

河川盛土の補強工法に関する地震応答解析と動的遠心力模型実験

高知工業高等専門学校 法人会員 ○中澤 祐飛

高知工業高等専門学校 正会員 岡林 宏二郎 高知工業高等専門学校専攻科 学生会員 三笠 候嗣

1.はじめに

東北地方太平洋沖地震によって、東北地方では大規模な堤防被災が発生した。堤防被害の要因の多くは液状化の発生によるものであった。南海トラフ巨大地震が発生した際に高知県では、高知市を中心に液状化が起こる可能性が高いとされている。被害を低減するために、河川堤防に液状化対策を行い地盤沈下を抑制する必要がある。

本研究では、河川盛土の補強工法について有効応力解析 SoilWorksLIQCA と動的遠心力模型実験装置を用いて、液状化解析と液状化実験を行う。解析結果と実験結果を検証するとともに、対策効果の検討を行う。また、矢板の根入れ深さの違いによる地震波の周期の変化についても調査する。

2. 解析方法及び実験方法について

2.1 解析及び実験モデル

盛土地盤モデル (図 1)、盛土地盤に矢板を液状化層中央まで挿したモデル (図 2)、盛土地盤に矢板を基盤層まで挿したモデル (図 3) の 3 つのモデルで解析を行う。図に示した寸法は解析を行う際に用いた寸法である。ただし、計測器の深さは実験の際の寸法である。

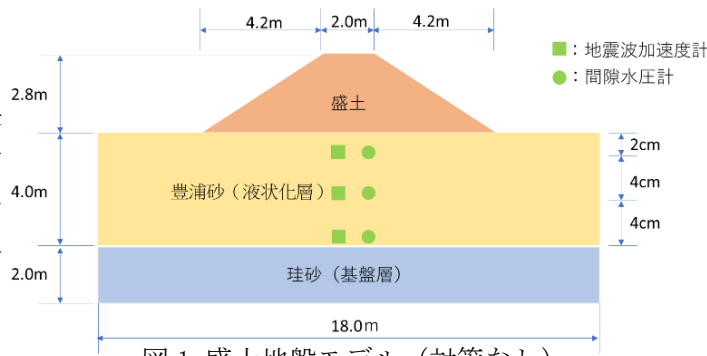


図 1 盛土地盤モデル (対策なし)

2.2 有効応力解析法による液状化解析

有効応力解析法に基づいた液状化手法として開発された計算プログラム SoilWorksLIQCA で解析を実施する。解析に用いた物性値を表 1、表 2 に示す。

表 1 動的解析用パラメータ

	盛土	珪砂	豊浦砂 (Dr=50%)	豊浦砂 (Dr=70%)
湿潤単位体積重量 (γ_t)	15.758(KN/m ³)	16.17(KN/m ³)	14.484(KN/m ³)	15.06(KN/m ³)
飽和単位体積重量 (γ_{sat})	18.7(KN/m ³)	19.845(KN/m ³)	18.774(KN/m ³)	18.8(KN/m ³)
有効土圧り圧	0(KN/m ²)	0(KN/m ²)	0(KN/m ²)	0(KN/m ²)
静止土圧係数	0	0	0	0
無次元化初期せん断係数	908	1043	910	1040.9
初期間隙比 (e_0)	0.673	0.6	0.791	0.718
圧縮指数 (λ)	0.025	0.025	0.0039	0.0039
膨張指数 (k)	0.0025	2.00E-04	2.20E-04	2.20E-04
類似過圧密度	1	1	1	1.5
ダイレイタンス係数 (D_v)	1	1	0.5	0.75
ダイレイタンス係数 (n)	9	1	5	7
透水係数/水の単位体積重量	1.3E-03 (m/sec/KN/m ³)	0.001 (m/sec/KN/m ³)	1E-04 (m/sec/KN/m ³)	1E-04 (m/sec/KN/m ³)
水の体積弾性係数	2000000(KN/m ²)	2000000(KN/m ²)	2000000(KN/m ²)	2000000(KN/m ²)
変相応力比 (Mm)	0.909	0.909	0.909	0.817
破壊応力比 (MH)	1.511	1.551	1.229	1.245
硬化関数中のパラメータ (B_0)	1500	5000	3500	5185.7
硬化関数中のパラメータ (B_1)	20	60	60	100
硬化関数中のパラメータ (C_1)	0	0	0	0
異方性損失パラメータ (C_d)	2000	2000	2000	2000
塑性基準ひずみ (γ^P)	0.015	0.01	0.003	0.005
弾性基準ひずみ (γ^E)	0.1	0.2	0.006	0.02

