

空洞を有する地盤の支持力

徳島大学大学院 学生員 Sreng Sokkheang
 徳島大学大学院 学生員 貞野 哲也
 徳島大学工学部 正員 上野 勝利
 徳島大学工学部 正員 望月 秋利

1. まえがき

著者らは地盤内に空洞が発生するメカニズムと空洞の安定について、研究を行ってきた¹⁾²⁾。しかし、空洞を有する地盤の安定性については不明な点も多い。そこで、本研究では空洞を有する地盤の支持力実験・解析を行い、空洞が支持力に及ぼす影響及び空洞の幅や深さと支持力の関係について検討したので報告する。

2. 実験方法

図-1 に実験装置を示す。模型地盤の寸法は、幅 40cm×高さ約 30cm×奥行き 20cm である。土槽は、向かって正面がガラス張りとなっており、模型地盤の変形挙動破壊形態を観察できる構造となっている。載荷板は帯状フーチング載荷板（幅 3cm×高さ 3cm×奥行き 20cm）を用いた。本

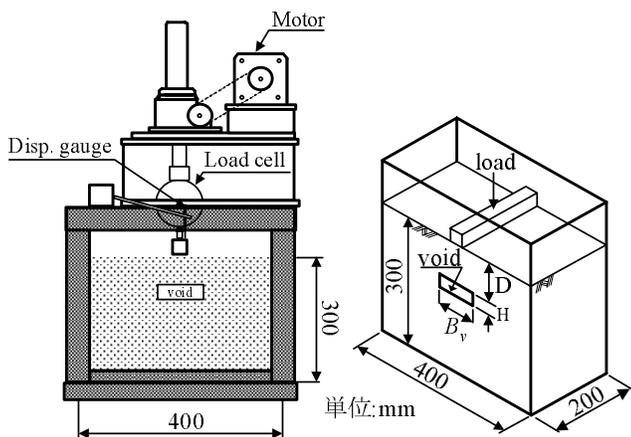


図-1 載荷実験装置

実験に用いた材料は、カオリン粘土と石膏を混合して固めた混合材料である。なお、配合比および養生日数の決定方法については、カオリンと石膏と水の重量比から、水/石膏=0.4、水/カオリン=0.8 とし、それぞれ A 材料、B 材料とした。一軸圧縮強度 1~2kgf/cm² になるように調整した結果、配合比 A 材料を 30%、B 材料を 70%、養生日数を 4 日間と決定した。

また、材料の物理・力学特性を調べるために液性・塑性限界試験、土粒子の密度試験、一軸圧縮試験、割裂試験、圧密試験、一面せん断試験を行った。

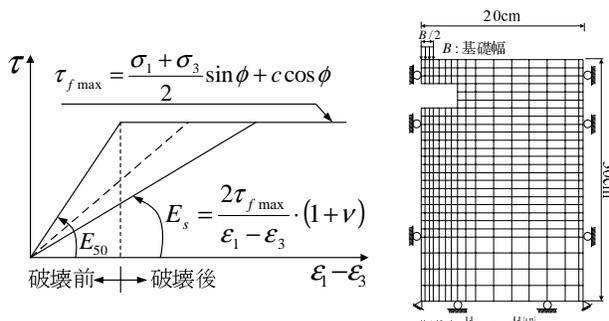


図-2 解析モデル

図-3 メッシュ図

空洞を有する模型地盤の作成方法は、1) あらかじめ空洞作成棒を模型容器に設置しておく。2) カオリン粘土 21kg、石膏 11.57kg、水 21.43kg を測定して材料をよく混合する。3) 次に模型容器に混合材料を押し流すと同時に一軸圧縮供試体を作成する。4) 試料を湿潤状態で 4 日間養生する。5) 4 日間養生後、地盤の表面を整形し、空洞作成棒を抜く。ただし、石膏の凝結時間の始発が 8 分以上であるため、手順 2)~3) は 8 分以内で行う。

