



永久保存

I S S N 0386—5878

土木研究所資料第3537号

土 木 研 究 所 資 料

円形断面を有する免震地中構造物の
横断方向に対する免震効果とそのメカニズム

平成10年 1 月

建 設 省 土 木 研 究 所
耐震技術研究センター耐震研究室

Copyright ©(1998) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, 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、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

円形断面を有する免震地中構造物の 横断方向に対する免震効果とそのメカニズム



耐震技術研究センター 耐震研究室 室長 運上 茂樹
研究員 星隈 順一
交流研究員 村井 和彦*

要 旨

せん断弾性係数の小さな免震材料を構造物周囲に設置する地下構造物の免震工法では、地下構造物に発生する地震時増分断面力の低減効果は、周辺地盤と免震材料のせん断弾性係数の比に大きく影響を受け、このせん断弾性係数比が一般に1/100以下ならば有意な免震効果が得られることが主に静的な解析により明らかにされている。本文は、動的な免震効果や免震メカニズムを検討することを目的に、円形断面を有する免震地下構造物の横断方向を対象に、免震層のせん断弾性係数やポアソン比をパラメータとした2次元動的有限要素法解析を行い、免震層の物性値が免震効果に及ぼす影響を明らかにするとともに、免震構造のメカニズムについて考察した結果をまとめたものである。

キーワード： 円形断面免震地中構造物、横断方向、動的有限要素法解析
せん断弾性係数比、ポアソン比、免震効果、免震メカニズム

* 交流研究員在職期間（平成8年4月～平成10年3月）

目 次

1. はじめに	1
2. 解析条件	2
3. 解析結果および考察	7
(1) 構造物の加速度応答特性	7
(2) 構造物に発生する地震時増分断面力	13
(3) 地盤および免震層の応力とひずみ	26
(4) 構造物および免震層の変形	37
4. まとめ	40
謝 辞	42
参考文献	43

1. はじめに

一般に、地震時の地中構造物は、地震時の周辺地盤の変形に追従して変形する特徴があり、耐震性向上の目的で構造物の剛性を高めれば、地震時の増分断面力も大きくなってしまいうため合理的ではない場合もある。通常、地中構造物の耐震対策工法としては、可とう性継手や弾性ワッシャーの採用など柔構造化を図る方法の採用が一般的である。しかし、このような方法では、大地震時においては変形が生じるなど、地中構造物の要求性能によっては問題も生じる。これに対して、地盤と地中構造物本体との間に弾性係数の小さい免震層を介在させれば、地盤の変形がここで吸収され、免震層がない場合と比較して地震時増分断面力の低減が期待できるとともに、過度な変形も生じない。このような免震工法は、地中構造物の耐震性向上に対する有効な方法の1つであると考えられる。

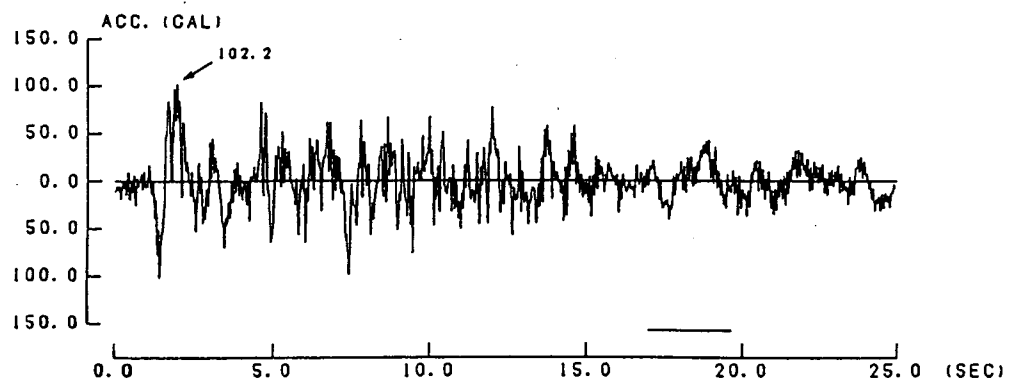
免震工法に関するこれまでの研究成果^{1) 2) 3)}では、周辺地盤と免震材のせん断弾性係数の比（以下せん断弾性係数比(G_m/G_g)と称する）が地下構造物の地震時増分断面力の低減効果（以下免震効果と称する）に大きな影響を与えることが、主に静的な解析により明らかにされている。また、このせん断弾性係数比が一般に1/100以下ならば有意な免震効果が得られることも明らかにされている。

本文は、動的な免震効果や免震メカニズムを検討することを目的に、円形断面を有する免震地中構造物の横断方向について、免震層のせん断弾性係数、ポアソン比、減衰定数をパラメータとした2次元動的有限要素法解析を行い、免震層の物性値が免震効果に及ぼす影響を明らかにするとともに、免震構造のメカニズムについて考察した結果をまとめたものである。

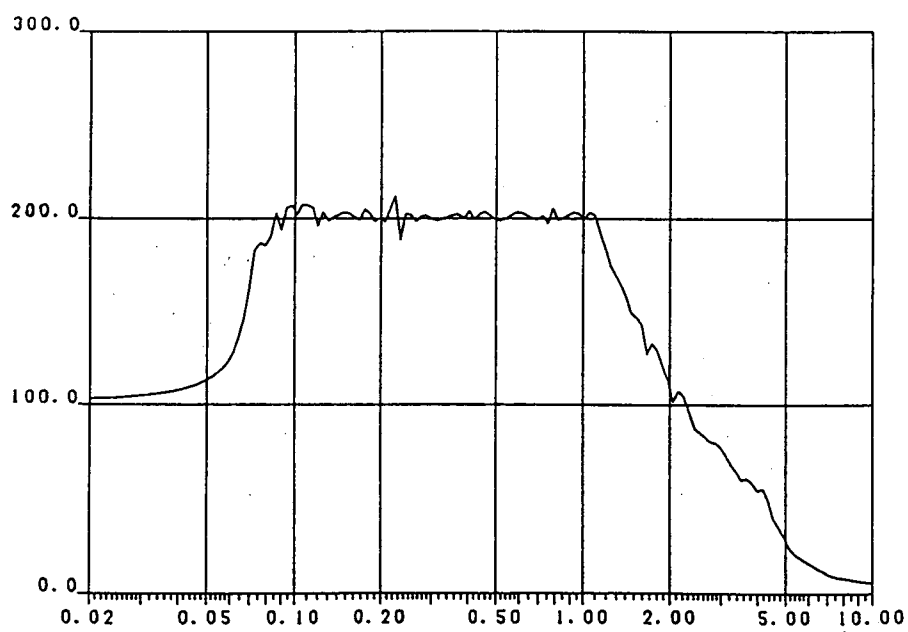
2. 解析条件

解析は、円形断面を有する地下構造物を対象に、周波数領域における複素応答法に基づく2次元動的有限要素法により行った。モデル化においては、構造物は梁要素、地盤及び免震層は平面ひずみ要素とし、境界条件としては、底面は粘性境界、側方はエネルギー伝達境界をそれぞれ用いた。表層地盤は均質な一層地盤とし、軟質地盤としてN値が3の沖積粘土層を、また、硬質地盤としてN値が20の洪積砂質土を、それぞれ想定した。また、地盤の非線形性は考慮せず、せん断剛性は地盤のせん断ひずみレベルによる補正係数0.8を考慮した上で、一定値とした。構造物は、トンネル外径は5.1mとし、厚さ22.5cmのコンクリートセグメントを想定して諸元を設定した。入力地震動としては、平成2年道路橋示方書・同解説V耐震設計編に示されている震度法に用いるI種地盤用標準波形を用い、これを底面粘性境界下端に入力波の2倍として入力した。解析において対象としたパラメータは、免震層のせん断弾性係数比、ポアソン比および減衰定数である。入力地震動の加速度時刻歴波形と加速度応答スペクトルを図-1に、解析メッシュ図を図-2に、モデル化の諸元並びに地盤と構造物の物性値を表-1~3に、免震層の物性値と解析ケースを表-4に、それぞれ示す。同表に示す解析ケースのうち、非免震の場合はケース①、ケース②をそれぞれ軟質地盤、硬質地盤を対象にした場合の基本ケースとした。また、免震の場合は、ケース④、ケース⑦をそれぞれ軟質地盤、硬質地盤を対象にした場合の基本ケースとした。解析結果の考察は、以下のケースを比較して行った。

- ・免震層のせん断弾性係数比の影響：ケース①~②およびケース③~⑧
- ・免震層のポアソン比の影響：ケース①~②、ケース④、ケース⑦およびケース⑨~⑩
- ・免震層の減衰定数の影響：ケース①~②、ケース④、ケース⑦およびケース⑪~⑬

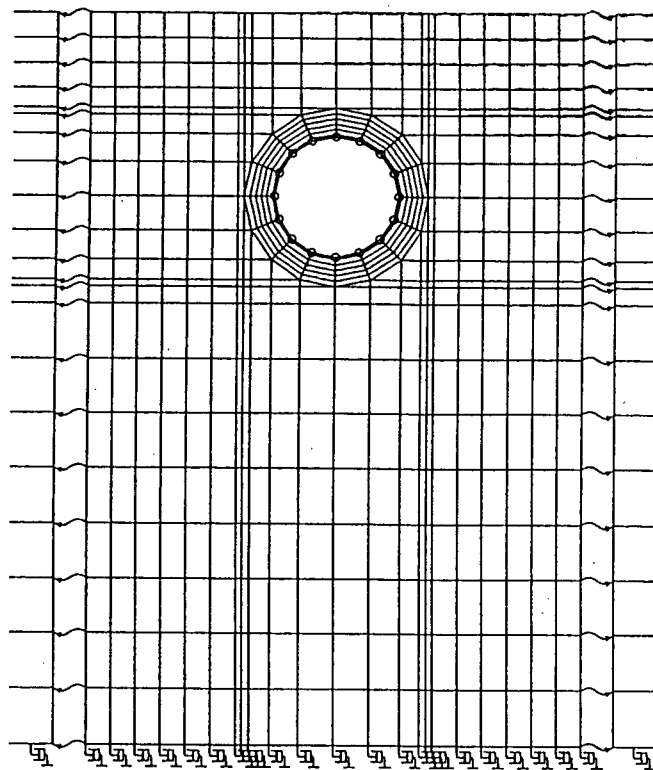


(a) 加速度時刻歴波形

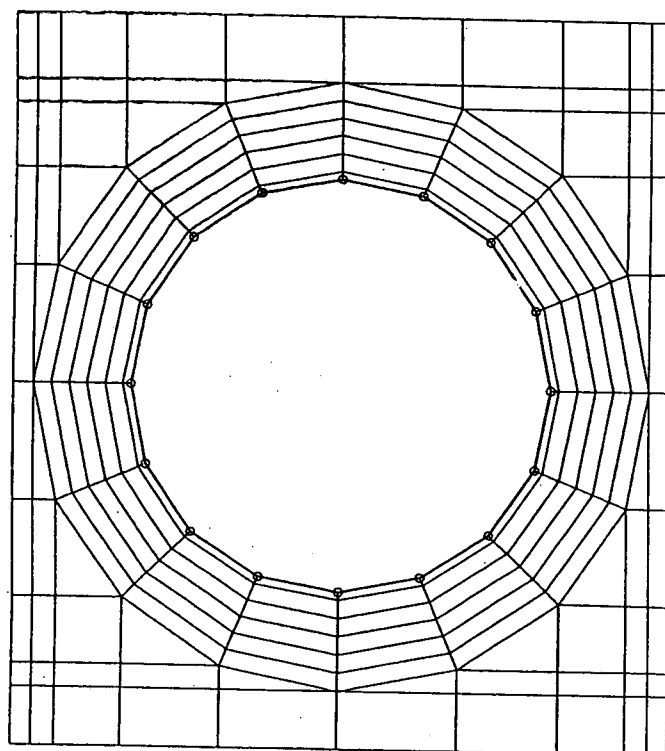


(b) 加速度応答スペクトル

図-1 入力地震動



(a) 全体図



(b) トンネル近傍拡大

図-2 解析メッシュ

表-1 モデル化諸元

幅	深さ	トンネル外径	土被り厚	免震層厚
20m	30m	5.1m	5.0m	10cm

表-2 地盤物性値

項 目	表層地盤		基盤層
	軟質地盤	硬質地盤	
せん断弾性係数 tf/m^2	2,160	5,560	18,370
単位体積重量 tf/m^3	1.6	1.8	2.0
せん断弾性波速度 m/s	115	174	300
ポアソン比	0.49	0.45	0.49
減衰定数	0.03	0.03	0.03

表-3 構造物物性値

弾性係数	単位体積重量	ポアソン比	減衰定数
2,600,000 t/m^2	2.5 t/m^3	0.167	0.03

表-4 解析ケースと免震層の物性値

CASE	対象表層地盤	免震層の物性値			
		せん断弾性係数	せん断弾性係数比	ポアソン比	減衰定数
①	軟質地盤	2160.0 t/m ²	1/1	0.49	0.03
②	硬質地盤	5560.0 t/m ²	1/1	0.45	0.03
③	軟質地盤	216.0 t/m ²	1/10	0.3	0.03
④	軟質地盤	21.6 t/m ²	1/100	0.3	0.03
⑤	軟質地盤	2.16 t/m ²	1/1000	0.3	0.03
⑥	硬質地盤	556.0 t/m ²	1/10	0.3	0.03
⑦	硬質地盤	55.6 t/m ²	1/100	0.3	0.03
⑧	硬質地盤	5.56 t/m ²	1/1000	0.3	0.03
⑨	軟質地盤	21.6 t/m ²	1/100	0.4	0.03
⑩	軟質地盤	21.6 t/m ²	1/100	0.49	0.03
⑪	軟質地盤	2.16 t/m ²	1/1000	0.4	0.03
⑫	軟質地盤	2.16 t/m ²	1/1000	0.49	0.03
⑬	硬質地盤	55.6 t/m ²	1/100	0.4	0.03
⑭	硬質地盤	55.6 t/m ²	1/100	0.49	0.03
⑮	硬質地盤	5.56 t/m ²	1/1000	0.4	0.03
⑯	硬質地盤	5.56 t/m ²	1/1000	0.49	0.03
⑰	軟質地盤	21.6 t/m ²	1/100	0.3	0.10
⑱	硬質地盤	55.6 t/m ²	1/100	0.3	0.10

※ 免震層の単位体積重量は、各ケースとも1.0t/m³とした。

3. 解析結果および考察

(1) 構造物の加速度応答特性

解析結果のうち、軟質地盤を対象とし、免震層のポアソン比が0.3、減衰定数が0.03の場合のせん断弾性係数比をパラメータにした入力地震動に対するトンネル天端の加速度伝達関数を、**図-3**に示す。また、同様に、硬質地盤を対象にしたトンネル天端の加速度伝達関数を、**図-4**に示す。これらより、軟質地盤では、せん断弾性係数比が1/10, 1/100の場合は6Hz程度以上の高周波数領域では非免震の場合と加速度伝達関数の差異が認められるが、6Hz以下の低周波数領域ではこのような差異は認められないことがわかる。なお、通常地震動の場合、地中構造物の地震時挙動の差異に及ぼす影響が大きいのは低振動数領域であることが多く、このような明確なピークを有さない高振動数領域の加速度伝達関数の増幅は、構造物の地震時挙動に及ぼす影響は小さい。これに対して、せん断弾性係数比が1/1000の場合は、低周波数領域においても2次以上の高次モードの卓越が認められ、構造物が独自に振動するモードが発生していることがわかる。また、硬質地盤の場合は、せん断弾性係数比が1/1000の場合では、軟質地盤の場合と同様に高次モードの卓越が認められるが、せん断弾性係数比が1/10, 1/100の場合は非免震の場合と加速度伝達関数の差異は認められない。

軟質地盤、硬質地盤を対象とし、免震層のせん断弾性係数比が1/100、減衰定数が0.03の場合のポアソン比をパラメータにした入力地震動に対するトンネル天端の加速度伝達関数を、**図-5**、**図-6**にそれぞれ示す。これらより、せん断弾性係数比が1/100の場合は、両地盤とも6Hz以下の低周波数領域ではポアソン比による加速度伝達関数の差異が認められないことがわかる。6Hz以上の高周波数領域では軟質地盤の場合にポアソン比による伝達関数の増幅が認められ、ポアソン比が小さいほど非免震の場合に対する増幅率は大きい結果となっている。これに対して、硬質地盤の場合は、このような傾向は顕著ではない。しかし、両地盤ともに、免震層のポアソン比によらず2次以上の高次モードの顕著な卓越は認められない。

同様に、免震層のせん断弾性係数比が1/1000の場合について、軟質地盤、硬質地盤を対象とし、ポアソン比をパラメータにした入力地震動に対するトンネル天端の加速度伝達関数を、**図-7**、**図-8**にそれぞれ示す。これらより、せん断弾性係数比が1/1000の場合では、両地盤ともにポアソン比に応じて卓越する2次以上の高次の周波数が異なり、ポアソン比が構造物の応答に及ぼす影響が顕著であるとともに、非免震の場合とは全く異なる振動特性を示すことがわかる。

さらに、軟質地盤、硬質地盤を対象に、免震層のせん断弾性係数が1/100、ポアソン比が0.3の場合の、減衰定数をパラメータにした入力地震動に対するトンネル天端の加速度伝達関数を、**図-9**、**図-10**にそれぞれ示す。これらより、両地盤とも6Hz以下の低周波数領域では減衰定数による加速度伝達関数の差異が認められないことがわかる。6Hz以上の高周波数領域では軟質地盤の場合に減衰定数による加速度伝達関数の差異が認められ、減衰定数

