

東海・東南海地震を想定した木曽川下流域堤防に対する液状化解析

岐阜大学 学生会員 ○ 田辺晶規 余川弘至 正会員 八嶋厚 沢田和秀
 国土技術研究センター 星加泰央 中山修
 応用地質株式会社 藤井紀之 久保嘉章 阿部知之
 国土交通省 木曽川下流河川事務所 関沢元治

1.はじめに

発生が危惧されている東海・東南海複合型地震は、継続時間の長い地震であり、地震発生とともに木曽川下流部では、深刻な液状化被害が予測される¹⁾。そのため、地震に伴い堤防が沈下し、その直後に大規模な津波が来襲すると、浸水等による地域の長期間の孤立など大規模な被害の発生が予想される。

本研究では、代表的な木曽川河川堤防を対象とし、現況の堤防が東海・東南海複合型地震によりどの程度被災するか、現況の堤防から鋼矢板、消波工、根固め工を取り除いたらどの程度被災するかを液状化後の変形により検討した。その後、沈下した堤防高さと想定される津波高さを比較した。解析には、堤防の変形や地盤における過剰間隙水圧の時刻履歴の変化を詳細に把握するために、2次元有効応力解析プログラム LIQCA-2D²⁾を用いた。また、解析に必要な物性については、各種の土質試験と要素シミュレーションを行った。

2.対象断面概要

堤防の基礎地盤の性状を図1に示す。解析対象地盤は横幅 451.2m、深さは 45.5m とし、盛土は堤防高 7.0m、幅 62.8m である。

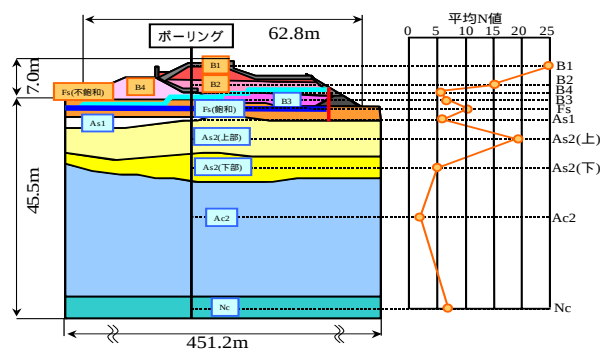


図1 地盤の性状図

検討断面は、表1に示すように「現況の堤防」、「鋼矢板、根固め工なし」および「鋼矢板、根固め工、消波工なし」の3ケースとした。

検討ケース	検討断面	地下水位	その他
ケース1		現況	現況断面
ケース2		鋼矢板なしの水位	鋼矢板根固め工なし
ケース3		鋼矢板なしの水位	鋼矢板根固め工波返し工なし

表1 検討断面

朔望平均満潮位(外水位)は、東京湾平均海面高(T.P)

に 1.2m を加えた水位とした。図2には、矢板の遮水効果を考慮して、堤内水位を2種類に分けた。

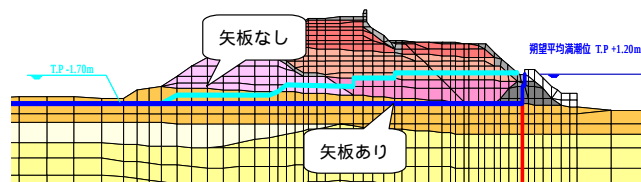


図2 外水位と地下水位

3.解析条件

対象断面のメッシュは、ケース1では節点数 1730、要素数 1678、ケース2では節点数 1717、要素数 1656、ケース3では節点数 1608、要素数 1534 で構成される。構成式は、盛土 B1 を弾性材料、盛土 B2~B4 と砂質土層 Fs、As1、As2(上)、As2(下)は、繰返し弾塑性構成式²⁾、粘土層 Ac2 には、繰返し弾粘塑性構成式³⁾、洪積粘土層 Nc には R-O モデル²⁾を用いた(図1参照)。土質試験結果を用いて、解析に用いるパラメータを設定するために要素シミュレーションを行い、それぞれの層のパラメータを決定した。

