

地震調査研究の最先端

リモートセンシングによる巨大地震津波の広域被害把握技術

2011年3月11日、東北地方太平洋沖地震により発生した大津波は、12都道県で死者・行方不明者18,800人、全壊建物130,429棟(警察庁、2012年6月13日)という被害をもたらした。我が国史上最大規模の超巨大地震津波災害となりました。巨大災害後の災害対応や救援活動において、最も重要なことの一つは被害の全容把握です。2011年東北地方太平洋沖地震津波の被災地は広大であり、激甚な被災地の映像は何度も報道等で映し出されたものの、発災直後に被災地がどれほど広がっているかの全容を把握することさえ難しい状況でした。私たちはリモートセンシングと空間情報処理技術を活用することにより、この課題を克服しようとしています。津波災害には国境がありません。私たちは、衛星や航空機による被災地の緊急観測の体制を構築し、それを国際社会で共有する仕組みに貢献することを目指しています。

津波災害を考えた場合、広域被害把握という観点では、津波浸水域をどのようにして把握するかが最初の課題になります。広大な津波浸水域の空間分布を把握するために、JAXA陸域観測技術衛星「だいち」の光学センサ画像(2011年3月14日に撮影)を解析しました。津波の浸水域の抽出には、水の分光特性に着目したNDWI指標という画像フィルターを作成しました。

次のステップは、建物被害の把握です。私たちは、国土院による直下視・斜め視空中写真を判読して、建物被害と建

物構造種別の分布を明らかにしました。写真からの判読なので、特に構造種別の判読精度に限界はありますが、発生直後の緊急観測により直下視・斜め視の空中写真を取得できれば、迅速な被害把握に活用できることを実証しました。また、同じ被災地の観測結果を時系列で解析することにより、復旧・復興状況のモニタリングも可能になります。ここでは、宮城県女川町の瓦礫分布((a)航空写真(2011年3月19日)、(b)衛星画像(2011年6月8日))を示します。浸水域や建物被害だけでなく「瓦礫」に着目した広域被害把握も重要です。瓦礫がもつ分光反射特性に着目して、デジタル航空写真や衛星画像から瓦礫域の分布や瓦礫面積を把握しました。その結果、瓦礫面積は約0.9km²(航空写真;3月19日)と約0.5km²(衛星画像;6月8日)と推定され、被災後約80日間で、約0.4km²の面積差があり、この期間の瓦礫撤去作業が進んでいたことも確認できます。

災害発生後に迅速に被害を把握して、その結果を社会で共有することで、効果的な災害救援活動や復旧活動に資することが私たちの使命であると考えています。

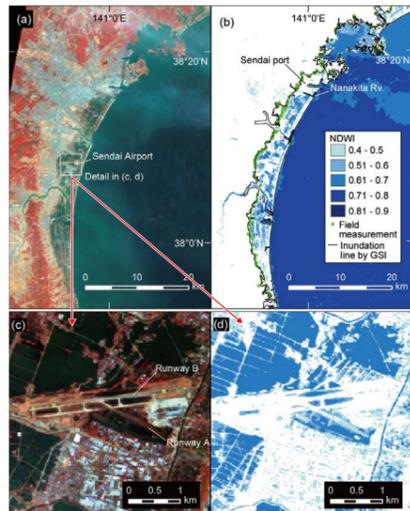


図1 JAXA陸域観測技術衛星「だいち」の光学センサAVNIR-2による画像(2011年3月14日に撮影)解析により得られた津波の浸水域。図中の緑線は現地調査による遡上境界点。

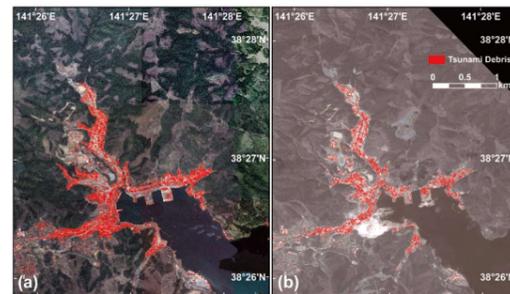


図2 宮城県女川町の瓦礫分布:(a)航空写真(2011年3月19日)、瓦礫面積は約0.9km²、(b)衛星画像(2011年6月8日)、瓦礫面積は約0.5km²(東北大学大学院工学研究科・福岡巧巳による結果)。



