

# 土 木 研 究 所 資 料

## 応答変位法による地盤条件変化部における 共同溝の耐震計算法

Seismic Design Method of Common Utility Ducts  
at the Site with Significant Variation of Soil Con-  
ditions by Means of Seismic Deformation Method

昭和62年3月

建設省土木研究所  
地震防災部耐震研究室

Copyright © 1987 by P.W.R.I.

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

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

# 応答変位法による地盤条件変化部における 共同溝の耐震設計法

Seismic Design Method of Common Utility Ducts  
at the Site with Significant Variation of Soil Con-  
ditions by Means of Seismic Deformation Method

耐震研究室 室長 川島 一彦  
研究員 大日方 尚巳  
加納 尚史

## 要 旨

既往の震害事例によると共同溝に類似する大口径の水道管、下水道管等の線状地中構造物では、地盤条件の変化部において相対的に被害が発生しやすい。また、地震観測記録や地震応答解析等によっても地盤条件変化部では地盤ひずみが大きくなることが確認されている。しかしながら、現在、線状地中構造物の耐震計算に用いられている応答変位法では地盤構成が比較的一様な場合に対する計算法が示されているだけで、地盤構成が大きく変化する場合の耐震計算上の取り扱いが明確にされていない。

本報告は、地震応答解析結果を基本として応答変位法に基づく地盤条件変化部における共同溝の実用的な耐震計算法を提案するものである。

キーワード：共同溝，応答変位法，地盤条件変化部，耐震計算

# 目 次

|                                       |    |
|---------------------------------------|----|
| 1. 検討方針および検討条件 .....                  | 1  |
| 1.1 検討方針 .....                        | 1  |
| 1.2 解析対象とする共同溝 .....                  | 1  |
| 1.3 共同溝の継手剛性 .....                    | 2  |
| 1.4 地盤条件 .....                        | 4  |
| 1.5 解析ケース .....                       | 5  |
| 2. 解析手法 .....                         | 15 |
| 2.1 応答変位法による耐震計算法 .....               | 15 |
| 2.2 地震応答解析 .....                      | 17 |
| 2.2.1 動的解析手法 .....                    | 17 |
| 2.2.2 入力地震動 .....                     | 17 |
| 2.2.3 計算モデル .....                     | 18 |
| 3. 伸縮継手の剛性と共同溝に生じる軸力の関係 .....         | 23 |
| 4. 動的解析結果に基づく地盤条件変化部の共同溝の地震応答特性 ..... | 25 |
| 4.1 地盤条件変化部の共同溝に発生する軸力最大値の検討 .....    | 25 |
| 4.2 地盤条件変化部における軸力分布の検討 .....          | 27 |
| 4.3 地盤条件の変化が連続する場合の軸力の分布 .....        | 28 |
| 5. 応答変位法に基づく一様地盤部の共同溝に作用する軸力 .....    | 39 |
| 6. 地盤条件変化部における共同溝の耐震設計方法 .....        | 43 |
| 6.1 断面力の割増し方法 .....                   | 43 |
| 6.2 断面力の割増し範囲 .....                   | 45 |
| 6.3 断面力割増し方法の検証 .....                 | 45 |
| 7. 結 論 .....                          | 59 |
| 参 考 文 献 .....                         | 60 |
| 付 属 資 料                               |    |
| 1. 継手を設けた場合の共同溝の断面力低減係数の簡易算定法 .....   | 65 |
| 2. 共同溝の耐震計算に用いる設計地震動 .....            | 74 |

## 1 検討方針および検討条件

### 1.1 検討方針

応答変位法は、当初は沈埋トンネルの耐震計算法として研究が進められてきたが、昭和48年9月の石油パイプライン事業の事業用施設の技術細目（通産，運輸，建設，自治の4省共管）に初めて基準として取り入れられた<sup>1), 2), 3)</sup>。応答変位法の基本的な考え方は、地中に埋設されている管路は周辺の地盤に比較して相対的に質量および剛性が小さい構造物であるため、地震に際して埋設管路が地盤中で共振するような現象は生じにくいとしている点である。したがって、地震時の埋設管路の変形は、地盤に生じる相対変位が管路に伝えられることにより生じるとして計算することが示されている。このような設計理念は、建設省総合技術開発プロジェクトの新耐震設計法の開発の中にも引き継がれ、プロジェクトの最終報告書である新耐震設計法(案)（昭和52年3月）<sup>4)</sup>の中に「応答変位法」として体系化された。応答変位法は、従来の慣性力によるつり合いを主体とした震度法、修正震度法とは異なった考え方に基づく新しい耐震設計法である<sup>5)</sup>。応答変位法では、地震時に地盤に生じるひずみを、計算上波動が水平方向に伝播するものと仮定して管路の耐震計算を行うものである。しかし、これは地盤ひずみの大きさを定量的に求めるための計算上の仮定であり、地盤ひずみが生じる機構を示しているものではない<sup>6)</sup>。このため、比較的地盤条件が一様とみなし得る箇所に対しては、このような耐震計算法を採用しておけば、耐震性が確保されと考えられるが、地盤条件が著しく変化している箇所では上記の計算上の仮定よりも大きな地盤ひずみが発生する可能性があり、従ってこのような箇所に埋設された地中構造物には比較的地盤条件が一様な地盤部に比べて大きな地震力が作用する可能性がある。このような点は、近年の地震観測や地震応答解析等によっても確認されつつある。このため、本報告では、特殊な断面寸法、構造形式を除く一般的な共同溝を対象として応答変位法を基本として地盤条件変化部の耐震計算法を提示しようとするものである。

本検討のフローは図1.1に示す通りである。まず、現在、一般に共同溝が設置されようとしている都市部の地盤条件を考慮して検討対象とする共同溝及び地盤条件の範囲を定める。次に選定した共同溝について継手の構造を検討し、継手の持つ軸方向剛性の範囲を定め、地震応答解析により地盤条件変化部における断面力（軸力）を求める。一方、地震応答解析に対応して、地盤条件が変化しないとした場合の共同溝の地震時断面力を応答変位法により求める。応答変位法により求めた断面力と地震応答解析により求めた断面力を比較照合して、応答変位法により求めた断面力に対する地盤条件変化部における割増係数を求めるとともに割増し区間の設定方法を検討する。

### 1.2 解析対象とする共同溝

表1.1は昭和57年度現在における関東、中部、近畿の3地建における共同溝のタイプ別の延

長を示したものである。これによれば、一層二径間（以下、2ボックスタイプと呼ぶ）および一層三径間（以下、3ボックスタイプと呼ぶ）タイプの共同溝の建設実績が多いことがわかる。ここではなるべく、建設実績の多い共同溝を検討対象とするという観点から図1.2および表1.2に示す2ボックス及び3ボックスタイプの共同溝を対象とすることとした。なお、この際共同溝は以下の条件を有するものとした。

- ① 継手間隔は30mとする。
- ② 地表面から共同溝中心までの埋設深さは3.8mとする。

### 1.3 共同溝の継手剛性

共同溝の継手は一般に図1.3に示すように止水版、カラーまたはスリップバー等により構成されている。今、3ボックスタイプの共同溝（図1.2参照）を対象に継手が有する軸方向の剛性を評価すると次のようになる。

一般に止水版の中央は伸縮性をよくするため円形中空の断面を有しているが、ここでは単純化して図1.3(h)に示すように1枚のゴム板として止水版の引張りバネ定数 $K_{JF1}$ を求めると次のようになる。ただし、継手の間隔 $\ell$ は2cm程度と仮定し、また、この継手間隔幅の止水版のみが軸方向の剛性に寄与するものとする。

$$\begin{aligned}
 K_{JF1} &= \frac{E_J \cdot A_{J1}}{\ell} \\
 &= \frac{500 \times 0.249}{0.02} = 6.23 \times 10^3 \text{ t/m} \quad \dots\dots\dots (1.1)
 \end{aligned}$$

ここに、

- $K_{JF1}$  : 止水版のバネ定数 [t/m]
- $E_J$  : 止水版（硬度HS65程度）の変形係数（ $= 500 \text{ t/m}^2$ ）<sup>18)</sup>
- $A_{J1}$  : 止水版の断面積 [m<sup>2</sup>]
- $A_{J1} = \text{周長} \times \text{止水版の厚さ}$
- $\quad = \{ (7.25 - 0.3) \times 2 + (3.05 - 0.3) \times 4 \} \times 0.01$
- $\quad = 0.249 \text{ m}^2$
- $\ell$  : 継手間隔（ $= 0.02$ ） [m]

次に、カラーと本体との間にある目地材（エラスチックフィラー）により発揮される軸方向のバネ定数 $K_{JF2}$ を評価すると次のようになる。

$$\begin{aligned}
 K_{JF2} &= \frac{G_J \cdot A_{J2}}{t} \\
 &= \frac{3 \times 5.15}{0.02} = 773 \text{ t/m} \quad \dots\dots\dots (1.2)
 \end{aligned}$$

ここに,

$K_{JF2}$  : 目地材のせん断変形によるバネ定数  $[t/m]$

$G_J$  : 目地材 (エラスチックフィラー, 硬度  $HS20$  程度) のせん断変形係数

$$[=3 t/m^2]^{19)}$$

$A_{J2}$  : 目地材のせん断抵抗面積  $[m^2]$

$A_{J2} =$  目地材の幅  $\times$  周長

$$= 0.25 \times 20.6$$

$$= 5.15 m^2$$

$t$  : 目地材の厚さ  $[m]$

したがって, 止水版及び目地材の剛性を加え合わせると, 継手の軸方向バネ定数  $K_{JF}$  は, おおよそ次の値になると考えられる。

$$K_{JF} = K_{JF1} + K_{JF2}$$

$$= 6,230 + 773$$

$$= 7,003 t/m$$

..... ( 1.3 )

ただし, この値は継手間隔  $\ell$  内に相隣る 2 函の共同溝間の相対変位が収まる場合の値であり, 相隣る 2 函の共同溝が接触した場合には圧縮側の継手バネ定数は式 ( 1.3 ) よりもはるかに大きな値となる。こうした影響については, 別途検討しているので, 参考文献 9), 10) を参照していただきたい。

このような伸縮継手剛性が継手間隔と同じ長さ分の共同溝本体の軸方向剛性と比較してどの程度の値をとるかを検討するために, 本体の軸方向剛性を求めると次のようになる。

$$K_{JR} = \frac{E_B \cdot A_B}{\ell}$$

$$= \frac{3.0 \times 10^6 \times 7.05}{0.02} = 1.06 \times 10^9 t/m$$

..... ( 1.4 )

ここに,

$K_{JR}$  : 共同溝本体の軸方向剛性 (継手間隔相当)  $[t/m]$

$E_B$  : コンクリートのヤング率  $[t/m^2]$

$A_B$  : 継手の断面積 (共同溝函体と同じ)  $[m^2]$

$\ell$  : 継手間隔  $[m]$

したがって, 継手間隔相当分の共同溝本体の軸方向剛性に対する伸縮継手の剛性の比率を求めると, 以下のようになる。

$$\text{剛性比} = K_{JF} / K_{JR}$$

$$= \frac{7,003}{1.06 \times 10^9} = 6.61 \times 10^{-6}$$

..... ( 1.5 )

以上の計算は、あくまでも、止水版、カラー等が理想的に軸方向に変形するとした場合の話であり、実際には各部に作用する摩擦力等の抵抗によりこれよりも大きくなると考えられる。このため式(1-5)を参考にすると、一応の目安としては、本体剛性の $10^{-5}$ 程度の剛性を継手が有していると考えておけばよいであろう。

#### 1.4 地盤条件

共同溝が設置されるのは、一般に市街地の平面道路であるため、地表形状が共同溝の軸方向に大きく変化することは稀であるが、基盤を含めた地盤構成は、共同溝の軸方向に沿って大きく変化することは少なくない。このような共同溝の軸方向に沿う地盤構成の変化の影響を検討するために、ここでは図1.4に示すように、ある任意の区間内において基盤の深さが直線的に変化し、これに伴って表層地盤厚が単調に変化する地盤を想定した。ただし、表層地盤の剛性の平均値は全体にわたって一様であるが場所ごとには変化していると仮定した。ここで、図1.4(a)は、任意の2点間において基盤深さが単調に $H_1$ から $H_2$ に変化するとしたもので、地盤条件の変化を単純化して表わしたものである。また、図1.4(b)及び(c)は図1.4(a)で想定した地盤の変化が複数重なった場合を想定して設定したものである。

なお、図1.4(a)のモデル化では、以下のように3種類の条件を個別に検討することとした。

- 1)  $H_1$ が一定で $H_2$ が変化した場合の影響(地盤条件の変化量に着目)
- 2)  $H_1$ ,  $H_2$ が一定で変化区間長 $l$ が変化した場合の影響(地盤条件の急変度合に着目)
- 3) 1)の条件において表層地盤のせん断弾性波速度 $V_s$ および表層地盤の厚さ $H_1$ が変化した場合の影響

表層地盤の剛性は同一の堆積条件にある地層内でも、箇所ごとにかなり変化しているのが普通である。このため本検討においては次のように箇所ごとの地盤剛性の変動を考慮することとした<sup>7), 8)</sup>。

すなわち、共同溝の軸方向に沿う表層地盤を7.5 m間隔に分割し、それぞれの範囲の地盤のせん断剛性 $G_i$  ( $i=1 \sim N$ )が対数正規分布に従ってランダムに変化するものとした。また、その変化の度合を表わすために次式により変動係数 $\zeta$ を定義し、これを0.2と仮定した。

$$\zeta = \frac{G_\sigma}{G_m} \quad \dots\dots\dots (1.6)$$

ここに、

$\zeta$  : 変動係数

$G_\sigma$  : 表層地盤のせん断剛性  $\log G_i$  の標準偏差

$G_m$  : 表層地盤のせん断剛性  $\log G_i$  の平均値

変動係数の値については、同一の堆積条件下にある代表的な表層地盤の $N$ 値の変化等から判断して定めたものである。

図 1.5，図 1.6 はこのようにして求めた表層地盤の箇所ごとのせん断弾性係数の分布を示したものであり，せん断弾性波速度  $V_s$  の平均が  $100\text{ m/s}$  の場合の例である。

なお，地盤剛性が変動すれば本来は地盤密度も変化すると考えられるが，本検討では簡便のため地盤密度は一定と仮定した。

## 1.5 解析ケース

地震応答解析は表 1.3 に示す合計 90 ケースについて行った。これらの地震応答解析条件を整理すると表 1.4 のようになる。また，地震応答解析結果と比較するために，応答変位法による計算を表 1.5 に示す 42 ケースについて行った。

表 1 1 既存共同溝形式の実態

| 共同溝形式  |  |  |  |  |  |  | その他    | 計       |
|--------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------|---------|
| 延長[km] | 4,685                                                                             | 66,580.4                                                                          | 30,956.6                                                                          | 8,677                                                                             | 5,170                                                                              | 6,888                                                                               | 46,234 | 169,191 |
| 比率[%]  | 3                                                                                 | 39                                                                                | 18                                                                                | 5                                                                                 | 3                                                                                  | 4                                                                                   | 27     | 100     |

注) 関東、中部、近畿地方建設局資料(昭和57年度)による。

表 1 2 検討対象とした共同溝の断面諸定数

| 断面諸定数                | 検討タイプ                                         | 2 ボックスタイプ          | 3 ボックスタイプ           |
|----------------------|-----------------------------------------------|--------------------|---------------------|
| 断 面 積                | $A$ ( $\text{m}^2$ )                          | 5.79               | 7.05                |
| 断面 2 次モーメント ( 水平面内 ) | $I_h$ ( $\text{m}^4$ )                        | 19.6               | 37.9                |
| 〃 ( 鉛直面内 )           | $I_v$ ( $\text{m}^4$ )                        | 10.76              | 9.61                |
| ヤ ン グ 係 数            | $E$ ( $\text{t}/\text{m}^2$ )                 | $3.0 \times 10^6$  | $3.0 \times 10^6$   |
| 軸 方 向 伸 び 剛 性        | $E \cdot A$ ( $\text{t}$ )                    | $1.74 \times 10^7$ | $2.12 \times 10^7$  |
| 曲 げ 剛 性 ( 水平面内 )     | $E \cdot I_h$ ( $\text{t} \cdot \text{m}^2$ ) | $5.88 \times 10^7$ | $11.37 \times 10^7$ |
| 〃 ( 鉛直面内 )           | $E \cdot I_v$ ( $\text{t} \cdot \text{m}^2$ ) | $3.23 \times 10^7$ | $2.88 \times 10^7$  |

注) 継手間隔30m, 共同溝中心までの埋設深さ3.8m

表13 地震応答解析ケース

| ケース<br>番 号 | 共同溝<br>タイプ | 表層せん断<br>波 速<br>$V_s$ (m/s) | 変化区間長<br>$L$ (m) | 表 層 厚<br>(厚い側)<br>$H_1$ (m) | 表 層 厚<br>(薄い側)<br>$H_2$ (m) | 表層固有周期    |           | 固有周期差<br>$\Delta T$ (秒) | 最大軸力<br>(t) |
|------------|------------|-----------------------------|------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------|-----------|-------------------------|-------------|
|            |            |                             |                  |                             |                             | $T_1$ (秒) | $T_2$ (秒) |                         |             |
| 1          | 3ボックス      | 100                         | 75               | 40                          | 40.0                        | 1.6       | 1.6       | 0                       | 206         |
| 2          | "          | "                           | "                | "                           | 37.5                        | "         | 1.5       | 0.1                     | 416         |
| 3          | "          | "                           | "                | "                           | 35.0                        | "         | 1.4       | 0.2                     | 596         |
| 4          | "          | "                           | "                | "                           | 32.5                        | "         | 1.3       | 0.3                     | 720         |
| 5          | "          | "                           | "                | "                           | 30.0                        | "         | 1.2       | 0.4                     | 816         |
| 6          | "          | "                           | "                | "                           | 25.0                        | "         | 1.0       | 0.6                     | 893         |
| 7          | "          | "                           | "                | "                           | 20.0                        | "         | 0.8       | 0.8                     | 886         |
| 8          | "          | "                           | "                | "                           | 15.0                        | "         | 0.6       | 1.0                     | 986         |
| 9          | "          | "                           | "                | 20                          | 20.0                        | 0.8       | 0.8       | 0                       | 180         |
| 10         | "          | "                           | "                | "                           | 17.5                        | "         | 0.7       | 0.1                     | 391         |
| 11         | "          | "                           | "                | "                           | 15.0                        | "         | 0.6       | 0.2                     | 526         |
| 12         | "          | "                           | "                | "                           | 12.5                        | "         | 0.5       | 0.3                     | 660         |
| 13         | "          | "                           | "                | "                           | 10.0                        | "         | 0.4       | 0.4                     | 714         |
| 14         | "          | "                           | "                | "                           | 5.0                         | "         | 0.2       | 0.6                     | 662         |
| 15         | "          | "                           | "                | 30                          | 30.0                        | 1.2       | 1.2       | 0                       | 161         |
| 16         | "          | "                           | "                | "                           | 27.5                        | "         | 1.1       | 0.1                     | 381         |
| 17         | "          | "                           | "                | "                           | 25.0                        | "         | 1.0       | 0.2                     | 562         |
| 18         | "          | "                           | "                | "                           | 22.5                        | "         | 0.9       | 0.3                     | 635         |
| 19         | "          | "                           | "                | "                           | 20.0                        | "         | 0.8       | 0.4                     | 741         |
| 20         | "          | "                           | "                | "                           | 15.0                        | "         | 0.6       | 0.6                     | 832         |
| 21         | "          | "                           | "                | "                           | 10.0                        | "         | 0.4       | 0.8                     | 772         |
| 22         | "          | "                           | "                | "                           | 5.0                         | "         | 0.2       | 1.0                     | 754         |
| 23         | "          | "                           | 37.5             | 40                          | 40.0                        | 1.6       | 1.6       | 0                       | 422         |
| 24         | "          | "                           | "                | "                           | 37.5                        | "         | 1.5       | 0.1                     | 605         |
| 25         | "          | "                           | "                | "                           | 35.0                        | "         | 1.4       | 0.2                     | 733         |
| 26         | "          | "                           | "                | "                           | 32.5                        | "         | 1.3       | 0.3                     | 815         |
| 27         | "          | "                           | "                | "                           | 30.0                        | "         | 1.2       | 0.4                     | 883         |
| 28         | "          | "                           | "                | "                           | 25.0                        | "         | 1.0       | 0.6                     | 902         |
| 29         | "          | "                           | "                | "                           | 20.0                        | "         | 0.8       | 0.8                     | 1078        |
| 30         | "          | "                           | 150              | "                           | 37.5                        | "         | 1.5       | 0.1                     | 97.1        |
| 31         | "          | "                           | "                | "                           | 35.0                        | "         | 1.4       | 0.2                     | 561         |
| 32         | "          | "                           | "                | "                           | 32.5                        | "         | 1.3       | 0.3                     | 670         |
| 33         | "          | "                           | "                | "                           | 30.0                        | "         | 1.2       | 0.4                     | 794         |
| 34         | "          | "                           | "                | "                           | 25.0                        | "         | 1.0       | 0.6                     | 895         |
| 35         | "          | "                           | "                | "                           | 20.0                        | "         | 0.8       | 0.8                     | 906         |

|    |       | $V_S$ | $\ell$ | $H_1$ | $H_2$ | $T_1$ | $T_2$ | $\Delta T$ | [t] |
|----|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|------------|-----|
| 36 | 3ボックス | 100   | 150    | 40    | 15.0  | 1.6   | 0.6   | 1.0        | 882 |
| 37 | #     | #     | 112.5  | #     | 30.0  | #     | 1.2   | 0.4        | 812 |
| 38 | #     | #     | 187.5  | #     | #     | #     | #     | #          | 844 |
| 39 | #     | #     | 225    | #     | #     | #     | #     | #          | 746 |
| 40 | #     | #     | 300    | #     | #     | #     | #     | #          | 658 |
| 41 | #     | #     | 450    | #     | #     | #     | #     | #          | 520 |
| 42 | #     | #     | 112.5  | #     | 20.0  | #     | 0.8   | 0.8        | 883 |
| 43 | #     | #     | 187.5  | #     | #     | #     | #     | #          | 883 |
| 44 | #     | #     | 225    | #     | #     | #     | #     | #          | 861 |
| 45 | #     | #     | 300    | #     | #     | #     | #     | #          | 806 |
| 46 | #     | #     | 450    | #     | #     | #     | #     | #          | 660 |
| 47 | #     | #     | 75     | 50    | 45.0  | 2.0   | 1.8   | 0.2        | 501 |
| 48 | #     | #     | #      | #     | 40.0  | #     | 1.6   | 0.4        | 705 |
| 49 | #     | #     | #      | #     | 35.0  | #     | 1.4   | 0.6        | 921 |
| 50 | #     | #     | #      | 60    | 55.0  | 2.4   | 2.2   | 0.2        | 404 |
| 51 | #     | #     | #      | #     | 50.0  | #     | 2.0   | 0.4        | 539 |
| 52 | #     | #     | #      | #     | 45.0  | #     | 1.8   | 0.6        | 850 |
| 53 | #     | 130   | #      | 40    | 40.0  | 1.23  | 1.23  | 0          | 171 |
| 54 | #     | #     | #      | #     | 37.5  | #     | 1.15  | 0.08       | 323 |
| 55 | #     | #     | #      | #     | 35.0  | #     | 1.08  | 0.15       | 473 |
| 56 | #     | #     | #      | #     | 32.5  | #     | 1.0   | 0.23       | 594 |
| 57 | #     | #     | #      | #     | 30.0  | #     | 0.92  | 0.31       | 665 |
| 58 | #     | #     | #      | #     | 25.0  | #     | 0.77  | 0.46       | 794 |
| 59 | #     | #     | #      | #     | 20.0  | #     | 0.61  | 0.62       | 826 |
| 60 | #     | #     | #      | #     | 15.0  | #     | 0.46  | 0.77       | 887 |
| 61 | #     | #     | #      | 39    | 22.5  | 1.2   | 0.6   | 0.6        | 879 |
| 62 | #     | 160   | #      | 40    | 40.0  | 1.0   | 1.0   | 0          | 179 |
| 63 | #     | #     | #      | #     | 35.0  | #     | 0.87  | 0.13       | 436 |
| 64 | #     | #     | #      | #     | 30.0  | #     | 0.75  | 0.25       | 655 |
| 65 | #     | #     | #      | #     | 25.0  | #     | 0.62  | 0.38       | 774 |
| 66 | #     | #     | #      | #     | 20.0  | #     | 0.5   | 0.50       | 739 |
| 67 | #     | #     | #      | #     | 15.0  | #     | 0.37  | 0.63       | 795 |
| 68 | #     | #     | #      | #     | 10.0  | #     | 0.25  | 0.75       | 790 |
| 69 | #     | #     | #      | 48    | 48.0  | 1.2   | 1.2   | 0          | 139 |
| 70 | #     | #     | #      | #     | 44.0  | #     | 1.1   | 0.1        | 329 |
| 71 | #     | #     | #      | #     | 40.0  | #     | 1.0   | 0.2        | 523 |
| 72 | #     | #     | #      | #     | 36.0  | #     | 0.9   | 0.3        | 627 |

|    |       | $V_s$ | $L$             | $H_1$ | $H_2$ | $T_1$ | $T_2$ | $\Delta T$ | [t] |
|----|-------|-------|-----------------|-------|-------|-------|-------|------------|-----|
| 73 | 3ボックス | 160   | 75              | 48    | 32.0  | 1.2   | 0.8   | 0.4        | 746 |
| 74 | #     | #     | #               | #     | 24.0  | #     | 0.6   | 0.6        | 886 |
| 75 | #     | #     | #               | #     | 16.0  | #     | 0.4   | 0.8        | 832 |
| 76 | #     | #     | #               | #     | 8.0   | #     | 0.2   | 1.0        | 858 |
| 77 | 2ボックス | #     | #               | 40    | 40.0  | 1.6   | 1.6   | 0          | 183 |
| 78 | #     | #     | #               | #     | 37.5  | #     | 1.5   | 0.1        | 358 |
| 79 | #     | #     | #               | #     | 35.0  | #     | 1.4   | 0.2        | 512 |
| 80 | #     | #     | #               | #     | 32.5  | #     | 1.3   | 0.3        | 620 |
| 81 | #     | #     | #               | #     | 30.0  | #     | 1.2   | 0.4        | 703 |
| 82 | #     | 100   | #               | #     | 25.0  | #     | 1     | 0.6        | 772 |
| 83 | #     | #     | #               | #     | 20.0  | #     | 0.8   | 0.8        | 768 |
| 84 | #     | #     | #               | #     | 15.0  | #     | 0.6   | 1.0        | 871 |
| 85 | 3ボックス | #     | 地盤条件の詳細は図4.13参照 |       |       |       |       |            | 849 |
| 86 | #     | #     | 37.5            | 30    | 20.0  | 1.2   | 0.8   | 0.4        | 640 |
| 87 | #     | #     | #               | 20    | 40.0  | 0.8   | 1.6   | 0.8        | 934 |
| 88 | #     | #     | 地盤条件の詳細は図4.13参照 |       |       |       |       |            | 633 |
| 89 | #     | #     | 37.5            | 35    | 45.0  | 1.4   | 1.8   | 0.4        | 832 |
| 90 | #     | #     | #               | 45    | 40.0  | 1.8   | 1.6   | 0.2        | 325 |

表1.4 地盤条件変化部の地震応答解析条件

| 項 目            | 検 討 条 件                     |
|----------------|-----------------------------|
| 共 同 溝 形 式      | 2形式(2ボックス, 3ボックス)           |
| 地盤剛性(せん断弾性波速度) | 3種類(100m/s, 130m/s, 160m/s) |
| 表 層 地 盤 厚      | 20m~60m                     |
| 地盤条件変化部の長さ     | 37.5m~450m                  |
| 地盤条件変化度(固有周期差) | 0.0秒~1.0秒                   |

表 15 (I) 応答変位法による共同溝の計算ケース

## (a) 3 ボックスの場合

| ケース<br>番 号 | 表 層 地 盤 特 性    |                   |                      |                            |                             | 軸 方 向 解 析                   |                                    |                   |             |                       | 水 平 面 内 解 析                      |                                    |                   |             |                       |
|------------|----------------|-------------------|----------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------------|-------------------|-------------|-----------------------|----------------------------------|------------------------------------|-------------------|-------------|-----------------------|
|            | $V_s$<br>[m/s] | 厚 さ<br>$H$<br>[m] | 固 有<br>周期 $T$<br>[秒] | 地盤振<br>動の波<br>長 $L$<br>[m] | 地 盤<br>変 位<br>$U_h$<br>[cm] | $EA$<br>[ $\times 10^4 t$ ] | 剛 性<br>係 数<br>$K_1$<br>[ $t/m^2$ ] | 伝達率<br>$\alpha_1$ | $\lambda_1$ | 継手補<br>正係数<br>$\xi_1$ | $EI_h$<br>[ $\times 10^4 tm^2$ ] | 剛 性<br>係 数<br>$K_2$<br>[ $t/m^2$ ] | 伝達率<br>$\alpha_2$ | $\lambda_2$ | 継手補<br>正係数<br>$\xi_2$ |
| 1          | 100            | 20                | 0.80                 | 120                        | 3.72                        | 2.12                        | 1500                               | 0.049             | 0.0084      | 0.16                  | 1.14                             | 1500                               | 0.64              | 0.060       | 0.10                  |
| 2          | 100            | 25                | 1.00                 | 150                        | 4.73                        | 2.12                        | 1500                               | 0.074             | 0.0084      | 0.10                  | 1.14                             | 1500                               | 0.81              | 0.060       | 0.10                  |
| 3          | 100            | 30                | 1.20                 | 180                        | 5.72                        | 2.12                        | 1500                               | 0.104             | 0.0084      | 0.10                  | 1.14                             | 1500                               | 0.90              | 0.060       | 0.10                  |
| 4          | 100            | 35                | 1.40                 | 210                        | 6.71                        | 2.12                        | 1500                               | 0.136             | 0.0084      | 0.10                  | 1.14                             | 1500                               | 0.94              | 0.060       | 0.10                  |
| 5          | 100            | 40                | 1.60                 | 240                        | 7.69                        | 2.12                        | 1500                               | 0.171             | 0.0084      | 0.10                  | 1.14                             | 1500                               | 0.97              | 0.060       | 0.10                  |
| 6          | 100            | 50                | 2.00                 | 300                        | 9.66                        | 2.12                        | 1500                               | 0.244             | 0.0084      | 0.10                  | 1.14                             | 1500                               | 0.99              | 0.060       | 0.10                  |
| 7          | 100            | 60                | 2.40                 | 360                        | 11.61                       | 2.12                        | 1500                               | 0.317             | 0.0084      | 0.10                  | 1.14                             | 1500                               | 0.99              | 0.060       | 0.10                  |
| 8          | 130            | 20                | 0.62                 | 112                        | 2.86                        | 2.12                        | 2535                               | 0.070             | 0.0109      | 0.18                  | 1.14                             | 2535                               | 0.69              | 0.069       | 0.10                  |
| 9          | 130            | 25                | 0.77                 | 140                        | 3.63                        | 2.12                        | 2535                               | 0.106             | 0.0109      | 0.12                  | 1.14                             | 2535                               | 0.84              | 0.069       | 0.10                  |
| 10         | 130            | 30                | 0.92                 | 167                        | 4.40                        | 2.12                        | 2535                               | 0.145             | 0.0109      | 0.10                  | 1.14                             | 2535                               | 0.92              | 0.069       | 0.10                  |
| 11         | 130            | 35                | 1.08                 | 195                        | 5.16                        | 2.12                        | 2535                               | 0.188             | 0.0109      | 0.10                  | 1.14                             | 2535                               | 0.99              | 0.069       | 0.10                  |
| 12         | 130            | 40                | 1.23                 | 223                        | 5.92                        | 2.12                        | 2535                               | 0.232             | 0.0109      | 0.10                  | 1.14                             | 2535                               | 0.97              | 0.069       | 0.10                  |
| 13         | 130            | 50                | 1.54                 | 279                        | 7.43                        | 2.12                        | 2535                               | 0.321             | 0.0109      | 0.10                  | 1.14                             | 2535                               | 0.99              | 0.069       | 0.10                  |
| 14         | 130            | 60                | 1.85                 | 335                        | 8.93                        | 2.12                        | 2535                               | 0.405             | 0.0109      | 0.10                  | 1.14                             | 2535                               | 1.00              | 0.069       | 0.10                  |
| 15         | 160            | 20                | 0.50                 | 104                        | 2.32                        | 2.12                        | 3840                               | 0.091             | 0.0135      | 0.21                  | 1.14                             | 3840                               | 0.72              | 0.076       | 0.10                  |
| 16         | 160            | 25                | 0.63                 | 130                        | 2.95                        | 2.12                        | 3840                               | 0.135             | 0.0135      | 0.15                  | 1.14                             | 3840                               | 0.86              | 0.076       | 0.10                  |
| 17         | 160            | 30                | 0.75                 | 157                        | 3.58                        | 2.12                        | 3840                               | 0.184             | 0.0135      | 0.11                  | 1.14                             | 3840                               | 0.93              | 0.076       | 0.10                  |
| 18         | 160            | 35                | 0.88                 | 183                        | 4.19                        | 2.12                        | 3840                               | 0.235             | 0.0135      | 0.10                  | 1.14                             | 3840                               | 0.96              | 0.076       | 0.10                  |
| 19         | 160            | 40                | 1.00                 | 207                        | 4.81                        | 2.12                        | 3840                               | 0.286             | 0.0135      | 0.10                  | 1.14                             | 3840                               | 0.98              | 0.076       | 0.10                  |
| 20         | 160            | 50                | 1.25                 | 261                        | 6.04                        | 2.12                        | 3840                               | 0.385             | 0.0135      | 0.10                  | 1.14                             | 3840                               | 1.00              | 0.076       | 0.10                  |
| 21         | 160            | 60                | 1.50                 | 313                        | 7.26                        | 2.12                        | 3840                               | 0.474             | 0.0135      | 0.10                  | 1.14                             | 3840                               | 1.00              | 0.076       | 0.10                  |

