

可撓性矩形水槽の振動特性について

吉原 醇 一 角田 智 彦
安井 讓 中村 嶽

Vibration Characteristics of Flexible Rectangular Water Tank

Jun-ichi Yoshihara Tomohiko Tsunoda
Yuzuru Yasui Takashi Nakamura

Abstract

Experiments were conducted on an elevated water tank mounted on the penthouse of a tall building. The tank shape is rectangular and being made of FRP so that the tank is flexible. The objectives of the experiments were to find the dynamic characteristics of the tank and to evaluate its strength. The authors describe these experimental results and simulated results using an analytical model. The method of analysis is based on the theory developed by C. Minowa. This theory enables analysis of flexible rectangular water tanks to be made. In the simulation analysis, eigenvalues and eigenvectors from experiments are compared with calculation results, and maximum response values at resonance under harmonic or envelope wave excitation are examined. The analytical values agree well with the experimental data. Next, experimental time-history responses to floor responses of the penthouse are compared with calculated results in regard to the items below. These are accelerations of the pressure wall, water pressures at that wall, and water level at the surface. It is concluded that Minowa's analytical model is good for simulating flexible rectangular water tanks and that in case of an elevated water tank bulging phenomena are masked by filtering effects of the building.

概 要

建物のペントハウスに設置される給水槽の耐震実験を行った。実験の目的は、① 水槽の動特性、② 水槽の強度、の2点を調べることである。本論分は、上記目的の①と②の1部に関する実験の結果について述べ、更に解析理論による考察を述べたものである。解析には箕輪が開発した理論を用いた。解析にあたり、先ず可撓性矩形水槽の固有値解析プログラムを開発し、そのプログラムを用いて共振時の応答値について考察した。その結果、計算値と実測値との良い対応が得られた。次いで、可撓性矩形水槽の地震応答計算手法の開発と実験結果の考察を行った。応答計算により求めた水槽壁体の応答、動水圧の応答および波高の応答の各波形は実測値と良く一致することが確認できた。

1. 序

近年、建築物が高層化、大型化することにより、水槽もますます大型化しており、その結果水槽の剛性が見かけ上低下する様になり、その耐震性が問題となっている。昭和53年1月14日の伊豆大島近海地震、2月20日の宮城県沖地震および6月12日の宮城県沖地震が起っており、この三つの地震においても相当数の水槽の被害例が報告されている。

今日一般的に、給水用の水槽として考えられるものは、

受水槽と給水槽（高置水槽）である。前記の様な事情をふまえて、図-1に示す様な建物上部に設置される高置水槽に着目して、その耐震適合性をチェックするための実験を行った。この論文は、その実験結果を報告し、さらに、箕輪の開発した理論¹⁾を用いた解析理論による考察を述べたものである。

2. 振動実験

2.1. 対象物

2.1.1. 水槽 供試体の形状は、幅 2.7 m、奥行 2.1

m, 高さ 2.5 m の矩形で, 合板両面を FRP 層でサンドウィッチした複合パネルを所定の寸法に切断し, この板を鉄骨フレームにボルトにより締め付け組立てしたものである。この供試体は, 実際に建物に据付けられる水槽と同じ型で, 据付けは鉄架台を介して振動台に固定した。水槽の自重は 2.6 ton である。

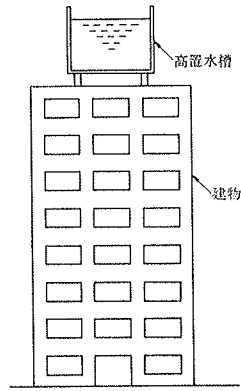


図-1

2.1.2. 建物の特性 振動台入力地震波として建物のフロア・レスポンスを, 建物の振動解析時に求めた。建物の特性は次の様なものである。階数は地下 2 階, 地上 8 階, ペントハウス 2 階, SRC 造である。水槽は建物のペントハウス 1 階に設置される。振動解析時に用いた建物のモデルは曲げせん断型とし, その固有周期は長手方向 1 次が 1.15 秒, 2 次が 0.38 秒, 3 次が 0.26 秒であり, 短手方向は 1 次が 1.26 秒, 2 次が 0.41 秒, 3 次は 0.26 秒である。また, 減衰定数は内部粘性減衰系とし, 非減衰自由振動形の 1 次形に対して, 臨界値の 2.5% としている。

2.2. 実験方法

2.2.1. 測定位置および測定項目 測定位置と測定計器を図-2 に示す。測定項目は下記の(1)~(4)の四つである。

- (1) 加速度 受圧壁の加速度を測定した。符号は, A-1 ~ A-5 である。
- (2) 動水圧 受圧壁の中心線上で測定した。符号は WP-1 ~ WP-4 である。
- (3) 波高 加振方向に平行な水槽の中心線上で測定した。符号は HL-1 ~ HL-6 である。
- (4) 歪 水槽の各部分, 計 15ヶ所で測定した。歪についてはこの報告では説明を省略する。

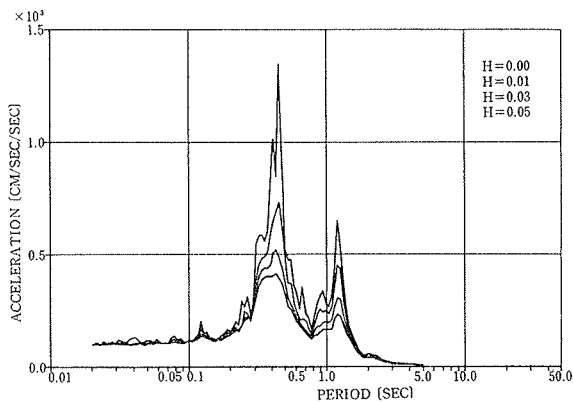


図-4 レスポンス・スペクトラム (Elcentro F. R.)

