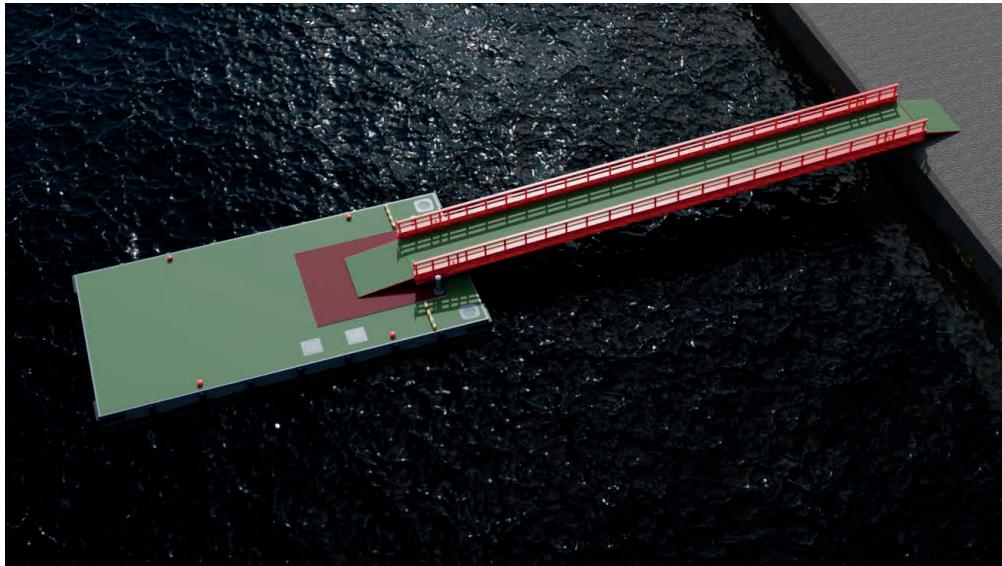


# 新型鋼製浮桟橋の基本設計と運動応答特性の検証



竹内 海智	①
新里 英幸	②
茂筑 雄大	①
松野 進	③
南本 浩一	④
保元 一志	⑤
中尾 雪音	⑥

## 要旨

カナデビア(株)は、2021年から動搖低減を目的とした新型の鋼製浮桟橋（以下、鋼製浮桟橋）について、復建調査設計株式会社と共同で開発を行っている。動搖低減の方法としては、浮桟橋内部に設置されている錘の配置位置を調整することで、波浪と浮桟橋運動の共振現象を回避し、鋼製浮桟橋の動搖低減を図る。まず、鋼製浮桟橋を対象とした基本設計を行い、鋼製浮桟橋の寸法や慣動半径をはじめとした主要諸元を決定するとともに、各部材の応力度照査や局部強度の検討等も実施し、設計仕様を満足していることを確認した。次に、得られた主要諸元を基にした数値シミュレーションにより、鋼製浮桟橋の運動応答の傾向を把握した。また、水槽実験により、鋼製浮桟橋と連絡橋の連成運動を確認し、連絡橋の影響により鋼製浮桟橋の運動応答を大きく低減できることを明らかにした。

本報では、この鋼製浮桟橋を対象とした基本設計、数値シミュレーションならびに水槽実験による検証結果について紹介する。

## キーワード

浮桟橋、連絡橋、基本設計、数値シミュレーション、水槽実験

## 1. 緒 言

日本は非常に多くの離島を抱えており、2023年に国土地理院が実施した調査によると、その数は1万4125島に上る<sup>1)</sup>。離島における住民生活の安定化には定期的な物資や人員の輸送が必要不可欠である。特に船舶を用いた海上交通が主な輸送手段であり、船舶の運用には浮桟橋が必要である。浮桟橋は図1に示す通り、基本的には、人や物の乗降ができる箱型の浮体と陸地を繋ぐ連絡橋で構成され、数多く存在する離島それぞれにおける潮位差、波高や波周期といった自然条件に合わせて整備される。ここで、顧客から求められるのは、経済性と機能性であり、様々な自然条件下でも揺れにくい浮桟橋である。設置海域の水深が浅い箇

所に設置されることも多く、維持管理（浚渫の必要性等）も求められる。鋼製浮桟橋は構造がシンプルであり、他構造よりも喫水を小さくできるため、水深が2.0mしかないような浅水域にも設置できる利点がある。

本開発を進めるにあたり、比較的離島の多い瀬戸内海の中でも既設浮桟橋の更新案件が多い広島県に着目し、この地域で浮桟橋に関する知見を多く有する復建調査設計(株)と共同研究契約を締結し、顧客のニーズに沿った新型鋼製浮桟橋の開発を行った。顧客からは浮桟橋の動搖低減とコスト低減の両立が望まれていた。このニーズに対して、カナデビア(株)と復建調査設計(株)は、浮桟橋に設置されているバラスト調整用の錘の配置を意図的に調整した新型鋼製浮桟橋（以下、鋼製浮桟橋と呼称）を考案した。浮桟橋のもつ動搖の固有周期と浮桟橋設置海域における波浪の波周期が一致すると、動搖が卓越して大きくなる共振現象が発生する。しかし、錘の配置調整により浮桟橋の動搖の固有周期と波周期をずらすことによって、共振現象を避けるこ

① 機械・インフラ事業本部 開発センター

② 機械・インフラ事業本部 開発センター 博士(工学)、技術士(船舶・海洋部門)

③ 機械・インフラ事業本部 鋼橋・防災ビジネスユニット 橋梁・鉄橋設計部 技術士(建設部門)

