東南海・南海地震等の大規模地震への備え
～吉野川下流域における津波シミュレーション～

赤澤　善樹・生田　浩一・清水　敦司・小谷　精司

四国地方整備局　徳島河川国道事務所　河川調査課　（〒770-0803　徳島県徳島市上吉野町）

東日本大震災を教訓に、来るべき地震津波に備える施設対応（ハード対策）の前提として「施設計画上の津波水位」を設定する方針が示された。これを受け、本稿では、吉野川下流域において数十年から百数十年に一度程度発生する地震津波の規模を想定し、緊急かつ効果的な対策を進めるため、当該流域の特性を考慮した津波シミュレーションにより津波水位及び対策必要区間等の検討を行った結果について報告する。

キーワード　施設計画上の津波水位、津波シミュレーション、津波の浸水状況、対策工

1.　はじめに

昨年3月11日に発生した東日本大震災は、死者16,000人、行方不明者約3,000人に及ぶ(H24.5.29現在)など未曽有の大災害となり、社会的にも多大な脅威を与えた。

吉野川下流域でも、東南海・南海地震等の大規模地震発生の高まりとともに地震津波による甚大な被害が想定されており、緊急かつ効果的な対策が求められている。

そのため、徳島河川国道事務所では、当該流域の特性を踏まえた対策を推進するため、航空レーザ測量等を利用した適切なモデル構築をもとに津波シミュレーションによる検討を進めているところである。

2.　吉野川下流域の特性

吉野川下流域(特に旧吉野川流域)は、流域内に人口・資産が集中し、近年、市街化が進んでいる。

一方、**図-1,2**に示すように、そのほとんどの地区では地盤高が計画高水位(HWL)より低く、氾濫が拡大しやすい地形特性を有している。中には地盤高が朔望平均満潮位より低い地区もあり、海溝型の巨大地震が発生すれば堤防沈下と河川を遡上する津波の影響により甚大な浸水被害が想定される。

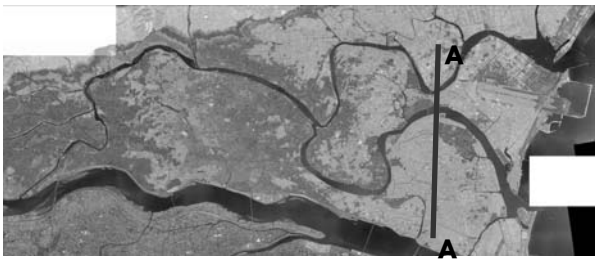

図-1　旧吉野川流域地形図

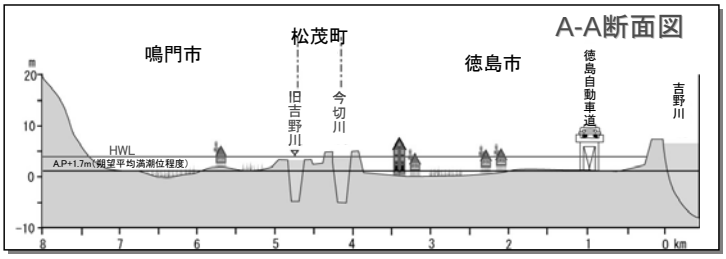

図-2　A－A断面図

3.　地震津波対策の方針

地震津波対策には、中央防災会議等での検討を踏まえ、基本的に二つのレベルの津波が想定されている。

一つは、発生頻度は極めて低いものの発生すれば甚大な被害をもたらす「最大クラスの津波」であり、住民避難を柱とした総合的防災対策を構築する上で想定されるものである。もう一つは、最大クラスの津波に比べて発生頻度は高く津波高は低いものの大きな被害をもたらす津波であり、数十年から百数十年に一度程度の発生が想定される規模の津波を「施設計画上の津波水位」として設定し、海岸における防御と一体となって河川堤防、津波水門等により津波災害を防御するものである。

(1)対象とする地震津波の規模

徳島県下では、過去、1605慶長地震(M7.9)、1707宝永地震(M8.6)、1854安政南海地震(M8.4)、1946昭和南海地震(M8.0)が約90～147年の間隔で発生している。(**図-3**)

また、今後30年以内に発生する確率が60～70 %と予測される東南海・南海地震の影響が危惧されているところであり、著名な既往地震と同じく数十年から百数十年に一度の規模と考えられることから、ここでは、中央防災

