

東海・東南海・南海地震の
連動性評価研究プロジェクト

② 連動性を考慮した強震動・津波予測及び
地震・津波被害予測研究

(平成23年度)

成果報告書

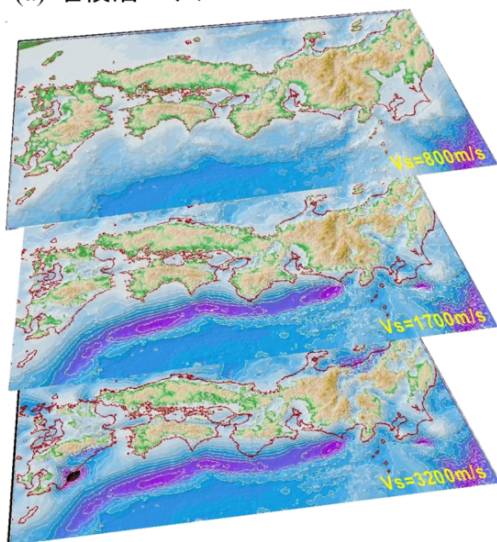
平成24年4月

文部科学省 研究開発局

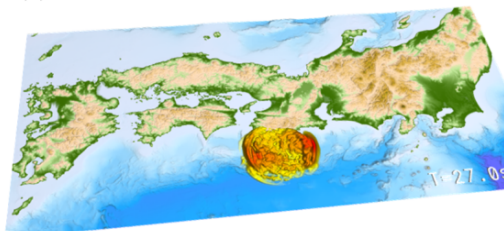
国立大学法人 東京大学大学院情報学環

1. 連動型巨大地震による強震動の高精度予測 (3.1 参照)

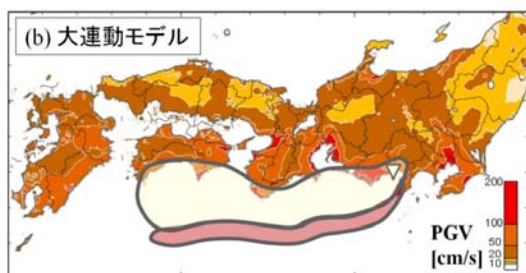
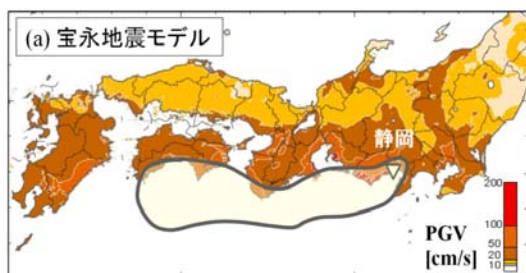
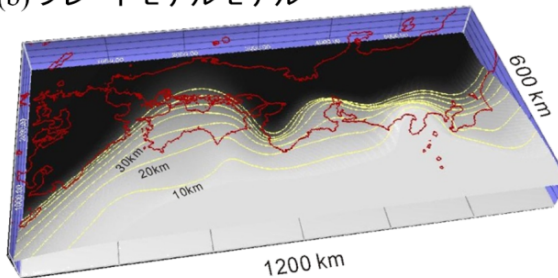
(a) 堆積層モデル



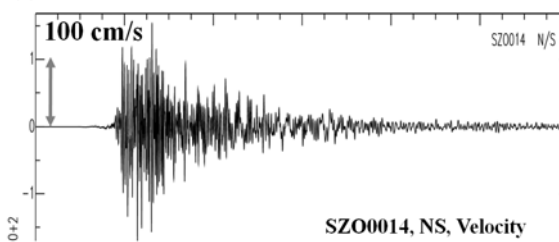
(c) 波動伝播スナップショット(27s)



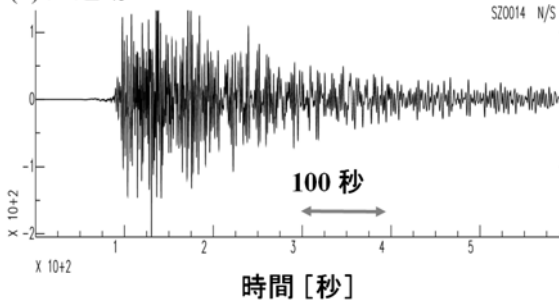
(b) プレートモデルモデル



(a) 宝永地震モデル

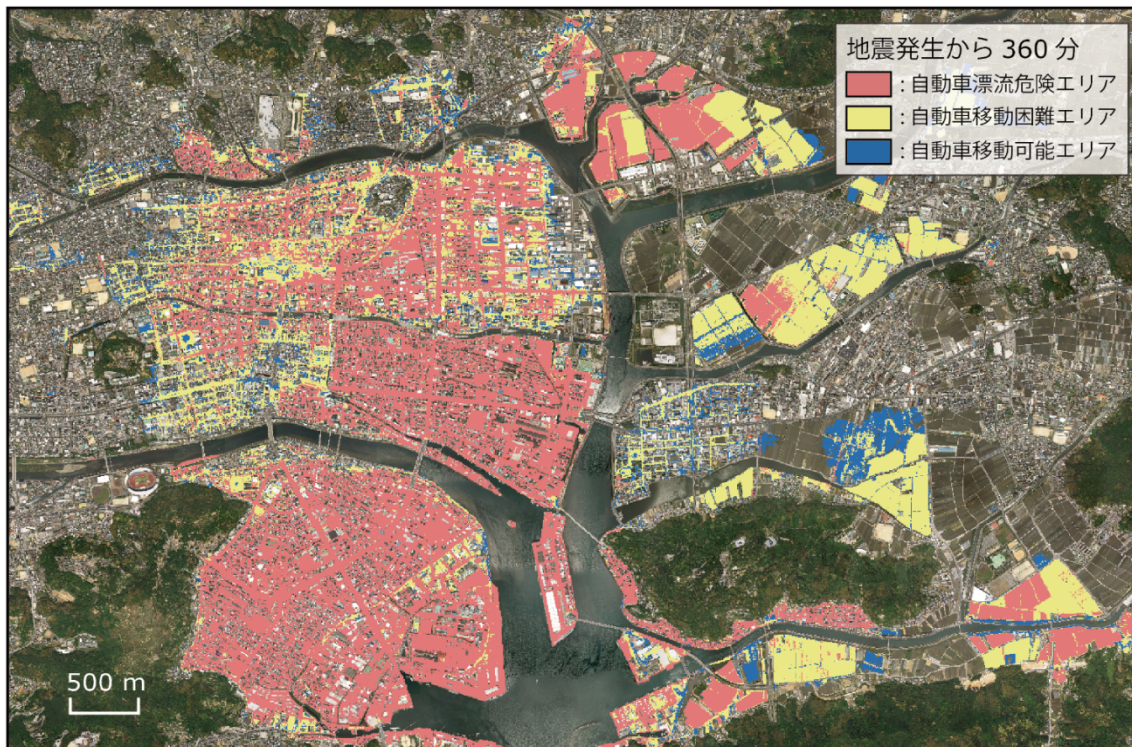


(b) 大連動モデル

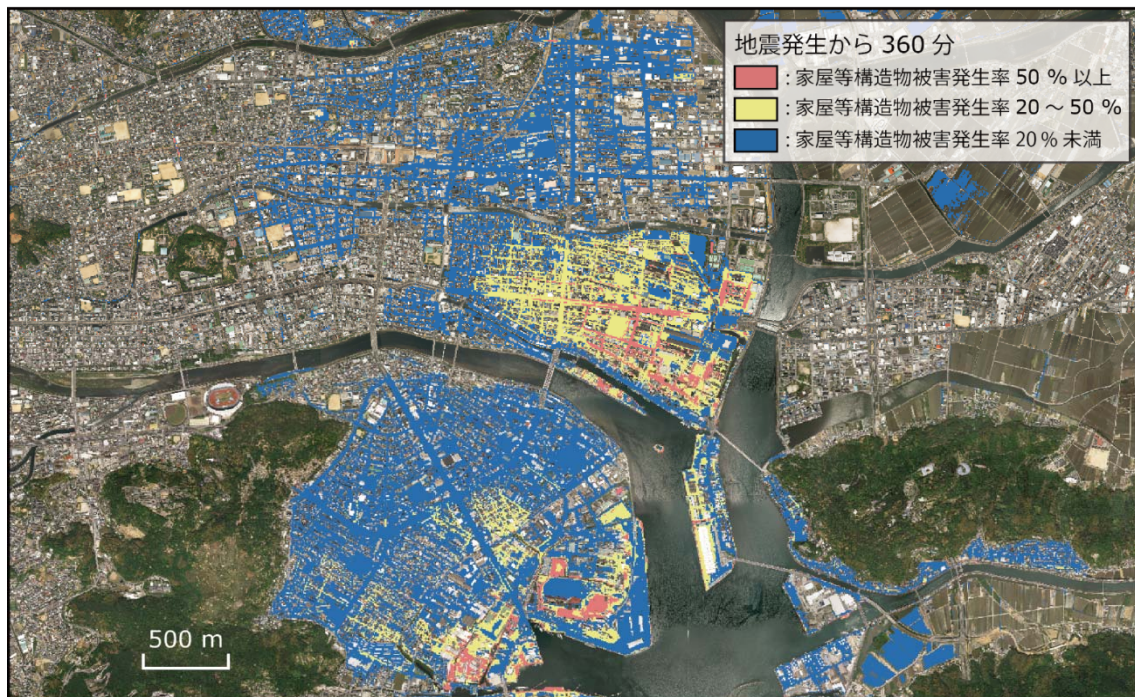


(a) 宝永地震モデルと、(b) 宝永地震と慶長地震の大連動モデルによる (左) 最大地動分布と、地震波形 (南北動、速度) の比較 (K-NET SZ0014; 静岡地)。

2 津波災害の高精度予測に基づく人的被害軽減戦略の策定 (3. 2 参照)

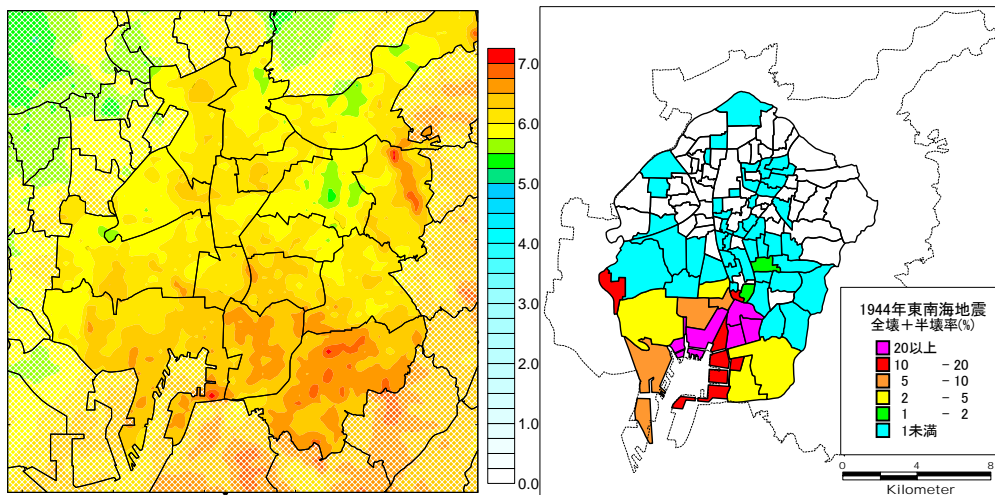


宝永地震と慶長地震の大連動を想定した、高知での自動車漂流被害発生分布予測。

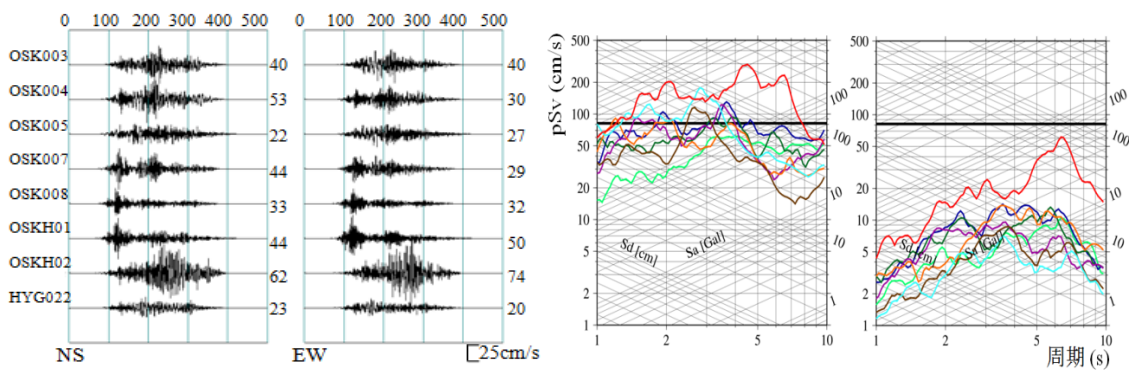


宝永地震と慶長地震の大連動を想定した、高知での家屋等構造物被害発生分布予測。

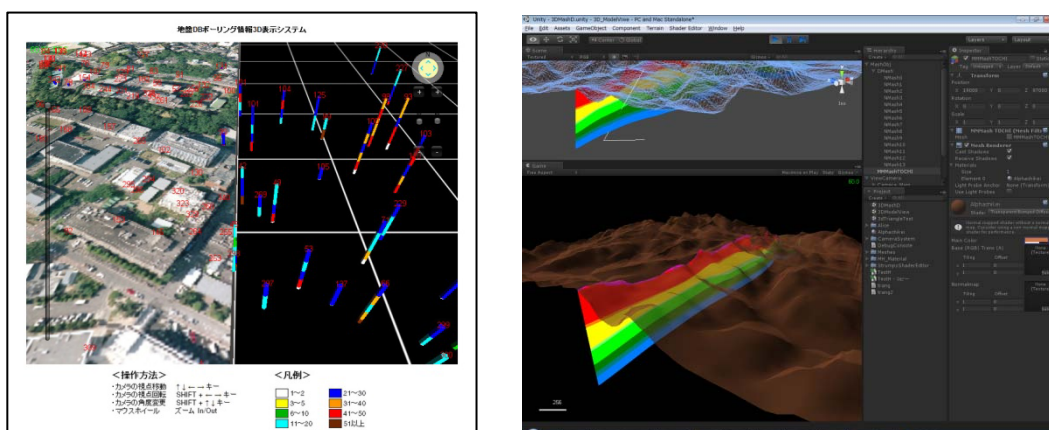
3. 都市域の地震動予測と構造物の被害予測・減災戦略の策定 (3.3 参照)



1944年東南海地震の再現シミュレーション。(左)名古屋市域の計測震度分布の再現、(右)1944年東南海地震による住家被害率。

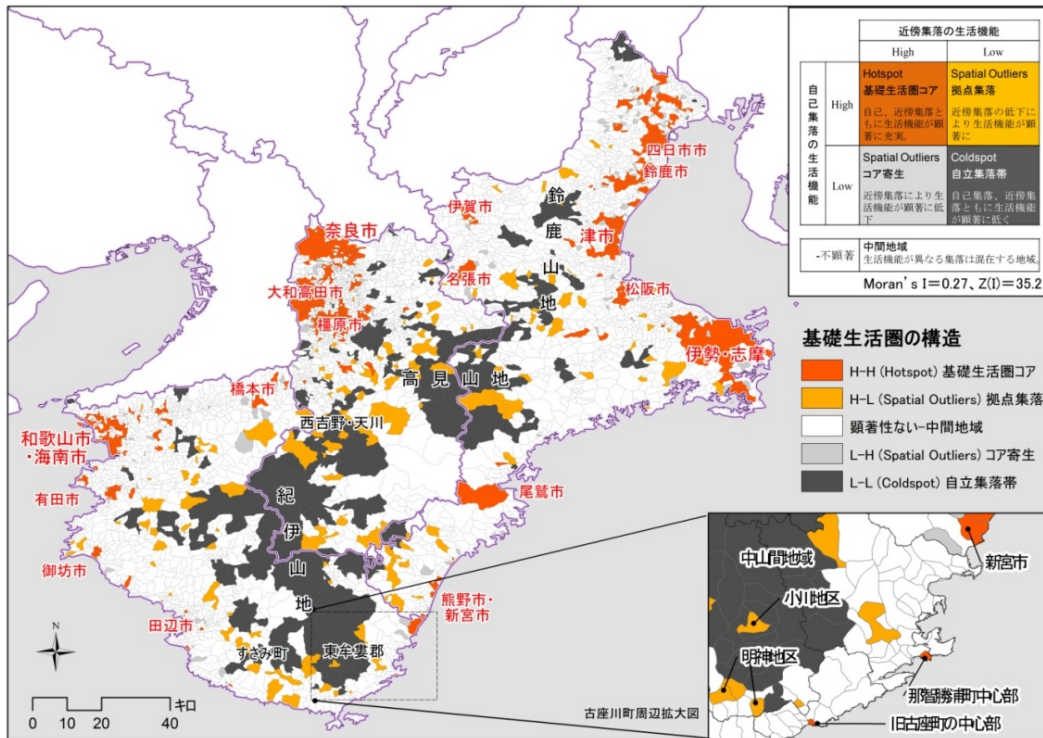


想定東海・東南海・南海地震による、(左)速度波形、(右)疑似速度応答スペクトル。



地域災害対応力評価 GIS の画面、(左)ボーリングデータ表示、(右)地層断面図。

4. 将来の地域社会特性を反映した災害対応、復旧・復興戦略の策定 (3.4 参照)

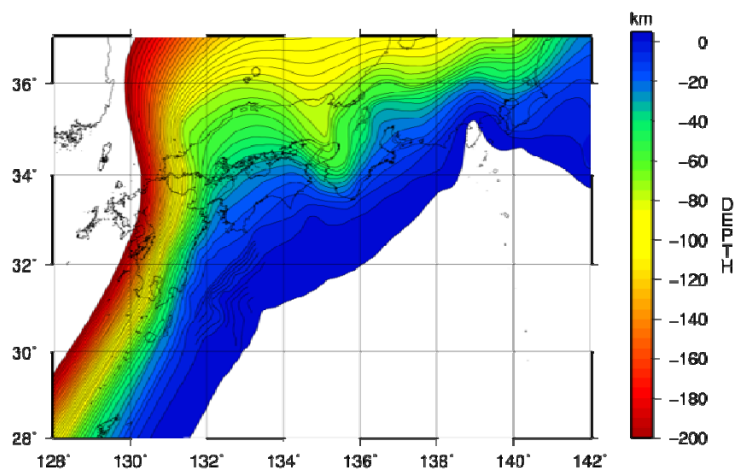


紀伊半島における基礎生活圏の抽出。

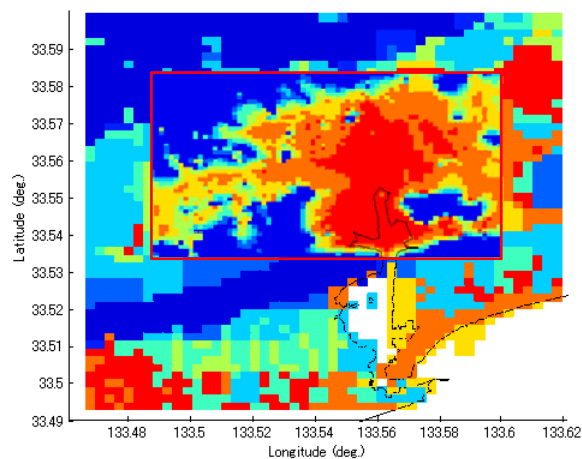
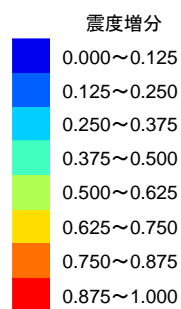


ナショナルシティクラス（名古屋市）を対象とした、地震発生後の緊急対応、応急対応、復旧・復興対応に関する検討ワークショップ。

5. サブプロジェクト①の研究成果の活用及び地域研究会の開催 (3.5 参照)



サブプロジェクト①の結果を基に構築した
西南日本のプレート境界モデル



高知平野の浅層地盤モデルの高精度化

東海・東南海・南海地震の連動性評価研究 地域研究会

地震調査研究の成果を社会にどう活かしていくか

趣旨・目的:

○自治体や事業者の今後の防災対策に生かせるような地震研究成果にするため、研究段階から意見交換する場を設置。

○防災対策責任者と研究者との連携により、地域の実情に沿った実効性の高い防災戦略、復旧・復興施策の策定に向けた項目立て・要素の洗い出しを行うとともに、地震調査研究における課題を整理する。

会議形式:

○非公開

○参加者が全員が集まる「研究会」の他に、特定の議題について、詳細な議論をするための少人数の「分科会」も開催

開催頻度:

○研究会 年1から2回

○分科会 適宜

その他:

○旅費・謝金は支給しない。

○参加者は次ページ



地域研究会の活動

まえがき

東海・東南海・南海地震の連動発生条件と可能性を探り、そして連動発生による強震動と津波の生成とこれによる被害を的確に予測して、地震直後の応急対応と速やかな復興・復旧に向けた防災情報を提供して、災害を軽減に資することを目的とする本プロジェクト「東海・東南海・南海地震の連動性評価プロジェクト」が平成 20 年度から 5 カ年の計画で開始されました。

本連動性評価プロジェクトは、上記の目的を達成するために理工学研究の連携と社会学研究の参画による

- ① 東海・東南海・南海地震の連動性評価のための調査観測・研究
- ② 連動性を考慮した強震動・津波予測及び地震・津波被害予測研究

の 2 つのサブプロジェクトにより行われ、サブプロジェクト内の研究の連携はもちろんのこと、サブプロジェクト間での密接な連携を図りながら研究が進められています。

本サブプロジェクト②では、東海・東南海・南海地震の連動発生による強震動と津波被害の全貌を明らかにし、これに対応した防災・減災対策等の検討に必要な災害情報を提供することを目的に、次の 5 つのサブテーマを定めて研究を進めています。

(1) 「連動型巨大地震による強震動の高精度予測」

連動型巨大地震により生まれる強震動、地殻変動、そして津波をスーパーコンピュータを用いて高精度に予測することにより、連動発生による地震と津波のリスクを的確に把握します。

(2) 「津波災害の高精度予測に基づく人的被害軽減戦略の策定」

上記のシミュレーション結果をもとに、津波の河川遡上や沿岸部での波高と浸水等を高精度に予測して、津波被害軽減に有効なハザードマップ等を作成し、また、これを有効に活用した人的被害の軽減戦略プログラムを提案します。

(3) 「都市域の地震動予測と構造物の被害予測・減災戦略の策定」

地震観測に基づく平野部での強震動の評価や、構造物の地震応答解析等に基づき大型の現代構造物や埋立地における大規模構造物の耐震性の評価を行います。応急対応、復興・復旧の鍵となる地域の災害対応力を調査し、そしてボトルネックとなる重要課題を明確化します。

(4) 「将来の地域社会特性を反映した災害対応、復旧・復興戦略の策定」

連動型巨大地震による強震動と地殻変動、そして津波が引き起こす複合災害の全貌を明らかにし、重要施設の被災による直接及び間接的な社会影響を評価します。そして、10 年、20 年、あるいは 30 年後の被災地の社会状況の変化を見据えた災害対応と復興プロセスを明確化します。

(5) 「サブプロジェクト①の研究成果の活用および地域研究会の開催」

サブプロジェクト①の地下構造調査結果等を用いて、強震動及び津波シミュレーションの高度化に必要な地下構造モデルや濃尾平野及び大阪平野等の主要平野の地盤モデル

を整備します。また、本プロジェクトを地域自治体の防災担当者やライフライン企業等と意見交換を図りながら計画的に進めるための地域検討会を運営します。

各サブテーマにおける、平成 22 年度の成果概要は次のとおりです。

(1) 「連動型巨大地震による強震動の高精度予測」

連動発生シナリオに基づく強震動と地殻変動、そして津波の高精度予測を、地球シミュレータ等のスーパーコンピュータを用いて実施しました。計算結果をもとに、強震動分布に加えて、人口密集平野（大阪、名古屋、関東など）の強震動波形の特性（震動継続時間、長周期地震動の生成など）について、単独発生と連動発生による違いを検討しました。また、地震地殻変動による海岸線の沈降・隆起と津波発生に与える影響を、3次元地下構造モデルを用いた計算により評価しました。過去の南海トラフ地震の強震動と津波記録の現地調査結果を分析して、地震地殻変動解析・統合可視化ワークステーションを用いた評価と可視化を図るとともに、個別研究テーマ(2)での津波の遡上への影響評価への活用をはかりました。連動発生により生まれる強震動と地殻変動が、都市の多様な構造物に与える影響と、津波発生と伝播、そして沿岸部の浸水に与える影響について、サブプロジェクト内の他の個別研究テーマ(2)「津波災害の高精度予測に基づく人的被害軽減戦略の策定」、および(5)「サブプロジェクト①の研究成果の活用および地域研究会の開催」と連携して検討を進めました。以上の成果の普及と関連分野の最新の知見の収集のために、国内外の学会等で研究発表を行ないました。

(2) 「津波災害の高精度予測に基づく人的被害軽減戦略の策定」

連動発生シナリオに基づき、津波計算・データ解析サーバを用いて津波浸水シミュレーションを実施しました。得られた津波ハザード情報を基に、新規導入した津波解析パソコンを用いて津波数値解析・地形モデルに基づく人的・物的・交通への影響評価を行い、津波の定量的予測のための基礎データを得ました。次に、地震発生の季節や時間帯を考慮し、東海・東南海・南海地震による津波被害が想定される地域における固有な被害パターンを分類し、連動発生による津波被害の地域ごとの特徴と課題を明確化しました。これらの情報を地形図・土地利用図・航空写真・衛星画像などに重ね書きし、ハザード・リスクマップの基礎資料を作成するとともに、過去に特異な津波被害を受けた沿岸部および島嶼部において、現地踏査記録用高精度デジタルカメラを用いた現地調査を行ないました。以上の成果を利用して、従来のハザードマップにおける津波影響力の評価手法、浸水予測区域設定の基準、防災情報の表示内容、マップの周知・利用・活用方法などについて改善すべき内容を検討し、連動発生を考慮した人的被害軽減を目指す新しいハザードマップを試作しました。以上の成果を、国内外の学会等で発表し、また、近年多発する新しい津波被害形態などについての情報収集を行ないました。

(3) 「都市域の地震動予測と構造物の被害予測・災害戦略の策定」

連動発生シナリオに基づく名古屋市域の強震動予測について、深部・浅部の地盤データを広域でコンパイルし、複数の連動発生シナリオに対応した面的な地震動予測を行いうる体制

を整えました。学校、集合住宅等の局所非線形を考慮した地震応答解析を行う手法を構築し、東北地方太平洋沖地震で観測された地震動なども含めて、都市域の建物の応答・被害状況の考察を行ないました。高層建物の応答解析と観測記録から、建物と地盤の周期の関係により共振を生じる場合の特性について検討しました。また軟弱地盤上の大規模構造物に関して、応答解析手法と応答特性を検討しました。

以上の基礎データとして、東海地域の建物を中心に、東北地方太平洋沖地震で得られた観測記録の収集と分析を行ないました。災害発生時の地域社会対応力については、人口・都市・施設・地盤データなどの基礎情報収集を継続して行うとともに、GISによる効果的な分析・評価システムの開発を継続して実施しました。またこれらの調査・分析結果に基づいて、医療、建設などに関する評価を行ないました。

(4) 「将来の地域社会特性を反映した災害対応、復旧・復興戦略」

連動発生による現在および将来の社会影響を正確に予測し、現実的な復旧・復興戦略を策定するために、東海・東南海・南海地震による被災想定地域における将来の人口構成、地域構造などの社会状況のシミュレーションの実施を行ないました。具体的には、平成 22 年度までに実施した地域類型分類モデルを一層高度化して、社会情報解析用コンピューターを用いて将来の人口予測を反映した地域類型モデルに基づいたより詳細な被災地域の分類を行ないました。また、東海・東南海・南海地震の単独および連動発生による被災地域について、類型化した地域モデル区分毎に地震の影響を評価して、影響評価に基づき地域モデル区分毎の復興戦略を明確化しました。復旧・復興戦略の策定に関しては、平成 23 年度はナショナルクラス・シティーを対象とした検討を行ないました。個別研究テーマ(1)-(3)と連携して、東海・東南海・南海地震が現在、あるいは 10~30 年後の将来に発生した場合について、各被災地域と社会全体が受ける影響についての統合的な検討を行ないました。

(5) 「サブプロジェクト①の研究成果の活用および研究推進委員会の開催」

サブプロジェクト①による、現時点までに得られた最新の構造探査結果を基に高精度陸海統合地下構造モデルを構築しました。地下構造モデルについては、南海地震震源域および日向灘地震震源域の周辺まで拡大しました。個別研究テーマ(1)(2)の強震動・津波シミュレーションで活用できるよう、グリッド形式で作成し、モデルのデータ提供を行ないました。加えて、強震動シミュレーション結果の地盤増幅補正と面的な震度分布の作成において必要となる広域表層地盤増幅モデルを、高知市街地においてはボーリングデータに基づく125mメッシュの表層地盤モデルを作成し、その周辺地域の地形分類等による250mメッシュの経験的表層増幅率と結合した広域の表層地盤増幅モデルを作成しました。また、プロジェクトに関わる研究者と研究対象地域の防災関係者が一堂に会する地域研究会を前年度に引き続き、高知市、大阪市、名古屋市で開催するとともに、各地域の実情をより多角的に議論し、災害時の広域連携を目指した情報共有をするために、合同地域研究会を開催しました。さらに、次年度に向けて、九州地域研究会の立ち上げの準備を行ないました。

以上のとおり、本プロジェクトの4年目にあたる平成 23 年度は、5 年事業計画に沿ってほぼ順調に目標を達成することができたと考えております。

目次

グラビア	i
1. 連動型巨大地震による強震動の高精度予測 (3.1 参照)	i
2. 津波災害の高精度予測に基づく人的被害軽減戦略の策定 (3.2 参照)	ii
3. 都市域の地震動予測と構造物の被害予測・減災戦略の策定 (3.3 参照)	iii
4. 将来の地域社会特性を反映した災害対応、復旧・復興戦略の策定 (3.4 参照)	iv
5. サブプロジェクト①の研究成果の活用及び地域研究会の開催 (3.5 参照)	v
まえがき	vii
1. プロジェクトの概要	1
2. 研究機関および研究者リスト	5
3. 研究報告	6
3.1. 連動型巨大地震による強震動の高精度予測	6
(1) 業務の内容	7
(2) 平成23年度の成果	9
(3) 平成24年度業務計画案	31
3.2. 津波災害の高精度予測に基づく人的被害軽減戦略の策定	32
(1) 業務の内容	33
(2) 平成23年度の成果	35
(3) 平成24年度業務計画案	82
3.3. 都市域の地震動予測と構造物の被害予測・減災戦略の策定	83
(1) 業務の内容	84
(2) 平成23年度の成果	86
(3) 平成24年度業務計画案	123
3.4. 将来の地域社会特性を反映した災害対応、復旧・復興戦略の策定	124
(1) 業務の内容	125
(2) 平成23年度の成果	127
(3) 平成24年度業務計画案	138
3.5. サブプロジェクト①の研究成果の活用および地域研究会の開催	139
(1) 業務の内容	140
(2) 平成23年度の成果	142
(3) 平成24年度業務計画案	167
4. 活動報告	168
4.1. 会議録	168
4.1.1. 第6回大阪市地域研究会	168
4.1.2. 第6回名古屋市地域研究会	169
4.1.3. 第7回高知市地域研究会	170
4.1.4. 合同地域研究会	171

4.1.5.	「南海トラフ巨大地震連動性評価研究」推進委員会規則	174
4.1.6.	「南海トラフ巨大地震連動性評価研究」研究推進委員会② 構成	176
4.2.	対外発表	177
4.2.1.	連動型巨大地震による強震動の高精度予測	177
4.2.2.	津波災害の高精度予測に基づく人的被害軽減戦略の策定	178
4.2.3.	都市域の地震動予測と建造物の被害予測・減災戦略の策定	178
4.2.4.	将来の地域社会特性を反映した災害対応、復旧・復興戦略の策定	180
4.2.5.	サブプロジェクト①の研究成果の活用および地域研究会の開催	180
5.	むすび	183

1. プロジェクトの概要

本プロジェクト（サブプロジェクト②：連動性を考慮した強震動・津波予測及び地震・津波被害予測研究）では、5つのサブテーマ「連動型巨大地震による強震動の高精度予測」「津波災害の高精度予測に基づく人的被害軽減戦略の策定」「都市域の地震動予測と構造物の被害予測・減災戦略の策定」「将来の地域社会特性を反映した災害対応、復旧・復興戦略の策定」「サブプロジェクト①の研究成果の活用および地域研究会の開催」を設定した。具体的には、それぞれ以下の業務を行う。

連動型巨大地震による強震動の高精度予測

連動型巨大地震による強震動の高精度予測のために、周期 0.3～20 秒の広帯域強震動及び地殻変動、そして津波発生・伝播を連成して評価できる広帯域強震動・津波計算シミュレーションコードを開発し、地球シミュレータ等を用いた計算により、過去の南海トラフ地震（宝永地震、安政東海・南海地震、昭和南海・東南海地震）について、強震動と津波波高資料との相互評価から断層破壊様式を明らかにする。また、サブプロジェクト①の成果に基づく地震発生シナリオに対応した、全国の地震動分布と、震源域および大阪、名古屋地域での強震動と地殻変動の高精度評価を行う。さらに、多様な地震発生様式を想定するとともに、南海トラフ震源域直上への海底ケーブル地震計の設置によって、緊急地震速報における震源位置と地震規模推定精度の向上と警報の発信時間の短縮、及び強震動到来までの時間猶予を評価する。

津波災害の高精度予測に基づく人的被害軽減戦略の策定

本サブテーマでは、地震動サブテーマの強震動・津波シミュレーションから得られた地震・津波シナリオをもとに、河川を含む沿岸域での津波の遡上過程と浸水を高精度に予測する。ここでは、詳細な地形特性、陸上での土地利用、潮汐、地球温暖化による海面変動など、現在および将来に予想される現実的な環境下での津波遡上を検討する。これらの結果を利用して、津波被害の予測と人的被害の軽減のための情報を作成し、被害形態も考慮した沿岸部でのハザードマップ作成の検討を行う。ここで作成するハザードマップでは、大地震の強震動による被害、大津波の到来、そして内陸部への浸水が起きる過程に対して時間を追って示すとともに、津波遡上と浸水を高分解能な航空写真に重ねて可視化することや、GIS を用いるなどの工夫により、大地震による津波の脅威を良く理解できるようリアルなアニメーションの作成を目指す。以上の結果を基盤とした、ハザード・リスクや復旧・復興のための情報マップを活用した人的被害軽減戦略の作成プログラムを提案する。

都市域の地震動予測と構造物の被害予測・減災戦略の策定

地震発生のシナリオに対応した都市域の高解像度地震動予測と各種構造物の地震応答・被害予測を行う。平野で生成する強震動を地震観測データと地震応答解析から高精度に評価し、学校・集合住宅などの鉄筋コンクリート（RC）系の建物の被害を予測するとともに、超高層ビルなどの長周期構造物や、埋立地の大規模建築物の応答性状を評価する。また、緊急地震速報を活用した構造物の被害軽減・早期機能復旧のための方策、例えば、各種安全装置の自動起動やエレベータ

の停止等の方策について調査する。さらには、地域社会が有する災害対応力を建築の立場から調査し、復旧・復興に向けた課題を明らかにする。

将来の地域社会特性を反映した災害対応、復旧・復興戦略の策定

人口減少社会を踏まえた防災対策、災害対応、復旧対策のあり方の検討を行うために、被災地域の社会状況についてのシミュレーションを実施し、シミュレーション結果に基づき災害対応、復旧・復興プロセスの明確化、重要社会基盤施設が被災した際の「影響評価」手法を開発する。加えて、復旧・復興時に発生する大きな余震に備えた、緊急地震速報の利用方策を提案する。また、地震地殻変動による紀伊半島や四国の海岸線の沈降や、大阪での河川の津波遡上により引き起こされる複合災害の影響を評価する。

サブプロジェクト①の研究成果の活用および地域研究会の開催

地震津波シミュレーションの高度化のために、サブプロジェクト①「東海・東南海・南海地震の連動性評価のための調査観測・研究」と連携して海陸統合地下構造探査モデルを用いて、地震・津波シミュレーションのための高精度3次元差分計算用地下構造モデルを作成する。加えて、強震記録に基づく浅層軟弱地盤による増幅率の面的なモデル化を行う。南海トラフの巨大地震の連動性の啓蒙を図るとともに、広域な災害発生に対して地域社会が有する減災・復旧復興への対応力とその実力を認識・共有するために、自治体、ライフライン事業者、建設業者、ボランティア団体から構成される地域検討会を設置・運営する。

平成23年度においては、昨年度に引き続き、それぞれの成果を連携し、強震動と津波の予測から人的・物的被害の予測、復興・復旧戦略の策定をシームレスにつないだ研究を行った。以下に各サブテーマの研究成果の概要を示す。

連動型巨大地震による強震動の高精度予測

東海・東南海・南海地震の連動発生シナリオに基づく強震動と地殻変動、そして津波を地球シミュレータ等のスーパーコンピュータを用いた高分解能シミュレーションに基づき評価した。東海・東南海・南海地震の単独発生と3地震の連動発生シナリオに基づき、強震動の分布と、大阪、名古屋、東京地点での揺れの継続時間や長周期地震動の生成を調べた。

本プロジェクト研究において、H22年度に検討した東海・東南海・南海地震の連動発生シナリオ（震源域が駿河湾～日向灘の一部まで；Furumura et al., 2011¹⁾）に加え、2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震の連動地震発生メカニズムの知見を取り入れ、東海・東南海・南海地震と津波地震が連動する、「最大限」の連動シナリオを再検討した。最大限の連動シナリオに基づき、3次元地下構造モデルと海底地形モデルを用いて強震動シミュレーションと津波シミュレーションを行い、連動型巨大地震に伴う強震動、地殻変動、津波の評価と可視化を行った。

地震地殻変動による海岸線の沈降・隆起の影響を含めた強震動と津波の影響を評価し、地震地殻変動の分布と外洋津波のシミュレーション結果を個別研究テーマ(2)の津波遡上の影響評価研

究の入力データとし、津波と地殻変動が沿岸部の浸水に与える影響に関して連携して研究を進めた。また、連動型地震により生まれる強震動が、都市の多様な構造物に与える影響について、個別研究テーマ(3)の都市域の地震動予測と構造物の被害予測に関する研究と連携して検討した。

1605年慶長地震における10~20mを越える八丈島の巨大津波について、文献・史料を再検討と八丈島での現地調査により、実際の津波高が7~8mを越えていなかったことを明らかにした。

以上の研究成果を、アジア・オセアニア地球科学会(AOGS)大会、および日本地震学会学で発表するとともに、中央防災会議の専門調査会や内閣府の南海トラフの巨大地震モデル検討会に成果を提出した。

津波災害の高精度予測に基づく人的被害軽減戦略の策定

モデル地域において、高精度な津波氾濫シミュレーションから得られた津波ハザード情報を基に、人的・物的・交通被害などの津波被害やその流況を高精度に予測するための手法として提案した合成地形モデルの精度検証を数値実験により行った。季節や時間帯などの発生時間帯を考慮し、固有な被害パターンについて、過去の事例や、2011年東北地方太平洋沖地震津波の被害実態を踏まえた検討を行った。さらに、高知市を対象として、南海トラフ巨大地震の最悪シナリオによる津波氾濫解析を行い、津波リスクの評価や、地形図・土地利用図・衛星画像などに重ねハザード・リスクマップの試作を行った。以上の成果を利用して、従来のハザードマップ作成手順の中で、評価手法・浸水予測区域設定の基準、防災情報の内容・表示、マップの周知・利用・活用などの項目について、改善すべき内容を再検討した。

都市域の地震動予測と構造物の被害予測・減災戦略の策定

連動発生シナリオに基づく名古屋市域の強震動予測について、深部・浅部の地盤データを広域でコンパイルし、複数の連動発生シナリオに対応した面的な地震動予測を行う体制を整えた。学校、集合住宅等の局所非線形を考慮した地震応答解析を行う手法を構築し、東北地方太平洋沖地震で観測された地震動なども含めて、都市域の建物の応答・被害状況の考察を行った。高層建物の応答解析と観測記録から、建物と地盤の周期の関係により共振を生じる場合の特性について検討した。また軟弱地盤上の大規模構造物に関して、応答解析手法と応答特性を検討した。以上の基礎データとして、東海地域の建物を中心に、東北地方太平洋沖地震で得られた観測記録の収集と分析を行った。災害発生時の地域社会対応力については、人口・都市・施設・地盤データなどの基礎情報収集を継続して行うとともに、GISによる効果的な分析・評価システムの開発を継続して実施した。またこれらの調査・分析結果に基づいて、医療、建設などに関する評価を行った。

将来の地域社会特性を反映した災害対応、復旧・復興戦略の策定

平成23年度での成果は、以下のとおりである。

- 1) 平成22年度までに構築した将来人口に基づく地域類型モデルを高度化させ、生活圏に基づくより詳細な地域類型モデルの構築を行った。また、高度化した地域類型モデルを東日本大震災の被災地に適応し、妥当性の検討を行い、日本全国に適応可能であることの検証を行った。
- 2) 東海・東南海・南海地震が発生した場合日本全体に与える影響が大きいナショナルクラス都市

として名古屋市を選定し、研究者・行政職員が参画するワークショップを開催した。ワークショップでは、重要社会基盤施設の被害の社会的影響を考慮しながら災害対応・復旧・復興戦略を策定するための基礎的な検討を行った。

3) 「連動型巨大地震による強震動の高精度予測」の成果を統合し、被災地域の社会にあたる影響についての高精度化を行うための手法の基礎的検討を行った。

サブプロジェクト①の研究成果の活用および地域研究会の開催

本年度は、平成 22 年度までに構築した地下構造モデルをもとに、南海地震および日向灘地震震源域を含むサブプロジェクト①の構造探査結果を統合化し、現段階で入手できる最新の構造解析結果を反映した高精度陸海統合地下構造モデルを完成させた。海底地形モデルも含め、構築した地下構造モデルは、個別研究テーマ(1)(2)の担当者に既に提供し、強震動・津波シミュレーションとその被害予測に活用される。高知市地域研究会においてこれまで地盤モデルの高度化が重要課題と議論されてきた高知平野を対象として、ボーリングデータに高知平野の市街地における浅層地盤モデルを構築し、震度増分を算定し、これを微地形分類に基づき定めた全国モデルと結合することにより地震動増幅率モデルの精度を高めた。プロジェクトに関わる研究者と研究対象地域の防災関係者（自治体・ライフライン事業者・建設業者・大学・研究者等）が一堂に会する地域研究会を高知市、大阪市、名古屋市でそれぞれ 1 回開催した。さらに、各地域の災害対策の相互理解と問題意識の共有を図るために、前出の 3 地域に紀州分科会を加えた関係者が集う合同地域研究会を大阪市において 1 回開催した。

2. 研究機関および研究者リスト

所属機関	役職	氏名	担当課題
東京大学大学院情報学環 総合防災情報研究センター	教授	古村 孝志	3.1
東京大学地震研究所	教授	佐竹 健治	
東京大学地震研究所	教授	瀬瀬 一起	
東京大学地震研究所	助教	三宅 弘恵	
東北大学大学院工学研究科 附属災害制御研究センター	教授	今村 文彦	3.2
東北大学大学院工学研究科 附属災害制御研究センター	准教授	越村 俊一	
東北大学大学院工学研究科 附属災害制御研究センター	助教	今井健太郎	
名古屋大学 減災連携研究センター	教授	福和 伸夫	3.3
名古屋大学災害対策室	教授	飛田 潤	
名古屋大学 減災連携研究センター	准教授	護 雅史	
京都大学防災研究所	准教授	牧 紀男	3.4
京都大学防災研究所	助教	鈴木 進吾	
岐阜大学工学部社会基盤工学科	教授	能島 暢呂	
立命館大学文学部	准教授	中谷 友樹	
長岡造形大学造形学部 建築環境デザイン学科	准教授	澤田 雅浩	
宇都宮大学大学院工学研究科	助教	佐藤 栄治	
独立行政法人海洋研究開発機構 地震津波・防災研究プロジェクト	プロジェクトリーダー	金田 義行	3.5
独立行政法人海洋研究開発機構 地震津波・防災研究プロジェクト	技術研究主幹	高橋 成実	
独立行政法人海洋研究開発機構 地震津波・防災研究プロジェクト	技術研究主任	大堀 道広	
独立行政法人海洋研究開発機構 地震津波・防災研究プロジェクト	特任技術研究副主任	チタク セクチン	
独立行政法人海洋研究開発機構 地震津波・防災研究プロジェクト	技術研究副主任	中村 武史	
独立行政法人海洋研究開発機構 地震津波・防災研究プロジェクト	技術主任	馬場 俊孝	

3. 研究報告

3.1. 連動型巨大地震による強震動の高精度予測

目次

(1) 業務の内容

- (a) 業務題目
- (b) 担当者
- (c) 業務の目的
- (d) 5ヵ年の年次実施計画
- (e) 平成23年度業務目的

(2) 平成23年度の成果

- (a) 業務の要約
- (b) 業務の成果
 - 1) 連動発生シナリオに基づく強震動と地殻変動、そして津波の高精度評価
 - a) 南海トラフ地震の連動発生シナリオに基づく地震動の特性評価
 - b) 東北地方太平洋沖地震の知見を取り入れた新たな連動発生シナリオ
 - c) 南海トラフ地震の大連動シナリオに基づく強震動、地殻変動、そして津波の評価
 - 2) 過去の南海トラフ地震の強震動と津波高の再評価
 - a) 1605年慶長地震における八丈島の津波
 - b) 『八丈実記』に記述された海嘯（津波）と八丈島の津波高の解釈
- (c) 結論ならびに今後の課題
- (d) 引用文献
- (e) 成果の論文発表・口頭発表等
- (f) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

(3) 平成24年度業務計画案

(1) 業務の内容

(a) 業務題目

連動型巨大地震による強震動の高精度予測

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名	メールアドレス
東京大学大学院情報学環 総合防災情報研究センター	教授	古村 孝志	furumura@eri.u-tokyo.ac.jp
東京大学地震研究所	教授	佐竹 健治	
東京大学地震研究所	教授	瀬瀬 一起	
東京大学地震研究所	助教	三宅 弘恵	

(c) 業務の目的

連動型巨大地震による強震動の高精度予測のために、短周期～長周期強震動と地殻変動、そして津波を同時に評価できる広帯域地震津波計算コードを開発し、地球シミュレータ等を用いた計算により、過去の南海トラフ地震（宝永地震、安政東海・南海地震、昭和南海・東南海地震）について、強震動と津波波高資料との相互評価から断層破壊様式を明らかにする。また、サブプロジェクト①の成果に基づく地震発生シナリオに対応した、全国の地震動分布と、震源域および大阪、名古屋地域での強震動と地殻変動の高精度評価を行う。さらに、多様な地震発生様式を想定するとともに、南海トラフ震源域直上への海底ケーブル地震計の設置によって、緊急地震速報における震源位置と地震規模推定精度の向上と警報の発信時間の短縮、及び強震動到来までの時間猶予を評価する。

(d) 5カ年の年次実施計画

1) 平成 20 年度：

連動型巨大地震により発生する、短周期～長周期強震動と地殻変動と津波発生・伝播 を同時に高精度に評価するための、「広帯域地震・津波シミュレーションモデル」を整備し、大大特プロジェクト他により構築された、陸域地下構造・堆積平野構造モデルと海域構造探査モデルを結合した、高分解能陸域・海域地下構造モデルを整備した。不均質な地下構造・震源破壊様式モデルを用いた強震動・津波発生伝播の数値シミュレーションのための大規模並列計算コードを開発した。

2) 平成 21 年度：

1707 年宝永地震や 1854 年安政東海・南海地震、1944 年昭和東南海地震、1946 年南海地震の地震動と津波を再現し、過去の南海トラフ巨大地震の全貌を明らかにした。南海トラフ地震の震源破壊様式とその不均質性が強震動と津波に与える影響を明確化した。得られた震源破壊様式

の知見をサブプロジェクト①の「物理モデル構築及び地震発生シミュレーション研究」および本サブプロジェクトの「(2)津波災害の高精度予測に基づく人的被害軽減戦略の策定」における高精度津波シミュレーションの入力として連携をはかった。

3) 平成 22 年度 :

上述の陸域・海域地下構造モデルに対して、サブプロジェクト①の「稠密海底地震観測」等から得られた、最新の地下構造探査結果を取り入れることにより、超高分解能 (0.5km 以下) の陸域・海域地下構造モデルを構築した。本モデルを用いた 1944 年東南海、1946 年南海地震の強震動・津波シミュレーションを実施し、津波波高分布、検潮記録、強震波形記録との比較検証を行なった。また、最近の南海トラフ地震 (2004 年紀伊半島南東沖の地震など) の強震観測、地殻変動観測、および海底津波計記録と比較してモデルの妥当性を検証し、信頼度の高い予測シミュレーションモデルを構築した。

4) 平成 23 年度 :

サブプロジェクト①の「物理モデル構築及び地震発生シミュレーション研究」により得られる連動・単独発生シナリオに対する強震動と地殻変動、そして津波の高精度予測を行う。人口密集平野 (大阪、名古屋、関東など) の強震動波形の特性 (震動継続時間、周期特性と長周期地震動など) を詳しく調査し、海岸線の沈降・隆起を 3 次元地下構造モデルを用いて高精度に予測して「(2)津波高精度予測」での津波の遡上への影響を評価する。単独発生および連動発生による強震動が都市の多様な構造物に与える影響と、津波浸水の影響を多面的に評価する。

5) 平成 24 年度 :

連動型巨大地震による強震動の威力を社会に分かりやすい形で伝えるために、強震動と津波発生伝播シミュレーションの 3 次元可視化動画を作成する。過去の南海トラフ地震および、連動・単独発生シナリオによる強震動分布の違い、地震発生から強震動と津波の到達までの時間的猶予、地震後の平野の大きく長い揺れの特徴について直感的に理解できる効果的な可視化教材を作成する。

(e) 平成 23 年度業務目的

連動発生シナリオに基づく強震動と地殻変動、そして津波の高精度予測を、地球シミュレータ等のスーパーコンピュータを用いて実施する。計算結果をもとに、強震動分布に加えて、人口密集平野 (大阪、名古屋、関東など) の強震動波形の特性 (震動継続時間、長周期地震動の生成など) について、単独発生と連動発生による違いを詳しく検討する。また、地震地殻変動による海岸線の沈降・隆起と津波発生に与える影響を、3 次元地下構造モデルを用いた計算と、過去の南海トラフ地震の強震動と津波記録の現地調査結果を分析して、地震地殻変動解析・統合可視化ワークステーションを用いた評価と可視化を図るとともに、個別研究テーマ (2) での津波の遡上への影響評価に活用する。連動発生により生まれる強震動と地殻変動が、都市の多様な構造物に与える影響と、津波発生と伝播、そして沿岸部の浸水に与える影響について、個別研究テーマ (2)-(5) と連携して検討を行う。以上の成果の普及と関連分野の最新の知見の収集のために、国内外の学

会等で研究発表を行う。

(2) 平成23年度の成果

(a) 業務の要約

東海・東南海・南海地震の連動発生シナリオに基づく強震動と地殻変動、そして津波を地球シミュレータ等のスーパーコンピュータを用いた高分解能シミュレーションに基づき評価した。東海・東南海・南海地震の単独発生と3地震の連動発生シナリオに基づき、強震動の分布と、大阪、名古屋、東京地点での揺れの継続時間や長周期地震動の生成を調べた。

本プロジェクト研究において、H22年度に検討した東海・東南海・南海地震の連動発生シナリオ（震源域が駿河湾～日向灘の一部まで；Furumura et al., 2011¹⁾）に加え、2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震の連動地震発生メカニズムの知見を取り入れ、東海・東南海・南海地震と津波地震が連動する、「最大限」の連動シナリオを再検討した。最大限の連動シナリオに基づき、3次元地下構造モデルと海底地形モデルを用いて強震動シミュレーションと津波シミュレーションを行い、連動型巨大地震に伴う強震動、地殻変動、津波の評価と可視化を行った。

地震地殻変動による海岸線の沈降・隆起の影響を含めた強震動と津波の影響を評価し、地震地殻変動の分布と外洋津波のシミュレーション結果を個別研究テーマ(2)の津波遡上の影響評価研究の入力データとし、津波と地殻変動が沿岸部の浸水に与える影響に関して連携して研究を進めた。また、連動型地震により生まれる強震動が、都市の多様な構造物に与える影響について、個別研究テーマ(3)の都市域の地震動予測と構造物の被害予測に関する研究と連携して検討した。

1605年慶長地震における10～20mを越える八丈島の巨大津波について、文献・史料を再検討と八丈島での現地調査により、実際の津波高が7～8mを越えていなかったことを明らかにした。

以上の研究成果を、アジア・オセアニア地球科学会(AOGS)大会、および日本地震学会学で発表するとともに、中央防災会議の専門調査会や内閣府の南海トラフの巨大地震モデル検討会に成果を提出した。

(b) 業務の成果

1) 連動発生シナリオに基づく強震動と地殻変動、そして津波の高精度評価

本プロジェクト研究において、H22年度に検討した東海・東南海・南海地震の連動発生シナリオ（宝永地震モデル）は、震源域が駿河湾から日向灘の北部（豊後水道沖）に至る約700kmの領域となる。この震源域が一度に破壊した場合（東海・東南海・南海地震の3連動）と、東海地震（東南海地震を含む）と南海地震が単独で発生した場合について地震動分布の比較と、主要都市（東京、名古屋、大阪）における地震動の特徴を比較するなど、連動発生に基づく強震動予測をスーパーコンピュータ（海洋研究開発機構、地球シミュレータ）を用いて実施した。

a) 南海トラフ地震の連動発生シナリオに基づく地震動の特性評価

図1に示す関東から九州に至る水平600km×1200kmを地震動シミュレーションの対象領域に選び、地下100kmまでの地殻・マントル構造を、防災科学技術研究所の地震ハザードステーション(J-SHIS)²⁾の深部地盤(堆積層)モデルとフィリピン海プレート深度モデルに基づき、水平0.4km、

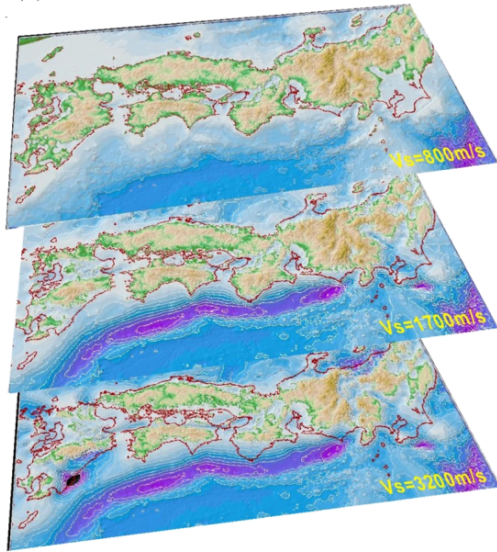
鉛直 0.2km の格子間隔でモデル化して (図 1)、運動方程式の 3 次元差分法計算により地震動を評価した。計算モデルに組み込んだ堆積層の最小 S 波速度は 0.5 km/s であり、本シミュレーションにより周期 2 秒以上の (長周期) 地震動を評価することができる。

およそ 700km×200km の断層面を小断層に分割して、各小断層から中村・宮武 (2000) の震源時間関数を用いて最大周波数 0.5 Hz (周期 2 秒) までの地震波を放射させた。断層破壊開始点 (震源) は潮岬沖と仮定し、震源から 2.7km/s の一様速度での破壊伝播を考え、地震波を放出させた。本シミュレーションは、海洋研究開発機構の地球シミュレータを用いて行い、360 秒間の地震波伝播の評価は地球シミュレータ 32 ノードを用いた並列計算において 2 時間を要した。

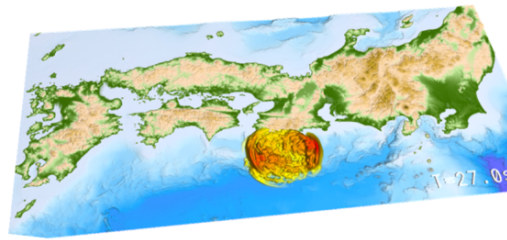
計算から求められた最大地動速度 (PGV) 分布を図 2 に示す。東海地震モデル、南海地震モデルを用いたシミュレーション結果は、50cm/s を越える強い揺れの範囲が震源域に沿って内陸の 500km 以上の範囲にわたって広がり、さらに柔らかい表層地盤に覆われた地域 (宮崎、大阪、名古屋、静岡、東京など) では、局所的に 100cm/s を越える強震域が点在して現れる。東海地震モデルでは、大きな地動 (>20cm/s) の範囲は潮岬から関東付近に広がり (図 2b)、南海地震モデルでは逆に潮岬から九州側の範囲が強震域となる (図 2a)。また、東海地震と南海地震の震源域を包括する宝永地震モデルによる地動分布 (図 2c) は、東海地震 (図 2a) と南海地震 (図 2b) の地動速度分布をちょうど足した分布に総投資、東海地震モデルおよび南海地震モデルのシミュレーション結果の最大値から作成した最大地動速度分布 (図 2d) と違いがないことがわかる。これは、2 つの地震が連動発生しても、地震動の重なりによる地震動増幅は起きないためである。周期 1 ~ 2 秒程度以下の短周期の地震動は震源の不均質性による複雑な地震波の放射と伝播経路の地下構造の不均質性による強い散乱により、位相のランダム性が強い。たとえば、東海地震と南海地震の震源域から放射された地震動は、互いに位相は揃わず、二つが干渉を起こして増幅することはない。連動発生により、地震動の継続時間は 1.5 ~ 2 倍程度延びるが、震幅の増大はないことが再確認された。

図 3 に、東海地震モデル、南海地震モデル、および東海地震+南海地震 (宝永地震) モデルを用いた地震動シミュレーションから求められた東京、大阪、名古屋地点の地震波形 (速度波形、南北動) を比較する。まず、東京地点の地震動 (図 3a) の震幅は、震源域が東京に近い東海地震モデルによる揺れでほとんどが確定することがわかる。震源域が数百キロメートル以上離れた南海地震モデルによる東京の地震動は相対的に小さい。この結果、東京の地震動は宝永地震モデルによるものと、東海地震によるものに違いはほとんど見られない。大阪地点と名古屋地点は、東海地震の震源域と南海地震の震源域からほぼ等距離に位置する。このため、二つの震源モデルによる地震動は同程度である。宝永地震モデルによる地震動は、二つの地震の単独発生による揺れより大きくなることはないが、大きな揺れの継続時間が長くなることに注意が必要である (図 3b, c)。

(a) 堆積層モデル



(c) 波動伝播スナップショット(27s)



(b) プレートモデルモデル

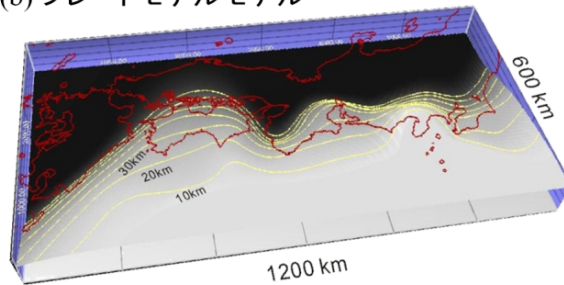


図1 東海・東南海・南海地震の地震動シミュレーションモデル。(a)堆積層モデル ($V_s=800\text{m/s}$, 1700m/s , 3200m/s 層の上面深度分布)、(b)フィリピン海プレート上面深度分布、(c)地震波動伝播のスナップショット (地震発生から 27 秒後の揺れ)。

東京、大阪、名古屋地点の速度応答スペクトル (図 4) を見ると、地震波形 (図 3) から既に明らかのように各地の速度応答は、東海地震 (東京および名古屋) または南海地震 (大阪) の地震動でほぼ規定されることが再確認できる。わずか 10% 程度の増加ではあるが、周期数秒以上の長周期地震動では、東海地震と南海地震の地震動の重ね合わせの影響が現れ、単独発生の場合よりも速度応答が大きくなっていることもわかる。こうした、長周期地震動の重ね合わせによる震幅増大は、震源域の拡大と破壊伝播時間の増大によりより顕著になるものと思われる。本検討では、潮岬沖を震央と仮定したため、連動発生の場合でも、単独発生の場合と破壊伝播の方向および破壊伝播時間は変わらない。しかし、連動発生の場合に、震源 (破壊開始点) が震源域の東端 (駿河湾) または西端 (日向灘) になった場合には、単独発生の場合以上に破壊伝播の放射指向性 (ディレクティビティ) による地震動の増大の影響を別途考える必要がある。

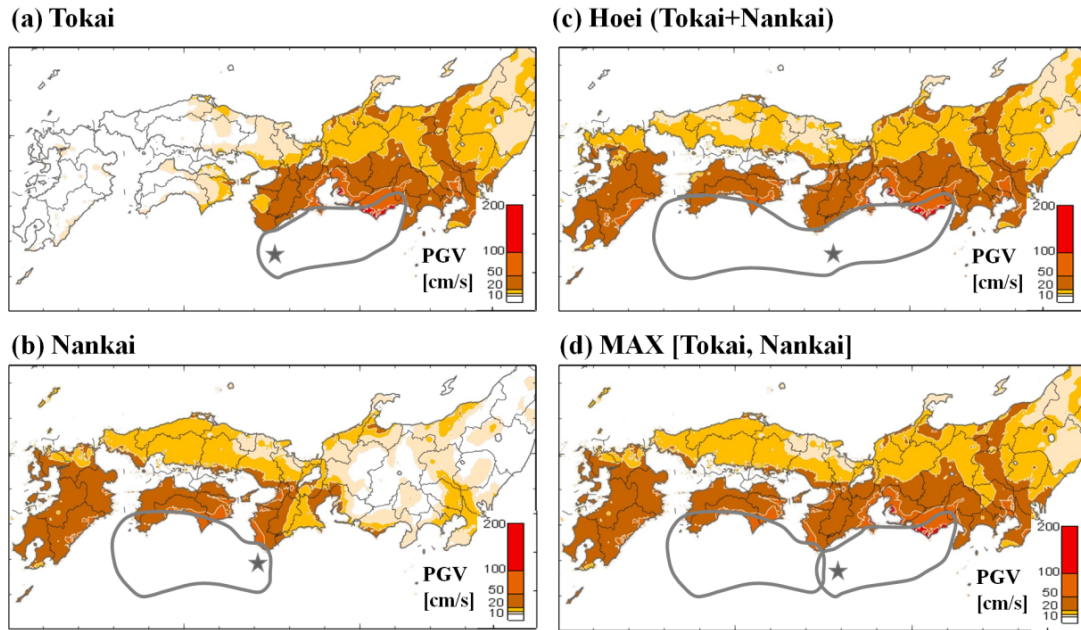


図2 地震動シミュレーションにより得られた、最大地動速度 (PGV) 分布。(a) 東海地震モデル、(b) 南海地震モデル、(c) 宝永地震 (東海地震+南海地震連動) モデル。(d) 東海地震と南海地震の各地の PGV 最大値から作成した最大 PGV 分布。

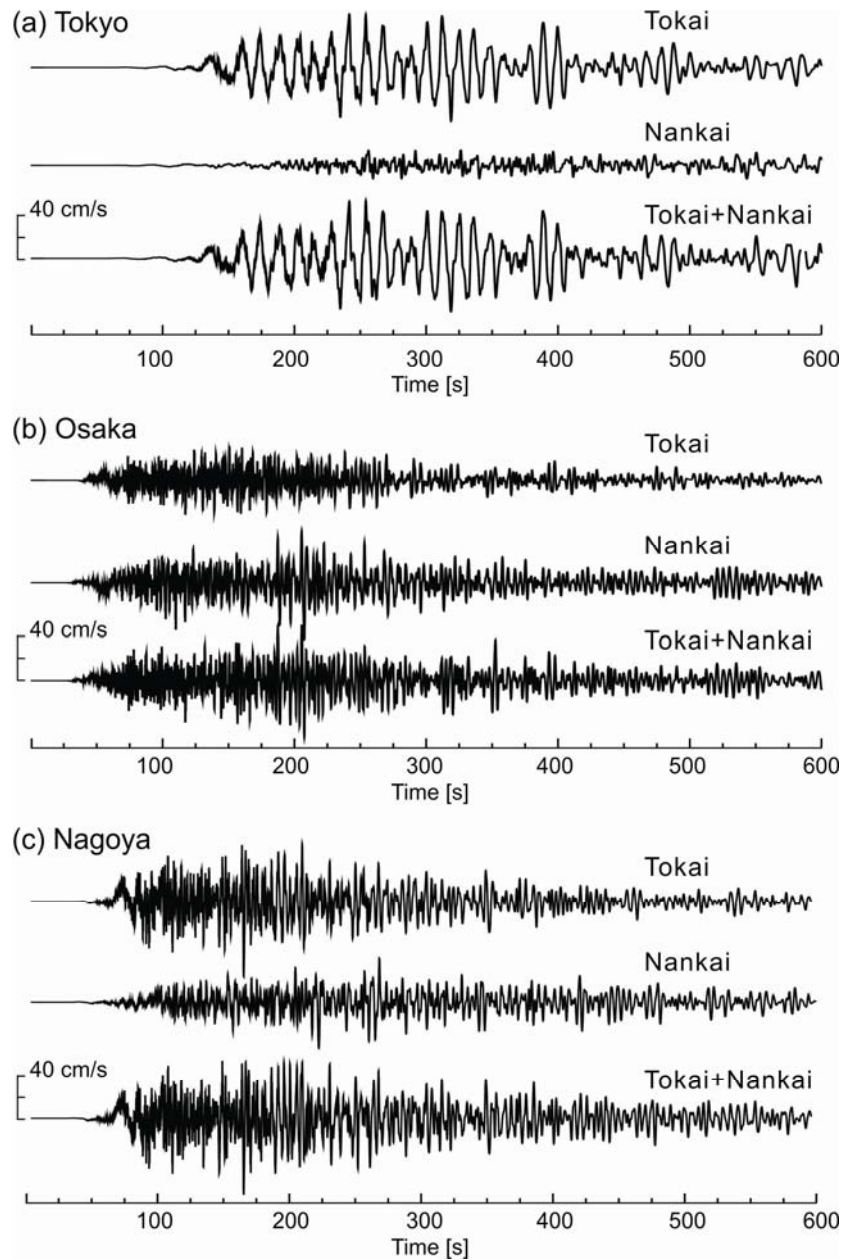


図3 東海地震モデル、南海地震モデル、および宝永地震モデル（東海+南海）により求められた(a)東京（K-NET, TKY007 観測点）地点、(b)名古屋（AIC003 観測点）地点、(c)大阪（OSK005 地点）の速度波形（NS成分）の比較。

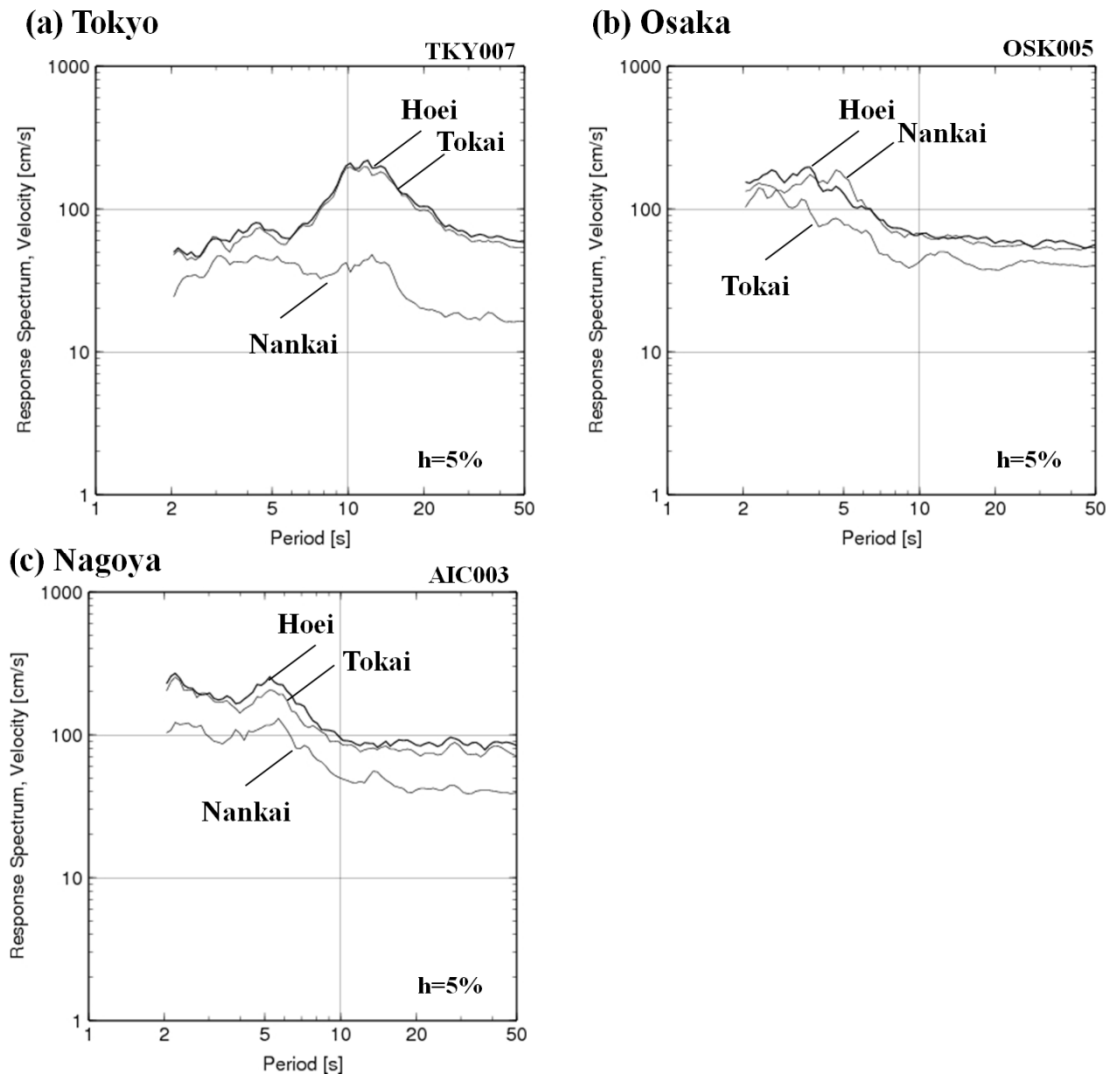


図4 東海地震モデル、南海地震モデル、および宝永地震モデル（東海+南海）により求められた(a)東京（K-NET, TKY007 観測点）地点、(b)名古屋（AIC003 観測点）地点、(c)大阪（OSK005 地点）の速度応答スペクトル（水平動成分、減衰=5%）。

b) 東北地方太平洋沖地震の知見を取り入れた新たな連動発生シナリオ

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震（M9.0）は、震源域が岩手県沖から茨城県沖の約500km×200kmの広い範囲に拡大し、発生した津波は、岩手県から福島県にかけての太平洋岸で10mを越え、岩手県宮古市では最大遡上高40.5mにも達するなど、これまでの1896年明治三陸地震や1933年昭和三陸地震の津波をはるかに超える規模となった³⁾。

この地震による津波を記録した釜石沖の海底ケーブル津波計のデータには、まず地震発生から10分の間に海面が2m上昇し、その後の5分でさらに5mまで急上昇する2段階の成長が示されていた（図5）⁴⁾。まず、第1段階目の津波（2m）とその長い周期（60分程度）は、M9規模のプレート境界型地震の断層幅（200km）と海底隆起量（およそ5m程度）に良く対応するが、第2段階の急峻な津波を説明するためには、日本海溝寄りの浅部プレート境界が大きなズレ動きを考える必要がある⁴⁾。実際に、本データを含む津波計記録（Fujii et al., 2011⁵⁾；気象庁2011⁶⁾；Lay et al., 2011⁷⁾）や近地・遠地地震波形記録、そしてGPS地殻変動データの解析から、日本海溝

寄りの浅部プレート境界が 50m 以上大きくズレ動き、海底面が 20m 以上大きく隆起した可能性が示された (図 6)。

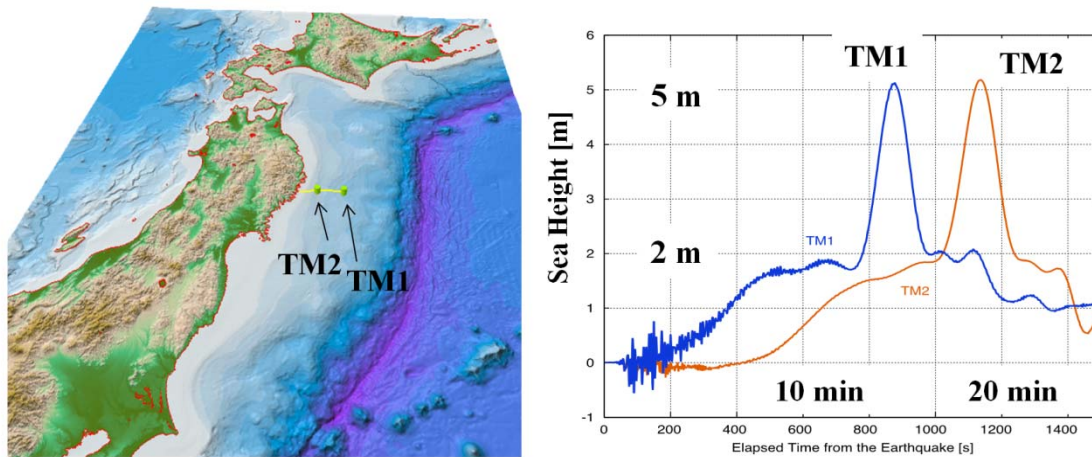


図 5 釜石沖海底ケーブル津波計 (TM1, TM2) の位置と、TM1, 2 で記録された津波波形と 2 段階の津波成長の様子。

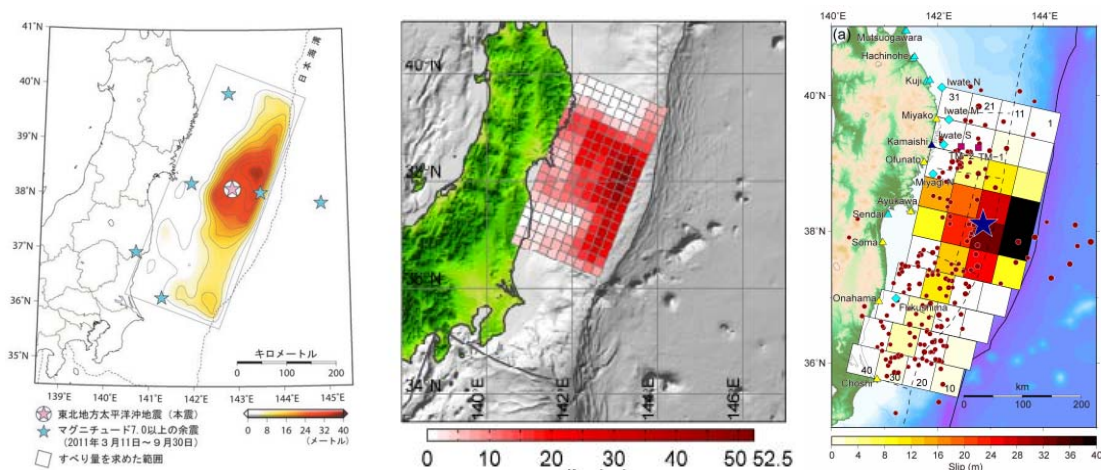


図 6 津波観測から推定された東北地方太平洋沖地震の震源モデルの例。(右) 気象庁 (2011)、(中) Lay et al. (2011)、左) Fujii et al. (2011)。

