

3. 1. 3. 広帯域高ダイナミックレンジ孔井式地震計の開発

(1) 業務の内容

(a) 業務題目

「広帯域高ダイナミックレンジ孔井式地震計の開発」

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名	メールアドレス
独立行政法人防災科学技術研究所 地震観測データセンター	センター長	小原一成	obara@bosai.go.jp
	主任研究員	功刀卓	kunugi@bosai.go.jp
	主任研究員	廣瀬仁	hirose@bosai.go.jp

(c) 業務の目的

海溝型地震発生の理解推進を目的として、海溝型地震の特徴を考慮した地震計の開発を行うため。

(d) 5 ヶ年の年次実施計画（過去年度は、実施業務の要約）

1) 平成16年度

基盤地震観測網で用いられている、高感度加速度計（傾斜計および上下動加速度計）、低感度加速度計（強震計）をベースに広帯域高ダイナミックレンジ化をはかるための改良について検討を行い、試作機を製作した。新型広帯域地震計については、現行の高感度加速度計を元に短周期で振り切れを押さえる対策をおこなった。この結果として、短周期では地震計の出力が地動速度に比例する（速度平坦の特性をもつ）。強震計（速度型）についても高感度加速度計と同じ改良を行ったが、長周期のノイズ（直流成分ドリフト）が最大計測レンジを狭めるおそれがあるため、直流成分を安定化させる回路を付加した。これにより、STS型やVSE型速度計と同様の速度平坦な周波数特性をもつ。

2) 平成17年度

平成16年度に試作した地震計を基本として、計測性能向上のため平坦帯域を広げる改良を加えた地震計を新たに試作した。水平動強震計については、振動台による加振試験を行い、加速度計で得られた波形との一致を確認した。また、長期試験観測のための観測システムの構築を行った。

3) 平成18年度

平成17年度に試作した地震計を基本として、部品の熱処理等を行い、計測の安定性を向上させるための改良を加えた地震計を新たに試作した。温度の安定した横坑であるつくば地震試験観測施設（茨城県つくば市）において長期観測を開始した。

4) 平成19年度

試験観測の結果、平成18年度に試作した広帯域地震計が特に直流成分の安定性に優れていることがわかった。この結果から、最終的な試作地震計は、平成18年度に製作したものと同モデルとした。更なる改良点として、一時的に電子回路の時定数を短いものに

切り替え（数 10 秒→5 秒程度）、設置調整にかかる時間を短縮することのできる、フィードバック回路切り替え機能を組み込んだ。また、つくば地震試験観測施設（横坑）において、他の地震計（STS-1 広帯域地震計、VSE 速度型強震計）との比較観測をおこなった。この結果、2007 年 3 月能登半島地震（深さ 50km、M7.1、データ回収は平成 19 年度）、2007 年 7 月中越沖地震（深さ 10km、M6.6）の地震記録を取得した。また微動データの取得も行った。

5) 平成 20 年度

前年度までに製作した、広帯域地震計および強震計の試作機について総合的な性能評価を行う。平成 20 年度においては、広帯域地震計の低レベル振動時の性能を調査するために、遠地地震の記録を蓄積し、STS-1 地震計との比較を行う。強震計については、小型振動台による加振によって既存の加速度計との比較を行い、観測に問題が無いことを確認する。

(e) 平成 20 年度業務目的

前年度までに製作した、広帯域地震計および強震計の試作機について総合的な性能評価を行う。広帯域地震計については、これまでに、温度の安定した横坑（筑波山）での観測において、近地地震（平成 19 年能登半島地震、中越沖地震）を観測しており、STS-1 地震計との波形の一致を比較的大きな振動において確認している。平成 20 年度においては、低レベル振動時の性能を調査するために、遠地地震の記録を蓄積し、STS-1 地震計との比較を行う。強震計についても、近地地震（平成 19 年能登半島地震、中越沖地震）を観測しており、STS-1 地震計との波形の一致を確認しているが、強震計としての性能を把握するために適当な地震の発生は希である（大加速度の地震波等）。平成 20 年度においては、小型振動台による加振によって既存の加速度計との比較を行い、観測に問題が無いことを確認する。平成 20 年度は計画の最終年度であることから、これまでに取得した試験観測データと他の地震計データの比較を行い、試作した地震計の性能に関する総合評価を行う。具体的には、近地地震時の既存地震計との波形一致度（広帯域地震計、強震計）、遠地地震時の既存地震計との波形一致度（広帯域地震計）、加振による既存加速度計との波形一致度（強震計）の確認により、試作地震計が実際の観測に使用可能であるかの判断を行う。また、常時微動観測による地震計自己雑音スペクトル（広帯域地震計、強震計）の取得によりノイズ性能を確認し、地震計の設計・構造に基づく考察とともに、既存地震計との得失の評価を行う。

