

香川県地震・津波被害想定調査委員会

議事次第（第4回）



日時：平成24年10月22日（月）10:00 ～

場所：香川県庁本館 12階 第一会議室

1. 開 会
2. あいさつ
3. 会議の公開・非公開の決定
4. 議 事
 - (1) 前回（第3回）調査委員会の論点整理について
 - (2) 発生頻度の高い海溝型（南海トラフ）地震の震源・波源モデルについて
 - ① 発生頻度の高い地震・津波について
 - ② 宝永地震と安政南海地震のモデルについて
 - (3) 津波シミュレーションの条件設定について
 - ① 堤防条件について
 - ② 潮位条件について
 - (4) その他
5. 閉 会

〔配布資料〕

- ・ 資料 1 前回（第 3 回）調査委員会の論点整理
- ・ 資料 2 津波浸水想定のポイント
 - 【資料 2 参考資料①】 津波防災地域づくりに関する法律等
 - 【資料 2 参考資料②】 南海トラフの巨大地震モデル検討会（第二次報告）（参考資料）
「南海トラフにおける発生頻度の高い津波の基本的な考え方」
- ・ 資料 3 発生頻度の高い津波について
 - 【資料 3 参考資料】 南海トラフ沿いで発生が知られているプレート境界地震
- ・ 資料 4 高松港における津波高
- ・ 資料 5 宝永地震と安政南海地震のモデルについて
 - 【資料 5 参考資料】 各種断層モデルによる四国沿岸域の津波シミュレーションに関する考察
（村上仁士、伊藤禎彦、山本尚明）
- ・ 資料 6 近県における地震・津波被害想定に利用した地震・津波の震源・波源モデル
- ・ 資料 7 堤防条件について
- ・ 資料 8 四国 4 県の堤防条件について（最大クラスの津波）
- ・ 資料 9 初期潮位条件について

1. 地震・津波被害想定の対象とする地震

- (1) 海溝型地震(南海トラフ)(最大クラスの津波)
- (2) 海溝型地震(南海トラフ)(最大クラスの地震)
- (3) 海溝型地震(南海トラフ)(発生頻度の高い津波)
- (4) 海溝型地震(南海トラフ)(発生頻度の高い地震)
- (5) 直下型地震(中央構造線)
- (6) 直下型地震(長尾断層)

2. 震源・波源モデル選定の考え方

(1) 海溝型地震(南海トラフ)(最大クラスの津波)

内閣府公表のケースのうち、最大津波高、浸水面積及び被害想定(死者数、負傷者数及び建物全壊棟数)等から、ケース④及び⑤についてシミュレーションを実施する。

■「大すべり域+超大すべり域」を、ケース④は「四国沖」に、ケース⑤は「四国沖～九州沖」に設定したもの

(2) 海溝型地震(南海トラフ)(最大クラスの地震)

内閣府公表のケースのうち、香川県の各市町で最大震度が発生するケースは「陸側ケース」及び「西側ケース」であるが、「陸側ケース」の方が市町別の最大震度の震度分布が大きいことや、被害想定(死者数、負傷者数、建物全壊棟数)においても被害が大きいことから、「陸側ケース」を選定しシミュレーションを実施する。

(3) 海溝型地震(南海トラフ)(発生頻度の高い津波)

「南海トラフにおける発生頻度の高い津波の基本的な考え方(H24.8.29内閣府公表)」を踏まえ、事務局より提案を行った下記3モデルに「東海・東南海・南海地震連動モデル(2003中防モデル)」を加えた4つのモデルで検討を実施する。

また、②及び③については、採用する波源モデルについて考え方を整理する。

①東南海・南海地震連動モデル(2003中防モデル)

②宝永地震モデル

③安政南海地震モデル

(4) 海溝型地震(南海トラフ)(発生頻度の高い地震)

上記(3)(発生頻度の高い津波の震源モデル)と同一のモデルとする。

(5) 直下型地震(中央構造線)

文部科学省地震調査研究推進本部が公表している4つのケースのうち、各市町の最大震度及び最大被災人口が発生するケース2を選定しシミュレーションを実施する。

(6) 直下型地震(長尾断層)

文部科学省地震調査研究推進本部が公表している3つのケースのうち、震度6強以上の被災人口が他のケースに比べ顕著に多いケース1を選定しシミュレーションを実施する。

3. 地盤モデル(浅部・深部)について

シミュレーションを実施するにあたり、地盤モデル(浅部・深部)が構築でき次第、委員の皆様個別に確認し、ご了解いただいたうえで、実施する。

4. 堤防条件等について

(1) 地震動に対する堤防条件

津波シミュレーション実施にあたり、国土交通省の考え方(「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(H24.2)」)に基づき、地震動による液状化等による沈下を考慮した堤防高(堤防は75%沈下)を設定したいとの事務局案に対し、沈下量を一律(75%)とする条件設定については、もう少し詳しく検討すべき、との意見があったため、堤防の沈下量の考え方について再度整理する。

(2) 津波に対する堤防条件

津波が堤防を越えると堤防は破壊(堤防なし)とする。

(3) 地盤高の取扱い

液状化に伴う地盤沈下量を地盤高に反映し、津波シミュレーションを実施する。なお、沈下量については、南海トラフの巨大地震モデル検討会(第二次報告)「液状化可能性、沈下量について」(H24.8.29)等を参考にする。

津波浸水想定のポイント

■津波対策を構築するにあたっての想定津波の考え方

(東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会報告(H23.9.28))

→ 二つのレベルの津波を想定

【最大クラスの津波】

発生頻度は極めて低いものの甚大な被害をもたらす津波

●住民等の生命を守ることを最優先とし、住民の避難を軸に、とりうる手段を尽くした総合的な津波対策(ハード・ソフト施策の総動員による多重防御)

⇒津波浸水想定は、施策を効果的に組み合わせるための基礎情報

【発生頻度の高い津波】

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

●人命保護に加え、住民財産の保護、地域の経済活動の安定化等の観点から、海岸保全施設等を整備

⇒施設整備(ハード整備)に必要な設計津波の水位の設定

【最大クラスの津波浸水想定的位置づけ】

津波防災地域づくりに関する法律第8条第1項に基づく津波浸水想定(津波があった場合に想定される浸水の区域及び水深)の設定

(津波防災地域づくりの推進に関する基本的な指針(基本指針)(H24.1.16))

◆法に基づく津波浸水想定の設定は、基礎調査の結果を踏まえ、最大クラスの津波を想定してその津波があった場合に想定される浸水の区域及び水深を設定するものとする。

【発生頻度の高い津波の基本的考え方】

(農林水産省・国土交通省の海岸管理者への通知「設計津波の水位の設定方法等について」(H23.7.11))

◆痕跡高や歴史記録・文献等の調査で判明した過去の津波の実績と、必要に応じて行うシミュレーションに基づくデータを用い、一定の頻度(数十年から百数十年に一度程度)で発生する津波の高さを想定し、海岸管理者が堤防の設計を行う。

津波防災地域づくりに関する法律(平成23年12月14日法律第123号)(抄)

(目的)

第1条 この法律は、津波による災害を防止し、又は軽減する効果が高く、将来にわたって安心して暮らすことのできる安全な地域の整備、利用及び保全(以下「津波防災地域づくり」という。)を総合的に推進することにより、津波による災害から国民の生命、身体及び財産の保護を図るため、国土交通大臣による基本指針の策定、市町村による推進計画の作成、推進計画区域における特別の措置及び一団地の津波防災拠点市街地形成施設に関する都市計画に関する事項について定めるとともに、津波防護施設の管理、津波災害警戒区域における警戒避難体制の整備並びに津波災害特別警戒区域における一定の開発行為及び建築物の建築等の制限に関する措置等について定め、もって公共の福祉の確保及び地域社会の健全な発展に寄与することを目的とする。

(津波浸水想定)

第8条 都道府県知事は、基本指針に基づき、かつ、基礎調査の結果を踏まえ、津波浸水想定(津波があった場合に想定される浸水の区域及び水深をいう。以下同じ。)を設定するものとする。

- 2 都道府県知事は、前項の規定により津波浸水想定を設定しようとするときは、国土交通大臣に対し、情報の提供、技術的な助言その他必要な援助を求めることができる。
- 3 都道府県知事は、第1項の規定により津波浸水想定を設定しようとする場合において、必要があると認めるときは、関係する海岸管理者及び河川管理者の意見を聴くものとする。
- 4 都道府県知事は、第1項の規定により津波浸水想定を設定したときは、速やかに、これを、国土交通大臣に報告し、かつ、関係市町村長に通知するとともに、公表しなければならない。
- 5 国土交通大臣は、前項の規定により津波浸水想定の設定について報告を受けたときは、社会資本整備審議会の意見を聴くものとし、必要があると認めるときは、都道府県知事に対し、必要な勧告をすることができる。
- 6 第2項から前項までの規定は、津波浸水想定の変更について準用する。

三 法第八条第一項に規定する津波浸水想定の設定について指針となるべき事項

法第八条第一項に規定する津波浸水想定の設定は、基礎調査の結果を踏まえ、最大クラスの津波を想定して、その津波があった場合に想定される浸水の区域及び水深を設定するものとする。最大クラスの津波を発生させる地震としては、日本海溝・千島海溝や南海トラフを震源とする地震などの海溝型巨大地震があり、例えば、東北地方太平洋沖地震が該当する。これらの地震によって発生する最大クラスの津波は、国の中央防災会議等により公表された津波の断層モデルも参考にして設定する。

中央防災会議等により津波の断層モデルが公表されていない海域については、現時点で十分な調査結果が揃っていない場合が多く、過去発生した津波の痕跡調査、文献調査、津波堆積物調査等から、最大クラスの津波高を推定し、その津波を発生させる津波の断層モデルの逆算を今後行っていくものとする。

上記による最大クラスの津波の断層モデルの設定等については、高度な知見と広域的な見地を要することから、国において検討し都道府県に示すこととするが、これを待たずに都道府県独自の考え方に基づき最大クラスの津波の断層モデルを設定することもある。

なお、最大クラスの津波について、津波の断層モデルの新たな知見が得られた場合には、適切に見直す必要がある。

都道府県知事は、国からの情報提供等を踏まえて、各都道府県の各沿岸にとって最大クラスとなる津波を念頭において、津波浸水想定を設定する。その結果として示される最大の浸水の区域や水深は、警戒区域の指定等に活用されることから、津波による浸水が的確に再現できる津波浸水シミュレーションモデルを活用する必要がある。

なお、津波浸水シミュレーションにより、津波が沿岸まで到達する時間が算定できることから、最大クラスの津波に対する避難時間等の検討にも活用できる。その際、最大クラスの場合よりも到達時間が短くなる津波の発生があることにも留意が必要である。

津波浸水想定により設定された浸水の区域（以下「浸水想定区域」という。）においては、「なんとしても人命を守る」という考え方でハード・ソフトの施策を総合的に組み合わせた津波防災地域づくりを検討するため、東北地方太平洋沖地震の津波で見られたような海岸堤防、河川堤防等の破壊事例などを考慮し、最大クラスの津波が悪条件下において発生し浸水が生じることを前提に算出することが求められる。このため、悪条件下として、設定潮位は朔望平均満潮位を設定すること、海岸堤防、河川堤防等は津波が越流した場合には破壊されることを想定することなどの設定を基本とする。

なお、港湾等における津波防波堤等については、最大クラスの津波に対する構造、強度、減災効果等を考慮する必要があるため、当該施設に係る地域における津波浸水想定の設定に当たっては、法第八条第三項に基づき関係海岸管理者等の意見を聴くものとする。

また、津波浸水想定は、建築物等の立地状況、盛土構造物等の整備状況等により変化することが想定されるため、津波浸水の挙動に影響を与えるような状況の変化があった場合には、再度津波浸水シミュレーションを実施し、適宜変更していくことが求められる。

津波浸水想定の設定に当たっては、都道府県知事は、法第八条第二項に基づき、国土交通大臣に対して、必要な情報の提供、技術的助言その他の援助を求めることができるとしている。

都道府県知事は、津波浸水想定を設定又は変更した場合には、法第八条第四項及び第六項に基づき、速やかに、国土交通大臣へ報告し、かつ、関係市町村長へ通知するとともに、公表しなければならないこととされている。

津波浸水想定は、津波防災地域づくりの基本ともなるものであることから、公表にあたっては、都道府県の広報、印刷物の配布、インターネット等により十分な周知が図られるよう努めるものとする。

1.5 津波防災地域づくりにおける津波浸水想定 の位置づけとその活用について

津波浸水想定は、津波防災地域づくりを実施するための基礎となるものであり、都道府県知事が基本指針の「三 法第八条第一項に規定する津波浸水想定の設定について指針となるべき事項」に基づき、基礎調査の結果を踏まえ、最大クラスの津波を想定し、津波浸水シミュレーションにより予測される浸水の区域及び水深を設定するものである。

設定された津波浸水想定を踏まえて、

- 1 法第十条第一項に規定する市町村による推進計画の作成
- 2 推進計画に定められた事業・事務の実施
- 3 法第五章の推進計画区域における特別の措置の活用
- 4 法第七章の津波防護施設の管理等
- 5 警戒避難体制の整備を行う法第五十三条第一項の津波災害警戒区域の指定
- 6 一定の建築物の建築及びそのための開発行為の制限を行う法第七十二条第一項の津波災害特別警戒区域の指定

等を、地域の実情に応じ、適切かつ総合的に組み合わせることにより、最大クラスの津波への対策を効率的かつ効果的に講ずるよう努めることとなる。

<解説>

(1) 津波浸水想定について

津波浸水想定は、最大クラスの津波があった場合に想定される浸水の区域・水深のことであり、地域の実情をよく把握している都道府県知事が設定するものである。

津波浸水想定を設定するにあたっては、浸水の区域や水深を的確に再現・予測できる津波浸水シミュレーションを活用することになる。

そのために必要な基礎調査は、国土交通大臣が定める基本指針に基づき、都道府県が実施するが、広域的な見地から航空レーザ測量等については、国が実施し、その調査結果を都道府県に提供することとしている。

(2) 津波防災地域づくりにおける津波浸水想定 の位置づけ

科学的知見に基づいて設定される津波浸水想定は、警戒避難体制の整備や土地利用の規制といった各種施策を効果的に組み合わせるための基礎情報であり、推進計画の作成、津波防護施設の管理等、警戒区域及び特別警戒区域の指定等は、津波浸水想定を踏まえて行うものとする。

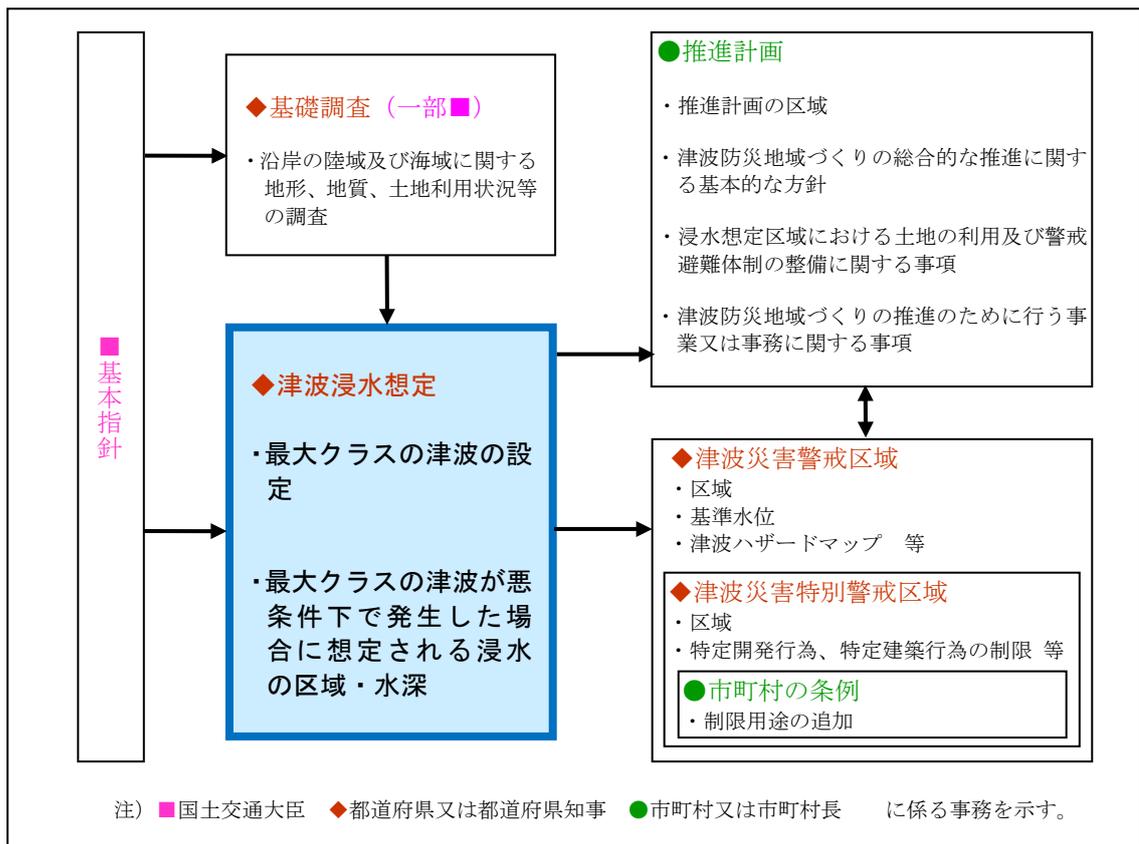


図 - 1 津波防災地域づくりにおける津波浸水想定的位置づけ

(3) 津波浸水想定を活用について

① 推進計画について

推進計画は、津波防災地域づくりを総合的に推進するための計画であり、津波浸水想定を踏まえ、様々な主体が実施するハード・ソフトの施策を総合的に組み合わせ、津波防災地域づくりの姿を総合的に描くため、地域の実情をよく把握でき、防災及び地域づくりを担う基本的な主体である市町村が作成するものである。

推進計画には、津波浸水想定により示される地域ごとの危険度・安全度、想定被害規模等について分析を行った上で、その分析結果及び地域の目指すべき姿を踏まえたまちづくりの方針、施設整備、警戒避難体制など津波防災・減災対策の基本的な方向性や重点的に推進する施策を記載する。

具体的には、

- 津波防災地域づくりの総合的な推進に関する基本的な方針
- 浸水想定区域における土地の利用及び警戒避難体制の整備に関する事項
- 津波防災地域づくりの推進のために行う事業又は事務に関する事項
 - ① 海岸保全施設、港湾施設、漁港施設等の整備に関する事項
 - ② 津波防護施設の整備に関する事項
 - ③ 一団地の津波防災拠点市街地形成施設の整備に関する事業、土地区画整理事業、市街地再開発事業等に関する事項

④ 避難路、避難施設、公園等の整備に関する事項

⑤ 集団移転促進事業に関する事項 等

が計画に定められる。

推進計画に盛り込まれるこれらの施策は、一体的に講じられ、効果的な津波防災地域づくりの推進が図られることになる。

また、推進計画の区域内（推進計画区域）では、表-1のような津波防災地域づくりを強力に推進していくための特別の措置が講じられることになる。

推進計画の作成に当たっては、津波防災の観点だけでなく、地域経済の活性化や住民の生活の安定・福祉の向上等にも配慮し、まちづくりの観点にも留意する。

表 - 1 特別の措置

推進計画区域における特例の活用	<ul style="list-style-type: none">・ 土地区画整理事業の特例 土地区画整理事業の施行地区内において、津波災害の防止措置が講じられた又は講じられる土地に、住宅及び公益的施設の宅地を集約するための区域（津波防災住宅等建設区）を定め、住宅及び公益的施設の宅地の所有者が、当該区域内への換地の申出をできる。・ 津波避難に資する建築物の容積率の規制の緩和 津波避難ビルには、災害用備蓄倉庫や自家発電設備室等が整備されていることが望ましいが、これら非日常的な床の面積を容積率に算入せずに、避難安全性が確保できる一定の基準を満たす建築物に限り、建築審査会の同意を不要として、特定行政庁の認定により、容積率の制限を緩和できる。・ 集団移転促進事業に関する特例 市町村が策定すべき集団移転促進事業計画について、市町村から集団移転促進事業につき、一の市町村の区域を超える広域の見地からの調整を図る必要があることにより、当該市町村が当該集団移転促進事業に係る集団移転促進事業計画を定めることが困難である旨の申出を受けた場合、都道府県が集団移転促進事業計画を定めることができる。
一団地の津波防災拠点市街地形成施設の整備	<ul style="list-style-type: none">・ 一団地の津波防災拠点市街地形成施設 都市機能を維持するための拠点となる防災性の高い市街地を整備するため、一団地の住宅施設、特定業務施設、公益的施設、公共施設といった複数の施設を一団地の津波防災拠点市街地形成施設として都市計画に定めることができ、当該施設の区域内において整備の支障になる建築物の建築等を制限できるようになり、防災性の高い市街地の一体的な整備が可能になる。
津波防護施設の新設又は改良	<ul style="list-style-type: none">・ 津波防護施設 盛土構造物や閘門等を「津波防護施設」として位置付け、推進計画区域において、推進計画に即して、新設又は改良を行う。

② 津波災害警戒区域(警戒区域)、津波災害特別警戒区域(特別警戒区域)の指定について

警戒区域は、最大クラスの津波が発生した場合の当該区域の危険度・安全度を津波浸水想定や法第53条第2項に規定する基準水位により住民等に「知らせ」、いざというときに津波から住民等が円滑かつ迅速に「逃げる」ことができるよう、津波に関する予報又は警報の発令及び伝達、津波避難訓練の実施、避難場所や避難経路の確保、津波ハザードマップの作成等の警戒避難体制を特に整備すべき区域である。

また、特別警戒区域は、警戒区域のうち、津波が発生した場合に建築物が損壊・浸水し、住民等の生命・身体に著しい危害が生ずるおそれがある区域において、防災上の配慮を要する住民等が当該建築物の中においても津波を「避ける」ことができるよう、一定の建築物の建築とそのための開発行為に関して建築物の居室の高さや構造等を制限し、津波に対して安全なものとするをを求める区域である。

いずれの区域も都道府県知事が指定することができる。

さらに、特別警戒区域内で津波の発生時に利用者の円滑かつ迅速な避難を確保できないおそれが大きいものとして、条例で定める用途の住宅等の施設について、その建築及びそのための開発行為について、市町村が条例で規制を追加することができる。

