

ISSN 0386-5878

土 研 資 料 第1725号

マイクロフィルム 第 号

土木研究所資料

地中通信管路の地震時の挙動に関する模型実験

昭和56年7月

建設省土木研究所
耐震研究室

Copyright © 1981 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 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、複写は土木研究所長の承認を得ずしてこれを行なってはならない。

ま え が き

本報告書は日本電信電話公社からの委託により、昨年度の調査研究に引き続いて、文献調査および地盤条件の違いによる地中管路の模型振動実験を実施した結果を報告するものである。

模型振動実験は、既往の震害から特に地盤条件に着目して実施した。その結果、地質が急変する地盤ではその変化点近傍、基盤が一様に变化する地盤では深い基盤の側のマンホール近傍で、それぞれひずみが大きくなること、また、伸縮継手・ダクトスリーブのある箇所でひずみが大きく減少し、耐震工法としての伸縮継手・ダクトスリーブの有効性を確認した。

昭和 56 年 7 月

地 震 防 災 部

耐震研究室 室 長 上 田 治

同 研究員 羽 立 隆 幸

“ “ 干 場 良 信

目 次

まえがき

1. 調査研究目的	1
2. 調査研究方法	2
3. 調査研究結果	21
4. ま と め	45
5. あとがき	47
付 録	48
参考文献・引用文献	81

1. 調査研究目的

一般に、地中管路の震害は異質の地盤の接面近傍等で多く生じている。本実験では、このような震害の実情を踏まえ、硬・軟地盤等の地盤条件を設定し、埋設された管路の地震時の挙動を把握するために、管路+地盤系模型を用いた振動実験を実施し、今後の地中管路の耐震設計の基本資料を得ることを目的とした。

W. J. P. O. A. 1

所から収集した。以下に、模型振動実験について記す。

対象とした地中管路は下記の4種類とした。

- (1) 鋼管へマンホール：鋼管に伸縮継手あり、鋼管とマンホールの取付部は剛。

(2) // ~ // : 鋼管に伸縮継手なし、鋼管とマンホールの取付部にダクトスリーブあり。

(3) 硬質塩化ビニル管へマンホール：硬質塩化ビニル管に伸縮継手をつけ、硬質塩化ビニル管とマンホールの取付部は剛。

(4) 直埋管：直埋管に継手なし。

(15) 鋼管・硬質塩化ビニル管へマンホール：鋼管に伸縮継手なし。

鋼管とマンホールの取付部に、タクトスリースあり。硬質塩化ビニル管に、伸縮継手なし。硬質塩化ビニル管とマンホールの取付部は剛。

管路模型は、鋼管については、塩化ビニル樹脂で、硬質塩化ビニル管
については、クロロフレンゴム棒で作成し、軸剛性の相似比を満足する
ようにした。軸剛性の相似比、模型のヤング率、模型の管厚の関係は、
式(1)で表りされる。図-1に軸剛性の相似比を $1/26680$ 、鋼管の原型の
ヤング率を $2.6 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ 、硬質塩化ビニル管のヤング率を $3.1 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$ 、
直埋管のヤング率を $3.63 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$ としたときの模型の弾性係数と模型の管厚
との関係を示す。図から、相似比を満足する模型のヤング率に対する管

厚を求めた。

$$E_m = n \cdot \frac{E_p A_p}{\frac{\pi}{2} t (1-2t)} \quad (1)$$

E_m : 模型のヤング率 (kg/cm^2)

n : 軸剛性の相似比 ($1/26680$)

E_p : 原型のヤング率 (kg/cm^2)

A_p : 原型の断面積 (cm^2)

t : 模型の管厚 (cm)

模型の長さは、一般に建設されているマンホール間の距離の200mを縮小して10mとするのが望ましい。しかしながら振動台の大きさ等の制約から4.6mとした。

地盤模型は、表層地盤の厚さ10m程度を想定して、模型では50cmとした。比較的薄い表層地盤を想定したことによる。なお、昨年度の解析計算では、これより若干厚いが大差ない実地盤を対象とした。

地中管路の地震時応力に関しては軸方向の振動が支配的との諸報告^{*}から長手方向の加振のみを考えている。そのため、既往の類似の実験報告^{**}等を参照して、振動性状に直接影響を及ぼさないと考えられる範囲で地盤模型の幅を小さくし50cmとした。相似律は現象を支配する方程式の各項の比が原型と等しくなるよう定めた。計測の精度、模型材料の剛性振動台の加振性能等の制約を考慮し長さ、密度、時間の基本縮尺率を決定し、表-1に示す相似比を設定した。表-2, 3に原型と模型の管路諸元、地盤諸定数を示す。

地盤条件は図-2に示すとおり硬質地盤(地盤I)と軟質地盤(地盤II)が40°で接しているA地盤モデルおよび基盤が傾斜しているB地盤

* 付録参照

** 参考文献参照

モデルの2種類を考慮した。原型、模型の地盤諸足数は既に表-3に示したとおりである。以上の地盤模型はアクリルアミド系クラウト材で製作した。アクリルアミド系クラウト剤の配合比と弾性係数との関係を図-3に示す。今回の場合、弾性係数はそれぞれ 7.6 kg/cm^2 、 3.0 kg/cm^2 である。したがって、配合比は29%、18%となる。

地盤模型と型枠の境界には全周固に緩衝材(糊等)を入れ、半固定とした(図-2参照)。マンホールは、図-4に示す直線型3号マンホールを対象とした。また、継手は塗覆装鋼管に用いる伸縮継手を対象とした(図-4参照)。図-4に示すように実際には9(3条3層)本の埋設管が布設されており管相互の干渉があるものと考えられるが、今回の実験では地盤とマンホールおよび埋設管の基本的な相互作用を把握する観点から、埋設管は1本ずつ行って、複雑な9本については最後に行った。表-4に実験ケースを示す。また図-5に実験装置の概要、表-5に大型振動台の諸元を示す。加振方向は軸方向とし、入力波形は正弦波、加速度レベルは 10 gal を基本とした。

地盤の応答加速度およびマンホールの加速度と変位および埋設管路の歪を計測し、それぞれデータレコーダに収録した。加速度計はシンコー2G、変位計はナショウ「オフフォロー500M」、データレコーダはテック「R280」を用いた。各計器の性能を表6~8に示す。埋設管の歪は上下に1枚ずつゲージを貼付して測定した。図-6~8に各ケースにおける加速度計、変位計、歪ゲージの配置を示す。

なお、数値解析は、埋設管の地震時挙動を動的に解析するシミュレーションプログラム「DAST-I」を用いて、地盤模型の概略の振動モードのみを解析した。解析モデルを図-9に示す。

表-1 相似比

項目	次元	原型	模型
長さ (L)	l	1	$1/20$
時間 (T)	t	1	$1/3$
密度 (ρ)	ρ	1	$1/1.5$
振動数 (f)	t^{-1}	1	3
速度 (v)	lt^{-1}	1	$1/6.67$
加速度 (a)	lt^{-2}	1	$1/2.22$
質量 (m)	ρl^3	1	$1/12000$
力 (F)	$\rho l^4 t^{-2}$	1	$1/26700$
弾性係数 (E)	$\rho l^2 t^{-2}$	1	$1/66.7$

表-2 原型と模型の管路諸元

諸 元		原 型	模 型	
			目 標 値	採 用 値
鋼 管	E (kg/cm ²)	2.1×10^6	31,480	4,500
	ϕ (mm)	100	5	5
	A (cm ²)	11.2	0.028	0.196
	EA (kg)	2.352×10^7	881	881
硬 質 ビ ニ ル 管	E (kg/cm ²)	3.1×10^4	465	200
	ϕ (mm)	100	5	5
	A (cm ²)	18.3	0.0458	0.126
	EA (kg)	5.673×10^5	21.3	25.2
直 埋 カ ナ ル	E (kg/cm ²)	3.63×10^5	5,440	200
	ϕ (mm)	100	5	5
	A (cm ²)	2.067	0.00517	0.126
	EA (kg)	7.503×10^5	28.1	25.2

表-3 原型と模型の地盤諸定数

諸 元		原 型		模 型			
				目 標 値		採 用 値	
		A 地盤	B 地盤	A 地盤	B 地盤	A 地盤	B 地盤
地	深さ h_1 (m)	10	8	0.5	0.4	0.5	0.4
	深さ h_2 (m)	—	12	—	0.6	—	0.6
	E_1 (kg/cm ²)	507	507	7.6	7.6	7.6	7.6
	G_1 (kg/cm ²)	175	17.5	2.62	2.62	2.62	2.62
盤	V_{s1} (m/sec)	107	107	16.0	16.0	16.0	16.0
	P_1 (t/m ³)	1.5	1.5	1.0	1.0	1.0	1.0
	E_2 (kg/cm ²)	200	—	3.0	—	3.0	—
	G_2 (kg/cm ²)	69	—	1.03	—	1.03	—
	V_{s2} (m/sec)	67.1	—	10.05	—	10.05	—
	P_2 (t/m ³)	1.5	—	1.0	—	1.0	—

表-4 実験ケース

埋設管 マンホール 地盤モデル	無	鋼管 1本	鋼管 1本	塩化ビニル管 1本	直埋管 1本	鋼管:3本 塩化ビニル管:6本
	無	有	有	有	無	有
A地盤モデル	A-1	A-2	A-3	A-4	A-5	A-6
B地盤モデル	B-1		B-3	B-4		

表-5 土木研究所大型振動台諸元

項 目	大型振動台	小型振動台 B (昭和55年以降)
振 動 台 寸 法	6m×8m : 1 基	[2m×3m : 4 基]
最 大 載 荷 重 量	100ton	[25ton/基]
最大転倒モーメント	150ton-m	[37ton-m]
最 大 加 振 力	100ton (25ton×4台)	[25ton/基]
最 大 変 位 振 巾	±75mm	[±75mm]
最 大 速 度	±20cm/sec (±60cm/sec)	[±60cm/sec]
最 大 加 速 度	±230gal (±700gal) : 最大載荷時 ±830gal (±2,500gal) : 無載荷時	[±700gal : 最大載荷時] [±2,500gal : 無載荷時]
加 振 方 式	水平1軸加振 [水平-上下2軸同時加振]	[水平1軸加振]
駆 動 方 式	電気油圧サーボ方式	[電気油圧サーボ方式]
制 御 方 式	アナログ制御・デジタル制御	[アナログ制御・デジタル制御]
加 振 波 形	正弦波、三角波、矩形波、ランダム波、地震波	[正弦波、三角波、矩形波、ランダム波、地震波]
周 波 数 自 動 掃 引	変 位一定加振 速 度一定加振 加 速 度一定加振	[変位一定加振 速度一定加振 加 速 度一定加振]
周 波 数 範 囲	DC ~ 30Hz	[DC ~ 50Hz]

() は昭和55年以降の分。
但し、昭和55年度小型振動台 B 2基増設した。

昭和55年度	昭和56年度
昭和57年度	昭和58年度
昭和59年度	昭和60年度
昭和61年度	昭和62年度
昭和63年度	昭和64年度
昭和65年度	昭和66年度
昭和67年度	昭和68年度
昭和69年度	昭和70年度
昭和71年度	昭和72年度
昭和73年度	昭和74年度
昭和75年度	昭和76年度
昭和77年度	昭和78年度
昭和79年度	昭和80年度
昭和81年度	昭和82年度
昭和83年度	昭和84年度
昭和85年度	昭和86年度
昭和87年度	昭和88年度
昭和89年度	昭和90年度
昭和91年度	昭和92年度
昭和93年度	昭和94年度
昭和95年度	昭和96年度
昭和97年度	昭和98年度
昭和99年度	平成元年度
平成2年度	平成3年度
平成4年度	平成5年度
平成6年度	平成7年度
平成8年度	平成9年度
平成10年度	平成11年度
平成12年度	平成13年度
平成14年度	平成15年度
平成16年度	平成17年度
平成18年度	平成19年度
平成20年度	平成21年度
平成22年度	平成23年度
平成24年度	平成25年度
平成26年度	平成27年度
平成28年度	平成29年度
平成30年度	平成31年度
令和元年度	令和2年度
令和3年度	令和4年度
令和5年度	令和6年度
令和7年度	令和8年度
令和9年度	令和10年度
令和11年度	令和12年度
令和13年度	令和14年度
令和15年度	令和16年度
令和17年度	令和18年度
令和19年度	令和20年度
令和21年度	令和22年度
令和23年度	令和24年度
令和25年度	令和26年度
令和27年度	令和28年度
令和29年度	令和30年度
令和31年度	令和32年度
令和33年度	令和34年度
令和35年度	令和36年度
令和37年度	令和38年度
令和39年度	令和40年度
令和41年度	令和42年度
令和43年度	令和44年度
令和45年度	令和46年度
令和47年度	令和48年度
令和49年度	令和50年度
令和51年度	令和52年度
令和53年度	令和54年度
令和55年度	令和56年度
令和57年度	令和58年度
令和59年度	令和60年度
令和61年度	令和62年度
令和63年度	令和64年度
令和65年度	令和66年度
令和67年度	令和68年度
令和69年度	令和70年度
令和71年度	令和72年度
令和73年度	令和74年度
令和75年度	令和76年度
令和77年度	令和78年度
令和79年度	令和80年度
令和81年度	令和82年度
令和83年度	令和84年度
令和85年度	令和86年度
令和87年度	令和88年度
令和89年度	令和90年度
令和91年度	令和92年度
令和93年度	令和94年度
令和95年度	令和96年度
令和97年度	令和98年度
令和99年度	令和100年度

表-6 加速度計 (シンコ-2G)

周波数レンジ	0 ~ 36 Hz
最大測定加速度	2000 gal

表-7 変位計 (チヨウ, オフセット-500M)

測定範囲	200μから無限(レンズ交換)
周波数レンジ	0 ~ 10 kHz
精 度	± 0.2 %
分 解 能	0.02 % (フルスケール)
光 量 補 正	1/64 の光量変化まで測定

表-8 データレコーダ (テック R280)

入力	インピーダンス	100 kΩ
	電 圧	± 1 ~ 20 V _P
出力	インピーダンス	600 Ω
	電 圧	± 1 ~ 5 V _P
チャンネル数(1台当り)		14 ch
紙送りスピード		30, 15, 7½, 15/16 in/秒

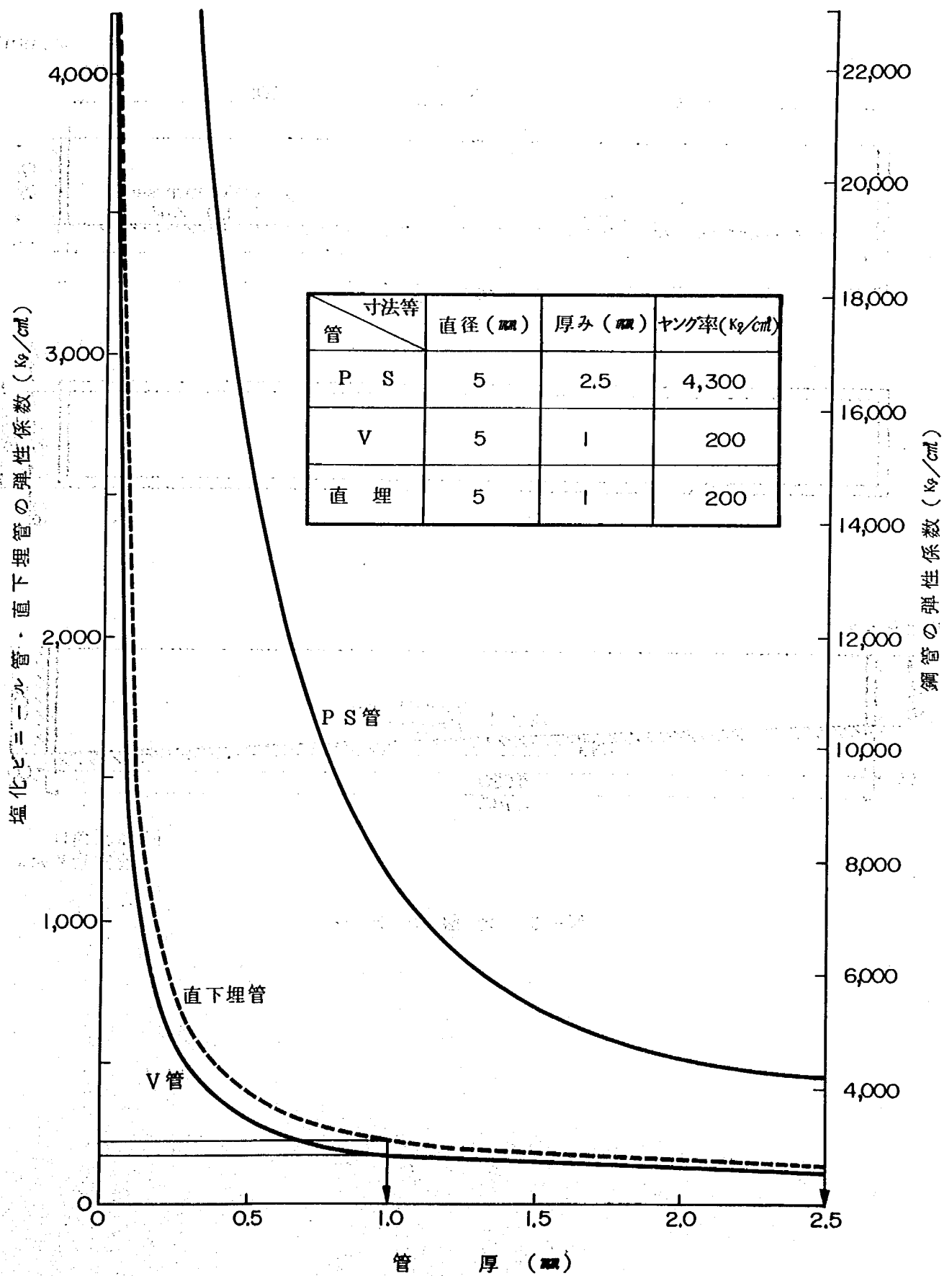
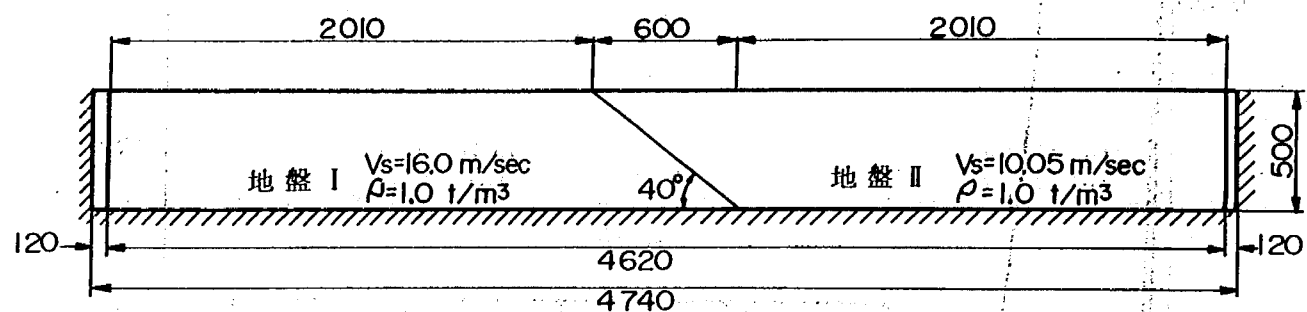
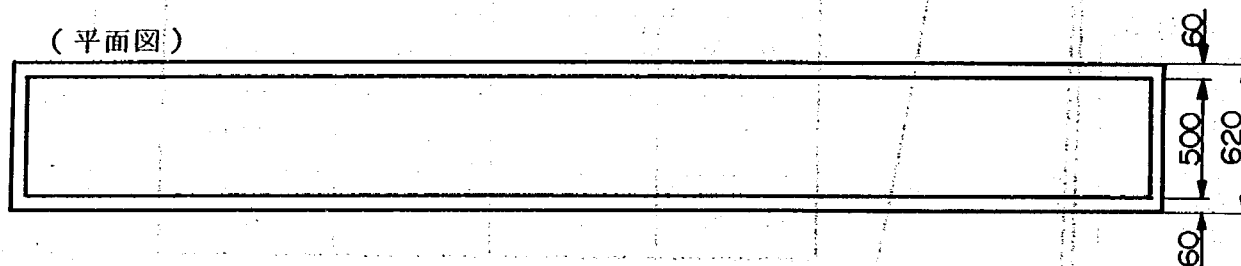


図-1 模型の弾性係数と管厚との関係

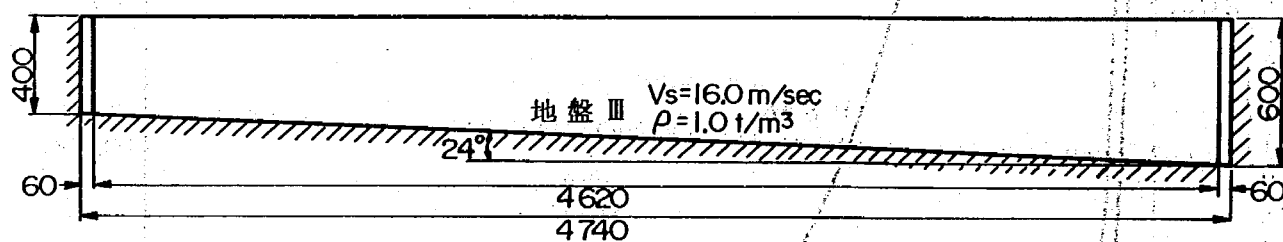
(单位:mm)



(平面図)



