

# シリーズ「新・強震観測の最新情報」

## (第13回) 電力中央研究所露頭岩盤上強震観測システム RK-net

電力中央研究所 芝 良昭・佐藤浩章

### はじめに

電力中央研究所は、電気事業の中央研究機関として、電力施設の耐震設計に資することを目的とした強震観測点の設置と、データの収集を1970年代半ばより実施している<sup>1),2)</sup>。我々の強震観測は、強震計の設置地点を露頭岩盤とすることにより、ダムや原子力発電所などの入力地震動が定義される基盤位置での地震記録を、文字通り露頭波として取得することができるという点に他の強震観測網にはみられない特徴をもつ。また、この特徴は地震学的にみれば、表層地盤による増幅の影響、いわゆるサイト特性の影響を最小化できることから、特に地震の震源特性の研究に対して有用な、高品質の強震データを供給することができる。以上より本観測網は、「露頭岩盤上強震観測 (Rotou-ganbanjou Kyoshin-kansoku)」の頭文字であり、Rock Outcropをも含意したRK-netと称している。

### 観測システムの概要

2020年現在のRK-net観測点配置を図1に示す。現行の観測点数は29点で、東北日本の太平洋岸から南関東、および伊豆半島で比較的高密度な分布となっている。これは東日本の地震活動度、特に有感地震の発生頻度が西日本に比べて相対的に高く、初期の観測網展開時に早期のデータ取得が期待できたことや、特に1970年代から80年代にかけて伊豆半島周辺で複数の被害地震や群発地震が発生したことを受けて、同地域に強震観測点が精力的に設置・増強されてきたことなどによるものである。一方で、南海トラフ巨大地震の発生が切迫している状況下で西日本の太平洋岸にも観測網の展開を図っており、2018年度にはこれまで観測網の空白域であった三重県と高知県に計3か所の観測点を増設した。

強震計の換震器は、水平に整形された岩盤上にモルタル

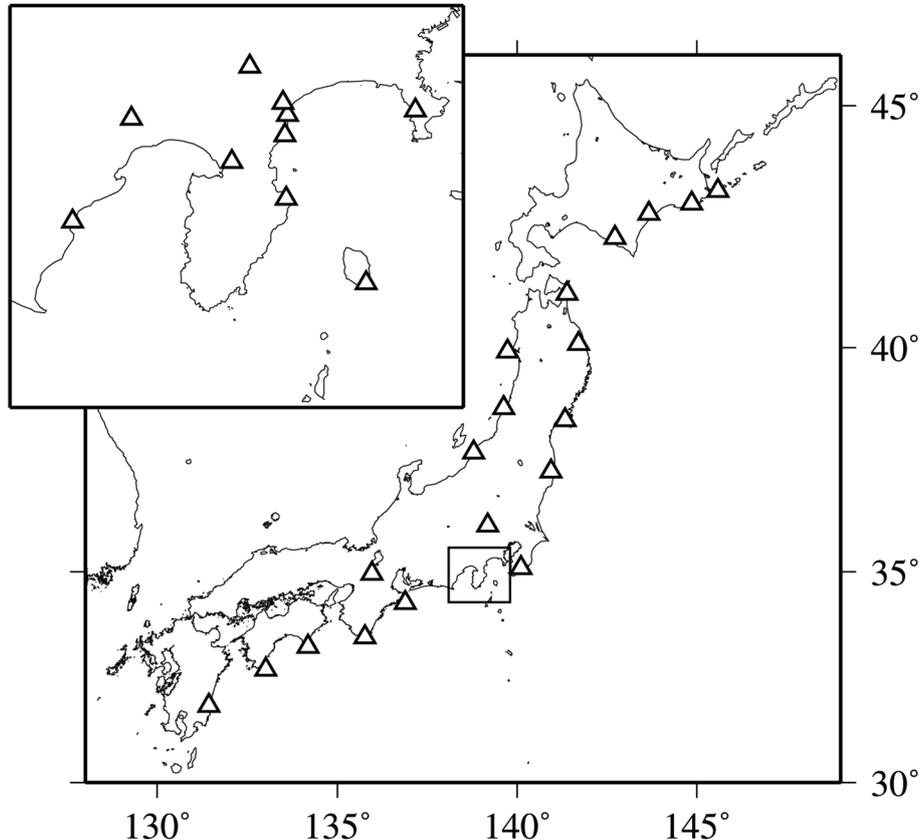


図1 RK-netの観測点分布(2020年1月1日現在)