会議が平成15年に公表した「東南海・南海地震同時発生モデル(M8.6)」を対象に津波の検討を行うこととした。

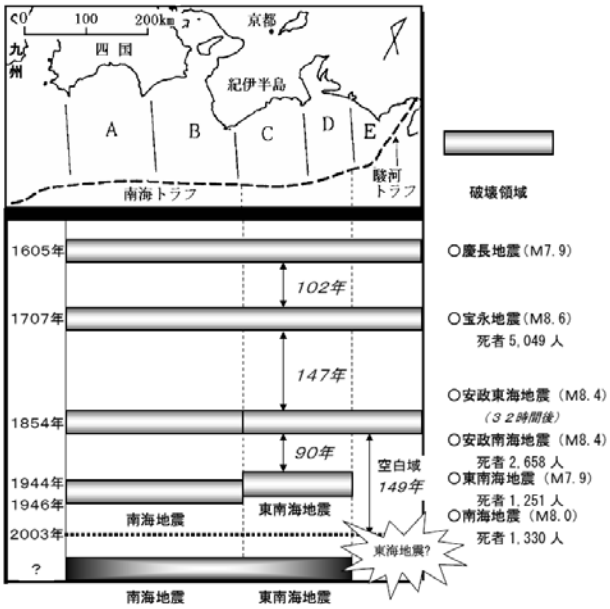

図-3　既往発生地震の履歴

(2)既往地震の痕跡津波高との比較

対象とする地震津波の計算については後述するが、この計算津波高と著名な既往地震における痕跡津波高とを比較したところ、蒲生田岬の北部に位置する吉野川下流域の河口付近（図-4中、点線で囲った部分）では、概ね同等または計算津波高が痕跡津波高を包絡するような結果となった。このことから、津波高を見ても数十年から百数十年に一度の発生で過不足のない程度の規模であると考えられる。

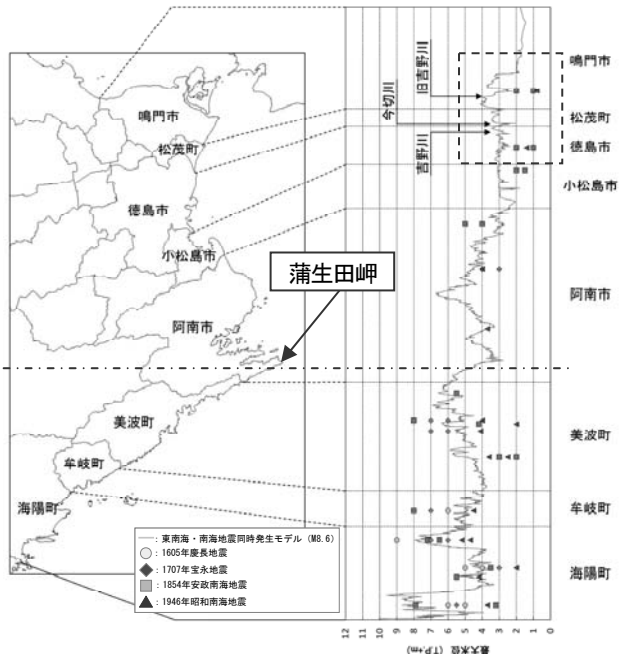

図-4　徳島沿岸での痕跡津波高と計算津波高の比較

4.　津波シミュレーションのモデル構築

(1)想定地震津波

H15中央防災会議「東南海・南海地震同時発生モデル」
マグニチュード(Mw)8.6

(2)津波の計算方法

河川の津波水位は、波源域から津波遡上区間（氾濫域への拡散を含む）まで一連の計算が可能な非線形長波の2次元津波遡上計算を用いて算出する。

【運動方程式】

$$\frac{\partial M}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{M^2}{D}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{MN}{D}\right)+gD\frac{\partial \eta}{\partial x}+\frac{gn^2M\sqrt{M^2+N^2}}{D^{7/3}}=0$$

$$\frac{\partial N}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{MN}{D}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{N^2}{D}\right)+gD\frac{\partial \eta}{\partial y}+\frac{gn^2N\sqrt{M^2+N^2}}{D^{7/3}}=0$$

【連続の式】

$$\frac{\partial \eta}{\partial t}+\frac{\partial M}{\partial x}+\frac{\partial N}{\partial y}=\frac{\partial \xi}{\partial t}$$

