

I S S N 0386—5878

土 研 資 料 第1977号

マイクロフィルム 第 号

土 木 研 究 所 資 料

二質点系表層地盤モデルによる
沈埋トンネルの地震応答解析

昭和58年3月

建設省 土木研究所

地震防災部 耐震研究室

Copyright© 57年度 by P. W. R. I.

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

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

ま え が き

一般に沈埋トンネルのような地中構造物は、地震時においてその周辺地盤をおしのけて自己振動することではなく周辺地盤とおおむね同じ挙動を示すことが既往の解析・実験等から確認されている。このように沈埋トンネルの地震応答解析においては地盤モデルの設定方法および解析手法が重要である。

しかし土木研究所で開発され使用されている解析プログラムは表層地盤の解析方法を単純化・簡略化している部分があり、正確に地盤の動きを表現しているとはいえない。そのため、下記の点の改良を行った。

- (1) 地盤の2次せん断振動まで考慮した。
- (2) 多層地盤としての1次・2次の変形モードを求めた。
- (3) 水平多層地盤としてモデル化し固有周期を算定した。

また換気塔モデルについても既往モデルに対して換気塔の杭基礎をモデル化し、換気塔周辺地盤の解析方法を改良した。

そこで本報告は、この改良モデル(二質点系表層地盤モデル)を用いた地震応答解析を行い、既往モデルと比較し、改良の効果について調査したものである。

昭和58年3月

地震防災部耐震研究室

室 長	岩 崎 敏 男
研究員	大日方 尚 巳
	干 場 良 信

目

次

まえがき

第1章 概 説	1
第2章 換気塔モデルの改良	2
2-1 改良モデルの概要	2
2-2 既往モデル・改良モデルによる地震応答解析	2
2-2-1 解 析 方 法	2
2-2-2 解 析 結 果	6
2-2-3 ま と め	6
第3章 表層地盤解析方法の改良	9
3-1 解析方法改良の概要	9
3-2 既往モデル・改良モデルによる地震応答解析	9
3-2-1 簡易地盤モデルによる試算	9
(1) 解 析 方 法	9
(2) 解 析 結 果	15
3-2-2 沈埋トンネルの全体系モデルによる試算	23
(1) 解 析 方 法	23
(2) 解 析 結 果	24
3-3 結 論	25
あ と が き	52
参 考 文 献	53

第 1 章 概 要

地中構造物の地震応答解析用に土木研究所で開発された既往システムにおける表層地盤及び換気塔の解析方法は単純・簡略化されている部分がある。そこで解析システムの精度を高めるために改良を行ったので既往モデルと比較し、改良の効果について調査した。本文はこれらの解析方法の概要及び試算結果についての資料である。

2 章では換気塔モデルの改良について述べた。改良点は、換気塔杭基礎のモデル化及び周辺地盤の解析方法であり、その結果深さ方向における地盤の変形モード、周辺地盤の固有周期、換気塔のロッキング振動を正確に評価できるようになった。

換気塔付近の部分モデルを用いた試算の結果、改良モデルと既往モデルとの違いは以下のとおりである。

- ① 地盤の変形モードを多層地盤として評価した場合、地盤の剛性が変化する土中部で既往モデルとの差が大きい。
- ② 地盤の固有周期は既往モデルに比べ短かく評価する。
- ③ 換気塔部の応答は既往モデルより水平変位が小さく回転変位が大きくなり、沈埋トンネルエレメントとの継手の相対変位が大きくなる。

第 3 章では表層地盤解析方法の改良について述べた。改良点は表層地盤の振動モード、変形モード、固有周期算定方法についてであり、その結果地盤の地震時の挙動をより正確に評価できるようになった。解析方法の改良による応答値の変化は、簡易地盤モデルと沈埋トンネルの全体系モデルによる試算の結果以下のようにまとめられる。

- ① 地盤の加速度応答が一般に大きくなる。
- ② 地盤の固有周期が一般に短くなる。
- ③ 地盤変位及びトンネル自体の応答値への影響は小さい。

第2章 換気塔モデルの改良

2-1 改良モデルの概要

換気塔モデル改良の要点を表-1に示す。

既往モデルにおける表層地盤の解析では、均一な一層地盤と仮定したときの変形モード（cosinカーブ）を用いていたが、剛性の違う地層により構成されている地盤の動きを正確に評価するため多層地盤として変形モードを求めるよう改良した。その結果図-1に示すように換気塔底面から杭部にかけて差が大きくなり、洪積層では変形が少い現象を適切に評価している。

既往モデルにおける表層地盤の固有値解析では、簡便法を用い各地層の厚さとせん断弾性波速度により周期を求めているが、地層構成が複雑になると誤差が大きくなるためFEMを用い多層地盤として固有値解析を行うように改良した。その結果固有周期を多少短かく評価するようになった。

換気塔杭基礎は図-2に示すように既往モデルではせん断バネと回転バネで表わされているが、せん断バネの代りに杭部材をモデル化した改良を行った。

2-2 既往モデル・改良モデルによる地震応答解析

既往モデルと改良モデルとの動的挙動を比較するため以下の計算を行った。

2-2-1 解析方法

1) 解析モデル

解析に用いた換気塔は、既往の地震応答解析で用いられた多摩川沈埋トンネルの浮島側換気塔を対象とし図-4に示すように、両側にトンネルエレメントを2～3個連結したものとした。

2) 入力地震動

入力地震動は、日向灘沖地震（1968・4・1, $M=7.5$ ）の際、板島橋（震央距離100km; 最大加速度134 gal）で得られた加速度波形を用いた。最大加速度は基盤面で150galに正規化した。図-5, 6は板島橋の地震動と加速度応答スペクトル曲線を示す。

入力方向は軸方向とした。

3) 減衰条件

地盤の減衰定数は20%, 構造物間は10%とした。

表-1 換気塔モデル改良の概要

周辺地盤の 解析方法	変形 モード	既往モデル	改良モデル	改良効果
		均一な一層地盤	多層地盤	深くなる程差が大きい
換気塔 杭基礎モデル	固有値	簡便法	FEM	周期は短くなる
		せん断バネと 回転バネで評価	せん断バネの代りに 杭部材を用いた。	変位は減少 回転角は増大

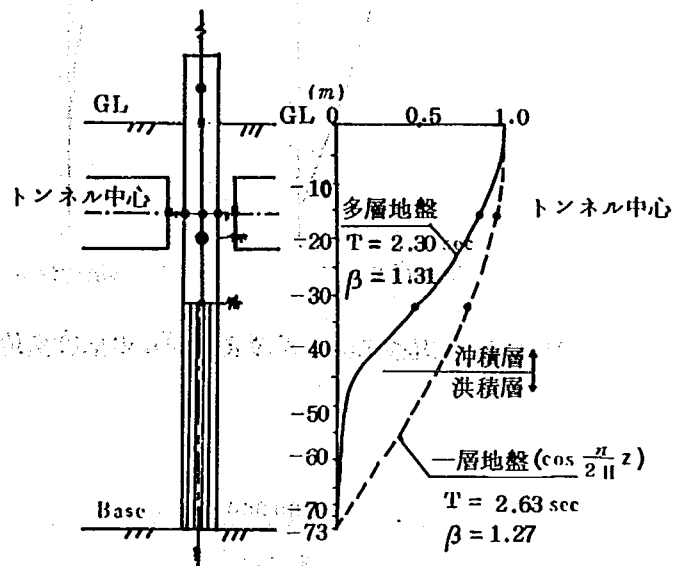


図-1 地盤の変形モード

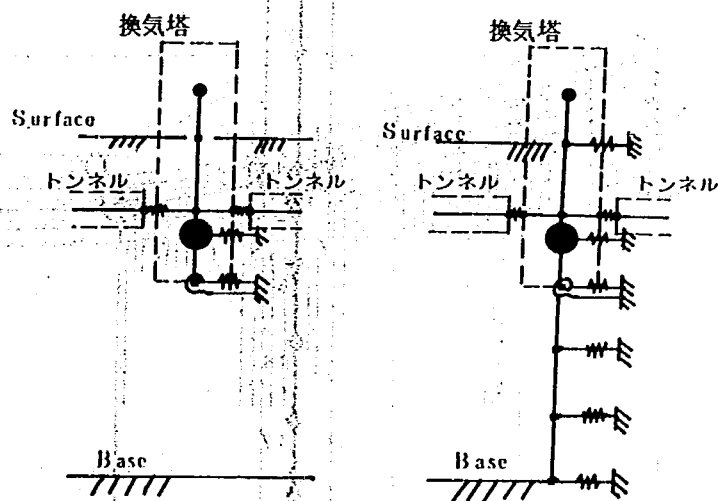


図-2 換気塔モデルの概要

図-2の換気塔モデルの概要

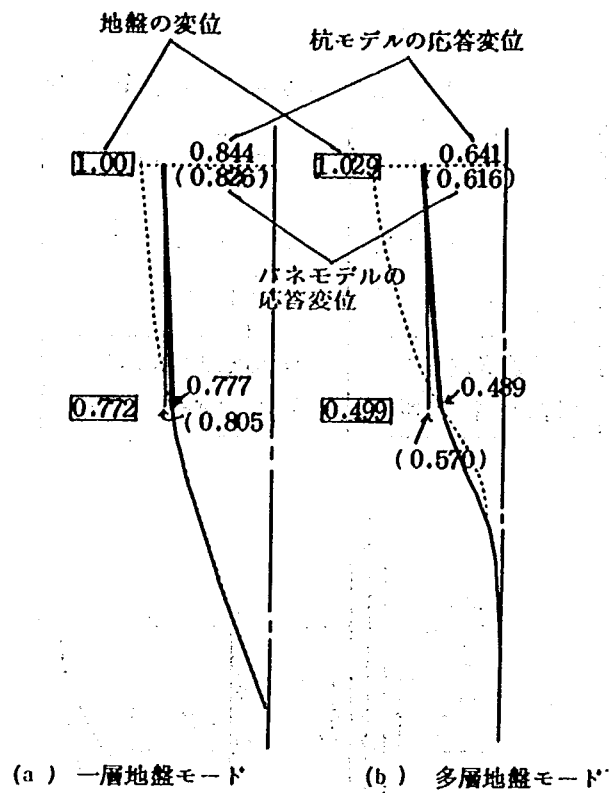


図 - 3 既往モデルと改良モデルの応答変位の比較

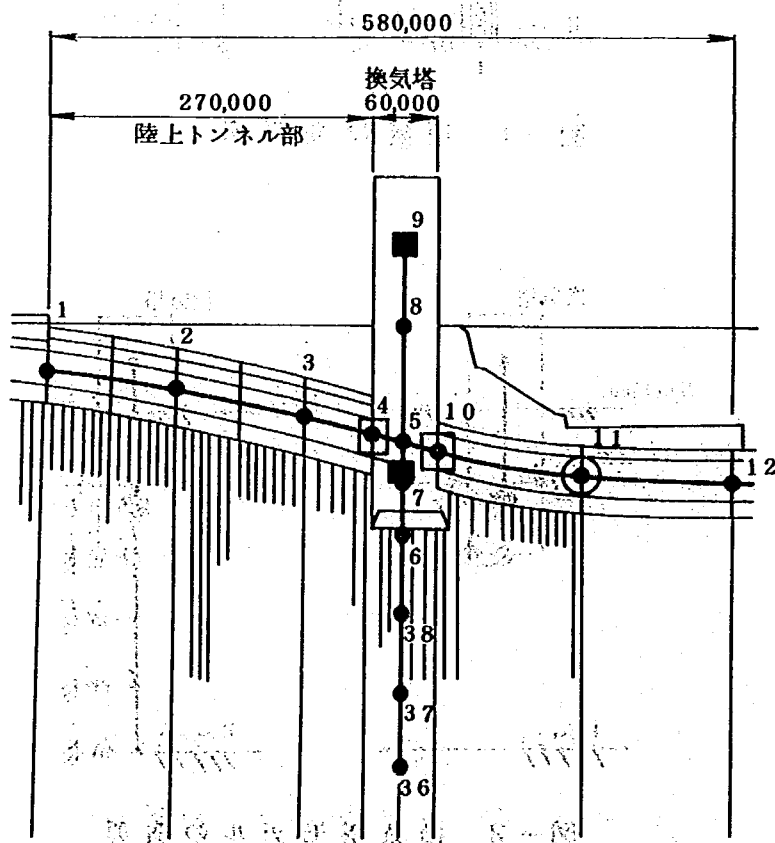


図 - 4 換気塔の解析モデル

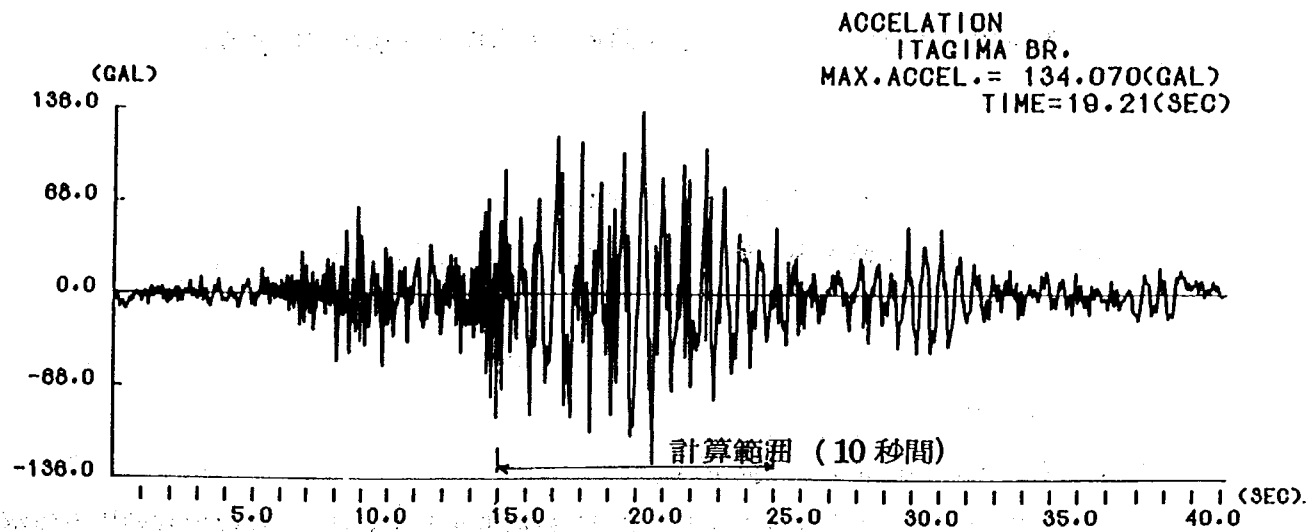


図-5 板島橋地震動

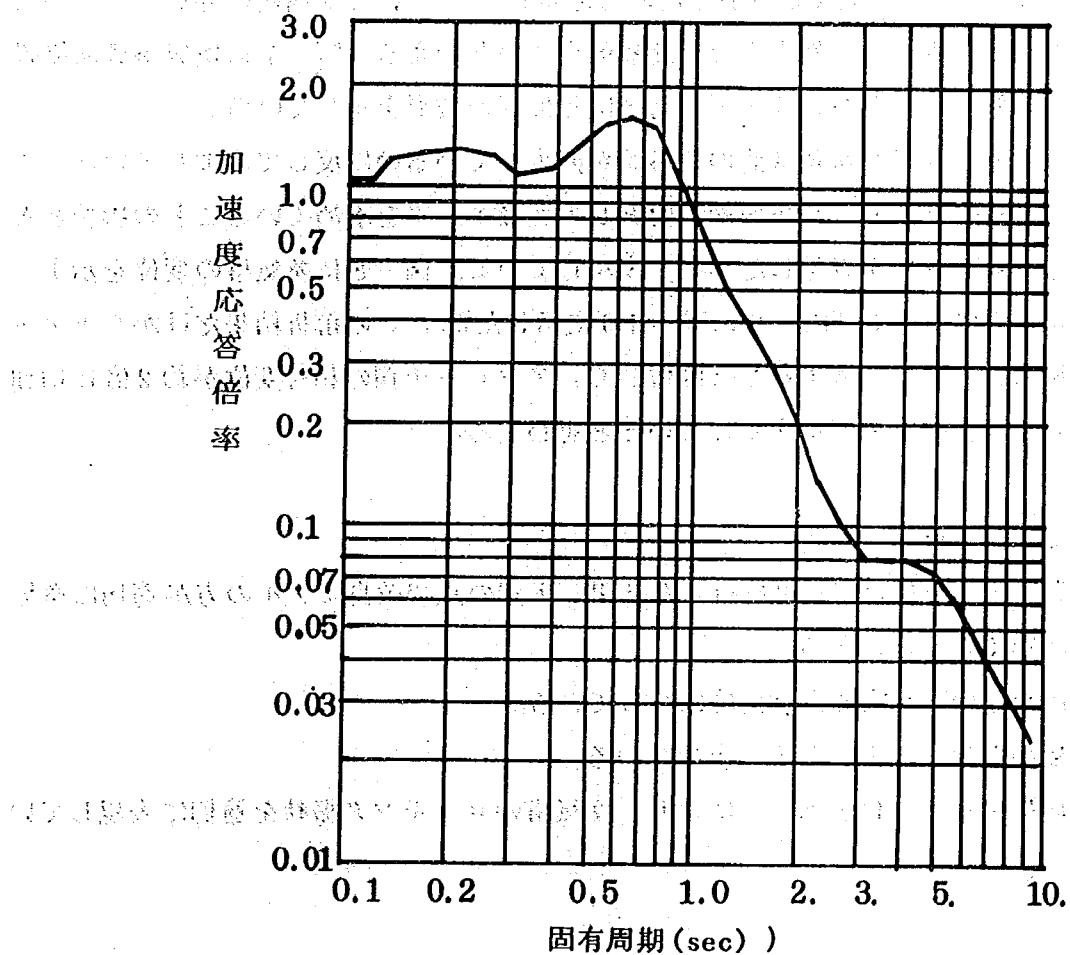


図-6 板島橋の応答加速度スペクトル倍率

4) 地盤のパネ

地盤と換気塔および杭を結ぶパネは道路橋示方書Ⅳ下部構造編による。

5) 解析ケース

既往モデル：既往換気塔モデル＋一層地盤

改良モデル：改良換気塔モデル＋多層地盤
の2ケースとする。

2-2-2 解析結果

解析結果の最大応答値を表-2に示す。

これより地盤の固有周期が2.63秒より2.23秒に変化している。これは地盤の固有値解析方法をFEMを用いて詳細に行っているためである。この固有周期の変化は各種応答値への影響がかなりあると考えられる。

地盤の変位応答についてみると地表面では両者の応答値はほぼ同じであるが、換気塔底部では改良モデルの方が約60%小さな応答を示した。これより地盤の変形モードの改良の影響は地中部で大きく、地表面では比較的小さいといえる。図-7に換気塔底部位置での地盤変位応答を示したが、両モデル共ほぼ相似形の波形を示している。

換気塔の回転速度及び回転角は他の応答値が減少しているのに反して増加している。これは杭をモデル化したこと、及び多層地盤として変形モードを求めていることの影響と考えられ、下心ロッキングが卓越した挙動を表現している。図-8に換気塔の変位を示す。

継手の相対変位については図-9、図-10に示したが、この解析結果だけからモデル改良による影響について考察することは難しく、アプローチ側の相対変位が約2倍に増加した点に関しては複雑な要因が含まれていると思われる。

2-2-3 まとめ

以上、改良モデルを用いて試算を行った結果、下記の点で改良モデルの方が適切に換気塔の挙動を評価できるといえる。

- (1) 周辺地盤の固有値解析を正確に行っている。
- (2) 地盤の変形モードを正確に求めている。
- (3) 基礎杭をモデル化することにより、換気塔のロッキング振動を適切に表現している。

表-2 主な最大応答値

			既往モデル	改良モデル
換気塔	最大変位	頂部 (cm)	4.54	3.31
		底部 (cm)	4.47	3.14
		回転角 (Rad)	2.58×10^{-5}	4.77×10^{-5}
	最大加速度	頂部 (gal)	136	73.1
		底部 (gal)	129	67.9
		回転角 (rad / sec ²)	1.70×10^{-3}	3.80×10^{-3}
継手	最大相対変位 (cm)	0.72 1.55	1.51 1.40	
	地表面 (cm)	3.71	3.77	
地盤	最大変位	換気塔底面位置 (cm)	2.80	1.67
		換気塔位置の地盤の固有周期 (sec)	2.63	2.33

