

3. 3. 9 地下構造モデル化の研究（強震観測）

(1) 業務の内容

(a) 業務題目 高密度強震観測によるモデル化

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名	メールアドレス
東京大学地震研究所	助教授	鷹野 澄	takano@eri.u-tokyo.ac.jp
東京大学地震研究所	教授	瀨瀬一起	koketsu@eri.u-tokyo.ac.jp
北海道大学大学院	助教授	笹谷 努	sasatani@ares.sci.hokudai.ac.jp
京都大学防災研究所	助教授	松波孝治	matunami@egmdpri01.dpri. kyoto-u.ac.jp
京都大学防災研究所	助手	大見士朗	ohmi@rcep.dpri.kyoto-u.ac.jp
九州大学大学院	助教授	竹中博士	takenaka@geo.kyushu-u.ac.jp
独立行政法人防災科学 技術研究所	特別技術員	大井昌弘	ooi@bosai.go.jp

(c) 業務の目的

高精度の強震動予測を行うためには、震源モデルの構築、広域地下構造モデルの構築、表層地下構造モデルの構築などの高精度化を進める必要がある。これを進めるにあたって必要不可欠なものが、大都市圏をカバーする広域かつ高密度の強震観測網の観測波形データである。広域かつ高密度の強震観測網から得られる観測データは、震源モデルと地下構造モデルから推定される強震動推定値と比較することによって、これらのモデルの検証や改善を可能にする。また、強震動シミュレーションから得られる理論波形データと観測波形データを比較することによって、シミュレーション手法の検証と改善を可能にする。

平成 11 年度の補正予算により、6 大都市圏の各拠点大学に、大都市圏強震動総合観測ネットワークが整備され、これまでほとんど収集がされていなかった自治体等の震度計の強震波形データの収集が、大都市の自治体等の協力のもとに開始された。首都圏においてもこれまで 5 都県市の震度計の波形データが東大地震研に収集され、首都圏強震動総合ネットワーク（SK-net）として整備されている。データが揃いはじめた平成 15 年度からは、地震研究所の共同利用を利用した共同研究体制もスタートしている。また、近畿圏においても京都大学防災研究所が中心となって、京阪神地域の大阪府、京都市、滋賀県の震度計の波形データが収集され整備されている。

今回の大大特プロジェクトにおいて、我々は、これまでの大都市圏強震動総合観測ネットワークを強化して高密度強震波形データベースを充実していく予定である。またそれにより、高密度強震観測データを用いた、地下構造モデルの検証、モデルの高精度化のための手法の開発、強震動の伝播特性の解明、強震動シミュレーションの検証、等の研究を推進していく予定である。

(d) 5 ヶ年の年次実施計画

1) 平成 14 年度：

- ・大都市圏強震動総合観測ネットワークのデータベースの充実

東大地震研では、首都圏強震動総合ネットワーク SK-net について、これまでの 5 都府市のみのデータではまだ不十分であることから、首都圏周辺の自治体の震度計の波形データの収集に着手し、山梨県の協力のもと、県の震度計 6 4 点の波形データの収集システムを県庁に設置させて頂き、ダイヤルアップによる収集を開始した。京都大学防災研究所では、これまで近畿圏を対象として、大都市圏強震動総合観測ネットワークを整備して、これまでに、大阪府と滋賀県の計測震度情報ネットワークと京都市消防局ネットの波形データを収集した。

- ・強震観測データを用いた地下構造モデルの検証ならびに高精度化

北海道大学では、今年度、札幌市が平成 13 年度に市内に展開した震度計ネットワークの観測データを解析して、札幌市地下構造モデルの検証を行った。

東大地震研では、高密度強震波形データを用いて、地下構造モデルの高精度化のための手法の開発を行った。

- ・強震観測データを用いた強震動の伝播特性の解明、強震動シミュレーションの検証

東大地震研や横浜市大のグループでは、高密度強震波形データを用いて首都圏における表面波の伝播過程を解明し、伝播経路に起因する強震動の生成過程の解明を進めている。

また東大地震研では、震源モデルと地下構造モデルを仮定して強震動シミュレーションを行い、実際の観測波形データと比較検討し、強震動シミュレーションの検証を行った。

2) 平成 15 年度 :