表 15(2) 応答変位法による共同溝の計算ケース

## (b) 2 ボックスの場合

| ケース<br>番号 | 表層地盤特性         |                  |                          |                            |                             | 軸方向解析                      |                                            |                   |             |                       | 水平面内解析                                      |                                            |                   |             |                       |
|-----------|----------------|------------------|--------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|--------------------------------------------|-------------------|-------------|-----------------------|---------------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------|-------------|-----------------------|
|           | $V_s$<br>[m/s] | 厚さ<br>$H$<br>[m] | 固 有<br>周 期<br>$T$<br>[秒] | 地盤振<br>動の波<br>長 $L$<br>[m] | 地 盤<br>位 変<br>$U_A$<br>[cm] | $EA$<br>[ $\times 10^9$ t] | 剛 性<br>係 数<br>$K_1$<br>[t/m <sup>2</sup> ] | 伝達率<br>$\alpha_1$ | $\lambda_1$ | 継手補<br>正係数<br>$\xi_1$ | $EIA$<br>[ $\times 10^9$ t/m <sup>2</sup> ] | 剛 性<br>係 数<br>$K_2$<br>[t/m <sup>2</sup> ] | 伝達率<br>$\alpha_2$ | $\lambda_2$ | 継手補<br>正係数<br>$\xi_2$ |
| 22        | 100            | 20               | 0.80                     | 120                        | 0.03                        | 1.74                       | 1500                                       | 0.059             | 0.0092      | 0.15                  | 588                                         | 1500                                       | 0.77              | 0.071       | 0.10                  |
| 23        | 100            | 25               | 1.00                     | 150                        | 0.04                        | 1.74                       | 1500                                       | 0.089             | 0.0092      | 0.10                  | 588                                         | 1500                                       | 0.89              | 0.071       | 0.10                  |
| 24        | 100            | 30               | 1.20                     | 180                        | 0.05                        | 1.74                       | 1500                                       | 0.124             | 0.0092      | 0.10                  | 588                                         | 1500                                       | 0.95              | 0.071       | 0.10                  |
| 25        | 100            | 35               | 1.40                     | 210                        | 0.06                        | 1.74                       | 1500                                       | 0.161             | 0.0092      | 0.10                  | 588                                         | 1500                                       | 0.97              | 0.071       | 0.10                  |
| 26        | 100            | 40               | 1.60                     | 230                        | 0.07                        | 1.74                       | 1500                                       | 0.201             | 0.0092      | 0.10                  | 588                                         | 1500                                       | 0.98              | 0.071       | 0.10                  |
| 27        | 100            | 50               | 2.00                     | 300                        | 0.09                        | 1.74                       | 1500                                       | 0.282             | 0.0092      | 0.10                  | 588                                         | 1500                                       | 0.99              | 0.071       | 0.10                  |
| 28        | 100            | 60               | 2.40                     | 360                        | 0.11                        | 1.74                       | 1500                                       | 0.361             | 0.0092      | 0.10                  | 588                                         | 1500                                       | 1.00              | 0.071       | 0.10                  |
| 29        | 130            | 20               | 0.62                     | 112                        | 0.03                        | 1.74                       | 2535                                       | 0.084             | 0.0121      | 0.19                  | 588                                         | 2535                                       | 0.81              | 0.081       | 0.10                  |
| 30        | 130            | 25               | 0.77                     | 140                        | 0.04                        | 1.74                       | 2535                                       | 0.126             | 0.0121      | 0.13                  | 588                                         | 2535                                       | 0.91              | 0.081       | 0.10                  |
| 31        | 130            | 30               | 0.92                     | 167                        | 0.04                        | 1.74                       | 2535                                       | 0.172             | 0.0121      | 0.10                  | 588                                         | 2535                                       | 0.96              | 0.081       | 0.10                  |
| 32        | 130            | 35               | 1.08                     | 195                        | 0.05                        | 1.74                       | 2535                                       | 0.220             | 0.0121      | 0.10                  | 588                                         | 2535                                       | 0.98              | 0.081       | 0.10                  |
| 33        | 130            | 40               | 1.23                     | 223                        | 0.06                        | 1.74                       | 2535                                       | 0.269             | 0.0121      | 0.10                  | 588                                         | 2535                                       | 0.99              | 0.081       | 0.10                  |
| 34        | 130            | 50               | 1.54                     | 279                        | 0.07                        | 1.74                       | 2535                                       | 0.365             | 0.0121      | 0.10                  | 588                                         | 2535                                       | 0.99              | 0.081       | 0.10                  |
| 35        | 130            | 60               | 1.85                     | 335                        | 0.09                        | 1.74                       | 2535                                       | 0.453             | 0.0121      | 0.10                  | 588                                         | 2535                                       | 1.00              | 0.081       | 0.10                  |
| 36        | 160            | 20               | 0.50                     | 104                        | 0.02                        | 1.74                       | 3840                                       | 0.109             | 0.0149      | 0.22                  | 588                                         | 3840                                       | 0.83              | 0.090       | 0.14                  |
| 37        | 160            | 25               | 0.63                     | 130                        | 0.03                        | 1.74                       | 3840                                       | 0.160             | 0.0149      | 0.15                  | 588                                         | 3840                                       | 0.92              | 0.090       | 0.13                  |
| 38        | 160            | 30               | 0.75                     | 157                        | 0.04                        | 1.74                       | 3840                                       | 0.215             | 0.0149      | 0.11                  | 588                                         | 3840                                       | 0.96              | 0.090       | 0.13                  |
| 39        | 160            | 35               | 0.88                     | 183                        | 0.04                        | 1.74                       | 3840                                       | 0.272             | 0.0149      | 0.10                  | 588                                         | 3840                                       | 0.98              | 0.090       | 0.12                  |
| 40        | 160            | 40               | 1.00                     | 209                        | 0.05                        | 1.74                       | 3840                                       | 0.328             | 0.0149      | 0.10                  | 588                                         | 3840                                       | 0.99              | 0.090       | 0.12                  |
| 41        | 160            | 50               | 1.25                     | 261                        | 0.06                        | 1.74                       | 3840                                       | 0.433             | 0.0149      | 0.10                  | 588                                         | 3840                                       | 0.99              | 0.090       | 0.12                  |
| 42        | 160            | 60               | 1.50                     | 313                        | 0.07                        | 1.74                       | 3840                                       | 0.523             | 0.0149      | 0.10                  | 588                                         | 3840                                       | 1.00              | 0.090       | 0.12                  |

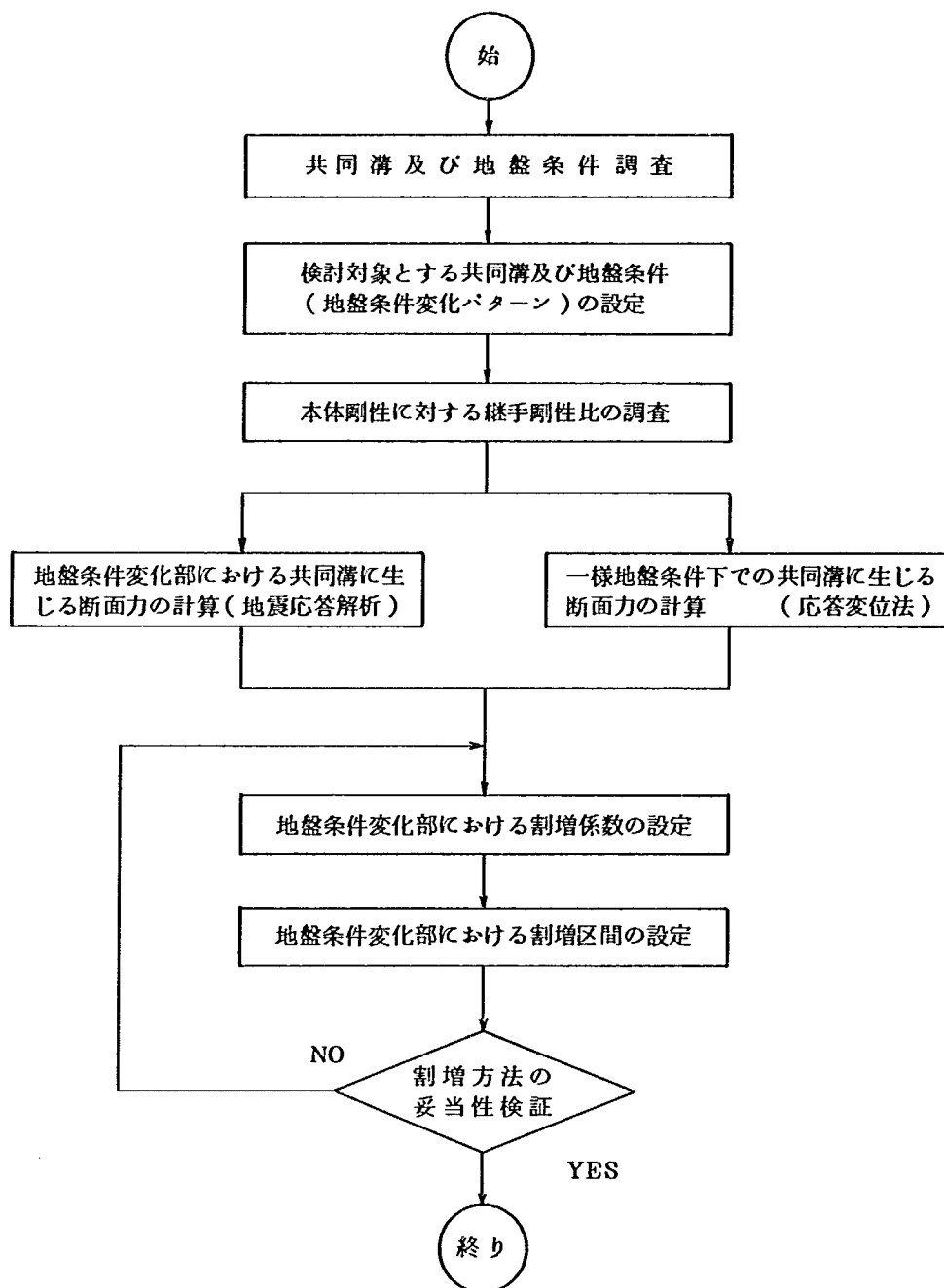


図1.1 応答変位法による地盤条件変化部における共同溝の耐震計算法検討フロー

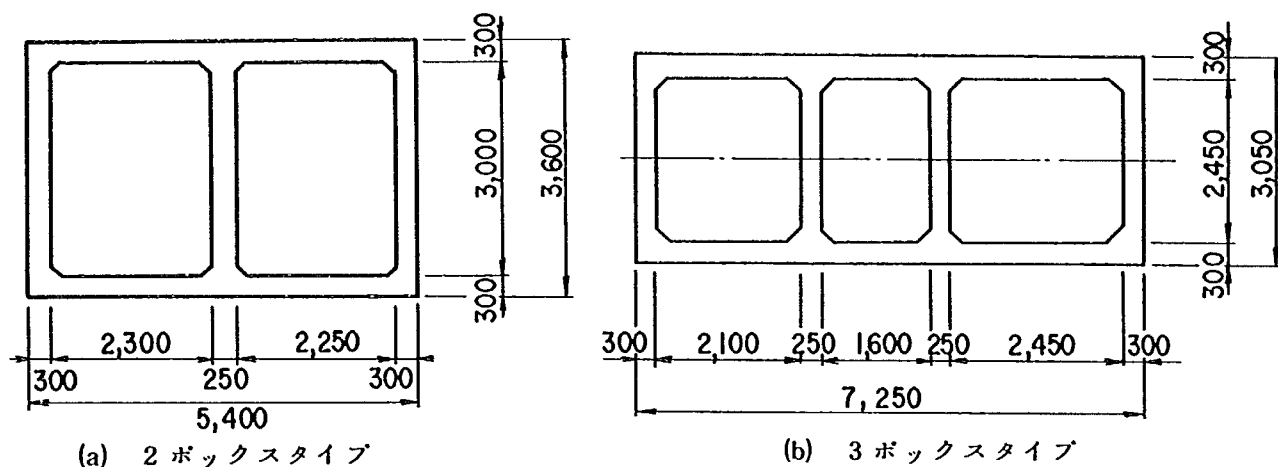


図12 検討対象共同溝の断面形状

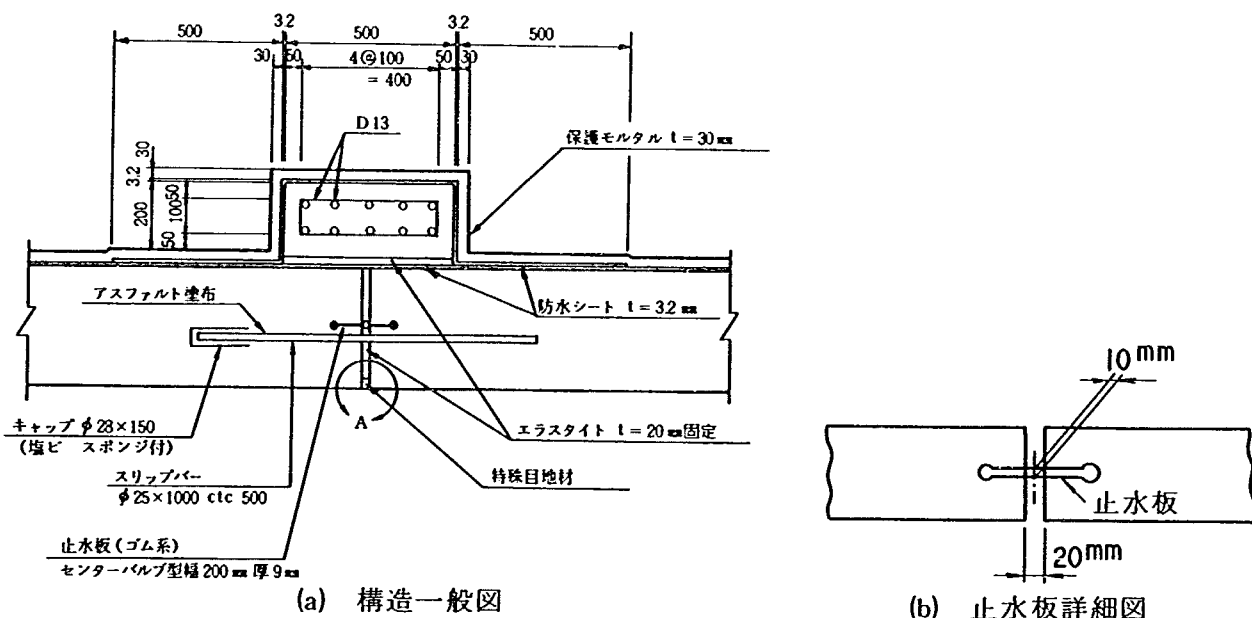


図13 カラータイプ継手の構造

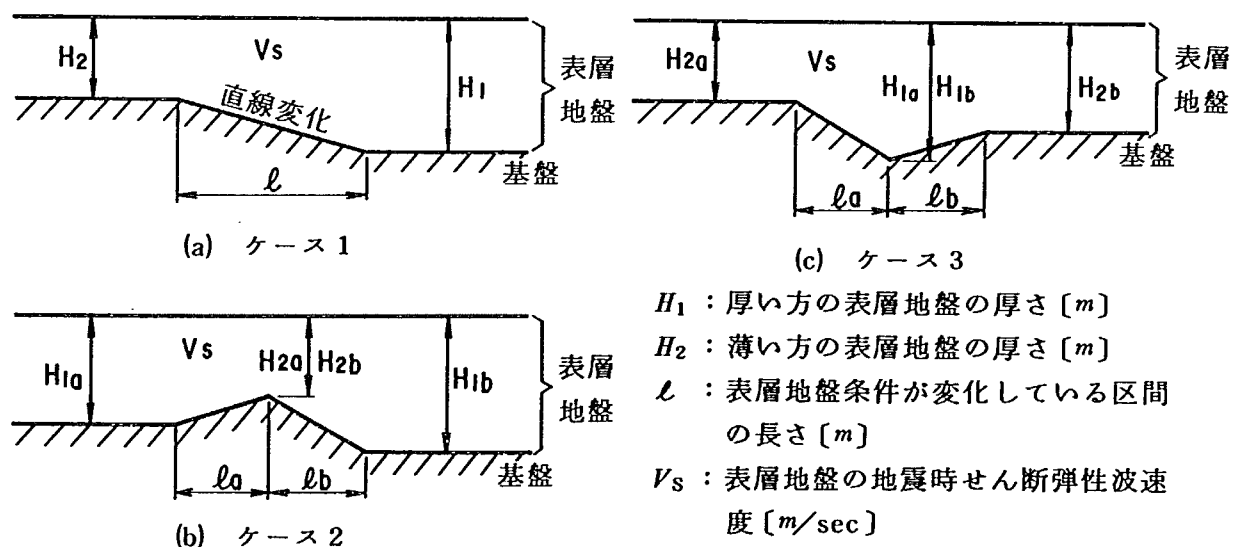


図14 共同溝の軸線に沿う表層地盤条件変化部のモデル化

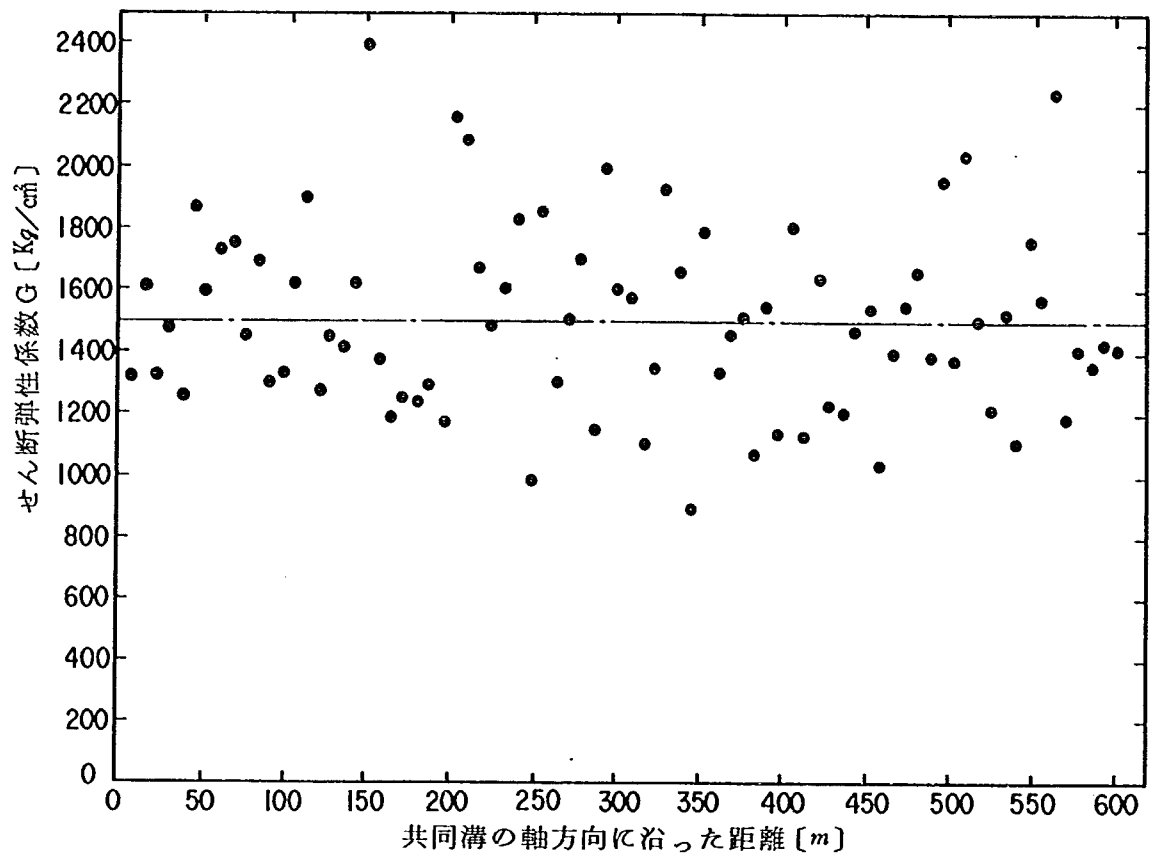


図15 共同溝の軸線に沿う表層地盤のせん断剛性の分布  
平均せん断剛性  $G_m = 1,500 \text{ t}/\text{m}^2$  の場合

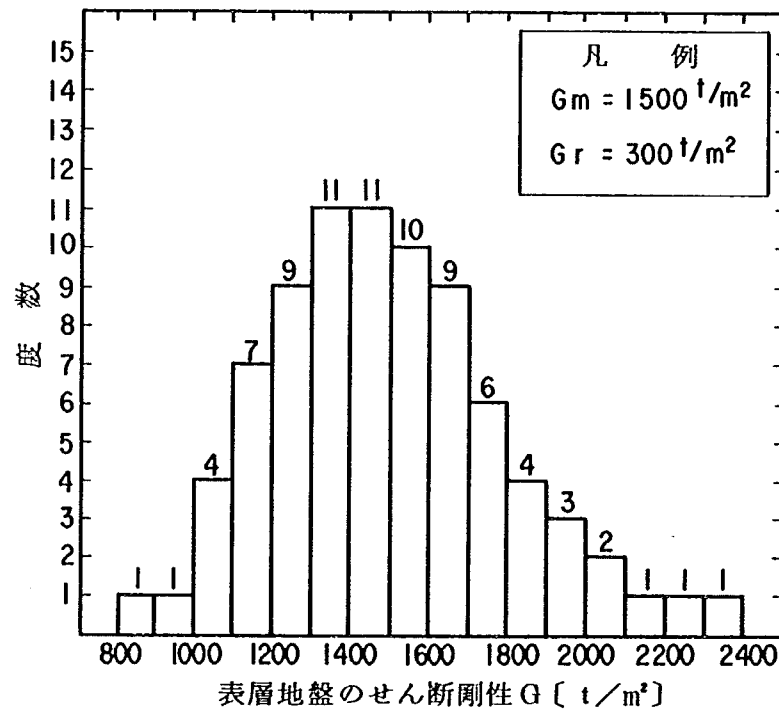


図16 平均値まわりの表層地盤のせん断剛性のばらつき  
平均せん断剛性  $G_m = 1,500 \text{ t}/\text{m}^2$  の場合

## 2. 解析手法

### 2.1 応答変位法による耐震計算法

応答変位法では表層地盤に地震時に生じる変形を図 2.1 及び図 2.2 に示すような正弦波状の地震動が伝播すると仮定して、弾性床上の梁理論を用い次式により断面力を算定する。<sup>15)</sup>

$$\left. \begin{aligned} P_h &= \alpha_1 \cdot \xi_1 \frac{\pi E \cdot A}{L} \cdot U_h \\ P_v &= \alpha_1 \cdot \xi_1 \frac{\pi E \cdot A}{L} \cdot \frac{U_h + U_v}{2} \\ M_h &= \alpha_2 \cdot \xi_2 \frac{4 \pi^2 E \cdot I_h}{L^2} \cdot U_h \\ M_v &= \alpha_3 \cdot \xi_3 \frac{4 \pi^2 E \cdot I_v}{L^2} \cdot U_v \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.1)$$

ここに、

$P_h, P_v$  : 水平面内及び鉛直面内の地盤振動による軸力 ( $t$ )

$M_h, M_v$  : 水平面内及び鉛直面内の地盤振動による曲げモーメント ( $t \cdot m$ )

$E$  : コンクリートのヤング係数 ( $t/m^2$ )

$A$  : 共同溝の断面積 ( $m^2$ )

$I_h, I_v$  : 共同溝の水平面内及び鉛直面内及び鉛直面内の断面 2 次モーメント ( $m^4$ )

$U_h, U_v$  : 共同溝の重心位置の深さにおける地盤振動の水平方向及び鉛直方向の変位振幅 ( $m$ ) で次式により算定する。

$$\left. \begin{aligned} U_h(z) &= \frac{2}{\pi^2} S_v \cdot T_s \cdot \cos \frac{\pi z}{2H} \\ U_v(z) &= \frac{1}{2} U_h(z) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.2)$$

ここに、

$U_h(z)$  : 地表面からの深さ  $z$  ( $m$ ) における水平方向の変位振幅 ( $m$ )

$U_v(z)$  : 地表面からの深さ  $z$  ( $m$ ) における鉛直方向の変位振幅 ( $m$ )

$S_v$  : 設計応答速度 ( $m/s$ ) であり、表層地盤の固有周期  $T_s$  及び地震活動度の地域区分に応じて図 2.3 により求める。

$T_s$  : 表層地盤の固有周期 ( $s$ )

$H$  : 表層地盤の厚さ ( $m$ ) であり、地表面から耐震設計上の基盤面までの厚さをとる。

$L$  : 地盤振動の波長 ( $m$ ) であり、式 (2.3) により算定する。

$$\left. \begin{aligned} L &= \frac{2 L_1 \cdot L_2}{L_1 + L_2} \\ L_1 &= V_{DS} \cdot T_s = 4H \\ L_2 &= V_{BS} \cdot T_s \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.3)$$

ここに,

$V_{DS}$  : 表層地盤のせん断弾性波速度 ( $m/s$ )

$V_{BS}$  : 基盤のせん断弾性波速度 ( $m/s$ )

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$  : 共同溝の縦断方向と, これに直交する水平面内及び鉛直面内の地盤に生じたひずみの構造に対する伝達率であり, 式 ( 2.4 ) により算定する。

$$\left. \begin{aligned} \alpha_1 &= \frac{1}{1 + \left( \frac{2\pi}{\lambda_1 \cdot L'} \right)^2} \\ \alpha_2 &= \frac{1}{1 + \left( \frac{2\pi}{\lambda_2 \cdot L} \right)^4} \\ \alpha_3 &= \frac{1}{1 + \left( \frac{2\pi}{\lambda_3 \cdot L} \right)^4} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots ( 2.4 )$$

ここに,

$$\left. \begin{aligned} \lambda_1 &= \sqrt{\frac{K_1}{EA}} \quad (l/m) \\ \lambda_2 &= \sqrt[4]{\frac{K_2}{E \cdot I_h}} \quad (l/m) \\ \lambda_3 &= \sqrt[4]{\frac{K_3}{E \cdot I_v}} \quad (l/m) \\ L' &= \sqrt{2 \cdot L} \quad (m) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots ( 2.5 )$$

$K_1, K_2, K_3$  : 共同溝の縦断方向と, これに直交する水平面内及び鉛直面内の地盤の剛性係数 ( $t/m^2$ ) であり, 式 ( 2.6 ) により算定する。

$$\left. \begin{aligned} K_1 &= C_1 G_S \\ K_2 &= C_2 G_S \\ K_3 &= C_3 G_S \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots ( 2.6 )$$

ここに,

$C_1, C_2, C_3$  : 地盤の剛性係数  $K_1, K_2, K_3$  に対する定数で, 実験等による調査結果に基づいて定めるのが望ましいが, 本検討においては  $C_1, C_2$  は 1.0,  $C_3$  は 3.0 とする。

$G_S$  : 表層地盤のせん断変形係数 ( $t/m^2$ ) で式 ( 2.7 ) による。

$$G_S = \frac{\gamma_{teq}}{g} \cdot V_{DS}^2 \dots\dots\dots ( 2.7 )$$

ここに,

$\gamma_{teq}$  : 表層地盤の換算単位体積重量 ( $t/m^3$ )

$\xi_1, \xi_2, \xi_3$  : 共同溝に継手を設けた場合の断面力低減係数であり、算定方法の詳細は付属資料1による。

共同溝の応力度の算定に当っては地盤振動の方向、位相関係などを考慮して式(2.1)で算定される断面力を重ね合わせる。ただし、本検討においては水平方向の振動に着目しているため、鉛直面内の地盤振動による軸力  $P_v$  及び曲げモーメント  $M_v$  は無視することとし、水平面内の断面力を次式により求める。

$$\left. \begin{aligned} P_h' &= 1/\sqrt{2} \cdot P \\ M_h' &= 1/\sqrt{2} \cdot M_h \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.8)$$

ここに、

$$P = \sqrt{2P_h^2 + 2P_v^2} = \sqrt{2} P_h \dots\dots\dots (2.9)$$

## 2.2 地震応答解析

### 2.2.1 動的解析手法

動的解析は当所で開発した地中構造物の地震応答解析プログラム(DAST-1)を使用する。解析方法の詳細は文献12), 13)によるが、基本的な前提条件は次のとおりである。

1) 共同溝の周辺地盤は、せん断振動系の離散型モデルにより表わす。地盤の剛性は一般に拘束性、地盤に生じるせん断ひずみ等によって変化するので、等価線形の剛性を使用することによってこのような地盤の非線形性を近似的に計算に取り入れる。

2) 共同溝は周辺の地盤によって弾性的に支持された棒もしくは梁より成る骨組構造物としてモデル化する。共同溝と地盤を結ぶばねは、両者の相対的な応答変位の差に弾性的に抵抗するものとする。

3) 共同溝の質量は無視する。

4) 継手は、隣接する共同溝函体の相対的な伸縮もしくは回転運動に弾性的に抵抗する線形の継手ばねによってモデル化する。

5) 入力地震動は基盤面において与えるものとし、基盤面全長にわたり一様な入力地震動が作用すると仮定する。

動的解析モデルの概要は図2.4に示す通りである。

### 2.2.2 入力地震動

入力地震動としては、1983年日本海中部地震における津軽大橋周辺地盤上での記録(橋軸方向  $a_{max} = 278 \text{ gal}$ )を、その減衰定数10%の加速度応答スペクトルが共同溝設計指針に示されている速度応答スペクトルから求めた加速度応答スペクトルと合致するように図2.5のフローに従い、原波形を振動数領域で振幅調整して用いることとした<sup>11)</sup>。共同溝設計指針に示されている速度応答スペクトル  $S_v$  (減衰定数0.1)から、加速度応答スペクトル  $S_A$  は次式により求めた。

$$S_A = \frac{2\pi}{T} S_v \quad \dots\dots\dots (2.10)$$

ここで、 $T$ は固有周期である。

図 2.6 はこのようにして求めた減衰定数 0.1 の加速度応答スペクトル  $S_A$  を示したものである。ここで、振幅調整する原波形として津軽大橋記録を選定した理由は、1) 0.5 秒以下の周期成分を相対的に大きくすれば、目標とする共同溝設計指針スペクトルと比較的良く一致すること、2) マグニチュード 7.7 と比較的規模の大きい地震により震央距離  $d=110$  km の位置で得られた記録であり、原波形のままでも動的解析の入力地震動として使用し得る特性を有していること、の 2 点である。図 2.7 は振幅調整する前の津軽大橋記録とこれを振幅調整して求めた入力地震動波形を示したものである。入力地震動波形の最大加速度は 197 gal である。

### 2.2.3 計算モデル

本解析では共同溝 20 函分、600 m の区間を対象とし、図 2.8 に示すように、表層地盤は 7.5 m 間隔で計 81 質点に、また、共同溝は 1 函体を 5 節点として計 100 節点に、それぞれ、離散化して、モデル化した。伸縮継手は、隣接する共同溝の端部間を結ぶ長さ 2 cm のばね要素としてモデル化した。なお、地盤条件変化部は解析モデルの中央に設定したため地盤条件変化部の中心と解析モデルの中心が一致している。また、この中心点位置は常に共同溝の継手位置となるようにモデル化を行った。

