

遠心模型振動実験による高圧ガス設備の動的相互作用に関する検討

高圧ガス保安協会 フェロー会員 木全宏之 小山田賢治 佐野 孝 大野卓志

1. はじめに

内閣府より、2003年、2004年に南海トラフ地震及び首都直下地震の被害想定が公表され、2012年、2013年にそれぞれ見直しが行われた^{1)~3)}。これを受けて、当高圧ガス保安協会では経済産業省からの委託調査研究として、「高圧ガス設備等耐震設計基準」(以下、「耐震告示」と呼ぶ)の見直しに向けた検討を実施している^{4)~6)}。本調査研究⁶⁾成果の一部として、遠心模型振動実験による高圧ガス設備の動的相互作用に関する検討結果について報告する。

2. 遠心模型振動実験の概要

本実験では、平成27年度調査研究⁵⁾で裕度が低いと考えられた球形貯槽を対象とする。また、球形貯槽として、平成26年度調査研究⁴⁾で1G場の模型振動実験モデルとして想定した球形貯槽(鋼管ブレース、径 $\phi=5,760\text{mm}$)と同様のモデルを対象とする。対象とした球形貯槽の構造詳細は、文献4)を参照されたい。

上部構造と基礎・地盤の動的相互作用について検討するため、基礎・地盤を有するモデルAと基礎・地盤の無い(基礎固定の)モデルBについて、遠心模型振動実験を実施した。図-1、写真-1に実験モデルと計測器配置、概観を示すが、実験は30G場で実施した。貯槽は頂版でモデル化し、鋼管ブレースは省略して、実機の固有周期0.201sと一致するよう6本の支柱の構造仕様を設定した。また、基礎杭は1支柱当たり1本とし、杭頭、杭先端とも固定となるようにした。地盤については、砂地盤(珪砂7号)とし、できる限り軟弱地盤とするよう相対密度 $D_r=50\%$ を目標として作成した。

モデルAの入力地震波は、地表面で定義される耐震告示の基準応答倍率(応答スペクトル)に適合したスペクトル適合波(乱數位相)を用い、適合波の最大加速度を400Galに低減(振幅調整)し、さらに0.1s以下の短周期成分をカットして、モデル底面まで引き戻し計算を行って設定した。一方、モデルBについては、モデルAの地表面で得られる加速度波形を入力地震波とした。実験ケースの一覧を表-1に示す。

3. 上部構造と基礎・地盤の動的相互作用

遠心模型振動実験結果として、最大加速度の一覧を表-2、最大加速度分布を図-2に示す(実機換算)。これより、

①上部構造と基礎・地盤の動的相互作用は、入力相互作用(入力損失)と慣性の相互作用に大別される。まず、入力損失について、上部構造を切断し上部構造の無いケースA-3の地表面加速度と基礎版の応答加速度(基礎入力動)を比較すると、地表面最大加速度636Galに対し、基礎版の最大応答加速度は逆に713Galと大きく、入力損失の影響はまったく認められない。元来、基礎の質量があるため厳密な評価はできず、また、本実験では地盤が大幅に沈下して基礎版が露頭し(ケースA-1加振後に約270mm沈下)、基礎の質量に伴う慣性力の影響が助長され、基礎版の最大応答加速度が地表面最大加速度より逆に大きくなったものと考えられる。

②一方、慣性の相互作用について、地盤剛性が変化するため厳密な評価はできないが、ケースA-2とケースA-3の基礎版の応答加速度を比較すると、ケースA-2の基礎版最大応答加速度891Galに対し、ケースA-3では713Galと20%程度小さく、慣性の相互作用の影響が認められる。なお、地盤を加振すると剛性が大きくなり変化するが、地盤剛性の変化の度合いを極力小さくするため、ケースA-2を実施し、ケースA-3と比較することとしたが、ベンダーエレメントによる地盤のせん断波速度の計測の結果、地盤剛性はほとんど変化しなかった。

③ケースA-1とケースB-1の上部構造の応答加速度を比較すると、ケースB-1の頂版最大応答加速度3291Galに対し、ケースA-1では1325Galと大幅に小さく、動的相互作用の影響が認められる。

キーワード 遠心模型振動実験, 高圧ガス設備, 動的相互作用

連絡先 〒105-8447 東京都港区虎ノ門4-3-13 TEL. 03-3436-6103

4. おわりに

一般に上部構造と基礎・地盤は動的相互作用を考慮せず、それぞれ別個に設計されることが多い。平成 27 年度調査研究⁵⁾では、南海トラフ地震及び首都直下地震に対し、基礎固定として高圧ガス設備の地震被害想定を行ったが、より精度良い地震被害想定には、基礎・地盤との動的相互作用を考慮する必要があると考えられる。

