

水路背面土砂の吸い出し機構に関する研究

Mechanism of sand discharge behind open channels

神戸大学大学院農学研究科 助教 澤田 豊

(研究計画ないし研究手法の概略)

1. 研究背景

近年農業用水利施設は老朽化により、その多くが更新時期を迎えている。開水路では劣化した目地やクラックあるいは地震による移動から隙間が発生し、土砂が吸い出され、空洞化やこれに起因する漏水、不同沈下および周辺地盤の陥没が問題となっている¹⁾。空洞化探査技術に関する研究は散見されるものの²⁾、吸い出しや空洞化の進展過程を調査するような研究は、波浪による護岸背面土砂の吸い出しに関する研究等³⁾を除いては皆無である。水路においては、水路内の流れに起因する土粒子移動と水路内外の圧力差、すなわち動水勾配に起因する土砂の排砂が空洞化の要因として考えられる。水路側面部の空洞化は、地表面が変状することが多いことから、目視により容易に確認できるが、底面部の空洞化は発見が困難である。また、一般に吸い出し防止材の利用や目地補修による対策は行われるものの、側面および底面全てに施すことは、合理的ではなく、発生位置および発生メカニズムを明らかにすることにより、対策箇所の範囲を抑えることが求められる。

そこで本研究では、水路底面部および側面部からの吸い出しを対象に目地寸法や背面土の動水勾配条件を変えた水理模型実験を実施した。

2. 研究内容および研究手法の概略

2.1 吸い出し実験（水路底面部）

本実験で使用した実験装置をFig. 1に示す。実験には幅2000mm、奥行き300mmの亚克力製水路を用いた。水路底面部の地盤（幅500mm、奥行き300mm）には6・7混合珪砂を使用し、水中落下法により相対密度約30%の地盤を作製した。6・7混合珪砂の諸元をTable 1に示す。また、地盤表層に塩化ビニル製の板を設置することで水路底面部および目地を模擬した。Fig. 1に示すように、水路内水位と水槽との水頭差によって地盤内に上向き浸透流を発生させ液状化地盤についても再現した。なお、地盤の動水勾配（ $=i$ ）は H/L で与えられる。本実験では、水中ポンプを用いて循環流（60L/min.）を発生させた。目地近傍を通過する流速を増加させるため、目地より上流側に堰（幅240mm、高さ40mm）を設けた（目地近傍での平均流速約0.33m/s）。本研究で実施した実験ケースをTable 2に示す。Case4では、動水勾配を徐々に $i=1.2$ まで増加させ、水頭差を維持したまま循環流を

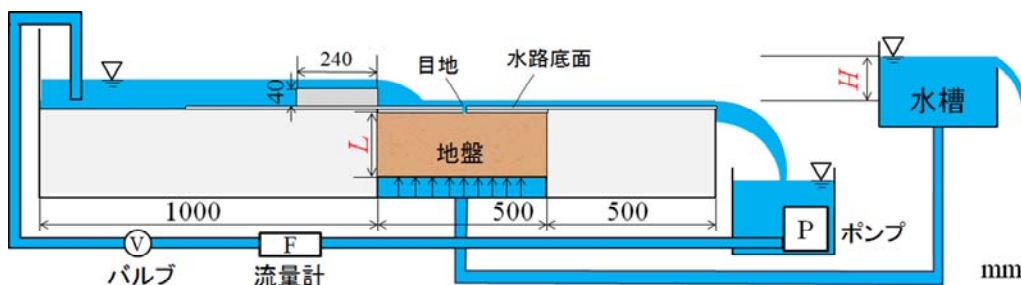


Fig. 1 実験装置

発生させた。さらに、目地近傍の吸い出し状況をビデオカメラにより撮影した。なお、事前に実施した予備実験では、地盤内水圧について計測を行ったが、間隙水圧計のコードまわりで局所的に吸い出しが発生したため、本実験では、間隙水圧計を取り外した。

Table 1 珪砂の物理特性

土粒子密度 ρ_s (g/cm ³)	2.63
最大乾燥密度 ρ_{\max} (g/cm ³)	1.64
最小乾燥密度 ρ_{\min} (g/cm ³)	1.30
平均粒径 D_{50} (mm)	0.30
均等係数 U_c	2.14

Table 2 実験ケース

ケース名	目地幅	目地深さ	地盤状態
Case1	1cm	1cm	飽和
Case2	2cm	1cm	飽和
Case3	1cm	2cm	飽和
Case4	1cm	1cm	液状化 ($i=1.2$)