2.2.2. 実験内容 実験内容の一覧を表-1 に示す。実験は, 水位零 (空水槽) の場合と振動台の加振能力の都合上 1.3 m の場合との 2 種類について行なった。なお, 常用時水位は 1.8 m である。試験項目としては, 水槽の動特性試験と地震応答との二つである。

2.2.3. 入力波 入力波として, 正弦波, エンヴェロ

水位	試験項目	入力波	
空 (水位 0)	特性	正弦波	
水位	特性	スロッシング	エンヴェロップ波
		バルジング	正弦波
1.3m	地震応答	Elcentro F.R. Taft F.R.	

表-1 実験内容

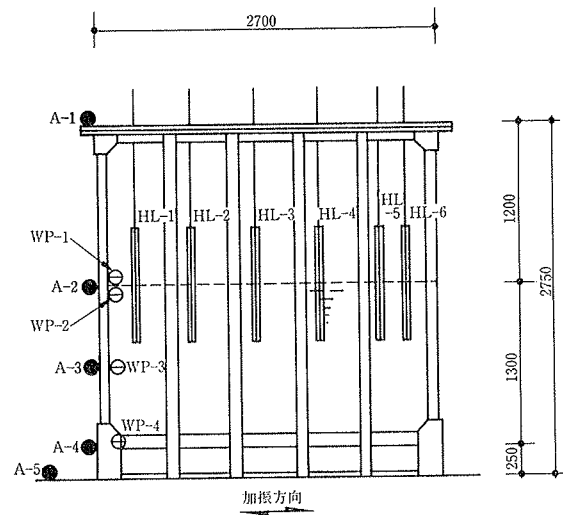


図-2 測定計器取付位置

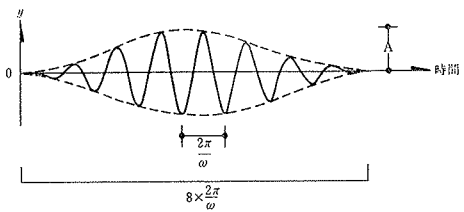


図-3-a エンヴェロップ入力波

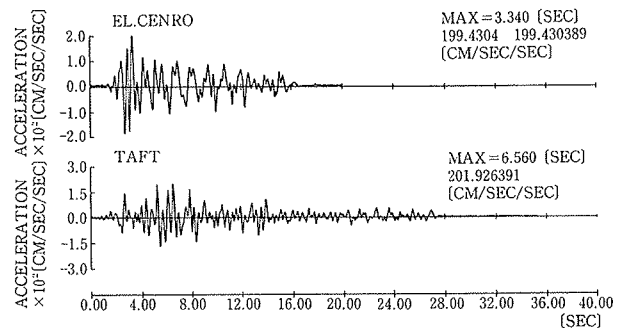


図-3-b 地震入力波 (フロア・レスポンス)

ープ波および地震波を用いた。空水槽および水位 1.3 m 水槽のバルジングの動特性をみるための入力波として正弦波を用い、水位 1.3 m 水槽のスロッシングの動特性をみるためにエンヴェロープ波を入力波として用いた。エンヴェロープ波とは正弦波にエンヴェロープ曲線をかぶせたものを言い、減衰の小さいスロッシング試験用に考案されたものである。図-3 a にその入力波形をしめす。また、水位 1.3 m 水槽の地震時の挙動を調べるために、Elcentro 波および Taft 波のペントハウス 1 階の

フロア・レスポンス (F.R.) を振動台入力波として用いた。図-3 b にこの入力波形を示す。レスポンス・スペクトラムの一例として図-4 に Elcentro F. R. (100 gal max) を示した。

2.3. 実験結果

図-5 は空水槽受圧壁の共振曲線であり、図-6 は水位 1.3 m 水槽の受圧壁の共振曲線である。空水槽および水位 1.3 m 水槽のバルジングの減衰定数は図-5、図-6 から $1/\sqrt{2}$ 法で求めた。

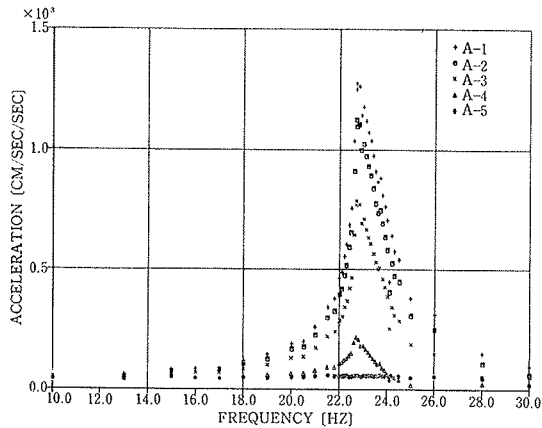


図-5 共振曲線 (空水槽)

