

東北地方太平洋沖地震における 石油タンクのスロッシングに関する調査結果

総務省消防庁消防研究センター
座間信作

地震による石油タンク被害

- 短周期地震動による被害
- 長周期地震動による被害
- 地盤変状による被害
- 津波による被害



津波: 気仙沼



像の足座屈: 仙台



スロッシング: 新潟



地盤変状: 小名浜

浮屋根式タンクのスロッシング被害(消防庁)

2003年十勝沖地震を受け

- ・シングルデッキ浮屋根
- ・容量2万KL以上
- ・空間余裕高さ $H_c \geq 2m$

 **適合タンクに流出なし**

要耐震基準適合 (H29年3月31日まで)

| 浮き屋根の種類 | | 耐震基準対象 | | 適合別 | | 危険物流出の有無 | |
|-------------|----|--------|----|-----|----|----------|----|
| シングル デッキ | 36 | 該当 | 28 | 適合済 | 4 | 流出有 | 0 |
| | | | | | | 流出無 | 4 |
| | | | | 未適合 | 24 | 流出有 | 5 |
| | | | | | | 流出無 | 19 |
| | | 非該当 | 7 | 流出有 | 3 | | |
| | | | | 流出無 | 4 | | |
| 不明 | 1 | 流出有 | 0 | | | | |
| | | 流出無 | 1 | | | | |
| ダブル デッキ | 14 | | | 流出有 | 7 | | |
| | | | | 流出無 | 7 | | |

特定屋外貯蔵タンクの設計水平震度 【長周期地震動】

空間余裕高さ H_c 自治省告示（1983.04.28）

$$H_c = 0.45 \cdot D \cdot K_{h2} \quad (D: \text{タンク直径}, K_{h2}: \text{水平設計震度})$$

$$K_{h2} = 0.15 \nu_1 \nu_4 \quad (\nu_1: \text{地域別補正係数 } 0.7-1.0)$$

$$\nu_4 = 4.5 / T_s \quad (T_s: \text{スロッシング固有周期})$$



速度応答スペクトル法

スロッシング最大波高 W_h

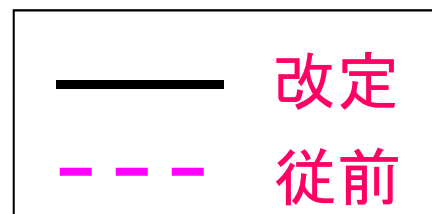
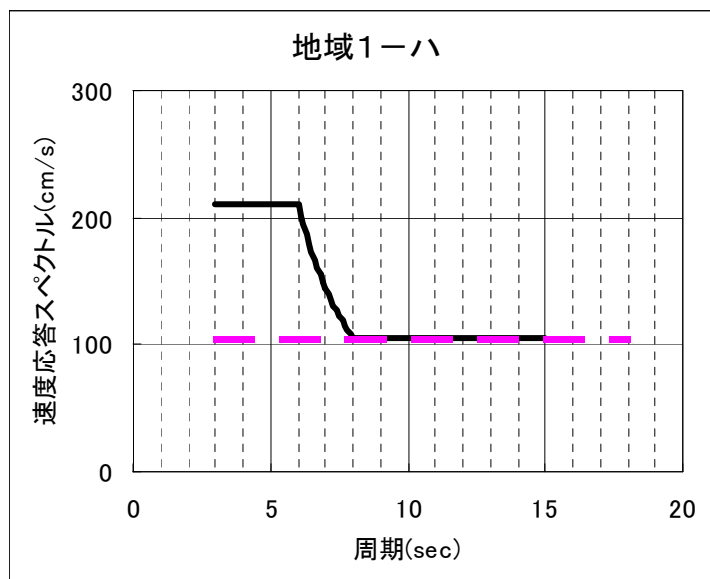
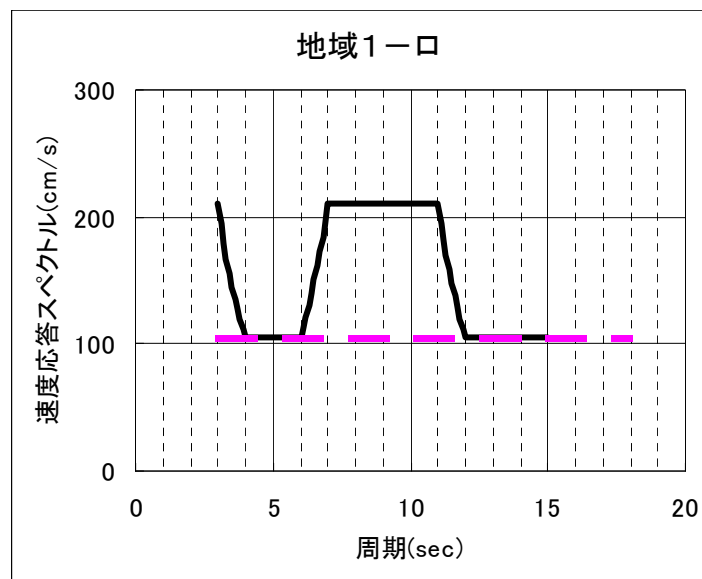
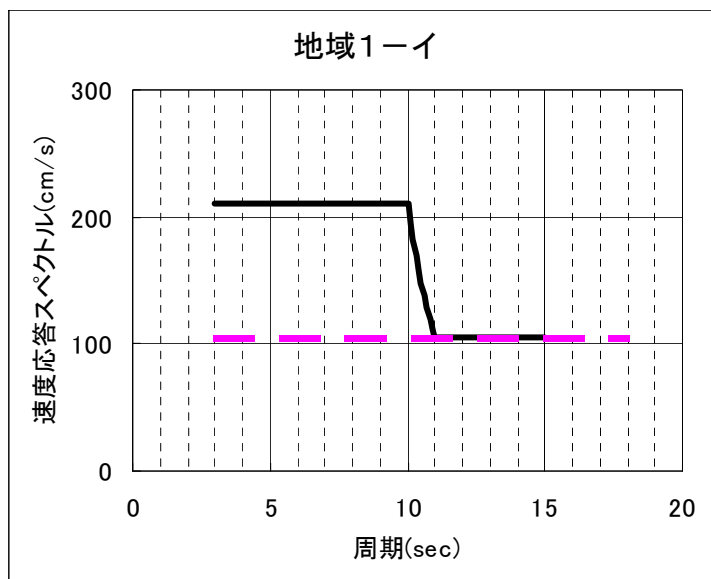
$$W_h = D / 2g \cdot 0.837 (2\pi / T_s) S_v \quad (S_v: \text{速度応答スペクトル})$$

$$T_s = 2\pi \sqrt{D} / (3.682g) \cdot \coth(3.682H/D)$$

$\nu_1 = 1$ 、 $W_h = H_c$ の時

$$H_c = D / 2g \cdot 0.837 (2\pi / T_s) \cdot \underline{1.13} \quad (\text{全国一律} \cdot \text{周期依存性なし})$$