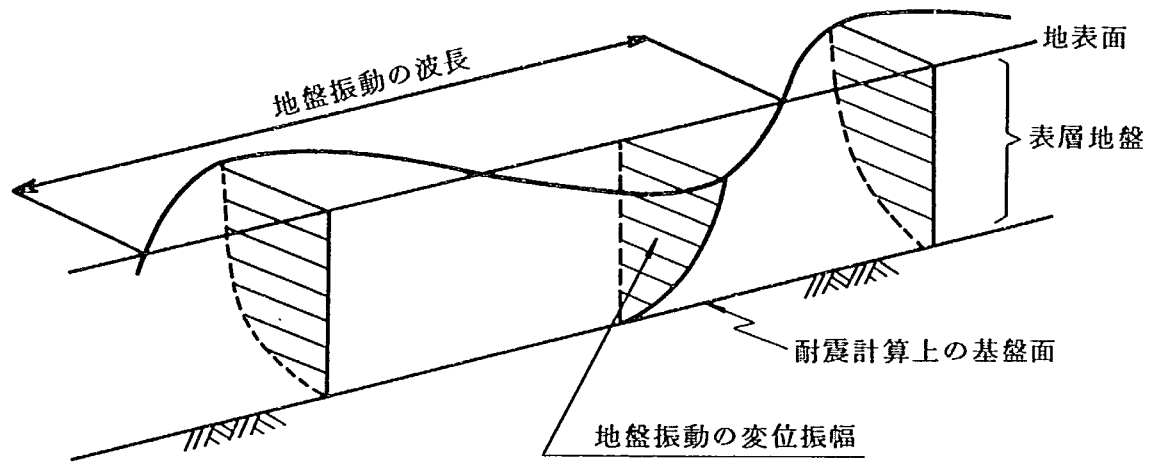


図2.1 地盤振動の波長および変位振幅

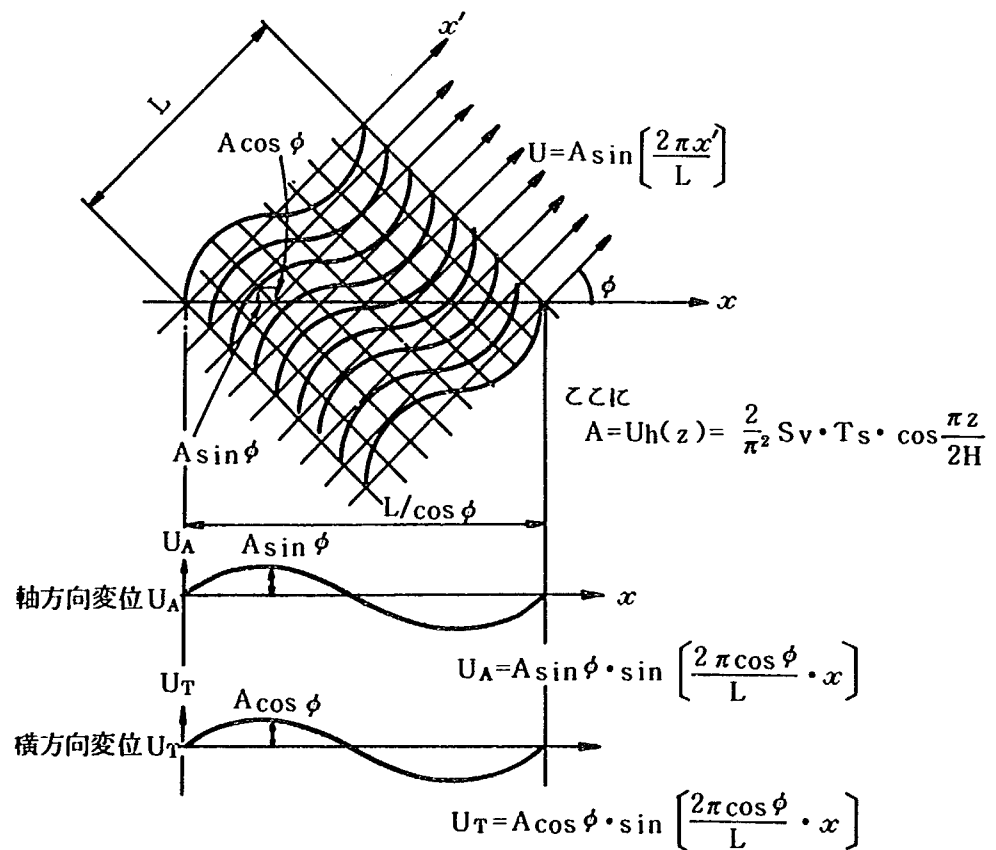


図2.2 地震動の伝播とこれによる地盤の変形

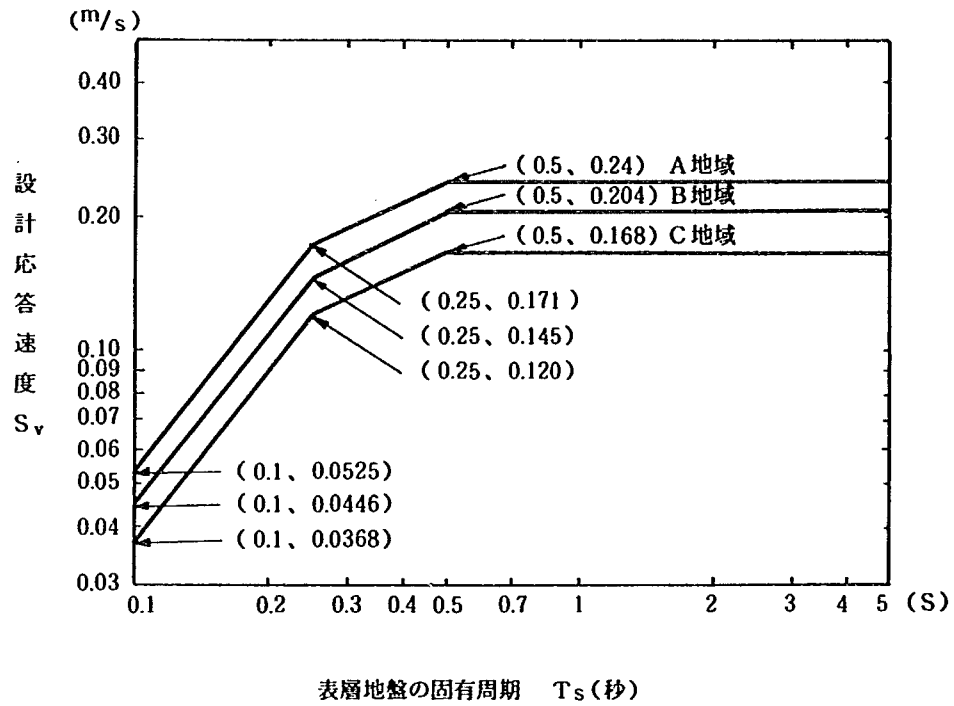


図2.3 設計応答速度

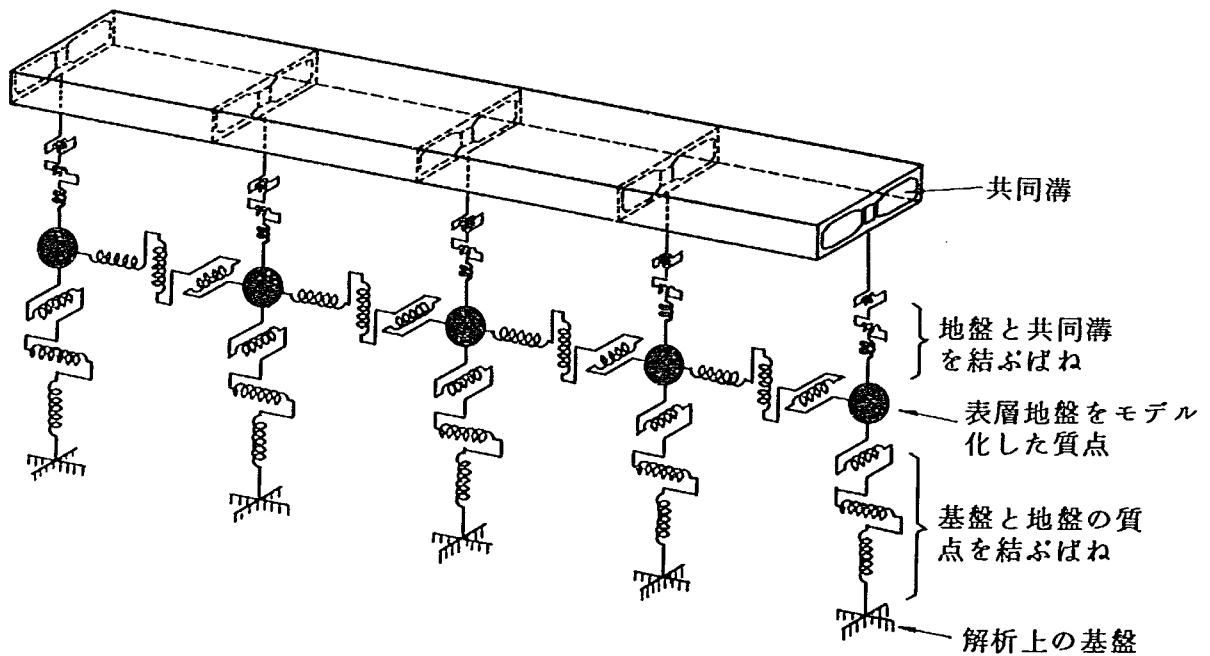


図2.4 動的解析力学系モデルの概念図

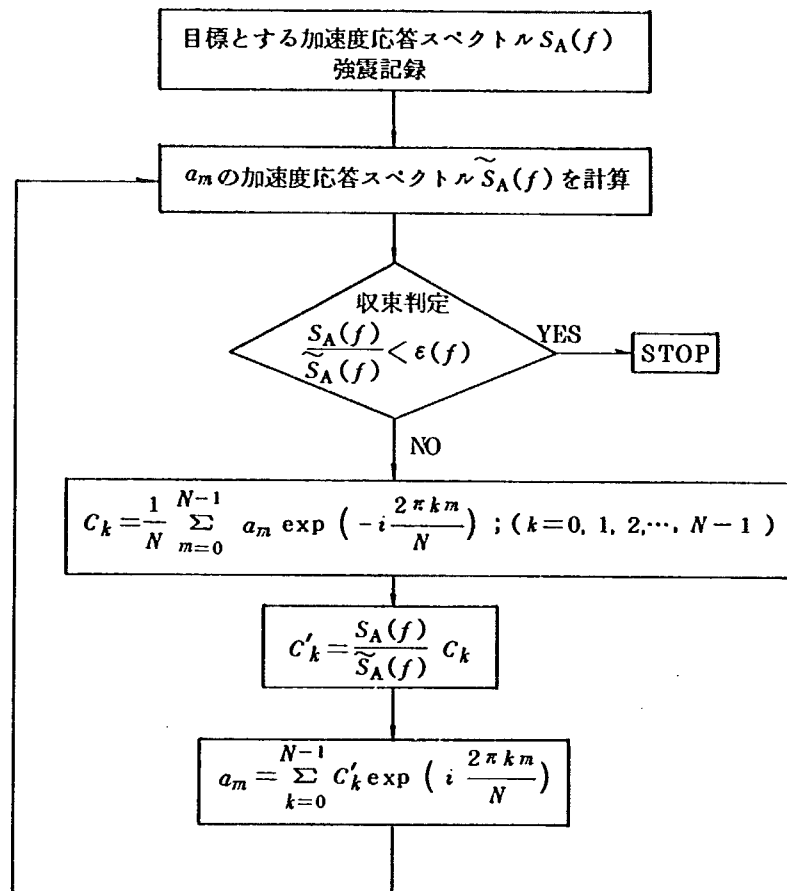


図2.5 強震記録の振幅特性調整のフロー

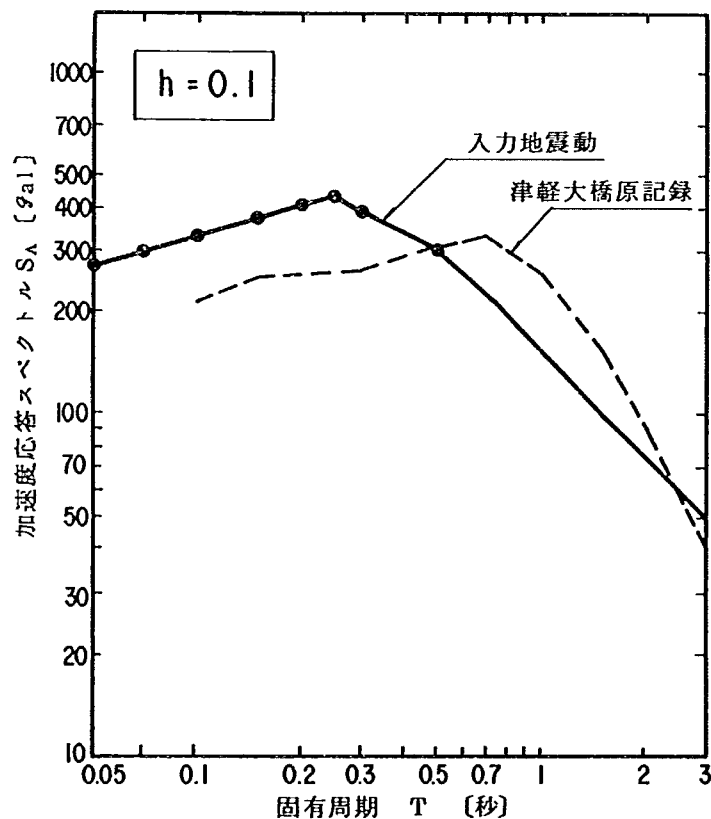
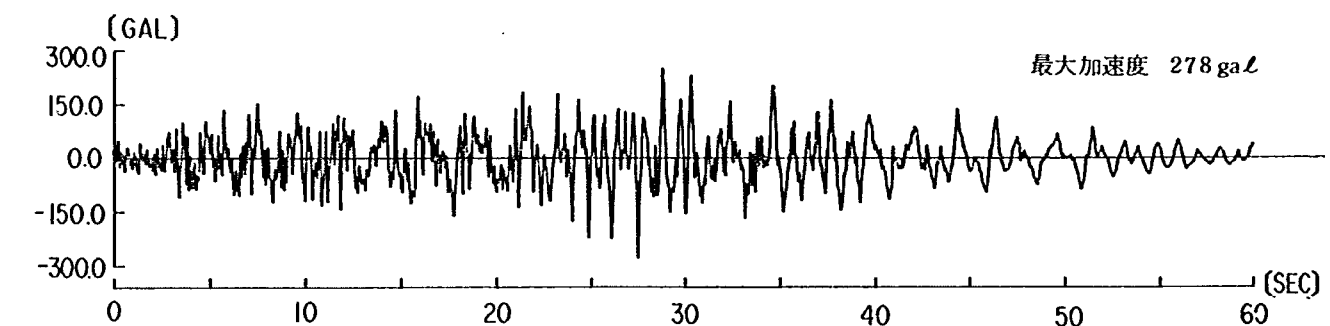
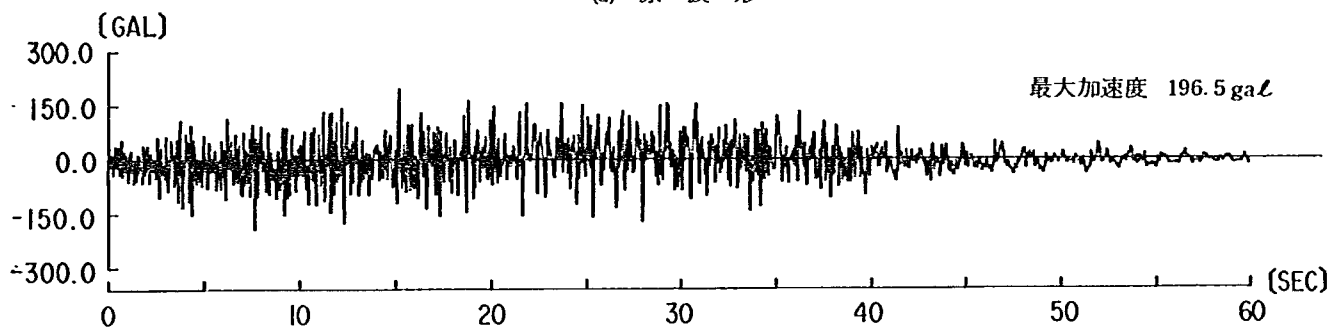


図2.6 入力地震動の加速度応答スペクトル



(a) 原波形



(b) 振幅調整した波形

図2.7 日本海中部地震による津軽大橋記録及びこれを振動数領域で振幅調整して求めた入力地震動波形

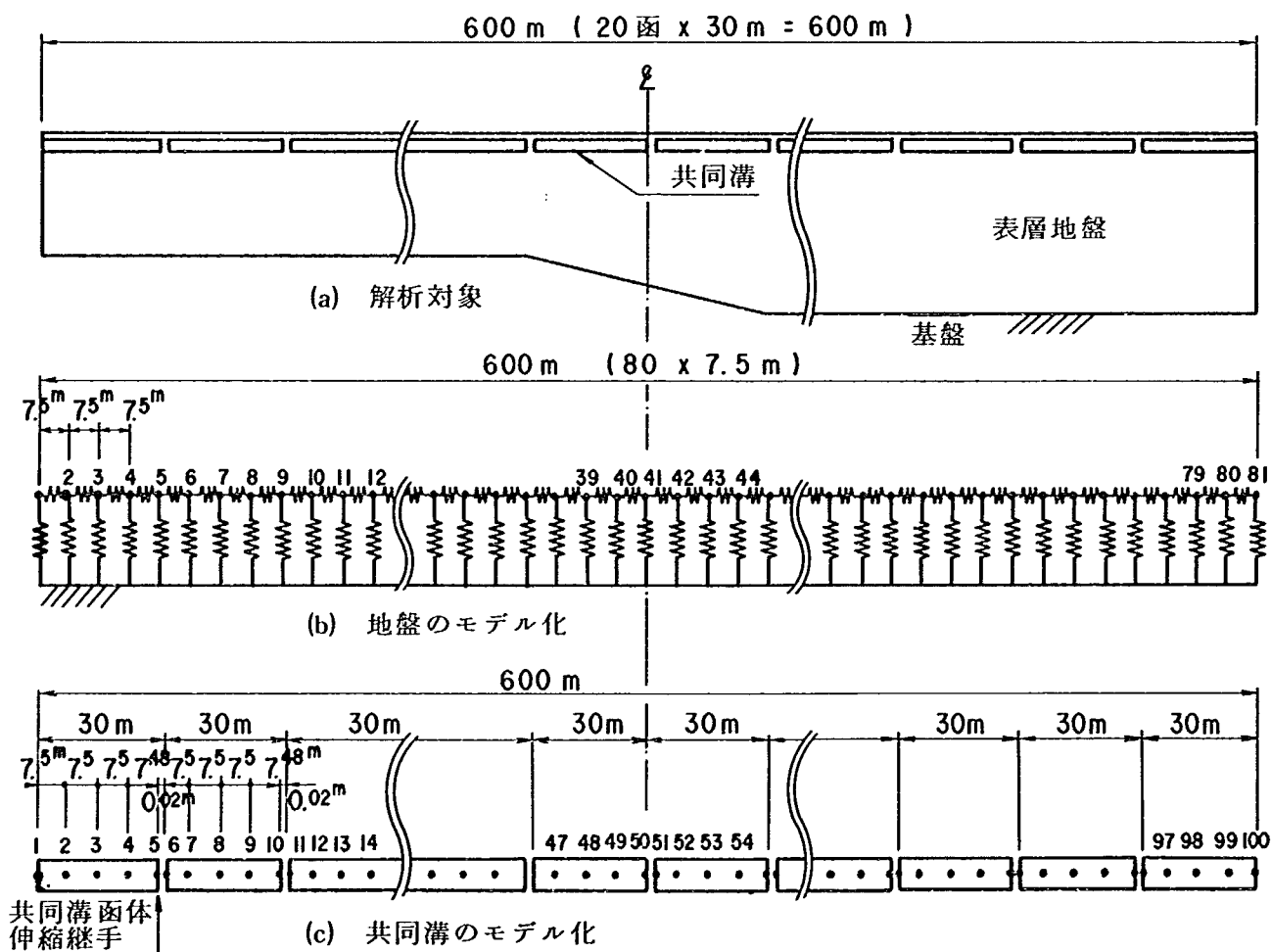


図2.8 共同溝の地震応答解析モデル

### 3. 伸縮継手の剛性と共同溝に生じる軸力の関係

ここでは伸縮継手の剛性と共同溝に生じる軸力の関係を検討し、これと1章に示した実際に共同溝が有すると考えられる継手剛性を加味して、以下の地震応答解析に用いる継手剛性を検討する。

検討対象とする地盤条件は、表1.3に示したケース1、ケース5及びケース8の3ケースとした。これらのケースはともに3ボックスタイプで、 $V_s = 100 \text{ m/s}$ 、 $\ell = 7.5 \text{ m}$ 、 $H_1 = 4.0 \text{ m}$ の条件を有し、 $\Delta T = 0.0 \text{ 秒}$  ( $H_2 = 4.0 \text{ m}$ )、 $\Delta T = 0.4 \text{ 秒}$  ( $H_2 = 3.0 \text{ m}$ )及び、 $\Delta T = 1.0 \text{ 秒}$  ( $H_2 = 1.5 \text{ m}$ )となっている。また、可撓性継手の剛性は、本体の軸剛性に対して、 $10^{-6}$ 、 $10^{-5}$ 、 $5 \times 10^{-5}$ 、 $10^{-3}$ 、 $10^{-2}$ 、 $10^{-1}$ および1.0と8ケースに変化させた。

以上のようにして求められた継手剛性の変化に伴い共同溝に生じる最大軸力の変化は表3.1および図3.1に示す通りである。これよりの継手剛性の低下に伴う最大軸力の減少は、地盤条件変化部の固有周期差の影響をほとんど受けず、一定の傾向を示すと言える。したがって、1章に示したように、通常の伸縮継手であれば、本体の軸方向剛性の $10^{-5}$ 程度と見込まれることから、この場合には伸縮継手が存在せず、共同溝が連続している場合、言い換えれば、伸縮継手の剛性が無限に大きくなった場合に対して、5%程度の軸力しか生じないことになる。

一方、共同溝設計指針に示されている応答変位法による耐震計算においては、両端の伸縮継手位置で軸方向の拘束は全くないという条件で計算される軸力の低減係数 $\xi$ が0.1未満となった場合にはこれを0.1とすることとしている。この理由は、伸縮継手の剛性は曲げ変形に伴うカラーと共同溝側面との間の接触等、各種の条件により大きく変化すると考えられること、また、低減係数の算定式は弾性床上の梁理論から求めたものであり、地盤ばね定数の設定等の精度を考慮すると、あまり小さな低減係数を用いることには、設計上不安が残ること、等によるもので、下限値を0.1に足切りしたものである。したがって、動的解析においてもこのような点を考慮すると、伸縮継手の剛性を上述した本体の軸方向剛性の $10^{-5}$ とし、低減係数が結果的に0.05となるような伸縮継手とするものではなく、もう少し剛性の高いものを想定しておく方がよいと考えられる。このため、ここでは、共同溝設計指針に示される低減係数の最低値である0.1を目安として、図3.1から共同溝本体の軸方向剛性に対して $5 \times 10^{-5}$ の剛性を有する伸縮継手を想定することとした。

表 3.1 継手剛性の変化に伴う共同溝に生じる軸力の変化

| ケース<br>No. | 本体剛性に対する<br>伸縮継手の剛性比 | 固有周期差 0.0 秒 |         | 固有周期差 0.4 秒 |         | 固有周期差 1.0 秒 |         |
|------------|----------------------|-------------|---------|-------------|---------|-------------|---------|
|            |                      | 軸 力 [t]     | 軸力比 [%] | 軸 力 [t]     | 軸力比 [%] | 軸 力 [t]     | 軸力比 [%] |
| 1          | 1                    | 713         | 100     | 5.261       | 100     | 5.963       | 100     |
| 2          | $10^{-1}$            | 712         | 99.8    | 5.243       | 99.6    | 5.942       | 99.6    |
| 3          | $10^{-2}$            | 700         | 98.1    | 5.064       | 96.2    | 5.745       | 96.3    |
| 4          | $10^{-3}$            | 602         | 84.4    | 3.824       | 72.6    | 4.377       | 73.4    |
| 5          | $10^{-4}$            | 292         | 40.9    | 1.303       | 24.7    | 1.560       | 26.1    |
| 6          | $5.0 \times 10^{-5}$ | 206         | 28.8    | 816         | 15.5    | 986         | 16.5    |
| 7          | $10^{-5}$            | 85.2        | 11.9    | 284         | 5.3     | 374         | 6.2     |
| 8          | $10^{-6}$            | 42.7        | 5.9     | 135         | 2.5     | 188         | 3.1     |

注) 軸力比はケース 1 の軸力を基準とした軸力の比率

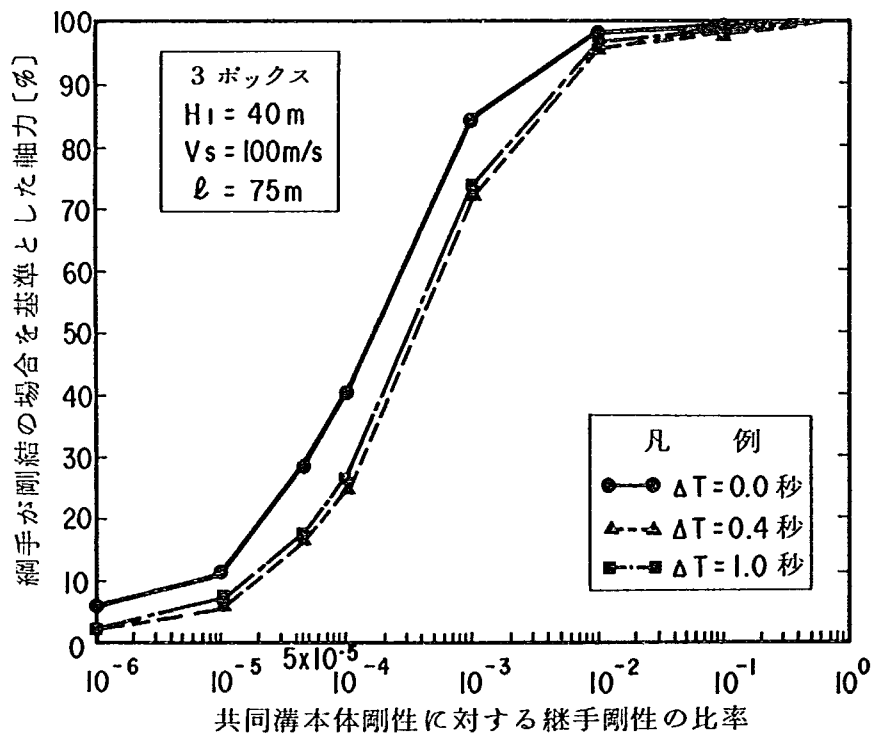


図 3.1 可撓性継手の剛性の変化に伴う共同溝軸力の変化

## 4. 動的解析結果に基づく地盤条件変化部の共同溝の地震応答特性

### 4.1 地盤条件変化部の共同溝に発生する軸力最大値の検討

図 4.1 は固有周期差  $\Delta T$  と共同溝に発生する最大軸力の関係を条件変化部の長さに着目して整理したものである。これによれば軸力の増大量は固有周期差  $\Delta T$  と高い相関を示しており、固有周期差  $\Delta T$  が大きい程最大軸力も大きくなる傾向がある。また、固有周期差が同じ場合には地盤条件変化部の長さが短い程、軸力も大きくなるが、その程度は固有周期差に比較すると相対的に小さい。

図 4.2 は固有周期差  $\Delta T$  と共同溝に発生する最大軸力の関係を表層地盤厚  $H_1$  (厚い方の表層地盤厚さ) に着目して整理したものである。この場合においても軸力の増大量は固有周期差  $\Delta T$  と良い相関を示しており、固有周期差  $\Delta T$  が同じ場合には表層地盤厚が 20 m から 40 m の範囲では地盤の厚さが厚い程、軸力が大きくなるが、その程度は固有周期差に比較すると相対的に小さい (特に、固有周期差  $\Delta T$  が 0.4 秒以下の領域において)。

図 4.3 は固有周期差  $\Delta T$  と共同溝に発生する最大軸力の関係を表層地盤の剛性に着目して整理したものである。ここで、図 4.3 (a) は厚い側の表層地盤の深さ  $H_1$  を同一 ( $H_1 = 40$  m とした) とした場合であり、図 4.3 (b) は表層地盤の厚い側の固有周期  $T_1$  を同一 ( $T_1 = 1.2$  秒とした) とした場合である。この場合においても軸力の増大量は固有周期差  $\Delta T$  と高い相関を示しており、表層地盤のせん断弾性波速度  $V_s$  の影響は相対的に小さく、軸力との間にも一定の関係はみられない。

図 4.4 は固有周期差  $\Delta T$  と共同溝に発生する最大軸力の関係を共同溝形式に着目して整理したものである。これによれば 2 ボックスタイプの軸力は、3 ボックスタイプの軸力の値に対して常にほぼ一定の比率を示しており、固有周期差  $\Delta T$  の変化に伴う軸力の変化の傾向は共同溝形式が変わっても大きく変わっていないことが分かる。

以上より、共同溝に生じる最大軸力に対しては、固有周期差の影響が大きいことがはっきりしたが、固有周期差とは結局、表層地盤の厚さの変位の度合いを表わしていると考えられる。ただし、固有周期差のみで地盤条件の変化の度合いを表わした場合には、ゆるい勾配でも地盤条件の変化が長く続いた場合には固有周期差  $\Delta T$  も大きくなるが、どこまでも固有周期差  $\Delta T$  の増大とともに軸力が増大するとは考えられない。このため地盤条件の変化の度合いを 100 m 当りの固有周期差に換算して図 4.1 の結果を整理し直した結果が図 4.5 である。横軸は言わば、地盤条件の平均変化率 (固有周期勾配) に相当している。この結果を見ると、固有周期勾配と軸力の関係は、図 4.1 に示した単に固有周期差  $\Delta T$  を用いた場合よりも変化区間長による違いがはっきり表われ、結果として、図 4.1 よりもまとまりが悪い。したがって、表層地盤厚さの変化を表わす指標としては、固有周期勾配よりも固有周期差の方が優れているといえることができる。

図 4.6 は、 $H_1$  および  $H_2$  を一定 (固有周期差が同じ) とした状態で、地盤条件の変化する区間長  $l$  を変化させると、軸力がどのように変化するかを検討した結果を示したものである。これに

よれば，固有周期差が同じであれば地盤条件の変化区間長が200 m程度までは，変化区間長が最も短い37.5 mの場合に比較して共同溝に発生する軸力がほとんど変化しないことがわかる。

図4.7は表層地盤厚と共同溝に発生する最大軸力の関係を固有周期差に着目して整理したものである。これによれば，軸力と表層地盤厚さの関係は，固有周期差 $\Delta T$ によって大きく変化し，表層地盤厚さ $H_1$ だけによって共同溝に生じる軸力を整理するには無理がある。

以上の検討より，地盤条件変化部の長さが200 m程度以内であれば，固有周期勾配，表層地盤厚，表層地盤剛性のいずれよりも固有周期差 $\Delta T$ の方が共同溝に生じる軸力に支配的な影響を与えることがわかる。ただし，現実には共同溝を設置するような都市部の地盤条件を考えると，200 m以上にもわたって一様地盤部とはみなせない程度の固有周期差を持って，単調に一方向に地盤条件が変化し続けることは一般には有り得ないと考えられる。したがって，地盤条件変化部において共同溝に生じる軸力の大きさを表わす指標としては固有周期差 $\Delta T$ が最適であるといえることができる。

以上のように，共同溝に生じる軸力が主として固有周期差 $\Delta T$ によって支配される理由は，以下のように考えることができる。すなわち，共同溝は弾性支承上の梁としてモデル化されている訳であるから，共同溝に生じる軸力 $P$ は，基本的に弾性床に生じるひずみ，すなわち，周辺地盤のひずみ $\varepsilon$ に比例することとなる。すなわち，

$$P \propto \varepsilon \quad \dots\dots\dots (4.1)$$

ここで，地盤のひずみ $\varepsilon$ は，図4.8(a)に示すように， $\ell_S$ だけ離れた2地点間の相対変位に比例するため，次のように与えられる。

$$\begin{aligned} \varepsilon &\doteq \frac{U_A(H_A) - U_B(H_B)}{\ell_S} \\ &\doteq \frac{1}{\ell_S} [ \Gamma_A \phi_A(H_A) S_D(T_A) - \Gamma_B \phi_B(H_B) S_D(T_B) ] \quad \dots\dots\dots (4.2) \end{aligned}$$

ここで，

- $U_A(H_A), U_B(H_B)$  :  $A$ 点， $B$ 点における共同溝埋設深さ( $H_A, H_B$ )位置における地盤変位
- $\Gamma, \phi(H)$  :  $A$ 点，及び $B$ 点をそれぞれ土柱によりモデル化した場合の地盤振動の1次の刺激係数及びモード関数
- $S_D(T)$  : 変位応答スペクトル

いま，入力地震動としては，図2.3に示したように，固有周期 $T > 0.5$ では，速度応答スペクトル $S_V(T)$ が一定であるため，変位応答スペクトル $S_D(T)$ は次のようになる。(図4.8(b)参照)

$$\begin{aligned} S_D(T) &\doteq \frac{T}{2\pi} S_V(T) \\ &= \frac{T}{2\pi} C \quad \dots\dots\dots (4.3) \end{aligned}$$

ここで、

$C : T > 0.5$  の  $S_V(T)$  の値

また、いま、 $\Gamma_A \phi_A(H_A) \div \Gamma_B \phi_B(H_B) = \Gamma \phi(H)$  と仮定すると、式(4.2)は次のようになる。

$$\varepsilon = \frac{\Gamma \phi(H)}{\ell_S} [S_D(T_A) - S_D(T_B)] \quad \dots\dots\dots (4.4)$$

したがって、式(4.3)を式(4.4)に代入すると、次のようになる。

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \frac{\Gamma \phi(H) C}{2 \pi \ell_S} [T_A - T_B] \\ &= \frac{\Gamma \phi(H) C}{2 \pi \ell} \Delta T \quad \dots\dots\dots (4.5) \end{aligned}$$

上式は、地盤ひずみが固有周期差  $\Delta T$  に比例することを示している。

## 4.2 地盤条件変化部における軸力分布の検討

図4.9は地盤条件変化部における軸力の分布を固有周期差  $\Delta T$  に着目して整理した結果である。これによれば地盤条件変化部とその近傍においては固有周期差  $\Delta T$  の増大に伴って軸力も大きくなるのがわかる。ただし、軸力が大きくなる範囲に着目すると、これは、固有周期差  $\Delta T$  によらず各ケースともほぼ同一である。また、軸力は、地盤条件変化部の中心よりも、むしろ、これから固有周期の長い側に寄った所にピークを有する形状となっている点が注目される。

図4.10は軸力の分布を表層地盤剛性の影響に着目して整理したものである。これより、前述した最大軸力の値と同様に軸力の分布形状も、表層地盤のせん断弾性波速度  $V_S$  による大きな違いは認められないことがわかる。

図4.11は軸力の分布を地盤条件変化部の長さの影響に着目して整理したものである。地盤条件変化部の長さが200mを超すと、最大軸力は多少下がってくることは前述した通りであるが、図4.11によれば地盤条件変化部の長さが増加するにつれて軸力の分布形状は変化し、地盤条件変化区間長が大きい程軸力もゆったりと変化することを示している。

図4.12は表層地盤厚の変化に伴う軸力の分布を示したものである。これによれば、表層地盤厚が増加するにつれて軸力の分布はなだらかになり、地盤条件変化部の影響範囲も広がっている。

図4.13は以上に示した地盤条件変化部における軸力分布の特徴を整理したものである。いま、図4.13(a)に示すように最大軸力の50%に相当する軸力に着目し、これを超える区間A~Bを軸力増加範囲  $\ell_0$  と定義することとする。また、地盤条件変化部の中間点OとA~Bの中間点Cとの距離を軸力分布中心の移動距離  $\ell_T$  と呼ぶこととする。 $\ell_0$  及び  $\ell_T$  により、地盤条件変化部の軸

力分布をまとめると、以下のようになる。

1) 軸力の増加範囲  $l_a$  は図 4.13 (b) 及び (c) に示すように表層地盤厚  $H_1$  及び地盤条件変化部の長さ  $l$  が大きくなる程大きくなる。したがって、一様地盤部を基準とした場合に地盤条件変化部において、断面力を割増しすべき区間長は、表層地盤の厚さおよび地盤条件変化部の長さの両者を考慮して設定する必要がある。

2) 軸力増加範囲の中心点  $C$  は点  $O$  よりも右側、すなわち、表層地盤の固有周期が長い方側に寄った側にあり、 $l_T/l$  は図 4.13 (d) に示すように 0.1 ～ 0.5 の範囲にある。

#### 4.3 地盤条件の変化が連続する場合の軸力の分布

以上の検討は表層地盤厚が  $H_1$  から  $H_2$  に単調に変化する場合を対象としたものであるが、ここでは共同溝の長手方向に沿う地盤の固有周期勾配が反転する場合を対象として検討を行うこととする。

検討対象としたのは、3 ボックスタイプの共同溝であり、図 4.14 に示すように共同溝の長手方向に固有周期勾配が反転し、地盤条件変化部が連続するケース 85 およびケース 88 (以下、これらを地盤条件①と呼ぶ) を基本とし、これらをそれぞれ固有周期勾配が反転する箇所で地盤条件変化部を 2 つに分離したケース 86, 87 及びケース 89, 90 (以下、これらを地盤条件②及び③と呼ぶ) の計 6 ケースについて検討することとした。

