

## 二次元解析の追加検討について

### 1 はじめに

本検討では、以下の点に着目した 2 次元有効応力動的解析 (LIQCA) を実施した。

- ①タンクモデル化 (液面揺動を考慮できるモデルと液面揺動を考慮できないモデル) による影響検討
- ②地盤改良のモデル化 (A 地区において締固め改良体の中に存在する鋼滓のモデル化の違い) による影響検討

### 2 タンクモデル化による影響検討

#### 2.1 タンクのモデル化方法

本検討では、タンクを以下の 2 つの方法でモデル化した。

- ① 一昨年の検討と同様に、タンクと内容液を一体として平面要素でモデル化 (以下、平面モデル、[図 2.1](#) 参照)

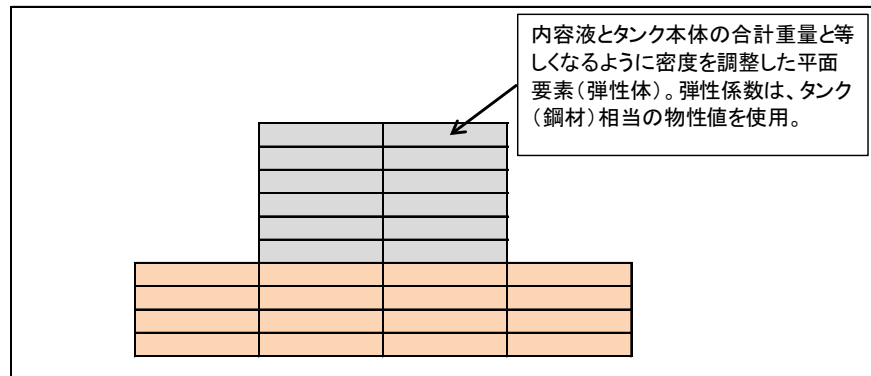


図 2.1 平面モデルのモデル化の概略図

- ② 内容液の液面揺動の影響を考慮できるように、タンクおよび内容液をそれぞれ梁・質点モデルでモデル化 (以下、梁モデル、[図 2.2](#) 参照)

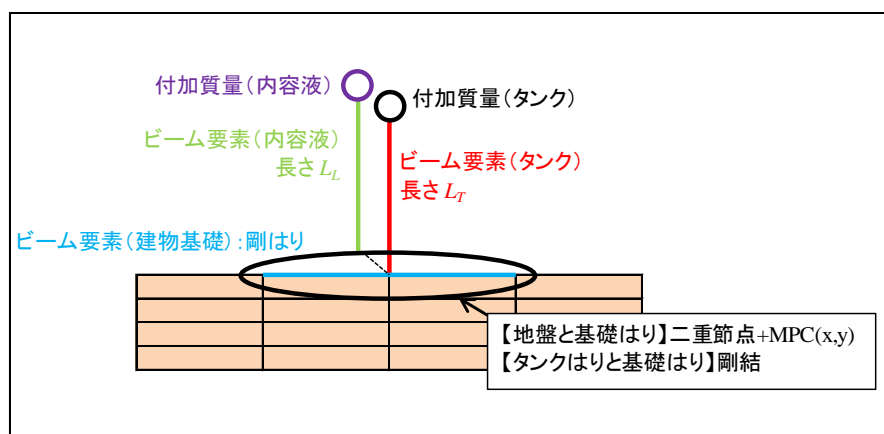


図 2.2 梁モデルのモデル化の概略図

### ※梁モデルについて

本検討では、タンク本体及び内容液を梁・質点系でモデル化を行った。モデル化に当たって、それぞれの梁の長さはタンク及び内容液の重心までの高さとし、梁自体の重量はゼロとした。梁の剛性は、タンク及び内容液の 1 次固有周期と一致するように調整した。なお、梁・質点系の応答を地盤に伝えるために地盤とタンク底板の接触部に当たる部分には剛はり配置した。

## 2.2 検討ケース

本検討では、前述したそれぞれのタンクモデルについて地盤の液状化を考慮したケースと考慮しないケースを実施した。検討ケースは以下のとおりである。

表 2.1 検討ケース

| ケース名  | タンクのモデル化 | 液状化の考慮 |
|-------|----------|--------|
| Case1 | 平面モデル    | なし     |
| Case2 | 梁モデル     | なし     |
| Case3 | 平面モデル    | あり     |
| Case4 | 梁モデル     | あり     |

※Case1 vs Case2：タンクモデル化の影響検討（液状化考慮なし）

Case3 vs Case4：タンクモデル化の影響検討（液状化考慮）

## 2.3 タンクモデル化の影響検討（液状化を考慮しないケース（Case1 と Case2）の比較）

まずは、タンクモデル化のみの影響を確認するために、地盤の影響化を考慮しないケースについて比較を行った。

### (1) タンクの変位，水平加速度（図 2.3，図 2.4）

水平変位に着目すると、A 地区、B 地区ともに梁モデルでは、タンクと内容液がそれぞれ独立して変位しており、内容液の液面揺動を表現できていることがわかる。

また、加振中の鉛直変位は、梁モデルと平面モデルのタンク中央部ではほぼ同等である。

水平加速度は、梁モデルでは、タンク本体の加速度が卓越し、内容液の加速度は小さいことがわかる。なお、梁モデルのタンク本体の加速度と平面モデルの加速度を比較すると梁モデルの方が短周期の波形となっており、かつ加速度の絶対値は梁モデルの方が大きい。この差が地盤の液状化を考慮した場合の液状化程度や変形の違いを生じさせる要因の一つであると考えられる。

### (2) タンク直下地盤の上載応力の変化（図 2.5，図 2.6）

タンク直下地盤の初期の上載応力は、梁モデルと平面モデルで同等である。一方、入力地震動最大時および地震動終了時の上載応力を見ると、タンク中央付近では概ね同等であるが、タンク左右端部付近で差異を生じている。この差が地盤の液状化を考慮した場合の液状化程度や変形の違いを生じさせる要因の一つであると考えられる。

