

I S S N 0386—5878

土研資料 第2004号

# 土木研究所資料

## 下水道管路施設の耐震性に関する調査

昭和 58 年 6 月

建設省土木研究所  
地震防災部耐震研究室

Copyright © 1983年 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ってはならない。

## ま え が き

上・下水道、電気、電話、ガス等のいわゆるライフライン施設が地震時に被害を受け、その機能が麻痺した場合には、市民生活に多大な影響を及ぼすことは、最近の1978年宮城県沖地震や1982年浦河沖地震の事例より明らかになってきた。なかでも、下水道施設は大部分が地中構造物であるため、被災箇所の把握が極めて困難であり、復旧に長時間を要する場合が多い。そこで、その計画及び設計にあたっては適切な対策を講じ、耐震性向上を図る必要がある。

本資料は下水道施設の耐震性調査の第1段階として、管路施設（管路、マンホール）の耐震性について、地震被害の実態および地震応答解析を中心にとりまとめたものである。

昭和58年6月

地震防災部耐震研究室

室 長 岩 崎 敏 男

主任研究員 中 島 威 夫

後 藤 勝 志

水 庭 健 一

# 目 次

## ま え が き

|                                   |    |
|-----------------------------------|----|
| 1. 概 説 .....                      | 1  |
| 1-1 目 的 .....                     | 1  |
| 1-2 概 要 .....                     | 1  |
| 2. 1978年宮城県沖地震による下水道管路被害の概要 ..... | 2  |
| 2-1 地震の諸元 .....                   | 2  |
| 2-2 下水道管渠の被害 .....                | 3  |
| 3. 地盤急変部における下水道管路の耐震解析 .....      | 10 |
| 3-1 地震応答解析 .....                  | 10 |
| 3-2 地盤急変度の定義 .....                | 11 |
| 3-3 継手相対変位量の解析 .....              | 16 |
| 3-4 下水道管路の耐震計算法 .....             | 24 |
| 4. ま と め .....                    | 30 |
| 謝 辞 .....                         | 31 |
| 参考文献 .....                        | 32 |
| 附属資料 下水道管路の地震応答解析結果 .....         | 33 |

## 1. 概 説

### 1-1

下水道施設のうち管路施設は、地震時の被害危険度が高く、復旧が困難なことから、耐震性向上を図るためには、管路の地震時挙動を適切に把握し、耐震上問題となる要因をあらかじめ知るとともに、これらをふまえて所要の耐震対策を講ずる必要がある。

本調査は、下水道管路施設の地震被害実態調査及びモデル地盤を用いた地震応答解析を実施し、これらを通して管路施設の地震時被害の要因及び地震時挙動を把握し、下水道管路施設の合理的設計法に資することを目的とする。

### 1-2

1) 本調査では、1978年宮城県沖地震による下水道施設の被害データをもとに、管路施設被害と地盤特性、構造特性との相関性について調査分析を行い、以下のような結果を得た。

- ・下水道管路被害は地盤急変部に集中しており、一様とみなせる地盤においては被害は少ない。
- ・下水道管路の被害はマンホールとの接続部において多く、被害程度はマンホールに近づくに従って大きくなる。

2) 次に、急変地盤に埋設された下水道管路の地震時挙動を解明するため、急変地盤モデルを設定して地震応答解析を行い、以下のような解析結果を得た。

- ・地盤急変の度合は表層地盤の固有周期の差で表示することができ、表層地盤の固有周期の差が大きいほど、管路の地震時ひずみが大きくなる。
- ・表層地盤一定で基盤傾斜角を増加させた場合、管路の地震時ひずみは基盤傾斜角 $45^{\circ}$ 付近まで増加するが、それ以上勾配が急になってもひずみ量に変化は見られない。
- ・管路の地震時ひずみは曲げひずみよりも軸ひずみが卓越する。

3) さらに、地盤急変の度合に応じ継手を設置することにより、所要の変位吸収性能を付与し、地震時管路応力の軽減を図り得ることに着目して、地盤急変部の下水道管路の耐震対策についての基本的な考え方を示した。

## 2. 1978宮城県沖地震下水道管路被害の概要

### 2-1 地震の諸元

1978年宮城県沖地震の諸元は、気象庁発表によると、以下のとおりである。

発生日時：昭和53年6月12日（月）17時14分

震 源：北緯38度09分，東経142度10分，深さ約40km

震 源 地：宮城県牡鹿町金華山から東方約60kmの海域

規 模：マグニチュード7.4

震度分布：図2-1に示す通りである。

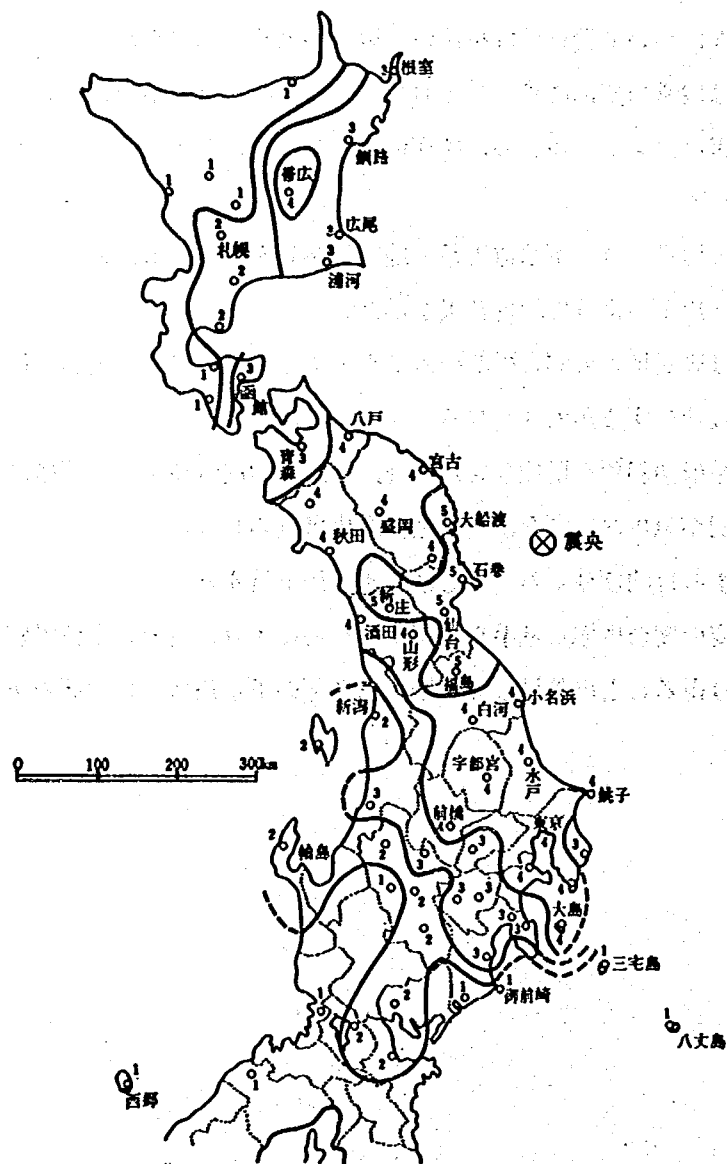


図2-1 宮城県沖地震震度分布

## 2-2 下水道管路の被害

### 2-2-1 被害の概要

宮城県下の下水道施設の被害状況は下表のとおりである。

表2-1 下水道施設の被害内訳

| 施設名   | 施設の数   | 被害数                    | 被害額(千円) |
|-------|--------|------------------------|---------|
| 管路    | 750km  | 4 km                   | 578,332 |
| ポンプ場  | 35箇所   | 9箇所                    | 142,231 |
| 処理場   | 2箇所    | 2箇所                    | 52,245  |
| 都市下水路 | 64.5km | 0.1km<br>(ポンプ場2箇所を含む。) | 25,281  |
| 計     |        |                        | 798,089 |

表2-2 下水道施設別被害態様

| 施設名   | 被災区分別(被害発生箇所数) |        |        |     | 計     | 摘 要            |
|-------|----------------|--------|--------|-----|-------|----------------|
| 管 道   | 目地ずれ           | ひび割れ   | 取付け管破損 | その他 | 1,670 | 都市排水施設を含む。     |
|       | 1,189          | 246    | 141    | 94  |       |                |
| マンホール | 立上り壁破損         | 側境ひび割れ | 側境目地ずれ | その他 | 456   | 都市排水施設を含む。     |
|       | 112            | 55     | 147    | 142 |       |                |
| ポンプ場  | 建 築            | 機械及び電気 | 管 道    | その他 | 21    | 都市下水路のポンプ場を含む。 |
|       | 7              | 6      | 5      | 3   |       |                |
| 処理場   | 建 築            | 機械及び電気 | 管 道    | その他 | 25    |                |
|       | 10             | 8      | 3      | 4   |       |                |
| 計     |                |        |        |     | 2,172 |                |

(日本下水道協会「下水道施設地震対策指針と解説」より)

上記2表から、管路施設(管路、マンホール)の被害が、件数で全被害の98%、被害額で72%と、圧倒的に多いということ、さらに管路被害のほとんどが目地ずれによるものであることがわかる。

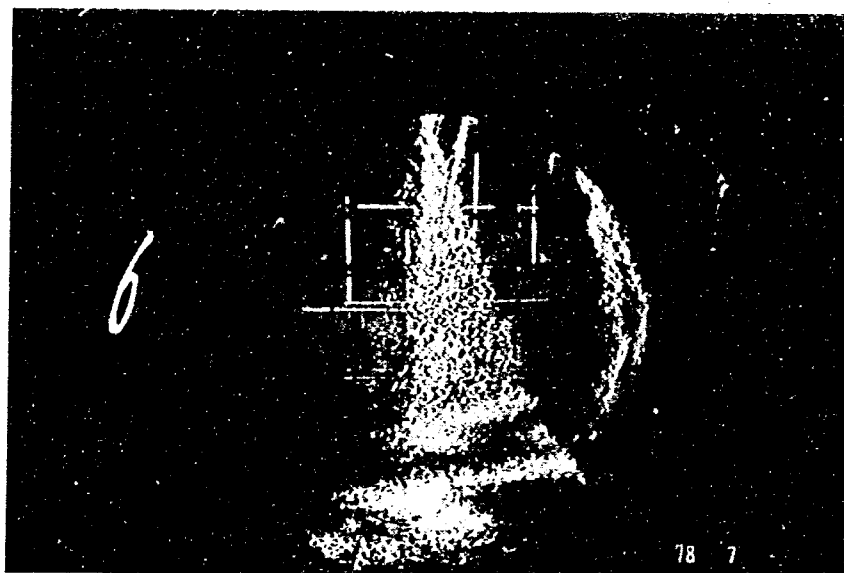
写2-1は遠心力鉄筋コンクリートC形管(φ2,200mm)の目地ずれに伴って地下水が激しく浸入したもの、写2-2は推進工法用鉄筋コンクリート管(φ2,000mm)が目地部における管同志の衝突により破損したものである。

### 2-2-2 被害と地盤との関係

仙台市の下水道のうち、七北田川右岸幹線、名取川左岸幹線、第二蒲生幹線の3幹線は、地震時には未供用の下水道であったことから、被害の把握が容易であり、被害調査が精度良く行われている。

このため、上記の3幹線を対象に管路被害と地盤条件との関係について検討を行った。

3幹線における管渠被害は表2-3に示す通りである。



写 2－1 目地ずれに伴う浸入水（仙台市建設局下水道部より）



写 2－2 目地部の破損（仙台市建設局下水道部より）

表 2-3 仙台市下水道管路被害内訳 (生産研究Vol.31, No.7 より)

| 幹 線 名       | 調査延長<br>(km) | 被 害 箇 所 数 |        |     | km当り被害<br>箇 所 数 |
|-------------|--------------|-----------|--------|-----|-----------------|
|             |              | 管 体 亀 裂   | 継手目地破損 | 計   |                 |
| 第 二 蒲 生 幹 線 | 2.3          | 1         | 9      | 10  | 4               |
| 七北田川右岸幹線    | 2.3          | 2         | 205    | 207 | 90              |
| 名取川左岸幹線     | 2.7          | 1         | 291    | 292 | 108             |

図 2-2 は仙台市における基盤岩の等深線図であり、図 2-3、図 2-4 は、3 幹線敷設位置の地質調査図である。

さらに図 2-5 は、泉市の盛切部に埋設された水道管路の被害と盛切境界からの距離との関係をまとめたものである。

以上より、管路被害と地盤条件との間にみられる傾向を要約してみると下記のように考えられる。

- 1) 被害が甚大な七北田川右岸幹線と名取川左岸幹線の 2 幹線と小被害の第二蒲生幹線とでは地盤条件に大きな差異が見られる。即ち、第二蒲生幹線は他 2 幹線に比して表層厚、地盤性状ともに均一性の高い地盤であるということがいえる。図 2-2 の基盤岩の等深線図から判断すると、第二蒲生幹線の場合は他 2 幹線に比し基盤岩傾斜が小さいことがわかる。また、図 2-4 より管路埋設位置での地盤の標準貫入試験の結果を比較すると、第二蒲生幹線の場合は N 値 15~20 の間に集中しているのに対し、他 2 幹線は N 値 0~50 の間で大幅に変動していることがわかる。以上より、表層地盤厚が大きくても均一な地盤では管路被害が少なく、表層地盤が急変している箇所では被害が多いことがわかる。
- 2) 図 2-5 より盛切境界に接近するに従い管路被害が増大する傾向が明らかである。これより、管路埋設位置での地盤の硬さが変化する箇所において被害が多いことがわかる。
- 3) 以上より、管路の地震時被害は埋設位置での地盤条件の変化の度合に大きく左右されるものと判断される。この傾向は 1982 年浦河沖地震における上水道管路被害にも現れた。(参考文献：日本ダクトイル鉄管協会、1982 年浦河沖地震による水道管路被害調査)

### 2-2-3 マンホール周辺における管路の被害

図 2-6、図 2-7 は七北田川右岸幹線、名取川左岸幹線の各々について、マンホール (幅 4.0 m × 4.0 m、高さ 3.0 m の現場打コンクリート、管路との接合は剛結) 周辺の管路被害状況を示したものである。

図中被害度数とあるのは、下水道管路を 5 m 間隔のブロックに分割し、各ブロックごとに被害箇所数を集計したものである。ただし、ここでは被害程度に応じ、下記のような重み係数を乗じている。

比較的被害が小さい箇所の重み係数 ..... 1

被害が大きく漏水がある箇所の重み係数 ..... 2

さらに、各図の被害度数を全て足し合わせ、各点の被害度数をマンホール取付部を 1 とした場合の比で表わしたものが図 2-8 である。

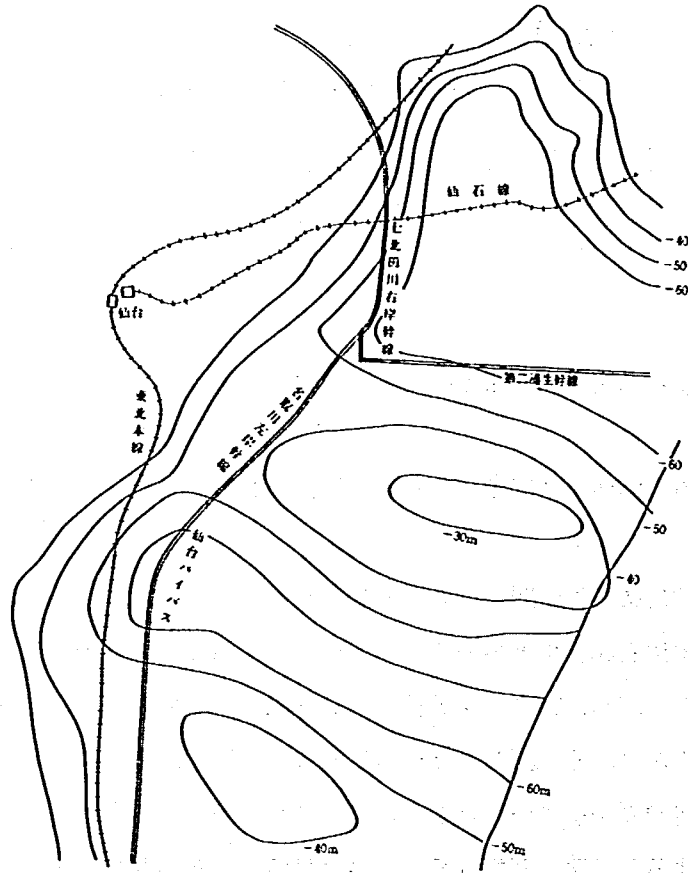


図 2—2 基盤岩の等深線図

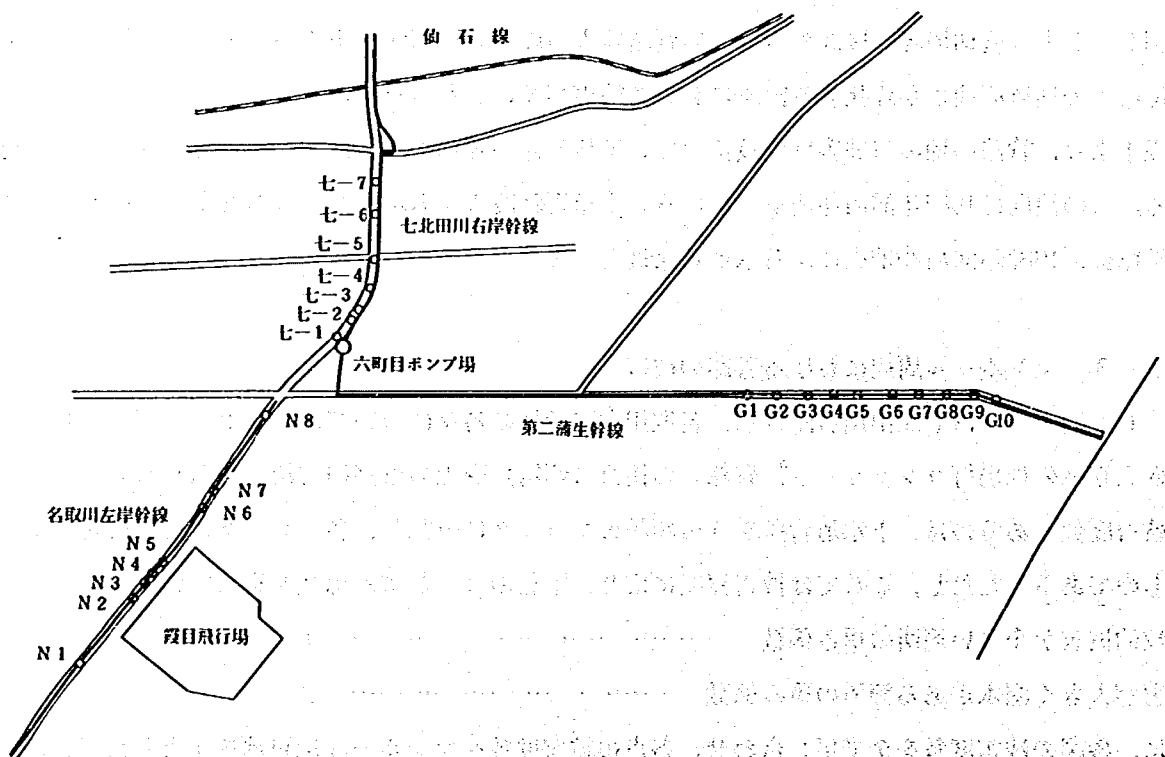


図 2—3 仙台市下水道幹線図及び地質調査位置図（仙台市建設局下水道部より）

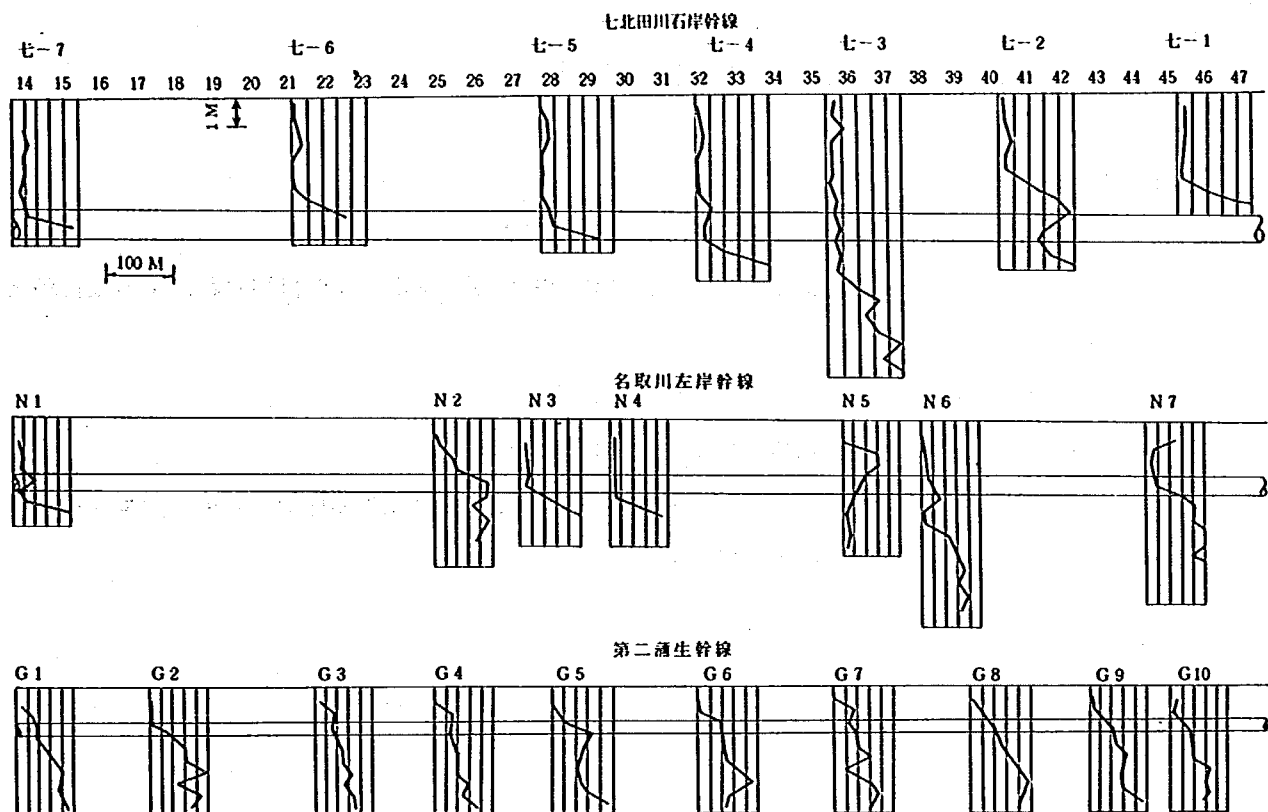


図 2-4 仙台市下水道管路埋設地盤N値分布図（仙台市建設局下水道部より）

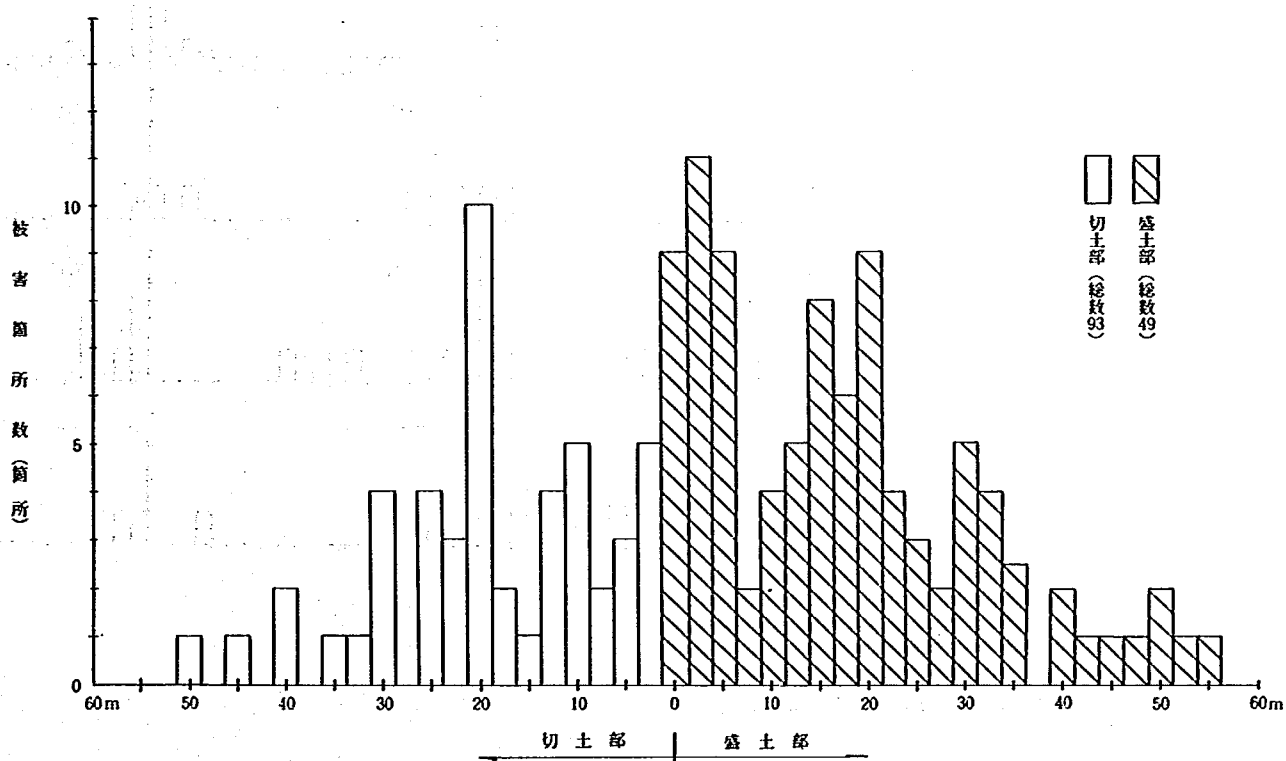


図 2-5 水道管被害と盛土境界からの距離との関係（泉市役所提供の被害データより）

図より、下記の2点が明らかとなった。

- 1) 管路の被害率は、マンホール周辺で高い。
- 2) マンホールより10m以上離れると被害率は大幅に低下する。

#### 2-2-4 考察

宮城県沖地震での下水道管路被害を要約すると以下ようになる。

- ・下水道施設の地震時被害は管路施設に多くみられ、特に管渠及びマンホールの目地ずれによる被害が圧倒的に多い。
- ・管路被害は、埋設地点の地盤条件の急変部に集中している。
- ・管路被害は、マンホールとの接続部に接近する程被害が増大する。

以上より、下水道施設の耐震性向上を図る上で、管路のうち、特に地盤急変部及びマンホールその他構造物との接続部において、耐震上の配慮が必要と考えられる。

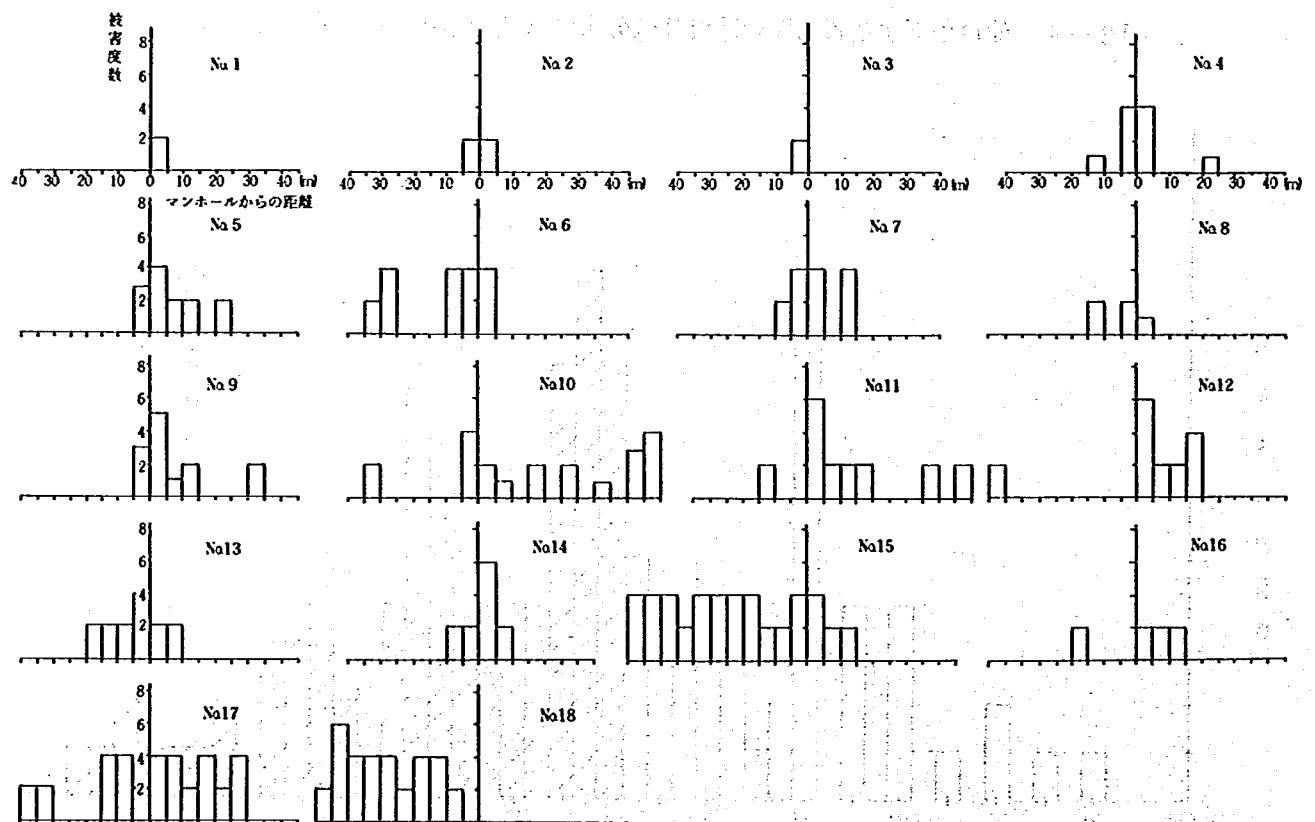


図 2-6 七北田右岸幹線マンホール周辺の被害度数分布 (仙台市建設局下水道部提供の被害データより)

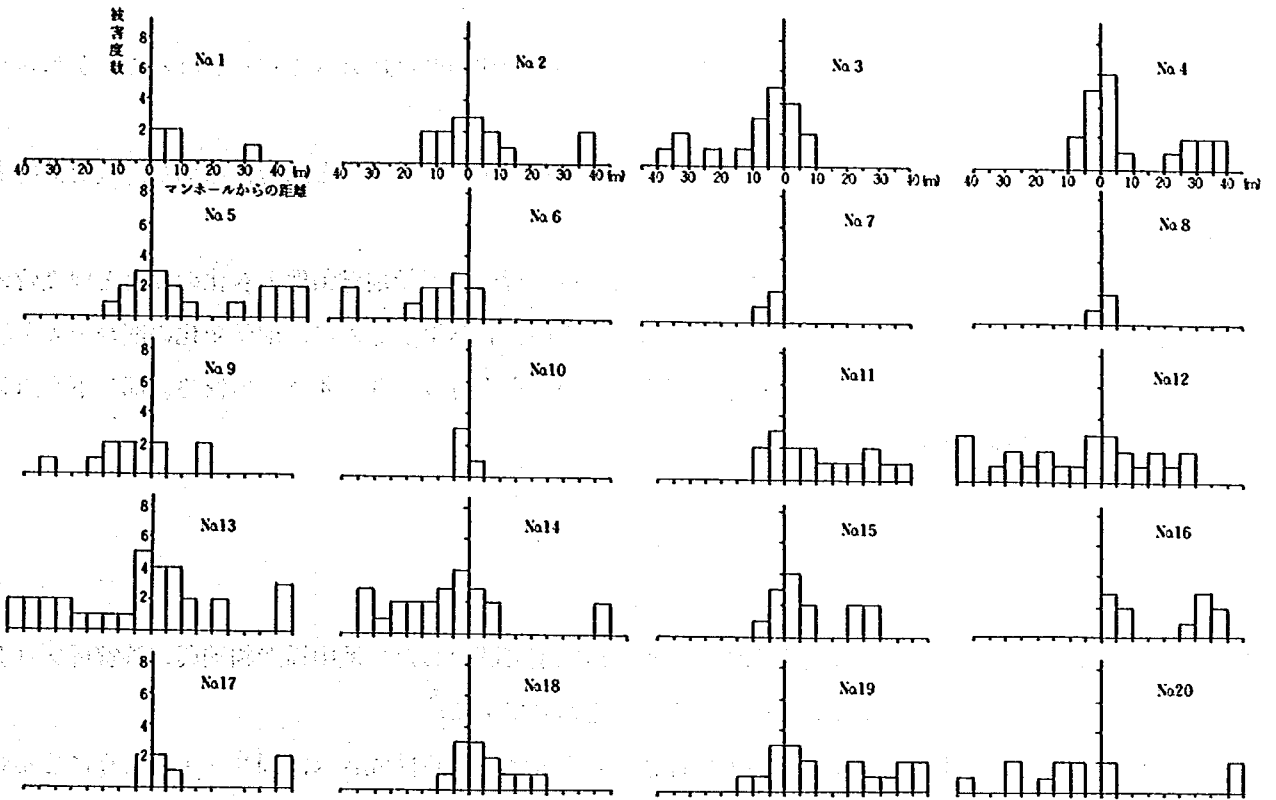


図 2-7 名取川左岸幹線マンホール周辺の被害度数分布 (仙台市建設局下水道部提供の被害データより)

