

東日本大震災緊急報告

1) 東北地方太平洋沖地震の被害 —東北地方の被害—

1. 被害の全体像 (東北支部 災害調査委員会)

田中礼治 *reiji* TANAKA (災害調査委員長、東北工業大学)

3月11日の東北地方太平洋沖地震は東北地方をはじめ、多くの地域に多大な被害をもたらした。亡くなられた方の御冥福ならびに被害を受けた方々の早急な復興をお祈り申し上げる。



図1 東北地方の震度分布

東北支部では、3月21日に災害調査委員会を設置し、4月2日に災害復興支援委員会を立ち上げ、会員一同調査復興に貢献すべく努力している。

気象庁の発表によると宮城県栗原市で震度7、宮城県涌谷町、登米市、大崎市、名取市で震度6強。その他に宮城県、福島県、茨城県、栃木県の4県28市町村で震度6強。図1に

東北地方の震度分布を示した。3月29日現在の死者数は表1のとおりである。宮城県が最も多い。不明者数を合わせると合計で約2万8千人に及んでいる。

初動調査については東北支部ホームページ(東北地方太平洋沖地震関連情報)に掲載されている。初動調査は、災害調査委員会の全委員が参加し、調査を行った。現在、支部の各部会別で行っている。本報は、主に東北工業大学、東北大学のデータをもとに書かれている。

建築物の被害は地震動被害と津波被害に大別される。地震動被害の状況は、これまでの比較的大きな地震での被害状況に類似していたと考えている。津波被害は、土地の高低差、海岸からの距離および構造種別により被害程度が大きく異なる。建物被害は2節で示すので、ここでは主に津波の被害について述べる。

津波の被害のパターンは、宮城県、岩手県、青森県、

福島県とも共通である。すなわち、土地の高い所、海岸から遠い所に建っている建築物はほとんど被害がなく、低い所、海岸近い所に建っているものはRC造、鉄骨造は残っているが、木造はほとんどが流出している。図2に国土地理院発表の宮城県における津波による浸水地域を示した。



図2 宮城県内の津波浸水地域

死者数	
宮城県	6692人
岩手県	3264人
福島県	990人
青森県	3人
山形県	1人
全国の不明者数	
17339人	

表1 死者数・行方不明者数(3月29日現在)

・宮城県仙台市の津波による建築物被害

国道137号線を東へ。海岸から遠い仙台バイパスは無被害。仙台市東部道路を過ぎると津波が床上まで来ている。建物は無被害。海岸に近い荒浜小学校付近では、木造建物は全壊・流出。わずかにRC造、S造の建物が残っている。写真1～写真2に示す。



写真1 建物は無被害



写真2 荒浜小学校付近では木造全壊

・宮城県気仙沼市の津波による建築物被害

国道45号線で本吉町より気仙沼市へ。高台にある市役所は無被害(写真3)。低い所では、木造建築物は全壊・流出(写真4)。ただし、RC造は残っている。写真3～写真4に示す。

写真3 高台の気仙沼市役所は無被害

写真4 低い所にある木造は全壊





写真1 東北大学の人間・環境系研究棟の被害



写真2 RC造建物の倒壊(仙台市若林区卸町)



写真3 高層マンションの傾斜(仙台市若林区卸町)

津波の被害のあとを見ると、これが建築基準法で同一の確認申請を受けて安全性が保証された建築物なのだろうか。疑問を持つと同時に、何のための設計であったのかとむなしさを覚える。津波と建築の関係は古い。ただ、建築基準法の中に「津波」という用語を入れてこなかっただけのように思う。これからは、津波はしっかりと建築基準法の中で処理されるべきであろう。

2. 地震動と建物被害 (東北支部 災害調査委員会)

源栄正人 masato MOTOSAKA (災害調査副委員長、東北大学)

