

## 軟弱地盤上に築かれた河川堤防内の液状化抵抗の考察

### Consideration of Liquefaction Resistance in Physical Models of Levee constructed on Soft Ground

○平川翔也・ピパットポンサー ティラポン・宮崎祐輔

○Shouya HIRAKAWA, Thirapong PIPATPONGSA, Yuusuke MIYAZAKI

During the Great East Japan Earthquake occurred in 2011, some river embankments constructed on the non-liquefied ground was liquefied inside the river embankment, causing enormous damages. As arch-like structure is formed inside the embankment as the foundation ground subsides. Collapse of embankment caused by liquefaction is mostly likely to happen because arch action reduces the vertical pressure at the center bottom of the embankment. This study aims at predicting the liquefaction resistance of river embankments using the results of laboratory tests based on both cyclic triaxial tests and centrifugal model tests. As a result, the liquefaction prediction of the river embankments on subsiding non-liquefiable soft ground below the phreatic zone is possible.

#### 1. はじめに

以前より、河川堤防における基礎地盤の液状化抵抗について数多く研究されてきた。しかし、2011年に発生した東北地方太平洋沖地震では、非液状地盤である粘土地盤上における河川堤防の液状化被害が多く報告された<sup>1)</sup>。非液状地盤上の河川堤防の液状化抵抗は、築堤後の基礎地盤の沈下によって堤防内にアーチ作用が働くことで堤防中央底部の鉛直応力が減少することが考えられている。既往の研究では、ピパットポンサーら<sup>2)</sup>が、砂山の応力分布に関する実験と理論解析から、基礎地盤が三角形型に沈下する際に盛土内にアーチ作用が働き、盛土中央底部の鉛直応力が減少することを確認している。また、権代<sup>3)</sup>は、基礎地盤の沈下形状の違いにより、盛土内部の応力状態がアーチ作用に伴いどのように変化するかを、遠心模型実験により調べた。

しかしながら、非液状軟弱地盤上の堤防内部に水位を有する河川堤防の液状化挙動について室内試験結果を用いた検討や予測は進んでおらず、地震大国であり河川堤防を多く有す日本では、液状化を考慮した設計や築堤後の河川堤防の液状化対策の点から、これらを検討することは非常に重要である。そこで本研究では、権代ら<sup>3)</sup>の遠心模型実験結果を理論計算結果と比較検討しながら分析し、さらに非排水繰り返し三軸試験結果を用いた液状化予測を試みた。

#### 2. 遠心模型実験結果の分析

本研究では、権代ら<sup>3)</sup>の遠心模型実験結果の分析を、ピパットポンサーら<sup>4)</sup>が提案したアーチ作用を受ける盛土内の応力状態に関する理論を用いて行った。実験条件の詳細は、権代ら<sup>3)</sup>の報告を参照されたい。

また、盛土内の鉛直応力の理論計算は、ピパットポンサーら<sup>4)</sup>が提案した、Mohr-Coulomb破壊条件から得られる堤防下部の破壊角 $\phi$ で主応力が固定される状態を仮定した理論を用いて計算する。この計算において、堤防内の微小要素のつり合い式から微小要素の応力成分を求める。さらに、図1のように境界条件から堤防を6つの領域に分割し、それぞれの領域で応力成分の積分計算を行うことで、アーチ作用を受けた河川堤防の応力分布を求める。破壊角 $\phi$ は、圧密非排水試験から得た内部摩擦角 $27.45^\circ$ を用いて求めている。

