

# 地震による盛土残留変位に対する非超過確率の算定

Estimation of Non-Exceedance Probability for Seismic Residual Displacement of Embankment

○ 小林 範之\*・吉武 美孝\*・佐藤 吏恵\*\*

Noriyuki KOBAYASHI, Yoshitaka YOSHITAKE and Rie SATO

## 1. はじめに

土木構造物の設計を行う場合、その材料定数などに平均値を用いて、安全性を評価する。しかし、土のような自然の材料には不確実性が多く存在するため、近年では確率概念を導入する方法がとられ始めている。本研究では、土質定数のばらつきに着目し、地震による盛土残留変位に対する非超過確率を算定した。

## 2. 解析方法

本研究では、土質定数のばらつきを正規分布で規定し、空間分布に関しては距離的な相関を考慮することで解析領域内に不均質場を生成した。

$$c(h_x, h_y) = \sigma_s^2 \exp \left\{ -\sqrt{\left(\frac{h_x}{a_x}\right)^2 + \left(\frac{h_y}{a_y}\right)^2} \right\} \quad (1)$$

$$Z = \frac{1}{(t-s)(v-u)} \int_s^t \int_u^v G(x, y) dx dy \quad (s \leq x \leq t, u \leq y \leq v) \quad (2)$$

式(1)は、空間分布における距離的な相関異方性を示す指数型の自己相関関数である。式(1)は式(2)に組み込まれ、解析領域内に標準正規乱数を生成させることになる。ここで、 $c(*)$ : 共分散関数、 $\sigma_s$ : 標準偏差(ここでは $\sigma_s = 1$ )、 $h$ : 任意の2点間の距離、 $a$ : 相関長、添え字 $x, y$ は軸方向、 $Z$ : 生成される標準正規乱数、 $G(*)$ : 正規乱数場である。

地震応答はNewmark $\beta$ 法による弾完全塑性有限要素法により求めた。Fig.1に解析モデルを示す。境界条件は底面を固定境界とし、レベル1、レベル2の2種類の地震動を与えた。レベル2地震動の時刻歴加速度波形、加速度スペクトルをFig.2, Fig.3に示す。

また本研究では、土質定数のばらつきによる応答値の分布を検討するために、モンテカルロシミュレーションを用いた。解析手順を以下に示す。

1. 式(1), (2)により、標準正規乱数 $Z$ を生成する。
2. 土質定数の平均値 $\mu$ 、標準偏差 $\sigma$ を定め、空間分布を作成する(Fig.4に例示)。
3. 2.で得られた空間分布を解析領域とし、地震応答解析を行う。
4. 1.~4.を3,000回繰返す。

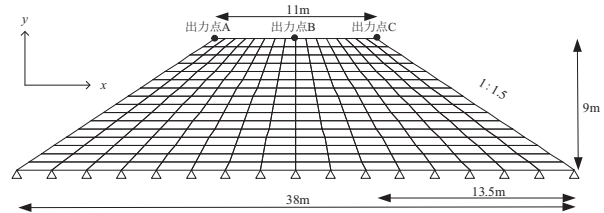


Fig.1 Definition sketch of embankment model

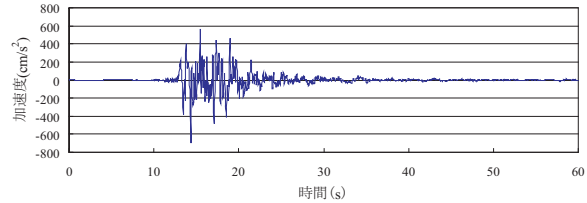


Fig.2 Input motion (Level2)

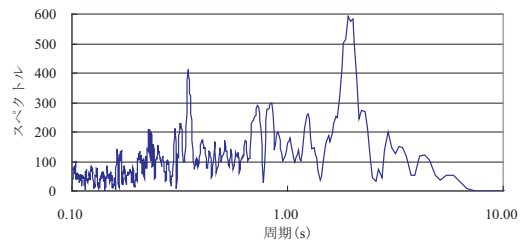


Fig.3 Acceleration spectrum (Level2)

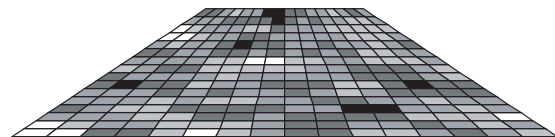


Fig.4 Typical spatial distribution of soil parameter

\* 愛媛大学農学部; Faculty of Agriculture, Ehime Univ. キーワード; モンテカルロシミュレーション, 地震応答解析, 盛土構造物, 残留変位

\*\* 旭化成ファーマ株式会社; Asahi Kasei Pharma Corporation.