南海トラフの巨大地震モデル検討会
(第二次報告)

津波断層モデル編
(参考資料)

南海トラフにおける
発生頻度の高い津波の基本的な考え方

平成24年8月29日

南海トラフにおける発生頻度の高い津波の考え方

1. はじめに

津波対策を構築するにあたり、中央防災会議「東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会」報告（平成 23 年 9 月 28 日）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」と、「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」の、二つのレベルの津波を想定する必要があると指摘している。

前者の「最大クラスの津波」に対しては、生命を守ることを最優先として、住民等の避難を軸に、ハード・ソフト両面からとりうる手段を尽くした総合的な津波対策の確立が必要であり、後者の「発生頻度の高い津波」に対しては、人命保護に加え、住民財産の保護、地域の経済活動の安定化等の観点から、海岸保全施設等の整備を進めていくことが求められている。

このうち、「最大クラスの津波」については、本検討会において、現時点の最新の科学的知見に基づき、あらゆる可能性を考慮した巨大地震の津波断層モデル等を公表し、現在、10m メッシュでの津波高、浸水域等の推計等を行っているところであるが、地方公共団体等における総合的な津波対策を検討するうえで、中央防災会議（2003）による津波高等が、想定する二つのレベルの津波のいずれに該当するのかの考え方についての整理と併せ、「発生頻度の高い津波」の津波断層モデル等に関する基本的な考え方の提示が求められている。

2. 中央防災会議（2003）の震度分布、津波高等について

中央防災会議「東南海、南海地震等に関する専門調査会」（2003）の検討においては、過去に発生した地震と同様な地震に対して備えることを基本とし、過去に発生した地震の記録の再現性を念頭に震度分布、津波高等を想定し、これを超える規模の地震についても、ソフト対策等に対応できるようにしておくことが必要であるとされている。

震度分布及び津波高等の検討において、まず、過去資料が整理されている 1707 年宝永地震、1854 年安政東海地震、1854 年安政南海地震、1944 年昭和東南海地震、1946 年昭和南海地震の 5 例を基に、再現性の比較検討の基となる震度分布、津波高等の分布を作成した（図 1、3 参照）。

この震度分布は、過去の地震 5 例の最大の震度を単に重ね合わせたのではなく、これら地震の類似性の特徴を踏まえ、発生する可能性のある 1707 年宝永地震タイプの最大地震の震度分布を過去資料として再現したものであり、津波高等の分布についても、

震度分布と同様、1707年宝永地震と類似している既往地震の特徴を利用し、発生する可能性のある1707年宝永地震タイプの最大地震の津波高分布を過去資料として再現したもので、防災対策の検討の観点からして妥当なものであると評価されている。すなわち、この震度分布と津波高は、南海トラフ沿いで過去数百年間に発生した地震による震度分布・津波高の最大値であり、いわゆる「既往最大値」と考えることができる。

南海トラフ沿いで発生した過去1000年の地震の履歴を見ると、地震は約100～150年の間隔で繰り返し発生しており、1099年康和地震と1361年正平（康安）地震との間に発生していた地震を加えると、その発生間隔の平均は、約120年である。

これらの津波の中でも、大きなものとして1498年明応地震、1707年宝永地震による津波がある。このような、ある程度大きな津波を発生させる地震の発生間隔は、津波堆積物で見ると300～400年、津波で移動した岩の調査からは400～500年であり、これらから、本検討会では、ある程度大きな津波を伴う地震の発生間隔は、300～500年であると整理した。

中央防災会議（2003）の津波高等は、1707年宝永地震以降の「既往最大」であり、当然のことながらある程度大きな津波と考えられる1707年宝永地震の津波が含まれている。この観点から見ると、中央防災会議(2003)の津波高等は、過去を遡った履歴の中でも「ある程度大きな津波」に相当するものであると言える。

しかしながら、1854年安政東海地震・安政南海地震の津波は、1707年宝永地震の津波よりも大きな地域もある。津波の発生間隔及び、津波資料の少なさやばらつき等も考慮すると、1707年宝永地震の津波をある程度大きな津波として特別に扱うのではなく、防災対策の観点から見ると、1707年宝永地震と1854年安政東海地震・安政南海地震の津波は、特別に区分することなく検討対象として考えることが望ましい。

3. 発生頻度の高い津波についての設定の基本的な考え方

「発生頻度の高い津波」について、農林水産省・国土交通省の海岸管理者への通知「設計津波の水位の設定方法等について」によると、痕跡高や歴史記録・文献等の調査で判明した過去の津波の実績と、必要に応じて行うシミュレーションに基づくデータを用い、一定の頻度（数十年から百数十年に一度程度）で発生する津波の高さを想定し、海岸管理者が堤防の設計を行うこととしている。

これに従うと、南海トラフでは、1707年宝永地震、1854年安政東海地震、1854年安政南海地震、1944年昭和東南海地震、1946年昭和南海地震等、過去の津波高等を参考に、必要に応じて行うシミュレーションに基づくデータを参考に、一定の頻度（数十年から百数十年に一度程度）で発生する津波の集合を選定し、それらを対象として、地域の実情に合わせ設定することとなる。

南海トラフでの津波の発生間隔は100～150年間隔であり、1605年慶長地震以降で見ると、102年後に1707年宝永地震、147年後に1854年安政東海地震及び1854年安政南海地震、概ね90年後に1944年昭和東南海地震及び1946年昭和南海地震による津波が発生している。

中央防災会議（2003）の津波高等は、1707年宝永地震以降の「既往最大」を想定したものであるが、1854年安政東海地震・安政南海地震の津波は、1707年宝永地震の津波よりも大きな地域もあり、津波の発生間隔及び、津波資料の少なさやばらつき等も考慮すると、これら津波は防災対策を検討する際に特別に区分することなく検討対象とすることが望ましい。

従って、南海トラフでの発生頻度の高い津波の検討においては、中央防災会議（2003）の津波高等の資料に加え、過去の地震の津波高の資料、必要に応じて行うシミュレーション等を参考にし、各地域において隣接地域とも調整を図り、「発生頻度の高い津波」の津波高等が設定されることになる。

中央防災会議（2003）による震度分布・津波高等について

中央防災会議「東南海，南海地震等に関する専門調査会」（2003）の検討における震度分布・津波高等についての基本的考え方等は、次のとおりである。

（1）基本的考え方（抜粋）

防災対策を検討するに当たって、まず、その対象となる地震像とそれによる被害の状況を検討し、これを基に、対策の内容を取りまとめる。

検討において、様々な地震発生の仕方や規模を想像することは可能であるが、予防対策等についての投資など具体的各種防災対策についての社会的合意は、過去実際に発生したような地震については得やすいと考えられるが、過去に経験のないより大きな規模の地震の対策を行うことについては、社会的合意は容易ではなく、過大な対策となる可能性もある。しかしながら、一定の規模の地震に対しては備えられても、それを超える地震の時は全く対応できない（場合によってはカタストロフィー的に窮地に立つ）というのは防災対策としては問題である。

このようなことから、過去に実際に発生した地震と同様な地震に対して備えることを基本とし、強震動及び津波の高さの分布については、過去に実際に発生した地震の記録の再現性を念頭に想定を行った。これを超える規模の地震についても、ソフト対策等で対応できるようにしておくことが必要であると考える。

（2）過去地震の震度分布、津波高について（抜粋）

強震断層モデル、津波断層モデルを検討するに当たり、過去資料が整理されている、1707年宝永地震、1854年安政東海地震、1854年安政南海地震、1944年昭和東南海地震、1946年昭和南海地震の5例を基に、防災対策の検討の観点から、比較検討の基とする震度分布、津波の高さの分布を作成した。その考え方等は次のとおり。

○震度分布（図 2）

宝永地震の震度分布に、安政東海地震の紀伊半島東側以東の震度分布と安政南海地震の紀伊半島西側以西の震度分布とをそれぞれ重ね、さらに、昭和東南海地震及び昭和南海地震の震度 6 以上の地点を重ねる。

この震度分布は、過去の地震 5 例の最大の震度を単に重ね合わせたのではなく、これら地震の類似性の特徴を踏まえ、発生する可能性のある宝永地震タイプの最大地震の震度分布を過去資料として再現したもので、強震動生成域（震源域のうち特に強い地震動を発する部分：当時の用語は「アスペリティ」）は、ほぼ同じ場所に存在し地震ごとにその割れ方が多少異なるとされる最近の地震学的知見とも矛盾がなく、防災対策の検討の観点からして妥当なものである。

○津波の高さ分布（図 4）

宝永地震の津波の高さ分布に、安政東海地震の紀伊半島以東の津波の高さ分布と、安政南海地震の紀伊半島以西の津波の高さ分布をそれぞれ重ねる。この際、各地震発生時の潮位を減じて、それぞれの津波の高さを補正し、同一地点で津波の高さの資料が複数ある場合は、最大値をその地点の津波の高さとする。

この津波の高さ分布は、震度分布と同様、宝永地震と類似している既往地震の特徴を利用し、発生する可能性のある宝永地震タイプの最大地震の津波の高さ分布を過去資料として再現したもので、防災対策の検討の観点からして妥当なものである。

過去の地震の震度分布

宝永地震



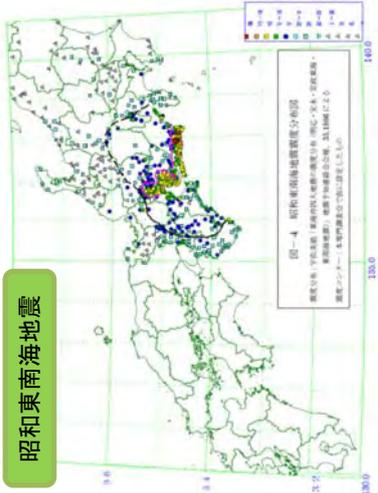
安政東海地震



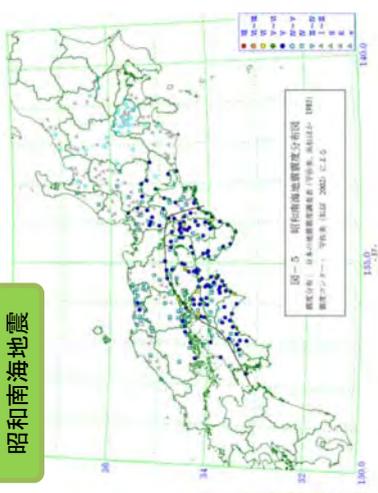
安政南海地震



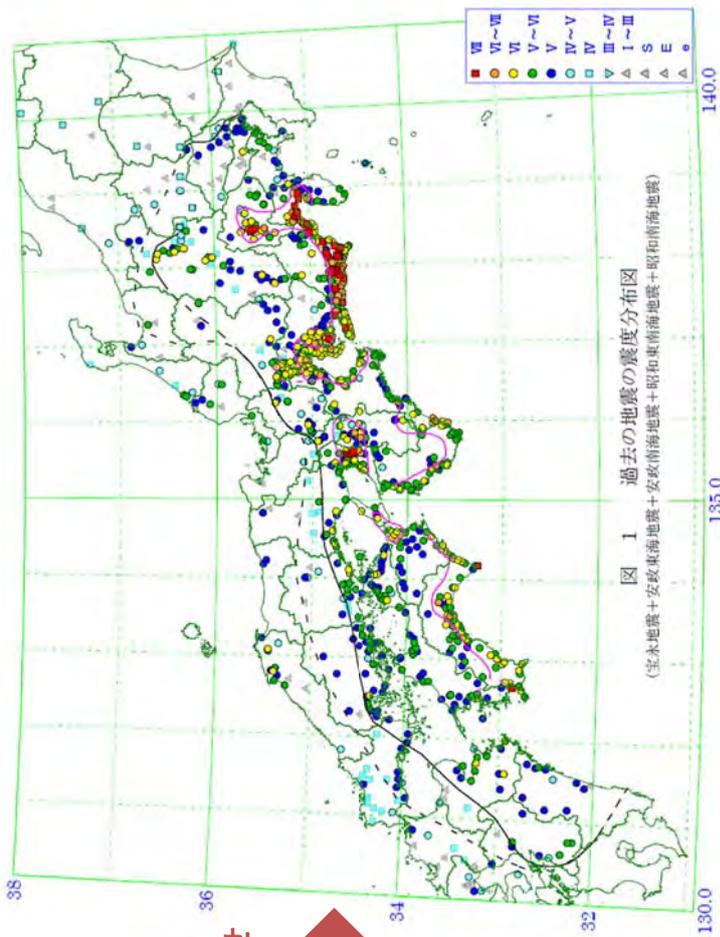
昭和東南海地震



昭和南海地震



重ね合わせ



比較検討の基とする過去の地震の震度分布 (5地震の重ね合わせ)

- この震度分布は、地震の類似性の特徴を踏まえ、発生する可能性のある宝永地震タイプの最大地震の震度分布を過去資料として再現したもの。
- アスペリティーは、ほぼ同じ場所に存在し地震ごとにその割れ方が多少異なるとされる最近の地震学的知見とも矛盾がなく、防災対策の検討の観点からして妥当なものである。

平成15年12月16日東南海、南海等に関する専門調査会 第16回報告より

図1 比較検討の基とする過去の地震の震度分布

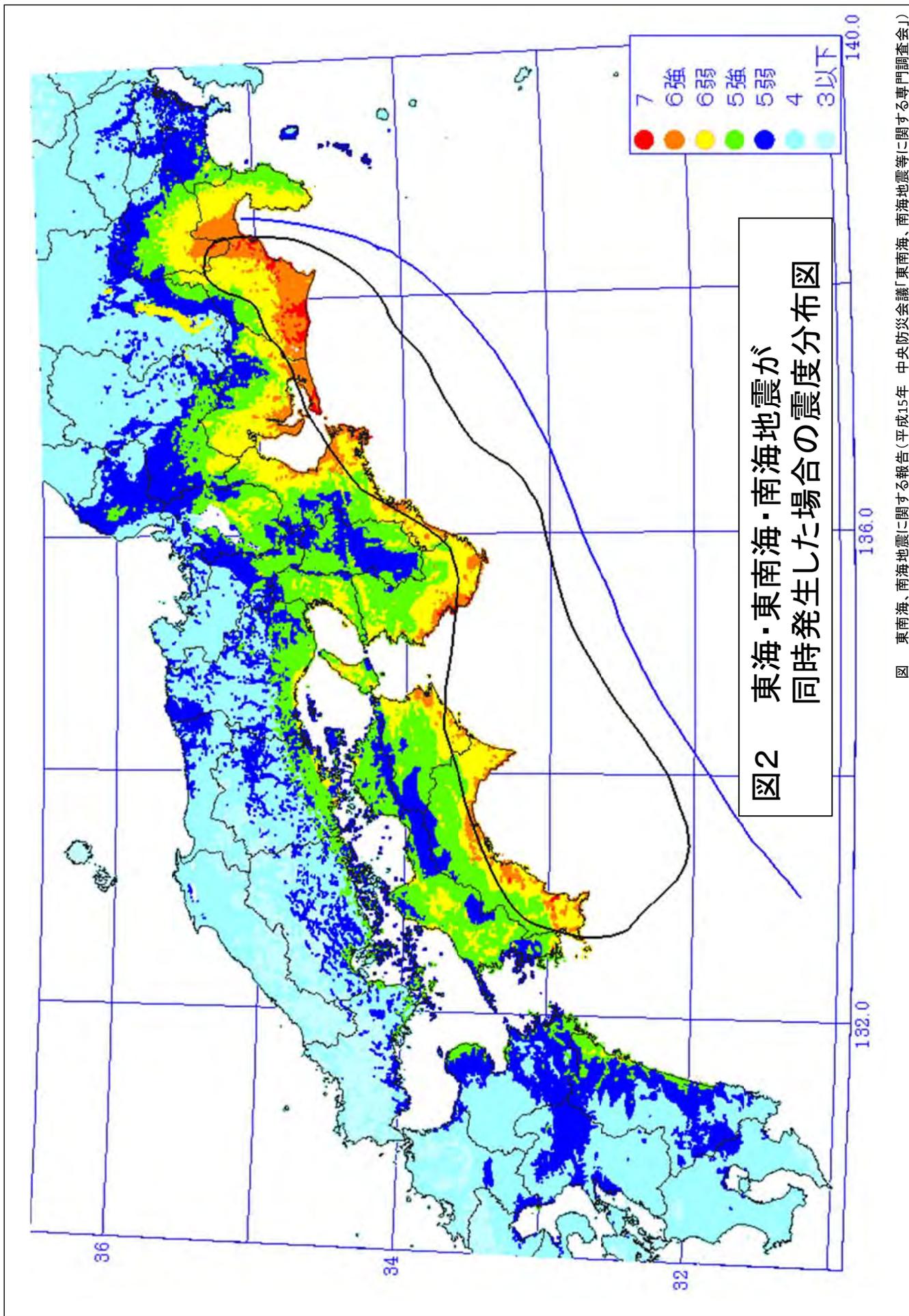


図2 東海・東南海・南海地震が同時発生した場合の震度分布図

図 東南海、南海地震に関する報告(平成15年 中央防災会議「東南海、南海地震等に関する専門調査会」)

南海トラフの巨大地震モデル検討会「中間とりまとめ」より

Ⅲ. 過去の震度分布・津波高に関する調査・研究成果について（抜粋）

1. 古文書調査
2. 津波堆積物・地殻変動痕跡等の調査
3. 以西の液状化痕跡調査
4. 地殻変動調査
5. 1. ～ 4. の調査のまとめ

古文書調査、津波堆積物・地殻変動痕跡等の調査、遺跡の液状化痕跡調査による過去の地震の発生履歴をとりまとめたものを図Ⅲ.15に示す。また、古文書調査等による震度分布を図Ⅲ.16に、津波堆積物調査による津波高をとりまとめたものを図Ⅲ.17に示す。なお、津波堆積物の調査による津波高は、調査地点の標高（浜堤がある場合はいずれか高い方の標高）に2 mの高さを便宜的に加えたものとしている。

南海トラフで発生した過去1000年の地震の履歴を見ると、地震は約100～150年の間隔で繰り返し発生しており、1099年康和地震と1361年正平（康安）地震との間に発生していた地震を加えると、その発生間隔の平均は、約120年である。

津波については、津波高を過去地震毎に明らかにしようとするならば、現時点では古文書資料において信頼性が確認されているものに依らざるを得ないが、津波堆積物調査等を活用することによって、古文書資料からは明らかにできない過去の津波についてもそのおおよその大きさを比較することができる。南海トラフの過去地震に係る1. から4. の調査を総合的に分析すれば、684年天武地震以降で見ると、地域によって違いがあるが、大きなものとして1498年明応地震、1707年宝永地震による津波があり、それに近いものとして684年天武地震、1361年正平（康安）地震による津波がある。また、3500年前以降で見ると、約2000年前に発生した津波は、1707年宝永地震による津波よりも大きかった可能性がある。

また、ある程度大きな津波を発生させる地震の間隔は、津波堆積物で見ると300～400年、津波で移動した岩の調査からは400～500年であるとされている。これらから、今回の検討においては、ある程度大きな津波を伴う地震の発生間隔は、300～500年であると整理することとする。

平成23年7月11日
水管理・国土保全局海岸室
港湾局海岸・防災課

「設計津波の水位の設定方法等」について
～復興計画策定の基礎となる海岸堤防の高さ決定の基準～

農林水産省及び国土交通省は、海岸堤防の計画・設計に必要となる「設計津波の水位の設定方法等」を別添1、2のとおり定め、海岸管理部局に通知しました。

現在、東日本大震災の被災市町村では復興計画づくりが進んでいますが、まちづくり計画の策定のためには、復旧が行われる海岸堤防の高さ(天端高)が明らかになっていることが重要です。

本通知では、痕跡高や歴史記録・文献等の調査で判明した過去の津波の実績と、必要に応じて行うシミュレーションに基づくデータを用いて、一定頻度(数十年から百数十年に一度程度)で発生する津波の高さを想定し、その高さを基準として、海岸管理者が堤防の設計を行うこととしています。

本通知は、中央防災会議専門調査会()中間とりまとめ「今後の津波防災対策の基本的考え方について」(6月26日)及び農林水産省及び国土交通省が設置した「海岸における津波対策検討委員会」(4月28日、6月27日開催、別添3)における議論を踏まえて、取りまとめたものです。

本通知において海岸堤防の高さ決定の基準が示されることにより、被災地における復興計画づくりが促進されることとなるものと考えています。

()中央防災会議「東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会」

問い合わせ先	農林水産省農村振興局防災課	課長補佐 野中 振 拳
		代表 03-3502-8111内線 5511
		直通 03-6744-2199
	農林水産省水産庁防災漁村課	課長補佐 森 健 二
		代表 03-3502-8111内線 6903
		直通 03-3502-5304
	国土交通省水管理・国土保全局海岸室	企画専門官 林 雄 一 郎
		代表 03-5253-8111内線 36322
		直通 03-5253-8471
	国土交通省港湾局海岸・防災課	課長補佐 大岡 秀 哉
		代表 03-5253-8111内線 46714
		直通 03-5253-8688

設計津波の水位の設定方法

今次津波被害を受けて、海岸堤防等の海岸保全施設の整備に必要となる「設計津波」の水位設定の考え方（作業手順）を示す。

1. 設計津波の設定単位

設計津波は、地域海岸ごとに設定することを基本。

【地域海岸】 沿岸域を「湾の形状や山付け等の自然条件」等から勘案して、一連のまとまりのある海岸線に分割したもの。

2. 「設計津波の水位」の設定方法

①過去に発生した津波の実績津波高さの整理

- ✓ 痕跡高調査や歴史記録・文献等を活用。

②シミュレーションによる津波高さの算出

- ✓ 十分なデータが得られない時には、シミュレーションを実施しデータを補完。
- ✓ 今後、中央防災会議等において検討が進み、想定地震の規模や対象範囲の見直し等が行われた場合は適宜見直すことが必要。

