

III-246 原位置支持力試験のカムクレイモデルによる数値解析

(株)白石 正会員 大内正敏 ○阿部慎太郎
 広島大学 正会員 日下部治
 日本道路公団 正会員 前田良刀

1. はじめに

筆者らは、密なスコリア層中のケーソン作業室内での大型載荷試験および不攪乱試料による力学試験を実施し、その支持力・力学特性を報告^{1), 2)}した。700~1500kPaの拘束圧を挟んでbrittleな変形挙動からplasticな挙動へ粒子破碎を伴って変化するスコリアの強度・変形特性にカムクレイモデルを適用し、FEM解析による現場試験のシミュレーションを試みた。プログラムはCRISP³⁾を用い、計算機はパーソナルコンピュータを用いた。本文では、材料定数の決定方法、計算結果ならびに現場試験の計測・観察から把握した変形・破壊性状との比較を報告する。

2. 解析条件

解析対象はフーチング幅40cmの正方形フーチングとし、軸対称の排水解析とした。解析領域および境界条件は、図-1に示すとおりであり、要素タイプには6節点線形ひずみ要素を用い、要素数は100とした。フーチングは剛性を十分大きくし、底面は完全粗とした。地下水面と地表面とは一致させた。

表-1に示した入力データは、以下の手順で設定した。

(1) 膨張再圧縮線(κ 線) : 等方圧縮試験結果から得た図-2の比体積 $V(=1+e)$ と平均垂直有効応力 p' の関係から、 κ 線として第2サイクルの除荷曲線を選び、次式に近似した。

$$V = V_{\kappa} - \kappa \ln p' = 2.117 - 0.00573 \ln p'$$

(2) 限界状態線(CSL) : 三軸圧縮試験(CD)から残留強度状態における間隙比 e_r と $\ln p'$ との関係を、図-2のように直線に近似して次式を得た。

$$V = \Gamma - \lambda \ln p' = 2.826 - 0.112 \ln p'$$

力学試験に用いた供試体の初期間隙比 e_0 は、変動係数が8~9%あるため、(1)で用いた試料の $e_0 = 1.124$ に対し、全ケース69データの中から $1.07 \leq e_0 \leq 1.17$ の範囲にある18データを選んだ。

(3) 等方正規圧密線(NCL) : NCLは $V = N - \lambda \ln p'$ で表せるが、 $N = \Gamma + \lambda - \kappa$ の関係式から、 $N = 2.932$ となる。しかし、図-2の等方圧縮試験結果と比較すると、NCLの外側に試験値がプロットされ矛盾するため、CSLは 1σ (σ :標準偏差)外側にずらしたCSL(σ)を($\Gamma = 2.888$)、NCLは同様にNCL(σ)を用いた($N = 2.994$)。

(4) 先行圧密圧力(p_c') : κ 線とNCL(σ)の交点から、3840kPaとした。

(5) 限界状態係数(M) : 三軸圧縮試験の全拘束圧(19~4704kPa)のデータから、最小自乗法により残留強度定数 $\phi_r' = 33.9^\circ$ 、 $c_r' = 76\text{kPa}$ を得、これと $M = 6 \sin \phi_r' / (3 - \sin \phi_r')$ の関係式から、 $M = 1.37$ とした。

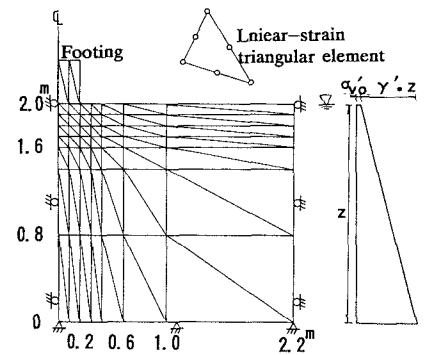


FIG.1. Finite-Element Discretization of Footing and Subsoils for CRISP Analysis

TABLE 1. Soil Parameters and In-Situ Stress Conditions

κ	λ	Γ	M
0.00573	0.112	2.89	1.37
ν	$p_c'(\text{kPa})$	K_0	$\gamma_{\text{sat}}(\text{kN/m}^3)$
0.3	3840	17	18.6