表 1 強震計の特性

製造元	収録器	センサー	測定範囲	周波数範囲	AD 分解能
勝島製作所	AccuSEIS_Omni	SD-240	±2G	0.04-30 Hz	24-bit

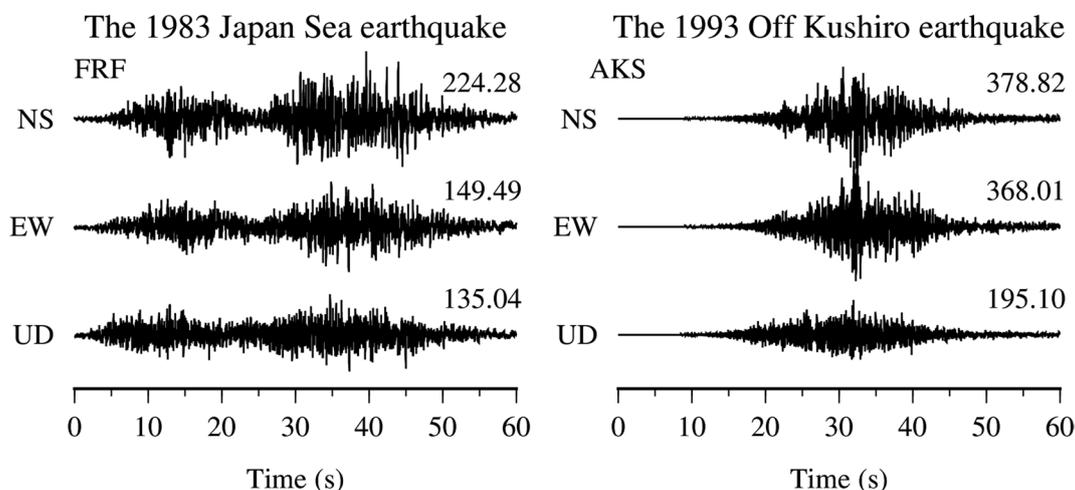


図 2 顕著な観測記録の例. 左：不老不死（FRF）観測点における 1983 年日本海中部地震の加速度記録. 右：厚岸（AKS）観測点における 1993 年釧路沖地震の加速度記録. 図中の数字は最大加速度値（単位は  $\text{cm/s}^2$ ）を表す.

で直付けされ、観測小屋内の収録器に信号が送られる。データの収録はトリガー方式でおこなわれ、取得された観測記録は公衆 ISDN 回線を用いて研究所内のデータサーバに転送される仕組みになっている。観測データの刻時機能は、GPS 信号を受信することにより精度を確保する。さらに耐雷器を設置し、雷サージによる機器の故障を防いでいる。岩盤上観測は特に落雷の影響を受けやすいため、このような対策が必須となる。多くの観測点では設置岩盤のコアを採取し、室内試験による弾性波速度の測定を実施している。その他の主な強震計の特性を表 1 に示す。

我が国で地震計の設置に適した露頭岩盤層を見つけることが難しいという事情もあり、RK-net の観測点の多くは民有地を賃借し、無人観測を基本としている。そのため、観測網運用の観点からは、各観測点の稼働状況の確認や機器の故障をはじめとするトラブルの早期発見が課題となる。こうした通常的な管理業務の効率化と保守業務の負荷低減のために、2008 年よりウェブベースで運用されるデータ管理・データベース化システムを開発した<sup>3)</sup>。これにより、観測点の遠隔操作によるヘルスチェックや観測記録の手動取得の手順が簡便になり、定型的な業務のアウトソース化が図られるとともに、校正信号やエラーアラートの自動メール送信機能により、トラブルの早期発見、稼働率の向上が見込まれるようになった。あわせて、観測記録に対する震源情報のマッチングを半自動化し、データベース作

