

道路施設の地震・津波被害想定と 対策検討への活用方針

片岡 正次郎¹・鶴田 舞²・長屋 和宏²・日下部 毅明³・小路 泰広⁴

¹国土交通省国土技術政策総合研究所地震防災研究室 主任研究官 (〒305-0804 つくば市旭 1 番地)

E-mail:kataoka-s92rc@nilim.go.jp

²国土交通省国土技術政策総合研究所地震防災研究室 研究官 (〒305-0804 つくば市旭 1 番地)

³国土交通省 北海道開発局留萌開発建設部 次長 (元 国土技術政策総合研究所地震防災研究室 室長)
(〒077-8501 北海道留萌市寿町1-68)

⁴国土交通省国土技術政策総合研究所地震防災研究室 室長 (〒305-0804 つくば市旭 1 番地)

地震・津波被害の軽減には、将来発生が予想される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。本研究では、道路施設の地震・津波被害想定を実施するために利用可能な被災度評価手法を整理し、模型実験の結果等をもとに道路橋の津波被災度評価手法を提案した。これらの手法を活用するとともに、道路の浸水区間と道路上に堆積する倒壊家屋の瓦礫量および漁船の漂着可能性を評価し、南海地震・津波を対象とした道路施設の被害想定を実施した。また、地震・津波被害想定結果をもとに、道路管理者等が対策を検討するための考え方を示した。

Key Words : tsunami, disaster scenario, road facility, disaster measures

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。

道路は地震・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等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し、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。したがって、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

予め把握しておくことが望ましい。

一方、中央防災会議や各自治体において実施されている地震・津波の被害想定では、個々の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橋梁などの道路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。

以上のような背景から、本研究ではまず、被害想定に適用可能な道路施設の地震・津波被災度評価手法を整理する。道路橋の津波被災度については、実用的な評価手法がないため、模型実験の結果等をもとに新しく提案する。これらを南海地震・津波を対象とした被害想定に適用し、道路施設の被害想定マップを試作するとともに、その結果をもとに道路管理者がどのような方針で対策を検討すべきか、その考え方を示す。

2. 道路施設の被災度評価手法

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動・津波波力による被災、ならびに浸水と道路上

への漂流物（家屋倒壊による瓦礫、漁船）の影響を考慮する。実際にはこの他にも、橋梁・盛土以外の道路施設や沿道構造物の被災、泥土・流木等の堆積、火災、渋滞等によって通行障害が発生する可能性がある。

南海地震発生時の地震動強さと津波浸水深の分布は、高知県が現在の地形や土地利用状況をもとに、1854年安政南海地震（マグニチュード8.4）相当の地震を想定して実施した調査の結果^{1),2)}を用いる。高知県は南海地震の震源域についていくつかのパターンを想定しているが、そのうちの1つを図-1に示す。高知市や須崎市は断層運動により地盤が60cm程度沈降する領域に位置しており、津波浸水深の増大が想定される。

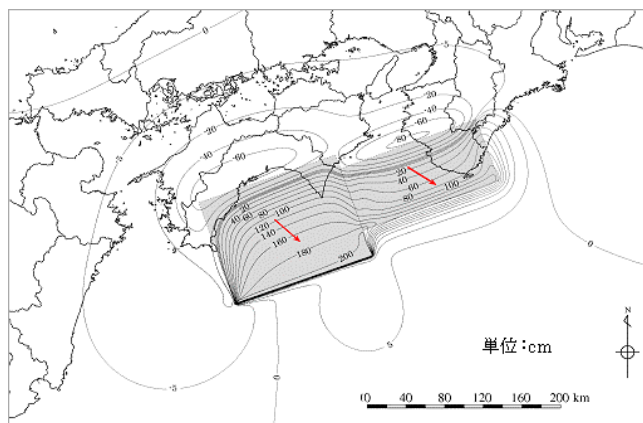


図-1 南海地震の震源域²⁾

（数字は断層運動にともなう地盤の鉛直変動量）

(1) 道路橋の地震被災度評価

地震による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を簡便に推定する手法を用いる³⁾。この手法は、まず構造被災度を図-2のようなフローで推定し、次にその結果と橋台背面土および支承の状況をもとに走行性を図-3のフローで判定するものであり、図中にあるように、必要に応じてチェックシートや判定表を参照する。構造被災度の定義は以下の通りである⁴⁾。