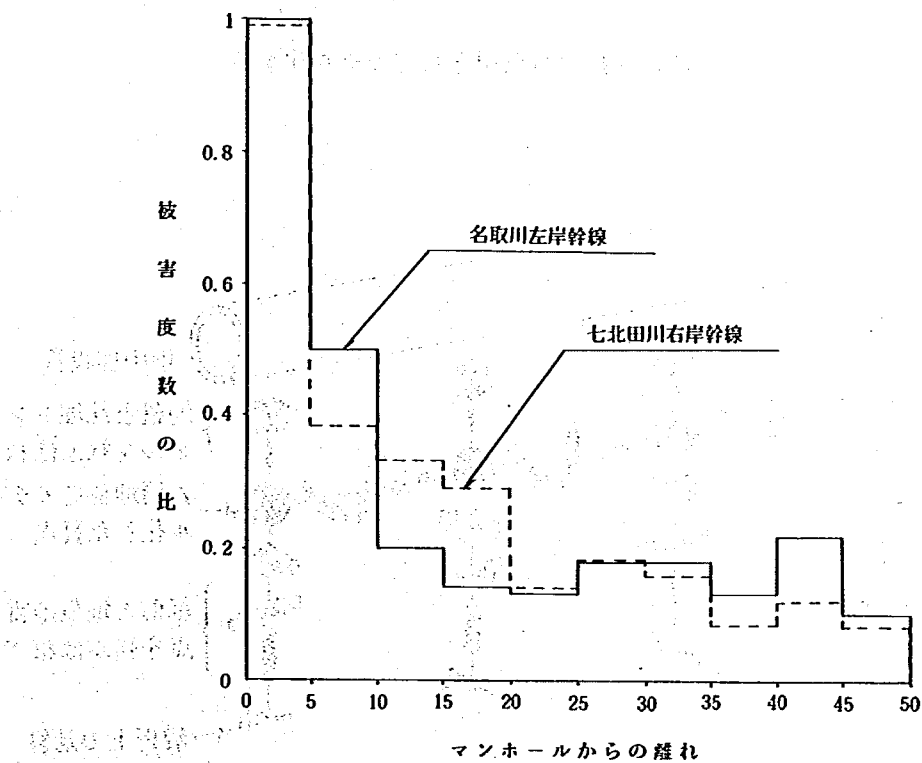


図 2-8 マンホール周辺被害度数全体分布図

### 3. 地盤急変部における下水道管路の耐震解析

前章で述べたように下水道管路被害は埋設地点の地盤条件の変化の度合に大きく左右されることが明らかとなった。

そこで、地盤急変部に埋設された下水道管路の地震時挙動を明確に把握すると同時に適切な耐震対策を講ずることが必要と考えられる。

本章の3-1は単純な急変地盤モデルにつき地震応答解析を行い、埋設地盤条件の変化の度合と埋設管の地震時ひずみとの相関性について検討する。3-2は3-1の検討結果をもとに、地盤変化の度合の表示法を示す。3-3では継手を設置した場合の継手相対変位量の算定を行う。3-4では地盤急変部の下水道管路の耐震対策について検討する。

#### 3-1 地震応答解析

##### 3-1-1 解析方法

解析に使用したプログラムは、建設省土木研究所耐震研究室で開発した「地中構造物地震応答解析プログラムDAST-1」である。同プログラムの概要は以下のとおりである。<sup>5) 6)</sup>

- 1) 周辺地盤は耐震計算上の基盤及びその上に存在する表層地盤から構成され、図3-1のようにせん断振動系離散型モデルに置換し解析を行う。
- 2) 地震波動は耐震計算上の基盤から鉛直上方に入射し、表層地盤に管軸水平方向及び管軸直角水平方向のせん断振動を生ぜしめる。両方向の地震動及びそれによって生ずる地盤の振動応答はそれぞれ相互に独立である。
- 3) 地中埋設管は周辺地盤によって弾性的に保持された梁としてモデル化する。

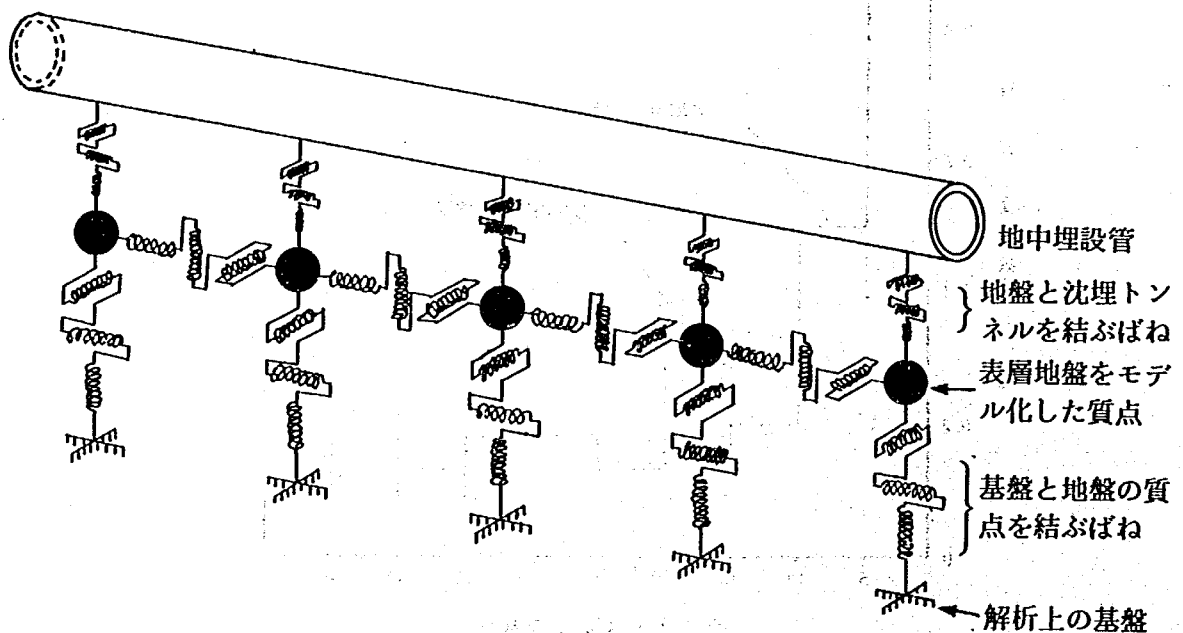
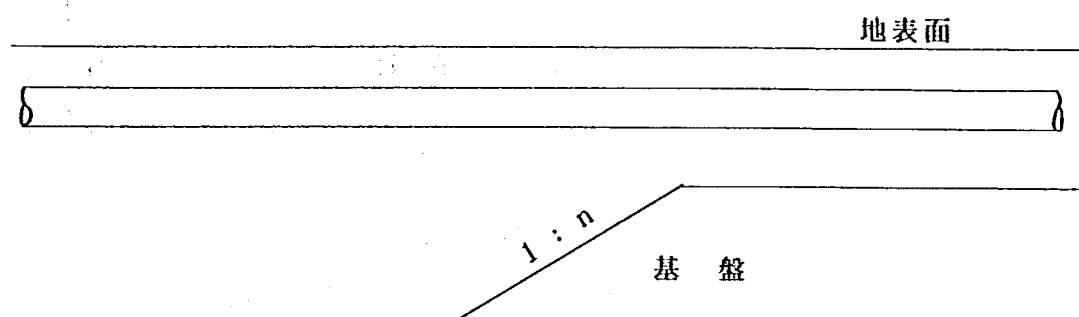


図3-1 表層地盤の力学モデル

### 3-1-2 解析上の諸条件

解析に用いる急変地盤モデルとして下図のような一層地盤を設定した。



表層地盤の物性値は以下の通りとなる。

せん断波速度：100 m/s, 141 m/s, 200 m/s, 283 m/s

単位体質重量：1.4 t/m<sup>3</sup>

ポアソン比：0.45

表層地盤厚：浅い方の層厚 5 m～25m

深い方の層厚 10m～30m

基盤勾配：n = 0.4～12

表3-1は、解析に用いた地盤モデルの一覧表である。入力地震動は、1978年宮城県沖地震（M = 7.4）の際に樽水ダム（震央距離119 km）の基礎岩盤上、ダム軸方向で記録された地震波（最大加速度236gal）を用いた。地震動の加速度波形及び加速度応答スペクトルは、それぞれ図3-2、図3-7に示す。入力加速度の最大値は基盤面で100galに調整した。地盤の減衰定数は0.2とする。埋設管は、φ2000mmの推進工法用鉄筋コンクリート管（断面積A = 1.196 m<sup>2</sup>，断面2次モーメントI = 0.712 m<sup>4</sup>，ヤング率E = 2 × 10<sup>6</sup> t/m<sup>2</sup>），土被り厚は2.0 mとした。

### 3-1-3 解析結果

表3-1に示した24ケースの急変地盤モデルを用いて地震応答解析を行った。解析は、時刻歴応答解析法により行った。

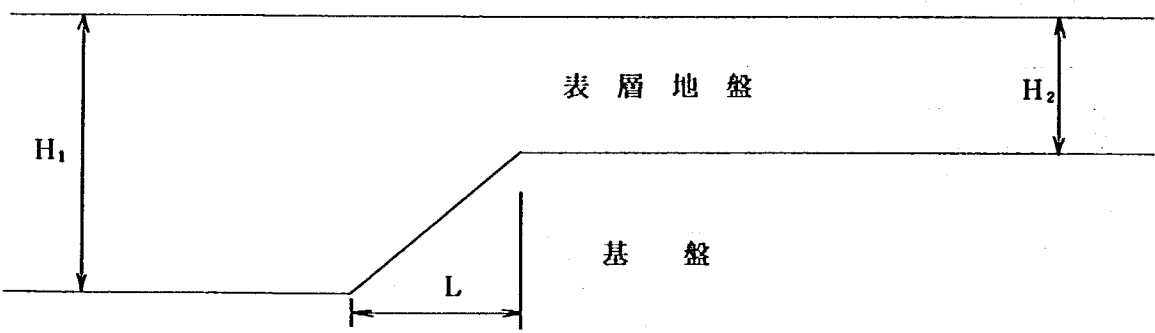
全ケースの解析結果を整理したものを表3-2に、入力時応答分布図を付属資料に示した。

### 3-2 地盤急変度の定義

埋設管の地震時の挙動は、地盤急変の度合（以下「地盤急変度」と称す）によって大きな影響を受けるものと考えられる。ここでは、その地盤急変度の表示法について検討する。

地盤急変度を表わすパラメータとして表層地盤厚の変化、基盤の傾斜角、地盤性状（地盤弾性定数E，N値等）の変化等が考えられるが、ここでは、それらすべての変化を同時に考慮しうるものとして表層地盤の固有周期の変化に着目し、前節で計算された埋設管ひずみとの対比を行ってみた。

表3-1 地盤モデル一覧表

|  |           |           |         |          |                       |       |                       |
|------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------|---------|----------|-----------------------|-------|-----------------------|
| ケース No.                                                                            | $H_1$ (m) | $H_2$ (m) | $L$ (m) | 基盤勾配     | せん断波速度<br>$V_s$ (m/s) | ポアソン比 | 単位体積重量<br>( $t/m^3$ ) |
| 1                                                                                  | 10.0      | 5.0       | 10.0    | 1 : 2    | 100                   | 0.45  | 1.4                   |
| 2                                                                                  | 25.0      | 5.0       | 10.0    | 1 : 0.5  | 100                   | 0.45  | 1.4                   |
| 3                                                                                  | 12.5      | 10.0      | 10.0    | 1 : 4    | 100                   | 0.45  | 1.4                   |
| 4                                                                                  | 15.0      | 10.0      | 10.0    | 1 : 2    | 100                   | 0.45  | 1.4                   |
| 5                                                                                  | 20.0      | 10.0      | 10.0    | 1 : 1    | 100                   | 0.45  | 1.4                   |
| 6                                                                                  | 25.0      | 10.0      | 10.0    | 1 : 0.67 | 100                   | 0.45  | 1.4                   |
| 7                                                                                  | 25.0      | 15.0      | 10.0    | 1 : 1    | 100                   | 0.45  | 1.4                   |
| 8                                                                                  | 30.0      | 15.0      | 10.0    | 1 : 0.67 | 100                   | 0.45  | 1.4                   |
| 9                                                                                  | 25.0      | 20.0      | 10.0    | 1 : 2    | 100                   | 0.45  | 1.4                   |
| 10                                                                                 | 30.0      | 25.0      | 10.0    | 1 : 2    | 100                   | 0.45  | 1.4                   |
| 11                                                                                 | 15.0      | 5.0       | 10.0    | 1 : 1    | 141                   | 0.45  | 1.4                   |
| 12                                                                                 | 15.0      | 5.0       | 10.0    | 1 : 1    | 200                   | 0.45  | 1.4                   |
| 13                                                                                 | 15.0      | 5.0       | 10.0    | 1 : 1    | 283                   | 0.45  | 1.4                   |
| 14                                                                                 | 30.0      | 5.0       | 10.0    | 1 : 1    | 100                   | 0.45  | 1.4                   |
| 15                                                                                 | 30.0      | 5.0       | 10.0    | 1 : 0.4  | 141                   | 0.45  | 1.4                   |
| 16                                                                                 | 30.0      | 5.0       | 10.0    | 1 : 0.4  | 200                   | 0.45  | 1.4                   |
| 17                                                                                 | 30.0      | 5.0       | 10.0    | 1 : 0.4  | 283                   | 0.45  | 1.4                   |
| 18                                                                                 | 15.0      | 5.0       | 3.0     | 1 : 0.3  | 100                   | 0.45  | 1.4                   |
| 19                                                                                 | 15.0      | 5.0       | 5.0     | 1 : 0.5  | 100                   | 0.45  | 1.4                   |
| 20                                                                                 | 15.0      | 5.0       | 10.0    | 1 : 1    | 100                   | 0.45  | 1.4                   |
| 21                                                                                 | 15.0      | 5.0       | 20.0    | 1 : 2    | 100                   | 0.45  | 1.4                   |
| 22                                                                                 | 15.0      | 5.0       | 40.0    | 1 : 4    | 100                   | 0.45  | 1.4                   |
| 23                                                                                 | 15.0      | 5.0       | 60.0    | 1 : 6    | 100                   | 0.45  | 1.4                   |
| 24                                                                                 | 10.0      | 5.0       | 120.0   | 1 : 24   | 100                   | 0.45  | 1.4                   |

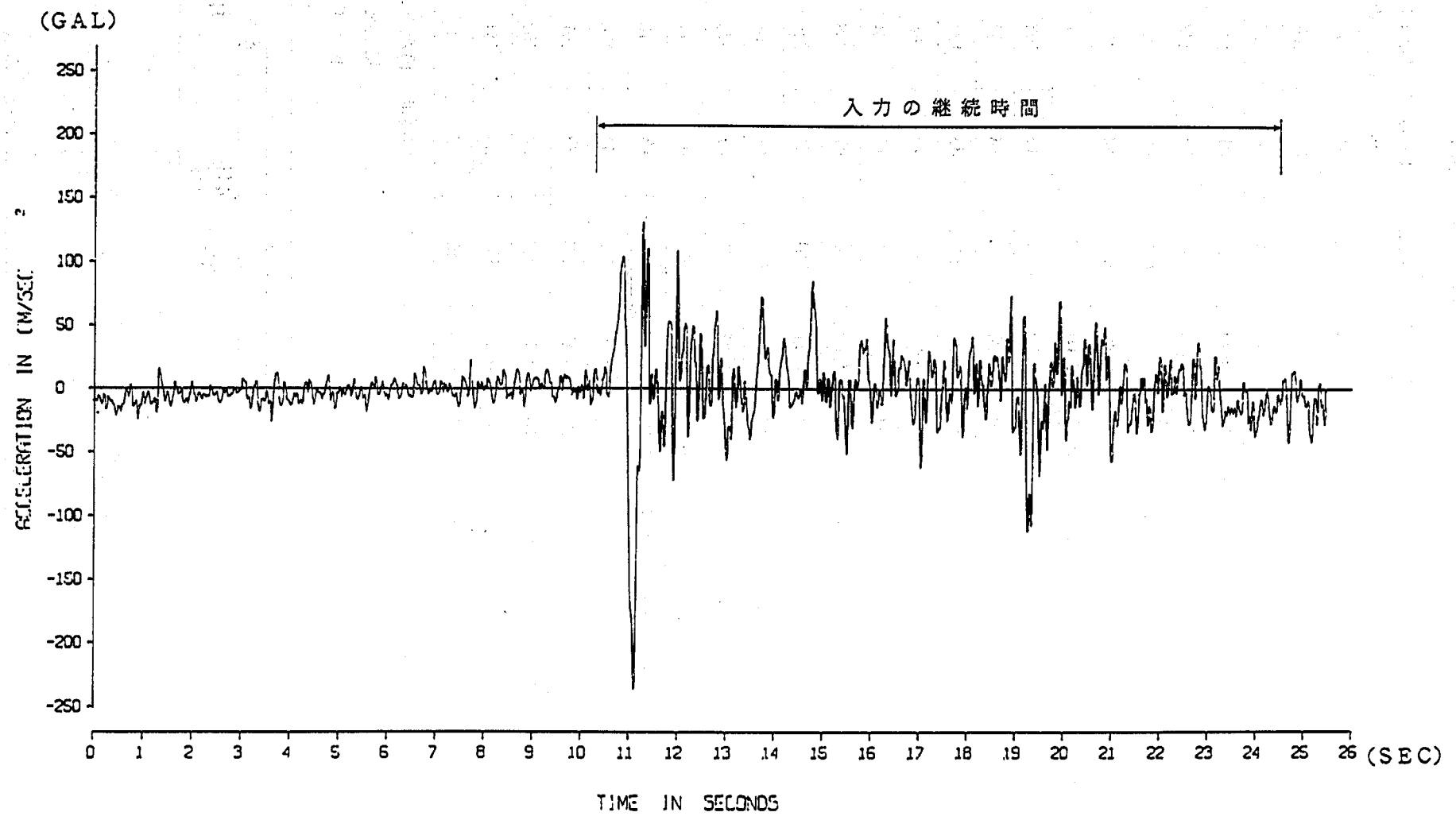


図3-2 樽水ダム地震動加速度波形

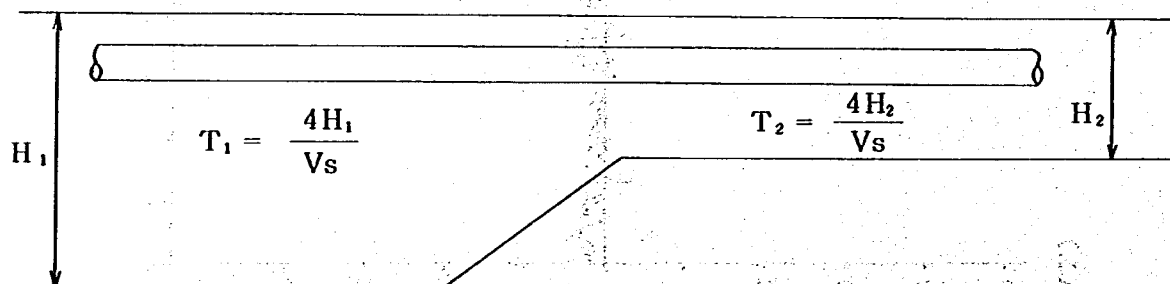
表3-2 急変地盤モデルにおける地震応答解析結果

| ケース<br>No | H <sub>1</sub><br>(m) | H <sub>2</sub><br>(m) | L<br>(m) | V <sub>s</sub><br>(m/s) | T <sub>1</sub><br>(sec) | T <sub>2</sub><br>(sec) | T <sub>1</sub> -T <sub>2</sub><br>(sec) | Nmax<br>(t) | Mmax<br>(tm) | 軸ひずみ<br>E <sub>N</sub> (×10 <sup>-6</sup> ) | 曲げひずみ<br>E <sub>B</sub> (×10 <sup>-6</sup> ) |
|-----------|-----------------------|-----------------------|----------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------------------------|-------------|--------------|---------------------------------------------|----------------------------------------------|
| 1         | 10.0                  | 5.0                   | 10.0     | 100                     | 0.40                    | 0.20                    | 0.20                                    | 181         | 21           | 76                                          | 18                                           |
| 2         | 25.0                  | 5.0                   | 10.0     | 100                     | 1.00                    | 0.20                    | 0.80                                    | 692         | 82           | 288                                         | 68                                           |
| 3         | 12.0                  | 10.0                  | 10.0     | 100                     | 0.50                    | 0.40                    | 0.10                                    | 166         | 16           | 69                                          | 13                                           |
| 4         | 15.0                  | 10.0                  | 10.0     | 100                     | 0.60                    | 0.40                    | 0.20                                    | 307         | 31           | 128                                         | 26                                           |
| 5         | 20.0                  | 10.0                  | 10.0     | 100                     | 0.80                    | 0.40                    | 0.40                                    | 548         | 54           | 229                                         | 45                                           |
| 6         | 25.0                  | 10.0                  | 10.0     | 100                     | 1.00                    | 0.40                    | 0.60                                    | 690         | 66           | 288                                         | 55                                           |
| 7         | 25.0                  | 15.0                  | 10.0     | 100                     | 1.00                    | 0.60                    | 0.40                                    | 517         | 42           | 216                                         | 35                                           |
| 8         | 30.0                  | 15.0                  | 10.0     | 100                     | 1.20                    | 0.60                    | 0.60                                    | 650         | 54           | 271                                         | 45                                           |
| 9         | 25.0                  | 20.0                  | 10.0     | 100                     | 1.00                    | 0.80                    | 0.20                                    | 247         | 19           | 103                                         | 16                                           |
| 10        | 30.0                  | 25.0                  | 10.0     | 100                     | 1.20                    | 1.00                    | 0.20                                    | 192         | 13           | 80                                          | 11                                           |
| 11        | 15.0                  | 5.0                   | 10.0     | 141                     | 0.42                    | 0.14                    | 0.28                                    | 295         | 33           | 123                                         | 27                                           |
| 12        | 15.0                  | 5.0                   | 10.0     | 200                     | 0.30                    | 0.10                    | 0.20                                    | 163         | 19           | 68                                          | 16                                           |
| 13        | 15.0                  | 5.0                   | 10.0     | 283                     | 0.21                    | 0.07                    | 0.14                                    | 82          | 10           | 34                                          | 9                                            |
| 14        | 30.0                  | 5.0                   | 10.0     | 100                     | 1.20                    | 0.20                    | 1.00                                    | 738         | 87           | 308                                         | 721                                          |
| 15        | 30.0                  | 5.0                   | 10.0     | 141                     | 0.85                    | 0.14                    | 0.71                                    | 781         | 84           | 326                                         | 70                                           |
| 16        | 30.0                  | 5.0                   | 10.0     | 200                     | 0.60                    | 0.10                    | 0.50                                    | 639         | 67           | 267                                         | 56                                           |
| 17        | 30.0                  | 5.0                   | 10.0     | 283                     | 0.42                    | 0.07                    | 0.35                                    | 416         | 47           | 174                                         | 39                                           |
| 18        | 15.0                  | 5.0                   | 3.0      | 100                     | 0.60                    | 0.20                    | 0.40                                    | 425         | 45           | 177                                         | 37                                           |
| 19        | 15.0                  | 5.0                   | 5.0      | 100                     | 0.60                    | 0.20                    | 0.40                                    | 426         | 48           | 178                                         | 40                                           |
| 20        | 15.0                  | 5.0                   | 10.0     | 100                     | 0.60                    | 0.20                    | 0.40                                    | 422         | 49           | 176                                         | 41                                           |
| 21        | 15.0                  | 5.0                   | 20.0     | 100                     | 0.60                    | 0.20                    | 0.40                                    | 401         | 39           | 167                                         | 32                                           |
| 22        | 15.0                  | 5.0                   | 40.0     | 100                     | 0.60                    | 0.20                    | 0.40                                    | 364         | 29           | 152                                         | 24                                           |
| 23        | 15.0                  | 5.0                   | 60.0     | 100                     | 0.60                    | 0.20                    | 0.40                                    | 339         | 26           | 141                                         | 21                                           |
| 24        | 10.0                  | 5.0                   | 120.0    | 100                     | 0.40                    | 0.20                    | 0.20                                    | 87          | 2            | 36                                          | 2                                            |

地震波 樽水ダム地震動

A<sub>max</sub> = 100gal

h = 0.20



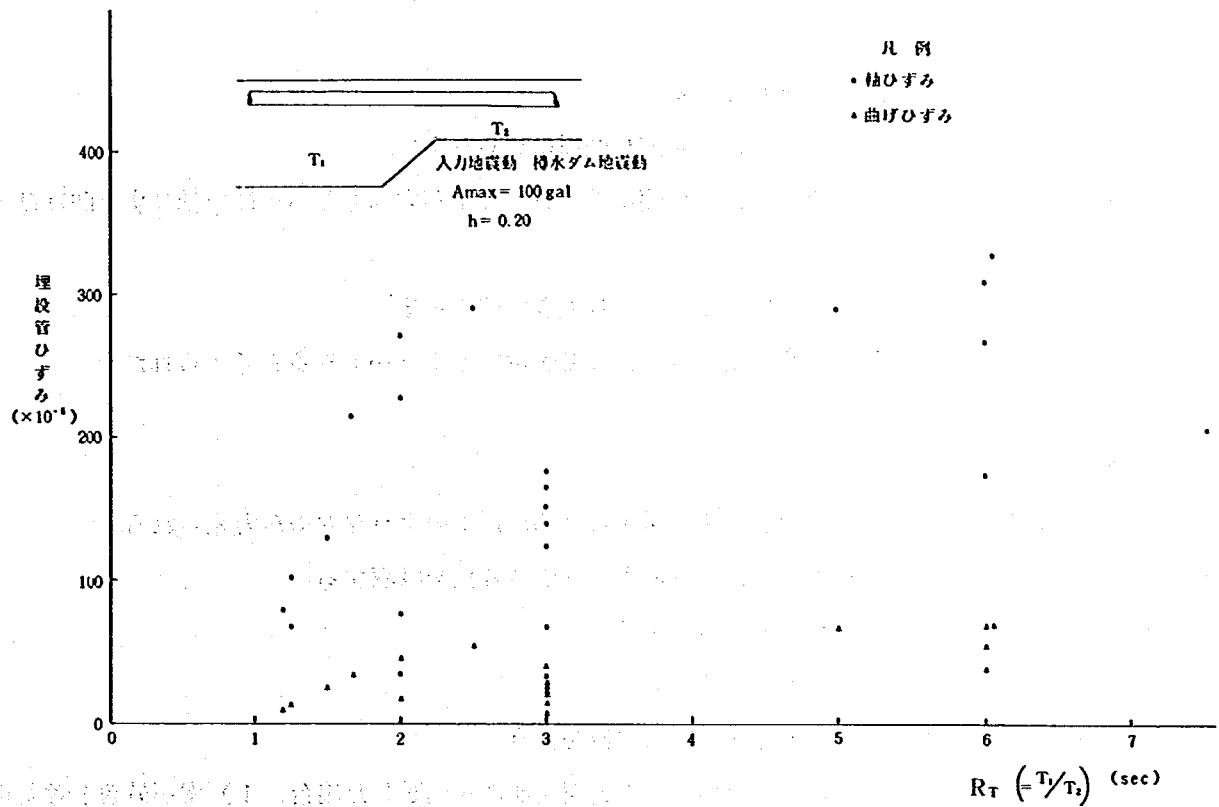


図 3-3 表層地盤固有周期比と地震時埋設管ひずみとの関係

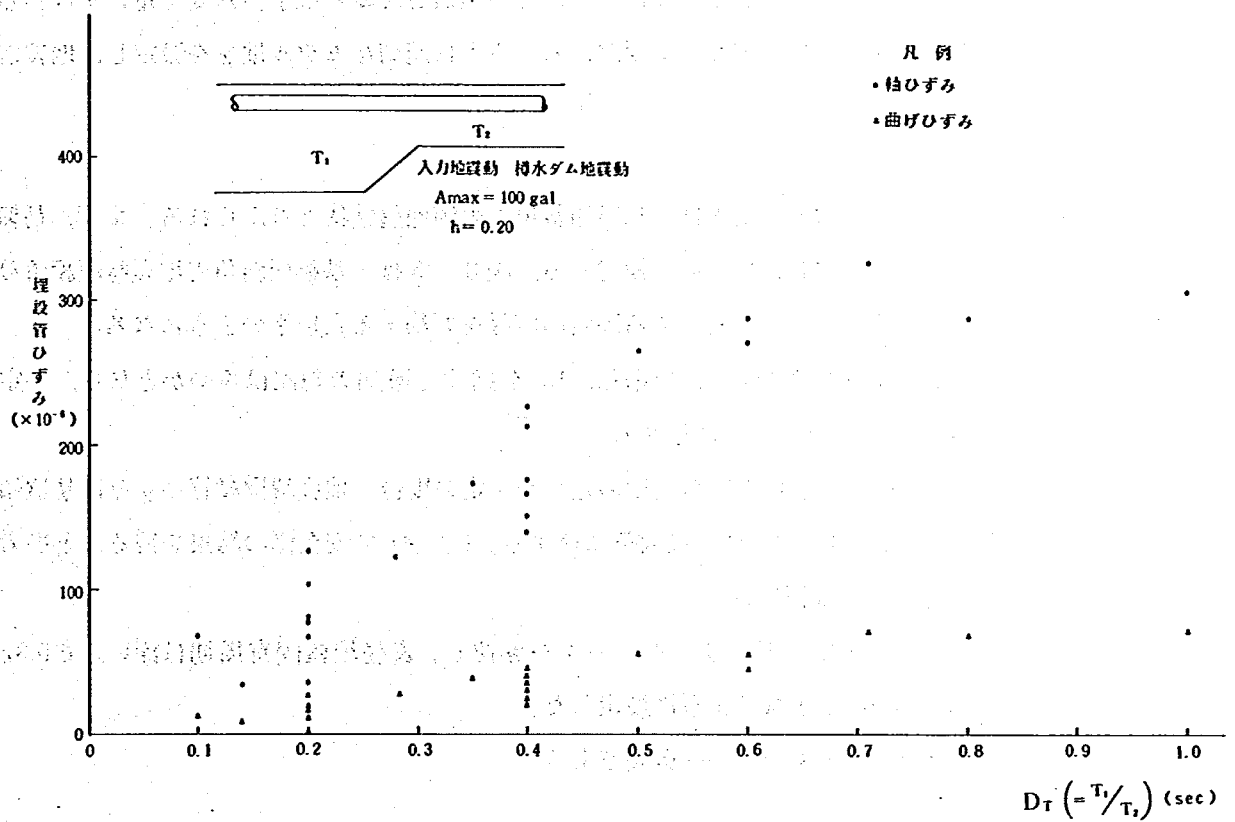


図 3-4 表層地盤固有周期差と地震時埋設管ひずみとの関係

図3-3は、地盤急変度を深い方の表層地盤の固有周期 $T_1$ と浅い方の表層地盤の固有周期 $T_2$ との比 $R_T$  ( $T_1/T_2$ )とした場合、図3-4は両者の差 $D_T (=T_1 - T_2)$ とした場合であり、各々埋設管ひずみとの対比を行っている。

両図から以下のような傾向を見出すことができる。

- 1) 固有周期比 $R_T$ と埋設管ひずみとの間には明確な関係は見られない。
- 2) 固有周期差 $D_T$ と埋設管ひずみとの間には相関が見られ、 $D_T$ が大きくなるに従い軸ひずみ曲げひずみともに大きい値を示す。
- 3) 全ての地盤条件において軸ひずみが曲げひずみより大きい値を示す。

