

(2) 鉄道構造形式の検討について

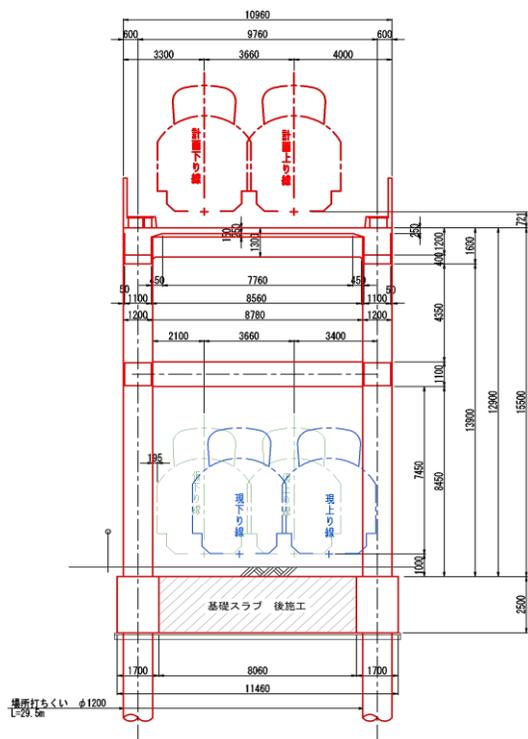
ラーメン高架橋形式における 検討

報告内容

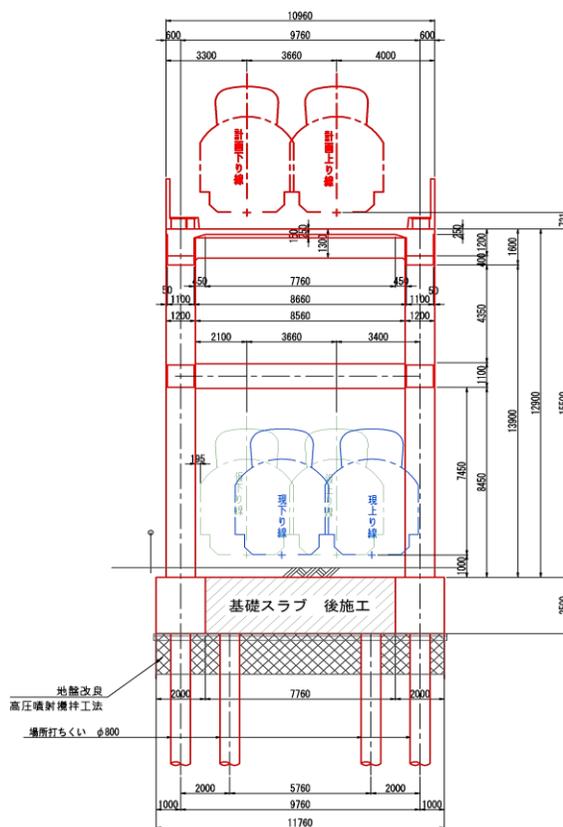
1. パイルド・ラフト基礎構造の検討深度化
2. 断層変位入力方法の検討
3. 断層変位解析
4. 直接基礎の検討
5. 縦断方向の地質調査結果
6. まとめ

高架橋基礎構造形式（検討構造対象概要図）

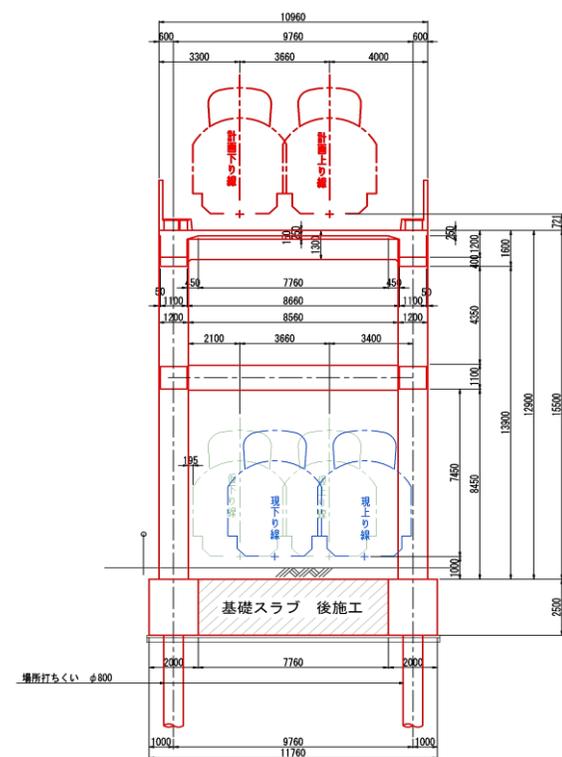
① 1柱1杭完全支持杭



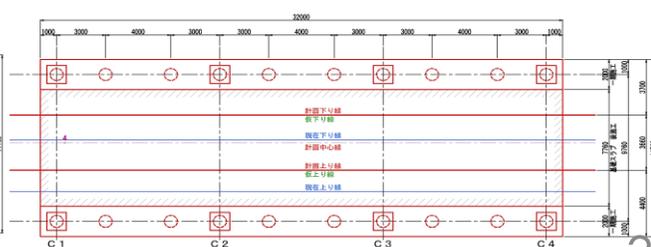
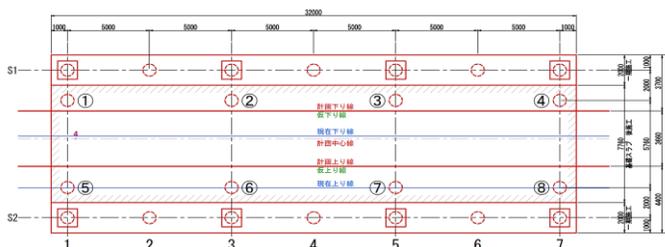
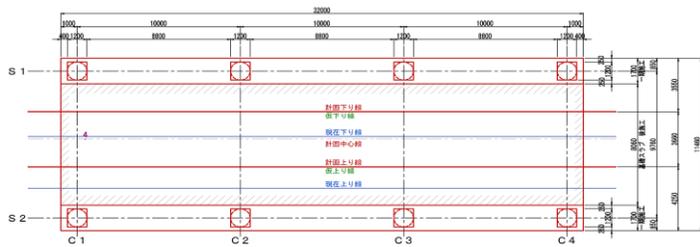
② パイルドラフト基礎



③ 群杭完全支持杭



各平面図



1. パイルド・ラフト基礎構造の検討深度化

パイルド・ラフト基礎の条件変更

前回の解析結果では、基礎スラブおよび後施工杭が荷重を負担せず、パイルドラフト基礎としては機能していない結果となっていた。そこで、以下の2点について、条件の見直しを実施した

① 後施工基礎スラブの一体化時期の変更

前回報告では後施工部と先施工部との一体化と荷重載荷を同時としていたのに対し、後施工部の荷重載荷後に一体化する条件とした。

→ **後施工部の荷重は後施工部で負担する**

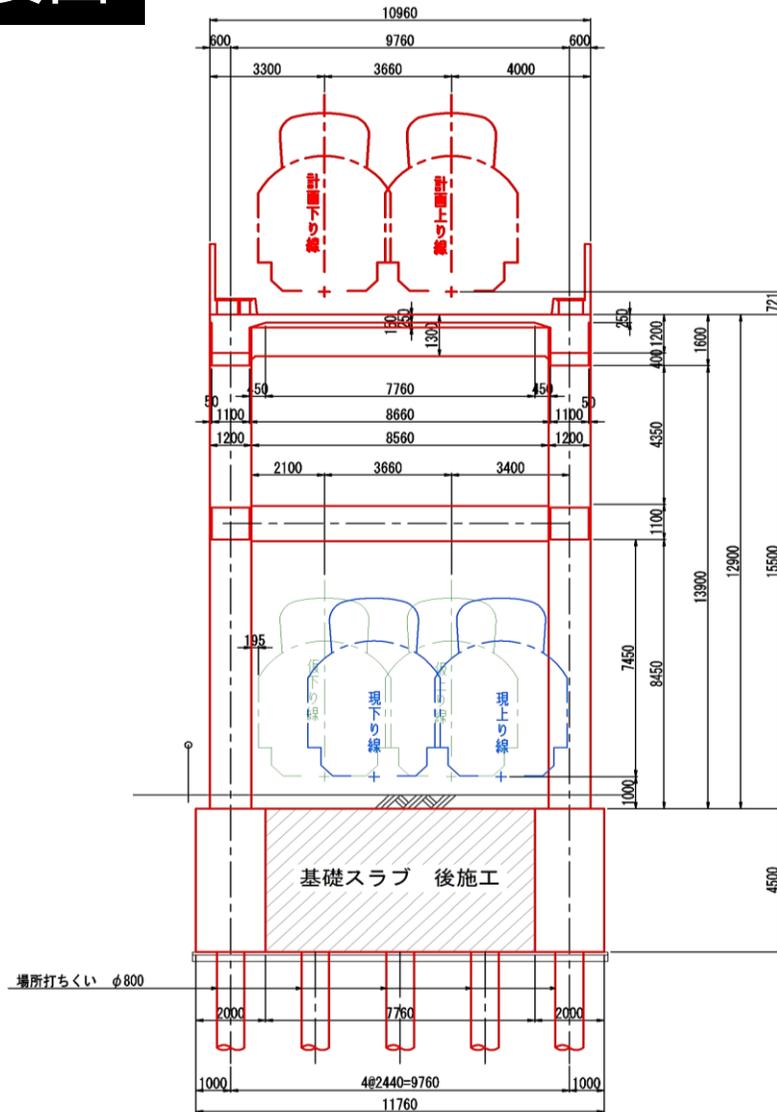
② 基礎スラブ底面の地盤改良

基礎スラブ底面以下の地盤を強固なものに改良する(地盤改良)

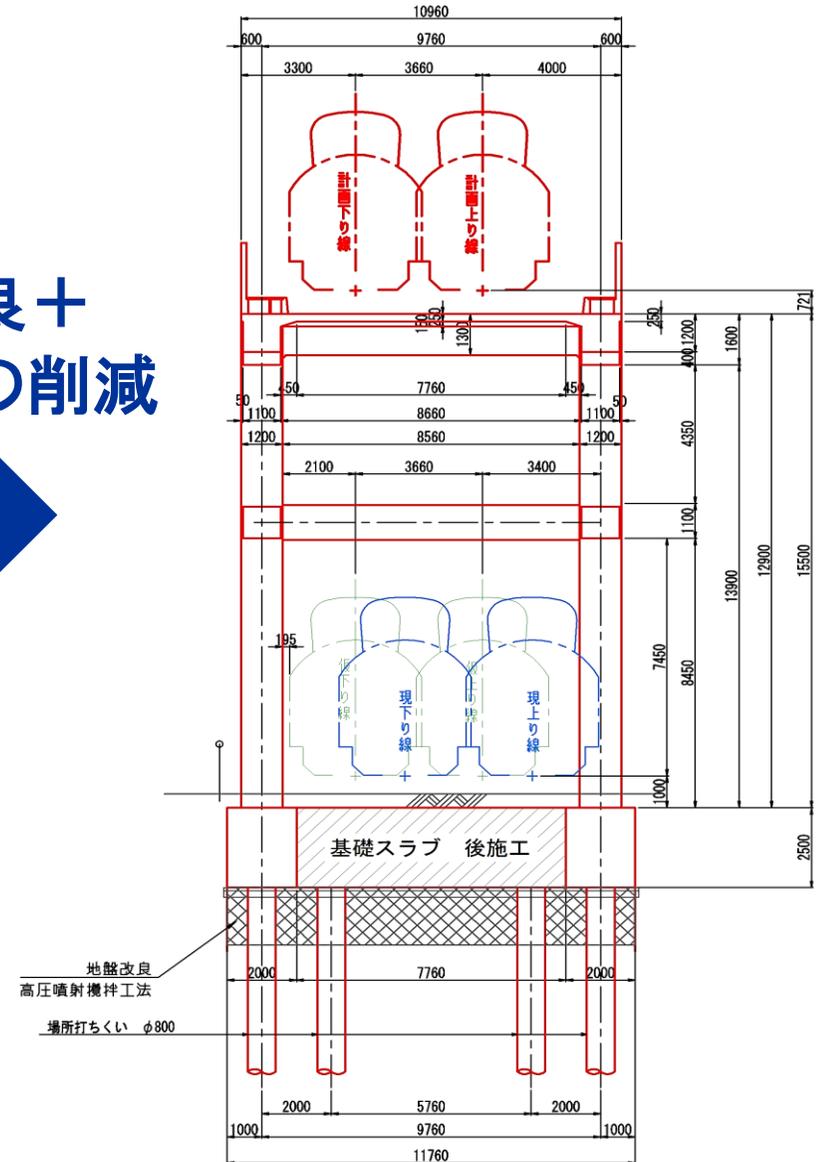
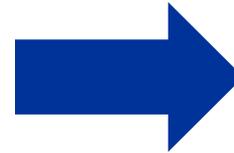
→ **基礎スラブ底面での直接支持力を増加させる**

パイルド・ラフト基礎の条件変更

概要図



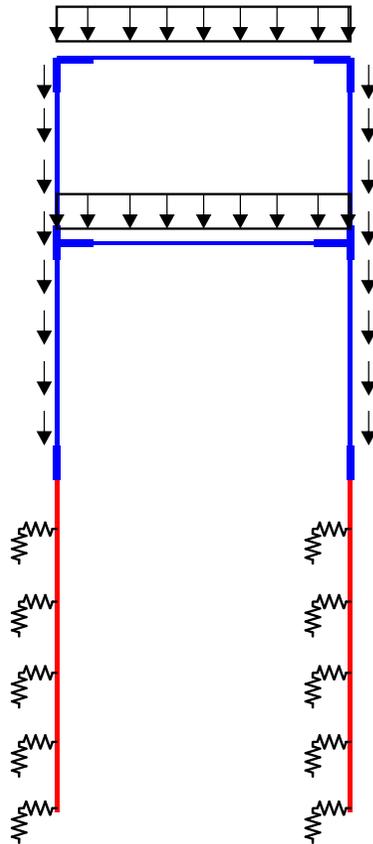
地盤改良 +
杭基礎の削減



パイルド・ラフト基礎の条件変更

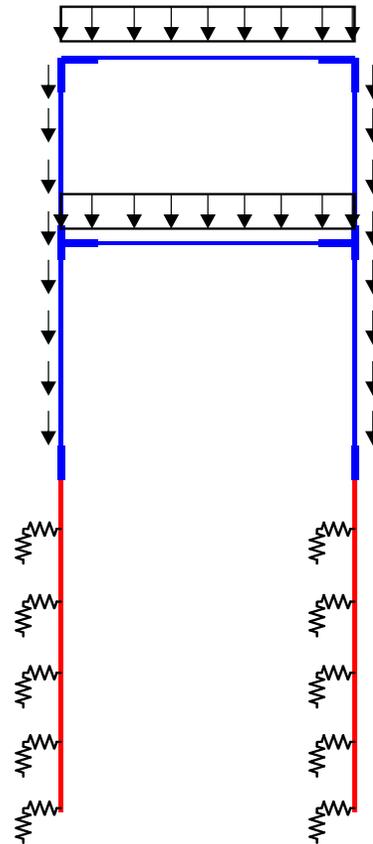
解析の概要図

Case0
(一体化後荷重載荷)
(前回報告)



