

◆特集：自然災害リスクの評価と軽減◆

土木施設の被災を考慮した地震・津波の被害想定

日下部毅明* 福濱方哉** 加藤史訓*** 片岡正次郎**** 長屋和宏*****

1. はじめに

わが国は地震多発国であり、海域のプレート境界ではマグニチュード8クラスの巨大地震も度々発生していることから、地震は言うに及ばず、太平洋岸を中心に古くから津波の脅威にもさらされてきた。地震・津波被害の軽減には、将来発生が予想される地震・津波の被害を事前に予測しておくこと、すなわち被害想定を実施し、それに基づいた対策を行うことが有効である。特に、地震発生後数分～数時間で沿岸地域に到達する津波に対しては、限られてはいるものの避難・緊急活動のための時間的余裕があることから、揺れを感じた直後にどう行動するかを事前に検討しておくためにも、被害想定は不可欠である。

地震・津波の被害想定は、中央防災会議や各自治体においても実施されているが、個々の海岸施設や道路施設が津波によって被災する可能性やその程度は評価されていない。これはわが国で近代的な土木施設が津波により被災した事例が少なく、津波衝突時に作用する力や施設の被災形態が明らかにされていないためと考えられる。実際には海岸施設や道路施設の被災により、浸水域が拡大したり、避難・緊急活動に障害が生じたりすることが予想されるため、これら土木施設の被災を考慮した被害想定を策定して初めて、不測の事態に陥らないような対策・対応をとることが可能になるといえる。

以上のような背景から、本報文では、海岸施設と道路施設それぞれの被災を考慮した地震・津波被害想定について、手法の概要とケーススタディの結果を示す。

2. 海岸堤防と地形の変状を考慮した背後地の被害想定

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。津波によ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。

2.1 手法の概要

図-1のように、津波シミュレーションでは、津波の初期波形は断層のすべり量をもとに与えられ、地形等の影響を考慮して浸水深や流速が算定される。その過程において、地震による地盤高変化や堤体沈下が影響する。また、沿岸部での津波の挙動は破堤や地形変化との間で相互に影響を及ぼす。堤内地の建物被害や人的被害は、津波シミュレーションで得られた浸水や流速から推定することができる。これらに対し、堤防の耐震対策や耐津波対策は堤体沈下や破堤を防ぐものであり、ハザードマップなどのソフト対策は堤内地の被害を低減するものである。このような被害発生過程をふまえ、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、高知県仁淀川河口周辺を対象としたケーススタディを通じて検討した。

津波による海岸堤防の被災機構は、図-2のように、波力によるものと洗掘によるものに大別さ

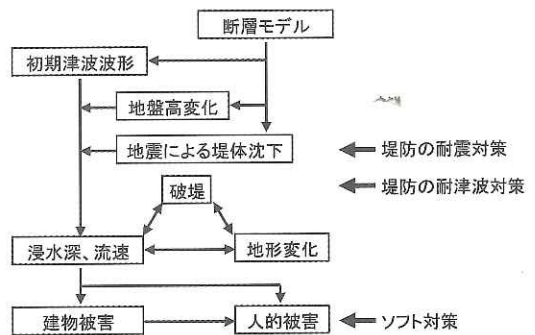


図-1 破堤などを考慮した津波被害想定と対策

Scenarios of Earthquake and Tsunami Disaster Including Damage to Public Works

れる。波力による被災については、海岸での想定津波高から波力を求め、堤体の滑動・転倒や上部工の破断等を照査する。津波の波力算定式は実験に基づいていくつか提案されているが、堤防の設置位置（砂浜の有無）や被災形態（衝撃波圧による部材の破断、準静的な波圧による転倒・滑動など）などを考慮して選定する必要がある。一方、洗掘による被災は、越流量から実験式¹⁾により堤防のり先の洗掘量を求め、その地盤が堤体土の残留水位より下がった時点で破堤するものと仮定した。

