

東京大学地震研究所の強震観測網と強震観測データベース

三宅弘恵¹⁾, 瀨瀬一起¹⁾, 古村孝志¹⁾, 宮川幸治¹⁾, 田中伸一¹⁾

1) 東京大学地震研究所
e-mail : sms_admin@eri.u-tokyo.ac.jp

要約

東京大学地震研究所では1953年より強震観測を開始し、現在62観測点を運用している。これらの観測点は、岩盤サイトである伊豆駿河湾やESG研究が実施された足柄平野などの定常観測点に加え、長野盆地や諏訪盆地に展開している信州大学との共同観測点が含まれる。近年は、携帯電話通信を用いた連続観測点への更新に着手している。2008年からは強震観測データベースを構築し、定常観測・臨時観測・共同観測の強震記録を公開すると共に、SMAC型強震計記録の画像データとその公開も開始した。

キーワード： 強震観測網, データベース, 臨時強震観測, 共同強震観測, 連続観測

1. はじめに

東京大学地震研究所では1953年に強震観測が開始され、その詳細はTanaka et al.¹⁾, 田中²⁾, Kudo et al.³⁾, 工藤⁴⁾, 坂上・高橋⁵⁾, 坂上⁶⁾に詳しい。この強震観測網は、伊豆駿河湾や足柄平野を中心に、岩盤サイトやボアホールといった強震動解析の要となる観測点を基盤としつつ、堆積平野や堆積盆地における多点展開や、建築構造物への設置を含めた強震動の包括的理解を目指して構築・運用されてきた。1979年まではSMAC型強震計が設置されており、1980年にデジタル型強震計が設置されて以降、順次デジタル化が進められてきた。その後、南関東や信州にも強震観測網を展開し、信州大学との共同強震観測を含め、現在では62観測点を運用している⁷⁾。この他に機動型強震計を活用し、近年頻発する内陸の被害地震の臨時強震観測も実施している。これらの多種多様な記録について、著者らは2008年から東京大学地震研究所強震観測データベース (<http://smsd.eri.u-tokyo.ac.jp/smad/>) を構築してきた。本稿では、本データベースに収録されている定常強震観測・臨時強震観測・共同強震観測について述べる。

2. 強震観測データベース

強震記録の管理方法には、CD/DVDやディスク、あるいは記録更新を都度閉じるweb等の静的な方法と、日々増加する記録を反映・精査しながら管理する動的な方法がある。当時の強震観測網はトリガー観測点のみであったが、2008年に過去の記録に遡って強震観測データベースを構築するにあたり、著者らが選択したのは動的なデータベースであった。記録はK-NETフォーマットとSACフォーマットの両方を作成することにした。その結果、日々ダイアルアップされるトリガー強震記録を、該当する気象庁速報震源あるいは一元化震源と紐づけ、データの不具合をチェックして公開・非公開の判断を行い、サーバにて公開する作業が、半自動化を交えて開始された。また、観測点の機種更新や極性反転に対応するため、観測点に世代番号を振り管理する方針が採用された。2011年東北地方太平洋沖地震発生時のよう

に、日々の処理がおいつかない月もあれば、トリガー記録がない月も生じている。定常観測・臨時観測・共同観測について、伊豆大島の群発地震等も含め全てのトリガー記録をデータベースに掲載するには、M1.5以上の震源と紐づける必要がある。同時多発地震が発生すると、紐づけが困難な場合もある。

2011年東北地方太平洋沖地震では、図1の通り全観測点でトリガー記録が得られたため、長周期成分を十分に含むこれらの記録を活用し、全観測点の時刻、方位、極性、振幅の精査を同時に行うことが可能となった。また、頻発する大地震の記録を用い、観測点の世代ごとの再精査を行った。これらの修正を反映し、確度の高い強震観測データベースがようやく構築された。