日本海溝寄りの浅部プレート境界が大きくズレ動くことによる、海底地殻変動と津波の生成を考えるために、ここで一般的な M9 規模のプレート境界型地震を想定して、プレート境界のやや深部 (10~50km) のズレ動き (22m) と浅部プレート境界の大きなズレ動き (55m) について、それぞれ期待される海底地殻変動を計算した (図 7)。まず、通常の見られる、深部プレート境界のズレ動きでは、断層面上で最大 10m の隆起が起きるなど、断層面上の数百 km の広い範囲に地震地殻変動が発生し、長周期の津波が発生することが期待される。次に、浅い (2~10km) 海底下の狭い浅部プレート境界の狭い範囲のズレ動きを与えると、その直上の海底面が数十 km の狭い範囲が最大 20m 隆起し、短波長の高い津波が生まれることが期待される。こうして、深部プレート境界のズレ動きと、浅部プレート境界の大きなズレ動きが同時に起きることにより、図 5 に示された 2 段階で成長を遂げた特異な津波波形が生成されたことが考えられる。

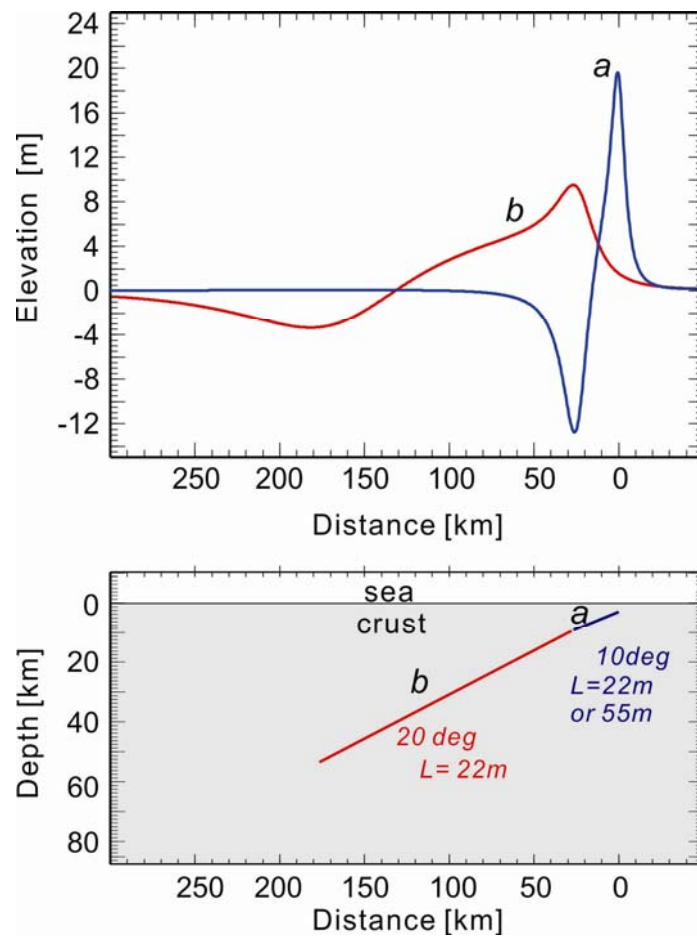


図7 地中のプレートズレ動きに伴う、海底地殻変動。深部プレート境界のズレ動き（赤）による海底地殻変動（赤線）と、浅部プレート境界のズレ動きによる海底地殻変動（青）。

ちなみに、深部プレート境界のズレ動き（22m）のみで津波波形を計算したところ、国交省の釜石沖 GPS 波浪計の津波記録（図 8c）に見られる第 1 段階目の 2.5m の津波は良く再現できたが（図 8a）、2 段階目の 7m の津波は再現には、さらに浅部プレート境界の大きなズレ動き（55m）のズレ動きが必要であることが確認できる（図 8b）。

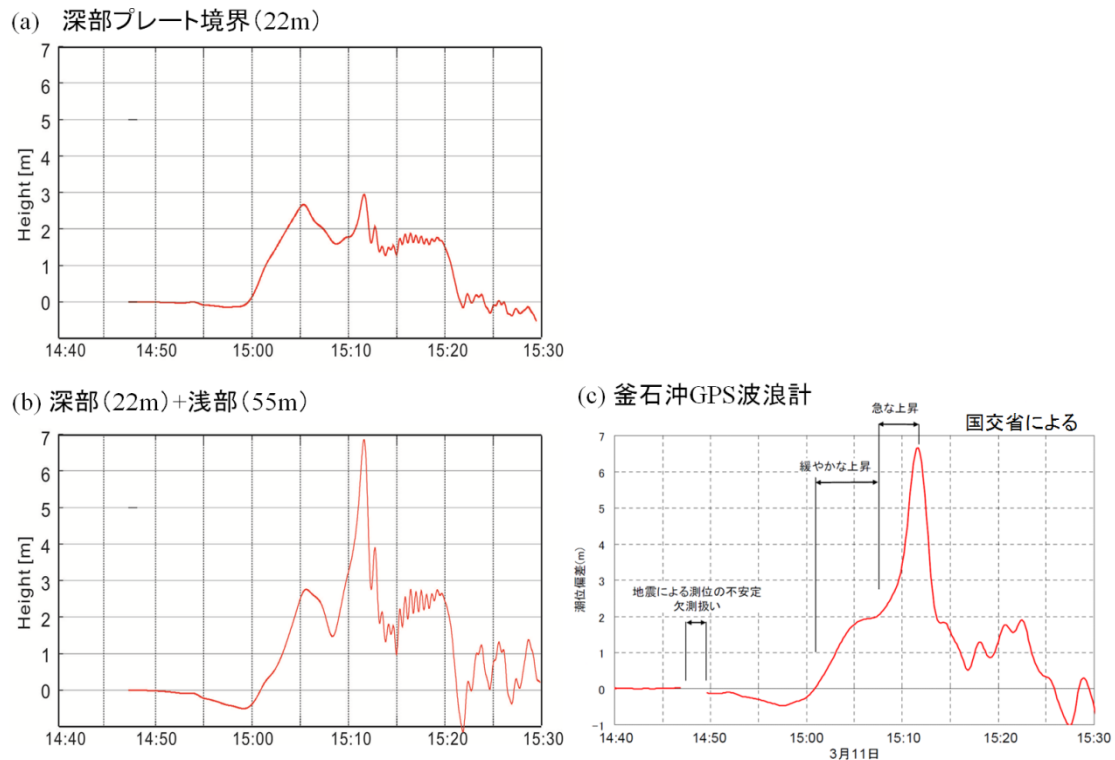


図8 (a)深部プレート境界滑り (22m)による、釜石沖 GPS 波浪計の地点の津波波形、(b)深部プレート境界滑り (22m) と浅部プレート境界の大滑り (55m) による津波は計、(c) 釜石沖 GPS 波浪計による津波波形記録 (国交省資料による)。

ところで、日本海溝の浅部プレート境界は、これまで 1896 年明治三陸地震や 1677 年延宝房総沖の地震⁹⁾ など、強い揺れを伴わずに津波が押し寄せる「津波地震」が発生してきた場所である。津波地震は、通常の地震とは異なり、海溝付近の浅部プレート境界が、比較的ゆっくりとした速度でズレ動くために、海底地殻変動と津波は発生するが、強い地震動が生まれにくい特異な地震と考えられている (たとえば、Tanioka and Seno, 2001)⁸⁾。東北地方太平洋沖地震において、深部プレート境界のズレ動きとともに大きくズレ動いた日本海溝寄りの部分は、明治三陸地震と延宝房総沖地震の震源域と考えられている場所に挟まれた、津波地震の空白域だった場所に相当する。宮城県沖の深部プレート境界から発生したズレ動きが、津波地震の震源域にまで拡大、その結果、浅部プレート境界が深部プレート境界の倍以上の大きさで過剰にズレ動き、大きな海底地殻変動と巨大津波が生成されるという、本地震の特異な連動メカニズムが指摘されている (たとえば、Ide et al., 2011¹⁰⁾)。

c) 南海トラフ地震の大連動シナリオに基づく強震動、地殻変動、そして津波の評価

こうした、東北地方太平洋沖地震により明らかとなった、これまで知られていた海溝型地震の連動発生による拡大と、さらに津波地震との「大連動」という、新たな連動発生シナリオを考慮し、南海トラフ地震で同様の連動シナリオを考えた、強震動、地殻変動、および津波の評価を行った。本研究において H22 年度に検討した宝永地震シナリオに基づく強震動、地殻変動、津波評価を基本モデルとして、さらに南海トラフにおける津波地震として知られる 1605 年慶長地震¹¹⁾ と宝永地震の大連動が起きた場合のシナリオを新たに想定して、地震動、地殻変動、津波の再評

価を行った。

宝永地震の震源モデルとして、(駿河湾から日向灘の北部(豊後水道沖)の範囲を、東海(N1)、東南海(N2)、南海-東(N3)、南海-西(N4)、日向灘(N5)の5つのセグメントに分割したモデルを用意した(図9)。断層面(プレート境界面)の深さは、フィリピン海プレート上面深度とし、断層パラメータ(走行、傾斜、滑り角、滑り量)は、Furumura et al. (2011)¹⁾に基づき、表1に示す値を与えた。断層のズレ動き時間(ライズタイム)は、全セグメントともに60秒に設定した。

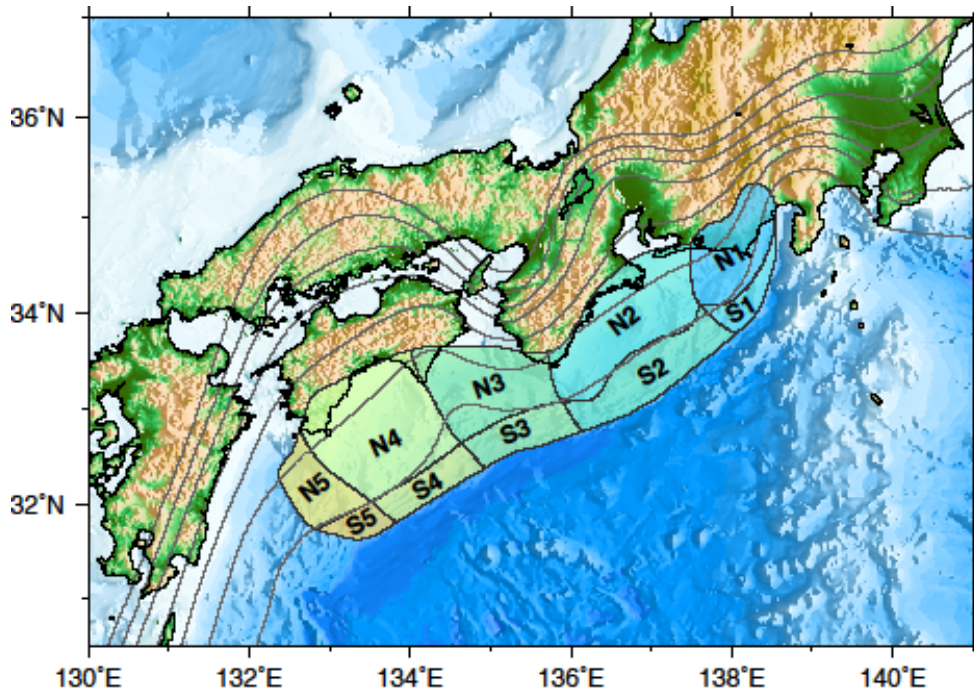


図9 宝永地震(N1~N5)と慶長地震(S1~S5)の震源モデル。

	東海 N1 (S1)	東南海 N2 (S2)	南海-東 N3 (S3)	南海-西 N4 (S4)	日向灘 N5 (S5)
Strike (deg.)	193	246	251	250	250
Dip (deg.)	20	10	12	8	8
Rake (deg.)	71	113	113	113	118
Slip (m)	5.6 (11.2)	7.0 (14.0)	5.6 (11.2)	9.2 (18.4)	9.2 (18.4)

表1 宝永地震（N1～N5）と慶長地震（S1～S5）の震源パラメータ。括弧内は慶長地震の各セグメントに与える滑り量（宝永地震のズレ動き量の2倍）を表す。

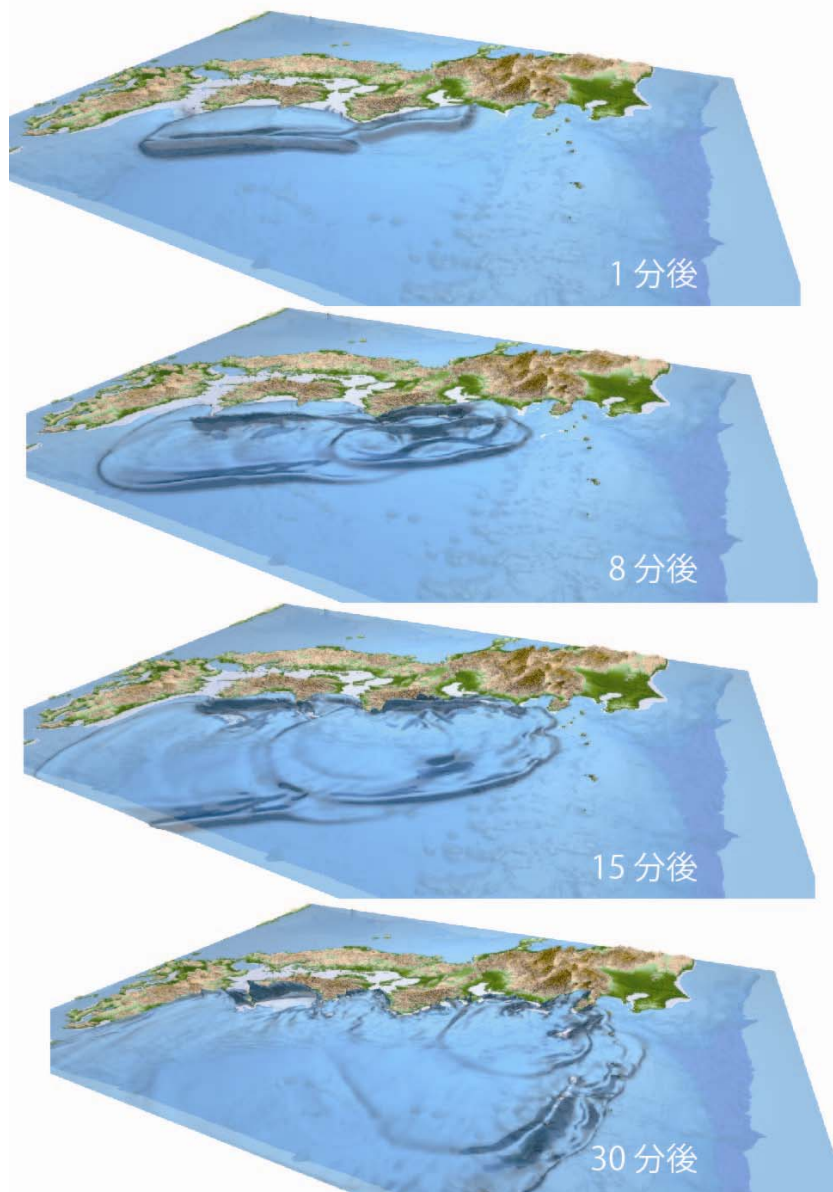


図10 宝永地震と慶長地震の大連動モデルによる津波シミュレーション。地震から1分、8分、15分、30分後の津波伝播の様子。

慶長地震の震源モデル（S1～S5）として、宝永地震の震源域の延長上の、プレート境界面深度10km以浅～トラフ軸までの約20kmの幅を持つ領域を考えた。また、宝永地震と慶長地震の大連動シナリオでは、慶長地震の震源域部分のプレート境界のズレ動き量を、宝永地震の深部プレート境界（N1～N5）のズレ動き量の2倍の大きさに設定した（表1）。また、プレート境界のズレ動き時間は、宝永地震のものと等しく60秒とした。

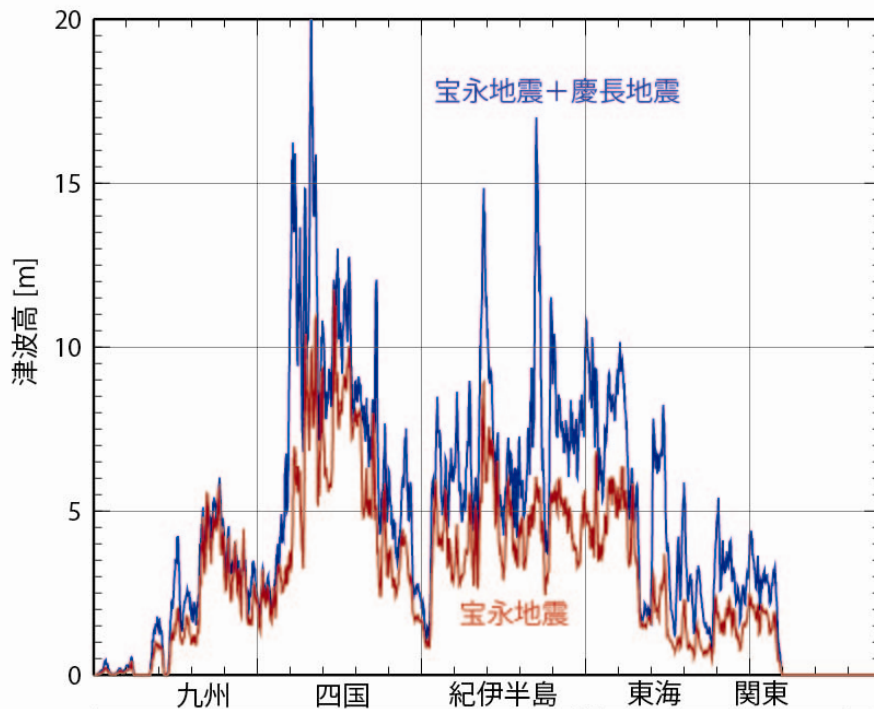


図 11 宝永地震モデルによる津波（赤）と、宝永地震と慶長地震の大連動による太平洋沿岸での津波（紫）。

津波シミュレーションには、500m 格子間隔の海底地形モデルを用い、浅水長波モデルに基づき 5 時間の津波伝播を計算した（図 10）¹²⁾。津波計算により得られた、宝永地震による九州～関東の太平洋沿岸の津波高と、宝永地震と慶長地震の大連動による津波を図 11 に比較する。宝永地震のモデルによる津波高は、土佐湾で最大 12m 程度であったが、大連動により、四国～房総半島の太平洋岸の広い範囲の沿岸の津波高が 1.5～2 倍高くなり、土佐湾では津波が最大 20m を越えることがわかる（図 11）。

こうした沿岸の大きな波高の変化に対して、大阪湾や伊勢湾などの湾奥や、瀬戸内海では大連動が起きても波高はほとんど変化しないことに注意が必要である。慶長地震の震源域の長軸方向は、南海トラフ軸に沿って北東-南西方向に細長く伸びた形状を持っており、これに直行する（震源域の短軸）方向では、短波長の津波が生成する。このため、大阪湾、伊勢湾、瀬戸内海に向かう津波は波長が短く、湾内には侵入しにくいことが考えられる。図 12 に、大阪湾（図 12a）と東京湾（図 12b）の湾口から湾奥にかけての津波波形を示す。慶長地震の震源域から生まれる津波（図 12；青）は、宝永地震（赤）に比べて波長が短いことが確認でき、そして短波長の津波は紀伊水道の狭い海峡を通過して湾奥に向かう過程で急激に減衰し、波高が下がることがわかる。大阪湾の固有周期は数十分以上と長く、宝永地震の長波長の津波成分は湾奥で強く増幅されるが、慶長地震の波源域から生まれた津波には長周期成分がほとんど含まれておらず、たとえ大連動が起きても津波高の変化はほとんどない。

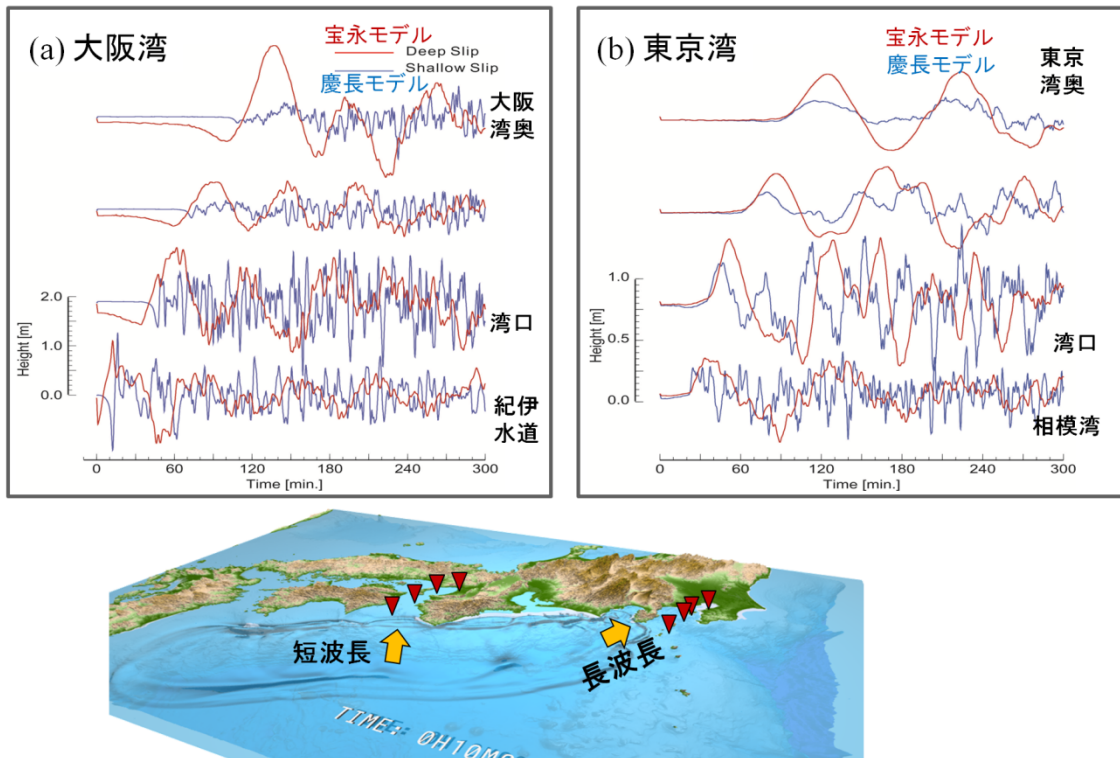


図 12 宝永地震（赤線）と慶長地震（青線）モデルによる湾内を伝わる津波の減衰と増幅の特性。
 (a)大阪湾、(b)東京湾。

これに対して、慶長地震のトラフ軸に沿った長軸方向の延長上にある東京湾や日向灘に向けては、波高は低いですが長波長の津波が放射される（図 12）。この結果、図 12(b)の東京湾の津波波形に見られるように、慶長地震の震源域から放射された津波に含まれている数十分以上の長周期津波が、東京湾で徐々に増幅されることがわかる。この結果、東京湾側では、宝永地震の時よりも大連動による津波は高くなる。これは、日向灘に向かう津波についても同様である。

次に、大連動シナリオに基づき地震動シミュレーションを行った。地下構造モデルは先に示したモデル（図 1）と同様であり、図 9 および表 1 に示した宝永地震と慶長地震の震源モデルを用いて地震動を計算した。シミュレーションから得られた地動速度分布を比べると、大連動に伴う震源域の拡大と地震規模の増大（M8.7 から M8.9）により、九州～関東にかけての広い範囲の地動速度が 1.2 倍程度大きくなることがわかる。また、各地の揺れは図 14 の地震波形が示すように、継続時間が伸びることにも注意が必要である。たとえば、大連動モデルによる静岡地点の地震波形を見ると、最大震幅は宝永地震モデルの結果とほぼ等しい（150cm/s 程度）が、強い揺れ（>50cm/s）の継続時間は宝永地震モデルの 2 倍（250 秒）以上に長くなることがわかる。

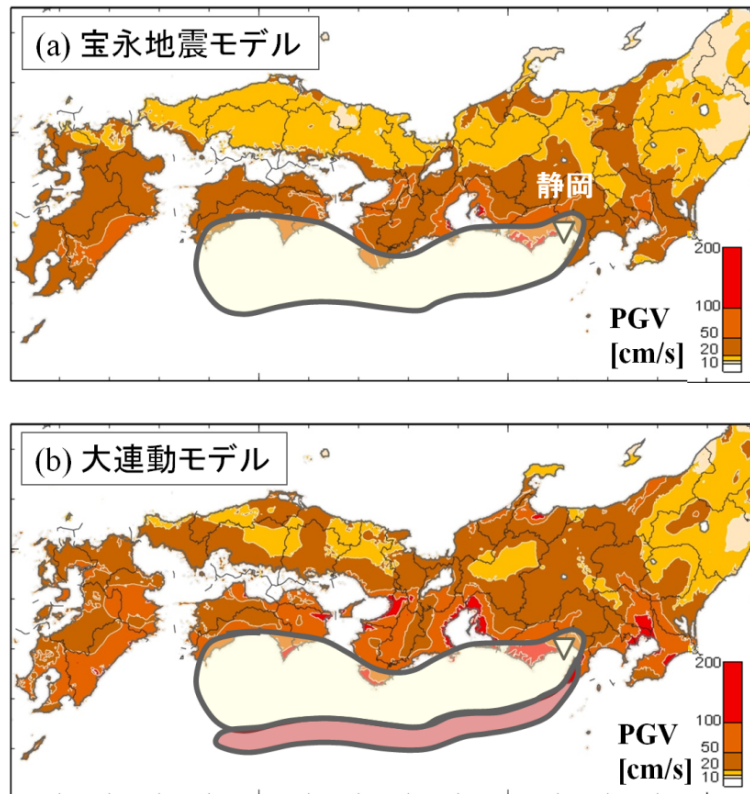


図 13 (a) 宝永地震モデルと、(b) 宝永地震と慶長地震の大連動モデルによる最大地動速度 (PGV) 分布。

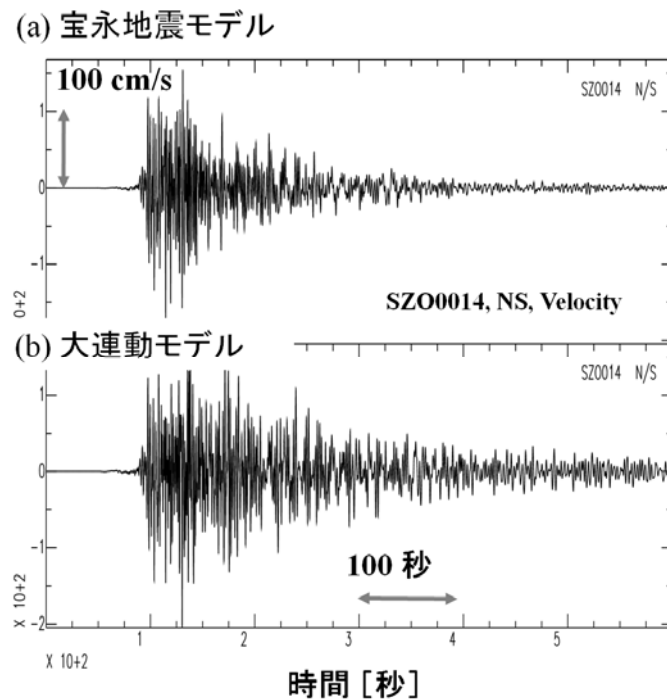


図 14 (a) 宝永地震モデルと、(b) 宝永地震と慶長地震の大連動モデルによる地動速度波形南北成分の比較 (K-NET SZ0014; 静岡地点)。

2) 過去の南海トラフ地震の強震動と津波高の再評価

東北地方太平洋沖地震の発生により、通常の高溝型地震の連動に加え、さらに津波地震との大

連動による地震規模の拡大と、大きなプレートのズレ動き及び巨大津波の生成はという新たな連動発生シナリオが示された。南海トラフでの津波地震として知られる 1605 年慶長地震の津波およびその震源モデルの詳しい評価はこうした大連動の発生可能性を考える上で重要な課題であり、H22 年度に引き続き、慶長地震の強震動と津波について、史料の再検討と八丈島での現地調査による評価を行った。

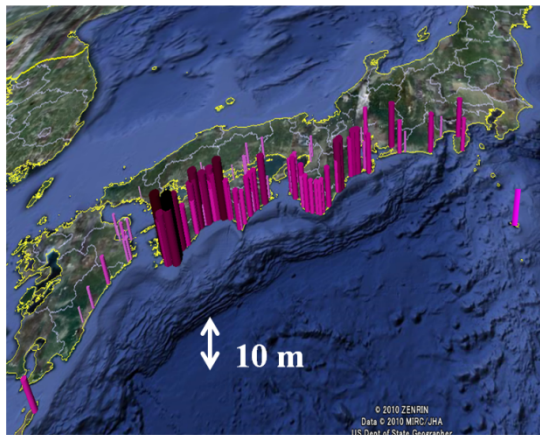
a) 1605 年慶長地震における八丈島の津波

慶長地震が発生した 17 世紀初頭は、江戸幕藩体制の草創期であり、政治機構の整備が進んでおらず、史料の残存状況が良くない。限られた史料ではあるが、そこには南海地震でよく観測されるような、温泉や地下水の水位変化や地殻変動の記述が全くないことから、南海トラフで通常起きている地震とは異なる津波地震であったことが裏付けられる。この地震により、犬吠埼から九州までの広範囲に津波が押し寄せ^{13),14)} (図 15) 大きな津波被害があったこと (八丈島で 57 名の死者、阿波宍喰で 1500 名の死者) から、M8 程度以上の地震規模であったと考えられている¹⁴⁾。その一方で、揺れによる被害は、淡路島の寺社で仏像が飛散したことが古文書に一件記されているのみであり、震害をもたらすような揺れではなかった。こうした事実から、慶長地震はプレート境界のやや深部で起きる通常の見溝型地震ではなく、見溝 (トラフ) 寄りの浅部プレート境界のズレ動きにより発生した津波地震と考えられている (たとえば、石橋、1983¹¹⁾; Seno; 2002¹⁵⁾)。

慶長地震の津波被害に関する限られた史料の中でも、八丈島で津波により 57 名 (75 名との説もある) が死亡したという『八丈実記』の記録は重要であり、羽鳥 (1975)¹³⁾はこの記述をもとに、八丈島に最大 10-20m の津波が来襲した可能性を指摘している。以来、この解釈は慶長地震の波源域の広がりや波源モデルの推定や、南海トラフ地震を対象とした小笠原諸島や東海～関東にかけての津波防災に大きな影響を与えている。一方、山本 (1995)¹⁶⁾は、『八丈実記』に記された津波の記録伝承、当時の集落の位置や、島の地形を精査して、慶長地震における八丈島の津波高は 10m に達していなかった可能性を指摘している。渡辺 (1998)¹⁴⁾も、慶長地震の八丈島の津波高として 10m 以内 (7~8m) としている。

先に述べた、日向灘～駿河湾のトラフ軸寄りの部分を慶長地震の震源域 (図 9 ; S1-5) とする津波シミュレーション (図 16) では、八丈島の西側海岸 (図 17) での津波高は 2m 程度に止まり、10m を越える津波の再現はよほど大きなプレートのズレ動きを考えない限り難しい。相田 (1981)¹⁷⁾は、宝永地震時の津波よりも遙かに高い八丈島の津波 (図 15) を説明するに、房総沖の相模トラフ沿いと伊豆・小笠原・小笠原海溝沿いに波源域を置いた、特殊な波源モデルも検討しているが、こうした極端なモデルを用いても八丈島の津波は 15m に届かず、20m の津波はとうてい説明できない。

(a) 1707年宝永地震



(b) 1605年慶長地震

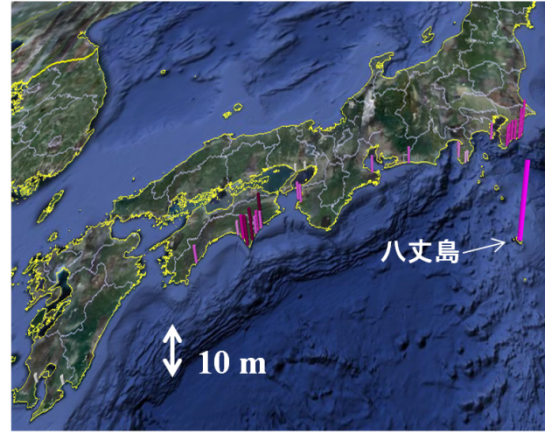


図 15 古文書等記録に基づく (a) 宝永地震による津波高と (b) 慶長地震による津波高の比較。

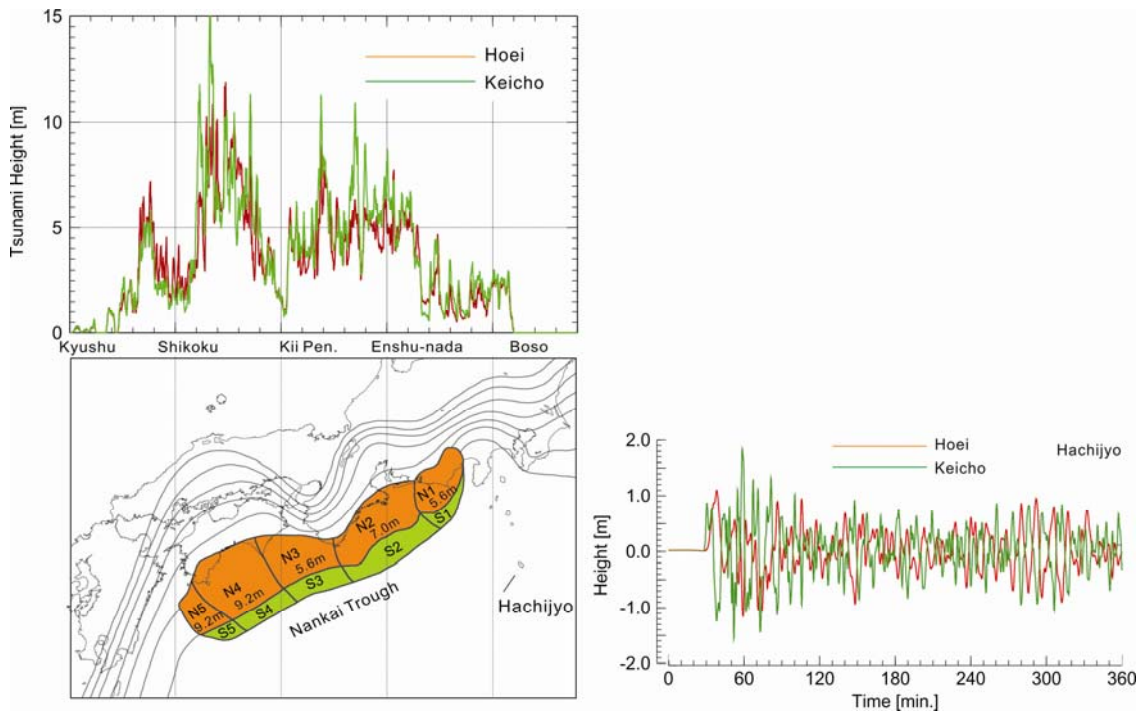


図 16

数値シミュレーションに基づく、宝永地震と慶長地震の津波高の比較。

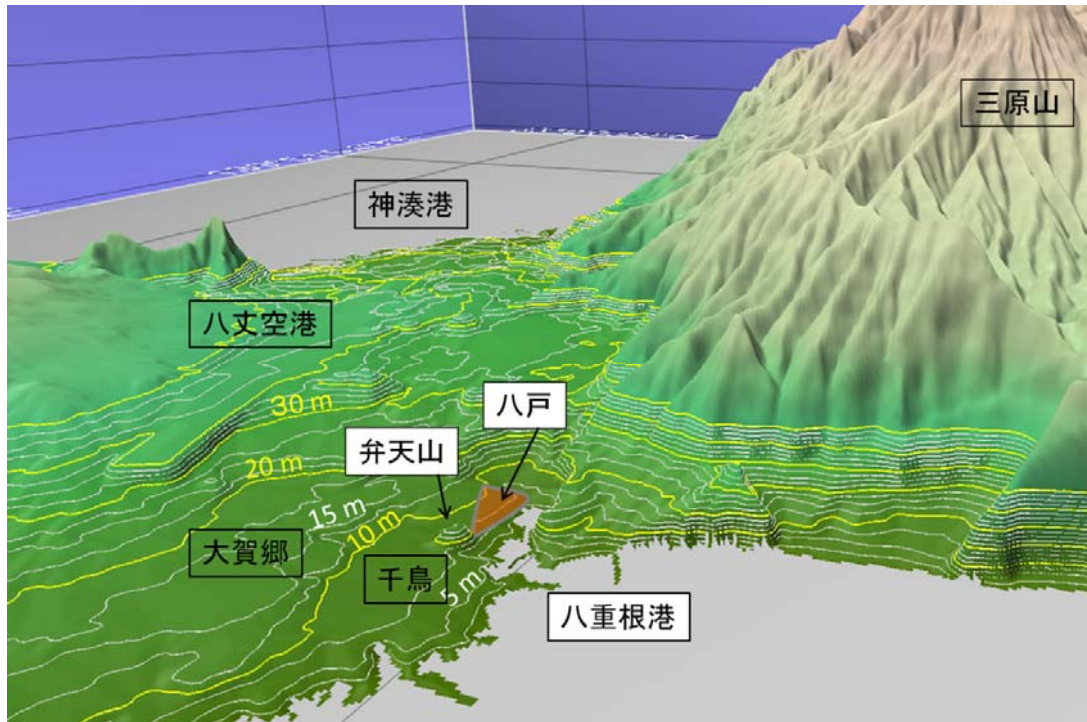


図 17 島の西部の拡大図と主要な地名。国土地理院 10m 数値地図より作製、標高コンターは 2.5 m。図上が東、図下が西を表す。

●海嘯

○八丈年代記云、慶長九年甲辰十二月六日津浪アガリテ
 ヤツガ里ノ村ノ下残ラス失フ嶋ノ田地多ク損失御年貢
 多引ル

○八丈嶋日記云、延宝五丁巳年九月九日ノ夜津浪打谷ガ
 里半迄浪入当嶋漁舟嶋中ニ而十三艘波ニトラル、
 青ヶ嶋舟波ニ被取水手一人死

○元禄十六癸未年十一月廿二日ノ夜八ツ時大地震一時ホ
 ドユリタテ方モ知レス大キナルナリモノ致シ其上大波
 打揚ケ谷トケ原半分稻宮山弓手馬手打払ヒ蒔附タル麦
 芋アシタ損亡ス、此節御蔵役道具屋敷石垣共ニ引払当

四〇九

嶋漁舟諸道具引払三峯村榎立村中之郷ニテモ漁舟引払
 末吉村小嶋エハ波強ク揚ス漁舟残ル
 中之郷ニテ女一人ニ波ニ取ル

○古寛集云、宝永五戊子年十月四日津浪揚ル当嶋ニテハ
 ヨタ少入ル末吉村塩間エ浪ヨホドアガル御国本豆州下
 田上ミ国ニハ大分浪アガリ人民家蔵引払其上大地震人

○奥山日記云、延享四丁卯年大賀郷漁舟多ク津浪ニ払ハ
 ル

○嘉永七甲寅年十一月五日津浪ニ似タルコトアリ国地土
 州紀州志州大嶋等ノ文字アル家財八丈嶋漂着ス

図 18 八丈実記第 6 卷（活字版、八丈実記刊行会、緑地社）における津波（海嘯）の記述。



写真1 南海トラフ地震や関東地震においてたびたび津波が来襲した「八戸の下」(現八重根漁港)。



写真2 大賀郷から八戸、弁天山（指さし方向の小山）の方位を見る。

b) 『八丈実記』に記述された海嘯（津波）と八丈島の津波高の解釈

八丈島の津波高の議論のもととなっている『八丈実記』は、近藤富蔵が八丈島に流罪中の1848～1861年に、島内に存在する諸記録をもとに編纂したものである。原本は東京都公文書館に所蔵されており、活字本が八丈実記刊行会により7巻本として刊行¹⁸⁾され、その第6巻第7編「天変地災諸病」に、慶長地震（1605年）、延宝房総沖地震（1677年）、元禄関東地震（1703年）、宝永地震（1707年）などによる強い揺れと海嘯（津波）の記録や伝承がまとめられている。『八丈実

記』には、島の西側海岸に近く、当時の島の人口の多くが集まる、八戸（谷ヶ里、八トヶ原）の津波被害が詳細に記されており（図 18）、その記述から津波の規模と被害を表 2 のように読み取ることができる。

地震	津波に関する記述（解釈）
1605 年慶長地震	谷ヶ里の村の下が残らず打ち払われた。島の田地も多く損失し、大幅な年貢の引き下げがあった。
1677 年延宝房総沖地震	谷ヶ里の半ばまで波が入り、島の 13 艘の船が波に取られた。
1703 年元禄関東地震	大波打ち上げ八トヶ原の半分、稲宮山（今の弁天山）の左右を打ち払って、蒔きつけた麦・芋・あしたばが全滅した。御蔵役の道具が、屋敷・石垣ともに引き払われ、島の漁船が流された。
1707 年宝永地震	ヨダ（津波）が少し入った。末吉村（八丈島の南部）へ波がよほど（激しく）揚がった。

表 2 八丈実記に記載された津波被害の記述の解釈。

こうして、4つの地震の津波被害の記述の比較から、慶長地震における八丈島の津波は元禄関東地震による津波よりも低く、八戸の集落までは到達していなかった可能性が高い。慶長地震の津波は、「谷ヶ里の村の下が残らず打ち払われた」とあるように、八戸集落の下、現在の八重根港と、海岸を掘り込んで作られた八重根漁港の付近までにとどまり、海拔 8~10m の高台にある八戸集落までは浸水していない（図 17）。宇佐美（2003）¹⁹は八丈島の津波被害の様子を「谷ヶ里の家残らず流失し」とあるが、『八丈実記』の「谷ヶ里の下残らず流失し」の転載の誤りであろう。したがって、山本（1975）¹⁶や渡辺（1998）¹⁷が以前より指摘しているように、慶長地震の津波高は、島の西側海岸（現在の八重根港付近、八戸の集落の下付近）では 10m には達せず、最大で 7~8m 以下と考えるのが適当である。

なお、延宝房総沖地震と元禄関東地震では、八戸の集落が津波で浸水している。『八丈実記』の記述によれば、八トヶ原（現在の八戸）の半分、稲宮山（写真 2；現在の弁天山；すそ野の標高 10m）の左右を打ち払って津波が来襲したことから、このときの津波は 10m 以上であっても不自然ではない。おそらく、羽鳥（1975）¹³に述べられた八丈島での慶長地震の津波は、元禄関東地震の津波と混同した可能性がある。

慶長地震による津波被害が島の西側海岸に限定されることも、津波源の位置が島の東側の相模トラフではなかった可能性を支持する。ただし、当時は東側海岸に集落がなかったことや、また島周りを回折する津波の特性により、たとえ島の東側から到来する津波であっても、島の西側海岸の方が、津波が高くなる可能性も考えられることから、今後、島の地形を詳細にモデル化した津波シミュレーションによる精査が必要である。

(c) 結論ならびに今後の課題

今年度の研究では、本プロジェクト研究で H22 年度に示した南海トラフ連動型巨大地震のシナリオに沿って、連動による地震動と地殻変動、そして津波を地球シミュレータを用いた大規模・高分解能シミュレーションにより評価し、東海・東南海・南海地震（あるいは、東海地震（東南海地震を含む）と南海地震）の単独発生と、3つの地震の同時発生による地震動特性を詳細に検討した。また、2011年3月11日の東北地方太平洋沖の発生を受け、津波データ解析から明らかになった従来の海溝型地震の連動に加え、さらに津波地震の大連動という新たな連動シナリオの知見を取り入れ、南海トラフで同様の連動シナリオに基づき地震動と津波評価を行った。また、H22年度に継続して、南海トラフ地震の連動性評価研究の鍵を握る、1605年慶長地震（津波地震）の津波生成過程に関して、研究を継続し、これまで10～20mの津波が到来したと考えられてきた八丈島の津波を古文書の再解釈と現地調査から精査した。主要な研究成果は以下のとおりである。

(1) 東海、東南海、南海地震の連動発生に伴い、強震域は拡大するが、各地の地震動の強さは個々の地震の単独発生を越えることはない。これは、周期1～2秒程度以下の短周期地震動は波長が短く、各震源域から放射される地震動は互いに無相関で位相はランダムであることから、各震源域から放射された地震動が干渉して震幅が大きくなるためである。ただし、連動発生により震源域が拡大すると、各地の地震動の継続時間が増大する影響は大きい。連動型巨大地震による、都市の多様な建造物の被害を正しく評価するためには、各地の震度や地震動の強度だけでなく、揺れの継続時間など、地震動の性質を良く評価することが必要である。

(2) 東北地方太平洋沖地震により、これまで考えてきた海溝型地震の連動に加え、さらに津波地震も同時に発生する「大連動」という新たな連動型巨大地震のシナリオが提示された。南海トラフでは、従来の東海・東南海・南海地震の3連動地震シナリオに加え、さらに、津波地震であった1605年慶長地震の同時発生を考える必要がある。大連動により、房総から九州の太平洋岸の津波高が従来の3連動地震想よりも1.5～2倍高くなる恐れがある。いっぽう、慶長地震の、トラフ軸に沿った細長い震源域からは短波長の津波が生成されるため、こうした短波長津波は大阪湾、伊勢湾、瀬戸内海などの湾や内海で強く減衰し、波高は高くない。

(3) 1605年慶長地震において八丈島で10～20mの大津波が到来した可能性が議論されていたが、八丈島の津波の古文書（八丈実記）の記述再点検と現地調査から、これまでの議論は史料の誤認によるものであり、慶長地震による八丈島の津波はせいぜい7～8m程度以下であったことが確実となった。

以上、本研究により得られた成果をサブプロジェクト①の地震観測および地震発生サイクルシミュレーション研究の担当者と共有し、南海トラフ地震の連動性に関する今後の方向性に関して意見交換をはかると共に、サブプロジェクト②の研究者と協力して、大連動シナリオに基づく地震動と津波の特性の明確化と、津波遡上と沿岸部の浸水に与える影響および、地域毎の災害対応や復興・復旧施策の検討を進めた。

(d) 引用文献

- 1) Furumura, T., K. Imai, and T. Maeda, A revised tsunami source model for the 1707 Hiei earthquake and simulation of tsunami inundation of Ryujin Lake, Kyushu, Japan. ,

- J. Geophys. Res., v116, B02308, doi:10.1029/2010JB007918, 2011.
- 2) 地震ハザードステーション J-SHIS <http://www.j-shis.bosai.go.jp/>
 - 3) 東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ <http://www.coastal.jp/ttjt/>
 - 4) Maeda, T., T. Furumura, S. Sakai, and M. Shinohara, Significant slip on shallow portion of the fault to develop significant tsunami of the 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake, Earth Planet and Science, Earth Planets Space, 63, doi:10.5047/eps.2011.06.005, 2011.
 - 5) Fujii, Y, K. Satake, S. Sakai, M. Shinohara, and T. Kanazawa, Tsunami source of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, Earth Planets Space, 63, 815-820, 2011.
 - 6) 気象庁 (2011) 気象業務はいま、特集 1 平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震 <http://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/hakusho/2011/HN2011sp1.pdf>
 - 7) Lay, T., Y. Yamazaki, C. J. Ammon, K.-Fai Cheung, and H. Kanamori, The 2011 M_w 9.0 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake: Comparison of deep-water tsunami signals with finite-fault rupture model predictions Earth Planets Space, Vol. 63 (No. 7), pp. 797-801, 2011.
 - 8) Tanioka, Y., Seno T., Sediment effect on tsunami generation of the 1896 Sanriku tsunami earthquake, Geophysical Research Letters 28, 3389-3392. doi:10.1029/2001GL013149, 2001.
 - 9) 羽鳥 徳太郎、1677 年延宝房総沖津波の波高偏差、歴史地震第 19、1-7、2003.
 - 10) Ide, S., A. Baltay, and G. C. Beroza (2011), Shallow Dynamic Overshoot and Energetic Deep Rupture in the 2011 M_w 9.0 Tohoku-Oki Earthquake, Science, 332, 1426-1429, doi:10.1126/science.1207020, 2011.
 - 11) 石橋克彦：1605（慶長 9）年東海・南海津波地震の地学的意義，日本地震学会昭和 58 年度秋季大会講演予稿集，pp.96，1983.
 - 12) 古村孝志・前田拓人・今井健太郎、津波堆積物が語る、南海トラフ巨大地震の実像、岩波科学、Vol182, 2012.
 - 13) 羽鳥徳太郎、明応 7 年・慶長 9 年の房総および東南海道大津波の波源、地震研究所彙報、50 巻、171-185、1975.
 - 14) 渡辺偉夫、日本被害津波総覧【第 2 版】東京大学出版会、1988.
 - 15) Seno, T., Tsunami earthquakes as transient phenomena, Geophys. Res. Lett., 29, 1419, doi:10.1029/2002GL014868, 2002.
 - 16) 山本武夫、慶長 9 年 (1605 年) 十二月十六日地震について、古地震研究、第 5 章第 2 節各地の状況、萩原尊禮編著、東京大学出版会、1995.
 - 17) 相田 勇、東海道沖におこった歴史津波の数値実験、地震研究所彙報、56 巻、367-390、1981.
 - 18) 八丈実記刊行会、八丈実記、第六巻、緑地社、1972.
 - 19) 宇佐美龍夫、新編日本被害地震総覧、東京大学出版会、2003.

(e) 成果の論文発表・口頭発表等

学会等における口頭・ポスター発表

発表成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表場所 （学会等名）	発表時期	国際・国内の別
東北地方太平洋沖地震から考える 南海トラフ地震「4連動」シナリオ（口頭）	古村 孝志・前田拓人	2011年日本地震学会秋季大会，静岡県	2011年11月13日	国内
Visualization of Strong Ground Motion and Tsunami due to the Destructive Mw9.0 Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake in 2011（口頭）	T. Furumura, T. Maeda, S. Noguchi, S. Takemura, S. Padhy, T. Takemoto, and K. Iwai	2011 Asia Oceania Geosciences Society, Taipei	2011年8月11日	国際
Reevaluation of the Nankai-Trough earthquake linkage scenario and computer simulation of expected strong ground motion and tsunami（口頭）	T. Furumura	2012 KANAME International Workshop, Kochi	2012年2月29日	国際

学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載論文（論文題目）	発表者氏名	発表場所 （雑誌等名）	発表時期	国際・国内の別
A revised tsunami source model for the 1707 Hiei earthquake and simulation of tsunami inundation of Ryujin Lake, Kyushu, Japan	Furumura, T., K. Imai, and T. Maeda	J. Geophys. Res., 116, doi:10.1029/2010JB007918, 2011	2011年3月	国際
千年単位の地震史が示す東海・東南海・南海地震の大連動の確実性	古村孝志	講談社日本の論点2012	2012年1月	国内
津波堆積物が語る、南海トラフ巨大地震の実像	古村孝志・前田拓人・今井健太郎	岩波科学 Vo182, No2	2012年2月	国内

マスコミ等における報道・掲載

報道・掲載された成果 (記事タイトル)	対応者氏名	報道・掲載機関 (新聞名・TV名)	発表時期	国際・国内の別
3連動地震で想定を越える津波	古村孝志・前田拓人	NHK ニュースウオッチ9	2011年6月15日	国内
巨大津波が都市を襲う～東海 東南海 南海地震	古村孝志	NHK スペシャル	2011年9月1日	国内
東日本大震災から考える、次の東海・東南海・南海地震への備え」	古村孝志	NHK 視点・論点	2011年9月2日	国内
巨大津波の謎を探る～解き明かされる新メカニズム～	古村孝志・前田拓人	NHKサイエンスゼロ	2011年9月10日	国内
予測できなかった超巨大地震～苦悩する地震学者たち～	古村孝志	NHK クローズアップ現代	2012年1月10日	国内

(f) 特許出願, ソフトウェア開発, 仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

(3) 平成24年度業務計画案

東北地方太平洋沖地震の強震動と津波の知見を取り入れた、南海トラフ連動型地震で最悪となる強震動と津波発生シナリオを再評価する。南海トラフで発生した津波地震として知られている慶長地震の発生メカニズムについての検討を進めるとともに、東海・東南海・南海地震との連動発生の可能性およびこれによる強震動と津波を高精度に予測する。連動型巨大地震による強震動の威力を社会に分かりやすい形で伝えるために、強震動と津波発生伝播シミュレーションの3次元可視化動画を作成する。過去の南海トラフ地震および、連動・単独発生シナリオによる強震動分布の違い、地震発生から強震動と津波の到達までの時間的猶予、津波の長時間の継続、地震後の平野の大きく長い揺れの特徴について、巨大地震による強震動と津波の特徴が直感的に理解できる効果的な可視化教材を作成する。国内外の学会等において、今までに得た研究成果を発表し、新たな専門的知見を得、成果の取りまとめに反映させる。

3.2. 津波災害の高精度予測に基づく人的被害軽減戦略の策定

目次

(1) 業務の内容

- (a) 業務題目
- (b) 担当者
- (c) 業務の目的
- (d) 5ヵ年の年次実施計画
- (e) 平成23年度業務目的

(2) 平成23年度の成果

- (a) 業務の要約
- (b) 業務の実施方法
 - 1) 合成地形モデルによる津波氾濫解析の精度に関する基礎的検討
 - 2) 浅部滑りを考慮した南海トラフ巨大地震による津波浸水予測
 - 3) 津波による被害発生基準に関する検討
 - 4) 津波氾濫による人的・物的被害予測を考慮したハザードマップの提案
 - 5) 防災情報の内容・表示方法の改善点に関する検討
- (c) 業務の成果
 - 1) 地形分解能に依存した津波氾濫解析の精度に関する基礎的検討
 - 2) 浅部滑りを考慮した南海トラフ巨大地震による津波浸水予測
 - 3) 津波による被害発生基準に関する検討
 - 4) 津波氾濫による人的・物的被害予測を考慮したハザードマップの提案
 - 5) 防災情報の内容・表示方法の改善点に関する検討
- (d) 結論ならびに今後の課題
- (e) 引用文献
- (f) 成果の論文発表・口頭発表
- (g) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

(3) 平成24年度業務計画

(1) 業務の内容

(a) 業務題目

津波災害の高精度予測に基づく人的被害軽減戦略の策定

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名	メールアドレス
東北大学大学院工学 研究科附属災害制御 研究センター	教授	今村文彦	imamura@tsunami2.civil.tohoku.ac.jp
東北大学大学院工学 研究科附属災害制御 研究センター	准教授	越村俊一	
東北大学大学院工学 研究科附属災害制御 研究センター	助教	今井健太郎	

(c) 業務の目的

本サブテーマでは、地震動サブテーマの強震動・津波シミュレーションから得られた地震・津波シナリオをもとに、河川を含む沿岸域での津波の遡上過程と浸水を高精度に予測する。ここでは、詳細な地形特性、陸上での土地利用、潮汐、地球温暖化による海面変動など、現在および将来に予想される現実的な環境下での津波遡上を検討する。これらの結果を利用して、津波被害の予測と人的被害の軽減のための情報を作成し、被害形態も考慮した沿岸部でのハザードマップ作成の検討を行う。ここで作成するハザードマップでは、大地震の強震動による被害、大津波の到来、そして内陸部への浸水が起きる過程に対して時間を追って示すとともに、津波遡上と浸水を、高分解能航空写真や重ねたりGISを用いるなどの工夫により、大地震による津波の脅威を良く理解できるようリアルなアニメーションの作成を目指す。以上の結果を基盤とした、ハザード・リスクや復旧・復興のための情報マップを活用した人的被害軽減戦略の作成プログラムを提案する。

(d) 5カ年の年次実施計画

- 1) 平成20年度：中央防災会議などが整備したデータに加え、国土地理院のデータ、各自治体（尾鷲市、鳥羽市、高知市）での整備データを収集・整理し、連成計算コードの開発と計算条件データベースの整備を進めた。沿岸域を細かな（最小50m）メッシュにて計算できるデータの整備と計算コードを開発し、試計算を行った。
- 2) 平成21年度：「サブプロジェクト①(2)稠密海底地震観測」等から得られた、海底構造（地滑りポテンシャル情報）や海底地形についての詳細計測結果を用いて、局所的な津波への影響を評

価し、解析に必要な空間分解能などについての基礎検討を行う。また、潮汐や地球温暖化による海面上昇などが、津波伝播過程に与える定量的な評価も実施する。特に、海水面の上昇による位置エネルギーの増加や、浅海域でのエネルギー減衰効果の低下に着目し、津波の影響や被害の評価をする。得られた結果は、シナリオ作成のための計算（初期、境界）条件の設定に用いられる。さらに、連動タイプの違いによる、津波の波高重ね合わせによる波高の上昇や、連続して繰り返して押し寄せる津波が沿岸に与える影響変化について検討する。

3) 平成22年度：サブテーマ「(1)連動型巨大地震による強震動の高精度予測」から得られた地震・津波シナリオをもとに、沿岸の津波波高、陸域での浸水や河川への遡上を高精度に予測する。予測内容は、到達時間や浸水範囲に加えて、最大流速、最大流体力、さらに、時系列の海面変化などの情報をハザード情報としてアウトプットする。1944年東南海地震、1946年南海地震、および2004年紀伊半島南東沖地震などの津波遡上シミュレーションと観測データとの比較から検証する。サブプロジェクト①の「稠密海底地震観測」の構造調査の結果を受け、海底地滑りなどの可能性が高い場所について、強震動による海底斜面の崩壊による津波発生機構も取り入れた津波予測を行う。

4) 平成23年度：得られた津波ハザード情報を基に、人的・物的・交通被害などの津波被害を予測する。季節や時間帯などの発生時間帯を考慮し、それぞれの地域で固有な被害パターンの有無を検討する。これらの情報は地形図・土地利用図・衛星画像などに重ねハザード・リスクマップ作成の基礎とする。以上の成果を利用して、従来のハザードマップ作成手順の中で、評価手法・浸水予測区域設定の基準、防災情報の内容・表示、マップの周知・利用・活用などの項目について、改善すべき内容を再検討する。

5) 平成24年度：新しいリスク手法に基づいた地域でのマップを作成し、対象地域での防災力・対応力などの情報を重ね、地震発生直後から復旧・復興期までの時間要素を取り入れた復旧・復興マップを作成する。社会一般に連動型巨大地震による津波の影響力を分かりやすく伝えるために、津波遡上と浸水を、高分解能航空写真やGIS地図に重ね書きした、リアルなアニメーションを作成する。最後に、ハザード・リスク・復旧復興のマップを活用した人的被害軽減戦略の作成プログラムを提案する。

(e) 平成23年度業務目的

モデル地域において、高精度な津波氾濫シミュレーションから得られた津波ハザード情報を基に、人的・物的・交通被害などの津波被害を予測する。季節や時間帯などの発生時間帯を考慮し、それぞれの地域で固有な被害パターンの有無を検討する。これらの情報は地形図・土地利用図・衛星画像などに重ねハザード・リスクマップ作成の基礎とする。以上の成果を利用して、従来のハザードマップ作成手順の中で、評価手法・浸水予測区域設定の基準、防災情報の内容・表示、マップの周知・利用・活用などの項目について、改善すべき内容を再検討する。

(2) 平成23年度の成果

(a) 業務の要約

モデル地域において、高精度な津波氾濫シミュレーションから得られた津波ハザード情報を基に、人的・物的・交通被害などの津波被害やその流況を高精度に予測するための手法として提案した合成地形モデルの精度検証を数値実験により行った。季節や時間帯などの発生時間帯を考慮し、固有な被害パターンについて、過去の事例や、2011年東北地方太平洋沖地震津波の被害実態を踏まえた検討を行った。さらに、高知市を対象として、南海トラフ巨大地震の最悪シナリオによる津波氾濫解析を行い、津波リスクの評価や、地形図・土地利用図・衛星画像などに重ねハザード・リスクマップの試作を行った。以上の成果を利用して、従来のハザードマップ作成手順の中で、評価手法・浸水予測区域設定の基準、防災情報の内容・表示、マップの4周知・利用・活用などの項目について、改善すべき内容を再検討した。

(b) 業務の実施方法

1) 合成地形モデルによる津波氾濫解析の精度に関する基礎的検討

平成22年度に提案した合成地形モデルを用いた氾濫解析手法の精度について、数値実験を用いて検証を行った。数値モデルは非線形長波モデルを用い、対象とする構造物群は、単一幅の家屋群とした場合と、大小様々な構造物を配置した場合とする。空間格子間隔が50/27 m (=1.851851m)での解析結果を真値として、50/9 m (=5.5555m)の解析に対して、最適な精度を得るための諸条件について検討を行う。

2) 浅部滑りを考慮した南海トラフ巨大地震による津波浸水予測

2011年東北太平洋沖地震では、プレート境界における浅部の大きな滑りが巨大な津波を励起し、東北地方太平洋沖の広域にわたり、激甚津波被害をもたらした。南海トラフ巨大地震においても、最悪の津波災害シナリオを考える上で、浅部の大きな滑りを考慮した津波浸水予測が必要である。ここでは、モデル地域である高知市を対象として、従来の1707年宝永地震モデルに南海トラフ沿いに想定される浅部の大きな滑りを考慮した津波氾濫シミュレーションを行い、浅部滑りの影響を検討する。

3) 津波による被害発生基準に関する検討

過去の事例から得られた津波被害の発生基準のレビューを行い、その発生基準としては、木造構造物の全壊・流出被害、人的被害、自動車被害、船舶被害について、まとめを行う。木造構造物の全壊・流出被害、人的被害については、モデル地域（高知市）の地形条件や市街地の成り立ちなどの共通性が高いことから、宮城県石巻市中心市街地における木造構造物の全壊・流出被害、人的被害のデータを参照する。季節や時間帯については、季節の変動による影響については、詳細な情報を入手することができなかつたため、時間帯による津波暴露人口についてのみ検討を行う。

4) 津波氾濫による人的・物的被害予測を考慮したハザードマップの提案

モデル地域である高知市を対象として、津波による各種被害発生基準を考慮したハザードマップを試作する。地震モデルは1707年宝永地震モデルを基本として、2011年東北太平洋沖地震の断層破壊領域を参考とした断層浅部の大きな滑りも考慮する。

5) 防災情報の内容・表示方法の改善点に関する検討

モデル地域（高知市）の地形条件や市街地の成り立ちなどの共通性が高い宮城県石巻市中心市街地における 2011 年東北太平洋沖地震の津波被害と自治体における発災からの行動に関するヒヤリング調査を行い、その被害実態をまとめる。さらにその被害実態や、モデル地区である高知市にも津波対策に関するヒヤリングを行い、津波のハザード・リスク情報として、ハザードマップ上に記すべき適切な情報提供方法について再検討を行う。

(c) 業務の成果

1) 地形分解能に依存した津波氾濫解析の精度に関する基礎的検討

市街地における津波氾濫解析手法は、浅水方程式を基礎とした構造格子もしくは非構造格子による解析が多く用いられている。非構造格子を用いる場合、土地利用に応じて空間格子サイズを選択出来るため自由度は高いが、格子生成についてはやや実用性に欠ける。現在、津波氾濫解析に用いられる陸上地形の分解能は 5 m 格子程度が一般的になりつつある。平成 23 年度で実施した市街地の構造物を起伏地形と相当粗度係数として取り扱う合成地形モデルによる津波氾濫シミュレーションにより、構造物を回り込むような流況や、街路沿いに津波が氾濫する様子をシミュレートできるようになったが、その精度に関する検討については行われていなかった。そこで本節では、合成地形モデルの適用性とその精度について数値実験から検証を行う。

i) 数値実験における支配方程式と地形条件

数値実験における支配方程式は、従来の非線形長波方程式を用いた。計算空間格子は $\Delta x=50$ m から 50/27 m まで 3 段階で接続し、各空間格子の安定条件を満たすように時間間隔 $\Delta t=0.05$ s とした。50/27 m における解析結果を真値とし、50/9 m における解析結果を評価の対象とした。

地形条件を図 1 に示す。水深 1000 m 地点から、引波初動となる正弦波を入射させた。津波を模した正弦波は、陸棚を模した地形を伝播したのち、陸上に氾濫する。構造物群は汀線から陸側に 200 m、地盤高 1.0 m の位置に配置した。本計算条件においては構造物を地形として扱う場合の空間格子間隔設定条件¹⁾を十分に満たしている。

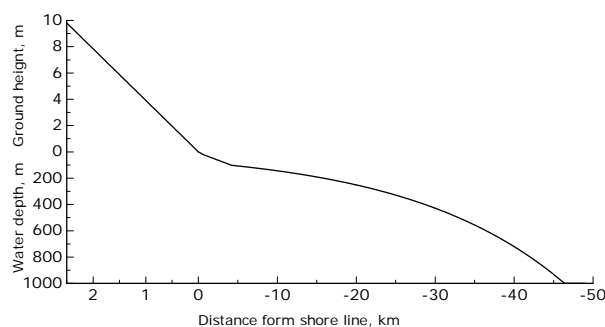


図 1 数値実験に用いた地形条件。家屋群前面は汀線から陸側へ 240 m、地盤高 1.0 m に配置した。

ii) 合成地形モデルにおける構造物の取り扱い

図2に合成地形モデルの概念図を示す。本モデルでは、構造物領域中における空間格子サイズより大きい構造物については、その地盤標高に加えて構造物高さを地形として反映させた。道路部と構造物の境界となる空間格子は、底面摩擦として考慮した。構造物に関する底面摩擦の取り扱いについては、Manning粗度型の底面摩擦で与えることとし、小谷・他²⁾の土地利用条件に応じた粗度係数を与える相当粗度係数として与える方法や構造物の抵抗係数を底面摩擦と等価とする油屋・今村³⁾の合成等価粗度係数になった。

表2に、構造物の取り扱いや入力津波に関する諸条件を示す。Case 0は構造物すべてが起伏地形として取り込める空間分解能(50/27 m)であり、道路幅についても3メッシュ以上含まれる。この解析結果を真値とした。

Case 1については、図2中の赤色部分は起伏地形とし、黄色部分は底面摩擦として取り扱い、その手法は合成等価粗度係数とした。式(1)に合成等価粗度係数 n_{syn} を示す。

$$n_{syn} = \sqrt{\frac{100-\theta}{100}n_0 + \frac{\theta}{100} \frac{C_D}{2gk} D^{4/3}} \quad (1)$$

ここで、 θ は単位計算格子間隔における構造物占有率、 n_0 はManningの底面粗度係数、 k は構造物幅、 g は重力加速度、 D は浸水深、 C_D は構造物の抗力係数であり、既往の実験から3.0とした⁴⁾。本研究において、構造物の k は各流れ方向に垂直となるような面幅を採用した。

Case 2については、図2中の赤色部分は起伏地形とし、黄色部分は底面摩擦として取り扱い、相当粗度の値は中密度における居住区(住宅密集率20~50%)として、水理実験に基づく $n=0.06$ を採用した⁵⁾。

Case 3、4については、図2中の赤色部分についても起伏地形とせず、構造物を底面摩擦と等価となる条件とし、Case 3は合成等価粗度係数、Case 4は相当粗度係数で構造物の影響を与えた。

全ケースともに、構造物を含まないメッシュの底面粗度として、 $n_0=0.025$ を与えた。

図3に構造物群の配置を示す。(a)は市街地部の宅地状況を参考に、単一の正方構造物とし、その1辺は14.8 mとし、街路の幅は11.1 mおよび、5.5 mとした。(b)は沿岸部、特に漁港周辺の状況を参考に、単一の正方構造物(1辺14.8 m)、2種類の長方構造物(陸沖方向に幅13.1 m、長さ53.6 mと、幅62.9 m、長さ27.7 m)の組み合わせとした。また、図3中の●において計算水位を出力し、各ケースの精度検証を行った。

本解析の構造物は堅牢であり、いかなる場合でも破壊は生じないと仮定している。抵抗力の弱い建物の想定しておらず、氾濫流による破壊は考慮していない。今後の課題として、この点を考慮に入れて評価する必要がある。以下は、合成地形モデルを実地形に適用する場合に取り除くことが望ましい建物である。

- ・ 堅牢な壁を持たない上屋の市場
- ・ 堅牢な壁を持たない上屋の倉庫
- ・ 建物基礎構造部からはみ出している屋根部分
- ・ 積み荷が空のコンテナ群
- ・ ビニールハウス

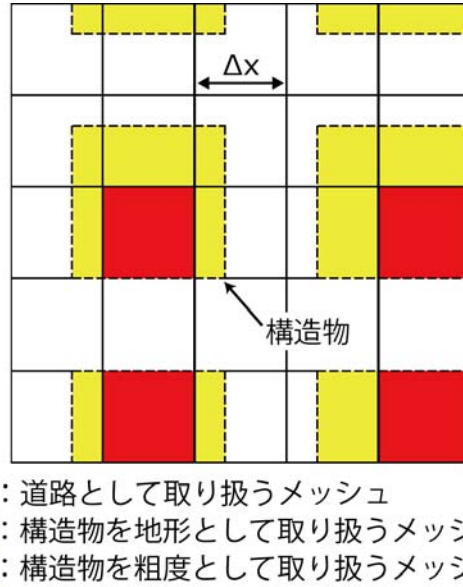
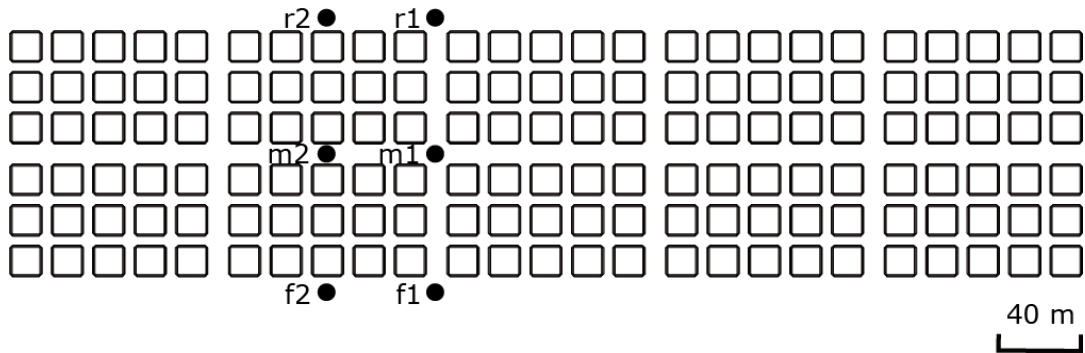


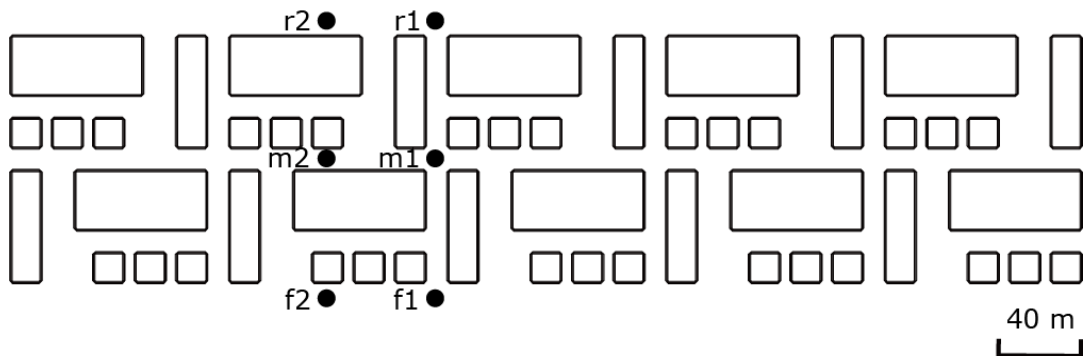
図2 合成地形モデルの概念図。構造物の内、赤色部分は起伏地形として扱い、黄色部分は相当粗度もしくは、合成等価粗度として取り扱う。

表1 各ケースにおける構造物の取り扱いと津波条件

Case	Δx	構造物の取り扱い	諸係数	津波波高	津波周期
0	50/27 m	起伏地形	$n_0=0.025$	4.5, 6, 9 m	20, 30, 40 min
1	50/9 m	起伏地形と合成等価粗度	$n_0=0.025, C_D=3.0$	4.5, 6, 9 m	20, 30, 40 min
2	50/9 m	起伏地形と相当粗度	$n_0=0.025, n=0.06$	4.5, 6, 9 m	20, 30, 40 min
3	50/9 m	合成等価粗度	$n_0=0.025, C_D=3.0$	4.5, 6, 9 m	20, 30, 40 min
4	50/9 m	相当粗度	$n_0=0.025, n=0.06$	4.5, 6, 9 m	20, 30, 40 min



(a) 正方構造物群



(b) 正方構造物と2種類の長方構造物群

図3 構造物群の配置。

iii) 数値実験の解析結果

各ケースにおける妥当性検証については、数値実験による遡上限界と、図 3 中における出力点における浸水深の経時変化から評価を行う。

図 4(a)、(b)に各ケースにおける遡上限界の比較を示す。(a)の場合、Case 0 の遡上限界に比べ、Case 1、3 における構造物群背後の遡上限界距離は短く、やや危険側の結果となっていることがわかる。一方で、Case 2 と 4 では遡上限界距離は若干長く、特に Case 4 においては、Case 0 に比べて 40 m 以上過大評価となっていることがわかる。(b)の場合、Case 1、2、3 においては Case 0 の遡上限界距離とほぼ同程度となるが、Case 4 ではその距離は 50 m 以上の過大評価となることがわかる。遡上限界距離からみると、Case 4 をのぞき、ほぼ同程度といえる。また、合成地形モデルへの適用を考えると、Case 0 に近い遡上限界距離となり、かつ安全側の評価となる Case 2 が適正といえる。また、その他の津波条件でもおおよそ同じ傾向を示した。