越村 俊一 (こしむら・しゅんいち)
東北大学 災害科学国際研究所・広域被害把握研究分野・教授。2000年に東北大学大学院工学研究科博士後期課程を修了。博士(工学)。日本学術振興会特別研究員、財団法人阪神淡路大震災記念協会「人と防災未来センター」専任研究員を経て、2005年5月に東北大学大学院工学研究科助教授、2012年4月に東北大学災害科学国際研究所教授。

The Headquarters for Earthquake Research Promotion News

地震本部 ニュース

2012年 6月号

- 2 **地震調査委員会 [第238回]**
定例会(平成24年5月11日)
2012年4月の地震活動の評価
 - 4 **地震調査研究推進本部**
強震動評価が出来るまで 第2回
 - 6 **首都直下地震防災・減災特別プロジェクト**
E-ディフェンスによる「長周期地震動による被害軽減対策の研究開発」
 - 8 **地震調査研究の最先端**
東北大学災害科学国際研究所 **越村 俊一**
- お知らせ

「地震本部ニュース」印刷・発送停止のお知らせ

日頃、地震調査研究・防災研究の推進に対し、ご理解、ご協力を賜りまして、ありがとうございます。「地震本部ニュース」につきましては、環境への配慮と効率化の観点から、本年6月号をもって、紙による印刷及び送付を終了させていただきます。7月号以降につきましては、地震調査研究推進本部のウェブサイトへの掲示のみで行わせていただきます。下記のURLからご覧ください。

http://www.jishin.go.jp/main/p_koho04.htm

なお、ご希望の方には、メールにて新号を掲載した旨お知らせいたしますので、news@jishin.go.jp までメールアドレスをご連絡くださるようお願いいたします。

今回承ったメールアドレスについては「地震本部ニュース」の新号を掲載した際のご連絡以外には使用いたしません。また、「本連絡は不要」とのご連絡があった時点で、当方で責任をもって消去することをお約束いたします。

今後とも、引き続き、地震調査研究・防災研究の推進に対し、ご理解、ご協力を賜りますよう、よろしくお願い申し上げます。(担当:文部科学省研究開発局地震・防災研究課 久保)

編集・発行

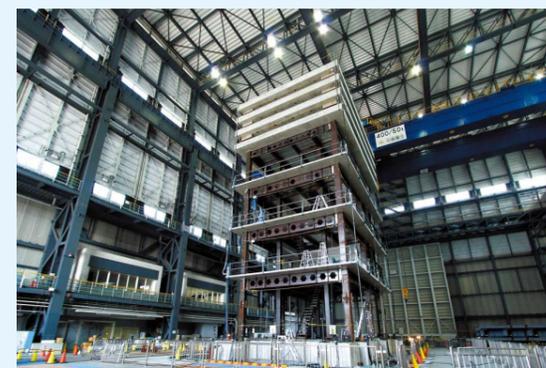
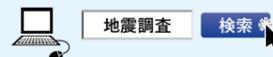
地震調査研究推進本部事務局(文部科学省研究開発局地震・防災研究課)
〒100-8959 東京都千代田区霞が関3-2-2 TEL 03-5253-4111(代表)

*本誌を無断で転載することを禁じます。
*本誌に掲載した論文等で、意見にわたる部分は、筆者の個人的意見であることをお断りします。

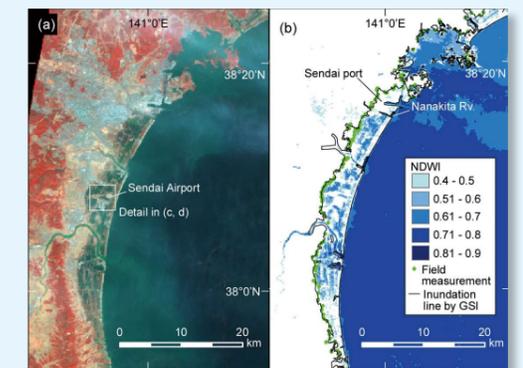
地震調査研究推進本部が公表した資料の詳細は、地震本部のホームページ[<http://www.jishin.go.jp/>]で見ることができます。

ご意見・ご要望はこちら → news@jishin.go.jp

*本誌についてのご意見、ご要望、質問などがありましたら、電子メールで地震調査研究推進本部事務局までお寄せください。



■ E-ディフェンスによる骨組の耐震性と補強効果に関する実験



■ リモートセンシングによる津波浸水域の把握(2011年東北地方太平洋沖地震)