図1 定常強震観測点で記録された2011年東北地方太平洋沖地震

3. 定常強震観測

定常強震観測網は、伊豆駿河湾17点、足柄平野14点、南関東6点、信州24点（うち20点は後述の共同強震観測点）に加え、名古屋名駅観測点から構成されており、全62観測点中46点がダイヤルアップを主体としてオンライン化されており、残り16点が現地収録のオフライン点である。地表のみの観測点は、ASI-230を用いている富士川地殻変動観測所観測点を除き、JEP-4A3またはK-NET95のセンサーとK-NET95のレコーダーを用いている。地中と地表で観測を行うボアホール観測点では、SA-355CTのセンサーを用いている浮島観測点を除き、JEP-4B3あるいはSMAC-MDUのセンサーとSMAC-MDUのレコーダーを使用している。また、東京大学地震研究所⁸⁾⁹⁾や小田原市の西湘高校では建物を含めた多チャンネル強震観測を展開しておりAJE-8200のレコーダーで収録している。定常強震観測網の大多数は、今なおトリガー観測である。そのため、電力が途切れるまで真に必要な記録を取り逃さないよう、駿河トラフに近い伊豆駿河湾では、各観測点にトリガーレベルを変えた複数の強震計を併設している。

観測網展開から30年を経た2011年東北地方太平洋沖地震において、全観測点でトリガーした記録が得られると共に、足柄平野の成田観測点や南足柄観測点において、周期2-3秒に極めて大きな応答を有する強震記録が得られた¹⁰⁾。このような大きな応答は、関東平野では見られず、戸建免震に影響を与えた可能性が検討されている¹¹⁾。

この他、糸魚川-静岡構造線断層帯における重点的な調査観測を契機として、長野県の揺れやすさ¹²⁾を参考に、松本盆地に2点のボアホール観測点を構築した¹³⁾。これらは敷地確保や電源供給が容易であるために臨時的な連続観測点としても活用され、地震波干渉法に関する成果¹⁴⁾が生まれている。

また、観測機器や観測点の老朽化や、観測メンテナンスのスリム化を考慮し、定常強震観測網のスクラップアンドビルドを実施している。江東観測点や鋸山観測点などは、ごく近隣に強震記録が公開され

る観測点が新設されたため、これらと同等の記録が得られることを確認した上で廃止した。潮岬観測点や松田町寄観測点、手石島観測点¹⁵⁾のように、一定の研究目的と達成したとして観測点を廃止した事例もある。一方、新尺里観測点¹⁶⁾をはじめとする新規更新あるいは移設された観測点では、JEP-8A3のセンサーとHKS9700のロガー、および携帯電話通信を用いたリアルタイム強震観測を行っている。前節の強震観測データベースはトリガー記録を公開する目的に特化しているため、連続強震観測記録は、サーバに保存すると共に、東京大学地震研究所首都圏強震動総合ネットワークSK-net^{17),18),19)}を通じて、対象地震ごとにK-NETフォーマットのトリガー記録を作成して公開している。

4. 臨時強震観測

工藤²⁰⁾によってSMAR-6A3Pの機動型強震計が開発されて以降、被害地震直後に臨時強震観測を展開する事例²¹⁾が増加した。強震観測データベースでは、近年の被害地震の臨時強震観測のうち、2004年新潟県中越地震²²⁾、2005年福岡県西方沖の地震²³⁾、2007年新潟県中越沖地震²⁴⁾、2008年岩手・宮城内陸地震²⁵⁾の公開可能な記録を掲載している。この中には、2004年新潟県中越地震のM6クラスの余震を記録した小千谷小学校校庭のヤギ小屋の550 cm/s²や、2008年岩手・宮城内陸地震の余震を記録した本寺小学校の915 cm/s²も含まれる。臨時強震観測を通して、新潟県川口町や小千谷市の震度7相当の観測点周辺の空間変動や、高低差の大きな玄界島における強震動変化の有無、柏崎刈羽原子力発電所周辺域の強震動分布や、火山周辺の減衰構造を反映した強震動特性が把握された。

