

K-NET20年

20 Years of K-NET

*青井 真¹、功刀 卓¹、鈴木 亘¹、中村 洋光¹、藤原 広行¹

*Shin Aoi¹, Takashi Kunugi¹, Wataru Suzuki¹, Hiromitsu Nakamura¹, Hiroyuki Fujiwara¹

1. 国立研究開発法人防災科学技術研究所

1. National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

日本における強震観測はSMAC型強震計の開発とともに1950年代に始まり、1968年十勝沖地震や1978年宮城県沖地震など貴重な強震記録が取得され、デジタル方式への移行など多くの技術的発展にも支えられ、産官学により強震観測が行われてきた。1995年兵庫県南部地震では国内の地震としては初めて断層近傍の強震記録が取得されその後の研究開発に大きな貢献を果たした一方、地震直後の初動への活用という観点で様々な不備が浮き彫りになった。この教訓に基づき地震調査研究推進本部（以下、地震本部）が設置され、日本の地震調査観測は大きな転機を迎えた。全国強震観測網K-NET (Kyoshin Net) は、強震観測事業推進連絡会議での提言を受けて防災科学技術研究所（以下、防災科研）により他の地震観測網に先駆けて整備が開始され、その後発足した地震本部により基盤観測網の一つに位置づけられ、2016年6月に運用開始から20年を迎える。また、防災科研では鉛直アレー方式を採用した基盤強震観測網KiK-net (Kiban-Kyoshin Net) も運用している。これらの観測網は構築当初よりオープンアクセスを前提としていたことが大きな特徴として挙げられ、インターネットによる地震直後のデータ公開に先鞭をつけた。

防災科研が一貫して注力してきたことは記録を確実に取ることに加え、記録をより早く取得することであった。そのため観測網に使用する観測機器を独自に開発しこれまでに三世代にわたる機器を展開してきた。1996年度に運用を開始した第一世代のK-NET95 (Kinoshita, 1998) およびSMAC-MDK (Aoi et al., 2004) は、地震発生直後にデータセンター側からダイアルアップすることによりデータを回収し、インターネット経由で公開した。2003年度から更新を開始した第二世代のK-NET02/02A (藤原・他, 2007) およびKiK-net06 (Aoi et al., 2011) は、気象庁の震度計検定に合格し正式に震度計としての機能を備え、震度情報ネットワークに組み込まれるとともに、現地の観測機器が地震を自動的に検知し観測点側からのダイアルアウト機能を付加することでデータ取得に掛かる時間を格段に短縮することに成功した。またリアルタイム震度 (功刀・他, 2008, 2013) 等を現地機器で計算し送信する機能を有した。2012年度から更新を開始した第三世代のK-NET11/11AおよびKiK-net11/11A (功刀・他, 2014) は2011年東北地方太平洋沖地震などで経験した大地震発生時の厳しい観測状況を鑑み、観測の信頼性をより高めるための取り組みが行われた。大規模な観測網の展開により大振幅の強震動がしばしば取得されるようになったことから、第一世代ではそれぞれ2000 galであった最大計測可能範囲が、第二・三世代ではそれぞれ4000 gal・8000 galに拡張された。これにより、震度（相当値を含む）7を4回、6強及び6弱を188回、また、2008年岩手・宮城内陸地震のKiK-net一関西観測点における4022 galをはじめとして1000 gal を超える記録を計42回記録した。また、第二世代以降（除くK-NET02）では長周期まで良い特性を持ち「トビ」が少ない水晶ヒンジを持つ加速度センサーJA40GAを採用し、第三世代では直交三成分に加え斜交成分を計測する加速度計を加えた四成分観測を採用するなど、高性能かつ信頼性の高い観測を実現している。強震観測は従来イベントトリガー方式と現地ため込み方式の組み合わせにより頻度の低い強震動を確実に記録することに主眼が置かれてきたが、近年の観測技術や通信環境の劇的な向上により確実性を損なうことなくリアルタイムの連続観測が可能となってきた。現在、強震連続観測データを防災情報としてより有効に活用する事を目指し、データの一部は緊急地震速報に活用されているほか、強震動指標に関しては強震モニタ (青井・他, 2011) という形で誰もが今の揺れを知ることが可能なシステムとして公開されている。また、震源情報を用いることなく「揺れ」から「揺れ」を直接推定する手法の開発 (例えばHoshiba et al, 2013; 中村・他, 2014) が行われており、新たな観測技術や解析技術の開発の重要性と有効性は今後ますます高まると考えられる。

これまで国内外では、多くの先人の努力により長年にわたり強震観測が続けられてきている。短期的な研究成果を挙げることが重要視される風潮があるが、新しい技術を取り入れつつも、兵庫県南部地震や東北地方太平洋沖地震のような数年ないし数十年に一度の極めて頻度の低い重要なイベントを確実に記録することも非常に

重要である。

キーワード：K-NET、KiK-net、強震観測

Keywords: K-NET, KiK-net, Strong motion observation

我が国の地震対策におけるK-NETデータの活用

Utilization of K-NET data in Central Disaster Management Council

*横田 崇^{1,2}、池田 雅也²、高田 幸司²、甲斐田 康弘³

*Takashi YOKOTA^{1,2}, Masaya IKEDA², Koji TAKATA², Yasuhiro Kaida³

1.愛知工業大学、2.内閣府、3.応用地質株式会社

1.AICHI INSTITUTE OF TECHNOLOGY, 2.Cabinet Office, 3.OYO CORPORATION

中央防災会議は、内閣の重要政策に関する会議の一つとして、防災基本計画の作成や、防災に関する重要事項の審議等を行っており、また、専門調査会を設置して専門的事項を検討している。この検討においてK-NETの観測記録が重要となる。

専門調査会における活用例としては、震源モデルの検討とその再現性を評価するための活用が挙げられる。例えば、「首都直下地震対策専門調査会」の地震ワーキンググループ報告書¹⁾(平成16年11月)では、2000年神津島地震のK-NETによる観測記録の最大速度振幅と地下構造の対比、また有限差分法を用いた再現計算結果と観測波形との対比を行っている。その後の専門調査会においても、再現計算結果との対比としてK-NETの観測記録を用いた(例えば「日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査会報告」²⁾)。

地震動の推計には、地盤の評価が重要であるが、そこでもK-NETのデータが必要となる。モデル化した表層地盤における増幅を評価する方法として、深さ30mまでの地盤の平均S波速度と地震波の増幅率(震度差)との関係を用いるが、内閣府(2012)³⁾では、距離減衰式から導き出される震度とK-NETの観測による震度との差を震度差として求めている。

特に有限差分法等を用いた3次元の計算を行う長周期地震動に大きく影響を及ぼす深部地盤モデルの構築の際には、K-NET、KiK-netの観測記録から求められるH/Vスペクトルを用いている。深部地盤モデルの修正にあたっては、上記観測H/Vスペクトルの長周期側のピークを観測卓越周期とし、その観測卓越周期と深部地盤モデルから計算される理論卓越周期が一致するように深部地盤モデルのS波速度層の層厚の調整を行うこととした(横田ほか,2011)⁴⁾。

地震防災において、地震動予測結果を活用するにあたっては、その再現性の評価が重要であり、その再現性を検証するのにK-NET、KiK-netの観測データが重要な役割を担う。

本発表では、これら我が国の地震対策におけるK-NETデータの活用の動向について紹介する。

1) 中央防災会議「首都直下地震対策専門調査会(第12回)」溝上委員説明資料2-2

2) 日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査会報告 巻末資料2 長周期地震動関連

3) 南海トラフの巨大地震モデル検討会(第15回)資料3「AVS30と震度増分について」

4) 横田・ほか(2011):長周期地震動の距離減衰および増幅特性、日本地震工学会論文集 第11巻、第1号。

キーワード: K-NET、防災、強震動

Keywords: K-NET, disaster mitigation, strong motion

K-NET強震記録の設計用長周期地震動策定への活用

Application of K-NET records to development of design long-period ground motions

*佐藤 智美¹*Toshimi Satoh¹

1.(株)大崎総合研究所

1.Ohsaki Research Institute

周期2~10秒程度の長周期地震動は、超高層建物や免震建物の固有周期と同程度であり、これらの建物の設計用長周期地震動策定のため、国土交通省の建築基準整備事業により、2008~2012年度の5年間、建築研究所との共同研究として長周期地震動の検討を行った。国土交通省は、その検討結果を踏まえて検討を進め、2015年12月に「超高層建築物等における南海トラフ沿いの巨大地震による長周期地震動への対策案について」に関する意見募集(パブコメ)を行っている。ここでは、主に、パブコメで用いられているK-NET強震記録等を用いた経験的長周期地震動予測に関する技術的、研究的内容について記述する。