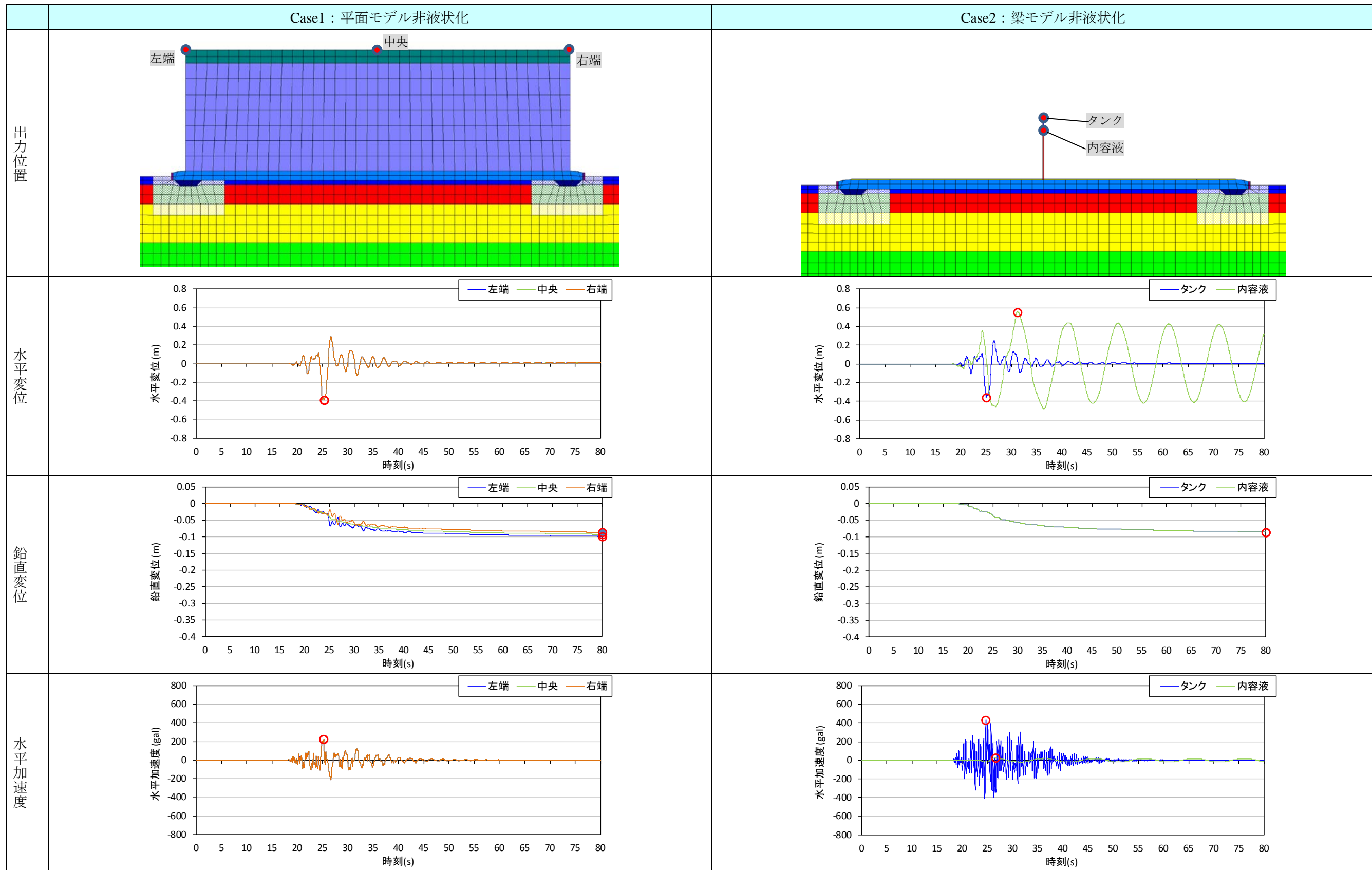


図 2.3 A 地区（鋼滓部コンクリート相当）の変位と加速度（非液状化）

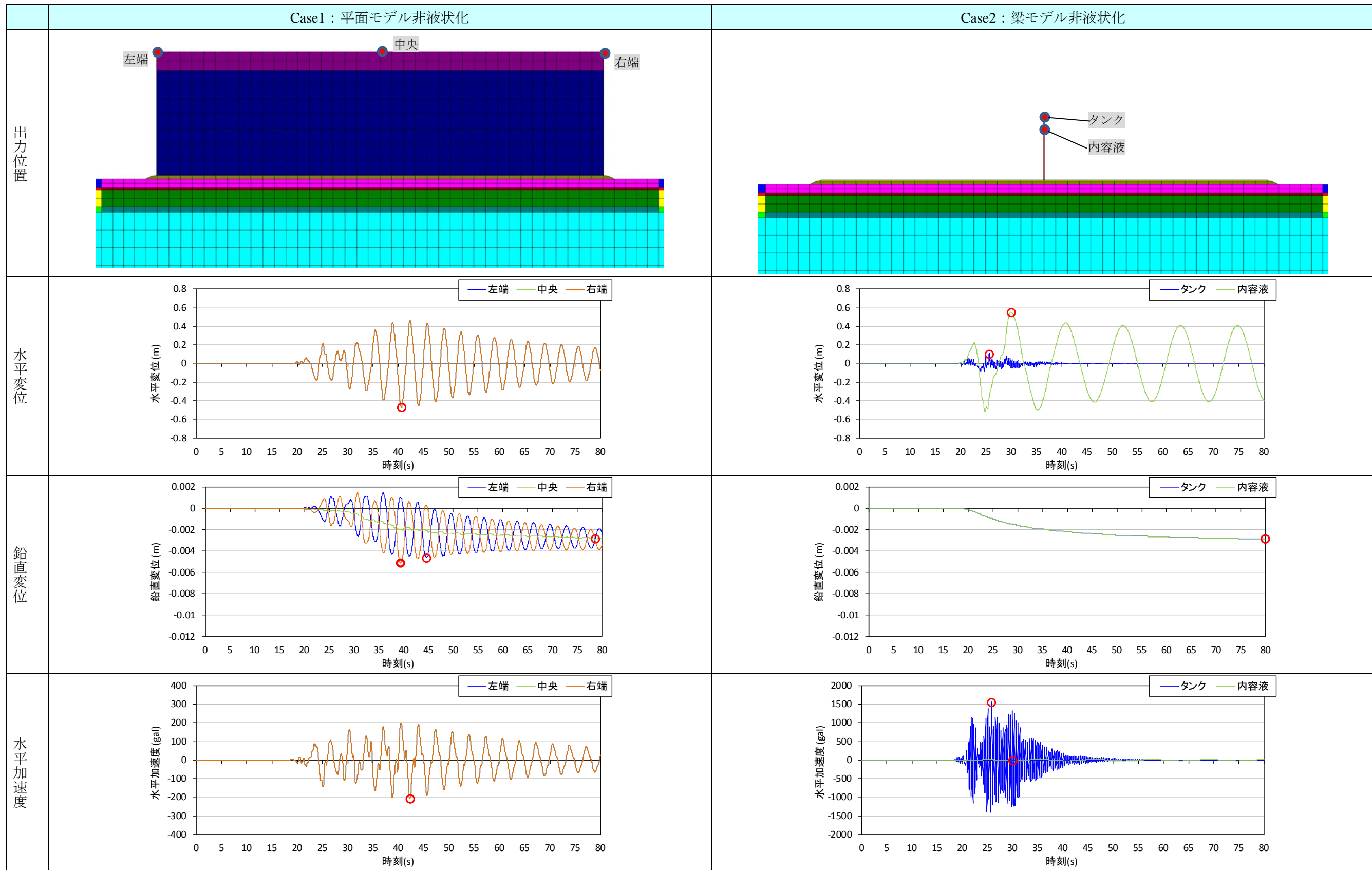


図 2.4 B 地区の変位と加速度（非液状化）

