

# 北上川等堤防復旧技術検討会

## 報告書 資料編

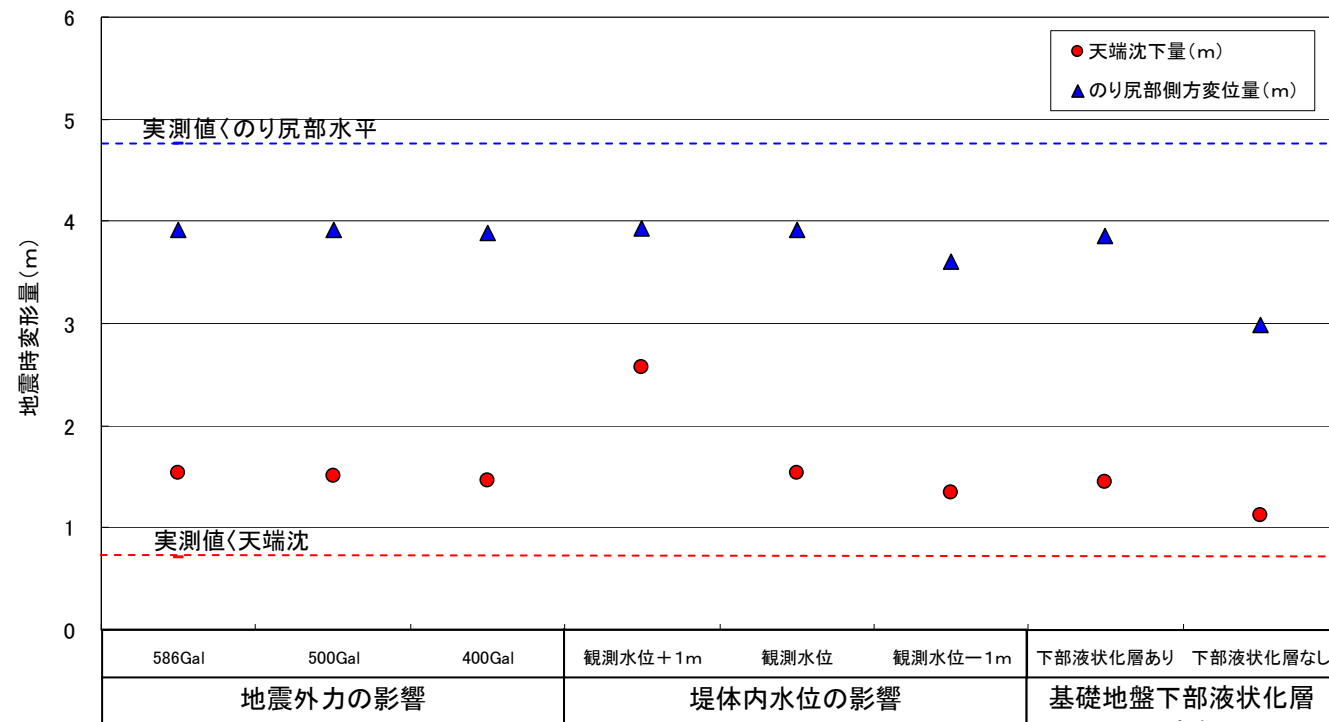
### 9. 地震時変形計算（ALID）及び浸透流計算による感度分析結果

北上川等堤防復旧技術検討会  
国土交通省 東北地方整備局

地震時変形解析等を用いた感度分析について

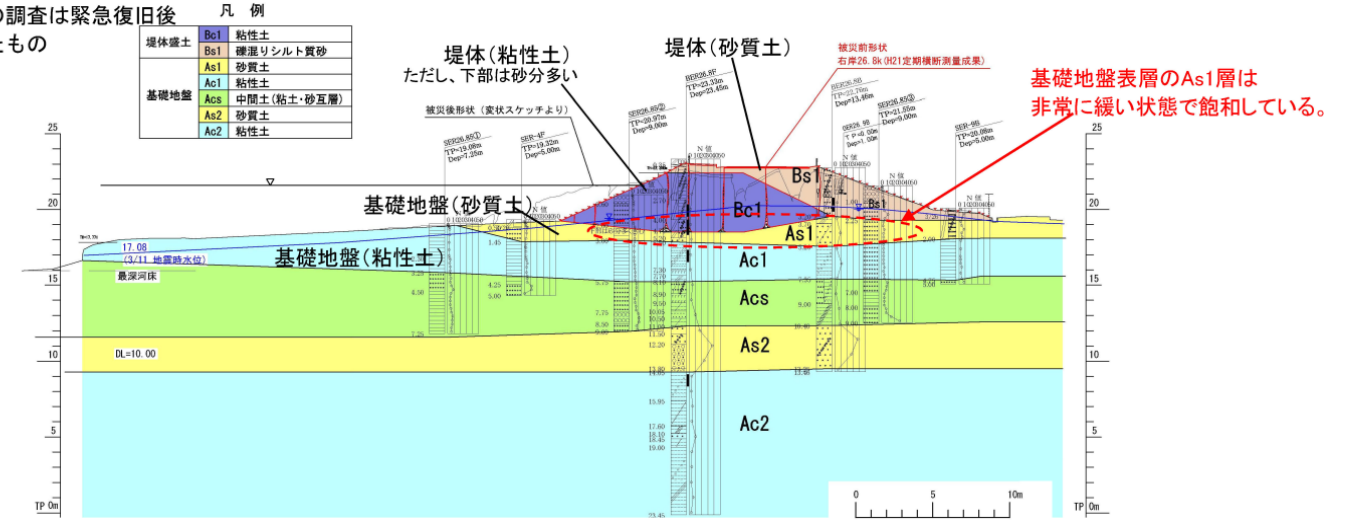
「地震外力の違いが堤防変形に及ぼす影響」、「堤体内地下水位が堤防変形に及ぼす影響」、「基礎地盤中位にある砂層(液状化層)が堤防変形に及ぼす影響」、を把握するため、近傍に強震観測記録を有し(古川)、堤体下部の閉封飽和領域と基礎地盤の液状化により堤防変形したと考えられる江合川左岸福沼堤防を事例として、地震時変形解析(ALID)を行った。この結果以下の事項が明らかとなった。

- ◇ 地震外力の差違が堤防変形に及ぼす影響は少ない(基礎地盤表層の砂層及び堤体下部の閉封飽和域の砂層は、400GalですでにF10.6~0.2と小さな値となっているため)
- ◇ 閉封飽和領域を形成する地下水位の高さは、堤防変形に及ぼす影響が大きい(地下水位を低下させることが重要)
- ◇ 基礎地盤中位に位置する砂層の液状化が堤防変形に及ぼす影響は、基礎地盤表層及び閉封飽和域の砂層の液状化に比べ僅かである
- ◇ なお、のり尻部に堤防敷き幅の約1/10の幅を有するドレーン工を設置してみると、ドレーン工による地下水位低下が見られ堤防の変形量が抑制されるが、沈下量を極端に低下させるまでには至っていない。