A: 大被害…耐荷力の低下に著しい影響のある損傷を生じており、落橋等致命的な損害の可能性がある場合

B: 中被害…耐荷力の低下に影響のある損傷であり、余震や活荷重等による被害の進行がなければ、当面の利用が可能な場合

C: 小被害…短期間には耐荷力の低下に影響のない場合

また、走行性の定義は以下の通りである。

a: 構造的に問題があるため短期間での通行は不可能

b: 構造的に問題なく1～2日程度の段差修正で通行可

c: 無補修あるいは軽微な段差補修で通行可

ここでは、平成8年度道路防災総点検のデータと竣工図をもとに、評価に必要なデータを整理した。

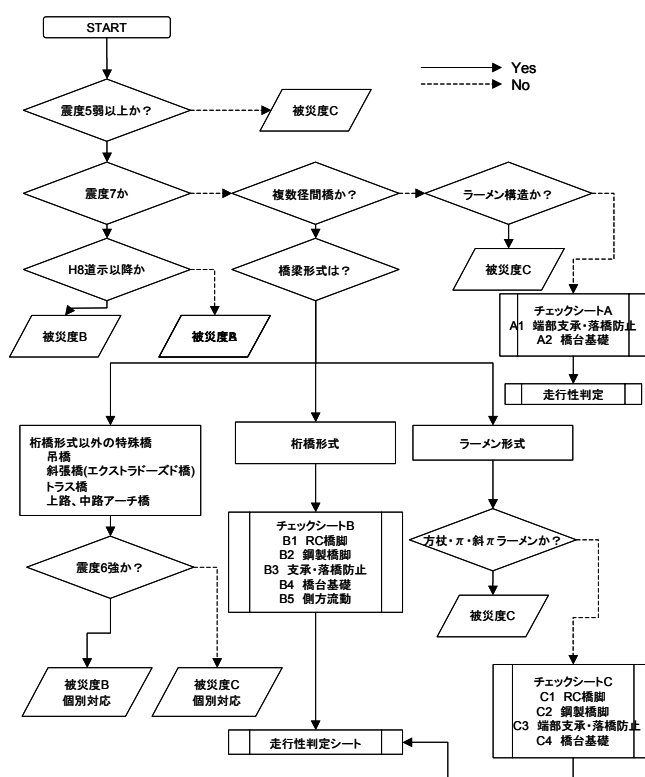


図-2 地震による道路橋の構造被災度の推定フロー³⁾

(2) 道路橋の津波被災度評価

実用的な道路橋の津波被災度評価手法は提案されていないため、今回新しく提案する手法を用いる。

まず、水路と橋桁模型（縮尺1/18）を用いた実験（写真-1）を行い、津波を模擬した孤立波が橋桁模型に衝突する際の波力を計測した⁵⁾。実験で得られた波力の時刻歴の例を図-4に示すが、水平成分、上下成分ともに、波が衝突した直後にかかなり大きい衝撃波力が作用し、その後、ほぼ定常であるが漸減する抗力が作用している。検討の結果、衝撃波力は波が橋桁模型の付近で砕波するか否かに大きくされることが、橋桁の流失可能性の評価には

