

地震防災教育のための津波実験装置の開発

DEVELOPMENT OF TSUNAMI EXPERIMENTAL DEVICE FOR EDUCATION OF EARTHQUAKE DISASTER PREVENTION

佐武直紀 — * 1 福和伸夫 — * 2
原 徹夫 — * 3 太田賢治 — * 4
飯沼博幸 — * 4

Naoki SATAKE — * 1 Nobuo FUKUWA — * 2
Tetsuo HARA — * 3 Kenji OHTA — * 4
Hiroyuki IINUMA — * 4

キーワード：
地震災害、繰返し実験、参加型教材、可搬性、シリンダー、水位調整、波動伝播

Keywords：
Earthquake disaster, Repeatable experiment, Participational material, Portability, Cylinder, Tuning of water level, Wave spread

This paper presents the development of the Tsunami experimental device for education of earthquake disaster prevention. First, the process of development, especially trial making process of various devices is introduced. Next, the outline and the feature of this device are explained. Finally, an example of operating this device is shown. Up to now, there has been no device like this. That is, easy to carry, operate, and able to perform experiment by looking at the wave in the device. It is expected that everyone can easily learn scariness and the essence of the Tsunami with this teaching material.

1. はじめに

今年（2008年）も、5月の中国・四川大地震、6月の岩手・宮城内陸地震など、国内外で被害地震が相次いで発生し、地震の恐ろしさや建物耐震化の必要性を、改めて人々に知らしめることとなった。最近では、昨年の能登半島地震や新潟県中越沖地震も含め、これまで比較的地震が少ないとされていた地域でも被害地震が発生している。少なくとも地震国日本においては、地震は場所を選ばずどこにでも発生し得ると認識する必要がある、市民に対する地震防災意識啓発の必要性も益々高まっている。

筆者らは、これまで主に建物耐震化の観点から、地震防災教育用の振動実験教材「ぶるる」や地震体験用の振動台を開発するとともに、学校の授業、各種の講演会、防災啓発イベントなどでの利用を通じて、地震防災啓発のための活動に継続的に携わってきた^{例え 2)}。実際にこれらの場で、地震による建物の揺れや倒壊の様子を目の前で示すことで、市民の防災意識啓発に寄与出来ることを確認した。こうした流れを受け、政府や地方自治体でも、建物の耐震診断・改修によりやく本腰を入れ始めてきている。

ところで、地震により引き起こされる大災害の一つに津波がある。2004年12月のスマトラ沖地震の大津波による惨状は記憶に新しいが、国内でも、戦後に限ってみても、南海地震（1946年）、チリ地震（1960年）、日本海中部地震（1983年）、北海道南西沖地震（1993年）など、地震に伴う津波による被害例は枚挙にいとまがない³⁾。

この津波に関する教材としては、「稲むらの火」の物語が有名である^{4), 7)}。この物語は、地震直後に高台の自宅から異様な引潮を認め、収穫後の稲束に点火し、消化に集まった村人を津波から救った浜口

悟陵を描いた話である。原作は、1896（明治 29）年に小泉八雲が書いた「A Living God」で、後に中井常蔵が日本語の教材用に書き改めたものが、防災教育の題材として広く用いられたほか、演劇、紙芝居、影絵などでも上演されている⁸⁾。また、物語の題材となった和歌山県広川町のほか、北海道奥尻島や宮城県唐桑町などに津波の体験施設があり、津波の恐ろしさを学ぶことが出来る^{9)~11)}。しかし、津波という現象を、視覚的に判りやすく伝えるための模型教材は、専門的な学術実験目的の大型水槽や造波装置を伴った大掛かりな模型装置を除くと、筆者の知る限りほとんどない。市民向けの地震防災教育用としては、実際の現象を表現しつつ、持運びが可能で、子供でも容易に扱える模型が適当と考える。

筆者らはこの目的に沿って、小型かつ簡易な操作で、津波の本質と怖さを学習出来る津波実験装置を開発した。本報告ではこの装置について、開発の経緯と装置の概要、更に操作例について紹介する。