成のための作業量を大幅に軽減した。

#### 顕著な記録の例

RK-net は観測開始時期が K-NET や KiK-net と比較して早く、1995 年兵庫県南部地震以前の強震記録が数多く得られている。顕著な記録の例としては、1980 年伊豆半島東方沖地震（M6.7）、1983 年日本海中部地震（M7.7）、1987 年福島県沖群発地震（最大 M6.7）、1993 年釧路沖地震（M7.5）、1994 年北海道東方沖地震（M8.1）などが挙げられる。これらの記録は電力施設の入力地震動策定に対する貴重な基礎資料となったのみならず、各地震の主として震源特性の解析等に用いられている。観測記録の例として、1983 年日本海中部地震の不老不死観測点（FRF、観測は終了）における記録と 1993 年釧路沖地震の厚岸観測点（AKS）における記録を図 2 にそれぞれ示す。近年でも、例えば 2011 年東北地方太平洋沖地震（Mw9.0）では、当時設置されていた 33 観測点のうち、宮崎地点を除く観測点で強震記録をトリガー観測することができた。

#### データ公開

1980 年以降の主要な観測記録については体系的に整理され、データベース化している。このうち 1990 年から 2000 年までの記録については紙ベースの資料集として刊行されていたが<sup>4)</sup>、現在ではこのような形態での情報提供

は停止している。取得された強震データは、ノイズの選別や、気象庁の地震月報（カタログ編）に基づく震源情報の関連付けの再確認を目視で行うなど、各種スクリーニングを実施した後にデータベース上に登録される。なお、電気事業の中央機関としての当所の性質上、オンラインによるデータ提供はイントラネットを介した電気事業者対応に限っている。一般の研究者に対するデータ提供については、提供依頼票を紙ベースで提出していただき、提供の可否判断も含め、個別に対応させていただいている。

#### おわりに

電力中央研究所の強震観測網 RK-net は、地震計の設置を露頭岩盤に限定している他には見られない観測網である点と、1980年代からの強震記録がデータベース化されている点が主な特徴である。一方で、この限定した条件に合致した観測の適地を選定することは困難を極めることから、観測点数は必ずしも多いとはいえず、そのため、特に内陸地震についての記録の充実が課題となっている。これについては、同様の観測網を有する他機関とも連携しつつ、

我々の観測網の特徴を生かしながら、岩盤上の露頭波（基盤地震動）の特性についての研究を進めていきたいと考えている。

#### 参考文献

- 1) Shiba, Y. and H. Yajima, 2004, Observation network for strong motions operated by CRIEPI, 日本地震工学会論文集特集号—SPECIAL ISSUE: Recent Development of research and practice on earthquake engineering in Japan—, 4, 108-111, [https://doi.org/10.5610/jaee.4.3\\_108](https://doi.org/10.5610/jaee.4.3_108).
- 2) 芝 良昭・矢島 浩, 2005, 電力中央研究所における強震観測, 防災科学技術研究所研究資料, 264, 59-62.
- 3) 芝 良昭・東 貞成・佐藤浩章・成田 章, 2009, 露頭岩盤上強震観測システム (RK-net) の構築とその利用, 日本地球惑星科学連合 2009 年大会予稿集, S222-P004.
- 4) 矢島 浩, 1990-2000, 強地震観測資料集第 1 巻～第 18 巻, 電力中央研究所報告.

