

## Newmark 法による合理的な盛土の信頼性設計法の提案

日本工営(株)中央研究所	正会員	秦 吉弥
広島大学大学院工学研究科	正会員	一井康二
広島大学大学院工学研究科	正会員	土田 孝
広島大学大学院工学研究科	正会員	加納誠二
神戸市立工業高等専門学校	正会員	山下典彦

## 1. まえがき

盛土の変形・変位量を照査する設計法が兵庫県南部地震以降求められており、その評価手法の1つとして Newmark 法<sup>1)</sup>が挙げられる。一方で、地盤が本質的に不均質性を有していることは広く知られているが、現在の土構造物の耐震設計では、地盤強度は均質であると仮定して行われているのが現状である。これまでの盛土の信頼性解析では地盤強度の不均質性の度合を予め仮定しているため、実際の現場における地盤強度の不均質特性が信頼性解析に十分に反映されていない。そこで本研究では、実在する盛土に対して行われた土質試験の結果を用いて、Newmark 法による地盤の不均質性を考慮した信頼性解析を実施することで、合理的な設計法の提案を行った。

## 2. 現場データを用いた盛土の信頼性解析

Fig.1 に示すフローに従い盛土の動的信頼性解析を行った。モンテカルロシミュレーション(試行回数 1000 回)を用いた信頼性解析を行い、試行毎に粘着力  $c$  と内部摩擦角  $\phi$  の間には相関関係が成立すると仮定した 2 次元正規分布に基づいた Fig.2 に示すような水平互層構造を有する不均質地盤モデルを作成し、円弧すべりを対象とした Newmark 法による残留変位量を算定した。また得られた残留変位量について統計的処理を施すことで、地盤強度の不均質性が地震時における盛土の残留変位量に及ぼす影響について検討を行った。不均質地盤モデルの要素高さ  $\Delta H$  は Vanmarcke の方法<sup>2)</sup>を用いて設定した。Table 1 は日本国内に実在する空港盛土に対して行われた土質試験(三軸 CD 試験)の結果一覧である。本解析では、この試験結果を用いて盛土の信頼性解析を行った。この表によれば、内部摩擦角よりも粘着力の変動係数のほうが大きく、また単位体積重量に関する変動係数は 0.008 と微小であるため解析では単位体積重量の不均質性は考慮していない。Fig.3 は粘着力  $c$  と内部摩擦角  $\phi$  の関係であり、せん断強度( $c, \phi$ )の間には負の相関関係が成立していることから、本解析においても負の相関係数( $\rho = -0.572$ )を設定した。

## 3. 入力せん断強度低減法の提案

Fig.4 および Fig.5 は入力地震動を兵庫県南部地震における神戸海洋気象台 NS 成分とし、盛土高さを 10m から 30m まで 1m 刻みで変化させた場合の、横軸に降伏加速度  $A_v$ (Newmark 法においてすべり土塊が滑動を開始する基準加速度で盛土高さと同法勾配により変化)と最大加速度  $A_p$ (=818gal 固定)の比率を、縦軸に残留変位量をとったもので、3 種類の法勾配について示している。同図中には以下の 3 ケースの残留変位量が重ね合せられている。確定論的解析の残留変位量、確定論的解析の残留変位量 + 信頼性解析における残留変位量の標準偏差、確定論的解析において粘着力  $c$  もしくは内部摩擦角  $\phi$  を低減させた場合の残留変位量。Fig.6 は 1995 年兵庫県南部地震から 2007 年能登半島地震までの大地震の中で盛土構造物に対するレベル 2 地震動の目安である最大加速度 600gal 以上の既往の強震観測記録 23 波を入力地震動として採用した場合の、地盤強度の不均質性を考慮しない確定論的解析の結果である。Fig.4,5 と Fig.6 と比較すると、Fig.4,5 の確定論的解析の結果と Fig.6 の確定論的解析の近似曲線がほぼ一致しているのに対して、地盤強度の不均質性に起因する標準偏差(Fig.4,5)に比べ、採用する入力地震動の特性に起因する残留変位量の標準偏差(Fig.6)のほうがはるかに大きいことから、入力地震動の採用には十分に留意する必要があるといえる。しかしながら仮に使用する入力地震動が明白なのであれば、Fig.7 に示すように確定論的解析において、予め降伏加速度  $A_v$  を減じておく、すなわち入力パラメータであるせん断強度( $c, \phi$ )を低減させておくことで、地盤強度の不均質性を考慮した盛土の残留変位量相当値を簡便に算定することが可能と考える。せん断強度の低減量としては、Fig.4 より粘着力  $c$  を 6(kPa)程度、Fig.5 より内部摩擦角  $\phi$  を 2(deg.)程度低減すればよいことが読み取れる。

参考文献: 1) N. M. Newmark (1965): Effects of Earthquakes on Dams and Embankments, Fifth Rankin Lecture, *Geotechnique*, Vol.15, No.2, pp.139-160. 2) E. H. Vanmarcke (1977): Probabilistic Modeling of Soil Profiles, Proc. of ASCE, Vol.103, GT11, pp.1227-1246.

