

## 塑性ひずみエネルギーに基づく過剰間隙水圧モデルの検討

### —中空ねじり試験を用いた改良 GMP モデルの適用性—

#### Study on Excess Pore Water Pressure Model Based on Plastic Strain Energy

#### —Applicability of Improved GMP Model Used to Cylindrical Torsional Test—

○中村匠<sup>1</sup>, 山田雅一<sup>2</sup>, 道明裕毅<sup>2</sup>, 内田直登<sup>1</sup>Takumi Nakamura<sup>1</sup>, Masaichi Yamada<sup>2</sup>, Yuki Domyo<sup>2</sup>, Uchida Naoto<sup>1</sup>

Abstract: In this report, we investigate the applicability of excess pore pressure model (GMP model) based on dissipated energy proposed by Green et al. against the cyclic undrained shear test result by hollow torsional shear test. Furthermore, the applicability of the improved GMP model will be examined so that the occurrence of excess pore water pressure by this model can be more accurately predicted. The test conditions are Toyoura sand, relative density 40%, 60%, fine content 0, 5, 10%. As a result, applicability of the GMP model was proved, and the improved GMP model was found to be more applicable.

### 1. はじめに

前報<sup>[1]</sup>では、砂の相対密度、および細粒分含有率を変化させて行った中空ねじりせん断試験結果に、基準化累積塑性ひずみエネルギーに基づく間隙水圧モデル (GMP モデル) の適用性の検討を行い、両者は概ね良い相関が得られることを報告した。GMP モデルは単一のパラメータで表せることが特徴であるが、過剰間隙水圧比 $r_u$ が 0.65 を超えると、GMP モデルと試験結果に不整合が見られた。

そこで、本報では GMP モデルを用いて初期液状化に至る過剰間隙水圧の上昇過程をより精度高く予測できるように GMP モデルの改良を試みる。

### 2. 疑似エネルギー容量 PEC

PEC は、 $W_s$ の平方根に対して $r_u$ をプロットすることにより、非排水繰返し試験データから決定することができる。PEC の物理的な意味合いは、過剰間隙水圧の上昇傾向が変化するまでの基準化した塑性ひずみエネルギーにほぼ等しい。PEC は式(1)で求められる。

$$PEC = \frac{W_{s,r_u=0.65}}{0.4225} \quad (1)$$

ここに、 $W_{s,r_u=0.65}$ は、過剰間隙水圧比 $r_u=0.65$ に対応する基準化した累積塑性ひずみエネルギー $W_s$ である。

### 3. 試験概要

#### 3.1 試料と供試体の作製方法

本報告では相対密度 $D_r$ と細粒分含有率 $F_c$ を影響因子とした砂質土の非排水繰返し試験を行った。本試験に用いた砂試料は豊浦砂 ( $\rho_s=2.631 \text{ g/cm}^3$ ,  $e_{max}=0.97$ ,  $e_{min}=0.62$ )であり、細粒分には非塑性シルトである DL クレイ ( $\rho_s=2.659 \text{ g/cm}^3$ )を用いた。

供試体は中空円筒供試体(外径 10cm,内径 6cm,高さ 10cm)を JGS 0550 に準拠して空中落下法 ( $F_c=0\%$ の場合)とドライタンピング法 ( $F_c>0\%$ の場合)による負圧法で作製した。試験供試体の相対密度 $D_r$ と細粒分含有率 $F_c$ を Table1 に示す。ここで定義した相対密度は粗粒土のみで算出したものである。

#### 3.2 試験方法

供試体は炭酸ガス、脱気水および背圧で B 値が 0.96 以上であることを確認した後、Table1 に示した有効拘束圧 $\sigma'_0$ で等方圧密を行った。圧密終了後、高精度な荷重載荷システム<sup>[2]</sup>を用いて正弦波の一定応力振幅で非排水繰返し載荷を行った。せん断ひずみの両振幅が 15%に達した後、ひずみ値をゼロクロスさせた後に試験を終了させた。

### 4. 試験結果

#### 4.1 GMP モデルの適用性

本報告では、各サイクルにおける間隙水圧比 $r_u$ のピーク値を対象として間隙水圧比 $r_u$ と累積塑性ひずみエネルギー $W_s$ の関係を検討する。

Fig.1(a)~(f)には、細粒分含有率別の $r_u$ と $W_s$ の関係を

Table1. Test condition

Sample	$D_r$ (%)	$F_c$ (%)	$\sigma'_0$ (kN/m <sup>2</sup> )	PEC
Toyoura sand	40	0	49	0.005
		5		0.010
		10		0.013
		20		0.010
		25		0.014
	60	30	49	0.016
		0		0.003
		5		0.028
		10		0.035

