

破損管路部からの土粒子流出による地盤の陥没破壊に対する 水理及び拘束圧境界条件の影響に関する実験的研究

東北大学 学 ○稲垣 和哉 正 森 友宏 河井 正 フ 風間 基樹

1. 研究の背景と目的

近年、主に老朽化した管渠からの土粒子流出を起因とする地盤陥没事故が相次いでいる。しかしながら、現場では復旧作業が優先されることもあり、このような陥没の機構は解明されていない。特に、陥没事故の根本的な要因と考えられる土粒子流出に関しては、地盤の材料特性や水理条件が複雑に関係しており、現在様々な研究が進められているが支配要因の絞り込みには達していない。

本研究ではこの陥没破壊の境界条件となる、拘束圧、管渠破損部における局所的な水圧差、管渠破損程度に注目し、土粒子流出現象を実験的に検討した結果を報告する。

2. 土粒子流出実験の概要

(1)実験システム

実験装置の概略図を図-1 及び図-2 に示す。本実験装置は地中に埋設されている管渠を想定しており、土層内(縦 200 mm×横 200 mm×奥行 200 mm)に管渠の破損部を模擬した穴(直径 5 mm)を開けたシンフレックスチューブ(直径 1/2 インチ)を通して、このチューブに水頭差を与えて通水し、破損部からの吸い込み作用により土粒子を流出させる実験を行った。破損部の前後にはそれぞれ水圧計が取り付けられており、この二つの水圧計の測定値から破損部の圧力状態を把握することができる。また、土槽内の模型地盤には拘束圧及び初期間隙水圧を与えることができ、チューブ内に通す水流にはレギュレーターを用いて任意の水頭差を与えることができる(チューブの下流側は大気開放状態)。また、流出した土粒子は土粒子トラップに堆積させ、その質量の時間変化を電子天秤を用いて計測することができる。

(2)実験材料

模型地盤には飯豊珪砂 5 号を用いた。飯豊珪砂 5 号の物理特性を表-1 に示す。

表-1 珪砂 5 号の物理特性

土粒子密度(g/cm^3)	2.63
最小間隙比	0.5
最大乾燥密度(g/cm^3)	1.76
最大間隙比	0.79
最小乾燥密度(g/cm^3)	1.47
初期間隙比	0.56
相対密度(%)	80

(3)実験手順と実験ケース

模型地盤は相対密度 80 %を目標として作製し、作製後は飽和状態にした。この模型地盤に拘束圧及び初期間隙水圧を与えた後、チューブに水頭差を与えて通水を開始する。通水間に破損部前後の水圧、流量、土砂流出量を測定する。流量は 1 分ごとに計測した。流出が終了する、あるいは土粒子トラップが流出土粒子により一杯になった場合はそこで実験を終了する。通水終了後、土槽の蓋を外して模型地盤が陥没状況を観察する。

模型地盤に与える拘束圧と初期間隙水圧、また水流に与える水頭差の組み合わせを表-2 に示す。

表-2 実験ケース

Case	管路 損傷形状	拘束圧 (kPa)	土槽内初期 有効応力 (kPa)	土槽内初期 間隙水圧 (kPa)	水頭差 (kPa)	入口 (kPa)	出口 (kPa)
1	円型 ($\Phi=5\text{mm}$)	20	15	5	5	5	大気 開放
2			10	10			
3			5	15			
4			10	10	10	10	
5					3	3	
6					1	1	

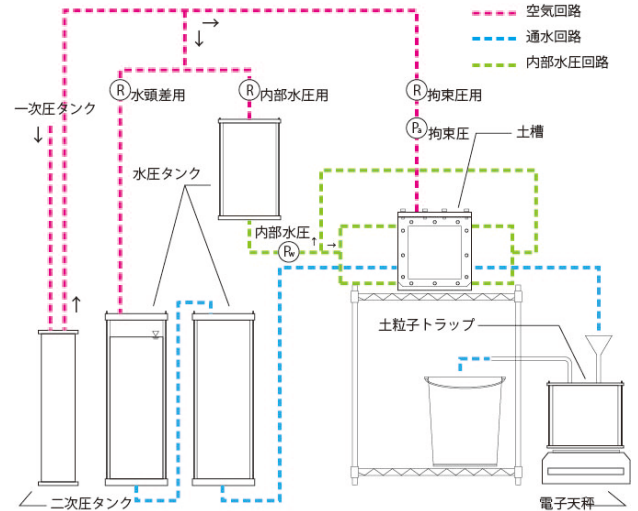


図-1 流出実験装置概略図

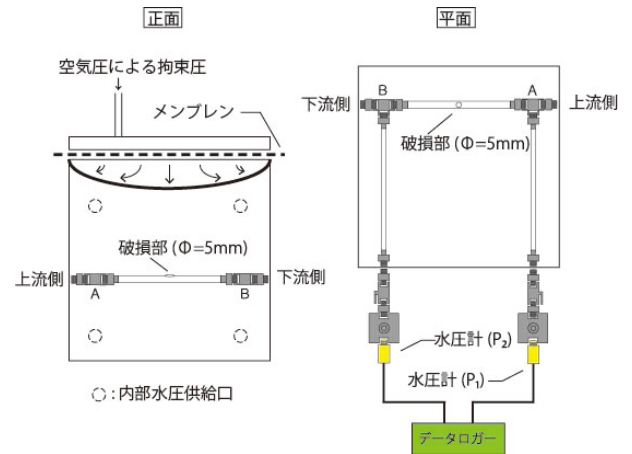


図-2 土槽内正面図及び平面図



写真-1 実験装置セットアップ後の状況

3. 実験結果

(1) 予備実験

通水時において破損部の圧力がどのような値を取るのかを把握するために予備実験を行った。予備実験は土槽内に砂を入れず、水のみで満たし、任意の圧力をかけた状態で行った。変化させるパラメーターは土槽内初期間隙水圧、チューブの水頭差である。この予備実験から、通水時に破損部の圧力(P_1 と P_2 の平均値:図-2参照)は負の値となること、水頭差が大きい(つまり流速が早い)ほど破損部の負圧が小さくなることが分かった。

