

# 置換・押え盛土工法による既設盛土改良効果についての数値解析的検討

地震応答解析 盛土 押え盛土

名古屋大学 学生会員 ○犬飼翔吾

名古屋大学 国際会員 中野正樹, 酒井崇之

## 1. はじめに

近い将来起こるとされる南海トラフ巨大地震に備えるためにも、既設盛土への耐震対策は喫緊の課題である。既設盛土における、実際の被害状況<sup>1)</sup>から、最も優先的に対策すべき箇所として、傾斜地盤上の谷埋め盛土など集水地形の箇所が挙げられている。酒井ら(2020)<sup>2)</sup>は、既設盛土の耐震補強工法として、「置換・押え盛土工」を提案した。置換・押え盛土工は、図1に示すように、脆弱となった既設盛土の法面の一部を掘削し、良質な土で置換し、押え盛土の機能を持たせる補強である。本研究では本工法における、表層を掘削することの効果について議論する。なお、解析には、土骨格の構成式としてSYS Can-clay model<sup>3)</sup>を搭載した水～土骨格有限変形解析コードGEOASIA<sup>4)</sup>を用いた。

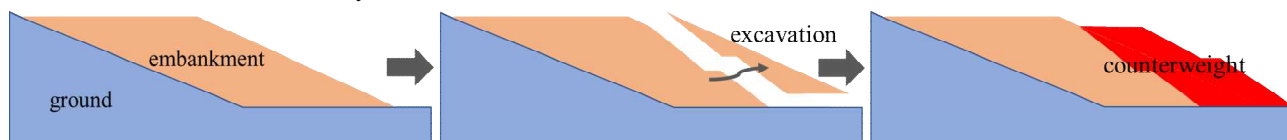


図1 置換・押え盛土工

## 2. 解析条件

図2は検討した解析ケースを示す。天端幅25.6m、高さ28m、法面勾配1:1.8の盛土であり、片側1車線の道路盛土を想定したものである。傾斜地盤は1:4の勾配であり、段切処理が行われており、段切は高さ1m、幅4mとした。Case1は補強を行っていないケース、Case2は押え盛土工のみ実施したケース、Case3は、置換・押え盛土工による補強を実施したケースである。解析条件の詳細については、酒井ら(2020)を参照されたい。表1は本研究で用いた盛土と押え盛土の材料定数を示す。押え盛土材は、締固めやすい良質な盛土材とし、密度は締固め試験(B-c法)で得られた最大乾燥密度の95%の密度を用いた。

| 材料名                                | 盛土                   | 押え盛土                 |
|------------------------------------|----------------------|----------------------|
| 弾塑性パラメータ                           |                      |                      |
| 圧縮指数 $\lambda$                     | 0.130                | 0.040                |
| 膨潤指数 $\kappa$                      | 0.008                | 0.002                |
| 限界状態定数 $M$                         | 1.450                | 1.750                |
| NCLの切片 $N$                         | 2.110                | 1.440                |
| ポアソン比 $\nu$                        | 0.300                | 0.200                |
| 発展則パラメータ                           |                      |                      |
| 正規圧密土化指数 $m$                       | 1.00                 | 5.00                 |
| 構造劣化指数 $(b=c=1)$                   | 0.800                | 10.00                |
| 塑性指数 $c_s$                         | 0.400                | 1.00                 |
| 回転硬化指数 $b_r$                       | 0.001                | 0.001                |
| 回転硬化限界定数 $m_b$                     | 1.00                 | 0.50                 |
| 物性                                 |                      |                      |
| 透水係数(cm/sec) $k$                   | $1.0 \times 10^{-4}$ | $1.0 \times 10^{-4}$ |
| 土粒子密度(g/cm <sup>3</sup> ) $\rho_s$ | 2.727                | 2.697                |
| 初期値                                |                      |                      |
| 比体積 $v_0$                          | 2.110                | 1.350                |
| 構造の程度 $1/R^*_0$                    | 1.90                 | 1.10                 |
| 異方性 $\zeta_0$                      | 0.000                | 0.000                |
| 応力比 $\eta_0$                       | 0.000                | 0.000                |

