

部分置換された粘性土地盤の鉛直支持力

ニコンサント株式会社 正会員 ○ 安芸浩資
同 正会員 岡田章二
徳島大学工学部 正会員 望月秋利

1. はじめに： 軟弱な粘性土地盤上で小規模構造物基礎を設計するとき、地盤支持力が不足するケースも多い。この場合、基礎が載る地盤の一部を置換して改良する工法が選択肢の一つとなるが、設計置換層厚の決定過程での地盤支持力の評価は、荷重分散(分散角 30° 程度)を考慮した分布応力に対して、全般せん断破壊を前提とした支持力式（以下、従来法と称す）を用いて検討するのが一般的である。しかし軟弱粘性土の部分置換地盤を考えた場合、むしろ局所せん断破壊を想定した方が妥当とも思われるが、Terzaghi の示す「強度定数を(2/3)倍する方法」では、支持力の評価精度が十分とはいえない。そこで本文では、粘着力(c)を有する均質等方な粘性土地盤に対して部分置換を行う場合を想定し、異なる基礎幅に対する支持力を、Lagrange 式の有限差分法(FDM)¹⁾による数値解析で求め、従来法による支持力値と比較・検討を行い、さらに簡単な支持力の推定方法を提案する。

2. 解析条件

(1) **地盤条件、解析ケース：** 図-1は解析のための半断面モデルで、表-1に解析条件を示す。置換層厚(H)は「 $H=0.0\text{m} \sim 2.5\text{m}$ 、かつ $H/B \leq 1.0$ 」とした。材料特性を表-2に、解析ケースを表-3に示す。粘性土地盤の粘着力(c)は $19.6\text{kN/m}^2 \sim 58.8\text{kN/m}^2$ で変化させ、置換土は内部摩擦角 35° の砂礫地盤とした。地盤の材料特性は「モール・クーロン則に従う弾完全塑性体」として扱い、弾性定数(E)は強度によらず一定値(8400kN/m^2)とした。これは着目点を粘性土地盤の強度の違いに特化して、その影響を検討するためである。解析基礎幅は1.0、2.5、5.0 m の3種類とし、解析断面が基礎幅に対して相似となるように設定し、基礎底面が「粗」であることを表現するために、基礎底面節点の水平方向変位を拘束した。また解析領域内の最大不平衡力が 0.3kN 未満となるように、載荷速度を逐次変更することにより載荷を行った。平均載荷速度は約 0.005mm/step である。

(2) **解析手法の検証：** 前報告²⁾では有限差分法(FDM)による数値解析を行って、粘性土の単層地盤の支持力が Prandtl 解と一致することを報告した。今回は単層砂地盤($\phi=30^\circ, 35^\circ, 40^\circ, c=0.0\text{kN/m}^2; \gamma=19.6\text{kN/m}^3$)を対象にした支持力の予備計算を行って Meyerhof, Vesic, Hansen³⁾の支持力式と比較し、 ϕ 材料に対する解析評価を実施した。結果を図-2に示す。解析で得た N_r 値が Meyerhof 式、Hansen 式とよい対応を示していることから、 ϕ 材料地盤に対しても、本解析で妥当な結果を得ることができるものと判断した。

表-2 材料特性

※1) 表-3を参照

材料種別	単位体積重量 $\gamma (\text{kN/m}^3)$	粘着力c (kN/m^2)	内部摩擦角 $\phi (^\circ)$	弾性係数E (kN/m^2)	ポアソン比 ν (-)
粘性土地盤	15.7	解析ケースによる※1)	0	8,400	0.49
置換土	19.6	0.0	35	28,000	0.20

