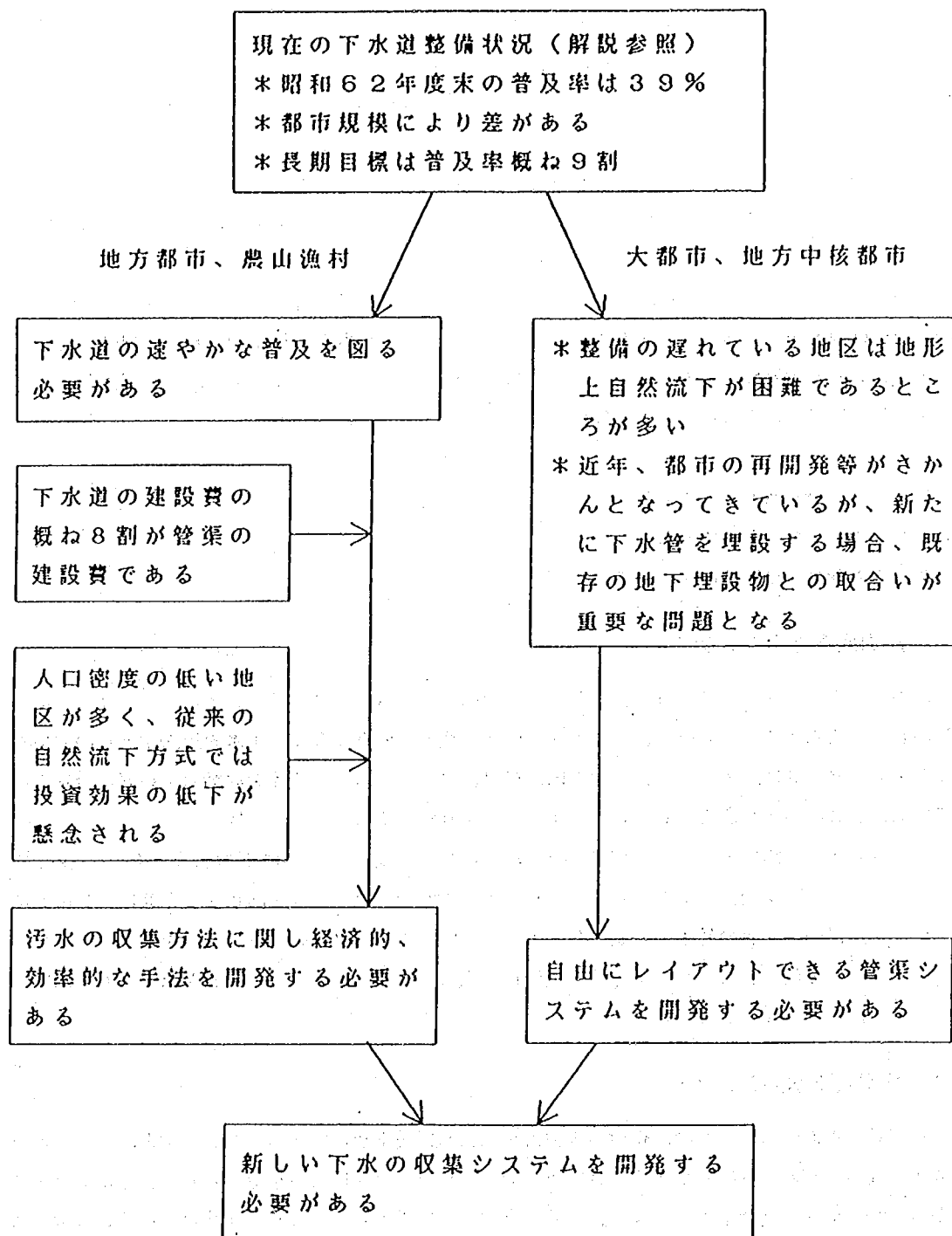


図-2 新しい下水収集システムが求められる背景

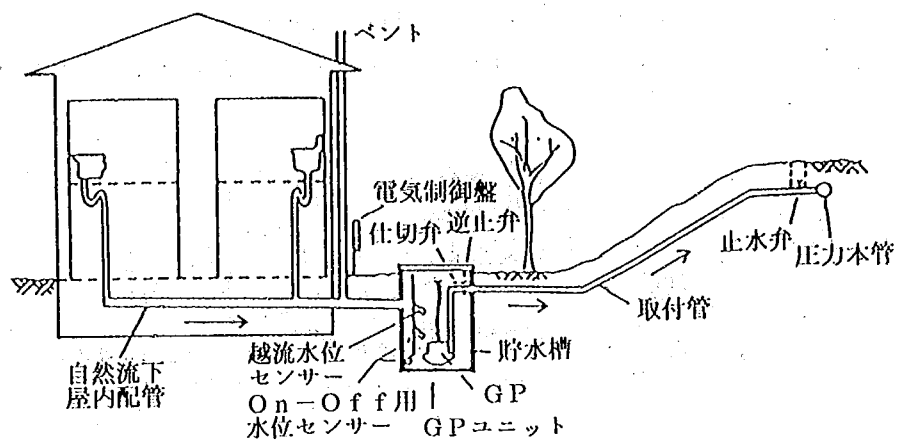


図-3 標準的な圧力式下水道システムの例

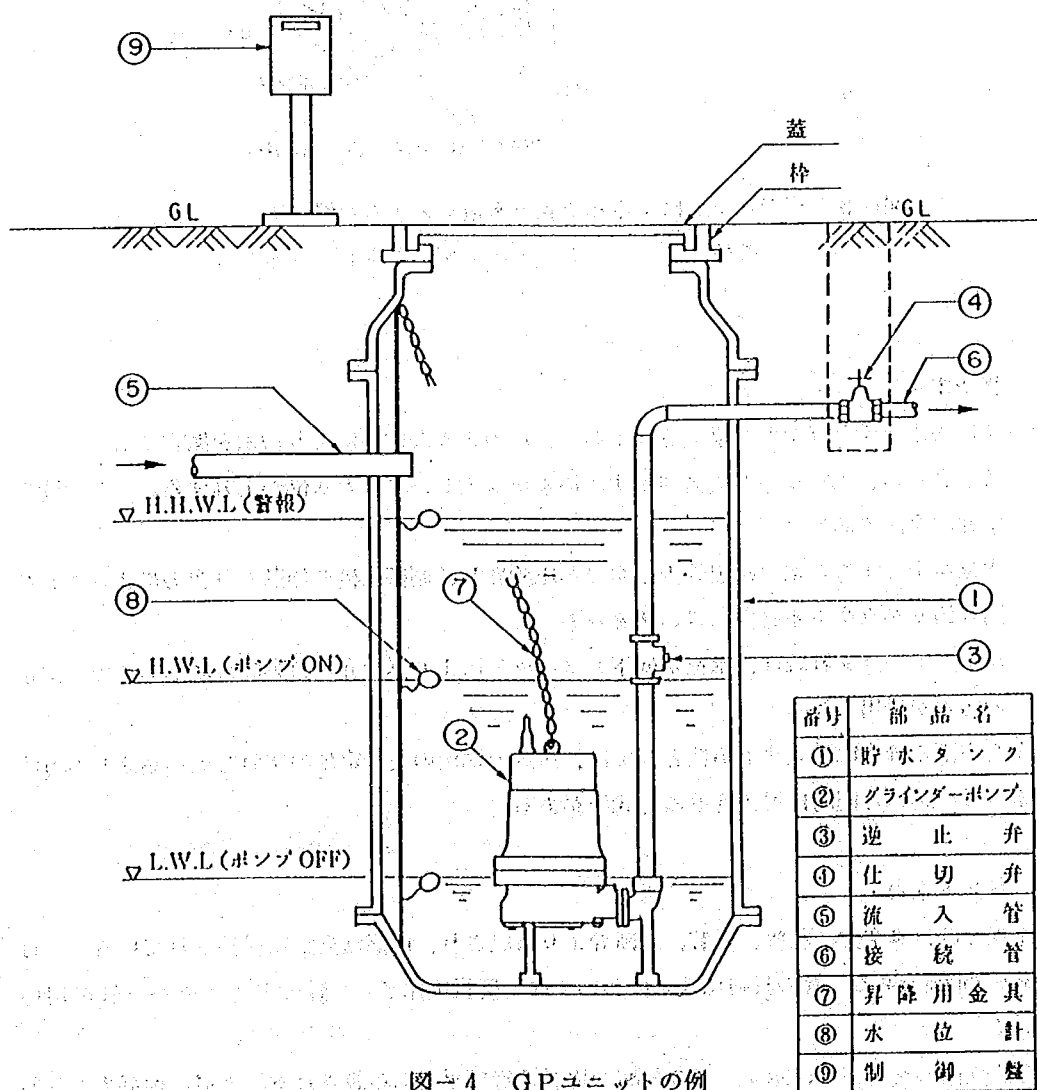


図-4 GPユニットの例

汚水の搬送には、空気の真空内における膨張力を利用して搬送を容易にし、さらに汚水に空気を混入させ比重を下げ二相流とすることにより搬送距離を増加させるため空気を真空内に導入することが特色である。

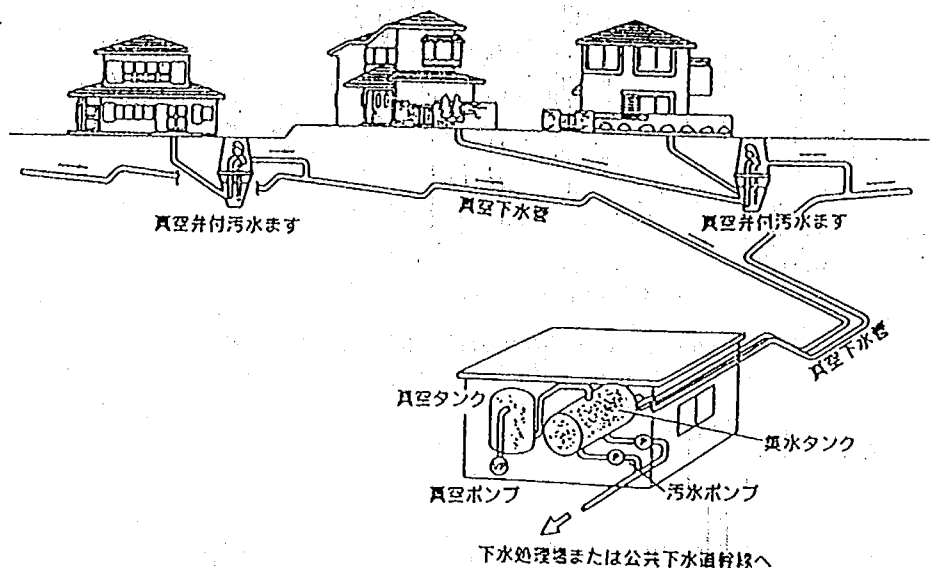


図-5 真空タンクによる真空式下水道システムの例
(この他、イジェクター・ポンプによるものもある。)

3-1 真空ます

真空ますは汚水ますと真空弁で構成されており、次のような作動により汚水を搬送する。

- 1) 各家庭から流入管を通じて真空ますに汚水が流入し、ますの水位が上昇する。この間真空弁は全閉である。
- 2) 水位が上昇すると水位検出管内の空気が圧縮され、制御機構が作動し真空力によって弁が開き汚水が真空下水管内に吸い込まれる。
- 3) 汚水が吸い込まれ続け、水位が低下しタイマーにより真空弁が自動的に閉じるまで一定量の汚水が排出される。

空気を真空下水管内に導入する方法としては、汚水の排出の後一定量の空気を吸い込ませる方法や、汚水の吸い込みと同時に導入させる方式等がある。

3-2 真空下水管

真空下水管は、真空弁、枝管、本管、遮断弁より構成され、内部は真空に保持されている。口径は75mm～250mmである。管の材料は欧米においては、硬質塩化ビニル管とポリエチレン管が用いられている。

管の布設立面図を図-7に示す。下り勾配の場合地形に平行に布設される。平坦な地形や上り勾

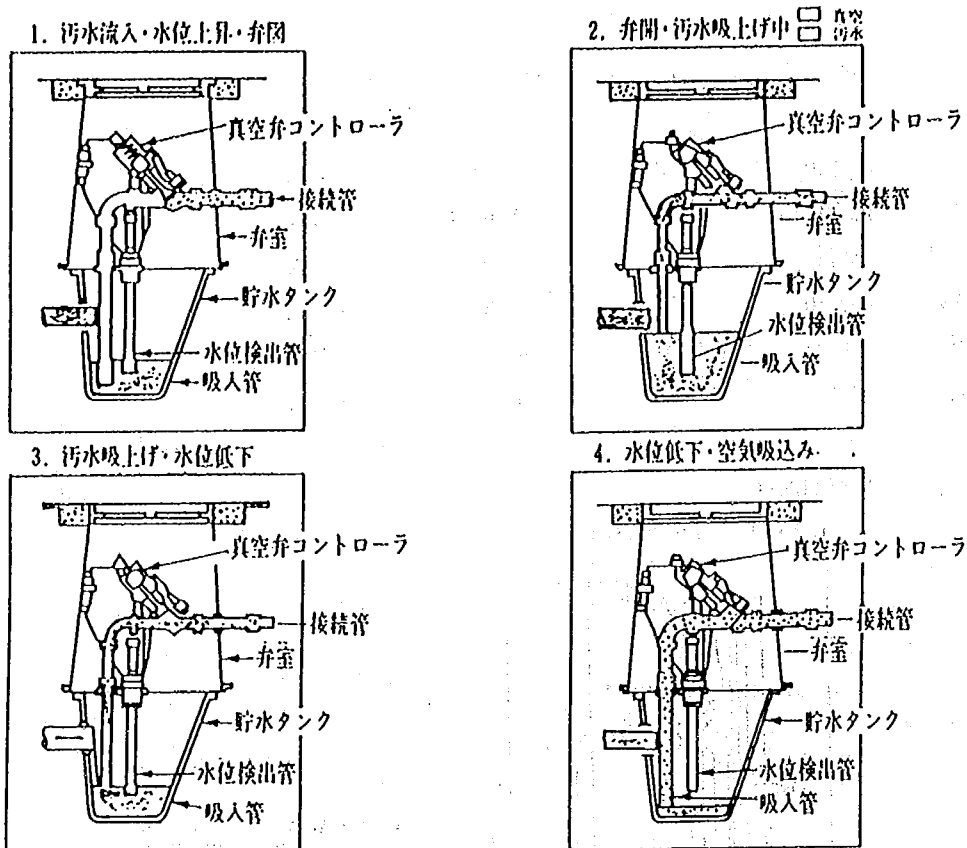


図-6 汚水を吸入した後に空気を吸収する方式の真空弁ユニットの作動方式

配の所では、地形にそって鋸刃状に布設する。一定間隔にリフトと呼ばれる垂直上昇部を設けることになる。これは管内の一部が連続して満水状態になることを防ぐためである。この場合、真空弁が開くと膨張した空気と汚水の奔流が二相流となって一気にリフトを乗り越え、弁が閉じて流れが止まると管内の汚水はリフト低部にたまって静止する。

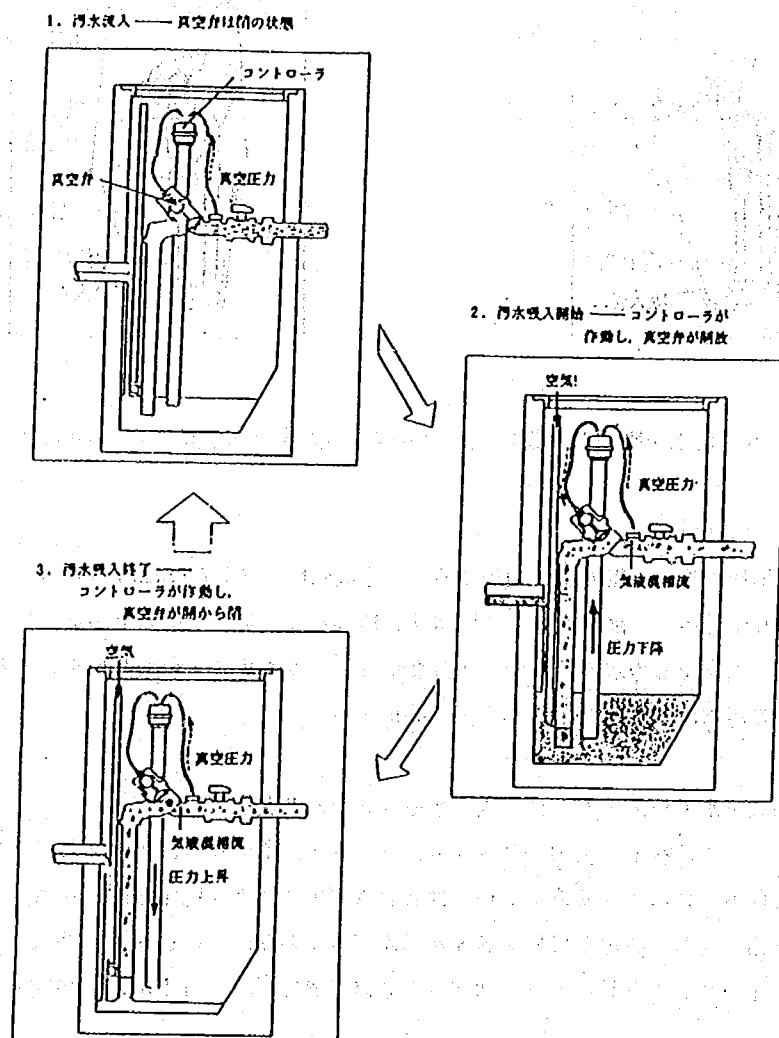
3-3 圧力式下水道システム、真空式下水道システムの現状

これらのシステムは欧米の諸国（アメリカ、フランス、イギリス、カナダ、ドイツ等）では既に実用化されている。特にアメリカにおいてはEPA（アメリカ環境保護庁）が普及を奨励する新技術（I/A技術）として認定して以来普及が進んできており、ここ10年間自然流下式の代替となる新しい下水収集システムとしてクローズアップされてきている。日本国内での実施状況を表-3に示す。

表一 3 圧力式下水道システム、真空式下水道システム実施状況

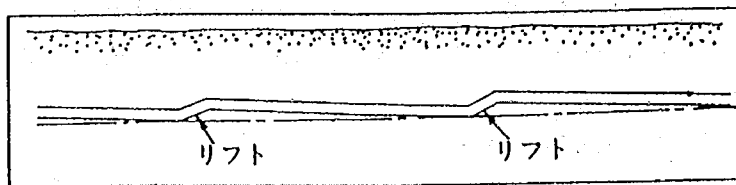
都道府県名	市町村名	計画面積 (ha)	計画処理人口	圧力式/真空式	事業実施年度
愛媛県	西条市	12	630	真空式	2
長崎県	佐世保市	150	38,050*	圧力式	2
山梨県	忍野村	71	1,960	真空式	2
静岡県	浜松市	61	3,300	真空式	2
石川県	山中町	策定中	策定中	圧力式	3
鳥取県	三朝町	7	1 7 2	真空式	3

*宿泊人口

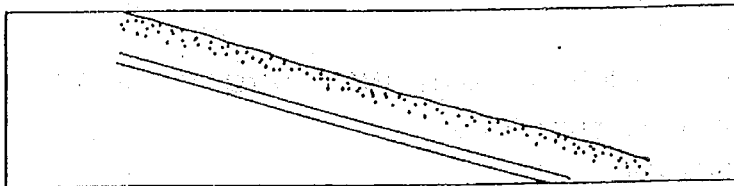


図一 7 汚水と空気を同時に吸入する方式の真空弁ユニットの作動方式

1. 平坦な地形での縦断面



2. 下り勾配地形での縦断面



3. 上り勾配地形での縦断面

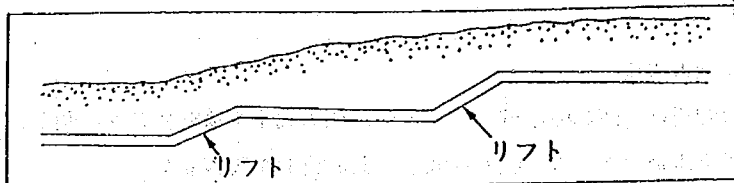


図-8 真空下水管の標準的な布設立面図

4. 特徴と適用可能範囲

両システムの基本的な特徴及び考えられるメリットを以下に整理、列挙した。

4-1 特徴

- 1) 汚水の収集にポンプの圧力や真空の吸引力を利用するため、下水管渠を地表面にそって埋設できる等、下水管の布設に際して自由なレイアウトが可能である。
- 2) 汚水を圧送、真空吸引するため、管径が従来方式（自然流下方式）と比べて小さい。

4-2 メリット

- 1) 下水管の掘削幅、掘削深を従来方式（自然流下方式）より小さくできる。
- 2) 配管時に地下埋設物との取合が容易になる。
- 3) 配管の段階的施工が容易になる。
- 4) 配管に要する工期が従来方式より短くなる。
- 5) 好気性の下水輸送が可能である（真空式下水道システムのみ）。
- 6) 輸送の動力源が真空ポンプ場のみである（真空式下水道システムのみ）。

4-3 適用可能地域

これらのシステムは、汚水を輸送するのに人工エネルギーを使用するため、その適用範囲は限られている。一般に平坦な地域またはゆるい起伏のある地域でかつ小規模な地域に限定されるが、次のような地域が適用可能と考えられる。

- 1) 人口密度の低い地方都市の集落
- 2) リゾート開発地区
- 3) 都市の再開発地区
- 4) 都市内の低地
- 5) 岩盤地帯、軟弱地盤、地下水の高い地域などの地盤条件が悪い地域
- 6) 地下埋設物が輻湊している箇所
- 7) 起伏の多い地域

5. 技術指針

5-1 共同研究の実施

建設省土木研究所は、昭和62年度から3年間、圧力式下水道システムに関し、また昭和63年度から3年間真空式下水道システムに関し民間との共同研究を実施した。

1) 共同研究の目的

圧力式、真空式下水道システムの実用化に関して必要となる各設備の構造、耐久性、システムの計画、設計、維持管理に関する技術開発を行なう。

2) 共同研究の内容

- ・圧力式、真空式下水道システムの施設の構造、計画、設計に関する検討。
- ・圧力式、真空式下水道システムの維持管理性に関する検討。
- ・システムの適用性に関する検討。

5-2 新下水輸送システム技術委員会の設置

建設省は、昭和63年10月、新しい下水収集方式の実用化を図るため「新下水輸送システム技術検討委員会」を設置した。

検討の対象としては、当面、圧力式下水道システムと真空式下水道システムとし、基礎的なデータ、設計数値等の収集整理を行ない、わが国の下水道への適用について技術的な検討をすることとした。

5-3 技術指針

上述の新下水輸送システム検討会において技術指針の内容の検討をおこない、技術指針（案）としてまとめた。圧力式下水道システムについては、平成2年3月に、真空式下水道システムについては、平成3年8月にそれぞれ土木技術資料として刊行された。

5-4 圧力式下水道システム技術指針（案）の内容

圧力式下水道システム技術指針（案）は5編より成り、各々の項目及び概要は以下の通りである。

第1編 基本計画

圧力式下水道システムの概略、適用性、GPユニット、中継ポンプユニットの配置や圧送管の路線の基本的考え方等圧力式下水道システムを設計する上での基本となる考え方を示している。具体的には、計画対象水量を原則として現状の水量とすること、配管形状は樹枝状とすること、地下水・雨水は考慮しないこと、中継ポンプの配置には維持管理性、経済性を考慮することなどである。

第2編 GPユニット選定方針

GPを選定する際に必要な吐出量及び全揚程の考え方等、各々の条件に応じた最適なGPユニットの選定方法を示している。特に、ポンプ容量は時間最大汚水量により決定することとしているが、GPユニットは1戸からたかだか数戸の家庭を対象とするため、日平均水量から時間最大水量を求める場合、従来の換算比率では時間最大水量が非常に小さくなる恐れがあるので、この考え方についても提示している。また、GPには一般的に遠心型と容積型があり、その性能曲線が異なるので、両者の選択においては特徴を十分考慮すること、GPユニットに、2台のGPを設置するデュプレックス型についても検討すること、予備は原則として設置しない等が述べられている。

第3編 管路設計

設計同時運転台数の考え方、流速を0.6m/s以上とする等、圧送管を設計する上での基本となる考え方を示している。特に、圧力式下水道システムは多数のポンプを持つシステムであり、配管設計上ではこれらのポンプのうち何台が同時に起動するかを考慮する必要があるこれについても一つの案を提示している。

第4編 試験

施工完了時の試験について示している。特に、圧力式下水道システムは汚水を圧送するシステムであることから、管路の布設後は水密性、安全性を確認するため、原則として水圧試験を行なうものとしている。

第5編 維持管理

圧力式下水道システムを維持管理する上での基本となる考え方を示している。

なお、圧力式下水道システムでは本来、GPを数多く設置することになるが、コストの面からはこのGPユニットが高価であり、従ってこのGPユニットをいかに少なくするか、言い替えれば1つのGPユニットにできる限り多くの家庭を接続することが経済的なシステムとする上で重要である。そこで、本技術指針（案）では設計例を示し、併せてこのための考え方を提示している。

5-5 真空式下水道システム技術指針（案）の内容

真空式下水道システム技術指針（案）は6編より成り、各々の項目及び概要は以下の通りである。

なお、真空式下水道システムにおいては、システムの個々の部分において数種の方式・考え方があり、総体のシステムとしても様々な形態及び設計手法が考えられるが、本技術指針（案）では、先述の共同研究で検討された2つのシステムを検討のベースとしている。

第1編 基本計画

真空式下水道システムの基本計画、計画諸元の考え方、各要素（中継ポンプ場、真空弁ユニット、真空下水管）の設置に関する基本的考え方を示している。特に中継ポンプ場集水範囲として、中継ポンプ場と管渠の最遠点との距離とGL差との関係を、途中の地形の状況を3通りに設定して図示している。