④ 復建調査設計株式会社 沿岸・地震防災部 技術士(建設部門)、海洋・港湾構造物設計士

⑤ 復建調査設計株式会社 沿岸・地震防災部 沿岸技術課 技術士(建設部門)

⑥ 復建調査設計株式会社 沿岸・地震防災部 沿岸技術課

とが可能となる。つまり、浮桟橋内部にある錘の配置を変更するのみで、浮桟橋の構造を大きく変えることなく、動搖低減を図ることができる。鋼製浮桟橋の開発にあたり、基本設計を復建調査設計(株)が行い、力ナデビア(株)では錘位置の調整により、どの程度運動応答に差異が出るのかを数値シミュレーションにて検証した。一方で、実際には図1に示す通り、浮桟橋には連絡橋が接続されている。一般的な基本設計では、連絡橋の荷重を考慮しているが、鋼製浮桟橋と連絡橋の連成運動までは考慮されていない。連絡橋の有無は鋼製浮桟橋の運動応答に大きく影響を与えると考えられるが、具体的にどの程度の影響を及ぼすのか明らかでない。そこで、鋼製浮桟橋と連絡橋の連成運動については鋼製浮桟橋と連絡橋を模擬した水槽実験により検証した。

本論では、鋼製浮桟橋を対象とした基本設計、数値シミュレーションならびに水槽実験による検証結果について報告する。

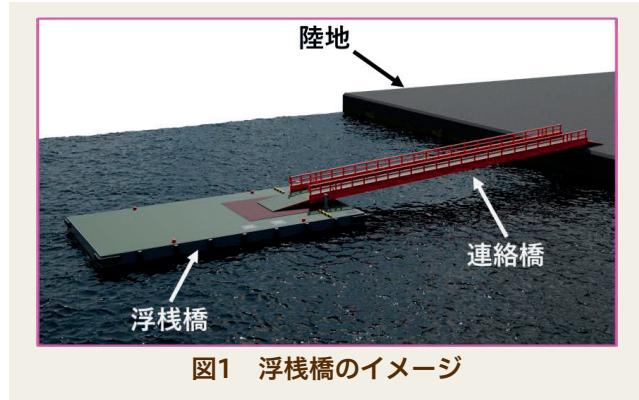
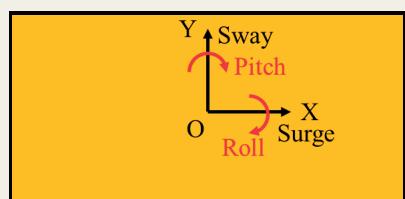


図1 浮桟橋のイメージ

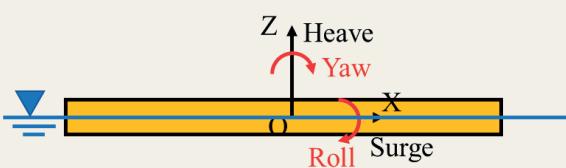
## 2. 基本設計

### 2.1 座標系

鋼製浮桟橋の概略を図2に示す。座標系は、水面上の鋼製浮桟橋の中央を原点OとするO-XYZ座標系を使



(a) 平面図



(b) 側面図

図2 鋼製浮桟橋の概略図

用している。座標軸の方向は、原点Oから鋼製浮桟橋長手方向をX軸、短手方向をY軸、原点Oを通る鉛直方向をZ軸とする。次に、鋼製浮桟橋の6自由度の運動モードを定義する。X軸、Y軸、Z軸の座標軸方向の並進運動はそれぞれSurge (前後揺れ)、Sway (左右揺れ)、Heave (上下揺れ) である。また、並進運動の正負は座標軸の正負と同様である。また、各座標軸まわりの回転運動はRoll (横揺れ)、Pitch (縦揺れ)、Yaw (船首揺れ) である。回転運動の正の方向はそれぞれの座標軸に対して右ねじの法則に従うものとする。

### 2.2 設計条件

広島県に設置する鋼製浮桟橋の設計条件となる気象・海象条件を表1に示す。この設計条件は港湾の施設の技術上の基準および同解説を参考に設定している<sup>2)</sup>。今回の鋼製浮桟橋は港湾内の適用を想定しているため、潮流速については考慮しないものとする。広島県の海象条件の特徴として潮位差が大きいことが挙げられ、最大で基準面から約5.0 m潮位が上昇する。この設計条件を基にして復建調査設計(株)が基本設計との検討を行った。

表1 設計条件

項目	単位	数値
水深	[m]	4.0
波高	[m]	0.9
波周期	[s]	4.4
風速	[m/s]	32.1
潮流速	[m/s]	0.0
最高潮位	[m]	4.96
耐用年数	[年]	50.0

### 2.3 基本設計の結果

基本設計を行った結果を表2に示す。ここで、重心高さKGは鋼製浮桟橋底面の中心点K (Keel) から重心Gまでの距離を表し、メタセンター高さGMは重心GからメタセンターM (Metacenter) までの距離である。ここで、メタセンターとは鋼製浮桟橋が傾斜するときの浮心位置軌跡の曲率中心である。また、X、Y、Z軸周りの慣動半径をそれぞれ $K_x$ 、 $K_y$ 、 $K_z$ とする。表2の安定性検討より、想定される様々な状態において鋼製浮桟橋の乾舷  $> 0.0$  mかつ $GM_x > 0.0$  mを常に満足していることから、今回検討している鋼製浮桟橋が十分な安定性を有していることが確認できる。また、この基本設計では、表2に記載の項目以外にも、各部材の応力度照査や局部強度の検討等も実施し、設計仕様を満足することを確認している。この結果得られた鋼製浮桟橋と連絡橋の主要諸元を表3、表4にまとめる。以後実施する数値計算や水槽実験では、この基本設計により得られた寸法や慣動半径等を使用する。