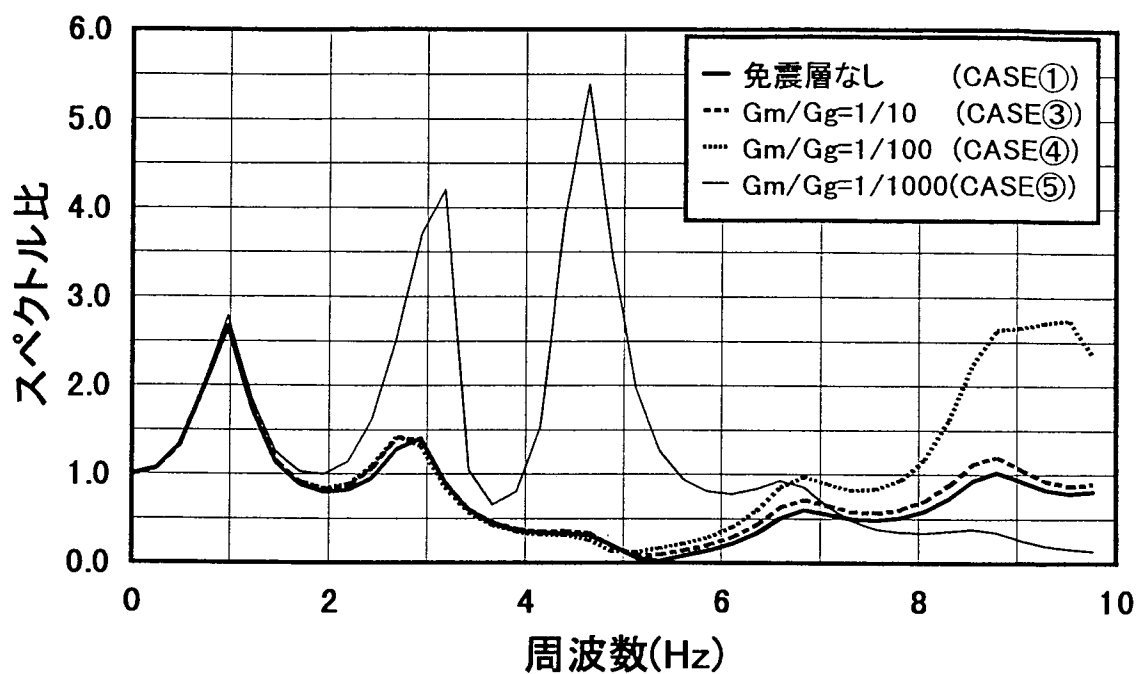


図-3 免震層のせん断弾性係数比が伝達関数に及ぼす影響（軟質地盤）

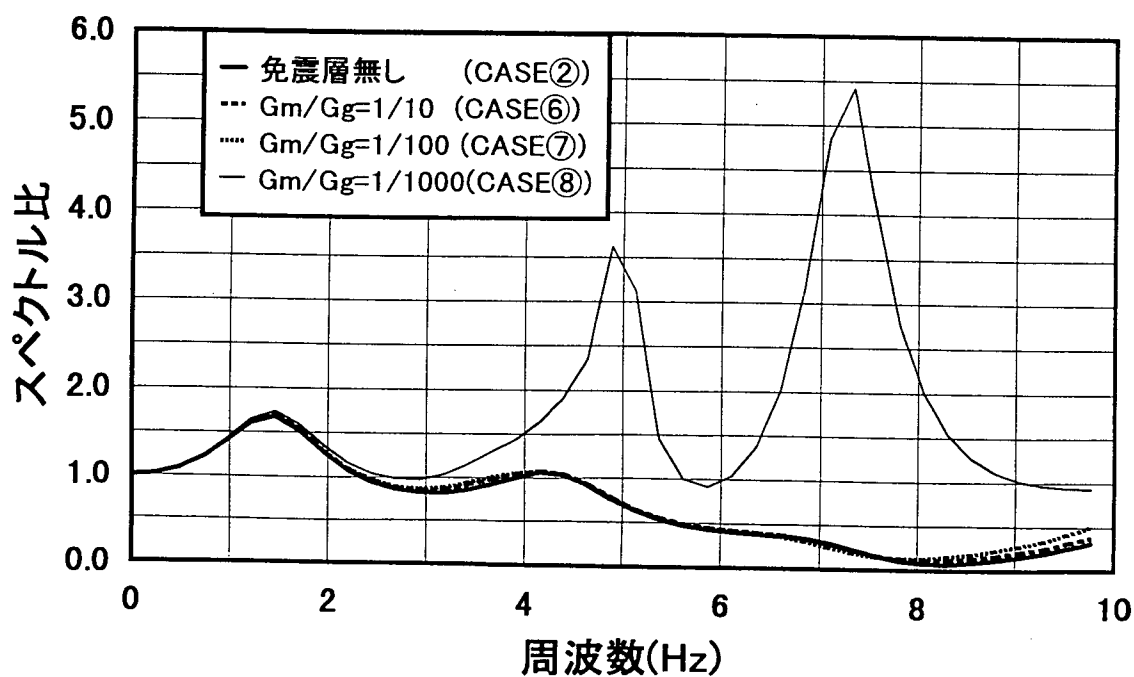


図-4 免震層のせん断弾性係数比が伝達関数に及ぼす影響（硬質地盤）

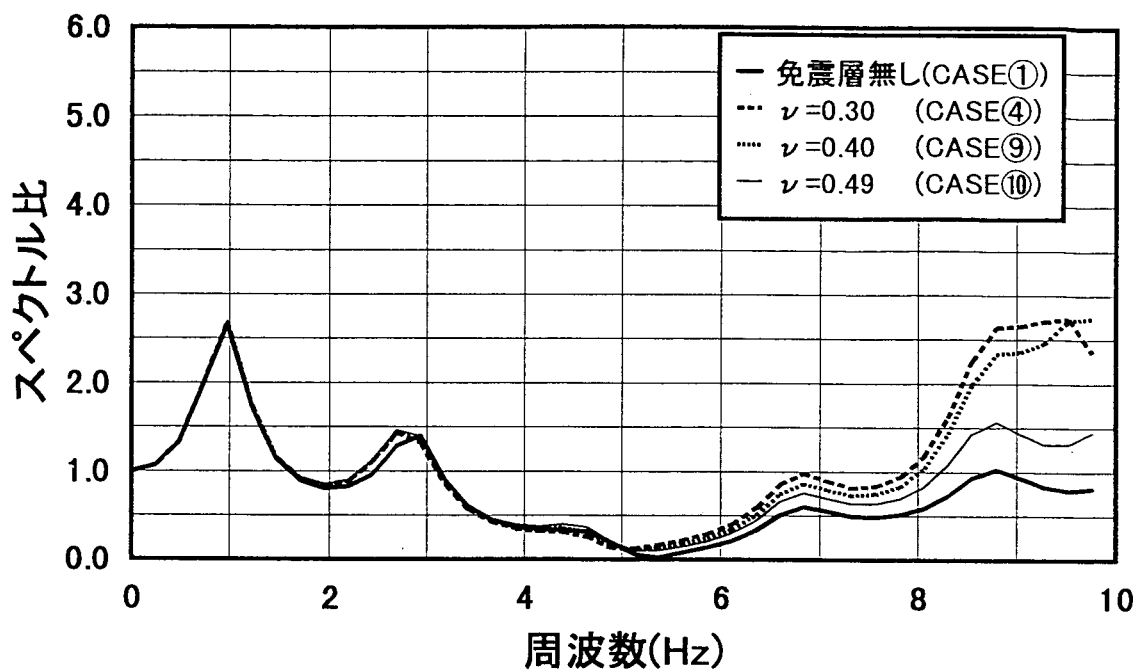


図-5 免震層のポアソン比が伝達関数に及ぼす影響（軟質地盤，せん断弾性係数比1/100）

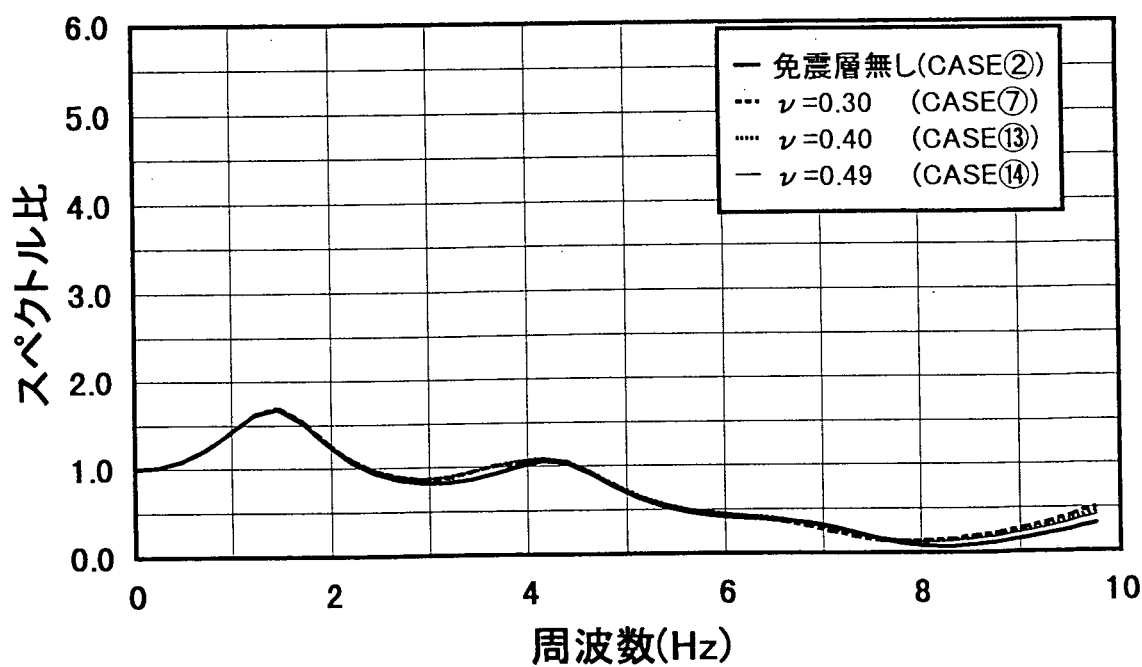


図-6 免震層のポアソン比が伝達関数に及ぼす影響（硬質地盤，せん断弾性係数比1/100）

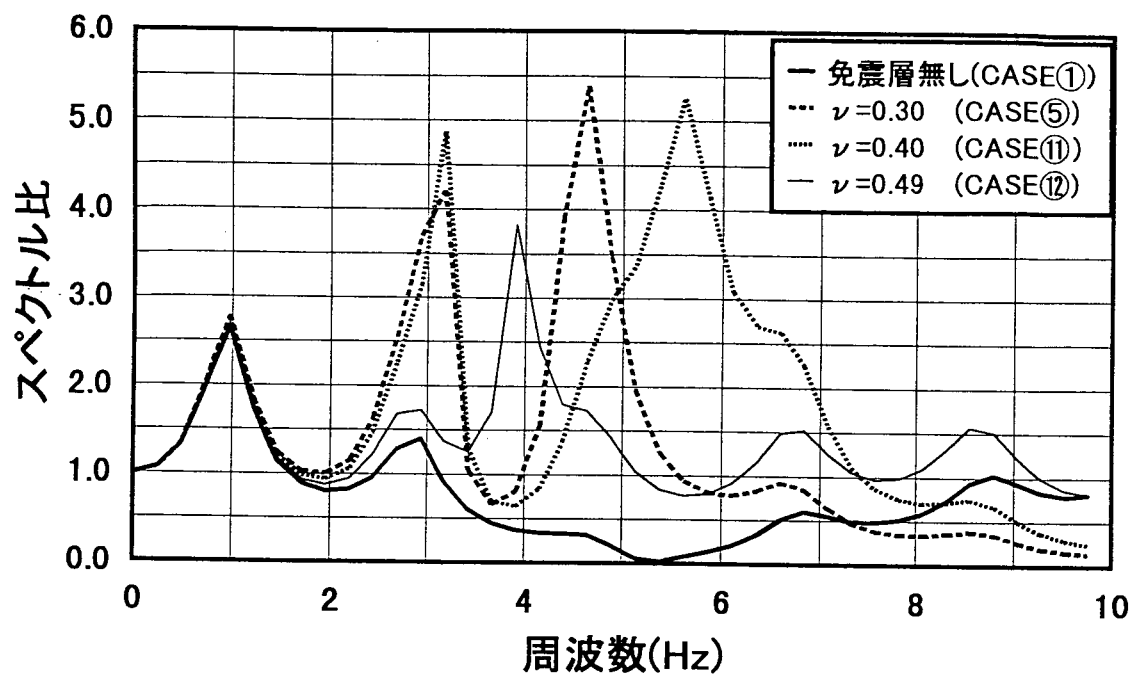


図-7 免震層のポアソン比が伝達関数に及ぼす影響（軟質地盤，せん断弾性係数比1/1000）

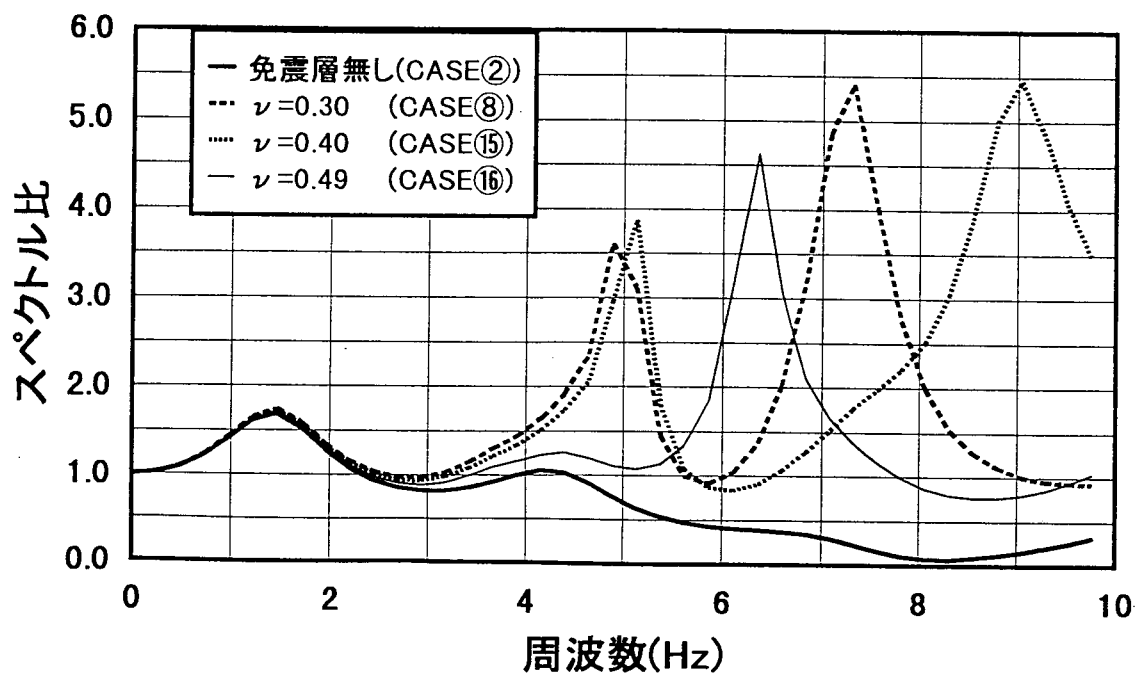


図-8 免震層のポアソン比が伝達関数に及ぼす影響（硬質地盤，せん断弾性係数比1/1000）

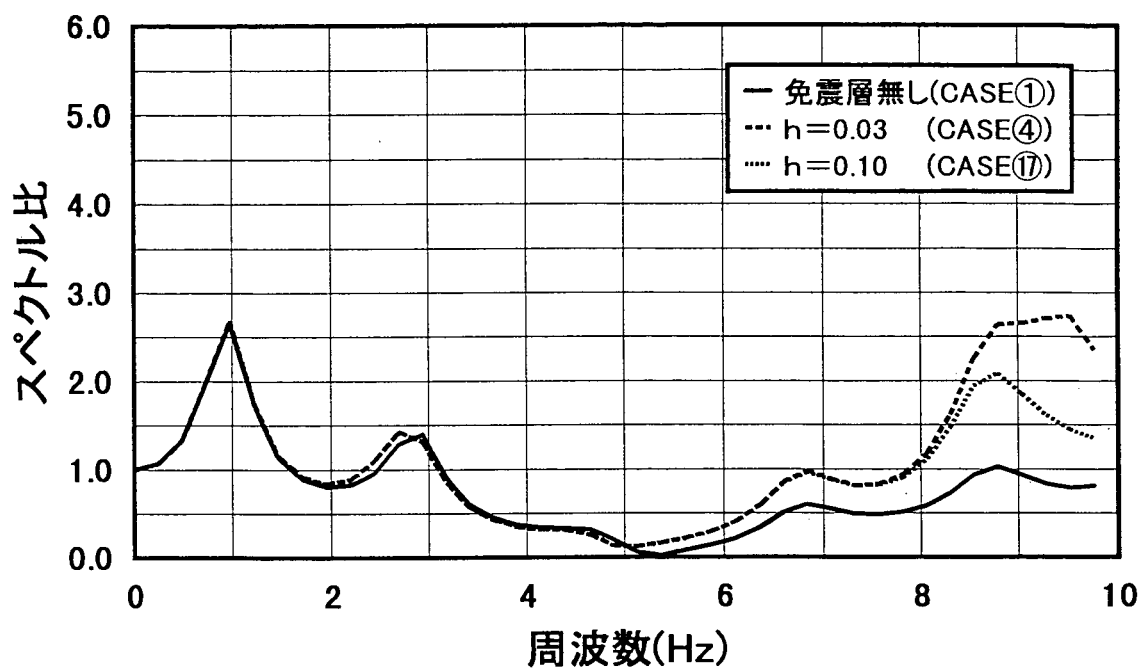


図-9 免震層の減衰定数が伝達関数に及ぼす影響（軟質地盤）

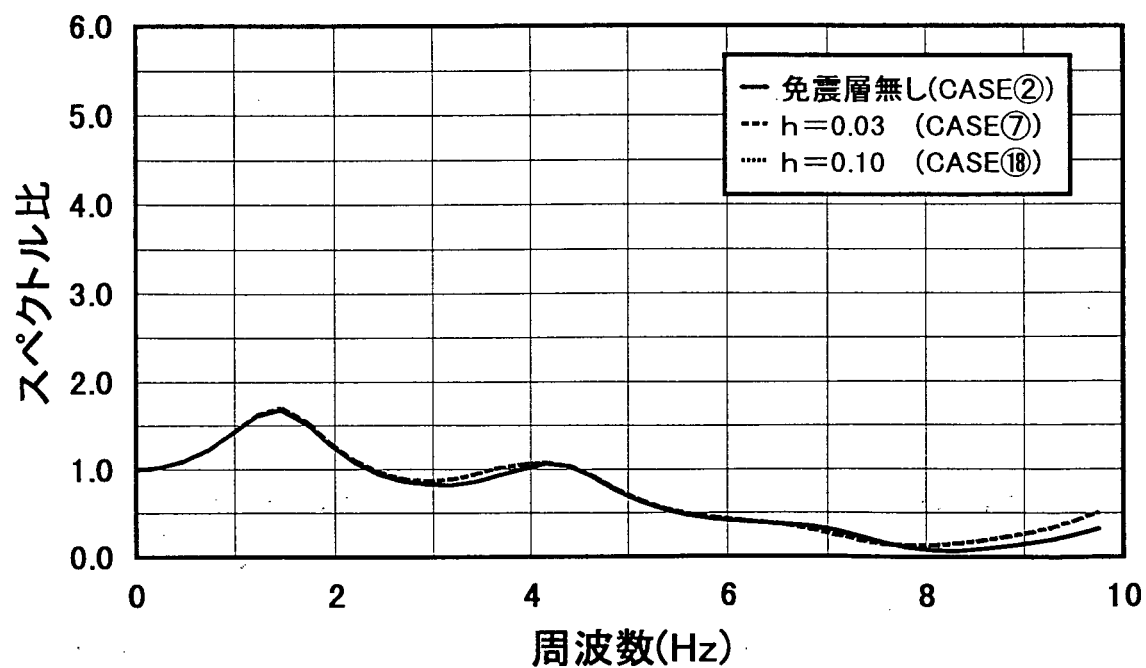


図-10 免震層の減衰定数が伝達関数に及ぼす影響（硬質地盤）

が小さいほどその増幅率は大きい結果となっている。これに対して、硬質地盤の場合は、このような傾向は認められない。しかし、両地盤ともに、免震層の減衰定数によらず2次以上の高次モードの顕著な卓越は認められない。

以上の結果より、免震地中構造物の地震時応答は、免震層のせん断弾性係数比が1/100程度までであれば、地盤が軟質な場合には高周波数領域で非免震の場合と比較べて増幅が生じるものの、免震層のポアソン比や減衰定数が構造物の地震時挙動に及ぼす影響は小さく、通常の地中構造物の場合と同様に地盤の挙動に追随するものと考えられる。一方、せん断弾性係数比が1/1000程度の場合は、2次以上の高次のモードが卓越し、構造物の振動は非免震の場合と大きく異なり、地盤の挙動に関係しない構造物独自の振動モードが発生するものと考えられる。

なお、構造物の側部、下端に着目した加速度伝達関数についても、上述した天端に着目した加速度伝達関数と同様の傾向を示している。

(2)構造物に発生する地震時増分断面力

図-11、図-12は、軟質地盤、硬質地盤それぞれを対象とし、免震層のポアソン比が0.3、減衰定数が0.03の場合について、構造物に発生する地震時増分曲げモーメント、軸力、せん断力の構造物各位置における最大値分布を、せん断弾性係数比をパラメータにして示したものである。ここで、横軸の構造物位置とは、断面力算出位置を構造物天端を始点に時計回りの角度で表現したものであり、図では構造物の対象性を考慮して右半分のみを示した。これらより、軸力については、せん断弾性係数比が1/10の場合でも顕著な免震効果が認められることがわかる。また、せん断弾性係数比を1/100以下にした場合は、免震効果はさらに顕著となっている。これに対して、曲げモーメント、せん断力については、せん断弾性係数が1/10の場合は非免震の場合と比較して若干大きな値を示しており、1/100としても免震効果は顕著とはならないが、1/1000まで小さくすると顕著な免震効果が現れることとなる。

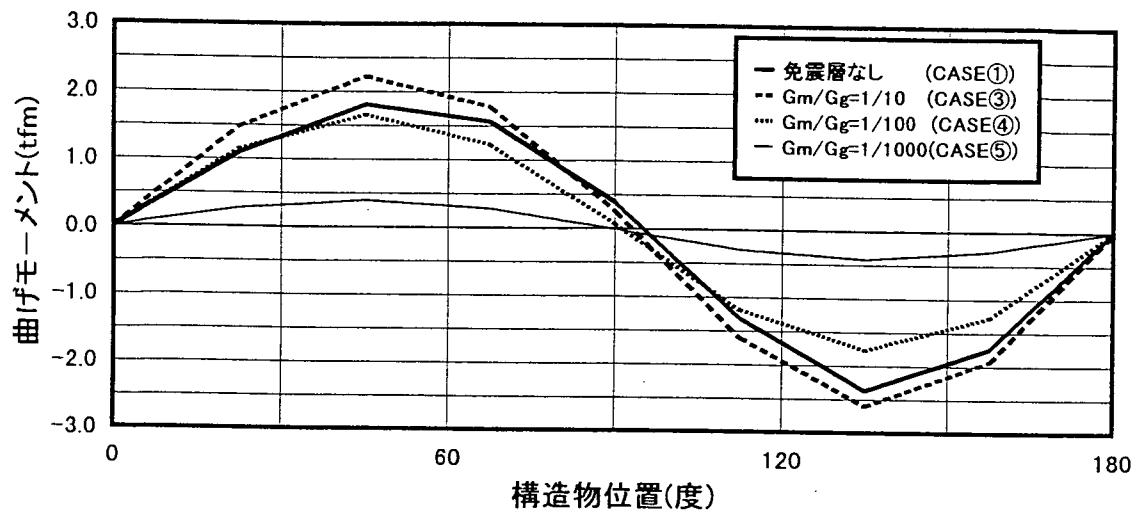
図-13、図-14は、免震層のせん断弾性係数比が1/100、減衰定数が0.03の場合について、同じく地震時増分曲げモーメント、軸力、せん断力の各位置における最大値分布を、免震層のポアソン比をパラメータにして示したものである。免震層のせん断弾性係数比が1/100の場合は、軸力については、免震層のポアソン比が免震効果に及ぼす影響は小さく、地盤条件やポアソン比によらず免震効果が顕著であるのに対して、曲げモーメントとせん断力については、免震層のポアソン比が免震効果に及ぼす影響が若干認められ、ポアソン比が小さいほど免震効果が大きい傾向となっている。また、ポアソン比が0.49の場合では、非免震の場合と比較して若干大きな値を示している。

図-15、図-16は、免震層のせん断弾性係数比が1/1000、減衰定数が0.03の場合について、同じく地震時増分曲げモーメント、軸力、せん断力の各位置における最大値分布を、免震層のポアソン比をパラメータにして示したものである。軸力については、せん断弾性係数が1/100の場合と同様に、免震層のポアソン比が免震効果に及ぼす影響は小さいのに対して、曲げモーメントとせん断力については、免震層のポアソン比が免震効果に及ぼす影響が顕著に認められるようになり、ポアソン比が0.49の場合は低減効果が小さいのに対して、ポアソン比が0.4以下になると顕著な影響が現れることがわかる。

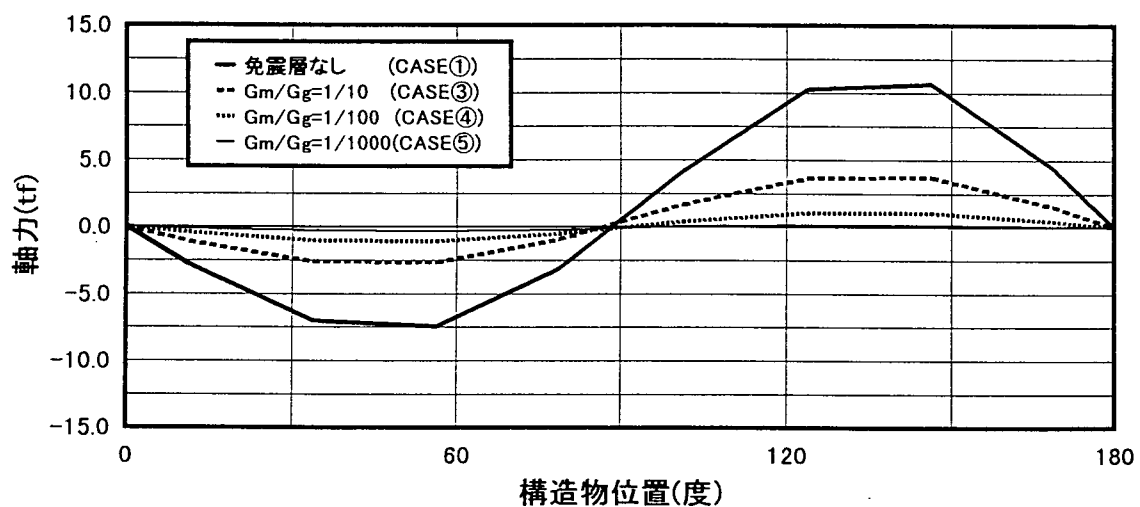
図-17、図-18は、免震層のせん断弾性係数比が1/100、ポアソン比を0.3の場合について、同じく地震時増分曲げモーメント、軸力、せん断力の各位置における最大値分布を、免震層の減衰定数をパラメータにしてそれぞれ示したものである。これらより、免震層の減衰定数が免震効果に及ぼす影響は認められないことがわかる。

なお、表-5には、免震効果を現す指標として、非免震の場合における最大地震時増分断面力と免震の場合の各ケースにおける最大地震時増分断面力との比（以下断面力低減率と定義する）を示した。また、図-19、図-20、図-21、図-22には、検討の対象とした免震層の物性値が断面力低減率に及ぼす影響を示した。

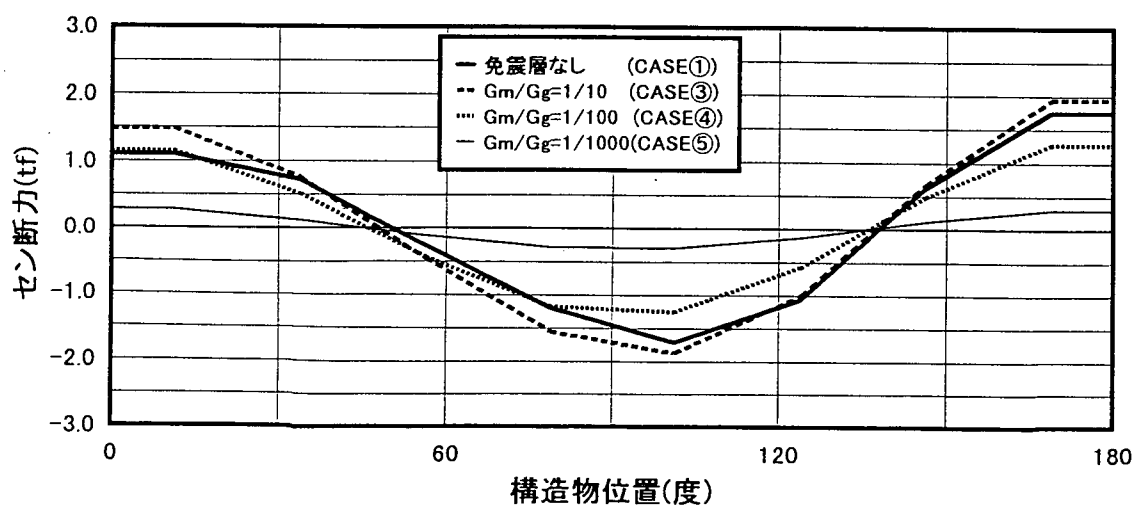
これらの解析結果より、今回の解析条件では、円形断面を有する地中構造物横断方向の軸力の免震効果は、免震層のせん断弾性係数比が1/10でも顕著であり、免震層のポアソン



(a) 曲げモーメント

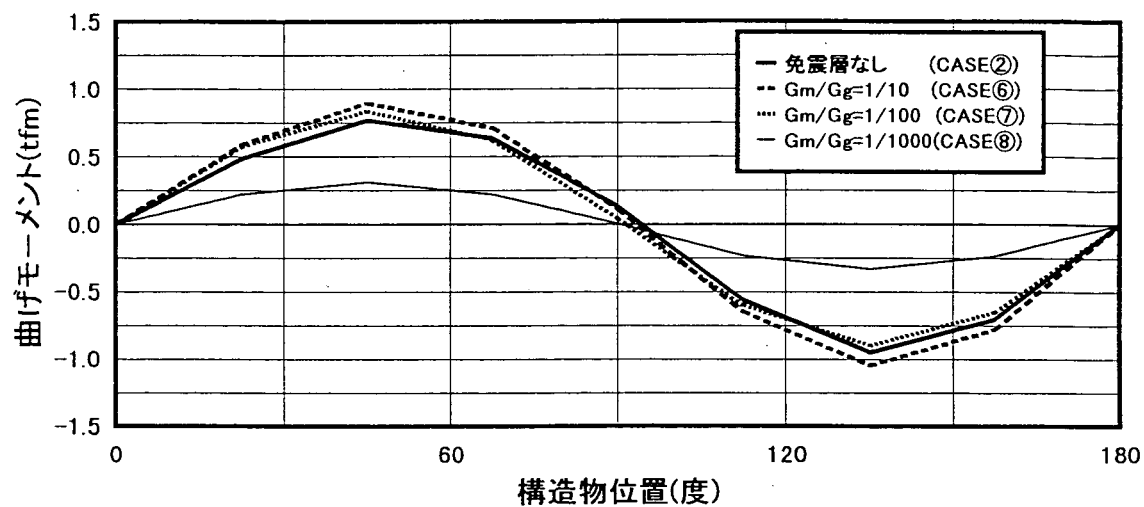


(b) 軸力

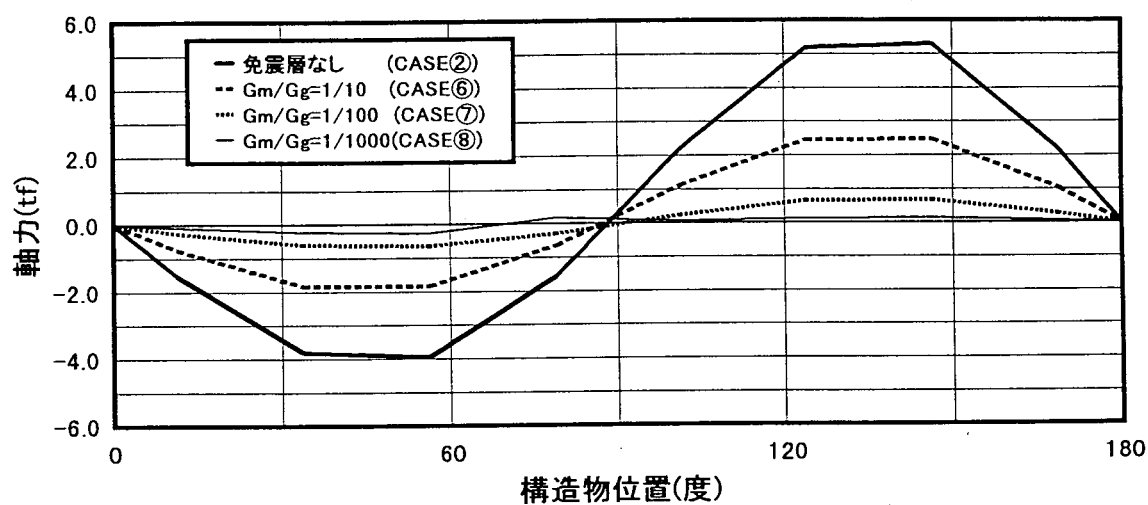


(c) セン断力

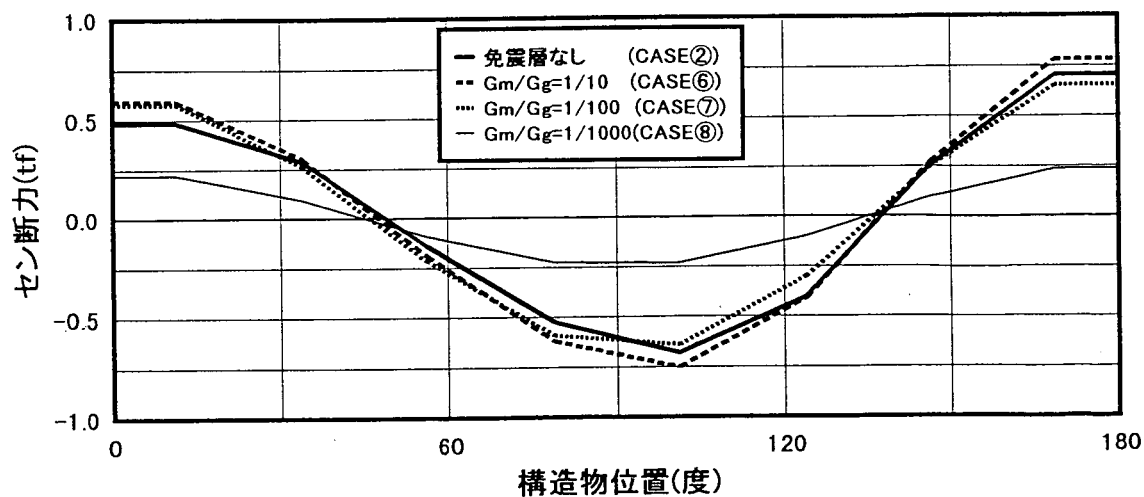
図-11 免震層のせん断弾性係数比が地震時増分断面力に及ぼす影響（軟質地盤）



(a)曲げモーメント

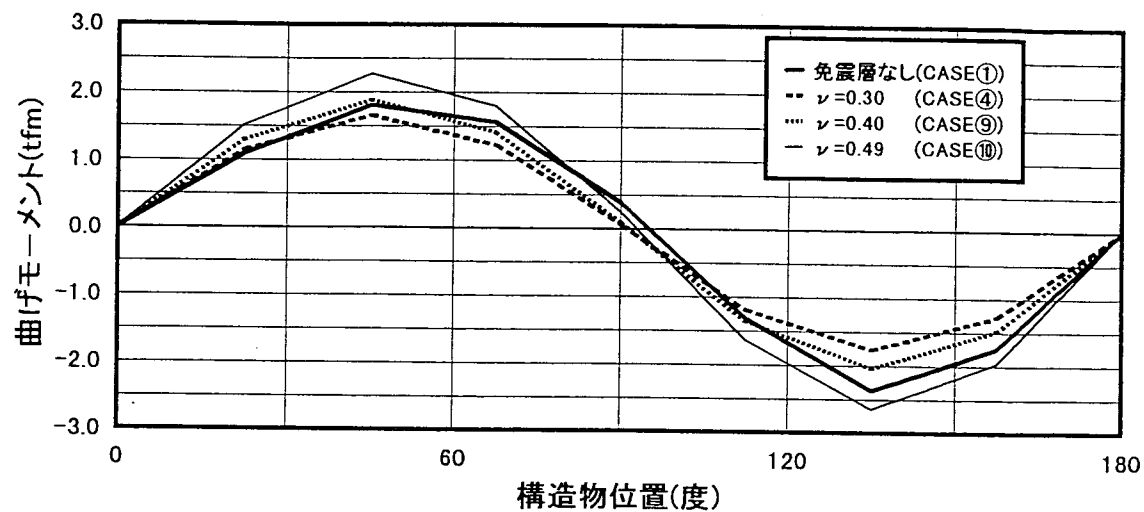


(b)軸力

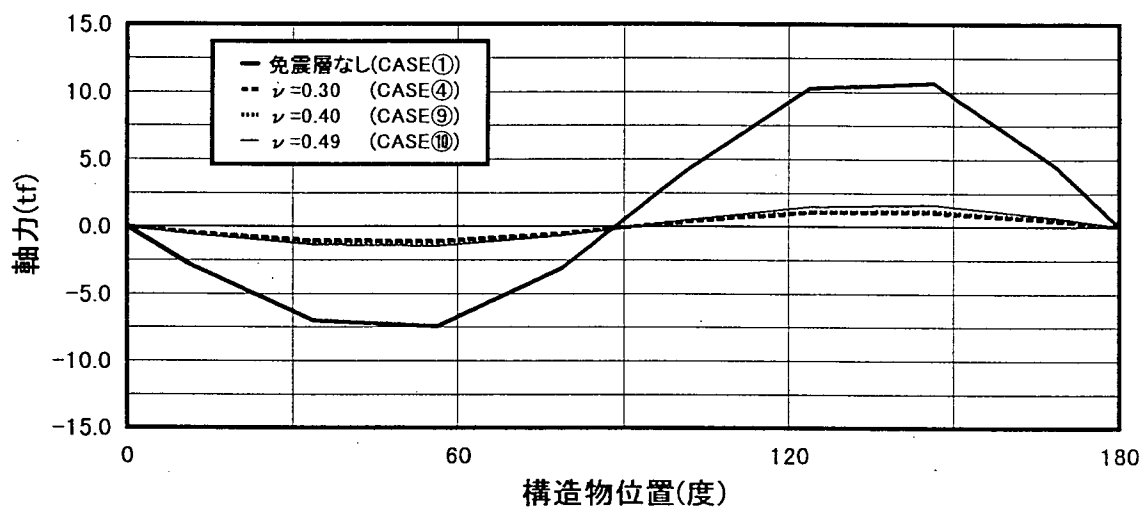


(c)せん断力

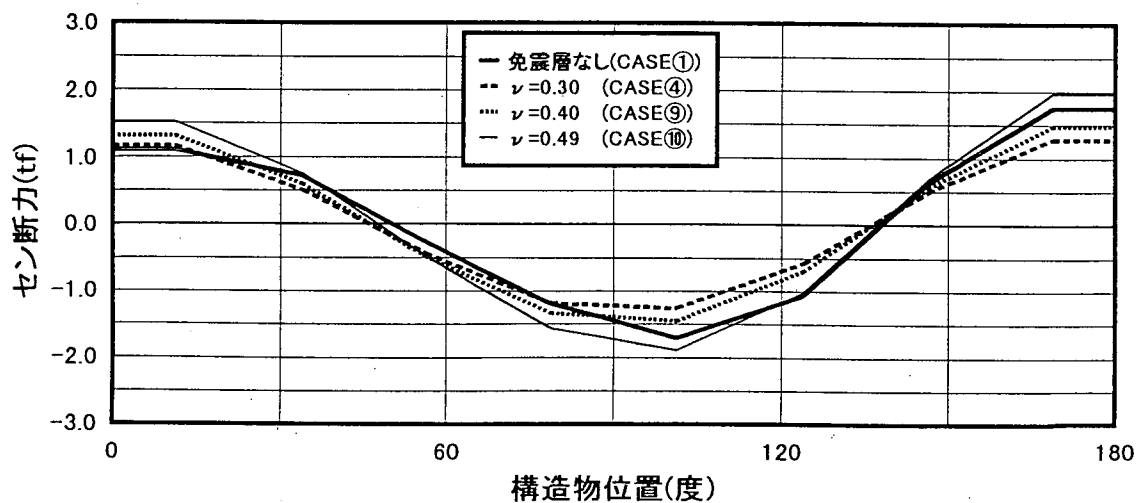
図-12 免震層のせん断弾性係数比が地震時増分断面力に及ぼす影響 (硬質地盤)



(a) 曲げモーメント

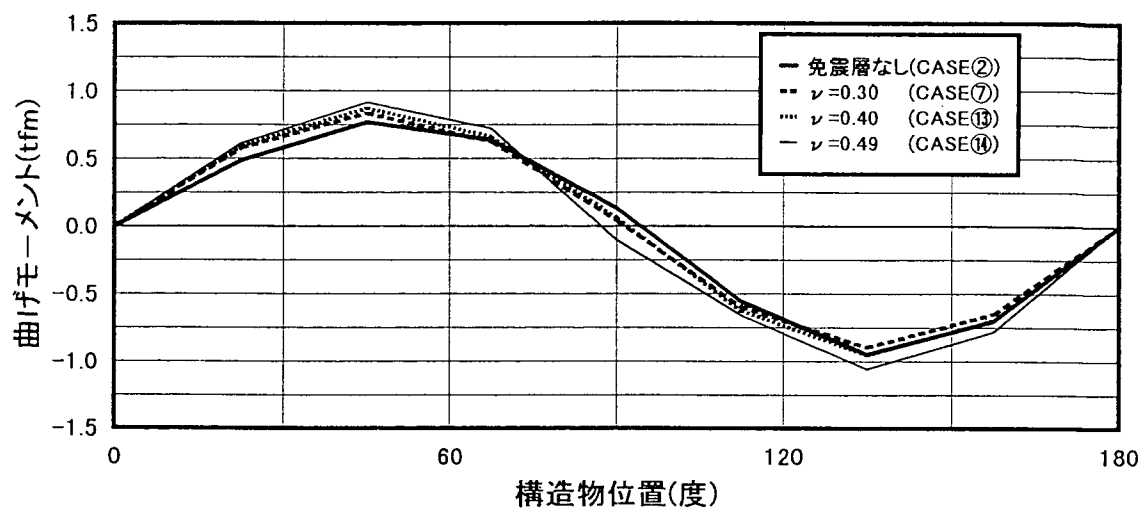


(b) 軸力

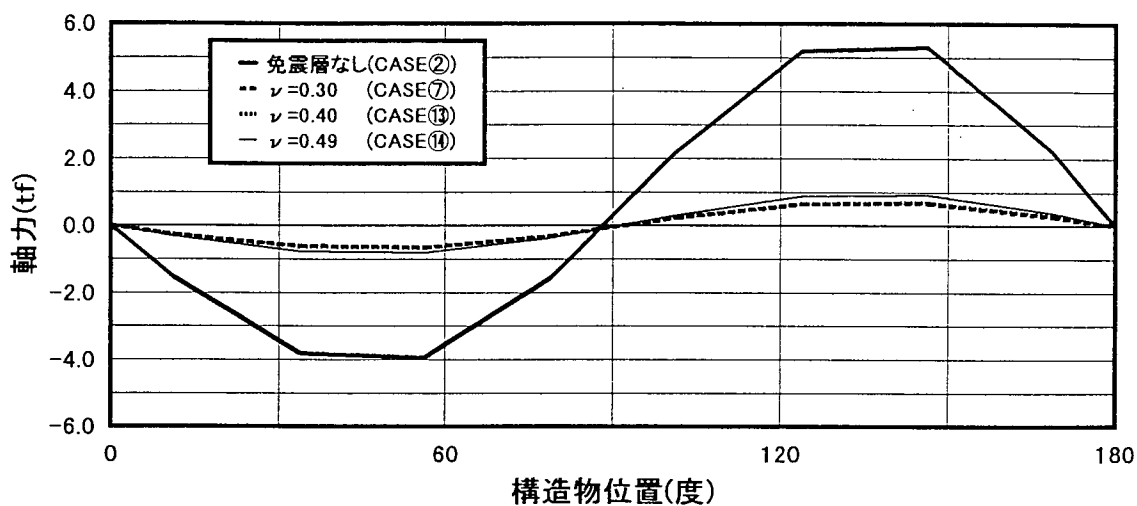


(c) セン断力

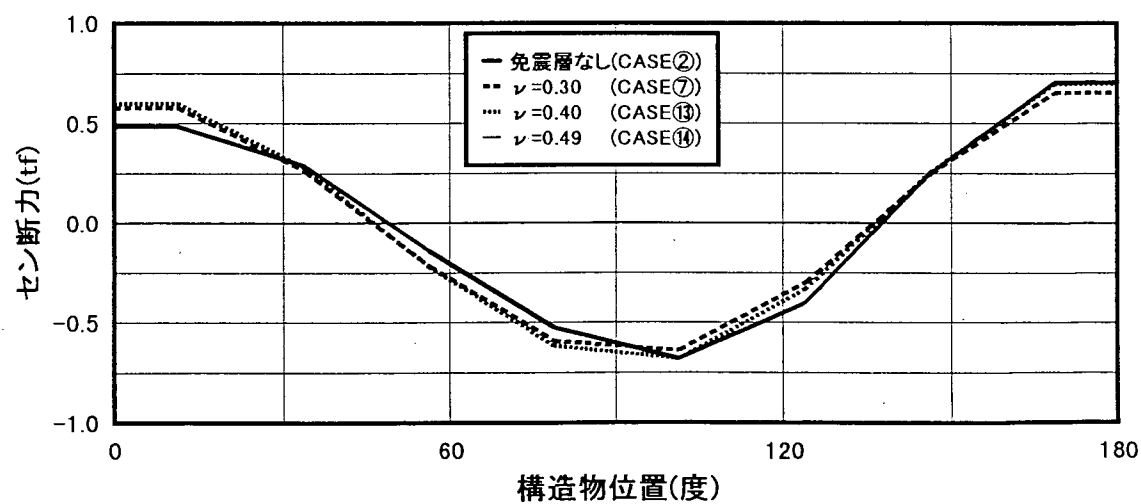
図-13 免震層のせん断弾性係数比が地震時増分断面力に及ぼす影響
(軟質地盤、せん断弾性係数比1/100)