はじめに、K-NET、KiK-net、気象庁87型電磁式強震計、気象庁95型震度計、工学院大学で観測された多数の記録を用いて、長周期地震動を含む周期0.1~10秒の加速度応答スペクトルと位相スペクトルの地震動予測式(経験式)を作成した。用いたデータは、 $6.5 \leq M_j \leq 8.2$ 、震源深さ<60kmの51海溝型地震の震源距離<400kmの約10000の地震-観測点ペア、 $6.0 \leq M_j \leq 7.3$ の26地殻内地震の震源距離<350kmの約6000の地震-観測点ペアである。応答スペクトルの予測式は、 M_w^2 項と M_w 項を考慮し、断層最短距離をパラメータとした式であり、震源近傍での飽和の効果が考慮されている。位相スペクトルは、微分である群遅延時間の狭帯域での平均値と分散で表現され、これらの予測式は、 M_0 と震源距離をパラメータとした式となっている。本研究で提案した位相スペクトルに関する予測式は、これまでにない新しいものであり、これにより時刻歴波形が経験的に計算できるようになった。いずれも式も、関東平野ではフィリピン海プレートの地震の方が経験的サイト係数が大きい傾向があったため、両プレートからの地震に対して、異なる経験的サイト係数を推定している。これは、関東平野の3次元地下構造の影響を経験的に取り込んだともいえる。

予測式では10~20km間隔程度の強震観測点で経験的サイト係数が算出されているため、3大都市圏では任意の建設地点でのサイト係数を算出するための回帰式も算出した。1~10秒の経験的サイト係数は、S波の1次元理論地盤増幅率とは異なっていたため、地震基盤から工学的基盤までのS波の固有周期の1/4(T_z と呼ぶ)でモデル化した。そして、経験的サイト係数が T_z を用いてバイリニア型で良くモデル化でき、これが、表面波のメディアムレスポンスにより解釈できることを示した。また、地下構造が急変している地域、例えば、神戸、房総半島先端付近などは、直下の地下構造を用いた T_z では十分なモデル化ができないため、 T_z の補正を行なって経験的に3次元効果を考慮した。 T_z の算出には地震本部の約1kmメッシュの地下構造モデルを用いている。なお、周期0.1~1秒の短周期帯域では、工学的基盤相当の観測点での経験的サイト係数の平均値を全国一律の工学的基盤のサイト係数として用いた。

作成された応答スペクトルと位相スペクトルの予測式を用いると、巨視的断層面とその M_0 が与えられれば、1km間隔の任意地点での周期0.1~10秒の波形を作成することができる。巨視的断層面はセグメント毎に設定し、セグメント毎の波形を、破壊時間遅れを考慮して足し合わせることで、連動する巨大地震に対する波形も計算できる。そして、2011年東北地方太平洋沖の地震のK-NET、KiK-netの強震記録のシミュレーションを通して、手法の巨大地震への適用の妥当性を検証した。また、地震本部の長周期地震動予測地図で検討されている東海地震、東南海地震、南海地震に対する差分法による計算結果と平均的に整合することを確認した。国土交通省の2015年12月のパブコメの中では、内閣府が検討している安政東海地震($M_w 8.6$)、宝永地震($M_w 8.9$)の巨視的断層モデルを用いて、この手法により3大都市圏と静岡県で長周期地震動の計算を行い、それを設計用に簡略化して、大阪圏3区分、中京圏3区分、静岡県3区分、関東圏1区分の加速度波形10波のデジタル値を公表している。3区分のスペクトルは、現行の設計用スペクトルである告示スペクトルの極めて稀に発生する地震動のレベルに対して、その区域で卓越する長周期の周期帯域が2倍、1.5倍、1倍となっている。

謝辞：本研究では、K-NET、KiK-net、気象庁87型電磁式強震計、気象庁95型震度計、工学院大学の強震記録、気象庁の震源情報、F-net及びGlobal CMTの地震モーメントを用いました。記して、感謝致します。

キーワード：K-NET強震記録、長周期地震動、地震動予測式、南海トラフ沿いの巨大地震、位相スペクトル、超高層建物

Keywords: K-NET strong motion records, Long-period ground motions, Ground motion prediction equation, Mega-thrust earthquakes along the Nankai Trough, Phase spectra, Super high-rise buildings

小笠原諸島西方沖の深発地震による首都圏のやや長周期地震動特性

Long-Period Ground Motion of Tokyo Metropolitan Area during the Deep Event occurred off West of Ogasawara Islands

*植竹 富一¹*Tomiichi Uetake¹

1.東京電力株式会社 経営技術戦略研究所 技術開発部 耐震技術グループ

1.Seismic Design Group, R&D Department, TEPCO research Institute, Tokyo Electric Power Company

1. はじめに

首都圏では、南海トラフや相模トラフにおける大規模地震発生時に、深い地震基盤の影響でやや長周期地震動が大きく増幅される可能性が指摘されている。そのため、たびたび地下構造調査が行われ、地下構造モデルが整備され、やや長周期地震動のシミュレーションに活用されてきている。ただし、地震動予測精度の向上のためには、観測された記録をもとに地下構造モデルのブラッシュアップを行っていくことが望ましいと考える。2015年5月30日に小笠原諸島西方沖の深さ682 kmで、マグニチュード8.1の地震が発生した。この地震は震源が深く距離があるため、方位特性の影響も少なく地震基盤から実体波が入射した場合の地盤応答が期待できる。また、マグニチュードが大きいことから、やや長周期帯域でも良好な入力が期待できる。本研究では、首都圏のK-NET、KiK-netで得られた記録を用いて、やや長周期帯域（周期2~10秒程度）のスペクトル増幅率の検討を行った。

2. 使用したデータ

検討に使用したデータは、神奈川県、東京都、千葉県、埼玉県、茨城県のK-NET、KiK-netの加速度記録と東京湾岸にある東京電力の火力発電所に設置された速度型強震計の記録である。KiK-net及び速度型強震計では、ほとんどの地点がP波部分でトリガーされているが、ほとんどのK-NETの地点ではS波部分でトリガーがかかりP波部分の記録が欠けている。ただし、本研究では、S波部分を対象とした検討を行うためどちらでも問題はない。

3. 堆積層中での伝播性状

KiK-net観測点の地表記録・地中記録を積分した速度波形を用いて、S波部分の伝播時間の確認を行った。平野内部にある大深度の地中記録では、地表で特徴的な形状を示す波群の入射波及び反射波が確認された。入射波と地表、地表と反射波の時間ずれは、地盤構造から計算される値と整合的である。また、東京・江東地区にあるK-NETの高密度観測点を用いてS波部分（81.92秒）のF-K解析を行った。その結果、やや長周期帯域の波動は、南側から6km/sを超える速度で伝播していることが確認できた。これは、地震波が高角度で入射していることを示している。

4. 岩盤点とのスペクトル比

まず、各波形のS波部を含む81.92秒を抽出し、FFTを用いてフーリエスペクトルを作成した。なお、平滑化には、幅0.05HzのParzenウィンドウを用いた。次に、各地点の地表のフーリエスペクトルをTKYH13（檜原南）の地表で除することにより、各観測点のフーリエスペクトル比を作成した。TKYH13は、平野西側の関東山地に位置し、地中（深さ100m、 $V_s=2400\text{m/s}$ ）と地表でやや長周期帯域では増幅が見られず、基盤岩における記録と見なすことができる。観測点を西から東へスペクトル比を調べると周波数にもよるが東京湾岸で10倍程度の値となる。例えば周期8秒付近の振幅の増加を関東地域の基盤深さ〔地震調査推進本部など〕の変化と比較する（図参照）と、関東山地から東京湾岸にかけては深いほど振幅が大きくなり良い相関を示している。しかし、千葉県南部、千葉県北部などでは、基盤深さの割に増幅が大きい結果となった。また、周期が短くなると地震基盤深さとの相関が悪く、より浅い構造に支配されていることがわかる。

