

合理的な盛土の液状化対策工法に関する研究

— FEM解析による検討 —

東海旅客鉄道㈱ 正会員 ○阪本泰士，永尾拓洋，フェロー会員 関 雅樹

1. はじめに

液状化による盛土の代表的な破壊形態として、盛土堤体に基礎地盤まで到達するようなテンションクラックが生じるⅢ型破壊（写真1）が挙げられる。この破壊は盛土の剛性を著しく低下させることから、地震時の液状化地盤上における盛土の安全性と復旧性を確保するためには、特に注意すべき破壊形態であると言える。本稿では新たに提案する合理的な盛土の液状化対策工法について、その効果を別報²⁾の遠心力模型実験に引き続き、FEM解析により検証したので報告する。

写真1 液状化によるⅢ型破壊（十勝川堤防）¹⁾

2. FEM解析による検証

(1) 解析概要

今回、提案する合理的な盛土の液状化対策工法である、タイロッド付シートパイル工法（ $L=4\text{m}$ ）と腰土留＋タイロッド工法の効果について、旧港湾技術研究所が開発したFLIP³⁾を用いたFEM解析により検証を実施した。解析モデルの盛土は模型実験と同じく標準的な盛土高 $H=6\text{m}$ とし、液状化層は厚さが $GL=-10\text{m}$ 、 -20m と異なる2種類の仮想地盤を設定した。解析モデルのメッシュ図を図1に示す。盛土は鉄道の設計標準⁴⁾の土質②（一般の砂，砂礫）を想定し、変形計算用の c 、 ϕ を用いて双曲線モデルでモデル化した。ここで、盛土はせん断強度を適切に反映させるため、設計標準に準じて表層部と深部に分けてモデル化している。次に液状化層については、4種類の N 値の均一地盤に対して、土質分類を細砂とする

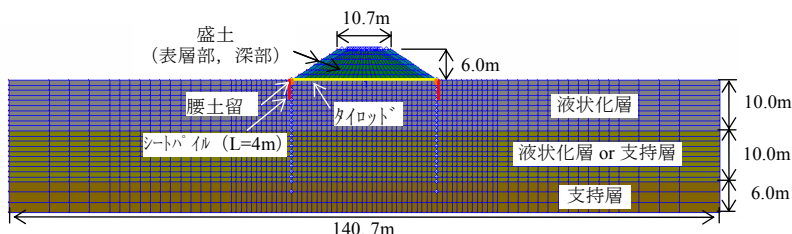


図1 解析メッシュ図

表1 解析ケース

解析ケース		PL値 (1-FL)			
液状化層	対策工法	N=5	N=10	N=15	N=20
GL=-10m	未対策				
	シートパイル工法 ($L=4\text{m}$)	56	48	29	11
	腰土留＋タイロッド工法				
GL=-20m	未対策				
	シートパイル工法 ($L=4\text{m}$)	72	63	37	17
	腰土留＋タイロッド工法				

物性値を設定⁵⁾した。液状化層の液状化パラメータは、設計標準の動的せん断強度比～繰返し回数の関係を表現できるように次の手順で行った。① 設計標準に基づき、各 N 値の均一地盤に対して、繰返し回数 20 回で軸ひずみ 5% 至る動的せん断強度比 R を算定する。② 同じく設計標準に基づき、軸歪み両振幅 10～15% における動的せん断強度比～繰返し回数の関係を推定する。③ 上記の液状化強度を表現できる液状化パラメータを、FLIP の要素シミュレーションにより設定する。以上の手順で設定した動的せん断強度比～繰返し回数の関係の一例を図2に示すが、概ね鉄道の設計標準の関係を満足できる結果となっている。鉄道基準に従い累積損傷度理論により算出した、各 N 値の均一地盤に対する PL 値を表1に示す。なお、入力地震動は兵庫県南部地震レベルに相当する L2 基盤地震動波形（スペクトルⅡ適合波，最大 749gal）を使用している。