1 主な地震活動

- 4月1日に福島県沖でマグニチュード(M)5.9の地震が発生し、福島県で最大震度5弱を観測した。
- 4月29日に千葉県北東部でM5.8の地震が発生し、千葉県で最大震度5弱を観測した。

2 各地方別の地震活動

北海道地方

- 4月21日に日高地方西部の深さ約105kmでM4.5の地震が発生した。この地震の発震機構は西北西-東南東方向に圧力軸を持つ型で、太平洋プレート内部で発生した地震である。

東北地方

- 4月1日に福島県沖の深さ約55kmでM5.9の地震が発生した。この地震の発震機構は西北西-東南東方向に圧力軸を持つ逆断層型で、太平洋プレートと陸のプレートの境界で発生した地震である。
- 4月13日に福島県沖の深さ約30kmでM6.0の地震が発生した。この地震の発震機構は西北西-東南東方向に張力軸を持つ正断層型で、陸のプレート内で発生した地震である。また、この地震の他に12日に茨城県沖でM5.6の地震が発生するなど、福島県南部から茨城県北部の沖合いにおいてまとまった地震活動があった。
- 4月27日に青森県東方沖の深さ約65kmでM5.0の地震が発生した。この地震の発震機構は西北西-東南東方向に圧力軸を持つ逆断層型で、太平洋プレートと陸のプレートの境界で発生した地震である。

関東・中部地方

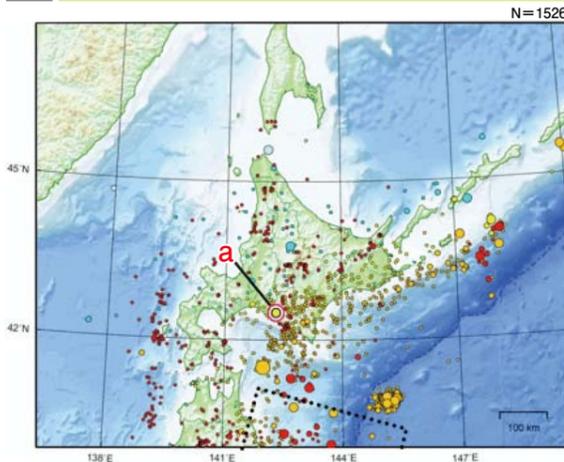
- 4月29日に千葉県北東部の深さ約50kmでM5.8の地震が発生した。この地震の発震機構は東西方向に圧力軸を持つ逆断層型で、太平洋プレートとフィリピン海プレートの境界で発生した地震である。この地震の他に、25日にM5.5の地震が発生するなどのまとまった地震活動があった。
- 東海地方のGNSS観測結果等には、東海地震に直ちに結びつくと思われる変化は観測されていない。

近畿・中国・四国地方

目立った活動はなかった。

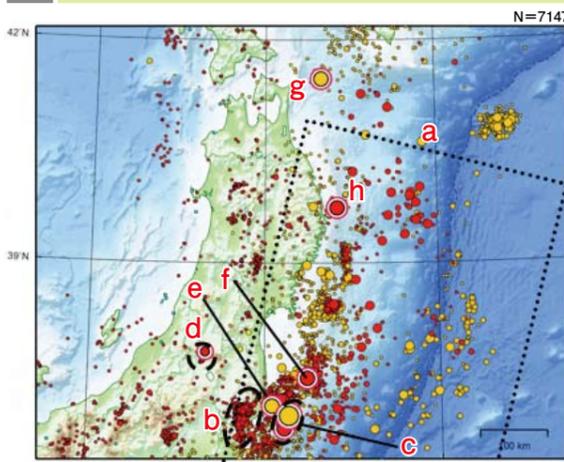
2012年 4月の
地震活動の評価

1 北海道地方



a) 4月21日に日高地方西部でM4.5の地震(最大震度3)が発生した。(4月期間外)
5月4日に根室地方南部でM4.5の地震(最大震度3)が発生した。気象庁はこの地震に対して(国後島付近)で情報を発表した。
※点線は「平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震」の余震域を表す