本調査研究⁶⁾において、ご指導を賜った委員会委員ならびに(株)大崎総合研究所の関係各位に深謝の意を表する次第である。

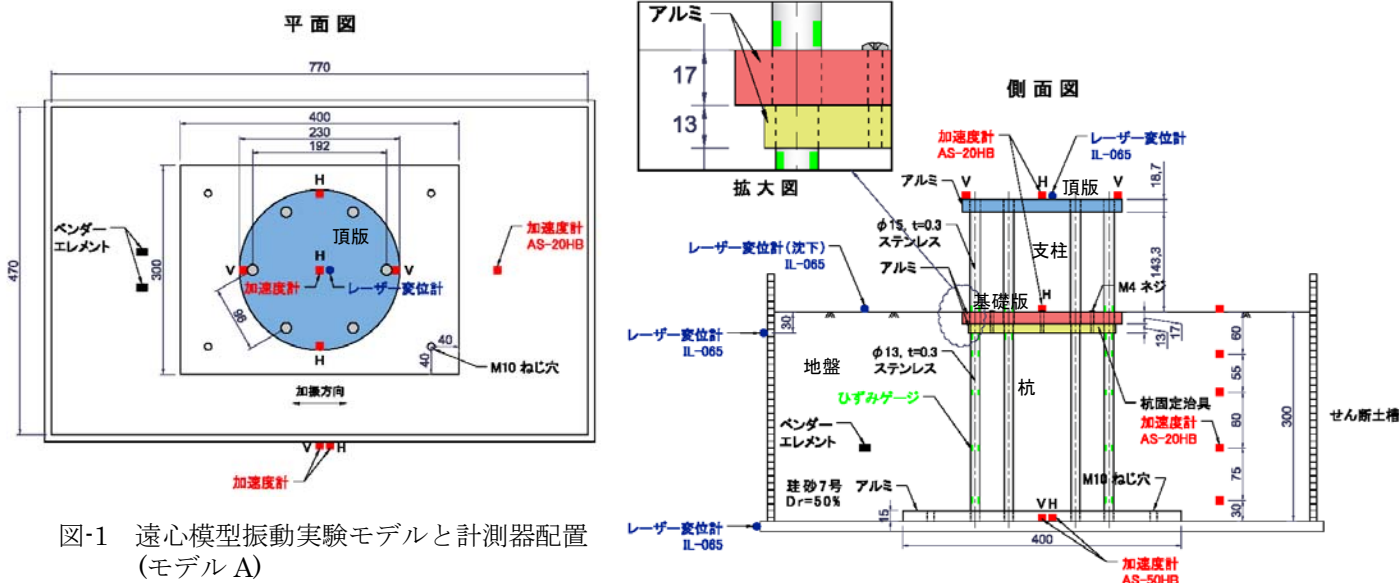
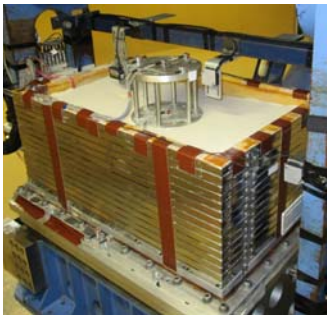


図-1 遠心模型振動実験モデルと計測器配置 (モデル A)

表-1 遠心模型振動実験ケース

ケース	実験モデル	加振条件	備考
B-0	モデル B	上部構造のみ	微小スウィープ加振 ・固有周期、減衰定数等の把握
A-0	モデル A	上部構造・杭基礎・地盤 (緩詰地盤:目標 Dr=50%)	微小スウィープ加振 ・上部構造は B-0 モデル使用 ・固有周期、減衰定数の把握
A-1	同上	S ₀ 波入力 (緩詰地盤:目標 Dr=50%)	・B-1 と比較 (動的相互作用)
A-2	同上	S ₀ 波入力 (中密地盤)	・A-1 モデルを再加振 ・A-3 と比較 (慣性の相互作用)
A-3	同上	S ₀ 波入力 (密地盤)	・A-2 モデルの上部構造を切断後、再加振 ・A-2 と比較 (慣性の相互作用) ・入力の相互作用 (入力損失)
B-0'	モデル B	上部構造のみ	微小スウィープ加振 ・B-0 モデルとの整合性確認
B-1	同上	A-1 の地表面加速度入力 (必要に応じ漸増)	・非線形挙動の把握 ・A-1 と比較 (動的相互作用)



(a) モデル A



(b) モデル B

写真-1 遠心模型振動実験モデルの外観

表-2 最大加速度

ケース	A-1	A-2	A-3	B-1
入力地震動	485Gal (1.0)	492Gal (1.0)	488Gal (1.0)	564Gal (1.0)
地表面	585Gal (1.21)	620Gal (1.26)	636Gal (1.30)	—
基礎版	766Gal (1.58)	891Gal (1.81)	713Gal (1.46)	564Gal (1.0)
頂版	1325Gal (2.73)	1327Gal (2.70)	—	3291Gal (5.84)

注) (): 入力地震動に対する倍率

参考文献:

- 1)内閣府 HP: http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/nankaitrough_info.html
- 2)内閣府 HP: http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/nankaitrough_info.html
- 3)内閣府 HP: http://www.bousai.go.jp/jishin/syuto/taisaku_wg/
- 4)高圧ガス保安協会:平成 25 年度経済産業省委託石油精製業保安対策事業、高圧ガス施設の耐震補強評価に係る調査研究、報告書、2015。経済産業省 HP: http://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2014fy/000128.pdf
- 5)高圧ガス保安協会:平成 27 年度石油精製業保安対策事業(高圧ガス設備等耐震設計基準の想定地震対応に係る調査研究)報告書,2016。経済産業省 HP: <http://datameti.go.jp/data/dataset/670ddac8-2a2d-4283-b425-f121efc153c9>
- 6)高圧ガス保安協会:平成 28 年度石油精製業保安対策事業(高圧ガス設備等耐震設計基準の性能規定化に向けた調査研究)報告書,2017。(経済産業省 HP 掲載予定)

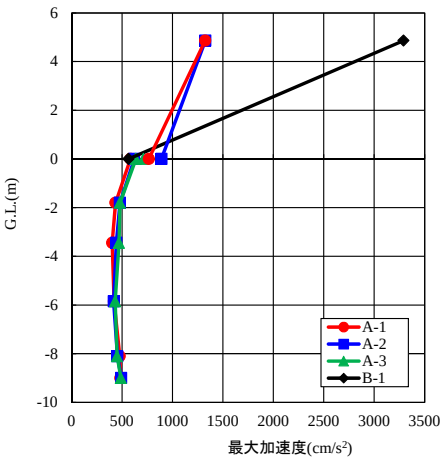


図-2 最大加速度分布