

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 20 日現在

機関番号：10101

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2013

課題番号：24651183

研究課題名(和文)水中係留浮体の構造挙動を積極活用した新しい発電・防災兼用システムの研究開発

研究課題名(英文) Power generation and disaster prevention system by using structural behaviours of Submerged floating structures

研究代表者

佐藤 太裕 (Sato, Motohiro)

北海道大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：00344482

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円、(間接経費) 690,000円

研究成果の概要(和文)：水中浮遊式トンネルの動揺問題について考える場合、特徴的な点は「非線形流体力の存在」、「波浪場においては水平、鉛直両方向に波力が複雑に作用し、動揺する」、「ケーブル構造を有する係留索で緊張係留する」の3点である。これより挙動を支配する顕著な非線形性は、係留索であるケーブルの幾何学的非線形性と流体力の非線形性であると考えられる。本研究は波浪作用場におけるこれらの非線形性が水中係留浮体構造物の非線形同調応答に与える影響について検討するとともに、特徴的な動的特性について解析することで、構造工学的な技術成立性を検証した。また、これと並行して構造関体自体のモデル化についても検証を行った。

研究成果の概要(英文)：In the dynamic characteristics of Submerged floating tunnels, we should consider the effects of "Nonlinear fluid forces", "Complicated wave forces acts on the floating bodies in the both horizontal and vertical directions" and "Fluctuation of the floating bodies which are moored by some tension legs". By considering these effects above, nonlinear responses of submerged floating structures have been investigated and the structural feasibility of this structure has been discussed. In addition to this, structure modelling of floating bodies are considered from the structural mechanics point of view.

研究分野：複合領域

科研費の分科・細目：社会システム工学・安全システム

キーワード：構造力学

1. 研究開始当初の背景

今日世界人類が直面している地球環境問題は、将来の人類の生存を脅かしかねない非常に重大な局面に差し掛かっている。これに対し化石燃料に頼らない、環境負荷の小さい再生可能な自然エネルギーの導入は、21世紀における大命題である地球温暖化防止に対し科学者、技術者が強い気持ちで取り組まなければならない課題であると考えられる。またエネルギー問題と同時に、未曾有の大震災を経験した我が国においては、「災害から国土・国民を守る国づくり」の重要性はもはや言を待たない。

これに対し、四方を海に囲まれた我が国では、豊富な波浪、潮流エネルギーを利用するとともに、自然災害を引き起こす要因となる地震、台風など頻繁に発生する我が国の環境下において、自然と共生し災害に強い構造物を創生するということが可能とする技術が必要となってくる。これらを検討する中で研究代表者は、これまで世界各国で渡海技術として構想があった長大水中係留浮体 (= 水中浮遊式トンネル) を、渡海手段ではなく発電、防災施設として利用できるのではないかと、いう着想を得た。

2. 研究の目的

本研究は、係留索を用いて水中に安定化させる水中浮遊式トンネル構造の「動揺しやすい」性質を積極活用することで、没水型の浮防波堤として機能させると同時に、波浪作用による大動揺を電力等のエネルギーに変換するという機能を同時に持たせた革新的な次世代洋上施設の技術成立性を構造工学的見地より検討することを目的としている。

3. 研究の方法

水中浮遊式トンネル構造体 (図 1 参照) の動揺問題について考える場合、特徴的な点は次の3点である。

- ・非線形流体力の存在
- ・波浪場においては水平、鉛直両方向に波力が複雑に作用し、動揺する
- ・ケーブル構造を有する係留索で緊張係留する

これより挙動を支配する顕著な非線形性は、係留索であるケーブルの幾何学的非線形性と流体力の非線形性であると考えられる。本研究は波浪作用場におけるこれらの非線形性が水中係留浮体構造物の非線形同調応答に与える影響について検討するとともに、特徴的な動的特性について解析することで、構造工学的な技術成立性を検証した。また、