③設計津波の対象津波群の設定

- ✓ 地域海岸ごとに、グラフを作成。
- ✓ 一定の頻度(数十年から百数十年に一度程度)で発生すると想定される津波の集合を選定。

④「設計津波の水位」の設定

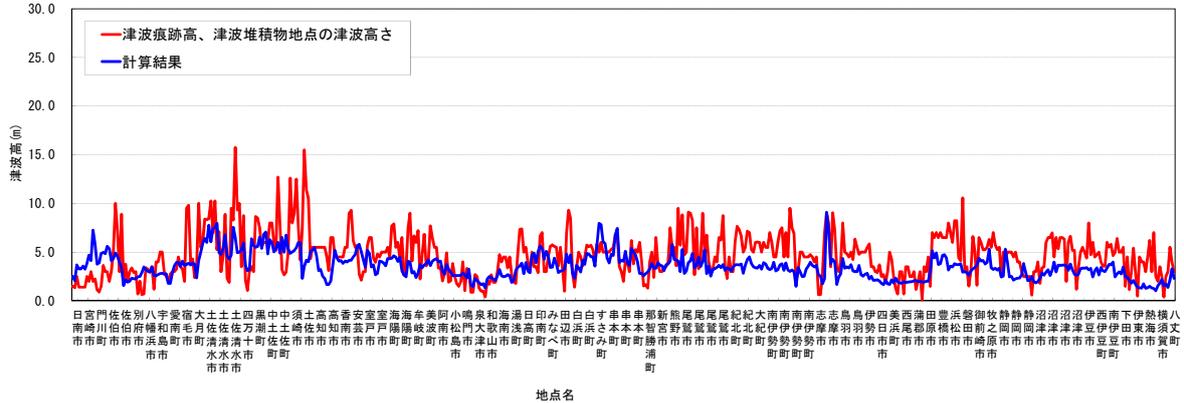
- ✓ 上記で設定した対象津波群の津波を対象に、隣接する海岸管理者間で十分調整を図ったうえで、設計津波の水位を海岸管理者が設定。
- ※堤防等の天端高は、設計津波の水位を前提として、環境保全、周辺景観との調和、経済性、維持管理の容易性、施工性、公衆の利用等を総合的に考慮して海岸管理者が適切に設定。

(参考4)

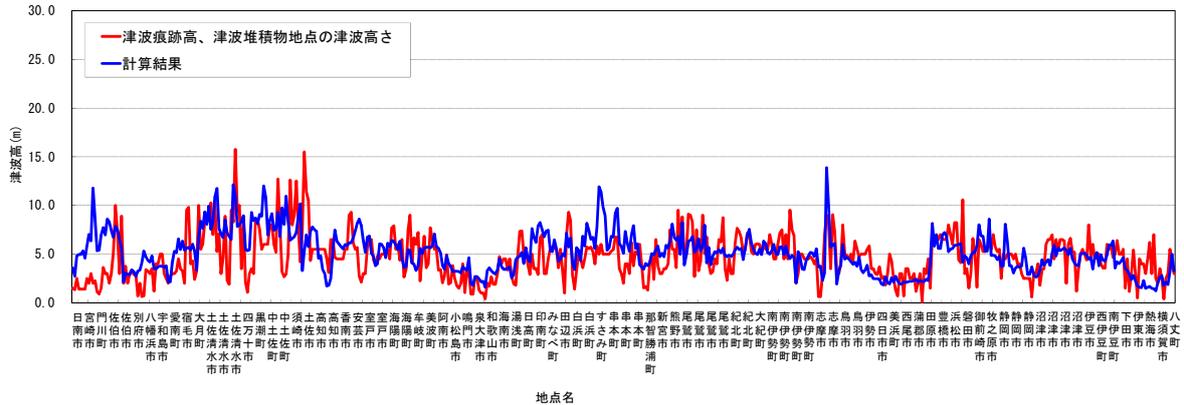
断層変位量の違いによる津波高の比較 (参考)

(1) 平均すべりモデル (大すべり域を設定しない)

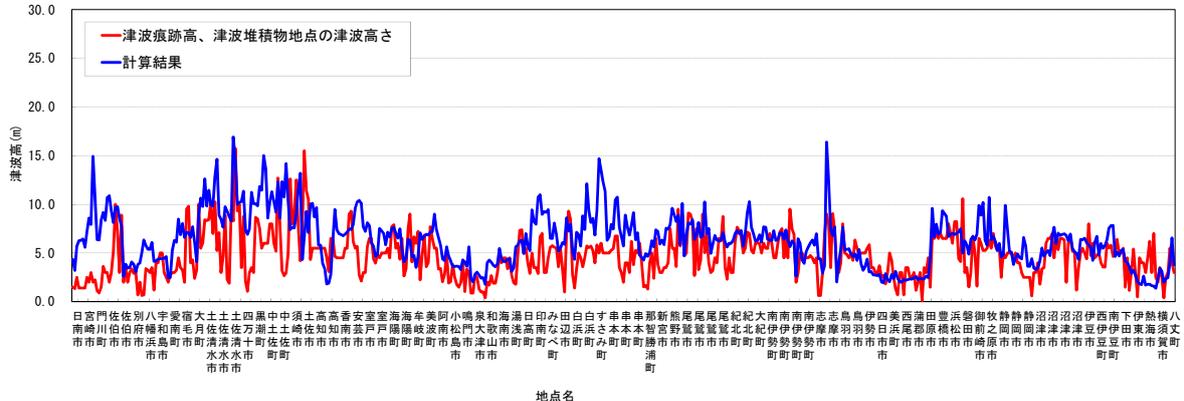
a) 平均すべり量 約4m , $\Delta\sigma = 1.2\text{MPa}$ (Mw 8以上の地震の平均的な応力降下量)



b) 平均すべり量 約7m , $\Delta\sigma = 2.2\text{MPa}$ (Mw 8以上の地震の平均値に標準偏差を加えた応力降下量)

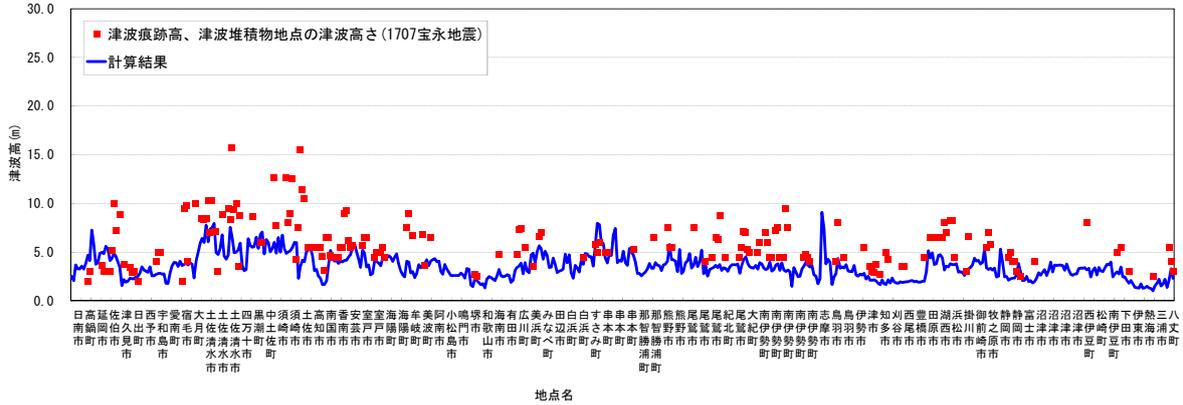


c) 平均すべり量 約10m , $\Delta\sigma = 3.0\text{MPa}$ (Mw 8よりも小さな地震を含めた海溝型地震の平均的な応力降下量)

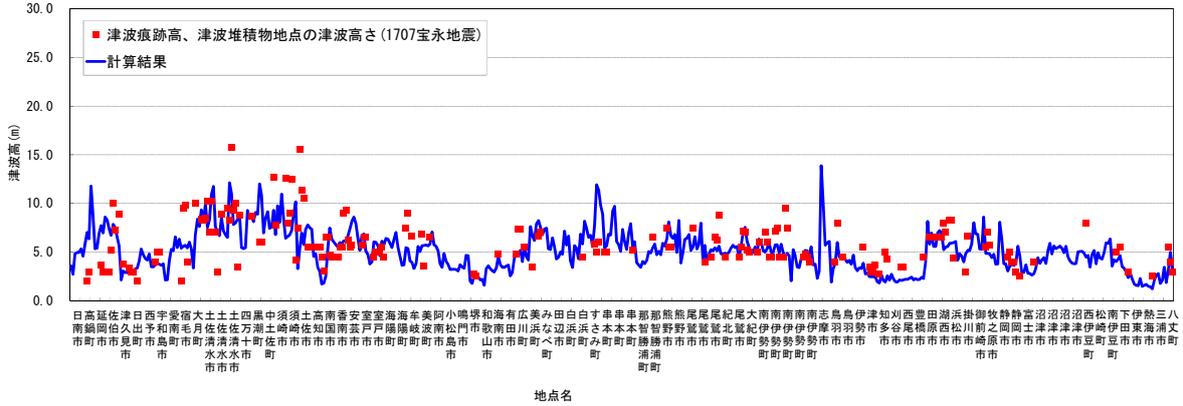


(2) 平均すべりモデル (大すべり域を設定しない) と1707宝永地震地震の比較

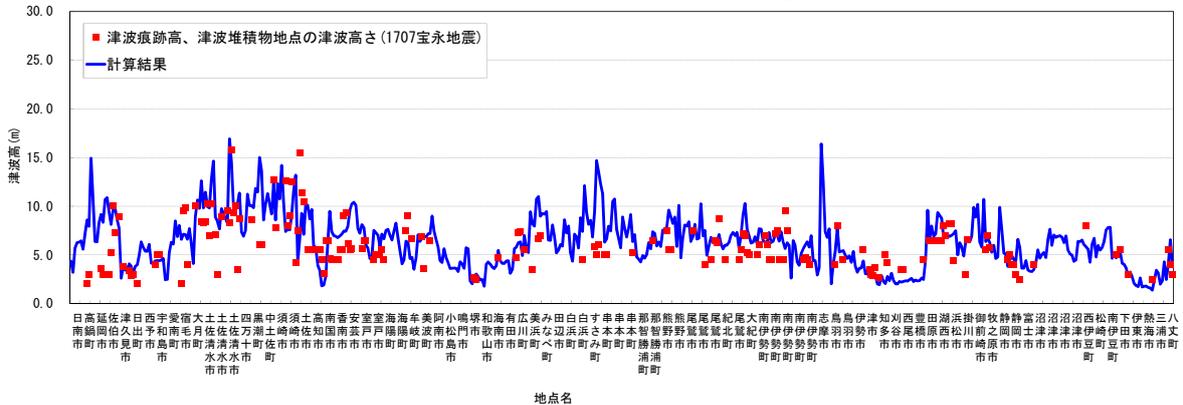
a) 平均すべり量 約4m , $\Delta\sigma = 1.2\text{MPa}$ (M_w 8以上の地震の平均的な応力降下量)



b) 平均すべり量 約7m , $\Delta\sigma = 2.2\text{MPa}$ (M_w 8以上の地震の平均値に標準偏差を加えた応力降下量)

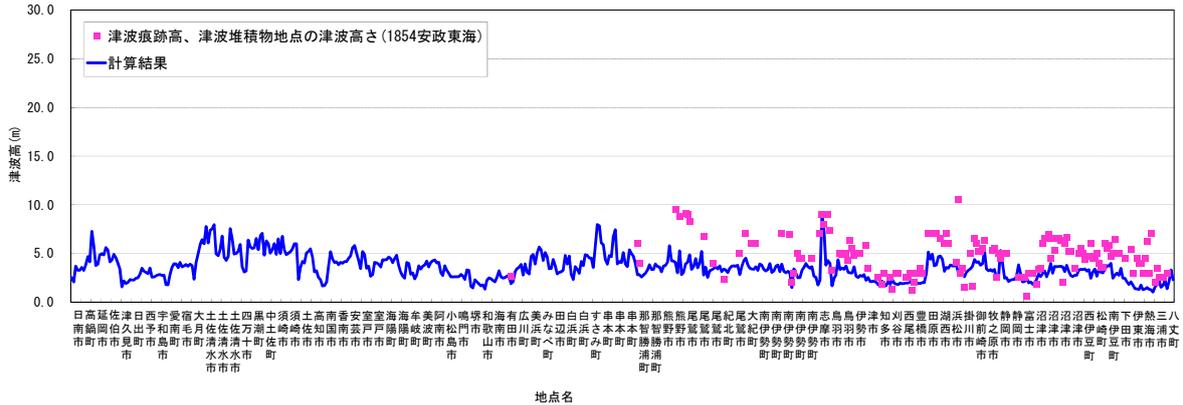


c) 平均すべり量 約10m , $\Delta\sigma = 3.0\text{MPa}$ (M_w 8よりも小さな地震を含めた海溝型地震の平均的な応力降下量)

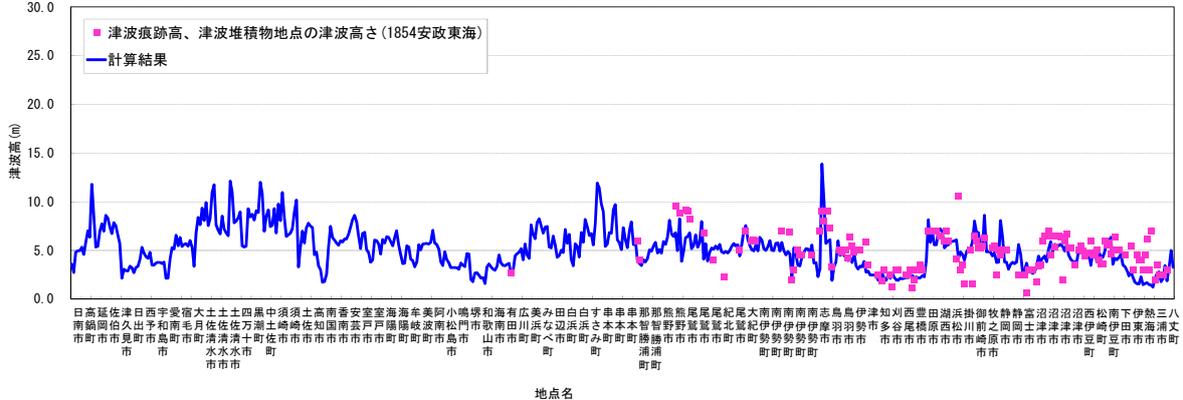


(3) 平均すべりモデル (大すべり域を設定しない) と1854安政東海地震との比較

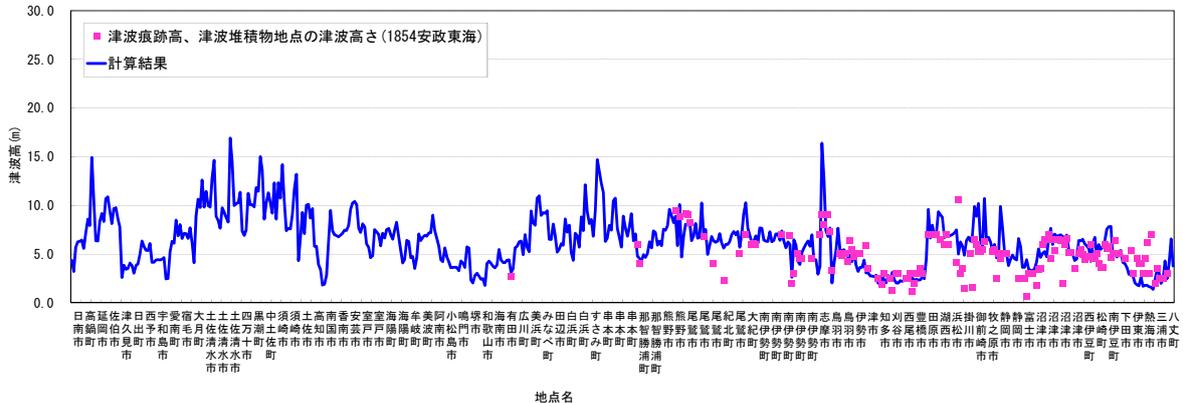
a) 平均すべり量 約4m , $\Delta\sigma = 1.2\text{MPa}$ ($M_w 8$ 以上の地震の平均的な応力降下量)



b) 平均すべり量 約7m , $\Delta\sigma = 2.2\text{MPa}$ ($M_w 8$ 以上の地震の平均値に標準偏差を加えた応力降下量)

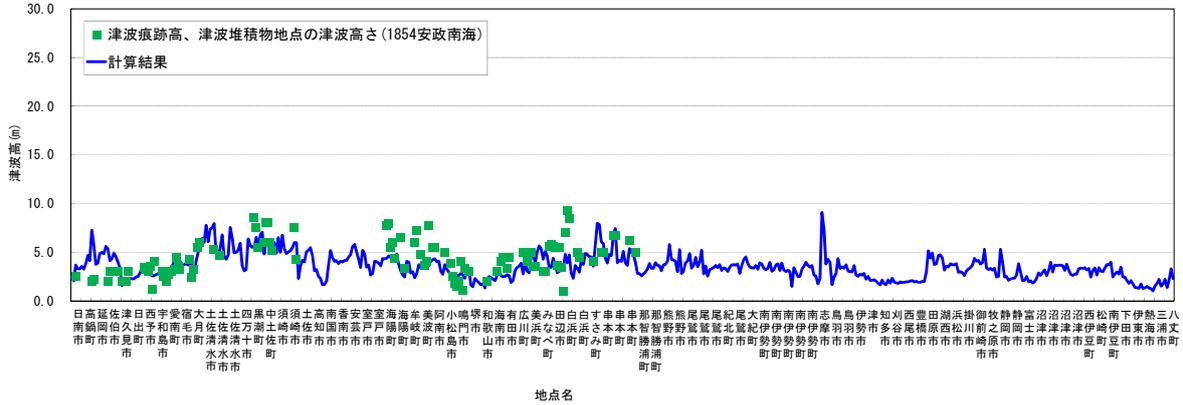


c) 平均すべり量 約10m , $\Delta\sigma = 3.0\text{MPa}$ ($M_w 8$ よりも小さな地震を含めた海溝型地震の平均的な応力降下量)

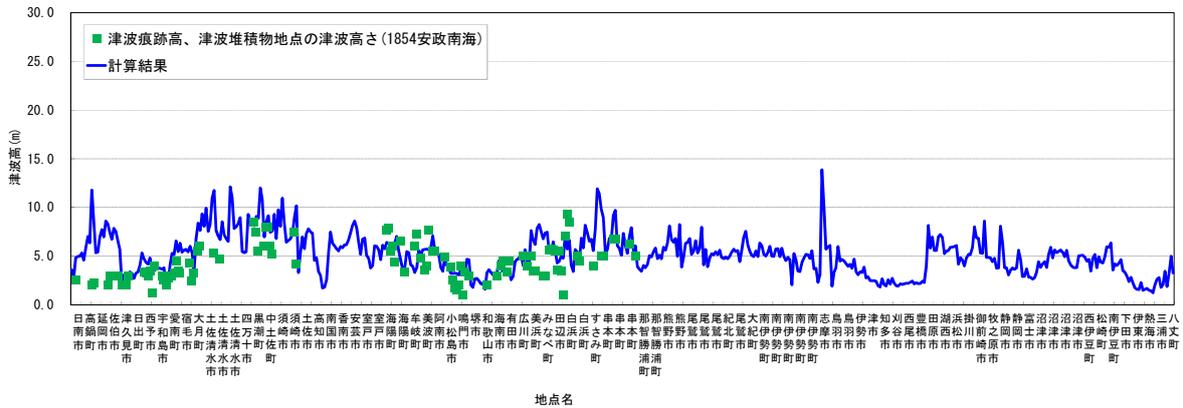


(4) 平均すべりモデル (大すべり域を設定しない) と1854安政南海地震と比較

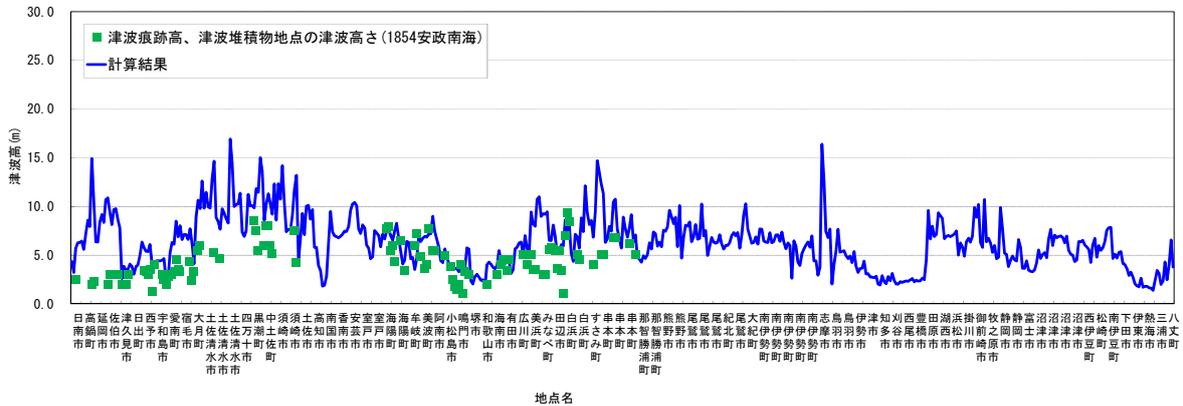
a) 平均すべり量 約4m, $\Delta\sigma = 1.2\text{MPa}$ (M_w 8以上の地震の平均的な応力降下量)



b) 平均すべり量 約7m, $\Delta\sigma = 2.2\text{MPa}$ (M_w 8以上の地震の平均値に標準偏差を加えた応力降下量)

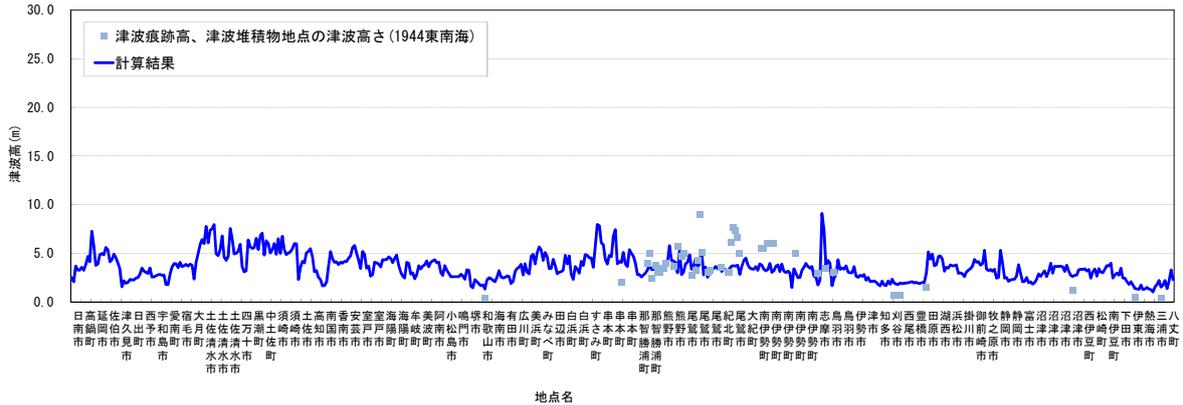


c) 平均すべり量 約10m, $\Delta\sigma = 3.0\text{MPa}$ (M_w 8よりも小さな地震を含めた海溝型地震の平均的な応力降下量)

