

## WG2 津波災害対策に関する調査研究

研究テーマ	研究者名	ページ
津波到達経路・時間および津波高の評価に関する研究	岡山大学大学院 大久保賢治	1
岡山沿岸の堤防・護岸の実態調査	岡山大学大学院 藤井隆史	9
南海トラフ巨大地震を想定した岡山市の津波遡上解析	岡山大学大学院 前野詩朗 岡山大学大学院 吉田圭介 岡山大学大学院 工代健太	19

## 津波到達経路・時間および津波高の評価に関する研究

岡山大学 大久保賢治

### 1. はじめに

瀬戸内海が我国最初の国立公園となって今年で80年を迎える。また昨年は瀬戸内（瀬戸内海環境保全特別措置）法から40年、多くの問題を経験したが、昨今の複雑化・広域化に対応し生態系の豊かさも含めて見直しの時期にさしかかっている。近年は透明度・藻場回復のニュースもあり、潮流の自浄作用や潜在エネルギーにも注目され、再生の期待感が高まっている。一つの懸案事項は防災、特に津波対策である。

東日本大震災に伴う巨大津波の映像が国民に与えた衝撃は計り知れないものであった。外洋性津波によって住民の生命・財産が失われ、多くの港湾・海岸構造物に大きな被害が発生し、船舶の火災・座礁、また遡上によって建物・道路などに爪痕を残した。

想定外という新語が原発以外にまで拡張され、やがて独り歩きし津波対策に過大な閉塞感またはストレスを発生させていることもまた事実である。防災意識の向上のため多少は必要であるが、増大する外力に対しどこまでも長大重厚化を図ることには限界があり、20世紀の防災が結論とした減災と馴染まない考え方である。

連動地震という性格から通常津波の数倍の波高を考える必要性もその偶発性ゆえ受け入れにくい面もある。東海・東南海・南海地震が同時または連動して発生すると個々の津波が重なり、太平洋沿岸の複数の狭い範囲で10 m近い高さに達することがあるとする数値解析結果や沿岸池沼の津波堆積物の年代測定から歴史的津波の掃流力を推定する実証的立場も判断に生かす必要がある。

沿岸海底地震であっても発生時の海況によって詳細な津波過程が異なるのは当然である。ここで対象とする瀬戸内海の潮汐は、奥に行くほど増幅され、波長によって共振状態になりやすいことから、津波について陸岸地形や浅水変形による波高変化を考える必要がある。

海に囲まれた我国に津波の聖域はなく瀬戸内海でも東日本大震災直後には多重反射や減衰時間の長さが指摘された。しかし平成24年8月第1次報告[1]の津波水位が平成25年3月第2次報告[2]

では児島湾で最大1 m低下し、結果、岡山市内の津波侵入線は北区運動公園に達しない暫定結果の下方修正となった。その理由は基準になる（朔望平均）満潮位の地点選択に関係している。

さらに多島海であることが潮汐、高潮、津波の挙動をいっそう複雑なものにしている。来島海峡、鳴門海峡の急流や渦潮は島や半島の地形や瀬戸と灘の配列がないと説明できないし、東西水道から入潮して潮境を形成する潮流場は世界的にも類がない。瀬戸内海そのものが換えのきかない無二のインフラストラクチャーである。

ただし、ゲリラ豪雨・超大型台風・連動地震による洪水・高潮・津波のいずれをとっても、過去百年より規模が増大することは考えておかなければならない。そのために土木構造物の重要性が再認識されており、沿岸構造物が防災および環境のために機能し、調和的役割を果たすことで持続可能な沿岸環境が約束される。

東日本大震災においても、津波が海底から流送した高塩分汚泥は放射性物質と並んで復旧の初動を遅らせたことは確かである。その意味で浅海底をヘドロ・細粒化しないこともポイントになると考えられる。

東日本震災後は全国的に地震への備えがなされ、中央防災会議第1次報告[1]に基づき府県レベルで検討が行われ、岡山県でも昨夏の最終報告[3]に纏められた。瀬戸内中央部は高潮被害に比べて津波記録は少なく、津波高自体は高潮と同程度としながらも巨大連動地震への備えには未知の部分も多い。先行地震や津波の越流次第で堤防が被災するかどうか、この範囲を絞り込むことが重要となるであろう。さらに住民として災害に直面したときにどう振舞うべきかを想定される種々の状況に対し家族・近隣で話し合っておくことが不可欠である。

県は、南海トラフ巨大地震における浸水および被害想定について県独自のボーリングデータ等を加味した震度分布図や液状化危険度分布図を作成、平成25年3月津波防災地域づくり法に基づいて地震により堤防等が破壊される条件で津波浸水の想定を行うなど南海トラフ巨大地震に対する備え

の充実に向けて様々な検討を進めてきた[3]。県が地域防災計画の見直しを進めるに当たり、新たに国の被害想定に準じて津波越流後に堤防等が破壊される条件における津波浸水を想定するとともに、ここまでの結果を活用し南海トラフを震源とする巨大地震・津波が岡山県にもたらす可能性のある人的・物的被害に関する想定を行った。

このワーキンググループのサブテーマ SWG2では県内防波堤マップ（加筆）が示されており、一部の老朽化の実態が報告される。SWG1に関係する天端高不足に関して、これまで全ての防波堤が防潮堤として改修されてきたが、2004年台風16号災害以後も局所的浸水が発生して、さらなる強化対策が必要とされているが全堤防が計画高に達するまでには、今後最低30年の嵩上げ事業を待たねばならないといわれている。ただし昨今の台風大型化や迫りつつある東南海地震の津波にも効力を発揮する応急対策が期待される。

強い地震が発生すると津波来襲前に堤防が消失（初期沈下）する場合も想定しなければならない。岡山県による津波氾濫解析 P1：初期沈下（75%）と P2：越流破堤、ならびにサブテーマ SWG3で行われた一般堤防および児島湖締切堤の初期沈下（50%）有無の条件で行われた数値解析結果は、整合しており、そのことは、津波災害の被災過程は地震・地盤災害グループの情報が極めて重要であり初期沈下の予測精度に強く依存する。これを受けて避難・復旧ワーキングに対し、時間依存の氾濫・避難情報や海域汚泥流入量推定情報の提供形態を議論することが可能になる。

## 2. 津波災害対策

### 2.1 津波の到達経路

東日本震災直後の兵庫県潮位情報には淡路島の南と北の複数地点において1時間程度の波形が通常の潮汐に重なり観測された。鳴門および明石海峡経由では後者が距離の割に速く、播磨灘への侵入はほぼ同時であった。これにより地震発生時に和歌山が干潮（岡山は満潮）の方が被害甚大化しないことを前提に考えることができる。外洋に比べて潮汐が増幅される瀬戸内海に特有の過程を確認しておく必要がある。

瀬戸内海は面積 22,000 km<sup>2</sup>、体積 880 km<sup>3</sup>、平均 40 m の閉鎖性海域である。平均干満差 2m の場合は、満潮時の海水増加量 22 km<sup>3</sup> が 2 回潮の半周期（6 時間）で入潮するので（潮汐プリズム）、 $2Q=220 \text{ 億 m}^3/22,000 \text{ 秒}=10 \text{ 万 m}^3/\text{s}$  が、干満

に伴って発生する。なお、豊後水道と紀伊水道の潮流流量  $Q$  と潮流断面積  $A$  は同程度とする。 $A=10 \text{ km} \cdot 10 \text{ m}$  では、流速は 25 倍の 0.5 m/s になる。この場合、長波波速が、それぞれ  $c=22 \text{ m/s}$  および  $10 \text{ m/s}$ 、フルード数  $F=u/c=0.001$  または  $0.05$  と十分常流である。また、波速  $c$  と流速  $u$  をコリオリパラメータと海域幅  $b$  で除したロスビー数の値から、少なくとも両水道部は回転系にある可能性が示唆される。

柴木[4]の解析では豊後水道から侵入した津波が佐田岬半島南側海域でいったん捕捉され、半島先端を廻り込んで北進する状況が示された。また、岡山沿岸での目撃情報として報告される約 64 分の周期成分が播磨灘中央部における岡山と香川で逆位相になる横振動モードである可能性について過去 3 回の南海地震の再現計算結果から言及している。これらの知見は北半球では進行方向右手の沿岸で波高が増大するケルビン波、および回転系の横静振に対応するポアンカレ波の挙動と考えれば説明可能である。特に後者については播磨灘の水平長と水深をそれぞれ  $L=60 \text{ km}$ 、 $h=25 \text{ m}$ にとれば、周期 63.8 分が得られる。

宮本ら<sup>5)</sup>は津波高に及ぼす潮汐位相の影響を検討しているが、その際、鳴門海峡と明石海峡の入潮を同位相としている。紀伊水道と大阪湾潮位が同期するのに対し播磨灘の位相が逆転する事実は自転効果と無関係なのであろうか。これは津波の伝播時間と関係して重要である。

流速とコリオリパラメータから求まる沿岸流の幅すなわち変形半径  $U/f$  (km)は紀淡海峡の幅 20 km より十分小さい。北半球の流れが右に偏って入潮時は東側の紀淡海峡が主流に相当するといえれば、大阪湾潮時が播磨灘より進む事実を説明することができ、これは津波が重なっても基本的には同じ状態と考えられる。

### 2.2 津波高

図-2は岡山沿岸防波堤[6]の堤高を東（兵庫県境）から西（広島県境）に向って積算した堤防延長に対して示した。堤防延長（約 193 km）に島しょ施設は含まず本州県内海岸線延長より 50～60km程度は短い。0.5 m 刻みに 3～6.5 m 範囲に分布する堤高は全て計画高であるが、基盤高を TP+0m にとっているので実際天端高に傾向を概ね表すものといえる。この設定で初期沈下 75%の P1については沈下後の堤頂は図-2の下方線になる。この高さは津波や高潮でなくても通常の潮汐かつ殆どの場所で越流が発生することになる。

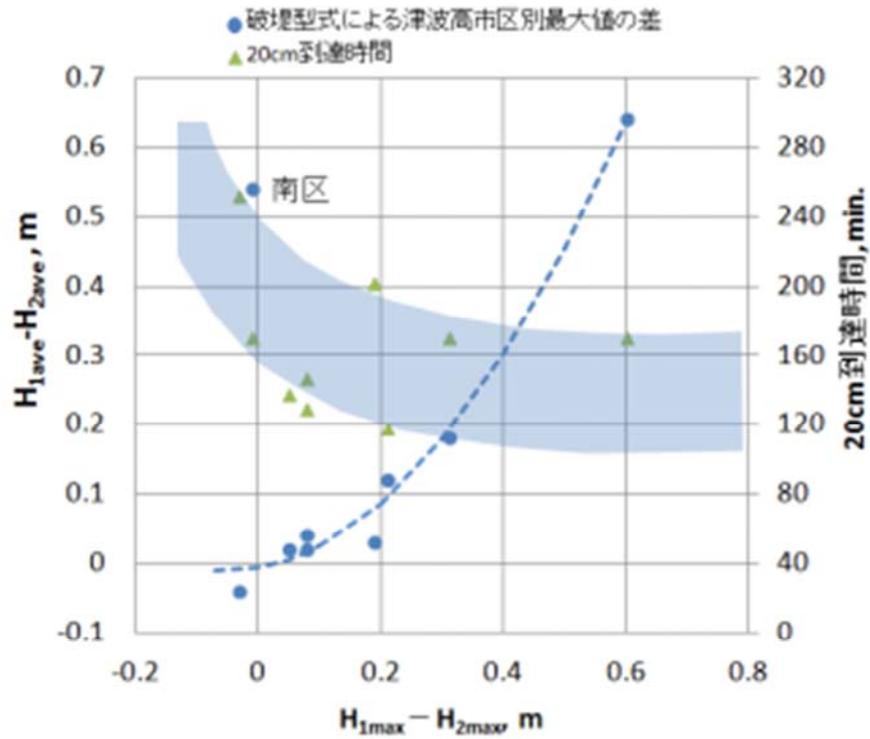


図-1 各市区代表点における，破堤型式による最大浸水深の差に対する各市区平均浸水深差および+20cm 潮位到達時間の関係

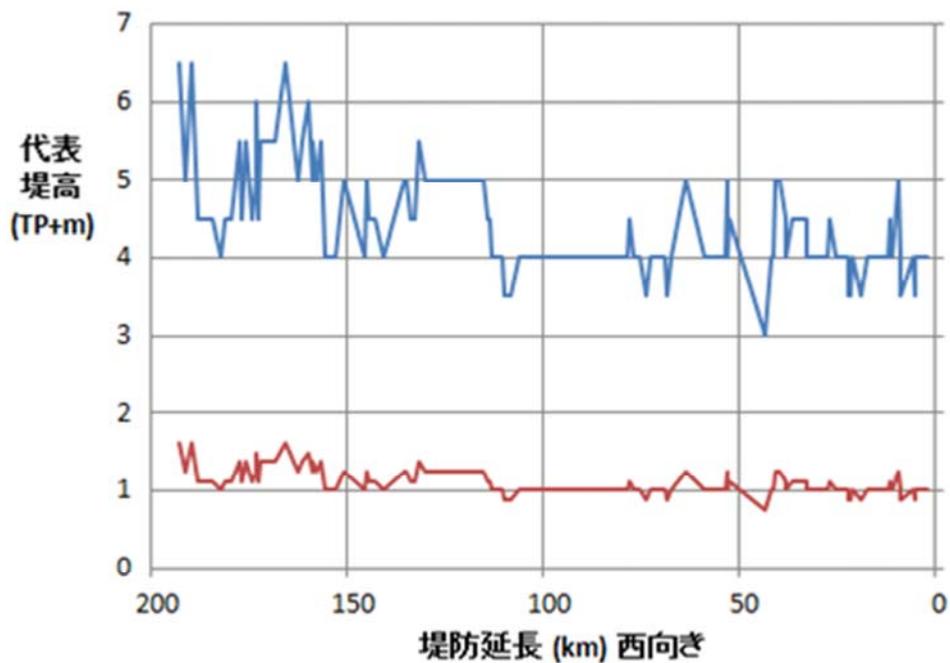


図-2 岡山県海岸線沿いの代表（計画）堤防高と初期75%沈下時の越流水位  
堤防延長には堤防間の間隔距離を含めておらず，島嶼部を除いている

### 3. 津波氾濫の範囲

#### 3.1 津波時堤防等条件

南海トラフの巨大地震モデル検討会で示されている解析結果のうち、岡山県内で最大級の影響を及ぼす津波時堤防等条件として下記の 2 ケースが検討された。想定された季節および時間帯は、冬の深夜であり多くの住民が自宅で就寝中に被災するため家屋倒壊による死者が発生する危険性が高く、また津波の避難は遅れるとされた。