(1) 仙台市域の地震動特性

ここでは、今回の地震で得られた東北大学災害制御研究センターの観測網(25カ所)で得られた記録に基づく仙台市域の地震動は、地盤による差が大きく、最大加速度の範囲は300gal~800gal程度で、最大速度の範囲は30cm/s~80cm/s程度であった。図1には、仙台駅前の住友生命ビルの地下で観測された波形を今回の地震(M9.0)と1978年宮城県沖地震(M7.4)と2005年宮城県沖地震(M7.2)において比較して示す。また、図2には、3つの地震における水平2方向成分の応答スペクトルを

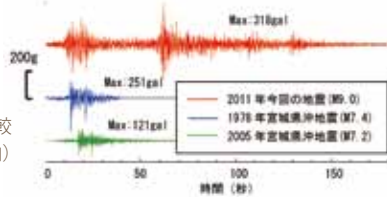


図1 今回の地震と過去の宮城県沖地震における波形比較 (仙台住友生命ビルの南北方向)

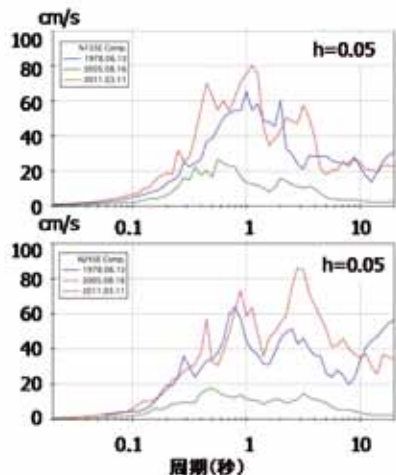


図2 今回の地震と過去の宮城県沖地震の疑似速度応答スペクトル比較 (仙台住友生命ビル・水平2方向)

比較して示す。これらの図より以下のことがわかる。① 今回の地震の継続時間は3分程度であり、包絡形状で見ると2つの大きな波群が特徴的であり、1978年地震の波形特性は今回の地震の第1の波群とほぼ同じである。② 1.5秒以下の周期成分は南北方向で大きく、1978年の宮城県沖地震より大きい。1秒付近では2割増、0.5秒付近では2倍程度大きい。③ 3秒付近の周期成分は東西方向が大きく、1978年の地震より2倍程度大きい。

(2) 宮城県域内陸部における建物等の被害

仙台市域における初動調査は地震発生の翌日に青葉山丘陵地にある東北大学工学部の人間・環境系研究棟(非充腹型SRC造9階建)の被害(3階の4隅の外柱がすべて大破(写真1))、および仙台市東部の沖積地盤における建物等の被害状況を調査した。若林区の大和町・卸町周辺の被害状況として、外壁の落下等の非構造材の被害が多く見られたが、構造被害は全体的には少なく、RC造建物の倒壊は大和町で1件、卸町で2件であった(写真2)。また、1978年宮城県沖地震で杭基礎の被害を受けた建物の調査を行ったところ建物全体が傾斜したものを確認した(写真3)。

大崎市域における初動調査では、大崎市では古川駅周辺の沖積平野にある古い木造建物や土蔵の倒壊が見られた。また、栗原市では、震度7を観測したが、3月25日時点で住家被害は全壊5棟半壊15棟、一部損壊132棟と少ない。K-NET^{★1}築館付近では、栗原市役所の議会棟(RC造4階建)の天井パネルの落下などの非構造部材の被害は見られたが、周辺の築館中学校や体育センターでの被害は見られなかった。0.3秒以下の短周期成分が卓越した強震動であったことも被害状況に関係していると言えよう。被害は迫川沿いの沖積平野にある若柳地区など市南東部で生じており、古い木造建物の倒壊、地盤の液状化、RC造校舎周辺の地盤沈下被害などが見られた。

注

★1——防災科学研究所の強震観測網(Kyoshin-NET)の略称で、全国に約25km間隔で強震計が設置されている。

2) 東北地方太平洋沖地震の地震像

八木勇治 *yuji* YAGI (筑波大学大学院生命環境科学研究科准教授)

