

鋼 - コンクリートサンドイッチ構造を有する地中タンクの地震時動的応答解析

岐阜大学工学部 正員 奈良 敬 岐阜大学工学部 正員 村上 茂之
 (株)北川ヒューテック 正員 岡崎 孝和 岐阜大学大学院 学生員 岡田 豊
 国土交通省 正員 大前 伸友

1. はじめに

地中タンクの分野では、他の構造に比較して低コストで建設できることから、従来よりコンクリート製が主流で、各地で建設が進められてきた。しかしながら地震の多い我が国では、一度大きな地震に遭遇するとコンクリート製タンクにはクラックが入り水漏れが生じるなどの問題が指摘されている。この問題を解決すべく、タンク側壁に鋼とコンクリートサンドイッチ構造部材を採用し、地震時における耐クラック性が高く、同時に耐久性のある大型貯水タンクの開発が計画されている。本研究では、まず地震時動的応答解析に用いるサンドイッチ構造タンクの解析モデル作成に先立ち、サンドイッチ構造部材を側壁にもつタンク自体の動的特性を把握するために、実物大構造モジュールに対して衝撃試験を実施した。実験はオープンケーソン工法の施工の過程において、潜函前1回と潜函後2回の合計3回実施した。潜函前の実験ではタンクのモデル化、潜函後の実験では地盤のモデル化について検討した。最後に地震時動的応答解析を行い、その耐震性能について検討した。以下にその結果について報告する。

2. 衝撃試験による地中タンクの動的特性

図-1 にサンドイッチ構造モジュールから成るタンクの概略を示す。内径 15m、深さ 5m、底板厚 1m である。サンドイッチ構造の側壁厚 168mm は外殻材である板厚 9mm の 2 枚の鋼板と、コア材である厚さ 150mm のコンクリートから成る。バックホーによりタンク側壁に衝撃荷重を与え、加速度計及び変位計を用いて、動的応答を測定した。

図-2 に衝撃試験の結果から得られた衝撃荷重時刻歴とタンク側壁における円筒タンク中心方向の加速度応答時刻歴を示す。加速度応答時刻歴より直接積分により、変位応答時刻歴を算出し、これから固有周期と減衰定数を算出した。固有周期は数個の波より平均をとることにより求め、減衰定数は対数減衰率の式(1)より任意の周期 m 番目と(m+n)番目の振幅比から求めた¹⁾。

$$h = \frac{1}{2m\pi} \ln \frac{x_n}{x_{n+m}} \quad (1)$$

その結果、固有周期は 0.035 秒、減衰定数は 0.031 となった。しかし、文献²⁾に従い算出した固有周期は 0.015 秒となり、測定結果と比較して約 1/2 あった。

3. 地中タンクの地震時動的応答

1) 解析モデルの作成とその妥当性の検討

地盤・構造物連成地震応答解析システム DINAS³⁾を用いて、地中タンクの衝撃試験のシミュレーションを行った。解析モデルは衝撃試験結果と比較しながら、3段階に分け作成した。タンクの解析モデルを図-3に、構造諸元を表-1に示す。また、解析仮定として鋼板が降伏するまで合成構造は保持されることとした。これはサンドイッチ構造モジュールの繰り返し曲げ強度試験を実施した結果に基づいている⁴⁾。解析モデルに潜函前の衝撃試験で測定された衝撃荷重を与え、得られた加速度応答時刻歴を図-4に示す。加速度応答波形、応答値とも比較的良好に一致している。固有周期は衝撃試験で得られた 0.035 秒に対して、

