

I. 格子状地中壁工法に対する解析モデルの検討

1. 検討目的

(1) 2次元 FEM による改良地盤のモデル化

「液状化被災市街地における格子状地中壁工法の検討・調査について(ガイダンス(案))」では、2次元 FEM による改良地盤について、以下のモデル化の方法を示している。

格子状改良地盤による地盤の液状化防止効果は、周辺地盤（無対策地盤）も含めた2次元有限要素解析を実施して、格子内地盤の液状化に対する安全率であるFL値の分布を調べることで確認する。解析プログラムにはSuper FLUSH（等価線形解析）を用い、改良地盤と無対策地盤をそれぞれモデル化する（図7.7参照）。FLUSHでの解析では奥行き方向が単位長さ（1m）として行うため、格子状改良による改良壁を平行壁（紙面平行方向）と直交壁（紙面直交方向）に分ける。直交壁は奥行き方向に連続しているものとして改良体の材料定数を与えるが、平行壁は奥行き方向の格子間隔毎に壁が1枚となるように密度およびせん断剛性を換算する。さらに無対策地盤と平行壁を2重要素とし、平行壁は無対策地盤と節点を共有せず、左右端で直交壁と節点を共有させることで格子状改良の拘束効果を模擬する。

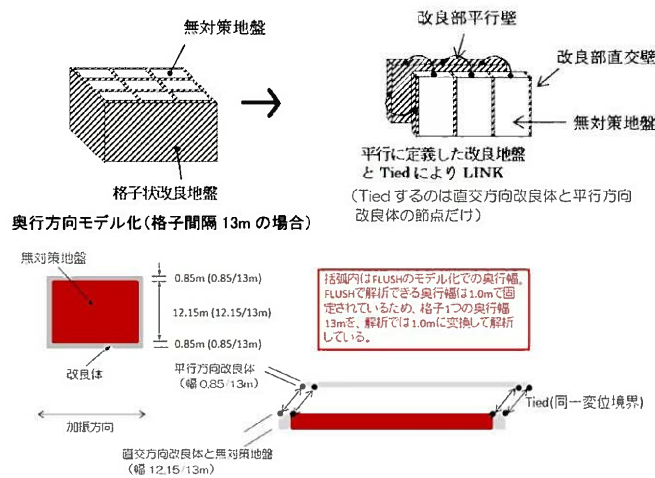


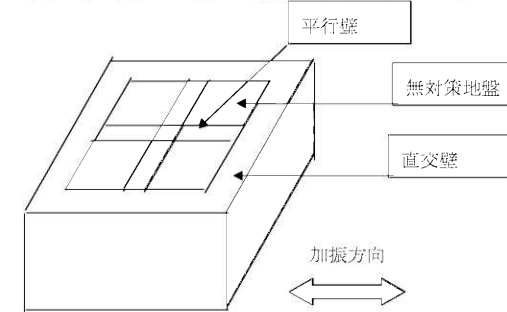
図 7.7 格子状改良地盤のモデル化

上記のモデルでは、直交壁位置で改良体と地盤変位が同一であることから、本検討では、平行壁と平行壁との間の地盤変位（ひずみ）は、平行壁と同一と仮定し、平行壁を2重要素として設定するのではなく、平行壁と地盤を複合体とした同一要素として扱い、改良体と地盤との等価剛性を与えたモデル化を行った。

(2) 2次元等価剛性動的解析モデルの課題

(1) 2次元平面ひずみ等価剛性動的解析モデルの仮定事項

格子状地中壁は、3次元の地盤内に部分的に配置されている。



- 直交壁は、奥行き方向に連続していると仮定し、直交壁は改良体の剛性を与える。
- 平行壁と無対策地盤については、改良体と地盤の剛性を単位奥行き当たりに換算した剛性を設定する。
- 格子で囲まれた部分の平行壁と地盤の変位（ひずみ）は同一と仮定する。
- 地盤応力は、改良体と地盤の剛性比に応じて分担する。

(2) 2次元等価剛性動的解析モデルの課題

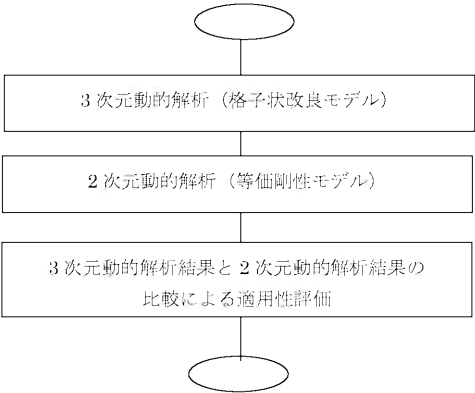
- 直交壁が奥行き方向に連続していると仮定しているため、実際より大きい剛性を与えることになる。
- 平行壁も奥行き方向に等間隔で連続していると仮定しているため、実際より大きい剛性を与えることになる。
- 平行壁と地盤の等価剛性は、複合体としての平均剛性を与えている。
- このため、平行壁と平行壁の中央部分の地盤は、水平方向の拘束を解析モデルでは大きめに与えることになる。
- 逆に平行壁近傍地盤では、水平方向の拘束が解析モデルでは、小さめに与えることになる。

(3) 検討目的

- 格子状地中壁をモデル化した3次元動的解析を実施し、2次元動的解析結果と比較することにより、2次元動的解析との違いの程度を把握するとともに、2次元動的解析モデルの適用性について評価する。
- また、3次元モデルと2次元モデルで解析結果の差が大きい場合は、2次元動的解析結果に対する3次元への換算方法について検討する。

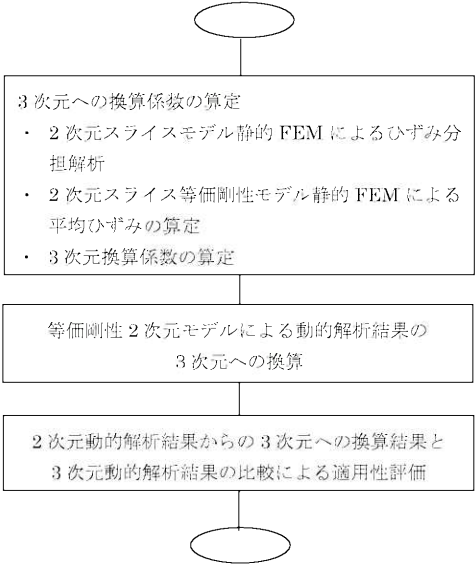
2. 検討フロー

(1)2次元動的解析モデル適用性の検討



図・ 格子状地中壁改良での2次元動的解析モデルの適用性の検討フロー

(2)2次元解析結果に対する3次元への換算方法の検討



図・ 格子状地中壁改良の2次元動的解析結果に対する3次元への換算方法の検討フロー

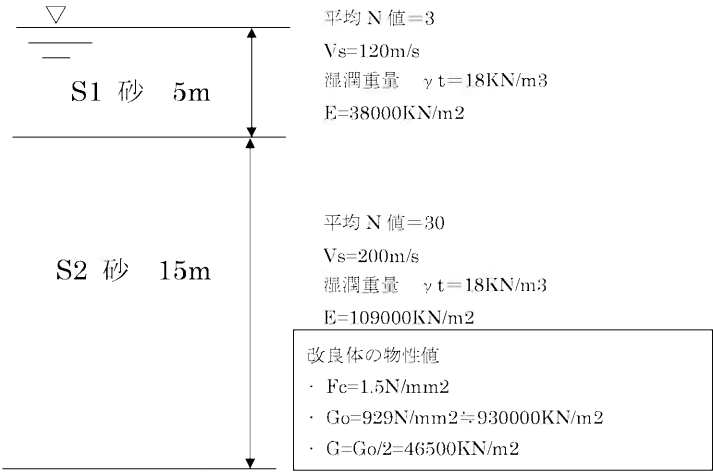
3. 2次元解析モデル適用性の検討

(1)検討方法

格子状地中壁工法において、数種類の格子形状（格子間隔）を設定し、3次元動的解析と2次元動的解析を実施し、格子形状（格子間隔）の違いに応じた2次元モデルの適用性について検討する。

