

東京電力(株)	正 増田 瑛
(株) 熊谷組	正○阿部 健一
(株) 熊谷組	正 西垣 和弘

1. はじめに 本構造物（海水取水ポンプ室）は、従来のRC構造物と異なり、側面壁、導流壁部分にH 鋼柱とPC 板をはめ込んだ多柱列柵式鋼構造物であり、締切り工事を行わず直接海中に設置したものである。構造的な特徴としては、多柱列H 鋼柱に支えられる上部構造の柵の部分が、下部構造部分に較べて相対的に重たく、重心位置も下部構造部分のそれから大きくずれている点である（図-1、2 参照）。このような構造物の場合、構造的特徴に起因する動的な特性を把握する必要性から、本構造物の模型振動実験を実施し、設計用モデルの妥当性の検討を行なったのでここに報告する。

2. 模型構造物 模型を製作する際の留意点として、次の3点が挙げられる。(1) 使用する振動台の規模から、模型の大きさは

1/30程度とすること、(2) 原型の固有周期が短周期(0.3秒程度)であることから時間軸の圧縮は好ましくないこと、(3) 模型化の対象物の剛性値範囲が広いこと。従ってこれらを踏まえ、地盤及びコンクリートは、シリコーンゴム、H 鋼柱は、アクリル樹脂で模型製作した。相似則は、慣性力 F_i と弾性力 F_e の比が模型と原型で等しくすることを前提とし、代表値の関係は次式のようになる。

$$\rho \mathbf{l}^2 / E = \rho_0 \mathbf{l}_0^2 / E_0 \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで ρ , 1 , E 及び ρ_0 , 1_0 , E_0 は、模型及び原型の密度、長さ、ヤング率である。さらに H 鋼については、構造系の中で自重は無視できること、模型化したとき形状再現が不可能であることから断面二次モーメント I と β ($= 1 + 12EI/GA$) で表わされる係数を代表値として加え、(1) 式を次のように変更した式を適用した。

$$\rho_1^6 \beta / EI = \rho_0 \cdot 1^6 \cdot \beta_0 / E_0 I_0 \quad \dots\dots\dots (2)$$

以上のようにして得られた原型に対する模型材料の諸元は、表1に示される。なおPC板の剛性は、無視した。

3. 実験方法

加振実験は、構造物模型、地盤模型、地盤≡構造物連成模型について正弦波加振並びにランダム波加振を主体として水平二方向で行なった（入力加速度 5 gal）。実施実験ケースは、表-2 に示すとおりである。使用したセンサーは、加速度計であり、その信号は、増幅器を介してデータレコーダにアナログ波形として

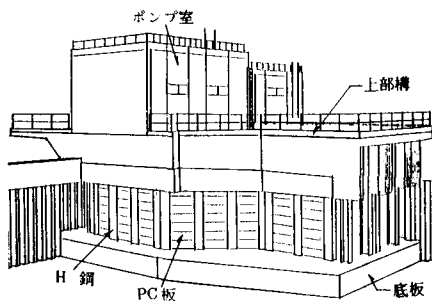
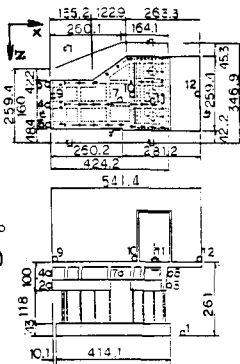