B 地盤モデル



注) 傾斜角は適宜定めた。

図-2 地盤モデル

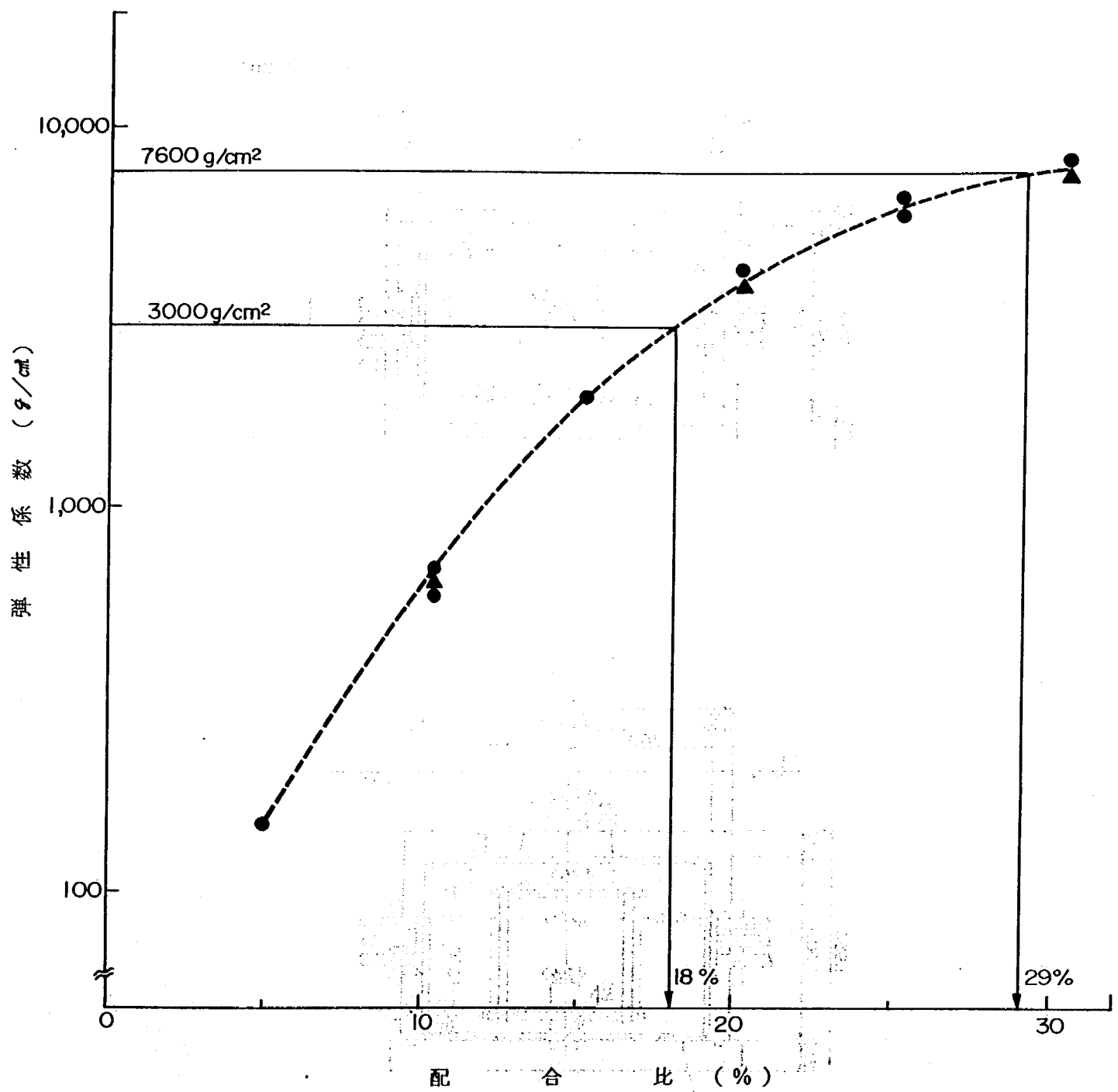
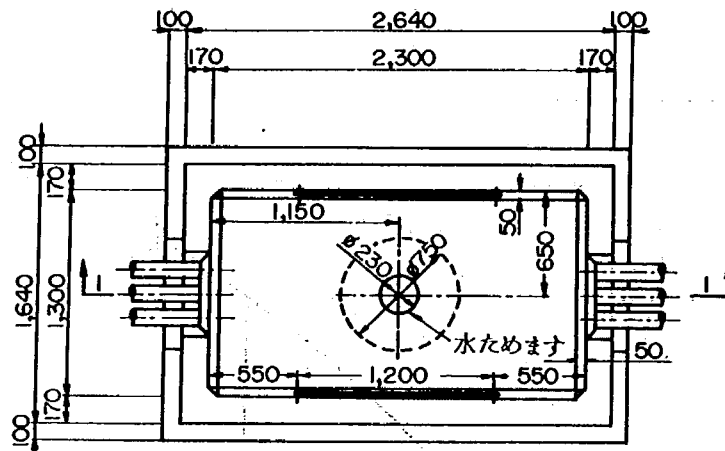


図-3 模型材料（地盤，ケミカルグラウト剤）の
弾性係数と配合比の関係

平面図

(単位: mm)



1-1 断面

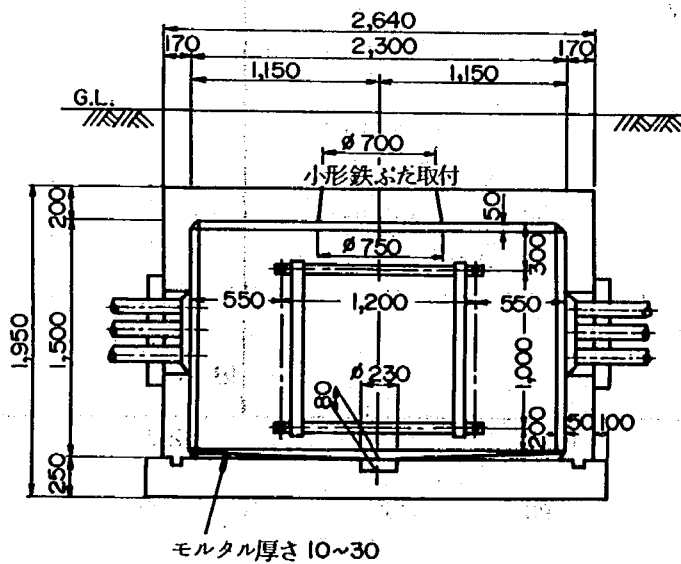


図-4 直線形3号マシホール

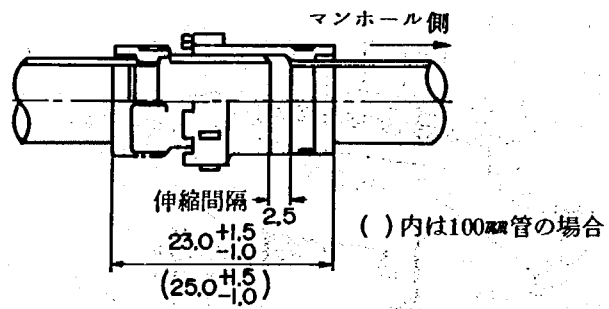
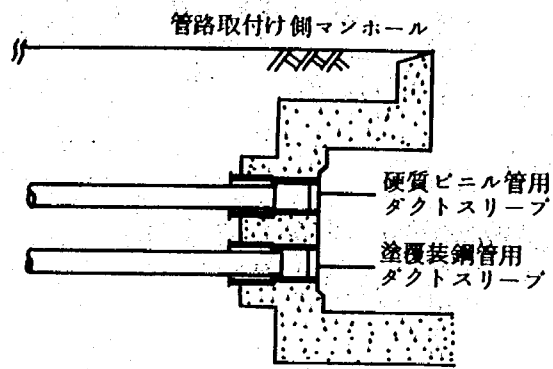


図-4 続き (ダクトスリーブ, 伸縮継手)

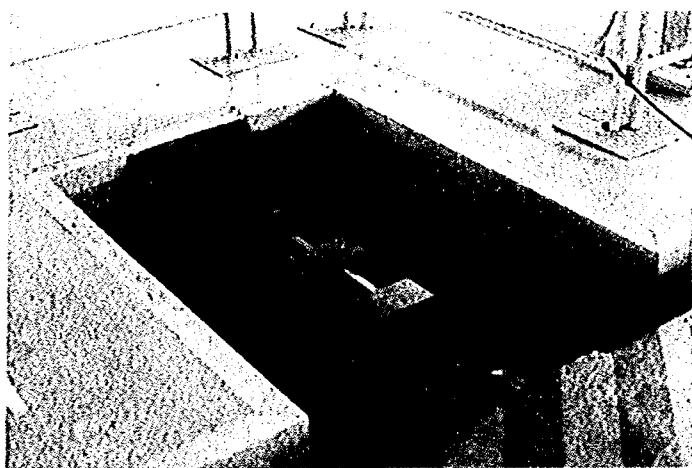
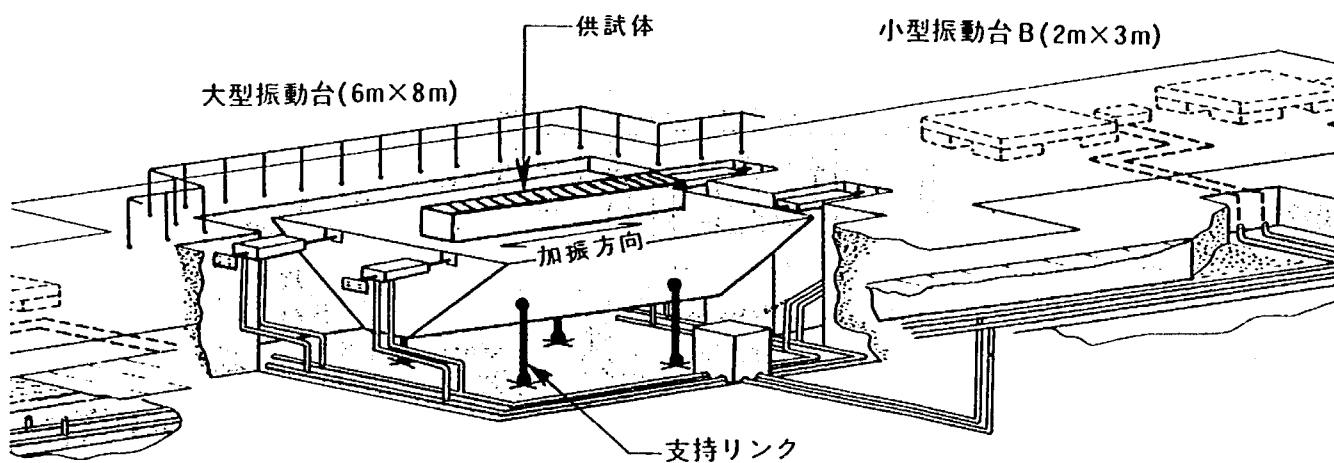


図-5 実験装置の概要

(単位:mm)

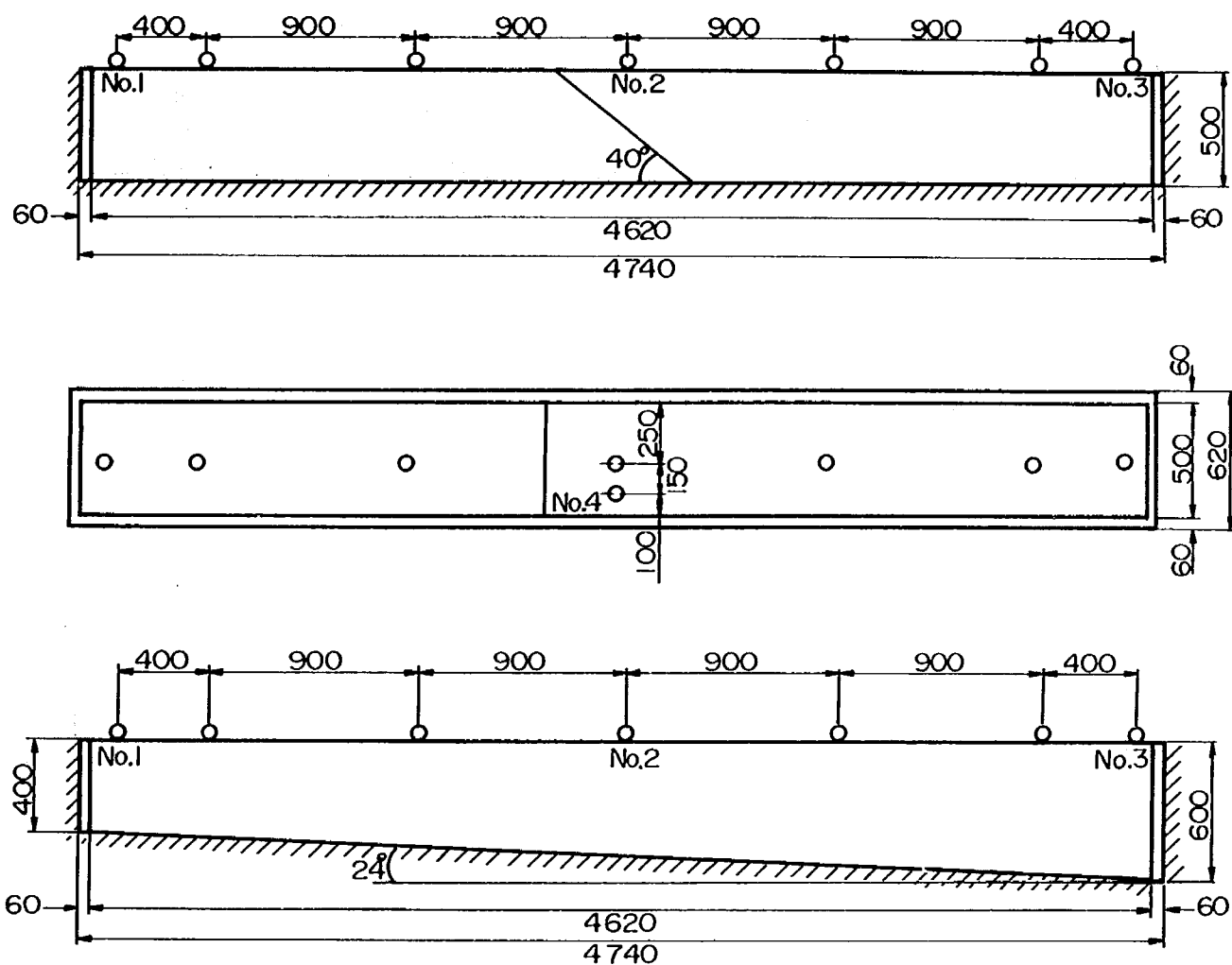


図-6 加速度計の位置

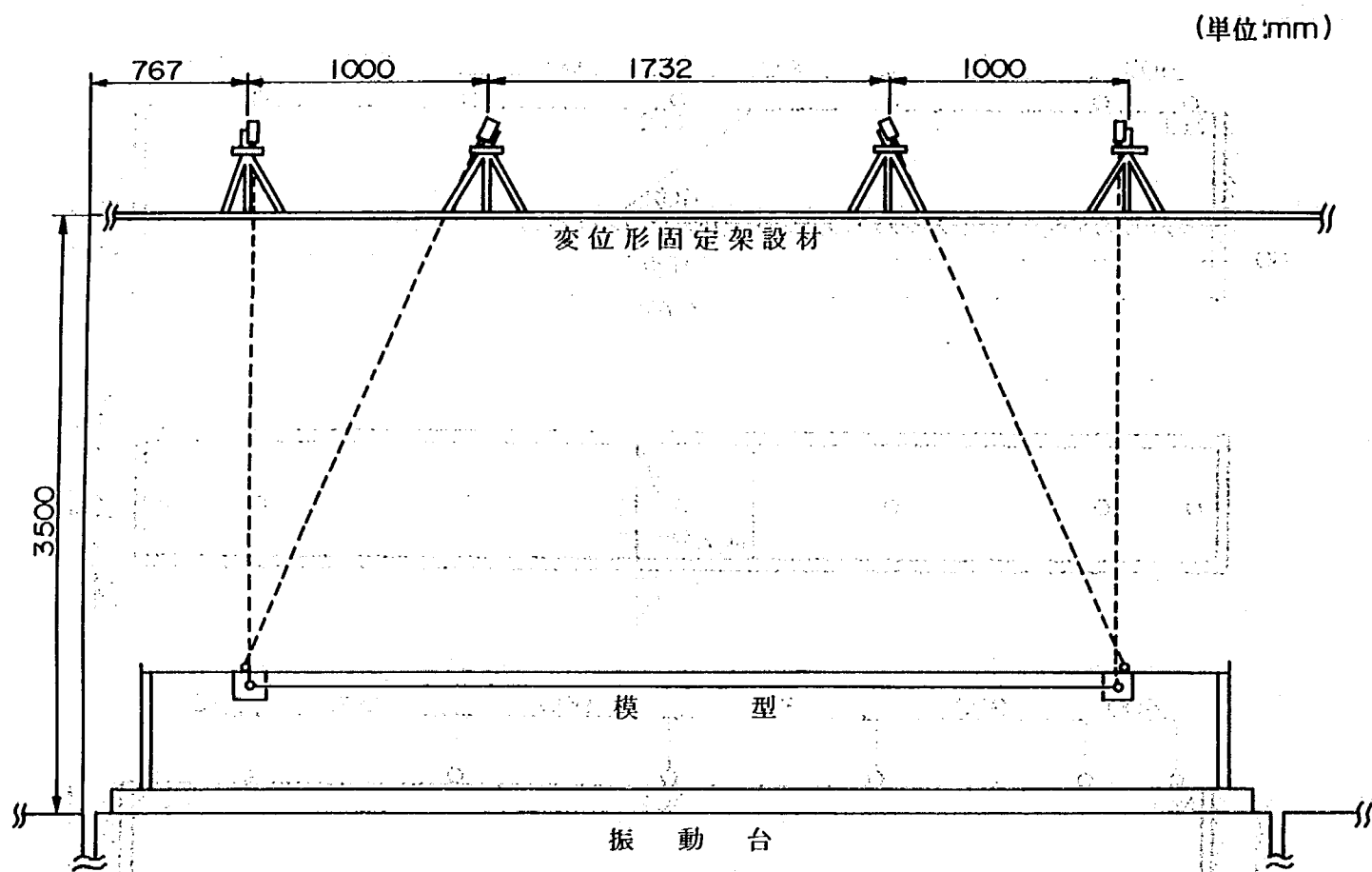
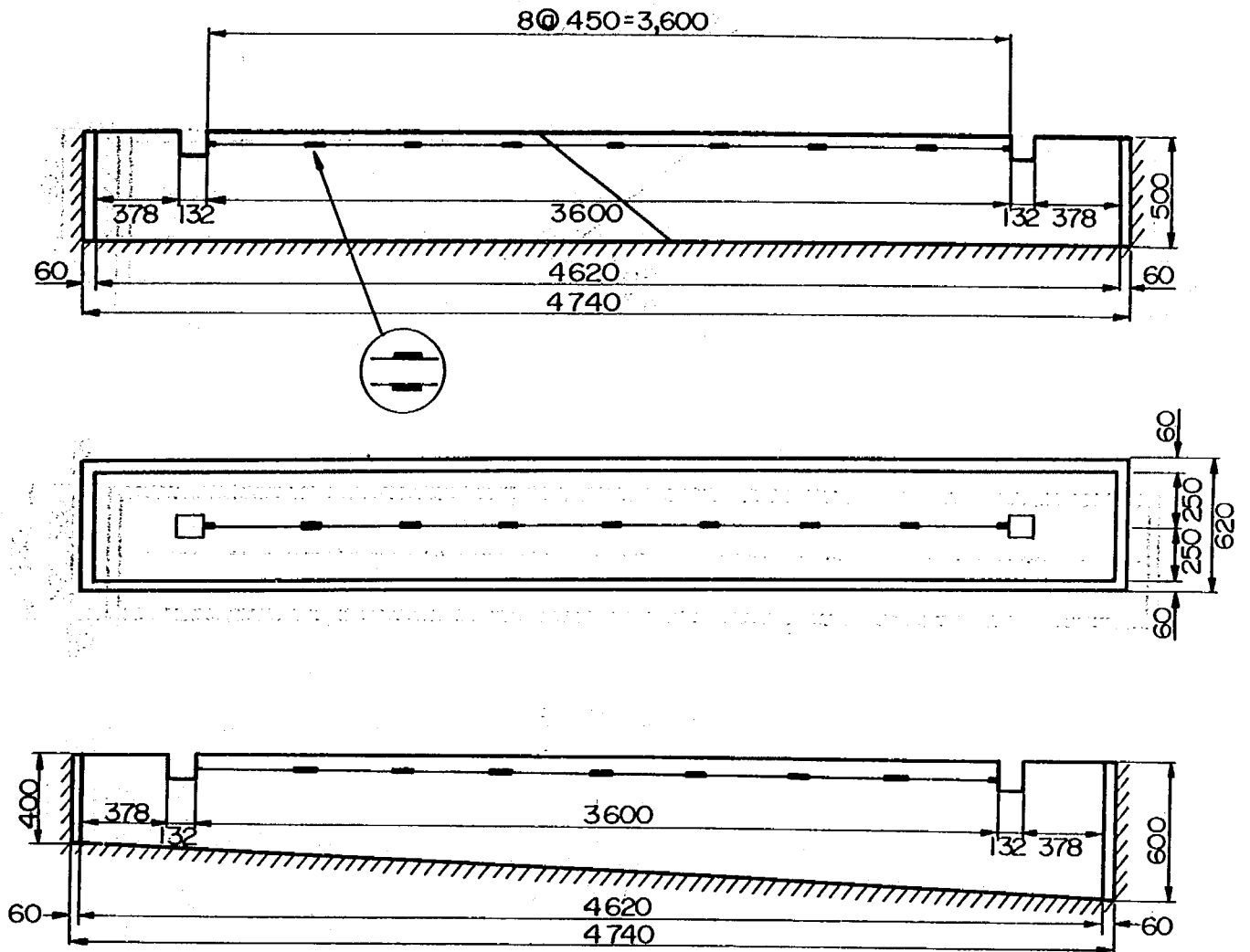


図-7 変位数の位置

鋼管・塩化ビニル管



注) 9 本管の場合は最上段のパイプと最下段のパイプの同じ位置のひずみを測定した。

図-8 ひずみゲージの位置

直埋管

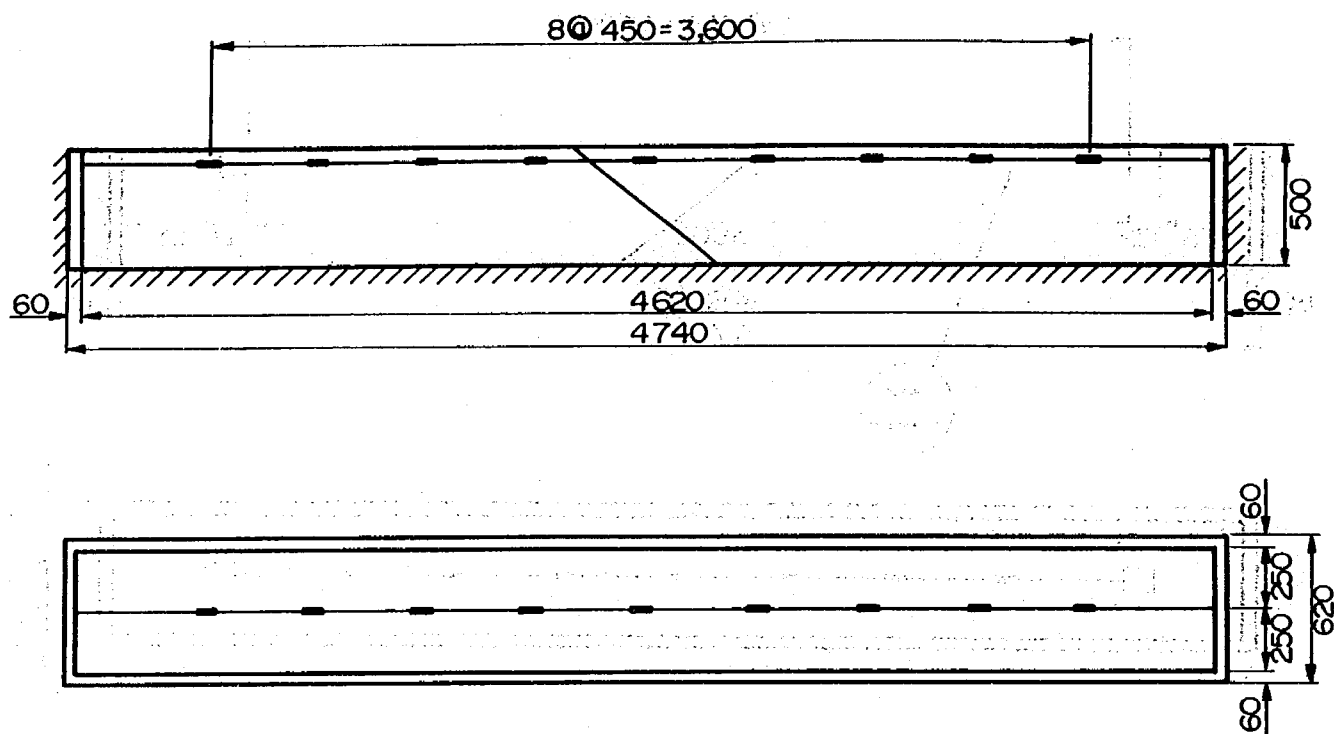


図-8 続 き

5. 調査研究結果

1) 新潟地震 (M7.5, 1964)、十勝沖地震 (M7.9, 1968)、サンフェルナンド地震 (M6.4, 1971) 等で地中管路が被災した。それらの地震の被災の状態を整理し、典型的に区分することを試みた(付録参照)。これより、実験時の地盤条件を概略的に設定した。