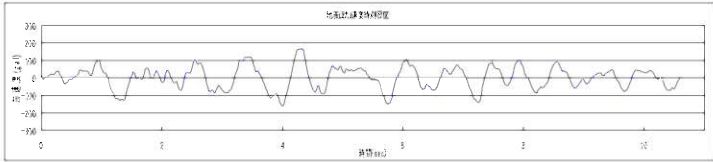
(2)検討条件

1)地盤条件



図・ モデル地盤図

2)入力地震動



3)検討ケース

格子状地中壁は、100m×100mの範囲を想定する。

表・ 動的解析検討ケース一覧表

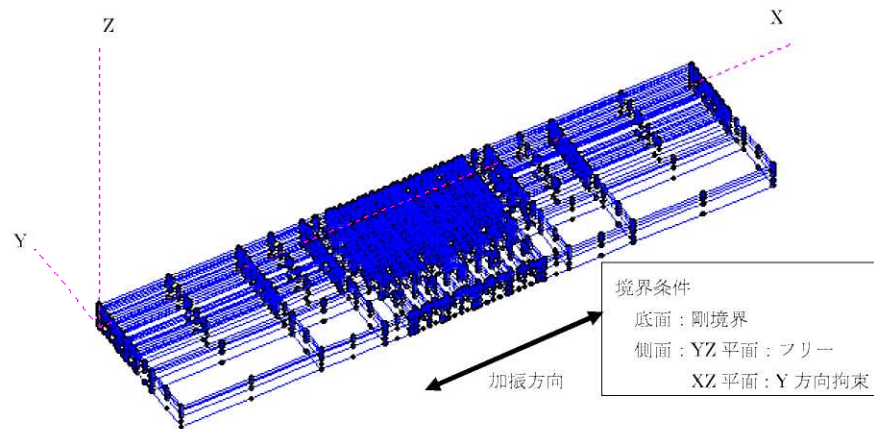
ケース名	格子間隔	備考
無対策	—	
対策1	100m×100m	道路のみ
対策2	50mピッチ	道路＋宅地内
対策3	25mピッチ	道路＋宅地内

(3) 3次元動的解析

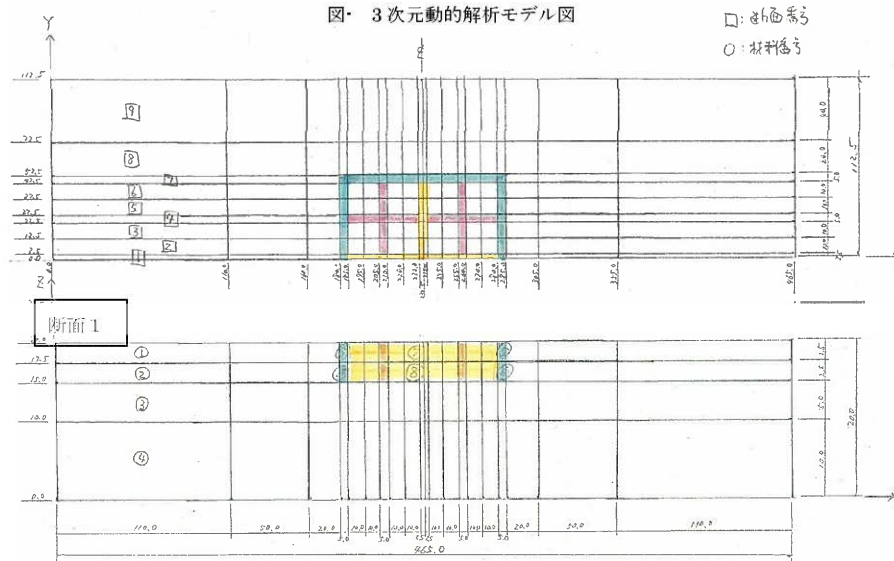
1) 解析モデル

加振方向は、X方向とする。

解析モデルは、XZ面を対称面としたハーフモデルとする。



図・ 3次元動的解析モデル図



図・ 3次元動的解析モデル材料番号図

2) 解析パラメータ

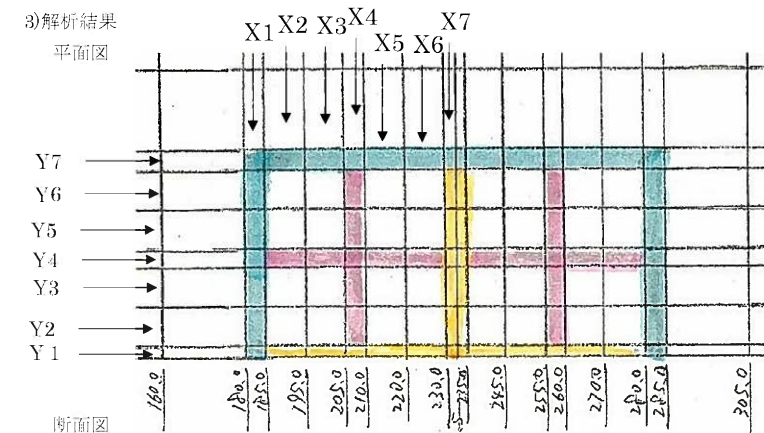
地盤剛性は、0.1%程度の地震時のひずみレベルを想定し、微小ひずみレベルの剛性の半分として線形弾性体として設定する。地盤の減衰定数は、1.0%とする。

表・ 3次元動的解析モデルでの解析パラメータ一覧表

物性 値 No	地盤区分	変形係数 E (KN/m ²)				備考
		無対策	対策 1	対策 2	対策 3	
1	S1	38000	38000	38000	38000	
2	S1	38000	38000	38000	38000	
3	S2	109000	109000	109000	109000	
4	S2	109000	109000	109000	109000	
5	S1 道路	38000	308000	308000	308000	
6	S1 道路	38000	308000	308000	308000	
7	S1・50m 格子	38000	38000	308000	308000	
8	S1・50m 格子	38000	38000	308000	308000	
9	S1	38000	38000	38000	38000	
10	S1	38000	38000	38000	38000	
11	S1・25m 格子	38000	38000	38000	308000	
12	S1・25m 格子	38000	38000	38000	308000	