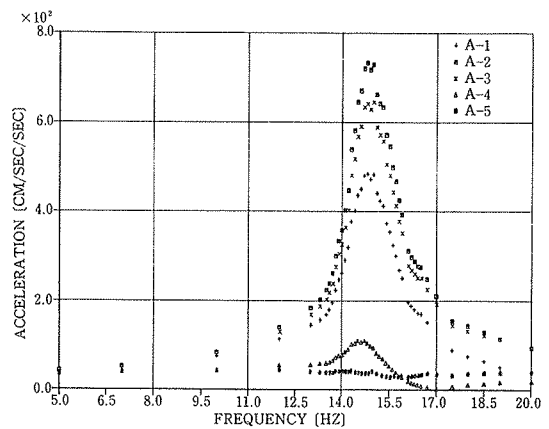


図-6 共振曲線 (水位 1.3 m)

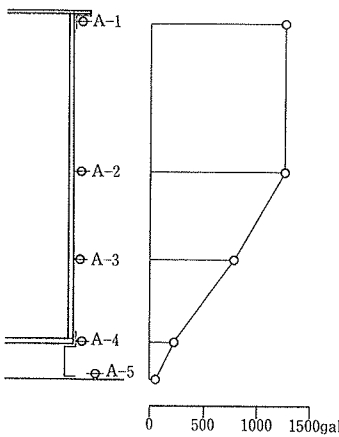


図-7 振動モード (空水槽)

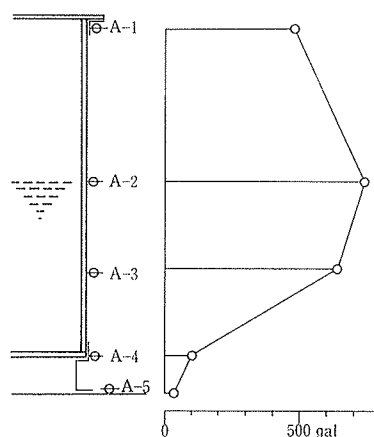


図-8 振動モード (水位 1.3 m)

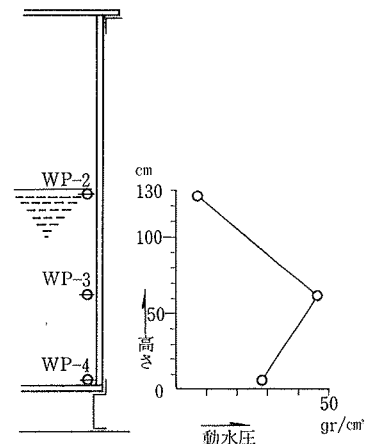


図-9 動水圧モード (水位 1.3 m)

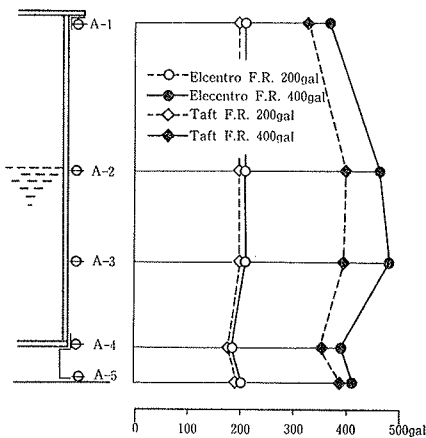


図-10 加速度最大応答モード

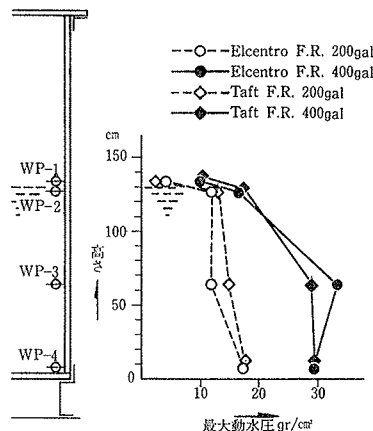


図-11 動水圧最大応答モード

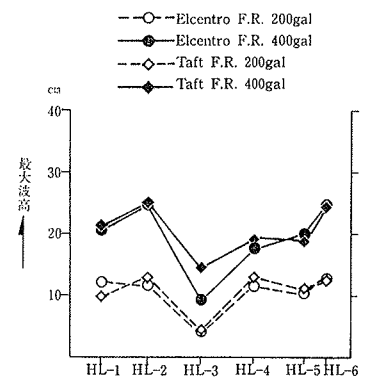


図-12 波高最大応答モード

項 目		共振振動数 (Hz)	減 衰 定 数 (%)
空 水 槽		22.7	1.50 ~ 2.29
水 位 1.3m	スロッシ ング	1次 (0.521)	0.482~0.572
		2次 (0.943)	0.299~0.418
		3次 (1.087)	0.055~0.089
	バルジ ング	14.75	3.63 ~ 4.83

表-2 共振振動数と減衰定数

スロッシングの減衰定数は、エンヴェロープ加振結果をもとに対数減衰率により定めた、スロッシングの固有振動数は、水槽の弾性変形の影響を殆んど受けないと考えて、Housnerの剛壁理論²⁾によることとし、減衰定数のみを実験により求めることとした。表-2にこうして定めた固有振動数と減衰定数を示した。表-2中のスロッシングの固有振動数は既述のようにHousnerの理論値である。

