

図 4.4-40 最高水位(四角内はケース番号)

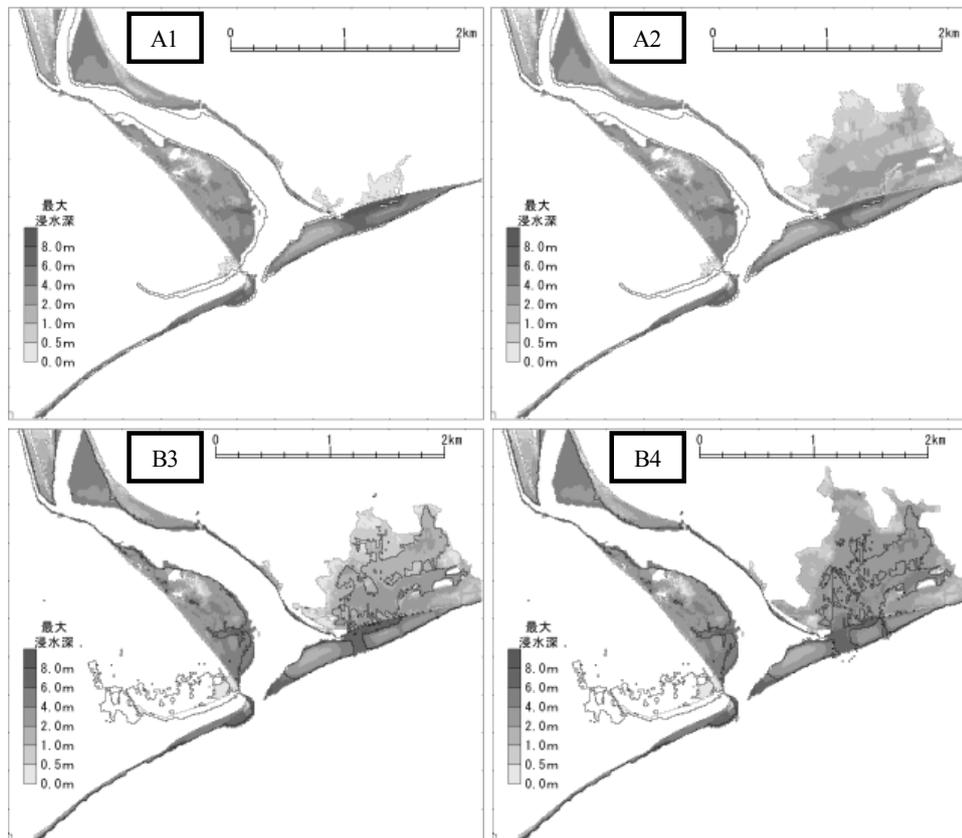


図 4.4-41 最大浸水深(四角内はケース番号)