- ・ P1：揺れ・液状化等によりすべての堤防等が破壊される。
- ・ P2：揺れ等で破壊されないが、津波が越流した場合に破壊される。

P1 は初期（地震直後）に堤高の 75%が沈下する（初期沈下）であり、満潮なら津波来襲前に越流が開始することも考えうる。これに対し、P2 は津波が到達して越流開始後、堤体の浸食あるいは基礎の洗掘・転倒によるもの（越流破堤）である。もちろん前者で初期沈下後、津波の衝撃や越流により、後者では堤体の切欠き・開口部、堤防間の不連続などによって敷高がさらに低下すること（二次破壊）も実際には対策が必要である。

沖新田や児島湾干拓地は、津波の新たな問題を突きつけられている。新規開発の面積はそれぞれ 19 (28) km<sup>2</sup> および 55 km<sup>2</sup>、上記二種氾濫解析結果の浸水面積 25 km<sup>2</sup> および 187 km<sup>2</sup> の数割を占める。すなわち排水制御施設により新たに農地に転化された土地であって、津波や高潮の侵入について脆弱な場所であり、避難場所まで最も遠く、避難自体が容易でない場所である。

沖新田は旭川の放水路として開削された百間川の河口に開かれた水田であり、下流端には唐樋と呼ばれる排水施設が設けられ、現在の河口水門が完成するまで使用され続けた。一方、児島湖縮切堤は児島湖を児島湾から切離して水道の西半分を農地に転用する大工事であった。

百間川唐樋は宝永（1707）、安政（1854）および昭和（1946）の 3 度の南海地震を経験し、実に 250 年以上、岡山を高潮や津波から守り続けた。児島湖縮切堤もまた 50 年にわたり台風時の高潮をくい止めてきた。台風や洪水で、排水「潮待ち」で内水被害もあるが、役割は果たしている。ただ、昨今のゲリラ豪雨の増加をみると問題はここでも複雑化していることは感じられる。

延長の数%程度は堤防不連続部分が津波侵入路となる可能性はある。結果的に、堤防耐震性が確保されず初期沈下が発生した場合の堤防天端高（図-1 破線）については津波が発生しない場合に

も満潮時に多くの箇所では越流が始まることにある。図で満潮時の TP+1~2m、初期沈下後の堤防天端と同程度である。一方、津波潮位は児島湾の内・外でそれぞれ TP+3 m~4 m であって、県東部の標準的堤高で初期沈下がない場合であっても場所によって越流が開始する。

図-2 は津波水位に堤防の地盤変動量を加えた津波高[7]を示し、TP 4 m を津波水位とみれば、そこからの下向き偏差が初期沈下（実線）および越流破堤（点線）のそれぞれの場合の地盤変動量となる。これらは最大値と平均値（参考）を示す。破堤様式による差があるのは南区最大値を除けば、最大・平均値ともに岡山市 3 区で顕著な差がみられる。この理由は児島湾沿いの津波潮位が湾外より低めに想定された結果とも考えられる。

図-3 は初期沈下 P1 と越流破堤 P2 との違いについて最大値と平均値の相関で最大値に選択した測点の代表性をみた。破堤型式による差が東部で大きい理由は、東部満潮位が西部より高めに設定され津波到達が早く越流時間も長いためと考える。右縦軸は+20cm 潮位の到達時間を表し、海域の津波に 1 時間程度の擬似周期性があることを示す。南区以外は両偏差に相関が認められ、破堤型式の違いが児島湾岸のような県中央部で顕著であり、すなわち越流の可能性が低めに想定された結果と考えられる。

岡山県によれば全県の浸水量、氾濫面積および平均水深は以下のようなものである。

初期沈下 75%：3.33 億 m<sup>3</sup>、187 km<sup>2</sup>、1.78 m  
越流破堤：0.230 億 m<sup>3</sup>、25.4 km<sup>2</sup>、0.902 m  
（初期沈下の 7%、14% および 51%）

岡山市 4 区については、

初期沈下 75%：1.45 億 m<sup>3</sup>、108 km<sup>2</sup>、1.34 m  
越流破堤：0.134 億 m<sup>3</sup>、13.1 km<sup>2</sup>、1.02 m  
（初期沈下の 9%、12% および 76%）

SWG3 では

初期沈下 50%：0.46 億 m<sup>3</sup>、44.0 km<sup>2</sup>、1.06 m  
ただし、児島湖縮切堤の沈下が 50%とした場合は湖水が 0.7m 程度上昇するが、干拓地への浸水は顕著ではない結果となり、25%の違いが、大きな差をもたらすといえる。

初期沈下の場合、市区町別には、岡山市南区の氾濫面積 64 km<sup>2</sup> が最大で、笠岡市、瀬戸内市で湛水深 2 m 以上の面積比率が高く、図-5 で水深はそれぞれ 5.0 m および 2.3 m であり、岡山市東区や備前市も越流破堤の水深が初期沈下の場合の 80%以上になる。図-6 では南区と倉敷市で浸水量全体の 55% (1.82 億 m<sup>3</sup>) を占める。

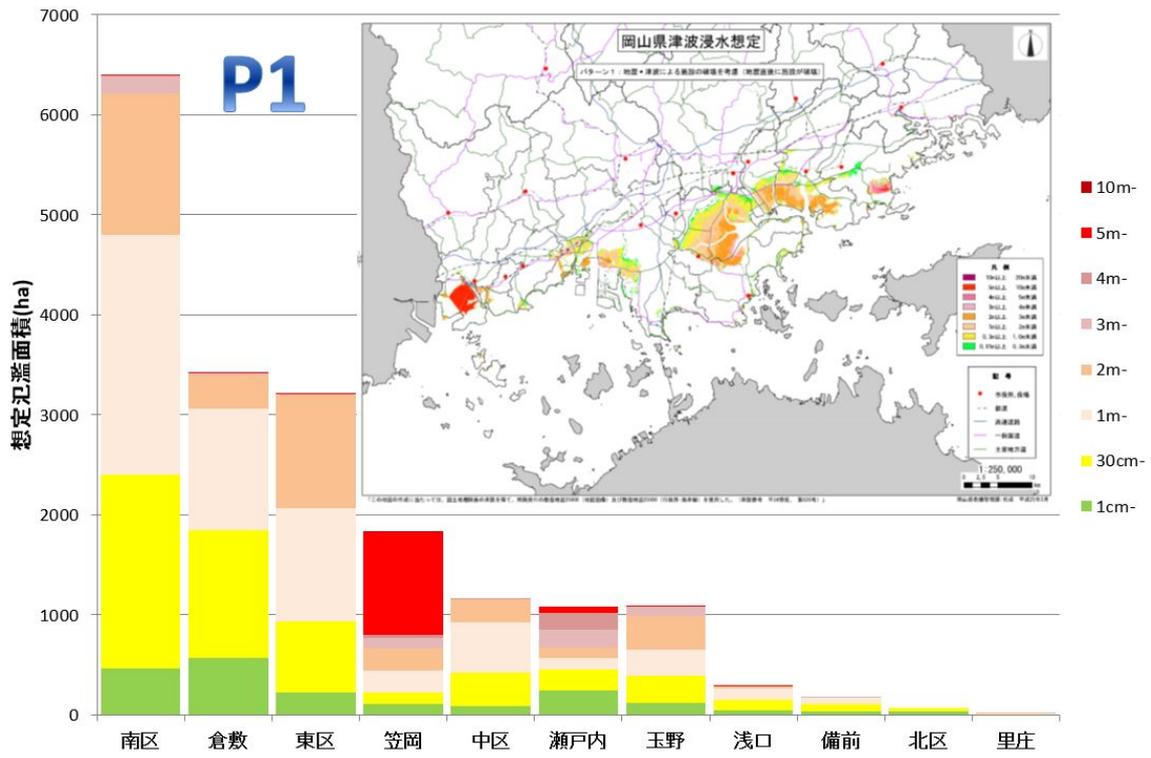


図-3 初期沈下の計算結果（岡山県）

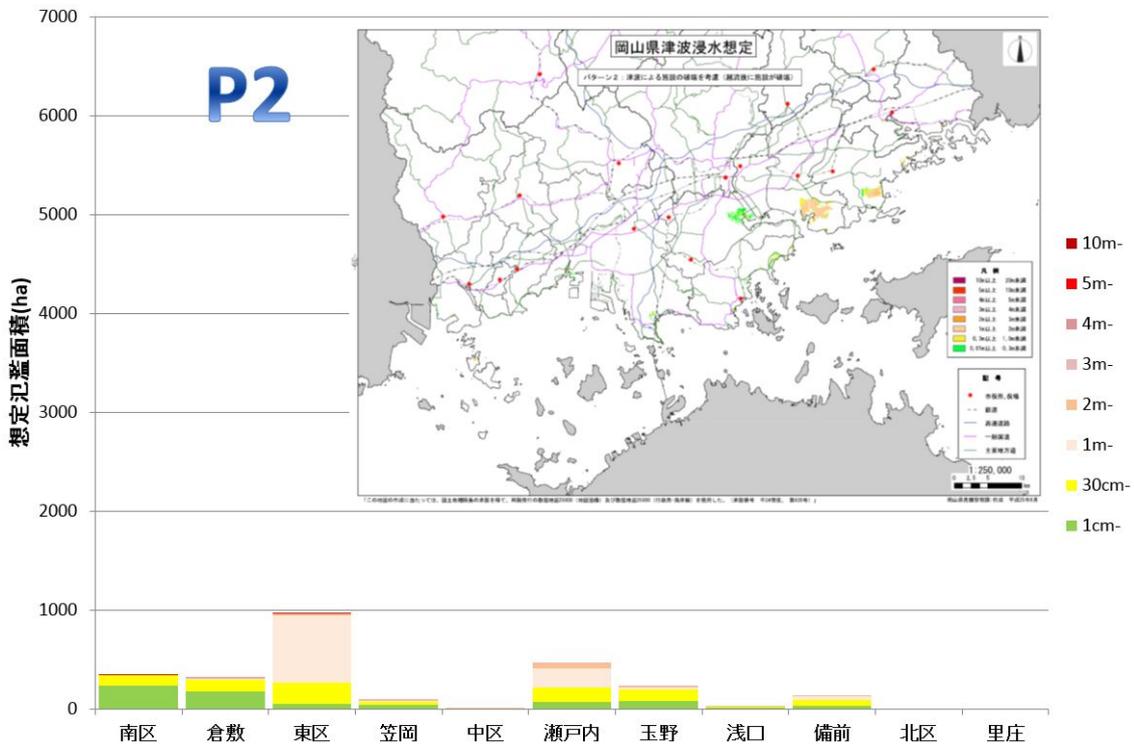


図-4 越流破堤の計算結果（岡山県）

初期沈下の浸水を12時間平均とすれば、海岸線全長で7,700 m<sup>3</sup>/sに相当する。ただし、実際には潮汐および1時間の擬似周期をもった断続的流入であり、半日周潮(2回潮)の上げ潮の6時間に重なった周期1時間の津波6半周期分=3時間に集中すると考えれば、流量は4倍の30,800 m<sup>3</sup>/sに相当し、越流幅200 kmで単位幅流量0.15 m<sup>2</sup>/sと等価になる。同じようにして、3時間内の氾濫水量をつぎの四角ぜきの越流公式で概算する。

