

## 東北地方太平洋沖地震における相馬港 2 号埠頭岸壁の 液状化による被災程度の再現解析

東亜建設工業株式会社 正会員 ○榊原 務

東亜建設工業株式会社 正会員 田代 聡一

株式会社応用解析 曲 伝軍

独立行政法人港湾空港技術研究所 正会員 大矢 陽介

京都大学防災研究所 正会員 飛田 哲男

### 1. 概要

東北地方太平洋沖地震（以下、東日本大震災）の地震動は、その継続時間の長さが特徴である。この場合、液状化解析においては間隙水の排水状況を考慮する必要があるが、FLIP<sup>1)</sup>では、透水性を考慮したカクテルグラスモデル<sup>2)</sup>が組み込まれている。しかし、被災事例に対する同モデルの妥当性については現在別途検討中である。そこで本稿では、地震動の揺れに対して被災程度が小さかった相馬港 2 号埠頭岸壁（図 1）を対象に、本検討の基本ケースとして実施したマルチスプリングモデル<sup>1)</sup>における再現解析の結果を整理した。特に、細粒分含有率（以下、 $F_c$ ）のデータが不明であることから、被災状況を再現可能な  $F_c$  をパラメータスタディより決定し、対象岸壁の被災メカニズムについて検討した。

### 2. 被災状況

図 2 に当該岸壁の被災状況を示す。解析対象とした A 工区では、岸壁のはらみ出し量は無く、鋼管矢板とエプロン部の段差量が 9cm 程度と、被災程度としては小さい。

### 3. 土質定数

土質定数は、岸壁背面で実施された標準貫入試験結果（以下、SPT 結果）を参考に設定した。図 3 に SPT 結果を示す。埋土および砂質土については、対応する標高範囲の  $N$  値の平均値を用いて土質定数を推定した。工学的基盤層については、港湾地域強震観測<sup>3)</sup>地点「相馬-G」におけるせん断波速度および密度より土質定数を推定した。なお、相馬-G のせん断波速度および密度は、後述する東日本大震災の事後推定波<sup>4)</sup>を求める際の工学的基盤層として使用されている。表 1 に土質定数を示す。地盤要素はマルチスプリング要素を用いている。液状化パラメータは、後述する解析ケース毎に  $N$  値と  $F_c$  から推定される液状化強度<sup>5)</sup>をターゲットとして、要素シミュレーションにより求めた。

### 4. 鋼材定数の設定

本岸壁は、自立矢板式護岸を -12m 岸壁に増深する際に、控え組杭式構造に変更しており、鋼管矢板と控え組杭およびタイロッドの腐食年数が異なる。この点は、防食対策を施した鋼材の腐食年数を考慮して断面性能に反映した。なお、鋼管杭はバイリニア型非線形はり要素、タイロッドは引張りのみを受け持つ非線形ばね要素でモデル化した。

