

隔室内バラスト水の解析方法の違いが波浪によるケーソンの動揺に及ぼす影響に関する一考察

名古屋大学大学院工学研究科 学生会員 ○ 山本 勘太
名古屋大学大学院工学研究科 正会員 中村 友昭
名古屋大学大学院工学研究科 フェロー 水谷 法美
東洋建設株式会社鳴尾研究所 正会員 小竹 康夫

1. はじめに：防波堤ケーソンの据付工事では、波浪条件によっては新設函が大きく動揺し、据付作業に支障をきたす。波浪によるケーソンの動揺現象については、例えば石見ら（1996）や米山（2003）により3次元特異点分布法を用いた数値計算が行われているが、隔室内に注水されたバラスト水の流体運動を考慮した解析とはなっていない。本研究では、一般的な上部斜面堤の断面をモデル化した中村ら（2015）の水理実験を対象に、バラスト水の流体運動を考慮するためにバラスト水を流体として取り扱った場合と、バラスト水に流体運動が生じないようにバラスト水を水と同じ密度を有する剛体構造物として取り扱った場合の2パターンの断面2次元計算を実施し、バラスト水の解析方法の違いが上部斜面堤ケーソンの動揺に及ぼす影響を検討する。

2. 計算条件：中村・水谷（2014）の3次元流体・構造連成数値計算モデルを、中村ら（2015）が実施した縮尺1/40の水理実験をモデル化した図-1に示す計算領域に適用して解析を行った。具体的には、マウンドは中央粒径8.9mm、空隙率0.4の透過性構造物とした。また、ケーソンは水理実験と同様にアクリル部（密度1200 kg/m³）と鉄板部（密度7850 kg/m³）により構成された幅 $B=306.0$ mm、高さ367.5 mmの上部斜面堤とし、静水深が395.0 mmのときマウンド天端とケーソン底面との間隔が12.5 mmとなるように設定した。その際、バラスト水を流体として取り扱った場合（以下、fluidと称する）には、堤体重心の鉛直変位が最小となるようにバラスト水の水位を試行計算により決定した（図-1水色部分）。一方、バラスト水を構造物として取り扱った場合（以下、structureと称する）には、上述のバラスト水と同じ体積および密度の剛体をバラスト水の代わりに堤体内に充填した。そして、堤体が存在しない場合の原点における波高が $H=15.0$ mmとなるような周期 $T=0.79, 1.58$ sの2種類の規則波を作用させた。その他の計算条件については中村ら（2015）を参照されたい。

3. 計算結果及び考察：静水状態での堤体重心の鉛直変位 Δz （上向きを正）の時間変化を図-2に示す。同図より、fluidの場合には堤体が若干沈み込む程度であるものの、structureの場合にはfluidの場合よりも堤体が大きく沈み込んでいることが分かる。この違いは、MARSにより計算しているVOF関数の移流量と、体積力型IB法により剛体として取り扱っている構造物の体積率の変化量が堤体表面近傍で若干異なっており、fluidの場合にバラスト水の量が若干変化したために生じたと考えられる。ただし、その差はケーソン