臨時強震観測は、余震活動を数多く捉えることができるため、短期間の観測であっても十分かつ幅広い振幅の余震記録を得る効率的な方法である。また、Kudo et al.²⁶⁾のように、極めて大きな加速度を観測し検証した事例もある。実際、表1に示す通り強震観測データベースにおける大加速度記録の大半は臨時強震観測が占めている。ただし、大加速度を記録する可能性があっても、臨時強震観測は学校や役場などの公共施設で実施する場合が多く、現状復帰の観点から機動型強震計の設置はエポキシ系接着剤で行っている。なお、強震観測データベースに掲載している臨時強震観測記録は、全て現地収録である。臨時強震観測は年々進化しており、連続強震観測が主流となり、大容量の記憶媒体を有するロガーへの更新や安価な携帯通信モジュールを搭載してWINパケットで観測記録を毎秒送信する方法に変わりつつある。

5. 共同強震観測

共同強震観測は、東京大学地震研究所が長年大切にしてきた観測形態であり、詳細は坂上⁹⁾に詳しい。ここでの共同強震観測とは、地震直後に複数の機関が共同で行う臨時的な共同強震観測のみならず、定常的な強震観測を共同で行うことを意味する。東京大学地震研究所では、長野盆地と諏訪盆地を対象として信州大学と、福井盆地を対象として福井大学と、国内の複数の機関と共同強震観測を実施し、技術支援を行うと共にデータ提供を受けてきた。

強震観測データベースでは、頻発する内陸地震の記録が得られるようになったことを踏まえ、信州大学との共同強震観測のうち2004年以降の強震記録を公開している。長野盆地には、長野盆地西縁断層帯が位置しており、盆地全体に10観測点を展開している。このうち、信越地震観測所の観測点は横杭に設置されている。諏訪盆地は、諏訪湖の東側と西側を糸魚川-静岡構造線断層帯が並走し、表面波が発達するだけでなく、地盤増幅が大きい高震度盆地として知られている。そのため、信州大学が実施した微動探査²⁷⁾を参考に12観測点を設置した²⁸⁾。また、盆地端部効果を計測するために、盆地上端と盆地下端のペア観測点を2か所に設置して観測を継続している。その結果、諏訪湖岸周辺に加え、既存の強震観測の空白域であった盆地南西部において、極めて大きな揺れが観測されることが明らかになった。

6. SMAC型強震計記録の画像データとその公開

強震観測データベースには、東京大学地震研究所が保管している1956年から1995年に至るSMAC型強震計記録の画像データも公開されている。これらは紙記録のうち、マグニチュードが大きいまたは加速

度が大きい波形記録のスキャン画像であり、東京101の記録や、1995年兵庫県南部地震の記録も含まれる。加えて、通称吉澤ファイルと呼ばれる吉澤²⁹⁾のスキャンPDFおよびデジタル記録や、Kudo et al.³⁰⁾によってデジタル化された1964年新潟地震の川岸町の記録も強震観測データベースに掲載している。公開に至る一連の作業のうち、観測記録・密着コピーなどの整理は坂上実氏が、データテーブルの作成・リンクなどは工藤一嘉氏が主として担当した。

7. まとめ

本稿では、東京大学地震研究所の強震観測網と強震観測データベースについて紹介した。強震観測データベースでは、1980年以降の定常強震観測、近年の4つの被害地震の臨時強震観測、2004年以降の信州大学との共同強震観測のデジタル記録を公開している。加えて、1956年から1995年に至るSMAC型強震計記録の画像データと、1964年新潟地震をはじめとする一部の地震のデジタル記録も公開されている。この他、連続強震観測記録は首都圏強震動総合ネットワークSK-netにおいて公開を開始した。