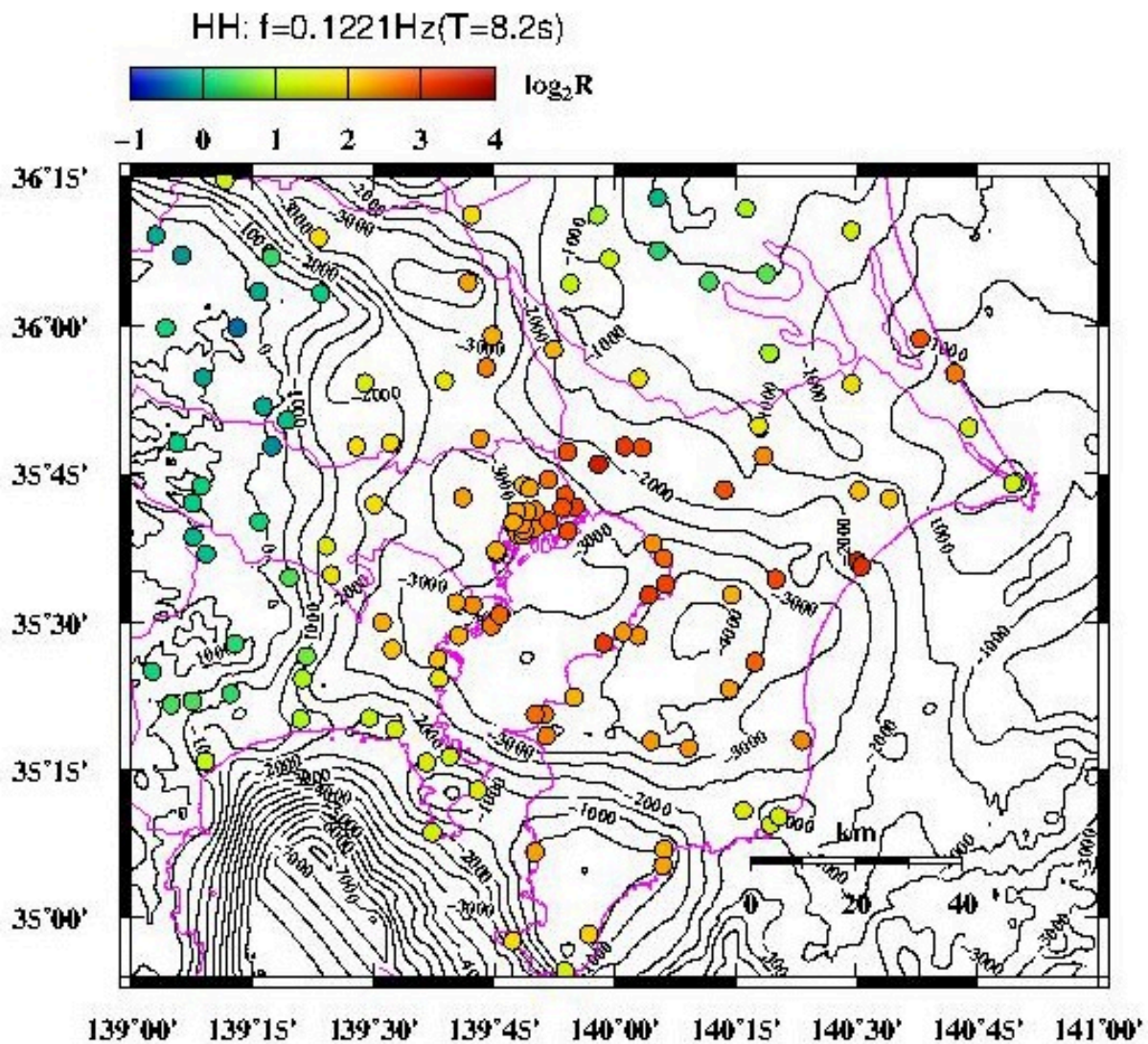
5. 議論とまとめ

スペクトル比をS波に対する地震基盤からの増幅率と考え、既往の地下構造モデルから計算される増幅率と比較を行った。その結果、東京湾岸から東側の観測点で今回のスペクトル比の方が有意に大きい傾向が見られた。一方、地表/地中のスペクトル比は地下構造モデルから計算される値と整合的であった。このことは、各地点の基盤入射波が基準としたTKYH13より大きかったことを意味する。首都圏の範囲でも、プレートの構造の影響で異常震域のような空間変化が出ている可能性がある。

謝辞：防災科学技術研究所のK-NET、KiK-netの加速度記録を用いました。記して感謝いたします。

キーワード：深発地震、やや長周期、首都圏、実体波、スペクトル比

Keywords: Deep Event, Long-Period, Metropolitan Area, Body Wave, Spectral Ratio



K-NETを用いたリアルタイム地震被害推定・状況把握システムの開発

Development of real-time earthquake damage information system using K-NET

*中村 洋光¹、功刀 卓¹、高橋 郁夫¹、藤原 広行¹、青井 真¹

*Hiromitsu Nakamura¹, Takashi Kunugi¹, ikuo takahashi¹, Hiroyuki Fujiwara¹, Shin Aoi¹

1.防災科学技術研究所

1.National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

地震発生直後に迅速に被害状況を把握することは、より適切な初動体制を確立するための意志決定や災害対応を行う上で極めて重要である。防災科学技術研究所では、戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）の課題「レジリエントな防災・減災機能の強化」において、災害発生直後の初動対応の意思決定支援等に資することを目的として、K-NETをはじめとする全国規模の強震観測網のデータを活用して、大地震による広域にわたる災害が発生した場合でも被害全体をリアルタイムに推定、状況を把握することで概観でき、かつ詳細な推定により町丁目単位、個別建物レベルでも利用可能な、リアルタイム地震被害推定・状況把握システムの研究開発を実施している。本研究では、研究開発の中心となるシステムの概要及び、被害推定に必要となる全国を対象とした建物モデルや人口モデルのデータベース構築、被害推定・状況把握に係わる手法の開発について述べる。被害推定に用いる建物モデルは、全国をほぼ網羅し現地調査によって作成されている住宅地図データを用いて、250m四方のメッシュに分割したエリア毎に、建物構造分類や建築年等の被害推定に必要な属性を持つモデルを構築する。建物構造は、住宅地図データから一棟毎の建物種別を利用して、住居系と業務系の分類と建物の構造判定（木造、S造、RC造）を行う。建築年については、固定資産概要調書の建築年次区分を用いて、全国の市町村毎に年次区帯別の残存率を算出することで推定する。人口モデルは、国勢調査、経済センサス、社会生活基本調査等の統計データと、地図データの建物形状・種別・建物内業種情報、携帯電話のGPSの位置情報、学校毎の就学生数データを用いることで、統計的な時間帯別の人口移動を考慮した建物内滞留人口モデルとして構築する。

地震動の推定については、全国を対象に計測震度データに対して、AVS30による増幅を考慮した面的推定を行う他に、関東及び東海地域においてはK-NET観測点において連続観測を行うこと等により、リアルタイム震度や周期別の地震動情報を取り入れ、広域地下構造モデルに基づく高精度の地震動推定を行う。

こうして得られる地震動を入力とし、前章で述べた建物モデルに被害関数を適用することで全壊等の建物被害推定を行う。被害関数は、建物の大半を占める木造家屋と、人口集中部（都市部）に多い非木造建物や高層建物では、被害と対応する建物の周期帯が異なることを考慮する。すなわち、周期特性を考慮した建物の耐力分布及び建物被害程度に対応する、層間変形角をパラメータとした建物モデルを設定して地震応答解析を行い、入力地震動と建物被害程度を関係付けることで構築する。更に、被害状況を早期にかつ精度よく把握するために、被害の推定情報を、時間的空間的に断片的であるが、正確性の高い実被害情報を用いてベイズ更新することで融合させ、被害推定の精度向上あるいは情報の確定化をする手法の検討を進めている。

ここで述べたモデルや手法については、リアルタイム地震被害推定・状況把握システムに順次取り入れ、地震動分布、震度曝露人口分布、建物・人的被害分布等の推定結果を数値データ等の2次利用可能な形式で自治体等の災害対応の意思決定を支援する利活用システムにリアルタイムに提供していく予定である。

謝辞

本研究は、総合科学技術・イノベーション会議のSIP（戦略的イノベーション創造プログラム）「レジリエントな防災・減災機能の強化」（管理法人：JST）によって実施された。なお、リアルタイム地震被害推定・状況把握システムで用いている地方公共団体及び気象庁の震度データは気象庁より提供して頂いている。

キーワード：リアルタイム、被害推定、K-NET

Keywords: real-time, earthquake damage, K-NET

K-NET強震観測情報等を活用した巨大都市・中心市街地における災害対応力向上の取組み
Improvement of Earthquake Disaster Response in Central City Area in Megacity using the
Real-Time K-NET Data

*久田 嘉章¹、村上 正浩¹、水野 修²、鈴木 光³、飯塚 航⁴

*Yoshiaki Hisada¹, Masahiro Murakami¹, Osamu Mizuno², Hikari Suzuki³, Wataru Iizuka⁴

1.工学院大学建築学部、2.工学院大学情報学部、3.減災アトリエ、4.工学院大学大学院

1.Kogakuin University, School of Architecture, 2.Kogakuin University, School of Informatics,

