

# 京都大学防災研究所津波再現装置 の特性

平石 哲也<sup>1</sup>・森 信人<sup>1</sup>・安田 誠宏<sup>1</sup>・東 良慶<sup>1</sup>・間瀬 肇<sup>1</sup>

## Characteristics of Tsunami Generator Newly Implemented in Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

Tetsuya HIRAISHI<sup>1</sup>, Nobuhito MORI<sup>1</sup>, Tomohiro YASUDA<sup>1</sup>,  
Ryokei AZUMA<sup>1</sup> and Hajime MASE<sup>1</sup>

### Abstract

A middle size experiential wave generator has been implemented is the Ujikawa Open Laboratory, Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University. The generator is composed of a pistontype wave maker, a head strage water tank and a current generator to mainly reproduce long waves like tsunami and storm surge. The paper describes several experimental series to predict the applicability of the generator to model tests. The three operating sysemes are capable to be controlled in one operating sysystem and start time is contorolled separately according with the target tsunami and storm surge profiles. A sharp tsunami profile is reproduced in adjusting the start timing of piston type wave maker and opening gates of head storage tunk. Any type of tsunami waves are reproduced in the generator and it becomes a storong tool to predict the effective of „resiliency” of hardwares.

キーワード：津波再現装置, 津波, 造波装置, 流れ発生装置

Key words: tsunami generator, tsunami, wave generator, current generator

### 1. はじめに

2011年3月11日の東北太平洋沖地震津波は、最高遡上高40 m以上、最大浸水高20 mを記録し、沿岸の防波堤、防潮堤、建物に壊滅的な被害を与えた<sup>1)</sup>。この地震津波はこれまでの想定をはるかに上回り、千年に1回起こるようなレベル2津波

と呼ばれることになった。今後は東日本だけでなく、西日本においても、これまでの想定を上回る巨大津波の発生が危惧されており<sup>1)</sup>、レジリエンシイ(粘り強さ)を有するハード・ソフト対策が緊急に必要なになっている。そこで、巨大津波に対する減災対策として、効果的なハードウェア防御

<sup>1</sup> 京都大学防災研究所  
Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

本技術速報に対する討論は平成27年11月末日まで受け付ける。

システムの開発を行う必要がある。そのために、レベル2津波の流動・波力特性を把握し、減災効果を発揮できる各種構造物の提案と評価を水理実験で行い、将来の数値計算の検証データも取得可能な装置として、長さ45 mの津波再現装置を開発した。この装置は3つの機能で津波波形を再現できる最新鋭大型水槽であり、これまで再現ができなかった津波先端の切り立った水塊と後に続く越流を再現でき、実際の津波波形を水槽内で再現可能である。本水槽の使用により、新たな津波影響評価の成果と研究展開が期待できる。

## 2. 目標とする津波波形

2011年東北地方太平洋沖地震津波の特徴の一つはこれまでの計画津波高をはるかに超えて、多くの沿岸構造物を破壊したことである。特に、防潮堤が破壊されると大きな水塊がすさまじい勢いを持って沿岸の家屋に衝突するため、大槌町や陸前高田市では役場などの公共的な構造物までも破壊された。津波は非常に長い波であり、最初の衝撃的な急峻な水の壁(段波)の後も越流が続き、堤防の多くは背後すなわち陸地側の地盤洗掘により倒壊している。港口を護る津波防波堤も被害を受け、深さ60 mの海底から立ち上がる長さ1660 mの世界最大の釜石湾口防波堤も被災した(写真1)。しかし、完全に破壊されることなく釜石湾内の津波高を減少させるとともに(図1)、津波到達時間を遅らせたことが明らかになってい



写真1 津波で破壊された釜石湾口防波堤

る<sup>2)</sup>。これは、レベル2津波と呼ばれる千年に1回の巨大な津波に対して、完全に抑止することはできなくても被害を軽減することができた例(津波の減災効果)であり、レジリエンシが重要な減災要素になることを示唆している。巨大津波の発生は、西日本でも南海トラフ巨大地震津波の発生として危惧されており、内閣府で想定する断層域は南海道から東海道にかけて非常に広大である。このような断層域から起こされる津波の規模を想定しておくことは最悪のシナリオを作っておくことになるが、いかに被害を軽減できるかについても、詳細な検討が必要である。そのため数値計算だけでは不十分であり、大型津波水槽を用いた実験的な研究によっても津波の特性を明らかにし、正確な津波波形を再現しておくことが重要である。

図2に釜石港沖20 kmのGPS波高計で観測された津波波形を示す<sup>3)</sup>。第1波は非常に急峻な段波上の波として伝わり、そのあとに周期の長い変動の小さい津波波形が続いている。したがって、このような波形を再現するためには、最初に鋭いピークを有する津波を造波し、その後、流れによる津波を持続させることが必要である。