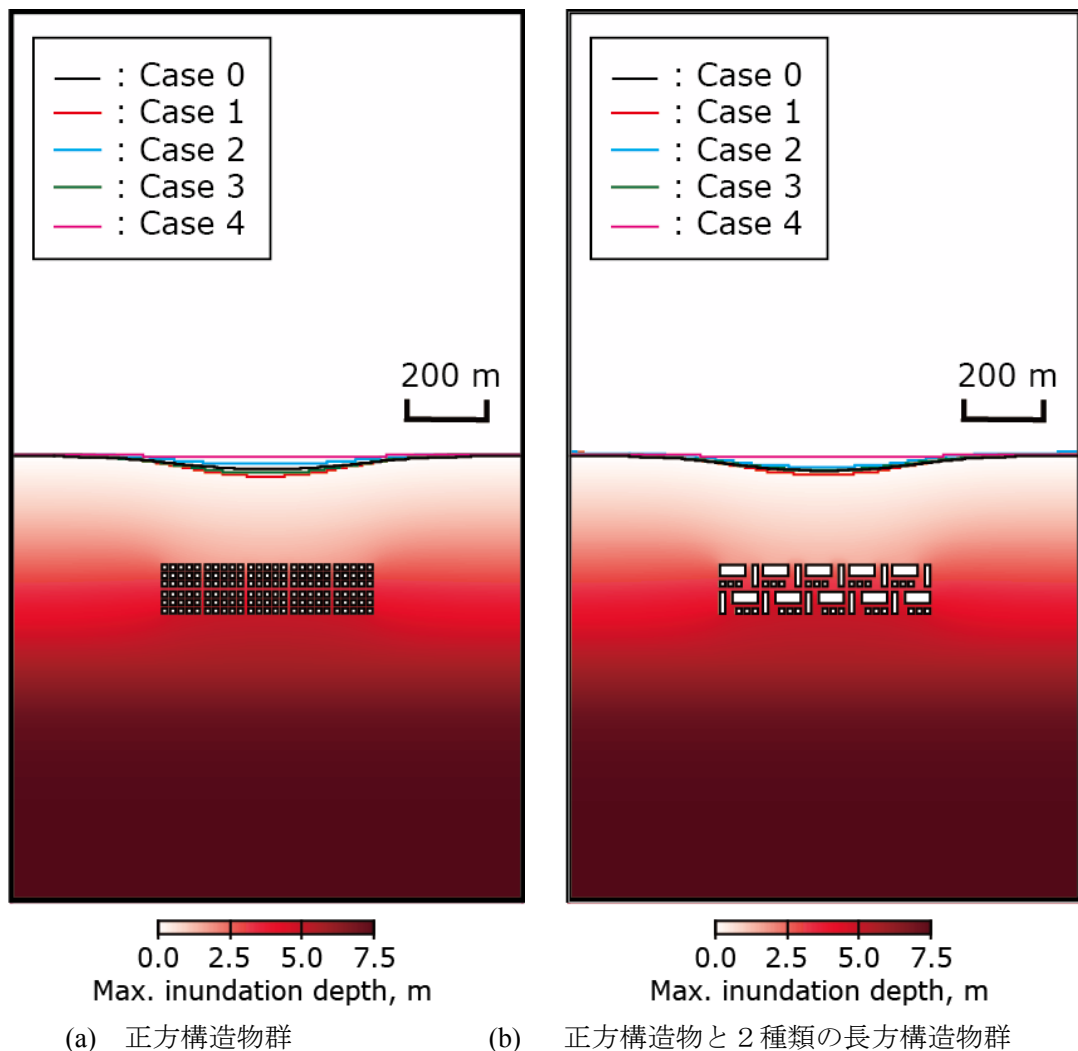


図 4 各ケースにおける最大浸水境界（津波波高 6 m、津波周期 30 分の場合）。最大浸水深については、Case 0 のものを示す。

図5に各出力点における浸水深の経時変化を示す。図は入射津波波高9m、周期20分の場合であり、各ケースともに、ほぼ同様の傾向を示した。各出力点は図3に対応している。図から、構造物前面 (f1、f2) では、いずれのケース、いずれの構造物条件においても、津波の位相に大きな変化はないが、Case 4のみ最大浸水深が若干小さくなっていることがわかる。これは、一様な相当粗度のみ与えているために、構造物から生じる反射の影響が適切に反映されていないことが考えられる。

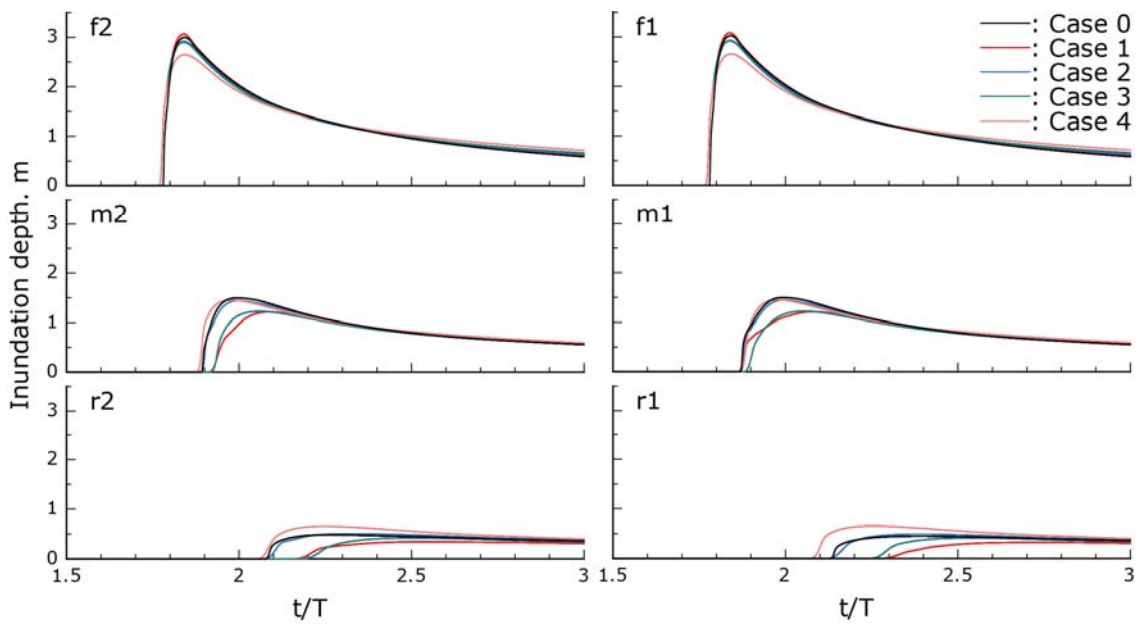
構造物の中腹 (m1、m2) においては、Case 2と4は、Case 0の位相や浸水深はほぼ同程度であるが、Case 1、3においては、津波伝播の位相遅延や浸水深の減衰が確認される。このことは、Case 1、3に用いた合成等価粗度係数による構造物の抵抗が過大となっていることによると考えられる。この原因として、本研究における合成等価粗度係数に用いた C_D は、単独構造物もしくは2列の構造物から算出された値のため、構造物群に適用するには過大評価である可能性や、 k の取り扱いが適切でないことが考えられる。

構造物の背後 (r1、r2) においては、構造物条件に関わらず、構造物群中腹における影響は顕著となり、Case 1、3における津波伝播の位相遅延や浸水深の減衰が大きくなる傾向にある。また、Case 2はCase 0と同位相で浸水深も同程度であることがわかる。Case 4については、Case 0よりも伝播速度は速く、その浸水深も過大となっていることがわかる。

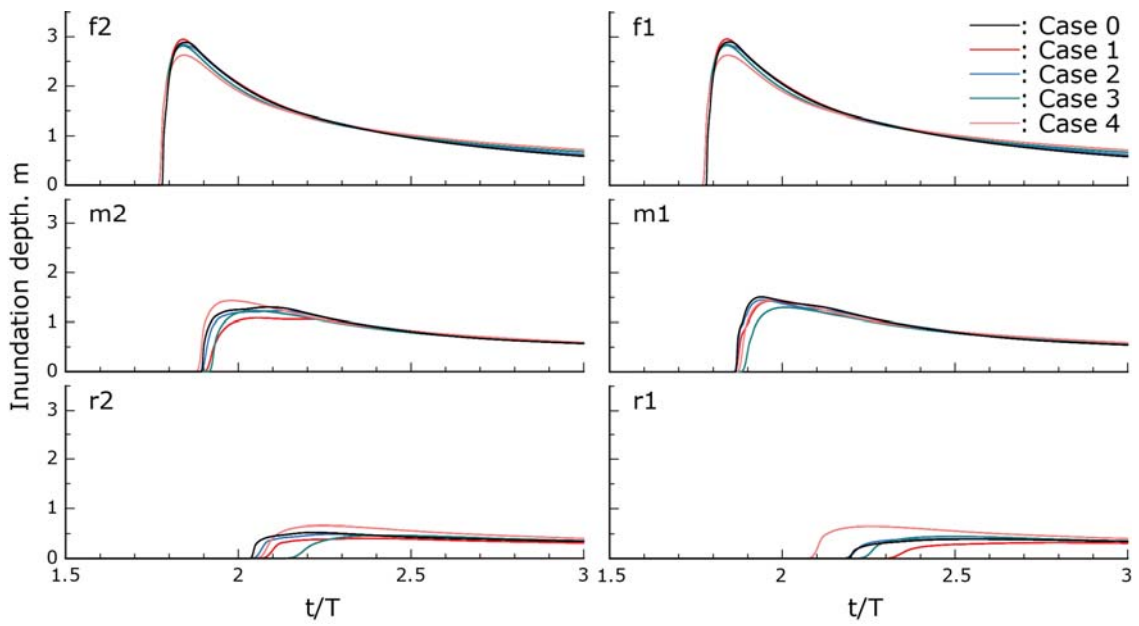
以上の結果をより定量的に示すために、最大誤差指標 Er_{max} を定義し、各ケースにおける解析波形を比較した。 Er_{max} を式(2)に示す。

$$Er_{max} = \left(\frac{|D_i - D_0|}{D_0} \right)_{max} \quad (2)$$

ここで、 D_i は各ケースにおける浸水深、 D_0 はCase 0における D_i と同時刻の浸水深を示す。図6に各ケースにおける Er_{max} を示す。図から、ほとんどの場合でCase 2が最小となることがわかる。以上から、合成地形モデルとしては、構造物群を起伏地形と底面摩擦を相当粗度で表現する方法が最適と考えられる。一方で、合成等価粗度係数は構造物の占有率に応じて合理的に抵抗係数を決定できるため、合成地形モデルに用いる場合の最適な各種係数の決定手法については、今後の検討課題とする。

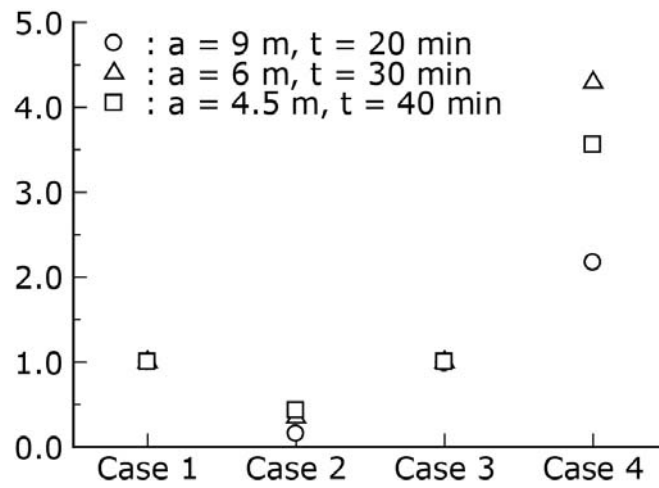


(a) 正方構造物群

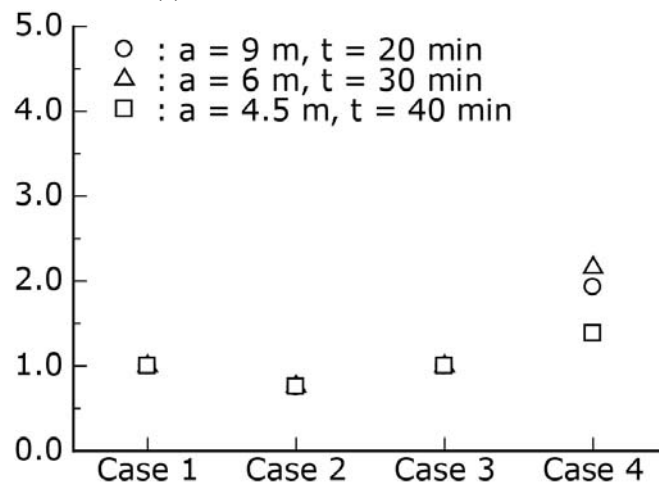


(b) 正方構造物と2種類の長方構造物群

図5 各出力点における浸水深の経時変化（入射津波波高9 m、周期20分）。



(a) 正方構造物群、位置 : r1



(b) 正方構造物と2種類の長方構造物群、位置 : m2

図6 各ケースにおける Er_{\max} の変化

2) 浅部滑りを考慮した南海トラフ巨大地震による津波浸水予測

2011年東北地方太平洋沖地震を受け、南海トラフ巨大地震においても、最悪シナリオとして、浅部滑りを考慮した津波被害予測を行う必要がある。本節では、浅部滑りの影響を強く受けると考えられるモデル地域の高知市を対象とした浅部滑りの影響評価を行う。

i) 津波解析領域と波源モデル

図7に津波伝播解析の対象領域を示す。対象領域はグリッドで囲まれた領域とした。支配方程式は非線形長波方程式を用い、モデル地域における氾濫解析領域としては、高知市のみを対象とし、空間格子間隔を1350 m、450 m、150 m、50 m、50/3 m、50/9 mと段階的に高解像度な地形モデルとなるように変化させ、各領域のCFL条件を満たすように時間間隔を決定した。また、50/9 mの領域では、防潮堤や河川堤防や門扉などを考慮し⁶⁾、構造物を起伏地形と相当粗度で表現する合成地形モデルを用いた。

図8に南海トラフ巨大地震の震源域を示す。滑り量については、1707年宝永地震の値を採用している。1707年宝永地震の震源域は図中のN1からN5である。浅部滑りの震源域はS1からS5である。浅部滑りの影響を評価するために、浅部の有り無しでの場合を検討した。なお、南海トラフ巨大地震の断層モデルの詳細は3.2節を参照されたい。

図9に本研究で用いた地震モデルによる津波波源を示す。ここで、N1からN5においては、2011年東北太平洋沖地震の断層破壊形態⁷⁾を参考に、ライズタイム $\tau=30$ s、S1からS5においては $\tau=120$ sとした。本解析においては、浅部滑りを考慮することにより、より沖合まで津波波源が広がることや、深部滑りによる沖側の海面上昇が、浅部滑りによる陸側の沈降により抑制されることがわかる。

ii) 浅部滑りが来襲する津波へ及ぼす影響（最大浸水深、流速）

図10に浅部滑りの有無を考慮した高知県沿岸の津波高分布と高知市における津波最大浸水深分布の比較を示す。浅部滑りを考慮することにより、高知県沿岸部では2倍以上の津波高が来襲する場合もあることがわかる。また、高知市桂浜などの高知市沿岸付近ではかなり大きな浸水深となることや、浦戸湾湾口の影響により高知市中心市街地に来襲する津波としては、浅部滑りの影響はないどころか、逆にその浸水深は減少していることがわかる。

図11に浅部滑りの有無を考慮した高知市周辺における津波最大流速分布の比較を示す。最大流速についても、浅部滑りがある場合には、沿岸部での最大流速も増大するが、浦戸湾内では、深部のみに比べて低減していることがわかる。図12には、浅部滑りの有無による最大浸水深、最大流速の差分を示す。高知市市街地では、浅部滑りにより最大浸水深は1 m程度減少することや、高知市の沿岸部では、流速は3~4 m/s程度増加する一方で、浦戸湾内では、同程度か、それ以下となっていることがわかる。これは、深部(N1~N5)で発生する津波波源の沖側隆起部が浅部滑り(S1~S5)によって発生する津波波源の陸側沈降部と重なりあうために、深部滑りで生じる初期水位が低減することや、浅部滑りの津波よりも浅部滑りによる津波は短波長となるため、入口の狭い浦戸湾湾口がフィルターとなったために、その流入を抑制したと考えられる。

浅部滑りによる詳細な津波の挙動をみるために、浦戸湾湾口付近における各点で津波の水位と流速を出力した。図13に津波波形の各出力点分布、図14に各出力点における津波波形を示す。また、図14には参考のため、Furumura et al.⁸⁾による矩形断層による宝永地震モデル

の波形も併記している。浅部滑りの影響は特に長浜や高知新港西側・東側では浅部滑りの影響により短周期で急激に津波高の増加が確認することができる。一方で、浦戸大橋や浦戸湾口では波形位相の変化は確認出来るが、海側で見られるような、シャープな波形は確認できない。これは湾口部の水深や形状による比較的短周期な津波に対するフィルター効果のためと考えられる。浅部滑りを考慮した場合には、浦戸湾内において最大津波高はむしろ減少している様子が確認でき、またその周期については、浅部滑り無しの場合とほぼ同様であることもわかる。

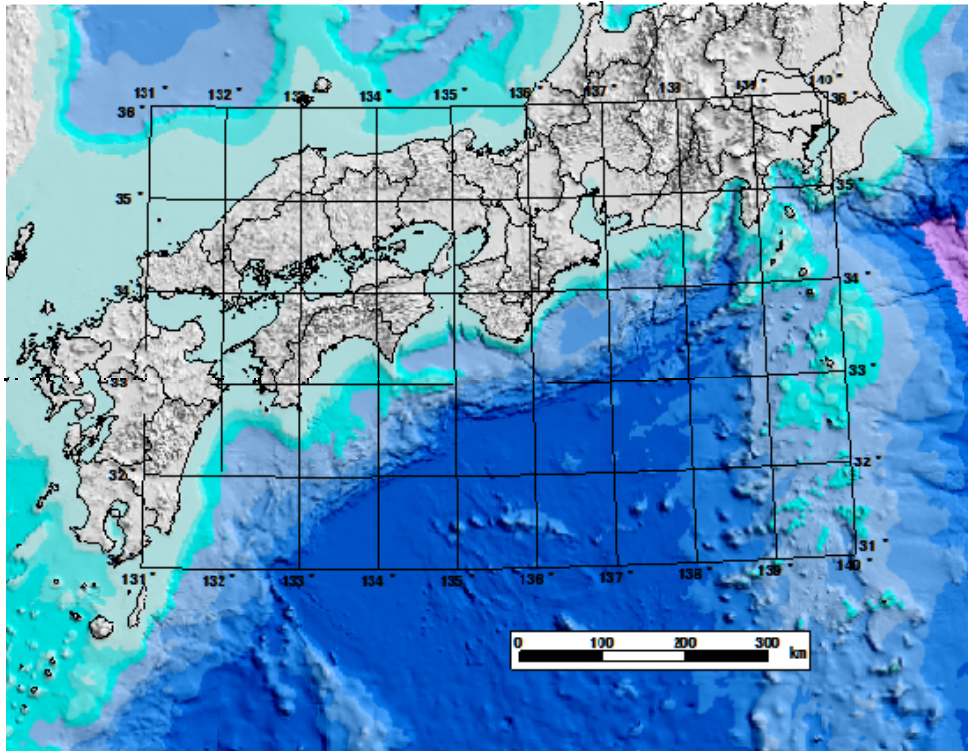


図7 津波伝播解析の対象領域。

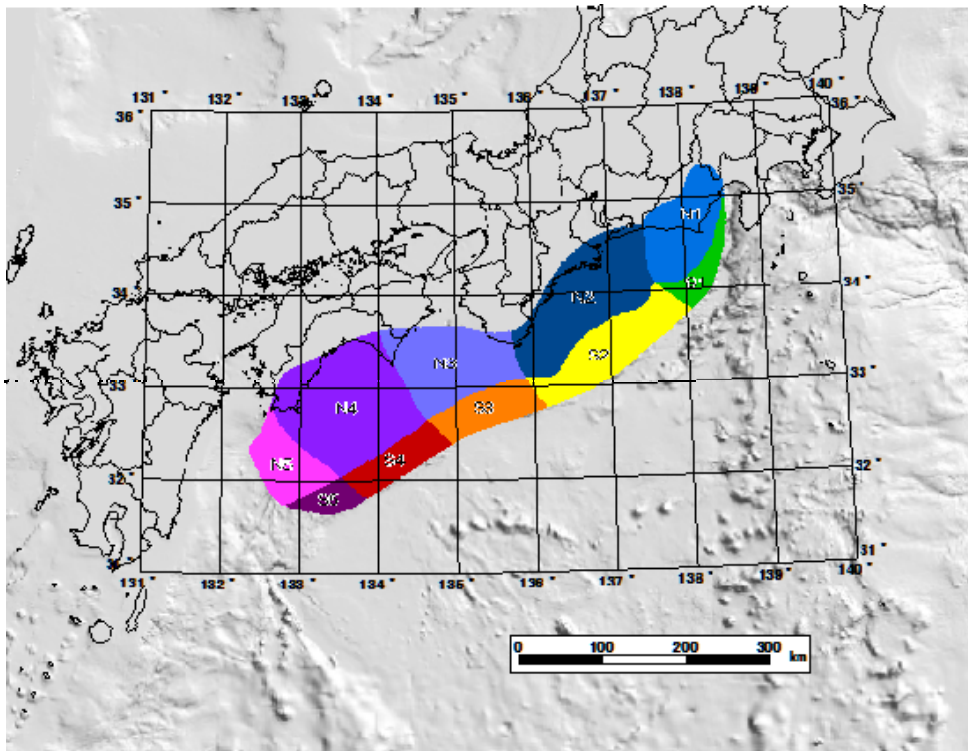
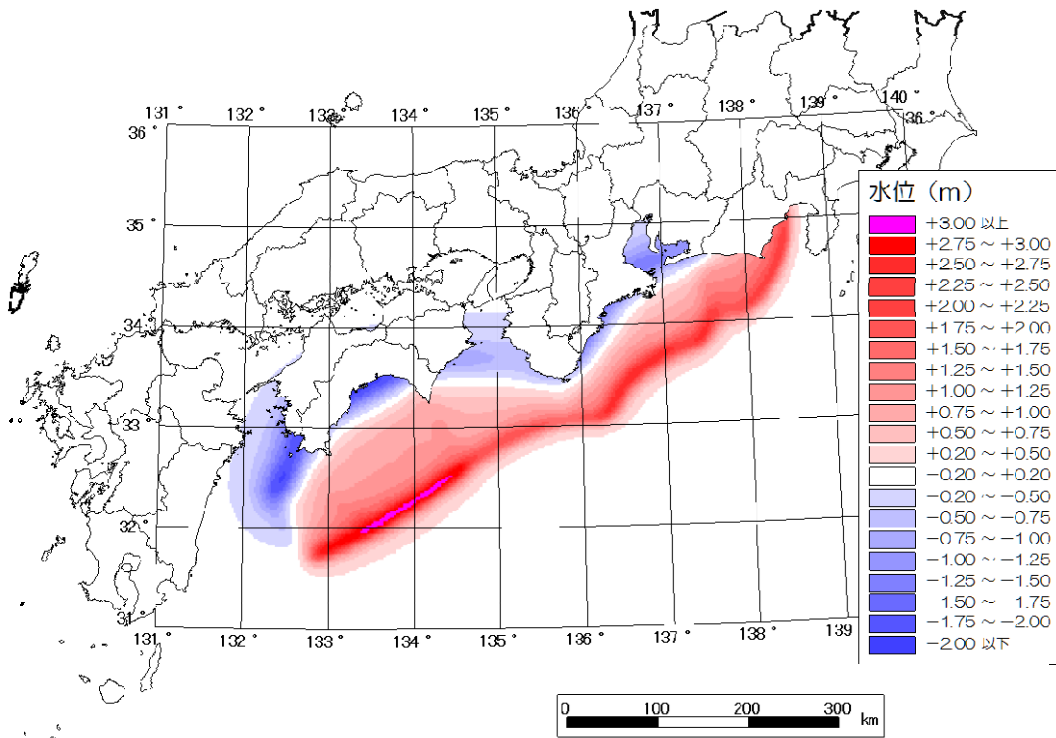
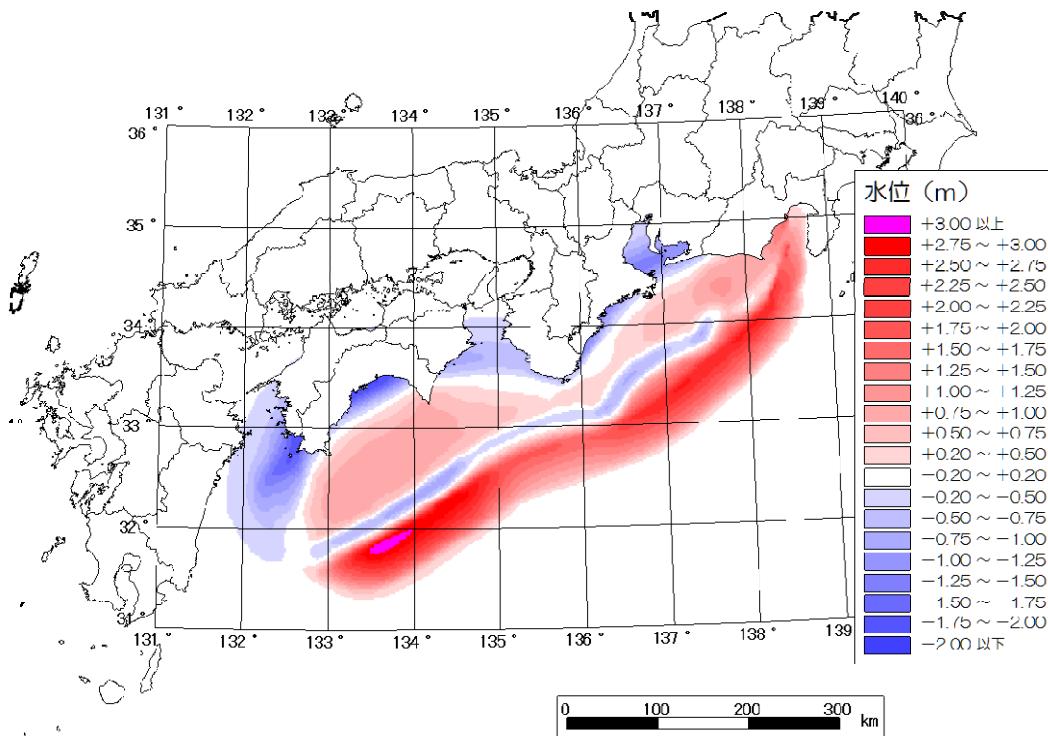


図8 南海トラフ巨大地震の震源域

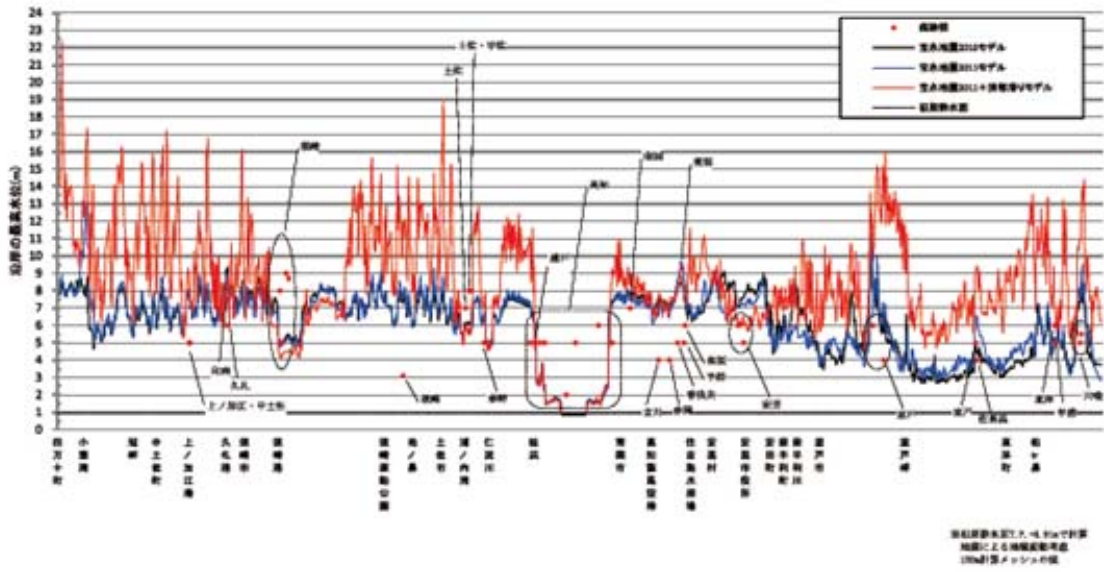


(a) 1707年宝永地震の津波波源

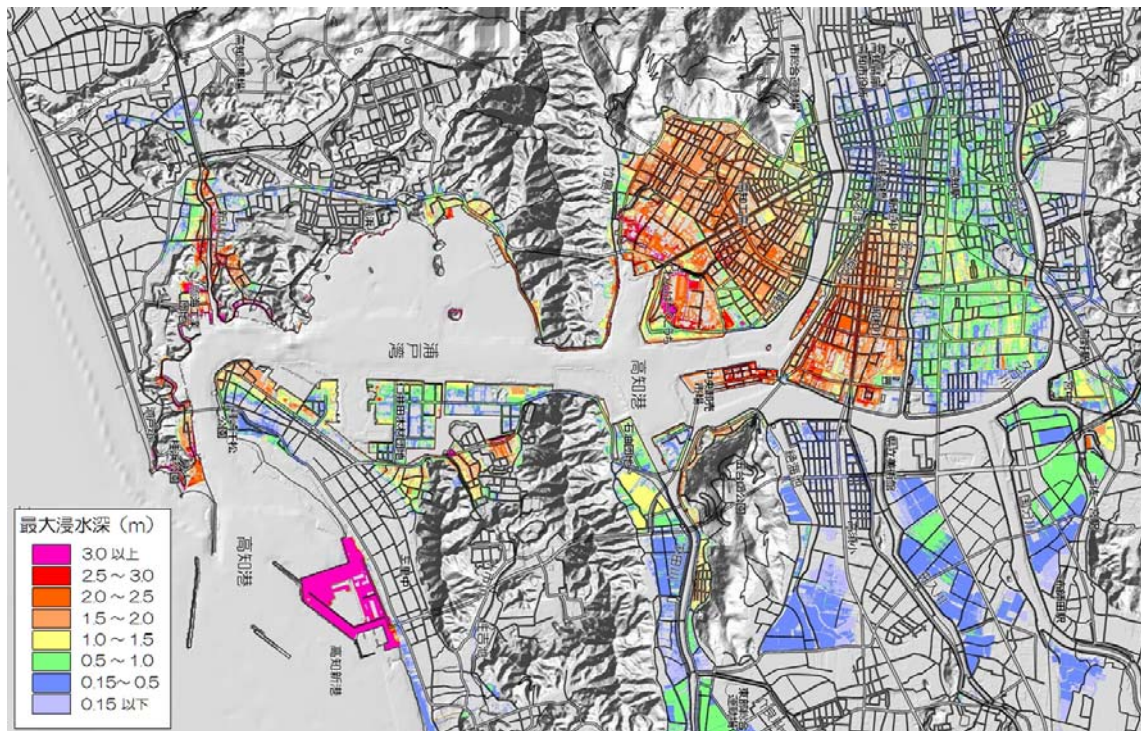


(b) 1707年宝永地震と浅部滑りによる津波波源

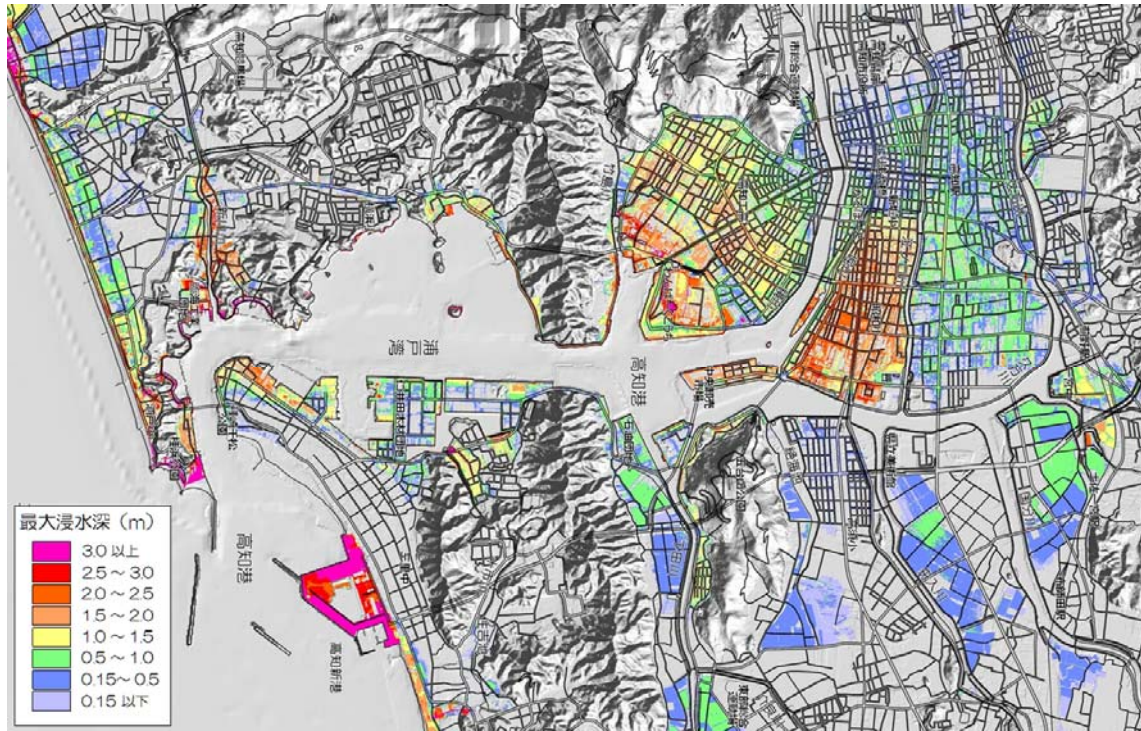
図9 本研究で用いた地震モデルによる津波波源



(a) 高知県沿岸域における津波高分布

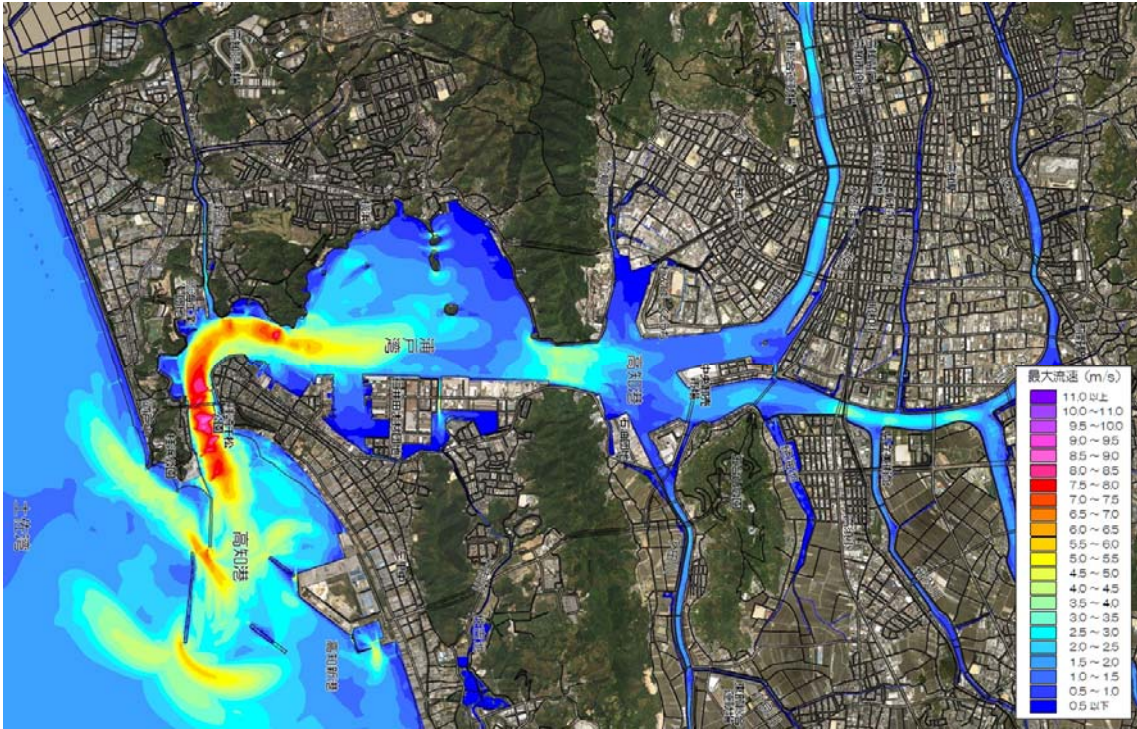


(b) 浅部滑り無し (N1~N5)

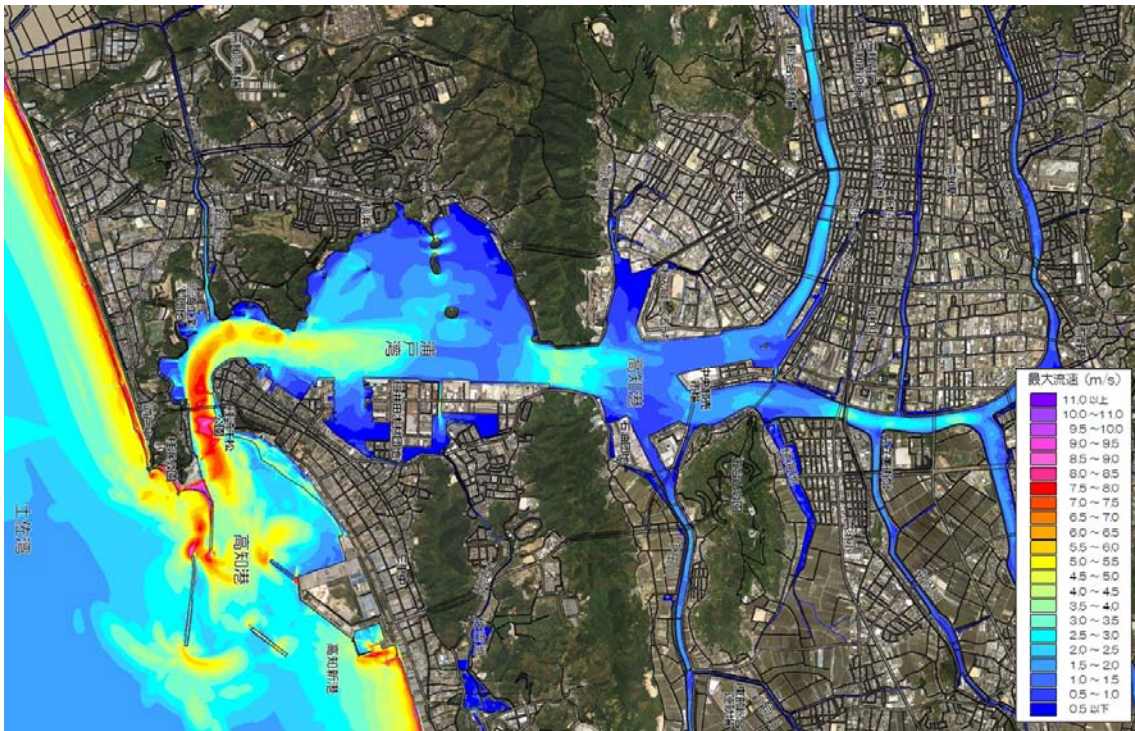


(c) 浅部滑り有り (N1~N5 と S1~S2)

図10 浅部滑りの有無を考慮した高知県沿岸の津波高分布と高知市における津波最大浸水深分布の比較。

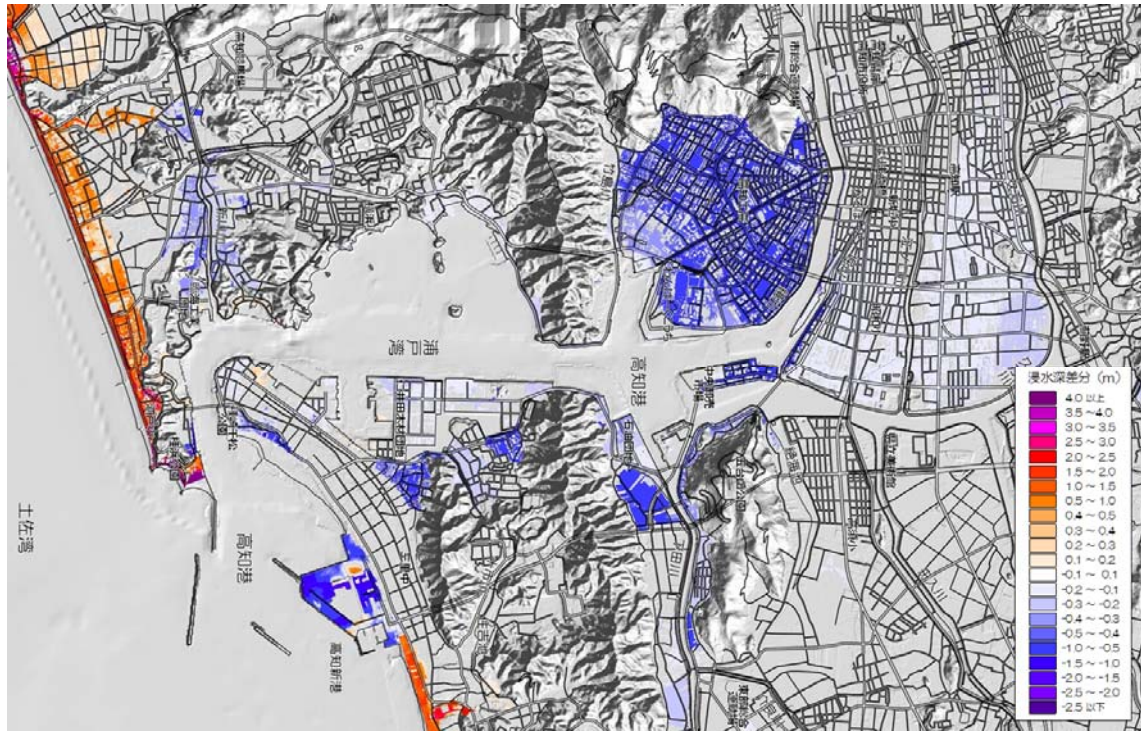


(a) 浅部滑り無し (N1~N5)



(b) 浅部滑り有り (N1~N5 と S1~S2)

図 11 浅部滑りの有無を考慮した津波最大流速分布の比較。



(a) 最大浸水深



(b) 最大流速

図12 浅部滑りの有無による最大浸水深、流速の差分。

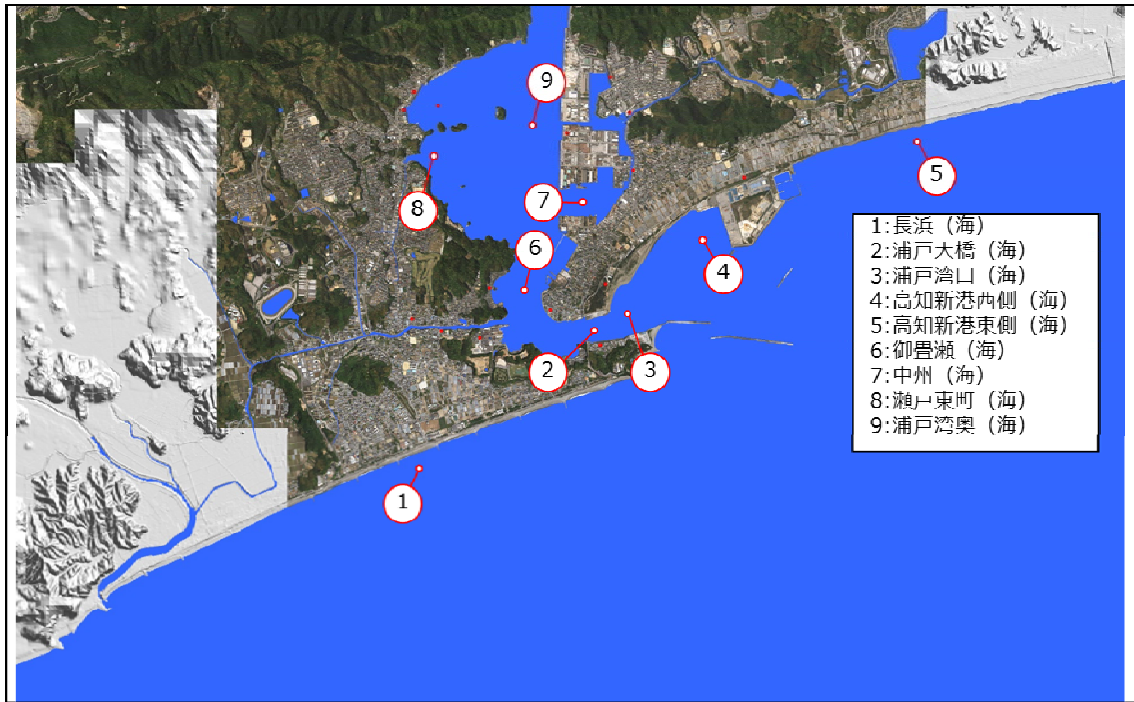
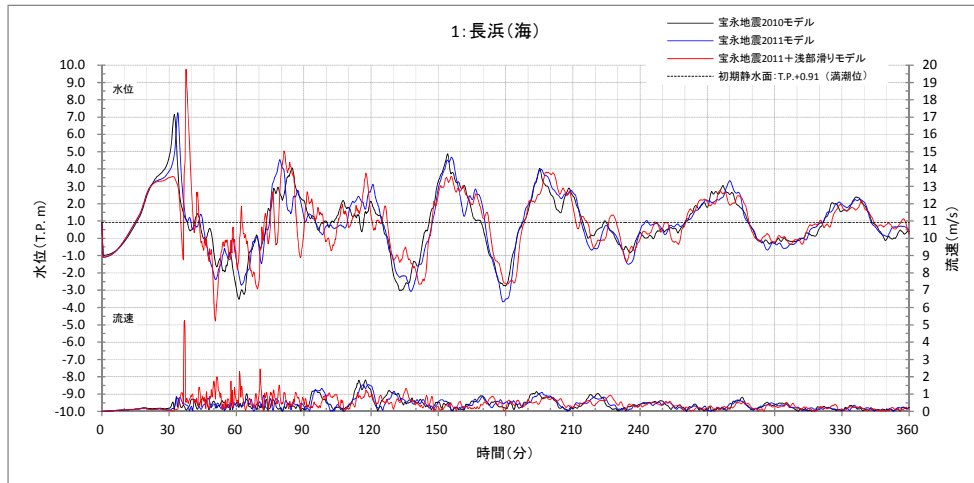
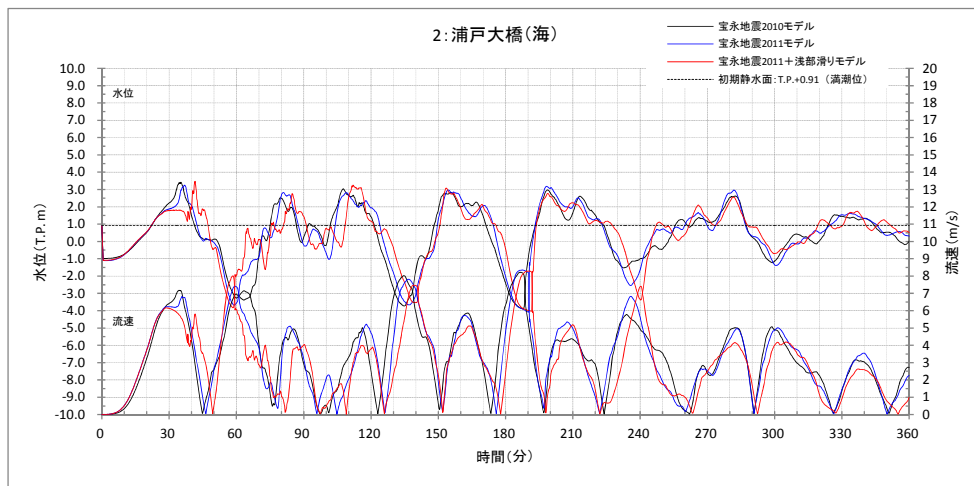


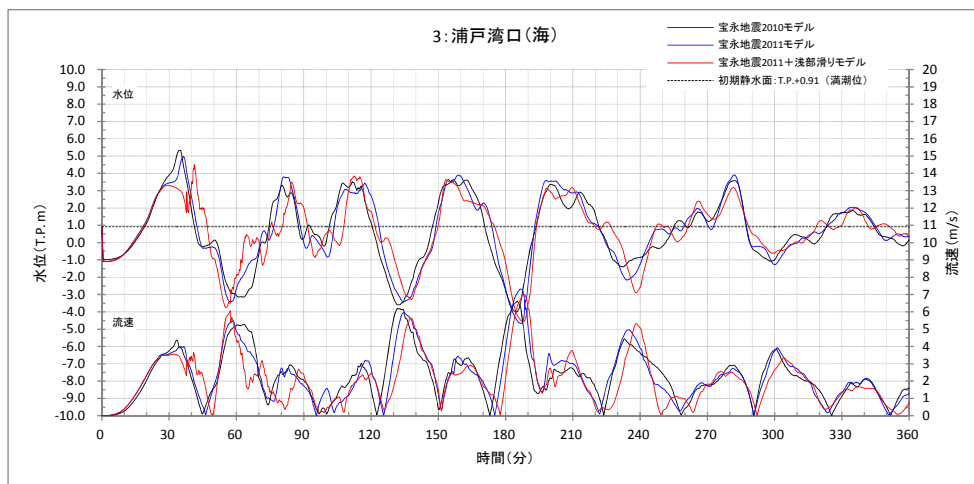
図 13 浦戸湾周辺における津波波形の各出力点分布



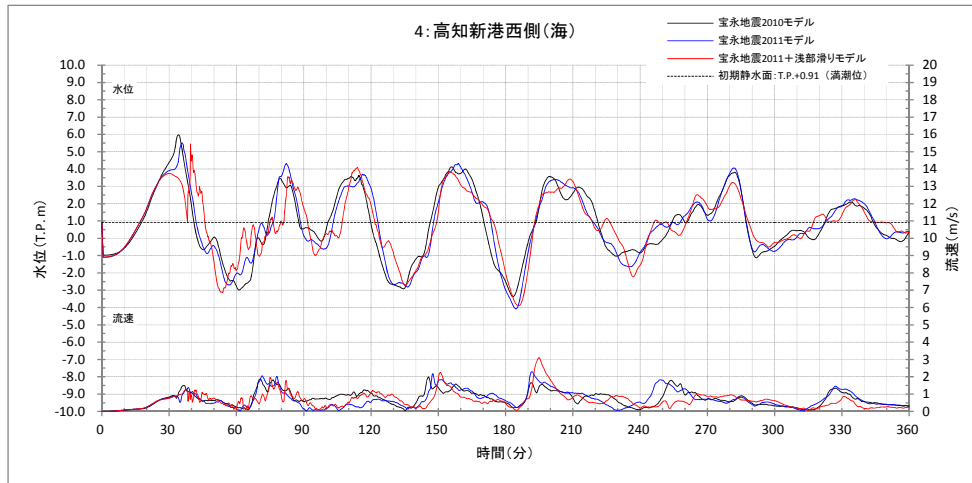
(a) 長浜 (図 13 中の番号 1)



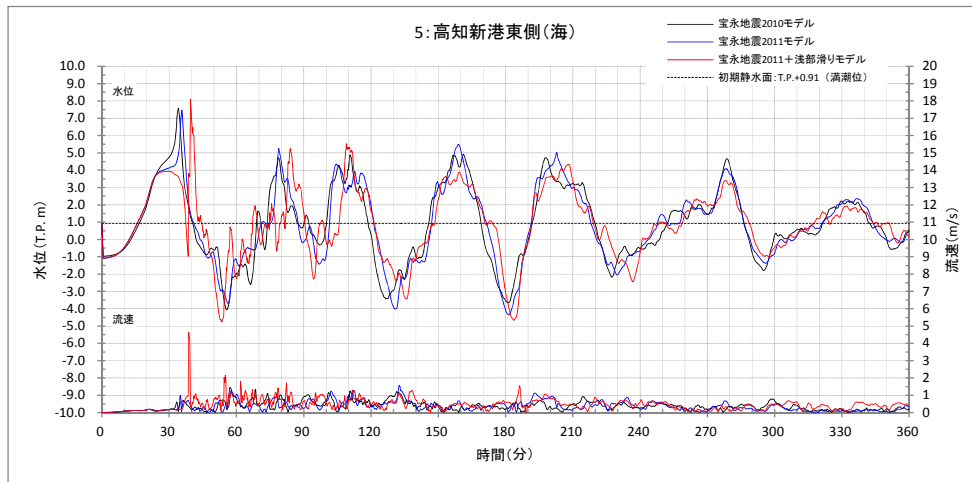
(b) 浦戸大橋 (図 13 中の番号 2)



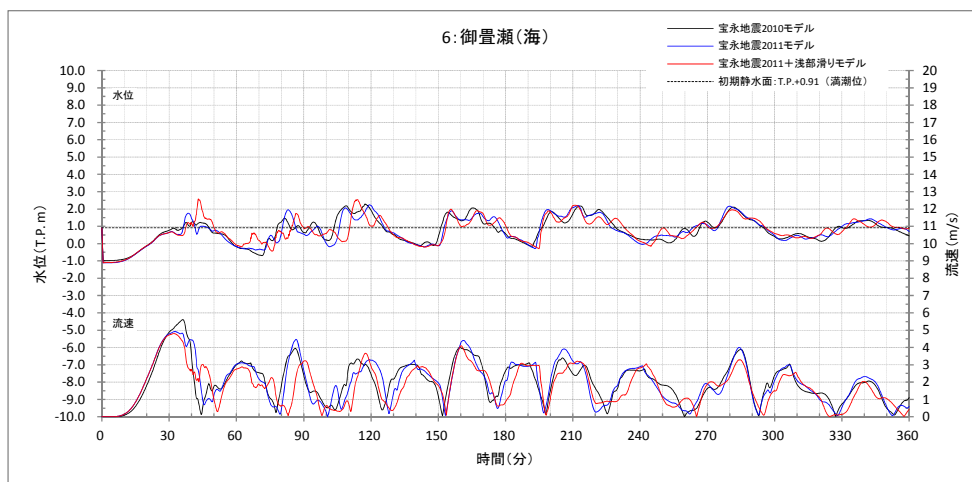
(c) 浦戸湾 (図 13 中の番号 3)



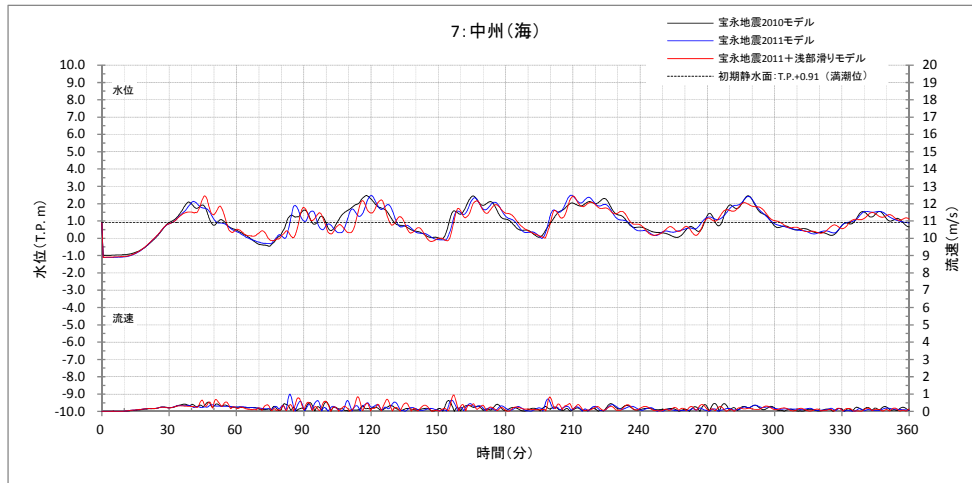
(d) 高知新港西側 (図 13 中の番号 4)



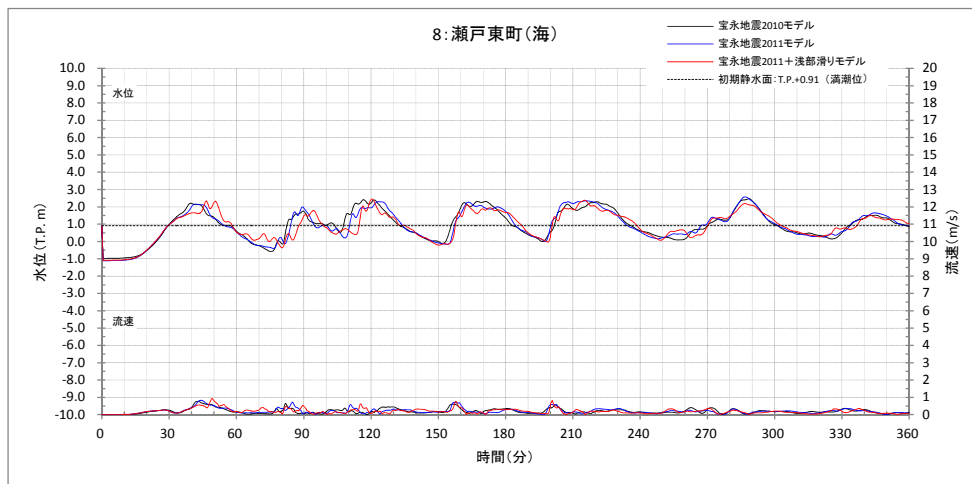
(e) 高知新港東側 (図 13 中の番号 5)



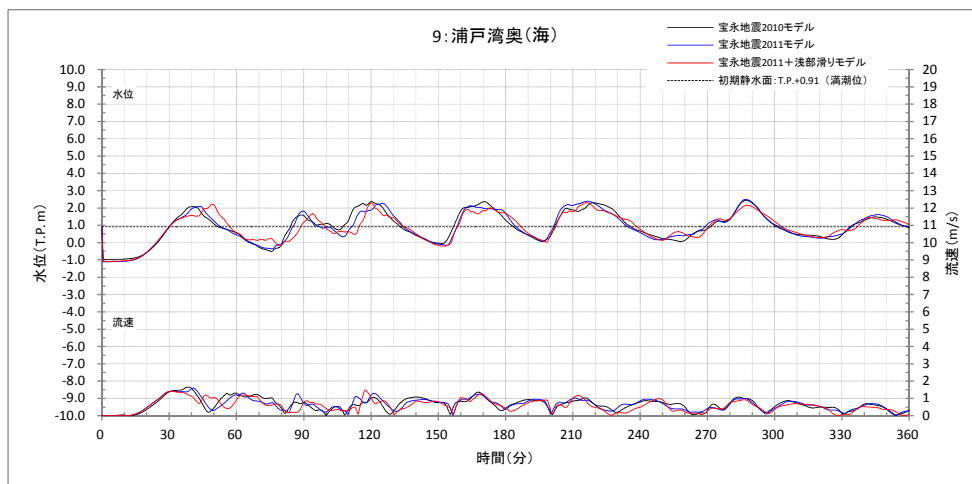
(f) 御豊瀬 (図 13 中の番号 6)



(g) 中州 (図 13 中の番号 7)



(h) 瀬戸東町 (図 13 中の番号 8)



(i) 浦戸湾湾奥 (図 13 中の番号 9)

図 14 各出力点における津波波形

3) 津波による被害発生基準に関する検討

2011年3月11日に東北地方太平洋沖で発生したM9の地震による津波は、青森県から千葉県に至る太平洋沿岸で激甚津波被害をもたらした。本節では、仙台湾が擁する石巻平野～仙台平野における津波被害の状況についての調査報告を行い、津波リスクをどのように捉えておくべきかを検討するとともに、津波被害発生規準に関する既往研究のレビューを行い、その評価方法についてまとめを行った。

i) 2011年東北地方太平洋沖地震による仙台湾沿岸域の津波被害

仙台湾沿岸域における津波の特徴としては、6 m以上の高さを有する津波が高度に土地利用展開された近代都市の沿岸域に來襲したことであり、津波力による直接的な被害はもちろんのこと、自動車、船舶、コンテナ、抜根・折損樹木、そして破壊された建物瓦礫による漂流物による被害、そして公共交通機関被害が目立った。また、本地震による巨大津波と当該沿岸域の地形的特徴により、浸水範囲も広大となり、沿岸からおおよそ3～4 km内陸に位置する三陸自動車道や仙台東部自動車道へ津波は到達、あるいはそれ以上の浸水被害となった。

石巻市南部の中心市街は川湊として発展してきた歴史を有し、江戸期以降、津波被害の経験が少なかったことから、旧北上川沿いや沿岸部には水産関連施設や宅地など、多彩な土地利用が行われていた。このような経緯により、沿岸部や河川沿いから市街地へ溢れた津波は甚大な被害をもたらし、河口部右岸の南浜・門脇地区では津波氾濫に加えて、港に備蓄されていた油タンクが原因と考えられる火災が津波來襲から1日後に発生した(写真1)。ここでは4000名近くの高齢者が失われた。また、地震発生から3時間以降には、地盤沈下の影響を受けた中心市街地へ陸上に溢れた津波が集積し、潮位の影響も相まって数日間冠水した。公共交通機関も甚大な被害を受け、JR仙石線沿線では車両の脱線・漂流や軌道被害が発生し(写真2)、現在でも一部区間は運休状況にある(2012/4/27時点)。

沿岸部においては、海岸構造物の一部崩壊や海岸林の倒伏・折損被害が確認された。一方で、石巻市渡波地区では、海岸林によりその背後の建物流出を低減していたことが確認された。また、街路樹により船舶や車などの漂流物捕捉も随所に観られた。

ここでの浸水深は沿岸部で7 m程度、市街地では4 m程度であり、浸水距離は沿岸からおおよそ4 km程度であった。

松島市においては松島湾の湾口部に点在する小島により、津波の流入を抑制したためか、宮城県南部沿岸において津波による人的・家屋被害が最も少なかった地域である。一方で、牡蠣養殖関連の水産施設は壊滅的な被害を受けた。ここでの浸水深は1 m程度であった。



写真1 石巻市南浜・門脇地区の被害状況。



(a) 上空からの状況 (Google earth による)



(b) 列車被害の状況

写真2 東松島市野蒜の列車被害状況。



(a) 塩竈港での船舶被害



(b) 港町における自動車の漂流状況

写真3 塩竈市の津波被害状況。

東北地域の物流を担う港湾施設を擁する、塩竈市・多賀城市では、市街地や港湾施設に大きな津波被害が発生した。仙台港区では津波による直接被害に加えて、船舶、自動車やコンテナ流出が顕著であり(写真3)、市街地にはそれらが津波とともに漂流し、被害を拡大させた。また、石油コンビナートから大火災が発生し、施設の機能が停止した。このために、東北地方では深刻なガソリン供給不足に陥った。津波の浸水深は沿岸部では7 m程度、市街地では4 m程度であり、浸水距離は沿岸からおおよそ4 km程度であった。

仙台市の中心市街地から沿岸域まで、高度な土地利用が展開されている仙台市宮城野区・若林区、そして仙台空港を擁する名取市・岩沼市の沿岸部において、人的・家屋流出被害は甚大であった。防潮堤の一部崩壊、人工砂丘の消失(写真4)や海岸林の破壊など、海岸施

設の甚大な被害を受け、さらに、1ヶ月近くに及ぶ仙台空港施設の機能停止や農地浸水による塩害など、多くの経済的損失をもたらした。ここでの津波浸水深は沿岸部で4~6m、浸水距離は内陸5kmにまで及び、震災直後は津波が運んだ泥質の土砂が至るところの道路を埋め尽くした(写真5)。

一方で、仙台東部自動車道の盛土により、漂流物捕捉や浸水抑制が確認された(写真6)。平野部における津波対策を行う上で、多重堤による防御の有効性が示された事例といえる。

沿岸部では、人的・家屋流出被害に加えて、防潮堤の崩壊や海岸林被害が顕著にみられた(写真7)。公共交通機関も甚大な被害を受け、JR常磐線沿線では車両の脱線・漂流や軌道被害が発生し、現在(2012/4/27時点)も一部区間は運休状況にある。

阿武隈川河口部においては、津波により内陸部へ大量の土砂が移動しており、汽水湖(鳥の海)が土砂で埋まるなど自然環境へも大きな影響を与えた。ここでの津波浸水深は沿岸部で6~12m、浸水距離は内陸4kmにまでおよんだ。

仙台湾沿岸における津波被害について、人的・家屋損壊流出被害はもちろんのこと、海岸構造物などのインフラ被害、鉄道の脱線や自動車・船舶の流出、燃料備蓄タンクの流出やそれに伴う火災の発生など、さまざまな被害形態となった。特に、石巻市中心市街地においては、地形条件や街の発展経緯などを考えると、高知市中心市街地と多くの共通項が見いだせるため、これらの津波被害をさらに分析する必要がある。

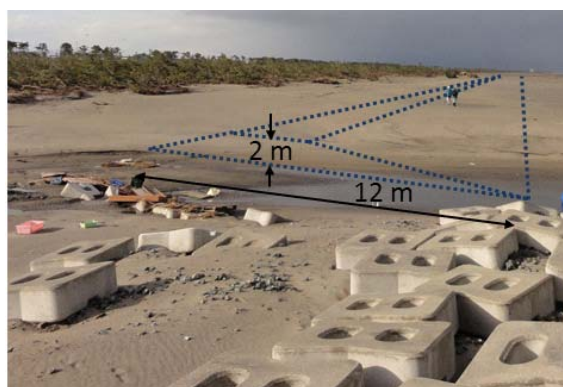


写真4 名取市沿岸における人工砂丘の消失。点線部は人工砂丘の概形を示す。



写真5 沿岸域から運ばれてきた土砂（仙台市宮城野区岡田付近）。



(a) 東部道路東側①の状況



(b) 東部道路東側②の状況



(c) 上空からの状況（Google earth による）

写真6 仙台市東部道路の津波減災効果



(a) 海岸林の被害（亶理町）



(b) 崩壊した海岸構造物（山元町）

写真7 亶理郡沿岸における海岸林・海岸構造物の被害

ii) 津波被害発生基準に関する既往研究のまとめ

津波による被害発生基準としては、人的被害については決定論的手法^{9),10)}、確立論的な評価手法¹¹⁾が提案されている。また、構造物被害についても同様に、決定論的¹²⁾（・確率論的な評価手法¹¹⁾が提案されている。今次津波の被害状況をみると、津波流体力のみではなく津波漂流物の衝突など不確定性の影響を考慮した評価手法が望ましいため、ここでは、確率論的手法で評価を行う。モデル地域の一つである高知市の人的・物的被害予測を行う上では、地形条件や河湊として発達してきたという街の歴史的背景に近い宮城県石巻市中心市街地の被害関数を用いることができると考えられる。石巻市中心市街地における木造家屋構造物の流出および、全壊被害に関する被害関数は式(3)で表現される。

$$P_D = \Phi\left[\frac{D-\mu}{\sigma}\right] = \int_{-\infty}^D \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left\{-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}\right\} dt \quad (3)$$

ここで、 D は津波浸水深であり、式(3)中のパラメーターのうち、木造家屋構造物の流出被害のみをまとめた場合では $\mu=4.98$ 、 $\sigma=1.62$ となり、木造家屋構造物の流出を含めた全壊被害でまとめた場合では $\mu=2.34$ 、 $\sigma=0.69$ である。図 15 に石巻市中心市街地における津波浸水深と家屋構造物の全壊・流出率の関係を示す。図から、浸水深が 2 m 程度の場合、家屋の全壊率は 30%程度、流出率は 3%程度となることがわかる。なお、2004 年スマトラ地震津波におけるバンダアチェの被害関数¹¹⁾と比べると、その家屋流出率は 1/6 程度である。

石巻市中心市街地における人的被害に関する被害関数は式(4)、(5)となる。

$$P_{CPU}=0.0172H^{1.19}、\quad P_{CPL}=0.0011H^{1.83} \quad (4)$$

$$P_{CRU}=0.0065H^{1.19}、\quad P_{CRL}=0.0012H^{1.19} \quad (5)$$

ここで、 H は津波浸水高であり、式(4)は石巻市の平野部、式(5)はリアス式沿岸部を示し、下添え字の CRU は上限曲線、CRL は下限曲線を示す。図 16 に石巻市における津波浸水高と人的被害発生率の関係を示す。図から、平野部とリアス式沿岸部でその被害分布が同じ浸水高であっても、その人的被害率は異なる。これは地形的要因も含まれるが、これまでの津波の履歴や防災教育の実施などが影響している可能性もある。式(4)、(5)においての上限・下限曲線のちがいとしては、性別や年齢、地形的把握の有無や災害意識の違いなどが考えられるが、これらの詳細な解釈については、今後の課題とする。また、式(4)、(5)は評価対象地区における津波被害の履歴なども影響していると考えられるため、あくまで目安として使用することが望ましく、地形条件や街の歴史的背景を十分に考慮した上での被害関数の適用が必要であり、それらを考慮した多変量の人的被害率に関する評価式の構築についても今後の課題とする。

インフラ被害に関する被害発生基準としては、島田・他¹³⁾により、土堤や高盛り土道路に関する被害発生に関する実験が行われており、その規準は土堤や高盛り土道路の越流水深やその流速で規定されている。土堤における越流水深やその流速を評価する場合、高分解能な地形モデルが必要となることや、洗掘の影響を考慮に入れないと詳細な評価は行えないため、3次元の固液モデルが必要となる¹⁴⁾。

漂流物被害としては、まず漂流物となり得るものとして自動車、コンテナ、養殖筏、小型船舶の漂流限界に関して検討する。自動車の走行困難・漂流の指標は、おおよそ浸水深で規定される。コンテナについては、コンテナ積載重量も関わってくるため、浸水深と流速のみ

でその基準を評価することは難しい¹⁵⁾。養殖筏や小型船舶については、係留の有無で変化はするが、おもに流速で規定されている^{16), 17)}。

以上、津波被害の各種発生基準をまとめたものが表2となる。この表中の各種被害発生基準と津波氾濫シミュレーションを組み合わせることによって、津波リスクの評価や、人的・物的被害を考慮した津波ハザードマップの作成が可能となる。

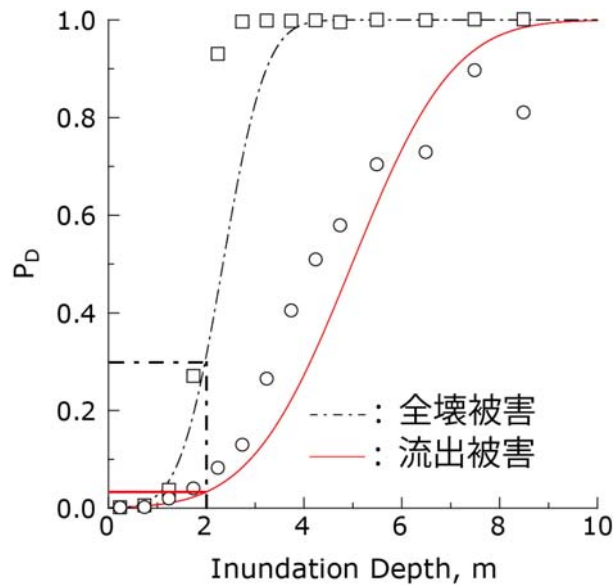


図15 石巻市中心市街地における津波浸水深と家屋構造物の全壊・流出率の関係。

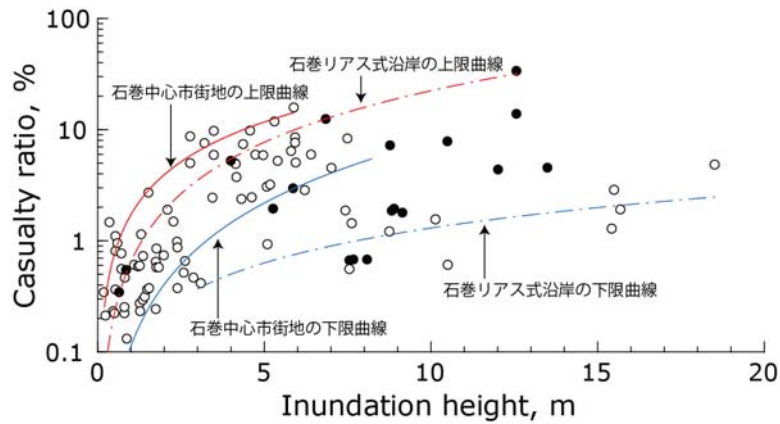


図16 石巻市における津波浸水高と人的被害発生率の関係。

表2 津波被害の各種発生基準。

被害対象		指標	被害種類		評価に必要な水理量
人的被害		流体力	歩行困難・漂流の危険		最大流体力時の浸水深と流速、被害関数の利用
			浸水深身長比とフルード数に依存、フラジリティ関数		
家屋被害	木造	流体力	中破	大破	最大流体力時の浸水深と流速、被害関数の利用
			15.6 - 27.4 kN/m	27.4 - 49.0 kN/m	
	コンクリート・ブロック造	流体力	中破	大破	
			60.7 - 111 kN/m	332 - 603 kN/m	
鉄筋コンクリート造	流体力	N/A	大破		
		N/A	332 - 603 kN/m 以上		
構造種別無し	主に浸水深	家屋流出・全壊発生率		被害関数の利用	
土堤被害		流速と越流水深	堤防天端浸食による堤防決壊	堤防基部の浸食による決壊	最大流速、堤防天端で2m/s以上、堤防基部で3m/s以上
			越流流速2 m/s以上	堤防基部流速3 m/s以上	
道路被害		越流水深	部分破壊	大部分破壊	盛り土高と最大越流水深
			全壊または流出 藤井・他(2010)の図_12参照		
自動車		浸水深	走行困難	漂流	最大浸水深が0.2~0.5mまでは、走行不可、0.5m以上は漂流の危険性有りとする。
			0.2 < D < 0.5 m	D > 0.5 m	
コンテナ		浸水深と流速	漂流開始	漂流	浸水深、流速
			浸水深、コンテナ重量に依存	浸水深、流速、コンテナ重量に依存	
養殖筏	係留有り	喫水、流速	漂流開始 流速1 m/s以上		海域での最大流速、1m/s以上を漂流の指標とする。
	係留無し	喫水、流速	漂流開始 流速1 m/s以上		
小型船舶	係留有り	喫水、津波高が2m以上の時の流速	漂流開始 津波高2 m かつ、流速2 m/s		海域での津波高2m以上での最大流速。航行中の船舶については、相対流速と進路と主流方向の角度に依存する。
			漂流開始 喫水		
	係留無し	喫水	保針・推進不可		
			保針可能限界図・エンジン出力に依存		

4) 津波氾濫による人的・物的被害予測を考慮したハザードマップの提案

ここでは、2節で行った津波氾濫解析結果と3節で行った津波被害の発生基準に関する検討を組み合わせた人的・物的被害予測を考慮した津波ハザードマップの提案を行う。表2における各種津波被害発生基準を活用し、津波浸水リスクに加えて、人的被害、家屋被害、自動車被害、養殖筏と小型船舶をハザード評価対象とした。土堤・道路被害については、本研究以上の計算格子分解能が必要なことや、高度な固液モデルが必要になるため、評価の対象外とした。コンテナの漂流についても、その積載重量などのより詳細な情報が必要となるため、評価の対象外とした。