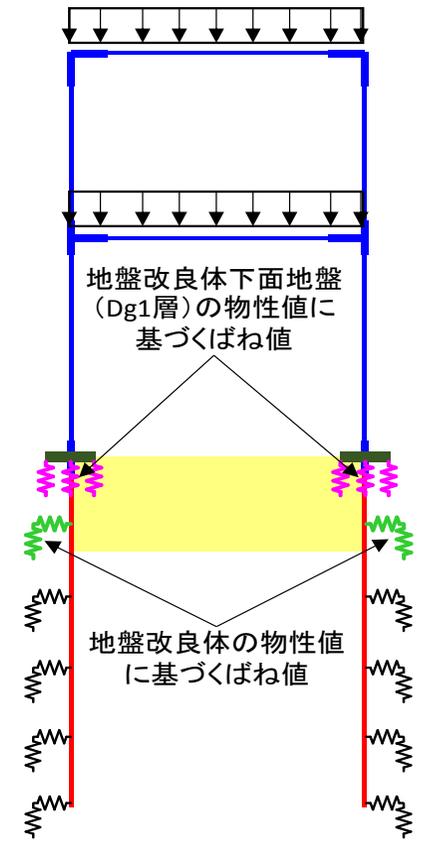
暫定供用時

Case1
(荷重載荷後一体化)



暫定供用時

Case2
(荷重載荷後一体化)
(地盤改良)



暫定供用時

Step
1

パイルド・ラフト基礎の条件変更

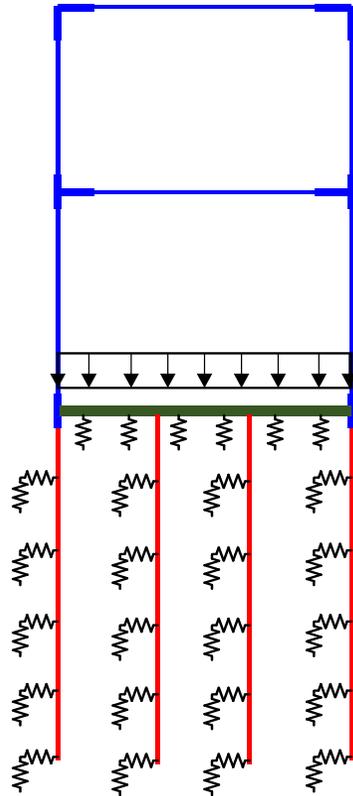
解析の概要図

Case0
(一体化後荷重載荷)
(前回報告)

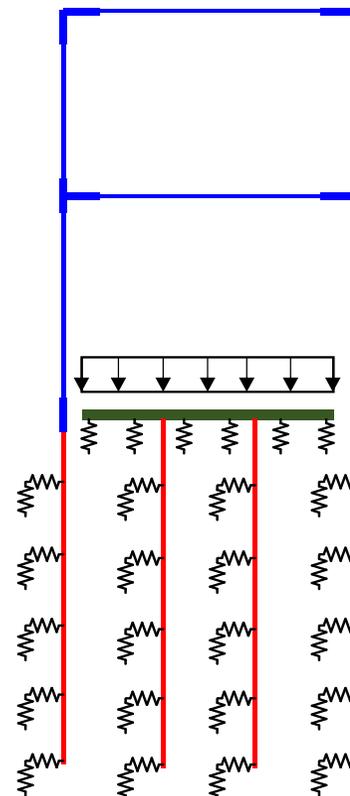
Case1
(荷重載荷後一体化)

Case2
(荷重載荷後一体化)
(地盤改良)

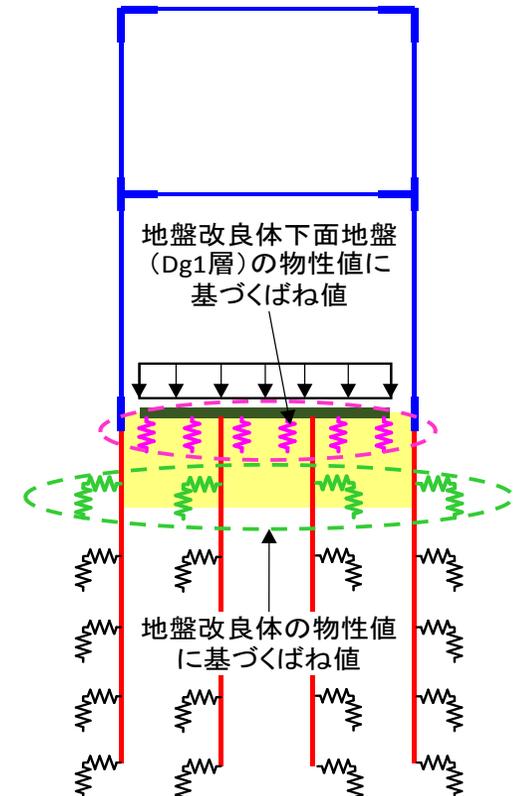
Step
2



完成時



暫定供用時 (一体化前)

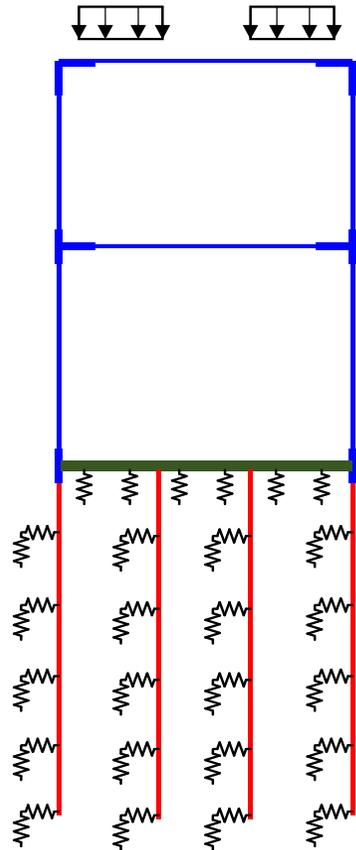


暫定供用時 (一体化前)

パイルド・ラフト基礎の条件変更

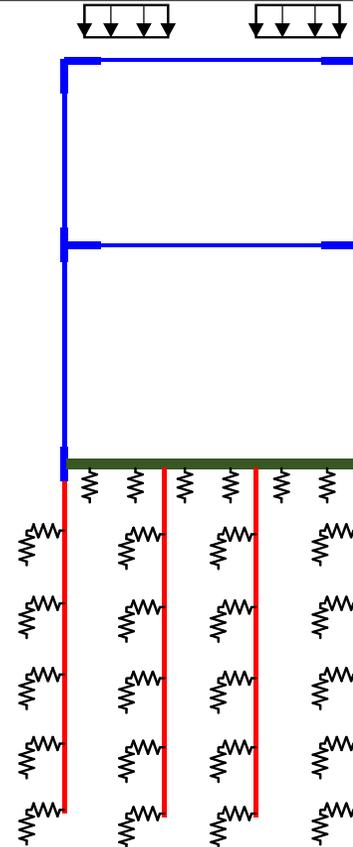
解析の概要図

Case0
(一体化後荷重載荷)
(前回報告)



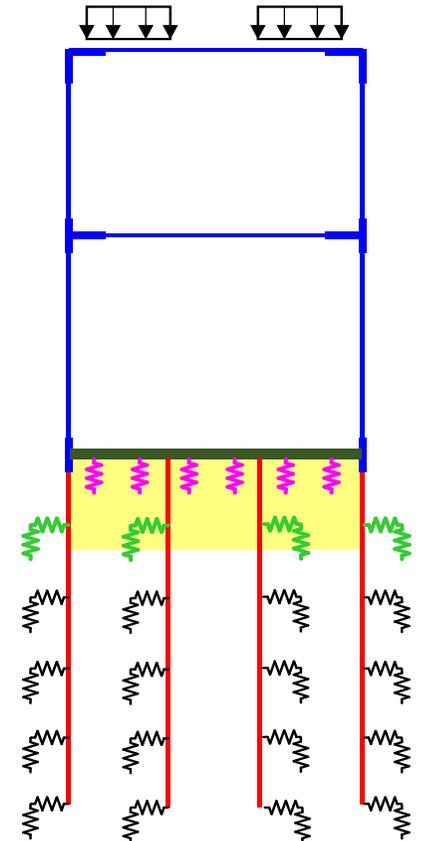
完成時 (列車載荷)

Case1
(荷重載荷後一体化)



完成時 (一体化後)
(列車載荷)

Case2
(荷重載荷後一体化)
(地盤改良)



完成時 (一体化後)
(列車載荷)

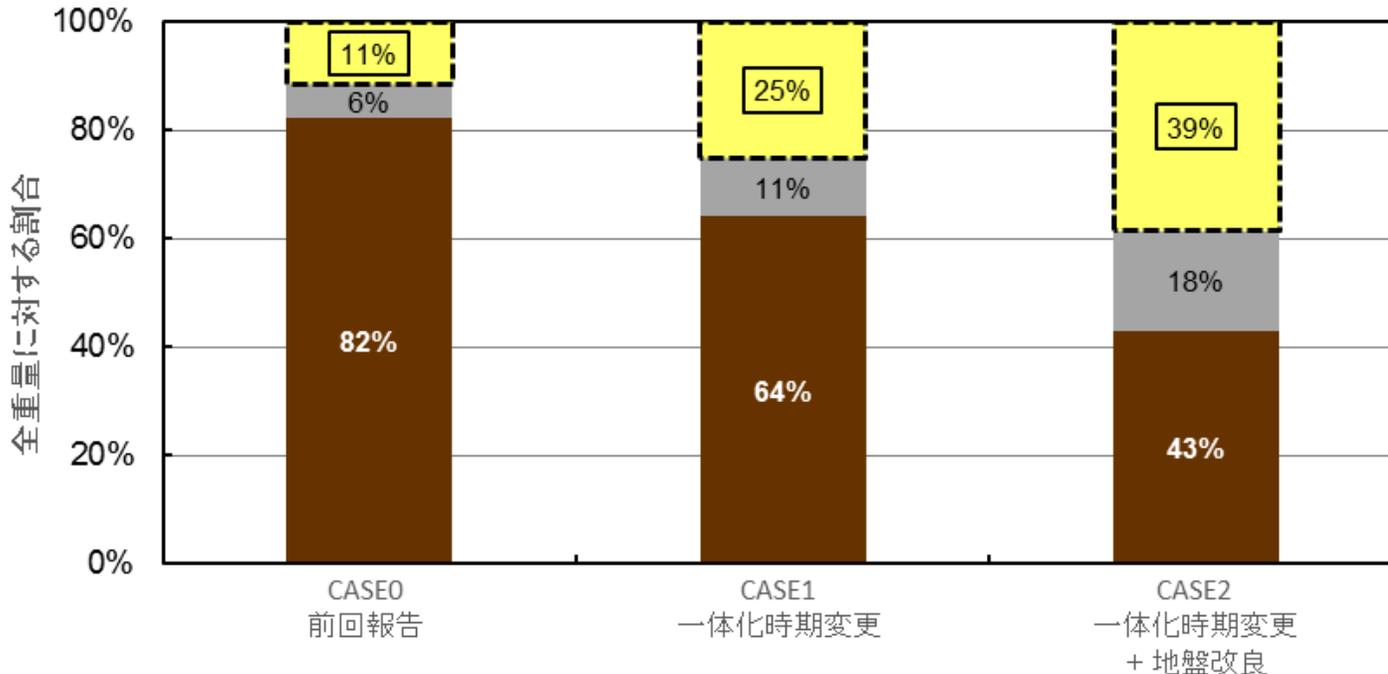
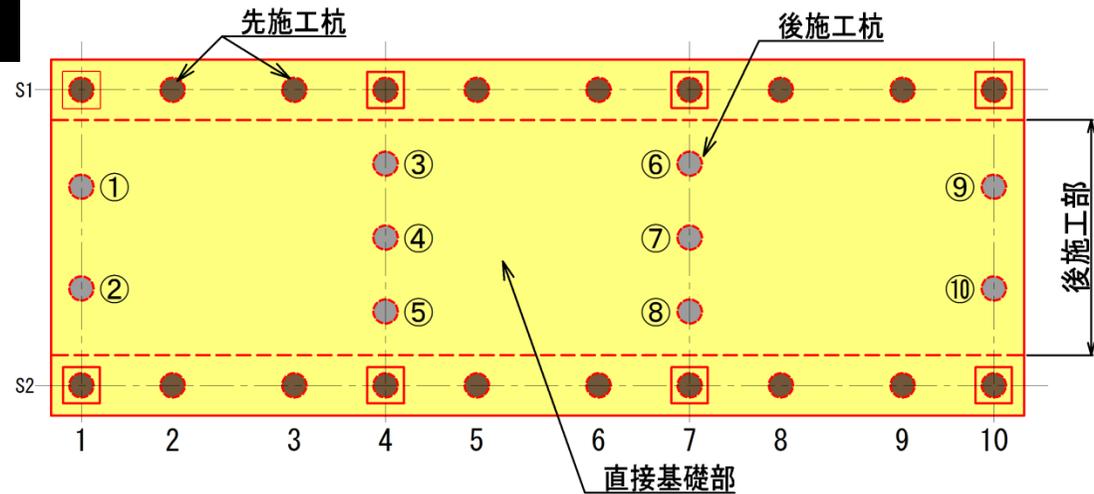
Step
3

パイルド・ラフト基礎の条件変更

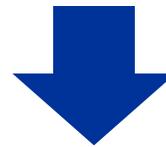
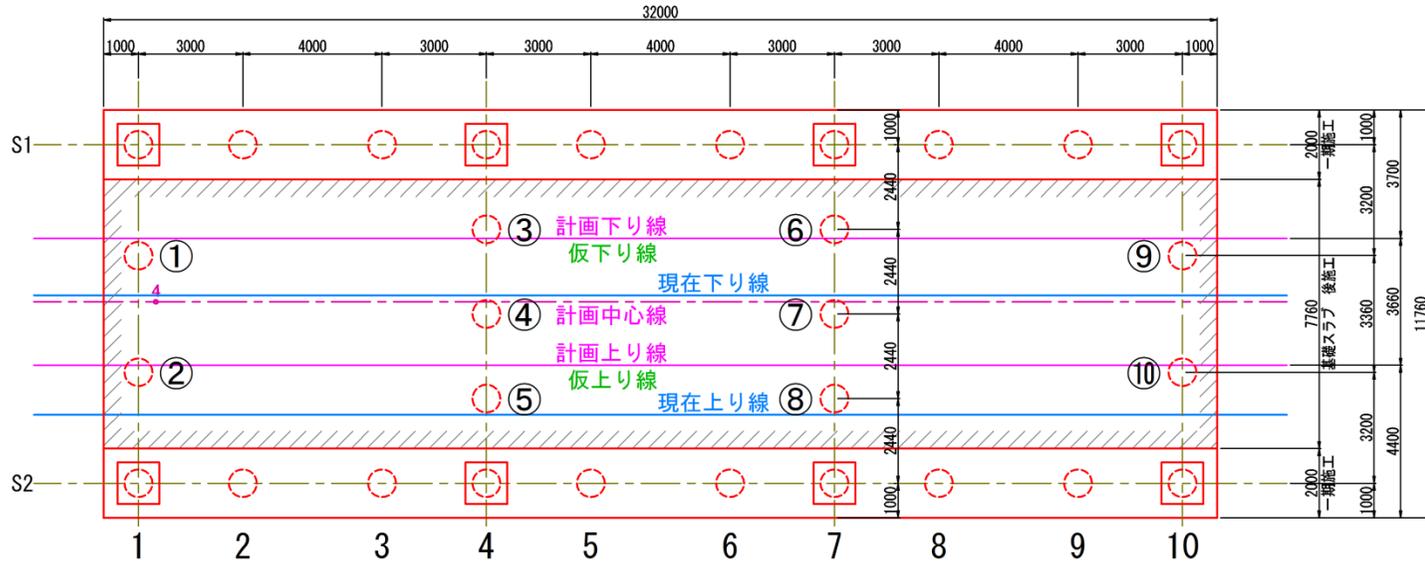
解析結果：基礎各部の重量分担率