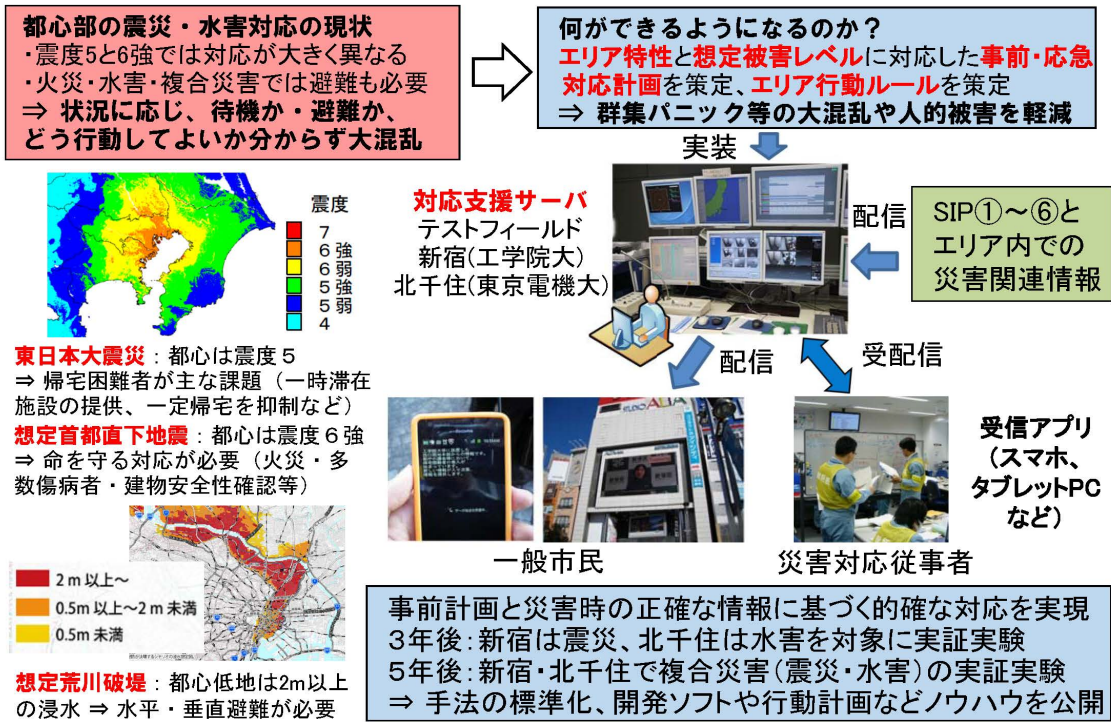
3.Gensai Atelier, 4.Kogakuin University, Graduate School

2011年東日本大震災では東京の震度は5であり、大きな被害が無かったにもかかわらず、ターミナル駅周辺などの中心市街地では滞留者・帰宅困難者が溢れ、幹線道路が大渋滞するなど大混乱になった。内閣府等で想定されている首都直下地震や南海トラフ巨大地震など大地震が発生した場合、巨大都市では震災による直接被害、延焼火災や大群集のパニックなどの2次災害、さらには最悪な場合、水害の同時発生などの複合災害への対応（オールハザード対応）が必要となっている。本研究は図に示すように、大規模ターミナル駅である新宿駅と北千住駅の周辺エリアをテストフィールドとして、地元大学が拠点となり自治体・事業者・住民と連携して、平常時には災害リテラシーと対応力向上に努め、震災や水害などの災害時にはK-NET等による観測や被害予測データ等を活用し、事前の災害レベル別の対応計画と行動ルールに基づく適切な対応行動を行うことを可能とするアプリケーション技術を開発している。2015年度は、新宿駅周辺エリアでは震災を、北千住駅周辺地域では水害をそれぞれ主対象としおり、特に新宿では新宿駅周辺地域都市再生緊急整備協議会および新宿駅周辺防災対策協議会等と連携して被害レベル別の事前対応計画と行動ルール、および、情報受配信アプリを試作し、K-NETによるリアルタイム強震観測を活用した情報伝達実験を実施し、提案しているシステムの有効性を確認した。2016年度はエリア内の地元事業者等と協働した災害対応力向上の実証実験を行い、2017年度以降は、震災・水害等の複合災害を対象とし、標準化した事前対応計画と行動ルールと情報受配信アプリを開発し、新宿・北千住駅周辺エリアでの実証実験による有効性を検証し、全ての成果の一般公開する予定である。

謝辞：本研究の1部は、総合科学技術・イノベーション会議のSIP（戦略的イノベーション創造プログラム）「レジリエントな防災・減災機能の強化」（管理法人：JST）、および、文部科学省「都市の脆弱性が引き起こす激甚災害の軽減化プロジェクト・都市災害における災害対応能力の向上方策に関する調査・研究」によって実施しています。さらに、K-Netデータの使用は国立研究開発法人・防災科学技術研究所との連携で実施しています。

キーワード：K-NET、中心市街地、災害対応力向上、複合災害、事前対応計画・行動ルール

Keywords: K-NET, Central City, Improvement of Earthquake Disaster Response, Complex Disaster, Prior Action Plan and Rule



K-NETの最新状況

Current status of K-NET

*功刀 卓¹、鈴木 亘¹、久保 久彦¹、青井 真¹、中村 洋光¹、内藤 昌平¹、藤原 広行¹

*Takashi Kunugi¹, Wataru Suzuki¹, Hisahiko Kubo¹, Shin Aoi¹, Hiromitsu Nakamura¹, Shohei Naito¹, Hiroyuki Fujiwara¹

1.防災科学技術研究所

1.National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

防災科学技術研究所（防災科研）の運用するK-NET（全国強震観測網）で

は、K-NET95、K-NET02/02A、K-NET11/11Aと、配備される強震計を自ら開発した当時の最新型に更新してきた。平成27年度末現在では、K-NET02A、K-NET11/11Aで観測を行っている。K-NET02以降の特徴として、OS（Linux）を搭載することで、強震計内での演算機能の大幅な強化がなされ、かつ再プログラミングが容易となったことが挙げられる。K-NET11/11A向けに開発された演算機能は基本的にはK-NET02/02Aに搭載可能で有り、実際に幾つかの機能が強震計内で稼働している。

一方、防災科研では、戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）の課題「レジリエントな防災・減災機能の強化」において、災害発生直後の初動対応の意思決定支援等に資することを目的として、一部のK-NET観測点の観測を連続化し、地震被害推定のより一層の迅速化を行う試みを始めた。これにより、平成27年度末までに関東東海を中心とした約200のK-NET観測点で強震動指標伝送の連続化が行われる。

強震動指標伝送の連続化は、地震被害推定の迅速化のみならず、中村・他（2014）の「地震領域警報」に代表される強震動指標値のみを利用して「揺れ」から「揺れ」を直接推定する実用システムの開発に役立つものと思われる。なお、警報用途への利用は、伝送の即時性の担保も重要となる。また、強震観測の基本は確実なトリガ観測にあるが、連続観測と組み合わせることにより、一層の確実性の向上が可能になる。

本講演では強震計内での演算および連続観測を中心として、K-ENTに配備されている最新の強震計（K-NET11/11A）および観測システムの概要について紹介する。

謝辞

本研究の一部は、総合科学技術・イノベーション会議のSIP（戦略的イノベーション創造プログラム）「レジリエントな防災・減災機能の強化」（管理法人：JST）によって実施された。

キーワード：K-NET、強震計、強震連続観測、被害推定、地震早期警報

Keywords: K-NET, Strong motion seismographs, Continuous monitoring of strong motion, Earthquake damage estimation, Earthquake early warning

経験的グリーン・テンソルの推定 – 福井県嶺南地方で得られた強震記録を用いた試み –

Estimation of Empirical Green's Tensor Spatial Derivative Elements: A Preliminary Study using Strong Ground Motion Records in Southern Fukui Prefecture, Japan

*大堀 道広¹

*Michihiro Ohori¹

1. 福井大学附属国際原子力工学研究所

1. Research Institute of Nuclear Engineering, University of Fukui

Plicka and Zahradnik (1998)が提案した経験的グリーン・テンソル (Empirical Green's Tensor Spatial Derivative, EGTD) 法は、同一の震源域で発生した多数の小地震による観測記録を用いて経験的グリーン・テンソルを推定した後に、これを用いて任意の震源メカニズムに対する地震動を計算することができる特徴を有する。しかし、多数の観測記録を必要とするため、これまでの適用事例は限られている [例えば、Ito et al. (2001), Pludo et al. (2006)など]。著者らもこの方法を強震動予測に適用することに関心を持ち、これまで断続的に研究を行ってきた [大堀・久田(2006), Ohori and Hisada (2011), Ohori (2016)]。ここでは、防災科学技術研究所のK-NET敦賀 (FKI007) および周辺の数観測点を対象として、福井県嶺南地方 (福井県と滋賀県の県境付近) の7地震 (M_j 3.7~4.2) の強震記録を用いて、EGTDの推定を行った事例について報告する。対象とする全地震を用いてEGTDを算出しており、シミュレーション波形と観測波形は良く一致している。今回と同様に小地震の記録が蓄積されるたびに、EGTDを更新して行きたいと考えている。今回対象とした地域は地震活動は活発ではなく、有感地震も全国的に少ないため、EGTDの推定に利用できる強震記録は非常に少ない。こうした地域での一つの試みとして、情報共有を図りたい。

キーワード：経験的グリーン・テンソル、震源メカニズム、モーメント・テンソル、強震動、波形インバージョン

Keywords: empirical Green's tensor spatial derivative, focal mechanisms, moment moment tensor waveform, strong ground motion, waveform inversion

共役断層面を考慮した2008年岩手・宮城内陸地震の震源過程の再検討と強震動

Source process of the 2008 Iwate-Miyagi Nairiku Earthquake considering the conjugate faults and its relation to strong motion