対象領域としては高知市中心市街地およびその沿岸部とし、津波解析における地震モデルとしては、1707年宝永地震モデルおよび、浅部滑りを考慮した1707年宝永地震モデルとした。また、各被害予測については、地震発生から被害が拡大していく過程を示すために、30分後、60分後、120分後、240分後、360分後の被害分布についても図示した。

i) 人的被害評価

人的被害評価については、高知市市街地の平野部に適用するために地形条件の類推と津波災害の履歴などを考慮して、式(4)を採用した。また、観光客の流入により季節によって津波暴露人口が変動する地域（例えば、桂浜周辺）もあるため、式(5)を用いて評価を行った。

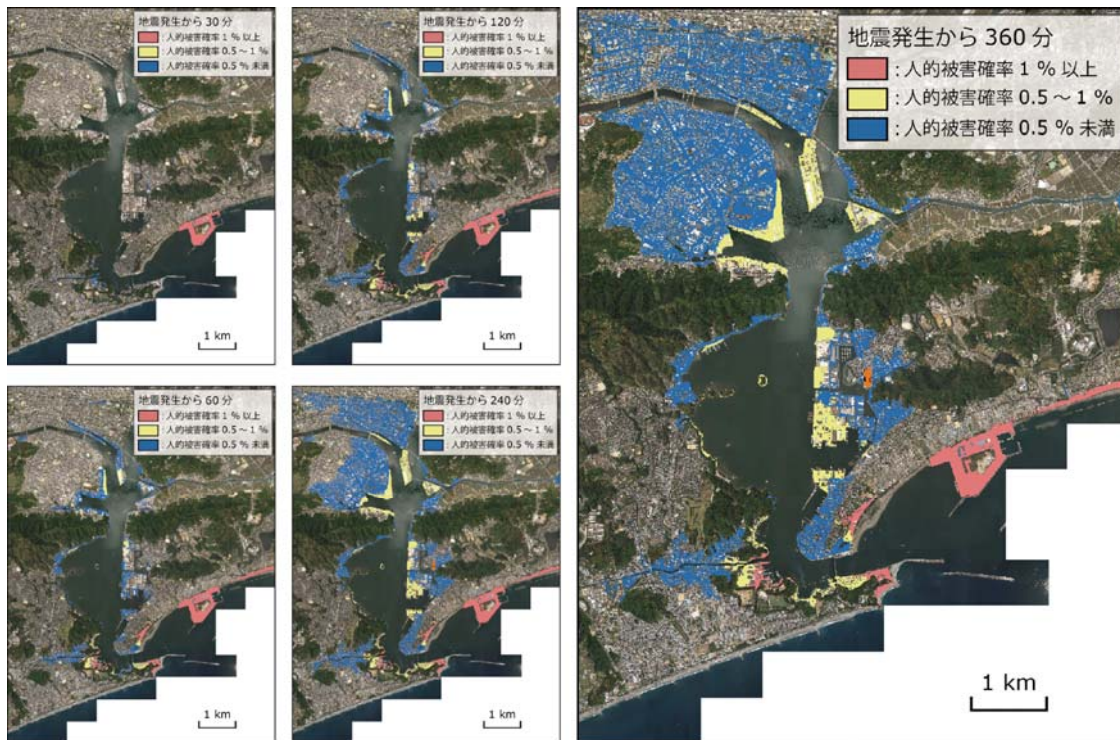
図17に各地震モデルにおける人的被害確率分布を示す。浦戸湾口付近の高知新港や桂浜では、地震発生から30～60分後で人的被害率が1%以上となっていることや、高知市中心市街地においては、地震発生から120分後で河川沿いに人的被害率が大きくなっていることがわかる。また、240～360分後には、人的被害確率0.5%未満のエリアが広範囲に拡大していることがわかる。これらから、沿岸部では、津波到達は30分以内であるため、迅速な避難行動が求められる一方で、中心市街地では、60分程度の避難行動に関する時間的猶予が残されていることがわかる。また、地震モデルの違いについて、1707年宝永地震モデルに比べ、浅部滑りを考慮したモデルでは、中心市街地における人的被害確率の領域は小さくなるが、沿岸部では、広範囲に人的被害率が1%以上となる領域が拡大していることがわかる。

発生時間帯に関して、高知市全体の昼間夜間人口比は1.043である（高知市、2012）。この比を乗ずることにより、非常に粗い計算になるが地震発生時間帯に応じた人的被害率の増減についても算出が可能である。しかし、浸水域には商業地区、オフィス地区や歓楽街地区なども含まれているため、詳細な検討には、パーソントリップ調査データなどを用いて、町目に分類して評価する必要がある。

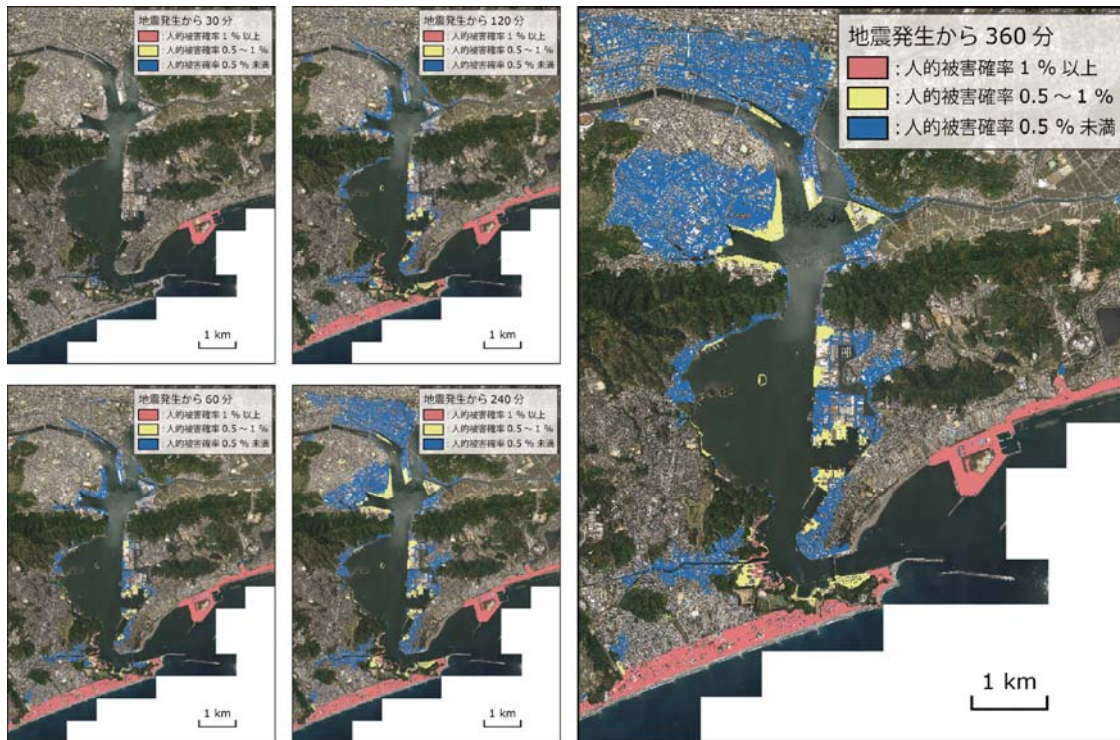
季節の影響について、特に高知市沿岸域の観光名所である桂浜においては、年間18万人程度の観光客数であり、5月と8月に観光客数は年平均数の1.5～2.0倍となる（平成17年1～12月の数値¹⁸⁾。また、高知市中心市街の観光客数上半期で206,648名（平成22年4～9月¹⁹⁾であるため、観光シーズン期となると津波暴露人口とその人的被害確率も変化すると考えられる。特に、観光資源で成り立っている沿岸市町村の人的被害に関する津波リスク評価を行う場合には、注意が必要である。参考程度ではあるが、図18に各地震モデルにおける式(5)を用いた場合の人的被害確率分布を示す。図から、人的被害確率1%以上となる領域が拡大していることがわかる。

このような人的被害に関する津波リスクマップを作成することにより、津波避難ビルを要

する地域の選定や、環境客を対象とした避難行動を速やかに行えるような誘導指示等の工夫を要する地域の特定が容易となる。



(a) 1707 年宝永地震モデル



(b) 浅部滑りを考慮した1707年宝永地震モデル

図17 各地震モデルにおける人的被害確率分布。

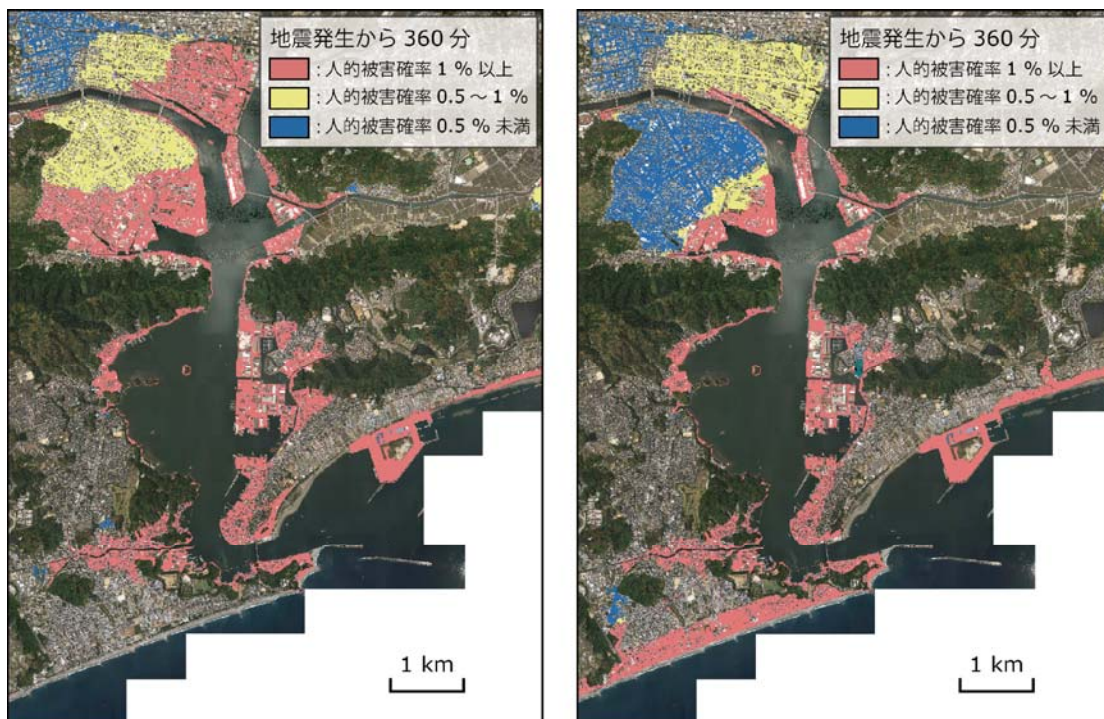
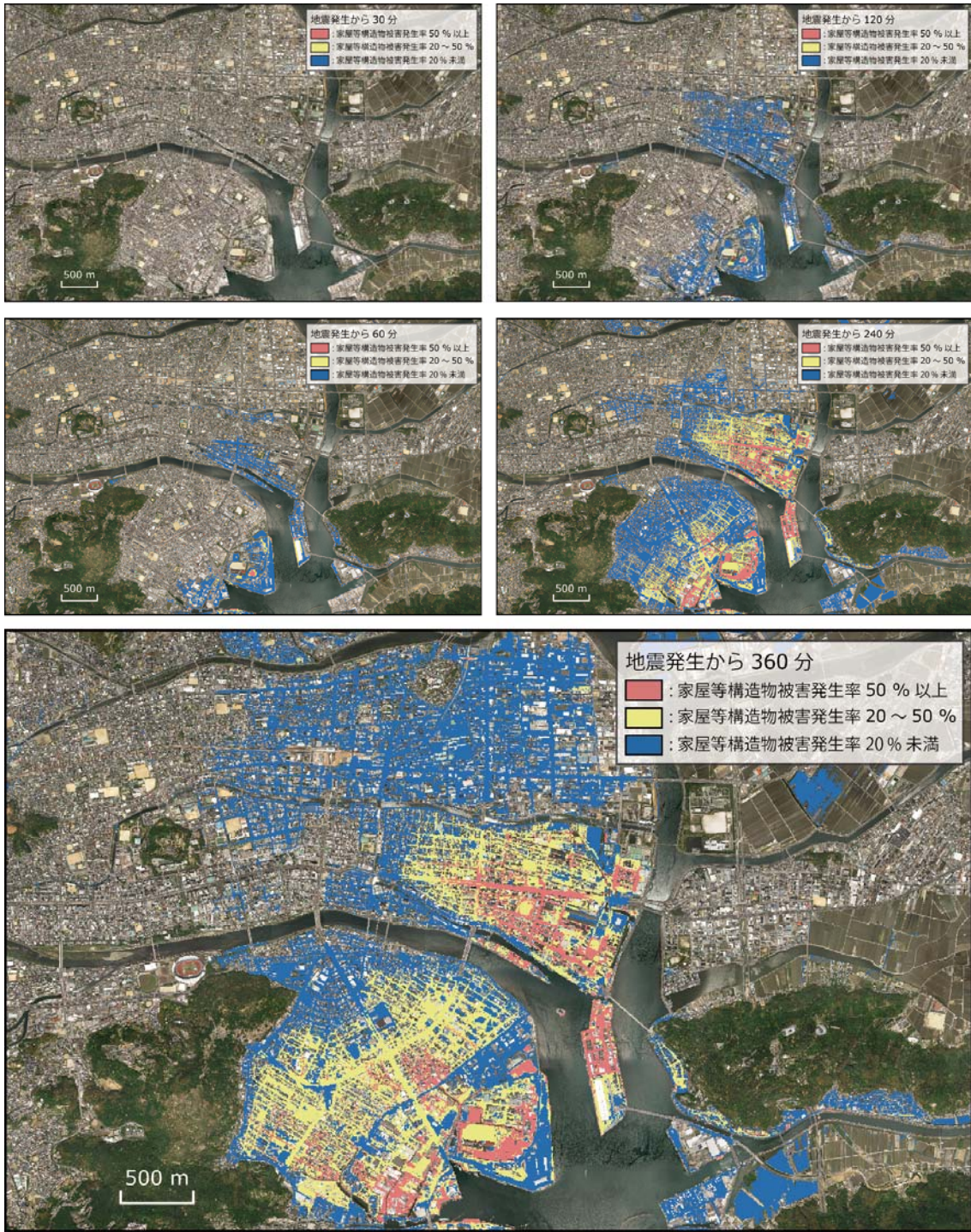


図18 各地震モデルにおける式(5)を用いた場合の人的被害確率分布。

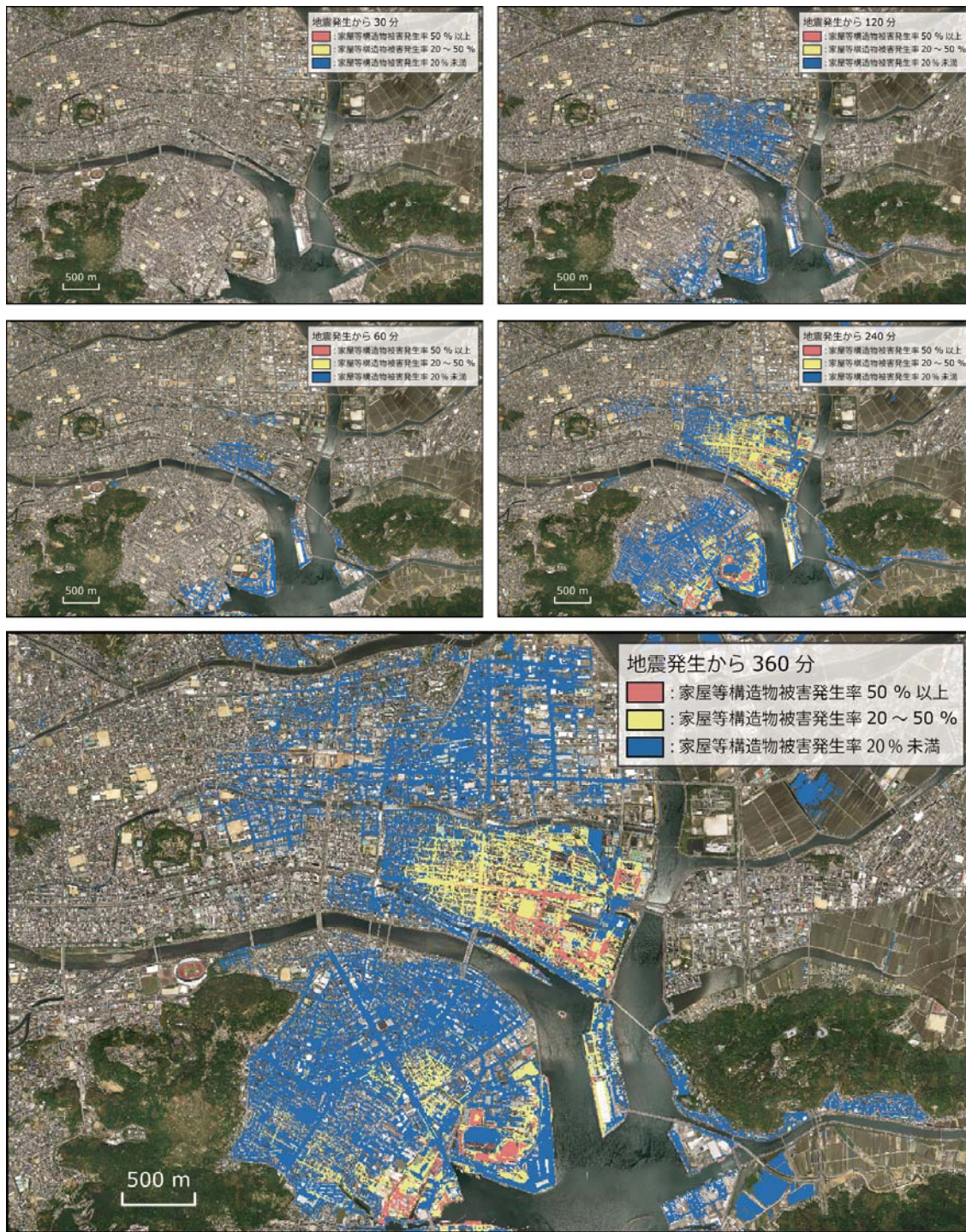
ii) 家屋構造物の被害評価

家屋構造物の被害評価について、人的被害評価と同様に、石巻市平野部における家屋構造物の被害関数を利用し、安全側の評価となるように式(3)を用いた。図 18 に各地震モデルにおける家屋構造物被害発生率分布を示す。図から、地震発生から 240 分後に中心市街地において家屋構造物の被害発生率が増加していることがわかる。また、街路沿いにその被害率は高まっていることもわかる。地震モデルとしては、1707 年宝永地震モデルによる津波の方が、家屋構造物の被害が拡大していることがわかる。

家屋構造物の津波被害に関するリスク評価により、どの地域に被害が生じるかを把握することができるようになるほかに、各家屋の諸情報を組み合わせることで津波による瓦礫算出量についても概算することが可能となる。瓦礫概算量を把握しておくことにより、事前に瓦礫保管用地の確保目安となるため、地震・津波被害発生から復旧活動へ円滑に進むことが可能となると期待される。



(a) 1707 年宝永地震モデル



(b) 浅部滑りを考慮した 1707 年宝永地震モデル
 図 19 各地震モデルにおける家屋構造物被害発生率分布。

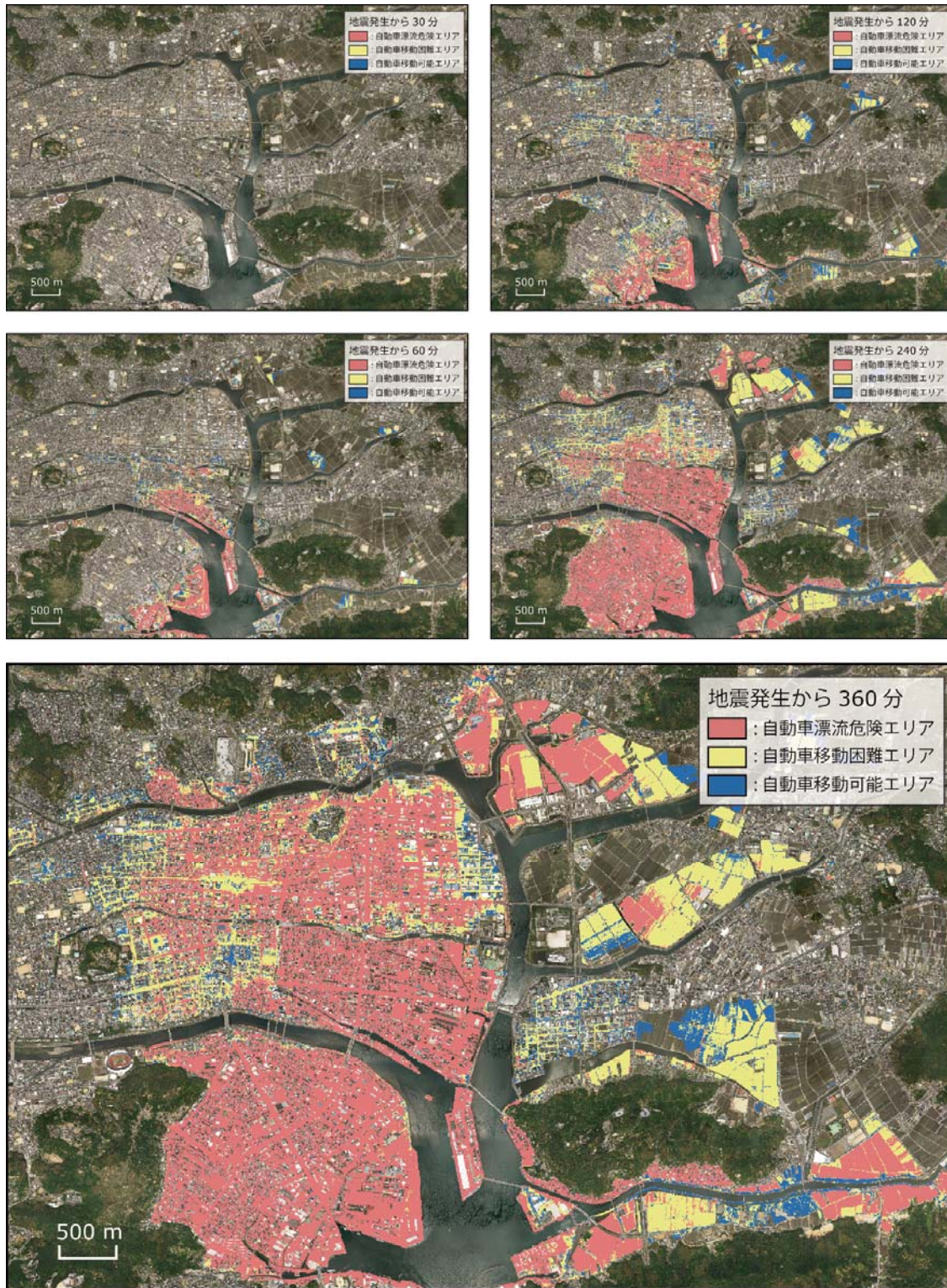
iii) 自動車・船舶の漂流に関する評価

自動車の漂流や船舶の漂流に関する評価手法は表 2 に従い設定した。図 20 に各地震モデルにおける自動車漂流被害発生分布を示す。地震発生から 60 分後までは、中心市街地の一部は自動車の移動は可能である。ただし、震害により大規模な停電となる可能性が大きく、信号機の機能しない都市道路では、渋滞の発生による避難行動の遅れや交通事故の危険性が大きく高まるため、自動車による避難は極力さけるべきである。発生から 240 分後には市街地のほとんどが漂流危険エリアとなっていることがわかる。

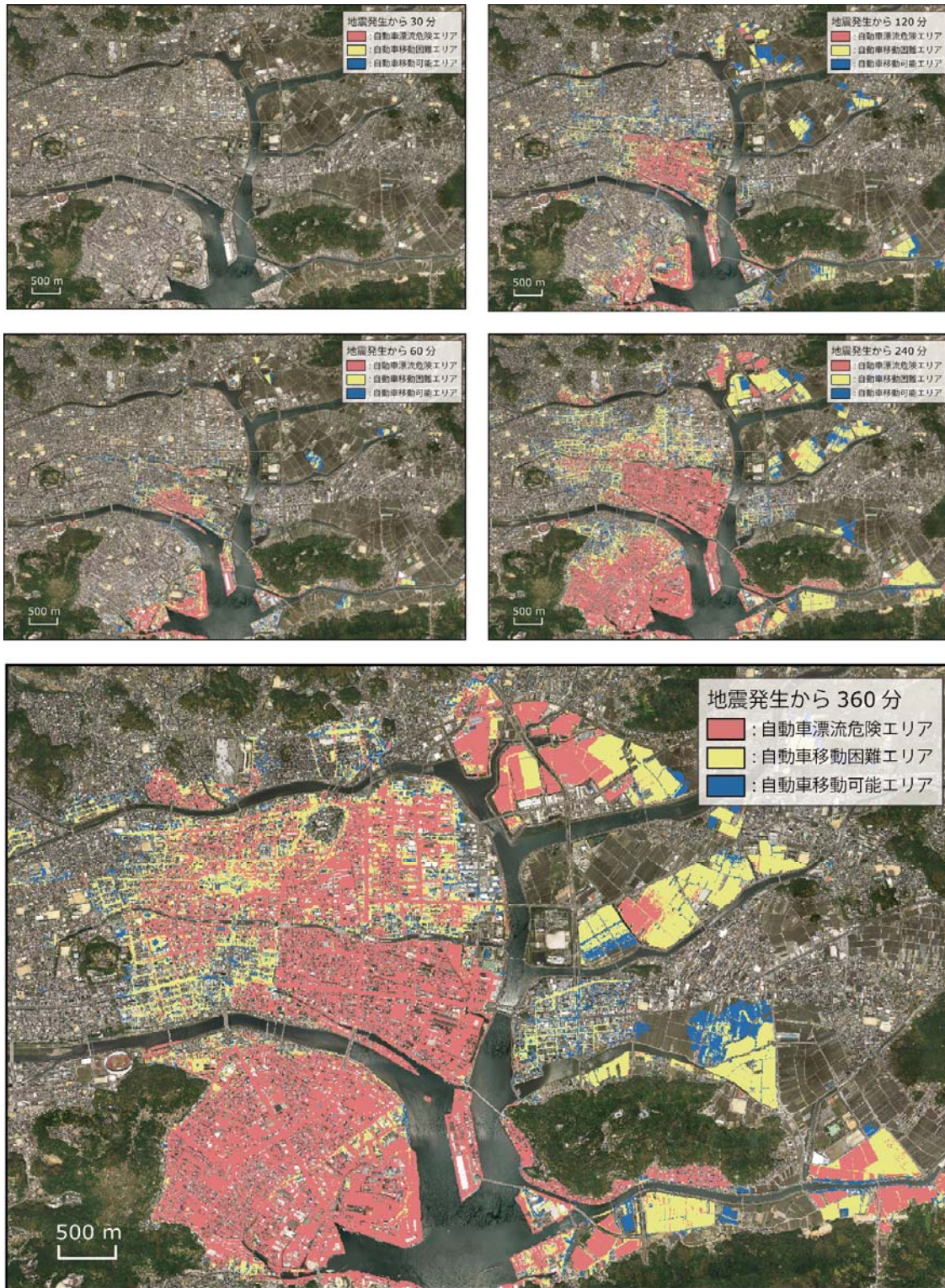
図 21 に各地震モデルにおける小型船舶等漂流被害発生分布を示す。図から、地震発生から 30 分で浦戸湾内や湾口の狭窄部で漂流危険エリア（水域）が発生している。これは地殻変動にともなった引波の影響である。浦戸湾内の沿岸部では、地震発生から 360 分を経過しても、待機可能エリアが存在する。一方、沿岸域では、地震発生から 60 分で、待機・漂流危険エリアが拡大していることがわかる。浦戸湾のような湾口が狭窄している形状の湾においては、湾内の待機可能エリアに速やかに小型船舶を移動させることで、漂流被害を低減させ得ることがわかる。

iv) その他の津波被害リスクについて

浦戸湾内の沿岸部には石油や天然ガスの備蓄タンクが存在し、津波による被害を受けた場合、石油の流出・拡散の影響や、それによる火災の発生についても、検討を行う必要がある。また、高知市中心市街地には複数の河川が流れ込んでいるため、橋梁も多い。落橋による避難路喪失の可能性もあるため、橋梁被害に関するリスクも考慮する必要がある。



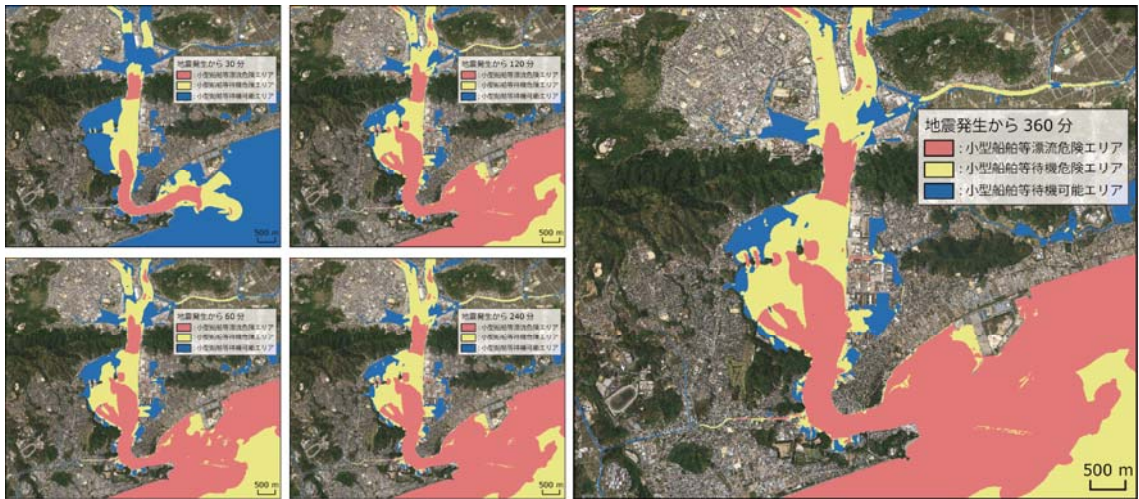
(a) 1707年宝永地震モデル



(b) 浅部滑りを考慮した 1707 年宝永地震モデル
 図 20 各地震モデルにおける自動車漂流被害発生分布。



(a) 1707年宝永地震モデル



(b) 浅部滑りを考慮した1707年宝永地震モデル

図21 各地震モデルにおける小型船舶等漂流被害発生分布。



写真8 浦戸湾内における石油タンク

5) 防災情報の内容・表示方法の改善点に関する検討

i) 被災地自治体（宮城県石巻市）の災害対応検証のためのヒヤリング調査とワークショップの実施

2011年東北地方太平洋沖地震津波により、宮城県石巻市は中心市街地に激甚津波被害が生じた。石巻平野の津波災害履歴は非常に少なく、地質調査から869年貞観地震と1611年慶長地震による津波堆積物からのみ津波履歴が確認されている²⁰⁾。石巻市の平野部においては、1896年明治三陸地震津波、1923年昭和三陸地震や1960年チリ地震津波においても軽微な被害であったために、ほぼ津波災害に対して無防備であった状況での激甚津波災害となった。本節では石巻市が市職員、自主防災組織の代表者や消防団員などを対象として、傾聴型ヒヤリングとワークショップ形式で得られた2011年東日本大震災の災害検証に関するデータを利用して、備えておくべき津波の防災情報に関する内容や表示方法に関する改善点について検討を行った。

a) 傾聴型ヒヤリング及びワークショップから抽出された防災情報の改善点

ヒヤリング及びワークショップの方法として、グループ形式を用いて、設問をもうけずに発災から1週間までの個人や組織が体験した事象について語ってもらい、その後のワークショップで、それらの事象をカードに記し、時系列的に並べた。

ワークショップで得られたカードのうち、防災情報の改善点に関する事項について記述されたカードのみを集約して、表3に示す。津波災害に直接関わる情報のみを抽出したため、2011年3月11日から津波注意報が解除された2011年3月13日までのものとしている。

被災地では、インフラ被害にともない、情報の空白化が発生する。そのため、発災から数日間ほとんど外部との情報伝達が断絶し、個人の周辺状況から得られる情報のみであった。このため、被害状況の把握も困難となり、緊急に対応すべき事項についても不明のまま災害対応を行うことになった。加えて、リアルタイムの災害情報の取得も同様に困難となっていた。本地震による津波は被害想定自体を行うことが困難な未曾有の激甚被害をもたらしたが、今後の被害想定を行う際には、政府の津波想定指針にもあるように、各レベルに応じた被害の量的に推定や空間的な広がりについて想定を行っておくことで、情報空白期における災害現況把握を保管することが有用であると考えられる。このような推定や想定を行っておくことにより、事前に想定した災害情報の周知が災害対応の道筋となり得る。

また、事前の想定に基づく検討は、次のような具体的な検討も必要であろう。1) 事前に想定した津波浸水予測と津波暴露人口を照らし合わせ、一時避難施設の充実に加えて、対象とする災害に対して安全が担保されている2次的な避難所の確保を事前に用意しておく。2) 被災地内外の応急対応連携として、被災地外の自治体が的確な緊急対応を行えるために、相互の想定災害情報を共有・周知しておく。3) また、情報伝達手段やライフラインについても、可能な限り多重化することにより断絶回避を図っていくことが重要といえる。

表3 事前に周知すべき災害情報に関する事項や改善点

2011年3月11日	2011年3月12日	2011年3月13日
津波災害に対する意識啓発	災害緊急対応などの情報タイムラグの解消	市外地避難決定のタイミング
津波到達時間の把握	発災直後から行動できる体制	2次的な避難所の設置と備蓄物の確保
避難所・避難路の確認	現況情報の共有化	安否確認手法の整理(避難所名簿)
停電時の情報伝達手段の確保	指定避難所の学校職員の立場の明確化	
被災状況のリアルタイム情報発信	災害対応の調整部署の一元化	
津波を想定した避難所指定の検討	施設立地条件の安全性検討	
季節に応じた避難訓練の実施		
学童の保護者への引渡し基準(児童を渡さず一緒に逃げる)		
地域住民とのつながり		

b) ワークショップで得られたカード分類に関する分析

ワークショップで得られた計 1,911 枚のカードに用いた分析を行い、東日本大震災で行われた石巻市職員の対応の全体的な傾向の把握を行った。

図 22 に、今回の事業のワークショップで得られたカードについて、「日にち」の情報が付与されているカードのみを用いて、日付ごとのカード枚数を示した。ワークショップ後には、出されたカードは「実際の対応」「状況」「資源」「今後の目標」に分類している。「実際の対応」は実際にとられた対応が記述されているカード（例：住民の避難誘導）、「状況」は周辺を取り巻くハザードや被害などの外的状況が記述されているカード（例：断水、市役所周辺が冠水）、「資源」はヒト・モノなどの資源に関する内的状況が記述されているカード（例：差し入れ有り）、「今後の目標」は今回の対応を踏まえた次回の目標が記述されているカード（例：津波警報を学校に必ず知らせる）である。

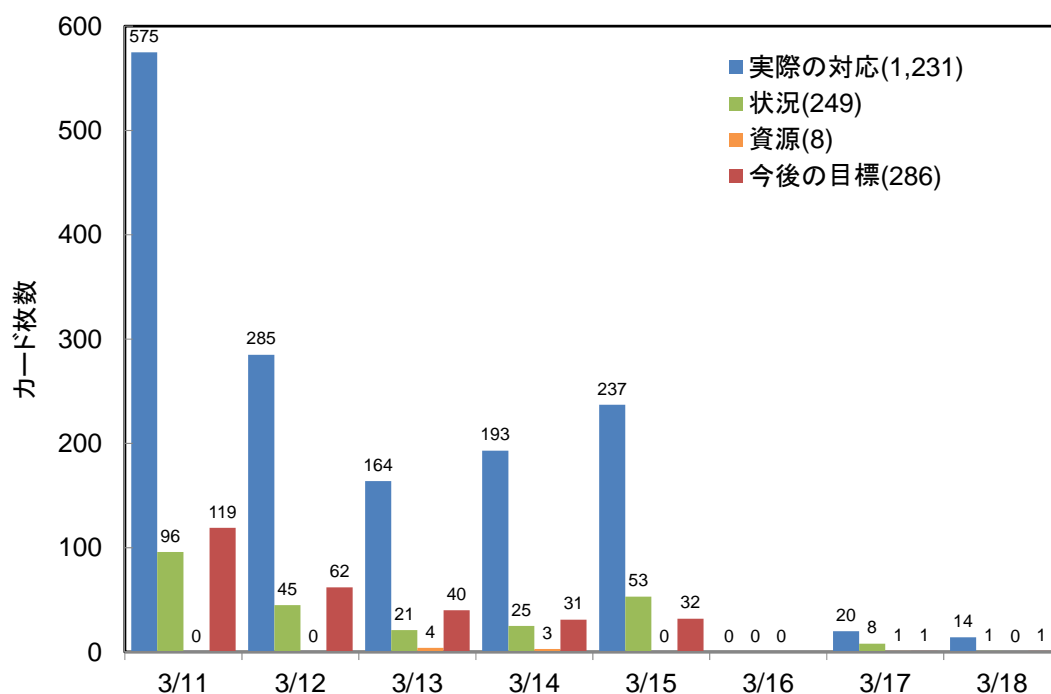


図 22 ワークショップで得られたカードの時系列的分布。

図 22 では、3/16 以降のカードの枚数がほとんど示されていない。これは、ワークショップ字義行における時間的制約によるものであり、16 日以降のカードが十分に出されなかったためであり、災害対応の「事実」そのものを表しているわけではないことに留意されたい。

特筆すべき点は、次の点である。「実際の対応」は、3/11 の災害発生から 3/13 まで徐々に減少傾向しているが、3/14 以降にまた、上昇の傾向を示している。この傾向は、ゆるやかではあるが、「状況」カードも同じような傾向にある。災害に関する現況（「状況」）が次第に明らかになっていくとともに、対応しなければならなかった事項（「実際の対応」）が徐々に、増加していった状況が推察される。石巻市役所は、被災現場の中心ということもあり、最初 3 日間は自身の被災に伴う緊急や応急の対応に忙殺されている。その状況が一定の落ち着きをみせたのちに、徐々に対応すべき事案が増加したと思われるが、推察の域を出ていない

め、以降も考察をつづける。

次に、ワークショップで得られたカードのテキストデータの内容について整理を行った。図 23 に、今回の事業のワークショップで得られたカードのテキストデータと、阪神淡路大震災の教訓検証資料（内閣府）のテキストデータについて、単語の出現頻度を比較した結果を示した。後者は、内閣府（当時の国土庁）が平成 9～11 年度に実施した「阪神・淡路大震災の教訓情報分析・活用調査」の成果²¹⁾として公開している「阪神・淡路大震災教訓情報資料集データベース」のテキストデータを用いている。両者は、必ずしも同等の趣旨・方法で生成されたテキストデータではないが、「大局的な内容」の比較には耐えうると考えた。

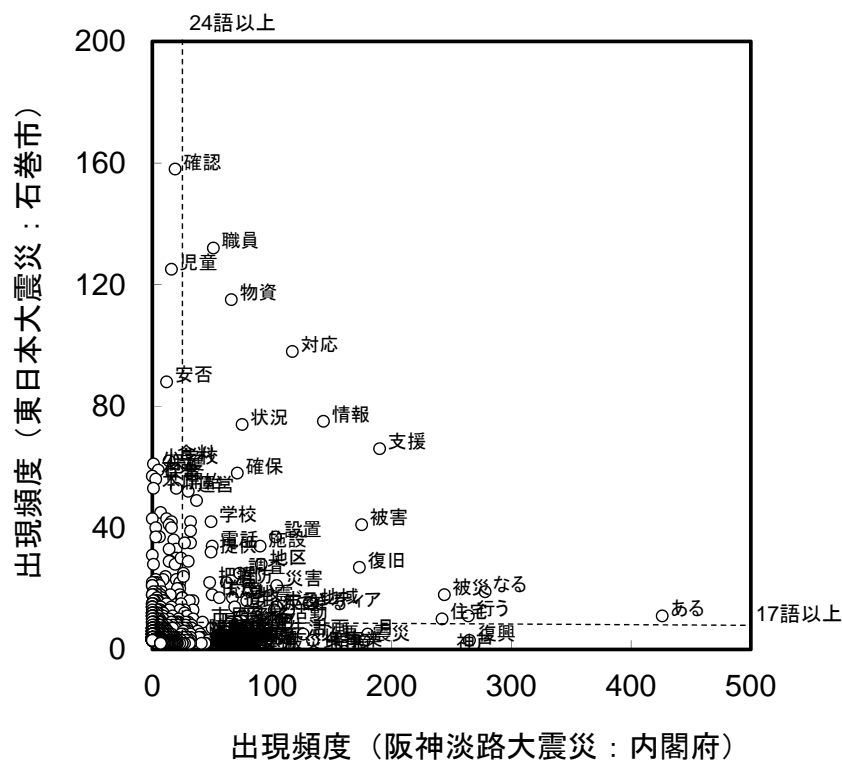


図 23 阪神淡路大震災（内閣府）と東日本大震災（石巻市）のテキストデータの比較。

図 23 は、横軸に阪神淡路大震災を単語の出現頻度、横軸に東日本大震災（石巻市）の単語の出現頻度を示している。グラフの右下にある単語は、阪神淡路大震災で特徴的な単語、グラフ左上にある単語は、東日本大震災で特徴的な単語として見ることができる。ここで、左記の判断を手続き的に行うために、横軸・縦軸のそれぞれに累積頻度の中央値を閾値として定めた。横軸（阪神淡路大震災）は 24 語、縦軸（東日本大震災）は 17 語となった。

図 23 において、閾値で 4 つにゾーン分けされた単語のうち、阪神淡路大震災で 24 語未満、東日本大震災で 17 語以上に区分された単語を表 4 に示す。表 4 で列挙した単語は、東日本大震災で特徴的なものといえる。

表4 東日本大震災（石巻市）で特徴的だった単語

順位	単語	阪神淡路 大震災 (内閣府)	東日本 大震災 (石巻市)	順位	単語	阪神淡路大 震災 (内閣府)	東日本大震 災 (石巻市)
1	確認	19	158	28	中学校	1	28
2	児童	16	125	29	受入	11	24
3	安否	12	88	30	指定	20	23
4	食料	14	62	31	依頼	9	23
5	小学校	1	61	32	誘導	3	23
6	保護	5	59	33	調達	23	22
7	石巻	0	57	34	搬入	4	22
8	保育	3	56	35	帰宅	2	22
9	開始	20	53	36	片付け	0	22
10	本庁	1	53	37	配送	6	21
11	準備	7	45	38	炊出し	0	21
12	総合	12	43	39	赤十字	0	21
13	支所	0	43	40	センター	23	20
14	移動	16	42	41	防災	21	20
15	生徒	14	41	42	炊き出し	8	19
16	開設	16	40	43	名簿	4	19
17	体育館	3	40	44	住吉	1	19
18	指示	6	37	45	補助	23	18
19	庁舎	3	37	46	無線	15	18
20	配布	18	36	47	戻る	7	18
21	トイレ	20	33	48	班	4	18
22	安全	14	33	49	毛布	1	18
23	引渡し	0	31	50	鹿妻	0	18
24	一時	20	30	51	蛇田	0	18
25	調整	15	29	52	報告	8	17
26	搬送	14	29	53	開催	4	17
27	作成	19	28				

石巻市でのワークショップにおいて、表4に示された単語が含まれるカードの内容を読むと、その内訳は次のようになる。なお、かっこ内は表4中の単語を表し、出現頻度順としている。

- 1) 安否確認（確認、児童、安否、小学校、保護（者）、生徒）
- 2) 職員の帰宅（帰宅）
- 3) 職場の片づけ（片付け）
- 4) 避難（移動、一時、誘導）
- 5) 安全の確保（安全）
- 6) 物資・食料の調達・搬入出（食料、搬送、受入、調達、搬入、配送、毛布）
- 7) 避難所対応（小学校、保育（所）、体育館、中学校、指定）
- 8) 炊出し（炊き出し、炊出し）
- 9) 避難所名簿の作成（作成、名簿）
- 10) 児童・生徒の引渡し（児童、生徒、引渡し）
- 11) トイレ環境の確保（トイレ）
- 12) ○○の準備、開始、開設、指示、配布、調整、依頼、補助、報告、開催（開始、準備、開設、指示、配布、調整、依頼、補助、報告、開催）
- 13) 本庁と支所の連絡（本庁、総合、支所、庁舎）
- 14) 地域名（石巻、鹿妻、蛇田）
- 15) 防災無線（防災、無線）

- 16) 石巻赤十字病院（赤十字）
- 17) 班の整備（班）
- 18) その他（センター、戻る）

ここでは特筆すべきは 13) の“本庁と支所の連絡”である。一例としては、「〇〇総合支所長、本庁へ来庁（被害状況報告、支援物資要請）」「総合支所との連絡調整開始（衛星電話による）」「児童の安否確認結果を〇〇総合支所へ報告」などである。現在の石巻市は、2005年4月に桃生町、河南町、河北町、北上町、雄勝町、牡鹿郡牡鹿町と旧石巻市が合併したものである。東日本大震災では、この合併した旧雄勝町、河北町、北上町、旧牡鹿町（牡鹿半島）町域を含む各浜が壊滅的な被害を受けたために、以上のような記述が頻出したと推測できる。この点は東日本大震災における石巻市での特徴的な事項であり、今後はさらなるデータ分析を行い、結果の解釈を行う必要がある。

ii) ハザードマップの要件

ハザードマップの要件について、ハザードマップの利用者に対して記載情報を適宜変える必要がある。避難行動を主として考えれば、想定される津波に対して発災時の自分の居場所とハザードマップを照らし合わせ、最短の避難路への道筋などが示してあればよい。発災と同時に応急対応活動に入る自治体や公安関係にとっては、ハザードマップにはその災害リスク情報が必要となる。以下に、津波防災マップ記載情報の基礎を列挙する。

- ・基礎的な掲載事項（避難基本事項）

- 想定外力情報、予想津波到達時間、予想浸水区域、要避難区域、避難場所・経路
 - 津波避難施設の立地

- ・必要に応じて付加が必要な最小限の記載事項

- 予想浸水開始時間、浸水実績、防護施設状況、公共施設の有無、要避難地下空間

- ・上記に加えて災害対応に必要な掲載事項

- 各種津波被害予測情報

以上の情報を最小限の情報量で簡素にまとめ、誰もが理解できる表示方法で記載することが必要と考えられる。

(d) 結論ならびに今後の課題

本研究では、平成 22 年度に提案した構造物を起伏地形と底面粗度で表現する合成地形モデルによる実用的かつ高精度な津波氾濫解析手法の妥当性について、数値実験から検証を行った。この検証から、構造物を完全に起伏地形として表現した氾濫解析結果との整合性が良好であったのは、底面粗度を相当粗度で評価する手法であることを示した。一方で、構造物の影響を合理的に取り込むことが可能な合成等価粗度モデルを合成地形モデルに適応するように各種パラメーターをチューニングする必要がある。

本報告書第 1 章で提案された 1707 年宝永地震モデルとその 1707 年宝永地震に浅部滑りを考慮したモデルを用いた津波伝播解析を実施し、高知市を対象として合成地形モデルを用いた津波氾濫解析を行った。この解析結果から、浅部滑りを考慮することにより、より沖合まで津波波源が広がることや、深部滑りによる沖側の海面上昇が、浅部滑りによる陸側の沈降により抑制されることを示した。高知市の沿岸域では、浅部滑りを考慮することにより、来襲する津波高は増大する一方で、浦戸湾の湾口部による水理フィルターの影響で、浦戸湾内に流入する津波は 1707 年宝永地震モデルに比べて減衰することを示した。

津波ハザード・リスク評価を行うために、2011 年東北地方太平洋沖地震における宮城県仙台湾沿岸の被害形態をまとめ、さらに既往研究で提案されている津波による人的・物的被害の各種発生基準に関する整理を行った。

高知市を対象として、合成地形モデルを用いた津波氾濫解析結果と人的・物的被害発生基準を用いて、人的・物的被害予測を考慮したハザードマップの提案を行った。対象とした被害は人的被害、家屋構造物被害、自動車・船舶漂流の危険性について可視化を行い、地震発生から 6 時間までの高知市における津波ハザード・リスク変化について評価を行った。また、人的被害については、発生時間帯による見込みの変動や季節変化による観光客の影響について定性的に検討を行った。地震発生時間帯の影響評価については、パーソントリップデータを用いた詳細な検討を行うことが必要である。

宮城県石巻市が実施した東日本大震災の災害検証に関するヒヤリング調査から、これまでの防災情報の内容・表示法に関する問題点や改善すべき項目について抽出を行い、災害想定の重要さや、市町村合併に関わる災害対応への影響を定性的に示した。激甚被災自治体からの“生の声”を今後の津波防災に活かすべく、さらなる検証や分析を行う必要がある。

謝辞：石巻市における家屋被害・人的被害データ（第 3 節）の一部は国土交通省（東日本大震災による被災現況調査（平成 23 年度））から提供頂きました。災害検証に関するデータ（第 5 節）は石巻市役所（平成 23 年度 東日本大震災災害検証及び石巻市災害マニュアル作成業務）から提供頂きました。また、ヒヤリングデータの分析には、東北大学災害科学国際研究所助教 佐藤翔輔氏と東北大学研究員 岩崎雅宏氏に多大なるご助力を頂きました。ここに記して、感謝の意を表します。

(e) 引用文献

- 1) 津高亮太・嶋原良典・藤間功司：津波氾濫解析の基礎実験による検証，土木学会論文集 B1（水工学），67，No.4，2012.
- 2) 小谷美佐・今村文彦・首藤伸夫：GIS を利用した津波遡上計算と被害推定法，土木学会海岸工学論文集，45，356-360，1998.
- 3) 油屋貴子・今村文彦：合成等価粗度モデルを用いた津波氾濫シミュレーションの提案，土木学会海岸工学論文集，49，276-280，2002.
- 4) チャルレス シマモラ・嶋原良典・藤間功司：建物群に作用する津波波力に関する水理実験，土木学会海岸工学論文集，54，831-835，2007.
- 5) Goto, C and N. Shuto : Effects of Large Obstacles on Tsunami Inundations, Tsunamis-Their Science and Engineering, Terra Scientific Publishing Company, 511-525, 1983.
- 6) 文部科学省研究開発局・東京大学大学院情報学環：「東海・東南海・南海地震の連動性評価プロジェクト」②連動性を考慮した強震動・津波被害予測研究，平成 22 年度成果報告書，pp.124-127，2010.
- 7) Koketsu, K., Y. Yokota, N. Nishimura, Y. Yagi, S. Miyazaki, K. Satake, Y. Fujii, H. Miyake, Y. Yamanaka, S. Sakai, and T. Okada, A unified source model for the 2011 Tohoku earthquake, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 310, 480-487, doi:10.1016/j.epsl.2011.09.009., 2011.
- 8) Furumura, T., K. IMAI, and T. Maeda : A revised tsunami source model for the 1707 Hōei earthquake and simulation of tsunami inundation of Ryujin Lake, Kyushu, Japan, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 116, B02308, doi:10.1029/2010JB007918, 2011.
- 9) 越村俊一, Harold Mofjeld, 片田敏孝, 河田恵昭, 津波の市街地氾濫による人的被害に関する一評価法 -米国シアトル, ウォーターフロントにおけるケーススタディ, 土木学会海岸工学論文集, 49, 1441-1445, 2002.
- 10) 伊東慎一・大町達夫・井上修作：歩行者に作用する津波力の定式化とスマトラ沖地震津波のビデオによる検証，土木学会海岸工学論文集，53，176-180，2006.
- 11) 越村俊一，行谷佑一，柳澤英明：津波被害関数の構築，土木学会論文集 B, Vol.65, No.4, 320-331, 2009.
- 12) 飯塚秀則・松富英夫：津波氾濫流の被害想定，土木学会海岸工学論文集，47，381-385，2000.
- 13) 島田友典・渡邊康玄・横山洋・辻珠希：千代田実験水路における横断越水破堤実験，土木学会水工学論文集，53，871-876，2009.
- 14) 藤井裕之・首藤伸夫・堀田新太郎・高木利光：津波越流による沿岸道路の破壊に関する研究，土木学会海岸工学論文集，57，246-250，2010.
- 15) 熊谷兼太郎・小田勝也・藤井直樹：津波によるコンテナの漂流挙動シミュレーションモデルの適用性，土木学会海岸工学論文集，53，241-245，2006.
- 16) 永野修美・今村文彦・首藤伸夫：数値計算による沿岸域でのチリ津波の再現性，土木学会海岸工学論文集，36，183-187，1989.
- 17) 橋本貴之・越村俊一・小林英一：津波による大型船舶の漂流挙動解析-インドネシア・バンダアチェにおける事例-，土木学会海岸工学論文集，56，316-320，2009.
- 18) 高知市：観光の概況，www.city.kochi.kochi.jp/uploaded/attachment/2125.xls，参照2012-4-27.

- 19) 四国運輸局：平成22年度上半期 四国の主要観光地入込状況について，
http://www.tb.mlit.go.jp/shikoku/soshiki/kikaku/img/irikomi_h22_k4.pdf，参照2012-4-27.
- 20) 宍倉正展・澤井祐紀・岡村行信・小松原純子・Than Tin Aung・石山達也・藤原治・藤野滋弘：
 石巻平野における津波堆積物の分布と年代，活断層・古地震研究報告，7，31^46，2007.
- 21) 内閣府：阪神・淡路大震災教訓情報資料集，
http://www.bousai.go.jp/1info/kyoukun/hanshin_awaji/index.html，参照4-27-2012.

高知市：観光の概況，www.city.kochi.kochi.jp/uploaded/attachment/2125.xls，参照2012-4-27.

(f) 成果の論文発表・口頭発表等

学会等における口頭・ポスター発表

発表成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表場所 （学会等名）	発表時期	国際・国内の別
東京湾における津波の伝播特性に関する数値実験	今井健太郎・都司嘉宣・林豊	平成23年度日本地震学会秋季大会	2011年10月13日	国内

学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載論文（論文題目）	発表者氏名	発表場所 （雑誌等名）	発表時期	国際・国内の別
Examination of three practical run-up models for assessing tsunami impact on highly populated areas	Muhari, F. Imamura, S. Koshimura, and J. Post	Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 11, 3107-3123, doi:10.5194/nhess-11-3107-2011	11月	国際

マスコミ等における報道・掲載

報道・掲載された成果（記事タイトル）	対応者氏名	報道・掲載機関 （新聞名・TV名）	発表時期	国際・国内の別
南海地震に備える	今村文彦	NHK高知	2011年12月23日	国内
南海地震対策で講演会	今村文彦	NHK高知	2012年1月20日	国内
南海地震「複合災害」備えを	今村文彦	高知新聞	2012年1月21日	国内
高知市内の津波避難ビル	今村文彦	高知新聞	2012年1月22日	国内

(g) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

(3) 平成24年度業務計画案

各モデル地域である高知市、尾鷲市、鳥羽市での防災力・対応力などの情報を収集し、想定し得る津波リスクを洗い出すことで津波リスクマップを作成する。また、これらリスクマップを津波ハザードマップに重ね、地震発生直後から津波収束までの時間要素を取り入れた、より現実的な津波ハザード・リスクマップを作成する。さらに、社会一般に連動型巨大地震による津波の影響力を分かりやすく伝えるために、津波遡上や浸水域の拡大の様子やその流向などを高分解能航空写真やGIS地図に重ね書きしたリアルなアニメーションを作成する。最後に、ハザード・リスクのマップを活用した人的被害軽減戦略の作成プログラムを提案する。

3.3. 都市域の地震動予測と構造物の被害予測・減災戦略の策定

目次

(1) 業務の内容

- (a) 業務題目
- (b) 担当者
- (c) 業務の目的
- (d) 5カ年の年次実施計画
- (e) 平成23年度業務目的

(2) 平成23年度の成果

- (a) 業務の要約
- (b) 業務の成果
 - 1) 東南海地震を想定した強震動予測
 - 2) 一般建物の地震応答評価
 - 3) 高層建物の地震応答評価
 - 4) 免震建物の地震応答評価
 - 5) 軟弱地盤上の大規模建物の地震応答評価
 - 6) 地震観測記録の収集と分析
 - 7) 地域の災害対応力に関連する建物の情報
 - 8) 地域情報の一元化と災害対応力評価のためのシステム
- (c) 結論ならびに今後の課題
- (d) 引用文献
- (e) 成果の論文発表・口頭発表等
- (f) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

(3) 平成24年度業務計画案

(1) 業務の内容

(a) 業務題目

都市域の地震動予測と構造物の被害予測・減災戦略の策定

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名	メールアドレス
名古屋大学 減災連携研究センター	教授	福和 伸夫	fukuwa@sharaku.nuac.nagoya-u.ac.jp
名古屋大学災害対策室	教授	飛田 潤	
名古屋大学 減災連携研究センター	准教授	護 雅史	

(c) 業務の目的

地震発生シナリオに対応した都市域の高解像度地震動予測と各種構造物の地震応答・被害予測を行う。平野で生成する強震動を地震観測データと地震応答解析から高精度に評価し、学校・集合住宅などの鉄筋コンクリート（RC）系の建物の被害を予測するとともに、超高層ビルなどの長周期構造物や、埋立地の大規模建築物の応答性状を評価する。また、緊急地震速報を活用した構造物の被害軽減・早期機能復旧のための方策、例えば、各種安全装置の自動起動やエレベータの停止等の方策について調査する。さらには、地域社会が有する災害対応力を建築の立場から調査し、復旧・復興に向けた課題を明らかにする。

(d) 5カ年の年次実施計画（過去年度は、実施業務の要約）

1) 平成 20 年度：

都市域の高解像度地震動予測のための地盤モデルとして、濃尾平野周辺地域について深部地盤構造モデルを、さらに名古屋市域については表層地盤モデルを構築した。いずれも従来のモデルをベースに、多数の地点での常時微動や強震観測等の結果と三次元差分法等によるシミュレーション結果を比較しつつ、周期特性を高解像度で表現できるように修正したものである。建物の適切な被害予測を行うための実際的なモデル構築に向けて、低層 RC 造建物の強震観測体制を整備した。この際に、多数の建物における観測を効率的に実施するため、旧型の観測機材（K-NET95 強震計）を用いて、維持管理を現地の非専門家の観測協力者に依頼する新たな観測体制を構築した。このような構造物の被害予測から、建物耐震化が減災戦略や復旧・復興に及ぼす影響を検討するため、地域社会の人材・資材・機材およびその運用に関する基礎資料の蓄積を開始するとともに、病院の対応力などに関する予備的な検討を実施した。

2) 平成 21 年度：

上記地下構造モデルを用いた強震動予測結果と強震観測記録を利用して擬似経験的グリーン

関数法により、名古屋市内の代表地点における強震動を高精度に予測した。その際に、擬似経験的グリーン関数法の適用性について吟味した。また、耐震診断結果や過去の地震被害調査結果に基づき、学校建物について、建物の耐震余力や動的相互作用を考慮した地震応答解析モデルを構築した。さらに、軟弱地盤に立地する大規模群杭支持構造物の解析を高精度に実施するため、根入れ効果を考慮した大規模群杭の応答解析法を構築した。災害発生後の対応力の調査を、前年度に引き続き継続的に実施した。

3) 平成 22 年度 :

埋立地などの軟弱地盤の地表地震動を、地盤の非線形性や液状化を考慮して高精度に予測するために、利用できる地盤データの質や非線形解析手法の比較検討に基づいて地盤モデル作成法を整備し、名古屋市内の代表地点で地震動予測を行った。また地盤の非線形性を考慮した大規模群杭支持構造物の応答解析法を開発し、軟弱地盤上の大規模建物の地震応答評価法を整備した。中低層建物の実際的な被害評価に向けて、学校建物、集合住宅などの動的相互作用や耐震余力を考慮した地震応答解析モデルを開発した。高層・免震などの長周期構造物の地震応答記録の分析を行うとともに、首都直下地震防災・減災特別プロジェクト（以下、首都直下地震研究という）で得られた高層建物振動台実験の成果を活用して、長周期構造物の被害予測の基礎データを整備した。減災戦略の策定に向けて、災害発生時の地域社会対応力に関する基礎情報収集を行い、災害対応施設の充足度の検討を行うとともに、それらを扱う地理情報システムの開発を進めた。また以上の検討の基礎資料として東海地域における地盤・建物の強震観測と記録の整理を継続し、平成 23 年 3 月 11 日東北地方太平洋沖地震を含む多数の地震記録を収集した。

4) 平成 23 年度 :

名古屋市域の強震動予測結果と建物の実耐力を表現できる建物地震応答解析モデルを用いて、学校・集合住宅などの地震応答解析を実施し、都市域の鉄筋コンクリート系の建物の被害分布性状を明らかにする。その際に、基礎―地盤間の局所的非線形性（浮上り・剥離・滑動）などの影響についても検討する。合わせて、高層建物を対象として建物周期と地盤周期との関係に着目した地震応答解析、軟弱地盤に立地する群杭支持大規模構造物の地震応答解析を実施する。また、災害発生後の対応力について、これまでの調査データをまとめ、現状の評価を行う。

5) 平成 24 年度 :

前年度までに行った名古屋市域の強震動予測と各種構造物の応答解析結果を吟味し、複数の地震発生シナリオに基づいて、地震動・建物応答解析用計算機を用いて都市域の地震動と建物応答の予測および被害評価の検討を行う。またその結果に基づき、建物の被害状況と被害軽減に関する検討として、たとえば緊急地震速報を活用した構造物の被害軽減・早期機能復旧のための方策などを考察する。災害発生時の地域社会対応力について、基礎データとして地域の地震観測記録、地盤データ、地域社会データなどの収集・整理を継続しうる体制を整えるとともに、基礎情報収集と分析・評価システムの開発を行う。

(e) 平成 23 年度業務目的

前年度までに算定した名古屋市域の強震動予測結果と、建物の実耐力を表現できる建物地震応答解析モデルを用いて、学校・集合住宅などの地震応答解析を実施し、都市域の鉄筋コンクリート系の建物の被害分布性状を明らかにする。その際に、基礎―地盤間の局所的非線形性（浮上り・剥離・滑動）などの影響についても検討する。合わせて、高層建物を対象として建物周期と地盤周期との関係に着目した地震応答解析、軟弱地盤に立地する群杭支持大規模構造物の地震応答解析を実施する。また、災害発生後の対応力について、これまでの調査データをまとめ、現状の評価を行う。

(2) 平成 23 年度の成果

(a) 業務の要約

連動発生シナリオに基づく名古屋市域の強震動予測について、深部・浅部の地盤データを広域でコンパイルし、複数の連動発生シナリオに対応した面的な地震動予測を行いうる体制を整えた。学校、集合住宅等の局所非線形を考慮した地震応答解析を行う手法を構築し、東北地方太平洋沖地震で観測された地震動なども含めて、都市域の建物の応答・被害状況の考察を行った。高層建物の応答解析と観測記録から、建物と地盤の周期の関係により共振を生じる場合の特性について検討した。また軟弱地盤上の大規模構造物に関して、応答解析手法と応答特性を検討した。以上の基礎データとして、東海地域の建物を中心に、東北地方太平洋沖地震で得られた観測記録の収集と分析を行った。災害発生時の地域社会対応力については、人口・都市・施設・地盤データなどの基礎情報収集を継続して行うとともに、GIS による効果的な分析・評価システムの開発を継続して実施した。またこれらの調査・分析結果に基づいて、医療、建設などに関する評価を行った。

(b) 業務の成果

1) 東南海地震を想定した強震動予測

前年度までに、南海トラフの巨大地震に関する強震動予測手法の検討を行い、表層地盤の非線形特性も考慮して、名古屋市内の代表地点の強震動予測を行った。今年度は、愛知県への影響が最も大きい東南海地震について名古屋市域の面的な強震動予測を試みた。

図 1 に震源モデルを示す。震源モデルは山中私信（2009）により推定された 1944 年東南海地震のすべり分布を用いた。地震モーメントは 2.03×10^{28} dyn・cm である。図 2 に計算地点の分布を示す。計算地点は、名古屋市域に均等に配置した 4290 地点である。

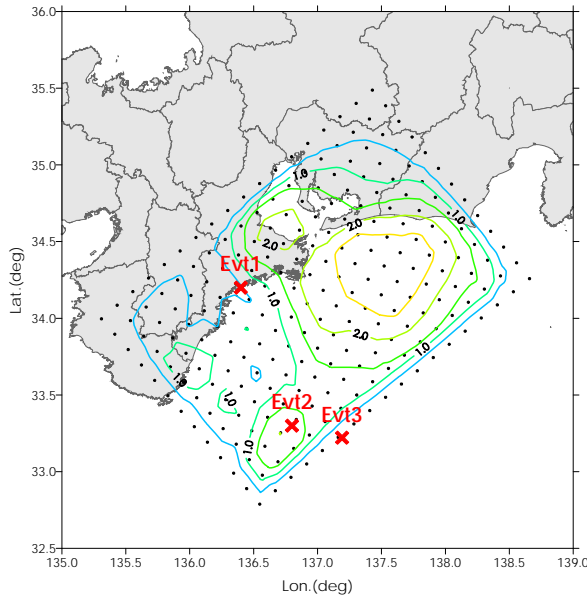


図1 震源モデルと要素地震の震央分布

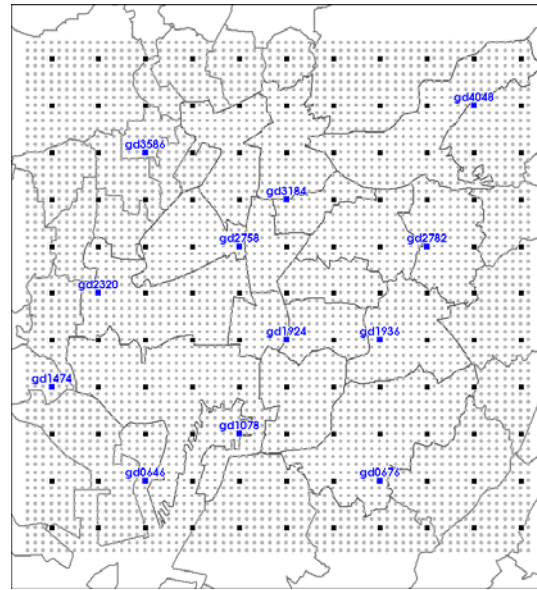


図2 計算地点の分布

■ は図 11 の応答スペクトルを示した地点、地点名を示しているのは図 6、図 8 で波形を示した地点である。

a) 予測手法の概要

工学的基盤の強震動予測には、これまでに開発した「擬似経験的グリーン関数法」¹⁾を用いた。これは、高密度強震観測網の観測記録と、深部・浅部地盤モデルに基づくシミュレーション波形を用いて、地震観測記録のない地点での地震動推定を行う方法である。図 3 に予測の流れを示す。地震動評価をしたい地点 (A 点) と地震観測記録の存在する地点 (B 点) との 2 地点間の伝達関数 (A/B) をシミュレーション波形から求め、B 点での観測波形と掛け合わせることにより、A 点での地震波形を推定する。伝達関数の評価には、長周期域は三次元有限差分法、短周期域は統計的シミュレーションにより、震源メカニズム・伝播経路・地下構造の影響を解析的に考慮する。本節の検討では、擬似経験的グリーン関数法により計算地点における中小地震の波形を推定し、想定地震の予測を経験的グリーン関数法²⁾で実施する。

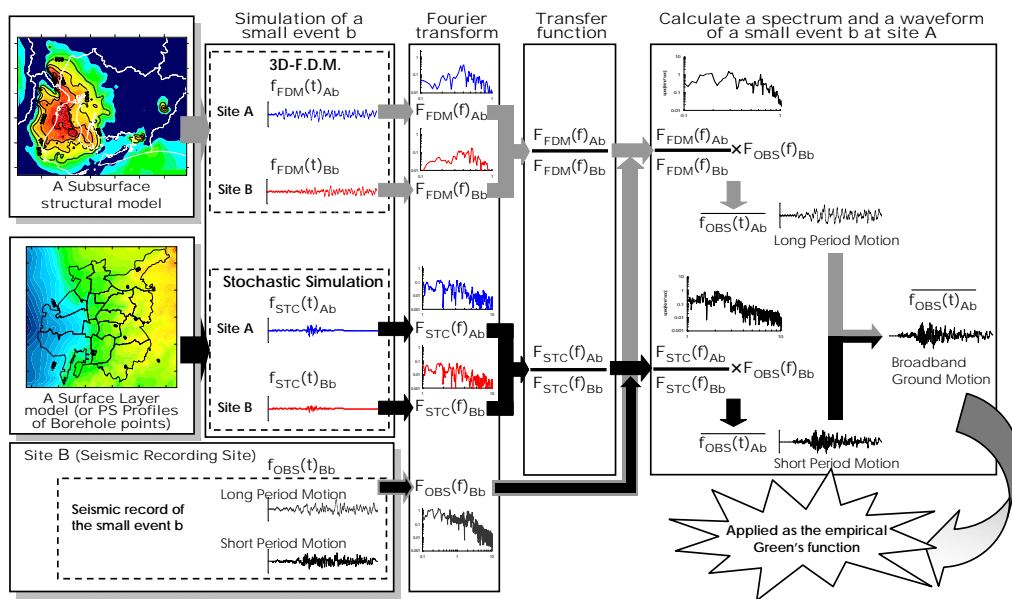


図3 擬似経験的グリーン関数法の流れ¹⁾ (A点における中小地震bの地震波形を推定する場合)

- : 長周期の波形インバージョンにより推定された短周期レベル (壇・他⁵⁾, 2001)
- : 経験的グリーン関数法により推定された太平洋プレート境界における地震の短周期レベル (佐藤⁶⁾, 2010)
- △ : スペクトルインバージョンにより推定された太平洋プレート境界における地震の短周期レベル (佐藤⁶⁾, 2010)

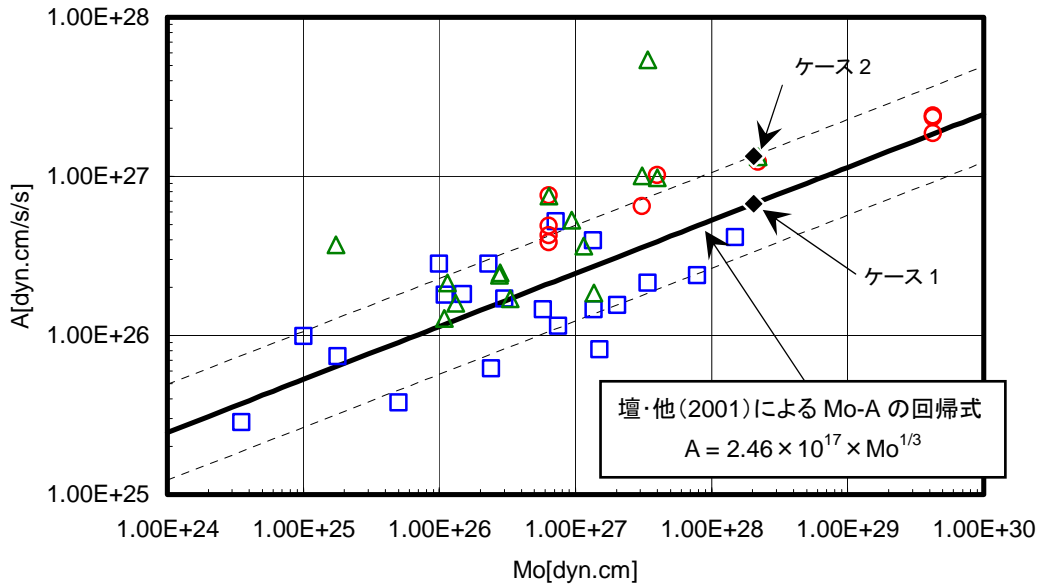


図4 地震モーメントと短周期レベルの関係

b) 要素地震と震源モデル

図1に地震動予測に用いる要素地震の震央分布を、表1に要素地震のパラメータ、表2に想定地震のパラメータを示す。応力降下量はK-NET、KiK-net地点の地震記録を用いたスペクトルインバージョン(例えば³⁾及び震央位置が近接する2地震のスペクトル比⁴⁾を用いてコーナー周期を読み取り設定した。

表1 要素地震のパラメータ

	Mo[Nm]	σ [MPa]	断層面積 S[km ²]	断層長さ L[km]	断層幅 H[km]	すべり量 D[cm]
Evt1	1.70×10^{17}	41.00	4.67	3.06	1.53	75.80
Evt2	7.54×10^{19}	10.32	354.86	26.64	13.32	166.29
Evt3	2.06×10^{17}	2.33	35.93	8.48	4.24	11.95

表2 想定地震の断層パラメータ

面積(km ²)	39600
地震モーメント(Nm)	2.03×10^{21}
平均すべり量(m)	1.41
要素断層のサイズ	約15km×約15km
S波速度(km/s)	3.66
平均密度(g/cm ³)	2.7
剛性率(N/m ²)	3.61×10^{10}
破壊伝播速度(km/s)	3.0

震源モデルについては、震源域(面積)とすべり量が得られているが、応力降下量を設定する必要がある。本検討では震源全体の短周期レベルが、図4に示す壇・他(2001)⁵⁾による地震モーメントと短周期レベルの関係において、

$$A = 2.46 \times 10^{17} Mo^{1/3} \dots\dots\dots (1)$$

に従う場合(ケース1)と上式の2倍とした場合(ケース2)を設定し、各要素断層の応力降下量がすべり量に比例すると仮定して、それぞれの短周期レベルに適合するように応力降下量を設定した。

c) 継続時間の長い中小地震記録の作成

強震観測のために、防災科学技術研究所によるK-NETやKiK-net、自治体の震度情報ネットワークなどの観測網や、地方自治体や民間企業、大学などの既存の観測網を相互接続し、一元的に地震観測記録を収集する仕組みも整備されつつある。しかしながら、得られる強震

記録は、地震計の性能や観測目的により収録される時間が異なる。本検討で用いる地震記録も地点、地震イベントによって記録時間に差異がある。そこで本検討では高橋他 (2010)⁷⁾ による後続波形を推定する方法を用いて継続時間の長い地震記録を作成した。

この手法は、波形の記録時間が地点 a では短く、地点 b では長い場合、2 地点間の伝達関数 a/b を短い方の波形にタイムウィンドウを合わせて求め、これに地点 b の全波形記録の複素フーリエスペクトルを乗じて、地点 a の後続部を推定するものである。本検討では Evt1 及び Evt2 について適用した。図 5 に推定した地震波形の一例を示す。

