

地形変化および海岸堤防の変状を考慮した津波被害想定手法

加藤史訓¹・福濱方哉²・藤井裕之³・高木利光⁴

海岸堤防は背後地への津波遡上を防ぐ機能を有しているが、地震動や津波により破壊され、背後地の被害が拡大する可能性がある。背後地被害の低減にどのような対策が有効か判断するためには、地震動による堤防沈下や洗掘等による破堤など堤防被災を考慮した被害想定手法を確立する必要がある。また、河口砂州の変形は津波の河川遡上に、砂浜の変形は海岸堤防の安定性に影響することから、津波の被害想定においては津波による地形変化を考慮する必要がある。以上をふまえ、津波、地震動による海岸堤防および地形の変状を考慮した背後地の人的・物的被害の定量的評価手法を提案した。

1. はじめに

中央防災会議や自治体による津波被害の想定では、現況の海岸堤防の存在を仮定していることが多い。海岸堤防はコンクリート造またはコンクリート等で被覆されていることが多いが、地震動や津波により破壊され、背後地の浸水被害が増大する可能性がある。背後地被害の低減にどのような堤防改良（嵩上げ、耐震化、耐波性能の強化など）が有効か判断するためには、地震動による堤防沈下や洗掘等による破堤など堤防被災を考慮した被害想定手法を確立する必要がある。また、インド洋大津波の被災地で見られたように、河口砂州や砂浜は津波により変形することがある。河口砂州の変形は津波の河川遡上に、砂浜の変形は海岸堤防の安定性に影響することから、津波の被害想定においては津波による地形変化を考慮する必要がある。以上を踏まえ、津波および地震動による海岸堤防および地形の変状を考慮した背後地の人的・物的被害の定量的評価手法を提案した。

2. 津波シミュレーション

(1) 計算方法

図-1に示す高知県の仁淀川河口周辺を対象に、波源として中央防災会議の東南海・南海地震同時発生モデルを採用して津波被害想定のカーススタディを行った。表-1のように地震動による堤防沈下、津波掃流力による地形変化、法先洗掘による海岸堤防の破堤を考慮して、非線形長波方程式を用いて津波の伝播・遡上を計算した。ネスティングにより計算格子間隔を2,700 mから11 mまで細かくし、潮位は朔望平均満潮位(T.P.+0.945 m)とした。なお、水門・樋門は全て閉まっているものとした。

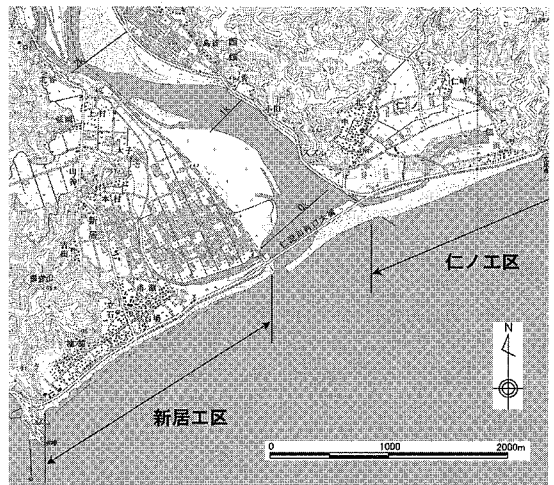


図-1 ケーススタディの対象地域

表-1 ケース設定件

ケース	堤防沈下	地形変化	破堤
A1	なし	なし	なし
A2	あり	なし	なし
B3	あり	あり	なし
B4	あり	あり	あり

堤防沈下量は、地殻変動量（対象海岸では2 m程度の沈降）とは別に、東南海・南海地震が同時発生した場合の地震外力(M8.6)をレベル2の地震動と位置づけた堤体土の動的FEM解析の結果を用いた。動的FEM解析では、被覆コンクリートの効果を、表のりの土被りが小さい仁ノ工区(河口東, 天端高 T.P.+9.81m)では無視し、表のりの土被りが大きい新居工区(河口西, 天端高 T.P.+10.13 m)では考慮した。その結果、堤防沈下量は仁ノ工区で3.44 m, 新居工区で0.09 mとなり、沈下後の天端高はそれぞれ T.P.+4.39 m, T.P.+8.02 m に設定した。