2 東北地方



a) 4月中に、「平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震」の余震域内では、M5.0以上の地震が10回発生した。また、最大震度4以上を観測した地震が8回発生した。
以下のb)、c)、e)、f)、h)の地震活動は、この余震域内で発生した。
b) 福島県浜通りから茨城県北部にかけての地殻内では、2011年3月11日以降、地震活動が活発になっている。
c) 福島県沖から茨城県沖にかけての陸のプレート内では、2011年3月11日以降、地震活動が活発になっている。2012年4月には13日のM6.0の地震(最大震度4)を最大とするまとまった地震活動が発生した。
d) 福島県会津から山形県置賜地方にかけての地殻内では、2011年3月18日からまとまった地震活動が見られている。
e) 4月1日に福島県沖でM5.9の地震(最大震度5弱)が発生した。
f) 4月12日に福島県沖でM5.9の地震(最大震度4)が発生した。
g) 4月27日に青森県東方沖でM5.0の地震(最大震度3)が発生した。
h) 4月30日に岩手県沖でM5.6の地震(最大震度4)、5月10日にM5.2(速報値)の地震(最大震度3)が発生した。これらの地震の震源近傍では、3月27日にM6.6の地震(最大震度5弱)が発生していた。

(4月期間外)
5月6日に宮城県沖でM5.2の地震(最大震度3)が発生した。
※点線は「平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震」の余震域を表す

九州・沖縄地方

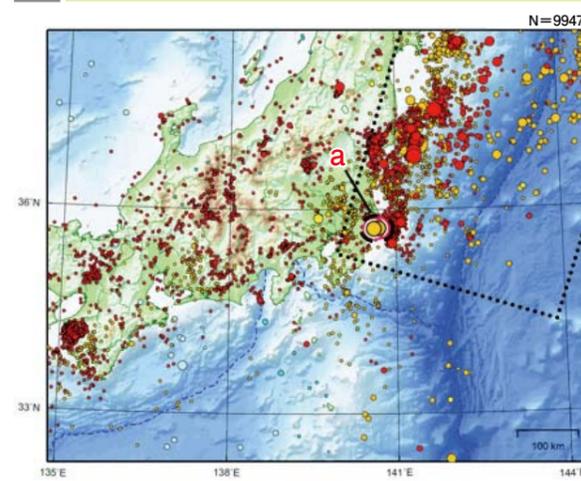
目立った活動はなかった。

補足

- 5月4日に根室地方南部(国後島付近)の深さ約85kmでM4.5の地震が発生した。この地震の発震機構は南北方向に張力軸を持つ型で、太平洋プレート内部で発生した地震である。

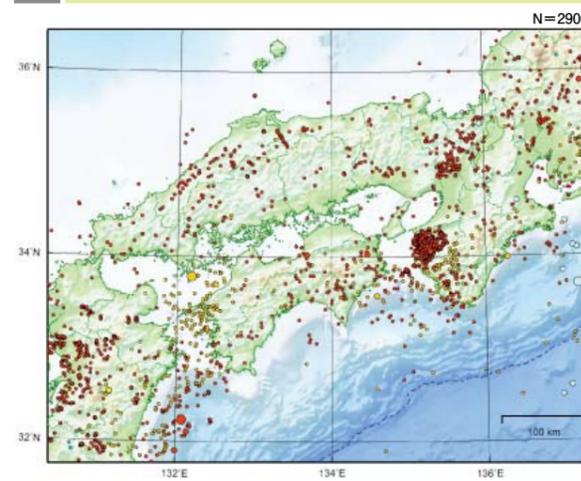
注：〔 〕内は気象庁が情報発表で用いた震央地域名である。
GNSSとは、GPSをはじめとする衛星測位システム全般を示す呼称である。

3 関東・中部地方



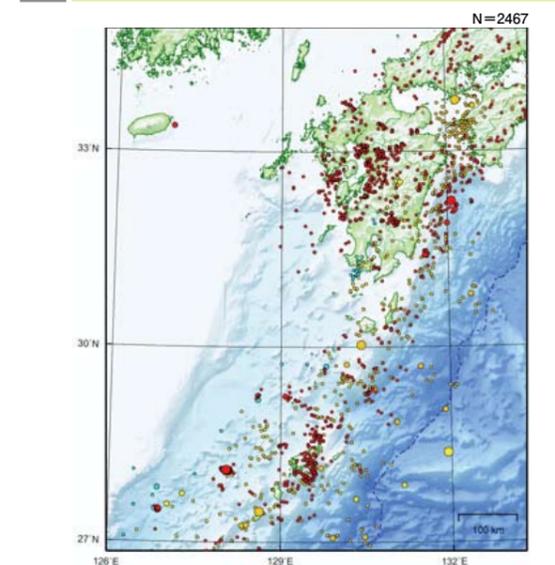
a) 4月25日に千葉県北東部でM5.5の地震(最大震度4)が、4月29日にM5.8の地震(最大震度5弱)が発生した。気象庁は25日の地震に対して[千葉県東方沖]で情報を発表した。
※点線は「平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震」の余震域を表す

