

構造物背面盛土における地震時段差の評価法に関する検討（その2 変形解析）

構造物背面盛土 繰返し変形特性 地震時沈下量

国立研究開発法人 土木研究所 正 会 員 ○佐々木直也
 国立研究開発法人 土木研究所 正 会 員 東 拓生
 国立研究開発法人 土木研究所 国際会員 佐々木哲也
 国立研究開発法人 土木研究所 正 会 員 加藤 俊二

1. はじめに

橋梁などの構造物背面の盛土は、地震時の段差発生により交通機能を阻害することがあり、H23 年東北地方太平洋沖地震等では、交通機能の復旧・交通開放までに4日以上要した事例も報告されている。また、橋長の抑制によるコスト縮減を目的とした「盛りこぼし橋台」のうち、盛土高が高いものに顕著な段差が報告されている。このため、構造物背面の地震時の変形量を実務的に評価できる手法の確立が求められている。

本検討は、構造物背面の高盛土の実務的な沈下量の評価手法として、ひずみ軟化理論¹⁾を用いた自重解析手法について、過年度の遠心模型実験を対象に適用性の検討を行った。

2. 解析方法

沈下量の評価手法は、参考文献 1)の手法を適用した。解析フローを図-1に示す。解析は以下の手順で実施した。

- ①弾性 FEM 解析による盛土の初期応力と変位量を算出。
- ②等価線形化法による地震応答解析からせん断応力を算出。
- ③盛土材の繰返し変形特性を用いて、動的せん断応力による要素ごとの累積せん断歪と初期せん断応力から低下せん断変形係数を算出。
- ④弾性 FEM 解析に低下せん断変形係数を用いて、自重による変位量を算出。
- ⑤④の変位量から①の変位量を差し引いて、地震による最終変位量を算出。

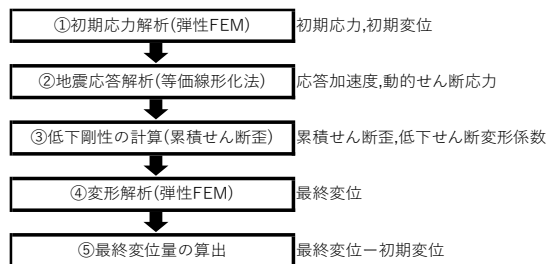


図-1 解析フロー

表-1 実験の再現ケース

ケース	盛土高(m)	締固め度Dc(%)	加振波形	基礎地盤	
1	20	85	レベル2タイプⅠ	密な砂 (変形しない)	
2		90			
3	10				
4	15	85			レベル2タイプⅡ
5					

表-2 解析に用いた定数

地盤	γt [kN/m ³]	E [kN/m ²]	ν	G_0 [kN/m ²]	D_{50} [mm]	h_{max} [%]
盛土	18.0	$E=2(1+\nu)G$	0.33	30,000~50,000	0.15	22.5
基礎地盤	20.0	-	0.33	104,800	-	20.3

本検討では、過年度に実施した構造物背面盛土の遠心模型実験³⁾から盛土高、締固め度、地震波形を変えた5ケース(表-1)を対象に解析を行った。解析に用いた定数を表-2に示す。盛土のせん断弾性係数 G_0 は、盛土を3分割し、応力に応じて設定した(基礎地盤の変形は生じないものとした)。盛土の繰返し変形特性は、締固め度ごとに繰返し三軸試験を実施して定式化した関係²⁾⁴⁾を用いた。地震応答解析の境界条件は、側面をエネルギー伝達境界、底面を実験に合わせて剛基盤とした。なお、地震応答解析の $G/G_0 \sim \gamma$ 、 $h \sim \gamma$ の関係は、平均粒径 D_{50} から求まる安田・山口の提案式⁵⁾を用いて設定し、入力地震動は、実験で計測された盛土底面の加速度波形を設定した。