3) 解析結果

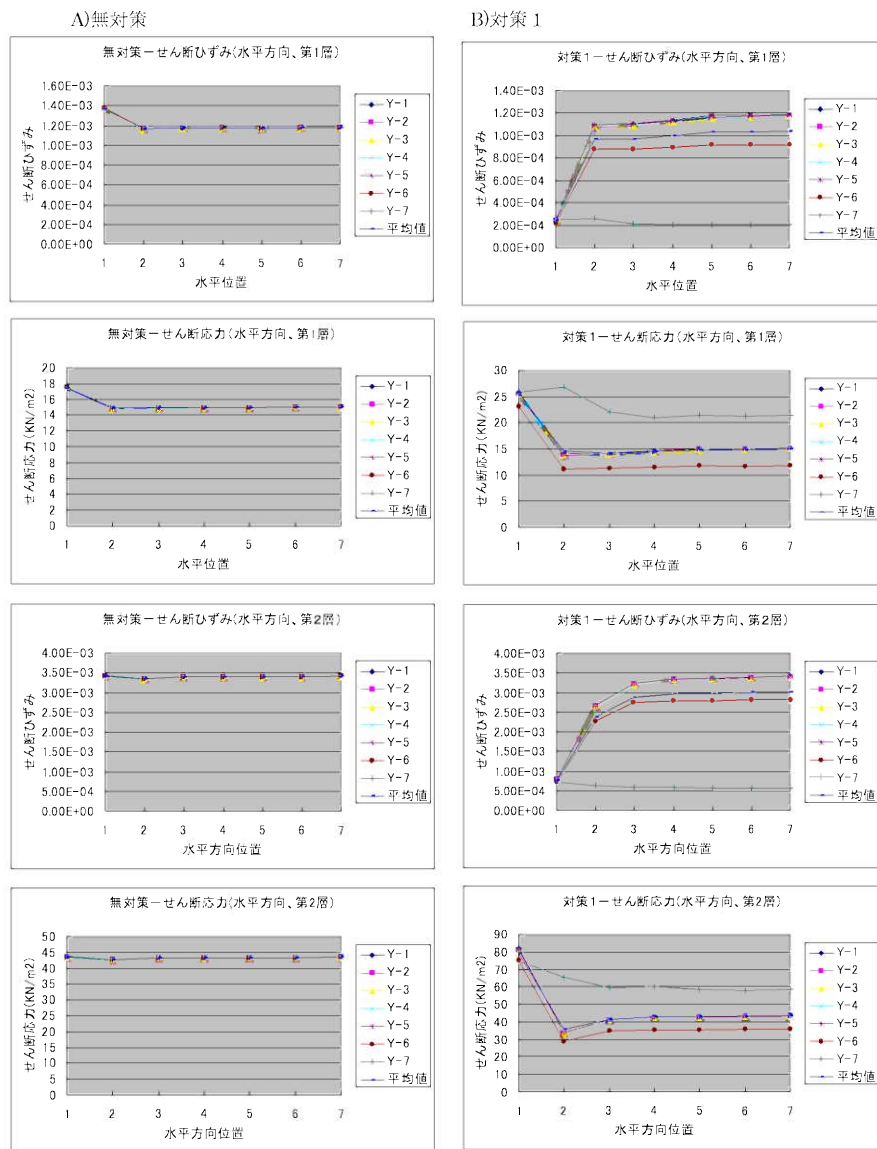
平面図



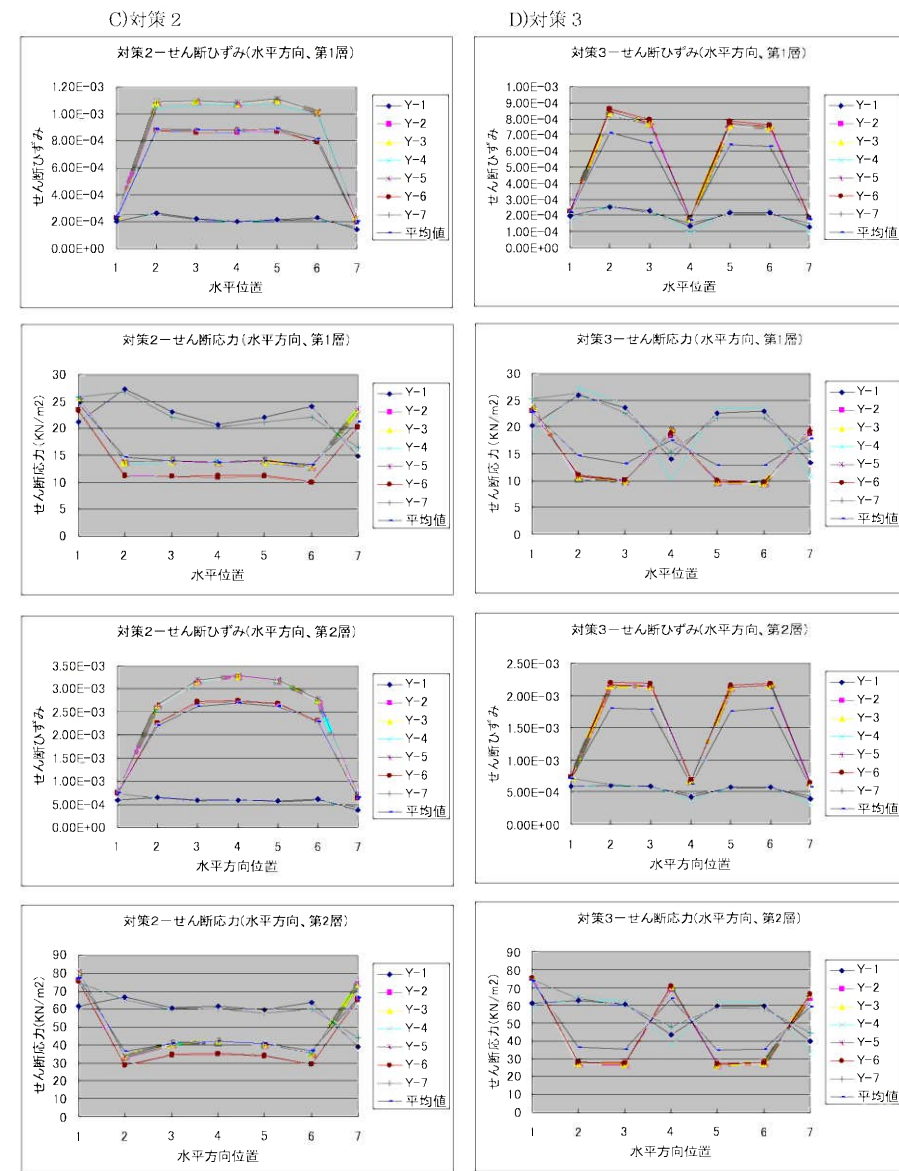
断面図



図・ せん断ひずみ、せん断応力算定位置



図・ 3次元動の解析結果図

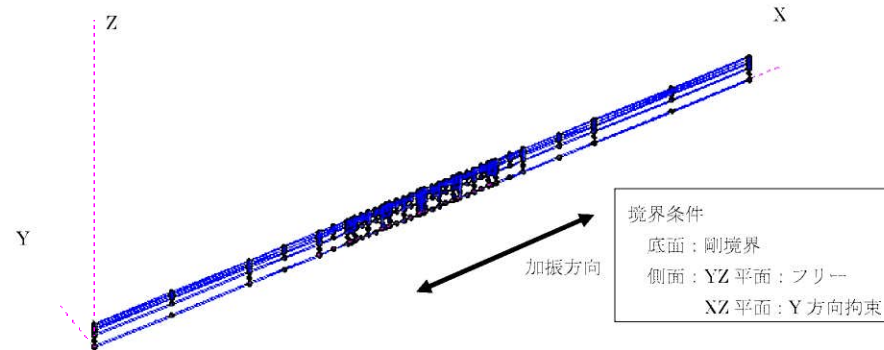


図・ 3次元動の解析結果図

(4)2次元動的解析

1)解析モデル

解析モデルは、奥行き1mの3次元モデルで作成し、境界条件として平面ひずみ条件とする。



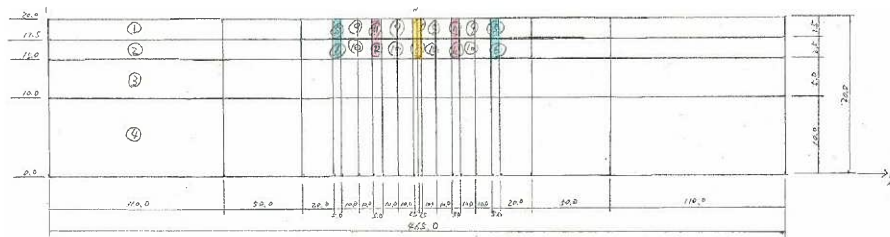
図・ 2次元動的解析モデル図

2)解析パラメータ

地盤剛性は、0.1%程度の地震時のひずみレベルを想定し、微小ひずみレベルの剛性の半分として設定する。

地盤の減衰定数は、10%とする。

改良体の剛性は、微小ひずみレベルの剛性の半分とし、解析モデル幅内での改良体と地盤の平均剛性とする。

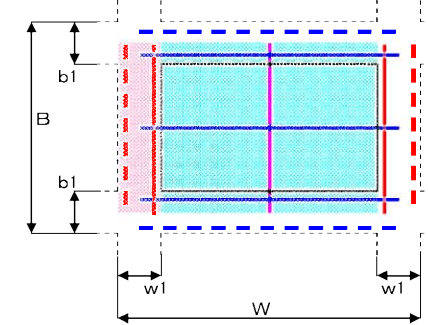


図・ 2次元動的解析モデル材料番号図

A)格子状地中壁改良地盤のせん断剛性の算出

a)格子状地中壁改良モデル

図のとおり、道路1スパン分が奥行き方向に連続する仮定で算出する。



図・ 格子状改良部モデル概念図

b)等価剛性

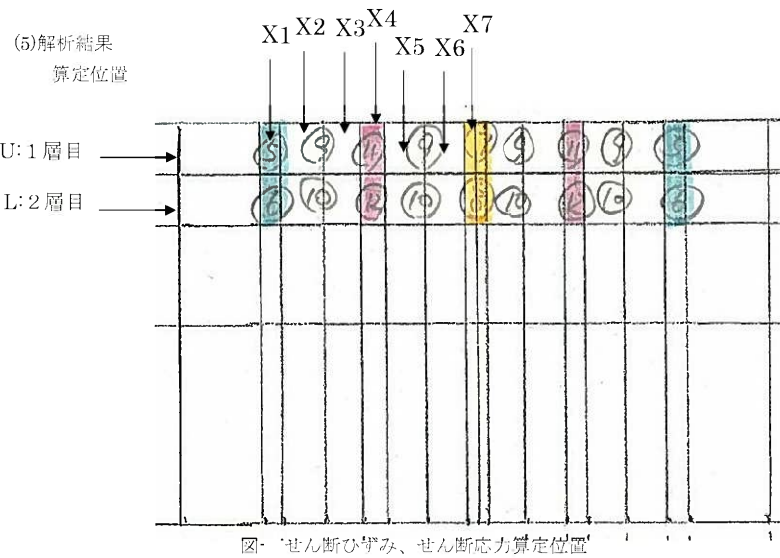
表・ 地中壁と地盤と複合体の等価剛性一覧表

	改良壁 せん断剛性 $G_w(\text{KN/m}^2)$	地盤 せん断剛性 $G_g(\text{KN/m}^2)$	改良壁幅 $t_a(\text{m})$	地盤幅 $t_b(\text{m})$	全体幅 $t(\text{m})$	等価剛性 $G_{eq}(\text{KN/m}^2)$	等価剛性 $E_{eq}(\text{KN/m}^2)$	地盤 分担率 k_j	改良壁 分担率 k_w