4 近畿・中国・四国地方



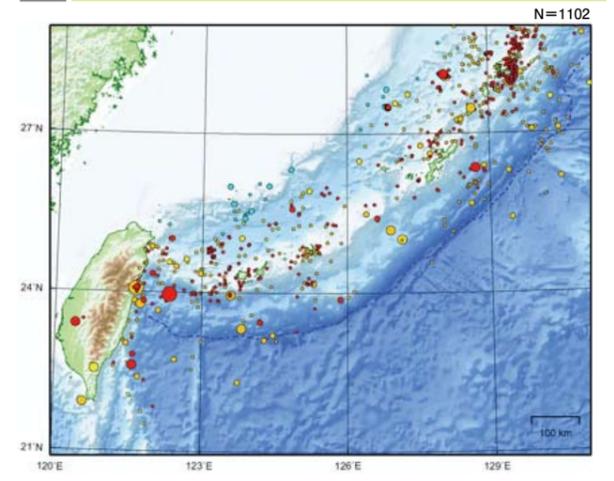
特に目立った活動はなかった。

5 九州地方



特に目立った活動はなかった。

6 沖縄地方



特に目立った活動はなかった。

各地方別の地震活動図は気象庁・文部科学省提出資料を基に作成。また各地方の図に記載されたNは図中の地震の総数を表す。

注：この図の詳細は地震調査研究推進本部ホームページの毎月の地震活動に関する評価に掲載。地形データは日本海洋データセンターのJ-EGG500、米国地質調査所のGTOPO30、及び米国国立地球物理データセンターのETOPO2v2を使用。

深さによる震源のマーク	Mによるマークの大きさ
● 30km未満	○ M7.0以上
● 30km以上 80km未満	○ M6.0から6.9まで
● 80km以上 150km未満	○ M5.0から5.9まで
● 150km以上 300km未満	○ M4.0から4.9まで
● 300km以上 700km未満	○ M3.0から3.9まで
	○ M3.0未満とMが決まらなかった地震

各図の縮尺は異なる。そのため、凡例のMによるマークの大きさは目安で、図中のMのマークの大きさと同じではない。

地震調査 検索 詳しくは、ホームページ [http://www.jishin.go.jp/] をご覧ください。

強震動評価が出来るまで 第2回

5月号では地震・地震動の基本知識と地震動予測の基本的な考え方を紹介しました。引き続き今回は、主に詳細法による強震動評価の手順や評価結果の見方を紹介します。

強震動予測レシピ

料理のレシピとは「誰でも同じように美味しい料理を作る標準的な方法論」ですが、同様の理念を目指し「誰でも同じように強震動の予測計算が出来るような標準的な方法論」としてまとめられたものが強震動予測の「レシピ」です。

強震動予測の「レシピ」の構成は、次の通りです。

- ① 想定する地震の震源の特性化
- ② 震源と対象地域を含む地下構造のモデル化
- ③ 地震動のシミュレーション手法
- ④ 予測結果の検証

主要活断層帯や海溝型地震などについて、将来発生する可能性の高い想定地震の断層モデルを設定して高精度で強震動を予測することが可能で、最大加速度、最大速度、最大変位、震度といった単純化された指標だけではなく時刻歴波形も計算されるので、それを用いれば、構造物の地震時挙動や破壊力を知ることや、地震災害軽減策の検討等にも役立てられます。また、最近の新しい地震の発生により得られた多数の高精度な観測記録や震源情報を用いて、レシピは随時見直され、改良されています。

震源断層のモデル化

長期評価結果等に基づいて強震動予測用の震源断層モデルが設定されます。地域の詳細情報が得られている場合には、それを優先して考慮します。不明のパラメータは、全国一律に手順化されたレシピに従って設定されます。