2. 開発の経緯

今回の実験装置の開発に至るまでに、いくつかの装置の試作を行った。ここでは、その経緯を順に述べる。

2.1 平面型的水槽を用いた実験装置

当時（2004年）、数少ない実験装置であった北海道立理科教育センターの模型に倣い、写真1に示す長さ 1.8m の大型木製水槽を用いた組立式装置を試作した。水槽全体にビニールシートを張って水を入れた後、水槽右端の底板を持ち上げて津波を発生させる仕組みである。水面付近に木片を浮かべることで津波の様子を観察でき、また、種々の海岸地形をれんがで作れるようになっている。この大型

本論文の内容の一部は、2008年度日本建築学会大会(中国)にて発表した¹⁾。

*1 応用地震計測(株)地震防災部 工博
(〒336-0015 さいたま市南区太田窪2-2-19)

*2 名古屋大学大学院環境学研究所 教授・工博

*3 応用地震計測(株) 顧問

*4 応用地震計測(株) 開発部

*1 Earthquake Disaster Prevention Dept., Oyo Seismic Instrumentation Corp., Dr. Eng.

*2 Prof., Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, Dr. Eng.

*3 Adviser, Oyo Seismic Instrumentation Corp.

*4 Development Dept., Oyo Seismic Instrumentation Corp.

