

地震液状化による地盤損傷を考慮した津波を受ける混成堤の支持力破壊検討

名古屋工業大学 学 ○今瀬 達也 正 前田 健一
東洋建設(株) 正 三宅 達夫 正 澤田 豊
正 鶴ヶ崎和博 角田 紘子
名古屋工業大学 正 張 鋒

1. はじめに

2011年3月11日、我が国では近代観測史上最大となるマグニチュード(Mw)9.0の地震が発生した。さらに、その地震にともない北海道から千葉県の広域に渡る太平洋沿岸域に大津波が来襲した。津波がひとたび発生すると被害は長期化し、我が国の経済や産業に与える影響が極めて大きいことを認識するに至った。特に、海岸域では、津波により海岸構造物に甚大な被害が発生し、現在も、津波により被災した構造物は機能喪失や低下により、波浪や高潮等に対しても防御能力の著しい低下が危惧される。そのため、被災地のいち早い復興・復旧計画を遂行するためにも、まず海岸域の早期復旧が急がれる。また、今後津波の発生が想定されている東海・東南海・南海の三連動地震に対しても、今回の震災を教訓に、被害を最小限に抑える対策を講じる必要がある。そのためには、まず津波による海岸構造物の破壊メカニズムを解明することが必要である。さらに、津波のみでなく、海溝型地震特有の長周期成分を含む、長時間作用し続ける地震動に対しても対策を検討する必要がある。

そこで、本研究では海岸防波堤を対象とし、地震-津波による多重外力作用時の安定性について、数値解析による検討を行う。

2. 地震-津波の複合災害による防波堤の不安定化

2.1 解析断面

解析断面に、我が国において多く存在する床掘り・置換工法; Case1(図1(a))と粘土層の上部に砂層が堆積している; Case2(図1(b))を有する防波堤を用いた。境界条件は、静的解析時においては、下部をx,z方向の変位を固定、側面はx方向の変位を固定している。動的解析時においては、下部をx,z方向の変位を固定、側面は等変位境界とした。また、水理条件は、下面およ

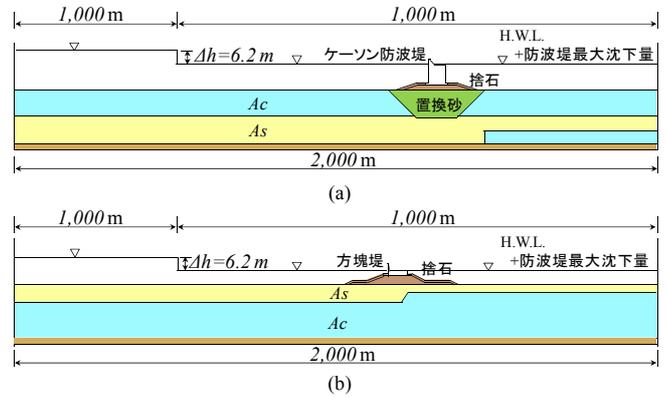


図1 港湾における地震-津波の複合災害検討のための典型的な断面; (a)床掘り・置換工法による混成堤, (b)厚い堆積粘土層上に設置された方塊堤

び側面は非排水境界、上面は排水境界とした。解析パラメータは、As層を緩い砂層、Ac層を緩い粘土層と想定し、過去に実施された豊浦砂および藤の森粘土の解析を参照に決定している。基盤層であるDs層は、非常に硬い弾性体材料(弾性係数E=100MPa)と仮定した。また、防波堤および捨石マウンドについても弾性体材料として設定している。入力地震動は、岐阜大・杉戸先生より提供頂いた、想定される海溝型地震動の波形を用いた。

2.2 地震動による海底地盤の液状化被害

a) 動的解析

動的解析は、回転硬化型弾塑性構成式Cyclic mobility modelによる土水連成有限要素解析プログラム「DBLEAVES」<sup>1)</sup>を用いる。

b) 動的解析による結果

図2(a)にCase1, 図2(b)にCase2の地震終了後と地震発生90分後の過剰間隙水圧比を示す。Case1では、地震終了後に砂層では非常に高い数値を示しており、不安定な状態にあると考える。特に、置換砂における防波堤・捨石マウンドの上載荷重が少ない箇所では過剰間

キーワード 地震, 津波, 混成堤, 液状化, 支持力低下
連絡先 〒466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器所町

名古屋工業大学 16号館 227号室 TEL052-735-549

隙水圧比が高く液状化が発生することで、捨石マウンドや防波堤の沈下が大きく発生した。地震発生後 90 分後では、砂層で発生した過剰間隙水圧が粘土層などに消散していくが、いずれも高い値の状態が続くことがわかる。Case2 においても、地震終了直後では砂層において過剰間隙水圧比が高いことがわかる。しかし、砂層が上層部にあることから、過剰間隙水圧の消散が速く、地震発生 90 分後にはもとの状態まで落ち着いている。ただし、防波堤直下の段差境界となっている粘土層では過剰間隙水圧が消散できず、過剰間隙水圧比が高い状態が続いている。