主な震源断層パラメータを図1に示します。位置・規模を始め震源断層の全体像を記すパラメータを巨視的断層パラメータと呼び、アスペリティなど震源断層の詳細像を記すパラメータを微視的断層パラメータと呼びます。

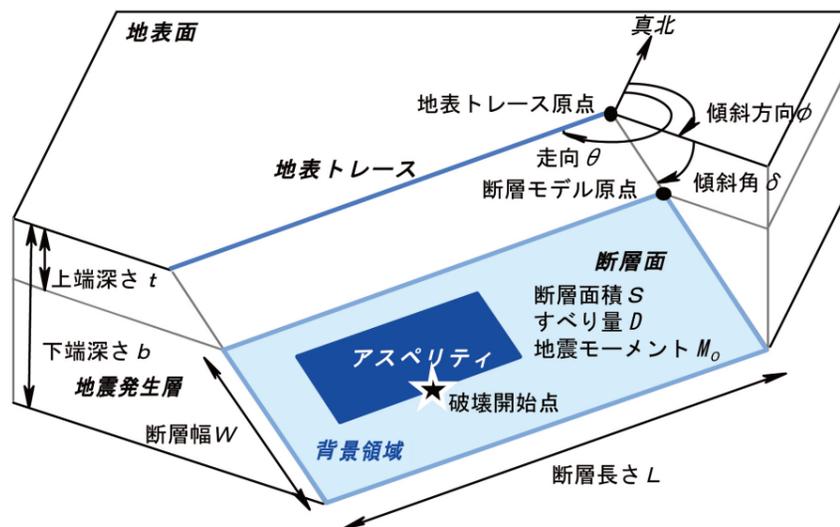


図1 主な断層パラメータ
(すべり量や実効応力などの微視的パラメータは各アスペリティと背景領域で個別に与えられる)

深い地盤構造のモデル化

強震動予測のために、地震基盤から工学的基盤に至るまでの三次元地盤構造モデルを使います。地震本部のモデルは現時点で最新の知見を総合化した全国モデルですが、調査・観測・研究の進展によって地下構造モデルの信頼性・精度は更に良くなりますので、一層の改良を図っていく必要があります。

浅い地盤構造のモデル化

日本全国で統一的に作成された最新の約250mメッシュの微地形区分を表層地盤増幅率評価の基礎データとして用いています。微地形区分から表層地盤の層厚30mの平均S波速度(AVS30)を算出した上で速度増幅率や震度増分を算出する方法には、最新の知見が反映され、揺れやすい地点と揺れにくい地点を知ることが出来ます。

強震動の計算

震源断層、深い地盤構造、浅い地盤構造がモデル化されたら、それらを用いて強震動を計算します。強震動の計算手法にはいろいろなものがあるので、実際に

は、活用可能な情報の質・量や計算結果の使い方に応じて適切な手法を選ぶことが望ましいと言えます。地震本部では、詳細法と簡便法により、それぞれ図2のような手順で地震動が計算され、「シナリオ地図(震源断層を特定した地震動予測地図)」も作成されています。

強震動の計算結果の見方

「シナリオ地図」とは、ある特定の地震の破壊シナリオが生じた場合に各地点がどのように揺れるのかを計算してその分布を地図に示したものです。複数の破壊シナリオ(ケース)について比較検討することが出来ます。

アスペリティの直上や至近、アスペリティの破壊の前面(破壊伝播の延長上)などでは、大きな地震動に

見舞われます。また、軟らかい地層が厚く堆積している平野や盆地、表層地盤の悪いところでは、増幅が大きく、大きな地震動に見舞われます。これらの条件が複数重なると、震度6強や震度7の最大級の揺れになる場合もあるので、一層の注意が必要になります。

5月号からの2回にわたり、強震動評価の概要を紹介しましたが、ここに紹介できたのは、強震動評価に関わる考え方・データ・計算結果のごく一部です。是非、この機会に、地震本部のホームページ(<http://www.jishin.go.jp/main/index.html>)や防災科学技術研究所の地震ハザードステーション J-SHIS (<http://www.j-shis.bosai.go.jp/>)を覗いてみませんか? 日本全国の地震環境や地震ハザードについてもっと詳しく知ることが出来るでしょう。