## (第 14 回) 東京電力グループにおける強震観測の現状

東京電力ホールディングス株式会社 植竹富一

#### はじめに

東京電力では、原子力発電所、ダム、火力発電所、超高圧変電所など、特殊な構造物や規模の大きな発電設備で強震観測を実施している。構造物の設計検証や実挙動の把握を目的に強震計が設置されることが多く、大きな地震が発生したときの原子力発電所やダムの観測値は、規制官庁や自治体へ報告される。また、観測データは設計や地震対策の高度化に向けて蓄積されており、地震により電力設備が被災したときには、原因解明にも活用されている。災害対応拠点としての機能が求められる本社や支社の拠点となる建物には、被災度判定を行う専用の強震計が設置されている。なお、強震計による電力設備の直接的な制御は行われず、別に設置された専用地震計により原子炉の緊急停止と火力用ガス導管の閉止が行われている。

東京電力は、2016年4月に持ち株会社である東京電力ホールディングス（廃炉・原子力事業も担当）と燃料・火力発電、送配電及び電力小売りの3事業子会社に分社化され、2020年4月には水力を含む再生可能エネルギー発電事業も分社化されている。それに伴い、それぞれの事業に付随した地震観測設備はそれぞれの会社の所管となったが、地震を含む災害対策の検討については、グループ内で

情報を共有しながら進めている。以下では、分社化前の枠組みでの強震観測全体を紹介する。

#### 観測地点・観測装置

強震観測実施地点を図1に示す。原子力地点(●:4地点)と火力発電所が主である広帯域速度計観測地点(○:15地点)は東京電力ホールディングスが、ダム地点(▲:21地点)は東京電力リニューアブルパワー〔再生可能エネルギー事業〕が、変電所地点(□:44地点)及び拠点建物の観測点(■:17地点)は東京電力パワーグリッド〔送配電事業〕が管理している。なお、変電所や通信鉄塔などに設置された研究用の強震観測設備は東京電力ホールディングスが管理している。

それぞれの地点の観測目的に応じて、センサーの設置数や設置場所は異なっている。原子力地点では、建屋への地震計設置に加え、地盤増幅の評価のために地下200~300mまでの鉛直アレー観測が行われている。柏崎刈羽原子力発電所では、敷地内に展開した水平アレーや地下1500mでの観測も行われている。広帯域速度計観測点では、各地点1地震計のみの観測である。ダム地点では、ダムの基礎位置と天端の2地点が最低仕様であるが、地震時のダ