2.2 浸水深の評価

図-3は、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、地震動による堤防沈下、津波による地形変化、洗掘による破堤を考慮した仁淀川河口周辺の津波シミュレーションで得られた最大浸水深を示している。堤防沈下量は、地殻変動量（対象海岸では2m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（マグニチュード8.6）の地震外力をレベル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。堤防沈下が予想された河口左岸側の海岸堤防では破堤が延長約0.8kmに渡って生じ、その後背地に浸水深2m以上の領域が広がっている。また、破堤箇所海側の砂浜では、流れの集中により侵食さ

れる箇所でも局所的に浸水深が大きくなっている。一方、右岸側は、堤防がほとんど沈下しないため越流に至らず、破堤が生じていない。津波の河川遡上を低減する河口砂州では、引き波による流れが集中して侵食される砂州の先端周辺で浸水深が大きい。

2.3 人的被害の評価

津波による人的被害は、表-1に示す3種類の被害関数を用いて、建物被害（木造建物：浸水深2m以上で大破、浸水深1~2mで中破）や最大浸水深から推定した。中央防災会議の手法については、普通の地震と津波地震（震度が小さい割に津波が大きい地震）、避難意識の高低を組み合わせる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。図-4は各手法で予測された人的被害を、堤防沈下・地形変化・破堤を全て考慮した場合（B4）とともに、他の条件（A1：堤防沈下なし・地形変化なし・破堤なし、A2：堤防沈下のみ考慮、B3：堤防沈下・地形変化を考慮）についても示している。

神奈川県等の手法では死者はほとんど出ない。

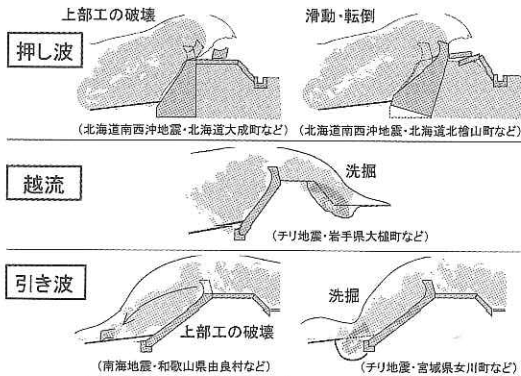


図-2 津波による海岸堤防の被災機構

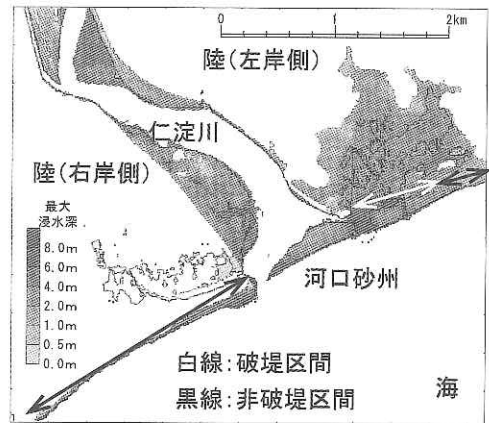


図-3 最大浸水深

表-1 人的被害の算定手法

手法	死者数	負傷者数
神奈川県等 ²⁾	$0.072 \times (\text{大破建物数} + 1/2 \times \text{中破建物数}) \sim 1.018$	重傷者数: $1.074/10000 \times (\text{大破建物数} + 1/2 \times \text{中破建物数}) \sim 1.961$ 軽傷者数: $4.510/10000 \times (\text{大破建物数} + 1/2 \times \text{中破建物数}) \sim 1.961$
静岡県等 ³⁾	$0.0424 \times \exp[0.1763 \times (\text{建物被害率})] \times \text{人口}$ 【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 ⁴⁾	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