(2) 平成20年度の成果

(a) 業務の要約

広帯域地震計および強震計の試作機について総合的な性能評価を行った。つくば地震試験観測施設（横坑）においての長期観測を続行し、他の地震計との並行観測データを取得した。観測成果として、四川地震（2008年5月12日）等の遠地地震記録を取得した。また、試作広帯域地震計（水平動）が傾斜計として機能することを確認した。強震計については小型高精度振動台による加振によって感度の確認を行った。これらの試験観測データと他の地震計データ等との比較を行い、試作した地震計の性能に関する評価を行った。評価の結果、本計画で試作した地震計は、各種の評価から今後のボアホール地震観測の高度化に資するものと判断できる。ただし、本計画の試作は地震計の本体部分のみであり、ボアホール用の筐体に組み込み実際に観測を行うためには、開発および確認試験が必要である。

(b) 業務の成果

19年度に試作した最終試作機を中心として、広帯域地震計および強震計の試作機について総合的な性能評価を行った。つくば地震試験観測施設（横坑）においての長期観測を続行し、他の地震計との並行観測データを取得した。観測成果として、四川地震（2008年5月12日）等の遠地地震記録を取得した（図1）。また、試作広帯域地震計（水平動）が傾斜計として機能することを確認した（図2）。強震計については小型高精度振動台による加振によって感度の確認を行った（図3）。これらの試験観測データと他の地震計データ等との比較を行い、試作した地震計の性能に関する評価を行った。

試作した地震計の評価

・広帯域地震計・水平動

地震記録や傾斜潮汐応答の記録から、長周期では傾斜計、短周期では速度型の広帯域地震計として機能することが確認された。ノイズレベルについては周期100秒で20dB以上STS-2に地震計に劣るが、固有周期1秒程度の短周期地震計による計測に比べればノイズレベルは大きく改善される（図4）。また、本地震計はボアホール設置できること、クランプが不要であること、傾斜計として機能するなど、従来の地震計にない特徴を持つ。本計画の試作は地震計のエレメント部分のみであり、耐圧容器に格納しないまま計測を行った。広帯域地震計は温度や気圧変動の影響を大きく受けることが知られている。ノイズレベルに関しては耐圧容器への格納や地中埋設によって改善する見込みがある。

・広帯域地震計・上下動

地震記録から速度型の広帯域地震計として機能することが確認された。ノイズレベルについては30秒より長周期で10dB程度STS-2に地震計に劣るが、固有周期1秒程度の短周期地震計での計測に比べればノイズレベルは大きく改善される（図5）。また、本地震計はボアホール設置でき、クランプが不要である。水平動同様、本計画の試作は地震計のエレメント部分のみであり、耐圧容器に格納しないまま計測を行った。広帯域地震計は温度や気圧変動の影響を大きく受けることが知られている。ノイズレベルに関しては耐圧容器へ

の格納や地中埋設によって改善する見込みがある。

・速度型強震計

地震記録から速度型の強震計として機能することが確認された。感度に関して、実測を行ったところ、設計値の5%程度の差であり、使用した電子部品の誤差（5%程度、主にコンデンサ）で説明できる範囲であった。ノイズレベルに関しては、1秒より長周期では加速度地震計（フルスケール4G設定、センサーのノイズではなくほぼAD変換器のノイズ）より低い（図6）。F-netで使用されているVSE355G2型強震計には20dB程度ノイズレベルで劣るが、本試作機はボアホールでの使用のために設計されており、数度の傾斜を持つ設置姿勢においても調整不要で動作する。本計画の試作は地震計のエレメント部分のみであり、耐圧容器に格納しないまま計測を行った。ノイズレベルに関しては耐圧容器への格納や地中埋設によって改善する見込みがある。