地盤条件①, ②, ③に対する軸力の分布を合せて示すと図 4.15 の通りである。これによれば地盤条件①の場合の軸力分布は、地盤条件②及び③のうちいずれか大きい方の軸力分布よりは小さな値となっている。すなわち、図 4.15 (a) の場合を例にとると、地盤条件①の場合の軸力分布は地盤条件②の場合の軸力よりも大きくなっているが、一部の箇所を除けば地盤条件③の場合の軸力分布を上廻ってはいない。地盤条件②及び③の固有周期差  $\Delta T$  は、それぞれ 0.4 秒及び 0.8 秒であり、図 4.1 に示した結果から当然地盤条件③の場合の方が②の場合よりも大きな軸力が生じるはずである。したがって、上記の結果は地盤条件①の場合の軸力分布は、これを固有周期勾配が反転する位置において地盤条件変化部を 2 つに分離した場合のうち、固有周期差が大きい方の軸力分布を上まわらないことを示している。図 4.14 (b) に示したケースについても同様のことを言うことができる。

以上より、固有周期勾配が反転して地盤条件変化部が連続する場合には、固有周期勾配の反転する箇所で地盤条件変化部を分離して、固有周期差の大きい場合に対して軸力を求めれば安全側の値を与えられるということができる。

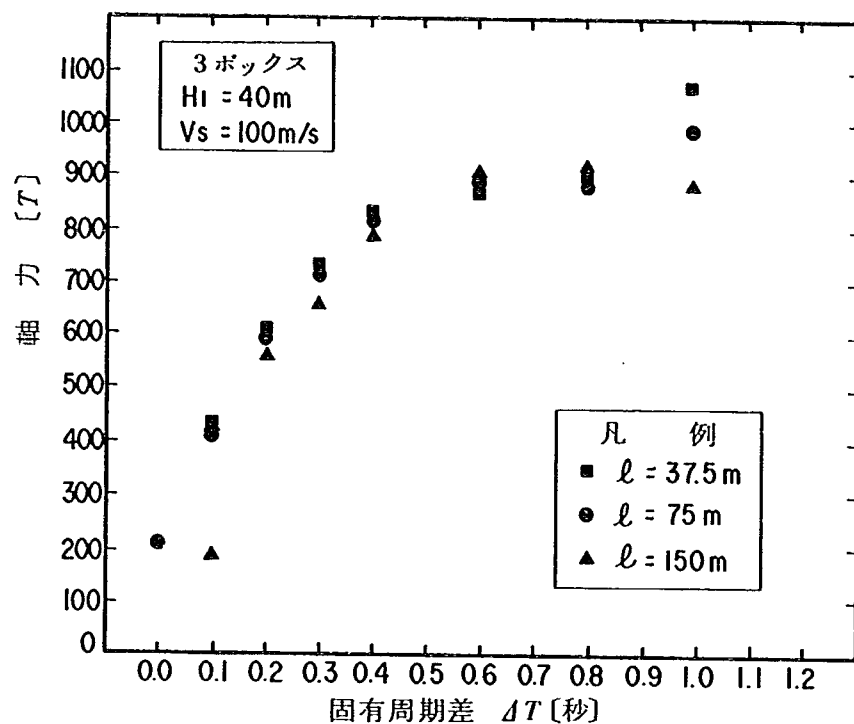


図 4.1 固有周期差  $\Delta T$  と共同溝に生じる最大軸力の関係(1)  
 — 地盤条件変化部の長さ  $l$  の影響 —

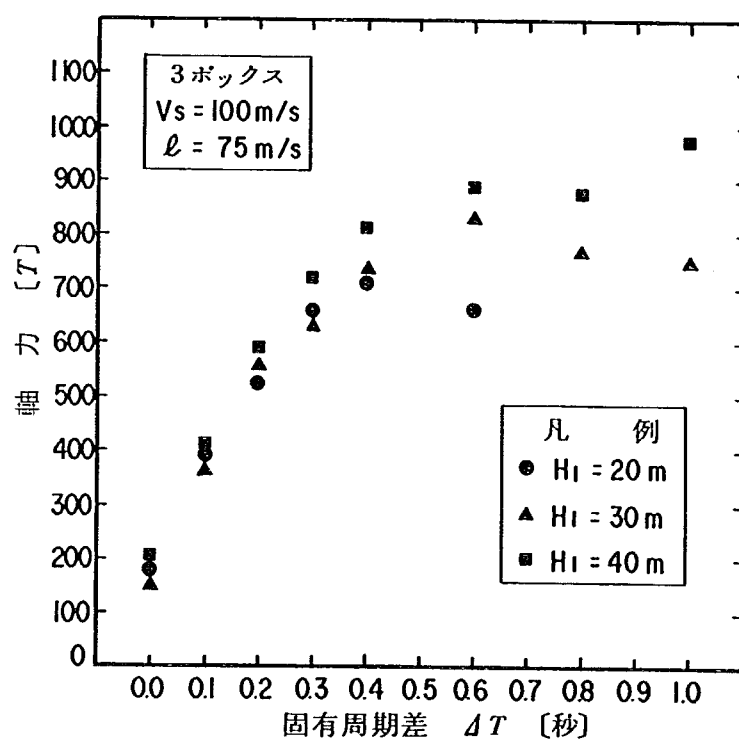
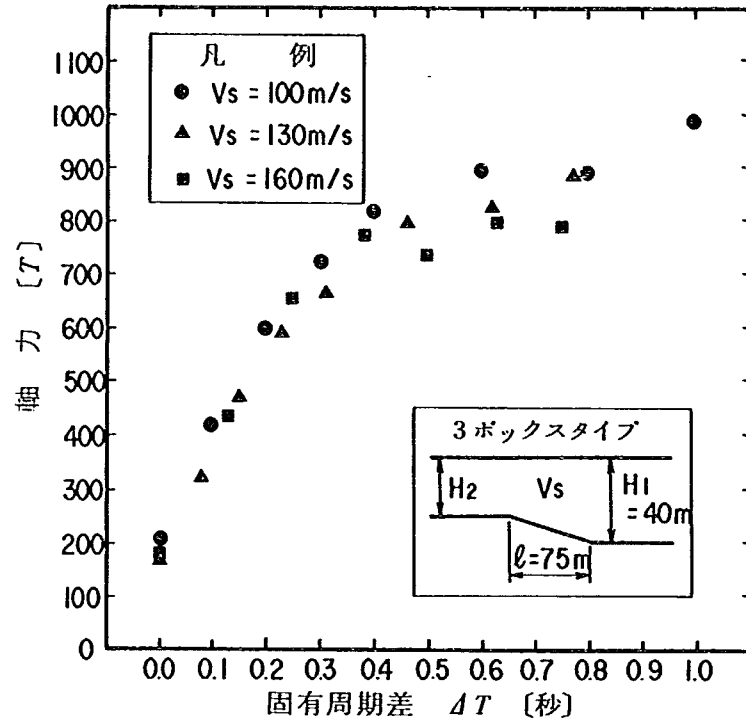
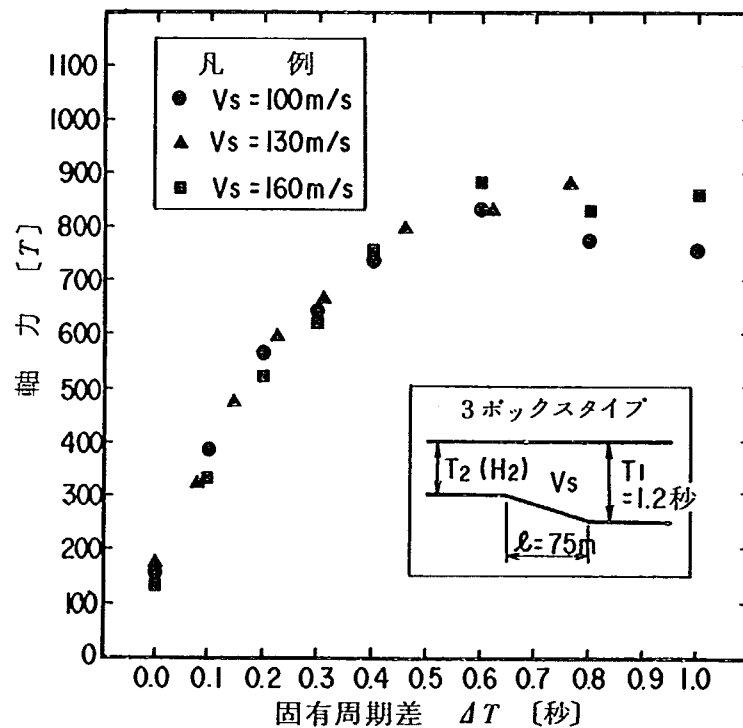


図 4.2 固有周期差  $\Delta T$  と共同溝に生じる最大軸力の関係(2)  
 — 表層地盤厚さ  $H_1$  の影響 —



(a) 表層地盤の厚さ  $H_1$  が一定



(b) 表層地盤の固有周期  $T_1$  が一定

図 4.3 固有周期差  $\Delta T$  と共同溝に生じる最大軸力の関係(3)  
— 表層地盤剛性の影響 —

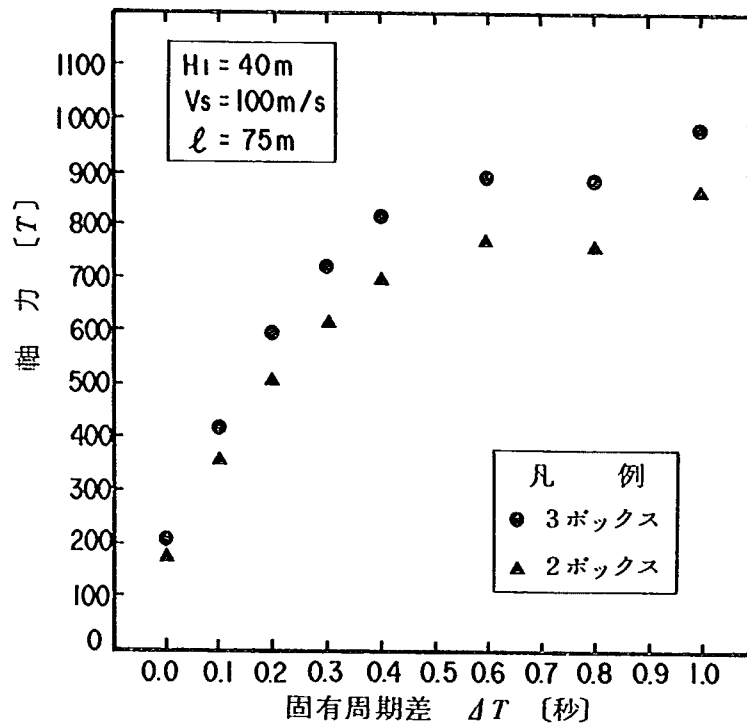


図4.4 固有周期差  $\Delta T$  と共同溝に生じる最大軸力の関係(4)  
— 共同溝形式の影響 —

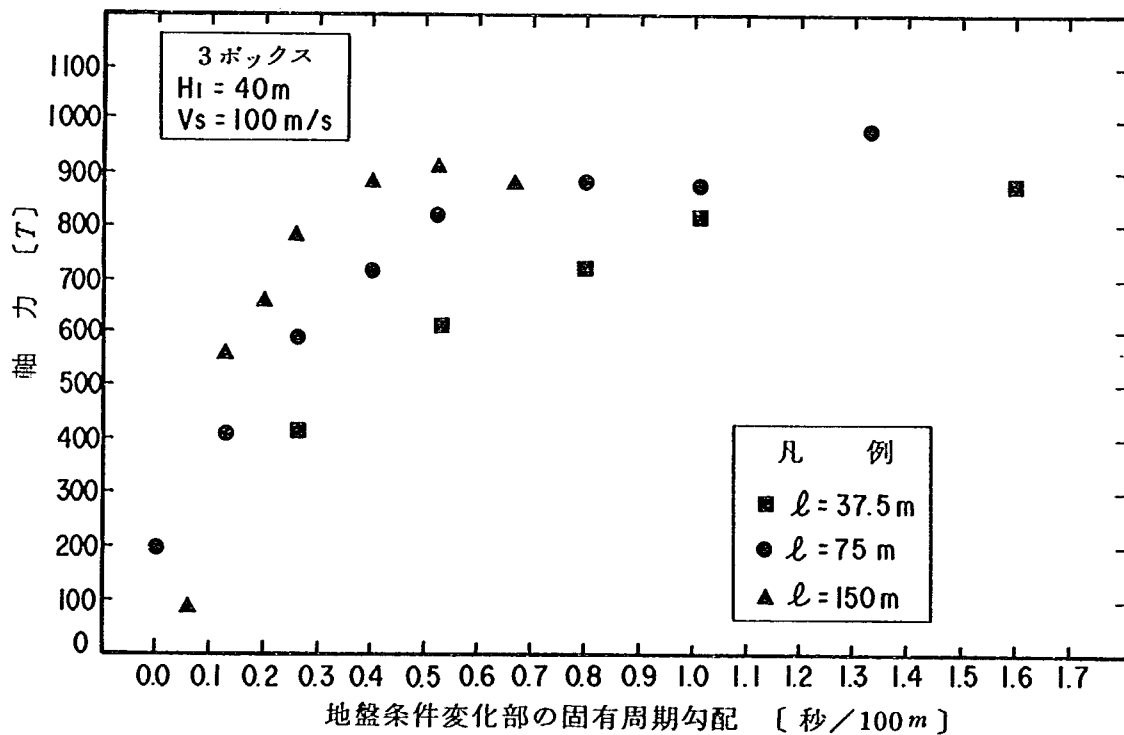
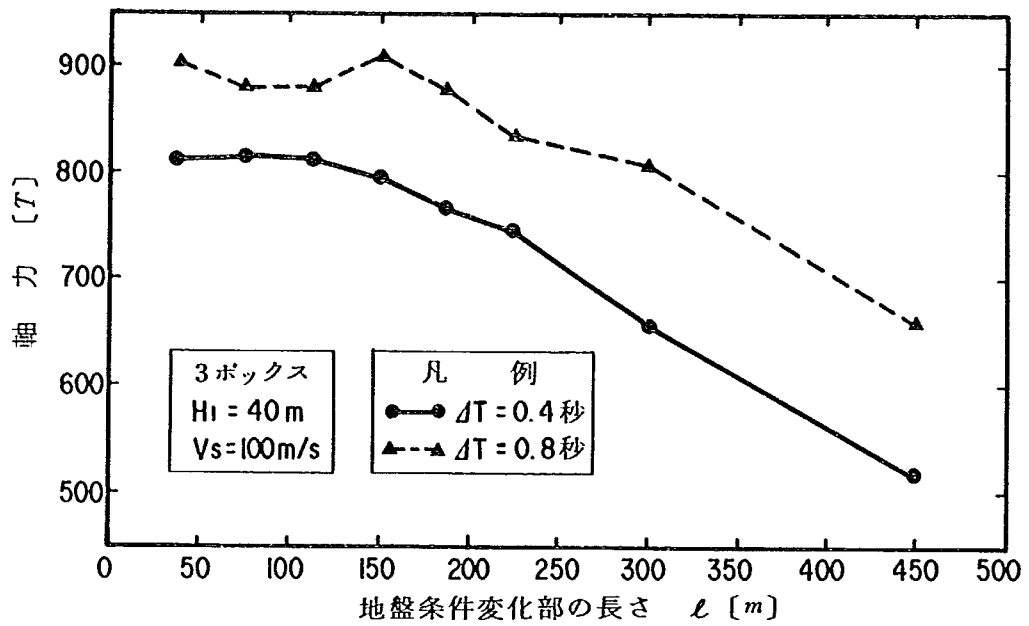
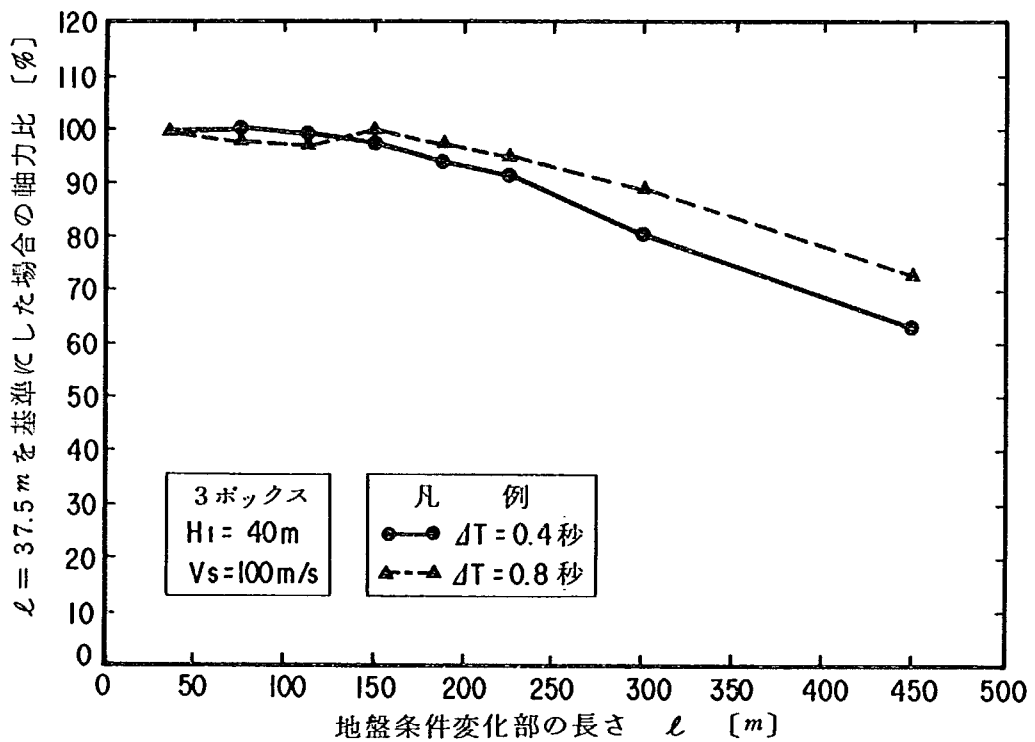


図4.5 固有周期勾配 ( $\Delta T/100\text{m}$ ) と共同溝に作用する最大軸力の関係



(a) 地盤条件変化部の長さ と 軸力の最大値の関係



(b) (a)を  $l = 37.5$  m の場合で正規化した場合

図 4.6 地盤条件変化部の長さ と 最大軸力の関係

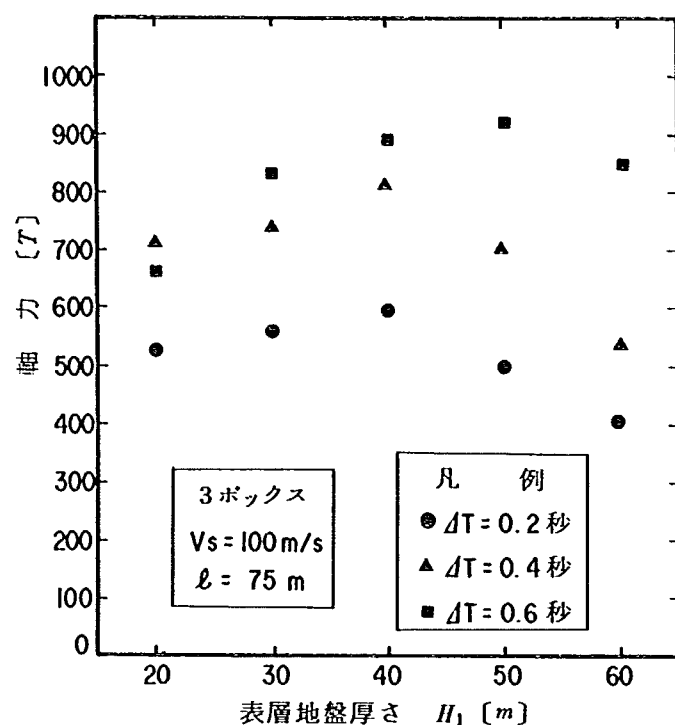
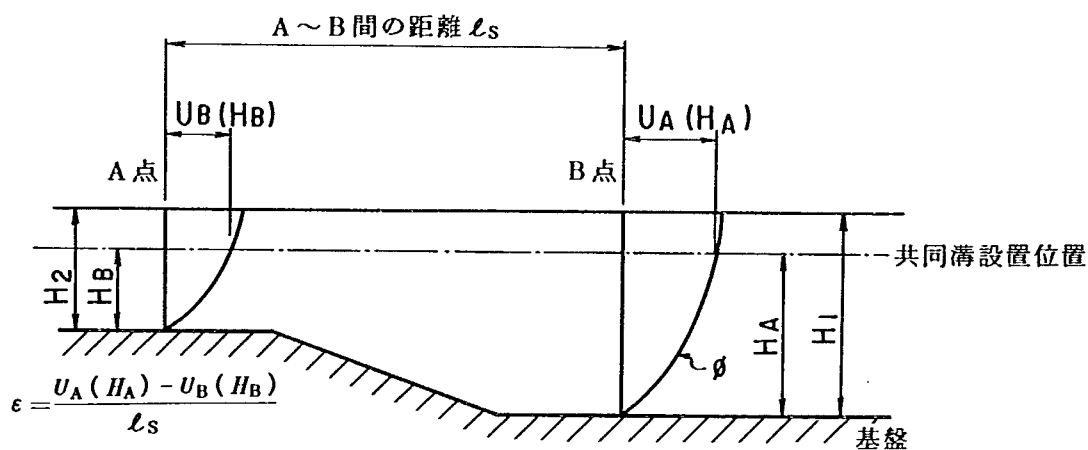
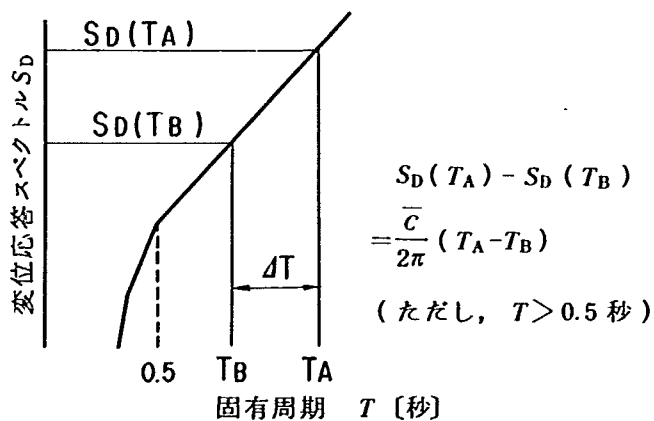


図4.7 表層地盤厚さと共同溝に作用する最大軸力の関係



(a) A～B間の平均地盤ひずみ



(b) 変位応答スペクトル

図4.8 共同溝に生じる軸力が固有周期差に比例する理由

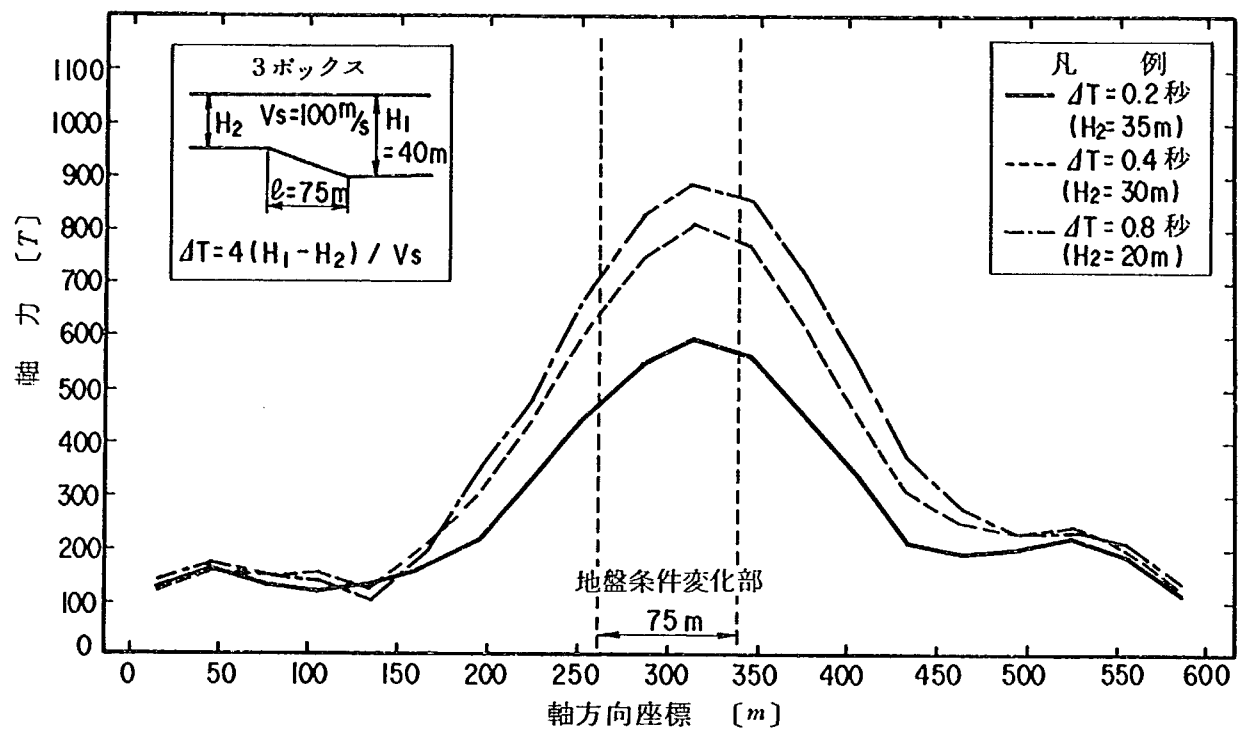


図 4.9 地盤条件变化部における軸力の分布(1)  
— 固有周期差  $\Delta T$  の影響 —

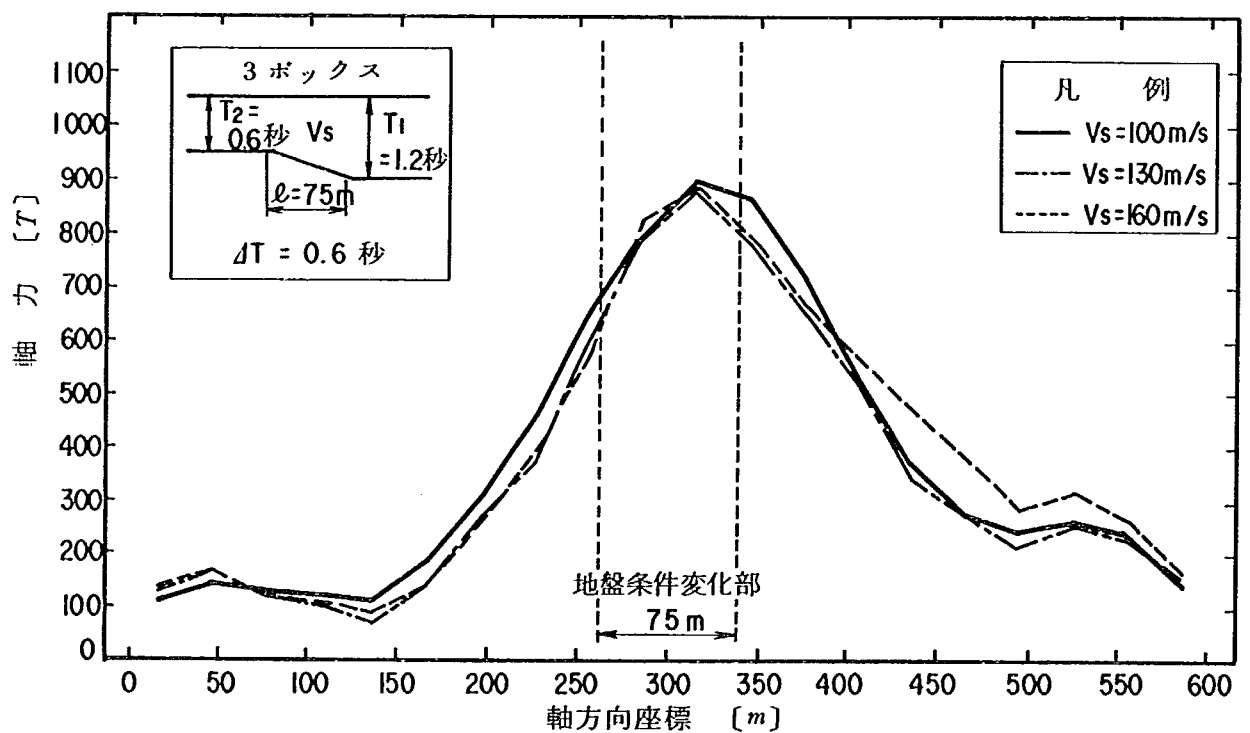


図 4.10 地盤条件变化部における軸力の分布(2)  
— 表層地盤剛性の影響 —

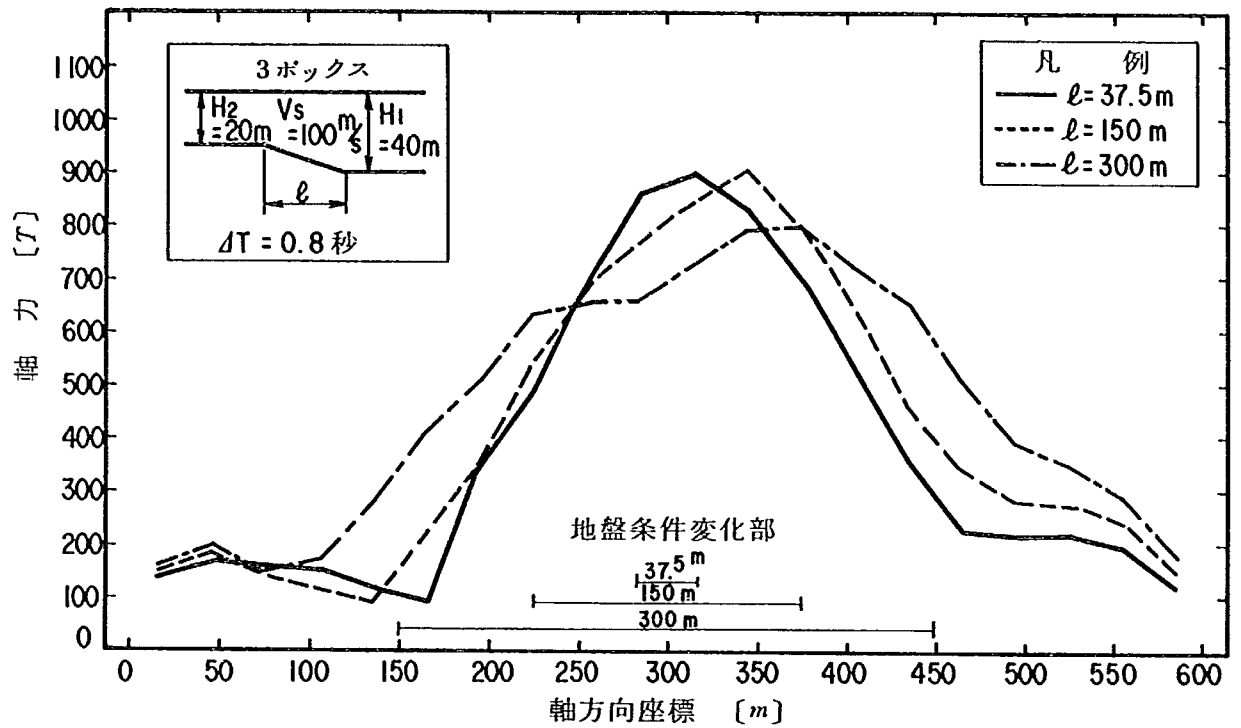


図 4.11 地盤条件変化部における軸力の分布(3)  
— 変化部の長さ  $l$  の影響 —

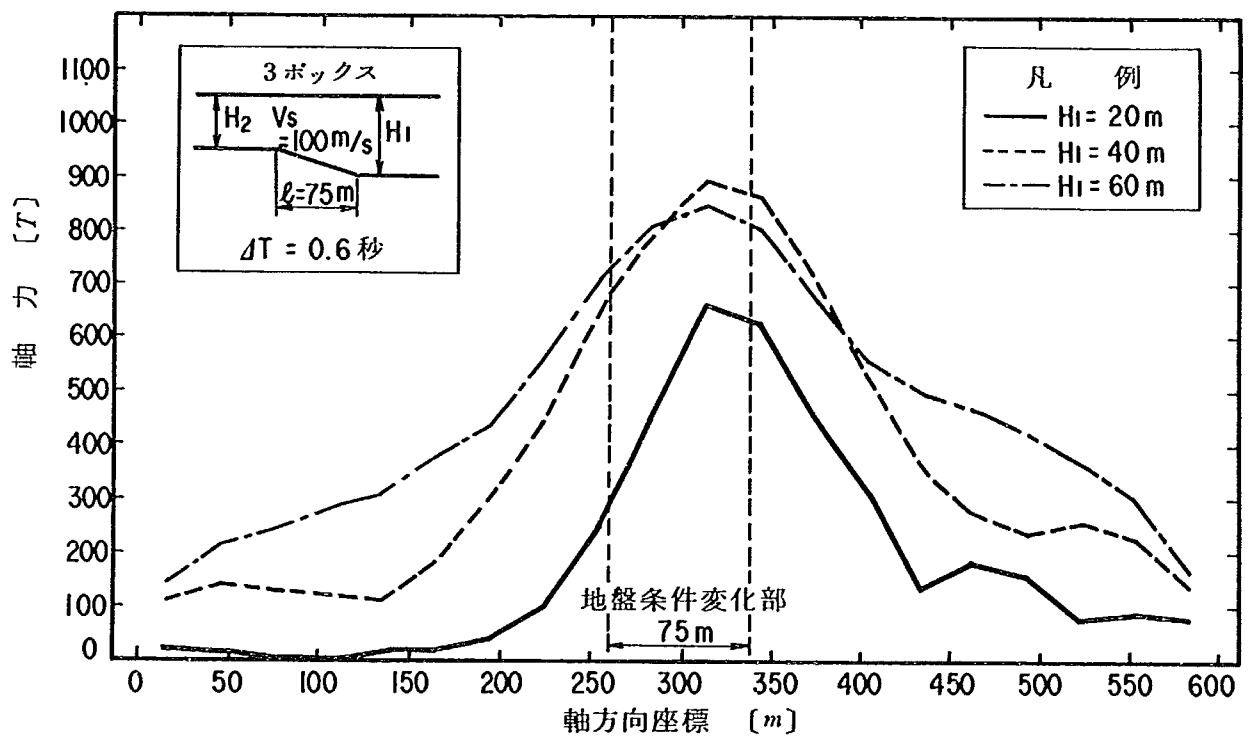
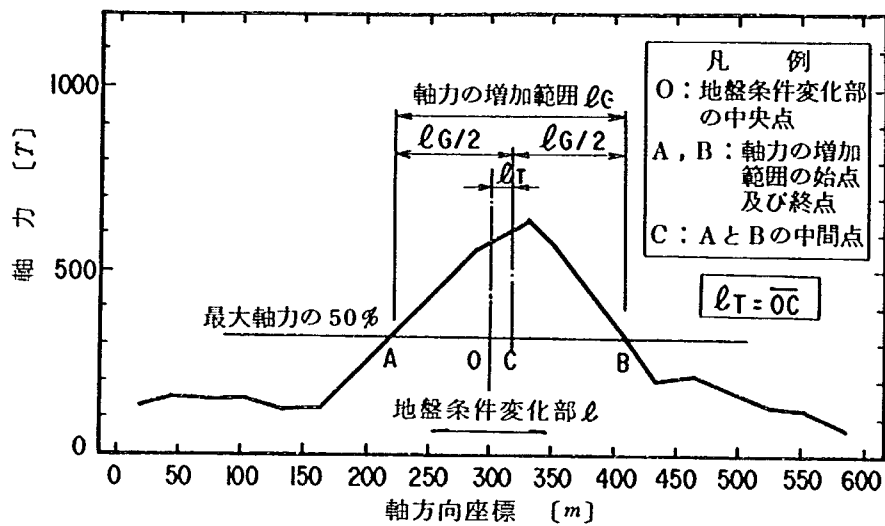
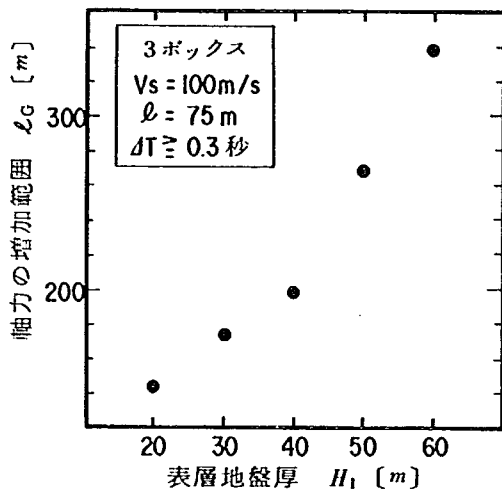