地震動による防波堤天端での沈下量をみると、地震発生 2 時間後に沈下量は Case1 で-1.2m 程度、Case2 で-0.75m 程度となり、沈下量が非常に大きいことがわかる。防波堤の沈下が大きいと津波が越流し、湾内への津波浸入を許すことが懸念される。そのため、沈下を抑制させる対策は視野に入れる必要がある。

2.3 地震発生後に来襲した津波外力の影響

a) 津波外力の設定

地震により被害を受けたのちの津波を想定した防波堤の安定性について粒子法のひとつである SPH 法<sup>2)</sup>を用いて検証した。地震による被害を再現するため、初期水位を H.W.L に防波堤天端の沈下量を加えて設定した。津波外力は沖に水位差を設け、ダムブレイク形式により沖合入射波高が 3.0m となるように与えた。

b) 支持力破壊に関する検討

図 3(a)に Case1, (b)に Case2 の支持力に対する余裕度を示す。両図とも黒実線は波力のみを考慮した場合、赤点線は波力、地震液状化による地盤剛性低下、地盤内浸透力を考慮したものを示している。どちらのケースにおいても、地盤の不安定化を考慮すると余裕度が著しく低下することがわかる。特に、Case1 では防波堤の津波力が作用する面積が大きいと津波外力を受けやすく、さらに地盤の弱体化に伴い余裕度がマイナスとなり、支持力破壊する危険性が高いことがわかった。

3. 結言

砂質地盤では、地震動により液状化し、防波堤を大きく沈下させるため、津波外力を受けやすく、越流を許しやすい。また、過剰間隙水圧の消散が遅れた場合、地盤が不安定であり、津波外力に対して支持力破壊し、耐波機能を喪失しやすい可能性がある。

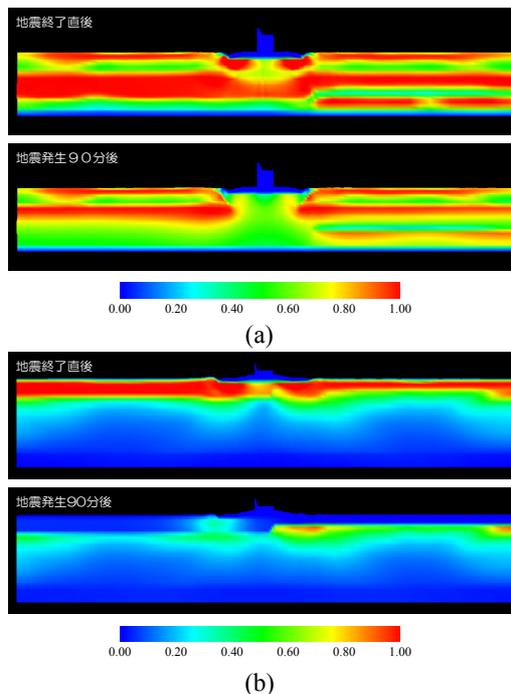


図 2 地震終了直後および地震発生 90 分後の過剰間隙水圧比 ; (a)Case1, (b)Case2

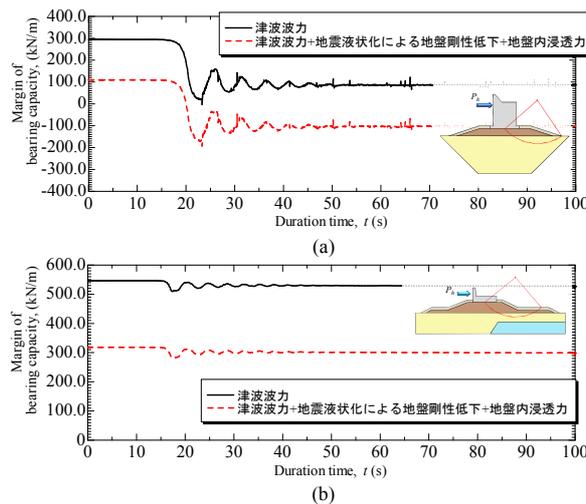


図 3 支持力余裕度の変化 ; (a)Case1, (b)Case2

謝 辞

本研究は、日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究(B)23360203 と基盤研究(B)21360222 の助成を受けたものである。また、地震波形は岐阜大学杉戸教授よりご提供頂いたものである。ここに記して謝意を表す。

参考文献

1) Zhang, B. Ye, et al. : Explanation of cyclic mobility of soils: Approach by stress-induced anisotropy, Soils and Foundations, Vol.47, No.4, pp.635-648, 2007. 2) 今瀬達也他 : 津波力を受ける捨石マウンドー海底地盤の透水現象に着目した海岸構造物の安定性, 土木学会論文集 A2 (応用力学), Vol. 67, No. 1, pp.133-144, 2011.