

波浪作用時の上部斜面堤の動揺特性に関する一考察

名古屋大学工学部	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作業は、予め設定した基準と波浪予報を比較して実施の可否を判断するが、施工中の波浪条件によってケーソンが大きく動揺すると、据付作業に支障をきたす。波浪作用時のケーソンの挙動については、例えば石見ら（1996）や米山（2003）により数値計算が行われてきた。しかし、これらの研究では矩形または台形といった基礎的な断面形状のケーソンを主な対象としている。また、ケーソンと流体場との相互作用については考慮されていない。そこで本研究では、ケーソン沖側壁面の上部に斜面を有する上部斜面堤を対象に、ケーソン内部の流体運動を含めたケーソンの運動と流体運動との相互作用を解析可能な数値計算モデルを用いた断面2次元計算を実施し、規則波作用下におけるケーソンの動揺特性を検討する。

2. 数値計算手法と計算条件：本研究では、中村・水谷（2014）が開発した3次元流体・構造連成数値計算モデルを図-1に示す計算領域に適用して解析を行った。マウンドは中央粒径356 mm、空隙率0.4の透過構造物とした。ケーソンは高さが14.7 m、フーチングを含めた長さが15.0 mの上部斜面堤とし、密度を 2400 kg/m^3 とした。計算開始時刻におけるケーソンの位置は据付直前を想定し、ケーソン下端とマウンド天端の距離を0.5 mとした。ケーソン隔室内の水位は、静水状態においてケーソンの鉛直変位が最小になるように調節した。静水深は15.8 mとし、入射波は周期を $T=5.0, 8.5, 10.0 \text{ s}$ の3種類、波高を $H=0.6, 1.0 \text{ m}$ の2種類と変化した。それぞれのワイヤの取り付け位置および固定されたアンカー位置については、

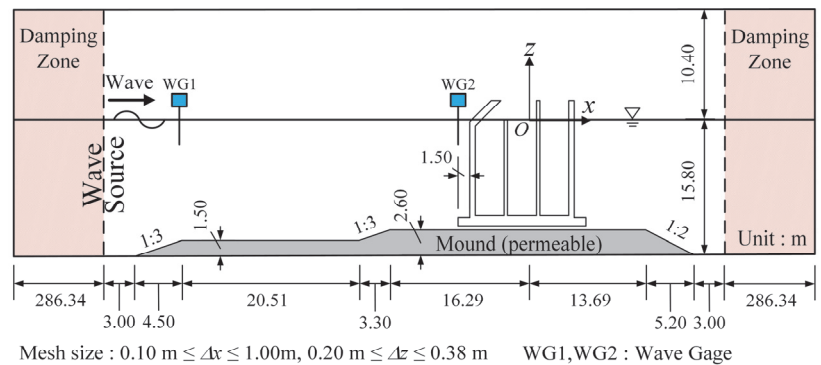


図-1 計算領域

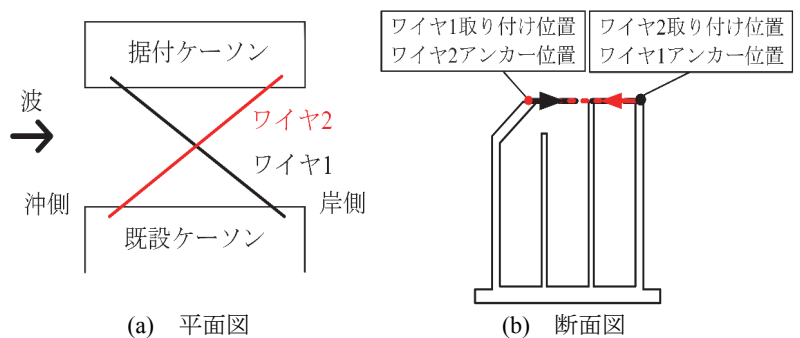


図-2 ワイヤ設定位置

図-2(a)に示す現地での係留方法を再現するために、図-2(b)に示すように設定した。ワイヤは圧縮応力に抵抗しない弾性体とし、直径を28 mm、弾性係数を $1.0 \times 10^4 \text{ MPa}$ 、初期張力を1.5 kNとして2本設定した。

3. 計算結果及び考察：図-3に、係留索がない条件で波高 $H=0.6 \text{ m}$ 、周期 $T=8.5 \text{ s}$ の波が作用した時のケーソンの動揺状況を例示する。同図より、ケーソン内部の流体運動を含めたケーソンの運動と流体運動を計算できていることが分かる。続いて、係留索の有無によるケーソン重心まわりの回転角 α （時計回りを正とする）の変化と、係留索を設定した際のそれぞれのワイヤの張力 F_T の関係に焦点を当てる。図-4に入射波が波高 $H=0.6 \text{ m}$ 、周期 $T=8.5 \text{ s}$ の場合の $\alpha / (kH/2)$ と F_T / F_{T0} の時系列変化を示す。ここで k は波数、 F_{T0} は初期張力である。図-4より、係留索の有無による回転角の変化に着目すると、係留索を設定することで、設定しな

い場合と比較しケーソン重心まわりの回転角の振幅がおよそ 1/2 に低減していることが分かる。また、反時計回り ($\alpha / (kH/2) < 0$) の時の方が、時計回り ($\alpha / (kH/2) > 0$) の時よりも回転角の振幅が大きくなる傾向にある。これは、ケーソン斜面部に作用する波圧の鉛直方向成分がケーソンを反時計回りに回転させるためと考えられる。ケーソンの回転角と張力の位相に着目すると、 $\alpha / (kH/2) < 0$ の時にはワイヤ 1 のみに張力が作用し、 $\alpha / (kH/2) > 0$ の時にはワイヤ 2 のみに張力が作用している。また、張力のピーク値はワイヤ 2 に比べてワイヤ 1 の方が大きい。これは、上述したように、ケーソンの反時計回りの振幅が時計回りと比較して大きいためである。