表2 基本設計の結果

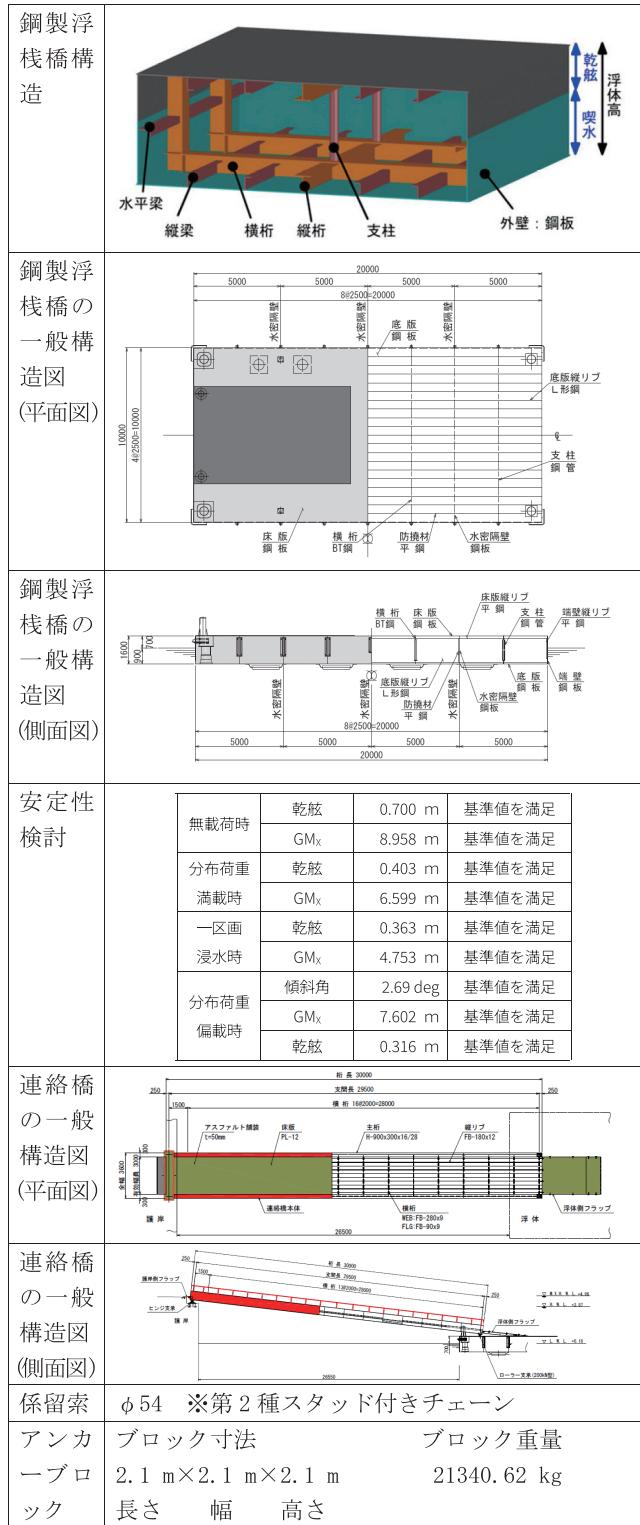


表3 鋼製浮桟橋の主要諸元

項目	単位	数値
重量 M	[kg]	184500
長さ L	[m]	20.0
幅 B	[m]	10.0
型深さ D	[m]	1.6
乾舷 f	[m]	0.7
喫水 d	[m]	0.9
重心高さ KG	[m]	0.017
メタセンター高さ GM <sub>x</sub>	[m]	7.6
メタセンター高さ GM <sub>y</sub>	[m]	14.0
慣動半径 K <sub>x</sub>	[m]	2.77
慣動半径 K <sub>y</sub>	[m]	5.52
慣動半径 K <sub>z</sub>	[m]	6.11

表4 連絡橋の主要諸元

項目	単位	数値
重量 $m$	[kg]	18350
長さ $l$	[m]	30.0
幅 $b$	[m]	3.0

した3次元特異点分布法に基づくポテンシャル計算を実施する。このポテンシャル計算により得られる鋼製浮桟橋の付加質量係数、造波減衰係数や波強制力係数等を入力値として、時刻歴応答計算を行う。この際、水の粘性や係留の影響についても考慮する。時刻歴応答計算における外力は波周期をパラメータとした規則波のみとして、各波周期における鋼製浮桟橋の運動応答の両振幅を算出する。この運動応答の両振幅を波高もしくは波高と波数で除することで、無次元化した鋼製浮桟橋の運動応答値RAO (Response Amplitude Operator) を算出する。算出した運動応答値を波周期ごとにプロットして、錘配置ごとの運動応答値を比較検証する。

また、鋼製浮桟橋よりも大きい喫水を有する他構造浮桟橋（コンクリート製）と比較した場合にどのような関係性があるのかも把握する必要がある。よって、上記と同様の手法を用いて比較検証する。

以上をまとめると、本章では数値シミュレーションを用いて以下の2点について検証する。

- ①錘の配置調整による運動応答の比較
  - ②鋼製浮桟橋と他構造浮桟橋の運動応答の比較

### 3.2 計算条件

鋼製浮桟橋内部に設置する錘の位置を図3に示す。Type1では基本設計で得られた鋼製浮桟橋の慣動半径と同等の慣動半径になるよう錘を配置している（以下、この配置を基本設計の錘配置と呼称）。表3には、このType1の錘配置をした場合における慣動半径も示している。さらに、鋼製浮桟橋中心に錘を集めたType2、

