

高圧ガス設備の津波による影響の 評価方法の検討について

平成26年3月10日

経済産業省

商務流通保安グループ

高圧ガス保安室

高圧ガス設備の津波による影響の評価方法の検討状況（１／９）

＜総合資源エネルギー調査会高圧ガス及び火薬類保安分科会高圧ガス部会報告書（平成24年4月）の提言内容＞

津波により破損、流出する可能性がある設備を抽出するため、設備が波力、浮力及び漂流物により受ける影響を評価するための手法を新たに検討する。ただし、高圧ガス設備の形状、種類は多種多様であり、全ての設備を一定の手法で評価することは困難であることから、貯槽本体、貯槽と緊急遮断弁との間の配管等、破損、流出が周辺地域に与える影響が大きいと考えられる設備について優先的に検討を行う。

1. 調査検討の目的

上記提言内容に対応するため、高圧ガス設備に対する津波の波力、設備の浮力等が及ぼす影響を評価する手法の検討を行う。（高圧ガス保安協会への委託により実施）

2. 平成24年度の調査結果

平成24年度は、高圧ガス設備に対し津波の波力、設備の浮力等が及ぼす影響を評価する手法を検討するため、以下の事項について検討。

（1）構造物、建築物等に関する津波の影響の評価方法の調査

- ①評価方法、評価すべき要素（流体力、浮力、衝撃力等）に関し、文献及びヒアリング調査
- ②東日本大震災における被災貯槽に関するヒアリング調査

津波被害の大きい地区で液化石油ガス用横置円筒形貯槽5基が流出（各貯槽とも火災爆発は発生せず）

（2）優先的に評価手法を策定すべき設備の選定

多量の高圧ガスを貯蔵している貯槽類及び当該貯槽の緊急遮断弁までの配管を優先的に検討。

その中でも小規模事業所から大規模な施設まで広く設置され、設置数も多く、東日本大震災で多くの被災例がみられた横置円筒形貯槽を最優先とし、次に球形貯槽、たて置円筒形貯槽、平底円筒形貯槽の順で、評価手法の検討を進める。

（3）津波の波力算定式の調査

- ・津波の波力の算定について、FEMAの「津波避難構造物設計ガイドライン」¹⁾等にも示されている。

¹⁾FEMA(アメリカ合衆国連邦緊急事態管理庁)が発行する津波の波力に関するガイドライン

「Guidelines for Design of Structures for Vertical Evacuation from Tsunamis, FEMA P646, June, 2008」

- ・物体の流体力、衝撃力、浮力、瓦礫浮遊物をせき止めるときに発生する流体力等について規定。

（FEMAの主な津波の算定式）

$$\text{流体力: } F_d = \frac{1}{2} \rho_s C_d B (hu^2)_{\max}$$

ρ_s : 水の密度(t/m³)

C_d : 抗力係数

B: 構造物の幅(m)

h: 浸水深(m)

u: 水平流速(m/s)