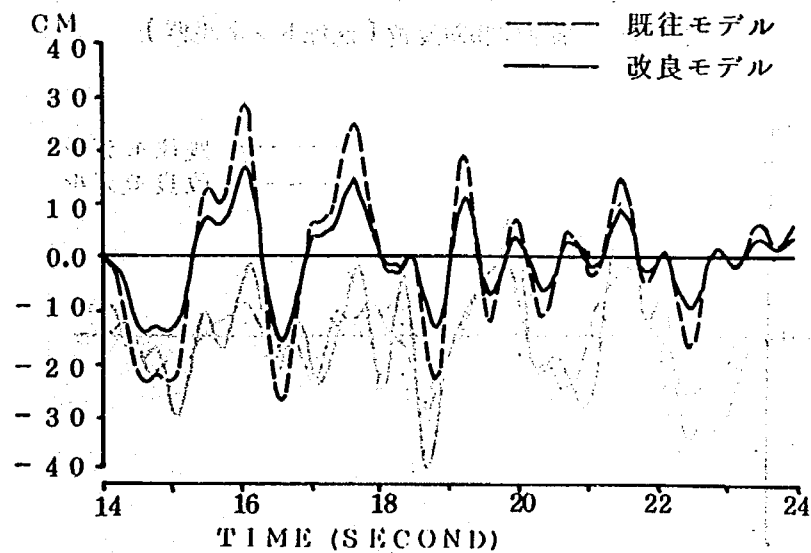


図-7 換気塔底面位置の地盤の変位

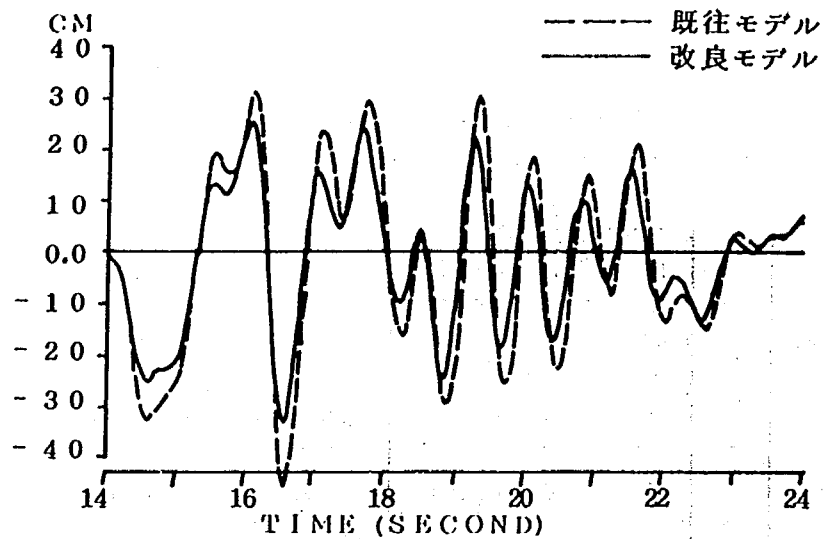


図-8 換気塔（地上部）の変位

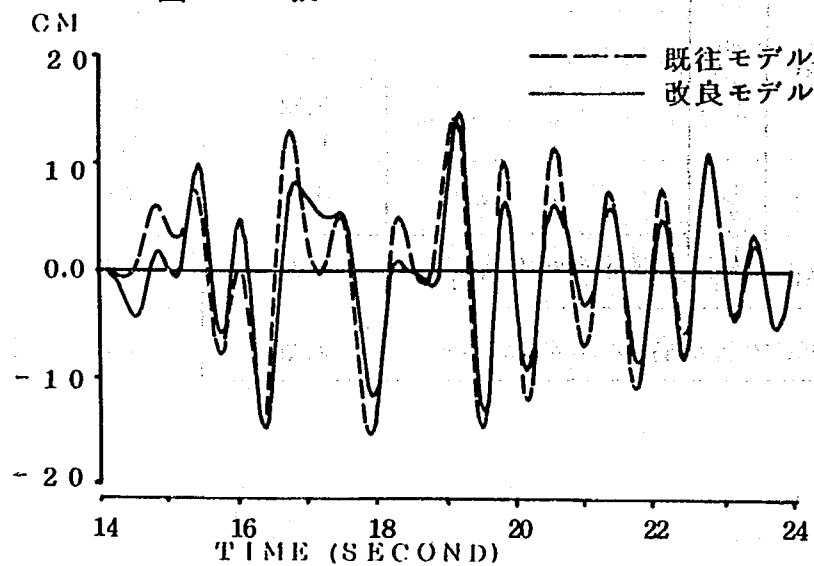


図-9 継手の相対変位（沈埋トンネル側）

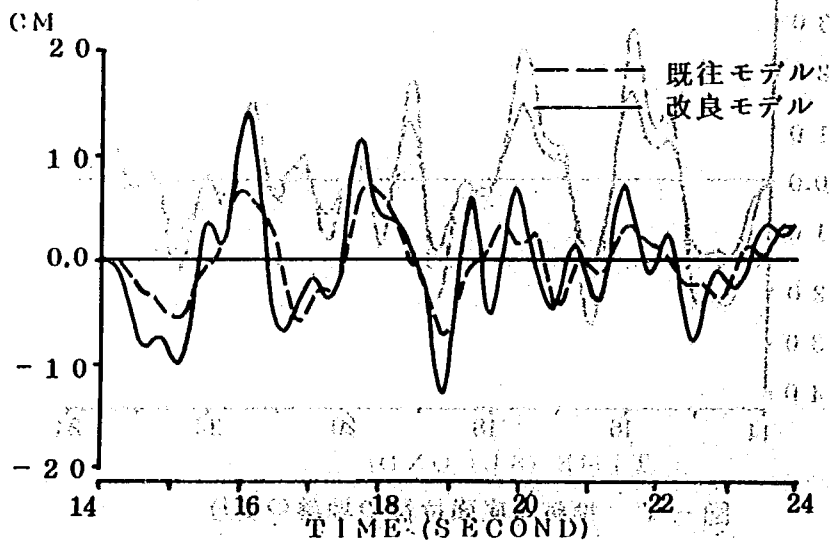


図-10 継手の相対変位（アプローチ側）

第3章 表層地盤解析方法の改良

3-1 解析方法改良の概要

表-3に表層地盤解析方法改良の要点を示す。

既往の表層地盤解析においては、表層地盤の振動には低次の固有振動が著しく卓越し、変位については高次振動の影響が無視できるとして、せん断1次モードによる振動を一質点系モデルにより評価していた。しかし加速度応答には高次モードの影響が大きいこと、及び表層地盤が厚かったり複雑な場合には変位応答にも影響が大きくなると考えられるため、せん断2次モードまで考慮してモデルを改良した。

表層地盤の変形モードについては、換気塔モデルの改良と同様に多層地盤としてのモードで評価できるように改良した。なお、2質点系モデルのため1次・2次の変形モードを求めている。

既往モデルでは固有周期を簡便法により求めていたが、改良モデルでは多層地盤として、1次元多質点せん断振動モデルを作成し求めている。

3-2 既往モデル・改良モデルによる地震応答解析

表層地盤解析モデルの改良に伴う地震応答解析結果への影響について調べるため簡易地盤モデル及び全体系沈埋トンネルモデルを用いて以下に試算を行った。

3-2-1 簡易地盤モデルによる試算

(1) 解析方法

1) 試算モデル

表層地盤の簡易モデルとして以下の3つのモデルを考えた。

モデルⅠ；表層地盤の厚さの変化が比較的に小さい場合

モデルⅡ；表層地盤において中間に土質条件の異なる層がある場合

モデルⅢ；表層地盤の厚さの変化が大きく急変している場合

以上の簡易地盤モデルを図-11に示す。

2) 地盤諸元

地盤定数の諸元は以下のように仮定した。

○ 変形係数 $E_1 = 22000 \text{ t/m}^2$

○ ポアソン比 $\nu = 0.5$

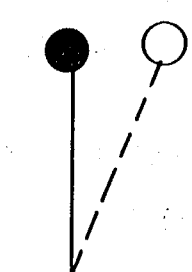
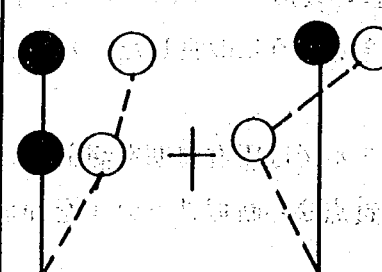
○ 単位体積重量 $\gamma_t = 1.8 \text{ t/m}^3$

変位の自由な状態で、

自由端の境界条件は、

自由端の境界条件は、

表-3 既往モデルと改良モデルの違い

	一質点系モデル (既往モデル)	二質点系モデル (改良モデル)
振動モード	 せん断1次モードを考慮	 せん断2次モードまで考慮
変形モード	均一な一層地盤としての 1次の変形モード	多層地盤としての1次, 2次の変形モード
固有周期	簡便法により1次の固有 周期Tを算定 $T = \sum_{i=1}^n \frac{4 H_i}{V S_i}$ ここに H_i: i 層の厚さ (m) $V S_i$: i 層のせん断弾性波 速度 (m/s)	1次元多質点せん断振動 モデルにより1次と2次の 固有周期を算定

固有周期 (s)

1次元多質点せん断振動モデル

$\omega = 1000 \text{ s/s} = 10$ 固有周期

$\omega = 10$ 固有周期

$\omega = 10$ 固有周期

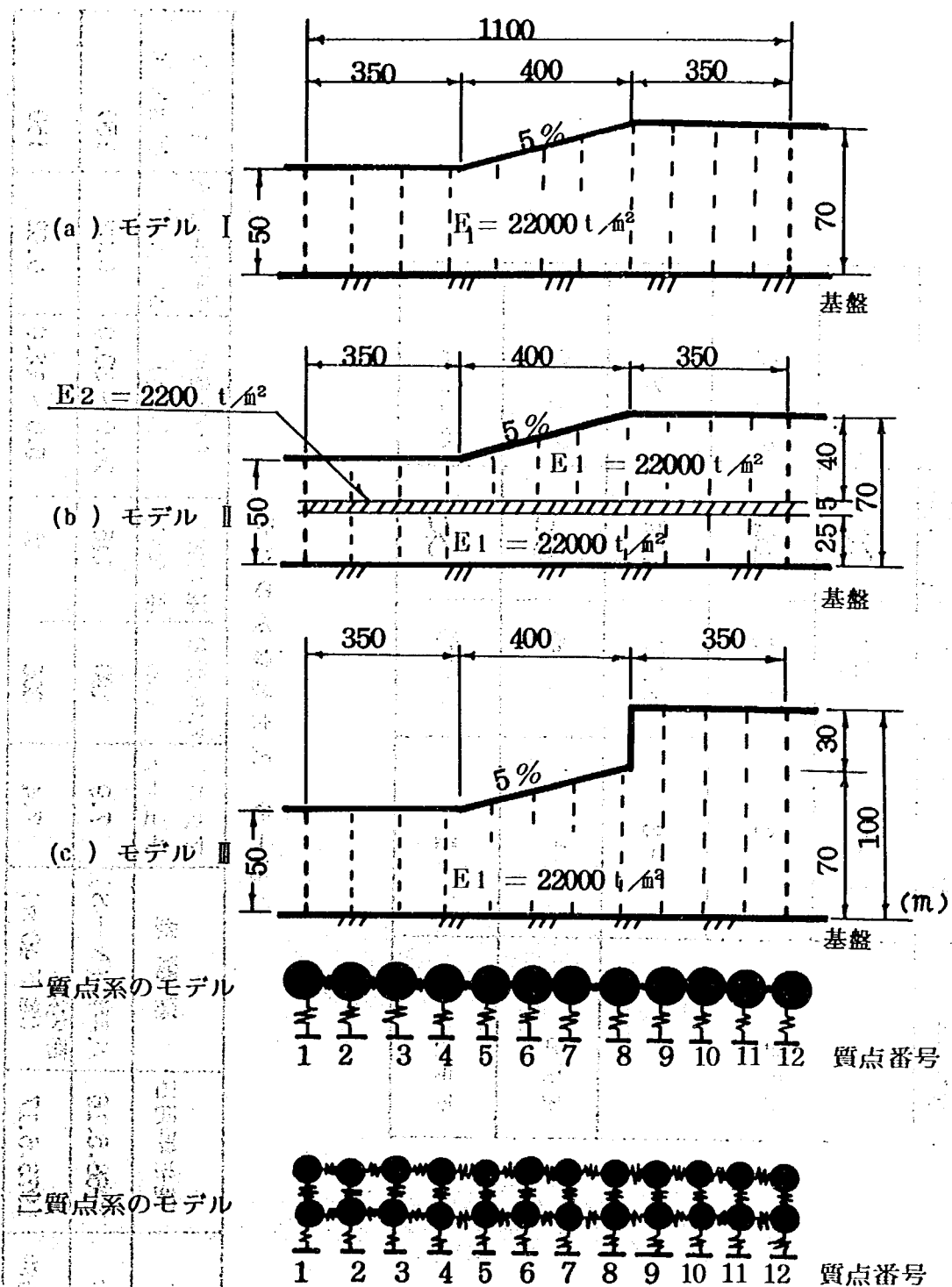


図-11 簡易地盤モデル

表-4 解析 ケ ー ス

試算モデル	ケ ー ス	地震波	位相差 V_s (m/s)	解 析 方 向
モデル I	I-1	八戸港	∞	軸 直 角
	I-2	八戸港	1000	軸 直 角
	I-3	静内橋	1000	軸
モデル II	II	八戸港	∞	軸 直 角
モデル III	II	八戸港	∞	軸 直 角

表-5 入力地震動の諸元

地震名	発生年月日	観 測 地	マグニ チュード	震央距り (km)	最大加速 度 (gal)	解析時刻 (sec)	時間キザミ Δt (sec)	最大入力 加速度(gal)
十勝沖	1968.5.16	八戸港(N-S)	7.9	190	145	10.0 ~ 30.0	0.02	150
根室半島沖	1973.6.17	静内橋 (地下 40 m)	7.4	305	45	5.0 ~ 15.0	0.02	150

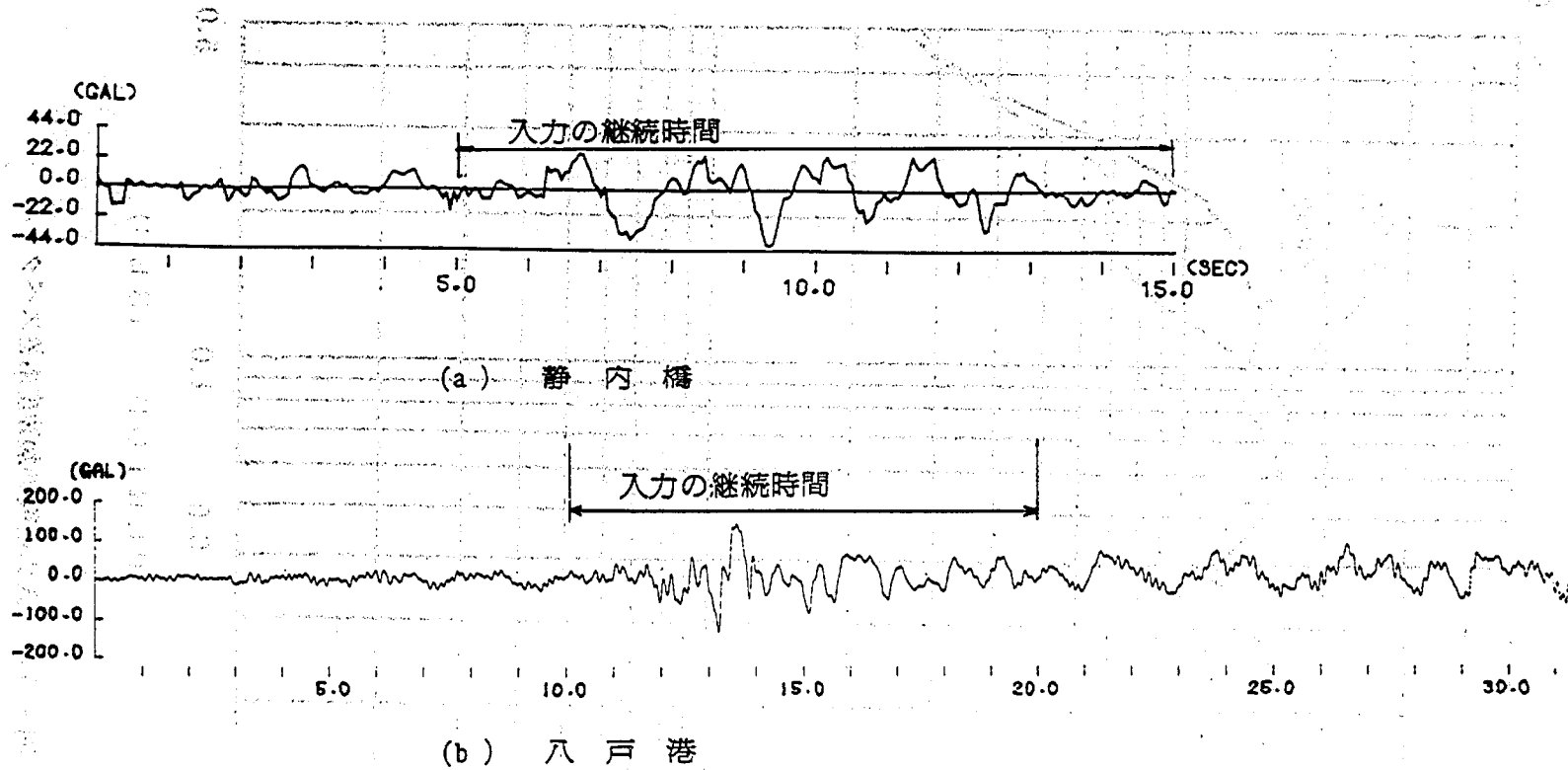


図-12 入力地震動の波形

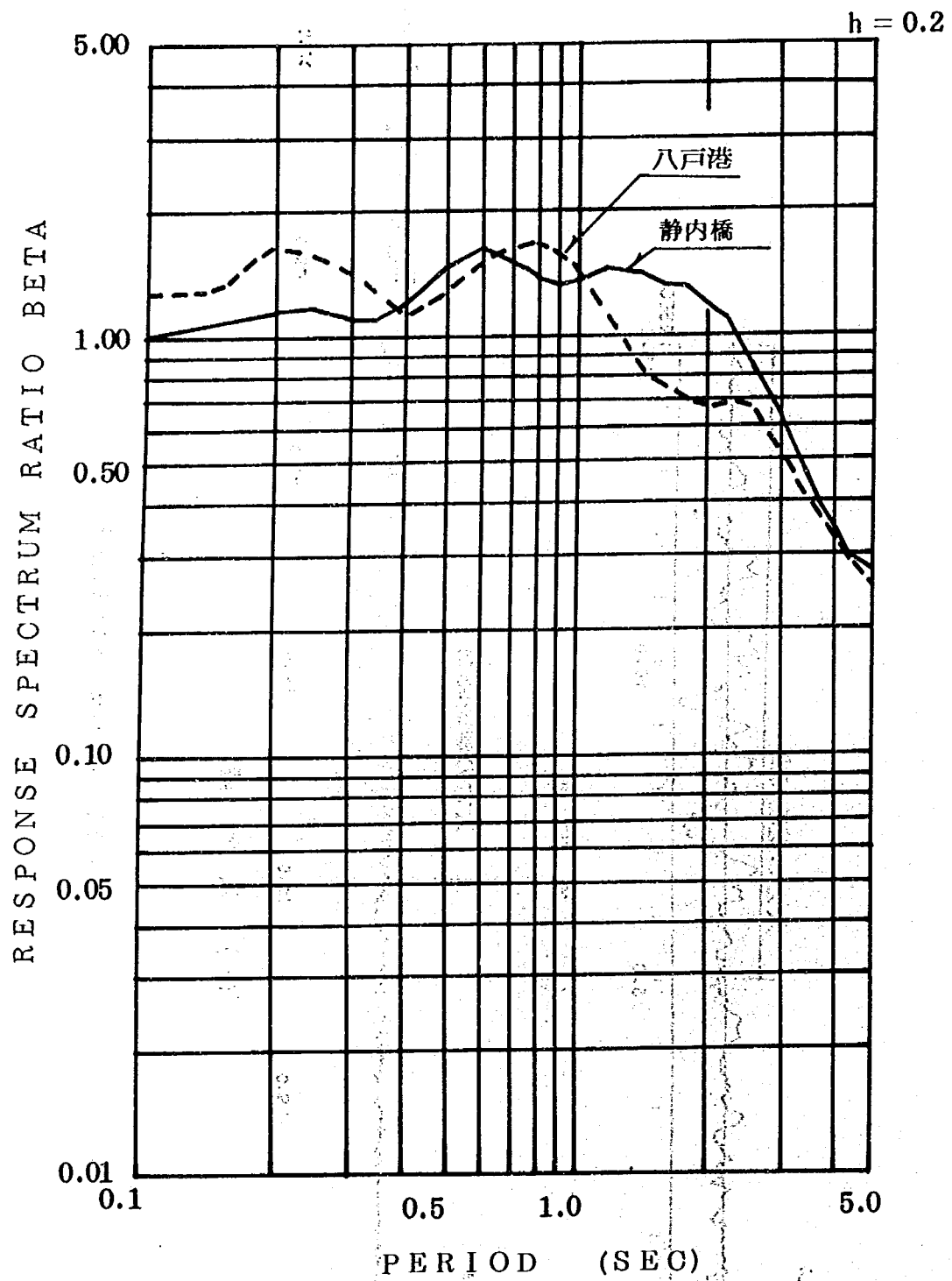


図 - 13 入力地震動加速度応答スペクトル

- 考慮する有効質量比 99.5 %
- 地盤の減衰定数 0.20

3) 入力地震動

入力地震動としては八戸港の記録を使用し、基盤面で150 gal にて入力した。
さらに、入力地震動を変えたケース、及び位相差を考慮したケースについても試算を行った。表-4に試算ケースを、表-5に入力地震動の諸元を、図-12, 13に入力地震動および加速度スペクトル倍率曲線を示す。