なお、既往の地中管路の耐震設計の基本的考え方について、その一例を付録に示した。

2) 模型振動実験の結果

〔地盤の応答加速度〕

図-10は、実験ケース A-1, B-1 での任意の振動数での応答加速度をプロットしたものである。図-10では A-1 の場合で No.1 (地盤 I), No.2 (地盤 II, 接面近傍), No.3 (地盤 II) でそれぞれ 8.5, 7.2, 5.6 Hz, B-1 の場合で No.1 (地盤 III, 基盤浅い), No.2 (地盤 III, 中間), No.3 (地盤 III, 基盤深い) でそれぞれ 6, 7.2, 7.4 Hz 程で一つのピークを示している。

なお、図-11は、No.2 の側面 (No.4) での加速度応答値を示すがほぼ同じ振動数でピークを示している。

図-12は、ピークを示す振動数 f はその付近における振動数での各点の応答加速度を示したものである。

A 地盤モデルでは、地盤 I が地盤 II に比べて硬質であるため地盤 I 側では高振動数で応答値が大きくなり、地盤 II では逆の傾向となる。また、予想されるように、地盤の急変部で応答値が大きくなる。

B 地盤モデルでは、応答加速度の最大値は浅い方から深くなる傾向がある。

って増加することが予想される。判定結果もほぼその傾向を示した。

なお、数値解析で得られた1～15次の地盤模型の振動モードを図-13に示す。

〔埋設管のひずみ〕

図-14は、埋設管に生じるひずみの分布を示したものである。振動数を変化させていくと応答値にいくつかのピークが現われるが、図中のひずみは顕著なピークを示すときのものである。

(1) A地盤モデル

① A-2, 鋼管マンホール; 伸縮継手あり

いずれの振動数においても、ひずみの分布性状は類似しており、最大ひずみは硬質地盤と軟質地盤の接面近傍で軟質地盤側の管に生じている。伸縮継手は管とマンホールの接面から25cmの箇所に設定しているが、その付近ではひずみはほとんど生じていない。また、ひずみが最大となる振動数は約7.6Hzであり、地盤の応答加速度のピークの振動数にほぼ一致しているが、必ずしもその発生位置は最大加速度が発生する位置ではない。

② A-3, 鋼管マンホール; タクトスリーブあり

いずれの振動数においても、ひずみの分布性状は類似している。しかし、上記①の場合のように、接面近傍で鋭いピークを描くのではなく、軟質地盤Ⅱの側で全体的にひだりかぼ山となっている。また、タクトスリーブの効果により、管とマンホールの結合部でひずみはほぼ零に近い値となっている。なお、7.1Hzにおける地盤Ⅱの側のマンホールの手前におけるピークは、A-2の場合と同程度

*図は省略している。

であるが、それを除けば、ひずみの最大値はA-2の場合より小さい。

③ A-4. 硬質塩化ビニル管～マンホール

いづれの振動数においても、ひずみの分布性状は類似している。すなわち、ひずみがピークとなる位置は箇所あり、それは地盤Ⅱの側のマンホールと埋設管との接合部、地盤Ⅰと地盤Ⅱの接面近傍および地盤Ⅰの側のマンホールと埋設管の接合部である。地盤Ⅱの側のマンホールと埋設管の接合部近傍で生じたひずみの最大値は上記の①と②の最大値に比べて極端に大きい。これは地盤とマンホールの剝離によりマンホールの回転が励起されたことによると考えられるが定かではない。

④ A-5. 直埋管

A-4とほぼ同様の結果を示しているが、接面近傍でやや小さい。

⑤ A-6. 鋼管3本、硬質塩化ビニル管6本

鋼管および硬質塩化ビニル管のひずみの分布性状は上記②と③の場合に相似である。特に、硬質塩化ビニル管の場合で、ひずみの大きさが全体的に1本管の場合より小さく振っている。並設効果によると考えらる。

(2) B地盤モデル

① B-2. 鋼管～マンホール; タクトスリーブあり

ひずみの分布性状は、基盤の浅い方と深い方の中間付近で大きく振っており、タクトスリーブの効果により、マンホールに近づくにつれて小さく振っている。高振動数の場合で、ひずみは基盤が深い方のマンホールの手前で大きく生じる傾向があり、そのピークは

8.7 Hzの場合で、基盤が深い方のマンホールの手前で生じている。

② B-3, 硬質塩化ビニル管へマンホール

ひずみの分布性状は基盤の深い方のマンホールの近傍で大きく起っている。そのピークは基盤が深い方のマンホールと埋設管の接合部に生じ、その他の中間部、および基盤が浅い方のマンホールと埋設管の接合部でのピークは顕著ではない。

なお、軟質地盤側のマンホールと埋設管との接合部でひずみが大きく起る傾向はA-4, A-6の場合にもみられた。

〔鋼管とマンホールの相対変位（ダクトスリーブの伸縮）〕

表-9はピーク振動数でのダクトスリーブの伸縮量を示したものである。A-3で地盤Ⅱの側、A-6で地盤Ⅰの側の伸縮量の絶対値が大きく、埋設管を大きく変位か起している。B-3では、伸縮量の絶対値は小さいが、ダクトスリーブの効果は認められる。

〔マンホールの回転〕

マンホールの回転は、各ケース、無視し得る程小さかった。

〔通信管路の地震対策に関する考察〕

今回の実験結果から、埋設管に伸縮継手、マンホールと埋設管の接合部にダクトスリーブを設けることは地震対策上有効な方法であることが判った。

公社における施工基準では伸縮継手をマンホールから2.5m以上離して設置することになっている。どの程度離してもよいかについては明確にはされていないが、今回の実験からは、マンホールから5m（実験模型上では0.25m）に伸縮継手を設けた場合においてもマンホール近傍の埋設管のひずみはそれ程大きくならず、ダクトス

リーフを設ける方法と等価な方法であることがわかった。

伸縮継手の位置は今回の実験に用いたA地盤モデルのように硬質と軟質の地盤が接して存在する地盤では、それらの地盤の接面近傍の軟質地盤中の埋設管に設けるのが望ましい。また、B地盤モデルのように基盤が傾斜する一様な軟質地盤では、マンホールとマンホールの中間から深い側のマンホール近傍の埋設管に大きなひずみが生じる傾向があり、したがって、基盤の傾斜の状態等 基盤の形状、マンホールと埋設管のダクトスリーブの有無、などを考慮して伸縮継手の位置を決めるのがよいと考えられる。

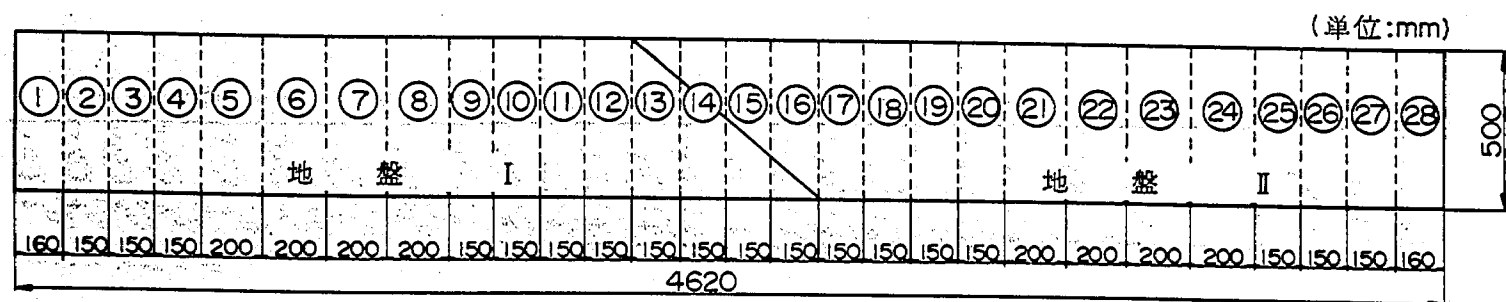
なお、鋼管、硬質塩化ビニル管、直埋管の管種別の得失についてはダクトスリーブの有無、マンホールの接合方法等の差異により、本実験ケースを単純に比較することは困難であると考えられる。

今回の実験では、直埋管のひずみの最大値が鋼管、硬質塩化ビニル管のひずみの最大値より明らかに大きくなる結果は得られず、この点に関しては、今後、実大部分模型を用いた実験などを通じて検討することが望まれよう。

1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	11	12	13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25	26	27
28	29	30	31	32	33	34	35	36
37	38	39	40	41	42	43	44	45
46	47	48	49	50	51	52	53	54
55	56	57	58	59	60	61	62	63
64	65	66	67	68	69	70	71	72
73	74	75	76	77	78	79	80	81
82	83	84	85	86	87	88	89	90
91	92	93	94	95	96	97	98	99
100	101	102	103	104	105	106	107	108
109	110	111	112	113	114	115	116	117
118	119	120	121	122	123	124	125	126
127	128	129	130	131	132	133	134	135
136	137	138	139	140	141	142	143	144
145	146	147	148	149	150	151	152	153
154	155	156	157	158	159	160	161	162
163	164	165	166	167	168	169	170	171
172	173	174	175	176	177	178	179	180
181	182	183	184	185	186	187	188	189
190	191	192	193	194	195	196	197	198
199	200	201	202	203	204	205	206	207
208	209	210	211	212	213	214	215	216
217	218	219	220	221	222	223	224	225
226	227	228	229	230	231	232	233	234
235	236	237	238	239	240	241	242	243
244	245	246	247	248	249	250	251	252
253	254	255	256	257	258	259	260	261
262	263	264	265	266	267	268	269	270
271	272	273	274	275	276	277	278	279
280	281	282	283	284	285	286	287	288
289	290	291	292	293	294	295	296	297
298	299	300	301	302	303	304	305	306
307	308	309	310	311	312	313	314	315
316	317	318	319	320	321	322	323	324
325	326	327	328	329	330	331	332	333
334	335	336	337	338	339	340	341	342
343	344	345	346	347	348	349	350	351
352	353	354	355	356	357	358	359	360
361	362	363	364	365	366	367	368	369
370	371	372	373	374	375	376	377	378
379	380	381	382	383	384	385	386	387
388	389	390	391	392	393	394	395	396
397	398	399	400	401	402	403	404	405
406	407	408	409	410	411	412	413	414
415	416	417	418	419	420	421	422	423
424	425	426	427	428	429	430	431	432
433	434	435	436	437	438	439	440	441
442	443	444	445	446	447	448	449	450
451	452	453	454	455	456	457	458	459
460	461	462	463	464	465	466	467	468
469	470	471	472	473	474	475	476	477
478	479	480	481	482	483	484	485	486
487	488	489	490	491	492	493	494	495
496	497	498	499	500	501	502	503	504
505	506	507	508	509	510	511	512	513
514	515	516	517	518	519	520	521	522
523	524	525	526	527	528	529	530	531
532	533	534	535	536	537	538	539	540
541	542	543	544	545	546	547	548	549
550	551	552	553	554	555	556	557	558
559	560	561	562	563	564	565	566	567
568	569	570	571	572	573	574	575	576
577	578	579	580	581	582	583	584	585
586	587	588	589	590	591	592	593	594
595	596	597	598	599	600	601	602	603
604	605	606	607	608	609	610	611	612
613	614	615	616	617	618	619	620	621
622	623	624	625	626	627	628	629	630
631	632	633	634	635	636	637	638	639
640	641	642	643	644	645	646	647	648
649	650	651	652	653	654	655	656	657
658	659	660	661	662	663	664	665	666
667	668	669	670	671	672	673	674	675
676	677	678	679	680	681	682	683	684
685	686	687	688	689	690	691	692	693
694	695	696	697	698	699	700	701	702
703	704	705	706	707	708	709	710	711
712	713	714	715	716	717	718	719	720
721	722	723	724	725	726	727	728	729
730	731	732	733	734	735	736	737	738
739	740	741	742	743	744	745	746	747
748	749	750	751	752	753	754	755	756
757	758	759	760	761	762	763	764	765
766	767	768	769	770	771	772	773	774
775	776	777	778	779	780	781	782	783
784	785	786	787	788	789	790	791	792
793	794	795	796	797	798	799	800	801
802	803	804	805	806	807	808	809	810
811	812	813	814	815	816	817	818	819
820	821	822	823	824	825	826	827	828
829	830	831	832	833	834	835	836	837
838	839	840	841	842	843	844	845	846
847	848	849	850	851	852	853	854	855
856	857	858	859	860	861	862	863	864
865	866	867	868	869	870	871	872	873
874	875	876	877	878	879	880	881	882
883	884	885	886	887	888	889	890	891
892	893	894	895	896	897	898	899	900
901	902	903	904	905	906	907	908	909
910	911	912	913	914	915	916	917	918
919	920	921	922	923	924	925	926	927
928	929	930	931	932	933	934	935	936
937	938	939	940	941	942	943	944	945
946	947	948	949	950	951	952	953	954
955	956	957	958	959	960	961	962	963
964	965	966	967	968	969	970	971	972
973	974	975	976	977	978	979	980	981
982	983	984	985	986	987	988	989	990
991	992	993	994	995	996	997	998	999
1000	1001	1002	1003	1004	1005	1006	1007	1008
1009	1010	1011	1012	1013	1014	1015	1016	1017
1018	1019	1020	1021	1022	1023	1024	1025	1026
1027	1028	1029	1030	1031	1032	1033	1034	1035
1036	1037	1038	1039	1040	1041	1042	1043	1044
1045	1046	1047	1048	1049	1050	1051	1052	1053
1054	1055	1056	1057	1058	1059	1060	1061	1062
1063	1064	1065	1066	1067	1068	1069	1070	1071
1072	1073	1074	1075	1076	1077	1078	1079	1080
1081	1082	1083	1084	1085	1086	1087	1088	1089
1090	1091	1092	1093	1094	1095	1096	1097	1098
1099	1100	1101	1102	1103	1104	1105	1106	1107
1108	1109	1110	1111	1112	1113	1114	1115	1116
1117	1118	1119	1120	1121	1122	1123	1124	1125
1126	1127	1128	1129	1130	1131	1132	1133	1134
1135	1136	1137	1138	1139	1140	1141	1142	1143
1144	1145	1146	1147	1148	1149	1150	1151	1152
1153	1154	1155	1156	1157	1158	1159	1160	1161
1162	1163	1164	1165	1166	1167	1168	1169	1170
1171	1172	1173	1174	1175	1176	1177	1178	1179
1180	1181	1182	1183	1184	1185	1186	1187	1188
1189	1190	1191	1192	1193	1194	1195	1196	1197
1198	1199	1200	1201	1202	1203	1204	1205	1206
1207	1208	1209	1210	1211	1212	1213	1214	1215
1216	1217	1218	1219	1220	1221	1222	1223	1224
1225	1226	1227	1228	1229	1230	1231	1232	1233
1234	1235	1236	1237	1238	1239	1240	1241	1242
1243	1244	1245	1246	1247	1248	1249	1250	1251
1252	1253	1254	1255	1256	1257	1258	1259	1260
1261	1262	1263	1264	1265	1266	1267	1268	1269
1270	1271	1272	1273	1274	1275	1276	1277	1278
1279	1280	1281	1282	1283	1284	1285	1286	1287
1288	1289	1290	1291	1292	1293	1294	1295	1296
1297	1298	1299	1300	1301	1302	1303	1304	1305
1306	1307	1308	1309	1310	1311	1312	1313	1314
1315	1316	1317	1318	1319	1320	1321	1322	1323
1324	1325	1326	1327	1328	1329	1330	1331	1332
1333	1334	1335	1336	1337	1338	1339	1340	1341
1342	1343	1344	1345	1346	1347	1348	1349	1350
1351	1352	1353	1354	1355	1356	1357	1358	1359
1360	1361	1362	1363	1364	1365	1366	1367	1368
1369	1370	1371	1372	1373	1374	1375		

表-9 タクトスリースにおける管路とマンホールの
相対変位量最大値

	地盤 I 側		地盤 II 側			基盤, 浅い		基盤, 深い	
	(Hz)	(mm)	(Hz)	(mm)		(Hz)	(mm)	(Hz)	(mm)
A-3	8.6	-0.02	8.6	+0.03	B-3	8.7	+0.03	8.7	+0.01
	7.1	-0.01	7.1	+0.17		7.9	+0.03	7.9	+0.01
						6.7	±0.00	6.7	+0.03
	5.6	-0.02	5.6	+0.04		6.3	±0.00	6.3	+0.02
A-6	地盤 I 側		地盤 II 側		備考 中立位置より、管路がマンホール に押しこまれる場合を (+) と している。				
	(Hz)	(mm)	(Hz)	(mm)					
	8.4	+0.17	8.4	-0.08					
	7.5	+0.24	7.5	+0.02					
	5.5	+0.21	5.5	-0.30					



軸方向加振モデル

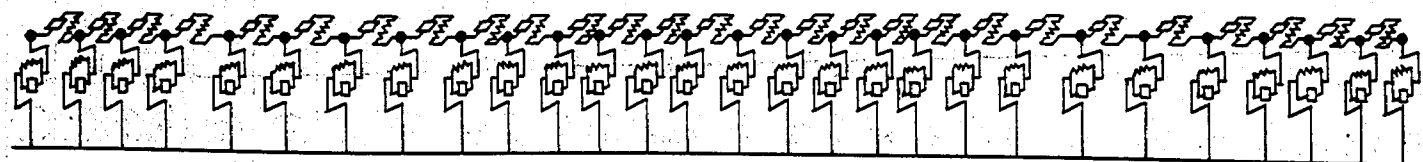


図-9 解析モデル

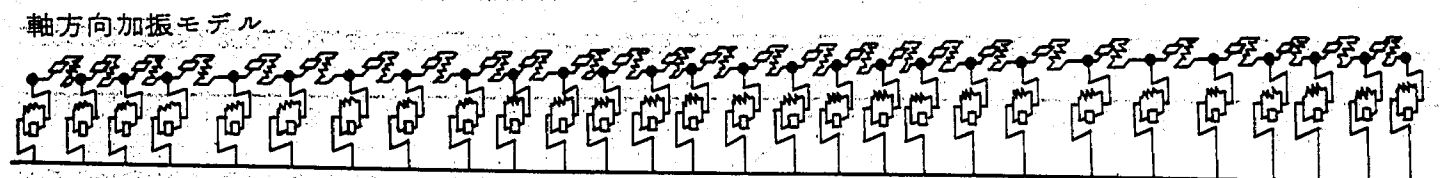
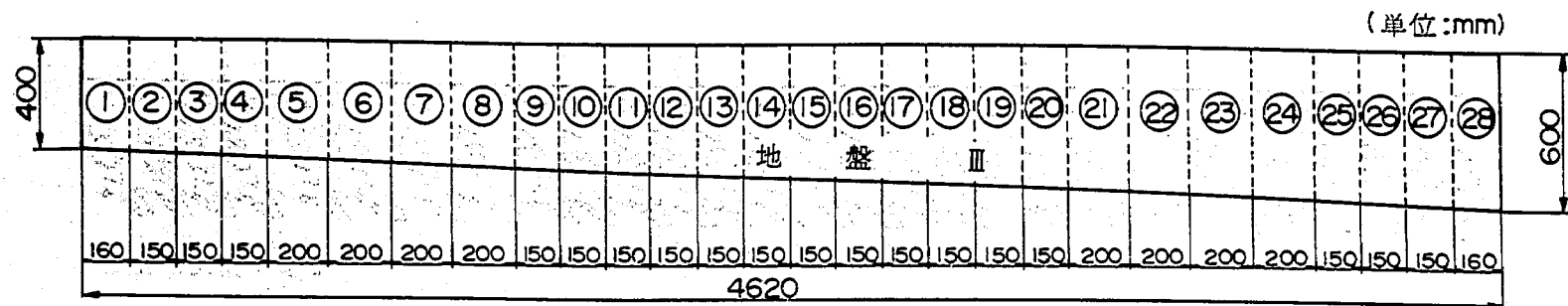


図-9 続 き

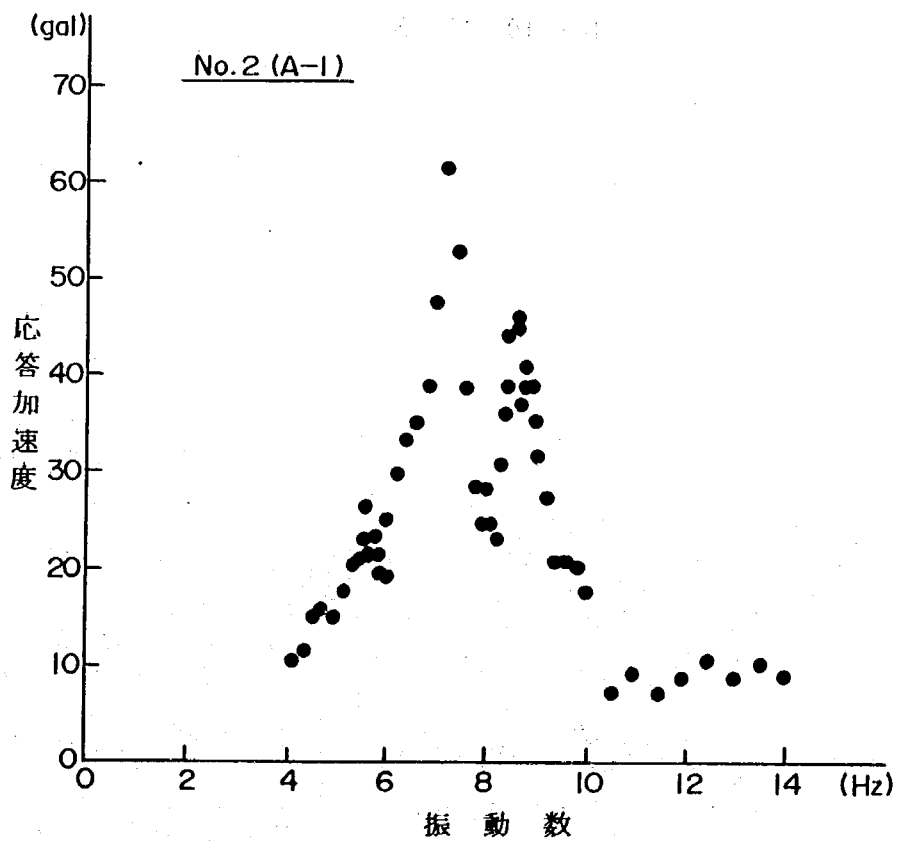
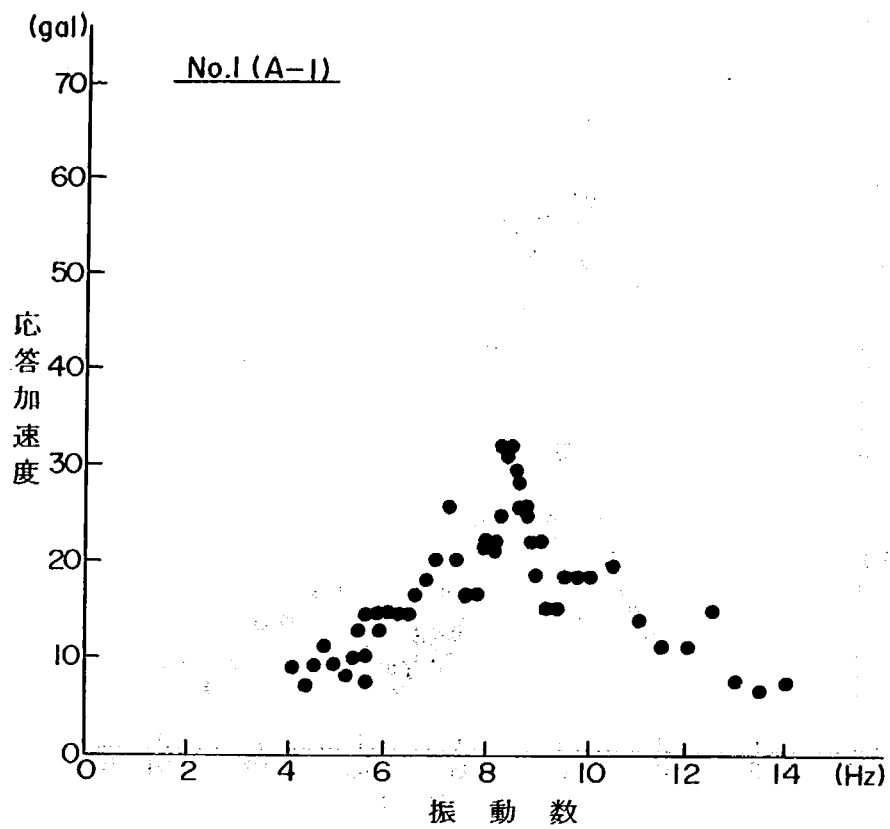