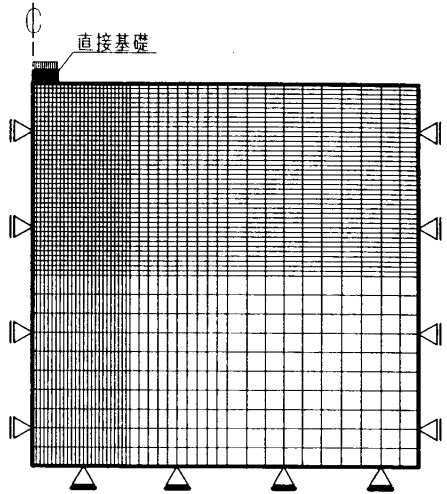


図-1 解析モデル

表-1 解析条件

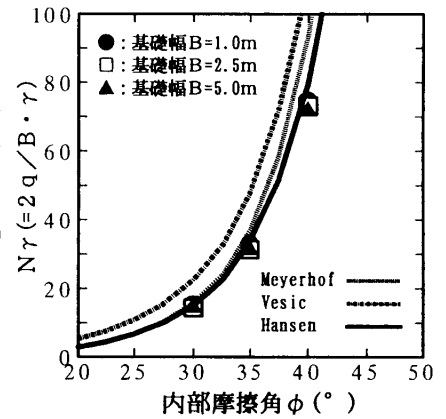
基礎幅B	1.0m	2.5m	5.0m
解析領域(半断面)	縦8m×横8m	縦20m×横20m	縦40m×横40m
要素数N(縦×横)	90×80		
基礎に接する要素数	12		
基礎に接する要素のサイズ(縦×横)	0.05m×0.04m	0.125m×0.10m	0.25m×0.20m

表-3 解析ケース

粘性土地盤の粘着力(C)	基礎幅B		
	1.0m	2.5m	5.0m
19.6kN/m^2	CASE1	CASE6	CASE11
29.4kN/m^2	CASE2	CASE7	CASE12
39.2kN/m^2	CASE3	CASE8	CASE13
49.0kN/m^2	CASE4	CASE9	CASE14
58.8kN/m^2	CASE5	CASE10	CASE15

Evaluation of vertical bearing capacity for shallow foundation on an partially replaced clayey soft ground.
Hiroshi Aki, Shoji Okada(Nita Consultant Co.,Ltd.) ,Akitoshi Mochizuki(The Univ. of Tokushima)

3. 解析結果： 図-3は、Case8 で得られた「支持荷重～沈下量関係」を代表例として示したものである。図-4は解析結果を「許容支持力～(H/B)関係」でまとめたものである。ここに許容支持力は、図-3における塑性平衡状態の支持荷重を安全率3で除した値である。図-5は図-4の結果に対して、従来法（分散角 $\theta = 30^\circ$ ， $N_c=5.1$ ）を基準に数値解析結果の割合（以下、係数Zと呼ぶ）を(H/B)に対して整理したものである。係数Zは0.9～0.65で、従来法が過大値（危険側）を与えていることを意味する。設計において適切な支持力値を知るには、その都度、ここで示した様な解析を行って、図-5の関係を求めるのが良いことは言うまでもないが、特に設計初期の試算段階ではかなり面倒な作業となる。そこで、この一連の解析結果を基に、従来法の支持力値に対して係数Zで補正する方法を考えた。ここにZは「cとH/Bを変数とする関数」で、式(1)で表す。

図-2 支持力係数 $N\gamma \sim \phi$ の関係

$$\text{係数 } Z = 1 + \zeta (H/B) + \xi (H/B)^2 \quad [\text{ここに, } \zeta = -0.75 + 4.0/c, \xi = 0.375] \quad \text{-----式(1)}$$

図-6は、従来法による Q_a と式(1)による補正後の「 $Q_a \sim (H/B)$ 関係」を比較したもので、図中には、従来法で「粘性土地盤のcを(2/3)倍した許容支持力」と、「荷重分散角を 15° とした許容支持力」も併記した。係数Zで補正した Q_a は、数値解析値と良く対応している。また補正後の許容支持力は、(H/B)が0.0から大きくなるに伴い、全般せん断破壊の支持力値（一点鎖線）から、漸次、局所せん断破壊の支持力値（破線）に移移する傾向が見られ、その程度を数値解析結果が与えているものと理解できる。また従来法で分散角を 15° とした場合と解析値が比較的近い値であることから、従来法における分散角の仮定についても検討する必要がある、と考えている。