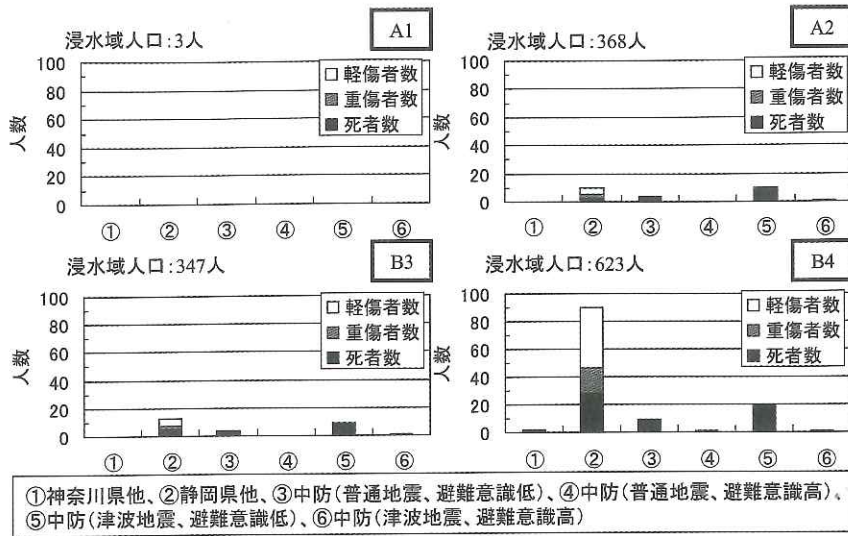


図-4 人的被害の予測結果

静岡県等の手法では、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B4の死傷者数は90人になった。中央防災会議の手法では、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、中央防災会議の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の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。このように、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。

3. 道路施設の被災を考慮した被害想定

道路ネットワークは地震・津波災害時にも、沿岸部からの避難や救助等の緊急活動、ライフラインの復旧活動を支える交通基盤として機能することが期待されている。しかしながら、全ての道路施設に直ちに補強等の対策を実施することは困難である。また、道路施設そのものは被災を免れたとしても浸水等により通行障害が発生する場合があるため、これら種々の可能性を考慮した上で、

地震発生からどの程度の時間、どの区間が通行可能なのかを予め把握しておく必要がある。

ここでは高知県須崎市域を対象として、南海地震（マグニチュード8.4）発生時の道路施設の被災を考慮した被害想定のカーススタディを実施した。

3.1 手法の概要

地震・津波時には、種々の要因で道路ネットワークに機能障害が生じる可能性があるが、ここでは橋梁と盛土の地震・津波による被災ならびに浸水を考慮する。南海地震発生時の地震動強さと津波浸水深の分布は、高知県が実施した調査の結果^{5),6)}を用いる。

3.1.1 道路橋の被災度評価

地震時の道路橋の被災度評価には、既往の震災データに基づいて提案された、当該地点での地震動強さと各橋梁の基本的な諸元から被災度（A：大被害，B：中被害，C：小被害）を簡便に推定する手法を用いる⁷⁾。

また、津波による道路橋の被災度評価には図-5のフローを用いる。これは以下のような考えに基づくものである。

①津波衝突時の衝撃波力やそれに対する支承の耐力の評価が困難である⁸⁾ため、橋桁を越流すれば支承が損傷するという簡便な評価を採用した。ただし、平成8年以降の道路橋示方書を適用したものについては、兵庫県南部地震相当の地震力を考慮して耐震設計され、相当大きな耐力を有していることから、津波の衝突に対しても十分な耐力を有しているものとする。

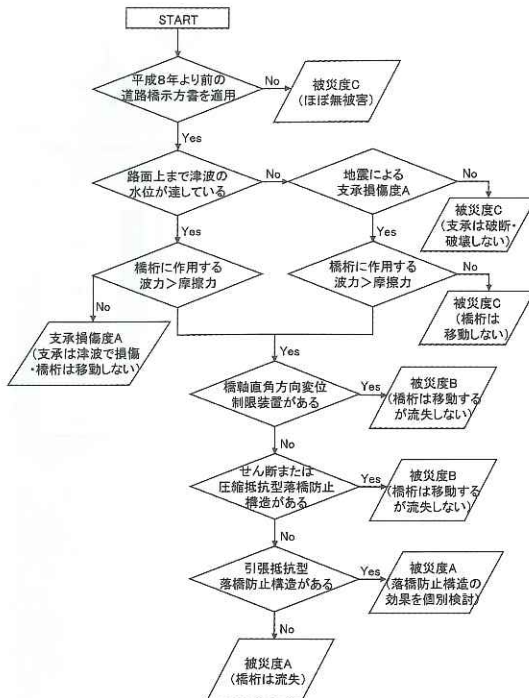


図-5 桁橋形式の道路橋の津波被災度評価フロー (試案)