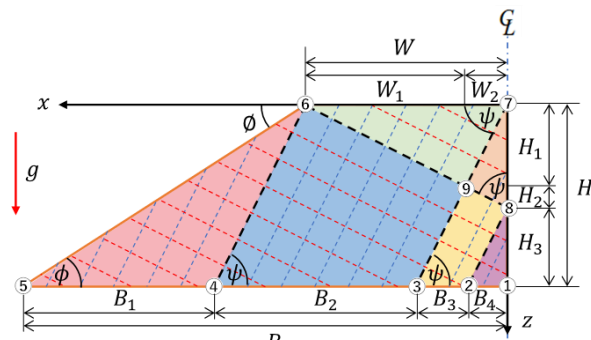


図1 境界条件で6つに分割した堤防の模式図

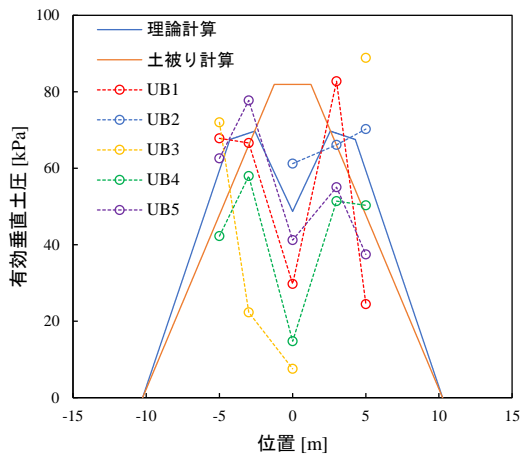


図 2 初期有効垂直土圧と理論計算の比較

遠心模型実験における初期鉛直土圧を理論計算結果と比較した結果を代表して、ウレタン地盤条件で中央底部から流体を供給した第1加振直前の結果を図2に示す。図2より、ばらつきはあるものの盛土中央底部の有効垂直応力が周辺底部と比較して小さい分布を示しており、理論計算結果と似た傾向を示す。また加振回数が増えると理論計算との乖離が大きくなる。これは、加振により最大主応力を固定していた理論計算を満たさないことや、盛土内の密度が変化したことが原因と考えられる。また、どのケースにおいても中央底部の液状化抵抗が低く、中央底部を皮切りに液状化がみられた。剛体地盤条件では、中央底部が周辺部より有効垂直応力が低下する傾向がみられず、土被り計算に近い応力分布となり、加振による中央底部の液状化は見られなかった。

### 3. 室内試験結果を用いた液状化予測

繰返し非排水三軸試験結果を液状化発生時点で整理した結果を用いて液状化予測を行う。遠心模型実験の結果から、加速度からせん断応力を求め、初期有効垂直土圧を初期有効拘束圧とし、繰返しせん断応力を各ケースで求める。遠心模型実験では全てのケースで、本加振において20波の連続波が入力されている。以上の方法で繰返し非排水三軸試験結果に遠心模型実験結果を、縦軸に繰返しせん断応力比、横軸に繰返し载荷回数をとったグラフにプロットし、液状化予測を行う。その結果を通常ウレタン地盤条件の繰返しせん断応力比が0.5以下のケースを図3に示す。0.5以上の5ケースは全て液状化が発生している。図3より、繰返しせん断応力比が三軸試験より求めた液状化基準より大きく実際に液状化が発生したケースと液状

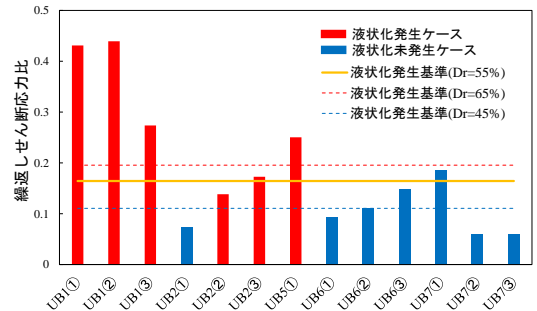
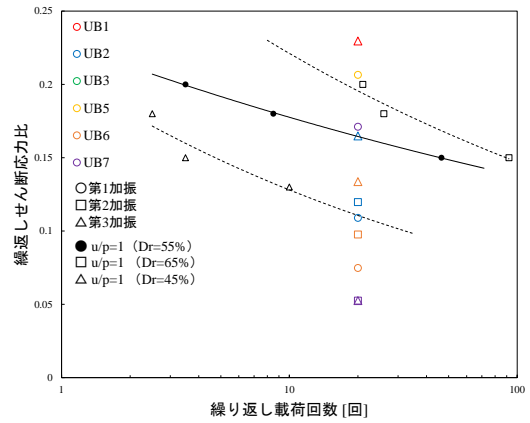


図 3 三軸試験を用いた液状化予測結果

化基準より小さく実際に液状化が未発生ケースは、予測が成功していると考えられ、18 ケース中16 ケースで液状化を予測できていることが分かる。

### 4. まとめ

本研究では、非液状化軟弱地盤上の堤防内部に水位を有する河川堤防における応力分布を、アーチ作用を考慮した応力状態の理論値と比較検討した。その結果、軟弱地盤上の盛土では中央底部の有効垂直応力が周辺底部と比較して小さい分布を示しており、理論計算結果と似た傾向を示すことが分かった。さらに、繰返し非排水三軸試験結果から、非液状化軟弱地盤上の堤防内部の液状化予測を行える可能性があることが分かった。

### 参考文献

- 1) 地盤工学会：東日本大震災合同調査報告 地盤編1，丸善株式会社出版，pp.211-pp.241
- 2) ピパットポンサー・ティラポン，竹山智英，飯塚敦，太田秀樹：アーチ作用による盛土中央の圧力減少が基礎の沈下によって引き起こされる液状化に及ぼす影響，第62回理論応用力学講演会，2013，
- 3) 権代知輝，ピパットポンサー・ティラポン，北岡貴文，大津宏康：沈下形状に伴う盛土内アーチ作用に関する動的模型実験，令和元年度京都大学防災研究所研究発表講演会，D15，2020，
- 4) ピパットポンサー・ティラポン，竹山智英，飯塚敦，太田秀樹：安息角で形成された平面状斜面における固定主応力軸を仮定した応力解析，第45回地盤工学研究発表会，2010