改訂された長周期帯域の速度応答スペクトル(Sv)



地域1-イ 苫小牧, 酒田, 新潟
 地域1-ロ 東京湾岸
 地域1-ハ 石狩, 上磯, 秋田, 清水, 名古屋,
 四日市, 大阪湾岸

調査対象地域



スロッシングによる被害(新潟東港)



デッキ上への漏洩



アルミ製内部浮き蓋の破損



ポンツーン内への原油の滞油(3室で破損有)

スロッシング波高約1.9m

スロッシングによる被害(新潟西港)

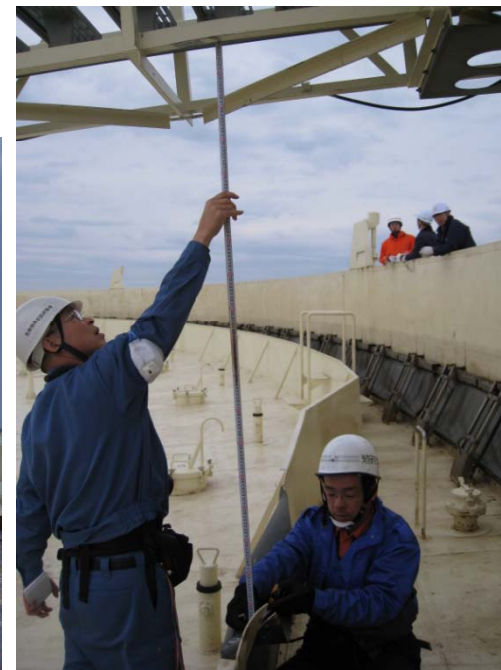


ゲージポールの変形
スロッシング波高約1.4m

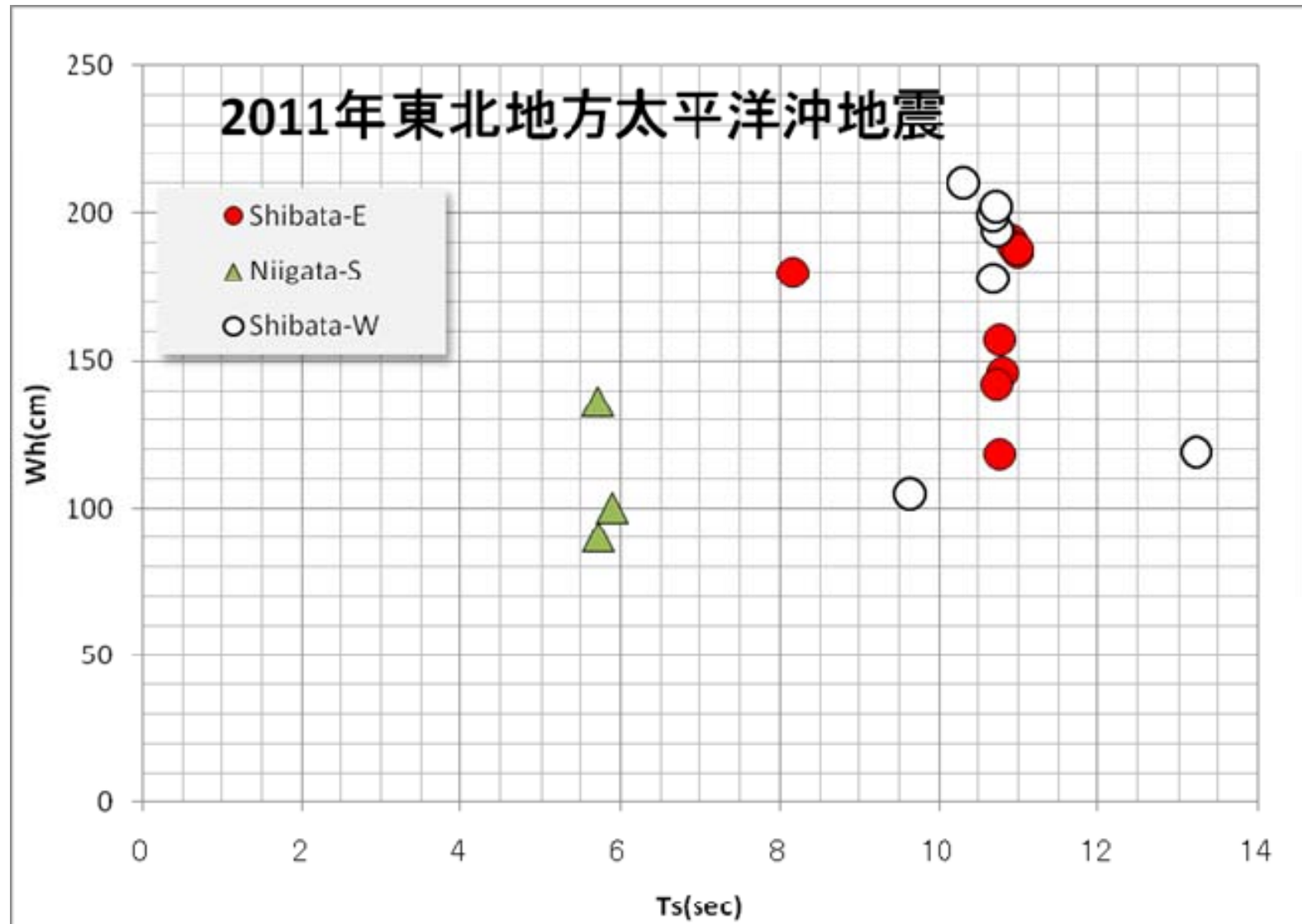


ガイドローラーの変形

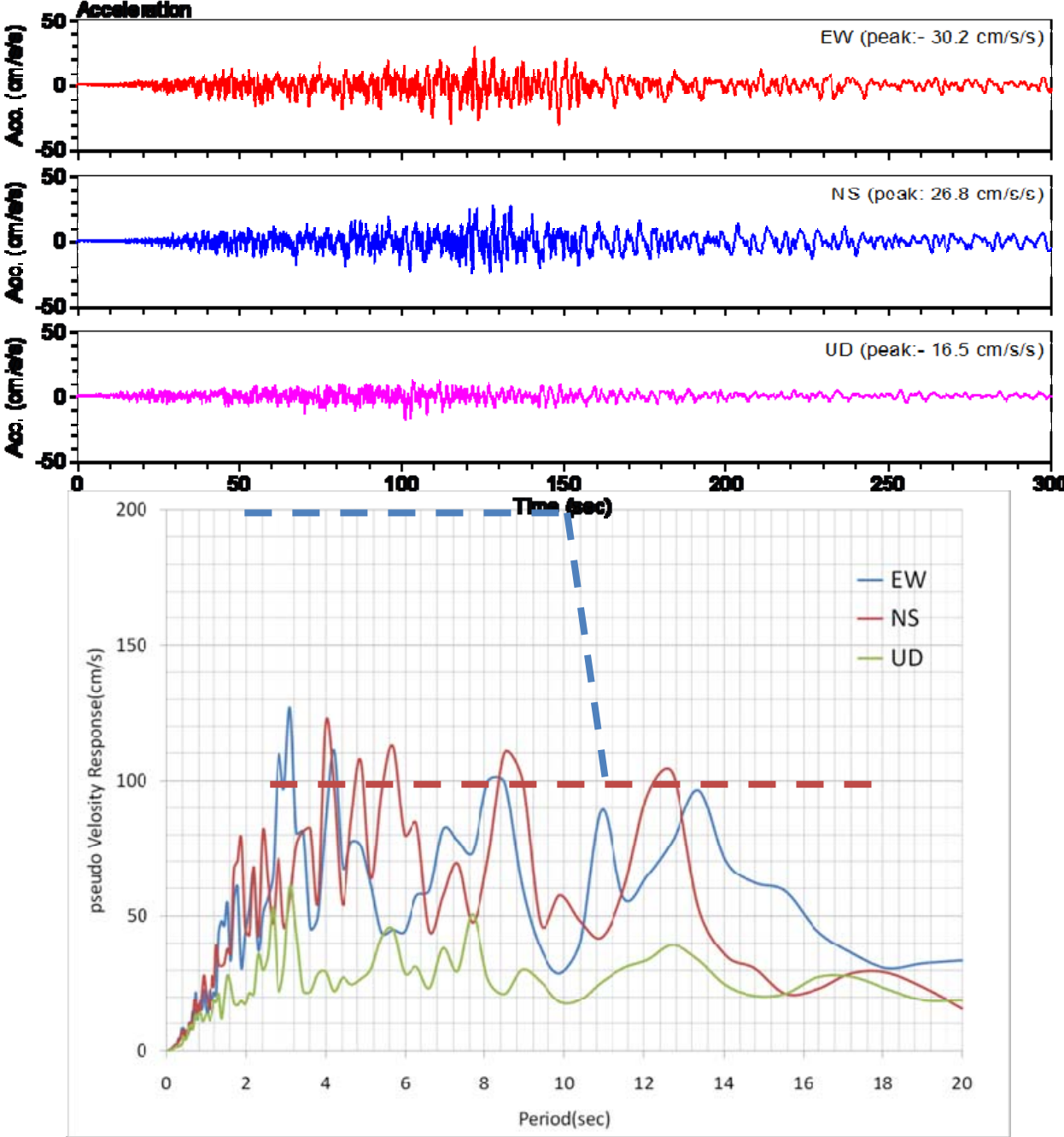
