

Ⅲ-A233

地震による高盛土の残留変形予測

関西電力(株)

正会員 ○玉田 潤一郎

(株)建設企画コンサルタント

白石 賢二

1. はじめに

土構造物の耐震性検討では、地震応答解析を行って盛土の加速度応答や変位応答により動的特性を把握するとともに、盛土内の応力、応答値を用いて要素安全率やすべり安全率により安定性を評価する。しかし阪神・淡路大震災では、地震後における盛土の崩壊や変形が記録されており、盛土内の応力に基づく安全性の検討だけでは地震時の残留変形を推定できない。

筆者らは、兵庫県能勢町に現在造成中の盛土法面高さ 100m、盛土厚60m、盛土量98万<sup>m</sup>の高盛土を対象として、通常の繰返し三軸試験結果を用いることができ、盛土での検討の実績のある佐々木らの方法<sup>1)</sup>を用いて地震後の残留変形量の推定を試みた。

2. 予測手法

佐々木らの方法は、盛土内や盛土地盤内のように比較的大きな偏差応力が静的に作用している条件で、地震の繰返し応力が作用すると、繰返しとともにひずみが累積し永久ひずみが残ることから、このひずみの累積を土の剛性の低下で表現し、低下した剛性を用いた静的FEM解析を行って残留変形量を算定する方法である。図-1は残留変形予測のフローチャートを示した。

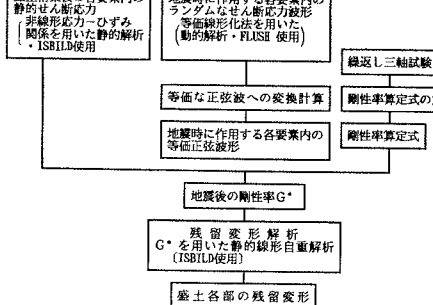


図-1 残留変形予測フローチャート

(1) 予測対象

図-2は予測対象とした盛土構造を示した。盛土構造は、盛土Aと盛土Bの2層によるゾーニング構造であり、下部の盛土厚が30mを越える盛土Bには、強度・排水性に優れる砂岩C<sub>1</sub>級以上の盛土材を、上部の盛土Aには粘板岩D級を主体とした盛土材を配置している。



図-2 盛土標準断面図

(2) 見かけの剛性率の算定

図-3は、初期せん断応力 $\tau_0$ の下で繰返しせん断応力 $\tau_a$ が作用した場合の土の応力-歪み関係を模式的に示している。土要素の応力状態が重力の作用によってA点であると仮定し、地震後の応力状態が直線OC上に存在するものと仮定した時、この割線係数は次式のように表される。

$$G^* = \frac{\tau_0 + \tau_a}{\gamma_a}$$

$\tau_0$  : 初期せん断応力  
 $\tau_a$  : 繰返しせん断応力  
 $\gamma_a$  : 繰返しせん断ひずみ

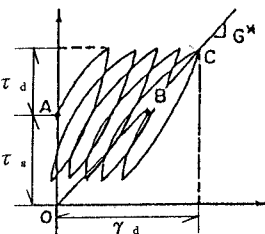


図-3 土の応力-歪み関係の模式図

本手法では、地震時の歪みの累計現象を剛性の率の低下という形で表現している。これを「見かけの剛性率 $G^*$ 」と称する。 $G^*$ に依存する要因としては、初期せん断応力比( $\tau_0/\sigma_v$ )、動的応力比( $\tau_a/\sigma_v$ )、繰返し回数 $N$ が挙げられることから、これらをパラメータとし、盛土材料の繰返し三軸試験の結果を用いて定式化を行った。

繰返し三軸試験は、所定の上載圧で等方圧密後、排水(排気)条件で静的に軸方向初期せん断応力を

キーワード 高盛土、変形、耐震、数値解析

連絡先 〒563-0111 大阪府豊能郡能勢町吉野70-1 関西電力能勢変電所工事所 TEL.0727-37-2777

負荷し、軸変位が静止した時点より排水(排気)状態で動的繰返し荷重を載荷した。試験パラメータとして考慮したのは、初期せん断応力比( $\tau_a/\sigma_c=0.2, 0.4$ )、動的応力比( $\tau_d/\sigma_c=0.4\sim 0.8$ )であり、繰返し載荷回数は30回とした。代表的な試験結果を図-4に見かけの剛性率の算定式を以下に示す。

(見かけの剛性率算定式)

$$G^*/G_0 = 1.389 \times N^{(-0.11-0.125(rd/\sigma_c))} \times (0.1-1.757(\tau_a/\sigma_c))$$