$$\text{衝撃力: } F_s = 1.5 \times F_d$$

$$\text{浮力: } F_b = \rho_s g \Delta V$$

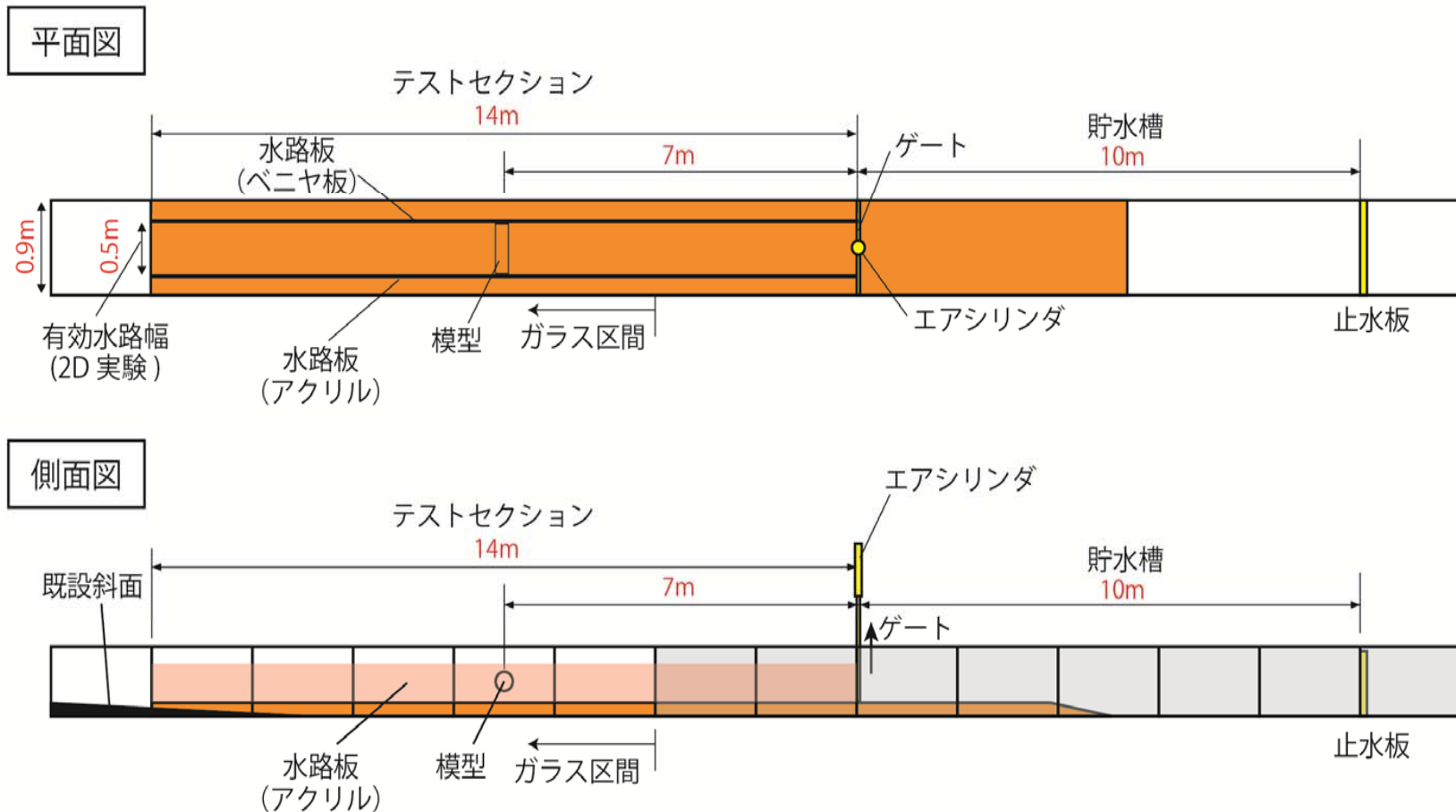
ΔV : 排水体積(m³)

高圧ガス設備の津波による影響の評価方法の検討状況（3／9）

3. 平成25年度の調査概要

- ・平成24年度の調査で最優先して調査することとした横置円筒形貯槽を模擬した小型模型（1／20縮小）を用いて水理模型実験を実施（本年1月～2月@電力中央研究所我孫子地区）。
- ・当該実験の実施により得られた波力等のデータを用いて、FEMA式等の妥当性を検証。

