

堤体液状化によって生じた亀裂や緩みが堤防の浸透特性に及ぼす影響の検討

土木研究所 正会員 ○青柳悠大, 上田和也, 谷本俊輔, 石原雅規, 佐々木哲也

1. はじめに

地震によって生じた「亀裂」や「緩み」が堤防の浸透安全性に及ぼす影響については未解明な点が多く、筆者らはこれまで亀裂や緩みの影響に関する検討を行ってきた¹⁾。本論では、亀裂の発生が著しい堤体液状化²⁾が生じうる堤体に対して、遠心力場で加振と浸透実験を行い、加振後の「亀裂」や「緩み」が堤体の浸透特性に及ぼす影響について検討した。

2. 実験方法

堤体液状化を生じさせるために軟弱地盤上に堤体の自重圧密による沈下部分(めり込み領域)を再現した模型を作製して実験を行った。実寸換算した模型概要を図-1に示す。なお、以下では特段の断りのない限り、実寸換算値で表記している。

堤体と軟弱地盤には、それぞれ霞ヶ浦粘土 ($\rho_s=2.662\text{g/cm}^3$, $D_{50}=0.0514\text{mm}$, $F_c=58.8\%$, $I_p=17.0\%$) とスミクレー ($\rho_s=2.714\text{g/cm}^3$, $D_{50}=0.0103\text{mm}$, $F_c=91.5\%$) を使用した。堤体は、高さ7.5m、法勾配2割となるように霞ヶ浦粘土を締固め度 $u=85\%$ で締固めて作製した。軟弱地盤は層厚8mとなるようにスラリー状のスミクレーを150kPaの先行圧密荷重の下で、遠心場で圧密を行った。なお、圧密終了時間は \sqrt{t} 法によって決定した。堤体自重によるめり込み領域の形成は圧密による再現が困難であるため、軟弱地盤上面に設けた凹状の円弧部(最深部1.5m)に、下面に凸状の円弧部を設けた盛土を設置することで再現を行った。堤体は木枠内に所定の密度で突き固めて冷凍し、軟弱地盤上に設置して解凍した。解凍後、脱気槽内を炭酸ガスで満たし、さらに負圧を与えた状態で脱気水により飽和させ、堤体下部のめり込み領域を飽和させた。本実験では、動的遠心力載荷試験装置を用いて50Gの遠心力場で、同一の模型に対して健全な堤体(加振前)への浸透実験と加振後に亀裂が生じた堤体への浸透実験を行った。

3. 加振によって生じた堤体の「亀裂」と「緩み」

加振後の堤体の変状状況を図-2に、加振後の浸透実験(川表水位5.5m)の時に横断亀裂から発生した堤体漏水の状況を写真-1に示す。加振によって堤体天端から法面にかけて亀甲状の亀裂が多数発生しており、裏法面には堤防の横断方向に伸びる大きな亀裂が発生している。横断亀裂に関しては別報³⁾においても詳細に検討を行っている。加振による緩みの評価を行うために、実験と同様の方法で作製した堤体模型を新たに作製し、小型コアカッターを用いて健全な堤体の締固め度分布を算出した(図3-(a))。また、加振実験後の堤防に対しても同じ大きさのコアカッターを用いて加振後の締固め度分布を算出し、加振前の健全な堤防との締固め度分布の変化量分布を求めた(図3-(b))。図3-(b)より、加振後の堤防は締固め度が全体的に低下しており、特に天端付近で締固め度が大きく低下している(約-7.0%)ことが分かる。実際に地震後の堤防にこのような密度低下が生じた場合は、強度低下が懸念されるため全面的な切り返しを行うことが望ましいと考えられる。

