複数の空洞を有する地盤の支持力特性に関する一考察

(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¹⁾は,地盤内に空洞が存在 する.本研究の目的は,空洞が存在する地盤に設置された 直接基礎の支持力特性の解明である.これまでに²⁾, 2次 元弾塑性 FEM 解析を用いて図-1 に示す空洞の位置(Xと Y) が支持力に及ぼす影響について検討した. 解析の対象 となる空洞は,空洞幅Wと基礎幅Bが同じ(W/B=1.0)正 方形形状である.解析結果は,支持力比(Bearing capacity ratio: BCR)を用いて定量的に評価した.BCR は空洞がな い地盤の降伏荷重と各解析ケースの降伏荷重の比であり, 降伏荷重は常用対数で表した荷重-変位曲線での第1折れ 点の荷重である.図-1は空洞位置における BCR のコンタ ーであり, 例えば空洞が斜線部の位置にあれば BCR は 0.9 以上となる.以上のように,空洞の影響を考慮した基礎の 支持力を簡易に算定できる.ただし,この方法は空洞が1 つの場合であり,複数の空洞がある場合には対応していな い.本論文では,複数の空洞がある地盤の支持力特性の解 明を目的とし,先ず,2つの空洞を有する地盤を対象とし た2次元弾塑性 FEM 解析を実施した.



2. FEM 解析の概要

解析の目的は,複数の空洞がある地盤の BCR は,各空 洞が単独に存在する場合の BCR_nを掛け合わせることによ り算定が可能か否か,を確認する.つまり,式(1)の検 証である .検証方法は ,図-2の基礎と空洞の概略図より 先ず,基準空洞のみの支持力比を算定し,これを BCR1と する.次に,基礎の中心線に対して基準空洞と左右対称の 位置に追加空洞を作成する.そして,基準空洞と追加空洞 が2つある時の支持力比を FEM 解析によって算定し,こ れを BCR'とする.追加空洞のみの支持力比は,追加空洞 の位置が基準空洞に対して左右対称なことから,基準空洞 と同じ BCR1 となる.よって,式(1)が成立すれば,追加 空洞と基準空洞の支持力比 BCR' は BCR₁²となる.得られ た解析値は,式(2)の α を用いて評価し, $\alpha=1$ であれば 式(1)が成立する. 解析ケースは, 図-2の基準空洞およ び追加空洞の X と Y を変化させた .X は基礎の中心線より

1.5mから 5.5mまで 1m づつ変化させ, Y は地表面より 2m から 6m まで 1m づつ変化させた .空洞形状は ,基礎幅(B) 2m に対して W/B=1.0 の正方形である.図-2 に平面ひずみ 条件で作成した有限要素分割図を示す.メッシュは使用プ ログラム³⁾の自動生成機能を用いて作成しているので,各 ケースで要素数は異なるが概ね 1000 である.要素の構成 は 節点数が15であり応力点数が12の三角形形状である. 解析領域の境界条件は,側面の水平変位を固定し,底面の 水平と鉛直変位を固定した.直接基礎の底面は,節点を地 盤と共有する完全粗の状態である.解析に用いた構成式は, 直接基礎は線形弾性体とし, 地盤は Mohr-Coulomb の破壊 基準を用いた弾完全塑性体とした、地盤の塑性ひずみは、 非関連流れ則により算出した.表-1 は,解析に用いた物 性値である.直接基礎はコンクリートの値とし,地盤は電 力中央研究所が定めた岩級分類⁴⁾の岩級区分 C_Lから D の 範囲の値とした.解析方法は,自重解析を行い地盤に初期 応力を生成した後、地盤に所定の空洞を作成するため掘削 相当外力を作用させた.次に,直接基礎の上端部に等分布 荷重を載荷した.

(2)



表 1 解析に用いる物性値

物性値	地盤	直接基礎
単位体積水中重量 γ' (kN/m ³)	9	14
	26.5	-
	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	-
ダイレイタンシー角 φ (deg)	0	-

結果および考察

図-3は,常用対数で表した荷重強度qと基礎の沈下量S

〒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

の関係である.*S*が 200mm での *q*は,基準空洞のみが約 7500kN/m²であり,基準空洞と追加空洞が約 6600kN/m²で ある.これより,追加空洞が左右対称の位置にあると,支 持力は基準空洞のみの時よりも低下する.**式(2)**を算出 するため,第1折れ点の*q*と*S*を降伏荷重 *q*_yと降伏変位 δ_y とし,沈下量が δ_y の3倍の時を極限荷重 *q*_uとみなす.*α*は, 降伏荷重 *q*_yと極限荷重 *q*_uの時,さらに,*S*が 25mm の時に *BCR*₁と*BCR*'を求めて算出した.なお,沈下量 *S*の 25mm は,全ケースにおいて降伏変位 δ_y の 1/2 から 1/3 である.



