

3. 1. 2 沿岸防災手法の工学的評価

目 次

(1) 業務の内容

- (a) 業務題目
- (b) 担当者
- (c) 業務の目的
- (d) 8か年の年次実施計画
 - 1) 平成25年度
 - 2) 平成26年度
 - 3) 平成27年度
 - 4) 平成28年度
 - 5) 平成29年度
 - 6) 平成30年度
 - 7) 平成31、32年度
- (e) 平成25年度業務目的

(2) 平成25年度の成果

- (a) 業務の要約
- (b) 業務の成果
 - 1) 日本海側沿岸の海象特性と沿岸防災手法
 - 2) 海岸堤防の津波減災性能と限界
- (c) 結論ならびに今後の課題
- (d) 引用文献
- (e) 成果の論文発表・口頭発表等
- (f) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

(3) 平成26年度業務計画案

(1) 業務の内容

(a) 業務題目

1.2 沿岸防災手法の工学的評価

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
東京大学大学院工学系研究科	教授	佐藤 慎司
	教授	田島 芳満
	講師	下園 武範

(c) 業務の目的

日本海側の地域は、プレート境界での巨大地震に伴う大規模な津波に頻繁に襲われる地域とは異なっており、沿岸防災を考える上では、高波・海岸侵食の問題とともに津波に対する防災手法の工学的な分析を行うことが重要な課題である。ここでは、津波に対する防災手法の工学的な分析を実施し、日本海側沿岸に最適な防災手法とその普及方法を検討する。

(d) 8か年の年次実施計画

1) 平成25年度：

日本海側の海岸堤防の設置形態と高さを整理し、これを津波高さと比較することで、沿岸防災における津波防災の位置づけを明確にする。さらに、次年度から実施する海岸堤防の性能実験に必要な計測装置などを整備し、予備実験を実施する。

2) 平成26年度：

H25年度に断面水路に整備した津波発生装置と波力・波圧計測装置などを用いて、海岸堤防等の構造物による津波減殺機能に関する実験を行う。さらに、平面水槽で津波を発生させる装置を導入し、海岸堤防の法線形状が津波エネルギーの局所集中に及ぼす影響を確認するための予備実験を実施するとともに、数値計算で再現することを目指している沿岸部における津波の分裂現象に関する検証データを取得する。

3) 平成27年度：

海岸堤防に関する実験を継続するとともに、津波の伝播・氾濫シミュレーションを実施し、海岸に作用する津波をその高さのみでなく、波形を含めて再現する。そして、越流を含む津波が、構造物の破壊や氾濫に及ぼす影響を数値モデルと室内実験において定量的に解明する。

4) 平成28年度：

北海道～東北日本を対象にいくつかの代表地域を選定して、氾濫計算を実施する。海岸

堤防が破壊されない場合と破壊される場合の浸水範囲や浸水量を比較することにより、堤防の効能を定量的に評価する。

5) 平成29年度：

北陸～西日本を対象にいくつかの代表地域を選定して、氾濫計算を実施し、検討を継続する。

6) 平成30年度：

日本海側に特徴的な海岸地形を選定し、大河川周辺の砂丘低平地を対象とした計算を分析する。

7) 平成31、32年度：

波の先端部が分裂する条件も含めて、日本海側の津波防災に最適な工学的防災手法を提案する。

(e) 平成25年度業務目的

東北地方太平洋沖地震津波では東日本太平洋側を中心に壊滅的な被害が発生した。これを受けて、今後の津波対策としては、二段階の津波レベルを設定して、防災・減災の具体的な対策を進めることとなっている。すなわち、頻度の高い津波（レベル1津波）と最大クラスの津波（レベル2津波）を設定し、頻度の高い津波に対しては、海岸堤防などで陸地への浸水を防ぐことにより人命と資産を防護し、最大クラスの津波に対しては、避難手段の確保などにより人命を守るというものである。太平洋側沿岸では、プレートの動きにより百年程度の周期で繰り返し発生する地震による津波と、複数の地震の連動などにより発生する巨大津波が、プレート境界付近を中心に発生するため、二段階の津波レベルによる対策は津波の発生メカニズムと整合しており、社会的な認知も得やすい。しかしながら、日本海側沿岸では、地震の発生機構が異なるうえ、砂浜・砂丘によって特徴づけられる緩勾配海岸において、季節的に繰り返される高波の来襲や慢性的に深刻化していく海岸侵食の問題が深刻化しているという海岸の特徴を有しているため、これらの特徴を踏まえて最適な防災手法を検討する必要がある。