2011年3月11日14時46分頃(日本時間)に三陸沖を震源とするM9クラスの巨大地震が発生した。気象庁の一元化震源カタログによると、余震域は約500km×200kmの範囲にわたっており、東北地方太平洋沖で広範囲にわたって断層が動いたと考えられる。この地域は、太平洋プレートが東北地方の下に年間約8cmの速度で沈み込んでいる沈み込み帯である。ここで、太平洋プレートは必ずしもスムーズに沈み込むことができず、日本が載っているプレートと固着しており、この固着している領域にすべり遅れとしての歪みが蓄積している。この歪みの蓄積が限界に達したとき、固着域が破壊して大地震が発生する(図1)。これが、今回の地震の発生メカニズムである。

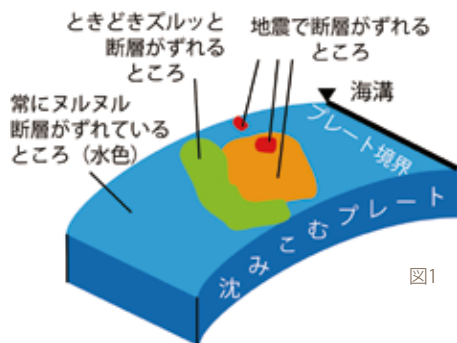


図1 プレート境界のイメージ

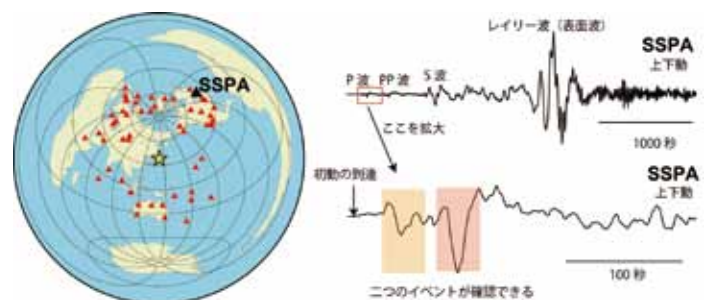
さて、M6以上の地震が発生すると、全世界に展開されている広帯域地震観測網で地球内部を伝わってくる実体波:P波(縦波)S波(横波)、地球の表面を伝わってくる表面波を観測することができる(図2)。これらの波には、波源でどのような歪みが解放されたのか等の情報が含まれており、観測された地震波形から、大震幅の地震波を放出する二つの大きなイベントが存在することがわかる。一方で、すべての観測波形を精査しても、気象庁の見解のような3段階に分かれて破壊が進行する現象を示すデータを確認することはできない。これは震源近傍で観測された地震波形でも同様である。3段階に分かれるとした見解は、地表で

反射して観測点に到着したPP波を震源から放出された波であると誤って認識した可能性が極めて高い。ここでは、地震発生直後に、全世界に展開されている広帯域地震観測網で観測されたP波(縦波)をIRIS-dmcからダウンロードして、東北地方太平洋沖地震の地震像を探る。

震源像を探るためには、地球の速度構造を適切に仮定する必要があるが、われわれは真の地球の速度構造を知ることができない。よって、なんらかの形でモデルの不確定性を考慮する必要がある。この不確定性は、われわれが観測するデータが高精度かつ高分解能になるほど解に悪影響を及ぼす。解析には、われわれが開発してきたグリーン関数の不確定性を考慮した震源過程インバージョン法を用いた。

解析によって求められた、地震による断層のずれの分布を図3に示す。断層のすべりは、岩手県南部沖から茨城県沖にわたって分布している。断層の長さは約500km、幅は約200kmとなっており、最大すべり量は24mにも達する。このような断層が、150秒かけて動いたのである。地震の規模を表すモーメントマグニチュード(MW)は9.0である。破壊過程を詳しく見ていくと、震源付近で30秒ほど初期破壊が発生して、その後、その領域を核として大規模な破壊が周辺に速度約2km/secで進行している。破壊は震源から北側の領域を破壊した後、南に向かい進行して、破壊開始から約80秒後に震源から南側の領域を破壊した。南側の領域での破壊伝播速度は約3km/secである。ここで、北側から南側の大きなすべり量を持つ領域に破壊が伝播するときの速度は約1km/secと遅い。この動的な破壊伝播が妨げられた領域は、2008年7月19日に福島県沖