以上より、地盤急変度は表層地盤の固有周期の差によって表示することができると考えられた。

### 3-3 継手相対変位量の解析

地盤急変部に埋設された下水道管路の耐震性を確保するために以下のような対策が考えられる。

- 1) 所要の伸縮性能を有する継手を設置し、それにより地震時変位を吸収する。
- 2) 埋設管本体を地震時断面力に耐え得る構造とする。
- 3) 基礎をコンクリート巻立等により補強する。
- 4) 地盤条件の変化を低減させるような方向で地盤改良を行う。

上記4案を、工費、施工性、効果という観点からその実現可能性を判断した場合、1)案が最適と考えられる。このため、ここでは1)案について、伸縮継手を設けた場合の継手の相対変位量の解析を行う。

地盤急変部で使用するべき継手の性能を検討するにあたり、先づ地盤急変度と継手相対変位量、すなわち継手が吸収すべき変位量との関係を明確にしておく必要がある。以下に適切なモデル地盤を設定し、地震応答解析を行うこととする。

#### (1) モデル地盤の設定

モデル地盤の設定にあたっての重要な要素は、基盤傾斜角と表層地盤性状と考えられる。まず、基盤傾斜角が地震時埋設管ひずみに及ぼす影響について検討する。図3-5は、基盤傾斜角と地震時埋設管ひずみとの関係を示したものである。図から判断できる両者の関係を要約すると以下のようになる。

基盤傾斜角が $10^\circ$ までは地震時埋設管ひずみは急増し、 $10^\circ$ を越すと増加の勾配は緩やかとなり、一定値に漸近する。そして、 $45^\circ$ 付近ではほぼ一定値に達する。

以上の関係から、地盤急変度（表層地盤固有周期の差）が一定の場合、地震時埋設管ひずみは基盤傾斜角が急勾配になるに従い増加し、 $45^\circ$ 付近にて最大値に達する。したがって安全側の結果を得ることを考え、モデル地盤では基盤傾斜角を $45^\circ$ に固定する。

さらに、地盤性状については既存のボーリングデータを参照し、表層地盤固有周期は深い方で0.3sec～1.6sec、浅い方で0.1～1.5secとなるように設定した。

表3-3は解析に用いた急変地盤モデルの一覧表である。

## (2) 解析上の諸条件

3-1の解析と同様に埋設管は、 $\phi 2000\text{mm}$ の推進工法用鉄筋コンクリート管 ( $A = 1.196\text{ m}^2$ ,  $I = 0.712\text{ m}^4$ ,  $E = 2 \times 10^6\text{ t/m}^2$ ), 土被りは、 $2.0\text{ m}$ とした。

ただし、埋設管は、 $2.43\text{m}$ 間隔で設けられた継手位置にて完全に切り離された不連続の線状構造物とした。

入力地震動は、樽水ダム地震動の他に下記2地震動を用いた。

入力地震動

| 地震名   | 発生年月日       | 観測地             | 方向 | マグニチュード | 震央距離   | 最大加速度   |
|-------|-------------|-----------------|----|---------|--------|---------|
| 十勝沖   | 1968. 5. 16 | 八戸港             | NS | 7.9     | 190 km | 145 gal |
| 根室半島沖 | 1973. 6. 17 | 静内橋<br>(GL-40M) | 橋軸 | 7.4     | 305    | 41      |

2地震動の加速度波形及び加速度応答スペクトルはそれぞれ、図3-6、図3-7に示す。

各入力地震動の最大加速度は、 $100\text{gal}$ に調整した。なお、解析は応力の卓越する管軸方向入力のみについて行う。

## (3) 解析結果

地震応答解析の結果を整理して表3-4に示す。

表中換算ひずみとあるのは、継手最大相対変位量を継手設置間隔 $2.43\text{m}$ で除した値であり、埋設管位置での地盤最大ひずみと同値である。図3-8は、地盤急変度（表層地盤の固有周期の差）と継手最大相対変位量との関係を示したものである。

## (4) 考察

解析により求められた地盤急変度と継手最大相対変位量との関係は、図3-8に示す通りであるが、図に示されているように継手最大相対変位の値にかなりのばらつきが見られる。これは、解析に用いられた3地震動の周期特性の違い（図3-7の加速度応答スペクトル参照）によるものと考えられる。

ところが、同一地震動での解析結果のみをとりあげてみた場合、継手最大相対変位量は3地震波とも地盤急変度の増加とともにほぼ直線的に増加している。

このことから、地震時の継手最大相対変位量は表層地盤の固有周期の差 ( $D_T$ ) で表わされる地盤急変度との間に相関性があることがわかった。

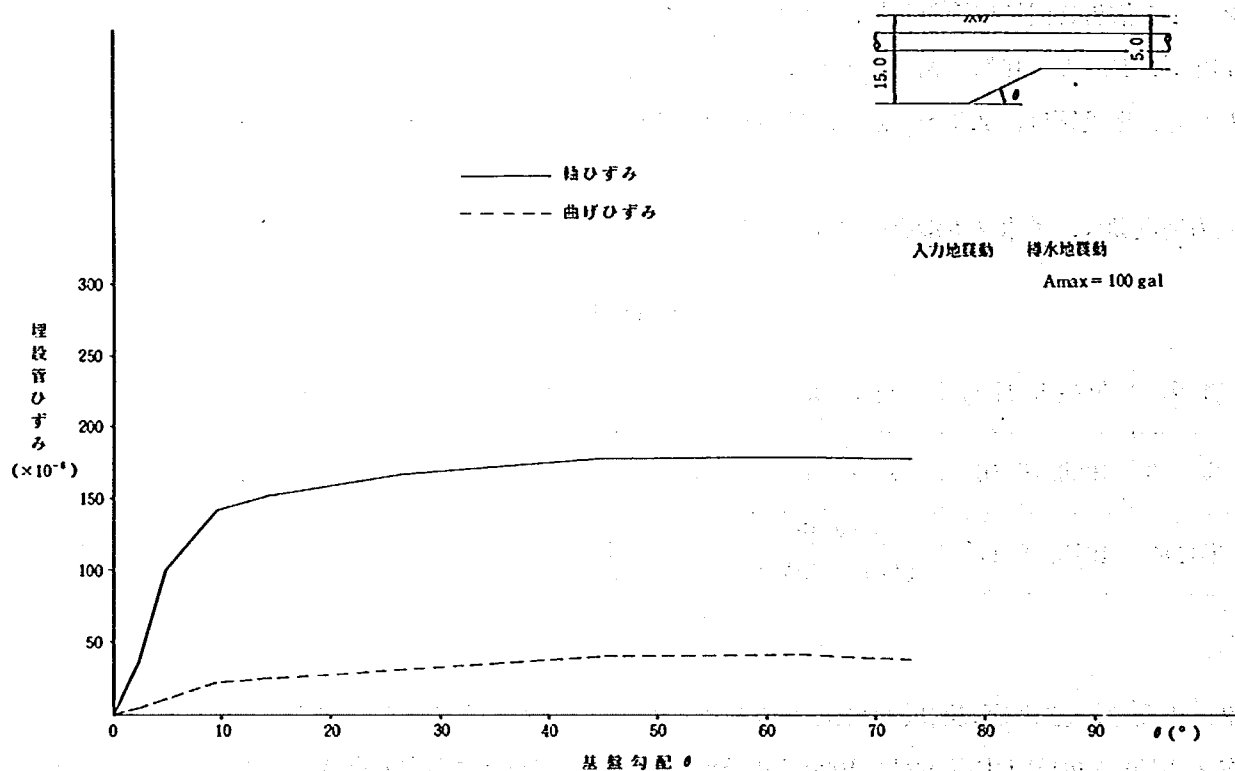


図 3—5 基盤傾斜角と地震時埋設管ひずみとの関係

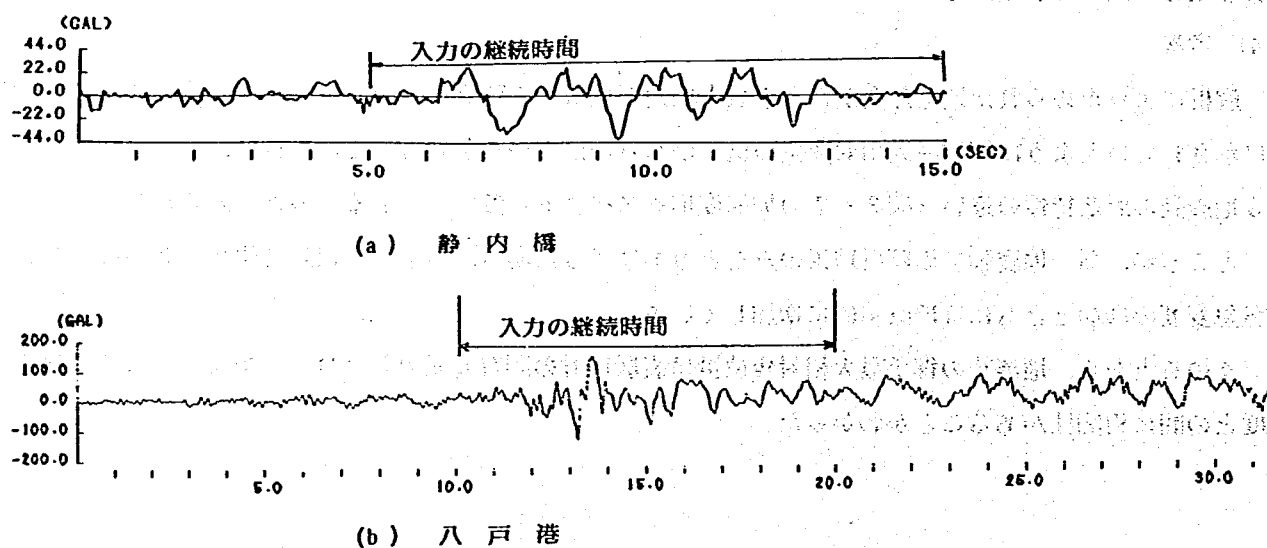
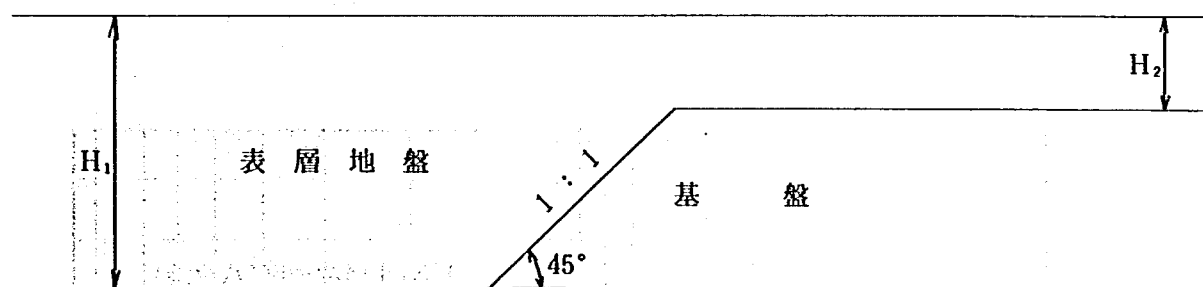


図 3—6 入力地震時の波形

表 3-3 継手相対変位量解析用地盤モデル



| ケース No | H <sub>1</sub> (m) | H <sub>2</sub> (m) | 地盤せん断波速度(m/s) | ポアソン比 | 地盤単位体積重量(t/m <sup>3</sup> ) |
|--------|--------------------|--------------------|---------------|-------|-----------------------------|
| 1      | 7.5                | 5.0                | 100           | 0.45  | 1.4                         |
| 2      | 20.0               | 17.5               | 100           | 0.45  | 1.4                         |
| 3      | 22.5               | 20.0               | 100           | 0.45  | 1.4                         |
| 4      | 30.0               | 27.5               | 100           | 0.45  | 1.4                         |
| 5      | 40.0               | 37.5               | 100           | 0.45  | 1.4                         |
| 6      | 10.0               | 5.0                | 100           | 0.45  | 1.4                         |
| 7      | 25.0               | 20.0               | 100           | 0.45  | 1.4                         |
| 8      | 20.0               | 15.0               | 100           | 0.45  | 1.4                         |
| 9      | 40.0               | 35.0               | 100           | 0.45  | 1.4                         |
| 10     | 15.0               | 5.0                | 100           | 0.45  | 1.4                         |
| 11     | 25.0               | 15.0               | 100           | 0.45  | 1.4                         |
| 12     | 30.0               | 20.0               | 100           | 0.45  | 1.4                         |
| 13     | 40.0               | 30.0               | 100           | 0.45  | 1.4                         |
| 14     | 20.0               | 5.0                | 100           | 0.45  | 1.4                         |
| 15     | 35.0               | 20.0               | 100           | 0.45  | 1.4                         |
| 16     | 25.0               | 5.0                | 100           | 0.45  | 1.4                         |
| 17     | 30.0               | 10.0               | 100           | 0.45  | 1.4                         |
| 18     | 40.0               | 20.0               | 100           | 0.45  | 1.4                         |
| 19     | 30.0               | 10.0               | 283           | 0.45  | 1.4                         |
| 20     | 40.0               | 20.0               | 283           | 0.45  | 1.4                         |
| 21     | 40.0               | 10.0               | 283           | 0.45  | 1.4                         |
| 22     | 60.0               | 30.0               | 283           | 0.45  | 1.4                         |

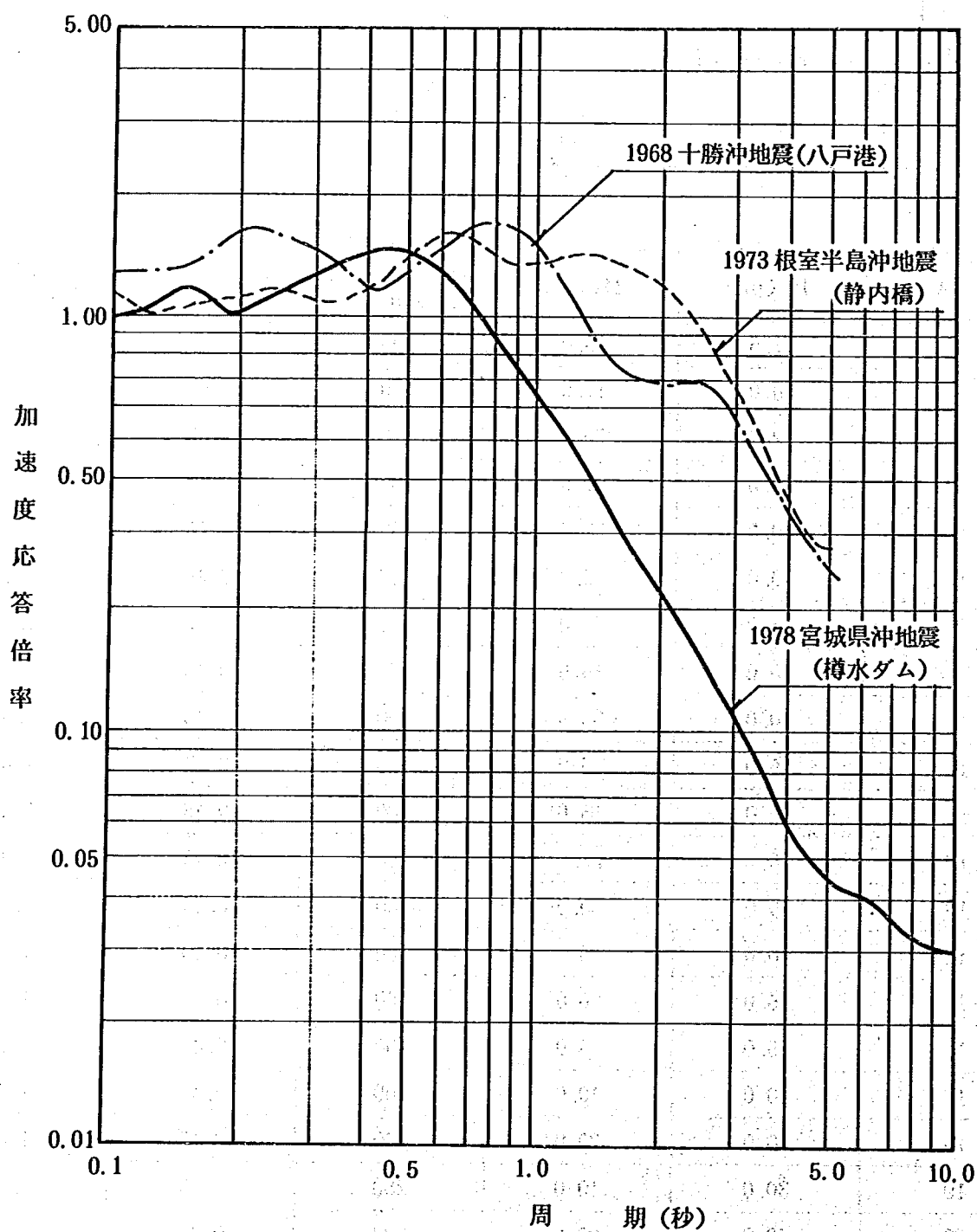


図3-7 入力地震動加速度応答スペクトル ( $h = 20\%$ )

表3-4 埋設管継手相対変位計算結果 (1)

| 地盤<br>ケースNo. | 表層地盤厚     |           | 入力地震波                  | 地盤 $V_s$<br>(m/s) | 地盤 $E$ (t/m <sup>2</sup> )<br>地盤 $G$ (t/m <sup>2</sup> ) | 地盤固有周期 (sec) |       |             | 継手最大相対<br>変位 (mm) | 換算ひずみ<br>( $\times 10^{-6}$ ) |
|--------------|-----------|-----------|------------------------|-------------------|----------------------------------------------------------|--------------|-------|-------------|-------------------|-------------------------------|
|              | $H_1$ (m) | $H_2$ (m) |                        |                   |                                                          | $T_1$        | $T_2$ | $T_1 - T_2$ |                   |                               |
| 1            | 7.5       | 5.0       | 樽水<br>$A_{max}=100gal$ | 100               | $E=4140$<br>$G=1428$                                     | 0.3          | 0.2   | 0.1         | 0.44              | 181                           |
|              | 7.5       | 5.0       | 八戸<br>$A_{max}=100gal$ | 100               | "                                                        | 0.3          | 0.2   | 0.1         | 0.50              | 206                           |
| 2            | 20.0      | 17.5      | "                      | 100               | "                                                        | 0.8          | 0.7   | 0.1         | 0.84              | 346                           |
| 3            | 22.5      | 20.0      | 静内<br>$A_{max}=100gal$ | 100               | "                                                        | 0.9          | 0.8   | 0.1         | 0.61              | 251                           |
| 4            | 30.0      | 27.5      | 八戸                     | 100               | "                                                        | 1.2          | 1.1   | 0.1         | 0.57              | 235                           |
| 5            | 40.0      | 37.5      | 静内                     | 100               | "                                                        | 1.6          | 1.5   | 0.1         | 0.60              | 247                           |
| 6            | 10.0      | 5.0       | 樽水                     | 100               | "                                                        | 0.4          | 0.2   | 0.2         | 1.05              | 432                           |
| 7            | 25.0      | 20.0      | "                      | 100               | "                                                        | 1.0          | 0.8   | 0.2         | 0.67              | 276                           |
| 8            | 20.0      | 15.0      | 八戸                     | 100               | "                                                        | 0.8          | 0.6   | 0.2         | 1.63              | 671                           |
| 9            | 40.0      | 35.0      | 静内                     | 100               | "                                                        | 1.6          | 1.4   | 0.2         | 1.22              | 502                           |
| 10           | 15.0      | 5.0       | 樽水                     | 100               | "                                                        | 0.6          | 0.2   | 0.4         | 1.70              | 700                           |

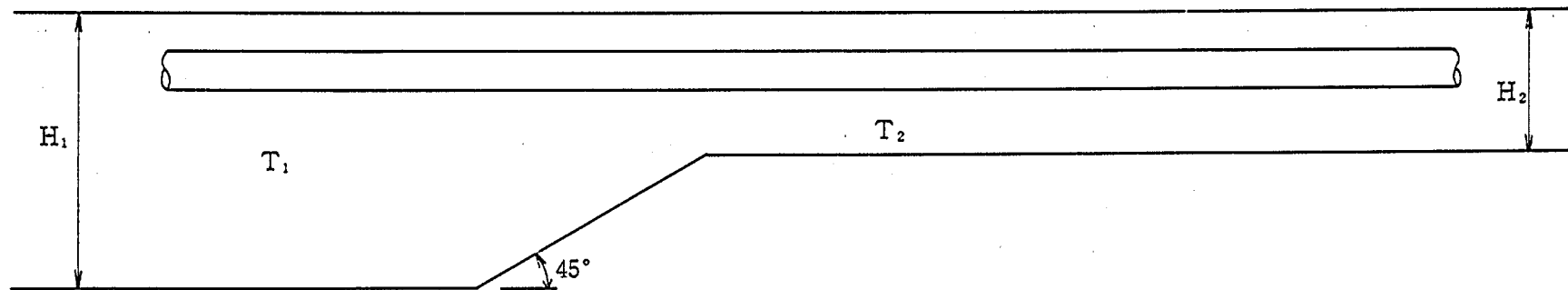


表 3-4 埋設管継手相対変位計算結果 (2)

| 地 盤<br>ケースNo. | 表 層 地 盤 厚 |           | 入力地震波 | 地盤 $V_s$<br>(m/s) | 地盤 $E$ (t/m <sup>2</sup> )<br>地盤 $G$ (t/m <sup>2</sup> ) | 地 盤 固 有 周 期 (sec) |       |             | 継手最大相対<br>変位 (mm) | 換算ひずみ<br>( $\times 10^{-6}$ ) |
|---------------|-----------|-----------|-------|-------------------|----------------------------------------------------------|-------------------|-------|-------------|-------------------|-------------------------------|
|               | $H_1$ (m) | $H_2$ (m) |       |                   |                                                          | $T_1$             | $T_2$ | $T_1 - T_2$ |                   |                               |
| 10            | 15.0      | 5.0       | 八 戸   | 100               | $E = 4140$<br>$G = 1428$                                 | 0.6               | 0.2   | 0.4         | 1.90              | 782                           |
| 11            | 25.0      | 15.0      | "     | "                 | "                                                        | 1.0               | 0.6   | 0.4         | 2.62              | 1,078                         |
| 12            | 30.0      | 20.0      | "     | "                 | "                                                        | 1.2               | 0.8   | 0.4         | 2.27              | 934                           |
| 13            | 40.0      | 30.0      | 静 内   | "                 | "                                                        | 1.6               | 1.2   | 0.4         | 2.06              | 848                           |
| 14            | 20.0      | 5.0       | 樽 水   | "                 | "                                                        | 0.8               | 0.2   | 0.6         | 1.94              | 798                           |
|               | 20.0      | 5.0       | 八 戸   | "                 | "                                                        | 0.8               | 0.2   | 0.6         | 3.11              | 1,280                         |
| 15            | 35.0      | 20.0      | 静 内   | "                 | "                                                        | 1.4               | 0.8   | 0.6         | 2.94              | 1,210                         |
|               | 35.0      | 20.0      | 八 戸   | "                 | "                                                        | 1.4               | 0.8   | 0.6         | 2.60              | 1,070                         |
| 16            | 25.0      | 5.0       | 樽 水   | "                 | "                                                        | 1.0               | 0.2   | 0.8         | 1.97              | 811                           |
| 17            | 30.0      | 10.0      | 八 戸   | "                 | "                                                        | 1.2               | 0.4   | 0.8         | 3.70              | 1,523                         |
|               | 30.0      | 10.0      | 樽 水   | "                 | "                                                        | 1.2               | 0.4   | 0.8         | 1.82              | 749                           |
| 18            | 40.0      | 20.0      | 八 戸   | "                 | "                                                        | 1.6               | 0.8   | 0.8         | 2.81              | 1,156                         |
| 19            | 30.0      | 10.0      | "     | 283               | $E = 33120$<br>$G = 11420$                               | 0.42              | 0.14  | 0.28        | 0.52              | 214                           |
| 20            | 40.0      | 20.0      | 樽 水   | "                 | "                                                        | 0.57              | 0.28  | 0.29        | 0.56              | 230                           |
| 21            | 40.0      | 10.0      | "     | "                 | "                                                        | 0.57              | 0.14  | 0.43        | 1.06              | 436                           |
| 22            | 60.0      | 30.0      | 八 戸   | "                 | "                                                        | 0.85              | 0.42  | 0.43        | 0.87              | 358                           |
|               | 60.0      | 30.0      | 静 内   | "                 | "                                                        | 0.85              | 0.42  | 0.43        | 0.82              | 337                           |

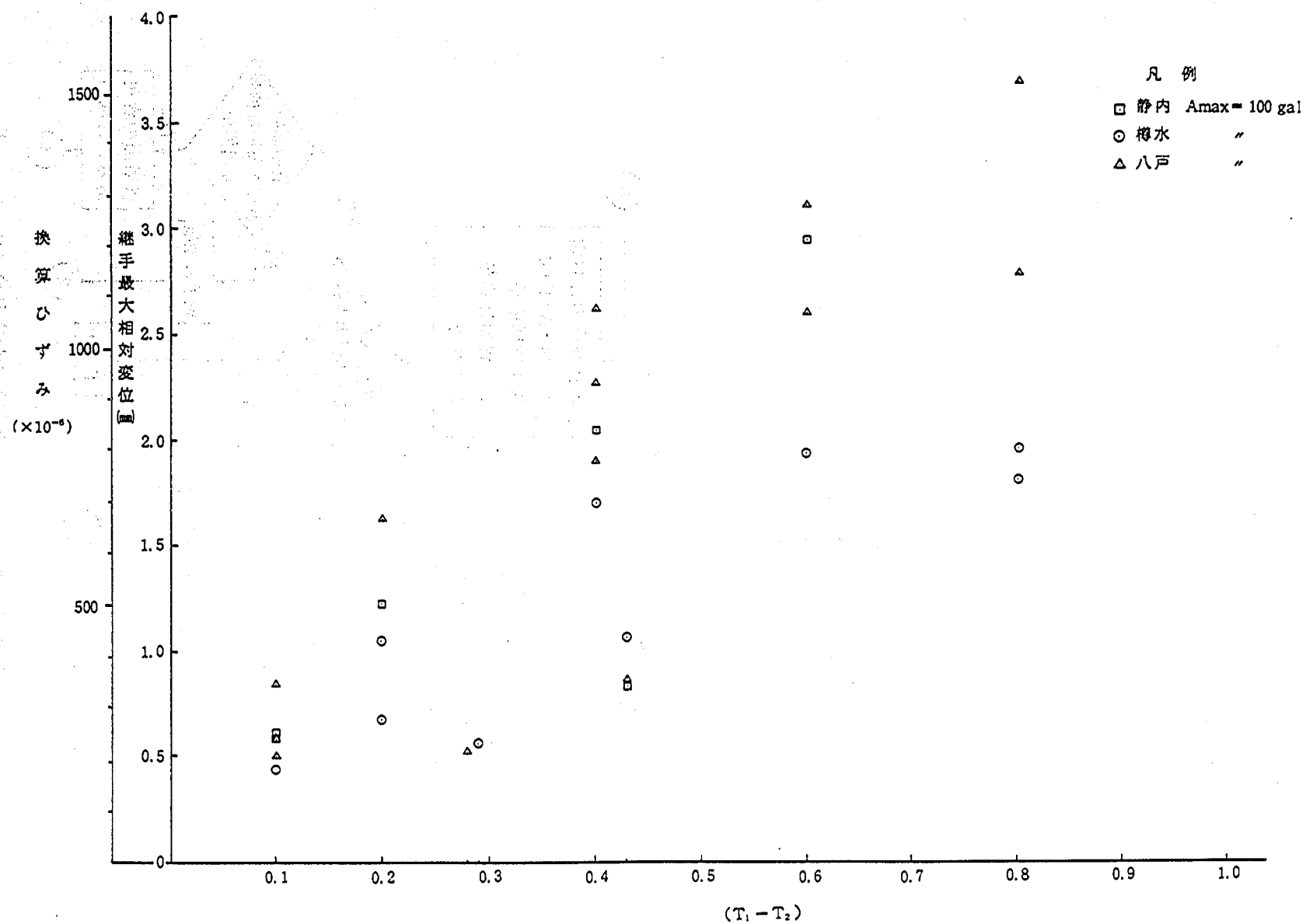


図 3-8 地盤急変度と継手相対変位との関係

### 3-4 下水道管路の耐震計算法

#### 3-4-1 計算手順

地盤急変部に埋設された下水道管路の耐震計算は、図3-9に示すフローチャートに従って行うものとする。

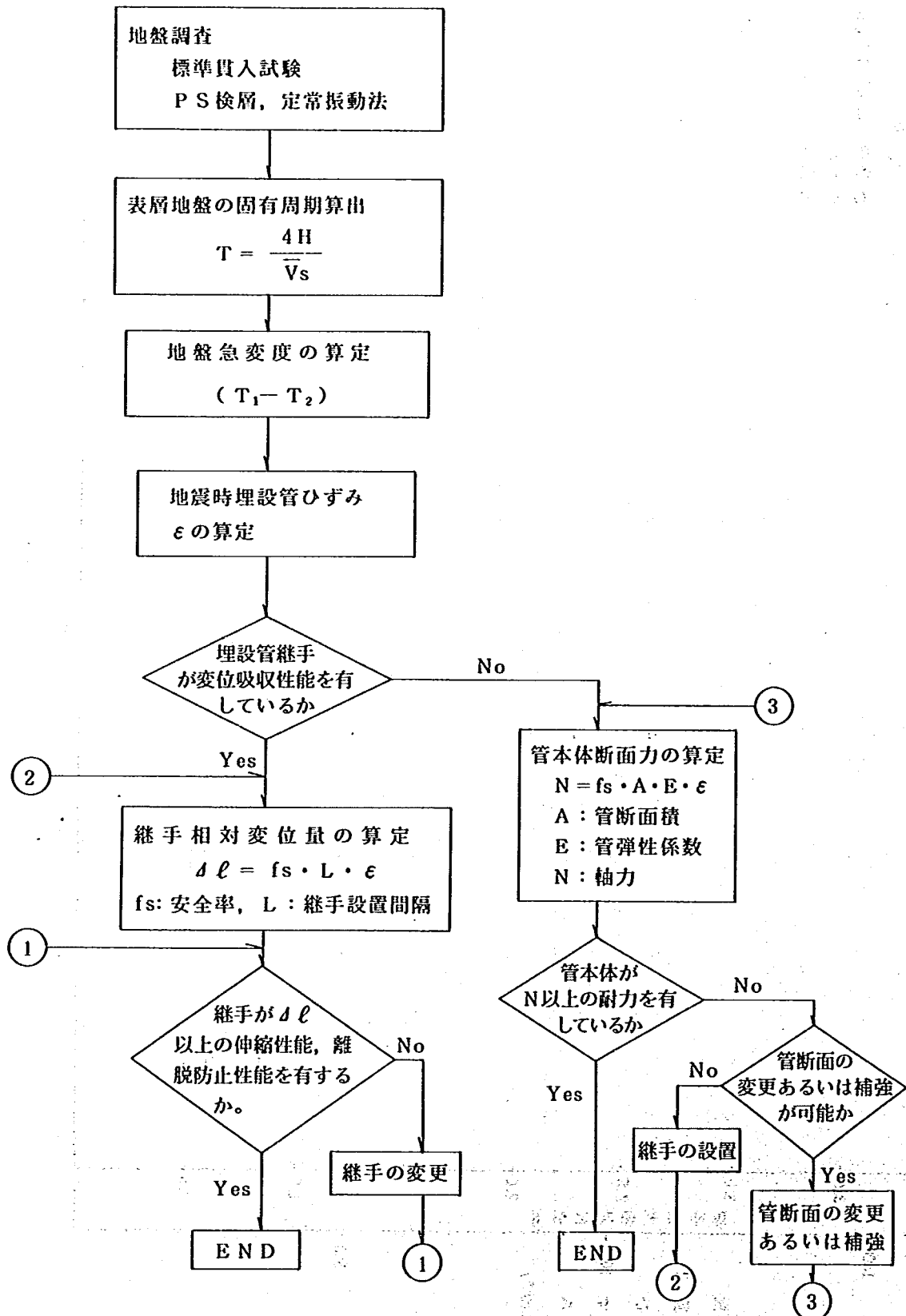


図3-9 地盤急変部に埋設された下水道管路の耐震計算フローチャート

### 3-4-2 地盤調査

急変地盤に埋設された下水道管路の耐震計算のために必要な地盤調査、及びそれによって明確にすべきデータは下記の通りである。

(1) 標準貫入試験

土質名、N値、単位体積重量

(2) PS検層

S波速度

(3) 定常振動法<sup>9)</sup>

S波速度 (表面波速度より算定)