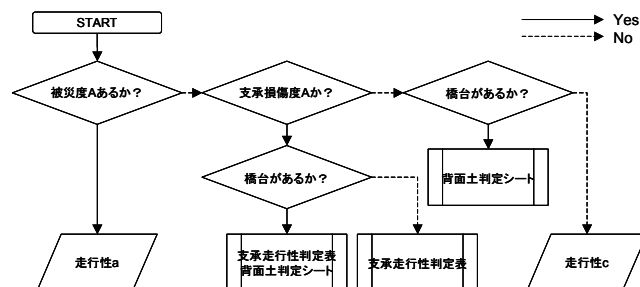


図-3 道路橋の走行性の判定フロー³⁾

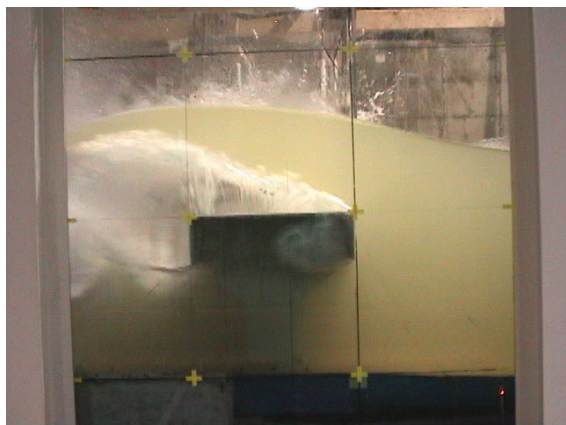


写真-1 橋桁模型に衝突する孤立波⁵⁾

水平抗力を考慮する必要があること、水平抗力は港湾基準の式⁶⁾により安全側の評価が可能であることなどが分かった⁵⁾。港湾基準の式は図-5のように、津波波高から高さ方向の圧力分布を与える簡便な式である。

この結果を参考に、図-6に示すような道路橋の津波被災度評価フローを作成した。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⁵⁾ため、橋桁を越流すれば支承が損傷すると評価する。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。

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（港湾基準の式で評価⁵⁾）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して判定する。ここで摩擦係数は、既往の実験結果より0.6とする⁷⁾。

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⁸⁾を考慮したものである。

④地震被災度評価と整合を図るため、被災度の定義は(1)で述べたとおりとする。

上記の通り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。津波による走行性判定フローは図-3と同じであるが、背面土判定シートとして図-7を用いる部分が地震とは異なる。図-7中にある盛土被災度の評価には、次の(3)で述べる手法を用いる。

①で述べたように、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ている。この妥当性を検討す

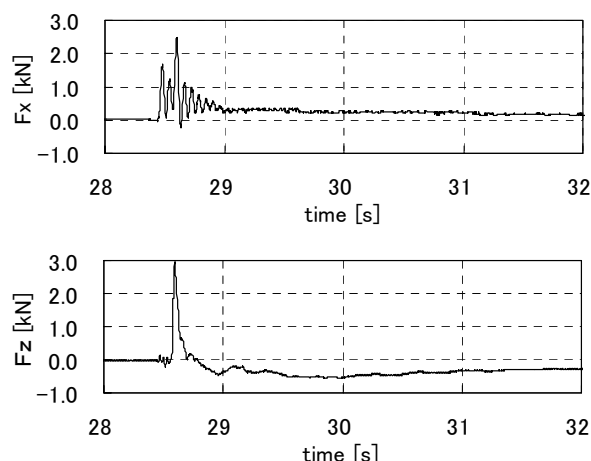


図-4 橋桁に作用する波力の時刻歴⁵⁾
(上：水平成分，下：上下成分)