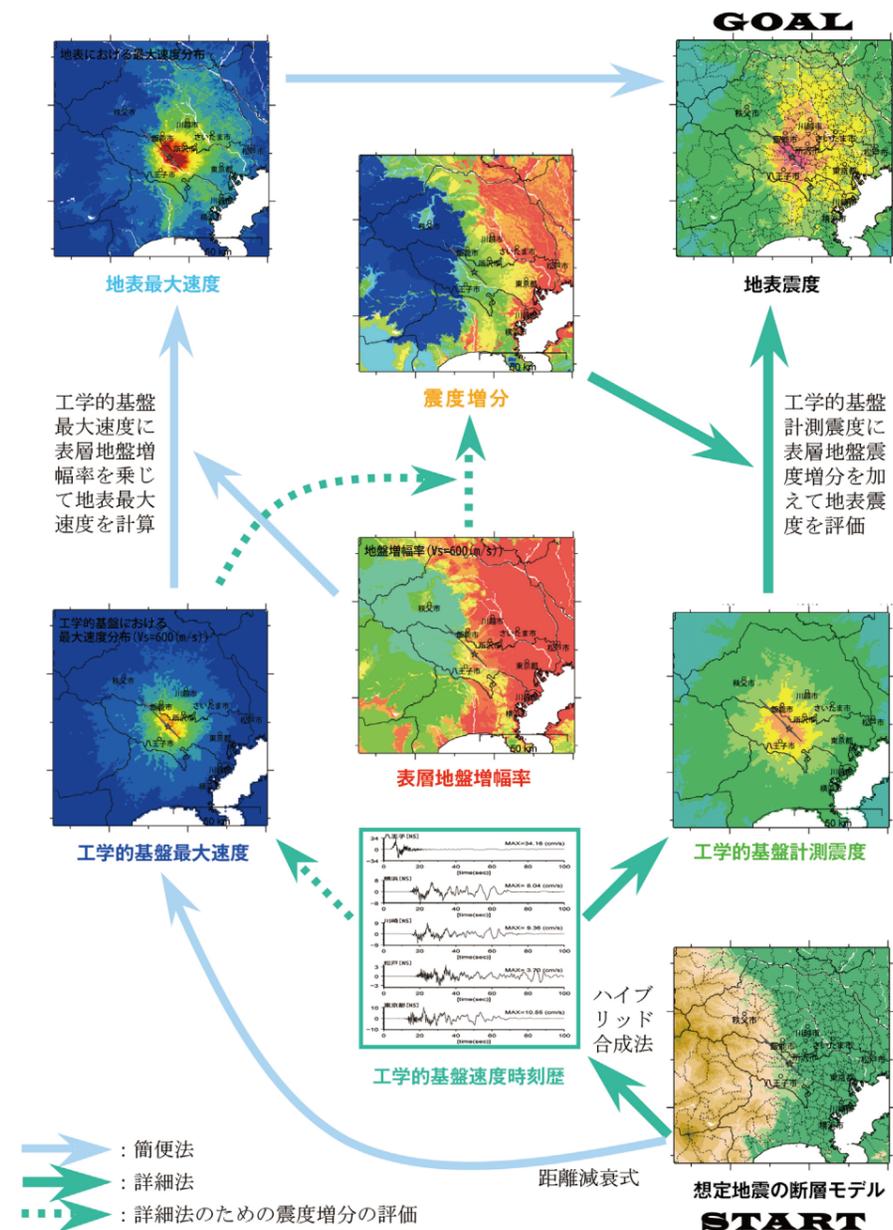


図2 地震動の計算と震源断層を特定した地震動予測地図の作成手順(立川断層帯の例)

首都直下地震防災・減災特別プロジェクト E-ディフェンスによる「長周期地震動による被害軽減対策の研究開発」

長周期地震動と超高層建物

今世紀前半のうちには、東海・東南海・南海地震の発生する可能性が高いと考えられています。海溝型の巨大地震が発生すると、数秒以上の卓越周期をもつ継続時間の長い長周期地震動が、首都を代表とする大都市に伝わり、数多く存在する超高層建物に大きな影響を与えることが予想されます。社会の中核機能を担う超高層建物群が地震によって大きな被害を受ければ、社会に対する影響は甚大です。したがって、長周期地震動を受ける超高層建物について、骨組の耐震性、室内の被害様相を総合的に検証し、さらに、効果的な対策方法を特定することは切迫した重要な課題です。