図-4は, α と空洞の深さとの関係である.降伏荷重 q_y と極限荷重 q_u の α は常に 1.0以上であり, α は極限荷重 q_u の方が大きい. X/B=1.25 で Y/B が 1.0 での α は,降伏荷 重 q_y で約 1.3 であり,極限荷重 q_u で約 1.9 である. Y/B に よる α の変化は, Y/B が増加すると α が低下して 1.0 に近 づく. Y/B が 1.0 から 3.0 に増加した時の α は, X/B=1.25の降伏荷重 q_y では約 0.3 低下し, X/B=2.25 の降伏荷重 q_y では約 0.1 低下している.同様なことは,**図-5**の α と空洞 の離隔距離との関係からも言える.降伏荷重 q_y と極限荷重 q_u の α は常に 1.0以上であり, α は極限荷重 q_u の方が大 きい.そして, X/B が増加するに従い α が低下して 1.0 に 近づく.以上のことから,**式(1)**から求まる値と解析値 の差は,基礎の沈下量 S が増加するほど大きくなり, X/Bと Y/B が増加するほど小さくなる.



図-6 は *α* と BCR₁の関係であり, *α* は降伏荷重 *q*_v と極限 荷重 q_u および基礎の沈下量 S が 25mm の時の値を示す. 降伏荷重 q_v と極限荷重 q_u の場合では , α は極限荷重 q_u の 方が大きく,いずれも BCR_1 の増減による α の値は BCR_1 が大きくなるほど低下し, BCR₁が 0.9 以上ではほぼ 1.0 で ある. 降伏荷重 q_v の α は, BCR₁ が 0.4 から 0.9 に増加す ると,約1.45から約1.0まで低下している.同じく,極限 荷重 q_u の α も約 1.9 から約 1.0 まで低下している.一方, 基礎の沈下量 S が 25mm でのαは, 1.04 から 0.97 の範囲 で変動している.この変動は、各ケースの要素数の差によ る誤差の範囲と考えられる.よって,基礎の沈下量 S が 25mmのαは, BCR1が0.75から1.0の範囲で1.0と見なせ る.以上のことから,式(1)にて算定される値は, BCR1 が大きいほど,また,基礎の沈下量Sが小さくなるほど解 析値との差が小さくなる.これより,式(1)の適用範囲 は基礎の沈下量Sが25mmの時とBCR₁が0.9以上であり, この範囲内では解析をせずに式(1)にて支持力を簡易に 算定できる.また,降伏荷重 q,の BCR1が 0.5 以上では式 (1)の誤差が最大30%程度であり,これは常に安全側に 求まることから,この場合にも式(1)を使用しても実用 上問題ないと考える.



4. まとめ

式(1)の仮定を検証するため,2 つの空洞が左右対称 にある地盤の支持力評価を2次元弾塑性 FEM 解析で検討 した.解析結果は式(2)を用いて定量的に評価し,以下 の知見が得られた.

- (1) 降伏荷重 q_y と極限荷重 q_u の α は,常に 1.0 以上となる.これより,降伏荷重 q_y と極限荷重 q_uの時では, **式(1)**の値が安全側となる.
- (2) 基礎の沈下量 S が小さくなるほど,また,基準空洞 と追加空洞が基礎の支持力に影響を及ぼさなくなる ほどαが1.0に近づく.
- (3) 式(1)の適用範囲は, α がほぼ 1.0 となる基礎の沈下量 S が 25mmの時と BCR₁ が 0.9 以上の時である. この範囲内では,解析をせずに式(1)にて支持力を 簡易に算定できる.
- (4) 降伏荷重 q, の BCR1 が 0.5 以上では, 式(1)の誤差 は最大 30%程度であり,これは常に安全側となることから,この条件下でも式(1)を使用しても実用上 問題がないと考える.

5. 参考文献

 大内正敏・彭芳楽・清住真・日下部治:琉球石灰岩層を支持層とした基礎形式について,第15回沖縄地盤工学研究発表会概要集, pp.51-54,20022)清住真・彭芳楽・大内正敏・日下部治:空洞を 有する地盤の支持力特性に関する数値解析 構造工学論文集 Vol.50A, pp.1251-1260,20043) Delft University of Technology, PLAXIS Version7,Finite Element Code for Soil and Rock Analyses4) 土木学会: 第四版・土木工学ハンドブック,技報堂出版, pp.395-423, 1989