表 2 静的解析用パラメータ

	盛土	珪砂	豊浦砂 (Dr=50%)	豊浦砂 (Dr=70%)
湿潤単位体積重量 (γ_t)	15.758(KN/m ³)	16.17(KN/m ³)	14.484(KN/m ³)	15.06(KN/m ³)
飽和単位体積重量 (γ_{sat})	18.7(KN/m ³)	19.845(KN/m ³)	18.774(KN/m ³)	18.8(KN/m ³)
ポアソン比	0.333	0.333	0.333	0.333
有効土圧り圧	1E-08(KN/m ²)	1E-08(KN/m ²)	1E-08(KN/m ²)	1E-08(KN/m ²)
静止土圧係数	1	1	1	1
ヤング係数の比例係数 (E_0)	3494.07	1210.6	2775.2	2775.2
定数 (n)	1	1	1	1
粘着力	0(KN/m ²)	0(KN/m ²)	0(KN/m ²)	0(KN/m ²)
内部摩擦角	31.3	42	37.75	37.75

2.3 入力地震波

地震波は、実験土層を液状化させるために必要な加速度を道路橋示方書¹⁾の簡易判定法に基づいて算出する。解析では相似則より、遠心力模型実験で加振した地震波の加振時間を 40 倍した地震波 (図 4) を用いた。

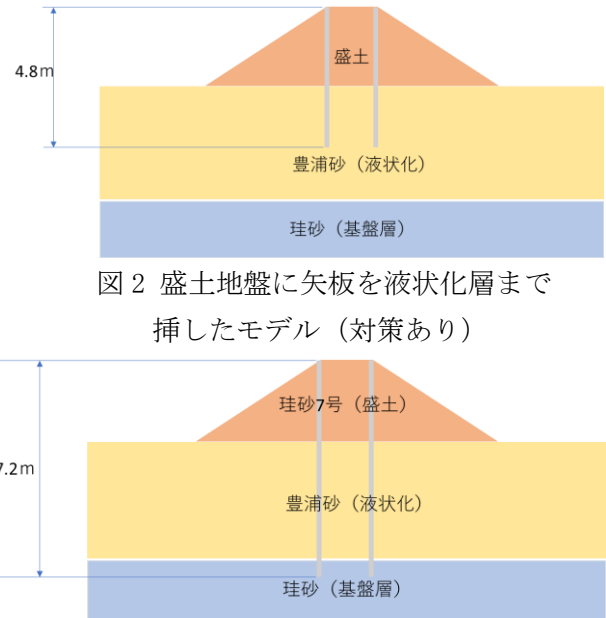


図 2 盛土地盤に矢板を液状化層まで挿したモデル (対策あり)

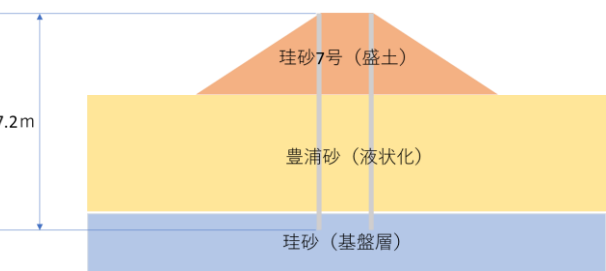


図 3 盛土地盤に矢板を基盤層まで挿したモデル (対策あり)

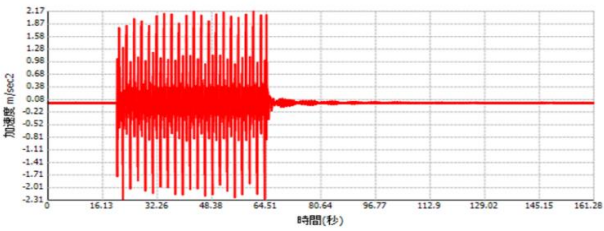


図 4 入力地震波

2.4 遠心力模型実験装置による液状化実験

本校所有の動的遠心力模型実験装置を用いて、液状化実験を行う。図 1 に示すように地盤表面から深さ 2cm、6cm、10cm の地点に地震波加速度計と間隙水圧計を設置する。本研究では遠心力場を 40G とする。そのため解析モデルを 1/40 の縮尺スケールにしたものを実験土層とする。