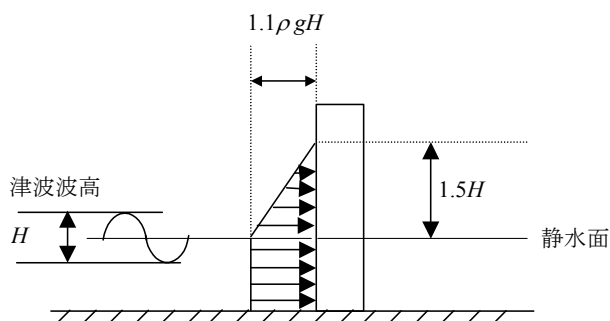


図-5 港湾基準における津波波力の算定式⁶⁾

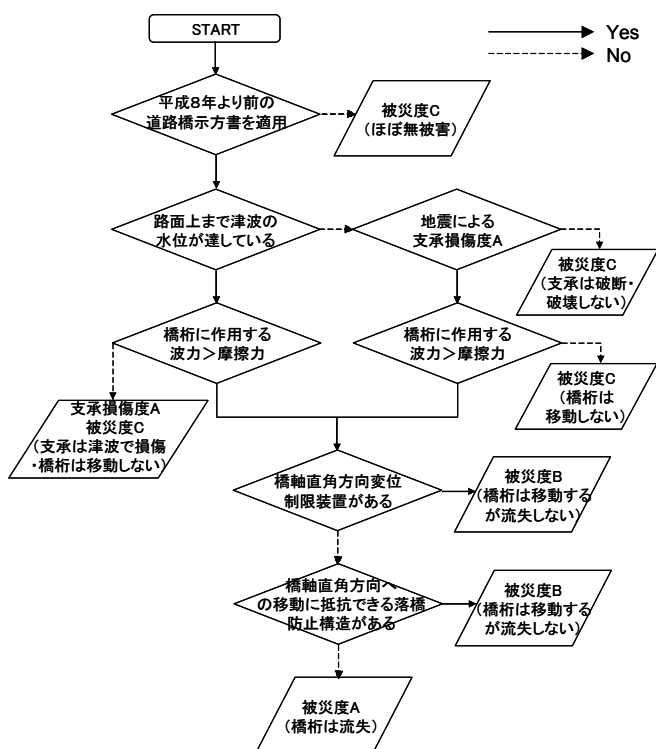


図-6 桁橋形式の道路橋の津波被災度評価フロー

るために、道路橋を1自由度系にモデル化し、実験で得られた波力を実物大に換算（圧力を18倍、時間軸を $18^{0.5}$ 倍）したものを入力する非線形動的解析を実施した。その結果、津波が橋梁付近で砕波しない場合には問題はないが、砕波する場合の波力を入力すると、橋桁をぎりぎり越流しない波高でも、平成8年より前の道路橋示方書に基づいて設計された固定支承は損傷する可能性があることが分かった。また、波高の高い（実物大に換算して10m以上）津波が橋梁付近で砕波する場合の波力を入力して同様に非線形動的解析を実施した結果、平成8年の道路橋示方書に基づいて設計されたゴム支承も損傷する可能性があることが分かった。これらに加えて、地震動による損傷や漂流物の衝突なども被災度に影響する場合があると考えられる。以上のことから、図-6の津波被災度評価フローにより、個々の道路橋の被災危険性はある程度評価できると考えられるものの、実際の被災度はそれよりも高くなる可能性もあることに十分留意する必要がある。

ここでは平成8年度道路防災総点検のデータ、竣工図および橋梁ごとに計測した路面の標高と桁高をもとに、評価に必要なデータを整理した。

(3) 道路盛土の地震被災度評価

地震動による道路盛土の被災については、当該地点での震度が震度6弱以上の場合、平成8年度道路防災総点検の評価点数 p と換算水平震度 k_h から、次式により沈下量 d [m]を推定する⁹⁾。これは、盛土の水平載荷シミュレーション結果に基づく簡易式である。

$$d = 0.165(p - 2) \cdot k_h^{0.6} \quad (1)$$

ここで、換算水平震度 k_h は当該地点での震度が6弱、6強、7の場合、それぞれ0.4、0.6、0.8とし、過去の盛土の被害事例等を勘案して、推定沈下量が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⁹⁾。

(4) 道路盛土の津波被災度評価

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¹⁰⁾により評価する。

図-8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。

橋台背面盛土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。

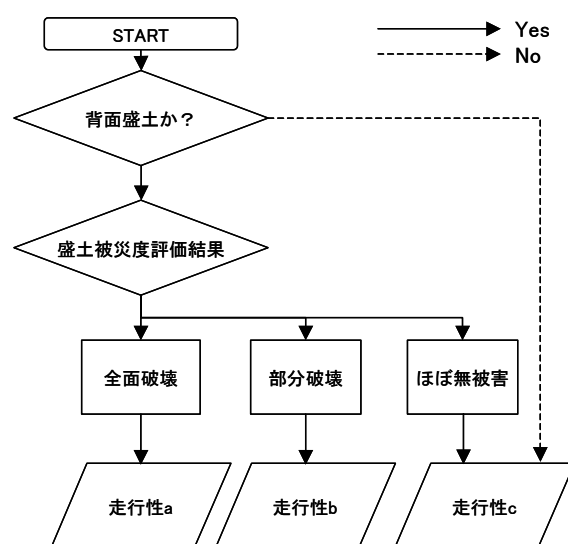
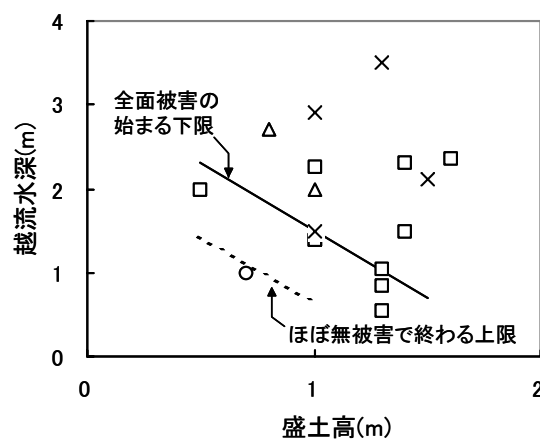


