

砂質土の累積変形特性に関する実験式

(株)複合技術研究所 正 堀井 克己
 (財)鉄道総合技術研究所 正 館山 勝 正 小島 謙一
 日本鉄道建設公団 正 青木一二三 正 米澤 豊司

1. はじめに 土構造物の地震時残留沈下などの推定には土の累積変形特性が必要である。土の累積変形は繰返しせん断応力、繰返し回数、初期せん断応力などの影響を受ける。これまで、砂質土やロームに対して、繰返し三軸試験が実施され^{1,2,3)}、それらの特性が明らかにされつつある。しかし、設計に供するために、それらの関係を統一的に表現できる実験式の提案が望まれている。既に実験式の試み⁴⁾が行われているが、特殊な形で表現され、土質も限定されているために、異なる土質への適用が困難であるという問題があった。本研究は、既往の繰返し三軸試験結果を使用して、実験式の一般化を検討したものである。

2. 検討に用いた土質

表1 土質定数

土質	Gs	γ_d kN/m ³	γ_t kN/m ³	w %	e	ϕ_d 度	Cd kPa
盛土砂(M)	2.64	14.5	16.6	14.2	0.78	29.7	11.8
豊浦砂(T)	2.64	15.2	-	気乾状態	0.7	42	0.196
稲城砂(I)	2.65	16.2	19.6	21	0.61	36.5	9.03

対象とした土は、3種類の砂質土であり、それらの土質定数を表-1に示す。

3. 累積変形特性の定式化

累積変形特性の関係式は、繰返し変形特性を考慮して式(1)を考えた。

$$SR_d = a_1 \varepsilon^{a_2} \exp\{-a_3 \log_{10} N\} \quad (1) \quad SR_d = \tau_d / \sigma_m \quad (2) \quad \sigma_m = \sigma_3 + \tau_s \quad (3)$$

ここに、 SR_d ：動的せん断応力比、 α ：軸歪(%)、 N ：繰返し回数、 a_1 、 a_2 、 a_3 ：パラメータ。式(2)～(3)に各諸量の定義を示す。ここに、 τ_d ：繰返しせん断応力、 σ_m ：平均応力、 τ_r ：側圧、 τ_s ：初期せん断応力。式(1)の各パラメータは次のような力学的意味をもつ。すなわち、 a_1 は動的せん断強度に比例するパラメータである。 a_2 は歪の増分に対する応力の増分の比であり、硬化係数を意味する。 a_3 は軟化速度に関するパラメータである。3種類の砂質土に対して、 SR_s 、 SR_d を変えて行われた繰返し三軸試験結果に対して、最小自乗法により3つのパラメータを算定した。

次に、各パラメータの評価法を検討した。まず、 a_1 について動的せん断強度との関係を検討した。石原の研究⁵⁾によれば、繰返し荷重を受ける不飽和土の静的強度 τ_f に対する動的強度比 τ_d / τ_f は、初期せん断応力比 τ_s / τ_f と図1に示す関係がある(繰返し回数 $N=1$)。そこで、この関係を楕円の式で近似させ、各応力・強度を σ_m で基準化した応力比で書き換えると、動的せん断強度比 $SR_{d,max}$ について次式を得る。

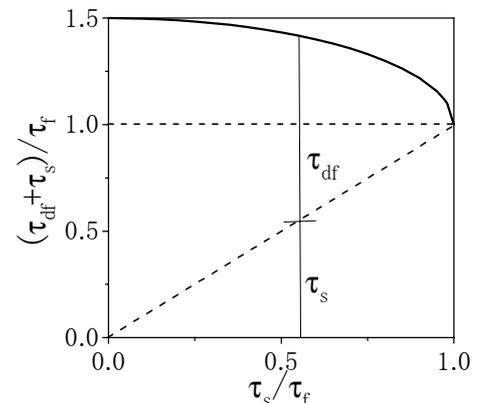


図1 $(\tau_{df} + \tau_s) / \tau_f$ と τ_s / τ_f の関係

$$SR_{d,max} = SR_{s,max} \left[1 + (\alpha - 1) \sqrt{1 - (SR_s / SR_{s,max})^2} \right] - SR_s \quad (4)$$

ただし、各応力比の定義は次のとおりである。

$$SR_{d,max} = \tau_{df} / \sigma_m \quad (5)、 \quad SR_{s,max} = \tau_f / \sigma_m \quad (6)、 \quad SR_s = \tau_s / \sigma_m \quad (7)$$

キーワード 砂質土、累積歪、繰返し三軸試験、実験式

連絡先 〒107-0052 東京都港区赤坂 2-15-16 赤坂ふく源ビル FAX 03-3582-3509

ここに、 $SR_{s,max}$: 静的せん断強度比、 SR_s : 初期せん断応力比、 $\sigma_s=0$ での動的強度の静的強度に対する比 (一般に $\approx 1.4 \sim 1.5$ であるが、1.5 を採用) 式(4)で表されるように、 $SR_{d,max}$ は SR_s の関数で与えられる。