- 八戸港, 10~20 秒間, 500 ステップ
- 静内橋, 5~15 秒間, 500 ステップ
- 位相差, $V_s = \infty \text{ m/sec}$ および 1000 m/sec

(2) 解析結果

表-6, 7に各試算ケースの地表面加速度と変位の応答値を示す。図-14~16 は解析モデル改良に伴う応答値の増加率を示す。

加速度の応答値は、せん断2次振動を考慮することにより増加し、表-8に示すように表層地盤厚が厚くなる程増加率が大い。

変位応答はせん断2次振動を考慮してもその影響は小さく、応答値の差は10%以内である。軟弱地盤層が入ったケースIIにおいて変位が増加した理由は、せん断2次振動の影響ではなく、既往モデルと改良モデルの固有周期算定方法の違いによる影響が表われたものと考えられる。

せん断2次振動による影響は入力地震動特性と地盤の振動特性の関係により変化する。ケースI-2とケースI-3は同一地盤について入力地震動を考えて試算したものであるが、加速度の増加率はかなり違った結果を示した。

ケースI-1とケースI-2は、位相差入力の有無によるせん断2次振動の応答値への影響について試算したものであるが、有意な違いは生じていない。

表-9はケースI-1の固有値解析の結果を示す。図-17は固有周期の分布を示す。これらは有効質量比99.5%に相当する固有モードを示したものであり、以下のことがわかる。

- ① 第1次周期から第9次周期までは既往モデルと改良モデルの差はほとんどなく、有効質量もほぼ同じである。
- ② 改良モデルでは第13次以降のモードの有効質量比計が9.56%と全質量の約1割もあり、せん断2次モードが顕著に表われている。

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----

表 - 6 簡易地盤モデルによる試算結果 (加速度 : gal)

質点番号	ケース I - 1			ケース I - 2			ケース I - 3			ケース II			ケース III			(ケース I - 1')		
	既往モデル	改良モデル	改良モデル 既往モデル	既往モデル	改良モデル	改良モデル 既往モデル	既往モデル	改良モデル	改良モデル 既往モデル	既往モデル	改良モデル	改良モデル 既往モデル	既往モデル	改良モデル	改良モデル 既往モデル	既往モデル	改良モデル	改良モデル 既往モデル
1	321	393	1.22	335	300	0.90	225	261	1.16	261	204	0.78	355	452	1.27	321	320	1.00
2	333	380	1.14	265	350	1.32	219	252	1.15	242	200	0.83	368	435	1.18	333	332	1.00
3	333	360	1.08	260	326	1.25	204	249	1.22	211	194	0.92	367	411	1.12	333	332	1.00
4	307	340	1.11	286	314	1.10	189	252	1.33	185	192	1.04	337	381	1.13	307	306	1.00
5	312	358	1.15	289	354	1.23	197	245	1.24	203	183	0.90	343	413	1.20	312	311	1.00
6	257	294	1.14	263	311	1.18	235	255	1.09	215	178	0.83	272	333	1.22	257	256	1.00
7	219	226	1.03	220	242	1.10	247	262	1.06	152	171	1.13	228	241	1.06	219	219	1.00
8	186	216	1.16	193	219	1.14	259	261	1.01	142	185	1.30	198	229	1.16	186	186	1.00
9	175	221	1.26	173	220	1.27	279	262	0.94	166	188	1.13	123	227	1.85	175	174	0.99
10	176	222	1.26	174	220	1.26	249	260	1.04	132	188	1.42	136	233	1.71	176	176	1.00
11	177	222	1.25	174	218	1.25	268	271	1.01	164	187	1.14	133	234	1.76	177	176	0.99
12	177	222	1.25	177	229	1.29	280	305	1.09	145	187	1.29	132	233	1.77	177	176	0.99

表-7 簡易地盤モデルによる試算結果(変位:cm)

質点番号	ケース I-1			ケース I-2			ケース I-3			ケース II			ケース III			(ケース I-1')		
	既往モデル	改良モデル	改良モデル 既往モデル	既往モデル	改良モデル	改良モデル 既往モデル	既往モデル	改良モデル	改良モデル 既往モデル	既往モデル	改良モデル	改良モデル 既往モデル	既往モデル	改良モデル	改良モデル 既往モデル	既往モデル	改良モデル	改良モデル 既往モデル
1	7.63	7.97	1.05	12.4	11.9	0.96	19.1	18.8	0.98	8.66	7.70	0.89	8.54	8.96	1.05	7.63	7.62	1.00
2	7.85	7.95	1.01	11.5	12.4	1.08	18.6	18.6	1.00	8.15	7.70	0.95	8.76	8.90	1.02	7.85	7.84	1.00
3	7.82	7.88	1.01	11.2	12.4	1.11	18.1	18.6	1.03	7.35	7.73	1.05	8.72	8.83	1.01	7.82	7.81	1.00
4	7.36	7.73	1.05	12.0	12.3	1.03	17.5	18.4	1.05	6.76	7.77	1.15	8.22	8.65	1.05	7.36	7.35	1.00
5	7.87	7.92	1.01	12.6	12.3	0.98	17.7	18.4	1.04	7.61	7.86	1.03	8.76	8.86	1.01	7.87	7.86	1.00
6	7.67	7.89	1.03	12.4	12.1	0.98	18.6	18.6	1.00	8.67	8.18	0.94	8.58	8.85	1.03	7.67	7.66	1.00
7	7.63	7.70	1.06	11.5	11.7	1.02	18.6	18.5	1.00	7.85	8.95	1.14	8.71	8.74	1.00	7.63	7.62	1.00
8	7.60	7.67	1.01	11.4	11.5	1.01	18.6	18.3	0.98	8.09	9.86	1.22	8.86	8.88	1.00	7.60	7.59	1.00
9	7.58	7.72	1.02	11.2	11.4	1.02	19.2	18.5	0.96	9.00	10.4	1.16	11.2	12.1	1.08	7.58	7.58	1.00
10	7.58	7.74	1.02	11.2	11.4	1.02	18.9	18.8	1.00	8.28	10.5	1.27	12.0	13.0	1.08	7.58	7.57	1.00
11	7.60	7.76	1.02	11.1	11.4	1.03	20.1	19.9	0.99	9.03	10.5	1.16	12.5	13.2	1.06	7.60	7.60	1.00
12	7.61	7.77	1.02	11.4	11.6	1.02	22.4	21.8	0.97	8.60	10.5	1.22	12.6	13.2	1.05	7.61	7.60	1.00

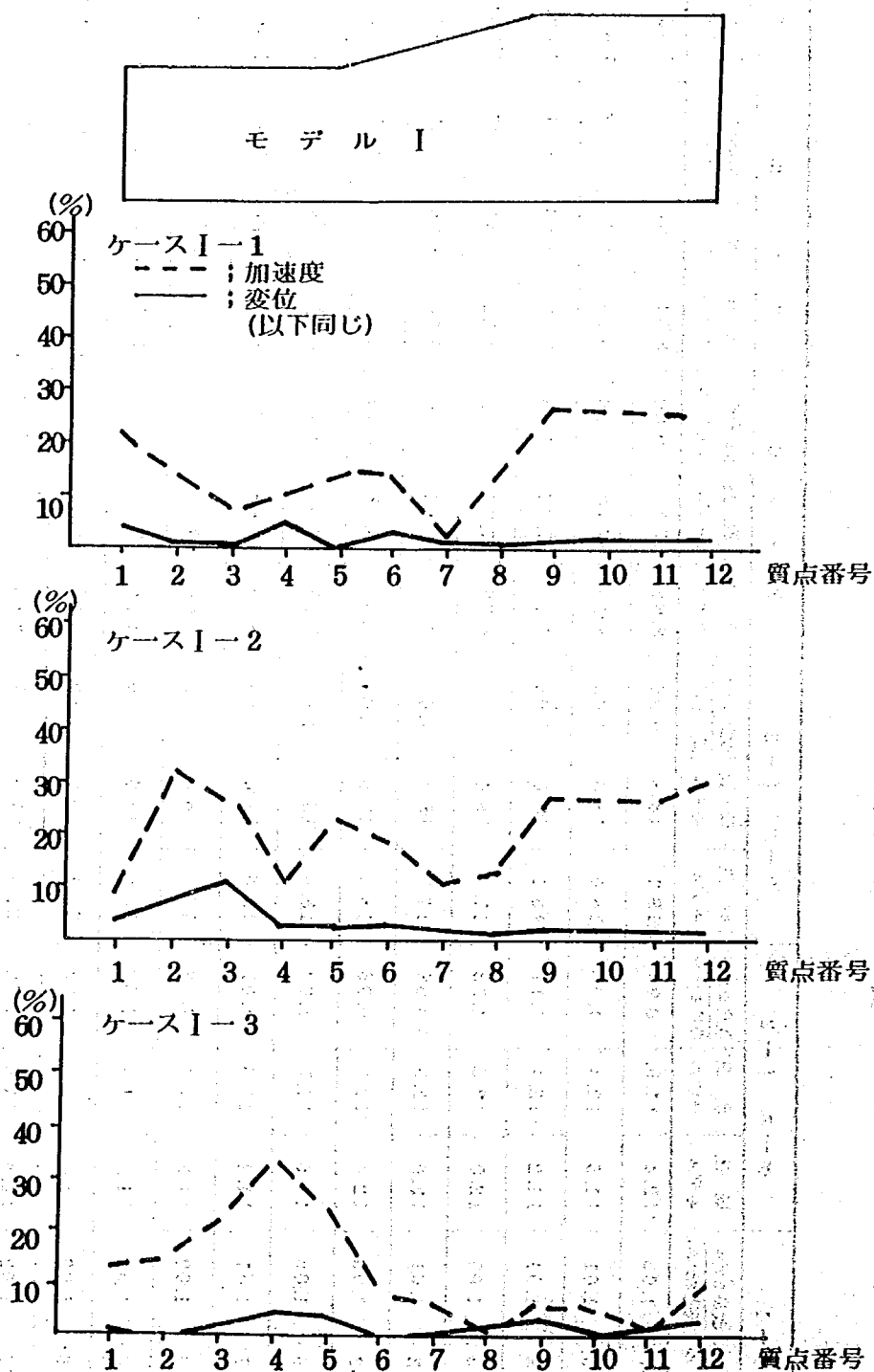


図 - 14 解析モデル改良に伴う応答値の増加率 (1)

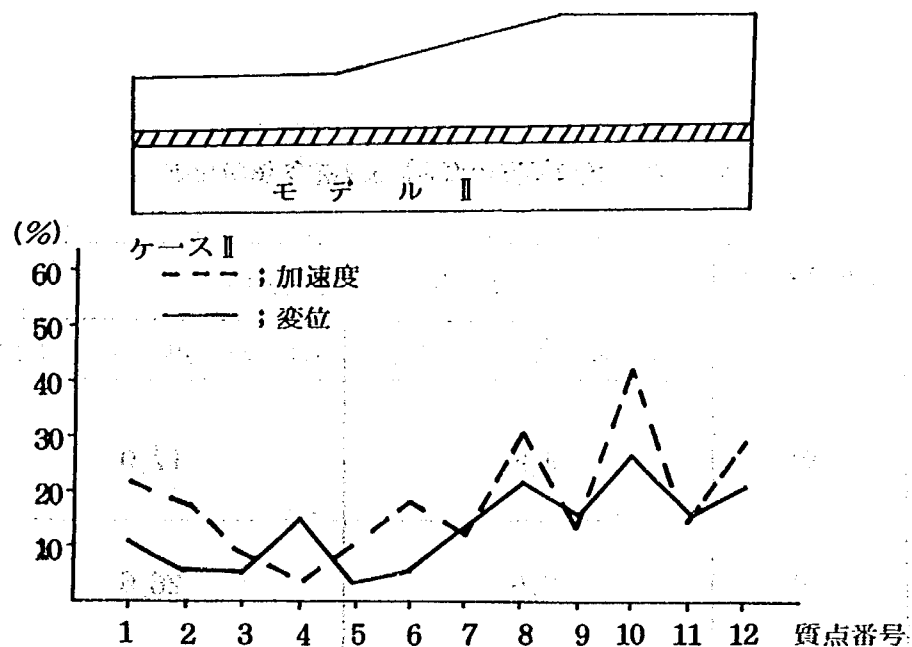


図 - 15 解析モデル改良に伴う応答値の増加率 (2)

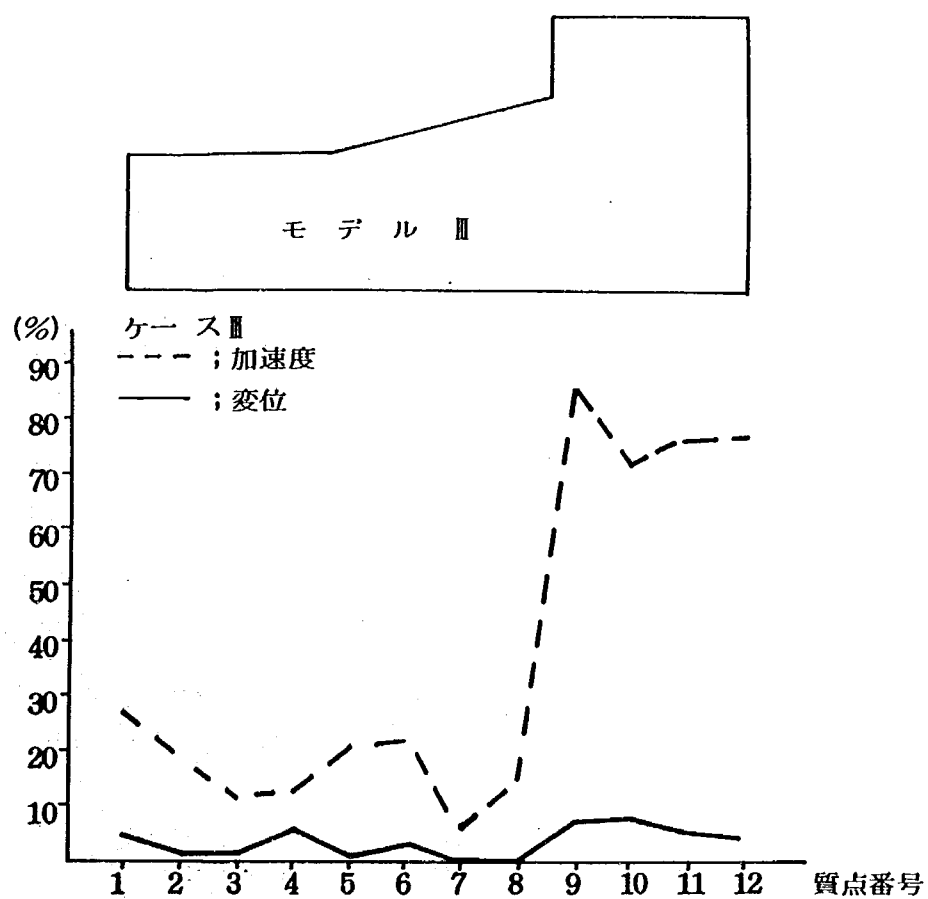


図 - 16 解析モデル改良に伴う応答値の増加率 (3)

表 - 8 表層地盤の厚さによる応答値増加率

表層地盤厚 (m)	応答値の増加率	
	変位差 (%)	加速度差 (%)
50	4.2	17.0
70	2.0	26.6
100	6.5	77.3

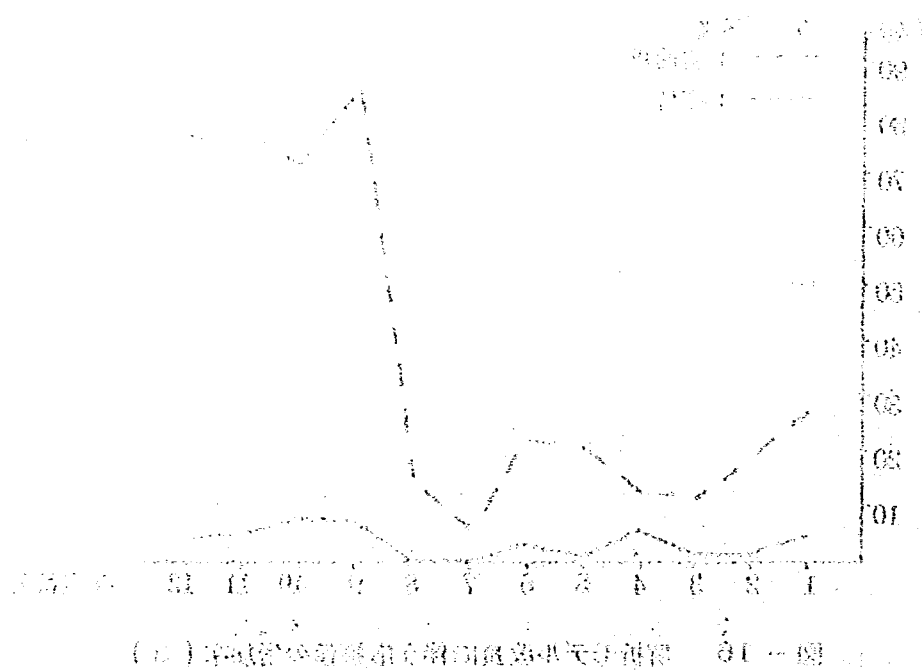
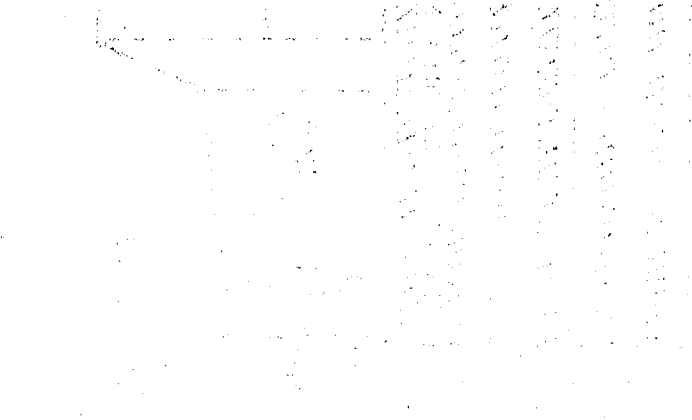
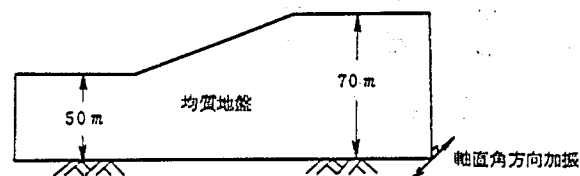


表-9 固有周期解析結果(ケースI)

次数	改 良 モ デ ル					既 往 モ デ ル				
	周 期 (秒)	刺激係数	有効質量(t)	有効質量比(%)	有効質量比累計(%)	周 期 (秒)	刺激係数	有効質量(t)	有効質量比(%)	有効質量比累計(%)
1	1.391	-2.670	24279	40.985	40.985	1.390	2.162	24320	45.376	45.376
2	1.317	-1.071	3864	6.523	47.509	1.316	-0.867	3873	7.227	52.604
3	1.223	-0.956	3010	5.081	52.590	1.223	-0.774	3015	5.625	58.229
4	1.150	0.927	2772	4.680	57.270	1.149	0.749	2775	5.178	63.408
5	1.094	0.865	2368	3.997	61.268	1.093	0.699	2368	4.418	67.827
6	1.061	-0.652	1377	2.324	63.593	1.060	-0.529	1383	2.581	70.408
7	1.015	1.487	6155	10.390	73.983	1.014	1.195	6110	11.400	81.809
8	0.995	1.933	9193	15.518	89.502	0.994	-1.569	9328	17.404	99.213
9	0.964	0.401	407	0.688	90.190	0.963	-0.324	409	0.763	99.977
10	0.928	-0.003	0	0.000	90.190					
11	0.887	0.060	9	0.015	90.206					
12	0.856	0.034	2	0.004	90.210					
13	0.468	1.002	2197	3.709	93.920					
14	0.464	-0.336	247	0.417	94.337					
15	0.458	-0.200	87	0.147	94.485					
16	0.452	0.119	31	0.052	94.537					
17	0.443	-0.426	384	0.648	95.185					
18	0.412	-0.490	471	0.795	95.981					
19	0.380	-0.491	435	0.735	96.716					
20	0.349	-0.530	462	0.781	97.497					
21	0.336	-0.926	1345	2.271	99.768					
		有効質量計 全質量Ma計 Mb計 TOTAL	59101.635 37703.90 21534.62 59238.52				有効質量計 全質量	53584.690 53596.80		



一質点	地盤モデル全質量		53 597 t
	1次～9次有効質量計		53 585 t
二質点系	1次～9次有効質量計		53 428 t
	1次～9次有効質量計		53 440 t
	1次～21次有効質量計		59 102 t
	地盤モデル全質量		MA質量計 37 704 t MB = 21 535 t 59 239 t