図-7に空水槽の共振時の受圧壁の振動モードを示した。また、図-8には水位1.3m水槽の共振時の受圧壁の振動モードを、図-9には共振時の動水圧のモードを示した。図-10~図-12には、地震波入力時の水槽の最大応答モード図を示した。入力波としてElcentro F. R. 200 galと400 galおよびTaft F.R. 200 galと400 galを用いた。図-10は加速度の最大応答モードであり、図-11は動水圧の最大応答モードである。また、図-12は波高の最大応答モードである。

実験の結果明らかになった点を列記すると次のとおりである。

- (1) 空水槽の固有振動数は22.7 Hz、減衰定数は約2%と得られた。
- (2) 水位1.3m水槽のバルジングの固有振動数は、14.8 Hz、減衰定数は4.7%と得られた。また、スロッシングの減衰定数は1次で約0.5%、2次で0.35%であった。

3. 解 析

3.1. 解析式の紹介

ここでは、解析理論の紹介を行う。解析理論は質輪により提案された理論である。

座標、水槽の寸法を図-13のように仮定する。水槽は矩形で、架台に支持されているとする。加振方向はX方向だけとし、受圧壁の曲げ変形と側壁のせん断変形を加振方向についてだけ考え他の変形は無視する。

受圧壁の絶対変位 $u(y, z)$ の次の様に仮定する。

$$u(y, z) = \sum_{m=1,3} \sum_{n=1,2} \xi_{mn}(t) \sin\left(\frac{m\pi y}{b}\right) \sin\left(\frac{n\pi z}{d}\right) + \sum_{k=1,3} \zeta_k(t) \sin\left(\frac{k\pi z}{2d}\right) + u_0(t) + u_g(t) \quad \dots(1)$$

ここに、第1項は受圧壁の曲げ変形で周辺回転支持平板の曲げ変位の解である。第2項は側壁のせん断変形である。また、 $u_0(t)$ は架台の相対変位、 $u_g(t)$ は地動変位である。

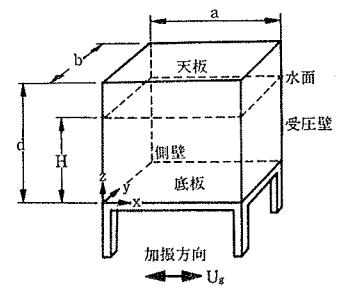


図-13

水は、非圧縮性非粘性流体とする。この水のポテンシャルを次の様に仮定する。

$$\begin{aligned} \phi = & -(u_0(t) + u_g(t)) \left(x - \frac{a}{2}\right) \\ & + \sum_{s=1,3} \psi_s(t) \cos\left(\frac{s\pi x}{a}\right) \cosh\left(\frac{s\pi z}{a}\right) \\ & + \sum_{i=1,2} \sum_{j=1,3} \delta_{ij}(t) \sinh\left(\pi \sqrt{\left(\frac{i}{b}\right)^2 + \left(\frac{j}{2H}\right)^2} \left(x - \frac{a}{2}\right)\right) \\ & \times \cos\left(\frac{i\pi y}{b}\right) \cos\left(\frac{j\pi z}{2H}\right) \quad \dots(2) \end{aligned}$$

この ϕ は3次元のポラソ方程式を満す。

また、 ϕ と $u(y, z)$ は次の受圧壁での連続条件式を満すとする。

$$\left. \frac{\partial \phi}{\partial x} \right|_{x=0,a} = -\dot{u}(y, z) \quad \dots(3)$$

上記(1), (2), (3)式を用いて $\delta_{ij}(t)$ を ξ_{mn}, ζ_k で表わすことができる。

次に、この系のラグランジュアン関数 L を求める。 L はポテンシャルエネルギーを U 、運動エネルギーを T とすると次式で表わされるものである。

$$L = T - U \quad \dots(4)$$

ポテンシャルエネルギー U は、この場合次式で表わされる。

$$U = U_f + 2U_b + 2U_s + U_w \quad \dots(5)$$

ここに、

- U_f : 架台のポテンシャルエネルギー
- U_b : 受圧壁1枚あたりのポテンシャルエネルギー
- U_s : 側壁1枚あたりのポテンシャルエネルギー
- U_w : 水のポテンシャルエネルギー

これらのポテンシャルエネルギーは次式より求める。

$$\left. \begin{aligned} U_f &= \frac{k_f}{2} \times u_0^2 \\ U_b &= \frac{D}{2} \int_0^b \int_0^d \left\{ \left(\frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right)^2 \right. \\ &\quad \left. - 2(1-\nu) \left(\frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} - \left(\frac{\partial^2 u}{\partial y \cdot \partial z} \right)^2 \right) \right\} dy dz \quad \dots(6) \\ U_s &= \frac{G}{2} \int_0^d \left(\frac{\partial u}{\partial z} \Big|_{y=0} \right)^2 dz \\ U_w &= \frac{\rho_w \cdot g}{2} \int_0^a \int_0^b \int_{z=H}^0 w^2 \Big|_{z=H} dx \cdot dy \end{aligned} \right\}$$

ここに, k_f : 架台のばね, D : 受圧壁の板剛度, ν : 受圧壁のポアソン比, G : 側壁のせん断剛性, ρ_w : 水の単位体積あたりの質量, g : 重力加速度