本サブテーマでは、日本海における地形・海象・津波の特徴に鑑み、地域の沿岸防災力と防災リテラシーの向上に資するため、工学的な観点から津波防災手法を評価することを目的とする。東北地方太平洋沖地震津波では東日本太平洋側を中心に壊滅的な被害が発生した。これを受けて、今後の津波対策としては、二段階の津波レベルを設定して、防災・減災の具体的な対策を進めることとなっている。すなわち、頻度の高い津波（レベル1津波）と最大クラスの津波（レベル2津波）を設定し、頻度の高い津波に対しては、海岸堤防などで陸地への浸水を防ぐことにより人命と資産を防護し、最大クラスの津波に対しては、避難手段の確保などにより人命を守るというものである。太平洋側沿岸では、プレートの動きにより百年程度の周期で繰り返し発生する地震による津波と、複数の地震の連動などにより発生する巨大津波が、プレート境界付近を中心に発生するため、二段階の津波レベルによる対策は津波の発生メカニズムと整合しており、社会的な認知も得やすい。しかし

ながら、日本海側沿岸では、地震の発生機構が異なるうえ、砂浜・砂丘によって特徴づけられる緩勾配海岸において、季節的に繰り返される高波の来襲や慢性的に深刻化していく海岸侵食の問題が深刻化しているという海岸の特徴を有しているため、これらの特徴を踏まえて最適な防災手法を検討する必要がある。

日本海側では、潮位差が小さいうえに、夏季と冬季の海象条件のコントラストが大きいこと、波浪に加えて強風による流れの影響が大きいこと、大河川による砂供給が大きく低平な砂丘が発達していること、ダムの建設やみなとの建設などにより、深刻な海岸侵食が生じていることなど、太平洋側の海岸とは異なる特徴を有する海岸が多い。津波に対する住民意識にも違いが見られ、この違いの把握が、地域の防災リテラシーの醸成を考えるうえで、重要な点となる。本サブテーマでは、まず、日本海側の海岸堤防の設置形態と高さを整理し、これを津波高さと比較することで、沿岸防災における津波防災の位置づけを明確にする。さらに、次年度から実施する海岸堤防の性能実験に必要な計測装置などを整備し、海岸堤防の津波被害軽減性能に関する予備実験を実施する。

(2) 平成25年度の成果

(a) 業務の要約

日本海側の海岸は、潮位差、夏季と冬季の海象条件のコントラスト、大河川による砂供給と低平な砂丘地など、太平洋側とは異なる特徴を有している。津波に対する住民意識にも違いが見られ、この違いの把握が、津波に対する地域の防災リテラシーを考えるうえで、重要な点となる。本サブテーマでは、まず、日本海側の海岸の特徴を海岸防災の観点から整理し、単調な砂浜海岸が多く、太平洋側に比較して、堤防・護岸の整備率はやや低いことを明らかにした。堤防の高さは、高波の打ち上げ高さで設計されており、日本海側では、津波より冬季季節風による高波に対する防護が構造物設計の基準となっていることが確かめられた。例外的な対応は、1993年北海道南西沖地震津波で大きな被害を受けた奥尻島の一部の海岸に限られていた。これらにより、日本海側海岸の沿岸防災における津波防災の位置づけが明確となった。