図-7 津波走行性判定に用いる背面土判定シート



×全面破壊 △大部分破壊 □部分破壊 ○冠水のみ

図-8 津波の越流による盛土の被災基準¹⁰⁾

(5) 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、最大浸水深が路面高（＝路面の標高－周辺地盤の標高）より大きい区間を浸水区間と評価する。

(6) 漂流物の評価

漂流物として家屋倒壊による瓦礫と漁船を考慮し、図-9のフローで道路上に堆積する瓦礫量と漁船が漂着する可能性を評価する。

道路上に堆積する瓦礫量は、次の手順で算定する。

①浸水域内の木造・非木造建物数を計測震度ごと、浸水深ごとに算出

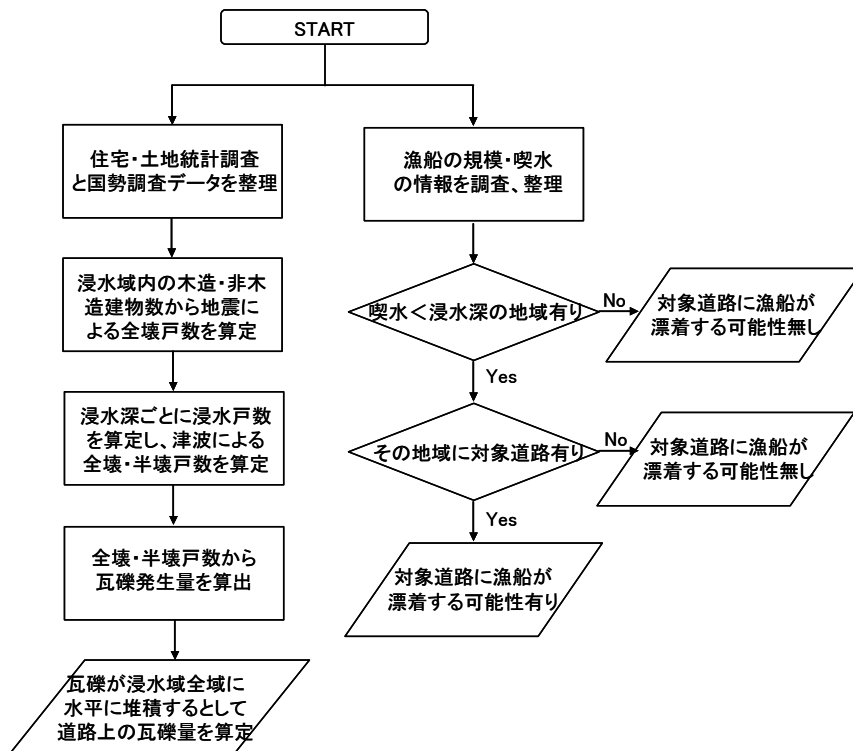


図-9 漂流物（家屋倒壊による瓦礫，漁船）の評価フロー

②計測震度と建物被害率の関係¹¹⁾から木造・非木造建物それぞれの地震による全壊棟数を算出

③地震による全壊棟数を除いた木造建物を対象に、津波による全壊・半壊棟数を算出（浸水深が2m以上であれば全壊、1m以上2m未満であれば半壊と評価¹²⁾）

④地震と津波による全壊・半壊棟数を合わせた建物被害棟数（全壊棟数+0.5×半壊棟数）と1棟あたり床面積から被害面積を算出し、面積当たり瓦礫重量（木造は0.6[t/m²]、非木造は1.0[t/m²]）から瓦礫重量を算出、さらに瓦礫体積に換算（木造は1.9[m³/t]、非木造は0.64[m³/t]を用いる）¹¹⁾

⑤発生した瓦礫は浸水域全域に水平に同じ厚さで堆積するとして、道路上の瓦礫量を算定（ただし道路上に堆積する瓦礫の高さはその地点の最大浸水深を上回らないとする）

ここでは国勢調査のメッシュデータから浸水世帯数を算出し、住宅・土地統計調査の1世帯あたり住宅数から浸水棟数を算定する。また、個別に木造と非木造に分類してそれぞれの建物数を算定することは困難であるため、住宅・土地統計調査で市町村ごとに整理されている木造建物と非木造建物の比率により①の木造・非木造建物数を算出した。

