

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（過去年度は、実施業務の要約）
 - 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26年度業務目的

(2) 平成26年度の成果

- (a) 業務の要約
- (b) 業務の成果
- (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27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（過去年度は、実施業務の要約）

1) 平成25年度：日本海側沿岸における海象特性と沿岸防災手法の調査

日本海側の海岸の特徴を沿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。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。

2) 平成26年度：津波による海岸堤防の性能と限界の評価

日本海側の津波防災対策を検討する上で、大規模な津波の堤防越流に伴う後背地の被害想定が重要となる。従来の越流評価法では堤防形状が十分に考慮されていないため、津波による後背地のリスク評価に適用した場合に不確実性が大きい。前年度に引き続いて堤防越流に関するより詳細な実験を実施し、従来の越流評価法の適用性について検討を行うとともに、新たな越流評価手法を構築する。

3) 平成27年度：津波による海岸堤防の性能と限界の評価、沿岸低地における津波の氾濫予測

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：沿岸低地における津波の氾濫予測（北海道～東北日本）

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：沿岸低地における津波の氾濫予測（北陸～西日本）

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：沿岸低地における津波の氾濫予測、日本海沿岸に適した津波防災手法の提案

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：日本海沿岸に適した津波防災手法の提案

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26年度業務目的

日本海沿岸地域において海岸堤防は主に高波を対象として整備されており、津波の来襲は想定されていない。今後の防災対策を検討するうえで、大規模な津波による沿岸地域のリスク想定が重要となる。リスクの定量化のためには、来襲津波および堤防条件から堤内へ流入する流体の質量や運動量を精度良く評価することが重要である。しかしながら、これまで津波の堤防越流に関しては十分な実験的検討が行われておらず、モデル構築のためには広範なデータの蓄積が必要となる。平成25年に堤防断面形状の違いによる越流特性の変化について予備的な検討を行ったが、特に越流水深が大きい場合には形状の影響が大きくなることが示された。従来の越流評価法では堤防形状が十分に考慮されていないため、津波による後背地のリスク評価にそのまま適用できないことが想定される。したがって、平成26年度には前年度に引き続いて堤防越流に関するより詳細な実験を実施するとともに、従来の越流評価法の適用性について検討を行った。

(2) 平成26年度の成果

(a) 業務の要約

津波の堤防越流に伴う後背地のリスク評価を可能にするため、平成25年度に引き続いて越流時における堤防周辺の流体運動に関する水理模型実験を実施した。実験は、堤防法肩や法尻で局所的に発生する鉛直加速度による非静水圧が越流量に及ぼす影響を明らかにすることを目的として実施した。非静水圧の影響を議論するため、画像解析に基づく精細

な水面形状の計測を実施し、静水圧モデルおよび非静水圧モデルによる計算結果との比較を行った。越流水深が小さい場合には鉛直加速度の影響は小さいが、越流水深が大きくなることで流速が増大するにつれてその影響が顕著になり、静水圧モデルでは越流量を大きく過小評価することが明らかとなった。したがって、津波高さが堤防高に対して相対的に大きい場合には、従来の方法では後背地への氾濫を危険側に評価することが示唆された。また、この効果は、堤防法面勾配が $1/3$ を越えると急激に大きくなることが示され、一般的な堤防の法面勾配の範囲 ($1/2$ - $1/3$) では無視できないことが明らかとなった。