図-10 ケー1 A-1, B-1 の埋設管直上での地盤
模型表面の応答加速度と振動数

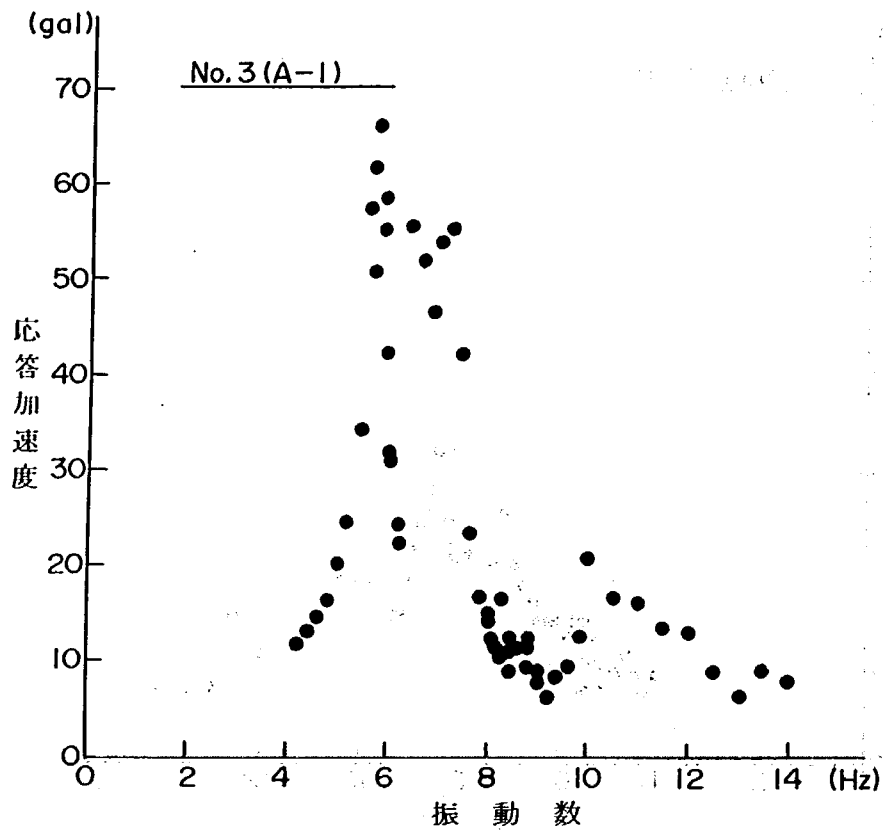


図-10 続 き

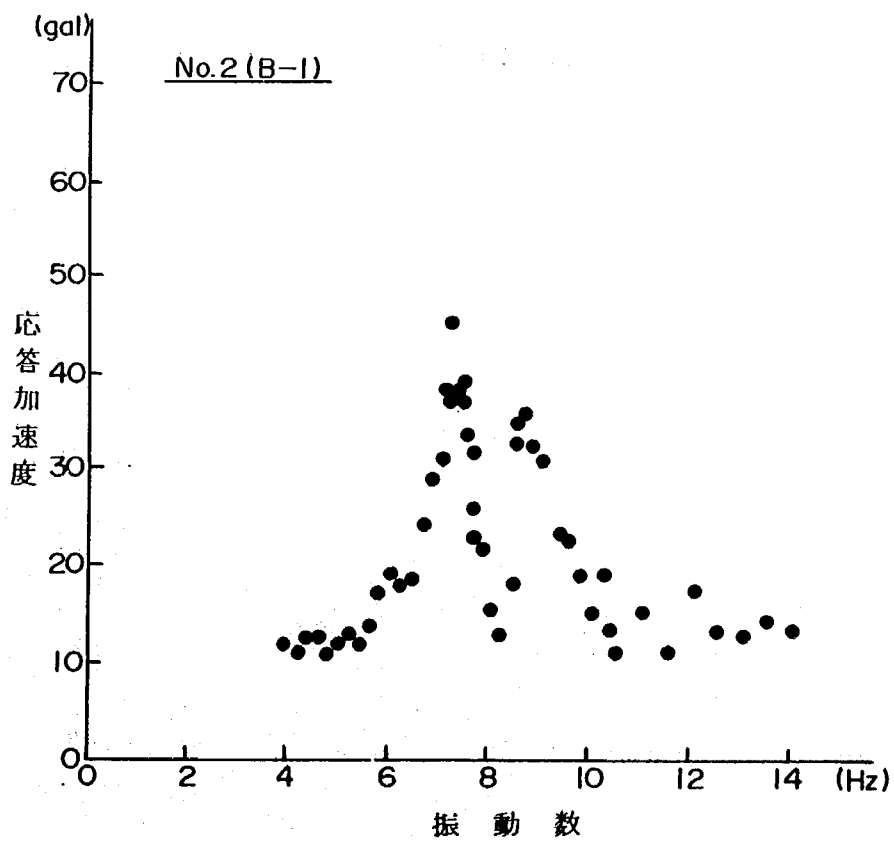
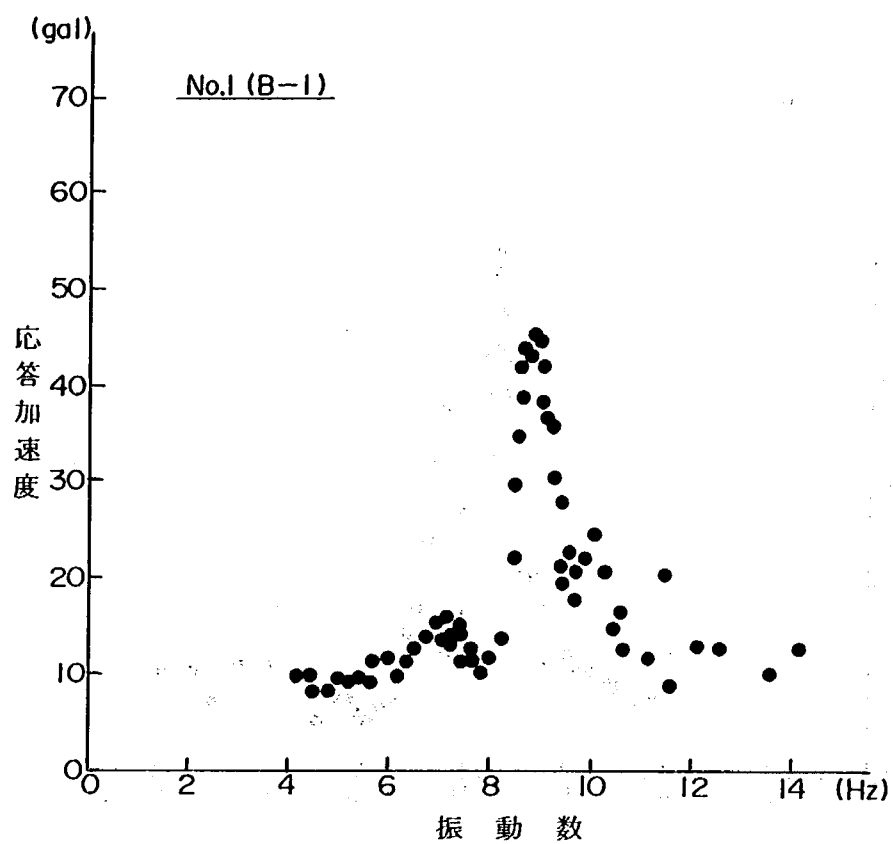


図-10 続 き

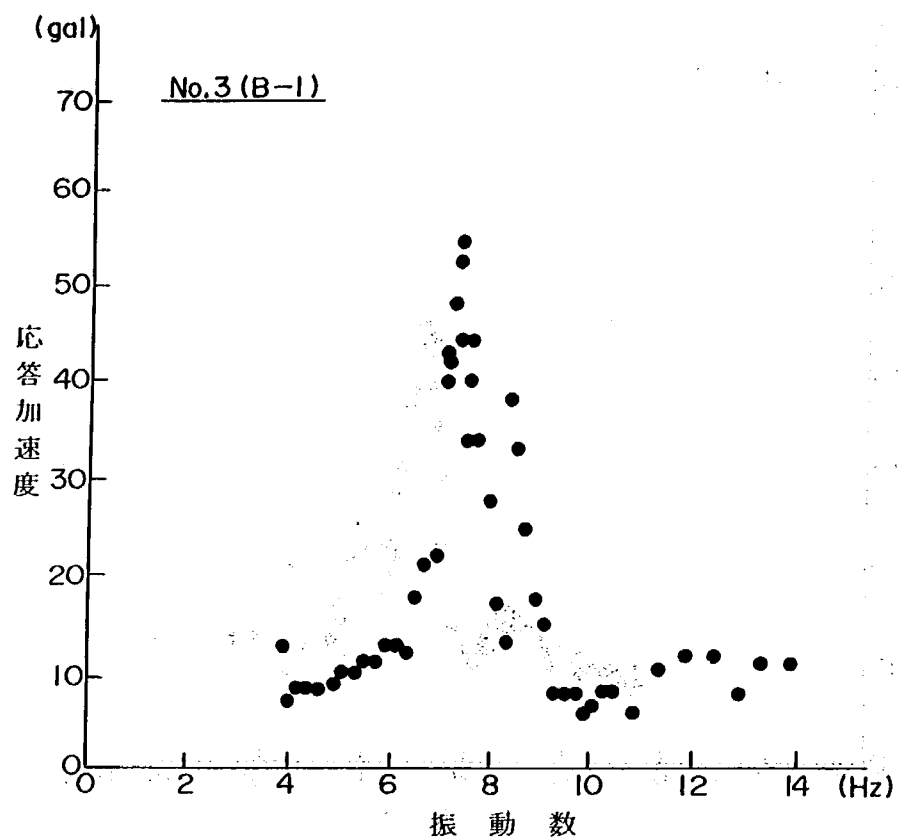


図-10 続 き

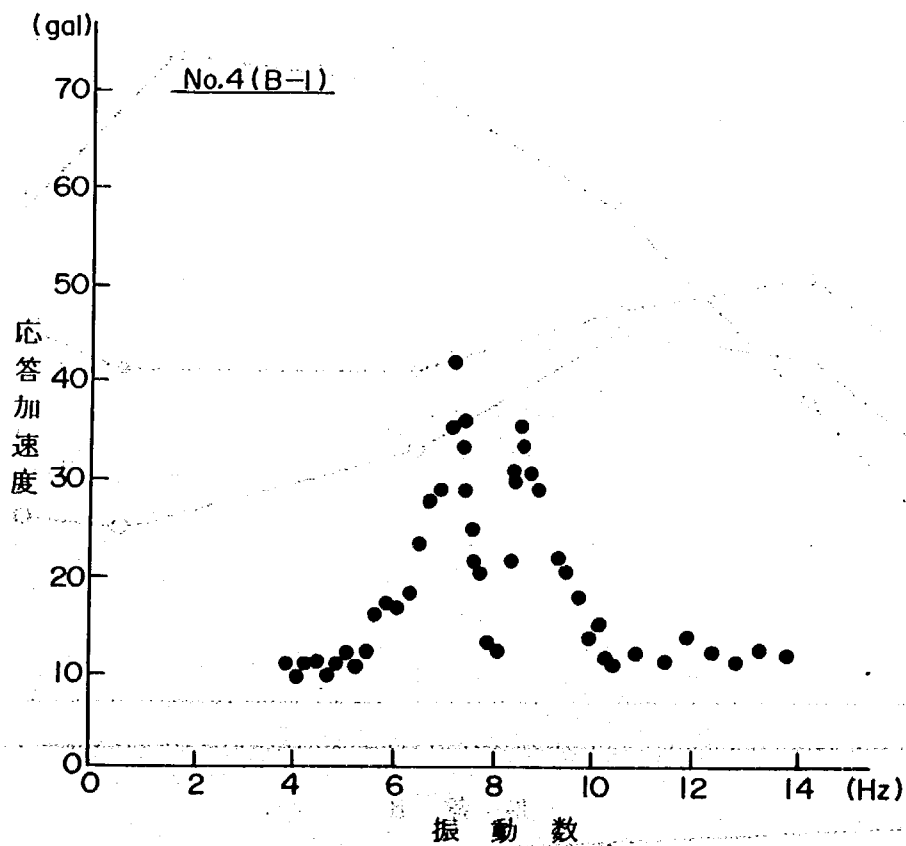
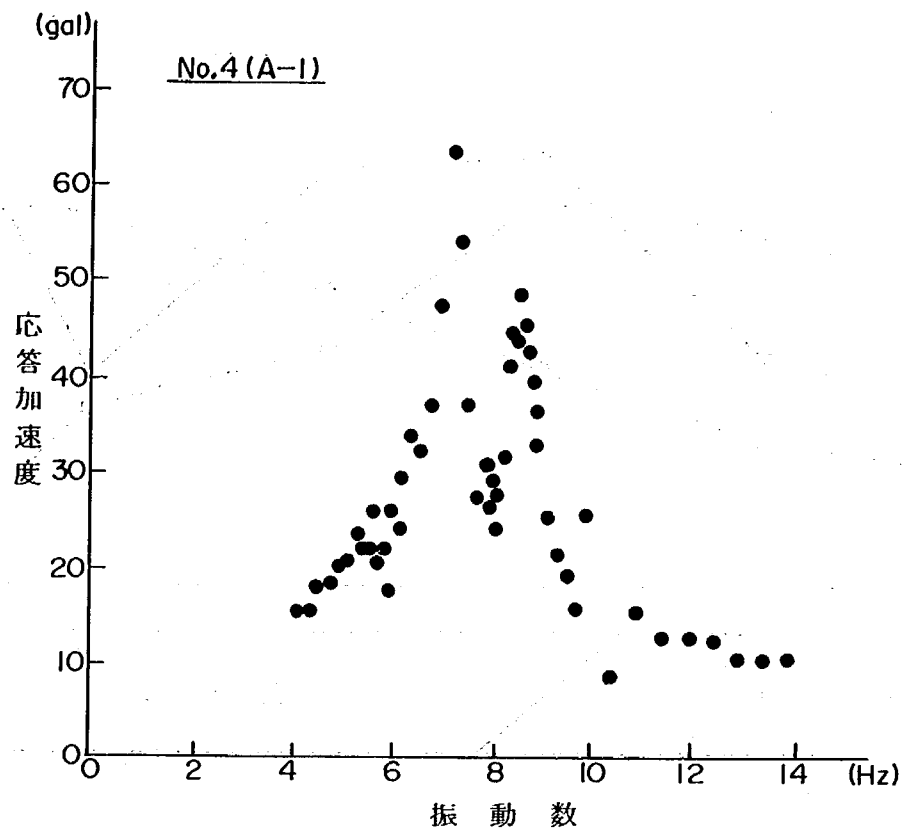


図-11 ケースA-1, B-1の埋設管側面での
地盤模型表面の応答加速度と振動数

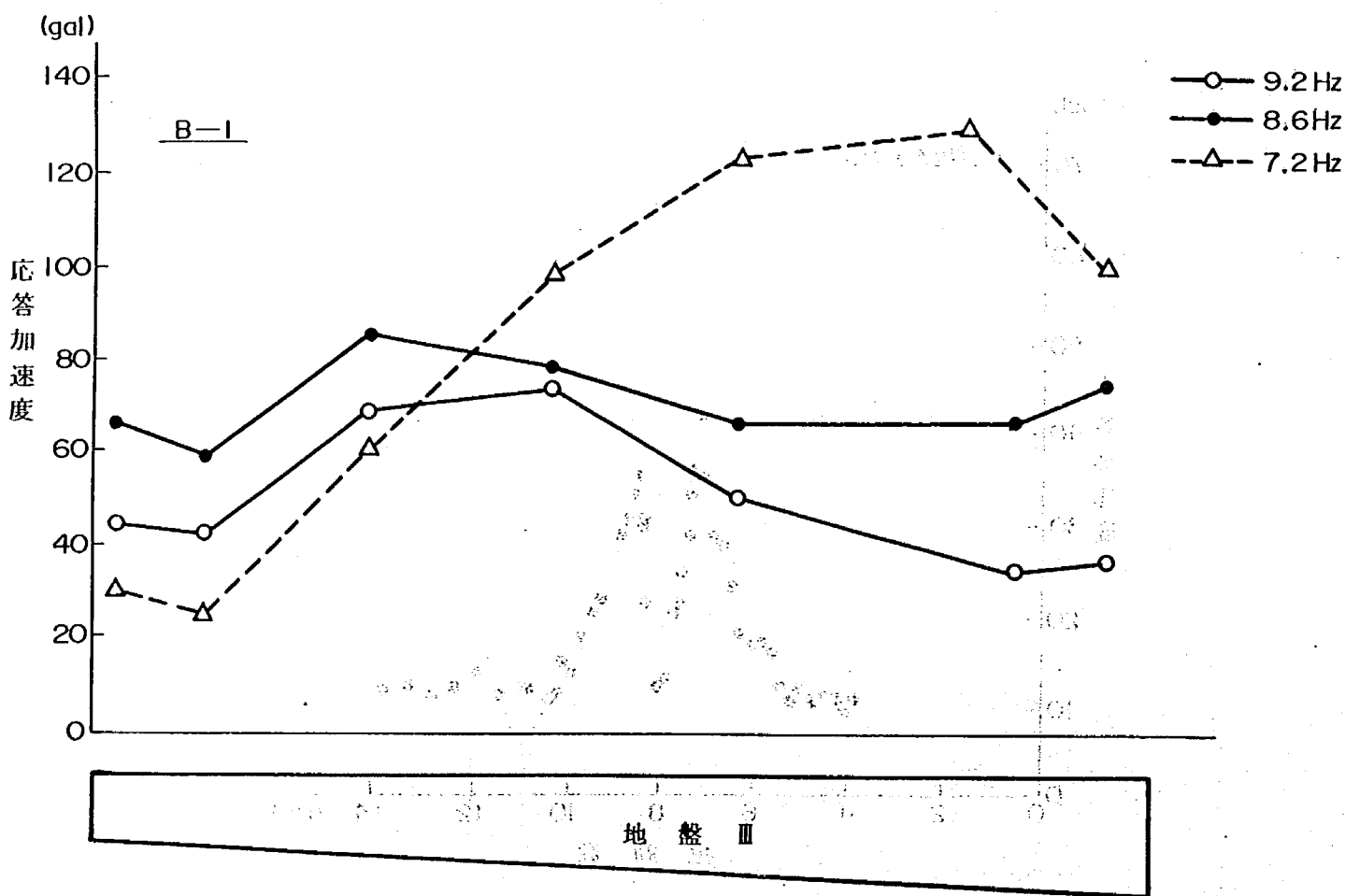
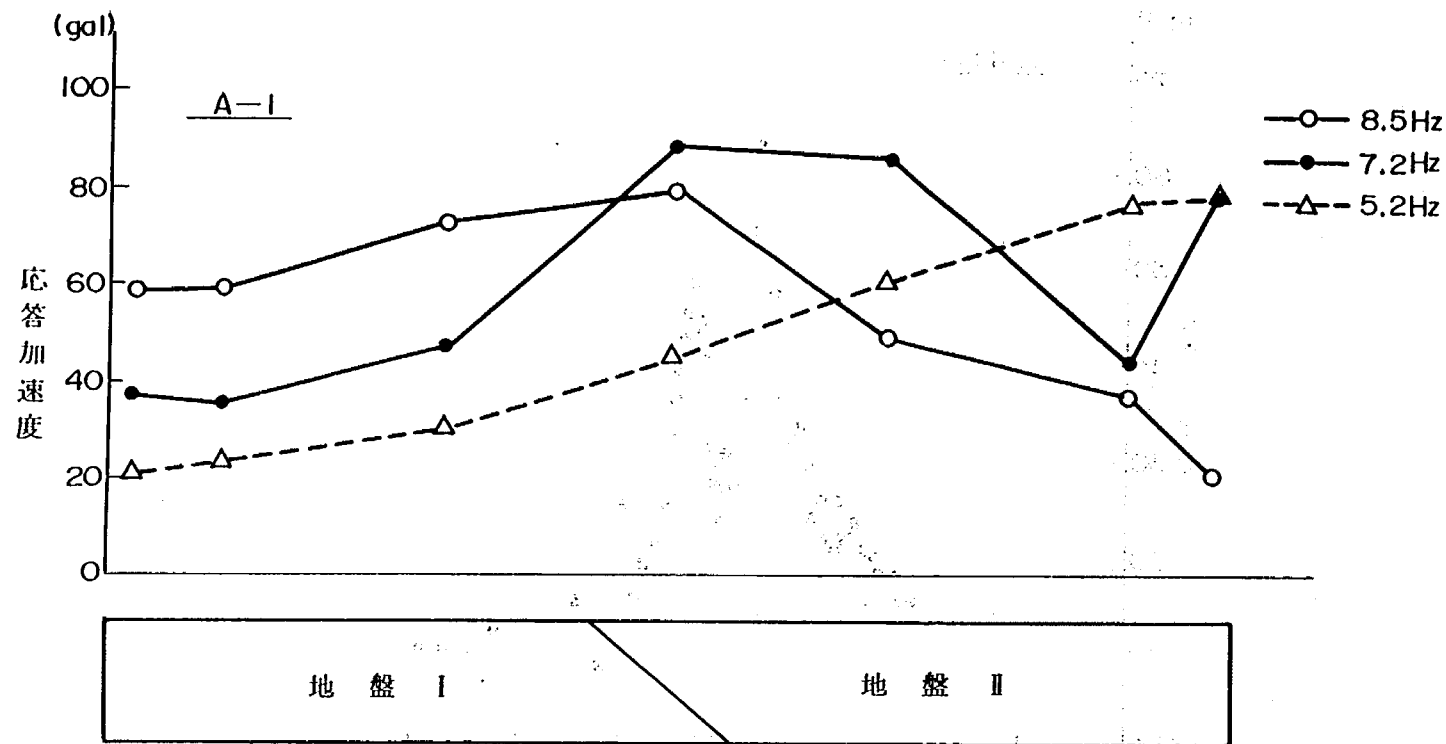
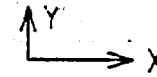