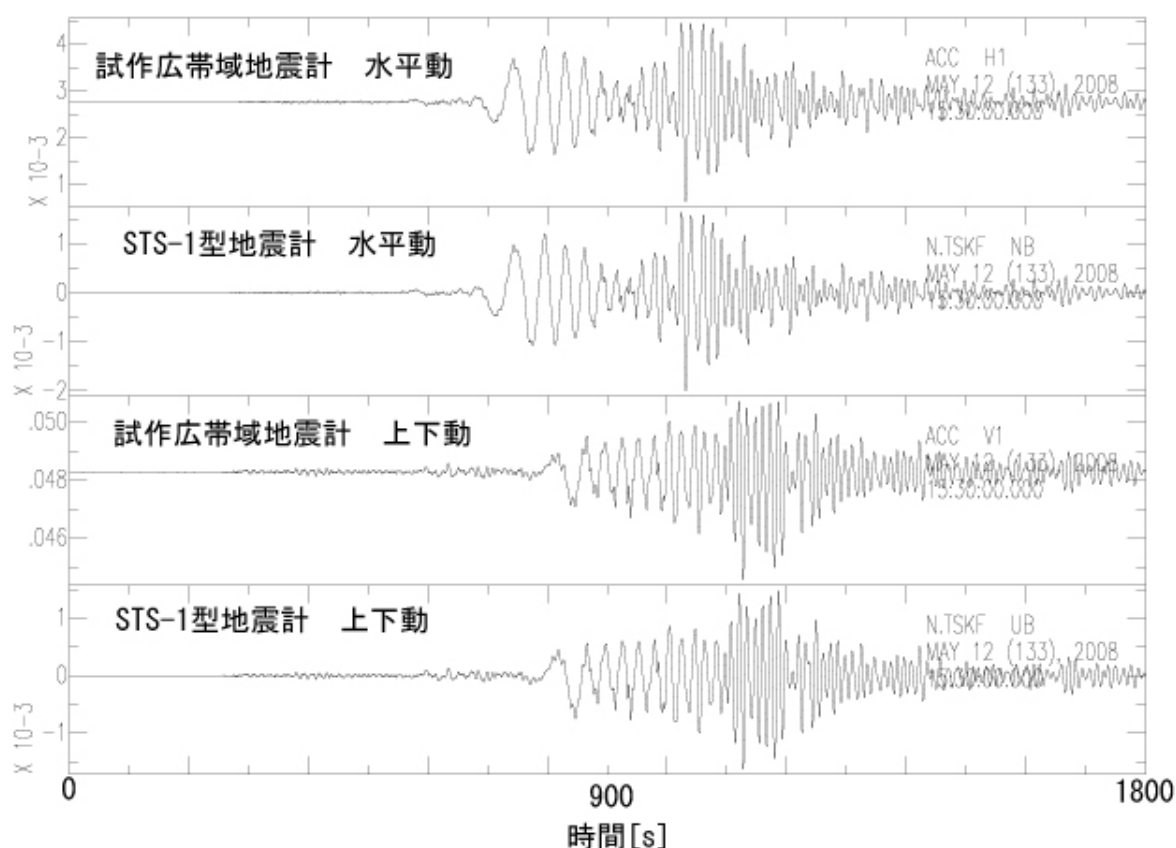


図1 四川地震（2008年5月12日）による記録

3. 1. 3. 広帯域高ダイナミックレンジ孔井式地震計の開発

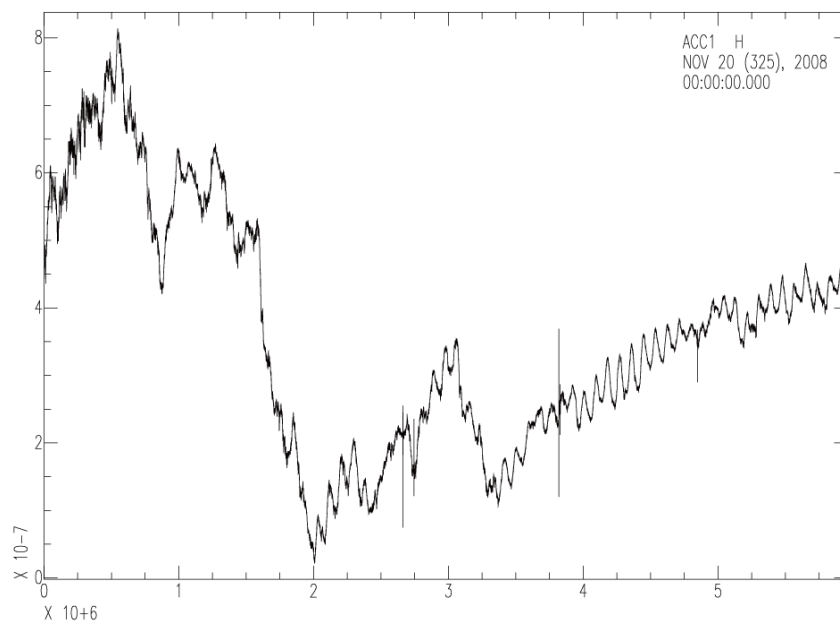


図2 広帯域地震計（水平動）の70日間の記録。0.1 μ rad程度の傾斜潮汐応答が確認できる。

3. 1. 3. 広帯域高ダイナミックレンジ孔井式地震計の開発