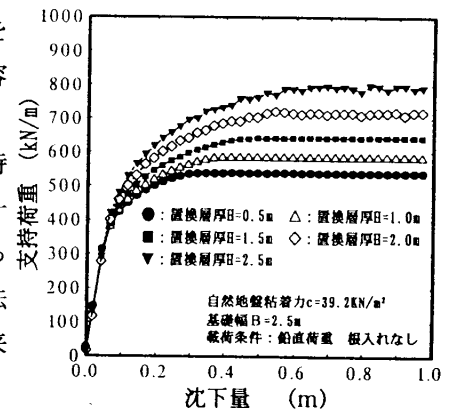


図-3 支持荷重～沈下量関係の代表例 (CASE8)

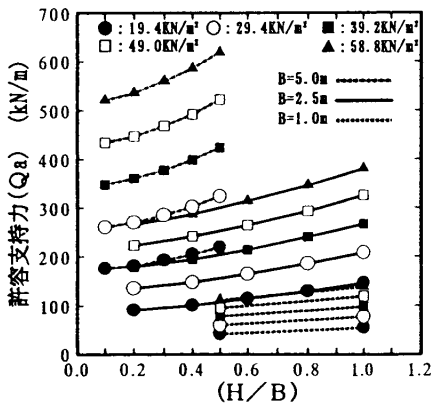


図-4 各解析ケースの「許容支持力～(H/B)」関係

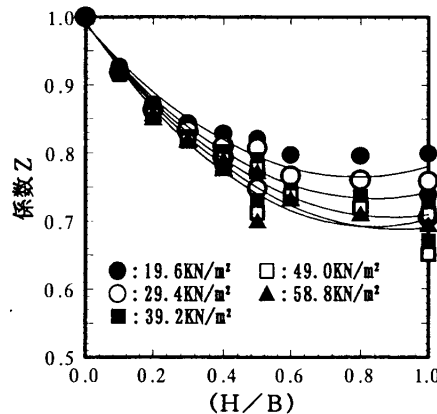


図-5 係数Z～(H/B)関係

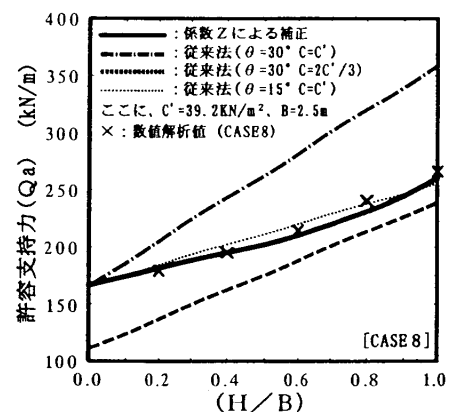


図-6 「許容支持力～(H/B)」関係の比較

4. おわりに： 本文では、粘性土地盤が一様に均質等方性の粘着力を持つという理想化された条件下で、異なる基礎幅に対して幾つか地盤強度を変えた数値解析を実施し、従来法と比較・検討を行った結果について報告した。地盤条件が複雑な場合は数値解析が必要なことは言うまでもないが、特に設計初期の試算段階では提案式を用いることで、比較的精度の良い支持力値を容易に推定できるものと考えている。

【参考文献】 1) 高橋亮一・棚町芳弘：差分法，計算力学とCAE シリーズ No.3，培風館，2) 安芸，岡田，望月：有限差分法による粘性土地盤の支持力評価，地盤工学会四国支部平成12年度技術研究発表会，pp.47～48，平成12年9月 3) Hansen, J.B.: A Revised and Extended Formula for Bearing Capacity, Bulletin No.28, Danish Geotechnical Institute, Copenhagen, 1970