キーワード 地震, 盛土, モンテカルロシミュレーション, 信頼性設計, Newmark 法

連絡先 〒300-1259 茨城県つくば市稲荷原 2304 日本工営(株)中央研究所 TEL 029-871-2037 FAX 029-871-2022

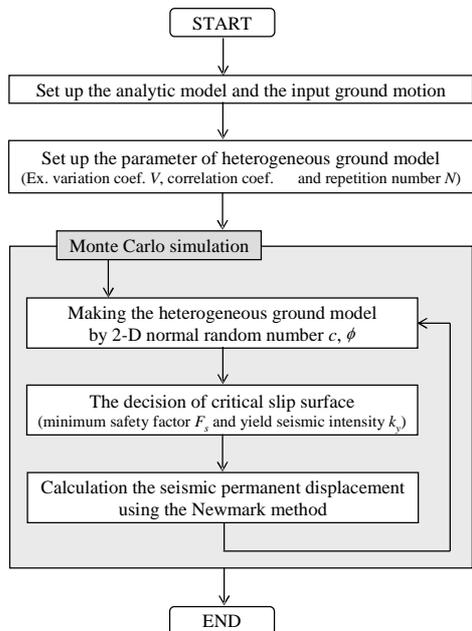


Fig.1 Analytical flow

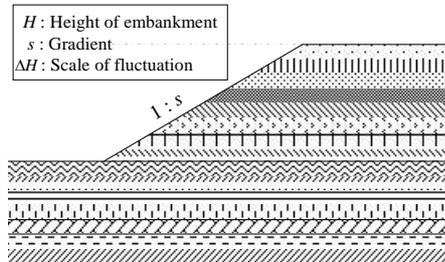


Fig.2 The heterogeneous ground model

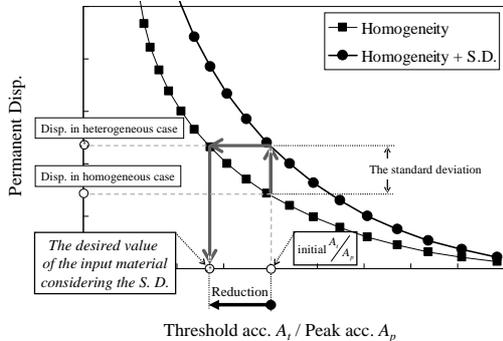


Fig.7 The concept of reduction of threshold acceleration

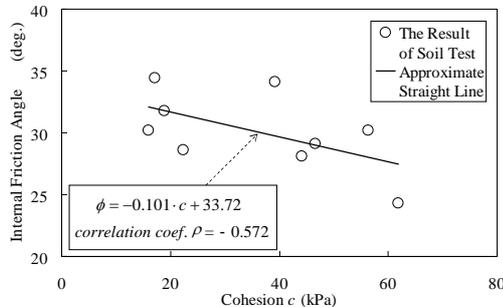
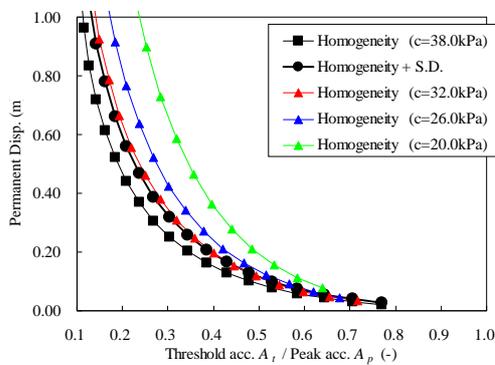


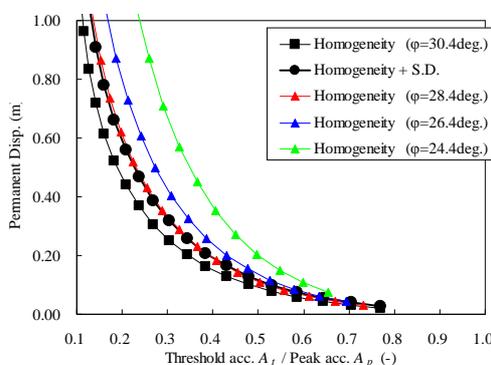
Fig.3 Correlation relationship c vs phi

Table 1 Input data of the analytical model

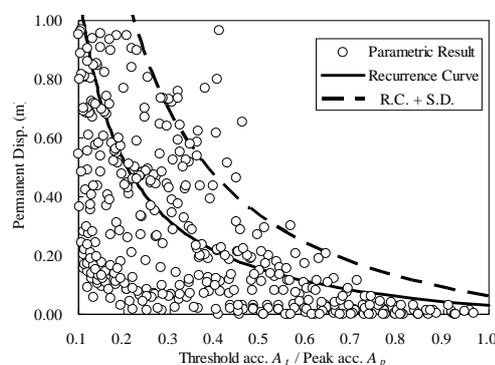
Unit of weight $\gamma_i$ (kN/m <sup>3</sup> )	Sampling number	53
	Mean	21.03
Cohesion $c$ (kPa)	Variation coef.	0.008
	Sampling number	10
Internal friction angle (deg.)	Mean	38.0
	Variation coef.	0.476
Correlation coef. ( $c$ vs $\phi$ )	Sampling number	10
	Mean	30.4
The scale of fluctuation (m)	Variation coef.	0.126
	Correlation coef. ( $c$ vs $\phi$ )	-0.572
	The scale of fluctuation (m)	0.3