対策1 道路	465000.0	13000.0	1.0	99.0	100.0	17520.0	52209.6	0.73	0.27
対策2 道路+50m格子	465000.0	13000.0	2.0	98.0	100.0	22040.0	65679.2	0.58	0.42
対策3 道路+25m格子	465000.0	13000.0	4.0	96.0	100.0	31080.0	92618.4	0.40	0.60

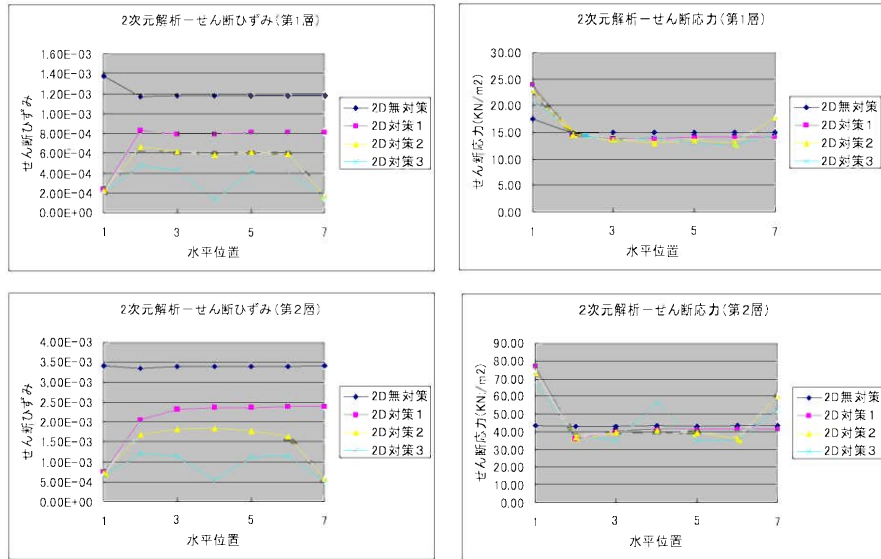
B)解析パラメータ

表・ 2次元動的解析モデルでの解析パラメータ一覧表

物性 値 No	地盤区分	変形係数 E (KN/m ²)				備考
		無対策	対策1	対策2	対策3	
1	S1	38000	38000	38000	38000	
2	S1	38000	38000	38000	38000	
3	S2	109000	109000	109000	109000	
4	S2	109000	109000	109000	109000	
5	S1 道路	38000	308000	308000	308000	
6	S1 道路	38000	308000	308000	308000	
7	S1-50m 格子	38000	52200	308000	308000	
8	S1-50m 格子	38000	52200	308000	308000	
9	S1	38000	52200	65700	92600	
10	S1	38000	52200	65700	92600	
11	S1-25m 格子	38000	52200	65700	308000	
12	S1-25m 格子	38000	52200	65700	308000	

