

共同観測による高密度強震計アレイ

Dense Strong Motion Array Constructed by Cooperative Observation

植竹富一*

Tomiichi UETAKE

Cooperative observation is a step to construct dense strong motion array, because it means gathering of many observational resources. In this paper, the cooperative observations are classified into three types. The first is temporary observation by many organizations. The second is consortium to construct new observation network for special studies. The third is the joint database of several independent networks. This type seems to be most effective step to construct dense network because many organizations have network independently in Japan.

Keywords: Cooperative observation, Temporary observation, Dense observation network, Joint of observation networks
共同観測, 臨時観測, 高密度観測網, 観測網の連携

1. はじめに

1995 年兵庫県南部地震をきっかけに、計測震度計網が拡充された¹⁾²⁾。さらに K-Net³⁾, Kik-Net⁴⁾が整備され、全国規模で見た場合、強震計の設置密度は高まり、被害を起こすような地震動を取り逃がす可能性は低くなった。実際、兵庫県南部地震以降に発生した 1997 年鹿児島県北西部の地震、1998 年の雫石の地震、1998 年の仙台的地震、2000 年の新島・神津島近海の群発地震、そして平成 12 年鳥取県西部地震では、これらの観測網によって大加速度の強震記録が提供されている。

これらの強震記録を将来の構造物の設計や地震防災に合理的に生かして行くには、観測された強震動が生成された要因を明らかにしておく必要がある。強震動を生成する要因である、震源、伝播経路、表層地盤の諸特性を分離・把握するためには、空間的に広がった適切な密度の観測点が必要である。特に、表層地盤の影響による地震動の変動は大きく^{5),6)}、ある広がりを持った地域の地震動を一点の観測記録で代表することは困難であると考えられる。阪神・淡路大震災の例を見るまでもなく、被害様相は狭い範囲で変化し、被害分布の一因としての強震動の空間変化を把握するためには、より高密度の強震観測が要求される。その意味では、上述の観測網は市町村単位や数十 km スパンの設置となっており、必ずしも十分な密度とは言えない。しかし、観測網の無制限な広域化・高密度化は資金的にも物理的にも不可能であるから、目的に応じた高密度化が必要である。

近年、防災情報の取得を主目的として、横浜市による市域 150 点 (2km メッシュ) の強震観測網⁷⁾や、東京

ガスのガス導管網制御用の高密度地震観測網 (約 3700 機、約 0.9km² に 1 カ所)⁸⁾等が設置され、強震動研究への活用も期待されている。しかしながら、こういった観測網を各機関毎に設置・維持していくことは非常に困難である。

本報告では、観測点の高密度化を目的とした共同強震観測事例に関する報告を行う。なお、共同観測については片岡 (1995)⁹⁾が、仙台高密度強震観測事業¹⁰⁾、関西地震観測研究協議会 (以下、関震協)¹¹⁾、ESG 釧路共同強震動観測¹²⁾という 3 つの大規模な事例について報告を行っている。これらの事例は、地震計の持ち寄りあるいは共通目的のための新観測網の立ち上げから成っている。本報告では、この 2 つに既存の複数観測網 (機関) の連携という観点を加えた表-1 に示す枠組みで、共同観測による高密度化の試みについて報告する。なお、共同観測には様々な要素が絡むため、この分類は必ずしも適切ではないかもしれないが、敢えて分類を試みた。

2. 臨時観測としての合同観測

被害地震発生後に、余震を捉えるために強震計による余震観測が行われている。集中的に強震計が投入され高密度の観測が実施される場合が多い。

1993 年釧路沖地震後の釧路市域で行われた共同強震観測¹²⁾は、多くの民間企業を加えた大規模なものであり、直径 3km 程度の範囲に 23 点の観測点を設置した。設置した翌年に 1994 年北海道東方沖地震が発生し、釧路市内の地震動の変化を捉えることに成功した。なお、釧路では、共同観測のデータに独自の高密度観測データ

*東京電力(株)電力技術研究所耐震グループ

Researcher, Seismic Design Group, Power Eng. R&D Center, TEPCO

を加え、地震動及び微動の空間変動について詳細な解析を行っている例¹³⁾も見られる。

1993年北海道南西沖後には、東大地震研、京大防災研、北海道大学理学部が共同で強震計による余震観測を行った¹⁴⁾。この観測では、しびの岬において1.6gという大加速度記録を観測している。