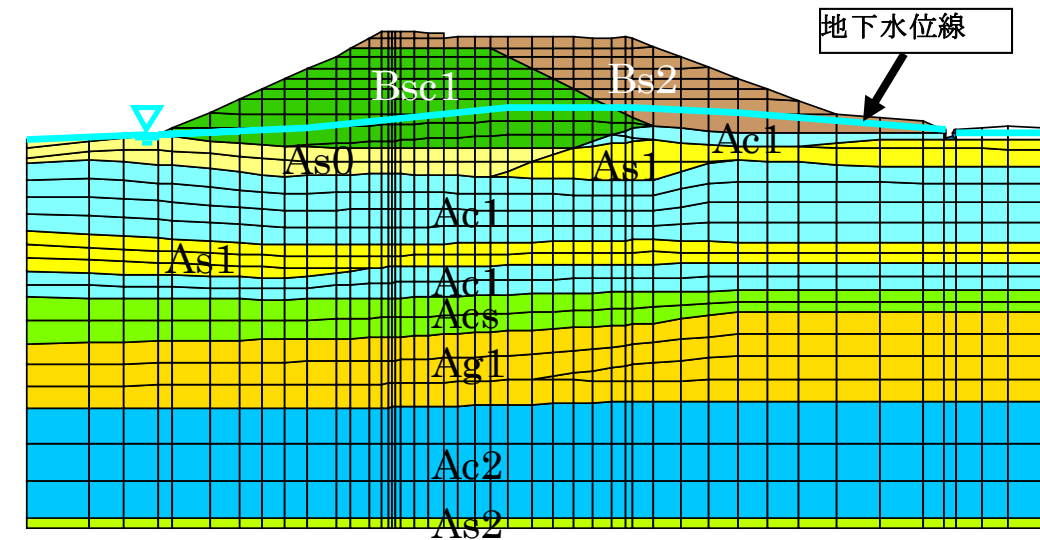


(1) 変形解析結果図(沈下量、側方変位量)

※堤防での調査は緊急復旧後に行ったもの



(2) 被災堤防地質断面



(3) ALIDによるモデル化

## 1. 江合川左岸福沼地区堤防での地震変形解析

江合川福沼堤防を事例として、①地震外力の違いが堤防変形に及ぼす影響、②堤体内地下水位が堤防変形に及ぼす影響、③基礎地盤中位にある砂層(液状化層)が堤防変形に及ぼす影響、について感度分析を試みる。

### 1.1 福沼地区の堤防被災等の特性

福沼地区堤防は、粘性土基礎地盤の上部に薄く砂質土層が分布し、堤体下部も閉封飽和域を呈していることから、複合タイプの液状化被災と想定される。また、被災箇所近傍では、古川地点で強震記録が得られている。(図-1~3)

### 1.2 検討手法及び条件

#### (1) 検討手法

地震時変形解析は、河川堤防の耐震性照査で一般的に用いられている静的変形解析手法(A L I D)を使用。

- ・地震動の継続時間は考慮できない
- ・液状化層のせん断剛性低下は、 $F_L$ と繰り返し三軸強度比 $R_L$ との関係より設定
- ・液状化層より上位の非液状化層の剛性については、非液状化層の最下部で引張応力が発生しないよう試行錯誤で設定(剛性低下率は約1/120)

#### (2) 検討条件(図-4)

- ・堤防形状及び土質構成：被災前の測量断面及び被災後のボーリング結果より設定
- ・地下水位：被災後の観測結果より設定
- ・土質強度等：被災後の土質調査結果より設定

#### (3) 検討ケース

- ① ケース1：地震外力の違いが堤防変形に及ぼす影響
- ② ケース2：地下水面の高さが堤防変形に及ぼす影響
- ③ ケース3：基礎地盤中位の液状化層が堤防変形に及ぼす影響

|      | 地震力                                   | 地下水位                       | 基礎地盤下部の液状化層の影響 |
|------|---------------------------------------|----------------------------|----------------|
| ケース1 | ・3種類の地震外力<br>(400Gal, 500Gal, 586Gal) | ・地下水観測結果                   | ・液状化層をモデル化     |
| ケース2 | ・586Gal                               | ・3種類の地下水位<br>(地下水位観測結果±1m) | ・液状化層をモデル化     |
| ケース3 | ・586Gal                               | ・地下水観測結果                   | ・液状化層を無しと仮定    |

### 1.3 検討結果

- ① 変形図、 $F_L$ 値分布図、応力・ひずみ分布図(図-5)
- ② 被災後堤防の諸量との比較(沈下量、側方変位量等)(図-6)

### 1.4 考察

#### ◇地震外力の影響

基礎地盤中位に位置する砂層の $F_L$ 値の分布に影響は及ぼすものの、地震外力の差違が堤防の沈下量に及ぼす影響はほとんど無いことが分かる。これは、堤防変形に影響を及ぼす基礎地盤表層の砂層及び堤体下部の閉封飽和域の砂層が、400Galですでに $F_L$ 0.6~0.2と小さな値となっていることによると考えられる。

#### ◇地下水位の影響

堤体下部の閉封飽和域を形成する地下水位の高さを観測地に対して±1m変化させたところ(地下水位中央部を±1m変化させ、のり尻部で観測地に暫定的に繋がるような地下水面)、堤防変形に及ぼす影響は大きい。これは、地下水位の高さ・形状が閉封飽和域の液状化層の面積を支配していることによる。

#### ◇基礎地盤下部の液状化層の影響

基礎地盤中位に位置する砂層の有無により、この層の堤防変形に及ぼす影響を評価した。この層は今時の地震で液状化したものと考えられるが、堤防変形に与える影響はわずかであると考えられる。

## 2. ドレーン工による地下水低下及び変形抑制効果(試算)

### (1) 検討手法

- ① ドレーン工による地下水低下  
定常浸透流解析
- ② 地震時変形解析  
前述したA L I D

### (2) 検討条件

- ① 浸透流解析
  - ・敷き幅の約1/10の幅のドレーン工をのり尻に設置、敷き高は堤内の堤脚水路高
  - ・降雨量0.3mm/h
- ② 地震時変形解析
  - ・堤防形状及び土質構成：被災前の測量断面及び被災後のボーリング結果より設定(図-4)
  - ・地下水位：定常浸透流計算により得られた浸潤線
  - ・土質強度等：被災後の土質調査結果より設定
  - ・地震外力：500GAL

### (3) 検討結果

- ① 地下水面の変化図(図-7)
- ②  $F_L$ 値分布図、応力・ひずみ分布図(図-8)

### (4) 考察

ドレーン工による排水効果により閉封飽和域の地下水面(浸潤線)が低下し、液状化範囲が減少することにより堤防の沈下量が抑制されたものと考えられる。ドレーン工による閉封飽和域の地下水位低下の効果はドレーン工の諸元(幅、敷き高)により異なると考えられるが、今回のケースでは沈下抑制効果は見られたものの、沈下量を半分に抑えるような極端な抑制効果は見られない。