次に、ケーソン沖側下端の鉛直方向変位 Δz とケーソン前面の WG2 での水位変動 η に着目する。図-5 に波高 $H=0.6$ m とし、周期を変化させた時の $\Delta z / H$ と η / H の時系列変化を示す。図-5 より、ケーソン沖側下端の鉛直方向変位の振幅の大きさは、必ずしも波の周期の大きさとは対応していないことが分かる。これは、ケーソン重心の並進運動により生じる鉛直方向変位と重心まわりの回転により生じる鉛直方向変位の位相差が波の周期によって異なるためであることを確認している。今回の波浪条件では、

周期 $T=10.0$ s の場合には、反時計回りの時にケーソン重心が鉛直上向きに変位したため、沖側下端の鉛直方向変位は相対的に小さくなった。その一方で、周期 $T=8.5$ s の場合には、反時計回りの時にケーソン重心の変位は概ねゼロであった。そのため、沖側下端の鉛直方向変位は $T=8.5$ s の場合の方がより大きくなった。さらに、図-5 より、ケーソン沖側下端の鉛直方向変位とケーソン前面における水位変動の位相については、前面の水位が最小値をとり上昇に転じた後にケーソン沖側下端が最も沈み込むことが分かる。また、波の周期が大きいほどこれらの位相差が小さくなっており、ケーソン沖側下端の鉛直方向変位の位相は波の周期による影響を受けると言える。

4. おわりに：本研究では上部斜面堤ケーソンを対象とし、波浪条件と係留索に作用する張力およびケーソンの動揺の関係を数値計算により考察した。その結果、ケーソンに係留索を設定することにより、係留索を設定しない場合と比べてケーソン重心回りの回転角が低減することを示した。また、ケーソン沖側下端の鉛直方向変位とケーソン前面における水位変動の位相は波の周期の影響を受け、今回の波浪条件では波の周期が大きいほど位相差は小さくなることが明らかになった。今後は、波浪条件や係留索の条件を変化させ、それらの条件がケーソンの動揺に与える影響についてさらに考究する予定である。

参考文献:[1]石見ら(1996):外洋に面した港湾における防波堤ケーソンの据付時の動揺特性および作業限界条件, 港湾技研資料, No. 850, 29 p. [2]米山(2003):動揺シミュレーションによる防波堤ケーソンの据付限界条件に関する検討, 海洋開発論文集, 第 19 巻, pp. 659-664. [3]中村・水谷(2014):海岸堤防を越流する津波と裏法尻の洗掘に関する数値解析, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol. 70, No. 2, pp. I_516-I_521.

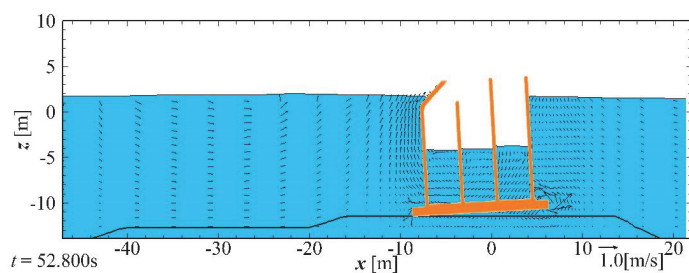


図-3 ケーソンの動揺状況($H=0.6$ m, $T=8.5$ s, 係留索なし)

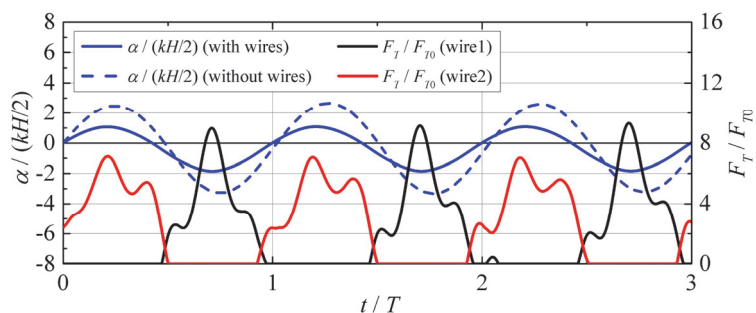


図-4 $\alpha / (kH/2)$ と F_T / F_{T0} の時系列変化

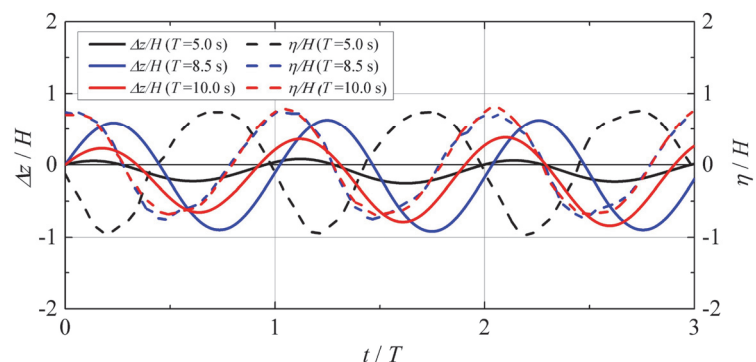


図-5 $\Delta z / H$ と η / H の時系列変化