### 3-4-3 表層地盤の固有周期算出

表層地盤の固有周期は、「道路橋示方書・同解説・耐震設計編」より下式にて算出するものとする。

$$T = 4 \sum_{i=1}^n \frac{H_i}{V_{si}}$$

$H_i$  = i 番目の地層の厚さ (m)

$V_{si}$  = i 番目の地層の平均せん断波速度

実測値を用いる場合は地震時に生ずるせん断ひずみの大きさを考慮して実測値の1/2とする。

実測値がない場合は下式によりN値から推定する。

粘性土層の場合

$$V_{si} = 100N_i^{1/3} \quad (1 \leq N_i \leq 25)$$

砂質土層の場合

$$V_{si} = 80N_i^{1/3} \quad (1 \leq N_i \leq 50)$$

### 3-4-4 地盤急変度の算定

地盤急変度を固有周期の変化量で表示するという方法を、実地盤に適用する際の大きな問題点は、現実の急変地盤は前節の解析で用いたモデル地盤のような理想的な急変地盤ばかりとは限らないということである。即ち現実の地盤は、複雑に傾斜した基盤や土質定数が異なる地層が幾重にも積み重なった表層地盤により構成されている。

そこで、ここではその具体的な適用方法として下記のような方法を提案する。

- ① 各検層断面 (ここでは50m間隔とした) での固有周期を計算する。
- ② 図3-10のような固有周期図を作成する。
- ③ 固有周期図において傾斜方向が変化した点 (図3-11の○印) を地盤変化の始点、終点とする。
- ④ ③で求めた各点の固有周期の差をとり、それを地盤急変度とする。 (図3-12)

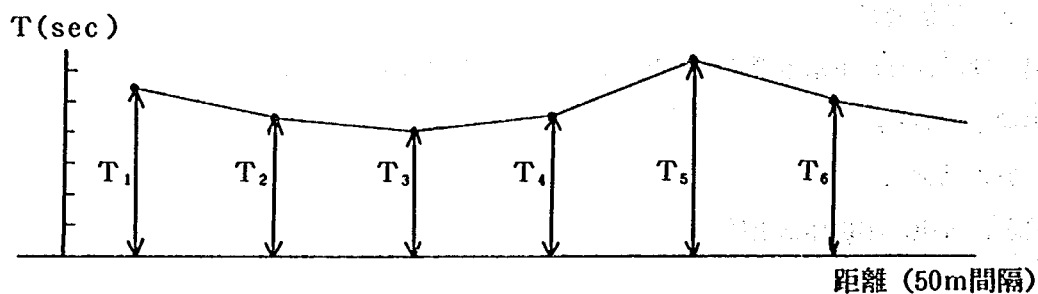


図3-10 固有周期図

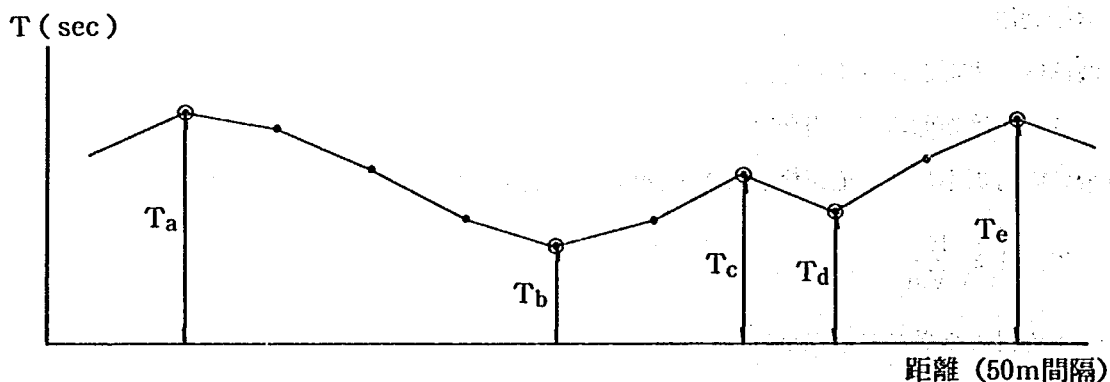


図3-11 固有周期図

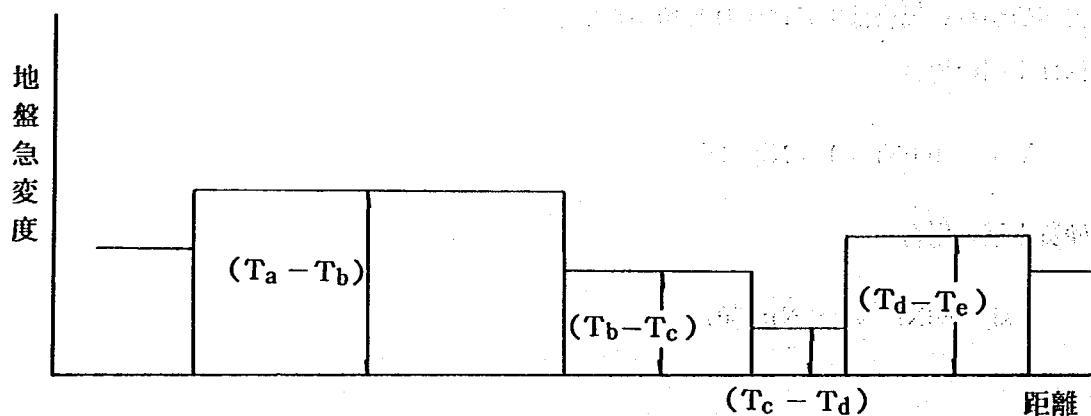


図3-12 固有周期差と地盤急変度

#### 3-4-5 埋設管ひずみの算定

埋設管ひずみは、下式により計算する。

$$\varepsilon = V_1 \varepsilon_0$$

$\varepsilon_0$  : 基盤面での最大入力加速度を150galとした場合の埋設管ひずみで、図3-8より表3-5の値とする。

$V_1$  : 地域別補正係数

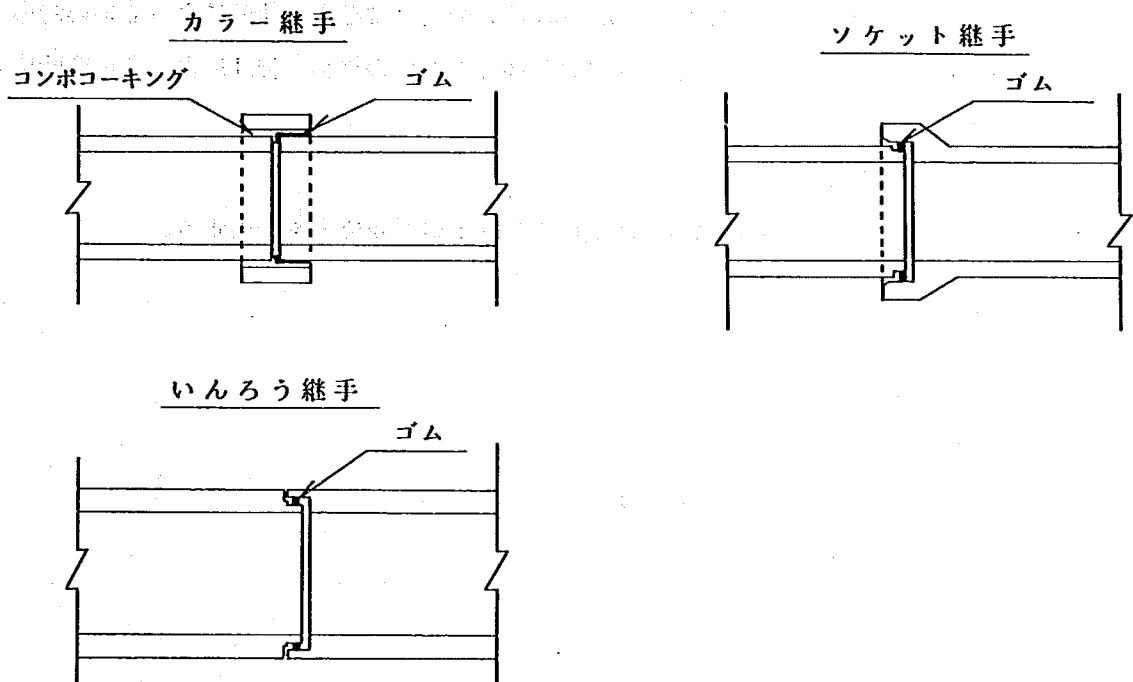
「道路橋示方書・同解説・耐震設計編」4章設計震度及び設計地震入力」を参照。

表 3—5 基準ひずみ値

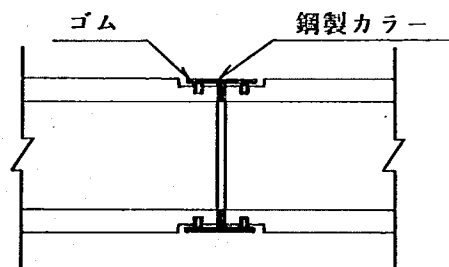
| 地盤急変度 (sec) | $\epsilon_0$                   |
|-------------|--------------------------------|
| 0～0.1       | $< 1.0 \times 10^{-3}$ (微小ひずみ) |
| 0.1～0.2     | $1.0 \times 10^{-3}$           |
| 0.2～0.4     | $1.5 \times 10^{-3}$           |
| 0.4～0.6     | $2.0 \times 10^{-3}$           |
| 0.6～        | $2.5 \times 10^{-3}$           |

### 3—4—6 下水道管路の継手

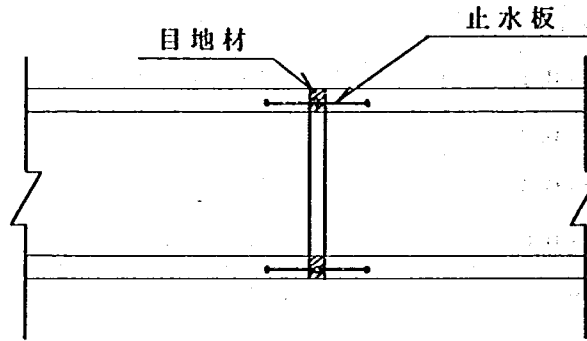
下水道管路として最も使用頻度の高い鉄筋コンクリート管の継手には下記のような種類があるが、いずれの継手の場合もある程度の変位の吸収が可能である。



また、下記は推進工法用鉄筋コンクリート管の継手であるが、図でも明らかなように圧縮方向については変位の吸収が不可能である。



現場打ち鉄筋コンクリート管路の場合は、下記のような伸縮継手が一般的である。



### 3-4-7 管路本体の耐震計算

管路本体の耐震計算は、管路の種類、たとえば遠心力鉄筋コンクリート管のように、継手において地震時変位を吸収することが可能なものと、推進工法用鉄筋コンクリート管のように継手が変位吸収性能を有していないものとは、その手順に大きな差異が生ずる。

つまり、図3-9のフローチャートにも示したように、前者の場合は継手の伸縮によって地震時応力の軽減を図ろうとする手法であるのに対して、後者の場合は管体そのものの材料、強度によって地震時応力に耐えようとするものである。

#### (1) 管路継手が変位吸収性能を有する場合

管路継手が変位吸収性能を有する場合は、次式により継手相対変位量を算出する。

$$\ell = f_s \cdot L \cdot \epsilon$$

$f_s$ : 安全率

$L$ : 継手間距離

$\epsilon$ : 3-4-5で決定されたひずみ

さらに次式により安全度を照査する。

$$\ell \leq \ell_s$$

$\ell_s$ : 継手の許容伸縮量と抜け出し余裕長とを比較し、小なる方の値

上式が不成立の場合は、継手の性能を高めるか、継手設置間隔を狭め再照査を行う必要がある。

#### (2) 管路継手が変位吸収性能を有していない場合

次式により管体断面力を計算する。

$$N = f_s \cdot A \cdot E \cdot \epsilon$$

$f_s$ : 安全率

$A$ : 管体断面積

$E$ : 管体弾性係数

$\epsilon$  : 3—4—5 で決定されたひずみ

N : 軸力

さらに下式により安全度を照査する。

$$N \leq N_s$$

$N_s$  : 管体耐力

上式が不成立の場合は、管種、管厚の変更、あるいは鉄筋による補強等により管体耐力をアップさせ再照査を行う。ただし、上記対策を講ずることが不可能な場合は継手を設置し、前節(1)の検討を行う。

#### 4. ま と め

本調査は、急変地盤に埋設された下水道管路の耐震性について検討を行ったものであるが、この調査により下記事項をとりまとめた。

- 1) 下水道管路の地震被害の実態
- 2) 地盤急変部に埋設された下水道管路の耐震解析
- 3) 地盤急変部に埋設された下水道管路の耐震計算法

上記の検討により得られた主な成果は次の3点である。

- 1) 下水道管路の地震時被害は地盤急変部に集中している。
- 2) 下水道管路の地震時被害率は、マンホール周辺（接続部から10m程度）にて特に高い。
- 3) 埋設表層地盤の固有周期の差が大きい程、地震時の埋設管ひずみ大きい。この傾向は、管路に継手がある場合の継手相対変位量についても同様である。

これらの成果から判断して、地盤急変部あるいはマンホール周辺部において、地震時に発生するひずみを継手で吸収するか、もしくは管の剛性を強くすることにより下水道管路の地震時被害を大巾に減少することが可能であると考えられた。

今後は、継手や管本体の地震時挙動に関して動的实验をも含めた詳細な検討を行い、ここで提案した耐震計算法をより合理的、実用的なものへ改善してゆくことが必要であると考ええる。

また、急変地盤以外では、下記の3点について今後の調査、研究が必要と考えられる。

- 1) 下水道管路とマンホール、その他構造物との接続部
- 2) 地震時に液状化の危険性のある地盤に埋設された下水道管路
- 3) 拠点施設（ポンプ場、処理場等）

## 謝 辞

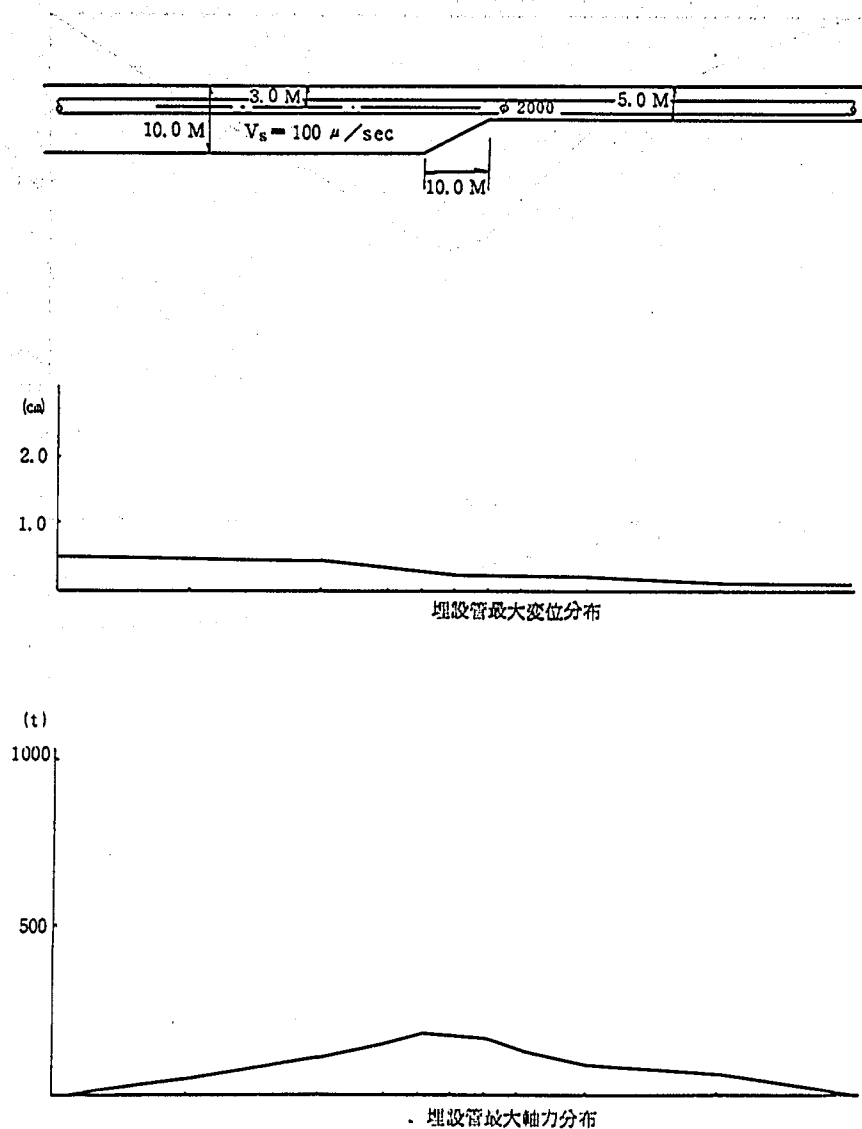
本調査を実施するにあたり、建設省東北地方建設局仙台工事事務所、仙台市建設局下水道部の方々に多大の御協力を頂いた。ここに記して深く感謝の意を表する。

## 参 考 文 献

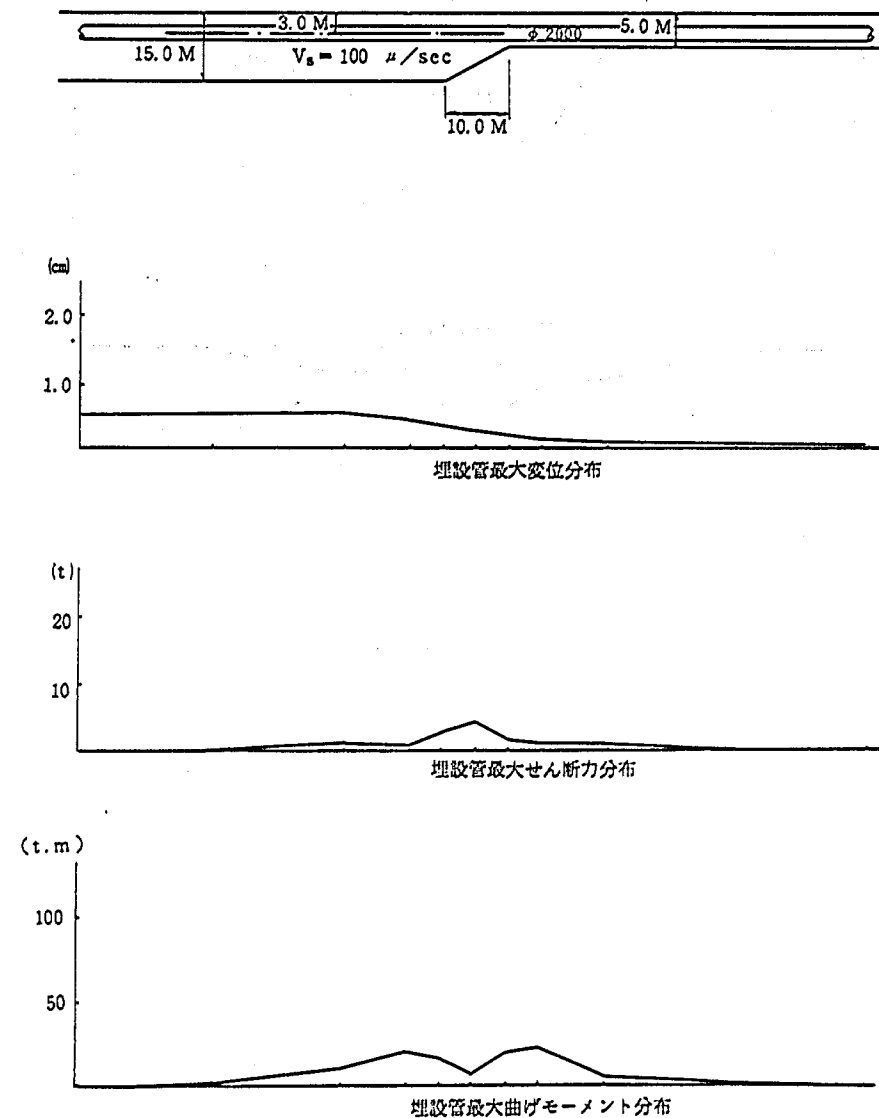
- 1) 日本下水道協会：下水道施設地震対策指針と解説
- 2) 日本下水道協会：下水道施設設計指針と解説
- 3) 下水道協会誌：'78 宮城県沖地震下水道施設被害報告 (1), Vol. 16, No. 180
- 4) 日本ヒューム管協会：ヒューム管設計施工要覧
- 5) 栗林, 川島, 柴田：沈理トンネルの軸線上の断面力および変位の地震応答解析法に関する研究, 建設省土木研究所資料第1193号, 昭和52年3月
- 6) 栗林, 川島, 柴田：地中構造物の地震応答解析プログラムDAST-1仕様書(その2), 建設省土木研究所資料第1312号, 昭和53年3月
- 7) 片山恒雄, 増井由春：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Vol.31, No.7, '79.7
- 8) 日本ダクタイル鉄管協会：1982年浦河沖地震による水道管路被害調査
- 9) F.E.リチャート, JRホール Jr, RDウッズ：土と基礎の振動

