

プレストレストコンクリート製タンクの 耐震安全性に関する基礎的研究

東北大学 学生員 小野 雄司 (株) 安部工業所 正会員 和佐勇次郎, 大村 一馬
福井県庁 正会員 丸中 孝通 東北大学 フェロー 鈴木 基行
東北大学 正会員 秋山 充良 東北大学 学生員 小林 寛明

1. はじめに

プレストレストコンクリート製タンク (以下 PC タンク) は, 構造が非常に合理的で, 液密性や耐震性に
関し優れた性能が認められていることから, 水道水貯蔵タンクとして数多く建設されている構造物である。

現在 PC タンクは, 兵庫県南部地震後に改訂された「水道用プレストレストコンクリートタンク設計施工
指針・解説」¹⁾(以下「PC タンク指針」) に基づいて耐震設計されている。「PC タンク指針」では, 従来
考慮されていない大規模地震である地震動レベル 2 に対する安全性照査が新たに規定された。しかし, PC
タンクにおける地震動レベル 2 に対する解析事例は多くない。様々な形状, 大容量 PC タンクの建設が期待
される現在, 本地震動に対する PC タンクの挙動特性を把握する必要がある。

そこで本研究では汎用有限要素法プログラム DIANA を用いて, (内径)/(水深) とタンク容量を変化させ
た PC タンクに対して線形動的解析を行い, 入力地震動特性やタンク形状の違いがタンク側壁の応答に及ぼ
す影響を把握した。さらに動的解析結果と現行の耐震設計に用いられている慣用計算法による動水圧を載荷
した静的解析結果との比較を行い, 動水圧慣用計算法の妥当性および適用範囲について検討した。

2. 動水圧慣用計算法の妥当性の検討

(1) 解析対象

本研究では 図-1 に示す形状の PC タンクにおい
て, 表-1 に示すように (内径 D)/(水深 H) と容量
をパラメータにとった 8 体のモデルを解析対象とし
ている。なお, 表-1 に示す壁厚は「PC タンク指
針」に基づき計算される最小厚を用いている。

解析モデルは下端固定とし, 対称性を考慮した
1/2 モデルとした。側壁および屋根は, 曲面シェル
要素, 内溶液については 3 次元流体要素を用いた。
なお, 側壁と流体の接触面には, 接触要素を用いる
ことで側壁と流体の相互作用を考慮した。

タンクおよび内溶液の材料特性を表-2 に示す。
タンクと屋根のヤング率には, PC タンクとしての
剛性を反映させている。

(2) 解析方法

a) 線形動的解析

動的解析では, 初めに, 内溶液 ~ タンク連成系
の運動方程式を定式化し, 各周波数成分毎に複素応
答を求めた。次に, タンク下端部に入力される地震
波形をフーリエ変換し, その地震波形に対する各周

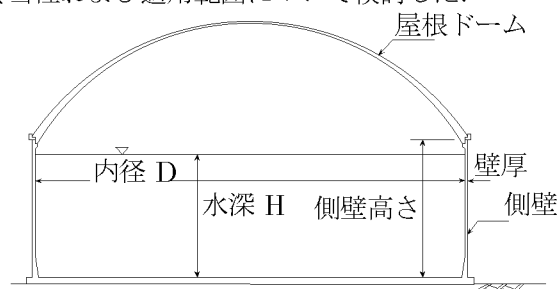


図-1 解析対象

表-1 タンクの諸元寸法

model	D(m)	H(m)	D/H	容量 (m ³)	壁厚 (m)
1	51.2	14.6	3.5	3.0×10 ⁴	0.45
2	35.5	10.2	3.5	1.0×10 ⁴	0.21
3	45.6	18.4	2.5	3.0×10 ⁴	0.50
4	31.8	12.7	2.5	1.0×10 ⁴	0.25
5	38.6	25.7	1.5	3.0×10 ⁴	0.60
6	26.8	17.8	1.5	1.0×10 ⁴	0.30
7	33.7	33.7	1.0	3.0×10 ⁴	0.67
8	23.4	26.8	1.0	1.0×10 ⁴	0.32

表-2 材料特性

タンク (側壁, 屋根)	ヤング率	3.2×10 ¹⁰ N/m ²
	ポアソン比	0.2
	密度	2450 kg/m ³
内溶液 (水)	密度	1000 kg/m ³

Key Words: プレストレストコンクリート製タンク, 耐震設計法, 動水圧, 地震応答解析

〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 06 TEL 022(217)7449 FAX 022(217)7448

