

糸奥村組 技術研究所 正会員 吉川田昭  
京都大学 工学部 正会員 家村浩和

1. ま え が き

構造物の耐震性は、構造物のおかれた地盤の影響が大きいことはよく知られたところである。耐震設計に必要な耐震解析においても構造物、地盤の相互作用について、十分な検討がなされなくてはならない。大型LNG地下タンクの歴史は他形式タンクに比べて浅く、大事故の例は見あたらない。しかし、埋立地や軟弱地盤に建設される場合が多いので、地震時においては地盤との複雑な動的相互作用が予想され、地下タンクに対する耐震工学上の配慮が不可欠となる。地下タンクと地盤の動的相互作用を検討する場合、地下タンクが地中に埋設されているため、周辺地盤の影響を受けやすく、また内容液は非線形挙動を行うにもかかわらずその減衰効果は期待できないので、地盤が軟化特性を示す強震時に、内容液、タンク、地盤からなる全体系がどのような動的相互作用を引き起こすかを、解明していく必要がある。そこで、本研究では、既報<sup>(1)~(3)</sup>の軟化ばね特性を表現できる模型地盤材料を用いて、強震時に地下タンクの動的挙動が地盤の軟化現象によってどのように変化するかを求めるため、模型振動実験を行ない、検討を加えたので、その概要を報告する。

2. 実験方法

大型円筒地下タンク（RC構造、6万m<sup>3</sup>、液深23m、円筒側壁外径60m、高さ30m、厚さ2.5m、円形重力底盤厚さ5m）は支持層の明確でない1層地盤（層厚60m）と2層地盤（上、下層厚を30mとし、上層は1層地盤に等しく、下層地盤はせん断剛性が上層の2.6倍で、支持層とする）の2種類の地盤に埋設されている。実物想定値に物理法則確認より導いた相似比を適用し、縮尺を1/300とした模型を図1と表1に示す。

模型地盤材料は原料ポリエチレンとサラダ油とを練り混ぜ模型タンクは天然ゴム・硬度40を用い、側壁と低版の取付部は剛結合とした。模型液体は軽くて粘性の小さい性質を選出する必要があるが、最適な液体が見あたらないので水を用いた。そのため、質量効果が現われやすくなっている。実験設備は既報告<sup>(1)~(3)</sup>と同じ機器を用いたので省略する。加速度計、ひずみゲージを図1のように配置した。地下タンクの場合、

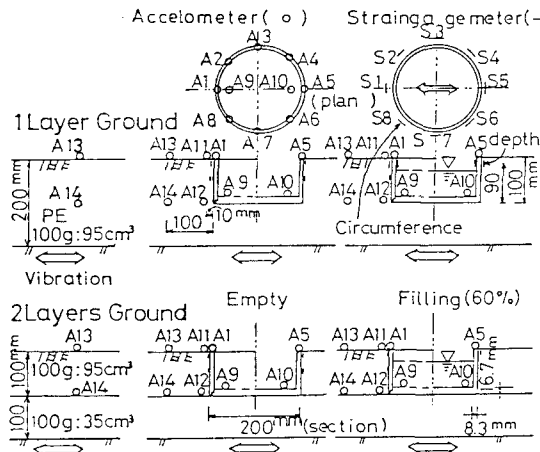


Fig.1 Ground-tank-liquid model.

Table 1 Design details of prototype and model.