図-1 海水取水ポンプ室全景



圖一 2 構造物模型

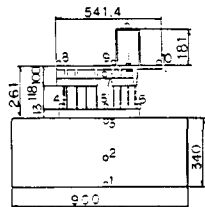


图-3 地盤~構造物模型

表-1 單型及び複型材料の物性値

構造物各部	車型及び橋型の 材料	物 性 値				
		P	E	G	ν	h
上部橋及び 下部橋	コンクリート	2.5	2.6×10^4	1.1×10^4	0.187	5
多柱列部	レリコン鋼	1.64	1.68×10^4	5.5×10^3	0.5	3.9
	H 鋼	7.85	2.1×10^4	8.8×10^3	0.3	1
	アーク鋼板	1.19	5.1×10^3	1.9×10^3	0.33	3
	地盤 (I)	1.64	8.41×10^3	3.18×10^3	0.33	—
地盤	レリコン鋼	1.50	73.5	24.5	0.5	9
	地盤 (II)	1.75	1.53×10^4	5.29×10^3	0.445	—
	レリコン鋼	1.50	192.6	64.2	0.5	5

表-4 實驗結果一覽

		正統改良型		エルセントロ波改良型	
		ビーク周波数と応答帯域		最大加速値の倍率	
構造監視型	Z 方向	7	3.3 Hz 4.6, 4.3 Hz 8.1	1.90	
		10	3.3 Hz 6.6, 4.3 Hz 5.0	1.76	
	X 方向	7	3.5 Hz 9.9	1.60	
		10	3.5 Hz 10.6	1.69	
地震検知型		3	12.3Hz 8.5 Hz	1.36	
地震構造監視型	Z 方向	3	12.3Hz 8.6	1.20	
		7	3.3 Hz 5.0, 4.2 Hz 6.6	2.33	
		9	3.3 Hz 6.2, 4.2 Hz 6.6	2.08	
	X 方向	3	12.3 Hz 9.8	1.39	
		7	3.5 Hz 11.6	2.04	
		9	3.5 Hz 12.9	2.36	

表-2 実施実験ケース

実験ケース		正弦波加振	エルセントロ波加振
構造物模型	Z 方向	0.5 ~ 15Hz	5gal
	X 方向	5gal	
地盤模型		1.0 ~ 30.0Hz	
		5gal	
地盤～構造物 連成模型	Z 方向	0.5 ~ 15Hz	
	X 方向	5gal	

表 3-3 使用振動台性能

シミュレーション入力波	加速度記録
応答周波数範囲	0.1 ~ 50Hz
最大応答加速度	500 gal (500 kg 積載時)
最大応答変位	± 20mm
最大積載重量	500 kg
積載荷重制御	100 ~ 500 kg
総合非直線性	1%以下

集録され、A/D変換を行なって得たものを実験データとした。各実験ケースのセンサーは、図-2～図-3に示すように配置した。また振動台の性能は、表-3に示すとおりである。

4. 実験結果

実験結果をまとめて一覧表にしたものを表-4に示す。これらのうち特徴的なことを挙げると次のようなことが言える。(1) 構造物のX方向加振では、単純な曲げせん断型の振動挙動を示し、正弦波加振で得られた伝達関数のピーク周波数は、3.5 Hzである。エルセントロ波加振（最大加振度 5 gal）で得られた伝達関数もこれに一致した（図-4 参照）。(2) 構造物のZ方向加振では、振りせん断型の振動挙動を示し、正弦波加振での伝達関数のピーク周波数は、3.2 Hzと4.3 Hzであり、エルセントロ波加振でも同様の値が得られた（図-5 参照）。この挙動は、X-Z平面での上部構造のロッキング振動現象で、上部構造の重心位置と柱配列位置により定まるものである。(3) 地盤は2層構造であるが、得られた伝達関数から、一次モード（ピーク周波数 12.3Hz）しか確認されなかった。(4) 地盤上に構造物を載せた加振で得られた各点の伝達関数は、地盤及び構造物の相互作用の影響を若干含むものが得られた（図-6,7 の○印参照）。