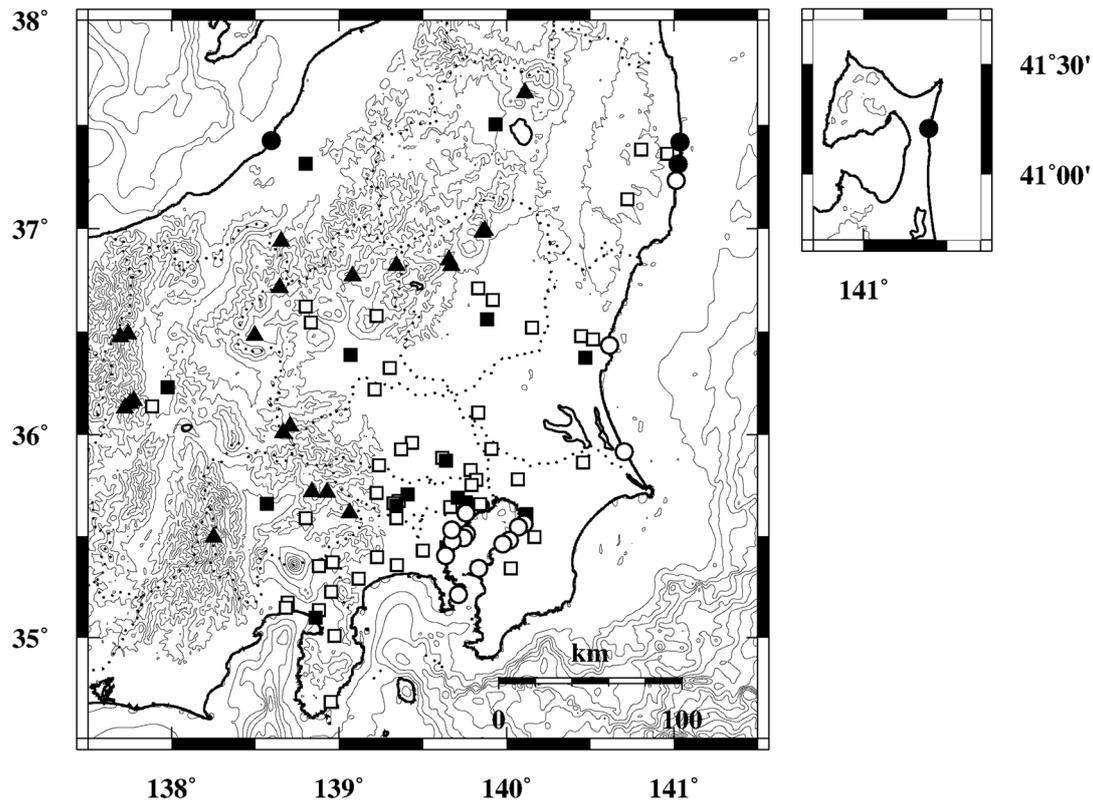


図1 東京電力の強震観測点 (2020年11月現在)。●:原子力地点, ○:広帯域速度計観測地点, ▲:ダム, □:変電所, ■:拠点建物. 標高のコンターは400m毎に表示.

ムの挙動把握のために多数の地震計が設置されている地点もある。変電所の観測では、地表と地中（地下20～50m）に加え、変圧器基礎及び変圧器本体での観測が行われることが多い。建物の被災度判定を目的とした拠点建物の観測では、各階に地震計が設置されている。

原子力地点、ダム地点、変電所地点では、サーボ型の加速度計が設置されており、サンプリング100Hzで、イベントトリガー方式の観測が実施されている。設備の導入・更新時期がバラバラで長期にわたっているため、計測範囲やAD変換等のスペックは必ずしも統一されていない。なお、収録装置の更新が進まず、時計の校正をラジオの時報に頼っている地点が多いのが実情である。広帯域速度計観測点は、長周期地震動の研究を目的として同一時期に設置したため、センサーは、東京測振製の速度型強震センサー（VSE-355G3）に統一されており、計測範囲±200cm/s、AD変換は24bit、サンプリング100Hzで観測が行われており、時計もGPSで校正されている。また、建物被災度判定用の観測では白山工業のネットワークセンサー（SU102～SU202）が用いられており、計測範囲±1.5Gまたは±2GでAD変換は24bit、100Hzサンプリングで観測が行われている。

現在、広帯域速度計や変電所の観測データについては、

社内IPネットワークを用いて波形回収を行っている。ただし、原子力発電所地点やダム地点、建物被災度判定用地震計は、以前から個別の観測システムが用いられているため、現在も個別にデータが収集されている。また、データの外部提供については、データ所管箇所の個別の判断となっている。

#### 顕著な観測記録

柏崎刈羽原子力発電所のサービスホール地点鉛直アレーで得られた2007年新潟県中越沖地震（M6.8）の加速度記録を図2に示す。震源に近く、継続時間は10秒ほどであるが、大加速度の記録が得られている。この地点は発電所東側の砂丘上の標高67.5mにあり、地表から70mほどは砂層で、それより下は泥岩層である。波形の右側に示してある最大加速度をみると、UD成分は地表に近づくほど大きくなっているのに対し、水平動（NS, EW）成分では小さくなっている。また、上から2つめの地点まではそれより下の観測点に比べて短周期の地震動成分が減衰していることが分かる。加速度の小さい記録では水平動でも短周期が増幅することが確認されており、砂地盤による非線形応答の影響と考えられる。