(b) 業務の成果

平成 25 年度に引き続いて津波の堤防越流に関する水理模型実験を実施した。前年の予備実験では水路に設けたゲートを急開することによって段波を発生させ、これを様々な形状の堤防模型へと作用させて堤防周辺の基本的な水理特性を調べた。その結果、特に越流水深が大きい状況では堤防形状によって越流量や後背地の流体力が大きく変化することが分かった。この結果を受けて平成 26 年度には、堤防形状の影響を考慮した越流評価法を構築するために、より詳細な計測を実施した。より単純な越流条件で堤防形状の効果を明らかにするため、図 1 に示すような水路において定常状態での越流時の水面形状の計測を行った。実験の縮尺は $1/50$ であり、堤防模型の高さは 12 cm、天端幅は 6 cm、両側の法面勾配は $1/2$ に設定した。堤防形状が急峻になるほど、堤防法肩・法尻部での大きな鉛直加速度によって非静水圧（動圧）を生じ、越流特性に大きく影響を及ぼすことになる。一般に鉛直加速度や圧力の空間分布を点計測で直接計測することは難しいため、モデルを併用することで水面形状からそれらの影響を調べる方針をとった。そのため、堤防周辺の水面形状の連続かつ精細な計測を実施した。図 2 に示すように、水面の計測は水路内の水を着色し、側面から撮影した画像を解析することで行った。まず、撮影した画像を正射画像へと変換し、適当な閾値を設定して水面位置を同定し、異常箇所については周囲のデータで補間した。このような計測を異なる越流水深（流量）や堤防形状に対して実施することで、鉛直加速度の効果を議論する為の精細な水面計データを取得することができた。

