

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 22 日現在

機関番号：14401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2016

課題番号：15K14040

研究課題名(和文) 自走式造波板による造波理論の構築

研究課題名(英文) Theoretical approach of wave generation by a self-propelled wave generator

研究代表者

青木 伸一 (Aoki, Shin-ichi)

大阪大学・工学研究科 教授

研究者番号：60159283

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,900,000円

研究成果の概要(和文)：水路内の水位を任意に変動させて津波・高潮などを対象に水理模型実験を行うことができる新しい造波装置として、「自走式造波装置」を提案した。本装置は、造波装置(造波板)そのものが水槽内を自由に移動しながら水槽内の水位を変化させると同時に通常の造波を行うものである。本研究では、まず本造波装置の造波特性と種々の利点を明らかにした。さらに、水槽内の任意点で任意の波形および水位変化を発生させるための造波板の位置制御の理論構築を行い、その適用性を数値波動水槽CADMAS-SURF/3Dを用いて検証した。

研究成果の概要(英文)：In this study, a new water wave generation system named "self-propelled wave generator" was proposed, which enables us to do hydrodynamic model experiments in a laboratory for more realistic tsunami and storm surge by changing water level and waveform arbitrarily. First, we investigated characteristics of generated waves in a flume and advantages in the experiments. Then a theory providing input signals of wave board motion that gives arbitrary water level and waveform at any location was proposed. The applicability of the theory was verified through a numerical wave flume CADMAS-SURF/3D.

研究分野：土木工学

キーワード：造波装置 水理実験 数値波動水槽 津波 高潮 越流

1. 研究開始当初の背景

水工学や海岸工学の分野においては、近年のめざましい数値シミュレーション技術の発達により、時間と費用のかかる水理実験を中心とする研究は敬遠されがちである。しかしながら、波や流れが構造物の天端を越流して負圧や大きな乱れが生じるような場合や、水塊が陸上の構造物に衝突する場合など、非常に非線型性の強い水理現象を取り扱う際には、水理実験による現象の把握が不可欠である。また、気泡や浮遊砂を含む混相流を研究対象とするような場合にも、数値計算のみで現象を解明することは難しい。

東北地方太平洋沖地震津波では、海岸堤防や防波堤を越流する津波により大きな被害が発生した。その後、越流を伴う津波による流体力や構造物の破壊メカニズムに関する実験的研究が数多く行われるようになった。海岸工学分野では、堤防や防波堤だけでなく、遡上津波による建物や橋梁等の陸上構造物に及ぼす越流時や破壊時の流体力を評価する研究が行われている。また、地盤工学分野では、盛土形式の堤防を越流する津波による洗掘や浸透による破壊メカニズムの研究が行われている。もう1つの代表的な沿岸災害である高潮については、このような研究はまだほとんどみられないが、今後は同様な取り組みが行われるものと予想される。

津波と高潮に共通する点は、大きな水位上昇や越流を伴うことである。そのような状況下で、構造物の破壊現象まで含めた非常に非線型性の強い現象を取り扱う場合、実験的な検証は不可欠であるが、浅海域での津波・高潮の挙動や陸上への遡上現象を実験室で再現すること、また様々な条件について模型実験を行うことは非常に難しい。例えば、通常の風波を対象とした造波装置で越流を伴うような大きな津波を発生させることは容易ではなく、実際の実験ではポンプによる給排水、真空ポンプによる吸い上げ、ダムブレイクの模擬など、特殊な方法を利用している例が多い。しかしながら、このようにして造波された津波は必ずしも実際の津波を再現しておらず、また様々なパターンの水位変化を与えて実験することが出来ないという問題がある。高潮についても、水位上昇と波浪が同時生起するような場合については、再現が困難である。