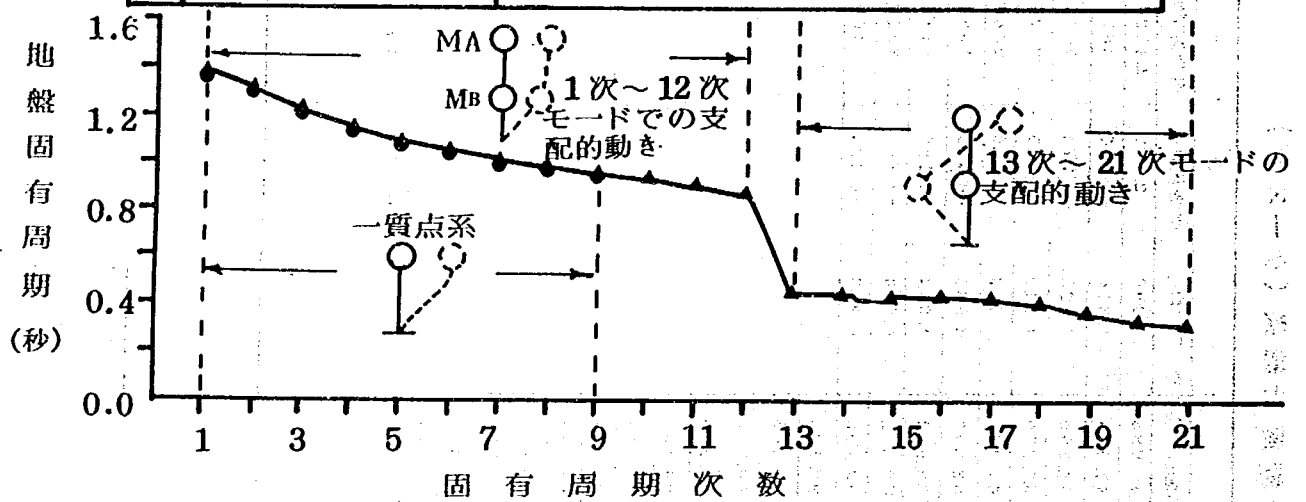


図-17 固有周期分析図

改良モデルにおいて既往モデルと同じ第9次のモードまでだけを考慮して試算したのがケースI-1'である。その結果モデルの差による応答値の差はほとんど無くなった。

3-2-2 沈埋トンネルの全体系モデルによる試算

(1) 解析方法

1) 解析条件

対象とした沈埋トンネルは、東京湾岸道路に計画されている多摩川横断沈埋トンネル（以下「多摩川トンネル」）と大阪湾岸道路に計画されている六甲アイランド～ポートアイランド間沈埋トンネル（以下「六甲トンネル」）とした。

多摩川トンネル

多摩川トンネルは、道路規格が第1種第2級で、断面は幅約40m、高さ9mである。エレメントは長さ122.5mで16函連なり沈埋トンネル区間が約2kmとなっている。沈埋トンネル区間の両側は、それぞれ換気塔と約300m弱の陸上トンネルが接続している。図-18に多摩川トンネルの概要を示す。

多摩川トンネルの解析モデルは既報の(14)、(16)で示されているものを基本としている。また地盤の各土質定数、トンネルの躯体および可撓性継手の諸定数は同一である。トンネルモデルで違う点は前章で検討した結果を考慮して、換気塔に杭を設けたことである。図-19に解析モデルを、図-20に標準断面を示す。トンネル断面、地盤及び換気塔等の諸定数は既報のモデルと同一である。

六甲トンネル

六甲トンネルは、道路規格が第1種第2級である。沈埋トンネルエレメント断面は幅37m、高さ9mで長さは119mである。沈埋トンネル区間は24のエレメント間隔からなり延長は約3kmで、中間に海上換気塔が設けられる計画である。その両側はそれぞれ延長260mの陸上トンネルとなり、換気塔に接続している。図-21に六甲トンネルの概要を示す。

六甲トンネルの解析モデルは既報の文献(14)でのモデルを基本としている。改良した点は、換気塔に杭を設けたこと、換気塔および可撓性継手の諸定数を新たに設定したことである。よって換気塔及び可撓性継手のバネ定数以外の構造物条件は、既往の解析で設定されたものと同一とした。

六甲トンネル節点の配置は、多摩川トンネルと同様に1エレメントに1節点の割合とし、可撓性継手は3エレメント毎に設けた。陸上トンネルと換気塔は一体構造と仮定し、

換気塔～エレメント間継手に相当するものを陸上トンネルと沈埋トンネルの間に沈埋トンネル始端継手として設けた。

海上換気塔は、トンネルの横に分離して建設されるものを仮定し、トンネルと換気塔は互いに独立しているものとした。

図- 22 に六甲トンネルの解析モデルを、図- 23 に標準断面を示す。トンネルの断面諸定数・地盤定数等は既報のモデルと同一である。

II) 入力地震動条件

計算に用いる入力地震動は、前章で用いた八戸港の地震動とした。

八戸港の地震動は、地表で得られた記録を現位置の基盤 (GL- 9.5 m) にもどした地震波である。

最大加速度は、基盤で 150 gal とし、解析時間は地震動の特性を考慮して 10.0 から 30.0 秒までの 20 秒間とした。また計算時間々隔は 0.02 秒とした。(図- 12, 13 参照)

(2) 解析結果

I) 地盤の固有値

表- 10～13 に固有値解析結果の一覧を示す。これより累加有効質量比が 99.5 % 以上になるために、多摩川トンネル (軸方向) では既往モデルで 7 モード、改良系モデルで 57 モード、六甲トンネル (軸方向) ではそれぞれ 15 モード、52 モードである。このように改良モデルにおける固有モードは、一質点系のものより有効質量比が小さく、モード数が多い。多摩川トンネルにおいては、せん断 1 次振動と思われるものだけでも 36 モードもある。

地盤の主要な固有周期は、多摩川トンネルでは既往モデルで 2.1 秒程度、改良モデルで 1.7 秒程度と短くなり、六甲トンネルではそれぞれ 1.4 秒と 1.2 秒である。これらの理由は、固有周期の算定法の違いによるものである。既往モデルで用いる簡便法では、せん断波が基盤面から地表面まで伝播するときの所要時間のみでモードが決まるために多少の地盤条件の差が現われにくい。そのため同じ周期で振動する範囲が広くなり、1 つのモードの有効質量比が大きくなる。また、この簡便法を用いた場合地盤条件により固有周期を長く評価する傾向がある。

図- 24～29 は地盤のモードを示す。これより両トンネルとも各断面での二質点が同位相で振動するせん断 1 次が卓越するモード群と、三質点が逆位相で振動するせん断 2 次が卓越するモード群に大別することができる。その境界は多摩川トンネルでは、軸方向・軸直角方向とも 37 次モード (約 1.0 秒) となっており、六甲トンネル

では両方向とも 33 次モード (約 0.6 秒) となっている。ただし、六甲トンネルの場合は、両端部の換気塔付近においては低い次数から逆位相のせん断 2 次モードが現われている。

II) 地盤・トンネルの応答

表-14, 15 は解析結果の最大応答値を、図-30, 図-31 は最大加速度・最大変位の分布図を示す。

モデル改良による最大加速度への影響は、多摩川トンネルでは端部で小さく、水路部で 1~8 割程応答値が増大しており、六甲トンネルでは、軟弱な表層地盤が厚い左側において 5 割、反対側では 1 割程応答値が増大している。これらの加速度の増加は、モデル改良によるせん断 2 次モードの影響であり、表層地盤が厚い程影響が大きい。また、既往モデルでは、地盤条件により固有周期を長めに評価し、加速度応答を小さく評価しているためである。

モデル改良による最大変位への影響は、多摩川トンネルでは全体的に 3~4 割応答値が減少しており、六甲トンネルでは部分的に 1~2 割の減少となっている。この応答値の差は両モデルにおける固有値解析の違いによるものであり、特に多摩川トンネルでは、その差が大きく改良モデルにおいては、地盤が硬めに評価されるため応答値が減少している。比較的地盤が均質な六甲トンネルにおいては応答値の差が小さい。

図-32 は最大軸力の分布を示す。モデルの差による顕著な差はみられないが、改良モデルでは換気塔付近において応答値が大きくなっている。これは改良モデルにより加速度が増加したため換気塔の自己振動が増大したものと考えられる。

図-33 は既往モデルと改良モデルの応答値の比を示す。特に応答値で差が大きいのは地盤の加速度応答であり、他の応答値の差は比較的小さい。

3-3 結 論

改良モデルを用いた地震応答解析の結果以下の結論を得た。

- ① 改良モデルにおいては詳細に地盤の固有値解析を行っている。その為、既往モデルに比べて $\frac{1}{3}$ の時間々隔で固有モードが表われ、固有周期も一般に短かく評価される。
- ② 改良モデルにおいては加速度が大きく計算され、その率は表層地盤が厚い程大きい。
- ③ 改良モデルによる地盤変位及びトンネル自体の応答への影響は小さい。ただし、表層地盤の構成が複雑な場合や換気塔の応答においては、差が大きくなる場合がある。

図 - 19 多摩川トンネルの解析モデル

- ; 隣 近
- ◎ ; 換気器・エレメント間継手
- ; エレメント間継手
- ; トンネル節近

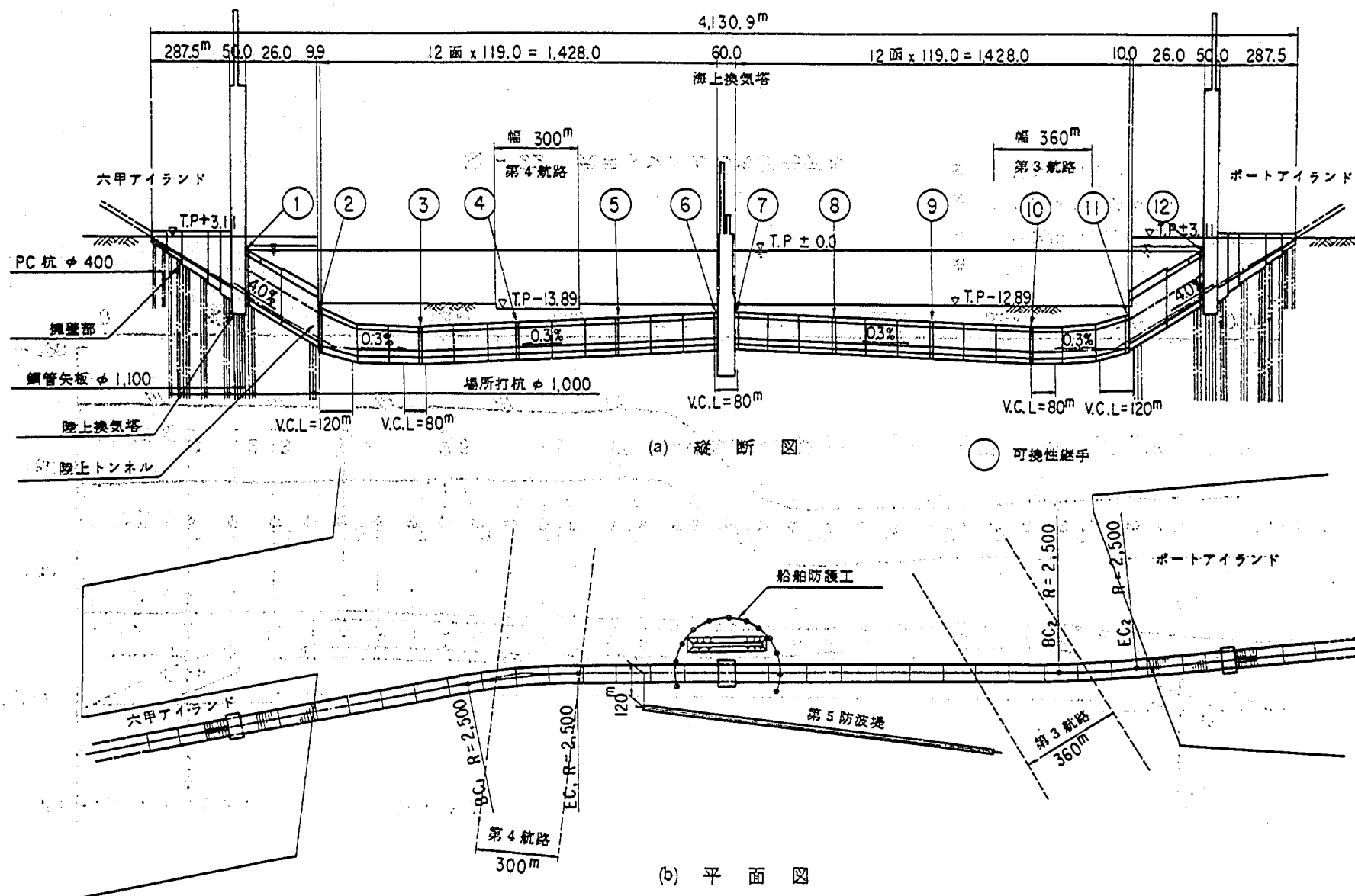


図 - 21 計算の対象とした沈埋トンネル一般図 (六甲トンネル)

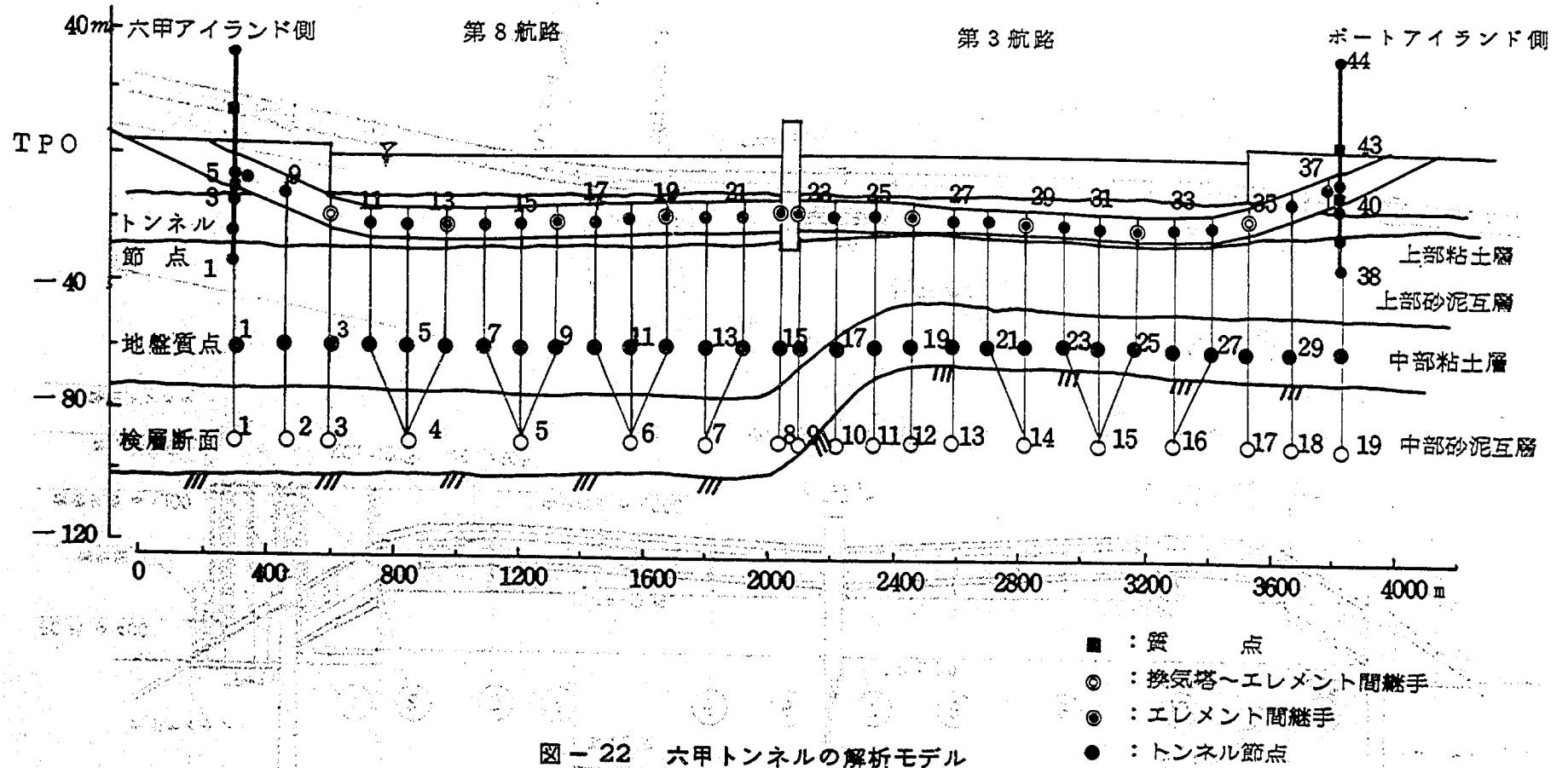
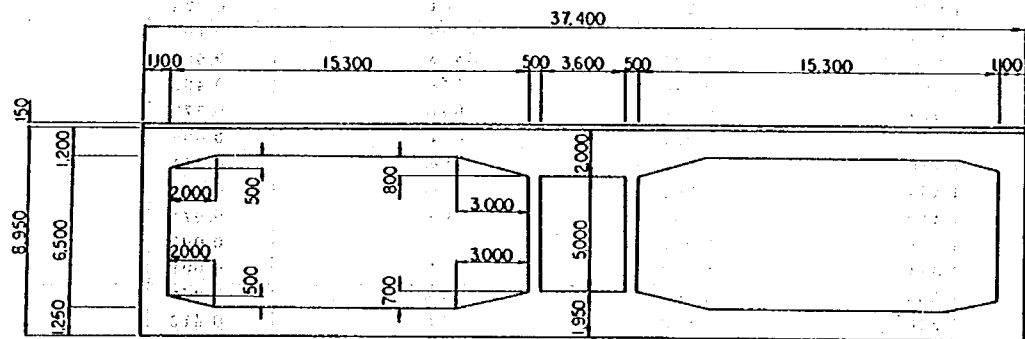


図-22 六甲トンネルの解析モデル

(2) 标准断面图



单位 (mm)

图-23 标准断面图

表-10 固有値解析結果(その1)

次数	多摩川トンネル(軸方向)									
	固有周期(SEC)		制 減 係 数		有効質量(ton)		有効質量の比(%)		累加有効質量比(%)	
	一質点系	二質点系	一質点系	二質点系	一質点系	二質点系	一質点系	二質点系	一質点系	二質点系
1	2.679	2.468	2.548	-2.171	28199.	11996.	21.939	10.539	21.939	10.539
2	2.497	2.282	-2.616	2.486	26541.	12977.	20.649	11.400	42.588	21.939
3	2.101	2.181	-3.832	-1.710	45906.	4799.	35.715	4.216	78.303	26.156
4	2.022	2.082	2.179	-1.073	15602.	1584.	12.138	1.392	90.442	27.549
5	1.914	1.949	1.534	0.769	8258.	994.	6.425	0.874	96.868	28.423
6	1.853	1.839	0.404	0.734	518.	864.	0.403	0.759	97.271	29.182
7	1.742	1.762	-0.913	0.765	2961.	1151.	2.303	1.011	99.575	30.194
8		1.691		-1.077		1775.		1.559		31.753
9		1.674		4.458		30554.		26.842		58.596
10		1.636		-0.247		84.		0.073		58.670
11		1.604		2.591		10359.		9.101		67.771
12		1.588		1.604		4443.		3.904		71.675
13		1.561		-0.482		548.		0.482		72.158
14		1.534		-0.638		657.		0.577		72.735
15		1.502		0.054		4.		0.003		72.739
16		1.466		0.554		468.		0.411		73.151
17		1.434		0.201		60.		0.052		73.203
18		1.410		0.232		85.		0.074		73.278
19		1.376		0.022		0.		0.000		73.279
20		1.354		0.029		1.		0.001		73.280
21		1.334		0.169		53.		0.046		73.327
22		1.320		0.099		14.		0.012		73.339
23		1.248		0.002		0.		0.000		73.339
24		1.235		0.138		22.		0.020		73.359
25		1.230		0.006		0.		0.000		73.359
26		1.163		0.009		0.		0.000		73.360
27		1.145		-0.020		0.		0.000		73.360
28		1.108		0.019		0.		0.000		73.360
29		1.087		-0.034		1.		0.001		73.362
30		1.031		0.029		1.		0.000		73.363
31		1.019		0.008		0.		0.000		73.363
32		1.013		0.028		0.		0.000		73.364
33		0.987		-0.028		0.		0.000		73.365
34		0.965		-0.081		5.		0.004		73.369
35		0.962		-0.000		0.		0.000		73.369
36		0.959		0.022		0.		0.000		73.370
37		0.935		0.060		2.		0.002		73.372
38		0.830		1.153		2201.		1.934		75.307
39		0.787		1.198		1918.		1.685		76.992
40		0.768		1.229		2300.		2.020		79.013
41		0.748		0.476		287.		0.252		79.266
42		0.738		-0.730		524.		0.460		79.726
43		0.708		-0.403		230.		0.202		79.929
44		0.700		-0.354		138.		0.122		80.051
45		0.670		-2.405		9856.		8.658		88.710
46		0.664		-0.616		320.		0.281		88.991
47		0.654		1.089		1614.		1.418		90.410
48		0.651		0.225		69.		0.060		90.470
49		0.635		1.428		3283.		2.884		93.355
50		0.621		-0.258		107.		0.094		93.449
51		0.604		-1.290		2994.		2.631		96.081
52		0.595		0.369		212.		0.187		96.268
53		0.589		0.714		381.		0.335		96.603
54		0.585		0.767		1134.		0.996		97.600
55		0.572		-0.080		8.		0.007		97.607
56		0.562		0.758		1100.		0.966		98.574
57		0.556		-0.973		1433.		1.259		99.833