### 3. 数値シミュレーション

### 3.1 計算の目的・方法

前章にて設計した鋼製浮桟橋をベースにして、内部に設置する錘の配置を調整することで、どの程度鋼製浮桟橋の運動応答に影響を及ぼすかは不明である。そこで、以下の数値シミュレーションを実施することで、錘の配置調整による運動応答について確認する。

錐配置の調整に伴い変化する鋼製浮桟橋の慣動半径をパラメータとして、それぞれの鋼製浮桟橋を対象と

錘を端部に寄せたType3の合計3種類の錘配置について検討する。今回は鋼製浮桟橋の運動応答の中でもRollに影響するY軸方向にのみ錘配置を変更する。

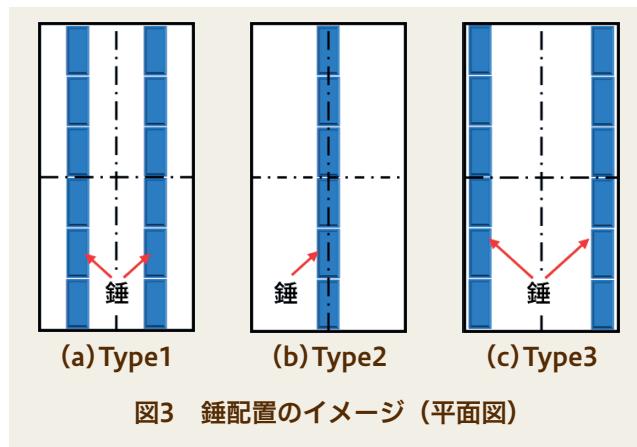


図3 錘配置のイメージ (平面図)

図3のそれぞれのTypeにおける鋼製浮桟橋の慣動半径を表5に示す。RollとYawに影響する慣動半径 $K_x$ 、 $K_z$ が錘の配置調整により変化していることが確認できる。

表5 各Typeの慣動半径

項目	単位	Type1	Type2	Type3
慣動半径 $K_x$	[m]	2.77	2.51	3.29
慣動半径 $K_y$	[m]	5.52	5.52	5.52
慣動半径 $K_z$	[m]	6.11	6.00	6.36

本計算では、表2に示した通り、係留索としてチェーンを使用する。係留チェーンの諸元を表6に、鋼製浮桟橋の係留の様子を図4に示す。図4のように、4本の係留索を45 degの角度で放射状に展張する。

表6 係留チェーンの諸元

リンク径	単位気中重量	軸剛性	ねじり剛性
[mm]	[kg/m]	[kN/m]	[kN·m <sup>2</sup> ]

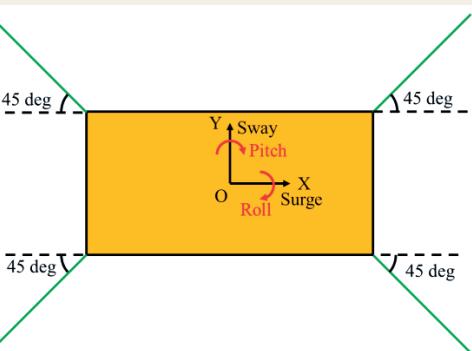


図4 係留の様子 (平面図)

時刻歴応答計算を行う際に、粘性減衰係数を考慮する必要がある。粘性減衰係数は水槽実験やCFD解析とモリソン式から求めるのが一般的であるが、本論では対象としている鋼製浮桟橋が単純な矩形であるため、(1)、(2) 式<sup>3)</sup>を用いて概算的に求めた。

$$N_i = 0.5 \times \rho \times C_D \quad (i = 1, 2, 3) \quad (1)$$

$$N_i = 0.75 \times \rho \times L \times d^4 \times (H_0^2 + 1 - OG/d) \times (H_0^2 + (1 - OG/d)^2) \quad (i = 4, 5, 6) \quad (2)$$

ここで、 $N_i$ は粘性減衰係数、添え字の*i*は運動の方向*i*=1: Surge、*i*=2: Sway、*i*=3: Heave、*i*=4: Roll、*i*=5: Pitch、*i*=6: Yaw、*A*は投影面積、*CD*は抗力係数 (*i*=2の場合: 1.12、*i*=3の場合: 2.00)、*H<sub>0</sub>*は半幅喫水比、*OG*は水面からの重心高さをそれぞれ示す。これらの計算式より求めた粘性減衰係数を表7に示す。前述の通り、本計算で鋼製浮桟橋の呈する運動は Sway、HeaveならびにRollであるため、粘性減衰係数はこれらの成分のみ算出している。

表7 粘性減衰係数 (Type1~3)

粘性減衰係数	単位	数値
$N_2$	[kN/(m/s) <sup>2</sup> ]	10.3
$N_3$	[kN/(m/s) <sup>2</sup> ]	205.1
$N_4$	[kN·m/(rad/s) <sup>2</sup> ]	5166.7

他構造浮桟橋Type4、5の諸元を表8にまとめる。これらの浮桟橋についても、Type1~3と同様にポテンシャル計算と時刻歴応答計算を実施することで運動応答値を算出し、比較検証を行う。