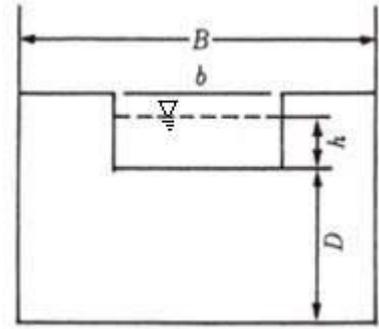


図-5 四角ぜきの記号説明

$$Q = Kbh^{3/2}$$

$$K = 107.1 + 0.177/h + 14.2h/D - 25.7\sqrt{(B-b)h/(DB)} + 2.04\sqrt{B/D}$$

ここで、越流係数Kの右辺第5項が不合理に増大することを避けるため次の諸条件を全て満たす

$$B = 0.5 - 6.3(m), \quad b = 0.15 - 5.0(m);$$

$$D = 0.15 - 3.5(m), \quad bD/B^2 \geq 0.06;$$

$$h = (0.03 - 0.45)\sqrt{b}$$

初期沈下ケース P1 はほぼ全面越流になるので、越流水深hがあまり大きくなる。上述の単位幅流量0.15m<sup>2</sup>/sから限界水深h<sub>c</sub>を計算すると、

$$h_c = 0.13(m)$$

であり、しかも氾濫水量はほぼ上限に近い。

これと対極的な衝撃的な津波、あるいは実験では、越波に近い形態で堤防を乗越え堤内地を遡上する状況もある。

四角ぜきの越流に関する JIS 実験公式の適用にあたっては装置諸元の制約があるので、模型幅で越流量を計算、これを複数(原型幅/模型幅比)連結して総越流量に換算した。25km(/50km)を7cm, 3時間の越流で2.2億 m<sup>3</sup>の氾濫が発生する。P1では、200 km, 13 cmの越流で3.3億 m<sup>3</sup>(3時間), P2の0.23億 m<sup>3</sup>(3時間)の氾濫水量は18 km, 1.5cmの越流の結果である。

児島湾内の共振は全て内部静振が卓越している。

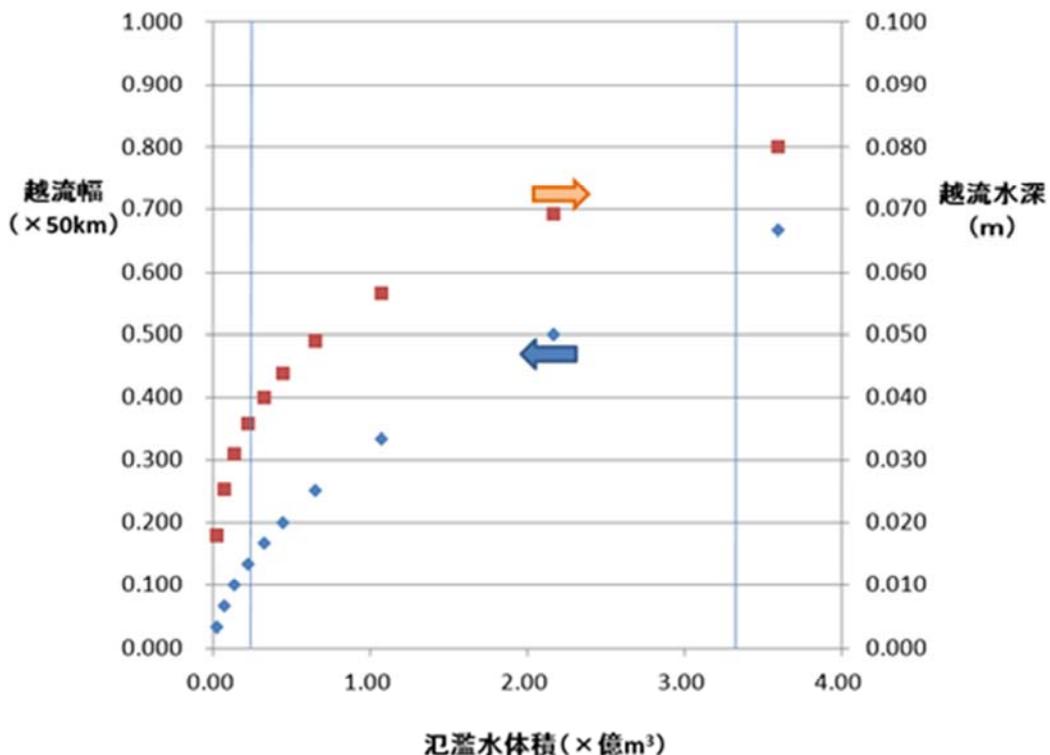


図-6 氾濫水量から越流幅、越流水深の推定

図-8には水温変動から求めた周波数スペクトルを示した[8]。ピークは殆どが潮汐成分に対応するが、宇野の分潮表にない5回潮がみられる。これらの変動要因は河川水と海水の密度差であり、日周潮すなわち1回潮は内部湾振動に相当し、2~6回潮は高次モードである。ただし、周期1~4時間の分潮(24~6回潮)は宇野主要60分潮(最小周期6時間=4回潮)には入らない。

連動地震は太平洋ベルト全域に被害が及び地域相互の救援・支援は実質不可能となる。地方自治体は連動型地震を視野に入れ対策を講じる必要がある。瀬戸内海沿岸でも外洋出入口である水道部の被害が著しいと予想されるので、岡山の果たすべき役割を平素から確認し、公報しておく必要がある。その他、4連動型や広域連動型地震では、津波高も宝永地震の1.5~2倍になり、瀬戸内海に大波高津波が侵入する確率も増大する[9]。

最近、沿岸池沼の津波堆積物の粒度や時代測定から連動地震やM9クラスの超巨大地震の発生についても言及されるようになってきている。

写真-1は日生諸島鶴島沖の消波堤である。その名のとおり消波機能に期待したものである。ここに述べてきたことは一貫して、瀬戸内海中央部の津波は分潮、すなわち非主要な準分潮成分として、主要分潮に抑制された形で混在する成分の一つと

みなしうるのではないかという点である。潮流の性質として挙げられるのは、導流堤や底面粗度の配置にも影響を受けることである。写真のような構造物を適正な間隔で配置すれば、海底の漁礁やカキ殻堆による潮流制御と同等の効果を、可視化して行うことも可能である。

現存の堤防に対して天端の嵩上げは必要であり老朽化部分や堤防空白部や開口部の影響も無視し得ない。これらの置換・補修・充填を同時に行うことができれば対策としては効率がよい。同時に底質、藻場などの制御と関連させ潮流制御を行うことで津波減勢に役立てることを考えていくことが望ましいといえよう。

陸域からの負荷による瀬戸内沿岸の環境問題は、大型化する台風時の高潮や巨大地震で想定される津波の防災対策・避難計画とともに進める必要があるだろう。東南海地震の津波が岡山沿岸まで達するのに、2時間以上要するのは潮汐の特性であり、紀伊水道の入潮が鳴門海峡よりも紀淡海峡に偏る傾向はわずかであるが地球自転と関係しており、また大阪湾の潮時が播磨灘より進む事実は津波が重なっても同じと考えられる。水位は高潮と同程度でも津波の場合には堤防が被災するかどうか重要である。

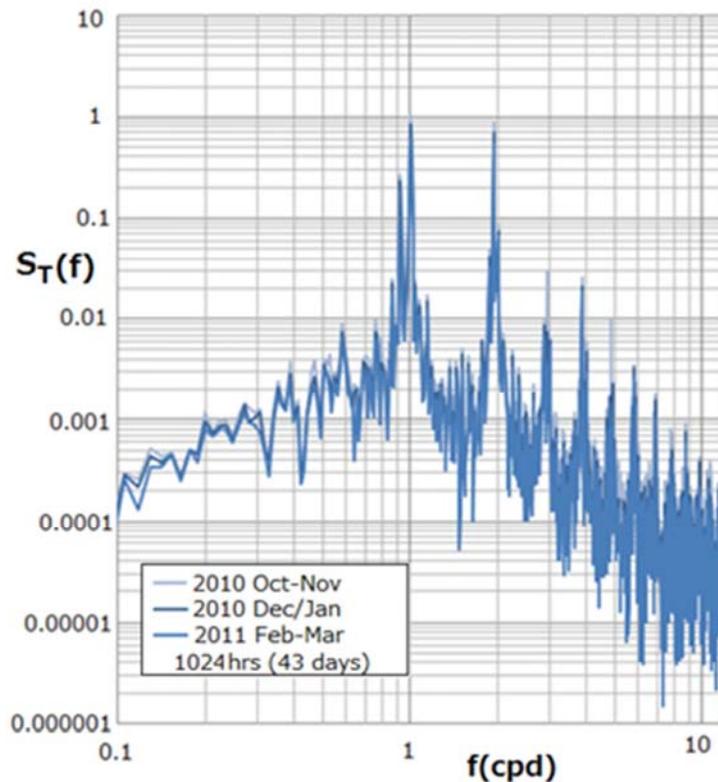


図-7 児島湾入口における水温変動の周期成分



写真-1

【参考文献】

- [1] 内閣府中央防災会議防災対策検討会議・南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ (2012) 南海トラフ巨大地震の被害想定について (第一次報告)
- [2] 内閣府中央防災会議 (2013) 南海トラフ巨大地震対なり策について (最終報告)～南海トラフ巨大地震の地震像～,17p.
- [3] 岡山県危機管理課 (2013) 岡山県地震・津波被害想定調査報告書,186p.
- [4] 柴木秀之 (2012) 南海地震と瀬戸内沿岸の津波の挙動, 第 20 回瀬戸内海研究フォーラム (岡山), 瀬戸内海研究会議, pp.1-4.
- [5] 宮本大輔・村上仁士・上月康則・久保 喬 (2006) 瀬戸内海における津波挙動に及ぼす潮汐および入射波高, 周期の影響, 土木学会海岸工学論文集, 第 53 卷, pp. 261-265.
- [6] 岡山県 (2008) 岡山沿岸海岸保全基本計画 (改訂), 43p.
- [7] 大久保賢治 (2014) : 岡山沿岸の防災と環境に関する課題, 材料と施工, 52, 2014, 43-47.
- [8] 大久保賢治 (2013) : 岡山県児島湾における潮汐過程と底質移動, Laguna, 20, 31-44.

## 岡山沿岸の堤防・護岸の実態調査

岡山大学 藤井 隆史

### 1. はじめに

橋梁、トンネルなどのインフラストラクチャーにおいて、老朽化が社会問題として、昨今大きく取り上げられている。とくに、笹子トンネルにおける天井板落下事故が発生して以降、インフラストラクチャーの維持管理の重要性がとくに重要視されるようになった。また、ゲリラ豪雨や東日本大震災の発災により、我々の生命と財産を守るためにも、土木構造物の重要性が再認識されてきている。海岸に構築される構造物においても、東日本大震災に伴う巨大津波において、その機能の重要性が再認識されている。一方で、巨大津波により、多くの港湾・海岸構造物や橋梁構造物などに大きな被害が生じており、津波によって構造物に加わる力と適切に評価するとともに、津波による損傷を小さくする工夫も必要とされてきている。

防潮堤や水門といった海岸構造物は、台風等による大波や高潮、プレート地震に伴う津波から背後地を守るために重要な役割を担っている。防潮堤は、コンクリート、巨礫、鋼といった様々な材料で建設される。巨礫の多くは天然に存在するものであり、海水と接触しても化学的に安定したものである。一方で、礫間には空隙が存在するため、堤防に用いる場合の役割としては、波による侵食を防ぐことが主な役割とされる。鋼は、切断、溶接といった加工が容易で、また、変形能力が高いため、大きな力を受けた場合にも、靱性的な破壊形式になる。一方で、鋼は腐食する欠点がある。とくに、海水に含まれる塩分は、鋼の腐食を促進させるため、定期的な塗装や、防食対策が必要となる。コンクリートは、自由な形で形成することが可能であること、天然石と同程度の密度を有すること、鋼材のような腐食の恐れがないこと等から多くの海岸構造物に利用されてきた。一方で、海水成分によるエトリングaitの生成などの化学的な侵食、波浪による物理的な侵食、アルカリ骨材反応によるひび割れの発生<sup>1)</sup>等、適切な材料選定や配合選定がなされない場合には、十分な耐久性が確保されないことも認識されてきている。