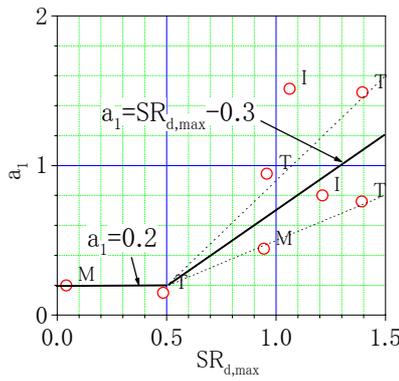


図2 a_1 と $SR_{d,max}$ の関係

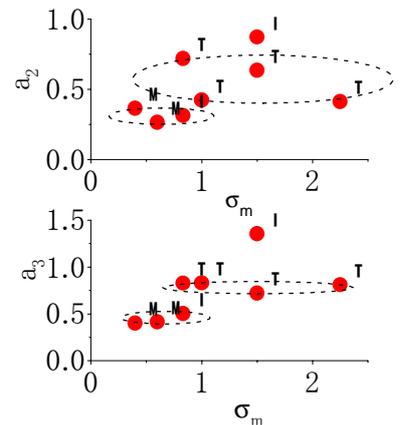


図3 $a_2 \sim \sigma_m$ 、 $a_3 \sim \sigma_m$ 関係

図2に、 a_1 と $SR_{d,max}$ の関係を示す。 a_1 は、 $SR_{d,max}$ が 0.5 以下では一定、0.5 以上では概ね $SR_{d,max}$ に比例するとみなせる。

σ_m も含めた関係を検討したがばらつきは小さくはならなかったため、 a_1 は同図に示した式を仮定した。次に、 a_2 、 a_3 について σ_m との関係性を調べた (図3)。 a_2 、 a_3 は土質別に概ね一定とみなせる。両者とも、T が大きく、M と I は小さい。そこで、それらの平均値でもって代表値とすると、T では、 $a_2=0.55$ 、 $a_3=0.80$ 、M および I では $a_2=0.31$ 、 $a_3=0.44$ を得る。

4. 実測値と計算値の比較

前項で求めたパラメータを用いて、繰返し三軸試験の試験ケースごとに、 $SR_d \sim N$ 関係を計算した。図4に結果の数値を示す。同図には繰返し三軸試験による累積歪の実測値もプロットして計算と実測の適合性をみた。これより、概ね、実験式は累積変形特性を再現しているといえる。

5. おわりに

土の累積変形特性に関する一般的な形の実験式を検討した。この結果、実験式は繰返し三軸試験結果を概ね再現できることがわかった。しかし、実験式中のパラメータは同じ土質でもバラツキが大きいので、土質や試験条件を変えて繰返し三軸試験などを実施し、データの集積とパラメータの評価式を確立するとともに、土質別の代表値を決定する必要がある。また、本研究では、累積変形は、軸歪にしか着目していないので、変形をせん断変形と体積変形に分離して、成分別に累積変形特性を検討することも重要である。

参考文献 1) 平野圭一, 蔣関魯, 館山勝, 筑摩栄, 龍岡文夫: 砂質土盛土の地震による残留沈下予測, 第52回土木年講, 1997. 2) 青木一二三, 米澤豊司, 梅原俊夫, 松室哲彦, 蔣関魯, 館山勝: 砂質土の累積変形特性, 第54回土木年講, 1999. 3) 蔣関魯, 館山勝, 青木一二三, 米澤豊司, 梅原俊夫, 松室哲彦: ロームの累積変形特性, 第54回土木年講, 1999. 4) 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回土木年講, 1997. 5) 石原研而: 土質動力学の基礎, 鹿島出版会, 1976, p. 221.

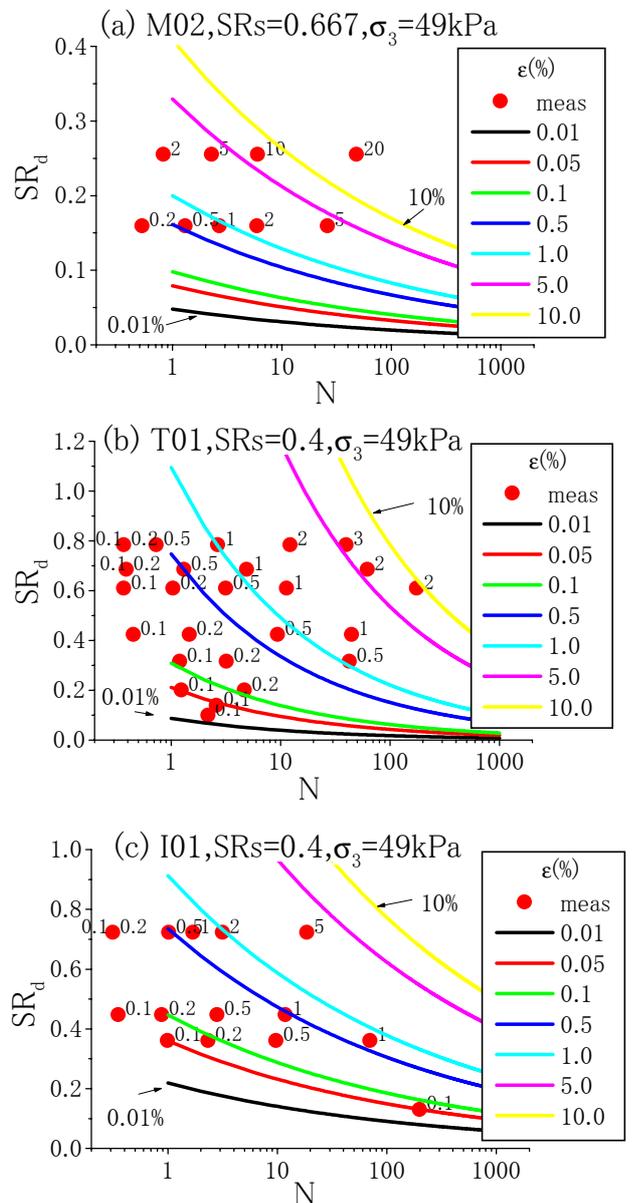


図4 $SR_d \sim N \sim \epsilon$ 関係