

令和元年6月28日現在

機関番号：55402

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K16315

研究課題名(和文) 災害時における緊急用空気膨張式浮棧橋の開発研究

研究課題名(英文) Basic study on Emergency Inflatable floating Pier practicality

研究代表者

岸 拓真 (KISHI, TAKUMA)

広島商船高等専門学校・商船学科・講師

研究者番号：70748938

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、災害時に孤立した沿岸地域や離島の人命救助や物資輸送を確保するために、ゴムや合成繊維を材質とした直方体のインフレーターマットを空気で膨らませて設置する緊急災害用空気膨張式浮棧橋の開発研究である。その基本的構造についての検討、適切な係留施設に関する検討を水理実験でおこなった。また、接岸等においての運用等も通常の接岸方法の場合での安全性の検討を行うための基礎的な検討を行ってきた。係留システムにおいては、弛緩アンカーチェーン係留とドルフィン係留による検討を水理実験にて実施した。本手法においては、ドルフィン係留が有効的であり、組み立て式のドルフィン係留施設の検討を行っている。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の研究成果は、大きく分けて3つある。1点目は、想定する状況において緊急膨張式浮棧橋が実用に供せることが明らかになった。これは、想定状況ならびに必要なと考えられる車輛の通行等を考慮した想定である。この結果から、設置と空気による膨張が実用に供せる諸元であり、本研究で明らかとした。2点目に、高い波浪エネルギーが薄いゴム引布材を使用した構造体に作用した場合の挙動等について検討した。この検討の結果、浮体の漂流性に課題はあるものの、耐久性について実用性があり、スパー式ドルフィン係留と適することを明らかにすることができた。

研究成果の概要(英文)：In this research, in order to ensure life saving and transportation of goods in isolated coastal areas and remote islands at the time of disaster, inflatable inflatable mats for inflatable disasters are used in which inflatable mats of rectangular parallelepiped inflatable mats made of rubber or synthetic fiber are installed. A hydraulic experiment was conducted to examine the basic structure and the appropriate mooring facilities. In addition, the operation at the berth has also been fundamentally examined to consider the safety in the case of the usual berthing method. In the mooring system, hydraulic experiments were carried out by means of relaxation anchor chain mooring and dolphin mooring. In this method, dolphin mooring is effective, and the construction type dolphin mooring facility is considered.

研究分野：船舶海洋工学

キーワード：港湾施設 復興 津波 海洋空間利用

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

大規模な災害発生後、港湾設備の損壊は現在でも免れない。特に、地震・津波の災害後は、地震津波による地盤の陥没隆起、液状化、漂砂や船舶の乗揚げ等により、港湾の不稼働を余儀なくさせている。

さらに、この事態が継続した時、物流が滞り始め、特に沿岸地域の生活水準を大きく低下させる(高野ら、2013)。しかし、2011年の東日本大震災時に、比較的被害の少なかった港湾を拠点とし、全国各地のフェリー等を利用し、緊急輸送を行った。機動力と効率的な運送により、被災地外への一時避難等を促し、またその後の復興支援を加速化させた(国土交通省海事レポート、2011)。本事例は、係船できる設備があれば、海以外の交通手段が遮断されている沿岸地域を拠点にして、被災直後の支援と復興を加速化できる可能性を示した試みであった。

一方で、離島等において、地震や津波・高潮以外にも、集中豪雨による土砂災害等により、着岸設備が崩壊もしくは漂流した場合、離島の物流が滞る。特に遠隔離島においては致命的な問題であり、島民に対して大きな被害を与えている。現在までは、応急的に台船等を運び利用していた。さらに浮体式防災基地とよばれる災害用の鋼船構造を有した浮棧橋も開発され、実用化している。しかし、これらを洋上で運搬するには安全性能が確保できない事例もあり、新たに時間とコストをかけて固定式浮棧橋を設置することが大半である。その間は、岸壁は不稼働を余儀なくされている。以上のことから、安全性を確保し、運搬が簡易で、設置が即時可能な災害後の応急的係船設備の技術開発が求められている。