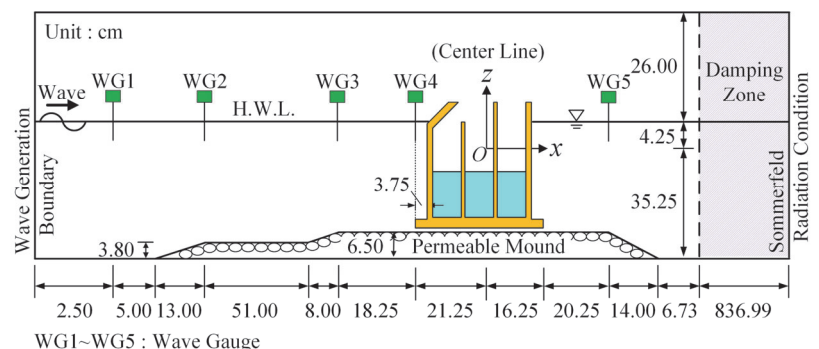


図-1 計算領域

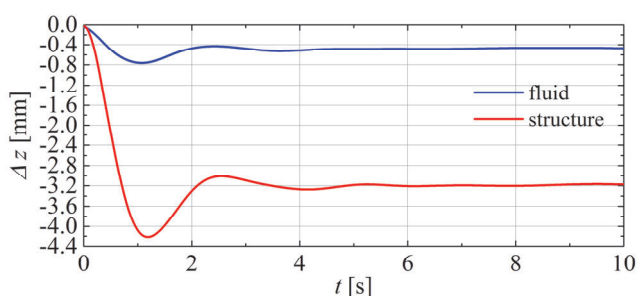


図-2 静水状態での堤体重心の鉛直変位の時間変化

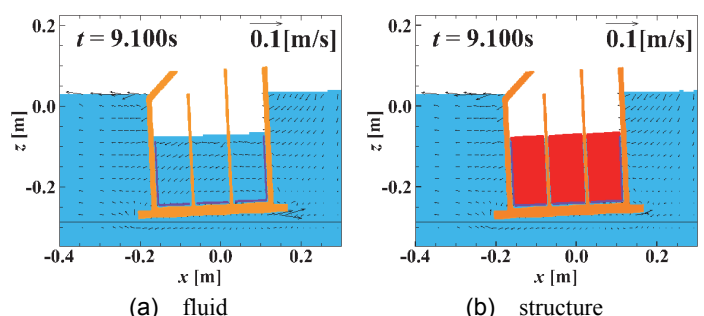


図-3 ケーソンの動揺の状況 ($T=1.58$ s, WG3 波谷時)