図-12 ピーク振動数での各点の応答加速度

NATURAL MODES

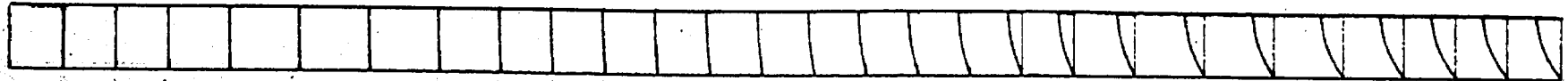
DENDEN KOUHA NO JIKKEN

AXIAL MODE



A 地盤モデル

MODE 1
T=0.19sec



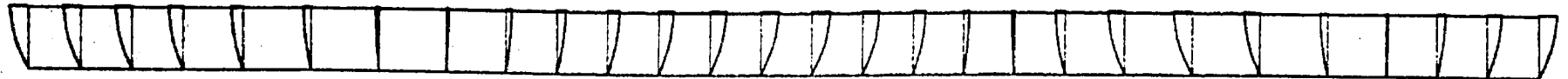
MODE 2
T=0.15sec



MODE 3
T=0.13sec



MODE 4
T=0.11sec



MODE 5
T=0.09sec

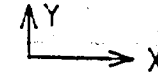


図-13 地盤模型の振動モード

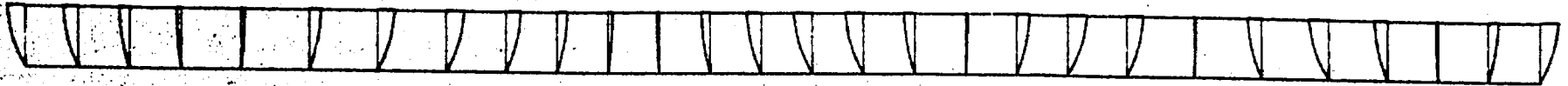
NATURAL MODES

DENDEN KOU SHA NO JIKKEN

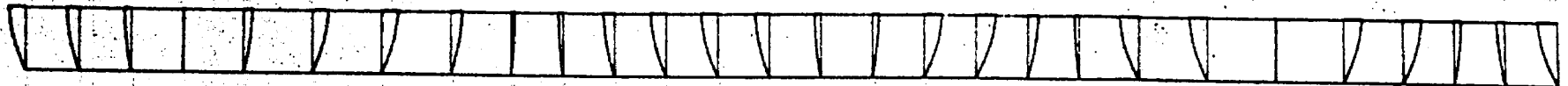
AXIAL MODE



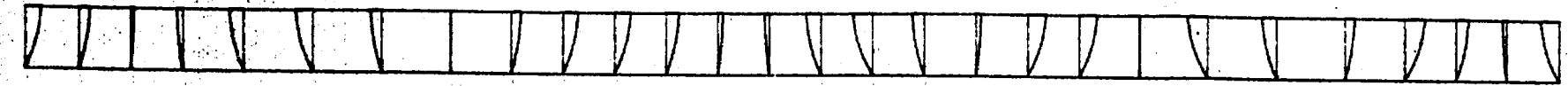
MODE 6
T=0.08sec



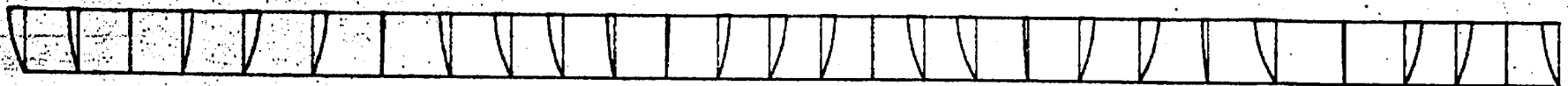
MODE 7
T=0.07sec



MODE 8
T=0.06sec



MODE 9
T=0.05sec



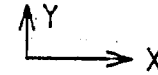
MODE 10
T=0.05sec



NATURAL MODES

DENDEN KOU SHA NO JIKKEN

AXIAL MODE



1701087
MODE 8



1701087
MODE 11
T=0.05sec



1701087
MODE 12
T=0.04sec



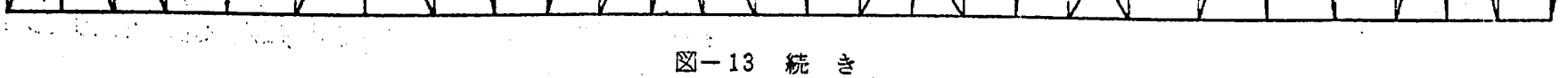
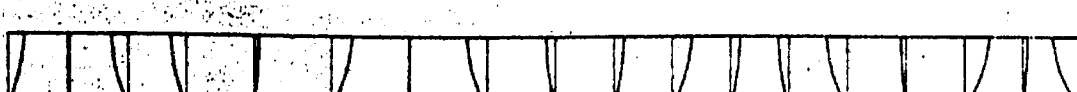
1701087
MODE 13
T=0.04sec



1701087
MODE 14
T=0.04sec



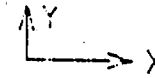
MODE 15
T=0.04sec



NATURAL MODES

DENDEN KOUSSHA NO JIKKEN

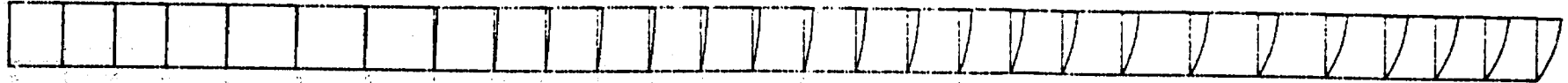
AXIAL MODE



B 地盤モデル

MODE 1

T=0.14sec



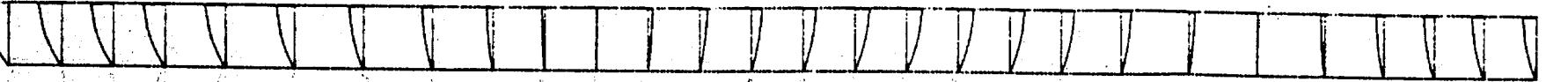
MODE 2

T=0.12sec



MODE 3

T=0.10sec



MODE 4

T=0.09sec



MODE 5

T=0.07sec

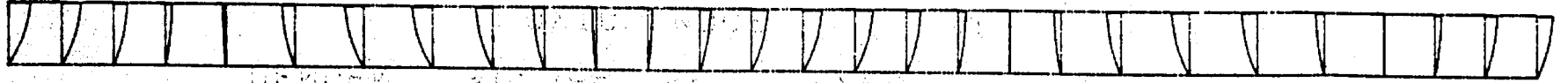
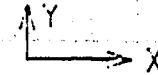


図-13 続 き

NATURAL MODES

DENDEN KOUSHA NO JIKKEN

AXIAL MODE



LE=0.024m
MODE 12

LE=0.024m
MODE 6
T=0.06sec



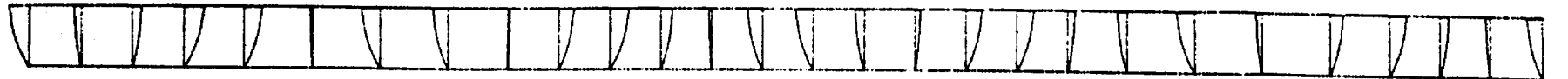
LE=0.024m
MODE 7
T=0.05sec



LE=0.024m
MODE 8
T=0.05sec



LE=0.024m
MODE 9
T=0.04sec



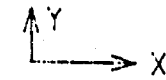
MODE 10
T=0.04sec



NATURAL MODES

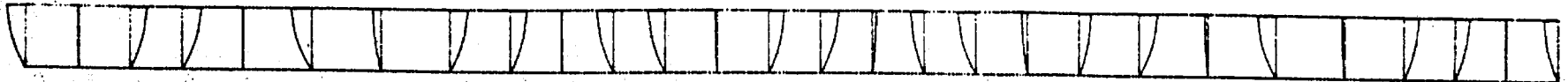
DENDEN KOSHU NO JIKKEN

AXIAL MODE



MODE 11

$T=0.04\text{sec}$



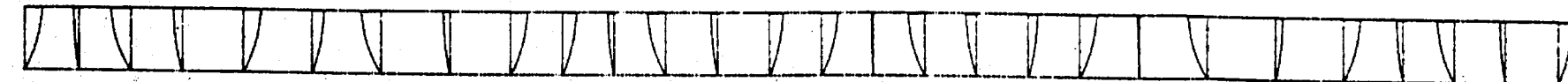
MODE 12

$T=0.03\text{sec}$



MODE 13

$T=0.03\text{sec}$



MODE 14

$T=0.03\text{sec}$



MODE 15

$T=0.03\text{sec}$



図-13 続 き

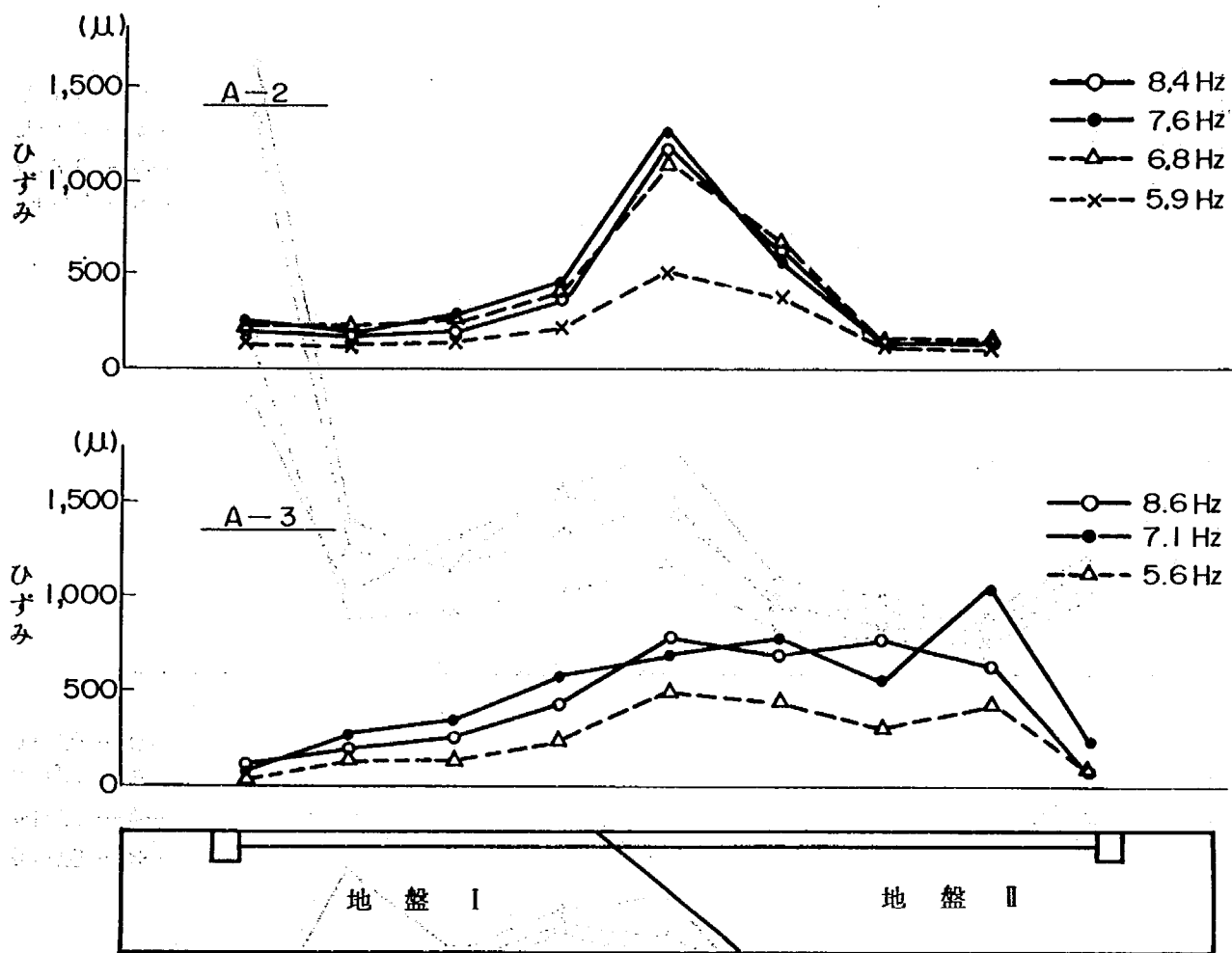
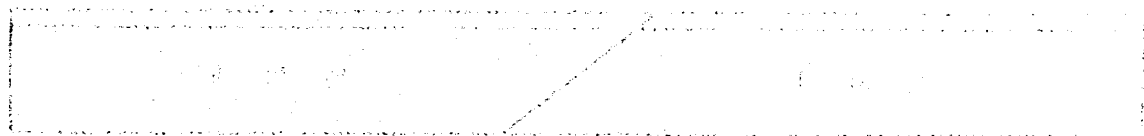


図-14 ピーク振動数での埋設管のひずみ



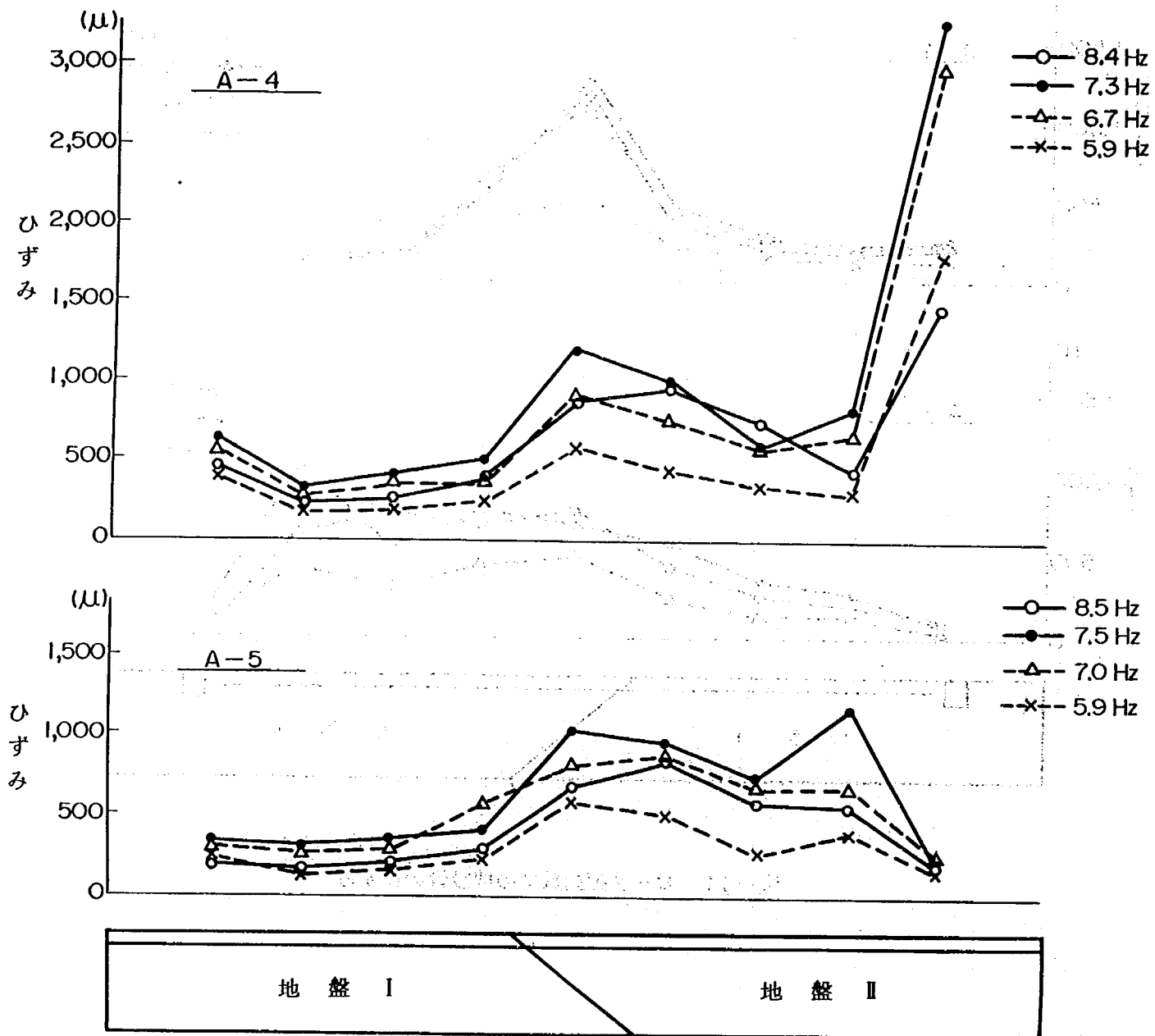


図-14 続 き

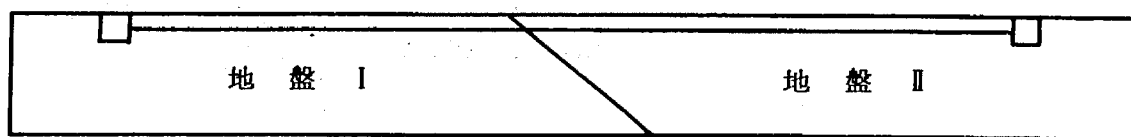
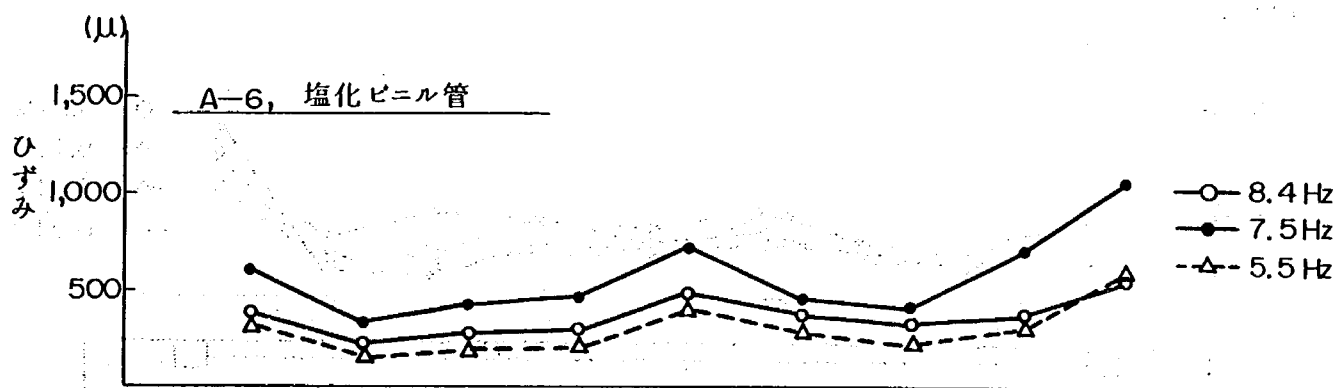
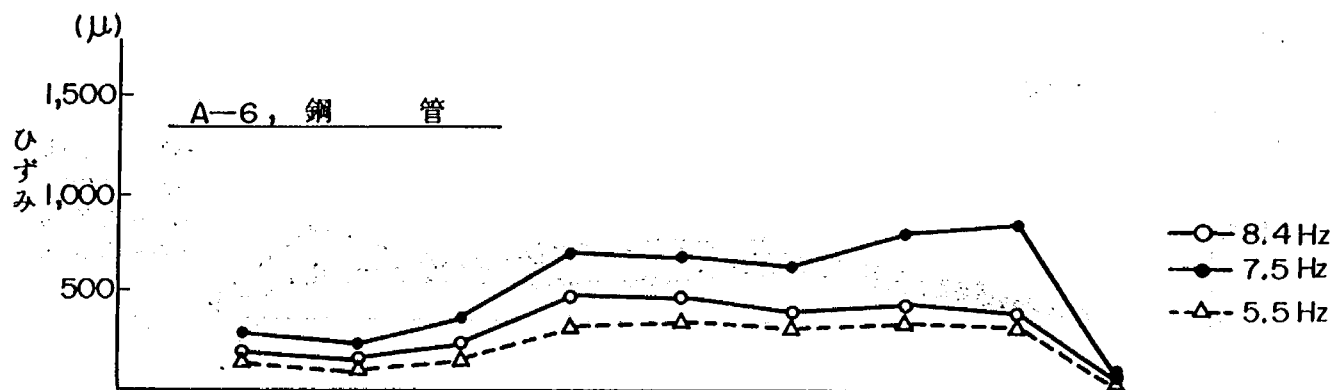


図-14 続 き

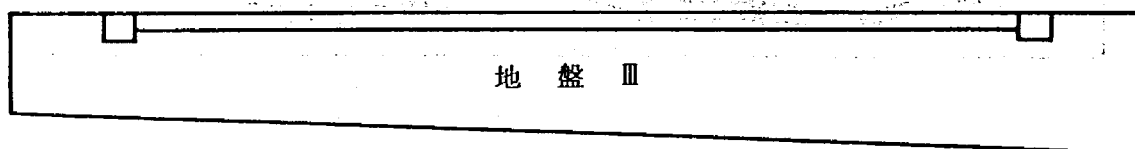
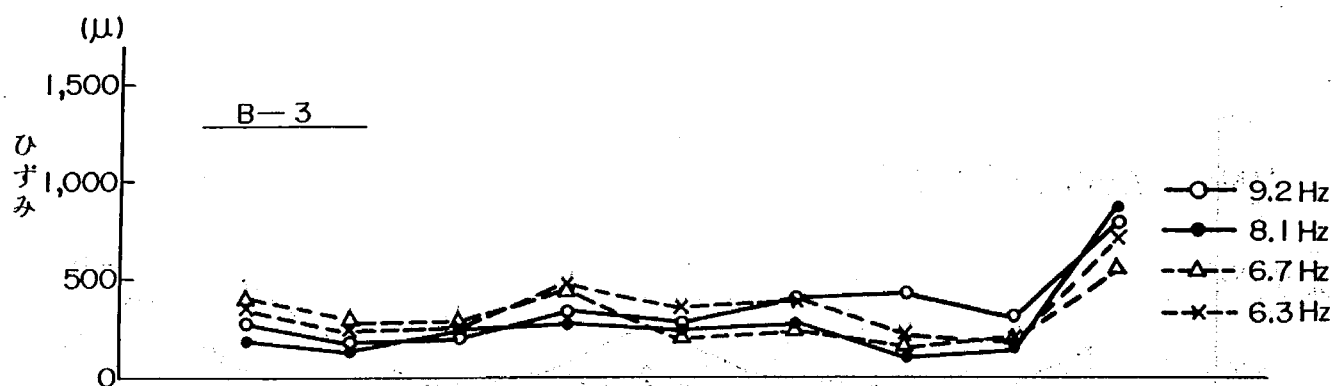
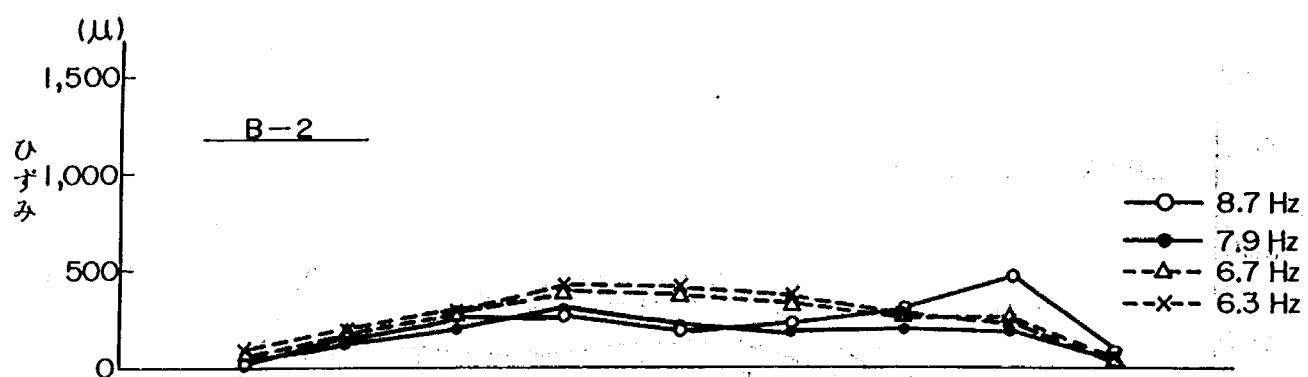