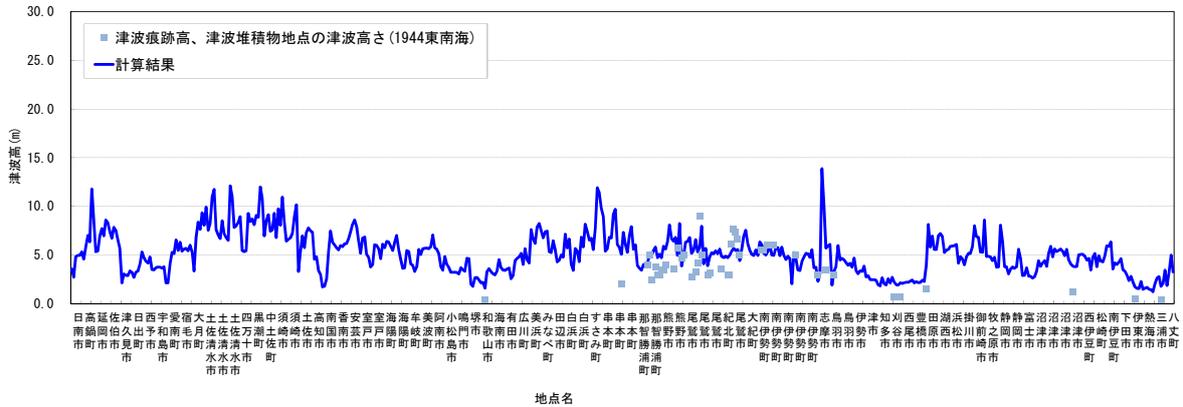


(5) 平均すべりモデル（大すべり域を設定しない）と1944東南海地震と比較

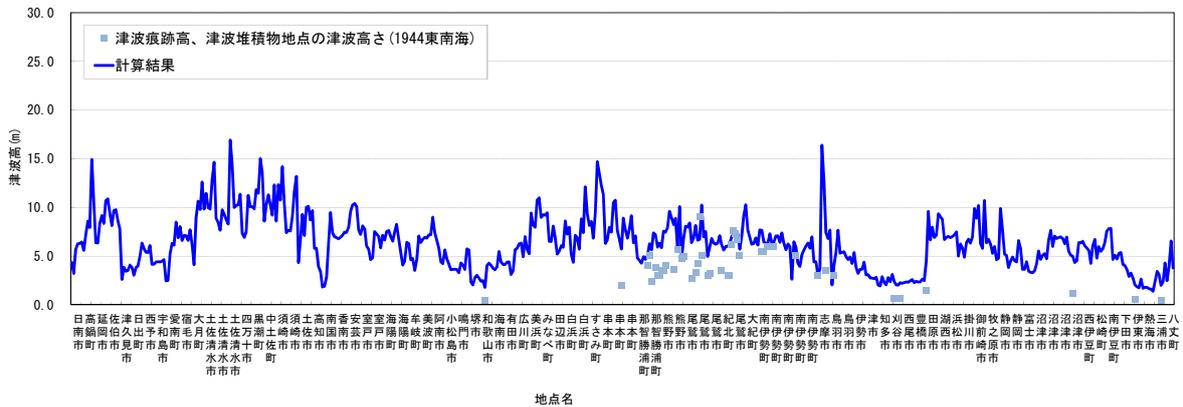
a) 平均すべり量 約4m , $\Delta\sigma = 1.2\text{MPa}$ (M_w 8以上の地震の平均的な応力降下量)



b) 平均すべり量 約7m , $\Delta\sigma = 2.2\text{MPa}$ (M_w 8以上の地震の平均値に標準偏差を加えた応力降下量)

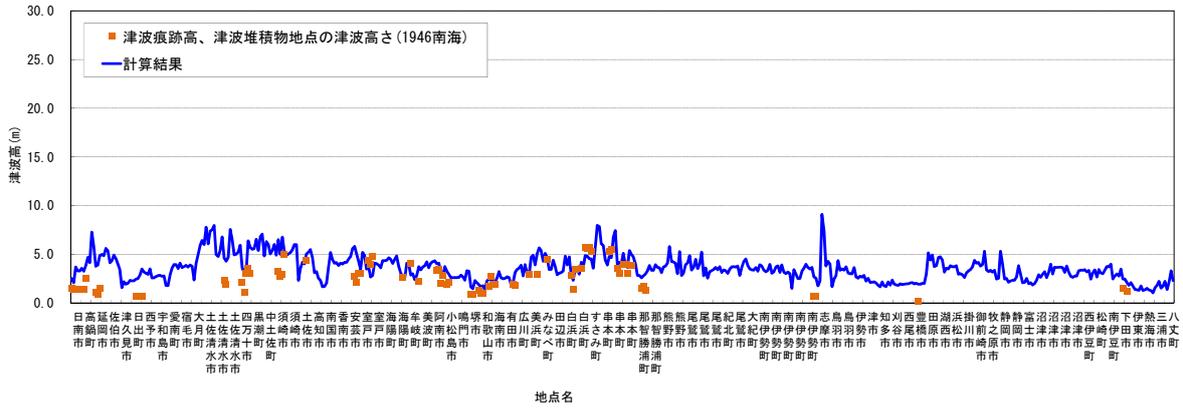


c) 平均すべり量 約10m , $\Delta\sigma = 3.0\text{MPa}$ (M_w 8よりも小さな地震を含めた海溝型地震の平均的な応力降下量)

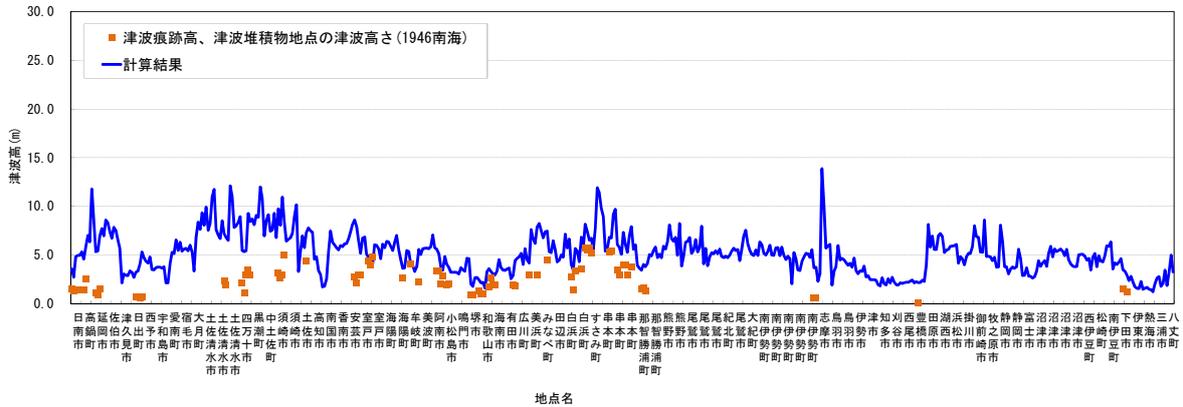


(6) 平均すべりモデル (大すべり域を設定しない) と1946南海地震の比較

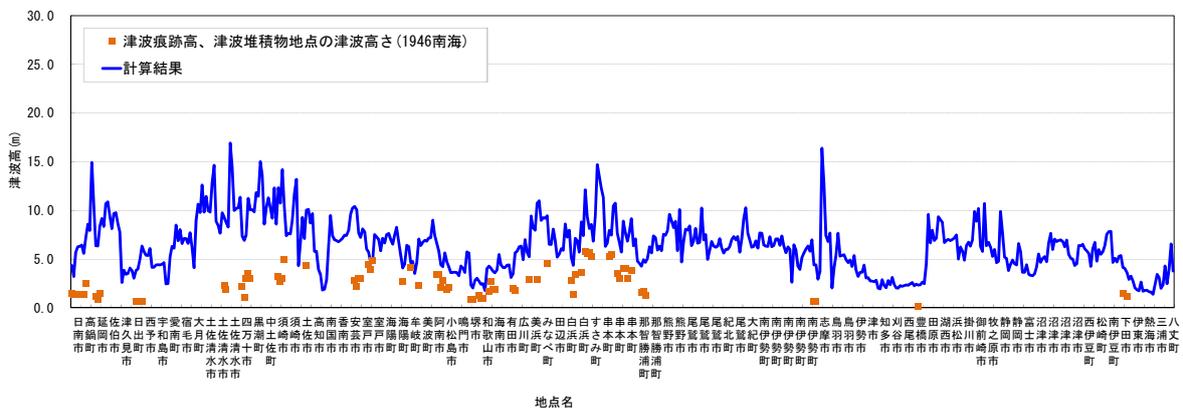
a) 平均すべり量 約4m, $\Delta\sigma = 1.2\text{MPa}$ ($M_w 8$ 以上の地震の平均的な応力降下量)



b) 平均すべり量 約7m, $\Delta\sigma = 2.2\text{MPa}$ ($M_w 8$ 以上の地震の平均値に標準偏差を加えた応力降下量)



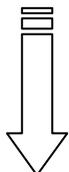
c) 平均すべり量 約10m, $\Delta\sigma = 3.0\text{MPa}$ ($M_w 8$ よりも小さな地震を含めた海溝型地震の平均的な応力降下量)



発生頻度の高い津波について(整理)

■発生頻度の高い津波

堤防等の整備を行ううえで対象とする一定頻度(数十年～百数十年)で発生する津波の高さを想定し、堤防等の整備に必要な設計津波の水位の設定の基準となるもの。



- 痕跡高調査や歴史記録・文献等を活用し、過去に発生した津波の実績津波高さの整理
- 十分なデータが得られない場合は、シミュレーションを実施しデータを補完
- 一定の頻度(数十年から百数十年に一度程度)で発生すると想定される津波の集合(設計津波の対象津波群)を選定
- 対象津波群の津波を対象に、設計津波の水位を設定し、これを前提に堤防等の天端高を設定

■南海トラフを震源とする地震・津波

○南海地震は過去繰り返し発生

⇒過去1000年間の平均発生間隔：約120年

出典：南海トラフの巨大地震モデル検討会(第二次報告)(H24.8.29)
「南海トラフにおける発生頻度の高い津波の基本的考え方」

○連動で発生するが一定の時間差が生じている

⇒宝永地震(1707年)：同時発生、安政東海地震・安政南海地震(1854年)：32時間

昭和東南海地震(1944年)・昭和南海地震(1946年)：744日

○ある程度大きな津波を伴う地震の発生間隔(宝永地震など)：約300～500年

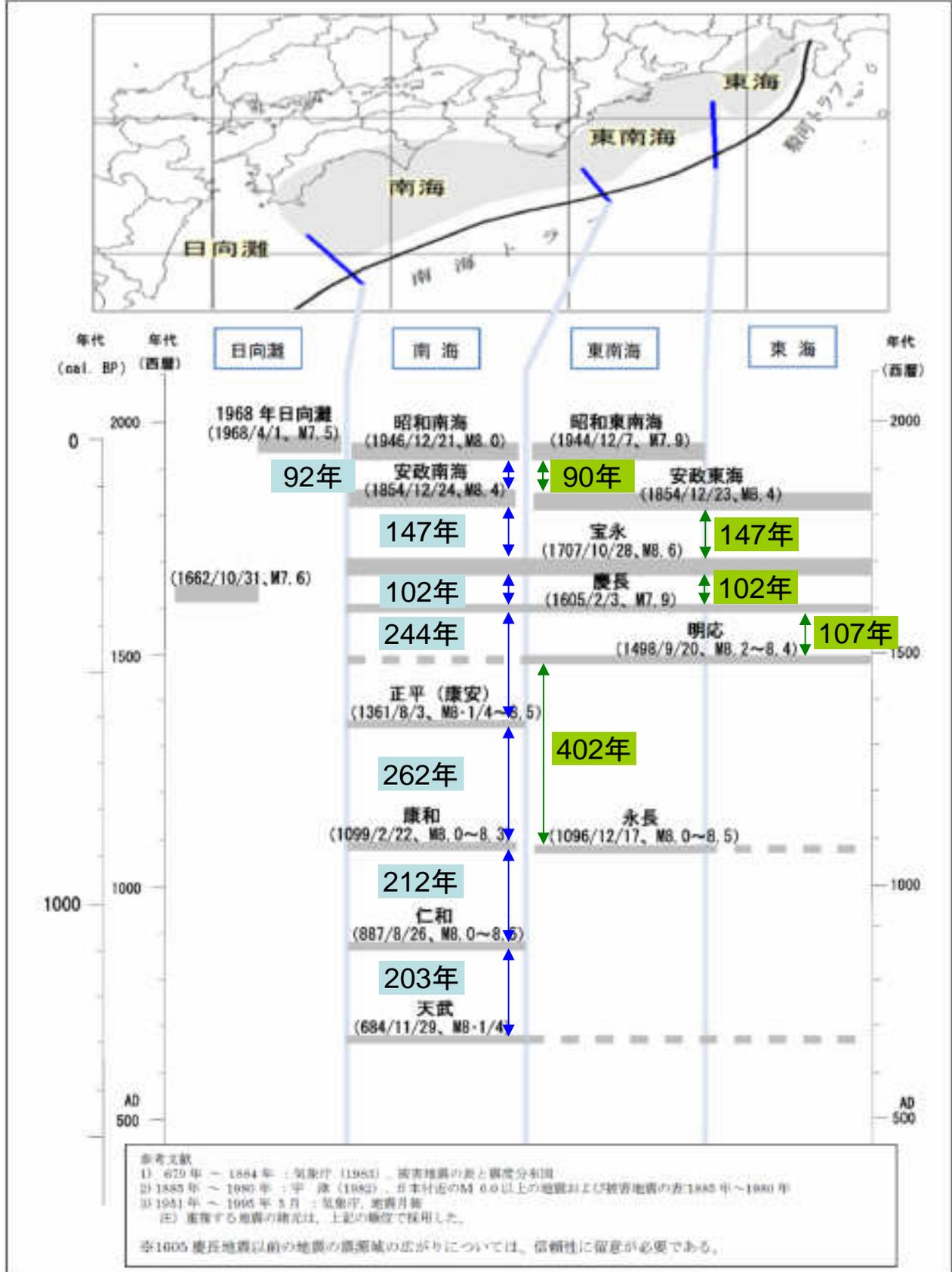
出典：南海トラフの巨大地震モデル検討会(第二次報告)(H24.8.29)
「南海トラフにおける発生頻度の高い津波の基本的考え方」

■発生頻度の高い津波の波源モデル候補

前回調査委員会での検討結果を踏まえ、下記のモデルを対象に検討することとした。

- ① 東南海・南海地震2連動モデル(2003中防モデル)
- ② 東海・東南海・南海地震3連動モデル(2003中防モデル)
- ③ 1707年宝永地震モデル(連動型)
- ④ 1854年安政南海地震モデル(単独型)

【南海トラフ沿いで発生が知られているプレート境界地震】



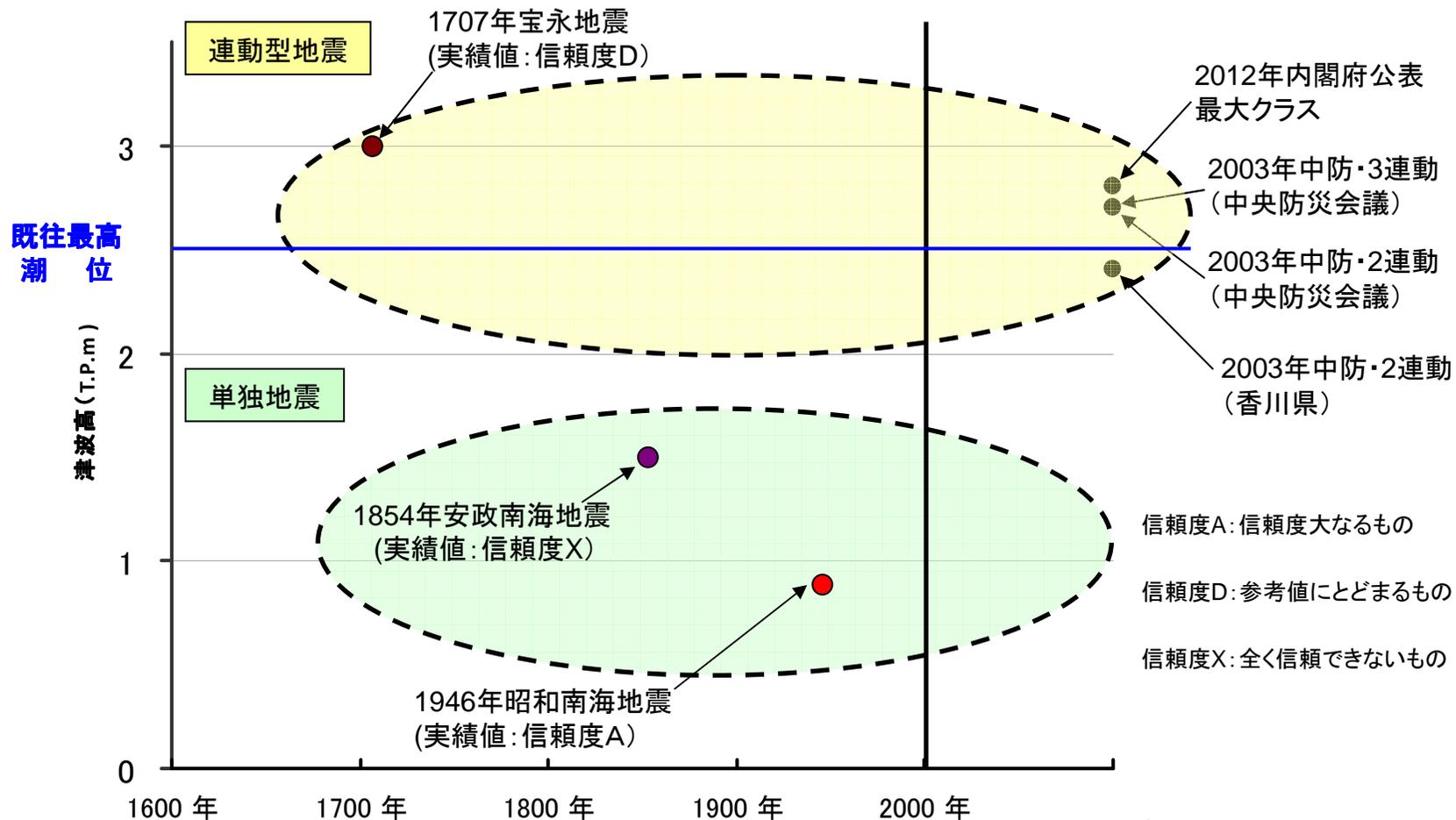
出典：南海トラフの巨大地震モデル検討会中間とりまとめ参考資料集
 (平成23年12月27日南海トラフの巨大地震モデル検討会)

高松港における津波高について

資料4

過去の津波高

シミュレーション値



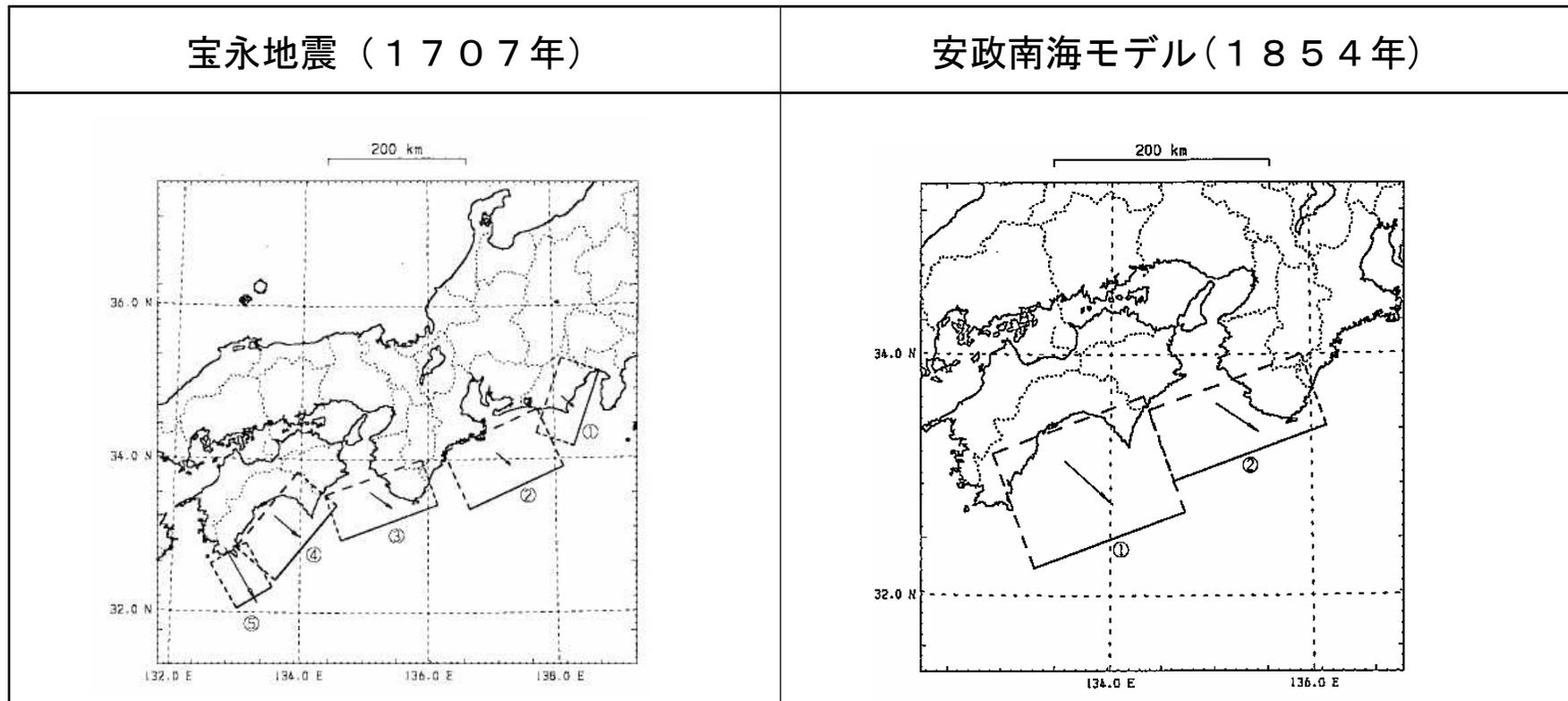
※過去の津波高は東北大学「津波痕跡データベース」による

宝永地震と安政南海地震のモデルについて

資料5

両地震の再現モデルについては、代表的なものとして相田(1981)モデルやAndo(1975)モデルなどがあるが、南四国や紀伊水道に位置する領域において実測値との適合性が高いとの論文があり、また、近県でも多く用いられている「相田モデル」を採用することが考えられる。

