

東北地方太平洋沖地震における釜石湾港防波堤の 被災メカニズムに関する解析的考察

奈良崎泰弘¹・田崎賢治²・高山知司³

¹正会員 大日本コンサルタント（株） 復興・防災推進部（〒550-0014 大阪府西区北堀江1-22-19）

²正会員 工博 大日本コンサルタント（株） 復興・防災推進部
（〒550-0014 大阪府西区北堀江1-22-19）

³正会員 工博 （財）沿岸技術研究センター 京都大学名誉教授
（〒102-0092 東京都千代田区隼町3-16）

1. はじめに

2011年の東北地方太平洋沖地震において、多数の港湾構造物が津波被害を受けた。釜石湾港防波堤もその1つであり、総延長約1.9km、79基のケーソンのうち約半数が倒壊・傾斜の被害に至った。本稿では、釜石湾港防波堤についてそのメカニズムを解明し今後の津波対策に繋げることを目的として、数値水槽を用いた解析により流体現象の把握を行った。

東北港湾における津波・震災対策技術検討委員会¹⁾では、防波堤の被災パターンを「越流洗掘型」「津波波力型」「堤頭部洗掘型」「引波水位差型」の4つに分類している。釜石湾港防波堤はこのうち「津波波力型」であり、内外水位差等による直接的な津波力によりケーソンが倒壊・傾斜したものとされている。また、有川ら²⁾によって、越流時にケーソン背面における圧力が静水圧に比して小さくなること、また越流によりマウンド天端が洗掘されることが実験により確認されている。本稿ではこのケーソン背面における圧力低下現象および越流によるマウンド天端の洗掘に着目して解析的に考察した。

2. 解析条件

(1) 使用ソフトおよび解析モデル

本研究における解析手法としては、CADMAS-SURF/3D³⁾を用いて差分法により行った。

モデル化は橋軸方向の奥行きを考慮しない2次元モデルとした。対象とするケーソンは水深が大きく形状が単純である南堤深部4区のものとし、ケーソンおよびマウンドの断面をモデル化した。対象としたケーソンの断面図を図-1に、解析モデル全体図を図-2に示す。なお、ケーソン港外上部にある遊水室は水を透過する構造のため、モデル化していない。