実験ケースは空洞なしシリーズ、空洞幅 B_v=3cm シリーズ（空洞深さ D(cm):3,6,9,12,18,24）及び空洞幅 B_v=9cm シリーズ（空洞深さ D(cm):3,4.5,6,9,12,18,24）の 14 ケースを行った。載荷実験では、載荷速度を 1mm/min で行い、地盤の変形挙動・破壊形状を観察するために変形 1mm ごとに写真を撮影した。

3. 解析手法

解析手法は割線係数法による FEM 解析手法を用い、Mohr-Coulomb 破壊規準を用いた弾完全塑性モデルを適用する。図-2 に解析モデルを示す。破壊条件は引張り破壊

表-1 材料パラメータ

一面せん断CD試験			一軸圧縮・割裂試験	
強度定数	c (kgf/cm ²)	φ (deg.)	E ₅₀ (kgf/cm ²)	300
過圧密領域	0.74	5.82	σ _v (kgf/cm ²)	0.25
正規圧密領域	0	31.66	γ _s (g/cm ³)	1.62
過圧密影響応力 σ _b (kgf/cm ²)	1.44		ポアソン比 ν	
			0.322	

とせん断破壊の条件より判断する。破壊前 (F_{st} > 1, F_{ss} > 1) の割線係数 E_s は一軸圧縮試験から得られた E₅₀ を用いる。

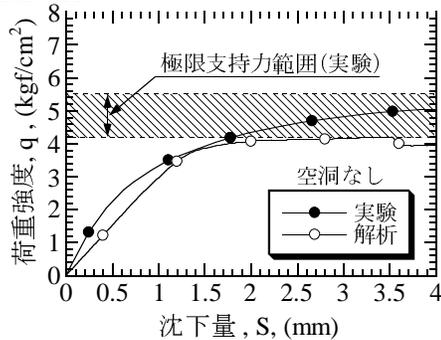


図-4 空洞なしの荷重-沈下曲線

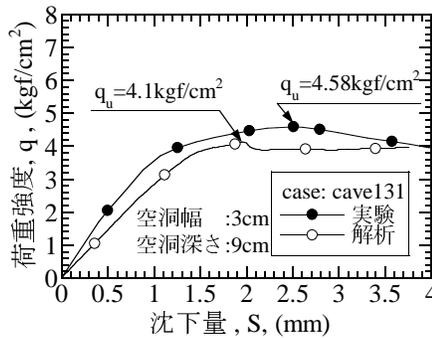


図-5 cave131の荷重-沈下曲線

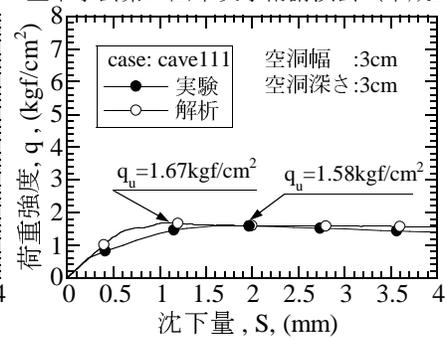


図-6 cave111の荷重-沈下曲線

破壊後、引張り破壊 ($F_{st} \leq 1$) であれば、 $E_s = 10 \text{ kgf/cm}^2$ とし、せん断破壊 ($F_{ss} \leq 1$) であれば、図-2 に示す $E_s = \frac{2\tau_{f \max}}{\varepsilon_1 - \varepsilon_3} \cdot (1 + \nu)$ とする。引張り破壊の安全率は $F_{st} = \left| \frac{\sigma_t}{\sigma_3} \right|$ 、せん断破壊の安全率は $F_{ss} = \left| \frac{\tau_{f \max}}{\tau_{mob}} \right|$ と定義した。ここでは、 σ_t は割裂試験から得られ、 σ_3 は FEM 解析結果より得られた負の値、 $\tau_{f \max} = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} \sin \phi + c \cdot \cos \phi$ 、 $\tau_{mob} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$ である。図-3 にメッシュ図及び解析条件であり、表-1 に解析パラメータを示す。また、強度定数はそれぞれ過圧密・正規圧密領域を設定した。