第2編 中継ポンプ場の設計

図-9、10に示す2種類の真空発生装置（真空ポンプ、汚水循環ポンプ・エジェクタ）の概要、ポンプ容量の計算方法（平均汚水量より時間最大流量を求める方法）、運転制御方法（無人運転を原則とすることなど）等が述べられている。

第3編 真空弁ユニットの設計

夾雑物を投入した場合の真空弁の対応性テストの結果、貯水タンクの容量、水位設定方法（常時運転容量を40～100Lとすることなど、異常時の対応）等が述べられている。

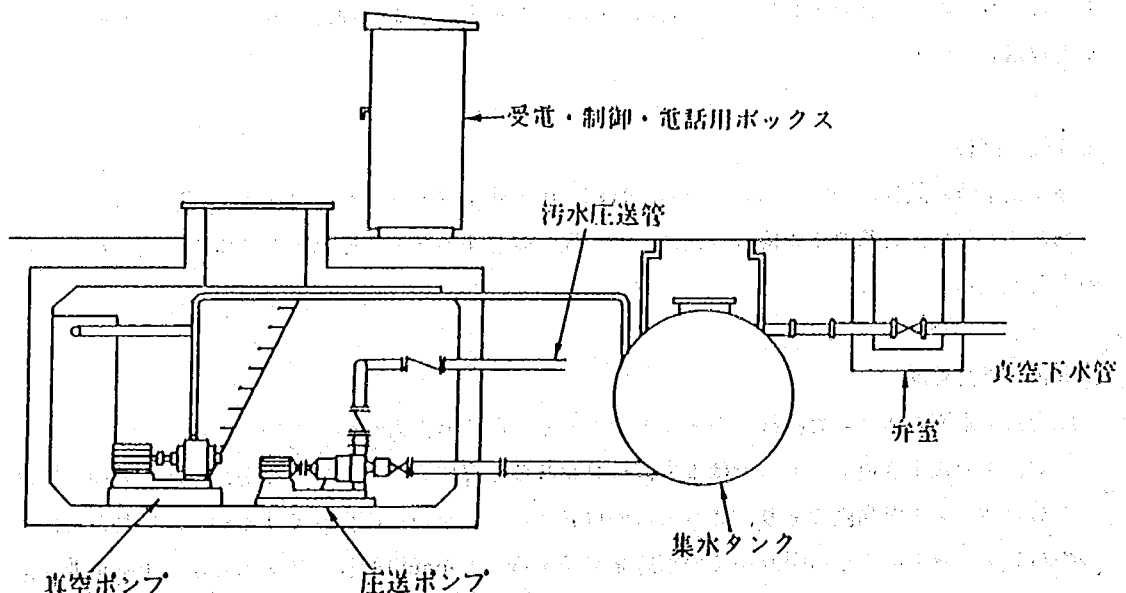


図-9 真空発生装置として真空ポンプを用いる方式の中継ポンプ場の例

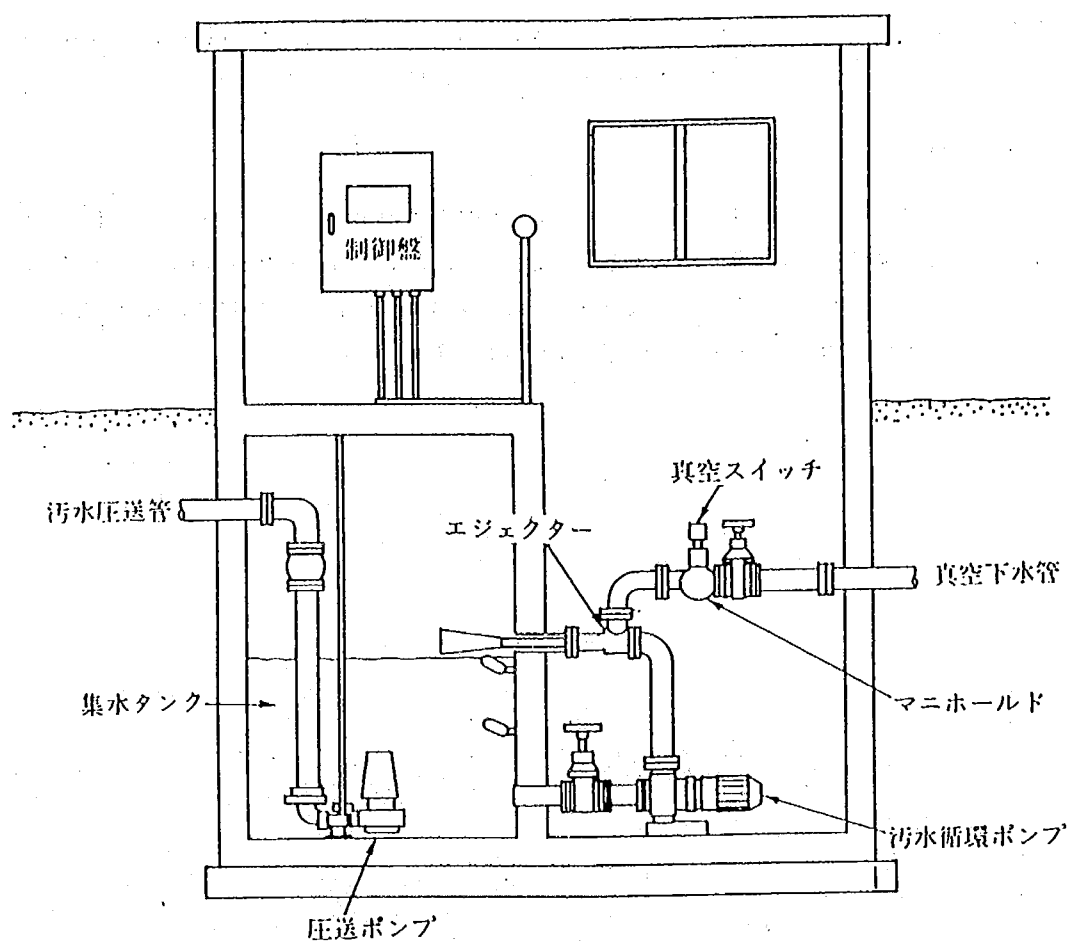


図-10 真空発生装置として汚水循環ポンプ・エジェクタを用いる方式の中継ポンプ場

第4編 真空下水管の設計

真空下水管の配管に関する概要、設計手法（時間最大で設計すること）、管材の設定が述べられている。

第5編 真空試験等

施工完了時の試験について示してある。特に真空式下水道システムでは真空下水管内が常に真空に保たれている必要があることから、真空発生装置における真空上限値（ -7 mHg など）の低下率として3～5%が適当であるとしている。

第6編 維持管理

中継ポンプ場、真空弁ユニット、管路の各維持管理方法、管路の破損区間の特定方法が述べられている。

なお、圧力式下水道システム同様、真空式下水道システムでは真空ますの設置個数が全体の費用に大きくかかわってくる。そこで、本技術指針（案）では参考として設計例を示してある。

6. おわりに

現時点（平成4年2月）においては、両システムの適用の事例が非常に少なく、本技術指針（案）の内容も現時点では標準的なものとなるよう心がけたものの、未だ不確実な事項も多く、今後、圧力式下水道システム、真空式下水道システムの採用事例が増加してさらに調査が進んだ時点で書き改め、より合理的なものとしていく必要があると考えている

欧州諸国の積算事情

積算技術研究官 福 田 昌 史

欧州諸国の積算事情

1. はじめに

近年の国際化、高齢化、高度情報化といったわが国の社会・経済状況の変化は、必然的に建設業及び建設業をとりまく環境の変化をもたらしており、これに対する建設行政施策の迅速、適確な対応が、今後、円滑な社会資本整備を図っていく上での緊急な課題となっており、土木工事積算の改善、根本的見直しの検討もそのひとつと位置付けられる。

わが国の、土木工事積算に用いる積算基準類は事業者が直営で工事施工を行っていた頃からの、長年にわたる、多くのデータ蓄積に基づく極めて精緻なものとなっているが、それゆえ組分化、複雑化、肥大化し、前述の急速な社会・経済状況の変化に対して、機動的な対応を十分果し得ない一面を有している。

このため、社会資本整備に長い歴史を有している欧州諸国の制度、即ち、積算体系、基準、手法およびその背景にある、入札、契約にかかる諸制度について実地に調査を行い、今後のわが国の積算改善に資することを目的として本調査が実施された。

調査団は、田口二郎日本建設情報総合センター理事（前建設省土木研究所長）を団長とし、建設省及び関係機関総勢10名で構成され、6月23日より7月4日まで、フランス・ドイツ・イギリス三国の道路事業を担当する中央省庁及び総合建設業、コンサルタントを訪問し、各国の積算体系、手法等の説明をうけ、意見交換を行った。

2. 調査結果の概要

(1) 三国の入札制度としては、公開、制限（選択）、随意の三手法が用意されているが、それぞれ国によって、内容や運用に若干の相異がある。フランス、ドイツにおいては、公開入札が基本とされているが、地方の工事では制限入札も相当程度運用されている。イギリスでは、選択（日本でいう指名入札と類似しているが、入札案内をする時に、相手の意志を確認する点で異なる。）入札が基本となっている。又三国では、入札者が発注者の原案に対して、代案を提案することが認められる場合がある。

欧州各国では、92年のEC統合が目下の大きな政治課題であり、入札制度についても自国産業の振興、労働政策等の観点から見直しの検討がすすめられている国もあり、流動化するものと考えられる。

(2) 土木工事の施工体制は、受注企業が工事の大半を直接施工している。このため建設業は多くの技術者、機械類を自社で保有している。下請施工については、あらかじめ発注者の許可や、規則等で下請外注等に制限が加えられる国があり、下請による施工は活発ではない。発注者においても分

離、分割発注が多く採用されている。

(3) 三国には、日本でいう予定価格制度はない。発注者の積算価格は、予算の管理、入札審査のために作成されている。また契約額が発注者の積算額を上廻ることも許されている。積算はインハウススタッフで行う国（フランス、ドイツ）と、コンサルタントが行う国（イギリス）に区分される。具体的な積算方法は、三国とも過去の応札価格を、工種別各規格別にデータベース化し、これに時間的、地域的な補正を加え、積算に用いている。日本のような歩掛等を用いた積み上げ積算は実施されていない。このように過去の応札価格を用いているため、各工種別規格別に単価が整理される必要があり、発注時に用いられるBQ（Bill of Quantity）の作成方法は、基準等で規定されており、精緻で膨大な各種基準類が整備されている。（例えばドイツのSTLKなど）

(4) 入札者の積算は、入札図書として与えられたBQの各単価を算定することにある。方法は二つに区分される。

① 各企業の過去の同種工事の応札単価に、独自の補正を加える方法。

② 各単価について、機械、材料、労務費用を積み上げる方法。

各社は、過去の施工実績をもとに、利益、リスク等のコストを考慮して、詳細な積算をしている。

(5) 企業のリスク、利益、経費等については、当然工事費に含まれているとされているが、これらの費用が、どの程度見込まれているのか明らかでない。各企業が独自の判断で応札価格に含めっていると理解されている。なお日本でいう経費類の一部で数量が明らかにされるものは、BQの中で項目として明示されているものがある。

(6) 入札内容の審査は各国の入札契約制度の運用によって異なるが、一般的には、財務面、技術面、経済面から審査される。しかし最終的には経済面が重視される。審査は各種のチェック、質問等を通じて実施されるが、最低価格提示者を契約の第一候補として価格ネゴをする国とそれを禁じている国がある。

(7) 工事契約は総価で行われるが、数量、単価も契約の一部である。したがって数量が変われば設計変更される。また数量の変更が大きい場合（10～20%）は単価の見直しも行われる。工期中の労務費、材料費の変動については、一定期間経過後変更される場合がある。

以下、各国別に積算事情について述べる。

3. フランスの積算事情

1) 入札契約制度など

フランスの入札契約制度は、公共契約法（CODE DES MARCHES PUBLICS）によると次の三種類がある。

(1) 価格競争入札（Adjudication）

価格競争入札は、単に価格だけで評価し、設定された上限価格の範囲内の最低価格提示者を落札者とする方式である。この価格競争入札には公開競争入札と制限付競争入札の2種類がある。公開競争入札は、「公共契約告示官報」その他に公示して、入札者を募り、希望者すべてが参加できる。

これに対し、制限付競争入札は、公開競争入札と同様の方法で公示がなされ、事前の希望者が募られ、その応募者の中から、発注者が適格と認められたものだけに入札書の提出が許される。

(2) 競争入札 (Appel d' offres)

競争入札の特徴は、その最終評価が価格絶対ではなく、発注者が工事費、工期、技術的価値等を考慮して最も有利と判断したものを自由に選択できることにある。

競争方式も、公開競争入札と制限付競争入札があり、競争入札と同様の手続きで実施され、募集方式の募集内容がかなり異なるように思われるが、内容的には同じである。価格競争入札では、最低価格を提示したものに自動的に契約が付与されるということで種々の問題が生じて、1960年頃から、競争入札という価格だけにとらわれない入札方式が採用されるようになった。

この方式の入札審査は、次の五点について行われる。

i) 工事の品質、ii) 工期、iii) 価格、iv) 信頼性 (財務面、信用)、v) 企業倫理 (安全管理、労務管理等)

これらの審査には、それぞれ評価の基準が示されているようであるが、実際には全体工事件数の90%が、価格が安い与否かで落札者が決まるとのことである。この背景には、フランスでは、契約を管理する特別委員会 (行政長、議員等で構成) が中央、地方に設置され、最低価格以外の者を選んだ場合に、何故高いものを選んだかと審査がなされるため、発注者は安易な方法 (価格中心) を選択したがる傾向にあるとのことであった。この結果、安い価格を提示した者が、工事途中で価格の変更の見直しを要求することが多く (発注者、受注者の事前調査が充分でないため) 結果的に工事費が高くなるという弊害が少なからず発注するため、現在フランスでは入札契約制度の改善案を検討中とのことである。

(3) 随意契約

発注者が自ら有益と認めるものと交渉を行い、契約する方式である。国防上の理由、緊急を要するものなどに限定されている。

フランスにおける土木工事の施工体制は、発注者の発注方法と関連して、殆んどが受注者の直接施工で実施される。道路工事を例にとると、発注者は工種区分、土工事、舗装工事、附属施設工事等、工種毎に分離し、それを縦割に細かく区分して発注している。専門的分野、企業の規模を勘案し自社施工が可能なように配慮して発注されるため下請けを使用する必要がないようである。下請けが使われるのは、極く限られているようであり発注者の許可を要し、下請けの施工代金は発注者によって、直接支払れる仕組みとなっている。自社施工が基本とされることから、今回訪問したGTM社では、多くの機械類と労働者を直接雇用していた。(総売上高、5,350億円、従業員数27,000人、1989年時点、日本の大手建設会社と比較すれば、理解していただけたと思う。)

2) 積算価格の位置付けと工事費の構成

積算価格作成の目的は、工事発注段階としては、当該事業の実行予算の確保が目的であり、工事発注段階においては、入札案内書作成、入札書の審査等である。

工事費は、基本的に (数量) × (単価) の総和で算出され、この単価に経費 (現場経費、本社経費) 利益・リスクが含まれている。数量はBQに表示され、BQの項目には、日本でいう共通仮設

費のうち数量で把握できる項目も含まれている。したがって、日本のように直接工事費、共通仮設費、現場管理費、一般管理費などの区分はしていない。

3) 発注者の積算体制と積算方法

フランス建設省道路工事の積算体制について述べると、省では、県単位にDDE（地方建設局）が設置され、通常の道路工事、補修工事は、DDE内の技術者が自ら積算を行っている。しかし経験のない特殊構造物等は中央に設置されているSETRA（建設省道路局中央技術研究所）が、設計・積算の技術支援を行っているとのことである。

また、DDEは、技術力のない地方の市・町に対して、設計積算の技術提供をしているとのことであった。

フランスにおいては、統一した積算方法というものはなく、各発注者独自の方法で積算している。DDEについても、各々のDDEが独自の手法で、積算を行っているが、仕組みの基本的なところは共通している。つまり過去の入札価格（入札者のBQ記入単価）を基に積算している。DDEは入札の際、入札者にBQ単価の明細書（各DDEによって相違していることがある。）を提出させデータファイルしており、これに大蔵省が決めている物価変動指数によって発注時点での補正を行って使用している。このデータは一つのDDE内でも管内を細分しており、極めて地域性の強い互換性のないデータのようなものである。

このように、過去の同一の地域における類似工事の入札単価を基本にして、積算するのがフランスの積算である。

4) 積算基準類

3) で述べたようにフランスでは、過去の入札価格をデータファイルすることによって、発注者は積算しているので、日本のように歩掛りや機械についての基準の必要性がなく、いわゆる積算基準はない。

しかし、積算の考え方や入札者の積算の参考となる資料を、SETRAが発行している。これらの資料の一つである、公共道路工事の価格分析の手法、(MARCHES PUBLICS DETRAVAVX-ETUDES ANALYTIQUES DE PRIX) は、道路工事の企画調査の段階から確定計画へと進展する各段階での精度の異なる積算の仕方、考え方について詳しい説明をしている。この内容は、日本の建設省積算基準と類似しているものがあるので一部を紹介する。

① 材料費の考え方

材料費については表-3のように材料価格の中に輸送費を含むものと含まないものがある。

② 労務費の考え方

労務費については、表-4のように出張回数の多少によって、職種ごとに3種類の単価の考え方が示されている。

③ 機械費の考え方

機械費については、表-5のように減価償却費、維持費、燃料費、油脂燃料費、タイヤ消耗費の価格からなる機械損料の考え方が示されている。

5) 入札者の積算と設計変更

表-3 納入品カード

現場		価格設定日				現場納入品の価格						
納入品名称 1	納入業者 2	数量 (損失分含む) 3	単位 4	出荷価格		距離 km 7	輸送価格				到着価格	
				単価 (F) 5	合計価格 (F) 8 (3×5)		単価 (F)			合計 11 (3×10) (F)	単価 (F) 12	合計価格 (F) 13 (6+11or 3×12)
							固定分 8	距離比例分 9	合計 10 (8+9×7)			
砂 0-2	碎石場	350	t	21.00	7,350	17	1.35	0.65	17.50	6,125		13,475
碎石 2-6	碎石場	400	t	21.50	8,600	17	1.35	0.65	17.50	8,050		17,650
碎石 6-10	碎石場	730	t	21.50	15,695	17	1.35	0.65	17.50	12,775		28,470
以外 CPJ45	以外工場	170	t	280.00	47,600	85		0.40	34.00	5,780		53,380
鉄筋コンクリート管												
φ300mm	工場	65	m								115.00	7,475
φ400mm	工場	12	m								150.00	1,800
φ500mm	工場	30	m								185.00	5,550
PVCφ150mm	工場	90	m								35.00	3,150

表-4 労務費総額一覧表
(基本給+手当+旅費・交通費+社会保障関係費)

職 種	労 務 費 総 額 (F)					
	ケース 1		ケース 2		ケース 3	
	日 給	時 給	日 給	時 給	日 給	時 給
プラント所長						
安定処理プラント 3 号級	797.17	99.65	901.23	112.65	1005.32	125.66
水硬性骨材プラント 2 号級	660.42	82.55	764.49	95.56	868.58	108.57
職工長	・	・	・	・	・	・
プラント作業員 1 号級	・	・	・	・	・	・
実験室助手	・	・	・	・	・	・
職工長 1	・	・	・	・	・	・
職工長 2	・	・	・	・	・	・
高度熟練工	・	・	・	・	・	・
熟練労働者 3 号級	・	・	・	・	・	・
熟練労働者 2 号級	・	・	・	・	・	・
熟練労働者 1 号級	366.15	45.77	451.45	56.43	536.77	67.10
単能工	348.79	43.60	434.09	54.26	519.39	64.92

*

仮説 1 : 小規模な出張をする従業員

仮説 2 : 年間の半分大規模な出張をする従業員

仮説 3 : 大規模な出張をする従業員

表-5 機械損料表

(油圧ショベル：ホイール式と履带式)

機械				期間		機械1時間当たりの使用費用 (F)						運転1時間	合計費用 (F)	
性能-型式-出力				年	時間/年	減価償却	維持費	燃料	油脂燃料	刈付	合計	当たり費用	時間	日
油圧ショベル 備品：ローダーまたはバックホウ														
A) ホイール式														
重量	馬力	バケット容量												
		バックホウ	ローダー											
10.0T	60馬力	350	-	8	1 100	27.53	24.78	13.35	3.30	2.68	71.52	67.10	139.00	1 112
11.5T	65馬力	500	-	8	1 100	.	.	.	.	.	.	.	.	.
14.0T	85馬力	800	1 000	8	1 100	.	.	.	.	.	.	.	.	.
19.0T	110馬力	1 000	1 200	8	1 100	57.47	51.72	29.15	7.28	2.65	148.55	69.68	218.00	1 744
B) 履带式														
重量	馬力	バケット容量												
		バックホウ	ローダー											
13.0T	65馬力	500	-	8	1 100	32.23	29.00	17.22	4.29	-	82.74	67.10	150.00	1 200
15.0T	80馬力	700	-	8	1 100	.	.	.	.	-	.	.	.	.
17.0T	90馬力	800	1 000	8	1 100	.	.	.	.	-	.	.	.	.
19.0T	105馬力	1 000	1 200	8	1 100	.	.	.	.	-	.	.	.	.
25.0T	135馬力	1 300	1 500	8	1 100	.	.	.	.	-	.	.	.	.
30.0T	160馬力	1 600	1 900	8	1 100	.	.	.	.	-	.	.	.	.
40.0T	210馬力	1 900	2 200	8	1 100	.	.	.	.	-	.	.	.	.
55.0T	300馬力	2 500	3 000	8	1 100	.	.	.	.	-	.	.	.	.
75.0T	350馬力	3 500	4 000	8	1 100	.	.	.	.	-	.	.	.	.
100.0T	600馬力	4 500	5 500	8	1 100	344.08	309.85	159.00	48.00	-	860.71	73.58	834.00	7 472

入札者の積算方法は、個別の工事内容にしたがって、積み上げて計算している。材料単価は使用量の多少によって一般市場価格と違って来るため、資材業者とネゴをして決定している。労務費、機械費は、自社保有の場合が多いため、労働者への支払給与実績などをもとに決定している。日本でいう標準歩掛はなく、実績から積み上げている。ただ今回訪問したGTMのような大手建設業では、過去の施工実績から自社で歩掛りを保有しているケースもある。また企業の経費、利益などは企業の方針にしたがって値を決めBQの単価に含めている。

工事途中の設計変更は、数量、単価が契約の一部とされているので、その都度変更されるが、代表的なものを示すと、

(1) 条件変更

工事の施工過程で予見できなかった事態が発生した場合は、両当事者間で協議のうえ、増加費用が補償され、また工期が延長される。

(2) 施工阻害及び中断

請負者が契約書類（契約書、仕様書等）の規定にしたがって正当に工事を中止した場合、工期は当然延長される。また支払いが工事中止後1年以内に行われなかった場合、請負者は工事を再開しないで、発注者の損害負担のもとに契約を解除することができる。

(3) 数量変更

数量変更は、一般契約規定に定めてあり、数量の増減があった場合、両者で確認して変更される。また変更数量が総工事数量の±20%を越えた場合単価の見直しも行われる。

(4) 貨金、物価の変動に基づく契約金額の調整

調整は工期3ヶ月以内のものは認められず、工期が3ヶ月を超え6ヶ月までのものは1回、6ヶ月を超えるものは制限がない。価格調整は、政府が作成公表する工事費指数によって行われる。工事費指数は、工事のタイプにより複数の物が作成公表されている。

4. ドイツの積算事情

1) 入札・契約精度など

ドイツの入札・契約精度は、VOB (Vordrucke, Muster, und Verordnungen für die Bauleistungs-Verträge) 建設工事請負契約規則) に規定されており、これによると入札方式は、公開競争入札・制限付競争入札・随意契約の3方法がある。

公開競争入札は、官報、日刊新聞、専門雑誌に公示し、入札を希望するものすべてが入札に参加できるもので、入札参加者数は20社程度といわれている。

制限付競争入札は、公開競争入札と同様な方法で公示して入札参加希望者を募り、応募者の審査を行い、選別され入札招請状を送られた者だけが入札に参加することができることとなっているが、実際の運用では、工事内容にふさわしい業者を、発注者側で指名する方法がとられている。指名にあたっては、ドイツは日本のような、業者の登録リストが作成されていないので、コンサルタントの推薦や、受注実績のある業者から指名しているようである。指名業者数は6社程度である。また入札案内には、代案入札が可能な場合は、その旨が明記され、応札者は施工方法、使用材料を含め、

原案に対する代案を提案し原案の入札と併せて入札することができる制度がある。

入札書類の審査は、財政的、技術的、経済的な各側面から行われる。工事費だけではなく確実に施工されるかどうかが大きな審査要素となっている。実際に最低価格提示者が落札者となるのは90%程度と言われている。具体的審査は、入札書類を横並びにし、不適切な単価等のチェックや質問がなされるが、入札金額についてネゴすることは禁じられている。入札書類には下請施工の内容に関する資料も添付され審査の対象となっている。

代案提出が認められている工事では、代案について経済性、施工の確実性及び品質機能などが審査される。ただ代案の提出には相当の負担が双方にあり、事前に可能性などについて打合せているようである。代案が落札を得るのは10%程度である。代案の採用された例としては、橋梁の上部工がメタルで設計されたものをコンクリートに変更し、メンテナンスの容易さ、及び景観上から評価され、落札を得た事例があったそうである。

入札書類の審査から、工事価格の安く確実に施工できると思われる業者が落札者となり、発注者と工事契約を結ぶ。契約は総価契約であるが、数量及びその単価も契約の一部となり契約書に明記される。

土木工事の施工体制は、工事の発注が、工種別に分割されることに関連（VOBに規定されている）して、自社施工が多く、大きな建設会社では、工事機械を自社保有し、技術者、労働者も多数直雇している。下請施工する場合は、入札時にそれを明記することが必要で、その内容も審査の対象となる。さらに、下請けに発注できる工事量は全体工事の50%以下と決められており、正当な理由なしに下請けに多くの工事を依頼することはできない。