(a)曲げモーメント



(b)軸力



(c)せん断力

図-14 免震層のせん断弾性係数比が地震時増分断面力に及ぼす影響
 (硬質地盤、せん断弾性係数比1/100)

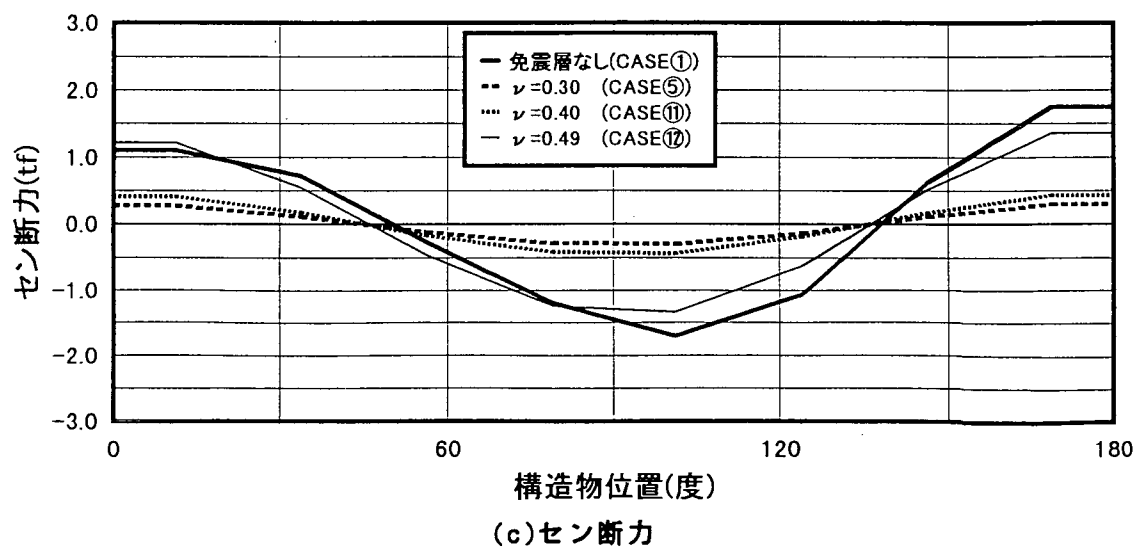
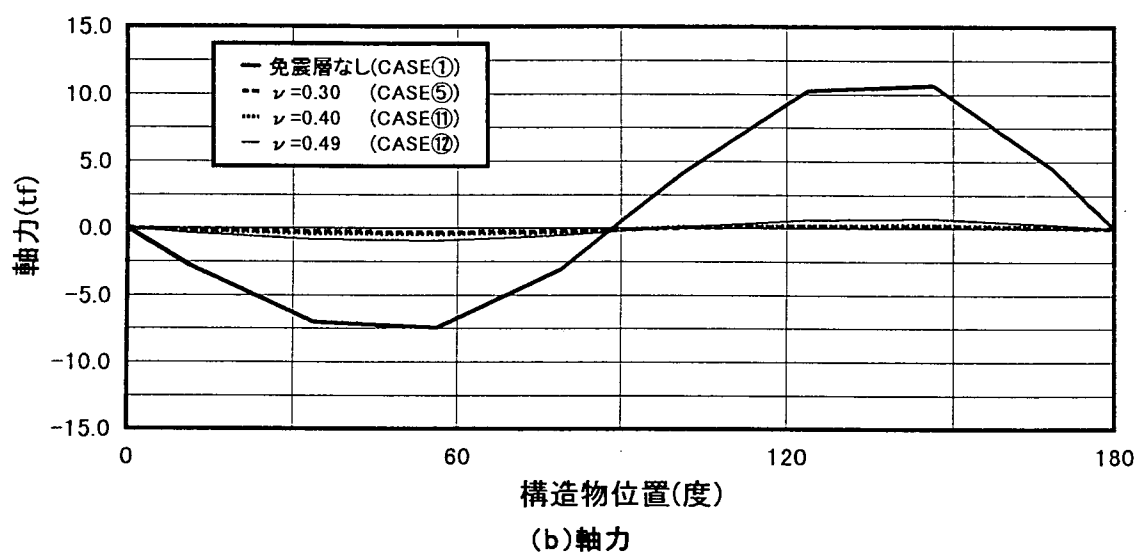
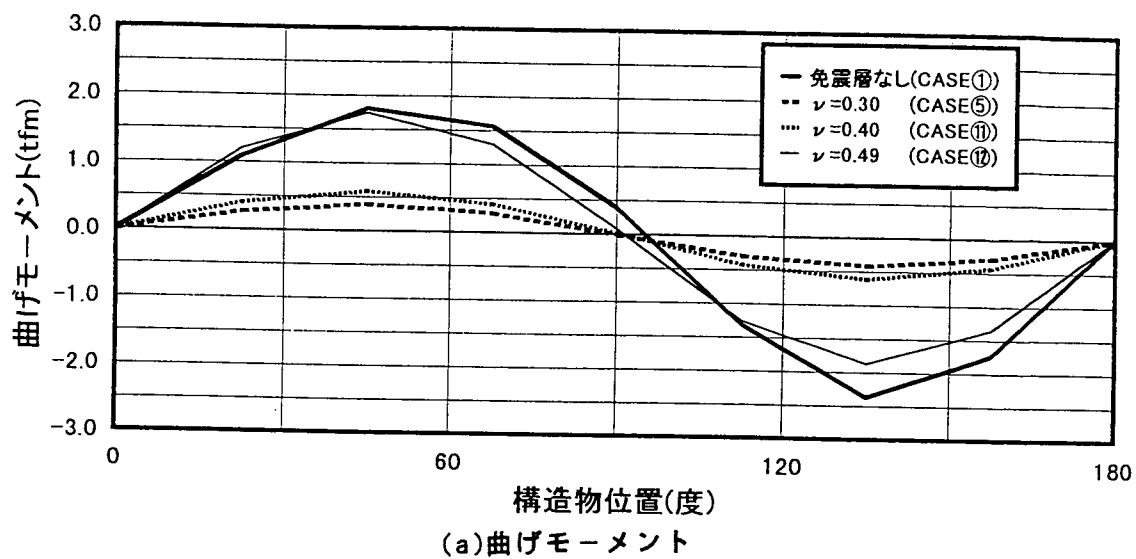
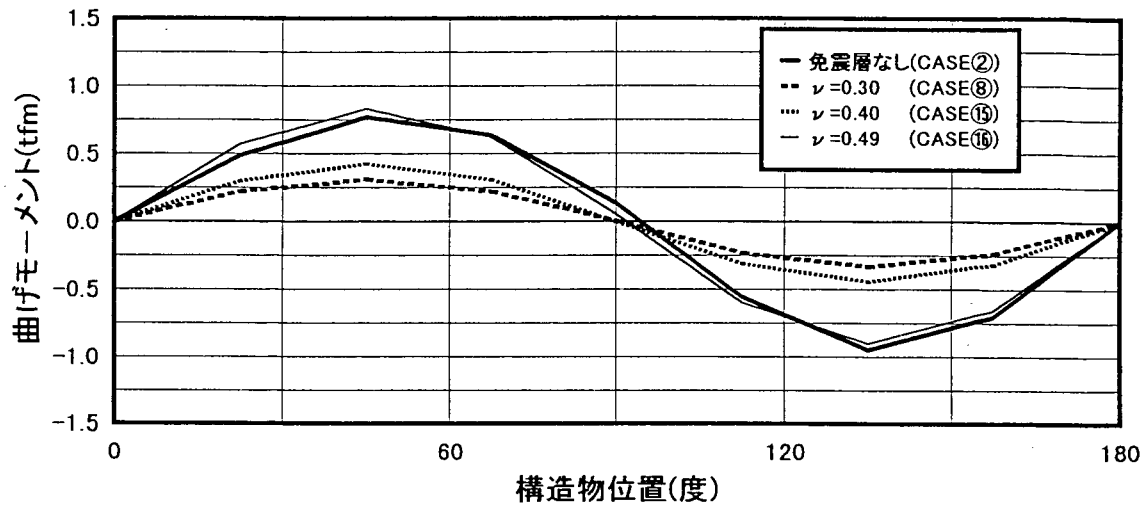
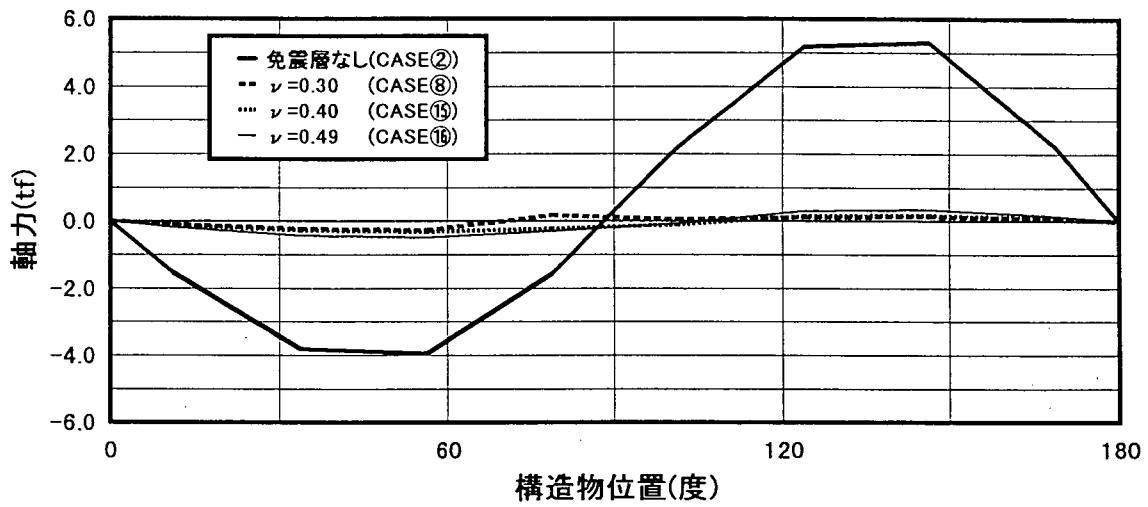


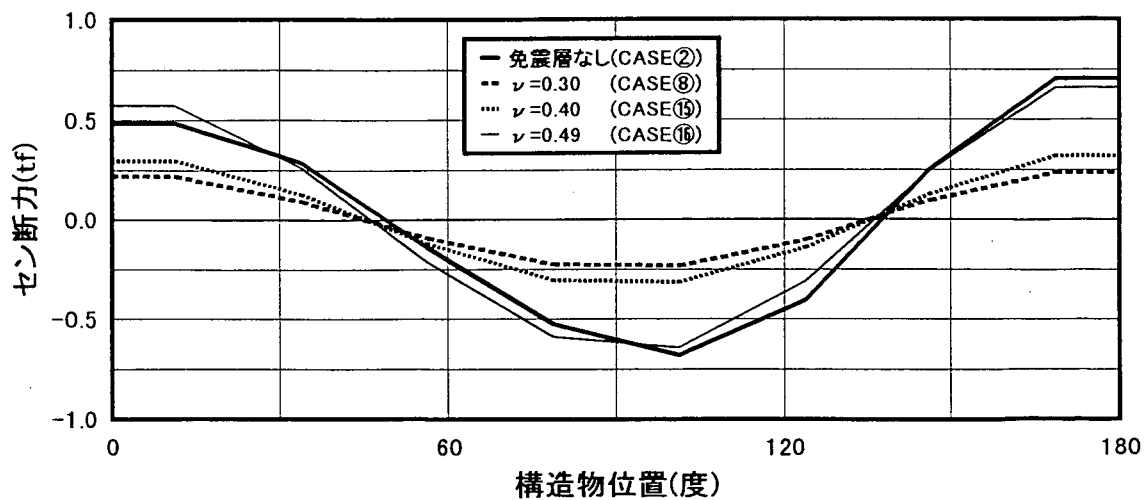
図-15 免震層のせん断弾性係数比が地震時増分断面力に及ぼす影響
(軟質地盤、せん断弾性係数比1/1000)



(a)曲げモーメント

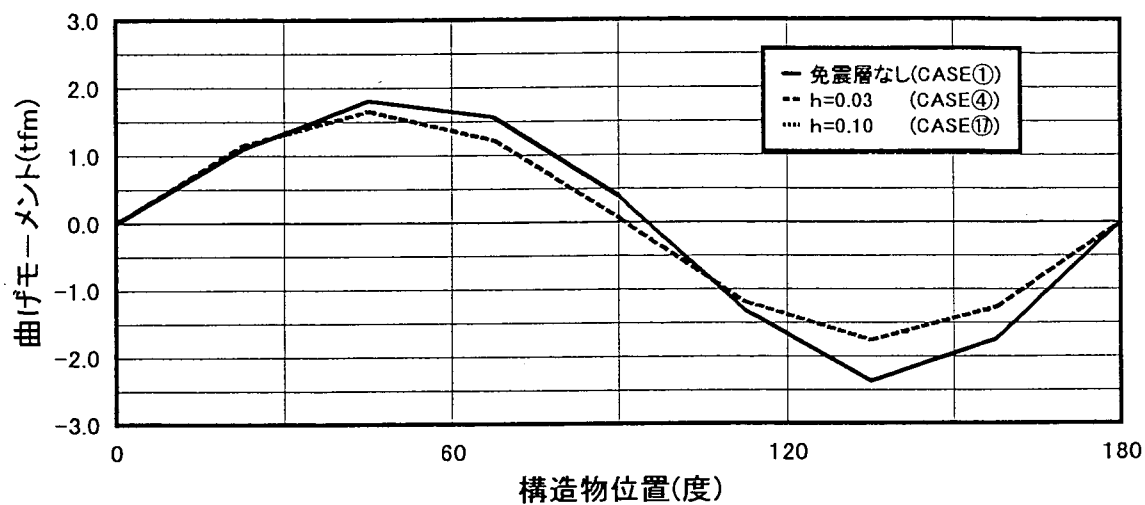


(b)軸力

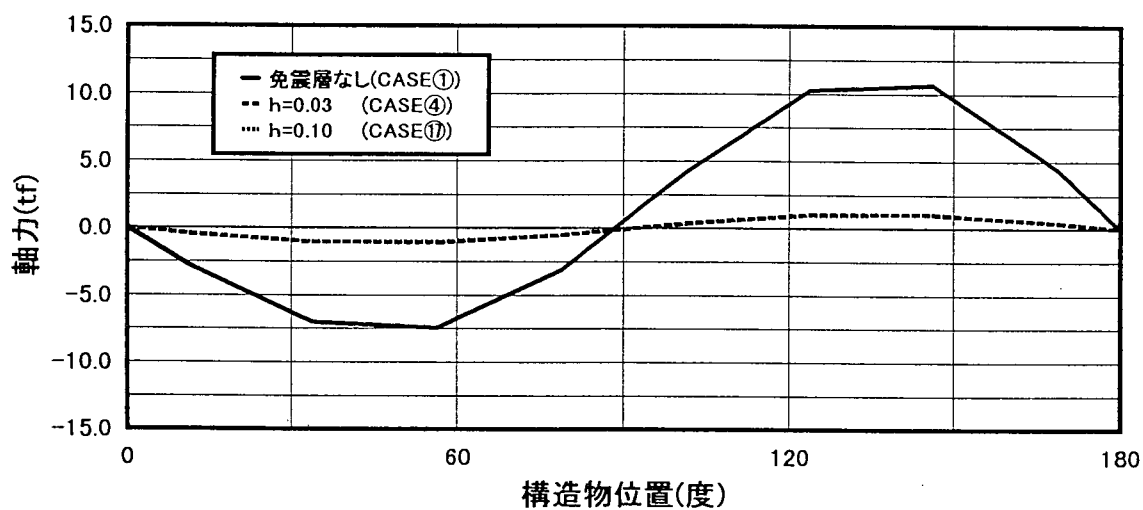


(c)せん断力

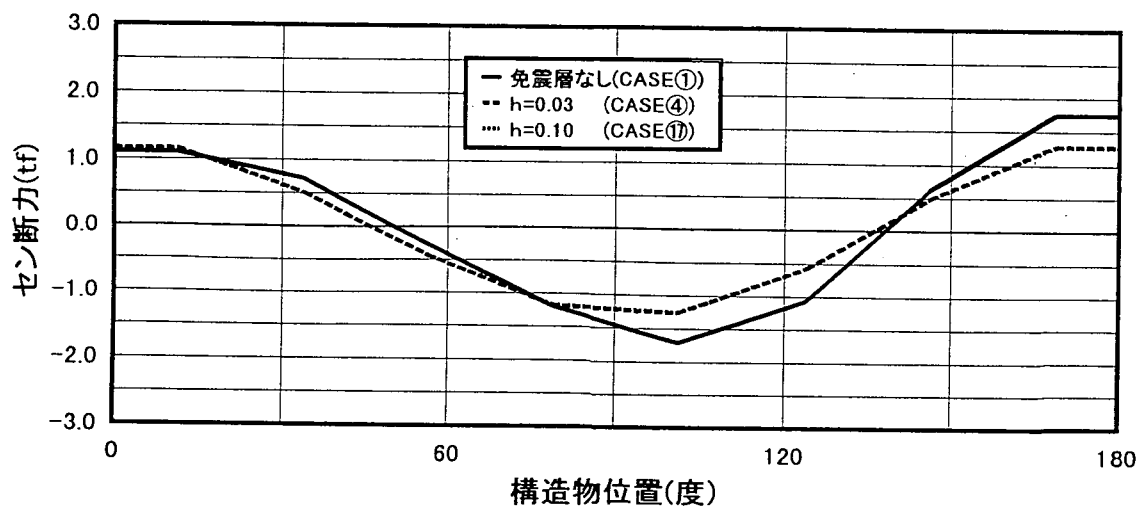
図-16 免震層のポアソン比が地震時増分断面力に及ぼす影響
 (硬質地盤、せん断弾性係数比1/1000)



(a) 曲げモーメント



(b) 軸力



(c) セン断力

図-17 免震層の減衰定数が地震時増分断面力に及ぼす影響 (軟質地盤)

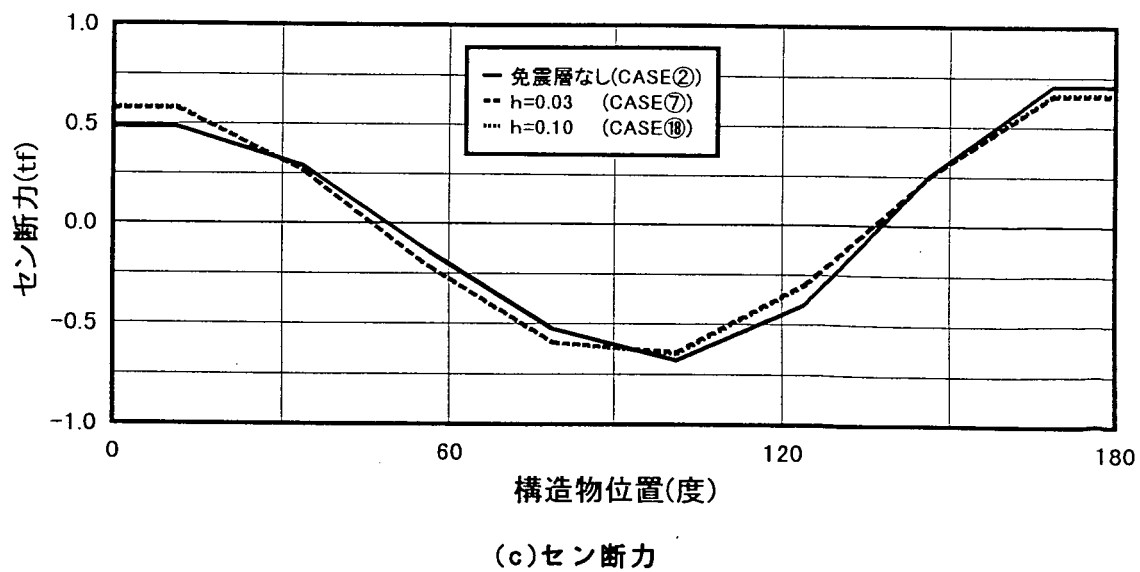
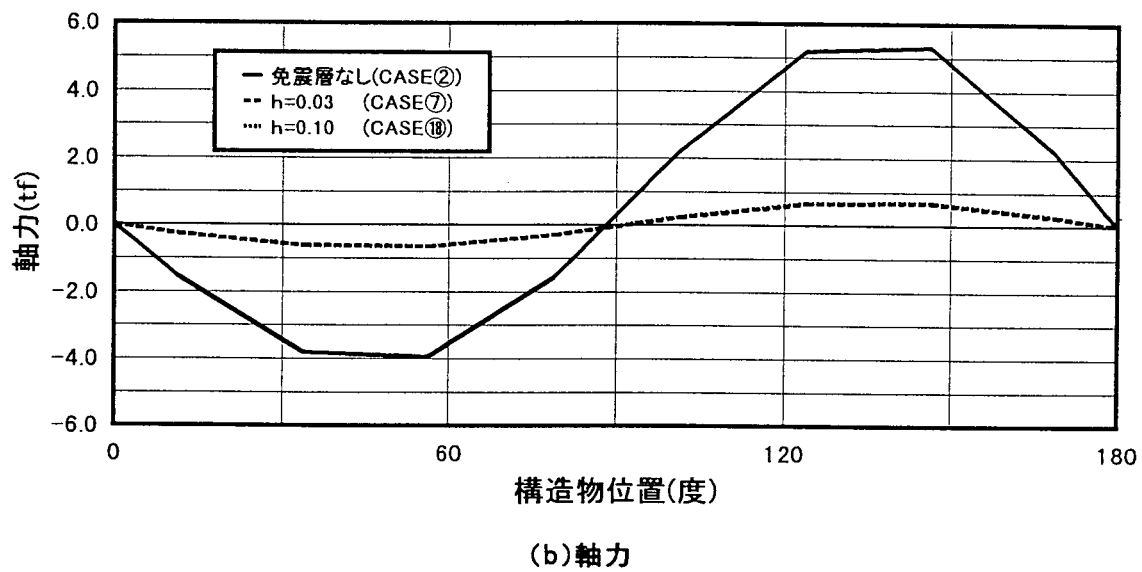
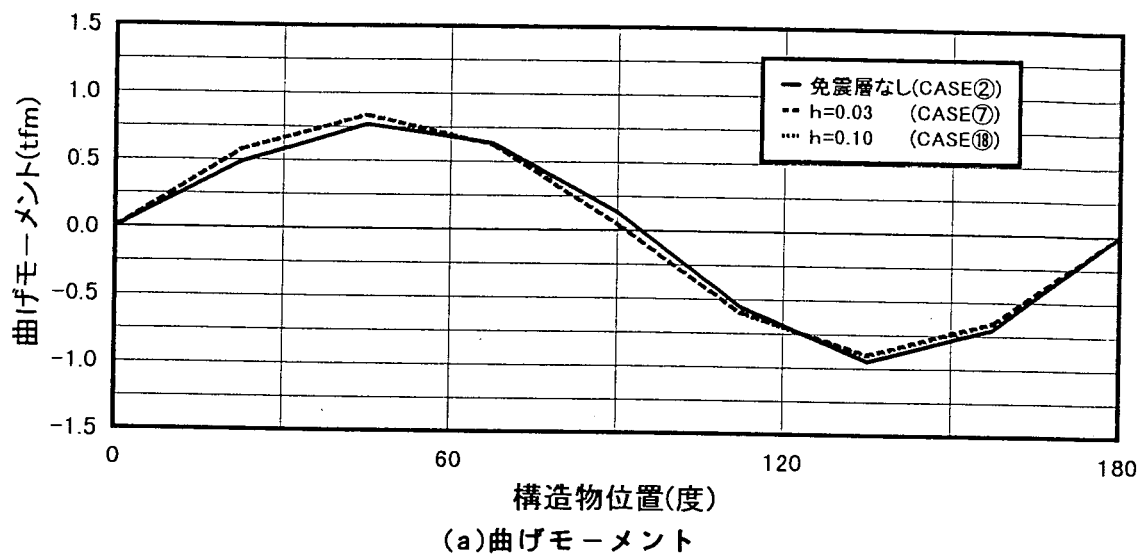


図-18 免震層の減衰定数が地震時増分断面力に及ぼす影響 (硬質地盤)

表-5 各ケースの断面力低減率

CASE	対象表層地盤	免震層の物性値			断面力低減率		
		せん断弾性 係数比	ポアソン 比	減衰 定数	曲げ モーメント	軸力	せん断力
①	軟質地盤	1/1	0.49	0.03	1.00	1.00	1.00
②	硬質地盤	1/1	0.45	0.03	1.00	1.00	1.00
③	軟質地盤	1/10	0.3	0.03	1.10	0.35	1.11
④	軟質地盤	1/100	0.3	0.03	0.75	0.10	0.73
⑤	軟質地盤	1/1000	0.3	0.03	0.18	0.03	0.17
⑥	硬質地盤	1/10	0.3	0.03	1.10	0.47	1.11
⑦	硬質地盤	1/100	0.3	0.03	0.95	0.13	0.93
⑧	硬質地盤	1/1000	0.3	0.03	0.35	0.05	0.34
⑨	軟質地盤	1/100	0.4	0.03	0.86	0.11	0.85
⑩	軟質地盤	1/100	0.49	0.03	1.12	0.15	1.12
⑪	軟質地盤	1/1000	0.4	0.03	0.26	0.04	0.25
⑫	軟質地盤	1/1000	0.49	0.03	0.79	0.09	0.78
⑬	硬質地盤	1/100	0.4	0.03	1.01	0.13	0.99
⑭	硬質地盤	1/100	0.49	0.03	1.12	0.17	1.12
⑮	硬質地盤	1/1000	0.4	0.03	0.47	0.06	0.45
⑯	硬質地盤	1/1000	0.49	0.03	0.95	0.09	0.94
⑰	軟質地盤	1/100	0.3	0.10	0.74	0.10	0.73
⑱	硬質地盤	1/100	0.3	0.10	0.96	0.13	0.94

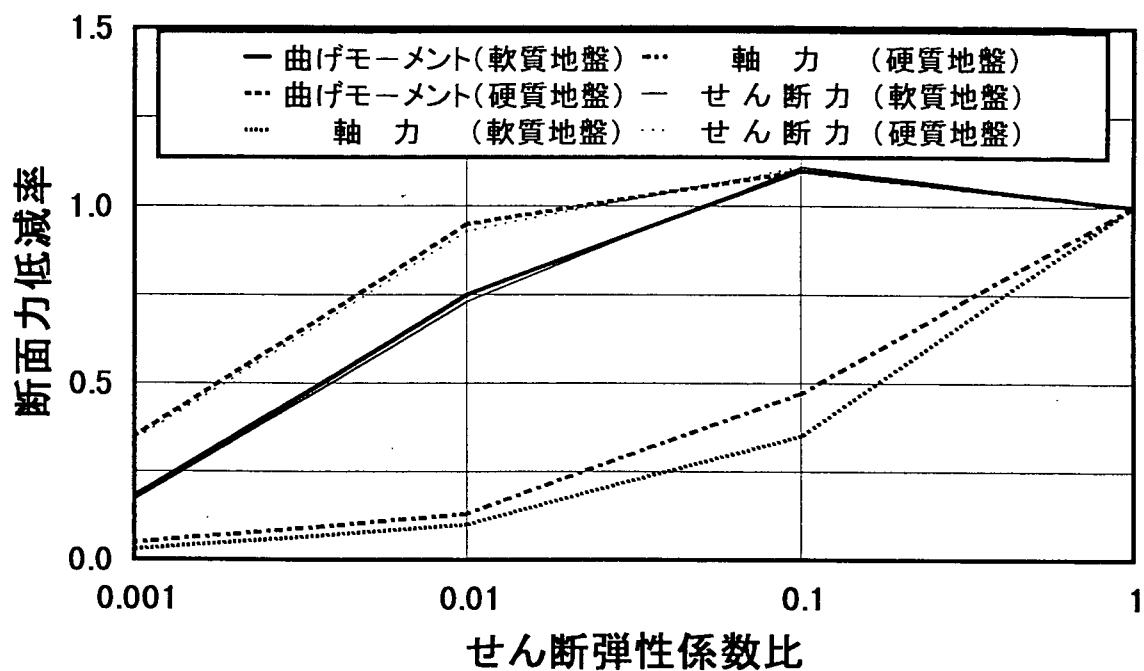


図-19 免震層のせん断弾性係数比が免震効果に及ぼす影響
(ポアソン比0.3, 減衰定数0.03)

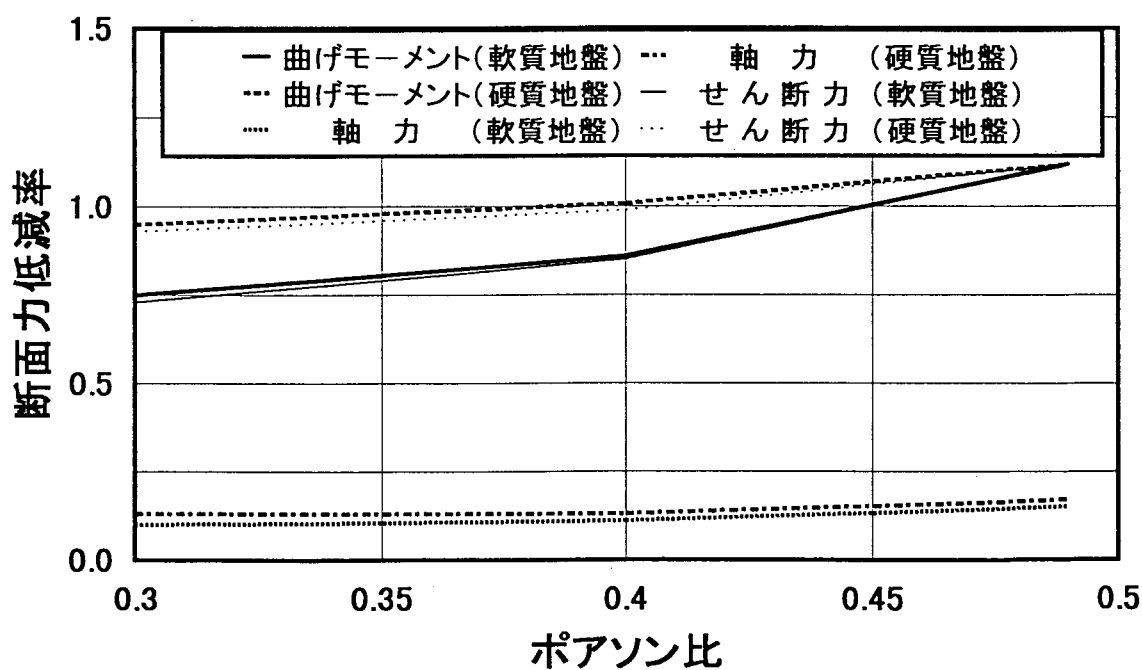


図-20 免震層のポアソン比が免震効果に及ぼす影響
(せん断弾性係数比1/100, 減衰定数0.03)

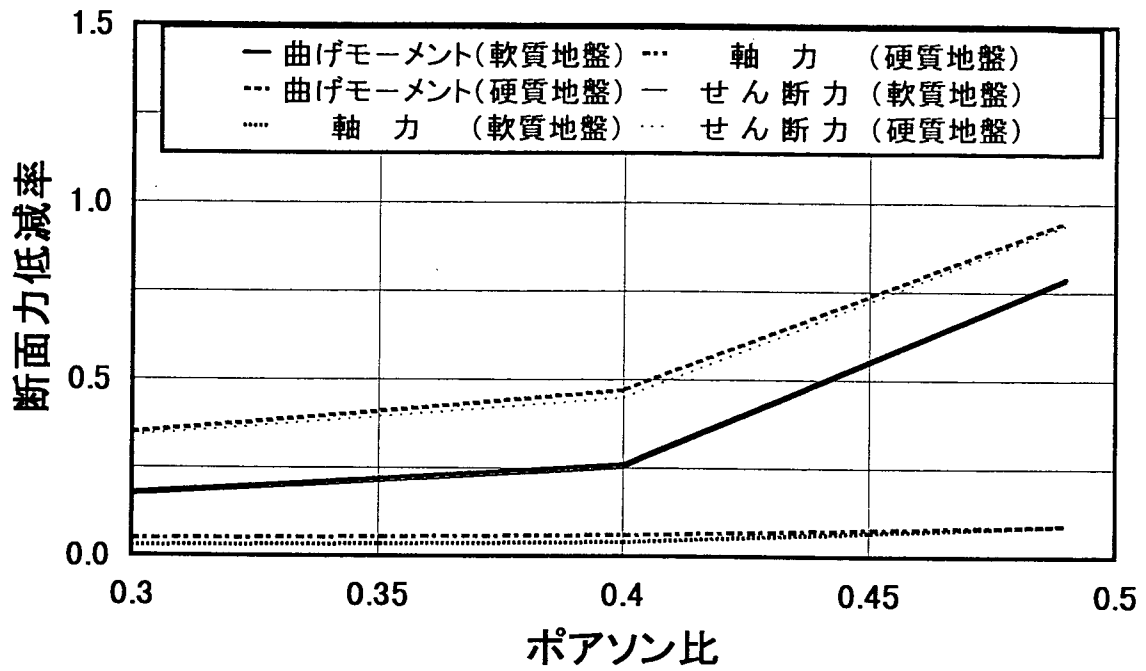


図-21 免震層のポアソン比が免震効果に及ぼす影響
(せん断弾性係数比1/1000, 減衰定数0.03)