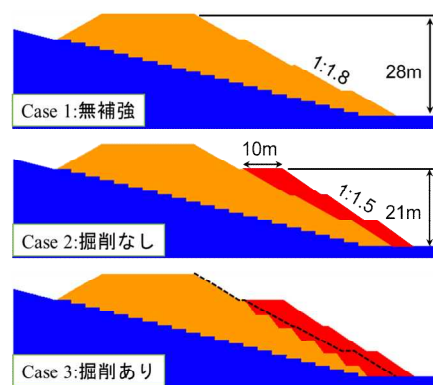


図2 検討した3つのケース

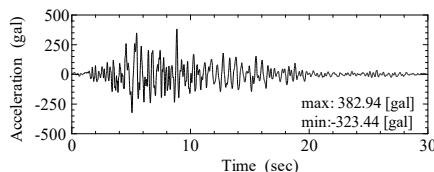


図3 入力地震動

解析手順は、傾斜地盤を作製、盛土を造成、水圧が消散するまで圧密を行った。その後、Case1については、図3に示す地震動を入力した。Case2およびCase3については、各種盛土補強を実施、水圧が消散するまで圧密放置を行い、地震動を入力した。

入力地震動<sup>4)</sup>は、兵庫県南部地震において神戸海洋気象台で観測された地震動のEW成分である。

## 3. 解析結果

図4は地震直後のせん断ひずみ分布を示す。Case1では、盛土の傾斜下部の広範囲において、30%以上のせん断ひずみが進展した。一方で、盛土補強を行ったCase2およびCase3では、30%以上のせん断ひずみが進展した範囲は大きく

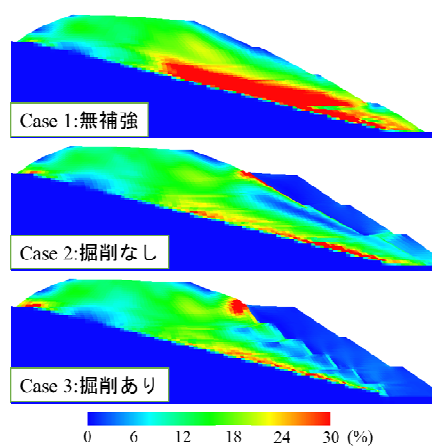


図4 地震直後におけるせん断ひずみ分布

減少した。盛土の右法肩の変形量としてはおよそ7割程度に軽減された。また、Case 2とCase 3を比較すると、掘削を行い、良質土の面積が広いケースであるCase 3の方がせん断ひずみの軽減はより顕著であった。なお、Case 2については、押え盛土の1段目にも10%程度のせん断ひずみの進展が生じた。Case 2とCase 3の比較では、右法肩の水平変位や沈下量は、1割程度軽減した。

#### 4. 解析結果-掘削の効果検証

置換・押え盛土工法の主な効果として、応力比（軸差応力  $q$ /平均有効応力  $p'$ ）の低下、地震時に盛土部の除荷が顕著に起こることによる、過圧密比の増大が挙げられる。その詳細を以下に示す。Case 2およびCase 3の地震動入力直前の応力比分布（図5）を確認すると、盛土中央および右側（黒枠）においてはほとんど同じであった。紙面の都合上、省略するが、地震時の過圧密比分布についても、ほとんど同じであった。一方で、押え盛土の下側にある盛土（白枠）については、応力比が高い箇所が押え盛土に置き換わっており、応力比が高い箇所がCase 3の方が少ないことがわかる。

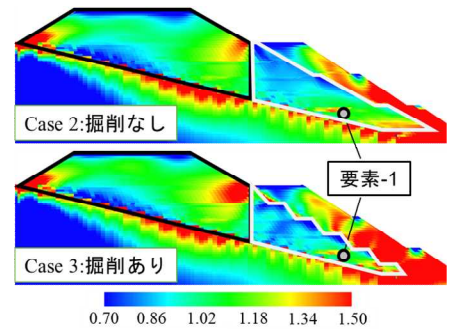


図5 地震直前の応力比分布

要素-1の挙動（図6）を確認して、詳細に補強メカニズムについて考察する。掘削による除荷および押え盛土の施工による再載荷によって、Case 2よりCase 3において、比体積  $v$  が減少（密度が増加）した。 $q$ - $p'$  関係を見ると、どちらのケースも押え盛土の施工によって、限界状態線の下側に応力状態をとることができている。ただしCase 3では地震直前の軸差応力  $q$  がCase 2よりも10kPa程度低下しており、その傾向がより顕著である。限界状態線の下側に応力状態を取るため、地震により塑性圧縮を伴う軟化挙動を示した。また、過圧密  $R$  に着目すると、Case 2よりCase 3の方が地震時に過圧密  $R$  が0に近づいている。このことは、Case 3の方が、Case 2よりも地震時における除荷が顕著であることを示している。過圧密  $R$  が0に近いことは過圧密比（ $1/R$ ）が大きいことを意味しており、過圧密比が大きいほどより弾性的な挙動を示すため、Case 2よりCase 3の方が、せん断ひずみがあまり進展しなくなった。なお、要素-1周辺の土要素も程度の差こそはあれ同じ傾向であった。まとめると、どちらも同じ効果が得られているが、Case 3の方は掘削により除荷され、押え盛土により再載荷される過程でより密になり、掘削した分押え盛土の厚みが増すため、より高い耐震補強効果（地震前の  $q$  や地震中の  $R$  の減少）が得られた。