2. 研究の目的

研究代表者は、上記の背景に基づき、水路内の水位を任意に変動させて模型実験を行うことができる新しい装置として、**図-1**に示すような「自走式造波装置」を提案した。本装置は、従来のように水槽端部に固定した造波装置により波を発生させるのではなく、造波装置そのものが水槽内を自由に移動しながら造波し、かつその位置を変えることにより水槽内の水位を任意に変化させようというものである。これにより、津波来襲時の

様々な水位変化のパターンを再現することができる。また、高潮に対応した潮位の上昇とあわせて風波を発生させることも可能となる。

本研究の目的は、本造波装置の造波特性を明らかにすること、および任意の波形および水位変化を水路内に実現するための造波板の位置制御の理論構築を行うことである。また、本研究で造波特性の把握や理論検証に用いる数値波動水槽 CADMAS-SURF を用いて種々の数値実験を実施し、自走式造波装置の可能性を検討することも目的としている。

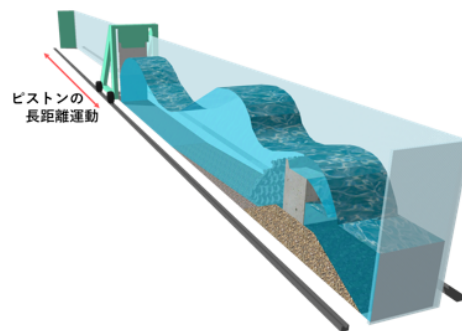


図-1 自走式造波装置のイメージ

3. 研究の方法

研究は、造波板の長距離移動を考える必要性があるため、体積力型 Immersed Boundary 法を導入した3次元数値波動水槽 CADMAS-SURF/3D を用いた。プログラムの計算精度については、水理実験により検証した。

造波特性については、造波時に生じる水路内での自由振動、短周期波の造波特性、越流水深の特性について検討した。造波板制御の理論構築については、非線形長波理論による波形の変形、造波板の有限変位、水路端部での多重反射、および造波板での反射にドップラー効果の影響を考慮した。構築した理論は上記の数値波動水槽で検証した。

4. 研究成果

(1) 造波特性

自走式造波装置の造波特性に対する検討から、以下の知見を得た。これらより、自走式造波装置の利点と解決すべき課題が明らかとなった。(1) 造波板を長距離動かした後に停止させると、造波板停止後の造波水路長に対応する基本振動周期及びその整数倍の周波数の水面振動が発生する。また、この振動の大きさは造波板移動距離が長く造波板移動時間が短いほど大きくなり、平均水位上昇距離との比はおおよそ造波板移動時間と指数関数的な関係にある。**(図-2)** (2) 越流現象については、ゲート式よりも越流時間、越流水深ともに制御しやすく、様々な波形を造波できる利点がある。**(図-3)** (3) 短周期波との同時造波についてはドップラー効果を考慮することで、発生波の周期をコントロールできる。

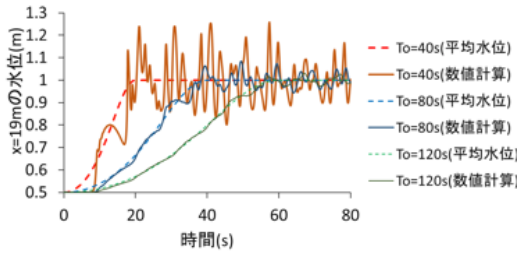


図-2 造波板移動距離が同じで移動時間が異なる場合の水路内振動

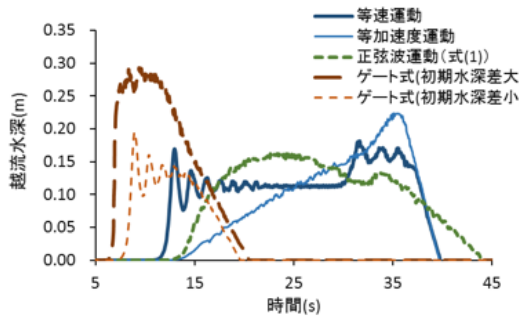


図-3 等速・等加速度運動の場合の水位変動

(2) 造波板制御の理論

①任意波形の造波

長周期の任意波形の波を造波する際には、浅海波の水粒子速度及び波面速度の理論値を用いて、造波板移動距離による造波板移動時間の補正を行った。その結果、非常に良い精度で任意位置において任意波形の水位変化を得ることができた(図-4)。また、任意越流水深については構造物による反射率及び、越流による水位低下を考慮することによって、おおよそ任意越流水深を造波させることができた(図-5)。但し、越流初期についてはさらなる検討を要することがわかった。

