

## 陥没の生成過程を模擬した模型実験による初期空洞とアーチ効果に関する検討

東京大学生産技術研究所 学生会員 ○大原 勇  
 東京大学生産技術研究所 フェロー会員 桑野 玲子  
 東京大学生産技術研究所 正会員 瀬良 良子

### 1. はじめに

下水管をはじめとする地下インフラの老朽化及び豪雨などの気候の激甚化に伴い、地下構造物が輻輳する都市部において近年地盤陥没のリスクが高まっており、道路の維持管理及び人的被害軽減の観点から、陥没の生成メカニズムの解明が求められている。一方で陥没発生時は多くの場合早急な交通復旧が優先されるため、陥没現地の詳細な調査の蓄積は殆どないのが現状である。本研究では、陥没の生成過程を模擬した模型実験をもとに、初期空洞とアーチ効果に関する検討を行う。

### 2. 模型実験

図1に示す模型実験装置を用いて模型地盤に底部あるいは側面から給水を行い、地下水水位が安定したのちに底部のスリットを開放し、空洞の成長及び陥没の形成を観察した。底部給水の際は給水スリット開放のサイクルを繰り返し行うことで、側面給水の場合は地下水水位を上げることで空洞が成長していき、最終的に地表面が耐え切れなくなり崩壊する(=陥没)。なお、水の供給源のタンクを上下させることで地下水水位を制御している。以下、粒度(3号/5号珪砂)、給水条件(底部/側面)、スリット幅(5/10/15mm)を変えながら行われた実験について検討する。なお、3号珪砂を用いた実験では空洞が形成されず一気に陥没に至ったため、図4、5のプロットには3号珪砂を用いた実験は含まれていない(図3では、陥没の幅を空洞幅と捉えてプロットを行った)。

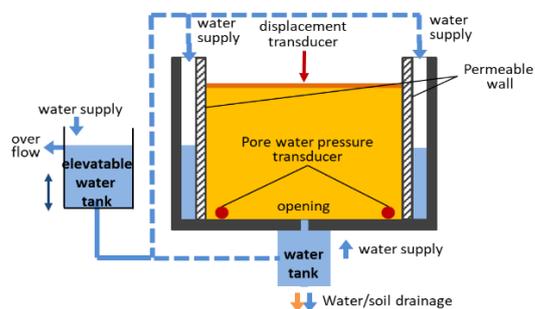


図1：模型実験装置の模式図

### 3. 初期空洞の検討

初期空洞の空洞幅と空洞鉛直高さ(図2)について考察する。ここで、「最初のスリット開放直後に形成された空洞」を初期空洞とする。なお、模型地盤には表面張力によって壁面へ張り付く力が作用していると考えられるが、小型土槽と中型土槽は奥行きが異なるため、単位奥行き長さ当たりの壁面へ張り付く力は中型土槽の方が小さくなる。このことから、以下においては小型土槽と中型土槽の比較を行っていない。

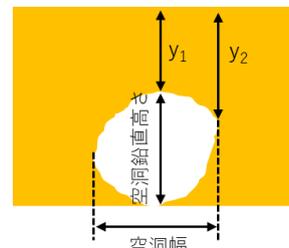


図2：各用語の定義

まず空洞幅について考える。図3(プロット近傍の数字はスリット幅(単位:mm)を表す。図4、5も同様)において、小型土槽実験に着目すると、設定水位は空洞幅に対する影響が小さいことが分かる。また中型土槽実験に着目すると、右側の二点は水位が高く開口幅が大きくなっており、空洞幅が広がりやすいと思われるにもかかわらず、左側の二点と比較しても空洞幅はほぼ一定である。したがって初期空洞幅に与える小型土槽と同様に設定水位の影響は小さいと推測され、また開口幅への依存度も低いと思わ

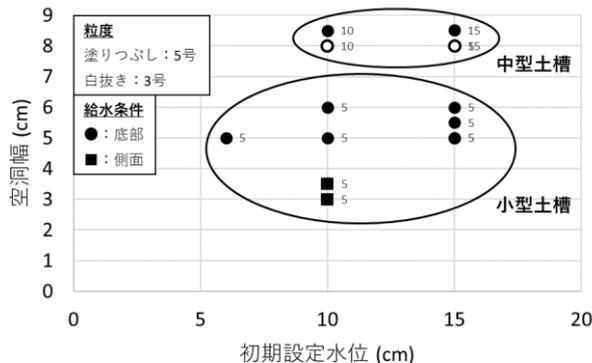


図3：初期設定水位と空洞幅の関係

キーワード 陥没, 模型実験, 空洞, アーチ効果

連絡先 〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1 東京大学生産技術研究所 TEL03-5452-6843