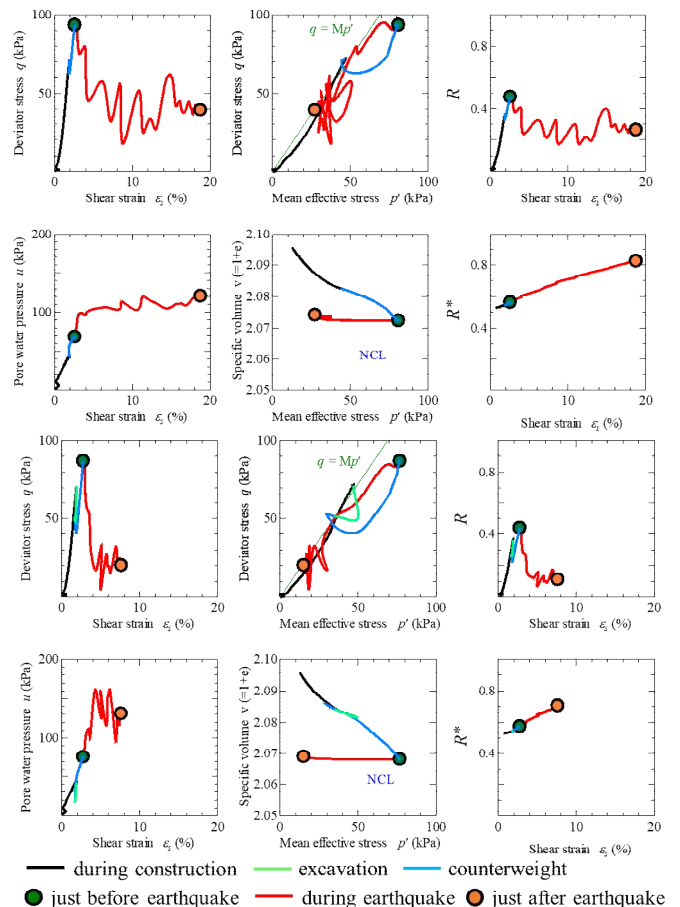


図6 要素-1の要素挙動（上:Case 2, 下:Case 3）

本解析では考慮していないが、盛土表層の材料が風化等で劣化していた場合、掘削により弱部を取り除くことができるため、劣化していない場合と比較してより高い耐震性をもたらすことにつながると考えられる。

#### 5. おわりに

(1)掘削の有無にかかわらず、押え盛土を実施することで、せん断ひずみが大幅に抑制され、沈下量が7割程度に軽減した。また、掘削により、不等沈下量・水平変位量の1割の減少が確認できた。(2)地震直前の応力比分布から、盛土中央および右側については、掘削の有無による違いはみられなかった。一方で、押え盛土の下側では、掘削による除荷および押え盛土による再載荷によって、盛土部の密度の増加した。掘削を行ったケースでは、応力比が低下したため、地震時に塑性圧縮挙動を顕著に示した。また、地震による除荷によって、過圧密比が増大、より弾性的な挙動を示し、掘削を行ったケースでは、せん断ひずみの進展が軽減した。

参考文献：1.) 藤岡ら(2016): 東北地方太平洋沖地震における高速道路の被害分析, 日本地震工学会論文集, Vol.16, No.1, pp.285-308. 2.) 酒井ら(2020): 傾斜地盤上の既設高盛土の表層置換・押え盛土工の耐震性に関する数値解析的検討, 第32回中部地盤工学シンポジウム, pp.65-72. 2.) Asaoka et al. (2002): An elasto-plastic description of two distinct volume change mechanisms of soils, Soils and Foundations, Vol.42, No.5, pp.47-57. 3.) Noda et al. (2008): Soil-water coupled finite deformation analysis based on a rate-type equation of motion incorporating the SYS Cam-clay model, Soils and Foundations, Vol.48, No.6, pp.771-790. 4) 日本道路協会: <https://www.road.or.jp/dl/tech.html>.