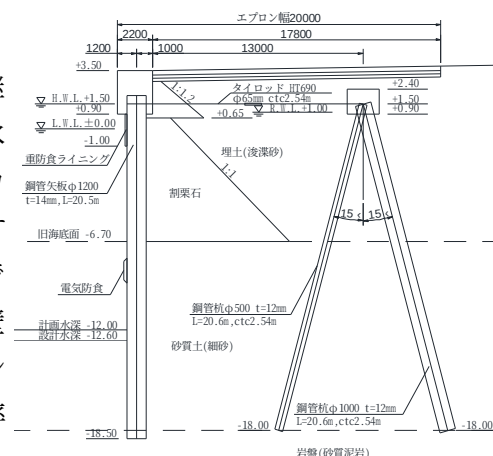


図 1 相馬港 2 号埠頭-12m 岸壁断面

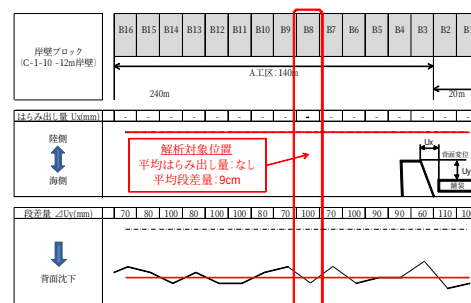


図 2 対象岸壁の被災状況

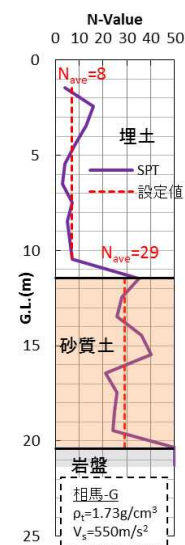


図 3 N 値分布

キーワード 有効応力解析, 東日本大震災, 液状化, 岸壁

連絡先 〒163-1031 東京都新宿区西新宿 3-7-1-31F 東亜建設工業(株)土木事業本部設計部 TEL 03-6757-3844

## 5. 解析条件

図4に解析メッシュを示す。本解析は4段階法の解析プロセス<sup>6)</sup>により実施した。図5に入力波を示す。入力波は、相馬-Gにおける東日本大震災の事後推定波を、NS成分とEW成分から岸壁法直方向に変換したものを使用した。解析ケースは、砂質土を対象にFcを0%, 10%, 20%, 40%とした。この際、埋土のFcは0%としている。岸壁背面の砂質土は、裏込石を介さずに直接鋼管矢板に接しており砂質土の液状化が岸壁の変形に大きく影響すると考えられるため、先行して砂質土のFcの検討を行った。その後、砂質土のFcを固定し、埋土のFcを10%, 20%, 40%としてケーススタディを実施した。

## 6. マルチスプリングモデルによる再現解析結果

図6に鋼管矢板の水平変位標高分布を、図7に上部工とエプロンの段差量の経時変化を示す。なお、図中に示した平均変形量は実測値を示している。また、図8に砂質土Fc=10%、埋土Fc=10%の場合の過剰間隙水圧比コンターを示す。解析の結果、裏込石直下を除く岸壁背面の砂質土は、いずれのFcにおいても液状化しないことがわかった。岸壁天端の水平変位は3~4cm程度、段差量は5~8cm程度と、若干ではあるが水平変位量は大きく段差量は小さい。しかしながら、概ね実測値と整合することから、岸壁背面の砂質土は、震災時に液状化しなかったものと推察される。砂質土のFcを10%とした場合の埋土に関しては、Fcに関わらず液状化するものの、岸壁天端の水平変位および段差量に大きな変化はなかった。つまり、液状化した埋土の変形は、液状化しない砂質土に支持された控え組杭、タイロッドおよび鋼管矢板を介して拘束されたと考えられる。

## 7. まとめ

本解析結果より、東日本大震災時の相馬港2号埠頭-12m岸壁は、岸壁背面の砂質土が液状化しないため、被災程度が小さかったと考えられる。実測値と解析値の整合性については、若干差異が見られるが、カクテルグラスモデルによる検討を行い、埋土および砂質土の排水による沈下を考慮することで、解析精度を高めていく。

**謝辞：**本検討は、FLIP コンソーシアムの活動の一環として実施されたものである。また、本解析を進めるにあたり、国土交通省東北地方整備局仙台港湾空港技術調査事務所殿にデータ提供等のご協力を頂いた。関係者の皆様に謝意を表します。

**参考文献：**1) Iai, S. et al.: Parameter Identification for a Cyclic Mobility Model, Report of the Port and Harbour Research Institute. Vol.29, No.4, pp57-83, 1990. 2) Iai, S. et al.: Dilatancy of granular materials in a strain space multiple mechanism model, Int J Numer Anal Meth Geomech, 2010. 3) 港湾地域強震計測システム HP: <http://www.eq.pari.go.jp/kyosin/> 4) 2011年東北地方太平洋沖地震による地震動の事後推定: [http://www.pari.go.jp/bsh/jbn-kzo/jbn-bsi/taisin/research\\_jpn/research\\_jpn\\_2011/jr\\_404.html](http://www.pari.go.jp/bsh/jbn-kzo/jbn-bsi/taisin/research_jpn/research_jpn_2011/jr_404.html) 5) 森田ら: 液状化による構造物被害予測プログラムFLIPにおいて必要な各種パラメータ簡易設定法, 港湾技研資料, No.869, 1997. 6) 井合ら: 地盤の初期応力条件が矢板式岸壁の地震時挙動に与える影響の解析的検討, 第26回地震工学研究発表会講演論文集, pp.809-812, 2001.