さらに、海岸堤防の津波被害軽減性能に関する予備実験を実施し、堤防の壊れにくさと越流する津波のエネルギー減殺がトレードオフの関係にあることを明らかにした。

(b) 業務の成果

1) 日本海側沿岸の海象特性と沿岸防災手法

海岸管理者へのヒアリングなどにより、日本海における津波防災の現状を確認するとともに、海岸統計などの基礎データに基づいて、日本海沿岸の海岸地形と海象特性を整理した。図1は国土交通省水管理国土保全局による「海岸統計¹⁾」をもとに、日本海側と太平洋側の海岸の特徴を整理したものである。日本海または太平洋のみに面する都道府県を対象として、海岸線延長、要保全海岸線延長、堤防・護岸の設置延長および砂浜の割合を集計した。日本海側は、秋田県から福岡県まで、太平洋側は岩手県から宮崎県までを対象と

しているので、対象範囲はほぼ同程度であるが、海岸線延長は、日本海側は 4,346 km、太平洋側が 8,744 km であり、太平洋側が二倍以上長い。このことから、太平洋側は、入り組んだ形状の海岸地形が多いのに対し、日本海側は、単調な砂浜地形が多いことを確認できる。砂浜の割合は、日本海側が 15%、太平洋側が 12%であり、日本海側の方が砂浜の割合が高いことから単調な砂浜地形が多い地形的な特徴を確認できる。これに対して保全が必要な海岸の割合は、日本海側の方がやや高い傾向にあるが、堤防・護岸が整備されている海岸の割合は、太平洋側の方がやや高い傾向にある。日本海側の海岸の特徴として、潮位差が小さいこと、冬季風浪が激しく季節による海象条件のコントラストが大きいこと、砂浜・砂丘海岸の割合が高いこと、激しい海岸侵食が生じている砂浜が多いこと、巨大津波が少ないことなどが挙げられるが、これらに加えて、単調な砂浜海岸が多いことや、防災上の保全が必要な海岸の割合が高いものの堤防・護岸の整備率はやや低いことも、津波防災を検討するうえで重要な特徴であることが指摘できた。

日本海側海岸における海岸堤防・護岸の高さは、冬季風浪による波の打ち上げ高を考慮して決定されている。記録に残されている津波の高さはこれより低い場合がほとんどで、奥尻島など一部の例外を除いて、海岸防護の設計対象としては、冬季風浪の高波が採用されていることが確認された。1993年の北海道南西沖地震津波により甚大な被害を受けた奥尻島青苗地区周辺では、初松前地区などで来襲津波の高さに相当する天端部の標高が 11 m の堤防が設置されている（図 2）。同津波では、大きな津波被害は青苗地区周辺に集中したため、例外的な対応が可能となったものと判断される。