これらの強震観測網は、岩盤サイトやボアホールといった強震動解析の要となる観測点を基盤としつつ、堆積平野や堆積盆地における多点展開や、建築構造物への設置を含めた強震動の包括的理解を目指して構築・運用されてきた。観測網展開から30年を経た2011年東北地方太平洋沖地震において、全観測点がトリガーした記録が得られると共に、足柄平野において極めて大きな応答を有する強震記録が得られた。40年近く強震観測を行っても、定常観測点の地表加速度が100 cm/s²を超えることは稀であり、1gを超える記録は未だ観測されていないが、その都度研究目的を設定し、目的を達成した観測点は、スクラップアンドビルドを繰り返しながら現在の62観測点に至っている。近年は、方位や極性、振幅の再精査が行われ、トリガー観測にも連続観測にも対応可能な確度の高い強震観測データベースが構築された。

表1 本データベースにおける顕著な地表観測地震動

2008/06/16 23:14 M5.3	岩手・宮城内陸 余震	PGA 915 cm/s ²	本寺小 (臨時)
2011/06/30 08:16 M5.4	長野県中部 本震	PGA 587 cm/s ²	松本市島立小 (定常)
2004/10/27 10:40 M6.1	新潟県中越 余震	PGA 550 cm/s ²	小千谷小 ヤギ小屋 (臨時)
2004/11/04 08:57 M5.2	新潟県中越 余震	PGA 541 cm/s ²	小千谷中 周辺民家 (臨時)
2014/11/22 22:08 M6.7	長野県北部 本震	PGA 533 cm/s ²	信州大変電室 (共同)
2004/11/04 08:57 M5.2	新潟県中越 余震	PGA 507 cm/s ²	小千谷小 ヤギ小屋 (臨時)
2008/06/16 23:14 M5.3	岩手・宮城内陸 余震	PGA 499 cm/s ²	巖美町板川 (臨時)
1990/08/05 16:03 M5.3	箱根地方 本震	PGA 450 cm/s ²	小田原市集中局 (定常)
2008/06/16 23:14 M5.3	岩手・宮城内陸 余震	PGA 355 cm/s ²	巖美町下真阪 (臨時)
2004/10/27 10:40 M6.1	新潟県中越 余震	PGA 337 cm/s ²	小千谷中 周辺民家 (臨時)
2014/11/22 22:08 M6.7	長野県北部 本震	PGA 336 cm/s ²	信州大社会開発棟 (共同)

謝 辞

工藤一嘉氏、坂上実氏、吉澤静代氏、壁谷澤寿海氏、田守信一郎氏、鷹野澄氏、上原美貴氏に謝意を表します。

参考文献

- 1) Tanaka, T., Kudo, K., Sakaue, M., Shima, E. and Osawa, Y.: An observation network of earthquake strong motion in the Suruga bay region and the Izu Peninsula, Proceedings of the 8th World Conference on Earthquake Engineering, Vol. 2., pp. 15-22, 1984.
- 2) 田中貞二：わが国の強震観測事始めを振り返って—加速度強震計の開発と初期および発展期の強震観測—, 防災科学技術研究所研究資料, No.264, pp.7-20, 2005.
- 3) Kudo, K., Shima, E. and Sakaue, M.: Digital strong motion accelerograph array in Ashigara Valley - Seismological and engineering prospects of strong motion observation -, Proceedings of the 9th World

Conference on Earthquake Engineering, Vol. 8, pp. 119-124, 1988.