大都市圏強震動総合観測ネットワークのデータベースの充実としては、首都圏において、周辺の自治体の震度計の波形データの収集を進め、群馬県 5 9 点の波形収集システムを開発し、地震研究所からの夜間ダイヤルアップ収集を開始した。また、群馬県以外にも、栃木県、茨城県、静岡県周辺の各自自治体と、波形データ収集の実現に向けた協議を行った。

首都圏における地盤増幅特性の研究では、横浜市内の観測点の地盤増幅特性を逐次解法によって精度よく求めることができた。近畿圏においては、滋賀県観測網を使って予察的に増幅度分布を調べ、琵琶湖東岸沿いに増幅度の大きい地域が見られること、湖岸沿いでも局所的に増幅度の小さい地域が点在することなどについて地盤構造などから考察した。

3) 平成 16 年度 :

大都市圏強震動総合観測ネットワークのデータベースの充実としては、引き続き周辺の自治体の震度計の波形データの収集を進めデータベースを充実する。また高密度強震観測データを用いた、地下構造モデルの検証、モデルの高精度化のための手法の開発、強震動の伝播特性の解明、強震動シミュレーションの検証、等の研究を推進していく。

4) 平成 17 年度 :

平成 17 年度以降も引き続き、大都市圏の周辺の自治体等の強震波形データの収集を進めデータベースを充実する。また、最近の IT 技術を利用して展開することを目的とした次世代強震観測システムの研究を進める。高密度強震観測データを用いた、地下構造モデルの検証、モデルの高精度化のための手法の開発、強震動の伝播特性の解明、強震動シミュレーションの検証、等の研究を推進していく。

5) 平成 18 年度 :

高密度強震観測データを用いた、地下構造モデルの検証、モデルの高精度化のための手法の開発、強震動の伝播特性の解明、強震動シミュレーションの検証、等の研究を推進し

ていく。

(e) 平成17年度業務目的

- ・大都市圏強震動総合観測ネットワークのデータベースの充実

大都市圏の広域高密度強震観測データは、地下構造モデルの検証と高精度化に必要不可欠なものである。このため、平成17年度も引き続き、大都市圏周辺の自治体等の強震波形データの収集を進めデータベースを充実する。東大地震研では、首都圏を対象として、これまで、山梨県、群馬県、栃木県、茨城県（電話回線系）の波形データ収集を新たに開始し整備した。今後、茨城県（衛星回線系）、長野県、静岡県など首都圏周辺の自治体等から協力を得て、可能なところから収集・整備を行う。京都大学防災研究所では、近畿圏を対象として、これまでに、大阪府と滋賀県の計測震度情報ネットワークと京都市消防局ネットの波形データを収集・整備した。今後、京都府、兵庫県、奈良県等にも協力を呼びかけ、可能なところから波形データの収集・整備を行う。

これら既存の自治体等の観測点の波形収集に加えて、より高密度のネットワークを最近のIT技術を利用して展開することを目的とした次世代強震観測システムの研究開発を行う。

- ・強震観測データを用いたモデル化研究の推進

東大地震研では、首都圏強震動総合ネットワーク SK-net を利用した全国共同研究を推進している。取組んでいる研究課題は、高密度強震観測データを用いた地下構造モデルの検証、強震観測データを用いた地下構造モデルの高精度化のための手法の開発、強震観測データを用いた強震動の伝播特性の解明、強震観測データを用いた強震動シミュレーションの検証などである。また、その他の大都市圏においても、同様なモデル化研究が進められており、高精度化が進むものと期待される。

東大地震研では、震源モデルと地下構造モデルを仮定して強震動シミュレーションを行い、実際の観測波形データと比較検討する。多くの高密度観測データを利用することで、強震動シミュレーションと、地下構造モデルの検証と改良が進むものと期待される。また、シミュレーション結果と実際のデータとの比較から、地表面における強震動波形データのサイト増幅特性の問題についても研究の進展が期待される。

(2) 平成17年度の成果

(a) 業務の要約

首都圏強震動総合ネットワーク SK-net を強化して高密度強震波形データベースを充実するために、引き続き首都圏周辺の各自治体のデータ収集を進めた。独自に波形データを収集していない自治体に対しては、既存の自治体システムに影響を与えない形で、観測点から波形データを収集するシステムの開発を行い、データ収集を行っている。平成17年度は、衛星回線経由で接続されている茨城県の震度計からの波形データ収集・整備を開始した。また、長野県の震度情報ネットワークの震度計からも、波形データ収集・整備を開始した。一方、静岡県については、平成17年度から、県が独自に波形データ収集を開始したことから、県庁経由での波形データ収集・整備について協議を開始している。当面は、県