*引間 和人¹、中村 亮一²

*Kazuhito Hikima¹, Ryoichi Nakamura²

1.東京電力、2.東電設計および東大地震研

1.TEPCO, 2.TEPSCO and ERI, Univ. of Tokyo

【はじめに】

K-NETが構築されて以降、KiK-net等も含めて強震観測点は飛躍的に増加し、国内で大規模な内陸地震が発生した場合に断層近傍で複数の強震記録が得られることも多い。それらを使い詳細な震源過程解析が可能となり、いくつかの地震では断層面そのものが複雑な形状を有することが明らかになってきた。そのような例として、2008年岩手・宮城内陸地震(Mj 7.2)ではKiK-net一関西(IWTH25)をはじめ、震源近傍で1Gを超える大振幅の地震動が観測されている。引間・瀬藤(2013)では、Abe et al.(2013)がInSARデータから推定した西・東傾斜の曲面からなる共役断層面を参考に、複数平面を設定して強震波形・測地データを使い地震時のすべり分布を求め、東傾斜の断層面上にも大きなすべりが存在する結果を得た。本稿では、若干の改良を加えた解析プログラムでの再解析結果を示し、あらためて東傾斜の断層面の必要性について議論する。また、共役断層面を有する複雑な断層形状が震源域の強震動に及ぼす影響についても考察を行った。

【解析条件】

今回設定した断層面は、基本的には引間・瀬藤(2013)で設定した面と同様である。西傾斜の断層面は2枚の平面からなり、全長42kmである。東傾斜の断層面はAbe et al.(2013)の曲面を全長20kmの平面に近似した。なお、引間・他(2008)で本震および地震発生後4週間の余震をDD法により再決定しており、断層面もそれらに対応するように設定している。また、断層南部での余震分布を考慮して、断層面の一部を西にシフトした設定でも解析を行った。この場合は4枚の平面で構成される。

解析に使用するデータはこれまでの解析とほぼ同じである。強震波形は防災科研K-NETおよびKiK-netで観測された加速度波形に0.03~0.5Hzのバンドパスフィルタをかけ積分した速度波形を用いた。グリーン関数を計算するための一次元水平成層構造は、余震波形を用いた波形インバージョンにより観測点ごとに設定した。また、国土地理院GEONETによるGPS観測値も解析に使用した。震源インバージョン解析はマルチタイムウィンドウ法[Yoshida et al.(1996), 引間(2012)]により行った。なお、断層浅部の推定結果への影響を低減するため、今回は断層周囲のすべり量を0とする拘束条件は断層上端には設定しない。

【解析結果・考察】

前回同様に、東傾斜の断層面上のやや深部に大きなすべりが存在する結果が得られた。また、東傾斜断層の必要性を検証するため、西傾斜断層のみの解析についても条件をほぼ揃えて今回あらためて解析を行った。以下、これらの比較など結果の特徴についていくつか記す。

*観測波形の再現性

東+西断層面ではパラメータが増えているために一概に比較はできないが、東傾斜を設定した解析では全般的に観測波形との一致は良い。特に断層直上のIWTH25では西傾斜のみよりも観測波形の再現は格段に良好である。

*震源近傍の地殻変動

震源の極近傍のGPS観測点である栗駒2での観測値の再現は東+西断層面の方が良好である。さらに、震源近傍での強震波形を積分した永久変位を含む波形と、計算波形とを比較した。変位波形は積分条件により多少の任意性はあるものの、少なくとも断層直上のIWTH25で推定される1.5m程度の隆起は東+西断層面の結果により十分に再現されることを確認した。

*余震分布との対応

断層面は再決定した震源位置をもとに設定しており、気象庁一元化震源に基づく他の解析よりも全体的に浅部に位置している。また、Yoshida et al.(2014)は本震・余震の震源再決定をしているが、断層面はそれらとも

概ね対応しており、余震にも東傾斜に並ぶ分布が見られる。

* 断層面での応力降下量

西傾斜だけでも、観測波形をある程度再現することは可能であるが、そのためには大きなすべり量が必要である。西傾斜だけの結果から計算される応力降下は最大で約30MPa、大すべり域の平均でも約25MPaとなるのに対して、東+西断層では最大は約25MPaであるが、大すべり域の平均では15MPa程度と標準的な値になる。

以上、観測値との対応や推定される物性値の観点などから、共役断層面を仮定した結果の説明性が良く、東傾斜の断層面が存在する可能性は高いと考えられる。

【強震動との関連】

実際に共役断層面が存在する場合、震源域の強震動に与える影響はどのようなものであろうか。簡便な検討として、すべり分布から等価震源距離[Ohno et al.(1993)]を計算し比較した。その結果、断層面から離れた場所では、東+西断層、西断層のみによる距離はほぼ同じであり、断層面の直上付近でも、共役断層面に挟まれた領域では1~2km程度の差はあるが違いは大きくないことが確認できた。詳細な検討には強震動シミュレーションなどの必要はあるが、大すべり域は共役断層面が交差する付近に位置しているために、共役断層面が強震動に与える影響は限定的なものと考えられる。

※ 既往研究

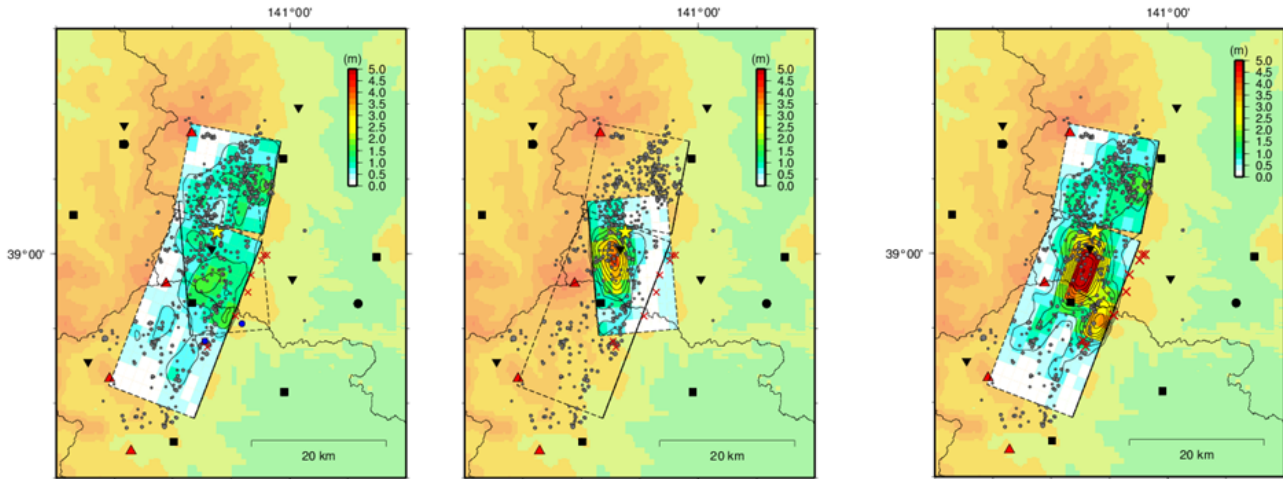
引間・瀬瀬・宮崎：強震波形と測地データから推定した2008年岩手・宮城内陸地震の震源過程，日本地震学会2008年秋季大会予稿集，A11-09，2008。

引間・瀬瀬：2008年岩手・宮城内陸地震の震源過程～東・西傾斜の複数枚断層を仮定した再解析～，日本地震学会2013年秋季大会予稿集，B3202，2013。

キーワード：2008年岩手・宮城内陸地震、震源過程、内陸地殻内地震、震源近傍、強震動

Keywords: 2008 Iwate-Miyagi nairiku earthquake, Source process, Crustal earthquake, Near fault, Strong motion

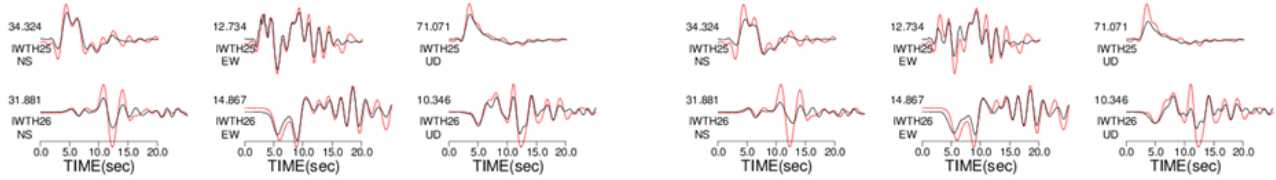
Slip distribution



Conjugate fault model
 $M_0 = 2.55 \times 10^{19}$ Nm (M_w 6.9)

West-dipping model
 $M_0 = 2.54 \times 10^{19}$ Nm (M_w 6.9)

Example of Synthetic waveforms



Velocity waveforms at IWTH25 and IWTH26 (Red: obs., Black: syn.)