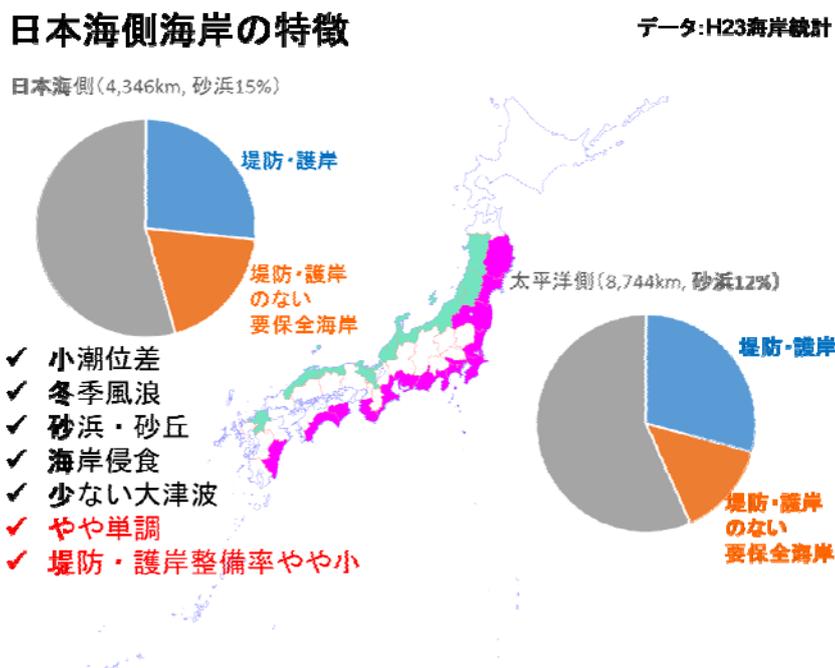


図 1 日本海側海岸の特徴



図 2 奥尻島青苗地区周辺の海岸堤防（1997 年撮影）

2) 海岸堤防の津波減災性能と限界

端部に不規則波造波器を備えた断面水路に、ゲートを急開させることによって段波状の津波を発生させる津波造波システムと津波波力計測システムを導入した（図 3）。ゲートの上流と下流に水位差をつけ、ゲートを油圧駆動装置により素早く上昇させることによって段波を発生させる。模型縮尺としては 1/100 を想定したうえで、海岸部に堤防模型を設置し、津波の越流量と堤防背後の流速を計測した。堤防の模型としては、図 4 に示されるような 5 種類の形状の模型を作成した。越流升の水位を測ることによって越流量を測定した。また、水路の側面から高速カメラで模型付近の越流の様子を撮影した。その高速カメラで撮影した動画を連続静止画像に変換し PIV 手法で画像解析することによって天端上での流れの平均流速を算出できる。また、水深などの流れの状況も同時に観察することが出来る。

