

パイピングにより堤体表面に現れる沈下形状とパイプ形状の関係

愛媛大学 学生会員 ○坪井勇樹 愛媛大学 フェロー 岡村未対
愛媛大学 学生会員 大島慧介

1. はじめに

河川堤防の高水による破壊形態の一つにパイピング破壊がある。パイピング部の断面は数 mm～数 cm と極めて小さいため、現在の探査技術でそれを直接特定することは極めて困難である。一方、パイピングが発生すると、パイピング部直上の堤体法面がわずかに沈下することがわかっており、それを用いたパイピング部の特定法も研究されている¹⁾。ドローンからのレーザー測定や写真解析技術を用い、広範囲で堤体表面の微小な変位情報が容易に取得可能となっており、堤体表面形状（図1の x_i と S_{max} ）からパイピング部の位置と大きさの特定や進展長さの評価が出来る見込みがたってきた。

パイピング部直上の堤体表面に現れる沈下部の形状はガウス曲線状であることがわかっており、パイプ部の寸法・形状と堤体沈下形状の関係が模型実験を基に式(1)で表されることが示されている¹⁾。

$$B = \left(\frac{\sqrt{2\pi}}{0.1} \times S_{max} \times x_i \right)^{0.5}, D = 4.6 \times B \times \left(\frac{2 \times x_i}{B} - 0.8 \right) \quad (1)$$

しかしながら、これは矩形のパイピングを人為的に発生させた実験から提案されたものである。そこで本研究では遠心模型実験を行い、基礎地盤の浸透によりパイピングを発生させ、その直上の堤体沈下形状と共に実験後に堤体を取り外してパイピング部の形状を詳細に測定し、両者の関係を調べることでより式(1)の適用性を検討した。

2. 実験方法

模型の概略を図2に示す。基礎地盤は支持層の上に東北硅砂8号を層厚60mm、相対密度60%となるように空中落下させて作成した。堤体は含水比30%のカオリンを土層外で締固め、基礎地盤上に設置した。これを遠心装置に搭載し、40Gの遠心加速場にて外水位を上昇させ、浸透によりパイピングを発生させた。外水位を下げた後、堤体表面と地盤の表面形状をレーザープロファイラーで三次元測定した。実験終了後、堤体を丁寧に取り除き基礎地盤表面のパイプをレーザープロファイラで計測し、パイピング部の形状を取得した。

3. 実験結果と考察

3.1 実験結果

図3は高水前後の堤体及び地盤表面高さの変化量、図4は堤体撤去後の基礎地盤表面高さのコンター図である。

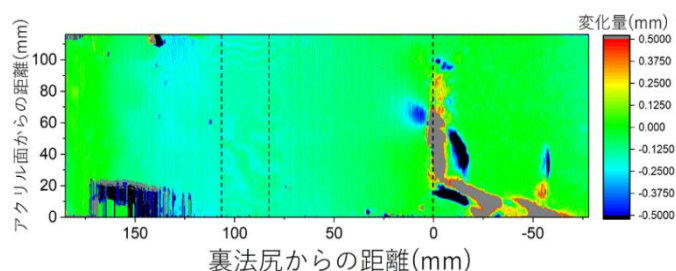


図3：堤体及び基礎地盤の高さの変化量分布

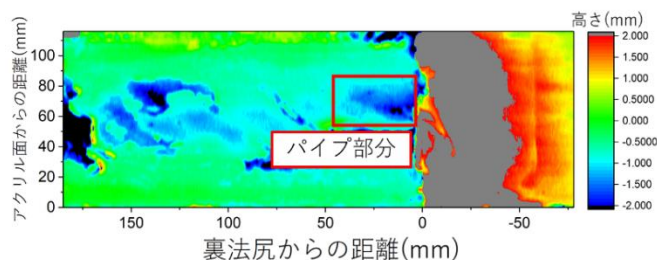


図4：基礎地盤コンター図

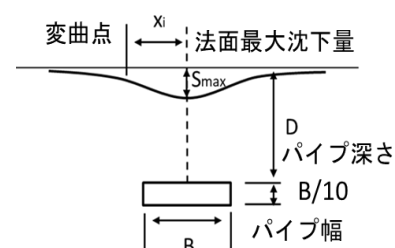


図1：パイピングと堤体沈下の

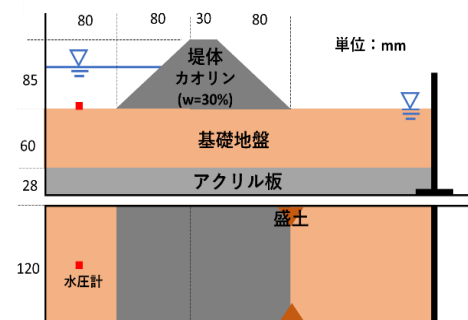


図2：実験模型

図4の赤枠で囲んでいる部分がパイピング部分である。図3と図4を比較すると、パイピング部直上で堤体の沈下が見られる。図3の裏法尻から5, 10, 15mmの位置での堤体表面沈下量の縦断面分布を図5に示す。図中にはそれらを近似したガウス曲線も示してある。これより、浸透で発生したパイピングにより堤体表面に現れる沈下形状も正規分布曲線で近似できることが確認された。また、堤体の沈下は裏法尻から天端に向かうにつれ広く浅い沈下形状になることがわかる。

