

## 鉛直多連地震観測システムの構築（その2 観測記録による検証とその特徴）

（公財）鉄道総合技術研究所 正会員 ○田中 浩平 坂井 公俊

### 1. はじめに

地中における地震伝播特性を把握することを目的として鉛直アレイ地震観測が多数実施されている。挙動を精緻に把握するためには、地中に複数の地震計を設置する必要があるが、費用や設置場所の制約からその数は限られている。著者らは、その1<sup>1)</sup>にて数珠つなぎの地震計を用いた鉛直多連地震観測システムを提案している。これにより、1つのボーリング孔で10個の地震計を設置することができるようになる。その2では、本観測システムの観測記録による検証とその特徴について整理した結果を述べる。

### 2. 観測記録の検証

その1で述べたように、本システムの観測を検証するために4m程度離れた隣接地点において、相対的に精度の高いセンサーとロガーを使用した鉛直アレイ地震観測を実施している。この観測では、多連地震計の4ch(深度14m)と6ch(深度30m)と同深度に2つの地中地震計を配置した。地震計はnanometrics社製Titan加速度計、ロガーはCentaurである。多連地震計と同様にブンデに収納し、1つのボーリング孔に設置している。深度30mはこれまでの地中地震計と同様にボーリング孔底に設置している。

地中地震計は、現地で設置方位を調整することが難しいため、観測された記録に基づいて地中地震計の角度を把握する必要がある。本検証では、文献<sup>2)</sup>の方法を参考にして、水平2成分記録の相関係数が最も大きくなる角度を地震計ごとに評価した。地表位置に別途設置した地震計(方位調整済)を基準点とし、はじめにこの地点に対する多連地震計1chの角度補正量を計算する。続いて、1chと2ch、2chと3chというように、随時補正量を評価した。検証用のTitan地震計は、同深度の多連地震計と比較することで補正量を評価した。相関係数の評価には、0.5Hz～5.0Hzのバンドパスフィルターを施した加速度波形のS波初動から10秒間を用いた。角度補正量は、2018/12/30～2019/1/21に観測された14地震に対して評価し、これを平均したものを最終値として用いた。

角度補正した観測記録を、同深度のセンサーで比較した結果を示す。検討に用いた地震は、2019年1月2月21:25に岩手県沖で発生した $M_j3.8$ の地震である。3成分の速度波形を比較したものを図-1、図-2に示す。いずれの深度ペアの速度波形もよく一致していることが確認できる。また、フーリエ振幅スペクトルを比較したものを図-3、図-4に示す。0.5-10Hz帯のフーリエ振幅はよく一致している。本地点は卓越周波数が1.0Hz程度の地盤であるため、0.5Hzより低振動数成分は振幅レベルが非常に小さい。これを下回る振動数成分は、いずれの地震計でも適切な記録が観測されていない可能性があり、一致していない。10Hzを超える高周波数は、センサー特性の違いでずれが見られる。図-5、図-6に速度オービット、変位オービットを示す。いずれも振動の履歴がよく一致していることが確認できる。

以上から、同位置、同一深度に設置された2つの地震計の観測記録を比較することで、本地震システムで適切な地震観測が実施されていることを確認できた。

### 3. 観測記録の特徴

検証を行った地震で観測された加速度記録を図-7に示す。加速度波形の振幅という観点からは、深度22m位置の5chで記録された地震動が最も大きくなる。

図-8に基盤位置の10chを基準とした場合の伝達関数(フーリエ振幅スペクトル比、0.2Hz parzen-windowで平滑化)を示す。伝達関数のピーク1.0Hz、3.0Hz、5.0Hz付近に非常に明瞭に確認できることがわかる。本地点は、その1<sup>1)</sup>に示したように比較的N値の変動が小さいため、1層地盤と捉えることができる。このような場合には基盤位置を固定端、地表面位置を自由端とした場合の基本モードは、1次周波数(1.0Hz)の3倍、5倍に対応する固有振動モードが見られる。このような現象とも調和的である。各ピークの大きさも、深度に応じて異なっており、3Hzのピークは深度37mで頭打ちであるが、1Hzのピークは深度が浅くなるにつれて徐々に大きくなる。

### 4. まとめ

1つのボーリング孔で複数の地中地震計が設置できる多連地震計による観測システムを構築し、観測された記録の検証、特徴を整理した。今後は、取得された記録を用いて地震動伝播特性の詳細な把握を試みる。