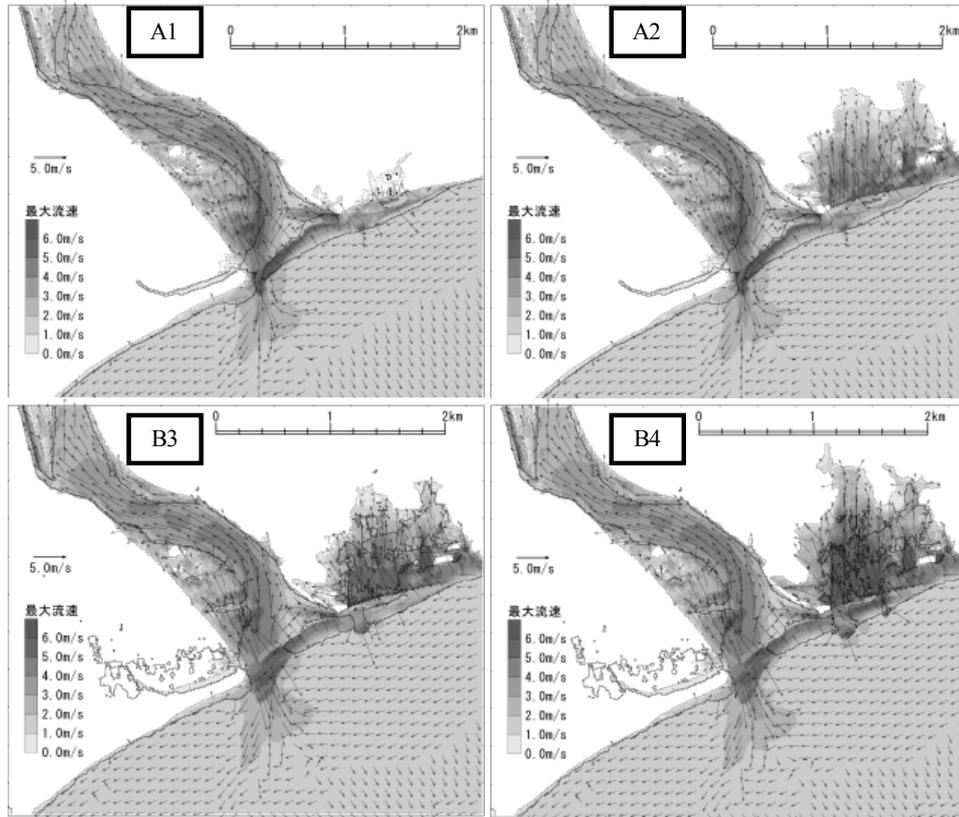


図 4.4-42 最大流速(四角内はケース番号)

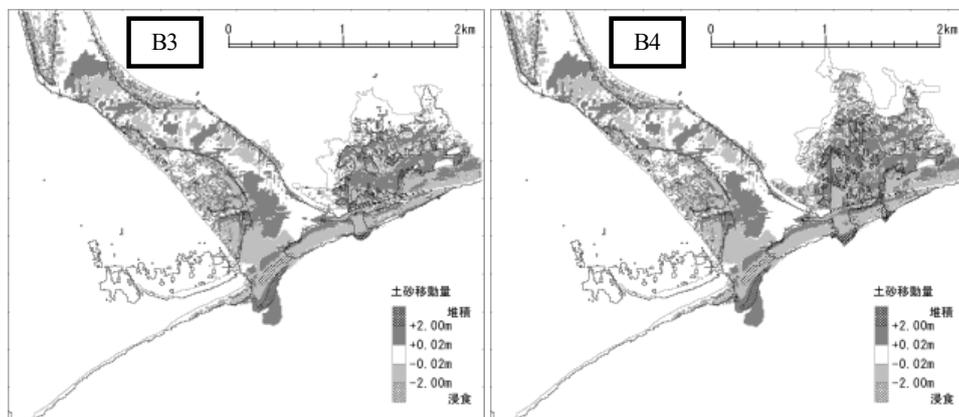


図 4.4-43 地形変化量(四角内はケース番号)

図4.4-40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4.4-41は、各ケースの最大浸水深を示している。ケース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4.4-42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4.4-43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沖で堆積している。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。

③背後地被害の予測

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4.4-5)を用いた。一方、津波による人的被害は、表4.4-5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、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 4.4-5 建物被害の基準²¹⁾

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)	$0.5\text{m} \leq H < 1.0\text{m}$	$2.0\text{m} \leq H$
床下浸水	$H < 0.5\text{m}$	$H < 0.5\text{m}$

表4.4-6 人的被害の算定方法

手法	死者数	負傷者数
神奈川県等	$0.072 \times (\text{大破建物数} + 1/2 \text{中破建物数})^{1.018}$	重傷者数: $1.074/10000 \times (\text{大破建物数} + 1/2 \text{中破建物数})^{1.961}$ 軽傷者数: $4.510/10000 \times (\text{大破建物数} + 1/2 \text{中破建物数})^{1.961}$
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