条件変更毎(一体化時期⇒地盤改良)に
直接基礎の負担割合が増加

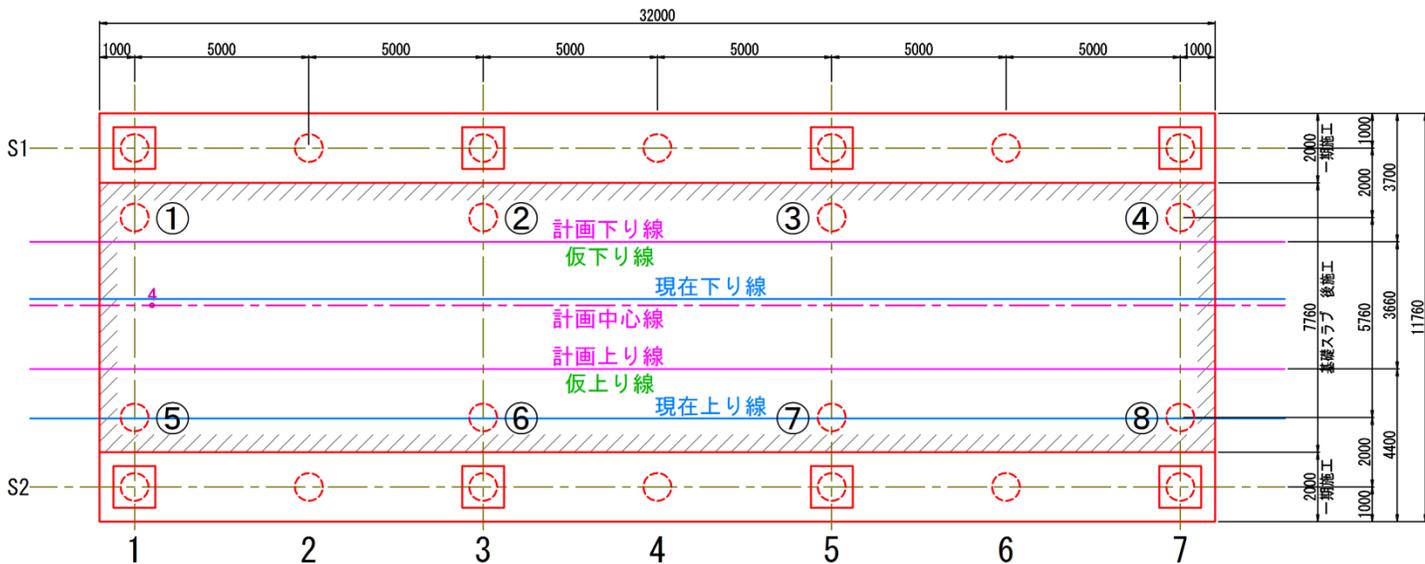
パイルド・ラフト基礎として機能



パイルド・ラフト基礎の条件変更



30本 ⇒ 22本に削減



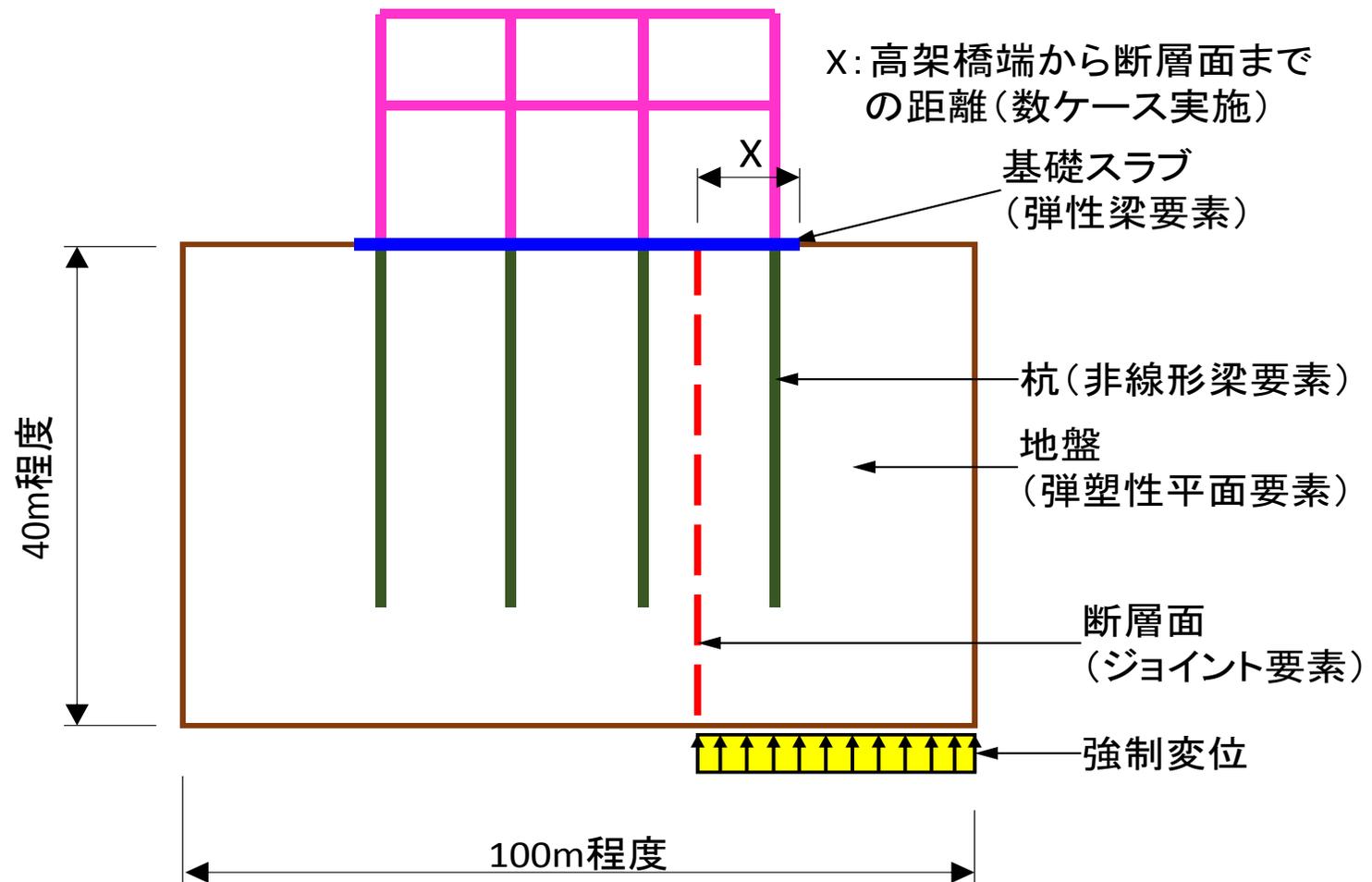
パイルド・ラフト基礎の条件変更～まとめ～

- ◆ 当該地盤においては、常時の沈下量を抑制し、パイルド・ラフト基礎として機能するには地盤改良を要するため、杭基礎と比べて経済性で必ずしも優位とはならない
- ◆ 鉄道構造物としての国内の事例が無く、設計手法や基準が整備されていないため、採用するためには、より詳細な検討や実験が必要になることが考えられる。

2. 断層変位入力方法の検討

二次元弾塑性FEM解析

断層変位入力方法の検討



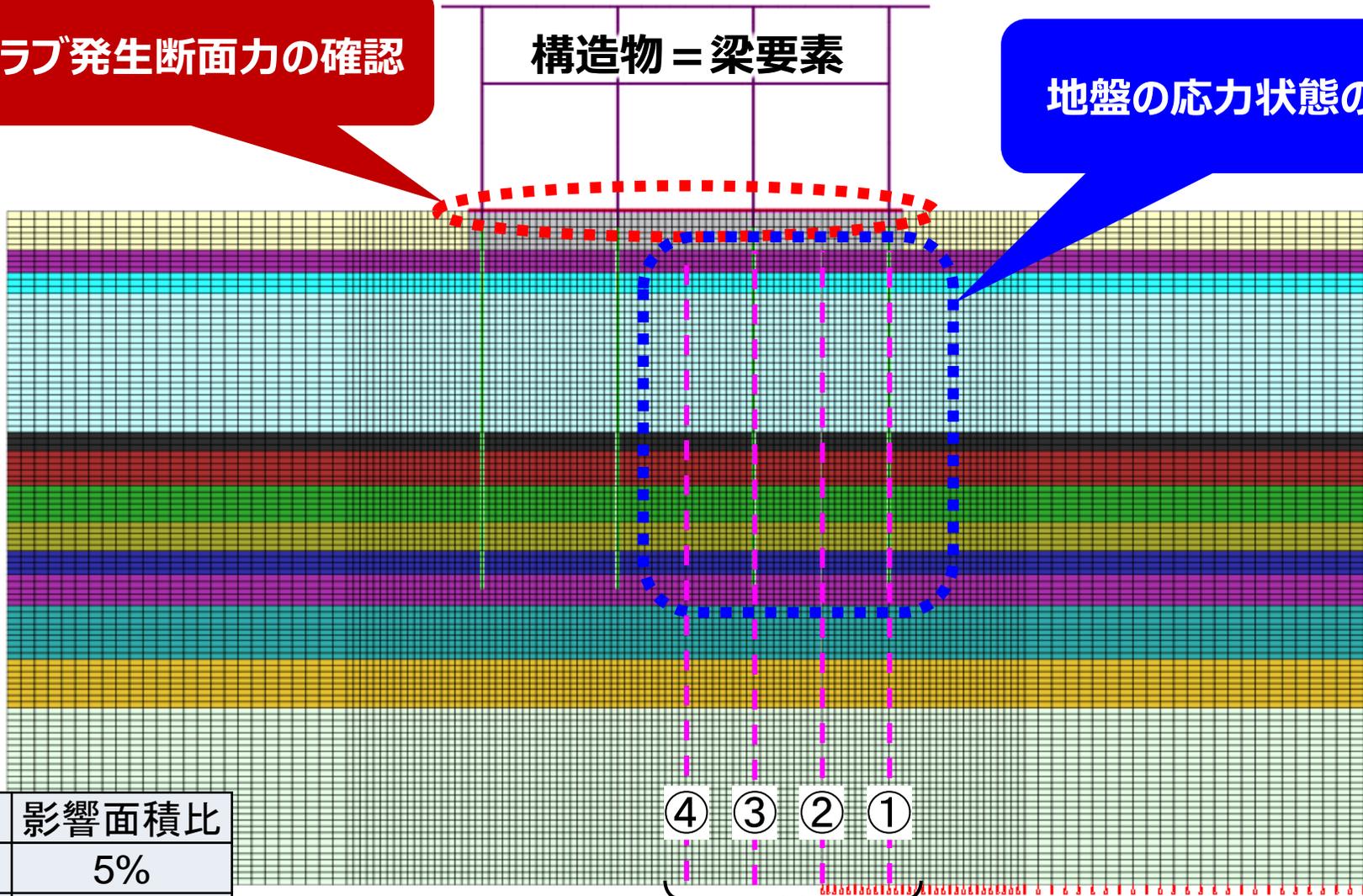
解析モデル概要

断層変位入力方法の検討

基礎スラブ発生断面力の確認

構造物 = 梁要素

地盤の応力状態の確認



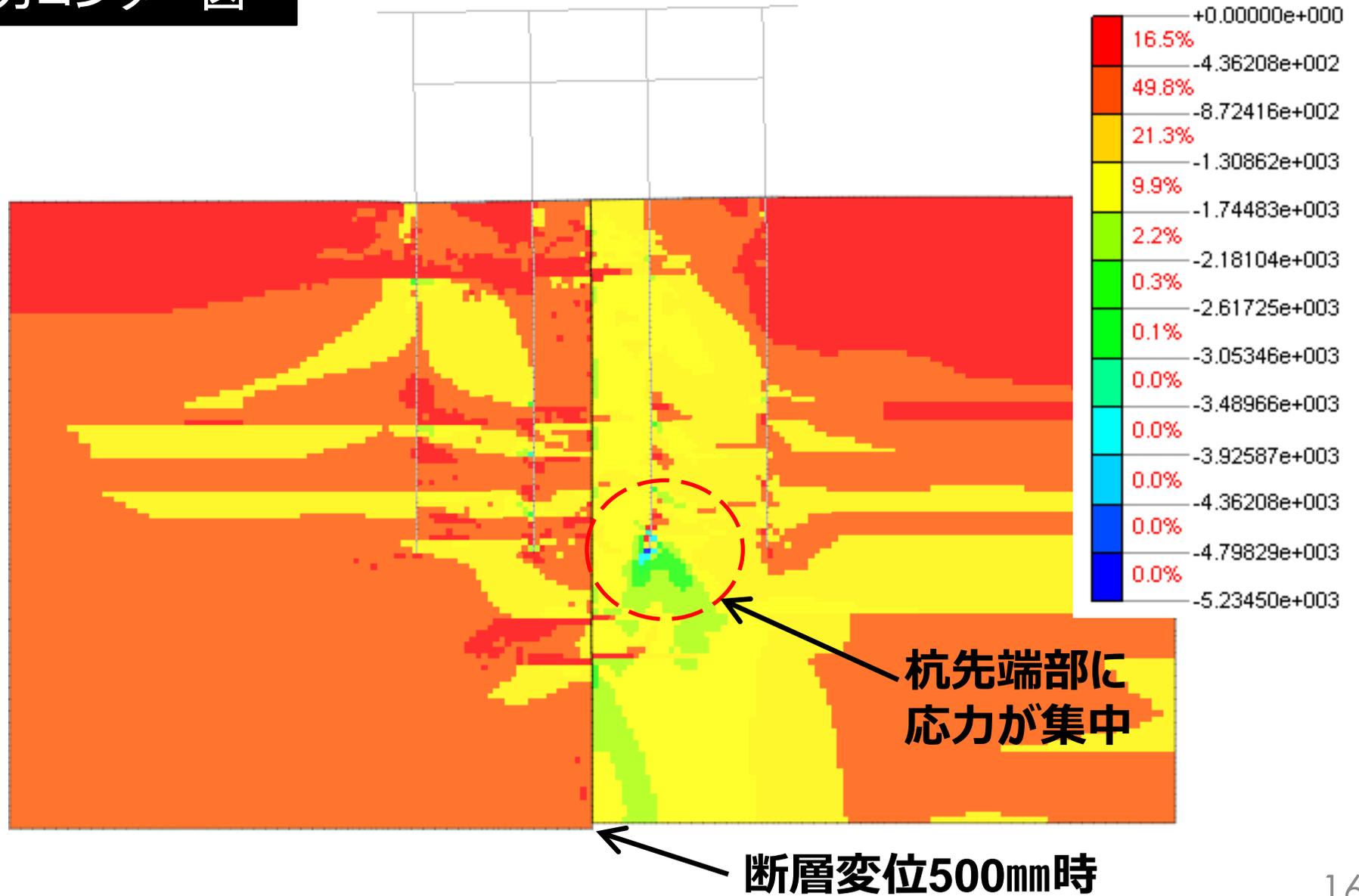
断層位置	影響面積比
①	5%
②	18%
③	36%
④	50%

断層位置4ケース検討
(ジョイント要素によりずれ変位を模擬)