日本内陸における地表および潜在断層地震による地震動特性に関する研究

Difference in Ground Motion Characteristics Between the Surface and Buried Rupture Crustal Earthquake in Japan

*吉田 昌平¹、香川 敬生¹、野口 竜也¹*Shohei Yoshida¹, Takao Kagawa¹, Tatsuya Noguchi¹

1.鳥取大学大学院工学研究科

1.Graduate School of Engineering, Tottori University

内陸地殻内地震における地表地震断層の有無は地震動特性に大きな影響を与える。地表地震断層が出現した場合の地震動は出現しない場合(潜在断層)と比較すると、M7クラスの地震では周期帯0.3-3.0秒程度で弱くなることが報告されている(Somerville,2003)。国内でも1995年兵庫県南部地震以降、M7クラスの内陸地殻内地震が頻発しており、2008年岩手・宮城内陸地震(Mw6.9)、2011年福島県浜通り地震(Mw6.6)、2014年長野県神城断層地震(Mw6.2)で地表地震断層が確認されている。そこで、本検討では、近年発生した国内の内陸地殻内地震を対象として、地表及び潜在断層地震の地震動特性及び震源特性の比較を行った。そして、得られた断層パラメーターに基づいて地震動シミュレーションを実施し、観測された地震動特性の再現を試みた。

地震動特性は、スペクトル距離減衰式(Chiou and Youngs,2006)から得られる平均加速度応答スペクトルに対する強震観測記録より得られる加速度応答スペクトルの偏差から比較を行った。このとき、地表面の強震観測記録から野津ほか(2005)によって評価されたサイト増幅特性を除することで、堆積層に起因するサイト増幅の影響を取り除き、地震基盤相当の地震波形から加速度応答スペクトルを算出した。その結果、潜在断層地震の地震動特性は地表断層地震のものより大きくなり、Somerville(2003)と調和的な結果が得られた。

震源特性の比較は、地表および潜在断層地震の断層パラメーターから行った。断層パラメーターは震源インバージョン解析により得られた震源断層のすべり量分布から、Somerville et al. (1999)の一定規範により、断層破壊領域及びアスペリティ領域を抽出することで得られた。これらの断層パラメーターから特性化震源モデルを設定し、統計的グリーン関数法により地震動シミュレーションを行った結果、地表及び潜在断層地震の地震動特性を概ね再現することができた。

謝辞：本研究には(独)防災科学技術研究所のK-NETおよびKiK-netの地震波形記録を使用しました。解析の際に用いましたサイト増幅特性は港湾空港技術研究所の野津厚博士に提供して頂きました。震源断層のすべり量分布は(財)地域地盤環境研究所の宮腰研博士がとりまとめたものを提供して頂きました。ここに記して感謝申し上げます。

参考文献

Chiou, B. S. -J., R. R. Youngs(2006): Interim Report Issued for USGS Review, 71pp.

野津 厚, 長尾 毅 (2005): 港湾空港技術研究所資料, No.1112

Somerville, P. G.(2003): Physics of the Earth and Planetary Interiors, 137, pp. 201-212.

Somerville et al.(1999): Seism. Res. Let., Vol. 70, 1, pp. 59-80.

キーワード：内陸地殻内地震、地表地震断層、地震動特性、震源特性

Keywords: Inland crustal earthquake, Surface fault rupture, Ground motion Characteristics, Source Characteristics

伝播経路の違いによって生じるQsの空間的変動に関する研究

A study on spatial variations of Qs-value caused by differences of propagation pass.

*仲野 健一¹、境 茂樹¹

*kenichi Nakano¹, Shigeki Sakai¹

1.株式会社 安藤・間

1.HAZAMA ANDO CORPORATION

Strong motions are expressed simply as products of source, pass, and site factors in the frequency domain. Researchers have been developing the prediction methods by evaluating these factors. The property of S-wave attenuation (Qs) is one of the most important factors for strong motions, because the amplitudes of strong motions change depended on Qs dramatically.

Iwata & Irikura (1986) introduced spectral inversion method which was able to estimate the source, pass, and site factor from strong motion records (e.g., K-NET or KiK-net managed by National Research Institute for Earthquake Science and Disaster Prevention (NIED)). This method gives us important knowledge about mechanisms and properties of strong motions. Nakano et al. (2015) performed spectral inversion methods to 6 regions of Japan, and obtained the source, pass, and site factors at each region by using the enormous amount of data (from 1996 to 2011). Please note that the values estimated by this method are just average values of target regions and assumed parameters.

On the other hand, we know the way to investigate Qs-value directly in the any area. That is called twofold spectral ratio method (TSRM) is provided by Matsuzawa et al. (1989). Kato (1999) assumed geometric spreading factor n was 1.04 (=constant) in the same manner as Ibanez et al. (1993), and applied TSRM to southern Kyushu region to evaluate Qs by crustal earthquakes. Izutani (2000), Izutani & Ikegaya (2002) and Maeda & Sasatani (2006) shows that Qs would be change in the space of regions. Noda et al., (2010) reports the probability of differences of Qs based on epicentral distance in the Kashiwazaki and adjacent region. Their studies suggest that we have to pay attention to select the appropriate propagation pass (in brief, it is earthquake-site pairs).

From the above, we investigate the effect of the difference of propagation pass has on evaluations of Qs. We performed TSRM to southern Kyushu and Hokkaido region in Japan. We were interested in the changes of Qs in the space of regions, so we needed comparison our results to previous studies. We used the strong motion records of K-NET and KiK-net provided by NIED. The Fourier spectra were calculated from the acceleration of strong motion records (0.1-20 Hz in frequency domain). We used taper window (0.4Hz) to smoothen Fourier spectra.

We obtain Qs-values depended on frequencies are comparable to ones estimated by spectral inversion methods (e.g., Kato, 1999; Nakano et al., 2015) at Kyushu and Hokkaido region. However those are different by each propagation pass. It would be supported previous studies. The results bring about the useful knowledge to configure Qs-value for strong motion predictions.

Such studies are depended on density of observation points and amount of data. We would continue to study about spatial variations of Qs-values, by increasing the amount of data and dividing the area (or depth) finely.

Acknowledgements: We used the strong motion records provided by National Research Institute for Earthquake Science and Disaster Prevention (NIED) in this study. We gratefully appreciated it.

キーワード：Qs、伝播経路、二重スペクトル比法

Keywords: Qs, Propagation pass, twofold spectral ratio method

高密余震観測と常時微動測定に基づいた大崎市古川地区の浅層地盤構造のモデル化
Shallow subsurface structure estimated from dense aftershock records and microtremor
observations in Furukawa district, Miyagi, Japan

*後藤 浩之¹、満永 仁志²、稲谷 昌之³、飯山 かほり²、盛川 仁²

*Hiroyuki Goto¹, Hitoshi Mitsunaga², Masayuki Inatani³, Kahori Iiyama², Hitoshi Morikawa²

1.京都大学防災研究所、2.東京工業大学、3.大崎市

1.Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, 2.Tokyo Institute of Technology,
3.Osaki city

2011年東北地方太平洋沖地震において、東北地方から関東地方にかけて局所的ではあるが地震動による被害が発生している。そのうち、地震動による被害が顕著であった宮城県大崎市古川地区に着目する (Goto and Morikawa, 2012)。K-NET古川観測点と気象庁古川観測点で得られた本震記録は、その応答スペクトルが兵庫県南部地震の神戸海洋気象台記録、およびJR鷹取記録に似ていることから、地震動強さの影響が大きいと考えられるが、顕著な被害は $1.0 \times 0.5\text{km}^2$ の地域に集中していた。

この理由を把握するため、Goto et al.(2012) は臨時余震観測網を当該地区に展開した (古川高密度地震観測ネットワーク: FuSeN)。本観測網は30を超える地震計で構成されており、観測点間隔はおよそ100mと非常に高密であることが特徴である。測定された地震記録のPGA, およびPGVの相対的な違いを調べると、被害の大きかった地域でPGAやPGVが大きく観測されることが明らかとなった (Goto et al., 2012)。この要因が浅層地盤構造の違いによるものと仮定し、余震記録を用いた浅層地盤構造のモデル化が稲谷ら (2013) によって進められた。その結果、被害の集中した地域で表層が厚いことが指摘されている。