の担当の方に協力を仰いで、オフラインでデータ提供をしていただく予定である。これら既存の自治体等の観測点の波形収集に加えて、より高密度のネットワークを最近のIT技術を利用して展開することを目的として、安価なLAN接続型強震計の開発を行っている。平成17年度は、地震研究所の建物に複数台を設置して比較観測を行い、安価なセンサーでも十分な性能が得られることを確認した。また高密度強震観測データを用いた、地下構造モデルの検証、モデルの高精度化のための手法の開発、強震動の伝播特性の解明、強震動シミュレーションの検証、等の研究を実施した。

(b)業務の成果

首都圏強震動総合ネットワーク(SK-net)¹⁾²⁾については、山梨県64点、群馬県59点、栃木県47点、茨城県79点(電話回線、衛星回線)、長野県120点が追加されて、平成17年には10都県市の12の強震観測網から合計約860点の震度計・強震計の強震波形データが収集されるようになった(図1)。これは、首都圏のK-net/KiK-net観測点と気象庁震度観測点の合計約340点の約2.5倍に及ぶ。なお、SK-netの場合、各観測網のデータは、各自治体等の観測システムの現状に応じて、オンラインやオフラインで数日から1年遅れで収集されて、共通のデータフォーマットに変換されて保存されている。このため全部のデータが集まり、利用可能になるには、1年以上かかっている。

首都圏強震動総合ネットワーク観測点分布

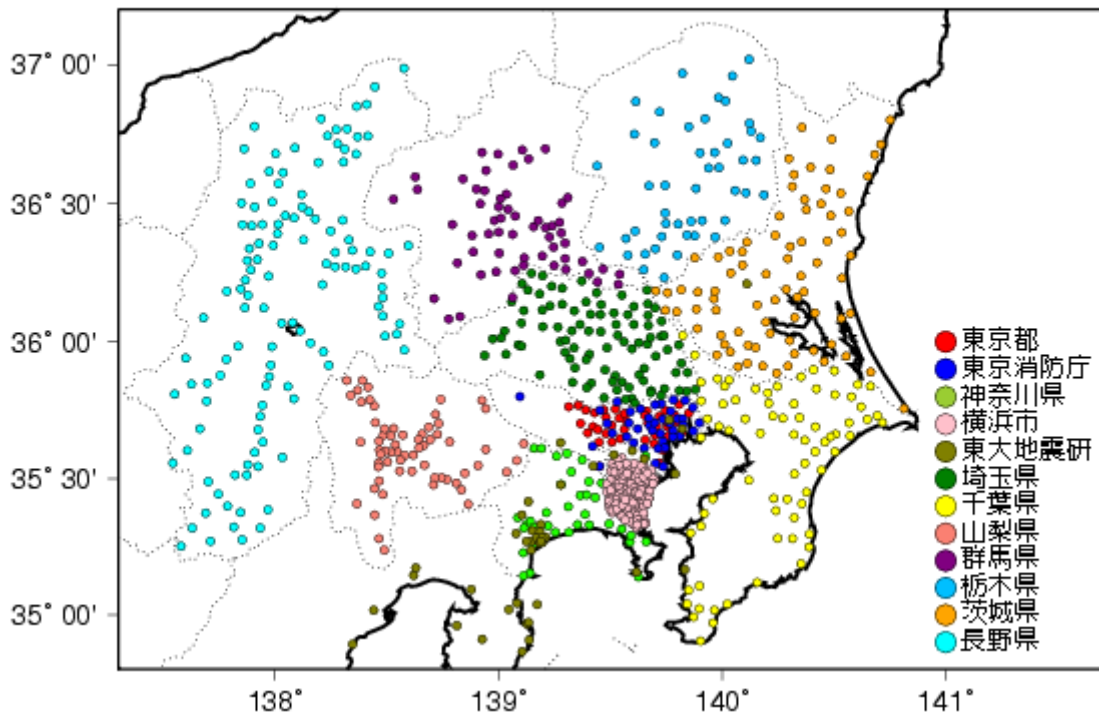


図1 首都圏強震動総合ネットワーク(SK-net)で収集している観測点

これら既存の自治体等の観測点の波形収集に加えて、より高密度のネットワークを最近のIT技術を利用して展開することを目的とした次世代強震観測システムの研究開発を行

っている。高密度観測の実現の為には、1台150万円から200万円もする強震計のコストの低下が必要である。このため、センサー、AD変換器、時刻校正機構などについて徹底的にコスト低下を追及し、まずは1台約40万円程度にコストを下げた安価なLAN接続型強震計を設計・試作した(図2、鷹野他 2005)。この装置は、まとまった購入台数さえ確保できれば、30~20万円程度にまで安くすることが可能である。



