

# サクシオン効果を記述する SYS Cam-clay model を用いた 透水模型実験の空気～水～土連成有限変形解析

名古屋大学 正会員 ○吉川高広 フェロー会員 野田利弘  
名城大学 正会員 小高猛司 横浜国立大学 正会員 崔瑛

## 1. はじめに

平成 24 年 7 月の九州北部豪雨による矢部川堤防の被災は、局所的なパイピングをきっかけとして決壊した“越流なき破堤”として大きな衝撃を与え、複雑な地盤条件・水理条件においても合理的に河川堤防の安全性照査が可能な最新の地盤力学に基づく解析手法の構築が求められている。

著者らはこれまでに、土骨格の弾塑性構成式に SYS Cam-clay モデル<sup>1)</sup>を搭載した空気～水～土連成有限変形解析コード<sup>2)</sup>を用いて、透水模型実験<sup>3)</sup>のシミュレーションを行い、浸透破壊する場合としない場合の違いを表現できることを示した<sup>4)</sup>。本稿では、京川ら<sup>5)</sup>、Zhang and Ikariya<sup>6)</sup>に倣ってサクシオン効果を考慮できる SYS Cam-clay モデル<sup>7)</sup>を新たに用いて、透水模型実験<sup>3)</sup>のシミュレーションを実施し、サクシオン効果の有無が浸透破壊挙動に与える影響について述べる。

## 2. 透水模型実験<sup>3)</sup>の概要と解析条件

図 1 は参照した透水模型実験<sup>3)</sup>の概要を示す。模型の右側から透水させる実験で、領域 I に基礎地盤の高透水性層として三河硅砂 3 号を、領域 II に上部砂質基礎地盤層(以後、地盤上部層)として三河硅砂 8 号を、領域 III に堤体として三河硅砂 6 号、7 号、8 号を 5:2:

5 で混合した砂を用いている。実験手順は、基礎地盤と堤体を構築した後に、(i)模型右端の水位を基準面から 100mm の高さで 1.5 時間放置後、(ii)水位を高さ 330mm まで上昇させる。著者ら<sup>4)</sup>はこれまでに、目立った変形が生じなかった (a)地盤上部層厚が 50mm (図 1 中の  $D = 50\text{mm}$ ) の場合と、最終的には滑りが堤体天端部分まで到達した (b)地盤上部層厚が 30mm (図 1 中の  $D = 30\text{mm}$ ) の場合をシミュレートし、(a)の場合は変形がほぼ生じない様子を、(b)の場合は基礎地盤の層境からボイリングする様子の再現に成功した。本稿では、(a)(b)両ケースのシミュレーションを、サクシオン効果を考慮できる SYS Cam-clay モデルを用いて行い、(a)では変形がほぼ生じない様子を再現できたが、ここでは紙幅の都合上図面は省略し、(b)について、サクシオン効果有無の違いが堤防の変形挙動に与える影響を示す。材料定数は既往研究<sup>8), 9)</sup>を参考に決定し、水分特性曲線を図 2 に示した。初期状態は、実験条件に合わせて決定し、初期の比体積、構造、応力比、異方性、飽和度、間隙空気圧 (0kPa) および間隙水圧(水分特性曲線から計算)を地盤内で一定と仮定し、土被り圧に応じて過圧密比を分布させた。

まず、上述(i)の過程について、図 3 は、サクシオン効果無しの場合の水位 100mm 上昇前後の飽和度分布を示す。模型堤防は初期飽和度約 10%で作製し、その後水位を 100mm まで上昇させ、十分に (1.5 時間) 放置すれば、図 2 に示す水分特性曲線を反映して、天端位置においてもほぼ飽和状態になる。なお、本研究では間隙比依存性の水分特性曲線を用いていないため、サクシオン効果の有無にかかわらず両者はほぼ同じ結果になる。図 4 は水位 100mm 上昇後 1.5 時間経過時の比体積変化分布 (水位 100mm 上昇直前からの変化量、圧縮が正)を比較した図である。サクシオン効果有りの方が、吸水コラプスが生じるため、体積圧縮量が大きい。図 5 は水位 100mm 上昇前後の過圧密比分布を比較した図である。サクシオン効果有りの方が、吸水コラプス(塑