スロッシング最大波高の計測



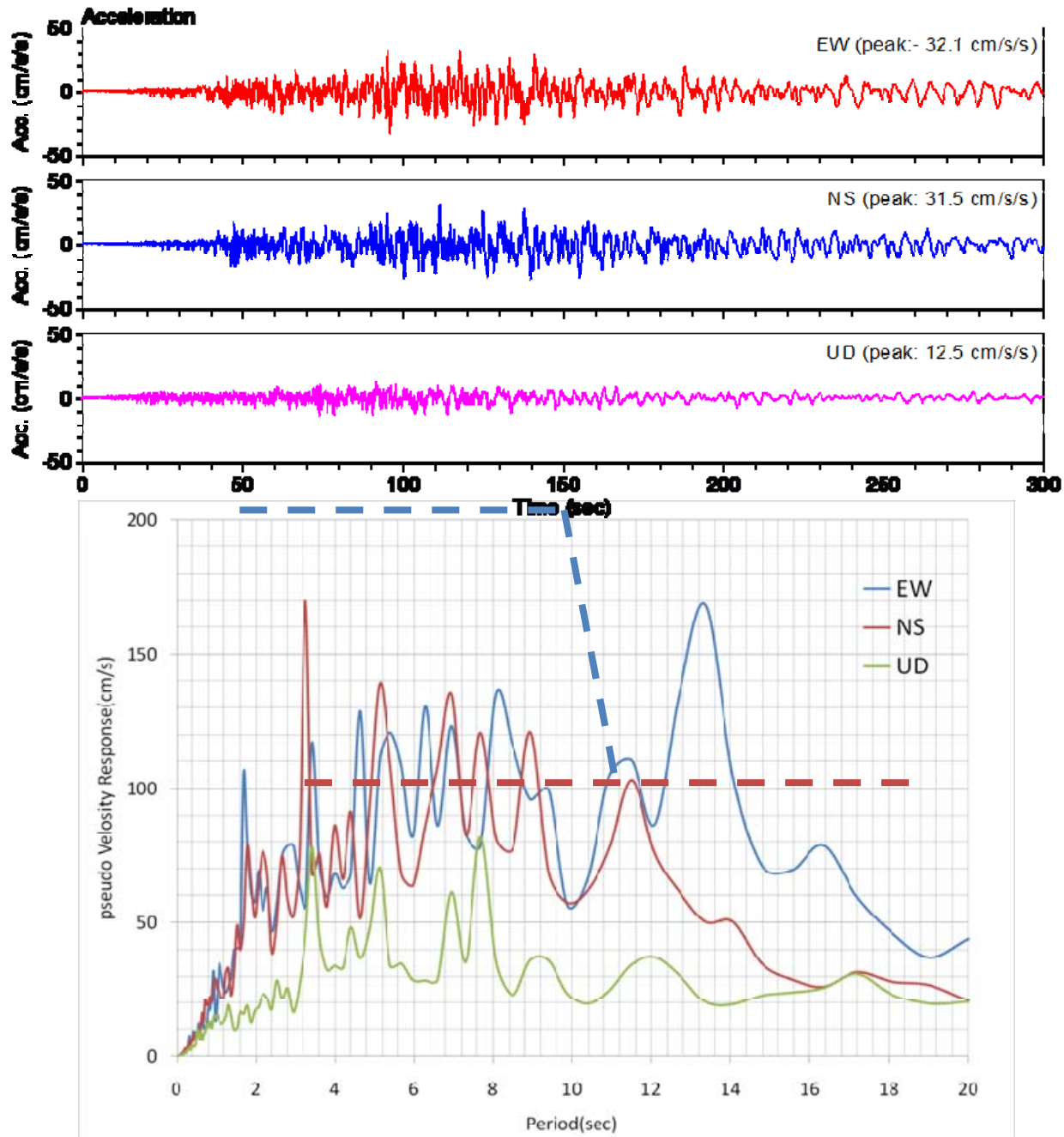
スロッシング固有周期と最大波高との関係



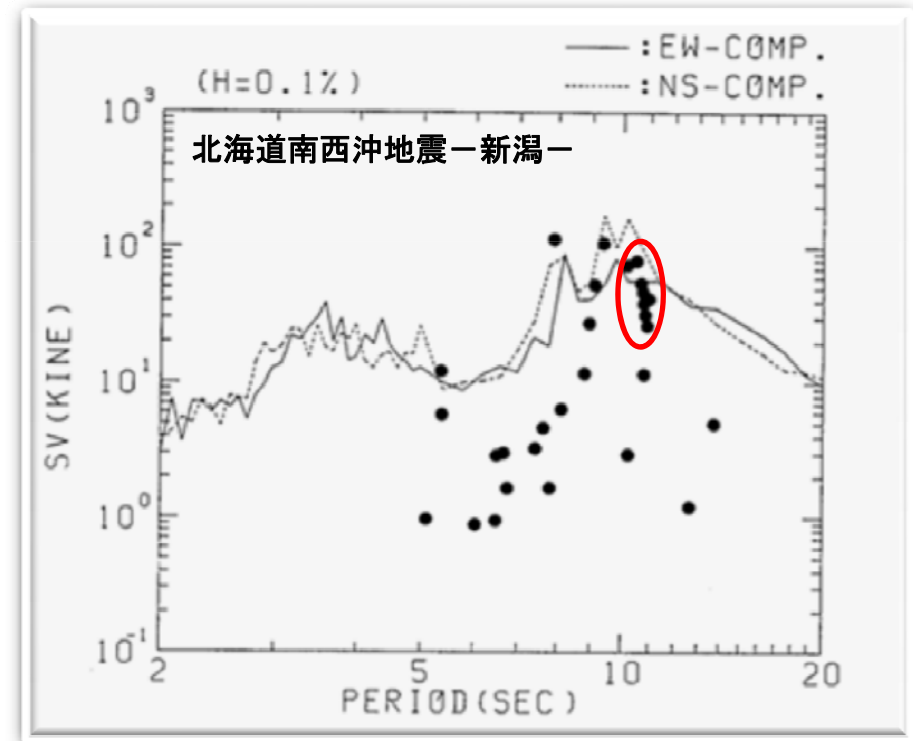
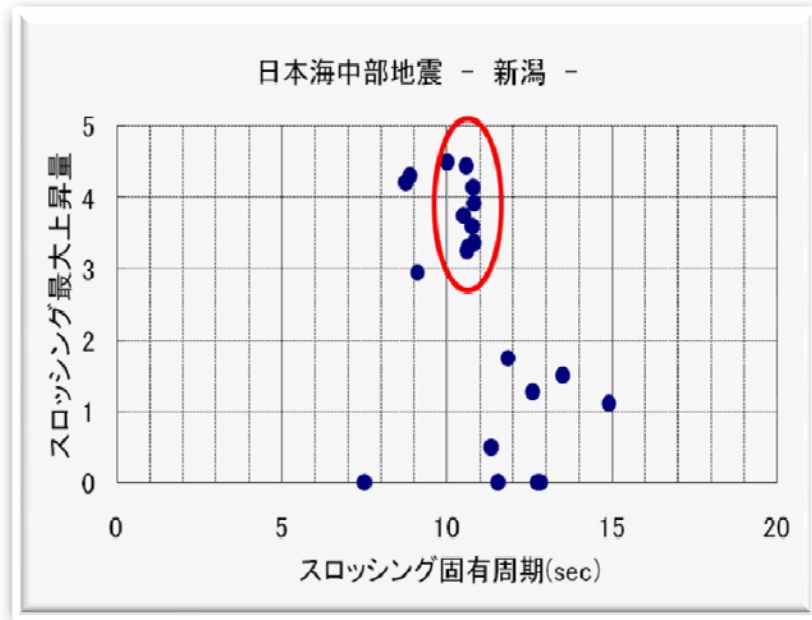
新発田(東港東地区)での加速度記録と速度応答スペクトル