福島第一原子力発電所の北地点鉛直アレーで得られた

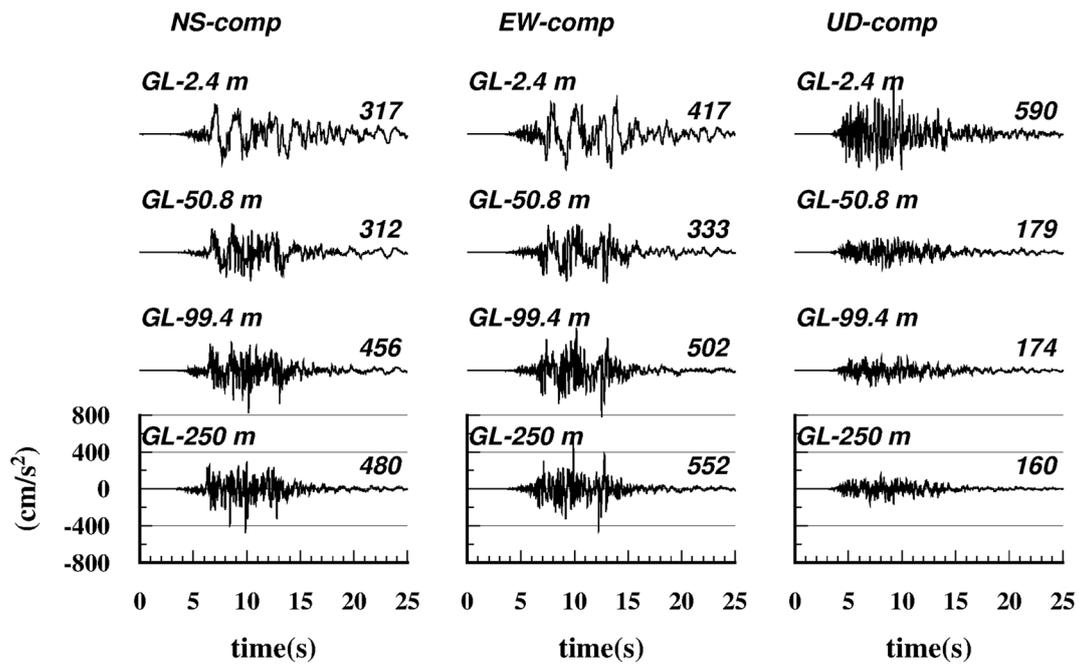


図 2 柏崎刈羽原子力発電所サービスホール地点鉛直アレー（地下 250, 99.4, 50.8, 2.4m）で得られた 2007 年新潟県中越沖地震の加速度記録. 左から NS, EW, UD 成分. 波形の右側の数字は最大加速度 ( $\text{cm/s}^2$ ) を表す.