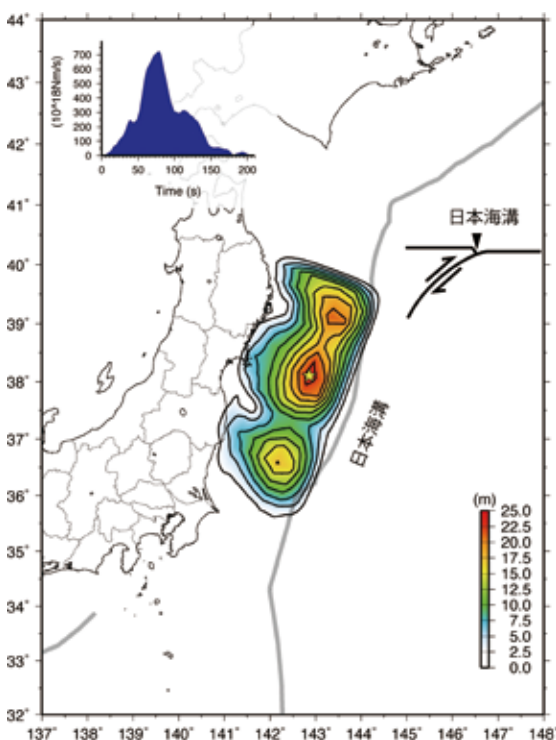
図2 解析に使用した観測点分布と、観測点SSPAで観測された上下動の揺れ。大震幅を伴う二つの大きなイベントの存在を確認できる。



で発生した地震 (MJ 6.9) の後に発生した、大規模に発生したゆっくりとしたすべりの領域とほぼ一致する。つまり、この領域は、ヌルヌル滑る領域であり、今回の大地震の準備過程に深く関わっている可能性が高い。

さて、今回の地震の震源域では、国土地理院の全地球測位システム (GPS) の観測網である GEONET (GPS連続観測システム) の解析結果より、広範囲にわたってプレートとプレートが強く固着しており、歪みを蓄積していることが指摘されてきた。一方で、津波の堆積物の調査により、西暦896年7月13日には、同地域で貞観地震というM8.3以上の巨大地震が発生していることがわかってきた。この2点を踏まえると、同地域には巨大地震を起こすべく歪みが蓄積して、今回、その歪みが解放されたと言える。その危険性に気が付いていながら、切迫した状況であることを認識できず、積極的に社会に発信できなかったことに科学者としての責任を感じている。私たちの世代は、もう一度真摯にデータに向き合い、社会のために何ができるのかを真剣に議論し、明日の地震学を作っていく義務がある。

図3 モーメント解放履歴と地図に投影したすべり量分布。
破壊開始点を地表に投影した震央は星印で示している。



3) 東京を襲った長周期地震

—新宿西口超高層ビル街からの報告—

久田嘉章 *yoshiaki* HISADA (工学院大学建築学科教授)

(1) はじめに

2011年東北地方太平洋沖地震の際、著者は今回の地震を新宿駅西口超高層ビル街にある工学院大学・新宿校舎の25階で長周期地震動を経験した。前報^{★A}で報告したように、新宿駅周辺地域では自治体や企業とも連携し、さまざまな震災対策を行っており、今回の経験からさまざまな教訓を得ることができた。