図2 廉価版LAN接続型強震計(IT強震センサー:試作品)

平成17年度は、これを地震研究所の建物内に複数台設置して、並行観測ならびに多点観測を実施した(図3左)。その結果、地震のないときの機器ノイズについては、観測条件が良好な場合に $\pm 0.2 \sim 0.4 \text{ gal}$ 程度で、震度0でも十分に地震波形が記録できることが確認された。また、茨城県沖M5.9の地震(地震研究所の震度は1)の際に、地震研究所の3つの建物内に設置した7台の強震計の加速度波形を2回積分して各点の変位を求めてみたところ、数百マイクロン程度の変位が建物内の各点で同じように得られ、それらの振幅と方位がほぼ一致している記録が得られた(図3右)。これは、やや長周期の地震動が3つの建物を同じように揺らしたものである。このときの記録から、今回の廉価版LAN接続型強震計で、百マイクロン程度の変位記録が観測できることが確認された(鷹野他 2006)。

茨城県沖 M5.9

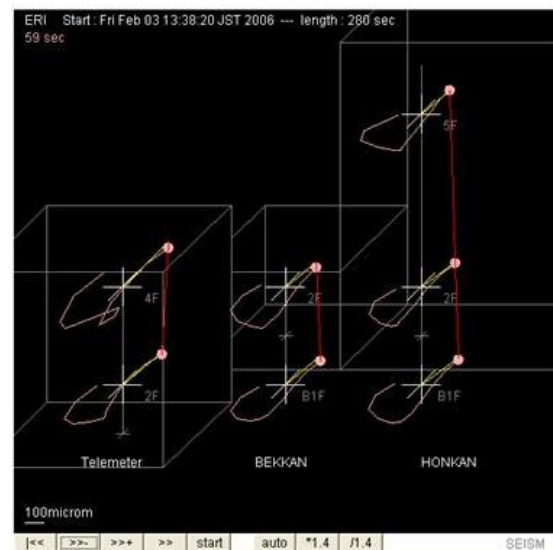
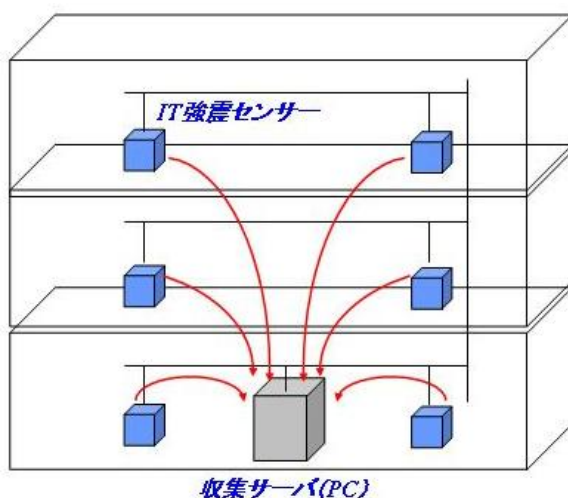


図3 建物内多点観測の概要(左)と2006/2/3茨城県沖地震時の変位記録(右)

以上の成果から、今後は、廉価版 LAN 接続型強震計を多数設置した次世代の高密度強震観測システムの研究を進める予定である。

大都市圏の高密度強震観測データを用いた、地下構造モデルの検証、モデルの高精度化のための手法の開発、強震動の伝播特性の解明、強震動シミュレーションの検証、等の研究については、以下のような研究を実施した。