- 得られた応答値により非超過確率を算定する。
- 入力地震動を変え, 1. ~ 5. を行う。

### 3. 解析結果

#### 3.1 均質場での解析結果

Table1 の土質定数を用いて, 均質場における地震応答解析を行った。Table2 に解析結果を示す。A,B,C は Fig.1 の出力点である。また, レベル1, レベル2 での残留変形 RD(変形量を10倍で表示), 最大せん断ひずみ  $\gamma_{max}$  の分布を Fig.5, Fig.6 に示す。レベル1 はレベル2 と比較すると変形量が小さく,  $\gamma_{max}$  も小さい。また, レベル1 では左右対称にひずみが生じているのに対し, レベル2 では対称性が崩れている。

#### 3.2 不均質場での解析結果

土質定数のうち, 粘着力  $c$  を平均値  $c_{\mu}=5.0$  kN/m<sup>2</sup>, 変動係数 0.125 としばらつかせ, モンテカルロシミュレーションを行った結果, 残留変位量にもばらつきが出た。この残留変位量を変数  $s$  とし非超過確率  $F(s)$  を描き, 3.1 の均質場で求めた残留変位量  $s_0$  の非超過確率  $F(s_0)$  を求めた (Fig.7 に一例を示す)。Table3 に最も変形量の大きかった C 点の平均残留変位量  $D_{\mu}$ , 変動係数  $D_v$ , 最大最小の幅  $w$ ,  $F(s_0)$  を示す。レベル2 の  $D_{\mu}$  や  $w$  はレベル1 に比べて大きい,  $D_v$  は小さくなった。 $F(s_0)$  はどちらも 50% を下回るが, レベル1 の方が小さく, 確定値での予測にリスクを伴うことがわかる。

Table4 はレベル2 で  $c_{\mu}$  を大きくした場合の  $D_{\mu}$ ,  $D_v$ ,  $w$ ,  $F(s_0)$  である。 $c_{\mu}$  が大きくなるにつれて  $D_{\mu}$  は小さくなるが,  $D_v$  は大きくなり,  $F(s_0)$  は小さくなっていく。これより, 盛土が完全に破壊するような場合 (レベル2,  $c_{\mu}=5.0$  kN/m<sup>2</sup>) より, 局所的に破壊するような場合にリスクが大きくなり, 粘着力のばらつきを考慮する必要があることがわかる。

参考文献: Kobayashi, N., Yoshitake, Y. and Iima, K. (2001): A statistical approach to confined seepage problem with generation of random permeability field, *J. Rainwater Catchment Systems*, 7(1), 7-12.

Table1 Soil parameters

$v_s$ (m/s)	$\nu$	$\rho_s$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\phi$ (°)
98.6	0.4	18.0	5.0	35.0

Table2 Response value of random field

	最大加速度 (cm/s <sup>2</sup> )		残留変位 (cm/s <sup>2</sup> )	
	レベル1	レベル2	レベル1	レベル2
A <sub>x</sub>	476	955	0.02	3.04
A <sub>y</sub>	190	1037	0.08	9.76
B <sub>x</sub>	399	1184	0.01	2.91
B <sub>y</sub>	261	958	0.01	10.55
C <sub>x</sub>	412	1223	0.09	9.72
C <sub>y</sub>	209	900	0.16	9.75

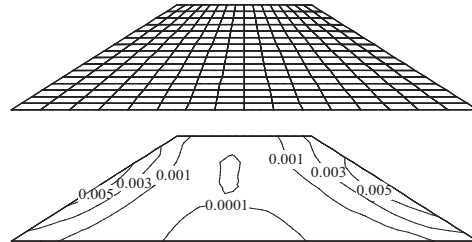


Fig.5 RD and  $\gamma_{max}$  distribution (Level1)

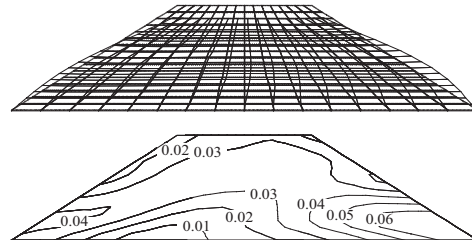


Fig.6 RD and  $\gamma_{max}$  distribution (Level2)

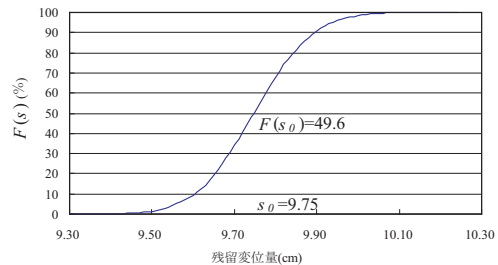


Fig.7 Non-Exceedance probability of C<sub>y</sub> (Level2)

Table3 Comparison of RD by input motion

	レベル	$D_{\mu}$ (cm)	$D_v$	$w$ (cm)	$F(s_0)$ (%)
C <sub>x</sub>	1	0.094	0.128	0.081	46.8
	2	9.741	0.040	2.757	48.0
C <sub>y</sub>	1	0.149	0.107	0.111	45.5
	2	9.748	0.012	0.821	49.6

Table4 Comparison of RD by cohesion

	$c_{\mu}$ (kN/m <sup>2</sup> )	$D_{\mu}$ (cm)	$D_v$	$w$ (cm)	$F(s_0)$ (%)
C <sub>x</sub>	5.0	9.741	0.040	2.757	48.0
	7.5	7.787	0.060	3.339	49.5
	10.0	6.474	0.086	3.971	47.5
	12.5	5.560	0.114	4.473	47.1
C <sub>y</sub>	5.0	9.748	0.012	0.821	49.6
	7.5	7.737	0.016	0.803	48.2
	10.0	6.300	0.022	1.116	47.5
	12.5	5.133	0.030	1.281	46.9