掃流力による地形変化の計算は、高橋ら(1992)に従って、流砂量式としてマニング則による海底摩擦係数をBrown式に与え、砂の連続式として渡辺ら(1984)の式

1 正会員 工修 国土交通省国土技術政策総合研究所
河川研究部海岸研究室 主任研究官
2 正会員 工修 国土交通省国土技術政策総合研究所
河川研究部 海岸研究室長
3 正会員 修(工) (株)アイ・エヌ・エー海岸部
4 フェロー 博(工) (株)アイ・エヌ・エー海岸部

を用いた。堤防は被覆されているので、侵食が生じないようにそのメッシュでは砂層厚を0とした。砂の中央粒径は2mm、空隙率は0.4とした。図-2のように、破堤に関わる堤防近傍の地形変化は掃流力とともに越流時の水塊の鉛直落下により生じると考え、野口ら(1997)の実験式により堤防での越流量から法先部の洗掘深を算定した。破堤は、堤防背後地盤が堤体内の残留水位(T.P.+0.54m)まで洗掘された時点で堤防が崩壊し堤防高が背後地盤まで下がると仮定した。

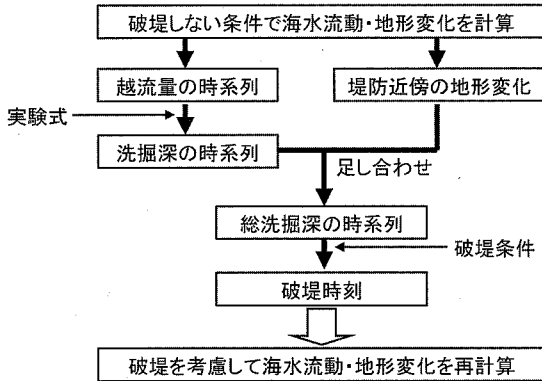


図-2 破堤を考慮した津波・地形変化計算

(2) 計算結果

図-3はケースB3における仁ノ工区堤防前面の水位・流速の計算結果である。水位は、地震発生から約30分後に最大値6.53m(地殻変動後)となり、その後も増減を繰り返している。しかし、水位最大時付近の押し波でしか越流しないため、その時だけ岸向きの流速が大きくなっている。このように、破堤を考慮しない場合、仁ノ工区では第一波しか越流せず、引き波による越流は生じない。一方、ケースB4では、地震発生から33分後に破堤し、図-4に示すように越流量の増大によって最高水位は5.39mに低下するが、第二波以降も押し波と引き波により流速が大きかった。なお、堤防沈下がわずかである新居工区では、越流が生じなかった。

図-5は各ケースの最高水位を示している。ケースA1では、最高水位は仁ノ工区や新居工区で7~8m、河口砂州の海側で6m程度に達したが、河道内では河口砂州の影響で5m以下であった。堤防沈下を考慮したケースA2では、越水が生じた仁ノ工区の堤防海側で最高水位がA1より1m程度下がった。さらに土砂移動も考慮したケースB3では、最高水位は河口砂州で1m程度低下する一方、河道内では若干上昇した。さらに破堤も考慮したケースB4では、仁ノ工区の堤内地で水位が上昇し、浸水域も若干広がった。

図-6は、各ケースの最大浸水深を示している。ケー

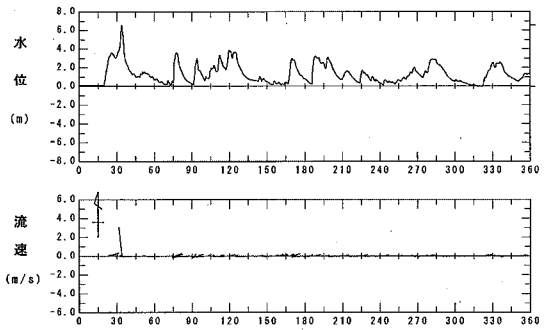


図-3 仁ノ工区堤防前面の水位・流速(ケースB3)