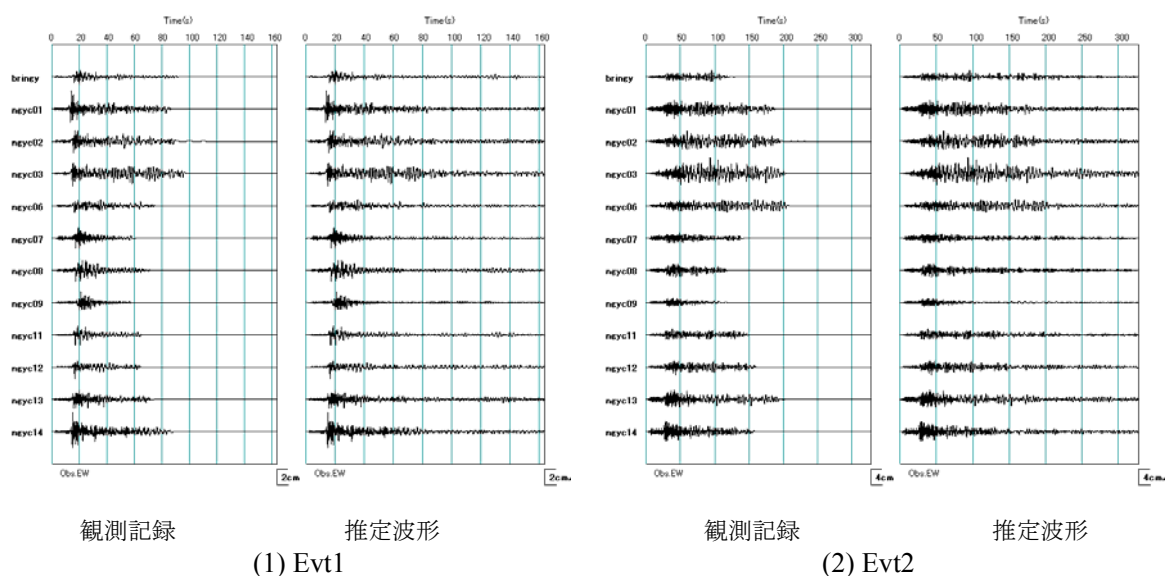


図 5 長い継続時間の地震波形を推定した例

d) 擬似経験的グリーン関数法による要素地震動の作成

擬似経験的グリーン関数法により要素地震を推定した。理論伝達関数の計算は、周期 2 秒を境界として短周期側は統計的シミュレーション、長周期側は三次元有限差分法による計算波形を用いた。短周期、長周期において波形を推定した後、接続周期 2 秒でハイブリッド合成し広帯域の要素地震動を作成した。なお、Evt1 及び Evt2 については長周期のみ擬似経験的グリーン関数法を適用した。図 6 に推定した要素地震を示す。

e) 経験的グリーン関数法による強震動予測

経験的グリーン関数法の適用に際しては、壇・佐藤 (1998) の方法⁸⁾を用いた。破壊伝播速度は 3km/s とし、放射状に伝播することとした。地震波の計算後、表層地盤モデルを用いて剥ぎ取りを行い、工学的基盤の波形とした。さらに Evt3 のみを用いた場合（継続時間考慮なし）と周期 2 秒以上に対して Evt1 及び Evt2 から合成した継続時間の長い長周期波形とハイブリッド合成した場合（継続時間考慮あり）の 2 通りの検討を行った。図 7 に工学的基盤における震度分布を示す。図 7 より継続時間考慮ありの方が継続時間考慮なしに比べて若干ではあるが震度が大きめになっている。またケース 1 では震度 5 弱～震度 6 弱の震度分布となっているのに対し、ケース 2 では震度 5 強～震度 6 強と震度階で 1 ランク大きくなっている。図 8 に合成波形の例を示す。

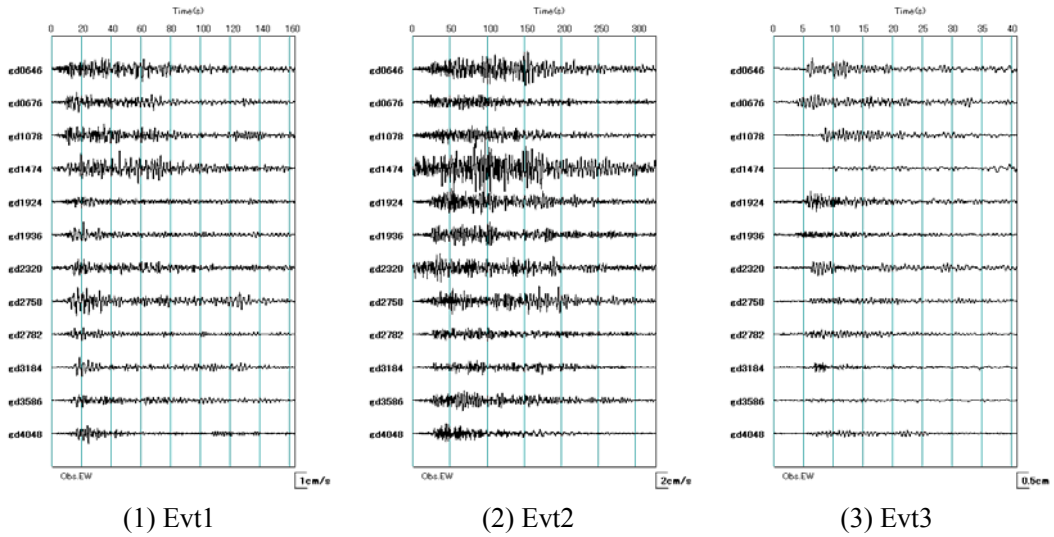


図6 推定した要素地震の波形例

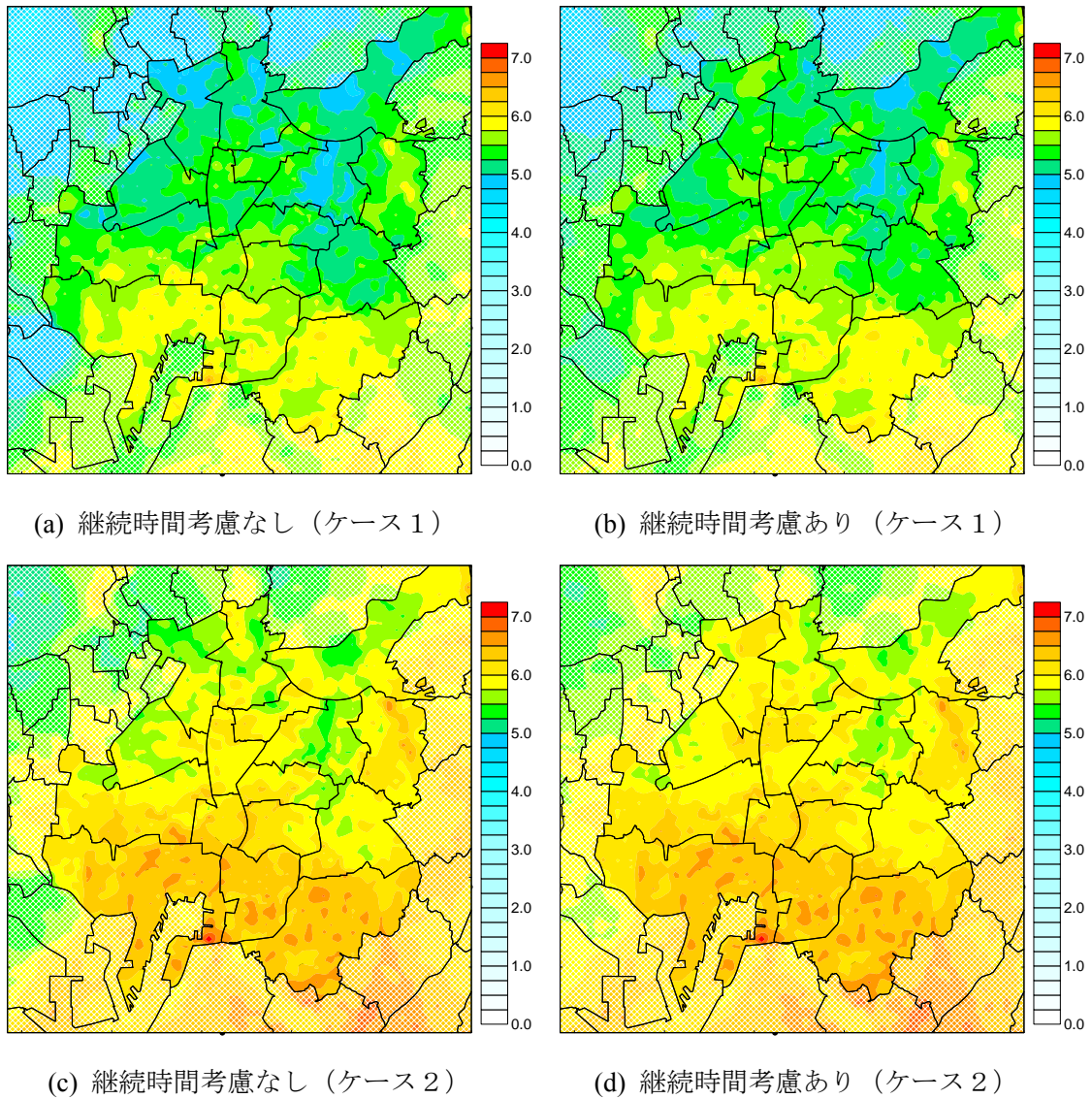


図7 工学的基盤における計測震度の分布

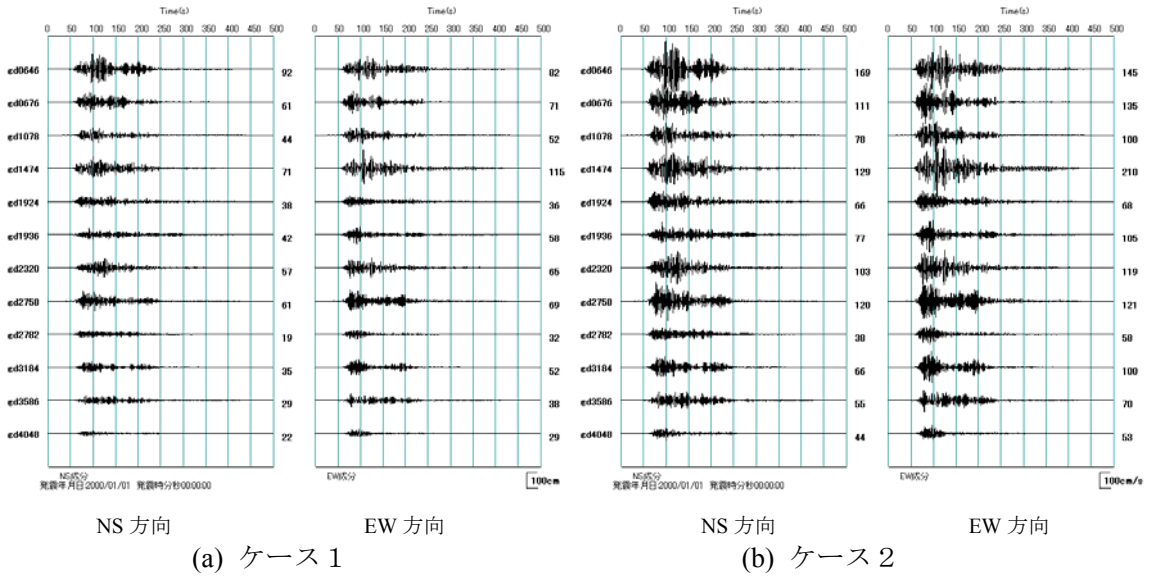


図8 1944年東南海地震の合成波形例（継続時間考慮あり）

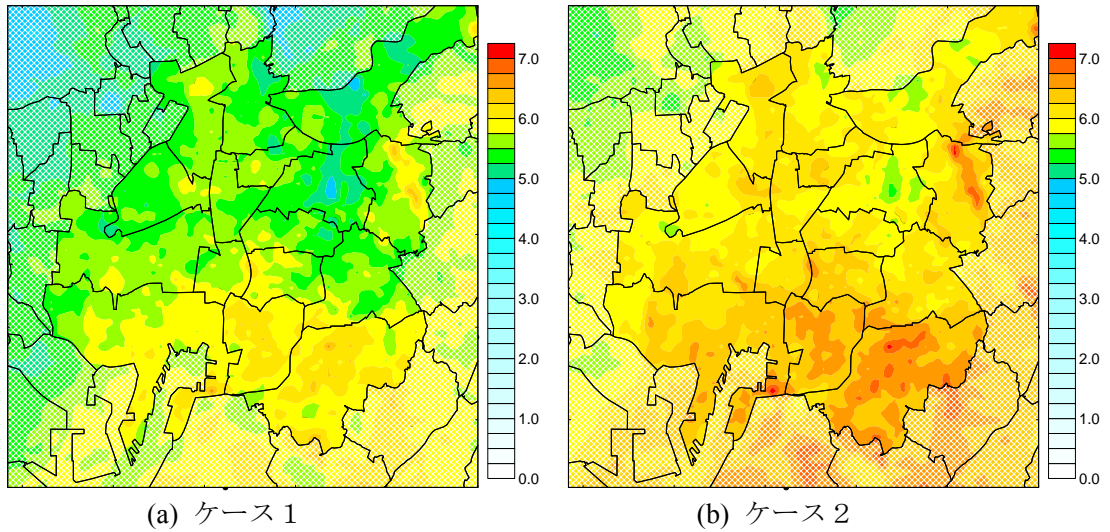


図9 地表面における計測震度の分布

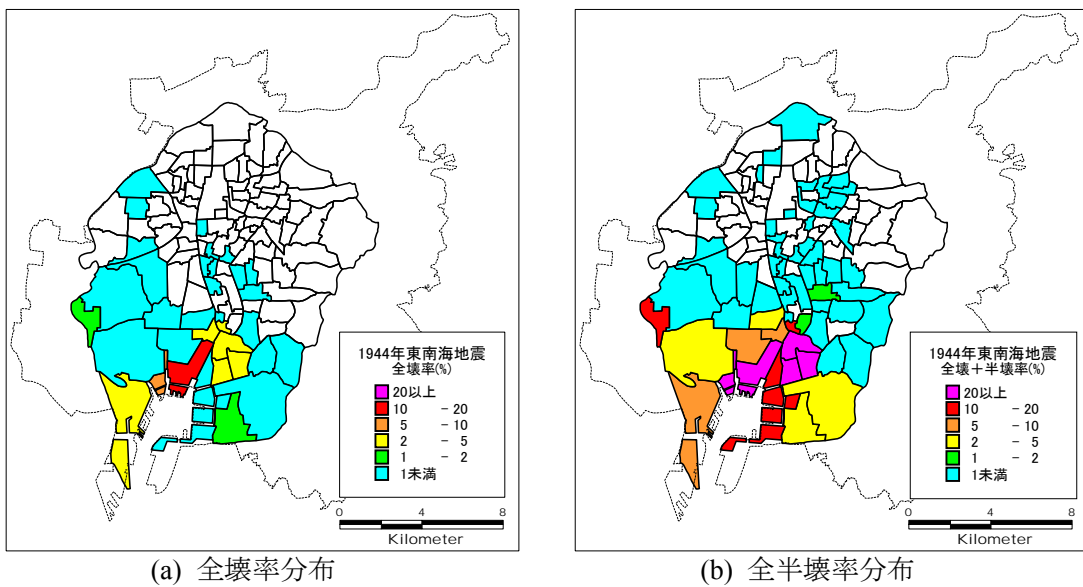


図10 1944年東南海地震による住家被害率¹⁰⁾

f) 地表面における地震動の予測

逐次積分法による全応力地震応答解析を行った。解析コードはYUSAYUSA-2⁹⁾を用いた。

図9に地表面における震度分布を示す。また図10には飯田(1977)¹⁰⁾による住家被害率分布を示す。住家被害の有無の境界を震度5強と震度6弱の間と仮定して、図9及び図10を比較すると、住家被害率との対応がよいのはケース1であることが確認できる。

図11には、図2の■地点におけるケース1の地震波形の擬似速度応答スペクトル ($h=5\%$) を地点配置に従って並べて示す。北東部ではピークがややつぶれたスペクトル形状を呈し、中部から1つ目立ったピークが周期3秒付近に確認できる。さらに南西部の地点では目立ったピークが周期5秒程度まで推移しているのが確認できる。

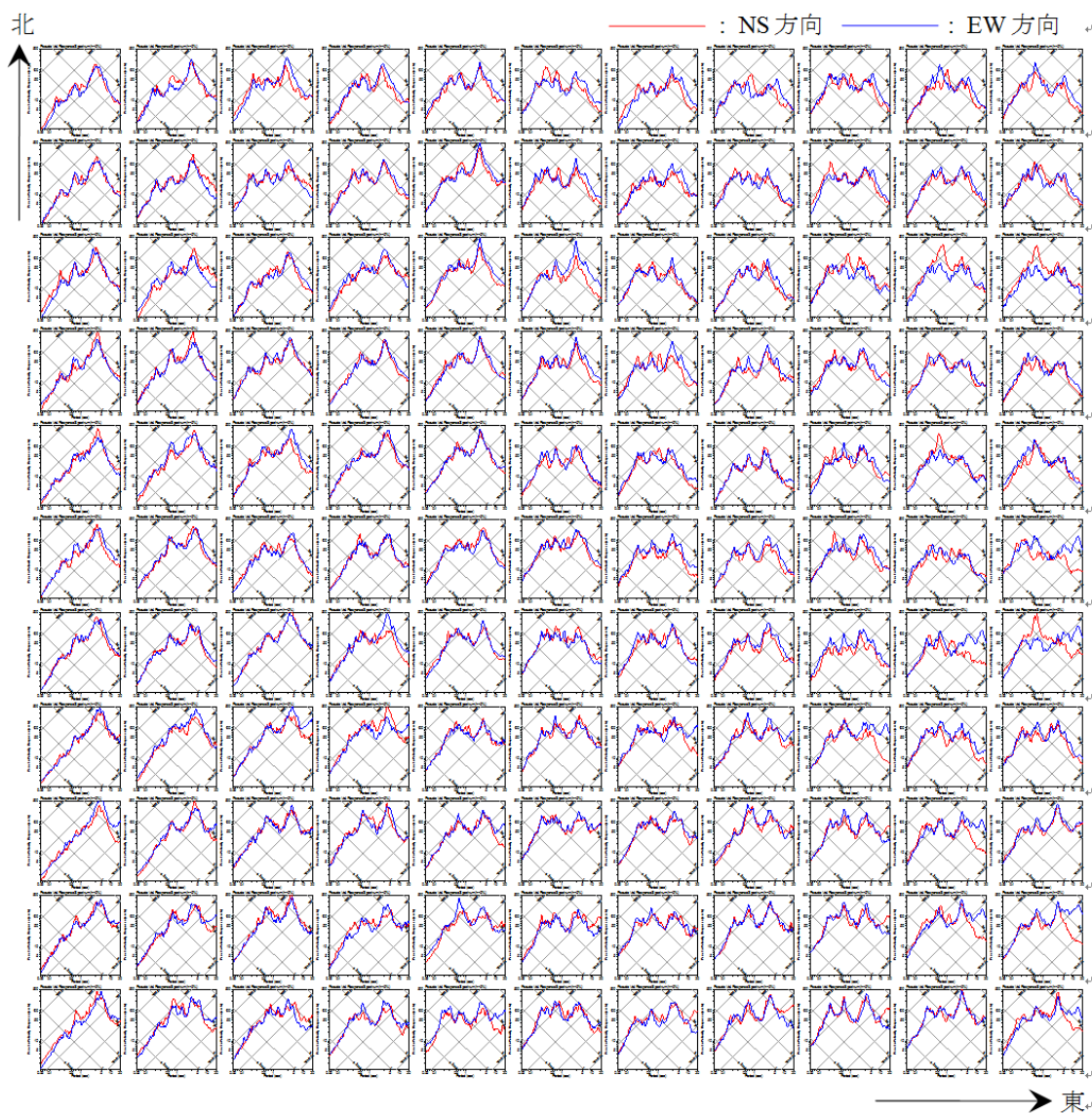


図11 地表面における想定東南海地震（ケース1）の擬似速度応答スペクトル ($h=5\%$)

※グラフの縦軸は5cm/s～500cm/s、横軸は周期0.05sec～20sec。いずれも対数軸

2) 一般建物の地震応答評価

今年度は、一昨年度作成した愛知県の小学校建物を対象とした被害予測モデルと、事務所、工場、商業施設を対象とする鉄骨建物の被害予測モデルを用いて、昨年度作成した想定東海・東南

海地震の強震動予測結果や 2011 年東北地方太平洋沖地震の観測記録による非線形地震応答解析を実施した。この際、地盤と建物の動的相互作用効果を考慮した。

a) 2011 年東北地方太平洋沖地震の地震観測記録を用いた鉄骨造事務所建物の応答評価

本年度は、東海地方において大地震による建物被害を予測することを目的として、鉄骨造（以降、S 造）の事務所建物（3 階、8 階、14 階）、工場（1 階）、商業施設（5 階）、鉄筋コンクリート造（以降、RC 造）の小学校建物（3 階）を対象に非線形地震応答解析を実施した。入力地震動としては、M9 クラスの地震動である 2011 年東北地方太平洋沖地震において K-NET で観測された記録を用いた。また、スウェイ・ロッキングモデル（以下 SR モデル）を用いて、地盤と建物の動的相互作用効果を考慮した検討も実施した。

解析では、S 造建物については、図 12 に示すように、建物の標準的のスペンや架構形式、部材断面を設定した。さらに、図 13 に示す多質点系せん断型モデルに置換し、層間変形と層せん断力間に非線形性を考慮した。復元力特性は、ノーマルトリニアとし、骨格曲線は静的増分解析に基づき設定した。表 3(a)に、一例として 3 階建て事務所建物の解析諸元を示す。減衰定数は、初期剛性に対して 2%の瞬間剛性比例型とした。一方、RC 造小学校建物については、昨年度までに行ってきた研究成果に従い、名古屋市内に立地する小学校建物の標準的なスペンや架構形式を採用した。また、解析モデルについては、S 造建物と同様に多質点系せん断型モデルとした。復元力特性については、 I_s 値が相対的に低い桁行方向を対象とした。ただし、骨格曲線については、降伏後の耐力低下を考慮しなかった。降伏耐力は、 I_s 値から層ごとに設定するが、本検討では、最小 I_s 値を、 $I_s \leq 0.3$ 、 $0.3 < I_s \leq 0.6$ 、 $I_s \geq 0.6$ の 3 タイプに分け、それぞれに分類される複数の建物の平均値を用いた。 $I_s \geq 0.6$ の建物についての解析諸元を表 3(b)に示す。

地盤と建物の動的相互作用効果として、SR モデルを用いた検討、および根入れ（1.5m）を考慮した検討を行った。地盤ばねについては、水平地盤ばね K_h 、回転地盤ばね K_r をそれぞれ以下の式により算定した。

$$K_h = \frac{8\rho V_s^2 r_h}{2-\nu} \dots\dots\dots (2)$$

$$K_r = \frac{8\rho V_s^2 r_r^3}{3(1-\nu)} \dots\dots\dots (3)$$

ここに、 V_s 、 ρ 、 r_h 、 r_r 、 ν はそれぞれ、地盤のせん断波速度、地盤の密度、面積等価半径、断面 2 次モーメント等価半径、ポアソン比である。密度、ポアソン比、 V_s は、各観測地点において値が 400m/s に達する深さまでの平均値とした。また、地盤の塑性化を考慮して、せん断弾性係数を 1/2 とした場合についても検討した。

解析では、2011 年東北地方太平洋沖地震において震度 6 強、7 を観測した K-NET 観測点の観測記録を入力地震動として用いた。観測点と水平 2 方向最大地動速度分布、代表 5 観測点の EW 成分の加速度波形、及び減衰定数 5%トリパタイトスペクトルを図 14 に示す。

図 15 に各種 S 造建物の基礎固定とした場合の最大応答層間変形角分布を示す。この図から、事務所 3 階建物、及び平屋工場で応答が大きいことが分かる。また、事務所 8 階建物と商業施設

は類似した応答分布となっている。

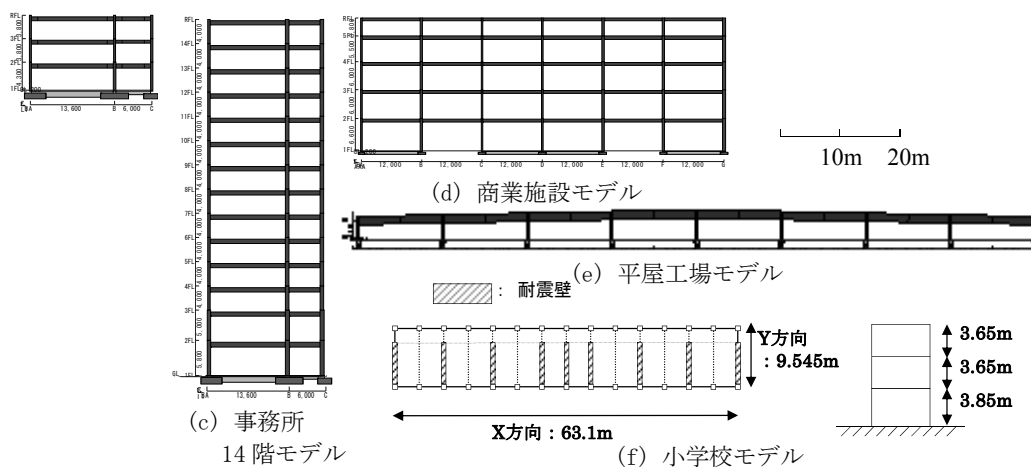


図 12 解析対象とした各種建物モデル

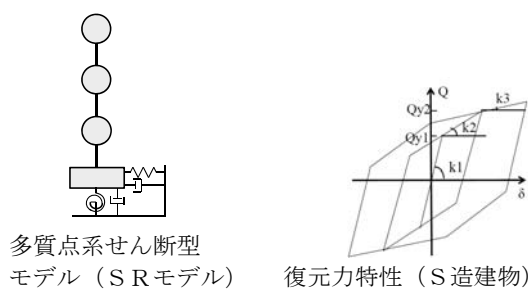
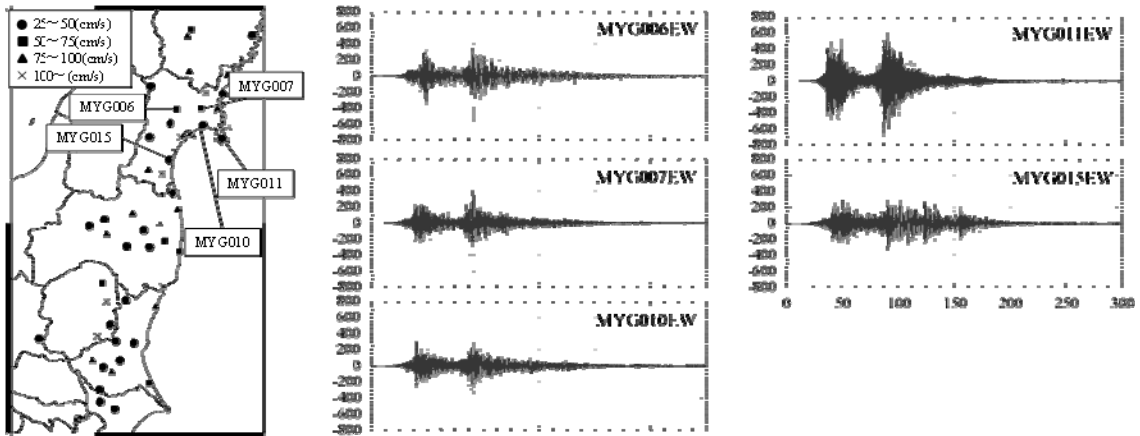


図 13 非線形地震応答解析モデル (SRモデル)

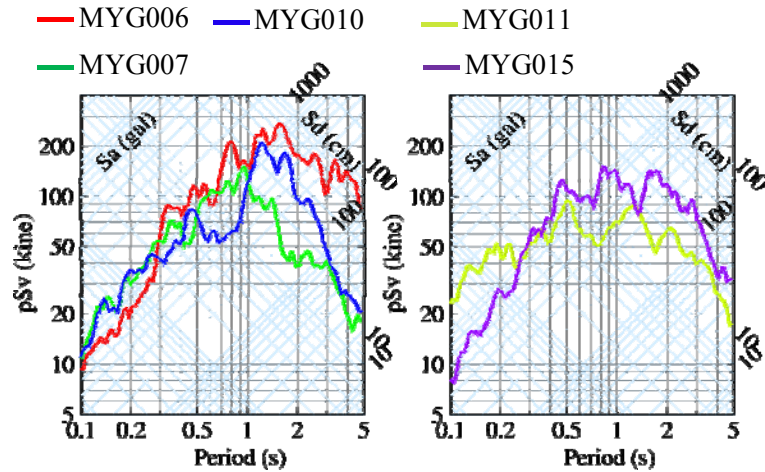
表 3 事務所 3 階建てモデル (長辺)、及び小学校モデル (桁行) ($I_s \geq 0.6$) の解析諸元
(a) 事務所 3 階建てモデル (長辺) (b) 小学校モデル (桁行) ($I_s \geq 0.6$)

階数	重量 (kN)	階高 (m)	長辺方向(X方向)				
			剛性(kN/m)			耐力(kN)	
			K_1	K_2	K_3	Q_1	Q_2
3	5443	3.8	1.93×10^4	1.49×10^4	7.23×10^3	3379	5511
2	4982	3.8	1.76×10^4	1.13×10^4	4.18×10^3	3515	5596
1	5383	4.3	1.76×10^4	5.74×10^3	6.73×10^3	5215	7083

階数	重量 (kN)	階高 (m)	桁行方向(X方向) 剛性値0.6~				
			剛性(kN/m)			耐力(kN)	
			K_1	K_2	K_3	Q_1	Q_2
3	5721	3.65	1.38×10^4	3.32×10^3	2.77×10^3	1777	13777
2	6504	3.65	1.46×10^4	3.51×10^3	2.92×10^3	1877	14551
1	6504	3.85	1.42×10^4	3.40×10^3	2.84×10^3	1820	14111



(a) 入力地震動として用いた観測点と水平 2 方向最大地動速度分布
 (b) 代表 5 地点で得られた観測記録の加速度波形 (EW 成分)



(c) 代表 5 地点で得られた観測記録に対する減衰定数 5%トリパタイトスペクトル (EW 成分)

図 14 入力地震動として用いた観測点と水平 2 方向最大地動速度分布、及び代表 5 観測点における加速度波形と減衰定数 5%トリパタイトスペクトル (EW 成分)

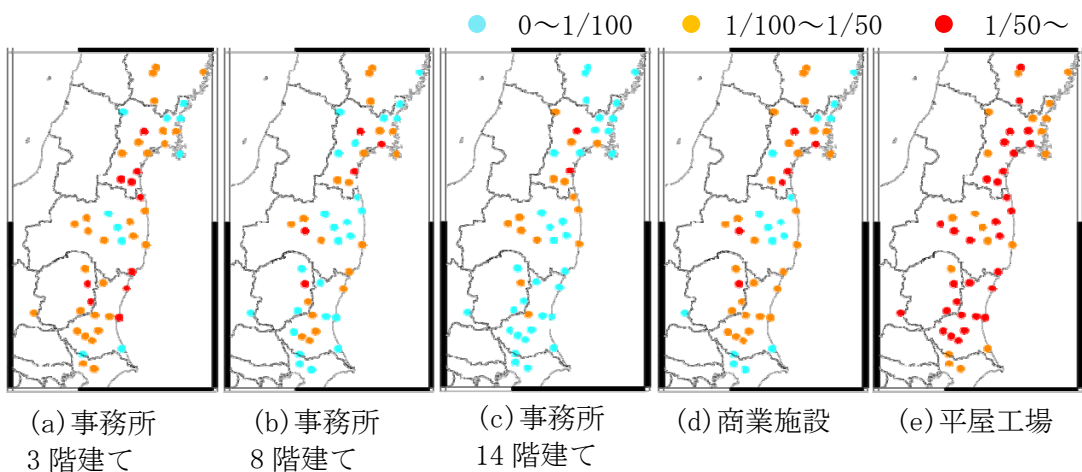


図 15 各種鉄骨造建物 (基礎固定モデル) の最大応答層間変形角分布

次に、地盤特性が異なる MYG006、MYG007、MYG010、MYG011、MYG015 の 5 地点（図 3 参照）の観測記録を用いた S 造 3 階事務所建物の解析結果について述べる。図 16 に基礎固定モデルと SR モデルの一次固有周期の比を示す。S 造では相互作用効果による周期の伸びは小さいことが分かる。図 17 に S 造 3 階事務所建物の累積塑性倍率を示す。同図には、根入れを考慮した結果（基礎入力動）も合わせて示している。これから、相互作用効果を考慮することでア、イ：MYG006、ウ、エ：MYG007 の EW・NS 両成分では、基礎固定モデルよりも累積塑性変形倍率の値が小さくなることが分かる。また、地盤の塑性化によってもア、イ：MYG006、ウ、エ：MYG007 の EW・NS 両成分では累積塑性変形倍率の値がより小さくなっている。しかし、それ以外の観測点では相互作用効果は明瞭には表れなかった。

弾性地震応答解析による二種地盤相当のベースシア係数と累積塑性変形倍率の関係を図 18 に示す。同図には、根入れを考慮した結果（基礎入力動）も合わせて示している。図中の○で示すように、相互作用効果を考慮することでベースシア係数が低減している。ただし、ベースシア係数が 1 を超えるような大きな応答を示す地点も存在し、設計を超えるような入力が入力した可能性も示唆している。さらに、ベースシア係数が 1 以下でも累積塑性変形倍率が 40 以上と、大きくなっている地点もある。これは長時間繰り返し入力を受けたためであると考えられる。

次に、RC 造小学校建物の地震応答解析結果について示す。先に示した図 16 から、RC 造で相互作用を考慮することで大きく固有周期が伸び、特に I_s 値が大きいほど固有周期が伸びていることが分かる。図 19 に RC 造桁行方向小学校モデル (I_s 値 0.6 以上) における各階の I_s 値分布を示す。 I_s 値は大きな開口のある一階が小さく、上階ほど大きくなる傾向がある。また、図 20 に示した最大層間変形角の比較結果から、相互作用効果を考慮することで値が大きく変化する地点が認められる。例えば、キ、ク：MYG011 の EW・NS 両成分で最大層間変形角は小さくなっている。一方、ア、イ：MYG006、ウ、エ：MYG007、オ、カ：MYG010、ケ、コ：MYG015 の EW・NS 両成分では、最大層間変形角が基礎固定時に比べて大きくなっている。これらの地点の観測記録は、図 14 のトリパタイトスペクトルから、長周期側にも大きな成分を持っており、これにより応答が大きくなったと推定される。図 21 には、各タイプでの最大応答値の比較結果を基礎固定と SR モデルで比較している。これより、 I_s 値が大きくなると最大層間変形角は基礎固定、SR モデルの両方で小さくなる傾向があった。以上より、RC 造建物では相互作用効果を考慮することで最大層間変形角に大きな違いが表れることや、用いた地震動によっては、固有周期が伸びて入力波のピークに近づいたことにより応答が反対に大きくなる場合があることが明らかとなった。

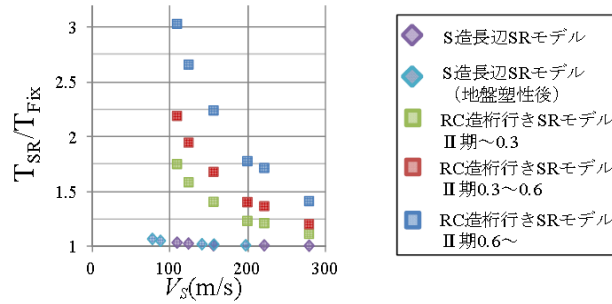


図 16 モデル別の固有周期の伸び率とせん断波速度 V_s の関係

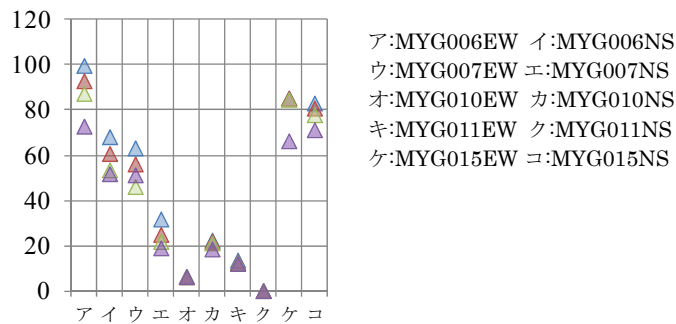
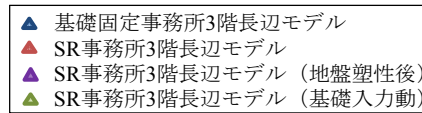


図 17 事務所 3 階モデル (長辺) の累積塑性変形倍率の比較

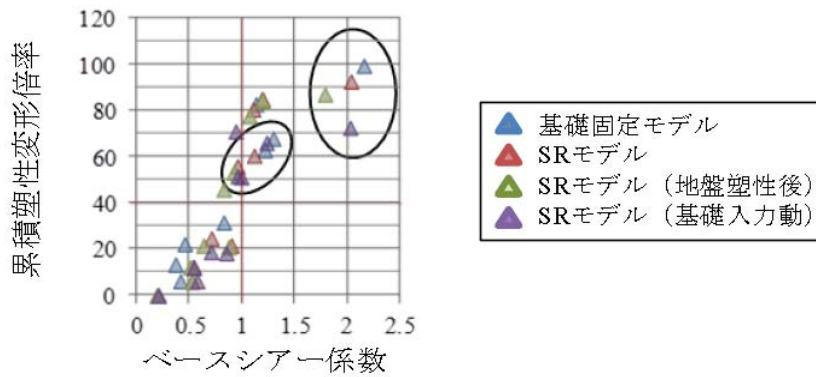


図 18 ベースシア係数と累積塑性変形倍率の関係 (事務所 3 階モデル (長辺))

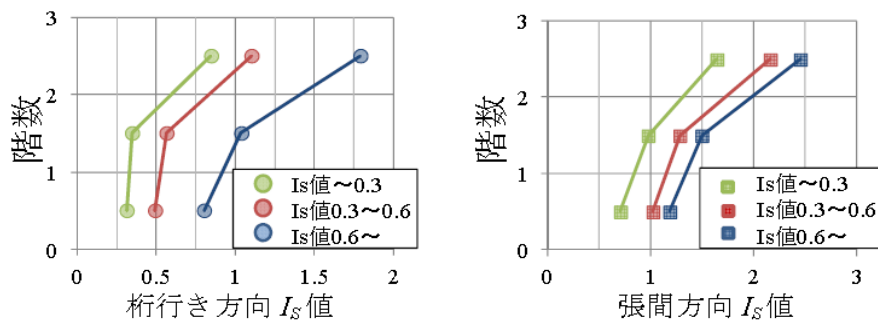
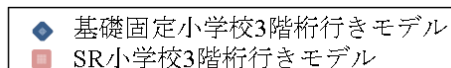


図 19 RC 造小学校 (II 期) モデルにおける各階の I_s 値



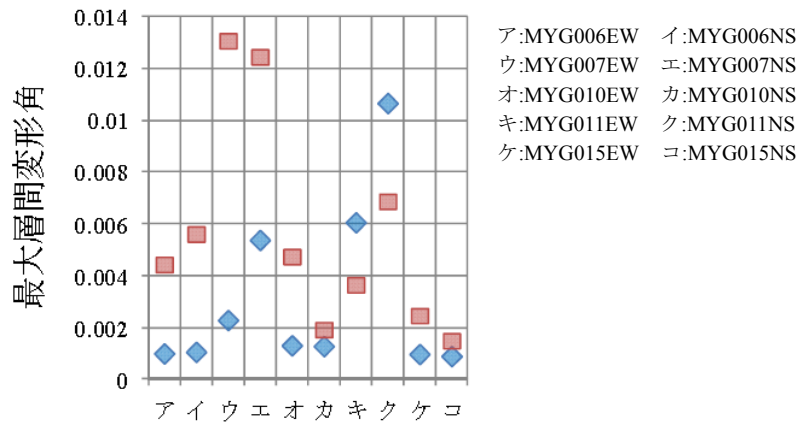


図 20 RC 小学校モデル（栢行、 I_s 値 0.6~）における最大層間変形

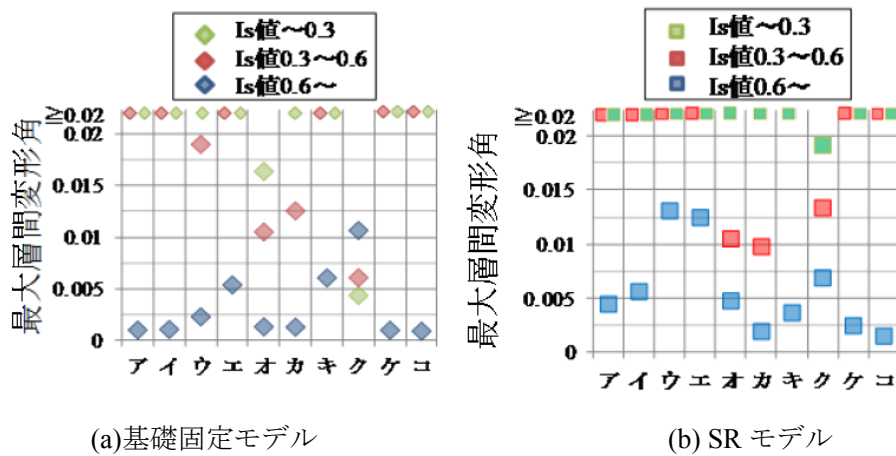


図 21 RC 小学校モデル（栢行）における I_s 値による最大層間変形角の比較

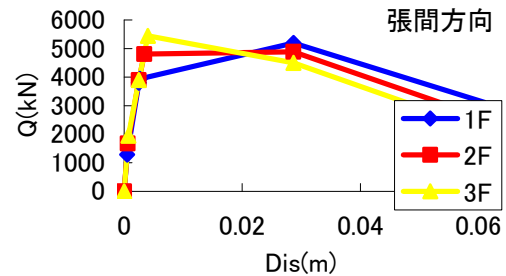
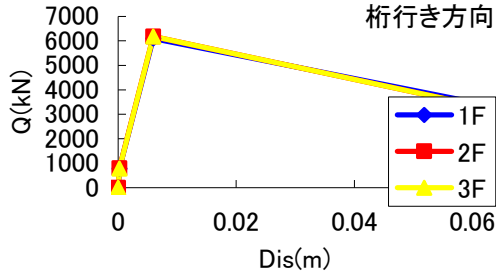
b) 想定東海・東南海地震に対する名古屋市域に立地する RC 造小学校建物の応答評価

今年度は、一昨年度作成した愛知県の小学校建物を対象とした被害予測モデルと、昨年度作成した想定東海・東南海地震の強震動予測結果を用いて、動的相互作用効果を考慮した非線形地震応答解析を実施した。また、SRモデルの他、基礎の浮上りを考慮した建物応答評価も試みた。

対象建物は、3階建の小学校建物とし、建物耐震診断指標 (I_s 値) として、0.3、0.5、0.7の3種類を想定した。解析モデルは、上部架構に水平2成分の自由度を持つせん断バネモデルとし、基礎モデルは基礎固定及びSRモデル（浮上りの有無）を考慮して設定した。上部構造の解析諸元は一昨年度作成した手法に従うこととし、基礎の浮上りを考慮したモデリング手法については文献¹¹⁾にしたがった。上部建物の解析諸元を図22に示す。解析評価地点は、星ヶ丘小学校、名城小学校、野跡小学校地点とした。入力地震動としては、各評価地点付近での想定東海・東南海地震の模擬地震動を用いる。各評価地点の位置を図23に、地震動評価地点と地盤状況を表4に示す。また、各サイトにおける想定東海・東南海地震の模擬地震動の加速度波形、フーリエスペクトル、及び擬似速度応答スペクトル ($h=5\%$) を図24に示す。

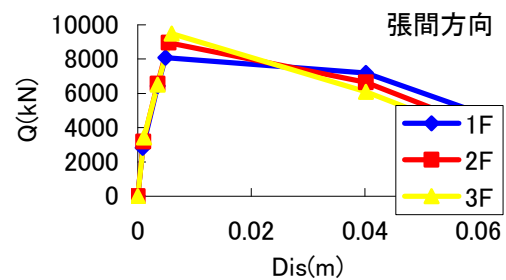
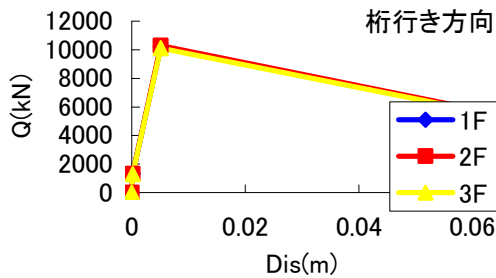
3階建て $I_s=0.3$

階	階高(m)	重量(kN)	桁行き方向		張間方向	
			K1(kN/m)	Qu(kN)	K1(kN/m)	Qu(kN)
R	3.65	5721.8	3.491E+06	6.180E+03	2.715E+06	5.438E+03
2	3.65	6504.7	3.552E+06	6.180E+03	2.762E+06	4.879E+03
1	3.85	6504.7	3.511E+06	6.100E+03	2.731E+06	5.188E+03



3階建て $I_s=0.5$

階	階高(m)	重量(kN)	桁行き方向		張間方向	
			K1(kN/m)	Qu(kN)	K1(kN/m)	Qu(kN)
R	3.65	5721.8	6.842E+06	1.010E+04	3.229E+06	9.494E+03
2	3.65	6504.7	6.963E+06	1.030E+04	3.285E+06	8.948E+03
1	3.85	6504.7	6.882E+06	1.020E+04	3.247E+06	8.078E+03



3階建て $I_s=0.7$

階	階高(m)	重量(kN)	桁行き方向		張間方向	
			K1(kN/m)	Qu(kN)	K1(kN/m)	Qu(kN)
R	3.65	5721.8	1.131E+07	1.420E+04	3.787E+06	1.350E+04
2	3.65	6504.7	1.151E+07	1.440E+04	3.854E+06	1.312E+04
1	3.85	6504.7	1.138E+07	1.420E+04	3.808E+06	1.213E+04

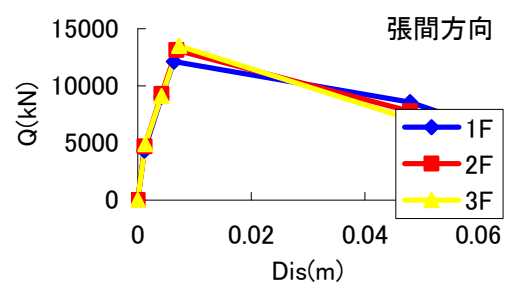
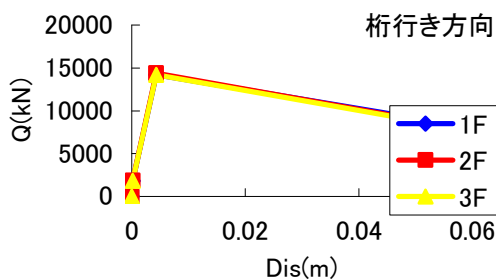


図 22 3階建て小学校建物モデルの解析諸元

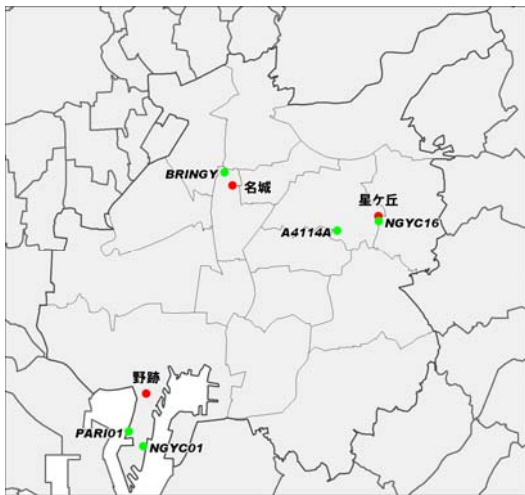
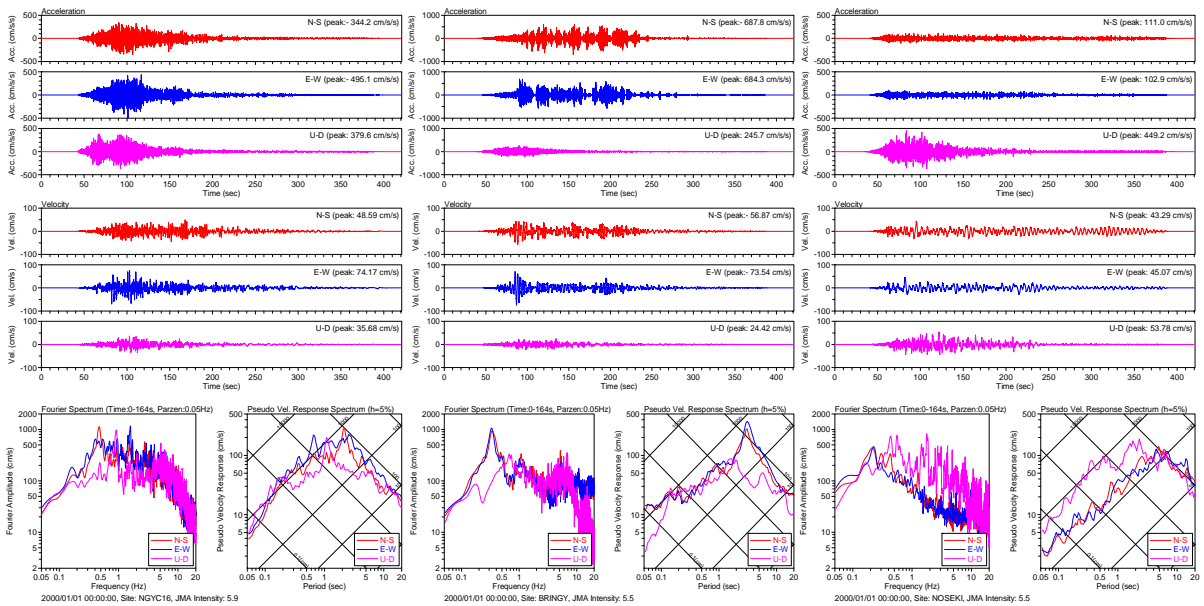


図 23 地震動計算地点の分布(●)

表 4 地震動計算地点

名称	地震観測記録	地盤状況
星ヶ丘小	星ヶ丘出張所	東部丘陵 (第一種)
名城小	愛知県庁、 中部地方整備局	熱田台地 (第二種)
野跡小	水上出張所、 港湾空港研	干拓地・埋立地 (第三種)



(1) 星ヶ丘小学校

(2) 名城小学校

(3) 野跡小学校

図 24 解析に用いた地表面における想定東海・東南海地震の地震波形、フーリエスペクトル、および擬似速度応答スペクトル ($h=5\%$)

表 5 に層間変形角の最大値リストを示す。星ヶ丘地点では、 I_s 値が小さい場合に、建物固有周期近辺の地震動レベルが他の 2 地点に比べて大きいこともあり、倒壊限界を超える応答を示した。また、全体的には顕著な相互作用効果は見られなかったが、星ヶ丘地点では浮き上がりを考慮することで若干の応答低減効果が認められる場合もあった。今年度は、試算として、上述の解析を実施した。これらの結果を受けて来年度は、解析精度を高めるとともに、名古屋市全体での応答予測を実施する予定である。

表 5 最大応答層間変形角の比較

3階建て		層間変形角(分母を表示)						
Is値	基礎モデル	サイト	1F_X	1F_Y	2F_X	2F_Y	3F_X	3F_Y
1) 0.3	Fix	星ヶ丘	倒壊	71	602	1205	1195	4373
		名城	465	173	720	1582	1520	5190
		野跡	1649	1994	2419	3190	7770	8458
	SR	星ヶ丘	倒壊	71	602	1201	1199	4319
		名城	471	174	725	1585	1531	5175
		野跡	1655	2025	2480	3477	8148	8734
	SR(浮上り有)	星ヶ丘	倒壊	71	602	1202	1199	4305
		名城	471	174	725	1585	1531	5175
		野跡	1655	2025	2480	3477	8148	8734
0.5	Fix	星ヶ丘	80	211	791	1048	1620	3544
		名城	1125	869	1572	1339	4003	4149
		野跡	2079	2092	3008	3824	11168	7294
	SR	星ヶ丘	80	216	792	1046	1629	3540
		名城	1132	841	1583	1311	4022	4097
		野跡	2150	2305	3137	4017	12102	7570
	SR(浮上り有)	星ヶ丘	83	219	836	1052	1729	3542
		名城	1132	843	1583	1314	4022	4093
		野跡	2150	2305	3137	4017	12102	7570
0.7	Fix	星ヶ丘	513	266	1026	851	2281	2966
		名城	1553	762	1901	1141	4667	3556
		野跡	5691	3296	10304	4098	33971	7678
	SR	星ヶ丘	541	292	1026	872	2280	3014
		名城	1591	827	1948	1256	4831	3775
		野跡	6206	3424	11973	4377	36455	8450
	SR(浮上り有)	星ヶ丘	566	299	1030	840	2289	2943
		名城	1591	867	1948	1316	4831	3829
		野跡	6206	3424	11973	4377	36455	8450

3) 高層建物の地震応答評価

東北地方太平洋沖地震では、震源域から約 600km 離れた大阪平野において、建物と地盤との共振によりある超高層建物で最大片振幅約 130cm の揺れが観測された。震源域からの距離が約 1/5 に相当する南海トラフを震源とする地震では、さらに大きな応答を生じる可能性が高い。そこで、大阪平野における地盤震動特性を分析し、仮想の超高層建物について、強震動予測結果に対する地震応答性状を調べた。図 25 に検討対象地点の分布と検討に用いた地震の震央分布を、表 6 に地震の一覧を示す。

a) 地盤振動特性の分析

図 26 に各地震に対して求めた H/V スペクトルを観測地点別に示す。図 26 には大阪平野の既存の地盤モデル¹²⁾による各地点の一次元速度構造より求めたレイリー波基本モードの H/V を重ねて示した。図 26 より、H/V スペクトルの卓越周期は地震によって異なっており、ばらつきの幅は 1 秒程度あるように見える。なお、このばらつきに到来方向の影響は確認できなかった。

地盤モデルに基づくレイリー波基本モードの H/V 比と観測 H/V スペクトルの卓越周期はそれぞれ概ね対応している。一般に地盤モデルは複数の地震から重合平均した H/V スペクトルに適合するようにチューニングされる¹³⁾。しかし、上記のように観測記録の卓越周期が 1 秒程度ばらつきのある場合、地盤モデルをいかに設定するかは、耐震設計においては検討すべき問題点と考える。

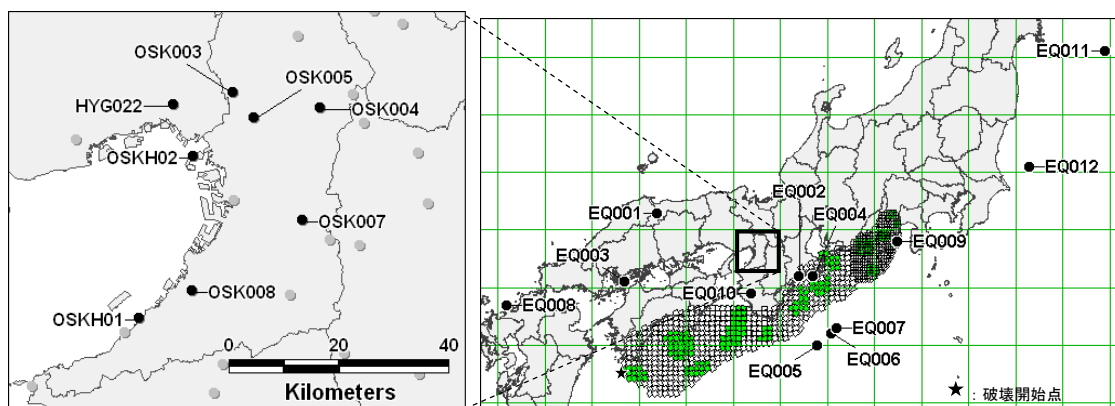


図 25 検討対象地点の分布 (左) と想定東海・東南海・南海地震の震源モデル (右)

表 6 検討に用いた地震の一覧

ID	Date	Lat.	Lon.	Dep.	Mw
EQ001※	2000.10.06 13:30	35.3	133.4	11	6.6
EQ002	2000.10.31 01:43	34.2	136.4	38	5.5
EQ003※	2001.03.24 15:28	34.1	132.7	50	6.8
EQ004	2004.01.06 14:50	34.2	136.7	38	5.2
EQ005※	2004.09.05 19:07	33.0	136.8	13	7.2
EQ006※	2004.09.05 23:57	33.2	137.1	11	7.5
EQ007	2004.09.07 08:29	33.3	137.2	11	6.5
EQ008※	2005.03.20 10:53	33.7	130.2	11	6.6
EQ009	2009.08.11 05:07	34.8	138.5	20	6.2
EQ010	2011.02.21 15:46	33.9	135.4	56	4.8
EQ011※	2011.03.11 14:46	38.1	142.9	20	8.7
EQ012※	2011.03.11 15:15	36.1	141.3	35	7.8

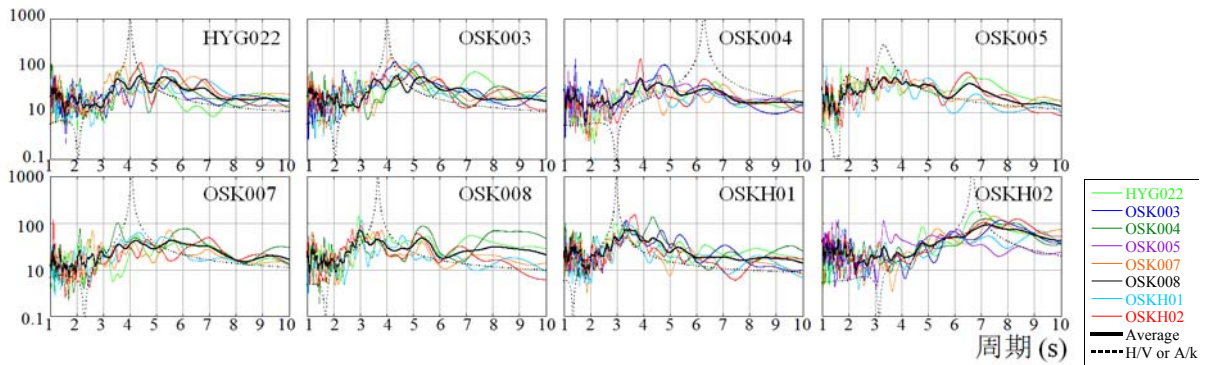
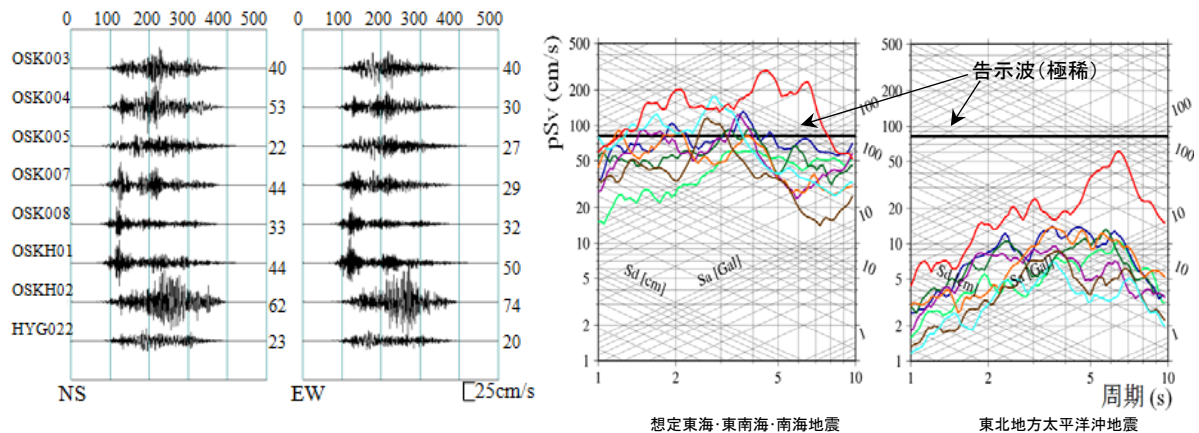


図 26 各観測点における強震観測記録表面波部の H/V スペクトル

b) 強震動予測

経験的グリーン関数法による強震動予測を行った。震源は中央防災会議 (2003)¹⁴⁾ によるモデルを用い、破壊開始点は足摺岬沖とした (図 25)。要素地震は、地震により卓越周期にばらつきが見られることを考慮し、多くの地震を用いることを念頭に、表 6 中の※印のない 5 地震を用いた。応力降下量はスペクトルインバージョン^{例えは 4)}及び震源が近接する 2 地震のスペクトル比⁵⁾によるコーナー周期から設定した。波形合成は壇・佐藤 (1998)¹⁵⁾ の方法を用い、Q 値は川瀬・松尾 (2004)¹⁶⁾ による値を用いた。

図 27 (1) に各観測点における想定地震の強震動を速度波形として、図 27 (2) に想定地震と東北地方太平洋沖地震擬似速度応答スペクトルを並べて示す。図 27 (1) よりいずれの地点も 300 秒程度継続する予測結果が得られた。図 27 (2) より、想定地震の卓越周期は図 26 に示された卓越周期と概ね対応し、スペクトルレベルは東北地方太平洋沖地震の約 5~10 倍である。



(1) 速度波形

(2) 擬似速度応答スペクトル

図 27 想定東海・東南海・南海地震による地震動

c) 仮想超高層建物の設定

表 7 に仮想建物の解析モデル諸元を示す。仮想建物は、東北地方太平洋沖地震において地盤との共振により大きな応答を記録¹⁷⁾した咲洲庁舎を想定した。建物高さや階数は文献¹⁸⁾より設定し、1 階床レベルを固定とした多質点系せん断モデルとした。内部減衰は 1 次固有

周期に対して $h=0.01$ の瞬間剛性比例型、復元力特性は完全弾塑性のバイリニア型とした。初期剛性は、台形分布を仮定して 1 次固有周期が 6.5 秒となるように設定した後、後述する地震応答解析により、最上階の応答波形が観測記録¹⁷⁾と整合するように設定した。各層の降伏耐力は、層間変形が 1/75 となる時点とした。なお、OSKH02 に対しては、建物高さを 1/2 及び 2/3 に減築した場合についても検討した。1 次固有周期は、1/2 に減築した場合（以降、OSKH02(1/2)と示す）が 3.04 秒、2/3 に減築した場合（以降、OSKH02(2/3)と示す）が 4.09 秒である。図 28 に設定した仮想建物の応答解析結果と観測記録を比較して示す。解析モデルは 100 秒から 350 秒までは観測波形と概ね整合していることが分かる。

表 7 解析モデルの諸元

MODEL	超高層建物
高さ H[m]	227.90m
質点数 振動型	1階床固定の53質点系せん断モデル
復元力特性	バイリニア型(完全弾塑性型)
減衰定数 h1	剛性比例型(1次に対して1%)
固有周期 T ₁	6.50
T ₂	2.38

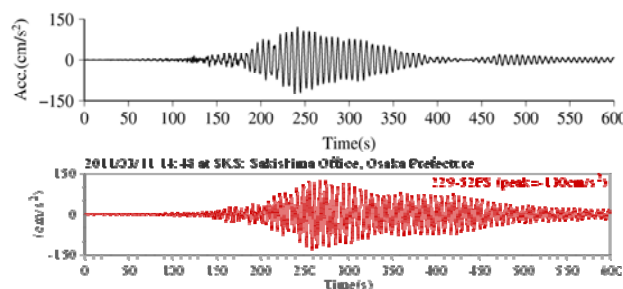


図 28 観測記録と応答解析結果の比較
上：応答解析結果 下：観測記録¹⁷⁾

d) 地震応答解析

入力地震動には、前節で作成したサイト波に加え、東北地方太平洋沖地震の観測記録を使用した。

1) 変位応答時刻歴

図 29 に、東北地方太平洋沖地震の地震記録による仮想建物の変位応答時刻歴を、図 30 に、想定東海・東南海・南海地震による仮想建物の変位応答時刻歴を示す。図 30 には減築した場合の波形を右下に並べて示した。

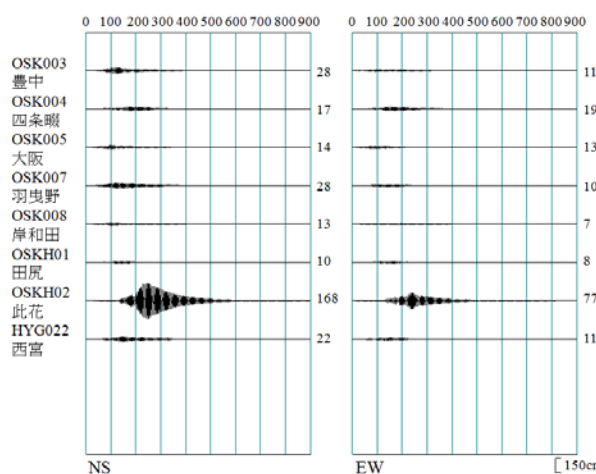


図 29 東北地方太平洋沖地震による
相対変位応答時刻歴

※波形横の数値は最大振幅 (cm) を示す

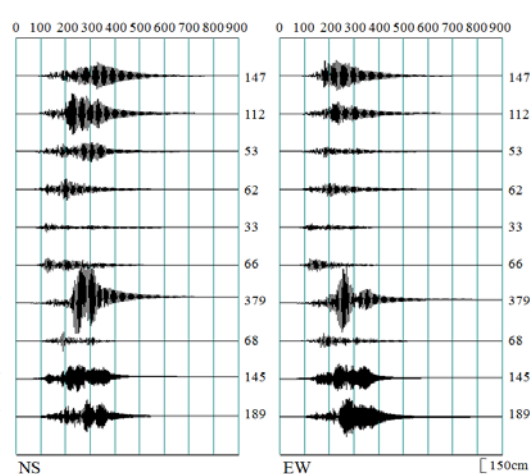


図 30 想定東海・東南海・南海地震による
相対変位応答時刻歴

※波形横の数値は最大振幅 (cm) を示す

図 29 より、東北地方太平洋沖地震による仮想建物の変位応答は、咲洲庁舎に近い OSKH02 が他の 7 地点と比較して顕著に振幅が大きくなっている。図 30 より、想定東海・東南海・南海地震による仮想建物の変位応答は、図 27 の擬似速度応答スペクトルにおいて周期約 6 秒付近に卓越が見られる OSK004、OSKH02 で振幅が大きく長く継続している。仮想建物が共振したためと考えられる。

2) 最大応答分布

図 31 に、NS 成分の最大応答加速度、最大応答変位、最大応答層間変形角の高さ方向の分布を示す。応答加速度分布は、入力地震動の最大加速度で基準化している。

基準化最大応答加速度

東北地方太平洋沖地震では、OSKH02 では入力地震動の最大加速度に比べて最上階における最大応答加速度は約 12 倍、他の 7 地点は 3~5 倍である。一方、想定東海・東南海・南海地震では、OSKH02 は約 3.3 倍、他の 7 地点は 0.5~1.5 倍である。

3) 最大応答変位

最大応答変位は、OSKH02 は想定東海・東南海・南海地震では東北地方太平洋沖地震の約 2.6 倍の 412cm である。他の 7 地点に比べて 2 倍以上大きい。

最大応答層間変形角

最大応答層間変形角は、東北地方太平洋沖地震では全地点で 1/100 を下回っている。想定東海・東南海・南海地震では OSKH02 以外の地点は OSK004 で 1/100 を超える層が見られるが、概ね 1/100 以内に収まっている。一方、OSKH02 では、1~40 階までのすべての層で 1/75 を上回っている。また、最大応答層間変形角を 1/75 以下に抑えるためには、 $h=0.08$ まで内部減衰を増やす必要があることを確認した。さらに、減築対策 (1/2、及び 2/3) を施した場合では、両ケースとも低層部で 1/75 を超え、特に 1/2 の応答の方が大きいことが分かる。OSKH02 の地震動は、図 27 の擬似速度応答スペクトルで周期 3 秒にも卓越が確認でき、これが 1/2 の応答の方が大きくなる要因と考えられる。

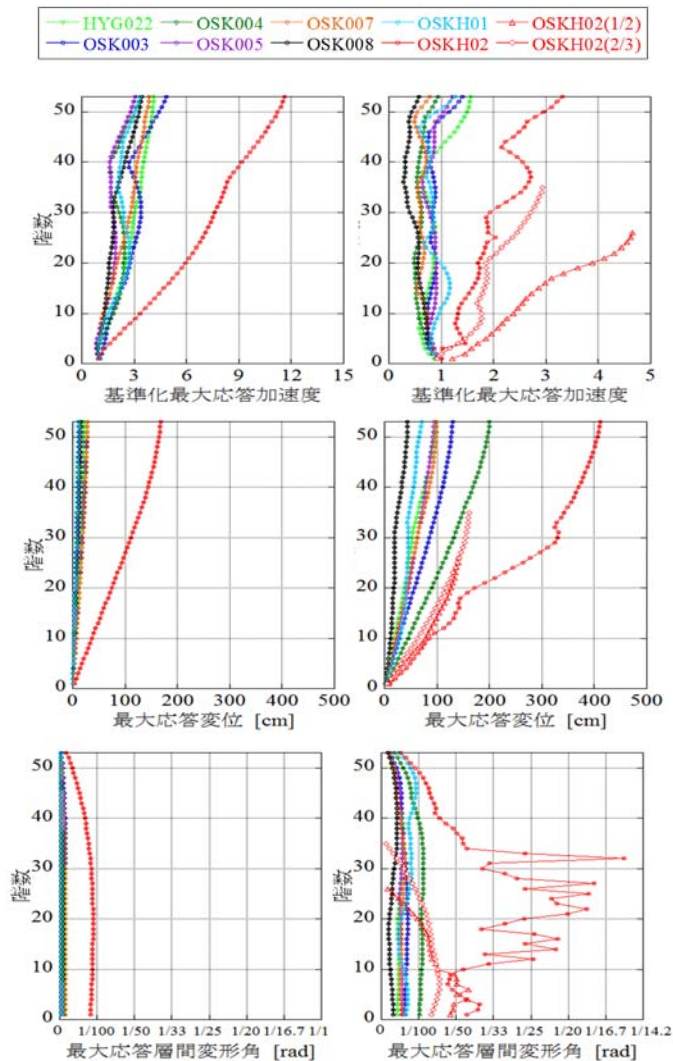


図 31 高さ方向の最大応答分布図 (NS 方向)
左：東北地方太平洋沖地震， 右：想定東海・東南海・南海地震

4) 地震観測記録に基づく免震病院建物の地震時挙動評価

a) 建物、計測、地震観測記録の概要

ここでは、免震建物で得られた複数の中小地震観測記録を用いて、基礎（免震ピット擁壁部分）の地震時の側面土圧に関する応答特性について分析する。

対象とする建物は、鉄骨鉄筋コンクリート造地上4階建てで基礎免震の病院建物である。平面形状は約100m×50mのほぼ整形な長方形で、地表から約3m根入れされた直接基礎で支持されている。免震層は、鉛プラグ入り積層ゴム（21基）、天然ゴム系積層ゴム（12基）、直動転がり支承（50基）、及び粘性系減衰装置（16基）で構成されている。地盤は、北西の一部を除き、液状化の可能性があると判断されたため、L字型の部分で地盤改良が行われている。地盤改良には深層混合処理工法が採用され、径約1mの改良体が1.3m間隔に約2,200本、地中に長さ約7mで打設されている。

図32に免震層の平面図と断面図、地盤改良範囲、土圧計の配置などを示す。基礎は免震ピットであり、側面は擁壁となっている。土圧計のうち底面土圧は、北西部と中央の未改良地盤に2か所、南西部と南東部の改良地盤の未改良部分に2か所、および南東部の改良地盤の改良体内に1か所の計5か所で計測している。側面土圧は基礎の東西面の2深度で計測しており、西側の擁壁GL-0.8m (escwUP)、南西、北東、南東のGL-0.8m前後 (esswUP、esneUP、esseUP)、及び耐圧盤の深度に対応するGL-4.4m前後 (esswBT、esneBT、esseBT) で計測している。さらに、耐圧盤から地中に突出した鉛直プレートに水平方向の土圧計を設置し、基礎底面における地盤と基礎の水平力の伝達を計測している（建物中央南部、ebcsOU）。使用した土圧計はロードセル型土圧計であり、地震時土圧の計測については基礎面が押される状態を正の土圧としている。ここでは、主に側面土圧計の観測記録について分析を行った。

図33に加速度計の配置を示す。加速度計は、建物中央部の屋上階、1階、基礎に各3成分、屋上階、1階、基礎の東端にNS成分、基礎の北端および東端にUD成分、西側の基礎擁壁上端にEW（面外）成分を設置した。また、自由地表観測点（gr01）を建物の西側約15mの位置に設置した。なお、当該建物の西側には10mほど離れて鉄骨造平屋建ての駐車場が隣接しており、地表観測点はその脇にある。一方、東側には約11m離れて別のSRC造地下3階地上7階建ての免震建物が隣接している。同建物でも多点で地震観測が実施されており、このうち図33に示した基礎底面中央（bmcc_cent点）の観測記録を以後の検討で用いることとする。

表8に用いる各地震の諸元、表9に各地震の基礎底面中央、及び自由地表で得られた加速度波形の最大値をまとめて示す。また、図34に各地震の自由地表における観測記録の加速度（EW方向）のフーリエスペクトル（Parzen Window幅：0.1Hz）を示す。

b) 土圧計の観測記録

図35に各地震における建物東側の側面土圧計（北東部上、北東部下、南東部上、南東部下）、建物西側の側面土圧計（南西部上、南西部下、中央西上）及び耐圧盤の側面土圧計（中央南部）で記録された地震時土圧波形を示す。これらを見ると、数十秒の区間で大きく変動する成分が複数の観測記録で認められる。またその変動の様子は地震により異なっている。この原因の一つとして、震動による周辺地盤の締固めや緩みの影響が考えられるが、特定するまでには至っていない。また、地震によっては地震時側面土圧が非常に小さい観測点が数点あり、土圧計と周辺地盤との接触状態が悪い可能性もあるが、この傾向も地震により異なるた

め解釈が難しい。ここでは、地震時側面土圧の記録を分析するにあたり、バンドパスフィルタ（バンド幅はEQ1：0.5～10Hz、EQ2：0.2～10Hz）を用いて、記録された地震時側面土圧波形から長周期の変動成分を除去した。図36に各地震、各観測点における長周期を除いた地震時側面土圧波形とそのフーリエスペクトルを示す。なお、図35で示した記録のうち、S/N比が不十分であると推定される観測記録を除いて、EQ1では、南西部上、南西部下、北東部下の3地点、EQ2では、南西部下、北東部下の2地点の観測記録を用いて分析を進める。ただし、EQ2の北東部上の観測記録については、正側に大きく振れた波形となっており、振幅値が北東部下の波形に比べて非常に大きく、正常に作動していなかった可能性もあることから、検討には用いないこととした。図36から、観測された地震時側面土圧の主要な成分は、EQ1では5Hzより低振動数側、EQ2では3Hzより低振動数側であることがわかる。したがって、以降の検討では、これらの振動数領域に限定した特性について扱うこととする。

