

# パイピングが引き起こす堤防表面沈下分布の堤体土質による違い

愛媛大学 学生会員 ○左橋直也 愛媛大学大学院 正会員 岡村未対

## 1. 背景

パイピングによる河川堤防の破堤を防ぐためには、漏水箇所における堤体損傷の進行程度を、可能であればリアルタイムで把握することが望ましい。しかし、既存の調査方法ではパイピング等の局所的なゆるみ領域を特定することは困難である<sup>1)</sup>。そこで、筆者らは近年発展している高精度・高密度のレーザー測定技術を活用し、堤防表面の起伏データから堤体内部状態の把握を可能にする技術の開発に取り組んでいる。岡村ら<sup>2)</sup>は堤体内部の土が流出する際に発生する砂質土堤防表面の沈下分布を遠心実験によって調べ、表面沈下形状からパイピングの位置と規模を推定するモデルを開発した。本研究ではさらに堤体土質の影響を調べるため、粘性土の堤体について実験を行った。

## 2. 実験の方法と条件

透明なアクリル側面を有する剛土槽(幅 430mm, 深さ 230mm, 奥行 120mm)を用いて、図 1 のような堤防模型を作製した。はじめに表面が粗なアクリルブロックの上に、パイピング部を模した直方体(幅 2cm, 高さ 1cm)の溶解性固結体(塩化カルシウム)を二本設置した。この固結体を厚さ 0.02mm のビニールシートでパックし、片側の端部にはシンフレックスチューブを接続し、他端部は解放した状態とした。その上に鳴瀬川堤防から採取した粘性土を含水比 32%に調整し、締固め度 89%となるように、高さ 10cm, 法面勾配 1:2 の堤体模型を作成した。この粘性土の一面せん断試験結果を図 2 に表す。この模型を 25G の遠心加速度場にて給水タンクから水を流し、溶解性固結体を溶解させ、溶解前後の堤体表面高さをレーザプロファイラ(キーエンス LJ-V7000)により面的に測定した。本実験ではアクリル壁面側の固結体①をはじめに溶解させ、その後固結体②を溶解させた。なお、固結体①については、模型は堤体縦断方向の対称性から、幅 4cm, 高さ 1cm のパイピング部となる。固結体②は①の後に生じる幅 2cm, 高さ 1cm のパイピング部となる。本実験の模型は、原型で高さ 2.5m の粘性土堤体底部に高さ 25cm のパイピングによる土砂流出が発生する実験となる。以後、結果は全て模型スケールで示す。