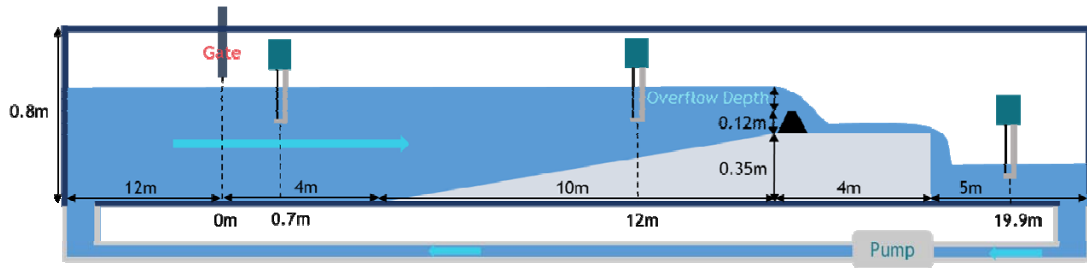


図 1 堤防越流実験の概要

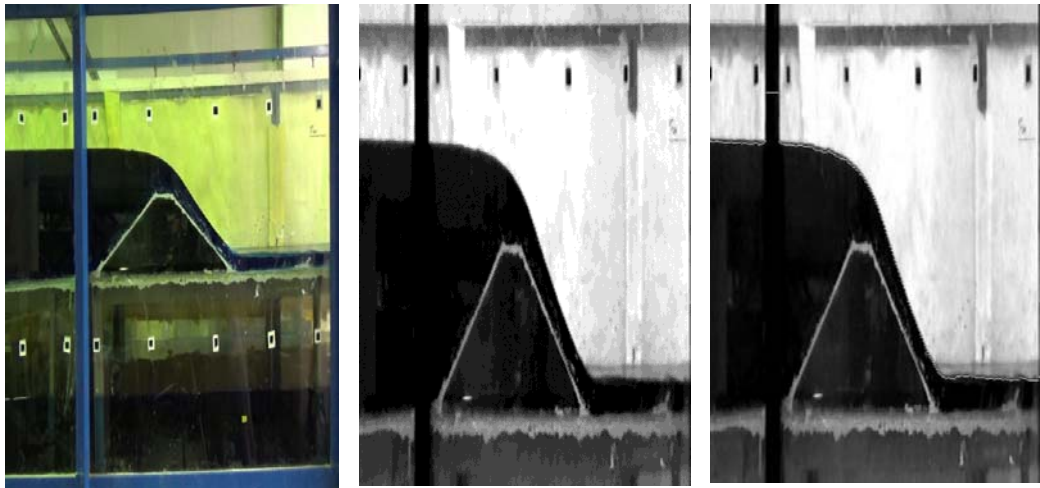


図 2 実験画像からの水面計抽出

取得した堤防表法から裏法尻にかけての水面データとモデルによる結果を比較したものが図 3 である。非静水圧（鉛直加速度）の影響を明らかにするため、モデルには静水圧近似に基づく非線形長波方程式によるモデル（静水圧モデル）と、さらに非静水圧の影響を加味した非線形分散波方程式（非静水圧モデル）の二通りを用いた。いずれのモデルも時空間四次精度の差分スキームでモデル方程式を離散化している。越流水深が 4 cm と堤防高に対して小さい場合にはいずれのモデルも実験結果によく一致し、違いは堤防天端上で局所的に見られる程度であった。しかしながら、越流水深が大きくなり堤防まわりの流速が増大するにつれて、遠心力の影響が顕著になるため非静水圧を考慮しないモデルでは実験結果にくらべて水面が低く評価されていることが分かる。一方、非静水圧モデルでは、越流水深が堤防高さに比べて大きい状況においても実験結果をよく再現していることが分かる。さらに、このモデルから非静水圧の分布を求めると、図 4 のように堤防の法肩部および法尻部で局所的に大きな非静水圧が生じていることが確認できた。