波数毎の複素応答を求め、それらを重ね合わせてフーリエ逆変換することで時刻歴応答を求めた。なお、本研究で用いた入力地震波は兵庫県南部地震 (JMA 波形)、Imperial Valley 地震 (ELC 波形)、宮城県沖地震 (KHB 波形)、釧路沖地震 (KSR 波形) の 4 つである。

b) 静的線形解析

慣用計算法である速度ポテンシャル法および Housner 法より動水圧を分布荷重として評価し、躯体慣性力とともに側壁に载荷した。なお、動水圧の算定に必要なとなる水平震度および躯体慣性力については、動的解析から求められた応答値より算定した。

(3) 解析結果および慣用計算法の妥当性の検討

model 2 のタンクを対象に、4 つの地震波形を入力した時のタンク側壁の変形状態を図-2 に示した。なお図-2 は、入力地震波形毎に側壁の半径方向の変位が最大となる時刻の変形状態を表したものである。本研究で解析対象とした全てのモデルで、図-2 に示されるように、KSR 波形を入力した時の応答が他の地震動による応答よりも大きくなった。これはタンクの固有周期 T が短く ($T < 0.14$)、短周期成分の卓越した KSR 波形によって応答が増幅したためと考えられる。

次に、 D/H が 3.5 である model 1 のタンクを対象に、慣用計算法による動水圧分布を用いた静的解析より求められる側壁の変形状態と動的解析結果を比較したものを図-3 に示す。他の入力地震波形やタンクモデルを用いた解析においても、 D/H が 2.5 以上のタンクにおいては、図-3 に示されるように速度ポテンシャル法および Housner 法ともに側壁の変形状態や変形量を精度よく表し、設計として安全側に評価していた。一方、 D/H が 1.5 のタンクでは変形状態をある程度追従できていたが、側壁の変形量は、動的解析結果に対し危険側に評価していた。さらに、 D/H が 1.0 になると、 D/H が 1.5 以上と明らかに異なる振動モードが卓越する場合がある。図-4 に示されるように、本モードは従来の慣用計算法では考慮できないことより一考を要する。

3. まとめ

本研究により以下のような結果が得られた。

1. 固有周期の短い PC タンクでは、KSR 波形のような短周期成分の卓越した地震動によって大きな変形をする。
2. 現行指針で規定される動水圧慣用計算法は、 D/H が 2.5 以上のタンクであれば十分に適用可能であることが確認された。

しかし、 D/H が 1.5 のタンクにおいて、慣用計算法では、変形状態は再現可能であるが、側壁の変形量を危険側に評価する、および D/H が 1.0 になると、現行の慣用計算法では考慮できない振動モードが卓越する場合がある、などが確認されたことに対し今後の検討が必要である。

参考文献

- 1) 日本水道協会：水道用プレストレストコンクリートタンク設計施工指針・解説，1998.5

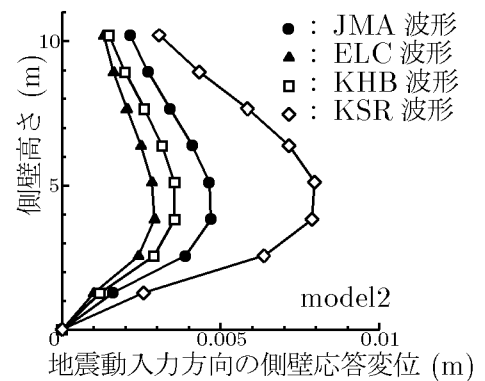


図-2 各地震波に対する側壁応答変位

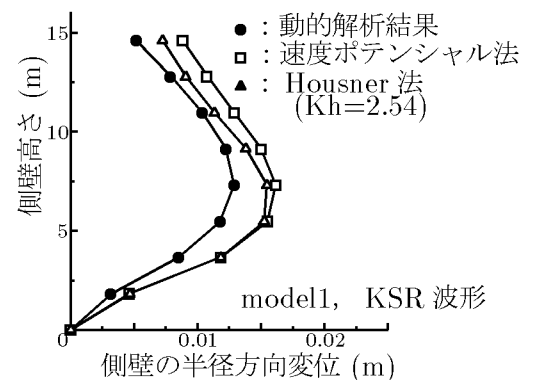


図-3 動的解析と慣用計算法の比較 ($D/H=3.5$)

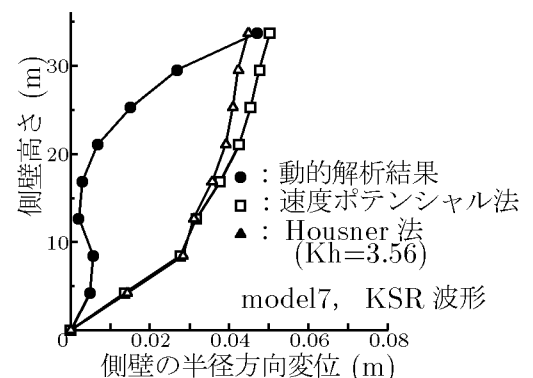


図-4 動的解析と慣用計算法の比較 ($D/H=1.0$)