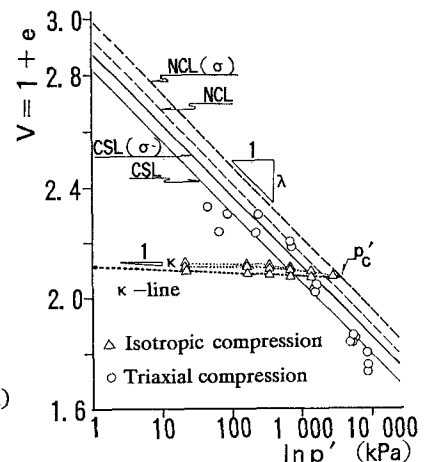


FIG.2. Specific Volumes at Residual States vs. Mean Effective Stress

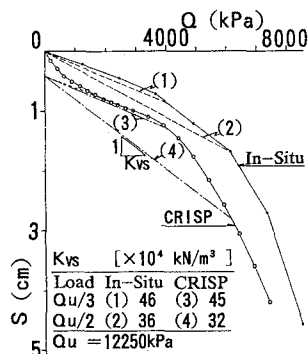


FIG.3. Comparison of CRISP Prediction with Loading Test Result

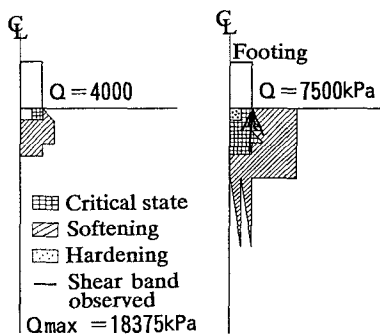


FIG.4. Development of Zone Approaching Critical State and Yielded

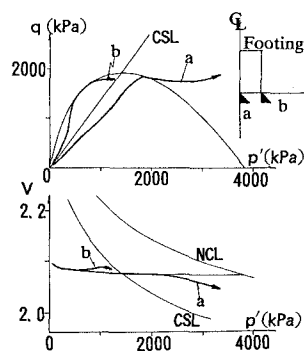


FIG.5. State Paths of Subsoils Computed by CRISP

(6) ポアソン比 (ν) : 拘束圧 (39~1470 kPa) の三軸圧縮試験から得た体積ひずみ~軸差応力, 偏差ひずみ~軸差応力曲線の初期直線部から, 弾性定数 K , G を求め, $\nu = (3K - 2G) / 2(3K + G)$ より計算した値を平均して 0.3 とした.

(7) 地盤内原位置応力 (σ_v' , K_0) : 地表面の鉛直応力 σ_{v0}' をゼロにするとフーチング端直下の要素は $p' < 0$ となって計算不能となるため, σ_v' は架空の上載圧 1 kPa を考慮して台形分布とした. 静止土圧係数 K_0 は, CRISP を用いた一次元載荷・除荷の計算から 17 とし, 間隙水圧 u は静水圧分布とした.

対象地盤は, p_0' が原位置応力より極めて大きい超過圧密地盤となり, ひずみ軟化する要素が多くなるため, 載荷増分を小さくする必要がある. 使用した固定ディスクの容量 (100 Mバイト) から, 載荷分割数は 1400 程度に制限されるため, 載荷重は現場試験の極限支持力の約 1/2 までとなった. 用いた計算機は, NEC PC-H98S (32 ビット) で, 所要計算時間は 1 ケース当たり約 18 時間であった.

3. 解析結果

(1) 変形特性 : 図-3 に現場試験および解析から得た荷重沈下曲線を示す. 図のように計算値の初期直線部を延長して, 沈下軸との交点を初期値とみなし, 極限支持力 Q_u の 1/3 荷重における地盤反力係数 K_{vs} (割線) を現場試験と比較すると, 1.2% の誤差である. また Q_u の 1/2 荷重で比較しても 12% 以内である.

(2) 破壊性状 : 図-4 に限界状態領域の進展図および現場で観察されたすべり線を示す. 計算では, ひずみ硬化域はフーチング直下の 2 要素のみで, 他はすべてひずみ軟化域である. 図-5 の $p \sim q$, $V \sim p$ 平面上に主働領域の要素 a と受働領域の要素 b の各応力径路を示す. 要素 a はひずみ硬化し, 要素 b はひずみ軟化して限界状態に至る. 観察によれば受働領域のすべり線は緩んでいたが, 主働領域のせん断帯は密実であり粒子破碎を伴っていた. 両者の相違は以下のように考えられる. カムクレイモデルの限界状態は, 付与された応力および土の体積が変化しない状態でせん断し続けると仮定している. 一方, フーチングの下方 1 B 程度の領域は三軸圧縮試験のように応力による拘束条件とは異なり, 側方変位がある程度隣接の土によって拘束される. したがって限界状態に達した後も, 外側地盤が流動しない限り拘束圧が増加し, その後ひずみ硬化域に入って体積が収縮し始める.

4. まとめ

パーソナルコンピュータを用いて, 現場試験で得た極限支持力の約 1/2 までを CRISP により計算した結果, 以下の知見が得られた.

- (1) 沈下量の比較から, カムクレイモデルはスコリアのような粒子破碎が顕著な砂にも十分適用できた.
- (2) 計算ではひずみ軟化して CSL に達した主働領域は, 地盤破壊の観察では体積が収縮していた.

<参考文献>

- 1) 前田・日下部・大内 : 密なスコリア層における大型三次元基礎の支持力特性, 土木学会論文集, NO. 430, 1991 年
- 2) 日下部・前田・大内・萩原 : 不攪乱スコリアの強度・変形特性と攪乱の影響, 土木学会論文集, NO. 439, 1991 年
- 3) 赤石・日下部・向後・高木 : 限界状態土質力学パッケージ CRISP, 東海大学出版会, 1989 年