2) 積算価格の位置付けと工事費の構成

ドイツにおける積算は、プロジェクトの立案時及び詳細設計時にそれぞれ行われる。立案時に行われる積算は、予算の確保を目的に行われるものであり、具体的にはプロジェクトの詳細は決まっていなため、例えば道路であれば、1kmあたりの概算工事価格から、プロジェクト全体の総費用を算出する方法で行われ、この結果等を基に議会で、プロジェクトの可否が審議される。実施時の積算は、詳細設計に基づき、数量を算出し、単価を掛け合せて個々の工事費を算出するものでありこの結果を基に入札書類が作られ、入札を経てプロジェクトが実施される。この場合の積算は入札書類の審査、予算の管理が目的となる。

このように、積算価格はプロジェクトの遂行上、非常に重要な意味をもっているが、日本のように入札価格の上限値として積算するのではなく、ドイツでは、予算確保及び管理が積算の目的となっている。

ドイツの積算は、基本的には、(数量)×(単価)で算出される。数量は、入札書類の一つとして発注者から、全抜き数量表(Bill of Quantity=BQ)で示され、BQの数量に単価をいれて算出した総和が工事金額となる。BQの数量の中には、日本でいう共通仮設費や現場管理費のうち数量で把握できるものは項目として明示してあり、直接工事費、共通仮設費、現場管理費、一般管理費などの区分はしていない。BQに明示されないこれらの費用は、必要でないとの主旨ではなく、入札者がBQ各項目の単価に上乗せしている考えられている。

3) 発注者の積算体制と積算方法

ドイツにおける、土木工事の積算体制を道路工事を例に述べると、州政府がプロジェクト費用の積算及び工事費の積算を行い、連邦政府が予算を確保する（この場合連邦政府は、州政府の積算を基に予算要求し、独自で積算することはないとのことである。）州政府での積算は、基本的にインハウススタッフで行っている。最近、州によってはコンサルタントに外注する傾向が増えているとのことであった。

積算の方法は、過去の応札価格をデータベース化し、これを基準に、地域的、時間的な調整をし、当該プロジェクトの工種単価を決定し、工事数量と掛け合せて、工事費の総額を算定している。日本の場合のような歩掛や機械損料等で積み上げる積算は行っていない。

4) 数量算出法について

ドイツの積算は、過去の応札単価のデータベースを基準としていることから、データベースが統一した基準で工種別に構築される必要がある。このためBQの数量算出のために、工事種別、各規格別に詳細な分類が行われている。

ドイツの数量算出基準としては、次の5つの体系がある。

- (1) 土木に関する電気共通委員会の施工基準書 (StLB)
- (2) 道路、橋梁に関する施工基準目録 (STLK)
- (3) 水利構造物に関する施工基準目録 (STLK-W)
- (4) ドイツ国鉄の施工基準書 (StLB-PB)
- (5) 個々の地域の適正に応じた地域施工目録

これらは、各々の工事工種に統一した分類番号を設定しており、STLKを例に紹介する。

STLKでは、工事を日本の工種、種別、細別と同様に、工事の内容により細分化し、最大9桁の数字で工種を表示することとしている。まず工事分野毎に区分して3桁の番号が附され、更に、各々の工事分野毎に10の項目に分類され、これにも3桁の番号が付される。この6桁の番号を目録番号と呼んでいる。また、目録番号の下に付随テキスト番号を設け工事の仕様や施工条件等を表示している。これらの番号により、BQの各項目が一義的に定義されることになっている。参考として、「コンクリート強度等級B35用いた道路付属構造物の型枠工事を含んだコンクリート工事」の番号付けについて説明すると、

① 工事分野番号

工事分野番号は表-1に示すように、STLK（道路及び橋梁）では32に区分してある。

② 基本テキスト番号

基本テキスト番号の最初の桁は項目番号であり次のように定めてある。

0 は準備作業

9 はその他作業

1～8 はできるだけ工程順となるよう構成されている。

各項目の下2桁は標準部分工事番号で、原則として分解、解体、破壊の標準記分工事が初めにあり、それから製造、施工、その他が記述されている。基本テキストの項目とその番号例を表-2、

表-1 道路及び橋梁 (STLK) の工事分野番号

番号	名称
101	機械設備、仮設工事、時間給
103	土地調査
105	交通安全
106	土工事
107	景観工事
108	根掘り、溝
109	排水
110	道路排水工
111	道路付属構造物排水工
112	アスファルト舗装
113	シート
114	コンクリート版
115	敷石、タイル、柵板、側溝
116	足場、仮橋
117	深い基礎 (工事)
118	コンクリート及び鉄筋コンクリートの道路付属構造物
119	道路付属構造物の組積工事
120	鋼製道路付属構造物
121	倉庫、橋、道路付属構造物の敷地
122	鋼の腐食防止
123	道路付属構造物の防水及び継ぎ目
124	コンクリート構造物の保護と修理
125	トンネルの掘削と巻き立て
127	防音構造物
128	囲い
129	防護及び導流設備
130	交通標識板
131	車道標識
132	灯火合図設備
133	道路照明
134	ケーブルの敷設
135	電話ケーブルの架設、諸設備

表-2 工事分野番号118 (コンクリート及び鉄筋コンクリートの道路付属構造物) の基本テキスト番号項目

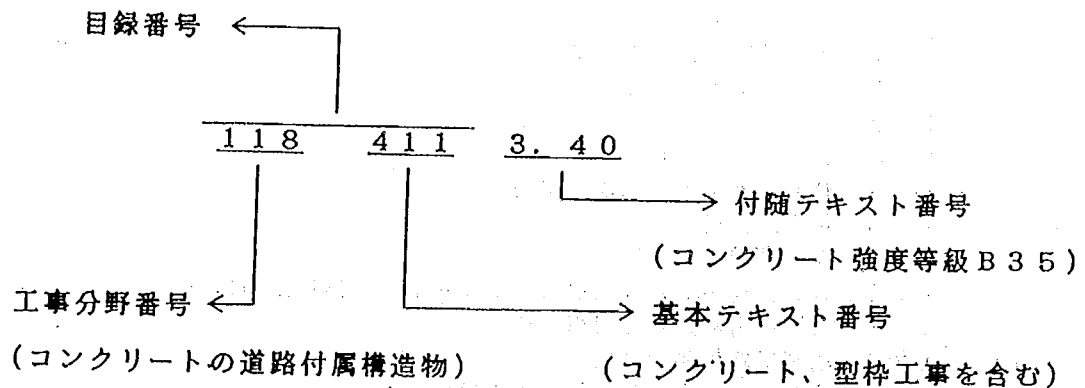
118	0	解体
118	1	型枠
118	2	撤去物
118	3	鉄筋
118	4	コンクリート
118	5	プレキャスト部材
118	6	鉄骨コンクリート
118	7	(無し)
118	8	(無し)
118	9	その他

3に示す。

③ 付随テキスト番号

付随テキストは1つの工事の説明に必要な、より詳細な記述、例えば工法、材料の使用方法、見積り条件、運搬距離などに関する記述を行い、明確に工事内容が理解できるように表現している。付随テキストの例を、表-4に示す。

このようにSTLKでは、工事内容を詳細に区分している。STLKを用いて、「コンクリート強度等級B35を用いた、道路付属構造物の型枠工事を含んだコンクリート工事」の番号付は、



となる。

5) 入札者の積算と設計変更

入札は厳しい競争のため、各企業が考え得る最低価格でなければ落札することは難しい。したがって、各企業は積算時点での材料・機械・労務単価を正しく把握し、詳細に積み上げている。工事は自社施工のものが多く、その実績を基本にしている。利益やリスクについても企業の方針に従いBQの各単価に含めている。代案入札が認められている場合には、その工事の目的、機能を満足する工法や材料等を検討し、原案と合せて提出している。

入札者の積算期間は、我国と比較して相当長い時間をとっている。公開競争入札の場合は、公示の日から少なくとも52日、制限付競争入札の場合は入札招請状の発送日から、少なくとも40日とされている。

設計変更については、工事契約が総価で行うものの、数量及び単価も契約の一部とされており、その都度変更されるが、VOB-B（一般契約条件）にそれぞれ、詳細に規定してある。その代表的なものを紹介すると、

(1) 施工阻害及び中断

発注者の責に帰すべき理由、不可抗力その他請負業者にとって不可避の事態の発生により工事の円滑な施工が妨げられた場合、次のような処置がとられる。

- ① 阻害期間及び再開準備期間を考慮して工期を延長する。
- ② 施工が長期間中断された場合、施工済みの工事部分の工事費は契約単価によって支払う。
- ③ 中断が発注者の責に帰すべき理由による場合、中断によって生じた費用は支払われる。
- ④ 中断が3ヶ月以上継続した場合は、双方は書面により契約の解除を通告することができる。

表-3 工事分野番号118の項目番号4（コンクリート）の基本テキスト番号

単位			
1 1 8	4 1 1	m ³	コンクリート、型枠施工を含む
1 1 8	4 1 6	m ²	コンクリート、型枠施工を含む
1 1 8	4 2 1	m	コンクリート、型枠施工を含む

表-4 目録番号118 411（コンクリート）の付随テキスト

工事の内容：鉄筋コンクリート工事で図面に示す型枠工事を含む。

- 1.01 部材 基礎部分
- 1.02 部材 オープンケーソン
- 1.03 部材 クローズケーソン
- 3.40 コンクリート強度等級 B 3 5
耐摩耗性が高く、耐薬品性大
- 3.41 コンクリート強度等級 B 4 5
耐摩耗性が高く、耐薬品性大
- 3.42 コンクリート強度等級 B 5 5
耐摩耗性が高く、耐薬品性大
- 5.1 打放し型枠・型枠パネルまたは鉋掛けなしの板
- 5.2 打放し型枠・型枠パネル
- 5.3 打放し型枠・鉋掛けなしの板、同一断面で側面が型付き
- 5.4 打放し型枠・1面が鉋掛けの板、同一断面で側面が型付き
- 5.5 打放し型枠・3面が鉋掛けの板、同一断面
- 5.6 打放し型枠・3面が鉋掛けの台形型縁付き、同一断面
- 5.7 打放し型枠・鉄板
- 5.8 利用者の選択による打放し型枠
- 5.9 利用者の選択による打放し R C 捨て型枠、下地型枠含む。
- 6.1 板幅 max. 4 cm
- 6.2 板幅 max. 6 cm
- 6.3 板幅 max. 8 cm
- 6.4 板幅 max. 10 cm
- 6.5 板幅 max. 12 cm
- 6.6 板幅 max. 14 cm
- 7.1 表面を平滑にする
- 7.2 表面を簀掛けで平滑にした（馬の毛）
- 8.1 応札者記述リストのセメントの種類と品質に関する記述
- 8.2 応札者記述リストのセメントの種類、品質、混和材の量に関する記述
- 8.3 応札者記述リストの型枠の種類に関する記述
- 8.4 応札者記述リストセメントの種類と品質、型枠に関する記述
- 8.5 応札者記述リストのセメントの種類、品質、混和材の量、

(2) 賃金、物価の変動に基づく契約金額の調整

原則として入札者の提出期限から、工事完了期限までの期間が10ヶ月を超える工事について工事金額の調整が行われる。調整は労務費及び発注者の指定した材料費について行われ、修正した時点以降の出来高払額を調整する方法によっている。

(3) 条件変更

契約時と施工時の条件の違いについては、「請負者が価格及び工期に及ぼす影響を予め考慮に入れることができない出来事に基づく異常なリスクを請負者に負わせてはならない。」と、VOB（契約規則）に規定されており、工事価格の基礎条件が変わった場合には、超過費用を考慮し、新単価を決定することとされている。しかし実際には、異常なリスクの範囲等で、当事者間で紛争が生じるとのことである。

(4) 数量変更

工事数量は、契約書に明記されており、増減があった場合には両者で確認して変更される。工事数量が概ね10%以上増減した場合は、単価の見直しも行われる。単価の見直し方法は、請負者が入札時に明示する各単価の材料費、労務費、機械費等の比率をもとに見直される。

5. イギリスの積算事情

1) 入札・契約制度

イギリスにおける、入札方式は、指名競争入札、公開競争入札、随意契約方式の3方式がある。3方式のうち最も多く使用されているのは、指名競争入札であり、交通省におけるこの方式の運用を以下に紹介する。

① 有資格者名簿 (Approved List of Contractors) への登録

交通省では毎年海外企業を含め、建設会社の登録申し込みを受け付け、技術、財務等の条件に合うもののみが登録される。実質的な事前審査がこの段階で行われる。現在このApproved Listには約400社が登録されている。

② 入札告示

100万ポンド以上の工事はすべてEC官報に発表される。通常Approved Listに登録されている40～50社が応募する。Approved Listに載っていない会社も入札申し込みできるが、参加する例は少ない。少額工事は告示されない。

③ 申し込み者の審査

応募した会社について、技術的能力、受注意欲を中心に、他工事での成績、手持工事量を考慮して、10社を選定する。

④ 質問書の送付

選定された10社に対して、労務者の丁造方法、機材の手入方法、工事予定地域での工事実績等について質問書を送付し、合せて入札意志を確認する。

⑤ 入札参加者の選定

質問書に対する回答を審査して通常は入札参加者6社を選定する。大規模な工事では、以上の選

定作業が双方の負担を大きくするので4社とされることがある。

入札者審査は、発注者より依頼されたコンサルタントが実施に、その結果を基に交通省が落札者を決定している。コンサルタントは6社の入札書について、総価で異常値（極端な高価、低価）を排除して、総価の下位2～3社についてBQ項目別のチェックを行う。通常は最低価格提示者が落札者となる。しかし、価格、技術面等で問題があれば交通省は入札者に変更を求めることがあり、この協議が不調の場合は、2番札の業者と同様のことを行い、これが調べば、2番札が落札者となる。

代案の提出も可能であり、原案の見積りを提出したうえで、計算書、図面を添付して提案している。

契約は総価で決定されるが、数量・単価が重視される。特に工事途中は、発注者の依頼を受けたエンジニアが工事を管理するため、エンジニアの指示、建設会社の義務、出来高払いの方法、施工条件変更に対する、エンジニア、建設会社の交渉等について、詳細な取り決めを内容とする契約書が作成されている。

土木工事の施工体制は、自社直接施工が多く、下請を使用する場合は、発注者の許可が必要で平均的な割合は25～30%といわれている。また下請を発注者が直接指名し、工事金額を決定している場合がある。

2) 積算価格の位置付けと工事費の構成

イギリス交通省における積算は、計画立案時、事業実施時の各段階で行われ、その目的は次のようにまとめられる。

- ① 予算の獲得と計画の実行可能性の判断
- ② 価格を予算の枠内に抑えるための歳出の監視と管理
- ③ 入札結果の検証と評価

イギリスには、日本の予定価格に担当するものはない。たとえすべての入札価格が、コンサルタントの見積り（発注者の予算）を越えても、入札が成立する。超過した程度に応じて、大蔵省や交通省の財政当局と協議をしている。

工事費の構成は（数量）×（単価）の総和で構成されている。入札時に発注者より金抜き数量調書（BQ）が示される。BQは日本のように直接工事費、共通仮設費等の区別はなく、工事種類別にまとめられている、BQの概略構成は以下のようになっている。

- ① 準備工事
- ② 本体工事
- ③ ディワーク（常備工事）
- ④ 指名下請と暫定工事金額

準備工事は、他の工事に共通して関連し、分離が不可能な工種から構成され、日本の共通仮設費、現場管理費の一部が含まれる。その他の共通仮設費、現場管理費等は、BQに特別な項目はなく、全てBQの各単価に含まれていると見なされている。

ディワークは、エンジニアがBQに記載されていない工種を請負業者に指示する工事で、契約時

に、労務、材料、機械の単価が決定され、施工後（数量）×（単価）で清算される。

指名下請は、発注者が直接下請を選定し工事金額も決定されている。

3) 発注者の積算体制と積算方法

イギリスの発注者の積算体制は他の2国と大きく異なっており、コンサルタントが重要な役割を担っている。交通省には技術者が存在するがプロジェクトの設計、積算、仕様書の作成等を、すべてコンサルタントに外注している。イギリスではコンサルタントの社会的地位が非常に高く、信頼されており、積算に関しても、コンサルタントではチャータードエンジニア（Chartered Engineer CE 英国土木学会が、学位、実務経験、試験で認定している技術者）を抱えており、このCEが設計を行い、積算士（Quantity Surveyor: QS）を指揮して積算や仕様書の作成を行っている。

コンサルタントにおける積算は、最近の入札結果のうち低い方の3者のBQ各項目価格を平均し、時間的、地域的な補正をして使用している。日本のような歩掛り等による積み上げはしていない。コンサルタントが経験のない単価を見積る方法は、交通省が他のコンサルタントから得たデータや、専門施工業者から見積りをとっている。

また、コンサルタントは施工においても、発注者とエンジニアとして契約し、発注者の利益保護の立場で請負者を監督し、その一方では中立の立場から、発注者と請負者の間の調整を行う責任と権限を持っている。イギリスにおける公共工事においては、発注者、エンジニア（コンサルタント）請負者の3者がそれぞれの役割を果たすことによってプロジェクトが実施されている。

4) 数量算出法について

すでに述べたように、イギリスの発注者側の積算は、BQの各単価について過去の応札者の入札額を直接使用している。このため工種規格別の表示方法を統一しておくことが必要であり、イギリスでは各規格別の数量算出法が基準書によって詳細に規程してある。道路工事に用いる基準書として代表的なものに以下のものがある。

① 公共道路建設工事用数量算出法

(Method of Measurement for Highway Works 基準書-1)

② 公共道路建設工事用数量表の基本表示記述書

(Library of Standard Item Descriptions for Highway Works 基準書-2)

これを補完するものとして、技術仕様書 (Specification for Highway Works) と標準詳細図 (A Book of Highway Works Details) があり、これらはすべて市販されている。技術仕様書は、基準書-2のセクション番号毎に構成され、BQ表で常に引用されている。

工事費の構成は、基準書-1 (表-1) のように道路工事を大分類・中分類・小分類に区分している。

小分類の詳細内容は基準書-2 (表-2) に記載されており、ここでは小分類に対する応本表示法グループ変数が定められている。

BQの表示法を揚施打抗の鉄筋棒鋼（材質、高張力、径20mm以上、長さ12m以上）を例に紹介すると、表-2のセクション番号00に抗打と地下連壁があり、この項目番号00には、「棒鋼材質 8*径、9*、長さ、10*単位 t」と規定してある。（8*9*10*はグループ変数と呼ばれる。）

5) 入札者の積算と設計変更

イギリスにおける入札者の積算方法は、2つの方法に大別される。

- ① 歴史的単価（過去の入札時に作成した単価）や市場単価を用いる方法
- ② 詳細な積み上げによる方法

実際には、②の方法が多く採用されているようである。イギリスには、日本のような発注者積算基準はないので、自社独自の方法によっているが、長年の自社施工によるデータが存在しているようである。またイギリスでは、有名な物価数としてSPONSが発行されているが、あくまで目安として、使用されており、一件毎に材料納入業とネゴをしている。

見積りの参考書（例えば、Estimating for Building and Civil Engineering Works）も発行されており、これには、日本と同様、歩掛りや、機械損料の計算表などが記載されている。しかし、これが入札者の積算にどの程度使われているかは不明であった。

工事途中の設計変更については、交通省がICEの標準契約約款を採っており、これに従い設計変更されている、主な項目について紹介すると、

- ① 予測できなかった自然条件、人的妨害があった場合
エンジニア（発注者より、工事監督を委任された技術者）

工事中止を命じ、施工者がクレームをし合理的であれば、工期延長と追加支払いが認められる。

- ② 数量の変更

施工条件が変化しない場合は、BQの単価を使用して積算される。施工条件が変化した場合は、BQの単価をベースとして新単価をエンジニア・コントラクターの間で協議して決定する。

- ③ 賃金、物価の変動

イギリス（交通省）では、契約後2年間は単価を変更せず3年目以降単価の変更をしている。スライドの方法は、王立統計局が毎月発行する物価物価指数を用いて出来高金額の変更をしている。

6. おわりに

以上、述べてきたように、欧州3ヶ国の積算事情は概ね共通しており、日本とは大きく異なっている。3ヶ国の積算は、仕様書の作成と詳細な工種区分に基づく数量の算出に力点がおかれ、日本では価格の算定に力点がおかれている。3ヶ国の官側の積算は、予算管理と入札審査のために行われ、極めて細分化された数量に、過去の応札単価を基にした単価を乗じて算出される。官側としては、積み上げで金額を算出するのは応札者の仕事であるとの認識である。

一方応札者側の積算は、適正な数値を積み上げるというよりも、どのように要求するかという立場をとる。単価契約でもあり、単価の設定には時間をかけ充分検討されている。このように積算に対する取扱いが基本的に異なっている。予定価格制度の有無という差異はあるものの、公共土木工事の目的や財源は同一であり、国民の監視が大きいことに変わりはない。価格算定を重視している我が国の積算についても、予定価格制度の立脚点を含め、予定価格作成に資する手段とし積算の意義や役割、手法について今日的な課題をふまえながら、検討の時期に来ていると考えられる。

また、3ヶ国に共通している詳細な仕様書の記述方法、明確な工事分類、価格データベースのほ

か、施工者の代案を受ける契約制度などは、日本の公共工事マネジメントを今後検討する上で参考になるものと考えられる。

今回の調査にあたっては、建設省を始め各国の日本大使館、現地駐在の方々大変お世話になった。紙面を借りて厚く御礼申し上げたい。

表-1 積算用数量算出分類の例 (Method Measurement for lhighway Works)

レベル 1 (大分類)		レベル 2 (中分類)	レベル 3 (小分類)
準備工事 道路工事		準備工事	(1)準備工事
		道路工事一般	(2)整地 (3)フェンスと防音壁 (4)安全フェンス (6)土工事
		主道路	(5)排水とサービスダクト (7)舗装 (11)礫石、歩道、舗装エリア
		インターチェンジ	(5)排水とサービスダクト (7)舗装 (11)礫石、歩道、舗装エリア
		サイド道路	(5)排水とサービスダクト (7)舗装 (11)礫石、歩道、舗装エリア
		標識と照明	(12)交通標識と道路表示 (13)道路照明柱とブラケット (14)道路照明、交通信号用電気工事
構造物工事	橋梁または高架橋	特別準備工事	
		杭打ち工事	(16)杭打と地中連続壁
		下部構造物-端部サポート	(5)排水とサービスダクト (6)土工事 (11)礫石、歩道、舗装エリア (17)躯体コンクリート (18)構造物用鉄骨工事 (19)鉄骨防錆工事 (23)橋梁エキスパンションジョイント・シーリング (24)レンガ工、ブロック工、石積み工
		下部構造物-中間サポート 主スパン アプローチスパン	同上
		上部構造物	(5)排水とサービスダクト (6)土工事 (11)礫石、歩道、舗装エリア (17)躯体コンクリート (18)構造物用鉄骨工事 (19)鉄骨防錆工事 (21)橋梁支承 (23)橋梁エキスパンションジョイント・シーリング (24)レンガ工、ブロック工、石積み工
		仕上げ工	(4)安全フェンス (6)土工事 (7)舗装 (11)礫石、歩道、舗装エリア (20)躯体防水工 (22)パラペット (24)レンガ工、ブロック工、石積み工
	擁壁、地下鉄、防 線橋、カルバート 地中連続壁	特別準備工事	
		主建設工事	(5)排水とサービスダクト (6)土工事 (11)礫石、歩道、舗装エリア (16)杭打と地中連続壁 (17)躯体コンクリート (18)構造物用鉄骨工事 (19)鉄骨防錆工事 (23)橋梁エキスパンションジョイント・シーリング (24)レンガ工、ブロック工、石積み工
		仕上げ工事	(4)安全フェンス (6)土工事 (7)舗装 (11)礫石、歩道、舗装エリア (20)躯体防水工 (22)パラペット (24)レンガ工、ブロック工、石積み工
サービスエリア		道路工事、構造物	上記の道路工事、構造物に適用した原則に従う。
メンテナンス施設		道路工事、構造物	
宿泊施設		事業団体	
公共または他の企業のための工事		企業名	
デイワーク		デイワーク	
指名下請工事、不確定工事		指名下請工事、不確定工事	

表-2 基準書- (2) の構成

セクション分類

セクション番号	セクション名称
(1)	準備工事
(2)	整地工事
(3)	フェンスと防音壁
(4)	安全フェンス
(5)	排水とサービスダクト
(6)	土工事
(7)	舗装
(11)	縁石、歩道、舗装エリア
(12)	交通サインと道路マーク
(13)	道路照明柱とブラケット
(14)	道路照明、信号用電気工事
(15)	自動車道、コミュニケーション
(16)	杭打と地下連壁
(17)	躯体コンクリート
(18)	構造物用鉄骨工事
(19)	鉄骨防錆工事
(20)	躯体防水工
(21)	橋梁の支承
(22)	パラペット
(23)	橋梁コンクリーションジョイントとシーリング
(24)	レンガ工、ブロック工、石積工
(28)	指名下請工事、不確定工事

(16) 杭打と地下連壁 基本表示

項目番号	基本表示	単位
1	杭打機組立工 4 [*] 、7 [*] 、1 [*] 、2 [*] 、15 [*]	式
2		
...		
11	場所打杭 棒鋼 材質8 [*] 、径9 [*] 、長さ10 [*]	t
...		
36	地下連壁用鉄筋 棒鋼 材質8 [*] 、径9 [*] 、長さ10 [*]	t

(16) 杭打と地下連壁 グループ変数

グループ変数	選択肢番号	選択肢
1 [*]		
...		
8 [*]	(i) (ii) (iii)	普通 高張力 ステンレス
9 [*]	(i) (ii)	16mm以下 20mm以上
10 [*]	(i) (ii) (iii)	1<=12m 12m<1<=13.5m 13.5m<1<=15m etc 以後、1.5mのステップで
...		
17 [*]		

(8~10、25~27は記入なし)

