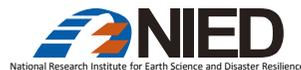


ケーブル式海底地震津波観測とセンサ

平成29年3月30日



国立研究開発法人 防災科学技術研究所

概要

- 地震観測に用いられるセンサ
- 津波観測に用いられるセンサ
(ハイドロフォン、微差圧計を除く)
- その他の話題(新しい方式のセンサ、等)

地震計

- ・東海沖(1979)、房総沖(1986)
ジンバル搭載 動電型速度計(中間装置4.5Hz、先端装置3Hz)
- ・相模湾(1996)、東南海沖(2008)
ジンバル搭載 動電型速度計(4.5Hz)
ジンバル搭載 速度検出速度帰還型加速度計
- ・伊東沖(1993)、三陸沖(1996)、室戸沖(1997)、釧路沖(1999) ポイント
加速度計(JA5)
- ・DONET(2010) ROV設置
広帯域地震計(CMG-3T・傾斜補正装置)
加速度計(TSA-100S)
- ・S-net(2013)
加速度計(JA5)
動電型速度計(15Hz)

構築機関

気象庁
防災科研
東大地震研
海洋機構

ジンバル搭載の有無
(スペース、コスト)

加速度計の有無
(強震動の計測)

速度計・加速度計併設
(ダイナミックレンジ)

耐衝撃

標準的な地震計(動コイル型)

・動コイル型(Moving Coil Type)

磁石とコイルの誘導起電力(発電)により振動を計測、故障要素が少ない

Hi-net 1Hz速度計、S-net 15Hz速度計、資源探査用ジオフォン

1Hz計 高感度、振り切れやすい

15Hz計 微小な低周波数振動の計測に限界



高ダイナミックレンジ性(振幅範囲)、
広帯域性(周波数範囲)に限界

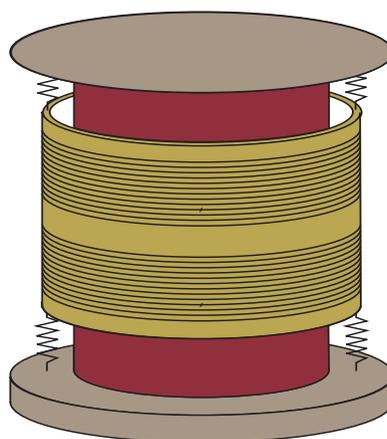


固有周期の短いものは資源探査用に大量に生産されている

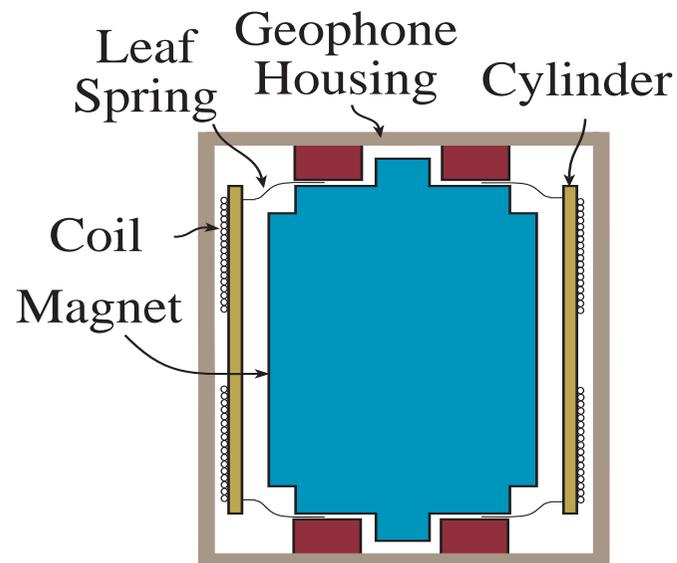


GS11D 4.5Hz計
(3.4cm × 直径3.2cm)