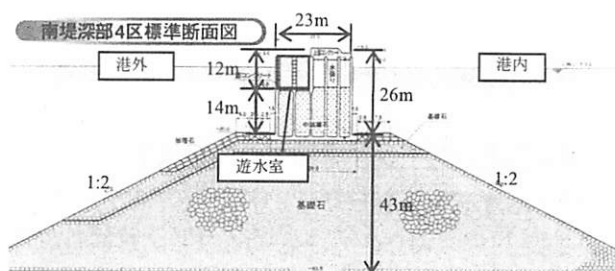


図-1 モデル化対象ケーソン（南堤深部4区）⁴⁾

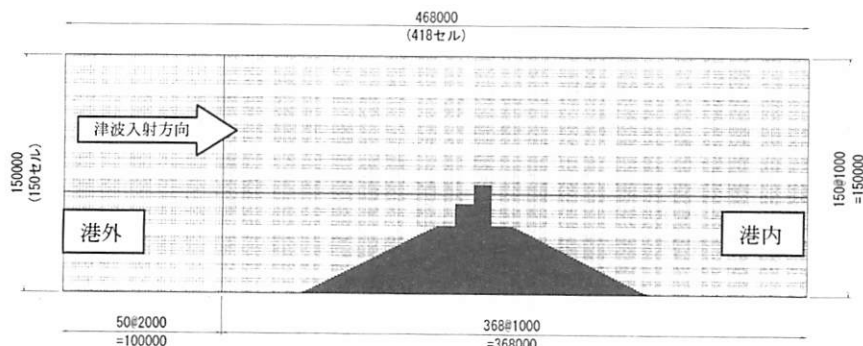


図-2 解析モデル全体図

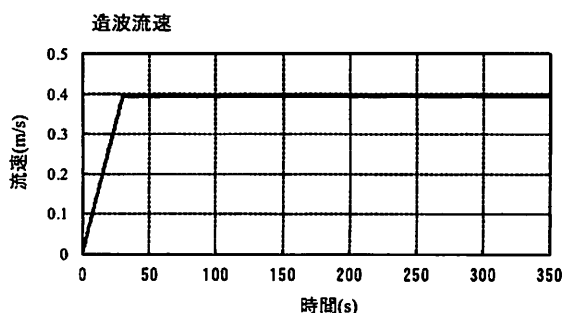
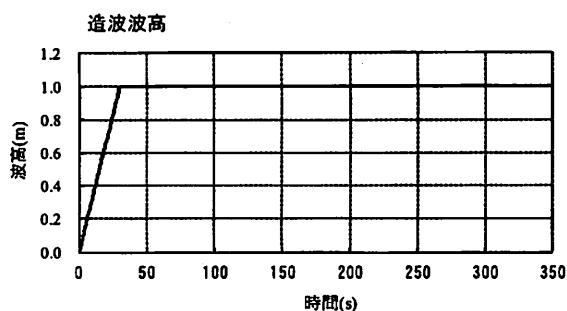


図-3 造波波形

(2) 造波条件

造波は水位が時間をかけて上昇し、その後一定となるように行った。高橋ら⁵⁾の数値解析結果を参考に、港外側の最大水位を約12mとした。なお、ケーソンにより水が堰きとめられる影響で造波における波高がそのまま再現されないため、あらかじめ波高について検討を行い港外水位が12mで一定となるように造波波高を調整した。図-3に造波波形、図-4に解析結果における港外の水位、図-5に港外水位が一定となった時間帯での港内外の水位を示す。

3. 解析結果

(1) 越流によるケーソン背面での圧力低下

時刻302秒、320秒、326秒、330秒におけるケーソン背面の流速ベクトル図およびケーソン背面各位置での圧力から静水圧を差し引いた値の分布を図-6に示す。なお静水圧は図-5における港内水位（300秒～350秒）の平均値1.68mを用いて算出した値である。これより、まず越流によりケーソン背面に渦が生じており、渦の中心位置やその大きさが時刻により変動していることがわかる。なお、この渦は中心部より外縁部の流速が大きい強制渦状となっている。また、ケーソン背面の圧力分布も時刻により変動している。流速ベクトル図と圧力分布図の関係をみると流速が大きい位置ほどケーソン背面圧力が低下しており、ケーソン背面の圧力低下は渦の発生による流