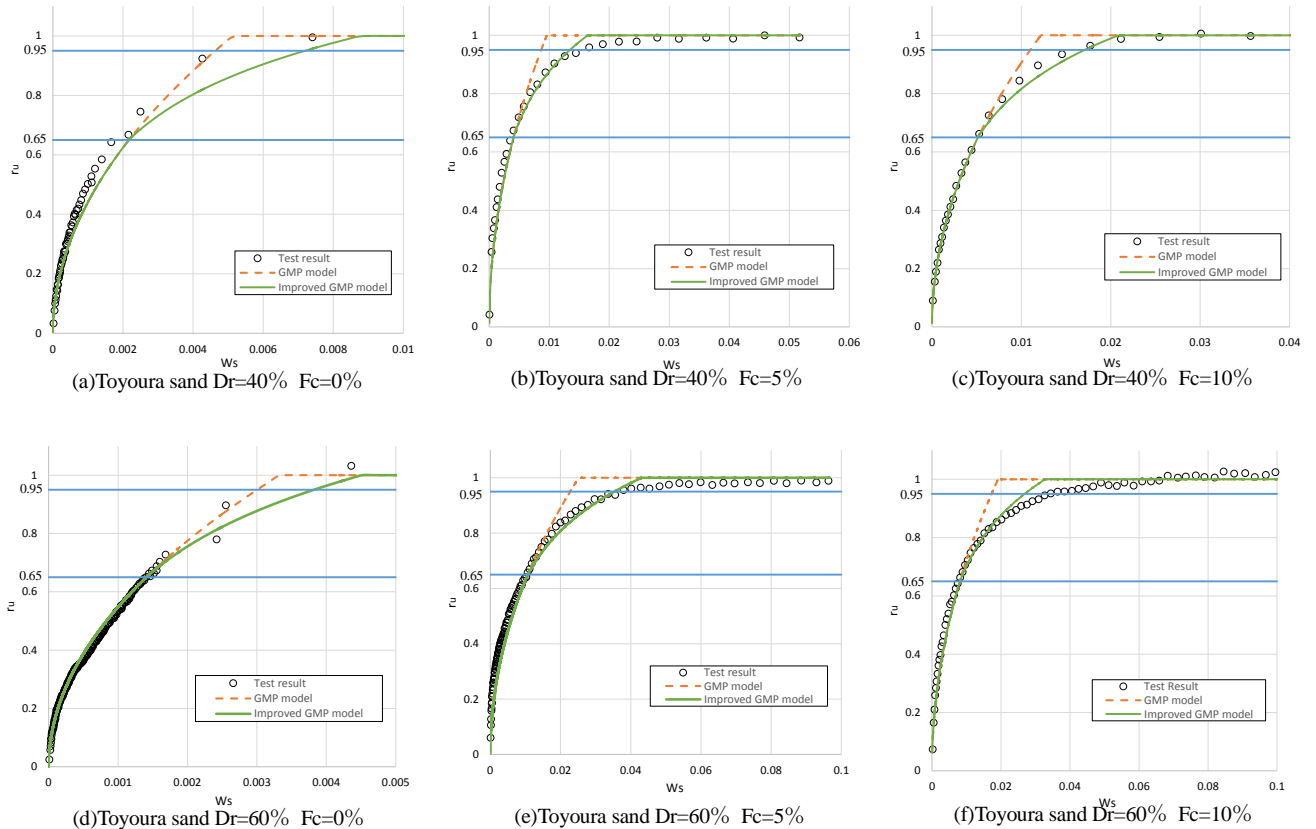


Fig.1. Test result and GMP model

を破線（オレンジ）で併せ示した。

同図より、細粒分含有率、相対密度が異なっても試験結果と GMP モデルは概ね良い相関があることが見て取れる。一方で、 $r_u$ が 0.65 を超え 0.95 に達する辺りの試験結果と GMP モデルを比較すると両者には差異が見られる。

#### 4. 2 改良 GMP モデルの適用性

Fig.2 は、本試験で得られた過剰間隙水圧比 $r_u$ と基準化累積塑性ひずみエネルギー $W_s$ の関係の一例を対数表示したものである。

Fig.2 より、試験結果は $r_u=0.65$  までは GMP モデルと良く一致していることが分かる。しかし、 $r_u>0.65$  の範囲では GMP モデルと一致しておらず、 $r_u$ は $W_s$ の増加に伴って直線的に増加していることが分かる。従って、 $0.65 < r_u \leq 1.0$  の範囲については式(2)で現すことができる。ここで、式(2)中の  $\alpha$  は 0.5 である。

$$r_u = \frac{\alpha}{2} [\ln W_s - \ln(0.4225 \cdot PEC)] + 0.65 \quad (2)$$

Fig.1(a)~(f)には、オリジナルの GMP モデル ( $r_u \leq 0.65$ ) と式(2) ( $0.65 < r_u \leq 1.0$ ) を併用した改良 GMP モデルを実線（緑）で併せ示した。

同図より、改良 GMP モデルは $r_u=0.95$  付近の試験結果と比較的良好な相関が得られていることが分かる。

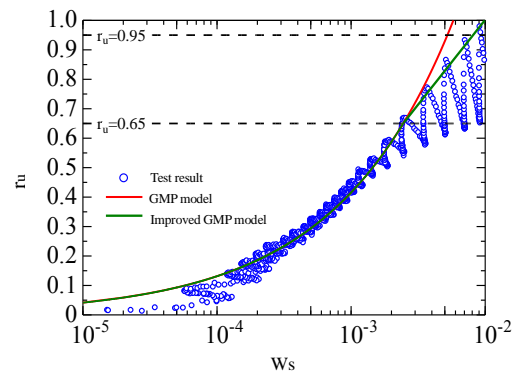


Fig.2. Relationship between  $r_u$  and  $W_s$

#### 5. まとめ

中空ねじりせん断試験による非排水繰返し試験結果を用いて、GMP モデルの適用性の検討を行った。細粒分含有率に関わらず GMP モデルによる $r_u$ と $W_s$ の関係には概ね良い相関があることが分かった。

$r_u \leq 0.65$  の範囲はオリジナルの GMP モデルを用い、 $0.65 < r_u \leq 1.0$  の範囲では式(2)の改良 GMP モデルを併用することによって初期液化化までの過剰間隙水圧挙動を予測できることを示した。

#### 参考文献

- [1] 明石舞香 他：塑性ひずみエネルギーに基づく過剰間隙水圧モデルの検討—中空ねじり試験を用いた GMP モデルの適用性—, 平成 29 年度日本大学理工学部学術講演会論文集, pp.175-176, 2017
- [2] 道明裕毅 他：中空ねじりせん断試験システムの開発, 平成 25 年度日本大学理工学部学術講演会論文集, pp.157-158, 2013