η　：水位
M, N　：x, y方向の線流量
ξ　：海底鉛直変位分
D　：全水深（＝水位－標高）
N　：マニングの粗度係数

数値計算上、水位ηは各メッシュで与えられ、運動方程式から計算される流量M, Nがそれぞれメッシュ境界に与えられる。(図-5)

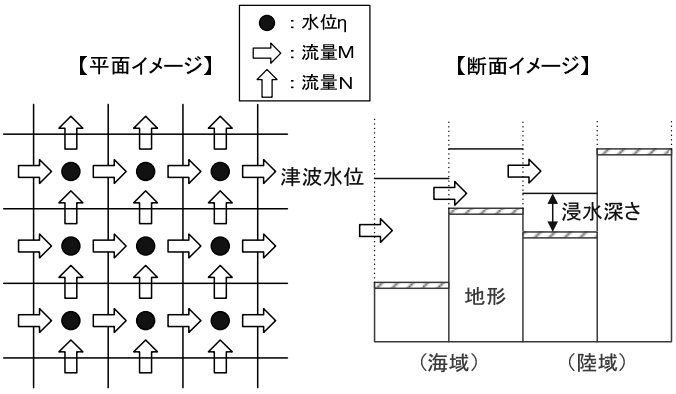

図-5　差分計算の概念図

(3)計算範囲の設定

シミュレーションの計算範囲は、波源域を含む外洋から吉野川下流域の陸域・河川域までとする。また、順次細かい計算格子を用いて接続し同時に計算する方法（ネスティング）により、2,430m(外洋)→810m →270m →90m →30m →10m(陸域・河川域）のメッシュサイズでそれぞれモデル化した。

(4) 地形データの整備

海域の地形データは、海図やJTOPO30（日本近海30秒グリッド水深データ）等を利用し作成した。また、陸域は航空レーザ測量等を、河川域は加えて河川縦横断測量等を利用し、それぞれ地形データを作成した。(図-6)

なお、シミュレーションでは地震時の地殻変動に伴う広域地盤沈下量についても考慮することとした。

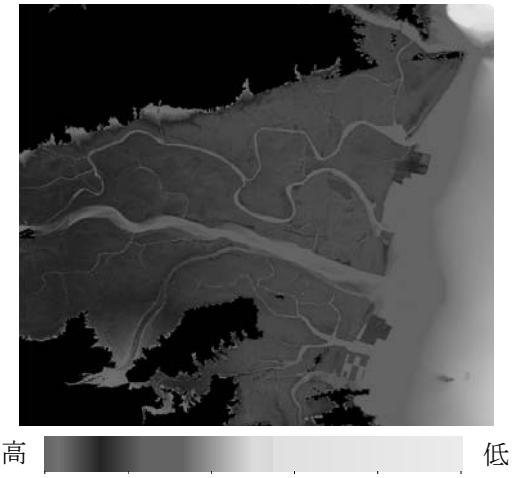

図-6　地形データのコンター

(5) 堤防データの整備

シミュレーションでは、堤防のような面的な広がりを持たない構造物は線形構造物として取り扱い、図-7に示すようにメッシュ間に配置することとした。

計算される津波の高さが堤防の高さを越えた場合に津波が越流するものとし、本間(1940)の越流公式から越流量を求める。

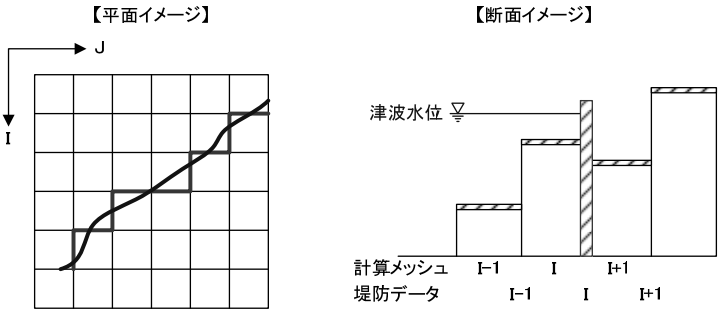

図-7　堤防データの概念図

(6) 吉野川下流域の特性を考慮したモデルの作成

a) 堤防高の設定

旧吉野川や今切川では、過去の対策経緯や整備の遅れ等により全川的に堤防の構造や高さが不規則であるが、シミュレーションではこのような構造上の連続性が重要となってくる。