そこで、3種類の手法で津波を起こすことができる長さ45 mのわが国唯一の大型津波水槽を新設した。図3に水路のイメージ図を示す。

## 3. 津波発生機構

本装置は、3つの津波発生機能を有し、それら

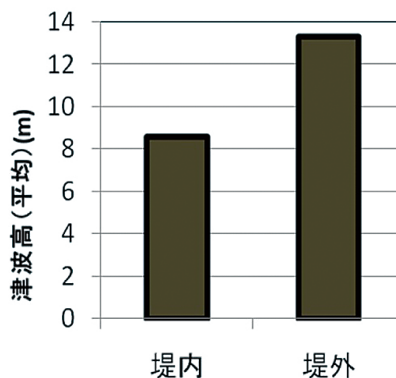


図1 湾口防波堤内外の平均津波高の比較

を連携させて津波波形を再現できる。始動タイミングの時間的な調整も可能であり、組み合わせによって津波高を極端に大きくすることも可能である。図4に3種の造波方法のイメージ図を示す。

3.1 ピストンタイプ造波装置

写真2にピストンタイプ造波装置の外観を示す。ピストン全高は1.2 mであり、反射波吸収制御機能を有しており、通常の造波装置として機能できる。モーターのパワーは60 kWで、ストロークは2.5 mである。津波の近似波形は孤立波として造波する。孤立波の理論式は以下の式(1)である。これをピストンタイプの造波効率 $\eta$ で除して孤立波を造波している。

$$\zeta(X) = a \operatorname{sech}^2 \alpha x - \frac{3}{4} \frac{a^2}{h} \operatorname{sech}^2 \alpha x (1 - \operatorname{sech}^2 \alpha x) \quad (1)$$

$$\alpha x = \sqrt{\frac{3}{4}} \frac{a}{h} \left(1 - \frac{5}{8} \frac{a}{h}\right) \frac{X}{h}$$

$$X = CT$$

$$C = \sqrt{gh} \left[1 + \frac{1}{2} \left(\frac{a}{h}\right) - \frac{3}{20} \left(\frac{a}{h}\right)^2\right]$$

where

$a$ : wave height,  $h$ : water depth,  $t$ : time

3.2 流れ発生装置

流れ発生装置は、スラスター型ポンプ2台でなっており、それぞれ独立の発生口を有している。ポンプの出力は200kWであり、逆回転も可能で正転と逆転により、それぞれ押し波と引き波を造波できる。写真3にスラスター付ポンプの外観を示す。