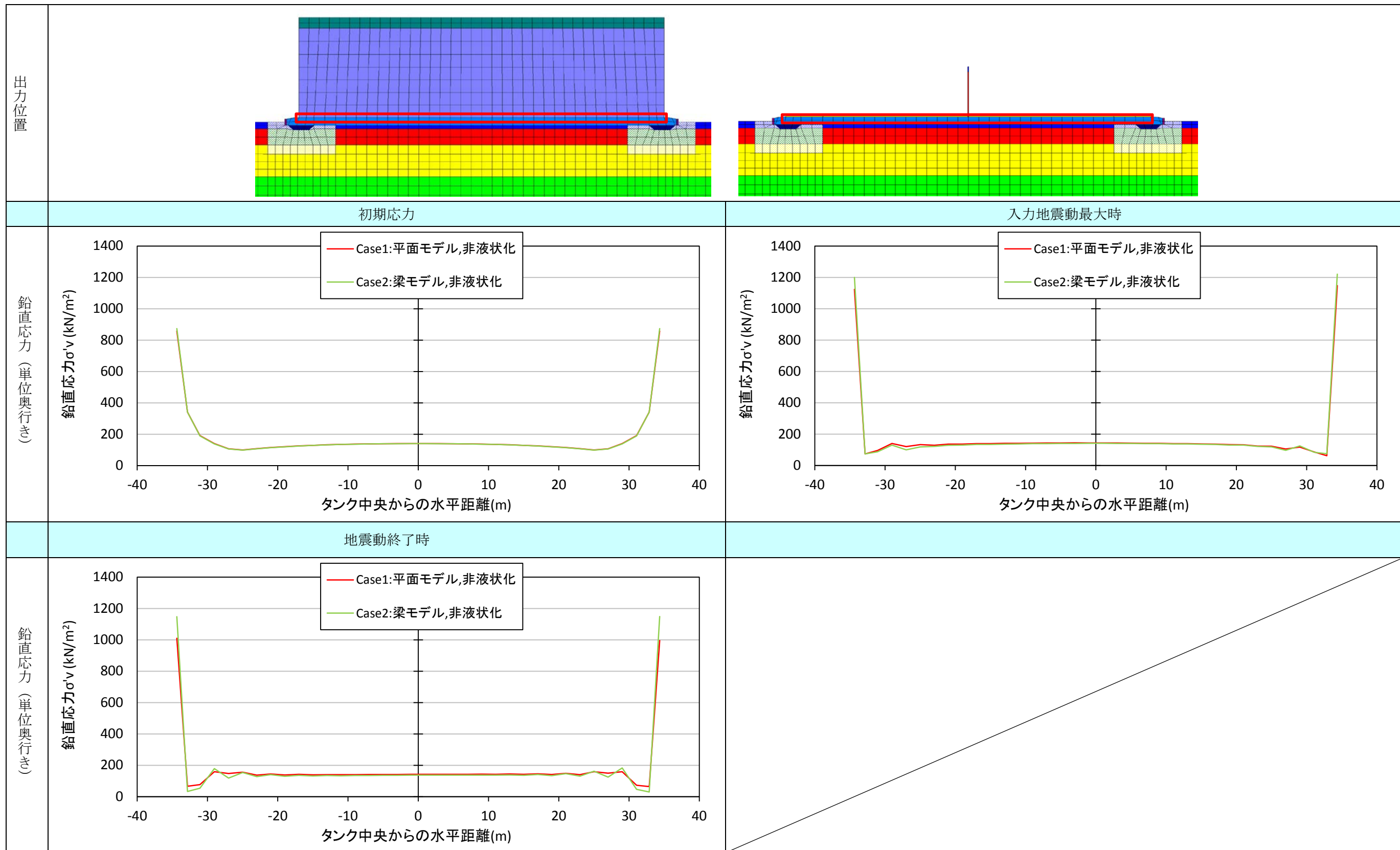


図 2.5 A 地区 (鋼滓部コンクリート相当) のタンク直下地盤要素の上載圧分布 (非液状化)

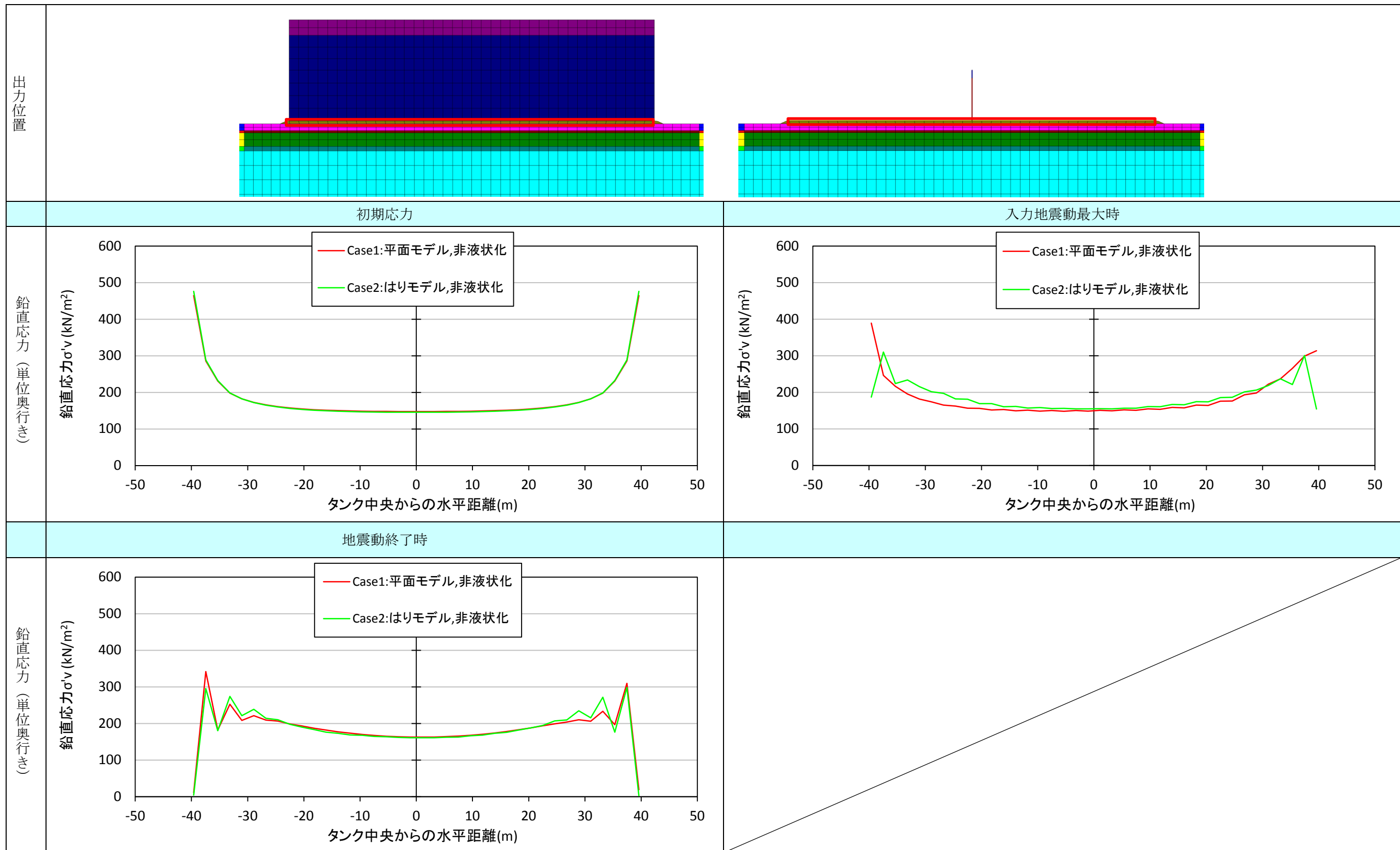


図 2.6 B地区のタンク直下地盤要素の上載圧分布 (非液状化)