建物被害の予測戸数を図4.4-44に示す。いずれのケースでも建物がある地点の浸水深が4m以下だったため、神奈川県の手法で得られる中破棟数は静岡県等の手法で得られる大破棟数と一致する。そこで、静岡県等の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の増大と浸水域の拡大が建物被害に大きく影響している。

図4.4-45は、表4.4-6に示した各手法で得られた人的被害の予測結果である。神奈川県等の手法では死者はほとんど出ない。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、破堤を考慮したケースB4では死傷者数は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を読み取れる。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。

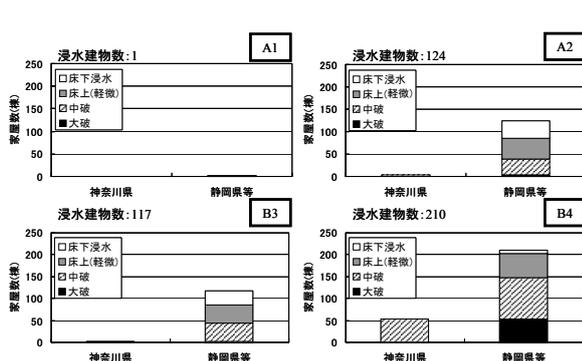


図 4.4-44 建物被害の予測結果

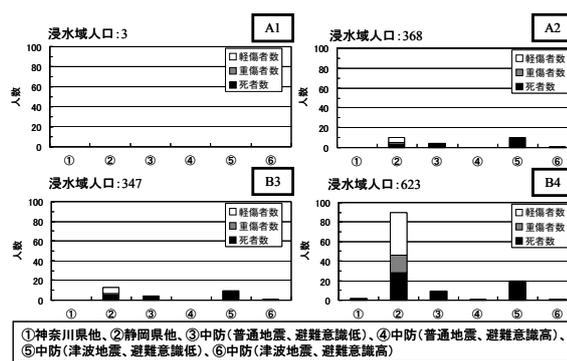


図 4.4-45 人的被害の予測結果

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。

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。

2) 港湾施設

① 港湾の脆弱性評価指標の抽出・整理

沿岸域においては、津波の来襲により、各種の構造物や施設が被害を受けることとなる。これらの被害には、構造物や施設の破壊、損傷等による直接的な被害と、物流機能や産業機能等の低下に伴い発生する間接的な被害とがある。ここでは、被害の波及を考慮に入れ、港湾施設及び海岸保全施設の機能の発揮度合いを評価する指標を考案し、津波に対する脆弱性評価指標を抽出した。施設、構造物毎に津波の脆弱性評価指標を整理した結果を表4.4-7及び表4.4-8に示す。

陸域(氾濫域)における津波の規模や特性については、浸水深、流速、到達時間等を予測することが可能であり、浸水深、流速、到達時間等の規模(深さ、大きさ、早さ)に応じた各施設の機能や構造物の津波被災レベルについて、直接被害と間接被害に分類して整理する必要がある。津波による被災レベルの設定を整理することにより、今回検討した評価指標の抽出・整理結果に基づき、被害軽減対策を検討することが可能となる。

表4.4-7 構造物毎の脆弱性評価指標(港湾施設)

施設・構造物	脆弱性評価指標
岸壁	港湾取扱貨物量, 岸壁延長・水深, 出荷額, 取扱品目, 緊急輸送物資量, 瓦礫処分量 等
護岸	背後地防護, 廃棄物処分関連(廃棄物処分場護岸) 等
防潮堤	背後地防護 等
水門, 陸閘	背後地防護 等
荷さばき地・野積み場	荷さばき地・野積み場面積 等
倉庫・上屋	倉庫・上屋面積 等
泊地	船舶数, サイズ 等
水域	水質, 底質, ごみ, 生態系 等
干潟・藻場・珊瑚礁	生態系, 干潟・藻場・珊瑚礁面積 等
旅客ターミナル	船舶乗降客数, 航路数 等
公園, 緑地	緑地面積, 駐車場面積 等
レク施設	レク施設数, 宿泊者数, 来訪者数 等
マリーナ	プレジャーボート隻数 等
臨港道路	交通量, 輸送車両, 緊急輸送物資量 等
臨港鉄道	交通量, 輸送車両 等
工場, 事業所	事業所数・面積, 資産額, 就業者人口 等
建築物	居住人口, 家屋数 等
水道, 下水道, ガス, 電気 等	ライフライン関連 等
発電所, ガバナー	エネルギー供給関連 等