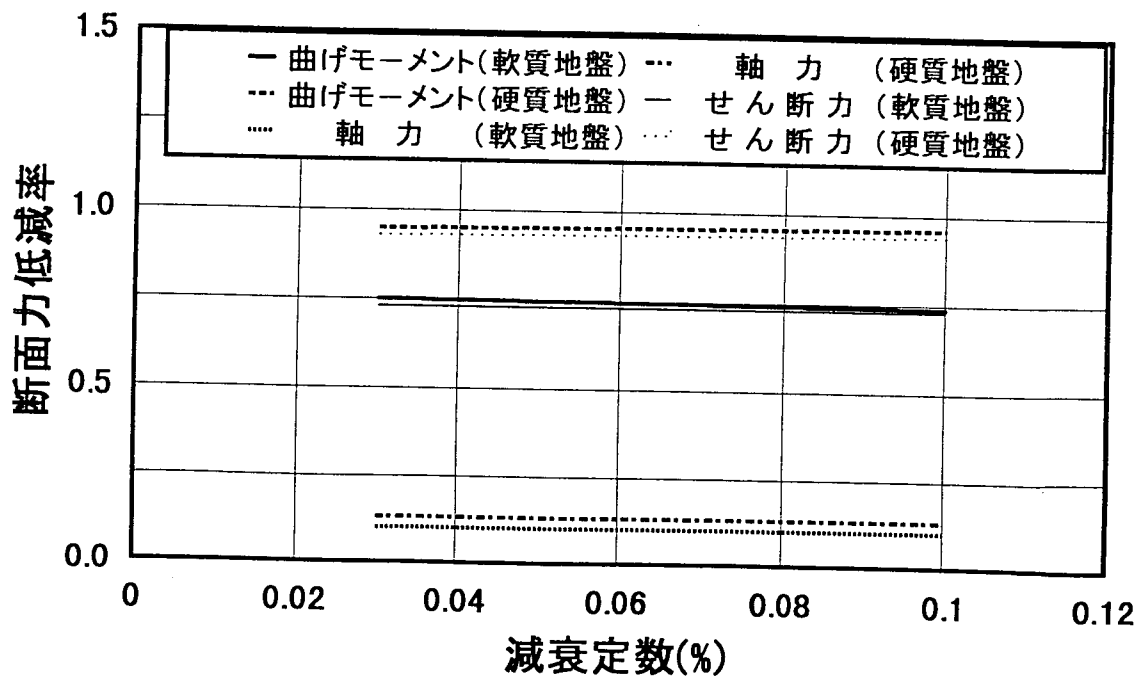


図-22 免震層の減衰定数が免震効果に及ぼす影響
(せん断弾性係数比1/100, ポアソン比0.3)

比が免震効果に及ぼす影響は小さいことが明らかとなった。これに対して、曲げモーメントとせん断力の免震効果は、免震層のせん断弾性係数比が1/100では顕著ではなく、1/1000にすると顕著となり、また、免震層のポアソン比が免震効果に及ぼす影響も大きくなることが明らかとなった。また、免震層の減衰定数が免震効果に及ぼす影響はほとんどないことも明らかとなった。

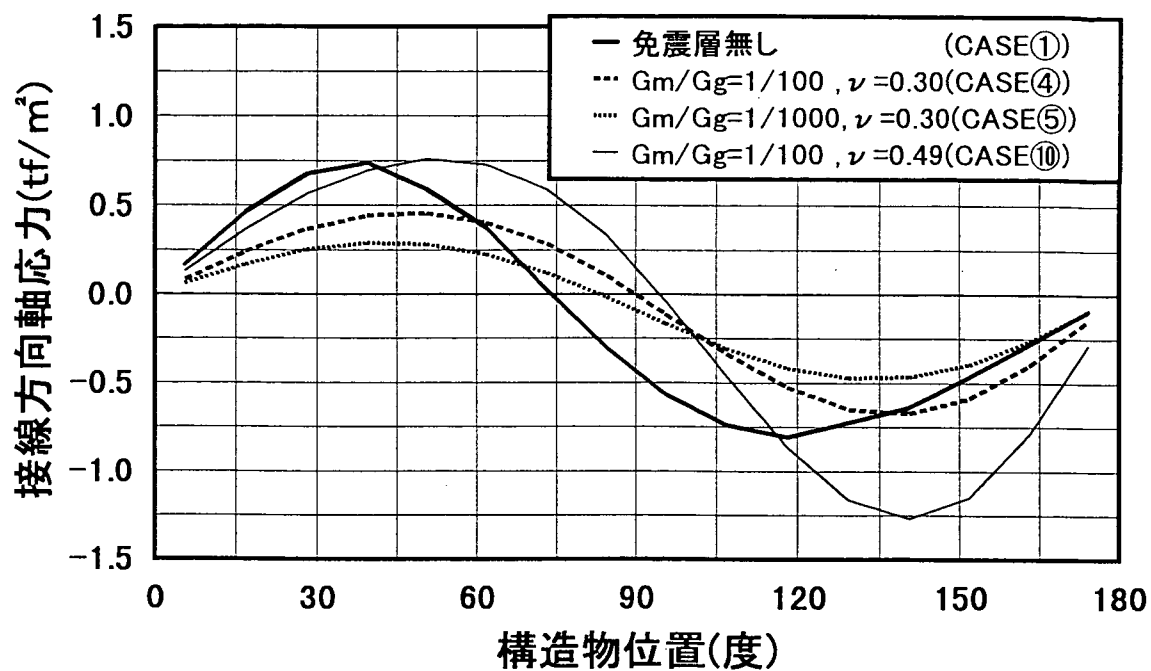
(3)地盤および免震層の応力とひずみ

図-23は、軟質地盤を対象にした今回の解析ケースのうち、代表的なものについて、免震層位置における最大相対変位発生時刻の構造物接線方向軸応力と軸ひずみの分布を示したものである。なお、これらの図では、構造物に最大相対変位が発生する時刻において変形の方法が同じになるよう、一部正負を逆にした結果を示している。

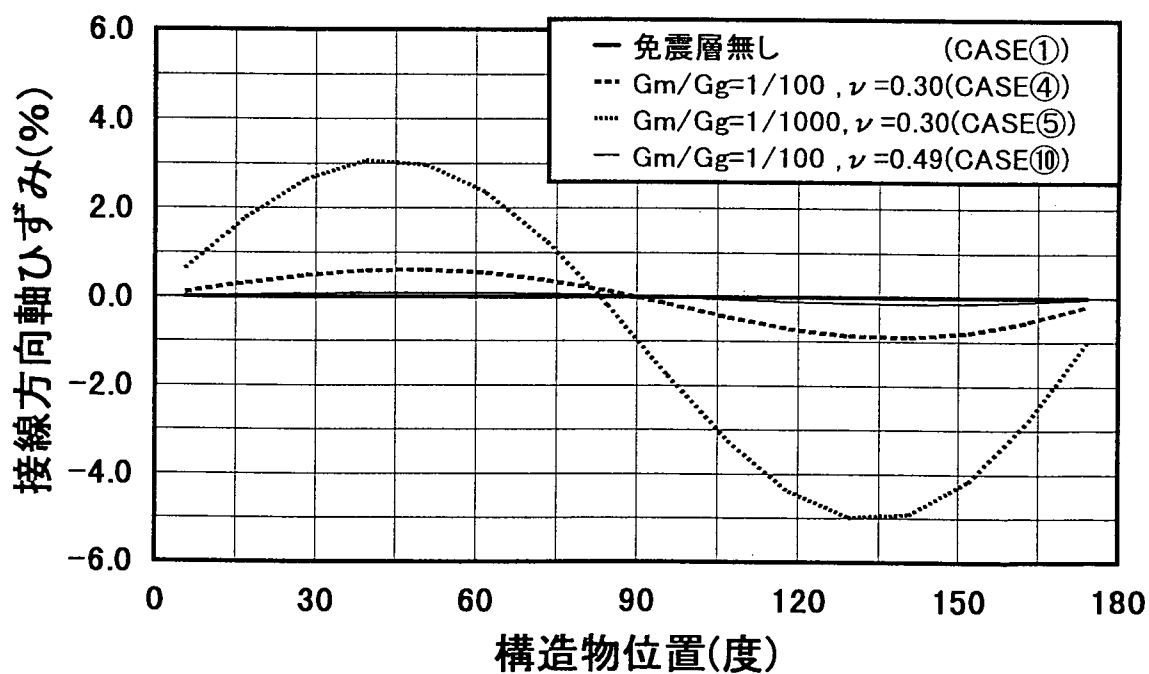
また、図-24は、同様に、硬質地盤を対象にした今回の解析ケースのうち代表的なものについて、免震層位置における最大相対変位発生時刻の構造物接線方向軸応力と軸ひずみの分布を示したものである。さらに、図-25、図-26は、軟質、硬質それぞれの地盤について、同様に、構造物法線方向の軸応力と軸ひずみの分布を示したものである。これらより、免震層の物性値が軸応力に及ぼす影響に関しては、両方向とも、免震層のせん断弾性係数比よりもポアソン比の方が感度が大きいことがわかる。すなわち、免震層のせん断弾性係数を1/100とした場合、ポアソン比を0.3とした方が軸応力の低減が大きい傾向となっており、ポアソン比を0.49とすると、軟質地盤においては一部で非免震の場合よりも大きい軸応力が発生する結果となっている。また、免震層のポアソン比を0.3とした場合、接線方向軸応力に関してはせん断弾性係数が1/1000とした方が低減が大きい傾向となっているが、法線方向軸応力にはこの傾向は顕著ではなく、免震層のせん断弾性係数によらず非免震の場合と比較して大きく低減されている。一方、軸ひずみに関しては、軸応力とは逆の傾向を示しており、軸応力の低減と軸ひずみの増大が対応する傾向となっている。すなわち、ポアソン比が小さい場合の軸応力の低減は、免震層が軸変形するクッション的な効果に起因するものと考えられ、特に法線方向の軸応力の低減は、構造物の地震時増分曲げモーメントとせん断力の低減と対応づけられる。

図-27、図-28は、軟質、硬質それぞれの地盤について、軸応力と軸ひずみの場合と同様に、免震層位置における最大相対変位発生時刻の構造物接線方向のせん断応力とせん断ひずみを示したものである。これらより、せん断弾性係数の小さい免震層を構造物周辺に設置した場合、免震層は大きくせん断変形する一方で、免震層に発生する構造物接線方向せん断応力は各ケースとも非免震の場合と比較して大幅に低減することがわかる。免震層の物性値がせん断応力に及ぼす影響は、免震層のせん断弾性係数比が支配的であり、せん断弾性係数比が1/100の場合と比較して1/1000の場合のせん断応力は小さく、せん断ひずみは大きい結果となっている。これに対して、ポアソン比の影響は支配的ではない。このような傾向は、地震時に構造物に作用する周面せん断力の低減、および構造物に発生する地震時増分軸力の低減と対応づけられる。

図-29、図-30、図-31、図-32、図-33は、軟質地盤について、最大相対変位発生時刻における周辺地盤の主応力図を示したものである。このうち、構造物を取り除いた空洞地盤（以下切り欠き地盤と称する）を対象にした解析より得られた主応力図を示したものである。これらより、地中構造物周辺に免震層を設置すると、周辺地盤の主応力分布は切り欠き地盤の主応力分布に近づき、主応力方向が、円形トンネルの法線、接線方向に変化する傾向があることがわかる。これは、免震層のせん断弾性係数が小さいため、地盤と免震層

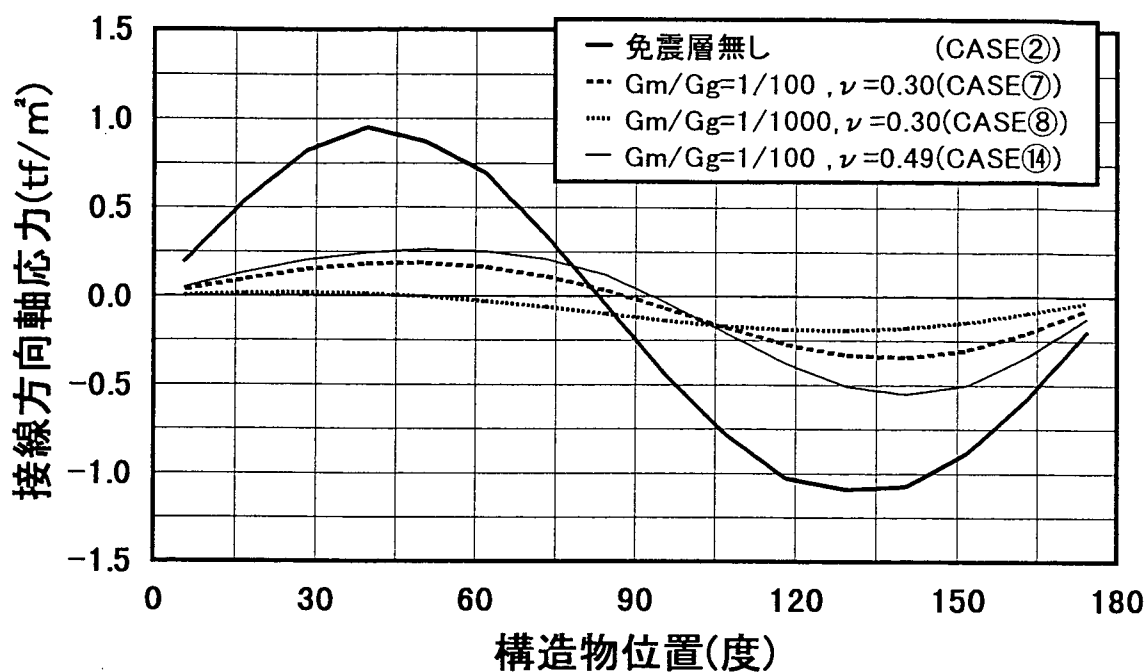


(a) 構造物接線方向軸応力

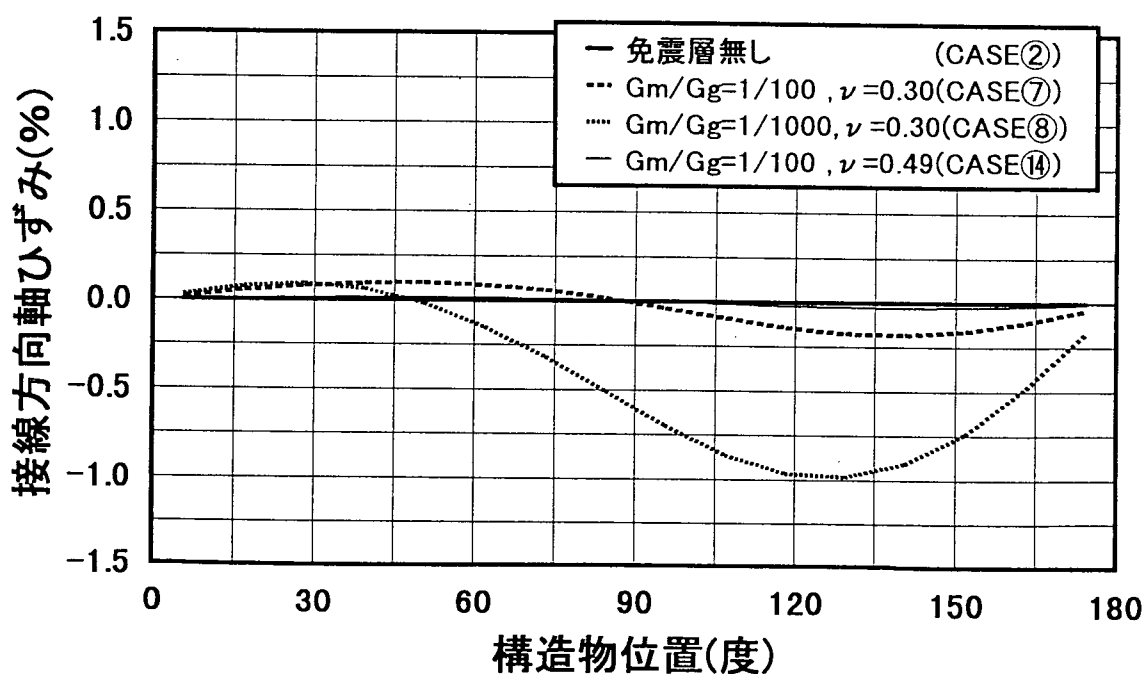


(b) 構造物接線方向軸ひずみ

図-23 免震層位置での構造物接線方向軸応力と軸ひずみ (軟質地盤)

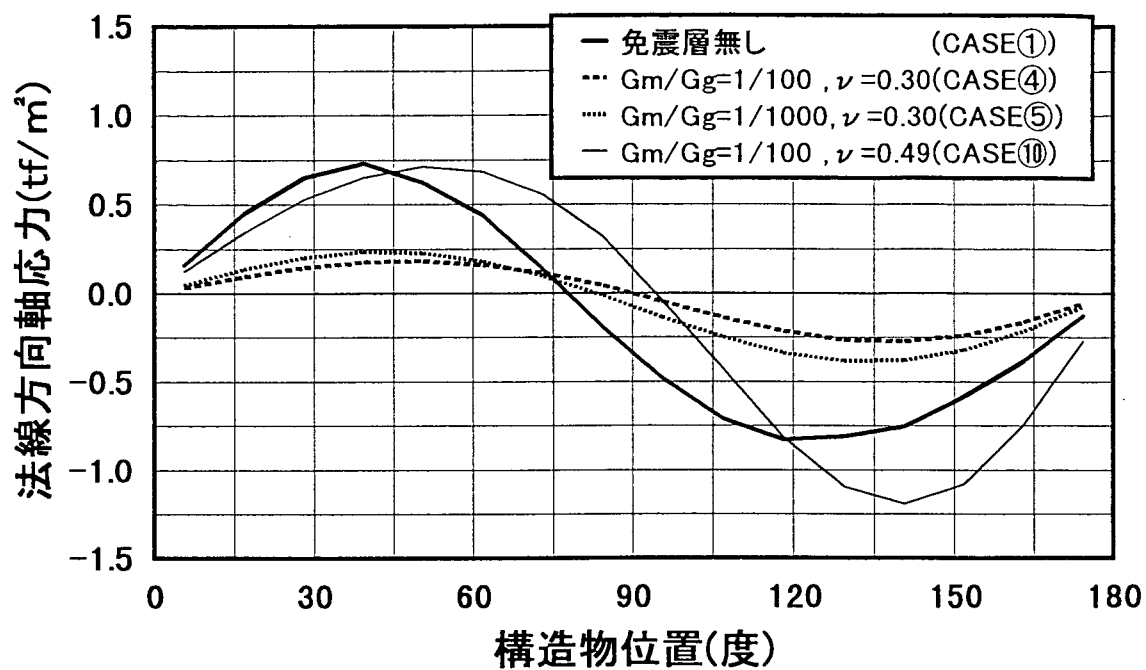


(a) 構造物接線方向軸応力

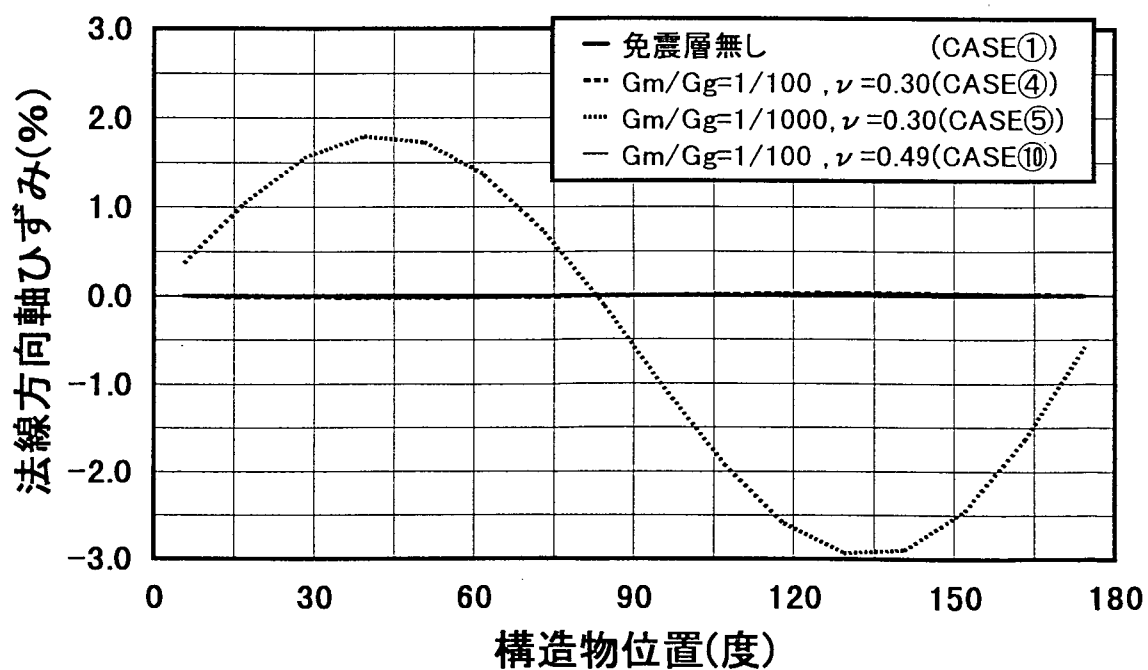


(b) 構造物接線方向軸ひずみ

図-24 免震層位置での構造物接線方向軸応力と軸ひずみ(硬質地盤)