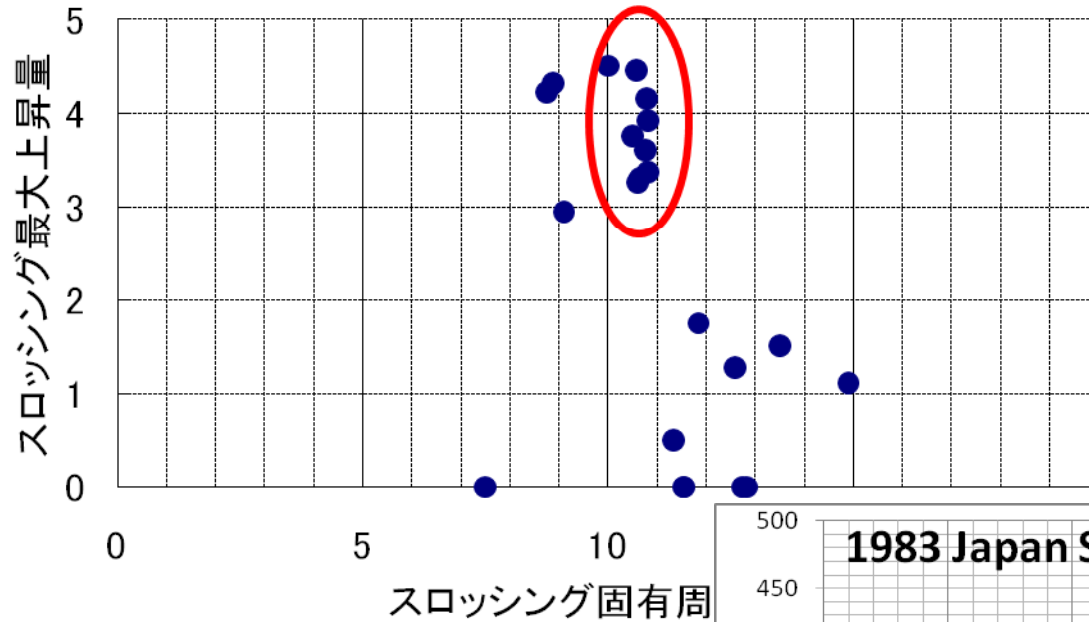
新潟(西港)地区での加速度記録と速度応答スペクトル



過去の地震でのスロッシング状況：新潟



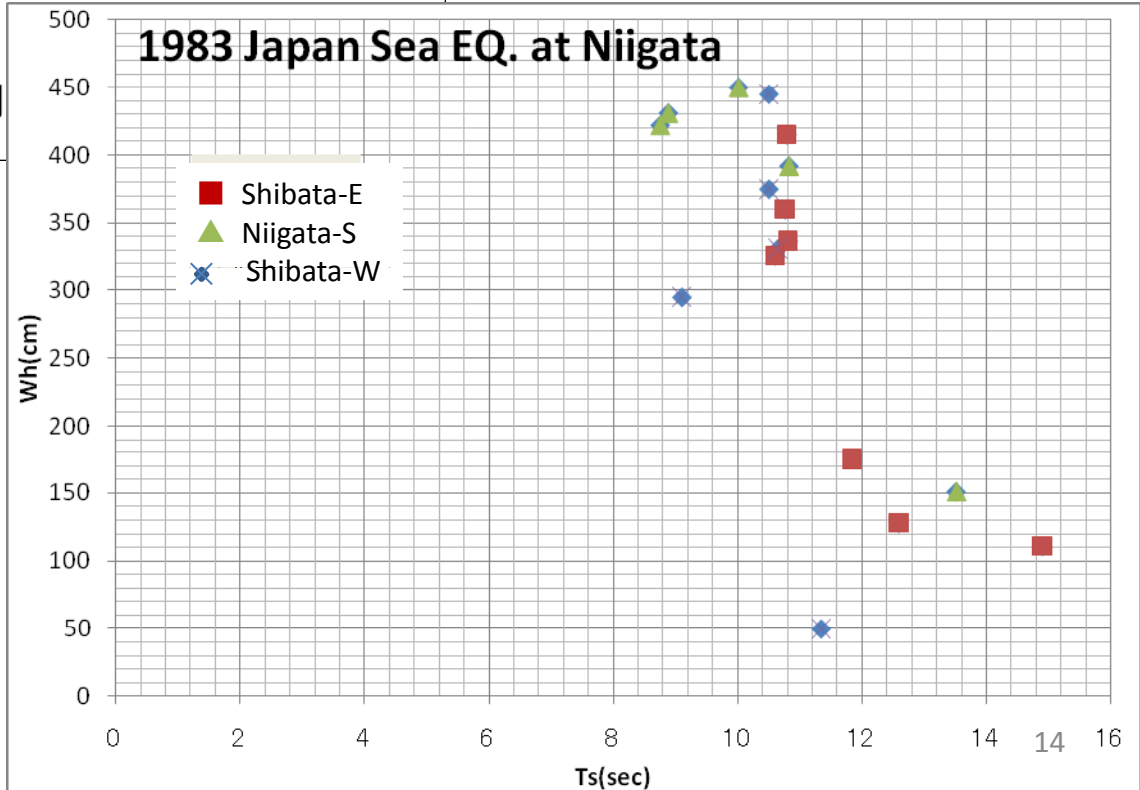
日本海中部地震 - 新潟 -



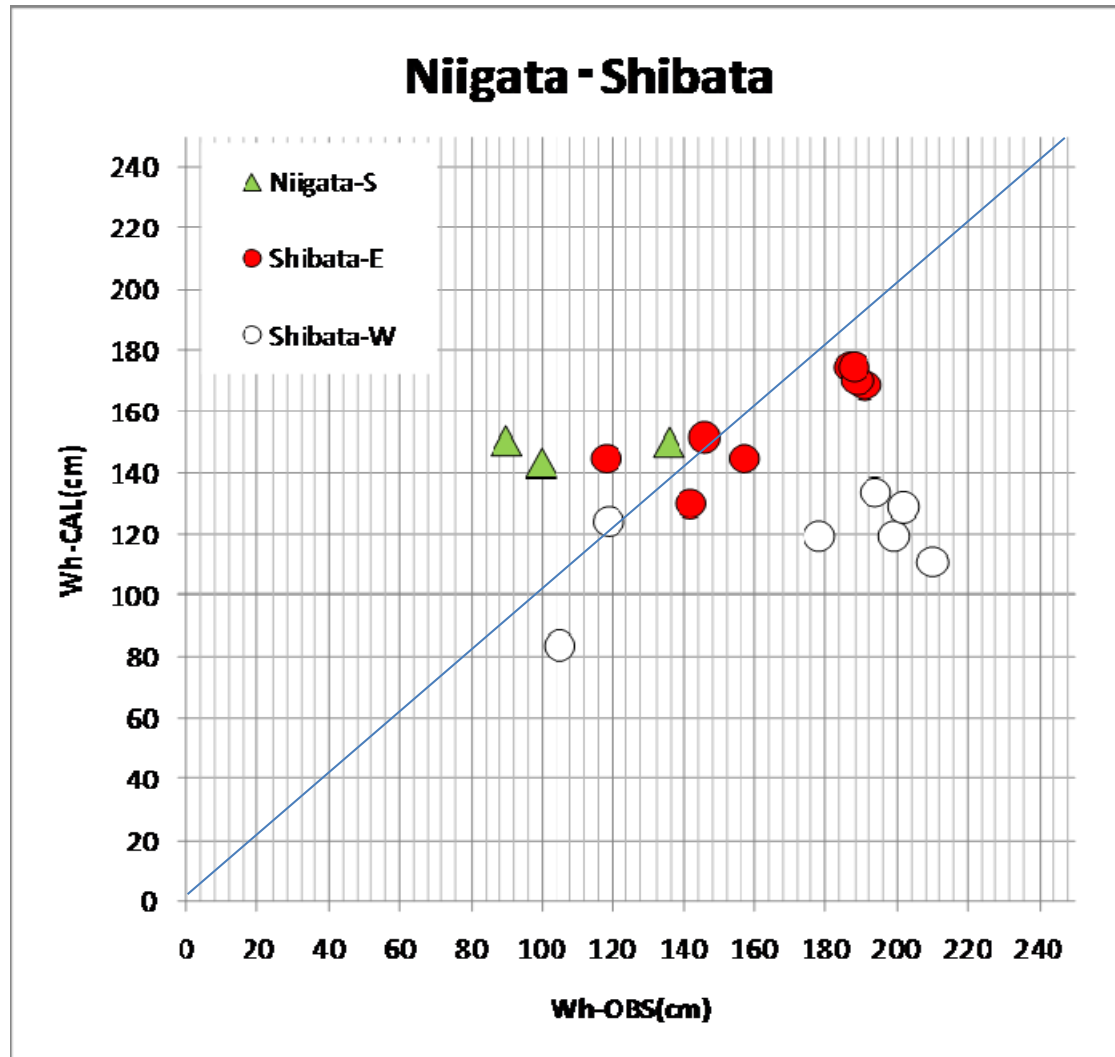
スロッシング最大波高
(新潟)のばらつきの要因

- ・サイト毎の地震動の違い
- ・浮屋根等の構造の違い?

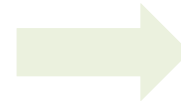
1983 Japan Sea EQ. at Niigata



新潟でのスロッシング最大上昇量(計算値との比較)

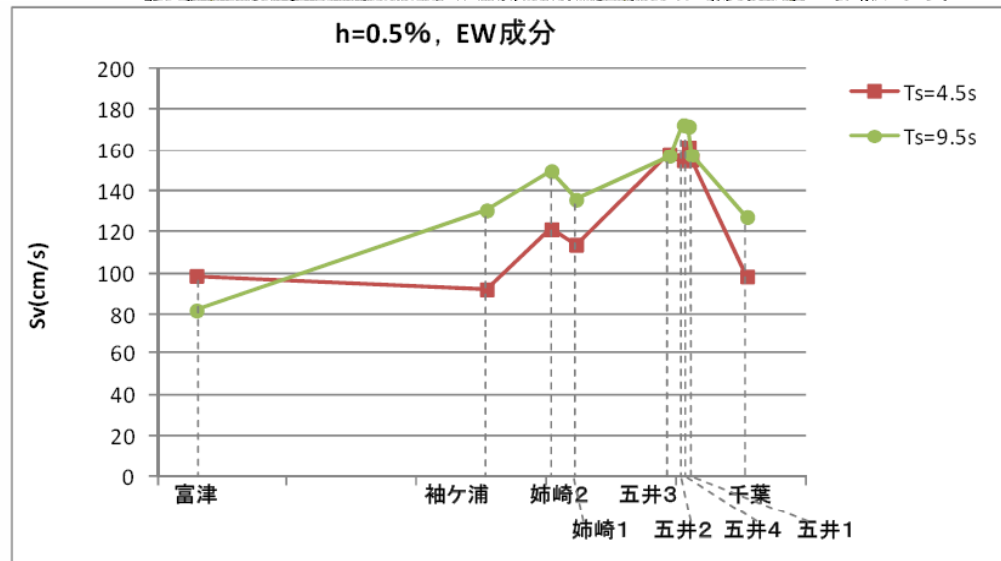
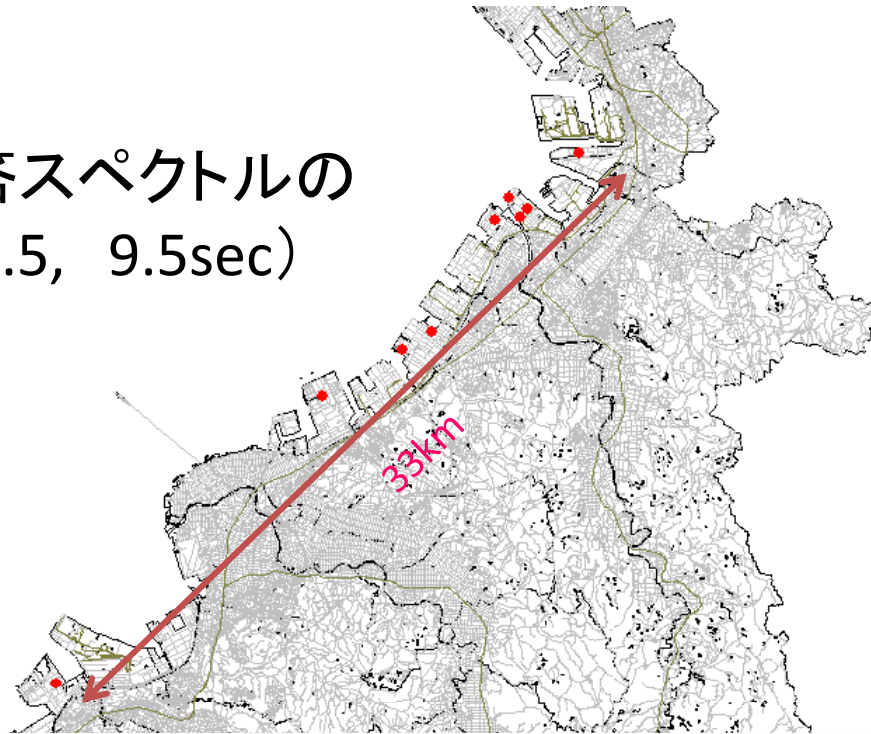


計算ではShibata-Wに対してもShibata-Eの記録を用いた結果、
⇒ Shibata-Eについてはよく一致、Shibata-Wでは過小評価



高々2.5km離れていても、周期10.5秒付近の地震動強さに50%程度の違いがある！！

0.5%速度応答スペクトルの 空間変化 (T=4.5, 9.5sec)



まとめ

- 新発田、新潟地区の石油タンクのスロッシングは周期10.5秒付近で最大約2mであった。
- デッキ上への油流出、ポンツーン破損、ガイドポール変形などの軽微な被害を生じた。
- 地震記録を用いた応答解析から、高々2.5km離れていても、周期10.5秒付近の地震動強さに50%程度の違いがあることが分かった(ただし、浮屋根構造の僅かな違いが応答に影響しないと仮定)。
- 従来から指摘されていた地域、タンク諸元がほぼ同一でも観測スロッシング波高が大きくばらつくことに関しては、地区を一纏めにして整理していることが原因の一つと考えられる。