【相田モデル】



「各種断層モデルによる四国沿岸域の津波シミュレーションに関する考察」
 (徳島大学工学部研究報告第41号、村上仁士、伊藤禎彦、山本尚明)

○宝永地震

Table 7 Values K and κ for tsunami in Hoei earthquake, 1707

(南四国全体)

計算格子間隔 (領域)	断層 モデル	⑩Ando (1975)	⑩相田 (1981)
312.5m (K 3)	K κ	0.82 1.52	0.82 1.34
1.25km (K 2)	K κ	1.10 1.29	1.21 1.47
5km (K 1)	K κ	1.70 1.55	1.72 1.49

(甲浦領域)

計算格子間隔 (領域)	断層 モデル	⑩Ando (1975)	⑩相田 (1981)
312.5m (K 3)	K κ	0.66 1.29	0.89 1.21
1.25km (K 2)	K κ	0.88 1.29	1.31 1.46
5km (K 1)	K κ	1.48 1.29	2.55 1.13

(足摺・宿毛領域)

計算格子間隔 (領域)	断層 モデル	⑩Ando (1975)	⑩相田 (1981)
312.5m (K 3)	K κ	1.27 1.28	0.88 1.32
1.25km (K 2)	K κ	1.35 1.26	1.11 1.42
5km (K 1)	K κ	2.15 1.26	1.41 1.31

観測値と計算値の
 対数幾何平均 $K \cdots \cdots 0.8 \leq K \leq 1.2$
 対数幾何標準偏差 $\kappa \cdots \cdots \kappa \leq 1.6$
 のいずれの基準も満たすとき、津波高の観測
 値と計算値の適合性が高い。
 (相田提案より)

- 南四国全体を対象
 「Ando1975」、「相田1981」の適合性が
 高い。
- 甲浦領域(四国東岸側の紀伊水道に位
 置する)を対象
 「相田1981」、「Ando1975」の適合性が
 高い。

○安政南海地震

Table 6 Values K and κ for tsunami in Ansei earthquake, 1854

(南四国全体)

計算格子間隔 (領域)	断層 モデル	⑧ Ando (1975)	⑨ 相田 (1981)
312.5m (K 3)	K	1.27	1.10
	κ	1.44	1.51
1.25km (K 2)	K	1.41	1.30
	κ	1.39	1.45
5km (K 1)	K	2.38	2.25
	κ	1.44	1.67

(甲浦領域)

計算格子間隔 (領域)	断層 モデル	⑧ Ando (1975)	⑨ 相田 (1981)
312.5m (K 3)	K	1.06	1.09
	κ	1.28	1.38
1.25km (K 2)	K	1.30	1.35
	κ	1.34	1.45
5km (K 1)	K	2.33	2.03
	κ	1.25	1.15

(足摺・宿毛領域)

計算格子間隔 (領域)	断層 モデル	⑧ Ando (1975)	⑨ 相田 (1981)
312.5m (K 3)	K	1.44	1.31
	κ	1.47	1.49
1.25km (K 2)	K	1.60	1.56
	κ	1.35	1.43
5km (K 1)	K	2.85	2.80
	κ	1.27	1.68

観測値と計算値の
 対数幾何平均 $K \dots \dots 0.8 \leq K \leq 1.2$
 対数幾何標準偏差 $\kappa \dots \dots \kappa \leq 1.6$
 のいずれの基準も満たすとき、津波高の観測
 値と計算値の適合性が高い。
 (相田提案より)

安政南海地震(1854)
 ■南四国全体を対象
 「相田1981」が妥当。
 ■甲浦領域を対象
 「Ando1975」、「相田1981」の適合性が
 高い。

各種断層モデルによる四国沿岸域の
津波シミュレーションに関する考察

村上 仁 士 伊 藤 禎 彦
山 本 尚 明

各種断層モデルによる四国沿岸域の 津波シミュレーションに関する考察

村上仁士^{1,*}, 伊藤禎彦¹, 山本尚明²

Consideration on tsunami simulation using proposed fault models in Shikoku island

by

Hitoshi MURAKAMI, Sadahiko ITOH and Naoaki YAMAMOTO

(Received 2 November, 1995)

Simulation study was carried out on three cases of the tsunami using proposed fault models. Origins of these tsunamis were the epicenters of earthquakes of Hoei (1707), Ansei (1854) and Nankai (1946), all of which took places in and after Edo Period. Among the tsunamis caused by huge earthquakes that took place in the past on the Nankai trough along the Pacific coast of Shikoku island with the magnitude M7 or higher, these earthquakes are selected for the reasons that relatively rich observation data of tsunami is available on them and the tsunami simulation can be implemented on the fault models proposed for them.

Statistical analysis were also carried out using the ratio between the calculated and observed values of tsunami height. The fitness between these values are analyzed and evaluated in relation to each of fault models, areas in the study and intervals of calculation grids.

1. 緒 言

四国の太平洋岸においては有史以来、南海トラフ上で発生した地震マグニチュード7クラス以上の巨大地震を波源とする津波により、幾度となく大きな被害をうけてきた。特に、江戸時代以降では1605年2月3日(慶長9年12月16日:慶長地震), 1707年10月28日(宝永4年10月4日:宝永地震), 1854年12月24日(嘉永7年11月5日:安政南海地震)および1946年12月21日(昭和21年:南海地震)に伴う津波が挙げられ、ほぼ100年~150年の間隔で発生している。これらの津波についてはTable 1, Fig. 1に示すように、現地での津波高観測データが著者らにより近年再整理されている¹⁾。

一方、津波シミュレーションを実施するうえで基本となる断層モデルは、1707年宝永地震、1854年安政地震および1946年南海地震の3つの地震についてTable 2に示すように各種の断層モデルが提案されている²⁾⁻³⁾。

これら3つの地震による津波のシミュレーションについては相田提案の断層モデルが通常用いられており、Table 2に示す断層モデルの全てを用いた津波シミュレーションを行い、津波高に関する計算値と観測値の適合性について比較検討したものはなかった。

本研究は、1707年宝永地震、1854年安政地震および1946年南海地震の3つの地震津波を対象とし、各地震で提案された11種類の全ての断層モデル²⁾⁻³⁾を用いた津波シミュレーションを実施して津波高の計算値と観測値を比較することにより、提案された各種断層モデルの適合性を検討したものである。なお、以下では1946年南海、1854年安政および1707年宝永の各地震津波の順序で記述する。

1 徳島大学工学部建設工学科
Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering,
The University of Tokushima

2 四国総合研究所
Shikoku Research Institute Inc.

*連絡者, 連絡先: 〒770 徳島市南常三島町2-1
徳島大学工学部

Table 1 Observed heights of tsunami in Shikoku island

(単位: m)

地名	1605慶長 地震津波 (T.P.基準)	1707宝永 地震津波 (T.P.基準)	1854安政 地震津波 (T.P.基準)	1946南海 地震津波 (M.S.L.基準)	地名	1605慶長 地震津波 (T.P.基準)	1707宝永 地震津波 (T.P.基準)	1854安政 地震津波 (T.P.基準)	1946南海 地震津波 (M.S.L.基準)
(徳島県)					(高知県)				
撫徳小中橋			1-2	0.9	奥浦		3.1		
養島			1-2	1.4	野見				5.6
松島			1.5-2	2.0	押岡			7-8	
島			4-5		吾井ノ郷		9	7-8	
楢		3-4	3	4.0	多ノ郷		8.7	7.1-8.4	3.5
泊部				3.7	須崎		8	5.5	4.4
阿岐井			5.5		安和				5.1
由岐		6-7	7-8	4	久礼		7.5-8	5.6-8.3	2.3, 3.7
田井			4.3	2	上ノ加江		5	5-6	2.5-3.1
木岐		6-7	6-7	4.2	矢井			7.8	
日和佐			2-3	2.5, 3.6	興津			6	4.3
牟岐	6	6-7, 8	6-7	4.5	佐賀	4-5	6		4.7
出羽			6	3.6	伊田			5-6	
浅川	9	6-7	6.5-7.2	4.7-5.3	上川			7.5	4.9
瀬浦	4-5	3	3.5	2.0	入野			8.5	4.0
那佐			5.5	4.2	下田		8.6	6-6.5	
穴喰	5-6	5.5	3.2-7.9	3.6	布			4-5	3.9
(高知県)					下ノ加江		10	7.2	2.5
甲浦	5-6	6	3.6	4.3	大岐		8.1	4.9-5.3	3.7
野根	4-5				以布利		10	4.3-4.7	3.1
佐喜浜	8.6-13.0	5		2.9	壺津			4.4	
椎名				4.8	大ノ浜		8.6	5	
津呂				1.9	土佐清水			4-5	2.3
室津	8-10	6-7	3.0	2	下益野		5	4	
奈半利	6			3	三川			4-5	
安田				2.3	下川		7	5-6	3.0
伊尾木				3	貝ノ川		7-8	4-5	3.0
安芸	3-4	6-7	5	3	大津		8	4	
手結		6-7	5	3.3	古満		7		
下夜		9.3			柏島			4	3.5
岸本		5-6	5	1.5	宿毛			3.3	
赤岡		4-5	4.0		(愛媛県)			4.5-5.5, 9.8	3.2, 3.5-4.0
古川		4-5			岩水				1.8, 2.5
十種		7-8		1.7	満倉			3.5-4	
仁井		5-6			深浦			3	
下田		6-7			久良			3-4	
吸江		6-7			貝塚			4-5	
一朝		6-7			宇和島		5.1	2-3	1.5
高知		7.7		1.3	吉田		5	2-3	1.5
御瀬		5-6	3	0.5	三瓶			3.7	1.2
藻瀧		5-6		1.3	八幡			3.5	0.9
浦戸			5	2.2	伊方			3	1.2
桂浜		5-6	4.5-5	1.8	三内				0.7
甲斐		5-6	4.5-5		(香川県)				
宇佐		8-13	5.8-8.9	4.6	高松		3	1.5	0.9
福島		7-8	7-8	4.0					

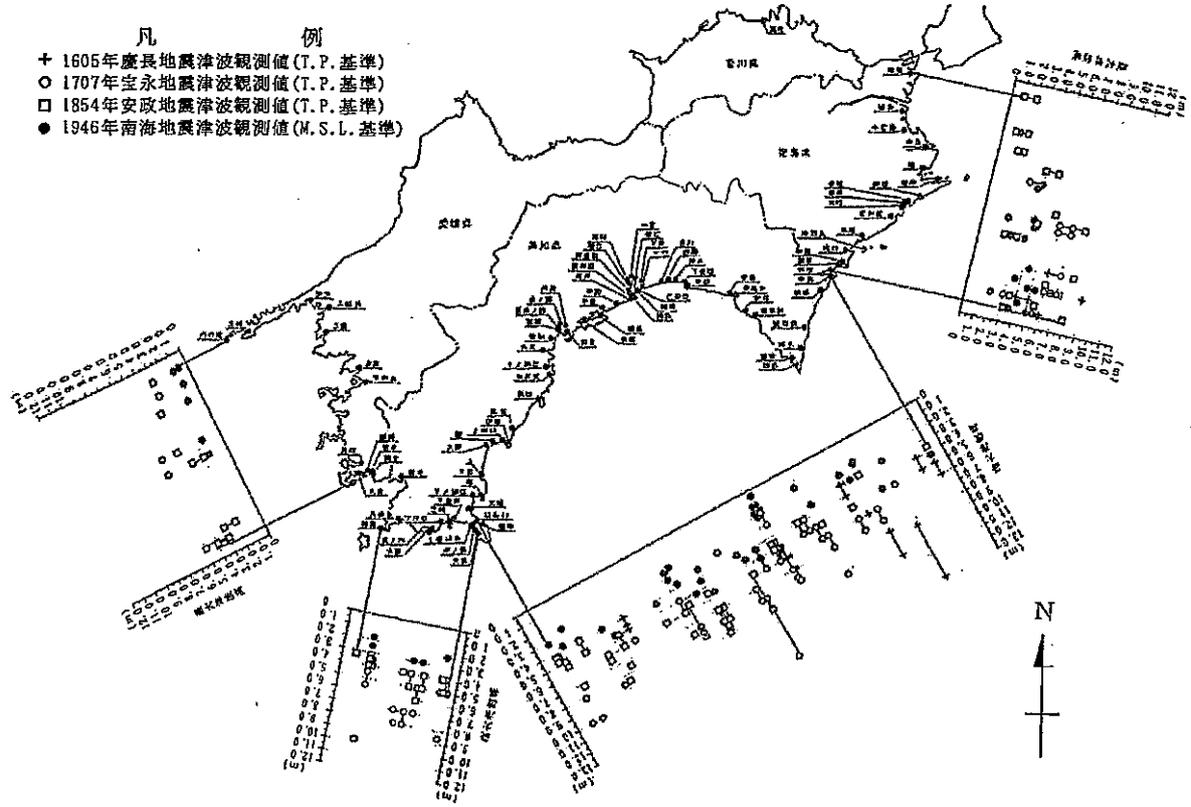


Fig. 1 Observed heights of tsunami in Shikoku island

Table 2 List of fault models proposed for earthquakes

対象地震	1946年南海地震	1854年安政地震	1707年宝永地震
断層モデル	①Fitch & Scholz(1971)	③Ando(1975) ③相田(1981)	⑩Ando(1975) ⑩相田(1981)
	②Kanamori(1972)		
	③Ando(1975)		
	④Ando(1982)		
	⑤Iwasaki(1981)		
	⑥相田(1981)		
	⑦Kato(1983)		

$$\frac{\partial M}{\partial t} + g h \frac{\partial \eta}{\partial x} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + g h \frac{\partial \eta}{\partial y} = 0 \quad (3)$$

ここで、 $M = u h$ 、 $N = v h$ 、 η ：水位、 g ：重力加速度、 h ：静水深、 u 、 v ： x 、 y 方向の流速、 ξ ：海底地盤の垂直変位である。

さらに、水深の浅い沿岸近くまで伝播した津波の計算では波高が水深と同程度となり、非線形性が無視できず非線形長波理論すなわち浅水波理論を用いる。

2. 津波シミュレーションの計算条件

2.1 Leap-frog法による津波の支配方程式

発生したばかりの津波は、波長が数百km、水深はせいぜい数kmである。波長が水深に比べて大きい場合は、長波と呼ばれ鉛直方向の流速を無視し、鉛直方向に積分された長波理論が適用できる。また、波高も数m程度であり、波の非線形性が小さく水深の深い領域では、次式に示す線形長波理論を用いる。

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

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (4)$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{D} \right) + g D \frac{\partial \eta}{\partial x} + f \frac{MQ}{D^2} = 0 \quad (5)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{MN}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{N^2}{D} \right) + g D \frac{\partial \eta}{\partial y} + f \frac{NQ}{D^2} = 0 \quad (6)$$

ここで, $D = \eta + h$, $M = uD$, $N = vD$, $Q = \sqrt{M^2 + N^2}$, $f_x = gn^2 D^{-1/3}$, n : マニングの粗度係数である。

計算格子は, 水位計算点と流量計算点が1/2格子分だけずれた Staggered Leap-frog格子を用いる。

2.2 境界条件

津波シミュレーションにおける境界条件として, ここでは海岸で遡上する地域以外では, 海岸を鉛直壁と考え完全反射と仮定し, 岸に直角な流量を0としている。

$$Q_x \text{ or } Q_y = 0 \quad (7)$$

計算領域は有限であることから, 外界に人工的な境界が生じる。したがって, 境界で波が完全無反射で通過するものとして, 線形長波の進行波を考え次式を適用する。

$$\sqrt{Q_x^2 + Q_y^2} = \pm \sqrt{gh} \eta \quad (8)$$

ここで, 符号は波の進行方向と関連づけて, η が正の時は Q_x が領域の外側に向かうようにとる。

2.3 安定条件

差分方程式において数値シミュレーションを安定に進めるため, Courant-Friedrichs-Lewyの条件に従う。

$$C_r = \frac{\Delta t \sqrt{2gh_{max}}}{\Delta s} \leq 1 \quad (9)$$

ここで, h_{max} : 各計算領域内の最大水深, Δt : 計算時間間隔, Δs : 計算格子間隔である。

2.4 津波シミュレーションの計算諸条件

津波シミュレーションに用いる初期条件および境界条件などの計算諸条件を Table 3, Table 4 に示す。津波の初期条件となる水位は与えられた各種断層パラメータを基に海底地盤を弾性体と仮定し, ポアソン比を 1/4 とした Mansinha-Smylie の方法¹⁰⁾ により計算した変位を用いる。

Table 3 Conditions for calculation in the tsunami simulation

項目	設定値		
領域番号	1 (K1領域)	2 (K2領域)	3 (K3領域)
基礎方程式	線形長波方程式		非線形長波方程式
沖側境界条件	透過境界	隣接する領域との接続	
岸側境界条件	反射境界		
底面摩擦	なし		マニングの粗度係数
初期条件	流速 0		
	水位 0		
波源モデル	1946年南海, 1854年安政, 1707年宝永の各地震において提案された各種断層モデル (計11種類)		
計算格子間隔	5,000m	1,250m	312.5m
最大水深	4,790m	1,460m	23~1,128m
計算時間間隔	1秒		
再現時間	3時間		

Table 4 Manning coefficient of roughness

	水深 > 5 m	0 m ≤ 水深 ≤ 5 m
粗度係数	0.025	0.04

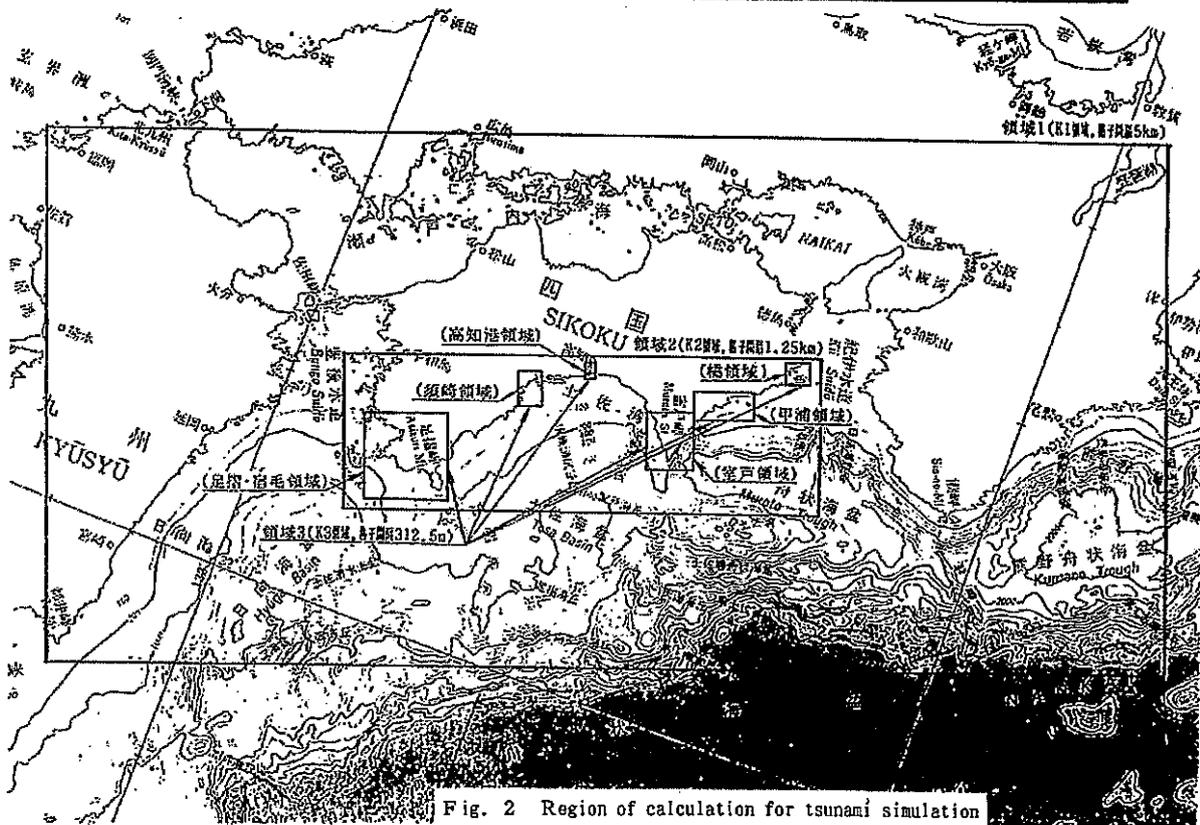


Fig. 2 Region of calculation for tsunami simulation

計算は Fig. 2 に示す計算領域の領域 1, 領域 2 および領域 3 について実施し, 計算結果の適合性の検討は領域 3 の範囲で得られた計算値と観測値を用いて行う。すなわち, Fig. 2 で示した橘領域, 甲浦領域, 室戸領域, 高知藩領域, 須崎領域および足摺・宿毛領域の各領域で計算値の適合性を考察する。

なお, 断層面の立ち上がり時間については, 提案された断層モデルの中でも相田, Ando など一部のものしか記載がないこと, 現在, 津波シミュレーションによく用いられている相田モデルでの立ち上がり時間の 30 秒, 60 秒, 3 分での結果等¹²⁾をふまえ, 本研究では 60 秒を用いて比較した。