岡山県南部におけるコンクリート構造物が抱える問題として、海砂を用いることによる内部鋼材の腐食、反応性骨材の使用によるアルカリ骨材反応の発生が挙げられる。アルカリ骨材反応とは、反応性骨材に含まれる非晶質シリカとナトリウム、カリウムなどの金属アルカリとが反応し生成されるアルカリシリカゲルが、吸水することで膨張し、コンクリートにひび割れを生じさせる現象である。原因物質となる金属アルカリは、セメント中に含まれるもの等、構造物構築時からコンクリート中に含有されるものと、凍結防止剤や海水など、構造物を構築した後で構造物に侵入するものがある。海岸構造物においては、とくに海水からナトリウム、カリウムが供給されるため、多くのアルカリシリカゲルが生成されること、水分が多く供給されることで、被害が大きくなることがある。

本調査では、岡山県沿岸に構築されるコンクリート製の護岸ならびに防潮堤について、材料学的観点から劣化の状況を調査した。目視点検から、考えられる劣化の原因を調べた。また、一部の構造物では、テストハンマーを用いた反発度測定からのコンクリート強度の推定を行った。

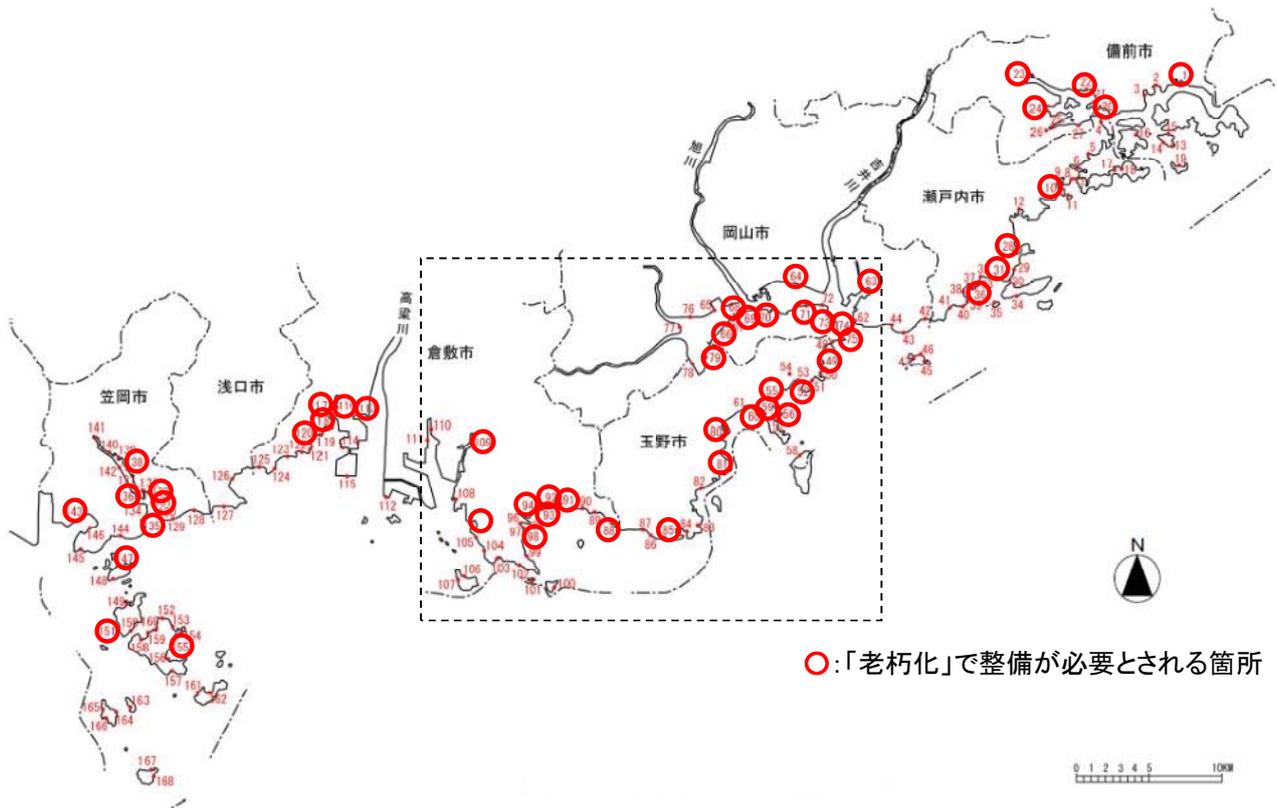
### 2. 調査の概要

#### 2.1 調査の対象

図-1は、岡山県より発行されている「岡山県沿岸海岸保全基本計画」に示される「海岸保全施設を整備しようとする区域」である。図中の○は、「老朽化」として整備が必要とされた個所を示している。本調査では、とくにコンクリート構造物における老朽化について、老朽化の種類の調査を行った。実際に調査を行った地域を、図-2に示す。倉敷市児島塩生から玉野市八浜までの沿岸コンクリート構造物について調査を行った。

#### 2.2 調査方法

コンクリート構造物の調査方法は、外観目視調査を主とした。構造物に近づけるものについては、近接目視点検を行った。また、一部の構造物では、



○:「老朽化」で整備が必要とされる箇所

図－１ 老朽化で整備が必要とされる箇所



図－２ 調査を実施した海岸



写真－１ テストハンマー

写真－１に示すテストハンマーによる反発度測定から、コンクリートの強度推定を行った。

### 3. 調査結果

#### 3.1 倉敷市児島地区の堤防の状況

##### (1) 倉敷市児島塩生

写真－２は、倉敷市児島塩生のサノヤス造船水島製造所の東側にある防波堤を撮影したものである。防波堤の継ぎ目にずれが生じているほか、コンクリート表面は粗骨材が露出した状態になっている。また、写真手前のケーソンでは、コンクリ

ート表面にひび割れが確認される。表面の侵食は、台風等の波浪による侵食や、工業地帯が近いことから、酸性雨による侵食が重なり生じたものと推察される。写真－３は、反対側からひび割れを撮影したものである。ケーソンがマスコンクリートであることから、水和熱による温度ひび割れと推察される。

##### (2) 倉敷市児島通生

写真－４は、倉敷市児島通生の防潮堤を撮影したものである。沖合には石積みの防波堤が整備されている。この地区の南側の防潮堤では、写真－



写真-2 児島塩生の防波堤



写真-3 防波堤コンクリートのひび割れ



写真-4 児島通生の防潮堤



写真-5 防潮堤に見られる表面の侵食

5に示すような表面の侵食はいくらか確認されるものの、大きなひび割れ等はなく、概ね健全であると思われる。一方で、中部から北側にかけての防潮堤には、写真-6から写真-9に示されるようなひび割れが、防潮堤全体に確認された。ひび割れが防潮堤全体にわたって発生していること、防潮堤の延長方向に大きなひび割れが発生していること、また、写真-9に示すように隅角部などで亀甲状のひび割れになっていること、海中部で大きなひび割れが確認されることから、アルカリ骨材反応によるひび割れと推察される。今後、ひび割れ数や幅の増加が確認される場合には、補修が必要となる可能性がある。また、海水と接する部分では、写真-10に示すような侵食が確認された。侵食部で白色の生成物も確認されることから、波浪による物理的な侵食に加えて、エトリングイト生成による化学的な侵食も生じているものと推察される。

### (3) 倉敷市児島下津井

写真-11は、倉敷市児島下津井吹上の下津井田



写真-6 防潮堤に見られる表面の侵食

ノ浦港付近の防波堤を撮影したものである。写真手前側の防波堤は、かさ上げ工事が行われたものと推察され、写真奥側のコンクリートに比べて、表面がきれいである。一方写真奥側に見られるコンクリートには、ひび割れが確認される。写真-12は、写真-11奥側の防波堤を拡大したものであ

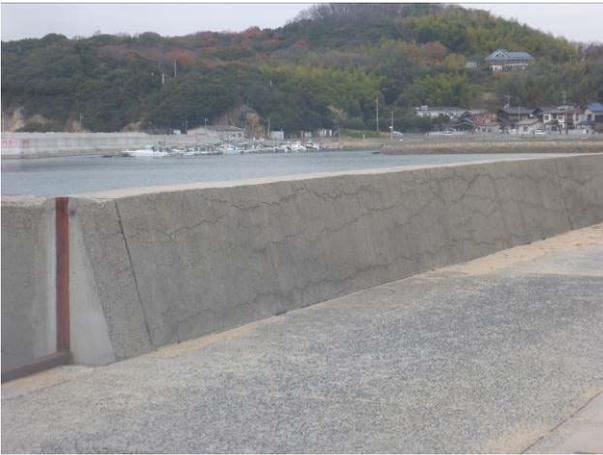


写真-7 防潮堤に見られる表面の侵食



写真-8 防潮堤に見られるひび割れ



写真-9 防潮堤に見られるひび割れ



写真-10 防潮堤に見られるひび割れ



写真-11 防潮堤に見られるひび割れ



写真-12 防潮堤に見られるひび割れ

るが、亀甲状のひび割れが確認できる。写真-13は、写真-11 付近の防潮堤を撮影したものである。この写真にも、亀甲状のひび割れが確認できる。波しぶきを受ける海側のひび割れが大きいこと、亀甲状のひび割れであることから、これらのひび割れは、アルカリ骨材反応によるものと思われる。

また、近年に嵩増しが行われたと思われる個所でも、写真-14 に示すように、海水に接する旧コンクリートの部分では、侵食が確認された。

#### (4) 倉敷市児島琴浦

写真-15 は、倉敷市児島琴浦の防潮堤を撮影したものである。延長方向にひび割れが確認できる。



写真-13 下津井港付近の防潮堤



写真-14 旧コンクリートの劣化状況



写真-15 琴浦港付近の防潮堤



写真-16 琴浦の防波堤に見られるひび割れ



写真-17 児島唐琴の防波堤



写真-18 児島唐琴の防波堤

写真-16に、拡大写真を示す。高さの低い防潮堤であるため、大きな鉄筋が配筋されていることは考えにくく、また、錆び汁も確認されないことから、鉄筋腐食によるひび割れとは考えにくい。このひび割れも、アルカリ骨材反応によるひび割れと推察される。

##### (5) 倉敷市児島唐琴

写真-17は、倉敷市児島唐琴の住宅地近くにある防潮堤である。大きなひび割れではないが、この防潮堤においても、アルカリ骨材反応のものと思われる亀甲状のひび割れが確認できる。

また、写真-18から写真-21は、倉敷市児島唐



写真-19 児島唐琴の防波堤



写真-20 児島唐琴の防波堤



写真-21 児島唐琴の防波堤



写真-22 下津井港の整備された防潮堤

琴の海岸にある展望台の防潮堤を撮影したものである。堤防の両面に亀甲状のひび割れが確認できる。写真-21より、海水に触れる堤防の下部でひび割れが著しくなっていることが分かる。ここでのひび割れも、アルカリ骨材反応によるひび割れであると推察される。

#### (6) 倉敷市児島地区のまとめ

倉敷市児島地区の防波堤、防潮堤で生じている劣化現象は主にアルカリ骨材反応によるものと思われる。この地区は、瀬戸内諸島で製造された砕石を利用していたことがあり、その骨材に反応性骨材が含まれていたものと思われる。また、高度経済成長期には、除塩を十分に行っていない海砂を使用したことも考えられる。さらに、海洋構造物であるため、海水からのアルカリ金属や水分の供給が行われ、アルカリ骨材反応によるひび割れが顕著になっていったと思われる。改修の予定のある個所では、亜硝酸リチウム注入等のアルカリ骨材反応抑制工法を実施したうえで、改修を実施するほうが望ましいと考えられる。また、定期的



写真-23 琴浦港の整備された防潮堤

なひび割れ幅の測定を行い、増加するようであれば、対策が必要と思われる。一方で、この地区は、平成16年の台風16号接近の際、高潮による浸水被害のあった個所でもある。写真-22や写真-23に示されるように、防潮堤の高増し等の改修工事が実施されている箇所が多数あり、大多数の構造



写真-24 山田港付近の防潮堤



写真-25 山田港付近の防潮堤



写真-26 大入海岸付近の防潮堤



写真-27 大入海岸付近の防潮堤

物のコンクリートは概ね良好と思われる。

### 3.2 玉野市から岡山市南区にかけての地区の堤防の状況

#### (1) 玉野市胸上（山田港）

写真-24 は、玉野市胸上の山田港付近の防潮堤を撮影したものである。ひび割れや侵食は確認されず、健全なコンクリートであった。この地域の防潮堤も、写真-25 のように、嵩上げ工事が行われている箇所があった。

#### (2) 玉野市番田

写真-26 は、玉野市番田の大入海岸付近の防潮堤を撮影したものである。こちらの防潮堤でもひび割れや侵食は確認されず、健全なコンクリートであった。しかし、写真-27 に示されるような、不等沈下等によるものと思われるずれの生じている箇所は見られた。

一方、写真-28 は、玉野市番田の弁天崎から岡山市南区小串にかけての海岸の防潮堤である。大他の近くに比べると、背後地の海拔が低い印象が



写真-28 玉野市番田～岡山市南区小串の防潮堤の全景

あり、比較的大きな防潮堤である。写真-29 から写真-31 は、防潮堤の外観を拡大して撮影したものであるが、粗骨材の露出がかなり多く確認された。写真-32 および写真-33 は、防潮堤表面を拡大したものであるが、今回、調査の対象とした地