図36(a)には、南西部上に対する南西部下の地震時側面土圧のスペクトル比と位相差を示している。これより、同じ位置で深さが異なる2点（深さ方向で約3.6mの間隔）の地震時側面土圧はほぼ同一の特性であることが分かる。したがって、基礎側壁1面（片面）に作用する地震時側面土圧力を評価する際、EQ1の西側の地震時側面土圧力については、西側の上下の地震時側面土圧波形の平均値に基礎側面の面積を乗じて算定することとした。一方、先に述べた理由により、EQ1における東側では北東部下、EQ2における東側、及び西側では、それぞれ北東部下、及び南西部下で得られた土圧波形を用いる。

図37に、各地震について、西側と東側それぞれの基礎側面全体に作用する地震時側面土圧力の推定波形とフーリエスペクトルを示す。表9に示したように、建物基礎の最大応答加速度EQ1の方が大きく、最大変位はEQ2の方が大きいことが分かる。これより、今回の観測記録に関しては、地震時側面土圧力は、加速度よりも変位との関係性が高いと考えられる。図38に、建物基礎の相対する側面で観測された地震時側面土圧を時刻毎に乗じたモーシヨンプロダクト（東側の観測記録×西側の観測記録）の時刻歴波形を、EQ1、EQ2について示す。主要な時間帯を切り出した拡大図も示した。またバンドパスフィルタ処理（0.3Hz～1.3Hz、1.3Hz～2.3Hz）を施したモーシヨンプロダクトの時刻歴波形を図39に示す。モーシヨンプロダクトでは、両側の土圧が同位相で発生していれば正に、逆位相で発生していれば負になる。図38を見ると、比較的low振動数成分のみを含むEQ2では、建物基礎の相対する地震時側面土圧の位相特性はほぼ全時間帯で同位相となっている。一方、EQ2より高振動数成分も含むEQ1では、EQ2と同様に同位相で発生している時間帯が長いですが、負側に大きく振れる時もあり、逆位相の土圧が生じていることがわかる。また、図39から、EQ2でも高振動数成分に関しては逆位相の土圧が生じていることがわかる。

以上より、建物基礎の相対する側面に作用する地震時側面土圧は、低振動数成分では同位相で生じ、高振動数成分では逆位相となる傾向があることが分かった。このことは、低振動数領域では、建物基礎と周辺地盤の相対変位が建物基礎両側で同位相となっていることを意味している。低振動数で土圧が同位相となる要因としては、隣接建物の影響や表面波による位相差入力の影響が推定される。

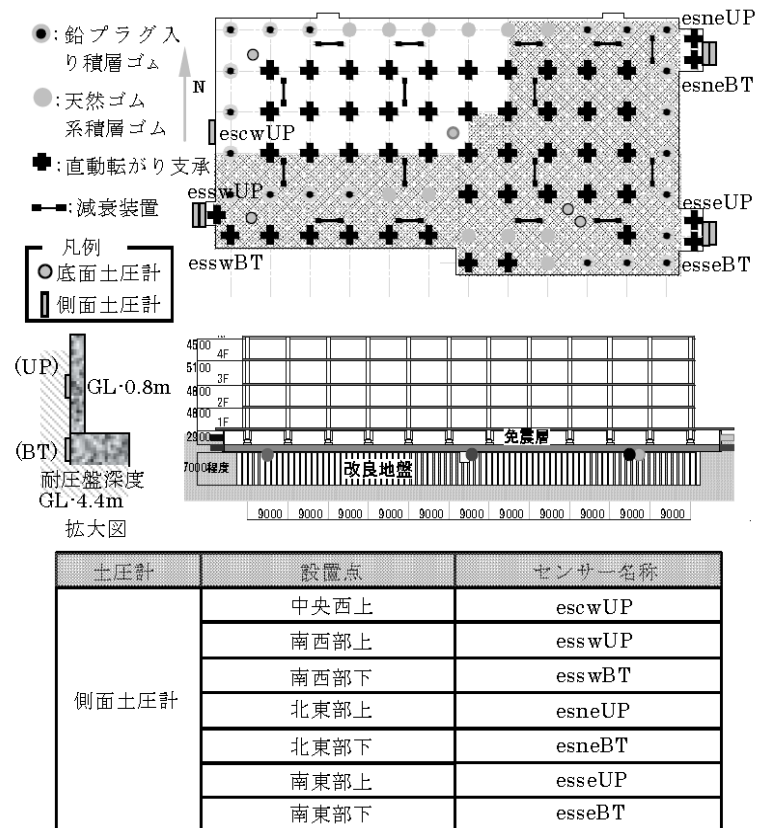
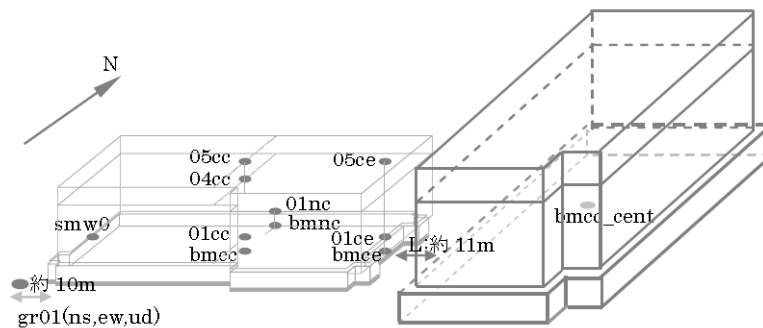


図 32 対象建物の免震層の平面図、及び地盤改良の施工範囲と土圧計の配置



加速度計		設置点	センサー名称
3成分・ew,ns,ud		地表面	gr01
		基礎底面中央	bmcc
		1階中央	01cc
		R階中央	05cc
		隣接建物の基礎底面中央	bmcc_cent
2成分・ns,ud		免震層下部東側	bmce
		1階東側	01ce
1成分	ns	R階東側	05ce
		免震層下部北側	bmnc
	ud	1階北側	01nc
		4階中央	04cc
ew	擁壁上部	smw0	

図 33 加速度計の配置図と記号

表 8 分析に用いる地震の諸元

表 9 基礎及び自由地表の最大加速度応答値 (cm/s²)

地震名	日時	規模 Mj	震源		深さ (km)
			北緯	東経	
奈良県南部地震(EQ1)	2010/7/21 6:19	5.1	34.2	135.7	60
宮城県沖地震(EQ2)	2011/4/7 23:34	7.4	38.2	140.2	40

地震名	基礎中心(bmcc)			自由表面(gr01)		
	EW	NS	UD	EW	NS	UD
EQ1	6.06	15	3.13	6.13	5.61	4.67
EQ2	3.40	1.85	1.25	3.47	2.01	1.31

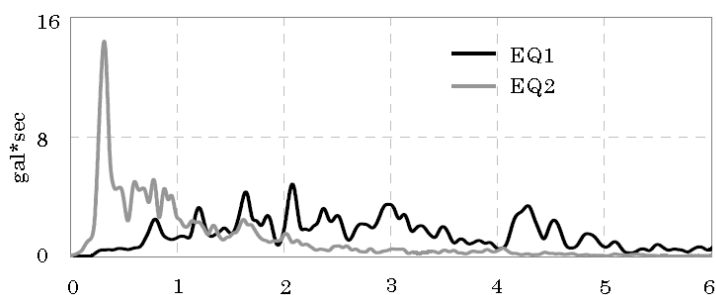


図 34 自由地表で観測された加速度波形のフーリエスペクトル (EW 方向)

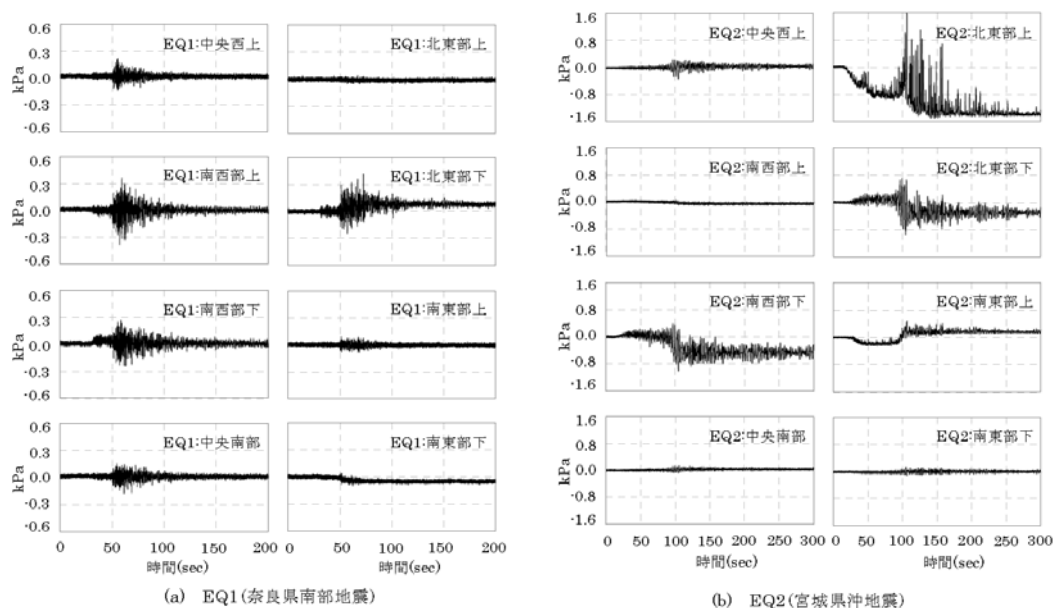


図 35 各地震において観測された地震時側面土圧の波形

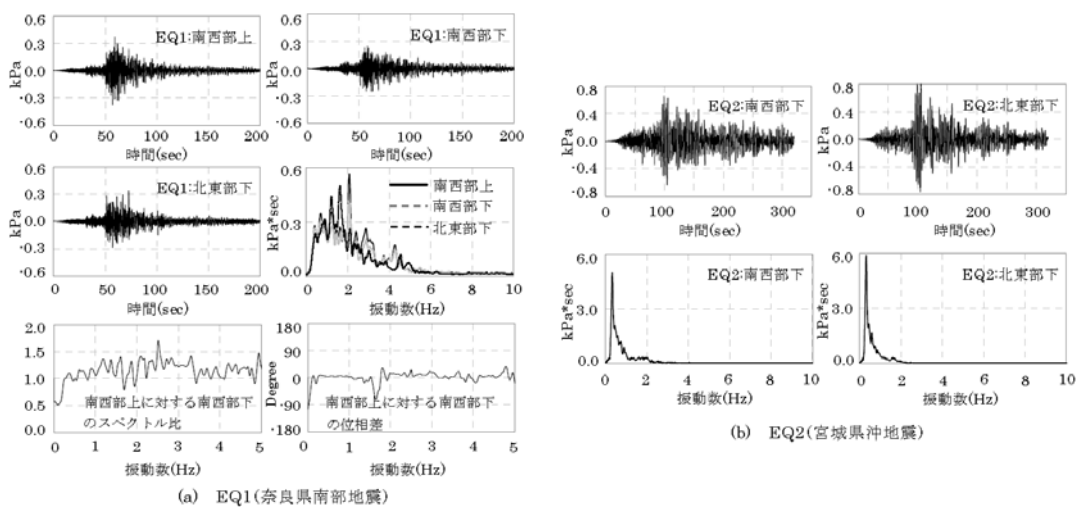


図 36 各地震において観測された地震時側面土圧の波形とスペクトル等

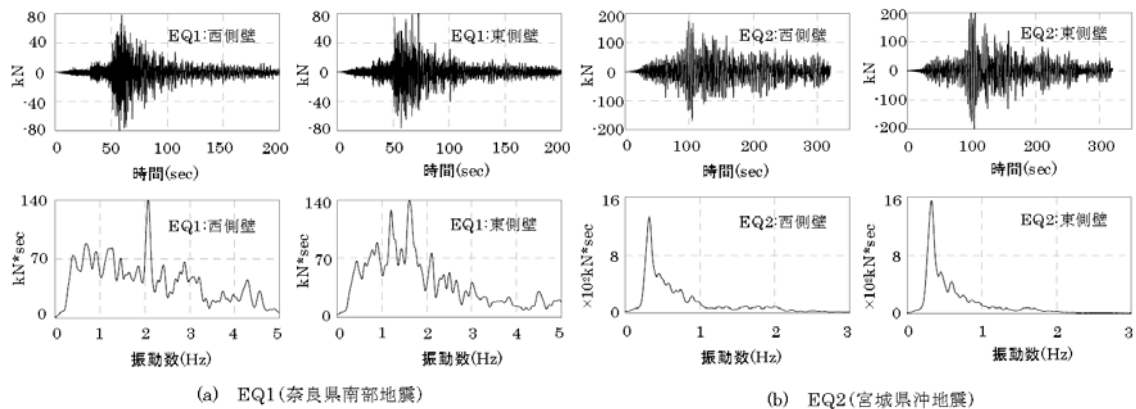


図 37 基礎に作用する地震時側面土圧力の波形とそれらのフーリエスペクトル

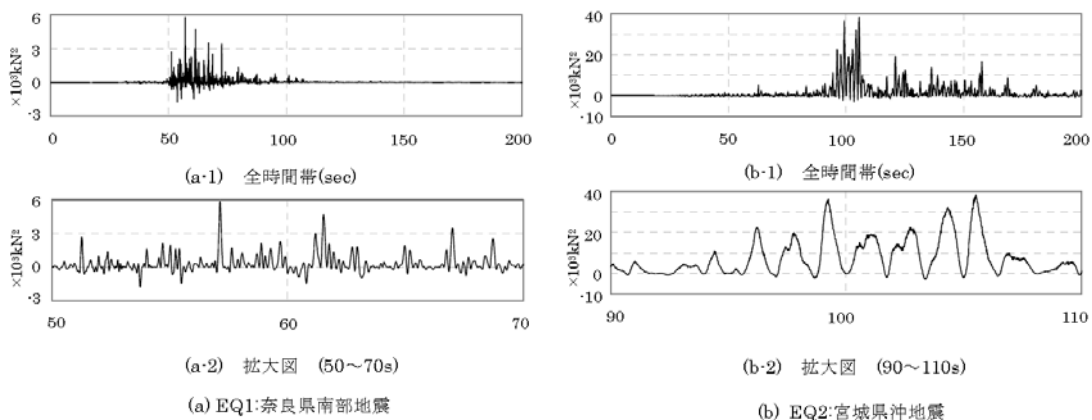


図 38 基礎両面の地震時側面土圧のモーシヨンプロダクトの時刻歴波形

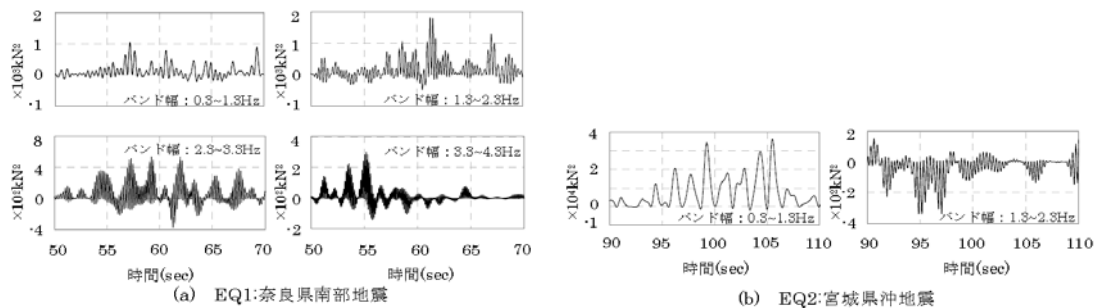


図 39 バンドパスフィルタ処理後のモーシヨンプロダクトの時刻歴波形の比較

5) 軟弱地盤上の大規模建物の地震応答評価

昨年度までは、大規模群杭の地震時応答解析法の開発を進めてきたが、今年度は、根入れ部分の影響を考慮するために、埋込みを有する群杭基礎に対するインピーダンスや基礎入力動の簡易評価法について検討した。

ここでは、埋込みを有する群杭基礎のインピーダンスや基礎入力動について、文献¹⁹⁾にある埋込み基礎の簡易評価法からの拡張を試みた。想定するモデルについて図 40 に示す。検討する解析ケースを図 41 に、その結果を図 42 に示す。地盤は 2 層で、杭は支持基盤に貫入する支持杭である。埋込みを有する杭基礎では解析パラメータは多岐にわたるが、埋込みの効果を把握するために、表層厚さを固定したケース (CASE-1~3)、杭長を固定したケース (CASE-4~6) を検討する。インピーダンスの各成分全てにおいて、CASE-4~6 では埋込み

深さによるインピーダンスの変化、すなわち振動数に対してインピーダンスが波打つ傾向は、埋込みが深くなるほど極値を取る振動数が高振動数側に移動していることが分かる。このインピーダンスが極大となる振動数は、鉛直下方入射時に基礎底面と地盤の層境界が節とする振動数と対応していた。2層地盤での埋込みを有する基礎形式の動的相互作用特性を見る場合、基礎底面以深の地盤厚さによって分類すると傾向が読み取りやすいと類推できる。

埋込みを有する杭基礎でも、直接基礎と同様に考え、底面要素に杭基礎のインピーダンスを使用して計算した簡易解と精算解を比較し、図43に示す。側面には地表面基礎を用いている。検討ケースは図41のCASE-4~6とする。なお、水平インピーダンスには、限界体力計算法（以下、限耐法）の結果を合わせて示す。限耐法には本来、埋込みを有する杭基礎の計算法は無いが、杭基礎の水平地盤ばねの計算法を拡張して用いた。図43の各インピーダンスの虚部は、埋込み深さに関わらず、精算解と良く対応している。虚部の逸散減衰は面積に依存するため、埋込みを有する杭基礎でも同様に評価可能であると考えられる。低振動数域での実部は、(f)の埋込みが深い場合の回転成分を除いて概ね良く評価できていることがわかる。別途行った検討で、回転成分は杭のパラメータや地盤の成層条件に因らずに過小であるため、回転成分に対する側面の寄与が埋込み基礎とは異なることが原因と考えられる。検討した範囲では解析条件に因らずに同様の割合で小さく、杭基礎で回転成分の地盤重複効果の補正係数を再度検討する必要がある。(a)、(b)限耐法では、水平実部の地盤ばねを良く評価できた。一方、虚部は埋込み側面の逸散減衰を考慮していないため、常に過小評価であった。

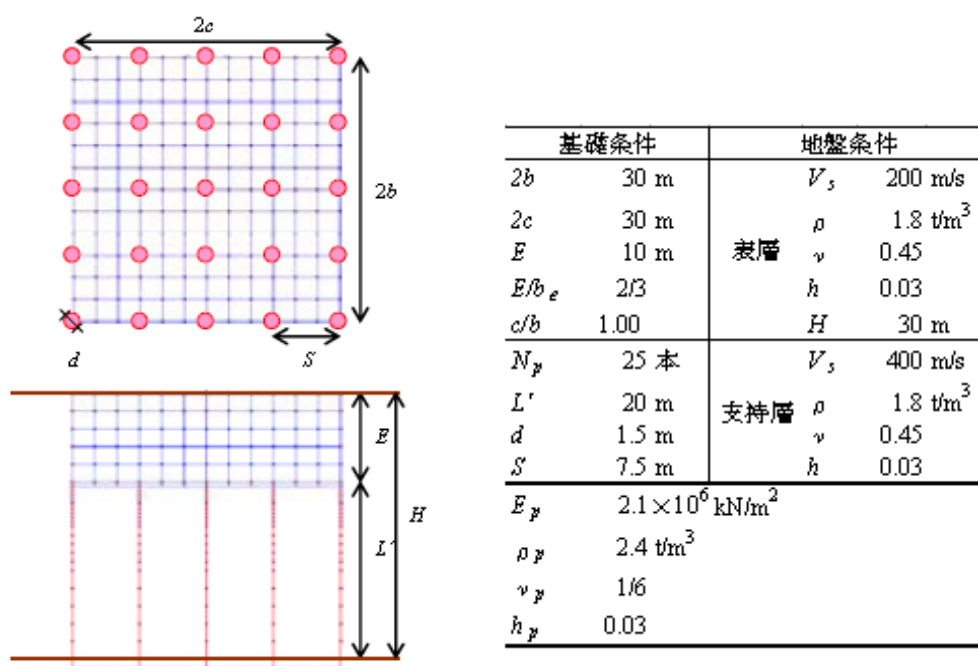
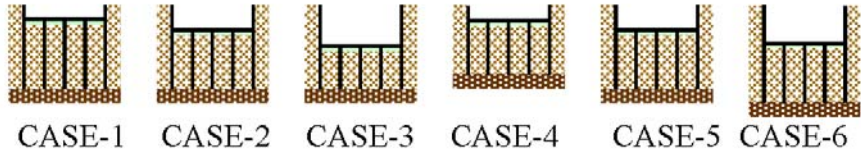


図40 検討に用いた基本モデル



	CASE-1	CASE-2	CASE-3	CASE-4	CASE-5	CASE-6
埋込み深さE [m]	5	10	15	5	10	15
杭実長L' [m]	25	20	15	20	20	20
表層厚さH [m]	30	30	30	25	30	35

図 41 解析モデルの概念図

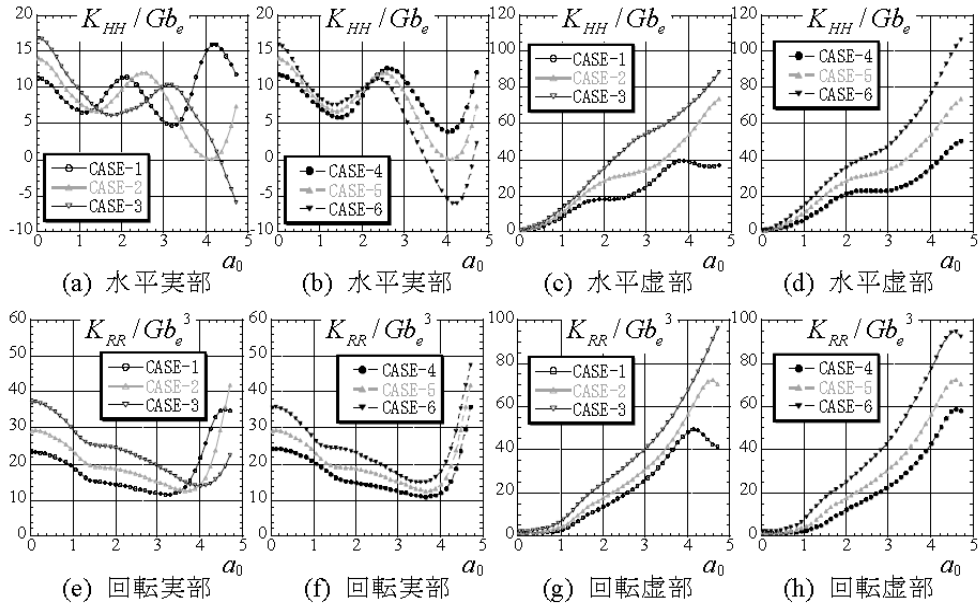


図 42 埋込み部と杭の負担割合がインピーダンスに与える影響

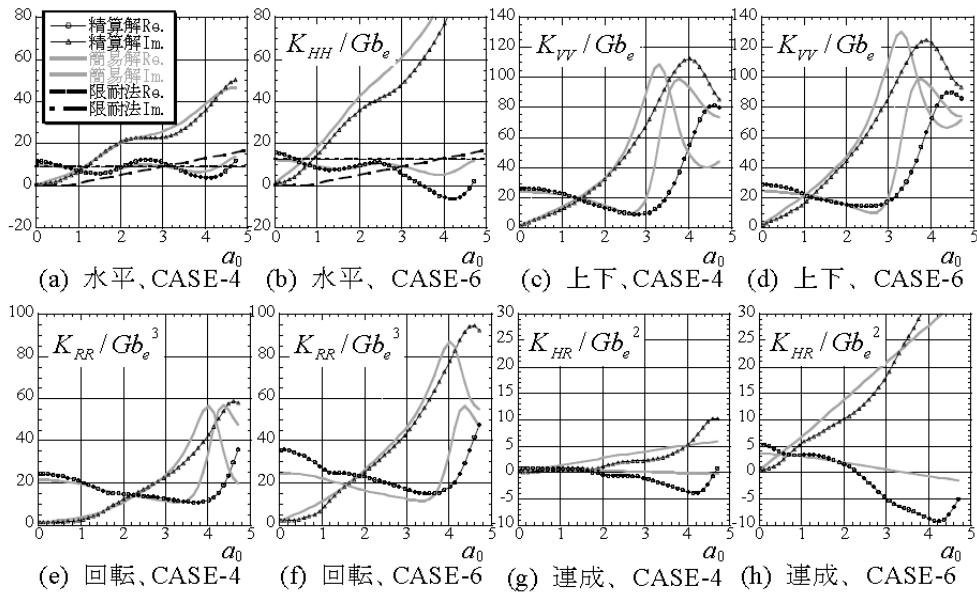


図 43 埋込み深さによる精算解と簡易解との比較

6) 地震観測記録の収集と分析

これまでに東海地域を中心として地盤・建物の地震観測を実施し、観測記録を収集・整理してきた。東北地方太平洋沖地震では名古屋市域で震度 4 となり、地盤、一般建物、免震等の長周期構造などで多数の記録が得られている。免震建物に関しては本報告 4)ですでに述べた。本節では S 造 10 階建物等の一般建物の応答特性について、観測記録から検討を加える。

対象建物は名古屋大学内にあり、写真 1、2 および表 10 に概要をまとめた。特に S 造 10 階建物 (A 棟) は、東北地方太平洋沖地震で 100gal を越える継続時間の長い応答を示した。表 11 に示すように、これまで 8 年にわたる観測で、この記録が最大である。図 44 にいくつかの地震の記録例を、図 45 にはその擬似速度応答スペクトルを示す。

図 44a)から、東北地方太平洋沖地震における A・B・C 棟の応答は異なっており、特に A 棟では地盤・1 階に比べて屋上で大きく増幅している。また A 棟について他の地震も参照すると、継続時間の長い入力地震動に対して大きく増幅し、屋上の水平 2 方向で交互に振幅が大きくなる傾向が見られる。一方、図 44(c)の場合は屋上でもあまり増幅していない。

この建物の固有周期は微動観測などから 1 秒強であり、2 方向の周期が近接している。また S 造純ラーメンのため減衰は 1%前後と小さい。一方、地震動特性は図 45 より、愛知県西部の地震以外は 2~3 秒が卓越しており、この地点の地震基盤以浅の周期に対応する。また表層地盤の卓越周期は 1 秒前後であることも分かっている。以上から A 棟は、長周期成分の多い入力に対しては表層地盤の影響も含めて共振で大きく増幅し、さらに継続時間が長い入力に対して低減衰と 2 方向連成の影響で複雑なうなりを生じていると考えられる。同様の建物特性は都市域に多数存在する一般的なオフィス建物に共通する場合が多く、その応答予測に当たって地盤や地震動の卓越周期と建物固有周期により大きく影響される。

基礎と最上階での最大応答値の比 (PRA/PBA、PRV/PBV) から建物での応答増幅を地震動特性とあわせて検討する。地震動の等価卓越振動数は、地表での最大応答値 (PGA、PGV、PGD) を用いて、 $PGA/PGV/2\pi$ 及び $PGV/PGD/2\pi$ として推定する。なお、 $PGA/PGV/2\pi$ での PGV は PGA 発生時刻の前後 2 秒間での最大速度を用い、 $PGV/PGD/2\pi$ での PGD は PGV 発生時刻の前後 2 秒間での最大変位を用いている。

地震動の等価卓越振動数と加速度増幅との関係を図 46 に、速度増幅との関係を図 47 に示す。4 棟全てにおいて、地震動の等価卓越振動数が建物固有振動数に接近するほど、建物の増幅が大きくなる傾向があり、共振の影響を明確に示している。ただし地震によるばらつきもかなりあり、特に A 棟においては建物固有振動数である 0.9Hz 前後で増幅が 3 倍~10 倍とばらついており、福岡県西方沖地震では加速度で約 12 倍の増幅となる。また、建物固有振動数付近の地震動により 7 階建ての B 棟や D 棟では 3~5 倍程度、5 階建ての C 棟では 3 倍程度の増幅がみられる。

図 48、49 に基礎と地表の最大加速度比 (PBA/PGA) 及び最大速度比 (PBV/PGV) を地震動の等価卓越振動数とあわせて示す。この図より、既往の研究²⁰⁾と同程度の入力損失が確認され、地震動の等価卓越振動数が高いほどその効果は大きい。また、東北地方太平洋沖地震の本震をはじめとする比較的振幅の大きく長周期成分の卓越する地震においても、これまでに蓄積された他の中小地震記録と同様の傾向を示すことが確認できる。



写真1 外観(A,B,C棟)



写真2 D棟外観

表 10 建物概要

建物名	A棟	B棟	C棟	D棟
延床面積	10,525m ²	3,322m ²	7,440m ²	5956m ²
階数	地上 10階 地下 1階	7階	5階 1階	7階 1階
軒高	41.1m	31.34m	21.95m	29.7m
構造種別	地上 S造 地下 SRC造	柱：SRC造, 梁：S造	RC造 RC造	PCaPC造 RC造
骨組形式	長辺 ラーメン構造 短辺 ラーメン構造	ラーメン構造 耐震壁付き ラーメン構造	ラーメン構造 耐震壁付き ラーメン構造	ラーメン構造 耐震壁付き ラーメン構造
根入深さ	GL-7.5m	GL-3.75m	(一部)GL- 6.6m, 10.4m	GL-4.1m, -7.3m
基礎種別	杭基礎 場所打ち杭 杭長 41.7m	PHC杭 23m	PHC杭 16 - 24m	杭基礎 PHC杭 36m, 32m
固有振動数	長辺 0.98Hz 短辺 0.91Hz	2.7Hz 2.9Hz	3.6Hz 4.1Hz	2.7Hz 2.3Hz

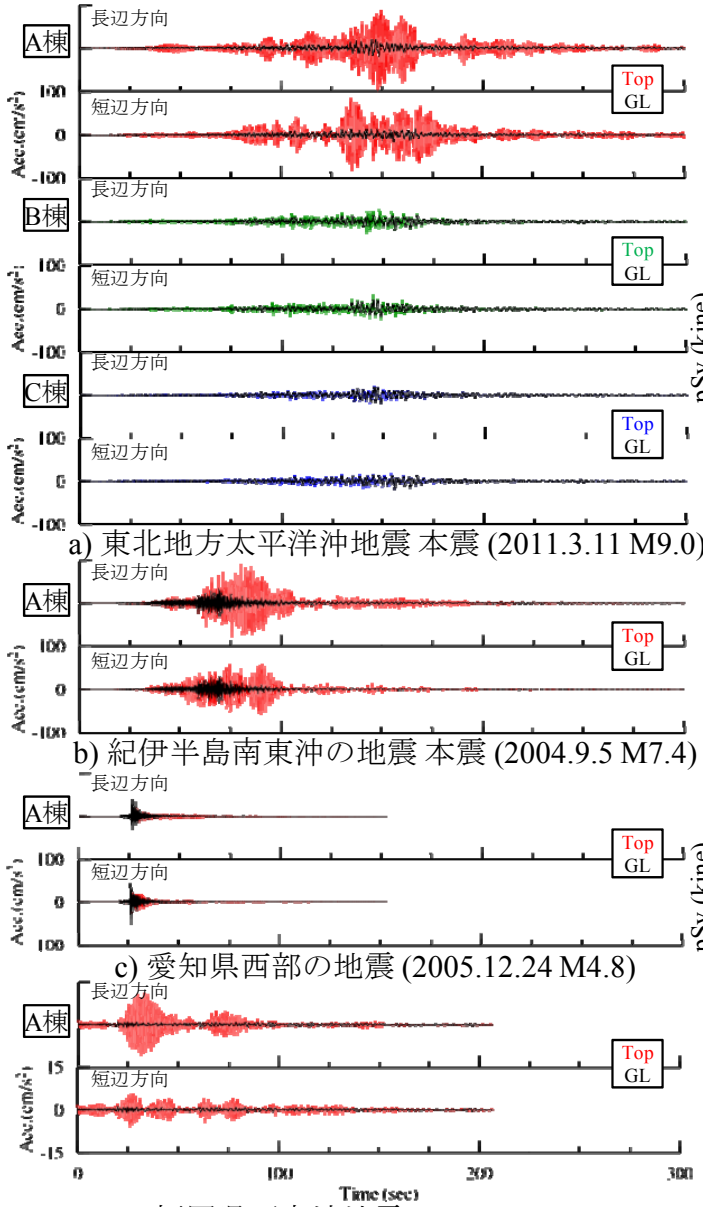
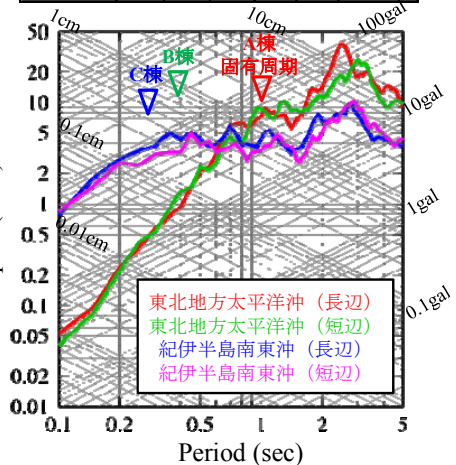


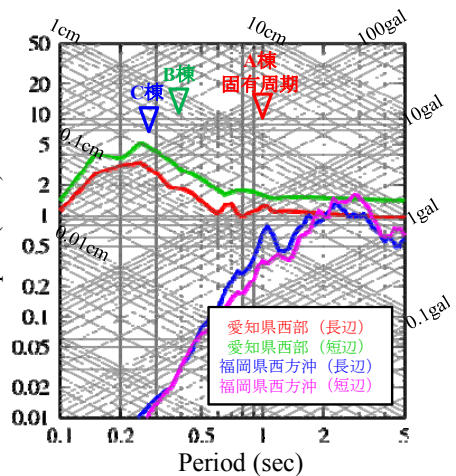
図 44 観測された加速度波形の一例

表 11 震度別観測記録数 (2004年7月~)

震度	0	1	2	3	4	5以上
記録数	8	46	17	5	1	0



a) 東北地方太平洋沖地震 & 紀伊半島南東沖の地震



b) 愛知県西部の地震 & 福岡県西方沖地震

図 45 擬似速度応答スペクトル

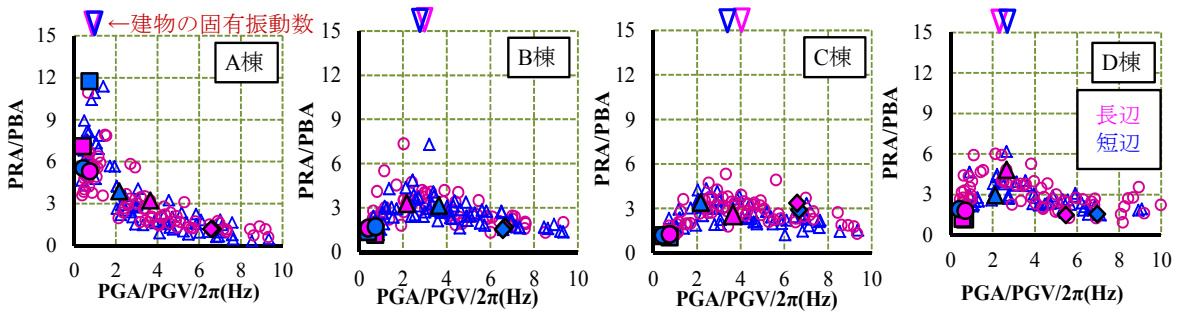


図 46 基礎と最上階の最大加速度比 (PRA/PBA)

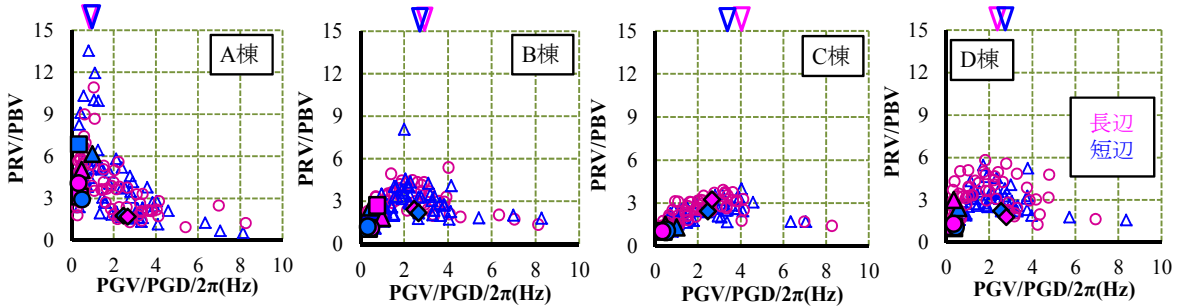


図 47 基礎と最上階の最大速度比 (PRV/PBV)

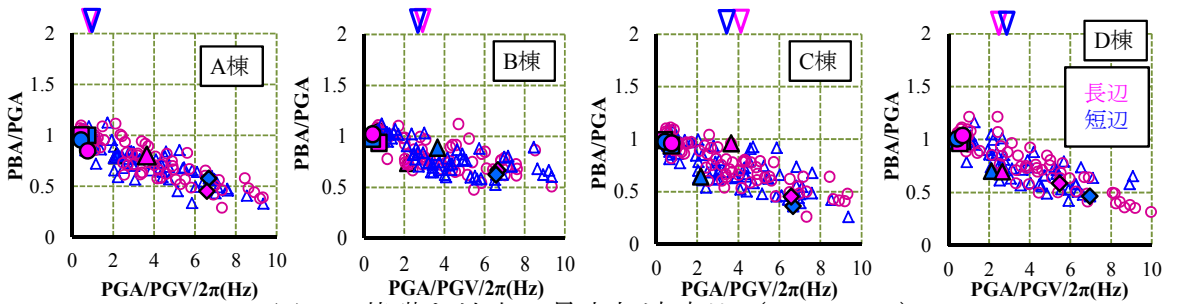


図 48 基礎と地表の最大加速度比 (PBA/PGA)

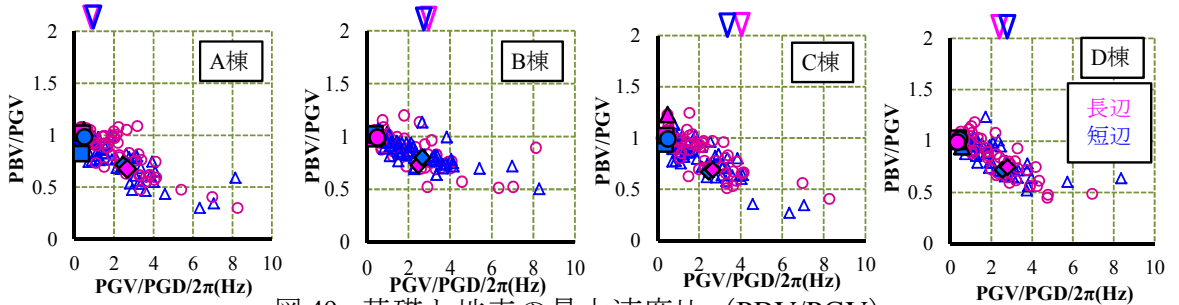


図 49 基礎と地表の最大速度比 (PBV/PGV)

7) 地域の災害対応力に関連する建物の情報

日本の大都市では一般に、昭和 30 年代・40 年代に建築された中高層ビルがまだ多数残っている。このような建物の耐震性向上は必須であるが、特に商業ビルでは、高額な補強費用や補強工事期間中の営業収入の問題に加え、補強材による機能上・意匠上のポテンシャル低下などが理由となって、耐震補強がなかなか進んでいない。南海トラフの巨大地震の際には、古い中高層ビルの多数が相当の損傷を被るものと予想される。倒壊あるいは全壊になるものもあろう。また外見上は大きな問題はなくても構造体は相当塑性化が進み、詳細に観察すると残留変形があり、継続使用できないというようなことも十分予想される。これらのビルは、

震災後できる限り早く補修するか、あるいは解体撤去する必要がある。

しかし実際の被災地では、平常時の作業と異なり、多数の被災建物で同時に対処することになるため、その能力の制約が影響する。必要な資機材の調達、それらを活用するための作業人員や燃料の確保、解体重機等を現地まで運搬する交通路の復旧など、多くの問題が予想される。古い建物に多く使用されているアスベストなどの危険物の対応、大量の産業廃棄物の適切な分別処理、粉塵抑制のための散水などの配慮も必要である。

ここでは、地域の災害対応力評価の一環として、実際の中高層ビルの平常時の解体作業に関するデータを分析する。対象建物は、名古屋駅前に昭和28～31年に隣接して建設されたTビルとMビルであり、写真3に示すように周囲を道路に囲まれてひとつの街区を形成していた。建物概要は表12に示すとおりであり、事務所が主用途で、飲食店舗、映画館などがテナント入居していた。

解体工期は2003年4月～2004年1月までの約10ヶ月、仮囲い→建物内残置物撤去→内装解体、アスベスト撤去と進み、これを追いかけるかたちで躯体解体、各種設備機器解体が上階より順次あるいは同時に進行した。図50に就労人員の推移を解体工（内装及び躯体）とそれ以外に分けて示す。また2003年6月における各作業職種と作業内容及び就労人数を表13に示す。職種は12、作業内容は29項目に及んでいる。

躯体解体は大きく4Fから上部と3Fから下部にその方法が分けられる。4Fから上部では、BH0.45（バックホー0.45m³）にて解体・小割り・分別し、EVシャフトなどを利用して下階へ投下している。毎日ビルの塔屋部は、作業面積が小さいためBH0.18及びBH0.25を使用している。3Fから下部ではロング（BH1.2）や超ロング（BH1.6、写真4）にて解体し、それらの足元でBH0.7にて小割り、分別、埋戻しを行っている。

表14に解体歩掛を示す。就労重機（台日）と一台日あたりの平均解体面積を示している。全解体面積（地下部分を含む）は99435.91 m²、延解体重機数は1015台日、総平均歩掛は83.84 m²/台日である。上階から下階に降りてくるに従って歩掛は向上し、上階では50～60 m²/台日、下階では、使用重機の違いもあるが100～130 m²/台日となっている。また4F以上の地上部に限れば67.9 m²/台日である。就労延人員は全職種合わせて18888人（歩掛は5.3 m²/人日）、解体工のみに限ると10780人（歩掛は9.2 m²/人日）となっている。

この歩掛をもとにすると、例えばSRC造、8F、延床5000 m²の中規模ビルを解体するには、 $5000/67.9=73.6$ （台日）の重機、 $5000/5.3=943$ （人日）の就労人員が必要と推定される。災害時にこのようなビルが100棟あるとすれば、必要な重機は7360台日、就労人員は94300人日という大きな数値になる。常に現状の建物耐震性能に基づく被害予測、調達可能な重機、就労人員を高い精度で把握しておくことが復興計画に非常に重要であることが理解できる。



写真3 解体前の建物の配置



写真4 超ロングバックホーによる解体

表12 建物概要

Tビル			
構造		SRC造	
規模	地上11階地下2階		
地上延床面積	52,275.5 m ²		
地下延床面積	14,761.3 m ²		
地下解体面積	7,503.6 m ²		
Mビル			
構造		SRC造	
規模	地上11階地下2階		
地上延床面積	34,912.3 m ²		
地下延床面積	8,802.3 m ²		
地下解体面積	4,744.6 m ²		

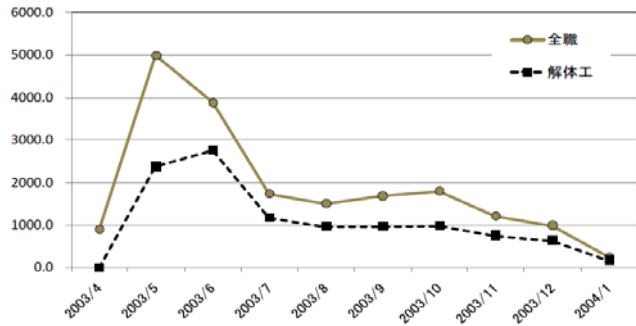


図50 就労人員の推移 (人日)

表13 就労状況 (2003年6月)

職種	協力会社名	作業内容	就労人員
解体工	S興業JV	内装解体・塔屋躯体解体	2762
弐工	N	足場解体・床補強	184
〃	I組	足場解体・床補強	264
残置物撤去	N	残置物撤去	0
土工	N	仮設材小運搬ほか	197
〃	I組	仮設材小運搬ほか	122
残置物解体	S建工	残置物解体・積込	0
土工	〃	歩道点字ブロック盛替	0
仮設電気	S	〃	0
仮設電気	D	PCB・電球取外し・仮設電気	0
〃	K	〃	89
仮設給排水	S工業	消火水抜き・ガソリン	7
〃	〃	仮設WC・散水設備配管	35.5
〃	M工業	厨房機器解体・撤出	0
仮設空調	T工業	設備器具撤去・撤出	0
E/V解体	H	E/Vカゴおろし	7
〃	M	〃	0
〃	O	〃	0
揚重機	M	仮設材揚重	6
その他仮設	C仮設	仮囲い改造	0
	T建工	地下仮設間仕切	3
	D工業	仮囲い巾木・朝顔溶接	14
	S塗工店	仮囲い巾木・シャッター塗装	1
	E基礎	古井戸閉塞・撤去	40
	Sシャッター	既設シャッター配線	0
	Y工務店	ゲート・井戸取合いはつり	16
	K工業	外部足場壁つなぎアンカー	13
	YB	石取外し	6
	T電機	街灯移設	0
	F製作所	地下街通路仮設屋根	4
	I社	仮設看板工事	0
	N業務店	止水CB積・塗膜防水	2.5
警備	N警備	出入口・歩道警備	44
	警備JV	出入口・歩道警備	58
合計			3875

表14 解体歩掛

棟	期	階	床面積	解体率	解体面積	就労重機		
						BH0.7以下	ロング・超ロング	歩掛り
豊田ビル	1	P	825.41	100%	825.41	15		55.0
		9	2419.90	100%	2419.90	46		52.6
		8	2419.90	100%	2419.90	42		57.6
		7	2570.77	100%	2570.77	33		77.9
		6	3048.76	100%	3048.76	39		78.2
		5	2437.58	100%	2437.58	27		90.3
		4	2692.89	100%	2692.89	27		99.7
		3	2307.20	100%	2307.20			
		2	3317.75	100%	3317.75			
		1	3321.61	100%	3321.61	75	50	102.4
	B1	3936.26	80%	3149.01				
	B2	3526.61	20%	705.32				
	P	1120.51	100%	1120.51	21		53.4	
	11	1941.81	100%	1941.81	35		55.5	
	10	1941.81	100%	1941.81	36		53.9	
	9	2373.32	100%	2373.32	42		56.5	
	8	2373.32	100%	2373.32	39		60.9	
	7	2495.99	100%	2495.99	24		104.0	
	6	2495.99	100%	2495.99	18		138.7	
	5	2495.99	100%	2495.99	21		118.9	
4	2495.99	100%	2495.99	18		138.7		
3	2495.99	100%	2495.99					
2	2250.67	100%	2250.67					
1	2432.33	100%	2432.33	42	42	128.9		
B1	2432.82	80%	1946.26					
MB2	2432.82	50%	1216.41					
B2	2432.82	20%	486.56					
計			67036.82	89%	59779.05	600	92	86.4
毎日ビル	1・2・3	P	647.40	100%	647.40			
		10	495.04	100%	495.04	63		18.1
		9	2013.00	100%	2013.00	87		23.1
		8	3026.79	100%	3026.79	48		63.1
		7	3005.11	100%	3005.11	41		73.3
		6	3034.00	100%	3034.00	35		86.7
		5	3176.78	100%	3176.78	31		102.5
		4	3990.41	100%	3990.41	30		133.0
		3	4476.41	100%	4476.41			
		2	4123.69	100%	4123.69			
	M2	2170.69	100%	2170.69				
	1	4752.98	100%	4752.98	80	79	127.5	
	MB1	80.19	80%	64.15				
B1	4628.87	80%	3703.10					
MB2	528.89	50%	264.45					
B2	3564.32	20%	712.86					
計			43714.57	91%	39656.86	415	79	80.3
合計			110751.39	90%	99435.91	1186		83.8

8) 地域情報の一元化と災害対応力評価のためのシステム

大規模災害に対する地域社会対応力を評価するため、都市、社会、歴史、地理、ハザード、地盤、施設など多岐にわたる情報を適切に整理、分析、表示するシステムを継続的に開発している。図 51、52 にウェブ GIS を用いたシステム画面例を示す。利用できる情報は、背景地図データ（地図、古地図、航空写真、標高、ハザードマップなど）、KML データ、ポイントデータなどで、相互運用により多様で最新の情報が利用可能である。またさまざまな情報を表示するビューアが連携し、現状ではボーリングデータの立体表示と地層断面、地震観測記録と処理、室内の揺れのシミュレーションと動画による表示などが利用できる。図 53 には、ボーリングデータの立体表示をさらに進めて、断面を表示するシステムを開発中の様子を示す。また、このシステムを用いて重要施設とハザードとの関係を考察した。

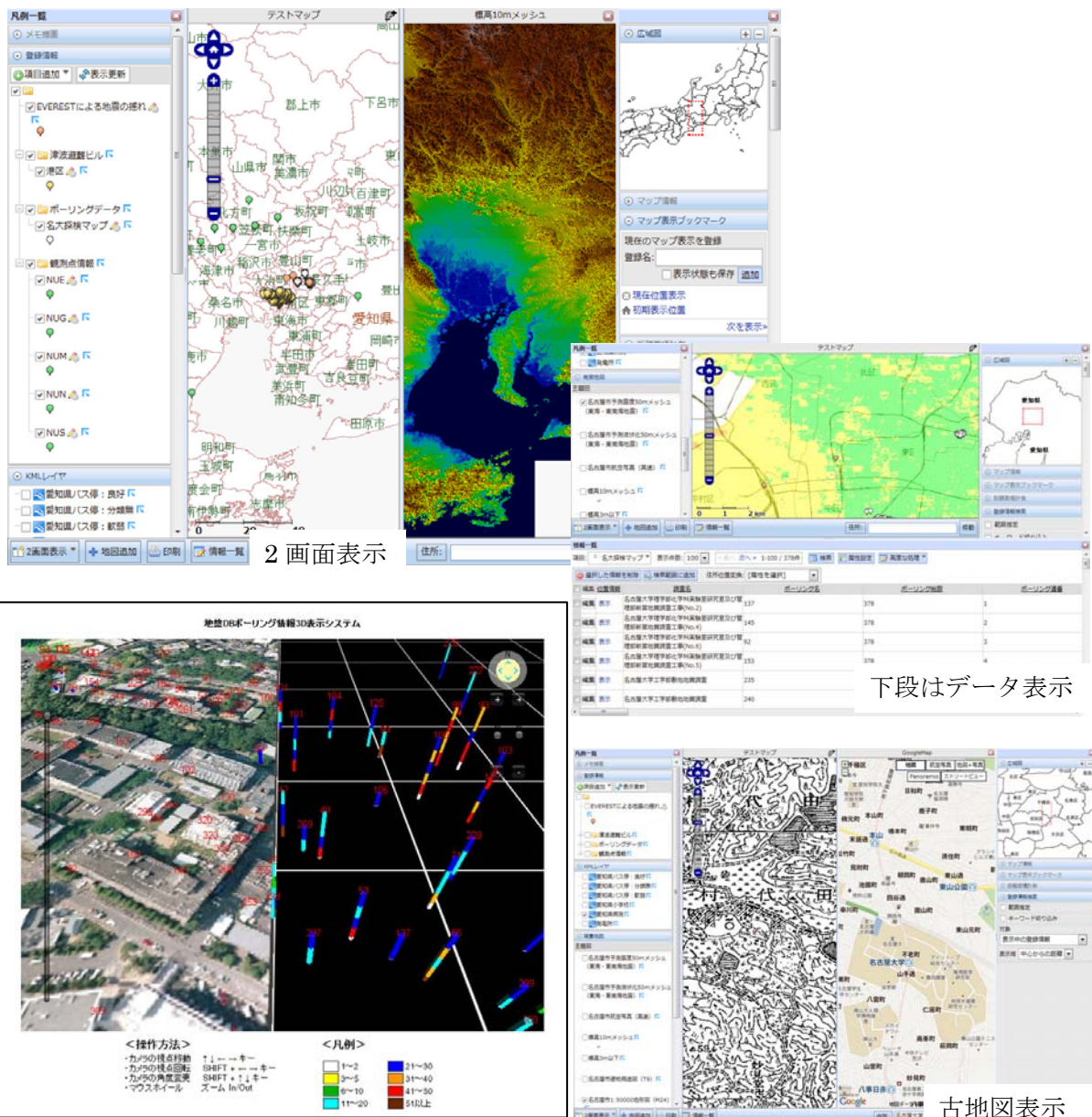


図 51 地域災害対応力評価 GIS の画面例

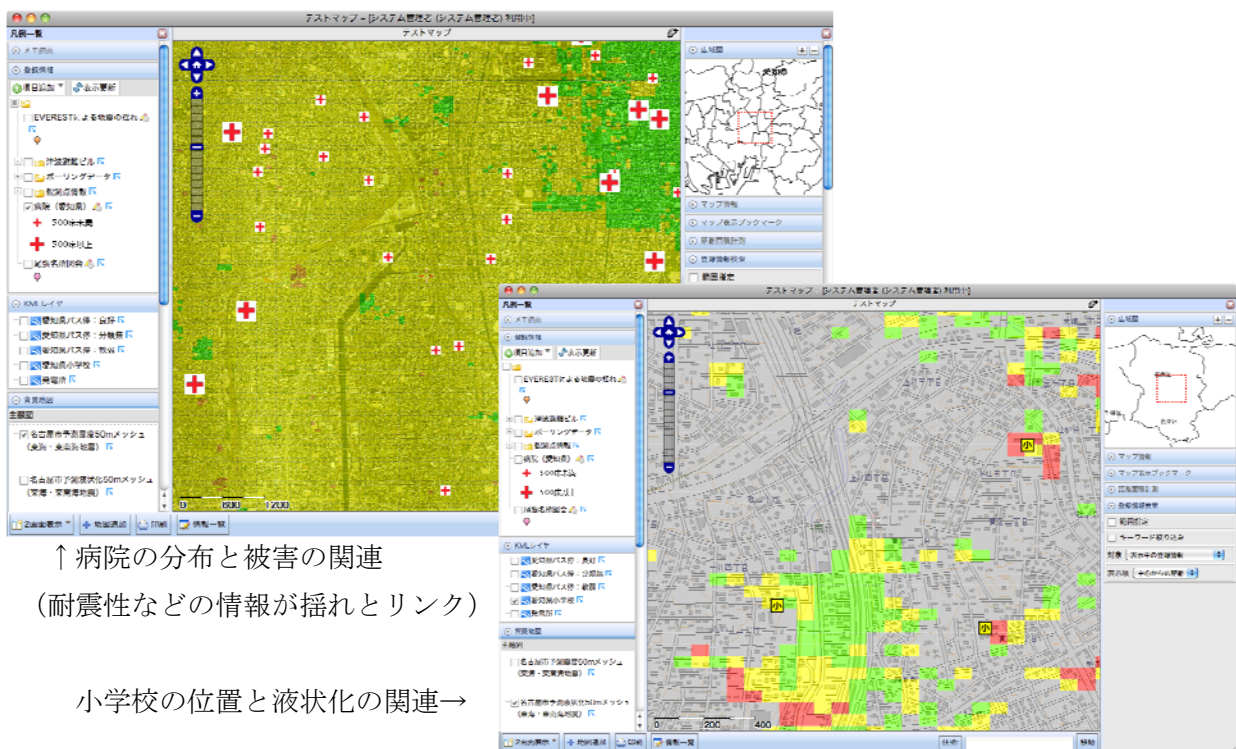


図 52 施設分布とハザードの関係による分析

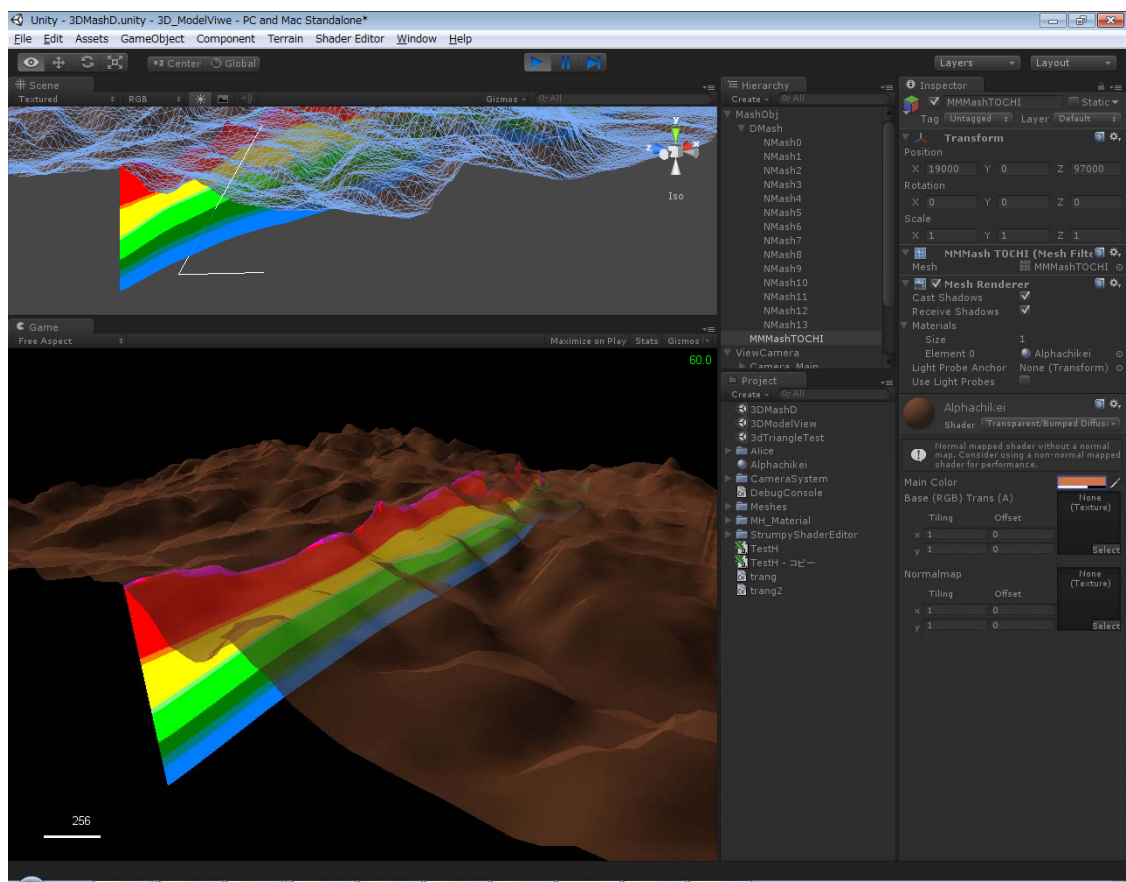


図 53 ボーリングデータによる地層断面図の生成

(c) 結論ならびに今後の課題

昨年までに開発・検証した擬似経験的グリーン関数法と表層地盤非線形モデルにより、昭和東南海地震による名古屋市域の面的な揺れの予測を行った。震源モデルは最近の知見で見直したものを使用し、実際の被災記録からも妥当な結果であることを検証した。この結果は、都市・施設の被害予測に使用される。

複数の S 造建物（階数の異なる事務所、大規模店舗、倉庫など）について、一般的な構造の特徴を現す被災予測用応答解析モデルの整備を行い、これまで整備された RC 造小学校校舎モデルとともに東北地方太平洋沖地震の観測記録により応答・被災状況とその特徴を検討した。また小学校校舎に関しては、想定東海・東南海地震による名古屋市内での応答・被災状況についても試算による検討を行った。

高層建物に関しては、東北地方太平洋沖地震の際に大阪のある超高層建物の共振による応答状況に着目し、地震動予測と建物モデル化を行うことで予測可能かを検討した。また免震建物については、名古屋市内の免震病院について、入力を左右する根入部分の土圧評価を観測記録に基づいて行った。軟弱地盤上の大規模建物については、前年度までの詳細モデルに加えて、根入のある場合にもインピーダンスや基礎入力動を簡略に評価できる手法を開発し、検証を行った。以上の検討の基礎データとして、名古屋周辺での地震観測の継続、データ蓄積と整理分析を行っている。今年度は、東北地方太平洋沖地震の記録などを用いて、上記の免震病院と、一般的な S 造建物の応答特性を実測から詳しく検討した。

地域の災害対応力分析に関しては、大災害時に多数の建物の補修および解体を行わざるを得ないことを考慮して、実際に解体されたビルについて必要な人員や重機の状況を調査し、重機や人員の歩掛の基礎資料を構築した。これはアスベストや産廃の処理なども考慮に入っており、被災時の対応シナリオを描くために重要な情報である。またこのような分析を行う環境として、都市、社会、歴史、地理、ハザード、地盤、施設など多岐にわたる情報を適切に整理、分析、表示するシステムを継続的に開発しており、その使用法についても検討を行った。

以上により、地域データの観測・収集・整理に基づき、震源、地盤、建物、そして地域社会全体を考慮した実質的な被害想定と、それに基づく対応力評価、さらには改善点の明確化と実施にむけた全体方針が固まりつつある。基盤データの収集は、継続的に行う体制作りが必須である。

(d) 引用文献

- 1) 高橋広人、福和伸夫、林宏一、飛田潤：地盤モデルに基づく 2 地点間の伝達関数と地震観測記録を用いた任意地点における地震動の推定、日本建築学会構造系論文集、Vol.609、pp.81-88、2006.
- 2) Irikura, K. : Semi-empirical estimation of strong ground motions during large earthquakes, Bull. Disas. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ., Vol.33, pp.63-104, 1983.
- 3) 岩田友孝、入倉孝次郎：観測された地震波から震源特性・伝播経路特性及び観測点近傍の地盤特性を分離する試み、地震第 2 輯、39、pp.151-156、1986.
- 4) 三宅弘恵、岩田知孝、入倉孝次郎：経験的グリーン関数法を用いた 1997 年 3 月 26 日 (M6.5)

及び5月13日(M6.3)鹿児島県北西部地震の強震動シミュレーションと震源モデル、地震第2輯、51、pp.431-442、1999.

- 5) 壇一男、渡辺基史、佐藤俊明、石井透：断層の非一様すべり破壊モデルから算定される短周期レベルと半経験的波形合成法による強震動予測のための震源断層のモデル化、日本建築学会構造系論文集、Vol.545、pp.51-62、2001.
- 6) 佐藤智美：逆断層と横ずれ断層の違いを考慮した日本の地殻内地震の短周期レベルのスケーリング則、日本建築学会構造系論文集、Vol.651、pp.923-932、2010.
- 7) 高橋広人、福和伸夫、護雅史、飛田潤：継続時間の長い強震動の半経験的合成手法に関する研究、第13回日本地震工学シンポジウム、DVD-ROM、2010.
- 8) 壇一男、佐藤俊明：断層の非一様すべり破壊を考慮した半経験的波形合成法による強震動予測、日本建築学会構造系論文集、No.509、pp.49-60、1998.
- 9) 吉田望、東畑郁生：YUSAYUSA-2の理論と使用法、1991.
- 10) 飯田汲事：昭和19年12月7日東南海地震の震害と震度分布、愛知県防災会議、1977.
- 11) 杉本浩一、護雅史、福和伸夫：基礎の浮上りに伴う振動方向間の応答連成効果を評価可能な地震応答解析モデルの構築、日本建築学会大会学術梗概集(北陸)、2010.9
- 12) 堀川晴央他：断層による不連続構造を考慮した大阪堆積盆地の3次元地盤構造モデル、活断層・古地震研究報告、No.3、pp.225-259、2003.
- 13) 中央防災会議：東南海・南海地震等に関する専門調査会 参考資料、2008.
- 14) 中央防災会議：東南海・南海地震等に関する専門調査会(第9回)、2003.
- 15) 壇一男、佐藤俊明：断層の非一様すべり破壊を考慮した半経験的波形合成法による強震動予測、日本建築学会構造系論文集、No.509、pp.49-60、1998.
- 16) 川瀬博、松尾秀典：K-NET, KiK-net, JMA 震度計観測網による強震動波形を用いた震源・パス・サイト各特性の分離解析、日本地震工学会論文集、第4巻、第1号、pp.33-52、2004.
- 17) 鹿嶋俊英、小山信、大川出：平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震における建物の強震観測記録、建築研究資料、No.135号、2012.3
- 18) (財)日本建築センター：ビルディングレター、1991.1
- 19) 鈴木承慈、福和伸夫、護雅史：埋込み基礎の基礎入力動簡易評価法、日本建築学会構造系論文集、第661号、pp.535-541、2011.3
- 20) 小島宏章、福和伸夫、飛田潤：強震観測・常時微動計測に基づく中低層建物の入力損失効果に関する研究、日本建築学会構造系論文集、No.587、pp.77-84、2005.1.