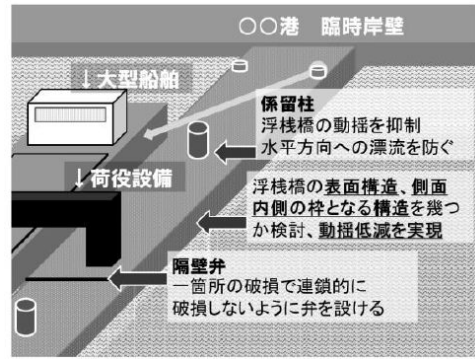


Fig. 1 膨張式緊急浮棧橋の概要

2. 研究の目的

本研究では、ゴムや合成繊維を材質としたマットを空気で膨らまし、災害後の応急用浮棧橋として利用する「災害時応急用空気膨張式浮棧橋」の開発を行う。具体的に次の計画を推進し、本目的の実現を示す。

模型による水理実験を実施し、風波浪下における浮棧橋模型の運動並びに荷重を測定する。粒子法の一つである「MPS 法数値シミュレーション」の本課題に対する適用性を検討する。水理実験結果をもとに、「膨張式浮棧橋」の最適な形状、構造、係留方法を検討する。

で検討したモデルが、対象とする場所に設置したときにおけるの使用性と安全性等を で適用性を検討した「数値シミュレーション」を用いて性能解析を行う。

3. 研究の方法

災害事例等から応急用浮棧橋の利用状況を設定し、設計指針を設定する。第一にその設計指針に従い、【基礎型】浮棧橋模型を製作し、あらゆる風浪波における浮棧橋の運動応答等を明らかにする。そして第二に越塚が開発し、申請者が改良をした MPS 法による数値シミュレーションによる実験の再現を行い、適用性を検討する。具体的には次に示す事項を明らかにする。

(1) 【基礎型】浮棧橋模型の運動応答ならびに係留系への負荷と係留系の運動抑制特性

実験模型の展張時における、風ならびに波に対する運動応答を計測する。運動応答の計測には、実験設備備え付けの画像解析によるモーショントラックによって計測を行う。風に対しては、広島商船高等専門学校荒天錨泊水槽(風洞水槽)にて、波浪については日本大学理工学部二次元水槽にて実験を行う。運動応答解析時に、風速、波高、流速とうの基礎データ以外に、各部位のひずみを計測する。

係留システムの違いによる浮体の運動応答が異なると推定されるために、係留システムを変更して実験を行う。係留システムは一般的な係留方法も含め、4パターン実施する。各係留において、係留系にかかる荷重を測定し、動揺抑制と外力荷重の2点より評価を行い、最適な係留方法を決定する。

(2) MPS 法シミュレーションプログラムの改良と本課題への適用性の検討

弾性体を表現するためには、本プログラムを改良する必要がある。そこで、宋らの研究(2005)を参考に、弾性構造体の動的解析できる環境を既に準備している。プログラムの完成後、まず基本的な現象におけるベンチマークテストを実施し、必要であれば改良を加える。

ベンチマークで妥当性を得られた後に、浮棧橋の水理実験と同じ初期状態、環境を設定し、再現性を確認する。再現性は運動応答だけではなく、係留システムへの荷重や浮棧橋内部の変形応答等についても検討を行う。その後、本浮棧橋に対して最適な形状、構造、係留システム

を検討する。

(3) 船舶の衝突等の偶発的な作用に対して安全性の確認

港湾の環境条件に関する検討を行った後に次に、船舶の接岸力に対する浮体の運動応答ならびに変形応答に関する検討を行う。本検討では、大型船舶を対象とし、船種も船長 200m 以上の代表的な在来船・コンテナ船・ドライバルク船とする。検討は、無ひずみ縮尺の模型実験とし、模型は自航模型とする。(船舶模型は実験水槽所有の模型を改良し、利用する)接岸力を浮棧橋に設けた検力計等により測定し、その時の浮棧橋部材のひずみ等により評価を行う。接岸方法は、実際の運用に合わせた手法を複数パターンで行う。さらにその理論的な検証として、MPS 法を用いた数値シミュレーションを実施する。

