

地盤の飽和度に着目した管渠周りの空洞の安定性

名古屋工業大学 学生会員 ○佐藤 弘瑛
 名古屋工業大学 正会員 前田 健一
 港湾空港技術研究所 正会員 近藤 明彦
 名古屋工業大学 学生会員 新井 拓弥

1. はじめに

都市部においては年間 4000 件の陥没が発生し、今後は下水管の劣化によって 10 年後に 3 倍に増加することが予測される¹⁾。そこで、図-1 のような陥没発生の危険性を踏まえた対処の優先度の決定や対処技術の選定など、維持管理の効率向上が強く望まれている。

既往の研究では、粒度分布形状によって空洞形成と陥没発生の有無に違いがあることが報告されている²⁾。本報告ではそれを踏まえ、空洞上の層厚の状態が空洞の耐荷重に及ぼす影響を定量的に調べた。さらに、飽和度に着目して空洞の安定性を検討した。

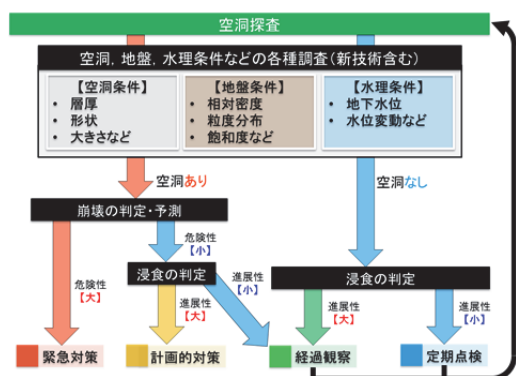


図-1 予防保全型の空洞対策フロー図

2. 空洞耐力実験概要

図-2 に空洞耐力を検討する為の簡易模型実験機の概要を示す。実験土槽は幅 500mm×高さ 300mm×奥行き 100mm を持ち、土槽下部の中央には縦横比(2H/W)で成形した木枠を設置して、供試体作成後にこれを取り外すことで所定の空洞を成型する。空洞耐力の測定は、山中式土壌硬度計(平面型)による載荷を空洞直上に行い、供試体破壊時の硬度を空洞耐力として検討した。空洞耐力の実験条件一覧を表-1 に示す。基本ケースは $S=3927\text{mm}^2$ 、 $2H/W=1.0$ 、 $D_r=70\%$ 、 $t=50\text{mm}$ 、 $w=14\%$ である。パラメータの中で縦横比は、体積が一定となるよう変化させた。

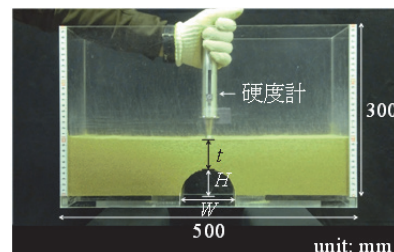


図-2 空洞耐力の実験概略

表-1 実験条件一覧表

因子	単位	用いた値・材料
空洞断面積, S	mm^2	1963, 3927, 7854
縦横比, $2H/W$	-	0.5, 1.0, 2.0
相対密度, D_r	%	20, 30, 50, 70
飽和度, S_r	%	0, 11.4, 26.7, 38.1, 53.4, 68.6, 80.0, 100.0
空洞上層厚, t	mm	25, 40, 50, 60, 75
試料	-	豊浦砂

3. 空洞条件、地盤条件による空洞耐力の実験結果

図-3 に各影響因子と空洞耐力の関係を示す。図-3(a)より、飽和度 50%近傍で最も高い耐力を示した。また、飽和度 0%と 100%では空洞が自立しなかった。これは見かけの粘着力がピーク強度時に最も発揮され、乾燥および飽和状態では働かないためである³⁾。図-3(b)について、図中の層厚 20mm 以下と 80mm 以上では、硬度計の測定可能範囲外となった。その間の層厚における空洞耐力は、層厚の増加に伴って増加がみられる。これは層厚が厚いほど、力が分散することに加え、空洞に沿って形成されるアーチによる応力の再分配(アーチ作用)のための厚さが十分に取れるためである⁴⁾。図-3(c)より、同じ体積の空洞でも縦に長い空洞の方がより耐力を有している。図-3(d)より空洞が大きくなるにつれて、同じ層厚でも耐力の低下がみられる。これらは縦長で小さな空洞ほどアーチ作用によって応力が空洞に沿って供試体底部まで再分配されやすいためである。次に飽和土と不飽和土での空洞の安定性を検討した。

キーワード 陥没, 空洞, アーチ作用, 飽和度, サクション, 埋設管

連絡先 〒466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器所町 名古屋工業大学 16 号館 232 号室 TEL 052-735-5497