謝辞 本研究の一部は、国土交通省の鉄道技術開発費補助金を受けて実施した。

参考文献 1)田中他:鉛直多連地震観測システムの構築(その1 観測システムの概要),第74回土木学会年次学術講演会,2019,  
2)加藤他:中国・四国地方を対象としたKiK-net地中埋設地震計の設置方位の推定,地震第2輯,第54巻,2001

キーワード 地震観測, 表層地盤, 鉛直アレイ, 観測システム

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町2丁目8-38 TEL:042-573-7394

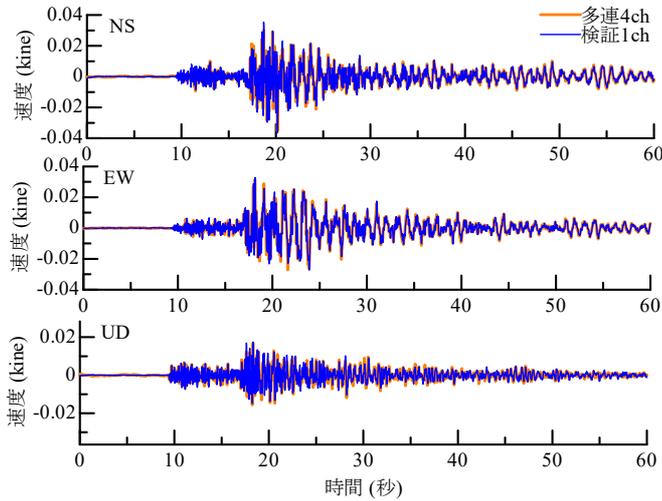


図-1 速度波形比較 (多連4ch と検証1ch)

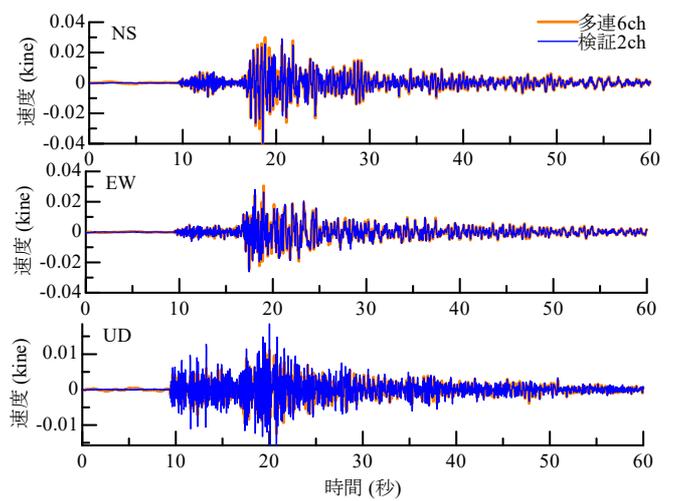


図-2 速度波形比較 (多連6ch と検証2ch)

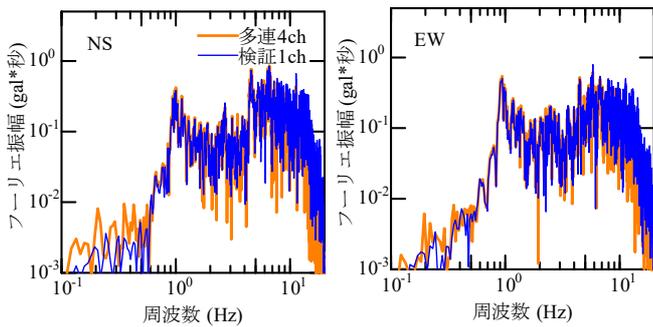


図-3 フーリエ振幅スペクトル比較 (多連4ch と検証1ch)

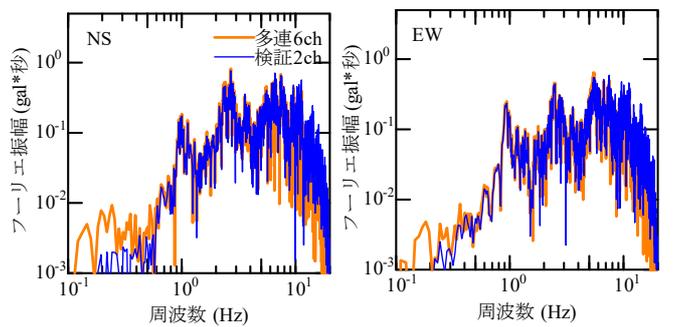


図-4 フーリエ振幅スペクトル比較 (多連6ch と検証2ch)