表1 土質パラメータ

| 記号 | 土質  | $\rho$<br>( $\text{g/cm}^3$ ) | $v$  | $\sigma'_m$<br>( $\text{kN/m}^2$ ) | $G_m$<br>( $\text{kN/m}^2$ ) | $K_m$<br>( $\text{kN/m}^2$ ) | $m_0$ | $m_0$ | $\phi_f$ | $b_{max}$ | $n$  | $V_s$<br>( $\text{m/s}$ ) |
|----|-----|-------------------------------|------|------------------------------------|------------------------------|------------------------------|-------|-------|----------|-----------|------|---------------------------|
| B  | 埋土  | 1.80                          | 0.33 | 98                                 | 75246                        | 196230                       | 0.5   | 0.5   | 39.4     | 0.24      | 0.45 | 162                       |
| As | 砂質土 | 2.00                          | 0.33 | 98                                 | 125095                       | 326228                       | 0.5   | 0.5   | 41.3     | 0.24      | 0.45 | 269                       |
| R  | 岩盤  | 1.73                          | 0.33 | 206                                | 523325                       | 1364750                      | 0.5   | 0     | 44.3     | 0.24      | 0.45 | 550                       |

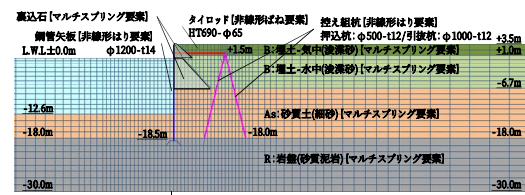


図4 解析メッシュ

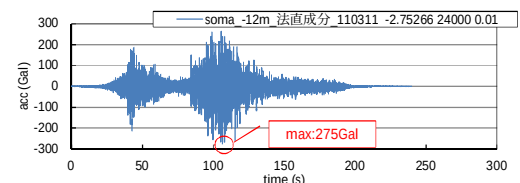


図5 相馬-Gの事後推定波(変換後)

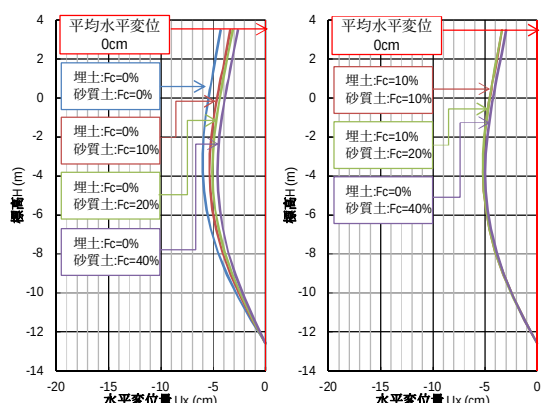


図6 鋼管矢板の水平変位標高分布

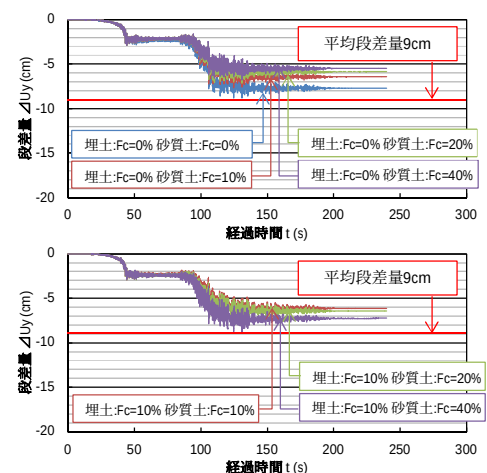


図7 段差量の経時変化

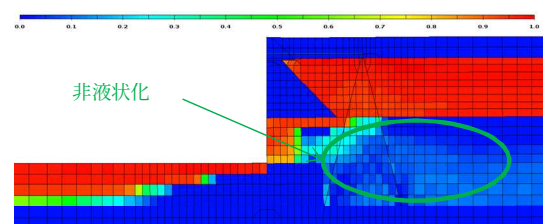


図8 過剰間隙水圧比コンター  
(砂質土Fc=10% 埋土Fc=10%の場合)