

空洞の存在が基礎の支持力に及ぼす影響について

(株)白石 正会員 ○清住真
 (株)白石 正会員 彭芳楽
 (株)白石 正会員 大内正敏
 東京工業大学 正会員 日下部治

1. はじめに

沖縄地方特有の琉球石灰岩層は固結層と未固結層が交互に分布し、数多くの空隙、空洞が存在するため、基礎の支持層としての信頼性が乏しい。しかも、道路橋示方書（以下、道示と略）¹⁾に記載されている直接基礎、ケーソン基礎の極限支持力公式からでは、琉球石灰岩層の特徴を考慮した支持力を算定することが困難である。そこで、本研究では琉球石灰岩層を支持層とした時の地盤の変形、破壊の合理的な数値解析方法の提案を目的としている。研究を進めるに当たり、空洞が存在する粘性土地盤の支持力評価に関する文献^{2),3),4),5)}を調査した。文献では模型実験とFEM解析の比較を行っており、両者は精度良く一致している。このことから、適切なモデルを用いたFEM解析は、空洞が存在する地盤の支持力評価に適切な方法として認められる。そこで本論文では、弾塑性FEM解析を用いて空洞が支持力に及ぼす影響について考察した。

2. FEM解析概要

地盤は一層のみとし、空洞の図心はフーチング中心線上に存在する。図-1に解析に用いた平面ひずみ有限要素メッシュを示す。メッシュは15節点3角形要素とし、境界条件は底面を鉛直・水平変位を固定、側面は水平変位のみ固定した。但し、空洞の境界条件は鉛直・水平変位を自由としている。

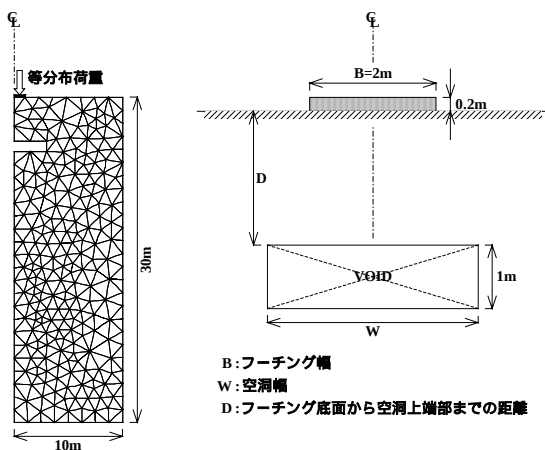


図-1 FEM解析モデルとフーチングと空洞の組合せ

地盤のモデルは、Mohr-Coulombの破壊基準を用いた弾完全塑性モデルを適用した。解析に用いる物性値は、地盤は岩級区分D⁶⁾の軟岩と仮定、基礎は線形弾性体と仮定して物性値を算出した。ここで、軟岩の引張強度 σ_t は粘着力 c の1/2に設定した⁷⁾。解析に用いる物性値を表-1に示す。

表-1 解析に用いる物性値

物性値	地盤	フーチング
単位体積水中重量 γ' (kN/m ³)	9	14
内部摩擦角 ϕ (deg)	26.5	-
ポアソン比 ν	0.3	0.1
変形係数 E (kN/m ²)	4.9×10^5	3×10^7
粘着力 c (kN/m ²)	980	-
引張強度 σ_t (kN/m ²)	490	-

解析の検討項目は、空洞幅 W と空洞までの深さ D が支持力に及ぼす影響について検討する。図-1のフーチングと空洞の組合せより、空洞幅 W と空洞までの深さ D を変化させて解析を行った。 W は1mから6mまで1mずつ6通り、 D は1mから12mまで1mずつ12通りに変化した。解析方法としては2段階の解析となる。1段階目として地盤に所定の空洞を作成し掘削相当外力を作用させた。そして2段階目として、フーチング上端に等分布荷重を地盤が破壊に至るまで載荷した。ここで、地盤の破壊を以下に定義する。使用プログラム⁸⁾は試行計算に基づいて、荷重増分を自動的に決定している。ここで、適用した荷重増分が2つの連続したステップ間で減少した時、地盤が破壊に至ったと定義する。