2.5 津波シミュレーション結果の統計分析

津波シミュレーションの精度に関しては, 統一的に整理するため, 式(10), (11)に示す相田により提案された津波高の観測値と計算値の対数幾何平均 K , 対数幾何標準偏差 κ を導入し, 統計分析を行って検討した¹²⁾。

$$\log K = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \log \left(\frac{R_i}{\eta_i} \right) \quad (10)$$

$$\log \kappa = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\log \left(\frac{R_i}{\eta_i} \right) \right)^2 - (\log K)^2 \right]^{1/2} \quad (11)$$

ここで, R_i, η_i はそれぞれ各地点における津波高の観測値および計算値である。

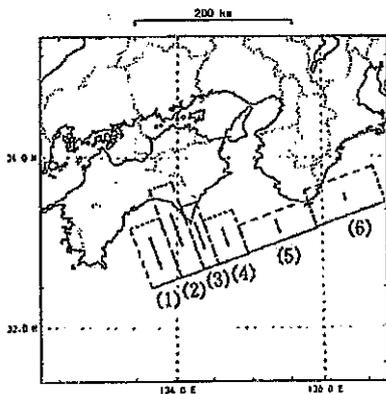
(1946年南海地震, $M=8.0$)

① Fitch & Scholz (1971) モデル

(a) パラメータ

	N(°N)	E(°E)	d(km)	$\theta(^{\circ})$	$\delta(^{\circ})$	$\lambda(^{\circ})$	L(km)	W(km)	U(cm)
(1)	32.603	134.063	0	250	30	90	40	95	1800
(2)	32.695	134.365	0	250	30	90	30	140	1800
(3)	32.757	134.567	0	250	30	90	20	100	1500
(4)	32.880	134.970	0	250	30	90	40	70	1000
(5)	33.173	135.928	0	250	40	90	95	50	800
(6)	33.465	136.885	0	250	40	90	95	65	500

(b) 平面図



2.6 各地震で提案された断層モデルのパラメータリストおよび平面図

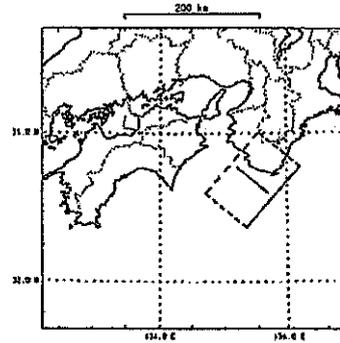
津波シミュレーションに用いる波源モデルとして, Table 2 で述べた各地震で提案された断層パラメータリストおよび平面図を Fig. 3 ~ Fig. 6 に示す¹²⁾。なお, 1946年南海地震の Fitch & Scholz (1971) モデルの(6), 1707年宝永地震の Ando (1975) モデルの(3)および相田 (1981) モデルの(1), (2)の各断層パラメータについてはその位置が東南海以東にあり, 四国沿岸域での津波に影響しないものと考えて今回の津波シミュレーションの検討では考慮していない。

② Kanamori (1972) モデル

(a) パラメータ

N(°N)	E(°E)	d(km)	$\theta(^{\circ})$	$\delta(^{\circ})$	$\lambda(^{\circ})$	L(km)	W(km)	U(cm)
33.55	136.20	-	220	10	90	120	80	310

(b) 平面図



③ Ando (1975) モデル

(a) パラメータ

	N(°N)	E(°E)	d(km)	$\theta(^{\circ})$	$\delta(^{\circ})$	$\lambda(^{\circ})$	L(km)	W(km)	U(cm)
(1)	32.68	134.74	0	250	20	117	150	120	600
(2)	33.13	136.25	0	250	25	117	150	70	400

(b) 平面図

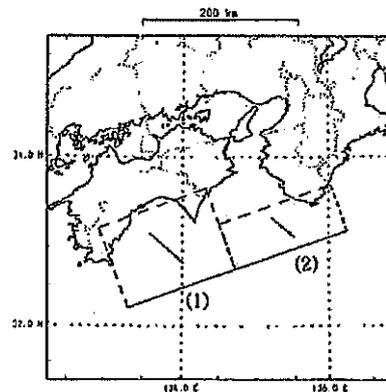


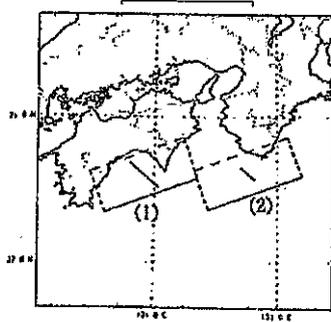
Fig. 3 Parameter lists and plans of fault models proposed for earthquakes (model①-③) (after 12))

④Ando (1982) モデル

(a)パラメータ

N(°N)	E(°E)	d(km)	θ(°)	δ(°)	λ(°)	L(km)	W(km)	U(cm)
(1)33.15	134.71	0	250	20	117	150	70	600
(2)33.17	136.40	0	250	25	117	150	70	300

(b)平面図

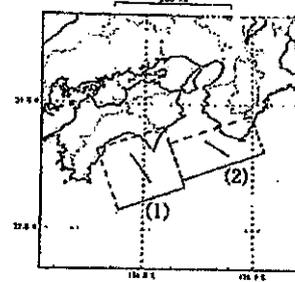


⑥相田 (1981) モデル

(a)パラメータ

N(°N)	E(°E)	d(km)	θ(°)	δ(°)	λ(°)	L(km)	W(km)	U(cm)
(1)32.68	134.75	1	250	20	104	120	120	500
(2)33.24	136.22	10	250	10	127	150	70	400

(b)平面図

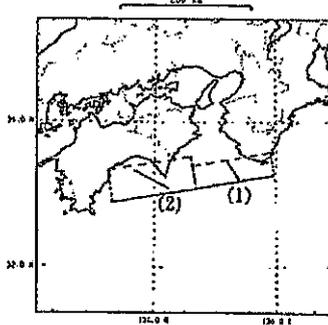


⑥Iwasaki (1981) モデル

(a)パラメータ

N(°N)	E(°E)	d(km)	θ(°)	δ(°)	λ(°)	L(km)	W(km)	U(cm)
(1)33.27	135.97	2.3	260	22	112	122	38	300
(2)33.08	134.68	2.3	261	22	142	129	54	440

(b)平面図



⑦Kato (1983) モデル

(a)パラメータ

N(°N)	E(°E)	d(km)	θ(°)	δ(°)	λ(°)	L(km)	W(km)	U(cm)
(1)33.27	135.97	2.3	260	22	112	122	38	300
(2)33.08	134.68	2.3	261	22	142	129	54	440
(3)33.09	133.25	0.0	220	70	90	30	13	150

(b)平面図

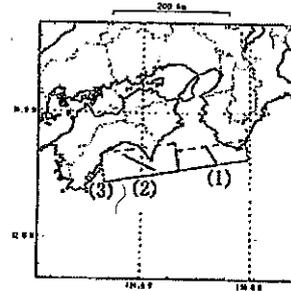


Fig. 4 Parameter lists and plans of fault models proposed for earthquakes (model④-⑦) (after 12))

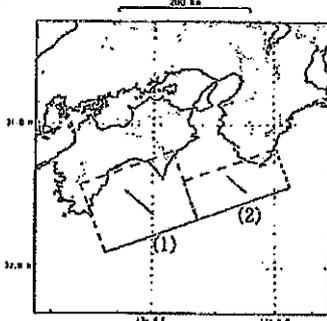
(1854年安政地震, M=8.4)

⑧Ando (1975) モデル

(a)パラメータ

N(°N)	E(°E)	d(km)	θ(°)	δ(°)	λ(°)	L(km)	W(km)	U(cm)
(1)32.68	134.74	0	250	20	117	150	120	600
(2)33.13	136.25	0	250	25	117	150	70	400

(b)平面図



⑨相田 (1981) モデル

(a)パラメータ

N(°N)	E(°E)	d(km)	θ(°)	δ(°)	λ(°)	L(km)	W(km)	U(cm)
(1)32.70	134.74	1	250	20	117	150	120	630
(2)33.41	136.15	10	250	10	127	150	70	470

(b)平面図

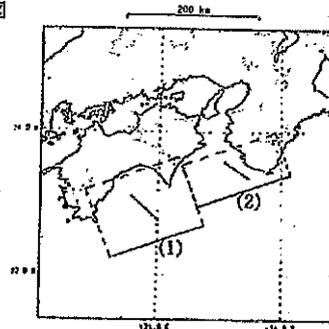


Fig. 5 Parameter lists and plans of fault models proposed for earthquakes (model⑧-⑨) (after 12))

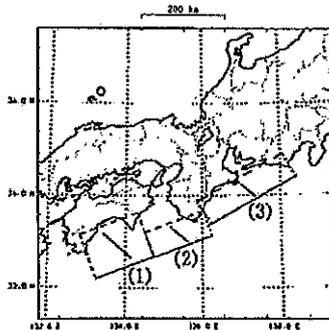
(1707年宝永地震, $M=8.4$)

⑩ Ando (1975) モデル

(a) パラメータ

	N(°N)	E(°E)	d(km)	$\theta(^{\circ})$	$\delta(^{\circ})$	$\lambda(^{\circ})$	L(km)	W(km)	U(cm)
(1)	32.68	134.74	0	250	20	117	150	120	1200
(2)	33.13	136.25	0	250	25	117	150	70	800
(3)	34.39	138.39	0	240	25	108	230	70	800

(b) 平面図



⑪ 相田 (1981) モデル

(a) パラメータ

	N(°N)	E(°E)	d(km)	$\theta(^{\circ})$	$\delta(^{\circ})$	$\lambda(^{\circ})$	L(km)	W(km)	U(cm)
(1)	35.14	138.73	2	198	34	71	115	70	400
(2)	33.90	138.13	3	245	24	113	150	100	400
(3)	33.41	136.15	10	250	10	124	150	70	560
(4)	33.40	134.57	1	220	20	90	140	80	700
(5)	32.33	133.57	1	240	20	90	60	80	1390

(b) 平面図

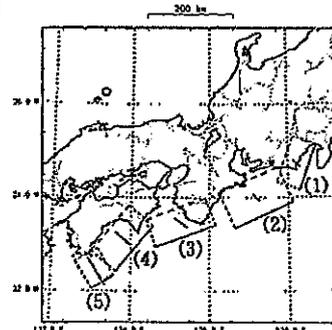


Fig. 6 Parameter lists and plans of fault models proposed for earthquakes (model ⑩-⑪) (after 12))

なお、Fig. 7は断層パラメータの定義について示したもので、各パラメータは次のことを意味している。
 N: 断層面基準点 (Fig. 7に示すように断層面を手前に傾き下がるようにおいた場合、左上に位置する端点) の緯度、E: 断層面基準点の経度、d: 断層面基準点の深さ、 θ : 断層面の走向方向を北より東回りに測った角度、 δ : 断層面の傾斜角、 λ : 断層面の上盤の下盤に対する食い違い方向を断層面上で走向方向より反時計回りに測った角度、L: 断層面の走向方向の長さ、W: 断層面の傾斜方向の長さ(幅)、U: 断層面の食い違い量、 U_d : 断層面の食い違い量の走向方向成分(左横ずれを正とする)、 U_s : 断層面の食い違い量の傾斜方向成分(逆断層成分を正とする)、 ϕ : 断層面の傾斜方向を北より東回りに測った角度、 τ : 断層面の食い違い量が0からUに達するまでの時間、M: 地震マグニチュードである。

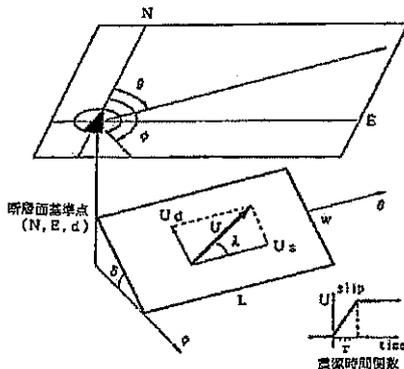


Fig. 7 Definition of fault parameter

3. 計算結果

3.1 津波シミュレーションによる津波高計算値と観測値の比

前章の計算諸条件に基づき、津波シミュレーションを実施した。ここで求めた計算値は、2.4でも述べたようにFig. 2に示す6つあるK3領域内の各観測地域における計算格子間隔がそれぞれ5 km, 1.25 kmおよび312.5 mで求めた最大津波高の値を示す。なお、これらの計算値は観測値との比較がしやすいように計算値と観測値の比を求め、この値と地域名を組み合わせで表示した。

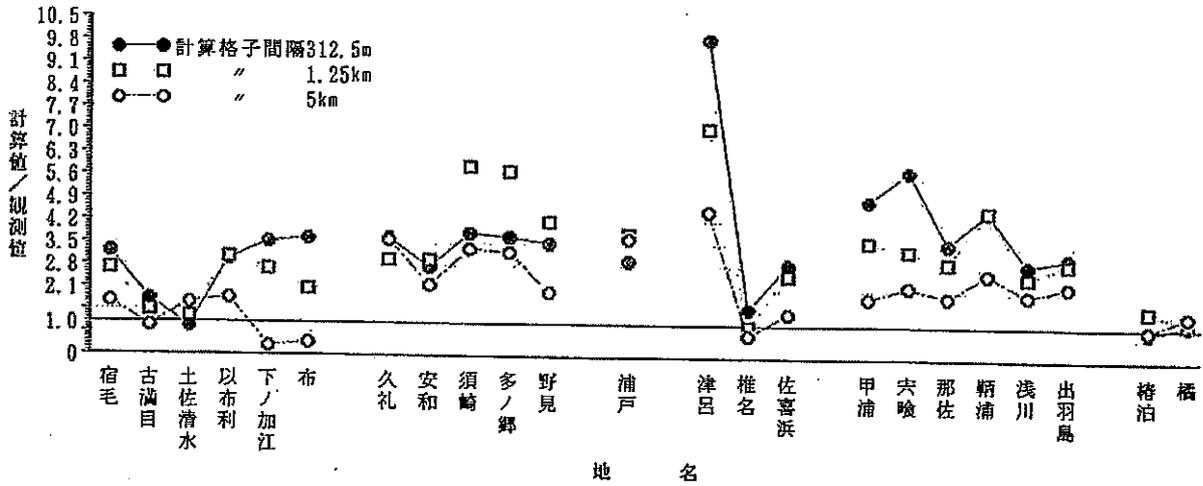
1946年南海、1854年安政、1707年宝永の各地震津波における南四国領域の各地域の計算値と観測値の比をFig. 8~Fig. 11に示す。なお、計算値/観測値は計算値の適合度(Fitness Factor)を示す指標であり、便宜上これをF値と呼ぶ。F値が1であれば両者の適合度が最もよく、その値が小さいことは計算値は観測値よりも小さいことを意味する。

本計算では海岸境界面は完全反射と仮定しており、陸上に津波は侵入しないとしている。しかし、実際の観測値は陸上に遡上した浸水高であり、たとえ $F=1$ となっても計算結果が実際の現象を再現できたということにはならない。それは工学上の当該地域の津波高さを推定する値となっていると解釈すべきであろう。

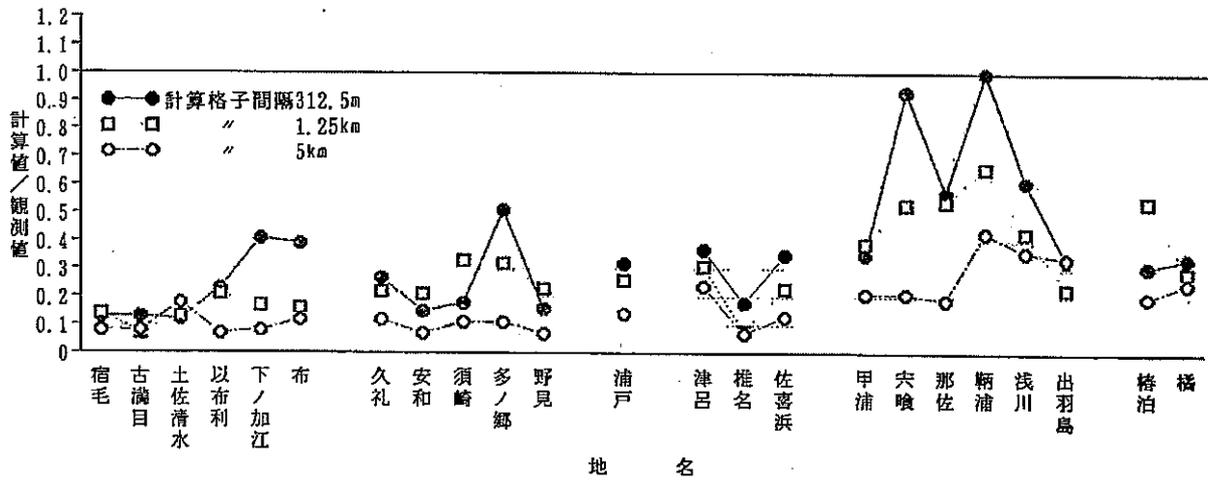
各地域における計算値と観測値の適合性について、F値が1に近い値をとる地域を適合性が高いと考え、提案

(1946年南海地震津波)

① Fitch & Scholz (1971) モデル



② Kanamori (1972) モデル



③ Ando (1975) モデル

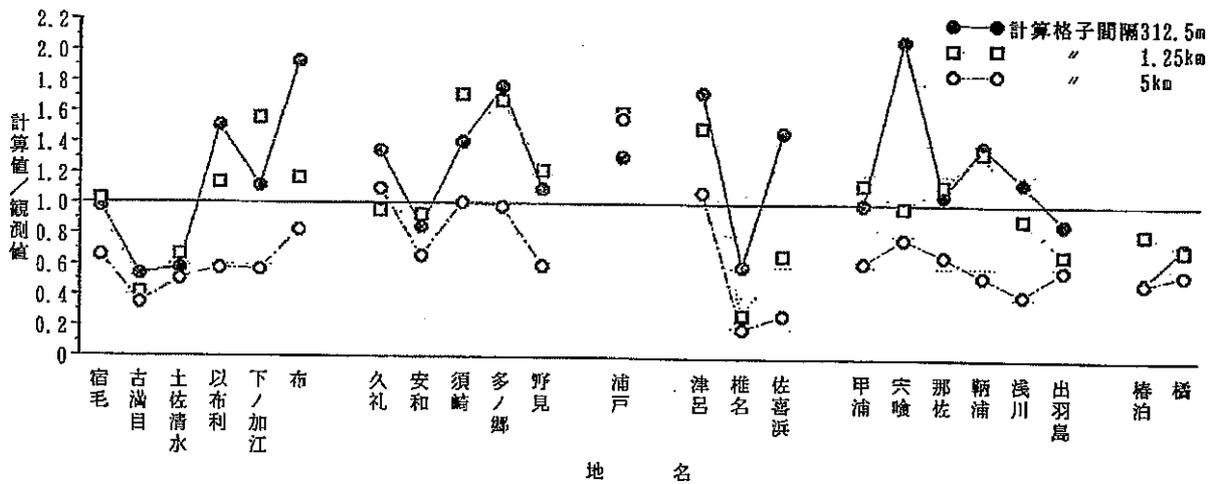


Fig. 8 Ratio between calculated and observed values of tsunami height (model①-③)

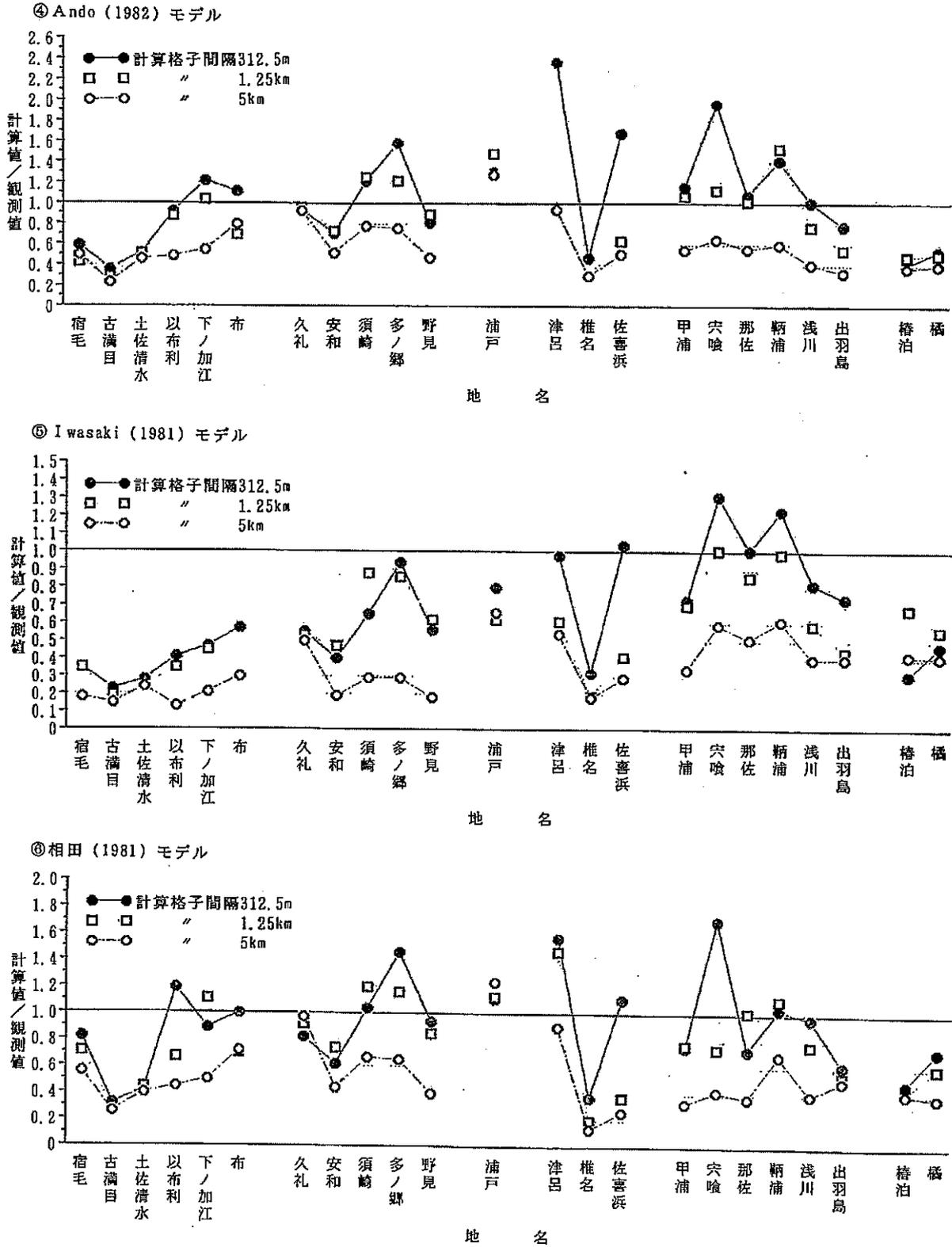


Fig. 9 Ratio between calculated and observed values of tsunami height (model④-⑥)