表8 他構造物の主要諸元

項目	単位	Type4	Type5
重量 <i>M</i>	[ton]	410	533
長さ <i>L</i>	[m]	20.0	20.0
幅 <i>B</i>	[m]	10.0	10.0
型深さ <i>D</i>	[m]	2.7	3.3
乾舷 <i>f</i>	[m]	0.7	0.7
喫水 <i>d</i>	[m]	2.0	2.6
重心高さ <i>KG</i>	[m]	1.33	2.33
メタセンター高さ <i>GM<sub>x</sub></i>	[m]	3.84	2.88
メタセンター高さ <i>GM<sub>y</sub></i>	[m]	16.34	12.49
慣動半径 $K_x$	[m]	5.37	3.13
慣動半径 $K_y$	[m]	7.60	6.03
慣動半径 $K_z$	[m]	9.19	6.55

### 3.3 計算結果

鋼製浮桟橋の運動として特に懸念されるのがRollである。鋼製浮桟橋が細長体であり、利用者の乗り心地にRollが大きく影響するため、本論ではRollに着目して運動応答の検討を行う。以下、考慮する波についてはY軸負の方向に作用するものとする。よって、本論では鋼製浮桟橋の運動応答はSway、HeaveならびにRollの3自由度運動となる。

算出した鋼製浮桟橋Type1~3の運動応答値RAOを

図5に示す。図中における $\eta$ は鋼製浮桟橋の運動応答、 $\zeta$ は波高、 $k$ は波数をそれぞれ表している。図5より、Sway方向の変位については、波周期4.0 s以上ではType1～3でほぼ同値となっている。Heave方向の変位については、Type1～3の運動応答値が今回計算対象とした波周期帯においてはほぼ同値となっている。これは、Type1～3の没水部分の形状や重心位置等が同一となっているためである。Roll方向の回転変位については、想定通りそれぞれのTypeで応答のピーク値やピーク波周期に差異が確認できる。2～3.2 sの波周期帯では、Type3が最も小さい運動応答値を示しており、3.2～10.0 sの波周期帯ではType2が最も小さい運動応答値を示している。つまり、Roll方向の回転変位に着目すると、鋼製浮桟橋の設置海域における主な波周期が3.2 s以下の場合にはType3の錘配置を、波周期が3.2 s以上の場合にはType2の錘配置を適用することが望ましいと言える。また、基本設計の錘配置であるType1と比較すると、どの波周期帯においてもType2もしくはType3の錘配置を適用することで、基本設計の錘配置よりもRoll方向の回転変位を低減できる。

一方で、鋼製浮桟橋と他構造浮桟橋Type4、5を比較

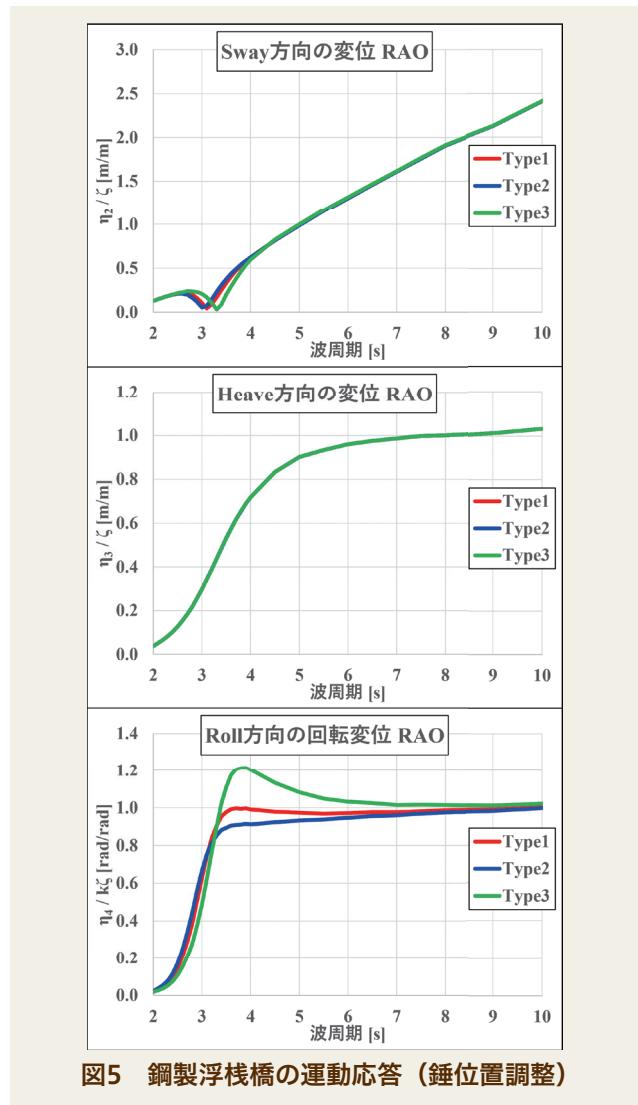


図5 鋼製浮桟橋の運動応答（錘位置調整）

し、どのような関係があるのかを確認する。また、設計対象とした広島県東部地域の沿岸海域における1年確率波の波周期は3.0 s前後とされているため、鋼製浮桟橋としてはこの波周期帯におけるRoll方向の回転変位の運動応答値が最も小さいType3を比較対象として選定する。以上より、Type3、4、5を比較した結果を図6に示す。図6より、Type3はType4と比較すると5.5 s、Type5と比較すると4.7 s以上の波周期にて運動応答値が小さくなることが確認できる。一方で、上記の波周期以下ではType3の方が大きい運動応答値を示している。これらの傾向はそれぞれの浮桟橋の喫水と慣動半径が影響している。よって、鋼製浮桟橋の設置海域の水深や波周期帯に応じて、喫水や錘配置を調整する必要がある。