表-11 固有値解析結果(その2)

次数	多摩川トンネル (軸直角)									
	固有周期 (SEC)		制 激 係 数		有効質量 (ton)		有効質量の比 (%)		累加有効質量比 (%)	
	一質点系	二質点系	一質点系	二質点系	一質点系	二質点系	一質点系	二質点系	一質点系	二質点系
1	2.746	2.496	2.347	-1.973	24531	10137	19.085	8.905	19.085	8.905
2	2.579	2.298	-2.354	-2.321	22270	11965	17.326	10.511	36.411	19.417
3	2.279	2.270	-1.510	-1.928	6542	6044	5.089	5.310	41.501	24.728
4	2.183	2.110	1.190	-1.226	3849	2024	2.994	1.778	44.496	26.506
5	2.101	2.030	-3.716	0.528	46695	478	36.328	0.420	80.825	26.926
6	2.012	2.082	0.368	-0.314	439	178	0.342	0.157	81.167	27.083
7	1.936	1.974	-2.085	0.219	17376	102	13.519	0.089	94.686	27.173
8	1.888	1.936	-1.066	0.516	4233	375	3.293	0.329	97.980	27.503
9	1.852	1.744	-0.585	-1.265	1216	2260	0.946	1.985	98.926	29.489
10	1.805	1.682	-0.089	4.079	29	24853	0.022	21.834	98.949	51.323
11	1.746	1.670	-0.450	-1.449	743	2402	0.578	2.110	99.528	53.434
12		1.662		-0.231		71		0.062		53.497
13		1.634		2.262		7368		6.473		59.970
14		1.614		-1.198		2302		2.022		61.993
15		1.603		2.336		10288		9.038		71.031
16		1.587		0.266		1120		0.105		71.137
17		1.580		0.943		336		1.173		72.311
18		1.560		-0.432		306		0.269		72.581
19		1.544		0.436		276		0.242		72.824
20		1.538		0.290		120		0.106		72.930
21		1.523		0.104		18		0.016		72.947
22		1.508		-0.220		67		0.058		73.005
23		1.498		-0.339		203		0.178		73.184
24		1.491		-0.190		49		0.043		73.228
25		1.473		-0.057		5		0.004		73.232
26		1.430		-0.074		7		0.006		73.239
27		1.418		-0.269		91		0.080		73.319
28		1.395		0.060		5		0.004		73.324
29		1.370		0.083		8		0.007		73.331
30		1.332		0.028		1		0.000		73.332
31		1.327		-0.060		4		0.004		73.336
32		1.301		0.111		14		0.012		73.349
33		1.292		0.044		2		0.002		73.351
34		1.287		0.007		0		0.000		73.351
35		1.265		-0.088		9		0.008		73.360
36		1.148		-0.091		6		0.005		73.365
37		1.079		0.056		2		0.002		73.367
38		0.835		1.012		1699		1.493		74.861
39		0.799		1.322		2323		2.041		76.902
40		0.780		0.410		211		0.185		77.087
41		0.771		-1.060		1835		1.612		78.700
42		0.755		-0.911		877		0.770		79.470
43		0.752		0.139		29		0.025		79.496
44		0.740		-0.338		125		0.110		79.606
45		0.714		0.438		158		0.139		79.745
46		0.680		0.704		553		0.486		80.232
47		0.675		-2.027		6929		6.087		86.320
48		0.663		0.702		832		0.731		87.051
49		0.655		-1.464		3438		3.020		90.072
50		0.646		0.391		245		0.215		90.287
51		0.646		0.384		100		0.088		90.376
52		0.637		-1.154		2156		1.894		92.270
53		0.635		-0.542		351		0.308		92.578
54		0.627		-0.217		69		0.060		92.639
55		0.618		0.889		1443		1.268		93.908
56		0.611		0.334		159		0.140		94.048
57		0.604		-1.044		2462		2.103		96.211
58		0.603		0.711		429		0.377		96.589
59		0.598		0.039		2		0.002		96.591
60		0.597		0.422		303		0.266		96.857
61		0.589		-0.208		106		0.093		96.950
62		0.580		0.089		11		0.010		96.960
63		0.578		0.054		4		0.004		96.965
64		0.566		-0.072		7		0.006		96.971
65		0.565		1.179		2579		2.266		99.237
66		0.563		-0.079		9		0.008		99.246
67		0.557		-0.240		101		0.088		99.334
68		0.556		0.047		3		0.002		99.337
69		0.551		-0.665		599		0.526		99.864

表-12 固有値解析結果(その3)

次数	六 甲 ト ン ネ ル (軸 方 向)									
	固有周期 (SEC)		制 激 係 数		有効質量 (ton)		有効質量の比 (%)		累加有効質量比 (%)	
	一質点系	二質点系	一質点系	二質点系	一質点系	二質点系	一質点系	二質点系	一質点系	二質点系
1	2.264	1.590	-1.641	-2.153	136262.	108375.	13.569	9.803	13.569	9.803
2	2.000	1.377	1.372	-1.545	65136.	54513.	6.486	4.931	20.056	14.734
3	1.473	1.227	-3.206	-1.993	409710.	64517.	40.800	5.835	60.857	20.570
4	1.402	1.226	-1.247	4.634	61878.	425241.	6.162	38.465	67.019	59.035
5	1.334	1.182	-0.949	-1.030	35785.	20698.	3.583	1.872	70.603	60.907
6	1.243	1.130	0.565	-0.813	12446.	11410.	1.239	1.032	71.842	61.939
7	1.157	1.124	-0.976	-1.458	36295.	40444.	3.614	3.658	75.456	65.598
8	1.154	1.059	-0.412	-0.253	6258.	1203.	0.623	0.108	76.080	65.706
9	1.071	0.998	-0.679	-0.945	16889.	16384.	1.681	1.482	77.762	67.189
10	0.999	0.941	-0.701	0.376	17565.	2613.	1.749	0.236	79.511	67.425
11	0.948	0.890	-2.302	0.806	144962.	12135.	14.436	1.097	93.947	68.523
12	0.935	0.845	-1.398	0.203	54062.	797.	5.383	0.072	99.331	68.595
13	0.910	0.831	0.005	0.920	0.	27140.	0.000	2.454	99.331	71.050
14	0.887	0.808	0.200	1.050	1137.	18682.	0.113	1.688	99.444	72.740
15	0.857	0.790	-0.361	4.095	3918.	205397.	0.390	18.624	99.835	91.364
16		0.785		0.218		732.		0.066		91.430
17		0.768		0.840		9066.		0.820		92.251
18		0.761		-0.357		2091.		0.189		92.440
19		0.745		0.816		9060.		0.819		93.259
20		0.738		0.500		4415.		0.399		93.659
21		0.730		0.276		2149.		0.194		93.853
22		0.723		-0.094		152.		0.013		93.867
23		0.717		0.008		0.		0.000		93.867
24		0.700		0.066		83.		0.007		93.875
25		0.694		-0.253		807.		0.072		93.948
26		0.670		0.157		295.		0.026		93.974
27		0.648		0.279		930.		0.084		94.059
28		0.643		0.711		12019.		1.087		95.146
29		0.628		0.043		21.		0.001		95.148
30		0.612		0.031		11.		0.001		95.149
31		0.599		-0.021		5.		0.000		95.149
32		0.590		-0.044		22.		0.002		95.151
33		0.570		-0.015		3.		0.000		95.152
34		0.566		-0.481		5826.		0.527		95.679
35		0.529		-0.811		14348.		1.297		96.976
36		0.514		0.231		1182.		0.106		97.083
37		0.498		0.363		2943.		0.266		97.350
38		0.485		0.638		8774.		0.793		98.143
39		0.479		-0.135		414.		0.037		98.181
40		0.467		-0.088		169.		0.015		98.196
41		0.460		0.070		108.		0.009		98.206
42		0.449		0.148		470.		0.042		98.249
43		0.444		0.224		1051.		0.095		98.344
44		0.437		0.092		186.		0.016		98.361
45		0.430		0.190		690.		0.062		98.423
46		0.419		0.129		355.		0.032		98.455
47		0.407		0.012		3.		0.000		98.456
48		0.393		-0.350		1963.		0.177		98.633
49		0.363		0.418		2428.		0.219		98.853
50		0.358		0.101		161.		0.014		98.867
51		0.344		-0.392		2022.		0.182		99.050
52		0.337		0.622		5001.		0.452		99.503

表-13 固有値解析結果 (その4)

次数	六 甲 ト ン ネ ル (軸 直 角)									
	固有周期 (SEC)		制 激 係 数		有効質量 (ton)		有効質量の比 (%)		累加有効質量比 (%)	
	一質点系	二質点系	一質点系	二質点系	一質点系	二質点系	一質点系	二質点系	一質点系	二質点系
1	2.611	1.622	-1.352	-2.094	91497	103103	9.111	9.326	9.111	9.326
2	2.359	1.471	1.180	0.830	47566	16042	4.736	1.451	13.848	10.777
3	1.670	1.246	-1.149	-2.028	70867	68399	7.057	6.187	20.906	16.964
4	1.485	1.240	-2.847	4.383	318852	377381	31.752	34.136	52.658	51.100
5	1.433	1.216	-1.499	1.769	86896	62471	8.653	5.650	61.312	56.751
6	1.397	1.196	-1.218	1.786	56787	62562	5.655	5.659	66.967	62.410
7	1.385	1.192	-0.943	-0.302	35805	1550	3.565	0.140	70.533	62.550
8	1.335	1.162	0.095	0.052	342	54	0.034	0.004	70.567	62.555
9	1.283	1.129	0.605	-0.846	13434	13652	1.337	1.234	71.905	63.790
10	1.229	1.095	0.412	-0.414	6123	3212	0.609	0.290	72.515	64.081
11	1.183	1.065	-0.546	-0.803	11020	11925	1.097	1.078	73.612	65.159
12	1.136	1.035	-0.265	-0.344	2640	2220	0.262	0.200	73.875	65.360
13	1.098	1.009	-0.343	-0.463	4504	4077	0.448	0.368	74.324	65.729
14	1.061	0.985	-0.323	0.192	3942	716	0.392	0.064	74.716	65.794
15	1.036	0.967	-0.513	0.259	9456	1306	0.941	0.118	75.658	65.912
16	1.020	0.952	-0.706	-0.077	16025	115	1.595	0.010	77.254	65.923
17	1.007	0.939	0.291	-0.097	3196	189	0.318	0.017	77.572	65.940
18	0.993	0.887	0.163	-1.373	1027	26869	0.102	2.430	77.675	68.370
19	0.952	0.843	-2.957	0.810	212516	23136	21.163	2.092	98.838	70.463
20	0.944	0.804	-0.513	-0.726	6437	7350	0.641	0.664	99.479	71.128
21	0.931	0.798	0.212	-3.433	1116	146857	0.111	3.284	99.591	84.412
22		0.786		-2.015		49317		4.461		88.873
23		0.781		-0.290		3054		0.276		89.149
24		0.781		-1.743		35357		3.198		92.348
25		0.773		0.860		8913		0.806		93.154
26		0.762		-0.627		4655		0.421		93.575
27		0.748		0.364		1564		0.141		93.716
28		0.736		-0.055		36		0.003		93.720
29		0.725		0.089		94		0.008		93.728
30		0.715		0.080		74		0.006		93.735
31		0.708		0.010		1		0.000		93.735
32		0.699		0.060		41		0.003		93.739
33		0.647		0.729		13045		1.180		94.919
34		0.588		-0.45		7633		0.690		95.609
35		0.533		0.741		11944		1.080		96.690
36		0.524		0.222		1084		0.096		96.788
37		0.518		0.407		3650		0.330		97.118
38		0.509		0.018		7		0.000		97.119
39		0.502		0.152		520		0.047		97.166
40		0.497		-0.033		24		0.002		97.168
41		0.491		-0.166		613		0.055		97.224
42		0.490		0.584		7460		0.674		97.898
43		0.479		0.245		1297		0.117		98.016
44		0.473		-0.258		1442		0.130		98.146
45		0.463		-0.026		15		0.001		98.148
46		0.455		-0.094		192		0.017		98.165
47		0.452		0.369		2143		0.193		98.359
48		0.420		-0.159		390		0.035		98.394
49		0.406		-0.318		1629		0.147		98.542
50		0.375		-0.402		2202		0.199		98.741
51		0.356		-0.366		1704		0.154		98.895
52		0.339		-0.601		4626		0.418		99.314
53		0.336		0.075		72		0.006		99.320
54		0.334		-0.623		5454		0.493		99.813

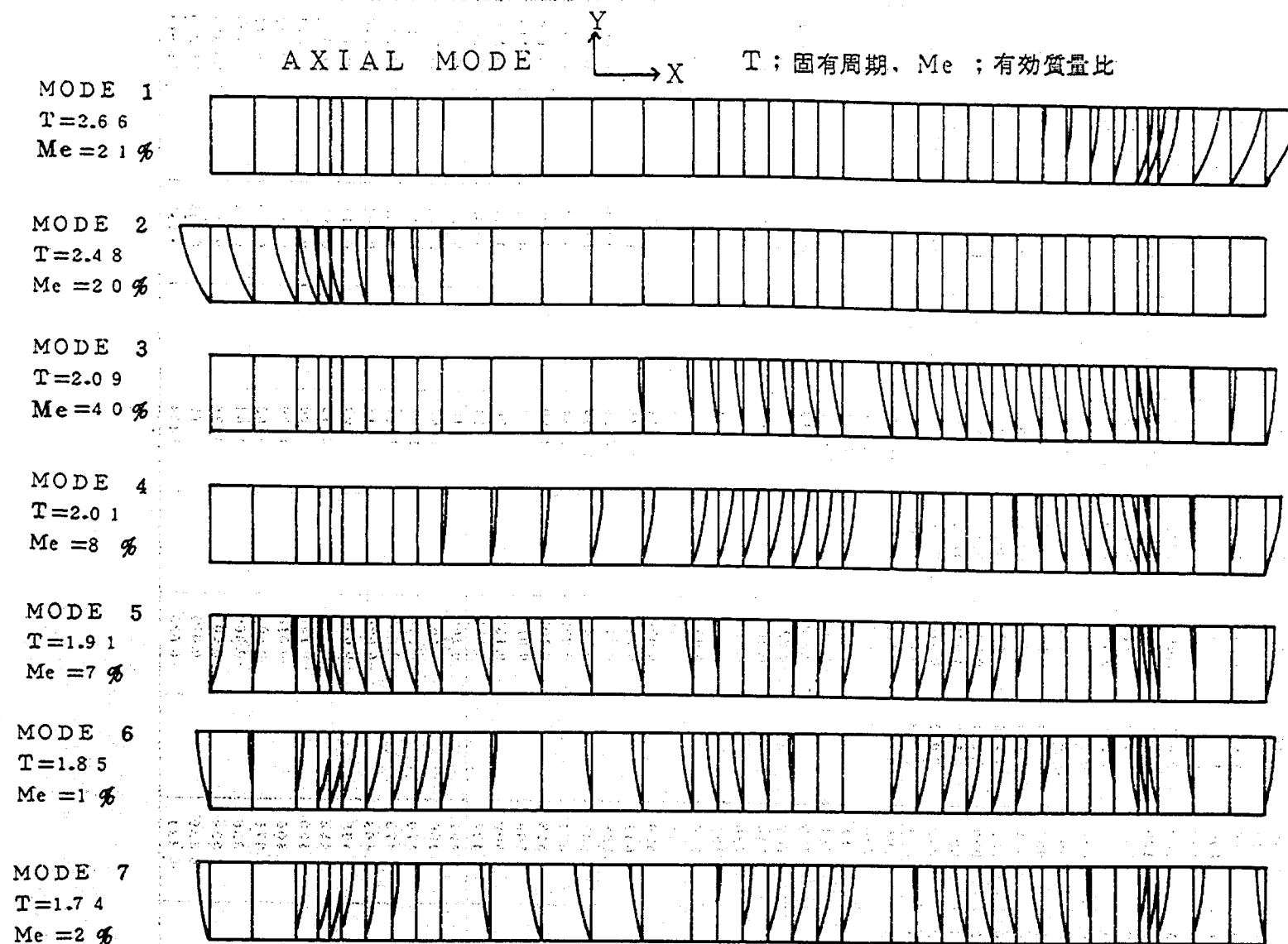
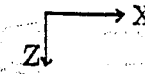


図-24 一質点系の多摩川トンネルの地盤モード(軸方向)

T : 固有周期 Me : 有効質量比

HORIZONTAL MODE



MODE 1
T=2.73
Me=18%

MODE 2
T=2.56
Me=17%

MODE 3
T=2.24
Me=7%

MODE 4
T=2.15
Me=4%

MODE 5
T=2.10
Me=35%

MODE 6
T=2.01
Me=0%

MODE 7
T=1.94
Me=13%

MODE 8
T=1.89
Me=3%

MODE 9
T=1.85
Me=1%

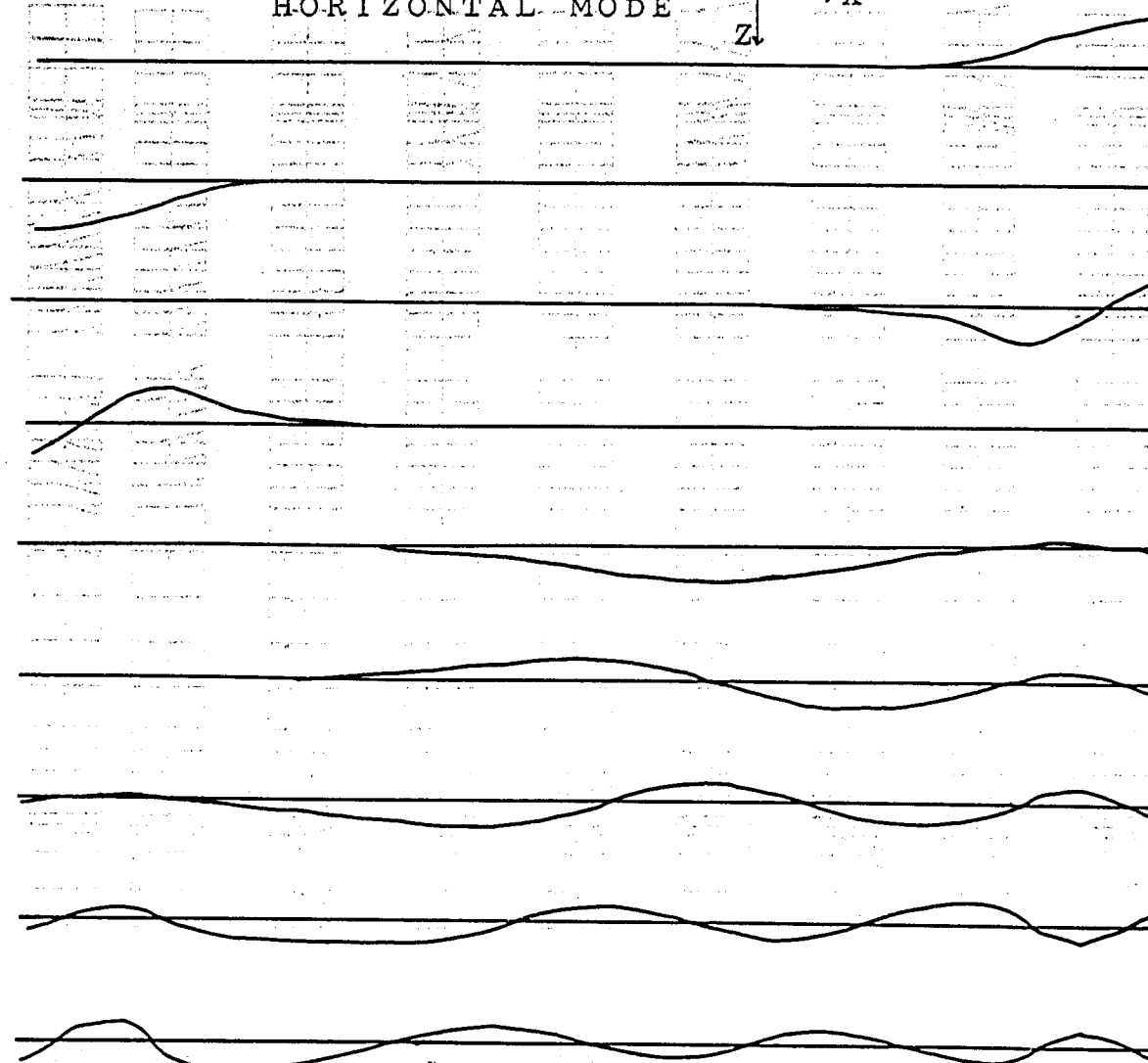


図 - 25 一質点系の多摩川トンネルの地盤モード (軸直角方向)