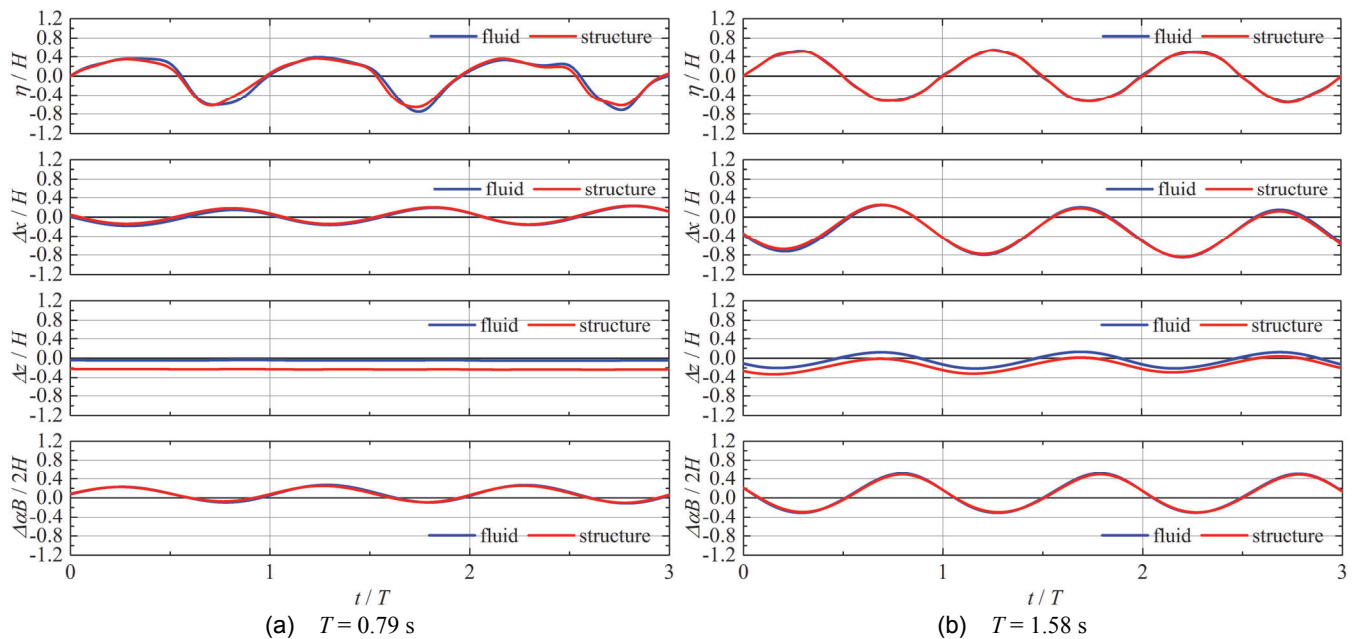


図-4 WG3 での水位変動と堤体重心の変位の時間変化

ンの高さと比較して十分に小さいことも確認できる。

図-3 に、 $T = 1.58 \text{ s}$ の波条件について、ケーソンの沖側の WG3 での水位が最小（波谷）となった時刻でのケーソンの動揺の状況を例示する。ただし、橙色は模型の亚克力部を、紫色は鉄板部を、赤色は構造物として取り扱ったバラスト水を表す。同図より、fluid の場合にはバラスト水の水面形状に若干の変化が認められるが、ケーソンの周辺の流動場からはバラスト水の解析方法の違いの影響は明確には確認できない。

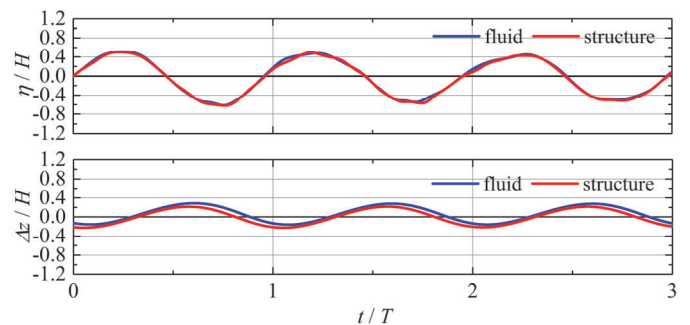


図-5 係留時における WG3 での水位変動と堤体重心の鉛直変位の時間変化 ($T = 1.58 \text{ s}$)

次に、 $T = 0.79 \text{ s}$ と 1.58 s の 2 種類の波条件について、堤体重心の水平変位 Δx （岸向きを正）、 Δz 、回転角 $\Delta \alpha$ （反時計回りを正）の時間変化を図-4 に示す。同図には、WG3 での水位変動 η も同時に示した。また、図-4(b) より η が最小となった少し後に $\Delta \alpha$ が最大値をとっていることが確認でき、図-3 の状況と対応していることが分かる。図-4(a) と (b) の比較より、 Δx と $\Delta \alpha$ については fluid と structure で差異はほとんど見られない。一方、 Δz については、静水状態の場合と同様に、fluid と比べて structure の方が若干大きく沈み込んだ状態となっている。しかし、それぞれの波条件において、 Δz の振幅や位相は fluid と structure で概ね一致していると言える。

続いて、堤体の岸側と沖側の壁面上端にそれぞれ 1 本ずつ、圧縮応力に抵抗しない線形弾性体でモデル化した係留索を設定することで堤体を緊張係留した。このとき、 $T = 1.58 \text{ s}$ の波条件について、 η と Δz の時間変化を図-5 に示す。ただし、係留索の諸元、取り付け位置、固定位置、初期張力は中村ら (2015) と同条件とした。同図から、堤体が係留索により上方に引っ張られているために structure での堤体の沈み込みが小さくなったことから、バラスト水の解析方法の違いが Δz に及ぼす影響は若干小さく抑えられていることが確認できる。

4. おわりに：本研究では、隔室内のバラスト水を流体として取り扱った場合と構造物として取り扱った場合の上部斜面堤ケーソンの動揺計算を実施した。その結果、静水状態での堤体の鉛直変位には若干の差が確認できたものの、波浪作用下では堤体の変位の振幅や位相に与える影響は小さく、本検討の範囲では、堤体の動揺を検討する際にバラスト水を簡易的に構造物として取り扱った解析を適用できる可能性が示された。

参考文献：[1] 石見ら (1996)，港湾技研資料，No. 850，29 p. [2] 米山 (2003)，海洋開発論文集，第 19 巻，pp. 659-664. [3] 中村ら (2015)，土木学会論文集 B2 (海岸工学)，Vol. 71，No. 2，pp. I_1039-I_1044. [4] 中村・水谷 (2014)，土木学会論文集 B3 (海洋開発)，Vol. 70，No. 2，pp. I_516-I_521.