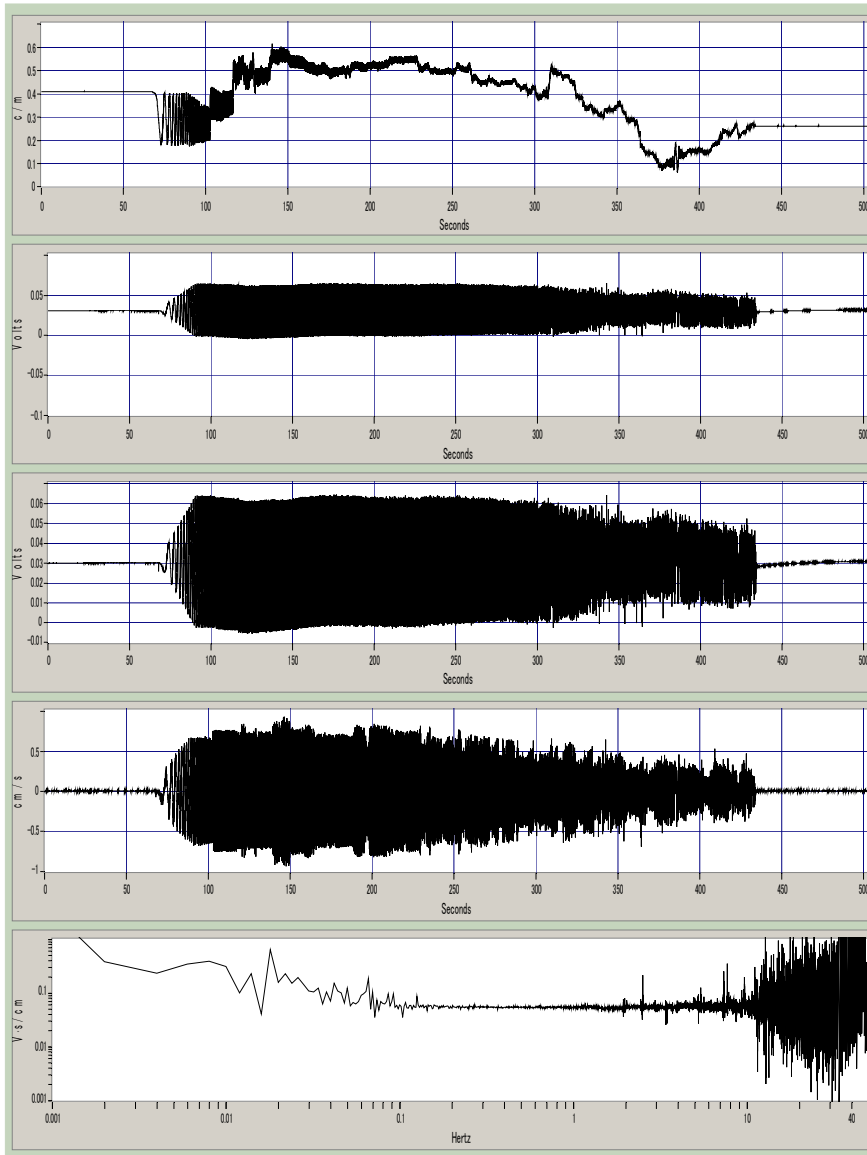


図3 小型振動動台による加振試験結果（速度型強震計水平動の感度検定）

上から、(a)レーザー変位計による変位、(b)サーボ型加速度計による加速度出力、(c)試作強震計による速度出力、(d)レーザー変位計のデータを微分した速度、(e)試作強震計の感度 c/d 、1Hzでの感度は $0.0529V/kine$ （設計値 $0.05V/kine$ ）である。