3. 結果及び考察

3.1 液状化の発生

解析及び実験による液状化発生に伴う沈下量を表 3 に示す。図 5 に未対策の盛土地盤の解析結果を示し、図 6 に同じモデルの実験結果を示す。

図 5 より盛土地盤の真下では完全液状化は発生していないが、過剰間隙水圧の上昇により、盛土天端、盛土法面及び盛土付近の水平地盤の変形が大きいことがわかった。過剰間隙水圧比 >0.95 程度で液状化が発生するとされているが、有効応力 σ' と間隙水圧 u_w の比較より、実物大としての有効応力 $\sigma' = 65.918\text{kPa}$ 、間隙水圧 $u_w + \text{過剰間隙水圧} = 41.377\text{kPa}$ より液状化は発生していない。

対策工を施した 2 つのモデルは液状化の挙動はあまり変わらなかったが、盛土地盤に矢板を基盤層まで挿したモデルの方が、盛土の変形及び沈下量は小さかった。

3.2 卓越周期

卓越周期を求めるために実験土層の基盤波の地震加速度をスペクトル解析する。図 7 より、矢板を液状化層中央まで挿したモデルに加振した実地震波の卓越周期は約 3.96 秒となり、矢板を基盤層まで挿したモデルに加振した実地震波の卓越周期は約 1.82 秒であった。

4. まとめ

(1) 本研究では解析と実験の結果が変形については異なった。原因は盛土の解凍が不十分であったこと、実験は模型土層を容器に入れて行うため、側壁による拘束力が強くなったためと考えられる。過剰間隙水圧比については結果の整合性が十分であることがわかった。

(2) 本研究では、盛土地盤に矢板を基盤層まで挿したモデルが河川盛土の補強工法に適しているという考えられる。

(3) 図 7 より、建設する盛土の種類によっては、共振を考慮し矢板の根入れ深さを変更すればよいと考えられる。

(4) 今回の対策工では、未対策ケースと比較して、変形は少し抑えられたが、液状化は十分抑制できておらず、新たな対策工を施したモデルを考える必要がある。

参考文献

1) 国土交通省 道路橋示方書・同解説（V耐震設計編）2012 年

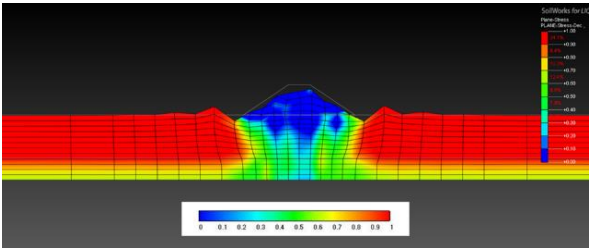


図 5 盛土地盤 解析結果



図 6 盛土地盤 実験結果

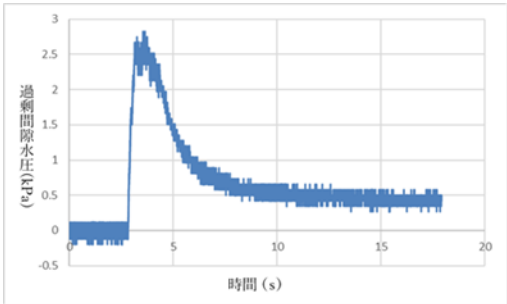


図 7 盛土地盤 過剰間隙水圧

表 3 沈下量の比較

	盛土天端の沈下量	
	解析結果	実験結果
盛土地盤モデル	15.2mm	5mm
矢板を液状化層まで挿したモデル	19.6mm	3mm
矢板を基盤層まで挿したモデル	12.7mm	2mm

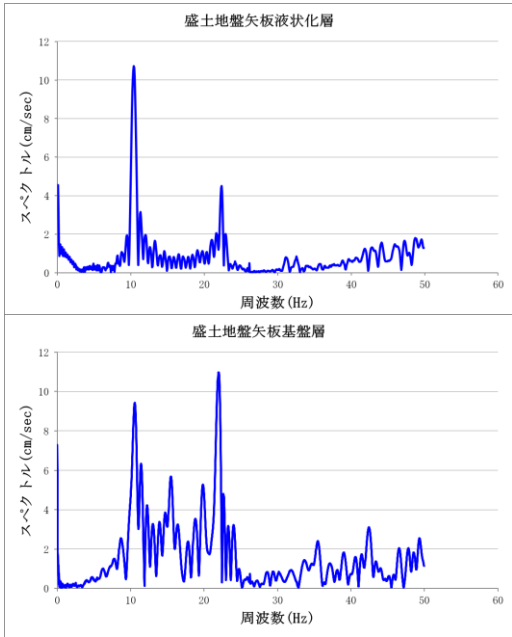


図 7 地震波フーリエスペクトル