3. 結果及び考察

図-2に荷重強度-相対変位曲線を示す。図には空洞が存在しないCASE1、 D/B が2.0の代表的なケース、道示から算定した上載圧が無いケーソン基礎の極限支持力を示す。ここで、CASE1と道示から算定した極限支持力は、CASE1の方が道示と比較して約20%小さい結果となった。CASE1とCASE2, 3, 4を比較すると、空洞が地盤内に存在すれば支持力が低下することが分かる。そして、空洞幅が大きくなるほど支持力は低下し、より小さい荷重で降伏点に到達していることが分かる。

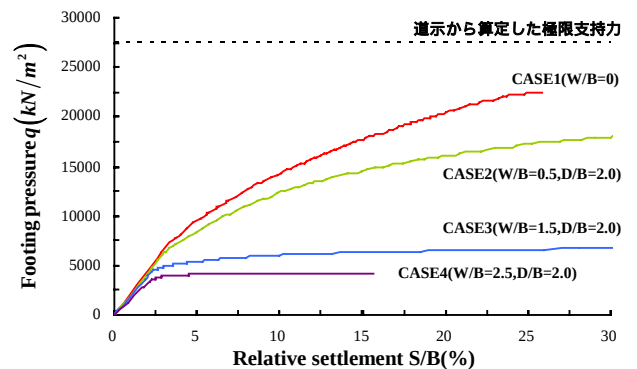


図-2 荷重強度-相対変位曲線

キーワード：琉球石灰岩層，FEM解析，支持力，空洞
 〒101-8588 東京都千代田区神田岩本町1-14 (株)白石 TEL 03-3253-9118 FAX 03-3253-7427

次に、支持力比を用いて空洞幅、空洞までの深さが支持力に及ぼす影響を定量的に評価する。図-3, 4 に空洞幅、空洞までの深さが支持力比に及ぼす影響について示す。ここで、支持力比の定義は空洞が存在しない地盤の降伏応力と各ケースの降伏応力の比である。降伏応力は杭の鉛直載荷試験方法⁹⁾を参考にし、 $\log q - \log S$ 曲線から求めた。図-3より、空洞幅が大きくなると支持力比は低下している。特に、空洞が D/B が 1.0, 2.0 の位置に存在すると、 W/B が 0 から 2.0 の範囲で急激に支持力比が低下している。これに対して、 D/B が 5.0, 6.0 の位置に存在する空洞は、空洞幅の増加による支持力比の低下は緩やかである。一方、空洞までの深さによる影響は図-4より、空洞が浅い位置に存在するほど支持力比は低下している。