②任意水上昇の実現

図-6は長さが30mの造波水槽内で造波板を長時間動かした際の5秒ごとの波形を図化したものである。長時間動かすことにより、造波水槽内で波が多重反射しながら水位が上昇していることが確認できる。このように、水位上昇を伴う水理実験を行う際には、多重反射を考慮しなければならない。

そこで、造波水路端部(造波板と反対側の鉛直壁)での任意水位上昇を可能にするための造波方法の理論モデルの構築を行った。本モデルでは、鉛直壁を鏡とした鏡像点での水位の重ね合わせが、鉛直壁で観測される水位であると仮定した。また、平均水深変化、造波板位置を考慮することによる波の反射するタイミング、鉛直壁からの波と造波板速度の相互関係について考慮して理論構築を行

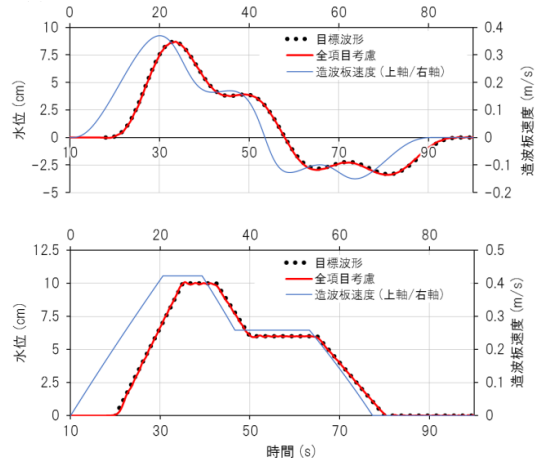


図-4 任意造波計算結果の例

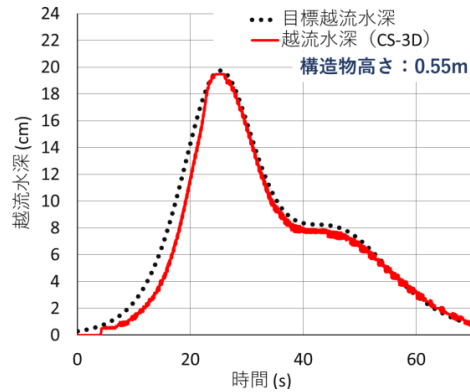


図-5 任意越流の例

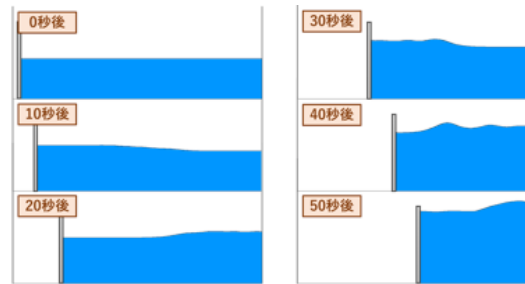


図-6 造波水槽内の多重反射と水位上昇

った。図-7は、任意水位を得るための造波板変位の算出フローを示している。

本理論を用いた結果、任意の造波板変位に対してCSADMAS-SURF/3Dで計算される水位変動とモデルによって予測される水位変動はほぼ一致した。図-8は理論と計算結果が良く一致していることを示している。図中には、計算で考慮した項目の影響も同時に示している。図-9は、直線的に水位を上昇させることを目的とした結果であるが、ほぼ直線的に水位上昇が得られている。以上のように、本研究で提案した手法で自走式造波装置の制御を行って任意の水位上昇と任意波形の造波が実現できることが示された。