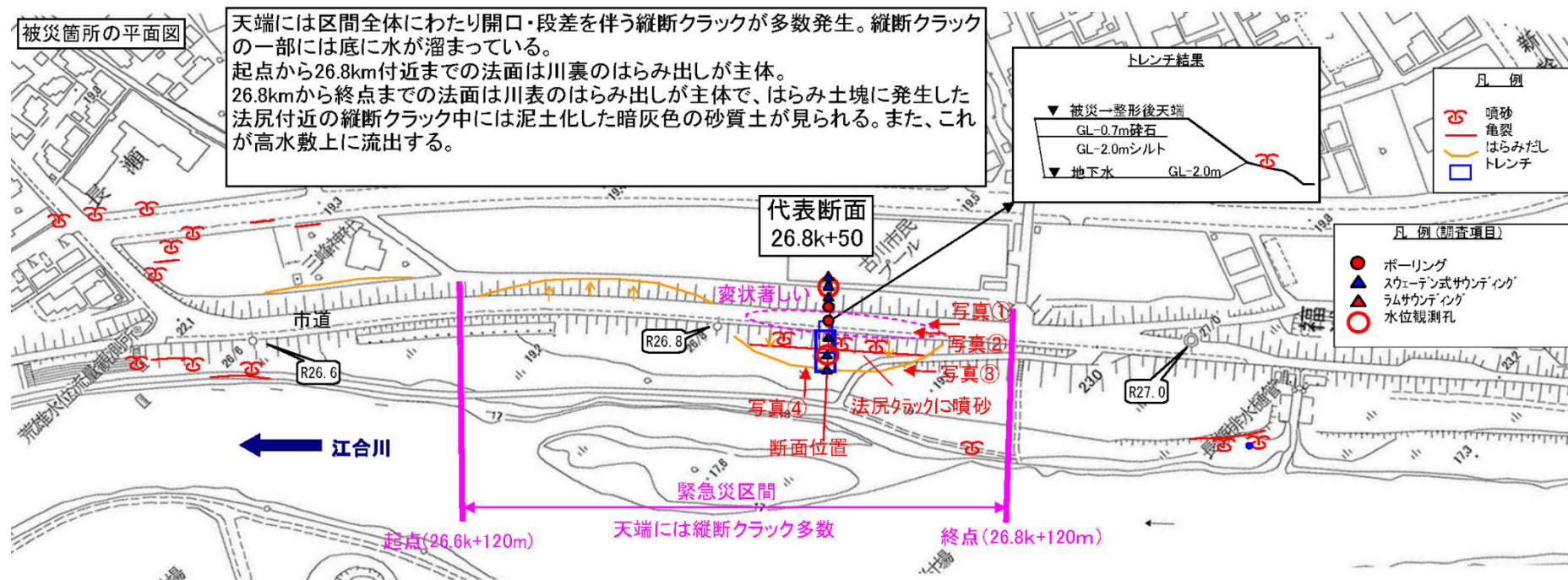


図-1 福沼被災箇所平面図及び航空写真

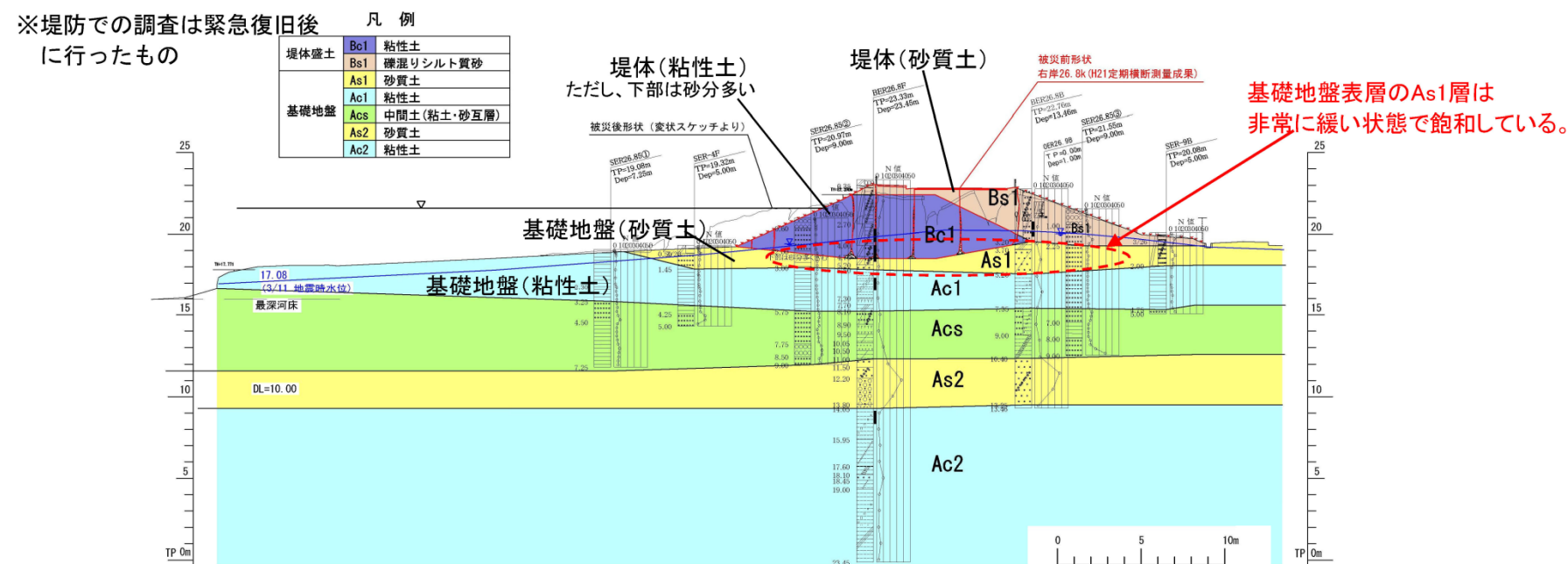


図-2 福沼被災箇所断面図

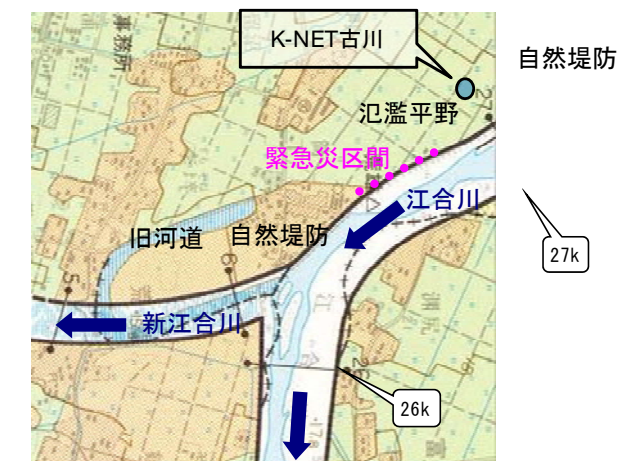
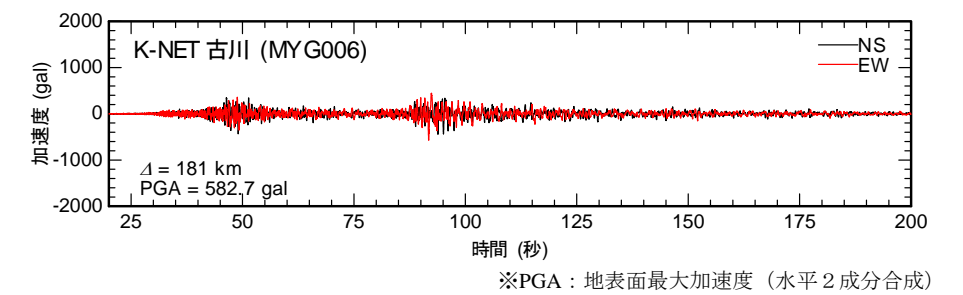
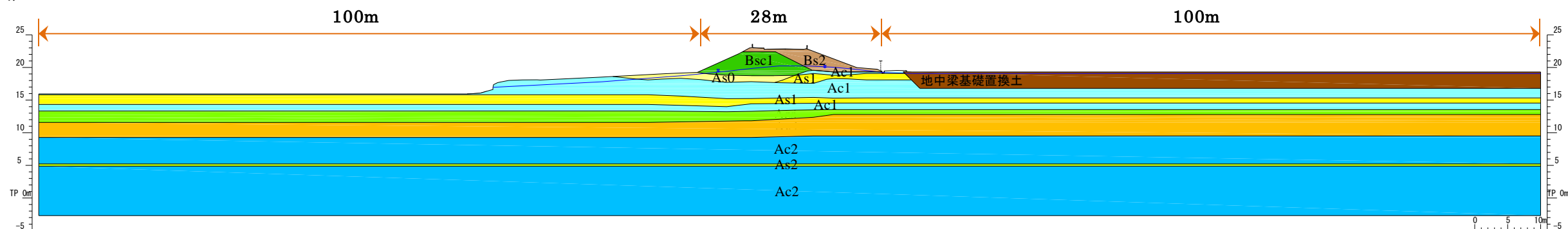
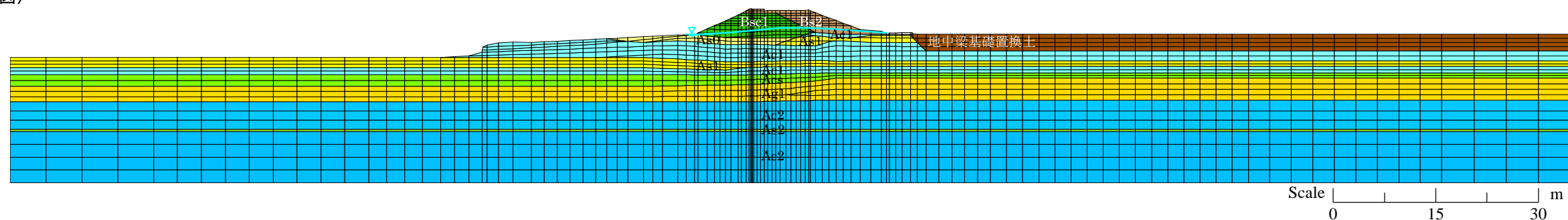


図-3 K-NET 古川における観測記録及び位置図

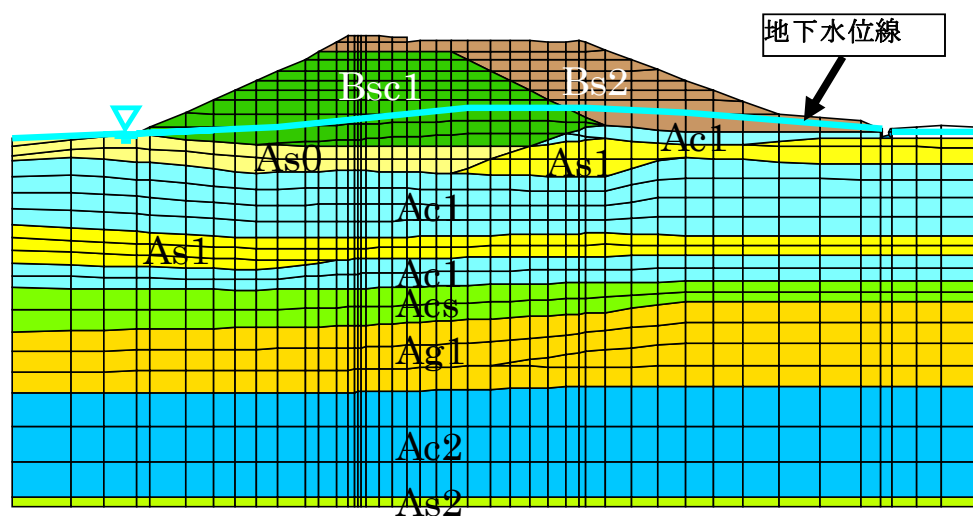
〈全体ブロック図〉



〈全体メッシュ分割図〉



〈土質パラメータ〉



江合川右岸26.8k

| 土層区分          | 単位体積重量 $\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> ) <sup>※1</sup> | 平均N値 <sup>※2</sup> N | 原位置有効上載荷重 $\sigma'_v$ (kN/m <sup>2</sup> ) <sup>※2</sup> | 変形係数 <sup>※3</sup> E (kN/m <sup>2</sup> ) | 初期ポアソン比 $\nu_0$ <sup>※4</sup> | 地震前のせん断剛性 $G_0$ (kN/m <sup>2</sup> ) <sup>※5</sup> | 地震後のせん断剛性 $G_1$ (kN/m <sup>2</sup> ) <sup>※6</sup> | 相対密度 <sup>※7</sup> Dr (%) | 液化強度 <sup>※8</sup> $R_{L20}$ |
|---------------|--|----------------------|--|---|-------------------------------|--|--|---------------------------|------------------------------|
| Bsc1          | 15.60  | 3.0                  | —  | 8400                                      | 0.333                         | 3200   | 32   | —                         | —                            |
| Bsc1 (地下水位以深) | 15.60  | 2.0                  | 62.46  | 5600                                      | 0.333                         | 2100   | 要素ごとに自動計算  | 26                        | 0.11                         |
| Bs2           | 15.60  | 6.0                  | —  | 16800                                     | 0.333                         | 6300   | 63   | —                         | —                            |
| Bs2 (地下水位以深)  | 15.60  | 6.0                  | 36.11  | 16800                                     | 0.333                         | 6300   | 要素ごとに自動計算  | 50                        | 0.22                         |