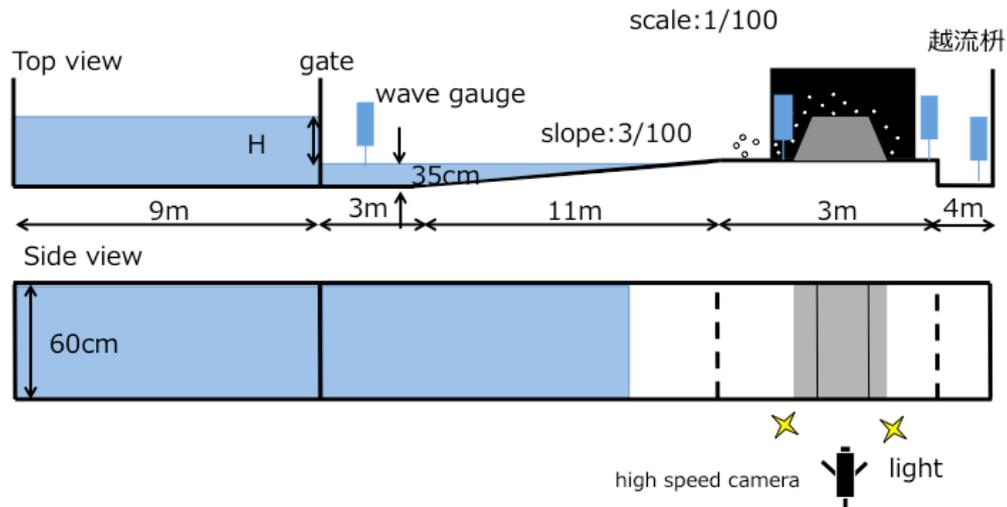


図3 津波造波装置を用いた海岸堤防の実験

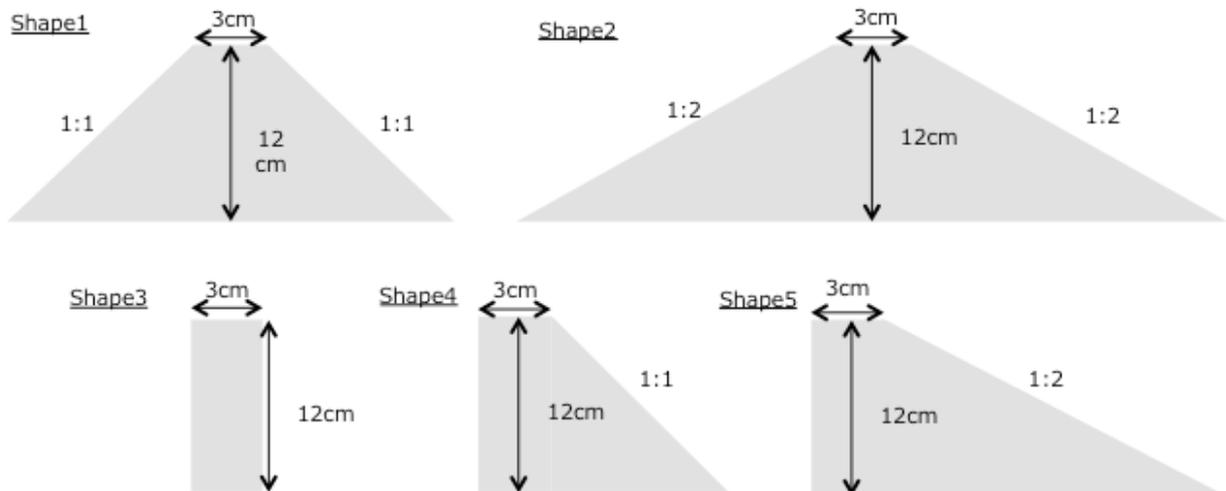


図4 実験に用いた海岸堤防の形状（左側が海側、Shape1～Shape5）

越流量の総量に関しては第一波の越流が完了した時の越流升の水位データを用いて分析をする。越流量の総量を図5に示す。直立堤である Shape3 で総越流量が最小となり、総越流量が最大となる Shape2 と比較して約 15%小さい。また、Shape4 と Shape5 を比べると裏法が緩やかなほど越流量が小さくなることが分かる。このことを考慮に入れた上で Shape1 と Shape2 を比べると表法は傾きが急なほど越流量が小さくなることが分かる。

総越流量が堤防形状に依存することが確認できたが、越流量に差が出る要因を探るとともに堤防の減災機能を定量化するために、越流メカニズムを詳細に分析した。図6と図7はそれぞれ Shape1 と Shape3 における越流し始めた直後からのスナップショットである。段波が襲来した直後は堤防前面の水位が大きく増加していくが、しばらくすると堤防前面での水位はほぼ一定になっていくことが分かる。このように、段波が襲来するような場合

には流れを初期の非定常な状態とその後の定常な状態に分けて考える必要があるといえる。また、堤防上および堤防背後の流れの強さは堤防形状の違いに大きな影響を受け、堤防による流れの低減効果も重要な指標となると判断された。

