

III-271 直埋された液化石油ガス容器の液状化時の挙動に関する実験

高圧ガス保安協会

加藤真蔵

野村清

大林組技術研究所 正会員○久保家光 後藤洋三 松田隆

1. はじめに

通商産業省からの事業委託のもとで高圧ガス保安協会は、石油ガス地下バルク供給システムの実用化に向け多岐に渡る技術開発や安全性の検討を行なっている。今回、システムの安全性検討の一環として、振動台上のせん断土槽を用いた液状化実験を行ない、地震により地盤が液状化した時の地下バルク用液化石油ガス容器（以下単に容器と呼ぶ）の挙動を調査した。ここでは主に、加振入力強度と地盤液状化程度、ならびに容器の浮き上がりの関係について述べる。

2. 実験概要

表-1 岐阜砂の物理特性

平均粒径	D ₅₀	0.615mm
10%粒径	D ₁₀	0.390mm
60%粒径	D ₆₀	0.675mm
最大粒径	D _{max}	0.840mm
均等係数	U _c	1.73
最大密度	ρ_{max}	1.60g/cm ³
最小密度	ρ_{min}	1.27g/cm ³
最大間隙比	e _{max}	1.14
最小間隙比	e _{min}	0.70
真比重	G _s	2.72

(1) 対象構造物;710ℓ-300kg級の容器が直接地下に埋設された最も厳しい状態を対象とする。縮尺は空間スケールで想定している実物容器の1/2とした。模型は鋼製とし、直径50cm、高さ約70cmのボンベ状である。見掛けの比重は実物容器の比重（約0.4）と同一にした。

(2) 模型地盤;実験に用いた土槽は寸法2.8m×4.3m、高さ2mのせん断土槽である。試料砂は表-1に示す物理特性を持つ岐阜砂を用いた。模型地盤は土槽内への試料砂投入後、各加振ケースごとに砂層全体のボイリングによる土粒子の浮遊と排水による沈降過程により形成した¹⁾。模型地盤の平均的な単位体積重量は1.34t/m³、相対密度は約30%であり、液状化しやすい地盤と言える。地下水位はGL-20cmの位置とした。

(3) 入力波と実験ケース;実験ケースを図-1に示す。基本的な加振条件は4Hz, 20波の正弦波とした。地盤のみのケースについては正弦波と地震波を入力し、振動台加振振幅は10~200galの範囲で変化させた。模型容器を地盤に埋設したケースについては、地盤のみの実験結果をもとに、自由地盤が部分的に液状化する35gal入力と自由地盤が完全に液状化する150gal入力とした。

3. 実験結果および考察

表-2に容器を地盤に埋設した各実験ケースと浮上量（加振開始30秒経過時）の関係を示す。この表から特に、150gal入力時において、容器内容物の有無による容器の重量化が浮上量抑制に大きな影響を与えていることがわかる。また、砕石ドレーンの効果により容器は全く浮上しなかった。次に、図-2, 3に容器空液時の35, 150gal入力における地盤の過剰間隙水圧深度分布（経時変化）を示す。35gal入力では地盤の深い位置（GL-100~205cm）での過剰間隙水圧値が比較的早く最大値に達しているのに対し、浅い位置（GL-0~100cm）では最大値に達するまでの時間が深い位置より遅れることがわかる。このことは、地盤の浅い部分の過剰間隙水圧の上昇が上向きの浸透流の影響を受けていることを示している。150gal入力では、加振開始2秒後にほぼ地盤全域が液状化していることがわかる。次に、容器空液時の35gal入力時における容器底面に作用する過剰間隙水圧値と浮上量の関係を図-4に、150gal入力時のそれを図-5に示す。また、容器周囲地盤の液状化程度を示す指標としてGL-37.5cm位置の過剰間隙水圧比Uを取り、このUと浮上量との加振開始後1~5秒間における関係を図-6に示す。図-4, 5から浮上する時点での過剰間隙水圧が150galに比べて35galの方が大きい値をとることがわかる。これは図-6からもわかるように、35gal入力時の方が150gal入力時に比べて容器周囲地盤が液状化に達するまでに時間がかかるからである。すなわち、35gal入力では容器周囲地盤の有効応力が消失し切るまでに時間がかかり、この有効応力に起因する摩擦力が容器に作用する。一方、150gal入力では、容器周囲地盤が一気に液状化するとともに有効応力もゼロになり、容器に働く摩擦力は消失するためである。さらに、際立った容器の浮上は過剰間隙水圧比が1.0付近から開始し