| As1①          | 19.40  | 9.0                  | 52.71  | 25200                                     | 0.333                         | 9500   | 要素ごとに自動計算  | 57                        | 0.31                         |
| Ac1           | 15.40  | 3.0                  | —  | 8400                                      | 0.333                         | 3200   | 3200   | —                         | —                            |
| As0           | 19.40  | 3.0                  | 70.26  | 8400                                      | 0.333                         | 3200   | 要素ごとに自動計算  | 31                        | 0.17                         |
| As1②          | 19.40  | 5.0                  | 88.06  | 14000                                     | 0.333                         | 5300   | 要素ごとに自動計算  | 37                        | 0.20                         |
| Acs           | 19.40  | 9.0                  | 111.66   | 25200                                     | 0.333                         | 9500   | 要素ごとに自動計算  | 47                        | 0.30                         |
| Ag1           | 20.00  | 31.0                 | 131.54   | 8400                                      | 0.333                         | 3200   | 要素ごとに自動計算  | 82                        | 0.49                         |
| Ac2           | 15.40  | 4.0                  | —  | 11200                                     | 0.333                         | 4200   | 4200   | —                         | —                            |
| As2           | 19.60  | 10.0                 | 162.79   | 28000                                     | 0.333                         | 10500  | 要素ごとに自動計算  | 44                        | 0.20                         |