- 4) 工藤一嘉：強震観測－現状と展望－，地震，Vol.47, No.2, pp.225-237, 1994.
- 5) 坂上実，高橋正義：強震観測室の変遷と現状－観測点選定・観測点建設・強震計設置について－，東京大学地震研究所技術研究報告，No.2, pp.102-119, 1998.
- 6) 坂上実：地震研究所における強震動観測の変遷と現状，これから，東京大学地震研究所技術研究報告，No.17, pp.77-94, 2011.
- 7) 宮川幸治，坂上実：東京大学地震研究所強震観測網の概要，平成24年度地震研究所職員研修会，P-01, 2013.
- 8) 壁谷澤寿海，瀧瀬一起，坂上実，古村孝志，壁谷澤寿一：新館免震建屋地盤系の強震観測計画－免震建物における杭変形の観測－，東京大学地震研究所ニュースレター，2006年6号，2006.
- 9) 坂上実：地震研究所総合強震観測システムの構築，東京大学地震研究所技術研究報告，No.13, pp.6-19, 2007.
- 10) Tsuno, S., Yamanaka, H., Chimoto, K., Midorikawa, S., Sakai, S., Miyake, H. and Koketsu, K.: Local site effects generating strong ground motions for a period of 2 to 3 seconds in the Kanto region, during the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake, Proceedings of the 5th IASPEI/IAEE International Symposium: Effects of Surface Geology on Seismic Motion, No. P211D, 2016.
- 11) 高橋武宏，福和伸夫：2011年東北地方太平洋沖地震における戸建免震住宅の免震層変形と足柄平野の地盤震動特性の関係，日本建築学会構造系論文集，Vol.78, No.694, pp.2123-2132, 2013.
- 12) 泉谷恭男，金子雅子：長野県の震度計設置点における相対的な揺れ易さ，第11回日本地震工学シンポジウム論文集，pp.39-42, 2002.
- 13) Miyake, H., Sakaue, M., Koketsu, K. and Izutani Y.: Borehole strong motion observation along the Itoigawa-Shizuoka Tectonic Line, Proceedings of the 15th World Conference on Earthquake Engineering, No. 0871, 2012.
- 14) 山中浩明，内山知道：微動探査と地震波干渉法による松本盆地のS波速度構造の推定，物理探査，Vol.61, No.6, pp.469-482, 2008.
- 15) 坂上実，高橋正義，平田安廣，小山茂，中尾茂，渡辺茂，渡邊隆之，瀧瀬一起：伊東沖手石島総合観測施設の建設について，東京大学地震研究所技術報告，No.4, pp.72-94, 1998.
- 16) 宮川幸治，田中伸一：強震尺里観測点の移設，平成28年度地震研究所職員研修会，P-06, 2017.
- 17) 瀧瀬一起：大都市圏強震動総合観測ネットワークシステム，日本地震学会ニュースレター，Vol.12, No.2, pp.27-28, 2000.
- 18) 鷹野澄，上原美貴：首都圏強震動総合ネットワーク SK-net におけるデータ収集の現状，東京大学地震研究所技術研究報告，No.20, pp.1-10, 2014.
- 19) 上原美貴，鷹野澄：首都圏強震動総合ネットワーク SK-net のデータ活用，平成29年度地震研究所職員研修会，P-08, 2018.
- 20) 工藤一嘉：機動強震アレイ観測のための軽量小型強震計の製作と観測・解析マニュアルの作製，平成7～9年度科学研究費補助金「基盤研究(A)」研究成果報告書，176p., 1998.
- 21) 古村孝志，瀧瀬一起，坂上実，山中佳子，高橋正義：2000年伊豆諸島群発地震における式根島の震度異常と地盤増幅特性，地震，Vol.54, No.2, pp.299-308, 2001.
- 22) 田中康久，三宅弘恵，坂上実，壁谷澤寿海，瀧瀬一起：2004年新潟県中越地震の小千谷市・川口町における余震強震観測，日本地球惑星科学連合2006年大会予稿集，S111-P003, 2006.
- 23) Miyake, H., Tanaka, Y., Sakaue, M., Koketsu, K. and Ishigaki Y.: Empirical Green's function simulation of broadband ground motions on Genkai Island during the 2005 West Off Fukuoka Prefecture earthquake, Earth Planets and Space, Vol. 58, pp. 1637-1642, 2006.
- 24) 木村武志，石瀬素子，武村俊介，靱山将，坂上実，田中康久，三宅弘恵，瀧瀬一起，壁谷澤寿海：2007年新潟県中越沖地震に伴う臨時強震観測，日本地震学会講演予稿集2007年秋季大会，P1-096, 2007.
- 25) 木村武志，竹本常人，塚越大，坂上実，三宅弘恵，瀧瀬一起：スペクトルインバージョンに基づく2008年岩手・宮城内陸地震の余震の震源特性と震源域のサイト増幅特性，日本地震工学会論文集，

Vol.11, No.5, pp.28-40, 2011.