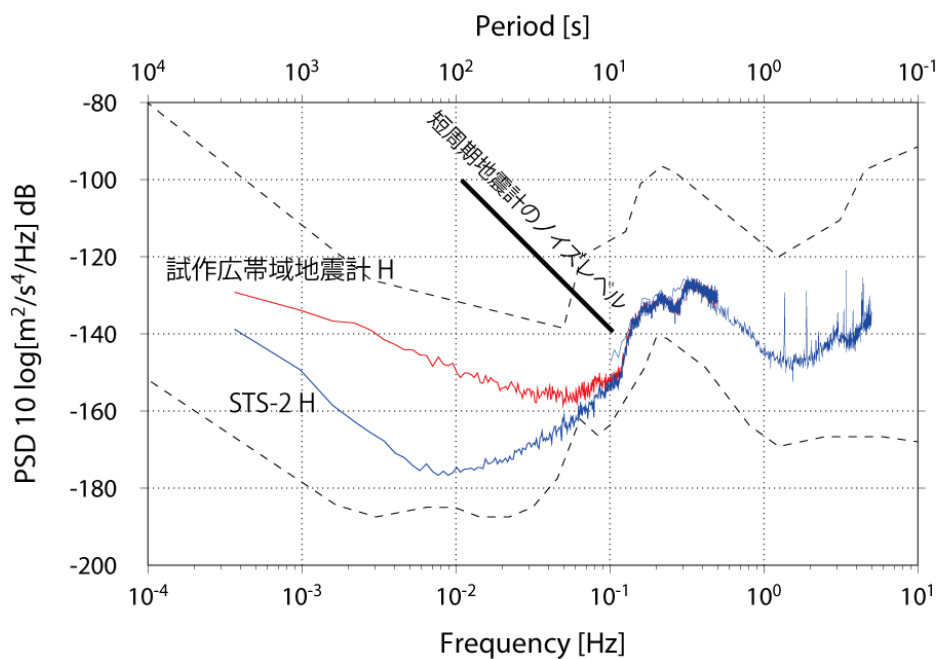


図 4 試作広帯域地震計（水平動）のノイズレベル（つくば観測施設）

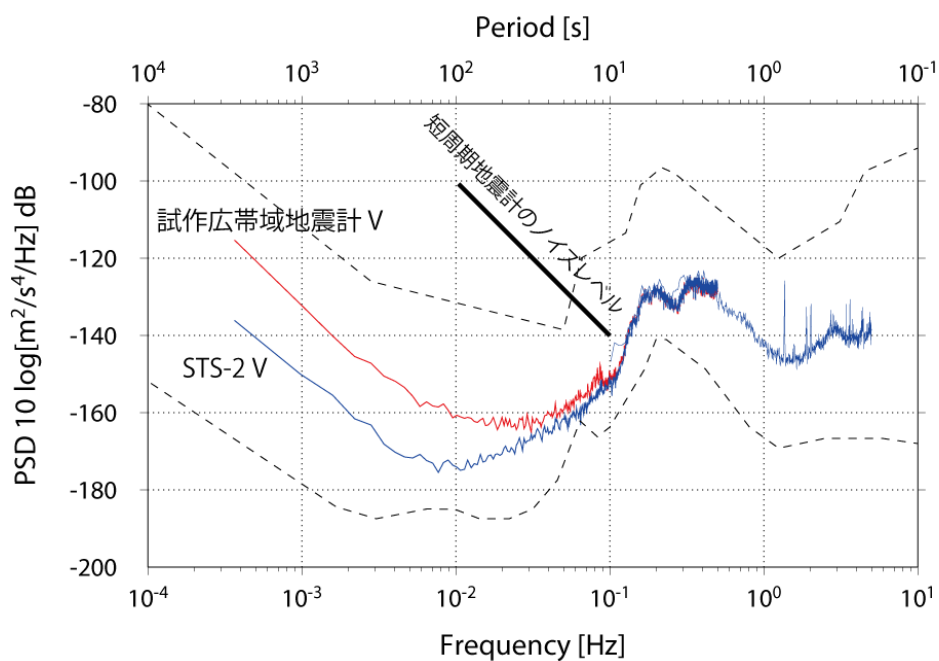


図 5 試作広帯域地震計（上下動）のノイズレベル（つくば観測施設）

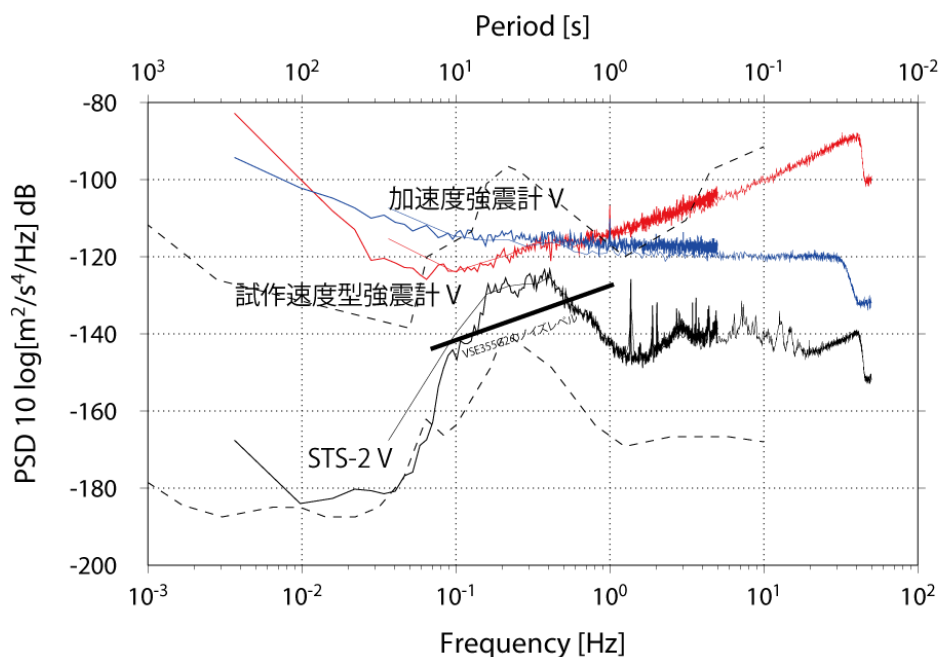


図 6 試作速度型強震計（上下動）のノイズレベル
水平動もほぼ同じノイズレベルを示す。

(d) 結論ならびに今後の課題

本計画で試作した地震計は、各種の評価から今後のボアホール地震観測の高度化に資するものと判断できる。ただし、本計画の試作は地震計の本体部分のみであり、ボアホール用の筐体に組み込み実際に観測するためにはさらなる開発が必要である。特に、地震計の姿勢制御（設置傾斜補正）については慎重に検討しなければならない課題である。また、ボアホール用の筐体は高性能の耐圧容器であり、組み込むことでノイズレベルの低減が期待されるため、十分に試験開発を行うことが望ましい。

(e) 引用文献

なし。

(f) 成果の論文発表・口頭発表等

著者	題名	発表先	発表年月日
功刀卓	超長周期地震計の開発	地震予知のための新たな観測研究計画平成 20 年度成果報告シンポジウム	平成 21 年 3 月 4 日

(g) 特許出願，ソフトウェア開発，仕様・標準等の策定

なし。