道路橋の免震・制震設計技術開発の現況

耐震研究室長 川 島 一 彦

道路橋の免震・制震設計技術開発の現況

1. まえがき

近年、耐震設計と並んで「免震設計」が各所で実用化されるようになってきた。免震設計とは文字どおり、地震に“耐える”（耐震設計）のではなく、“免れる”という発想からきている。地盤振動が伝えられる結果構造物が振動するのであれば、構造物を地盤から切り離しておけば、構造物の振動を大幅に軽減できるのではないかというのが免震設計の基本的な発想である。ただし、着想としては古くから存在したが、1970年代に至るまで免震設計が実用化された例はない。これには、実用的で信頼性に富む免震装置が開発されていなかったという理由の他に、この当時はまだ地震動の記録が少なく、強震地震動の特性がわかっていなかった、非線形動的解析によるコンピューター・シミュレーション手法や大型振動台を用いた実証試験手段が整っていなかった、等の理由を挙げることができる。1970年代に入り実験、解析技術の進歩と強震地震動の研究の進展に支えられ、免震設計を実用できる時代を迎えたのである。

免震設計では、内部的にエネルギー吸収をして構造物の振動を低減するのに対して、構造物の振動が小さくなるように外部からエネルギーを供給してコントロールしようというのが制震設計である。この方法によれば、大地震時にも構造物の振動を大きく抑制することができ、将来的には抜本的に地震被害をなくすこともできるのではないかと期待されている。ただし、構造物の振動を実用的なレベルまで引き下げるために必要なエネルギー量が非常に大きい点が問題であり、現状ではすぐに土木構造物に取り入れられる段階ではない。このため、免震設計と制震設計を組み合わせ、より少ないエネルギーで効果的に構造物の振動を制御するハイブリッドコントロール技術が有望視されている。

土木研究所では、昭和61年から橋梁を対象とした免震、制震、ハイブリッドコントロールに関する技術開発をUJNR耐風耐震構造専門部会を通した米国との共同研究や建設省の官民連帯共同研究制度を活用して進めてきた。本文では、土木研究所を中心とするわが国における道路橋の免震、制震、ハイブリッドコントロール技術の開発状況を紹介する。

2. 免震技術開発の歩み

2.1 免震設計とは

免震設計とは、何らかの装置または機構を用いて構造物の地震応答を低減しようという設計法の総称である。見方によっては非常に広範囲なものまでを含むが、近年、橋梁等土木構造物への適用が可能となってきたことから脚光を浴びている免震設計の基本的な考え方は、以下の三点である。

a) 地震力がある一定値以上になると固有周期を長くし、地震力を低減する。固有周期を長くす

るために、構造物を柔らかく支持する装置を「アイソレータ」とよぶ。

- b) 単に、構造物を長周期化しただけでは構造物に生じる変位が過大になるため、エネルギー吸収装置を併用して使用上問題とならないレベルにまで構造物の変位を低減する。エネルギー吸収を図る装置を「ダンパー」とよぶ。
- c) 風や制動荷重のように常時作用する荷重により構造物が有害な振動を生じないように抵抗力をもたせるために、ある一定以上の地震力が作用する以前にはアイソレータもしくはダンパーに十分な剛性をもたせておく。

アイソレータとダンパーの役割を地震応答スペクトルを用いてもうすこし具体的にみてみよう。構造物の建設地点でどの程度の地震動が生じ得るかは、個々の地点毎に異なるが、いま、マグニチュード8の地震が建設地点から50kmの位置に生じると仮定する。土木研究所による距離減衰式によれば、このときの加速度応答スペクトル（構造物に生じる加速度）は図-1（a）のようになる¹⁾。一方、この構造物が図-1（a）の点線に示すように、固有周期0.5秒付近では0.25の設計水平震度で設計されているとすれば、約0.25gまでの加速度が構造物に生じても構造物は各部の応力度が弾性状態のまま抵抗できることになる。構造物の応答が0.25gを越えると、構造物には損傷が生じ始めるが、非線形域において十分なねばり（じん性）があれば、大地震時にも大被害を受けずにすむというのが、許容応力度法による耐震設計の基本的な考え方である。

いま、免震設計を用いないで、普通の耐震設計をした場合にはこの構造物の固有周期 T は0.5秒、減衰定数 h は5%であるとする。この場合には0.5秒の固有周期に相当する0.75gの地震力（図-1（a）の S_A^A 点）が生じるが、これを0.25gまで引き下げ得れば、この構造物は弾性挙動できることになる。

まず、アイソレータにより構造物を弾性的に柔らかく支持し、固有周期を0.5秒から2.5秒に延ばしてみよう。これにより構造物に生じる地震力は0.75g（ S_A^A ）から0.16g（ S_A^B ）に低下する。しかし、図-1（b）に示すように長周期化すると構造物の変位は4.7cm（ S_D^A ）から25cm（ S_D^B ）に増大する。ここで、ダンパーを用いて構造物の減衰定数 h を5%から30%に大きくしてみよう。このようにすると、地震力は0.16g（ S_A^B ）から0.095g（ S_A^C ）に低下し、変位も25cmから16cmに

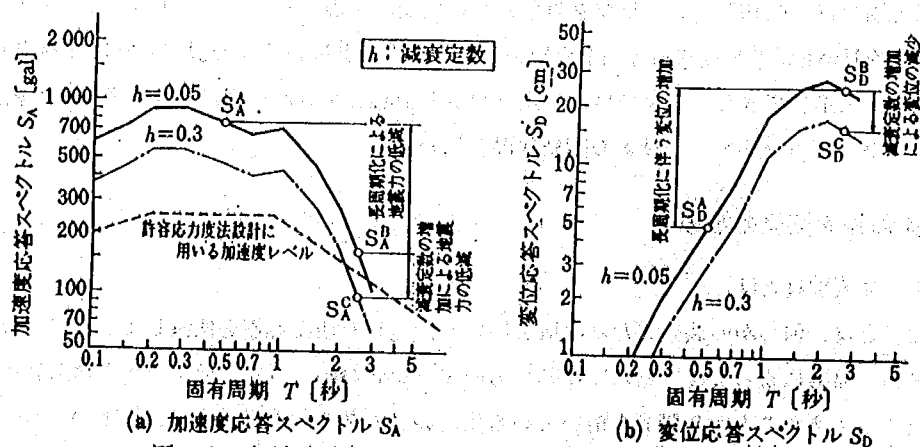


図-1 加速度応答スペクトルで表した免震設計の効果

低下する。このように、アイソレーターとダンパーを併用することにより、構造物の変位を許容できる範囲に抑えつつ、地震力の低減を図ることができるのである。

2. 2 技術開発の経緯

免震設計のアイデアはかなり昔からあり、たとえば1909年にはイギリス人医師Calantarientsによりアメリカで免震構造の特許が申請されているという。これは建物と基礎の間に滑石を置き、両者間を絶縁しようというものである。わが国でも当時すでに同種の免震設計のアイデアがあったとされるが、特許として認められたのは関東地震直後の1924年に鬼頭三郎および山下興家が最初といわれている。図-2に示すように、鬼頭は球座にボールを挿入したボールベアリングタイプの支承を、また、山下はすべり支承と復元力を与えるバネの併用を、それぞれ提案している。この他にも多数の類似の装置が提案されており、中には構造物を液体に浮かせて支持しようというアイデアも出されている。これらの発想はいずれも構造物と地盤間の縁を切ろうというもので、絶縁型の免震とも呼ぶべきものである。

これに対して、構造物の固有周期と地震動の卓越周期、あるいは地盤の固有周期に着目し、これらなるべく相互に離し構造物の地震応答を低減しようという発想が生まれてきた。たとえば、長大橋のようにもともと固有周期の長い構造系において、桁を弾性支持することにより一層の長周期化を図り、地震応答を積極的に引き下げようという設計がこれである。ごく一般クラスの固有周期の短い橋に対しても、長周期化を図り、長大橋と同様の地震応答の低減を図ろうというわけである。

以上のような絶縁や長周期化の発想は古くからあったが、1970年代までは一部を除き、ほとんど実用化されなかった。この理由は、地震力は低減できるとしても、地盤に対する構造物の相対変位が大きくなりすぎたり、原点に復帰しなかったりするためである。

これに対して1970年頃から構造物と地盤間の相対変位を抑えるために絶縁もしくは長周期化すると同時に構造物の運動エネルギーを吸収する装置を併用しようという考え方が現れてきた。これが近代的な意味での免震設計法であり、ニュージーランドで実用的な免震支承が開発されて以後、各国で大きく実用化を迎えるようになった。

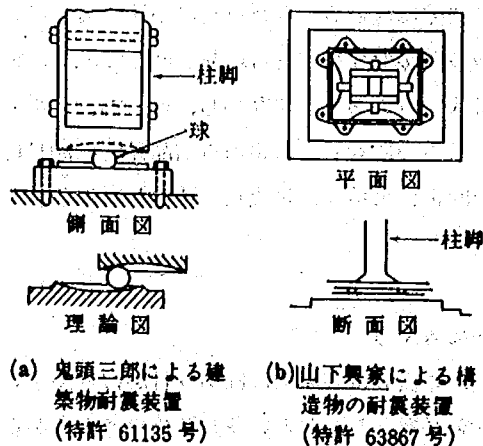
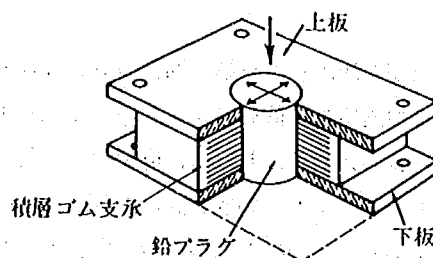


図-2 初期の頃の免震設計(絶縁)のアイデア

2. 3 鉛入り積層ゴム支承

近代的な免震装置及び免震設計法の開発には、ニュージーランドの貢献が大きい^{2)~6)}。ニュージーランドにおける免震装置の開発は、科学工學研究所の物理工學研究所において1970年頃から開始された。免震装置の開発では、エネルギー吸収をどのような原理で行うかが重要である。一般には、金属の塑性エネルギー吸収を利用するため、ダンパー材料として何を用いるかが重要である。ニュージーランドでは、軟鋼の曲げ変形やねじり変形を利用する各種のダンパーが開発されたが、なんといっても最高の傑作は鉛を用いた積層ゴムタイプの支承の開発であった。これが開発されたために、世界的に免震設計が急速に普及したといっても過言ではない。これは、図-3に示すように、鋼板とゴムを加硫接着した積層ゴム支承の中央に鉛の棒（鉛プラグ）を圧入したものである。穴の体積よりも1%程度大きめの鉛プラグを積層ゴム支承に圧入し、両者を一体化させる。適当な上載荷重が作用すると、鉛プラグと鋼板およびゴムの一体化がさらに促進され、支承に水平地震力が作用した場合に鉛プラグの全長にわたり一様にひずみが生じる。



(b) 鉛プラグ入り積層ゴム支承

図-3 鉛プラグ入り積層ゴム支承

図-4は、載荷実験から求めた履歴ループの一例であり、安定したエネルギー吸収性能を有している。ダンパー材料として鉛を用いる理由は、塑性変形後の独特な回復力にある。すなわち、図-5に示すように押し込みにより鉛に塑性変形を与えると、鉛の結晶粒子は引き伸ばされ、結晶のずれが生じる。その後、加熱すると塑性ひずみの影響から解放されて、回復→再結晶→結晶粒子の成長、という順で塑性変形前の状態にもどる。金属材料に塑性変形を与えた後に加熱し、1時間以内に50%の粒子を再結晶させるのに必要な温度を再結晶温度と呼ぶが、鉛の特徴はこの再結晶温度が他の金属に比較してきわめて低い点にある。すなわち、鉄、銅、アルミニウムの再結晶温度は、それぞれ450℃、200℃、150℃であるのに対して、鉛の再結晶温度は20℃にすぎない。したがって、鉛は常温においても結晶粒子の回復、再結晶、再成長が速やかに生じ、ひずみ硬化の影響が生じにくく、また、金属疲労の心配も少ない。

2. 4 免震設計法の基本的な考え方

免震設計法の開発というと、免震装置の開発にばかり目が行きやすいが、こうしたハードの開発以上になぜこのようなハードを必要としたかという設計法の考え方が重要である²⁾⁷⁾。ニュージーランドの耐震設計法の特徴は、大地震時に生じる地震力をまともに考慮し、これに対して多少の損

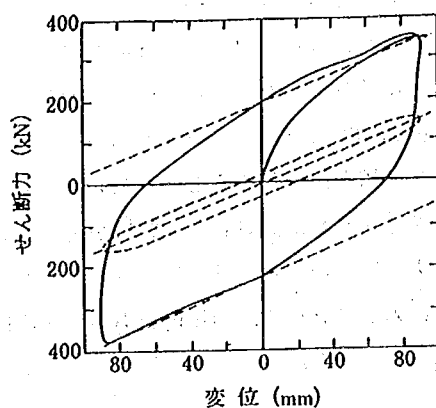


図-4 鉛プラグ入り積層ゴム支承の履歴ループ（せん断力とせん断変形の関係）

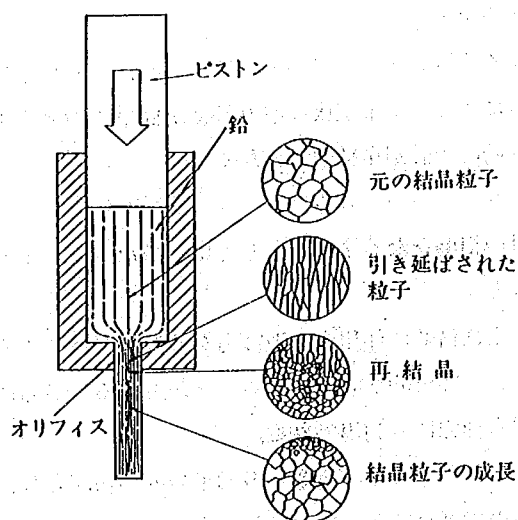


図-5 塑性変形した金属の再結晶

傷は生じてもよいが大被害は防ごうとしている点にある。すなわち、大地震時には、橋脚の基部等に損傷が生じるが、ここに適切な帯鉄筋を配しておけばじん性のある塑性変形が期待でき、このエネルギー吸収により地震応答を下げるができることを明確に耐震計算に取り入れているのである。しかしながら、塑性ヒンジという限定された箇所とはいえ、大地震時には被害が生じるわけであり、その復旧は高価なものとなる。したがって、塑性ヒンジと同等な効果をもたらす装置はできないものかというのが、免震装置開発の基本的な考え方であった。したがって、ある意味でねばりを重視したニュージーランド流の耐震設計法を推し進めた結果が免震装置の開発、ひいては免震設計法の開発につながってきたといえる。免震設計法のルーツはねばりを考慮した耐震設計法にあるという点が重要である。

わが国では、設計水平震度で0.2～0.3程度の地震力に対して、許容応力度法により構造物の各部

が弾性にあるように耐震設計するという方法が長く採用されてきた。設計震度0.2~0.3の地震力は気象庁震度でいえばⅤの小さい方であり、これに対して許容応力以内にあるように設計しておけば、震度Ⅶといった大地震時にも大被害は免れるだろうという考え方である。このような許容応力度法による耐震計算では、大地震時に構造物はどうなるかを読み切ろうとしていないことから、橋脚等に生じる塑性ヒンジの代わりに免震装置を採用しようといった免震設計を生み育てる土壤が限られていたといえよう。しかし、平成2年2月に改訂された道路橋示方書Ⅴ耐震設計編には、鉄筋コンクリート橋脚の地震時保有水平耐力の照査の規定が盛り込まれた。これは、関東地震級の大規模地震に相当する0.7~1.0の設計震度に対してRC橋脚の損傷をある一定範囲に抑えようというものである。このような考え方が盛り込まれたことにより、わが国においても免震設計の本質が理解されやすくなったと考えられる。

以上の設計思想からもわかるように、橋梁の耐震設計に免震設計を導入する利点を上げると、以下のようになる。

1) 概念的に設計思想が簡単である

地震エネルギーが集中する位置を限定しているわけであり、はじめからこの箇所に被害を生じてもよいように、また、場合によっては地震後に取り替えが簡単にできるように設計、製作、施工すればよい。このため、概念的に設計が単純明快となる。

2) 構造部材の損傷をコントロールできる

免震装置以外の構造部材の損傷をなくすか、もしくは軽微なものにすることができる。

3) 経済的な設計ができる

免震装置の採用により、下部構造に作用する地震力を分散、軽減できる。この結果、下部構造の断面を小さくすることができ、経済的な設計とすることができる。さらに、下部構造の強度、ねばり等が不十分な既設橋の耐震補強にも利用できる。

免震設計というと、従来、わが国では上記3)の効果のみが強調され、ややもすると現在よりも耐震性の低い構造物になるのではないかと危惧される場合があるが、1)および2)が基本であり、結果として3)の効果も生まれることに注意しなければならない。

3. わが国における免震設計技術の開発

3.1 初期の取り組み

わが国でも、建築分野では早くから免震設計の研究が進められていたが、土木の分野では建築のように塑性域の特性を期待した耐震設計は難しいのではないかとみられたことからやや遅れ、組織的な研究は昭和61年から開始された。すなわち、道路橋に対する免震設計の適用を検討するため、昭和61年度から3ヶ年間にわたり、(財)国土開発技術研究センターに「免震装置を有する道路橋の耐震設計研究委員会」(委員長:片山恒雄東京大学生産技術研究所教授)が設けられたのが最初である。ここでは、以下の3項目に対する検討が行われた。

1) 道路橋に適用可能な免震装置の調査

2) 道路橋に免震設計を適用する場合の留意点

3) 免震装置を用いた道路橋の試設計

この研究成果として、平成元年3月には「道路橋の免震設計法ガイドライン(案)」が発刊されている⁹⁾。このガイドライン(案)は、道路橋示方書や指針のように行政的に通達されたものではなく、単なる研究成果をまとめたものであるが、わが国最初の橋に対する免震設計法を体系的に示したもので、いわばその後のわが国の橋の免震設計のバイブルになっている。

3.2 道路橋の免震構造システムの開発

上記の研究により、わが国でも道路橋に対する免震設計が十分に可能なことが明らかとなったことから、建設省土木研究所では官民連帯共同研究制度により、平成元年度から3ヶ年計画で民間28社と「道路橋の免震構造システムの開発」を開始した。本共同研究では、道路橋に免震設計を適用して耐震性を向上させるとともに、経済性にも優れた設計を実現できるようにするため、道路橋を対象とする免震効果を積極的に取り入れた設計手法とそれを可能とする免震装置を開発していくことを主な目的としている。研究内容は、表-1に示すとおりである⁹⁾。以下、それぞれの研究内容について概要を紹介する。

(1) 道路橋用の免震装置の開発

現在までに、建物用として数多くの免震装置が開発されている。しかしながら、道路橋用免震装置は建物用に比べて、設置スペースが限られており、コンパクトでなければならないこと、さらに建物用に比べて環境条件が厳しいところに設置されるので耐久性が重要であることなど、道路橋固有の解決されなければならない項目がある。したがって、今後わが国で免震橋を建設していくためには、道路橋に適した免震装置を新たに開発していく必要がある。

共同研究では、表-2に示すように6形式、合計10種類の新しい免震装置が開発されつつある。その内訳は、次の通りである。

①高減衰ゴム支承……………	4種類
②摩擦(すべり)型ダンパー……………	2種類
③鋼製ダンパー……………	1種類
④高減衰ゴム付ローラー型免震支承……	1種類
⑤リンク支承……………	1種類
⑥粘性ダンパー……………	1種類

リンク支承を除く9種類の免震装置については、性能・特性を確認するため、同一の載荷装置を用いた同一の条件下で、一斉載荷実験を土木研究所で行った。実験では、写真-1に示す軸力載荷装置により、けたの死荷重に相当する一定軸力を加え、動的載荷装置により水平荷重を繰り返し加えた。なお、免震装置の中には温度特性の影響を受けるものもある。このため、写真-2に示す室温20度一定の恒温室の中で実験を行った。

図-6は、開発した免震装置の一例として、高減衰ゴム支承の水平荷重～水平変位の関係を示したものである。高減衰ゴムとは、変形するとそれにつれてゴム自身がエネルギー吸収する特殊なゴ

表-1 道路橋の免震構造システムの開発に関する共同研究の参加機関及び分担

研 究 項 目		土	鹿	清	林	熊	竹	間	松	住	三	五	奥	成	石	N	神	製	木	横	東	ブ	B	昭	バ	技	新	幹	副	
1. 橋梁用免震装置の開発に関する研究 (第1研究グループ)																														ブリヂストン
1.1 高減衰ゴム支承の開発																				○	○	○		○						
1.2 摩擦(スベリ)型ダンパーの開発														○																
1.3 鋼製ダンパーの開発									○														○							
1.4 ローラ支承の開発										○						○														
1.5 リンク支承の開発																	○													
1.6 粘性ダンパーの開発																			○											
1.7 実証試験方法の開発		○							○					○	○		○	◎	○	○	○	○	○	○						
2. 免震橋用の伸縮装置・落橋防止構造の開発に関する研究 (第2研究グループ)																													大成	
2.1 免震橋用の伸縮装置の開発					○									○																
2.2 免震橋用の落橋防止構造の開発		○												○																
3. 免震設計法の開発に関する研究 (第3研究グループ)																													鹿島	
3.1 免震設計法の基本方針に関する研究		○	○	○	○		○						○	◎					○						○	○	○			
3.2 動的解析法の開発に関する研究		○		○		○	◎		○			○			○															
3.3 免震装置の設計法に関する研究		○						○	○				◎	○		○		○	○	○	○	○	○	○						
3.4 簡易設計法の開発に関する研究		○	○	◎		○	○					○	○																	
3.5 免震設計を用いた場合の落橋防止構造及び伸縮装置に関する研究		○			○			○						○	○			○						◎						
3.6 免震橋の非線形動的解析手法の開発に関する研究		◎																												
4. 免震設計の適用に関する研究 (第4研究グループ)																													大日本	
4.1 PC橋に対する免震設計に関する研究		○	◎							○	○			○													○			
4.2 鋼橋に対する免震設計に関する研究		○													○	○	○										◎			
4.3 超多径間連続橋に対する免震設計に関する研究		○		○	◎				○								○								○	○	○			
4.4 耐震補強に対する免震設計に関する研究		○								○					○				○								◎			

注) 土: 土木研究所、鹿: 鹿島建設、清: 清水建設、林: 大林組、熊: 熊谷組、竹: 竹中土木・竹中工務店、間: 間組、松: 西松建設、住: 住友建設、三: 三井建設、五: 五洋建設、奥: 奥村組、成: 大成建設+東京ファブリック+日本建設、石: 石川島播磨重工業、N: 日本鋼管+日本建設、神: 神戸製鋼所、製: 日本製鋼所、イ: オイレス工業、横: 横浜ゴム、東: 東洋ゴム工業、ブ: ブリヂストン、B: ビー・ビー・エム、昭: 昭和電線、パ: パシフィックコンサルタンツ、技: 日本技術開発、新: 新構造技術

表-2 共同研究で開発された免震装置

免震支承の開発内容	開発内容概要図												
高減衰ゴム支承													
摩擦（すべり）型ダンパー													
鋼製ダンパー													
ローラー支承													
リンク支承													
粘性ダンパー	<table border="1"> <tbody> <tr> <td>6</td> <td>粘性流体</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>タンク</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>緩衝体</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>シールゴム</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>外箱</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>内箱</td> </tr> </tbody> </table>	6	粘性流体	5	タンク	4	緩衝体	3	シールゴム	2	外箱	1	内箱
6	粘性流体												
5	タンク												
4	緩衝体												
3	シールゴム												
2	外箱												
1	内箱												

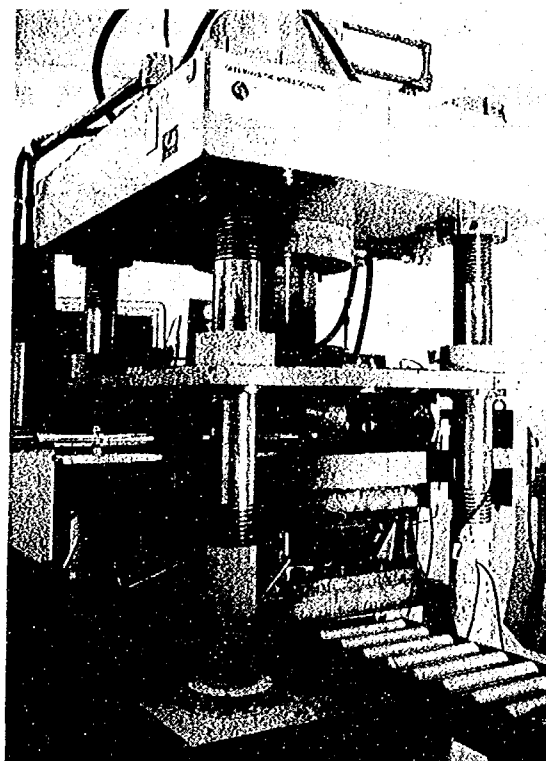


写真-1 開発された免震模型の特性を検討するため土木研究所で実施された動的載荷実験

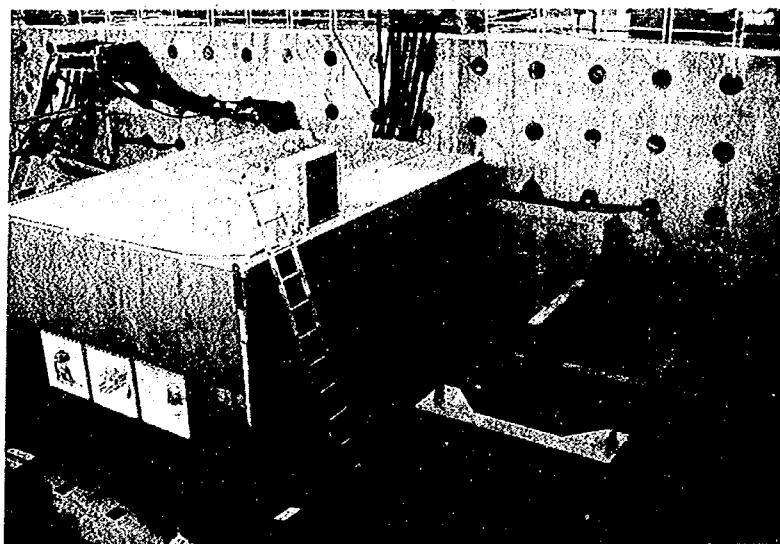


写真-2 実験に用いられた恒温室

ムである。実験の結果、大部分の免震装置は道路橋用として有効な減衰性能を有していること、荷重～変位関係は滑らかな形状であり、力学的特性が安定していることなどが明らかとなった。