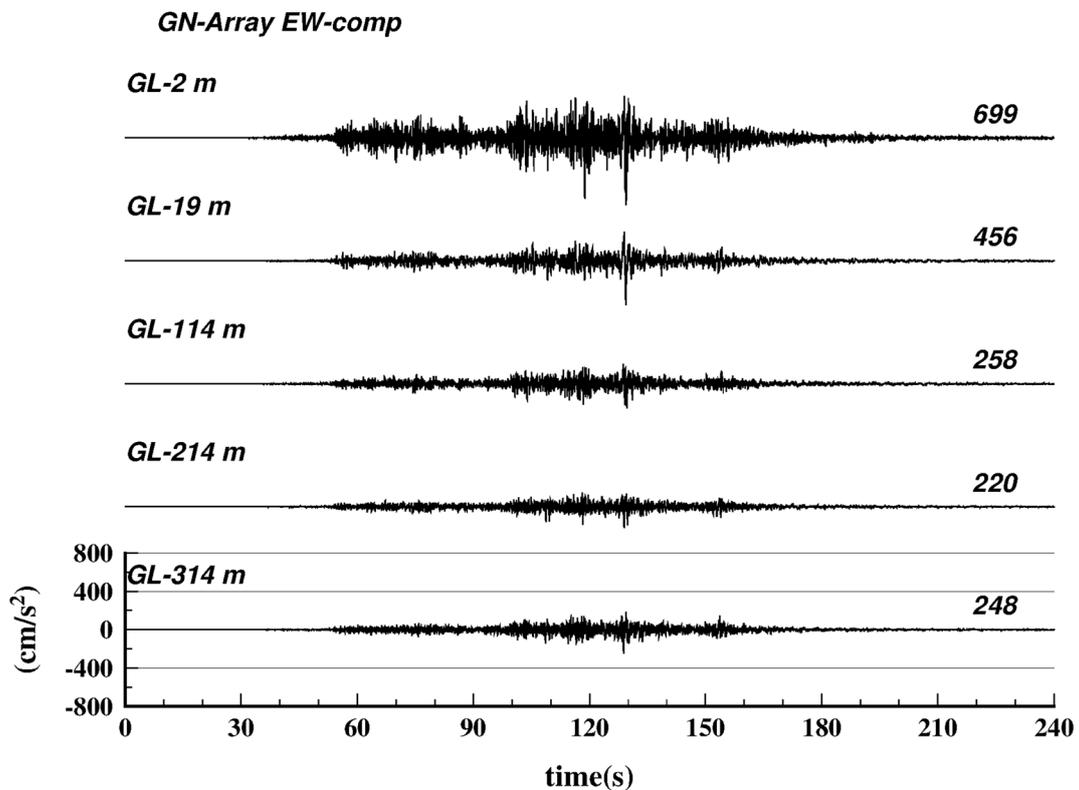


図 3 福島第一原子力発電所北地点鉛直アレー（地下 314, 214, 114, 19, 2m）による 2011 年東北地方太平洋沖地震の EW 成分加速度記録. 波形の右側の数字は最大加速度 ( $\text{cm/s}^2$ )

2011年東北地方太平洋沖地震(M9.0)の加速度記録(EW成分)を図3に示す。震源断層が広域に広がっており地震動の継続時間が長い。また、最大振幅は図の横軸の中程130秒付近で生じている。この地点は標高約13mで、地表付近は礫・細砂と泥岩の互層、深さ13m以深は泥岩層である。加速度値は地表に向けて大きくなっており、図2の波形記録で確認されたような、地表付近の波形の長周期化の傾向は見られない。

なお、図2、3に示したデータは、(公社)日本地震工学会を通じて公開されている。

#### 参考文献

Annaka, T. and Y. Nozawa, 1988, A Probabilistic Model for Seismic Hazard Estimation in the Kanto District, Proc. 9th WCEE, Vol. 2, 107-112.  
土方勝一郎・西村 功・水谷浩之・徳光亮一・真下 貢・

田中信也, 2010, 2007年新潟県中越沖地震の地震動特性, 日本建築学会構造系論文集, **75**, 1279-1288, <https://doi.org/10.3130/aijs.75.1279>.

日本地震工学会, 強震データ, <https://www.jaee.gr.jp/jp/stack/data/>, <閲覧:2020年11月27日>

新垣芳一・栗田哲史・安中 正・岡田浩士, 2015, 関東平野周辺の工学的基盤面における揺れやすさ特性のゾーニングに関する一検討, 日本地震工学会論文集, **15**, 7\_242-7\_252, [https://doi.org/10.5610/jaee.15.7\\_242](https://doi.org/10.5610/jaee.15.7_242).

植竹富一, 2012, 東北地方太平洋沖地震及びその前震・余震で観測された東京湾岸の長周期地震動, 日本地震工学会論文集, **12**, 5\_192-5\_206, [https://doi.org/10.5610/jaee.12.5\\_192](https://doi.org/10.5610/jaee.12.5_192).

植竹富一・引間和人・新村明広・藤岡将利, 2020, 大深度地震観測データを用いた地震波動伝播解析, 日本地震学会2020年度秋季大会予稿集, S16-10.