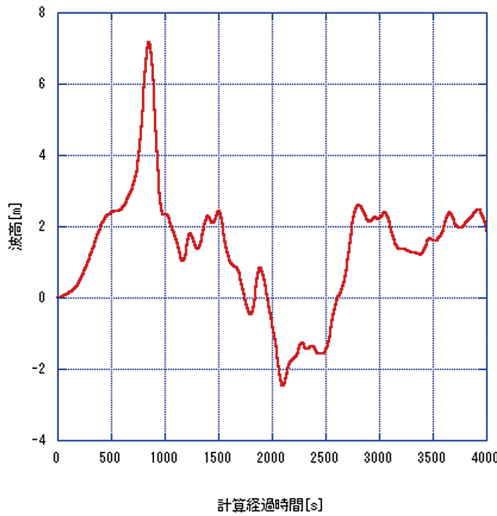


図2 GPS 波浪系で観測された津波波形

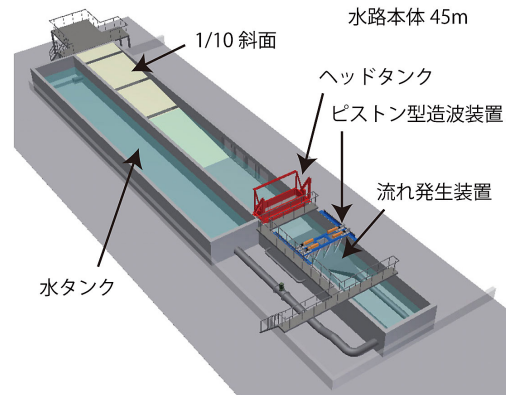


図3 津波再現水槽の鳥瞰図

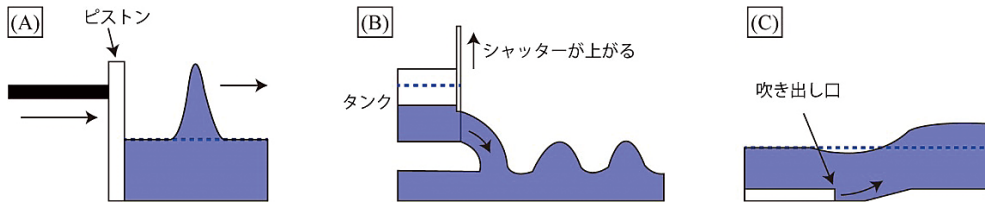


図4 津波の造波方法 (A) ピストンタイプ造波機による発生, (B) オーバーヘッドタンクによる津波造波, (C) 流れ発生装置による津波流の発生



写真2 ピストンタイプ造波機の駆動部



写真3 流れ発生装置のポンプ部

### 3.3 水塊落下タンク

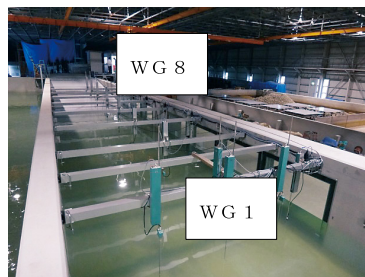
落下タンクは4 m<sup>3</sup>の容量を有しており、ゲートを開くことで水塊を落下させ、津波を発生させる。ゲートは3分割されているが制御は同時に行われる。タンクの高さや水塊の容量を変化させることにより津波の高さや波形を調整する。写真4にゲートの外観を示す。

### 4. 発生した津波の特性

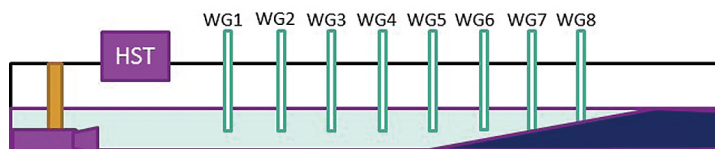
図5に津波波形の観測点を示す。観測には、容量式波高計を8本用いた。図6は孤立波の理論式



写真4 落下式津波発生装置の外観



(1) 波高計設置鳥瞰図



(2) 横断面 (HSTはオーバーヘッドタンクを示す)

図5 計測波高計(WG1～WG8)の配置図

と造波された波形をWG1で比較したもので、理論値と観測値はよく一致し、ソリトン波が正確に再現されていることが分かる。図7は各波高計での値の変化を示しており、斜面上になると波高は大きくなり、最も離れた点では碎波によりソリトンが崩れ波高は小さくなる。

表1はインプットした津波高の一覧を示し、同じ作用を3回行った。測定値のばらつきは小さく、No.1波高計における計測値は次式で示された。

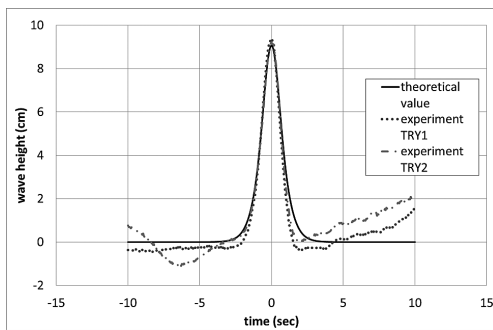


図6 理論上のソリトンと造波されたソリトン波形の比較



図7 各波高計での最大津波高の変化

表1 実験で用いた孤立波の諸元

EXP.NO	Wave height (cm)	Water depth (cm)
Trial 1	10	80
Trial 2	20	80
Trial 3	30	80
Trial 4	40	80
Trial 5	50	80

$$\text{OUTPUT} = 0.9688 * \text{INPUT}(\text{m}^3/\text{s}) - 0.0659 \quad (2)$$

として、線形で近似できる。

表2は、スラスターポンプへのインプット値とアウトプット地の関係を示す。インプットは流量値で与え、流れ発生装置の制御を行う。INPUT値と比例して発生する津波高は大きくなり、その関係は次式で示される。

$$\text{OUTPUT}(\text{cm}) = 92.666\text{INPUT}(\text{m}^3/\text{s}) - 1.2701 \quad (3)$$

次に、表3に示すオーバーヘッドタンクからの水塊落下であるが、これも水塊量がらの落下水量が発生する津波の高さを決めることになり、その関係は以下のようになった。

$$\text{OUTPUT}(\text{cm}) = 0.9688\text{INPUT}(\text{m}^3) - 0.0659 \quad (4)$$

水塊落下方式はダムブレイクによる津波上の水流を再現するだけでなく、本装置の特色である時

表2 流れ発生装置による津波流の発生テストケース

EXP. NO	Constant Flow (m3/min)	Time duration (sec)
Trial 6	0.1	120
Trial 7	0.2	120
Trial 8	0.3	120
Trial 9	0.35	120
Trial 10	0.1	240
Trial 11	0.2	240
Trial 12	0.3	240
Trial 13	0.35	240