AXIAL MODE

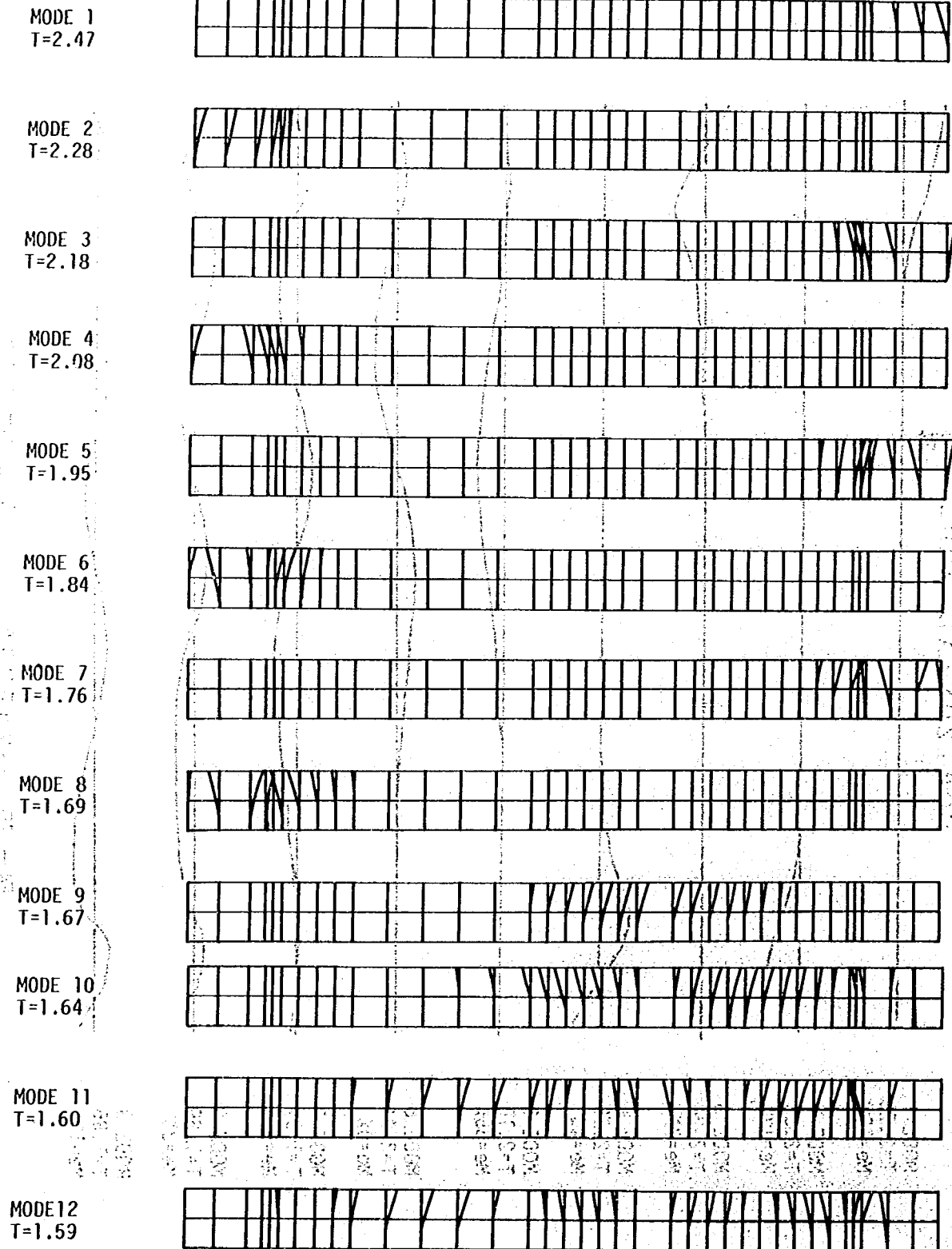


図-26-1 二質点系の多摩川トンネルの地盤モード（軸方向）

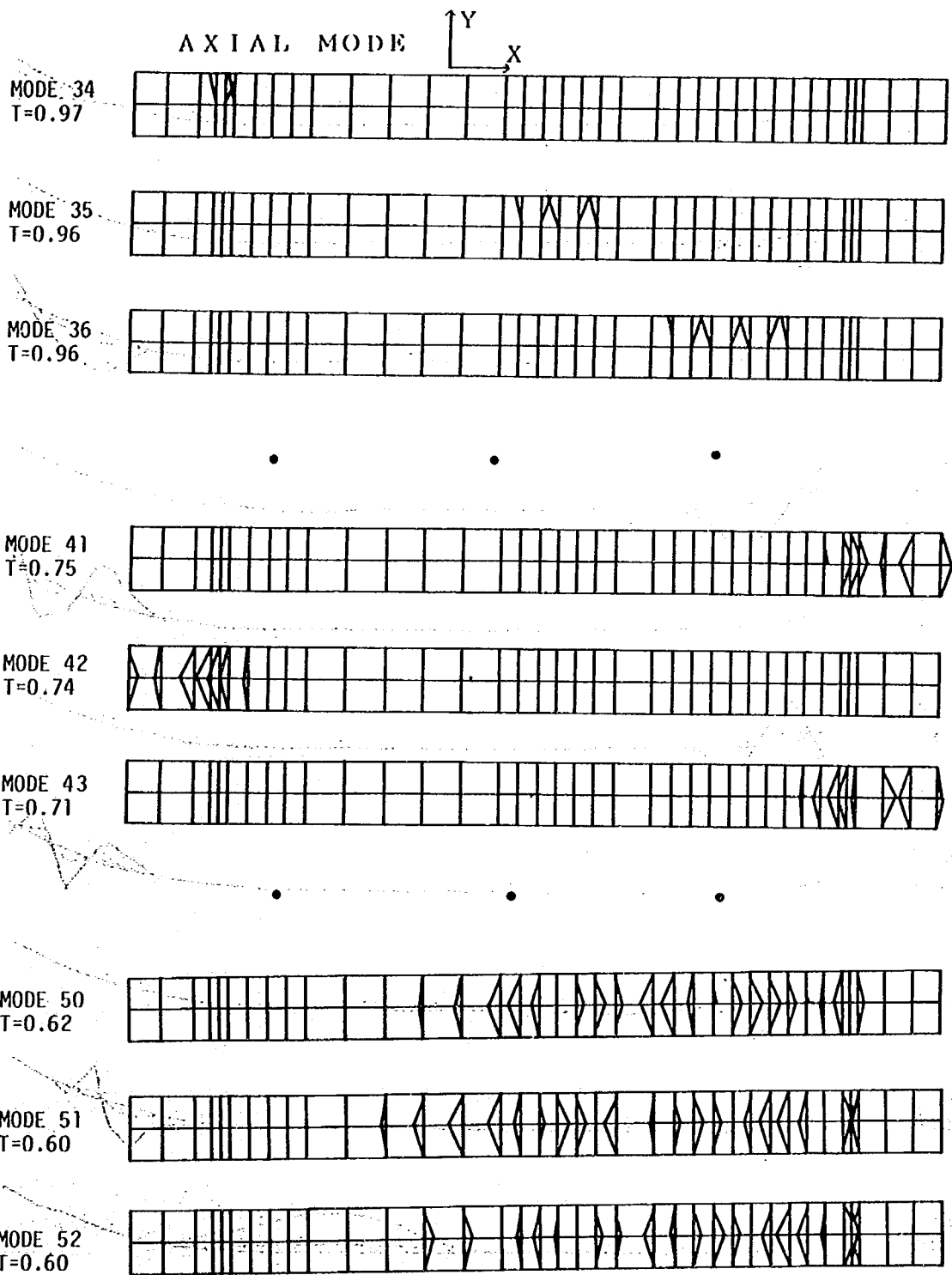


図-26-2 二質点系の多摩川トンネルの地盤モード（軸方向、続き）

（同式真数部）より各振動の周期を求め、地盤モードの周期を比較する。

HORIZONTAL MODE

— MASS-A
- - - MASS-B

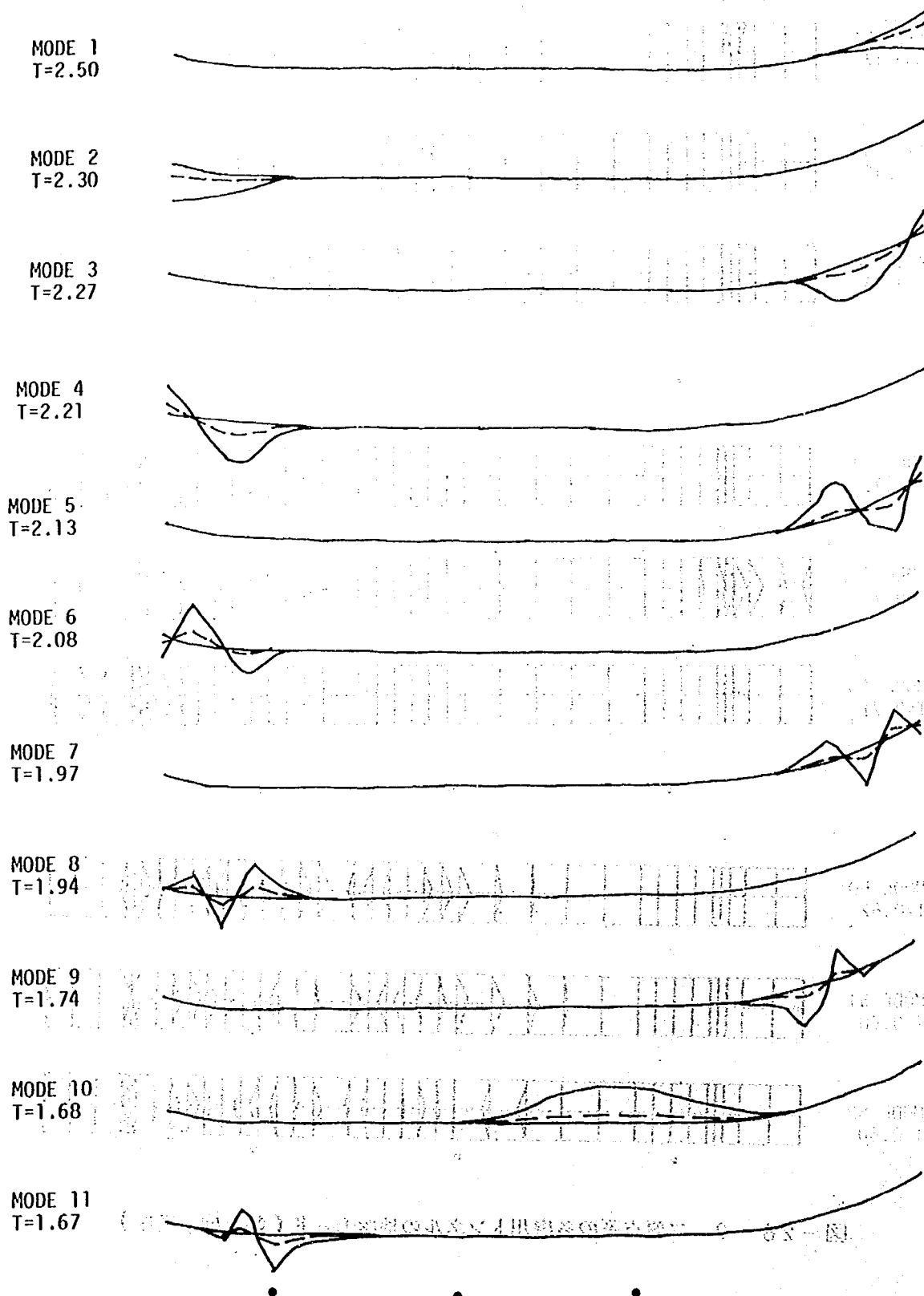


図-27-1 二質点系の多摩川トンネルの地盤モード(軸直角方向)

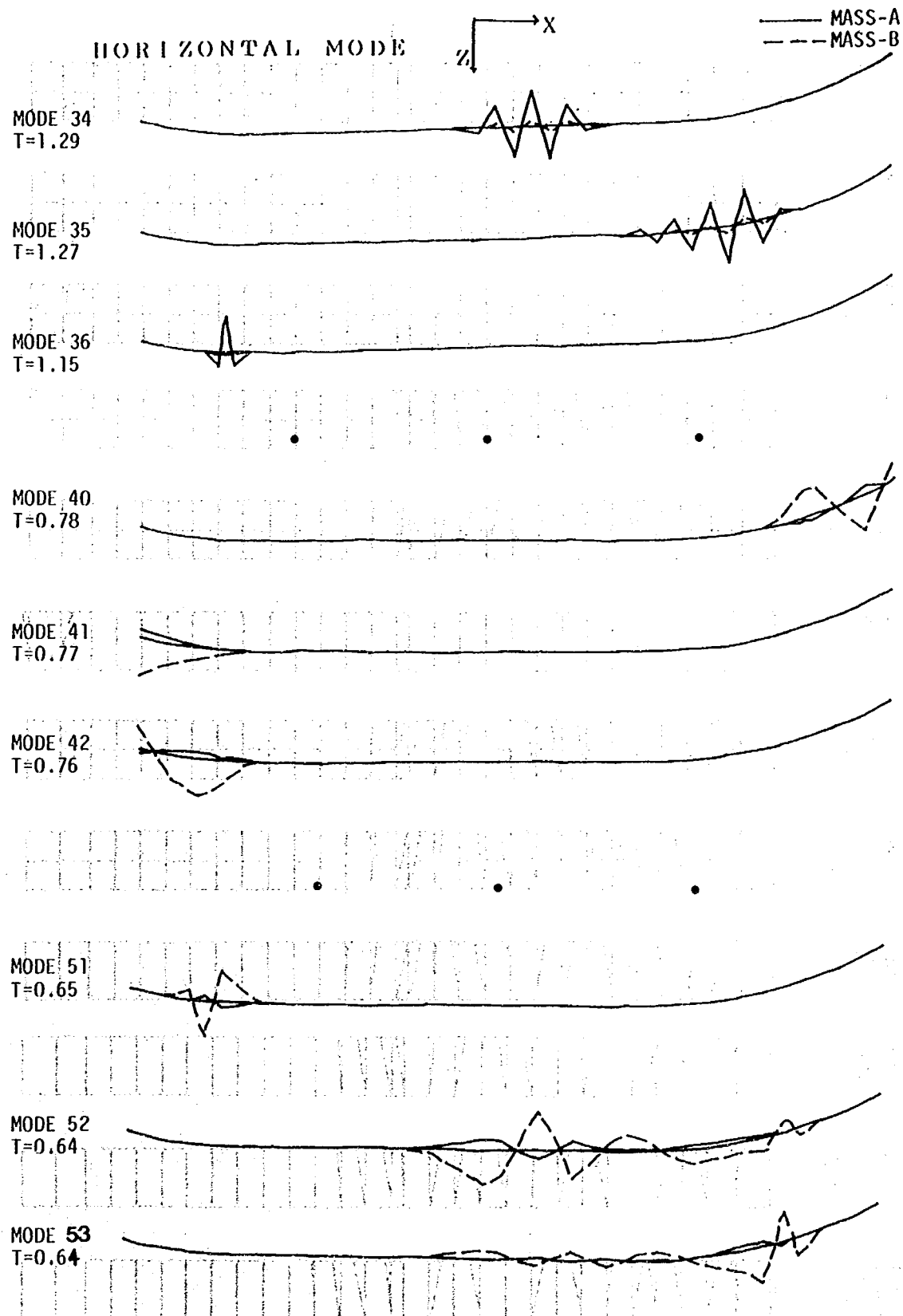
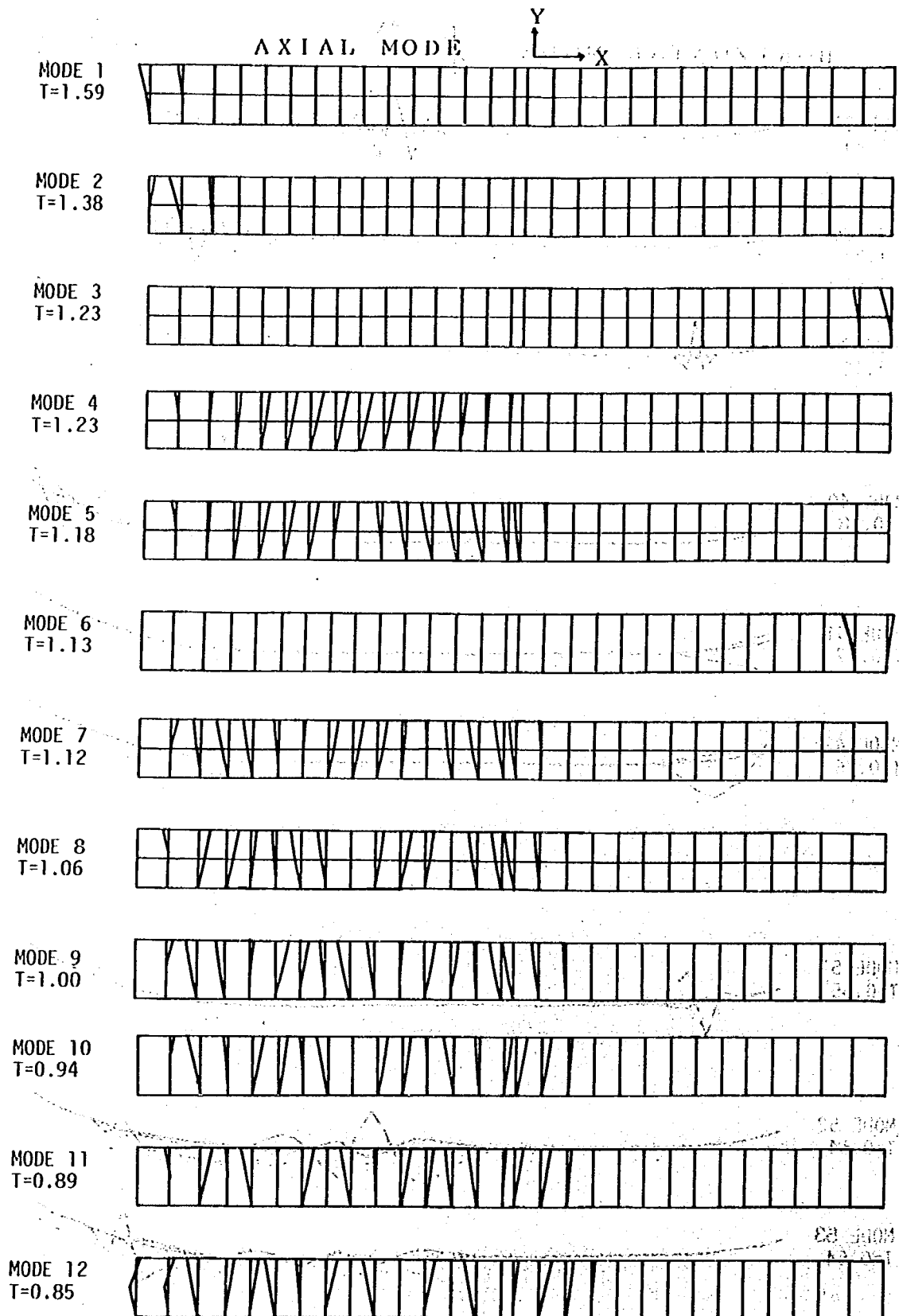


図-27-2 二質点系の多摩川トンネルの地盤モード(軸直角方向, 続き)



(図 - 28 - 1) 二質点系の六甲トネルの地盤モード (軸方向)