(4) 「応急用膨張式浮棧橋」の係船能力の向上

材質が化学合成繊維のため、船舶の係留索から受ける係留ビットにかかる張力が、浮棧橋を変形させる可能性がある。また、外力の作用により、より変形する可能性がある。そこで、変形を最小限となるような構造を検討する。係留ビットの配置、ビットの形状を見直すこと、また強化フレームの設置によって十分効果があると推定される。この事項についても、水槽実験ならびに MPS 法による数値シミュレーションの双方による検証により評価を行っていく。

4. 研究成果

(1) 実現可能性に関する検討

この浮棧橋の利活用できる海域について調査を現在継続して実施している。今、検討しているだけでも、30 か所ほどは可能であり、これについて最終的な設置可能基準を設け、近くその成果を公表する。材質は船舶用の救命いかだに用いられているゴム引布を使用する。空気によってインフレータブル(空気によりシート状の浮棧橋を膨張可能)な浮体構造物である。シート状の浮棧橋を Fig. 2 に示すように巻取り機に収納する。巻取り機を陸上に設置し、巻いてあるシート状の浮棧橋をタグボート等で引き出す。一通り引き出したところで、空気によって浮体を膨張させる。50m から 100m の長さで 1 unit とする。想定対象とする諸元を Table 1 に示す。1 unit を連絡橋でつなぎ必要な長さとする。この規模であれば、市販の大容量のエアーコンプレッサ (150 馬力) でおおよそ 1 unit あたり約 60 分以内で浮棧橋が膨張する。利用が終了次第、空気を抜くことで元のシート状に戻り、再利用も可能である。浮体を並べて展張した例を Fig. 3 に示す。係留には係留点からの急激な引張力が作用しないように、ドルフィン係留を採用する。特に、浅海域に係留用の柱の埋め込みをしない形式を採用する。そのために、スパー式ドルフィンや Fig. 4 のような組み立てフレーム式のドルフィン係留が考えられる。特に、組み立てフレーム方式は安定性が高く、また深さによって浮上浮沈を行う浮力を持たせることで小さなプラットフォームで多様な水深に対して対応できると考えられる。

Table 1 Scale

Scale	50[m] × 6[m] × 2[m]
Weight(Flaoting)	About 1.5[ton] (Density:1.7kg/m ²)
Draft	5[mm]
Break Force	600-700[N]

