

III-A 244

各種地盤材料の応力-ひずみ関係の非線形フィッティングモデルの提案

北海道大学工学部 正員 澁谷 啓
 北海道大学大学院 学生員 ○ 関村 昌義
 中部電力 正員 小澤 裕
 北海道大学工学部 正員 三田地 利之

はじめに:本稿は、各種地盤材料を用いた各種室内試験におけるヤング係数～軸ひずみ関係の比較検討から、各材料の小ひずみでの接線ヤング係数の変化パターンに着目した新たなフィッティングモデルを提案している。

各種地盤材料の応力～ひずみ関係の比較:

軸差応力 $q = \sigma_1 - \sigma_3$ ～ 軸ひずみ ϵ_a 関係において、 ϵ_a が約 0.001%以下で共通に観察された線形弾性的挙動に対応する擬似弾性ヤング係数 E_{tan} 、圧縮強度 (q の最大値) を q_{max} とする。表-1は、試験結果のまとめである。

正規化した応力～ひずみパラメーターをそれぞれ $Y=q/q_{max}$ 、 $X=\epsilon_a/(\epsilon_a)_r$ ($(\epsilon_a)_r = q_{max}/E_{max}$ 、

規準ひずみ) とする。図1に $X \sim Y$ 関係を示す。図2は、せん断時の接線ヤング係数 E_{tan} の変化に着目した $E_{tan}/E_{max} \sim q/q_{max}$ ($dY/dX \sim Y$) 関係の比較である。完全線形体であれば Y の値によらず $dX/dY=1.0$ となり、破壊時 (q_{max} 発現時) に $dY/dX=0$ となる。また全体として、 E_{max} および q_{max} が小さい材料ほど同じ応力レベルにおいて接線剛性の低下がより顕著である。

既往のフィッティングモデルの適用性: 図3の曲線(4)は、Kondner ⁷⁾ による原型双曲線関数 $dY/dX=(1-Y)^2$ によるフィッティングの例である。応力レベルによらず実データを正しく表現できていない。また、曲線(1), (2), (3)は、Duncan-Chang model⁸⁾ $dY/dX=(1-b \cdot Y)^a$ によるフィッティングの結果であり、それぞれ[]内に示すひずみの範囲を直線近似している。D-C model は双曲線関数の延長上にあり、その特徴により上に凸の形を表現できない欠点がある。

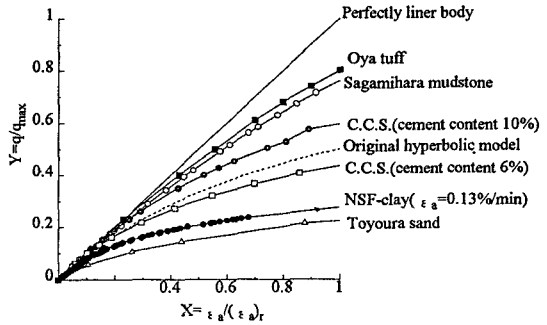


図1 各種地盤材料の X～Y 関係

Geomaterials	TEST	q_{max} (kPa)	E_{max} (MPa)	$(\epsilon_a)_r$ (%)	$(\epsilon_a)_{EL}$ (%)	reference No.
Oya tuff	UC	12709	3749	3.39×10^{-3}	0.001	2
Sagami-hara mudstone	TC(CU)	7051	2260	3.12×10^{-3}	0.005	3
Cement-treated sandy soil (Cement content 10%)	UC	2383	4679	5.09×10^{-4}	0.010	4
Cement-treated sandy soil (Cement content 6%)	UC	884	1435	6.16×10^{-4}	0.003	4
NSF-clay ($p_c=300kPa, K=1$)	TC(CU)	197	239	8.24×10^{-4}	0.006	5
Toyouira sand	PSC(CD)	165	145	1.14×10^{-3}	0.001	6

UC: Unconfined compression test, TC: Triaxial compression test, CU: Consolidated undrained, CD: Consolidated drained, PSC: Plane strain compression

表1 各種地盤材料の各種室内試験結果のまとめ

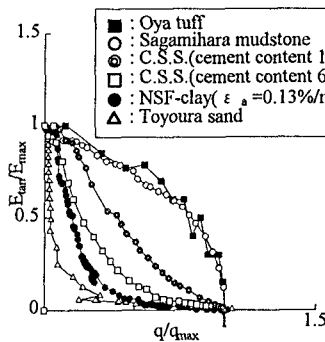


図2 $E_{tan}/E_{max} \sim q/q_{max}$ の比較

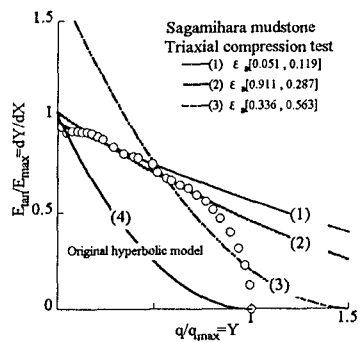


図3 既往のフィッティングモデルの適用性

く表現できていない。また、曲線(1), (2), (3)は、Duncan-Chang model⁸⁾ $dY/dX=(1-b \cdot Y)^a$ によるフィッティングの結果であり、それぞれ[]内に示すひずみの範囲を直線近似している。D-C model は双曲線関数の延長上にあり、その特徴により上に凸の形を表現できない欠点がある。