# 附 属 資 料

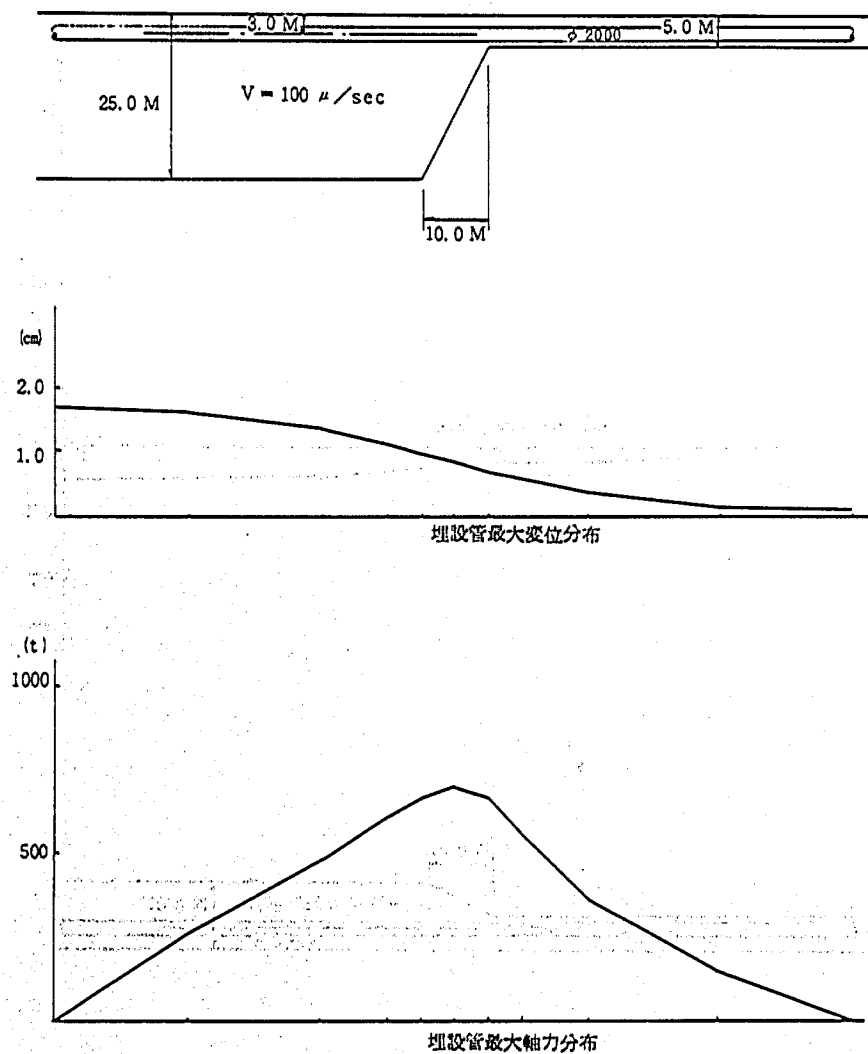
— 下水道管路の地震応答解析結果 —



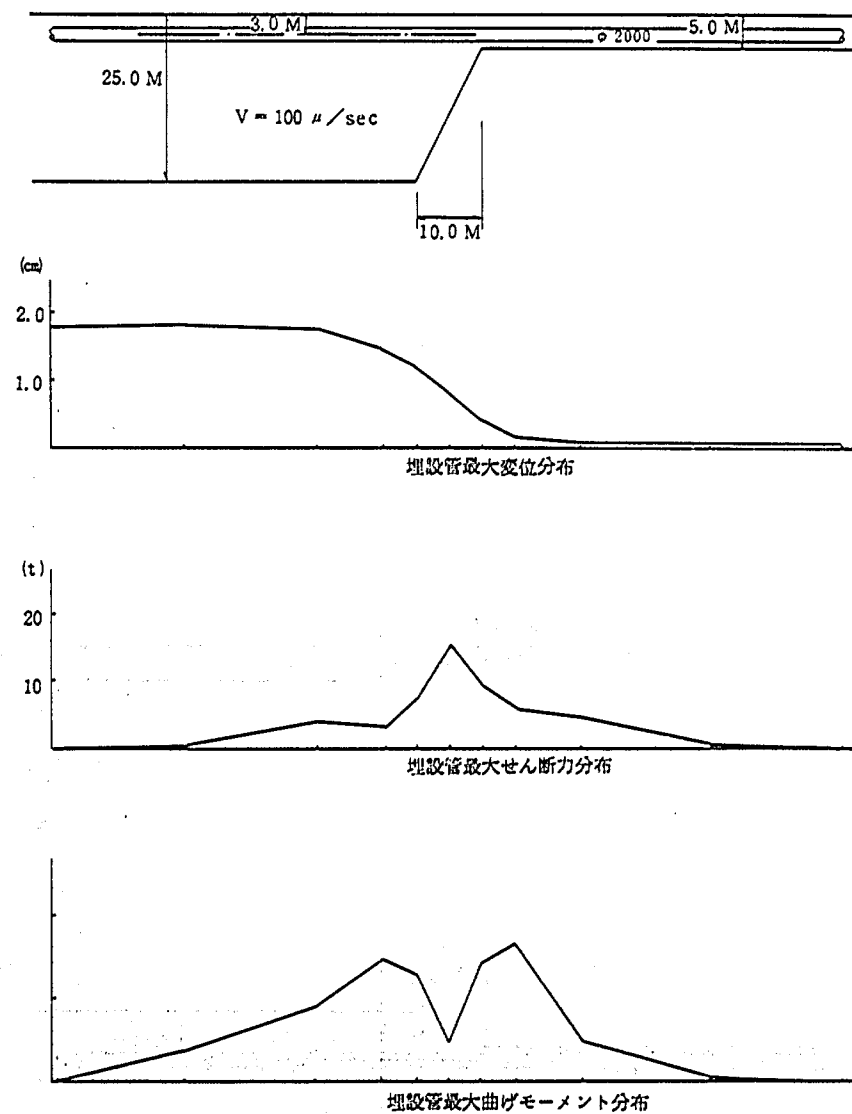
付図1 ケース1 管軸方向入力時応答分布図



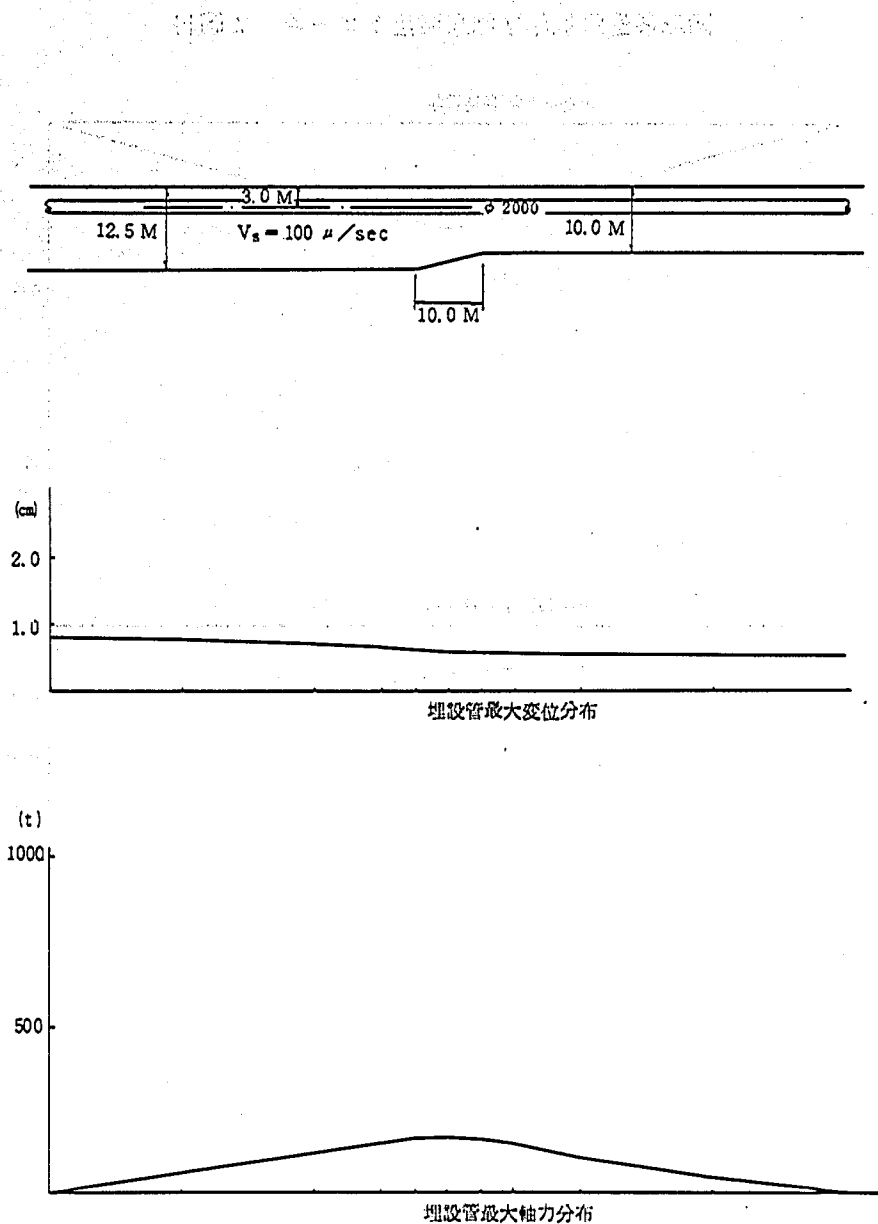
付図2 ケース1 管軸直角方向入力時応答分布図



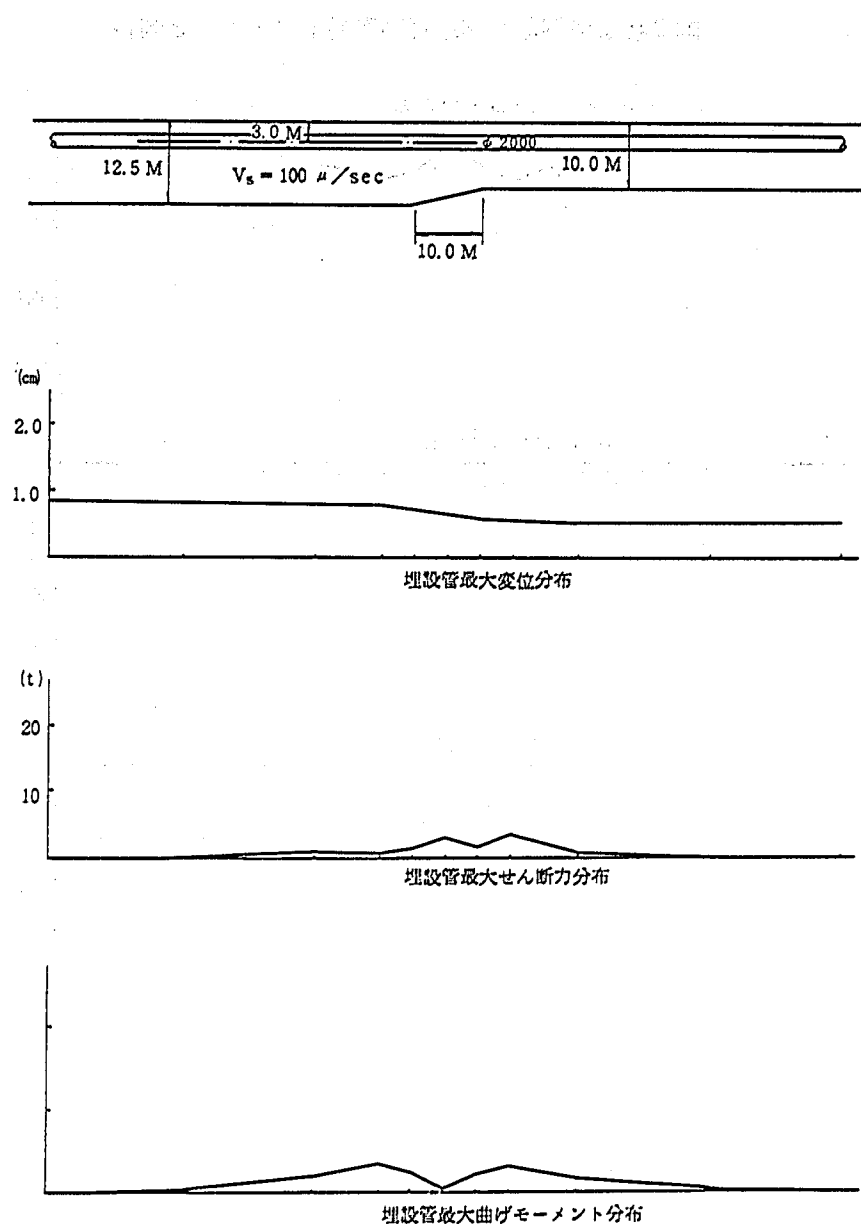
付図3 ケース2 管軸方向入力時応答分布図



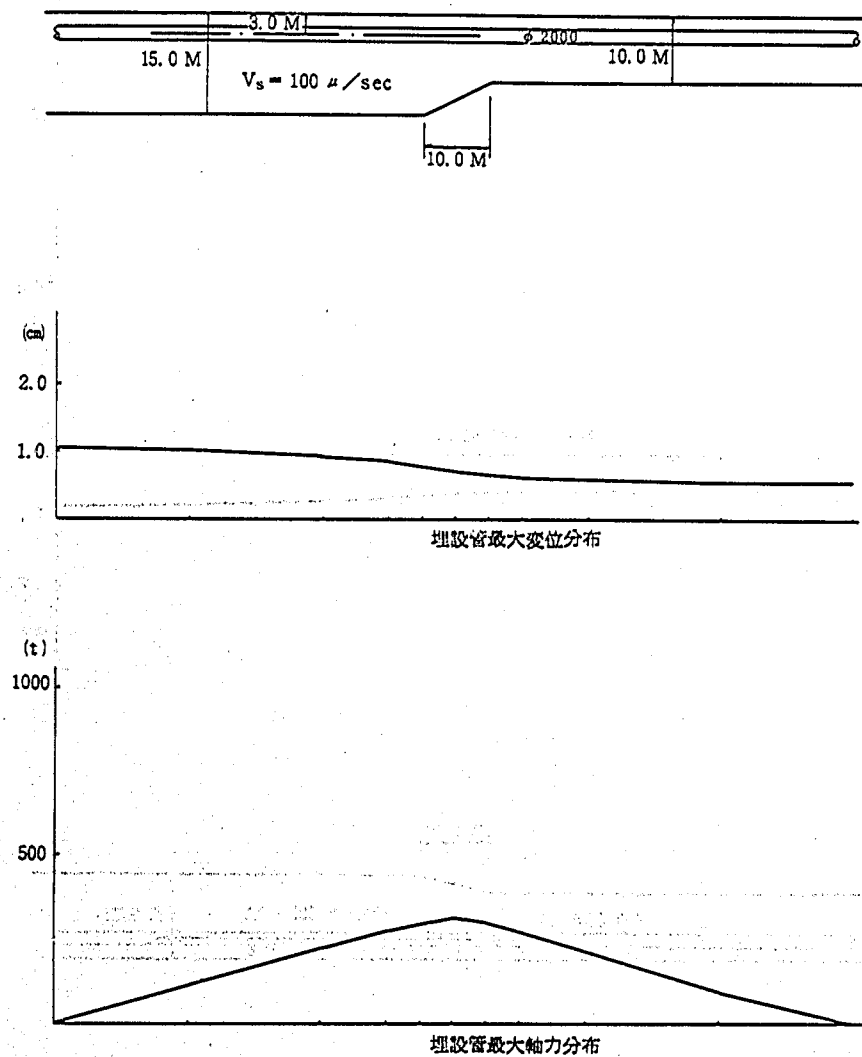
付図4 ケース2 管直角方向入力時応答分布図



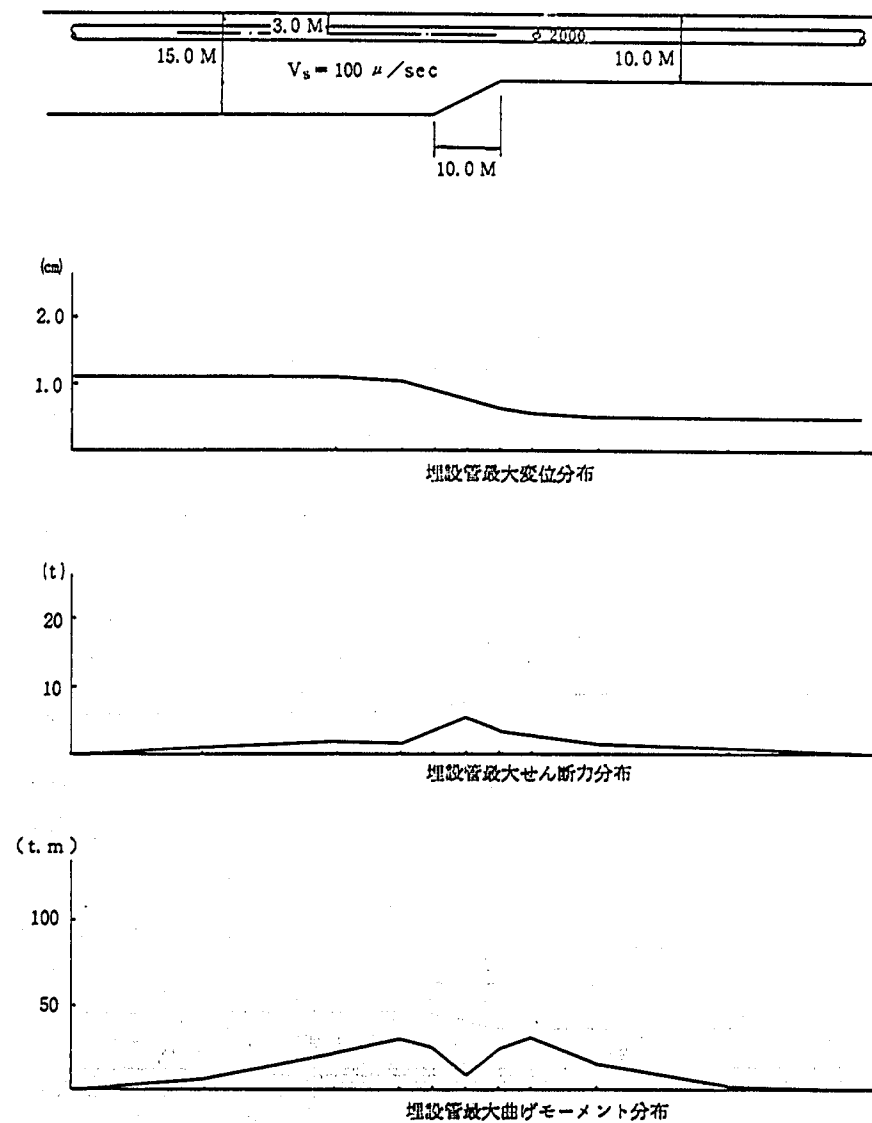
付図5 ケース3 管軸方向入力時応答分布図



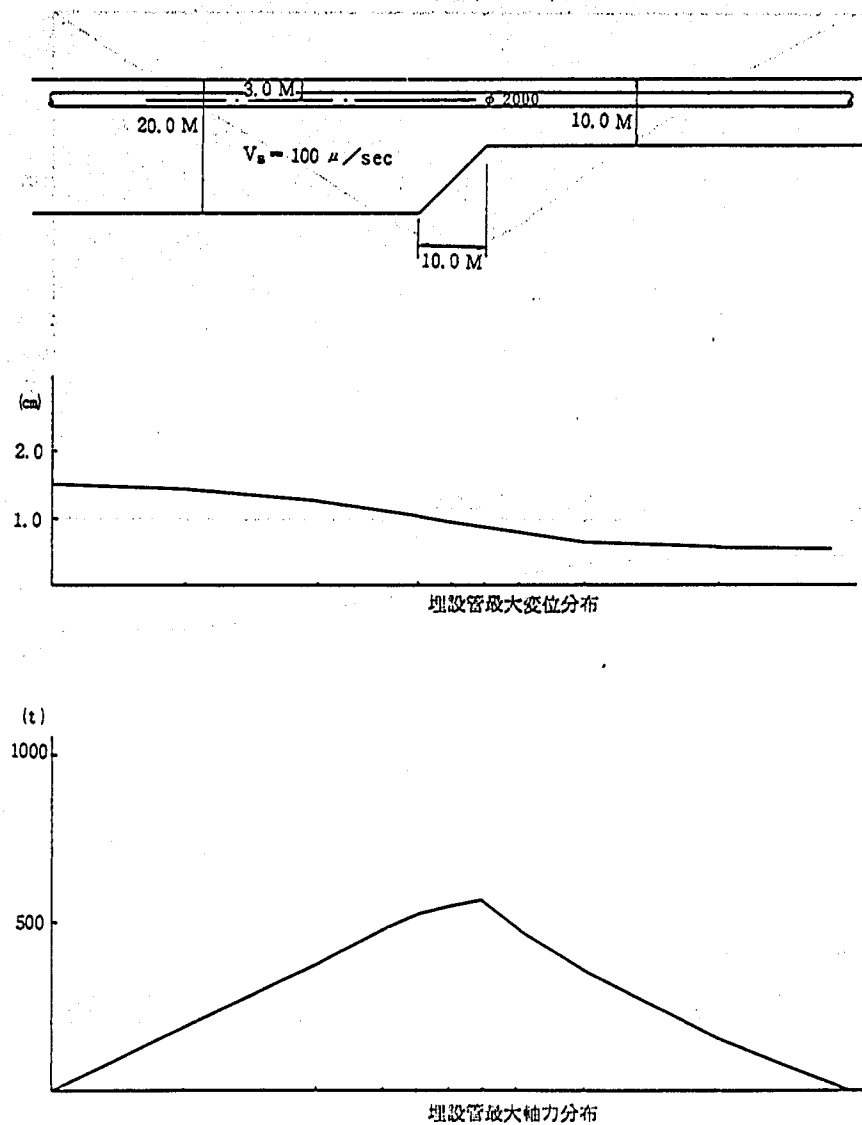
付図6 地盤急変度と継手相対変位との関係



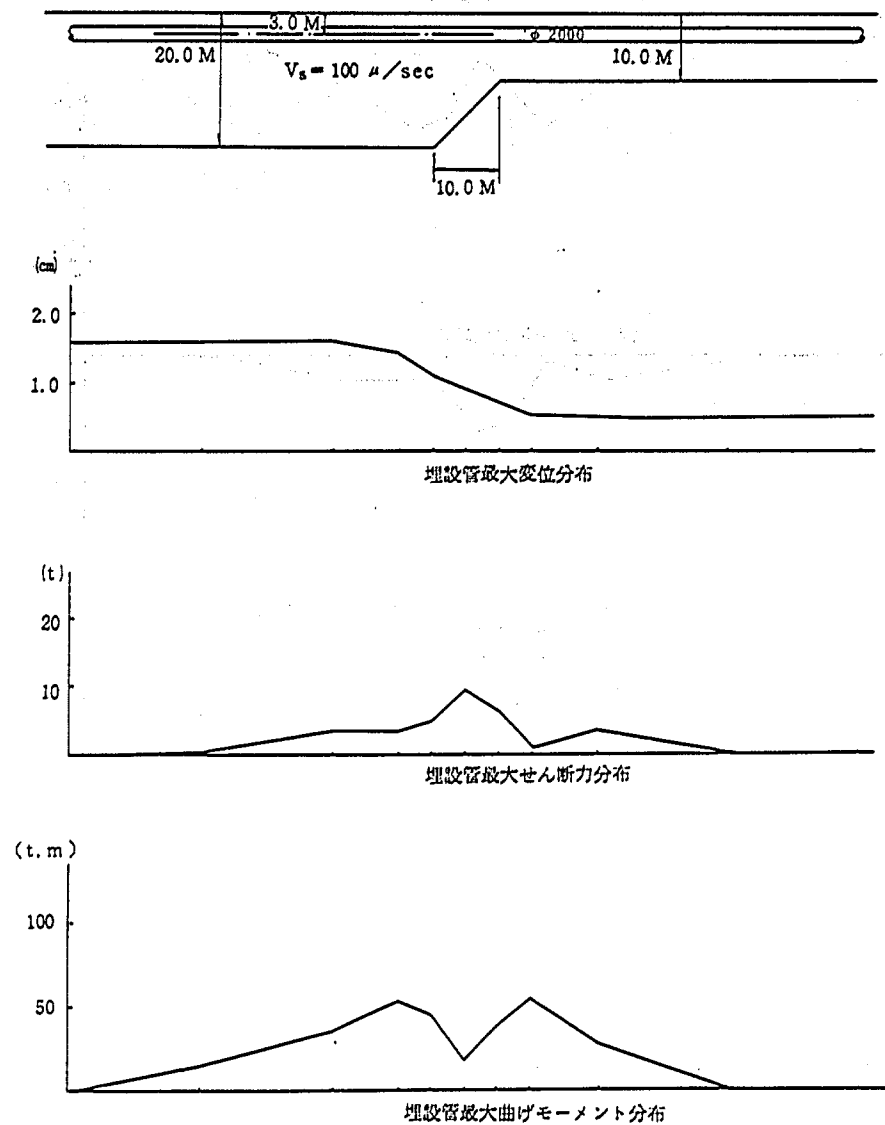
付図7 ケース4 管軸方向入力時応答分布図



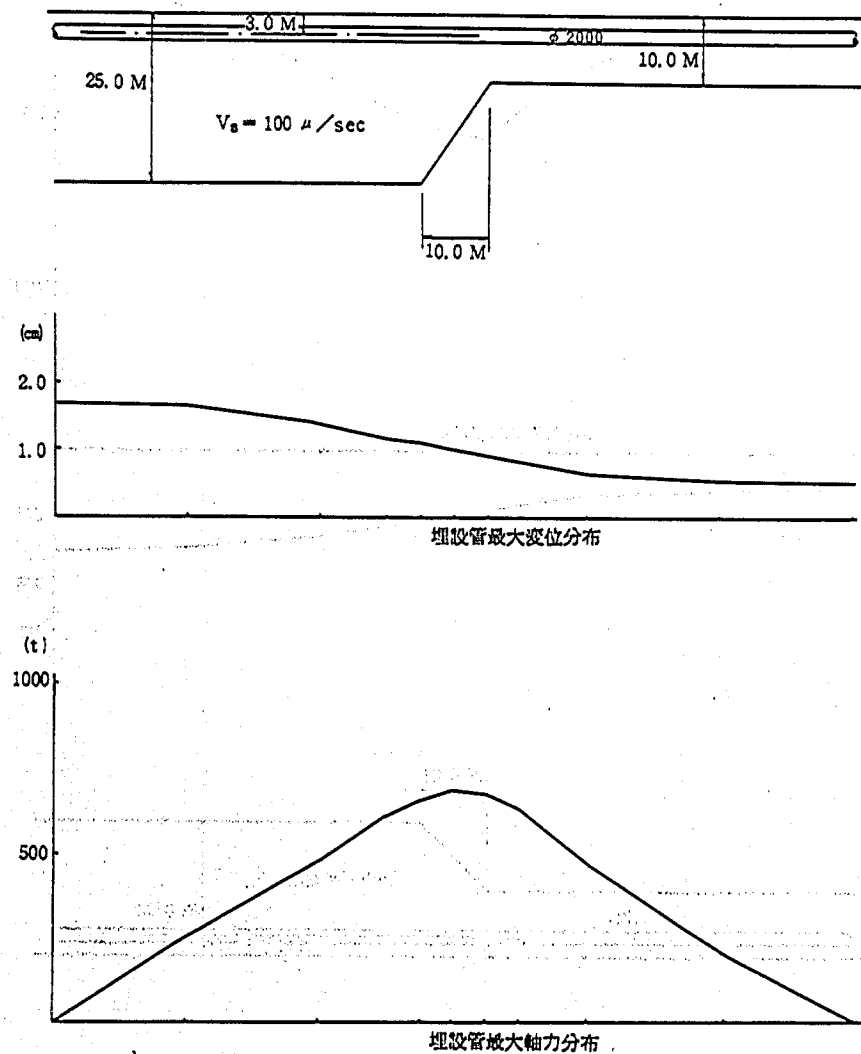
付図8 ケース4 管軸直角方向入力時応答分布図



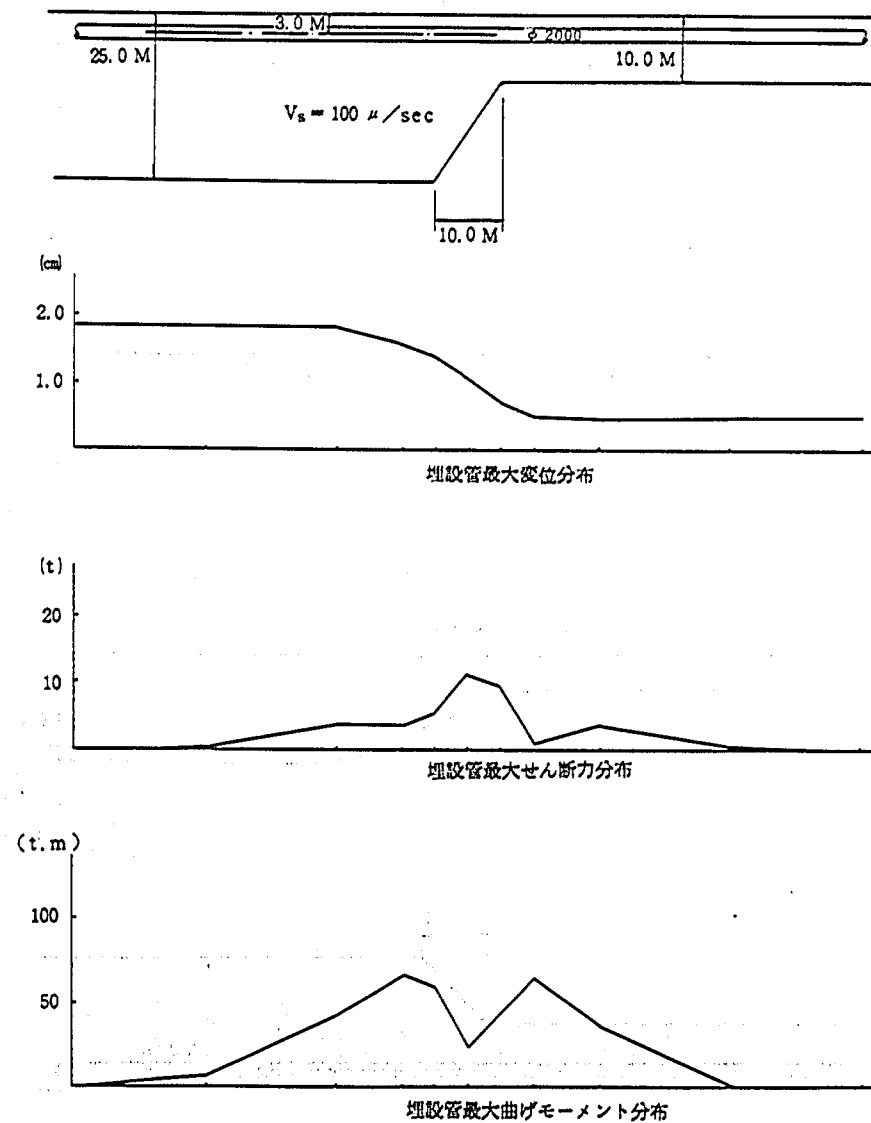
付図9 ケース5 管軸方向入力時応答分布図



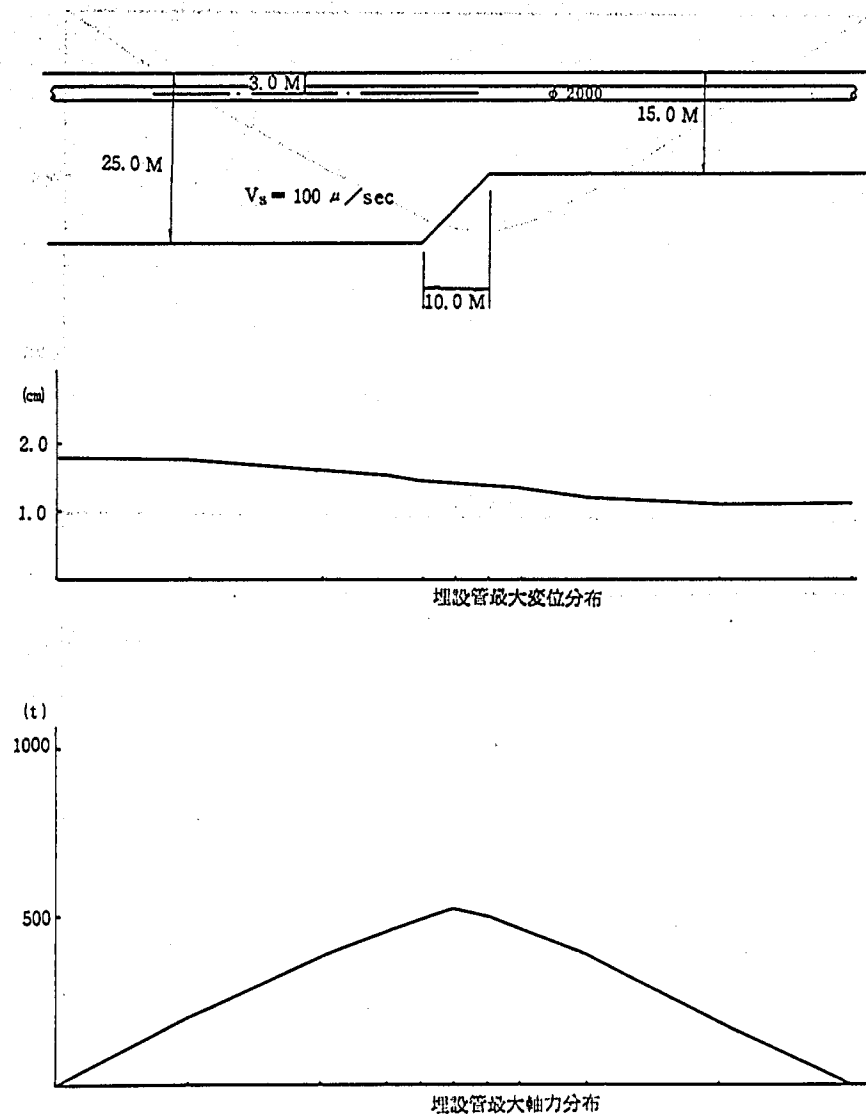
付図10 ケース5 管軸直角方向入力時応答分布図



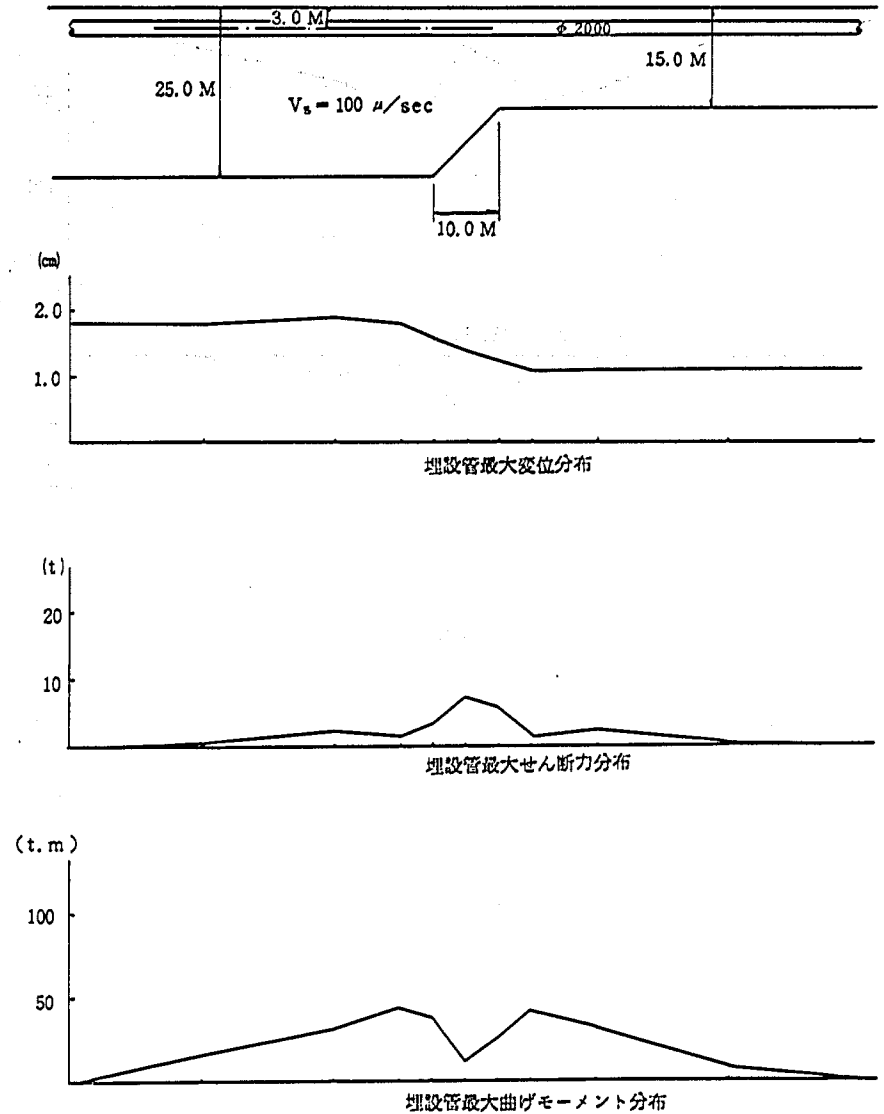
付図11 ケース 6 管軸方向入力時応答分布図



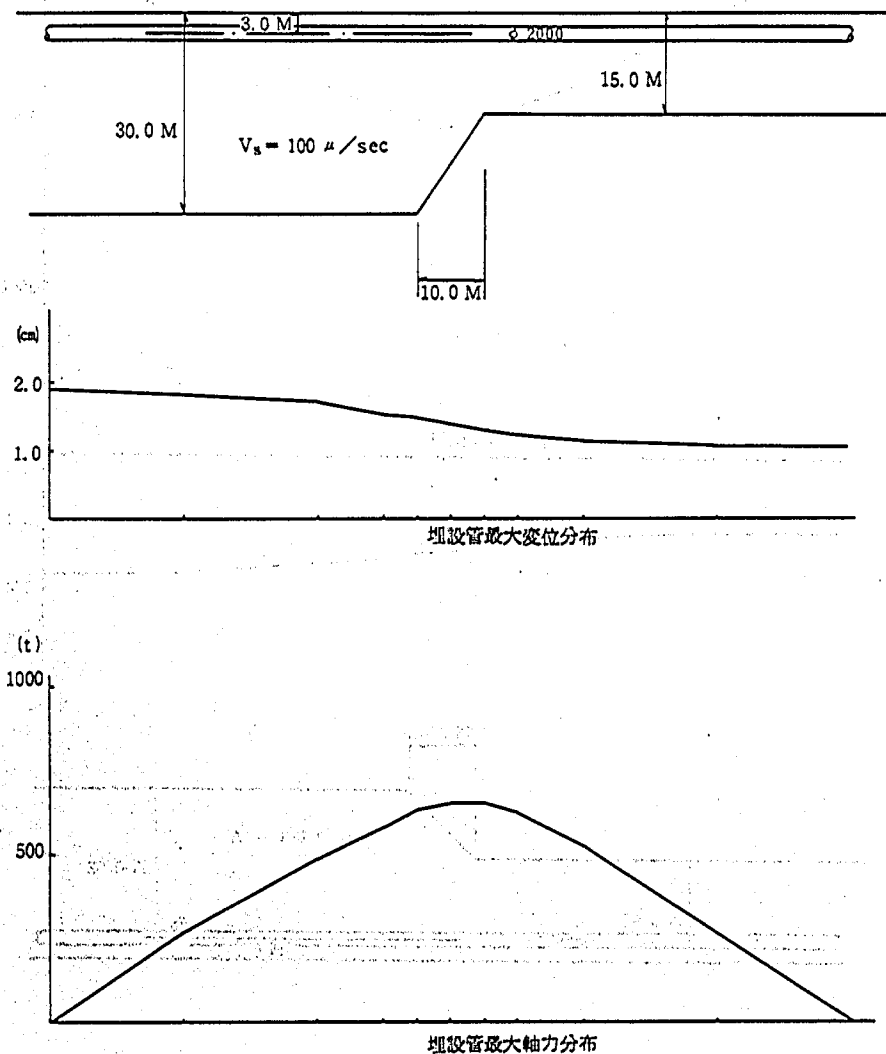
付図12 ケース 6 管軸直角方向入力時応答分布図



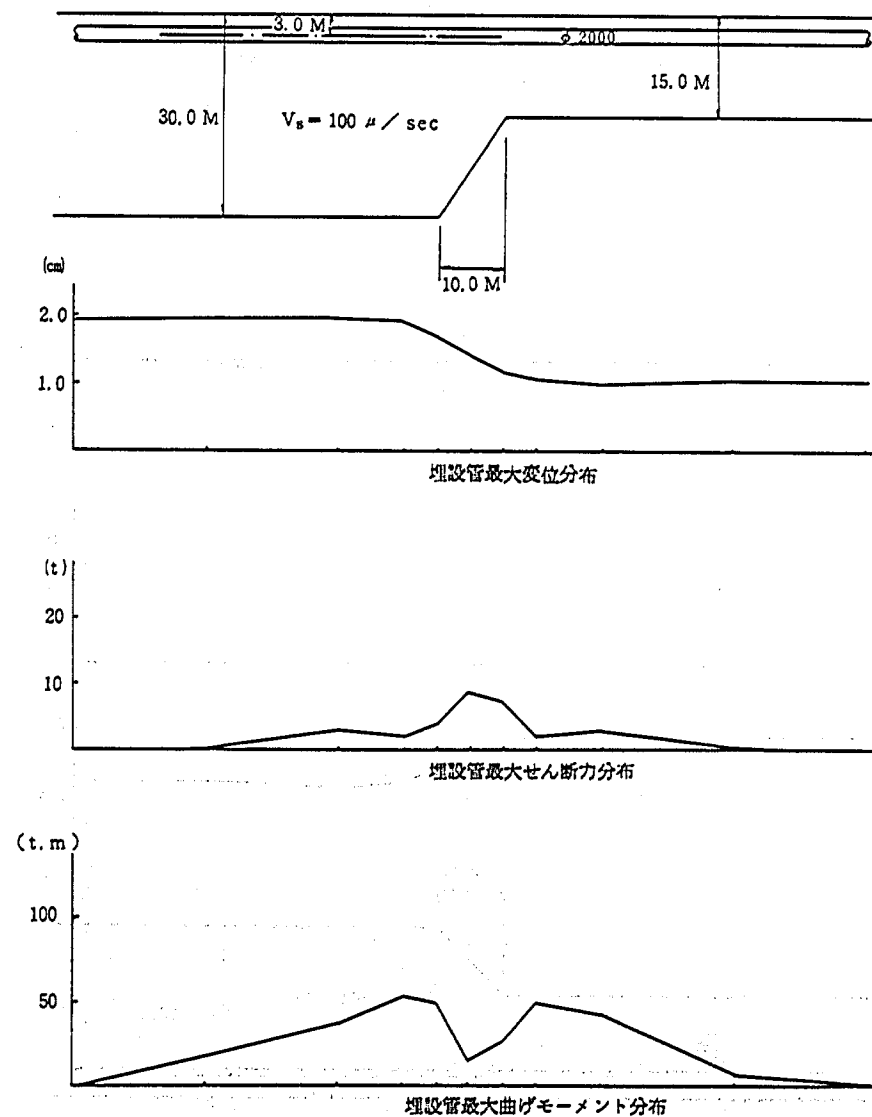
付図13 ケース7 管軸方向入力時応答分布図



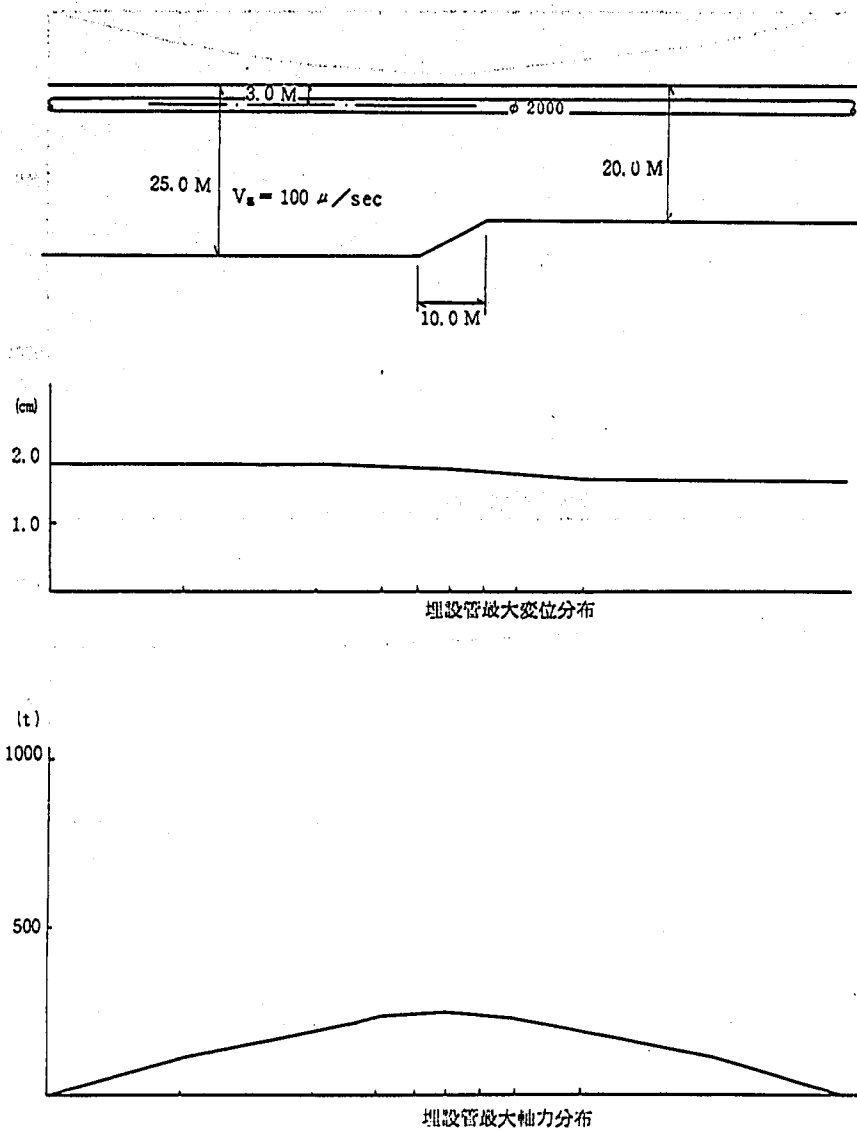
付図14 ケース7 管軸直角方向入力時応答分布図