そこで、河川縦横断測量では捉えられない測点間に存在する局所的に低い箇所等を把握するため、現地調査・測量を実施しモデルに反映した。また、河川沿いに多数存在する旧堤も氾濫の拡大防止に寄与していることから、同様に堤防高を確認しモデル化した。

b) 河口堰、樋門等の条件設定

吉野川下流域には、旧吉野川及び今切川の河口堰のほか多数の樋門等が存在しており、施設の操作規則や構造体の耐震化、ゲートの自動化・高速化・遠隔化等の対策状況を踏まえ、開閉条件を設定した。

5.　津波シミュレーションの実施及び結果

(1) 津波水位の算出

河川の津波水位は、シミュレーションの計算結果からまずは距離標毎(200mピッチ)に横断面内のメッシュで最大となる水位を抽出し、これらを縦断的に結んで水位縦断を設定した。

なお、吉野川、旧吉野川及び今切川の河口付近の津波水位は図-4に示すとおりであるが、海岸管理者が地域海岸毎に設定する「設計津波の水位」と大きな差を生じる場合は、適宜、海岸管理者との調整が必要となる。

(2) 対策必要区間の設定

シミュレーションにより算出した津波の水位縦断と、地震時の液状化に伴い沈下した河川堤防の高さ（以下「沈下後堤防高」という。）を比較し、図-8に示すように津波水位が沈下後堤防高を上回る区間を“地震津波対策が必要な区間”として設定した。

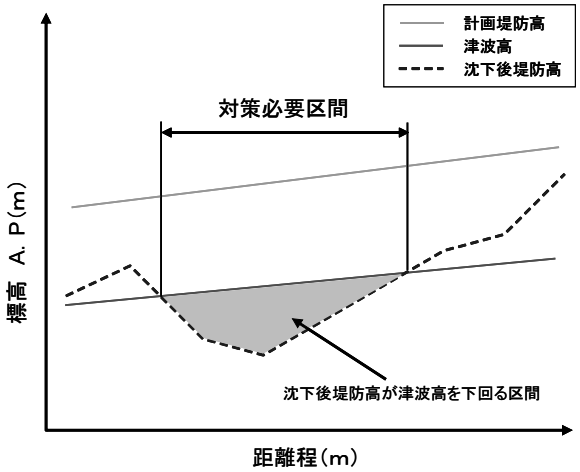

図-8　地震津波対策が必要な区間のイメージ

(3) 津波の浸水状況（現況施設）

河川堤防等の施設条件が「現況」である場合にシミュレーションを実施した結果について、図-9に示す浸水状況の時間変化も踏まえ以下のとおり考察する。

a) 吉野川本川

本川堤防からの越水による浸水は生じないものの、沿岸部から堤防背後地への津波の回り込みによる浸水被害が危惧される。

b)旧吉野川・今切川（河口～河口堰区間）

河口堰下流区間では、総じて津波水位が高くなっており、沈下後堤防高を上回る区間や支川からの越水等により浸水範囲が大きく拡大している。

c)旧吉野川・今切川（河口堰～上流区間）

河口堰上流区間では、津波水位が減衰するため下流ほど高くはならないが、無堤区間からの溢水や開口部からの浸入等による浸水が確認される。

d)周辺重要施設の影響

旧吉野川と今切川にはさまれた松茂町役場付近等では、周辺一帯が浸水する結果となっており、安全な場所への避難等が困難となることが想定される。また、沿岸の徳島阿波おどり空港周辺も、周辺道路等の冠水により孤立化するおそれがある。