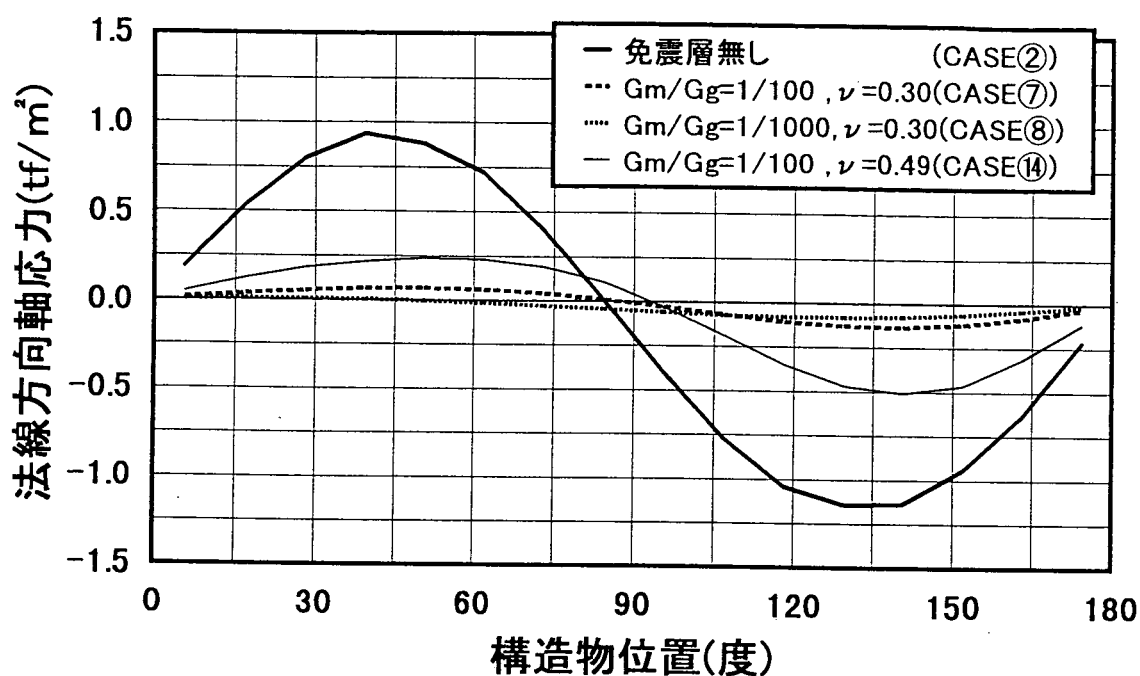


(a) 構造物法線方向軸応力

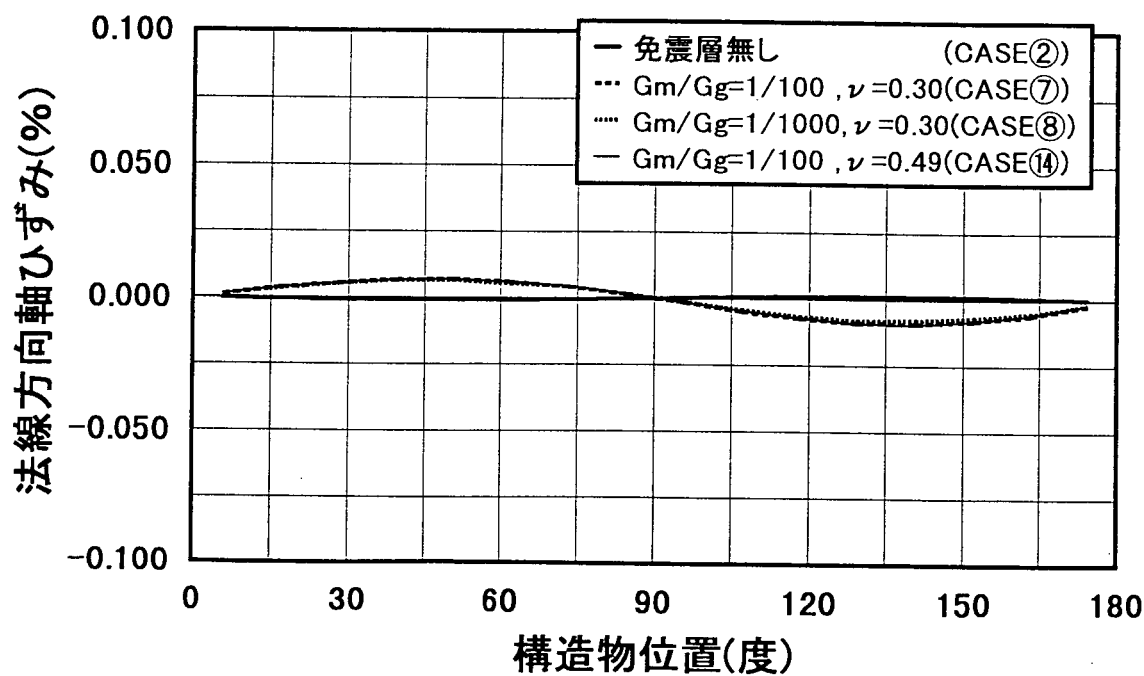


(b) 構造物法線方向軸ひずみ

図-25 免震層位置での構造物法線方向軸応力と軸ひずみ（軟質地盤）

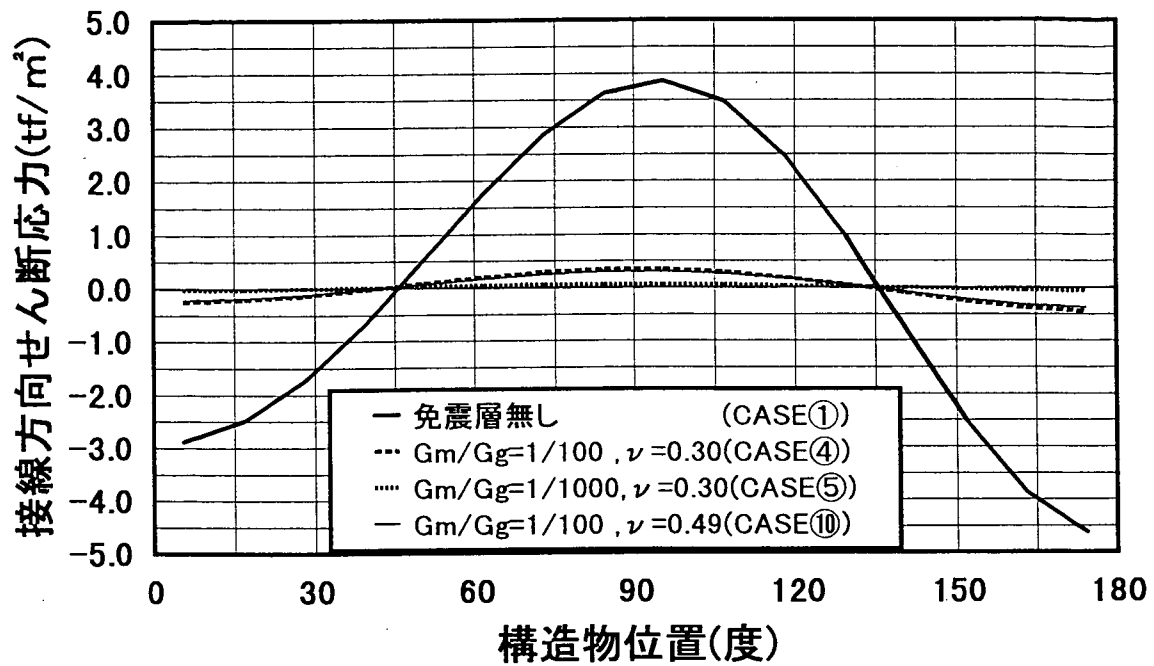


(a)構造物法線方向軸応力

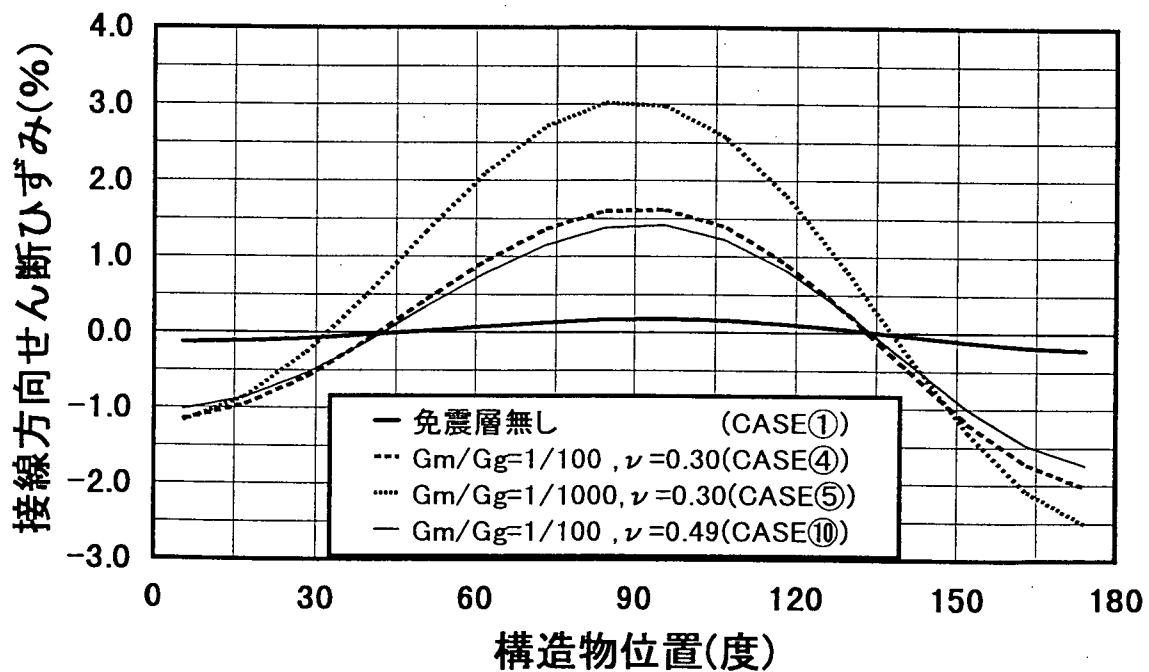


(b)構造物法線方向軸ひずみ

図-26 免震層位置での構造物法線方向軸応力と軸ひずみ（硬質地盤）

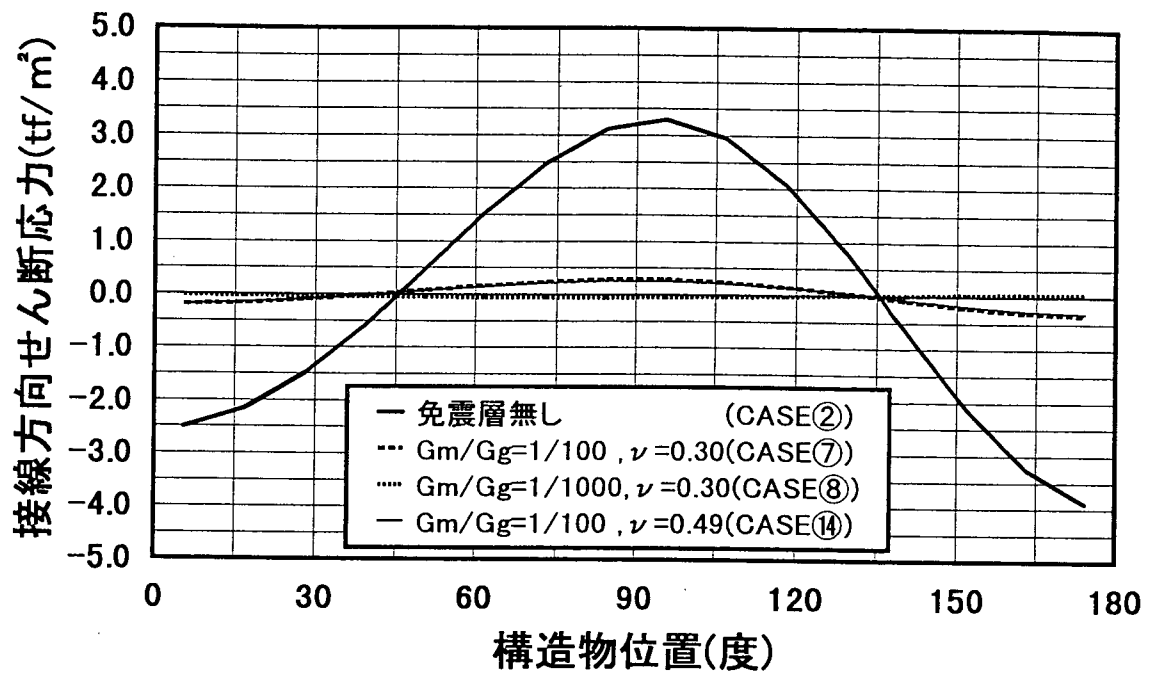


(a) 構造物接線方向せん断応力

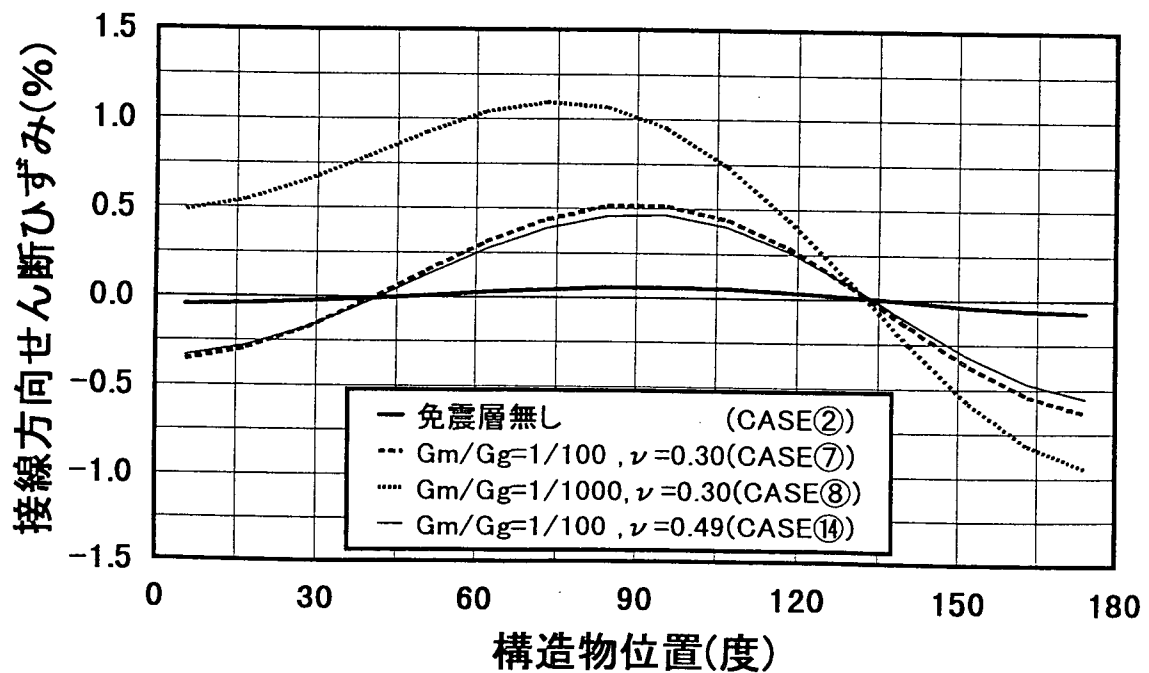


(b) 構造物接線方向せん断ひずみ

図-27 免震層位置での構造物接線方向せん断応力とせん断ひずみ (軟質地盤)

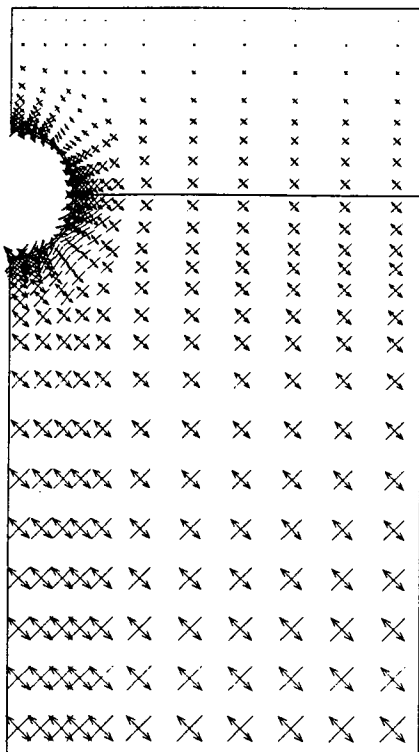


(a)構造物接線方向せん断応力

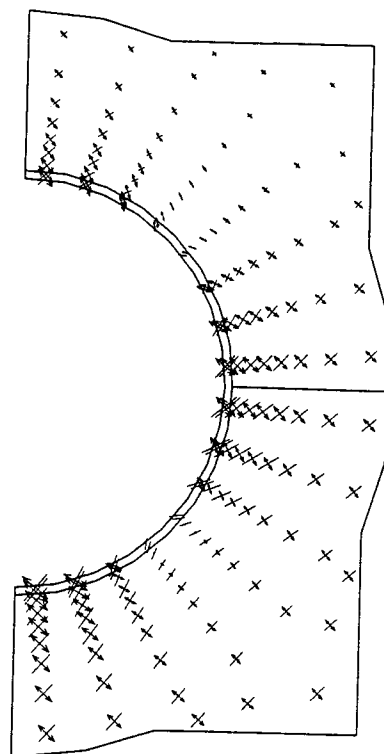


(b)構造物接線方向せん断ひずみ

図-28 免震層位置での構造物接線方向せん断応力とせん断ひずみ(硬質地盤)

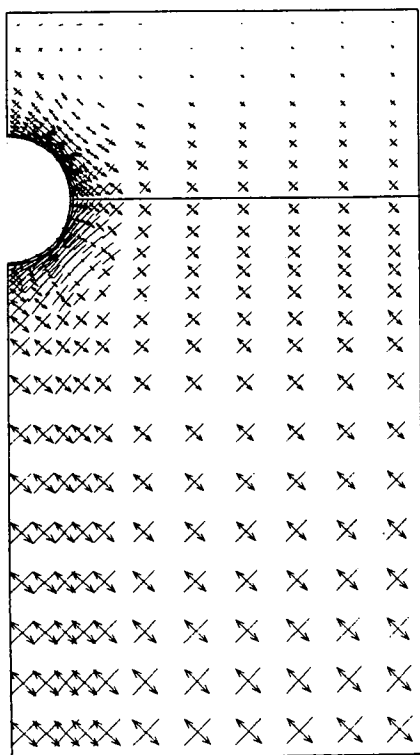


(a)解析メッシュ全体

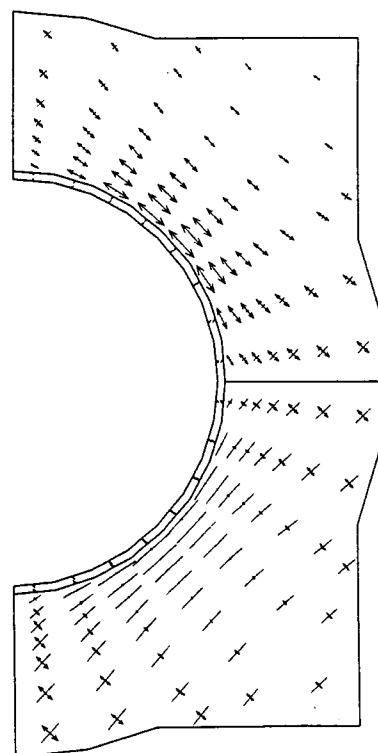


(b)トンネル近傍

図-29 周辺地盤の主応力分布（非免震：ケース①、軟質地盤）

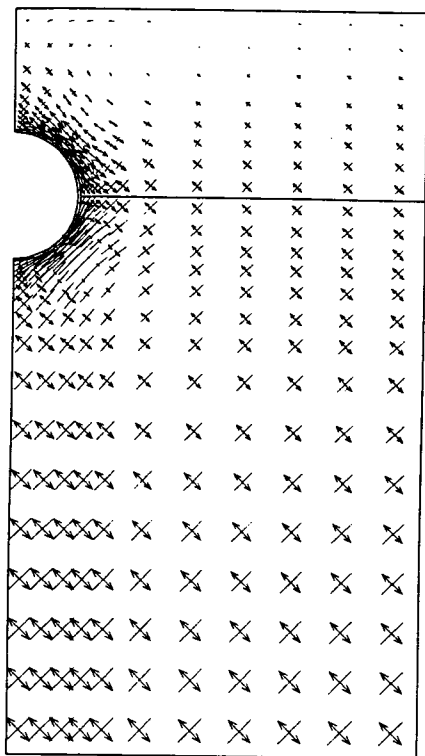


(a)解析メッシュ全体

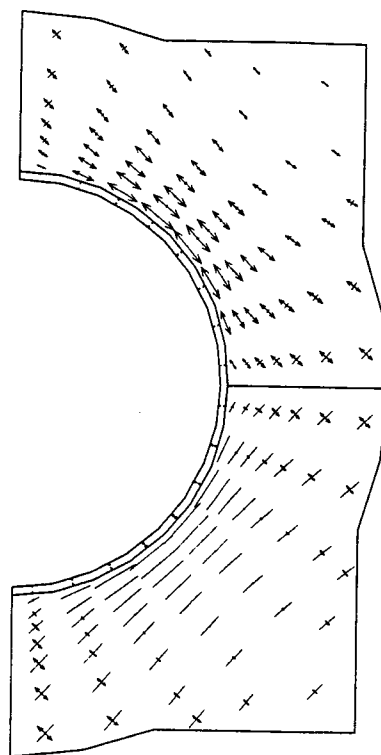


(b)トンネル近傍

図-30 周辺地盤の主応力分布（ $G_m/G_g=1/100$, $\nu=0.30$ ：ケース④、軟質地盤）

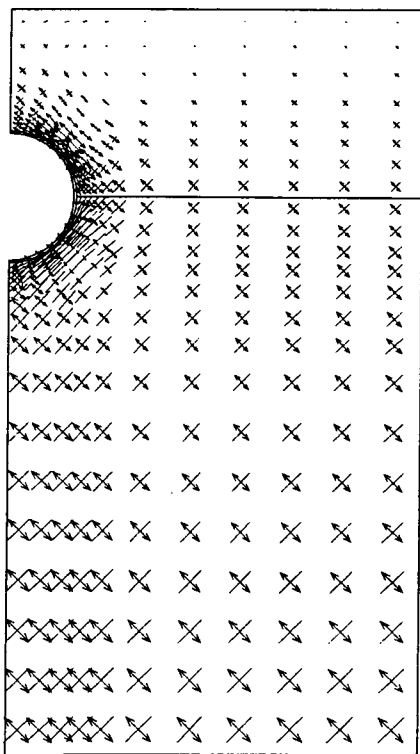


(a)解析メッシュ全体

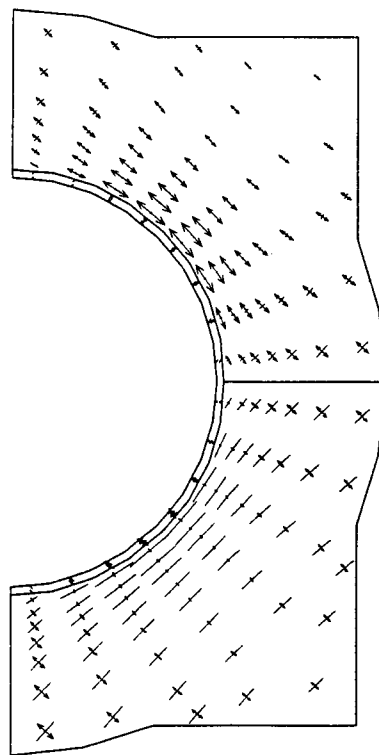


(b)トンネル近傍

図-31 周辺地盤の主応力分布 ($G_m/G_g=1/1000$, $\nu=0.30$: ケース⑤、軟質地盤)

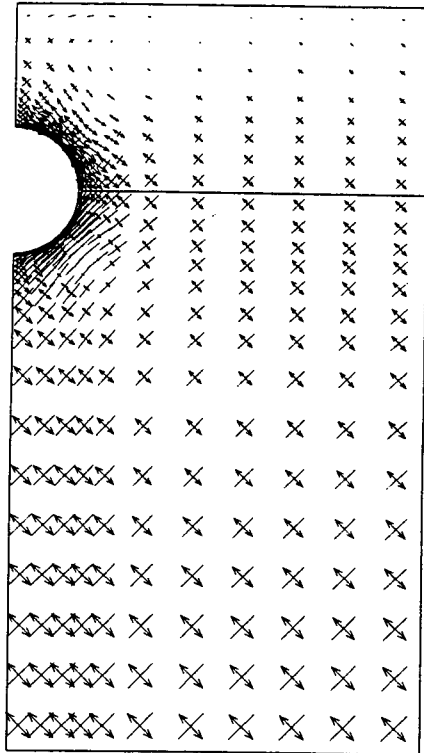


(a)解析メッシュ全体

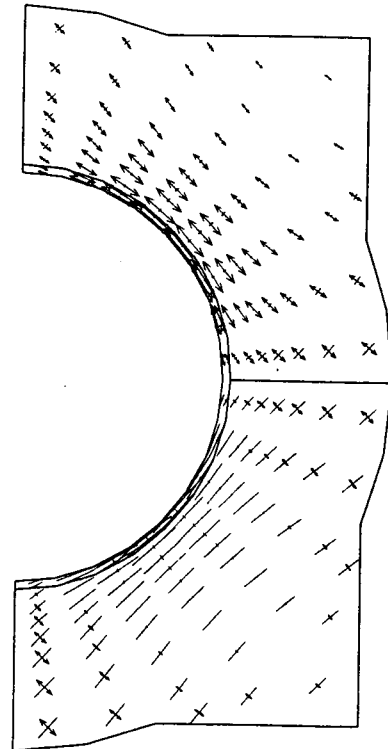


(b)トンネル近傍

図-32 周辺地盤の主応力分布 ($G_m/G_g=1/100$, $\nu=0.49$: ケース⑩、軟質地盤)



(a)解析メッシュ全体



(b)トンネル近傍

図-33 周辺地盤の主応力分布（切り欠き地盤、軟質地盤）

との境界が地盤と空洞との境界条件に近づいたためと考えられ、構造物と地盤との相互作用が遮断される傾向にあることを示している。また、免震層を設置することによる周辺地盤の主応力分布の変化は、構造物のごく近傍に限定されている。なお、硬質地盤に関しても、周辺地盤の主応力分布は同様の傾向となっている。

(5) 構造物および免震層の変形

図-34、図-35、図-36、図-37は、軟質地盤を対象にした今回の解析ケースのうち、代表的なものの最大相対変位発生時刻における構造物近傍の変形図である。また、表-5には、同じく軟質地盤を対象にした同じケースの最大相対変位発生時刻における地盤と構造物との相対回転角と構造物の鉛直方向及び水平方向の径の変化率、ならびに免震層厚の変化率を示した。ここで、相対回転角とは、構造物要素の天端節点と下端節点を結ぶ直線と地盤要素の構造物天端直上節点と下端直下節点を結ぶ直線とのなす角度とした。相対回転角は、非免震の場合は小さく、地震時には構造物が地盤に追隨して振動しているのに対して、免震層を設置すると相対回転角が大きくなることがわかる。これは、免震層を設置すると、構造物の振動は地盤に追隨せず、構造物と地盤とが遮断される傾向にあることを示している。また、このことは免震層に大きなせん断ひずみが発生していることとも対応づけられ、このような相対変位が免震層で吸収されていることがわかる。

また、構造物の径の変化率とは、鉛直方向に関しては構造物天端節点と下端節点を、また、水平方向に関しては構造物両側部節点を対象とし、変形後の両節点間距離の増分と初期値との比とした。この径の変化率は、構造物の変形状の指標と考えられ、免震層のせん断弾性係数比が1/100、ポアソン比が0.49の場合は非免震の場合と大きな差異はなく、鉛直方向に伸び、水平方向にはつぶれる変形状を示しているが、免震層が同じせん断弾性係数比でもポアソン比を0.3とすると、変形が緩和され、せん断弾性係数比が1/1000の場合は、ほぼ円形を保持していることがわかる。これらは、構造物に発生する地震時増分曲げモーメントおよびせん断力と対応づけられる。

さらに、免震層厚の変化率は、構造物の45°と135°の位置に着目し、変形後の免震層厚の増分と初期値との比で示したものである。この免震層厚の変化は、免震層のせん断弾性係数比が1/100で、ポアソン比が0.49の場合は顕著ではないが、同じせん断弾性係数でもポアソン比を0.3とすると顕著となり、また、せん断弾性係数比が1/1000の場合はさらに顕著に変化している。このような免震層厚の変化傾向とは逆に、構造物の変形は緩和されるものと考えられる。

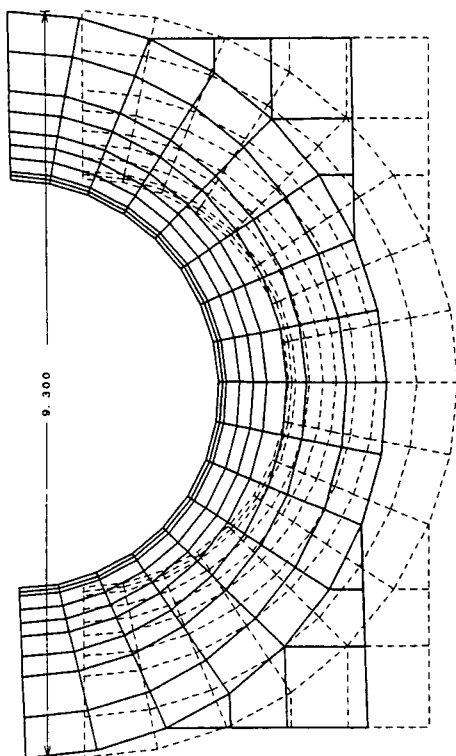


図-34 構造物近傍の変形図
(非免震: ケース①, 軟質地盤)

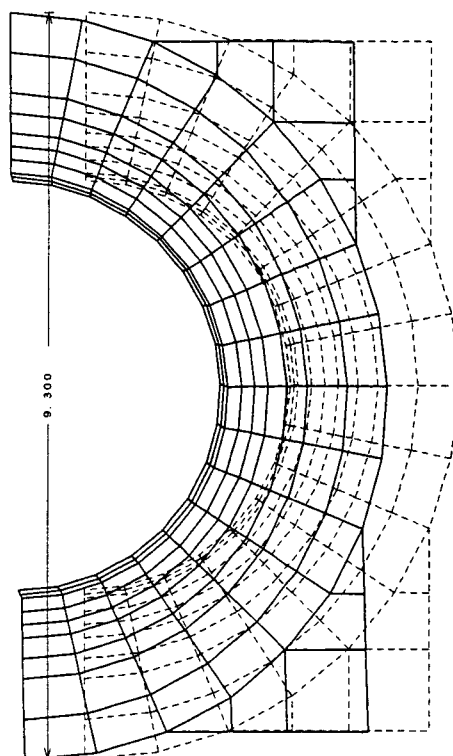


図-35 構造物近傍の変形図
($G_m/G_g=1/100$, $\nu=0.30$: ケース④, 軟質地盤)

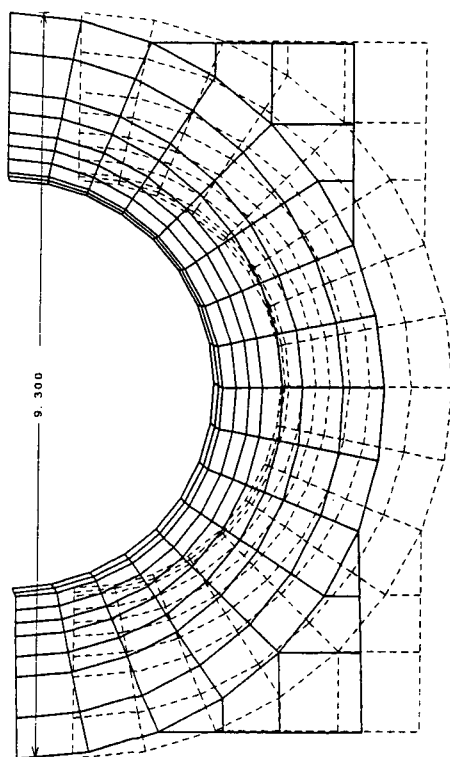


図-36 構造物近傍の変形図
($G_m/G_g=1/1000$, $\nu=0.30$: ケース⑤, 軟質地盤)

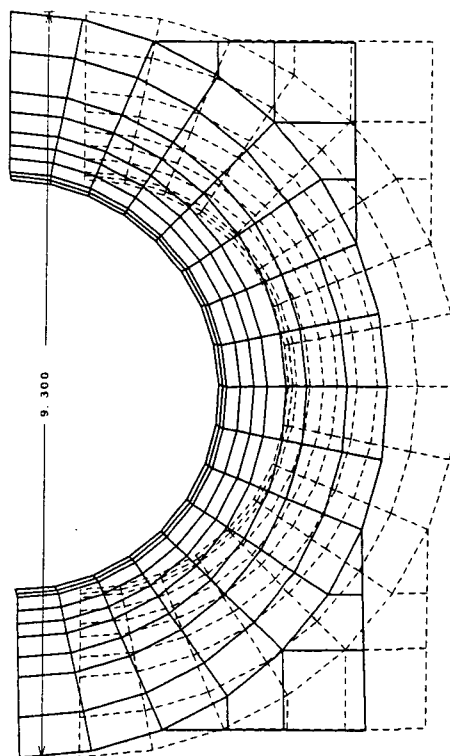


図-37 構造物近傍の変形図
($G_m/G_g=1/100$, $\nu=0.49$: ケース⑩, 軟質地盤)

表-5 構造物および免震層の変形

ケース	①	④	⑤	⑩
せん断弾性係数比 G_m/G_g	免震層	1/100	1/1000	1/100
ポアソン比 ν		0.30	0.30	0.49
相対回転角(度)	0.07	3.16	3.08	2.59
構造物径の変化率(鉛直方向)	0.33%	0.26%	0.28%	0.35%
構造物径の変形率(水平方向)	-0.47%	-0.11%	0.09%	-0.31%
免震層厚の変化率(45°)	0%	-60%	-76%	-10%
免震層厚の変化率(135°)	0%	93%	200%	17%

4. まとめ

ここでは、以上の解析結果および考察結果をまとめ、円形断面を有する地下構造物の免震効果のメカニズムを整理する。

本研究で得られた結論は以下のようにまとめられる。

- ・免震地中構造物の地震時応答は、免震層のせん断弾性係数比が $1/100$ 程度までであれば、免震層のポアソン比や減衰定数が構造物の地震時挙動に及ぼす影響は小さく、通常の地中構造物の場合と同様に地盤の挙動に追随する。一方、せん断弾性係数比が $1/1000$ 程度の場合は、2次以上の高次のモードとして地盤の挙動に関係しない構造物独自の振動モードが発生する。
- ・円形断面を有する地中構造物横断方向の軸力の免震効果は、免震層のせん断弾性係数比が $1/10$ でも顕著であり、免震層のポアソン比が免震効果に及ぼす影響は小さい。これに対して、曲げモーメントとせん断力の免震効果は、免震層のせん断弾性係数比が $1/100$ では顕著ではないが、 $1/1000$ にすると顕著となり、免震層のポアソン比が免震効果に及ぼす影響も大きくなる。また、免震層の減衰定数が免震効果に及ぼす影響はほとんどない。
- ・免震層の物性値が免震層位置要素の軸応力に及ぼす影響は、免震層のせん断弾性係数比よりもポアソン比の方が感度が大きく、ポアソン比が小さい方が軸応力の低減が大きい。一方、軸ひずみに関しては、軸応力とは逆の傾向を示しており、軸応力の低減と軸ひずみの増大が対応する傾向となっている。このような傾向は、免震層が軸変形するクッション的な効果に起因するものと考えられ、特に法線方向の軸応力の低減は、構造物の地震時増分曲げモーメントとせん断力の低減と対応づけられる。
- ・せん断弾性係数の小さい免震層を構造物周辺に設置した場合、免震層は大きくせん断変形する一方で、免震層に発生する構造物接線方向せん断応力は非免震の場合と比較して大幅に低減する。免震層の物性値がせん断応力およびせん断ひずみに及ぼす影響は、免震層のせん断弾性係数比が支配的であり、せん断弾性係数比が小さい方がせん断応力は小さく、せん断ひずみは大きい。このような傾向は、地震時に構造物に作用する周面せん断力の低減、および構造物に発生する地震時増分軸力の低減と対応づけられる。
- ・構造物周辺に免震層を設置すると、周辺地盤の主応力分布は切り欠き地盤の主応力分布に近づき、主応力方向が、円形トンネルの法線、接線方向に変化する。これは、構造物と地盤との相互作用が遮断される傾向にあることを示している。また、免震層を設置することによる周辺地盤の主応力分布の変化は、構造物のごく近傍に限定されている。
- ・構造物と地盤との相対回転角は、非免震の場合は小さいが、免震層を設置すると大きくなる。これは、免震層を設置すると、構造物の振動は地盤に追随せず、構造物と地盤とが遮断される傾向にあることを示している。また、このことは免震層に大きなせん断ひずみが発生していることとも対応づけられ、このような相対変位が免震層で吸収されている。
- ・構造物は、非免震の場合や、免震層のせん断弾性係数比やポアソン比が大きい場合には、

鉛直方向に伸び、水平方向にはつぶれる変形形状を示している。しかし、免震層のせん断弾性係数比やポアソン比を小さくすると変形が緩和され、円形を保持する傾向となる。これは、構造物に発生する地震時増分曲げモーメントおよびせん断力と対応づけられる。

- ・免震層厚の変化は、非免震の場合や、免震層のせん断弾性係数比やポアソン比が大きい場合には小さいが、免震層のせん断弾性係数比やポアソン比を小さくすると大きくなる。これは構造物の変形とは逆の傾向であり、免震層厚が変化することにより、構造物の変形は緩和される。

以上の結果より、円形断面を有する地中構造物の免震効果のメカニズムは以下のようにとまとめられる。

地震時には、一般に、地盤内に存在する構造物と周辺地盤との間には動的な相互作用が生じ、このうち地中構造物の場合は、地盤と構造物の剛性差に基づくキネマティックなものが支配的である。これを作用力として表現すると、構造物と地盤は相互に拘束されており、両者の間には互いに接線方向に周面せん断力が作用していることとなる。しかし免震層を設置すると、地盤と構造物の拘束が遮断され、トンネルに作用する周面せん断力が低減されるとともに、周辺地盤の応力は切り欠き地盤の応力状態に近づく。その際、免震層は大きくせん断変形し、地盤の変形に追従したトンネル変形が緩和される。また、免震層のポアソン比が小さい場合は、免震層は軸方向にも変形し、クッション的な効果により法線及び接線方向の応力が低減されるとともに、やはり、地盤の変形に追従したトンネル変形は緩和される。このような2つの効果がトンネルの地震時増分断面力の低減、すなわち、免震効果となって顕在化するものと考えられる。

謝 辞

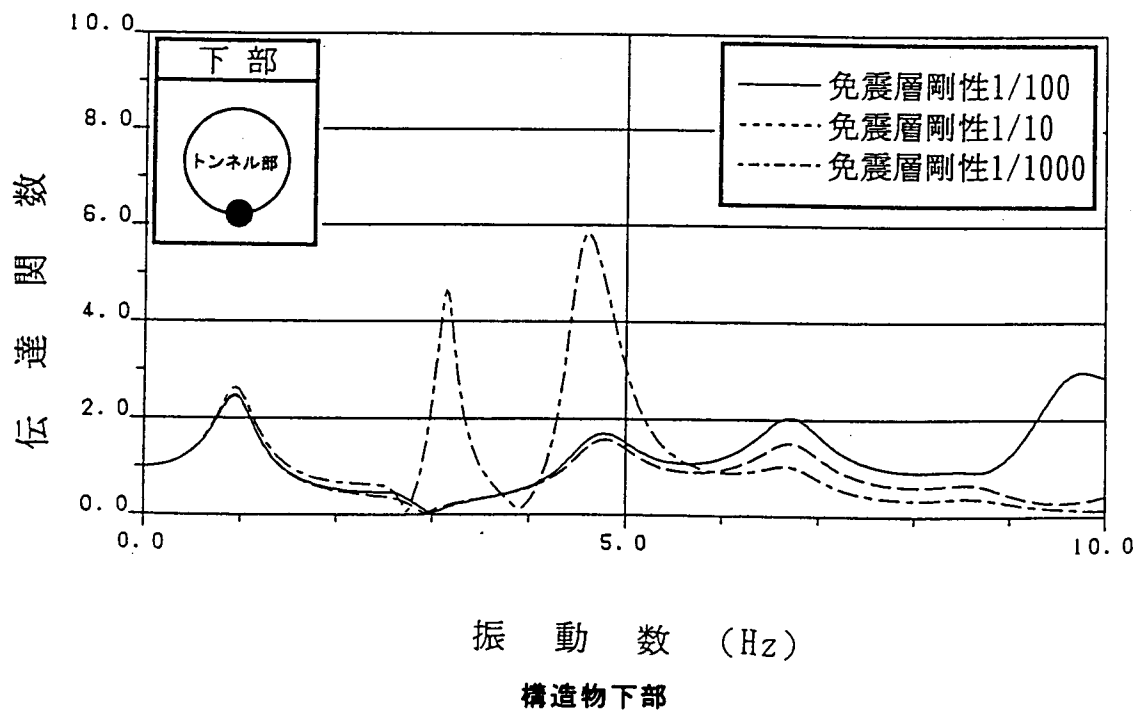
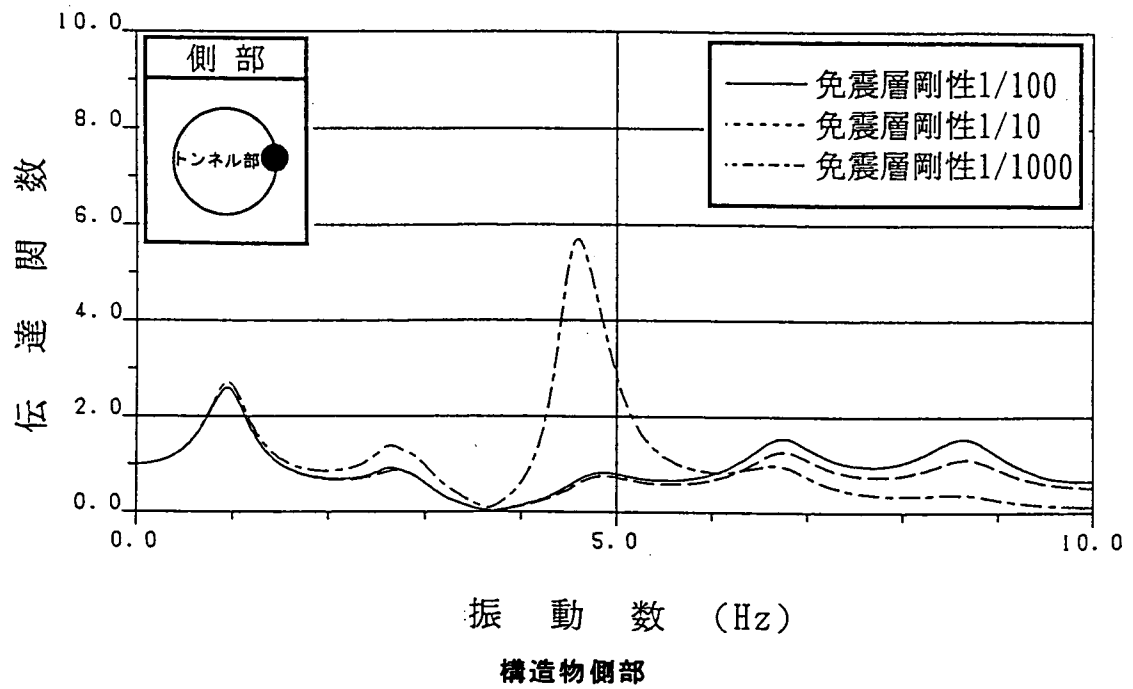
本文は、建設省土木研究所と（財）土木研究センターならびに民間会社１７社との共同研究である「地下構造物の免震設計に適用する免震材の開発に関する共同研究」の平成８年度メカニズムワーキングにおける成果の一部であり、貴重なご意見をいただいた関係各位に謝意を表する。