図-14 続き

4. 手とめ

(1) 今回の模型振動実験では、被災の状態の類型的区分に基づき、地盤条件を設定して実施した。対象となる類型的区分は以下のようである。

① 沖積層で基盤に変化がある場合

② 第三紀層・洪積層と沖積層に管路が連続する場合のように工質条件が急変する場合

(2) 模型振動実験により、地盤の応答加速度、埋設管のひずみ、ダクトスリーブの伸縮・マンホールの回転、等の挙動から次の結論を導いた。

① 地盤の応答加速度：実地盤に対応させた応答加速度は、地表面の最大値で、A地盤モデル、B地盤モデルとも150～300 galの範囲となった。A地盤モデルでは地盤上側で高振動数での応答値が大きくなり、また、B地盤モデルでは基盤が浅い方から深い方向に向かって応答加速度が増加する傾向がある。

② 埋設管のひずみ：地質が急変する地盤でその変化点近傍、基盤が一樣に変化する地盤で深い基盤の側のマンホール近傍で埋設管、マンホール、地盤の動特性が著しく変化し、大きなひずみが生じる可能性がある。

③ 伸縮継手・ダクトスリーブの効果：今回の実験では、鋼管～マンホール系管路に伸縮継手、ダクトスリーブを設け実施したが、図-12に示られるように、伸縮継手・ダクトスリーブのある箇所ではひずみが大きく減少し、伸縮継手・ダクトスリーブの有効性を確

認れた。したがって、地震対策の具体的手法として、伸縮継手・タクトスリーブの採用が有効なことは明らかである。

- ⑯ 伸縮継手の位置：硬質と軟質の地盤が接して存在する地盤ではこれらの地盤の接面近傍の軟質地盤中の埋設管に、また、基盤が様に傾斜するような地盤ではマンホールとマンホールの間から深い側のマンホール近傍にかけて密に、設けるのが望ましいと考えられる。

- ⑰ その他：直埋管、鋼管・硬質塩化ビニル管の地震時挙動の管種による違いの比較は、適切な境界条件を設定して、実大模型を用いた実験し、比較することが望まれよう。

5. あとがき

本年度の調査研究、特に、模型振動実験の実施にあたり、日本電信電話公社建設技術開発室の関係各位に多大なる御協力を頂いたことに對し、末尾から深い感謝の意を表する次第である。

付録 — 地中管路の被災と対応について —

我が国は世界有数の地震国であり、数年ごとに、その被災はどこの地域に発生し、その物的、精神的損失は地上、地下を問わず、または、公共資産と私財の別なく生起している。通信施設における被災は、過去、新潟(1964)、十勝沖(1967)、宮城県沖(1978)等の地震災害を通じて発生しただけでも、宅内設備、電柱の折損、管路の浮上、管路継手の破損、マンホール取付部の破壊等、地震エネルギーが予想以上に大きくなり、または地盤条件の悪いこと等~~が~~加わって被害が生じてきた。

しかし、このような災害に対しては、予想される地震の挙動を把握し、その際に発生する地盤の振動の実態に基づいた構造的な対応策をとった設計、すなわち耐震設計をとっておけば完全に災害を防止することが出来る~~が~~ても、その大半はこれを回避できると考えられる。

そして、これがためには最も所要の点はずばず地震そのものの挙動を把握すること、次いで現在の構造物が地震を受けるとどのような破壊を来したかを調査し総合すること、最後にこれに対してどのような設計を考えるべきかについで検討することである。ここでは以下、地震波動、地下構造物の被災の実態、地震時の地盤の歪に基づいた耐震設計法について記す。

(1) 地震波動

一般に、震害が生起している地表面付近に到達する地震波動は、その地盤が層状構造であることと入来する方向が地下のある深さの震源から上昇して来るため、発生した衝撃波はまず速度の速いP波が通過する地震の性質による屈折反射を経て到達し、同時に発生するS波も現われるが主要動のS波が到達するにはその速度の差だけ遅れ、したがって、破壊力を示すのは震央に近い場合ではP波によることが多く、また変位の大きいS波等による破壊は広範囲に及んでいることなどが知られている。

一方、表面波の理論形態として存在するレイリー波やラブ波・S波重複反射については、純粋な形で観察されることは希であっても、本件のように地中構造物を対象とした場合には、その挙動を把握するうえからまた破壊の理論形態を究明するうえから必要の現象形態として把握されるべきものである。以下、その振動形態について、概略を示す。S波重複反射、ラブ波・レイリー波はどれも表面波として地下から伝播し上昇する波動が地表面での反射屈折等の結果、恒常性をもつて至る波動である。

おのおのの波動式は

$$\frac{\partial^2 u_1}{\partial t^2} = \frac{G}{\rho} \frac{\partial^2 u_1}{\partial x_2^2} \quad (\text{S波重複反射}) (1)$$

$$\frac{\partial^2 u_1}{\partial t^2} = \frac{G}{\rho} \left(\frac{\partial^2 u_1}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 u_1}{\partial x_2^2} \right) \quad (\text{ラブ波}) (2)$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial^2 U_2}{\partial t^2} &= \frac{G}{\rho} \left(\frac{\partial^2 U_2}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 U_2}{\partial x_2^2} \right) + \frac{G+\lambda}{\rho} \frac{\partial}{\partial x_2} \left(\frac{\partial U_3}{\partial x_1} + \frac{\partial U_2}{\partial x_2} \right) \\ \frac{\partial^2 U_3}{\partial t^2} &= \frac{G}{\rho} \left(\frac{\partial^2 U_3}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 U_3}{\partial x_2^2} \right) + \frac{G+\lambda}{\rho} \frac{\partial}{\partial x_1} \left(\frac{\partial U_3}{\partial x_1} + \frac{\partial U_2}{\partial x_2} \right) \end{aligned} \right\} \quad (11) - \text{波} (3)$$

で示され、その解は各々

$$U_1 = B_1 \exp i(\omega t + kx_2) + B_2 \exp i(\omega t - kx_2) \quad (4)$$

$$U_1 = F(x_2) \exp i(\omega t - kx_1) \quad (5)$$

$$\left. \begin{aligned} U_3 &= i k \left\{ (2k^2 - k^2) \exp(-b_1 x_2) - 2b_1 b_2 \exp(-b_2 x_2) \right\} C \exp i(\omega t - kx_1) \\ U_2 &= b_1 \left\{ (2k^2 - k^2) \exp(-b_1 x_2) - 2k^2 \exp(-b_2 x_2) \right\} C \exp i(\omega t - kx_1) \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

によって示される。

ここに

G : せん断弾性係数, ρ : 密度

λ : ラーメ定数, t : 時間

U_1, U_2, U_3 : 座標 x_1, x_2, x_3 における変位

k_1, k_2 : 波数, ω : 円振動数

B_1, B_2, b_1, b_2 : 係数, i : 虚数

なお、地山は半無限体と考えており、座標は付図-1に示すように地表面水平に x_1, x_2 , 鉛直に x_3 がとられている。

これらの波動を理解し易くするために、式(4), 式(5), 式(6)の実数部について正弦波に置換し、正方向の波にのみ着目すると、上式は

$$u_1 = B \cos(\omega t - k x_2)$$

$$u_1 = F(x_2) \cos(\omega t - k_1)$$

$$u_3 = U(x_2) \sin(\omega t - k x_1)$$

$$u_2 = U'(x_2) \cos(\omega t - k x_2)$$

となる。これらの波動を三次元的に示すと付図-2のようになる。

このように地震波の現象形態は多様多様で、実際に観測されている波形は震源の位置・深さ・距離・通過地帯の地盤条件・その地点の地層構造等によって千差万別であるが、しかしながら、その波形はランダム波調査分析によれば主要波動が見出せる。

地上構造物における耐震の問題では、その基礎の振動によって上部構造が励振されることか最も重要な問題であり、地下の方向での現象を問題とする場合は極めて希である。しかし、地下構造物、ことに地中に埋設された管路のように延長のある場合には、波動がその進行方向に同相振動するのか(レイリー波)それと直角かつ水平面で振動するのか(ラブ波)が最大の関心事とされている。一般には、前者では、震源に接近して災害を受けた場合などで加速度も大きくほとんど破壊的な災害となることが多い。しかしながら、経済的設計の限界としては、前者にせよ

後者にせよ加速度レベルで0.20G程度までに対応することがまず必須の条件と考えられている。そして、その施設の重要度に応じて強さを付与すべきである。

波動の垂直方向の減衰について、ことに観測している地震波データが地表の観測を主流としているのに対して、各種の地盤条件での地下各深度における増幅あるいは減衰状態についての把握のためのデータは次第に完備されつつある(付図-3参照)。また、これに併せて、前記のよう理論的に検討を加えればその把握は早道となる。たまたま10m程度の地表に対する増幅または減衰を正確に把握することは、例えその地点の地盤諸条件や力学的諸数値が正確に与えられたとしても、地震波入射諸条件・地域の全体的な地形・地層の形状等に大きく影響され、その位置での振動を地表面の振動データより推算することはかなりの困難を伴う。しかし、このような厳密な議論を除いて、その深さを10 ~ 20 m程度に限定して、表層地盤も均質で数十m程度であるとした場合には、新耐震設計法における応答変位法の指定による減衰式、すなわち

$$U_h(z) = \frac{2}{\pi^2} S_v T K_H \cos \frac{\pi z}{2H} \quad (10)$$

によるものがよい。

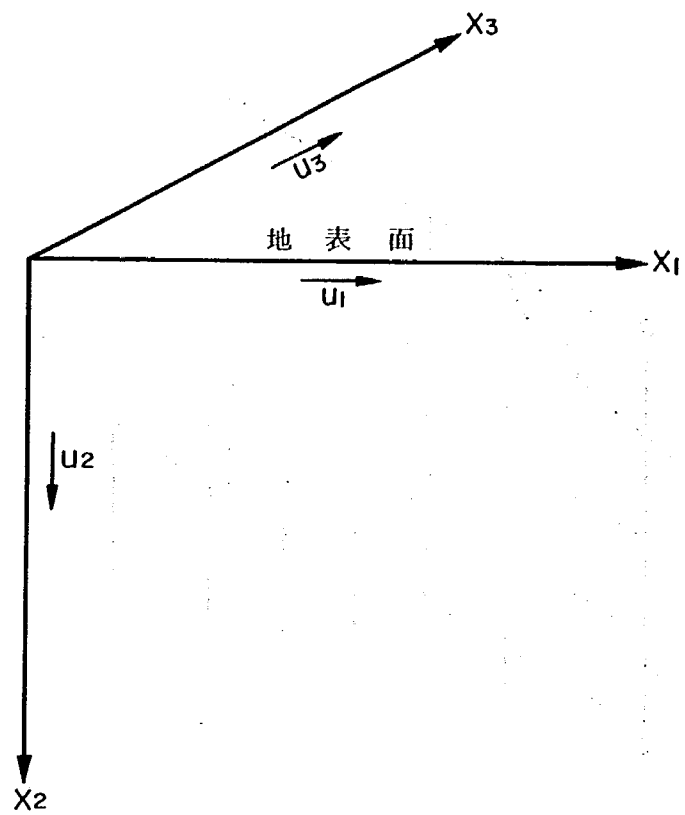
ここに

(1) $U_h(z)$: 地表面からの深さ z cm における水平方向変位振幅 (cm)

(2) S_v : 単位震度当りの応答速度 (cm/sec)

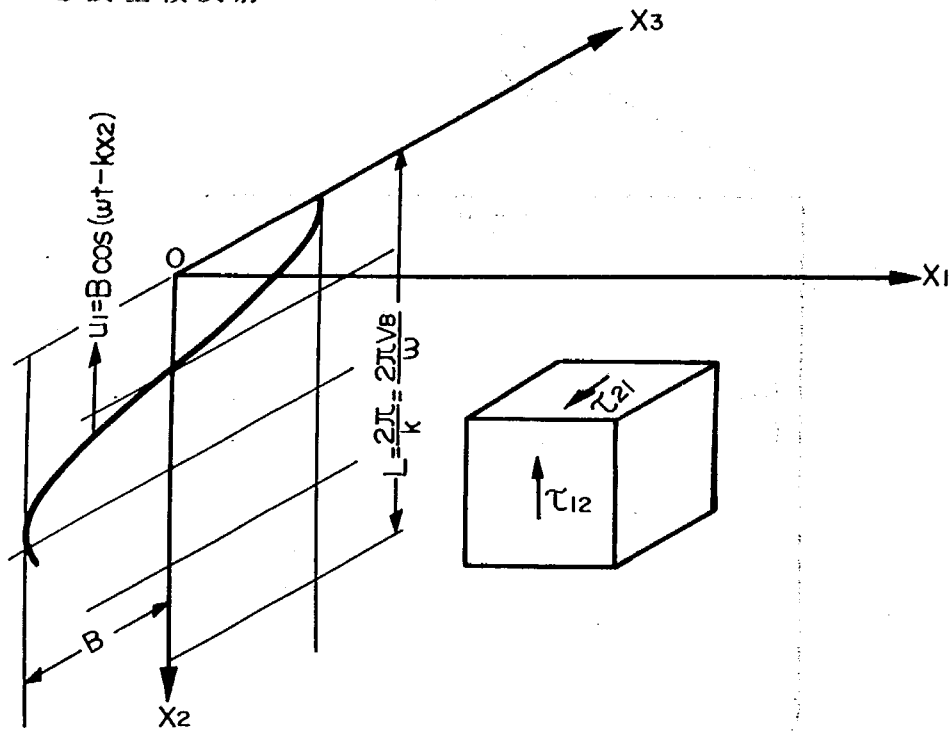
(3) T : 表層地盤の基本固有周期 (sec)

(4) K_H : 表層地盤に作用させる設計水平震度



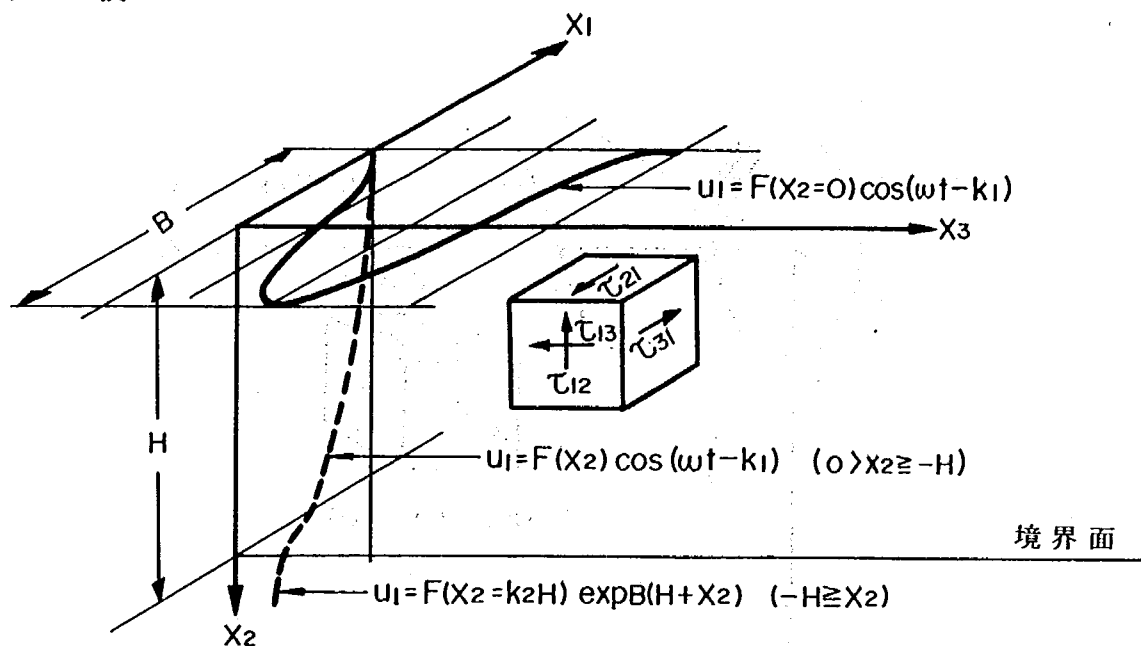
付図-1 座 標

S 波重複反射



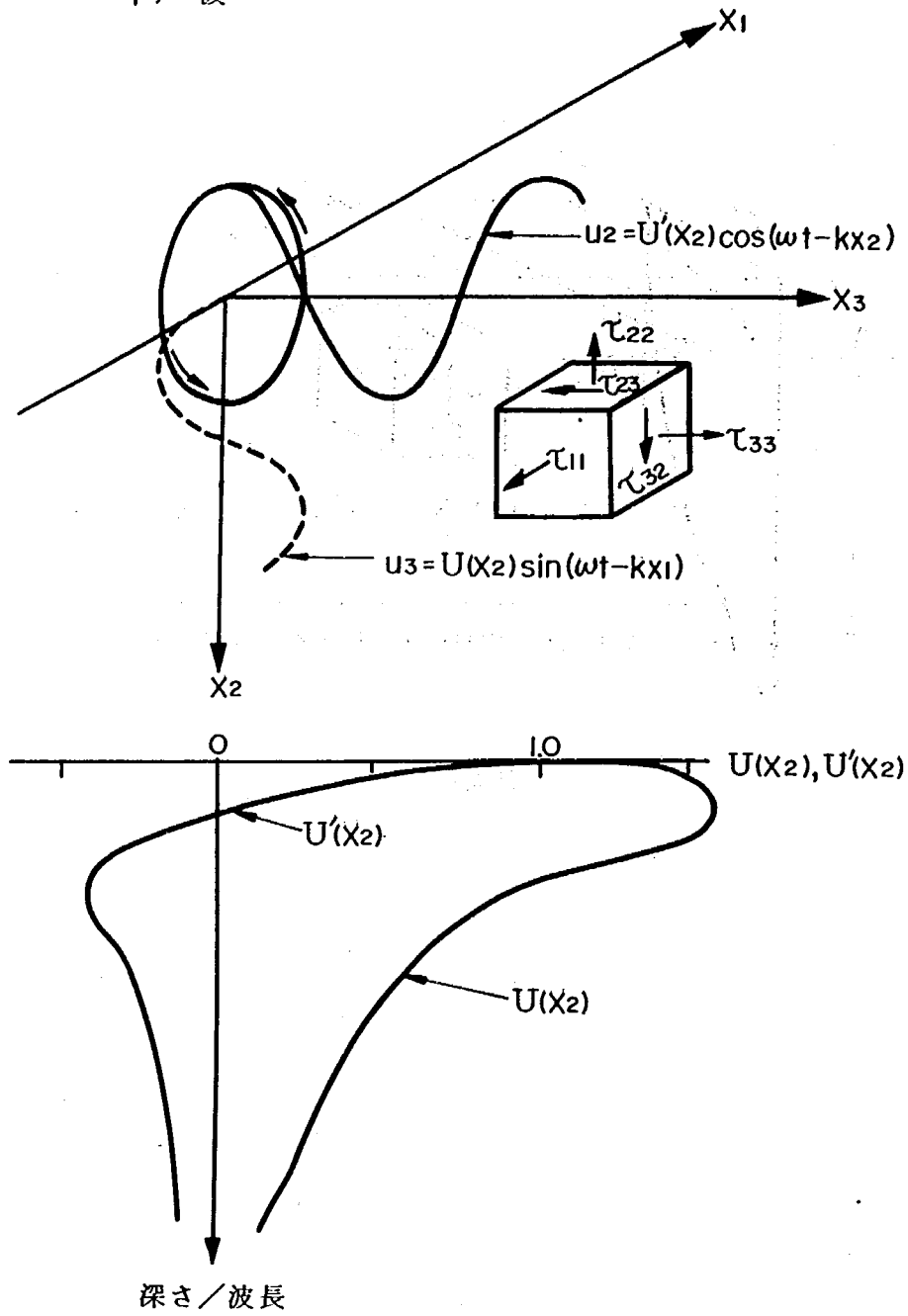
付図-2 S波重複反射・ラブ・レイリー波
の間略化した模式図

ラブ波



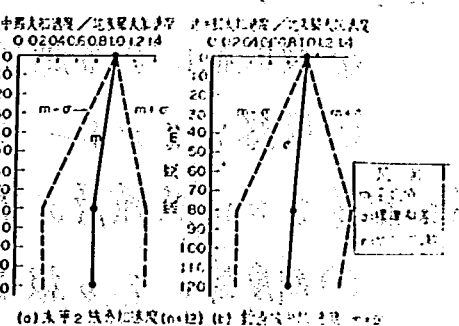
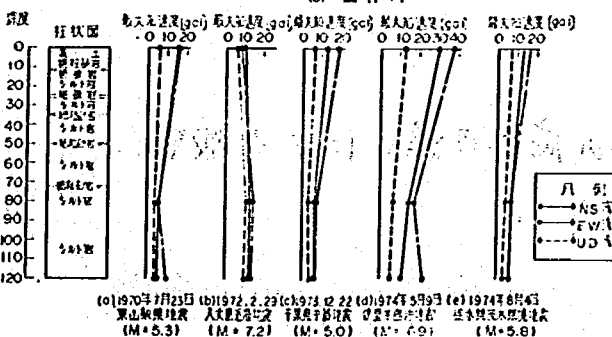
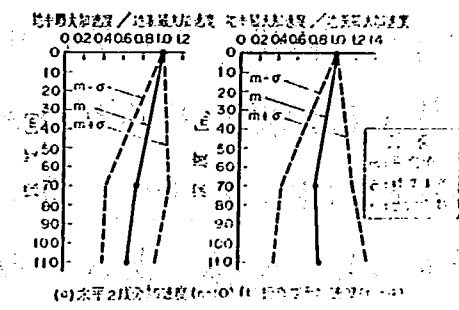
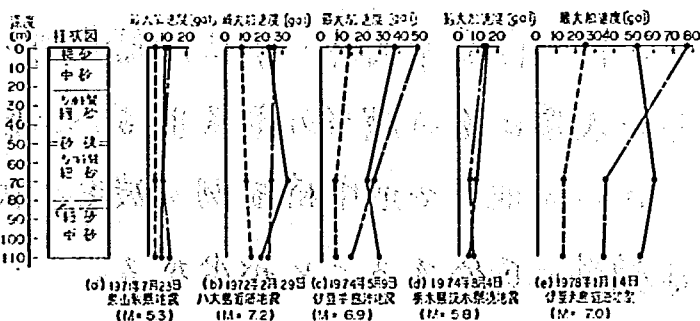
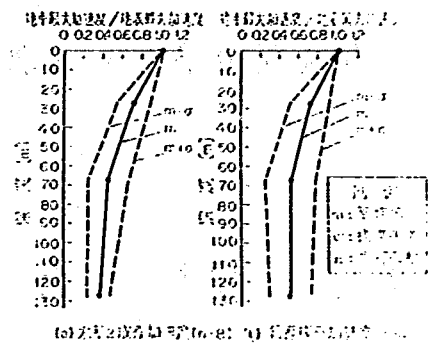
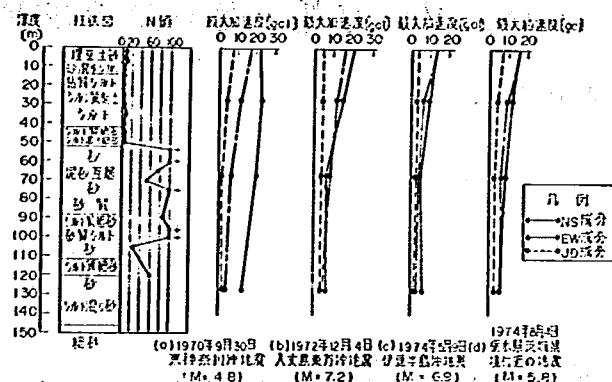
付図-2 続 き