漁船の漂着可能性については、漁船の規模と喫水を調査し、喫水よりも浸水深が大きく、対象とする道路が存在する地域では、その道路に漁船が漂着する可能性があると評価する。個々の漁船の喫水については情報が得ら

れなかったため、ここでは漁船の規模から推定される喫水の最小値¹³⁾を用いる。

なお、漁船は通常、漁港では係留されている場合が多いと考えられるが、天候により必ず係留されているとは限らないことや、沖への避難中に津波が来襲する可能性もあり、ここでは係留ロープが破断するかどうかといった判断は行っていない。ただし、より正確に漂着可能性を評価したい場合には、このような判断も必要になると考えられる。

3. 南海地震・津波被害想定マップの試作

四国地方整備局土佐国道事務所管内（高知県内の国道32号、33号、55号、および56号の一部）を対象に、2.で示した手法により道路施設の被害想定を実施した。また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。ここでは例として、須崎市とその周辺を図-10に示す。ただし、橋梁の補強実施状況（橋脚補強・落橋防止）は、平成8年以降の道路橋示方書を満足する対策の実施状況を表すものであり、「緊急輸送道路の橋梁耐震補強3箇年プログラム」¹⁴⁾の実施状況とは一致しない部分もある。

道路橋の走行性については、地震と津波による被災、また橋梁本体と取付盛土の被災をまとめて評価することも可能であるが、ここでは別々に評価した結果を示して

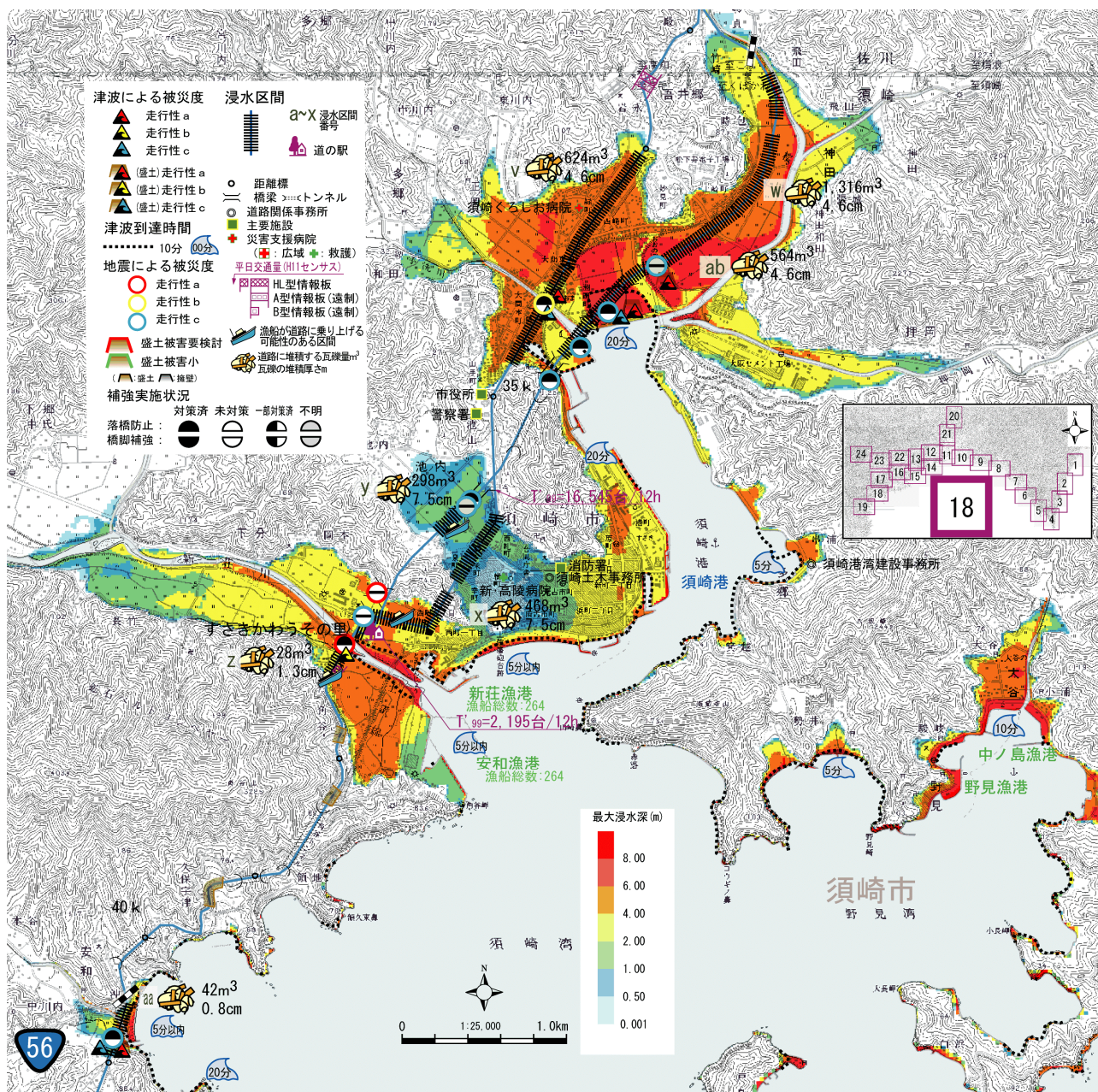


図-10 南海地震・津波による須崎市域の道路施設の被害想定マップ (試作版)