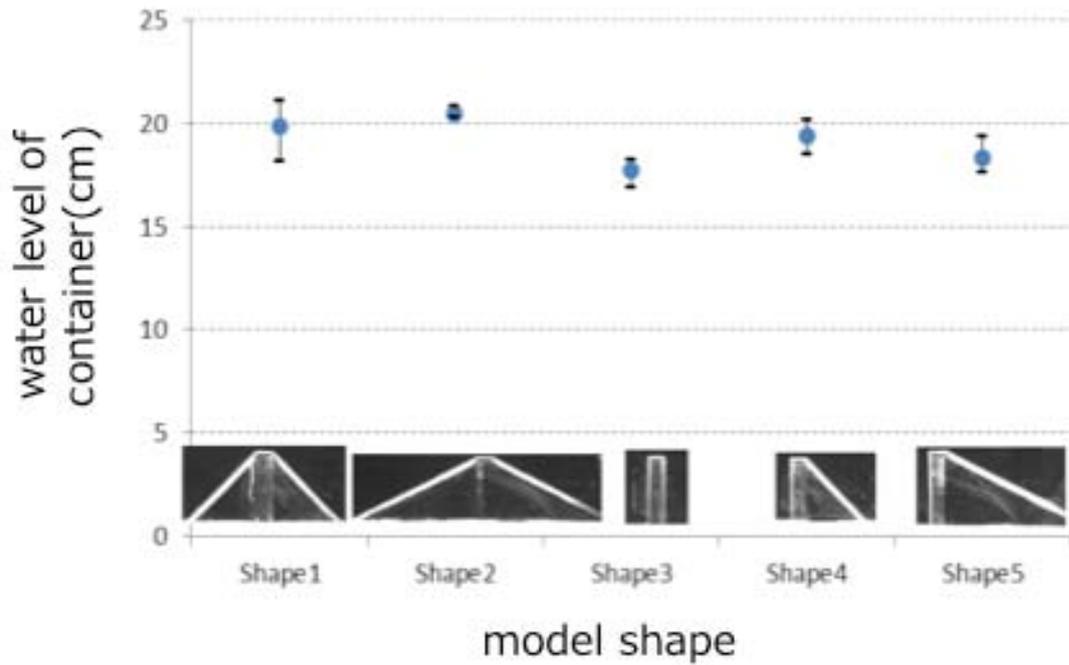


図5 越流した津波の総量

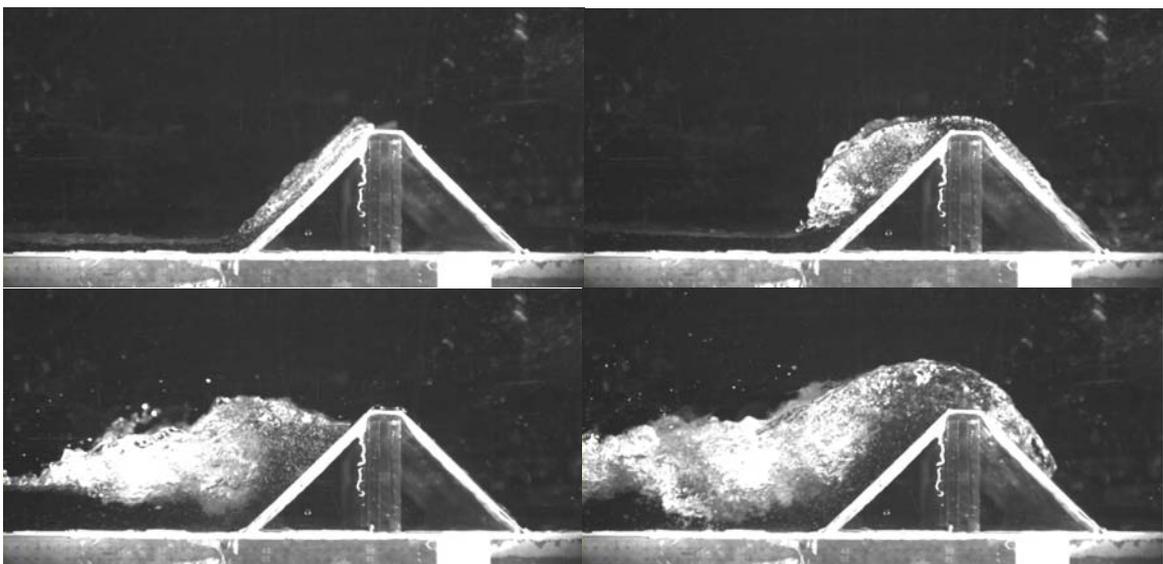


図6 Shape1における0.25s~1.25sのスナップショット(左 H=12cm, 右 H=15cm)