レイリー波



付図-2 続 き

観測地点	地震動記号	発生年月日	地震名	震源		深さ(km)	マグニチュード	震央距離(km)
				北緯	東経			
浮島公園	A	1970. 9. 30	東神奈川沖の地震	35°29'	139°38'	40	4.8	30
	B	1972. 12. 4	八丈島東方沖地震	33°12'	141°05'	50	7.2	320
	C	1974. 5. 9	伊豆半島沖地震	34°34'	138°48'	10	6.9	138
	D	1974. 8. 4	栃木県茨城県界の地震	36°01'	139°55'	50	5.8	61
高津岬	E	1971. 7. 23	東山梨県地震	35°33'	138°58'	10	5.3	89
	F	1972. 2. 29	八丈島近海地震	35°11'	140°16'	70	7.2	304
	G	1974. 5. 9	伊豆半島沖地震	34°34'	138°48'	10	6.9	116
	H	1974. 8. 4	栃木県茨城県界の地震	36°01'	135°55'	50	5.8	89
	I	1978. 1. 14	伊豆大島近海地震	34°48'	139°18'	0	7.0	92
観音崎	J	1971. 7. 23	東山梨県地震	35°33'	138°58'	10	5.3	78
	K	1972. 2. 29	八丈島近海地震	35°11'	140°16'	70	7.2	304
	L	1972. 12. 4	八丈島東方沖地震	33°12'	141°05'	50	7.2	287
	M	1973. 12. 22	千葉県中部地震	33°13'	140°17'	70	5.0	42
	N	1974. 5. 9	伊豆半島沖地震	34°34'	138°48'	10	6.9	146
	O	1974. 8. 4	栃木県茨城県界の地震	36°01'	135°55'	50	5.8	92



付図-3 東京湾沿岸で観測された主要な地震動記録

H : 表層地盤の厚さ (cm)

また、同資料によれば、 S_v に対しては観測記録に基づいた固有周期 T によって単位震度当りの応答速度 (付図-4 参照) を与えており、また、表層地盤の固有周期に対しては次式を与えている。

$$T = 4 \sum_{n=1}^N \frac{H_n}{V_{sn}}$$

ただし、ここに、 n は第 n 層の厚さ (m)、 V_{sn} は第 n 層の s 波速度 (m/sec) の 1/2 を用いることを推奨している。

(2) 地下構造物の被災の実態

近年、いわゆるライフライン諸施設の被害が注目されてきている。福井・新潟・十勝沖・サンフェルナンド・伊豆半島沖・伊豆大島近海・宮城県沖等の各地震にみられるように次第にその被害の市民生活への影響の度合いが高まってきている。これらの地震で地中構造物の被災の状態を整理すると、大略、次のような類型に区分することが出来る。

① 沖積層の場合

① 液状化による被害

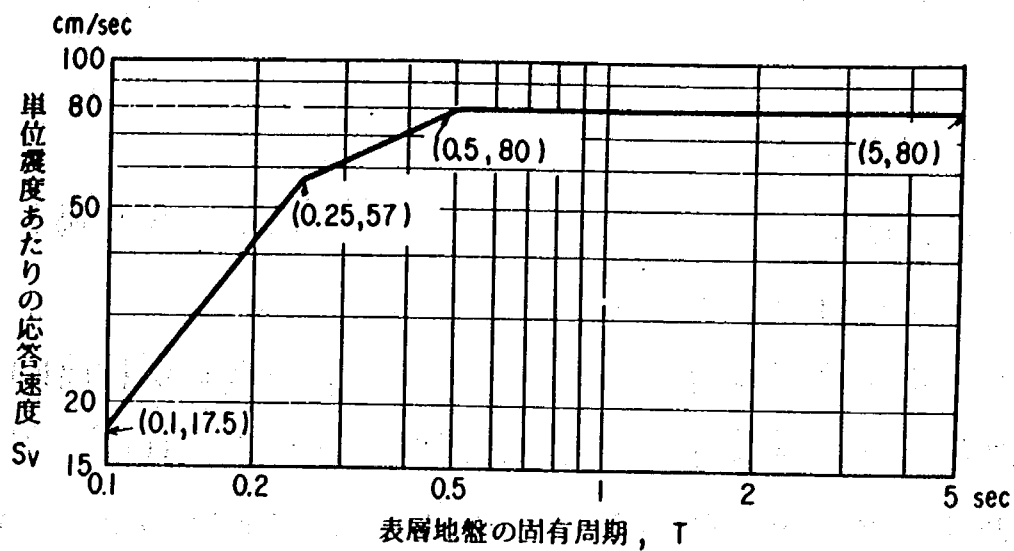
② 管路とマンホール等との応答の違いによる被害

② 第三紀層または洪積層の場合

③ 断層等による被害

④ 地震に伴う地すべりによる被害

⑤ 地震に伴う法面等崩壊による被害



付図-4 単位震度当りの応答速度

④ 第三紀層：洪積層と沖積層に管路が連続する場合

① 地盤の振動性状の違いによる被害および②

1) 液状化について

液状化は諸記録によると高いエネルギーで励振されした場合に、ほとんどの沖積平野で発生している。

そして、その発生条件としては、まず地震規模と継続時間、さらにはその地点での地盤条件が加わる。従来の調査によれば、① N 値が 0 ～ 15 であること ($N = 15 \sim 25$) でも発生した事例はある。ことに、震度の大きいときに限られている。(付図-5 参照) ② 飽和状態にあって地山が湿乾の繰返しを受けていること、③ D_{20} (粒径加積曲線) が $0.04 \sim 0.5 \text{ mm}$ の範囲にあること、④ 規模として、その地点で震度 5 程度以上の振動を繰返し受けていること等々の諸条件下におかれた場合、その発現の可能性が極めて高いということが出来る。いわば、堆積した砂層が極めてゆるい結合状態にあったのが振動エネルギーを受けて、その結合が断ち切れ、ほとんどそのままの比重・容積で液性を示すに至る現象ということ出来る (その他にも均等係数が 1 ～ 3 位等とされている)。

発生している災害はその地域に敷設してあった埋設管渠の浮上、沈下、マンホールの浮上・回転、または管渠とマンホールの不等浮上、沈下による接合部の損傷等であるが、液状化によって地山の体積変化が直接に地盤沈下の形で現われる場合もある。また噴砂現象によって沈下を生じているケースも多々見られた。

付図-5 液状化の生じうる震度

マグニチュード	5.0～5.4	5.5～5.9	6.0～6.1	6.2～6.3	6.4～6.5	6.6～6.7	6.8～6.9	7.0～7.1	7.2～7.3	7.4～7.5	7.6～7.7	7.8～7.9	8.0～8.1	8.2～8.3	8.4～8.5
震度Ⅳ(250～400gal, 烈震)以上の地域で、噴砂、噴水の記録のある地震	関原		えびの	長野	羽後仙		江濃	北伊豆 男鹿	福井	陸羽 北丹 鳥取 新潟		関東	東南海 十勝沖 (1952)		濃尾
震度Ⅴ(80～250gal, 強震)の地域で噴砂、噴水の記録のある地震	長岡	二ツ井	能登 鳥取 県沖	熊本 上高井 * 静岡	福岡 河内大和 宮城県 北部		大型寺沖	但馬 西崎 日向灘 * 浜田	庄内*	東陸 新潟 京羽 潟		十勝沖 (1968) 関東	東南海 南十勝 沖 (1952)		濃尾
震度Ⅳ(25～80gal, 中震)の地域で、噴砂、噴水の記録のある地震					河内大和 **					陸羽 ***					

*) 文献の震度分布は不明確なので、全体の震度分布の形から推定した。 ***) 花巻、能代

2) 沖積地盤中管路の被災

沖積層の土質はほとんどが滞水・飽和状態に置かれたままで、その物性も軟弱・高含水状態にあることはいふまでもない。

その厚さも種々で、弾性波の伝播に対してS波速度で40~150 m/sec程度と極めて遅く、卓越周期も長いことが特徴である(0.5~3秒程度)。P波に対しては、ほぼ液体として伝播の性質が決まる。しかし、洪積層など、より古い地層に比べると、より長周期・大振幅の特性をもっている。

このような地盤中に設けられた通信管路等地下管路は管路自体の軸方向の剛性も千差万別である。例えば、鋼管類が最も剛性が大きいとも考えられ、また、タフタイル鑄鉄管のように断面剛性は高いが単管の長さが短いために多継手構造となることから軸方向剛性は極めて低い値を示すものや、ヒューム管のように単位長さが僅か2.4m程度であり、同様の性状を示すものなどがある。

このような地盤条件・構造条件等により、また、地震規模、震源の深さ・距離・入射方向等により、地中構造物の被災の状態は異なり、これを定量的に明らかにすることは困難であるが、定性的には次のように分類することが出来ると考えられる。

- ①直管部が入射する地震波のために管軸と直角方向に水平または垂直方向に振動したため管体等が破壊するケース。
- ②直管部が入射する地震波のために管軸方向に振動を生じたために管体等が破壊するケース。
- ③直管部とマンホールとか接合された構造で、両者の振動性状が異なるために、両者間で異常な変位を来し、その何れかが破壊す

るケース（この場合にも管本体の挙動には前二者と同様の状態が認められる）。

④ 直管部に分岐管が接続されている場合、両者の振動に相違を来し、その分岐部が破壊するケース。

3) 第三紀層または洪積地盤中管路の被災

a) 断層の発生による管渠の被害

沖積地盤の場合に、その N 値が大きくなると被害は急激に減少している（文献（被災事例2）参照）が、さらに安定地盤である洪積地盤または第三紀の地山では、地山自身の地盤反力係数も大きくなり、地山中の構造物はほとんど地山と同一の挙動をするのが実態とされている。

地山自身が軸方向並に軸直角方向の歪、並びに応力に対応するだけの強度的余裕があれば震害の発生は、少ないと言えることが出来る。しかし、これも相対的な問題であって、地震のエネルギーが強大であれば地山自身の破壊、すなわち断層等の発生に至ることは常に見られることであり、この破壊現象がさらに促進されることにより、管渠が破断・湾曲等を生じているケースが多い。

b) 地すべりに伴う管渠の被害

地震に伴う地すべり現象は、自然状態のままの傾斜地でも発生しているが、宅地造成等による地形の変更等に伴い、地盤の応力平衡が破れて表層の滑動が地震動を誘起し、災害に到るものである。このような地域に埋設された管渠は災害を受けることとなるが、この

ような災害は破壊の原因となる介在層の含水状態、内部摩擦角、粘着力に何等かの変化が見られた場合、すなわち、異常降水等の直後の重複原因によることが多いと考えられる。

c) 法面・斜面または盛土の崩壊による管渠の被害

これら土構造物の崩壊機構の研究も進められているものの、跡を断たないのが実情である。そして、そこに埋設された管渠は、ほとんどが同時に被災している。ことに、建設直後で地盤の安定をみていない場合には、はたはばしい災害を生じた例が多い。これらは何れも設計以上の水平力の発現や前記の異常降水との重複原因によるのが多い。

d) 第三紀層、洪積層と沖積層に地中管路等地中構造物が連続する場合

性質の異なる二つの地盤中に管路等が連続して建設される場合、地盤の振動性状の違いにより構造物は被害が生じ易い。

とりわけ、沖積層の地盤から洪積層等の地盤の移行箇所が被害が目立っている。

(3) 地震時の地盤の歪に基づいた耐震設計法

地盤の歪みにかかると波の伝播形態のうち、せん断波(横波)については研究も多い。また、表面波については近似解がいくつか提案されている。

いま、地表を伝播する波動が次式で表わされるとする。

$$y(x, t) = f(t - x/v)$$

さらに、簡略化し？

$$y(x, t) = a \sin p(t - x/v) = a \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{L} \right) \quad (12)$$

y : 地盤の変形

a : 変位振幅

p : 振動数

t : 時刻

x : 波動の進行方向にこつ座標

v : 波動の伝播(位相)速度

T : 地震波の周期

$L (= vT)$: 波長

とする。

(さう、式(12)から波動伝播に伴う地盤のひずみの表現を求めてみる。
いま、 $x = t - x/v$ とおけば

$$\frac{\partial x}{\partial x} = -\frac{1}{v} \frac{\partial x}{\partial t} \quad (13)$$

であり、波動がその進行方向に振動する成分であるとする、地盤のひずみを

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \frac{\partial y}{\partial x} = \frac{\partial y}{\partial x} \cdot \frac{\partial x}{\partial x} = -\frac{1}{v} \cdot \frac{\partial y}{\partial x} \cdot \frac{\partial x}{\partial t} = -\frac{1}{v} \cdot \frac{\partial y}{\partial t} \\ &\approx -\frac{V}{v} \quad (14) \end{aligned}$$

とする。

こゝに、 $V (= \partial y / \partial t)$ は速度振幅の大きさ(速度計で地震動を観測し

たときの振幅)である。

また、進行方向直角に振動する波動であれば、地盤のせん断ひずみ γ は

$$\gamma = \frac{\partial y}{\partial x} = -\frac{V}{v} \quad (15)$$

であり、また、

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = \frac{A}{v^2} \quad (16)$$

($A = \partial^2 y / \partial t^2$: 加速度)であるから

$$\frac{1}{\rho} = \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = \frac{A}{v^2} \quad (17)$$

二二に、 ρ : 曲率半径である。また、管路の曲げひずみ ε_B とは、

$$\varepsilon_B = \left| \frac{M}{EI} \right| \cdot r_0 = \left| \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \right| \cdot r_0 = \frac{A}{v^2} \cdot r_0 \quad (18)$$

のよう関係がある(r_0 : 管の半径)。

地表での地震動を $y_0(t)$ とすると、地中での地震動は次式で表わされる。

$$y(z, t) = \frac{1}{2} \{ y_0(t - z/v_s) + y_0(t + z/v_s) \} \quad (19)$$

また、地盤のせん断ひずみ γ は

$$\gamma = \frac{\partial y}{\partial z} = \frac{1}{2v_s} \{ V(t + z/v_s) - V(t - z/v_s) \} \quad (20)$$

となる。

さて、式(11)で波動の簡単なモデル化を行ったが、この簡単なモデルによっても重要な知見が得られる。式(14)、(15)および式(20)からわかる

ように、地震波伝播に伴う地盤のひずみは、地震波加速度の大きさには直接関係せず地震波速度 v に直接関係のあること、また地盤の波動伝播（位相）速度にも直接関係があることである。

波動モデル式 (12) によれば、地盤のひずみとは

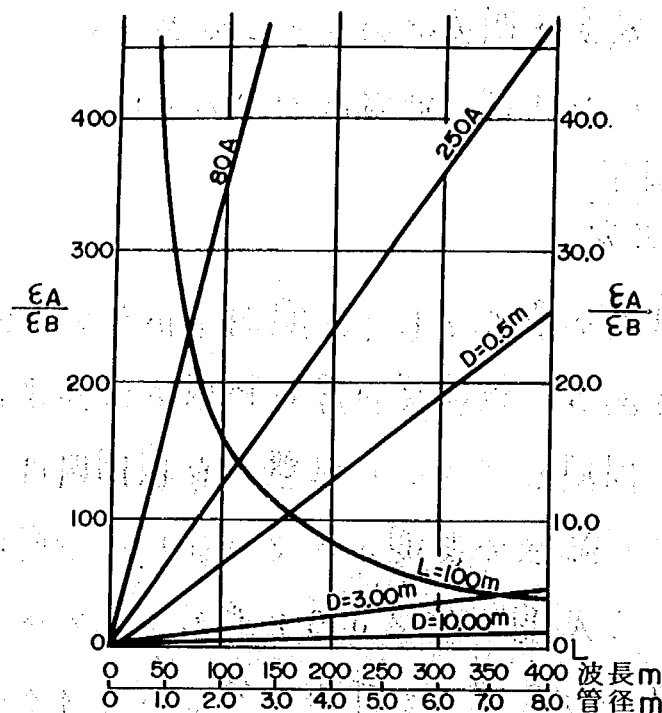
$$\varepsilon = \frac{AT}{2\pi v} \quad (21)$$

とわかるから、加速度 A が最大でもその周期 T が小さければひずみ ε は最大と知らなければならない。軟弱層の厚い地盤では加速度も大きく（大きく増幅されるから）、周期も大きく（地盤の卓越周期は $T=4H/v_w$ ）、波動の伝播速度が小さい（逆数で表現されている）ので震害も大きくはる＝とが、以上の式によく表現されていると考えることができる。

さて、地盤のひずみが管路のひずみに等しいとする第一近似について考えてみる。管路のひずみは、本文にも示したように、加速度の最大ときには最大と知らず、それより遅れた時点で現われている。さらに重要なことは、松代地震観測でも検討されているように、地盤のひずみが種々の方向に生じていても、管路に生じるひずみで卓越するのは管路の軸方向ひずみであるとされている。

これを理論的に示してみよう。いま、地盤の変形の中の管路を伸び縮みさせる成分とこれを曲げる成分とが同一振幅、同一波長であると仮定しよう。これによる管路の軸ひずみは式 (14) または式 (21) で与えられる。一方、管路の曲げひずみ ε_B は式 (18) で与えられるから

$$\left| \frac{\varepsilon}{\varepsilon_B} \right| = \frac{\left| \frac{AT}{2\pi v} \right|}{\left| \frac{A}{v^2 r_0} \right|} = \frac{L}{2\pi r_0} \quad (L = vT) \quad (22)$$



左縦軸： ϵ_A （軸ひずみ）/ ϵ_B （曲げひずみ） 横軸：波長 L （m）

図中、右上りの直線（80 A, 250 A など）

と一諸に用いる。

例) $L=10.0$ m, 250 A 鋼管路では
 $\epsilon_A/\epsilon_B=11.9$

右横軸： ϵ_A （軸ひずみ）/ ϵ_B （曲げひずみ） 横軸：管路外径 D （m）

図中、右下りの曲線と一諸に用いる。

例) $D=3.0$ cm では
 $\epsilon_A/\epsilon_B=10.6$

付図一六 管路の軸方向ひずみ・曲げひずみ比
と管径の関係

とほむ。

この関係を図示したのが、付図-6である。例えば、250A管で波長 L が100mとすると、 $\epsilon_A/\epsilon_B = 119$ とほむ。このことは、地盤の変形がどうであれ、軸方向ひずみのほうが曲げひずみの119倍も大きく観測されるということである。この考察がフィードバックされて、地震波動のモデル化への考察の根底にほつてゐるわけである。管路の地震時のひずみにも、とも関与する地盤変形(ひずみ)は、管路軸方向の変形成分であるということは今後の耐震性の考察を容易にする重要な知見である。例えば、表面波が前述したラフ波のように波動進行方向に直角に振動する波動のみであるとする。そのように考えると、変形が純せん断的であるとし、材料力学の教えるところにより、進行方向に45°傾く面に伸縮性の波動が生じ、この方向に埋設された管路よりみれば、振幅が $1/\sqrt{2}$ 、見掛けの速度が $\sqrt{2}$ ひずむ軸方向伸縮性の波動として考えればよいことにはなる。すなわち、どのような波動であっても、波動モデル式(1)または(2)を用いることによつて、その本質を失うことはない。

以上では地盤のひずみが、管路のひずみに等しいという近似にほつて述べた。

第二次近似といへば、弾性床土のほりを考える人が多い。第二次近似の結果については詳しく述べないが、管路横方向のばね値の管路ひずみへの影響は微小であり、第二次近似に立てばどのような入射波に対しても曲管部のひずみは直管部のひずみに比べ小さく、地震被害をよく説明できたりことだけを指摘しておく。

(第三近似は)第二次近似における軸方向のばねを摩擦拘束(塑性もしくは弾塑性のばね)に代へて考える方である。これは、横方向のばねはか

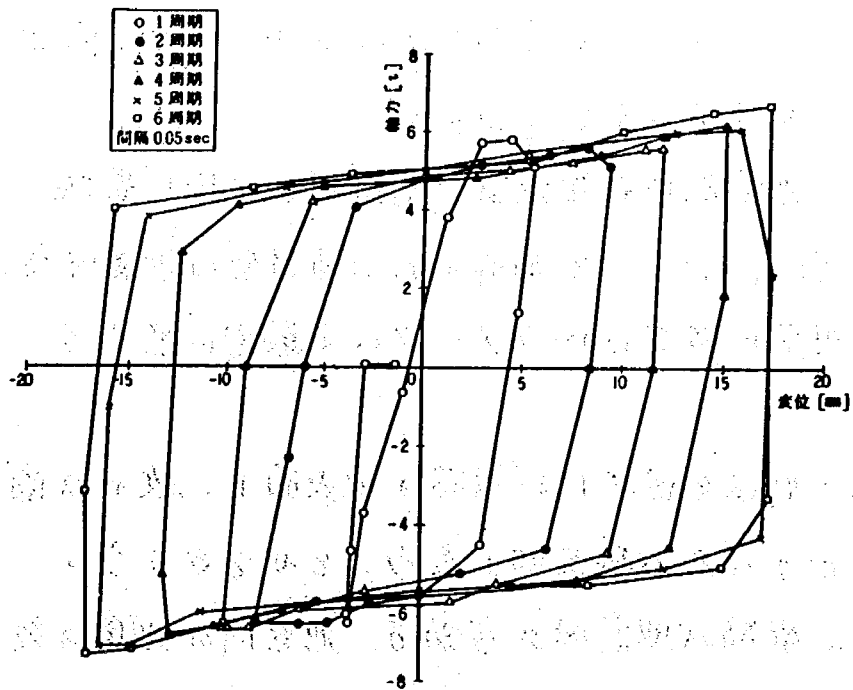
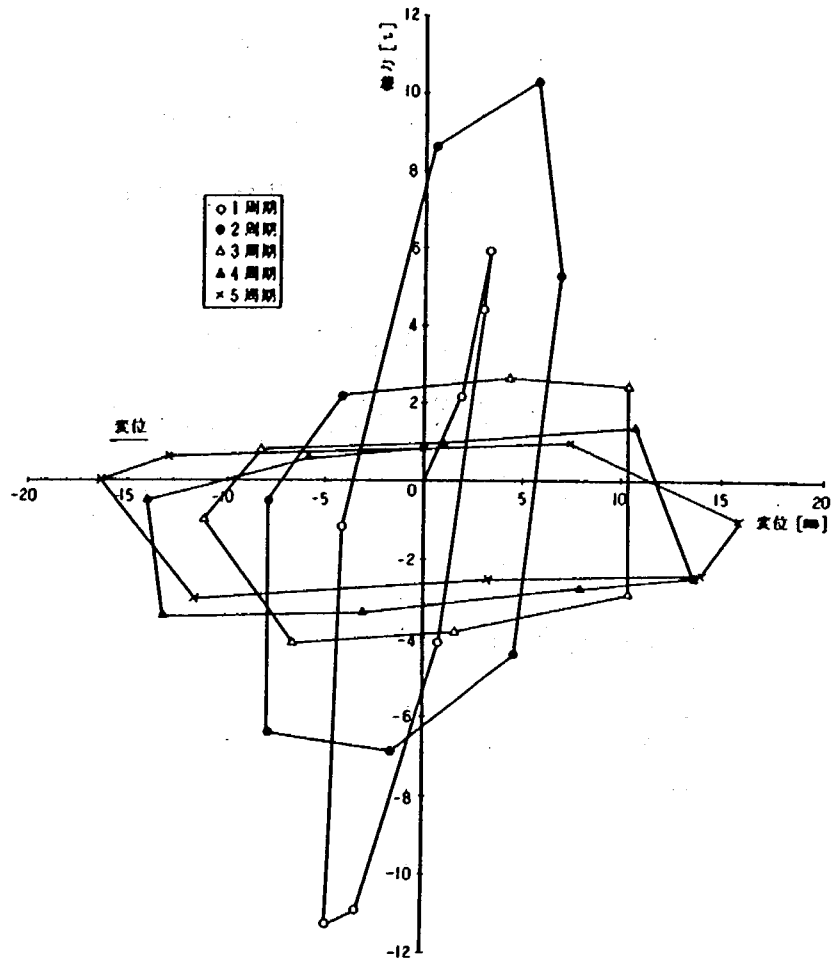
より大幅に変化させても管路のひずみに対して影響は少ないから、あまり精度を取扱いはみだであるという第二次近似からの知見による。