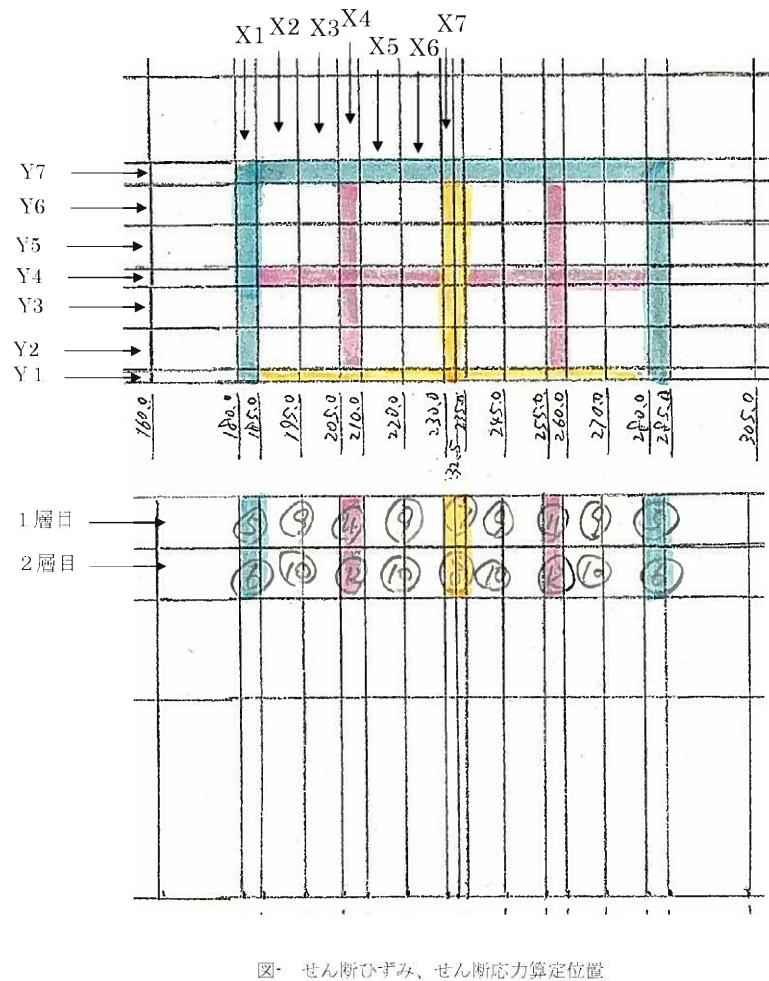


1)せん断ひずみ、応力分布

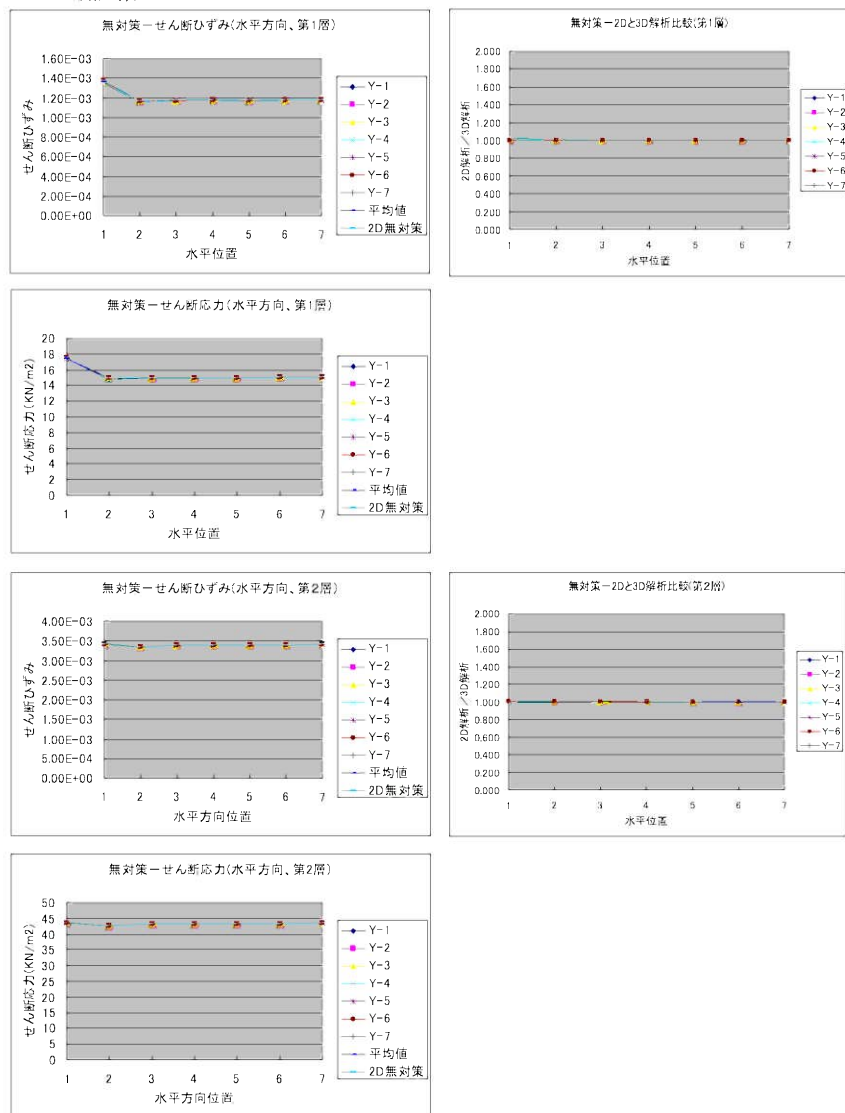


図・ 2次元動的解析結果図

3.2.2 次元等価剛性動的解析モデル適用性評価

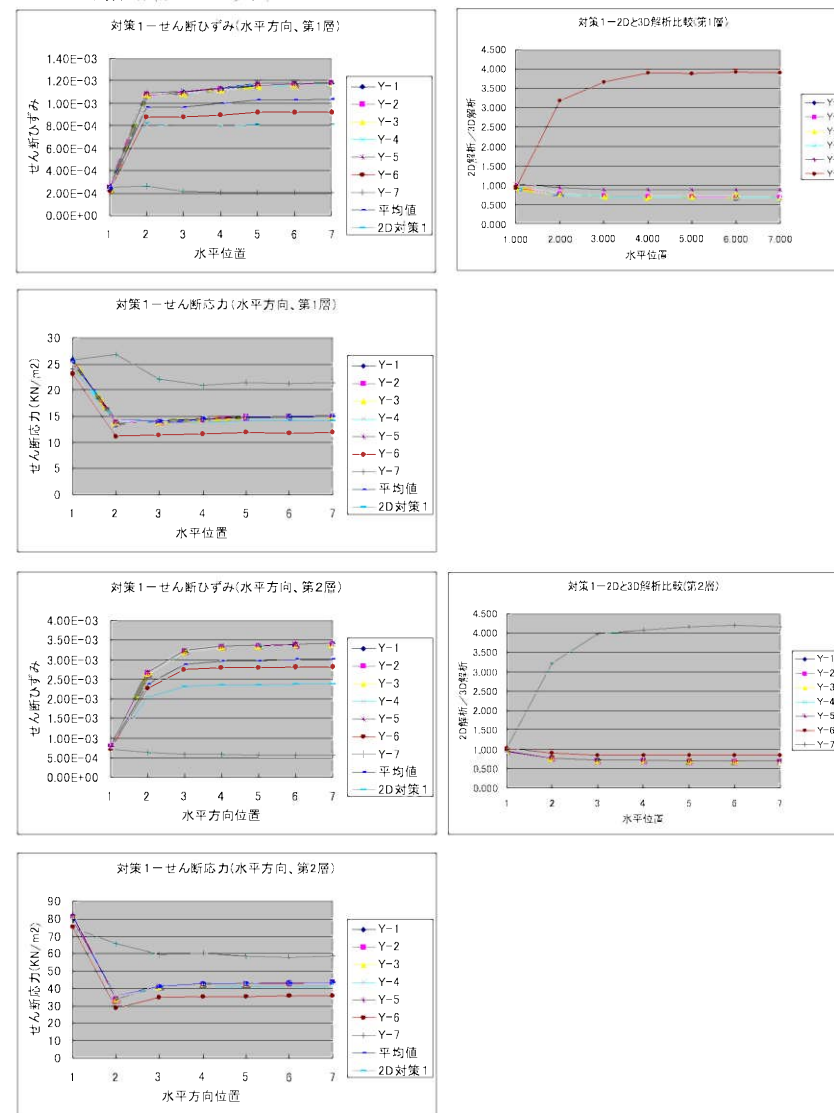


1) 無対策



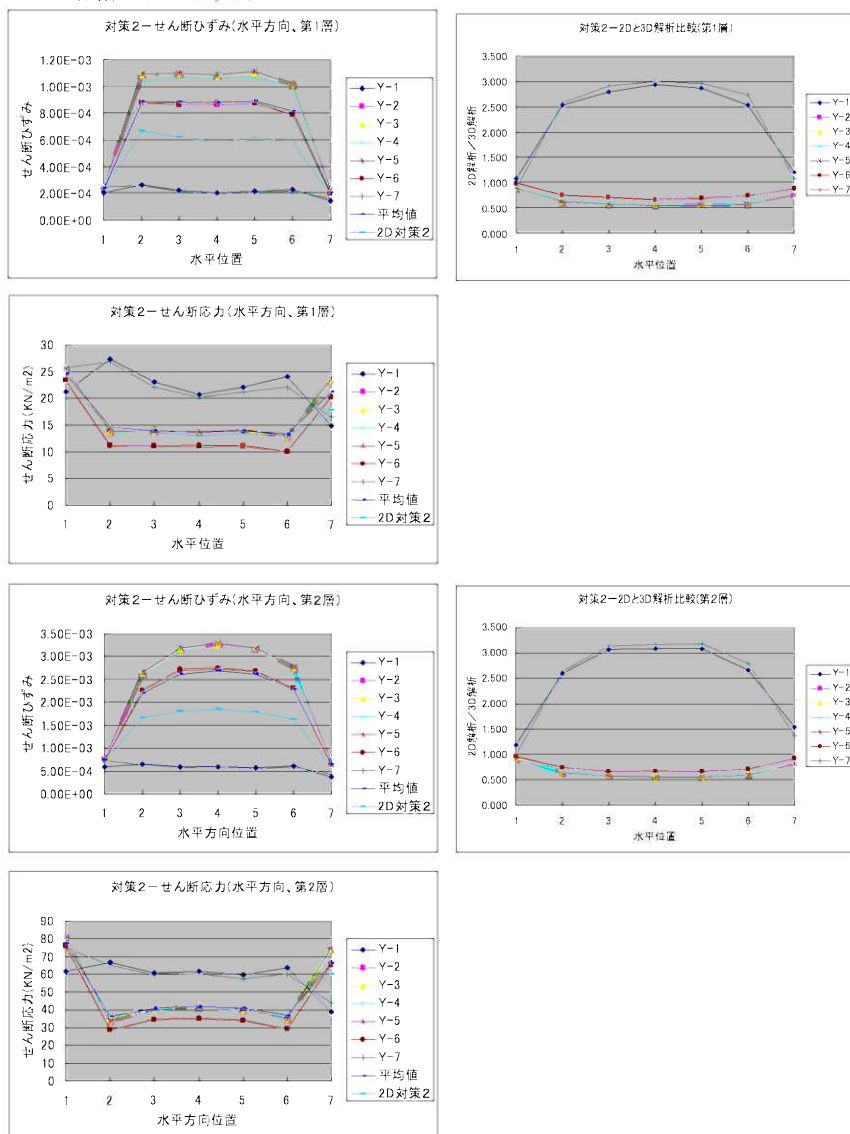
図・ 2次元動的解析と3次元動的解析の比較図

2) 対策1 (100m ピッチ)



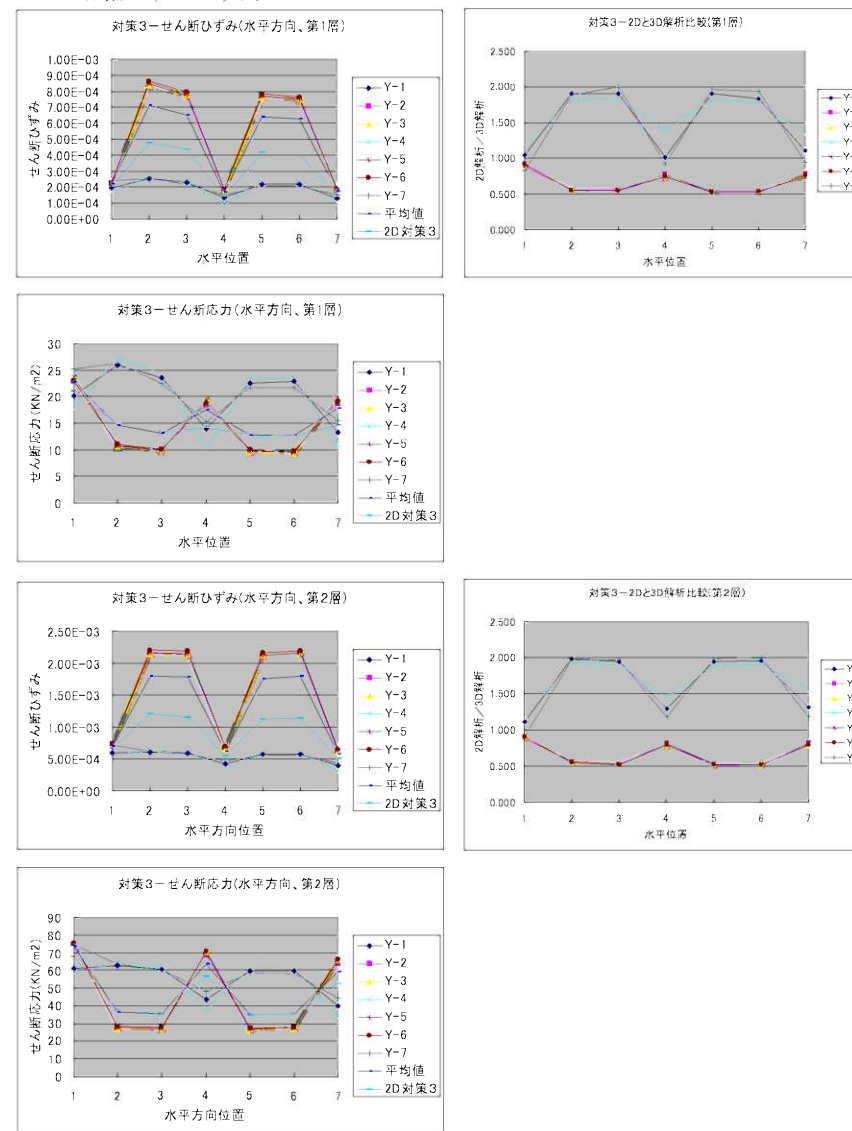
図・ 2次元動的解析と3次元動的解析の比較図

3) 対策2 (50m ピッチ)



図・ 2次元動的解析と3次元動的解析の比較図

4) 対策3 (25m ピッチ)



図・ 2次元動的解析と3次元動的解析の比較図

4. 2次元動的解析結果に対する3次元への換算方法の検討

(1) 検討目的

2次元動的解析結果と3次元動的解析結果を比較した結果、2次元解析は3次元解析に比べ、場所によっては3割程度小さい応力となることが明らかとなった。

このため、3次元解析による検討を実施することが望ましいが、設計実務においては時間と費用の関係から3次元解析を用いることが困難な場合が多い。

本検討は、2次元静的FEM解析を用いた2次元状態から3次元状態への換算係数を用いることにより2次元動的解析結果に対して3次元動的解析状態を概ね得ることができる換算方法について検討する。

(2) 2次元解析結果に対する3次元への換算の考え方

3次元解析では、改良体と地盤の剛性比に応じて変形、ひずみが生じる。

深度方向に改良体が連続していると仮定すると、深度方向に単位幅を持った2次元平面ひずみモデルを用いることにより改良体と地盤の剛性比に応じた応力・変形状態を求めることができる。