1995年兵庫県南部地震後の神戸では、その甚大な被害と震災の帯と言われた特異な被害分布ゆえに、その原因解明を目的に共同強震観測が実施された^{15),16),17)}。共同観測により表層地盤の影響やエッジ効果の一端が明らかにされた。

また、地震後ではないが、日本建築学会の強震観測委員会では、WG活動の一環として、静岡市において共同観測を実施している¹⁸⁾。

従来の据え置き型の強震計を現地に持ち込んでの共同観測では、1機関当たりの設置台数にも限りがあり、同一仕様の地震計をそろえることは困難であった。阪神大地震以後、大地震後の余震観測を一つのターゲットとした機動型強震計の開発が行われ¹⁹⁾、最近では積極的に観測が行われるようになった。

1999年のトルコ・コジャエリ地震や台湾・集集地震においても、日本から携帯型の装置が持ち込まれ観測が行われ、強震動特性を探る資料を提供している^{20),21)}。

ある程度発生が予想される余震に対して、集中的な観測態勢を敷くということは現実的な戦略であり、今後ともこういった事例は増えると考えられる。

3. 共通目的のための新観測網の構築

既に共同研究を終了した仙台高密度強震観測事業¹⁰⁾や現在も継続している関震協¹¹⁾のように共通の目的を持った機関同士が資金を提供し合い観測網を構築する事例がある。既存の重要観測点や観測網を補う形で高密度に観測網を設置して、効率的に地盤の影響を解明しようという試みが、電力共通研究として行われている。なお、電力共通研究とは各電力会社が共通の課題に対して費用を分担し共同で実施する研究である。

一つは、東京大学地震研究所の足柄平野観測網を、補完するように設けられた観測点群²²⁾であり、ESGブラインドプレディクションテストの際に残された3次元不整形地盤での地震動評価の課題を解決するために、水平・鉛直両面から高密度の観測が実施されている。

もう一つは、兵庫県南部地震によって記録が得られた神戸海洋気象台、神戸大学の観測点を海側、山側から挟むように設けられた観測点群²³⁾であり、平成7年兵庫県南部地震の際に得られた大振幅記録に含まれる地盤の影響を明らかにするために、高密度の観測が実施されている。なお、この研究では関西各地でも観測点を設置している。

こういった観測は、半ば閉じた組織を構成して行われるため、関震協¹¹⁾の様に速報性も目的としているものもあるが、一般に地震後の迅速な情報公開には向かないが観測のターゲットがあるため有用な成果が期待される。

4. 既存観測網の連携

広域の地震動の空間変化を捉えるために、複数の観測機関により得られた記録を統合して用いることは非常に有効である。従来から、関東地方の波動伝播を捉えるために記録の有効利用が行われてきた²⁴⁾。近年では観測点が増えたことにより、より直接的に波動伝播が描き出されるようになって^{25),26)}。こういった試みは特定の興味深い地震に対して記録を収集するという形で進められてきたが、最近では、観測の段階から連携し、データ交換を行っていくという試みが進められている。まず大規模なものとして、気象庁の震度計網¹⁾と地方自治体の震度情報²⁾の連結が挙げられる。これは、記録波形そのものを共有するわけではないが、計測震度という地震動の特性値を共有化し、公開情報として流すことにより地震発生時の各地の詳細な震度分布が短時間でわかるようになった。ただし、観測点密度は市町村単位である。より密な地震動情報を得るために、地域毎に各強震観測機関が協力し高密度のネットワークを連携を図る試みが行われている。

札幌では、札幌都市域の地盤構造とそれが地震動に及ぼす影響に関する研究を推進するために、北海道大学が中心になり、札幌地盤震動研究会²⁷⁾を結成し1996年から観測点を整備し、札幌市による観測点3点、現在K-Net³⁾観測点2点を含め14点で観測が行われている。新観測網の整備と共に既存の観測網のデータの利用、地盤情報などの共有という試みを行っている。

中京地域では、名古屋大学を中心に名古屋地域強震観測研究会²⁸⁾が立ち上げられ、国の機関(気象庁、K-Net、港湾技研、建築研究所)、自治体(愛知・岐阜・三重各県、名古屋市)、大学(名古屋大学、豊橋技術科学大学、愛知工業大学)、民間企業間で強震観測に関する情報交換とデータ流通の試みが開始されている。連携先が複数にわたるためか、情報交換手段としてインターネットを採用するなど、従来の電話回線・専用線ベースの情報流通とは違ったものを指向している。また、地震後の防災情報共有を意識したものであり研究のための高密度化とはやや異なる趣があるが、強震観測の一つの方向性として注目すべきものである。