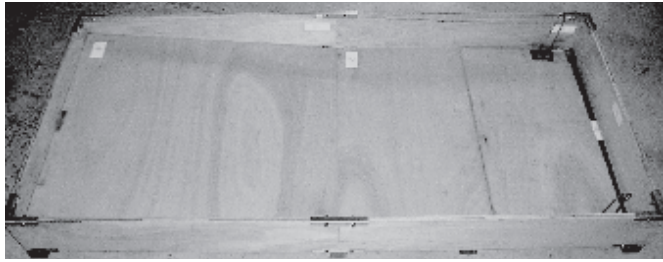


写真1 大型木製水槽による試作装置

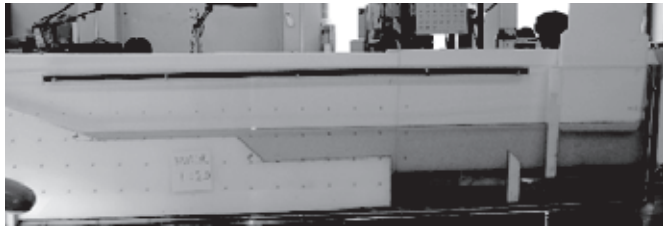


写真4 発泡スチロール製海底地形模型を組込んだ試作装置

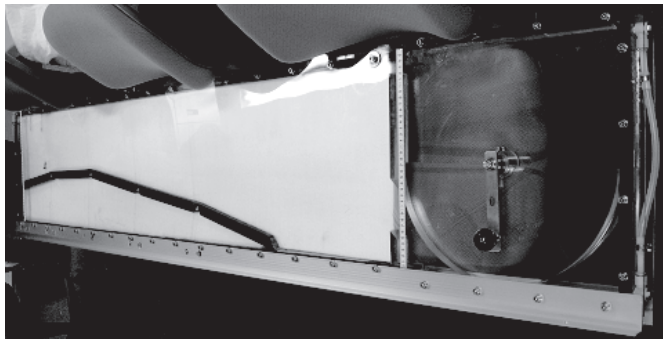


写真5 津波発生機構を回転式とした試作装置

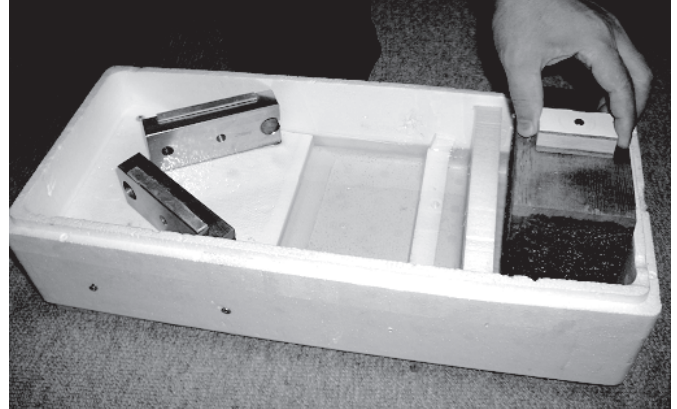


写真2 発泡スチロール製容器による試作装置

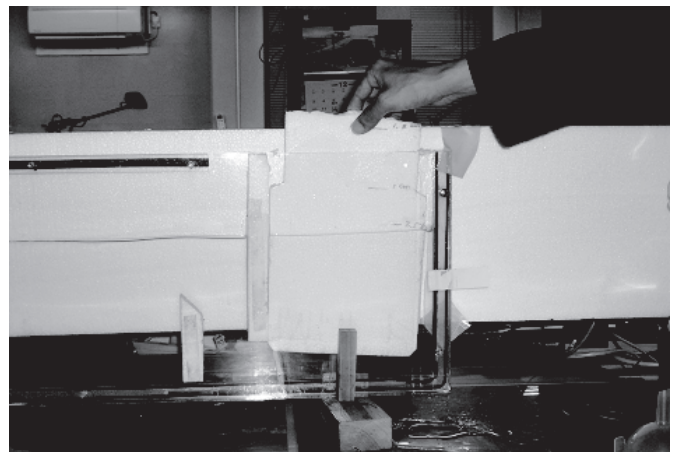


写真3 アクリル製薄型容器による最初の試作装置

木製水槽による装置は、重く運搬しにくい上に水漏れを生じやすく、室内での実験装置として余り適さなかった。また、この型の模型で津波の遡上の様子を表現するには、長さが足りないこともわかった。

そこで次に、写真2に示す魚運搬用の発泡スチロール製容器を用いた、小型の装置を試作した。容器内に市販の芳香消臭剤で着色した水を入れ、容器右端の木製角材を上下に動かして津波を発生させる。金属の角材で湾の模型を作り、津波の遡上の様子を観察出来るようにしている。この装置で可搬性は実現できたが、津波発生から海岸に至る波動伝播の様子を観察するには、やや不向きであった。そこで、次の2.2で述べる薄型水槽による装置の試作に移った。

2.2 薄型水槽を用いた実験装置

アクリル製の横長・薄型的水槽を用いた装置を、計3台試作した。薄型の容器で津波を2次元的に見せることで、波動伝播の状況を確認しながら津波を発生させることが可能となる。今回開発した装置も、この形式の水槽で製作されており、以下の3台の装置は、その原型といえるものである。共通点は、右端に津波発生機構、左端に海岸模型を配し、右側から左側へ波を伝播させていることである。

1台目（写真3）は、全長1.5mの水槽右端に設けた造波シリンダー内で、発泡スチロール板を上下に動かし津波を発生させる装置とした。写真2の装置と同じ着色水を使用し、津波による水位上昇と伝播の様子を見せることに主眼を置き、海底地形は設けていない。

2台目（写真4）は、水槽の長さや津波発生機構は1台目と同様であるが、海底および海岸の地形を発泡スチロールで製作し、海底地形と津波伝播との関係や、海岸での遡上の様子を観察出来るよう

にした。また、津波現象の観察を少しでも容易にする目的で、水にポリビニルアルコールを混入し、粘性を高める工夫をした（今回開発の装置では、保守のし易さの観点から従前の着色水に戻した）。

3台目（写真5）は、津波発生機構を回転式にし、運搬時に水漏れしにくい構造とした。津波は、回転式の円盤型容器により水を左側に押し出すことで発生させる仕組みである。また、海底地形をアクリルとゴムを用いて可変型とし、様々な地形での実験を容易にした。尚、津波現象の観察を容易にすべく、全長を1.8mと長めにした（今回開発の装置では、携帯性を重視するため全長1.5mに戻した）。

以上の試作を経て、今回開発の装置を製作した。

3. 装置の概要

3.1 装置の特徴

装置の全景を写真6に、構成図を図1に示す。試作結果を踏まえた改良点も含め、装置の特徴として以下の内容が挙げられる。

- ① アクリル製で水密性を有する長さ1.5m、厚さ数10mmの板状容器の内部に、アクリルとゴムで作られた海底地形模型を組み込んだ、軽量かつ水を入れたまま運搬可能な装置である。
- ② 津波発生原因となる海底断層による水位押し上げは、造波用シリンダーを手で押下げて発生させることで、体積変化を伴う局所的な水位上昇を簡易に生成出来る。
- ③ 造波用シリンダーは中が密閉構造になっており、シリンダー昇降と水位調整用ロッドの回転で弁の開閉を組合せて、シリンダー内部に水を蓄えたり吐き出したり出来る。これにより、簡易に海水