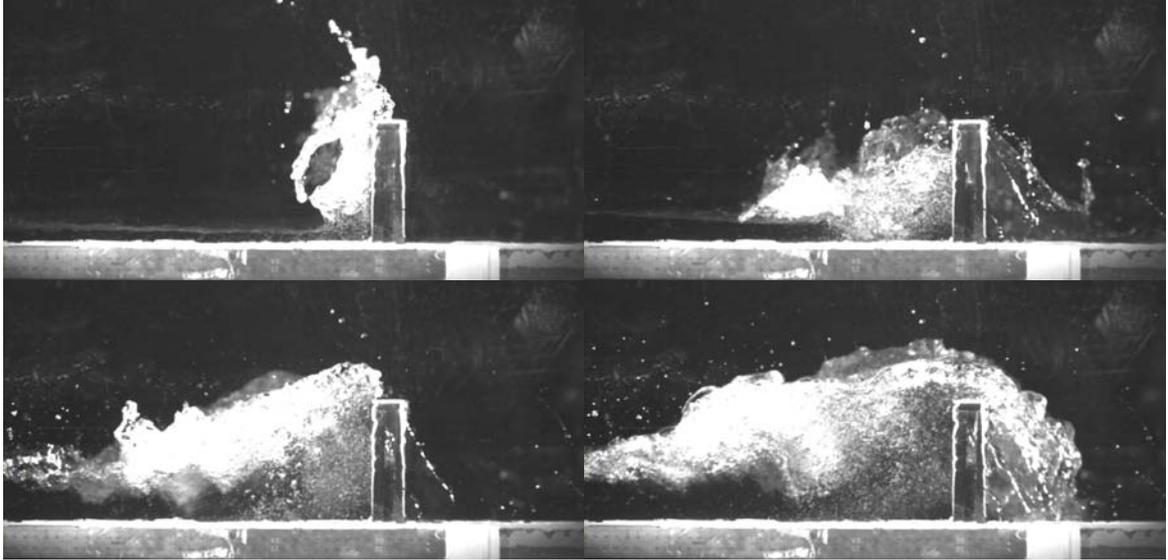


図7 Shape3における0.25sec~1.25secのスナップショット(左 H=12cm, 右 H=15cm)

表1 実験結果の整理

	seaside	landside	overflow (unsteady)	overflow (steady)	velocity on crown
Shape1	1:1	1:1	1	1	1
Shape2	1:1	1:2	1.08	0.99	1
Shape3	vertical	vertical	0.83	0.95	0.81
Shape4	vertical	1:1	0.92	1.03	0.9
Shape5	vertical	1:2	0.92	0.97	0.87

以上の考察を踏まえて、本研究で実施した実験結果をまとめると表1のようになる。陸地の被害として越流量を考えると、最も減災効果の高い堤防の形状は Shape3 の直立堤となる。Shape3 は堤防の設置に要する土地の面積も少なく済み、とても魅力的な構造であるが、2011年の震災においては、滑動や洗掘によってその多くが破壊されていた。したがって、構造的な観点も考慮するならば、表法斜面は直立とし、裏法斜面は緩やかな形状とする構造が、裏法肩の遠心力による負圧も抑えられるという意味で最適であると考えられる。

(c) 結論ならびに今後の課題

- 1) 日本海側の海岸の特性を分析するとともに、堤防の設置形態と高さを整理した。日本海側の海岸は、単調な砂浜海岸が多く、太平洋側に比較して、堤防・護岸の整備率はやや低いことが明らかとなった。堤防高さは、高波の打ち上げ高さで設計されており、日本海側では、津波より冬季季節風による高波に対する防護が構造物設計の基準となっていることが確かめられた。例外的な対応は、1993年北海道南西沖地震津波で大きな被害を受けた奥尻島の一部の海岸に限られていた。これらにより、日本海側海岸の沿岸防災における津波防災の位置づけが明確となった。
- 2) 海岸堤防の性能照査実験に必要な計測装置などを整備し、海岸堤防の津波被害軽減性能に関する予備実験を実施した。堤防の壊れにくさという点では、緩い勾配の堤防が有利であるが、越流する津波のエネルギー減殺という点では、直立堤が効率的であることが明らかとなった。次年度から実施する詳細実験の具体的な内容を検討するうえで、極めて有用な基礎データを得ることができた。

(d) 引用文献

- 1) 国土交通省水管理国土保全局海岸室：海岸統計，平成 25 年版，2013.

(e) 成果の論文発表・口頭発表等

著者	題名	発表先	発表年月日
Nakao, H., S. Sato, Y. Tajima and H. Yeh	Performance of seawalls against tsunami overflow	Coastal Engineering Journal	投稿予定

(f) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

(3) 平成 26 年度業務計画案

H25 年度に断面水路に整備した津波発生装置と波力・波圧計測装置などを用いて、海岸

堤防等の構造物による津波減殺機能に関する実験を行う。さらに、平面水槽で津波を発生させる装置を導入し、海岸堤防の法線形状が津波エネルギーの局所集中に及ぼす影響を確認するための予備実験を実施するとともに、数値計算で再現することを目指している沿岸部における津波の分裂現象に関する検証データを取得する。