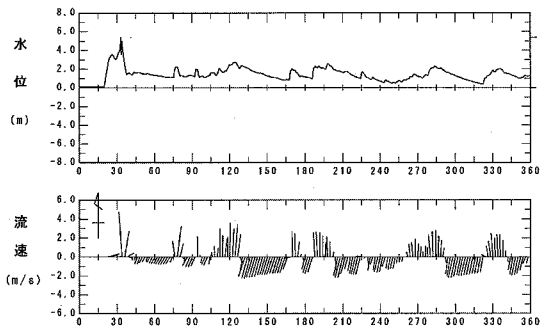


図-4 仁ノ工区堤防前面の水位・流速(ケースB4)

スA1では、最大浸水深は仁ノ工区や新居工区の堤防海側で6m以上となり、河口砂州の付け根や先端でも4m以上になった。堤防沈下を考慮すると(ケースA2)、堤内地の低いところで2m以上の最大浸水深となる。さらに土砂移動も考慮すると(ケースB3)、河口砂州の付け根や先端での浸水深が増大する。さらに破堤も考慮すると(ケースB4)、堤内地の最大浸水深が増大する。

各ケースの最大流速を図-7に示す。ケースA1では、押し波により河口砂州の陸側や河道の中心で、引き波により河口砂州の切れ目で5m/s以上の流速となった。仁ノ工区で越水が生じるケースA2では、堤内地での流速は押し波の時に最大となり、5m/sを上回る。ケースB3、B4に見られるように、地形変化や破堤も考慮することにより堤内地の流速は大きくなる。

図-8は土砂移動を考慮したケースでの地形変化量を示している。堤防の近傍では侵食し、堤内地では地盤高が低いところに堆積する傾向が見られる。また、押し波により河口砂州が上流側に移動し、引き波により砂州の切れ目や堤防越流箇所の上で堆積している。河口砂州の先端などでは、津波により地盤高は2m以上低くなる。