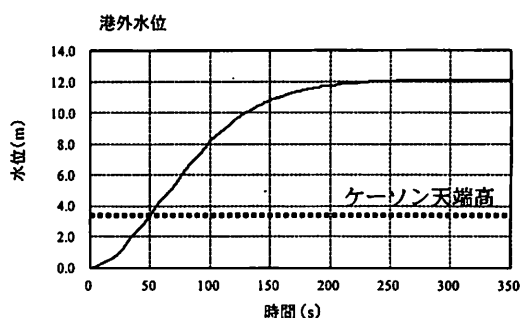


図-4 港外水位

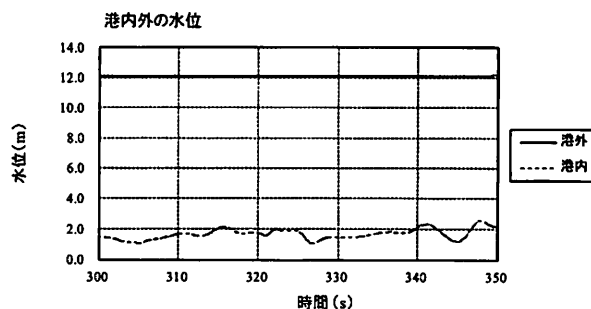
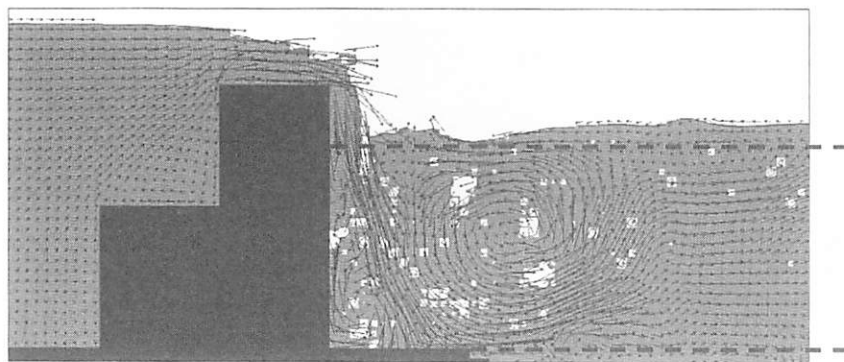
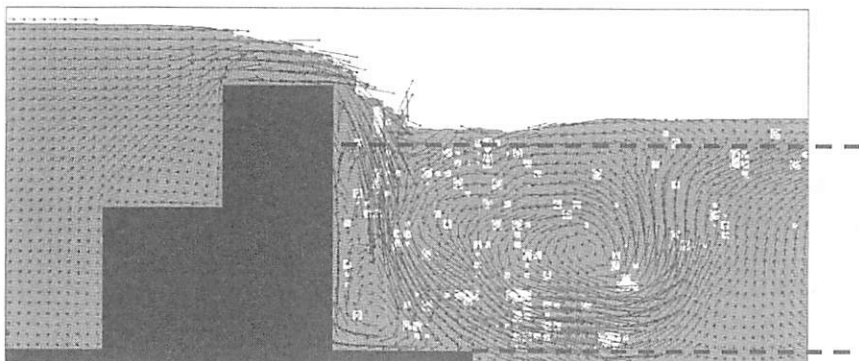
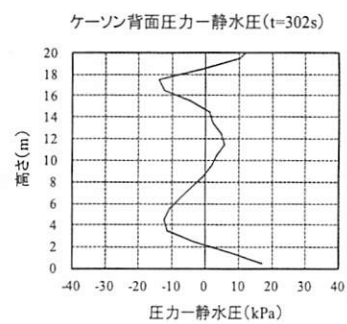


図-5 港外水位一定時の港内外の水位

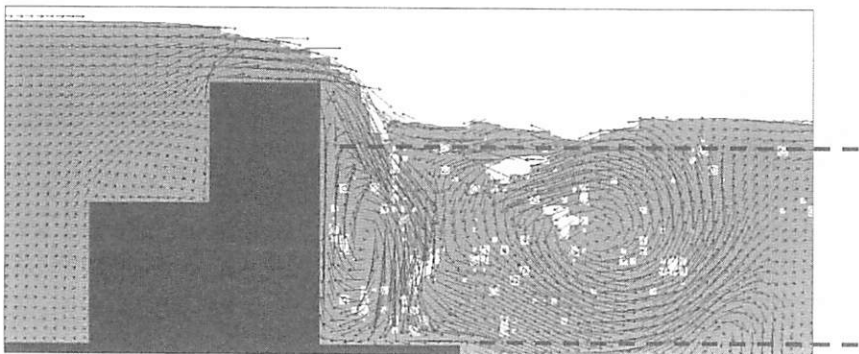
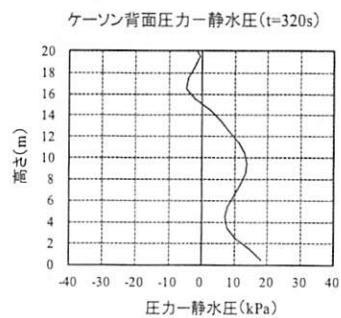
速の増加に起因すると考えられる。ケーソンの表面上では流速の水平成分は0なのでここでの流速とは鉛直方向流速であり、また鉛直方向流速が増加する位置は渦中心のほとんど真横であるため、圧力低下が大きくなる位置は渦中心の真横となる。t=302sにおいてはケーソン上部と下部に2つの渦ができており、それぞれに対してケーソン背面の流速が大きくなり、圧力も低下している。また、t=325sおよびt=330sにおいてはともにケーソン中央部において大きな渦となっており、双方ともt=302s以上に圧力低下が起こっている。また、渦による流速の増加が大きいt=330sのほうがt=325sに比して圧力低下が大きい。t=320sにおいては上下部に2つの渦ができておりその位置の圧力が相対的に低くなっているものの、渦による流速の増加が大きくないため、圧力低下も大きくない。図-7にはケーソン背面の高さ7m、13m、16mにおける圧力について静水圧との差分の時刻歴を示す。渦の発生状況により圧力低下が顕著になる位置が変わるため、圧力低下が大きくなる時間およびその程度は各位置で異なる。なお、圧力低下は最大で30kPa程度となり、これは水位に換算すると3m程度である。図-8には圧力の総計から同時性を考慮してケーソン背面全体に作用する波力を算出し、静水圧による波力に対する比率とした結果を示す。渦の発生による圧力低下の影響で、静水圧時の波力に比して波力が0.9倍程度となった。