キーワード 堤防, 浸透特性, 地震, 堤体液状化, 地盤の緩み, 亀裂

連絡先 〒350-8516 茨城県つくば市南原1-6 (国研)土木研究所 土質・振動チーム TEL029-879-6771

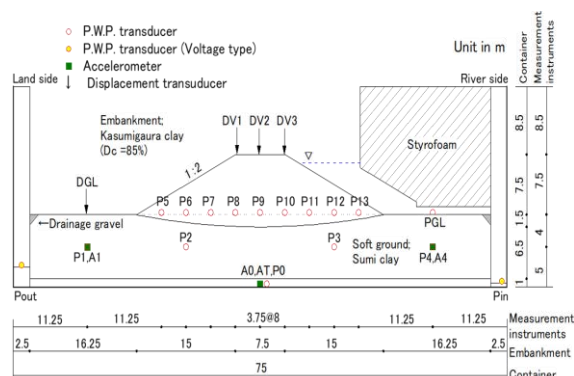


図-1 遠心力模型実験の模型概要(実寸換算)

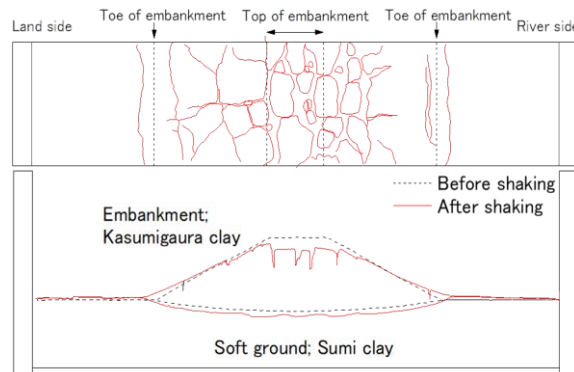


図-2 加振後の堤体の変状状況



写真-1 横断亀裂からの漏水状況

4. 浸透実験の結果

加振前後のいずれの浸透実験においても、土槽内に設置してある給排水槽の電磁弁を操作して、川表水位が所定の時間で地表面から2.5、3.5、4.5、5.5mとなるように調整して行った。加振後の堤体高さは約6.2mであり、加振後の浸透実験では、川表水位を加振後の堤体高さの約90%まで上昇させた。なお、写真-1に示すように、裏法面に発生した横断亀裂からの多量の漏水によって実験の継続が困難であったため、加振後の浸透実験は約48時間で実験を終了している。

浸透実験における川表水位と単位奥行あたりの漏水量の時刻歴を図-4に示す。漏水量は排水槽内底部に取り付けた水圧計(図-1中の P_{out})より得られた水位上昇速度を用いて算出している。図-4より、川表水位4.5mを保持している時間(約30時間)までの加振前後での漏水量の差は、加振前後で $0.05\text{m}^2/\text{h}$ 程度の僅かな差であった。天端から川裏法面にかけて発生した横断亀裂の影響が少ないと考えられる川表水位の低い段階(2.5、3.5、4.5m)では、加振による堤防機能の低下は見受けられず、既往の研究結果¹⁾とも整合している。一方で、写真-1に示すように横断亀裂を通じて堤体漏水が生じる(川表水位5.5m、約35時間後)と、漏水量が急増し排水槽が満杯になってしまう程の多量の漏水が生じた。

各川表水位における加振前後の堤体下部からの全水頭分布を図-5に示す。加振前の浸透実験では、堤体模型作製時の間隙水圧計の設置位置をもとに全水頭分布を算出している。また、加振後の浸透実験では、実験終了後の堤体開削断面より計測した間隙水圧計の位置をもとに全水頭分布を算出している。図-5より、加振後の堤体下部では全水頭分布が低下し、堤体上部(川表水位4.5mから5.5mの時)の全水頭分布は大きく上昇していることがわかる。加振後の堤体下部で川表水位4.5mまでは全水頭分布が低下したのは、加振による密度増加(図-3(a))により透水性が低下したのものであると考えられる。また、堤体上部(川表水位5.5m時)で高い全水頭分布を示したのは天端から川裏法面にかけて生じた「横断亀裂」と、本実験においては天端付近に発生した堤体の「緩み」によるものであると考えられる。