また、今後開発される免震装置が、道路橋用の免震装置として所定の特性を有しているかどうかを確認するために、実証試験方法の開発も同時に行っている。実証試験の項目としては、鉛直剛性の確認等、支承としての本来的な機能を確認するための試験項目と、繰り返し載荷に対する安定性、振動数・速度変化に対する安定性、軸力の変化に対する安定性、載荷方向に対する安定性、温度変化に対する安定性等、水平復元力特性を確認するための試験項目がある。それぞれの試験項目について、試験条件を定式化するとともに、結果の評価方法を提案した。

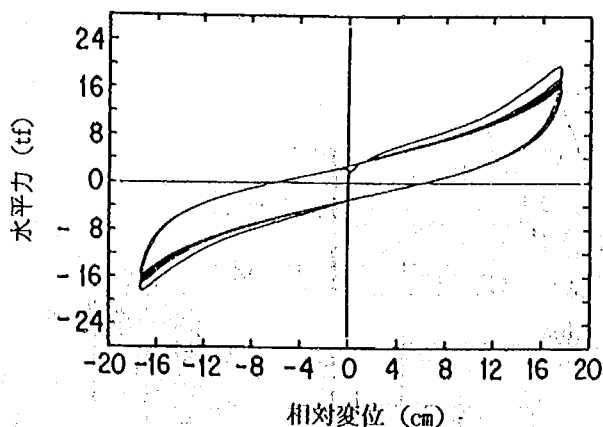


図-6 開発した免震支承の履歴ループの一例

(2) 免震橋用の伸縮装置および落橋防止装置の開発

免震橋用の伸縮装置として、ロックオフ構造及び橋軸直角方向にも移動可能なフィンガージョイントの開発を行っている。また、免震橋用落橋防止装置としては、下部構造から立ち上げた鋼棒と、内側に高減衰ゴムを装着して上部構造に埋め込まれた鋼製枠を組み合わせた構造について開発を行っている。

ロックオフ構造とは、図-7に示すようにけたの端部に床版の張り出しを設け、地震時にけたが橋台方向に大きく変位したときに張り出し部を橋台のロックオフ部に衝突させるものである。ロックオフ部は、橋台本体とは一体となっていないため、衝突により橋台裏込め方向に押し込められ、衝突による衝撃力が緩和される。

ロックオフ部の滑動状況及び滑動抵抗、裏込め土の破壊状況を確認するために、大林組技術研究所において図-8に示すようにロックオフ部を裏込め土方向に押し込む載荷実験を行った¹⁰⁾。写真-3及び4は、それぞれロックオフ装置の供試体および載荷実験後の状況を示したものである。図-9はロックオフ構造に加えられた水平荷重とその水平変位との関係を示したものである。実験の結果、ロックオフ部は橋けたの衝突力を緩和すると同時に、橋けたの過剰変位を抑制できることがわかった。

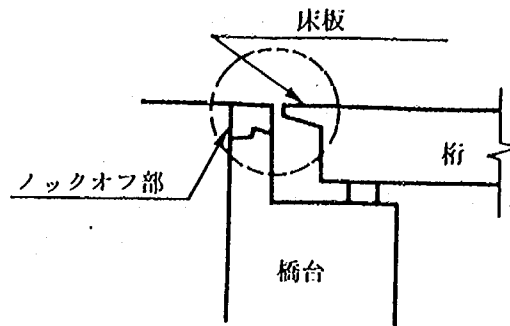


図-7 ノックオフ橋台

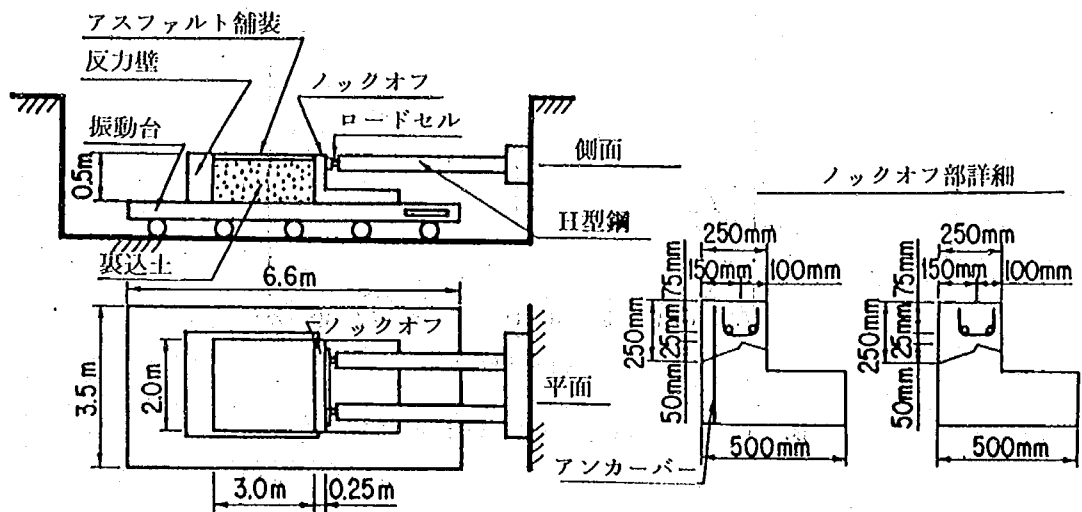


図-8 ノックオフ橋台の実証振動台実験

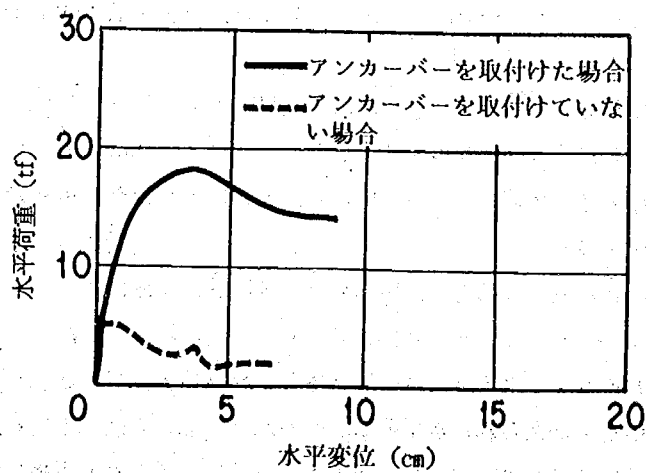
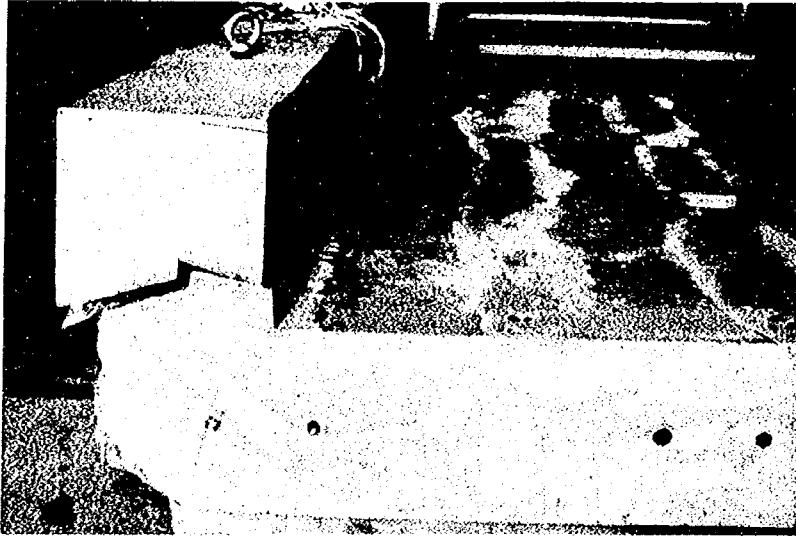
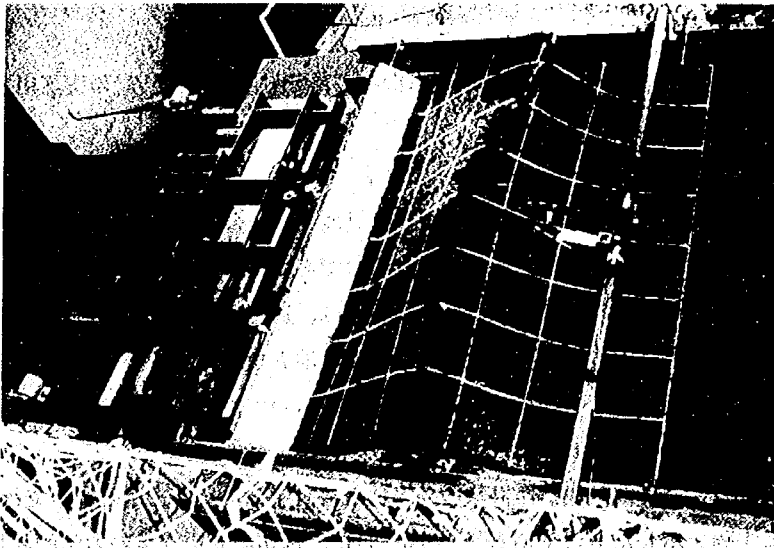


図-9 ノックオフ橋台の特性



写真→3 ノックオフ橋台（桁が橋台に衝突した場合に、橋台の一部が裏込め側に移動可能な橋台）の模型



写真→4 ノックオフ橋台の実証用振動台実験

写真→5 は、橋軸方向と同時に橋軸直角方向にも移動可能なエキスパンションジョイントの実証振動実験を大成建設技術研究所で行ったものである¹¹⁾。このような装置が開発されれば、橋軸直角方向にも免震効果を考慮することが可能となると期待される。

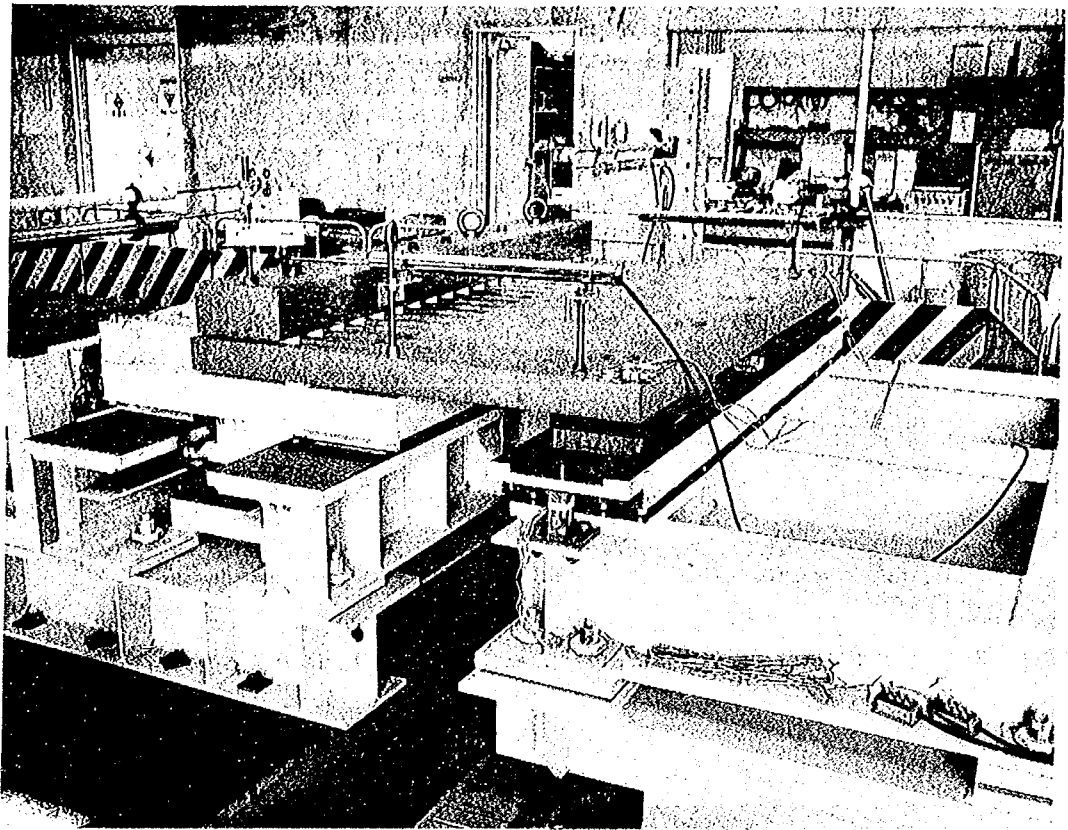


写真-5 橋軸方向だけでなく、橋軸直角方向にも移動可能な伸縮装置の実証用振動台実験

(3) 免震設計法の開発

上記ガイドライン(案)の考え方をさらに整理、発展させ、合理的な免震設計法の開発を行っている。図-10は、免震設計の基本フローを示したものである。ここで、免震設計における限界状態として2つのレベルを考慮することとした。レベル1は、道路橋示方書Ⅴ耐震設計編の震度法に相当するもので、比較的生じる可能性の高い中規模程度の地震を想定している。これに対してレベル2は、同示方書の地震時保有水平耐力の照査に相当するもので、大正12年の関東地震のような稀に起こる大規模地震を想定している。

写真-6, 7は、このような免震設計法の妥当性を検討するために土木研究所で行った免震橋模型の振動台加振実験を示したものである¹²⁾。図-11は、適切に免震支承の力学的特性をモデル化すれば免震橋の動的特性を正確に再現できることを示した一例である¹³⁾。

このような検討結果に基づき、免震設計法を取りまとめたが、取りまとめに際して最も重要な判断は、どの程度の長周期化を図るかということであった。すなわち、長周期化により桁の応答加速度、すなわち、下部構造に伝わる上部構造の慣性力は低下するが、そのかわりに桁の応答変位は増大する。したがって、桁と下部構造間の遊間を大きく取らないと桁と下部構造が衝突することになる。しかし、一方では、遊間はエキスパンションジョイント等との関係であまり大きくしたくない。

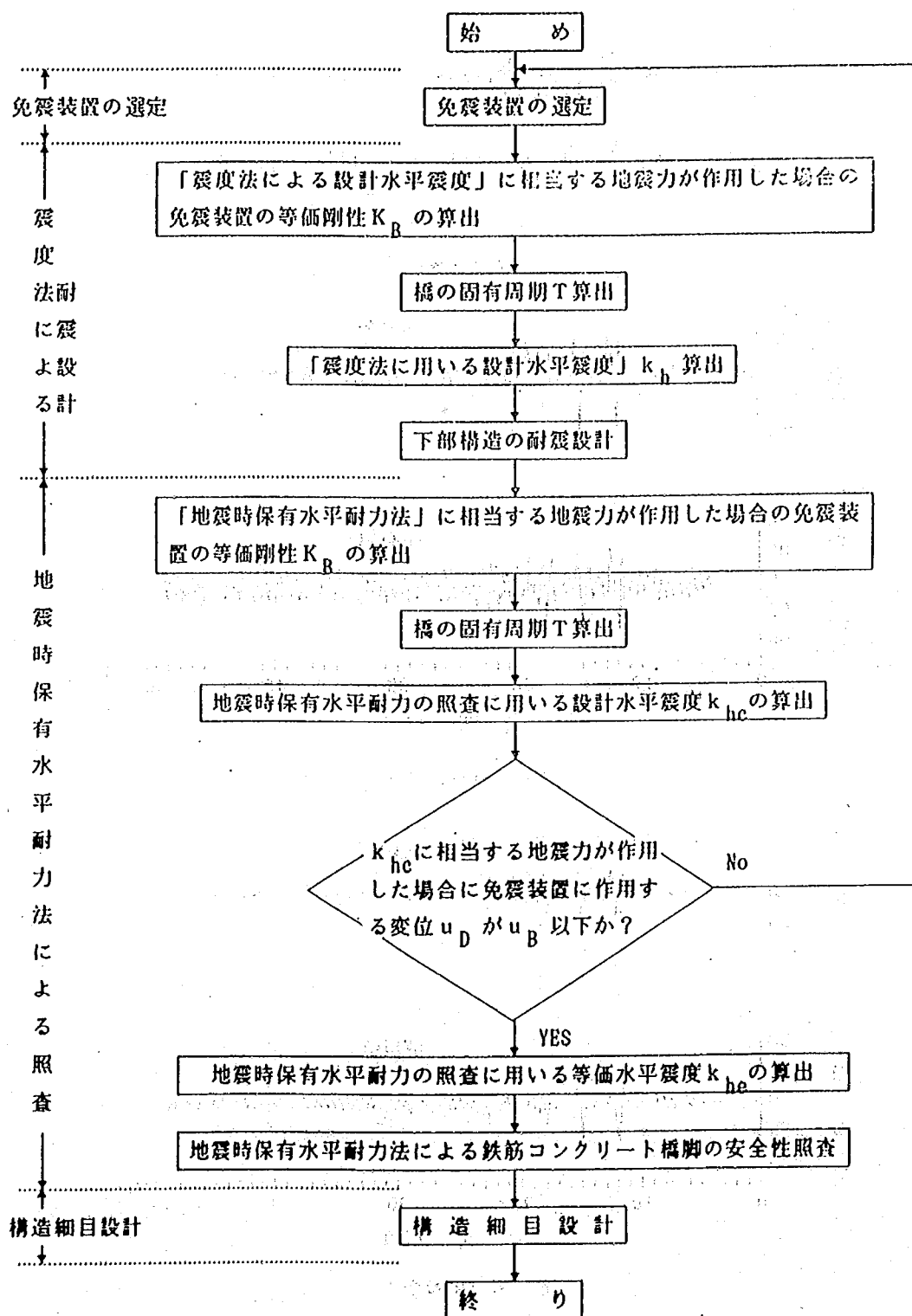
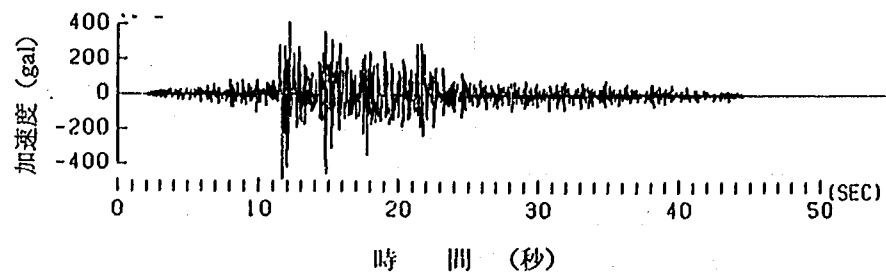
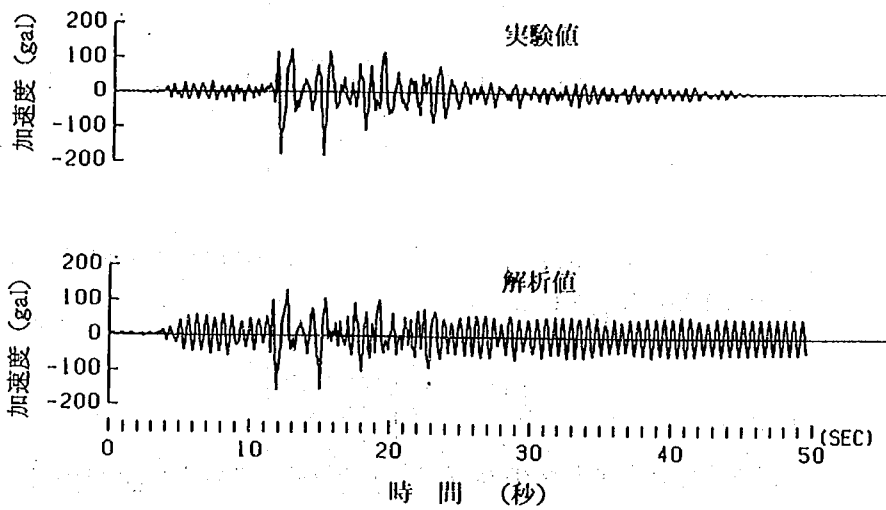


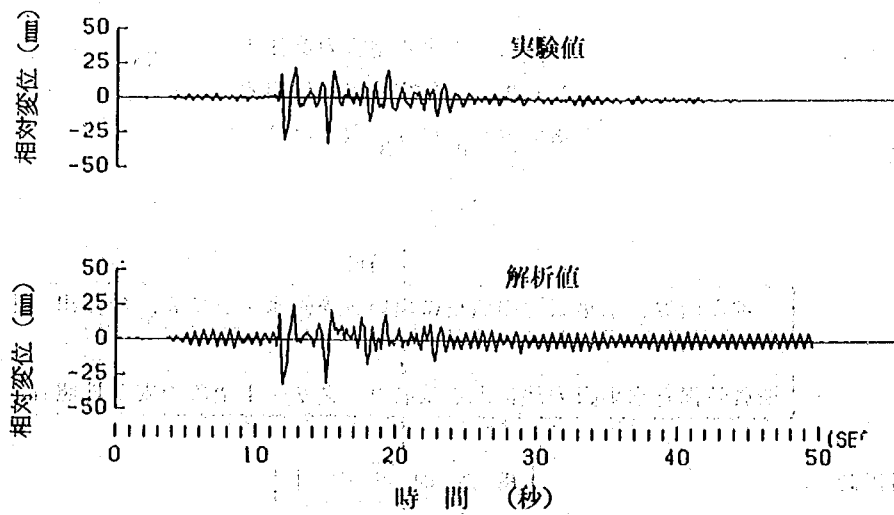
図-10 免震設計のフロー



(a) 入力加速度



(b) 桁の加速度



(c) 桁の相対変位

図-11 模型振動実験で求められた模型橋の動的特性の解析シミュレーション

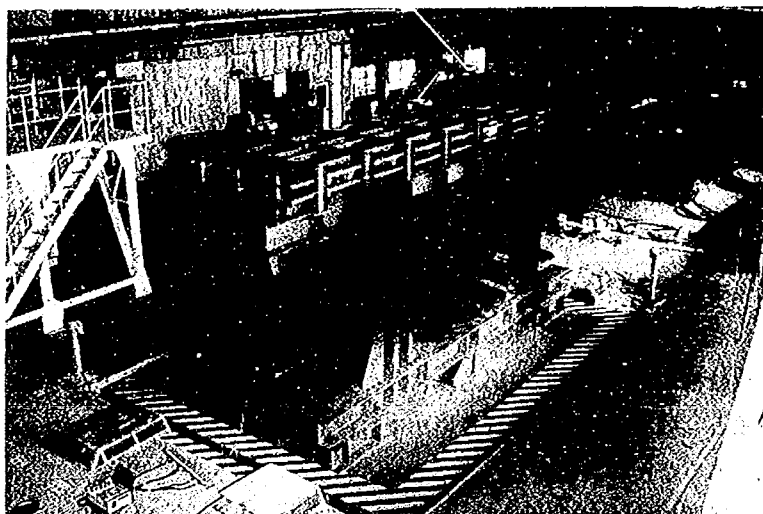


写真-6 免震橋の振動特性を検討するための模型振動実験

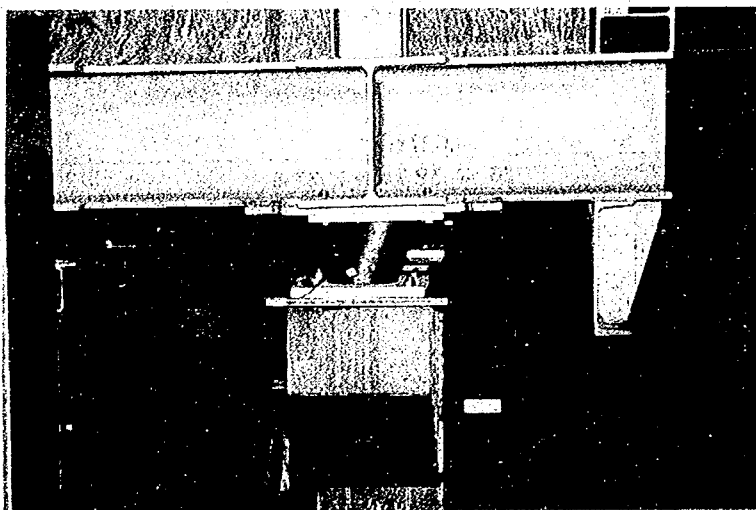


写真-7 免震支承模型のセット状況

互いに相反する条件の中で最適な長周期化はどの程度であるかが、免震設計を適用する際の一番重要な判断項目である。

建築分野や海外における免震橋梁の後追いをするのではなく、わが国に適した免震技術を開発する際には、以下のような考え方が適当と考えられる。

- 1) 支承の剛性を変えることにより、下部構造ごとに望み通りの地震力の分散を図りつつ、免震支承の導入により減衰性能を向上させて地震力の低減も図る。
- 2) 無理に長周期化するのではなく、地震力の配分とのバランスをとりつつ、地盤との共振を避けるように固有周期を調節する。

- 3) 橋軸方向のみならず、橋軸直角方向の支承の移動も許し、局所的な無理による支承の地震時の損傷を防止する。
- 4) 地震時の変形が支承に集中するようにし、その他の箇所に損傷が生じるのを防ぐ。支承の損傷は、地震後に容易にとりかえが効く構造としておく。

(4) 免震設計法の適用に関する研究

都市内の高架道路では、環境騒音または維持管理上、けた間の伸縮継手の数をなるべく減らすことが要求されており、連続橋の採用が多くなっている。このため、免震設計の適用に関する研究でも、主に多径間連続橋が対象とされている。特に、超多径間連続橋に関する研究では、けた長1 km級の連続橋を対象としており、免震設計を採用すれば、図-12に示すような26径間の超多径間連続橋の建設も可能であること等がわかった。