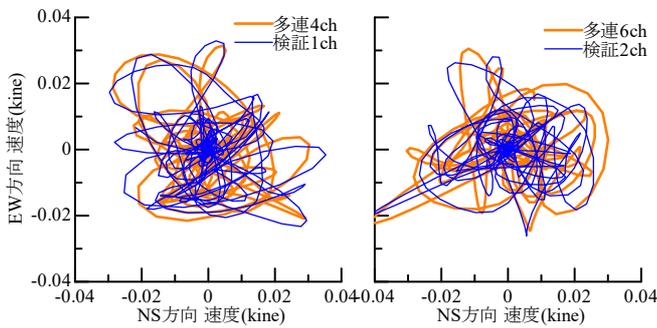


図-5 速度オービットの比較結果

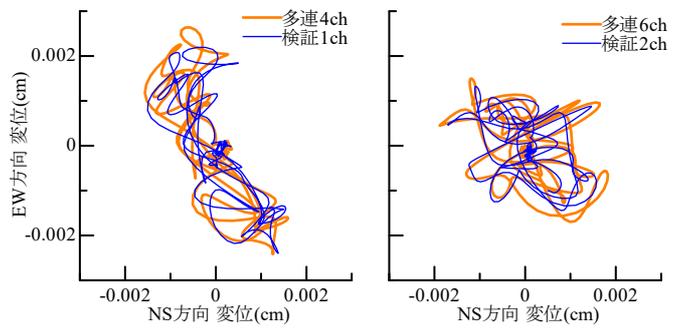


図-6 変位オービットの比較結果

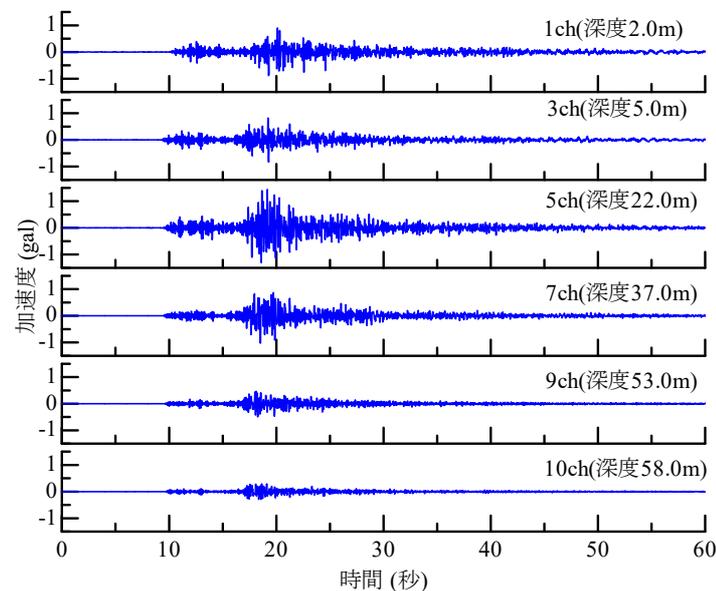


図-7 加速度波形の比較

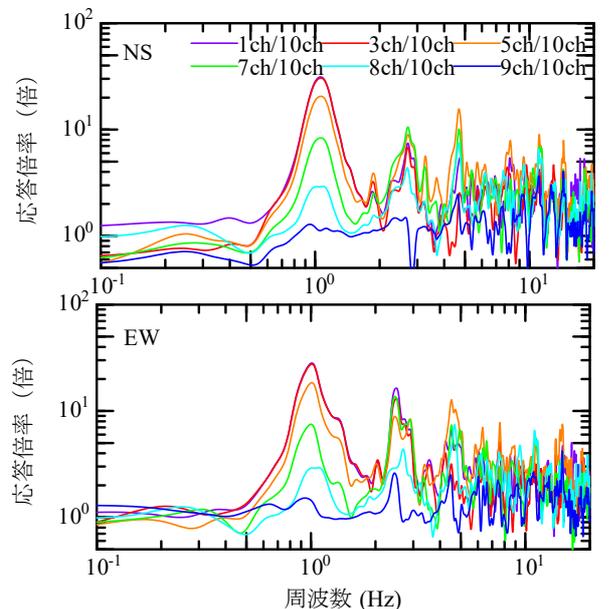


図-8 伝達関数の比較 (基盤からの応答倍率)