表4.4-8 構造物毎の脆弱性評価指標(海岸保全施設)

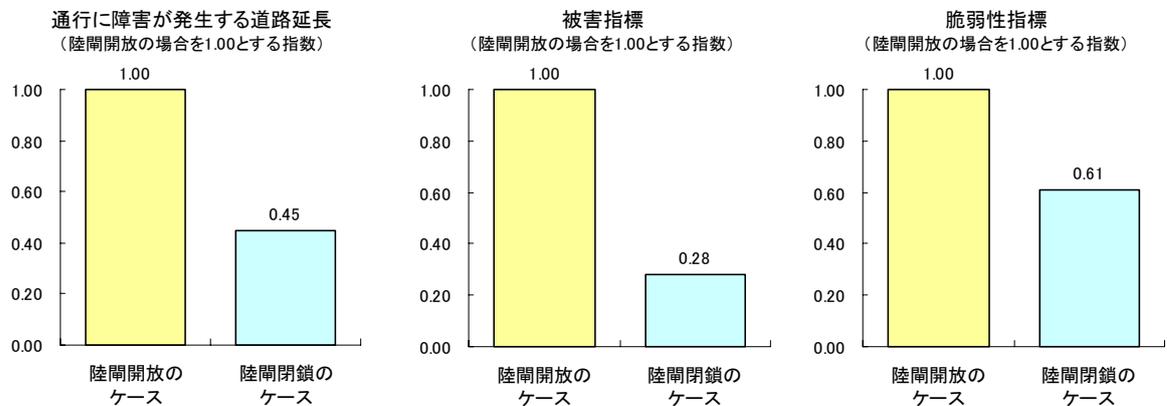
施設・構造物	脆弱性評価指標
護岸・堤防	背後地防護 等
防波堤	水域防護 等
岸壁	漁獲量, 水産施設規模 等
水域	希少種, 生物種類, 生態系, 水質, 底質, 環境基準 等
干潟・藻場・珊瑚礁	希少種, 生物種類, 生態系
海浜	景観, 開放感, 美しさ 等
公園・緑地	景観, 親水, レクリエーション, 駐車場面積 等
レク施設・宿泊施設	景観, 親水, レクリエーション, 来訪者数, 宿泊者数 等

② 港湾における脆弱性評価手法の開発

高知市周辺を対象にケーススタディを実施し、評価手法の検討を実施した。主に臨港道路を含めた港湾へのアクセス途絶の可能性を検討した結果から、各種の指標を用いて脆弱性の評価を実施している。図 4.4-46 に陸開解放時と陸開閉鎖時における評価指標を用いた場合の脆弱性の変化を示す。ここでは、アクセス道路の津波被害の度合いを示す指標として、通行の障害となる道路の距離とその区間の走行車両台数の積を示した。また、脆弱性の指標としては、被災した経路を迂回することにより増加する距離×迂回車両台数を試算して計上した。

陸開の開放と閉鎖の場合を比較すると、陸開の閉鎖により「直接的に被害が発生する道路区間延長」は、陸開閉鎖時の約 0.45 倍に減少することとなる。高知港の陸開は、交通量の多い国道 32 号などを津波の影響から回避することができるため、被害指標 (= 影響を受ける車両×走行距離) でみると、陸開閉鎖により津波の影響度は 0.28 の水準にまで低下する。