5. まとめ

堤体液状化が生じうる堤体に対して、加振前後での堤体の浸透特性について50Gの遠心力場で検討を行った。加振前後の締固め度分布の変化量より、本実験の条件では天端付近において大きく締固め度が低下することを確認した。また、堤体下部は加振による密度増加によって堤防機能の低下は確認されなかったが、川表水位が高くなると横断方向に進展した大きな亀裂と堤体天端付近の緩みによって浸透特性が低下する場合があることを実験的に確認した。

参考文献 1)大重綱平ら、堤防の浸透特性に及ぼす地震後の亀裂および応急措置の影響に関する遠心模型実験、令和3年度土木学会年次学術講演会、III-117、2021。 2)佐々木哲也ら、堤体の液状化、地盤工学会誌、Vol. 61, No. 1, 46-47, 2013。 3)上田和也ら、堤防の浸透特性に及ぼす地震後の横断亀裂の影響に関する遠心模型実験、令和4年度土木学会年次学術講演会、2022。(投稿中)

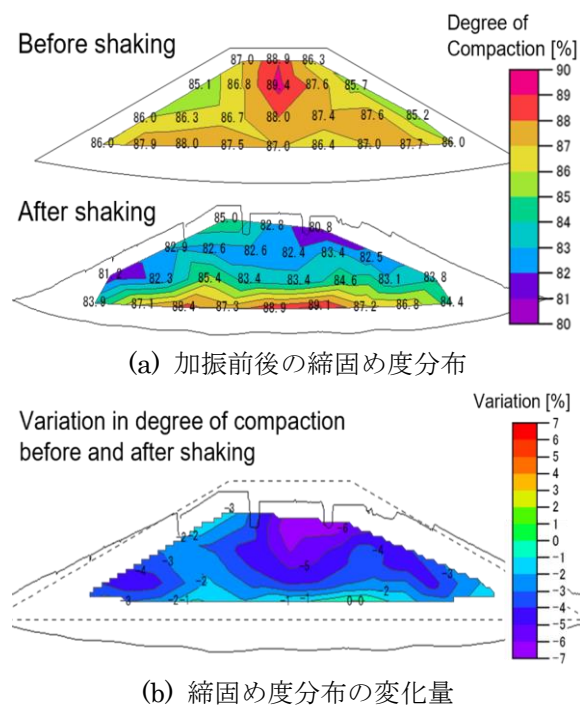


図-3 健全な堤防(加振なし)と加振後の堤体の締固め度分布の比較

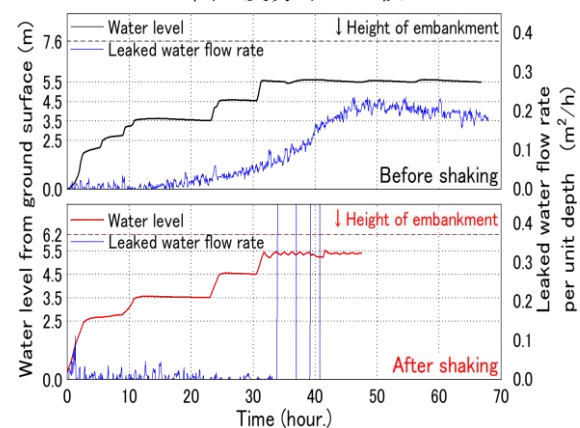


図-4 浸透実験における川表水位の時刻歴と天端高さとの関係

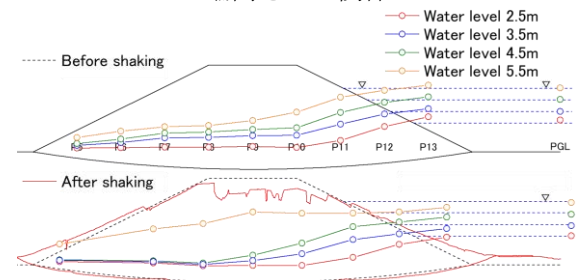


図-5 加振前後の堤防下部からの全水頭分布の変化