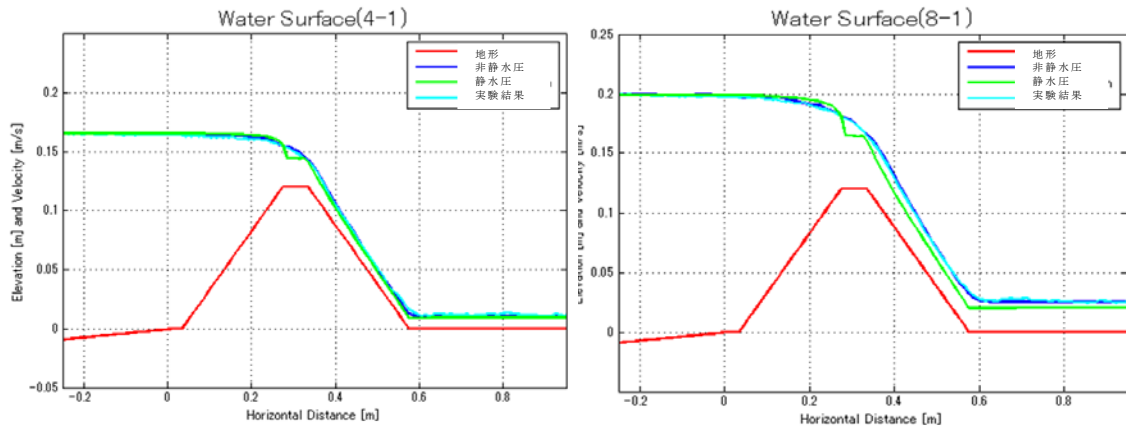


図 3 実験画像からの水面計抽出（左：越流水深 4 m、右：越流水深 8 m）

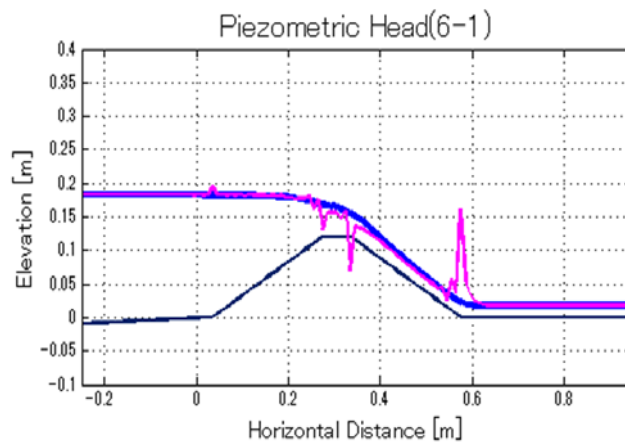


図 4 モデルにより求めた非静水圧（動圧）の分布（青：水面、ピンク：ピエゾ水頭）

鉛直加速度による非静水圧が、越流量に及ぼす影響をより広範に調べるため既存の越流公式とモデルによる結果の比較を行った。比較に用いた公式は **Fritz・Hager**¹⁾による台形堰の越流公式であり、過去の数多くの実験結果を整理して求められたものである。図 5 には、越流公式およびモデルによる流量係数と相対天端幅の関係を示している。流量係数は越流量と越流水深の比であり、相対天端幅は堤防形状と越流水深に関する量で、越流水深が大きいほど、天端幅が小さいほど大きくなる。静水圧モデルでは越流水深や堤防形状によって変化せず流量係数が一定であるのに対し、非静水圧モデルは越流公式による関係を良く表しており、実験式と誤差約±5%の範囲で合致した。この結果によると静水圧モデルでは、越流水深が大きい条件では流量を 20%以上危険側に評価していることが分かる。最後に堤防の法面勾配の大きさが計算結果に与える影響を検討したところ、勾配が 1/3 より大きくなると非静水圧の影響が急に大きくなるため、越流量は非静水圧を考慮して評価する必要があることが示された。一般的な堤防法面勾配は 1/3 より大きいことから、越流水深が大きい場合には多くの堤防でこの効果を考慮する必要があると言える。

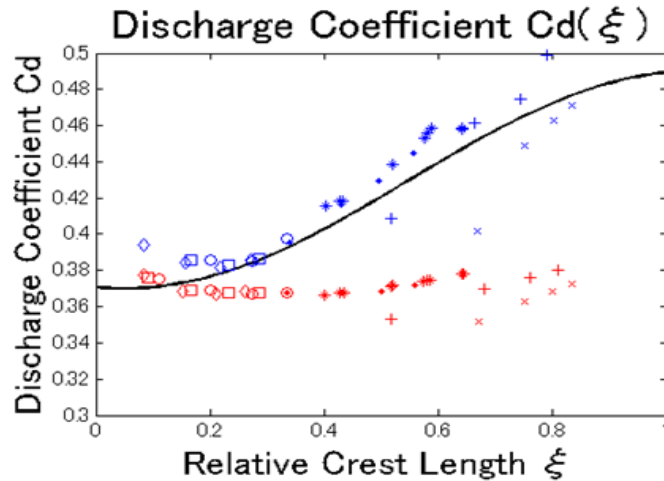


図 5 流量係数の比較（実線：実験結果、赤：静水圧モデル、青：非静水圧モデル）

(c) 結論ならびに今後の課題

従来、津波による堤防の越流・氾濫計算では（１）堤防に沿って計算領域を分割し、本間の越流公式を用いて堤防を横切る流量を与える方法、（２）静水圧モデル（非線形長波モデル）によって地形として直接計算する方法、のいずれかが用いられてきた。前者の場合には 0.35 程度の流量係数が用いられることが多く、いずれの方法でも越流水深が大きくなる場合に越流量、すなわち後背地への流入する質量および運動量を過小に評価していることが示唆された。したがって、越流水深が大きい場合には、非静水圧を考慮したモデルによる氾濫計算が必要になる。3 次元モデルによる計算を行えば、こうした点を考慮した計算が可能となるが、数 km スケールの海岸域の氾濫計算に用いるためには依然として計算負荷が大きい。非静水圧を考慮した鉛直積分型のモデルで氾濫計算が可能になれば、実用性と精度を兼ね備えたモデルにつながることを期待される。しかしながら、基礎方程式には高次項が含まれるため、不安定になりやすく安定な計算手法を実現することが今後の課題として残された。

(d) 引用文献

- 1) Fritz, H. M. and Hager, W. H., Hydraulics of embankment weirs, Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 124, No. 9, pp. 963-971, 1998.
- 2) 本間 仁：低溢流堰堤の越流係数，土木学会誌，Vol. 26, No., pp. 635-645, 1940.

(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
池澤広貴・ 下園武範・ 佐藤慎司	非静水圧を考慮した鉛直積分型 堤防越流モデルの開発（論文）	土木学会論文集 B2（投稿 中）	平成 27 年 11 月

(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27年度業務計画案

前年度に引き続いて津波の海岸堤防越流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。