## 2.4 タンクモデル化の影響検討（液状化を考慮するケース（Case3とCase4）の比較）

水平変位は、A地区、B地区ともに非液状化の場合と同様に梁モデルでは、タンクと内容液がそれぞれ独立して変位しており、内容液の液面揺動を表現できていることがわかる。

また、加振中の鉛直変位は、梁モデルと平面モデルのタンク中央部では表 2.2 に示すような差が生じる結果となった。これは、モデル化の違い（タンク本体と内容液の位相差の影響など）による水平加速度の違い（図 2.7, 図 2.8 参照）や、上載応力の違い（図 2.9, 図 2.10 参照）に起因するものであると考えられる。

表 2.2 梁モデルと平面モデルの沈下量の比較

| 地点  | タンクモデル | タンク沈下量 <sup>※1</sup> (m)(地震終了時) |       |       |                    | タンク沈下量 <sup>※1</sup> (m)(消散終了時) |       |       |                    |
|-----|--------|---------------------------------|-------|-------|--------------------|---------------------------------|-------|-------|--------------------|
|     |        | 左端                              | 中央    | 右端    | 相対沈下 <sup>※2</sup> | 左端                              | 中央    | 右端    | 相対沈下 <sup>※2</sup> |
| A地区 | はりモデル  | 0.140                           | 0.143 | 0.146 | -0.006             | 0.225                           | 0.228 | 0.230 | -0.005             |
|     | 平面モデル  | 0.182                           | 0.168 | 0.155 | 0.027              | 0.319                           | 0.305 | 0.291 | 0.028              |
| B地区 | はりモデル  | 0.009                           | 0.009 | 0.009 | 0.000              | 0.010                           | 0.010 | 0.010 | 0.000              |
|     | 平面モデル  | 0.004                           | 0.004 | 0.004 | 0.000              | 0.004                           | 0.004 | 0.004 | 0.000              |