以上のように、堤防沈下や破堤は堤内地の浸水深、流速、地形変化を増大させる。

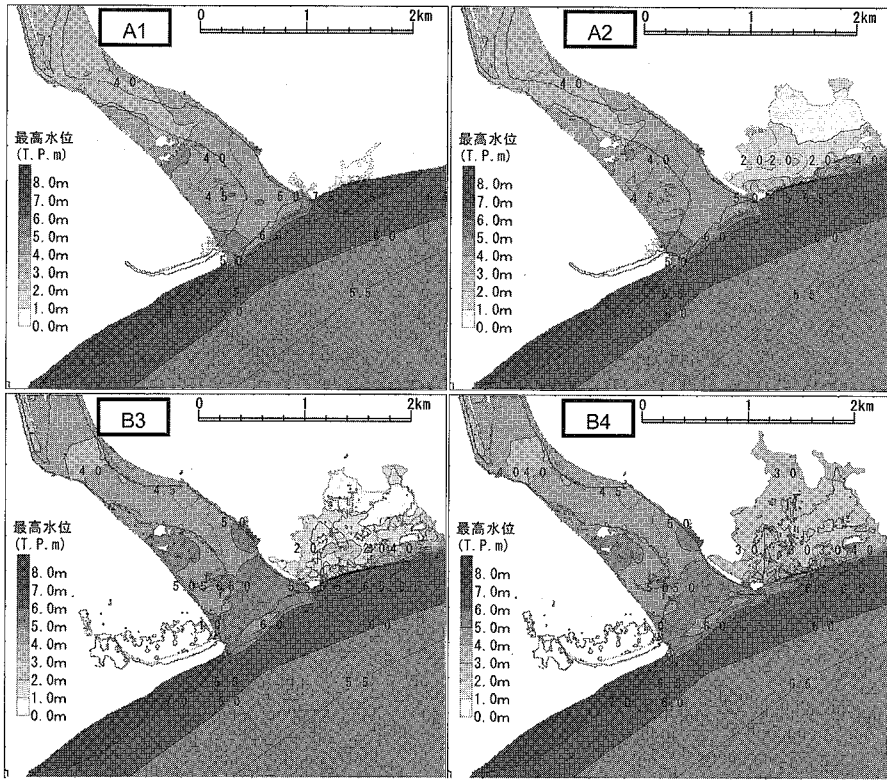


図-5 最高水位（四角内はケース番号）

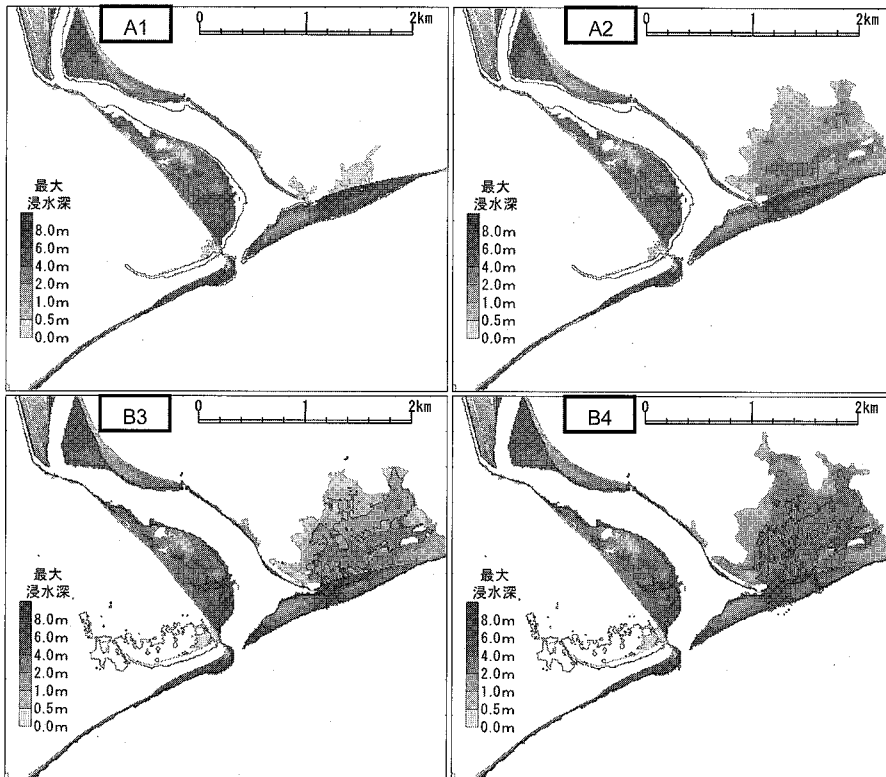


図-6 最大浸水深（四角内はケース番号）

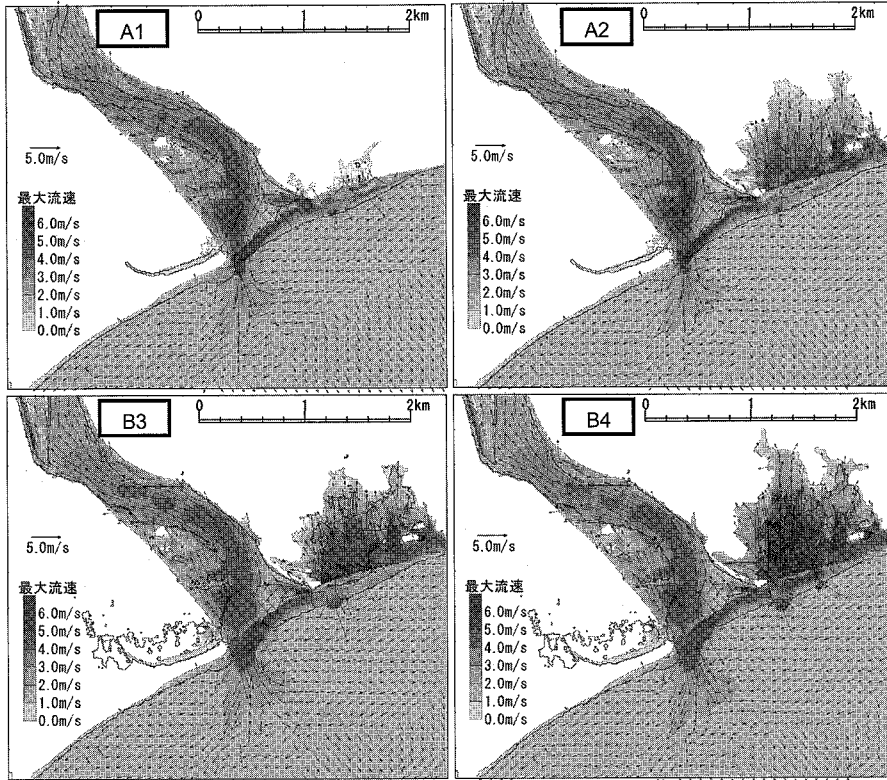


図-7 最大流速 (四角内はケース番号)