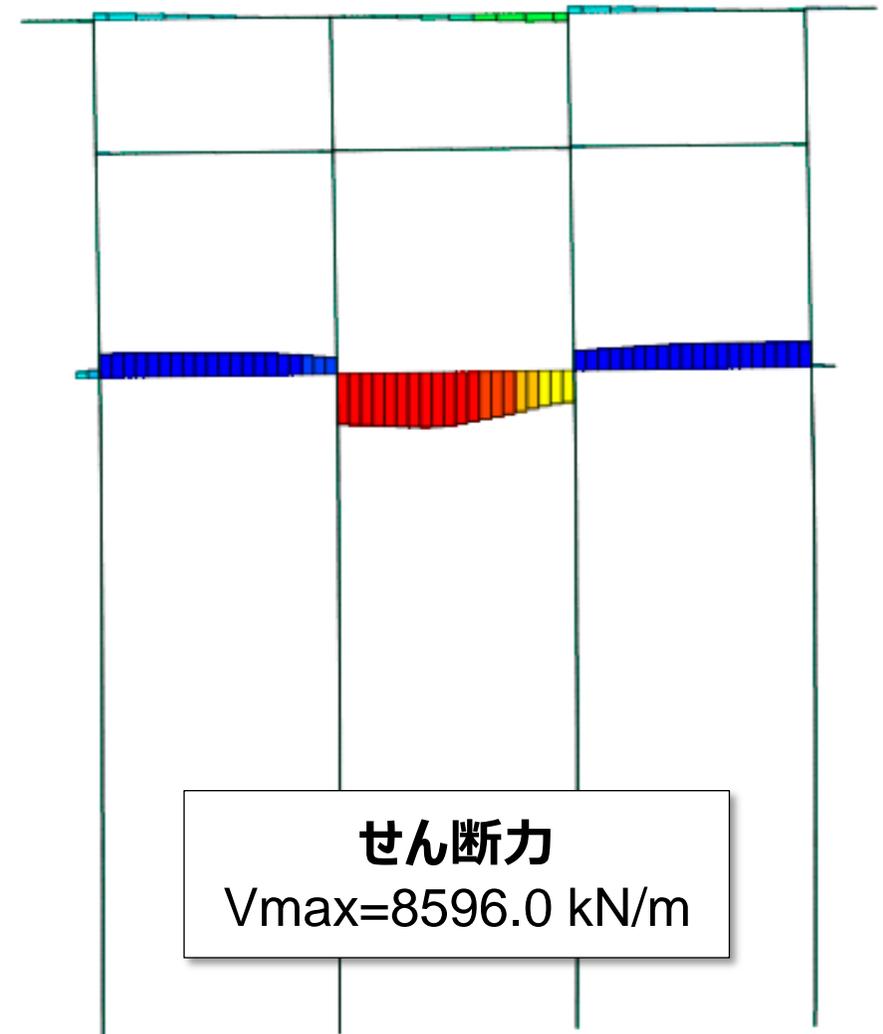
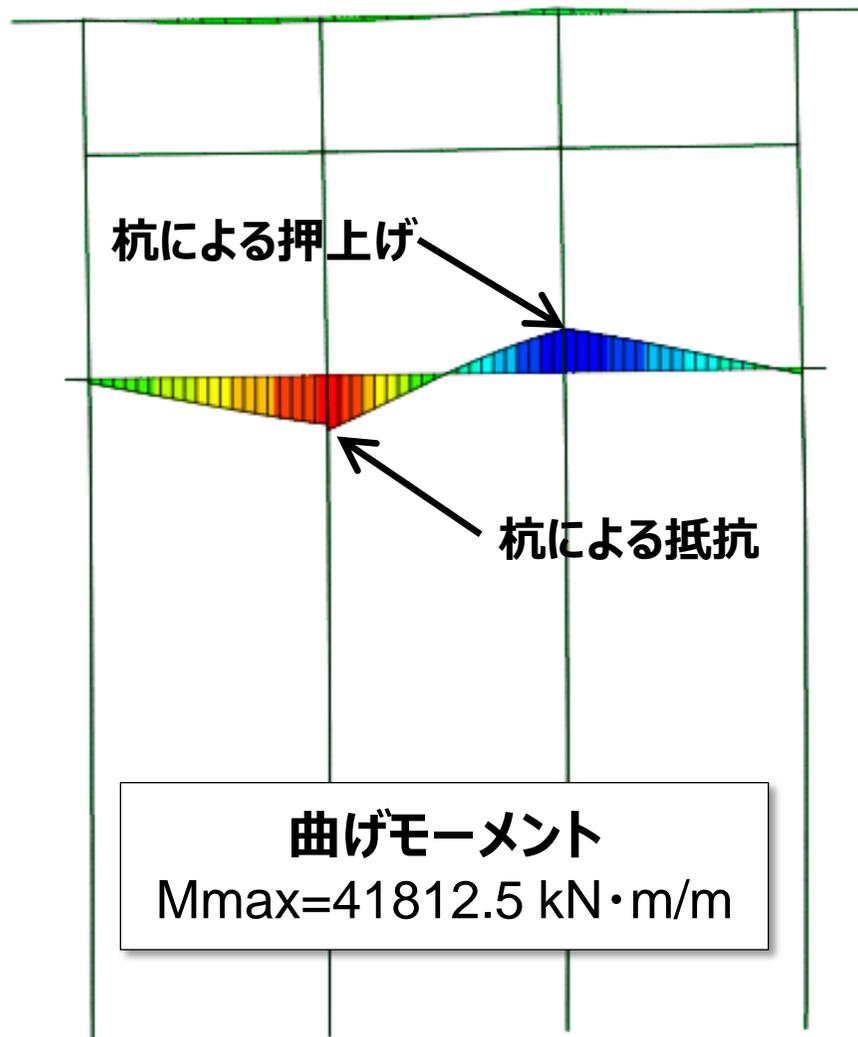
解析モデル下面に等分布
断層変位(強制変位)入力

断層変位入力方法の検討

主応力コンター図



断層変位入力方法の検討



基礎スラブ断面力図(断層変位500mm時)

断層変位入力方法の検討

■ 基礎スラブ発生断面力, ラーメン天端の鉛直変位

基礎スラブ断面力は, 断層影響面積比 18%で頭打ち

	断層影響面積比	基礎スラブの最大断面力		ラーメン天端の鉛直変位 (mm)
		曲げモーメント (kN・m/m)	せん断力 (kN)	
耐力※	---	$M_{yd}=27500\text{kN}\cdot\text{m}$	$V_{yd} = 12500\text{kN}$ $V_{wcd}=10700\text{kN}$	----
断層位置1	5%	12458	3853	-19.0
断層位置2	18%	86661	9428	361.4
断層位置3	36%	64237	9012	431.8
断層位置4	50%	41813	8596	502.3

(断層変位500mm時)

※耐力は軸力0kNの場合の参考値

断層変位入力方法の検討 ～まとめ～

- ❖ 断層変位による影響は、杭を介して高架橋へ及ぼされることが主応力コンター図や断面力図から判断できる
 - ➔ 3次元骨組断層変位解析時には、従来基礎スラブに断層変位を入力していたが、杭に断層変位を入力するモデルへの変更が必要
- ❖ 基礎スラブの最大断面力は影響面積比(押し上げる面積)18%以下で頭打ちとなる傾向にある
 - ➔ 杭を部分的に押し上げても、基礎スラブには影響がほとんど生じなかったため、3次元骨組断層変位解析時には、杭を1本, 2本, 3本押し上げる3ケースを実施する

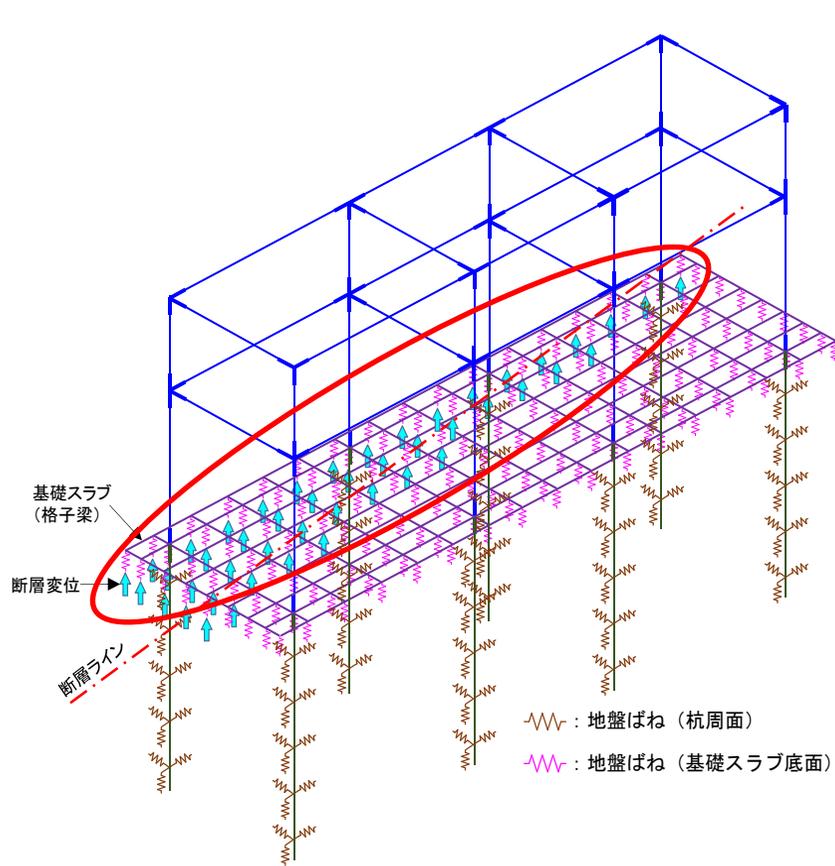
3. 断層変位解析

(三次元静的非線形骨組解析)

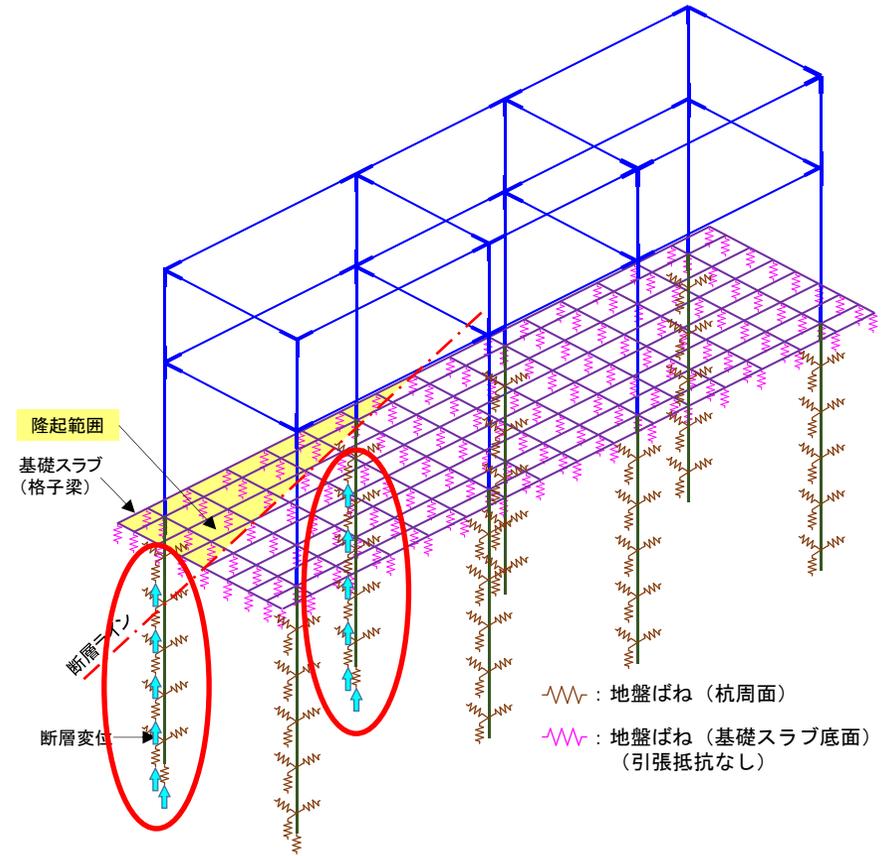
完全支持杭(1径間 & 3径間)

断層変位解析（三次元静的解析）

解析モデル



従来モデル
(基礎スラブに断層変位を入力)



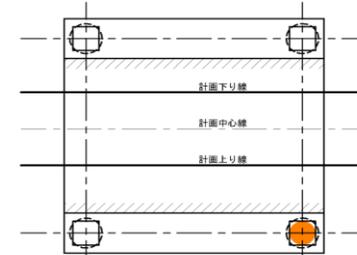
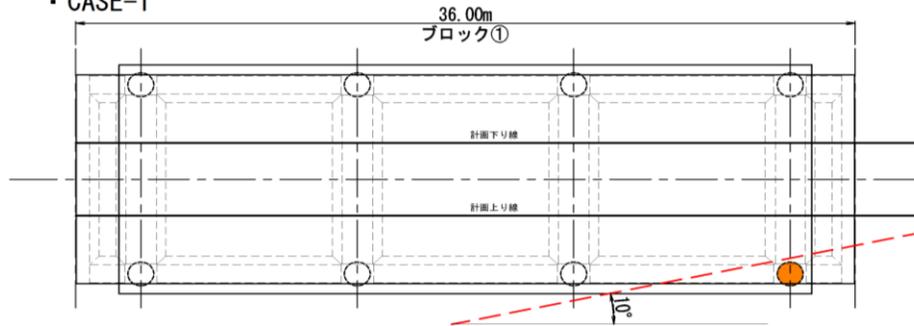
今回実施モデル
(杭に断層変位を入力)