4. 実験・解析結果

(1) 破壊形態

実験中、観察した結果、地盤の破壊形態は空洞なしの地盤または支持力に影響のない深い空洞のある地盤では Prandtl 型破壊、基礎幅 (3cm) と同じ幅の空洞を有する地盤では 2 面せん断破壊型、基礎幅より 3 倍 (9cm) 大きい幅の空洞を有する地盤ではまず曲げで破壊し、その後パンチング型破壊であった。

(2) 荷重-沈下曲線

図-4 に空洞なしの地盤、図-5 に幅 3cm・深さ 9cm の空洞を有する地盤、図-6 に幅 3cm・深さ 3cm の空洞を有する地盤の荷重-沈下曲線を示し、実験結果と解析結果を比較したものである。他のケースも解析結果は実験結果とほぼ一致している。

(3) 極限支持力

空洞なしの地盤の支持力解析を行った結果、実験ならびに Terzaghi の極限支持力公式より求めた値と同程度の結果が得られた。図-7 及び 8 にそれぞれ幅 3cm の空洞 (基礎幅と同じ) シリーズ、幅 9cm の空洞 (基礎幅の 3 倍) シリーズの極限支持力 q_u -空洞深さ D の関係を示す。解析結果は実験結果と一致していることが分かる。また、実験ならびに解析では空洞のある地盤の極限支持力が空洞幅と載荷幅から決定されるある深さまで、ほぼ深さに比例して増加し、その後、空洞のない地盤とほぼ同程度の値を示した。空洞の影響が及ばず深さは、空洞幅が載荷幅 B の 1 倍の時に

は、 $3B$ まで、空洞幅が載荷幅の 3 倍の時は $4B$ までであることを実験・解析的に見出した。

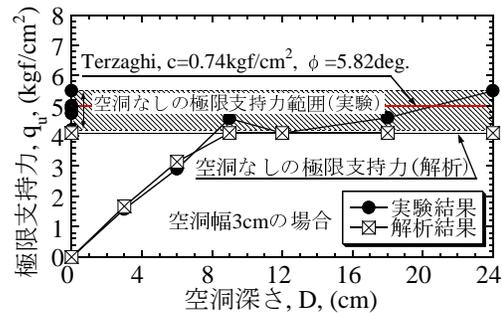


図-7 空洞幅 3cm シリーズの極限支持力

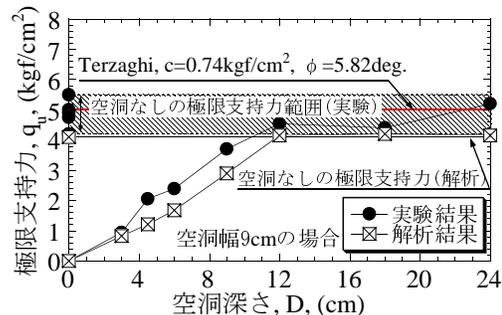


図-8 空洞幅 9cm シリーズの極限支持力

5. あとがき

空洞を有する地盤の支持力実験及び解析を行い次の 2 つの知見を得た。1) 空洞なしの地盤の支持力解析を行った結果、実験ならびに Terzaghi の極限支持力公式より求めた値と同程度の結果が得られた。2) 提案した割線係数法を用いた FEM 弾完全塑性解析手法によって空洞を有する地盤の支持力の計算が可能であることを確認した。

参考文献

- 1) 横山ら (1997): 大谷地区空洞陥没のメカニズム, 土木学会論文 No.568/ -39,113-123
- 2) 上野ら (2000): 水浸による路面下空洞の発生・発達現象の観察, 第 35 回地盤工学研究発表会, pp.111-112