3. 解析結果

(1) 変形形状と天端沈下量の比較

実験と解析の変形形状の比較を図-2に、実験と解析の天端平均沈下量の比較を図-3に示す。変形形状は、解析結果の法面のはらみ出しが実験結果に比べて小さくなっているものの、天端が全体的に沈下し、法肩ほど沈下量が大きくなる傾向は実験結果を再現できている。天端平均

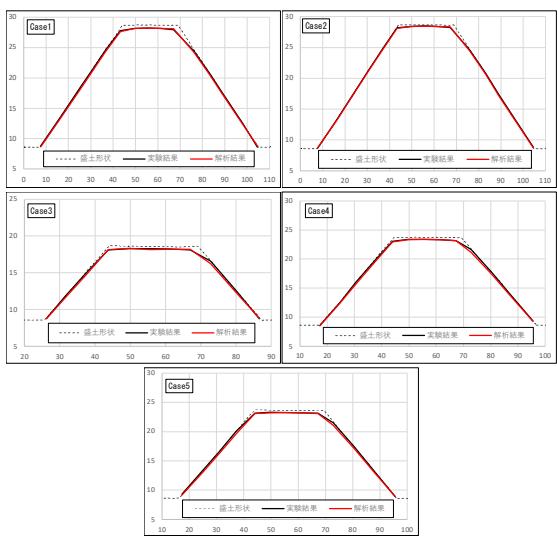


図-2 変形形状の比較

沈下量は、盛土高が高いケース1,2の解析値が実験値に比べてやや小さいものの、解析値と実験値は概ね同程度に評価されており、盛土高の違い、締固め度の違い、地震動の違いを再現できている。ケース1,2の解析値が小さい要因については、次項で述べる。

(2) 盛土天端の応答加速度の比較

実験と解析の盛土天端加速度の比較を図-4に示す。実験の加速度は入力波形に比べて全体的に増幅していることがわかる。また、解析の加速度は主要動付近で大きく増幅しており、最大加速度が実験よりも大きくなっている。ケース3,4では、解析で実験の加速度の傾向を概ね再現できている。タイプII地震動を入力したケース5では、主要動で解析の加速度が実験よりも最大1.7倍程度大きくなっている。一方、ケース1,2では解析の最大加速度は実験より大きいものの、主要動までの加速度は他ケースに比べて実験よりも小さくなっており、解析の天端沈下量が小さく評価された要因の一つと考えられる。なお、解析結果の盛土底面の加速度は、実験結果と概ね整合しており、天端方向に向かって加速度が増幅する傾向も確認した。

(3) 盛土内の最大せん断ひずみ分布の比較

実験と解析の盛土内の最大せん断ひずみの比較を図-5に示す(実験のせん断ひずみは、撮影画像の画像解析から時刻歴のせん断ひずみを算出した)。実験のせん断ひずみは盛土天端や法肩、法面付近で大きくなる傾向を示し、最大7%程度であった。解析のせん断ひずみは実験と同様の傾向を示しているが、最大10%程度とケース1,2を除いて実験よりも全体的に大きくなっている。ケース1は法面や法尻付近、ケース2は全体的にせん断ひずみが小さく、加速度や繰返し変形特性が影響していると考えられる。

4. まとめ

盛土材の繰返し変形特性を用いて解析を行った結果、盛土高や締固め度、地震動の違いおよび実験の天端沈下量を概ね再現できている、評価手法の適用性を確認することができた。