地盤内の初期応力状態を適切に把握するために自重解析を行った。自重解析の拘束条件は、下端面で X、Y 固定、解析領域の両端は X 固定とした。入力地震動には、強震動予測モデル⁴⁾(EMPR)を利用し、東海・東南海複合型の予測地震動を用いた(図4)。なお、図4は、せん断波速度が $V_s=500\text{m/s}$ 地盤での想定波形である。本研究では、工学的基盤面でのせん断波速度が $V_s=380\text{m/s}$ であるため、地震応答計算での入射基盤として $V_s=380\text{m/s}$ 相当層での波形に変換⁵⁾して解析を行った。地震継続時間は 120 秒で、最大加速度は 220Gal である。

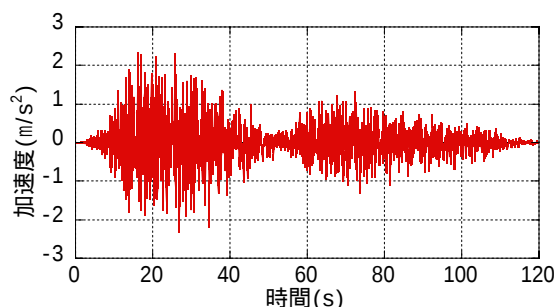


図4 入力値震動

4.動的解析

動的解析での拘束条件は、地盤底面を X、Y 固定とした。解析領域の両端には等変位境界を設けた。

表2には、加震終了後(120 秒)の過剰間隙水圧比を示す。

表 2 加震終了後の過剰間隙水圧比

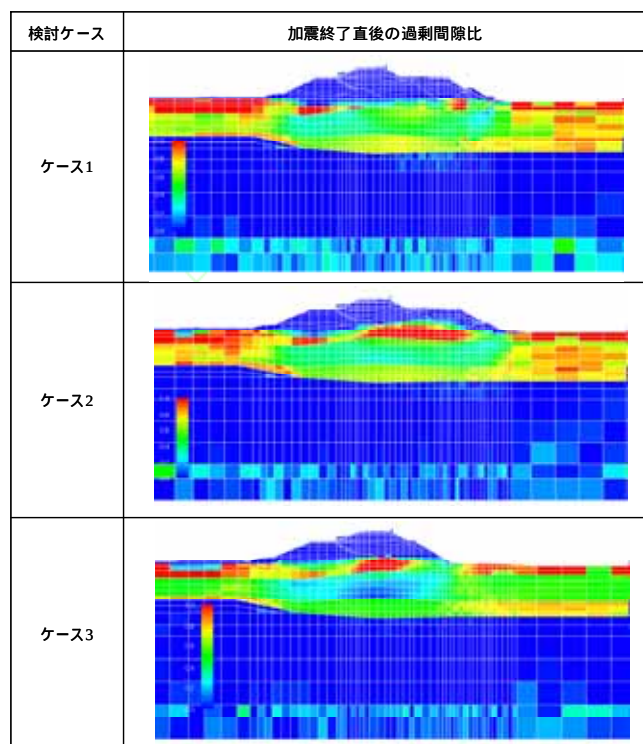


表 3 X、Y 方向の変位

検討ケース	方向	240分の変位(m)	240分の堤防高(m)	最終変位(m)	最終堤防高(m)	240分の津波高(m)
ケース1	X方向	0.23	6.19	0.22	5.72	3.24
	Y方向	-0.81		-1.28		
ケース2	X方向	-0.02	6.17	0.001	5.49	
	Y方向	-0.83		-1.51		
ケース3	X方向	-0.07	6.09	-0.027	5.52	
	Y方向	-0.91		-1.48		

表 3 より、地震発生後 240 分および圧密解析終了時（6 日後）に津波が来襲したとしても、堤防は安全であった。しかし、矢板や消波工、根固め工の有無によって変位に差異が生じた。