|                     | Unit              | Prototype              | Model Aim                 |           |
|---------------------|-------------------|------------------------|---------------------------|-----------|
| SOIL PART           |                   |                        |                           |           |
| Comp-mixed(Surface) |                   |                        | Poly-Ethy.:Oil            |           |
|                     |                   |                        | 100 g : 95cm <sup>3</sup> |           |
| Soil Layer Depth    | m                 | 60.0                   | 0.2                       |           |
| Density             | g/cm <sup>3</sup> | 1.7                    | 0.88                      |           |
| Poisson's Ratio     |                   | 0.45                   | 0.45                      |           |
| S-Wave Velocity     | m/s               | 553.6                  | 32.0                      |           |
| Shear Modulus       | MPa               | 442.8                  | 0.9                       |           |
| Young's Modulus     | MPa               | 1279.2                 | 2.6                       |           |
| Natural Frequency   | Hz                | 2.31                   | 40.0                      |           |
| Damping Constant    | %                 | 2 ~ 5                  | 2 ~ 5                     |           |
| Bearing Soil Layer  |                   |                        | Poly-Ethy.:Oil            |           |
| Comp-mixed(Base)    |                   |                        | 100 g : 35cm <sup>3</sup> |           |
| Soil Layer Depth    | m                 | 30.0                   | 0.1                       |           |
| Density             | g/cm <sup>3</sup> | 1.8                    | 0.93                      |           |
| Poisson's Ratio     |                   | 0.4                    | 0.4                       |           |
| S-Wave Velocity     | m/s               | 865.0                  | 50.0                      |           |
| Damping Constant    | %                 | 2 ~ 3                  | 2 ~ 3                     |           |
| -----               |                   |                        |                           |           |
| TANK PART           |                   |                        | Aim                       | Execution |
| Volume              | m <sup>3</sup>    | 6 × 10 <sup>4</sup>    | 2.2 × 10 <sup>3</sup>     |           |
| Height              | m                 | 30.0                   | 0.1                       |           |
| Diameter            | m                 | 60.0                   | 0.2                       |           |
| Side Wall           | m                 | 2.5                    | 8.3 × 10 <sup>3</sup>     |           |
| Thickness           |                   |                        |                           |           |
| Bottom Slab         | m                 | 5.0                    | 0.0167                    |           |
| Density             | g/cm <sup>3</sup> | 2.4                    | 1.46                      |           |
| Poisson's Ratio     |                   | 0.17                   | 0.17                      |           |
| Young's Modulus     | MPa               | 2.06 × 10 <sup>6</sup> | 41.8                      |           |
| Damping Constant    | %                 | 3 ~ 5                  | 3 ~ 5                     |           |
| Natural Frequency   | Hz                |                        |                           | 4.5 ~ 7.0 |
| Fix Base            |                   | 7.75                   | 134.0                     | 33.5      |
| Hinge Support       |                   | 3.10                   | 56.3                      |           |
| Spring Support      |                   | 1.20                   | 20.8                      |           |

I MPa=10.2 kcal/cm<sup>2</sup>

1 MPa=10.2 kgf/cm<sup>2</sup>

周辺を地盤で囲まれ、地震時に地盤と相互作用を生じやすい構造物であるため、地上構造物と地盤の連成振動特性のように明確な特性を求めることが難しい。そのため、実験は単一系地盤と単一系タンクについて、単一系の特性を求め、次に、地盤-タンク全体系の実験を4種類（1層、2層地盤と空液、有液の組み合わせ）行う。入力波形は地盤が軟化しやすいため、周期的スweep波動を使用した。加速度振幅のスweep波動を水平方向に6ケース（10, 48, 80, 117, 147, 193ガル）に分けて与え、各測点で共振曲線とモードを求めた。

### 3. 実験結果と考察

単一系1, 2層地盤の共振曲線を図2に示す。同図より、1, 2層地盤の共振曲線はそれぞれ、単峰型と連峰型を示し、2層地盤では、1次の他に2次ピークを生じる。単一系円筒タンクは空液時、有液時とも、共振振動数が入力強度に依存しないことがわかる。（図省略）。有液時の液面動揺振動による1次共振振動数は2. 2 Hzとなる。次に代表例として、1層地盤中のタンク側壁頂部A<sub>1</sub>、近傍地盤地表A<sub>11</sub>の有液時の水平応答の共振曲線を図3に示す。次に1, 2層地盤

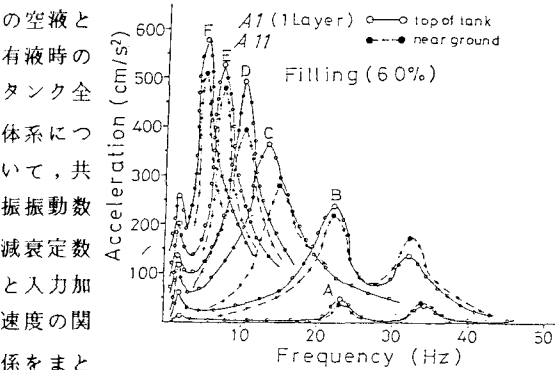


Fig. 3 Frequency-response curve of combined system (A<sub>1</sub> and A<sub>11</sub>, with water 60% in one layer).