150gal入力でも浮上は急激に進まずほぼ一定速度で進行することがわかる。

4. 結論

- 1) 地盤が完全に液状化した際の最終浮上量は浮力と自重の関係で定まる。また、碎石ドレーンを用いた排水工法は効果的である。
- 2) 浮上の開始は浮力と自重および周面摩擦のバランスによって決まる。
- 3) 周辺地盤が液状化して摩擦がなくなっても、浮上は急激でなく一定速度で進行する。また、浮上に当たって容器自体は全く安全であった。

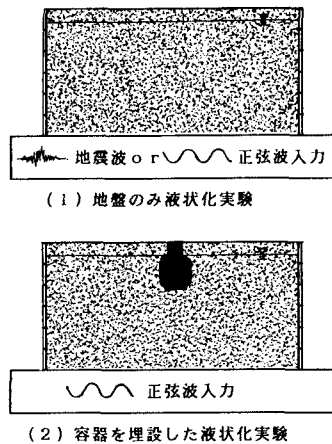
5. むすび

この実験により、容器の地盤液状化時の挙動を把握することができ、対策工法やシャットダウンバルブ、配管法等の安全対策を検討する上で必要な資料を得ることができた。

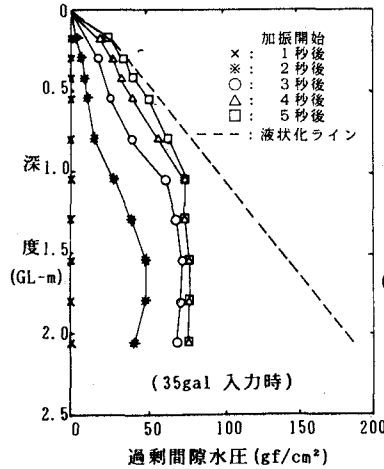
末筆ながら、実験のご指導を頂いた地下バルク研究委員会（委員長：鶴戸口英善殿）ならびに同委員会安全管理技術開発打合せ会（主査：房村信雄殿）の皆様に感謝いたします。

表－2 浮上量

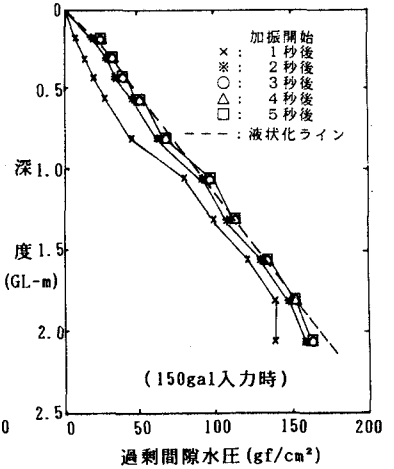
実験ケース	浮上量	
	35gal	150gal
空液 容器のみ	7.26cm	26.3cm
満液 //	0.8cm	13.9cm
空液 ドレーンあり	-0.5cm	-0.9cm
空液 配管あり	0.5cm	31cm



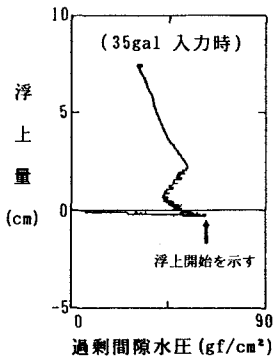
図－1 実験ケースと入力波



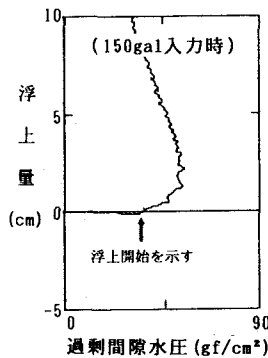
図－2 過剰間隙水圧深度分布



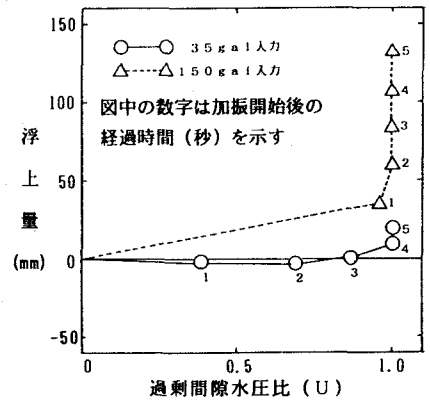
図－3 過剰間隙水圧深度分布



図－4 浮上量～過剰間隙水圧



図－5 浮上量～過剰間隙水圧



図－6 浮上量～過剰間隙水圧比

<参考文献> 1) 伊藤，他：人孔部の液状化対策工法に関する研究，第23回土質工学研究発表会，1988年