写真-29 防潮堤の外観



写真-30 防潮堤の外観



写真-31 防潮堤の外観

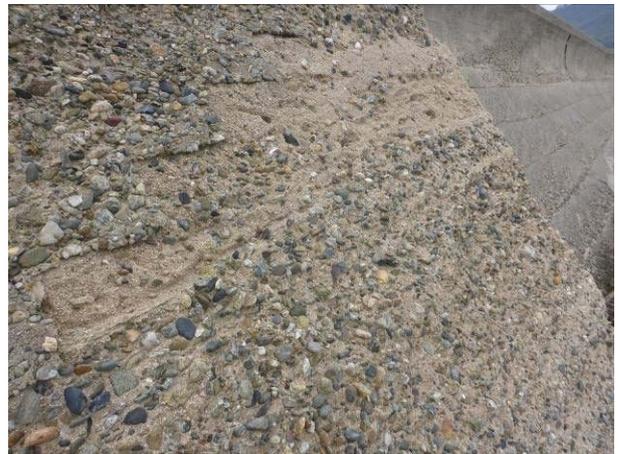


写真-32 防潮堤の表面



写真-33 防潮堤の表面



写真-34 防潮堤の表面に見られる施工不良

域の中では、最も表面の侵食が進んでいる地域であった。写真-34に示されるように、防潮堤表面には、ジャンカと見られる施工不良も確認された。施工性の悪いコンクリートを用いて施工されたことが推察される。そこで、写真-35に示すように、テストハンマーを用いた反発度の測定を行った。

表-1に、反発度の測定結果と、反発度から推定されるコンクリート強度を示す。多くの地点で推定強度として  $20\text{N/mm}^2$  程度の強度が算出されている。一方で、 $10\text{N/mm}^2$  程度と他の半分程度の強度であるところもある。十分な品質管理および施工管理の行われていない状態で、コンクリート

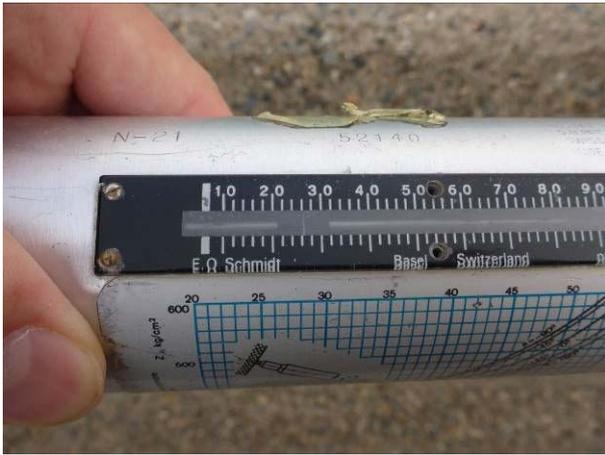


写真-35 テストハンマーによる反発度測定

表-1 反発度の測定結果と推定強度

No.	反発度	推定強度 (N/mm <sup>2</sup> )	平均 (N/mm <sup>2</sup> )
1	26	19.5	20.1
2	26	19.5	
3	18	9.1	
4	24	16.9	
5	33	28.6	
6	32	27.3	



写真-36 小串付近の防潮堤



写真-37 小串付近の堤防



写真-38 小串付近の防波堤



写真-39 宮浦付近の防潮堤

の製造および施工が行われたものと思われる。

### (3) 岡山市南区小串

写真-36 は、岡山市南区小串のポートオブ岡山付近の防潮堤を撮影したものである。コンクリート表面は粗骨材が露出した状態である。また、写真-37 は、同地区にある堤防であるが、水面近く

に施工不良と見られるジャンカがある。さらに、写真-38 に示すように、防波堤が基礎の沈下によると思われるずれが多く確認された。

### (4) 岡山市南区宮浦

写真-39 は、岡山市南区宮浦付近の防潮堤を撮影したものである。コンクリートには、ひび割れ



写真-40 郡付近の防潮堤



写真-41 郡付近の防潮堤



写真-42 八浜付近の堤防



写真-43 八浜付近の堤防

や粗骨材の露出は見られず、概ね健全と思われるが、継ぎ目部分の詰め材の劣化や消失に伴う隙間は確認された。

**(5) 岡山市南区郡**

写真-40 は、岡山市南区郡付近の防潮堤を撮影したものである。こちらのコンクリートには、ひび割れや粗骨材の露出は見られず、概ね健全と思われる。海側を撮影した写真-41 から、粗骨材の露出も見られず、目視からは、コンクリートは概ね健全と推定される。

**(6) 玉野市八浜**

写真-42 は、玉野市八浜付近の護岸を撮影したものである。ここは、コンクリートブロックによって堤防捕表面を保護している箇所である。コンクリートブロックの表面には、軽微な侵食は見られるが概ね健全と思われる。ただし、写真-43 にあるように、ブロック同士をつないでいる鋼材は腐食している。

**(7) 玉野市および岡山市南区のまとめ**

玉野市から岡山市南区の地区の防潮堤には、品

質管理が十分に行われていないコンクリートが使用されたり、十分な締固めが行われていないために生じたと思われる個所が散見された。一方で、アルカリ骨材反応と疑われるひび割れは、ほとんど確認されなかった。

**4. まとめ**

倉敷市児島地区では、アルカリ骨材反応によるひび割れが生じた海岸構造物がある。一方、玉野市から岡山市南区にかけての海岸構造物では、アルカリ骨材反応によると思われるひび割れは少ないが、十分な品質管理を行われていないコンクリートを用いたり、十分な締固めが行われなかったりしたために生じたと思われる施工不良が見られた。

参考文献

1) (公社)日本コンクリート工学会：コンクリート診断技術'14, 2014.2

## 南海トラフ巨大地震を想定した岡山市の津波遡上解析

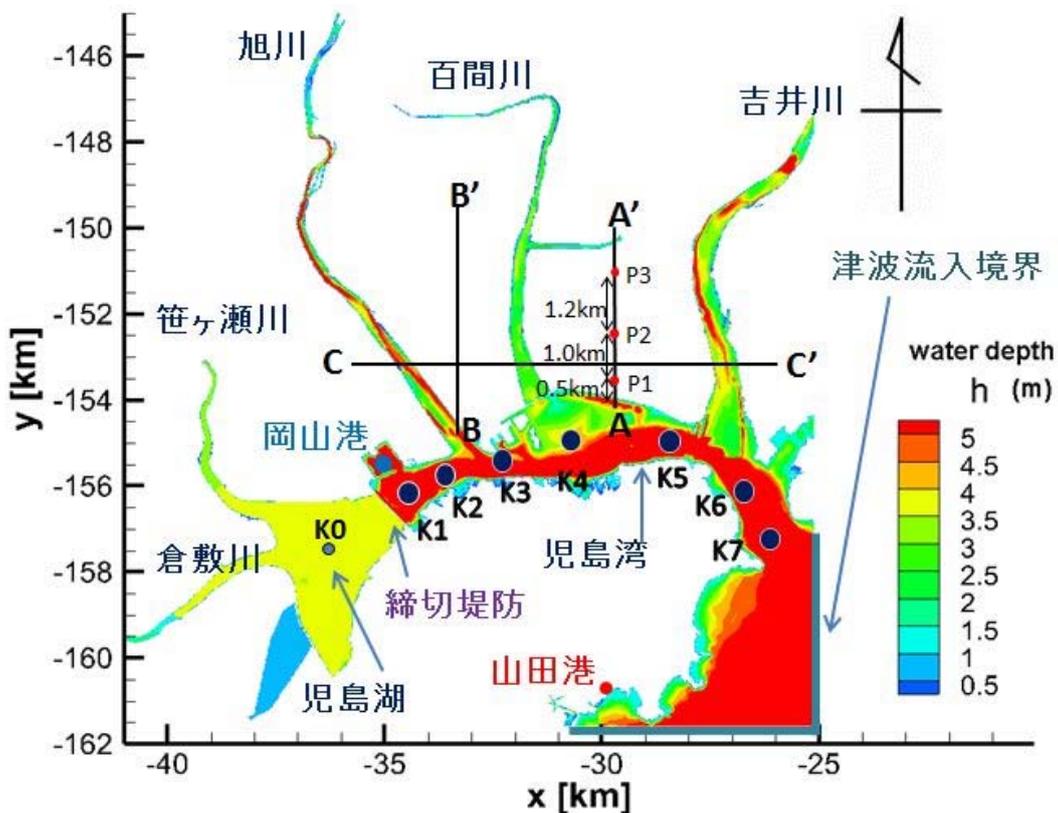
岡山大学 環境生命科学研究科 前野詩朗  
 岡山大学 環境生命科学研究科 吉田圭介  
 岡山大学 環境生命科学研究科 工代健太

### 1. はじめに

東海地震，東南海地震，南海地震が連動して起きる南海トラフ巨大地震が発生した場合，2011年の東日本大震災を超える津波被害が予測されている．内閣府の中央防災会議（以下「内閣府」と呼ぶ）が2012年に実施した南海トラフ巨大地震発生時の津波シミュレーションでは瀬戸内海に面する岡山市においても波高が2mを超える津波が到達する可能性があることが分かった．児島湾，児島湖沿岸地域を含む岡山市の南部地域には標高が低く地盤が脆弱な干拓地が広がっており，この巨大地震の発生時に津波の浸水による被害が拡大する可能性が考えられる．岡山県の危機管理課では南海トラフ地震の最悪のシナリオを想定した津波浸水想定マップが公開されているが，津波がどの程度の時間でどの程度の浸水深や流速で拡大するのかといった遡上過程の詳細は現在のところ示されて

いない．そこで，南海トラフ巨大地震発生時の岡山市南部地域における津波の遡上過程と浸水範囲を具体的に明らかにし，津波避難計画の確立等，岡山市の津波対策に資することを目的とし，津波浸水想定の設定の手引き（以下「手引き」と呼ぶ）を参照し，岡山市南部地域において2次元の津波遡上シミュレーションを行った．

本報告書ではまず2. 数値シミュレーションの概要において津波シミュレーションの具体的な手法および初期・境界条件などの各条件設定について説明する．そして3. 解析結果において各解析ケースごとに結果を示しつつ，それらの比較から地震発生からの経過時間と浸水状況の変化の関係および後述する堤防高の条件設定と津波氾濫状況の関係に主に着目し結果についての考察を述べる．さらに4. おわりにでは本研究の主な結論と今後の課題について述べる．



図－1 計算範囲の初期状況と主な地名

## 2. 数値シミュレーションの概要

### 2.1 計算対象範囲および地形データ

本研究では、岡山県危機管理課が公表している津波浸水想定（2013年）において浸水被害が大きいと予測されている児島湾北部の干拓地を含む東西方向に16.1km、南北方向に17kmの範囲を解析領域とした。図-1は計算範囲内の初期水深と主な地名を示している。解析は10mの構造格子を用いて行った。また、「手引き」に示されたとおりメッシュサイズよりも大きな地形については標高を与え、それよりも小さな家屋などの構造物については土地利用ついでのマニングの粗度データを与えることで地形を再現した。標高データおよびマニングの粗度係数のデータは内閣府が提供している10mごとのデータを用いた。

### 2.2 初期条件および境界条件

岡山県備前県民局によると児島湖の水位は年間を通して通常時は約T.P.-0.5mになるよう管理されているため、本解析の児島湖の初期水位もこの値に設定した。一方、児島湾側の初期水位は津波波形データの初期値に合わせ、「平成24年気象庁潮位表」の山田港における年間最高水位である

T.P.1.29mとした。

図-1に示す河川のうち、比較的大きな流量が観測されている一級河川の旭川、吉井川については計算範囲の上流端から境界条件としてそれぞれ $42.6\text{m}^3/\text{s}$ 、 $27.4\text{m}^3/\text{s}$ の流量を与えた。これらの流量は国土交通省管轄の各水位観測所、下牧（旭川河口から19km）、御休（吉井川河口から14km）にて観測された2006年から2010年の5年間の平水流量の平均値である。児島湾の初期水位をT.P.1.29mとして、上記の流量を各々の河川の上流端に与え解析開始時の初期状態(図-1参照)を作るための事前計算を行ったところ、旭川、吉井川の上流端付近の水位はそれぞれ約T.P.4.75m、T.P.1.28mで安定した。岡山河川事務所提供の旭川及び吉井川の縦断測量図と比較した結果、上流端境界地点の平水流量時の水位としての妥当性が確認されたため、両河川の上流端水位をそれらの値に合わせ本解析を行った。

### 2.3 数値モデルおよびその適用方法について

本研究では基本的に「手引き」に示されている非線形長波理論に基づく連続式および運動方程式(式(1)~(3))を支配方程式として用い、水際部での計算打ち切り水深を10cmに設定した。ただし、盛土