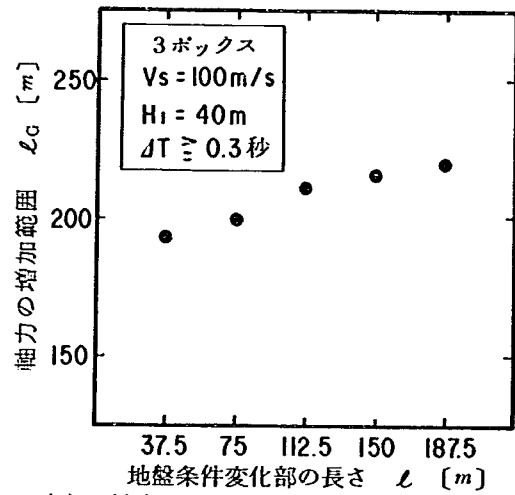
図 4.12 地盤条件変化部における軸力の分布(4)  
— 表層地盤厚  $H_1$  の影響 —



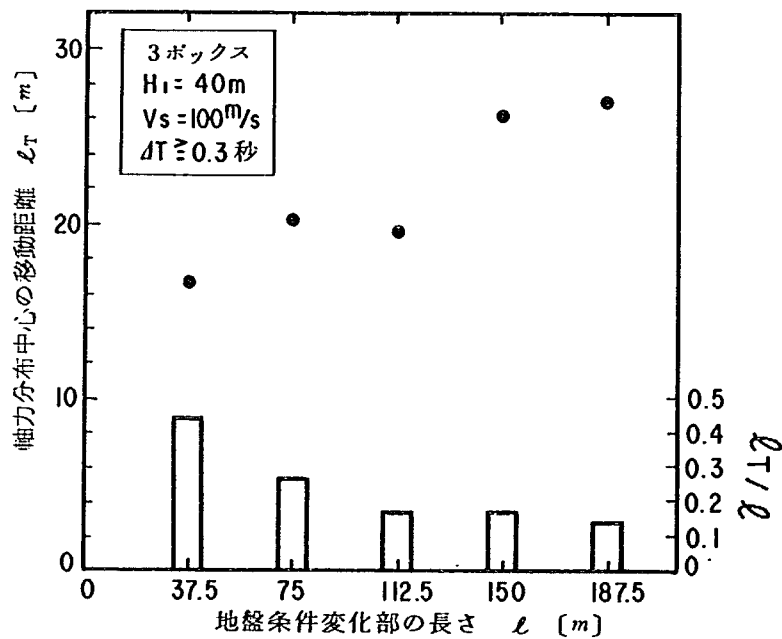
(a) 軸力の増加範囲  $l_G$  及び軸力分布中心の移動距離  $l_T$  の定義



(b) 軸力の増加範囲  $l_G$  と表層地盤厚  $H_1$  の関係



(c) 軸力の増加範囲  $l_G$  と地盤条件变化部の長さ  $l$  の関係



(d) 軸力分布中心の移動距離  $l_T$  と地盤条件变化部の長さ  $l$  の関係

図 4.13 軸力の分布範囲の検討

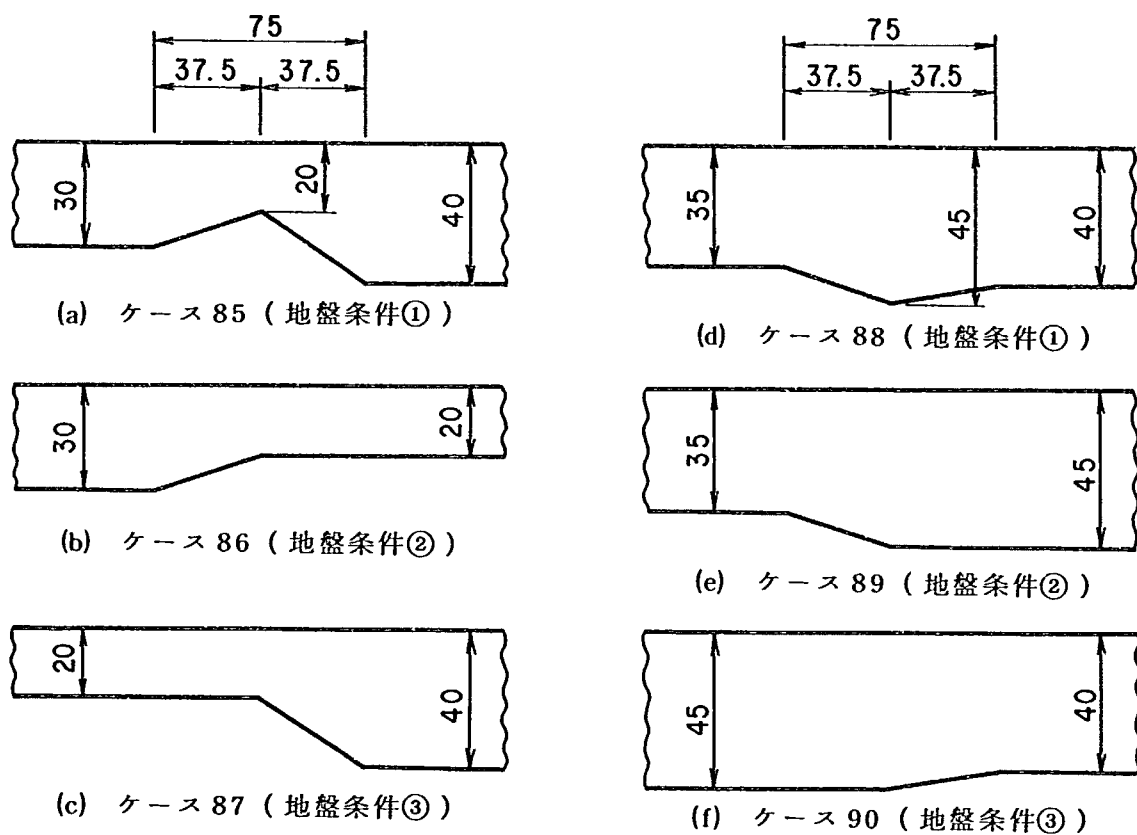
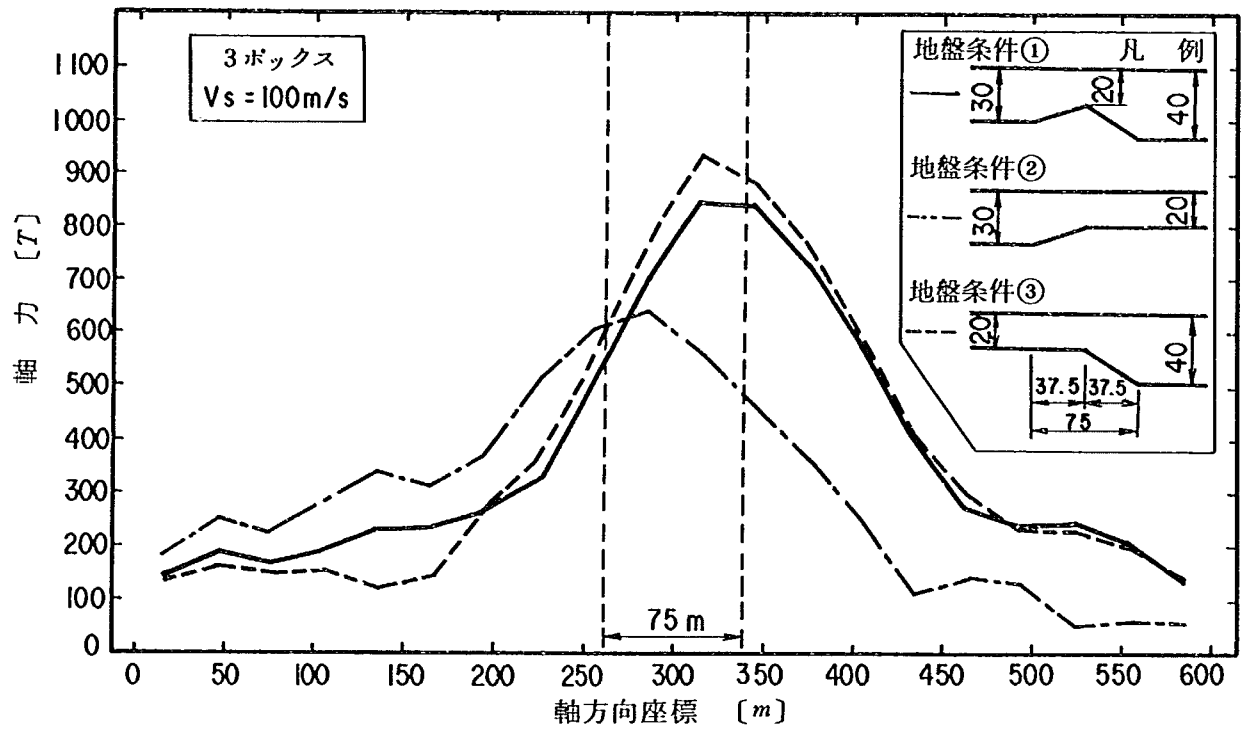
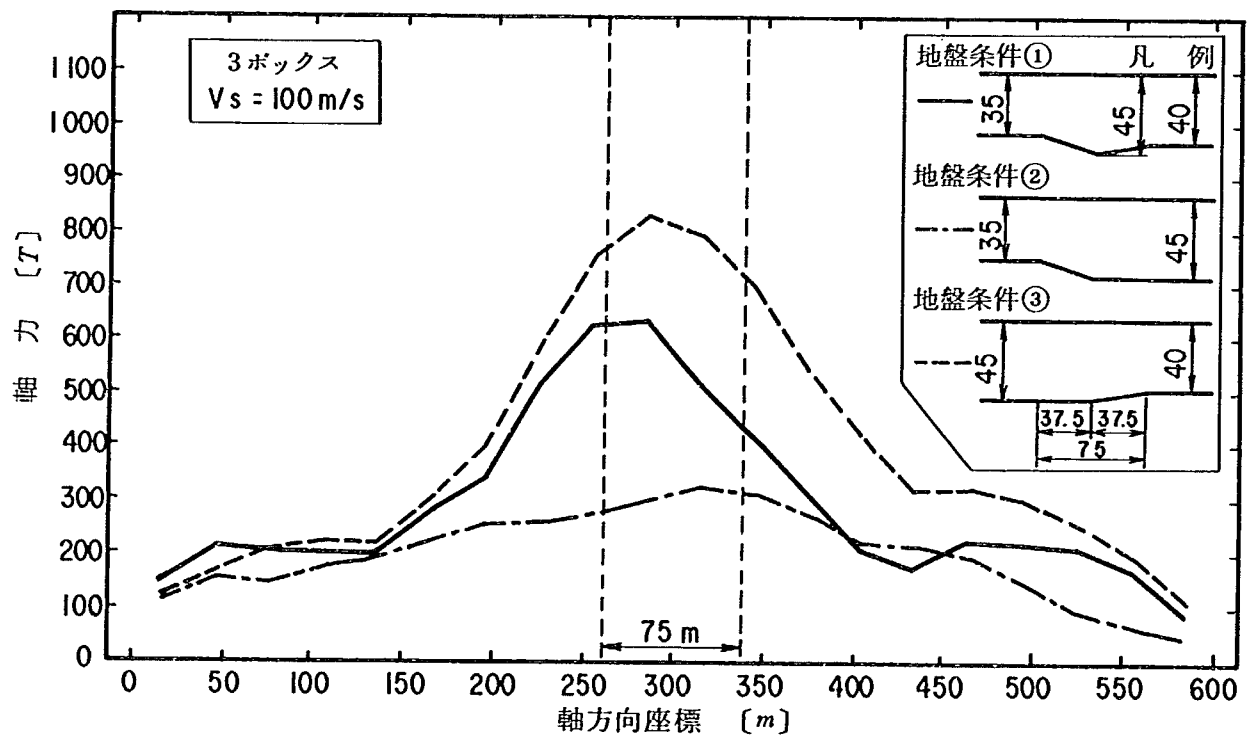


図 4.14 固有周期勾配が反転する地盤条件変化部の検討ケース



(a) 検討ケース 1



(b) 検討ケース 2

図 4.15 固有周期勾配が反転する場合の軸力分布

## 5. 応答変位法に基づく一様地盤部の共同溝に作用する軸力

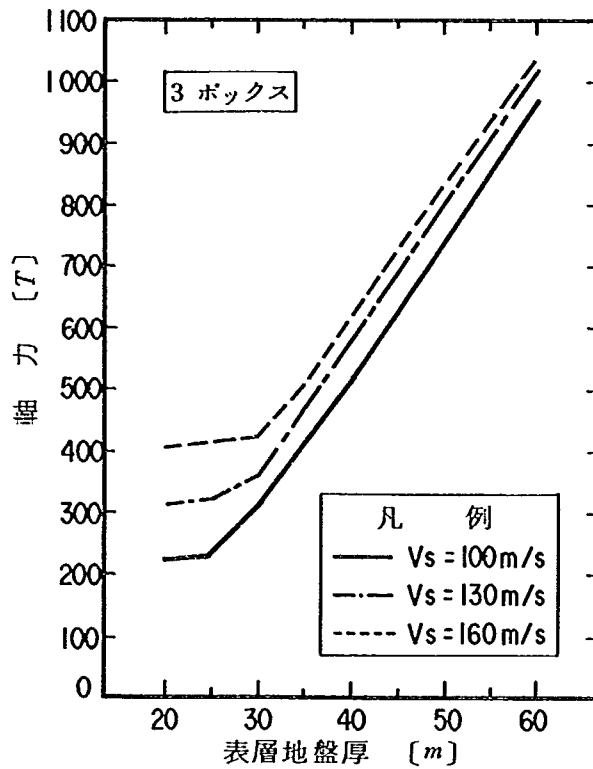
応答変位法により2ボックスおよび3ボックスの共同溝に生じる軸力を求めると表5.1のようになる。図5.1は、表5.1をもとに表層地盤厚と軸力の関係として表層地盤のせん断波速度に着目して整理した結果である。これによれば、軸力は、表層地盤厚が増加するとともに単調に増大し、また表層地盤厚が同一の場合には表層地盤の剛性が高くなる程、大きな軸力が生じているが、その影響程度は表層地盤厚に比べると相対的に小さい。

共同溝設計指針では、軸力向鉄筋の最小量を、直径13mm筋が200mm間隔以下と規定している。いま、この条件から、図1.1に示した2ボックスおよび3ボックス形式の共同溝の最小鉄筋を定めると、13mm筋がそれぞれ、176本および208本（中壁の鉄筋は無視）となる。この条件で式（2.8）に従って軸力と水平面内曲げモーメントの重合せを行い、軸方向鉄筋の応力度を計算すると表5.1に示す通りとなる。図5.2はこれを表層地盤厚と応力度の関係として表層地盤剛性をパラメータにして整理したものである。これによると表層地盤のせん断弾性波速度が160m/sで表層地盤厚が20mである一例だけを除くと、他のケースでは全て表層地盤厚が40m～50m程度以下までは許容応力度（ $1,800 \text{ kg/cm}^2 \times 1.5 = 2,700 \text{ kg/cm}^2$ ）以内に納まっている。

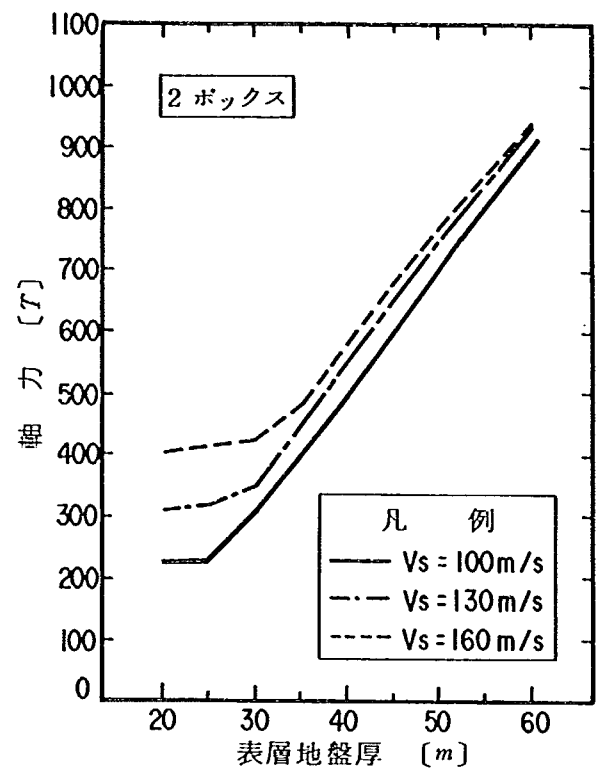
参考までに鉛直面内の振動を考慮した場合に共同溝に発生する軸力および応力を示すと図5.3、図5.4の通りである。

表5.1 応答変位法による共同溝の耐震計算結果

| ケース<br>番 号 | 表層地盤特性      |            | 軸 力 $P$ [t] |        | 曲げモーメント     | 最小鉄筋における応力 (MPa) |        | 備 考   |
|------------|-------------|------------|-------------|--------|-------------|------------------|--------|-------|
|            | $V_s$ [m/s] | 厚さ $H$ [m] | 鉛直振動考慮      | 鉛直振動無視 | $M_H$ [t/m] | 鉛直振動考慮           | 鉛直振動無視 |       |
| 1          | 100         | 20         | 281         | 225    | 738         | 2,027            | 1,770  | 3ボックス |
| 2          | 100         | 25         | 288         | 231    | 764         | 2,086            | 1,850  | "     |
| 3          | 100         | 30         | 389         | 311    | 712         | 2,434            | 2,116  | "     |
| 4          | 100         | 35         | 513         | 411    | 644         | 2,381            | 2,446  | "     |
| 5          | 100         | 40         | 646         | 517    | 579         | 2,636            | 2,291  | "     |
| 6          | 100         | 50         | 924         | 739    | 475         | 3,219            | 2,725  | "     |
| 7          | 100         | 60         | 1,204       | 963    | 399         | 3,851            | 3,206  | "     |
| 8          | 130         | 20         | 390         | 312    | 705         | 2,247            | 2,109  | "     |
| 9          | 130         | 25         | 400         | 320    | 707         | 2,475            | 2,146  | "     |
| 10         | 130         | 30         | 449         | 359    | 647         | 2,606            | 2,235  | "     |
| 11         | 130         | 35         | 583         | 467    | 579         | 2,471            | 2,156  | "     |
| 12         | 130         | 40         | 723         | 579    | 518         | 2,752            | 2,361  | "     |
| 13         | 130         | 50         | 1,003       | 802    | 423         | 3,353            | 2,811  | "     |
| 14         | 130         | 60         | 1,269       | 1,015  | 356         | 3,957            | 3,274  | "     |
| 15         | 160         | 20         | 508         | 406    | 689         | 2,896            | 2,478  | "     |
| 16         | 160         | 25         | 523         | 418    | 671         | 2,938            | 2,503  | "     |
| 17         | 160         | 30         | 531         | 425    | 608         | 2,371            | 2,457  | "     |
| 18         | 160         | 35         | 633         | 506    | 541         | 2,544            | 2,203  | "     |
| 19         | 160         | 40         | 774         | 619    | 483         | 2,830            | 2,412  | "     |
| 20         | 160         | 50         | 1,046       | 837    | 394         | 3,423            | 2,858  | "     |
| 21         | 160         | 60         | 1,291       | 1,033  | 330         | 3,980            | 3,286  | "     |
| 22         | 100         | 20         | 281         | 225    | 463         | 2,086            | 1,831  | 2ボックス |
| 23         | 100         | 25         | 288         | 230    | 435         | 2,071            | 1,809  | "     |
| 24         | 100         | 30         | 381         | 304    | 387         | 2,046            | 1,804  | "     |
| 25         | 100         | 35         | 498         | 399    | 342         | 2,320            | 2,006  | "     |
| 26         | 100         | 40         | 622         | 498    | 304         | 2,632            | 2,238  | "     |
| 27         | 100         | 50         | 877         | 702    | 247         | 3,817            | 2,761  | "     |
| 28         | 100         | 60         | 1,126       | 901    | 207         | 4,017            | 3,304  | "     |
| 29         | 130         | 20         | 388         | 310    | 432         | 2,171            | 2,120  | "     |
| 30         | 130         | 25         | 399         | 319    | 395         | 2,122            | 1,867  | "     |
| 31         | 130         | 30         | 435         | 348    | 348         | 2,135            | 1,857  | "     |
| 32         | 130         | 35         | 560         | 448    | 306         | 2,445            | 2,086  | "     |
| 33         | 130         | 40         | 688         | 550    | 271         | 2,772            | 2,332  | "     |
| 34         | 130         | 50         | 938         | 750    | 220         | 3,451            | 2,855  | "     |
| 35         | 130         | 60         | 1,166       | 933    | 184         | 4,098            | 3,353  | "     |
| 36         | 160         | 20         | 505         | 404    | 583         | 2,871            | 2,801  | "     |
| 37         | 160         | 25         | 520         | 416    | 484         | 2,698            | 2,366  | "     |
| 38         | 160         | 30         | 528         | 423    | 411         | 2,569            | 2,232  | "     |
| 39         | 160         | 35         | 602         | 481    | 356         | 2,682            | 2,297  | "     |
| 40         | 160         | 40         | 728         | 582    | 314         | 2,990            | 2,528  | "     |
| 41         | 160         | 50         | 965         | 772    | 253         | 3,614            | 3,000  | "     |
| 42         | 160         | 60         | 1,170       | 936    | 212         | 4,173            | 3,428  | "     |

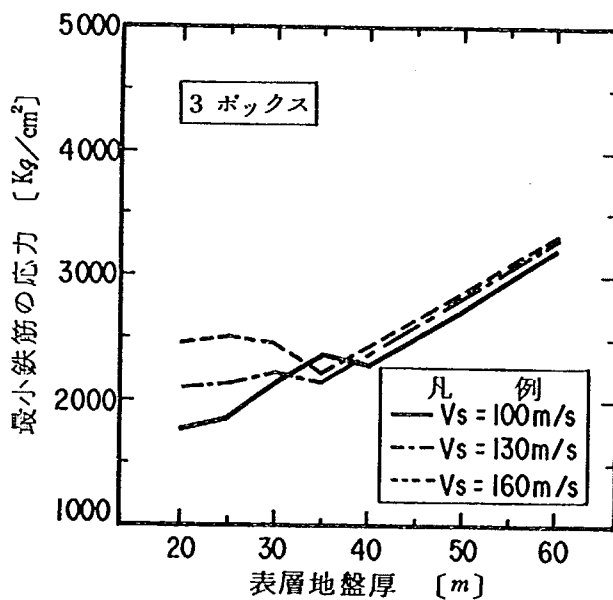


a) 3 ボックスタイプ

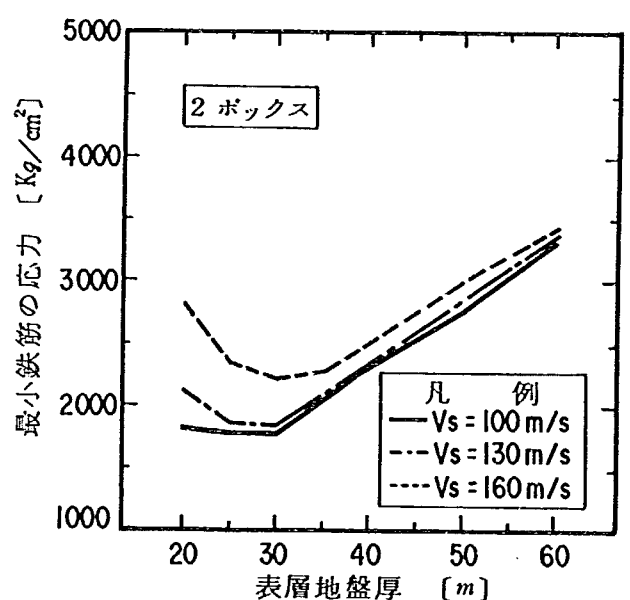


b) 2 ボックスタイプ

図5.1 応答変位法により共同溝に作用する軸力（鉛直面内の振動考慮せず）

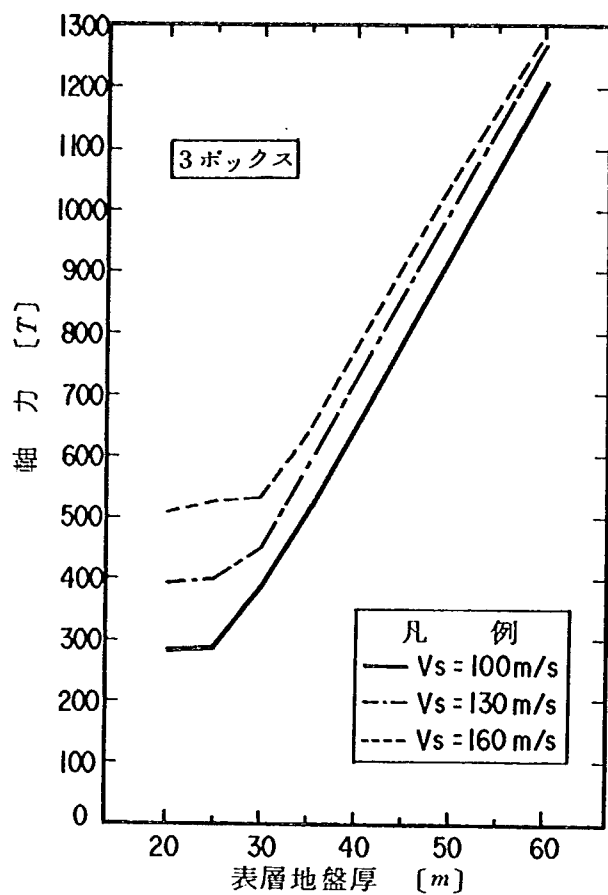


a) 3 ボックスタイプ

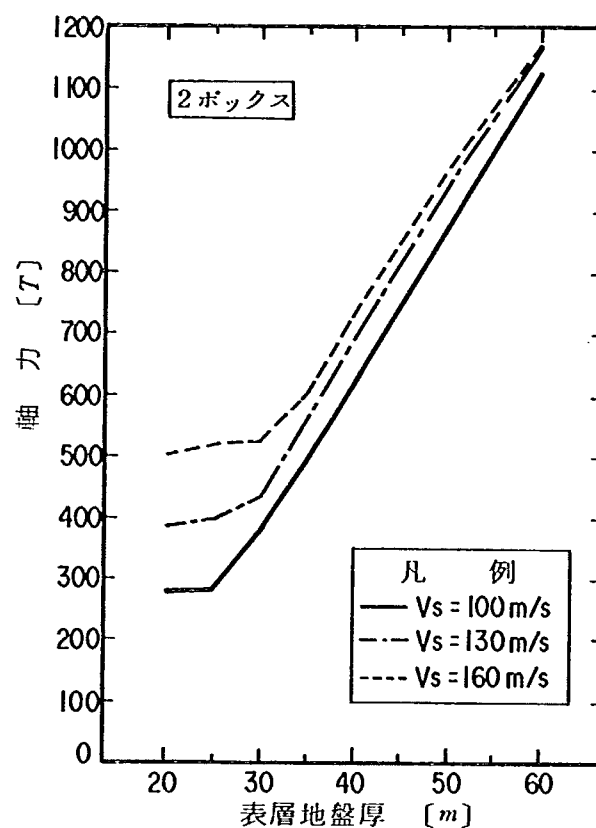


b) 2 ボックスタイプ

図5.2 共同溝に発生する応力（鉛直面内の振動考慮せず）

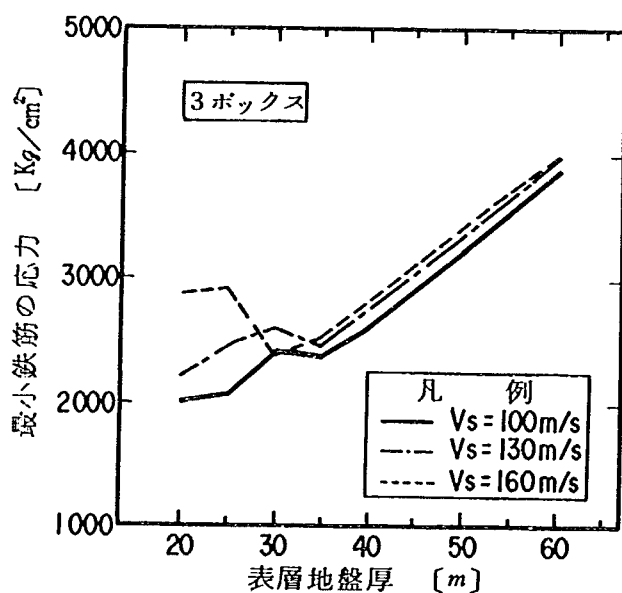


a) 3ボックスタイプ

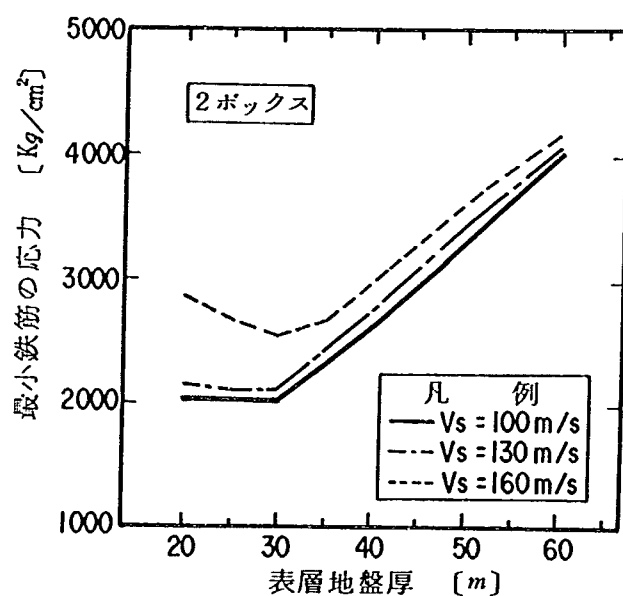


b) 2ボックスタイプ

図5.3 応答変位法により共同溝に作用する軸力（鉛直面内の振動考慮）



a) 3ボックスタイプ



b) 2ボックスタイプ

図5.4 共同溝に発生する応力（鉛直面内の振動考慮）

## 6 地盤条件変化部における共同溝の耐震設計方法

### 6.1 断面力の割増し方法

動的解析結果によれば、地盤条件が変化する箇所及びその近傍においては、地盤条件が一様な箇所に比較して大きな軸力が発生する。しかしながら、応答変位法による計算ではこのような地盤条件の変化の影響を考慮していないため地盤条件が変化する箇所及びその近傍における軸力の増加を見込むことができず、結果的に過小な軸力を与えることになる。このような点を考慮するため、ここでは応答変位法による軸力を基本としてこれが動的解析結果と一致するように、ある割増係数を考慮することにした。すなわち、地盤条件が変化している場合に表層地盤厚さが厚い側  $H_1$  で、応答変位法により求めた軸力を基準にすると、これに乘じるべき割増係数  $\beta$  は次のようになる。

$$\beta = \frac{\text{動的解析による軸力}}{\text{応答変位法による軸力}} \dots\dots\dots (6.1)$$

このように  $\beta$  を定義すると、前章に示した結果から、 $\beta$  は表層地盤厚さ  $H_1$ 、固有周期差  $\Delta T$ 、表層地盤のせん断波速度  $V_s$ 、地盤条件変化部の長さ  $l$ 、共同溝の形式などによって変化することになる。

しかしながら、このようにすると、 $\beta$  の算定がはん雑になるため、ここでは、式 (6.1) の分母として表層地盤厚さを 40 m、せん断波速度 100 m/s の場合に固定し、この場合に対する割増し係数  $\beta$  を固有周期差  $\Delta T$  との関係で求めることにした。すなわち、

$$\beta(\Delta T) = \frac{\text{地盤条件変化部(固有周期差 } \Delta T \text{ )の動的解析による軸力}}{\text{応答変位法による軸力}(H_1 = 40 \text{ m}, V_s = 100 \text{ m/s})} \dots\dots (6.2)$$