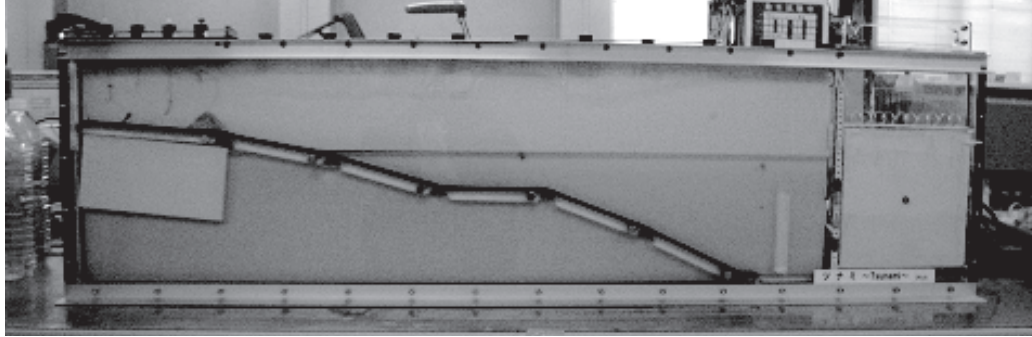


写真6 今回開発した津波実験装置

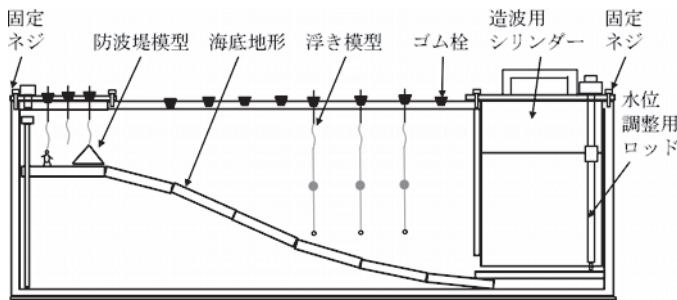


図1 装置の構成図

位を変えられ、水位による津波伝播速度の違いを実験出来る。

- ④ 海底地形は、複数本の短い棒状プラスチックをゴムに接合し、棒の接合点にステンレスを配した、あたかも「自在定規」のような構造の模型である。接合点にはフックがあり、専用の細いロッドを上下させることで任意の地形を作れる。また、接合点に磁石が組込まれ、アクリルの正面に磁石を当てて地形形状を固定出来る。
- ⑤ 海水は市販の芳香消臭剤で水色に着色しており、視認性を高めている。長時間置いても、アクリル表面に色素がこびりつくことなく、メンテナンスも容易である。
- ⑥ 模型上面ゴム栓から浮きや人形、防波堤を垂らすことが出来る。水面に垂らした浮きの動きにより、水粒子の変位に着目した観察が出来るほか、津波のような波長が長い場合と波浪のような波長が短い場合の違いを学べる。また、防波堤は昇降させることが可能で、津波発生時の防波堤の役割を学習出来る。

3.2 津波伝播の原理

津波の伝播速度 $c(\text{m/s})$ は、水深を $h(\text{m})$ 、重力加速度を $g(=9.8\text{m/s}^2)$ とすると、(1)式で示される。

$$c = \sqrt{gh} \dots\dots\dots (1)$$

2004年スマトラ沖地震では、5500kmも離れたアフリカ大陸東岸まで津波が伝播した。インド洋の平均水深を3900mとすると、(1)式より伝播速度は約195m/sと得られる。すなわち、地震発生後約7.8時間で津波が到達することになり、当時の報道と概ね整合する。

本装置の水深は平均すると20cm程度、伝播速度は140cm/s前後となり、生成した波は1秒程度で模型の端まで伝わるので、観察にはある程度の慣れが必要である。しかし、海底地形の可変機構を利用し、実際の海底と同様に地形が徐々に浅くなる様子を表現することで、水深が浅くなるにつれ速度が遅くなる状況を観察出来る。また、予め撮影した映像をスロー再生したり、装置の一部を拡大投影