(2) 長周期地震動と超高層建築

まず、長周期地震動と超高層建築への影響、およびハード・ソフト面での対策の現状を紹介する。長周期地震動とは、周期数秒以上でゆっくりと揺れ、かつ非常に長い継続時間の地震動であり、通常のカタカタと小刻みに揺れる短周期地震動とは大きく異なる特性を示す。一般に震源の浅い海溝型巨大地震で発生し、関東平野や大阪平野などの大都市の広がる堆積盆地にて大きく増幅するため、長周期地震動は超高層や免震など長周期の建物に大きな影響を与える。図1に工学院新宿校舎 (28階建て鉄骨造で、1次モードの固有周期は約3秒) の地下6階と屋上 (29階) の加速度と変位波形を示す。地下6階の加速度波形に見られるように短周期地震動の主要動は震源過程の継続時間に対応した数十秒程度であるが、変位波形では長周期地震動の継続時間は数百秒以上と非常に長くなっている。また地下の揺れに比べ、上層階の揺れは大きく増幅され、加速度で最大約 3 m/s^2 、変位では 0.37 m にもなっている。長周期地震動の存在は1923年関東大震災での地震記録などにも残っており、古くから知られていたが、社会的に大きな注目を集めたのは2003年十勝沖地震による苫小牧の石油タンクの火災事故が契機となった。特に切迫性が指摘されている東海地震や東南海・南海地震により長周期地震動が発生し、超高層や免震建物などの対策が急務となった。このため日本建築学会などの提言を踏まえ、国土交通省は2010年12月に超高層建築物等

における長周期地震動への対策試案を発表し、新築建物では長周期地震動を考慮した設計用地震動による構造計算を求めるとともに、家具等の転倒防止対策の実施を求め、既存建物では影響が大きいものについて、必要な補強等を行うよう要請している。一方、自衛消防組織や防災訓練・備蓄などのソフト面での対策では、2009年に改正消防法が施行され、高層建築などでは従来の火災中心の防火計画や避難中心の防災訓練から、震災にも対応できる防災計画や訓練を行うことが義務付けられていた。さらに都心部で想定されている膨大な数の駅周辺滞留者や帰宅困難者に対処するため、2007年度より東京都の主導により都内の主要駅を中心に対策協議会を設置し、地域連携による現地本部の設置や駅周辺滞留者を避難所に誘導するなどの防災訓練を行っており、新宿駅でも2007年に新宿駅周辺滞留者対策訓練協議会（2009年に新宿駅周辺地域防災対策協議会の改編）を立ち上げ、セミナー

・講習会・防災訓練などさまざまな取り組みを行っていたところであった。

(3) 新宿西口超高層建築からの報告

次に今回の地震による超高層建築の揺れと被害、および新宿駅周辺地域の初動対応について報告する。まず、新宿校舎の揺れと被害であるが、特に構造的には被害は発生しなかった。一方、写真1・2に示すように高層階での天井板の落下、転倒防止策をしていなかった本棚の転倒とそれに押された間仕切り壁（パーティション）が大きく変形した。その他、コピーなどキャスター付きの什器類の移動、室内での書籍等の落下・散乱、間仕切り壁の変形によるドアの開閉の障害、低層棟と結ぶエクspansion・ジョイント部での内装材の剥落、などが目についた。また、非常用エレベータの主ケーブルが交差したうえ、着床検出板などが損傷したが、工場が被災したために交換品が入手できず、3週間以上使用不可になった。周辺の超高層ビルの被害も調査中であるが、現在のところエレベータでの閉じ込め事故、スプリンクラーヘッド

の損傷による散水、天井落下や内装材の剥落などがあったが、建物躯体への大きな被害はなく、幸いなことに大きな混乱も負傷者も報告されていない。

一方、初動対応では、新宿校舎の館内では火災の発生が無く、空調などのライフラインも無被害だったので高層階からの避難は行わ

図1 工学院大学新宿校舎における地下6階と屋上29階の加速度(上)と変位波形(下)(注意:29Fの波形は振幅0の基線を上側に移動して表示)