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、漂流物の評価結果に加えて、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2橋、津波による走行性が a と判定されている橋梁が3橋あり、後者はいずれも取付盛土の全面被害によるものである。これらの道路橋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。この地域では津波によって橋桁が流失すると評価される道路橋はなかったが、別の地域ではそういった評価結果も得られている。

また、この地域では道路の浸水区間における瓦礫の堆

積厚さはそれほど顕著ではないが、一部の区間では漁船の漂着可能性があるため、緊急車両等の通行障害となるおそれが指摘される。このような障害の防止には、漁港関係者の協力が不可欠である。

4. 被害想定結果の活用方針

このような被害想定マップを準備しておくことにより、例えば道路管理者を対象とした場合には、防災訓練の実施、道路利用者等への情報提供、避難路・避難場所、効率的な緊急・復旧活動のための事前の計画、被害の軽減に特に有効な補強箇所や代替路などを具体的に検討することができるようになる。このうち、情報提供や避難路

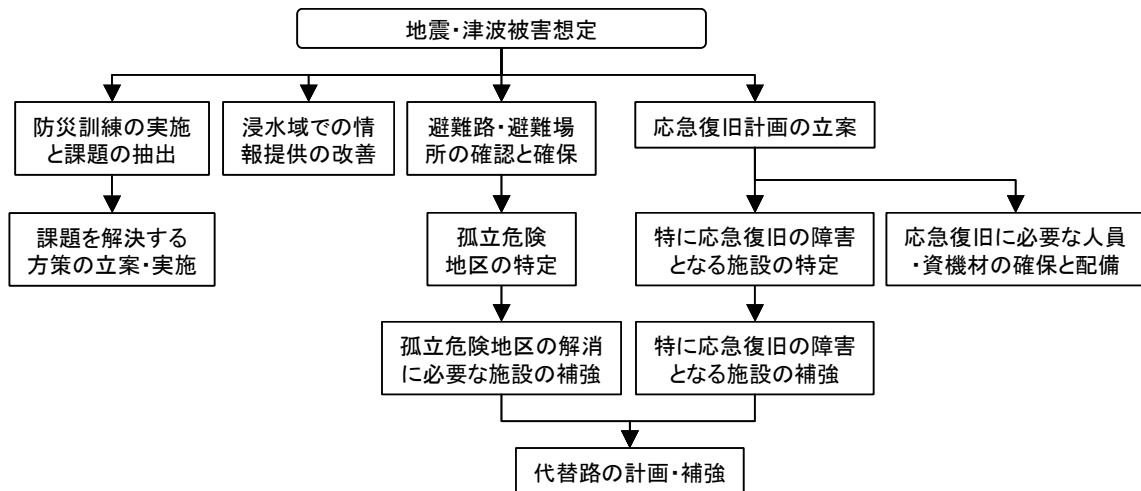


図-11 道路管理者を対象とした被害想定に基づく地震・津波対策検討フロー（案）

については、揺れを感じた直後から津波が到達するまでの時間的余裕を考慮して検討しなければならない。これらの項目を含めた地震・津波対策検討フローの案を図-11に示すが、この前提として、道路管理者を含め震後対応にあたる関係者の安全確保や参集の可否を検討しておく必要がある。なお、被災状況の迅速な把握、情報共有や応援体制の構築等については、被害想定結果に拘わらず検討を進めるべきものである。