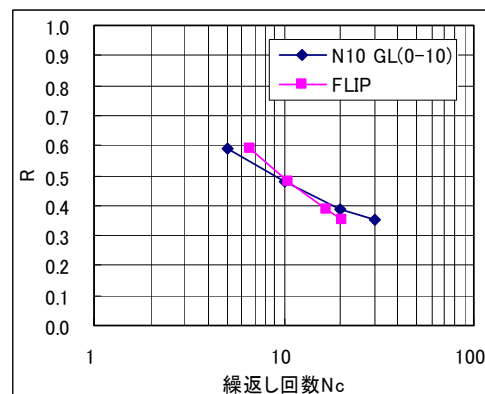


図2 液状化曲線のシミュレーション結果

key words : 盛土，液状化，テンションクラック，シートパイル工法，タイロッド，FEM 解析

連絡先：〒485-0801 愛知県小牧市大山 1545-33 東海旅客鉄道㈱総合技術本部技術開発部

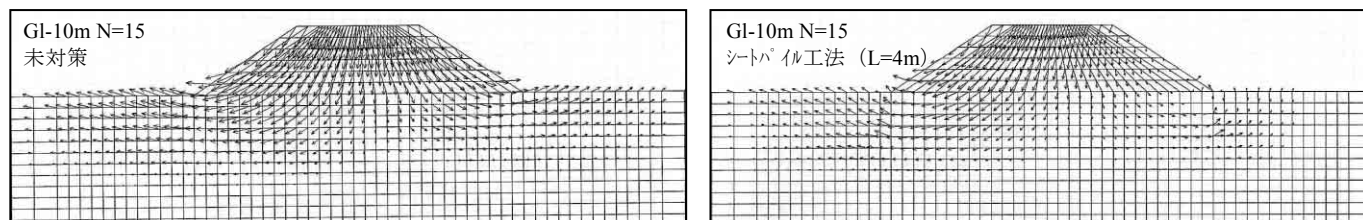


図3 盛土と地盤の変位ベクトル

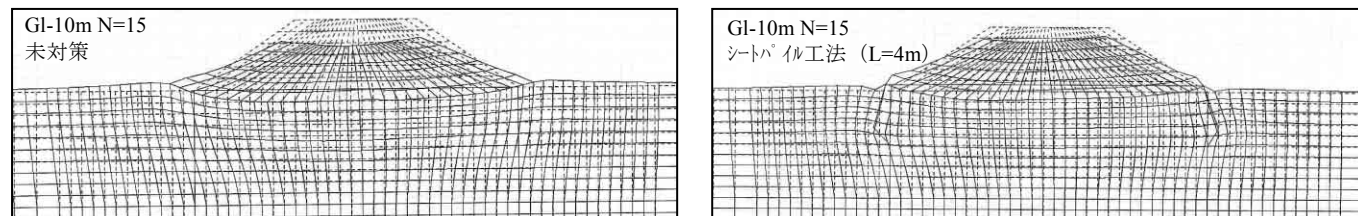


図4 盛土と地盤の変形状態

(2) 解析結果

FEM 解析では、液状化層のほぼ全層で液状化する結果となった。液状化層が GL=-10m, N=15 の場合における、未対策とシートパイル工法 (L=4m) の盛土と地盤の変位ベクトルを図3に、盛土と地盤の変形状態を図4に示す。一般的に液状化地盤上における地震時の盛土の沈下要因は、① 地盤の側方流動、② ①に伴う盛土ストレッチング、③ 地盤の体積圧縮に分類⁹⁾できる。ここで、シートパイル工法 (L=4m) は未対策と比較して、図3の変位ベクトルの減少より

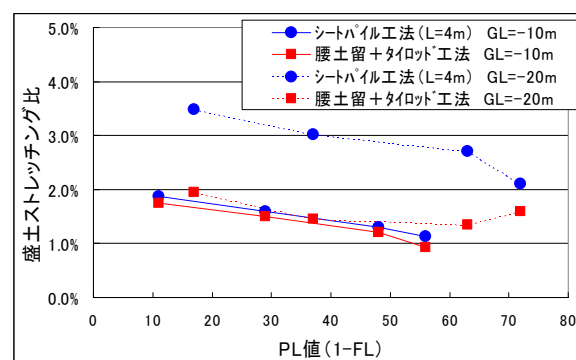


図5 対策工法の効果（盛土ストレッチング比）

① 地盤の側方流動に対する効果が、図4ののり尻の変形状態より② 盛土ストレッチングに対する効果が発揮されていることが分かる。腰土留+タイロッド工法については、液状化層への腰土留の根入れが少ない分だけ効果が割り引かれる結果となっている。また、盛土ストレッチングの効果については、盛土ストレッチング比=対策工法の盛土ストレッチング量/未対策の盛土ストレッチング量として整理した結果を図5に示す。この図より、盛土ストレッチング比は2タイプの工法共にほぼ1~3.5%の間であり、FEM 解析結果からも盛土に発生するテンションクラックを防止し、盛土の形状保持に優れた効果を発揮することが推測される。なお、盛土沈下量についてはN値が一定の均一地盤としていることから、特に液状化層が薄くなるほど効果が表れる解析結果となった。また、同様の理由により同一の液状化層厚であればPL値の大きさに関係なく、盛土沈下量の低減効果はほぼ一定という解析結果となった。

3. おわりに

本研究では、2タイプの液状化対策工法の効果について、FLIPを用いたFEM解析により検証を実施した。ここで、実際の液状化地盤の地層構成が様々であることから、対策効果の有効性を判断し易いように解析ではN値が一定の仮想地盤を想定した。しかしながら、現実には液状化層は連続しておらず非液状化層が介在していること、また表層部が最も液状化し易いこと等、2タイプの工法の対策効果は、解析結果と比較して更に向上することが期待できると考えられる。

《謝辞》今回、FEM解析による検討にあたり、ご助言・ご協力を頂いた日建設シビル(株)の西山誠治氏に誌面を借りて厚くお礼を申し上げます。

〈参考文献〉1)北海道新聞 HP より 2)永尾他, 合理的な盛土の液状化対策工法に関する研究—遠心力模型実験による検証—, 第60回年次学術講演会(投稿中), 2005. 3)井合他, ひずみ空間における塑性論に基づくサイクリックモビリティのモデル, 港湾技術研究所報告第29巻第4号, 1990. 4)鉄道構造物等設計標準・同解説(耐震設計), 丸善, 1999. 5)道路橋示方書・同解説 V耐震設計編, 日本道路協会, 2002. 6)例えば, 黒瀬他, 液状化地盤上の盛土の変形特性に関する動的遠心模型実験, 第38回地盤工学研究発表会, 2003.