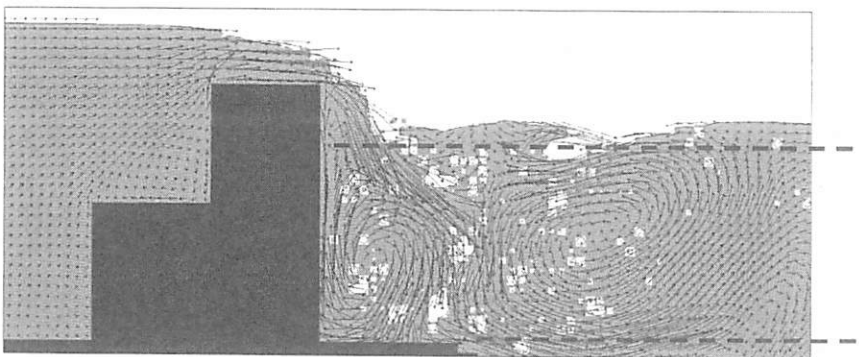
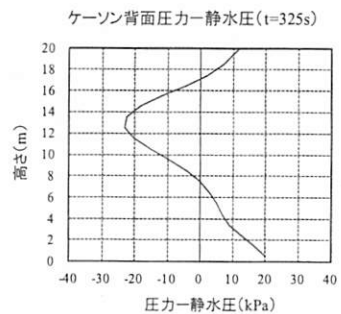
a) $t=302s$



b) $t=320s$



c) $t=325s$



d) $t=330s$

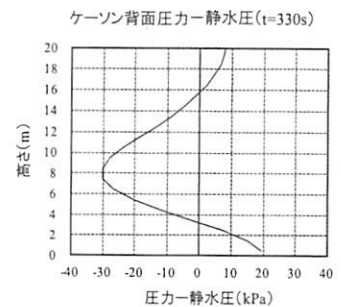


図-6 流速ベクトル図および圧力分布図

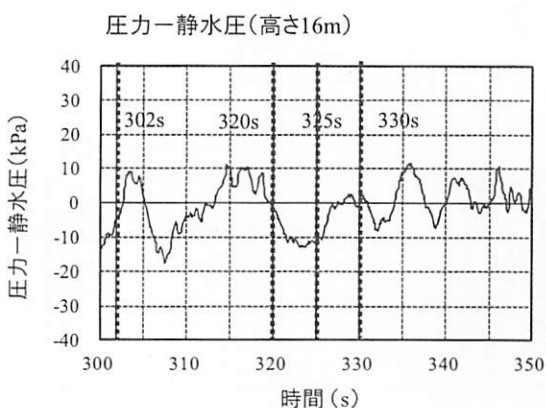
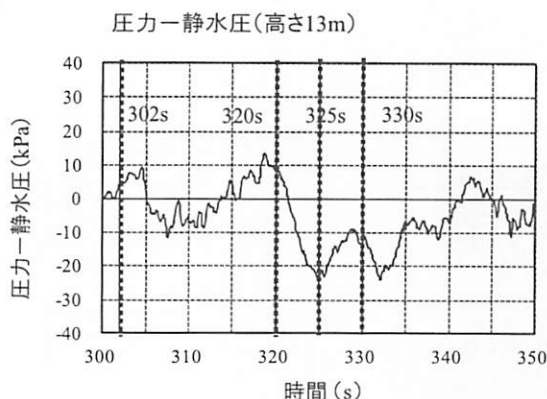
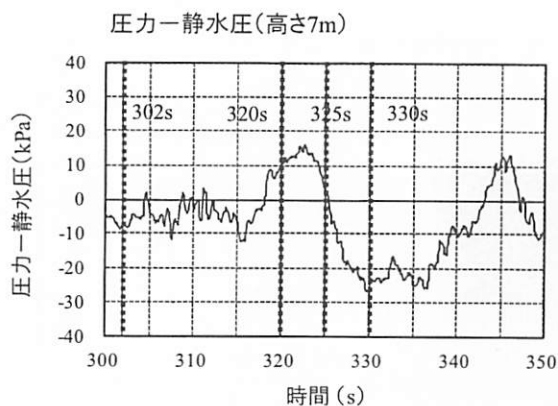