しかしながら、「経路途絶による迂回距離(ここでは、津波被害により経路が途絶する道路区間の両端間を当該経路以外の最短経路を利用して移動する距離とした)×走行台数=脆弱性指標」とした場合の脆弱性の低減は 0.61 にとどまっている。これは、市街中心部の道路は、並行する道路が多数あるため迂回が容易である(脆弱性は低い)が、湾口部の道路の場合は長距離の迂回が必要となる(脆弱性は高い)と考えられ、この場合、陸開閉鎖により脆弱性の低い道路は被害が回避されるものの、脆弱性の高い道路は被害が避けられないためである。



※ 被害指標=走行困難となる区間距離×走行車両台数

※ 脆弱性指標=迂回により増加する走行距離×走行車両台数

図 4.4-46 陸開閉鎖による被害回避

3) 道路橋

津波による道路橋の被災度評価手法として、図4.4-47のフローを提案した。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。

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できる)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かと判定する。ここで摩擦係数は、既往の実験結果より0.6とする。

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を考慮したものである。

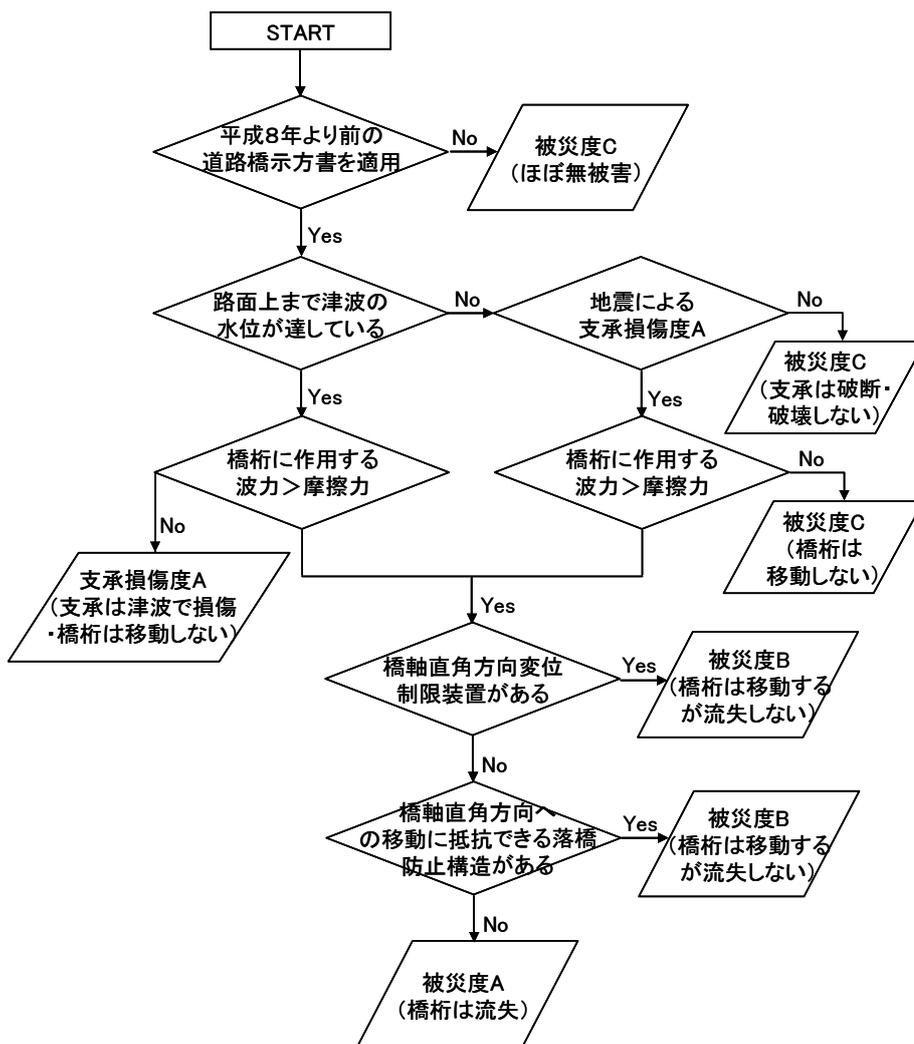


図4.4-47 桁橋形式の道路橋の津波被災度評価フロー