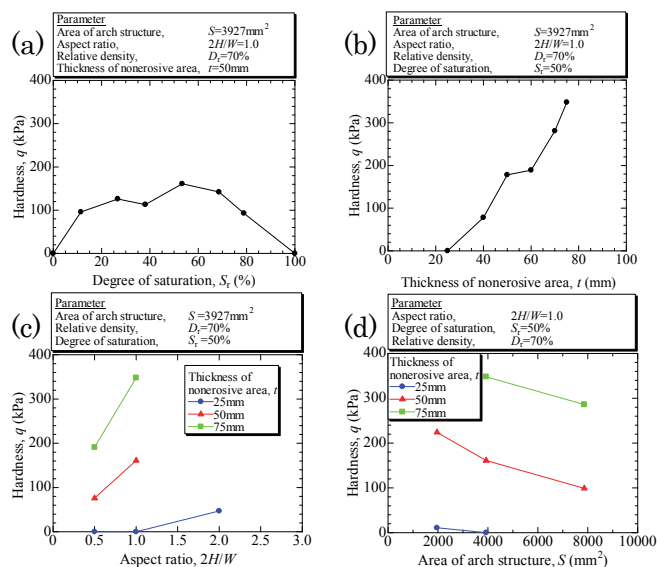


図-3 各影響因子が空洞耐力に与える影響

(a) 飽和度 (b) 空洞上層厚 (c) 空洞縦横比 (d) 断面積

4. 飽和度による空洞安定性の模型実験概要

図-4に飽和度が空洞の耐力に与える影響を検討する為の簡易模型実験機の概要を示す。実験土槽は幅500mm×高さ300mm×奥行き100mmを持ち、土槽下部の床板中央には奥行き100mmの幅を調節可能なスリットがある。実験機を水槽の中に設置し、層厚50mmの供試体作成後にスリット部を埋めている板を引き抜くことで安定性を検討した。試料には山砂を用いた。

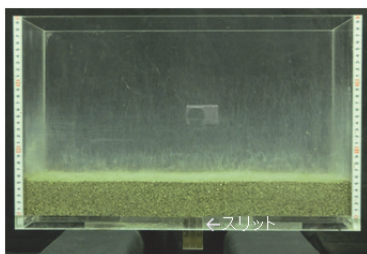


図-4 飽和度による空洞安定性の実験概要

5. 飽和度による空洞安定性の実験結果・考察

表-2 飽和度による空洞の安定性の検討結果

土の状態	乾燥		不飽和		飽和	
スリット幅(mm)	10	30	10	30	10	30
スリット大気解放	崩壊	崩壊	安定	安定	安定	崩壊
スリット飽和	-	-	安定	崩壊	崩壊	崩壊

実験結果一覧を表-2に示す。スリット大気解放とはスリットが大気中にある状態であり、スリット飽和とは水槽に土槽と同じ高さまで水位がありスリットが水中にある状態である。また、安定とは殆ど土粒子の流出がないことであ

り、崩壊は地表面まで陥没が発生することと定義した。

表より、飽和土ではスリット幅10mm、スリット大気解放のみ安定であったが、不飽和土ではスリット幅30mm、スリット飽和時以外すべて安定であった。これより、地盤が飽和になることでサクシオンがなくなる為、安全だと判断された空洞でも降雨などにより飽和することで崩壊する危険性が高いといえる。次に、飽和土でスリット幅10mmの時、スリット大気解放とスリット飽和では結果が異なる。これは飽和土でも、スリットが大気解放することで水が抜け、不飽和部分ができることでサクシオンによる強度発現に加えて、そこにできたアーチ構造によって強度が増加したと考えられる。また、不飽和土でもスリット幅が広がることで崩壊したのは、アーチ作用による強度が十分に発揮できないためだと考えられる。

6. 結論

本研究では管渠インフラの維持管理の効率向上のため空洞条件・地盤条件による空洞耐力の違いと飽和度に着目した空洞安定性を検討した。結果、空洞の危険度については、空洞上の層厚が薄く、体積が大きくて横長な空洞が比較的危険である。飽和度による空洞安定性は、安全と判断された空洞でも降雨などにより飽和することで陥没する危険性があり、飽和土でも空洞が大気解放することで強度が発現することが分かった。本検討を進めて空洞耐力への支配的な要因を掴むことで、陥没危険度の判定が実現できると考える。

謝辞: この研究で用いた装置の一部は日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究(B) 23360203 および特別研究員奨励費(25・7199)の助成を受けたものであり、深謝の意を表します。

参考文献: 1) 藤生和也: 下水道に起因する道路陥没発生数の推計, 下水道協会誌, Vol. 45, No. 551, pp. 109-117, 2008. 2) 近藤明彦, 前田健一, 新井拓弥, 佐藤弘瑛: 水位変動履歴を考慮した埋設管周りのゆるみ形成における内部浸食の影響, 第26回中部地盤工学シンポジウム講演集, pp.37-44, 2014. 3) 地盤工学会: 不飽和地盤の挙動と評価, 丸善, 2004. 4) 小野一良, 山田幹雄: 乾燥砂中のトンネルの周辺に生ずるアーチ作用の研究, 土木学会論文報告集, 第339号, pp.137-146, 1983.