5. 今後の課題

被災事例を模擬した解析や盛土材料の違いなどについて再現性を確認していくとともに、実務での適用方法について検討を進めていく必要がある。

参考文献 1)山田勝彦, 真鍋進, 龍岡文夫: 大型橋梁基礎の地震時変位の予測, 第25回土質工学研究発表会, pp951-954, 1990. 6. 2)堀井克己, 館山勝, 小島謙一, 古関潤一: 砂質土盛土の地震による残留沈下予測, 第52回土木学会年次学術講演会, pp148-149, 1997. 9. 3)東拓生, 佐々木哲也, 加藤俊二: 盛土高の高い構造物背面盛土の地震時の沈下・変形に関する遠心力載荷実験, 第75回土木学会年次学術講演会, 2020. 9. 4)東拓生, 佐々木哲也, 加藤俊二, 佐々木直也: 構造物背面盛土における地震時段差の評価法に関する検討(その1 繰返し変形特性の定式化), 第58回地盤工学研究発表会, 2023. 7(投稿中). 5)安田進, 山口勇: 種々の不攪乱土における動的変形特性, 第20回土質工学研究発表会, 1985. 6.

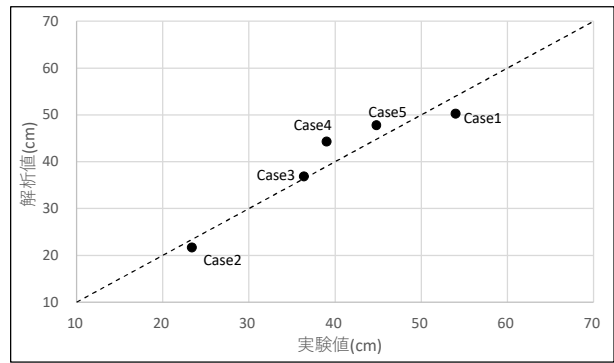


図-3 天端平均沈下量の比較

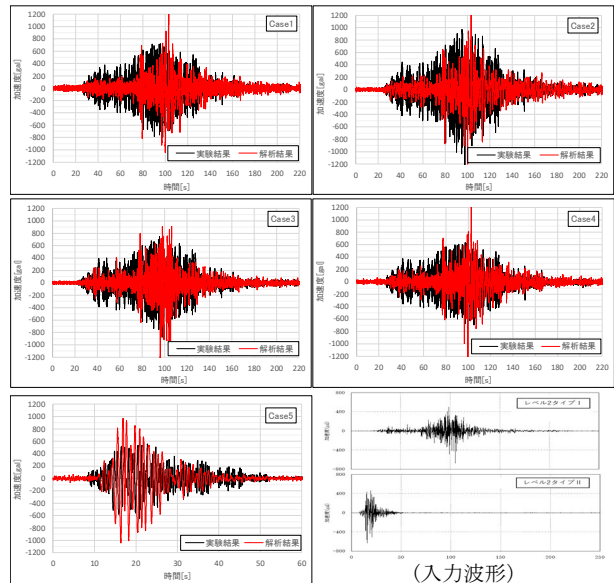


図-4 盛土天端加速度の比較

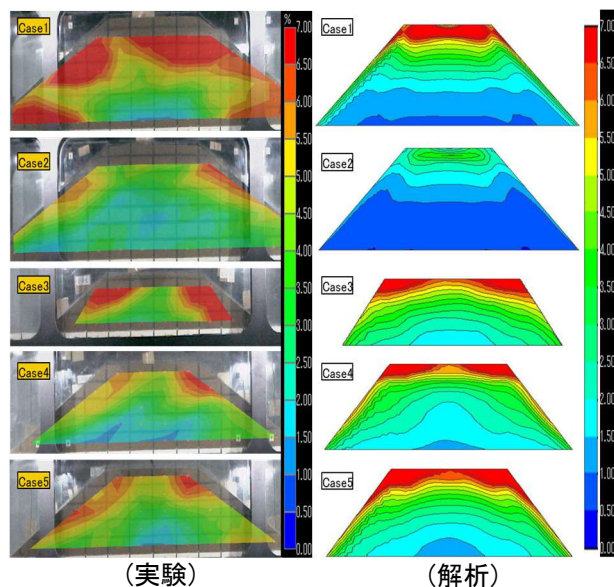


図-5 盛土内の最大せん断ひずみ分布の比較