※1 被災後調査結果をもとに設定した。  
 ※2 被災後調査結果をもとに設定した。  
 ※3  $E=2800N(kN/m^2)$ をもとに設定した。  
 ※4 地震前のポアソン比は、一律0.333とした  
 ※5  $G_0=E/[2(1+\nu)]$ をもとに設定した。  
 ※6 液化化層より上部の非液化化層については、引張応力が発生しないような値を試行錯誤により設定した。  
 液化化層は、 $F_L$ 、 $R_{L20}$ の関係から、プログラム内で液化化層の全ての要素に対して自動的に計算した。  
 ※7  $21[N \times 100 / (\sigma'_v + 70)]^{0.5}$ (Meyerhofの式)を用いて設定した。  
 ※8 N値、 $F_c$ および上載荷重から求めた $R_L$ の層ごとの平均値とした。

図-4 ALID解析モデル

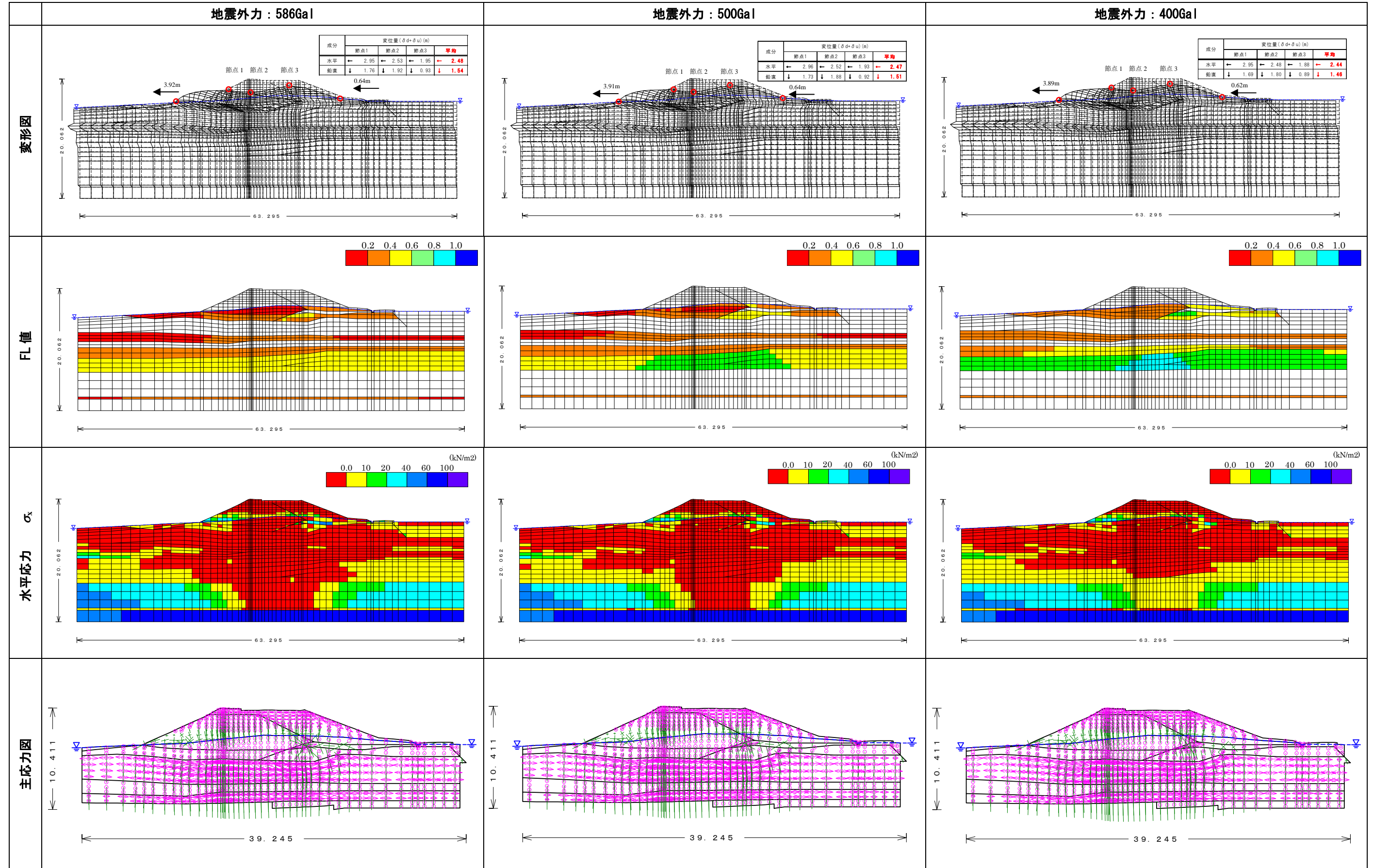


図-5(1) 地震外力の差異による堤防変形

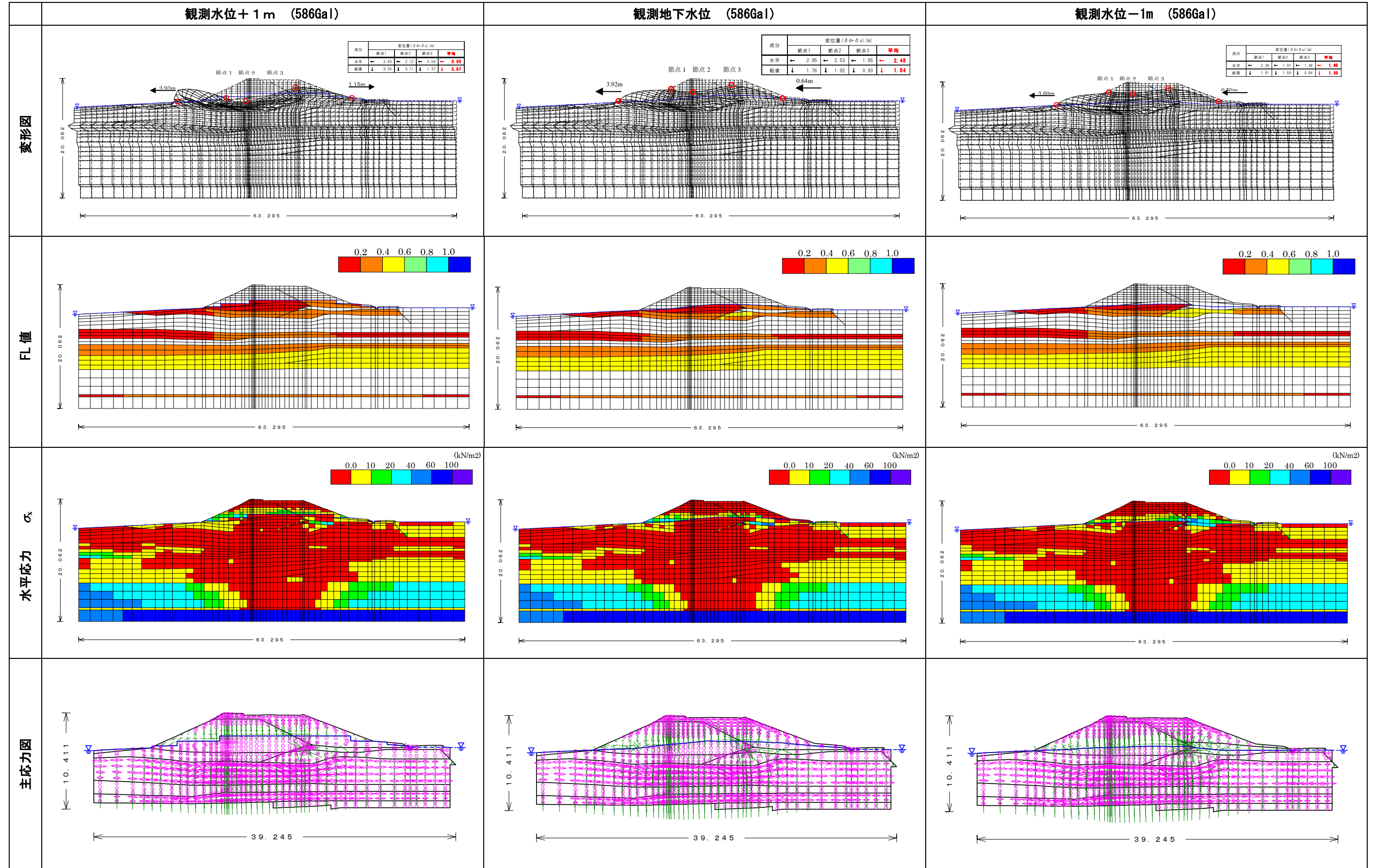


図-5(2) 地下水位の差異による堤防変形

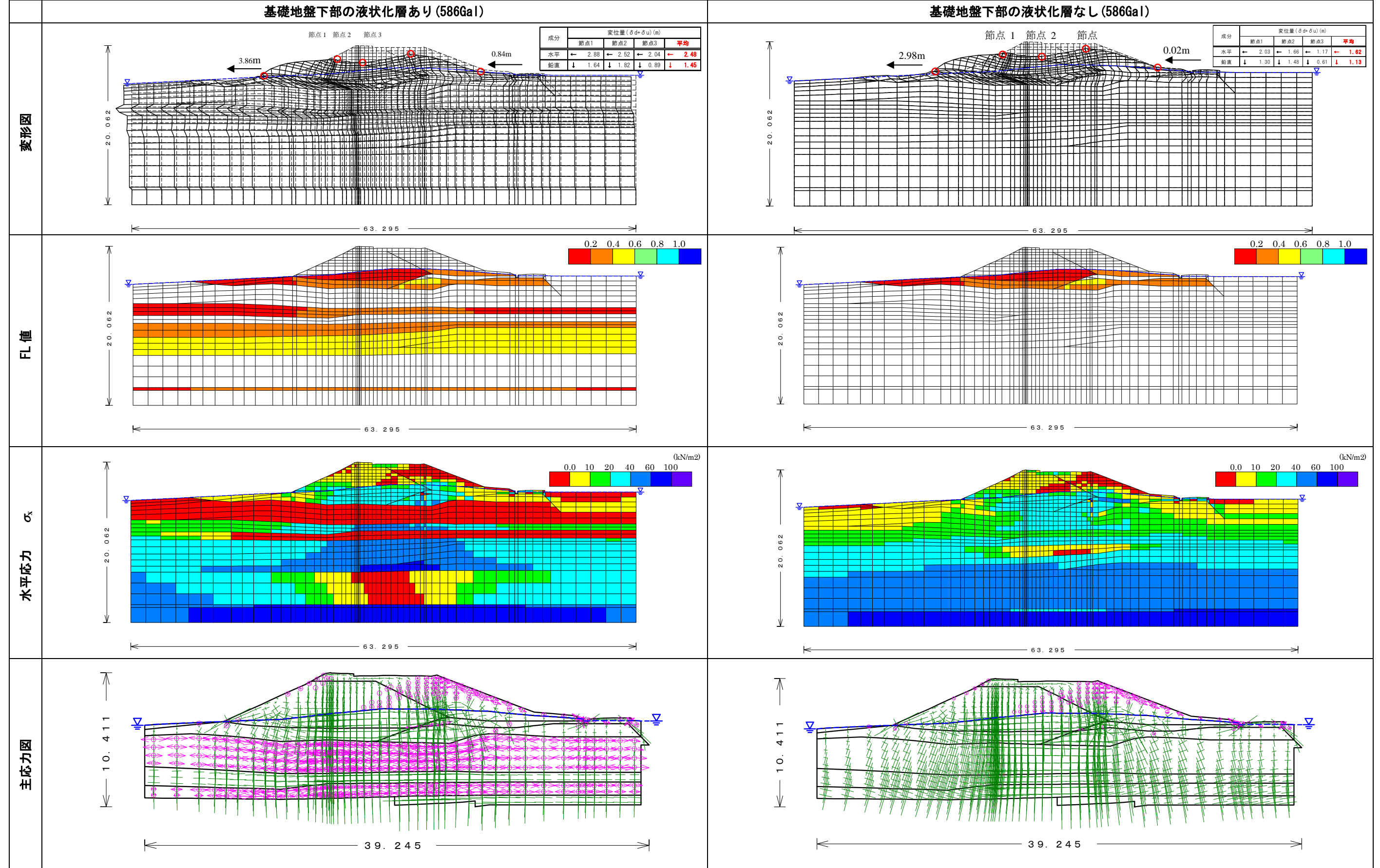


図-5(3) 基礎地盤中位の砂層の影響



検討結果一覧表

| 検討ケース |                | 設定条件     | 地震時変形量   |              |
|-------|----------------|----------|----------|--------------|
|       |                |          | 天端沈下量(m) | のり尻部側方変位量(m) |
| ケース1  | 地震外力の影響        | 586Gal   | 1.54     | 3.92         |
|       |                | 500Gal   | 1.51     | 3.91         |
|       |                | 400Gal   | 1.46     | 3.89         |
| ケース2  | 堤体内水位の影響       | 観測水位+1m  | 2.57     | 3.93         |
|       |                | 観測水位     | 1.54     | 3.92         |
|       |                | 観測水位-1m  | 1.35     | 3.60         |
| ケース3  | 基礎地盤下部の液状化層の有無 | 下部液状化層あり | 1.54     | 3.92         |
|       |                | 下部液状化層なし | 1.13     | 2.98         |
| 実測値   |                |          | 0.71     | 4.76         |