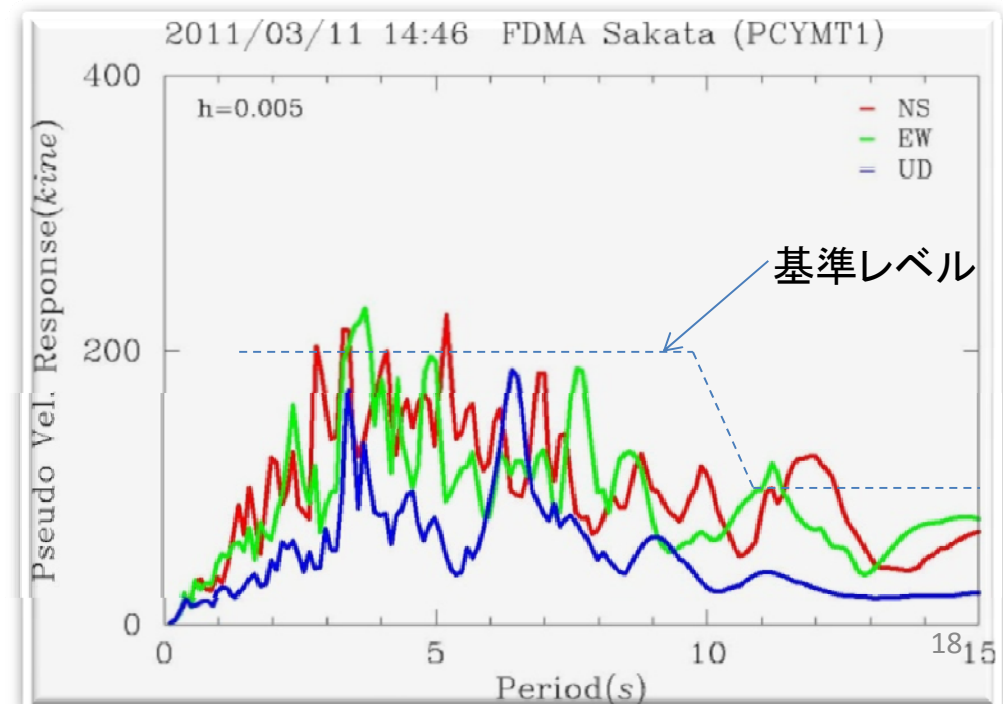
酒田

- 調査年月日:平成23年3月25日(金)
- 調査対象タンク:
No.201ガソリンタンク
(アルミ製内部浮き蓋付きコーンルーフタンク)
直径15.508m, 高さ16.655m
容量2740kL
地震時液高9.294m
(スロッシング固有周期4.17秒)

$$\underline{\eta_{\max\text{-cal}}=202\text{cm}}$$

$$\underline{\eta_{\max\text{-cal}}/R \sim 15^\circ}$$

$$\underline{\varepsilon_{\max\text{-cal}} \sim 2\% ?}$$





No.201タンク



破断したデッキスキン、フロートチューブ



ゲージポール近傍の破損浮き蓋散乱状況



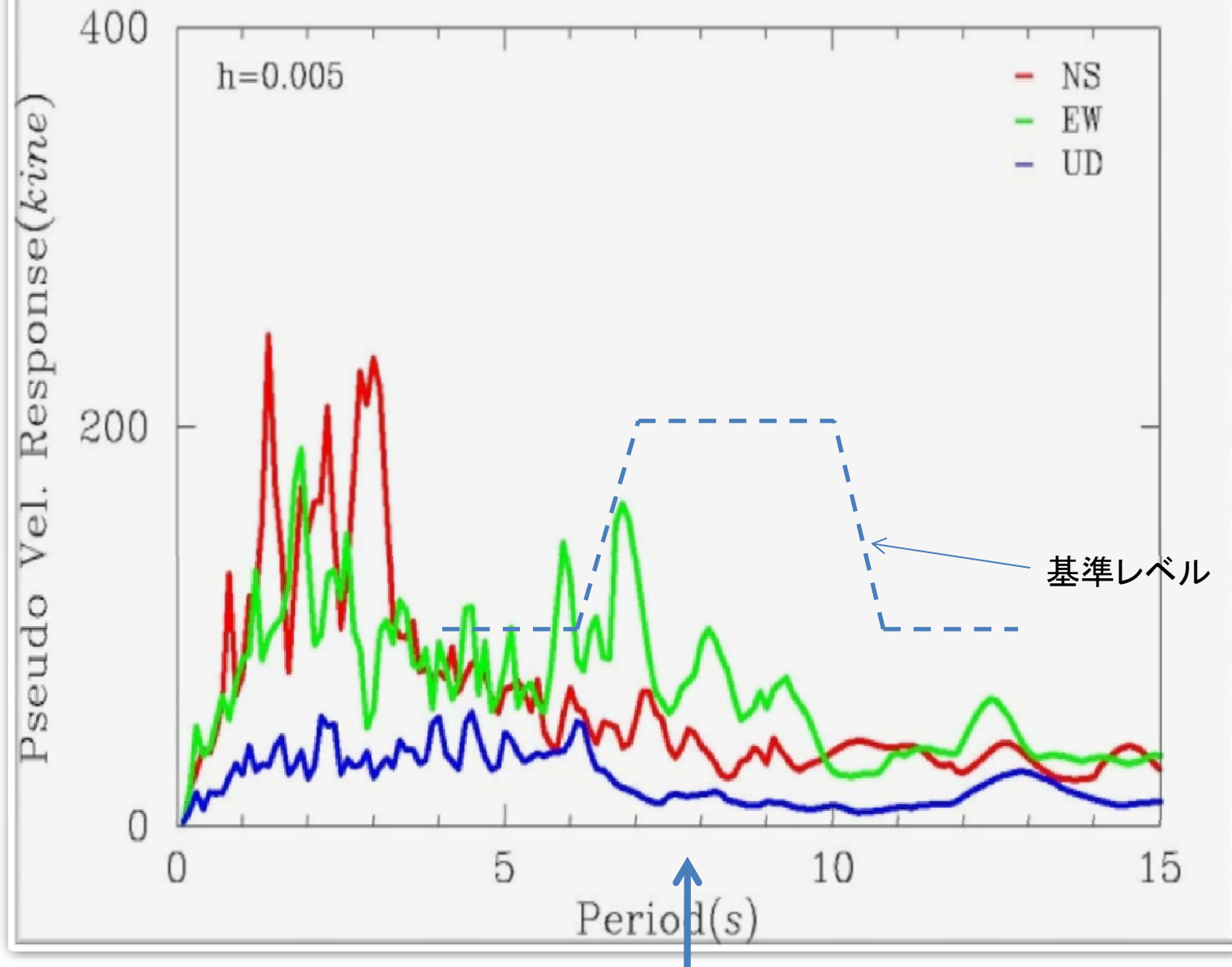
破断したフロートチューブ1



破断したフロートチューブ2

2011/03/11 14:46 FDMA Kawasaki-Mizue (PCKNG1)