Aaron et al. (1998)より



模式図



断面図

標準的な地震計(フィードバック型)

- ・フィードバック型、サーボ型(Feed-back Type, Servo Type)
振り子の変位を検出し、フィードバック方式により振動を計測、高性能地震計

加速度計(強震計として利用)

K-NET、KiK-net、S-net 日本航空電子工業 JA40GA、JA5
(8Gまでの強震動を計測)



高信頼
(慣性航法用)

JA5V (3.8cm × 3.7cm)



低ノイズ
(振動計測用)
K-NET02Aで初めて使用

JA40GA (3.0m × 3.4cm)

航空宇宙用途の加速度計の転用

※信頼性が高い(もともとは航空宇宙用途)
大量生産して性能が高い個体を選別することが可能

広帯域地震計(地震観測専用)

F-net広帯域地震計 Streckeisen STS-2.5
Güralp CMG シリーズ、Nanometrics Trillium シリーズ
微小で長周期の揺れも計測
数10 μ Fのコンデンサを搭載する必要がある

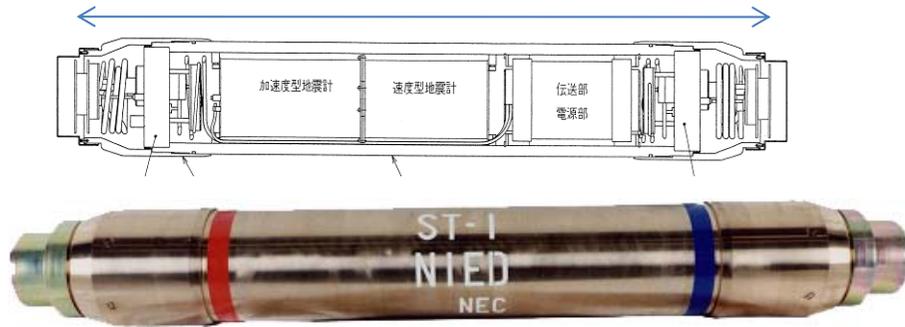
STS-2.5 (23cm × 26cm)
(3成分一体筐体)