5. 考察

構造物模型を、図-8に示すような集中質量と質量間バネ（質量間のバネは、曲げせん断型ビームあるいは、曲げせん断捩れ型ビームで表現）で置換した、バネマス系モデルによるシミュレーション結果と、実験結果を比較すると次のようなことが言える。(1) 解析モデルの固有値解析より得られる周波数は、正弦波加振実験から得られた伝達関数のピーク周波数から約1割程度高い値が得られた。(2) 実験でのモード形と解析モデルのモード形はよく一致している（図-9にZ方向加振のモード形とロッキング中心を示す）。(3) 各部材の減衰定数を表-1の値とし、エルセントロ波を入力波とした応答解析では、両者の最大応答加速度はよい一致を示し、また伝達関数に関しても両者の応答倍率はほぼ合っている。（図-10参照）以上より、バネマス系モデルを、本構造物の設計用モデルとして、解析に用いても差しつかえないことが分った。なお、地盤構造物模型実験のシミュレーション計算に問題を限定した場合、例えば、X方向にエルセントロ波で加振した実験では、有限要素法モデルで解析すると実験値と整合性のある結果が得られた。一方半無限完全弾性体上の構造物として、相互作用バネ及び逸散減衰定数を算定し、同様に実験結果をシミュレーション解析してみると、応答値及び伝達関数の応答倍率は、いずれも実験値を下回った。

6. あとがき 今回の実験で、本構造物の動特性と設計用モデルの妥当性について、おおよそ把握することができた。しかし模型のスケールから実験値とシミュレーション解析に幾つかの相違もみられ、実地盤、構造物の建成振動の再現性、原型と模型の減衰定数で相似性をもたせるなど、この種の模型実験のもつ難しさも多い。これらの点は今後の課題とするところである。

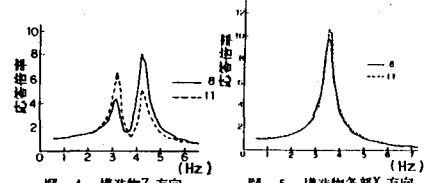


図-4 構造物Z方向
正弦波加振時伝達関数

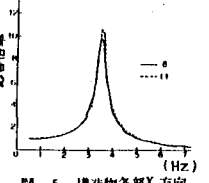


図-5 構造物各部X方向
正弦波加振時伝達関数

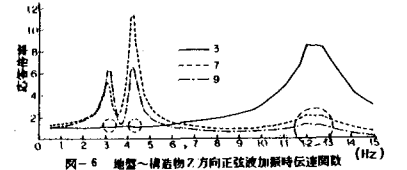


図-6 地盤～構造物Z方向
正弦波加振時伝達関数

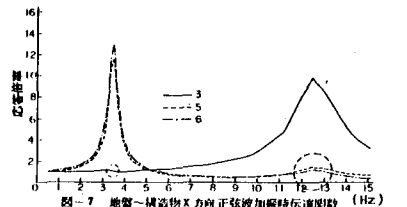


図-7 地盤～構造物X方向
正弦波加振時伝達関数

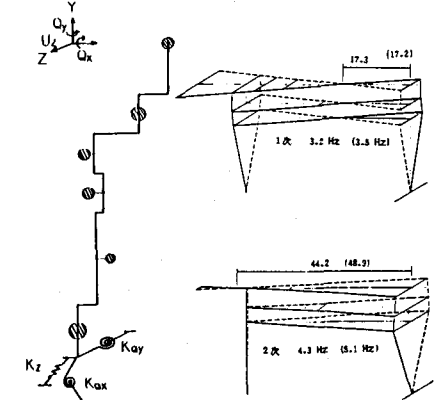


図-8 構造物バネマス系モデル 図-9 Z方向加振モード形とロッキング中心
(○) 内は計算結果

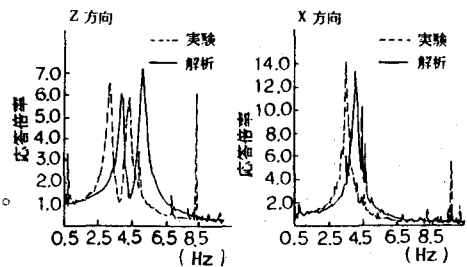


図-10 伝達関数の比較