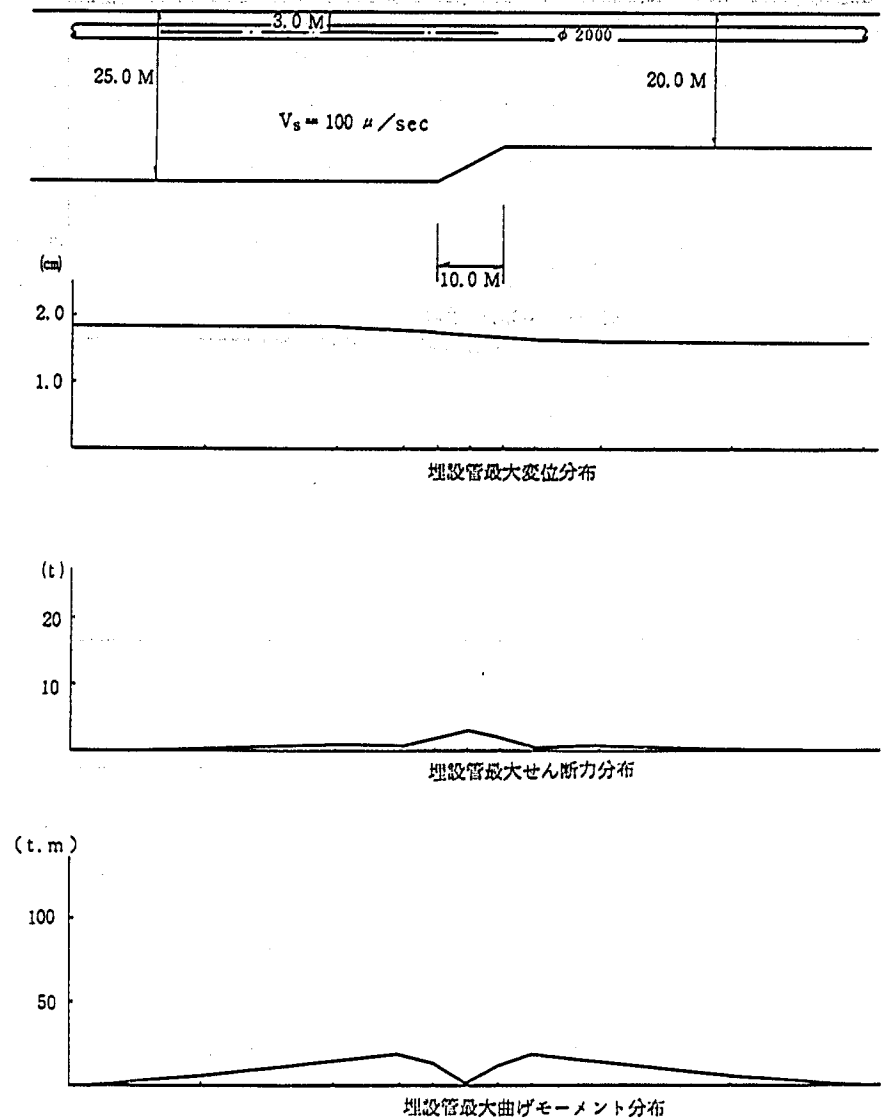
付図15 ケース8 管軸方向入力時応答分布図



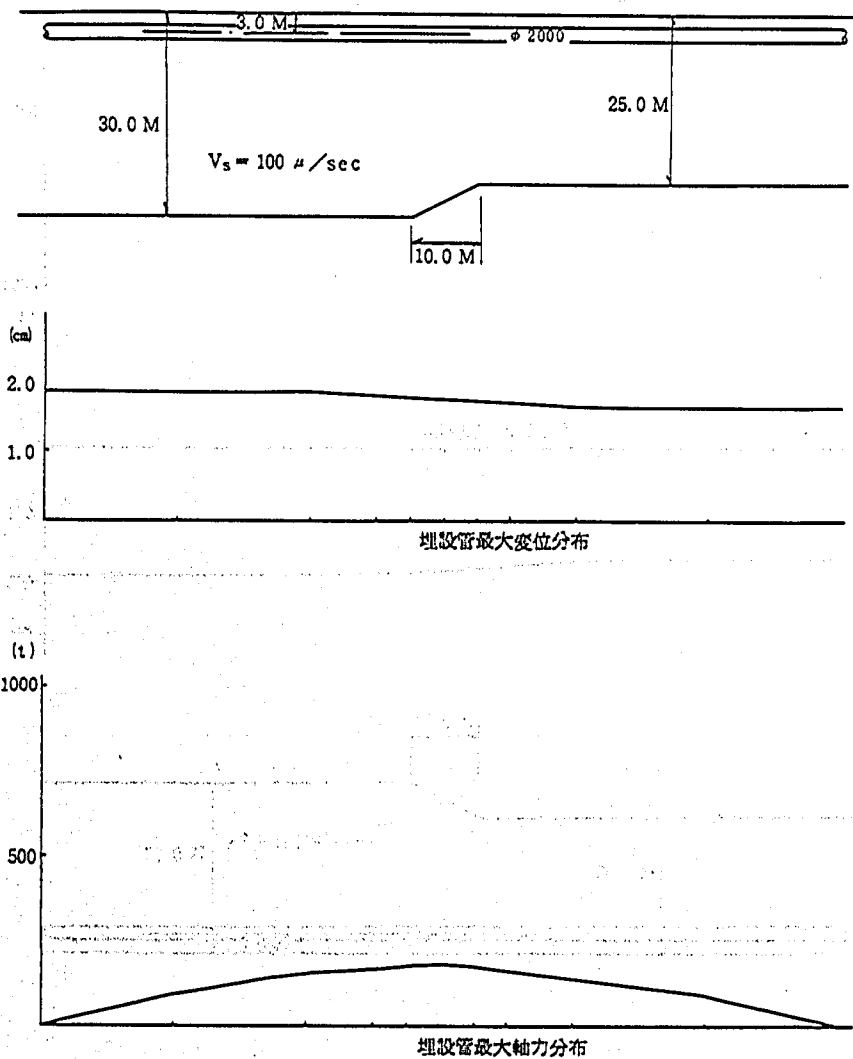
付図16 ケース8 管軸直角方向入力時応答分布図



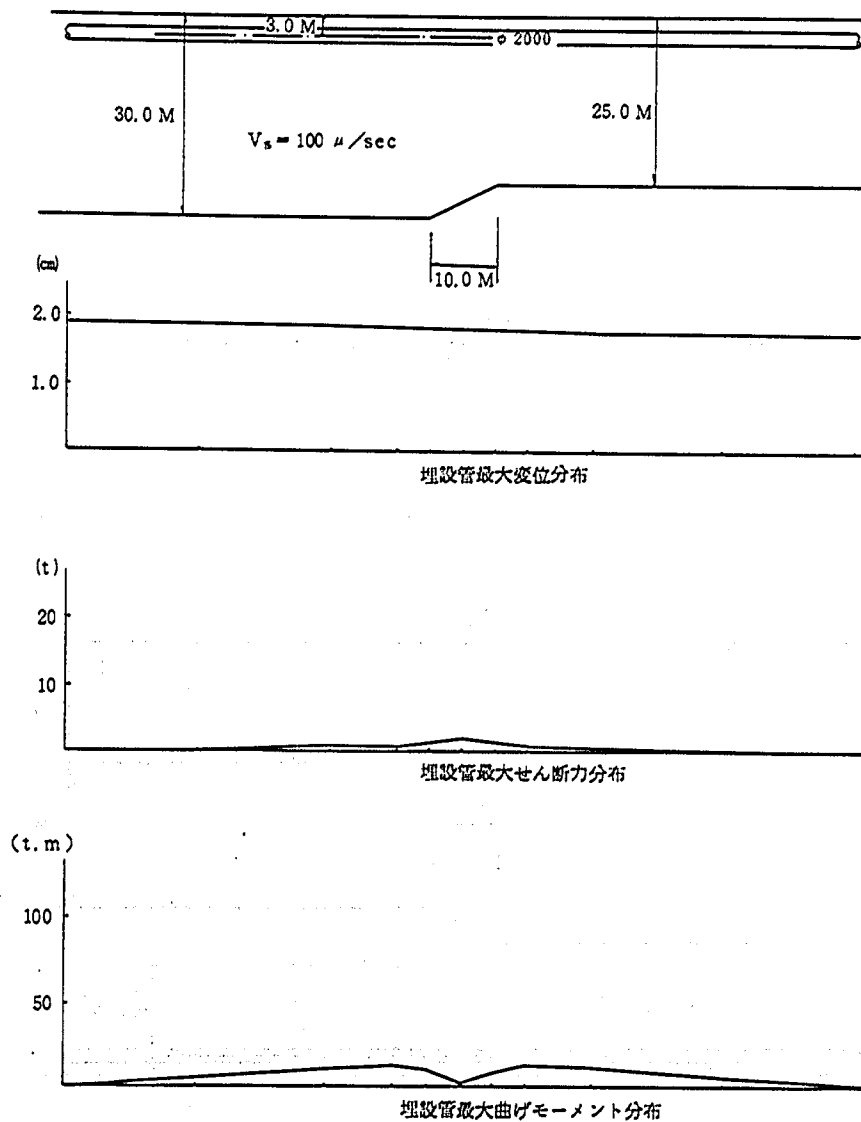
付図17 ケース 9 管軸方向入力時応答分布図



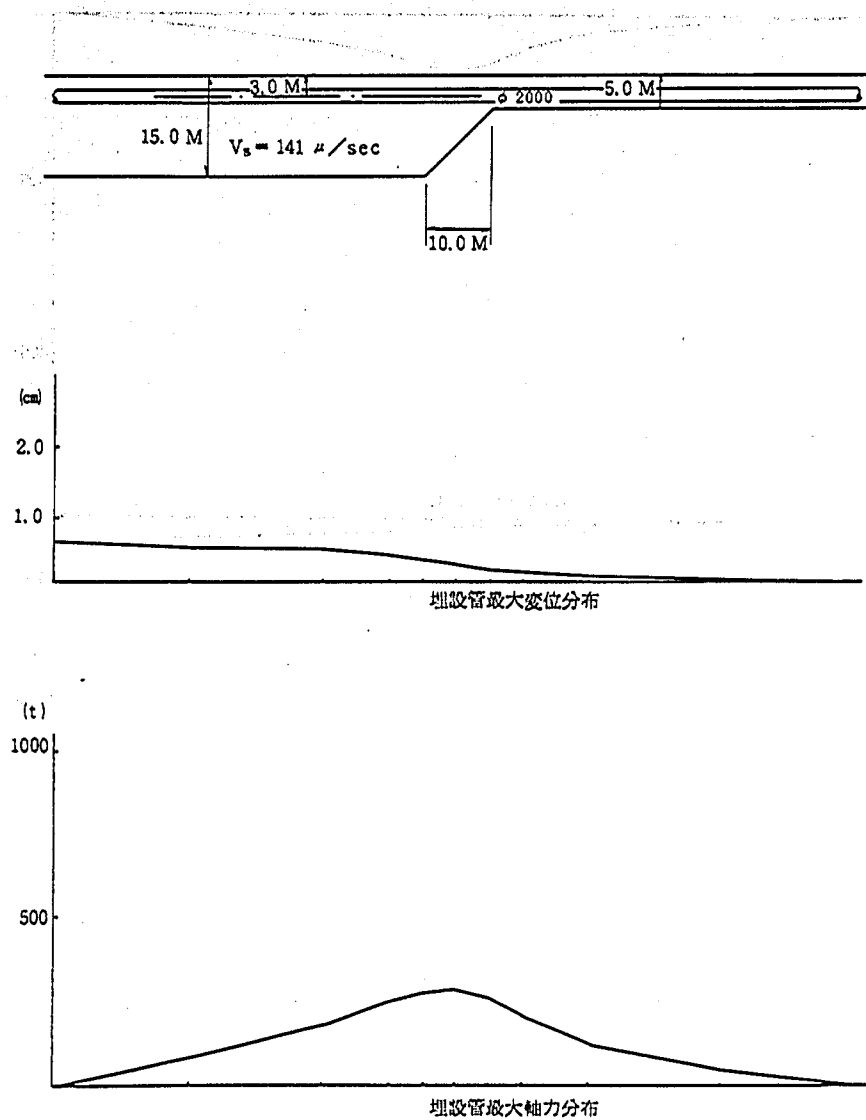
付図18 ケース 9 管軸直角方向入力時応答分布図



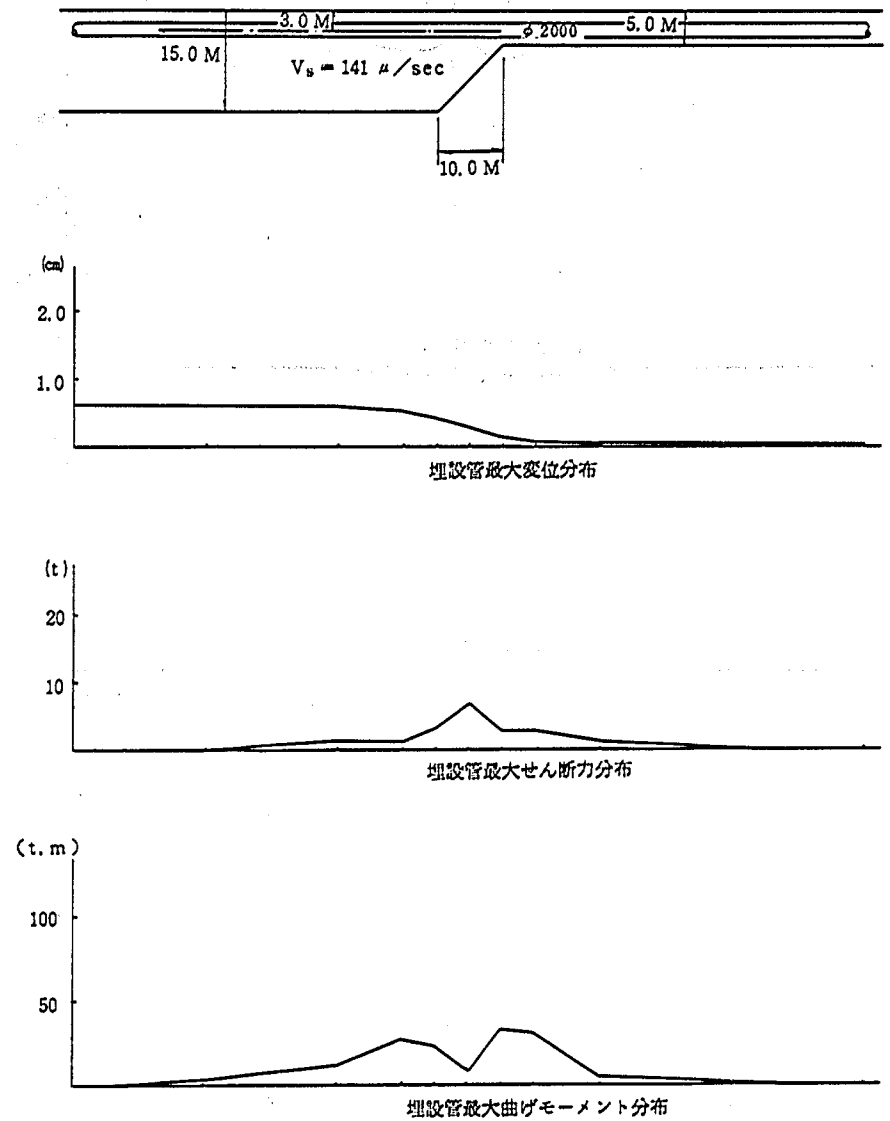
付図19 ケース10管軸方向入力時応答分布図



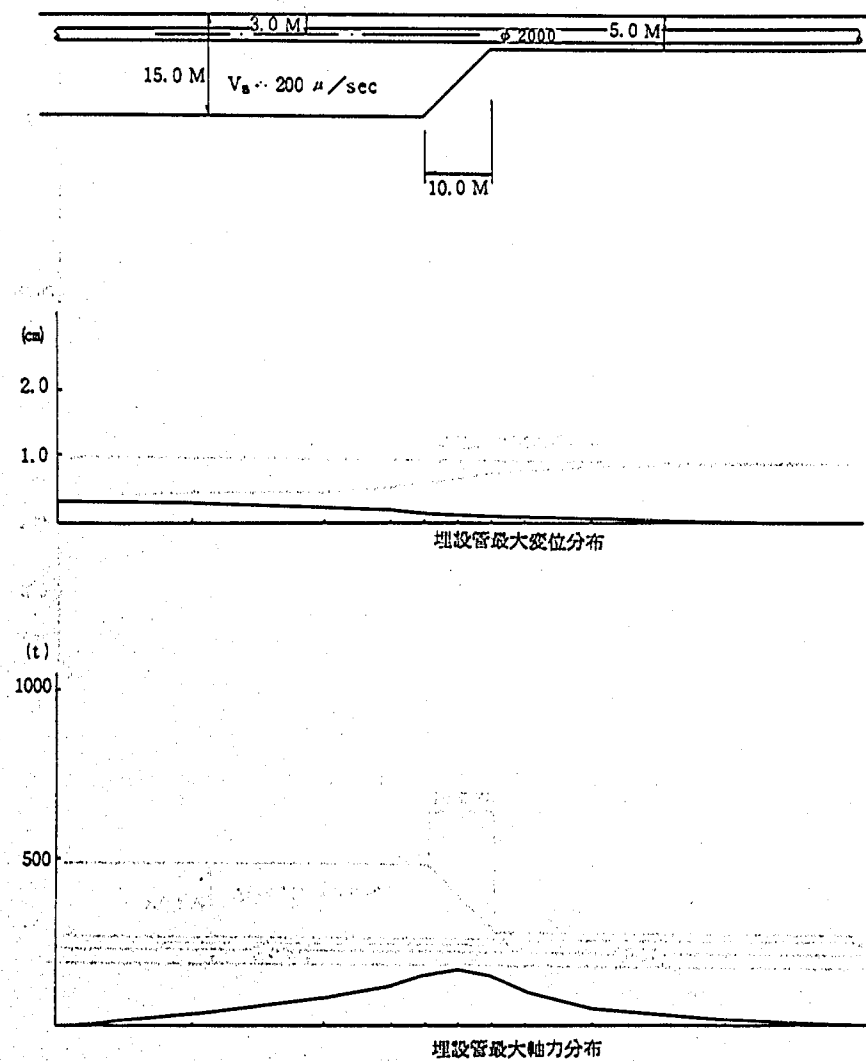
付図20 ケース10管軸直角方向入力時応答分布図



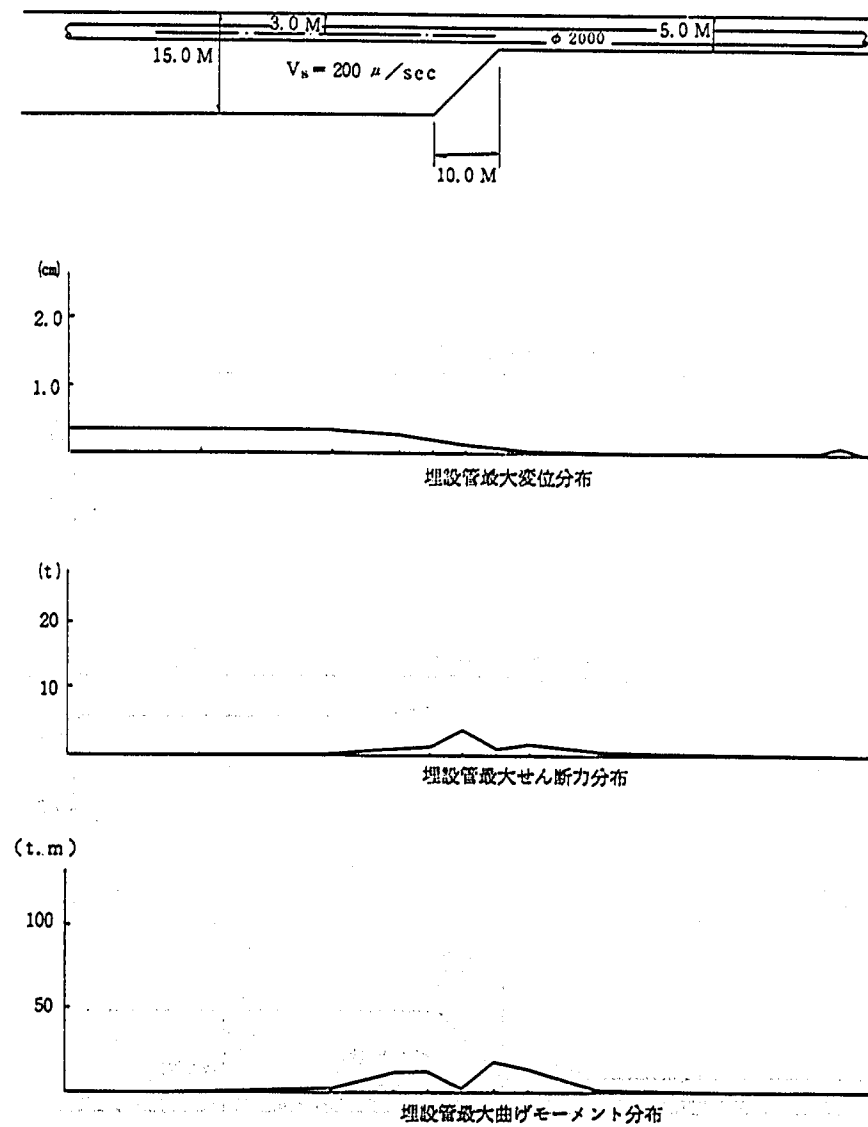
付図21 ケース11管軸方向入力時応答分布図



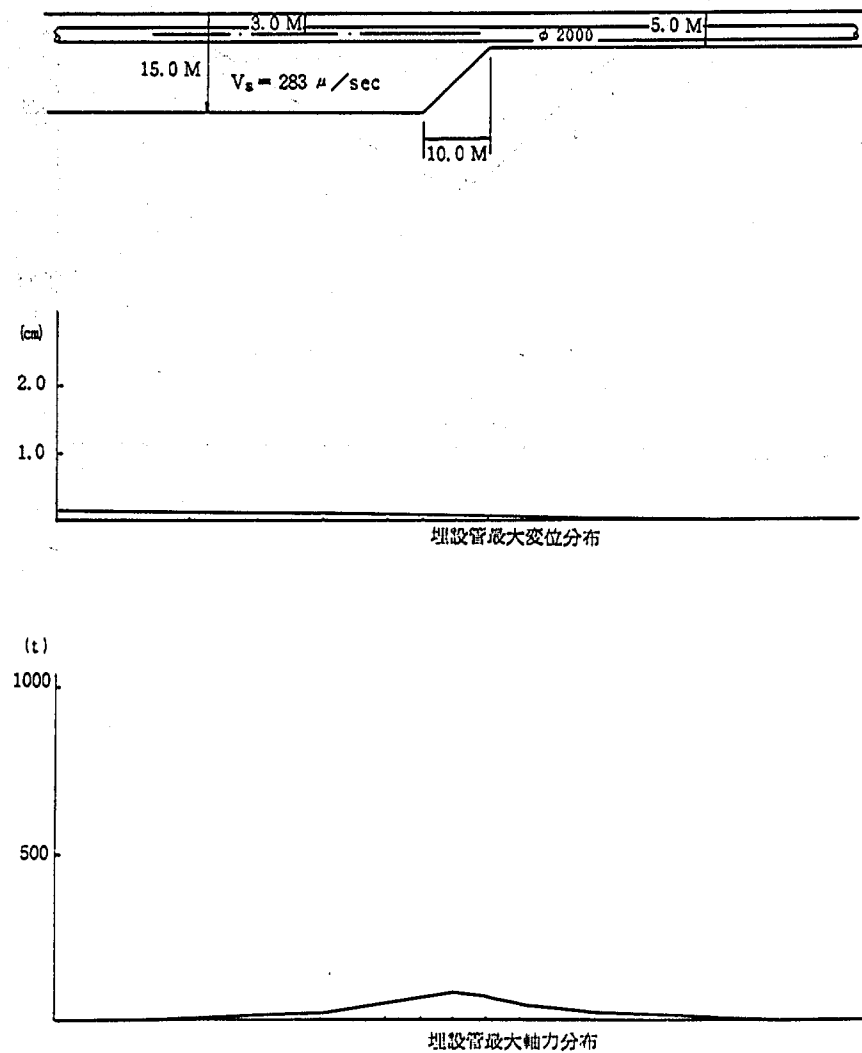
付図22 ケース11管軸直角方向入力時応答分布図



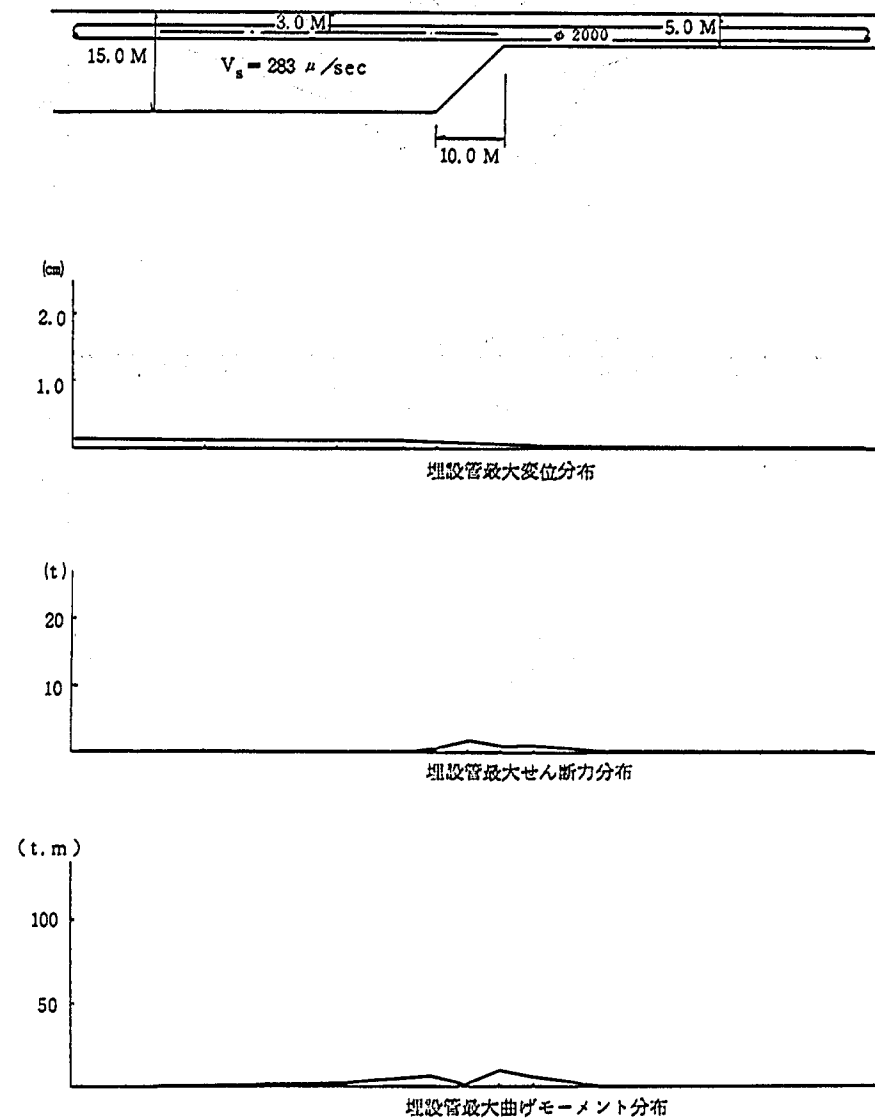
付図23 ケース12管軸方向入力時応答分布図



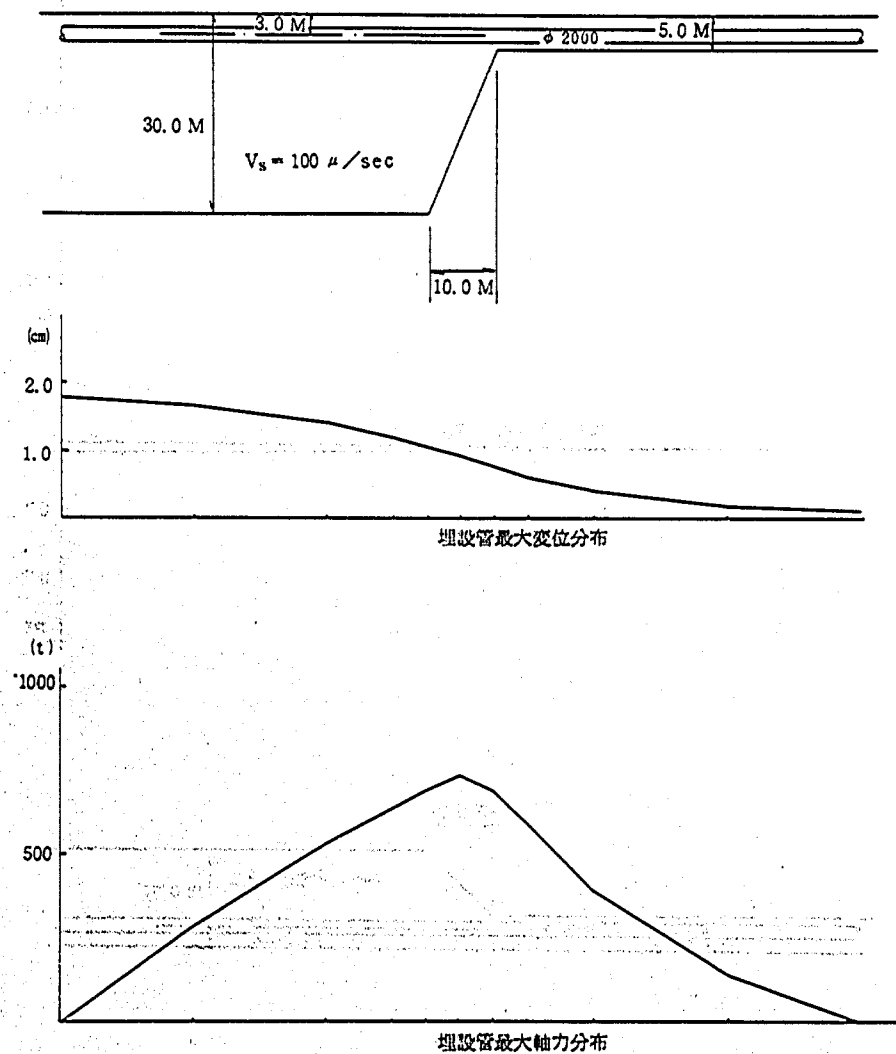
付図24 ケース12管軸直角方向入力時応答分布図



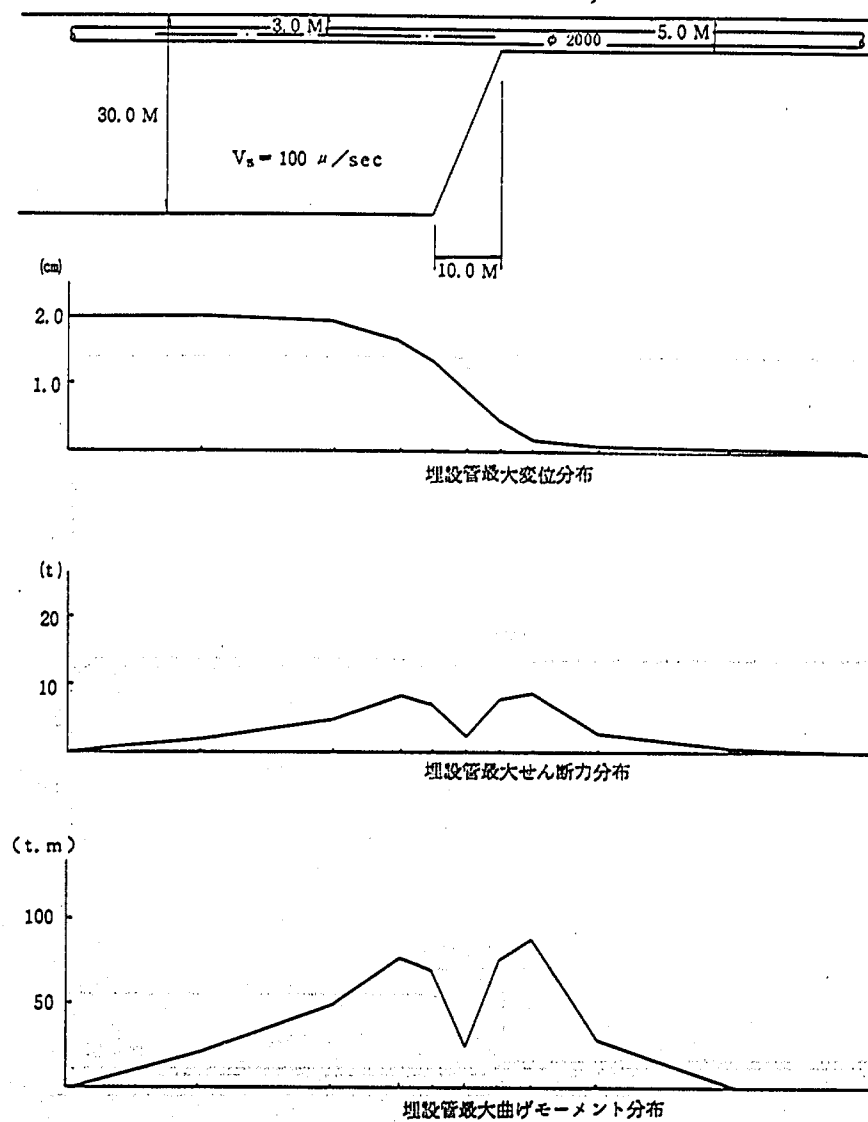
付図25 ケース13管軸方向入力時応答分布図



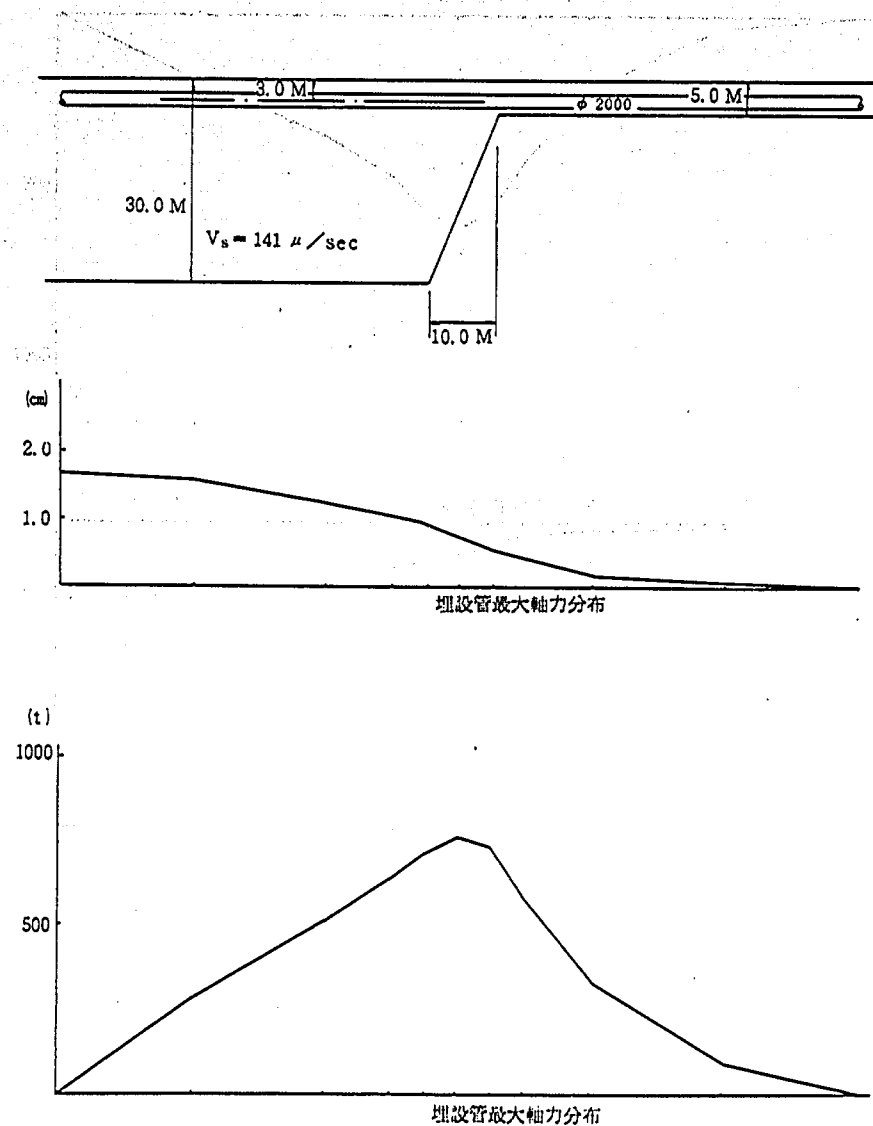
付図26 ケース13管軸直角方向入力時応答分布図



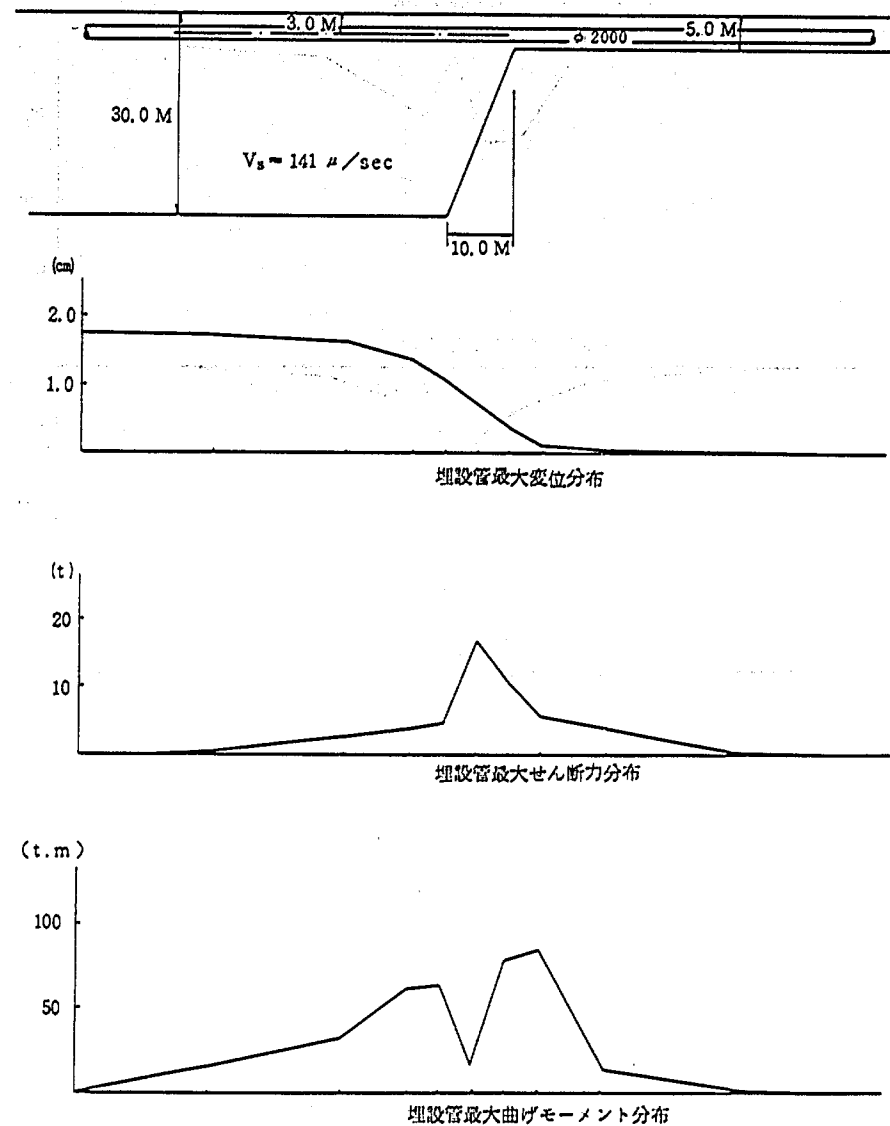
付図27 ケース14管軸方向入力時応答分布図



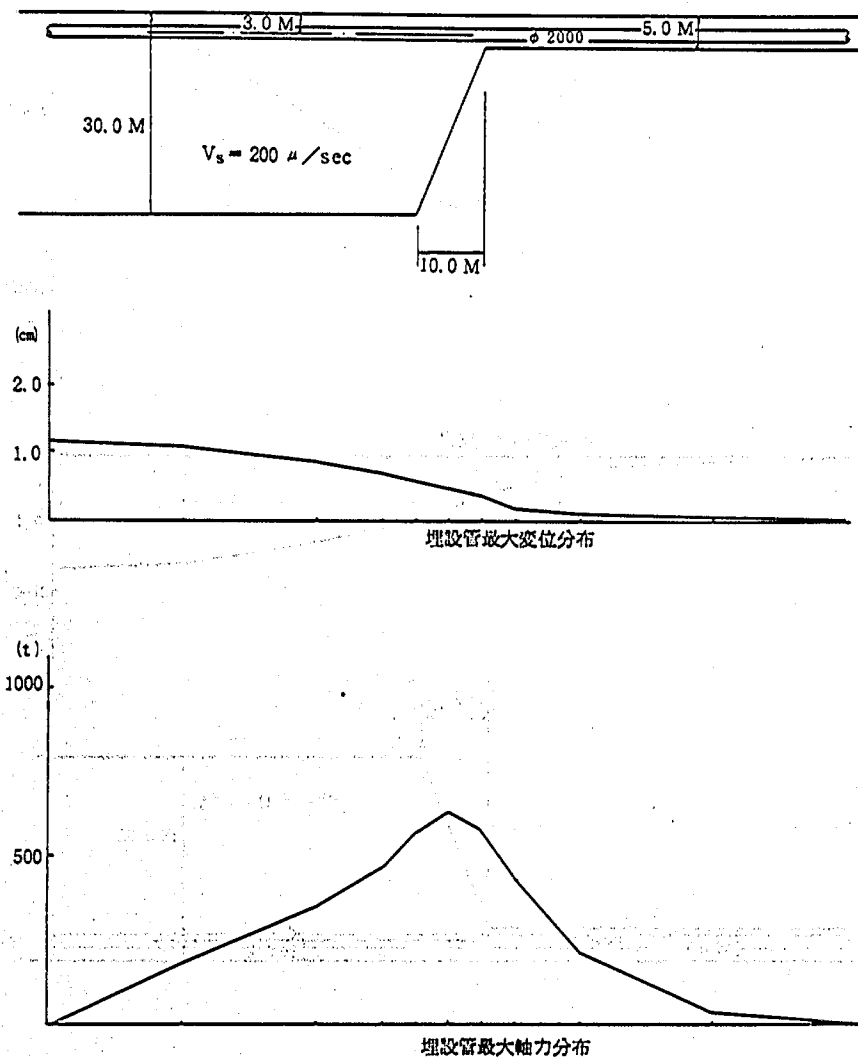
付図28 ケース14管軸直角方向入力時応答分布図



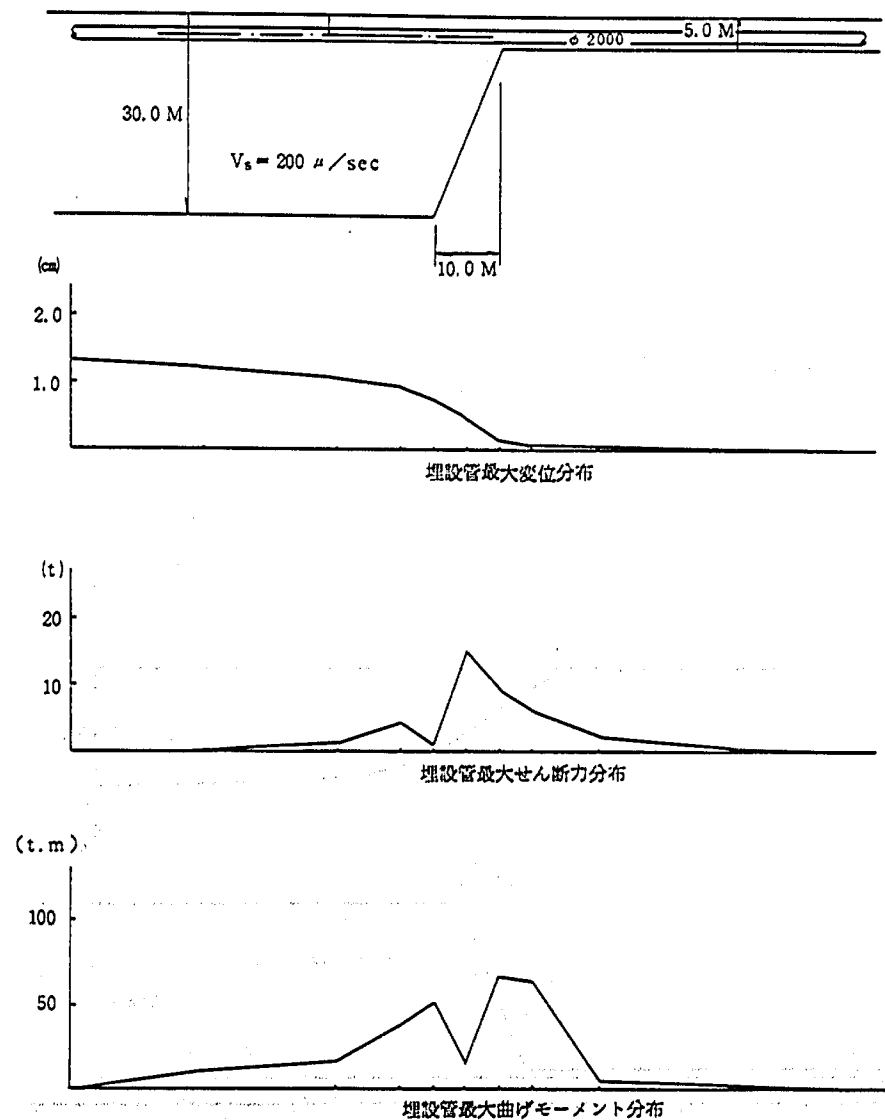