また、既存の多径間単純けた橋においても、伸縮継手を減らすため、単純けたの連続化が図られようとしている。普通に連続化すると、上部構造の慣性力の各橋脚への分配割合が変わるため、一部の橋脚を補強するなどの対策が必要となる。しかし、免震支承を採用すると、各橋脚にそれぞれの耐力に応じた慣性力を分配できるようになることから、橋脚を補強せずに連続化できることがわかった。

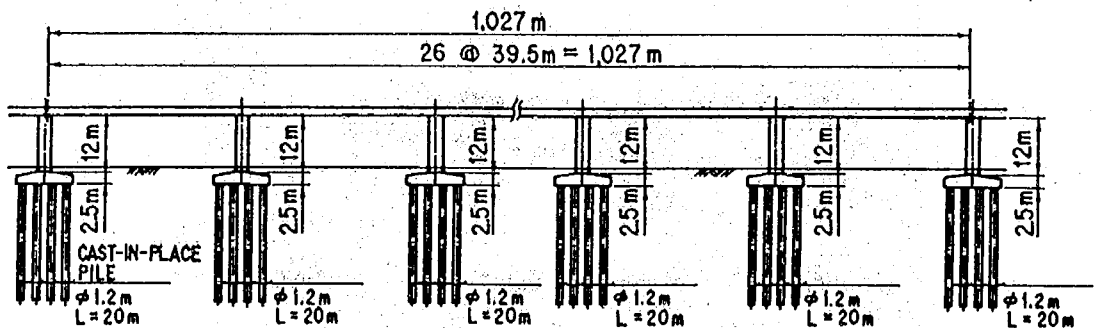


図-12 免震設計を用いると可能となる26径間連続橋

(5) 道路橋の免震設計マニュアルの作成

本研究は平成4年3月に終了する。3カ年の成果は「道路橋の免震設計マニュアル(案)」としてほぼ取りまとめを終えつつある。マニュアル(案)の構成は、以下に示す通りである。

1章 総則

2章 免震設計の基本方針

3章 免震設計

3.1 一般

3.2 免震設計における初期検討

- 3. 3 免震装置の特性値
- 3. 4 震度法
- 3. 5 地震時保有水平耐力法
- 4 章 免震装置の設計
 - 4. 1 設計の基本方針
 - 4. 2 積層ゴム支承の設計
 - 4. 3 鉛プラグ入り積層ゴム支承の設計
 - 4. 4 高減衰積層ゴム支承の設計
 - 4. 5 鋼製ダンパーの設計
 - 4. 6 摩擦ダンパーの設計
 - 4. 7 粘性ダンパーの設計
 - 4. 8 ローラー型免震支承の設計
- 5 章 動的解析による免震橋の照査
 - 5. 1 動的解析手法
 - 5. 2 解析モデル
 - 5. 3 動的解析に用いる地震入力
 - 5. 4 安全性の照査
- 6 章 免震装置を用いた場合の構造細目
 - 6. 1 一般
 - 6. 2 主要構造物間の遊間
 - 6. 3 落橋防止構造
 - 6. 4 ノックオフ装置
 - 6. 5 免震装置の構造細目
 - 6. 6 伸縮装置の構造細目
- 7 章 免震装置の性能確認試験方法
 - 7. 1 一般
 - 7. 2 免震装置の動的特性
 - 7. 3 動的特性の安定性
 - 7. 4 免震装置の静的特性
 - 7. 5 免震装置の極限特性
- 8 章 免震装置を用いた耐震補強
 - 8. 1 一般
 - 8. 2 設計水平震度
 - 8. 3 耐震補強に対する適用条件
 - 8. 4 構造細目
- 9 章 免震設計を用いた上部構造形式の変更

- 9. 1 一般
- 9. 2 設計水平震度
- 9. 3 上部構造形式の変更に対する適用条件
- 9. 4 構造細目

4. 免震橋の建設

4. 1 免震設計の実地での適用性の検討

道路橋に対する免震設計の実地での適用性を検討するため建設省の主導により、表-3に示す5橋の免震道路橋が試験的に施工されている^{16) 17) 18)}。このうち、静岡県宮川橋は、わが国初の免震橋として平成3年3月15日に供用開始された。

表-3 現在建設中の免震橋（一部、竣工）

管 理 者	橋梁名（仮称）	上部構造種類	橋 長（m）	備 考
北海道開発局	44号線温根沼大橋	鋼	456	
東北地方建設局	7号線長木川橋	鋼	97	
岩 手 県	340号線（丸木橋）	P C	92.5	
栃 木 県	294号線烏山1号橋	P C	250	
静 岡 県	362号線宮川橋	鋼	110	平成3年3月供用開始

4. 2 日本初の免震橋・宮川橋

（1）宮川橋の概要

宮川橋は、静岡県周知郡春野町の一般国道362号線において気田川に架設された、写真-8に示す橋長105.8m、幅員10.5mの3径間連続鋼桁橋である¹⁶⁾。免震支承としては、写真-9に示す鉛プラグ入り積層ゴム支承が用いられた。鉛プラグ入り積層ゴム支承は、橋軸及び橋軸直角方向の両方向に移動可能であるが、橋軸直角方向については変位制限装置が設置され、免震方向は橋軸方向のみとされた。

（2）免震設計

設計は、道路橋示方書に従って行われた。表-4は、比較的生じる可能性の高い中規模地震を想定した震度法、及び大正12年の関東地震のような稀に起こる大地震を想定した地震時保有水平耐力の照査における橋の固有周期、設計水平加速度及び設計相対変位を示したものである。震度法では、固有周期は0.76秒となり、設計水平加速度0.2gが用いられた。また、地震時保有水平耐力の照査では、固有周期が1.01秒となり、免震支承の減衰を考慮すると設計水平加速度は0.54gとなった。ただし、本橋はわが国最初の免震橋であることから、地震時保有水平耐力の照査では、免震支承の減衰性能は考慮しなかった。したがって、地震時保有水平耐力の照査では免震支承部の減衰定数を0と仮定して橋全体系の減衰定数を算出した。水平加速度は0.7gである。

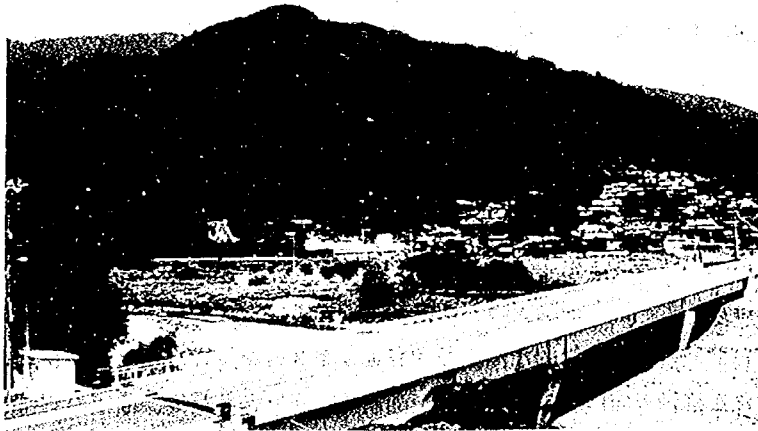


写真-8 わが国最初の免震橋（宮川橋、静岡県）

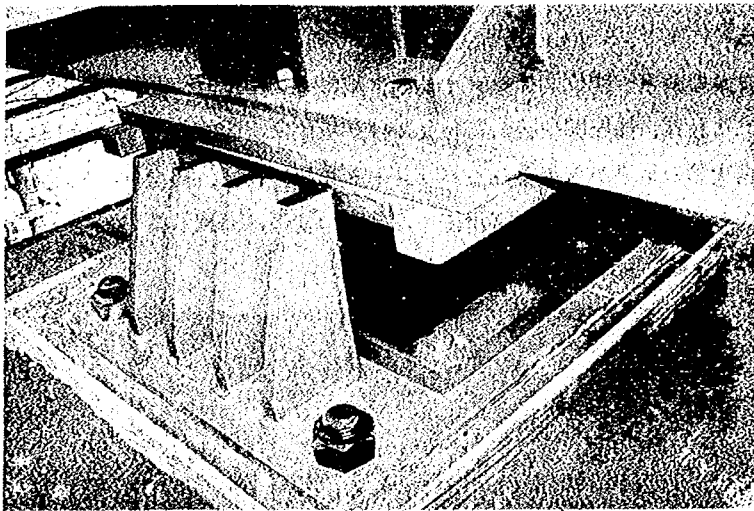


写真-9 免震支承のセット状況

表-4 宮川橋の設計条件

地震力のレベル	項 目	A 1	P 1	P 2	A 2
震度法レベル	固有周期	0.764 秒			
	設計加速度	0.2 g			
	設計相対変位	28.2mm	21.8mm	20.2mm	28.0mm
地震時保有 水平耐力法 レベ ル	固有周期	1.01秒			
	設計加速度	0.54 g			
	設計相対変位	133 mm	109 mm	105 mm	130 mm

免震支承を採用することにより、通常の橋に比べて上下部構造間の相対変位が多少大きくなる。このため、免震橋では橋台と橋けたの遊間及び伸縮装置の伸縮遊間を十分に確保する必要がある。ただし、伸縮遊間を大きく取れば、伸縮装置が常時の交通荷重により損傷を受けやすくなる。したがって、本橋では、地震時保有水平耐力レベルの地震力を受けた場合には、橋けたが橋台に衝突しないようにしたが、伸縮装置については震度法レベルの地震力による移動量だけを確保するようにした。この結果、橋けたと橋台の遊間は150mm、伸縮装置の遊間は50mmとなった。

(3) 振動実験

宮川橋では供用に先立って、免震効果を確認するために、土木研究所耐震研究室と静岡県により自由振動実験が行われた。自由振動実験では、写真-10に示すように橋けたの下にブラケットを仮設し、これと橋台前面との間に静的な油圧載荷ジャッキ3台を設置した。載荷ジャッキにより、橋台に対して橋けたを橋軸方向に所定の位置まで強制的に変位させた後、油圧の急速開放を行い、橋けたを自由振動させた。

図-13は、8cmの強制変位を与え、油圧を急速開放したときの橋台に対する橋けたの相対変位を示したものである。これからわかるように、油圧開放後約7.5秒間は自由振動したが、約4秒後には鉛プラグの塑性抵抗により、5.4cmの残留変位を残して橋けたはほぼ静止した。図-13には、鉛プラグ入り積層ゴム支承の荷重～変位関係をバイリニア型にモデル化した動的解析結果も比較のため示している。これによれば、油圧開放後0.75秒までは解析値は実験値とよく一致しており、免震支承単体のせん断載荷実験の結果から得られるパラメータを用いれば、橋全体の振動特性を適切に把握できることがわかった。0.75秒以後も宮川橋ではけたの変位は漸減しているが、これは鉛のクリープ変形によるものである。



写真-10 宮川橋の強制載荷実験

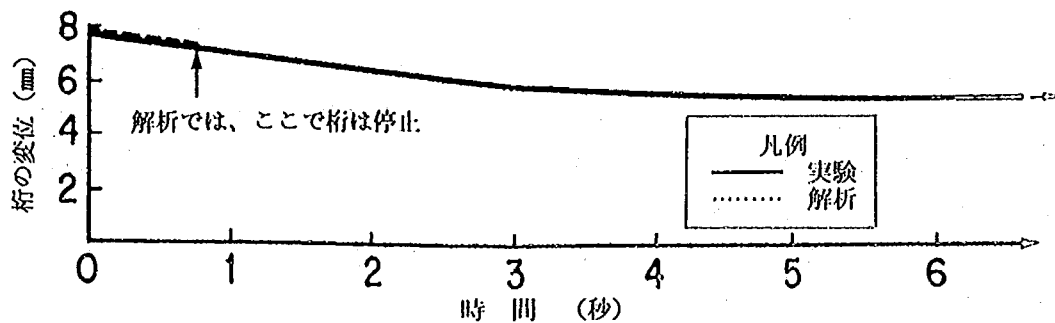


図-13 強制载荷実験による宮川橋の自由振動

また、振動実験と同時に車両の走行実験が、土木研究所構造研究室と静岡県により行われた。免震橋であることによる特別な振動は、支承まわりには観測されなかった。

なお、振動実験など一連の実験を終った後、桁に 8 cm の最大変位を与えて、そのまま放置し、その後の残留変位を測定した。これによれば、約 1 ヶ月後には残留変位は 0.9 cm まで減少しており、事実上、問題がないことが明らかとなった。

宮川橋の地震応答を観測するため、静岡県と土木研究所振動研究室により、強震観測が実施されている。

4. 3 免震支承の利用

以上のように、免震設計とはっきり意識して建設されたわけではないが、免震支承を採用して弾性固定方式として建設される“免震もどき”の橋が増えつつある。たとえば、写真-11は、名古屋

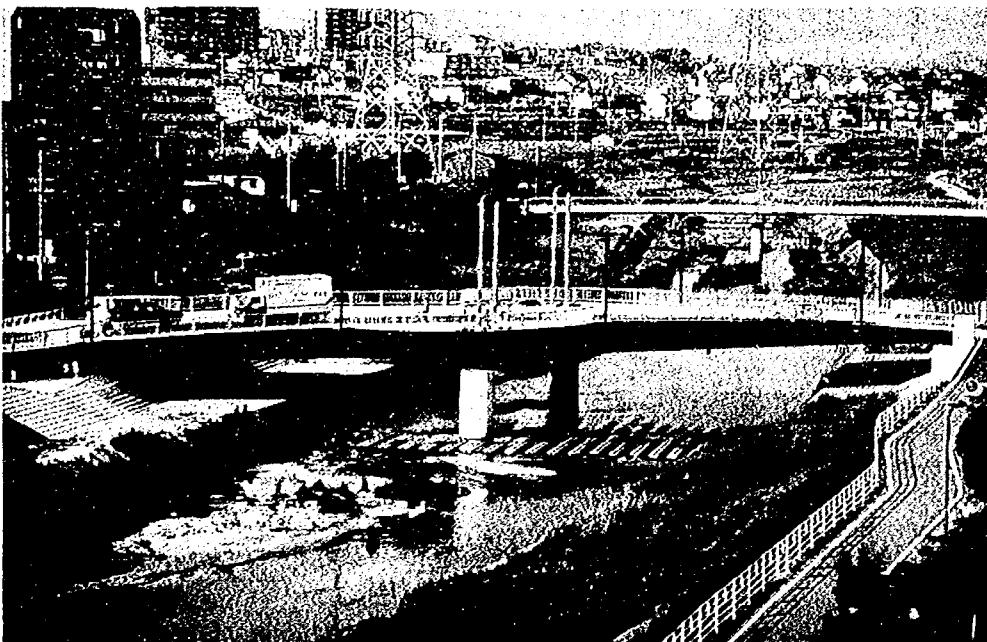


写真-11 分散沓として免震支承を採用した例（植原橋、名古屋市）

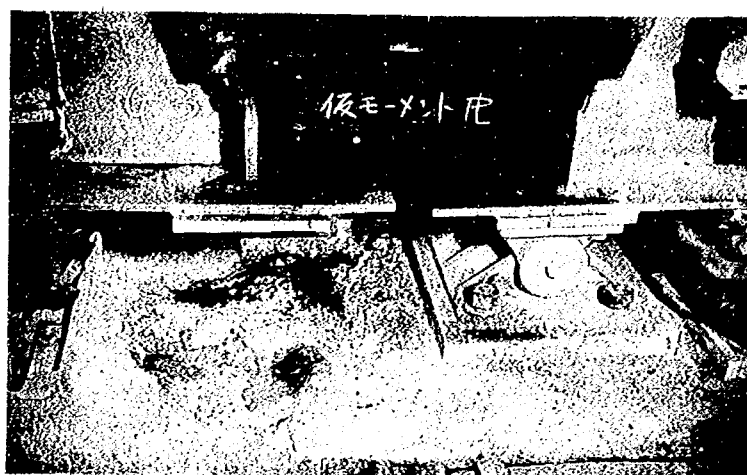
市が平成3年3月に供用開始した植原橋である。この橋では、橋台下を地下鉄が通るため、免震支承を用いて地震力の分散を図っている。分散者の役割を果たす支承として免震支承が採用されたわけであり、設計計算には見込まれていないが、減衰性能の付加が地震応答を低減することも期待している。この方式は、植原橋以外にも多数採用されつつあり、今後、多径間連続橋の建設に広く取り入れられて行くと考えられる。

写真-12は、阪神高速道路公団が走行性の向上と交通振動の低減のために単純桁の桁連結に免震支承を採用した例である。隣接する桁のウェブとフランジを添接板で結び、鋼製支承を免震支承に入れ換えて地震力の分散を図っている。これも分散者として免震支承を採用した例で、減衰性能の付加による耐震性の向上も期待されている。

表-5は、現在までにわが国で建設もしくは計画中の免震橋及び免震支承を用いた橋を示したものである。



(a) 既存の支承の撤去



(b) 免震支承の据え付け

写真-12 桁連結のために既存の支承を撤去し、免震支承を採用した例（阪神高速道路公団森口線）

表-5 現在建設中もしくは計画中の免震橋及び免震支承を用いた橋

管 理 者	橋梁名(仮称)	路 線 名	橋長(m)	上 部 構 造 形 式	備 考
東北地方建設局	長木川橋	一般国道7号	97	鋼3径間連続鈑桁	免震設計の実施での適用性の検討 施工中
北海道開発局	温根沼大橋	一般国道44号	456	4径間連続鈑桁	免震設計の実施での適用性の検討 施工中
岩 手 県	(丸木橋)	一般国道340号	92.5	3径間連続PC箱桁	免震設計の実施での適用性の検討 施工中(平成4年11月完成予定)
栃 木 県	烏山1号橋	一般国道294号	250	6径間連続PC箱桁	免震設計の実施での適用性の検討 施工中(平成4年度末完成予定)
静 岡 県	宮川橋	一般国道362号	110	3径間連続非合成鈑桁	免震設計の実施での適用性の検討 完成(平成3年3月)
山 口 県	平生大橋	港湾臨港道	350	5径間連続PC箱桁	施工中
名古屋 市	植原橋	名古屋市道井口 1丁目第1号線	65	2径間連続鋼床板	完 成(平成3年3月)
首都高速道路公団		首都高速12号線	136	6径間連続ホロースラブ	施工中
首都高速道路公団		高速湾岸線	417	9径間連続PC箱桁	施工中
阪神高速道路公団	松の浜高架橋		211	4径間連続鋼箱桁	施工中
阪神高速道路公団	泉佐野高架橋		318	6径間連続鋼箱桁	施工中

5. 制震設計

5. 1 制震設計とは

制震設計とは、構造物に外部からエネルギーを供給して構造物の地震応答を低減しようという設計法である。いろいろな方式が提案されているが、最も一般的な方法は、アクティブ・マスと呼ばれる重りと橋の振動に応じて重りの動きをコントロールできる制御回路及びアクチュエーターから成る装置を橋に取り付けるものである。

アクティブ・マス方式では、重りの重量と、重りをどれだけの距離だけ動かせばよいか（ストローク）に応じて、地震時の橋の振動をどれだけ抑えられるかが変わってくる。また、これによって、アクチュエーターの駆動に要する外部エネルギー量も異なってくる。アクチュエーターの駆動には、一般に、電力あるいは油圧が用いられるが、橋の振動を小さくしようとすればするほど、多量の電力あるいは油圧が必要とされる。

なお、このような考え方を地震ではなく風等による構造物の振動制御に用いようとする考え方もある。この場合には、“制震”ではなく“制振”と呼ばれる。原理的には同じであるが、風等による構造物の振動は地震による振動に比べて小さく、“制振設計”では“制震設計”よりもはるかに小さな制御エネルギーしか必要としない。このため、架設時の風による橋の振動制御等、すでに実用化されているものがある¹⁹⁾。

制震設計を適用するメリットとしては、構造物の耐震性を抜本的に向上させたり、厳しい環境条件下の構造物のように、制震設計の導入によって初めて建設が可能となる構造物が存在すると考えられる。

一方、制震設計を可能とするためには、以下のような条件が整っていないなければならない。

- 1) 大地震時にも、安定したエネルギー供給が可能か、もしくは、構造物内にエネルギーがストックされていなければならない。
- 2) 構造物内に取り付け可能なコンパクトな制震装置が開発されなければならない。
- 3) 大地震時にも確実に作動し、かつ、長期的に安定した制震装置が開発されなければならない。

いずれも固有の問題を抱えているが、特に、1) のエネルギー供給が現状では大きな問題である。制震装置を必要とするような大地震時に、果して、多量のエネルギー供給が安定して可能であるとは、現状ではとうてい考えられない。したがって、こうした点が解決されない限り、土木構造物に制震設計を採用することは当面は困難であると見られている。

一方、建築分野では現在、かなりの制震ビルがすでに建設されたり、あるいは、建設中である。こうしたビルの基本的な考え方は、中小地震に対する居住性の向上にある。すなわち、中小地震であれば電力供給は可能であるし、また、発生頻度も高い。したがって、こうした中小地震に対して制震設計が採用できれば、地震に対する居住者の不安感を大きく緩和できるだろうというものである。ただし、大地震が発生した場合には、制震設計は適用できないので、この場合には従来通り耐震設計によってビルを十分強く作っておかなければならない。

土木構造物では、一般に、建築物のように地震時の居住性が問題となる場合が少ない。このため、

結局、大地震時の耐震性の向上という、現状では、最も課題が多い分野での利用が中心にならざるを得ない所に、土木構造物に対する制震設計の難しさがある。

5. 2 制震設計の橋梁への適用性の検討

制震設計が橋梁にどの程度利用可能かを、簡単な試算によってみてみよう^{20) 21)}。いま、図-14に示すような橋長90mの3径間連続橋の橋軸方向の振動に着目する。橋の上部構造重量は1,035tで、一次固有振動数は0.991Hzである。

土木技術資料 31-5 (1989)

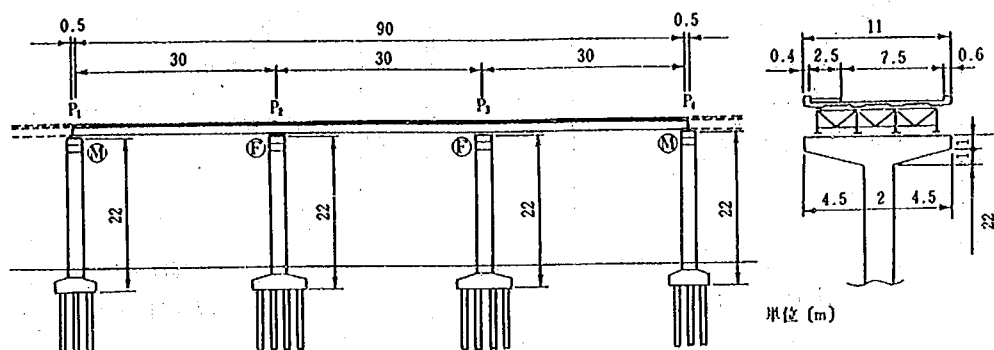


図-14 制震設計の適用性の検討に用いた解析対象橋

橋の振動をアクティブ・マスで制御するものとし、図-15に示すように橋を簡単な1自由度振動系にモデル化する。制震設計では、アクティブ・マスの質量 m_a をどの程度にとればよいかが重要なパラメーターとなるため、ここでは、以下の3ケースを考える。

- ①ケース1 上部構造重量 $\times 1/10$
- ②ケース2 上部構造重量 $\times 1/100$
- ③ケース3 上部構造重量 $\times 1/1000$

解析方法には、いろいろな方法があるが、ここでは、最適フィードバック法と呼ばれる方法を用いた場合を示す。入力地震動としては、昭和53年6月の宮城県沖地震により開北橋近傍地盤上で得られた強震記録を用いる。

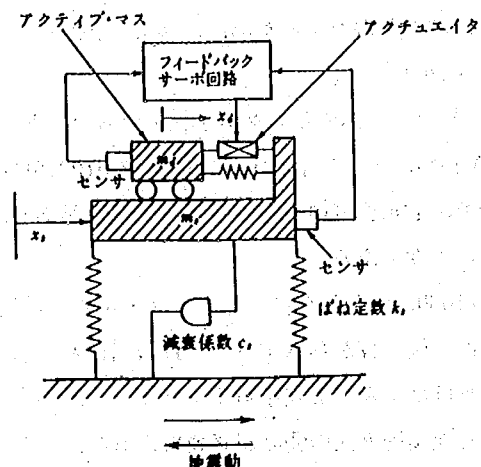


図-15 1自由度系にモデル化したアクティブ・マス・ダンパーによる制御を受ける橋

図-16は、以上のようにして解析した結果を桁の最大応答値に着目して示したものである。これによれば、制御の重み係数を大きくするほど（制御の程度を大きくするほど）、桁の振動は小さくなる。また、同じ重み係数であれば、アクティブ・マスの質量と上部構造の質量の比（ $r_m = m_a / m_s$ ）によって桁の変位や加速度はほとんど変化しない。