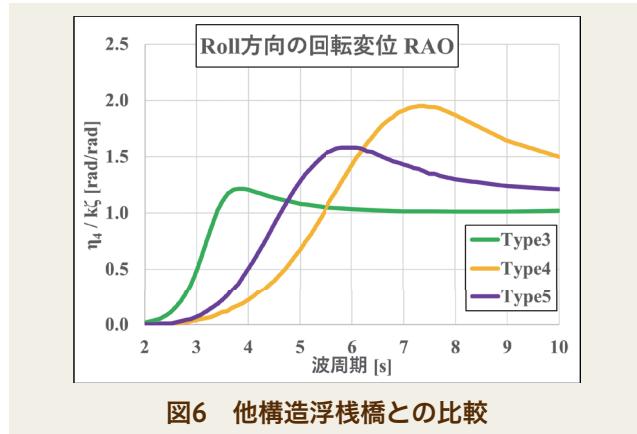


図6 他構造浮桟橋との比較

## 4. 水槽実験

### 4.1 実験の目的

前章にて行った数値シミュレーションにより、錘配置を調整した鋼製浮桟橋の運動応答の傾向を確認することができた。一方で、実際に運用する場合において、鋼製浮桟橋には連絡橋が接続されている。鋼製浮桟橋と連絡橋の連成運動について、水槽実験によりその挙動を確認する。なお、前章に記載の通り、広島県東部地域の沿岸海域の海象を設計条件とすると、Type3の錘配置が最もRollの運動応答値が小さくなるため、本実験ではType3の錘配置を採用している。

### 4.2 実験方法

#### 4.2.1 実験水槽

本水槽実験ではカナデビア(株)の保有する実験水槽を使用する。この実験水槽の主要諸元を表9に、外観写真を図7に示す。

表9 実験水槽の主要諸元

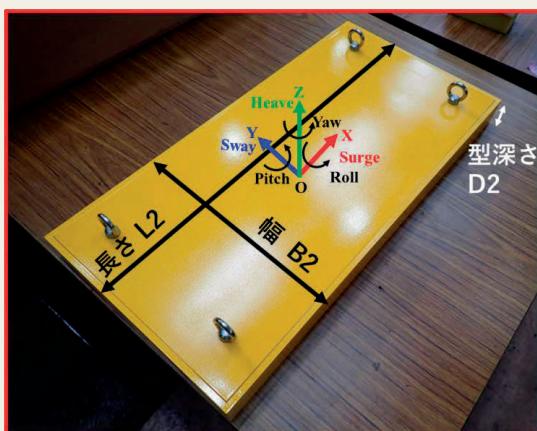
項目	数値・種類等
寸法	長さ：45 m、幅：1.0 m、深さ 1.2 m
最大波高	430 mm
最大波周期	15 s
造波装置	ピストン型
発生波	規則波 不規則波 (BM型、JONSWAP型、任意入力型)



図7 実験水槽

#### 4.2.2 供試模型

水槽実験を行うにあたり、実験水槽の寸法を考慮して水槽実験の縮尺比を1/40スケールとした。鋼製浮桟橋および連絡橋の供試模型（以下、それぞれ浮桟橋模型、連絡橋模型と呼称）の主要諸元と外観を図8、表10に示す。浮桟橋模型と連絡橋模型の寸法や重量等は実機相当の数値から幾何学的相似則に基づいて決めている。しかし、連絡橋模型の長さに関しては1/40スケールにすると0.75 mであり、浮桟橋模型の長さ0.5 mを考慮すると、実験水槽の幅1.0 mに対して長くなる。そこで、本水槽実験では連絡橋模型の長さを短くするが、錐の取付により浮桟橋模型に与える荷重については実機のそれを再現する。



(a) 浮桟橋模型



(b) 連絡橋模型

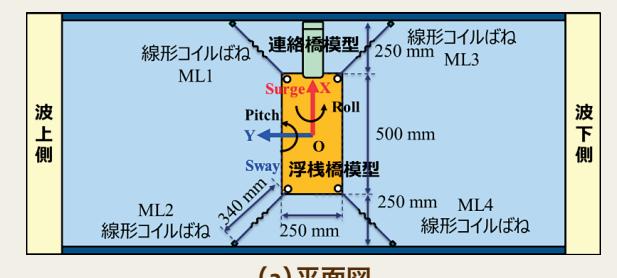
図8 供試模型の外観

表10 供試模型の主要諸元

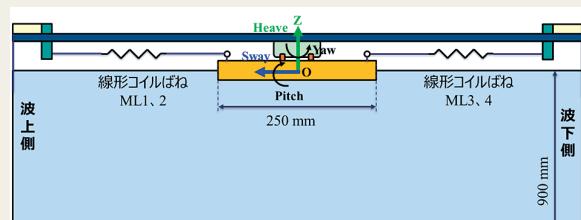
供試模型	項目	単位	数値
浮桟橋模型	重量 M2	[kg]	2.81
	長さ L2	[m]	0.50
	幅 B2	[m]	0.25
	型深さ D2	[m]	0.04
	喫水 d2	[m]	0.023
	重心高さ KG2	[m]	0.021
	慣動半径 Kx2	[m]	0.085
連絡橋模型	慣動半径 Ky2	[m]	0.016
	重量 m2	[kg]	0.28
	長さ 12	[m]	0.30
	幅 b2	[m]	0.08