断層変位解析（三次元静的解析）

解析ケース

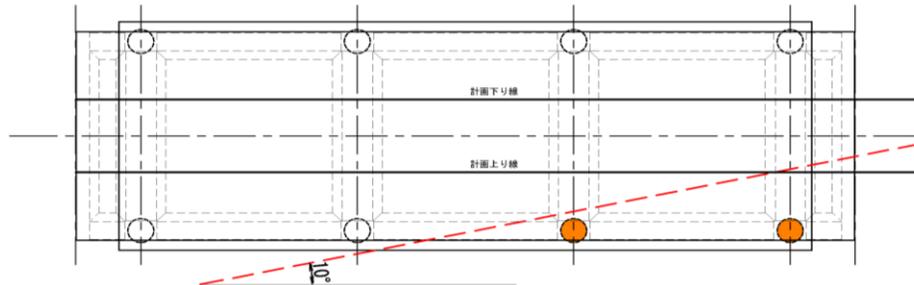
● : 強制変位を与える杭

・ CASE-1

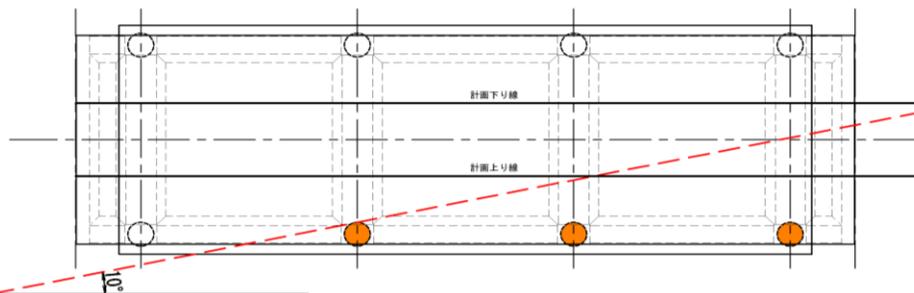


断層交差角は任意

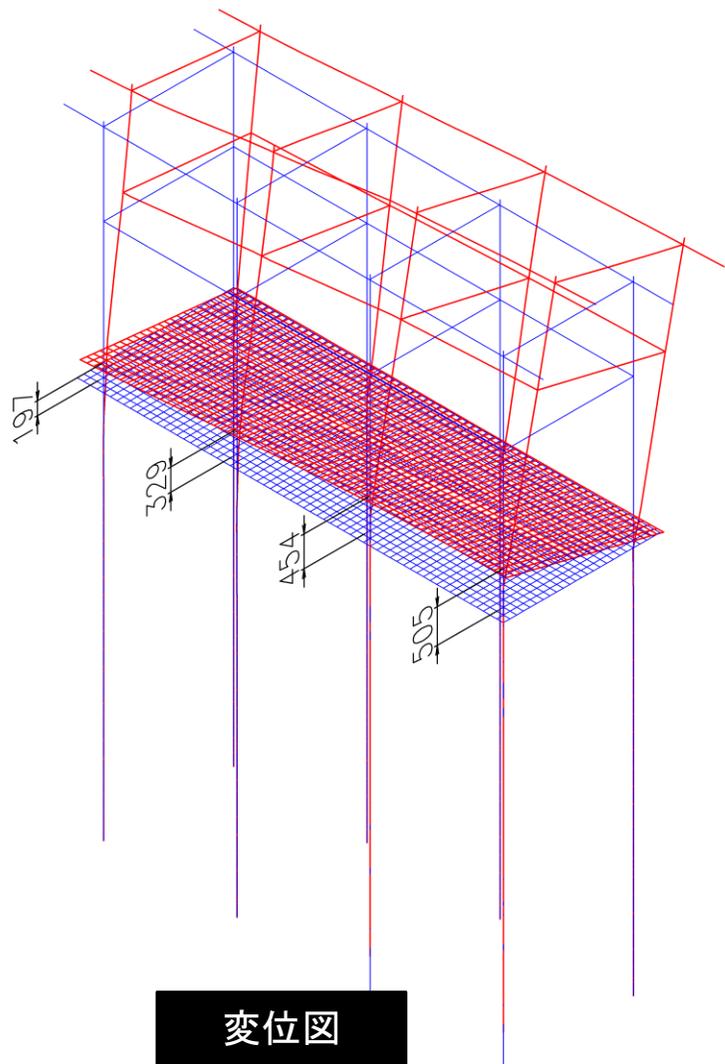
・ CASE-2



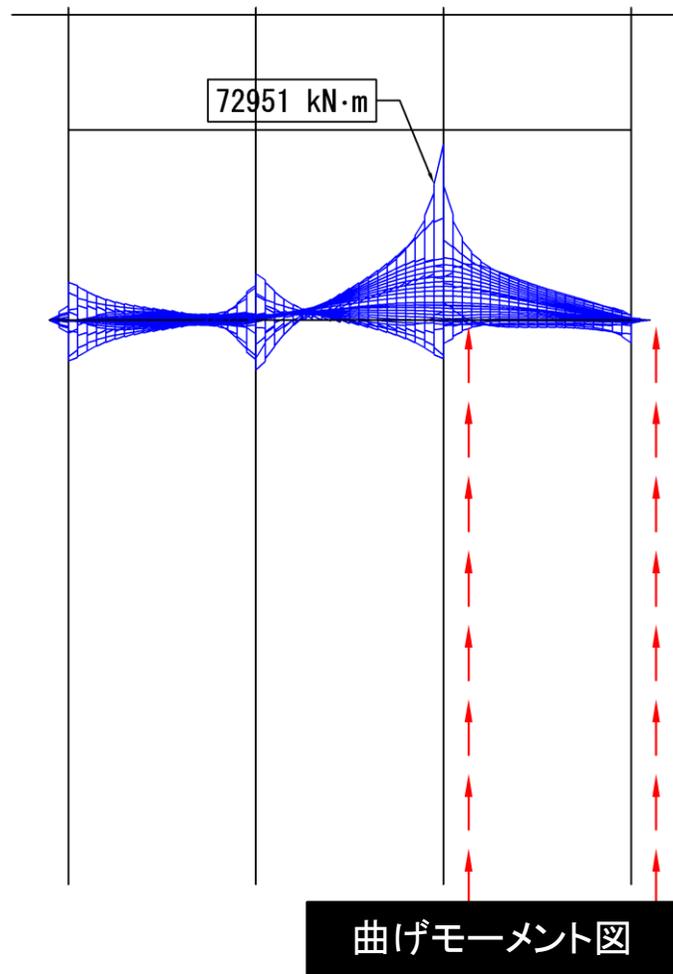
・ CASE-3



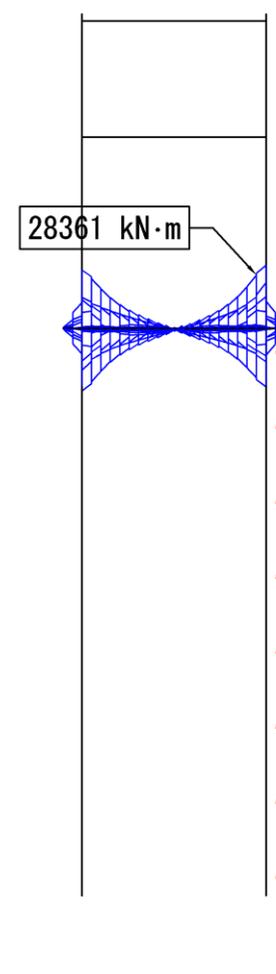
断層変位解析（3径間完全支持杭）



線路方向

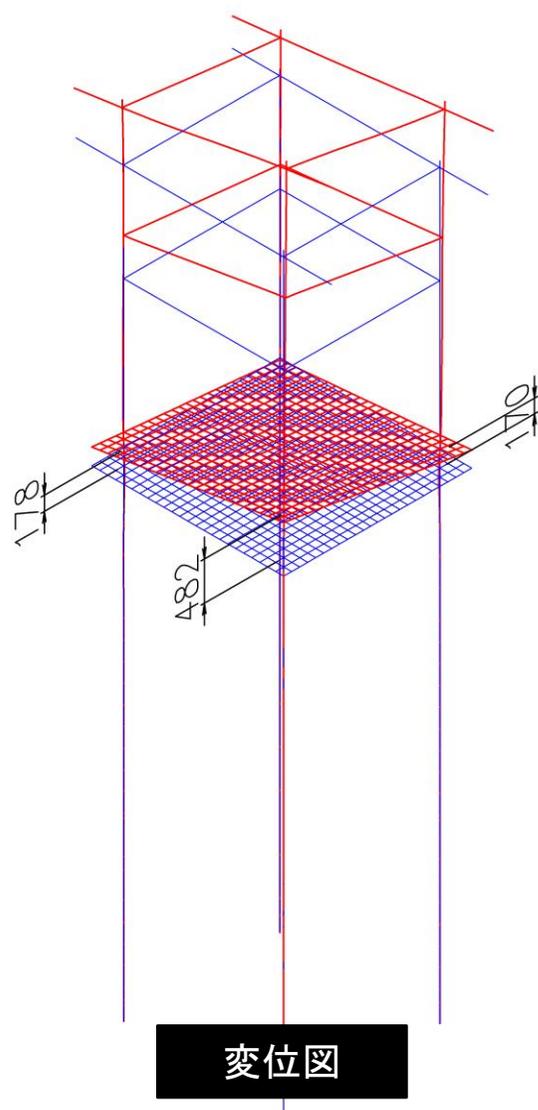


直角方向

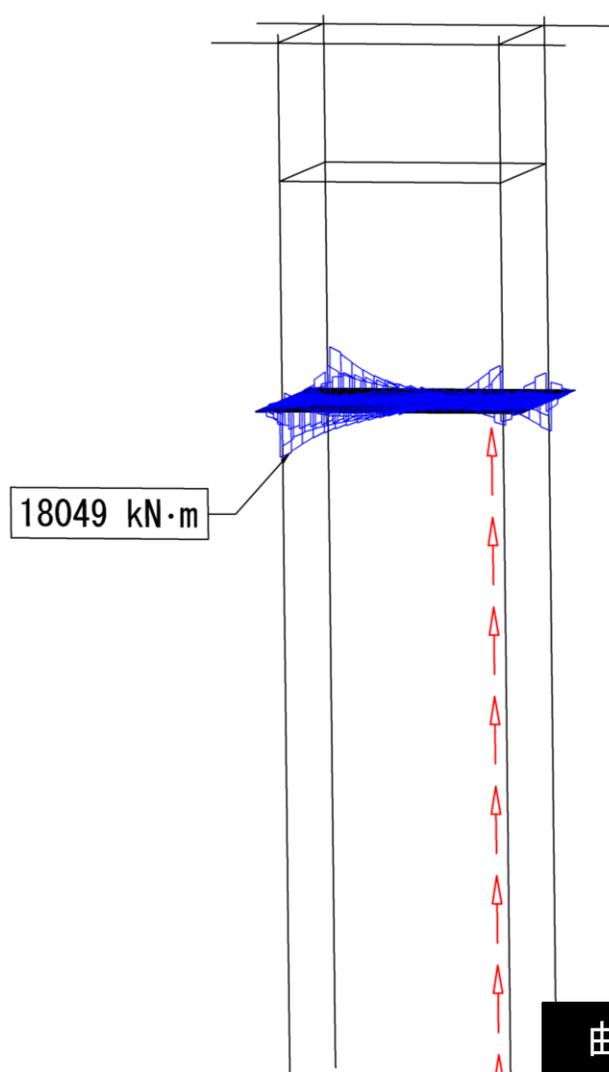


Case2 断層変位 500mm時

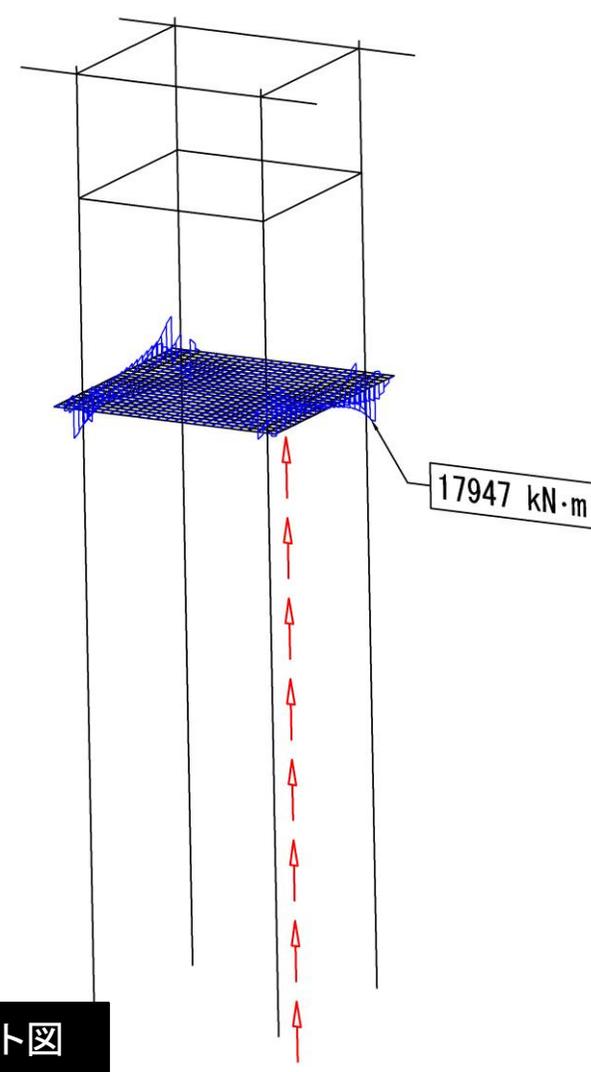
断層変位解析（1径間完全支持杭）



線路方向



直角方向



断層変位 500mm時

杭体の引張降伏を考慮した検討

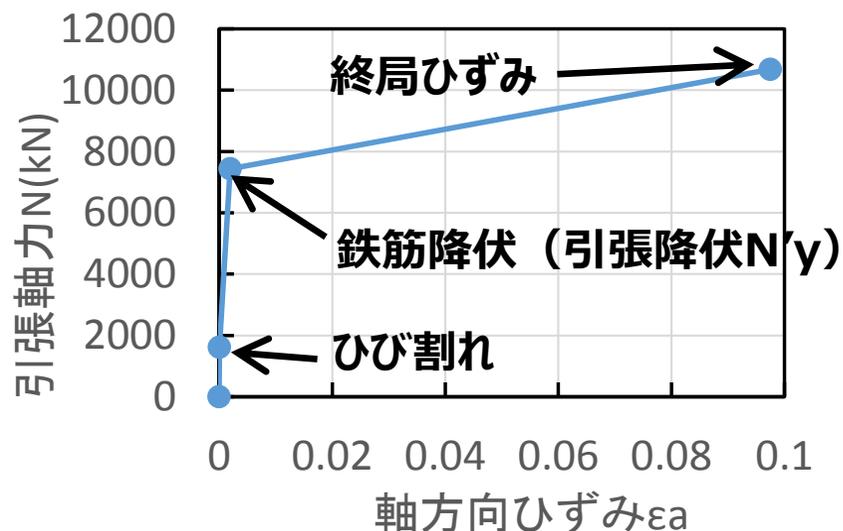
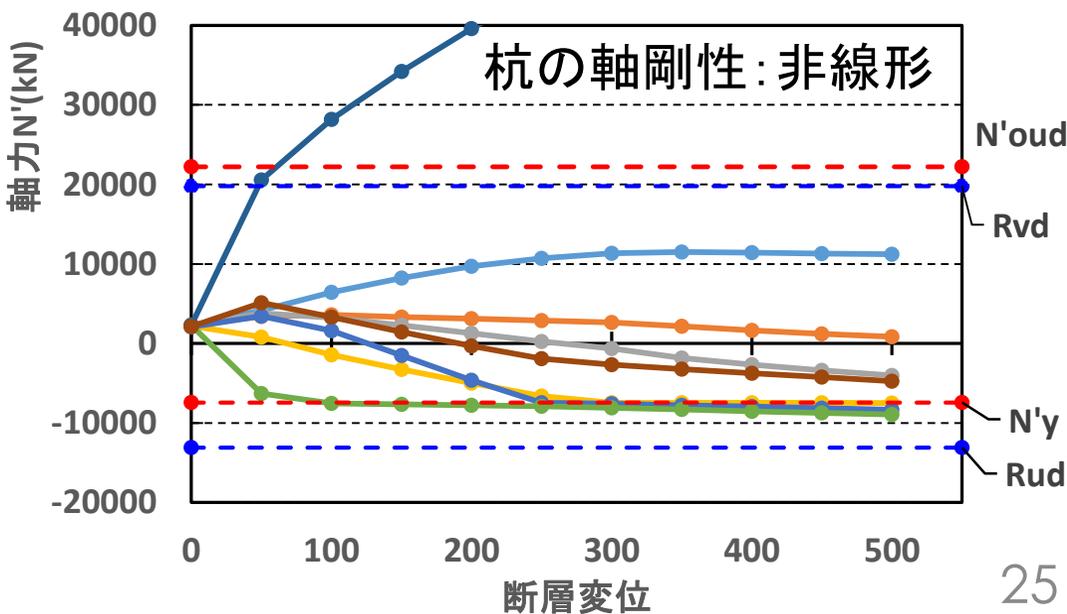
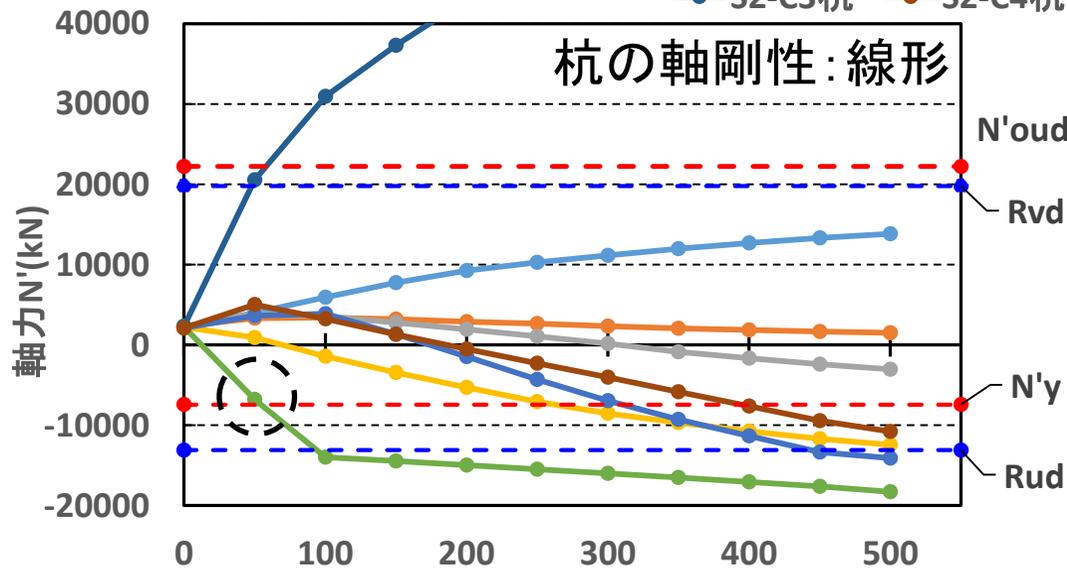


杭の引張軸力 \equiv 断層変位への抵抗

- 杭の軸剛性を線形(一般的モデル化)
 \Rightarrow 断層変位50mm程度で引張降伏耐力 $N'y$ を超過



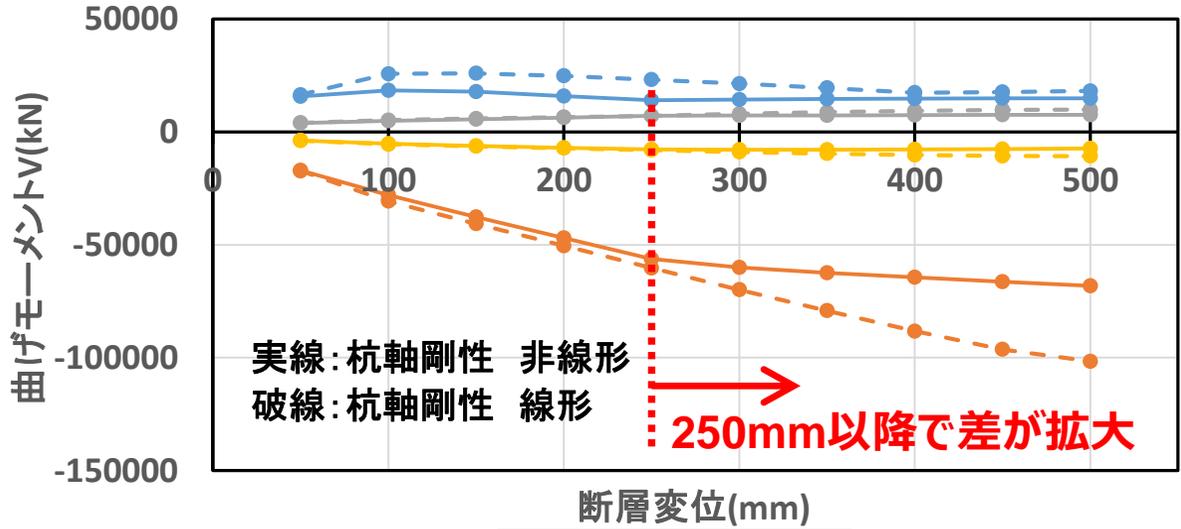
- 断層変位への抵抗を過大評価
- 杭の軸方向非線形特性を考慮



杭体の引張降伏を考慮した検討（3径間）

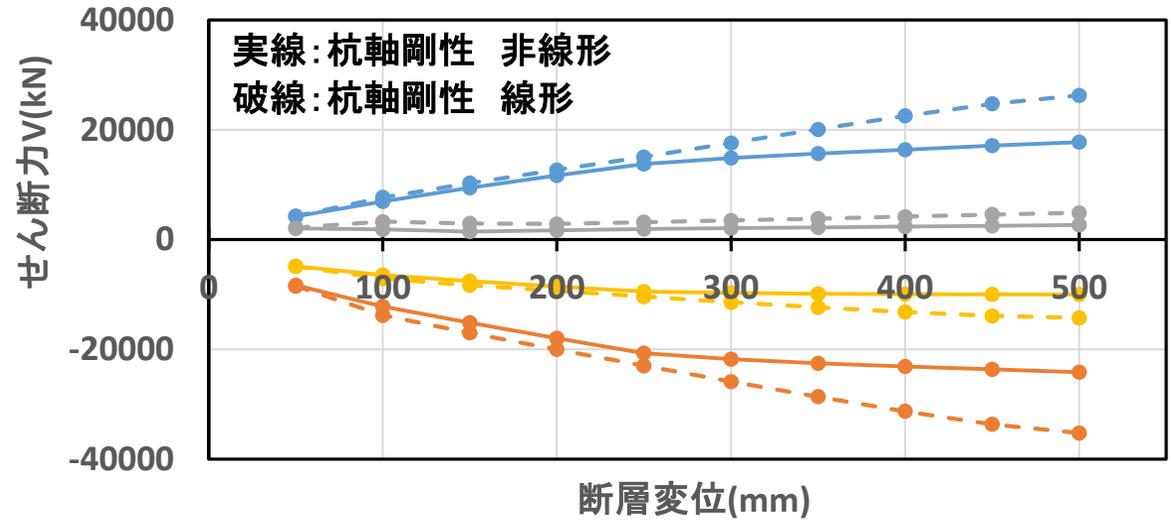
◆基礎スラブの発生断面力

- 断層変位 250 mm 以降で杭の軸降伏の影響が顕著



曲げモーメント

● 線路方向(Max) ● 線路方向(Min) ● 直角方向(Max) ● 直角方向(Min)