参考文献

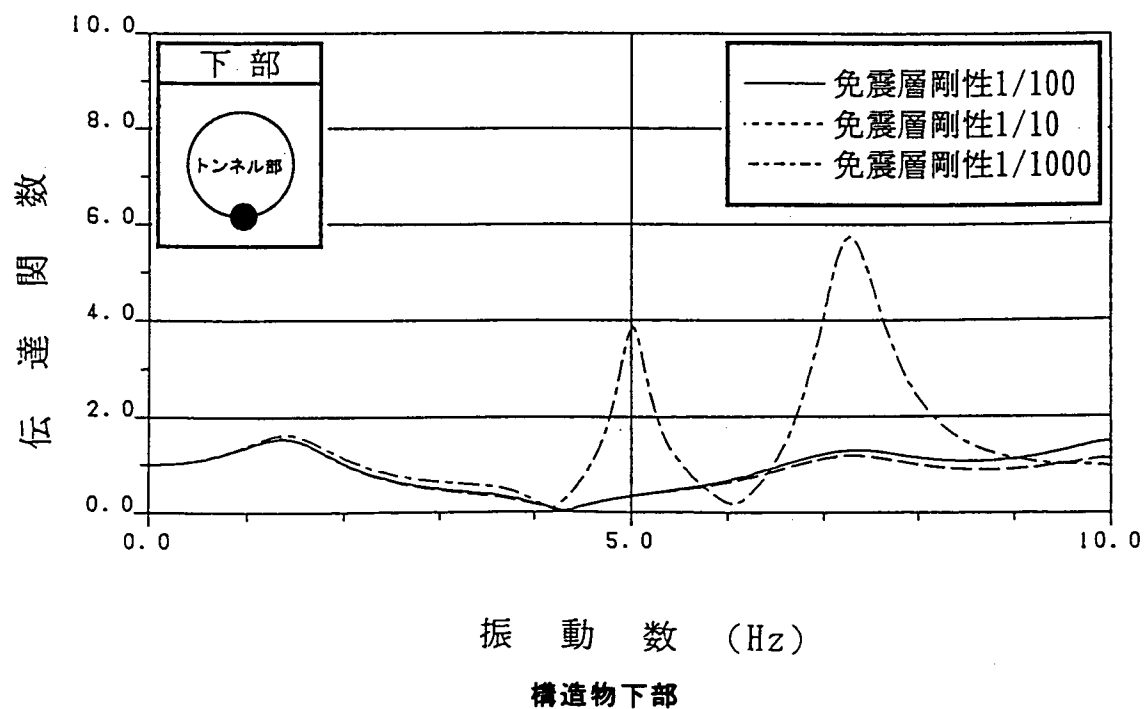
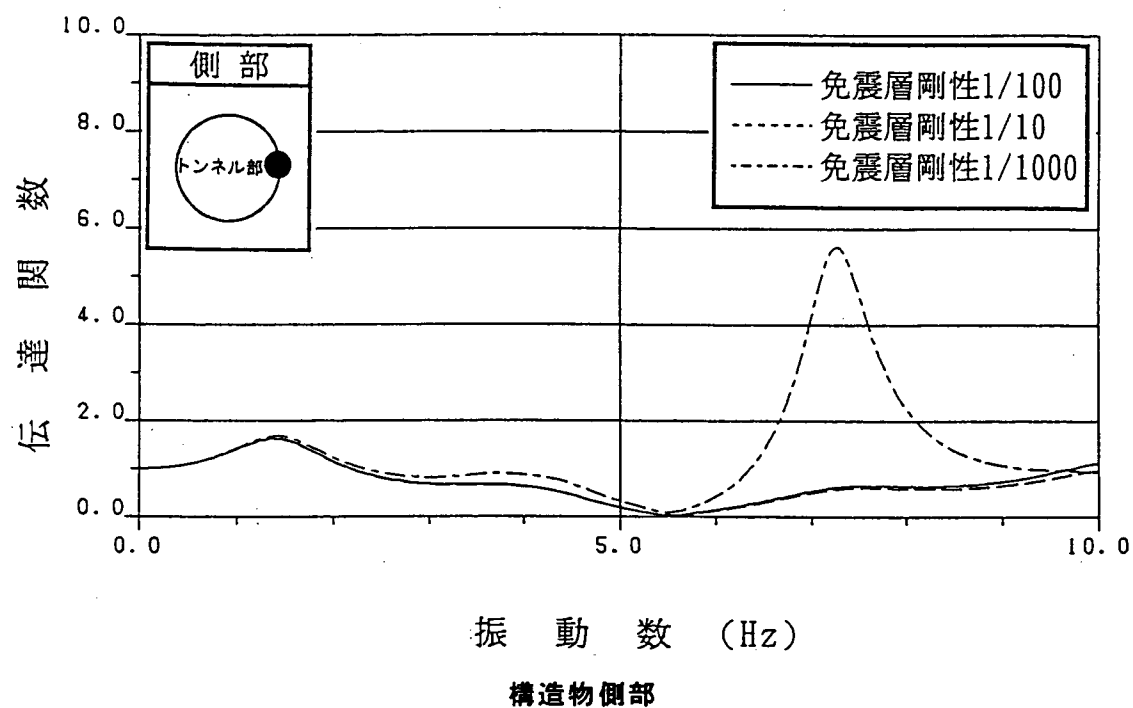
- 1) 建設省土木研究所他：地下構造物の免震設計に適用する免震材の開発に関する共同研究報告書（その１），平成８年11月
- 2) 大塚久哲、星隈順一、村井和彦：地中構造物に適用する免震材料の開発,土木技術資料 Vol.39-3,pp.50-55,平成９年３月
- 3) 大塚久哲：地中構造物の免震化に関する研究,第１回免震・制震コロキウム講演論文集,pp5-17,平成８年１１月

付 録 資 料

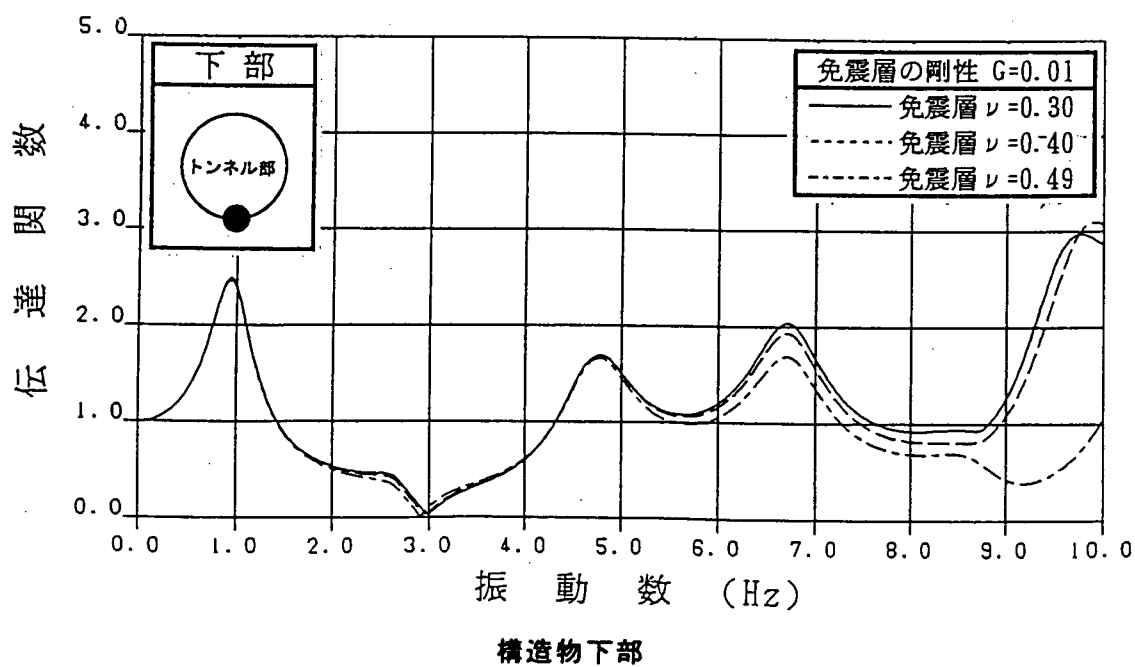
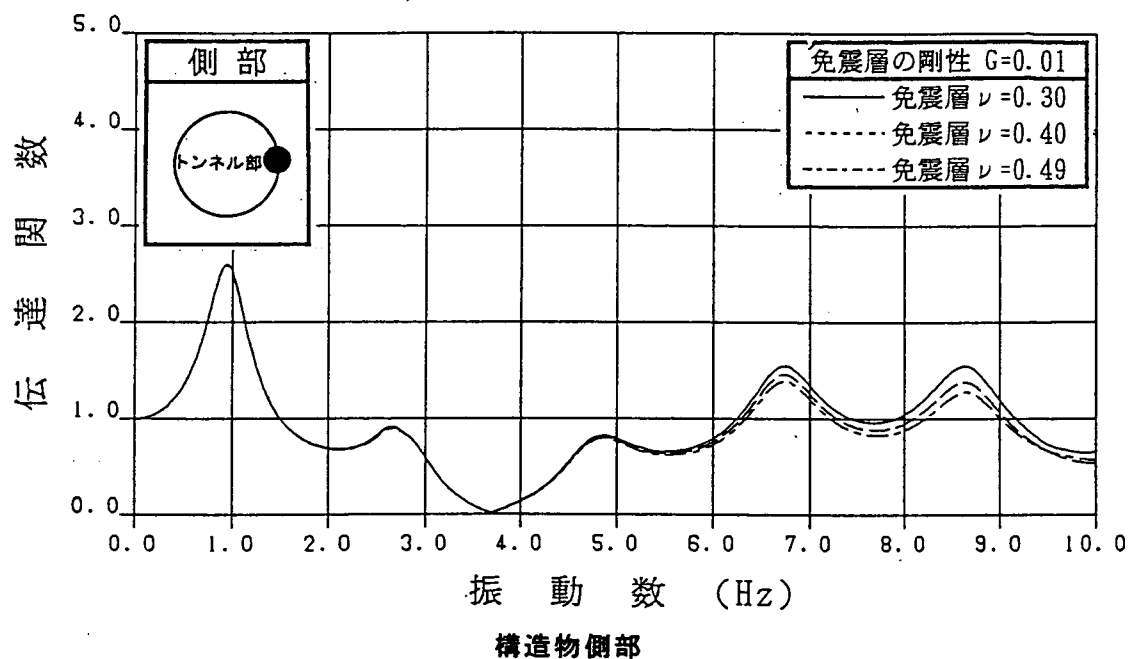
1. 構造物側部、下部に着目した加速度伝達関数
2. 最大地震時増分断面力データ
3. 免震層位置要素の応力、ひずみデータ
4. 周辺地盤主応力図（硬質地盤）
5. 構造物近傍変形図（硬質地盤）
6. 相対変位データ



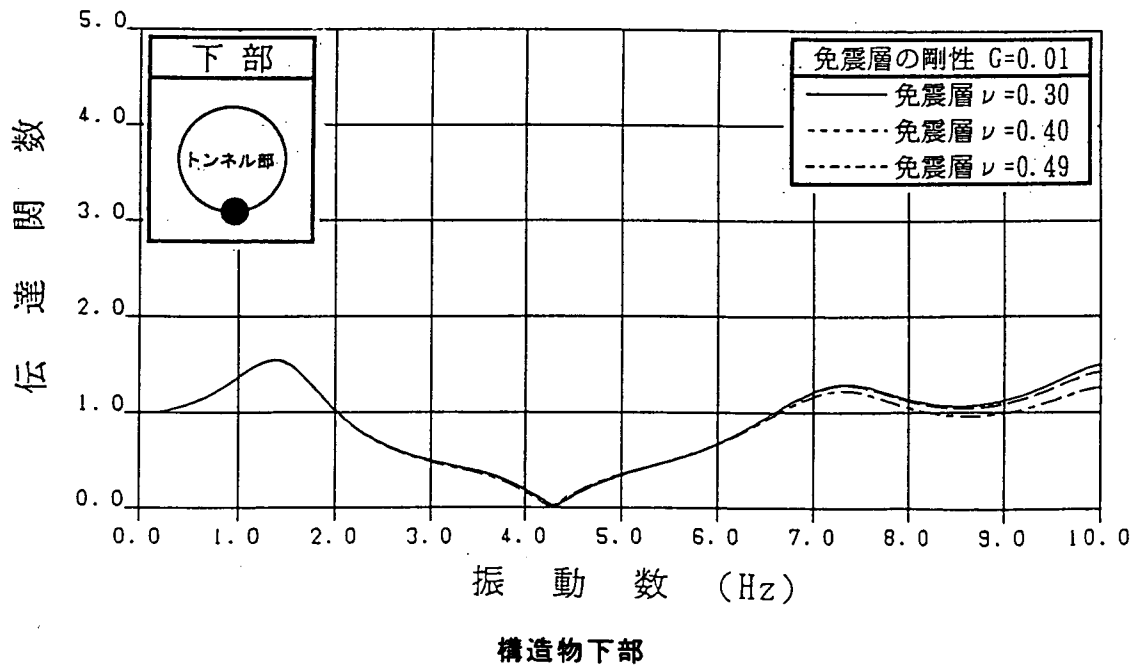
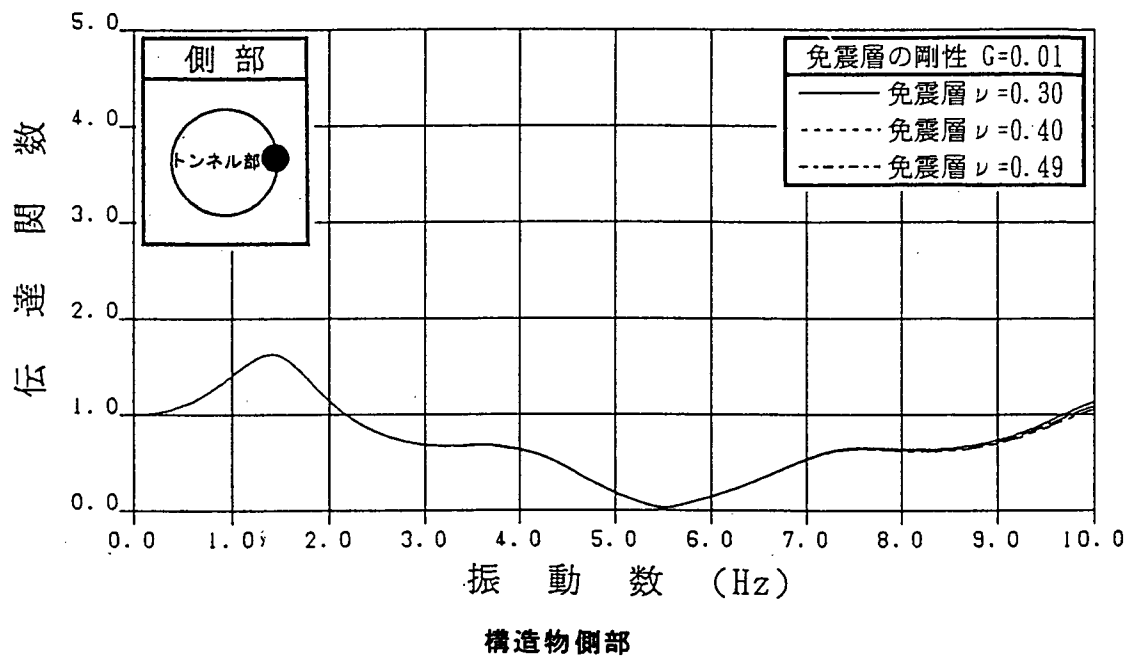
免震層のせん断弾性係数比が伝達関数に及ぼす影響（軟質地盤）



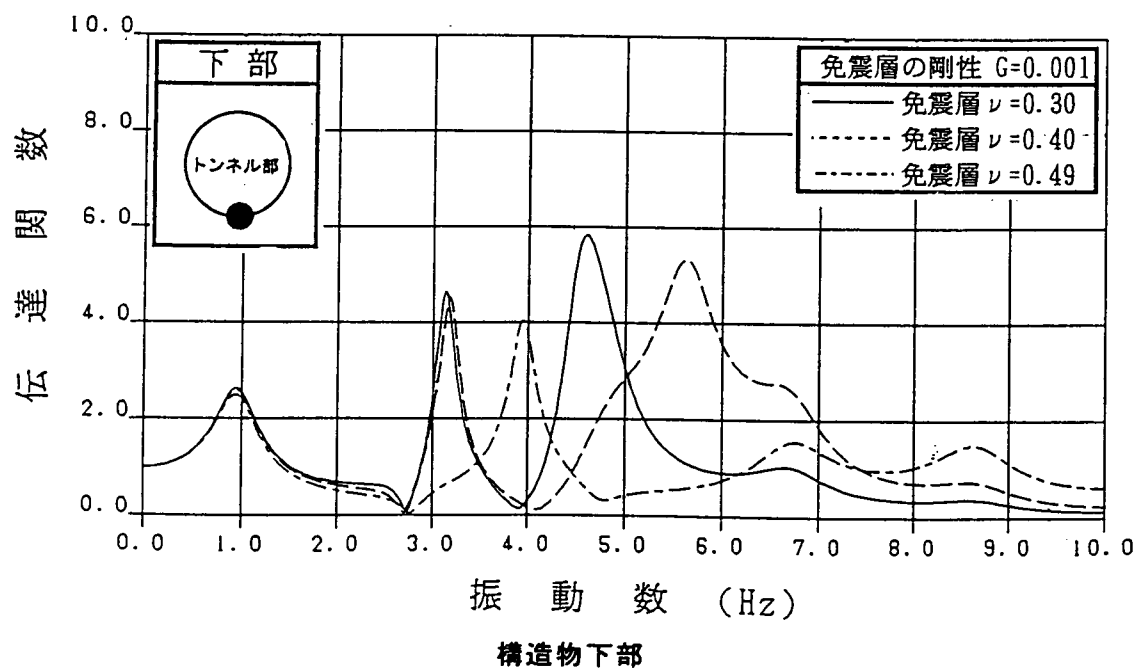
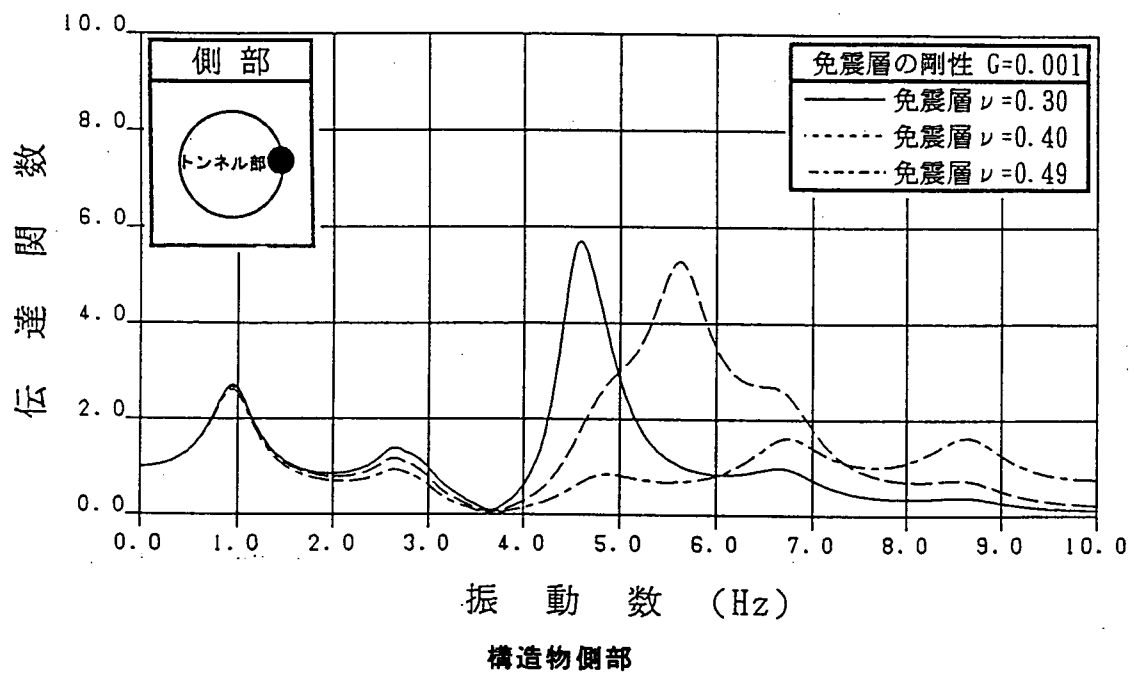
免震層のせん断弾性係数比が伝達関数に及ぼす影響（硬質地盤）



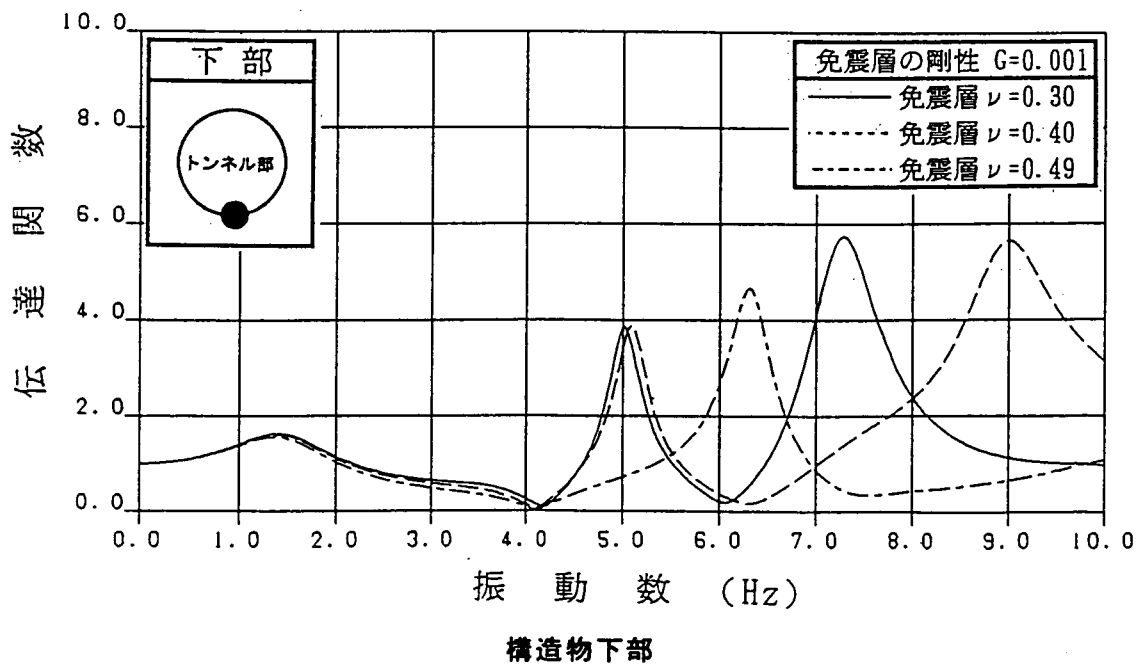
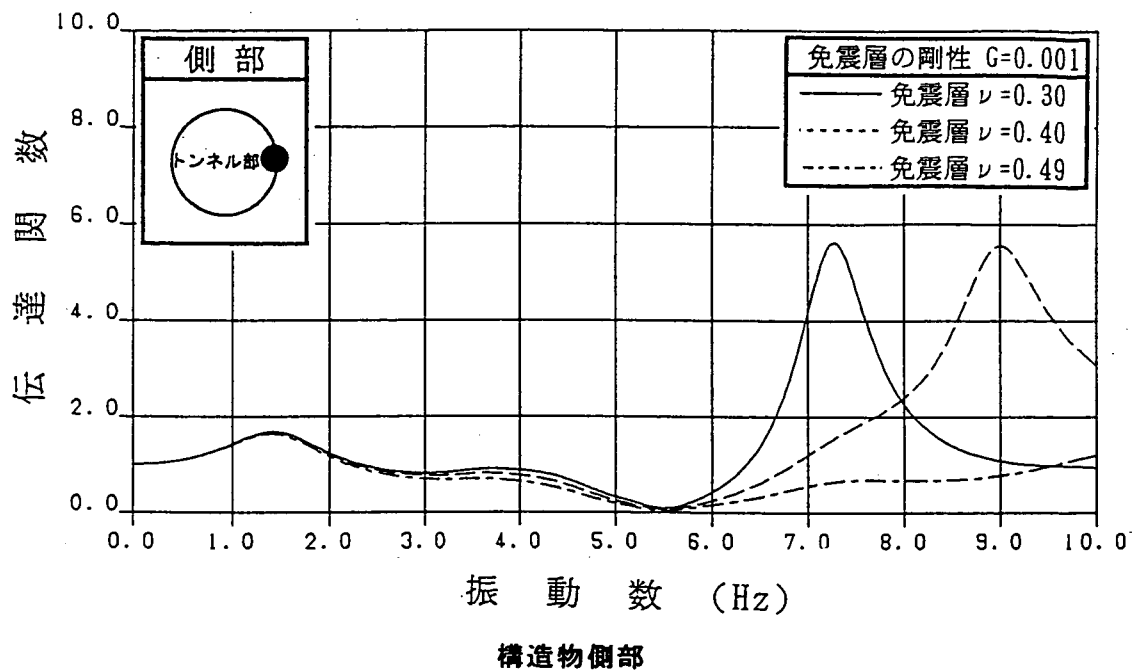
免震層のポアソン比が伝達関数に及ぼす影響 (軟質地盤, せん断弾性係数比1/100)



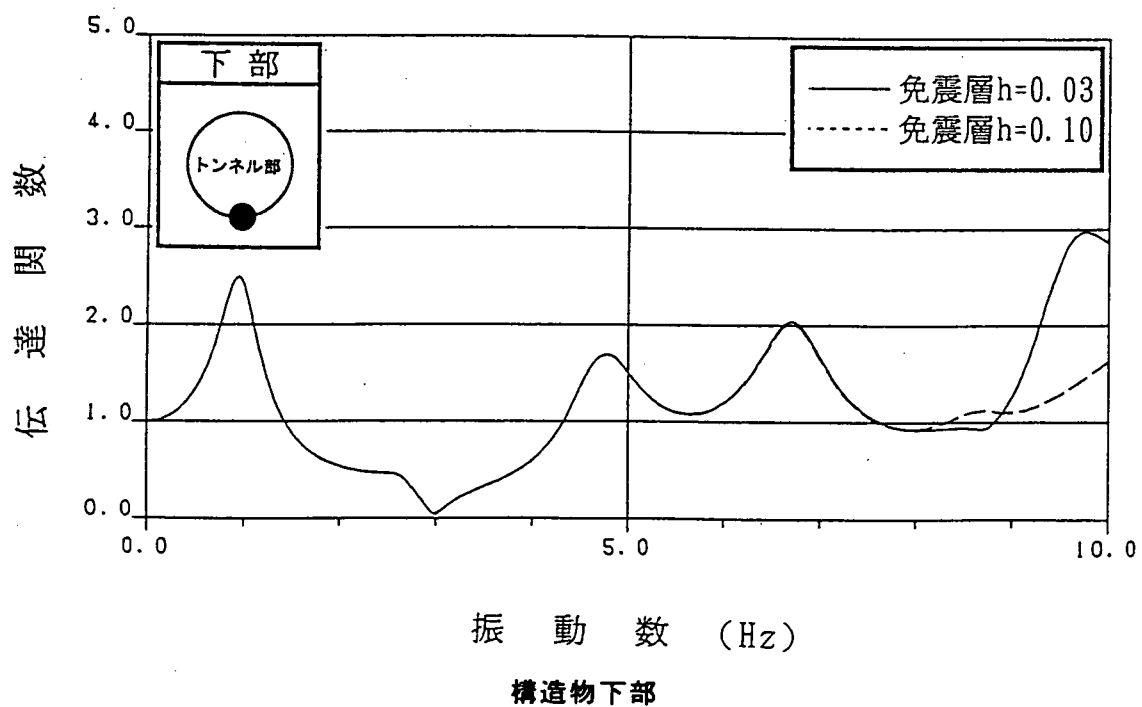
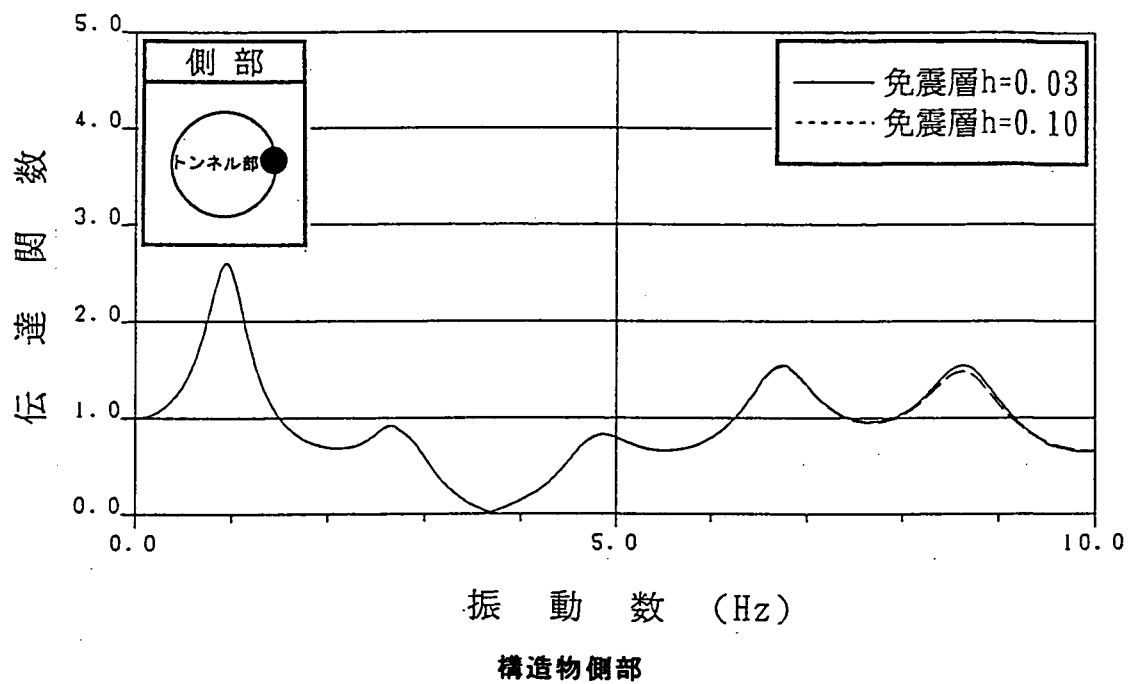
免震層のポアソン比が伝達関数に及ぼす影響 (硬質地盤, せん断弾性係数比1/100)