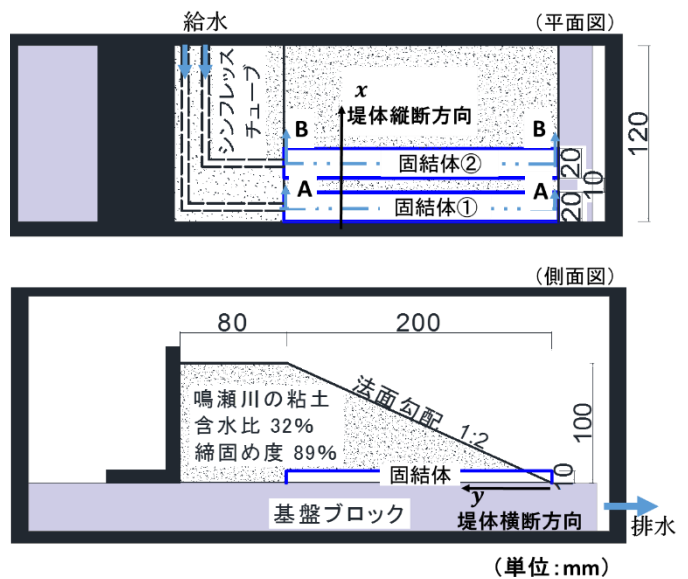


図 1 堤防模型の概要図

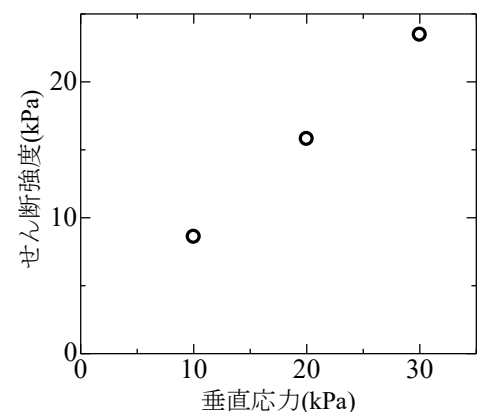


図 2 一面せん断試験結果

## 3. 実験結果

### 1) 堤体横断方向の沈下量

固結体①および②の溶解により生じた側線 A, 及び側線 B 上の沈下量を図 3 に示す。側線 A および側線 B は図 1 に示すとおり、土槽側面から 1cm および 4cm の位置の、パイピング部直上での横断方向の沈下量分布である。さらに、堤体土質を乾燥砂とした岡村ら<sup>1)</sup>が行った実験の、パイピング部直上の沈下量も図 2 に実線で示した。ゆるい砂のような堤体強度の小さい堤防ならば、土被り厚の小さな法尻では表面沈下量はパイピング部高さと同じになり、法肩に向かって土被り厚が増加するに従い小さくなる。しかしながら、本実験では堤体土

の強度が大きく、加えて実験中に、堤体表面が乾燥(表面から約 5 cm まで、含水比が平均 4% 低下)し堤体強度が増加し、全体的に沈下量が小さく、特に土被りの小さい  $y=0\sim 10\text{cm}$  の沈下量が乾燥砂のものに比べ小さな値となった。

## 2) 堤体縦断方向の沈下量

$y=12, 15, 17\text{cm}$  の位置での、固結体①および固結体②での堤体縦断方向( $x$  方向)の沈下量を図 4, 図 5 に示す。図 4 は①, 図 5 は②より生じた沈下量増分である。固結体①によって生じるパイピング幅は固結体②によって生じるものの 2 倍であるため、沈下は広範囲で起こったことが分かる。また沈下分布は砂堤防<sup>2)</sup>の場合と同様にガウス分布形状に近いものである。

## 3) 地表面沈下分布特性

シールドトンネルの掘削に伴う地表面沈下特性には、トンネルの幅で正規化した土被り厚と地表面沈下領域の広さとに良い関係があることが知られている<sup>3)</sup>。そこで岡村らに倣い、沈下量の縦断分布をガウス曲線で近似し、正規化した変曲点までの距離  $x_i/B$  と深さ  $D/B$  の関係を求め、図 6 に示す。ただし、 $B$  はパイピング幅、 $D$  はトンネル(パイピング)までの深さである。今回の粘性土堤防では、砂質土堤防よりも沈下領域の幅が広いこと、砂質土堤防と同様に  $x_i/B$  と  $D/B$  には直線関係が認められることがわかる。また、シールドトンネルの事例のほとんどは地表面が水平であるが、本研究での堤体法面のように、地表に傾斜があっても、沈下分布形状は水平地盤の場合と同様の傾向を示すことがわかる。

## 4. まとめ

本研究では粘性土堤防の底部にパイピングが生じた際に堤体表面に表れる沈下分布を調べるために遠心模型実験を行った。その結果、堤体の強度が大きいと地表面に生じる沈下量は小さく、範囲は広がった。堤体が粘性土であっても、沈下の縦断分布はガウス曲線状となった。沈下分布を近似したガウス曲線の変曲点距離と深さの関係は、既往のシールドトンネルの事例とよく対応したものであることが分かった。

## 参考文献

- 1) 岡村・坂本・新清(2016)：平成 27 年 9 月関東・東北豪雨による関東地方災害調査報告書 4. 4 節, 2015 年関東・東北豪雨災害 土木学会・地盤工学会合同調査団関東グループ。
- 2) 岡村・平尾・左橋(2016)：パイピングによる堤体表面形状変化の特徴, 第 4 回河川堤防技術シンポジウム, pp53-56。
- 3) Mahmoud, A. and Maged, I. (2011): Analysis of Tunneling-Induced Ground movements Using Transparent Soil models, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Eng. 137(5), pp. 525-535.