#### 4.2.3 座標系と係留

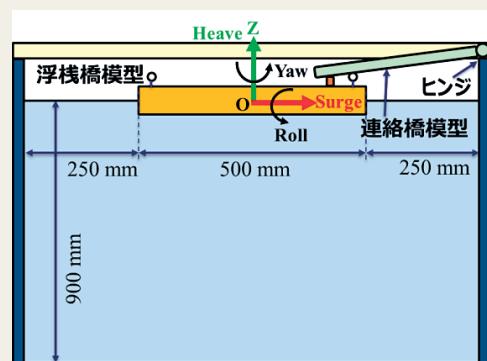
浮桟橋模型の座標系および水槽実験時の係留の様子を図9に示す。不規則波により生じる浮桟橋模型の加速度や作用する衝撃力の確認ではなく、今回は浮桟橋模型の運動応答特性の把握を目的としているため、線形領域の水槽実験を行う。よって、係留索には線形コイルばねを使用しており、線形領域の範囲で計測することから、線形コイルばねの伸縮としては、「伸びきらない」かつ「自然長にならない」ものを選定している。



(a) 平面図



(b) 側面図



(c) 断面図

図9 浮桟橋模型の座標系と係留の様子

#### 4.2.4 計測方法

計測する項目を表11に示す。浮桟橋模型に入射する波高や波周期を計測するため、浮桟橋模型の波上側3.0 mの位置に容量式波高計を1本設置する。また、浮桟橋模型の運動応答はモーションキャプチャシステムを用いて計測する。図10に示す通り、4台のモーションキャプチャ用カメラで浮桟橋模型に設置したターゲットを追跡し、浮桟橋模型の運動応答を計測する。

表11 計測項目

計測項目	計測場所	計測機器
波高・波周期	波上側1点	容量式波高計
浮桟橋模型の運動応答	浮桟橋模型上部 (ターゲット3点:1セット)	モーションキャプチャシステム (カメラ4台)

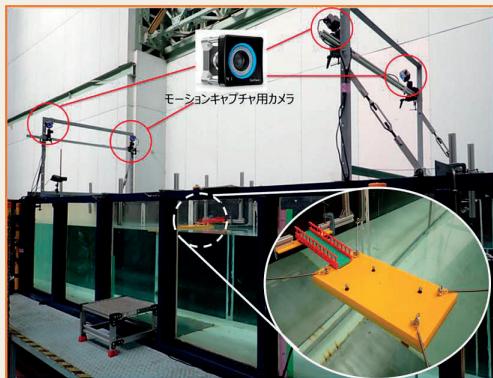


図10 モーションキャプチャによる計測の様子

#### 4.3 実験条件

実験ケースを表12に示す。一般的には波高と波長の比である波形勾配を一定とした実験条件を用いることが多いが、この場合は波周期の増加に伴い波高も大きくなる。浮桟橋模型の乾舷が0.017 mしかないこと、線形領域の水槽実験を行うことから、今回は波高を0.01 mの一定条件としている。また、波周期ごとの浮桟橋模型の運動応答を確認することが目的であるため、波周期をパラメータとしている。なお、連絡橋模型のない場合には、浮桟橋模型がPitch方向に定常傾斜しないように連絡橋の荷重のかかる位置に錘を載せている。

#### 4.4 実験結果

結果として、浮桟橋模型の運動応答を入射波高もしくは入射波高・波数で除することで無次元化した運動応答値を波周期ごとに図11にプロットした。図11より、Sway方向の変位については連絡橋模型が無しの場合よりも有りの場合の方が、全波周期帯で運動応答値は0.2～0.3程度低減されていることが確認できる。これは浮桟橋模型と連絡橋模型の接続部との間に生じる摩擦力による影響と推察される。Heave方向の変位については、連絡橋模型の有無による差はほとんどなく、運動応答値の傾向は概略一致する結果となった。これは、浮桟橋模型と連絡橋模型の接続部との摩擦力がHeave

表12 実験ケース

Case No.	連絡橋の有無	模型ベース		実機換算値	
		波周期 T [s]	波高 H [m]	波周期 T [s]	波高 H [m]
1	有り	0.675	0.010	4.3	0.40
2	有り	0.700	0.010	4.4	0.40
3	有り	0.750	0.010	4.7	0.40
4	有り	0.800	0.010	5.1	0.40
5	有り	0.850	0.010	5.4	0.40
6	有り	0.900	0.010	5.7	0.40
7	有り	0.950	0.010	6.0	0.40
8	有り	1.000	0.010	6.3	0.40
9	無し	0.675	0.010	4.3	0.40
10	無し	0.700	0.010	4.4	0.40
11	無し	0.750	0.010	4.7	0.40
12	無し	0.800	0.010	5.1	0.40
13	無し	0.850	0.010	5.4	0.40
14	無し	0.900	0.010	5.7	0.40
15	無し	0.950	0.010	6.0	0.40
16	無し	1.000	0.010	6.3	0.40

方向には動かないため、連絡橋模型の有無が運動応答値に影響しなかったと考えられる。Roll方向の回転変位については、連絡橋模型の影響が顕著に表れており、連絡橋模型が無しの場合よりも有りの場合の方が、全波周期帯にて運動応答値が0.7～0.9程度低減されている。平水時において、連絡橋模型の重みは図8(b)に示す2点の接続部から浮桟橋模型に作用している。浮桟橋模型がRoll方向の回転変位を呈すると、連絡橋模型は同方向に回転しないため、1点の接続部から連絡橋模型の重みが浮桟橋模型にかかり、浮桟橋模型の傾斜方向と逆向きの回転モーメントが作用する。このような連絡橋模型の重みによる拘束条件があるため、連絡橋模型が無しの場合よりも有りの場合の方が、Roll方向の回転変位が小さくなると考えられる。なお、波周期が短い方が低減の割合としては大きくなっている。