また、文部省の科学研究費により各都市圏毎に大学・自治体のネットワークを連結したデータ流通の試みも行われ始めている²⁹⁾。首都圏・関西圏、中京圏、札幌圏、仙台圏、福岡圏の各都市圏毎に、強震動波形データネッ

トワーク装置や強震動基準観測装置を整備し、機動強震動観測装置を組み合わせることで効率的なデータ収集を図ろうとしている。また、こういった試みは、データの保存・流通の体制が整っていない自治体のネットワークの記録の有効利用にもつながっていくと考えられる。

観測装置の高精度化、GPS を用いた時刻装置の導入により、データ精度や時刻精度など地震計の違いによる問題は解決されていく⁹⁾と考えられるが、防災目的の地震計の場合、数を優先（値段を下げる）させるため、機能上の制約から大地震以外は計測対象として十分な精度を保証しないものや、時刻を必要としていない場合もあり、目的によっては十分活用できないデータもあることに留意しておく必要がある。

5. まとめ

共同観測は観測のための資源を集約できるため、観測点密度を高めるための手段として有効であるが、共同観測にはそれなりの動機付けが必要であろう。大地震後の共同余震観測では、余震という明確な対象があるだけに共同観測の動機付けがしやすいが、平時においては共同観測の意義付けは、特定の課題がないと難しいと考えられる。その意味で、地震防災情報としての強震観測情報は、各機関の観測網のデータ共有化を目指す動機付けになりうるであろう。従来、各機関毎に独自の観測網を作り上げてきた我が国では、各機関の持つ既存の観測網の連携が、平時の高密度観測として現実的である。その際に、情報交換手段が一つのネックとなると考えられるが、それに対してはインターネットの利用など新しい試みが行われている。個人的な意見ではあるが、物理的な問題に加え、各機関独自の観測体制あるいは考え方の枠を如何に超えていくかという事の方が共有化にとって重要な問題と思われる。個々の機関が得た情報を如何に公共の情報として扱って行くかは、特に私企業にとっては難しい問題である。

最後に、強震観測点の高密度化、広域化は、強震観測データの増大をもたらすことを忘れてはならない。莫大な量のデータを維持・管理し、有効に利用していくことは、今後重要な課題となってくることは間違いないことである。

参考文献

- 1) 例えば、川上徹人：気象庁における強震波形観測・収録と提供，日本地震学会ニュースレター，Vol.9，No.6，7-9，1998.
- 2) 長尾一郎：震度情報ネットワークの整備，日本地震学会ニュースレター，Vol.10.，No.3，16-17，1998.
- 3) 例えば、大谷圭一：全国強震ネットワークの構築，地震工学会ニュース，No.147，27-29，1996.
- 4) 青井 真・他：基盤強震観測網 (KiK-net)，日本地震学会ニュースレター，Vol.12，No.3，31-34，2000.
- 5) Abrahamson, N.A. : Estimation of seismic wave coherency and rupture velocity using the SMART1 strong-motion array recordings, EERC report No. UBC/EERC-85/02, 1985.
- 6) 堀家正則・竹内吉弘・干場充之：堆積盆地における地震動小規模アレイデータの解析，地震2，43，43-54，1990.
- 7) 例えば、石原 靖：横浜市高密度強震計ネットワーク，日本地震学会ニュースレター，Vol.11，No.1，17-19，1999.
- 8) 小金丸健一・清水善久・中山 渉：超高密度リアルタイム防災システム－SUPREME－の開発，日本地震学会ニュースレター，Vol.12，no.3，29-31，2000.
- 9) 片岡俊一：共同観測事例，強震データの活用に関するシンポジウム－強震データベースの現状と共同利用の試み－資料集，日本地震学会地震災害委員会，強震観測運営委員会，強震データ小委員会，13-18，1995.
- 10) 建設省建築研究所・(社) 建築研究振興協会：仙台高密度強震観測総合報告書，1999.
- 11) 例えば、入倉孝次郎・香川敬生：関西地震観測研究協議会（関震協：CEORKA），日本地震学会ニュースレター，Vol.11，No.4，28-30，1999.
- 12) Association for Earthquake Disaster Prevention, Japanese Working Group on Effects of Surface Geology on Seismic Motion : Strong Motion Database Cooperative Strong Motion Observation in Kushiro, Hokkaido, Japan, June, 1997, pp.193, 1997.
- 13) 趙 伯明・堀家正則・竹内吉弘・川瀬 博：微動と地震動から推定された地盤特性の比較，地震2，50，7-87，1997.
- 14) 工藤一嘉・坂上 実・高橋正義・笹谷 努・齋藤誠治・南雲秀樹：1993 年北海道南西沖地震系列の強震観測－8月8日，M6.5の地震による1.6gの強震記録－，地震学会講演予稿集，2，26，1993.
- 15) Iwata, T., K. Hatayama, H. Kawase, and K. Irikura : Site Amplification of Ground Motion during Aftershocks of the 1995 Hyogo-ken Nanbu Earthquake in Severely Damaged Zone -- Array Observation of Ground Motions in Higashinada Ward, Kobe City, Japan --, J. Phys. Earth, 44, 553-561, 1996.
- 16) Yamanaka, H., and S. Aoi : Estimation of Basement Depth along the Sumiyoshi River in Kobe City -- Travel Time Analysis of P-, S-, and SP-waves from an Earthquake Array Observation --, J. Phys. Earth, 44, 543-552, 1996.
- 17) Kurita, K., K. Seo, M. Haile, H. Yamanaka, and K. Yamazaki : Characteristics of Weak Earthquake Ground