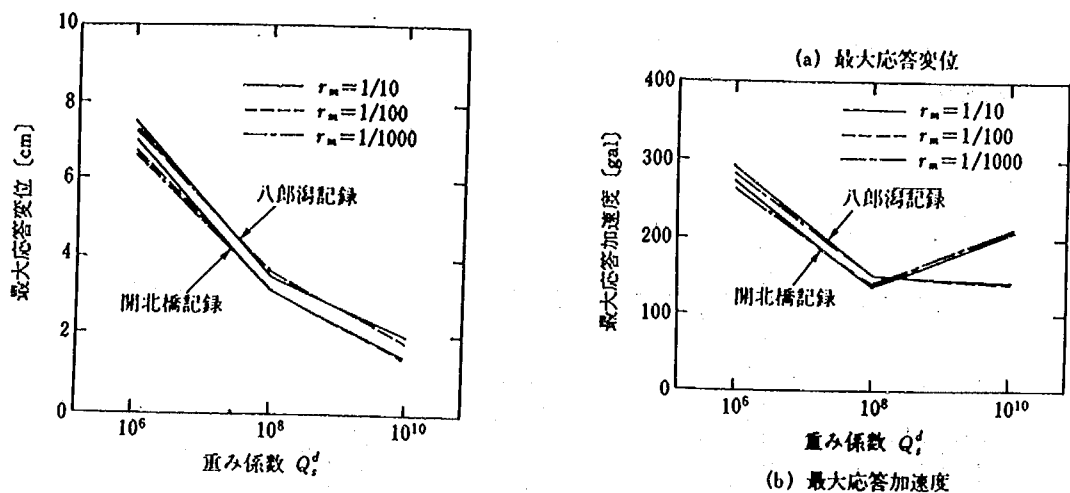


図-16 橋の最大応答に及ぼす質量比 r_m および重み係数 Q_d^d の影響

一方、図-17は、これだけの制御に必要なアクティブ・マスのストロークを示したものである。質量比 r_m が小さくなれば（アクティブ・マスの質量が小さくなれば）、同じ制御量を得るためにアクティブ・マスのストロークは大きくなる。これは、小さな質量で大きな制御力を得るためにはアクティブ・マスは大きく動かなければならないことを示している。

さて、どの程度の制御力が必要かを知るために、一例として重み係数が 10^{10} の場合を考えてみよう。この場合には、図-16に示したように、桁の変位は1.5cmと、制御をかけなかった場合の6.8cmの約1/4となっている。これだけの制御をするために、最大で199tfの制御力を必要とする。これは、上部構造重量1,035tfの14%に相当する。

一方、199tfの制御力を得るために必要なアクティブ・マスのストロークは図-17に示したように、質量比 $r_m = 1/10$ 、すなわち、アクティブ・マスの質量が103.5tfの場合には、ストロークは0.42mでよい。支間30mの橋で0.42m程度のストロークは実現性があるが、上部構造重量の10%のマスを駆動させることは非常に大変である。

それでは、質量比 r_m を $1/1000$ 、すなわち、アクティブ・マスの質量を1.035tfとした場合にはどうであろうか。この場合には、図-17からストロークは37.4mと、途方もなく大きな値となる。支間長が30mであるから、これはほとんど実現不可能である。

もちろん、今後より効果的な制御方式の開発が必要であるが、以上の点から、現状ではアクティブ・マスをそのまま橋梁の制震に適用することはかなり難しいと言わざるを得ない。

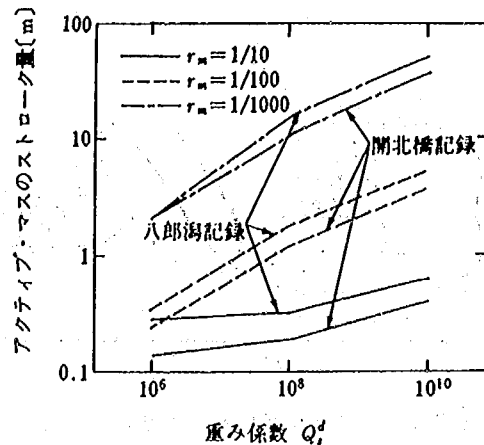


図-17 アクティブ・マス・のストローク

6. ハイブリッドコントロール技術の開発

6. 1 ハイブリッドコントロールとは

以上のように、制震設計は、抜本的に構造物の地震応答を低減させ得るという点で非常に魅力的な方法ではあるが、構造物の振動制御に要するエネルギー供給量が多いことから現状ではすぐに橋梁等の土木構造物に実用化できる段階ではない。このため、免震設計と制震設計を組み合わせ、実現可能なエネルギー量で効果的に構造物の振動を制御するハイブリッド・コントロールが有効と考えられている。土木研究所は、U J N R耐風耐震構造専門部会の活動の一環として、米国とハイブリッドコントロールに関する共同研究を実施している。この中では、①パッシブ構造要素、②アクティブ構造要素、③最適ハイブリッドコントロールに関する研究を実施している。

この中で土木研究所で重点的に開発しているのは、セミアクティブという部類に属するバリアブルダンパーである^{14) 22)}。バリアブルダンパーとは、基本的には粘性ダンパーであるが、図-18に示すように粘性減衰力を橋の応答に応じて変化させようというものである。たとえば、桁の振動振幅が小さいうちは、粘性係数を大きくし、事実上車両の制動荷重などに対しては固定支承と同じ機能をもたせる。ただし、温度変化による桁の変形のように速度の違い動きに対しては可動である。地震が発生し、桁の振動がある程度大きくなった場合には、エネルギー吸収を最適にするとともに、下部構造へ伝達する地震力を適切に調整できるように減衰係数を下げる。さらに、桁の振動が大きくなり過ぎた場合には、これ以上の桁の振動を抑えるために、徐々に粘性係数を大きくしてストッパーの役目をもたせる。

したがって、バリアブルダンパーとは、従来のわが国の橋梁の耐震設計に用いられてきた粘性ダンパーストッパー²³⁾、免震設計でいうところのダンパー、緩衝機能付きストッパーの3つの装置の長所を合わせ持ったものということができる。粘性係数を変化させるためには、ダンパーのオリフィスの大きさを変化させるだけで済み、コントロールに要するエネルギーは制震設計に比較して大幅に小さくすることができる。

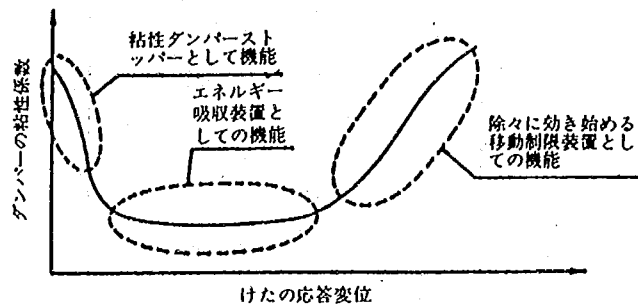


図-18 バリアブルダンパーの基本コンセプト

6. 2 バリアブルダンパーの適用と開発

バリアブルダンパーの制御効果を解析するために、図-19に示す橋長30mの単純桁橋の橋軸方向振動を対象として地震応答解析を行った。桁は弾性支承によって支持されているものとし、桁と橋脚間にバリアブルダンパーが設置されるものとした。弾性支承のばね係数は、一次固有周期が1秒となるように設定した。解析ケースとしてはバリアブルダンパーを設けた場合と設けない場合の2ケースとした。バリアブルダンパーの粘性係数は図-20に示すように、上下部構造間の相対変位に応じて定めるものとした。

入力地震動は、道路橋示方書Ⅴ耐震設計編に示されるⅢ種地盤用の地震時保有水平耐力レベルの適合波形とした。これは、関東地震級の大地震による地震動で、最大加速度は443galと大きなものである。なお、上記のいずれのケースにおいても構造物固有の減衰定数は2%とした。

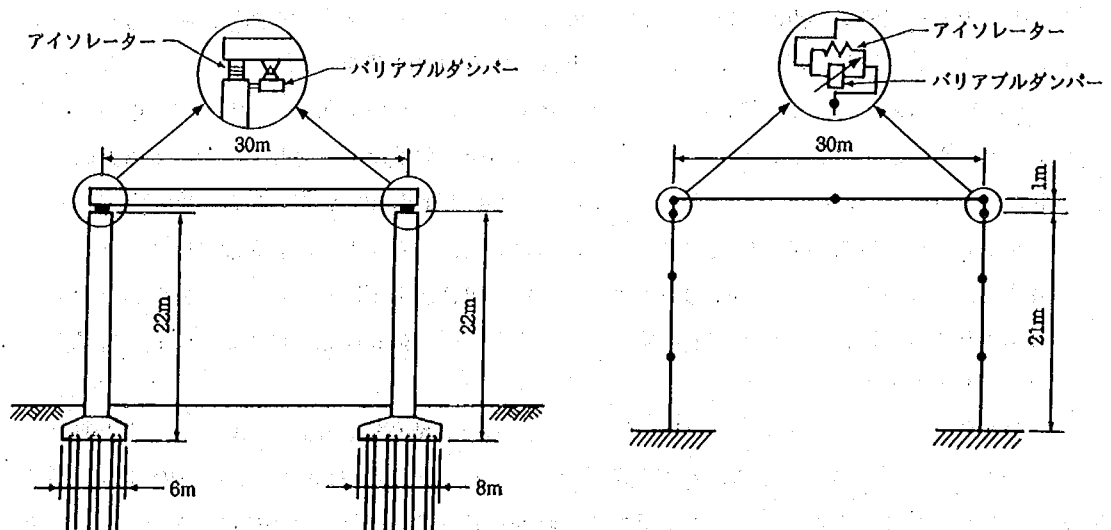


図-19 解析対象橋

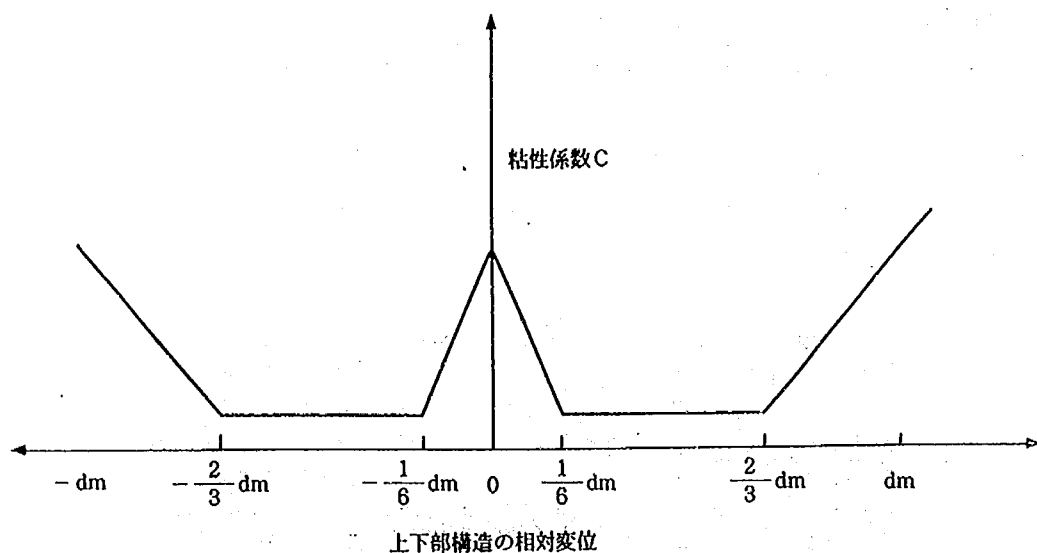
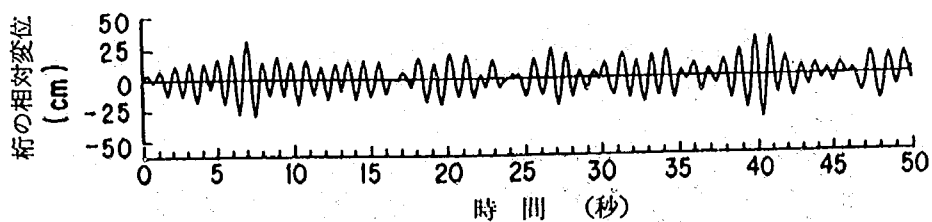


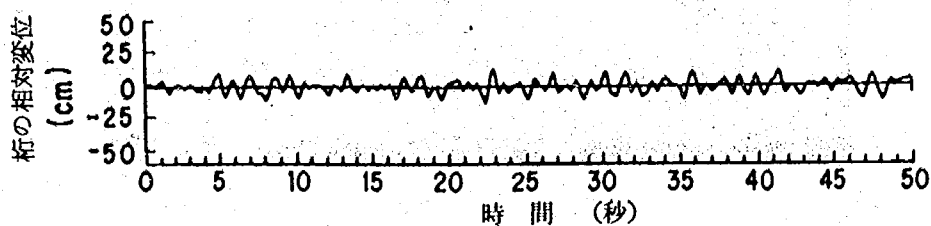
図-20 桁の相対変位に応じた粘性係数の設定

図-21 (a) は、バリアブルダンパーを取り付けない場合の桁の応答変位を示したものである。桁の最大変位は33.0cmであり、最大加速度は1300gal となる。これは、非常に大きな振動で、設計水平震度の換算すると1.3という大きな値となる。これは、いま、考えている地震が関東地震級の大きな地震を考えているためである。

これに対して、図-21 (b) は、バリアブルダンパーを取り付けた場合の桁の変位を示したものである。バリアブルダンパーを取り付けた場合には、最大変位は13.3cmとバリアブルダンパー



(a) バリアブルダンパーを設けない場合



(b) バリアブルダンパーを設けた場合

図-21 バリアブルダンパーの効果

を取り付けない場合の40%に減少している。最大加速度も566galと43%に減少している。

このようにバリアブルダンパーを取り付けることにより、橋の振動を大きく低減することができる。

現在、土木研究所では、バリアブルダンパーのパイロットモデルを開発中である。写真-13、14はパイロットモデルを示したものである。機構的には、従来の粘性ダンパーストッパーとほとんど同じ簡単なものである。

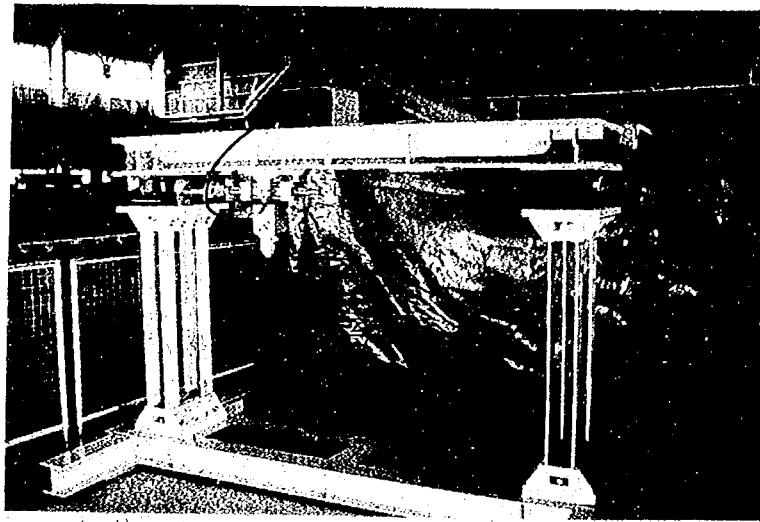


写真-13 バリアブルダンパーを取り付けた模型橋

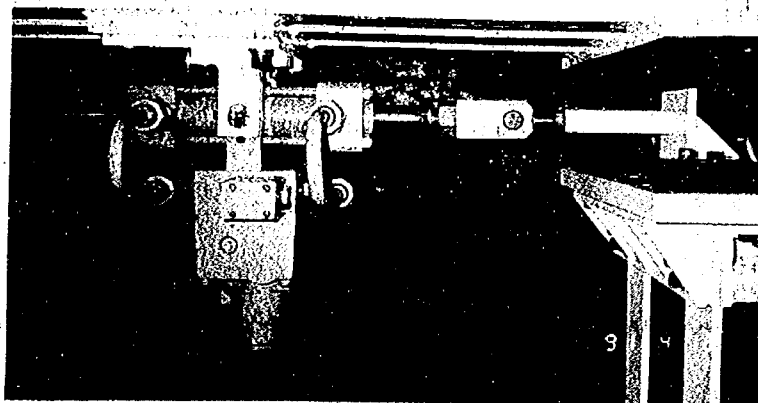


写真-14 バリアブルダンパー

7. まとめ

以上、土木研究所を中心とする橋梁の免震、制震、ハイブリッドコントロール技術の開発状況を紹介した。それぞれの技術の熟度としては、免震設計はすでに実用に達し、今後普及を図っていく技術、バリアブルダンパーは今後3～5年程度で適用可能な技術、ハイブリッドコントロールは今後5～10年で適用可能な技術、制震設計はもう少し長期的に検討する必要がある技術と考えている。これらはいずれも今後の橋梁の多径間連続化、長径間化、高橋脚化、厳しい用地条件の制約における橋梁等の建設に重要な技術となると考えられる。今後の一層の技術開発が必要とされる。

参考文献

- 1) 川島一彦、相沢 興、高橋和之：最大地震動及び地震応答スペクトルの距離減衰式、土木研究所報告、第166号、昭和60年9月
- 2) 川島一彦：免震設計技術の発展と今後の展望、研究展望、土木学会論文集、第398号/I-10、昭和63年10月
- 3) Chapman, H.E. and Kirkcaldie, D.K. : Seismic Design of Base Isolated Bridges Incorporating Mechanical Energy Dissipators, RRU Bulletin 84, 1990
- 4) Buckle, I. : History and Application of Seismic Isolation to Highway Bridges in U.S., Proc. U.S-Japan Workshop on Earthquake Protective Systems of Highway Bridges, National Center for Earthquake Engineering Research, Buffalo, New York, 1991.9
- 5) 川島一彦：ニュージーランドにおける道路橋の耐震及び免震設計技術、橋梁と基礎、89-2、平成元年2月
- 6) 川島一彦：ニュージーランド及び米国における免震設計を用いた既存橋の耐震補強、土木技術資料、V o 1. 31-3、平成元年3月
- 7) 川島一彦：道路橋における免震設計技術の現状と課題、橋梁、平成3年3月
- 8) (財) 国土開発技術研究センター：道路橋の免震設計法ガイドライン(案)、平成3年3月
- 9) 建設省土木研究所及び民間28社：道路橋の免震構造システムの開発に関する共同研究報告書、(その1)、(その2)、平成2年7月、平成3年7月
- 10) 菊池敏男、後藤洋三、黒岩正夫：ロックオフ機能付き橋台の模型振動実験結果について、第21回土木学会地震工学研究発表会、平成3年7月
- 11) Ozaki, D., Kimishima, T. and Harada, T. : Development of Finger Joint Movable in Transverse Direction for Menshin Bridges, Proc. U.S-Japan Workshop on Earthquake Protective Systems of Highway Bridges, National Center for Earthquake Engineering Research, Buffalo, New York, 1991.9
- 12) 川島一彦、長谷川金二、吉田武、山内 博、小坂寛巳：免震橋の振動特性に関する模型振動実験、土木技術資料、V o 1. 30-10、昭和63年10月
- 13) 川島一彦、長谷川金二、長島博之、池内武文：等価線形化法による免震橋の地震応答解析、土

本技術資料、V o 1 . 33-10、平成 3 年10月

- 14) 川島一彦、長谷川金二、運上茂樹、長島博之、清水英行：日本における道路橋の免震・制震技術開発の動向、第23回U J N R耐風耐震構造専門部会、つくば、平成 3 年 5 月
- 15) Kawashima, K. : A Perspective of Menshin Design for Highway Bridges in Japan, Proc.U.S.-Japan Workshop on Eartquake Protecive Systems of Hihway Bridges, National Center for Earthquake Engineering Research, Buffalo, New York, 1991.9
- 16) 松尾芳郎、大石昭雄、原 広司、山下幹雄：宮川橋の設計と施工、橋梁と基礎、91- 2、平成 3 年 2 月
- 17) 柿崎 弘、伊藤友良：長木川橋の免震設計、橋梁と基礎、90- 9、平成 2 年 9 月
- 18) 池田 猛、熊倉一臣、大関克人、阿部 登：烏山 1 号橋の設計、橋梁と基礎、91- 6、平成 3 年 6 月
- 19) 土木学会構造工学委員会振動制御小委員会：構造物の振動制御、平成 3 年 7 月
- 20) 川島一彦、長谷川金二、吉田武史：アクティブ・マス・ダンパーによる構造物の地震応答制御、土木技術資料、Vol. 31- 5、平成元年 5 月
- 21) 川島一彦、運上茂樹、清水英之：アクティブ・マス・ダンパーを用いた橋の最適な地震応答制御、土木技術資料、Vol. 33- 9、平成 3 年 9 月
- 22) 川島一彦、運上茂樹、清水英之：バリアブルダンパーによる橋梁の地震応答制御、第21回土木学会地震工学研究発表会、平成 3 年 7 月
- 23) 松村駿一郎、福岡 悟、水元義久、中田恒和：ダンパーを用いた多径間連続橋の耐震設計、橋梁と基礎、Vol. 82- 5、昭和57年 5 月

耐久性のある橋づくり

構造橋梁部長 藤 原 稔

耐久性のある橋づくり

はじめに

本格的な高齢化社会の到来に備え、社会資本としての道路橋の充実を図るとともに、65万橋に及ぶストックを長く活用するため適切に維持管理することが重要な課題となっている。これまで橋梁が耐久性を失う最も大きな要因は、鋼橋、コンクリート橋にかかわらず鋼材の腐食とされていたが、近年では交通量の増大に起因する疲労損傷事例が増加しており、対応策の確立が急がれている。さらに、補修工事による交通渋滞を解消するなど、利用者の立場からも耐久性のある橋づくりや維持管理が望まれている。

ここでは、これらの諸問題に対して土木研究所が取り組んでいる調査研究の現況と今後の展望について解説する。

1. 21世紀は橋の世界も高齢化社会

21世紀には、我が国は本格的な高齢化社会を迎えることが予想され、出生率の低下と相俟って労働人口の割合が減少し、活力の低下が懸念されている。

一方、現在15メートル以上の橋だけでも12万橋に届こうとしている我が国の道路橋の世界も、21世紀初頭には超高齢化社会を迎えることになる。

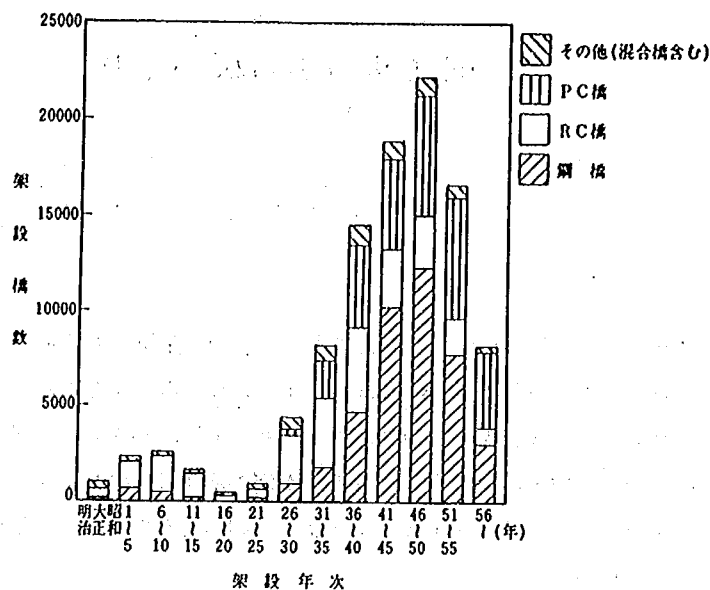
図-1は、高速国道から市町村道までの我が国の道路橋を、架設された年代別に整理したものであるが、そのほとんどが高度経済成長期の昭和30年代後半から50年代前半に集中している。橋の耐用年数について一般に言われている50年を橋の高齢化のひとつの目安と考えると、現段階では架設後50年を超える橋は戦前のものに限られるため、今のところ全体の約6.5%と比較的少ない。仮に、現在のペースで新橋が増加し老朽橋が架け替えられるとすれば、2001年まではあまり変化しないが、昭和30年代後半以降に架設された団塊の世代の橋が50年を超え始める2011年には約15%、2021年には約35%と、急速に高齢化が進むことが予想される。

橋の寿命が50年であれば、将来、老朽橋を架け替えることだけでも昭和30年代から50年代のようなハイペースで行わなければならないことになるが、はたして高齢化社会の我が国にそれができるだろうか。一時期の米国のように「荒廃」した日本にしないためにも、今から対応策を考えておく必要がある。

2. 橋の高齢化対策

橋の高齢化に対して、以下に述べる3通りの方策が考えられる。

- ① 現在ある既設橋梁の維持管理を充実することによりより長もちさせる



出典：「道路統計年報MT」S60. 4. 1 現在

図-1 道路橋架設年代別内訳

② 現在ある既設橋梁を大切に使うことによりより長もちさせる

③ より長もちする橋づくりを心掛ける

①については当面もっとも必要とされている対策であり、これまで折にふれて訴えてきたところでもあり、今回は簡単に触れるに止めることにしたい。

図-2は、架設後何年の橋が何%架け替えられたかを調べたものの一例である。この中には、機能面の不適合から架け替えられたものを多く含むため、必ずしも橋の耐久性から見た寿命を的確に反映したものとは言えないが、架設後50年を経過した時点で、ほぼ50%の橋が架け替えられており、一般に考えられている橋の寿命に関する感覚と合致している。今後、機能的な不適合による架け替えの割合が減少することが予想されるため、この図の曲線は長寿命側にシフトするものと考えられるが、さらに維持管理を充実し寿命を延ばすことにより、一層その傾向を強めることが可能である。また、短期間に集中的に整備された橋が、一斉に架け替え時期を迎えることを緩和する効果も同時に期待される。

②について、飛躍的に増加した道路交通により橋への負担が苛酷なものとなっていることは容易に想像されるところであるが、過積載車両が橋の耐久性に影響を及ぼしていることはあまり知られていない。どのようにして不法な車両を取り締り、橋を大切に使うていくかについては重要なテーマであるが、焦点を絞るため別の機会にゆずりたい。

③が今回の主題である。今から耐久性のある橋を建設するということは、橋の高齢化に対して即効性はないかもしれないが、将来に負担を残さないという意味で重要である。

図-2中に戦時中に架設された橋のデータが示されているが、明らかに耐久性が劣っていることを示している。おそらく物資の欠乏などの要因によるものと考えられるが、このことは逆に造り方によっては橋の耐久性はかなり向上させ得るものであることを物語っている。