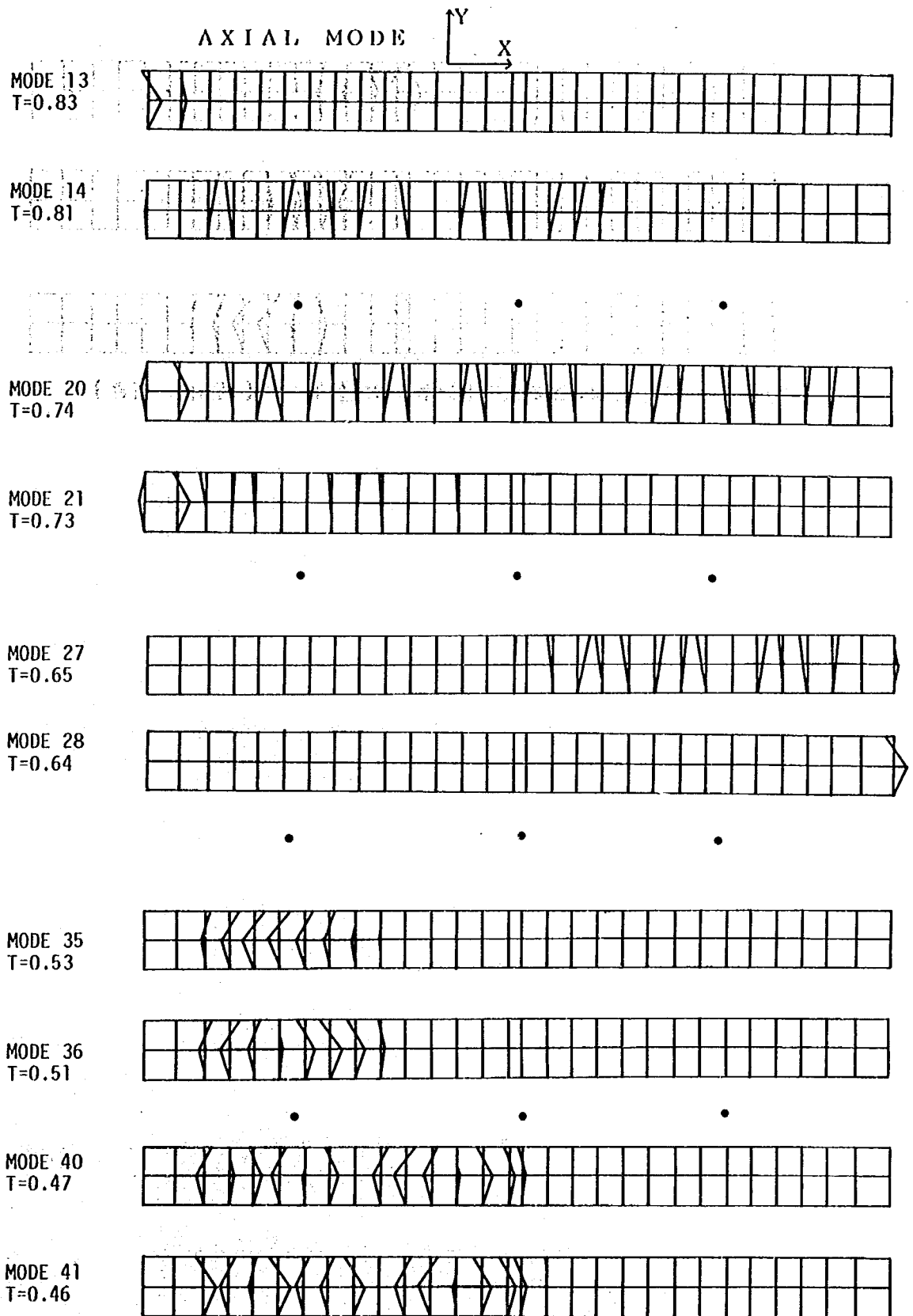


図-28-2 二質点系の六甲トンネルの地盤モード（軸方向，続き）

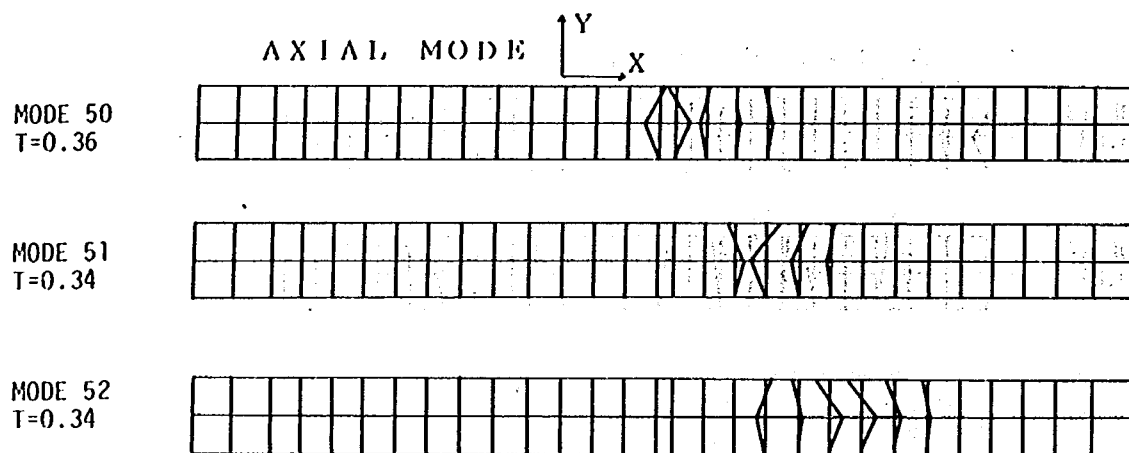


図-28-3 二質点系の六甲トンネルの地盤モード(軸方向, 続き)

(53, 同式) 第一質点の最大変位と第二質点の最大変位の比は 1.0 である。

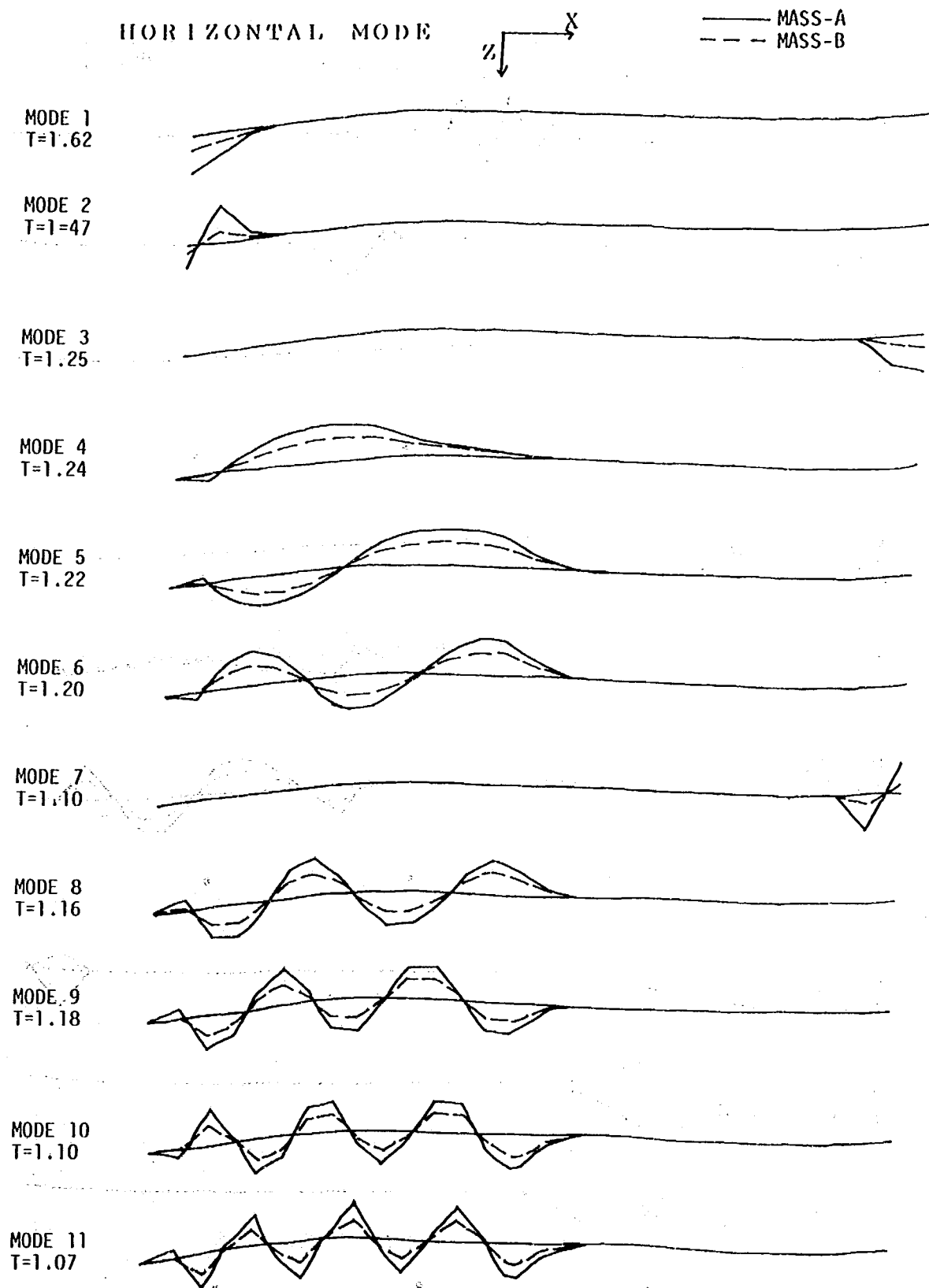


図-29 二質点系の六甲トンネルの地盤モード(軸直角方向)

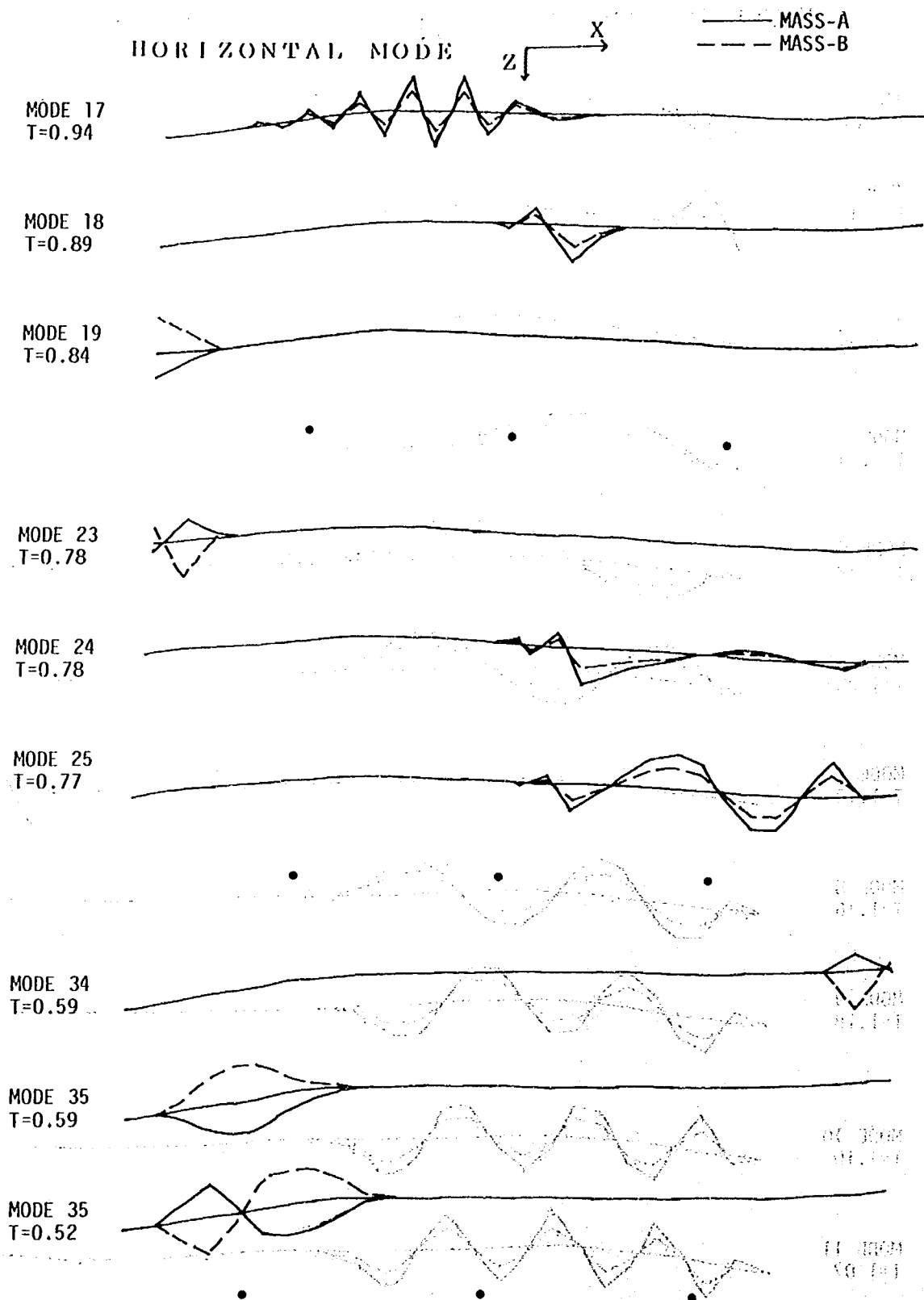


図-29(2) 二質点系の六甲トンネルの地盤モード(軸直角方向、続き)

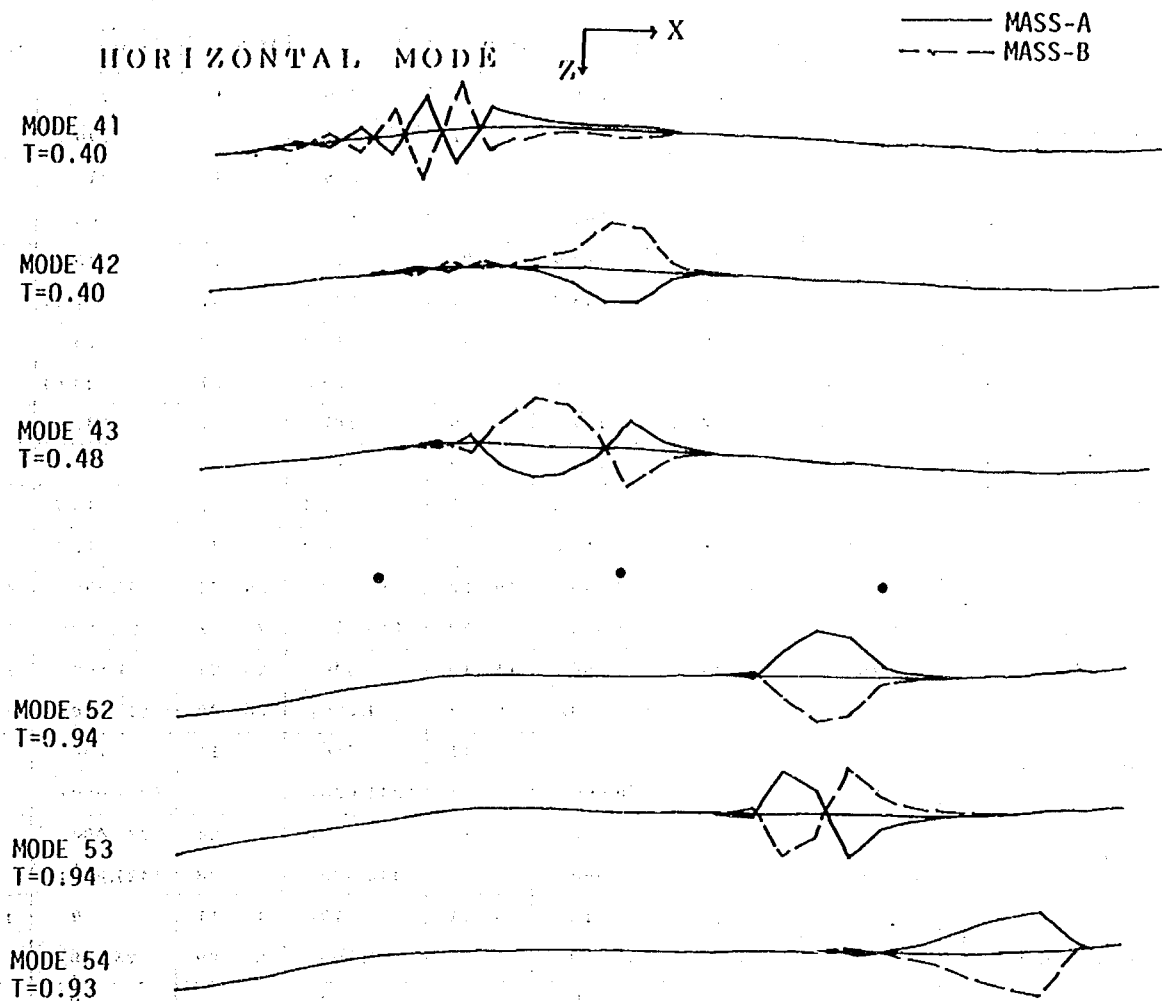


図-29-3 二質点系の六甲トンネルの地盤モード(軸直角方向, 続き)

表-14 最大応答値一覧表(多摩川トンネル)

			既 往 モ デ ル				改 良 モ デ ル				
伝播速度 V (m/sec)			∞	M. P.注5)	1,000	M. P.	∞	M. P.	1,000	M. P.	
注1) 地盤	注2) 最大加速度 (gal)	注4) L	142 (156)	13 3	131 (175)	21 37	220 (194)	19 5	220 (190)	19 5	
		T	142 (152)	13 5	165 (165)	13 6	218 (187)	19 5	215 (183)	19 33	
	最大変位 (cm)	L	14.5 (24.3)	22 37	16.8 (28.3)	22 37	10.9 (21.0)	19 37	13.3 (24.4)	19 37	
		T	15.3 (23.2)	19 37	17.8 (23.7)	24 36	11.0 (20.8)	19 37	13.7 (23.8)	19 37	
注3) 換気塔	最大加速度 (gal)	L	155	9	111	9	167	31	242	31	
		T	139	9	166	9	317	31	299	31	
	最大変位 (cm)	L	16.4	31	15.5	9	13.4	31	15.7	9	
		T	14.8	31	18.3	9	16.9	31	18.1	31	
沈埋 トンネル エレメント	注2) 最大軸力 (t)	L	9,200 (19,500)	24-25 27-32	39,400 (26,400)	19-20 27-32	10,700 (16,000)	25-26 27-32	37,000 (23,000)	20-21 33-34	
		T	760 (23,400)	23-24 6-7	1,000 (20,000)	14-15 28-29	500 (24,500)	23-24 28-29	1,800 (23,300)	21-22 28-29	
	最大曲げ モーメント (t・m)	L	280 (435,00)	11 5	250 (376,000)	11 5	250 (344,000)	11 5	220 (321,000)	11 5	
		T	89,700 (411,000)	24 6	133,000 (330,000)	15 28	55,800 (446,000)	24 28	232,000 (421,000)	20 28	
	最大せん断力 (t)	L	12 (33,000)	10-11 6-7	10 (19,000)	10-11 7-5	10 (27,000)	10-11 28-29	9 (25,000)	10-11 6-7	
		T	0 0		0 0		0 0		0 0		
	可 撓 性 継 手	エレメント 最大相対変位 (cm)	L	7.9	3-4	11.8	17-18	4.0	24-25	10.8	17-18
			T	0.5	21-22	0.8	13-14	0.4	24-25	0.3	10-11
換気塔 最大相対変位 (cm)		L	3.5	24-25	10.9	31-32	7.0	3-4	9.3	31-32	
		T	4.8	3-4	4.4	3-4	4.0	3-4	4.1	3-4	
地盤の1次固有 周期(sec)			L	2.66			2.47				
			T	2.73			2.50				
トンネルの1次 固有周期(sec)			L	0.89			0.89				
			T	0.99			0.99				

- 注 1) 地盤の加速度, 変位はトンネル位置での値。
- 2) 地盤の加速度, 変位および断面力は沈埋トンネル区間での値。
但し, ()内は陸上トンネル及び換気塔部での最大値。
- 3) 換気塔の加速度, 変位は地上部の重心位置での値。
- 4) L; 地震波をトンネル軸方向に入力。
T; 地震波をトンネル軸直角方向に入力。
- 5) M. P.; 質点または部材の最大値の位置。

表-15 最大応答値一覧表(六甲トンネル)

			既 往 モ デ ル				改 良 モ デ ル			
伝 播 速 度 $V (m/sec)$			∞	M. P. 注5)	1,000	M. P.	∞	M. P.	1,000	M. P.
注1) 地盤	注2) 最大加速度 (gal)	注4) L	310 (203)	25 30	240 (255)	27 30	301 (297)	23 28	290 (279)	17 28
		T	321 (217)	26 30	274 (266)	17 28	310 (299)	18 28	305 (305)	18 28
	注2) 最大変位 (cm)	L	8.2 (10.8)	4 1	11.1 (13.3)	17 2	8.3 (10.4)	14 1	11.6 12.6	17 1
		T	8.2 (11.7)	4 2	12.0 16.0	17 2	8.2 (10.5)	9 1	11.9 12.9	9 1
注3) 換気塔	最大加速度 (gal)	L	366	44	331	44	408	44	252	44
		T	353	7	247	7	241	44	230	44
	最大変位 (cm)	L	13.3	7	14.0	7	13.0	7	13.1	7
		T	13.4	7	14.8	7	11.5	7	13.7	7
沈埋トンネルエレメント	注2) 最大軸力 (t)	L	13,181 (9,606)	24-25 37-47	28,850 (21,760)	27-28 36-37	17,700 (14,500)	24-25 35-36	27,000 (26,000)	14-15 36-37
		T	1,203 (23,577)	24-25 5-8	3,366 (25,479)	24-26 5-8	4,200 (26,100)	36-37 5-8	2,200 (25,500)	34-35 37-42
	最大曲げモーメント ($t \cdot m$)	L	15,186 (475,000)	25 40	6,670 (407,000)	25 40	16,700 (509,000)	25 40	5,200 (315,400)	25 40
		T	125,000 582,000	21 8	258,000 (646,000)	24 8	314,000 (656,000)	37 8	254,600 (641,000)	34 37
	最大せん断力 (t)	L	237 (24,000)	24-25 41-42	103 (16,400)	24-25 4-5	261 (23,360)	24-25 41-47	82 (22,517)	24-25 4-5
		T	4,300 (208,000)	11-12 37-42	20,665 (237,600)	14-15 37-42	8,200 (255,000)	36-37 37-42	29,800 (353,000)	11-12 37-42
	可換性継手 エレメント 最大相対変位 (cm)	L	2.5	24-25	8.1	17-18	3.2	24-25	9.4	17-18
		T	3.0	27-28	1.1	30-31	0.3	27-28	1.2	17-18
地盤の1次固有周期(sec)	エレメント 換気塔 最大相対変位 (cm)	L	4.0	8-9	13.7	33-34	8.9	33-39	6.0	20-21
		T	2.0	8-9	2.3	33-34	2.4	8-9	2.5	33-34
トンネルの1次固有周期(sec)	L	L	1.71				1.59			
		T	1.81				1.62			
トンネルの1次固有周期(sec)	T	L	0.63				0.63			
		T	0.68				0.68			