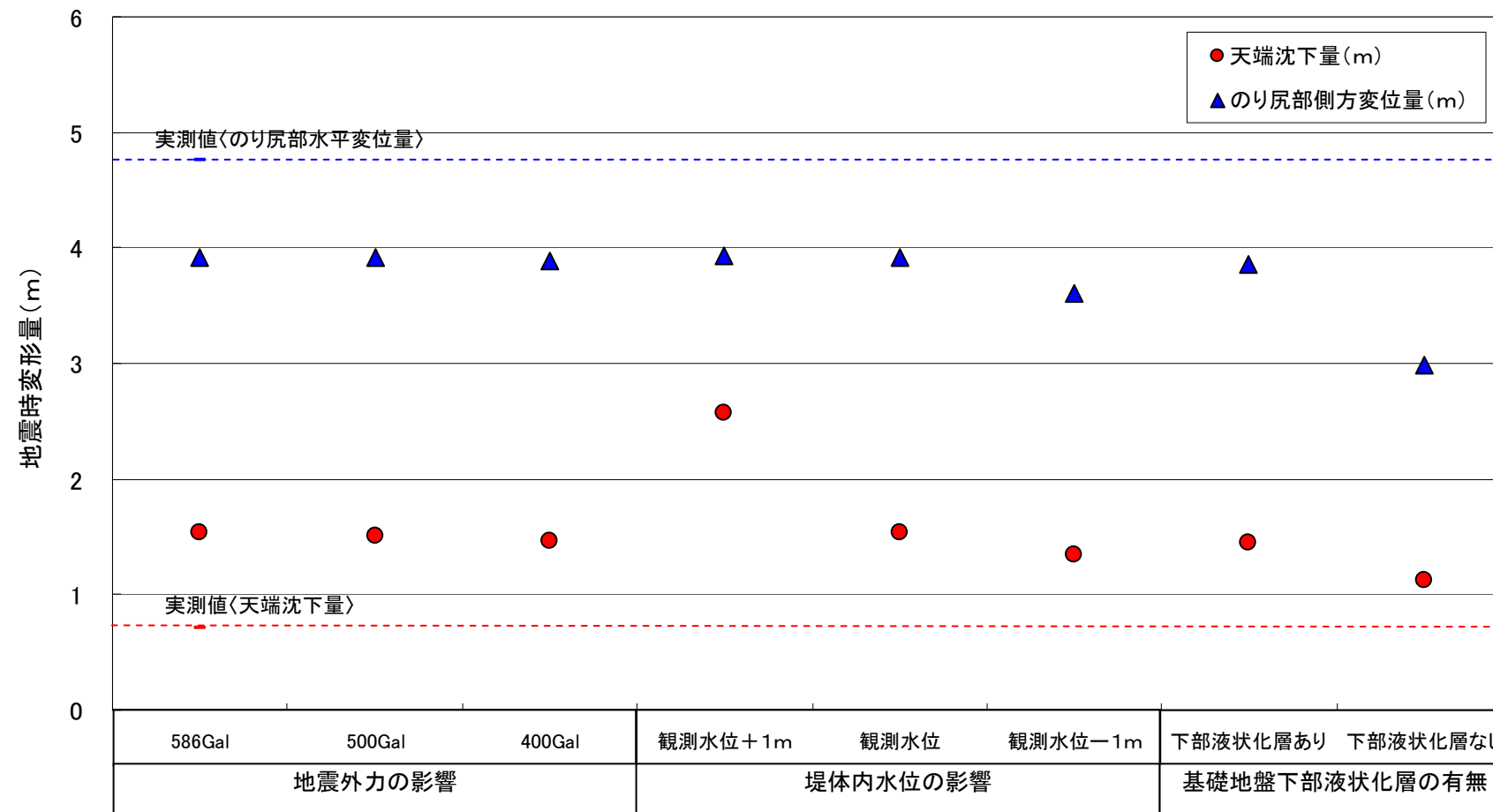
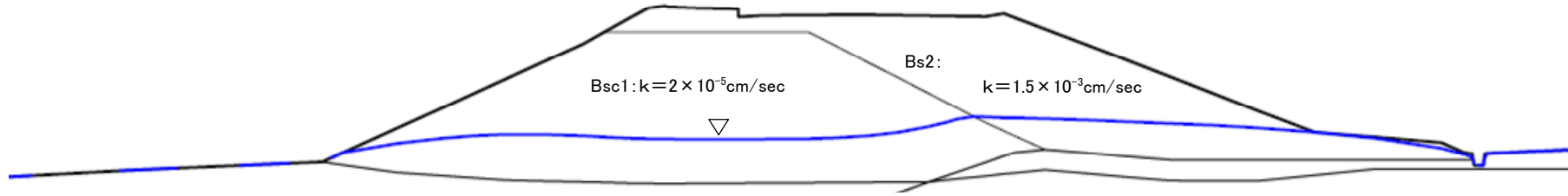