(4)式の運動エネルギー T は次式で表わされる。

$$T = T_f + 2T_b + 2T_s + T_r + T_w \quad \dots\dots\dots(7)$$

ここに, T_f : 架台の運動エネルギー

T_b : 受圧壁 1 枚あたりの運動エネルギー

T_s : 側壁 1 枚あたりの運動エネルギー

T_r : 屋根の運動エネルギー

T_w : 水の運動エネルギー

これらの運動エネルギーは, 次式により求める。

$$\left. \begin{aligned} T_f &= \frac{m_f}{2} \cdot \dot{u}(0, 0)^2 \\ T_b &= \frac{\rho_b}{2} \int_0^b \int_0^d \dot{u}(y, z)^2 dy \cdot dz \\ T_s &= \frac{\rho_s}{2} \int_0^d \dot{u}(0, z)^2 dz \\ T_r &= \frac{m_r}{2} \cdot \dot{u}(0, H)^2 \\ T_w &= \frac{\rho_w}{2} \int_0^a \int_0^b \int_0^H \left(\left(\frac{\partial \phi}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial \phi}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial \phi}{\partial z} \right)^2 \right) dx \cdot dy \cdot dz \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(8)$$

ここに, ρ_b : 受圧壁の単位面積あたりの質量, ρ_s : 側壁の単位高さあたりの質量, m_r : 屋根の質量, m_f : 底板の質量

(4)~(8)からラグランジュアン関数 L を求めることができる。 L が求まると, この L を次のオイラーの方程式に代入して矩形水槽の振動方程式を求める。

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{V}_r} \right) - \frac{\partial L}{\partial V_r} = 0 \quad \dots\dots\dots(9)$$

ここに, V_r は一般化座標であり, この場合, $\xi_{mn}, \zeta_k, u_0, \phi_s$ にあたる。 ϕ_s は ψ_s を時間で一回積分して得られる。結局, (9)式は次の様なマトリクス表示ができる。

$$[M] \{\dot{V}\} + [K] \{V\} = -\{m_0\} \cdot \ddot{u}_g \quad \dots\dots\dots(10)$$

ここに,

$$\{V\}^T = (\xi_{11}, \xi_{12}, \dots, \xi_{mn}, \zeta_1, \zeta_2, \dots, \zeta_k, u_0, \phi_1, \phi_2, \dots, \phi_s) \quad \dots\dots\dots(11)$$

$$[M] = \begin{pmatrix} M_{\xi\xi} & & & \\ M_{\zeta\xi} & M_{\zeta\zeta} & & \\ M_{u_0\xi} & M_{u_0\zeta} & M_{u_0u_0} & \\ 0 & 0 & M_{\phi u_0} & M_{\phi\phi} \end{pmatrix} \quad \dots\dots\dots(12)$$

$$[K] = \begin{pmatrix} K_{\xi\xi} & & & \\ K_{\zeta\xi} & K_{\zeta\zeta} & & \\ 0 & 0 & K_{u_0u_0} & \\ K_{\phi\xi} & K_{\phi\zeta} & 0 & K_{\phi\phi} \end{pmatrix} \quad \dots\dots\dots(13)$$

(12), (13)式の右辺の $M_{\xi\xi}, \dots, K_{\xi\xi}, \dots$ は小マトリク

スあるいはベクトルである。

また,

$$\{m_0\}^T = \{M_{u_0\xi}, M_{u_0\zeta}, M_{u_0u_0}, M_{u_0\phi}\} \dots\dots\dots(14)$$

である。

この様に, 一般の構造物と同じ形式の振動方程式が得られる。

次に, モーダル・アナリシス法により応答を求める方法を概説する。(10)式の右辺を零とおいて固有値問題を解くと固有ベクトル $\{V\}_r, r=1, 2, \dots, P$ と固有値 w_r が求まる。ここに, p は一般化座標の数である。このとき任意のベクトル $\{V\}_r$ と刺激係数 β_r を用いて次の様に表わされる。

$$\{V\} = \beta_1 \{V\}_1 \cdot q_1(t) + \beta_2 \{V\}_2 \cdot q_2(t) + \dots + \beta_p \{V\}_p \cdot q_p(t) \quad \dots\dots\dots(15)$$

(15)式を(10)式に代入し, 固有ベクトルの直交性を用いると(15)式は次の様な独立した p ケの 1 質点の運動方程式に分けられる。

$$\ddot{q}_r(t) + \omega_r^2 \cdot q_r(t) = -\ddot{u}_g(t), \quad r=1, 2, \dots, p$$

上式に減衰項を導入すると次の様になる。

$$\ddot{q}_r(t) + 2h_r \omega_r \dot{q}_r(t) + \omega_r^2 q_r(t) = -\ddot{u}_g(t) \quad \dots\dots\dots(16)$$

$$r=1, 2, \dots, p$$

なお, (15)式中の刺激係数 β_r は次式で表わされるものである。

$$\beta_r = \frac{\{V\}_r^T \{m_0\}}{\{V\}_r^T [M] \{V\}_r} \quad \dots\dots\dots(17)$$

(16)式の各次の応答 \ddot{q}_r, q_r が求められれば, 受圧壁の変位, 動水圧, 波高の応答は各々次式により定めることができる。

$$u(y, z) = \sum_{r=1, 2}^p q_r(t) \cdot \beta U^r(y, z) + u_g \quad \dots\dots\dots(18)$$

$$p_w(y, z) = \rho_w \sum_{r=1, 2}^p \ddot{q}_r(t) \cdot \beta P_w^r(y, z) + \rho_w \cdot \frac{\ddot{u}_g}{2} \cdot a \quad \dots\dots\dots(19)$$

$$w(x, y, z) = \sum_{r=1, 2}^p q_r(t) \cdot \beta W^r(x, y, z) \quad \dots\dots\dots(20)$$