2.2 吸い出し実験（水路側面部）

本実験では上記の実験と同様に水路底面部の地盤を作製し、**Fig. 2**に示すように、アクリル製のフレームを取り付けることにより水路側面部の背後地盤を再現した。水路側面部の地盤（幅500mm，奥行き140mm，高さ150mm）は、乾燥した6・7混合珪砂を用いて相対密度約30%で作製した。地盤作製後、水路側面部の地盤を湿潤状態とした。また、水路幅を15cm，目地間隔を1cmとした。本実験では、水中ポンプを用いて循環流（160L/min.）を発生させ、目地近傍での平均流速を約0.43m/sとした。実験時は水路底面部および側面部の吸い出し状況をビデオカメラにより撮影した。

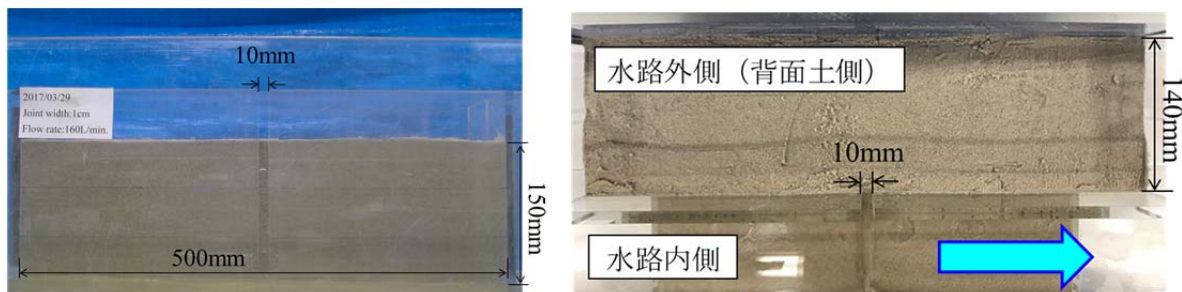


Fig. 2 水路側面部のアクリル板設置状況
(左：正面からの写真，右：上方からの写真)

（実験調査によって得られた新しい知見）

3. 実験結果

3.1 吸い出し実験（水路底面部）

Fig. 3にCase1（目地幅：1cm，目地深さ：1cm）における目地近傍の吸い出し過程を示す。**Fig. 3**より時間経過に伴い水路底面部の地盤が吸い出されていることがわかる。実験開始より30分後以降、水路中央で吸い出された土粒子がアクリル前面で堆積することにより、埋め戻りが発生し、吸い出しの進行は確認されなかった。実験開始より12時間後の地表面形状を**Fig. 4**に示す。これらの結果から、実験開始より30分後以降、吸い出しは進行しないことが明らかとなった。