#### 連続式

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$\eta$ : 水位 (m)  
 $M, N$ : 東西及び南北方向の流量フラックス( $\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$ )  
 $h$ : 初期状態の水深 (m)  
 $D$ : 全水深 (m)  
 $G$ : 重力加速度( $=9.8\text{m}/\text{s}^2$ )  
 $n$ : マニングの粗度係数( $\text{m}^{-1/3}\text{s}$ )

#### 運動方程式

〈東西方向〉

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

〈南北方向〉

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

堤防上にかかるメッシュについては堤防越流をより正確に再現するため運動方程式の代わりに本間の越流公式により流量を計算し、堤防上の計算打ち切り水深を5cmに引き下げた。なお、タイムステップは「手引き」のCFL条件を十分満足するように0.05sに設定した。

## 2.4 解析ケース（津波波形，堤防条件）

内閣府の津波解析結果では南海トラフ巨大地震モデル検討会で決められた全11の地震ケースのうち、「ケース④の四国沖に大すべり域を設定した場合」に岡山県山田港（図-1参照）に到達する津波高が最も大きくなった。そこで、基本的に内閣府のケース④の津波解析により、山田港で得られた波形データを入力波形データ（図-2の標準波形）として用い、津波の氾濫がほぼ収束する津波発生後11時間を解析時間とした。児島湾湾口部への津波の侵入方向の検討が現時点では不十分であるため、図-1に示す通り、計算範囲の東端および南端の海域境界から山田港の津波波形を与えた。この条件で地震発生から8時間の検証計算をおこなったところ、図に示す通り、湾奥部の岡山港（図-1

参照）において得られた波形の傾向が内閣府の解析とほぼ一致したことから、この津波境界条件の妥当性を確認した。

解析は表-1に示す波形条件、堤防条件を変えた4ケース実施した。Case1では上記の内閣府の波形データ及び堤防の標高データをそのまま用いた。ただし、内閣府の解析では岡山県沿岸で最大のT.P.3.7mの津波が備前市に到達すると予測されている。このクラスの津波が児島湾に押し寄せる可能性も十分考えられるため、Case2ではこの最大水位を実現するため波形の各時間帯の水位と初期水位の差が標準波形のもの約2倍となるように拡大した波形データ（図-2の拡大波形）を使用した。

Case3, Case4では液状化による堤防沈下を想定した解析を行った。沈下対象堤防およびその沈下量については岡山県危機管理課が作成した岡山県液状化危険度マップ（図-3）を参考に以下の通り設定した。図から児島湾、児島湖の沿岸部および各河川部のほとんどが液状化危険度を示すPL値が15以上で極めて高い地域に属していることが確認できる。さらに児島湾と児島湖の北岸と各河川

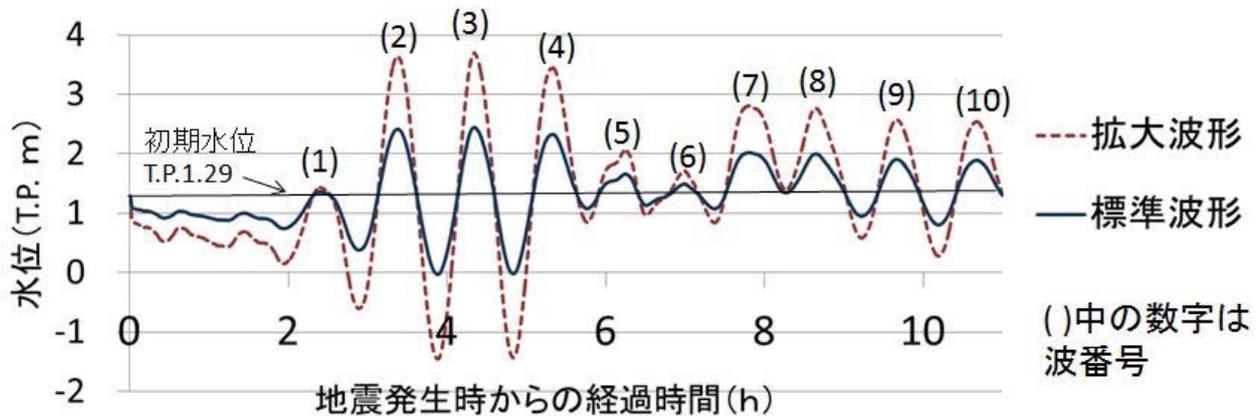


図-2 津波波形

表-1 解析ケース

ケース番号	津波振幅	堤防高	児島湖締切堤防
Case1	標準	変化なし	変化なし
Case2	拡大	変化なし	変化なし
Case3	標準	50%沈下	50%沈下
Case4	標準	50%沈下	50%沈下(水門部:T.P.0m)

両岸の盛土堤防及び児島湖締切堤防はいずれも耐震化対策がなされていないかもしくは対策中であるため、これらの堤防を沈下の対象とした。千葉県が公表している「平成19年度千葉県地震被害想定報告書」ではPL値が15を超える場合、堤防沈下量は堤防高の50%以上が目安とされている。また国土交通省により発表された「レベル2地震動に対する河川堤防の耐震点検マニュアル」は過去の地震の事例から液状化による堤防の沈下量は最大でも堤防高の75%以下におさまることを示している。そこで本研究ではこれらを踏まえて対象堤防の沈下量を一律に堤防高の50%とした。Case4については地震動による児島湖締切堤防の破堤を考慮するため、Case3と同じように堤防を50%沈下させたうえで児島湖締切堤防水門部の標高を地震発生時からT.P.0mとして解析を行った。

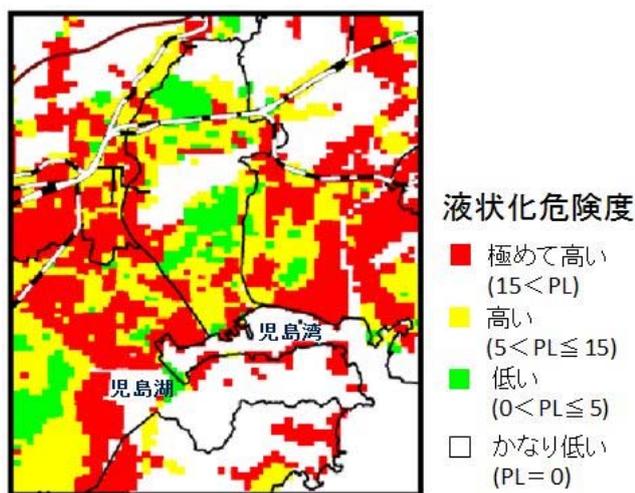


図-3 岡山県液状化危険度マップ

「手引き」では河川堤防、海岸堤防は津波越流開始時に破壊するものとして取り扱うことが基本とされている。しかし、渡辺らが実施した東日本大震災における東北地方の堤防の被害調査において越流水深が2m以下の箇所では盛土堤防の全壊はほぼ皆無であったことを示しているのに対し、本解析で確認された越流水深がほぼすべての堤防部で0.5mを下回っていたことや岡山市に到達すると予測されている津波高よりも水位の高い高潮を想定した海岸堤防および河川堤防の改修工事が岡山県および国土交通省により進められていることなどを勘案し、本解析では津波越流による堤防破壊は考慮しなかった。

### 3. 解析結果と考察

#### 3.1 津波波高の増大が浸水状況に与える影響 (Case1, Case2)

図-4はCase1の地震発生11時間後、図-5、図-6

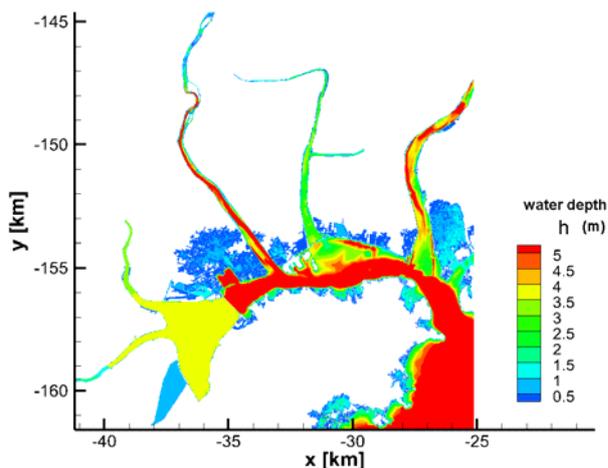


図-5 浸水状況 Case2 (6 時間後)

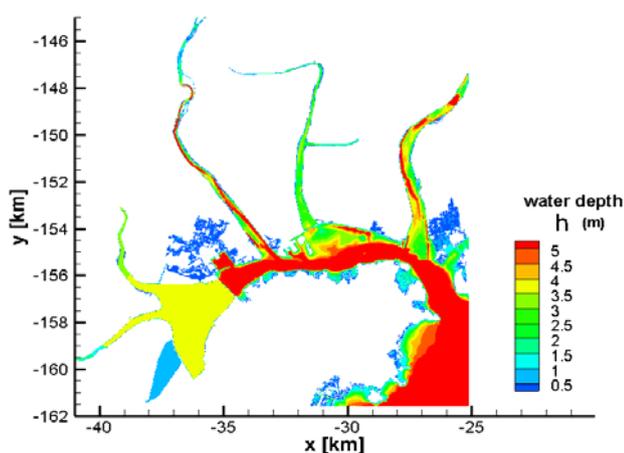


図-4 浸水状況 Case1 (11 時間後)

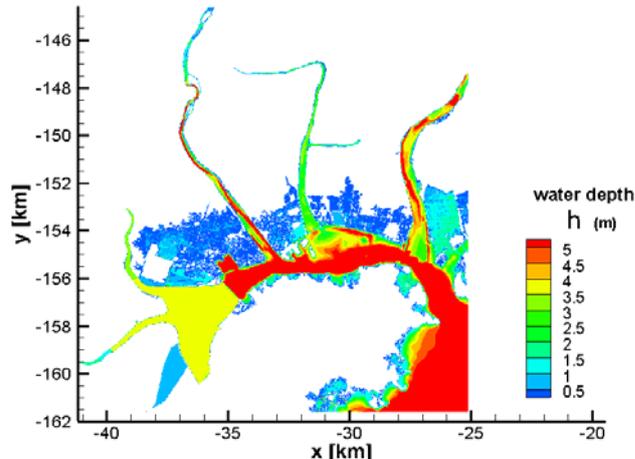


図-6 浸水状況 Case2 (11 時間後)

はCase2のそれぞれ地震発生後6時間、11時間後の浸水状況を示している。Case1では地震発生11時間後においても浸水は限られた場所で見られず最大浸水面積は約4km<sup>2</sup>に留まった(図-4参照)。これは、標準波形の最大波高が2.5mに満たないのに対して、上述したとおり沿岸部および河口部にはT.P.3.0m～4.0mの盛土堤防が築かれているため、津波氾濫があまりおこらなかったためであると考えられる。一方で波高を拡大したCase2では、堤防を沈下させていないにもかかわらず全体的な浸水面積の増加が見られ、地震発生11時間後では特に児島湾の湾奥部に面する干拓地西部の旭川右岸地域において浸水が広い範囲で見られた(図-6参照)。またこの地域の浸水は第2波～第4波の波高が大きな3波が到来した地震発生後6時間後の段階でかなり進行していることが分かる(図-5参照)。図-7は図-1に示した児島湾のK1～K7地点の地震発生3.5～4.0時間後の水位変化をグラフに示したものである。ここでは各地点の水位がピークになるタイミングの違いから時間経過に伴い津波の第2波が湾奥部へ向かって進んでいる様子がうかがえる。さらに地震発生3.7～4.0時間後の約20分間にわたり、児島湾縮切堤防に近いK1とK2地点の水位が2m～3m近くまで押し上げられていることが分かる。これは津波が児島湖縮切堤防にせき止められることによるものであると考えられ、このような縮切堤防からの反射波に伴う湾奥部の一時的な水位上昇が数波に渡って繰り返し起こることによって旭川の西側地域に浸水が広がったと考えられ

る。この地域は図の航空写真でも確認できるように臨海部や旭川河口付近に工場施設や住宅地が比較的多く存在しており、津波氾濫による被害が拡大する可能性が考えられる。最大浸水深はCase1が約0.8mだったのに対し、Case2では吉井川下流の左岸側で約1.5m以上の箇所が見られた。しかし、全体的にはどちらのケースも浸水深が0.5m以下のところが多く見受けられた。