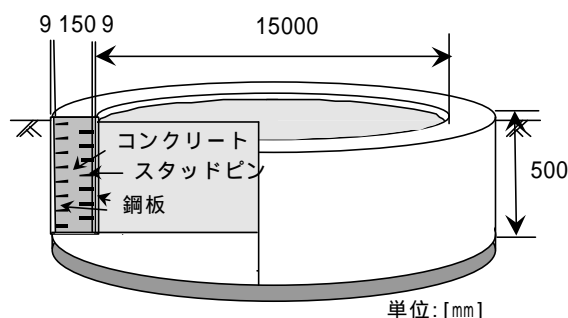


図-1 実物大構造モジュールの寸法

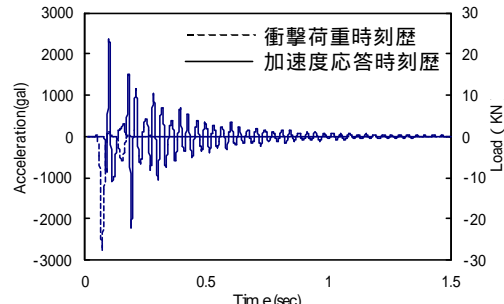


図-2 衝撃試験の結果

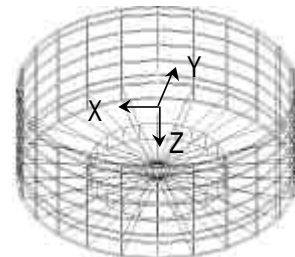


図-3 円筒タンクの解析モデル

表-1 解析モデルの諸元

鋼板 (SS400) の材料定数	降伏応力度 (MPa)	板厚 (mm)	ポアソン比	弾性係数 (GPa)	単位体積重量 (N/mm ³)
	235	9.0	0.3	205	7.8 × 10 ⁻⁵
コンクリートの材料定数	圧縮強度 (MPa)	板厚 (mm)	ポアソン比	弾性係数 (GPa)	単位体積重量 (N/mm ³)
	29.5	150	0.2	27.4	2.5 × 10 ⁻⁵

キーワード (サンドイッチ構造、動的応答解析、耐震、地中構造タンク)

連絡先 (〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸 1-1 TEL 058-293-2405 FAX 058-293-2425)

動的解析では 0.040 秒であった。図-4 に示されるの両者の加速度応答時刻歴から得たフーリエスペクトルを図-5 に示す。その結果、卓越周期はほぼ一致した。以上よりタンク本体の解析モデルは妥当であると判断した。

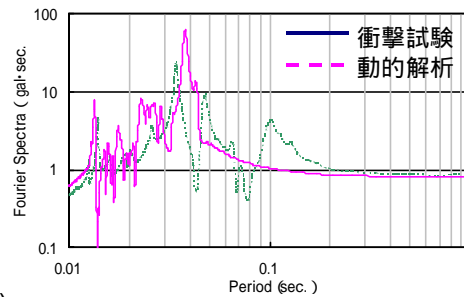
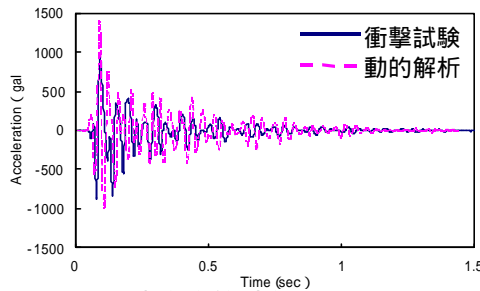


図-4 加速度応答時刻歴の比較(潜函前) 図-5 フーリエスペクトルの比較(潜函前)

次にタンク設置場所の地盤のボーリングデータに基づき、表-2 に示すような地盤データを与え、潜函後のタンクの衝撃試験を DINAS にてシミュレーションを行った。その結果を図-6 に示す。これより地盤のパラメータについては表-2 に示した値とする。

2) 地中タンクの地震時動的応答挙動

図-3 に示した解析モデルを用いて、地盤を考慮した地震時動的応答解析を行なった。入力地震動は地域特性や震源特性を受けることは周知である。図-7 に示す工学的基盤面に得られた濃尾地震の記録を入力地震動として用いることとした。

図-8、図-9 にタンク空虚時、満水時の常時荷重における外側鋼板の相当応力分布を示す。最大応力値はタンク空虚時において 13.5MPa、満水時において 3.80MPa であった。

図-10、図-11 にタンク空虚時、満水時の地震時動的応答解析の結果を示す。これは外側鋼板において最大相当応力を示したときの相当応力分布である。最大相当応力値は、タンク空虚時 88.9MPa、満水時 82.1MPa であった。鋼板の降伏応力度 235MPa であることから、いずれの状態も鋼板は弾性である。以上より、地中タンクが水道施設耐震工法指針で定められたレベル 2 地震動に相当する濃尾地震に対して十分な安全性を保持することが確認された。