九州大学のグループでは、福岡圏強震動ネットワークとして収集した福岡県などの震度計の波形データ、ならびに、気象庁や防災科研の K-net/KiK-net の波形データなどを用いて高密度の強震観測データの解析を実施している。竹中らは、福岡県内のすべての震度計などの方位を丹念に調査しており、2005 年福岡県西方沖地震 (M7) において観測された波形記録から主要動の水平変位の軌跡 (震動方位) を調査した。そして、丸印 (●) で示した観測点はその軌跡が「時計回り」、四角印 (■) の観測点は「反時計回り」として地図上にプロットした (図 4)。その結果、福岡県西方沖地震の断層面の走行が、N304° E にほぼユニークに求められることを示した。これは、高密度観測データだけで独立に求められたものであり、福岡圏強震動ネットワークの高密度観測網が効果的に活用されている。この結果を元に、竹中らは、断層面の傾斜角についても、震源と推定した断層線から、87 度と推定できることを示した。また観測波形を解析して主破壊の開始点を求め、それとアスペリティとの関係から、玄海島における被害発生について論じている (竹中ほか 2006)。

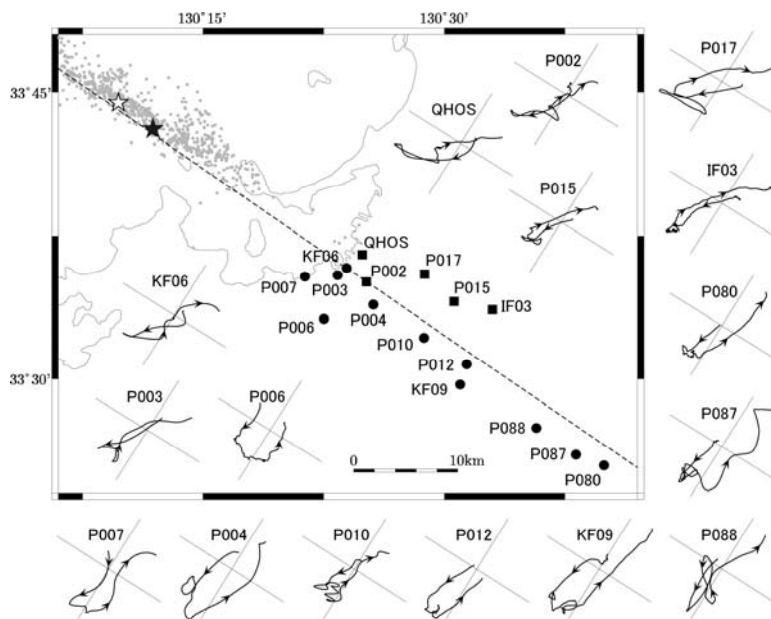


図 4 2005 年福岡県西方沖地震 (M7) で観測された主要動の震動方向と推定断層線

京都大学防災研究所のグループでは、近畿圏強震動総合ネットワークの高密度強震観測データを用いた研究を実施している。松波は、滋賀県における強震動の地域性について、近畿圏強震動総合ネットワークの滋賀県観測網の観測データを利用して、各観測点付近の地盤増幅特性を検討した。

図5はこの解析に使用した地震の震央と滋賀県内の観測点の位置関係を示す。観測点にほぼ垂直に入射し、震源及び地殻内伝播経路の影響が観測点間でほぼ同じと考えられるようなやや深い地震(1998年8月22日M4.9、深さ約60km、和歌山県中部)の記録を使用し、S波スペクトル比法により解析している。

スペクトル解析区間は東西及び南北成分のS波立ち上がりから10秒間であり、両端は5%のハニング型のテーパを適用し、バンド幅0.5Hzのハニング窓を使って平滑化を行った。ここでは、東西及び南北記録のスペクトル成分をベクトルの的に合成したものの水平成分として解析した。基準観測点には滋賀県強震観測網2)の露岩上観測点であるアシビ谷観測点(ABD)の記録を使用した。

このような解析の結果、ABDを基準とする各観測点の増幅度増幅度(1~3Hz間の平均値)が図6のように得られた。これによると、琵琶湖東岸沿いに湖岸の軟弱堆積地盤構造を反映した増幅度の大きい(10倍以上)地域が見られるが、局所的に増幅度の小さい(2~5倍)地域があることがわかる。

松波はこの局所的に増幅度の小さい地域の解釈として、彦根山、荒神山、三上山等の花崗岩あるいは閃緑岩からなる孤立丘の存在を指摘して、さらに、過去には孤立丘であったところが現在では平地になっており孤立丘の面影を留めていないで埋没しているものもあることを指摘して、図6で局所的に増幅度の小さい地域は孤立丘跡であったと説明している(松波2005)。

首都圏強震動総合ネットワーク(SK-net)では、地震研究所の共同利用を通じて多くの機関の研究者により、高密度強震観測データを用いた研究を実施している。平成17年7月に発行された、首都圏強震動贈号ネットワーク報告書(2005年7月)では、以下のような研究成果が報告された。