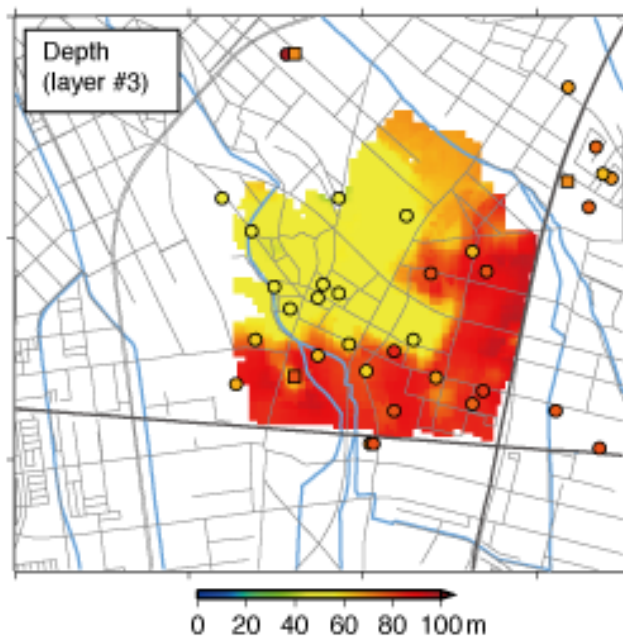
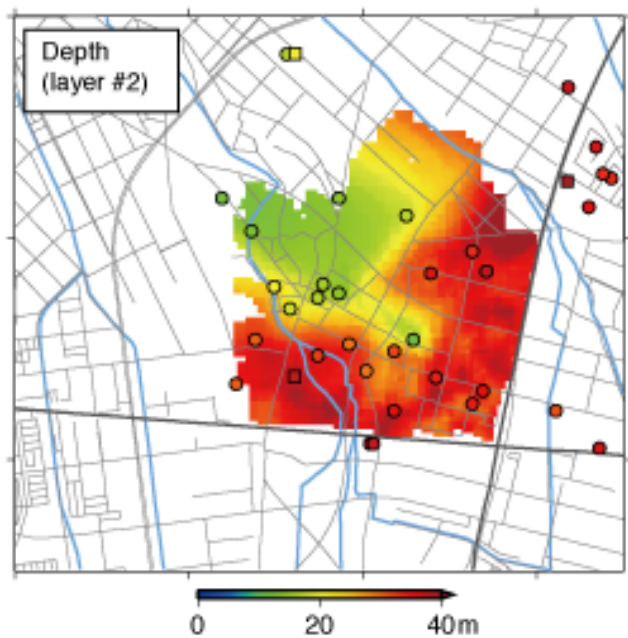
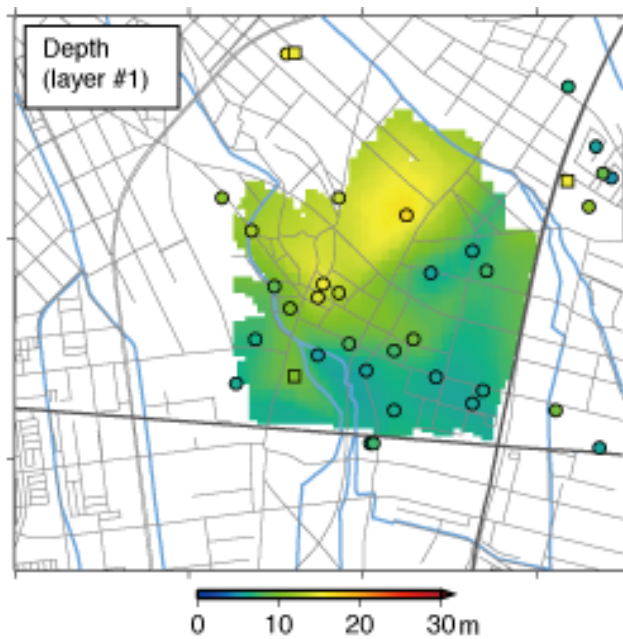
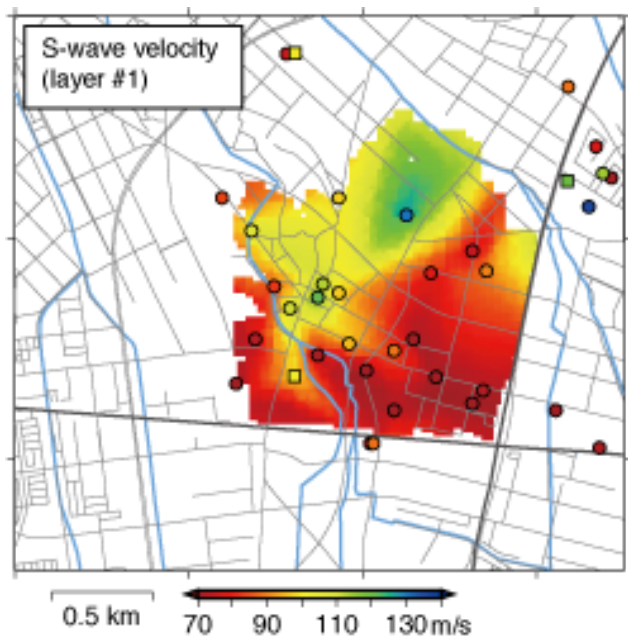
稲谷ら (2013) は観測点間のスペクトル比に基づいてモデルを構築したが、相対的な速度モデルの違いしか反映されていない。加えて、地震観測網のスケールでしかモデル化されないため、空間解像度にも問題があった。そこで、常時微動の単点観測、アレー観測によって空間解像度をあげること、およびS波速度構造の把握が行われた。本研究は、常時微動測定結果を反映して古川地区の浅層地盤モデルを改良するものである。構築されたモデルを用いて各地のSH波伝達関数を求め、周波数区間毎にその平均値を計算したところ、2-4Hzの平均値が高い地域と地震動被害が顕著であった地域とがよい対応を示した。

一 参考文献

1. Goto, H. and Morikawa, H., 2012, Ground motion characteristics during the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake: Soils and Foundations, 52, 769-779.
2. Goto, H., Morikawa, H., Inatani, M., Ogura, Y., Tokue, S., Zhang, X.R., Iwasaki, M., Araki, M., Sawada, S., and Zerva, A., 2012, Very dense seismic array observations in Furukawa district, Japan: Seism. Res. Lett., 83, 765-774.
3. Inatani, M., Goto, H., Morikawa, H., Ogura, Y., Tokue, S., Zhang, X.R., Iwasaki, M., Araki, M., Sawada, S., and Zerva, A., 2013, Shallow subsurface model at Furukawa district based on very dense seismic array observations, Journal of JSCE A1, 69, I_758-766 (Japanese with English abstract).

キーワード：高密余震観測、常時微動測定、浅層地盤構造

Keywords: dense aftershock records, microtremor observation, shallow subsurface structure



大崎市古川地区における表層地盤の動的応答特性の空間分布の推定

Estimation on spatial distribution of dynamic response by shallow sediments in Furukawa, Japan

*盛川 仁¹、飯山 かほり²、後藤 浩之³、満永 仁志¹、稲谷 昌之⁴

*Hitoshi Morikawa¹, Kahori Iiyama², Hiroyuki Goto³, Hitoshi Mitsunaga¹, Masayuki Inatani⁴

1.東京工業大学 大学院総合理工学研究科、2.東京工業大学 大学院情報理工学研究科、3.京都大学 防災研究所、4.大崎市

1.Interdisciplinary Graduate School of Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology, 2.Graduate School of Information Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology, 3.Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, 4.Osaki City

It is very important to know the causes of anomaly of damage distribution by an earthquake. This may be occurred by the differences of structural strengths, ground motions, and so on. After the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake, we have found the typical examples on this problem at Furukawa district, Miyagi, Japan. To make clear this, we have installed very dense seismic observation network into Furukawa, which is named Furukawa Seismic Network (FuSeN) (Goto et al. 2012), and carried out microtremor survey around the area. Goto et al. (2016) proposed a detailed model of velocity structure for Furukawa using the observed data of earthquakes and microtremors.

We have applied the model of velocity structure and calculated numerically the dynamic responses by the soft soil sediments, which are shallower layers than engineering-base layer. Although the target area is only about 1.5 x 1.5 km, the responses in the frequency range between 1 to 2 Hz differ according to location in the area. The transfer functions from engineering base to surface for linear response at typical two sites, where F14 and F17 are located in severely damaged and in the area without any damages, respectively. In this case, F17 is about 1.1 times larger than F14. On the other hand, the amplitudes of transfer function at F14 is about 1.5 times larger than F17 in average for non-linear responses, in the frequency range between 1 to 2 Hz. Figure shows the transfer function for non-linear response at sites F14 and F17.