また、応急復旧計画や補強計画を立案する際には、道路以外のインフラの状況も考慮することが望ましい。例えば、防波堤など津波防御施設の整備により想定される浸水域は変化するし、応急復旧のための資機材の輸送には、道路だけでなく船舶等の利用も考えられる。道路施設が被災すると、添架ライフラインが被災することがあるだけでなく、他のインフラの機能障害や復旧への影響が大きいことも指摘されている¹⁵⁾。

このように、道路施設以外の対策状況や管理者の対応が優先すべき対策や震後対応の内容に影響し、また道路施設の対策状況や管理者の対応が他のインフラにも影響する。そのため、道路管理者のみではなく、自治体やインフラ企業等の関係機関と連携した上で対策を検討していくことが求められる。自治体、インフラ企業や地域住民も、道路通行障害が発生する可能性があることを念頭に、防災訓練や対策を検討、実施する必要があると考えられる。

ただし、被害想定はあくまでも具体的な検討を始めるための出発点であり、実際に想定したとおりの状況になることはまずあり得ない。想定外の事態が発生することも考慮しつつ、柔軟に検討する必要がある。

5. 結論

本研究では、道路施設の被災を考慮した地震・津波被害想定について、手法の概要と被害想定結果の例を示した。また、その地震・津波被害想定結果をもとに、道路管理者等が対策を検討するための考え方を示した。

今後は、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具体的な対策計画の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、四国地方整備局と土佐国道事務所には所管施設に関するデータをご提供いただいた。また、土佐国道事務所には被害想定を実施する上で種々ご指導とご協力をいただいた。末筆ながら深く謝意を表する次第である。

参考文献

- 1) 高知県：第2次高知県地震対策基礎調査,2004.
- 2) 高知県：高知県津波防災アセスメント補完調査報告書,2005.
- 3) 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.
- 4) 日本道路協会：道路震災対策便覧（震災復旧編）平成18年度改訂版，2007.
- 5) 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論文集，pp.154-157,2006.
- 6) 日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説,1999.
- 7) 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.
- 8) Unjoh, S. : Damage to transportation facilities, *The damage induced by*

- Sumatra earthquake and associated tsunami of December 26, 2004*, pp. 66–76, <http://www.jsce.or.jp/committee/2004sumatra/report.htm>, 2005.
- 9) 土木研究所：道路盛土の簡易耐震性評価法（案），2003.
- 10) 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.
- 11) 中央防災会議東南海，南海地震等に関する専門調査会：第10回参考資料，2003.
- 12) 首藤伸夫：津波強度と被害，津波工学研究報告，Vol. 9, pp. 101-136, 1992.
- 13) 全国漁港漁場協会：漁港・漁場の施設の設計の手引，2003.
- 14) 国土交通省道路局，鉄道局：道路，新幹線の橋梁の耐震補強の推進について，平成17年3月8日記者発表資料，<http://www.mlit.go.jp/road/press/press05/20050308/20050308.html>, 2005.
- 15) 後藤洋三，鈴木猛康，末富岩雄，小路泰広，鶴田舞，片岡正次郎，鈴木光：重要インフラ間の被害波及軽減のための調査，土木学会地震工学論文集，Vol. 29, 2007（投稿中）.
- (2007.46 受付)

DEVELOPMENT OF AN EARTHQUAKE-TSUNAMI DISASTER SCENARIO AND A POLICY OF ITS APPLICATION TO PLANNING MEASURES

KATAOKA Shojiro, TSURUTA Mai, NAGAYA Kazuhiro,
KUSAKABE Takaaki and SHOJI Yasuhiro

Disaster scenarios are now widely used for improving understanding and planning disaster mitigation measures. There is, however, no established method for evaluating tsunami damage to road bridges that can be used to develop a tsunami disaster scenario for road networks. In this paper, a simple procedure is proposed for evaluating tsunami damage to road bridges, and its application to the development of a disaster scenario is presented. The scenario includes damage to road bridges and embankments, inundated road sections, and floating debris caused by a hypothetical Nankai earthquake and its tsunami. A policy of its application to planning measures for road networks is also proposed.