- Motions in the Sumiyoshi Area of Kobe, 44, 613-621, 1996.
- 18) 小林孝至・境 茂樹：静岡における共同観測，第2回強震データの活用に関するシンポジウム資料集，2000.
- 19) 工藤一嘉・他：機動強震アレイ観測のための軽小型強震計の製作と観測・解析マニュアルの製作，平成7年度～9年度科学研究費補助金[基盤研究(A)]研究成果報告書（研究代表者：工藤一嘉），1-9.
- 20) 工藤一嘉：トルコ・コジャエリ（Kocaeri）地震の概要と強震記録，1999年トルココジャエリ地震被害調査速報会資料，日本建築学会・土木学会・地盤工学会合同被害調査団 日本建築学会グループ，10-20, 1999.
- 21) 東 貞成・岩田知孝・川瀬 博・佐藤智美・佐藤俊明・入倉孝次郎：1999年台湾集集地震の震源域における臨時地震観測，地球惑星関連学会 2000年合同大会予稿集(CD-ROM)，Sb-011, 2000.
- 22) Sato, K., S. Higashi, H. Yajima and S. Sasaki : Ashigara valley test site, 1D or 2D・3D?, Proc. of 2nd International symposium on ESG, Vol.1, 319-340, 1998.
- 23) Tatsumi, Y., T. Kitano, F. Amaike, A. Nobata, and K. Irikura : Strong ground observation at bedrock in the Kinki district, Japan, Proc. of 2nd International symposium on ESG, Vol.1, 293-304, 1998.
- 24) 例えば, Zama, S. : Characteristics of long-period ground motion in Tokyo Bay area, Japan, Proc. 10th World Conf. Earthq. Eng., 593-598, 1992.
- 25) 額縁一起・菊池正幸：1998年5月3日伊豆半島東方沖地震による関東平野の表面波伝播，日本地震学会講演予稿集，1998年度秋季大会，B86, 1998.
- 26) 植竹富一・工藤一嘉：足柄平野の複雑な地下構造に起因する地震動の後続位相－山梨県東部の地震記録の解析－，地震2，51，319-333, 1998.
- 27) 札幌地盤震動研究会：札幌都市域における地盤構造調査と強震動観測，1993年3月，pp.162, 1999.
- 28) 福和伸夫，飛田 潤・中野 優：名古屋地域強震観測研究会における地域の強震観測データ活用の試み，強震観測の最新情報，日本地震学会ニュースレター，Vol.11, No.5, 14-17, 2000.
- 29) 額縁一起：大都市圏強震動総合観測ネットワークシステム，強震観測の最新情報，日本地震学会ニュースレター，Vol.12, No.2, 27-28, 2000.

表－1 高密度化を目的とした共同強震観測

実施形態	主な目的	主な事例
計器の持ち寄りによる臨時観測	・余震による強震動取得 ・被害と地震動特性の関係把握	・ESG 釧路共同強震観測 ・被害地震の余震観測
新観測網の立ち上げ	・問題解決型の強震観測 ・観測組織内の情報共有化	・仙台高密度強震観測事業 ・関西地震観測研究協議会 ・電力共通研究（足柄、関西）
既存観測網（機関）の連携	・防災情報としての強震動情報の共有 ・観測網の広域化 ・データの保持、有効利用	・札幌地盤震動研究会 ・名古屋地域強震観測研究会 ・大都市圏強震動総合観測ネットワークシステム