※1 沈下を正、隆起を負とする。

※2 相対沈下は左端と右端の相対沈下量。左端の沈下量が大きい場合を正とする。



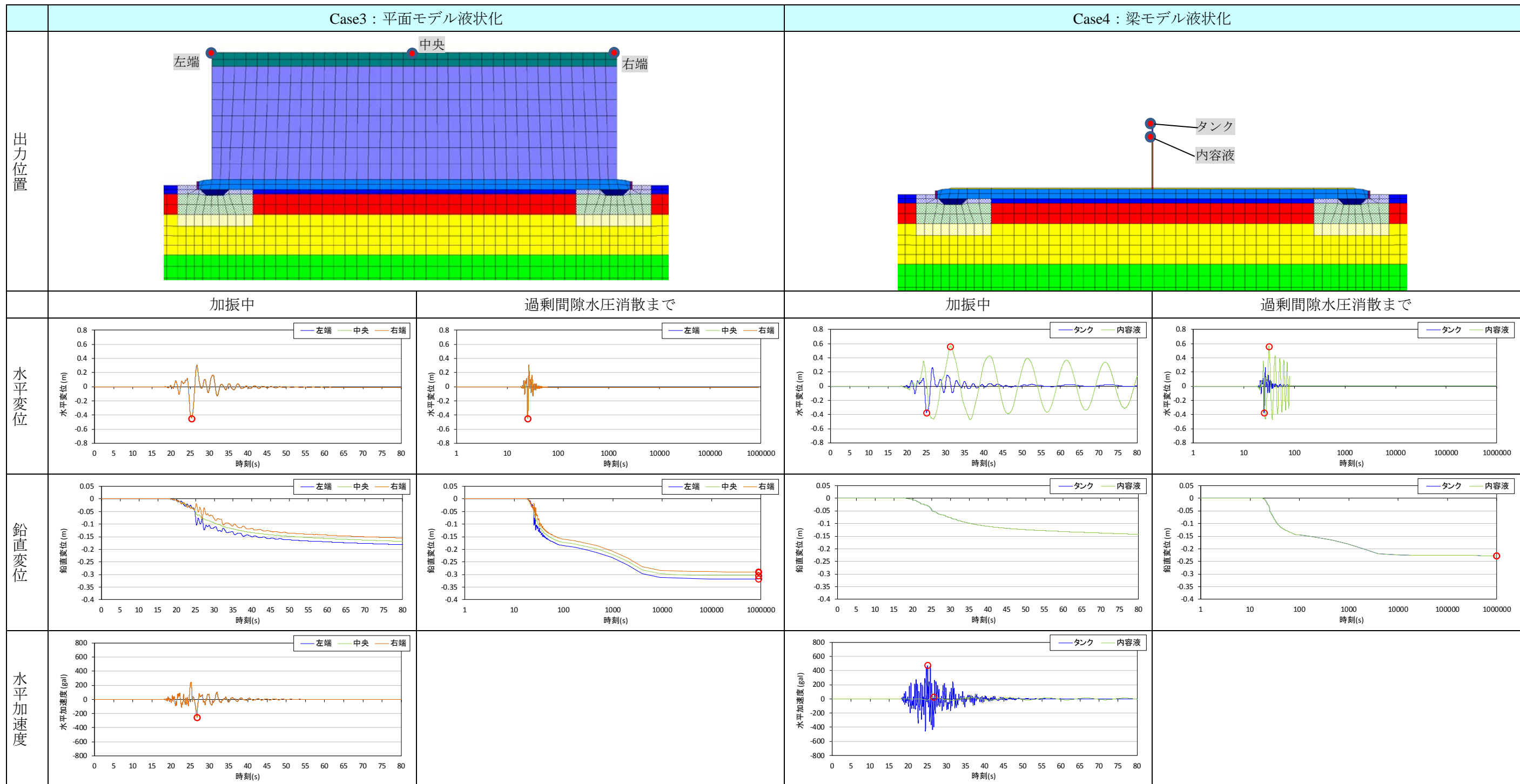


図 2.7 A 地区（鋼滓部コンクリート相当）の変位と加速度（液状化考慮）

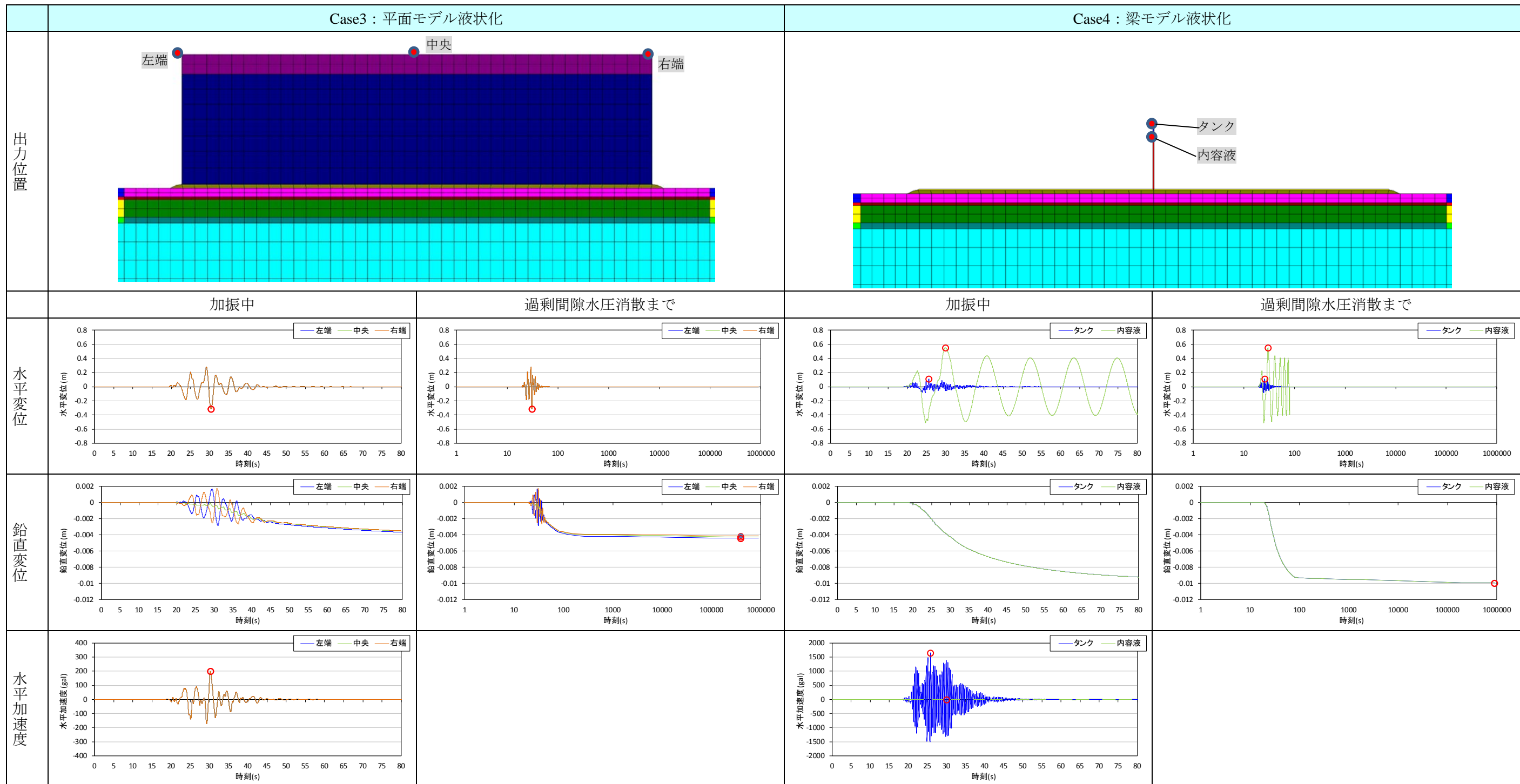


図 2.8 B 地区の変位と加速度 (液状化考慮)

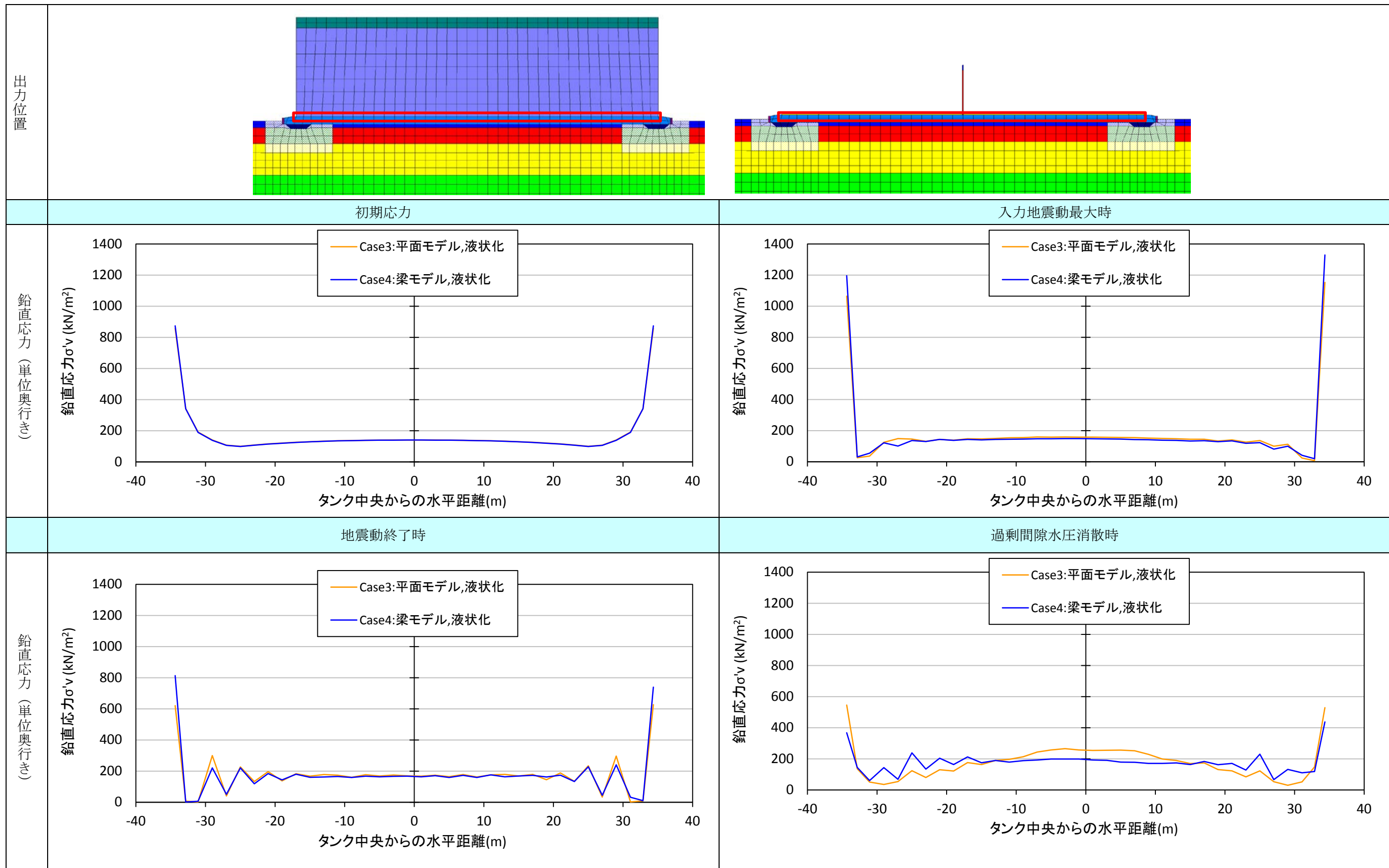


図 2.9 A 地区 (鋼滓部コンクリート相当) のタンク直下地盤要素の上載圧分布 (液状化考慮)