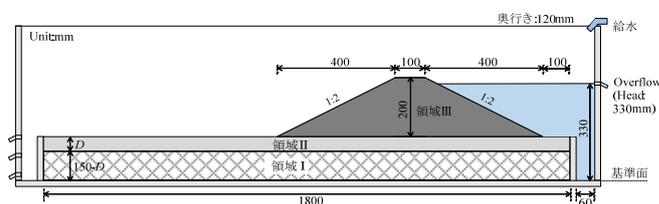


図 1 透水模型実験<sup>3)</sup>の概要

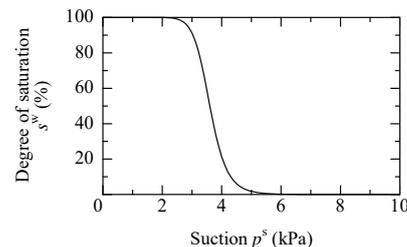


図 2 水分特性曲線

## 3. 解析結果

まず、上述(i)の過程について、図 3 は、サクシオン効果無しの場合の水位 100mm 上昇前後の飽和度分布を示す。模型堤防は初期飽和度約 10%で作製し、その後水位を 100mm まで上昇させ、十分に (1.5 時間) 放置すれば、図 2 に示す水分特性曲線を反映して、天端位置においてもほぼ飽和状態になる。なお、本研究では間隙比依存性の水分特性曲線を用いていないため、サクシオン効果の有無にかかわらず両者はほぼ同じ結果になる。図 4 は水位 100mm 上昇後 1.5 時間経過時の比体積変化分布 (水位 100mm 上昇直前からの変化量、圧縮が正)を比較した図である。サクシオン効果有りの方が、吸水コラプスが生じるため、体積圧縮量が大きい。図 5 は水位 100mm 上昇前後の過圧密比分布を比較した図である。サクシオン効果有りの方が、吸水コラプス(塑

キーワード 空気～水～土連成解析, サクシオン, 浸透破壊

連絡先 〒464-8603 名古屋市千種区不老町 名古屋大学工学部 9 号館 3 階 TEL : 052-789-3834

性体積圧縮)に伴い正規圧密化している。

次に、上述(ii)の過程について、**図 6** は実験結果と解析結果を比較した図である。なお、解析結果は堤体法尻付近を拡大して示した。実験では、浸透開始から 50 秒経過時に基礎地盤の層境から変形が生じ、それをきっかけに堤体が進行的に崩壊していく。解析においても、基礎地盤の層境から変形し始め、これをきっかけに堤体が法尻から徐々に崩壊していく様子を捉えられている。実験結果のようにその後の大崩壊を表現できていないが、サクシオン効果有りの方が、堤体内部への変形が進行している。これは**図 5** で示したように、浸透による吸水コラプス(塑性体積圧縮)が正規圧密化を促進し、堤体の強度・剛性が小さくなったためである。

#### 4. おわりに

サクシオン効果を考慮できる SYS Cam-clay モデルを用いると、浸透時に生じる吸水コラプス(塑性体積圧縮)が正規圧密化を促進するため、堤体内部への変形が進行することを示した。実験結果のように、堤体が大崩壊する様子の表現までは至っていないが、同条件で地盤上部層厚 50mm の解析を行う場合は、実験と同様にほぼ変形が生じない様子が再現できる点を強調したい。

**謝辞**：JSPS 科研費 17H01289 および H29 年度国土交通省河川砂防技術研究開発の助成を受けた。ここに感謝の意を表す。

**参考文献**：1) Asaoka et al.: An elasto-plastic description ..., S&F, 42(5), 47-57, 2002. 2) Noda and Yoshikawa: Soil-water-air coupled ..., S&F, 55(1), 45-62, 2015. 3) 小高ら: 基礎地盤の複層構造..., 第 52 回地盤工学研究発表会, 961-962, 2017. 4) 吉川ら: 模型堤防の浸透破壊..., 土木学会第 72 回年次学術講演会, 201-202, 2017. 5) 京川ら: サクシオン・飽和度・密度を..., 応用力学論文集, 12, 331-342, 2009. 6) Zhang and Ikariya: A new model ..., S&F, 51(1), 67-81, 2011. 7) 吉川ら: 不飽和土の排気・排水..., 第 22 回計算工学講演会, F-04-5 (CD-ROM), 2017. 8) Noda et al.: Soil-water coupled ..., S&F, 48(6), 771-790, 2008. 9) 杉井ら: 高飽和時に..., 平成 13 年度土木学会中部支部研究発表会講演概要集, 267-268, 2002.