図-6 天端沈下量・側方変位

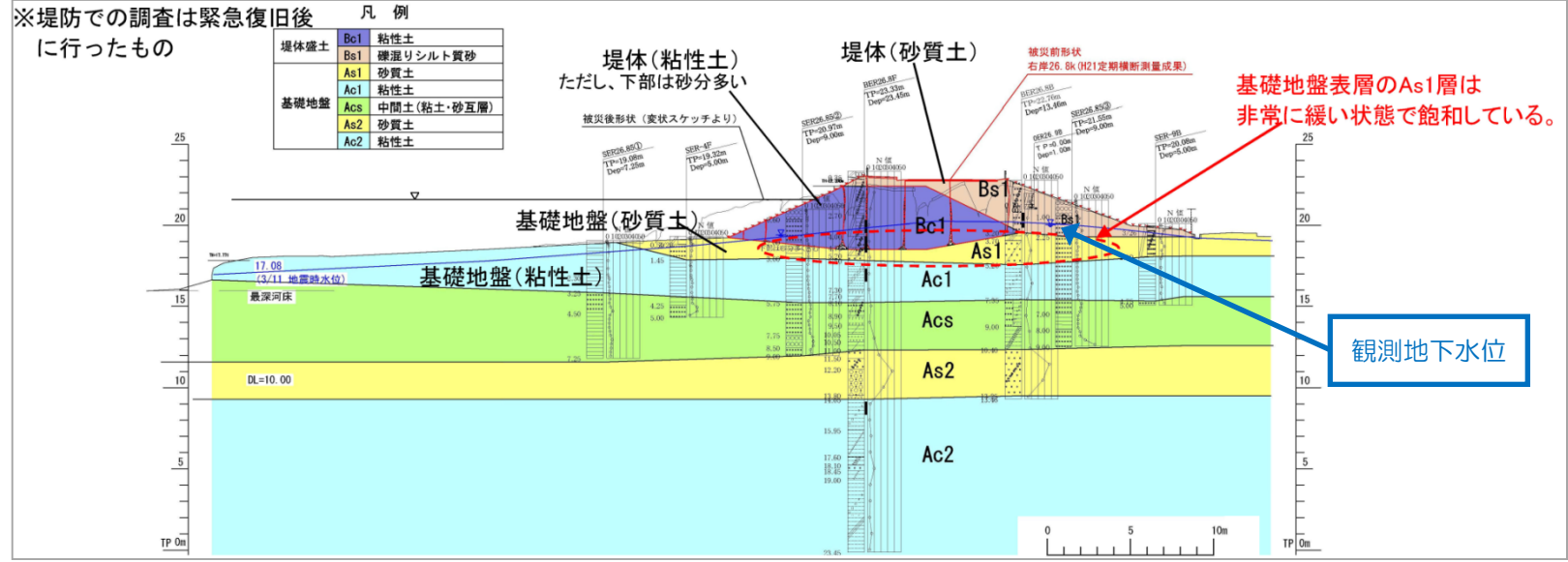
初期状態

降雨強度 0.3mm/hr の降雨を 700hr 連続して与えて、浸潤面がほぼ定常状態になり、実測値をほぼ再現することを確認した。



(地下水位実測値)

※堤防での調査は緊急復旧後に行ったもの



ドレーン設置後

裏のり尻にドレーンを設置した状態で、上記と同じ降雨条件を与えて浸潤面を求めた。

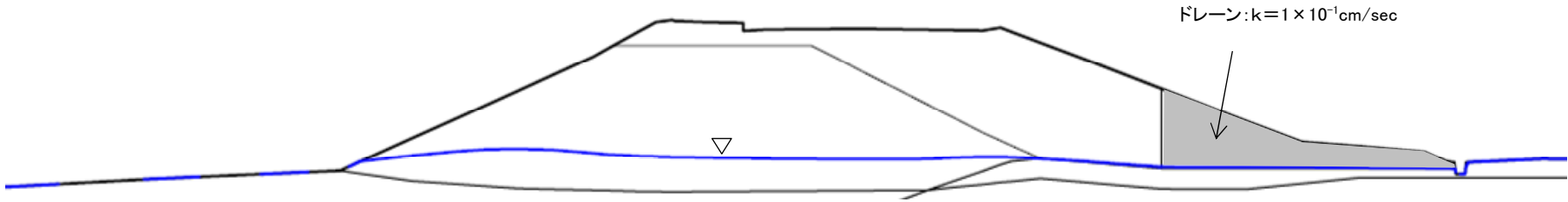


図-7 地下水面の変化

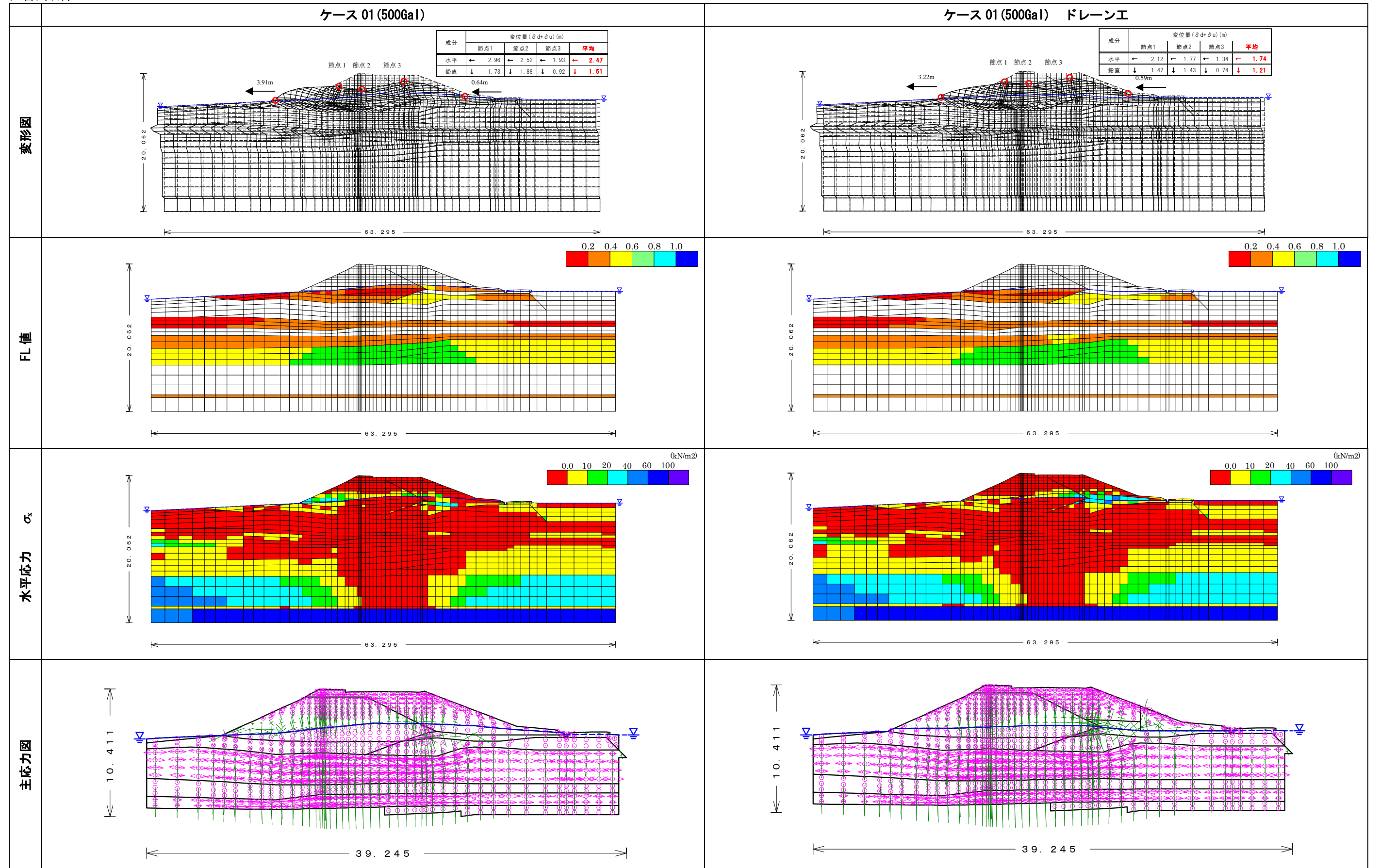


図-8 ドレーン工設置の有無による堤防変形