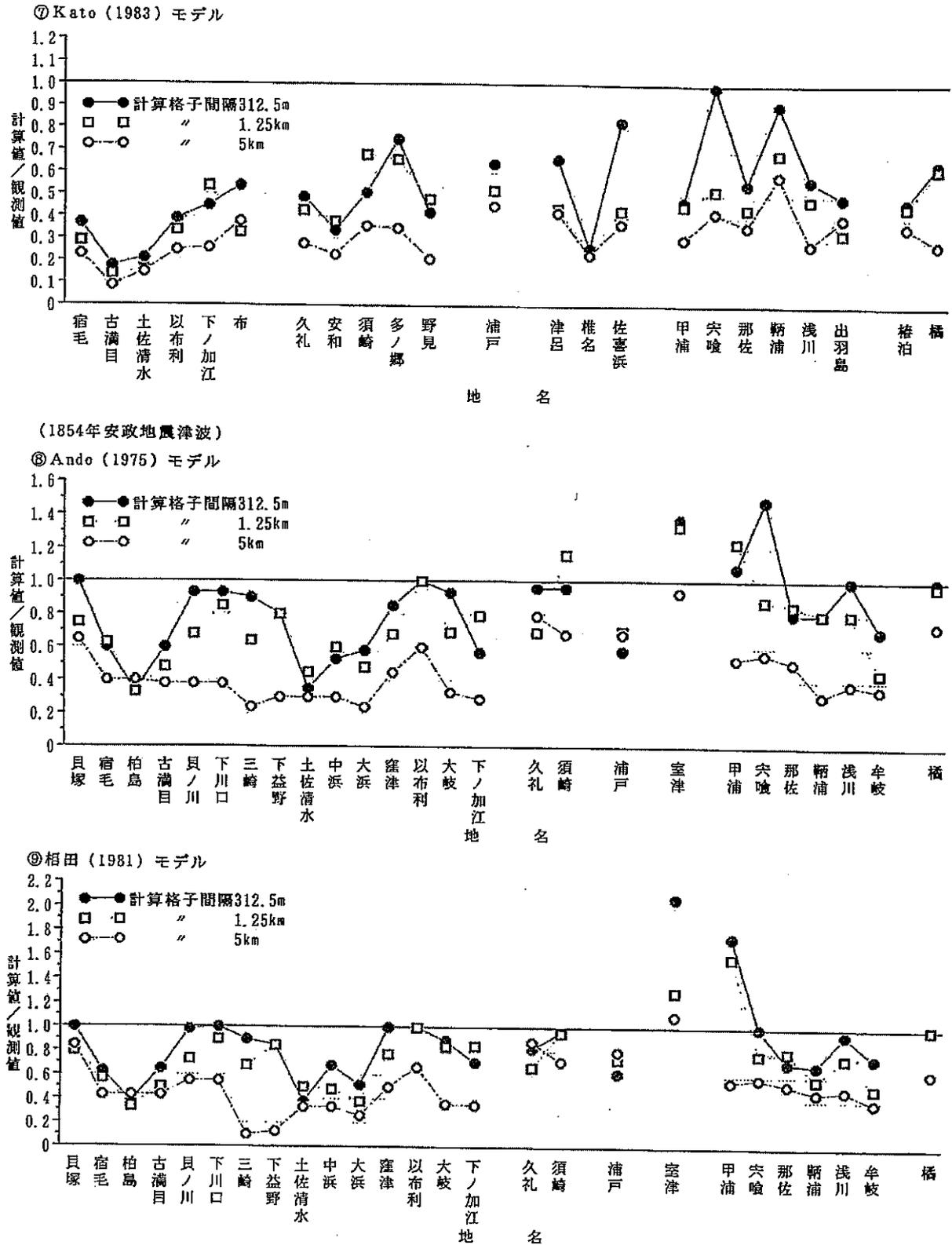
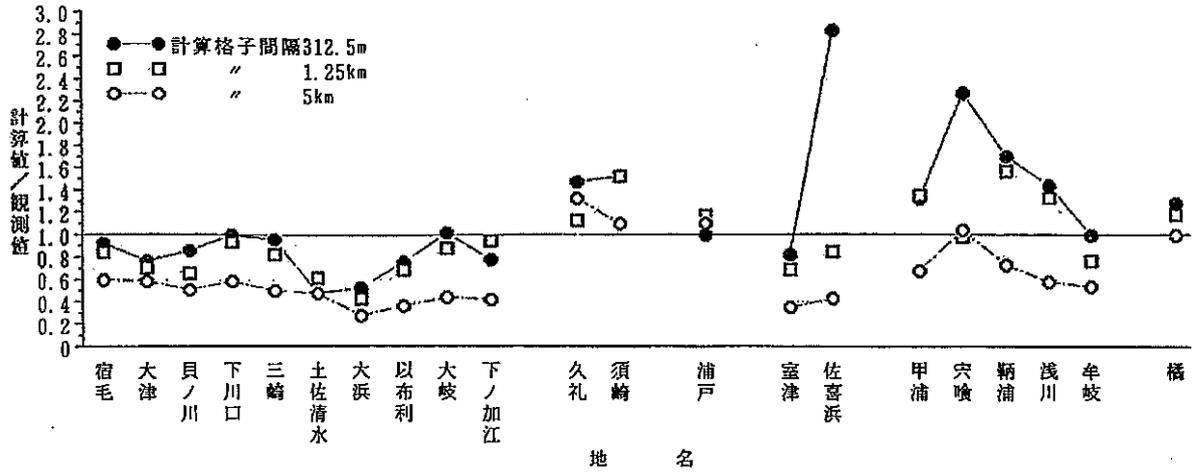


Fig. 10 Ratio between calculated and observed values of tsunami height (model⑦-⑨)

(1707年宝永地震津波)

⑩ Ando (1975) モデル



⑪ 相田 (1981) モデル

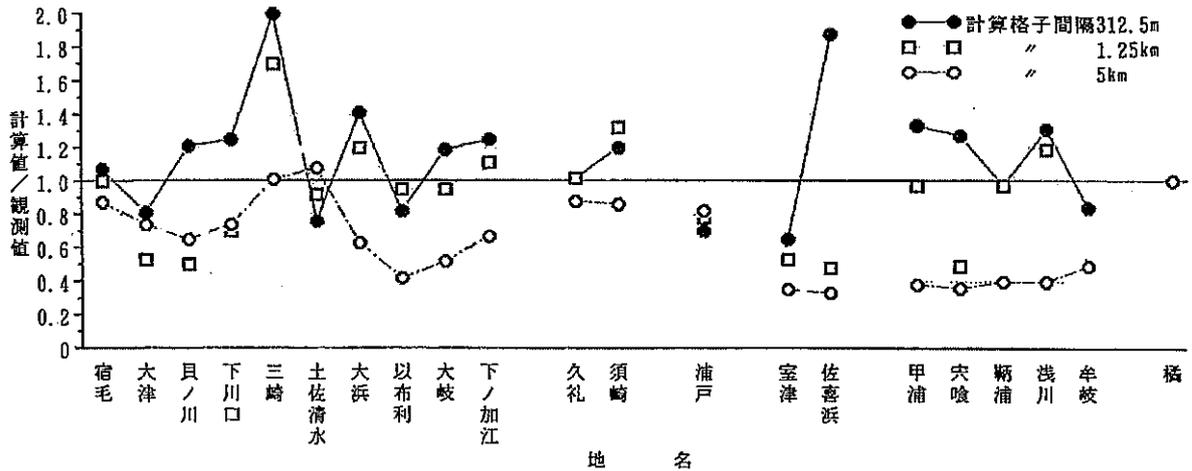


Fig. 11 Ratio between calculated and observed values of tsunami height (model⑩-⑪)

された各断層モデルごとにそれらの地域を以下に列挙する。

(1) 1946年南海地震津波 (7モデル)

① Fitch & Scholz (1971) モデル

1) 格子間隔312.5mでは、橋領域の椿泊、足摺・宿毛領域の土佐清水。

2) 格子間隔1.25kmでは、室戸領域の椎名。

3) 格子間隔5kmでは、橋領域の椿泊、足摺・宿毛領域の古溝目。

② Kanamori (1972) モデル

格子間隔312.5mにおける甲浦領域の鞆浦、穴喰。

③ Ando (1975) モデル

1) 格子間隔312.5mでは、甲浦領域の那佐、甲浦、須崎領域の野見、足摺・宿毛領域の宿毛。

2) 格子間隔1.25kmでは、甲浦領域の浅川、穴喰、須崎領域の安和、久礼、足摺・宿毛領域の宿毛。

3) 格子間隔5kmでは、室戸領域の津呂、須崎領域の多ノ郷、須崎、久礼。

④ Ando (1982) モデル

1) 格子間隔312.5mでは、甲浦領域の浅川、那佐、須崎領域の久礼、足摺・宿毛領域の以布利。

2) 格子間隔1.25kmでは、甲浦領域の那佐、甲浦、室

戸領域の津呂, 須崎領域の野見, 久礼, 足摺・宿毛領域の下ノ加江。

3) 格子間隔5 kmでは, 室戸領域の津呂, 須崎領域の久礼。

⑤ Iwasaki (1981) モデル

1) 格子間隔312.5mでは, 甲浦領域の那佐, 室戸領域の佐喜浜, 津呂, 須崎領域の多ノ郷。

2) 格子間隔1.25 kmでは, 甲浦領域の鞆浦, 穴喰。

⑥ 相田 (1981) モデル

1) 格子間隔312.5mでは, 甲浦領域の浅川, 鞆浦, 室戸領域の佐喜浜, 高知港領域の浦戸, 須崎領域の野見, 須崎, 足摺・宿毛領域の布, 下ノ加江。

2) 格子間隔1.25 kmでは, 甲浦領域の鞆浦, 那佐, 須崎領域の久礼, 足摺・宿毛領域の下ノ加江。

3) 格子間隔5 kmでは, 室戸領域の津呂, 須崎領域の久礼。

⑦ Kato (1983) モデル

格子間隔312.5mにおける甲浦領域の鞆浦, 穴喰。

(2) 1854年安政地震津波 (2モデル)

⑧ Ando (1975) モデル

1) 格子間隔312.5mでは, 橋領域の橋, 甲浦領域の浅川, 甲浦, 須崎領域の須崎, 久礼, 足摺・宿毛領域の大岐, 以布利, 三崎, 下川口, 貝ノ川, 貝塚。

2) 格子間隔1.25 kmでは, 橋領域の橋, 足摺・宿毛領域の以布利。

⑨ 相田 (1981) モデル

1) 格子間隔312.5mでは, 橋領域の橋, 甲浦領域の浅川, 穴喰, 須崎領域の須崎, 久礼, 足摺・宿毛領域の大岐, 以布利, 窪津, 三崎, 下川口, 貝ノ川, 貝塚。

2) 格子間隔1.25 kmでは, 橋領域の橋, 須崎領域の須崎, 足摺・宿毛領域の以布利。

3) 格子間隔5 kmでは, 室戸領域の室津。

(3) 1707年宝永地震津波 (2モデル)

⑩ Ando (1975) モデル

1) 格子間隔312.5mでは, 甲浦領域の牟岐, 高知港領域の浦戸, 足摺・宿毛領域の大岐, 三崎, 下川口, 宿毛。

2) 格子間隔1.25 kmでは, 甲浦領域の穴喰, 足摺・宿毛領域の下ノ加江, 下川口。

3) 格子間隔5 kmでは, 橋領域の橋, 甲浦領域の穴喰, 高知港領域の浦戸, 須崎領域の須崎。

⑪ 相田 (1981) モデル

1) 格子間隔312.5mでは, 橋領域の橋, 甲浦領域の鞆浦, 須崎領域の久礼, 足摺・宿毛領域の宿毛。

2) 格子間隔1.25 kmでは, 橋領域の橋, 甲浦領域の鞆浦, 甲浦, 須崎領域の久礼, 足摺・宿毛領域の大岐, 以

布利, 土佐清水, 宿毛。

3) 格子間隔5 kmでは, 橋領域の橋, 足摺・宿毛領域の土佐清水, 三崎。

3.2 津波高の計算値と観測値の比による統計分析

3.1で得られている計算値と観測値の関係を統計的に評価するため, 2.5で述べた相田提案による対数幾何平均 K , 対数幾何標準偏差 κ を用い, 各地震津波について統計分析を実施した。

分析は, 各種断層モデルによる津波シミュレーションの計算結果が対象とする領域の違いによりどうなるのかを把握するため, 計算格子間隔が312.5mの6つの領域を合わせた南四国全体を対象とした場合と, 各領域別の評価として津波高の観測値が数多く得られている四国東岸側の紀伊水道に位置する甲浦領域, 四国西岸側の豊後水道に近い足摺・宿毛領域を選定し, この3つの領域における各種断層モデルと各計算格子間隔を組み合わせた全てのケースについて実施した。その結果をTable 5 ~ Table 7に示す。

なお, 対数幾何平均 K および対数幾何標準偏差 κ の値は従来の津波シミュレーション結果から判断して, それぞれ $0.8 \leq K \leq 1.2$, $\kappa \leq 1.6$ といずれの基準も満たすとき, 津波高の計算値と観測値の適合性が高いと判断されている¹⁹⁾。以下では, これらの基準を満たすモデルを列挙する。

(1) 1946年南海地震津波

1) 南四国全体では, Ando (1975) モデル (格子間隔: 312.5m, 1.25 km) および相田 (1981) モデル (同: 312.5m)。

2) 甲浦領域では, Ando (1975) モデル (格子間隔: 312.5m, 1.25 km), Ando (1982) モデル (同: 312.5m, 1.25 km), Iwasaki (1981) モデル (同: 312.5m), 相田 (1981) モデル (同: 312.5m)。

3) 足摺・宿毛領域では, Ando (1975) モデル (格子間隔: 312.5m, 1.25 km)

(2) 1854年安政地震津波

1) 南四国全体では, 相田 (1981) モデル (格子間隔: 312.5m)。

2) 甲浦領域では, Ando (1975) モデル, 相田 (1981) モデル (いずれも格子間隔: 312.5m)。

3) 足摺・宿毛領域では, Ando (1975) モデル, 相田 (1981) モデルとも, いずれの格子間隔の場合も適合性が低い。なお, 格子間隔が312.5mおよび1.25 kmでは κ の値がいずれも判断基準を満たしており, これら断層モデルを用いて津波シミュレーションを実施する場合は K の値を補正率として用いることで対応することが可能

Table 5 Values K and κ for tsunami in Nankai earthquake, 1946

(南四国全体)								
計算格子間隔 (領域)	断層 モデル	① Fitch & Scholz (1971)	② Kanamori (1972)	③ Ando (1975)	④ Ando (1982)	⑤ Iwasaki (1981)	⑥ 相田 (1981)	⑦ Kato (1983)
312.5m (K3)	K	0.34	3.28	0.92	1.06	1.70	1.20	2.06
	κ	1.75	1.79	1.49	1.64	1.63	1.54	1.52
1.25km (K2)	K	0.36	3.99	1.03	1.31	1.98	1.42	2.45
	κ	1.67	1.76	1.54	1.58	1.61	1.62	1.49
5km (K1)	K	0.59	7.01	1.62	1.85	3.20	2.13	3.39
	κ	1.95	1.75	1.57	1.48	1.61	1.61	1.47

(甲浦領域)								
計算格子間隔 (領域)	断層 モデル	① Fitch & Scholz (1971)	② Kanamori (1972)	③ Ando (1975)	④ Ando (1982)	⑤ Iwasaki (1981)	⑥ 相田 (1981)	⑦ Kato (1983)
312.5m (K3)	K	0.25	1.74	0.83	0.85	1.05	1.09	1.58
	κ	1.28	1.54	1.32	1.33	1.26	1.39	1.34
1.25km (K2)	K	0.30	2.27	0.99	1.04	1.37	1.24	2.12
	κ	1.20	1.40	1.24	1.38	1.34	1.26	1.25
5km (K1)	K	0.47	3.63	1.69	1.98	2.16	2.29	2.63
	κ	1.13	1.36	1.21	1.27	1.24	1.28	1.27

(足摺・宿毛領域)								
計算格子間隔 (領域)	断層 モデル	① Fitch & Scholz (1971)	② Kanamori (1972)	③ Ando (1975)	④ Ando (1982)	⑤ Iwasaki (1981)	⑥ 相田 (1981)	⑦ Kato (1983)
312.5m (K3)	K	0.42	4.87	1.00	1.39	2.72	1.43	3.02
	κ	1.67	1.67	1.59	1.55	1.36	1.61	1.48
1.25km (K2)	K	0.48	7.17	1.09	1.71	3.32	1.67	3.64
	κ	1.41	1.39	1.54	1.55	1.32	1.54	1.57
5km (K1)	K	1.12	10.39	1.77	2.10	5.14	2.18	4.82
	κ	2.05	1.38	1.31	1.45	1.32	1.37	1.58

Table 6 Values K and κ for tsunami in Ansei earthquake, 1854

(南四国全体)				
計算格子間隔 (領域)	断層 モデル	⑧ Ando (1975)	⑨ 相田 (1981)	
312.5m (K3)	K	1.27	1.16	
	κ	1.44	1.51	
1.25km (K2)	K	1.41	1.38	
	κ	1.39	1.45	
5km (K1)	K	2.38	2.25	
	κ	1.44	1.67	

(甲浦領域)				
計算格子間隔 (領域)	断層 モデル	⑧ Ando (1975)	⑨ 相田 (1981)	
312.5m (K3)	K	1.06	1.09	
	κ	1.28	1.38	
1.25km (K2)	K	1.30	1.35	
	κ	1.34	1.45	
5km (K1)	K	2.39	2.03	
	κ	1.25	1.15	

(足摺・宿毛領域)				
計算格子間隔 (領域)	断層 モデル	⑧ Ando (1975)	⑨ 相田 (1981)	
312.5m (K3)	K	1.44	1.31	
	κ	1.47	1.49	
1.25km (K2)	K	1.60	1.56	
	κ	1.35	1.43	
5km (K1)	K	2.85	2.80	
	κ	1.27	1.68	

Table 7 Values K and κ for tsunami in Hoei earthquake, 1707

(南四国全体)				
計算格子間隔 (領域)	断層 モデル	⑩ Ando (1975)	⑪ 相田 (1981)	
312.5m (K3)	K	0.92	0.92	
	κ	1.52	1.34	
1.25km (K2)	K	1.10	1.21	
	κ	1.39	1.47	
5km (K1)	K	1.70	1.72	
	κ	1.55	1.49	

(甲浦領域)				
計算格子間隔 (領域)	断層 モデル	⑩ Ando (1975)	⑪ 相田 (1981)	
312.5m (K3)	K	0.66	0.89	
	κ	1.29	1.21	
1.25km (K2)	K	0.86	1.31	
	κ	1.29	1.46	
5km (K1)	K	1.48	2.55	
	κ	1.29	1.13	

(足摺・宿毛領域)				
計算格子間隔 (領域)	断層 モデル	⑩ Ando (1975)	⑪ 相田 (1981)	
312.5m (K3)	K	1.27	0.88	
	κ	1.28	1.32	
1.25km (K2)	K	1.35	1.11	
	κ	1.26	1.42	
5km (K1)	K	2.15	1.41	
	κ	1.26	1.31	

である。

(3)1707年宝永地震津波

1)南四国全体では, Ando (1975) モデル(格子間隔: 312.5m, 1.25km), 相田(1981)モデル(同: 312.5m)。

2)甲浦領域では, Ando (1975) モデル(格子間隔: 1.25km), 相田(1981)モデル(同: 312.5m)。

3)足摺・宿毛領域では, 相田(1981)モデル(格子間隔: 312.5m, 1.25km)。

4. 結 論

本研究では, 1946年南海, 1854年安政および1707年宝永の各地震津波で提案されている11種類の断層モデルを用い, 計算格子間隔が5km, 1.25kmおよび312.5mの場合における津波シミュレーションを実施して, その適合性を検証した。津波高に関する計算値と観測値の適合性および統計分析結果については, 3. の計算結果で詳述したとおりである。ここでは, 今後, 四国沿岸域を対象とした津波シミュレーションを実施する場合の断層モデルの選定および計算格子間隔の決定に関する参考資料とするため, 本研究で得られた結果をとりまとめて以下に示す。

(1) 1946年南海地震津波

1)南四国全体を対象とする場合は, 提案された7つの断層モデルの中では, Ando (1975) モデル(格子間隔: 312.5m, 1.25km) および相田(1981)モデル(同: 312.5m) の2つの断層モデルが適合性が高い。

2)四国東岸の紀伊水道に接する甲浦領域を対象とする場合は, Ando (1975) モデル(格子間隔: 312.5m, 1.25km), Ando (1982) モデル(同: 312.5m, 1.25km), Iwasaki (1981) モデル(同: 312.5m) および相田(1981)モデル(同: 312.5m) の4つの断層モデルで適合性が高い。

3)四国西岸の豊後水道に近い足摺・宿毛領域を対象とする場合は, Ando (1975) モデル(格子間隔: 312.5m, 1.25km) を用いるのが妥当である。

(2)1854年安政地震津波

1)南四国全体を対象とする場合は, 相田(1981)モデル(格子間隔: 312.5m) が妥当である。

2)甲浦領域を対象とする場合は, Ando (1975) モデル, 相田(1981)モデル(いずれも格子間隔: 312.5m) の適合性が高い。

3)足摺・宿毛領域を対象とする場合は, Ando (1975) モデル, 相田(1981)モデルとも適合性が低い。なお, この領域では格子間隔が312.5mおよび1.25kmの場

合, 対数幾何標準偏差 κ の判断基準 $\kappa \leq 1.6$ のみは必ずしも満たしている。

(3)1707年宝永地震津波

1)南四国全体を対象とする場合は, Ando (1975) モデル(格子間隔: 312.5m, 1.25km) および相田(1981)モデル(同: 312.5m) の適合性が高い。