(e) 学会等発表実績

学会等における口頭・ポスター発表

発表成果(発表題目、口頭・ポスター発表の別)	発表者氏名	発表場所(学会等名)	発表時期	国際・国内の別
継続時間の長い強震動予測手法に関する研究	高橋広人 福和伸夫 護雅史 飛田潤	日本建築学会大会学術講演梗概集、Vol.B-2、pp.69-70	2011.8	国内

半経験的強震動予測手法を用いる際の補正に関する研究 距離減衰、放射特性、破壊伝播方向補正についての検討	渡辺莉奈 平井敬 護雅史 福和伸夫	日本建築学会大会学術講演梗概集、 Vol.B-2、pp.81-82	2011.8	国内
平成23年東北地方太平洋沖地震における名古屋地域の地盤・建物の地震観測記録 その1 地震観測記録の概要	飛田潤 小島宏章 福和伸夫 護雅史	日本建築学会大会学術講演梗概集、 Vol.B-2、pp.337-338	2011.8	国内
平成23年東北地方太平洋沖地震における名古屋地域の地盤・建物の地震観測記録 その2 中低層建物と免震建物の地震応答性状	小島宏章 飛田潤 福和伸夫 護雅史	日本建築学会大会学術講演梗概集、 Vol.B-2、pp.339-340	2011.8	国内
南海トラフ巨大地震発生時における建築物の応答評価に基づく高機能都市の被災シナリオ作成に関する研究	彦坂智基 曾我裕 福和伸夫 護雅史	日本建築学会大会学術講演梗概集、 Vol.B-2、pp.925-926	2011.8	国内
公開資料を用いた簡易地震被害推定と地域対応力とに基づく耐震化目標設定に向けた考察	池田政人 林孝幸 倉田和己 福和伸夫 護雅史 飛田潤	日本建築学会大会学術講演梗概集、 Vol.B-2、pp.893-894	2011.8	国内
大地震後の中高層建物の解体に関する一考察	曾我裕 福和伸夫 護雅史 飛田潤	日本建築学会大会学術講演梗概集、 Vol.B-2、pp.981-982	2011.8	国内
構造性能把握のためのライフタイムモニタリングの提案	西澤崇雄 大野富男 飛田潤 福和伸夫	日本建築学会大会学術講演梗概集、 Vol.B-2、pp.841-842	2011.8	国内

学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載論文（論文題目）	発表者氏名	発表場所 （雑誌等名）	発表時期	国際・国内の別
改良地盤上に立地した免震建物の地震時応答性状に関する考察	周 方圓 護 雅史 福和伸夫	日本建築学会技術報告集、第17巻、第36号、pp.473-482	2011.6	国内
耐震診断結果に基づく公営集合住宅建物の地震被害率の予測に関する研究	白瀬陽一 榊原啓太 福和伸夫 護 雅史	日本建築学会構造系論文集、 No.664、pp.664-673	2011.6	国内
強震記録に基づく東北地方太平洋沖地震による地殻変動分布の算定	平井 敬 福和伸夫	日本建築学会構造系論文集、 No.673、pp.341-350	2012.3	国内

マスコミ等における報道・掲載

報道・掲載された成果（記事タイトル）	対応者氏名	報道・掲載機関（新聞名・TV名）	発表時期	国際・国内の別
液状化、古地図を見ればリスクが分かる	福和伸夫	日本経済新聞電子版	2011.6.1	国内
NHKスペシャル「巨大津波が都市を襲う～東海 東南海 南海地震～」	福和伸夫	NHK	2011.9.1	国内
共振、防災減災	福和伸夫	読売新聞	2011.11.11	国内
大阪大津波、地名が語る危険地帯	福和伸夫	フジテレビ	2011.12.19	国内
建物に潜む未知の脅威～地盤との共振～ クローズアップ現代	福和伸夫	NHK	2012.2.13	国内

(f) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

名称	機能
災害対応能力検討システムのインターフェイス	ハザード、都市、社会、建物などに関連する情報を相互運用で簡易に活用し、かつ分かりやすく表示・分析するためのシステム

3) 仕様・標準等の策定

なし

(3) 平成24年度業務計画案

平成23年度までに行った名古屋市域の強震動予測と各種構造物の応答解析結果を吟味し、複数の地震発生シナリオに基づいて、地震動・建物応答解析用計算機を用いて都市域の地震動と建物応答の予測および被害評価の検討を行う。またその結果に基づき、建物の被害状況と被害軽減に関する検討として、たとえば緊急地震速報を活用した構造物の被害軽減・早期機能復旧のための方策などを考察する。災害発生時の地域社会対応力について、基礎データとして地域の地震観測記録、地盤データ、地域社会データなどの収集・整理を継続しうる体制を整えるとともに、基礎情報収集と分析・評価システムの開発を行う。

3.4. 将来の地域社会特性を反映した災害対応、復旧・復興戦略の策定

目 次

(1) 業務の内容

- (a) 業務題目
- (b) 担当者
- (c) 業務の目的
- (d) 5カ年の年次実施計画
- (e) 平成23年度業務目的

(2) 平成23年度の成果

- (a) 業務の要約
- (b) 業務の成果
 - 1) 地域類型モデルの高度化
 - 2) ナショナルクラス都市における復旧・復興戦略
- (c) 結論ならびに今後の課題
- (d) 引用文献
- (e) 成果の論文発表・口頭発表等
- (f) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

(3) 平成24年度業務計画案

(1) 業務の内容

(a) 業務題目

将来の地域社会特性を反映した災害対応、復旧・復興戦略の策定

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名	メールアドレス
京都大学防災研究所	准教授	牧 紀男	maki@drs.dpri.kyoto-u.ac.jp
京都大学防災研究所	助教	鈴木 進吾	
岐阜大学工学部社会基盤工学科	教授	能島 暢呂	
立命館大学文学部	准教授	中谷 友樹	
長岡造形大学造形学部 建築環境デザイン学科	准教授	澤田 雅浩	
宇都宮大学大学院工学研究科	助教	佐藤 栄治	

(c) 業務の目的

人口減少社会を踏まえた防災対策、災害対応、復旧対策のあり方の検討を行うために、被災地域の社会状況についてのシミュレーションを実施し、シミュレーション結果に基づき災害対応、復旧・復興プロセスの明確化、重要社会基盤施設が被災した際の「影響評価」手法を開発する。加えて、復旧・復興時に発生する大きな余震に備えた、緊急地震速報の利用方を提案する。また、地震地殻変動による紀伊半島や四国の海岸線の沈降や、大阪での河川の津波遡上により引き起こされる複合災害の影響を評価する。

(d) 5カ年の年次実施計画（過去年度は、実施業務の要約）

1) 平成20年度：

東南海・南海地震で被災する東海・関西・四国地域の社会状況（人口、経済、社会構成等）、被害想定結果に関するデータ収集を行い将来の社会状況のシミュレーションを実施するための基礎的なGISデータベースの構築を行った。具体的には「大大特プロジェクト」で実施した紀伊半島地域についての同様のデータベースの構築を東海、四国地域についても実施した。また、人口減少社会における復旧・復興プロセスの明確化を目的に2004年中越地震、2007年能登半島地震、中越沖地震の復旧・復興プロセスに関するデータ収集を行った。さらに、重要社会基盤施設が被災した際の「影響評価」を行うための基礎的な考察として、検討すべき「影響」の明確化を行った。

2) 平成21年度：

平成20年度に構築した社会状況GISデータベースおよび地域研究会での議論に基づいて、南海トラフ地震の推定被災地域の地域特性の分析を行った。また、中山間地域については、重要な

課題として取り上げ、規範となる復旧・復興プロセスの策定を進めた。さらに、重要社会基盤施設としての発電施設について、その施設被災による地域への影響評価を行うと共に、津波による長期湛水被害後の復旧・復興戦略に関する調査研究を行った。

3) 平成22年度：

平成21年度までに構築した社会状況GISデータベース、および地域研究会での各地の社会対応力に関する議論に基づいて、将来の社会状況シミュレーションに必要なデータを整備し、地域類型手法を完成させた。本モデルを用いて、東南海・南海地震の被災地域における将来の社会状況を反映した地域類型明確化するための、シミュレーションを実施した。これをもとに、中山間地域に引き続き、日本全体に影響を与えうるリージョナルクラス都市を対象として復旧・復興シナリオの検討を行った。また、連動発生シナリオにもとづき、東南海・南海地震が2030年に発生した場合について被災地域が社会全体に与える影響を総合的な検討を行った。

4) 平成23年度：

将来の社会状況シミュレーションについては、将来人口に基づく地域類型モデルを高度化させ、東南海・南海地震の被災地域における将来の社会状況についての類型化シミュレーションを実施する。復旧・復興シナリオについては、ナショナルクラス都市についての検討を行う。また、「連動型巨大地震による強震動の高精度予測」の成果も統合し、東南海・南海地震が将来に発生した場合の被災地域の社会にあたる影響についての高精度化を行う。

5) 平成24年度：

平成23年度に東南海・南海地震が将来に発生した場合の被災地域の社会にあたる総合的な影響の結果を基に、地域類型にもとづく復旧・復興シナリオの明確化を行う。また、「連動型巨大地震による強震動の高精度予測」の地殻変動の影響を踏まえ影響評価の修正を実施する。さらに、一般市民が理解できる形式で物理的被害→社会の影響→復旧・復興シナリオから構成される東南海・南海地震が被災地域にあたる影響の全体像の明示を行う。

(e) 平成23年度業務目的

将来の社会状況シミュレーションについては、将来人口に基づく地域類型モデルを高度化させ、東南海・南海地震の被災地域における将来の社会状況についての類型化シミュレーションを実施する。復旧・復興シナリオについては、ナショナルクラス・シティーについての検討を行う。また「連動型巨大地震による強震動の高精度予測」の成果も統合し、東南海・南海地震が将来に発生した場合の被災地域の社会にあたる影響についての高精度化を行う。

(2) 平成23年度の成果

(a) 業務の要約

平成23年度での成果は、以下のとおりである。

- 1) 平成22年度までに構築した将来人口に基づく地域類型モデルを高度化させ、生活圏に基づくより詳細な地域類型モデルの構築を行った。また、高度化した地域類型モデルを東日本大震災の被災地に適応し、妥当性の検討を行い、日本全国に適応可能であることの検証を行った。
- 2) 東海・東南海・南海地震が発生した場合日本全体に与える影響が大きいナショナルクラス都市として名古屋市を選定し、研究者・行政職員が参画するワークショップを開催した。ワークショップでは、重要社会基盤施設の被害の社会的影響を考慮しながら災害対応・復旧・復興戦略を策定するための基礎的な検討を行った。
- 3) 「連動型巨大地震による強震動の高精度予測」の成果を統合し、被災地域の社会にあたえる影響についての高精度化を行うための手法の基礎的検討を行った。

(b) 業務の成果

1) 地域類型手法の高度化

a) 基礎生活圏に基づく地域類型

太田ら¹⁾が構築した、集落の住民生活を構成する生活系・社会基盤系・地域資源系・サービス系という4つの要素の集落単位での存在の有無により各集落の特性を分析、2) その結果明らかになった集落の特性（自立～都市機能）毎に空間的なグルーピングを行うというステップで「住民生活機能」（図1）を考慮した、より詳細なレベルでの地域類型手法の開発を行った。表1に評価に利用した項目・データを示す。

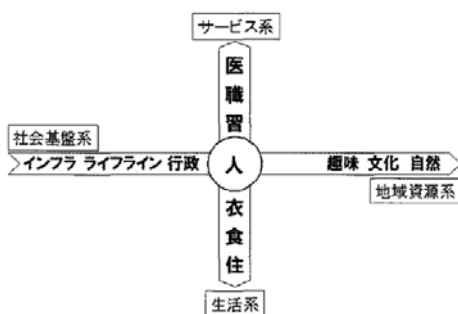


図1 住民生活機能

表1 住民生活機能の詳細

類型	集計項目		出典
衣食	X ₁	農家	農林業センサス(2005)
	X ₂	日常消費(生活共同組合など5種類)	DARMS
	X ₃	非日常消費(百貨店など3種類)	
インフラ	X ₄	インフラ(主要道路, 鉄道)	国土数値(1995; 2007)
行政	X ₅	行政, 警察, 消防機関	国土数値(2006; 2010)
医療	X ₆	病院	
	X ₇	診療所	
習	X ₈	一般教育(小学校など)	
	X ₉	高等教育(大学など)	
文化	X ₁₀	建物(観光施設など)	

b) 基礎生活圏構造の抽出

紀伊半島(三重県・奈良県・和歌山県)を対象として地域類型モデルの高度化の検討を行った。2005年農業センサスの境界データに基づく5,569個の集落について表1に示すX1からX10までの生活機能の有無についてのクラスター分析を行い図2のような結果を得た。その結果、生活機能はグループ①(農業、インフラ)、グループ②(行政、診療所、一般教育、日常消費)とグループ③(高等教育、非日常消費、病院、文化)に3つのグループに分けられることが明らかになり、図3に示すような生活機能の構造が明らかになった。

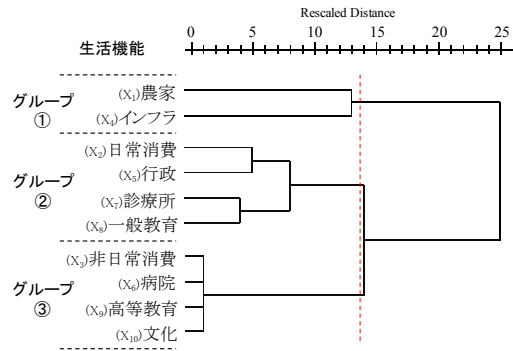


図2 クラスタ分析の結果

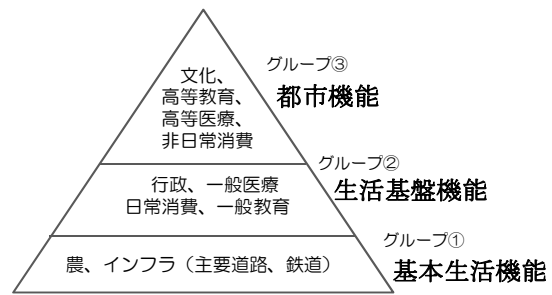


図3 生活機能構造

c) 集落のグルーピング

生活機能構造（図3）に基づき、三層の生活機能構造（都市機能、生活基盤機能、基本生活機能）の集落ごとの存在状況について再度クラスタ分析を行った。その結果、集落は群Ⅰ～群Ⅴの集落パターンに分類可能であることが明らかになった。各集落パターンの特徴は下記の通りであり、各集落パターンの分布状況を図4に示す。

群Ⅰ（自立型）：全ての生活機能を持たない集落である。農とインフラの機能も存在せず、群Ⅰの集落は外部環境と離れて、自立状態にあり、主として紀伊山地の中央、吉野地方、牟婁地方で多く見られる。

群Ⅱ（基本生活機能）：基本生活機能を満たす集落であり、農業・インフラのみが存在し、商店は存在しない。農業活動を行うので、食の自足を確保できており、災害が発生しても、短期的には生き延びることが可能である。このタイプの集落は「自立型」集落を囲むように紀伊山地に広く分布している。

群Ⅲ（特定生活機能）：図3に示す「基本生活機能」は持たないが「生活基盤機能」を持つ集落であり、集落の中心地域を構成している。

群Ⅳ（生活基盤機能）：図3に示す「基本生活機能」から「生活基盤機能」までの機能を持つ集落である。行政機能や小中学校、診療所も存在し、全ての生活基盤が揃った地区に中心地域である。

群Ⅴ（都市機能）：図3にしめる「基本生活機能」から「都市機能」までの全ての生活機能を保持する集落であり、大型ショッピングセンター、病院（20床以上）、大学を含む高等教育機関、観光施設も存在する地域である。主として地方都市に分布するが、観光名所である熊野古道、那智大社、吉野山、高野山にも存在する。

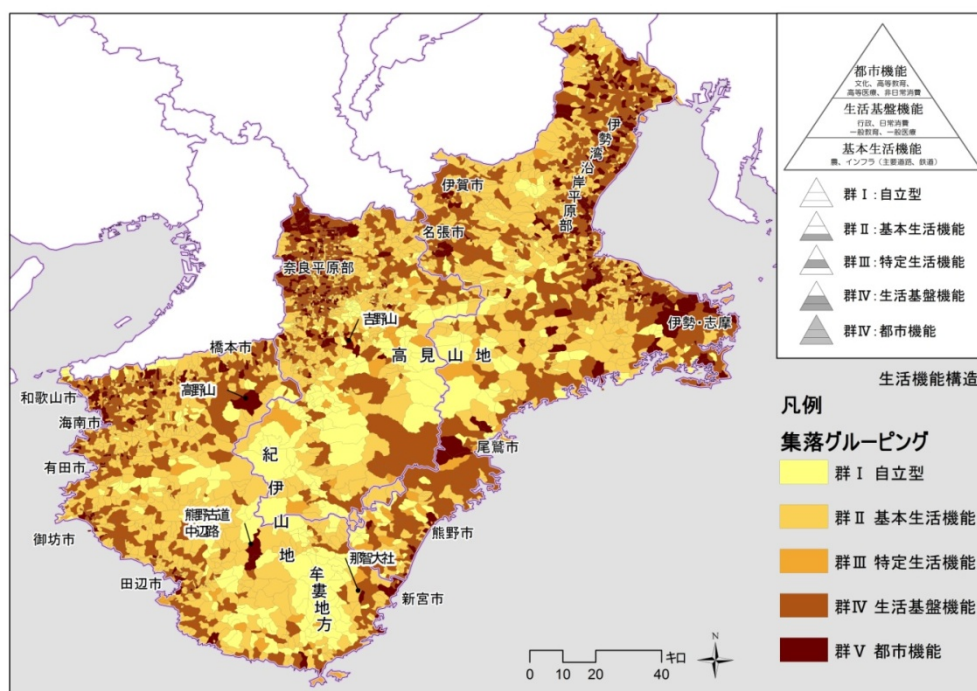


図4 集落グループ

d) 基礎生活圏の抽出

図4に示す各集落はそれぞれ自己完結しているわけではなく、相互に関連をもって生活に必要な機能を満たしている。生活を行う上での行動圏である生活圏を明らかにするため集落相互の相関について空間的な隣接性、生活機能の充実度の観点から分析を行い、以下の5つのパターンの抽出を行った。分析結果を図5に示す。

Hotspot (H-H) : コア地域

赤の hotspot は、和歌山市、海南市、奈良市、高田大和市、橿原市、伊勢湾沿いの四日市市・鈴鹿市、津市、松阪市、伊勢・志摩、及び熊野・新宮市に分布する。新宮市では県境を越えて生活圏が構成されている。これらの地域は、「生活基盤機能」「都市機能」を持つ集落を多く含み、基礎生活圏のコアとなる地域である。

Coldspot (L-L) : 自立集落帯

濃いグレイの coldspot は、鈴鹿山地。紀伊山地紀伊半島南端部と帯状に分布している。coldspot は、主として「自立型」の集落により構成されており、近隣の集落も含め農、ライフラインといった生活機能をもたない「自立集落帯」となっている。

Spatial Outliers (H-L) : 拠点集落

黄色の spatial outliers (H-L)集落は、隣接する集落と比べ生活機能が充実した地域である。この地域は、「自立集落帯」に対して小学校、診療所といった「特定生活機能」を提供する「拠点集落」となっている。

Spatial Outliers (L-H) : コア寄生

淡灰色の spatial outliers (L-H)は、拠点集落とは反対に、隣接集落と比べて保有する生活機能が顕著に低い集落である。こういった地域はコア地域の近くに分布しており、コア地域に寄生することにより生活機能を確保している「コア寄生」である。

不顕著：基礎地域

色の付いていない集落は、隣接集落との特別な依存関係を持たない集落である。こういった集落は紀伊半島の大半を占め「基本生活機能」さらには一般教育・一般医療など機能といった「生活基盤機能」を持つ集落であり、基礎的な機能を充足している「基礎地域」となっている。

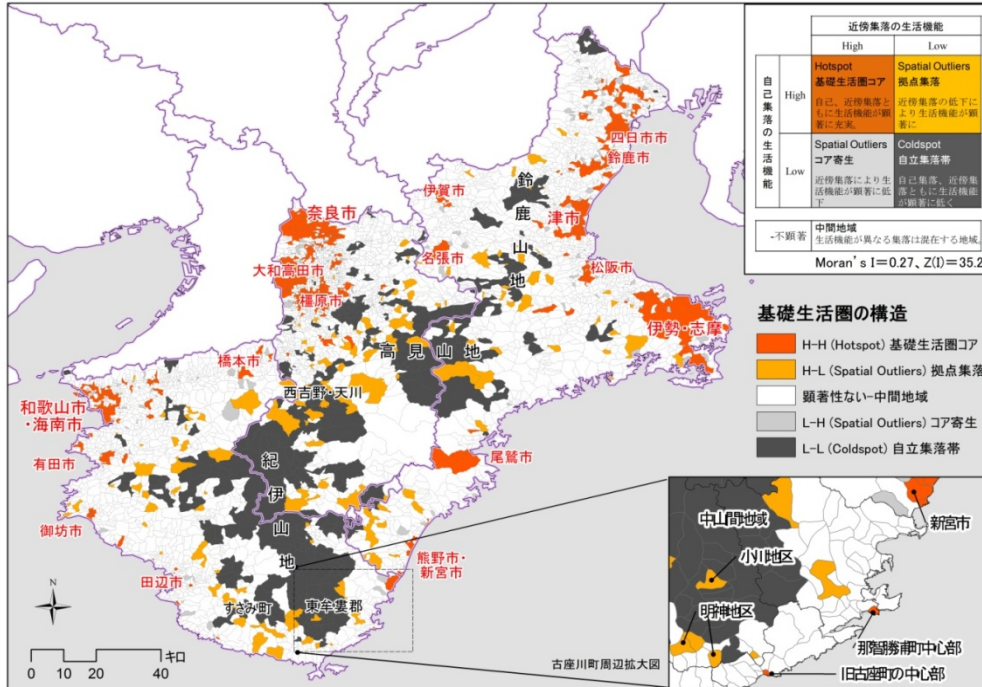


図5 基礎生活圏の抽出

e) 東日本大震災の被災地域の基礎生活圏

紀伊半島を事例にして検討を行った基礎生活圏の抽出手法の他地域への適用可能性を検討する目的で東日本大震災の被災地域で同様の検討を行った。検討結果を図6に示す。

東日本大震災の被災地での現地調査からも本検討結果の妥当性が検証され、本手法を日本全国で適用することの妥当性が確認された。また、東日本大震災の被災地域について得られた成果から、市町村区域を越えて生活圏が構築されており、復興を進めていく上で市町村相互の連携が不可欠であること、またコア地域が津波浸水被害を受けている地域ではその影響はコア寄生地域にまで波及しており、コア地域の復旧が生活圏を構成する地域の復興を行う上で不可欠であることが明らかになった。

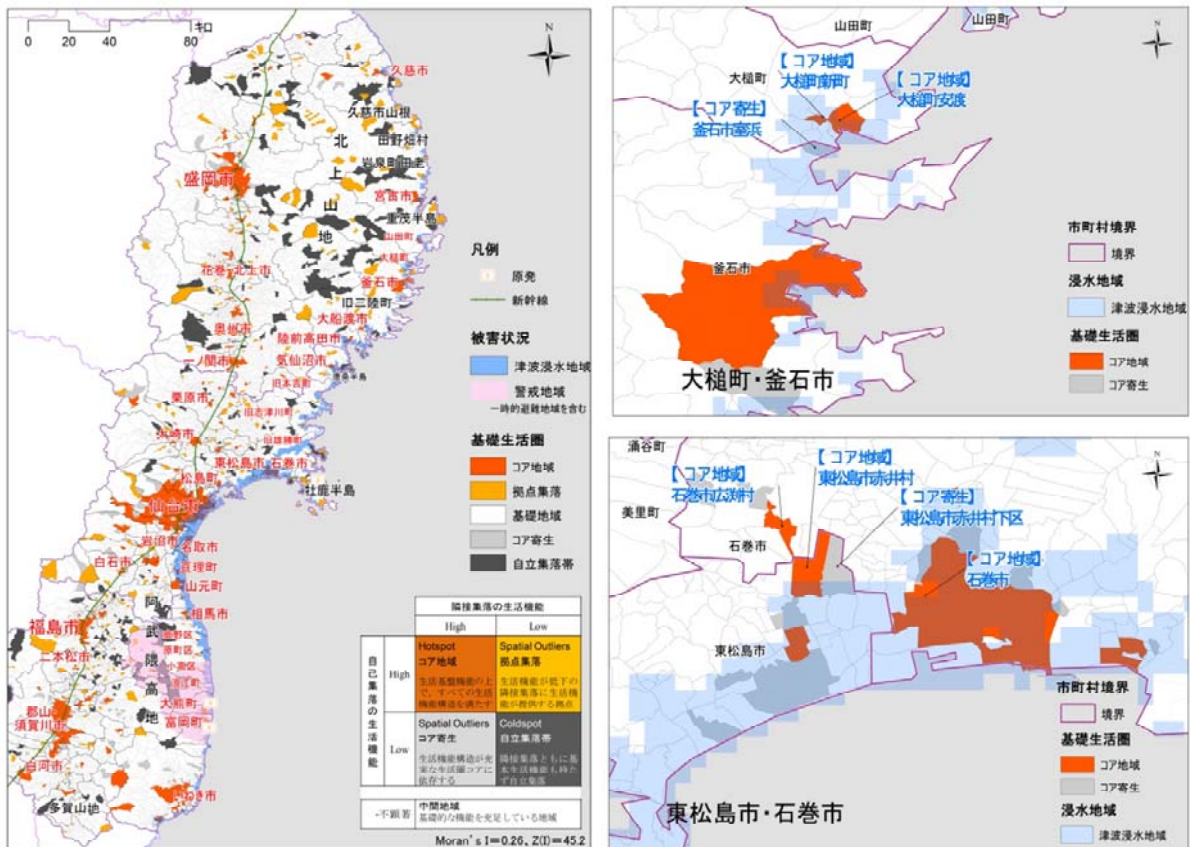


図6 東日本大震災の被災地域における基礎生活圏

2) ナショナルクラス都市における復旧・復興戦略

a) 名古屋市におけるワークショップの概要

東海・東南海・南海地震によって被害を受けると想定されるナショナルクラス都市の一つである、名古屋市において地震発生後の緊急対応、応急対応、復旧・復興対応に関わる検討を行うワークショップを実施した。

開催日時と場所：2011年12月26日 13時～17時

開催場所：名古屋市災害対策室

開催目的：防災専門家と地域の専門家である名古屋市職員が共同で、東海・東南海・南海地震発生時の災害対応、復旧・復興に関する業務を明らかにする。

実施方法：東海・東南海・南海地震発生時の名古屋市の震度情報、津波浸水域、重要社会施設、企業立地を重ねあわせた図をもとに、どういった被害・社会的影響が発生するのかを把握し、それらに対する対策案を策定し、それをカードに記述する。また対策案を構造化し、整理する。

参加者：計13名

プロジェクト側（5名）

- 牧紀男（専門：災害対応、避難、復旧・復興）：京都大学防災研究所准教授
- 澤田雅浩（専門：復旧・復興）：長岡造形大学准教授
- 佐藤映二（専門：GIS）：宇都宮大学助教
- 鈴木進吾（専門：津波）：京都大学防災研究所助教

・陳海立（専門：防災）：京都大学研究員

名古屋市（8名）

<災害対応、復旧グループ>

- ・消防局防災室
- ・健康福祉局総務課
- ・環境局作業課
- ・緑政土木局河川工務課

<災害対応、復興グループ>

- ・緑政土木局道路維持課
- ・住宅都市局都市計画課
- ・住宅都市局臨海開発課
- ・市民経済局（総務課・産業交流課）

実施プログラム：

13時30分～13時45分 災害後の復旧・復興プロセスー阪神・淡路大震災の事例から
ー 牧紀男（京都大学）

13時45分～14時00分 高知市・浜松市の事例の紹介と本日の進め方 牧紀男（京都大学）

14時00分～14時50分 緊急対応について考える（共同作業）

15時～16時30分

1) 応急対応から復旧について考える

2) 復旧・復興について考える

（2つのグループに分かれて作業）

16時40分～17時

グループ発表



写真1 ワークショップの風景

b) ワークショップの成果

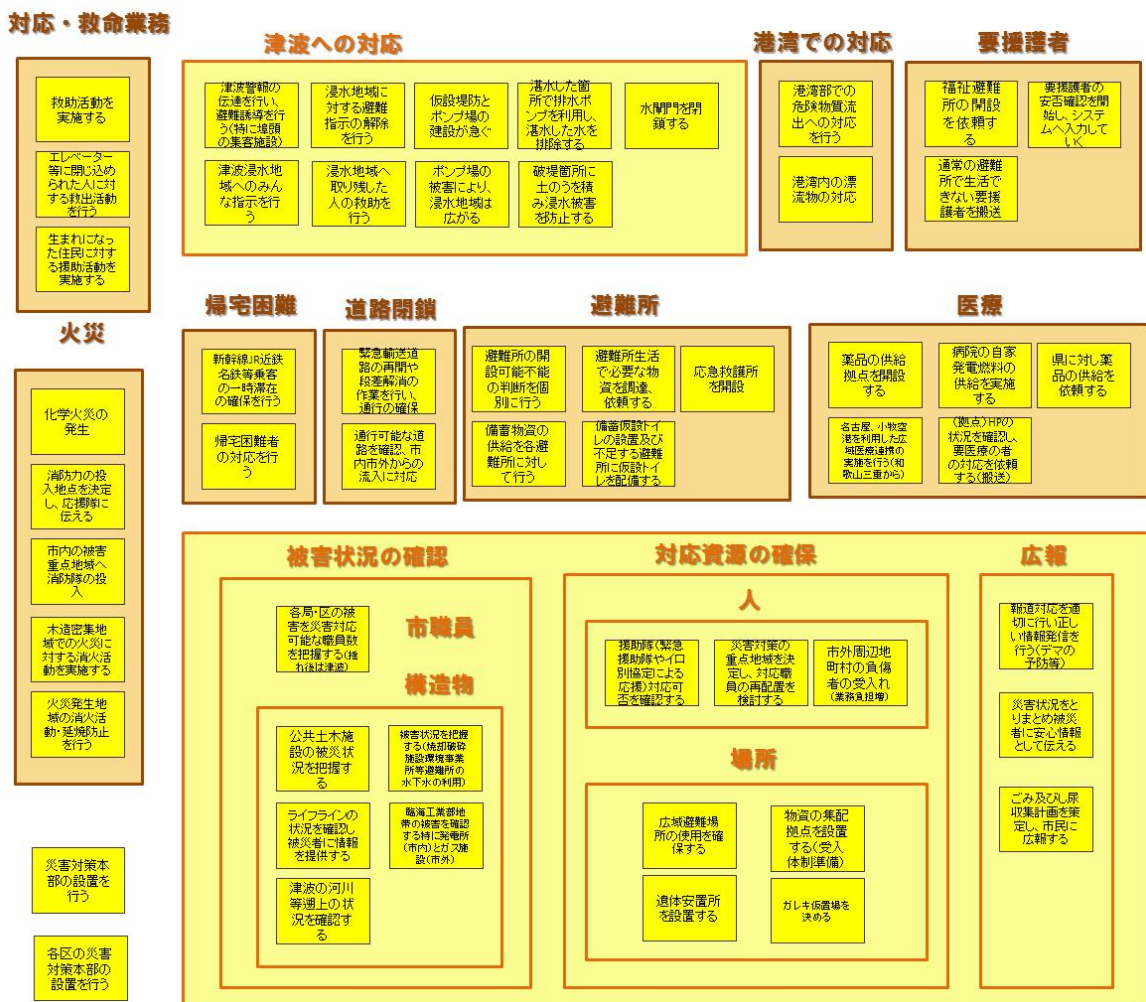
ワークショップにおいては、緊急対応（～100時間）、応急対応（～1000時間）、復旧・復興という災害対応の各段階において必要な対策を抽出・整理を行った。

緊急対応については、東日本大震災を経験したことから津波対応、液状化対応について多くのカードが作成された。しかしながら、100 時間までの災害対応の主たる目的は「命を守る」という事にあり、内容としてはこれまで実施してきた高知県・浜松市での結果をほぼ同様のものとなった。図 7 に緊急期の対応項目を示す。

応急対応については、東日本大震災の経験を受け、燃料不足への対応が新たな課題として抽出された。

復旧・復興対策については、0 m 地帯が多く存在し、さらに伊勢湾台風以降、建築基準法に基づく災害危険区域を現在も指定している名古屋市の特徴を踏まえ、津波被災・液状化被害地域における土地利用規制の実施が検討された。

被害と緊急対応(グループA)



被害と緊急対応(グループB)

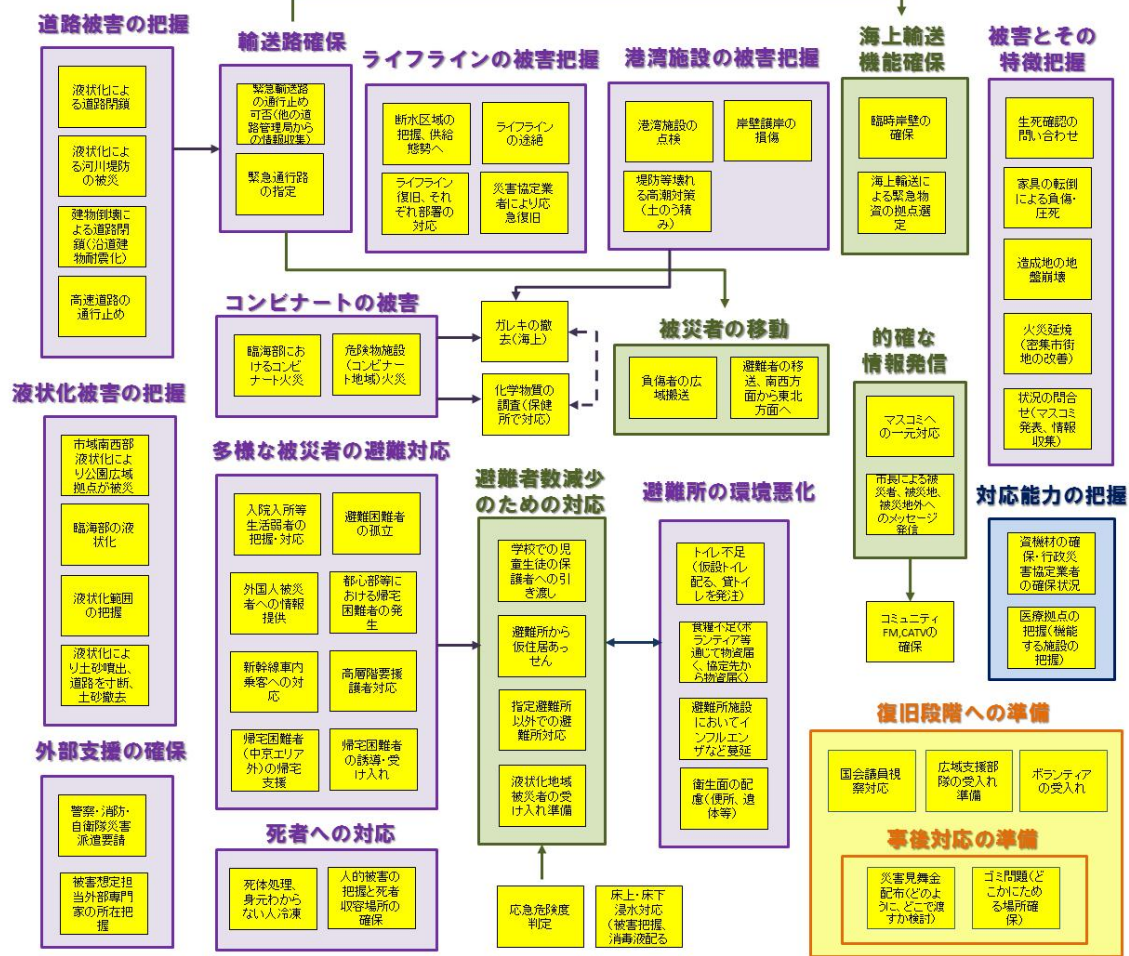


図 7 緊急対応期の対応

応急対応～復旧(～1000時間)

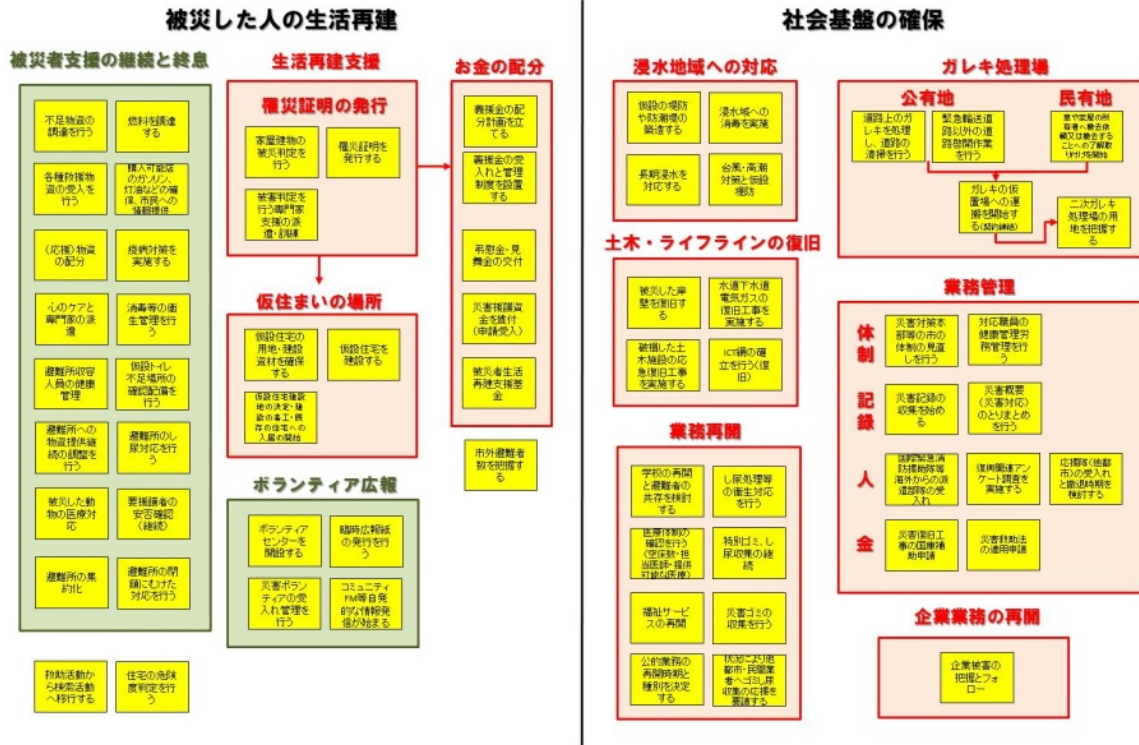


図8 応急対応～復旧の対応

復興へ向けて

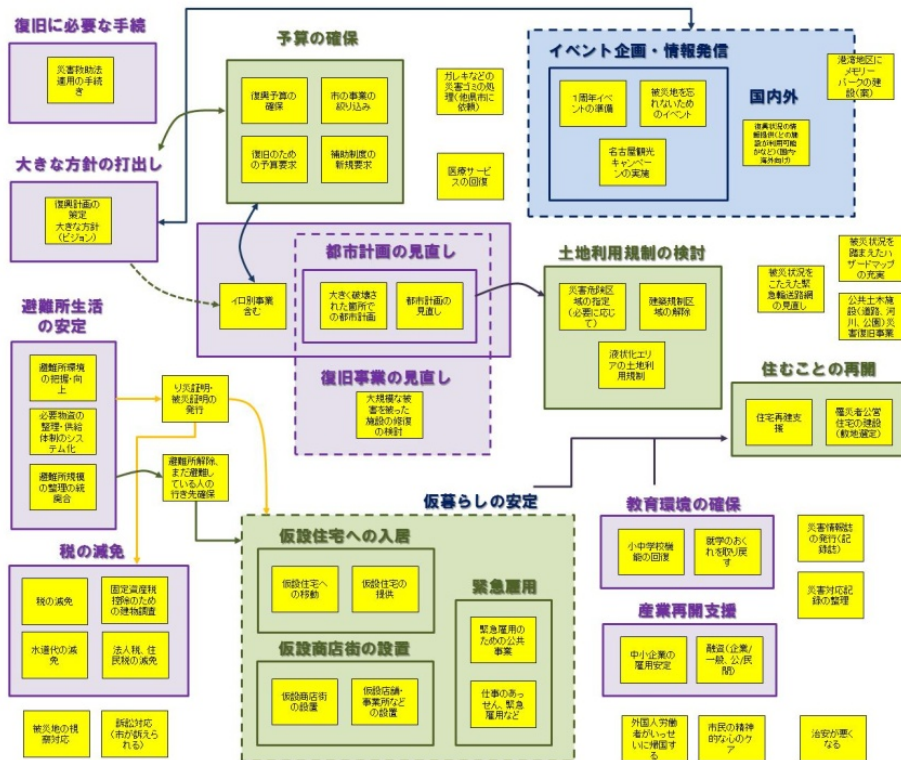


図9 復旧・復興期の対策

3) 「連動型巨大地震による強震動の高精度予測」の成果を踏まえた被害予測の高精度化

高精度化された地震動に基づき被災地域の社会にあたる影響についての高精度化を行うための基礎的な検討を行うため、名古屋市ワークショップの際の参照情報として、図 10、図 11 に示すような形式で情報統合を行い、統合した情報をもとに想定される社会的影響の検討が行われ。図 10、11 の作成に際しては、手法の検討を目的として津波シミュレーション、名古屋市が実施した地震被害想定結果の上に重要施設を重ね合わせた地図を作成、ワークショップの基礎データとして使用した。図 10 は海岸防災施設が機能した場合の図であり、図 11 に示す海岸防災施設が機能しない場合の図の作成も行った。ワークショップでは海岸防災施設が機能するものとして検討が行われている。

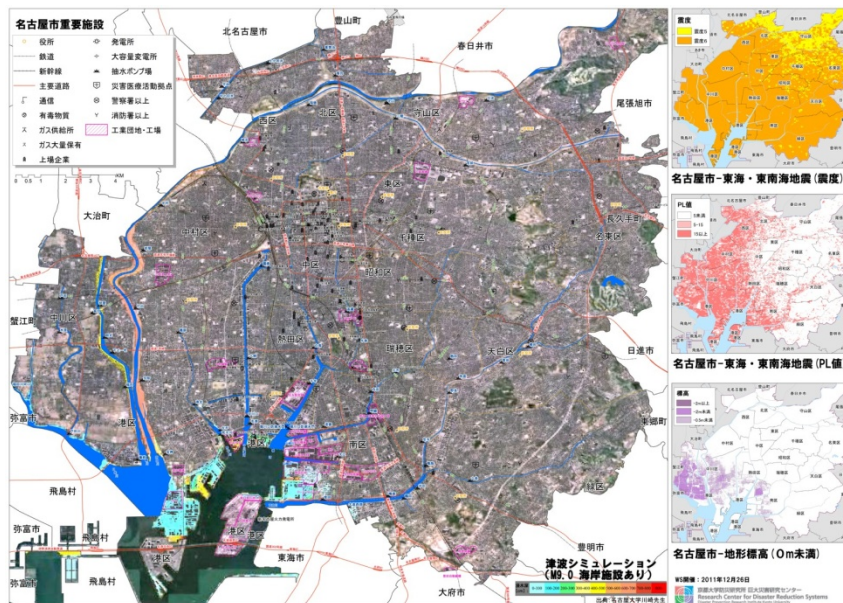


図 10 東海・東南海・南海地震による名古屋市の被害（海岸防災施設が機能した場合）

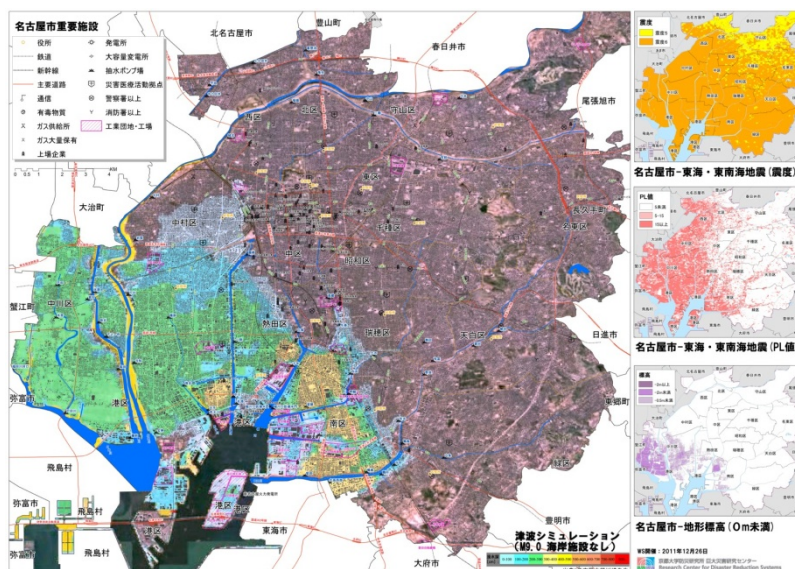


図 11 東海・東南海・南海地震による名古屋市の被害（海岸防災施設が機能しない場合）

作成した図に基づき想定される被害に基づき災害対応のための対策が検討されたのであるが、抽出された通常の被害想定で実施される建物倒壊、液状化、ライフライン途絶、人的被害といった項目以外に 1) エレベータ閉じ込め、2) 化学火災、3) 延焼火災、4) 帰宅困難者、5) 危険物流出、6) 堤防・護岸の損傷といった項目が抽出された。ハザード情報（津波浸水、地震動、液状化）に、ライフライン施設、化学危険物質、工場地域、行政施設、上場企業といった情報を重ね合わせることで、新たに予想される被害の推定が定性的にはあるが実施することが可能なことが明らかになった。

(c) 結論ならびに今後の課題

1) 結論

平成 22 年度は、①地域類型手法の高度化、②ナショナルクラス都市における復旧・復興戦略、③「連動型巨大地震による強震動の高精度予測」の成果を踏まえた被害予測の高精度化という 3 つの課題について研究した。以下それぞれの課題毎に達成状況と課題、対策について述べる。

① 地域類型手法の構築

これまで 1km メッシュごとに実施してきた地域類型を、より高精度化し、地域での生活機能も考慮して地域類型を行う手法の開発を行い、東日本大震災の被災地に本手法の適用を行った。

② リージョナルクラス都市における復旧・復興戦略

東海・東南海・南海地震で大きな被害を受けることが予想されるナショナルクラス都市の一つとして名古屋市を選定し、名古屋市において、プロジェクトメンバと市職員が共同で、災害対応、復旧・復興に関する検討を行うワークショップを開催した。その結果、復興対策として土地利用規制、産業再開支援が重要項目として抽出された。

③ 将来の地域類型を踏まえた社会影響の総合評価

名古屋市を事例として被災地域の社会にあたる影響についての高精度化の検討を行い、高精度化されたハザード情報に基づく新たな必要となる被害想定項目の抽出が行われた。

2) 今後の課題

これまで実施してきた地域類型手法と高精度化された地域類型手法の統合手法の検討、本プロジェクトで得られた地震動・津波想定・構造物被害情報に基づく社会に与える影響を定量的に評価する手法の開発が求められる。

(d) 引用文献

- 1) 太田和良他、紀伊半島における中山間地集落の孤立化と自立性に着目した防災力評価手法の検討-東海・東南海・南海地震への戦略的な防災対策の一環として-建築学会総合論文誌、No. 6、pp. 117-121、2008
- 2) 農林水産省、2005 年農林業センサス、2005

(e) 成果の論文発表・口頭発表等

著者	題名	発表先	発表年月日
陳海立・牧紀 男・林春男	生活機能に基づく「基礎生活圏」 の抽出手法の開発－紀伊半島、東 日本大震災の被災地域を事例とし て－	地域安全学会論文報告集 No.15 pp.275-283	2011

(f) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

名称	機能
なし	なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

(3) 平成24年度業務計画案

平成23年度に東南海・南海地震が将来に発生した場合の被災地域の社会にあたる総合的な影響の結果を基に、東北地方太平洋沖地震の被災地の復興過程を踏まえて、中山間地域、コミュニティークラス・シティー、リージョナルクラス・シティー、ナショナルクラス・シティーにおける復旧・復興シナリオをとって、災害対応プロセスの明確化と時系列での対策立案を行う。実務者が防災計画策定時に利用可能なように復旧・復興対策立案の基礎となる社会情報データベースの汎用化を実施すると共に、大阪平野については「連動型巨大地震による強震動の高精度予測」の地殻変動の影響を踏まえ影響評価の修正を実施する。さらに、一般市民が理解できる形式で物理的被害→社会の影響→復旧・復興シナリオから構成される東南海・南海地震が被災地域にあたる影響の全体像の明示を行う。

3.5. サブプロジェクト①の研究成果の活用および地域研究会の開催

目次

(1) 業務の内容

- (a) 業務題目
- (b) 担当者
- (c) 業務の目的
- (d) 5カ年の年次実施計画（過去年度は、実施業務の要約）
- (e) 平成23年度業務目的

(2) 平成23年度の成果

- (a) 業務の要約
- (b) 業務の成果
 - 1) 地震動及び津波シミュレーションに向けた詳細な海底地形モデルの構築
 - 2) 浅層部分の軟弱地盤による増幅率のモデル化
 - 3) 地域研究会の開催・運営
- (c) 結論ならびに今後の課題
- (d) 引用文献
- (e) 成果の論文発表・口頭発表等
- (f) 特許出願，ソフトウェア開発，仕様・標準等の策定

(3) 平成24年度業務計画案

(1) 業務の内容

(a) 業務題目

サブプロジェクト①の研究成果の活用および地域研究会の開催

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名	メールアドレス
独立行政法人海洋研究開発機構 地震津波・防災研究プロジェクト	プロジェクトリ ーダー	金田 義行	kaneday@jamstec.go.jp
独立行政法人海洋研究開発機構 地震津波・防災研究プロジェクト	技術研究主幹	高橋 成実	narumi@jamstec.go.jp
独立行政法人海洋研究開発機構 地震津波・防災研究プロジェクト	技術研究主任	大堀 道広	ohorim@jamstec.go.jp
独立行政法人海洋研究開発機構 地震津波・防災研究プロジェクト	特任技術研究副 主任	チタク セ クチン	citak@jamstec.go.jp
独立行政法人海洋研究開発機構 地震津波・防災研究プロジェクト	技術研究副主任	中村 武史	t_nakamura@jamstec.go.jp
独立行政法人海洋研究開発機構 地震津波・防災研究プロジェクト	技術主任	馬場 俊孝	babat@jamstec.go.jp

(c) 業務の目的

地震津波シミュレーションの高度化のために、サブプロジェクト①「東海・東南海・南海地震の連動性評価のための調査観測・研究」と連携し、海陸統合地下構造探査モデルに基づいて、地震・津波シミュレーションのための高精度3次元差分計算用地下構造モデルを作成する。加えて、強震記録に基づく浅層軟弱地盤による増幅率の面的なモデル化を行う。南海トラフの巨大地震の連動性の啓蒙を図るとともに、広域な災害発生に対して地域社会が有する減災・復旧復興への対応力とその実力を認識・共有するために、自治体、ライフライン事業者、建設業者、ボランティア団体から構成される地域検討会を設置・運営する。

(d) 5ヵ年の年次実施計画（過去年度は、実施業務の要約）

1) 平成20年度：

反射法・屈折法構造探査結果、震源分布結果、レシーバ関数解析結果を基に、東海・東南海・南海地震震源域周辺における堆積層の厚さ・地殻・マンツルの形状を陸海域で統合化し、3次元

差分計算のための初期的な地下構造モデルを構築した。大阪平野、濃尾平野を包含する領域より、地震動の短周期成分の増幅特性の評価に必要な強震記録と浅層地盤データを収集・整理するとともに、浅層軟弱地盤による増幅率を推定するための予備解析を行った。プロジェクトに関わる研究者と研究対象地域の防災関係者（自治体・ライフライン事業者・建設業者・大学・研究者等）が一堂に会する地域研究会の立ち上げを高知市、大阪市、名古屋市で行い、各地において地域研究会をそれぞれ2回開催した。また、1回目の地域研究会では、地域研究会の趣旨およびプロジェクトの周知も兼ねた（地域研究会の参加者も含む）一般市民向けのミニシンポジウムを開催した。関連して、名古屋圏に位置する四日市市でも地域特性を話題とした講演会を開催した。

2) 平成 21 年度：

東南海地震の震源域周辺における海域を中心に、解像度 25 m – 100 m メッシュのシービーム探査による海底地形データをコンパイルした。沿岸部を除く沖合の海域について、現在公開されている海底地形データより分解能が高く、地震動及び津波のより高精度な波動伝播シミュレーションへの適用を目的とした海底地形モデルを構築した。構築した海底地形モデルを用いて、東南海地震の震源域周辺における斜度を計算し、地震時に海底地滑りを引き起こす可能性の高い海底急傾斜地のマッピングを行った。また、既往の研究論文から大津波発生の可能性の高い分岐断層を抽出し、地震動及び津波シミュレーションに必要な情報をまとめた。大阪平野、濃尾平野を包含する領域に対して、昨年度収集した強震記録に基づき、地震動の短周期成分の増幅率の評価を実施した。大阪平野に関しては、上町台地周辺や人工島など地盤特性が特徴的な地域を選定して、関西圏地盤情報データベースを用いた詳細な浅層地盤モデルの構築を行った。プロジェクトに関わる研究者と研究対象地域の防災関係者（自治体・ライフライン事業者・建設業者・大学・研究者等）が一堂に会する地域研究会を高知市で2回、大阪市で1回、名古屋市で1回、それぞれ開催した。地震調査研究ならびに地域研究会に対する意見・要望を抽出するために、参加者を絞り込んだ分科会を、高知市で1回、大阪で2回、名古屋で1回、それぞれ開催した。この他、津波災害が共通して懸念される三重県南部と和歌山県南部の防災関係者との情報交換と議論を深めるために、紀州分科会と紀州講演会を開催した。

3) 平成 22 年度：

前年度までに実施されたサブプロジェクト①の構造探査の解析結果を基に、南海地震及び日向灘地震の震源域とその周辺における、プレート境界面とモホ面の3次元深度分布形状のモデル化を行った。大阪平野に関して、前年度、上町台地周辺や人工島など地盤特性が特徴的な地域を選定して、関西圏地盤情報データベースを用いた詳細な浅層地盤モデルの構築を行っており、当該年度は、このモデルについて、既往のモデルとの比較を行った上で、表層地盤増幅率と周辺地域の地形分類等に基づく経験的な表層増幅率を結合した広域の表層地盤増幅モデルを作成した。プロジェクトに関わる研究者と研究対象地域の防災関係者（自治体・ライフライン事業者・建設業者・大学・研究者等）が一堂に会する地域研究会を高知市、大阪市、名古屋市でそれぞれ2回開催した。地震調査研究ならびに地域研究会に対する意見・要望を抽出するために、参加者を絞り込んだ分科会を、名古屋市で1回開催した。この他、津波災害が共通して懸念される三重県南部と和歌山県南部の防災関係者との情報交換と議論を深めるために、紀州分科会と紀州講演会

を1回開催した。

4) 平成23年度：

平成22年度までに構築した地下構造モデルをもとに、南海地震震源域および日向灘地震震源域の周辺まで拡大した高精度陸海統合地下構造モデルを完成させ、個別研究テーマ(1)(2)における連動発生シナリオに基づく強震動・津波シミュレーションとその被害予測に活用する。加えて、個別研究テーマ(3)における強震動予測の高度化に用いる広域の表層地盤増幅モデルを、都市部についてはボーリングデータを用いて、また周辺地域については地形分類に基づいて整備する。地震の発生前の防災対応、発生直後の応急対応、発生後の復旧・復興対応のそれぞれのフェーズに対して地域社会が取り組むべき事項を整理した、連動型地震に対応した防災および復旧・復興方策を地域研究会において検討する。

5) 平成24年度：

平成23年度までに作成した表層地盤増幅モデルの成果をとりまとめ公表する。高知市、大阪市、名古屋市において地域研究会を、それぞれ年2回程度開催するとともに、新たに九州を対象とした地域研究会を組織する。地域研究会においては、地震の発生前の防災対応、発生直後の応急対応、発生後の復旧・復興対応のそれぞれのフェーズに対して地域社会が取り組むべき事項を整理し、連動型地震に対応した防災および復旧・復興方策を検討する。紀伊半島沿岸域における津波リスクなど個別テーマについては必要に応じて分科会を開催する。さらに、連動性評価研究を総括することを目的とした最終成果報告会を開催する。地震動・津波浸水予測シミュレーション結果、復興復旧マップ等とともに、連動型地震による地震や津波の一連の複合災害を時間で追って理解できるようなコンテンツを作成し、DVDやWEBなどを通じて公表する。

(e) 平成23年度業務目的

平成22年度までに構築した地下構造モデルをもとに、南海地震震源域および日向灘地震震源域の周辺まで拡大した高精度陸海統合地下構造モデルを完成させ、個別研究テーマ(1)(2)における連動発生シナリオに基づく強震動・津波シミュレーションとその被害予測に活用する。加えて、個別研究テーマ(3)における強震動予測の高度化に用いる広域の表層地盤増幅モデルを、都市部についてはボーリングデータを用いて、また周辺地域については地形分類に基づいて整備する。地震の発生前の防災対応、発生直後の応急対応、発生後の復旧・復興対応のそれぞれのフェーズに対して地域社会が取り組むべき事項を整理した、連動型地震に対応した防災および復旧・復興方策を地域研究会において検討する。

(2) 平成23年度の成果

(a) 業務の要約

本年度は、平成22年度までに構築した地下構造モデルをもとに、南海地震および日向灘地震震源域を含むサブプロジェクト①の構造探査結果を統合化し、現段階で入手できる最新の構造解析

結果を反映した高精度陸海統合地下構造モデルを完成させた。海底地形モデルも含め、構築した地下構造モデルは、個別研究テーマ(1)(2)の担当者に既に提供し、強震動・津波シミュレーションとその被害予測に活用される。高知市地域研究会においてこれまで地盤モデルの高度化が重要課題と議論されてきた高知平野を対象として、ボーリングデータに高知平野の市街地における浅層地盤モデルを構築し、震度増分を算定し、これを微地形分類に基づき定めた全国モデルと結合することにより地震動増幅率モデルの精度を高めた。プロジェクトに関わる研究者と研究対象地域の防災関係者（自治体・ライフライン事業者・建設業者・大学・研究者等）が一堂に会する地域研究会を高知市、大阪市、名古屋市でそれぞれ1回開催した。さらに、各地域の災害対策の相互理解と問題意識の共有を図るために、前出の3地域に紀州分科会を加えた関係者が集う合同地域研究会を大阪市において1回開催した。

(b) 業務の成果

1) 地震動及び津波シミュレーションに向けた詳細な海底地形モデルの構築

平成22年度までに構築した地下構造モデル（東海・東南海・南海地震の連動性評価研究プロジェクト平成20年度成果報告書¹⁾、平成21年度成果報告書²⁾、平成22年度成果報告書³⁾）をもとに、現段階で入手できる最新の構造解析結果を加え、陸海域における地下構造形状（プレート境界面、モホ面の深度、沈み込み帯周辺の堆積層の厚さ）のモデル化を行った。モデル構築の対象範囲は、北緯28-37度、東経128-142度、深さ0-200kmの領域である。

地下構造モデルを構築するにあたり、参照した構造探査結果は、南海地震および日向灘地震の震源域周辺で実施されたサブプロジェクト①による構造探査結果（HY01-04、SK01-04）⁴⁾、九州・パラオ海嶺周辺で実施された構造探査結果（KPr1-2）⁵⁾、九州東部および四国周辺における自然地震トモグラフィーによる解析結果⁶⁾である。このうち、サブプロジェクト①の構造探査結果については、2008年度と2009年度に実施された構造探査のデータ解析結果である。図1と2に、モデル構築で参照した各構造探査の位置および結果を示す。プレート境界面のモデル化作業にあたっては、緯度・経度・深さに変換した各研究結果のデータセットに対し、曲率最小化アルゴリズム⁷⁾を用いて領域全体の3次元深度分布を作成した。モホ面（海洋性マントル上面）については、構造探査結果を統合化したことに加えて、プレート境界の下部数kmに不連続面が位置するため、プレート境界の3次元深度分布も参考にして構築した。堆積層については、沈み込み帯周辺における厚さ分布をモデル化の対象とし、 $V_p=4.6-5.0$ km/s を層の下部とみなしてモデル化を行った。プレート境界、モホ面の深度分布、堆積層の厚さ分布のモデリング結果について、図3、4、5にそれぞれ示す。

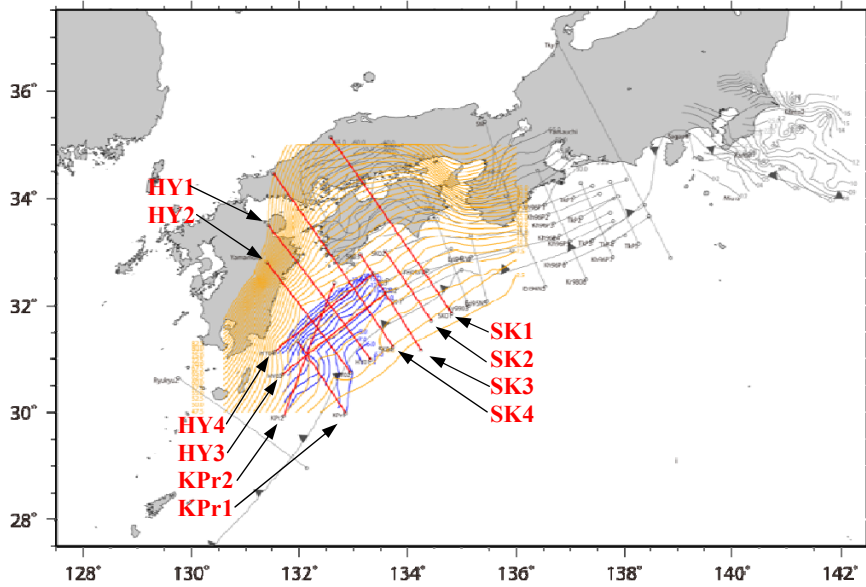


図1 平成22年度までに構築した地下構造モデルをもとに、本年度新たに統合化した地下構造情報。(赤線：日向灘地震および南海地震震源域周辺で実施された構造探査測線 (HY01-04, SK01-04, KPr1-2) の位置、青線：構造探査結果をもとに推定した日向灘域におけるプレート境界面の深度分布、オレンジ線：自然地震トモグラフィー結果に基づいて推定した、九州東部および四国周辺におけるプレート境界面の深度分布。

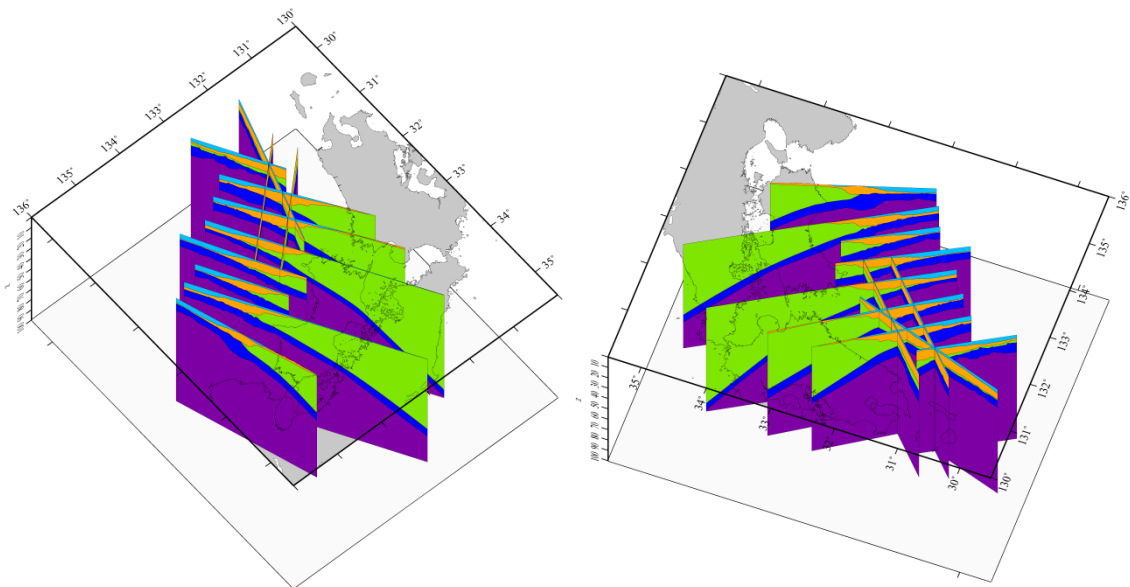


図2 モデル構築で用いた構造探査結果。

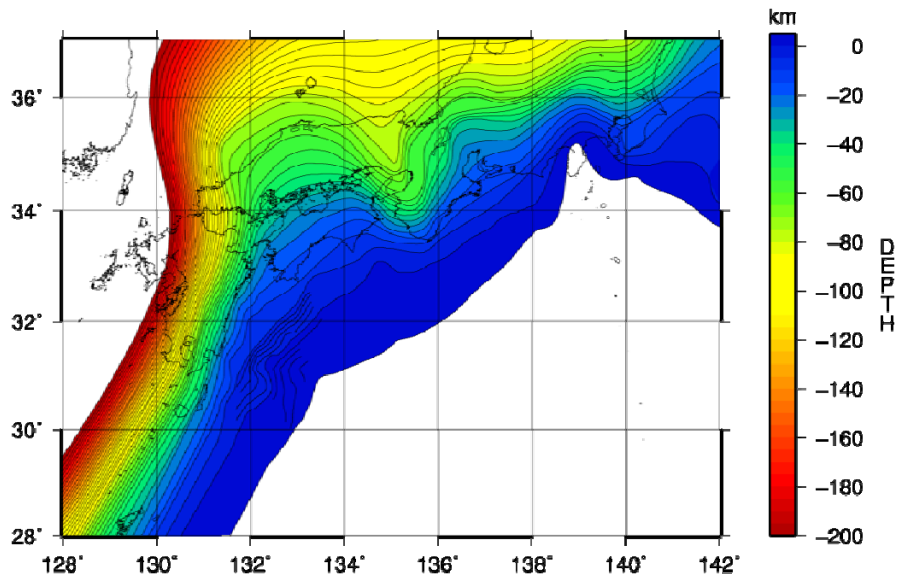


図3 西南日本におけるフィリピン海プレートモデリング結果。深さ 0-200 km まで、5 km 毎に等深度線で表示している。

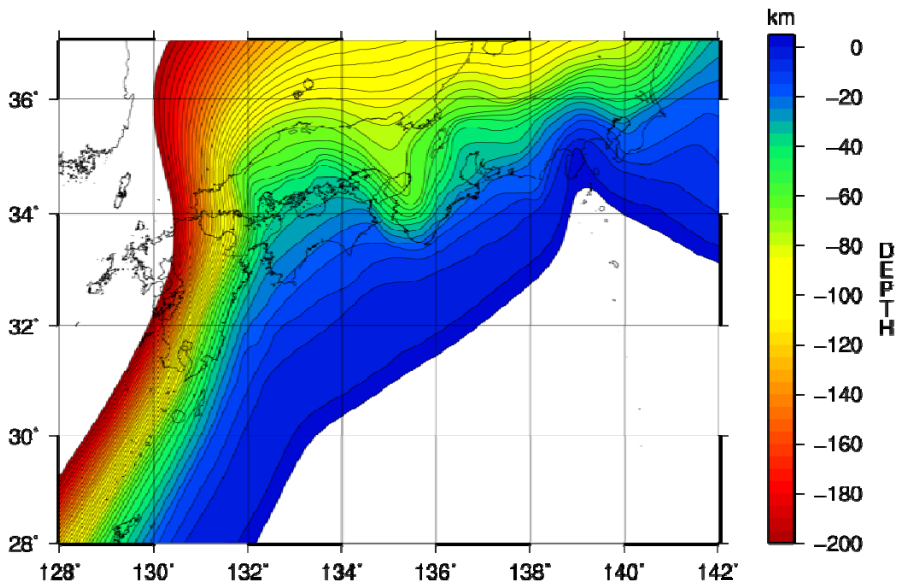


図4 西南日本におけるモホ面のモデリング結果。深さ 0-200 km まで、5 km 毎に等深度線で表示している。

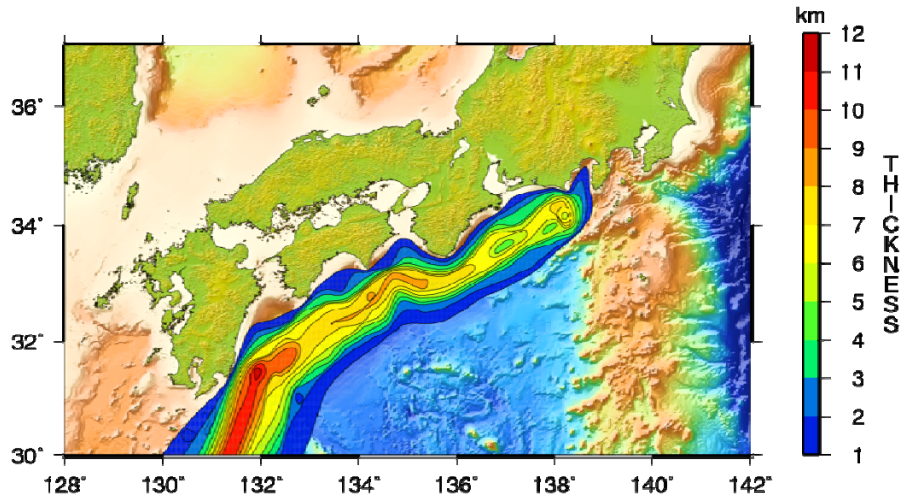


図 5 西南日本における堆積層の厚さ分布のモデリング結果。ここでは、沈み込み帯周辺における堆積層のモデル化を行った。

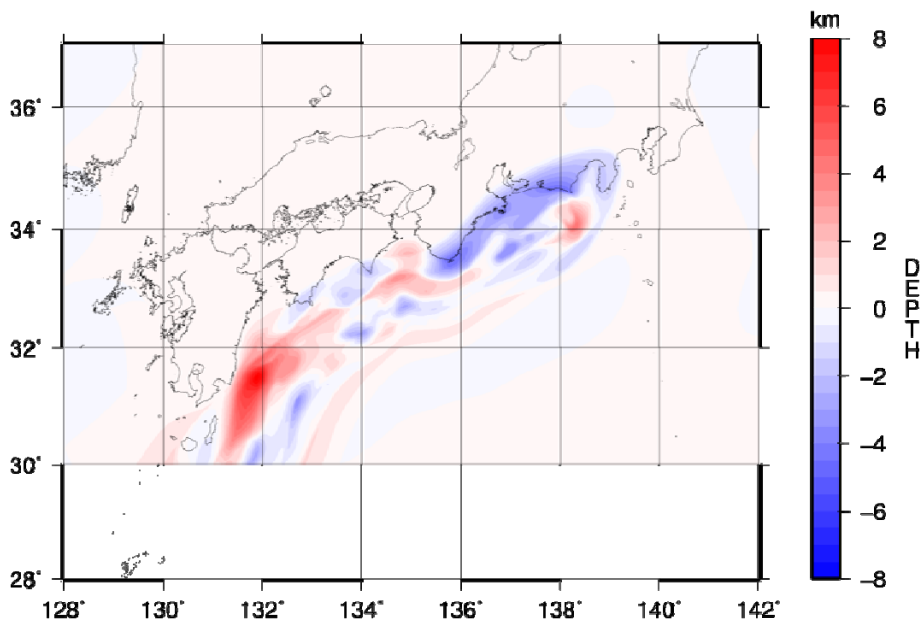


図 6 堆積層の厚さ分布について、過去のモデル（東海・東南海・南海地震の連動性評価研究プロジェクト平成 20 年度成果報告書¹⁾）との比較。過去のモデルと比べて本年度のモデルが厚くなっている場所を赤色、薄くなっている場所を青色で示す。

堆積層の厚さ分布については、従来のモデル（東海・東南海・南海地震の連動性評価研究プロジェクト平成 20 年度成果報告書¹⁾）では、紀伊半島や四国などの地域で、付加体を含む堆積層が陸域に深く入り込んだ分布形状をしていた。しかし本年度のモデルでは、従来のモデルから更新し、厚さ 0 km となる陸側の境界を海岸線の位置とほぼ同じになるように配置した。本年度と従来のモデルとの比較を図 6 に示す。更新を行った理由は、従来のモデルの場合、堆積層を低速層として地震波動場の計算を行うと、平野部のない沿岸付近において波形振幅が増幅し、観測波形

を説明できないケースが生じてしまうからである。地震波動場計算の観点から地下構造のモデル化について考えた場合、各層の分布というより、構造における地震波の速度分布値が重要である。本年度のモデル構築作業では、構造探査結果による速度分布値を参考にして、海洋性地殻より浅い領域に広がる $V_p=4.6-5.0$ km/s 以下の低速度層を堆積層とした。また、陸域における堆積層の分布については、微動探査によるアレーデータ解析や地形分類調査などの方が有効であると考え、堆積層の水平方向の広がりには海岸線付近までとし、海域の構造探査結果による陸域の堆積層分布をモデルにそのまま統合しないようにした。

以上、本年度は、サブプロジェクト①の構造探査による最新の結果を主に用いて、南海地震および日向灘地震の震源域とその周辺における、プレート境界面とモホ面の3次元深度分布、堆積層の厚さ分布のモデル化を行った。平成21年度に構築した海底地形モデルと本年度に構築した地下構造モデルは、個別研究テーマ(1)(2)の担当者に既に提供し、今後、強震動・津波シミュレーションとその被害予測に活用される。

2) 浅層部分の軟弱地盤による増幅率のモデル化

(a) ボーリングデータに基づく地層構造のモデル化

南海トラフ沿いの巨大地震に対して、近年の長周期構造物に大きな影響・被害を生じる威力を有する周期数秒以上の長周期の地震動の発生が懸念されている。一方、構造物の大半を占める低層・中層構造物の被害に大きく影響を与える短周期の地震動も同様に脅威であり、これに大きな影響を与える工学的基盤以浅の軟弱な地盤による地震動増幅率の評価が重要である。近年、全国的に整備された強震観測網は、観測点間隔が20km程度のため、都市部の地震動予測に必要とされる空間分解能の高い増幅特性を把握するには不十分である。例えば、高知平野は市街地におけるボーリングデータは豊富にあるものの、PS検層データが少ないことから、地盤モデルの高度化の必要性が、これまでの高知市地域研究会においてたびたび指摘されていた。そこで、本年度は、高知平野を対象として、浅層地盤モデルの構築と増幅率のモデル化を実施した。

高知平野におけるボーリングデータの収集は、甲藤・西^{8), 9)}に始まり、その後、高知地盤図編集委員会により刊行された高知地盤図¹⁰⁾に集大成されている。高知地盤図¹⁰⁾以降も、中央防災会議¹¹⁾、高知県が実施した第2次高知県地震対策基礎調査¹²⁾、四国地盤情報活用協議会¹³⁾等、データの収集が継続して行われてきた。ごく最近の高知地盤災害情報評価委員会¹⁴⁾は、高知市の地盤資料として、約1,750本のボーリングデータを収集し、これに基づく約1,500本の125mメッシュ地盤モデルと約150本の地質断面図を作成している。なお、地盤モデルには、中央防災会議¹³⁾によるN値とS波速度の関係式を用いて評価したS波速度構造とともに、15種類の地層区分の同定結果が併記されている。また、地質断面図は、高知地盤図¹⁰⁾や民間所有の非公開ボーリングデータも用いて作成されており、これらの非公開データは後述する地盤モデルの構築の際の基盤上面の深さ位置の推定において、公開されているボーリングデータや地盤モデルを補完する目的に利用できる。そこで、本研究では、最新の地盤情報である高知地盤災害情報評価委員会¹⁴⁾の公開情報を主に利用し、独自に実施した微動アレー観測の結果等を加えて125mメッシュの高分解能の地盤モデルの構築を行なった。なお、地層区分については、高知地盤災害情報評価委員会¹⁴⁾にならい、表1に記載するように15種類としている。

本研究では、高知地盤災害情報評価委員会¹⁴⁾の地盤資料の分布状況を考慮し、図7に示す高知

市街地（東西 10.5 km×南北 5.5 km）をモデル化の対象とした。同図には、目印として、高知駅（STN）と高知市役所（CITY）の概略位置をそれぞれ三角形印で表示している。図 7 中の東西方向断面 A-A' を例に、構造モデルの構築の流れを図 8 に示す。同図をもとに、具体的な作業手順は以下に説明する。

まず、地盤資料をコンパイルした上で、空間的な分布と調査深度分布等を概観し、3次元形状を決定できる境界面を決定した（Step 1）。その結果、対象領域において、S1v層（火山灰層）の上面、沖積層の基底面、基盤層の上面、以上の3つの境界面に関しては、3次元形状が推定可能であると判断した。なお、空間補間を行う境界面として、S1v層下面も候補とされたが、試解析として空間補間をした結果、S1v層上面との深さ位置が交錯する可能性があり、空間補間によるモデル化は不適切となることから、S1v層上面のみを決定することにした。

次に、上記の3つの境界面に地表面を加えた4つの境界面について、対象領域内の任意の位置で境界面の深さを定義できるように空間補間を行った（Step 2）。地表面の境界面については、国土地理院¹⁵⁾の5mメッシュの標高データを用いた。基盤層上面に関して、公開されているボーリングデータのみから空間補間すると、基盤面が深くなるにつれて、民間ボーリングなど他の非公開データも含めて作成された地質断面図における基盤層上面位置と矛盾する箇所が生じる場所が生まれることがわかった。そこで、図7中 MNU付近から東側の地域については、地質断面図より基盤層上面の深さ位置を読み取り、これらのデータも基盤層上面の推定時にデータとして追加することにした。また、基盤層に達していないボーリングデータのある地点については、データ最深部の深さ位置より深いところに基盤層上面が決まるように注意した。

続いて、基盤に達していないボーリングデータの扱いについては、既往の文献¹⁶⁾を参照し、泥質層と砂礫層が互層を成す典型的な洪積層の地層境界を設定した上で、データの下端から基盤面までの補完を行った（Step 3）。

対象領域を125 mメッシュに分割した上で、データが空白のメッシュに対して、近傍のデータを選び、4つの境界面の深さ位置が空間補間による値に一致するように層厚の調整を行った（Step 4）。

以上に示した手順に基づき構築した地盤モデルについて、基盤層上面の深さ分布を図9 に示す。これより、高知駅付近より西側では基盤が浅く、東側では棧橋通地区（図7中SBD）から高須地区（図7中TKS）にかけて基盤が深くなっている特徴が見られる。沖積層の層厚分布に関しても、基盤層上面に見られる特徴と調和的である。

(b) 微動アレー観測に基づくS波速度構造の決定

地盤モデルの各地層区分のS波速度の与え方を述べる。高知市は他の地域に比べて、PS検層や微動アレー観測の実施例が少ない（中央防災会議¹¹⁾、藤原¹⁷⁾）。最近では、広義の高知平野を横断するように、土佐、高知、土佐山田、以上の3地域において微動アレー観測が実施されているが（宮腰¹⁸⁾）、S波速度構造を推定するための基礎資料は依然として少ない。この点は、前述したように高知市地域研究会においても指摘されており、本研究プロジェクトに関連付けて、海洋研究開発機構、東京大学、高知大学、以上の3機関が共同研究とし独自に実施した微動アレー観測より得られた表面波の位相速度の算定結果を参照し、浅層地盤モデルのS波速度を算定している。微動アレー観測は、図21 に示す対象領域内の3地区〔棧橋通地区（SBD）、丸ノ内地区（MNU）、

高須地区 (TKS)] において実施されており、棧橋通と高須の2地区では表面波の位相速度に関する良好な結果が得られている。棧橋通地区に関しては、鉛直成分のデータ解析¹⁹⁾からはRayleigh波の位相速度が得られている。高須地区に関しては、図10 (a)に示すように鉛直成分のデータ解析²⁰⁾からはRayleigh波の位相速度が、Transverse成分のデータ解析²¹⁾からはLove波の位相速度が得られている。丸ノ内地区に関しては、地下構造の急激な変化に起因し、良好な結果は得られていない。本研究では、棧橋通と高須の2地区の表面波位相速度を用いて、地盤モデルのS波速度を算定した。ボーリングデータより構築したモデルより、アレー中心に該当する部分を抽出し、地層区分と深さは固定して、表面波の位相速度の計算値が観測値に一致するように各層のS波速度を多段階のグリッドサーチ (大堀ほか²²⁾) で求めた。中央防災会議¹¹⁾、高知地盤災害情報評価委員会¹⁴⁾の地盤モデルを参照して、工学的基盤のS波速度を700 m/sと設定し、これよりも浅層部分のS波速度のみを推定した。工学的基盤の深部には、中央防災会議¹¹⁾による深層構造の地盤モデルを接続した。P波速度は表面波の位相速度の変化に対する感度が低いことから、直接推定することはせずに、中央防災会議¹¹⁾の浅層地盤モデルに設定されているポアソン比を参照して、S波速度からP波速度を変換して算出した。例として、高須地区のS波速度構造モデルの推定結果を図10 (b)に示す。

続いて、推定された棧橋通地区と高須地区のS波速度構造を利用した対象領域内の各地層区分に対するS波速度の設定法について述べる。防災科学技術研究所の地震ハザードステーション

(J-SHIS)²³⁾の微地形区分を参照し、干拓地・三角州とそれ以外に2分し、前者には高須地区におけるS波速度の算定結果から対応する地層区分のS波速度を与え、後者には棧橋通地区のそれを与えることにした。この区分は、後述するE-E' 測線およびF-F' 測線上での卓越周期の再現性を高めるように幾通りか試行した後に決定した。各地層区分に与えたS波速度の値を表1中に示す。なお、微動アレー観測地区から大きく離れた地域の地層区分のS波速度については、その分布性状なども検討した上で、高知地盤災害情報評価委員会¹⁴⁾の地盤モデルの設定値なども参照して決定した。例えば、表1中の礫混じりの風化岩 (WRG)、粘土混じりの風化岩 (WRM)、砂混じり風化岩 (WRS) は、いずれも基盤層上面の深さが浅くなる場所に偏在しており、これらの地層に対するS波速度の設定値が地震動特性に与える影響が小さいと判断した上でS波速度を設定した。

(c) モデルの卓越周期特性とその検証

構築された地盤モデルを用いて、工学的基盤より平面S波が地盤モデル内に鉛直下方から入射する際の地表での地震動増幅率を算出し、各地点の1次卓越周期を求めた (図11)。図9の基盤層上面の深さ分布から推察されたとおり、東経133.54° 付近を境として、その西側では基盤深度が浅いために卓越周期が短いこと、東側では逆に卓越周期が長い領域が広がっていることがわかる。

次に、図11に示す測線E-E' および F-F' において、森ほか²⁴⁾が同図中の丸印において実施した微動観測より得られている卓越周期と、本研究で構築したモデルにおける1次卓越周期を図12、13に比較する。各測線に対する結果は、両図 (a) に卓越周期の比較結果を示し、両図 (b) には本研究のモデルの沖積層基底面と基盤層上面のそれぞれの深さを重ね書きしている。これより、本研究で構築した地盤モデルの卓越周期は、既往の微動測定の結果と良く対応することがわかる。また、卓越周期の空間的な変動には、沖積層の厚さに加えて、基盤層上面の深さが寄与していることもわかる。

(d) AVS30と地盤増幅率の算定

表層 30m の平均 S 波速度（いわゆる“AVS30”）と工学的基盤（S 波速度 700m/s）に対する震度の増幅率（いわゆる“震度増分”）を算出する²⁵⁻²⁸）。J-SHIS のモデルに基づく AVS30 の空間分布を図 14(a)に示すとともに、J-SHIS のモデルに本研究のモデルを結合させた AVS30 の空間分布を図 14 (b)に示す。同様に、J-SHIS のモデルに基づく震度増分の空間分布を図 15(a)に示すとともに、J-SHIS のモデルに本研究のモデルを結合させた震度増分の空間分布を図 15(b)に示す。J-SHIS のモデルでは 250m メッシュが採用されているが、本研究のモデルは 125m メッシュを採用している。従って、J-SHIS のモデルに比較して、本研究のモデルの方が空間分解能は高くなっている。さらに、J-SHIS のモデルに比較して、本研究のモデルでは、図 14(b)においては AVS30 が小さい地域、図 15(b)においては震度増分が大きい地域が、図 11 に示す基盤層上面の深くなる箇所によく対応していることがわかる。これより、本研究のモデルは領域が限定されているものの、ボーリングデータに基づき推定した基盤層深さが、地震動の増幅特性にも反映されていることがわかる。