- ・ 関東平野の堆積層の3次元S波速度構造の推定

山中浩明, 駒場信彦(東工大総合理工学研究科), 山田信之(京大防災研)

- ・ 周波数特性を考慮した関東平野におけるサイト増幅特性

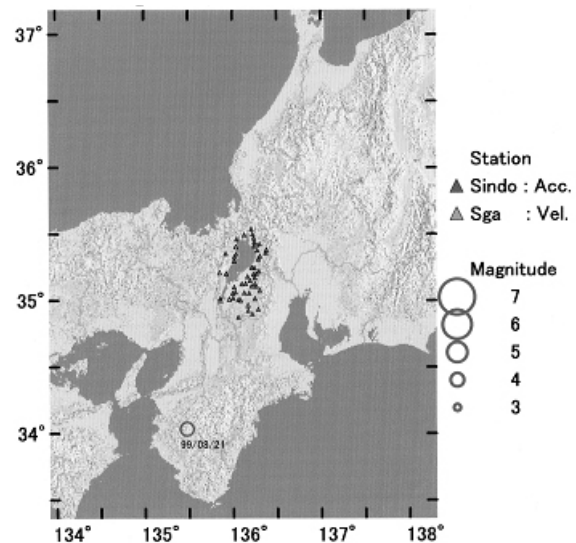


図5 増幅度解析に用いられた地震(1998年8月22日M4.9、深さ約60km、和歌山県中部)の震央と滋賀観測点分布

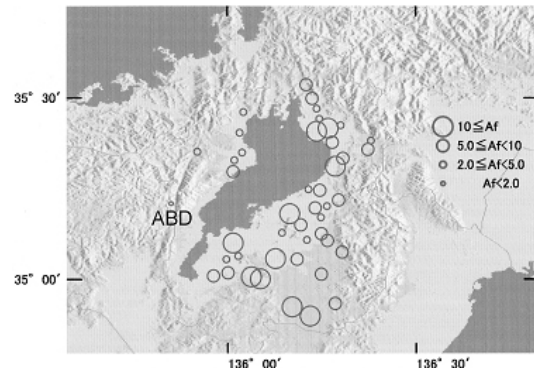


図6 露岩観測点ABDを基準とする各観測点の相対増幅(1~3Hz間の平均値)

- 川上洋介(*)・金田淳也・久田嘉章 (工学院大学、*現在(株)篠塚研究所)
- ・ 常時微動を用いた東京消防庁の地震観測点における建物および地盤の振動特性の推定
紺野, 諏訪(芝浦工大), 瀨瀨(東大地震研), 水村, 田野倉(東京消防庁)
 - ・ SK-net で見た紀伊半島南東沖地震の長周期地震動
三宅弘恵・瀨瀨一起 (東大地震研)
 - ・ 新潟県中越地震と長周期地震動による関東平野の大揺れ
古村孝志 (東大地震研)
 - ・ 2003年十勝沖地震による広域における強震動特性
笹谷努・前田宜浩 (北大・理学研)、高井伸雄・清水学 (北大・工学研)
 - ・ 鹿児島県北西部における3次元速度構造モデルの構築と地震動シミュレーションへの適用
藤井雄士郎(九大情報基盤センター), 竹中博士(九大大学院理学研究院)
 - ・ 強震動評価のための統合化地下構造データベースの構築
大井昌弘・藤原広行・野畑有秀・八十島裕 (防災科学技術研究所)
 - ・ 強震時の間隙水圧上昇に伴う地盤の液状化プロセス
松波孝治・郷隆之・釜井俊孝 (京大防災研)
 - ・ 高密度強震計ネットワークからわかったこと
翠川三郎 (東京工業大学都市地震工学センター)

(c) 結論ならびに今後の課題

首都圏では、多くの周辺自治体の協力のもとにデータベースが充実しつつある。これにより、首都圏の広域地下構造モデルを構築するためのデータの準備がようやく整いつつある。2004年紀伊半島沖地震や新潟県中越地震の際は、首都圏を襲う長周期地震動の研究に広域高密度というSK-netの特徴がいかに発揮された。ただ、自治体によっては、データ収集に最大1年ぐらい遅れるとか、観測点で保存できる波形データが少なく、新しい地震が観測されると波形データが上書きされて消失してしまうという問題もある。さらに、最近では、自治体の合併による観測点の変更、データ収集回線の防災無線などへの変更、自治体システムの変更などから、頻繁に自治体データ収集について変更を余儀なくされている。精密な解析には良質なデータセットが不可欠であるので、なるべく欠測のないように、引き続き、各自治体の担当者と協力して、安定的にデータ収集するように変更・整備を進める必要がある。