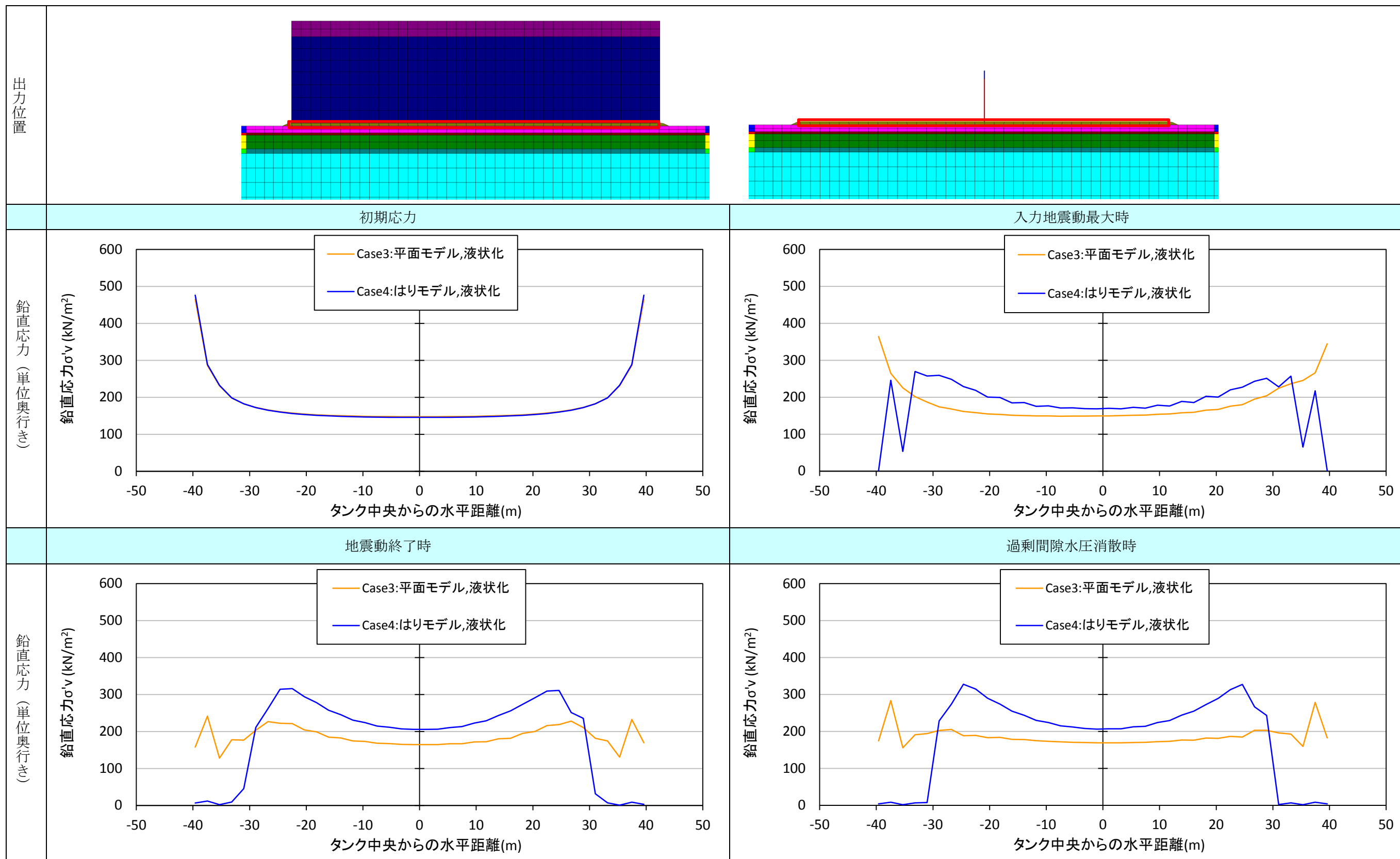


図 2.10 B地区のタンク直下地盤要素の上載圧分布 (液状化考慮)

## 2.5 タンクモデル化の影響のまとめ

上述したタンクのモデル化の違いによって、解析結果に以下の差異が生じた。

- ①タンク（タンク本体及び内容液）の水平加速度
- ②タンク直下地盤の上載応力
- ③①および②に起因する地盤の液状化程度の違い、変位の違い

ただし、地盤の条件（基盤層までの層厚や液状化層厚など）によって、梁モデルと平面モデルのどちらのモデルが安全側となるかはまちまちであった（基盤までの層厚および液状化層厚が厚い A 地区では平面モデルの方が沈下量が大、基盤までの層厚および液状化層厚が薄い B 地区では梁モデルの方が沈下量が大）。一般的に、基盤までの層厚や液状化層厚が厚くなると、応答地震動の周期が長くなり、固有周期がタンクよりも長周期である液面揺動の影響が大きくなると考えられる。このことを考慮すると、基盤までの層厚、液状化層厚が厚い A 地区で、梁モデルと平面モデルの差異が大きくなった本検討は妥当な結果であると考ええる。なお、本検討では、表 2.3 に示すようにモデル化の違いによるタンク直下地盤の沈下量の違いは、タンクの絶対沈下量で最大 10cm 程度、タンク左右の相対変位量で 4cm 程度であった。

表 2.3 梁モデルと平面モデルの沈下量の比較（まとめ）

### 液状化考慮なしのモデル

| 地点  | タンクモデル | タンク沈下量 <sup>※1</sup> (m)(地震終了時) |       |       |                    |
|-----|--------|---------------------------------|-------|-------|--------------------|
|     |        | 左端                              | 中央    | 右端    | 相対沈下 <sup>※2</sup> |
| A地区 | はりモデル  | 0.085                           | 0.085 | 0.085 | 0.000              |
|     | 平面モデル  | 0.099                           | 0.093 | 0.086 | 0.013              |
| B地区 | はりモデル  | 0.003                           | 0.003 | 0.003 | 0.000              |
|     | 平面モデル  | 0.002                           | 0.003 | 0.003 | -0.001             |

※1 沈下を正、隆起を負とする。

※2 相対沈下は左端と右端の相対沈下量。左端の沈下量が大い場合を正とする。

### 液状化考慮のモデル

| 地点  | タンクモデル | タンク沈下量 <sup>※1</sup> (m)(消散終了時) |       |       |                    |
|-----|--------|---------------------------------|-------|-------|--------------------|
|     |        | 左端                              | 中央    | 右端    | 相対沈下 <sup>※2</sup> |
| A地区 | はりモデル  | 0.225                           | 0.228 | 0.230 | -0.005             |
|     | 平面モデル  | 0.319                           | 0.305 | 0.291 | 0.028              |
| B地区 | はりモデル  | 0.010                           | 0.010 | 0.010 | 0.000              |
|     | 平面モデル  | 0.004                           | 0.004 | 0.004 | 0.000              |