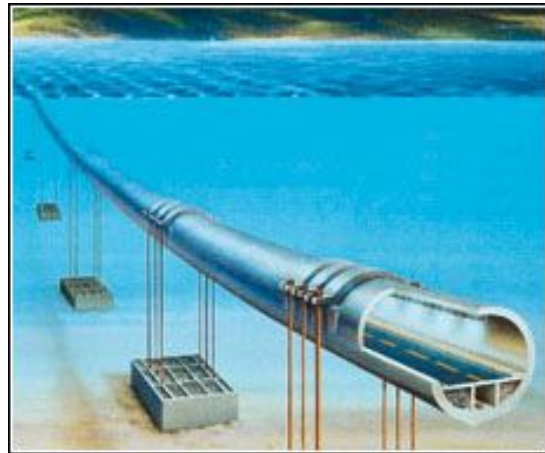


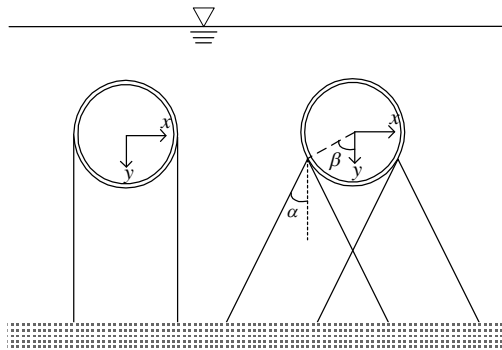
図 1 水中係留浮体のイメージ図

これと並行して構造函体自体のモデル化についても検証を行った。

4. 研究成果

得られた研究成果を以下に示す。

- (1) 水中係留浮体構造の動的解析モデルの検証：係留浮体部を質点系としてモデル化し、係留索のゆるみ (スラック状態) の影響を考慮可能な解析モデルを構築した。スラック状態の再現は時刻歴解析の中で係留索張力を逐次追跡し、張力が0以下となる点で張力を0とし、その後の挙動で張力が回復した際にまたその係留索が剛性を有するものとして再現した。
- (2) 上記解析モデルによる大波浪の作用による非線形動的挙動の時刻歴解析：上記の解析モデルを用い、波浪入射時の構造挙動の時刻歴解析を実施し、大波浪時のスラック状態と、係留索の急激な張力回復に伴い生じる準衝撃的な力 (スナップ荷重) の発生メカニズムを再現した。この結果スラック状態からの張力回復時に、初期張力の数倍程度のスナップ荷重が生じることを明らかにした。また任意の入射角に対して係留浮体の動的挙動についても解析可能なコードを開発した。
- (3) 係数励振振動特性の検討：ある程度の動揺を許容し、発生力を低減するという水中浮遊式トンネル構造体の特性は、基本固有周期帯を波浪のエネルギーが卓越する周期帯より長周期側に設定しやすく、共振回避を容易にする。しかし、係留浮体であるトンネル本体の運動に伴い、係留索に周期的な変動張力が発生した場合、係数励振振動による分数調波共振を引き起こす要素を含む



(a) Type-1 (b) Type-2

図 - 2 断面 2 次元解析モデル

(左図：2 本の係留索を用いる鉛直係留 (Type-1) 右図：4 本の係留索を用いる傾斜係留 (Type-2))

こととなる．このことから構造解析モデルに対し強制外力項を含む Matheiu 型の方程式を導出し、解の特性を詳細に検討した．これにより係数励振振動における単純共振（水中浮遊式トンネルのある固有振動数と変動張力振動数との関係により起こる共振）について、Type-2（4 本の係留索を用いる係留形式）の場合、しかるべき係留索軸剛性を有するならば、わずかな傾角 α をつけるだけでも動的不安定現象の発生する周波数領域（以下このことを「動的不安定領域」と記す）を大きく減少させることができることが確認された．このことから Type-1（2 本の係留索を用いて鉛直係留する形式）は単に水平方向の変位拘束性が小さいだけではなく、非線形動揺を誘発しやすい構造であることが理論的に示された．

- (4) 浮体の詳細モデルに関する検討：浮体を円筒シェルとした場合の構造モデル構築：構造挙動は係留索配置の状態とともに、浮体と浮体をジョイント部の剛性や浮体自身の弾性も大きく影響することから、これらに関するモデル化と、その基本的な構造特性について、差分方程式を用いたモデルを構築し、検討を行った。
- (5) 長大係留浮体の座屈安定性の検討：これまでの研究代表者らによる研究により、長大な水中係留浮体であれば、係留索を弾性床 (Elastic foundation) とみなした解析により全体挙動をおおむね捉えることができることが明らかにされている。この知見を基に、長大係留浮体の全体構造に関する安定性評

価を実施した。これにより浮体の座屈挙動に関する新しいべき乗則を導出した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 2 件)

- 1) 丸山俊樹、小西善晃、佐藤太裕：弾性拘束された構造部材の座屈荷重におけるべき乗則の導出、土木学会北海道支部平成 25 年度年次技術研究発表会論文報告集，査読無，A-38_1-2，2014.
- 2) 渡邊和英、佐藤太裕：リング補剛円筒シェルにおける補剛効果に関する構造力学的検証、土木学会北海道支部平成 24 年度年次技術研究発表会論文報告集，講演論文集，査読無，A-47_1-2，2013.

〔学会発表〕(計 2 件)

- 3) 渡邊和英：リング補剛円筒シェルにおける補剛効果に関する構造力学的検証、土木学会北海道支部平成 24 年度年次技術研究発表会，平成 25 年 2 月 3 日，函館工業高等専門学校（函館市）
- 4) 丸山俊樹：弾性拘束された構造部材の座屈荷重におけるべき乗則の導出、土木学会北海道支部平成 25 年度年次技術研究発表会，平成 25 年 2 月 1 日，札幌コンベンションセンター（札幌市）

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

佐藤 太裕 (SATO, Motohiro)
北海道大学・大学院工学研究院・准教授
研究者番号：00344482

(2) 研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし