

陥没災害時に発生する緩み領域の範囲予測

陥没 内部侵食 空洞 緩み 名古屋工業大学 学生会員 ○林 英璃奈 正会員 前田 健一
 学生会員 野村 凌平 学生会員 中上 魁徒

1. はじめに

陥没災害は地表面から予測できないが人的・物的に甚大な被害を及ぼすため、予防保全型の対応が求められている。しかし、現状では下水道管起因の陥没災害において対処療法的な対応となっている。そこで、影響因子を解明し、陥没発生前に危険度を予測する必要がある。本稿では影響因子の一つである内部侵食によって発生する緩み領域に着目し、模型実験を行い緩み領域の実測値を求め概算した予測値と比較することで、緩み領域の範囲予測のための実験的検討を行った。

2. 実験概要

図-1 に実験土槽の概略図、表-1 に土槽の寸法及び実験の諸条件を示す。なお、表中の(円)とは欠損形状が円の場合を示す。実験は土槽底部に模擬管渠を取り付け、土槽内に飽和土を充填した後に外水位を一定に保ったうえで管渠に設置された欠損を開放する方法で行った。また、図-2 に試料の粒度分布を示す。図中の S6:4 は珪砂 7 号と 2 号を重量比 6:4 で混合した試料である。

3. 緩み幅の予測

内部侵食は土粒子の動き得る間隙があり、そこに透水力が作用することで間隙内を土粒子が移動すること

により発生する。実験時の土槽の様子を図-3 に示す。図中にもある通り、地盤が侵食され支持力が低下したと考えられる領域を緩み領域として、体積と幅と高さを緩み体積、緩み幅、緩み高さそれぞれ呼ぶ。本稿では緩み幅の予測値を算出するためにトンネル工学にて広く利用されている Terzaghi の緩み土圧理論¹⁾を用いた(図-4)。緩み幅 B_0 について式(1)に示すように、トンネル内径 R_0 、内部摩擦角 ϕ を代入することで予測した。試料の内部摩擦角 ϕ は全て 23.66 度とした。

$$B_0 = R_0 \cot\left(\frac{\pi/4 + \phi/2}{2}\right) \quad (1)$$

ただし、緩みの元が異なるため、欠損形状が円の場合は欠損半径、スリットの場合は管渠半径をトンネル内径 R_0 に代入した。予測値と実測値の比較を図-5 に示す。大型土槽では実測値と予測値が近い値であった。しかし、小型土槽では実測値は理論値の約 20 倍をとることが分かった。これは同じ試料を用いた場合において水位上昇に伴い緩み領域が拡大する傾向から、欠損上への浸透流の集中による流速の増大が要因として挙げられる。より精度の高い緩み幅の予測のためには浸透流の影響を考慮する必要があることが判明した。

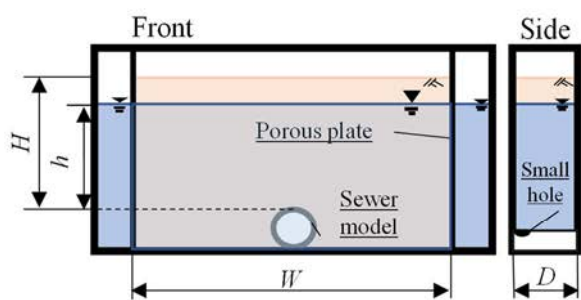


図-1 実験土槽の概略図

表-1 実験の諸条件

土槽名	小型土槽	大型土槽
H (mm)	500	800
W (mm)	500	1600
D (mm)	250	500
h (mm)	100, 200, 300, 400, 500	725
欠損径 d (mm)	(円) 5	(スリット) 30

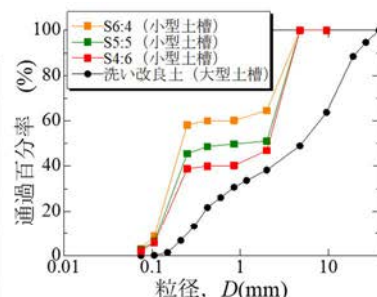


図-2 試料の粒度分布

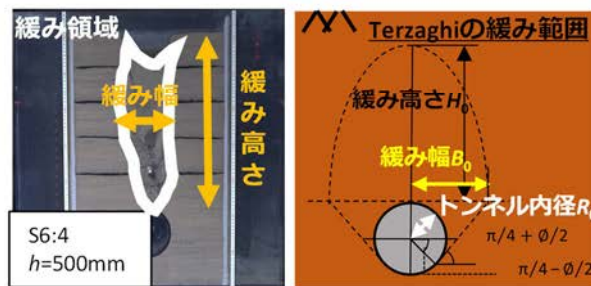


図-3 実験時の様子

図-4 Terzaghi の緩み範囲

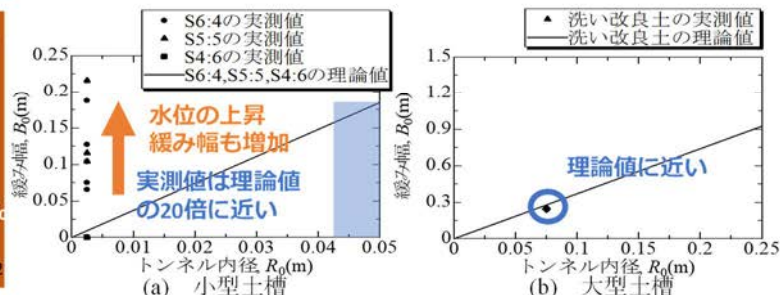


図-5 緩み土圧理論により算出した緩み幅

キーワード 陥没, 内部侵食, 空洞, 緩み

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 227 号室 TEL:052-735-5083

4. 緩み高さの予測

4-1. 緩み体積の算出

本項では緩み体積を流出土量から算出し、その計算値を緩み幅で除すことにより緩み高さの算出を試みた。実験序盤の密詰め状態から実験中盤での内部侵食が発生し土粒子が移動する状態に変化する現象を間隙率が大きくなったと捉えた。そこで、緩み体積 V について式(2)に示すように湿潤土の累積流出土量 M 、間隙比 e 、最大間隙比 e_{max} を代入することで予測を行った。

$$V = \frac{M}{\frac{1}{1+e} - \frac{1}{1+e_{max}}} \quad (2)$$

上式より算出した緩み体積 V の予測値と実測値を図-6に示す。図より予測値は実測値よりも小さいか近い値が得られたといえる。よって、式(2)は流出土量から緩み体積を予測する有用な手段だと判明した。

4-2. 緩み高さの算出

上記で算出した体積を緩み幅の理論値で除したものを図-7, 3項で判明した小型土槽では緩み幅が理論値の約20倍であることを利用しこれで体積を除したものを図-8に示す。図-7より緩み幅の予測値を利用したものは、緩み高さについて実測値よりも予測値が過大評価していることが判明した。よって、緩み高さの予測としては不適であると考えられる。続いて、図-8より予測値の20倍を緩み幅とした場合は、緩み高さの予測値が実測値とかけ離れる傾向が見られ緩み高さの正確な予測ができないことが判明した。ただし、図-5で示した通り水位が高くなるにつれ緩み幅は予測値の20倍に近い値が算出される。これに伴い、水位が高い ($h=400,500\text{mm}$) ほど緩み高さにおいても理論値と実測値が近いケースが存在した。

最後に、緩み高さの推定方法について緩み幅の実測値で緩み体積の予測値を除すことで妥当性を検討した(図-9)。この場合に緩み高さの実測値と予測値は近い値が得られており推定方法については妥当性があるといえる。しかし、図-7, 8, 9を比較すると緩み幅に用いる値によって緩み高さ推定値の妥当性が大きく変化しており緩み領域の範囲予測における精度に直結すると思われる。そのため、緩み領域の範囲予測においては適切な緩み幅の予測値を用いることが重要である。

5. まとめ

本稿では緩み領域の範囲予測に向けて緩み幅と緩み高さの推定方法について検討した。その結果、以下の

知見が得られた。

1) Terzaghiの緩み土圧理論を用いた結果、緩み幅の実測値と予測値に乖離が見られた。これは緩み土圧理論が地盤内の浸透流の影響を考慮していないことが要因だと考えられる。今後の課題として浸透流の影響を考慮した緩み幅の予測方法の確立が挙げられる。

2) 緩み体積の予測について欠損からの累積流出土量を用いた式(2)が有用であることが判明した。よって、流出土量は内部侵食の進展を判断する材料になり得る。

3) 緩み幅に用いる値について今後検討が必要であるものの、緩み高さの予測方法として緩み体積を緩み幅で除す方法が妥当である。これにより緩み領域の範囲を推定でき、支持力低下の危険度の判定につながる。

6. 参考文献

1) シールド工法入門編集委員会(1992)「シールド工法入門」社団法人土質工学会

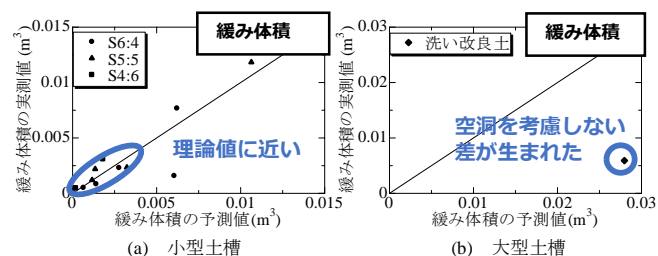


図-6 緩み体積の予測値

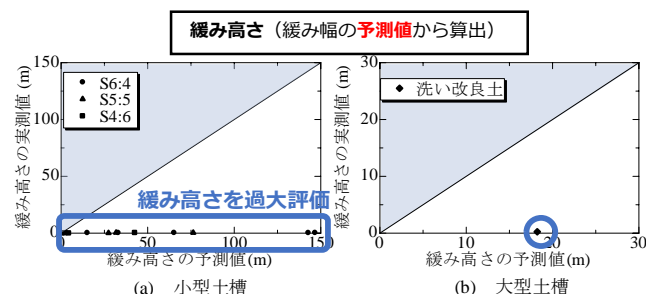


図-7 緩み高さの予測値(緩み幅の予測値から算出)

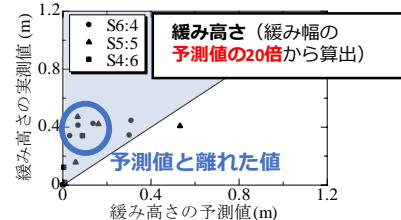


図-8 小型土槽における緩み高さの予測値

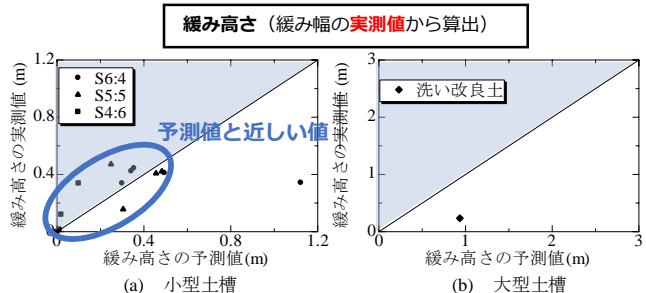


図-9 緩み高さの予測値(緩み幅の実測値から算出)