また、既存の観測網の収集だけでなく、より高密度な強震観測を推進するためには、ITを活用した安価な強震計の開発と普及が重要である。現在開発中の新型強震計は、まだまだ価格的には安くすることができると思われるので、今後更なる研究開発を進めて、次世代高密度強震観測システムの実現へと研究を推進する必要があるだろう。

今後とも、大都市圏の強震動総合ネットワークで得られた高密度強震観測データを充実し整備していき、地下構造モデルの検証、モデルの高精度化のための手法の開発、強震動の伝播特性の解明、強震動シミュレーションの検証、等の研究を一層推進していく予定である。

(d) 引用文献

- 1) 首都圏強震動総合ネットワーク(SK-net)報告書,平成 17 年 7 月,東京大学地震研究所,2005.
- 2) 鷹野澄・瀨瀬一起・工藤一嘉・古村孝志・山中佳子・ト部卓・土井恵治:首都圏強震動総合ネットワークSK-net, 記念シンポジウム「日本の強震観測 50 年」—歴史と展望—,2004
- 3) 鷹野, 菊地, 山中, 瀨瀬, 古村, 工藤, ト部, 武尾:首都圏強震動総合ネットワークと Seismic Kanto プロジェクト, 震災予防, No. 184, pp22-25, 2002.
- 4) 竹中博士・山本容維・中村武史・豊国源知・川瀬博:福岡県西方沖地震:強震計の記録が語るその震源断層像,『環境管理』第 35 号,(財)九州環境管理協会,2006 年 5 月出版予定
- 5) Takenaka, H., T. Nakamura, Y. Yamamoto, G. Toyokuni and H. Kawase: Precise location of the fault plane and the onset of the main rupture of the 2005 West Off Fukuoka Prefecture earthquake, Earth Planets and Space, 58(1), 75-80, (2006)
- 6) 鷹野澄・伊藤貴盛・原徹夫:IT 強震計—その概念と試作—,日本地震学会 2004 秋季大会,2004
- 7) 三宅弘恵・瀨瀬一起:2004 年紀伊半島南東沖地震による長周期地震動, 日本地震学会 2004 秋季大会,2004
- 8) Miyake, H. and K. Koketsu: Long-period ground motions from a large offshore earthquake: The case of the 2004 off the Kii peninsula earthquake, Japan, Earth Planets and Space, 2005
- 9) 松波孝治:滋賀を襲う地震と揺れの地域性, 滋賀県安全快適まちづくりシンポジウム 2005, 2005
- 10) Koketsu, K. and Kikuchi, M.: Propagation of seismic ground motion in the Kanto basin, Japan, Science, 288, No.19, 1237-1239, 2000.

(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
Takenaka, H., T. Nakamura, Y. Yamamoto, G. Toyokuni and H. Kawase	Precise location of the fault plane and the onset of the main rupture of the 2005 West Off Fukuoka Prefecture earthquake	Earth Planets and Space, 58(1), 75-80	2006
鷹野澄・伊藤貴盛	建物用 IT 強震計システム	日本地震学会 2005 年秋季大会, C100	平成 17 年 10 月 21 日
鷹野澄・伊藤貴盛	建物用 IT 強震計システムの開発	日本地震工学会・大会 2005	平成 17 年 11 月 22 日
鷹野澄・伊藤貴盛	建物用 IT 強震計システムの開発と今後の展望	第 836 回地震研究所談話会	平成 18 年 2 月 24 日

(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18年度業務計画案

首都圏を中心とした大都市圏の周辺の自治体等の強震波形データの収集を、引き続き進めデータベースを充実するとともに、最近のIT技術を利用して展開することを目的とした次世代強震観測システムの研究を進める。また、高密度強震観測データを用いた、地下構造モデルの検証、モデルの高精度化のための手法の開発、強震動の伝播特性の解明、強震動シミュレーションの検証、等の研究も引き続き推進していくが、特に強震波形データのスペクトルから地下構造を逆解析する手法の開発をめざす。