4. まとめ

1) 衝撃試験結果から、実物大タンクの固有周期および減衰定数を求めた。また、加速度応答時刻歴およびそのフーリエスペクトルを比較し、解析モデルの妥当性を検証した。

2) 地震時動的応答解析結果から、サンドイッチ構造地中タンクが、空虚時および満水時のいずれにおいても応答値は弾性範囲内であり、レベル 2 地震動に対して十分な安全性を保有していることが確認された。

【参考文献】

- 1) 精木紀男ら：地震工学・振動学入門，吉井書店，pp48-50，1997 年 5 月．
- 2) 日本水道協会：水道施設耐震工法指針・解説，1997 年 11 月．
- 3) (株)CRC 総合研究所：3 次元地盤構造物連成地震応答解析システム．
- 4) 奈良敬，村上茂之，岡寄孝和，岡田豊，大前伸友：鋼とコンクリートのサンドイッチ合成板の繰返し曲げ載荷試験，土木学会第 56 回年次学術講演会概要集，2001 年 10 月．

表-2 地盤の材料定数

層 No.	地層区分	層厚 (mm)	N値	単位体積重量 × 10 ⁻⁵ (N/mm ³)	せん断波速度 × 10 ³ (mm/sec)	せん断弾性係数 (GPa)
1	砂礫	1500	50	1.82	294000	16.08
2	シルト	9300	3	1.4	140000	28.02
3	砂礫	1800	30	2.04	248000	12.85
4	シルト	3200	5	1.47	163000	3.991
5	砂	1000	25	1.95	234000	10.89
6	砂礫	3400	42	2.12	325000	22.81

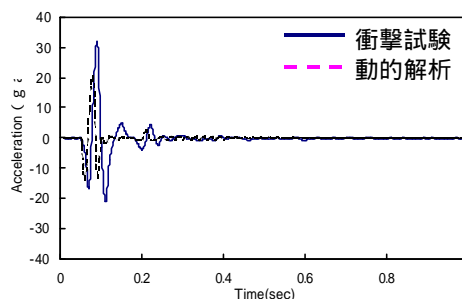


図-6 加速度応答時刻歴の比較(潜函後)

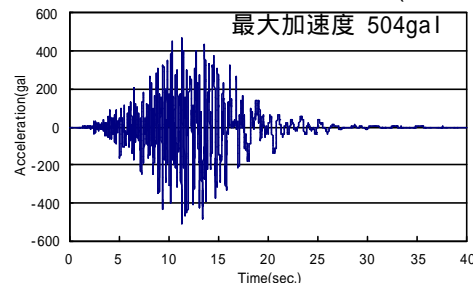


図-7 入力地震動(濃尾地震)

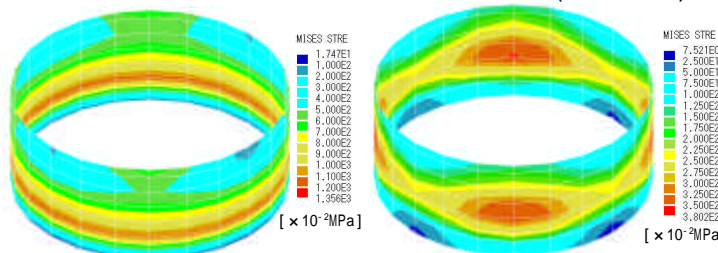


図-8 常時荷重による相当応力分布 (外側鋼板；タンク空虚時) 図-9 常時荷重による相当応力分布 (外側鋼板；タンク満水時)

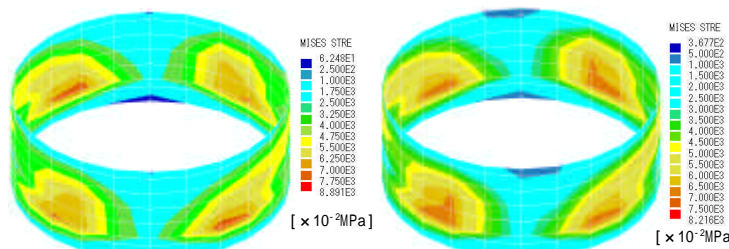


図-10 地震時動的応答解析時の最大相当応力分布 (外側鋼板；タンク空虚時) 図-11 地震時動的応答解析時の最大相当応力分布 (外側鋼板；タンク満水時)