これを改良体と地盤を複合体とした等価剛性モデルでの応力・変形との比をとることで、より等価剛性モデルに対する3次元換算係数を算定する。

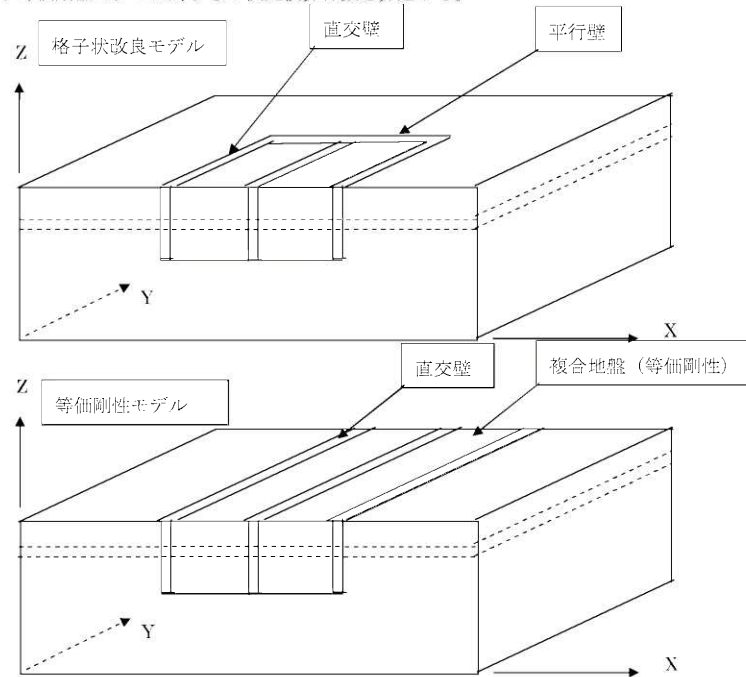


図3 3次元FEMモデル

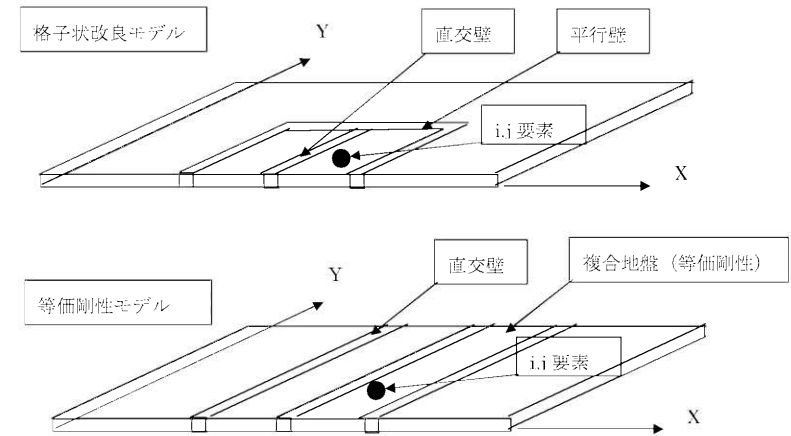


図2 2次元FEMスライスモデル

等価剛性モデルから格子状改良モデルへの換算係数は、2次元FEMスライスモデルに水平（X軸）方向に単位の慣性力を静的に作用させた時の要素の歪を算定し、下式により求める。

$$C3Dij = \varepsilon_{msij} / \varepsilon_{eqij}$$

ここに、 $C3Dij$: 2次元スライスモデルXY平面上のijメッシュ位置の
等価剛性モデル解析結果から格子状改良モデルへの換算係数

ε_{msij} : 格子状改良モデル解析でのijメッシュ位置の直ひずみ

ε_{eqij} : 等価剛性モデル解析でのijメッシュ位置の直ひずみ

(3) 2次元動的解析に対する3次元への換算係数の算定

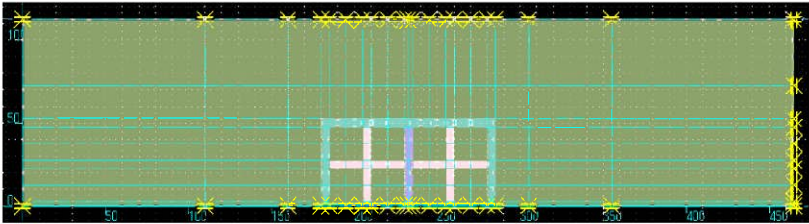
1) 2次元スライス格子状改良静的解析モデルによる格子内応力・歪分担率の算定

A) 算定方法

改良体及び地盤の剛性を考慮した深度方向に単位の深さを取った2次元平面歪モデル(2次元スライスモデル)を構築する。

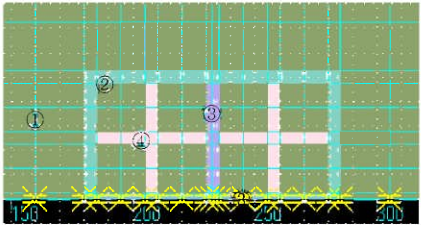
これに、単位の水平方向慣性力を静的に作用させた場合の格子内の応力、歪の分布を算定する。

2次元スライス格子状改良モデル



図・ 2次元スライス格子状改良静的解析モデル

B) 解析パラメータ



図・ 2次元スライス格子状改良解析モデル物性値番号図

表・ 2次元スライス格子状改良静的解析モデルでの解析パラメーター一覧表

物性 値 No	地盤区分	変形係数 E (KN/m ²)				備考
		無対策	対策 1	対策 2	対策 3	
1	地盤 S1	38000	38000	38000	38000	
2	道路改良	38000	109000	109000	109000	
3	50m 格子改良	38000	38000	109000	109000	
4	25m 格子改良	38000	38000	38000	109000	

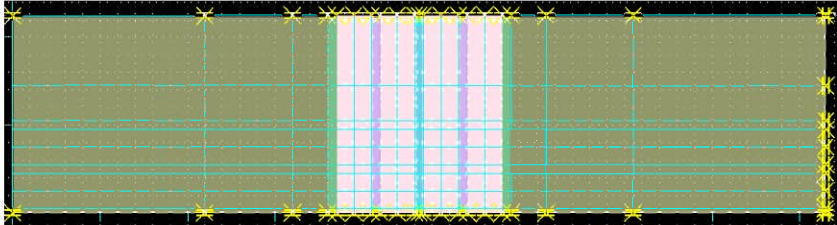
2) 2次元スライス等価剛性静的モデルによる応力・歪分担率の算定

A) 算定方法

改良体と地盤を複合体とした等価剛性での深度方向に単位の深さを取った2次元平面歪モデル(2次元スライスモデル)を構築する。

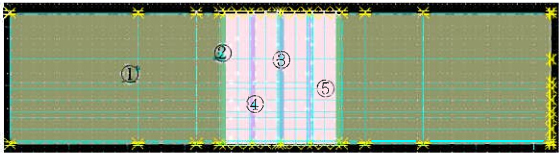
これに、単位の水平方向慣性力を静的に作用させた場合の複合地盤の応力、歪の分布を算定する。

2次元スライス等価剛性モデル



図・ 2次元スライス等価剛性静的解析モデル

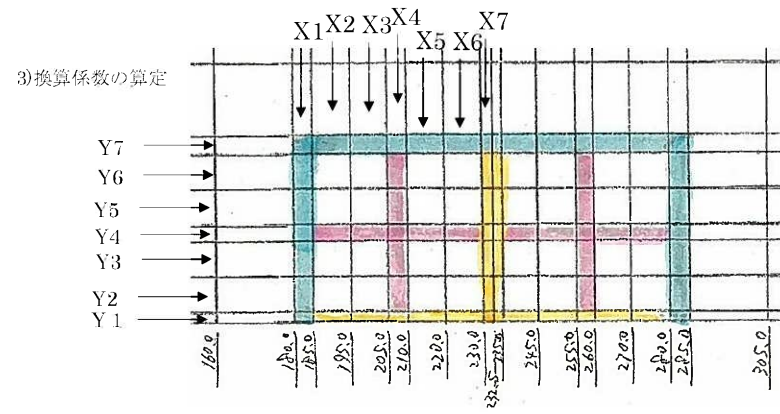
B) 解析パラメータ



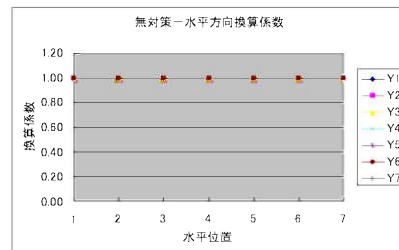
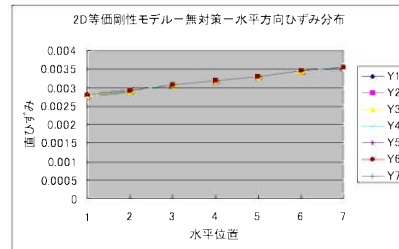
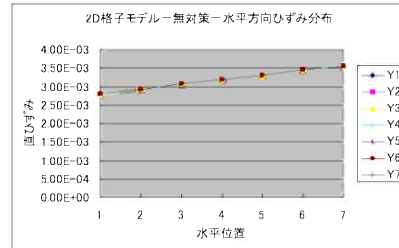
図・ 2次元スライス等価剛性解析モデル物性値番号図