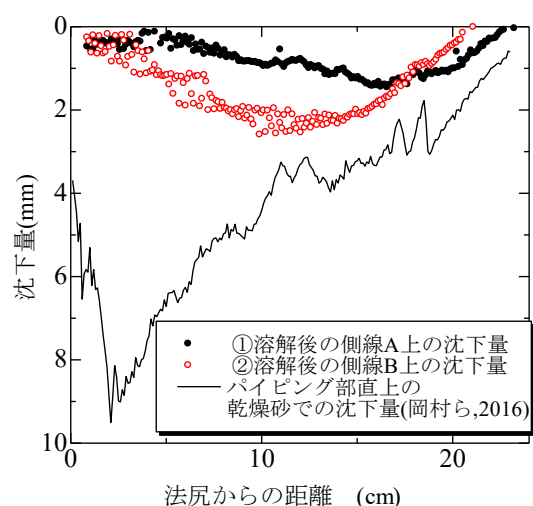


図 3 固結体直上の横断方向沈下量

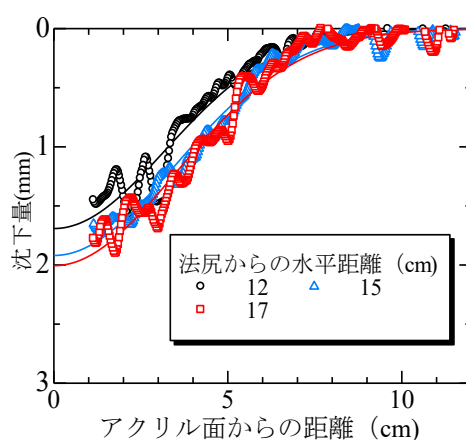


図 4 ①溶解後の縦断方向沈下量

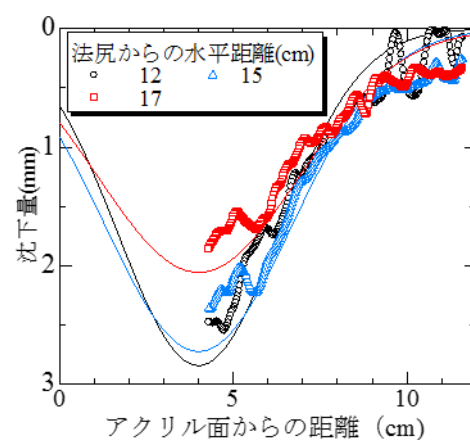


図 5 ②溶解後の縦断方向沈下量

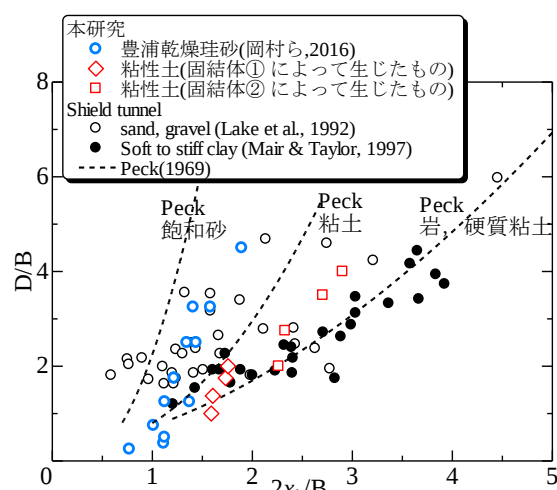


図 6 沈下量と変曲点距離、深さの関係