E-ディフェンスを用いた大規模実験

文部科学省のもとで平成19年度より開始された5か年間の研究開発プロジェクト「首都直下地震防災・減災特別プロジェクト」の一環として、超高層建物を対象とした「長周期地震動による被害軽減対策の研究開発」が実施されました。防災科学技術研究所が運用する実大三次元震動破壊実験施設、E-ディフェンスを用いた大規模実験に基づく研究計画が策定され、以下の研究項目(1)、(2)、(3)に対応する計3回の実験が平成19年度、平成21年度および平成23年度に実施されました。

- (1) 長周期地震動を受ける超高層建物の損傷過程・安全余裕度把握
- (2) 長周期地震動を受ける超高層建物の応答低減手法の開発
- (3) 超高層建物における非構造部材の機能損失・修復性評価

本研究では、E-ディフェンスを運用する防災科学技術研究所が、防災施策を推進する国土交通省系研究所、関連する研究に取り組む大学、および実践への展開を担う産業界とともにスクラムを組みました(図1)。

これまでに超高層建物の地震被害調査や復旧事例調査、耐震対策に関する事項について系統的にまとめられた資料は少なく、特に大地震時に超高層建物に生じる被害に関する詳細なデータはありませんでした。

文部科学省

研究分担
 防災科学技術研究所: 実験統括
 建築研究所: 機能損失, 避難性
 東京理科大学: 入力エネルギー, 制振ダンパー
 名古屋大学: モニタリング技術, 体感装置
 京都大学: 骨組損傷, 骨組補強

協力機関
 大林組, 鹿島建設, 清水建設, 大成建設, 竹中工務店

図1 研究体制

本研究では、E-ディフェンスを用いて、実際の揺れのなかで超高層建物に生じる被害様相を直接表現する振動実験を実施しました。成果は、建築関連団体と連携して技術資料として取りまとめられました。

研究成果

平成19年度と平成21年度の実験(図2)では、巨大な重錘とばねで構成される長周期化装置を用いて超高層建物の骨組に加わる揺れを再現しました。長周期地



図2 骨組の耐震性と補強効果に関する実験



高層階オフィスの再現



天井空間の機能損失



図3 内部空間に関する実験

震動を用いた実験では、長時間繰り返し変形することによって、設計で想定されていた値の数倍以上のエネルギーが骨組部分に入力されました。その結果、現在の設計法で要求される接合条件を満たしていない1970年代に設計された骨組の梁の根本の溶接接合部に破断が生じやすいことが明らかになりました。本研究では、耐震改修への適用を想定した骨組の溶接補強方法を提案し、破断までの限界性能が飛躍的に向上することを実証しました。さらに、ダンパーを骨組内に設置することで、入力エネルギーがダンパーにより消費され、その結果、骨組に発生する損傷が大きく軽減されることを実証し、その効果を定量的に評価するエネルギー論による設計手法の精度を検証しました。加えて、目視において発見・判断が困難な構造体の損傷状態を評価するための機器類を組み込み、実データを取得することで、建物の継続使用性を判断する技術の開発についても成果を得ることができました。

平成23年度の実験(図3)でも同様の手法が用いられ、長周期地震動を受ける超高層建物のオフィス空間や住宅の被害様相を明らかにするとともに、対策方法とその有効性を検証しました。天井や空調設備については、応答加速度データから床応答と天井空間の損傷との相関を分析しました。家具の転倒も含めて室内被害を評価するための高密度な実験データによって、建物の継続使用性を評価する資料を蓄積しました。

本研究の成果は、一般向けの技術資料導入編としても取りまとめられています(図4)。防災科学技術研究所は今後も、長時間で長周期成分を含む地震動が建築物等に与える影響を大規模な実験を行うことで継続的に調査し、被災に至るメカニズム等の検証、構造物の被害推定と耐震性向上を含む減災技術の提案に貢献していきます。



図4 技術資料導入編(ホームページで公開)



長江 拓也 (ながえ たくや)
 独立行政法人防災科学技術研究所 減災実験研究領域兵庫耐震工学研究センター 主任研究員。博士(工学)。文部科学省「首都直下プロジェクト」における超高層建物実験、防災科学技術研究所・米国NEES共同研究における高耐震コンクリート系建物実験に従事。2012年文部科学大臣表彰若手科学者賞受賞。2002年米国スタンフォード大学研究員等を経て、2006年より防災科学技術研究所研究員。