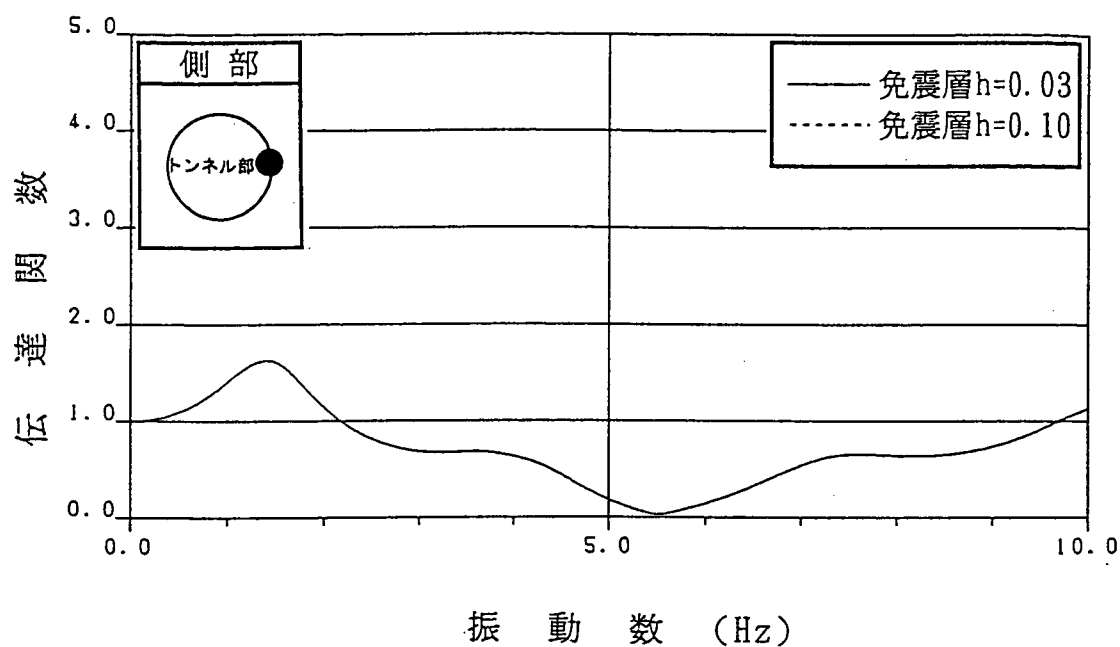
免震層のポアソン比が伝達関数に及ぼす影響 (軟質地盤, せん断弾性係数比1/1000)



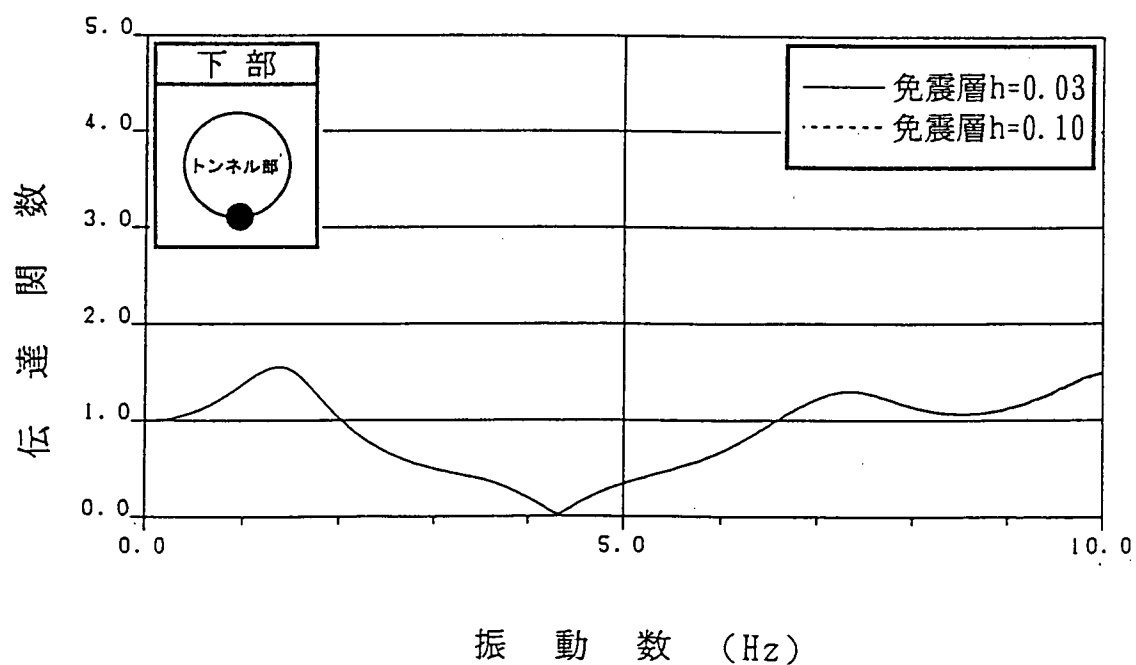
免震層のポアソン比が伝達関数に及ぼす影響 (硬質地盤, せん断弾性係数比1/1000)



免震層の減衰定数が伝達関数に及ぼす影響 (軟質地盤)



構造物側部



構造物下部

免震層の減衰定数が伝達関数に及ぼす影響（硬質地盤）

ケース	①	③	④	⑤	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬
せん断弾性係数比		1/10	1/100	1/1000	1/100	1/100	1/1000	1/1000	1/100
ポアソン比	免震層なし	0.3	0.3	0.3	0.4	0.49	0.4	0.49	0.3
減衰定数		0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.10
<曲げモーメント>									
構造物位置(度)									
0.00	0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000
22.50	1.0990	1.4790	1.1540	0.2782	1.3020	1.5180	0.4098	1.2080	1.1470
45.00	1.8160	2.2320	1.6670	0.3964	1.8920	2.2750	0.5848	1.7500	1.6560
67.50	1.5640	1.7850	1.2300	0.2836	1.4150	1.8000	0.4202	1.3000	1.2190
90.00	0.3873	0.2521	0.0639	-0.0057	0.0954	0.2491	0.0092	0.0799	0.0661
112.50	-1.3110	-1.6080	-1.1940	-0.2891	-1.3560	-1.6320	-0.4246	-1.2550	-1.1870
135.00	-2.3700	-2.6090	-1.7710	-0.4149	-2.0410	-2.6430	-0.6121	-1.8750	-1.7580
157.50	-1.7450	-1.9390	-1.2790	-0.2957	-1.4810	-1.9620	-0.4369	-1.3580	-1.2690
180.00	0.0000	0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000	0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000
202.50	1.7450	1.9390	1.2790	0.2957	1.4810	1.9620	0.4369	1.3580	1.2690
225.00	2.3700	2.6090	1.7710	0.4149	2.0410	2.6430	0.6121	1.8750	1.7580
247.50	1.3110	1.6080	1.1940	0.2891	1.3560	1.6320	0.4246	1.2550	1.1870
270.00	-0.3873	-0.2521	-0.0639	0.0057	-0.0954	-0.2491	-0.0092	-0.0799	-0.0661
292.50	-1.5640	-1.7850	-1.2300	-0.2836	-1.4150	-1.8000	-0.4202	-1.3000	-1.2190
315.00	-1.8160	-2.2320	-1.6670	-0.3964	-1.8920	-2.2750	-0.5848	-1.7500	-1.6560
337.50	-1.0990	-1.4790	-1.1540	-0.2782	-1.3020	-1.5180	-0.4098	-1.2080	-1.1470
最大絶対値	2.3700	2.6090	1.7710	0.4149	2.0410	2.6430	0.6121	1.8750	1.7580
低減率		110%	75%	18%	86%	112%	26%	79%	74%
<軸力>									
構造物位置(度)									
0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
11.25	-2.7700	-1.0660	-0.4126	-0.1037	-0.4437	-0.5342	-0.1517	-0.3403	-0.4090
33.75	-7.0020	-2.6070	-1.0120	-0.2602	-1.0930	-1.3340	-0.3847	-0.8514	-1.0030
56.25	-7.4150	-2.6200	-1.0490	-0.2907	-1.1470	-1.4260	-0.4423	-0.9344	-1.0390
78.75	-3.1090	-0.9297	-0.4831	-0.1919	-0.5493	-0.7072	-0.3148	-0.5479	-0.4803
101.25	4.1520	1.6760	0.3836	0.0738	0.3870	0.4942	0.1089	0.1272	0.3760
123.75	10.2700	3.6960	1.0470	0.1446	1.1190	1.5070	0.2115	0.6277	1.0320
146.25	10.6500	3.7220	1.0890	0.1717	1.1770	1.6180	0.2392	0.7131	1.0740
168.75	4.4530	1.5510	0.4577	0.0747	0.4969	0.6849	0.1030	0.3074	0.4516
180.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
191.25	-4.4530	-1.5510	-0.4577	-0.0747	-0.4969	-0.6849	-0.1030	-0.3074	-0.4516
213.75	-10.6500	-3.7220	-1.0890	-0.1717	-1.1770	-1.6180	-0.2392	-0.7131	-1.0740
236.25	-10.2700	-3.6960	-1.0470	-0.1446	-1.1190	-1.5070	-0.2115	-0.6277	-1.0320
258.75	-4.1520	-1.6760	-0.3836	-0.0738	-0.3870	-0.4942	-0.1089	-0.1272	-0.3760
281.25	3.1090	0.9297	0.4831	0.1919	0.5493	0.7072	0.3148	0.5479	0.4803
303.75	7.4150	2.6200	1.0490	0.2907	1.1470	1.4260	0.4423	0.9344	1.0390
326.25	7.0020	1.0120	1.0120	0.2602	1.0930	1.3340	0.3847	0.8514	1.0030
348.75	2.7700	1.0660	0.4126	0.1037	0.4437	0.5342	0.1517	0.3403	0.4090
最大絶対値	10.6500	3.7220	1.0890	0.2907	1.1770	1.6180	0.4423	0.9344	1.0740
低減率		35%	10%	3%	11%	15%	4%	9%	10%
<せん断力>									
構造物位置(度)									
0.00	1.1040	1.4870	1.1530	0.2797	1.3090	1.5260	0.4119	1.2140	1.1530
11.25	1.1040	1.4870	1.1530	0.2797	1.3090	1.5260	0.4119	1.2140	1.1530
33.75	0.7211	0.7568	0.5112	0.1187	0.5930	0.7603	0.1759	0.5449	0.5112
56.25	-0.2641	-0.4493	-0.4388	-0.1133	-0.4792	-0.4770	-0.1654	-0.4527	-0.4388
78.75	-1.1870	-1.5410	-1.1690	-0.2837	-1.3330	-1.5840	-0.4176	-1.2340	-1.1690
101.25	-1.7040	-1.8700	-1.2490	-0.2919	-1.4520	-1.8850	-0.4316	-1.3330	-1.2490
123.75	-1.0670	-1.0060	-0.5739	-0.1265	-0.6891	-1.0180	-0.1884	-0.6238	-0.5739
146.25	0.6292	0.6729	0.4910	0.1198	0.5623	0.6859	0.1761	0.5197	0.4910
168.75	1.7540	1.9490	1.2760	0.2972	1.4890	1.9720	0.4391	1.3650	1.2760
180.00	1.7540	1.9490	1.2760	0.2972	1.4890	1.9720	0.4391	1.3650	1.2760
191.25	1.7540	1.9490	1.2760	0.2972	1.4890	1.9720	0.4391	1.3650	1.2760
213.75	0.6291	0.6729	0.4910	0.1198	0.5623	0.6859	0.1761	0.5197	0.4910
236.25	-1.0670	-1.0060	-0.5739	-0.1265	-0.6891	-1.0180	-0.1884	-0.6238	-0.5739
258.75	-1.7040	-1.8700	-1.2490	-0.2919	-1.4520	-1.8850	-0.4316	-1.3330	-1.2490
281.25	-1.1870	-1.5410	-1.1690	-0.2837	-1.3330	-1.5840	-0.4176	-1.2340	-1.1690
303.75	-0.2641	-0.4493	-0.4388	-0.1133	-0.4792	-0.4770	-0.1654	-0.4527	-0.4388
326.25	0.7211	0.7568	0.5112	0.1187	0.5930	0.7603	0.1759	0.5449	0.5112
348.75	1.1040	1.4870	1.1530	0.2797	1.3090	1.5260	0.4119	1.2140	1.1530
最大絶対値	1.7540	1.9490	1.2760	0.2972	1.4890	1.9720	0.4391	1.3650	1.2760
低減率		111%	73%	17%	85%	112%	25%	78%	73%

最大地震時増分断面力データ（軟質地盤）

ケース	(2)	(6)	(7)	(8)	(11)	(14)	(15)	(16)	(18)
せん断弾性係数比		1/10	1/100	1/1000	1/100	1/100	1/1000	1/1000	1/100
ポアソン比	免震層なし	0.3	0.3	0.3	0.4	0.49	0.4	0.49	0.3
減衰定数		0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.10
<曲げモーメント>									
構造物位置(度)									
0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
22.50	0.4846	0.5923	0.5748	0.2199	0.5976	0.6145	0.2977	0.5712	0.5803
45.00	0.7717	0.8960	0.8347	0.3131	0.8737	0.9184	0.4250	0.8320	0.8432
67.50	0.6390	0.7152	0.6224	0.2235	0.6803	0.7210	0.3056	0.6243	0.6295
90.00	0.1311	0.1116	0.0444	0.0049	0.0593	-0.1055	-0.0070	0.0515	0.0451
112.50	-0.5568	-0.6477	-0.6005	-0.2313	-0.6290	-0.6610	-0.3097	-0.5990	-0.6068
135.00	-0.9502	-1.0470	-0.8988	-0.3306	-0.9560	-1.0600	-0.4461	-0.9039	-0.9094
157.50	-0.7021	-0.7777	-0.6516	-0.2354	-0.6970	-0.7843	-0.3185	-0.6572	-0.6600
180.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
202.50	0.7021	0.7777	0.6516	0.2354	0.6970	0.7843	0.3185	0.6572	0.6600
225.00	0.9502	1.0470	0.8988	0.3306	0.9560	1.0600	0.4461	0.9039	0.9094
247.50	0.5568	0.6477	0.6005	0.2313	0.6290	0.6610	0.3097	0.5990	0.6068
270.00	-0.1311	-0.1116	-0.0444	-0.0049	-0.0593	0.1055	0.0070	-0.0515	-0.0451
292.50	-0.6390	-0.7152	-0.6224	-0.2235	-0.6803	-0.7210	-0.3056	-0.6243	-0.6295
315.00	-0.7717	-0.8961	-0.8347	-0.3131	-0.8737	-0.9184	-0.4250	-0.8320	-0.8432
337.50	-0.4846	-0.5923	-0.5748	-0.2199	-0.5976	-0.6145	-0.2977	-0.5712	-0.5803
最大絶対値	0.9502	1.0470	0.8988	0.3306	0.9560	1.0600	0.4461	0.9039	0.9094
低減率		110%	95%	35%	101%	112%	47%	95%	96%
<軸力>									
構造物位置(度)									
0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
11.25	-1.5300	-0.7480	-0.2473	-0.0869	-0.2539	-0.3131	-0.1080	-0.1713	-0.2532
33.75	-3.8040	-1.8240	-0.6071	-0.2188	-0.6256	-0.7732	-0.2735	-0.4306	-0.6214
56.25	-3.9360	-1.8320	-0.6289	-0.2474	-0.6543	-0.8098	-0.3131	-0.4780	-0.6431
78.75	-1.5690	-0.6645	-0.2861	0.1711	-0.3083	-0.3752	-0.2201	-0.2941	-0.2913
101.25	2.1960	1.1080	0.2429	0.0647	0.2363	0.3212	-0.1071	-0.0667	0.2513
123.75	5.1990	2.4600	0.6467	0.1251	0.6581	0.8792	0.1602	0.3050	0.6684
146.25	5.3140	2.4720	0.6704	0.1390	0.6892	0.9221	0.1771	0.3515	0.6921
168.75	2.2180	1.0280	0.2818	0.0595	0.2906	0.3875	0.0761	0.1525	0.2909
180.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
191.25	-2.2180	-1.0280	-0.2818	-0.0595	-0.2906	-0.3875	-0.0761	-0.1525	-0.2909
213.75	-5.3140	-2.4720	-0.6704	-0.1390	-0.6892	-0.9221	-0.1771	-0.3515	-0.6921
236.25	-5.1990	-2.4600	-0.6467	-0.1251	-0.6581	-0.8792	-0.1602	-0.3050	-0.6684
258.75	-2.1960	-1.1080	-0.2429	-0.0647	-0.2363	-0.3212	0.1071	0.0667	-0.2513
281.25	1.5690	0.6645	0.2861	-0.1711	0.3083	0.3752	0.2201	0.2941	0.2913
303.75	3.9360	1.8320	0.6289	0.2474	0.6543	0.8098	0.3131	0.4780	0.6431
326.25	3.8040	1.8240	0.6071	0.2188	0.6256	0.7732	0.2735	0.4306	0.6214
348.75	1.5300	0.7480	0.2473	0.0869	0.2539	0.3131	0.1080	0.1713	0.2532
最大絶対値	5.3140	2.4720	0.6704	0.2474	0.6892	0.9221	0.3131	0.4780	0.6921
低減率		47%	13%	5%	13%	17%	6%	9%	13%
<せん断力>									
構造物位置(度)									
0.00	0.4870	0.5953	0.5777	0.2211	0.6006	0.6177	0.2992	0.5741	0.5833
11.25	0.4870	0.5953	0.5777	0.2211	0.6006	0.6177	0.2992	0.5741	0.5833
33.75	0.2886	0.3053	0.2612	0.0937	0.2776	0.3054	0.1279	0.2621	0.2643
56.25	-0.1375	-0.1864	-0.2145	-0.0901	-0.2166	-0.2035	-0.1200	-0.2105	-0.2154
78.75	-0.5233	-0.6202	-0.5894	-0.2254	-0.6147	-0.6341	-0.3040	-0.5863	-0.5952
101.25	-0.6787	-0.7496	-0.6397	-0.2317	-0.6812	-0.7550	-0.3144	-0.6432	-0.6473
123.75	-0.4023	-0.4078	-0.3017	-0.0998	-0.3317	-0.4077	-0.1371	-0.3088	-0.3072
146.25	0.2529	0.2732	0.2485	0.0957	0.2603	0.2795	0.1283	0.2479	0.2509
168.75	0.7057	0.7817	0.6549	0.2366	0.7006	0.7883	0.3201	0.6605	0.6634
180.00	0.7057	0.7817	0.6549	0.2366	0.7006	0.7883	0.3201	0.6605	0.6634
191.25	0.7057	0.7817	0.6549	0.2366	0.7006	0.7883	0.3201	0.6605	0.6634
213.75	0.2529	0.2732	0.2485	0.0957	0.2603	0.2795	0.1283	0.2479	0.2509
236.25	-0.4023	-0.4078	-0.3017	-0.0998	-0.3317	-0.4077	-0.1371	-0.3088	-0.3072
258.75	-0.6787	-0.7496	-0.6397	-0.2317	-0.6812	-0.7550	-0.3144	-0.6432	-0.6473
281.25	-0.5233	-0.6202	-0.5894	-0.2254	-0.6147	-0.6341	-0.3040	-0.5863	-0.5952
303.75	-0.1375	-0.1864	-0.2145	-0.0901	-0.2166	-0.2035	-0.1200	-0.2105	-0.2154
326.25	0.2886	0.3053	0.2612	0.0937	0.2776	0.3054	0.1279	0.2621	0.2643
348.75	0.4870	0.5953	0.5777	0.2211	0.6006	0.6177	0.2992	0.5741	0.5833
最大絶対値	0.7057	0.7817	0.6549	0.2366	0.7006	0.7883	0.3201	0.6605	0.6634
低減率		111%	93%	34%	99%	112%	45%	94%	94%

最大地震時増分断面力データ（硬質地盤）

<CASE①>

No.	角度 (°)	σ_x (t/m ²)	σ_y (t/m ²)	τ_{xy} (t/m ²)	σ 接線方向 (t/m ²)	σ 法線方向 (t/m ²)	τ 接線方向 (t/m ²)	接線方向 軸ひずみ (%)	法線方向 軸ひずみ (%)	接線方向 せん断ひずみ (%)
1	5.625	0.403	-0.729	2.824	-0.167	-0.159	-2.880	-0.000	0.000	-0.133
2	16.875	0.929	-1.844	2.060	-0.466	-0.449	-2.483	-0.000	-0.000	-0.115
3	28.125	0.781	-2.111	0.950	-0.678	-0.651	-1.730	-0.001	0.000	-0.080
4	39.375	-0.063	-1.405	0.130	-0.737	-0.731	-0.683	-0.000	-0.000	-0.032
5	50.625	-1.127	-0.085	0.120	-0.590	-0.622	0.534	0.000	-0.001	0.025
6	61.875	-1.871	1.058	1.017	-0.374	-0.439	1.783	0.001	-0.001	0.083
7	73.125	-1.637	1.477	2.426	-0.027	-0.134	2.882	0.001	-0.001	0.133
8	84.375	-0.408	0.905	3.575	0.302	0.194	3.634	0.001	-0.001	0.168
9	95.625	1.319	-0.272	3.783	0.566	0.481	3.866	0.001	-0.001	0.179
10	106.875	2.666	-1.220	2.882	0.738	0.708	3.476	0.001	-0.000	0.161
11	118.125	2.863	-1.229	1.380	0.807	0.827	2.468	0.000	0.001	0.114
12	129.375	1.714	-0.178	0.232	0.725	0.811	0.973	-0.001	0.001	0.045
13	140.625	-0.059	1.449	0.210	0.636	0.754	-0.780	-0.001	0.002	-0.036
14	151.875	-1.529	2.575	1.442	0.464	0.582	-2.507	-0.001	0.002	-0.116
15	163.125	-1.777	2.438	3.242	0.281	0.380	-3.866	-0.001	0.001	-0.179
16	174.375	-0.778	0.992	4.534	0.090	0.125	-4.620	-0.000	0.000	-0.214

<CASE④>

No.	角度 (°)	σ_x (t/m ²)	σ_y (t/m ²)	τ_{xy} (t/m ²)	σ 接線方向 (t/m ²)	σ 法線方向 (t/m ²)	τ 接線方向 (t/m ²)	接線方向 軸ひずみ (%)	法線方向 軸ひずみ (%)	接線方向 せん断ひずみ (%)
1	5.625	0.083	0.035	0.248	0.084	0.034	-0.248	0.112	-0.003	-1.148
2	16.875	0.223	0.115	0.211	0.241	0.097	-0.205	0.324	-0.011	-0.951
3	28.125	0.302	0.212	0.162	0.367	0.147	-0.127	0.492	-0.016	-0.590
4	39.375	0.306	0.313	0.134	0.442	0.177	-0.023	0.592	-0.019	-0.105
5	50.625	0.255	0.384	0.152	0.456	0.183	0.093	0.612	-0.020	0.430
6	61.875	0.181	0.387	0.214	0.405	0.163	0.205	0.542	-0.017	0.947
7	73.125	0.106	0.292	0.292	0.284	0.114	0.294	0.381	-0.012	1.363
8	84.375	0.037	0.110	0.346	0.105	0.042	0.346	0.142	-0.005	1.604
9	95.625	-0.043	-0.115	0.350	-0.112	-0.046	0.350	-0.149	0.003	1.622
10	106.875	-0.152	-0.319	0.305	-0.335	-0.136	0.300	-0.450	0.013	1.389
11	118.125	-0.293	-0.448	0.240	-0.527	-0.214	0.198	-0.705	0.019	0.916
12	129.375	-0.436	-0.472	0.200	-0.647	-0.261	0.057	-0.866	0.026	0.262
13	140.625	-0.532	-0.410	0.216	-0.671	-0.271	-0.102	-0.899	0.027	-0.472
14	151.875	-0.527	-0.298	0.287	-0.588	-0.237	-0.255	-0.787	0.023	-1.179
15	163.125	-0.389	-0.172	0.377	-0.400	-0.161	-0.374	-0.536	0.016	-1.730
16	174.375	-0.144	-0.055	0.438	-0.141	-0.058	-0.438	-0.189	0.005	-2.029

免震層位置要素の応力およびひずみ（軟質地盤）

<CASE⑤>

No.	角度 (°)	σ_x (t/m ²)	σ_y (t/m ²)	τ_{xy} (t/m ²)	σ 接線方向 (t/m ²)	σ 法線方向 (t/m ²)	τ 接線方向 (t/m ²)	接線方向 軸ひずみ (%)	法線方向 軸ひずみ (%)	接線方向 せん断ひずみ (%)
1	5.625	0.053	0.054	0.026	0.060	0.048	-0.025	0.629	0.369	-1.175
2	16.875	0.150	0.156	0.024	0.169	0.137	-0.018	1.788	1.046	-0.856
3	28.125	0.219	0.235	0.023	0.251	0.203	-0.006	2.650	1.553	-0.268
4	39.375	0.246	0.278	0.025	0.290	0.235	0.011	3.061	1.792	0.498
5	50.625	0.230	0.276	0.032	0.280	0.227	0.029	2.962	1.731	1.330
6	61.875	0.174	0.227	0.043	0.222	0.179	0.046	2.346	1.368	2.115
7	73.125	0.083	0.129	0.055	0.118	0.095	0.059	1.249	0.719	2.716
8	84.375	-0.030	-0.002	0.064	-0.018	-0.015	0.065	-0.181	-0.120	3.024
9	95.625	-0.154	-0.149	0.066	-0.167	-0.136	0.064	-1.755	-1.046	2.981
10	106.875	-0.271	-0.286	0.062	-0.307	-0.250	0.055	-3.239	-1.917	2.567
11	118.125	-0.366	-0.388	0.054	-0.416	-0.338	0.039	-4.392	-2.593	1.809
12	129.375	-0.419	-0.436	0.047	-0.471	-0.383	0.018	-4.978	-2.935	0.813
13	140.625	-0.419	-0.425	0.044	-0.466	-0.378	-0.006	-4.917	-2.898	-0.269
14	151.875	-0.360	-0.355	0.046	-0.395	-0.321	-0.028	-4.169	-2.455	-1.295
15	163.125	-0.243	-0.234	0.051	-0.263	-0.214	-0.045	-2.782	-1.635	-2.086
16	174.375	-0.086	-0.082	0.055	-0.092	-0.075	-0.054	-0.976	-0.575	-2.514

<CASE⑩>

No.	角度 (°)	σ_x (t/m ²)	σ_y (t/m ²)	τ_{xy} (t/m ²)	σ 接線方向 (t/m ²)	σ 法線方向 (t/m ²)	τ 接線方向 (t/m ²)	接線方向 軸ひずみ (%)	法線方向 軸ひずみ (%)	接線方向 せん断ひずみ (%)
1	5.625	0.165	0.087	0.218	0.130	0.122	-0.221	0.016	-0.004	-1.025
2	16.875	0.448	0.262	0.161	0.367	0.343	-0.186	0.044	-0.012	-0.859
3	28.125	0.636	0.460	0.080	0.566	0.530	-0.118	0.066	-0.015	-0.545
4	39.375	0.697	0.652	0.027	0.697	0.652	-0.027	0.082	-0.020	-0.127
5	50.625	0.669	0.803	0.037	0.759	0.713	0.073	0.088	-0.020	0.338
6	61.875	0.577	0.834	0.113	0.728	0.683	0.170	0.085	-0.020	0.785
7	73.125	0.449	0.697	0.217	0.590	0.556	0.249	0.067	-0.014	1.154
8	84.375	0.278	0.376	0.294	0.336	0.318	0.298	0.037	-0.006	1.379
9	95.625	0.025	-0.100	0.299	-0.035	-0.041	0.305	0.005	-0.009	1.414
10	106.875	-0.307	-0.576	0.228	-0.456	-0.427	0.264	-0.055	0.014	1.224
11	118.125	-0.706	-0.973	0.121	-0.866	-0.813	0.178	-0.100	0.022	0.825
12	129.375	-1.079	-1.178	0.045	-1.163	-1.094	0.057	-0.132	0.028	0.265
13	140.625	-1.302	-1.159	0.052	-1.268	-1.193	-0.080	-0.143	0.029	-0.372
14	151.875	-1.275	-0.955	0.147	-1.148	-1.082	-0.215	-0.129	0.026	-0.994
15	163.125	-0.922	-0.606	0.278	-0.787	-0.741	-0.319	-0.089	0.018	-1.477
16	174.375	-0.342	-0.212	0.370	-0.285	-0.268	-0.376	-0.032	0.007	-1.739

免震層位置要素の応力およびひずみ（軟質地盤）

<CASE②>

No.	角度 (°)	σ_x (t/m ²)	σ_y (t/m ²)	τ_{xy} (t/m ²)	σ 接線方向 (t/m ²)	σ 法線方向 (t/m ²)	τ 接線方向 (t/m ²)	接線方向 軸ひずみ (%)	法線方向 軸ひずみ (%)	接線方向 せん断ひずみ (%)
1	5.625	0.302	-0.682	2.458	-0.193	-0.186	-2.507	-0.000	-0.000	-0.045
2	16.875	0.662	-1.742	1.789	-0.546	-0.535	-2.155	-0.001	-0.000	-0.039
3	28.125	0.436	-2.057	0.819	-0.822	-0.799	-1.492	-0.001	-0.001	-0.027
4	39.375	-0.377	-1.511	0.106	-0.951	-0.937	-0.577	-0.001	-0.001	-0.010
5	50.625	-1.346	-0.407	0.098	-0.872	-0.881	0.480	-0.001	-0.001	0.009
6	61.875	-1.991	0.576	0.873	-0.695	-0.720	1.552	-0.001	-0.001	0.028
7	73.125	-1.731	0.990	2.084	-0.344	-0.398	2.489	-0.000	-0.001	0.045
8	84.375	-0.559	0.606	3.064	0.050	-0.004	3.119	0.000	-0.000	0.056
9	95.625	1.082	-0.245	3.232	0.439	0.398	3.299	0.001	0.000	0.059
10	106.875	2.416	-0.868	2.449	0.779	0.769	2.948	0.001	0.001	0.053
11	118.125	2.757	-0.690	1.160	1.027	1.040	2.078	0.001	0.001	0.037
12	129.375	1.901	0.332	0.182	1.091	1.142	0.805	0.001	0.001	0.014
13	140.625	0.452	1.763	0.163	1.075	1.140	-0.675	0.001	0.001	-0.012
14	151.875	-0.835	2.661	1.205	0.882	0.945	-2.123	0.001	0.001	-0.038
15	163.125	-1.183	2.392	2.724	0.577	0.632	-3.258	0.000	0.001	-0.059
16	174.375	-0.542	0.957	3.812	0.198	0.217	-3.885	0.000	0.000	-0.070

<CASE⑦>

No.	角度 (°)	σ_x (t/m ²)	σ_y (t/m ²)	τ_{xy} (t/m ²)	σ 接線方向 (t/m ²)	σ 法線方向 (t/m ²)	τ 接線方向 (t/m ²)	接線方向 軸ひずみ (%)	法線方向 軸ひずみ (%)	接線方向 せん断ひずみ (%)
1	5.625	0.052	-0.004	0.196	0.035	0.013	-0.197	0.018	-0.001	-0.355
2	16.875	0.132	0.003	0.153	0.099	0.036	-0.162	0.053	-0.004	-0.292
3	28.125	0.157	0.048	0.093	0.150	0.055	-0.098	0.079	-0.006	-0.176
4	39.375	0.123	0.123	0.058	0.180	0.066	-0.011	0.095	-0.007	-0.021
5	50.625	0.057	0.197	0.074	0.186	0.069	0.083	0.099	-0.007	0.149
6	61.875	-0.002	0.228	0.139	0.165	0.061	0.173	0.087	-0.006	0.311
7	73.125	-0.029	0.184	0.224	0.113	0.041	0.245	0.060	-0.004	0.441
8	84.375	-0.023	0.068	0.282	0.033	0.012	0.286	0.018	-0.002	0.514
9	95.625	-0.011	-0.083	0.285	-0.067	-0.027	0.287	-0.035	0.001	0.516
10	106.875	-0.030	-0.212	0.233	-0.175	-0.067	0.244	-0.092	0.005	0.439
11	118.125	-0.100	-0.273	0.157	-0.269	-0.104	0.160	-0.142	0.007	0.287
12	129.375	-0.204	-0.253	0.108	-0.330	-0.127	0.045	-0.173	0.009	0.081
13	140.625	-0.299	-0.176	0.119	-0.343	-0.132	-0.083	-0.180	0.009	-0.150
14	151.875	-0.328	-0.088	0.191	-0.300	-0.116	-0.206	-0.158	0.008	-0.370
15	163.125	-0.256	-0.027	0.285	-0.204	-0.079	-0.301	-0.107	0.006	-0.541
16	174.375	-0.097	-0.003	0.350	-0.072	-0.028	-0.352	-0.038	0.002	-0.633