以上より、微地形区分に基づき整備された全国的な表層地盤モデルを一次近似モデルとして、ボーリングデータの多い都市部においては、これを用いた地盤モデルを作成し、J-SHIS のモデルに反映させて行くことが重要であることが強調できる。

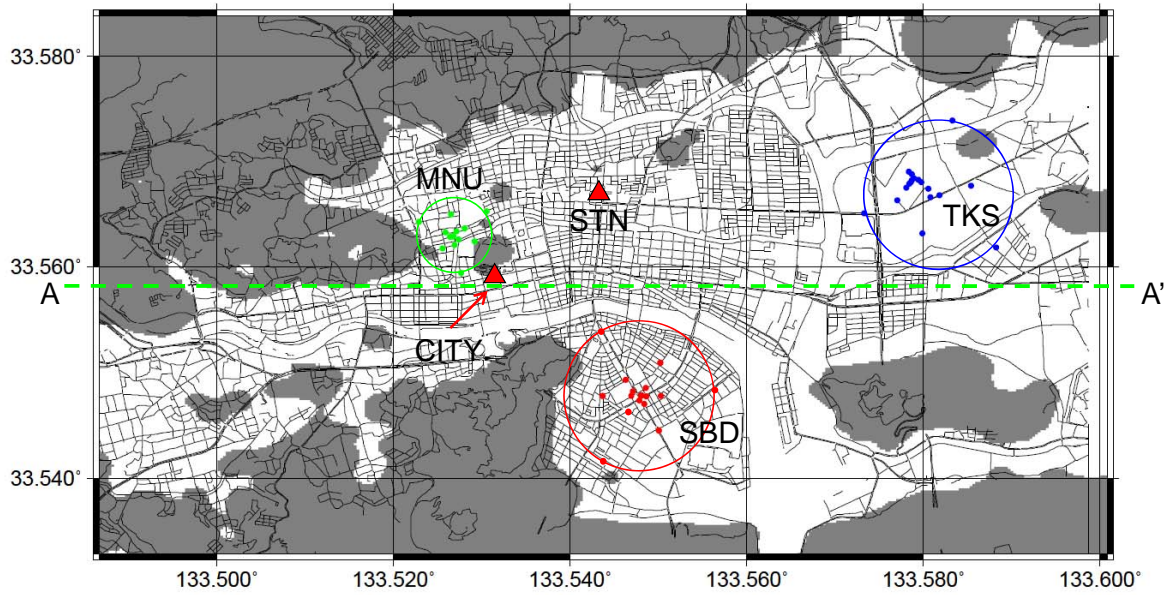


図7 モデル化の対象とする高知市街地と海洋研究開発機構・東京大学・高知大学が3地域（SBD、TKS、MNU）で実施した微動アレー観測の概略位置。

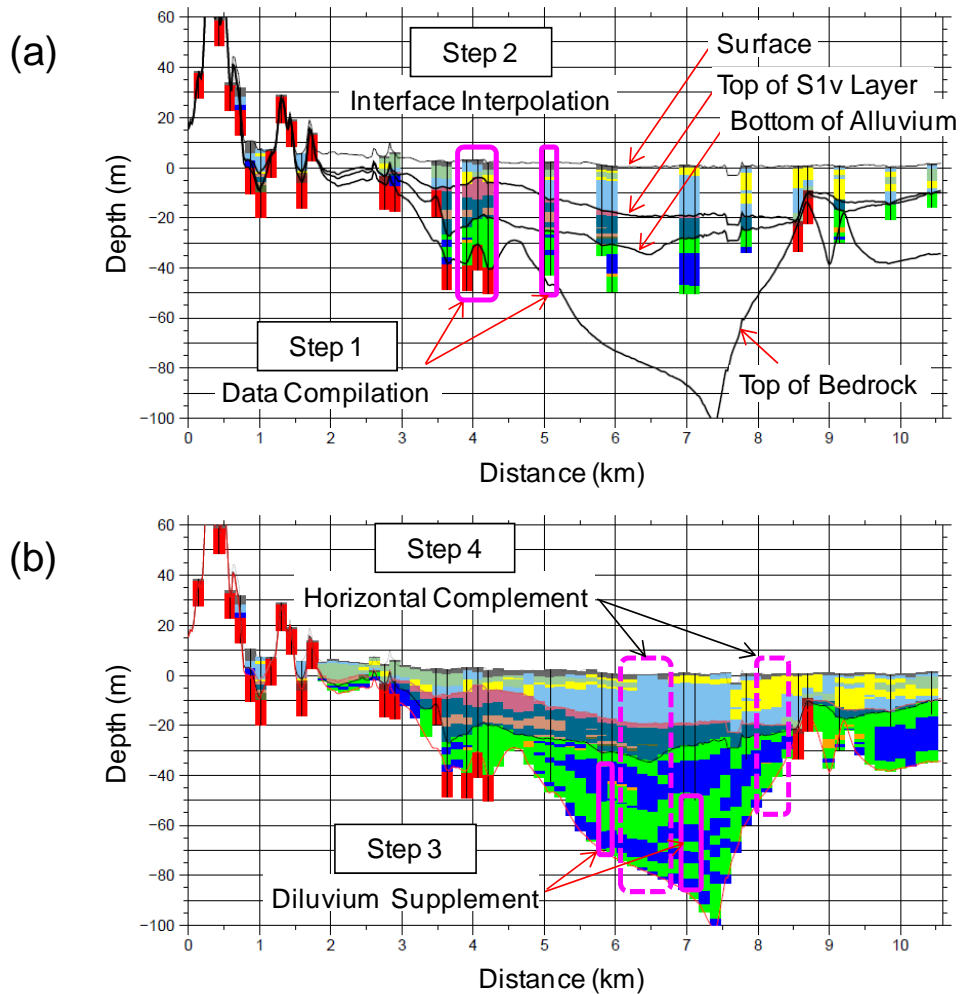
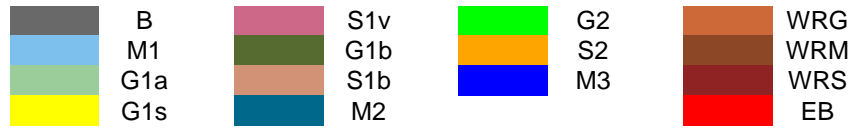


図8 東西方向断面A-A'（位置は図7参照）を例とするモデル構築の流れ。(a) Step 1（データのコンパイル）からStep 2（境界面の補間）まで。(b) Step 3（基盤層までのデータ補充）から Step 4（水平方向のデータ補充）まで。（地層区分の詳細は、表1参照）

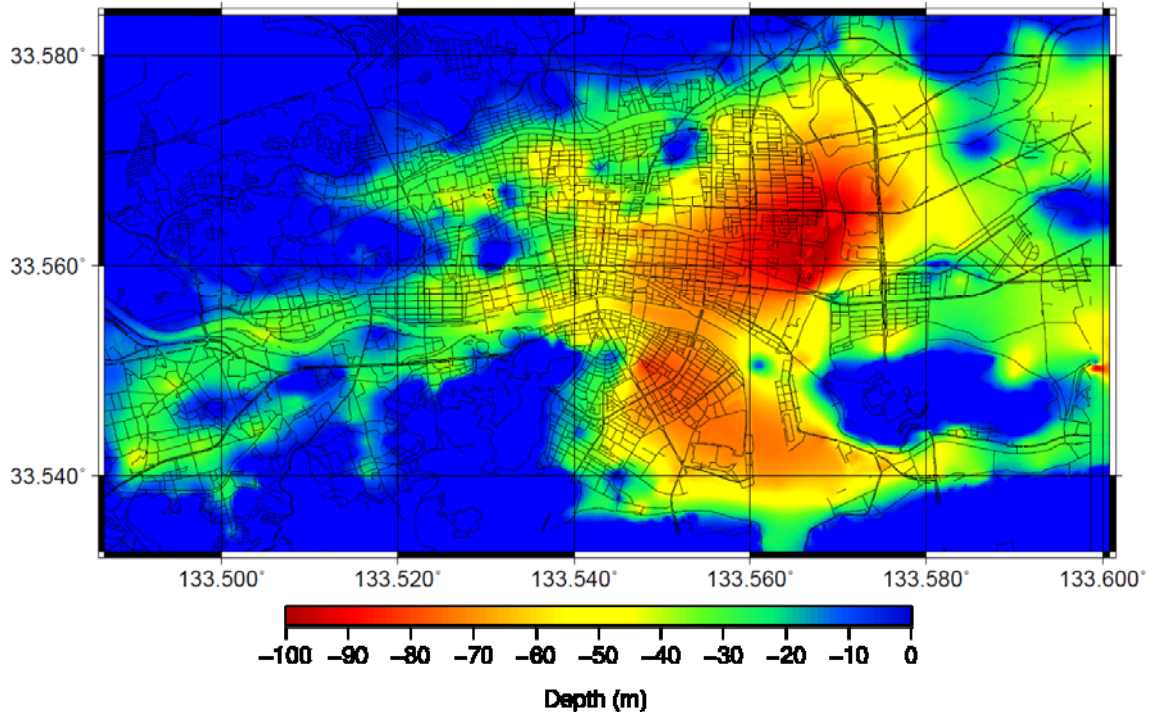


図9 推定した基盤層上面の深さ分布

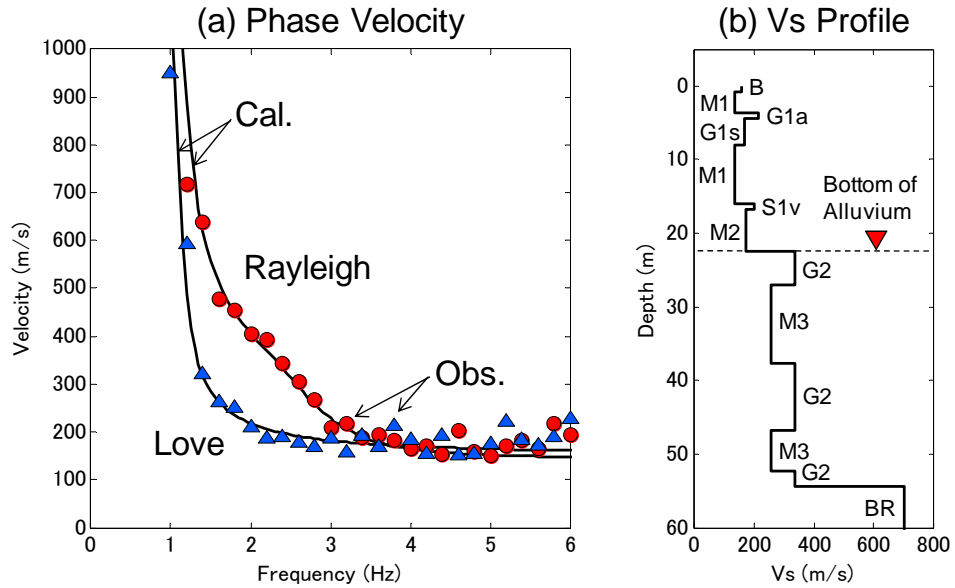


図10 高須地区における位相速度とS波速度構造の推定結果

表1 地層区分とS波速度の与え方

	識別色	識別記号	地層区分*		S波速度 (m/s) **	
			地層	土質記号	干拓地・三角州	その他
1		B	表土	A	158	124
2		M1	泥質層	Ac	138	153
3		G1a	砂礫層	Ag	213	200
4		G1s	砂礫層	Ag	168	168
5		S1v	砂層 (火山灰層)	As	202	189
6		G1b	砂礫層	Ag	213	200
7		S1b	砂質層	As	202	189
8		M2	泥質層	Ac	172	197
9		G2	砂礫層	Dg	337	404
10		S2	砂質層	Ds	250	290
11		M3	泥質層	Dc	257	236
12		WRG	風化岩 (礫質土状)	—	400	
13		WRM	風化岩 (泥質土状)	—	400	
14		WRS	風化岩 (砂質土状)	—	400	
15		RW	基盤岩	—	700	
[Note]	*	第2次高知県地震対策基礎調査 (2004) を参照				
	**	S波速度に関する色づけの説明				
			高須地区の地下構造モデルを参照			
			栈橋通地区の地下構造モデルを参照			
			類似する地質の結果を参照			
			第2次高知県地震対策基礎調査 (2004) を参照			
			中央防災会議 (2003) を参照			

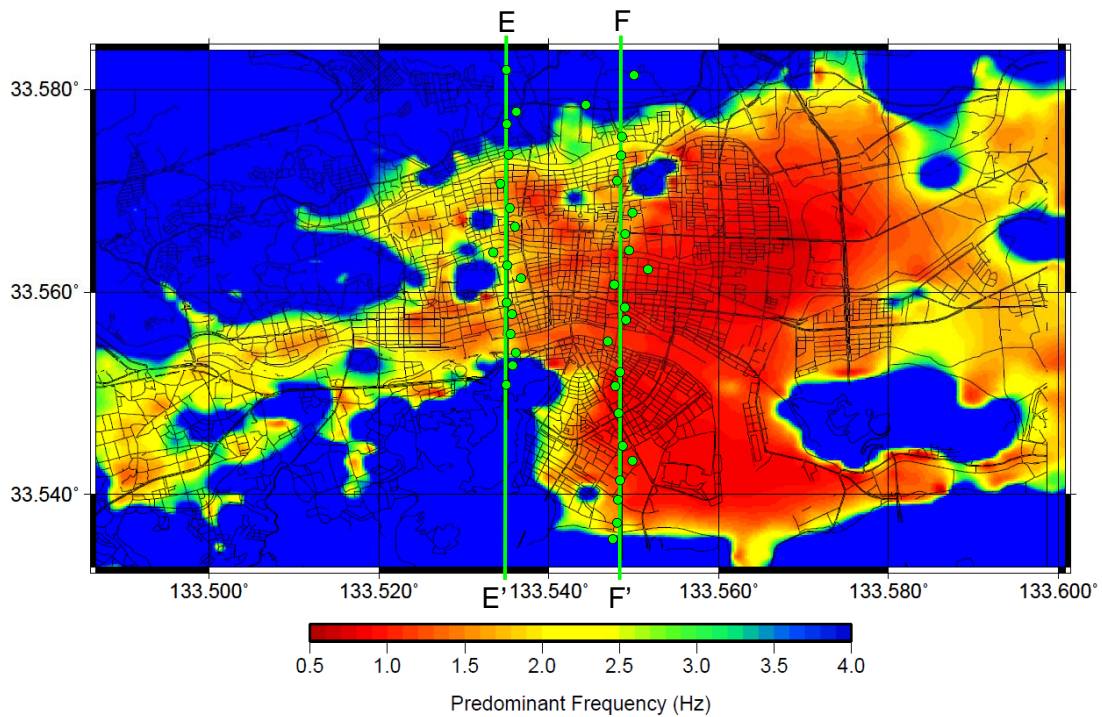


図11 1次卓越周期の空間分布

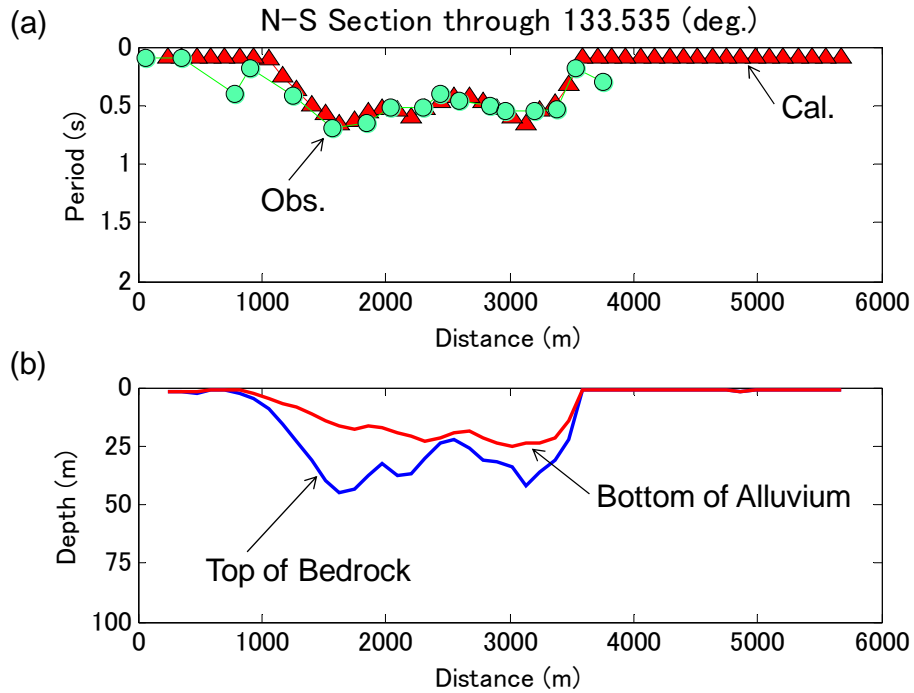


図12 測線E-E' (図11)における地盤モデルの特性。(a) 本研究の地盤モデルの1次卓越周期と既往の研究 [森ほか (2001)] の観測値との比較、(b) 本研究の地盤モデルの沖積層基底面、基盤層上面の深さ分布。

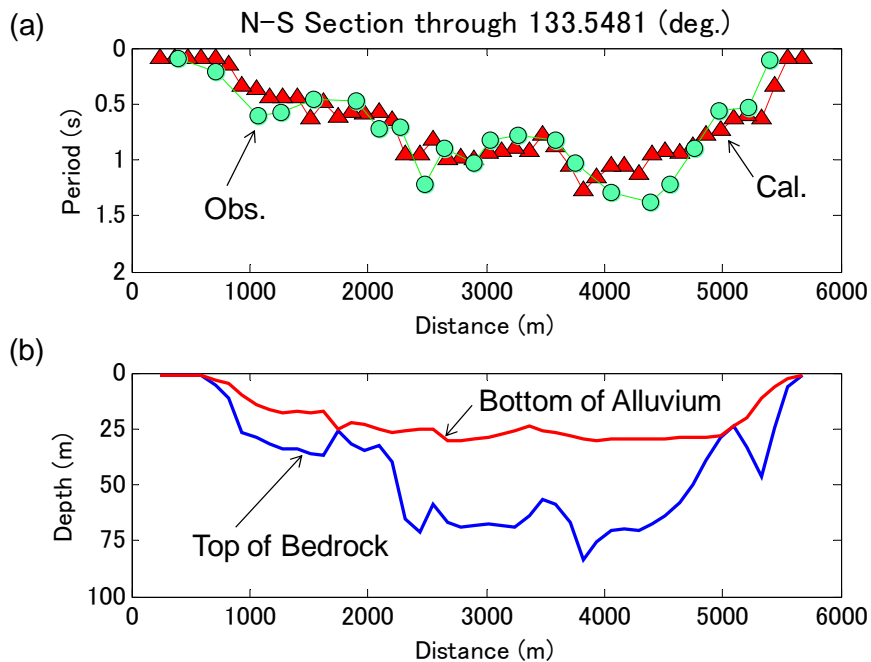


図13 測線F-F' (図11)における地盤モデルの特性。(a) 本研究の地盤モデルの1次卓越周期と既往の研究 [森ほか (2001)] の観測値との比較、(b) 本研究の地盤モデルの沖積層基底面、基盤層上面の深さ分布。

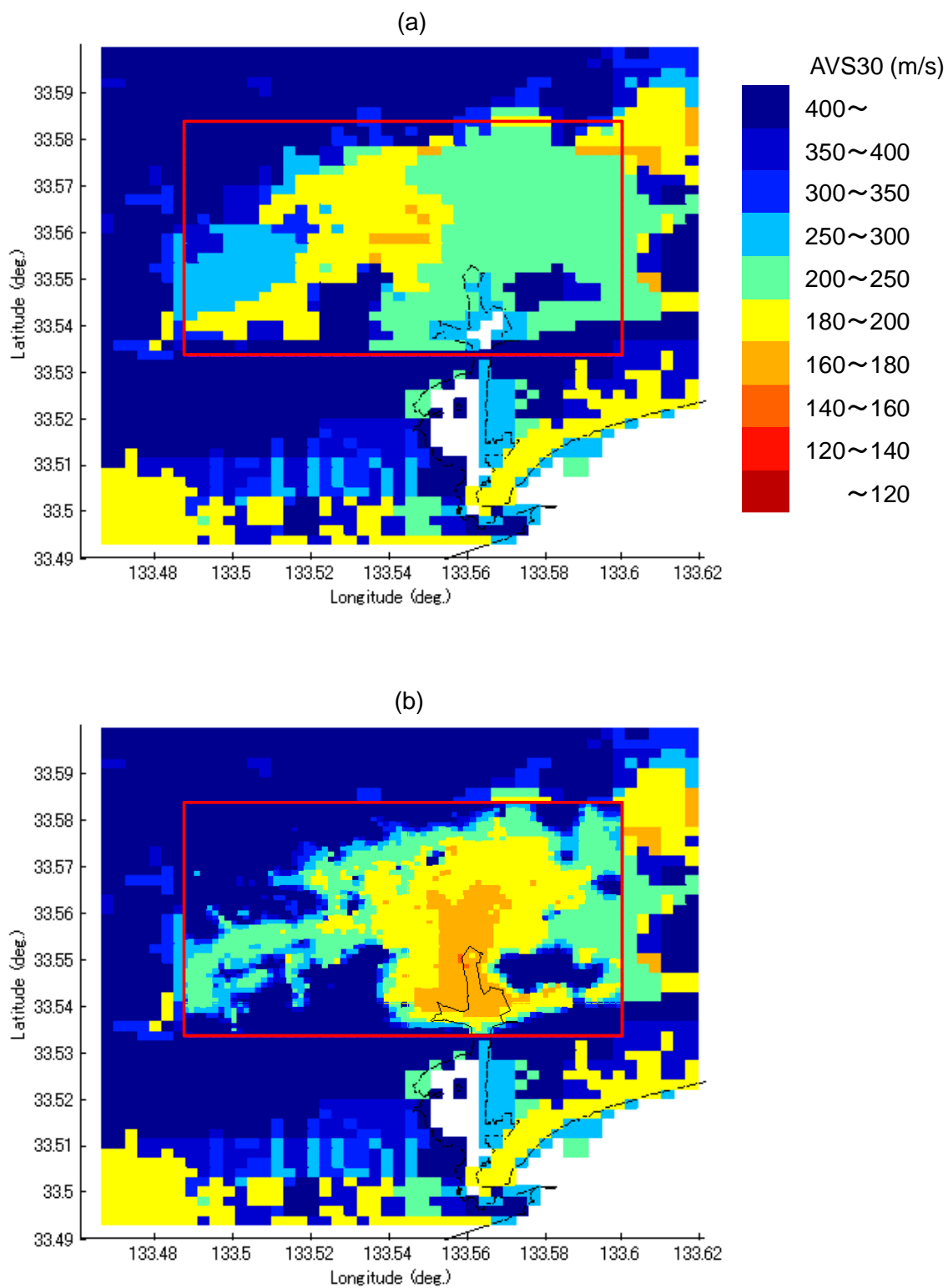


図14 AVS30の空間分布。(a) J-SHISモデル、(b) J-SHISモデルのうち、対象領域（矩形枠内）に関して今回作成したモデルの結果を統合した場合。

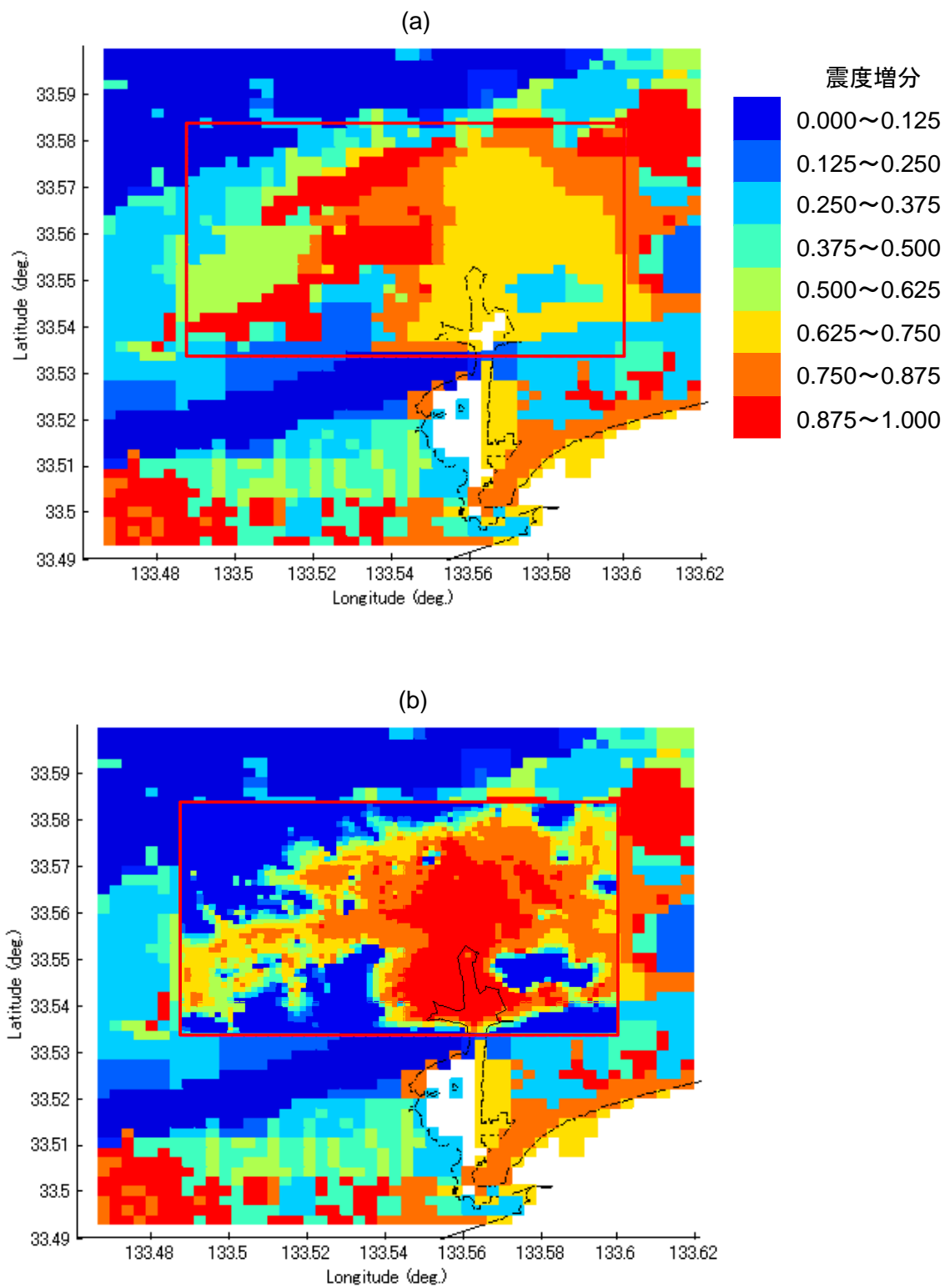


図15 工学的基盤（S波速度700m/s）に対する震度増分の空間分布。（a）J-SHISモデル、（b）J-SHISモデルのうち、対象領域（矩形枠内）に関して今回作成したモデルの結果を統合した場合。

3) 地域研究会の開催・運営

本プロジェクトが開始した 2008 年より、プロジェクトに関わる研究者と研究対象地域（高知市、大阪市、名古屋市を選定）の防災関係者（自治体・ライフライン事業者・建設業者・大学・研究者等）が一堂に会し、研究成果の共有と地震防災への利活用を主なねらいとする地域研究会を高知市、大阪市、名古屋市で立ち上げ、各地域で年 2 回程度の会合を行っている。図 16 には、地域研究会の概要を示す。図 17 には、地域研究会の全体のラインナップを示す。それぞれの地域研究会は、地域側からの参加者が 30～40 名（15～18 参加機関）集い、プロジェクト関係者とともに本音の議論を安心して行えるよう運営に務めている。このため、研究会自体は非公開としている。また、地域によっては、参加人数を少なくした分科会を開催し、各地域特有の地震防災対策における課題の掘り起こしも行っている。さらに、紀伊半島沿岸の地域間で共通する津波リスクについての議論を深めるために紀州分科会も開催している。図 18 に示すように、昨年までの開催実績は、高知市地域研究会は計 6 回、大阪市地域研究会、名古屋市地域研究会はそれぞれ計 5 回、紀州分科会は計 2 回である。

本年度は、高知市、大阪市、名古屋市において、各 1 回の地域研究会を上半期に実施したほか、各地域側の参加者より他の地域における懸念事項、地域防災への取り組み、震災時の災害対策の広域連携について相互理解を図りたいという要望により、合同地域研究会を下半期に大阪市にて開催した。以下、各会合の概要を述べる。

高知市地域研究会の参加機関とこれまでの実績を図 18（左より 1 列目）に示す。これまでの議論を通じて、高知市では次の南海トラフ沿いの巨大地震に対する地震防災に備える上での特に重要なテーマとして、津波・津波漂流物、長期浸水、複合災害、構造物の耐震性、地盤モデル、震災資料収集などの課題が抽出されている。過去の地域研究会においても、これらに関係するテーマを繰り返し取り上げており、話題提供とともに議論を深めてきた。2011 年 8 月に実施した第 7 回研究会では、次の二つの話題提供とこれに関連した議論を実施した。一つ目の話題は、研究者側より、3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震（ M_j9 ）による津波被害を話題に取り上げ、特に深刻な被害が生じた宮城県南部における被害調査結果およびシミュレーション結果について紹介した。二つ目の話題は、これまでの高知市地域研究会において重要なテーマと位置づけられてきた地盤モデルの高度化に関して、研究者側より、微動観測結果にボーリング資料を統合して構築した高知市街地の 125m メッシュの地盤モデルとそれに基づき評価した地震動特性について紹介した。また、二つ目の話題に関連して、2011 年 3 月の第 6 回研究会にて紹介した浦戸大橋に対して東北地方太平洋沖地震（ M_j9 ）の代表的観測波形を入力地震動とした場合の追加解析結果について報告した。

大阪市地域研究会の参加機関とこれまでの実績を図 18（左より 2 列目）に示す。これまでの議論を通じて、大阪市では次の南海トラフ沿いの巨大地震の地震防災に備えた重要なテーマとして、長周期地震動、液状化、津波、地震発生シナリオ、被害想定・対策、地盤モデルの高度化、行政・事業者の連携強化などの課題が抽出されている。2011 年 8 月に実施した第 6 回研究会では、次の二つの話題提供とこれに関連した議論を実施した。一つ目の話題は、地域側のライフライン事業者より、社内での防災体制について、ならびに、東北地方太平洋沖地震の被害状況や同業他社間の支援の状況などについて紹介した。二つ目の話題は、研究者側より、東北地方太平洋沖地震の

津波ハザードに関するレビューとともに、M9クラスの地震が南海トラフ沿いで発生すると想定した場合の大阪湾の津波ハザードについてのシミュレーション結果が紹介された。

名古屋市地域研究会の参加機関とこれまでの実績を図 18（右より 2 列目）に示す。これまでの議論を通じて、名古屋市では次の南海トラフ沿いの巨大地震に対する地震防災に備える上での特に重要なテーマとして、長周期地震動、複合災害、地震対応、地盤モデル、防災教育・意識啓発などの課題が抽出されている。2011 年 7 月に実施した第 6 回研究会では、次の二つの話題提供とこれに関連した議論を実施した。一つ目の話題は、地域側の研究者より、中部地域における広域強震動予測のための表層地盤モデルについて、現在までの到達点ならびに今後の発展に向けた課題が紹介された。二つ目の話題では、地域側の研究者より、東日本大震災による社会基盤施設の甚大な被害を受けて、今後の被害想定に土木計画をどのように活かして行けばよいか、問題提起が行われた。

前出したように、高知市、大阪市、名古屋市、以上の各地域研究会と紀州分科会の関係者が一堂に会する合同地域研究会を、2012 年 1 月に大阪市で開催した。これまでそれぞれの地域で懸念されるテーマあるいは地域性を踏まえた特有のテーマについて、議論を深めてきた。その中で、地震防災が非常に地域性の高い課題であり、各地域でそれぞれ個別に取り組むべき側面がある反面、巨大地震による災害に立ち向かうには防災関係者による広域の連携協力が不可欠であることも明らかになってきた。このような背景から、地域を越えて共通する重要なテーマが見えてきたことや、他の地域での先進的な取り組みについても関心が高まり、相互に情報交換や理解する場を持ちたいという地域側からの要望が高まり、今回初めての試みとして実施したものである。従って、関係者の関心も高く、119 名の参加者を得た。当日の会場の様子を図 19 に示す。当日の議事次第は、(1) 開会挨拶、(2) 各地域研究会の主査・副査からのこれまでの活動内容・検討課題の紹介、(3) 研究者側からの東北地方太平洋沖地震から学ぶべきこと話題提供（「東日本大震災での津波被害の実態と教訓」、「東日本大震災に基づく東海・東南海・南海地震の再評価」）、(4) パネルディスカッション、(5) 閉会挨拶、以上である。非常に活発な議論がなされ、たくさんの意見交換が行われた。東日本太平洋沖地震の衝撃的な被害を経験し、南海トラフ沿いの地震についてもこれまでの想定の見直しが行われている最中である。これまでの想定をはるかに超える津波高さに対して、ハード対策としての施設の整備だけで災害軽減を図るには限界があり、ソフト対策としての避難行動がますます重要であることに対する理解が深められた。他にも、津波ハザードマップに関連して、津波高さが公表されるとその値が一人歩きすることが指摘された。例えば、住民は津波高さの公表値よりもわずかに標高が高いだけでもう安全だと思いきむ場合や、想定した浸水地域マップを見て住民が逃げようがないものと早々にあきらめてしまう場合もあるという。津波の予測値はあくまでも想定した条件での解析値であって、実際に襲来する津波には解析時には考慮できない要因が加わり、予測誤差が含まれる。防災教育に一層熱心に取り組み、市民が地震・津波の現象やこれに対する被害想定の意味を正しく理解し、納得した上で適切に行動するよことを促す必要があることが、参加者の間で共有された。

東海・東南海・南海地震の連動性評価研究 地域研究会

地震調査研究の成果を社会にどう活かしていくか

趣旨・目的:

- 自治体や事業者の今後の防災対策に生かせるような地震研究成果にするため、研究段階から意見交換する場を設置。
- 防災対策責任者と研究者との連携により、地域の実情に沿った実効性の高い防災戦略、復旧・復興施策の策定に向けた項目立て・要素の洗い出しを行うとともに、地震調査研究における課題を整理する。

会議形式:

- 非公開
- 参加者が全員が集まる「研究会」の他に、特定の議題について、詳細な議論をするための少人数の「分科会」も開催

開催頻度:

- 研究会 年1から2回
- 分科会 適宜

その他:

- 旅費・謝金は支給しない。
- 参加者は次ページ

開催場所

- 名古屋市、大阪市、高知市、紀州



図 16 地域研究会の概要

地域研究会ラインナップ

<p>高知市地域研究会</p> <p>地震発生後の高知市における 海拔ゼロメートル地域の分布</p> <p>主要テーマ</p> <ul style="list-style-type: none"> ○長期浸水被害対策 ○地震動・津波予測 ○複合災害の予測 	<p>紀州分科会</p> <p>津波シミュレーション</p> <p>主要テーマ</p> <ul style="list-style-type: none"> ○紀伊半島沿岸域における津波防災計画への反映・津波防災の高度化
<p>大阪市地域研究会</p> <p>高精度地盤モデルの作成</p> <p>主要テーマ</p> <ul style="list-style-type: none"> ○地震動予測、被害想定の高高度化への反映 ○行政・事業者間の連携強化 	<p>名古屋市地域研究会</p> <p>ボーリングデータ表示システム</p> <p>主要テーマ</p> <ul style="list-style-type: none"> ○地盤モデルの構築、強震動予測の高高度化 ○複合災害の予測

図 17 地域研究会のラインナップ

地域研究会への参加機関一覧と開催実績

高知市地域研究会	大阪市地域研究会	名古屋地域研究会	紀州分科会
四国地整、高知県、高知市、徳島県、徳島市、阿南市、香川県、四国電力、高知ライフライン連絡会、港湾空港技術研究所、国土技術政策総合研究所、高知大学、徳島大学、山口大学、高知地方気象台、徳島地方気象台、高松地方気象台、プロジェクト関係者	近畿地整、大阪府、大阪市、和歌山県、和歌山市、大阪広域水道事業団、大阪ガス、関西電力、東海・東南海・南海地震津波研究会、和歌山大学、大阪管区気象台、和歌山地方気象台、プロジェクト関係者、オブザーバー（JR西日本）	中部地整、愛知県、名古屋市、三重県、四日市市、静岡県、東邦ガス、中部電力、トヨタ自動車、名古屋商工会議所、名古屋大学、三重大学、豊橋技術科学大学、名古屋工業大学、愛知工業大学、海上保安庁、名古屋地方気象台、津地方気象台、静岡地方気象台、岐阜地方気象台、プロジェクト関係者	三重県、尾鷲市、東紀州防災ネットワーク、和歌山県、和歌山市、和歌山県内市町村の防災担当者、三重大学、和歌山大学
2008.11 ミニシンポ 2008.11 第1回研究会 2009.03 第2回研究会 2009.07 第3回研究会 2009.10 第1回分科会 2010.02 第4回研究会 2010.07 第5回研究会 2011.03 第6回研究会 2011.08 第7回研究会	2008.12 ミニシンポ 2008.12 第1回研究会 2009.03 第2回研究会 2009.08 第1回分科会 2009.10 第2回分科会 2010.02 第3回研究会 2010.07 第4回研究会 2011.02 第5回研究会 2011.08 第6回研究会	2008.12 ミニシンポ(2回) 2008.12 第1回研究会 2009.03 第2回研究会 2009.09 第1回分科会 2010.01 第3回研究会 2010.04 第2回分科会 2010.08 第4回研究会 2011.03 第5回研究会 2011.07 第6回研究会	2009.11 第1回分科会 2010.11 第2回分科会 (和歌山県側と三重県で交互に開催)
2012.01.31 合同地域研究会			

図 18 地域研究会への参加機関及び開催実績



図 19 合同地域研究会の様子

(c) 結論ならびに今後の課題

本年度は、平成 22 年度までに構築した地下構造モデルをもとに、南海地震および日向灘地震震源域を含むサブプロジェクト①の構造探査結果を統合化した。過去に実施された他のプロジェクト結果も含め、現段階で入手できる最新の構造解析結果を反映した高精度陸海統合地下構造モデルを完成させた。構築したモデルは、個別研究テーマ(1)(2)の担当者に提供し、強震動・津波シミュレーションとその被害予測の課題に対して、サブプロジェクト①の成果を取り込んだ解析に繋げることができる。

高知市地域研究会においてこれまで地盤モデルの高度化が重要課題と議論されてきた高知平野を対象として、ボーリングデータに基づき高知平野の市街地における浅層地盤モデルを構築し、震度増分を算定し、これを微地形分類に基づき定めた全国モデルと結合することにより地震動増幅率モデルの精度を高めた。

プロジェクトに関わる研究者と研究対象地域の防災関係者（自治体・ライフライン事業者・建設業者・大学・研究者等）が一堂に会する地域研究会を、本年度は高知市、大阪市、名古屋市の 3 地域においてそれぞれ 1 回開催するとともに、前出の 3 地域に紀州分科会を加えた関係者が集う合同地域研究会を大阪市において 1 回開催した。次年度は、連動型巨大地震発生前、発生時、発生後、それぞれのフェーズに対して地域社会が取り組むべき優先事項や時間を追ったシナリオに整理した防災・復興復旧方策について、本サブプロジェクトの成果に向けて議論を進める予定である。また、本プロジェクトの研究成果を通じて、南海トラフ沿いの巨大地震が九州地方にも大きな被害をもたらすことが予想されたため、次年度は九州地域研究会を立ち上げ、開催する予定である。

(d) 引用文献

- 1) 東海・東南海・南海地震の連動性評価研究プロジェクト：連動性を考慮した強震動・津波予測及び地震・津波被害予測研究，サブプロジェクト①の研究成果の活用および地域研究会の開催，平成 20 年度成果報告書，2009.
- 2) 東海・東南海・南海地震の連動性評価研究プロジェクト，：連動性を考慮した強震動・津波予測及び地震・津波被害予測研究，サブプロジェクト①の研究成果の活用および地域研究会の開催，平成 21 年度成果報告書，2010.
- 3) 東海・東南海・南海地震の連動性評価研究プロジェクト：連動性を考慮した強震動・津波予測及び地震・津波被害予測研究，サブプロジェクト①の研究成果の活用および地域研究会の開催，平成 22 年度成果報告書，2011.
- 4) Nakanishi, A., N. Shimomura, S. Kodaira, K. Obana, T. Takahashi, Y. Yamamoto, T. Sato, K. Kashiwase, H. Fujimori, Y. Kaneda, K. Mochizuki, A. Kato, T. Iidaka, E. Kurashimo, M. Shinohara, T. Takeda, and K. Shiomi: Structural variation along the southwestern Nankai seismogenic zone related to various earthquake phenomena, AGU Fall Meet., T21B-2324, 2011.
- 5) 田中喜年・飯塚正城・河原木一・道順 茂：九州・パラオ海嶺（KPr1, KPr2, SPr10）及び南大東海盆－大東海嶺－九州・パラオ海嶺横断測線（DAr5）における精密地殻構造調査，海洋情報部研究報告，26, 2008.

- 6) Yamamoto, Y., K. Obana, T. Takahashi, A. Nakanishi, S. Kodaira, and Y. Kaneda: Seismic velocity structure in the western part of Nankai subduction zone, AGU Fall Meet., T21B-2344, 2011.
- 7) Smith, W. H. F. and P. Wessel: Gridding with continuous curvature splines in tension, *Geophysics*, **55**, 293-305, 1990.
- 8) 甲藤次郎, 西 和彦: 高知平野の地形と沖積層, 高知大学学術研究報告, 第 20 卷, 自然科学, 第 13 号, pp.219-239, 1971 年.
- 9) 甲藤次郎, 西 和彦: 高知平野の地形と沖積層, 地質学論集, 第 7 号, pp.137-143, 1972 年.
- 10) 高知地盤編集委員会, 高知地盤図, 461p., 1992 年
- 11) 中央防災会議: 東南海, 南海地震等に関する専門調査会 (第 16 回), 参考資料 2-3・地盤構造に関する資料, 2003 年 12 月 16 日, http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/nankai/16/sankousiryoku2_3.pdf. (最終閲覧日 2012 年 1 月 13 日)
- 12) 高知県: 第 2 次高知県地震対策基礎調査, 2004 年 3 月.
- 13) 四国地盤情報活用協議会: 四国地盤情報データベース CD-ROM, 2005 年.
- 14) 高知地盤災害情報評価委員会: 高知市地盤災害関連情報 (実証実験サイト), <http://www.geonews.jp/kochi/index.html>. (最終閲覧日 2011 年 5 月 31 日)
- 15) 国土地理院: 数値地図 5m メッシュ (標高) -高知-, CD-ROM 版, 2008 年.
- 16) 長谷川修一, 矢田部龍一, 望月秋利, 西山賢一, 山本浩司: 四国地域の地盤情報データベースの構築と各沖積地盤の特性, 地盤工学会四国支部創立 50 周年記念出版「50 年のあゆみ」, pp.91-126, 2009 年 9 月.
- 17) 藤原広行: 地下構造データ収集・モデル化による地下構造データベースの構築, 第 3 回シンポジウム「統合化地下構造データベースの構築」研究成果の中間報告・予稿集, pp.5-14, 2009 年 3 月 9 日.
- 18) 宮腰 研: 私信.
- 19) 岡田 広 (研究代表者): 深度 3,000 メートル未満地下構造の広域概査のための微動探査法実用化への研究, 平成 5 年度科学研究費補助金 [試験研究(B)] 研究成果報告書 (研究課題番号 03554009), 1994 年.
- 20) Capon, J.: High-resolution frequency-wavenumber spectrum analysis, *Proc. IEEE* **57**, 1408-1418, 1969.
- 21) 斎藤正徳: 水平 2 成分アレーを用いた縦波・横波成分の分離, *物理探査*, Vol. 60, No. 4, pp. 297-304, 2007 年.
- 22) 大堀道広, 盛川 仁, 野畑有秀: 全波動場の Green 関数を用いた短周期アレー観測記録の解析, *地震* **2**, Vo.62, pp.179-191, 2010 年.
- 23) 防災科学技術研究所: 地震ハザードステーション (J-SHIS), <http://www.j-shis.bosai.go.jp/>. (最終閲覧日 2009 年 6 月 4 日)
- 24) 森 伸一郎, 森 直樹, 俵 司, 岡本和康: 常時微動測定による高知平野の卓越周期分布, 第 36 回地盤工学研究発表会, pp.2335-2336, 2001 年.
- 25) 藤本一雄・翠川三郎: 日本全国を対象とした国土数値情報に基づく地盤の平均 S 波速度分

- 布の推定, 日本地震工学会論文集, Vol.3, No.3, pp.13-27, 2003.
- 26) 松岡昌志・若松加寿江: 地形・地盤分類 250m メッシュマップ全国版に基づく地盤のゆれやすさデータ, 産業技術総合研究所, 知的財産管理番号 H20PRO-936, 2008.
- 27) 松岡昌志・翠川三郎: 国土数値情報とサイスミックマイクロゾーニング, 第 22 回地盤震動シンポジウム資料集, 日本建築学会, pp.23-34, 1994.
- 28) 藤本一雄・翠川三郎: 近接観測点ペアの強震観測記録に基づく地盤増幅度と地盤の平均 S 波速度, 日本地震工学会論文集, Vol.6, No.1, pp.11-22, 2006.

(e) 学会等発表実績

学会等における口頭・ポスター発表

発表成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表場所 （学会等名）	発表時期	国際・国内の別
南海トラフ周辺における3次元地下構造モデルの構築（ポスター）	中村武史・ チタクセクチン・ 高橋成実・ 金田義行・ 大堀道広・ 馬場俊孝	日本地球惑星合同連 合大会	2011年5月	国内
高知市における125mメッシュの浅層地盤モデルの構築	大堀道広・ チタクセクチン・ 中村武史・ 坂上 実・ 武村俊介・ 古村孝志・ 竹本帝人・ 岩井一央・ 久保篤規・ 川谷和夫・ 田嶋佐和・ 高橋成実・ 金田義行	日本地震学会秋季大 会2011年	2011年10月	国内
大阪堆積盆地の特定領域での250mメッシュの浅層地盤モデルの構築	大堀道広・ 鶴来雅人・ 古村孝志・ 馬場俊孝・ 金田義行	日本地震工学会大会 2011年	2011年11月	国内
Advanced Observation, Simulation Research for Mega Thrust Earthquakes and Tsunamis	Kaneda, Y., K. Kawaguchi, E. Araki, H. Matsumoto, T. Yokobiki, M. Nakano, T. Nakamura, S. Kamiya,	AOGS-AGU (WPGM) Joint Assembly	2012年8月 (発表予定)	国際

	K.Ariyoshi, M.Ohori, S.O.Citak, T.Baba, S.Nishida, J.-K.Choi, T.Hori, N.Takahashi, and R.Nakata			
An Updated Model of Three-dimensional Seismic Structure in the Source Area of the Tokai-tonankai-nankai Earthquake	S.O.Citak, T.Nakamura, A.Nakanishi, Y.Yamamoto, M.Ohori, T.Baba, and Y.Kaneda	AOGS-AGU (WPGM) Joint Assembly	2012年8月 (発表予定)	国際

学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載論文（論文題目）	発表者氏名	発表場所 (雑誌等名)	発表時期	国際・国内の別
高知市街地の浅層地盤モデルの構築	大堀道広・ チタクセクチ ン・ 中村武史・ 坂上 実・ 武村俊介・ 古村孝志・ 竹本帝人・ 岩井一央・ 久保篤規・ 川谷和夫・ 田嶋佐和・ 高橋成実・ 金田義行	日本地震工学会論文 集	投稿中	国内

マスコミ等における報道・掲載

報道・掲載された成果（記事タイトル）	対応者氏名	報道・掲載機関 (新聞名・TV名)	発表時期	国際・国内の別

東海・東南海・南海連動型地震への取組み	金田義行	全国地質調査業協会 連合会 技術機関紙 「地質と調査」	2011年12月	国内
南海トラフ巨大地震連動性研究（その2）	金田義行	文部科学省「地震本部ニュース」	2011年12月	国内

(f) 特許出願，ソフトウェア開発，仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

(3) 平成24年度業務計画案

平成23年度までに作成した表層地盤増幅モデルの成果をとりまとめ公表する。高知市、大阪市、名古屋市において地域研究会を、それぞれ年2回程度開催するとともに、新たに九州を対象とした地域研究会を組織する。地域研究会においては、地震の発生前の防災対応、発生直後の応急対応、発生後の復旧・復興対応のそれぞれのフェーズに対して地域社会が取り組むべき事項を整理し、連動型地震に対応した防災および復旧・復興方策を検討する。紀伊半島沿岸域における津波リスクなど個別テーマについては必要に応じて分科会を開催する。さらに、連動性評価研究を総括することを目的とした最終成果報告会を開催する。地震動・津波浸水予測シミュレーション結果、復興復旧マップ等とともに、連動型地震による地震や津波の一連の複合災害を時間で追って理解できるようなコンテンツを作成し、DVDやWEBなどを通じて公表する。

4. 活動報告

4.1. 会議録

4.1.1. 第6回大阪市地域研究会

(1) 開催日時

平成23年8月22日(月)10時00分～12時30分

(2) 開催場所

プリムローズ大阪(大阪市中央区大手前3丁目1-43)

(3) 出席者

(a) 地域側

大阪府政策企画部危機管理室

大阪府都市整備部

大阪広域水道企業団事業管理部計画課

大阪市危機管理室

大阪市港湾局

和歌山県総合防災課

大阪管区気象台 技術部地震火山課

大阪ガス導管事業部中央保安指令部

関西電力

東海・東南海・南海地震津波研究会

和歌山大学 此松昌彦

(b) オブザーバー参加

国土交通省近畿地方整備局

(c) プロジェクト側

海洋研究開発機構 金田義行、高橋成実

名古屋大学 福和伸夫

京都大学 牧 紀男

(d) 事務局

海洋研究開発機構 地震津波・防災研究プロジェクト

(4) 議事次第

(a) 開会

(b) 前回議事概要等の確認

(c) 話題提供

1) 関西電力の防災体制(関西電力)

2) 東日本大震災を踏まえた大阪湾における津波ハザード(海洋研究開発機構)

(e) 質疑応答および討議

(f) その他

(g) 閉会

4.1.2 第6回名古屋市地域研究会

(1) 開催日時

平成23年7月21日(木) 15時30分～18時00分

(2) 開催場所

ホテル名古屋ガーデンパレス(名古屋市中区錦3-11-13)

(3) 出席者

(a) 地域側

愛知県防災局防災危機管理課

愛知県建設部建築担当局住宅計画課

愛知県建設部河川課

名古屋市消防局防災部防災室

名古屋市緑政土木局企画経理課

三重県防災危機管理部地震対策室

四日市市危機管理室

静岡県危機管理部危機政策課

国土交通省中部地方整備局

名古屋地方気象台 防災業務課

津地方気象台 防災業務課

東邦ガス

中部電力

トヨタ自動車

名古屋商工会議所

海上保安庁第4管区海上保安部

三重大学 川口 淳

名古屋大学 飛田 潤

名古屋大学 中野 正樹

名古屋大学 護 雅史

豊橋技術科学大学 河邑 眞

名古屋工業大学 秀島 栄三

(b) プロジェクト側

海洋研究開発機構 金田 義行

東京大学 古村 孝志

名古屋大学 福和 伸夫

京都大学 牧 紀男

(c) 事務局

海洋研究開発機構 地震津波・防災研究プロジェクト

(4) 議事次第

(a) 開会

- (b) 前回議事概要等の確認
- (c) 話題提供
 - 1) 中部地方の表層地盤モデルについて（応用地質 高橋）
 - 2) 名古屋圏の地盤 DB の進捗状況について（名古屋大学 護）
 - 3) 土木計画と被害想定 東日本大震災における社会基盤の機能低下と市街地の被災を受けて（名古屋工業大学 秀島）
- (d) 質疑応答および討議
- (e) その他
- (f) 閉会

4.1.3. 第7回高知市地域研究会

(1) 開催日時

平成23年8月4日（木）13時30分～16時00分

(2) 開催場所

高知城ホール（高知市丸ノ内2丁目1-10）

(3) 出席者

(a) 地域側

国土交通省 四国地方整備局

高知県 危機管理部

高知県 土木部

高知市 総務部危機管理室

香川県 防災局

香川県 土木部港湾課

香川県 病院局

徳島県 危機管理部

徳島市 総務部危機管理課

阿南市 総務部 市民安全局

四国電力

高知ライフライン連絡会

高知地方気象台 防災業務課

大阪管区気象台 技術部地震火山課

徳島大学 中野 晋、山中 亮一

高知大学 岡村 眞

高知大学 大年 邦雄

(b) プロジェクト側

海洋研究開発機構 金田 義行

東京大学 古村 孝志、前田 拓人

東北大学 今井 健太郎

京都大学 牧 紀男

(c) 事務局

(4) 議事次第

- (a) 開会
- (b) 前回議事概要等の確認
- (c) 話題提供
 - 1) 宮城県南部沿岸域の平野部における津波被害（東北大学 今井）
 - 2) 高知市内での微動観測結果について（JAMSTEC 大堀）
- (d) 質疑応答および討議
- (e) その他
- (f) 閉会

4.1.4 合同地域研究会

(1) 開催日時

平成 24 年 1 月 31 日（火）13 時 00 分～17 時 00 分

(2) 開催場所

プリムローズ大阪（大阪府中央区大手前 3 丁目 1 - 4 3）

(3) 参加者

(a) 地域側

1) 大阪市地域研究会

国土交通省近畿地方整備局
大阪府政策企画部危機管理室/都市整備部
大阪市危機管理室/港湾局
和歌山県総合防災課
和歌山市市長公室危機管理部
大阪管区气象台
和歌山地方气象台
大阪ガス
関西電力
東海・東南海・南海地震津波研究会
此松昌彦（和歌山大学）

2) 高知市地域研究会

高知県危機管理部
高知市総務部危機管理室
香川県防災局/土木部
徳島県危機管理部/運輸総局港湾空港課
四国電力
高知地方气象台
徳島地方气象台
高松地方气象台
岡村眞（高知大学）

大年邦雄（高知大学）

3) 名古屋市地域研究会

国土交通省中部地方整備局

愛知県建設部

名古屋市消防局

三重県防災危機管理部

四日市市危機管理室

静岡県危機管理部

海上保安庁第四管区海上保安部

名古屋地方気象台

津地方気象台

東邦ガス

中部電力

トヨタ自動車

川口淳（三重大学）

河邑眞（豊橋技術科学大学）

正木和明（愛知工業大学）

4) 紀州分科会

尾鷲市

5) 九州地域研究会（来年度発足予定）

国土交通省九州地方整備局

宮崎県総務部危機管理局

鹿児島県危機管理局/土木部

大分県生活環境部防災危機管理課

九州電力

地震工学研究開発センター

(b) プロジェクト側

1) 課題担当研究者

金田義行（海洋研究開発機構）

古村孝志、前田拓人（東京大学）

今村文彦（東北大学）

福和伸夫（名古屋大学）

牧紀男（京都大学）

2) 連動性評価研究運営・推進委員

本蔵義守（東京工業大学）

入倉孝次郎（愛知工業大学）

瀧澤美奈子（科学ジャーナリスト）

加藤茂（海上保安庁）

今給黎哲郎（国土地理院）

斎藤誠（気象庁）
飛田幹男（国土地理院）
中張茂（徳島県、代理：岡村光真）
宇恵元昭（和歌山県、代理：半田和雄）

3) その他

内閣府、文部科学省地震・防災研究課

(4) 議事次第

- (a) 開会挨拶（海洋研究開発機構 金田義行）
- (b) 各地域研究会の紹介
 - 1) 大阪市地域研究会、紀州分科会（京都大学 牧紀男）
 - 2) 名古屋市地域研究会（名古屋大学 福和伸夫）
 - 3) 高知市地域研究会（高知大学 大年邦雄）
- (c) 東北地方太平洋沖地震から学ぶべきこと
 - 1) 東日本大震災での津波被害の実態と教訓（東北大学 今村文彦）
 - 2) 東日本大震災に基づく東海・東南海・南海地震の再評価（東京大学 古村孝志）
- (d) パネルディスカッション
進行：金田義行（海洋研究開発機構）
パネリスト：今村文彦（東北大学）、川口淳（三重大学）
駒田義誌（内閣府）、小川安雄（大阪ガス）
- (e) 閉会挨拶（文部科学省地震・防災研究課 寺田博幹）

4.1.5. 「南海トラフ巨大地震連動性評価研究」推進委員会規則

東京大学大学院情報学環
南海トラフ巨大地震連動性評価研究推進委員会規則

平成 20 年 6 月 13 日制定

平成 21 年 4 月 1 日改定

(趣旨)

この規則は、「南海トラフ巨大地震連動性評価研究」プロジェクトを効果的に推進するため、南海トラフ巨大地震連動性評価研究推進委員会（以下「委員会」という。）の組織及び運営について定めるものとする。

(目的)

委員会は、本プロジェクトの研究に関する重要事項を審議し、関係研究機関（者）間の連携を緊密にし、もってその有効な推進を図ることを目的とする。

(任務)

前条に定める目的を達成するため、委員会は、次の各号に掲げる事項について審議し、決定する。

(1) 本プロジェクトに関わる研究計画

委員会の構成員

その他、研究推進に関わる事項

(構成)

第4条 委員会の委員は、次の各号に掲げる職員の中から情報学環長が委嘱する。

(1) 本プロジェクトに参加する者若干名

(2) 上記以外の有識者若干名

2 必要に応じて、オブザーバの参加を認める。

(委員長)

第5条 委員会に委員長を置く。

2 委員長に事故あるときは、あらかじめ委員長の指名する委員がその職務を代理する。

(任期)

委員の任期は、2年とする。ただし、委嘱を受けた翌年度の3月31日を超えることはできない。

2 委員の再任は妨げない。

3 補欠による委員の任期は、前任者の残任期間とする。

(会議)

第7条 委員会は、必要に応じ、委員長が招集する。

(庶務)

委員会の事務は、情報学環において処理する。

(委員会の期限)

委員会の期限は本プロジェクトの終了までとする。

(補則)

第11条 この規則に定めるもののほか、委員会の運営に関して必要な事項は、委員会の定めるところによる。

附 則

この規則は、平成21年4月1日から施行する。

4.1.6. 「南海トラフ巨大地震連動性評価研究」研究推進委員会② 構成

H23. 4. 1 日現在

(有識者)

委員長	本蔵 義守	国立大学法人東京工業大学大学教授
委員	入倉孝次郎	愛知工業大学地域防災研究センター客員教授
委員	吉井 博明	東京経済大学コミュニケーション学部教授
委員	宇平 幸一	気象庁地震火山部管理課長
委員	春日 茂	海上保安庁海洋情報部技術・国際課長
委員	飛田 幹男	国土地理院地理地殻活動研究センター 地殻変動研究室長
委員	小林佐登志	静岡県危機管理局危機管理監兼管理局長
委員	小出 茂樹	愛知県防災局長
委員	東地 隆司	三重県防災危機管理部長
委員	森 崇	和歌山県危機管理監
委員	森部慎之助	高知県危機管理部長
委員	山川 正雄	徳島県危機管理部長

(研究担当者)

委員	古村 孝志	国立大学法人東京大学情報学環 総合防災情報研究センター 教授
委員	今村 文彦	国立大学法人東北大学大学院工学研究科教授
委員	福和 伸夫	国立大学法人名古屋大学大学院環境学研究科教授
委員	牧 紀夫	国立大学法人京都大学防災研究所 巨大災害研究センター准教授
委員	金田 義行	独立行政法人海洋研究開発機構海洋工学センター 海底地震・津波観測ネットワーク開発部長

(委託元)

オブザーバ	文部科学省研究開発局地震・防災研究課長
-------	---------------------

4.2. 対外発表

4.2.1. 連動型巨大地震による強震動の高精度予測

学会等における口頭・ポスター発表

発表成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表場所 （学会等名）	発表時期	国際・国内の別
東北地方太平洋沖地震から考える 南海トラフ地震「4連動」シナリオ （口頭）	古村 孝志・前田拓人	2011年日本地震学会秋季大会，静岡県	2011年11月13日	国内
Visualization of Strong Ground Motion and Tsunami due to the Destructive Mw9.0 Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake in 2011（口頭）	T. Furumura, T. Maeda, S. Noguchi, S. Takemura, S. Padhy, T. Takemoto, and K. Iwai	2011 Asia Oceania Geosciences Society, Taipei	2011年8月11日	国際
Reevaluation of the Nankai-Trough earthquake linkage scenario and computer simulation of expected strong ground motion and tsunami（口頭）	T. Furumura	2012 KANAME International Workshop, Kochi	2012年2月29日	国際

学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載論文（論文題目）	発表者氏名	発表場所 （雑誌等名）	発表時期	国際・国内の別
A revised tsunami source model for the 1707 Hoei earthquake and simulation of tsunami inundation of Ryujin Lake, Kyushu, Japan	Furumura, T., K. Imai, and T. Maeda	J. Geophys. Res., 116, doi:10.1029/2010JB007918, 2011	2011年3月	国際
千年単位の地震史が示す東海・東南海・南海地震の大連動の確実性	古村孝志	講談社日本の論点2012	2012年1月	国内

津波堆積物が語る、南海トラフ巨大地震の実像	古村孝志・前田拓人・今井健太郎	岩波科学 Vo182, No2	2012年2月	国内
-----------------------	-----------------	-----------------	---------	----

4.2.2. 津波災害の高精度予測に基づく人的被害軽減戦略の策定

学会等における口頭・ポスター発表

発表成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表場所 （学会等名）	発表時期	国際・国内の別
東京湾における津波の伝播特性に関する数値実験	今井健太郎・都司嘉宣・林豊	平成23年度日本地震学会秋季大会	2011年10月13日	国内

学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載論文（論文題目）	発表者氏名	発表場所 （雑誌等名）	発表時期	国際・国内の別
Examination of three practical run-up models for assessing tsunami impact on highly populated areas	Muhari, F. Imamura, S. Koshimura, and J. Post	Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 11, 3107-3123, 2011 doi:10.5194/nhess-11-3107-2011	11月	国際

4.2.3. 都市域の地震動予測と構造物の被害予測・減災戦略の策定

学会等における口頭・ポスター発表

発表成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表場所 （学会等名）	発表時期	国際・国内の別
継続時間の長い強震動予測手法に関する研究	高橋広人 福和伸夫 護雅史 飛田潤	日本建築学会大会学術講演梗概集、Vol.B-2、pp.69-70	2011.8	国内
半経験的強震動予測手法を用いる際の補正に関する研究 距離減衰、放射特性、破壊伝播方向補正についての検討	渡辺莉奈 平井敬 護雅史 福和伸夫	日本建築学会大会学術講演梗概集、Vol.B-2、pp.81-82	2011.8	国内

平成23年東北地方太平洋沖地震における名古屋地域の地盤・建物の地震観測記録 その1 地震観測記録の概要	飛田潤 小島宏章 福和伸夫 護雅史	日本建築学会大会学術講演梗概集、 Vol.B-2、pp.337-338	2011.8	国内
平成23年東北地方太平洋沖地震における名古屋地域の地盤・建物の地震観測記録 その2 中低層建物と免震建物の地震応答性状	小島宏章 飛田潤 福和伸夫 護雅史	日本建築学会大会学術講演梗概集、 Vol.B-2、pp.339-340	2011.8	国内
南海トラフ巨大地震発生時における建築物の応答評価に基づく高機能都市の被災シナリオ作成に関する研究	彦坂智基 曾我裕 福和伸夫 護雅史	日本建築学会大会学術講演梗概集、 Vol.B-2、pp.925-926	2011.8	国内
公開資料を用いた簡易地震被害推定と地域対応力とに基づく耐震化目標設定に向けた考察	池田政人 林孝幸 倉田和己 福和伸夫 護雅史 飛田潤	日本建築学会大会学術講演梗概集、 Vol.B-2、pp.893-894	2011.8	国内
大地震後の中高層建物の解体に関する一考察	曾我裕 福和伸夫 護雅史 飛田潤	日本建築学会大会学術講演梗概集、 Vol.B-2、pp.981-982	2011.8	国内
構造性能把握のためのライフタイムモニタリングの提案	西澤崇雄 大野富男 飛田潤 福和伸夫	日本建築学会大会学術講演梗概集、 Vol.B-2、pp.841-842	2011.8	国内

学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載論文（論文題目）	発表者氏名	発表場所 （雑誌等名）	発表時期	国際・国内の別
改良地盤上に立地した免震建物の地震時応答性状に関する考察	周 方圓 護 雅史 福和伸夫	日本建築学会技術報告集、第17巻、第36号、pp.473-482	2011.6	国内
耐震診断結果に基づく公営集合住宅建物の地震被害率の予測に関する研究	白瀬陽一 榊原啓太 福和伸夫 護 雅史	日本建築学会構造系論文集、 No.664、pp.664-673	2011.6	国内
強震記録に基づく東北地方太平洋沖地震による地殻変動分布の算定	平井 敬 福和伸夫	日本建築学会構造系論文集、 No.673、pp.341-350	2012.3	国内

4.2.4. 将来の地域社会特性を反映した災害対応、復旧・復興戦略の策定

学会等における口頭・ポスター発表

発表成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表場所 （学会等名）	発表時期	国際・国内の別
生活機能に基づく「基礎生活圏」の抽出手法の開発－紀伊半島、東日本大震災の被災地域を事例として－	陳海立・牧紀男・林春男	地域安全学会論文報告集 No.15 pp.275-283	2011	陳海立・牧紀男・林春男

4.2.5. サブプロジェクト①の研究成果の活用および地域研究会の開催

学会等における口頭・ポスター発表

発表成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表場所 （学会等名）	発表時期	国際・国内の別
南海トラフ周辺における3次元地下構造モデルの構築（ポスター）	中村武史・チタクセクチン・高橋成実・金田義行・大堀道広・馬場俊孝	日本地球惑星合同連合大会	2011年5月	国内
高知市における125mメッシュの浅層地盤モデルの構築	大堀道広・チタクセクチン・中村武史・坂上 実・武村俊介・古村孝志・竹本帝人・岩井一央・久保篤規・川谷和夫・田嶋佐和・高橋成実・金田義行	日本地震学会秋季大会2011年	2011年10月	国内
大阪堆積盆地の特定領域での250mメッシュの浅層	大堀道広・鶴来雅人	日本地震工学会大会2011年	2011年11月	国内

地盤モデルの構築	古村孝志・ 馬場俊孝・ 金田義行			
Advanced Observation, Simulation Research for Mega Thrust Earthquakes and Tsunamis	Kaneda, Y., K. Kawaguchi, E. Araki, H. Matsumoto, T. Yokobiki, M. Nakano, T. Nakamura, S. Kamiya, K. Ariyoshi, M. Ohori, S. O. Citak, T. Baba, S. Nishida, J.-K. Choi, T. Hori, N. Takahashi, and R. Nakata	AOGS-AGU (WPGM) Joint Assembly	2012年8月 (発表予定)	国際
An Updated Model of Three-dimensional Seismic Structure in the Source Area of the Tokai-tonankai-nankai Earthquake	S. O. Citak, T. Nakamura, A. Nakanishi, Y. Yamamoto, M. Ohori, T. Baba, and Y. Kaneda	AOGS-AGU (WPGM) Joint Assembly	2012年8月 (発表予定)	国際

学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載論文（論文題目）	発表者氏名	発表場所 (雑誌等名)	発表時期	国際・国内の別
高知市街地の浅層地盤モデルの構築	大堀道広・ チタクセクチ ン・ 中村武史・ 坂上 実・	日本地震工学会論文 集	投稿中	国内

	武村俊介・ 古村孝志・ 竹本帝人・ 岩井一央・ 久保篤規・ 川谷和夫・ 田嶋佐和・ 高橋成実・ 金田義行			
海溝型巨大地震への挑戦 ～最新の地震研究と防災 研究～	金田義行	Blue Earth	Vol.107, pp.28-31, 2010年5月	国内
DONETで測定できる最大 加速度に関する検討	大堀道広・中 村武史・有 吉慶介・神 谷眞一郎・松 本浩幸・荒木 英一郎・佐久 間淳・川口勝 義・坪井誠 司・金田義行	JAMSTEC Report of Research and Development	Vol.11, pp.17-31, 2010 年9月	国内

5. むすび

これまで4年間にわたって、東海・東南海・南海地震の連動による強震動と津波の評価、構造物の被害予測と事前対応、具体的な復興・復旧プロセスに関する検討を、本研究プロジェクトを担当する5研究機関（東大、東北大、名古屋大、京大、海洋研究開発機構）で協力して進めてきました。また、高知、大阪、名古屋（および紀州）において地域研究会を組織し、研究者と自治体、ライフライン企業の防災関係者による議論を通じて本プロジェクト研究を勧めてきました。

研究の進展により、1707年宝永地震がそうであったように、東海・東南海・南海地震の3連動により、1854年安政東海・南海地震の震源域に加えて、日向灘にまで波源域が延びるなど、連動により地震規模が大きくなることが見えてきました。地震規模の増大は、強震域の拡大や津波高の増加を引き起こすだけでなく、破壊伝播のディレクティビティ効果や、震源断層のスケーリングの効果により、長周期地震動や津波が急激に増大することなど、連動発生による本質的な問題が少しずつ見えてきました。構造物も多様化し、超高層ビルや免震ビルなど、これまで東海・東南海・南海地震時とは社会の様子が大きく変化してきました。建物の影響と被害を正しく見積もるためには、軟弱地盤上に建つ大規模構造物の地震応答解析手法の開発や、ボーリングデータを集めて都市の軟弱地盤のデータベースを構築することが重要です。地震時の建物の挙動を調べるための建物を対象とした強震観測も必要です。これまで4年間の研究の蓄積により、こうした必要データがようやく揃って来たところです。都市域での河川の津波遡上や、道路を伝わり浸水が拡大する現象を正しく評価するために、地形や家屋を取り込んだ高分解能津波シミュレーションの準備も進められています。浸水高と流速を考慮した津波流体力に基づく被害予測手法の検討も新たに始まりました。南海トラフ地震の影響は都市域だけではありません。急激に過疎化が進む中山間地域において、今後10年ないし30年後の人口構成や社会状況を見据えた、現実的で実効力のある復興・復旧施策に関する検討も進行中です。連動型巨大地震の実像と、これによる強震動と津波の規模が明らかになったことから、連動地震発生シナリオにより、時間を追って発生する災害と対応、そして必要な事前対策を明確するための、研究者と自治体担当者の協働によるワークショップも行われました。こうした検討の基礎となる地震津波シミュレーションが必要とする、地盤・地下構造モデル、プレート構造モデルは、今年度は、サブプロジェクト①の観測課題から提供を受けたものです。今年度は、日向灘地域における最新の地下構造調査結果を取り入れた、詳細なプレート・堆積層モデルの整備を進め、強震動・津波予測シミュレーションに活用しました。

今年度の研究を進めるにあたり、2011年東北地方太平洋沖地震により明らかとなった、海溝型地震の連動に加えて、津波地震が発生する浅部プレート境界が同時に大きくズレ動くという新たな連動メカニズムの知見を取り入れました。こうした、いわば「大連動」とでも呼ぶべき連動メカニズムが南海トラフで起きる場合を想定し、強震動と津波シミュレーションが行なわれました。大連動により沿岸津波高の増大は容易にイメージできますが、大阪湾や伊勢湾などの湾奥や、瀬戸内海に波長の短い津波は侵入せず、波高が高まらないなど、シミュレーションにより初めて確認された事象もあります。このように、連動および大連動の影響は地域により異なるため、今後詳細な検討が必要です。

東北地方太平洋沖地震で記録された、東京、名古屋、大阪地点等での長周期地震動とこれによる超高層構造物等の挙動のデータにより、本研究で開発した構造物応答評価モデル等の検証も進められました。東北地方太平洋沖地震の M9.0 という地震の規模に対し、各地で観測された長周期地震動のレベルは、過去の東南海地震や南海地震など M8 規模の地震のものと大きく変わらないという意外な結果が出ています。なぜ今回は長周期地震動が大きくならなかったのか、そして東海・東南海・南海地震の連動発生ではどうなるのか、重要な検討課題が示されています。都市や中山間地域などの地域特性に応じた復興・復旧施策モデルの検討については、これまでは 1995 年兵庫県南部地震や 2004 年中越地震など内陸 M7 級の地震について検証が進められてきましたが、今後は東北地方太平洋沖地震を加え、海溝型巨大地震災害への適用可能性の評価が進むものと思われます。

先般、中央防災会議（内閣府）より南海トラフにおける最大限の（レベル 2）地震津波の考え方と、これによる地震動と津波波高分布が示されました。これまでの既往最大モデル（たとえば、宝永地震など）に基づく地震津波想定をレベル 1 事象と考えると、今回出された、頻度はきわめて低いが大被害が心配されるレベル 2 事象の発生頻度をどう考え、そして、レベル 1・2 事象の二つを地震防災上どう位置づけるかなど、重要な検討課題が累積しています。地震の連動が、数分～数十分の時間差で発生した場合には、揺れの継続時間の増大、そして津波の重ね合いによる波高の増幅が発生します。数時間の時間差で地震が続いて発生した場合には、救援活動中の二次災害の恐れもあります。さらに、数年の時間差で発生した場合には、復興の遅れや社会不安の問題が起きるなど、より事態は深刻でしょう。東海・東南海・南海地震の連動性研究では、こうした時間差発生の可能性とその影響について、サブプロジェクト①の地震発生シミュレーション課題との連携を図りながら、こうした問題についても今後検討を深めていかなければなりません。

5 カ年計画の最終年度を迎える本プロジェクトでは、東北地方太平洋沖地震の地震津波被害を再検証し、東海・東南海・南海地震の連動発生シナリオとその影響について検討を深めます。地域社会が有する防災力・対応力を評価し、地震発生から、強い揺れ、そして津波の到来までの時間要素を取り入れた被害の全貌と社会へのインパクト、そして地震後の復興・復旧シナリオを明示します。成果を地域社会の防災行動に繋げていただくために、地震や津波、建物振動などのシミュレーション結果の可視化とアニメーションに力を入れます。こうして、東海・東南海・南海地震の連動発生が引き起こす地震と津波複合的被害の全体像、震源域近傍の被災地域および社会全体の影響について総合的に検討、自治体や地域社会で求められる直前・直後対策と、長期的な復旧施策について、地域研究会と検討を深めます。（2012 年 4 月 27 日 サブプロジェクト②研究代表者 古村孝志）