圧密終了時のケース 1 とケース 2 を比較すると、ケース 1 の方が沈下量が小さかった。しかし、側方変位は大きく発生した。ケース 1 では、矢板の遮水効果によって地下水位が低下し、液状化層が少なくなったが、矢板近傍の地盤では、矢板と地盤との動的相互作用により液状化が早期から発生したと考えられる。矢板によって盛土直下の地盤の液状化は抑えられ、盛土全体の沈下量も抑えられたが、矢板近傍地盤では早い段階で液状化に至るため、矢板設置時には熟考が必要である。

圧密終了時のケース 2 とケース 3 を比較すると、ケース 2 のほうが側方変位が小さくなったが、沈下量は大きくなった。消波工のあるケース 2 の方が消波工のないケース 3 に比べて、盛土直下で液状化する地盤が多く見られた。液状化した地盤が、圧密沈下するため、ケース 2 では大きな沈下が発生したと考えられるが、消波工の効果によって、側方変位が小さくなった。

5. 液状化による沈下後の堤防高さと津波高さの比較

地震終了後に発生する津波高は 3.24m^1 とし、最高水位到達時間は安政東海地震を参考にして、地震発生後 240 分とした¹⁾。図 5 には、盛土の沈下と外水位の関係の概略図を示した。堤防高さと想定される津波高さを比較した。

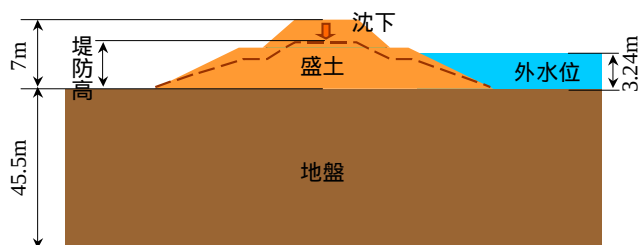


図 5 盛土の沈下と外水位の概略図

図 6 には、それぞれのケースの地震発生に伴う沈下量の時刻暦を示した。表 3 には、ケース毎の地震発生後 240 分と圧密終了時の X、Y 方向の変位を示した。

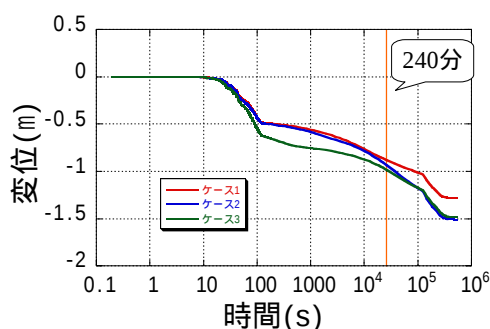


図 6 沈下量の時刻暦

6. まとめ

木曽川下流域の代表的な堤防についての東海・東南海複合型地震発生に伴う安全評価と矢板、根固め工、消波工の効果を検討した。

全てのケースにおいて、液状化後に沈下した堤防に対する津波の 2 次災害の危険性はなかった。

矢板の効果については、液状化発生が抑えられ、沈下量が抑えられたが、局部的な液状化が発生し、側方変位は大きく発生することがわかった。

消波工の効果については、側方変位が抑えられたが、上載圧が増加することから、液状化発生時における沈下量が大きくなることが予想される。

参考文献

- 1) 財団法人国土技術研究センター：木曽三川下流部河川堤防、水門・樋門耐震性評価手法ガイドライン、2006 年
- 2) 液状化解析手法 LIQCA 開発グループ：LIQCA2004（2004 年公開版）資料、2004 年
- 3) 岡二三生：地盤の弾粘塑性構成式、森北出版株式会社 2000 年
- 4) 杉戸真太、合田尚義、増田民夫：周波数特性を考慮した等価ひずみによる地盤の応答解析法に関する - 考察、土木学会論文集、No493/ -27, pp.49-58, 1994
- 5) 翠川三郎：関東平野を対象とした震度分布予測、構造工学論文、Vol.33B, pp.43-48, 1987.3