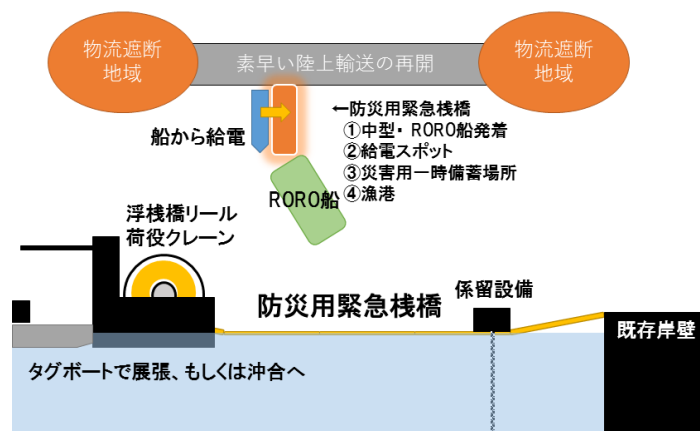


Fig.2 空気膨張式緊急浮棧橋のコンセプト

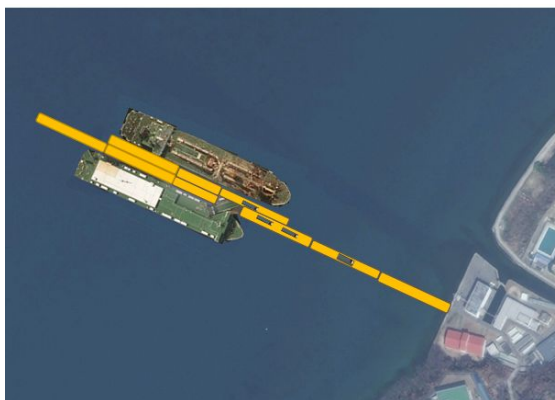


Fig. 3 展張後の様子

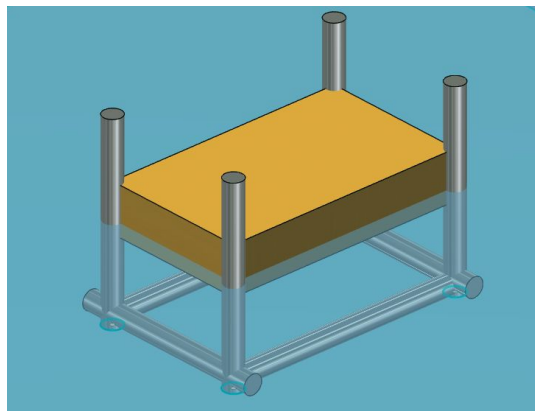


Fig. 4 フレーム組み立て式ドルフィン係留

(2) MPS の改善に関する検討

津波流体中において薄膜構造体であるインフレータブルな浮棧橋において数値シミュレーションが可能な計算環境を構築する検討である。

境界の改良

流入境界の導入は、越塚の方法に従い導入を行った。粒子法はラグランジュ法であるが、流入・流出においては実際の粒子の流入や流出が必要となる。流入は基本的に速度を持って移動する壁粒子として計算する (Fig. 5)。最内側の流入粒子は壁粒子と同様の圧力を計算し、外側の流入粒子は圧力を計算しない、したがって、圧力に対して勾配ゼロのノイマン境界条件となる。最内側の粒子の移動距離が粒子間距離を超えたら、その粒子の位置に新しく流体粒子を発生させると同時に、移動する流入粒子を粒子間距離だけ戻す。これを繰り返すことで次々に流体粒子を流入することができる。この方法は、流入境界が一定でない場合でも適用することができる (例えば、本件のような孤立波の造波等) その場合は流入粒子にずれが生じるので、圧力を計算する粒子を 2 層分加える。波の造波、境界に流速と波高を与え、その分の境界粒子が流体粒子に置き換わるように設定した。つまり、境界条件は Table 2-1 になるよう条件を与えている。また、引き波の再現が今後必要になる可能性があるため、境界付近で擬似的な流出境界を与えた。それは境界の近傍粒子が境界と衝突条件にある場合、粒子を消去するというものである。しかし、本方式であると、過剰な消去が行われてしまう可能性があることが分かっているため、それらの捕捉した流体粒子を圧力固定のディリクレ境界条件を与えて、柴田らのように一定の流速を保持したままの状態を仮想的に作り透過境界のような状態で粒子を消去する必要がある。

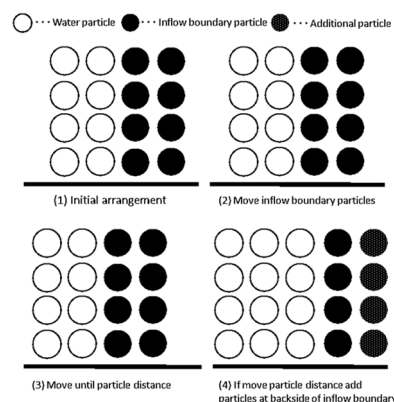


Fig. 5 Model of inflow boundary

Table 2-1 Condition of boundary of inflow

	Pressure	Wave Velocity	Wave Height
In flow	Neumann	Dirichlet	Dirichlet
Out flow	Dirichlet	Neumann	Neumann

薄膜構造体に対応した構造体の離散化手法

別府らの手法を参考に、空間の離散化を行った。振動方程式を力の釣合いから (式 1) とした。これは 項で検討した圧力壁と同じ圧力計算境界で対応できる。

$$m \left(\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} \right)_i = - \frac{M_{i+1} - 2M_i + M_{i-1}}{\Delta x^2} + p \quad (\text{式 1})$$