※1 沈下を正、隆起を負とする。

※2 相対沈下は左端と右端の相対沈下量。左端の沈下量が大い場合を正とする。

### 3 地盤改良のモデル化による影響検討 (A 地区)

A 地区の地盤改良は、図 3.1に示すように地盤改良の一部（タンクの端部付近の地盤）に鋼滓が用いられている。この鋼滓の考慮の仕方が、どの程度タンクの沈下に対する影響をするか検討を行った。鋼滓の考慮の仕方については以下の2パターン検討した。

- ①鋼滓が固化していることを想定し、コンクリート相当の物性値を設定したケース
- ②鋼滓は周りの地盤改良相当であると考え、周辺改良地盤相当の物性値を設定したケース

解析結果の変形図を図 3.2, 図 3.3 に示し、タンク沈下量のまとめを表 3.1 に示す。鋼滓をコンクリート相当と想定したケースの方が周辺地盤相当と想定したケースよりも最大で 12cm 程度沈下量が小さくなる結果となった。なお、図 3.2, 図 3.3 にはタンクを平面モデルでモデル化したケースを示したが、この傾向は梁モデルでも同様であった。

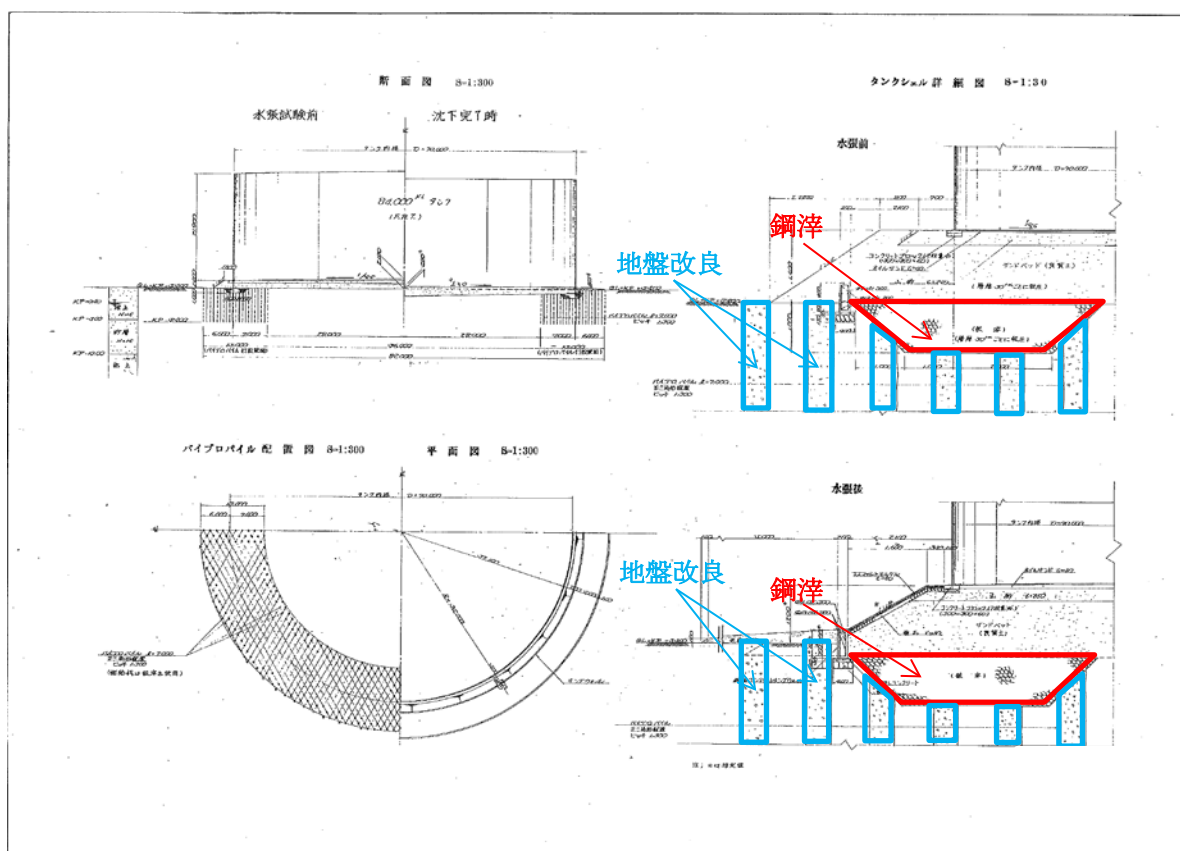
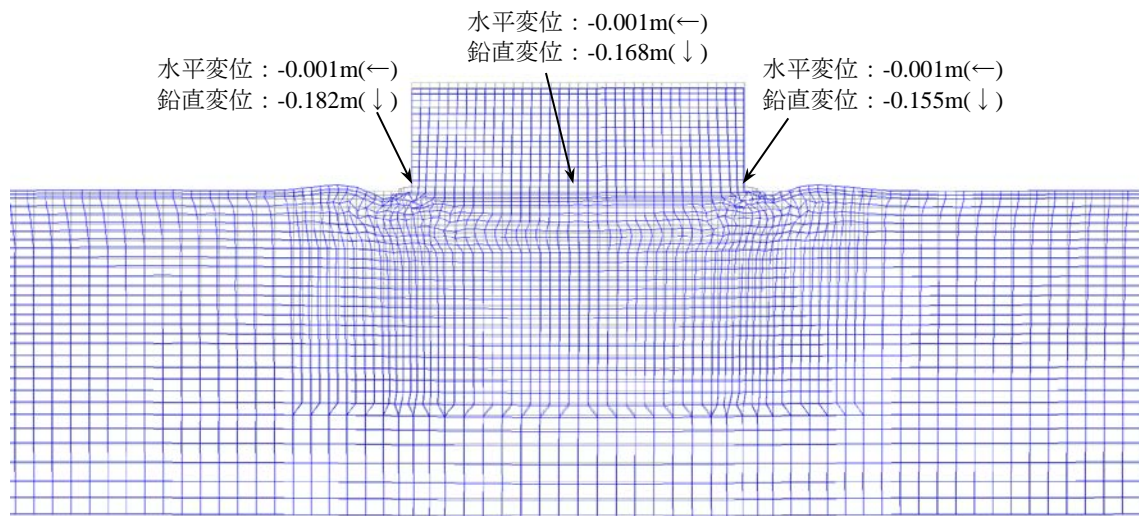