同図を相互作用特性図と称し、点線、1点鎖線は単一系地盤とタンクの共振振動数(G<sub>1</sub>, G<sub>2</sub>)と(T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub>)または地盤とタンクの減衰定数h<sub>g</sub>とh<sub>t</sub>を表す。全体系の空液時1, 2次を白丸, 黒丸, 有液時1, 2, 3, 4次を二重丸, 白丸, 黒丸, 3角形で表す。共振振動数と入力加速度の関係において、単一系地盤（点線）の共振振動数は入力加速度によって変化するので、入力に依存しない単一系タンク（1点鎖線）の共振振動数(T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>など)と交わる。一方、全体系の白丸は点線と1点鎖線の交点近傍以下の入力加速度の領域と以上の領域とでは、顕著に差があり、白丸は交点以上の入力加速度に対して、単一系地盤に従うことなど、興味ある結果が得られた。（以下、当日発表する）

周辺を地盤で囲まれ、地震時に地盤と相互作用を生じやすい構造物であるため、地上構造物と地盤の連成振動特性のように明確な特性を求めることが難しい。そのため、実験は単一系地盤と単一系タンクについて、単一系の特性を求め、次に、地盤-タンク全体系の実験を4種類（1層、2層地盤と空液、有液の組み合わせ）行う。入力波形は地盤が軟化しやすいため、周期的スweep波動を使用した。加速度振幅のスweep波動を水平方向に6ケース（10, 48, 80, 117, 147, 193ガル）に分けて与え、各測点で共振曲線とモードを求めた。

### 参考文献

- 1) 吉川正昭他；模型地盤を用いた鉄塔-杭基礎-地盤の非線形連成振動に関する実験的研究土論集第334号
- 2) 吉川正昭他；軟弱地盤模型材料の動特性，第16回土質工学研究発表会，pp1257～1260，1981年8月
- 3) 吉川正昭他；杭基礎-地盤の非線形動的相互作用に関する実験的研究，土質工学会論文報告集，Vol123, No3

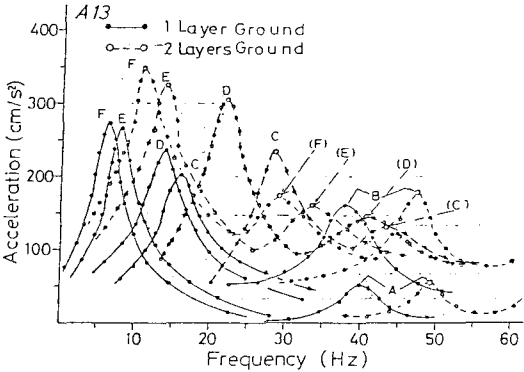


Fig. 2 Frequency-response curve of ground (horizontal).

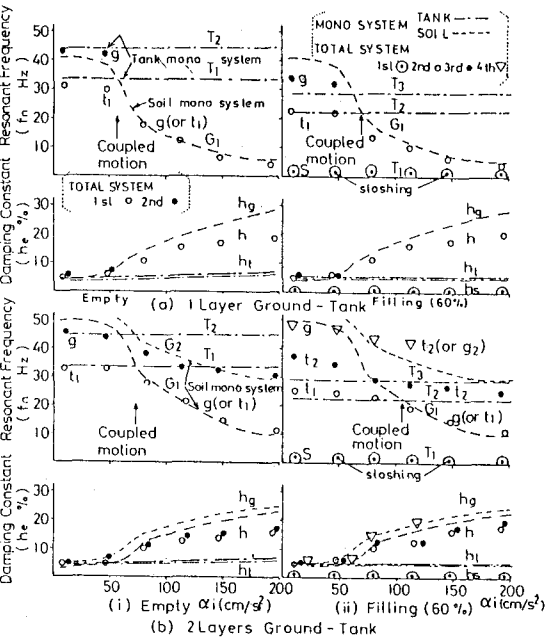


Fig. 4 Coupled vibration characteristic.