以上より、浮桟橋模型におけるSway方向の変位については浮桟橋模型と連絡橋模型の接続部の間に生じる摩擦の影響で、Roll方向の回転変位については連絡橋模型の重みが1点の接続部に作用する影響で、大きく低減できることが明らかとなった。連絡橋の有無により浮桟橋の呈する運動応答は異なる傾向を示すため、設計検証の際には連絡橋の接続を考慮した検討が望まれる。

## 5. 結 言

鋼製浮桟橋に対して基本設計を行い、数値シミュレーションや水槽実験による様々な比較検証を行った。その結果得られた知見を以下にまとめる。

- 鋼製浮桟橋を対象に基本設計を行い、鋼製浮桟橋の寸法や重心位置等の主要諸元を決定した。また、様々

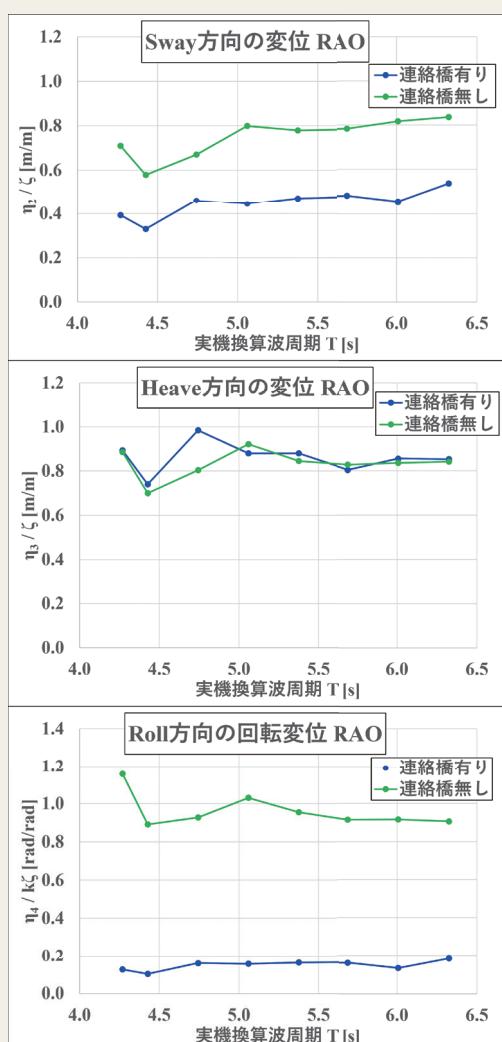


図11 波周期ごとの浮桟橋模型の運動応答値

な条件下における乾舷と $GM_x$ を確認し、十分な安定性を有していることを確認した。

- ・錘配置を調整した鋼製浮桟橋 (L:20 m、B:10 m、

## Basic Design of a New Steel Floating Pier and Verification of its Motion Response Characteristics

### Abstract

Since 2021, Kanadevia Corporation has been developing a new type of steel floating pier (hereinafter referred to as “steel floating pier”) for motion reduction in conjunction with Fukken Co., Ltd. The method of motion reduction involves adjusting the position of weights installed inside the floating pier to avoid resonance between the waves and the floating pier motions, thereby reducing the motions of the pier. First, the basic design of the steel floating pier was carried out to determine its main specifications, including its dimensions and inertia radius, as well as to verify stress levels and local strength for each member. This confirmed that the design specifications were satisfied. Next, numerical simulations based on the obtained main specifications were conducted to understand the trends seen in the motion responses of the steel floating pier. In addition, the coupled motion of the steel floating pier and the connecting bridge was confirmed through tank experiments, and it was found that the influence of the connecting bridge can significantly reduce the motion response of the steel floating pier. This paper presents the results of the basic design, numerical simulations, and water tank experiments for a steel floating pier.

### Authors

Kaichi Takeuchi (Kanadevia Corporation, E-mail : hitzgiho001@kanadevia.com)  
 Hideyuki Niizato Yudai Mochiku Susumu Matsuno  
 (Fukken Co., Ltd) Koichi Minamimoto Kazuyuki Yasumoto Yukine Nakao

D:2.3 m) を対象に数値シミュレーションを実施した。その結果、Roll方向の回転変位に着目すると、設置海域における主な波周期が3.2 s以下の場合にはType3の錘配置を、波周期が3.2 s以上の場合にはType2の錘配置を適用することが望ましい。

- ・数値シミュレーションにより、Roll方向の回転変位に関して鋼製浮桟橋と他構造浮桟橋を比較した。Type3はType4と比較すると5.5 s、Type5と比較すると4.7 s以上の波周期にて運動応答値が小さくなる。
- ・浮桟橋模型と連絡橋模型を連成させた水槽実験を行った。連絡橋模型の連成により浮桟橋模型のSway方向の変位およびRoll方向の回転変位を大きく低減できる。
- ・連絡橋の有無により鋼製浮桟橋の呈する運動応答は大きく異なる傾向を示すため、設計検証の際には連絡橋の接続を考慮した検討が望まれる。

### 参考文献

- 1) 国土交通省国土地理院HP:  
[https://www.gsi.go.jp/kihonjohochousa/islands\\_index.html](https://www.gsi.go.jp/kihonjohochousa/islands_index.html), 2024-08-20.
- 2) (社)日本港湾協会:港湾の施設の技術上の基準・同解説, 2018.
- 3) 麓興一郎, 宇都宮智昭, 新里英幸ほか:風・波を同時に受ける浮体橋の動的応答シミュレーションプログラムの開発, 土木学会論文集A, 2006, Vol.62, No.4, pp.729-739.

### 文責者

カナデビア株式会社 機械・インフラ事業本部  
 開発センター 水力応用グループ  
 竹内海智  
 E-mail : hitzgiho001@kanadevia.com