以下、本実験(Case1,3)についてのみ詳しく説明する。

(2) 本実験 Case1

計測開始から16 s後に左右のコックを開いて通水を開始し、503 s後に土粒子トラップが流出土粒子により一杯になったため左右のコックを閉じて通水を終了した。この間の圧力、土粒子流出量、流量の時間変化を図-3, 4に示した。

通水開始直後、破損部の圧力は一時的に上昇したがその後は約-2 kPaを維持している。土粒子の流出現象は図-4に示す通り26 s後付近から始まっており、破損部の圧力が負圧になったときと対応している。土粒子はこの破損部における負圧によって吸い出され、流出が進行したものと考えられる。内部水圧はコックを開ける前の5 kPaから開放後は減少し、約2 kPaとなった。さらに338 s後から約0.8 kPaになった。

流出が始まってからの破損部の圧力及び流量は一定しており、また土粒子流出量も一定の割合で増加していることから、土粒子の流出現象は安定して進行していたことが分かる。

(3) 本実験 Case3

コックを開けると同時に大量の土粒子が流出した。想定外の量であったため、土粒子トラップが詰まってしまい正確な計測は出来なかった。以降、土粒子トラップをから大型バットに変えて実験を継続したところ、約20 sで完全に流出が完了した。これはCase1と比べて初期有効応力が低いため土粒子の噛み合わせが弱かったためであると考えられる。

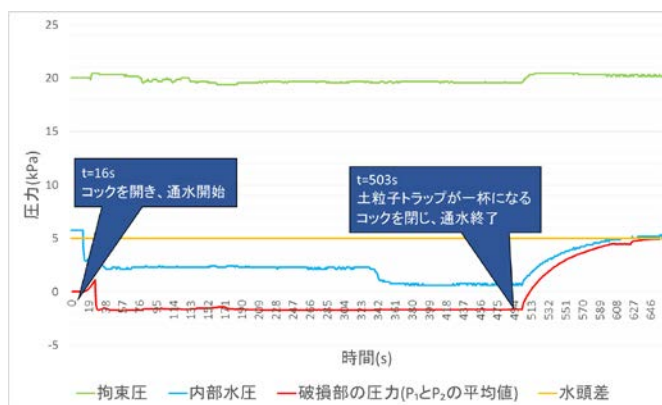


図-3 圧力変化

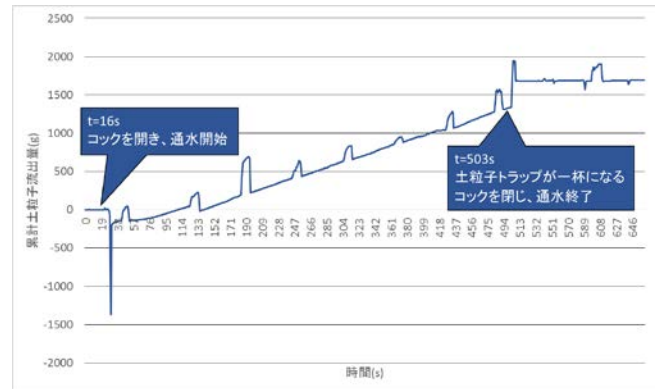


図-4 土粒子流出量

(4) 流出後の地盤変形状況

Case1については、180 s後あたりから土粒子流出による空洞が正面最上部に確認できた。このことから詳しい空洞の形状は分からないが、空洞は鉛直上向きに成長していることがわかる。空洞の確認後はすり鉢状に空洞の成長が進み、503 s後において写真-2のように地盤の変形が確認された。実験終了後、土槽を解体し上面から地盤の変形状況を確認した(写真-3)。地盤全体で流出が進んでいるのではなく主に正面側で流出が進んでいることが確認できた。Case3についても流出の進展及び空洞の形状はCase1と同様であるが、流出速度が極めて速いということとチューブ破損部まで土粒子が完全に流出したという相違点がある。



写真-2 変形状況(正面)
(Case1)

写真-3 変形状況(上面)
(Case1)

4. まとめ

本実験では小型土槽内に模型地盤を作成し、拘束圧、内部水圧、水頭差を与えて土粒子の流出実験を行った。得られた知見を以下にまとめる。

- ・土粒子流出には地盤の強度の指標となる有効応力が支配的な要因の一つであると考えられる。
- ・すり鉢状に流出が始まると土粒子の噛み合わせ効果が弱くなり、最終的には完全に流出してしまう。

本研究により、流出実験の大枠が構成できたので、さらに有効応力、水頭差を変化させ、土粒子流出の支配的な要因を詳細に検討することが出来る。

参考文献

- 1) 桑野玲子, 佐藤真理, 瀬良良子: 地盤陥没未然防止のための地盤内空洞・ゆるみの探知に向けた基礎的検討, 地盤工学ジャーナル, Vol.4, No.2, pp.219-229, 2010.

Keywords : 地盤陥没、土砂流出、拘束圧、水頭差

〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06 工学部 建築・社会環境工学科 地盤工学研究室