すれば、波が伝わる様子を実現しながらに再現出来る。こうして、津波により海面が盛り上がり、岸に近づくにつれ波高が高くなって波頭を形成し、やがて波頭が崩れ海岸から奥へ遡上する一連の流れを、容易に観察出来る。

また本装置では、水面のごく表面で生ずる波長の短い波を起こすことが出来るので、風による波浪など波長の短い波が、津波のような波長の長い波とは異なり、海岸を遡上することなく減衰して消滅する様子を、津波と対比して観察出来る(写真7の右下写真)。更に、水の粒子の移動(変位)に着目した観測も可能である。実際、波長の短い波では、海面近傍だけに水粒子の移動が観測されるのに対し、波長の長い波では、海底近くに至るまで粒子移動が認められる。

本装置では、以上示したような、流体力学上の知見に基づく波動伝播の重要な性質を、容易に実験し観察することが出来るので、その学習効果は大きいと考える。

4. 操作例

造波シリンダーの操作による、津波生成からの一連の波の動きを写真7に示す。また、波浪のような波長の短い波が、海岸到達までに減衰する様子の写真も併せて掲げておく。尚、津波には押す津波と引く津波があり、ここでは、判り易く操作も簡単な押す津波の例を示したが、引く津波についても操作次第で表現可能である。

5. むすび

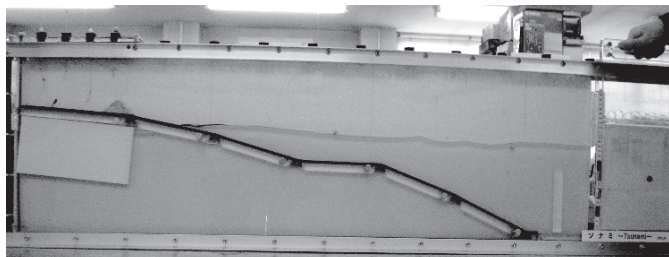
一般市民向けの地震防災教育用として開発した津波実験装置について、概要と操作例を紹介した。

本装置は、扱いが非常に容易で、津波のメカニズムや海底地形による違いなど、自ら実験し楽しみながら学ぶことが出来る。既に、幾つかの防災啓発イベントなどで使用し(写真8)、津波現象の説明や津波の恐ろしさの理解に大変役立つという実感を得ることが出来た。昨今では、計算機によるシミュレーションで、いかなる現象も再現可能のようであるが、本装置のような、実際に波動伝播の特徴や、津波が堤防を乗り越え地表を洗い流す様を観察出来る模型の存在は、防災教育の上で有効であろうと思われる。

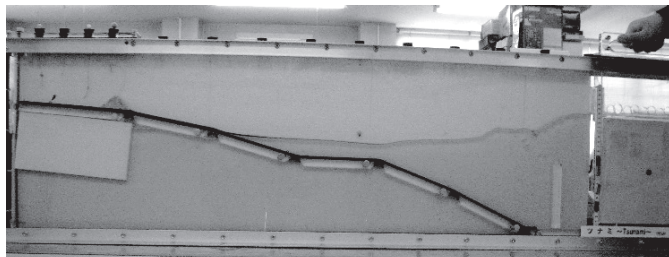
今後、本装置を、津波の怖さや地震防災の大切さを伝えるツールとして普及展開、活用を図りたい。

謝 辞

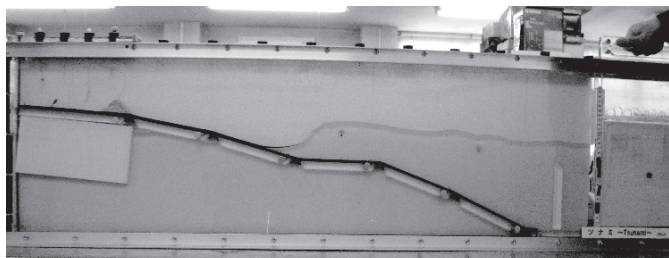
本装置の開発に際して、小倉公雄氏に、基礎となるアイデアの提



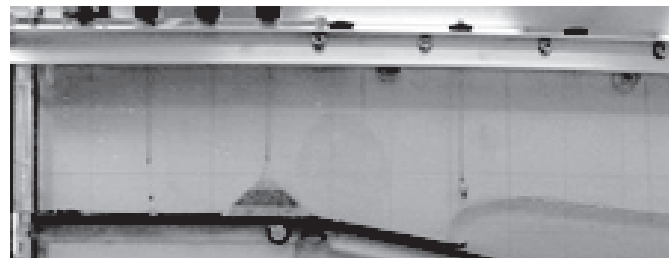
①模型右端の造波シリンダーを押し下げると、液体がシリンダー下部から横に押し出される。