3.2 堤体沈下形状とパイプ形状の関係

図6は裏法尻から10mmの位置での堤体表面と基礎地盤パイプ部の縦断面である。基礎地盤のパイプ部は中央部が深い船底型であるが、これを図中に示すような矩形と仮定し、式(1)を用いて堤体表面形状を求めた結果を図7に示す。これより予測結果は実測値と大きく異なることがわかる。

ここで図8に裏法尻から10mmの位置でのパイプ断面形状を示す。既往の研究ではパイプ幅がBのとき、 $B/10$ の高さのパイプ部が生じるものと仮定しているが、実際のパイプ部の形状は矩形ではない。そこで、法面の沈下形状を再現するためのパイプ幅B'を試行錯誤によって求めてみた。図9に $B'=B/4$ とした結果を示す。予測結果と実測値の S_{max} は良く合っているが、幅 ξ は予測結果が実測値よりも狭くなっている。これより、船底型の実際のパイピングでは、式(1)と表面形状から得られるパイピング部の幅は、実際のパイピング部のおよそ $1/4 \sim 1/3$ であることがわかった。

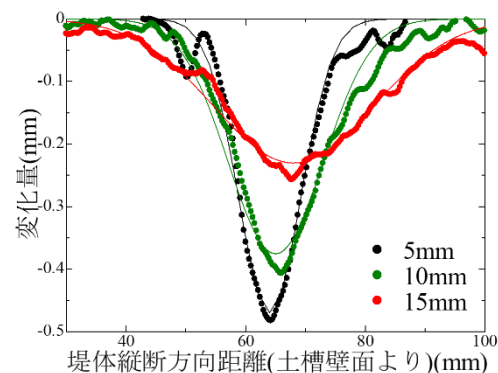


図5：堤体沈下形状と近似線

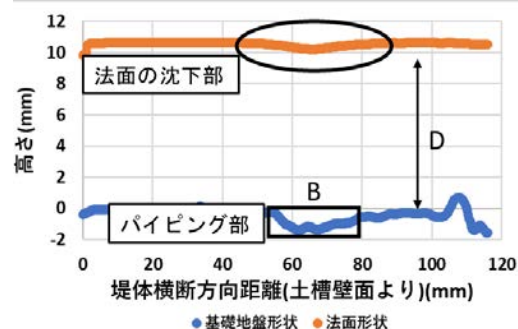


図6：裏法尻から10mmの基礎地盤と堤体表面の断面

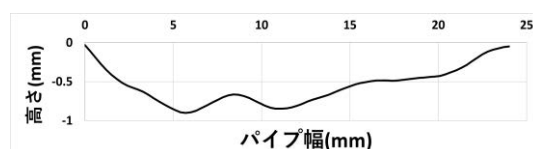


図8：裏法尻から10mmのパイプ断面

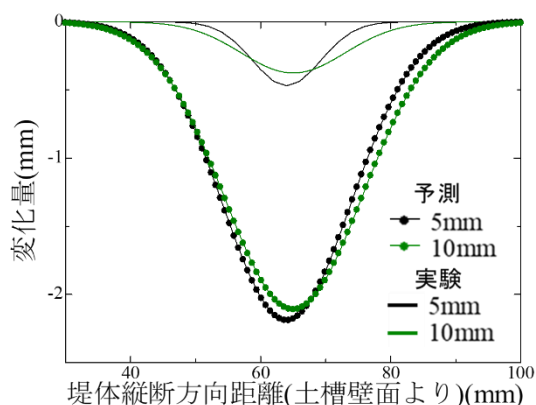


図7：堤体沈下形状の予測値と実験値

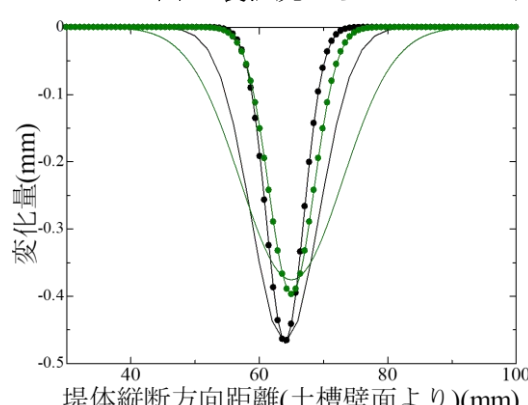


図9：堤体沈下形状の予測値と実験値

4. おわりに

本研究では自然に発生したパイピングで堤体に現れる沈下形状とその時のパイプ形状の関係を調べるために遠心模型実験を行って検証した。自然に発生したパイピングによる堤体沈下形状は正規分布曲線で近似でき、それは、実際のパイプ幅の $1/4 \sim 1/3$ の幅と式(1)を用いると計算で再現できることがわかった。

5. 参考文献

1)岡村未対, 平尾優太郎, 前田健一: パイピングにより堤体表面に現れる沈下分布の特徴, 河川技術論文集, 第23巻, 2017年6月