### 3.2 地盤沈下発生時の津波遡上状況 (Case3, Case4)

図-8～図-10は、液状化による地盤沈下を想定し、堤防高を50%にしたCase3における地震発生からの各経過時間ごとの浸水状況を示している。図-8については吉井川河口部から児島湾の三幡九幡海岸の東側を含む流速分布図を上部に示す。図-8より、波高の大きな第2波が到達した地震発生4.7時間後には吉井川と旭川の河口部から浸水が広がっている様子が見られる。さらに浸水は、図-9と図-10の比較から地震発生約6時間後までの波高が大きな津波だけで拡大するのではなくてその後の数波に渡って拡大していることが分かる。地震発生11時間後において浸水面積は堤防沈下を考慮しなかったCase1のほぼ10倍にあたる約40km<sup>2</sup>となり、浸水深も多くの場所で1mを上回ることが分かる。このことから地震発生時の堤防高の標高の違いが岡山平野における津波浸水状況に非常に大きな影響をもたらすことが確認できた。

本ケースについては場所ごとの水位変化や流速

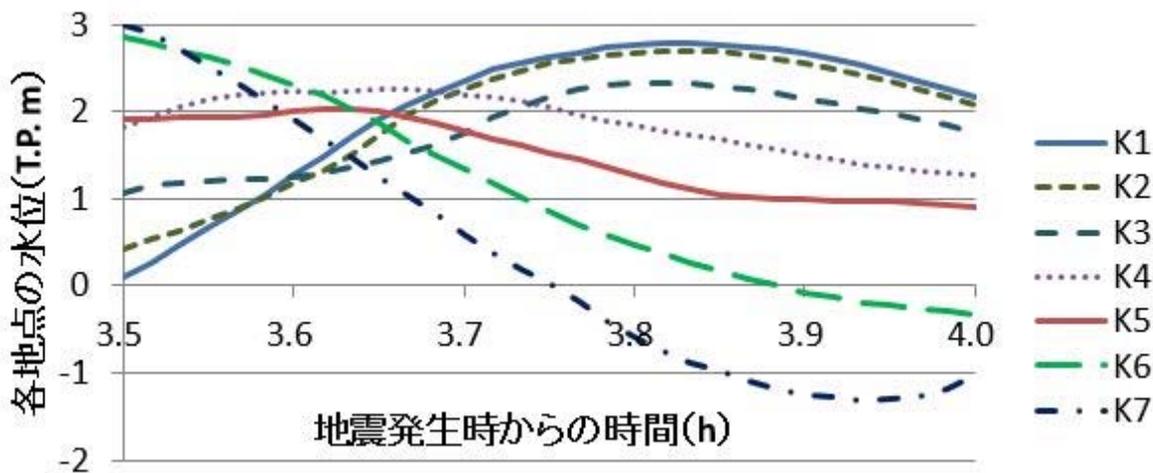


図-7 児島湾水位分布の時間変化 (Case2)

変化などを示し、津波の遡上状況をより具体的に述べる。図-11は図-1で示した AA'断面、BB'断面、CC'断面の時間ごとの水位変化を示したものである。これらの図から干拓地の大部分の標高が T.P.0m を下回っていることや3河川が天井川になっていることが分かる。地震発生3.7時間後と4.7時間後に吉井川の水位が上昇し、両岸から氾濫が起きていることが確認できる。また、AA'断面を見ると同じ時点において児島湾側から津波高が堤防より高くなり浸水が広がっていることが分かる。図-8中の流速分布図からも、地震発生4.7時間後には吉井川と百間川の間干拓地では吉井川と児島湾の両側から内陸部へ向かって浸水が進んでいることが分かる。なお、BB'断面図から、この時間帯において旭川河口部においても氾濫が起きていることが確認できる。図-11のAA'断面、BB'断面から地震発生6時間後には堤防からそれぞれ約2.5km、3.0kmの範囲が浸水し、それ以降も児島湾側から氾濫し、浸水域の北上と浸水深の増加が進んでいることが分かる。特に地震発生9時間後には児島湾、旭川河口、吉井川での水位が高くなり、地震発生6時間後から9時間後までの3時間で浸水深が増加する。さらに9時間後の陸域の水位を見ると、後から氾濫した津波がすでに浸水した場所を段波として北方に伝播している様子も見る事ができる。

図-12はAA'断面上のP1、P2、P3の3地点にお

る水位、流速の時間変化を示したものである。この図から津波はそれぞれ約0.75m/s、0.5m/s、0.85m/sの速度で到達することが分かる。水深は3地点ともに津波到達直後一気に数10cm増加している。これは津波の先端部が段波状に進むことを示しており、図-9のAA'、BB'断面の津波遡上先端付近で水面勾配が大きくなっていることから分かる。解析結果から得られた津波到達時の水深と流速の津波に巻き込まれると特に子供や高齢者は歩行困難となる可能性があるため確実な避難が必要である。浸水深は、津波到達後、一端緩やかな水位減少に転じた後さらに増加するという2段階の上昇傾向が見られた。2回目の水位上昇は津波発生8時間経過後から始まっており、地震発生長時間後も避難体制を継続する必要があることが分かる。図-13は児島湾と児島湖の水位の時間変化を示している。図から児島湖西岸側の干拓地への浸水は見られなかったが波高が大きな津波が到達した際、児島湾側のK1地点(図-1参照)の潮位が締切堤防の地盤高を超えていることが分かる。さらに波高が大きい波が到達した地震発生3.5時間後以降にCase3においても児島湖側のK0地点(図-1参照)の水位の上昇も確認できる。以上から締切堤防が50%沈下した場合に津波による越流が起きることが明らかとなった。

堤防沈下に加え地震発生直後に児島湖締切堤防の水門部が破壊されることを想定したCase4では

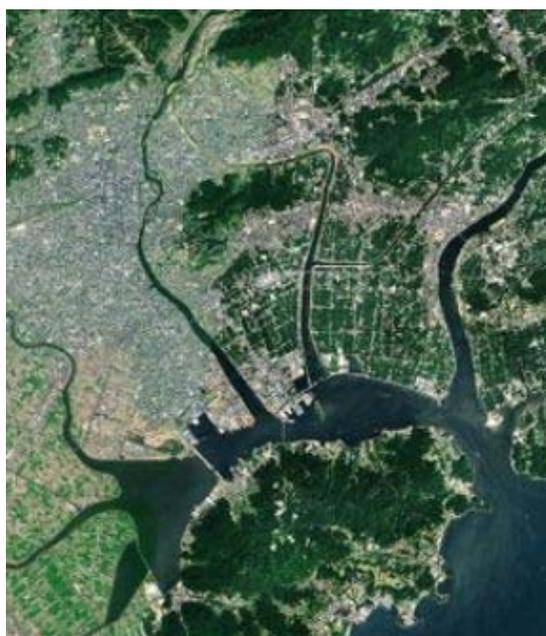


写真1 計算範囲の航空写真

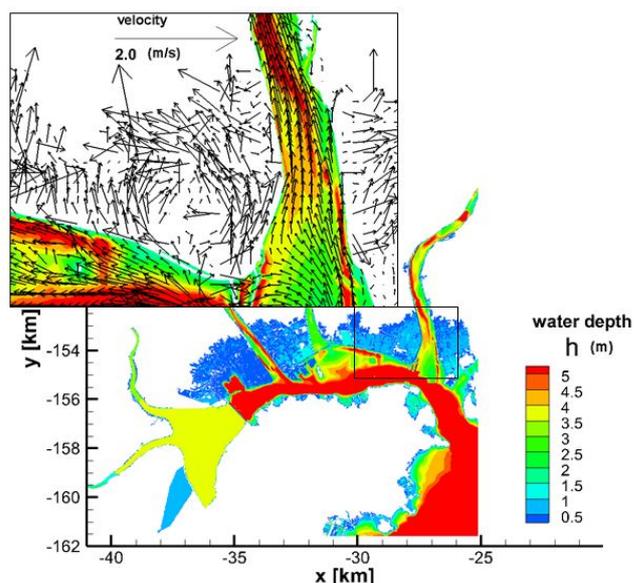


図-8 浸水状況および拡大流速分布図  
Case3(4.7時間後)

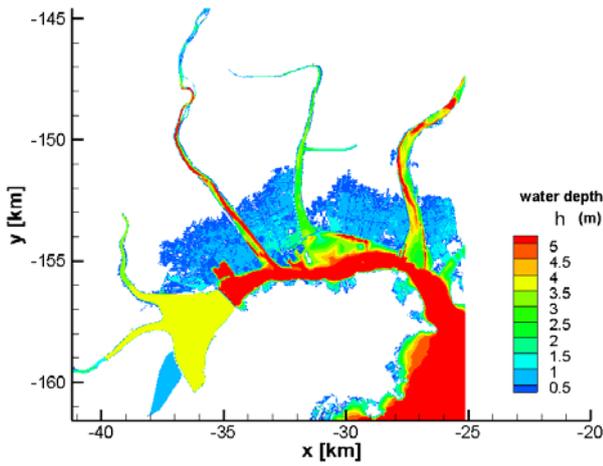


図-9 浸水状況 Case3 (6 時間後)

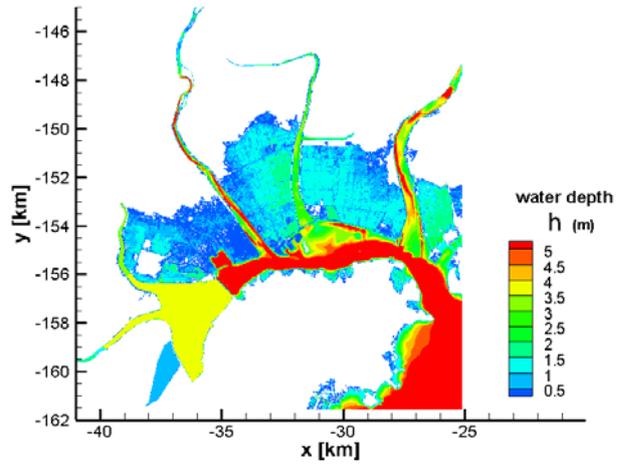


図-10 浸水状況 Case3 (11 時間後)

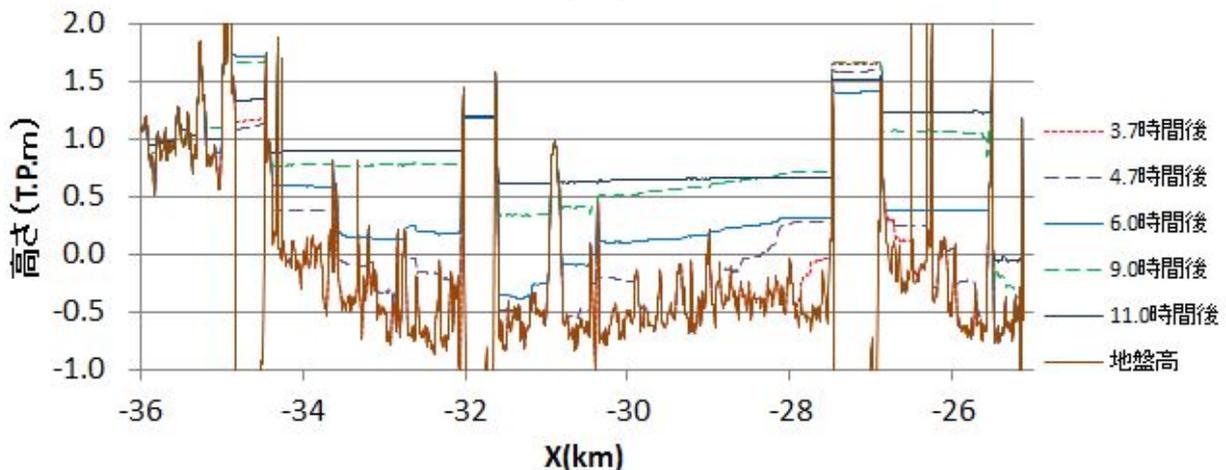
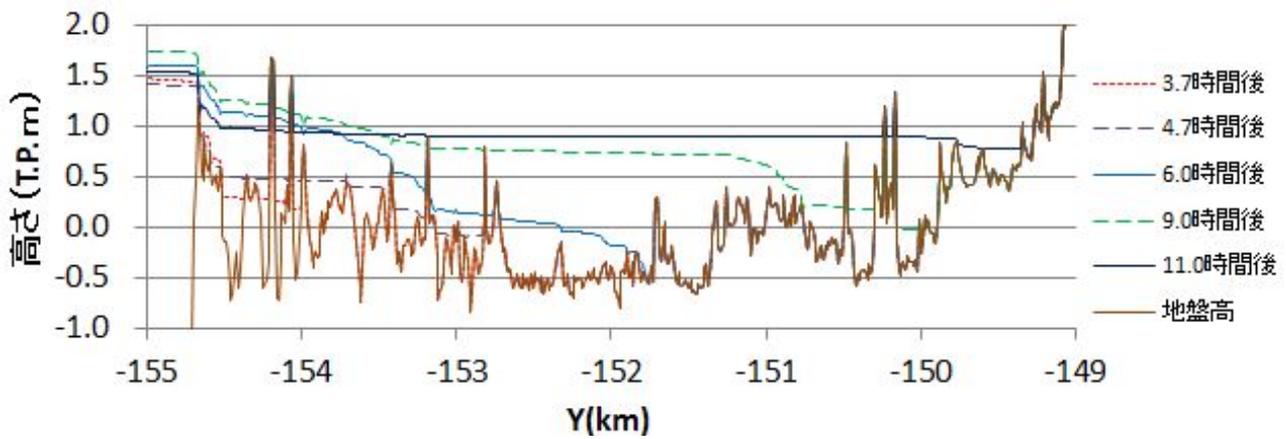
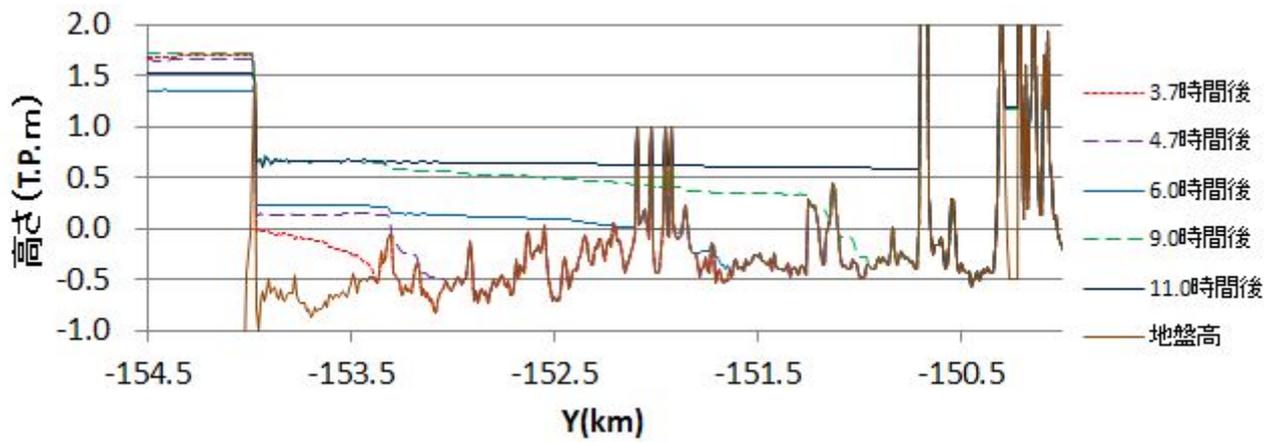