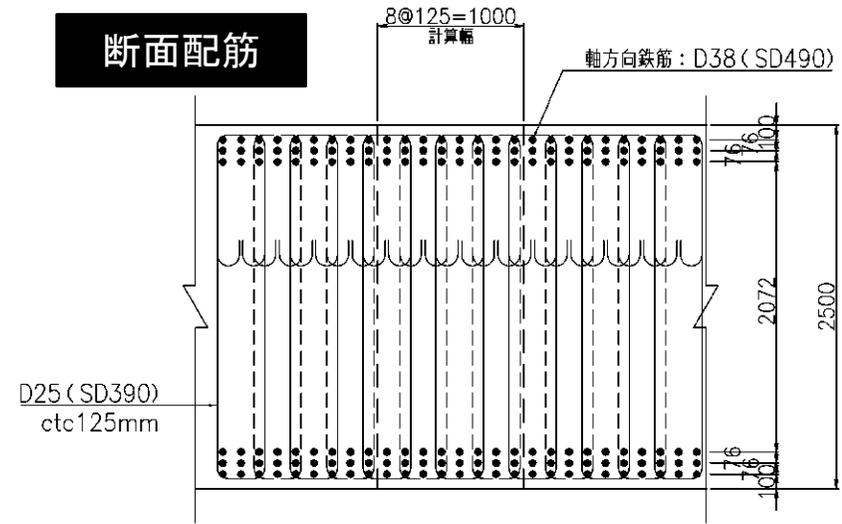


せん断力

基礎スラブの限界変位

■ 3径間ラーメン(杭引張降伏考慮)

... 限界変位 75 mm



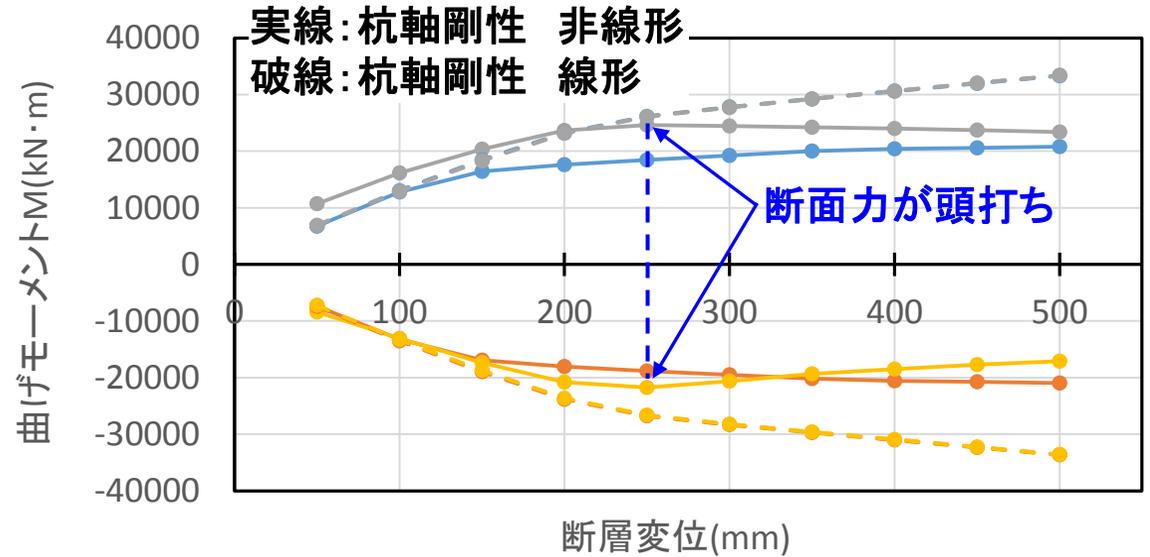
◆基礎スラブの照査結果 CASE2 **断層変位 75mm 時 (耐力限界時)**

		軸力 Max/Min時		モーメント Max/Min時		せん断力 Max/Min時	
		線路方向	直角方向	線路方向	直角方向	線路方向	直角方向
Max時	N'd(kN)	1584.7	783.8	-1184.9	-442.0	-534.9	-403.9
	Md(kN・m)	-22972.0	-4678.0	18337.6	4579.4	-14568.0	1661.6
	Vd(kN)	-10547.4	-5824.8	-7310.2	-1868.2	5629.0	2029.0
	部材	41	45	24	52	44	21
	step	75	75	75	75	75	75
	$\gamma_i \cdot Md/Myd$	0.79	0.17	0.69	0.17	---	---
	$\gamma_i \cdot Vd/Vyd$	0.84	0.47	---	---	0.45	0.16
$\gamma_i \cdot Vd/Vwcd$	0.98	0.54	---	---	0.52	0.19	
Min時	N'd(kN)	-1184.9	-475.7	1584.7	783.8	1584.7	783.8
	Md(kN・m)	18337.6	4108.2	-22972.0	-4678.0	-22972.0	-4678.0
	Vd(kN)	-7310.2	-919.6	-10547.4	-5824.8	-10547.4	-5824.8
	部材	24	28	41	45	41	45
	step	75	75	75	75	75	75
	$\gamma_i \cdot Md/Myd$	0.69	0.15	0.79	0.17	---	---
	$\gamma_i \cdot Vd/Vyd$	0.59	0.07	---	---	0.84	0.47
$\gamma_i \cdot Vd/Vwcd$	0.68	0.09	---	---	0.98	0.54	