ここに, $\beta U^r(y, z)$: 受圧壁の r 次の刺激関数値, $\beta P_w^r(y, z)$: 動水圧の r 次の刺激関数値, $\beta W^r(x, y, z)$: 液面動揺の r 次の刺激関数値である。

3.2. 理論と実験結果との対応

ここでは, 2.3. で述べた実験結果と 3.1. の理論を用いて解析した結果とを比較検討したものである。

3.2.1. 動特性試験 水位 1.3 m 水槽の実験結果を箕輪のモデルでシミュレーションした結果についてしめす。なお, (1)式および(2)式の i, j, m, n, k, S の値は次の様にした。即ち, $i=4, j=6, m=3, n=3, k=3, S=3$ である。このモデルで応答計算を行うにあたり, 予め計算した固有値と考慮した計算用の減衰定数を表—4に示した。参考のため実験値も示しておいた。表—3, 表—4

	記号	値	単位
水槽の幅	a	270	cm
水槽の奥行き	b	210	cm
水槽の高さ	d	250	cm
受圧壁の単位面積あたりの質量	ρ_b	0.423×10^{-5}	$\text{kg} \cdot \text{sec}^2 / \text{cm}^3$
側壁の単位高さあたりの質量	ρ_s	0.194×10^{-2}	$\text{kg} \cdot \text{sec}^2 / \text{cm}^2$
天板の質量	m_r	0.252	$\text{kg} \cdot \text{sec}^2 / \text{cm}$
底板の質量	m_r	0.692	$\text{kg} \cdot \text{sec}^2 / \text{cm}$
受圧壁の板剛度	D	0.297×10^7	$\text{kg} \cdot \text{cm}$
受圧壁のポアソン比	ν	0.3	—
側壁のせん断剛性	G	0.3×10^7	kg
架台のばね	k_t	0.161×10^6	kg/cm

表-3 諸定数の値

次数	スロッシング			バルジング		
	1	2	3	1	2	
固有振動数 (Hz)	計算値	0.512	0.931	1.202	14.83	32.04
	実験値	0.521	0.943	1.087	14.75	—
減衰定数 (%)	計算値	0.5	0.35	0.1	5	5
	実験値	0.482~0.572	0.299~0.418	0.055~0.089	3.63~4.83	—

表-4 計算に用いた固有振動数と減衰定数

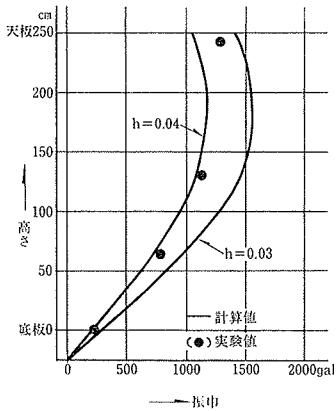


図-15 空水槽の共振時振幅

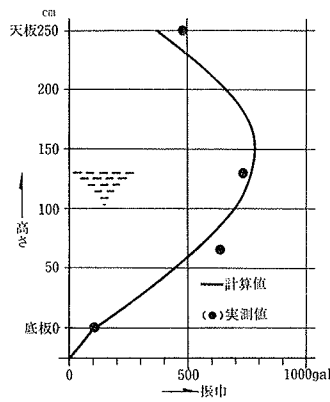


図-16 バルジング共振時の受圧壁の振幅

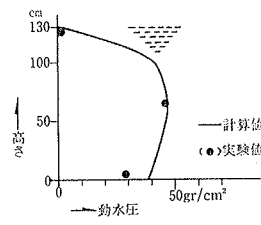


図-17 バルジング共振時の動水圧

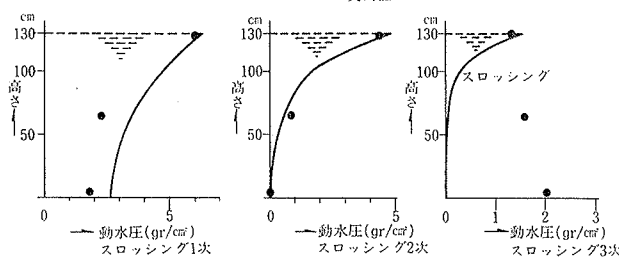
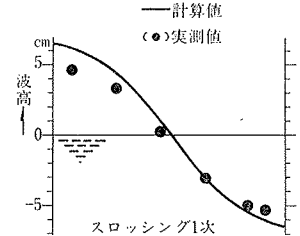