DEFM(Double exponential fitting model)の提案:

各種地盤材料の微小ひずみから破壊時ひずみまでの応力～ひずみ関係を1つの関数で表現するために $\alpha=(1-\beta)^m$ という原型関数を提案する。この関数は(m,n)の組み合わせを様々に変えることによって $(\alpha, \beta)=(1.0\sim 0.1)$ の区間をほぼ自由な曲線で結ぶことができる(図4参照)。 $\alpha=dY/dX$, $\beta=Y$ とすると $dY/dX=(1-Y)^n$ となる。一方、地盤材料によらずせん断初期において線形弾性的挙動を示すので、この弾性限界軸ひずみ/軸差応力(ϵ_{EL} , q_{EL})を適切に評価するために次の2つの方法を用いる。

2点法(A法 図5): 実データから、各試料の線形的挙動を示す最大の応力, q_{EL} (ϵ_{EL})を決定して Y_{EL} を表す。 Y_{EL} を用いて新たに $Y^*=(Y-Y_{EL})/(1-Y_{EL})$ を定義し2点a,bを用いて式 $dY/dX=(1-Y^*)^n$ の2つのフリーパラメーターm,nを決定する(E_{max} , q_{max})は実測値を用いる。

3点法(B法 図6): 実データの任意の3点a,b,cを用いて、式 $dY/dX=A(1-Y)^n$ の3つのフリーパラメーターA,m,nを決定する。

$$dY/dX \times E_{max} = E_{tan} = dq/d\epsilon_a$$

あるので、累積計算することにより、応力～ひずみ関係が求まる。

図7は、A,B法から求めた応力～ひずみ関係と実測値との比較である。

まとめ: 各種地盤材料の小ひずみでの接線ヤング係数の変化パターンに着目した新たなフィッティング関数とそのパラメーターの決定方法を提案した。

謝辞: 本研究では本学 OB, 東京都の細見明彦氏の協力を得た。末筆ながら謝辞を表します。

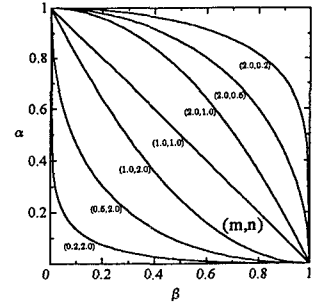


図4 原型関数 $\alpha=(1-\beta)^n$

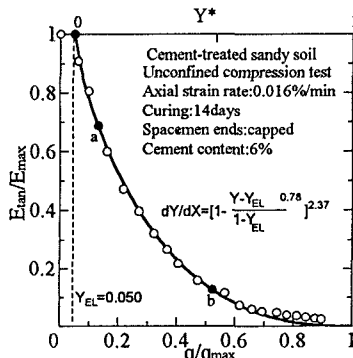


図5 A法によるフィッティング

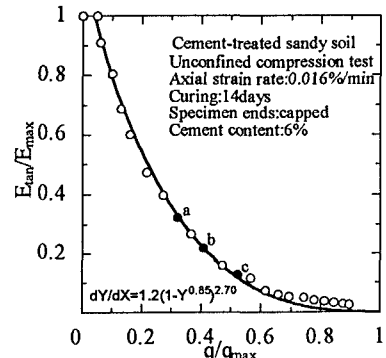


図6 B法によるフィッティング

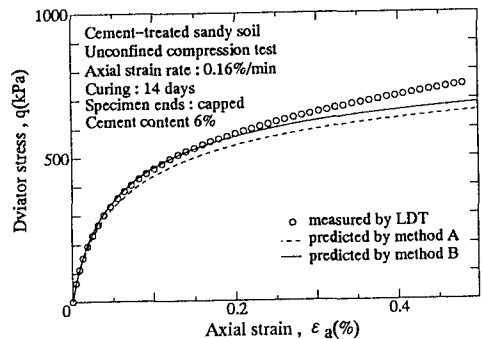


図7 D.E.F.M.と実測値との比較

参考文献: 1)Tatsuka,F and Shibuya,S(1992):Deformation characteristics of soils and soft rocks from field and laboratory tests, Proc. of 9th ARC on SMFE, Vol.2, 101-170 2)野間・石井(1987):岩石の三軸試験における軸ひずみの測定方法について,土木学会(41回), III, 657-658 3)関村(1996):局所軸ひずみ測定装置を用いた硬質地盤材料の広範囲な軸ひずみでの変形特性に関する研究,北海道大学学士論文 4)小澤(1996):セメンテーションのある地盤材料の広範囲なひずみで領域における変形挙動と強度特性に関する研究,北海道大学修士論文 5)澁谷ら(1995):粘性土の微小ひずみでの応力ひずみ関係に及ぼすせん断ひずみ速度の影響,土木学会(56回), 468-469 6)澁谷ら(1991):地盤材料の広い範囲での応力ひずみ関係,土質工学会(26回), 537-540 7)Kondner,R.B.(1963):Hyperbolic stress-strain response, Cohesive soils, Jour of SMF Div., ASCE, 89-SM1, 115-143 8)Duncan and Chang(1972):Non-linear analysis of stress-strain in soils, J. SMFE Div., ASCE, 96-SM5, 1629-1653