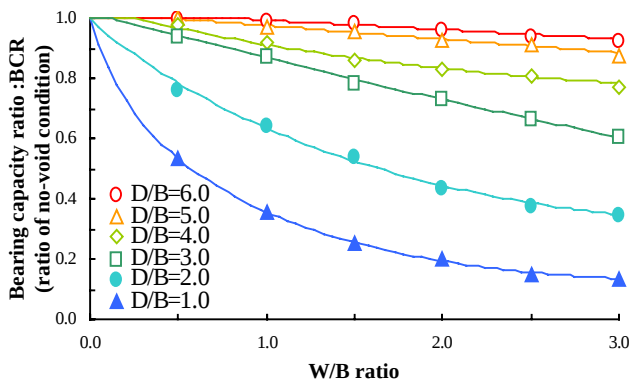


図-3 空洞幅が支持力比に及ぼす影響

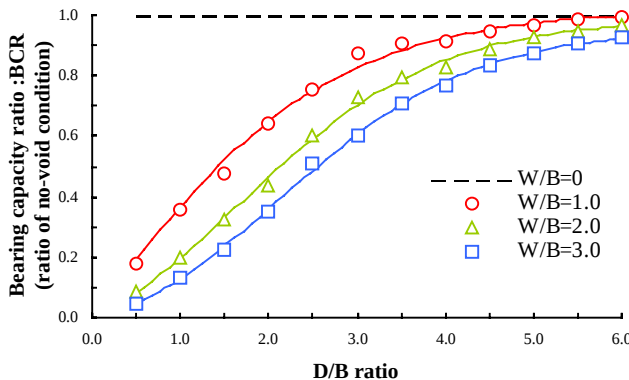


図-4 空洞までの深さが支持力に及ぼす影響

図-3, 4の結果を3次元空間で示したものを図-5に示す。空洞幅、空洞までの深さによって支持力比は異なり、空洞が支持力比に及ぼす影響を曲面で評価することができる。空洞幅が小さくなるほど、空洞が深い位置に存在するほど、曲面の頂点へ近付き支持力比は高くなっている。そして、空洞幅と空洞までの深さがある条件を満たすと、支持力比は 1.0 となり空洞が支持力に対して全く影響を及ぼさなくなる。図-6に支持力に影響を及ぼさない空洞の条件を示す。図より、 D/B が 2.0 よりも浅い位置に空洞が存在すると、空洞幅の大小に依らず支持力比は空洞の影響を受けて減少する。これに対して、 D/B が 2.0 よりも深い位置に空洞が存在すると、空洞幅が条件を満たしていれば空洞は支持力に対して全く影響を及ぼさない。この空洞幅の条件とは、支持力比が 1.0 の線よりも下側の範囲内である。

本研究では支持力比が 1.0 の線を臨界線、臨界線よりも下側の空洞が支持力に影響を及ぼさない範囲を臨界影響範囲と定義する。

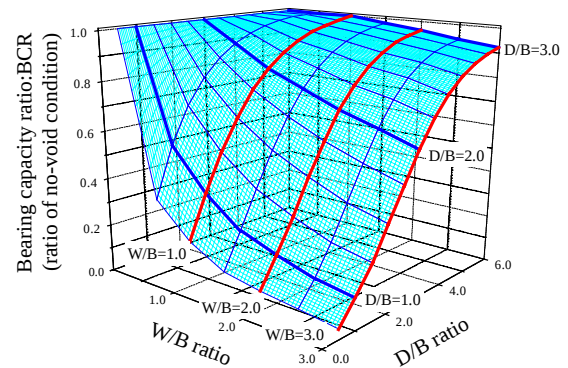


図-5 空洞までの深さと幅が支持力比に及ぼす影響

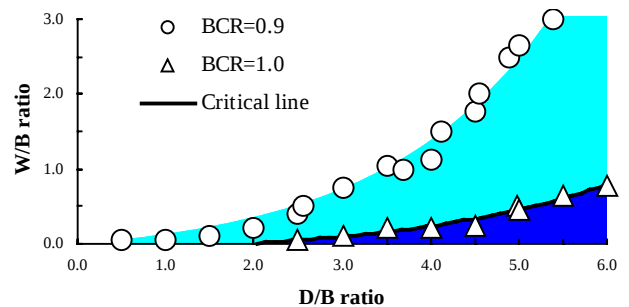


図-6 空洞の臨界範囲

4. まとめ

空洞が存在する地盤での直接基礎の支持力評価を行った。その結果、以下の知見が得られた。

- (1) 荷重強度 - 相対変位曲線より、空洞幅が大きくなるほど、より小さい荷重で降伏点に到達し支持力は減少する。
- (2) 支持力比を用いて空洞幅、空洞までの深さが支持力に及ぼす影響について定量的に評価した。その結果、空洞が存在しても支持力に全く影響を与えない臨界影図が存在した。空洞が臨界範囲内の条件を満たせば、空洞が存在しても支持力は低下しない。

5. 参考文献

- 1) 社団法人日本道路協会：道路橋示方書・同解説， 共通編， 下部構造編集，平成 14 年 3 月
- 2) Badie, A. and Wang, M.C.: Stability of spread footing above void clay, Journal of Geotechnical Engineering, Vol.110, No.11, 1984
- 3) Wang, M.C. and Badie, A.: Effect of underground void on foundation stability, Journal of Geotechnical Engineering, Vol.111, No.8, 1985
- 4) Baus, R.L. and Wang, M.C.: Bearing capacity of strip footing above void, Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol.109, No.1, 1993
- 5) Sreng Sokkheang・貞野・上野・望月：空洞を有する地盤の支持力，土木学会第 57 回年次学術講演会，pp1221-1222, 2002
- 6) 土木工学編：土木工学ハンドブック（第 4 版土木）pp395-423
- 7) 土質工学会：岩の工学的性質と設計・施工への応用，pp219-225
- 8) PLAXIS Version7, Finite Element Code for Soil and Rock Plasticity, Delft University of Technology, Netherlands
- 9) 社団法人地盤工学会：杭の鉛直載荷試験方法・同解説，第一回改訂版，平成 14 年 5 月