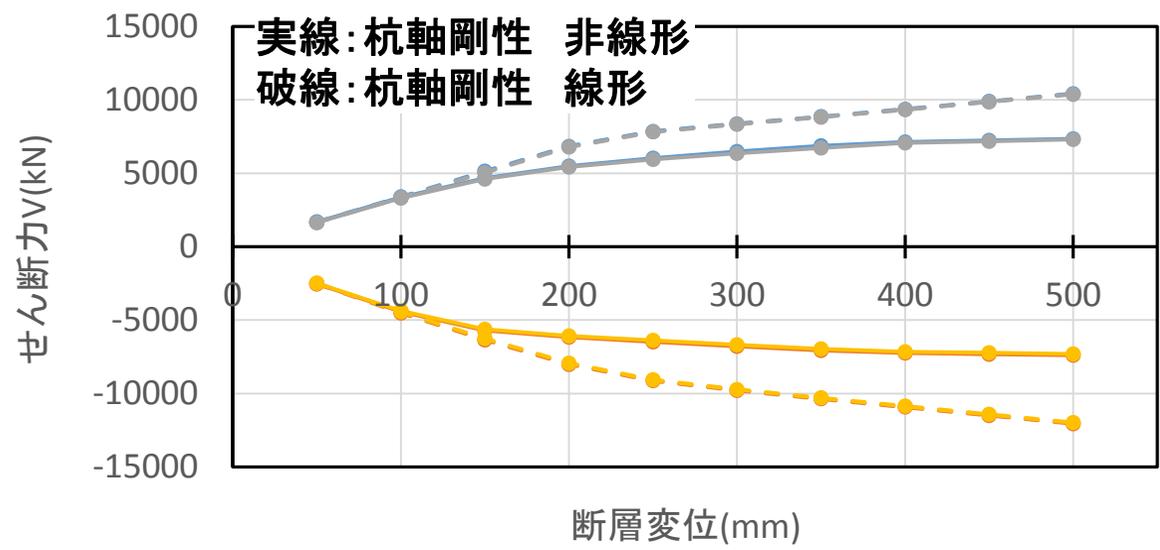
杭体の引張降伏を考慮した検討（1 径間）

◆基礎スラブの発生断面力

- 断層変位 250 mm 付近で発生断面力が最大となる



曲げモーメント

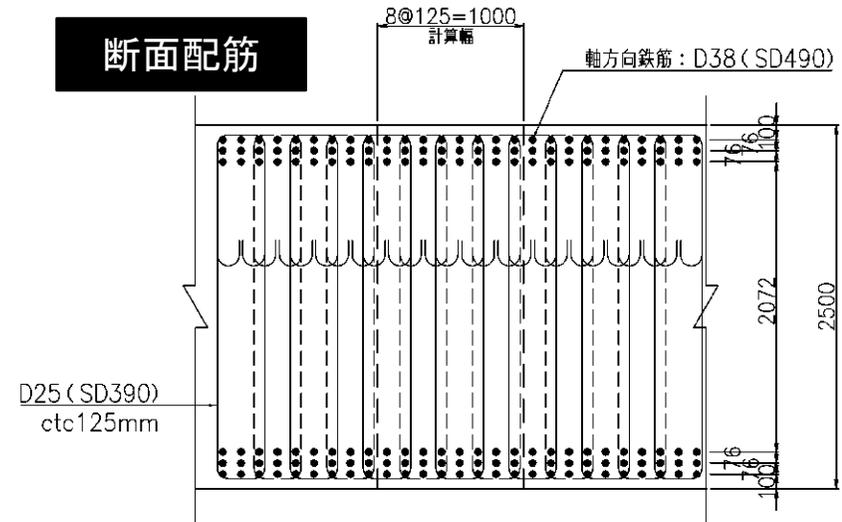


せん断力

基礎スラブの限界変位

■ 1径間ラーメン

... 限界変位 300 mm以上



◆ 基礎スラブの照査結果

		軸力 Max/Min時		モーメント Max/Min時		せん断力 Max/Min時	
		線路方向	直角方向	線路方向	直角方向	線路方向	直角方向
Max時	N'd(kN)	936.1	994.3	-750.5	-802.5	926.7	977.0
	Md(kN・m)	-16136.0	-11803.2	18331.2	24652.0	-14789.0	-14953.8
	Vd(kN)	-6427.6	-6331.6	-3506.0	-3472.0	5960.0	5865.0
	部材	45	45	27	27	4	4
	step	242	242	242	242	242	242
	$\gamma_i \cdot Md/Myd$	0.57	0.42	0.68	0.92	---	---
	$\gamma_i \cdot Vd/Vyd$	0.51	0.51	---	---	0.48	0.47
	$\gamma_i \cdot Vd/Vwcd$	0.60	0.59	---	---	0.56	0.55
Min時	N'd(kN)	-825.5	-876.7	859.2	908.9	936.1	994.3
	Md(kN・m)	14345.6	11410.8	-18690.8	-21916.0	-16136.0	-11803.2
	Vd(kN)	4653.8	4558.8	-4200.4	3835.4	-6427.6	-6331.6
	部材	21	21	46	3	45	45
	step	242	242	242	242	242	242
	$\gamma_i \cdot Md/Myd$	0.54	0.43	0.66	0.77	---	---
	$\gamma_i \cdot Vd/Vyd$	0.37	0.37	---	---	0.51	0.51
	$\gamma_i \cdot Vd/Vwcd$	0.43	0.42	---	---	0.60	0.59

1柱1杭式完全支持杭について

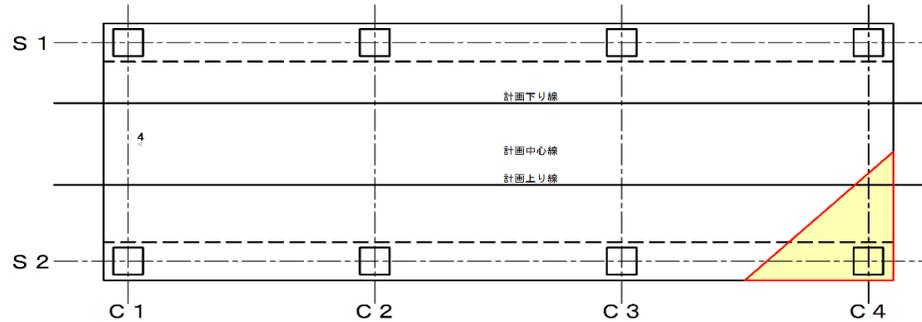
- ※ 3径間ラーメン高架橋の場合、許容できる断層変位量は75 mm程度である
- ※ 1径間ラーメン高架橋の場合、許容できる断層変位量は300 mm以上である

4. 直接基礎の検討

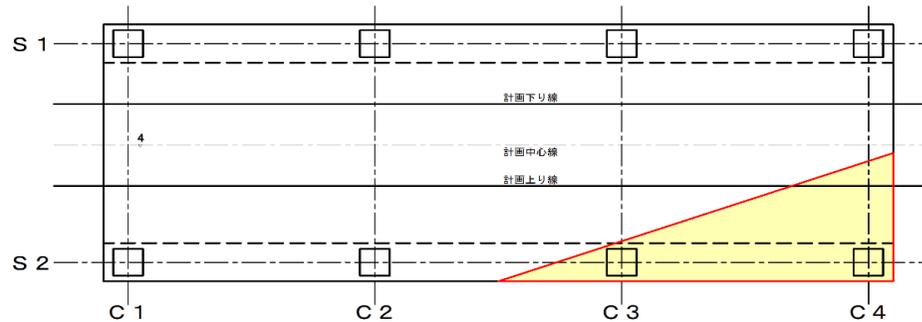
直接基礎の検討

検討ケース

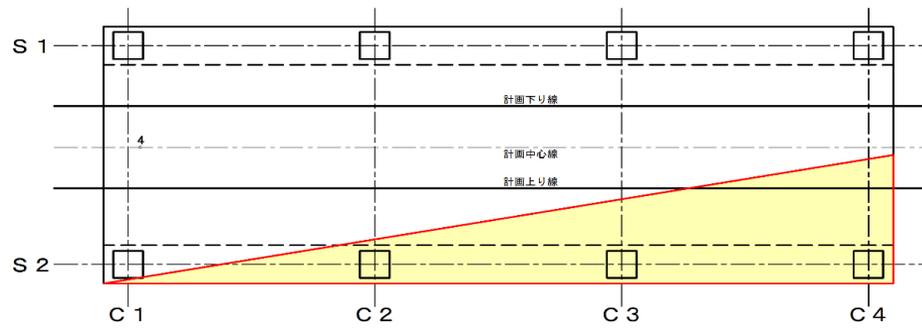
Case 1 : 影響面積6.3%



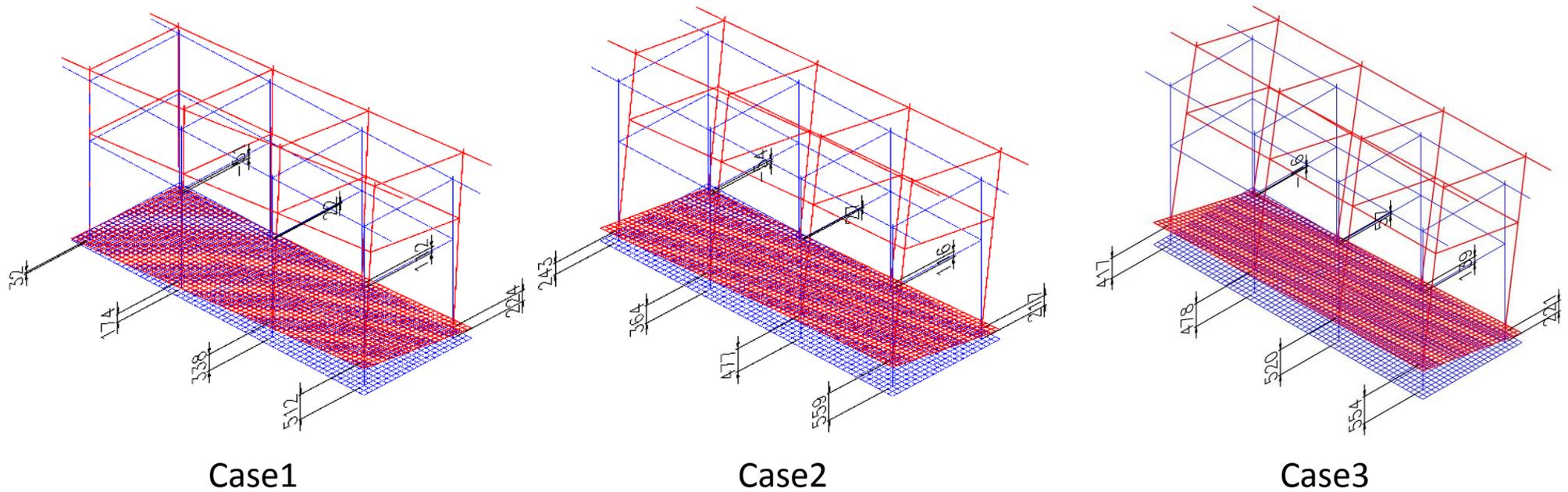
Case 2 : 影響面積12.5%



Case 3 : 影響面積25%

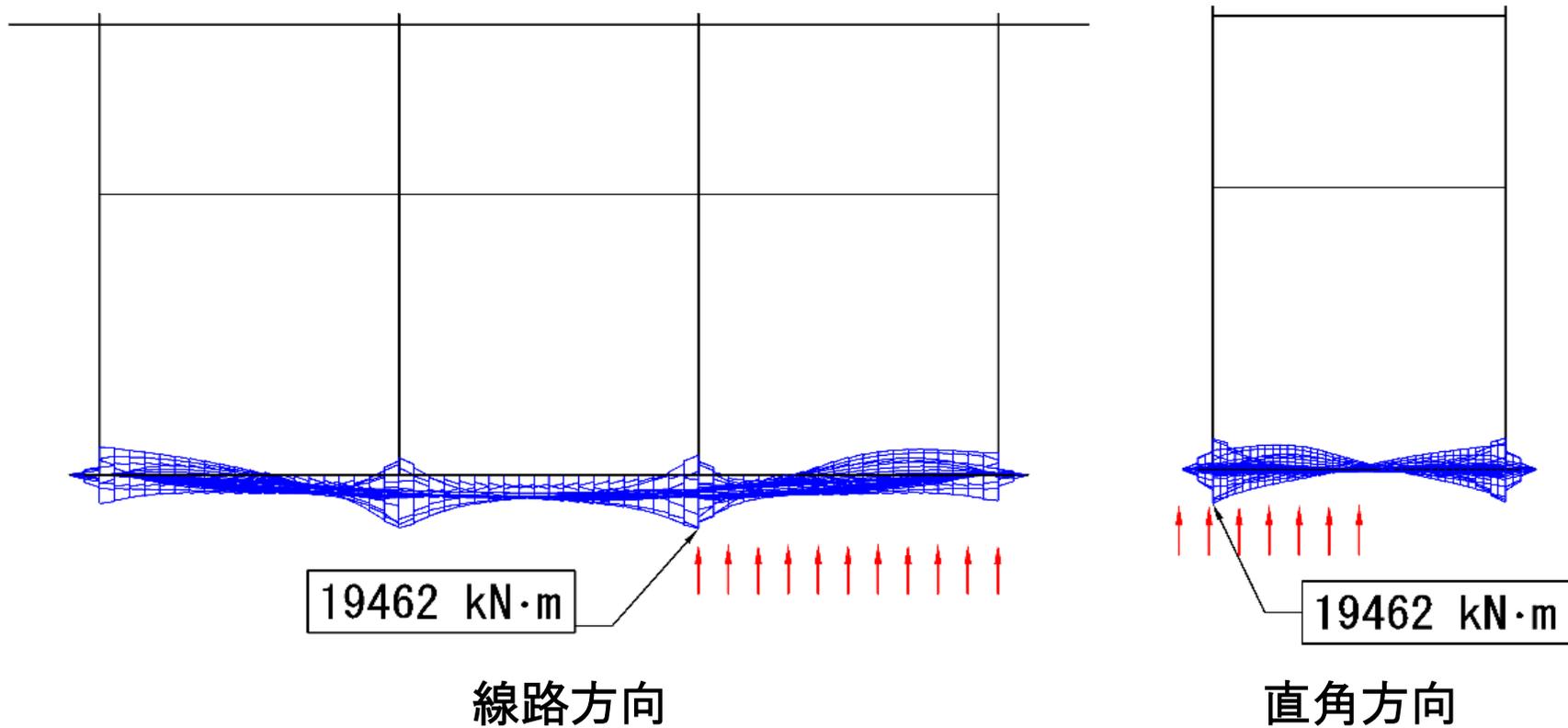


直接基礎の検討



断層変位500mm時の変位図(直接基礎)

直接基礎の検討



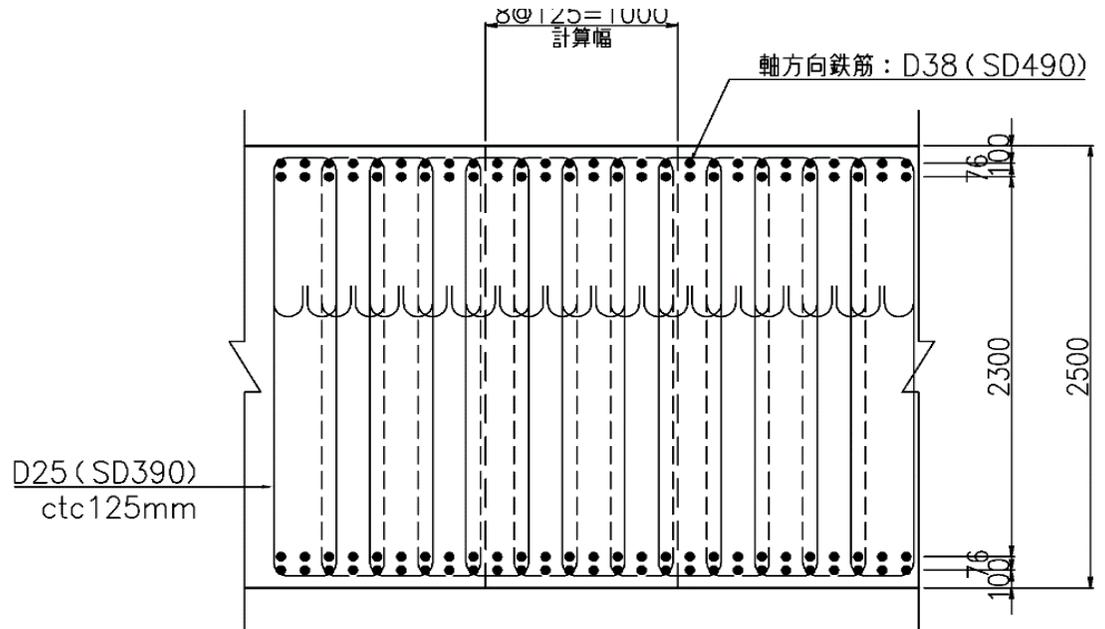
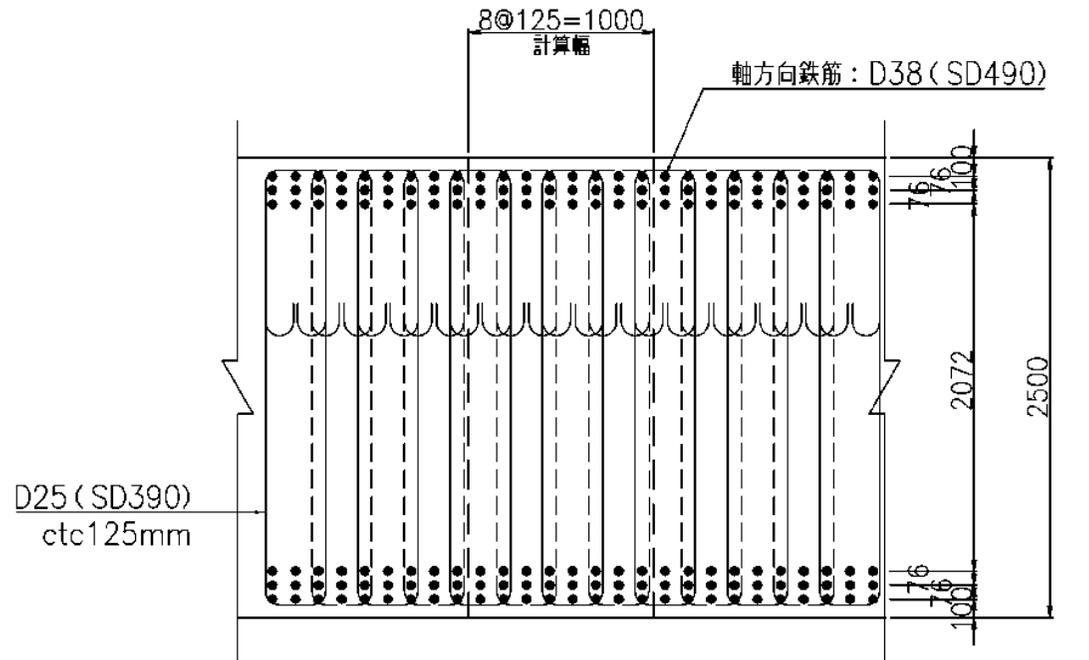
断層変位500mm時の曲げモーメント図(直接基礎)