図-19 スロッシング時の最大動水圧

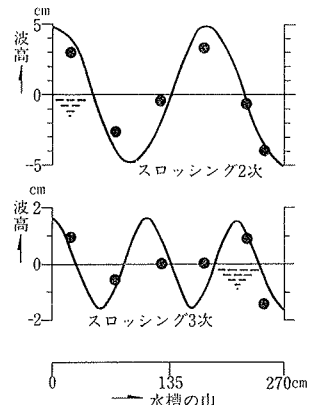


図-20 スロッシング時の最大波高

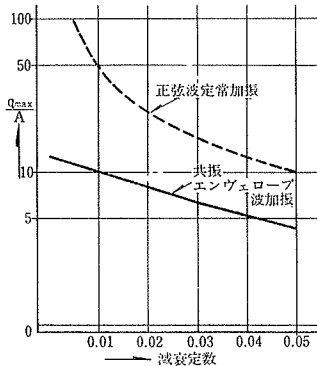


図-18 応答倍率

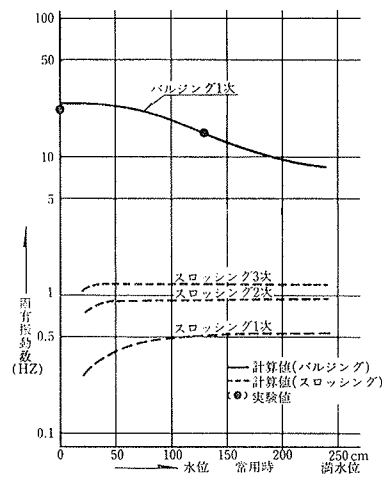


図-14 固有振動数と水位

の値を用いて計算した固有振動数と水位との関係を図-14に示した。スロッシングの固有値は水位が或る程度増すと一定値に近づく様である。

表-3の値を用いて計算した空水槽の共振時振幅を、図-15に示す。計算値

と実験値を合わせるためには、実測で得られた減衰(1.5~2.3%)より大きめの減衰(4%程度)を与える必要がありそうである。水位1.3m水槽のバルジング共振時の最大応答値の実験値と計算値との比較を行なった結果を図-16と図-17に示した。図-16は受圧壁の振幅値を、また図-17は受圧壁の動水圧を示した。図-16と図-17から実験値と計算値は良く合っていると云える。

次に、水位1.3m水槽のスロッシング時の最大応答値を求めてみる。図-18には、波数n=8で片振幅がAのエンヴェロープ波が入力した場合の1質点系の最大応答変位qをグラフ化して示した。横軸は減衰定数hである。参考のために、正弦波定常加振の場合の最大値も示

しておいた。この図を利用するとエンヴェロープ波入力の場合の最大応答値を計算することができる。計算に用いた値は、実験結果を参考にして、スロッシング1次では $A=0.5\text{ cm}$, $h=0.5\%$, スロッシング2次は $A=1.0\text{ cm}$, $h=0.35\%$, スロッシング3次では $A=0.5\text{ cm}$, $h=0.1\%$ とした。図-19には、エンヴェロープ波入力時のスロッシングの最大動水圧分布を1次～3次について示した。実験値も示してある。実験値と計算値は3次の

動水圧を除いて良く合っていると見える。3次の不一致の原因はおそらく、1次、2次のスロッシングの影響によるものであろう。図-20には、エンヴェロープ波入力時のスロッシングの最大波高を1次～3次についてしめた。実験値も示してある。波高については1次、2次、3次とも良く一致していると言える。

3.2.2. 地震応答 ここでは地震波入力の場合の応答について考察する。水位は1.3 mである。このとき用いた i, j, m, n, k の値は3.2.1. と

同じであるが、スロッシングの次数 S は15次までとした。なお、スロッシング4次～15次までの減衰定数は一律に0.1%とした。図-21～図-23には Elcentro F.R. 200 gal 入力時の応答で、計算波形と実測波形とを比較したものを示した。地震応答計算は P. C. Jennings の方法³⁾ によった。図-21は加速度波形(測点 A-1)、図-22は動水圧(測点 WP-3)、また図-23は波高(測点 HL-1)である。図-24～図-26には最大応答値について計算値と実験値とを比較したものを示した。入力加速度は、200 gal である。図-24は受圧壁の最大応答加速度を、図-25は動水圧の最大応答値を、また図-26は波高の最大応答値を示した。

3.3. 常用時水槽(水位 1.8 m)の地震時挙動の予測 振動台

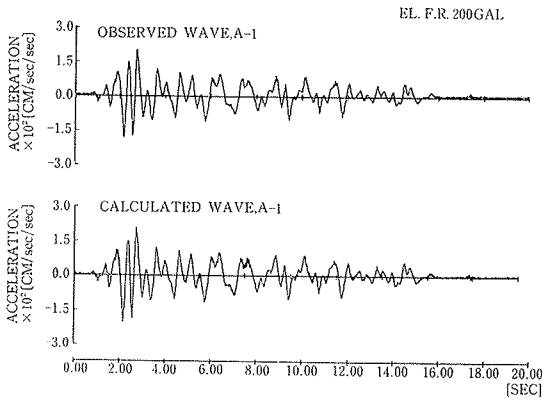


図-21 実測波と計算波の比較 (加速度)

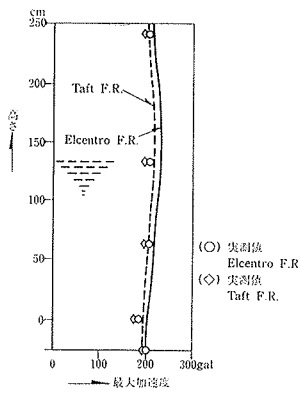


図-24 最大応答加速度

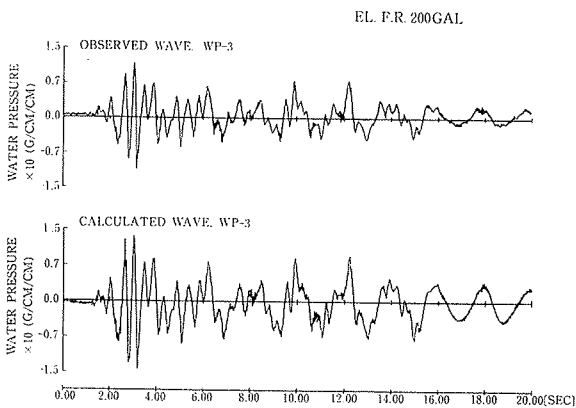


図-22 実測波と計算波の比較 (動水圧)