2)甲浦領域を対象とする場合は, 相田(1981)モデル(格子間隔: 312.5m), Ando (1975) モデル(同: 1.25km) の適合性が高い。

3)足摺・宿毛領域を対象とする場合は, 相田(1981)モデル(格子間隔: 312.5m, 1.25km) が妥当である。

なお, 上述した南四国全体, 各領域において適合性が高いと判断された断層モデルを用いて津波シミュレーションを実施する場合でも, 従来より行われている対数幾何平均 K の値を補正率として考慮することは, その精度すなわち計算値と観測値の適合性をさらに高めるため必要であることはいうまでもない。

また, 今回対象とした3つの地震津波の南四国全体および各領域において適合性が高いと判断された断層モデルでも, 各地域ごとに見ると計算値と観測値に多少の差が見られるものも少なくない。したがって, これらの各地域についても計算値と観測値の比の値を補正率として考慮するなど, その精度を高めることが必要である。

さらに, 1854年安政地震津波の足摺・宿毛領域での津波シミュレーション結果で見られるように, 現在提案されている断層モデルを用いた場合でもその適合性が低い領域および地域があることをふまえ, これら地震津波および領域, 地域に対する適合性の高い新たな断層モデルの検討, 提案が望まれる。

一方, 津波シミュレーションを実施する場合においても沿岸部の詳細な海底地形データの入手, 当時の地形・構造物の状況把握, 観測値の精度ならびに地盤変動による補正など, 多くの問題点をかかえている。

これらの諸問題については, 今後の課題として取り組んでいきたい。

謝辞: 最後に, 本研究を行うにあたりご協力をいただいた日本工営関石塚淳一氏(元徳島大学大学院生), 徳島大学大学院生佐藤広章氏に謝意を表す。また, 本研究は平成7年度文部省科学研究一般研究(C)(代表者村上仁士)による研究の一部であることを明記し謝意を表す。

参 考 文 献

- 1)村上仁士, 島田富美男, 伊藤禎彦, 山本尚明, 石塚

- 渟一：四国における歴史津波（1605慶長，1707宝永，1854安政）の津波高の再検討，自然災害科学，Vol. 15, No.1, 1996（印刷中）。
- 2) Fitch, T. J. and C. H. Scholz: Mechanism of underthrusting in southwest Japan: A model of convergent plate interactions, *J. Geophys. Res.*, Vol.76, pp.7260-7292, 1971.
- 3) Kanamori, H. : Tectonic implication of the 1944 Tonankai and the 1946 Nankaido earthquakes, *Phys. Earth Planet. Inter.*, Vol.5, pp. 129-139, 1972.
- 4) Ando, M. : Source mechanisms and tectonic significance of historical earthquakes along the Nankai trough, *Japan. Tectonophysics*, Vol.27, pp.119-140, 1975.
- 5) Ando, M. : A fault model of the 1946 Nankaido earthquake derived from tsunami data, *Phys. Earth Planet. Inter.*, Vol.28, pp.320-336, 1982.
- 6) Iwasaki, T. : Theoretical study on the surface deformations in a medium with viscoelastic layers (surface loads and dislocation sources) - Rheological structure of the upper mantle, Ph. D. Thesis, Univ. of Tokyo, 1981.
- 7) 相田 勇：南海道沖の津波の数値実験，東京大学地震研究所集報，Vol.56, pp.713-730, 1981.
- 8) Kato, T. : High-angle reverse faulting associated with the 1946 Nankaido earthquake, *Tectonophysics*, Vol.96, pp.31-44, 1983.
- 9) 相田 勇：東海道沖におこった歴史津波の数値実験，東京大学地震研究所集報，Vol.56, pp.367-390, 1981.
- 10) Mansinha, L. and D. E. Smylie: The displacement fields of inclined faults, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol.61, No.5, pp.1433-1440, 1971.
- 11) 相田 勇：三陸沖の古い津波のシミュレーション，東京大学地震研究所集報，Vol.52, pp.71-101, 1977.
- 12) 佐藤良輔：日本の地震断層パラメター・ハンドブック，鹿島出版会，pp.1-214, 1989.
- 13) 後藤智明，佐藤一央：三陸沿岸を対象とした津波数値計算システムの開発，港湾技術研究所報告，Vol. 32, No.2, pp.3-44, 1993.

近県における地震・津波被害想定に利用した地震・津波の震源・波源モデル

資料6

◎ 被害想定(現行)

		大阪府	兵庫県	岡山県	広島県	山口県	香川県	愛媛県	徳島県	高知県	和歌山県
津波	実施時期	H18. 3	H11~H12 H16~H17	—	H16. 3	—	H17. 3	H14. 3	H9. 3 H17. 3	H17. 5	H17. 3
	採用モデル	⑤	① ⑤	—	⑤	—	⑤	①	① ⑤	②	⑦
地震	実施時期	H16. 3	H11. 3 H21~22	H7. 12 H15. 3	H7~H8 H19. 3	H20. 3	H9. 8	H14. 3	H9. 3 H17. 3	H16. 3	H17. 3
	採用モデル	① ④	不明 ⑤	⑨ ⑥	③ ⑤	⑤	①	①	① ⑤	⑩	⑦

【各県採用モデル】

津波：⑤東南海・南海地震2連動モデル(2003中防モデル)・・・5府県
①安政南海地震モデル(1981相田モデル)……………3県

地震：⑤東南海・南海地震2連動モデル(2003中防モデル)・・・4県
①安政南海地震モデル(1981相田モデル)……………4府県

凡 例

- ① 安政南海地震モデル(1981相田モデル)
- ② 高知県独自モデル(各モデルの最大値を重合せ)
・安政南海地震モデル(1981、相田モデル20')を基本に、5つの波源モデルを設定
- ③ 昭和南海地震モデル(1982安藤モデル)
- ④ 昭和南海地震モデル(大和川以北地域)
- ⑤ 東南海・南海地震2連動モデル(2003中防モデル)
- ⑥ 東南海・南海地震2連動モデル(地震調査研究推進本部)
- ⑦ 東南海・南海地震3連動モデル(2003中防モデル)
- ⑧ 宝永地震モデル(1981相田モデル)
- ⑨ 南海道沖のプレート境界を震源とする地震をもとにモデルを設定
- ⑩ 高知県独自モデル (①及び②の最大値を重合せ)
①地震調査研究推進本部に準拠したモデル(南海地震モデル)
②当該モデルのアスぺリティを東海地震に関する専門調査会(中防)資料に準じて小断層に分割・配置したモデル

【地震・津波被害想定における発生頻度の高い地震・津波の震源・波源モデル】

◎見直し予定モデル検討県【H24.10.11現在】

検討モデル		津波	地震	検討モデル		津波	地震
①	安政南海地震モデル(1981相田モデル)	3	1	⑪	安政東海地震モデル(1981相田モデル)	1	1
②	高知県独自モデル (各モデルの最大値を重合せ) ・安政南海地震モデル(1981、相田モデル 20')を基本に、5つの波源モデルを設定	1		⑫	昭和南海地震モデル(1981相田モデル)	3	1
③	昭和南海地震モデル(1982安藤モデル)			⑬	昭和東南海地震モデル(1981相田モデル)	1	1
④	昭和南海地震モデル(大和川以北地域)			⑭	日向灘地震モデル(1981相田モデル)	1	
⑤	東南海・南海地震2連動モデル (2003中防モデル)	3	2				
⑥	東南海・南海地震2連動モデル (地震調査研究推進本部)						
⑦	東南海・南海地震3連動モデル (2003中防モデル)	2	2				
⑧	宝永地震モデル(1981相田モデル)	2	1				
⑨	南海道沖のプレート境界を震源とする地震を もとにモデルを設定						
⑩	高知県独自モデル (①及び②の最大値を重合せ) ①地震調査研究推進本部に準拠したモデル (南海地震モデル) ②当該モデルのアスペリティを東海地震に関 する専門調査会(中防)資料に準じて小断層 に分割配置したモデル		1			5	6

注) 複数案のモデル検討を行っている県もあるため、合計は10府県にならない。

1. 最大クラスの津波の堤防条件について(整理)

資料7

最大クラスの津波シミュレーションの堤防条件は、内閣府や国土交通省の考え方等を踏まえ、下記の条件を基本に設定する。

堤防条件			考え方	
堤防が機能しない	①	地震動：地震発生3分後に堤防が破壊(堤防なしとなる) (震度6弱以上の地域)	H24.8.29内閣府公表の堤防条件 (公表は参考値)	<ul style="list-style-type: none"> ・内閣府の公表は参考値である。 ・「堤防が機能する」場合と比較できる。 ・最も浸水域が大きくなると考えられる。 ・地震動により堤防が全く機能しなくなることは、現実的には考えにくい。
堤防が機能する	②	地震動：堤防は破壊しない(堤防高を100%維持する) 津波：津波が堤防を越えると堤防が破壊(堤防なしとなる)	H24.8.29内閣府公表の堤防条件	<ul style="list-style-type: none"> ・内閣府が行った被害想定における堤防条件である。 ・地震動が堤防機能に与える影響を考慮していない。 ・津波が堤防機能に与える影響を考慮している。(③と同一条件) ・③に比べ浸水域が小さくなると考えられる。
	③	地震動：堤防高は、土堤75%沈下、構造物100%沈下 (ただし、沈下量を照査しているものは、当該沈下量分沈下) 津波：津波が堤防を越えると堤防が破壊(堤防なしとなる)	津波防災地域づくり法(国土交通省所管) に基づく津波浸水想定設定上の堤防条件	<ul style="list-style-type: none"> ・津波防災地域づくりに関する法律第8条に基づき、県が実施する津波浸水想定(浸水域・浸水深)設定の考え方である。 ・地震動が堤防機能に与える影響を考慮している。 ⇒国土交通省の「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」において、既往の地震では、堤防(土堤)高の25%は残存していることが経験的に知られており、この考え方に準拠している。 ・津波が堤防機能に与える影響を考慮している。(②と同一条件) ・②に比べ浸水域が大きくなると考えられる。 ・①及び②に比べ、より現実的な浸水域になると考えられる。

2. 発生頻度の高い津波の堤防条件について

「津波浸水想定の設定の手引き」(H24.4国土交通省・国土技術政策総合研究所)の4.2 各種施設の条件設定の(1)地震に対する各種施設の条件設定において、「レベル1地震動に対する耐震性能は、震度法による耐震設計により安全性が確保されていることで満足されているものとみなせる。(以下略)」とあることから、発生頻度の高い津波シミュレーションの条件設定は、上記②のケースにより実施する。

■ 堤防条件に関する国との協議結果(参考)

- ・ 現状では、最大クラスの津波・地震に対して、恐らく全ての構造物の耐震照査が出来ていない。
- ・ マクロ的に堤防・護岸の最大クラスの津波・地震に対する浸水シミュレーションを行う場合、「照査未実施」を踏まえて堤防条件を適切に設定することが必要であり、浸水想定が根拠なく安全側になる設定は避けるべき。
- ・ 「照査未実施」の場合は、土堤は「75%沈下」とすべきであり、構造物は地震動や液状化に対して照査できていない条件の下では、「100%沈下」とするのが、現時点では適切である。
- ・ 「照査未実施」の場合、簡易な手法による評価をもって、施設管理者として構造物に対する安全性が確保できているとは言えないのではないか。
- ・ 将来最大クラスの地震・津波に対しての照査が実施され、耐震性が認められた場合や、必要な耐震対策が講じられた区間は、逐次浸水シミュレーション(浸水想定区域)を見直すことが必要である。

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(抜粋) (国土交通省水管理・国土保全局治水課:平成24年2月)

○津波浸水想定における河川堤防、海岸保全施設の取扱については、以下に示す式を採用し、津波の越流と同時に破壊するものとする。

【既往の地震による堤防天端の最大沈下量の算定】

(1) 一次点検における概略の堤防天端の最大沈下量 S_{max} は式(3.1)によるものとする。

$$S_{max} = 0.75H \quad \text{..... (3.1)}$$

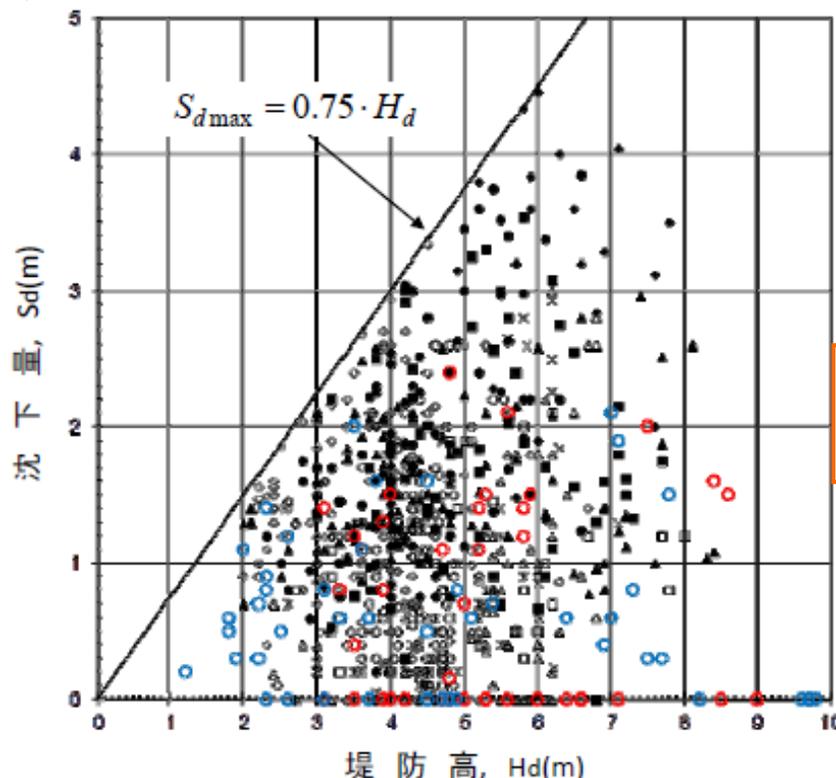
ここに、

S_{max} : 既往の地震による堤防天端の最大沈下量(m)

H : 堤防高さ(m)

堤防が最大75%沈下する
(堤防高さ=沈下前の25%)

【(図3.2) 既往の地震における堤防高さと沈下量の関係】



◆ 濃尾地震(長良川、揖斐川等)	■ 関東大地震(江戸川、富士川等)
● 福井地震(九頭竜川、大聖寺川等)	▲ 十勝沖地震(新釧路川、十勝川等)
◇ 新潟地震(阿賀野川、信濃川等)	□ 宮城県沖地震(北上川、名取川等)
✱ 日本海中部地震(岩木川、米代川等)	△ 釧路沖地震(釧路川)
○ 北海道南西沖地震(後志利別川)	× 兵庫県南部地震(淀川)
○ 東北地方太平洋沖地震 (阿武隈川、鳴瀬川、江合川等東北地整管内)	○ 東北地方太平洋沖地震 (利根川、霞ヶ浦、那珂川等関東地整管内)

(1) 図- 3.2に示すように、既往の地震においては、堤防天端に堤防高さの75%以上の沈下が生じた事例はなく、地震前の堤防高さの25%は最低でも残存していたことが経験的に知られている。このことを踏まえ、堤防の一次点検においては、既往の地震による堤防天端の沈下量を基に最大沈下量 S_{max} を式(3.1)により簡便に算定することとした。

四国4県の堤防条件について(最大クラスの津波)

		徳島県	愛媛県	高知県	香川県(案)
最大クラスの津波	条件	○堤防あり 土 堤 75%沈下 構造物 100%沈下 (沈下量の照査結果がない場合)	○堤防あり 土 堤 75%沈下 構造物 75%沈下 (沈下量の照査結果がない場合)	①堤防なし(3分後破壊) ②堤防あり(自立・沈下なし) ③堤防あり(75%沈下 等) (沈下量の照査結果がない場合)	①堤防なし(3分後破壊) ②堤防あり(自立・沈下なし) ③堤防あり(土堤75%沈下、 構造物100%沈下) (沈下量の照査結果がない場合)
	考え方	・地震動に対し、コンクリート構造物は持たないとの考えによる。 ・「堤防なし」のシミュレーションは行わない予定。	・四国3県の考え方に合わせる。 ・「堤防なし」のシミュレーションは行わない予定。	・②は実施する。(堤防が機能しても浸水する地域の把握) ・③の結果は①と変わらないため、考え方を整理し、①で進めていく方向。 ・①は実施する。(最悪の条件)	/

(参考)

津波防災地域づくりに関する法律第8条の規定に基づく津波浸水想定(浸水域・浸水深)の設定を行っている茨城県(24. 8. 24公表)及び青森県(24. 10. 2公表)の堤防条件は、次のとおり。

- 土 堤 75%沈下 ■ 構造物 100%沈下 (いずれも沈下量の照査結果がない場合)

初期潮位条件について

・津波浸水想定を設定するためのシミュレーションにおける初期潮位は、「津波浸水想定の設定の手引きVer1.20」および四国4県の協議により、潮位観測所で近年観測した朔望平均満潮位と港湾構造物設計に用いる朔望平均満潮位を比較し、高い潮位を採用する。

・採用した潮位を基本とした上で、県内でなだらかに繋がるよう、潮位観測所間に点在する港湾等の潮位で検証、補完し、県内の初期潮位を設定する。また、海岸保全基本計画のゾーン分け等を参考にするとともに、隣接県の設定潮位との整合を図る。

◎県内潮位観測所の各種潮位

単位:T. P. m

潮位観測所	観音寺	詫間	丸亀	坂出	土庄東	高松	三本松
近年の朔望平均満潮位※ ¹	2.006	1.683	1.714	1.574	1.213	1.246	1.026
港湾構造物設計に用いる朔望平均満潮位※ ²	1.951	1.775	1.735	1.592	1.053	1.087	0.867
平成24年8月29日内閣府公表潮位※ ³	1.95	1.89	1.73	1.76	0.96	1.23	0.71
前回被害想定 of 潮位(Z0) ※ ⁴	2.10	2.00	1.80	1.70	1.20	1.40	1.10

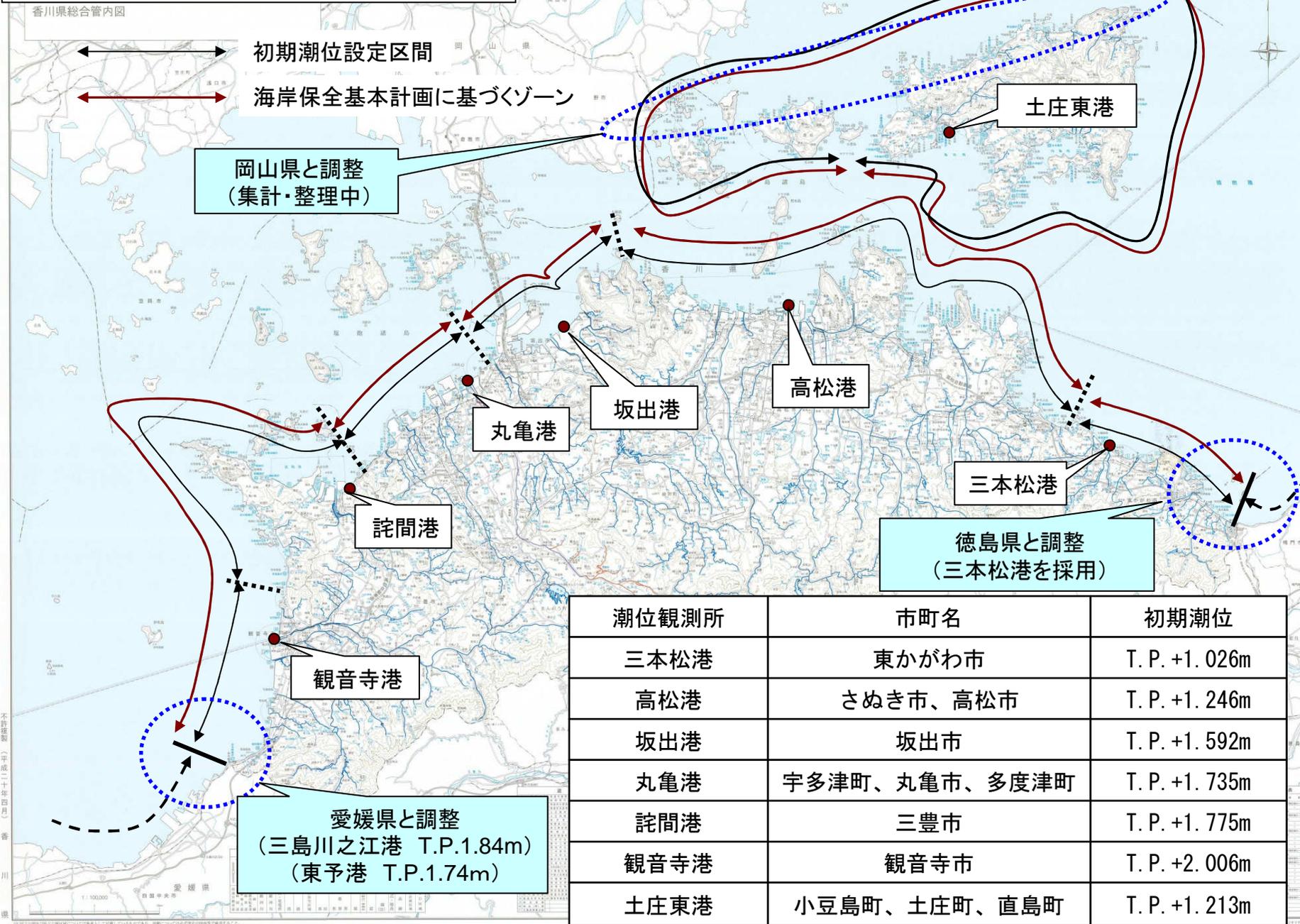
※1:各潮位観測所における5ヵ年(2007年~2011年)の朔望平均満潮位の平均値

※2:香川の港湾 2007(香川県土木部港湾課)

※3:平成24年気象庁潮位表の年間最高潮位により設定

※4:Z0とは海図の高さの基準であり、ある地点における朔望満潮位と朔望干潮位の差の概ね半分の値で海上保安庁海洋情報部が設定

初期潮位条件の設定について



不詳複製 (平成二十年四月) 香川