基礎スラブの限界変位

断面配筋
(杭基礎の検討同様)
断層変位 500 mmでもOK

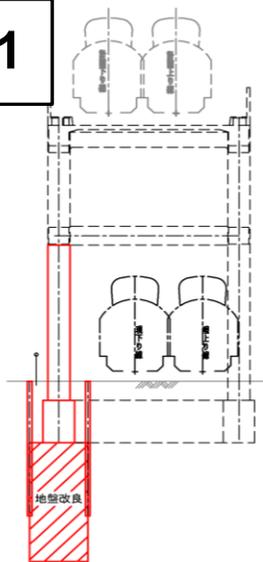


断面配筋
(変更)
鉄筋量を減少させても
断層変位 500 mmでOK



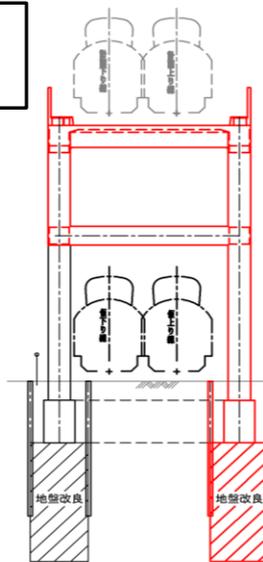
直上施工区間における直接基礎の施工ステップ図

Step1



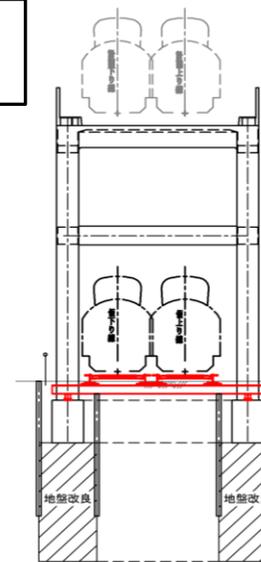
・下り線側
仮土留め工
地盤改良
左側基礎部分構築
左下層柱構築

Step2



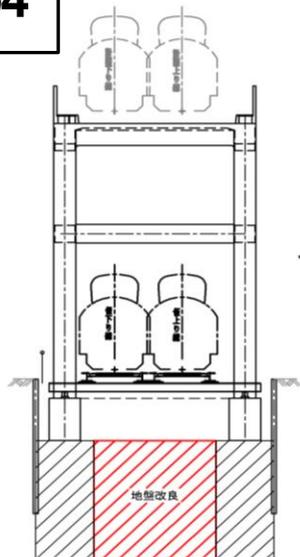
・仮線切替
・上り線側
仮土留め工
地盤改良
右側基礎部分構築
上部く体全構築

Step3



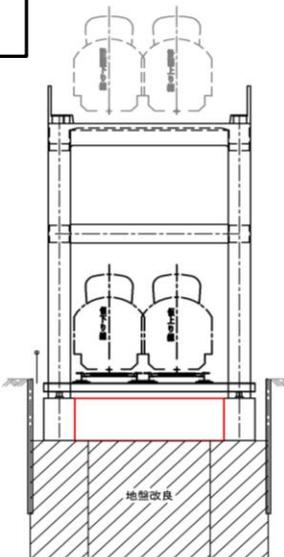
・仮線軌道仮受け工

Step4



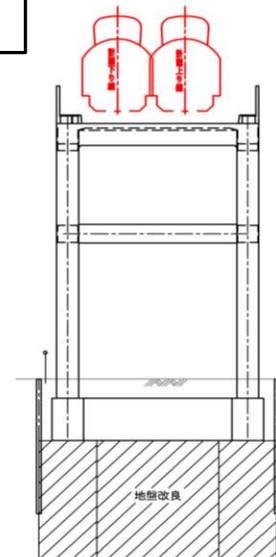
・径間部地盤改良工

Step5



・径間部基礎スラブ構築

Step6



・計画線切替

直接基礎の検討 ～まとめ～

- ❖ 許容できる断層変位量は 500 mm以上
- ❖ 当該地盤においては、良好な地盤まで(7m程度)の地盤改良が必要になる
- ❖ 暫定供用時の安定性の問題から、直上施工区間では工事桁設置により、基礎スラブを一括施工とする必要がある
- ❖ 直接基礎の場合、躯体の転倒等安定性に留意する必要がある

5. 縦断方向の地質調査結果

縦断方向の地質調査結果

凡 例

土層区分	記号	層 相	
盛土層	B	堆土を含む。瓦礫、玉石、コンクリート、砂礫、粘性土、砂質土からなる。	
洪積層	砂礫層	Dsg1~Dsg3	砂礫、礫混じり砂主体。一部、微細砂、粘性土混じり砂を含む。
	粘性土層	Dc1~Dc3	粘性土主体。しばしば砂分を多く含み、粘性土混じり砂を挟む。
	砂質土層	Ds	粘性土を多く含む砂から礫混じり砂まで変化する。一部砂礫からなる。
砂質土粘性土互層	Dsc	砂礫~礫混じり砂と、砂分を含む粘性土の互層。最下部に一部有機物、木片含む。	

浅香山駅付近



堺東駅付近

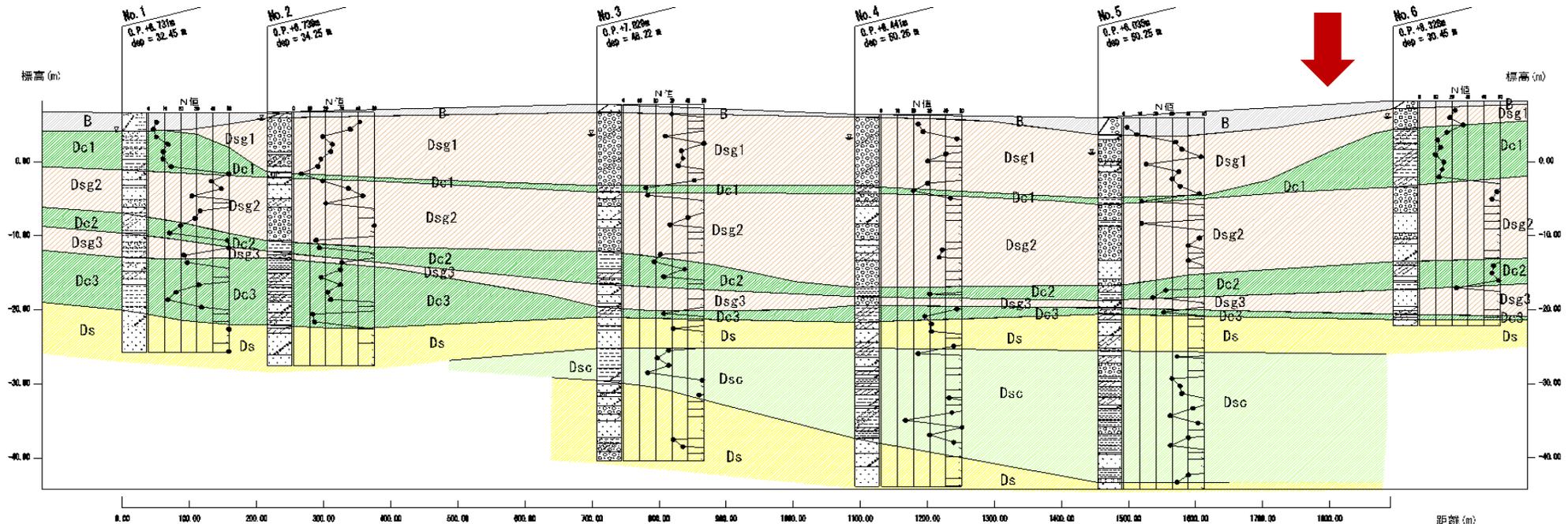


図4.1 推定土層断面図 SV-1/500、SH-1/6000

縦断方向の地質調査結果～まとめ～

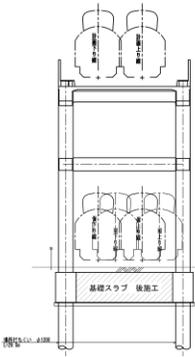
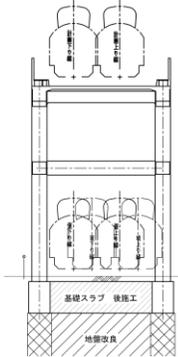
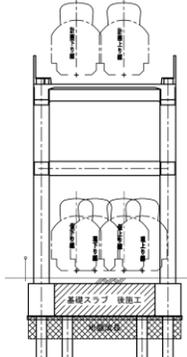
- ❖ 表層部に深い軟弱層が存在することもなく、今まで検討してきた方針に影響があるものはなかった
- ❖ 一部区間で地表面付近に良好な支持層が存在するため、直接基礎とパイルドラフト基礎に対しては、より優位な結果になると考えられる

6. まとめ

断層変位に対する検討結果～まとめ～

- ✿ 杭は可能な限り小さくし、引抜き抵抗を極力小さくすることが断層変位に対しては優位となる
- ✿ 杭基礎の場合、1径間高架橋であれば要求性能(断層変位量 300 mm)を満足する
- ✿ 直接基礎の場合、3径間高架橋で要求性能(断層変位量 300 mm)を満足するが、直上施工区間では施工が困難である

構造形式比較表

		【1案】1柱1杭式完全支持杭	【2案】直接基礎+地盤改良工法	【3案】パイルドラフト基礎
概要図				
構造形式	上部構造	1径間RCラーメン高架橋	3径間RCラーメン高架橋	3径間RCラーメン高架橋
	基礎構造	基礎スラブ + 完全支持杭	直接基礎 + 地盤改良	パイルドラフト基礎
構造性能	暫定供用時	横地中梁がない状態でも地震時の要求性能を満足する。 ◎	横地中梁がない状態では地震時の基礎の安定性を確保できないため、工事桁を設置して高架切替前に横地中梁を施工する必要がある。 ◎	横地中梁がない状態でも地震時の要求性能を満足する。 -
	常時	一般的な高架橋と同等 ◎	一般的な高架橋と同等 ◎	一般的な高架橋と同等 ◎
	地震時	一般的な高架橋と同等 ◎	一般的な高架橋と同等 ◎	一般的な高架橋と同等 ◎
	断層変位時	30 c m程度までの断層変位に抵抗できる ◎	局部的な30 c mの段差の変位に抵抗できる ◎	今後の検証が必要 -
景観性	一般的な高架橋と同等 ◎	一般的な高架橋と同等 ◎	一般的な高架橋と同等 ◎	
使用性	1径間ラーメンであるため、張出し径間の間隔が小さく、一般的な高架橋に比較して高架下の使用性がやや低下する。経済的な構造とするためには、張出し量を通常より大きくしたり、ゲルバー桁形式の採用が考えられるが、後者の場合は落橋防止に留意する必要がある。 △	基礎スラブ下の地盤やその地盤改良の状態にもよるが、完全支持杭に比べると初期沈下量が若干大きくなる可能性があるため、沈下量に留意する必要がある。 △	基礎スラブ下の地盤やその地盤改良の状態にもよるが、完全支持杭に比べると初期沈下量が若干大きくなる可能性があるため、沈下量に留意する必要がある。 △	
施工性	一般的な高架橋と同等 ◎	複数連の工事桁を設置する必要があるため、他案と比較して施工性に劣るが、工事桁設置方法は一般的な方法で施工可能である。 ◎	一般的な高架橋と同等 ○	
経済性	基礎スラブの費用以外は、一般的な高架橋と同等となる。 ◎	地盤改良工法や工事桁の設置により工事費は増大する。 △	地盤改良工法の併用により、工事費増大の可能性がある △	
総合評価	当該構造物の建設地点で発生すると考えられる30 c m程度の断層変位には抵抗可能であり、その他の性能については一般的な高架橋と同等となる。	局部的な30 c mの段差の変位に抵抗できるが、経済性に劣る。施工時には工事桁を設置するため、工事中の鉄道運行上のリスクは他案と比較して大きくなる。また、地震時に転倒する可能性について照査が必要となる。	直上施工区間の多径間ラーメン高架橋の基礎として優れている可能性があるが、鉄道構造物としての採用事例がなく基準も整備されていないため、採用のハードルは高い。	

今後の事業化に向けた検討方針（委員会終了後）

断層変位の影響を受ける本連立区間の鉄道構造形式は、以下の検討方針とする

- 直上施工区間については1柱1杭式高架橋(1径間)の採用を検討する
- その他区間で、3径間とするのが合理的な場合は、直接基礎の採用を検討する
- 直上施工区間で3径間高架橋とする場合は、パイルドラフト基礎の優位性を検討する

事業化に向けての流れ

本委員会における鉄道構造形式の検討

鉄道構造形式・施工方法等の決定

関連事業等の検討

環境影響評価

配慮計画書の作成

方法書の作成・縦覧

準備書の作成・縦覧

評価書の作成・縦覧

都市計画決定

比較設計【協議】

都市計画素案の作成

説明会・公聴会等

都市計画決定

詳細設計【協議】

都市計画事業認可取得

事業着手（用地買収・工事着手等）