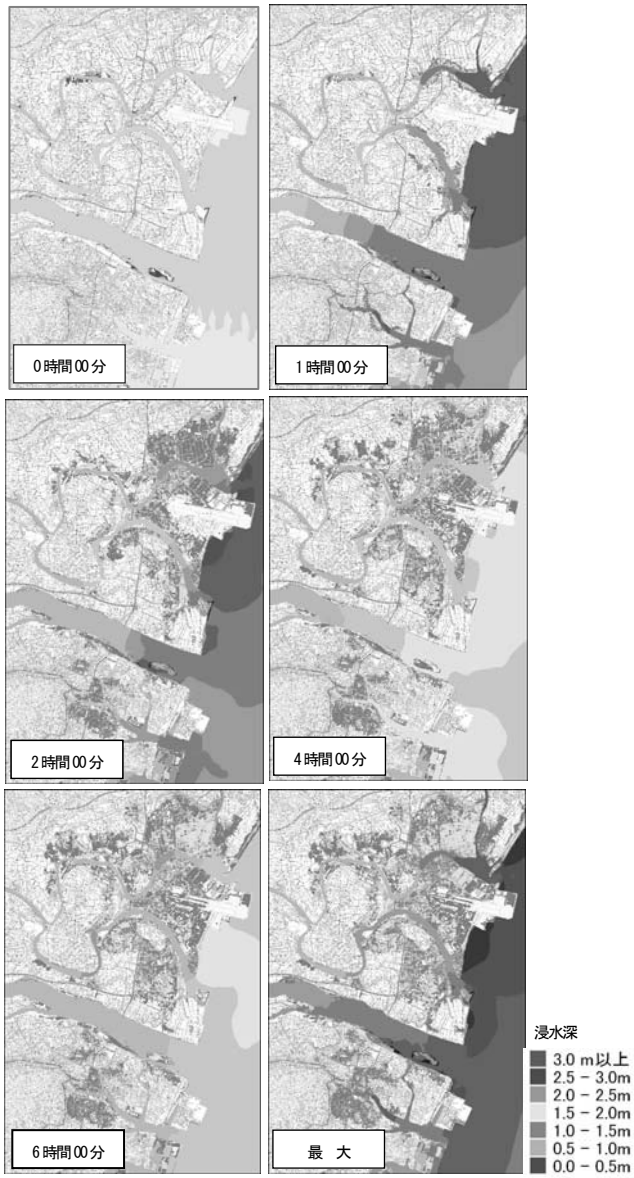

図-9　津波状況の時間変化（現況施設）

6. 対策工の検討

5.で設定した津波水位及び対策必要区間をもとに、河川堤防による対策は、計画堤防高までの築堤または堤防嵩上げを基本とする。また、必要に応じ地震時の堤防沈下を抑制する液状化対策を実施する。(図-10)

このほか、支川との合流部における水門の新設や、既設水門・樋門の耐震化・自動化・遠隔化を実施することにより、支川や開口部からの津波の浸入を防止する。

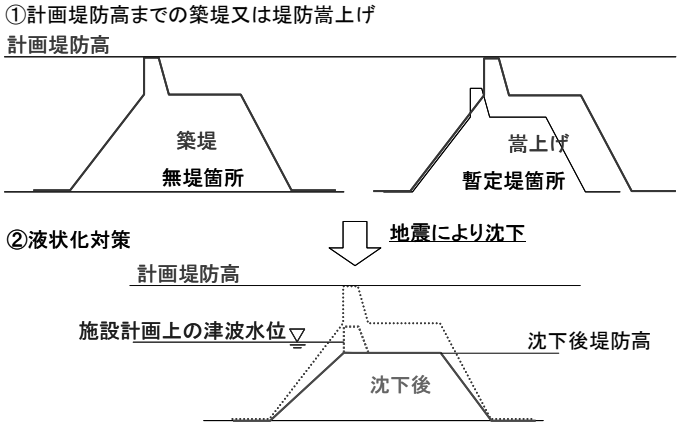

図-10　河川堤防による対策イメージ

7. まとめ

吉野川下流域において喫緊の課題である地震津波対策を、今後、緊急かつ効果的に推進するため、当該流域の特性を考慮したモデル構築により津波シミュレーションを実施し、施設対応(ハード対策)の前提となる施設計画上の津波水位及び対策必要区間等について検討した。

シミュレーション結果から考察される津波浸水の特性も熟慮のうえ、河川堤防や津波水門など個別具体の対策を検討・実施していく必要がある。また、海岸管理者が設定する設計津波の水位とも適宜整合を図りつつ、河川・海岸等の連携のもと津波災害の防御策を講じ地域の安全をより高めていくことが急務である。

謝辞：本稿作成にあたりご協力を頂いた応用地質(株)山口氏には謝意を表します。

参考文献

1) 内閣府防災情報HP, http://www.bousai.go.jp/
2) 国土交通省記者発表「河川への遡上津波対策に関する緊急提言」について,平成23年8月22日
3) (社)土木学会四国支部「四国の自然災害に関する調査研究平成13年度業務委託成果報告書」,平成14年3月30日
4) 津波の河川遡上解析の手引き(案)(平成19年5月),(財)国土保全技術センター