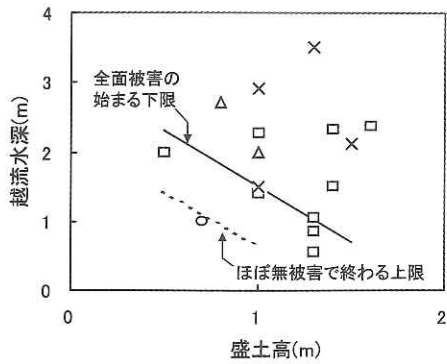
② 支承が損傷する場合、橋桁が流失するか否かの判定を行う。津波衝突時に橋桁に作用する水平抗力(港湾基準の式⁹⁾で評価できる⁸⁾が摩擦力(橋桁の水中重量×摩擦係数)よりも大きい場合、橋桁が流失する可能性がある^{と判定する}。ここで摩擦係数は、既往の実験結果より0.6とする¹⁰⁾。

③ 橋桁が流失する可能性がある場合、橋軸直角方向変位制限装置あるいは落橋防止構造の有無で被災度を判定する。これは、2004年スマトラ島沖地震による津波の際にバンダアチェ市周辺で見られた、橋桁の橋軸直角方向への移動を防ぐ拘束機構が橋桁の流失を防止した事例¹¹⁾を考慮したものである。

上記の通り地震・津波による被災度評価を行い、その結果をもとに走行性を判定する。走行性aは構造的に問題があるため短期間での通行は不可能、走行性bは構造的に問題なく1~2日程度の段差修正で通行可、走行性cは無補修あるいは軽微な段差補修で通行可、と定義している。ある道路橋について被災度Aの箇所があれば走行性aとし、そうでない場合は支承と橋台背面土の状態を勘案して走行性を判定する。

3.1.2 道路盛土の被災度評価

地震時の道路盛土の被災については、当該地点



○冠水のみ □部分破壊 △大部分破壊 ×全面破壊
図-6 津波の越流による盛土の被災基準¹³⁾

での震度と平成8年道路防災総点検の評価点数から沈下量を推定し、過去の盛土の被害事例等を勘案して、沈下量が1mを上回る盛土については詳細な検討が必要と判定する¹²⁾。また、津波による道路盛土の被災は、17の道路および鉄道堤の被災事例から整理された被災基準¹³⁾により評価する。図-6はこの基準とデータを示しているが、盛土高が大きくなるほど許容される越流水深が小さくなる被災基準となっている。このため、データがない盛土高1.6m以上の場合には、越流すれば全面被害(全面破壊または大部分破壊)が発生すると判定する。図-6の横軸は築堤高であり、地震による沈下は考慮されていないため、ここでも盛土高としては地震による沈下を考慮しない値を用いる。

橋梁取付盛土部についても、上記の地震・津波による被災度評価を行い、その結果は橋梁の走行性判定において考慮する。

3.1.3 浸水区間の評価

前述のように、津波浸水深は高知県の調査結果を用いるが、道路の路面の高さは周辺地盤と同一ではないため、浸水区間の正確な把握には路面高が必要となる。ここでは四国地方整備局が国道55号と56号(高知県内のみ)を対象に、100m間隔の測量により整備した路面の標高を用いて浸水区間を評価する。

3.2 地震・津波被害想定マップの試作

以上の被災度および浸水区間の評価結果を地図上に示し、地震・津波被害想定マップを試作したものが図-7である。被災度評価に用いた各施設の諸元は平成8年道路防災総点検の結果に基づいており、現在は耐震補強等がさらに進められている場合がある。道路橋の走行性は地震と津波によ



図-7 南海地震・津波による須崎市域の道路施設の被害想定マップ (試作版)