免震層位置要素の応力およびひずみ（硬質地盤）

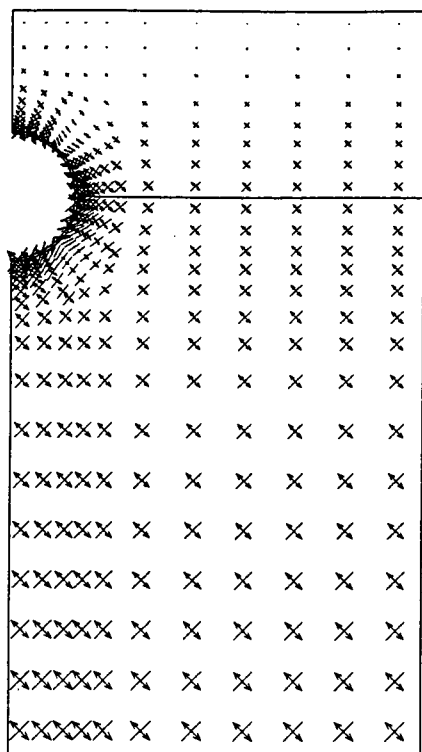
<CASE⑧>

No.	角度 (°)	σ_x (t/m ²)	σ_y (t/m ²)	τ_{xy} (t/m ²)	σ 接線方向 (t/m ²)	σ 法線方向 (t/m ²)	τ 接線方向 (t/m ²)	接線方向 軸ひずみ (%)	法線方向 軸ひずみ (%)	接線方向 せん断ひずみ (%)
1	5.625	0.003	-0.011	0.026	-0.005	-0.002	-0.027	-0.028	0.001	-0.483
2	16.875	0.011	-0.030	0.023	-0.014	-0.006	-0.030	-0.074	0.003	-0.545
3	28.125	0.022	-0.045	0.016	-0.017	-0.006	-0.036	-0.089	0.005	-0.654
4	39.375	0.036	-0.051	0.005	-0.011	-0.004	-0.044	-0.060	0.007	-0.788
5	50.625	0.054	-0.047	-0.009	0.004	0.003	-0.051	0.020	0.006	-0.926
6	61.875	0.074	-0.031	-0.025	0.030	0.014	-0.058	0.150	0.005	-1.040
7	73.125	0.093	-0.003	-0.041	0.062	0.027	-0.061	0.319	0.004	-1.094
8	84.375	0.110	0.032	-0.053	0.099	0.043	-0.059	0.509	0.001	-1.067
9	95.625	0.125	0.069	-0.059	0.136	0.058	-0.053	0.700	-0.001	-0.950
10	106.875	0.137	0.102	-0.061	0.168	0.071	-0.041	0.863	-0.004	-0.739
11	118.125	0.143	0.124	-0.059	0.187	0.079	-0.025	0.966	-0.006	-0.447
12	129.375	0.141	0.130	-0.055	0.190	0.080	-0.006	0.982	-0.008	-0.103
13	140.625	0.129	0.121	-0.053	0.176	0.074	0.014	0.907	-0.008	0.251
14	151.875	0.105	0.098	-0.052	0.143	0.060	0.032	0.738	-0.007	0.575
15	163.125	0.069	0.063	-0.053	0.093	0.039	0.046	0.480	-0.005	0.819
16	174.375	0.024	0.022	-0.054	0.032	0.014	0.053	0.166	-0.002	0.949

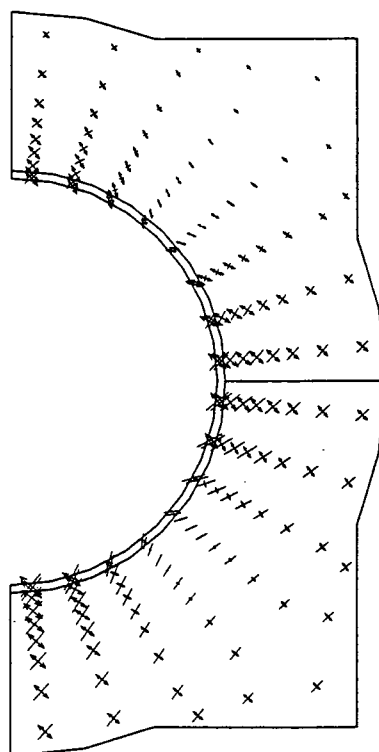
<CASE⑭>

No.	角度 (°)	σ_x (t/m ²)	σ_y (t/m ²)	τ_{xy} (t/m ²)	σ 接線方向 (t/m ²)	σ 法線方向 (t/m ²)	τ 接線方向 (t/m ²)	接線方向 軸ひずみ (%)	法線方向 軸ひずみ (%)	接線方向 せん断ひずみ (%)
1	5.625	0.082	0.014	0.183	0.050	0.045	-0.186	0.003	-0.001	-0.335
2	16.875	0.208	0.048	0.132	0.135	0.121	-0.154	0.008	-0.004	-0.278
3	28.125	0.266	0.119	0.061	0.202	0.182	-0.096	0.012	-0.006	-0.172
4	39.375	0.245	0.215	0.015	0.242	0.218	-0.018	0.015	-0.007	-0.032
5	50.625	0.188	0.316	0.026	0.264	0.239	0.068	0.016	-0.007	0.122
6	61.875	0.123	0.359	0.093	0.253	0.230	0.149	0.015	-0.006	0.269
7	73.125	0.088	0.312	0.184	0.209	0.191	0.216	0.012	-0.005	0.388
8	84.375	0.068	0.159	0.250	0.118	0.109	0.254	0.006	-0.002	0.457
9	95.625	0.018	-0.078	0.253	-0.032	-0.028	0.258	-0.002	0.001	0.463
10	106.875	-0.080	-0.311	0.189	-0.205	-0.187	0.221	-0.012	0.005	0.398
11	118.125	-0.249	-0.478	0.095	-0.379	-0.348	0.148	-0.020	0.007	0.266
12	129.375	-0.447	-0.531	0.029	-0.509	-0.469	0.047	-0.027	0.009	0.084
13	140.625	-0.592	-0.469	0.034	-0.551	-0.509	-0.067	-0.028	0.009	-0.121
14	151.875	-0.618	-0.345	0.114	-0.500	-0.463	-0.177	-0.025	0.008	-0.318
15	163.125	-0.461	-0.192	0.224	-0.339	-0.313	-0.261	-0.017	0.006	-0.470
16	174.375	-0.175	-0.064	0.302	-0.124	-0.115	-0.307	-0.006	0.002	-0.553

免震層位置要素の応力およびひずみ（硬質地盤）

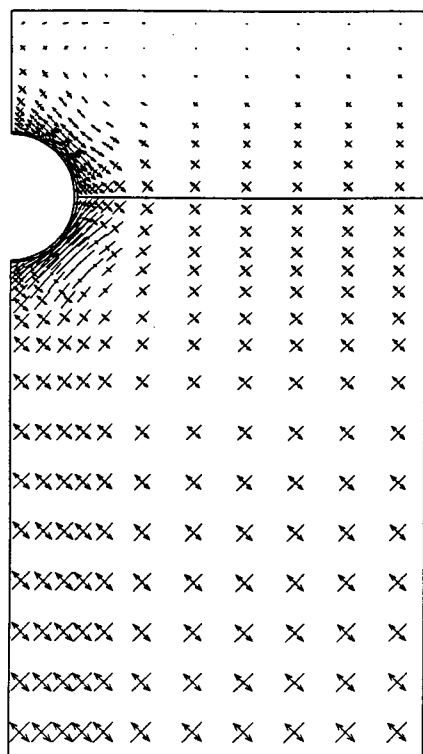


解析メッシュ全体

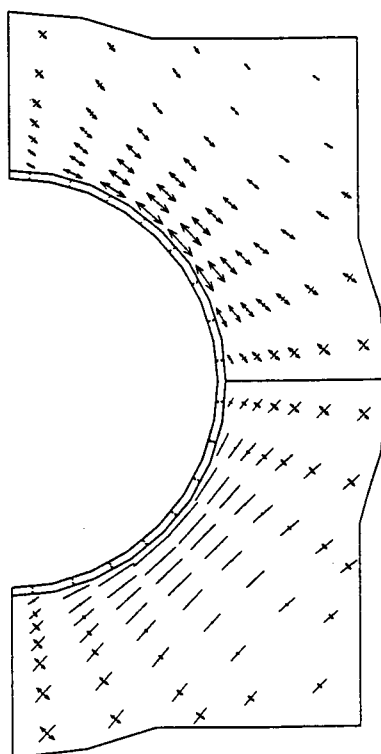


トンネル近傍

(非免震：ケース②、硬質地盤)



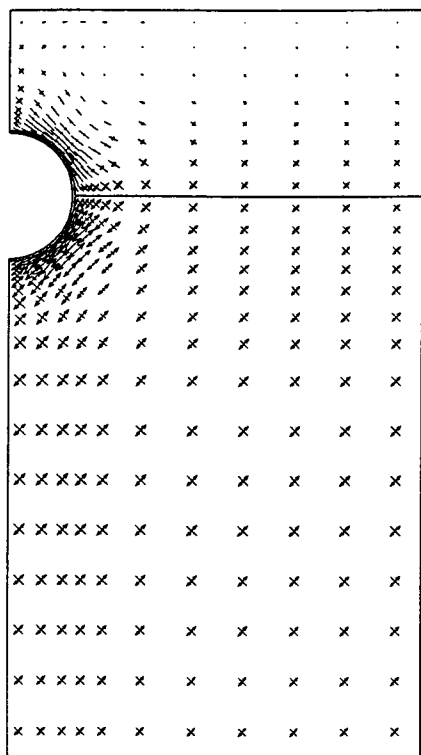
解析メッシュ全体



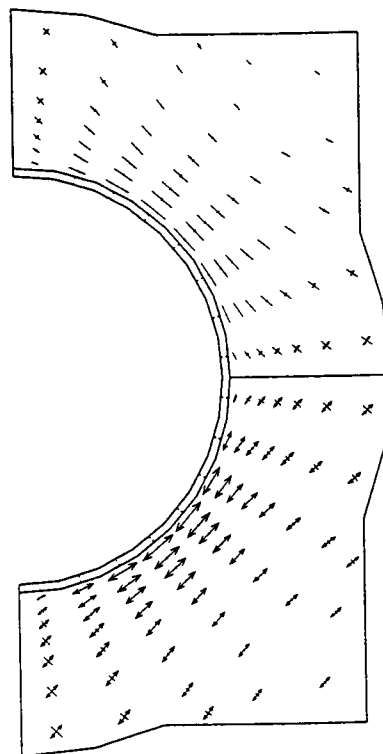
トンネル近傍

($G_m/G_g=1/100$, $\nu=0.30$: ケース⑦、硬質地盤)

周辺地盤の主応力分布

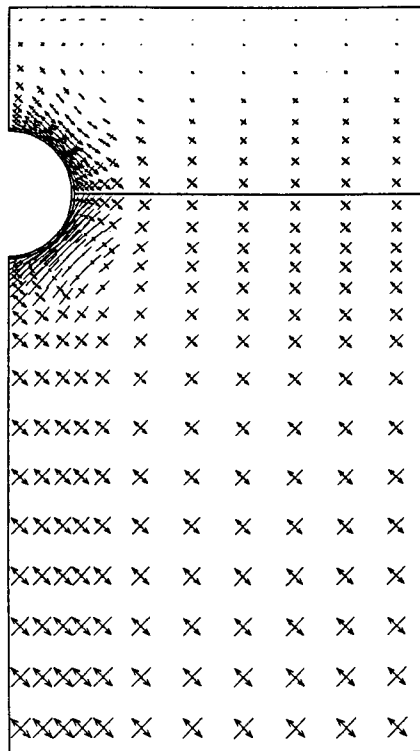


解析メッシュ全体

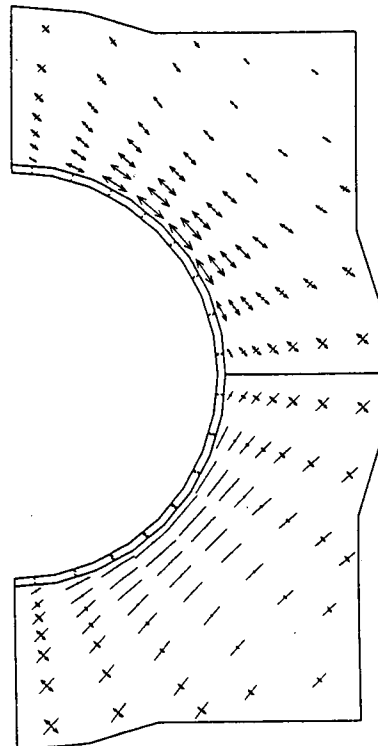


トンネル近傍

($G_m/G_g=1/1000$, $\nu=0.30$: ケース⑧、硬質地盤)



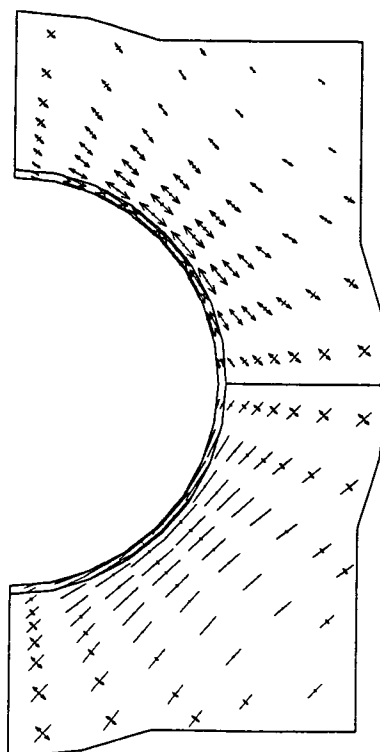
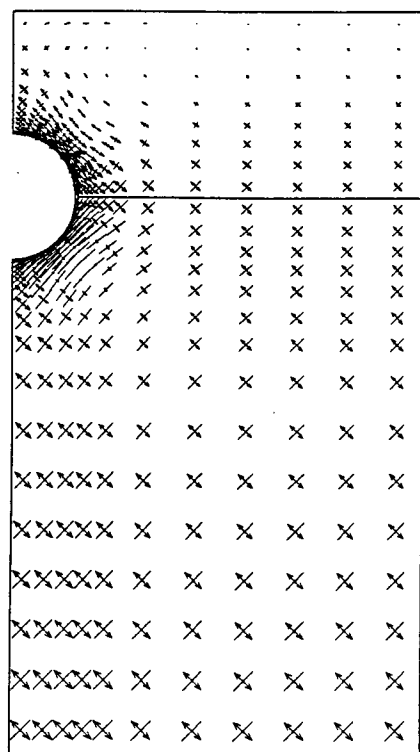
解析メッシュ全体



トンネル近傍

($G_m/G_g=1/100$, $\nu=0.49$: ケース⑭、硬質地盤)

周辺地盤の主応力分布

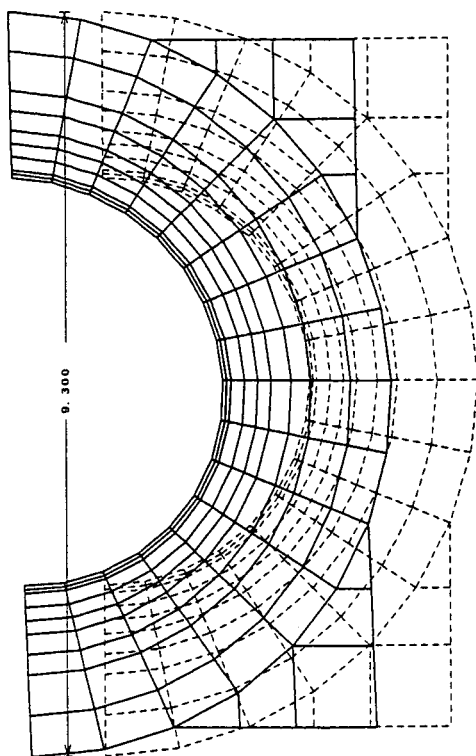


解析メッシュ全体

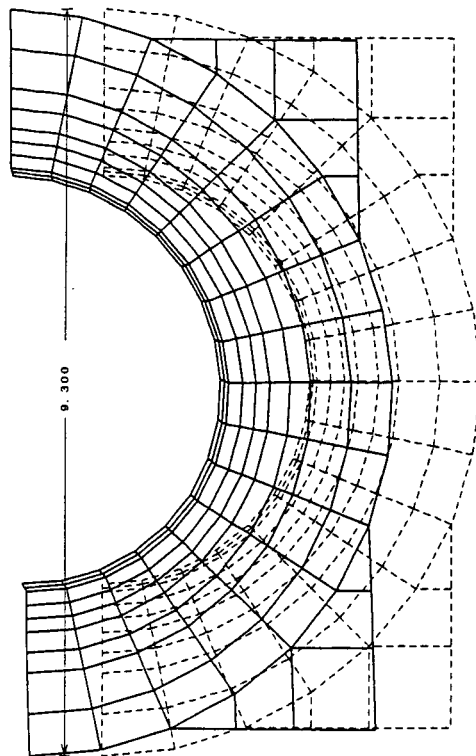
トンネル近傍

(切り欠き地盤、軟質地盤)

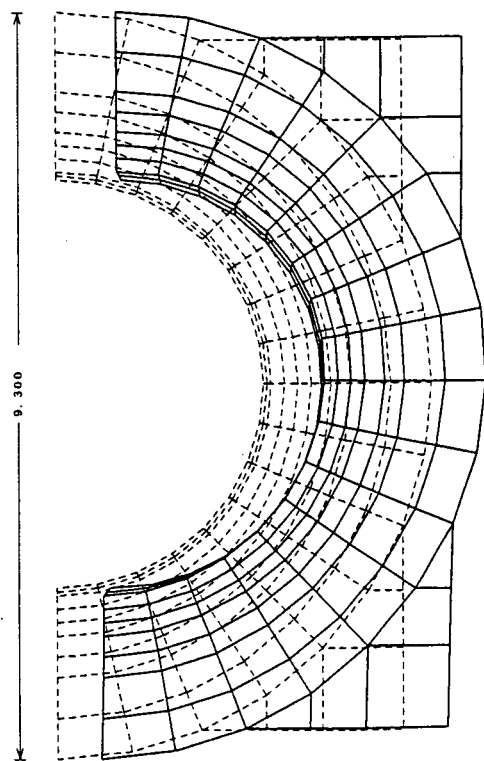
周辺地盤の主応力分布



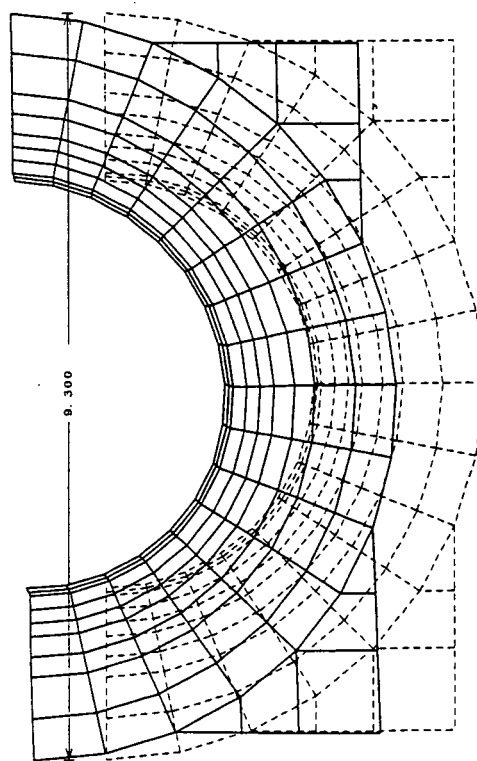
(非免震: ケース②)



($G_m/G_g=1/100$, $\nu=0.30$: ケース⑦)



($G_m/G_g=1/1000$, $\nu=0.30$: ケース⑧)



($G_m/G_g=1/100$, $\nu=0.49$: ケース⑭)

構造物近傍の変形図 (硬質地盤)

<CASE(1)>

	節点 番号	X座標 初期値	Y座標 初期値	X方向変位 δX	Y方向変位 δY	X座標 変位後	Y座標 変位後	免震層厚 (m)
内 側	13	0.000	-5.000	-3.875	0.000	-3.875	-5.000	
	34	0.497	-5.049	-3.877	-0.028	-3.380	-5.077	
	67	0.976	-5.194	-3.883	-0.049	-2.907	-5.243	
	83	1.417	-5.430	-3.887	-0.056	-2.470	-5.486	
	112	1.803	-5.747	-3.881	-0.050	-2.078	-5.797	
	126	2.120	-6.133	-3.859	-0.032	-1.739	-6.165	
	138	2.356	-6.574	-3.816	-0.010	-1.460	-6.584	
	148	2.501	-7.053	-3.754	0.008	-1.253	-7.045	
	151	2.550	-7.550	-3.679	0.016	-1.129	-7.534	
	149	2.501	-8.047	-3.601	0.008	-1.100	-8.039	
	139	2.356	-8.526	-3.532	-0.012	-1.176	-8.538	
	127	2.120	-8.967	-3.481	-0.039	-1.361	-9.006	
	113	1.803	-9.353	-3.453	-0.061	-1.650	-9.414	
	84	1.417	-9.670	-3.444	-0.071	-2.027	-9.741	
	68	0.976	-9.906	-3.448	-0.063	-2.472	-9.969	
	35	0.497	-10.051	-3.455	-0.037	-2.958	-10.088	
外 側	14	0.000	-10.100	-3.459	0.000	-3.459	-10.100	
	11	0.000	-4.900	-3.883	0.000	-3.883	-4.900	0.099
	36	0.517	-4.951	-3.885	-0.027	-3.368	-4.978	0.099
	71	1.014	-5.102	-3.890	-0.046	-2.876	-5.148	0.099
	87	1.473	-5.347	-3.892	-0.053	-2.419	-5.400	0.100
	116	1.874	-5.676	-3.884	-0.047	-2.010	-5.723	0.100
	130	2.203	-6.077	-3.860	-0.030	-1.657	-6.107	0.099
	144	2.448	-6.536	-3.816	-0.010	-1.368	-6.546	0.099
	173	2.599	-7.033	-3.753	0.007	-1.154	-7.026	0.098
	179	2.650	-7.550	-3.679	0.013	-1.029	-7.537	0.098
	175	2.599	-8.067	-3.602	0.006	-1.003	-8.061	0.098
	145	2.448	-8.564	-3.533	-0.013	-1.085	-8.577	0.098
	131	2.203	-9.023	-3.481	-0.038	-1.278	-9.061	0.100
	117	1.874	-9.424	-3.449	-0.058	-1.575	-9.482	0.100
	88	1.473	-9.753	-3.437	-0.067	-1.964	-9.820	0.099
	72	1.014	-9.998	-3.437	-0.058	-2.423	-10.056	0.099
	39	0.517	-10.149	-3.442	-0.034	-2.925	-10.183	0.098
	16	0.000	-10.200	-3.444	0.000	-3.444	-10.200	

<CASE(4)>

	節点 番号	X座標 初期値	Y座標 初期値	X方向変位 δX	Y方向変位 δY	X座標 変位後	Y座標 変位後	免震層厚 (m)
内 側	13	0.000	-5.000	-3.922	0.000	-3.922	-5.000	
	34	0.497	-5.049	-3.924	-0.019	-3.427	-5.068	
	67	0.976	-5.194	-3.927	-0.032	-2.951	-5.226	
	83	1.417	-5.430	-3.928	-0.034	-2.511	-5.464	
	112	1.803	-5.747	-3.920	-0.024	-2.117	-5.771	
	126	2.120	-6.133	-3.898	-0.006	-1.778	-6.139	
	138	2.356	-6.574	-3.859	0.014	-1.503	-6.560	
	148	2.501	-7.053	-3.805	0.030	-1.304	-7.023	
	151	2.550	-7.550	-3.742	0.036	-1.192	-7.514	
	149	2.501	-8.047	-3.678	0.030	-1.177	-8.017	
	139	2.356	-8.526	-3.622	0.014	-1.266	-8.512	
	127	2.120	-8.967	-3.581	-0.008	-1.461	-8.975	
	113	1.803	-9.353	-3.558	-0.027	-1.755	-9.380	
	84	1.417	-9.670	-3.549	-0.038	-2.132	-9.708	
	68	0.976	-9.906	-3.550	-0.036	-2.574	-9.942	
	35	0.497	-10.051	-3.554	-0.021	-3.057	-10.072	
外 側	14	0.000	-10.100	-3.556	0.000	-3.556	-10.100	
	11	0.000	-4.900	-4.032	0.000	-4.032	-4.900	0.084
	36	0.517	-4.951	-4.027	-0.021	-3.510	-4.972	0.064
	71	1.014	-5.102	-4.013	-0.042	-2.999	-5.144	0.049
	87	1.473	-5.347	-3.988	-0.060	-2.515	-5.407	0.039
	116	1.874	-5.676	-3.955	-0.077	-2.081	-5.753	0.240
	130	2.203	-6.077	-3.912	-0.091	-1.709	-6.168	0.296
	144	2.448	-6.536	-3.862	-0.102	-1.414	-6.638	0.048
	173	2.599	-7.033	-3.804	-0.109	-1.205	-7.142	0.068
	179	2.650	-7.550	-3.742	-0.112	-1.092	-7.662	0.096
	175	2.599	-8.067	-3.675	-0.111	-1.076	-8.178	0.130
	145	2.448	-8.564	-3.608	-0.105	-1.160	-8.669	0.163
	131	2.203	-9.023	-3.542	-0.094	-1.339	-9.117	0.187
	117	1.874	-9.424	-3.482	-0.080	-1.608	-9.504	0.193
	88	1.473	-9.753	-3.430	-0.063	-1.957	-9.816	0.179
	72	1.014	-9.998	-3.390	-0.043	-2.376	-10.041	0.128
	39	0.517	-10.149	-3.364	0.022	-2.847	-10.127	0.089
	16	0.000	-10.200	-3.356	0.000	-3.356	-10.200	

相対変位データ

<CASE⑤>

	節点 番号	X座標 初期値	Y座標 初期値	X方向変位 δX	Y方向変位 δY	X座標 変位後	Y座標 変位後	免震層厚 (m)
内 側	13	0.000	-5.000	-3.734	0.000	-3.734	-5.000	
	34	0.497	-5.049	-3.733	0.009	-3.236	-5.040	
	67	0.976	-5.194	-3.729	0.020	-2.753	-5.174	
	83	1.417	-5.430	-3.721	0.036	-2.304	-5.394	
	112	1.803	-5.747	-3.704	0.056	-1.901	-5.691	
	126	2.120	-6.133	-3.677	0.078	-1.557	-6.055	
	138	2.356	-6.574	-3.640	0.098	-1.284	-6.476	
	148	2.501	-7.053	-3.593	0.112	-1.092	-6.941	
	151	2.550	-7.550	-3.541	0.117	-0.991	-7.433	
	149	2.501	-8.047	-3.489	0.112	-0.988	-7.935	
	139	2.356	-8.526	-3.442	0.098	-1.086	-8.428	
	127	2.120	-8.967	-3.404	0.078	-1.284	-8.889	
	113	1.803	-9.353	-3.377	0.056	-1.574	-9.297	
	84	1.417	-9.670	-3.360	0.035	-1.943	-9.635	
	68	0.976	-9.906	-3.352	0.020	-2.376	-9.886	
	35	0.497	-10.051	-3.348	0.008	-2.851	-10.043	
外 側	11	0.000	-4.900	-3.805	0.000	-3.805	-4.900	0.075
	36	0.517	-4.951	-3.800	-0.028	-3.283	-4.979	0.029
	71	1.014	-5.102	-3.784	-0.055	-2.770	-5.157	0.006
	87	1.473	-5.347	-3.757	-0.079	-2.284	-5.426	0.025
	116	1.874	-5.676	-3.721	-0.100	-1.847	-5.776	0.026
	130	2.203	-6.077	-3.676	-0.118	-1.473	-6.195	0.028
	144	2.448	-6.536	-3.624	-0.131	-1.176	-6.667	0.032
	173	2.599	-7.033	-3.565	-0.139	-0.966	-7.172	0.081
	179	2.650	-7.550	-3.501	-0.141	-0.851	-7.691	0.144
	175	2.599	-8.067	-3.434	-0.137	-0.835	-8.204	0.208
	145	2.448	-8.564	-3.367	-0.128	-0.919	-8.692	0.262
	131	2.203	-9.023	-3.301	-0.114	-1.098	-9.137	0.297
	117	1.874	-9.424	-3.240	-0.096	-1.366	-9.520	0.300
	88	1.473	-9.753	-3.189	-0.074	-1.716	-9.827	0.270
	72	1.014	-9.998	-3.149	-0.051	-2.135	-10.049	0.214
	39	0.517	-10.149	-3.124	-0.026	-2.607	-10.175	0.140
	16	0.000	-10.200	-3.115	0.000	-3.115	-10.200	

<CASE⑩>

	節点 番号	X座標 初期値	Y座標 初期値	X方向変位 δX	Y方向変位 δY	X座標 変位後	Y座標 変位後	免震層厚 (m)
内 側	13	0.000	-5.000	-3.911	0.000	-3.911	-5.000	
	34	0.497	-5.049	-3.914	-0.034	-3.417	-5.083	
	67	0.976	-5.194	-3.922	-0.060	-2.946	-5.254	
	83	1.417	-5.430	-3.927	-0.070	-2.510	-5.500	
	112	1.803	-5.747	-3.922	-0.064	-2.119	-5.811	
	126	2.120	-6.133	-3.898	-0.044	-1.778	-6.177	
	138	2.356	-6.574	-3.851	-0.020	-1.495	-6.594	
	148	2.501	-7.053	-3.784	0.000	-1.283	-7.053	
	151	2.550	-7.550	-3.704	0.008	-1.154	-7.542	
	149	2.501	-8.047	-3.622	-0.000	-1.121	-8.047	
	139	2.356	-8.526	-3.550	-0.022	-1.194	-8.548	
	127	2.120	-8.967	-3.498	-0.049	-1.378	-9.016	
	113	1.803	-9.353	-3.470	-0.072	-1.667	-9.425	
	84	1.417	-9.670	-3.462	-0.081	-2.045	-9.751	
	68	0.976	-9.906	-3.468	-0.070	-2.492	-9.976	
	35	0.497	-10.051	-3.477	-0.041	-2.980	-10.092	
外 側	14	0.000	-10.100	-3.481	0.000	-3.481	-10.100	
	11	0.000	-4.900	-4.006	0.000	-4.006	-4.900	0.092
	36	0.517	-4.951	-4.000	-0.020	-3.483	-4.971	0.090
	71	1.014	-5.102	-3.984	-0.040	-2.970	-5.142	0.090
	87	1.473	-5.347	-3.958	-0.059	-2.485	-5.406	0.090
	116	1.874	-5.676	-3.922	-0.075	-2.048	-5.751	0.088
	130	2.203	-6.077	-3.877	-0.090	-1.674	-6.167	0.083
	144	2.448	-6.536	-3.825	-0.102	-1.377	-6.638	0.078
	173	2.599	-7.033	-3.768	-0.110	-1.169	-7.143	0.077
	179	2.650	-7.550	-3.706	-0.114	-1.056	-7.664	0.081
	175	2.599	-8.067	-3.642	-0.112	-1.043	-8.179	0.090
	145	2.448	-8.564	-3.576	-0.104	-1.128	-8.668	0.103
	131	2.203	-9.023	-3.512	-0.090	-1.309	-9.113	0.114
	117	1.874	-9.424	-3.451	-0.073	-1.577	-9.497	0.118
	88	1.473	-9.753	-3.397	-0.054	-1.924	-9.807	0.113
	72	1.014	-9.998	-3.354	-0.035	-2.340	-10.033	0.103
	39	0.517	-10.149	-3.327	-0.017	-2.810	-10.166	0.092
	16	0.000	-10.200	-3.317	0.000	-3.317	-10.200	

相対変位データ