ここで、上記条件を基本としたのは、以下の理由による。

① 図 5.2 の検討によれば、表層地盤厚さが 40 m ～ 50 m 程度までは軸方向の最小鉄筋の規定に従う限りは、軸方向鉄筋に生じる地震時応力度は地震時許容応力度以内に収まる。このため、最小鉄筋量の規定により軸方向鉄筋が決まっている場合に対しては最小鉄筋量に対して割増し係数を乗じるのがよいと考えられる。これは、地盤条件変化部においては一様地盤部に比べて相対的に共同溝の耐力を高めておくことが必要と考えられること、また、このような割増しを行うことにより表層地盤厚が 40 m ～ 50 m よりも薄い場合には、図 6.1 に示すように、応答変位法による軸力よりも最小鉄筋から定まる軸力の方が大きいため、式 (6.1) で定義される割増し係数  $\beta$  より大きな割増しを行うことになり、安全側の結果を与えているためである。

② 応答変位法により求めた一様地盤部における軸力は、地盤のせん断波速度が一定の場合には、表層地盤厚さが大きくなる程大きくなる。しかしながら動的解析結果によれば、地盤条件変化部における軸力は表層地盤厚  $H_1$  によってあまり変化しない。したがって、表層地盤厚さが 40 m 以上の場合に、式 (6.2) による表層地盤厚さ 40 m を基本とした割増係数を用いることは、結果

的にかなり安全側の断面力を与えることになる。ただし、共同溝に類似した地中構造物の既往の地震被害が軟弱地盤部でより発生しやすいことを考慮すると、表層地盤厚さが厚い場合に安全側の軸力を与えておくことが必要と考えられる。

③ 応答変位法により求めた一様地盤部における軸力は、表層地盤厚が一定の場合には地盤の  $V_s$  が速くなる程大きくなる。一方、動的解析により求めた地盤条件変化部における軸力は  $V_s$  が変化してもあまり変化しない。したがって、地盤のせん断波速度が  $100 \text{ m/s}$  以上の場合に、式 (6.2) による地盤のせん断波速度  $100 \text{ m/s}$  を基本とした割増し係数を用いることは、結果的に安全側の断面力を与えることになる。また、共同溝建設地点で、せん断波速度  $V_s$  が  $100 \text{ m/sec}$  以下となることは一般に稀である。

式 (6.2) による断面力の割増し係数  $\beta$  を表 1.3 に示したケース 1 ～ ケース 84 について示すと図 6.2 のようになる。これによれば割増し係数  $\beta$  が 1.0 以上となるのは固有周期差  $\Delta T$  がおおむね 0.3 秒以上となる場合である。このため、ここでは断面力の割増しは  $\Delta T$  が 0.3 秒以上の場合に行うこととし、割増し係数  $\beta$  は図 6.1 を基に次式により算定することとした。

$$\beta = \begin{cases} 1.0 & \cdots \cdots \cdots \Delta T \leq 0.3 \text{ 秒} \\ 1.2 \sqrt{\Delta T - 0.3} + 1.0 & \cdots \cdots \cdots \Delta T > 0.3 \text{ 秒} \end{cases} \quad \cdots \cdots \cdots (6.3)$$

ただし、ここでは、固有周期差  $\Delta T$  は、共同溝の長手方向に沿う地盤の固有周期が一方向に単調に増加または減少する  $200 \text{ m}$  以内の区間において算定することとした。この理由は以下の通りである。

① 図 4.6 の検討によれば、固有周期差が同じであれば地盤条件変化部の長さが  $200 \text{ m}$  程度までは共同溝に発生する軸力はほとんど変化しないのに対して  $200 \text{ m}$  を超えると発生軸力の減少が顕著となる。このため  $200 \text{ m}$  以内の区間での固有周期差を考慮しておけば十分と考えられる。また、都市部の地盤条件を考えると  $200 \text{ m}$  以上にもわたって地盤条件が単調に一方向に変化することは一般に極めて稀である。

② 図 4.14 の検討結果によれば、固有周期勾配が反転する地盤条件変化部においては固有周期勾配が反転する箇所地盤条件変化部を分離し、固有周期差  $\Delta T$  の大きい方に対して軸力を求めれば安全側の結果を与える。このため固有周期が一方向に単調に減少もしくは増加する範囲内で固有周期差を求めればよい。

表層地盤の固有周期差  $\Delta T$  は、地盤の厚さ、地盤剛性（平均  $N$  値、平均せん断弾性波速度）等の変化によって生じる。これらの地盤条件の変化と固有周期差の関係を整理すると表 6.1, 6.2, 6.3 に示す通りである。これによれば、表層地盤厚の変化の影響は地盤が軟らかい程（すなわち、せん断弾性波速度が小さい程）大きくなる。例えば、せん断弾性波速度  $V_s = 100 \text{ m/s}$  の場合に地盤厚が  $7.5 \text{ m}$  変化すると、固有周期差  $\Delta T$  は 0.3 秒となり、式 (6.3) による割増し係数を考慮する必要が生じる。変化の影響は地盤が軟らかく、表層地盤厚が厚い程大きくなっている。

図 6.3 は実際に、共同溝が設置されている箇所の表層地盤の固有周期の変化を示したものであ

り、上述した条件により固有周期差  $\Delta T$  が 0.3 秒を超える箇所（すなわち、共同溝の耐震設計上、地盤条件変化部とみなす箇所）を示している。

## 6.2 断面力の割増し範囲

次に、上述した断面力の割増しを行う範囲を決めなければならない。式（6.3）による割増し係数  $\beta$  は、地盤条件変化部における最大軸力を基本に定めたものであるから、最大軸力が生じる以外の点では、式（6.3）による割増しよりももう少し小さい割増しでよいことになる。しかしながら、このようにすると、割増し係数  $\beta$  が場所により変化することとなるため、ここでは、式（6.3）による割増し係数を応答変位法による一様地盤部の軸力よりも動的解析による地盤条件変化部の軸力が上廻る範囲全てに対して一率に考慮することを基本とした。式（6.3）による割増し係数を考慮する範囲を以下断面力割増し区間と呼ぶこととする。

地盤条件変化部における軸力の分布については、4.2 に示した通りであり、地盤条件が変化することにより、軸力が一様地盤部に比較して大きくなる範囲は表層地盤の厚さおよび地盤条件変化部の長さによるとともに、軸力が最大となる点は、地盤条件変化部の中央よりもむしろ固有周期が長い表層地盤側に寄った位置になる。このような点を考慮して、ここでは、断面力割増し区間を以下のように求めることとした。

- 1) 地盤条件変化部は全て断面力割増し区間とする。
- 2) 地盤条件変化部の中央から表層地盤厚さの厚い方へ  $\ell/4$  ( $\ell$  は地盤条件変化の長さ) だけ移動した点を基本として、この両側にそれぞれ  $1/3 L_1$  ( $L_1$  は表層地盤厚さが厚い方の地盤振動の波長) の範囲。
- 3) 地盤条件変化部が 2 つ以上連続している場合には、上記 1), 2) をそれぞれの地盤条件変化部に適用して求められる断面力割増し区間の総和とする。また、この時断面力割増し区間が重複する区間においては、両者の割増し係数のうち、いずれか大きい方の値を用いる。

ここで、地盤振動の波長は、表層地盤厚さの代わりに、パラメータとして用いることとしたものである。

図 6.4 は上述した方法による断面力割増し区間長  $\ell_a^L$ ,  $\ell_a^R$  および応答変位法による一様地盤部の軸力よりも動的解析による地盤条件変化部の軸力が上廻る区間長  $\ell_d^L$ ,  $\ell_d^R$  の範囲を表層地盤厚さの厚さ側 (R) と薄い側 (L) に分けて示したものである。

また、図 6.5 は各種条件による断面力割増し区間の設定例を示したものである。

## 6.3 断面力割増し方法の検証

表 6.4 は地盤条件変化部における地震応答解析結果と地盤条件変化部における断面力の割増しを考慮した応答変位法の比較を示したものである。本表のうち 6.2 の方法による断面力の割増し区間長  $\ell_a^L$ ,  $\ell_a^R$  と応答変位法による一様地盤部の軸力よりも動的解析による地盤条件変化部の

軸力が上廻る区間長  $\ell_d^L$  ,  $\ell_d^R$  の関係を示すと図 6.6 の通りである。これによれば一部の事例を除き上記の方法により求められる断面力割増し区間長  $\ell_d^L$  ,  $\ell_d^R$  は  $\ell_a^L$  ,  $\ell_a^R$  とほぼ同じかもしくは大きくなっており、安全側の割増し区間を与えているといえることができる。ただし一部には割増し区間長が必要とされる値よりも小さくなっているケースがあるが、これらはいずれも表層地盤厚が 20 m , 30 m と薄い場合である。

動的解析による地盤条件変化部における軸力の分布と割増しをして求めた応答変位法による軸力の分布との比較を図 6.7 ～図 6.10 に示す。これらの結果によれば表層地盤厚が 20 m と薄い場合には割増し率および割増し範囲とも小さめに求められる事例があるが、全体としてはおおむね妥当な結果を与えていると考えられる。

表 6.1 表層地盤の固有周期差  $\Delta T$  と地盤厚 ( $H_1 - H_2$ ) の関係

| せん断弾性<br>波 速 度<br>$V_s$ [m/s] | 固 有 周 期 差 $\Delta T$ [秒] |       |        |      |
|-------------------------------|--------------------------|-------|--------|------|
|                               | 0.1                      | 0.2   | 0.3    | 0.4  |
| 100                           | 2.5 m                    | 5 m   | 7.5 m  | 10 m |
| 150                           | 3.8 m                    | 7.5 m | 11.3 m | 15 m |
| 200                           | 5 m                      | 10 m  | 15 m   | 20 m |

表 6.2 表層地盤の固有周期差と平均  $N$  値の関係

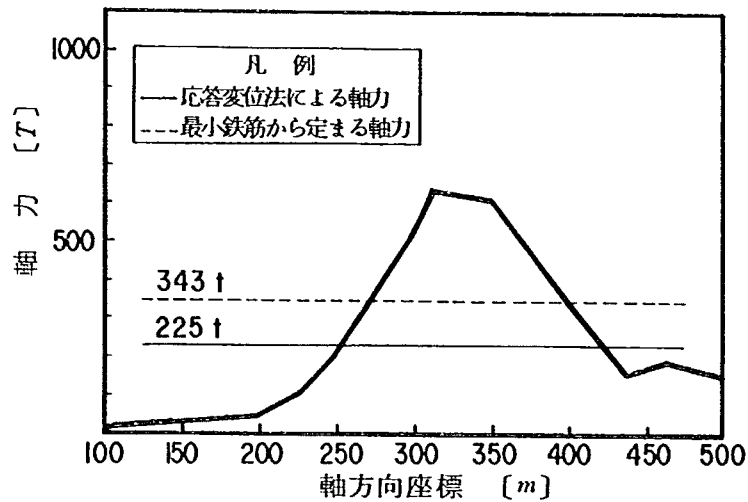
| 基準とする $N$ 値 | 表層地盤厚<br>$H$ [m] | 固 有 周 期 差 $\Delta T$ [秒] |      |     |      |
|-------------|------------------|--------------------------|------|-----|------|
|             |                  | 0.1                      | 0.2  | 0.3 | 0.4  |
| 2           | 20               | 3                        | 5    | 8   | 16   |
|             | 40               | 2.4                      | 2.9  | 3.7 | 4.7  |
|             | 60               | 2.2                      | 2.6  | 2.9 | 3.4  |
| 5           | 20               | 9                        | 18   | 43  | 50以上 |
|             | 40               | 7                        | 9    | 12  | 18   |
|             | 60               | 6                        | 7    | 9   | 11   |
| 10          | 20               | 21                       | 50以上 | —   | —    |
|             | 40               | 14                       | 21   | 32  | 54   |
|             | 60               | 13                       | 16   | 21  | 28   |

表 6.3 表層地盤の固有周期差と平均せん断弾性波速度  $V_s$  [m/sec] の関係

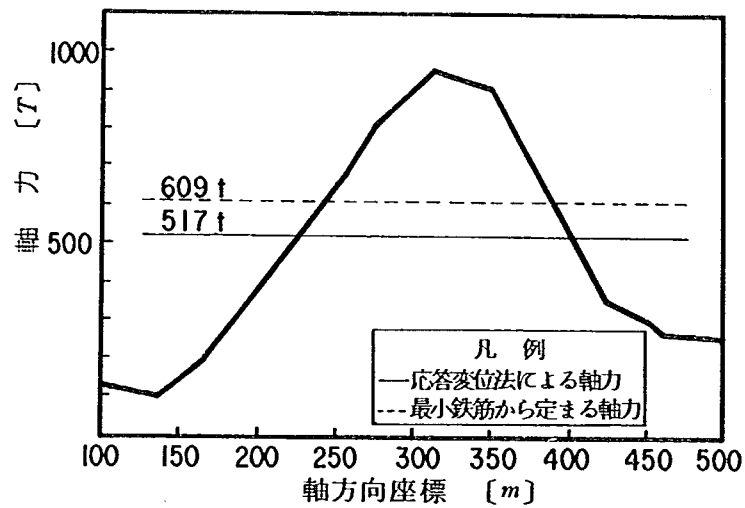
| 基準とするせん<br>断弾性波速度<br>$V_s$ [m/s] | 表層地盤厚<br>$H$ [m] | 固 有 周 期 差 $\Delta T$ [秒] |     |     |        |      |
|----------------------------------|------------------|--------------------------|-----|-----|--------|------|
|                                  |                  | 0.1                      | 0.2 | 0.3 | 0.4    | 0.5  |
| 100                              | 20               | 114                      | 133 | 160 | 200    | 267  |
|                                  | 40               | 107                      | 114 | 123 | 133    | 145  |
|                                  | 60               | 104                      | 109 | 114 | 120    | 126  |
| 150                              | 20               | 185                      | 240 | 343 | 600    | 2400 |
|                                  | 40               | 166                      | 185 | 209 | 240    | 282  |
|                                  | 60               | 160                      | 171 | 185 | 200    | 218  |
| 200                              | 20               | 267                      | 400 | 800 | 4000以上 | —    |
|                                  | 40               | 229                      | 267 | 320 | 400    | 533  |
|                                  | 60               | 218                      | 240 | 267 | 300    | 343  |

表6.4 地盤条件变化部の地震応答解析結果と提案手法の比較

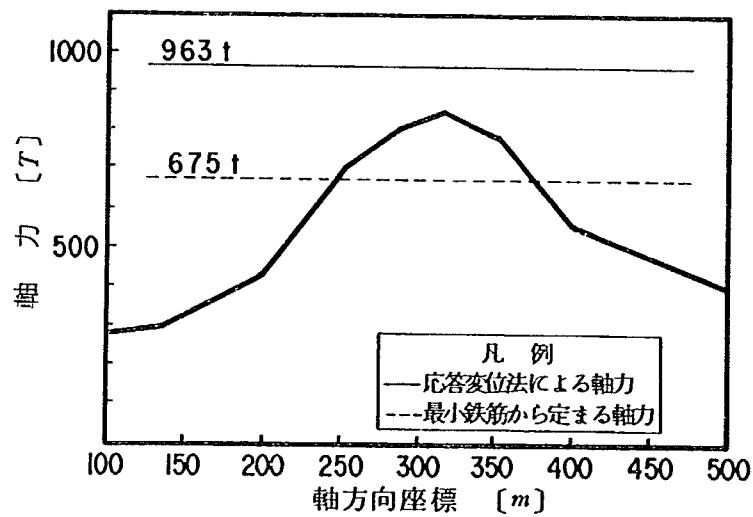
| 検討<br>ケース<br>番号 | ① 応答変位法による一様地盤部の<br>軸力よりも動的解析による地盤条<br>件変位部の軸力が上回る範囲 |                       | ② 提案方法による断面<br>力割増し区間 |                       | ③ 動的解析<br>による最大<br>軸力<br>[t] | ④ 応答変位<br>法による軸<br>力(表層地<br>盤厚さが厚<br>い) [t] | ⑤ 割増し係数<br>[t] | ⑥<br>④×⑤<br>[t] |
|-----------------|------------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------------|---------------------------------------------|----------------|-----------------|
|                 | $\mathcal{L}_d^L$ [m]                                | $\mathcal{L}_d^R$ [m] | $\mathcal{L}_a^L$ [m] | $\mathcal{L}_a^R$ [m] |                              |                                             |                |                 |
| 5               | 44                                                   | 79                    | 61.3                  | 98.8                  | 816                          | 609                                         | 1.38           | 840             |
| 6               | 50                                                   | 92                    | #                     | #                     | 893                          | #                                           | 1.66           | 1009            |
| 7               | 56                                                   | 96                    | #                     | #                     | 886                          | #                                           | 1.85           | 1125            |
| 8               | 55                                                   | 93                    | #                     | #                     | 986                          | #                                           | 2.00           | 1220            |
| 13              | 51                                                   | 98                    | 37.5                  | 58.8                  | 714                          | 343                                         | 1.38           | 473             |
| 14              | 31                                                   | 102                   | #                     | #                     | 662                          | #                                           | 1.66           | 568             |
| 19              | 58                                                   | 110                   | 41.3                  | 78.8                  | 741                          | 397                                         | 1.38           | 547             |
| 20              | 68                                                   | 113                   | #                     | #                     | 832                          | #                                           | 1.66           | 657             |
| 21              | 52                                                   | 116                   | #                     | #                     | 772                          | #                                           | 1.85           | 733             |
| 22              | 37                                                   | 117                   | #                     | #                     | 754                          | #                                           | 2.00           | 795             |
| 26              | 49                                                   | 87                    | 70.6                  | 89.4                  | 815                          | 609                                         | 1.38           | 840             |
| 27              | 53                                                   | 89                    | #                     | #                     | 883                          | #                                           | 1.66           | 1009            |
| 28              | 57                                                   | 89                    | #                     | #                     | 902                          | #                                           | 1.85           | 1125            |
| 29              | 54                                                   | 89                    | #                     | #                     | 1078                         | #                                           | 2.00           | 1220            |
| 33              | 31                                                   | 87                    | 75.0                  | 117.5                 | 794                          | #                                           | 1.38           | 840             |
| 34              | 39                                                   | 104                   | #                     | #                     | 895                          | #                                           | 1.66           | 1009            |
| 35              | 60                                                   | 112                   | #                     | #                     | 906                          | #                                           | 1.85           | 1125            |
| 36              | 49                                                   | 112                   | #                     | #                     | 882                          | #                                           | 2.00           | 1220            |
| 37              | 37                                                   | 83                    | 56.2                  | 108.1                 | 812                          | #                                           | 1.38           | 840             |
| 38              | 26                                                   | 85                    | 93.8                  | 126.9                 | 844                          | #                                           | #              | #               |
| 42              | 64                                                   | 103                   | 56.2                  | 108.1                 | 883                          | #                                           | 1.85           | 1125            |
| 43              | 62                                                   | 120                   | 93.8                  | 126.9                 | 883                          | #                                           | #              | #               |
| 48              | 50                                                   | —                     | 81.3                  | 118.8                 | 705                          | 739                                         | 1.38           | 1019            |
| 49              | 80                                                   | 60                    | #                     | #                     | 921                          | #                                           | 1.66           | 1225            |
| 51              | —                                                    | —                     | 101.3                 | 138.8                 | 539                          | 963                                         | 1.38           | 1328            |
| 52              | 60                                                   | —                     | #                     | #                     | 850                          | #                                           | 1.66           | 1596            |
| 57              | 0                                                    | 0                     | 55.6                  | 93.1                  | 665                          | 662                                         | 1.12           | 742             |
| 58              | 23                                                   | 57                    | #                     | #                     | 794                          | #                                           | 1.48           | 979             |
| 59              | 10                                                   | 67                    | #                     | #                     | 826                          | #                                           | 1.68           | 1111            |
| 60              | 34                                                   | 75                    | #                     | #                     | 887                          | #                                           | 1.82           | 1206            |
| 61              | 33                                                   | 73                    | 53.8                  | 91.3                  | 879                          | #                                           | 1.66           | 1097            |
| 65              | 16                                                   | 43                    | 50.8                  | 88.3                  | 774                          | 693                                         | 1.34           | 928             |
| 66              | 0                                                    | 39                    | #                     | #                     | 739                          | #                                           | 1.54           | 1064            |
| 67              | 6                                                    | 49                    | #                     | #                     | 795                          | #                                           | 1.69           | 1170            |
| 68              | 7                                                    | 40                    | #                     | #                     | 790                          | #                                           | 1.80           | 1250            |
| 73              | 45                                                   | 0                     | 64.7                  | 102.2                 | 746                          | 805                                         | 1.38           | 1110            |
| 74              | 55                                                   | 40                    | #                     | #                     | 886                          | #                                           | 1.66           | 1334            |
| 75              | 40                                                   | 25                    | #                     | #                     | 832                          | #                                           | 1.85           | 1488            |
| 76              | 35                                                   | 30                    | #                     | #                     | 858                          | #                                           | 2.00           | 1613            |
| 81              | 21                                                   | 62                    | 61.3                  | 98.8                  | 703                          | 601                                         | 1.38           | 829             |
| 82              | 32                                                   | 79                    | #                     | #                     | 772                          | #                                           | 1.66           | 996             |
| 83              | 39                                                   | 81                    | #                     | #                     | 768                          | #                                           | 1.85           | 1110            |
| 84              | 42                                                   | 79                    | #                     | #                     | 871                          | #                                           | 2.00           | 1204            |



(a)  $H_1 = 20 \text{ m}$  の場合



(b)  $H_1 = 40 \text{ m}$  の場合



(c)  $H_1 = 60 \text{ m}$  の場合

図 6.1 応答変位法による軸力および最小鉄筋から定まる軸方向力と地震応答解析結果の関係

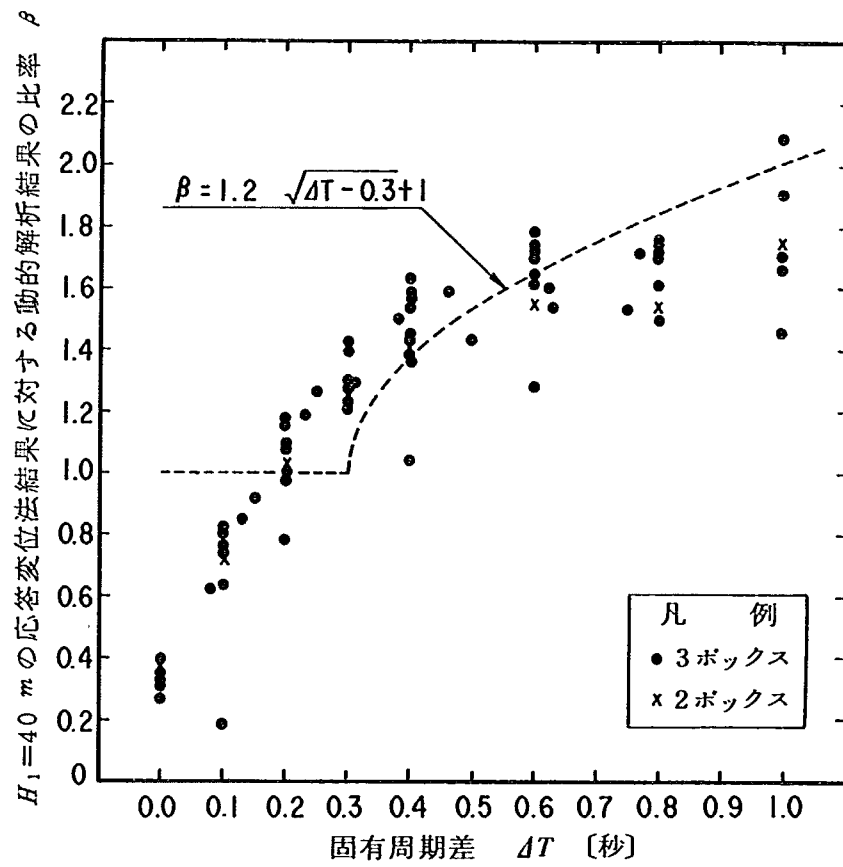
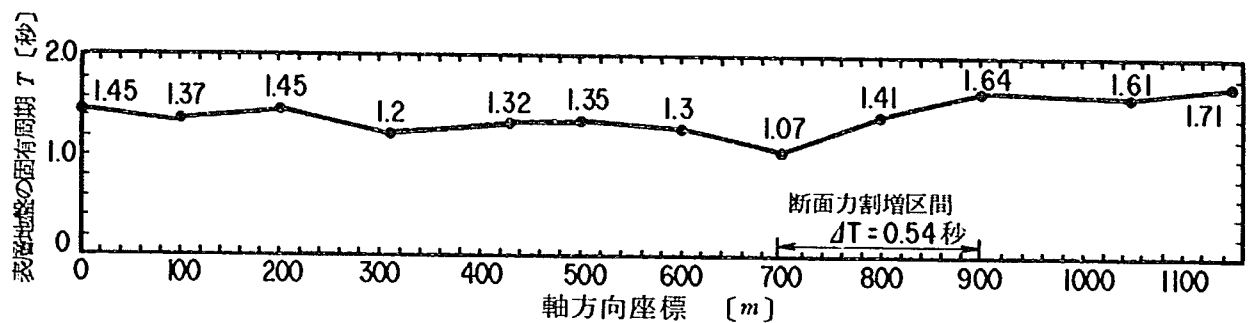
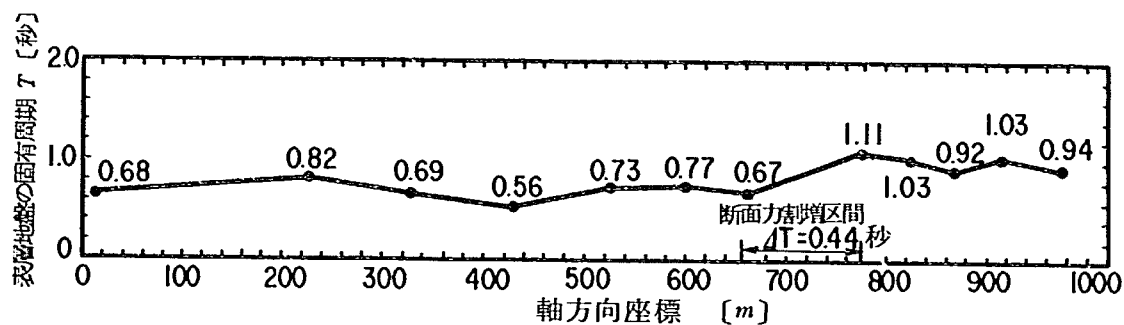


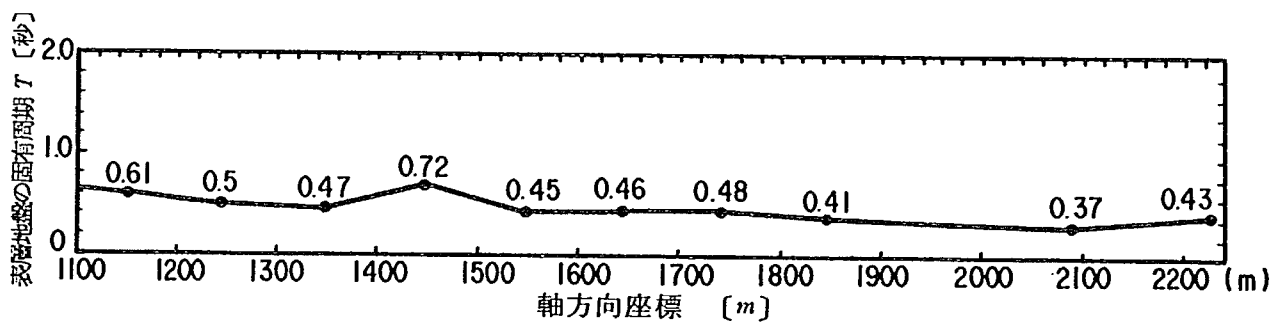
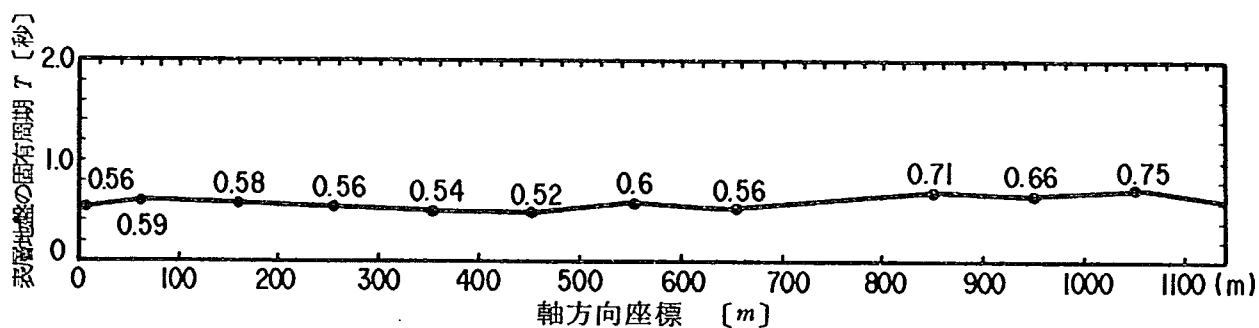
図6.2  $H_1=40\text{ m}$  の応答変位法結果に対する動的解析結果の比率  $\beta$



(a) ケース 1 (辰巳地区)

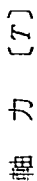


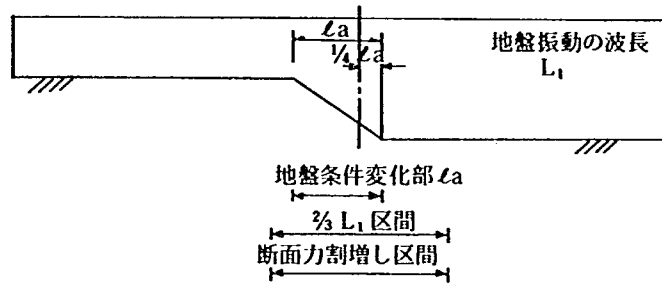
(b) ケース 2 (大井地区)



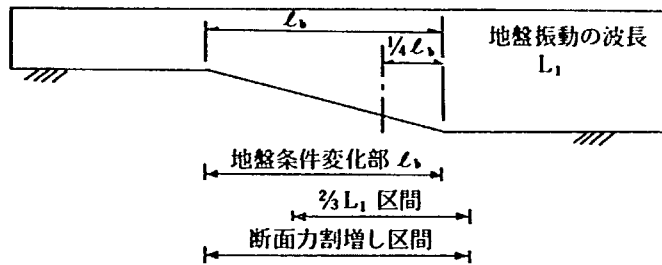
(c) ケース 3 (谷津幕張地区)