(1) 水理模型実験設備



(2) 水理模型実験設備の写真



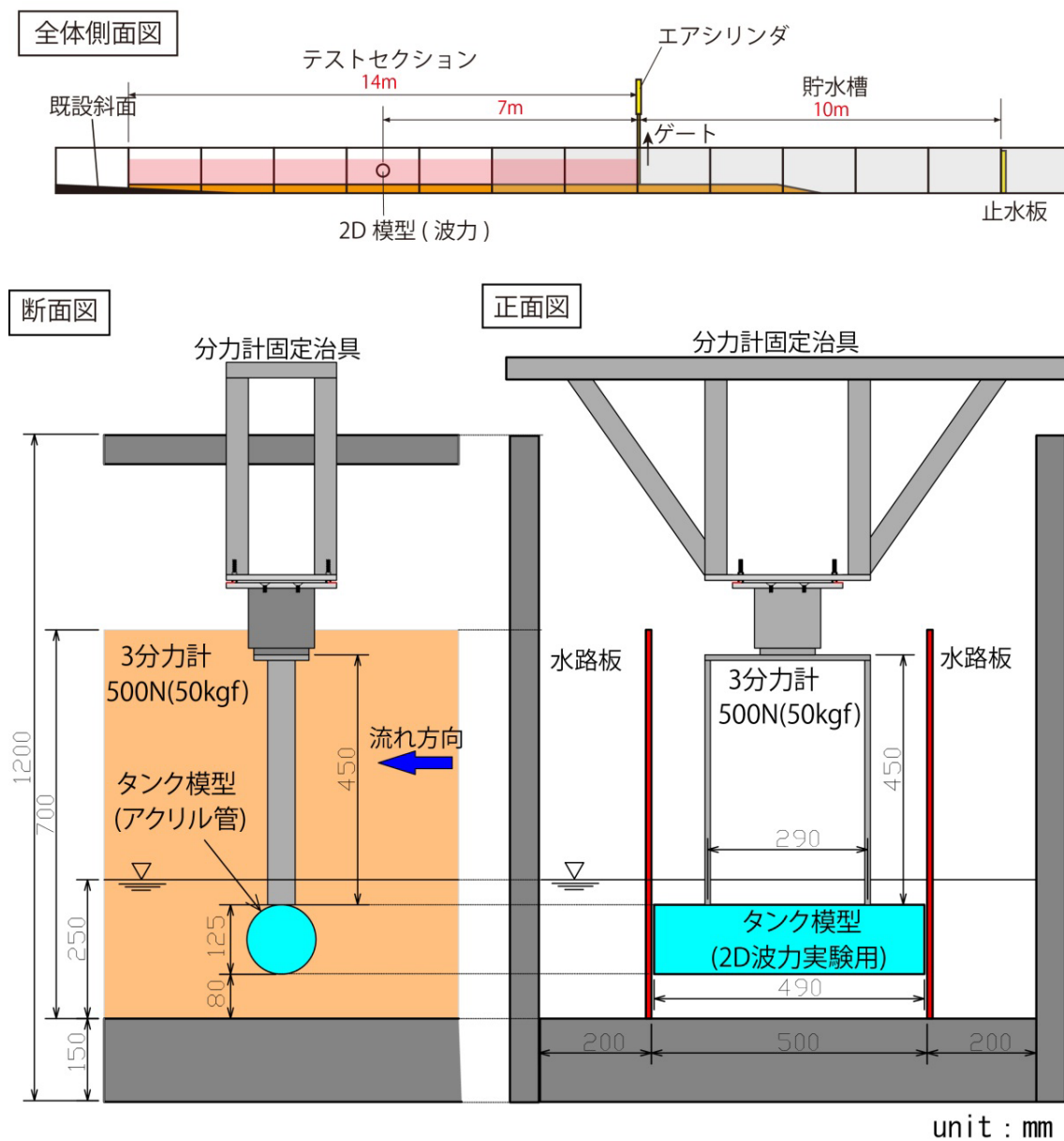
造波水路(上流端⇒下流側)



造波水路(テストセクション側面)

高圧ガス設備の津波による影響の評価方法の検討状況（5／9）

(3) 2次元波力実験模型配置



高圧ガス設備の津波による影響の評価方法の検討状況（6／9）

（4）水理模型実験ケース

- ・波高は、実際に東日本大震災で被害を生じた事例を踏まえ、横置円筒形貯槽が完全に水没する津波水深5.0m相当(模型換算25cm)と、貯槽の概ね半分の高さに相当する津波水深3.0m相当(模型換算15cm)を実施。
- ・予備実験の結果、それぞれの波を発生させる初期貯留水位を、90cmと45cmに設定。

ケース	種別	模型配置	初期貯留水位	目標波高		計測項目
				模型	実機換算	
0-1	予備実験	無し	90cm	25cm	5.0m	水位、流速
0-2		無し	45cm	15cm	3.0m	水位、流速
1-1	波力実験	2次元(正面)	90cm	25cm	5.0m	波力(水平・鉛直)
1-2		2次元(正面)	45cm	15cm	3.0m	波力(水平・鉛直)
2-1		3次元(正面)	90cm	25cm	5.0m	波力(水平・鉛直)
2-2		3次元(正面)	45cm	15cm	3.0m	波力(水平・鉛直)
3-1	波圧実験	2次元(正面)	90cm	25cm	5.0m	貯槽表面波圧、水位、流速
3-2		2次元(正面)	45cm	15cm	3.0m	貯槽表面波圧、水位、流速