相模湾ケーブルの観測装置

地震観測装置

1630mm

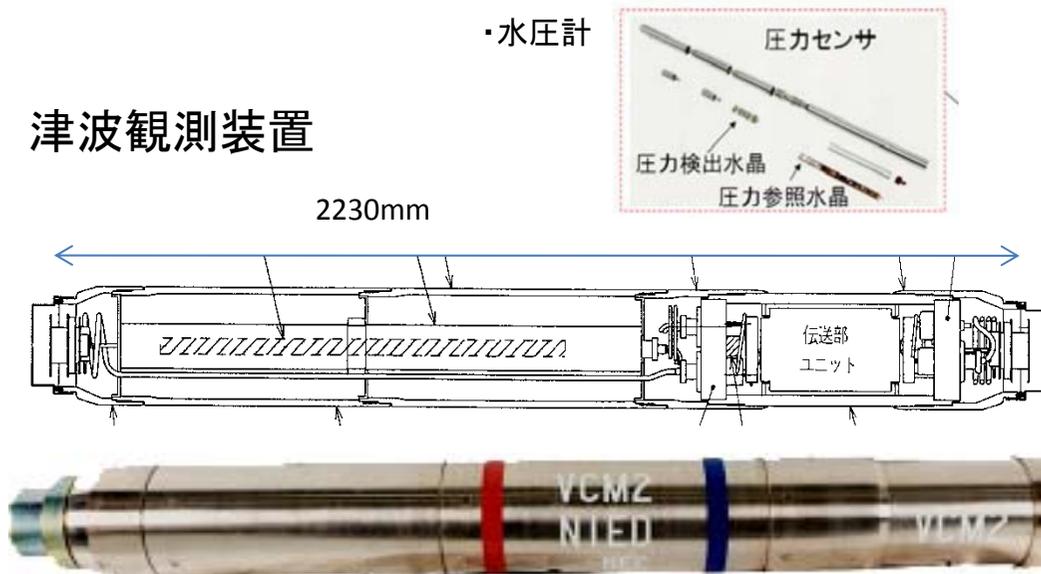


・速度型地震計

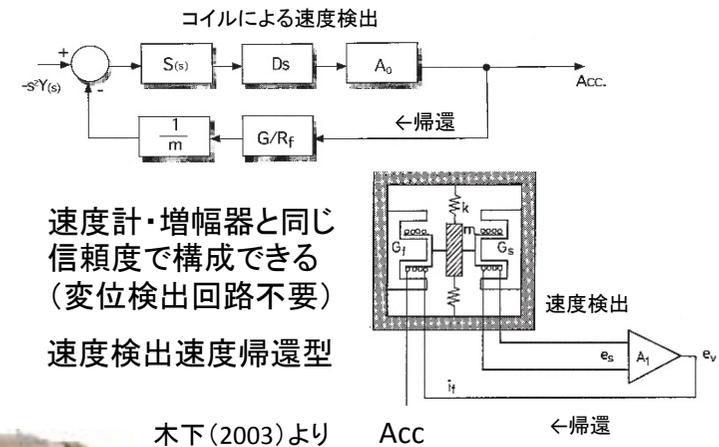


津波観測装置

2230mm



・加速度型地震計(形状は速度型地震計とほぼ同じ)



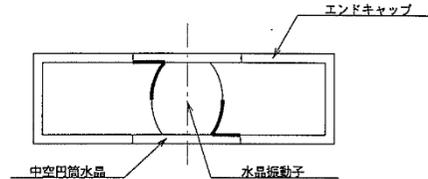
速度計・増幅器と同じ信頼度で構成できる(変位検出回路不要)
速度検出速度帰還型

木下(2003)より

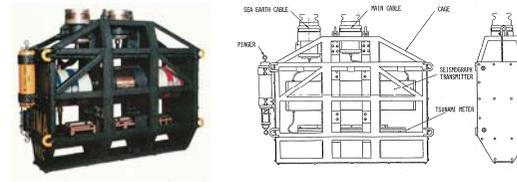
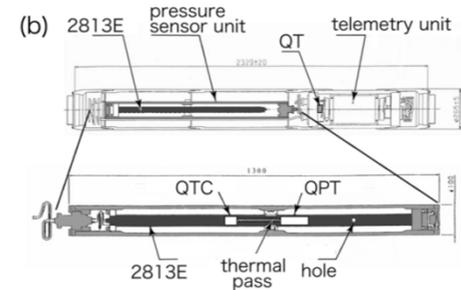
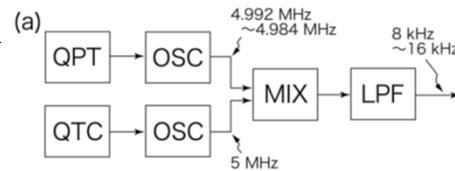
津波計

- ・東海沖 (1979)、房総沖 (1986)、相模湾 (1996)、三陸沖 (1996)、室戸沖 (1997)、釧路沖 (1999)、東南海沖 (2008)

HP 2813B,E (石油油井用水晶圧力計)