図 6.3 具体的共同溝設置地盤における地盤条件変化部の設定例

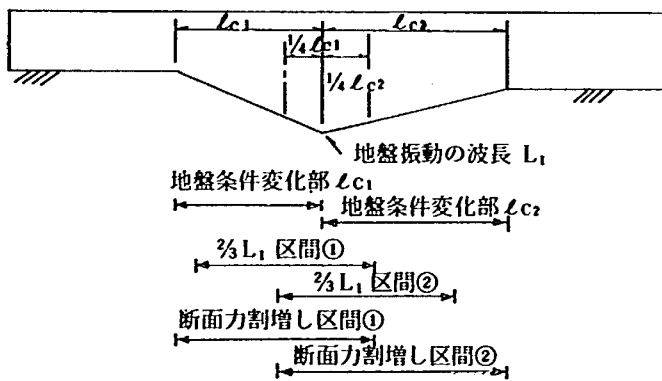

$$CD = DE = \frac{1}{4}l$$



(a) ケース 1



(b) ケース 2



注) 断面力割増し区間が重複する区間は断面力割増し係数が大きい方の値を用いる。

(c) ケース 3

図 6.5 断面力の割増し区間

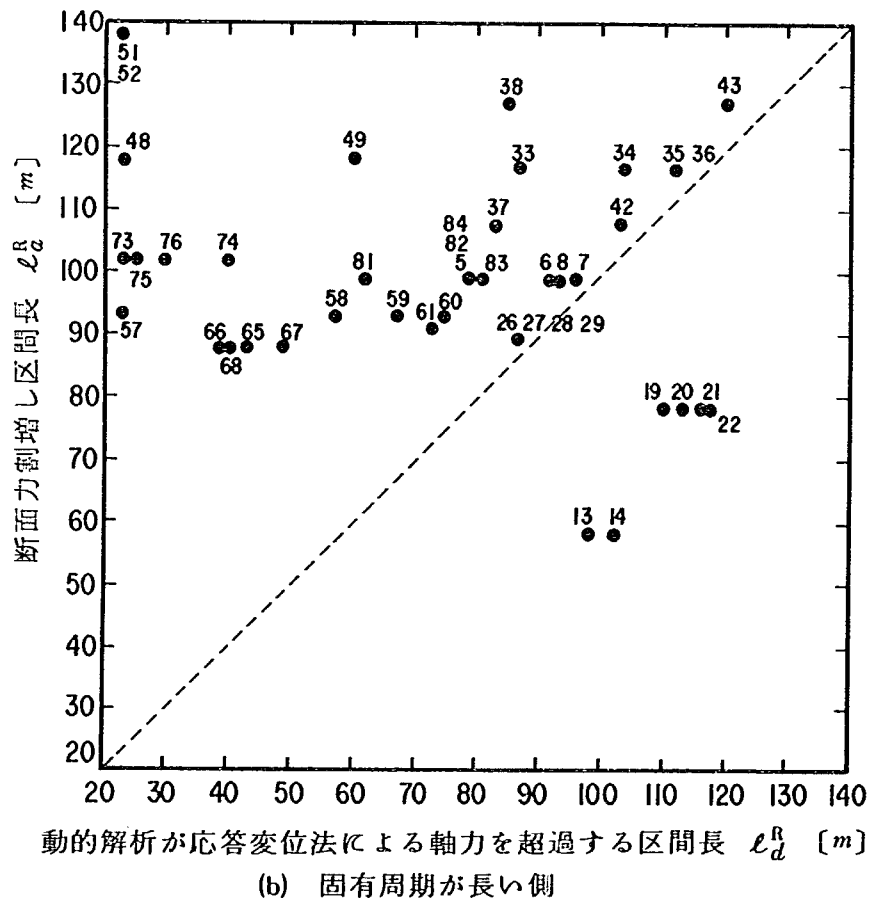
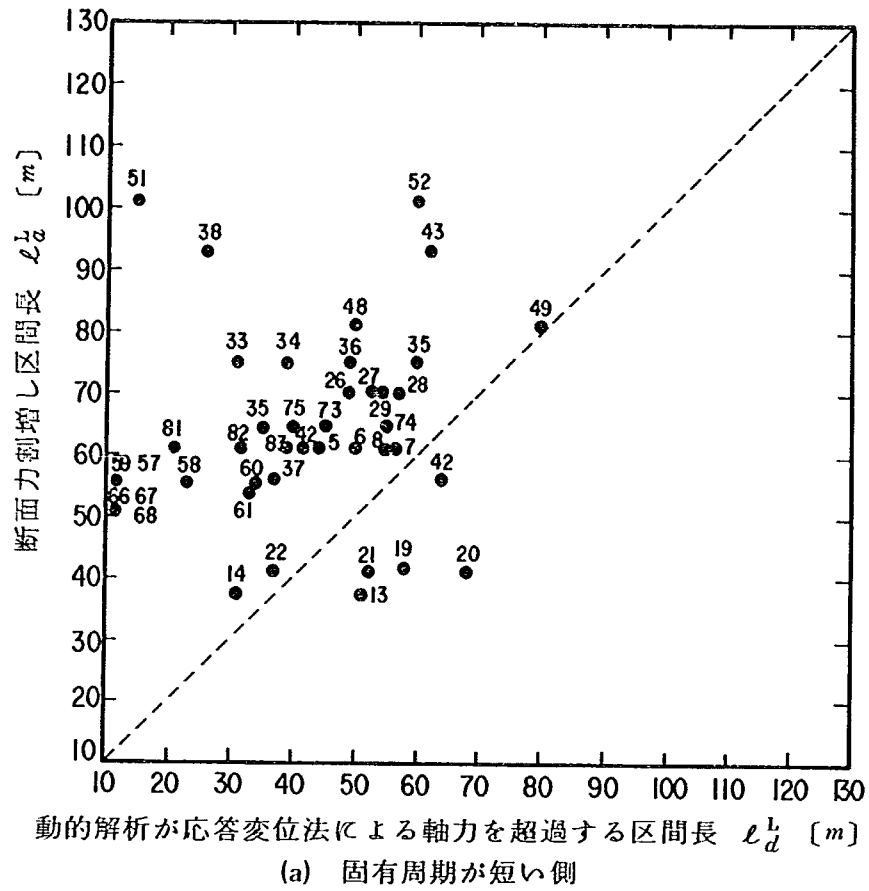
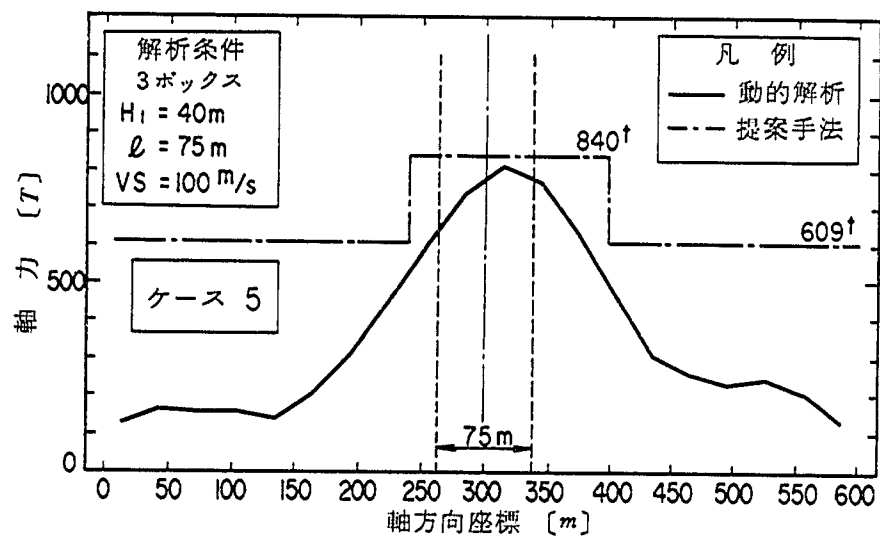
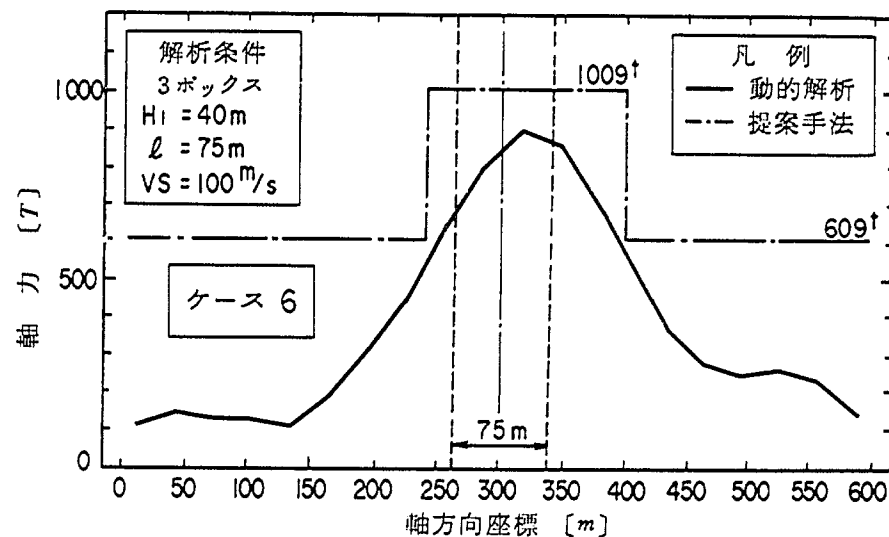


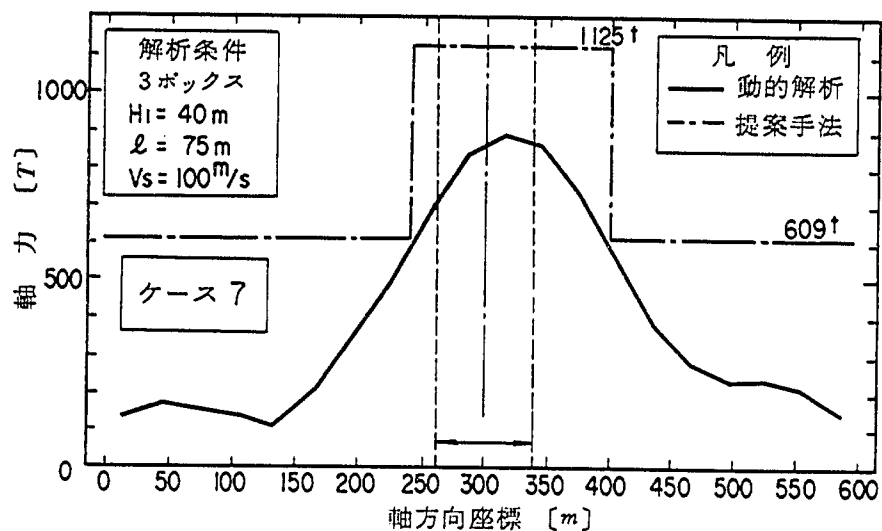
図 6.6 断面力割増し区間長と動的解析が応答変位法による軸力を超過する区間長との関係



(a) 固有周期差 0.4 秒

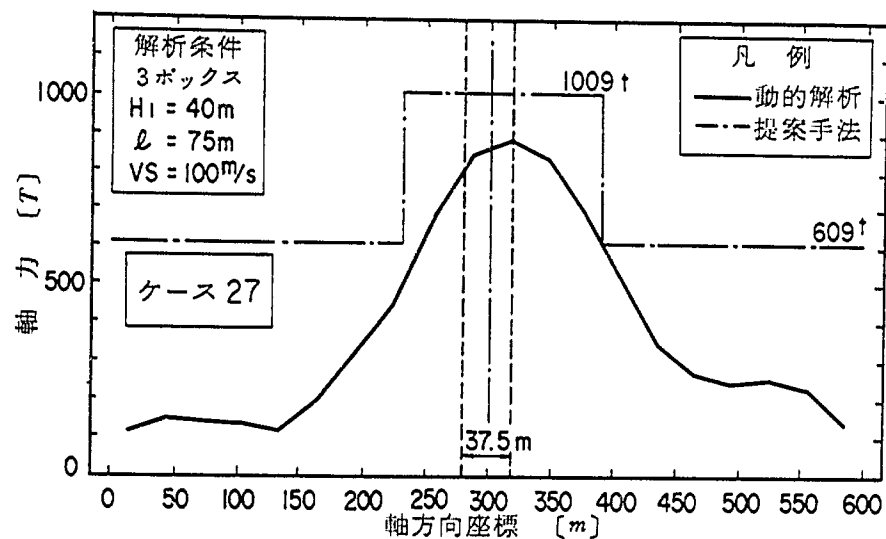


(b) 固有周期差 0.6 秒

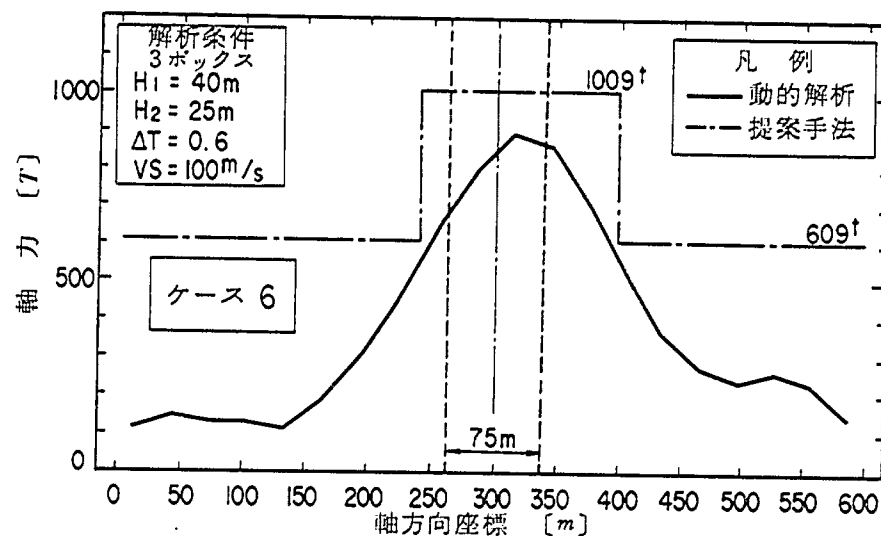


(c) 固有周期差 0.8 秒

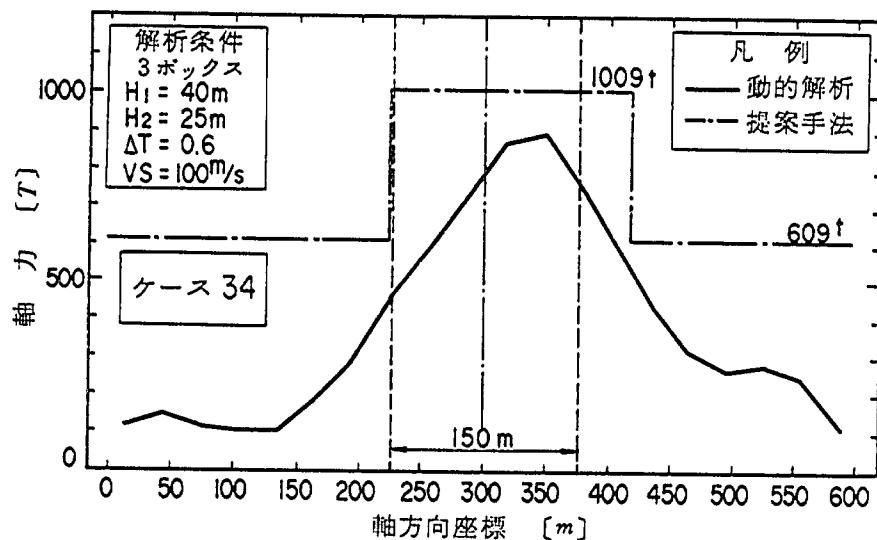
図 6.7 地盤条件変化部の割増しを考慮した応答変位法と動的解析結果の比較(1)  
— 固有周期差の影響 —



(a) 急変区間長 37.5m



(b) 急変区間長 75m



(c) 急変区間長 150m

図6.8 地盤条件変化部の割増しを考慮した応答変位法と動的解析結果の比較(2)  
— 変化区間長の影響 —

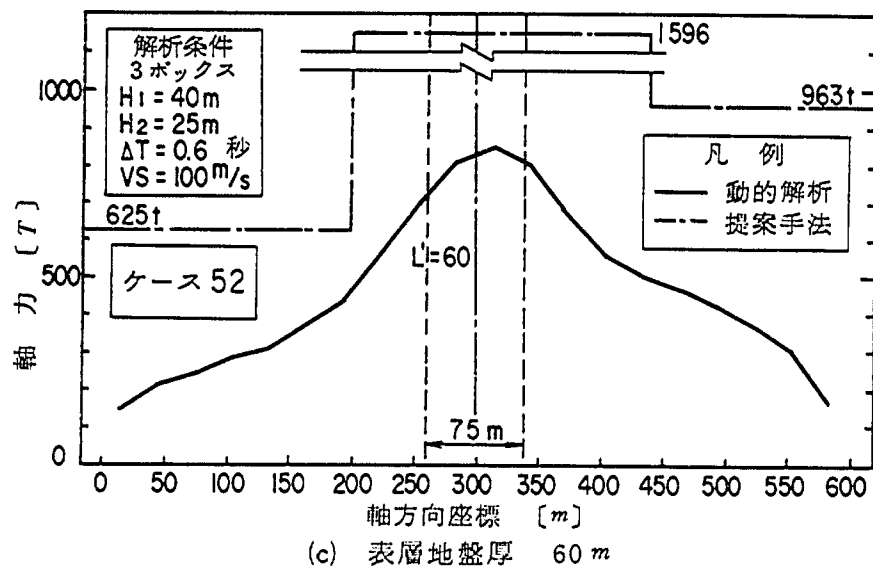
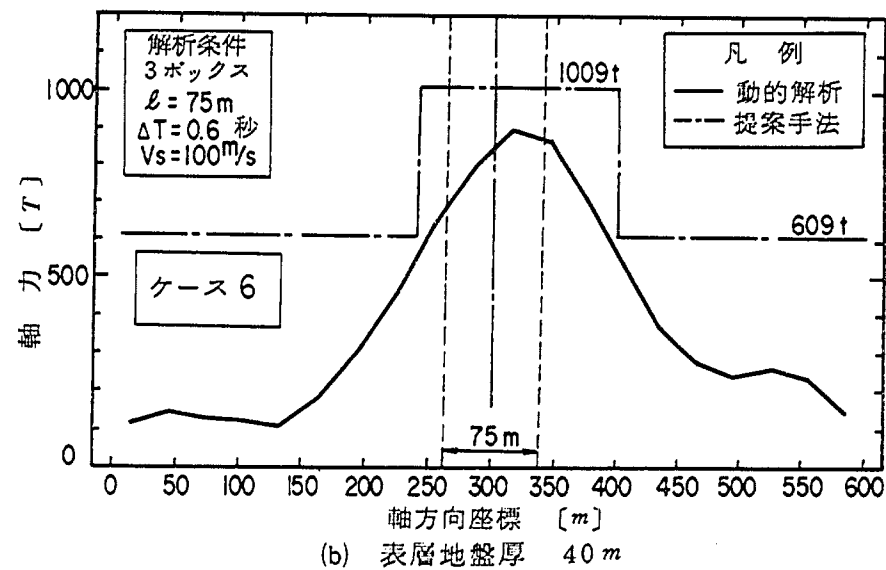
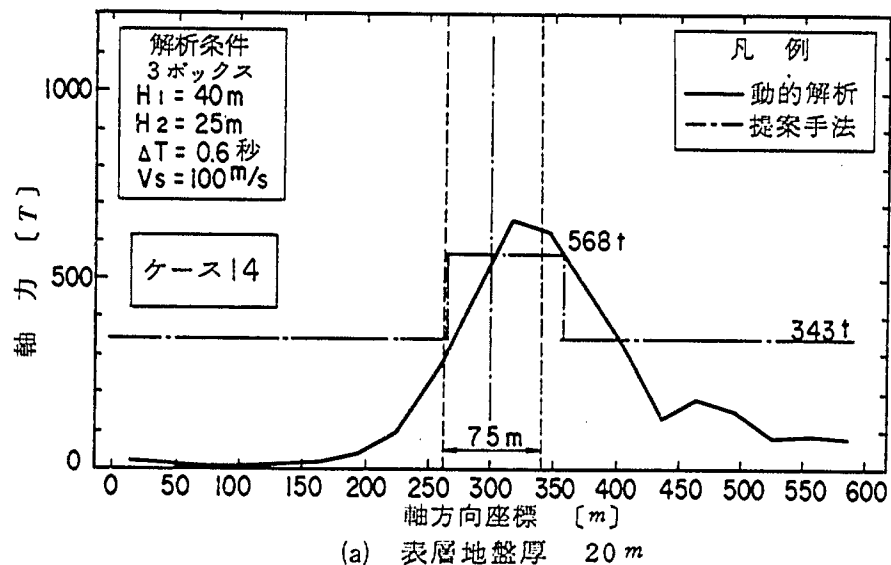
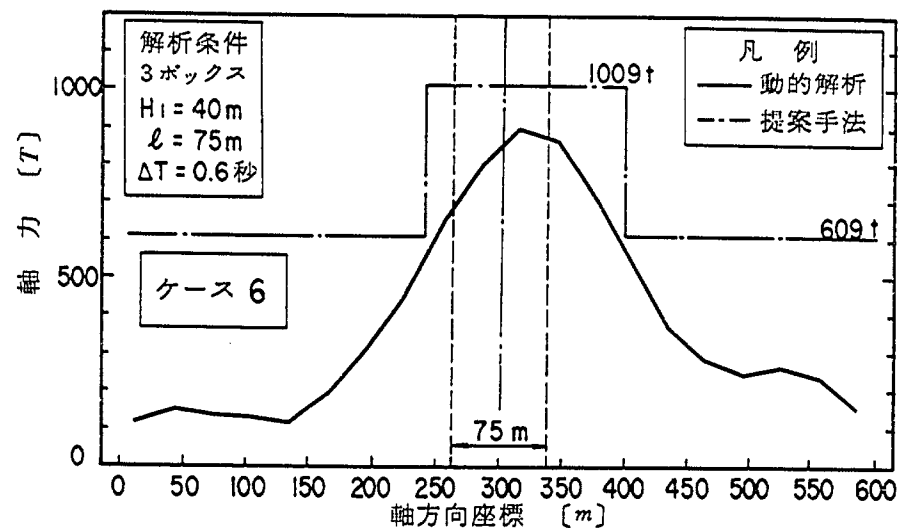
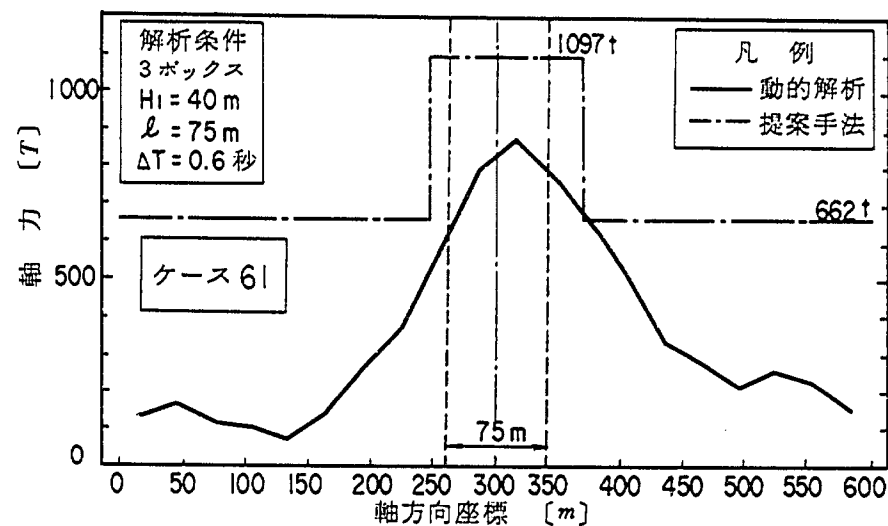


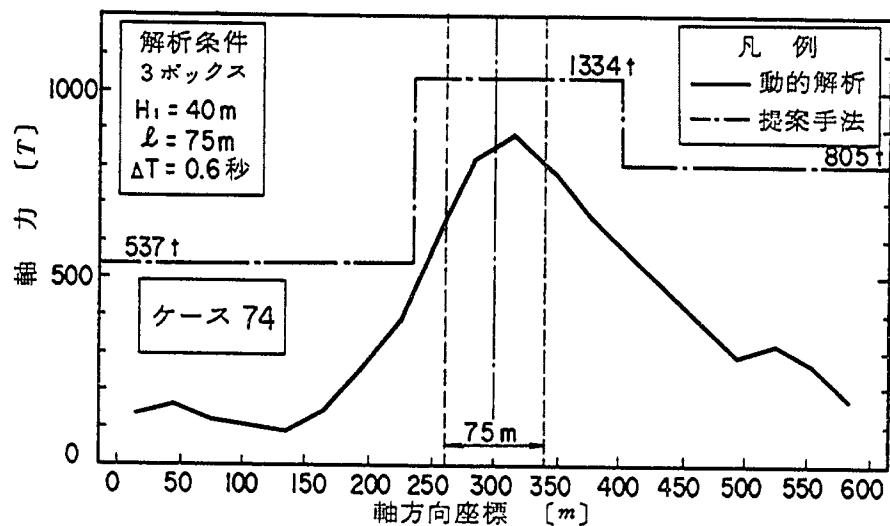
図 6.9 地盤条件変化部の割増しを考慮した応答変位法と動的解析結果の比較(3)  
— 表層地盤厚の影響 —



(a) 表層地盤のせん断弾性波速度  $V_s = 100\text{ m/s}$



(b) 表層地盤のせん断弾性波速度  $V_s = 130\text{ m/s}$



(c) 表層地盤のせん断弾性波速度  $V_s = 160\text{ m/s}$

図 6.10 地盤条件変位部の割増しを考慮した応答変位法と動的解析結果の比較(4)  
— 表層剛性の影響 —

## 7. 結 論

本検討においては、建設事例の多い断面諸元を有する共同溝を対象として、地盤条件変化部で発生する軸力を地震応答解析により求め、その結果と応答変位法による軸力を比較検討することにより、地盤条件変化部において応答変位法の軸力に乗じるべき断面力割増し係数、および断面力割増し区間の設定法を提案した。本検討の前提条件及び結論は以下の通りである。

- 1) 本検討の前提条件は以下の通りである。
  - i) 共同溝断面としては3ボックス、2ボックスを対象とし、継手間隔は30mとした。
  - ii) 共同溝に生じる断面力のうち、耐震計算に支配的な影響を与える軸力に着目した。
  - iii) 動的解析では入力地震動として、共同溝設計指針に示される応答変位法用の設計速度スペクトルにスペクトル特性が合致するような模擬地震動波形を用いた。
  - iv) 動的解析においては地盤剛性の箇所別の変動の影響を考慮した。
- 2) 動的解析の結果、地盤条件変化部の共同溝の地震応答に関して明らかとなった特性は以下の通りである。
  - i) 地盤条件変化部で発生する軸力は、地盤条件変化部における地盤の固有周期差と相関が高く、地盤条件が変化する区間長の影響は少ない。
  - ii) 一様地盤部に比較して地盤条件変化部において軸力が増加する範囲は表層地盤厚が厚くなり、また、地盤条件変化部の長さが長くなる程増える。
  - iii) 地盤条件変化部における軸力の増加範囲の中心は固有周期の長い側に寄る。
  - iv) 固有周期勾配が反転する地盤条件変化部が連続する場合には固有周期勾配が反転する箇所では地盤条件変化部を分離し、いずれか固有周期差との大きい方について軸力を求めれば安全側の値が得られる。
- 3) 以上の検討結果より地盤条件変化部における共同溝の耐震設計方法は次のように提案した。
  - i) 共同溝の長手方向に沿う地盤の固有周期が一方方向に単調に増加または減少する200m以内の一連の区間の両端において、固有周期差が0.3秒を超える区間を断面力割増し区間とする。
  - ii) 上記断面力割増し区間における軸力は、この区間内で固有周期が長い側の地盤において、応答変位法により求めた軸力に式(6.2)による固有周期差に応じた割増し係数 $\beta$ を乗じて算定する。なお、応答変位法により計算される軸力が、軸方向の最小鉄筋の規定から定まる軸力値よりも小さい場合には最小鉄筋量の規定から定まる軸力に対して上記割増し係数 $\beta$ を乗じる。
  - iii) 断面力割増し区間は、地盤条件変化区間全域とこれに地盤条件変化部の中央点から表層地盤の厚い方へ $\ell/4$  ( $\ell$ は地盤条件変化区間長)だけ移動した点を中心として、この両側にそれぞれ表層地盤の厚い側における地盤振動の波長 $L$ の $1/3$ の長さをとった範囲を加えた区間とする。

## 参 考 文 献

- 1) 日本道路協会：石油パイプライン地震対策要綱，同解説，昭和49年3月
- 2) 大久保忠良：石油パイプラインの耐震基準，道路，昭和48年3月
- 3) 萩原 浩，寺田章次，栗林栄一：石油パイプラインの耐震設計基準，土木技術資料，Vol. 16-4，昭和49年6月
- 4) 建設省：新耐震設計法(案)，土木研究資料，第1185号，昭和52年3月
- 5) 荒川直士，川島一彦，相沢 興，高橋和之：地下埋設管路の耐震設計と設計地震入力，土木研究所資料第1764号，昭和57年1月
- 6) 大久保忠良，荒川直士，川島一彦：地震時の地盤ひずみの解析，土木技術資料，Vol. 24-11，1982
- 7) 川島一彦，大日方尚巳，後藤勝志，加納尚史：沈埋トンネルの耐震性に関する研究—(その1) 沈埋トンネルの地震応答に及ぼす地盤剛性の箇所別変化の影響—，土木研究所資料，第2229号，昭和60年3月
- 8) 川島一彦，大日方尚巳，後藤勝志，加納尚史：沈埋トンネルの地震応答に及ぼす地震剛性の箇所別の変化の影響，土木技術資料，Vol. 27-6，昭和60年6月
- 9) 川島一彦，大日方尚巳，山本一敏：沈埋トンネルの耐震性に関する研究—(その3) 沈埋トンネルの地震応答に及ぼす可撓性継手剛性の非線形性の影響—，土木研究資料，第2376号，昭和61年4月
- 10) 川島一彦，大日方尚巳，山本一敏，加納尚史：沈埋トンネルの地震応答に及ぼす可撓性継手剛性の非線形性の影響，土木技術資料，Vol. 28-11，昭和61年11月
- 11) 荒川直士，川島一彦，相沢 興：応答スペクトル特性を調整した時刻歴地震応答解析用入力地震動波形，土木技術資料，Vol. 26-7，昭和59年7月
- 12) 栗林栄一，川島一彦，柴田松雄：沈埋トンネルの軸線上の断面力および変位の地震応答解析に関する研究，土木研究所資料，第1193号，昭和51年
- 13) 栗林栄一，川島一彦，柴田松雄：地中構造物の地震応答解析プログラムDAST-I，土木研究所資料，第1312号，昭和52年3月
- 14) 川島一彦，相沢 興，高橋和之：最大地震動および地震応答スペクトルの距離減衰式，土木研究所報告，第166号，昭和60年9月
- 15) 日本道路協会：共同溝設計指針，昭和61年3月
- 16) 国土開発技術研究センター：トンネル耐震継手技術基準(案)，昭和54年3月
- 17) 日本水道協会：水道施設耐震工法指針・解析，昭和54年
- 18) 例えば，西部ポリマ：ブラックルール止水版の物理的性質(昭和58年12月)による
- 19) 例えば，西部ポリマ：エラスチックフィラー目地の圧縮試験結果(昭和54年4月)による

- 20) 川島一彦，相沢 興，高橋和之：東京湾沿岸における地中地震動特性，土木技術資料，  
Vol. 24-11，昭和57年11月



## 付 属 資 料

1. 継手を設けた場合の共同溝の  
断面力低減係数の簡易算定法
2. 共同溝の耐震計算に用いる  
設計地震動



# 付属資料-1 継手を設けた場合の共同溝の断面力低減係数の簡易算定法

## 1 概 説

応答変位法による共同溝などの地中構造物の断面力の算定においては継手の設置にともなう断面力の低減を行うことが必要となる。この継手を設けた場合の断面力の低減係数 $\xi$ の算定方法は建設省耐震設計法等に示されているが、計算がやや煩雑であるため、一般的な断面諸元を有する共同溝（継手間隔30m、2ボックス～4ボックス）を対象として断面力低減係数をあらかじめ計算し、これを簡易算定法として提案する。ただし、低減係数は共同溝中央位置における値として算定することとする。

## 2 断面力低減係数の詳細算定法

継手を設けた場合の断面力の補正係数は以下の式により算定することができる。<sup>4)</sup>

$$\xi_1(x) = \sqrt{\phi_1(x)^2 + \phi_2(x)^2} / [\exp(\nu' \lambda_1 L') - \exp(-\nu' \lambda_1 L')] \quad \cdots (\text{付 1.1})$$

$$\xi_2(x), \xi_3(x) = \sqrt{\phi_3(x)^2 + \phi_4(x)^2} \quad \cdots (\text{付 1.2})$$

ここに、

$$\nu = l / L, \quad \nu' = l / L'$$

$$\begin{aligned} \phi_1(x) = & [\exp(-\nu' \lambda_1 L') - \cos(2\pi \nu')] \exp(\mu' \lambda_1 L') \\ & - [\exp(\nu' \lambda_1 L') - \cos(2\pi \nu')] \exp(-\mu' \lambda_1 L') \\ & + 2 \sinh(\nu' \lambda_1 L') \cos(2\pi \mu') \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi_2(x) = & 2 \sin(2\pi \nu') \sinh(\mu' \lambda_1 L') - 2 \sin(2\pi \mu') \\ & \cdot \sinh(\nu' \lambda_1 L') \end{aligned}$$

$$\phi_3(x) = f_3 e_3 - f_1 e_2 - f_4 e_1 - \sin(2\pi \mu)$$

$$\phi_4(x) = e_4 + f_2 e_3 - f_2 e_2 - f_5 e_1 - \cos(2\pi \mu)$$

係数 $f_1 \sim f_5$ および $e_1 \sim e_4$ は付表1.1に示す。

$l$  : 継手間の共同溝エレメント長 (cm)

$\xi_1(x)$  : 継手から距離 $x$  [m] の点における軸力の補正係数

$\xi_2(x), \xi_3(x)$  : 継手から距離 $x$  [m] の点における水平面内

および鉛直面内の曲げモーメントの補正係数

上述した補正係数の算定式において、断面力の補正係数を共同溝の1エレメントの中央位置において算定することとし、また、共同溝1エレメントの継手間隔を30mとすれば、補正係数は次式のように簡略化することができる。

$$\left. \begin{aligned} \xi_1 &= f(L, \lambda_1) \\ \xi_2 &= f(L, \lambda_2) \\ \xi_3 &= f(L, \lambda_3) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (付 1.3)$$

ここに、

$\xi_1$  : 軸力の低減係数

$\xi_2$  : 曲げモーメント (水平面内) の低減係数

$\xi_3$  : 曲げモーメント (鉛直面内) の低減係数

$L$  : 地盤振動の波長 [m]

$$\lambda_1 = \sqrt{\frac{K_1}{EA}} \quad [1/m]$$

$$\lambda_2 = \sqrt[4]{\frac{K_2}{EI_h}} \quad [1/m]$$

$$\lambda_3 = \sqrt[4]{\frac{K_3}{EI_v}} \quad [1/m]$$

$K_1, K_2, K_3$  : 共同溝の縦断方向と、これに直交する水平面内および鉛直面内の地盤の剛性係数 [t/m<sup>2</sup>]

$E$  : コンクリートのヤング係数 [t/m<sup>2</sup>]

$A$  : 共同溝の断面積 [m<sup>2</sup>]

$I_h, I_v$  : 共同溝の水平面内および鉛直面内の断面 2 次モーメント [m<sup>4</sup>]

### 3 断面力低減係数の簡易算定法

建設事例の多い断面諸元を有する 35 ケースの共同溝に対する低減係数 $\xi$ を式 (付 1.1) および式 (付 1.2) により求めると、表付 1.2 のようになる。ここで、本試算に用いた共同溝の断面諸元は、本編 1.1 に示すケースと同一であり、基盤面におけるせん断弾性波速度  $V_{BS}$  は 300m/s と仮定している。

以上のように計算される断面力低減係数 $\xi$ と地盤振動の波長  $L$  および  $\lambda$  との関係を、次式を仮定して回帰分析を行った。

$$\xi_1 = aL^b + c\lambda_1^d \quad \dots\dots\dots (付 1.4)$$

ここに、

$a, b, c, d$  : 回帰定数

回帰分析の結果は、表付 1.3 に示す通りであり、これより断面力の低減係数の簡易算定式は以下のように表わされる。

$$\begin{aligned}
 \xi_1 &= 900 L^{-1.8} \\
 \xi_2 &= 1.16 L^{-3.8} \times 10^6 + 890 \lambda_2^{3.7} \\
 \xi_3 &= 5.31 L^{-3.7} \times 10^5 + 145 \lambda_3^{2.9}
 \end{aligned}
 \left. \vphantom{\begin{aligned} \xi_1 \\ \xi_2 \\ \xi_3 \end{aligned}} \right\} \dots\dots\dots ( \text{付 1.5} )$$

ここで軸力の低減係数 $\xi_1$ の回帰においては表付 1.3 に示すように $\lambda_1$ の影響が小さく、 $L$ のみで十分な精度をもって回帰できるため、簡便性も考慮して $\lambda_2$ の項目を用いない回帰式とした。なお、実際の継手構造が、ある程度の剛性を有している点を考慮して、断面力の低減係数 $\xi_1$ を 0.1 以下にはしないこととしている。

以上の回帰式を図示すると図付 1.1 ～ 1.3 のとおりである。

断面力低減係数の詳細計算結果と簡易算定式（提案式）による計算結果を比較すると表付 1.4 および図付 1.4 のとおりである。この結果、簡易算定式においても実用上十分な精度で断面力低減係数を算定できていることがわかる。