付図29 ケース15管軸方向入力時応答分布図



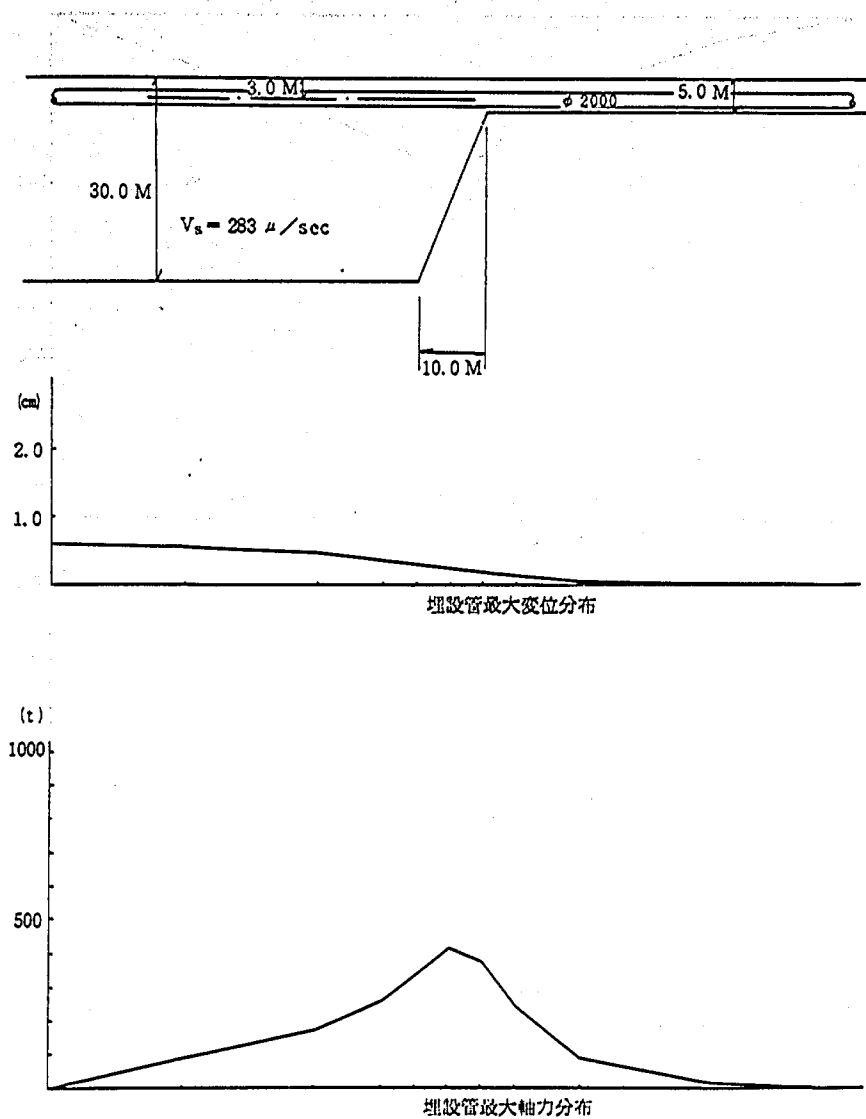
付図30 ケース15管軸直角方向入力時応答分布図



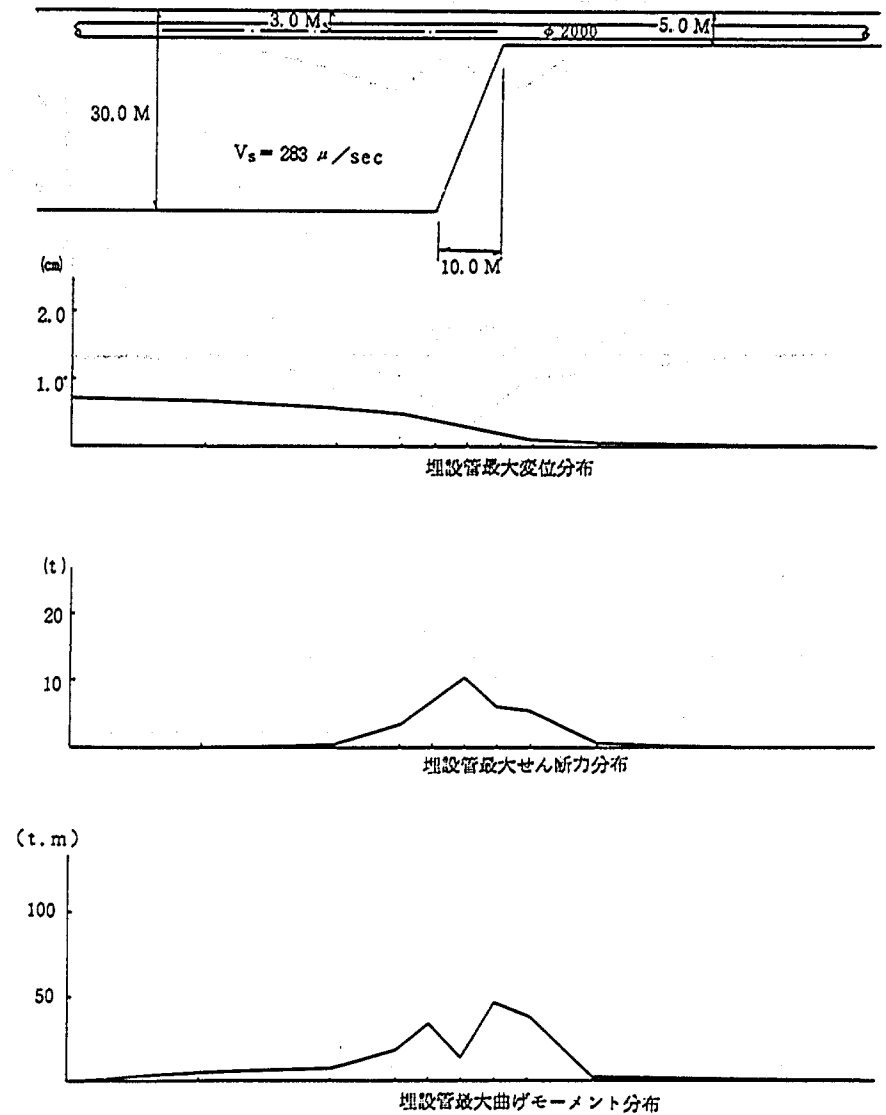
付図31 ケース16管軸方向入力時応答分布図



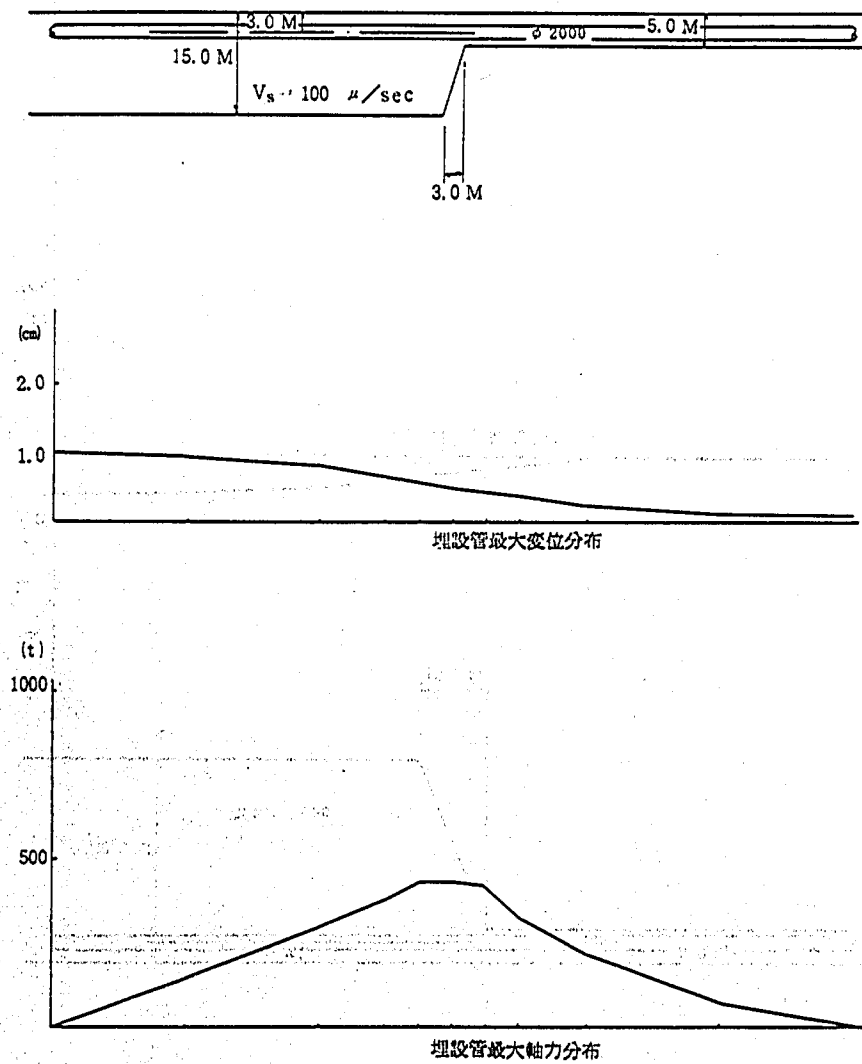
付図32 ケース16管軸直角方向入力時応答分布図



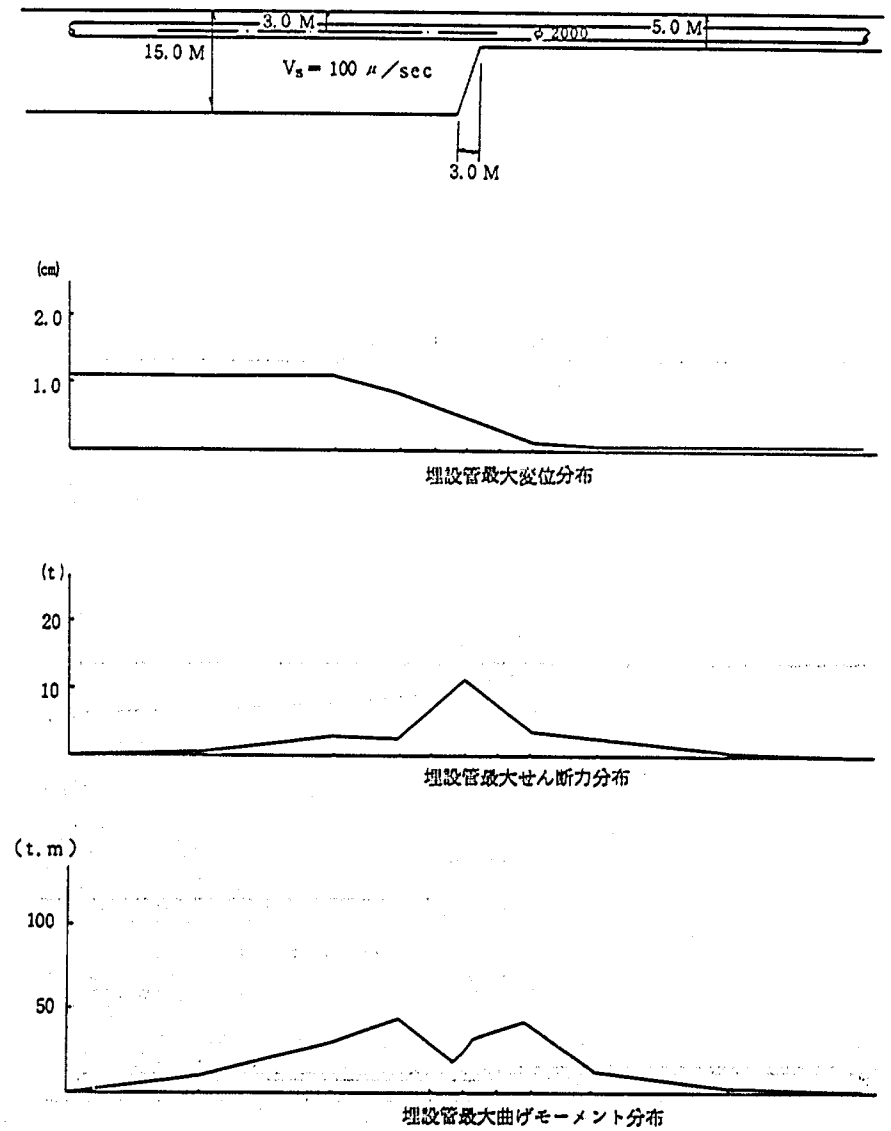
付図33 ケース17管軸方向入力時応答分布図



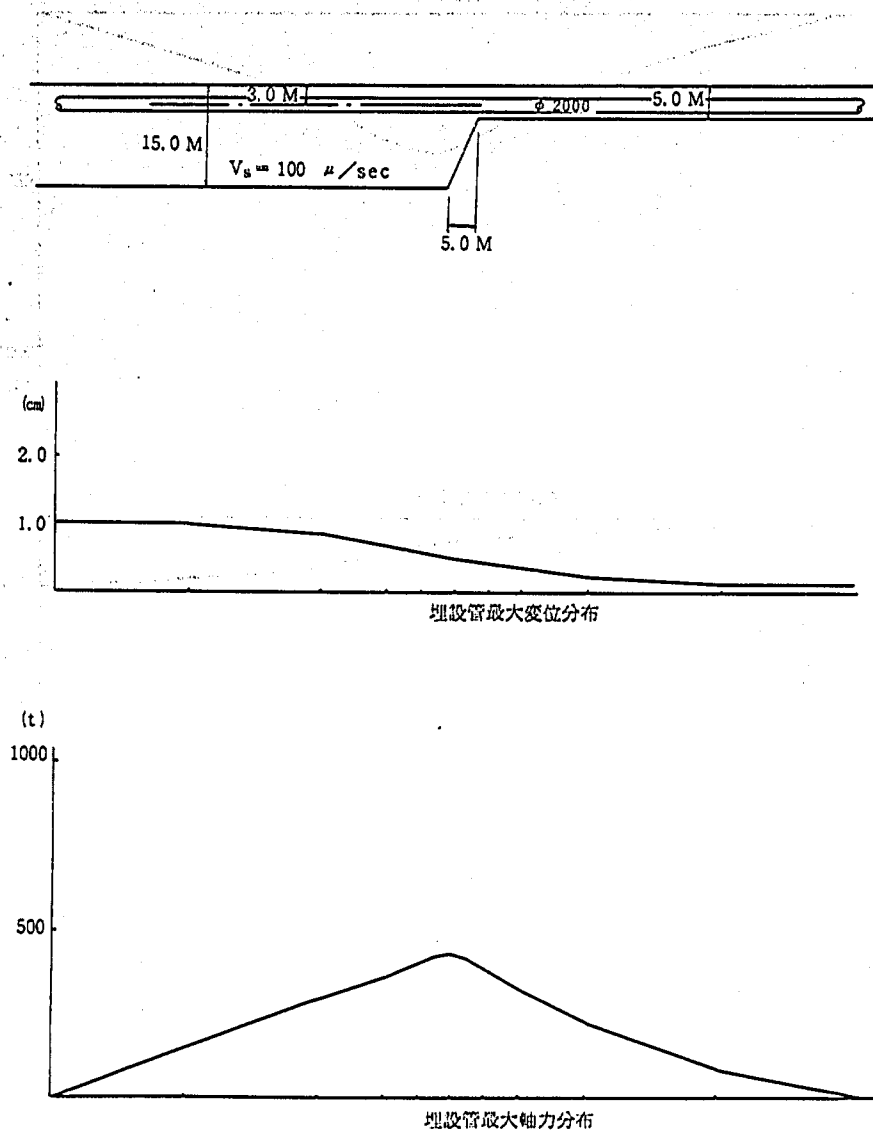
付図34 ケース17管軸直角方向入力時応答分布図



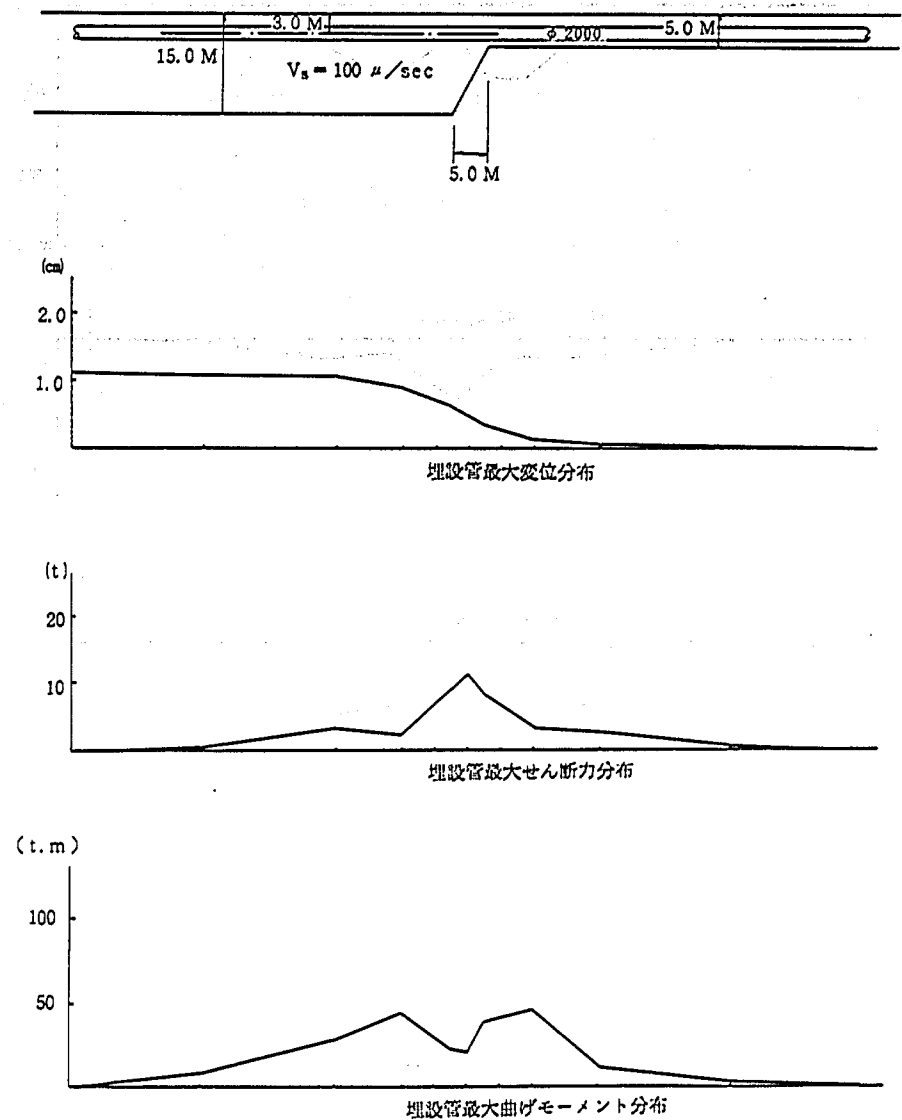
付図35 ケース18管軸方向入力時応答分布図



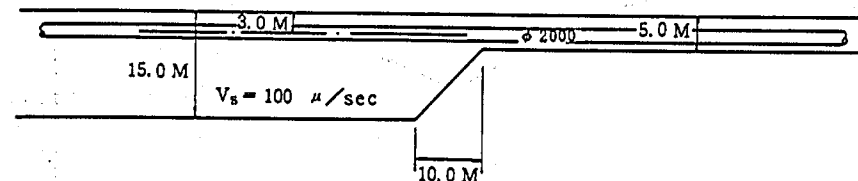
付図36 ケース18管軸直角方向入力時応答分布図



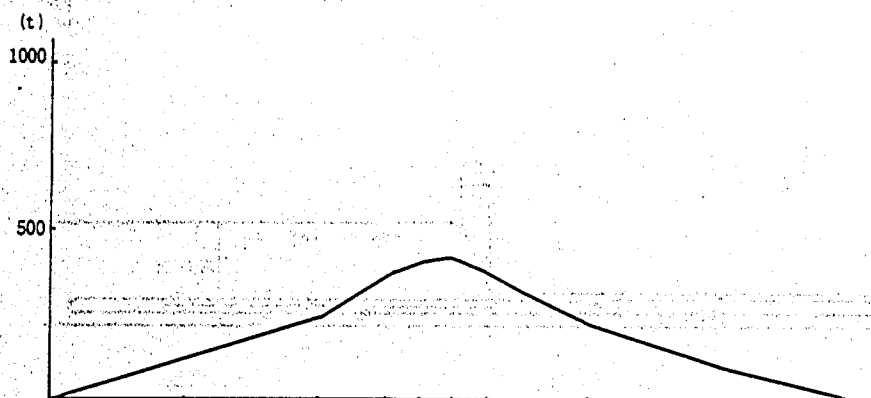
付図37 ケース19管軸方向入力時応答分布図



付図38 ケース19管軸直角方向入力時応答分布図

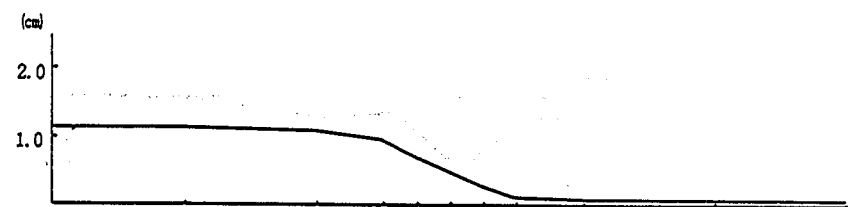
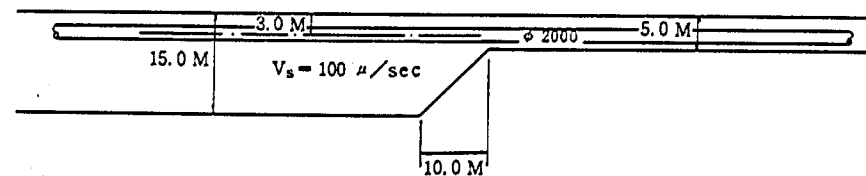


埋設管最大変位分布

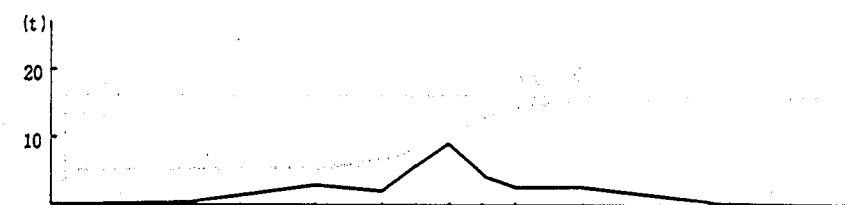


埋設管最大軸力分布

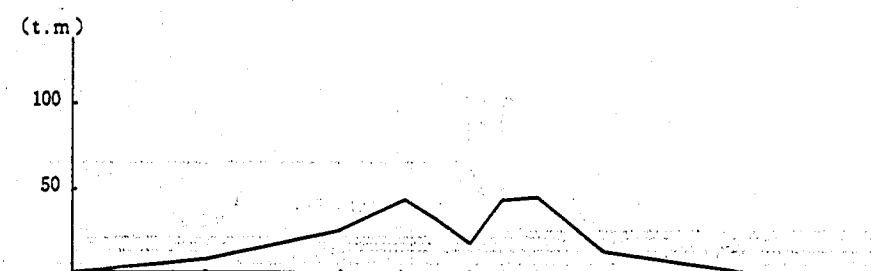
付図39 ケース20管軸方向入力時応答分布図



埋設管最大変位分布

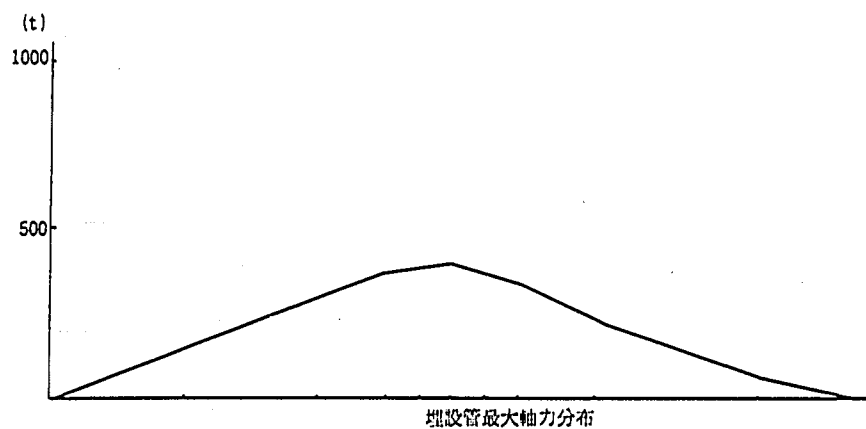
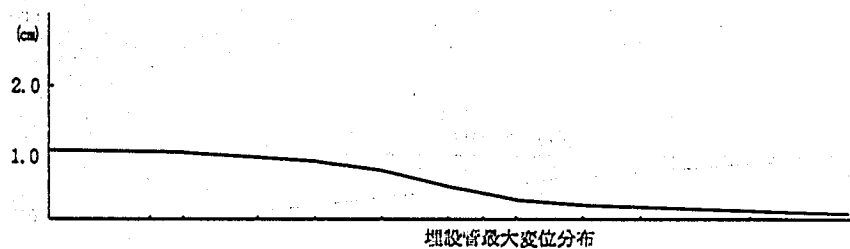
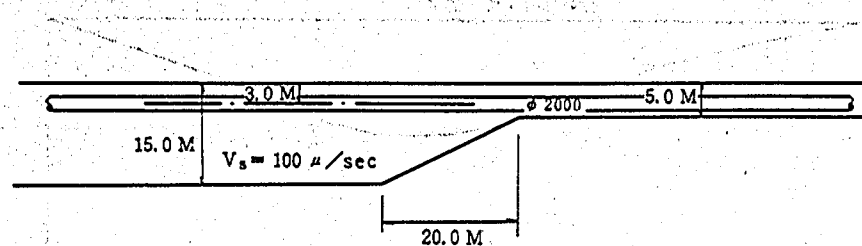


埋設管最大せん断力分布

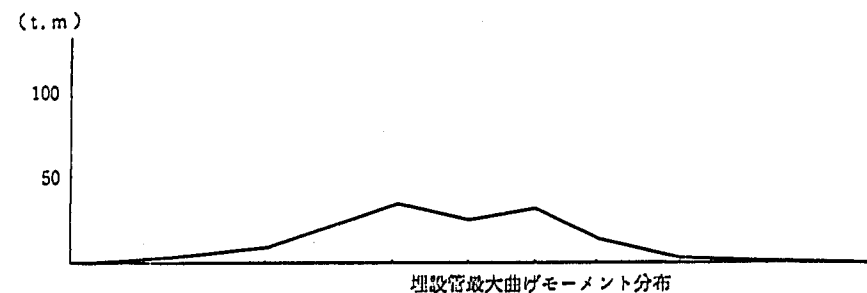