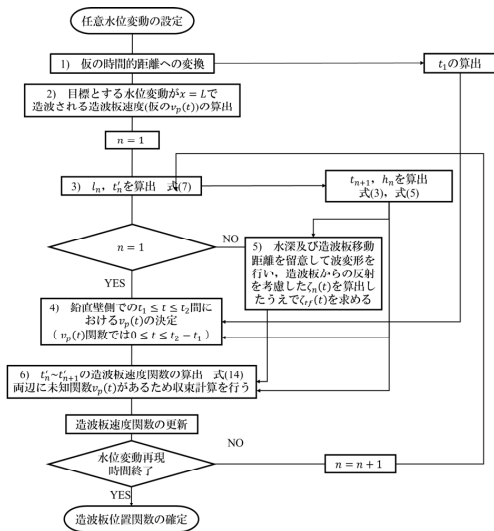


図-7 任意水位を得るための造波板変位の算出フロー

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 3 件)

- ① 白井 彰宏・平塚 優作・青木 伸一・川崎 浩司：津波・高潮実験のための自走式造波装置の提案，土木学会論文集 B2 (海岸工学)，Vol. 72，No. 2，2016，pp. I_31-I_36.
- ② 白井 彰宏・青木 伸一・川崎 浩司：自走式造波装置による任意波形の造波に関する数値的検討，土木学会論文集 B3 (海洋開発)，Vol. 73，No. 2，2017.
- ③ 白井 彰宏・青木 伸一・川崎 浩司・鈴木 智浩：自走式造波水路で任意の水位上昇を実現するための理論モデルの構築，土木学会論文集 B2 (海岸工学)，Vol. 73，No. 2，2017.

[学会発表] (計 1 件)

- ① 白井 彰宏・青木 伸一・川崎 浩司：自走式造波装置の基本特性に関する数値的研究，土木学会関西支部年次学術講演会，6月，立命館大学，2016.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

青木 伸一 (AOKI Shin-ichi)
大阪大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号：6 0 1 5 9 2 8 3

(2) 研究分担者

川崎 浩司 (KAWASAKI Koji)
名城大学・理工学部・特任教授
研究者番号：2 0 3 0 4 0 2 4

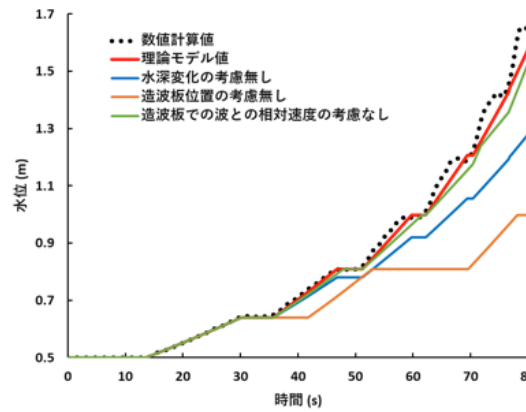


図-8 理論の精度の確認

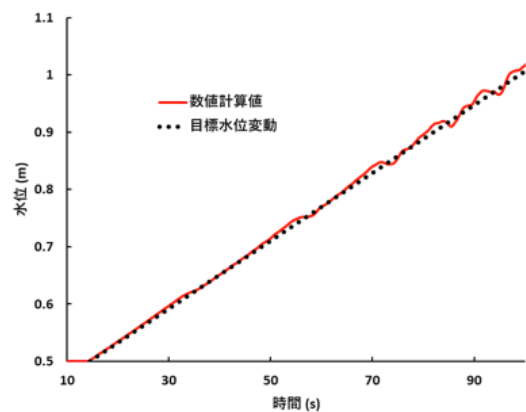


図-9 鉛直壁部での任意水位上昇