

Ⅲ-1 遠心場での空洞天盤の自重崩落実験

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、材料の強度と崩落する空洞の幅や形状の関係については不明な点も多い。そこで、本研究では徳島大学所有の遠心力模型実験装置を用いて、空洞天盤の自重崩落実験を行い、引張り強度と崩落形状の関係について調べたので報告する。

2. 実験方法

本実験では図-1に示す徳島大学所有の遠心力模型実験装置を用いた。遠心力模型実験装置の有効半径は1.55mである。プラットフォームには供試体観察用カメラが取り付けられており、実験中、地盤の変形挙動を観察することができる。ビデオカメラの信号は、スリッピングを経由し、遠心機外部モニターで観察・記録が可能である。また、一般にスリッピングを経由するとノイズの影響を受けやすいため、遠心機内に取り付けてあるオンボードPCにビデオカメラの信号を記録することも可能である。

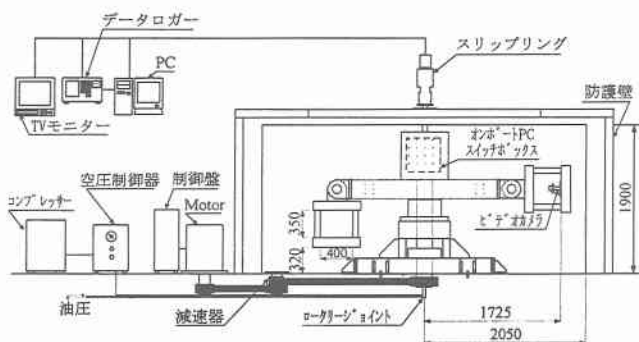


図-1 徳島大学型遠心力模型実験装置

本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 $1\sim 2\text{kgf/cm}^2$ 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、

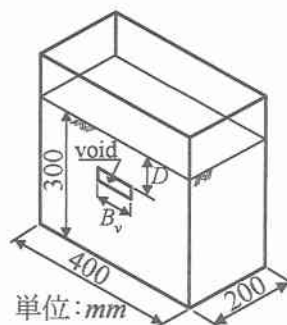


図-2 空洞を有する模型地盤

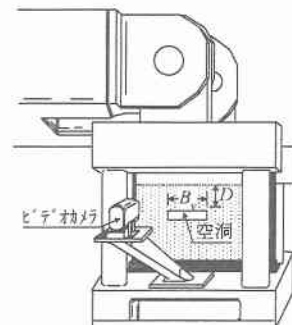


図-3 土槽を設置した状態

圧密試験、一面せん断試験を行った。

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。⑤4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。図-2は模型地盤、図-3は土槽をプラットフォームに設置した状態を示す。

実験ケースは空洞幅 $B_v=9\text{cm}$ シリーズ（空洞深さ $D(\text{cm}):3,6,12,18$ ）及び空洞幅 $B_v=18\text{cm}$ シリーズ（空洞深さ $D(\text{cm}):6,12$ ）の6ケースを行った。遠心実験では、テレビモニターで地盤の変形挙動を観察しながら遠心加速度を $5g$ ごと上げ、1分間その加速度を保つ。1分経過後さらに遠心加速度を $5g$ ごとあげ、空洞天盤が崩落するまで繰り返す。そして空洞天盤が崩落する段階で終了とした。実験終了後、OHPシートを用いて破壊形状をスケッチした。

3. 実験結果

(1) 破壊形状について

図-4は空洞幅 $B_v=18\text{cm}$ 、空洞深さ $D=12\text{cm}$ の模型地盤の実験終了後撮影した写真である。図-5にはOHPシートでスケッチした空洞天盤の破壊形状を様々な数学関数で表現したものを示す。図-5中で、放物線は空洞天盤の破壊形状と最も近い傾向が見られる。他のケースについても破壊形状は放物線関数を表現することができた。

Key Words: 空洞、崩落、遠心模型実験

〒770-8079 徳島県徳島市南常三島町 2-1 徳島大学工学部 Tel/Fax 088-656-7342

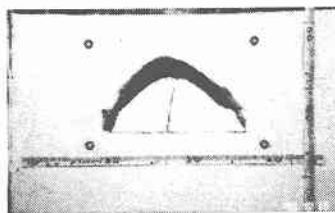


図-4 空洞天盤の崩落写真 (swc641)

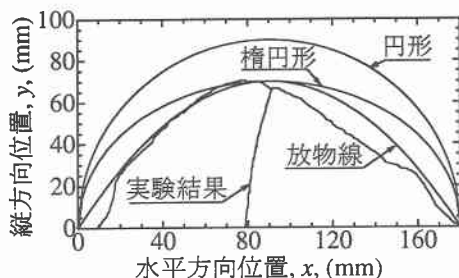


図-5 スケッチした破壊形状 (swc641)

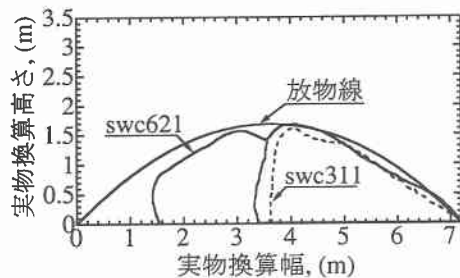


図-6 実物換算

(2) 相似則について

図-6 は swc311(空洞幅 9cm, 深さ 3cm) 及び swc621(空洞幅 18cm, 深さ 6cm) の破壊形状を実物換算したものである。なお、崩落時の遠心加速度はそれぞれ 75g 及び 40g であった。swc311 と swc621 は幾何学的に 1:2 の相似模型である。両者の崩落時の遠心加速度は 75g:40g でありほぼ 1:2 に一致したため、空洞幅の換算長も一致した。図に示すように崩落形状を比較しても近似しており、相似則が成り立っていることが分かる。

(3) 破壊時の強度の検討

図-7 は全ケースの実験結果を示し、横軸に D/B_v 、縦軸に Y_p/B_v をとってプロットした図である。 $0 < D/B_v < 0.62$ の場合は空洞天盤が曲げて破壊し、 $D/B_v > 0.62$ の場合は空洞天盤が放物線形状で崩落した。ここで、 $D/B_v > 0.62$ の場合について崩落強度を検討する。

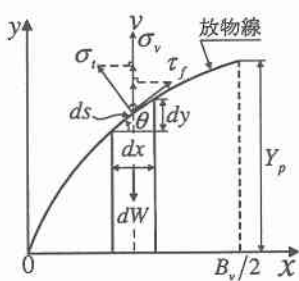
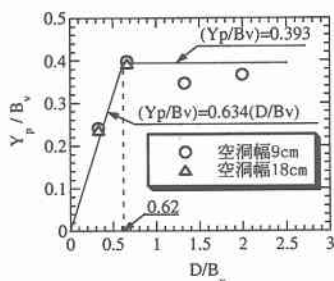


図-7 $Y_p/B_v \sim D/B_v$ 関係 図-8 微小要素の力つり合い

崩落時、空洞天盤は引張り、せん断のどちらかによって崩落する。図-8 において全体の引張り力 $F_t = \sigma_t \times \frac{B_v}{2}$ 、全体のせん断力 $F_s = \tau_f \times Y_p$ について考える。ただし、 σ_t は割裂強度、 τ_f は一軸圧縮強度より求めた $\tau_f = c_u$ とする。計算結果からすべての実験ケースにおいて $F_t < F_s$ を得た。また、引張りで破壊する場合は破壊面に作用する応力は $\sigma_t = \sigma_3$ となり、破壊面は主応力面となるため、せん断応力は破壊面に作用しない。したがって、今回の実験結果は引張りによって空洞天盤が崩落し、破壊形状は放物線型であることが確認できた。

次に、図-8 に示す微小要素の力つり合いより引張りによ

る破壊形状を検討する。なお、破壊形状を表現する放物線関数は式 (1) に示す。式 (2) は引張り応力 σ_t と自重 dW のつり合い関係を示す。

$$y = A \left(\frac{x^2}{B_v} - x \right) \quad (1)$$

$$\sigma_t \cdot dx = y \cdot dx \cdot \gamma_t \cdot n \quad (2)$$

式 (1) に示す y の値を式 (2) に代入し、区間 $[0, \frac{B_v}{2}]$ で定積分し、係数 A を求め、式 (1) に代入すると式 (3) のように引張りを考慮した破壊形状である放物線関数が求まる。ここで、 n は崩落時の加速度 (g)、 σ_t は割裂強度、 γ_t は単位体積重量で $\gamma_t = \rho_t n g$ である。図-9 は式 (3) による予測結果をプロットし、実験結果と比較したものである。他のケースも同様に式 (3) によって崩落形状を精度よく表現可能であることを確認した。

$$y = \left(\frac{-6\sigma_t}{\gamma_t \cdot B_v} \right) \left(\frac{x^2}{B_v} - x \right) \quad (3)$$

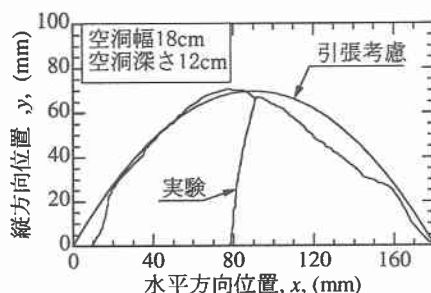


図-9 引張りを考慮した放物線関数破壊形状

4. あとがき

遠心模型実験を行い次の 2 つの知見を得た。1) 相似則が成り立っていることを確認できた。2) 粘着力をもつ地盤内に空洞がある場合、引張り応力のみ生じて空洞天盤が崩落し、崩落形状は放物線で表せることを確認できた。

参考文献

- 1) 横山ら (1997): 大谷地区空洞陥没のメカニズム, 土木学会論文集 No.568/III-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