川崎



①

消防庁:コンビナート観測点
0.5%擬似速度応答スペクトル

①重油タンク(FRT)

D38.74m、H ϕ 8.94m、Ts7.83sec

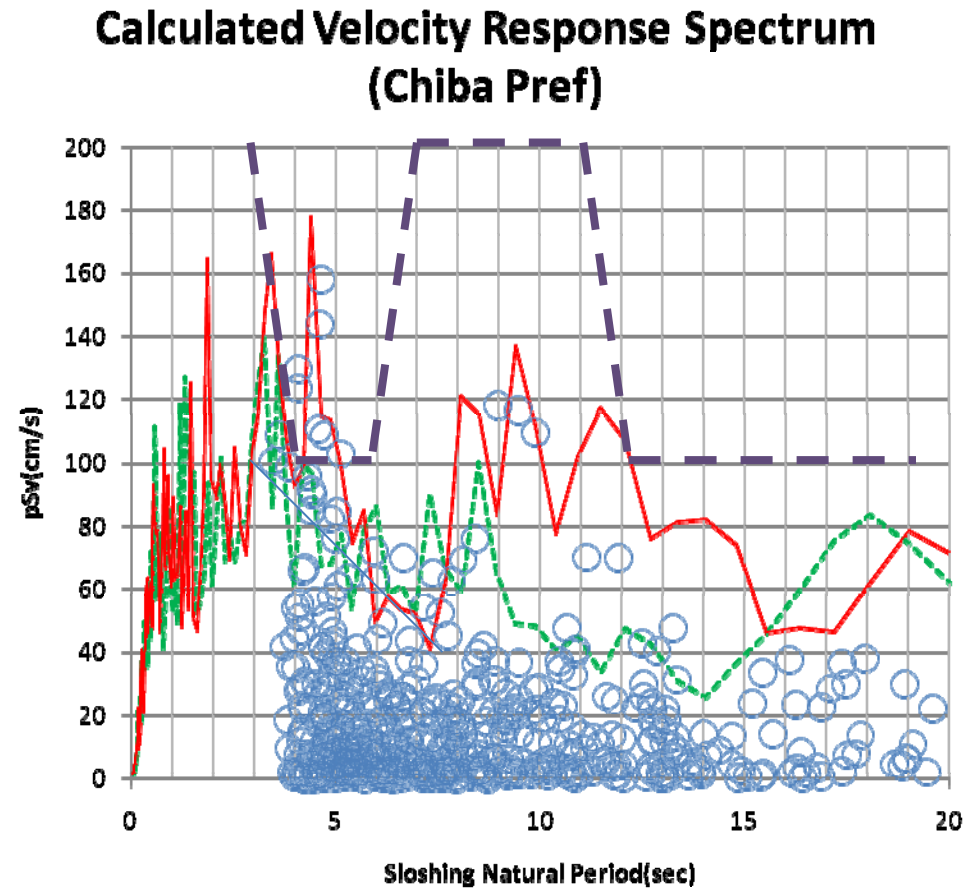
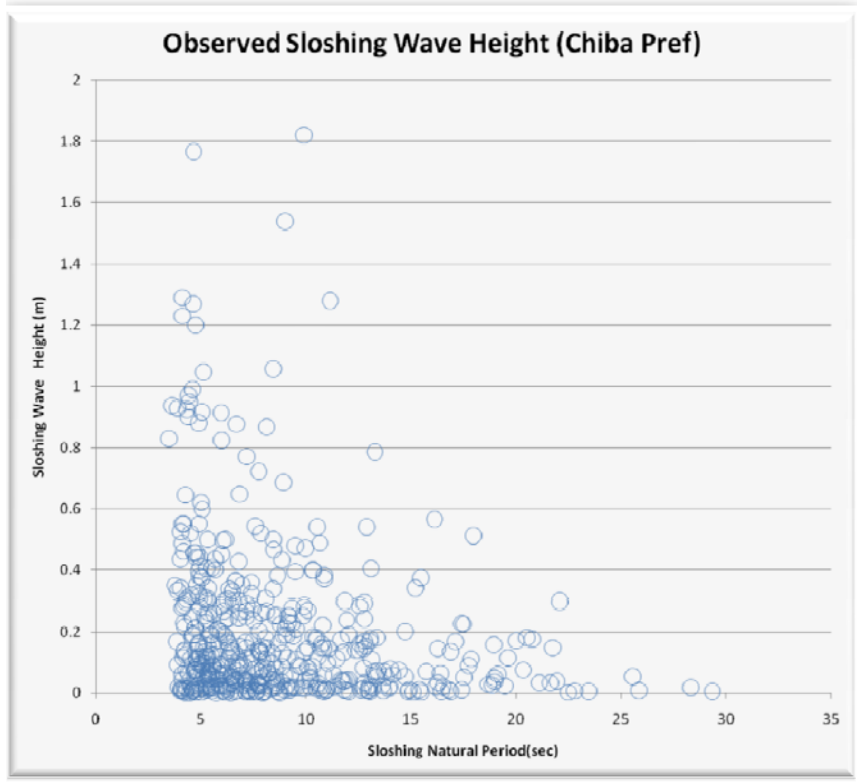


浮き屋根上に溢流→14日浮き屋根沈没

西@消防研

千葉県のスロッシング状況

(アンケート、現地調査による)



主な被害(千葉県調べ)

- ・容量 11,376KL シングルデッキ ナフサ D28m H20m HL10.03m $T_s5.94s$ 屋根母材料に亀裂 屋根上に流出
- ・容量 68,591KL シングルデッキ 原油 D75.5m H18.3m HL14.54m $T_s11.63s$ 母材に亀裂、補強リング付近亀裂 屋根上に流出
- ・容量 51,089KL シングルデッキ D67.4m H18.3m HL6.61m $T_s14.58s$ ガイドポールの溶接部に亀裂
- ・容量 4,906KL 内部浮き蓋(シングル・ポンツーン) D19.4m H19.4m HL8.04m $T_s4.83s$ ローリングサポートの破損 屋根上に流出