図 3.1 A 地区の地盤改良状況

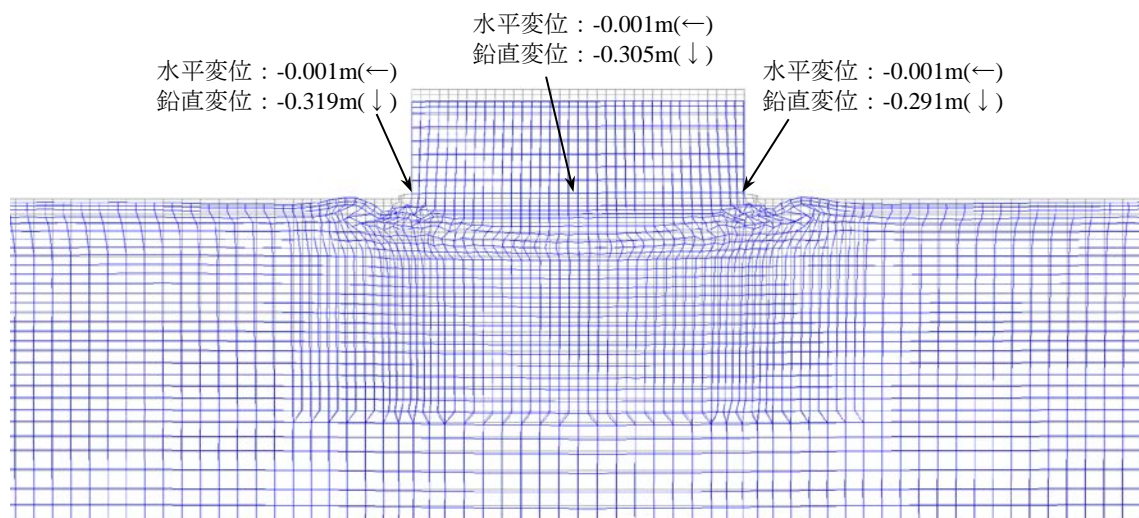
表 3.1 鋼滓のモデル化の違いによるタンク沈下量

| タンクモデル | 鈎さいのモデル化 | タンク沈下量 <sup>※1</sup> (m)(地震終了時) |       |       |                    | タンク沈下量 <sup>※1</sup> (m)(消散終了時) |       |       |                    |
|--------|----------|---------------------------------|-------|-------|--------------------|---------------------------------|-------|-------|--------------------|
|        |          | 左端                              | 中央    | 右端    | 相対沈下 <sup>※2</sup> | 左端                              | 中央    | 右端    | 相対沈下 <sup>※2</sup> |
| はりモデル  | コンクリート相当 | 0.140                           | 0.143 | 0.146 | -0.006             | 0.225                           | 0.228 | 0.230 | -0.005             |
|        | 改良地盤相当   | 0.147                           | 0.152 | 0.157 | -0.010             | 0.235                           | 0.239 | 0.244 | -0.009             |
| 平面モデル  | コンクリート相当 | 0.182                           | 0.168 | 0.155 | 0.027              | 0.319                           | 0.305 | 0.291 | 0.028              |
|        | 改良地盤相当   | 0.222                           | 0.205 | 0.189 | 0.033              | 0.352                           | 0.336 | 0.320 | 0.032              |

変形図 (10 倍表示)



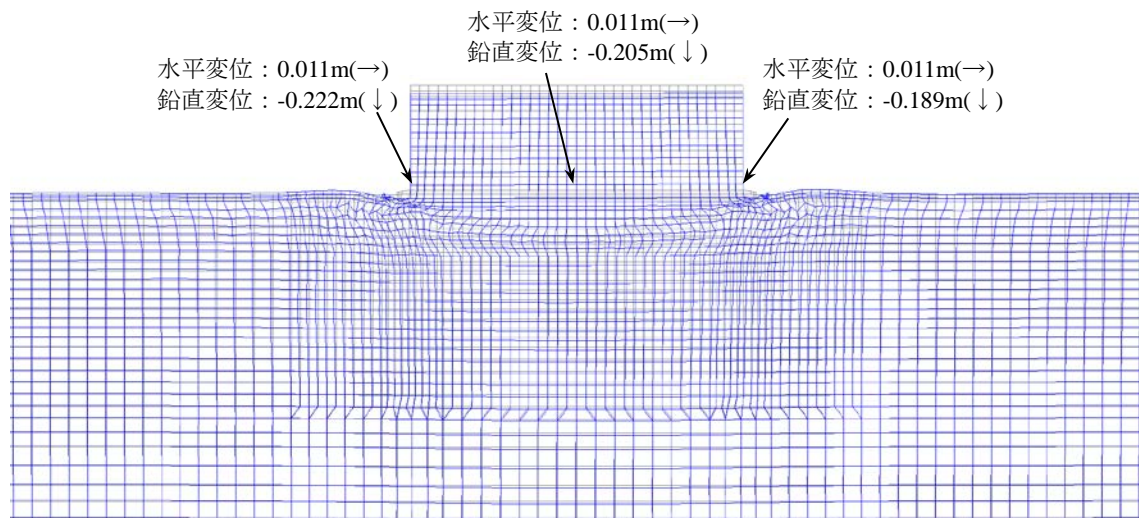
加振終了時



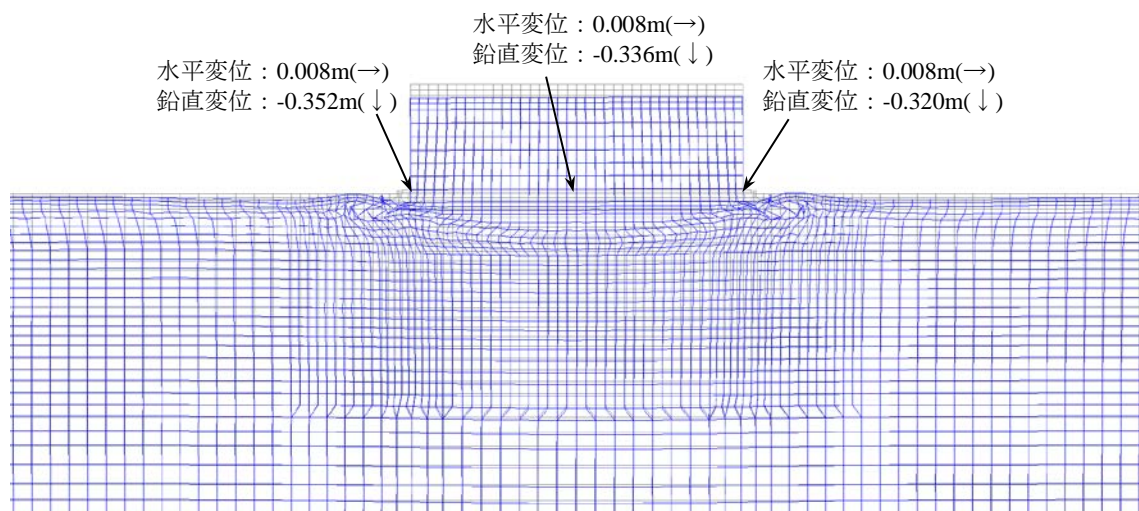
過剰間隙水圧消散後

図 3.2 鋼滓：コンクリート相当の変形図

変形図 (10 倍表示)



加振終了時



過剰間隙水圧消散後

図 3.3 鋼滓：周辺地盤改良相当の変形図