れる。また、3号珪砂と5号珪砂のプロットを比較しても大きな差が見られないことから、粒度が初期空洞幅に与える影響も小さいと推測される。

次に空洞の鉛直高さについて考える。図4の小型土槽実験のプロットに着目すると、設定水位が高くなると鉛直高さが増加する傾向が見える。中型土槽実験に着目するとスリット幅の増加とともに鉛直高さも増加しているが、先ほどの考察を踏まえると、この増分は水位増加にのみに起因している、すなわちスリット幅の増加がこの増分に寄与していない可能性も考えられる。スリット幅が初期空洞の鉛直高さに影響するかどうかを見るためには、例えば初期設定水位15cm・スリット幅10mmの中型土槽実験などを今後行う必要があるだろう。

4. アーチ効果の検討

アーチ効果とは、地盤内に発生したゆるみや空洞に覆いかぶさるような形で土粒子がアーチ状に噛み合っ力を伝達することで支持力を発揮する効果であり、空洞幅に対する土被り厚の比率が一定値を下回るとアーチ効果が消失し崩壊に至ると考えられる<sup>1)</sup>。図5に崩壊直前の空洞幅と土被り厚の関係を示す。図2に示す通り、 $y_1$ と $y_2$ はそれぞれ崩壊直前における「空洞直上の土被り厚の最小値」と「空洞両端における土被り厚のうち小さい方」を表す。 $y_1$ および $y_2$ に着目すると、空洞幅の増加に伴い概ね線形で増加していることが分かる。ここで空洞直上の平均的な土被り厚として $(y_1+y_2)/2$ をプロットすると、傾向がより鮮明になる。この直線よりも上側は空洞幅に対する土被り厚の比率が高いためアーチ効果が発達しやすく安全側であり、逆に下側は危険側であると言える。また、スリット幅の異なるプロットが同一の傾向を示していることから、アーチ効果が消失する崩壊直前においては流出口の大きさはほとんど影響しないことが示唆される。また、図5に示した関係は均等粒径の5号珪砂が一様な密度で分布しているという極めて単純化された状況下で成り立つものであり、今後は異なる地盤材料が分布している場合や、表面部の舗装の剛性や活荷重を考慮した場合に、崩落危険度の閾値がどのように移動するかについて検討する必要があるだろう。

5. まとめ

陥没生成過程を模擬した模型実験により、以下のことを確認した。

初期空洞について

- ・初期空洞の幅は設定水位や開口幅、粒度への依存度は低い。
- ・初期空洞の鉛直高さは、設定水位が高いほど大きくなる傾向が見られる。

アーチ効果について

- ・陥没発生直前における空洞直上の平均的な土被り厚と空洞幅との間には概ね線形の関係が見られる。現在の空洞が近似直線を境にどちら側に位置しているかを見ることで、空洞の崩壊の危険度を簡略的に評価できる。
- ・アーチ効果が消失する崩壊直前においては、流出口の大きさはほとんど影響しない。

参考文献

1) 桑野玲子, 大原勇, 瀬良良子, 模型実験で観察された砂地盤内の空洞の発達過程と陥没メカニズムに関する考察, 第53回地盤工学研究発表会

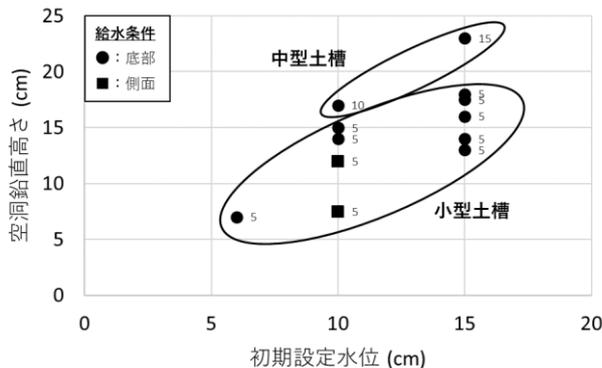


図4：初期設定水位と空洞鉛直高さの関係

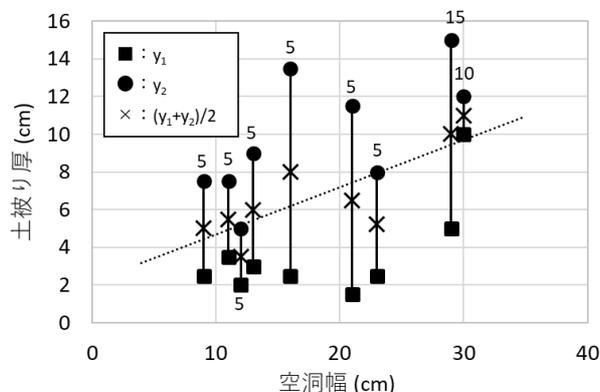


図5：空洞幅と土被り厚の関係