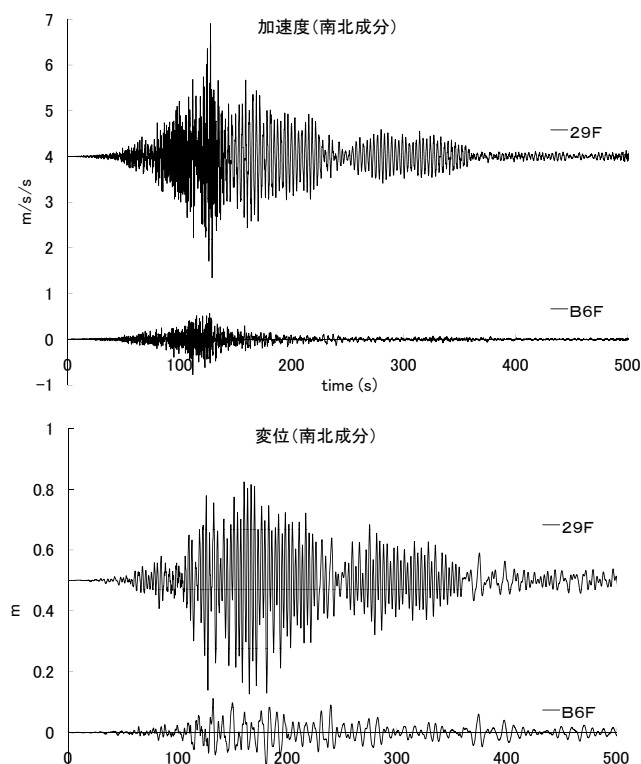


写真1 天井板の落下

写真2
(転倒防止の仮支え中)
間仕切り壁の変形



ず、原則として学生は高層階を含めてその場で待機し、多くの学生はそのまま一晩を過ごした。全館避難は行わなかったため、1階や地階のスペースが利用でき、写真3・4に示すように最終的には外部から約700名の帰宅困難者を受け入れ、食糧・水・毛布などの備蓄品や、鉄道運行情報の提供などを行った。幸い夜には多くの鉄道が動いたので、翌朝には受け入れを終了できた。周辺地域



写真3 帰宅困難者の受け入れ

では都庁を含めて帰宅困難者を受け入れた高層ビルや区の施設がいくつかあったが、新宿区や地域との情報共有が行えず、帰宅困難者への連絡もできなかった。前述した新宿駅周辺地域防災対策協議会では震災時には西口と東口で現地本部を設置し、情報共有を行うための訓練を実施したが、今後への大きな課題を残すことになった。

写真4 帰宅困難者への備蓄品の配布



(4) おわりに

今回の地震により新宿西口高層ビル街では多くのことを学んだ。長周期地震動により構造的には大きな問題は無く、幸いなことに負傷者は出なかったが、2次部材や什器類の転倒防止や、エレベータの耐震対策は改めて強化すべきことがはっきりとした。また、初動対応でも火災を主な対象とした従来の防火計画は、今回の地震ではほとんど役に立たなかった。震災に対して防災センターは建物の揺れや同時多発する館内の被害状況を把握できるための強震計や通信網の強化が必要であり、在館者も落下物などから身を守る方法や、目の前で起こる負傷者や閉じ込めなどに対応できるような日ごろからの教育や

訓練が必要になる。また火災や建物構造に被害が無い場合は慌てて地上階に避難する必要はなく、さらに空調などライフラインも無事であれば、そのまま高層階を含めて滞在可能であることも明らかになった。さらに地域での取り組みとしては、帰宅困難者や傷病者への対応として情報共有できる通信手段(災害時有線電話や無線LANなど)と、防災訓練やセミナー・講習会などを通じた日頃からの防災担当者の顔の見えるつながりがますます重要になることがわかった。

首都圏ではこれで巨大地震による長周期地震動を経験したが、来るべき東海・東南海地震による地震動は、より大きくなる場合もあると考えられている。これはフィリピン海プレートが南海トラフに沈み込む境界部分に付加体と呼ばれる柔らかな堆積層があり、この層により地震動を首都圏に向かって効率的に伝播させる効果があるためである。さらに首都圏ではいよいよ待ったなしとなった首都直下地震にも本格的に備える必要が急務となった。

最後になるが、被災された方々には心よりお見舞い申し上げます。

参考文献

★A—久田嘉章「首都圏直下地震と海溝型巨大地震による超高層建物の被害と対策」(特集 = BOSAI立国ニッポン、『建築雑誌』5月号、Vol.125 (1604)、p.26-27、2010)