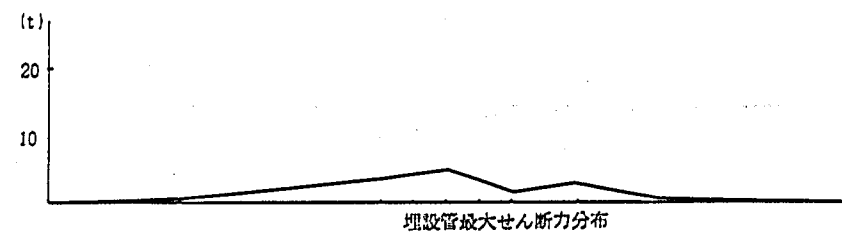
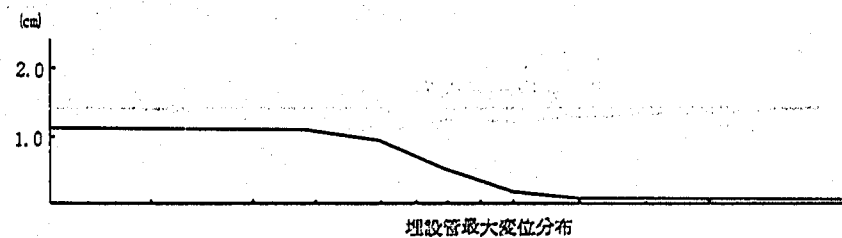
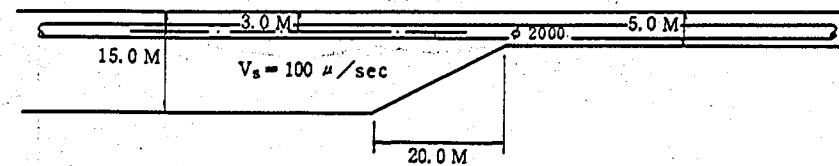


埋設管最大曲げモーメント分布

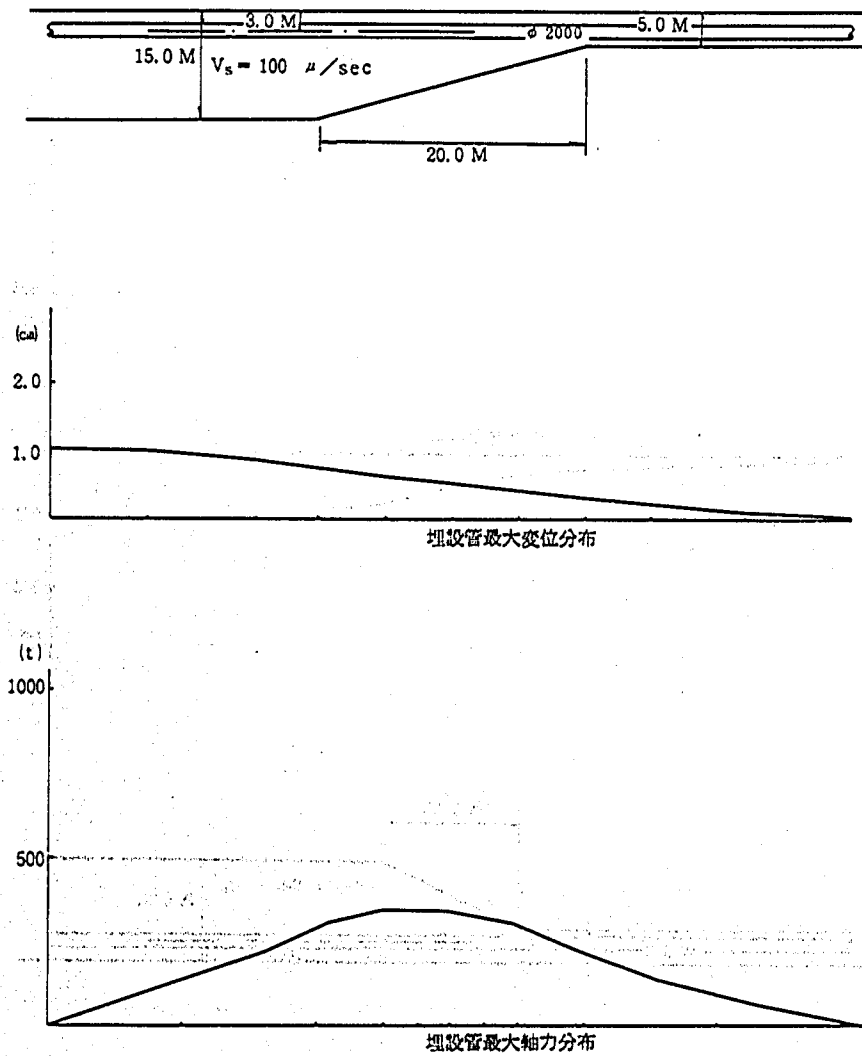
付図40 ケース20管軸直角方向入力時応答分布図



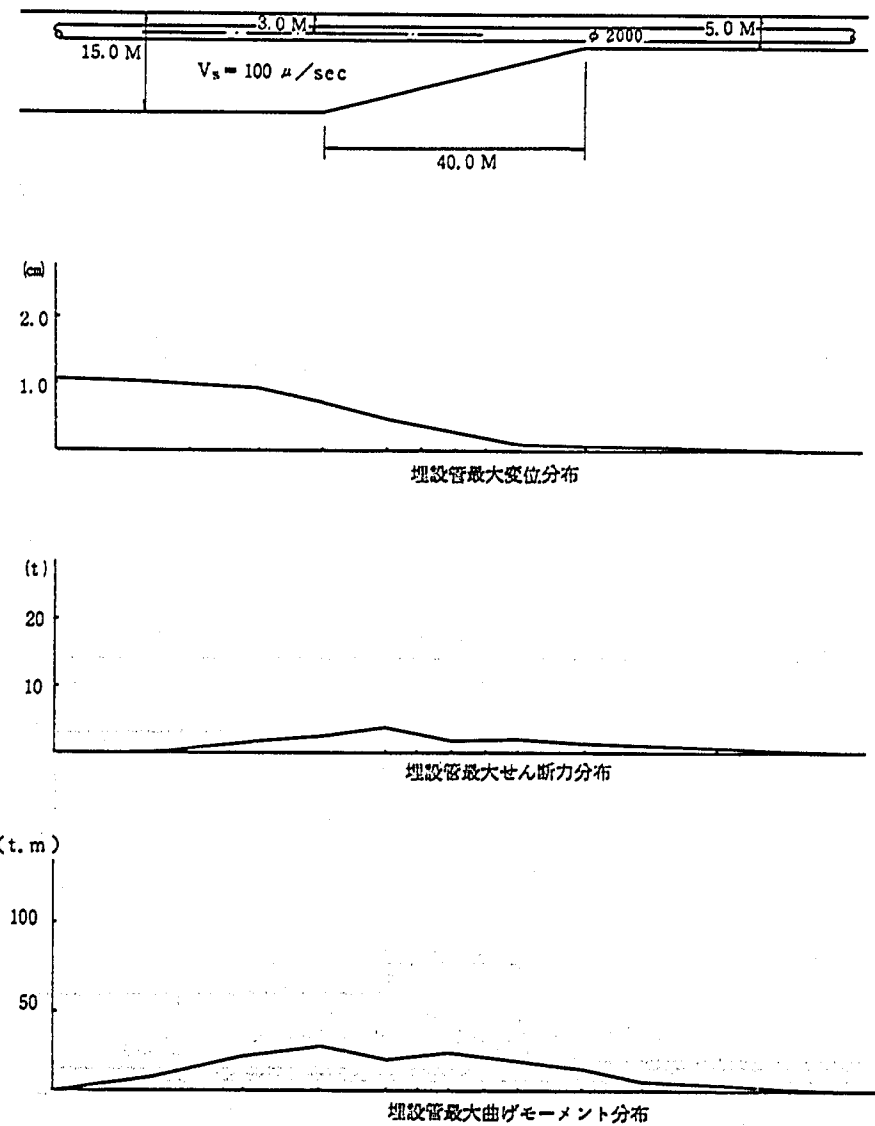
付図41 ケース21管軸方向入力時応答分布図



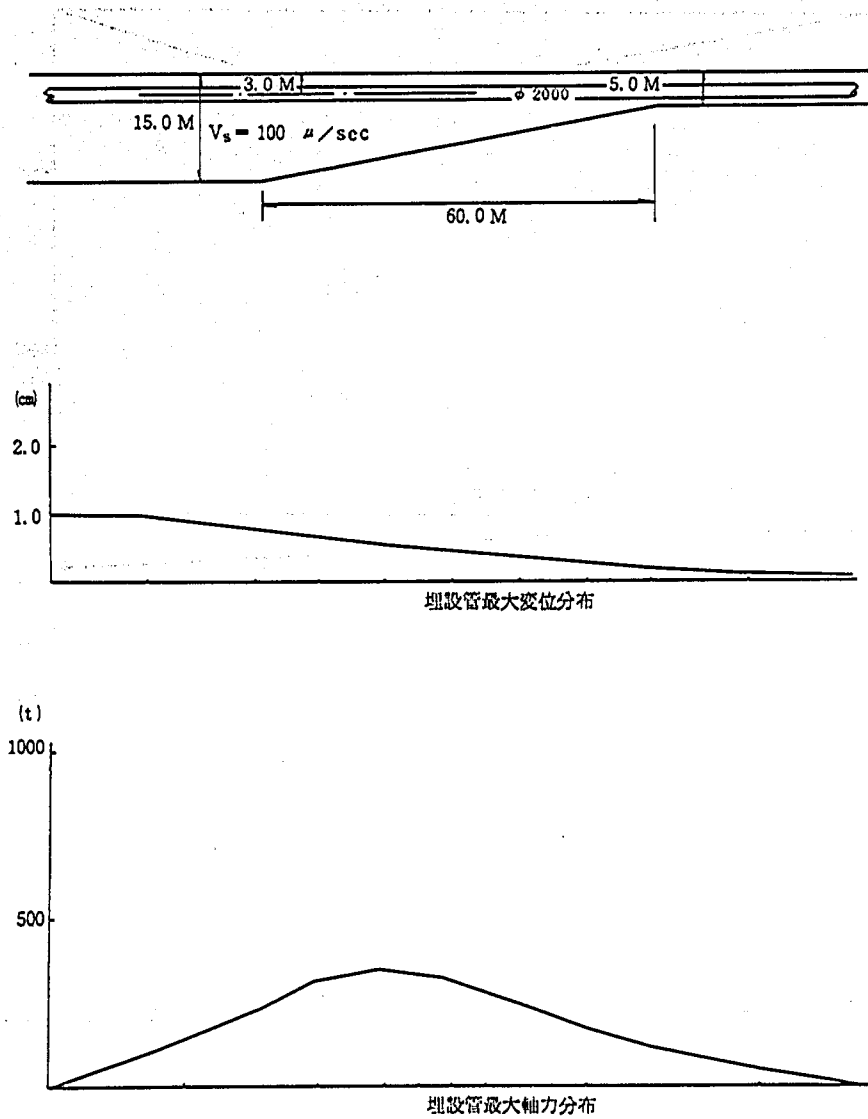
付図42 ケース21管軸直角方向入力時応答分布図



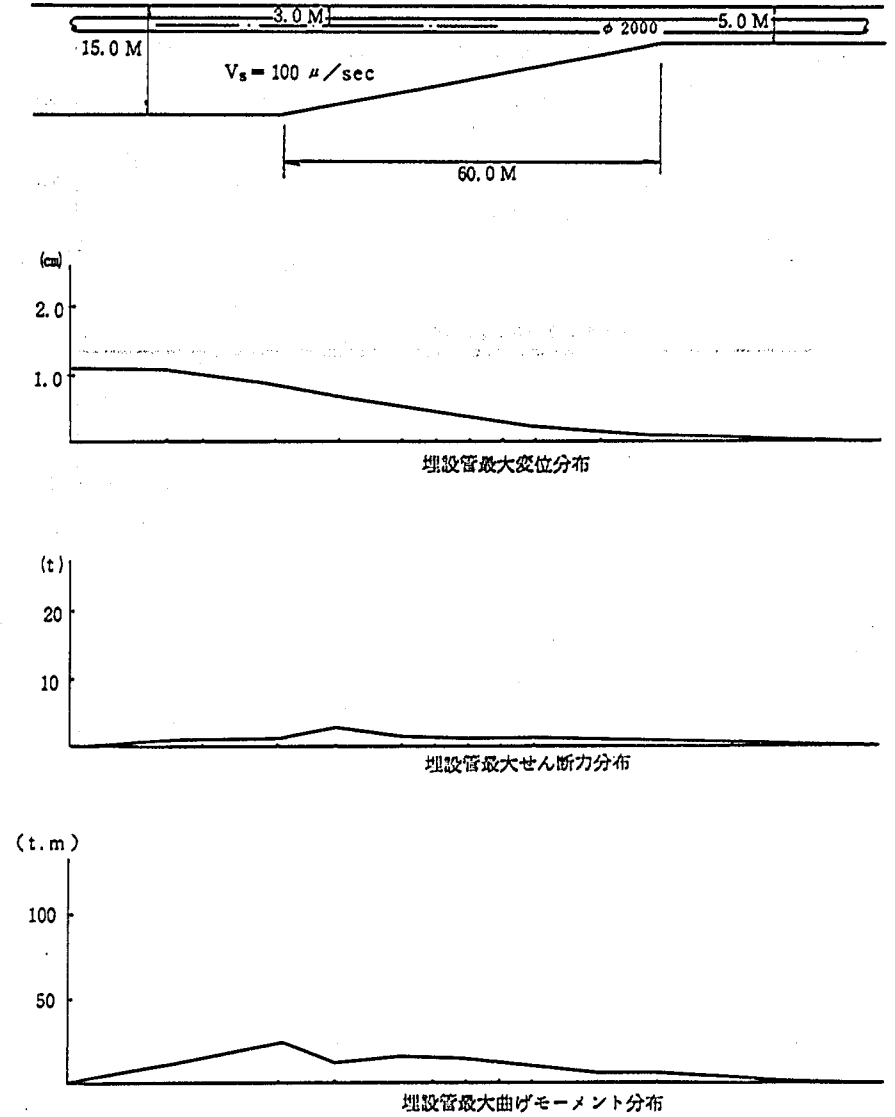
付図43 ケース22管軸方向入力時応答分布図



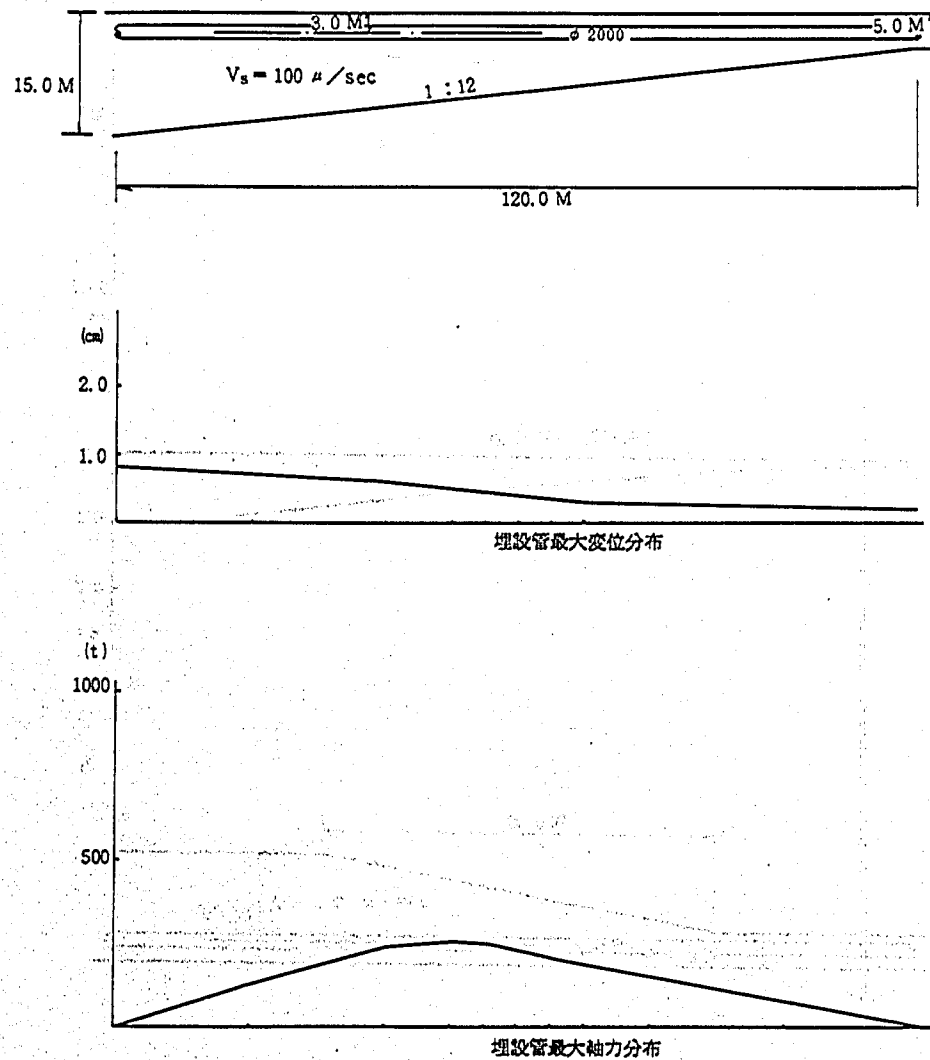
付図44 ケース22管軸直角方向入力時応答分布図



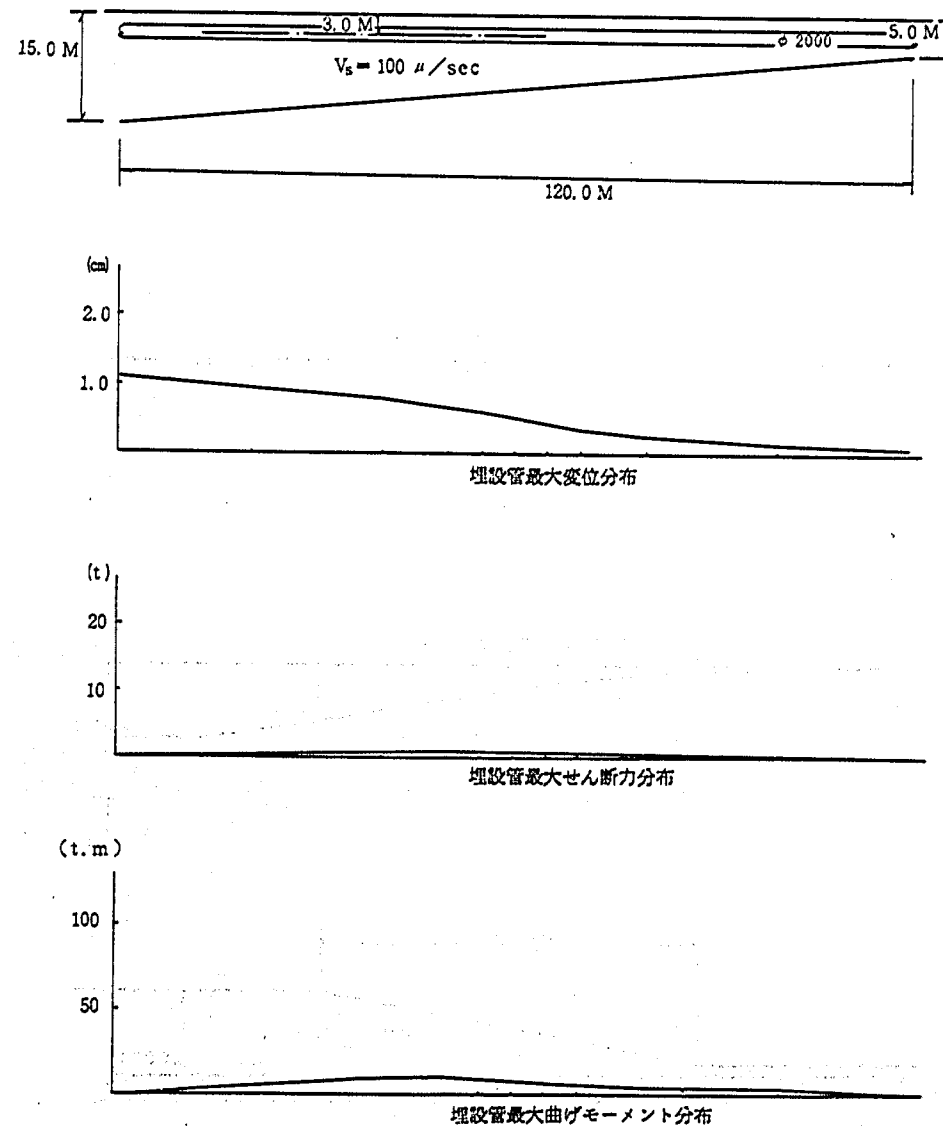
付図45 ケース23管軸方向入力時応答分布図



付図46 ケース23管軸直角方向入力時応答分布図



付図47 ケース24管軸方向入力時応答分布図



付図48 ケース24管軸直角方向入力時応答分布図

下水道管路施設の耐震性に関する調査

ISSN 0386-5878

土研資料第2004号

昭和58年6月

建設省土木研究所耐震研究室

キーワード 下水道管路, 地震被害, 地震応答

要旨

本資料は下水道管路施設の耐震性調査の第1段階として、管路施設の耐震性について地震被害の実態、地震応答解析を中心にとりまとめたものである。

郵便はがき

40円切手  
をはいて  
下さい

305-□□

建設省土木研究所  
地震防災部・耐震研究室 御中

茨城県筑波郡豊里町大字旭一番地

185

No. \_\_\_\_\_

185

No. \_\_\_\_\_

配布先氏名

配布先住所

土木研究所資料2004号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

印