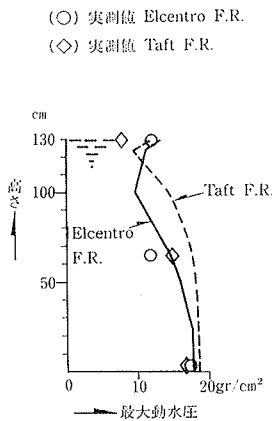


図-25 動水圧の最大応答値

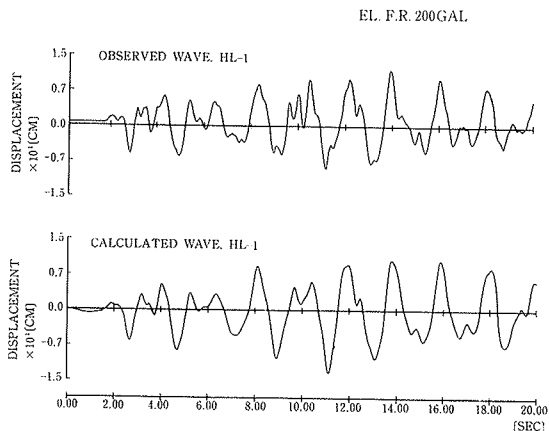


図-23 実測波と計算波の比較 (波高)

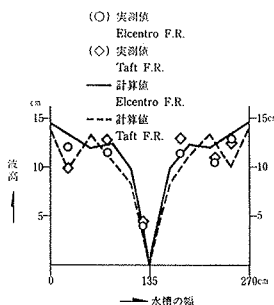


図-26 波高の最大応答値

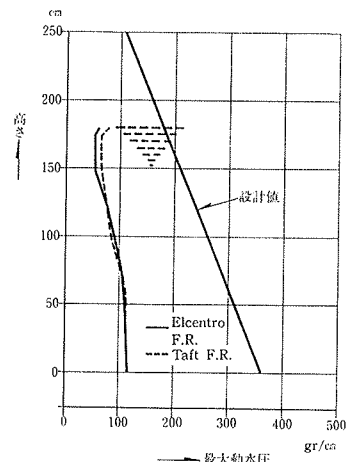


図-27 最大動水圧 (常用時)

の性能の関係で実施できなかった常用時水槽（水位 1.8 m）の地震時の最大応答値の予測を行なった。なお、i, j, m, n, k, S の値は 3.2.2. で用いたものと同じとした。また減衰定数の値も 3.2.2. と同様な値とした。予め計算した固有振動数と考慮した減衰定数を表-5 に示した。入力波は 1 G に拡大して計算した。最大応答値のうち、最大動水圧を図-27 に示した。同図には、特に設計値も示しておいた。図-27 より、この水槽は地震波の 1 G 入力に対しても安全と言える。

次 数	スロッシング			バルジング	
	1	2	3	1	2
固有振動数 (Hz)	0.529	0.931	1.202	10.59	29.4
減衰定数 (%)	0.5	0.35	0.1	5	5

表-5 固有振動数と減衰定数（常用時）

4. まとめ

実験では、可撓性矩形水槽のバルジングの固有振動数 14.8 Hz (水位 1.3 m) において、加速度の応答倍率は最大 20 倍にもなった。しかし、この建物上の高置水槽では、入力地震波が建物によりフィルタリングされ、長周期成分が卓越するので、その加速度の応答倍率は約 1.3 倍以内には納まる様である。即ち短手方向の 1 次の固有周期が 1.26 秒のこの建物上では、高置水槽の壁体には殆ど弾

性変形がなく、従って壁体を剛と考えて計算しても設計上は問題がないことが分かった。

5. 謝 辞

本研究をまとめるにあたり、科学技術庁国立防災科学技術センターの箕輪親宏氏の懇切丁寧な助言を頂いた。ここに記して謝意を表わします。また、実験の機会を与えていただいた三信(株)、三菱瓦斯化学(株)、須賀工業(株)の方々に感謝致します。実験にあたっては、東京本社設備設計部平山昌宏氏、設計第三部伊庭孝氏、日本検査コンサルタント(株)伊波弘彰氏、篠田親和氏、ナショナル電設(株)宮地繁吉氏のお世話になった。諸氏に感謝致します。

参考文献

- 1) 箕輪親宏：矩形タンクの振動性状，日本建築学会大会学術講演梗概集，（昭和53.9）
- 2) G. W. Housner: Dynamic Pressures on Accelerated Fluid Containers, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 47, No. 1, (Jan. 1957)
- 3) N. C. Nigam, P. C. Jennings: Calculation of Response Spectra from Strong-Motion Earthquake Records, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 59, No. 2, (Apr. 1969), pp. 909~932