表・ 2次元スライス等価剛性静的解析モデルでの解析パラメーター一覧表

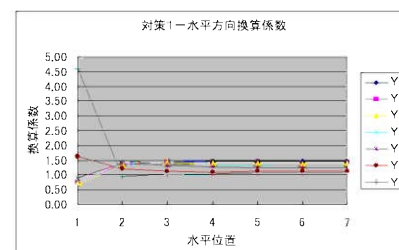
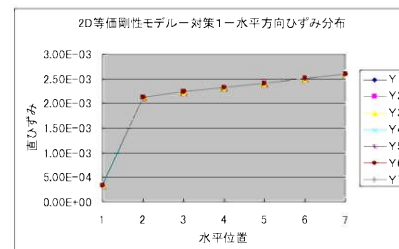
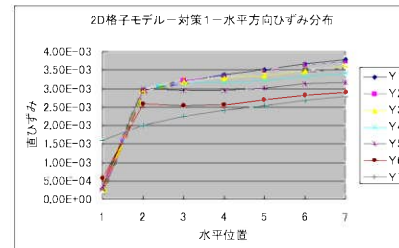
物性 値 No	地盤区分	変形係数 E (KN/m ²)				備考
		無対策	対策 1	対策 2	対策 3	
1	地盤 S1	38000	38000	38000	38000	
2	道路改良	38000	308000	308000	308000	
3	50m 格子改良	38000	38000	308000	308000	
4	25m 格子改良	38000	38000	38000	308000	
5	複合地盤	38000	52200	65700	92600	等価剛性



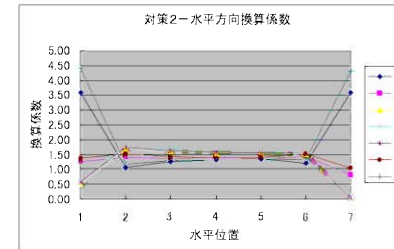
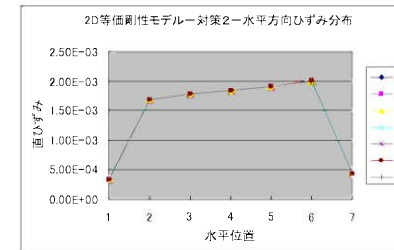
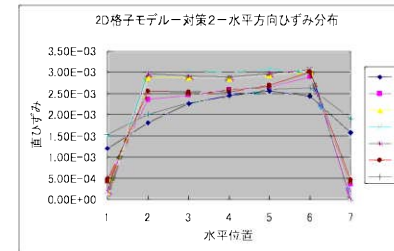
A)無対策



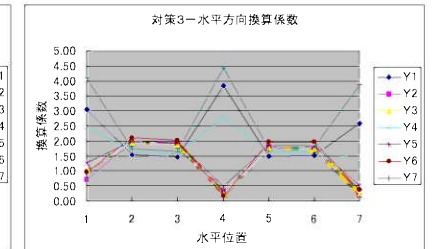
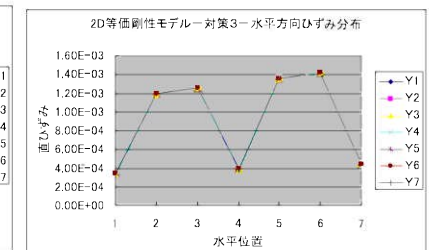
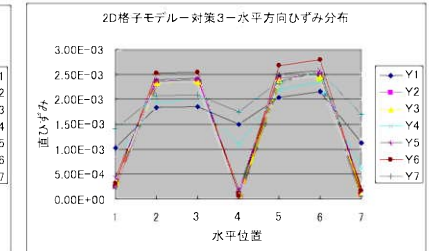
B)対策1



C)対策2



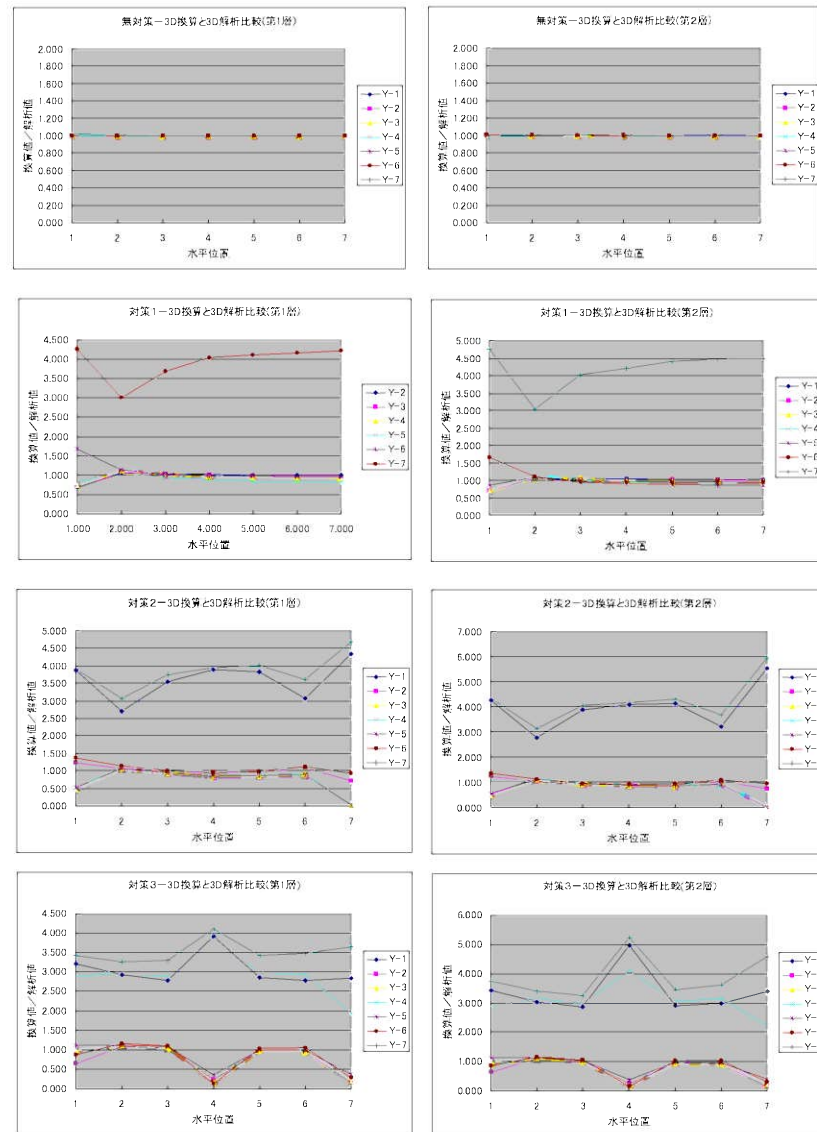
D)対策3



図・ 2次元等価剛性モデルから3次元モデルへの換算係数

図・ 2次元等価剛性モデルから3次元モデルへの換算係数

(4)3次元換算結果と3次元解析結果の比較による適用性評価



図・ 2次元動的解析結果の3次元換算結果と3次元動的解析結果の比較