計測は、各項目2回ずつ行う。

注) 2次元: 津波進行方向、高さ方向の2方向で評価。

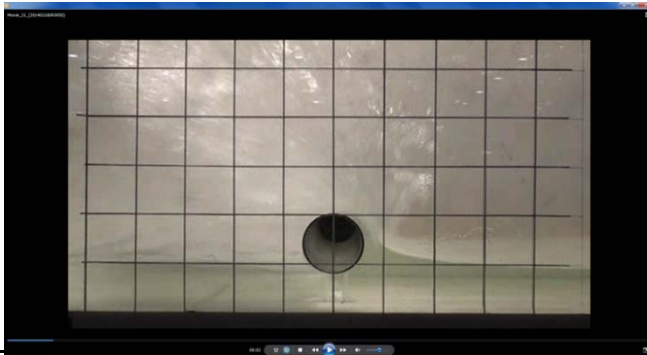
3次元: 津波進行方向、高さ方向、水路幅方向の3方向で評価。

高圧ガス設備の津波による影響の評価方法の検討状況（7 / 9）

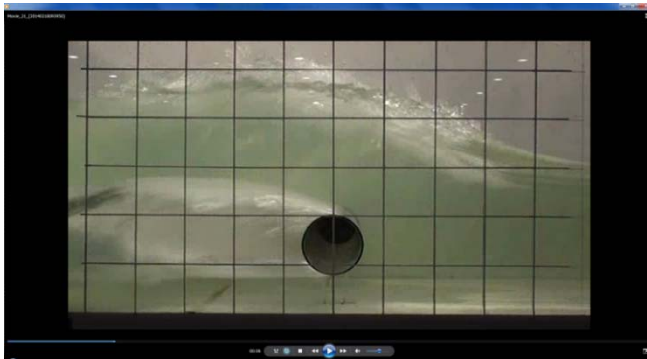
(5) 2次元波力実験

2次元波力実験計測画像

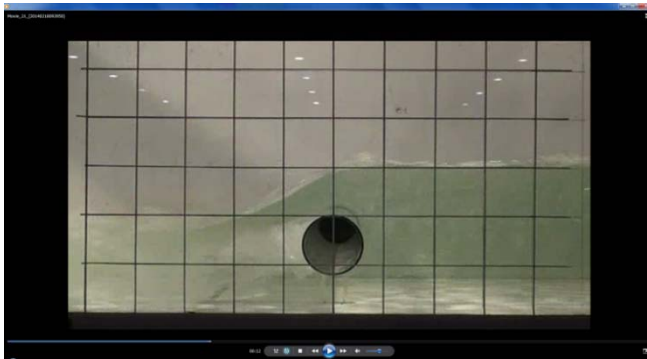
初期貯留水位 $H=90\text{cm}$



実験開始3秒後 最大波力発生時
この段階では貯槽模型が水を大きく跳ね上げている状況が確認できる。
前方下面から段波が衝突するため、鉛直方向成分も水平方向成分と同程度に大きい。



実験開始8秒後 鉛直波力最小時
貯槽模型背後に空気溜まりが形成されている。
力の鉛直方向成分が最小となる(静水時の浮力よりも小さくなる)。上下方向に流れが分離した際に下側で流速増大(圧力低下)が発生していると考えられる。