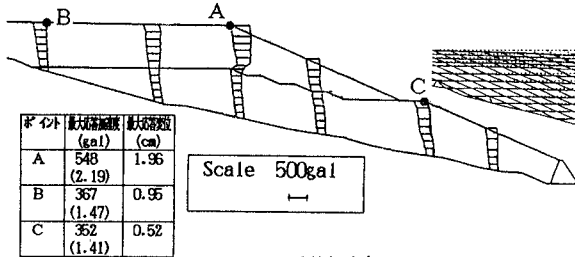
$G^*$ : 見かけの剛性率     $\tau_d$ : 動的せん断応力(繰返しせん断応力)  
 $G_0$ : 初期剛性率     $\tau_a$ : 初期せん断応力  
 $N$ : 繰返し回数     $\sigma_c$ : 拘束圧

(3) 動的せん断応力の等価化

図-5に示すように、地震波から得られるランダムに変動するせん断応力波形を最大値の0.65倍の振幅をもつ等価正弦波に変換したときの、回数とマグニチュードの関係が得られている<sup>3)</sup>。本検討では、兵庫県南部地震クラスの地震が発生した場合を想定しマグニチュードを7.2と設定し、図-5の平均曲線を用いると繰返し回数は13回となる。動的せん断応力 $\tau_d$ は、動的応答解析により求まる各要素内の最大せん断応力の65%とする。

3. 予測結果

図-6は動的応答解析より得られた最大応答加速度及び残留変形量を示した。本解析では、兵庫県南部地震クラスの直下型地震を想定し、入力地震動としては同地震における硬質地盤上の観測波形である神戸大観測波N S成分を最大水平加速度250galに振幅調整した波形を用いて検討を行っている。同結果によると、のり肩部で応答最大加速度は548galとなった。残留変形の様子は、残土のり肩付近での沈下傾向、盛土のり尻部での側方へのはらみ出し傾向が見られるものの、構築される構造物に対して問題となる残留変形量については、3cm~6cm程度で問題がない。



(1) 最大応答加速度 (2) 残留変形量

4. まとめ

本検討は、高盛土での地震時の安定性検討の一環として、地震後における残留変形に着目して実施したものである。その結果、別途実施した地震時のすべり安定検討での評価結果<sup>3)</sup>と同様に盛土の変形の面においても問題ないと評価している。当検討で対象とした高盛土は、現在施工中であり、各種動態観測および地震観測も実施中であり、今後、その観測結果を加味した実証解析を実施し、本検討方法の妥当性を評価したいと考えている。

参考文献

- 1) 佐々木、松尾、唐沢: 地震による盛土の永久変形解析法とその適用例、土木技術資料、27-3, pp. 46-51, 1985、2) Seed, H. B., I. M. Idriss and I. Arango (1983): Evaluation of Liquefaction Potential Using Field Performance Data, J. GE, ASCE, Vol. 109, No. 3, pp. 458-482、3) 波多野他: 高盛土斜面の安定性検討、土木学会第53回年次学術講演会、第三部門、投稿中

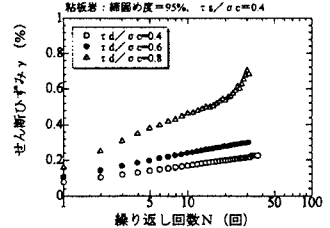


図-4 せん断ひずみと繰返し回数の関係 (粘板岩D級材: 締固め度=95%)

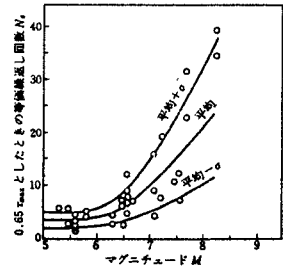


図-5 地震のマグニチュードと等価繰返し回数の関係 (Seed<sup>2)</sup>による)

表-1 動的応答解析に用いた物性値

材料名	$\rho$ (gf/cm <sup>3</sup> )	$G_0$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	ひずみ依存性(H-Defk)		ポアソン比 $\nu$
			基準ひずみ $\gamma_c$	$h_{max}$	
盛土A 粘板岩D級材	1.98	898( $\sigma_m$ ) <sup>1.125</sup>	$2.64 \times 10^{-4}$ ( $\sigma_m$ ) <sup>0.886</sup>	0.17	沢田の速度分布モデル
盛土B 砂岩C級	2.08	973( $\sigma_m$ ) <sup>0.554</sup>	$4.31 \times 10^{-1}$ ( $\sigma_m$ ) <sup>0.484</sup>	0.13	

図-6 最大応答加速度と残留変形解析結果