図-11 各断面ごとの水位分布変化 Case3 (上から AA' , BB' , CC' 断面)

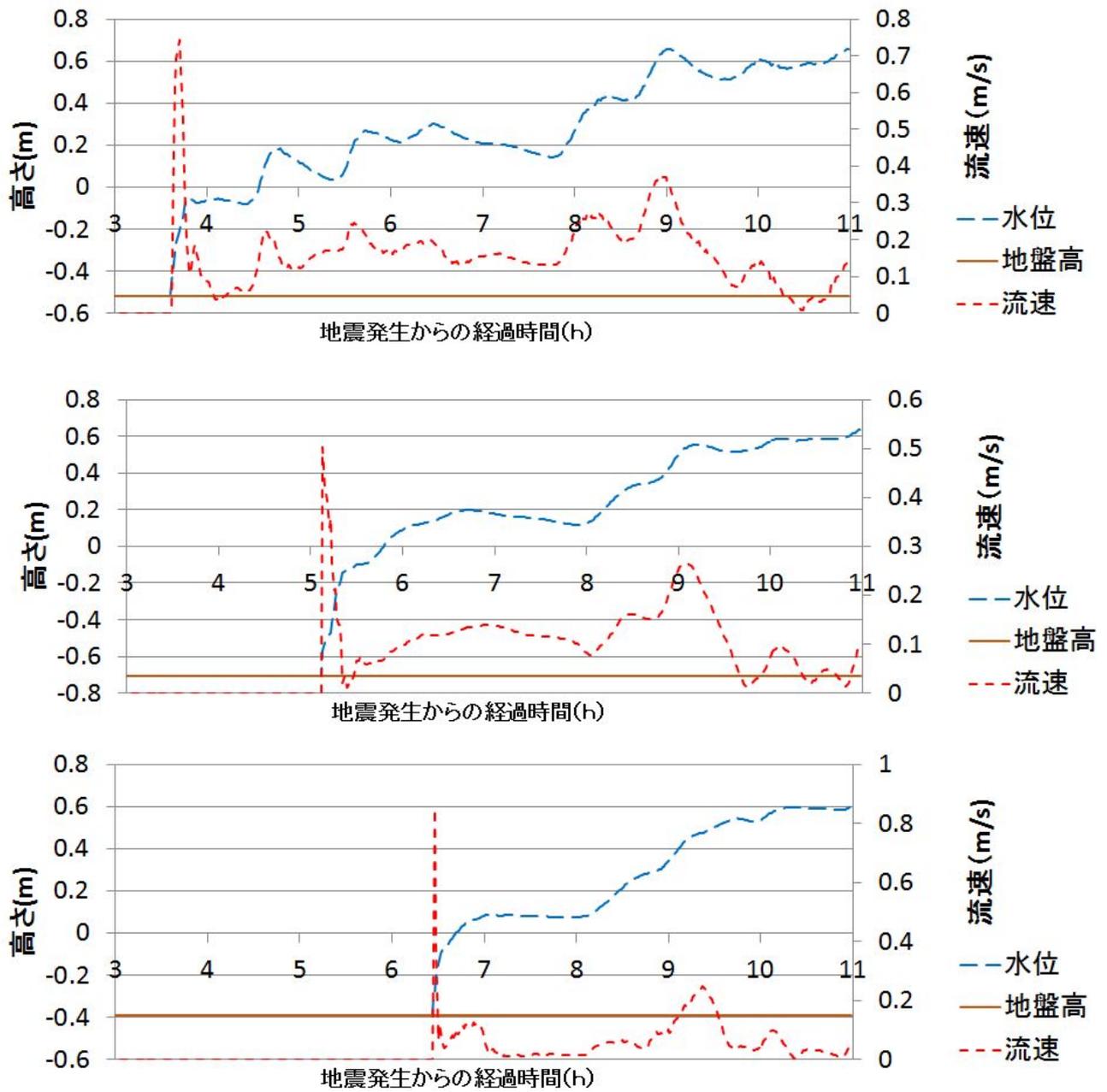


図-12 水位・流速変化 Case3 (上から P1, P2, P3)



写真 2 児島湖締切堤防

図-15に示す通り，地震発生11時間後には児島湾の北部だけでなく児島湖西部の干拓地にも広い範囲で浸水が見られる．図-13より水位差から生じる児島湾側からの潮の流入により，児島湖の水位は地震発生直後から始まり，地震発生約6時間後にかけて約0.7m増加していることが確認できる．一方で図-14から児島湖西岸の干拓地の浸水は地震発生6時間後の時点ではまだ始まったばかりであり，図-15との比較からその後5時間で浸水域が西方へ広がったことが分かる．締切堤防の破堤を考えなかったCase3と比較したところ，児島湾北部の干拓地の浸水開始時点および浸水面積に大きな違いは見られなかった．以上のことから児島湖締切堤防が破堤した場合，児島湾西部の干拓地では児島湖の水位が約T.P.0.2mまで上昇した後に浸水が本格的に始まり，児島湾北部の干拓地よりも遅れて浸水域が拡大する可能性があることが明らかとなっ

た．

#### 4. おわりに

本報告書では岡山市南部の干拓地における津波遡上解析の研究について基に報告を行った．最後に本研究で得られた主な結論を述べる．

地震発生時の堤防沈下を考慮して盛土堤防が50%沈下した場合，児島湾北部の干拓地が北方まで広範囲にわたって浸水し，浸水面積は堤防沈下を考えない場合の約10倍に達することが分かった．また堤防部での津波越流は津波の一波目だけではなく数波に渡って起こり，干拓地において長時間かけて津波浸水域の拡大が進むことも判明した．さらに地震発生後の児島湖締切堤防の状態が児島湖西部地域における津波浸水被害の大小に大きく影響し，締切堤防の水門部が地震発生時に破

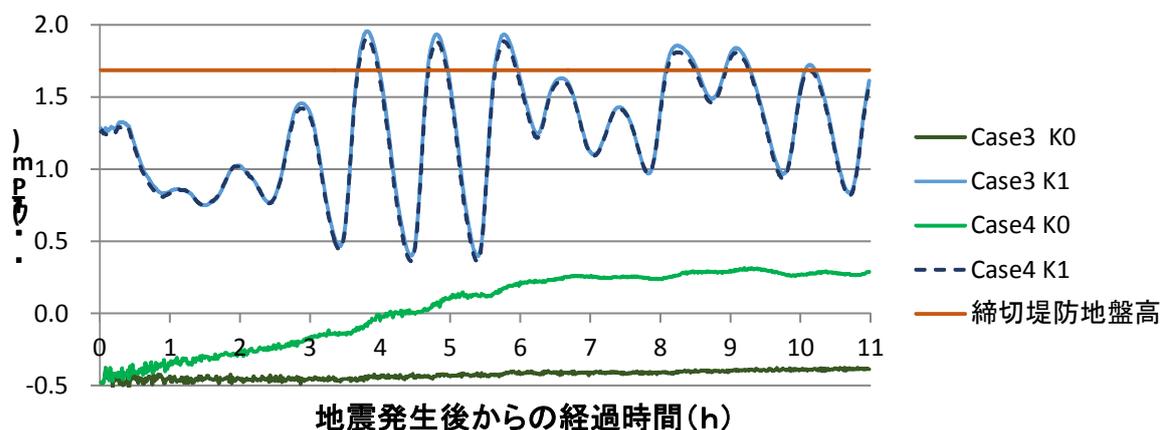


図-13 児島湾(K1)および児島湖(K0)の水位変化

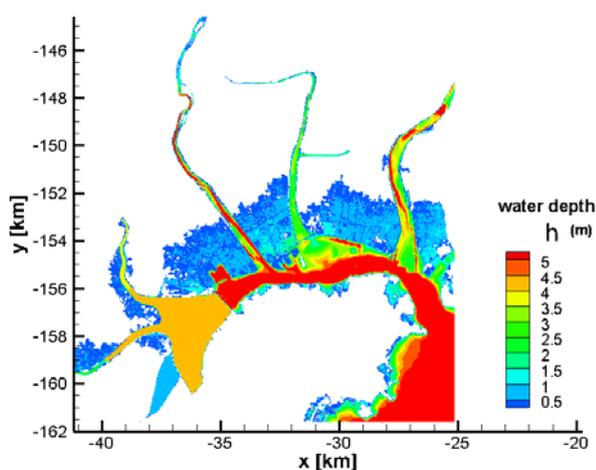


図-14 浸水状況 Case4(6時間後)

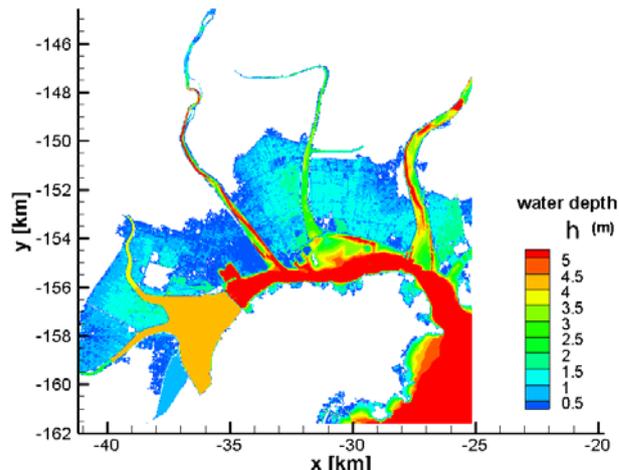


図-15 浸水状況 Case4(11時間後)

堤した場合、この地域では児島湖の水位上昇に伴い児島湾北部の地域よりも遅れて津波氾濫が起こることが明らかとなった。液状化による堤防沈下を想定したケースではいずれも干拓地のほとんどの部分に浸水が及んでおり、確実に津波被害を避けるには干拓地の区域から早めに避難することが必要であることが分かった。

なお、岡山への津波浸水は地震発生後約3時間半遅れて始まるが、本解析において津波浸水規模が特に大きかった児島湾北側の干拓地には自力で避難することが難しい高齢者や要介護者の方々も比較的高い割合で在住されており、近くに安全な避難場所となる高台も少ないことから避難計画を日頃から綿密に練っておくことが今後の津波被害の最小化に向けて不可欠である。

### 参考文献

/・国土交通省水管理・国土保全局海岸室，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：津波浸水想定設定の手引き，Ver.2.0，2012

・岡山県HP

URL:[http://www.pref.okayama.jp/uploaded/life/311947\\_1421964\\_misc.pdf](http://www.pref.okayama.jp/uploaded/life/311947_1421964_misc.pdf)

・渡邊国広，諏訪義雄，加藤史訓，藤田光一：東北地方太平洋地震津波による海岸堤防の被災分析，土木学会論文集B2，Vol68，No.2，I\_356 - I\_360，2012.