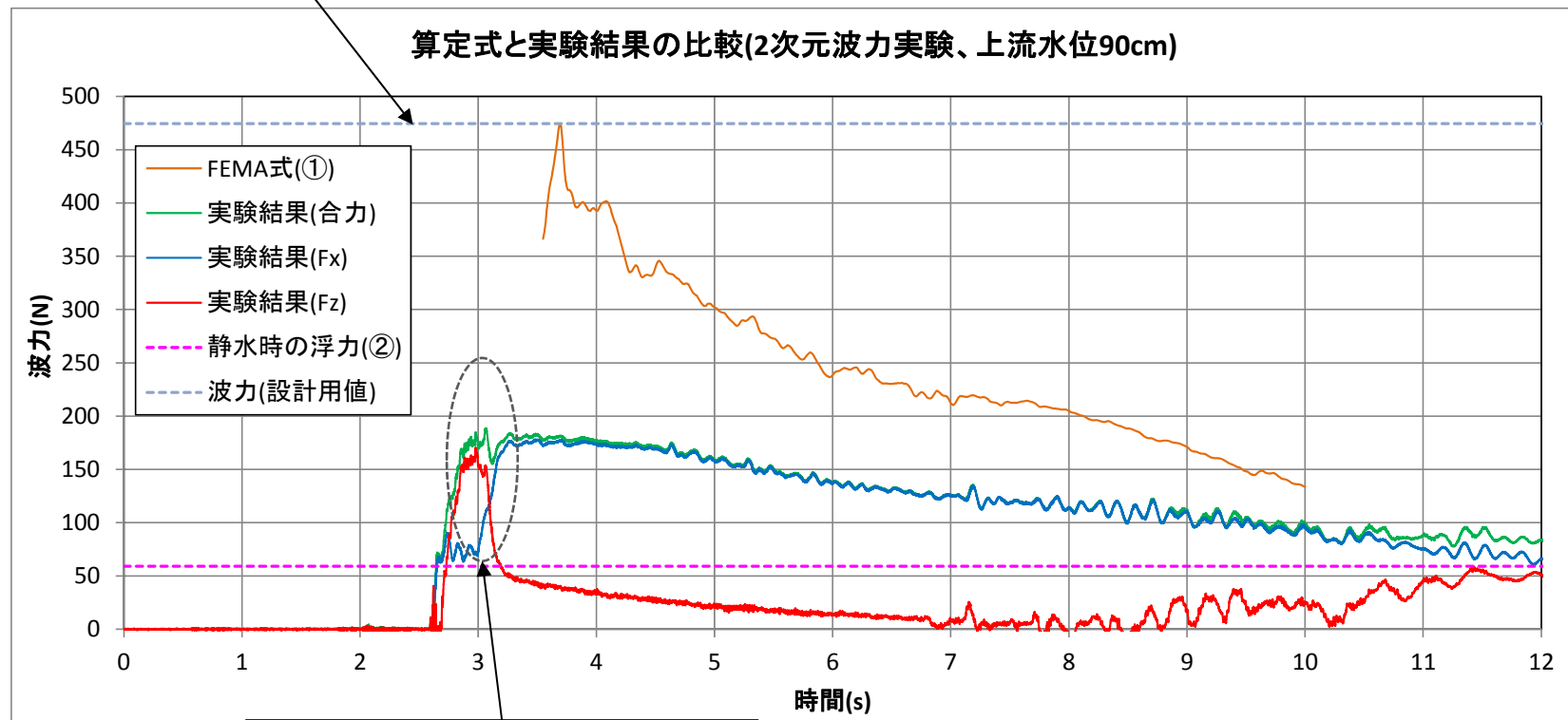


実験開始後13秒後 越流時
空気溜まりの縮小に伴い流れが安定し、
浮力が回復する。

高圧ガス設備の津波による影響の評価方法の検討状況（8／9）

(6) 波力算定式と実験結果の比較(2次元実験、初期貯留水位:90cm)

FEMA式による流体力は、実験結果の値より大きい。



波の先端部では、最大水平力に匹敵する鉛直力が作用する。

流体力: $F_d = \frac{1}{2} \rho_s C_d B (hu^2)_{max} \dots \dots \textcircled{1}$

浮力: $F_b = \rho_s g \Delta V \dots \dots \textcircled{2}$

（7）水理模型実験結果と波力算定式との比較

FEMA式を実験結果から検証した結果は以下のとおり。

- ・ FEMA式による流体力は、全ての実験ケースにおいて計測された値よりも大きい。
- ・ ただし、FEMA式では流速に応じて波力が変動するため、流速の適切な設定が課題。
- ・ 波の到達初期は鉛直方向に大きな力が作用するが、FEMA式ではこの鉛直方向について考慮されていないため、転倒モーメントだけでなく鉛直方向の力を考慮した照査が必要。

（8）今後の課題

- ・ FEMA式により、横置円筒形貯槽に作用する波力を評価できる可能性があることが判った。
- ・ このことから、今後、多量の高圧ガスを貯蔵する球形貯槽、たて置円筒形貯槽、平底円筒形貯槽においてもFEMA式が評価手法として適用できるか、また他の評価式（津波避難ビルガイドライン²⁾等）の適用性も併せて検討することが望まれる。
- ・ 各評価式の適用性については、水理模型実験及びシミュレーションによる評価方法の検証が必要である。

²⁾「津波避難ビル等の構造上の要件の解説」（平成24年2月 国土交通省国土技術政策総合研究所）