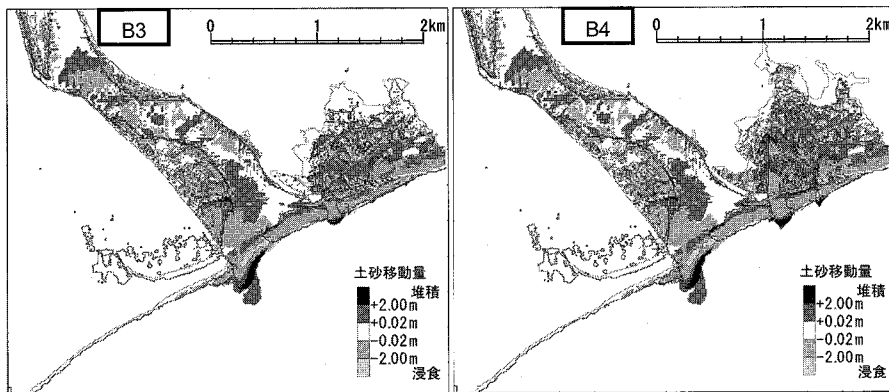


図-8 地形変化量 (四角内はケース番号)

3. 背後地被害の予測

(1) 予測方法

自治体や中央防災会議による津波被害想定の手法をレビューし、その代表的な被害関数を堤内地の被害予測に用いた。津波による建物被害の推定には、神奈川県等の被害関数(対象:木造建物,大破:浸水深4m以上,中破:同2~4m)と、静岡県など多くの自治体や中央防災会議「東南海・南海地震等に関する専門調査会」の被

害関数(表-2)を用いた。一方、津波による人的被害は、表-3に示す3種類の被害関数を用いて、建物被害や最大浸水深から推定した。神奈川県等の手法では、死者数は東南海地震、負傷者数は日本海中部地震の実績に基づいている。静岡県等の死者・負傷者数の算定式、中央防災会議の死者率は北海道南西沖地震の実績に基づいている。中央防災会議の手法については、普通地震と津波地震の違い、避難意識の高低を組み合わせて4つのケースを設定した。津波到達時間の関数である避難未完了率は、

地震発生からの経過時間で大きく変わるが、平均的な破堤時刻（地震発生から33分後）における値を採用した。なお、浸水域内の建物数は市販の住宅地図で数え、浸水域内の人口は各市町村の1世帯当たりの人口に浸水域の建物数を乗じて算定した。また、浸水域の木造家屋と非木造家屋の割合は、各市町村の公表値と同一とした。

表-2 建物被害の基準

被害区分	浸水深(H)	
	木造	非木造
床上(大破)	$2.0\text{ m} \leq H$	—
床上(中破)	$1.0\text{ m} \leq H < 2.0\text{ m}$	—
床上(軽微)	$0.5\text{ m} \leq H < 1.0\text{ m}$	$0.5\text{ m} \leq H$
床下浸水	$H < 0.5\text{ m}$	$H < 0.5\text{ m}$

(2) 予測結果

建物被害の予測戸数を図-9に示す。どのケースでも建物がある地点の浸水深が4m以下なので、神奈川県的手法で得られる中破棟数は静岡県等的手法で得られる大破棟数と一致する。そこで、静岡県等的手法の予測結果に着目すると、ケースA1では浸水建物は1棟だが、堤防沈下を考慮すること(ケースA2)により39棟が大破・中破に至り、土砂移動と破堤を考慮すると148棟が大破・中破となる(ケースB4)。堤防沈下や破堤による浸水深増大と浸水域拡大が建物被害に大きく影響している。