管路軸方向の地盤拘束力を摩擦拘束で表現するモデル化は、大きな地盤ひずみでのモデルにおいて捨てることのできない要素である。鋼管・コンクリート巻立管・防食処理した鋼管・塩ビ管などと埋戻し砂とに関する各種の実験結果は、ほとんど同じ結果を示しており、ただだか5mm程度の変位で摩擦拘束に至っている。

管の単位押込力と土被り高（垂直応力）との関係は、上記の実験から、見掛けの粘着力が多少みられるにもかかわらず直線関係にあり、摩擦係数としての表現が直線関係によって表わされることを定性的に述べている。

以上の結果は静摩擦領域における実験結果であるが、当所で行った動的な実験結果の例がある。付図-7はその結果の一例を示す。最初の1～2回の繰返しにおける軸力と変位の関係は以降収束するループと異なっている。この実験（鋼管）では、最初から同一ループを示す例もあるが、この図に示すような性質が実態に近いであろう。しかし、一般には1～2の繰返しを経た動摩擦力は静摩擦力で表現できるので、地震時の破壊的地盤変形を考慮するときには、静摩擦拘束で表えてもよい。

摩擦拘束力は、管路の地震時ひずみにかかわる重要な量である。そのため、パイプラインの敷設計画に際しては、使用管路および使用埋戻し砂によって実験を行う必要がある。この場合、使用管路について行う必要があり、模型的に小口径の管路で代用することは望ましくはない。付図-8は、同一の埋戻し砂について管径と摩擦係数との関係を示したものである。小口径管では値が大きく異なっているが、125A以上ではほぼ



付図→7 軸力と相対変位のヒステリシスループの例

値は一定で、管径 20cm 以上の管の実験が望まれている。

以上の実験は、地盤をひずませた実験ではいいが、大きなひずみを地盤に与えた模型実験でも地盤の拘束を摩擦拘束で表現しており、これが一般に認められている。

さて、地盤の拘束が軸方向に対し摩擦拘束と仮定する場合は地震では、管路のひずみは次のようになる。地震波の波長 λ に対し十分長い直管路では

$$\varepsilon = \frac{C_0 \cdot L}{4EA_0} = \frac{C_0 \omega T}{4EA_0} \quad (23)$$

一端が自由（継ぎ目など）な管路では

$$\varepsilon = \frac{C_0 \cdot \omega T}{2EA_0} \quad (24)$$

となる。

なお、解析法については具体的に述べたが、解析を行うために注意すべき事項を以下に示しておく。

まず、第一に地震動は表層地盤の局所性を十分に表現したものであること、第二に解析にあたって細部にわたる計算は無意味であること、第三にモデルの設定に必要なパラメータは実験的に定めること、などがあ

る。さて、管路の特徴を述べれば管路は地表面下、数 m の箇所に埋設される例が多い広がりのある構造物と言うことができよう。

これは、また、管路の地震時の挙動は地震時の地盤の変形（ひずみ）に関する挙動そのものであることを意味している。

すなわち、外力に抵抗するタイプの構造物の例では（ A_0 ：断面積、

I: 断面二次モーメント) 等を入きくすることによって応力を許容値以内におさめて構造物の安全性を確保するという目的を達することができ、地中管路のように変形が与えられる構造物の例ではこのような方法は成り立っていない。この場合、変形を容易にすることが応力を調整する方法であると言える。

このように、従来のような構造物の有する抵抗力によって耐震性を評価しようとする方法を管路の設計に適用することは適切ではなく、地震力(すなわち地盤のひずみ)の影響を軽減する工夫すなわち免震的立場に立つた設計によって行うべきだとされている。

以上の免震的立場に立つた設計によれば、管路の耐震設計(広義の意)の手順は次のようになる。

①施設の重要度の分類: 地中管路類は、そのほとんどが公益性を帯びており、そのため、地域独占を許されている場合が多い。市民生活の基盤を支えている構造物であるから、他より、高度の耐震性を確保する必要があるというまでもないが、同一施設内でも各種の管に分かれ、その重要度も異なるため、画一的な設計はかえって耐震的ではなくある恐れがある。このため、施設の重要度の分類を行い、そのランクに応じて設計地震動のレベルを定める。また重要度の高い管路については重複性を高め、また既存の耐震設計を行っていない管路については被災時の応急対策を立てるなど、設計地震動の策定、地震対策の組織化の基本となる対策について、よく吟味を行っておく必要がある。

②ルートを選定: 管路の地震時の挙動は、地震時の地盤の挙動そのものである。このため、計画の当初にあたり、既往文献・資料による地

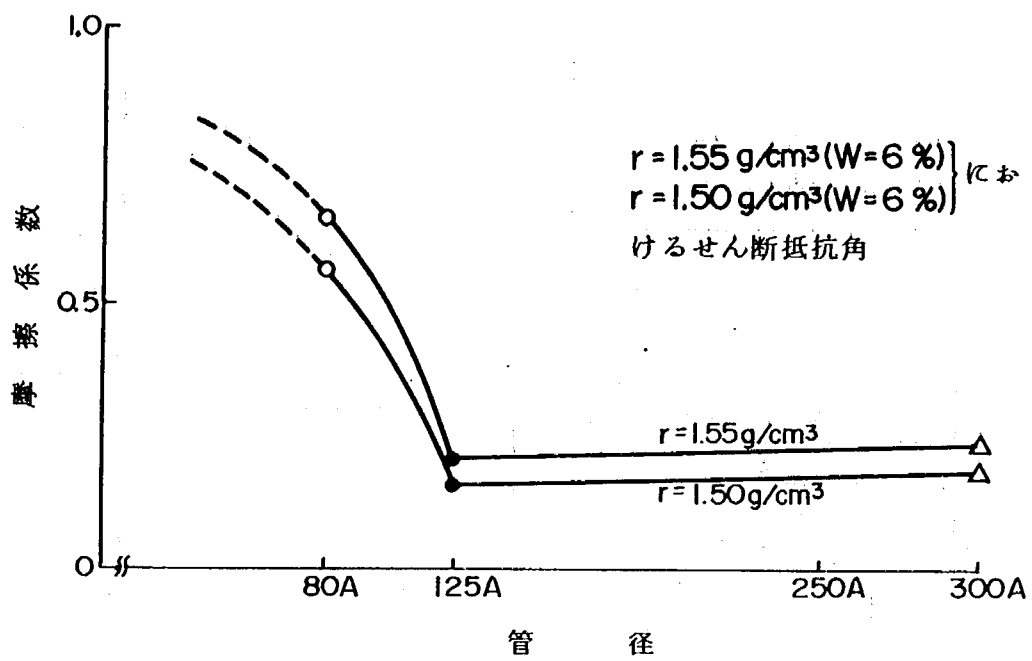
盤調査、地質踏査を行い、斜面の安定性、地震断層の存在・地盤の液状化の可能性等の調査を行い、地盤の不安定箇所あるいは軟弱地盤で地表層のせん断抗速度が小さく、かつ、この層が厚い場所ではきうるひらば避けるべきである。このような地盤の不安定箇所では被害が大きいことは歴史の示すところである。付図-9に、管路の耐震設計手順の流れを示した。

③設計用地震動の策定：耐震設計の目的は、技術的にいえば、震害による施設の機能停止および損傷に伴う費用と耐震設計に伴う費用増との見合いの問題であるともいえる。しかしながら、すでに述べた理由から、その震害が直接人命にかかっている場合はもちろんのこと、都市機能維持・回復のためには他施設と同等もしくは上質の耐震性が要求されていると考えられる。このため、設計用地震動の策定に際しては、施設の重要度分類により、また、供給先の耐震性の調査（需要回復力と供給回復力の調査）および地域の地震活動度の調査の結果より定めるべきである。この際、注意しなければならないことは、他施設の設計の基本は慣性力（地震加速度）であることである。したがって、遠くても大きな地震では地盤のひずみが大きくなることが考えられるので、地震調査には留意すべきである。

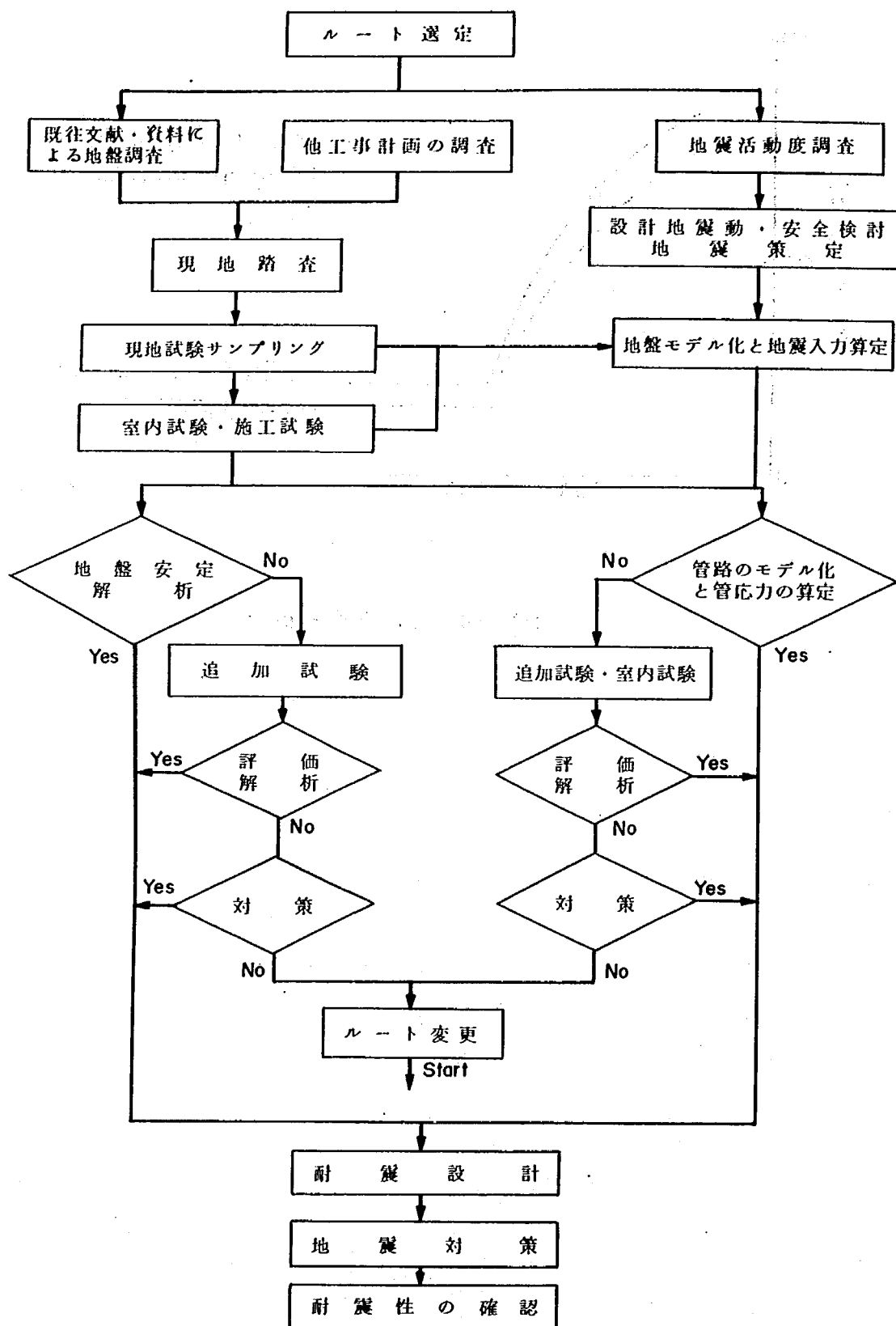
金井博士は、地震の規模（マグニチュードM）と震源距離X km とから、地震基盤面での速度 V_0 を与える式として、次式を提案している。

$$V_0 = 10^{(0.6M - 1.66 + 3.00/X) \log X - (0.631 + 1.83/X)}$$

これによれば、震源域外での速度は過去の被害地震などの調査により定めることができる。管路が長大であれば、この値はルート各



付図-8 管径と摩擦係数



付図－9 耐震設計手順の流れ図

所で異なった値になる。

設計地震入力には管路の震害に結びつく地表層の局所的な震動特性の差を考慮する必要がある。このため、ルート沿いに地盤が異なる地点（同一でも距離がとびすぎるときは中間に）を選び、地盤のモデル化を行って地表層の増幅特性を推定する。この場合、すでに述べたように、地表層の増幅作用を考慮する場合、速度に注目した周期・増幅率を考えるべきである。地表層の増幅度については、金井式や重複反射理論によるせん断波の波動解析、質点系の応答スペクトルによる方法、有限要素法などにより算定する方法等種々あり、それぞれ損失がある。したがって、管路の位置での設計地震入力の策定にはこれらの得失を判断し合ううえで決定すべきである。金井の式は常時微動の卓越周期を用いるものであり、簡便な方法として有用であるが、地表層が厚く複雑であるとか、市街地で雑振動が多すぎるところでは判定しにくいので用いるにくい。波動計算による方法は、弾性波試験による測定値をそのまま用いる利点はあるが、地表層のモデル化に際しては、測定値は鋭敏すぎるので、簡略化を行う必要がある。また、大きな地盤ひずみに対しては測定値を修正しなければならない。なお、質点系による方法は簡便なものであり、モデル化に際しての物性値の決め方に難しい面もあるが有効な方法である（なお、当所に電子計算機プログラムがある）。有限要素法による方法は有効であるが、物性値の決め方、境界値の考え方が十分に吟味検討し、かつ電子計算機の演算時間も一般に長くかかることを勘案して特殊な地点での利用を考えるべきである。

④構造設計：管路はルートを選定が自由であり、ことが多い。この場合

管路に、ほんのりの工夫を加えずに敷設したとせば選択した管材材料に応じて、その地盤で、管路がその耐震性を保障する地震力に決まってしまう。これを地震加速度 A で表わすと次式で与えられる。

$$A \leq \frac{1}{W_e(H, V_s) \cdot \alpha} \cdot \varepsilon \sigma$$

ここに

$$W_e = \frac{2H}{\pi V_s^2} \quad : \text{地盤の軟弱度}$$

$$\alpha = \frac{1}{\left\{ 1 + \left(\frac{EA}{R} \right) \left(\frac{\pi}{2L} \right)^2 \right\}} \quad (\text{弾性床モデルの場合}),$$

H : 地震動の 幅に主として関係する地表層の厚さ

V_s : その地表層での平均的せん断波の速度

EA : 管材材料の許容ひずみ

$\alpha (= \sigma/E)$: 地盤のひずみ ε が管路のひずみ σ に到達される割合 (第三近次の場合にはグラフで与えられる。)

もし、ルート中のある選定点における設計用地震 動がこの式で与えられる値よりも入きいならば、材料を選択し直す (EA の変更) か、構造設計において地盤のひずみが管路に伝わらばいい工夫 (α の変更) が必要となる。

構造設計におけるこのような工夫は、一般的には論じ難い面もあるが、次のような考え方があつた。

2) 共同溝・洞道・さや管

共同溝・洞道・さや管には損傷を生じるかも知れぬが、本管に

は損傷を及ぼさないうようにする考え方。

④ 継手

管路の変形性能を増大させ、地盤のひずみを吸収させようとする考え方。継手の設計法は次のようである。

① 適用しようとする地盤のひずみの値を設定する。

② 継手の伸縮量 Δl を管体の単位長さ l （製品の長さ） l に対し $\Delta l \geq 2\epsilon l$ となるように設計する。

③ 管体の断面積 A が次式より大きいことを確かめる。

$$A = C \cdot l / \sigma_A$$

ニニニ

C ：管路単位長さあたりの摩擦力

σ_A ：管材料の許容応力

④ 継手の強度（引抜き・押込み抵抗力 F ）を次式で定める。

$$F \geq C \cdot l$$

⑤ 管路線形のたわみ性の利用

管自体にたわみ性をもたせたり、管路中に介在する管継手の組み合わせにより、管路にたわみ性をもたせるようにする考え方。

⑥ 液状化による浮上・沈下対策としての杭等の利用。

管路が浮上・沈下しないように部分的に杭を設けたり、地盤改良を行ったりする考え方。（なお杭を設ける場合、管路線形のたわみ性を保持するよう十分配慮する必要がある。）

⑦ 施設の地震対策

ニニニに言う地震対策とは④で述べた構造的な対策（設計）ではなく、システム的な対策である。管路は延長のある地下構造物であるから

ルートねの地盤の局所的な震動特性に支配され易い。したがって、
綿密な地盤調査に基づいて設計が行われることが望ましい。既設
の構造物では歴史的な経緯から、可成り、ここが述べたような設計
がなされてきたとは限らないうが、新しく設計されるラインに対して
は、前述した設計地震動に対し、上述した構造対策を行うとともに、
システムのバックアップ機能を設ける必要がある。このような機能のハ
ードウェア的対策として地震検知、警報装置などが考えられる。ま
た、ソフトウェア対策として被災時の応援対策、復旧対策、資材対
策などを立て関連機関の連絡、応援体制を樹立しておく必要があ
らう。通信施設の耐震設計は、単に構造設計だけでなく、このような
ソフトウェア的対策を含んだシステム設計と理解してよりである。

参考文献

① 国土庁建設省「土木建築関係法令」昭和五十八年三月三十一日現在

② 国土庁建設省

③ 国土庁建設省「土木建築関係法令」昭和五十八年三月三十一日現在

④ 国土庁建設省「土木建築関係法令」昭和五十八年三月三十一日現在

⑤ 国土庁建設省「土木建築関係法令」昭和五十八年三月三十一日現在

⑥ 国土庁建設省「土木建築関係法令」昭和五十八年三月三十一日現在

⑦ 国土庁建設省「土木建築関係法令」昭和五十八年三月三十一日現在

⑧ 国土庁建設省「土木建築関係法令」昭和五十八年三月三十一日現在

⑨ 国土庁建設省「土木建築関係法令」昭和五十八年三月三十一日現在

⑩ 国土庁建設省「土木建築関係法令」昭和五十八年三月三十一日現在

⑪ 国土庁建設省「土木建築関係法令」昭和五十八年三月三十一日現在

⑫ 国土庁建設省「土木建築関係法令」昭和五十八年三月三十一日現在

参考文献・引用文献

(模型振動実験)

- 1) 西尾・他：地中埋設モデルの模型振動実験，第14回地震工学研究発表会，昭和51年
- 2) 地盤模型振動実験報告書，東京カス株式会社，昭和56年
- 3) 栗林・他：沈埋トンネルの耐震性に関する調査報告 — 沈埋トンネルの模型振動実験 — 昭和47年
- 4) 山口・他：シールドトンネルの振動モデル実験 (1)，構造物設計資料，昭和52年
- 5) 土井・他：シールドトンネルの振動モデル実験及び設計方法についての考察，構造物設計資料，昭和52年

(被災事例)

- 1) 地震時の地下埋設管被害に関する調査，都防災会議資料，昭和51年
- 2) 堀内・他：埋設管の震害の影響と要因分析，第14回工質工学研究発表会，昭和54年
- 3) 新潟地震の記録 — 地震の発生と応急対策，新潟県，昭和40年
- 4) 新潟地震をひきりかえりみる — 新潟地震報告，土木学会誌，昭和40年
- 5) 新潟地震災害復旧工事報告第3部，第一港湾建設局新潟工事事務所，昭和42年
- 6) 大野・他：1968年十勝沖地震調査報告，十勝沖地震調査委員会，昭和44年
- 7) 1971年2月9日のサンフェルナンド地震調査報告，合衆国。

Department of Commerce, 昭和48年

8) 久保・他: ロス市水道管震害の特性, 第12回地震工学研究発表会, 昭和49年

9) 片山・他: 1978年宮城県沖地震による都市供給施設の被害と復旧, 生産研究引巻2~8号, 昭和54年

10) 栗 他: 明治以降の本邦の地盤液状化履歴, 土研彙報30号, 昭和49年

(耐震設計・その他)

1) 新耐震設計法(案), 土研資料1185号, 昭和52年

2) 埋設管の耐震設計法, 土研資料1036号(その1, その2), 昭和48年, 49年

3) 地中管路の現行地震対策に関する調査報告書, 日本電気協会, 昭和48年, 49年

4) 桜井: 地盤の震動解析に基づく埋設パイプラインの耐震性の研究, 昭和46年

5) 川島: 埋設管と埋土間の動的相対変位および抵抗力に関する実験的研究, 土研資料1266号, 昭和52年

6) 桜井・他: 地震加速度波形の積分, 電研報告No.68077, 昭和44年

7) 桜井・他: 松代地震観測に基づく地盤振動特性の検討, 土木学会論文報告集186号, 昭和46年

8) 桜井: パイプラインの免震設計, 土木学会講習会テキスト, 昭和51年

9) 清宮: 海底パイプラインの耐震設計法の検討, 港技研報告No.307

昭和53年

10) 田中：管路等の耐震設計につりま、日本シールドエンジニアリング
K.K 昭和55年

11) 岩崎・他：液状化地盤中の構造物の挙動、第15回地震工学研究発表会、昭和54年

12) 横田・他：不攪乱砂質土の液状化強度につりま、第15回地震工学研究発表会、昭和54年

13) 羽立・他：地中構造物の動的解析プログラム(DAST-M)仕様書(その1)、昭和56年

14) 川島・他：地中構造物の動的解析プログラム(DAST-I)仕様書、昭和52年、53年

15) 中野・他：沈埋トンネルの耐震計算と模型振動実験につりま

16) 金森：実体波および表面波、古典的地震学、岩波講座地球科学8、
昭和53年

17) 宇津：地震学共立全書、昭和52年

地中通信管路の地震時の挙動
に関する模型実験

ISSN 0386-5878
土研資料第 1725 号
昭和56年7月(1981年)

建設省土木研究所耐震研究室

キーワード

要旨 本報告書は地盤条件に着目した埋設管模型振動実験結果をとりまとめたものである。本実験では、地盤が急変する場合と基盤が一樣に変化する場合の二種類の地盤に埋設された5種類の通信管路を対象として行った。実験の結果から土質が急変する地盤ではその変化点近傍、基盤が一樣に変化する地盤では深い側の管路でそれぞれひずみが大きくなること、また、伸縮継手・ダクトスリーブのある箇所ではひずみが大きく減少し、耐震工法としての伸縮継手・ダクトスリーブの有効性を確認した。



郵便はがき

二十円切手
をはって下
さい

3 0 5 - □ □

茨城県筑波郡豊里町大字旭一番地

建設省土木研究所

耐震研究室 御中

No. _____

配布先氏名

配布先住所

土木研究所資料第1725号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

印