Hirata and Baba (2006)より

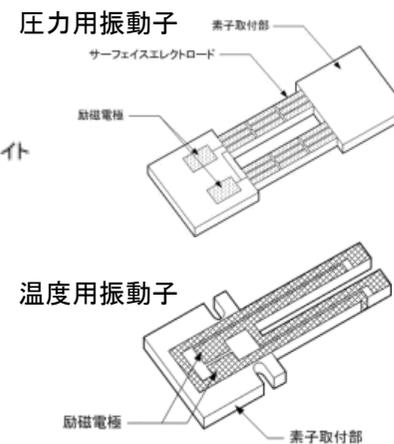
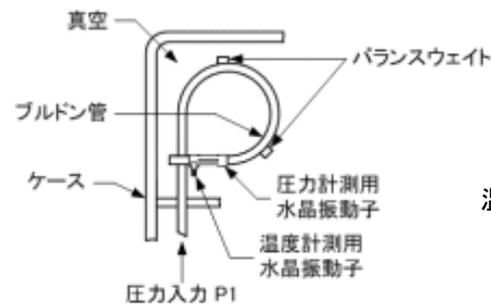
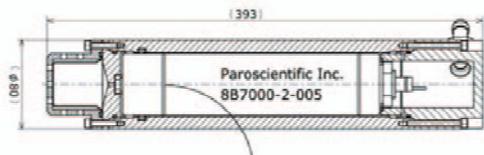


気象研究所 (1980)より
東海沖先端装置

- ・DONET (2010)、S-net (2013)

Paroscientific 8B7000,8B8000 (深度計)

ブルドン管の変形量を計測 (ブルドン管ゲージ)



構築機関

気象庁
防災科研
東大地震研
海洋機構

話題1 地震計の耐衝撃性

Vault Installation Type (観測坑用、埋設用)

STS-2.5

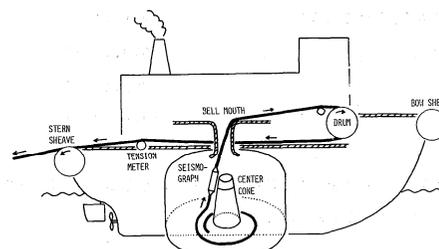
CMG-3T

Trillium 240

耐衝撃
20G 5ms



気象庁東海ケーブル整備時の事前調査



図研 1.1 中間点装置の布設
Fig. R 1.1 Laying of the intermediate apparatus

中間装置
50G 10ms

先端装置
20G 10ms

Portable Type(可搬型)

センタリング・クランプ不要

CMG-40T

CMG-6T

Trillium Compact 120

耐衝撃
100G 5ms

気象研究所(1980)より

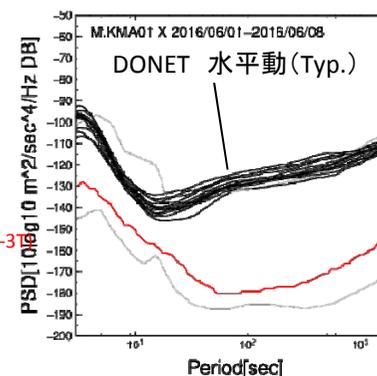
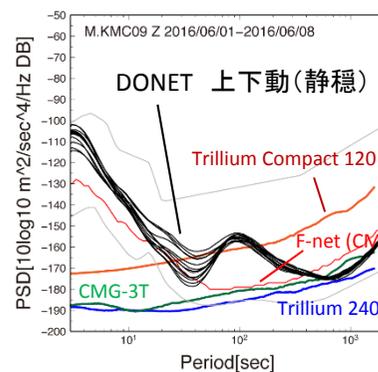


地上用



海底用

各種地震計の自己雑音



航空宇宙用途加速度計

JA5V



耐衝撃
100G 11ms

話題2 新規津波計開発について

初めから津波計として開発されたセンサはない(既存圧力計の転用)

加速度計測では、強震計(1V/G)と傾斜計(10,000V/G)のように、強震動と地殻変動を2つのセンサで分担している。

一つの測器で津波と地殻上下変動をカバーすることは困難。水圧計測においても、津波と地殻上下変動を計測するセンサを分けることで総合的な能力向上が見込める。

開発のポイント

- ・敷設に伴う振動、衝撃に耐えることが必要
- ・組み込み可能な形状、インターフェースであることが必要
- ・振動を受けやすい機構(ブルドン管等)を介さず、圧力変化を計測することが望ましい
- ・圧力、温度に関する信号を独立に計測し、デジタル的に補正することが望ましい
- ・水深10,000mにおいて1mmの変動を計測するためには、 10^{-7} の分解能(140dB)が必要
1cmの変動を計測するためには、 10^{-6} の分解能(120dB)が必要