図-10は、表-3に示した各手法で得られた人的被害の予測結果である。神奈川県等的手法では死者はほとんど出ない。静岡県等的手法では、建物被害棟数の増大とともに死傷者数が増加し、破堤を考慮したケースB4では死傷者数は90人になった。中央防災会議的手法では、住民の避難意識が高いと、避難しようとする人の割合が高く、かつ避難未完了率が低くなるため、死者はほとんど出ない。一方、避難意識が低い場合には、津波地震時の避難未完了率が高いため、津波地震の死者は普通地震の2倍程度になる。このように、避難意識の向上による人的被害の軽減効果が読み取れる。なお、中央防災会議的手法で得られる死者数の最大値は、浸水深が大きいケースでは静岡県等的手法と比べて小さかった。

以上のように、背後地の人的・物的被害は、地震動による堤防沈下が生じると増大し、さらに破堤が発生すると著しく増大する。また、避難意識の高低が人的被害に大きく影響する。

表-3 人的被害の算定手法

手法	死者数	負傷者数
神奈川県等	$0.072 \times (\text{大破建物数} + 1/2 \times \text{中破建物数}) \cdot 1.018$	重傷者数: $1.074/10000 \times (\text{大破建物数} + 1/2 \times \text{中破建物数}) \cdot 1.961$ 軽傷者数: $4.510/10000 \times (\text{大破建物数} + 1/2 \times \text{中破建物数}) \cdot 1.961$
静岡県等	$0.0424 \times \exp\{0.1763 \times (\text{建物被害率})\} \times \text{人口}$ 【建物被害率 = $(\text{大破戸数} + 0.5 \times \text{中破戸数}) / \text{建物総数}$ 】	重傷者数: $0.0340 \times \text{建物被害率} \times \text{人口}$ 中等傷者数: $0.0822 \times \text{建物被害率} \times \text{人口}$
中央防災会議	避難しようとする人: 津波影響人口 × 避難未完了率 × 死者率 避難しない人: 津波影響人口 × 死者率 【死者率 = $0.0282 \times \exp(0.2328 \times \text{津波高さ})$ 】 【避難未完了率: 津波到達時間の関数で、普通地震と津波地震、避難意識により異なる】	設定なし

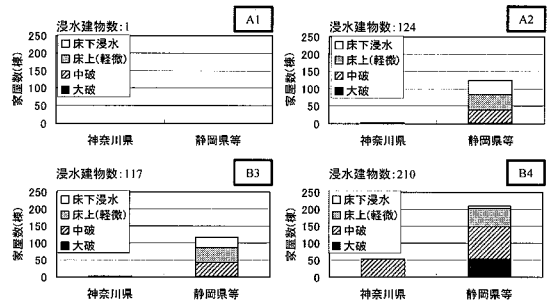


図-9 建物被害の予測結果

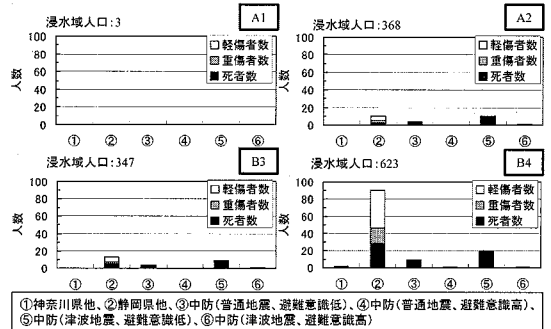


図-10 人的被害の予測結果

4. 結論

本研究の手法により、堤防の耐震化や破堤防止、避難意識の向上による人的・物的被害の軽減効果を定量的に評価できる。

本研究の実施に際し、四国地方整備局高知河川国道事務所より海岸堤防の耐震調査成果をお借りした。ここに記して謝意を表します。

参考文献

首藤伸夫(1988):津波災害の変遷と対策上の問題点, 第35回海岸工学講演会論文集, pp. 237-241.
 高橋智幸・今村文彦・首藤伸夫(1992):土砂移動を伴う津波計算法の開発, 海岸工学論文集, 第39巻, pp. 231-235.
 野口賢二・佐藤慎司・田中茂信(1997):津波遡上による護岸越波および前面洗掘の大規模実験, 海岸工学論文集, 第44巻, pp. 296-300.
 渡辺 晃・丸山康樹・清水隆夫・榊山 勉(1984):構造物設置に伴う三次元海浜変形の数値予報モデル, 第31回海岸工学講演会論文集, pp. 406-410.