- 26) Kudo, K., Sasatani, T., Sakaue, M., Saito, S., Nagumo, H. and Takahashi, M.: Effects of surface soil and earthquake source radiation on the ground motion of 1.6g acceleration, observed during the August 8, 1993, South-west off Hokkaido earthquake, Japan, Proceedings of the 9th Japan Earthquake Engineering Symposium, pp. E043-E048, 1994.
- 27) 田守伸一郎, 平野貴識: 諏訪盆地における常時微動観測による S 波速度構造の推定, 日本建築学会構造系論文集, No.596, pp.159-164, 2005.
- 28) 三宅弘恵, 坂上実, 瀨藤一起, 石瀬素子, 木村武志, 田守伸一郎: 諏訪盆地における強震観測, 日本地震工学会大会-2007 梗概集, pp.54-55, 2007.
- 29) 吉澤静代: 強震記録のデジタル・データ 強震観測資料, 91p., 1991.
- 30) Kudo, K., Uetake, T. and Kanno, T.: Re-evaluation of nonlinear site response during the 1964 Niigata earthquake using the strong motion records at Kawagishi-cho, Niigata city, Proceedings of the 12th World Conference on Earthquake Engineering, No.0969, 2000.

Strong Motion Observation Network and Database of Earthquake Research Institute, University of Tokyo

MIYAKE Hiroe ¹⁾, KOKETSU Kazuki ¹⁾, FURUMURA Takashi ¹⁾,
MIYAKAWA Koji ¹⁾ and TANAKA S. Shinichi ¹⁾

1) Earthquake Research Institute, University of Tokyo

ABSTRACT

Earthquake Research Institute (ERI), University of Tokyo has performed strong motion observation since 1953, then currently operates the strong motion network with 62 stations. Most stations are located on the ground surface with K-NET95, and several stations with JEP-4B3 and SMAC-MDU or JEP-4B3 and AJE8200 are installed both at the borehole and the ground surface for better understanding of site response. ERI established strong motion observation database in 2008. The data are open to the public via <http://smsd.eri.u-tokyo.ac.jp/smad/> with K-NET and SAC format. Data of temporary strong motion observation by portable sensors are also open on the website with publications. Recently, we upgrade several stations to start continuous observation with JEP-8A3 and HKS9700 that can record distant earthquakes even occurred in the southern hemisphere. The data are transmitted to ERI every second by the mobile router for cell phones. In addition to the Suruga bay and Izu Peninsula, Ashigara valley, and southern Kanto regions, recently most offline stations are installed in the Nagano and Suwa basins as a framework of joint strong motion observation with Shinshu University. These stations are nearby the active fault traces such as the Itoigawa-Shizuoka tectonic line. The dominant periods of the Ashigara valley and the Suwa basin range between 1 to 3 s that may affect largely on seismic intensity measures. The stations succeeded to record the 2009 Suruga-bay intraslab earthquake and the 2011 Tohoku megathrust earthquake. Strong azimuth variation along the coast line of the Suruga bay were captured during the 2009 Suruga bay earthquake, and significant local amplification in a period range of 2 to 3 s were observed in the Ashigara valley, rather than the Kanto basin during the 2011 Tohoku earthquake.

Keywords: Strong ground observation network, Database, Temporary strong motion observation, Joint strong motion observation, Continuous observation