表3 落下式水槽による津波発生に関する実験ケース

EXP.NO	Tank Height (cm)	Tank Volume (m3)	Open height (cm)
Trial 14	50	0.5	50
Trial 15	50	1.0	50
Trial 16	50	1.5	50
Trial 17	50	2.0	50
Trial 18	50	2.5	50
Trial 19	50	3.0	50
Trial 20	50	3.5	50
Trial 21	50	4.0	50

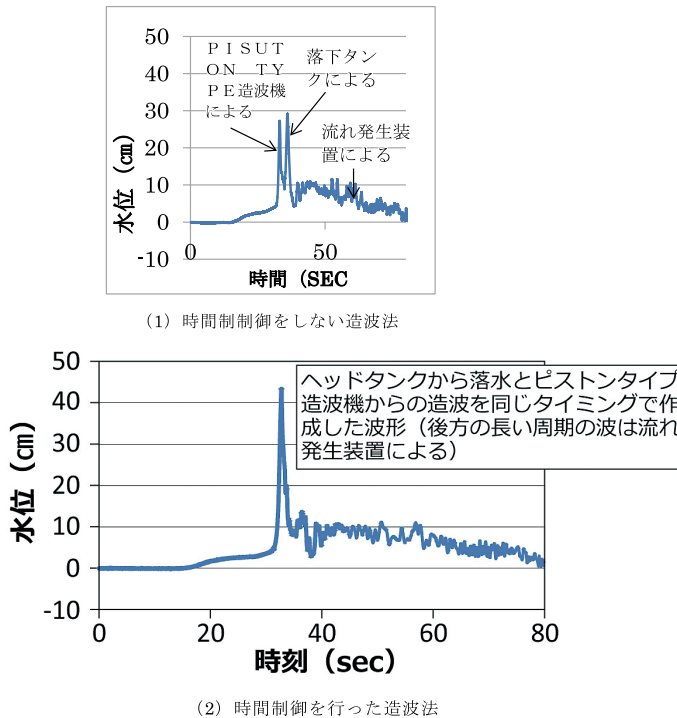


図8 時間制御法による波形鋭敏化の効果

間をずらせて三つの機能を制御できる連動制御手法を活用して、最初のピーク値を極端に大きく合うことができる。図8は、3つの連動をおこない、最初に流れ操作によって非常に長い波を作ったのちに落下装置と(a)ピストンによる津波発生同時に発生させた場合である。(b)は落下汐層のタイミングを2sずらして造波したもので、ピークが得られている。このように、落下水槽を使うことにより、ピストン型で増波された鋭い波形の津波をさらに鋭くできる。

## 5. まとめ

本研究では、3つの手法で津波造波ができる装置を開発し、その特性を調べた。その結果、津波の初期の段波を形成するソリトンが精度よく再現されており、鋭い初期波形が形成できた。また、流れ発生装置は制御流量に比例して流れが再現できることが分かった。つぎに、水塊落下タンクは落下する水塊量に比較して波高が上昇することが

分かり、開閉時間を調整すると、初期の鋭い波形をより鋭くできることが分かった。今後は可動式防波堤の安定性実験や、ビルに作用する津波威力分布等について模型実験を実施し、減災プロジェクトに貢献していく所存である。

## 参考文献

- 1) 中島孝志・田口正行：東南海地震は必ず起こる！、ゴマブックス、2014、82p.
- 2) 高橋重雄 他28名：2011年東日本大震災による港湾・海岸・空港の地震・津波被害に関する調査速報、港湾空港技術研究所資料、2011、200p.
- 3) 河合弘泰・佐藤 真・川口浩二・関 克己：GPS 波浪計で捉えた平成23年東北地方太平洋沖地震津波、土木学会論文集 B2 (海岸工学)、2011、pp.I\_1291-I\_1295.

(投稿受理：平成26年11月13日  
訂正稿受理：平成27年2月25日)

## 要 旨

巨大津波に対する減災対策として、効果的なハードウェア防御システムの開発を行う必要がある。そのために、レベル2津波の流動・波力特性を把握し、減災効果を発揮できる各種構造物の提案と評価を水理実験で行い、将来の数値計算の検証データも取得可能な装置として、長さ45mの津波再現装置を開発した。この装置は、ピストンタイプによる津波の造波、流れ発生装置による津波流の発生および落水槽によるダムブレイク状の津波の造波の3つの機能で津波波形を再現できる最新鋭大型水槽である。したがって、これまで再現ができなかった津波先端の切り立った水塊と後に続く越流を再現でき、実際の津波波形を水槽内で再現可能である。本水槽の使用により、新たな津波影響評価の成果と研究展開が期待できる。