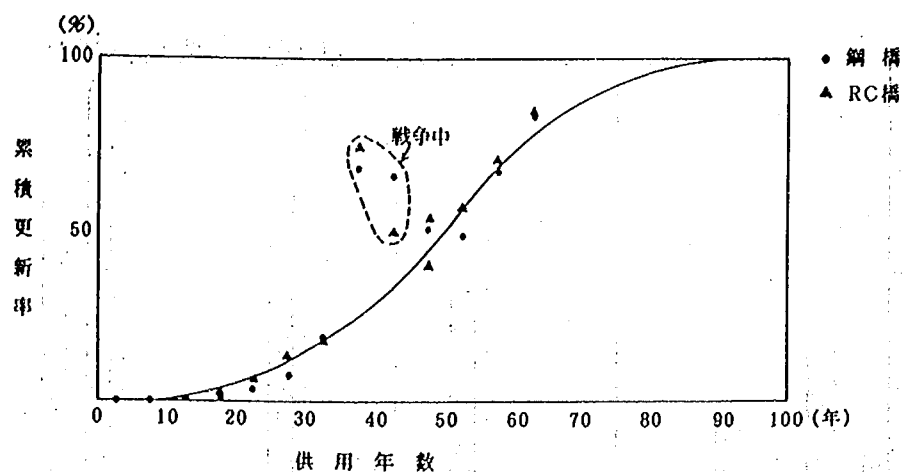


図-2 供用年数別累積更新率

3. 橋の損傷原因の大半は水と活荷重

図-3は、一般国道および都道府県道において昭和52～61年の間に撤去あるいは架替された1,691橋についてその理由を示したものである。幅員の不足や改良計画に従って架け替えられたものが大半ではあるが、損傷劣化が直接の原因になっているもののうち、RC橋では亀裂および（コンクリートの）剝離、鋼橋では鋼材の腐食がもっとも多く、RC床版の損傷が続いている。

鋼材の腐食が伸縮継手部や、排水管周辺の水漏れなどにより助長されることは容易に想像できるが、RC橋の亀裂やコンクリートの剝離も、コンクリート中の鋼材、すなわち鉄筋の腐食が関係しており、根本的には原因は同じと考えて良い。

また、RC床版の損傷、凍結融解、塩害やアルカリ骨材反応によるコンクリート橋の損傷も水の介在が大きな要因のひとつであることが知られているし、若干飛躍するが、下部構造の損傷原因の大半も、川の流水に影響による洗掘であることを考えると、水にいかに対処するかが橋の寿命を左右すると言っても過言ではない。

一方、RC床版の損傷原因の主たるものは大型車両の輪荷重である。図-4は最大積載量5トン以上のトラックのシェアを保有台数ベースで示したものであるが、8トン以上（ほぼ総重量20トンクラスに相当）のシェアは、昭和40年に10.7%であったものが、昭和60年度には90.2%に達しておりトラックの大型化が進行していることがわかる。台数そのものの増加も考え合わせると、いかにRC床版への負担が激増しているかが推測できる。また、このことは近年増加する傾向にある鋼橋の疲労損傷とも関連している。

さらに、橋梁の補修に目を転じてみると、図-5に示されるように落橋防止工を除けば補修工事において伸縮継手の補修の占める割合が圧倒的に多いことがわかる。伸縮継手は水と活荷重のいずれについても直接影響を受けやすい部分であることからもうなずける結果ではあるが、この補修には必ず交通規制を伴うことから渋滞の原因になりやすく、利用者サービスの観点からも改善策が強く求められている。

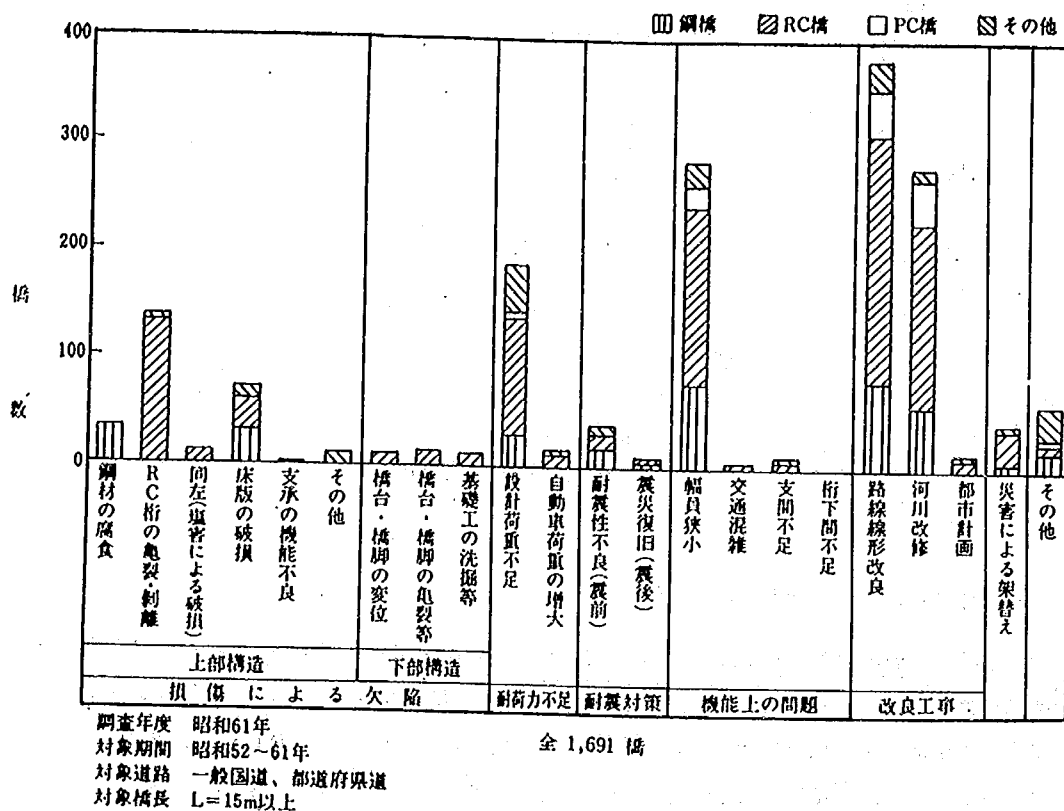
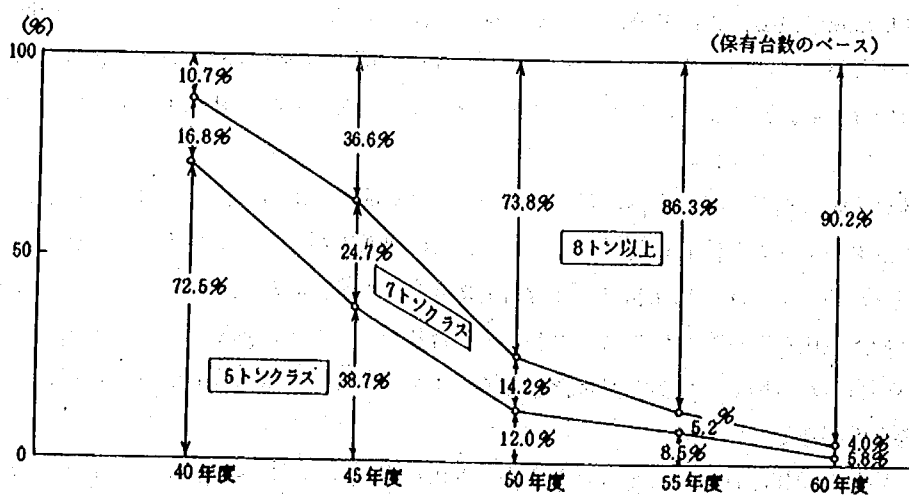


図-3 道路橋の撤去・架替理由



注1) 5トンクラスとは5トン以上7トン未満
7トンクラスとは7トン以上8トン未満
2) 各年3月31日現在
出典: 運輸省「陸運統計要覧」により作成

図-4 トラックの大型化

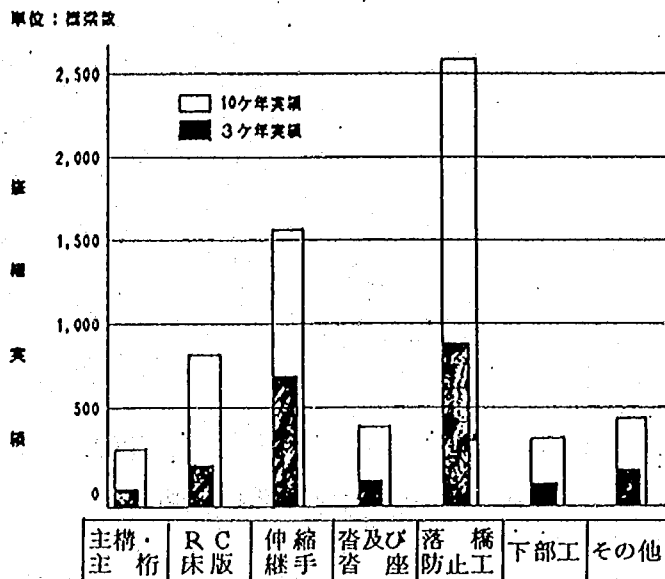


図-5 補修工事別実績

このように、橋を長もちさせるには、水と活荷重の影響にどう対処するかということに集約される。以下は、鋼材の腐食、疲労損傷および伸縮継手に係わる問題点に絞り、現状と対応策について述べることにする。

4. 腐食による損傷と対策

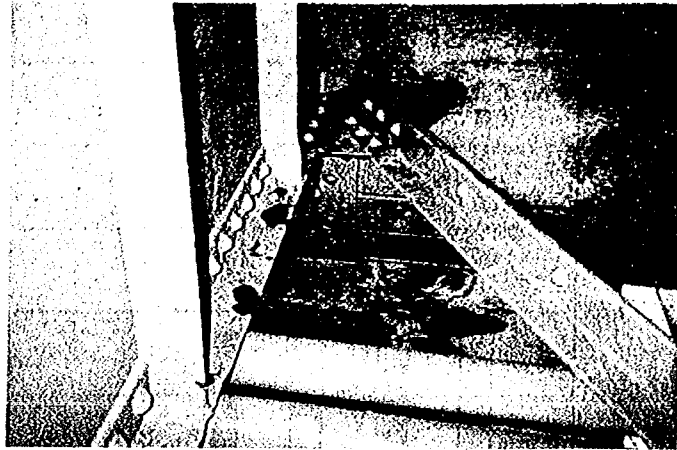
鋼橋、コンクリート橋にかかわらず、鋼材の腐食は放置すれば致命的な損傷に至る可能性がある。

写真-1および2は、腐食した鋼部材の状況を示したものである。いずれも桁端部や床版下の床組構造など、通常のパトロールでは目が届かない部位である。一般に鋼橋の塗装間隔は8～10年程度と考えられているが、環境条件によっては塗装の寿命が3～4年程度に短縮されることも少なくない。また、写真のように水はけの悪い部位では、放置されることにより部材断面が著しく損なわれることもあり、最悪の場合は補強不能となって架替を余儀なくされることになる。

鋼橋の腐食に対する対策としては、定期的な点検を行い、その結果に基づいて適切に再塗装などの処理をすることがあげられる。また、水処理が大きな要因になっていることを勘案すれば、伸縮装置の改良やR/C床版に防水層を設置すること等による効果も期待できる。

さらに耐久性のある橋づくりの観点から、水はけの良い構造を採用することや、とくに腐食しやすい部分については予めさび代として、部材断面に余裕を持たせておくことも有効であると考えられる。

写真-3は、塩害を受け、緊張材の一部が腐食により失われたP/C橋である。我が国は周囲を海に囲まれているため、沿岸部では海から飛来する塩分の影響を受けやすい。この塩分が水によって内部の鋼材に浸入すると鋼材が腐食し、腐食した鋼材が膨張してコンクリートにクラックを生じさせ、さらに塩分の浸入を助長するという悪循環をたどると言うのが一般的塩害の状況である。塩



写真－１ 桁端部付近の鋼部材の腐食



写真－２ 床版下の床組部材の腐食



写真－３ 塩害により腐食したPC鋼材

害は昭和50年代後半に問題となり、鋼材のかぶりを適切に確保すること、水密性のある良いコンクリートを施工することなど、施工管理面での重要性が認識されたところである。

コンクリート橋の塩害についてはその後の研究の成果として道路橋塩害対策指針・同解説（日本道路協会）が出版されており、塩害が予想される地域に架設されるコンクリート橋では、

- ①かぶりを大きめに確保すること、
- ②コンクリート表面を塗装すること、
- ③鋼材の表面を塗装すること、

のうち、ひとつ以上の対策を施すことにより前述の悪循環を絶ち切ることを提案している。

また、官学民による新素材の活用に関する総合研究プロジェクトの一環として、炭素繊維やアラミド繊維など化学的に安定で、鋼材に代え得る機械的性質を有する新素材の適用についても研究を進めており、抜本的な塩害対策として期待されている。

5. 疲労による損傷と対策

これまで道路橋では特別な場合を除いて疲労を考慮することは不要とされてきた。これは、鉄道橋においては列車が通過するたびに設計活荷重に相当する荷重状態になるのに比べ、道路橋の設計荷重であるL-20は、希にしか生じないような大型車の連行をモデル化してあり、そのような状態には供用期間中ほとんどならないという考え方に基づいている。

しかし、近年の大型車の増加や悪質な過積載車両の横行により、状況は変わってきている。表-1は、最近発見され土木研究所が相談を受けた疲労損傷事例を列挙したものである。疲労の問題が顕著になってきたのは表が示すようにこの10年のことである。

表-1 最近発見された疲労損傷事例

（土研技術指導関連）

発見年次	架設年次	橋梁形式	損傷箇所
昭和57年	昭和41年	I桁	主桁と横桁の取り合い部
昭和60年	昭和44年	I桁	主桁と横桁の取り合い部
昭和62年	昭和39年	鋼床版箱桁	ダイヤフラム部
	昭和44年	I桁	主桁と横桁の取り合い部
昭和63年	昭和43年	リ-ソトラス	主構と横桁の取り合い部
平成元年	昭和39年	I桁	支承ソールプレート部
	昭和29年	ランガー桁	縦桁端部
平成2年	昭和43年	RC床版箱桁	支承ソールプレート部
	昭和41年	I桁	主桁と横桁の取り合い部
	昭和38年	ガルバトラス	ゲルバーヒンジ部

発生した疲労損傷は、いわゆる疲労設計の対象になるような主部材の応力繰返しによるものというより、設計上のモデル化や不適切なディテールの採用など、設計上若干の配慮をすれば防ぎうるものが大半であり、以下の3種に分類される。

① R C床版を支える縦桁端部

通常縦桁の設計を行う場合、その断面を決定するために安全側の仮定として単純梁にモデル化することが多い。その結果、桁端部の曲げモーメントはゼロになるため、写真-4に見られるように、縦桁のフランジを切り欠いてウェブのみを横桁等に接合することになる。これは、断面を決定する際の仮定としては正しいが、隣り合う縦桁の存在やR C床版の影響により、接合部には連続桁に近い負のモーメントが作用することを見過ごしており、写真のような損傷を引き起こす結果となっている。この種の疲労損傷は、比較的以前から見受けられるが、同様のケースはいたるところに存在するので注意が必要である。

② 主桁と荷重分配横桁あるいは対傾構との取合部

横桁や対傾構は主桁相互の相対的なたわみの差を拘束する働きをする。その際、主桁との取合部には大きな曲げモーメントやせん断力が生じるが、取合構造に局部的に剛性の小さな部分が存在するとそこに変形が集中し、大きな繰返し応力が作用して、疲労クラックの発生を招くことになる。

写真-5はその一例を示すものであるが、取り合い部の構造によりクラックの発生状況は多様である。

この損傷には主桁間の相対たわみの他にR C床版のたわみも影響しているものと考えられるが、最近のより厚いR C床版を有する橋の同じディテールには大きな応力は生じていないこと、さらにR C床版補強のために縦横桁を増設した橋では局部応力が著しく軽減したことなどが確認されており、橋全体の剛性を高めることがこの種の疲労損傷に効果的である。

③ 桁端部ソールプレート周辺

橋梁の一般部では、作用する荷重が種々の部材（構造的に期待していない部材を含む）に分散されるため、計算上の応力度よりも実際に作用する応力度はかなり小さいことが多い。しかし、支承部（ゲルバーヒンジ部を含む）では荷重の逃げ場がなく、逆に荷重の偏りにより計算以上の応力状態も生じやすい。そのため、支承が本来の働きをしないような場合には、思わぬ損傷を招くことがある。

写真-6は、支承上のソールプレート周辺から発生した疲労クラックを示したものであるが、発見が遅れば致命的な損傷になる恐れがある。現在、実橋での応力計測や模型実験を行って原因の解明と補修工法の検討を行っているところである。

以上に述べたものを含め疲労損傷は種類、数とも年々増加する傾向がある。これは従来問題のなかった部位にも活荷重の増大にともなって大きな繰返し応力が作用するようになったためと考えられる。したがって、疲労損傷については極力その情報を集中し、早期に対応策を検討して行く必要がある。また、新たに橋を建設する場合には損傷事例を参考にディテール面での配慮を行うとともに、たわみにくい剛性の高い構造を指向して行く必要があると考えている。

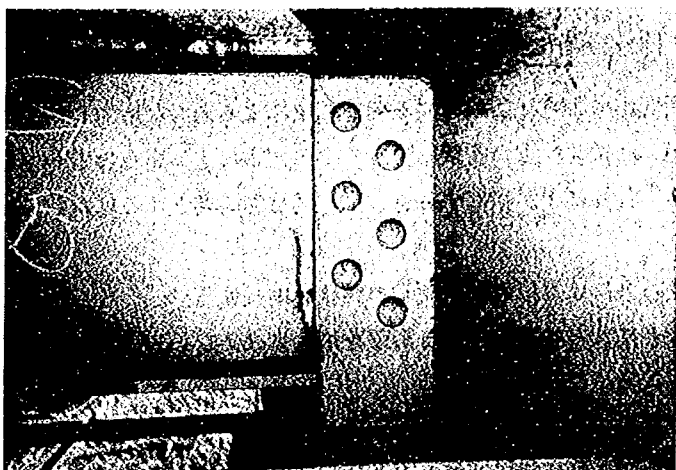


写真-4 縦桁に発生した疲労クラック

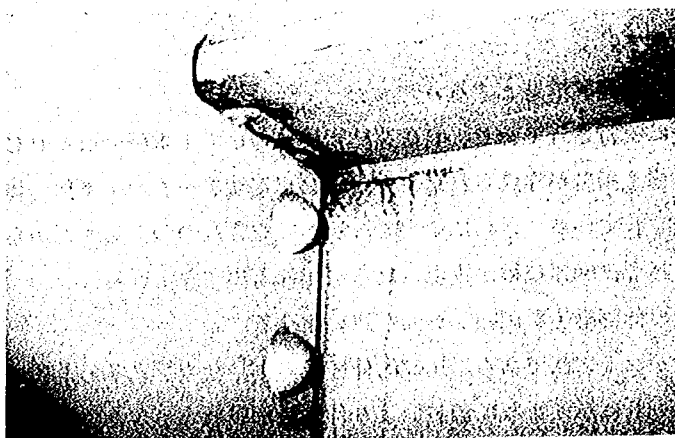


写真-5 主桁と横桁取合部に発生した疲労クラック

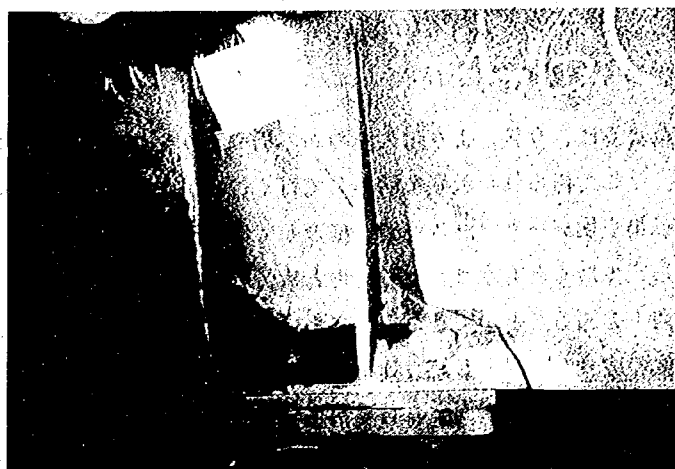


写真-6 1桁ソールプレート周辺から発生した疲労クラック

6. 橋の継ぎ目、伸縮継手に係わる損傷と対策

伸縮継手は、温度変化により伸び縮みする橋に拘束による過大な応力を発生させないためにも必要な継ぎ目であるが、直接輪荷重の衝撃を受ける上に雨水による腐食なども生じやすく、最も損傷しやすい部材である。伸縮継手が損傷すると、単に補修を必要とするばかりでなく以下のような不都合を引き起こす。

- ①水漏れを起こすことにより桁端部や支承の腐食を助長する。
- ②不陸が生じることにより輪荷重による衝撃を増大させる。
- ③騒音の発生源となる。
- ④走行上不快感を与える。
- ⑤補修に交通規制を伴うため交通渋滞を引き起こす。

伸縮継手の損傷は、定着部の破断やゴム製部品の破損等様々であるが、最近では耐久性の高い継手を開発することの他に、継手そのものをなくしてしまうか少なくしようとする検討が進められており、次の2つに分類される。

① 新橋架設時に極力連続構造とする

これについては既に実行されており、PC連結桁橋について土木研究所とPC建設業協会との共同研究により、設計施工指針が作成された。また、RC連続アーチや上下部一体構造PC桁橋等の型式も積極的に採用されている。さらに免震設計法が確立されつつあることから、今後1キロメートルを超えるような超多径間連続橋が実現される可能性も出てきている。

② 既設の単純橋の伸縮継手を削除し橋面を連続化する

いわゆるノージョイント工法である。比較的伸縮量の小さなコンクリート橋では、支間20メートル程度までなら、図-6に示すように舗装により伸縮量を吸収することで路面を連続化することができ、既に都市高速道路を中心にかなりの数が施工されている。これより長い支間や、鋼橋への適用については現在検討中であり、図-7に示すように桁の一部を連結することにより伸縮量を軽減する工法などが試験的に実施されている。

7. 耐久性のある橋づくりのために

ここまで述べてきたように、今後、より耐久性のある橋づくりをして行くためには、既設橋の損傷実態をよく調査し、そこで得られた教訓を活かして行くことが大切である。そのためには定期的な点検の実施および橋梁点検データベース整備を推進して活用することが不可欠と考えられる。

これまでの知見から、少なくとも水まわりの処理と疲労に配慮した細部構造を採用することにより、かなり耐久性の向上を図ることができよう。さらにより長寿命を目指すならば、腐食しにくい材料の開発やある程度の腐食を前提とした設計を行ったり、部材間の相対変位を小さくするような十分な剛性を持たせるような設計を指向する必要がある。

また、走行性、騒音、渋滞あるいは景観など、構造物の安全性や耐久性に直接係わらない分野についても、価値観の多様化する時代には重要な機能のひとつとなり、「長もちする橋づくり」には不

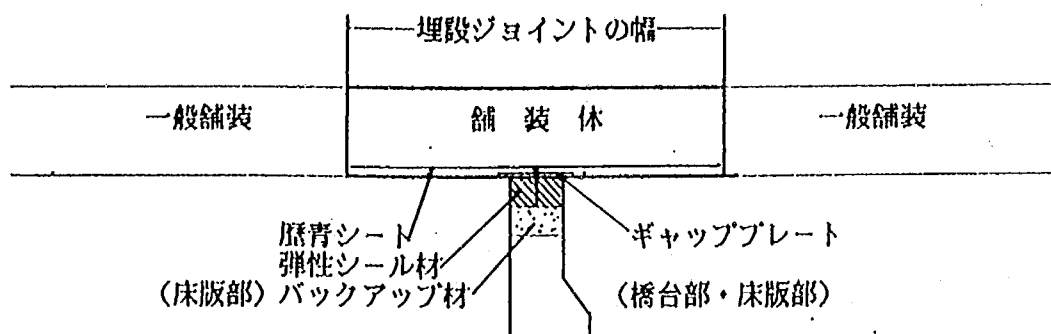


図-6 舗装による伸縮量の吸収（埋設ジョイント）

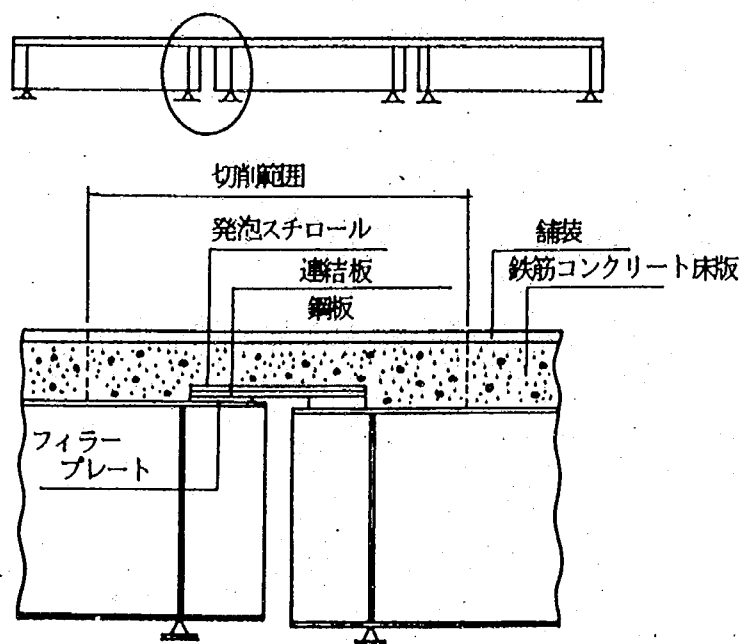


図-7 鋼桁の上フランジを連結する方法

可欠となる可能性もあるので、これらの点についても一層の研究が必要と考えている。

おわりに、この原稿をまとめるにあたって協力頂いた、建設省土木研究所橋梁研究室長西川和廣氏に感謝する次第である。

土木研究所講演会講演集

I S S N 0 3 8 6 - 5 8 7 8
土木研究所資料第3050号
平成 4 年 2 月(1992)
企 画 部 企 画 課

要 旨

本資料は、「平成3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。

郵便はがき

3 0 5 - □ □

41円切手
をはって
下さい。

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
行

No.

配布先氏名

配布先住所



No.

土木研究所資料第3050号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏名

印