ここに、単位長さあたりの質量 m 、 y は粒子 i の変位、 M_i は曲げモーメント、 Δx は微小

区間の長さ、 p は梁に作用する圧力を示す。また、曲げモーメントと曲率 ϕ および変位の関係は式 (2) で考える。

$$M_i = EI\phi = EI \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = EI \frac{y_{i+1} - 2y_i + 2y_{i-1}}{\Delta x^2} \quad (\text{式 } 2)$$

式 (1) の左辺に示す慣性項を中心差分法で離散化し、式 (3) の最終的に次式が得られる。

$$y_{i,j+1} = 2y_{i,j} - y_{i,j-1} - \frac{1}{m} \frac{\Delta t^2}{\Delta x^2} (M_{i+1,j} - 2M_{i,j} + M_{i-1,j} + \Delta x^2 p) \quad (\text{式 } 3)$$

この式を、既存の剛体の回転計算式に算入させ、計算をさせている。

本研究でこれらのモデルについての水理実験等の実験結果とのバリデーションを実施し、津波来襲時における薄膜モデルの構造体における運動応答について、再現シミュレーションを行える環境を作ることができた。しかし、本研究内では実験とシミュレーションの再現性を明らかにすることができなかった。これは、津波が来襲した際に構造体にかかる圧力が非常に大きく、計算上で発散するものであった。しかし、これについて現在改善を進めていて、近い将来にこの成果を公表できると考えている。

(3) 総論

本研究は、災害時に孤立した沿岸地域や離島の人命救助や物資輸送を確保するために、ゴムや合成繊維を材質とした直方体のインフレートマットを空気で膨らませて設置する緊急災害用空気膨張式浮棧橋の開発研究である。平成 27 年度、28 年度とその基本的構造についての検討、適切な係留施設に関する検討を水理実験ならびに粒子法を用いた数値シミュレーションにより実施してきた。特に、【基礎型】浮棧橋模型に水理実験の実施を検討してきたが、非線形要素が多く、実験の再現性を確保するために多くの時間を要した。現在も限定的な条件での計測結果による解析を進めているところであるが、今後現在までの実験の改善点を改良し、再実験を行い、近い将来に成果報告できるようにしたいと考えている。平成 29 年については、特にインフレートマットの材質の薄さを考慮し、極限状態や物体の衝撃（突風、高波、船舶等からの衝撃力等）においてその影響性について検討できるような環境の構築を行った。平成 30 年度の研究として、高い波浪エネルギーが伴うことによって発生しうる「スラミング」等の高負荷荷重のかかる状況における数値シミュレーションの確立を実施してきた。高い負荷のかかるスラミング等の数値計算は、発散性が高く、特に薄膜の構造体において、難易度の高いものであった。しかし、検討は本研究において重要な検討内容である。

今回の検討で、現時点での手法では十分に検討できるものとすることはできなかったが、本研究の実験結果と知見を、特に同一計算領域における計算領域の変更が本検討にフィットすることが明らかであり、今後この方針で、柔軟性の高い構造体における高い波浪エネルギーが作用するような現象に対する数値シミュレーションの確立を行っていく。また、スパー式とドルフィン係留を複合した係留手法について水槽実験等を実施した。スラミング時において、その保守性は高く、また、波浪エネルギーを散逸させる効果もみられた。しかし、懸念していた漂流性が高く、係留能力も実用に供するものとはできなかった。しかし、これらの課題については、既存の手法でも解決できると考えられるものであり、改良と改善を今後検討していきたい。しかし、この研究・検討により画期的なインフレータブルな新しい浮棧橋の開発を行うために必要な環境の構築ならびに、知見を得られたと考えられ、浮棧橋の実現にむけて、継続実施していく。

5 . 主な発表論文等

〔学会発表〕(計 1 件)

著者名/発表者名 河村義顕・岸拓真・小林豪・藤崎和平・長松大樹

学会等名 日本島嶼学会 2016 年年次大会

発表場所 広島県大崎上島

年月日 2016-09-02

〔その他〕

ホームページ等：<http://www.hiroshima-cmt.ac.jp/faculty/shosen/016.html>

6 . 研究組織

研究協力者

研究協力者氏名：南清和

ローマ字氏名：MINAMI KIYOKAZU

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。