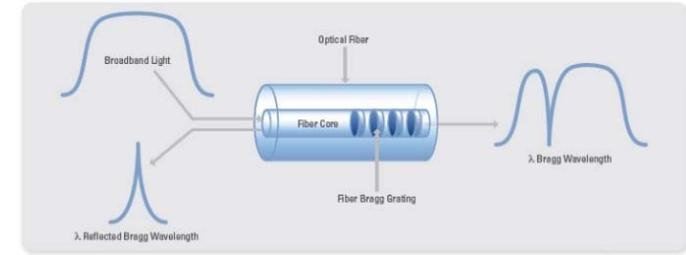
話題3 光センサ地震計・津波計

光計測技術を用いた地震計・津波計と無中継光伝送(遠隔励起増幅)の組み合わせにより電力供給不要のケーブル式観測システムが実現する

・FBG(回折格子)加速度計

FBG(Fiber Bragg Grating)を用いた加速度計

構造物のモニタリング用途で実用システム多数



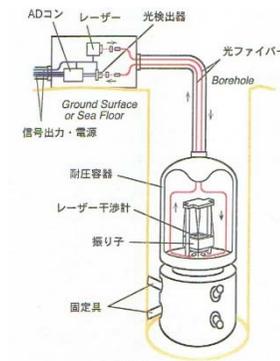
<http://www.ni.com/white-paper/11821/ja/> より

・干渉計を用いた地震計(より高精度)

ファブリ・ペロー干渉計

マイケルソン干渉計

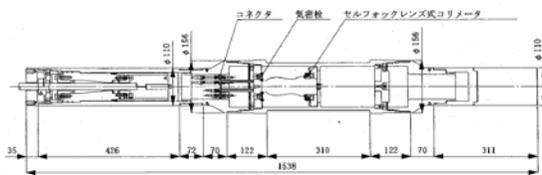
(光リンク傾斜計)



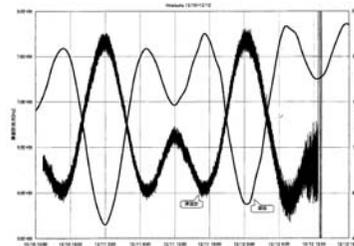
<http://www.eps.s.u-tokyo.ac.jp/res-edu/solid/araya.html> より

・光センサ津波計(レーザー津波計、FBG津波計)

金属容器の径の変化を光技術で計測(1990年代より開発)



レーザー津波計 防災科研(1998~2005)



第9図 平塚沖水深(水深20m)におけるレーザー津波計の定測と横波計における観測変化
Fig.9 Observation record of the laser-based water level sensor, and the tide record at Yokohama.



平塚沖水深20mでの観測

河川用水位計としては
FBG水圧計は実用化済み

まとめ

- ・ケーブル式地震津波観測に使用されているセンサを紹介

これまで実装されていない技術、今後開発され得る技術を元にした展望

- ・耐衝撃性の高い広帯域地震計

設置方式の多様化(フリーフォール、インライン、ペネトレータ)

さらに高性能な広帯域地震計の耐衝撃性向上の期待(月惑星探査分野)

- ・新しい津波計測用センサの開発

地震時の衝撃や姿勢変化の影響を受けにくいセンサの実現

地殻上下変動を計測する精密センサとの分担により総合な性能を向上

- ・光センサとの接続

将来的なオール光計測システム(強震、津波)への期待

拡張ポートのインターフェース(専用ファイバ、専用波長)

→陸揚局まで光のまま伝達する必要(光電変換は不可)

光増幅器やコネクタによる損失と信号特性変化の考慮