る被災をまとめて判定することも可能であるが、ここでは別々に判定した結果を示している。津波が路面に達しない道路橋には、津波による被災度を示していない。また被災度や浸水区間に加えて、地震・津波対策計画を立案する上で参考となる橋梁の補強状況や津波到達時間、浸水域、庁舎や病院の位置なども記載している。

図から、この地域では地震による走行性がaと判定されている橋梁が3つあり、そのうち2つは

浸水域に位置していることから、緊急・復旧活動に支障が生じる可能性があることが分かる。津波による走行性がcと判定されている2つの橋梁は、津波の衝突で支那が損傷すると評価されたものである。そのうち1つは橋桁に作用する波力が摩擦力を上回るため橋桁が移動するものの、落橋防止構造により橋桁の流失には至らないと評価されており、もう1つは波力が摩擦力を上回らないため橋桁は移動しないと評価されている。この地域で

は津波によって橋桁が流失する橋梁や、詳細な検討が必要な盛土はなかったが、別の地域で行った同様のケーススタディではそういった評価結果も得られている。

このような被害想定マップを準備しておくことにより、被害の軽減に特に有効な補強箇所、効率的な緊急・復旧活動のための事前の計画、道路利用者への情報提供方法などを具体的に検討することができるようになる。

4. まとめと今後の課題

本報文では、海岸施設と道路施設の被災を考慮した地震・津波被害想定について、手法の概要と仁淀川河口周辺ならびに須崎市域を対象としたケーススタディの結果を示した。

今後は、海岸施設と道路施設だけでなく、港湾、河川施設の被災や漂流物の影響を考慮した総合的な被害想定マップの作成手法を確立するとともに、地震・津波対策方法とその効果を整理し、被害想定マップをもとにした対策計画立案手法を検討していく予定である。

謝 辞

高知県総務部危機管理課には地震動および津波推定結果の数値データを、また四国地方整備局ならびに土佐国道事務所には所管施設に関するデータをご提供頂いた。末筆ながら深く謝意を表する次第である。

参 考 文 献

- 野口賢二、佐藤慎司、田中茂信：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, 1997.
- 神奈川県：神奈川県地震被害想定調査手法偏報告書、2000.
- 静岡県：第3次地震被害想定結果、2002.

- 中央防災会議：日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に係る被害想定手法について、<http://www.bousai.go.jp/jishin/nihonkaikou/17/siryoul.pdf>, 2006.
- 高知県：第2次高知県地震対策基礎調査、<http://www.pref.kochi.jp/~shoubou/sonaetgood/research/report.html>, 2004
- 高知県：高知県津波防災アセスメント補完調査報告書、2005.
- 小林 寛、運上茂樹：大地震時における道路橋の被災度推定手法、土木技術資料、Vol. 47, No. 12, pp. 48-53, 2005.
- 片岡正次郎、日下部毅明、長屋和宏：津波衝突時に橋桁に作用する波力、第12回日本地震工学シンポジウム、2006 (投稿中) .
- (社)日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説、1999.
- Rabbat, B. G. and Russell, H. G.: Friction coefficient of steel on concrete or grout, J. Struct. Eng., ASCE, Vol. 111, No. 3, pp. 505-515, 1985.
- 松尾 修、運上茂樹、日下部毅明、片岡正次郎：スマトラ島沖地震による道路構造物の被害概要速報、土木技術資料、Vol. 47, No. 5, pp. 10-11, 2005.
- 土木研究所：道路盛土の簡易耐震性評価法 (案)、2003.
- 首藤伸夫：津波来襲直後の陸上交通障害について、津波工学研究報告、Vol. 14, pp. 1-31, 1997.

日下部毅明*



国土交通省北海道開発局留萌開発建設部次長 (前 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 地震防災研究室長)
(Takaaki KUSAKABE)

福濱方哉**



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
(Masaya FUKUHAMA)

加藤史訓***



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
(Fuminori KATO)

片岡正次郎****



国土交通省国土技術政策総合研究所危機管理技術研究センター地震防災研究室主任研究官、工博
(Shojiro KATAOKA)

長屋和宏*****



国土交通省国土技術政策総合研究所危機管理技術研究センター地震防災研究室研究官
(Kazuhiro NAGAYA)