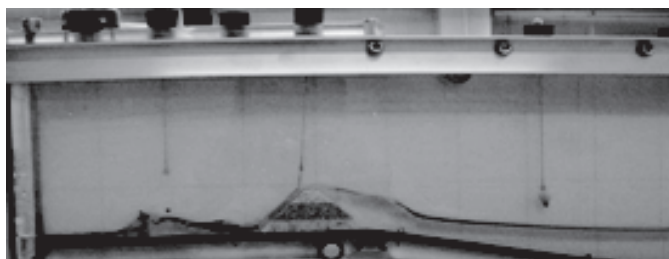
②シリンダー横の水位が上昇し、津波が発生する。



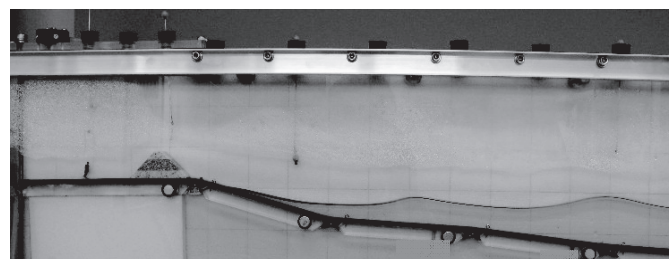
③津波が模型左側の海岸に向かって伝播し、水深が浅くなった所で海面が盛り上がってくる。



④海岸に達すると、波が追い被さり波頭を形成する。



⑤津波が防波堤を越えて奥へ遡上する様子。



【参考】波浪のような波長が短い波の場合は、海岸近くで減衰する。

写真7 津波模型の一連の操作例



写真8 津波模型の防災啓発イベントでの使用状況
(2008年8月29～31日、日本免震構造協会15周年記念イベント、
東京・日本科学未来館にて)

供から装置試作に至るまで、全面的な御協力を頂きました。ここに記し深甚なる謝意を表します。

参考文献

- 1) 佐武直紀，太田賢治，飯沼博幸，福和伸夫：地震防災意識啓発のための津波模型の開発，日本建築学会大会学術講演梗概集（中国），E-2

分冊，pp.683～684，2008.9

- 2) 福和伸夫，花井勉，石井渉，鶴田庸介，倉田和己，小出栄治：耐震化促進のための木造建物倒壊実験教材の開発，日本建築学会技術報告集，第22号，pp.99～102，2005.12
- 3) 福和伸夫，佐武直紀，原徹夫，太田賢治，飯沼博幸，鶴田庸介，飛田潤：長周期構造物の応答を再現するロングストローク簡易振動台の開発，日本建築学会技術報告集，第25号，pp.55～58，2007.6
- 4) 佐武直紀，小出栄治：建物耐震化と防災意識啓発のための木造倒壊実験教材の開発，日本建築学会大会学術講演梗概集（九州），B-2分冊，pp.629～630，2007.8
- 5) 首藤伸夫，今村文彦，越村俊一，佐竹健治，松富英夫：津波の辞典，朝倉書店，2007.11
- 6) 津村建四郎：“稲むらの火”にみる防災への情熱，第27回震災予防協会講演会資料，pp.13～22，2008.2
- 7) 「稲むらの火」HP：<http://www.inamuranohi.jp/>
- 8) 「稲むらの火と防災対策」HP：http://www.tokeikyou.or.jp/bousai/inamura-top_j.htm
- 9) 「稲むらの火の館」HP：<http://www.town.hirogawa.wakayama.jp/inamuranohi/tunami.html>
- 10) 「奥尻島津波館」HP：<http://www.town.okushiri.lg.jp/kanko/meisho/tsunamikan.html>
- 11) 「唐桑半島ビジターセンター」HP：<http://museum-dir.jst.go.jp/04-103/04-103.htm>

[2008年6月17日原稿受理 2008年9月1日採用決定]