表付 1 1 係数  $f_1 \sim f_5$

|         |                                                                                                                                |                                            |
|---------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| $f_1$   | $\frac{1}{d} \{ \{ C_1(C_4 - C_1) - C_3(C_3 + C_2) - C_1 \cos(2\pi\nu) \} \frac{2\pi}{\beta L} + (C_3 + C_2) \sin(2\pi\nu) \}$ |                                            |
| $f_2$   | $\frac{1}{d} \{ (C_3 - C_2) - C_4(C_3 + C_2) + (C_3 + C_2) \cos(2\pi\nu) + C_1 \frac{2\pi}{\beta L} \sin(2\pi\nu) \}$          |                                            |
| $f_3$   | $\frac{1}{d} \{ \{ C_1(C_4 + C_1) - C_2(C_3 + C_2) - C_1 \cos(2\pi\nu) \} \frac{2\pi}{\beta L} + (C_3 + C_2) \sin(2\pi\nu) \}$ |                                            |
| $f_4$   | $\frac{1}{d} \{ \{ C_3(C_4 + C_1) - C_2(C_4 - C_1) + (C_2 - C_3) \cos(2\pi\nu) \} \frac{2\pi}{\beta L} - 2C_1 \sin(\pi\nu) \}$ |                                            |
| $f_5$   | $\frac{1}{d} \{ (C_3 - C_2)^2 + 2C_1 C_4 - 2C_1 \cos(2\pi\nu) - (C_2 - C_3) \frac{2\pi}{\beta L} \sin(2\pi\nu) \}$             |                                            |
| $d$     | $(C_3 + C_2)(C_3 - C_2) + 2C_1^2$                                                                                              |                                            |
| $C_1$   | $\sin(\nu\beta L) \sinh(\nu\beta L)$                                                                                           | $C_2$ $\sin(\nu\beta L) \cosh(\nu\beta L)$ |
| $C_3$   | $\cos(\nu\beta L) \sinh(\nu\beta L)$                                                                                           | $C_4$ $\cos(\nu\beta L) \cosh(\nu\beta L)$ |
| $e_1$   | $\sin(\mu\beta L) \sinh(\mu\beta L)$                                                                                           | $e_2$ $\sin(\mu\beta L) \cosh(\mu\beta L)$ |
| $e_3$   | $\cos(\mu\beta L) \sinh(\mu\beta L)$                                                                                           | $e_4$ $\cos(\mu\beta L) \cosh(\mu\beta L)$ |
| $\nu$   | $l / L$                                                                                                                        | $\mu$ $x / L$                              |
| $\beta$ | $^4 \sqrt{\frac{K_2}{4E \cdot I_k}} \text{ 水平面内 } \text{ または } \text{ } ^4 \sqrt{\frac{K_3}{4E \cdot I_v}} \text{ 鉛直面内 }$      |                                            |

表付12 継手を設けた場合の断面力の低減係数の試算(継手間隔 $\ell = 30\text{ m}$ )

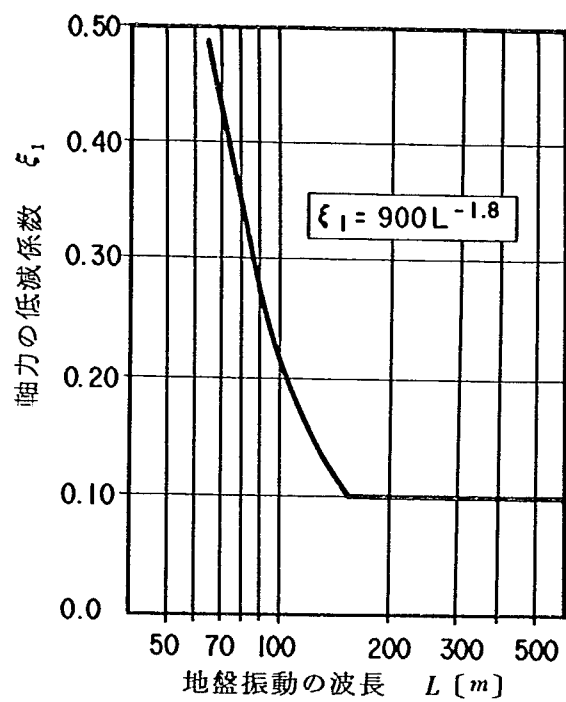
| 試<br>算<br>ケ<br>ー<br>ス<br>№ | 共同溝<br>型 式 | 断面力の低減係数 |         |         | $\lambda_1$ | $\lambda_2$ | $\lambda_3$ | $L$ | $V_S$ | $H$ |
|----------------------------|------------|----------|---------|---------|-------------|-------------|-------------|-----|-------|-----|
|                            |            | $\xi_1$  | $\xi_2$ | $\xi_3$ | (1/m)       | (1/m)       | (1/m)       | (m) | (m/s) | (m) |
| 1                          | 2 BOX      | 0.560    | 0.250   | 0.378   | 0.0093      | 0.071       | 0.1087      | 60  | 100   | 10  |
| 2                          | "          | 0.268    | 0.093   | 0.260   | 0.0093      | 0.071       | 0.1087      | 90  | 100   | 15  |
| 3                          | "          | 0.158    | 0.064   | 0.242   | 0.0093      | 0.071       | 0.1087      | 120 | 100   | 20  |
| 4                          | "          | 0.106    | 0.056   | 0.238   | 0.0093      | 0.071       | 0.1087      | 150 | 100   | 25  |
| 5                          | "          | 0.077    | 0.054   | 0.238   | 0.0093      | 0.071       | 0.1087      | 180 | 100   | 30  |
| 6                          | "          | 0.059    | 0.053   | 0.237   | 0.0093      | 0.071       | 0.1087      | 210 | 100   | 35  |
| 7                          | "          | 0.048    | 0.052   | 0.238   | 0.0093      | 0.071       | 0.1087      | 240 | 100   | 40  |
| 8                          | "          | 0.027    | 0.052   | 0.261   | 0.0093      | 0.071       | 0.1118      | 360 | 100   | 60  |
| 9                          | "          | 0.186    | 0.100   | 0.356   | 0.012       | 0.081       | 0.1239      | 112 | 130   | 20  |
| 10                         | "          | 0.060    | 0.085   | 0.355   | 0.012       | 0.081       | 0.1239      | 223 | 130   | 40  |
| 11                         | "          | 0.217    | 0.142   | 0.466   | 0.015       | 0.090       | 0.1374      | 104 | 160   | 20  |
| 12                         | "          | 0.073    | 0.124   | 0.469   | 0.015       | 0.090       | 0.1374      | 209 | 160   | 40  |
| 13                         | 3 BOX      | 0.560    | 0.233   | 0.393   | 0.0084      | 0.060       | 0.1118      | 60  | 100   | 10  |
| 14                         | "          | 0.268    | 0.071   | 0.281   | 0.0084      | 0.060       | 0.1118      | 90  | 100   | 15  |
| 15                         | "          | 0.157    | 0.041   | 0.264   | 0.0084      | 0.060       | 0.1118      | 120 | 100   | 20  |
| 16                         | "          | 0.104    | 0.033   | 0.260   | 0.0084      | 0.060       | 0.1118      | 150 | 100   | 25  |
| 17                         | "          | 0.075    | 0.030   | 0.260   | 0.0084      | 0.060       | 0.1118      | 180 | 100   | 30  |
| 18                         | "          | 0.057    | 0.029   | 0.260   | 0.0084      | 0.060       | 0.1118      | 210 | 100   | 35  |
| 19                         | "          | 0.046    | 0.028   | 0.260   | 0.0084      | 0.060       | 0.1118      | 240 | 100   | 40  |
| 20                         | "          | 0.025    | 0.027   | 0.261   | 0.0084      | 0.060       | 0.1118      | 360 | 100   | 60  |
| 21                         | "          | 0.184    | 0.063   | 0.384   | 0.011       | 0.069       | 0.1274      | 112 | 130   | 20  |
| 22                         | "          | 0.057    | 0.046   | 0.384   | 0.011       | 0.069       | 0.1274      | 223 | 130   | 40  |
| 23                         | "          | 0.213    | 0.089   | 0.500   | 0.013       | 0.076       | 0.1414      | 104 | 160   | 20  |
| 24                         | "          | 0.070    | 0.068   | 0.502   | 0.014       | 0.076       | 0.1414      | 209 | 160   | 40  |
| 25                         | 4 BOX      | 0.265    | 0.056   | 0.185   | 0.0066      | 0.047       | 0.0955      | 90  | 100   | 15  |
| 26                         | "          | 0.154    | 0.025   | 0.162   | 0.0066      | 0.047       | 0.0955      | 120 | 100   | 20  |
| 27                         | "          | 0.101    | 0.016   | 0.156   | 0.0066      | 0.047       | 0.0955      | 150 | 100   | 25  |
| 28                         | "          | 0.072    | 0.013   | 0.155   | 0.0066      | 0.047       | 0.0955      | 180 | 100   | 30  |
| 29                         | "          | 0.055    | 0.012   | 0.154   | 0.0066      | 0.047       | 0.0955      | 210 | 100   | 35  |
| 30                         | "          | 0.043    | 0.011   | 0.154   | 0.0066      | 0.047       | 0.0955      | 240 | 100   | 40  |
| 31                         | "          | 0.022    | 0.011   | 0.154   | 0.0066      | 0.047       | 0.0955      | 360 | 100   | 60  |
| 32                         | "          | 0.180    | 0.037   | 0.247   | 0.0085      | 0.054       | 0.1089      | 112 | 130   | 20  |
| 33                         | "          | 0.052    | 0.019   | 0.240   | 0.0085      | 0.054       | 0.1089      | 223 | 130   | 40  |
| 34                         | "          | 0.207    | 0.051   | 0.335   | 0.011       | 0.060       | 0.1209      | 104 | 160   | 20  |
| 35                         | "          | 0.062    | 0.028   | 0.330   | 0.011       | 0.060       | 0.1209      | 209 | 160   | 40  |

表付 13 断面力低減係数の予測式の回帰分析結果

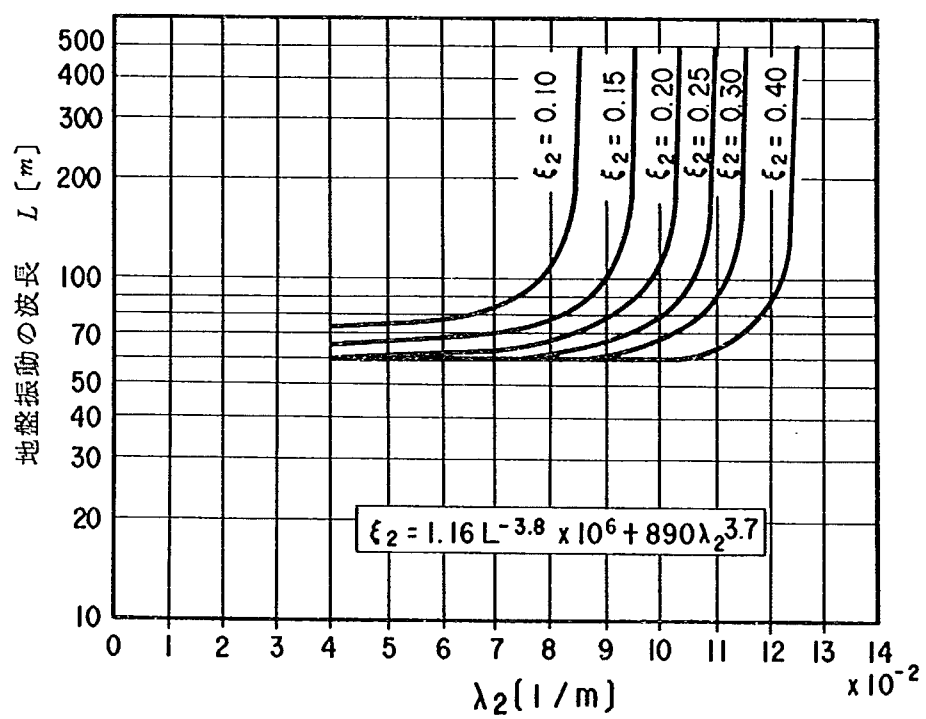
|                                      | 回 帰 定 数            |       |        |      | 相関係数<br>$r$ |
|--------------------------------------|--------------------|-------|--------|------|-------------|
|                                      | a                  | b     | c      | d    |             |
| 軸力の低減係数 $\xi_1$                      | 1090               | -1.85 | 15.750 | 3.27 | 0.999       |
| 曲げモーメント（水平面内）の低減係数 $\xi_2$           | $1.16 \times 10^5$ | -3.8  | 890    | 3.7  | 0.998       |
| 曲げモーメント（鉛直面内）の低減係数 $\xi_3$           | $5.31 \times 10^5$ | -3.7  | 145    | 2.9  | 0.997       |
| 軸力の低減係数 $\xi_1$<br>（ $L$ のみの関数とした場合） | 900                | -1.8  | —      | —    | 0.999       |

表付14 断面力の低減係数の詳細計算結果と提案式による計算結果の比較

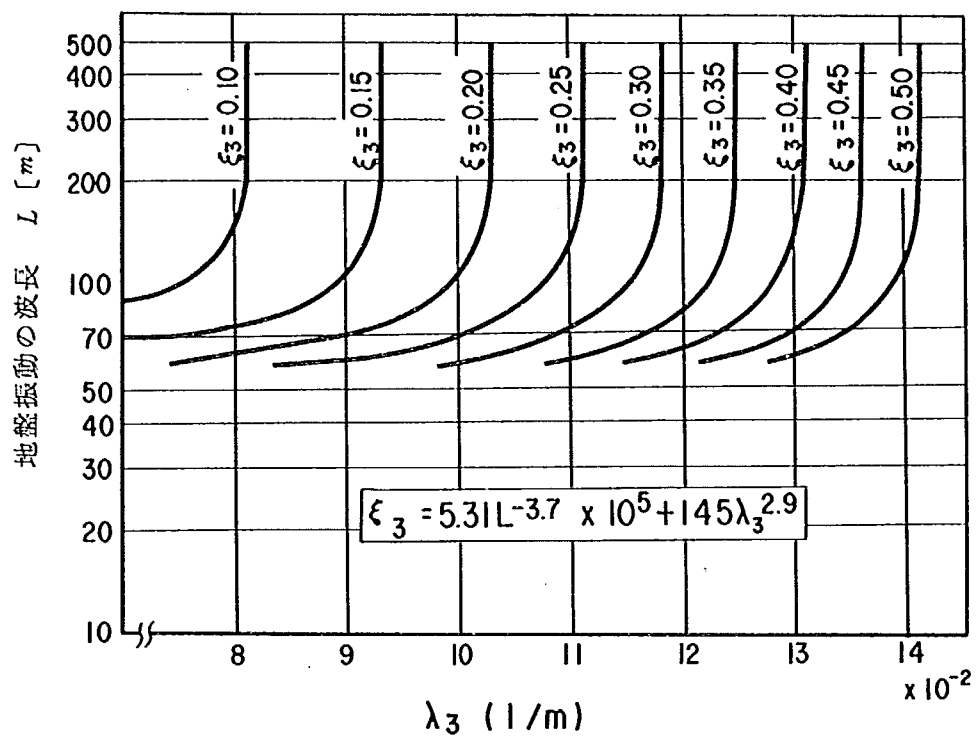
| ケース | 断面力の低減係数 $\xi_1$ |       |        | 断面力の低減係数 $\xi_2$ |       |        | 断面力の低減係数 $\xi_3$ |       |        |
|-----|------------------|-------|--------|------------------|-------|--------|------------------|-------|--------|
|     | 詳細計算             | 提案式   | 差      | 詳細計算             | 提案式   | 差      | 詳細計算             | 提案式   | 差      |
| 1   | 0.567            | 0.560 | -0.007 | 0.253            | 0.250 | -0.003 | 0.372            | 0.378 | 0.006  |
| 2   | 0.273            | 0.268 | -0.005 | 0.093            | 0.093 | 0      | 0.264            | 0.260 | -0.004 |
| 3   | 0.163            | 0.158 | -0.005 | 0.065            | 0.064 | -0.001 | 0.243            | 0.242 | -0.001 |
| 4   | 0.109            | 0.106 | -0.003 | 0.056            | 0.056 | 0      | 0.237            | 0.238 | 0.001  |
| 5   | 0.078            | 0.077 | -0.001 | 0.053            | 0.054 | 0.001  | 0.235            | 0.238 | 0.003  |
| 6   | 0.059            | 0.059 | 0      | 0.052            | 0.053 | 0.001  | 0.234            | 0.237 | 0.003  |
| 7   | 0.047            | 0.048 | 0.001  | 0.051            | 0.052 | 0.001  | 0.233            | 0.238 | 0.005  |
| 8   | 0.023            | 0.027 | 0.004  | 0.050            | 0.052 | 0.002  | 0.233            | 0.261 | 0.028  |
| 9   | 0.184            | 0.186 | 0.002  | 0.100            | 0.100 | 0      | 0.354            | 0.356 | 0.002  |
| 10  | 0.053            | 0.060 | -0.007 | 0.083            | 0.085 | 0.002  | 0.341            | 0.355 | 0.014  |
| 11  | 0.211            | 0.217 | -0.006 | 0.145            | 0.142 | -0.003 | 0.477            | 0.466 | -0.011 |
| 12  | 0.060            | 0.073 | -0.013 | 0.122            | 0.124 | 0.002  | 0.460            | 0.469 | 0.009  |
| 13  | 0.567            | 0.560 | -0.007 | 0.230            | 0.233 | 0.003  | 0.392            | 0.393 | 0.001  |
| 14  | 0.273            | 0.268 | -0.005 | 0.070            | 0.071 | 0.001  | 0.283            | 0.281 | -0.002 |
| 15  | 0.163            | 0.157 | -0.006 | 0.041            | 0.041 | 0      | 0.263            | 0.264 | 0.001  |
| 16  | 0.109            | 0.104 | -0.005 | 0.033            | 0.033 | 0      | 0.257            | 0.260 | 0.003  |
| 17  | 0.078            | 0.075 | -0.003 | 0.030            | 0.030 | 0      | 0.255            | 0.260 | 0.005  |
| 18  | 0.059            | 0.057 | -0.002 | 0.029            | 0.029 | 0      | 0.254            | 0.260 | 0.006  |
| 19  | 0.047            | 0.046 | -0.001 | 0.028            | 0.028 | 0      | 0.253            | 0.260 | 0.007  |
| 20  | 0.023            | 0.025 | 0.002  | 0.027            | 0.027 | 0      | 0.252            | 0.261 | 0.009  |
| 21  | 0.184            | 0.184 | 0      | 0.064            | 0.063 | -0.001 | 0.382            | 0.384 | 0.002  |
| 22  | 0.053            | 0.057 | 0.004  | 0.046            | 0.046 | 0      | 0.370            | 0.384 | 0.014  |
| 23  | 0.211            | 0.213 | 0.002  | 0.089            | 0.089 | 0      | 0.517            | 0.500 | -0.017 |
| 24  | 0.060            | 0.070 | 0.010  | 0.066            | 0.068 | 0.002  | 0.500            | 0.502 | 0.002  |
| 25  | 0.273            | 0.265 | -0.008 | 0.054            | 0.056 | 0.002  | 0.191            | 0.185 | -0.006 |
| 26  | 0.163            | 0.154 | -0.009 | 0.025            | 0.025 | 0      | 0.170            | 0.162 | -0.008 |
| 27  | 0.109            | 0.101 | -0.008 | 0.017            | 0.016 | -0.001 | 0.164            | 0.156 | -0.008 |
| 28  | 0.078            | 0.072 | -0.006 | 0.014            | 0.013 | -0.001 | 0.162            | 0.155 | -0.007 |
| 29  | 0.059            | 0.055 | -0.004 | 0.013            | 0.012 | -0.001 | 0.161            | 0.154 | -0.007 |
| 30  | 0.047            | 0.043 | -0.004 | 0.012            | 0.011 | -0.001 | 0.161            | 0.154 | -0.007 |
| 31  | 0.023            | 0.022 | -0.001 | 0.011            | 0.011 | 0      | 0.160            | 0.154 | -0.006 |
| 32  | 0.184            | 0.180 | -0.004 | 0.037            | 0.037 | 0      | 0.248            | 0.247 | -0.001 |
| 33  | 0.053            | 0.052 | -0.001 | 0.020            | 0.019 | -0.001 | 0.235            | 0.240 | 0.005  |
| 34  | 0.211            | 0.207 | -0.004 | 0.052            | 0.051 | -0.001 | 0.335            | 0.335 | 0      |
| 35  | 0.060            | 0.062 | 0.002  | 0.029            | 0.028 | -0.001 | 0.318            | 0.330 | 0.012  |



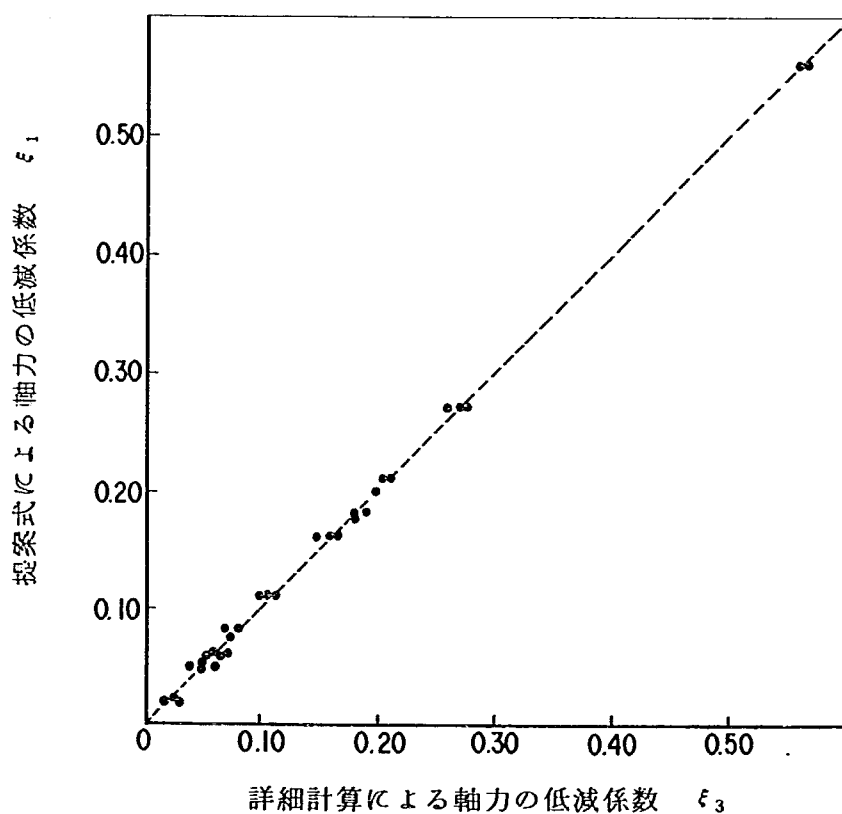
図付1.1 軸力の低減係数  $\xi_1$



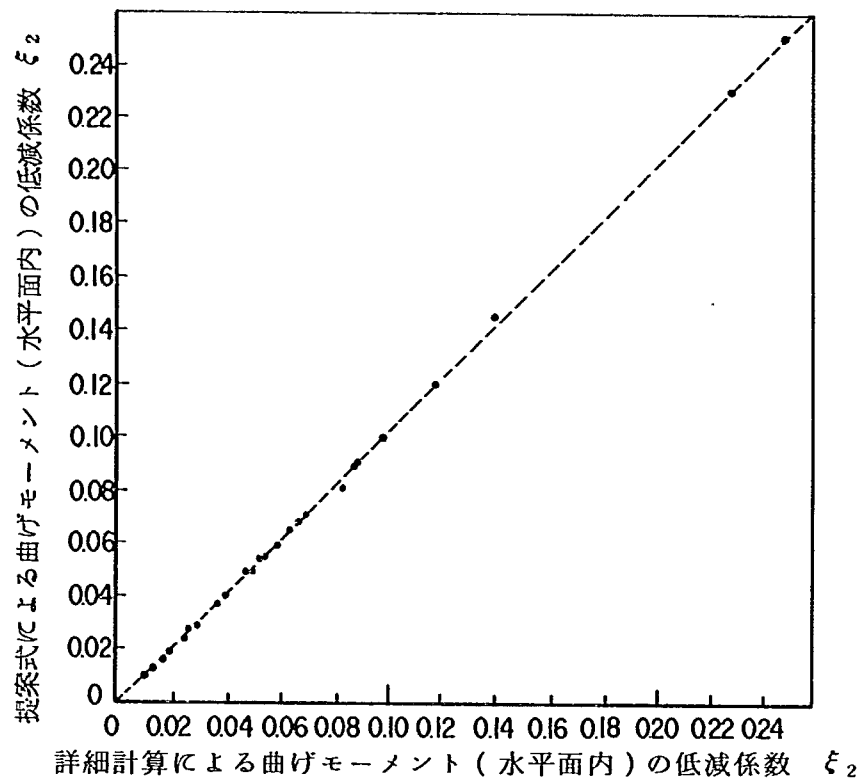
図付1.2 曲げモーメント（水平面内）の低減係数  $\xi_2$



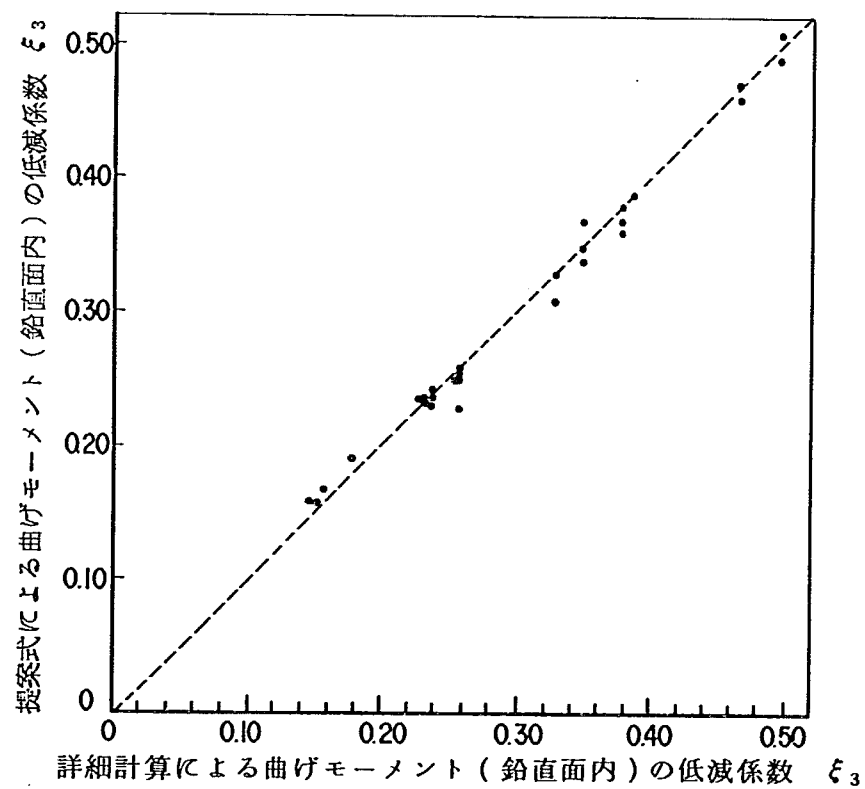
図付13 曲げモーメント（鉛直面内）の低減係数  $\xi_3$



(a) 軸力の低減係数  $\xi_1$



(b) 水平面内曲げモーメントの低減係数  $\xi_2$



(c) 鉛直面内曲げモーメントの低減係数  $\xi_3$

図付1.4 断面力低減係数の詳細計算と提案式の比較

## 付属資料－２ 共同溝の耐震設計に用いる設計地震動

共同溝の耐震設計用地震応答スペクトルとして，ここでは，マグニチュード  $M = 7$ ，震央距離  $D = 50$  km の地震を想定することとした。このようにすると，基盤面における加速度応答スペクトルは，次式のように求められる。<sup>14)</sup>

$$S_A(T, h) = r_1(T) \times r_2(T) \times r_3(h) \times \tilde{S}_A(T, 0.05) \quad (\text{付 2.1})$$

ここで，

$r_1(T)$  : 地盤表面の  $S_A$  スペクトルから基盤面の  $S_A$  スペクトルへの変換補正係数

$r_2(T)$  :  $\tilde{S}_A$  スペクトルの推定式の予測精度による補正係数 (= 1.0 とする)

$r_3(h)$  :  $h = 0.05$  の加速度応答スペクトルを任意の減衰定数の加速度応答スペクトルに変換する係数で，次式による。

$$r_3(h) = \frac{1.5}{40h + 1} + 0.5 \quad (\text{付 2.2})$$

$$\tilde{S}_A(T, 0.05) = a(T, GC) \times 10^{b(T, GC)M} \times (D + 30)^{-1.178} \quad (\text{付 2.3})$$

$M$  : マグニチュード

$D$  : 震央距離 [ km ]

$a(T, GC)$ ,  $b(T, GC)$  : 固有周期  $T$  および地盤種別ごとに表付 2.1 のように与えられる係数

ここで， $r_1(T)$  としては，東京湾沿岸の地中地震観測結果<sup>20)</sup>等に基づいた地盤種別に応じて表付 2.2 を用いることとした。また，既往の解析例より表層地盤の減衰定数は上記程度の地震動の場合には 10 % 程度と見込まれることから， $r_3(h)$  は 0.8 とすることとした。

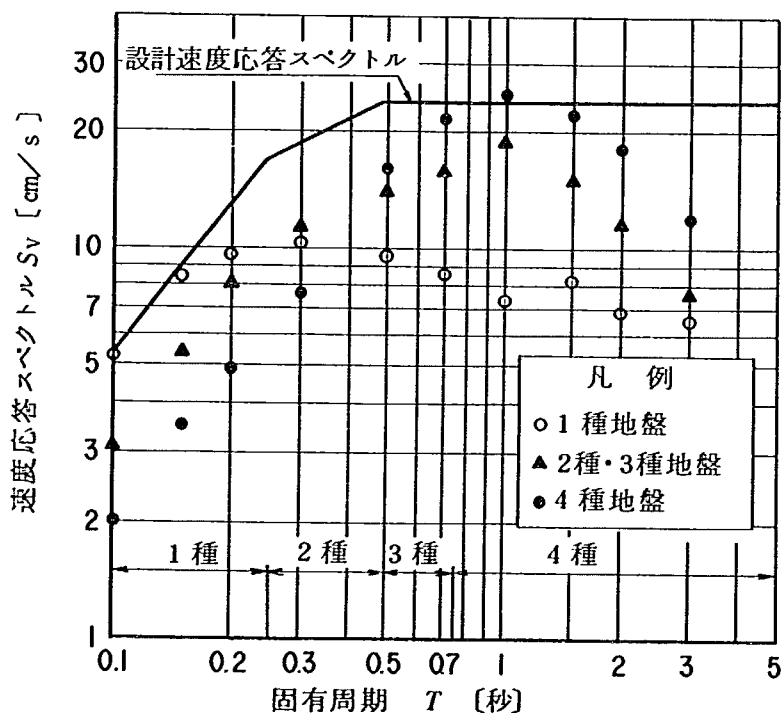
このようにして，基盤面における  $S_A$  スペクトルを推定し，これを  $S_V \doteq \frac{T}{2\pi} S_A$  により速度応答スペクトルに変換した結果が図付 2.1 である。ここでは，各種地盤条件の場合を包含し，図中の実線のように設計速度応答スペクトル  $S_V$  を求めた。

表付2.1  $\tilde{S}_A$  スペクトルの距離減衰式の係数  $a(T_k, GC_i)$  および  $b(T_k, GC_i)$

| 固有周期<br>〔秒〕 | 1 種 地 盤        |                | 2 種 地 盤        |                | 3 種 地 盤        |                | 備考                                             |
|-------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------------------------------------------------|
|             | $a(T_k, GC_i)$ | $b(T_k, GC_i)$ | $a(T_k, GC_i)$ | $b(T_k, GC_i)$ | $a(T_k, GC_i)$ | $b(T_k, GC_i)$ |                                                |
| 0.1         | 2420           | 0.211          | 848.0          | 0.262          | 1307           | 0.208          | 重相関<br>係数<br>$R = 0.90$                        |
| 0.15        | 2407           | 0.216          | 629.1          | 0.288          | 948.2          | 0.238          |                                                |
| 0.2         | 1269           | 0.247          | 466.0          | 0.315          | 1128           | 0.228          |                                                |
| 0.3         | 574.8          | 0.273          | 266.8          | 0.345          | 1263           | 0.224          |                                                |
| 0.5         | 211.8          | 0.299          | 102.2          | 0.388          | 580.6          | 0.281          | $\log U_{SA}$<br>の標準<br>偏差<br>$\sigma = 0.261$ |
| 0.7         | 102.5          | 0.317          | 34.34          | 0.440          | 65.67          | 0.421          |                                                |
| 1.0         | 40.10          | 0.344          | 5.04           | 0.548          | 7.41           | 0.541          |                                                |
| 1.5         | 7.12           | 0.432          | 0.719          | 0.630          | 0.803          | 0.647          |                                                |
| 2.0         | 5.78           | 0.417          | 0.347          | 0.644          | 0.351          | 0.666          |                                                |
| 3.0         | 1.67           | 0.462          | 0.361          | 0.586          | 0.262          | 0.635          |                                                |

表付2.2 地表地震動に対する基盤面での地震動の比率

| 地 盤 種 別         | 補 正 係 数 |
|-----------------|---------|
| 1 種地盤           | 1.0     |
| 2 種, 3 種, 4 種地盤 | 3/4     |



図付2.1 設計速度スペクトル

応答変位法による地盤条件変化部における共同溝の耐震設計法

ISSN 0386-5878  
土研資料第2488号  
昭和62年 月(1987)

耐震研究室 室長 川島 一彦  
研究員 大日方 尚巳  
加納 尚史

キーワード: 共同溝, 応答変位法, 地盤条件変化部, 耐震計算

要旨

本報告は, 地震応答解析結果を基本として応答変位法に基づく地盤条件変化部における共同溝の実用的な耐震計算法を提案するものである。



郵便はがき

305-□□

40円切手  
をはって  
下さい。

茨城県筑波郡豊里町大字旭一番地

建設省土木研究所

地震防災部耐震研究室 御中

No. 161

No. 161

配布先氏名

配布先住所





土木研究所資料第 2488 号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