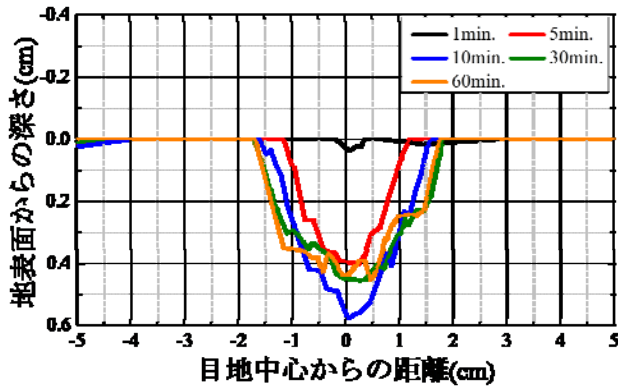


Fig. 3 Case0における吸い出し過程

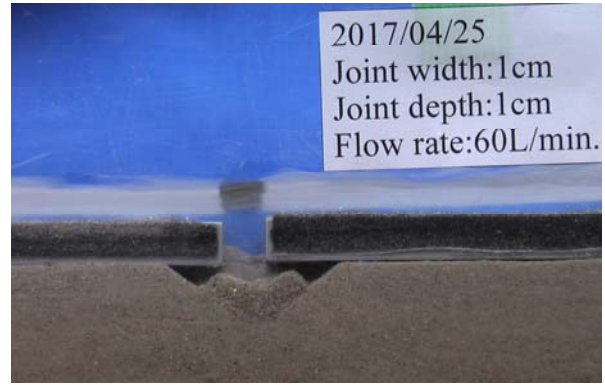
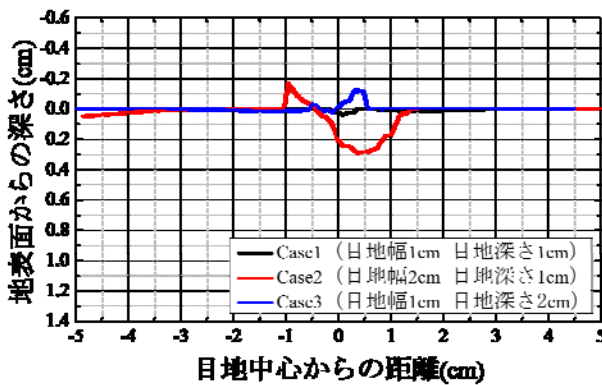


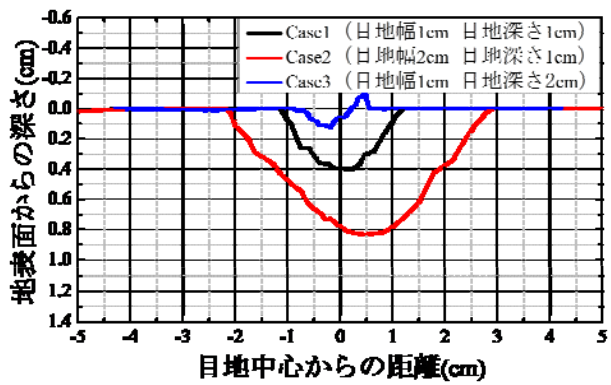
Fig. 4 12時間後の地表面形状 (Case0)

Fig. 5にCase1 (目地幅: 1cm, 目地深さ: 1cm), Case2 (目地幅: 2cm, 目地深さ: 1cm), Case3 (目地幅: 1cm, 目地深さ: 2cm) における1, 5, 10, 30分後の地表面形状を示す. Fig. 5から, 全ての時間において水路底部の吸い出しは, Case3, Case1, Case2, の順で多いことがわかる. このことから, 目地深さの減少ならびに目地幅の増加により吸い出し量は増大することがわかった.

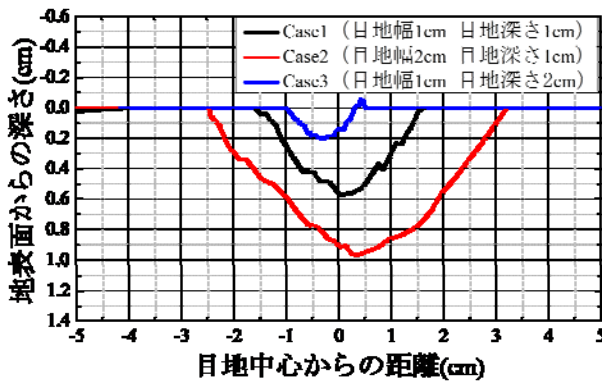
Fig. 6にCase1 (目地幅: 1cm, 目地深さ: 1cm, 地盤状態: 飽和) とCase4 (目地幅: 1cm, 目地深さ: 1cm, 地盤状態: 液状化) における各時間の地表面形状を示す. Case4では液状化の影響が顕著に表れたアクリル背面での地表面形状を示す. Fig. 6より, Case4では目地近傍において, 地表面からの深さが負となり, 初期よりも高くなっていることがわかる. これは, 上向き浸透流が目地に集中することにより, 土粒子が目地近傍において堆積したためであると考えられる. また, 地盤の