注 1) 地盤の加速度, 変位はトンネル位置での値。

2) 地盤の加速度, 変位及び断面力は沈埋トンネル区間での値。

但し, ()内は陸上トンネル及び換気塔部での最大値。

3) 換気塔の加速度, 変位は地上部の重心位置での値。

4) L; 地震波はトンネル軸方向に入力。

T; 地震波はトンネル軸直角方に入力。

5) M. P.; 質点または部材の最大値の位置。

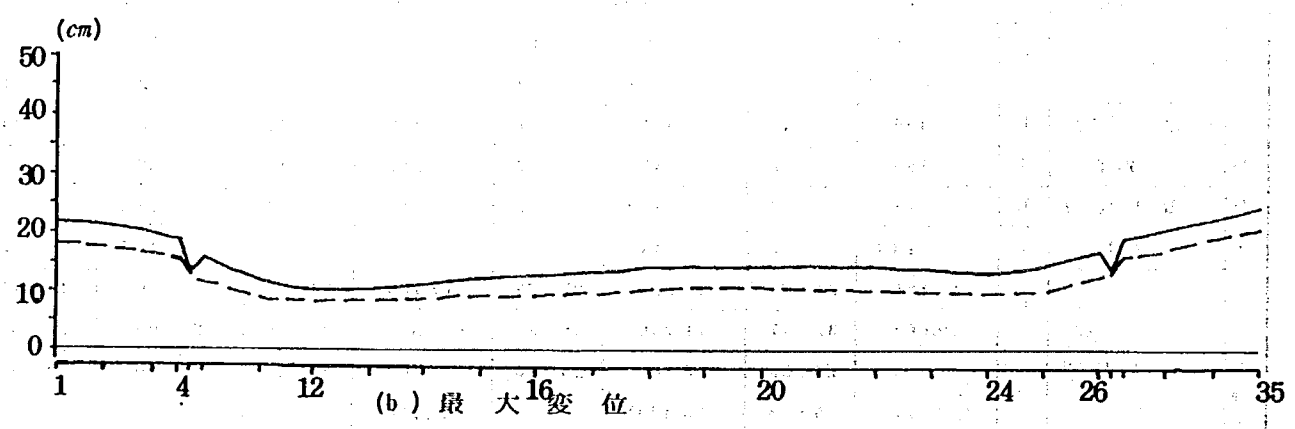
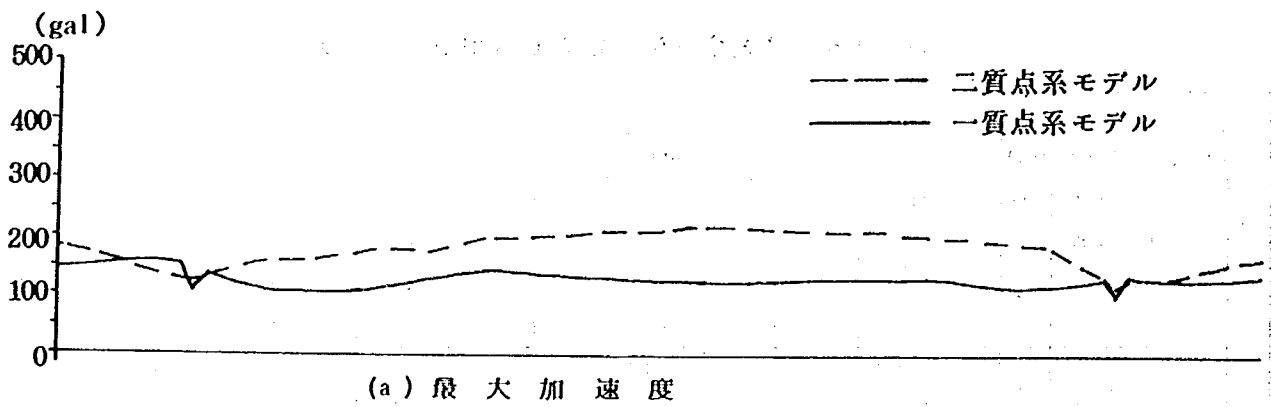


図-30 多摩川トンネルの地盤応答値

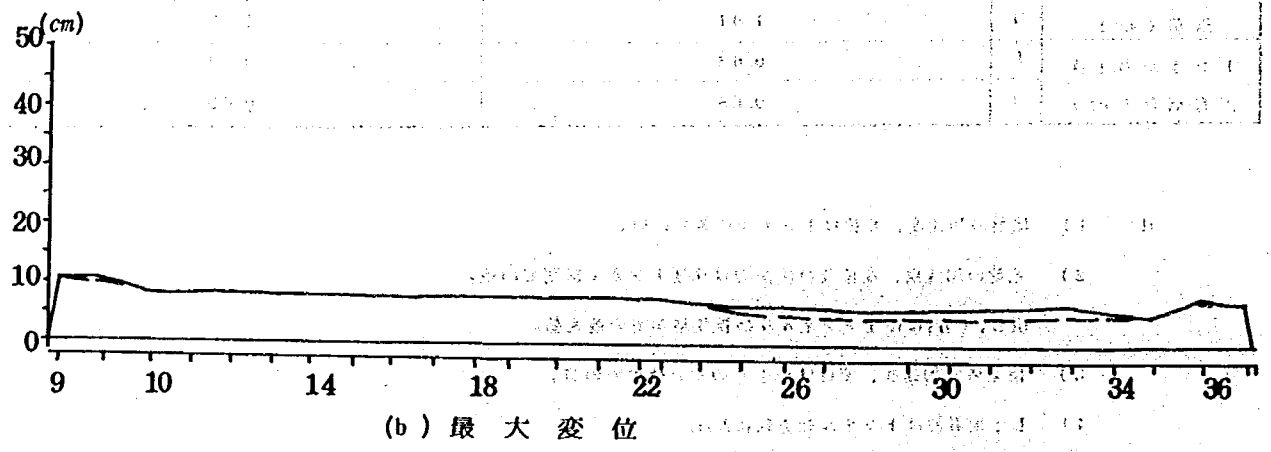
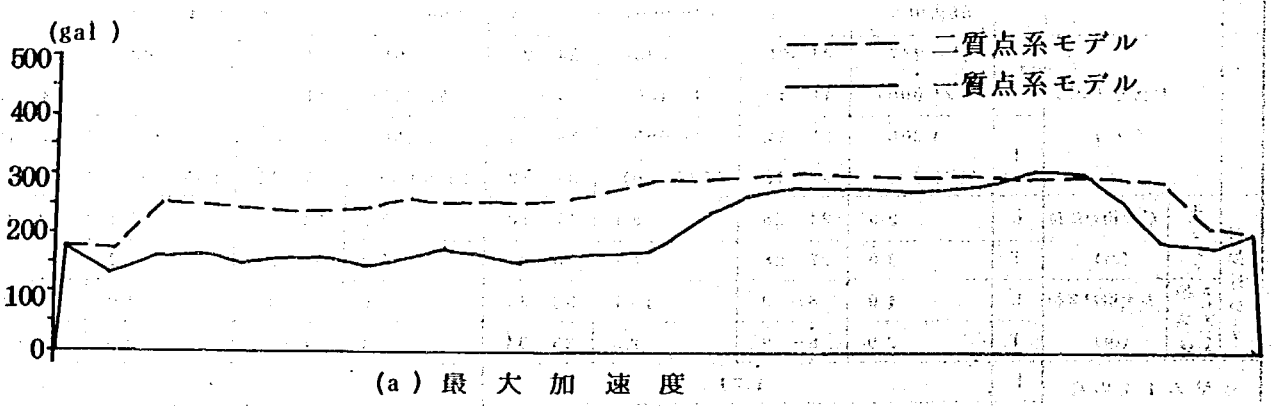


図-31 六甲トンネルの地盤応答値

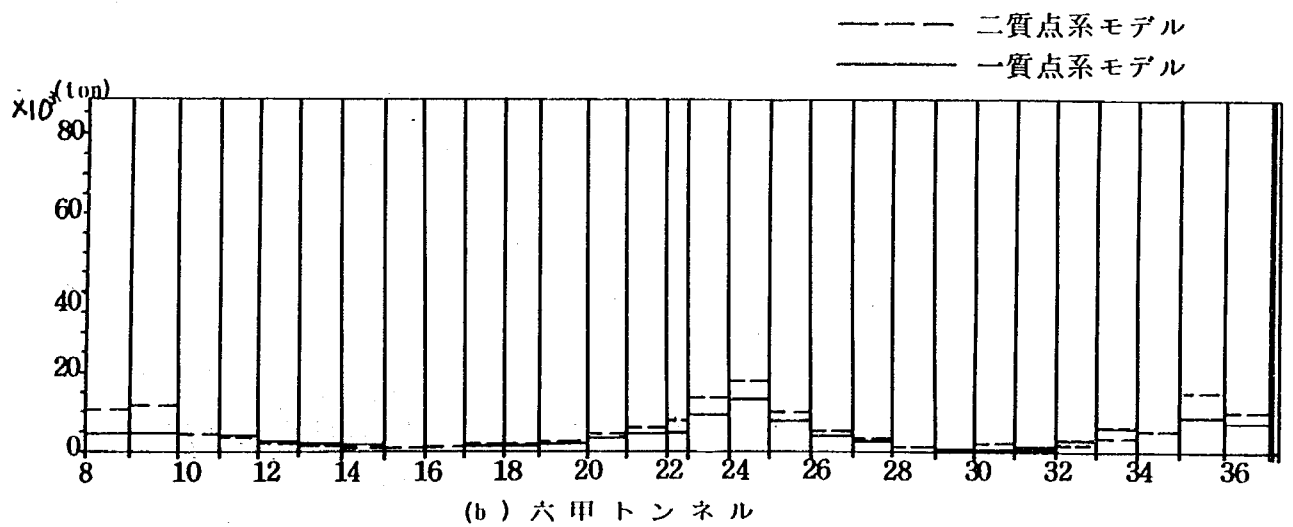
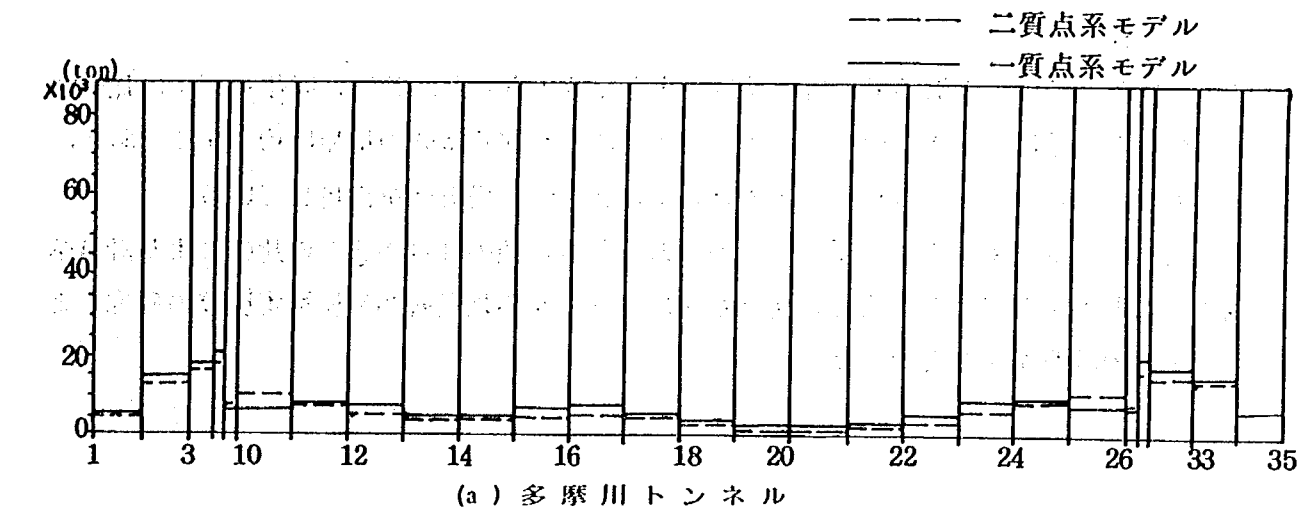


図-32 最大軸力

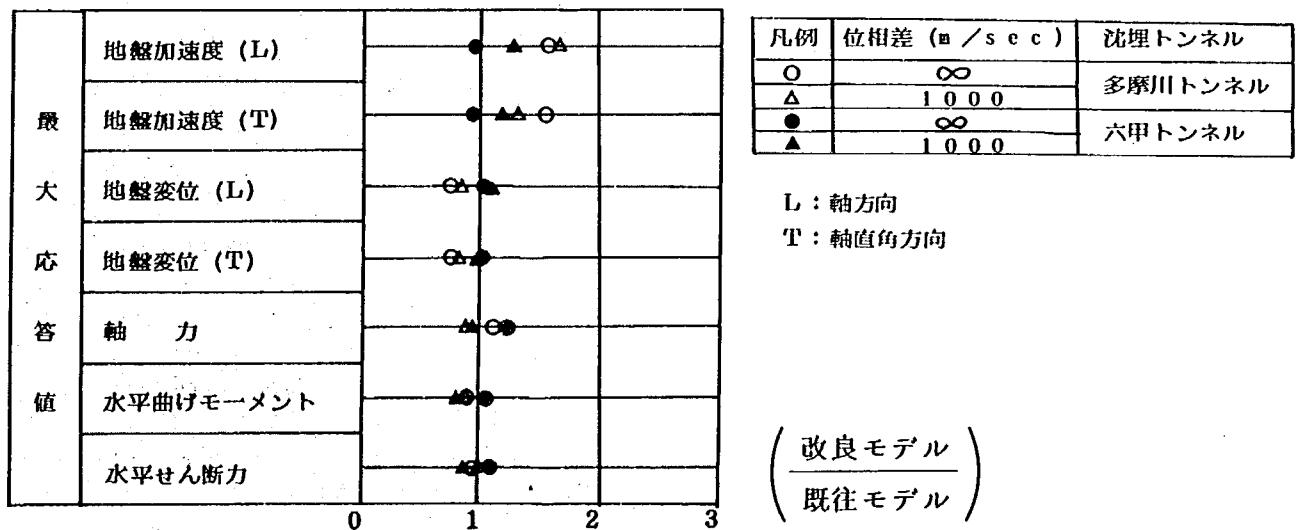


図-33 既往モデルと改良モデルの応答値の比

あ と が き

改良モデルにおいては、表層地盤の解析精度が大きく改善された。特に、既往モデルに比べ地盤加速度の評価が正確になったといえる。モデル改良に伴う演算時間の増加は約 30 % であり、入力方法も大きな変化はなく、解析システムとしての合理性・経済性を満足している。

なお、改良モデルは集中質量法を用いたものであるため、他の計算手法との比較により計算結果を評価することが必要である。また、新たな沈埋トンネルの地震観測や模型実験等の研究により今後もモデルの改良が必要となろう。

図 10-10-10 計算結果の比較

計算項目	計算結果	計算方法	計算結果
(1) 地盤加速度	0.15	(1) 地盤加速度	0.15
(2) 地盤加速度	0.15	(2) 地盤加速度	0.15
(3) 地盤加速度	0.15	(3) 地盤加速度	0.15
(4) 地盤加速度	0.15	(4) 地盤加速度	0.15
(5) 地盤加速度	0.15	(5) 地盤加速度	0.15
(6) 地盤加速度	0.15	(6) 地盤加速度	0.15
(7) 地盤加速度	0.15	(7) 地盤加速度	0.15
(8) 地盤加速度	0.15	(8) 地盤加速度	0.15
(9) 地盤加速度	0.15	(9) 地盤加速度	0.15
(10) 地盤加速度	0.15	(10) 地盤加速度	0.15

図 10-10-11 計算結果の比較

参 考 文 献

- 1) 土木研究所資料 660号 沈埋トンネルなど地中構造物の耐震に関する研究 —ミシガン大学ほかにおける Soil Dynamics の研究成果— 岩崎敏男 45年
- 2) 土木研究所資料 746号 沈埋トンネルの耐震設計に関する調査報告 振動研究室 46年
- 3) 土木研究所資料 747号 沈埋トンネルの耐震性に関する調査報告 栗林栄一, 岩崎敏男, 辻勝成 46年
- 4) 土木研究所資料 851号 沈埋トンネルおよび盛土の耐震性に関する調査報告—沈埋トンネルおよび盛土の地震応答解析 栗林栄一, 岩崎敏男, 川島一彦, 若月高晴, 高木義和 48年
- 5) 土木研究所資料 852号 沈埋トンネルおよび盛土の耐震性に関する調査報告—沈埋トンネルおよび盛土の模型振動実験 栗林栄一, 岩崎敏男, 川島一彦, 若月高晴, 高木義和 48年
- 6) 土木研究所資料 953号 東京湾横断道路トンネルの耐震設計および地震応答解析 栗林栄一, 岩崎敏男, 今田 徹, 水谷敏則, 川島一彦, 高木義和, 佐伯光昭 48年
- 7) 土木研究所資料 955号 東京湾横断道路人工島(盛土)の地震時における安定性の解析 栗林栄一, 龍岡文夫, 川島一彦, 若月高晴, 高木義和 49年
- 8) 土木研究所資料 997号 沈埋トンネルの耐震性に関する資料の調査 栗林栄一 他 49年
- 9) 土木研究所資料 1038号 東京湾横断道路トンネル(可撓性継手を設けた場合)の地震時断面力および変位の検討 栗林栄一, 川島一彦, 宮田忠明 50年
- 10) 土木研究所資料 1169号 Earthquake Resistant Design for Submerged Tunnels and An Example of Its Application 栗林栄一, 川島一彦 51年
- 11) 土木研究所資料 1192号 地震動入力の設定法に関する研究 栗林栄一, 川島一彦, 宮田忠明 51年
- 12) 土木研究所資料 1193号 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 栗林栄一, 川島一彦, 柴田松雄 51年
- 13) 土木研究所資料 1253号 応答変位法に基づく地中構造物横断面の耐震設計法および最終耐力に関する研究 栗林栄一, 川島一彦, 柴田松雄, 宮田忠明 51年
- 14) 土木研究所資料 1272号 大阪湾岸道路沈埋トンネルの地震応答解析 栗林栄一, 川島一彦, 柴田松雄 52年
- 15) 土木研究所資料 1312号 地中構造物の地震応答解析プログラム仕様書(その1)(その2) 栗林栄一, 川島一彦, 柴田松雄 52年
- 16) 土木研究所資料 1578号 換気塔を含めた沈埋トンネルの地震応答解析 栗林栄一, 上

田 治，羽立隆幸 54年

- 17) 土木研究所資料 1710号 地中構造物の地震応答解析プログラム (DAST-M) 仕様書 (その1) 上田 治, 干場良信, 羽立隆幸 56年
- 18) 土木研究所資料 1859号 沈埋トンネル可撓性継手の動的剛性の評価方法 岩崎敏男 大日方尚巳, 干場良信 57年
- 19) 沈埋トンネルの耐震性に関する調査研究報告書 (昭和46年, 47年, 48年度), 土木学会沈埋トンネル耐震設計研究委員会, 昭和47年3月, 昭和48年3月, 昭和49年3月,
- 20) 沈埋トンネル耐震設計指針 (案), 土木学会沈埋トンネル耐震設計研究委員会, 昭和50年3月
- 21) 新体系土木工学11.構造物の耐震解析 土岐憲三 1979.9
- 22) 港湾技研資料: ㍷307 Dec. 1978「海底パイプラインの耐震設計法の検討」 清宮 理
- 23) 応用土木振動学 (構造物の振動と耐震設計), 小堀為雄 1974.2

二質点系表層地盤モデルによる
沈埋トンネルの地震応答解析

ISSN 0386-5878
土研資料第1977号
昭58年3月(1983)
建設省土木研究所
耐震研究室

キーワード：沈埋トンネル，解析モデル，表層地盤

要 旨 沈埋トンネルの地震応答解析モデルにおいて表層地盤の二次せん断振動まで考慮したモデルの改良を行い，その計算値と既往モデルによる値を比較し改良モデルについて考察を行った。また換気塔モデルについても検討を行った。



郵便はがき

3 0 5 - □ □

四十円切手
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. 67

No. 67

配布先氏名

配布先住所



土木研究所資料第1977号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

印