図-7 各高さにおける圧力と静水圧の差

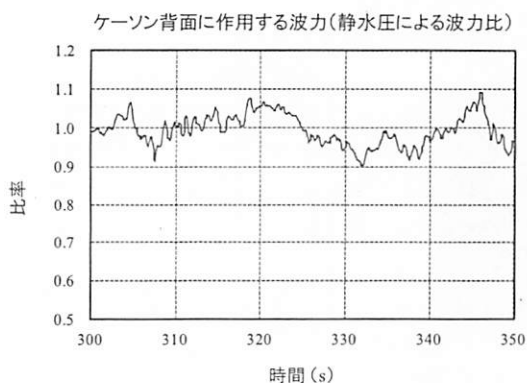


図-8 ケーソン背面に作用する波力
(静水圧に対する比率)

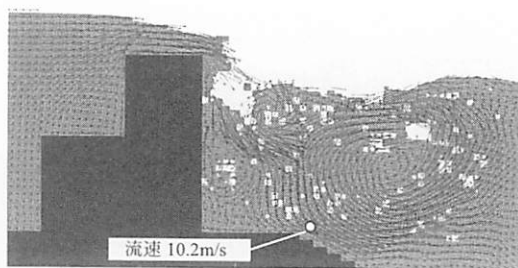


図-9 ケーソン背面の流速ベクトル図 (t=348s)

(2) 越流によるマウンド天端の洗掘

図-9にt=348秒におけるケーソン背面の流速ベクトル図を示す。これより、越流により発生した渦の影響でマウンド天端において流速が増加しているのが分かる。このときの最大流速は10.2m/sに達しており、マウンドの洗掘被害に渦の発生が寄与していることが予想される。

4. まとめ

本稿では、東北地方太平洋沖地震における釜石防波堤ケーソンを対象として解析的に再現を行い、越流時のケーソン背面における水理現象について考察した。これにより得られた知見を以下に示す。

- (1)津波が防波堤ケーソンを越流した場合、ケーソン背面に渦が発生することにより流速が増加し、それがケーソン背面での圧力低下の要因であることが確認された。
- (2)東日本太平洋沖地震の港外最大水位を再現した場合、ケーソン背面における圧力は最大で静水圧より30kPa程度低下する。また圧力を総計した波力は静水圧から算出した値の0.9倍程度となる。
- (3)ケーソン背面での渦の発生により、マウンド天端の流速が増加し、洗掘の要因になっている可能性が示唆された。

参考文献

- 1) 東北地方整備局：東北港湾における津波・震災対策技術検討委員会 資料3, 2011.
- 2) 有川ほか：釜石湾防波堤の津波による被災メカニズムの検討－水理特性を中心とした第一報－, 港湾空港技術研究所資料, No.1251, 2012.
- 3) 財団法人沿岸技術研究センター：CADMAS-SURF/3D 数値波動水槽の研究・開発, 2010.
- 4) 国土交通省 釜石港湾事務所ホームページより
- 5) 高橋ほか：2011年東日本大震災による港湾・海岸・空港の地震・津波被害に関する調査速報, 港湾空港技術研究所資料, No.1231, 2011.