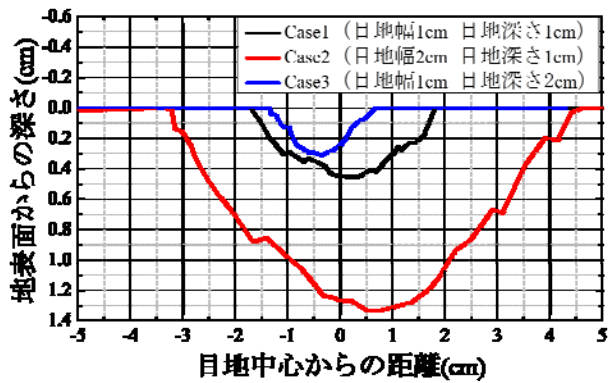
(a) 1分後



(b) 5分後



(c) 10分後



(d) 30分後

Fig. 5 各実験ケースにおける洗掘形状

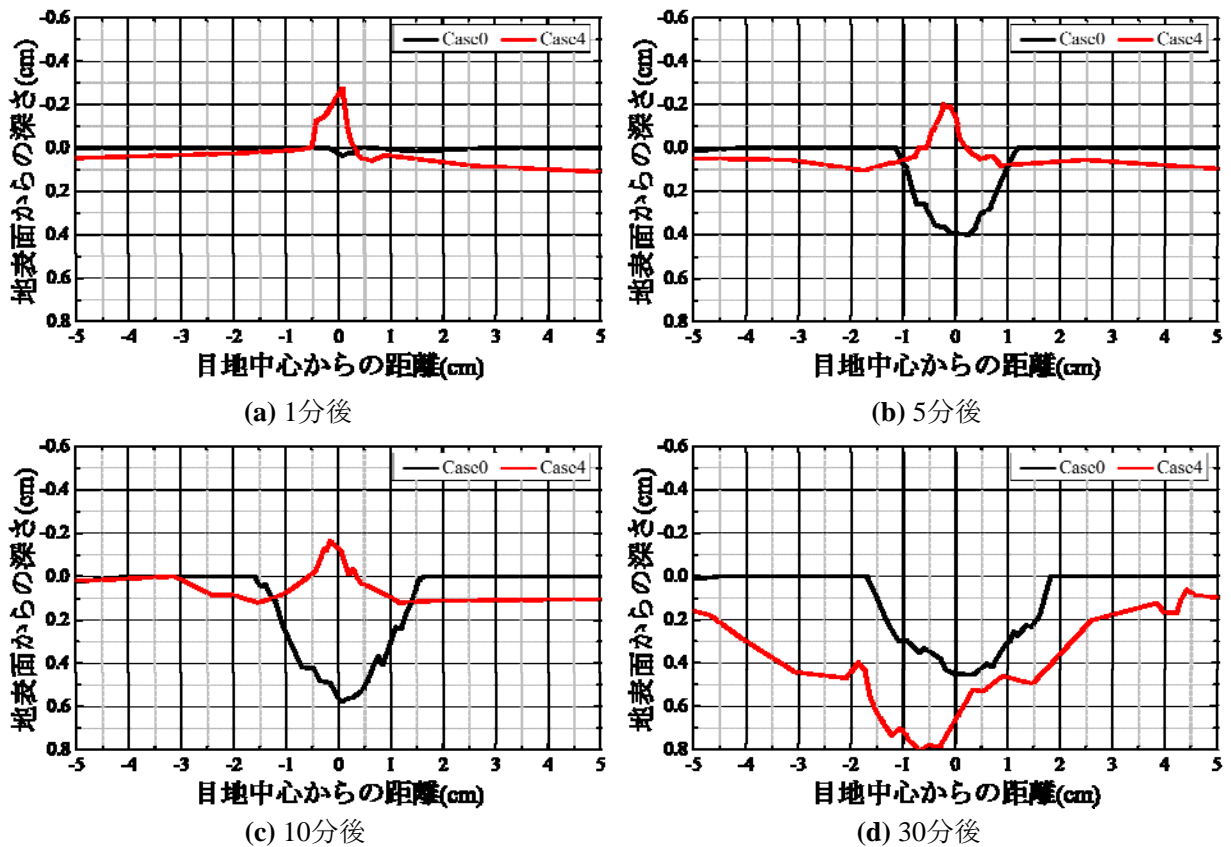


Fig. 6 各実験ケースにおける洗掘形状

液状化に伴い目地から離れた位置の土粒子が目地に流れ込む挙動が確認された。この結果、地盤全体が広範囲にわたり吸い出された。この挙動は、液状化地盤における路面空洞の発生メカニズムを検討した既往研究の結果⁴⁾と類似している。さらに、Case3では実験開始より10分後以降吸い出しが急激に進行し、吸い出し深さがCase1よりも大きくなった。