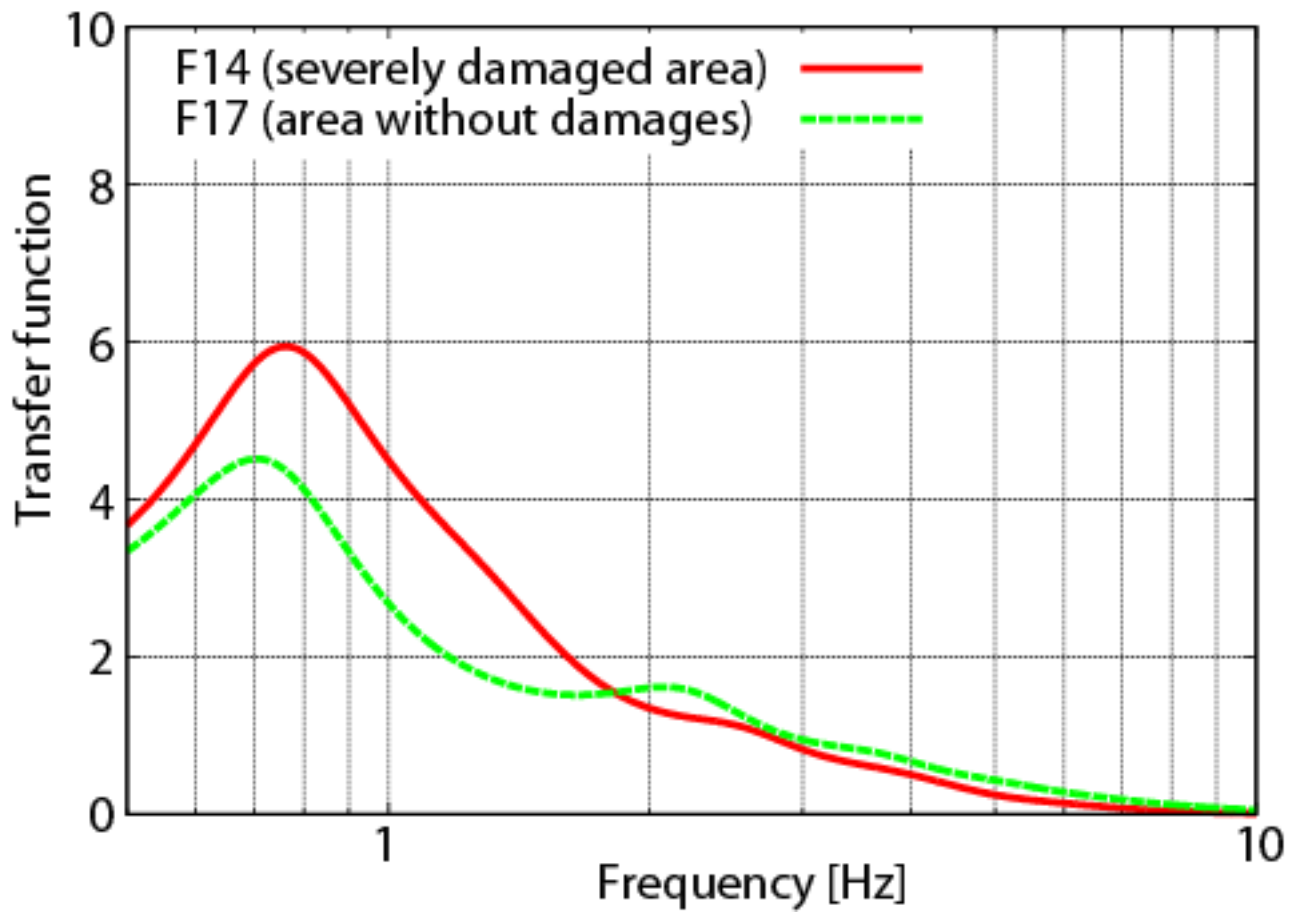
Generally speaking, the predominant frequencies are around 1 to 2 Hz for typical wooden structures in Japan. This suggests that the small differences of velocity structures of ground cause the large differences of structural damage and the non-linear responses of soft soils play very important roles at the target area.

References:

Goto et al., Very dense seismic array observations in Furukawa district, Japan, Seism. Res. Lett., 83, 765-774.

キーワード：地盤増幅、伝達関数、非線形地盤応答

Keywords: seismic response of soft soil, transfer function, non-linear response



K-NETデータを利用した浅部地盤構造の時間変化の検出

Detecting temporal changes in shallow subsurface structures by using K-NET data

*中原 恒¹*Hisashi Nakahara¹

1. 東北大学大学院理学研究科地球物理学専攻固体地球物理学講座

1. Solid Earth Physics Laboratory, Department of Geophysics, Graduate School of Science, Tohoku University

はじめに

1996年6月に運用を開始した防災科学技術研究所の全国強震ネットワークK-NETは、その後約20年間に発生した数多くの地震に対して貴重な強震動を記録しつづけてきた。これらのデータは、震源過程、波動伝播過程、地盤構造の研究、地震ハザードの評価、構造物の耐震設計など様々な目的に利用されている。本発表では、地盤構造の研究のひとつとして、K-NETデータを利用して浅部地盤構造の時間変化を推定した結果について紹介する。通常、浅部地盤構造の時間変化の検出には、KiK-netのようなボアホールでの観測記録が有効である。しかし、K-NETのような地表観測点の記録の量は膨大で、そのような情報をうまく利用することが望まれていた。そこで、著者は近地地震のコーダ波記録の自己相関関数（ACF）を用いて、浅部地盤の地震波速度変化を推定する手法を提案した（Nakahara, 2015）。この手法の推定誤差は数%と大きいものの、それを超える大きな地震波速度変化は実際に検出可能であることを、2011年東北地方太平洋沖地震に対して示した。

データ解析

解析には、東日本の太平洋側（青森から千葉まで）にあるK-NET観測点のデータを使用した。2009年1月から2011年12月の期間に東日本太平洋沖の深さ20-60kmで発生したM7.0以下の地震を用いて、水平動2成分の記録を解析に使用した。2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震の後には、余震や誘発地震活動が活発で、コーダを用いた地下構造の監視の時間サンプリングは通常より高い。一方で、本震前は地震活動が低い。解析には1-20Hzの帯域におけるSコーダ波を用い、直達S波走時の1.5倍の時刻から10.24秒間の時間窓を1秒ずつずらしながら20個とり、時間窓ごとに規格化されたACFを計算し、最後にすべての時間窓の結果を重合した。各地震に対する結果を時間順にならべ、ACFに変化が見られるかを観察した。浅部地盤構造の変化に着目するために、ACFのラグタイムが1s以下のフェイズに着目した。

結果

データ解析の結果、前弧側の観測点の多くで、東北地方太平洋沖地震の発生前後でACFの位相が変化していることが検出された。具体的には、本震の発生に伴い、ACFの位相が明らかに遅れている。フェイズの遅れを定量的に求めるために、本震前の地震のACFをすべて重合したものを基準ACFとし、地震毎に計算されたACFを用いて、ストレッチング法（Sens-Schoenfelder and Wegler, 2006）に基づき地震波速度の変化率を求めた。最大の速度低下率は概ね10%程度の値となったが、中には最大30-50%程度となる点も見られた。この変化は本震後数か月で回復する観測点もあるが、数年たっても完全には回復しない観測点もある。10%程度の大きな速度変化や空間的な変化も大きいことを考えると、観測点直下での強震動によるクラックの生成や拡大が要因であろうと解釈している。なお背弧側の観測点では、使用した周波帯域の地震波は減衰してしまったと考えられ、有意な地震波速度変化を検出できなかった。

まとめ

近地地震のコーダ波記録のACFを用いて、東日本太平洋沿岸のK-NET観測点直下の浅部地盤における地震波速度が、2011年東北地方太平洋沖地震に伴って変化したことを確認した。強震動の直後だけでなく、数か月から数年間にわたって地震波速度の低下が継続することがある。このことは、たとえば短い時間間隔で連動する巨大地震に対しては後の地震時には地盤が弱いままであることを示唆し、地震ハザード評価にあたって注意が必要かもしれない。以上をまとめると、地震活動が高い地域では、K-NETのような地表観測点のデータも地盤構造の時間変化の検出に有効に利用できることが分かった。

謝辞 本研究では防災科学技術研究所のK-NETのデータを使用しました。ここに記して感謝いたします。

キーワード：K-NET、地盤構造、時間変化

Keywords: K-NET, subsurface structure, temporal change

Seismic Intensity Measurement by IT Kyoshin Seismometer and Strong Motion Accelerometer at Campus Buildings

Seismic Intensity Measurement by IT Kyoshin Seismometer and Strong Motion Accelerometer at Campus Buildings

*三宅 弘恵¹、鷹野 澄¹

*Hiroe Miyake¹, Kiyoshi Takano¹

1.東京大学大学院情報学環総合防災情報研究センター／地震研究所

1.The University of Tokyo

Campus seismic observation of ground motions and building vibration is a useful tool to develop and explorer the frontier research issues. At the University of Tokyo, a campus building observation system of IT Kyoshin seismometers installed by Takano et al. (2004). The observed data are online via campus intranet, and monitoring for building response and simplified seismic intensity measurement are performed in real-time. At the Earthquake Research Institute of the University of Tokyo, strong motion observation system at the three different types of buildings as well as ground surface was deployed in 2005. The strong motion accelerometers are operated as a triggered system and measurement capability is up to 2097 cm/s/s. The three types of buildings of the Earthquake Research Institute composed a 7-story base-isolated RC building with a basement, a 6-story retrofitted RC building with 2-story basement, and a 4-story steel framed building. For each building, both the IT Kyoshin seismometers and strong motion accelerometers are installed at the lowest and top floors. To estimate prompt seismic intensity just after the earthquake is quite effective for evacuation and preparedness for the following disasters. We compare seismic intensity measure by two different seismometers. Generally the intensity show the good agreement within a difference of 0.3 in the Japan Meteorological Agency instrumental seismic intensity scale. However, the lowest and top floors tend to larger and smaller seismic intensity for strong motion accelerometers rather than IT Kyoshin seismometers, respectively. Takano and Ito (2010) already confirmed the JMA instrumental seismic intensity observed at campus is a function of $1.029 x - 0.0092$, where x is the simplified seismic intensity used in this study. We further investigate the difference of azimuth and period dependency using ground and building motion time histories, and design maximum and minimum ground motion levels of ground motion agreement.

キーワード : Campus seismic observation、IT Kyoshin seismometer、Strong motion accelerometer

Keywords: Campus seismic observation, IT Kyoshin seismometer, Strong motion accelerometer