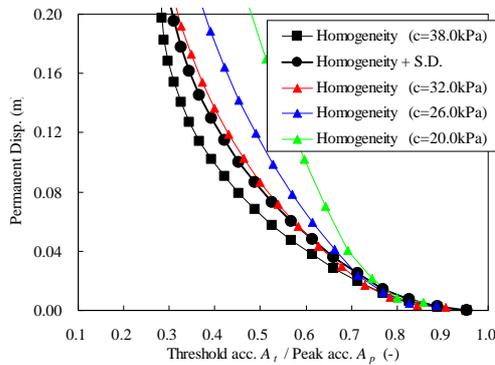
(a) 1 : s = 1 : 1.0



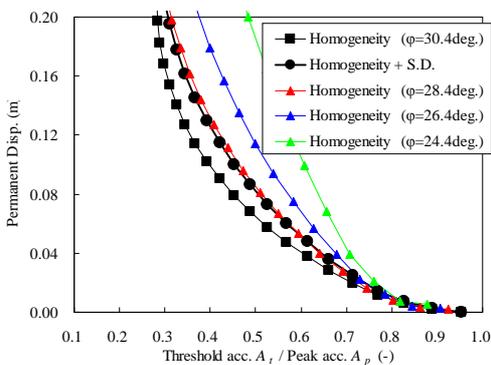
(a) 1 : s = 1 : 1.0



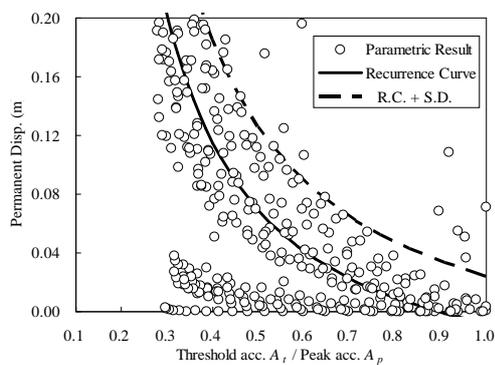
(a) 1 : s = 1 : 1.0



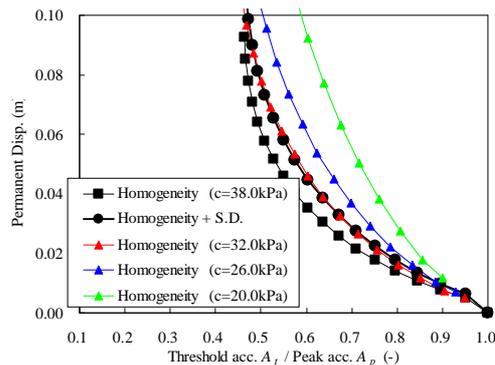
(b) 1 : s = 1 : 1.5



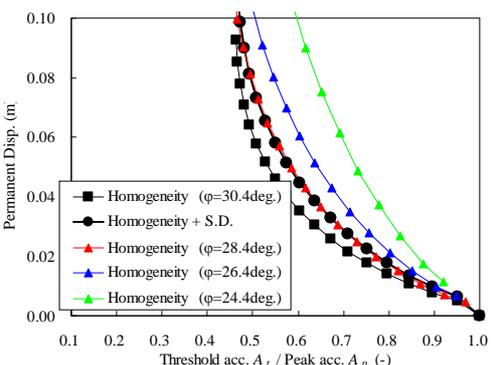
(b) 1 : s = 1 : 1.5



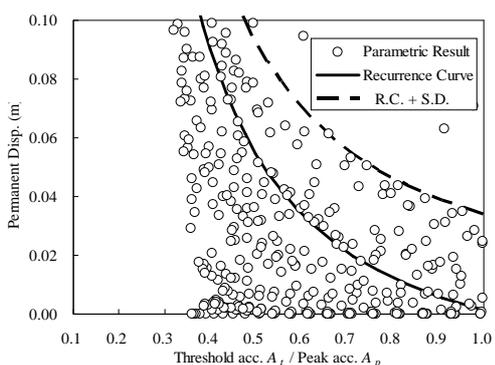
(b) 1 : s = 1 : 1.5



(c) 1 : s = 1 : 2.0



(c) 1 : s = 1 : 2.0



(c) 1 : s = 1 : 2.0

Fig.4 The reduction of the cohesion

Fig.5 The reduction of the internal friction angle

Fig.6 The effect of the input ground motion