3.2 吸い出し実験（水路側面部）

Fig. 7に水路側面部の吸い出し過程を示す。水路側面部の吸い出しは実験開始直後から急激に進行

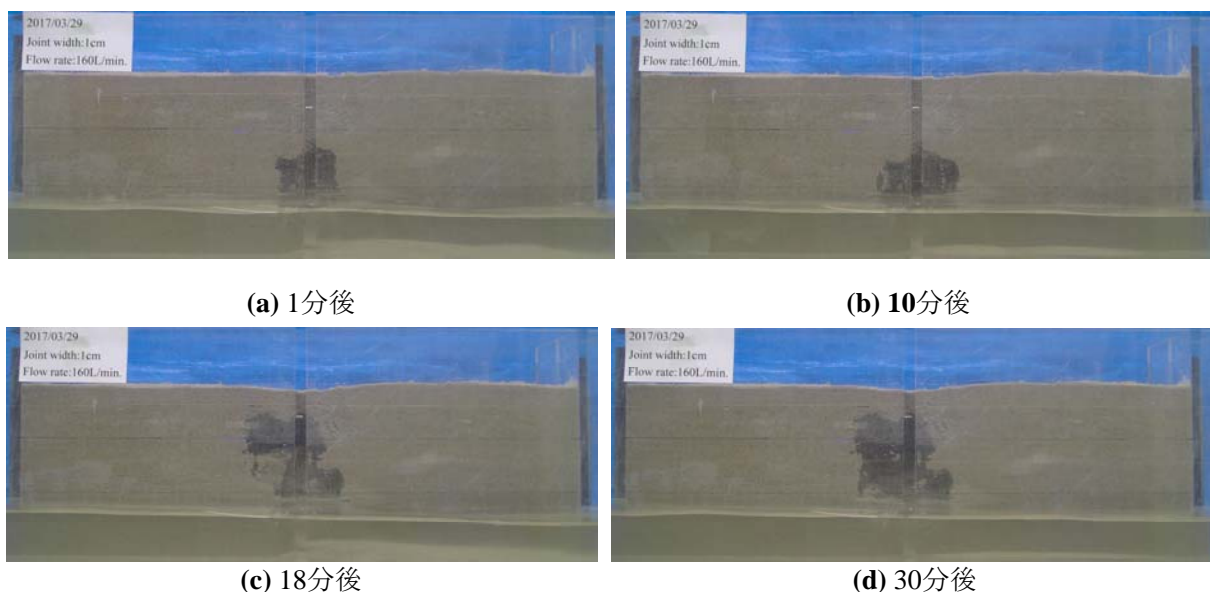


Fig. 7 水路側面部の吸い出し過程

し、大きな空洞が形成された。その後、水路側面部地盤の土塊が繰り返し崩落し、空洞は徐々に拡大した。また、実験時の様子から、土粒子は水路側面部地盤の下部から吸い出されていることが確認された。実験開始より30分後以降、水路側面部地盤内の空洞が安定し、吸い出しの進行は確認されなかった。実験開始より2時間後における空洞の奥行きは、最も深い位置で約6cmであった。

4. まとめ

本研究では、水路底面部および側面部からの吸い出しを対象に目地寸法や背面土の動水勾配条件を変えた水理模型実験を実施した。得られた知見を以下に列挙する。

- 目地深さの減少ならびに目地幅の増加により水路底面部目地からの吸い出し量が増大することが明らかとなった。
- 水路底面部の地盤液状化に伴い目地から離れた位置の土粒子が目地に流れ込む挙動が確認された。この結果、地盤全体が広範囲にわたり吸い出されることがわかった。
- 水路側面部背後地盤の吸い出しは実験開始直後から急激に進行し、大きな空洞が形成された。その後、水路側面部の土塊が繰り返し崩落し、空洞は徐々に拡大した。また、実験時の様子から、水路側面部地盤の下部から吸い出しが発生することが確認された。

参考文献

1. 農林水産省HP（参照2017.5.1） <http://www.maff.go.jp/j/nousin/mizu/sutomane/pdf/kai_san02.pdf>
2. 高橋重雄，鈴木高二朗，徳淵克正，下迫健一郎，善功企（1996）：防波護岸の吸い出し災害のメカニズムに関する水理模型実験，海岸工学論文集，**43**，666-670.
3. 茨田匠，浅尾瞳，澤田豊，河端俊典（2014）：衝撃弾性波を用いたコンクリート構造物の背面空洞深さ測定に関する実験，H26年度農業農村工学会大会講演会要旨集，680-681.
4. 瀬良良子，小池豊，桑野玲子，桑野二郎（2014）：東日本大震災液状化箇所における路面下空洞の特徴と発生メカニズム，地盤工学ジャーナル，**9**(3)，323-339.