

川崎製鉄株式会社 ○正員 行友 浩 正員 石田昌弘
清水建設株式会社 市之瀬紘一 正員 伊藤哲次

1. まえがき

新しい基礎工法として開発された鋼管矢板井筒工法はすでに50基にもおよぶ橋梁基礎として施工されている。鋼管矢板井筒はパイプ状の継手を有する鋼管矢板 図-1 を連続しながら井筒状に閉鎖断面とするもので、継手に剛性をもたせることによつてケーソンに近い構造特性を得ることができる。鋼管矢板井筒は新しいタイプ

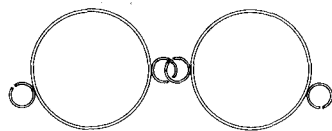


図-1 パイプ状の継手を有する鋼管矢板

の構造体で、模型あるいは実物に対する振動実験例も少ないので地震時の継手部の挙動、井筒全体の振動特性などが十分明確に把握されていない。したがつて設計法はケーソンの設計と同様に静的計算に基づくもので、地震時の水平力に対しては震度法が採用され、動的挙動が反映されていない。

本報は1実験例にすぎないが、港湾構造物のドルフィンの基礎として採用された実物の鋼管矢板井筒の自由振動試験を行ない、その結果を紹介する。さらにモデルによる地震応答解析を行なつて固有値に関して実験値の対応を得るとともに鋼管矢板井筒の振動特性について述べる。

2. 自由振動試験の概要

図-2に示すように川崎製鉄水島製鉄所内に16m離して2基のドルフィン を施工した。いずれも鋼管矢板井筒を基礎とするが、1基は水面近くまで基礎を立ち上げ、他の1基は海底下に基礎を置くタイプである。前者をW-Pier、後者をE-Pier と称することにする。

W-Pier およびE-Pier に $\phi 33$ mmの鋼棒を固定する。鋼棒の一端に切断用鋼棒を接続し、他端に設置したジャッキによつて両Pierに所定の静的な水平力を与える。この状態で切断用鋼棒をガス切断し、瞬間的に水平力を解放することにより両方のPierに自由振動を発生させる。その減衰波形から両Pierの減衰定数と固有周期を算出する。なお試験はガス切断の後切断用鋼棒を取り換えることにより、初期水平荷重を $H=20, 40, 60$ および 100 ton について計6回(40 ton は3回)行なつた。計測には加速度計9個、ひずみゲージ10個を用い、増巾器を通して電磁オンロに記録した。

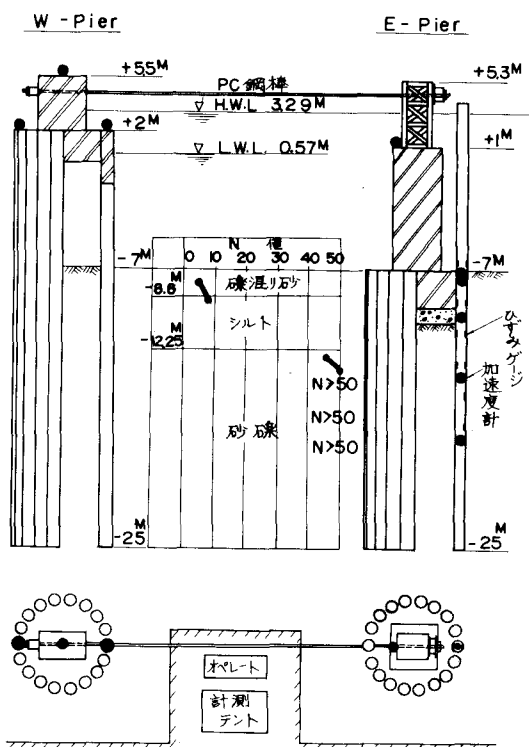


図-2 W-PierとE-Pierの概要

3. 試験結果

表-1 実験値一覧表 (鋼管矢板井筒天端の振動応答値)

試験条件 試験番号	Pier		W - Pier (+2.0 m)				E - Pier (-7.0 m)			
	潮位 (m)	初期水平荷重 H (ton)	最大加速度 (gal)	固有振動数 (Hz)	固有周期 (sec)	減衰定数	最大加速度 (gal)	固有振動数 (Hz)	固有周期 (sec)	減衰定数
TEST-1	+1.4	40	53.4	2.6	0.38	0.087	70.0	4.7	0.21	0.121
TEST-2	+2.25	20	42.9	2.7	0.365	0.065	28.8	4.7	0.21	0.100
TEST-3	+2.75	40	51.7	2.6	0.38	0.071	67.3	4.7	0.21	0.074
TEST-4	+2.20	40	53.7	2.6	0.38	0.075	68.0	4.6	0.22	0.093
TEST-5	+2.30	60	74.0	2.6	0.38	0.076	96.9	4.6	0.22	0.080
TEST-6	+2.75	100	143.4	2.5	0.40	0.114	172.0	4.2	0.24	0.103

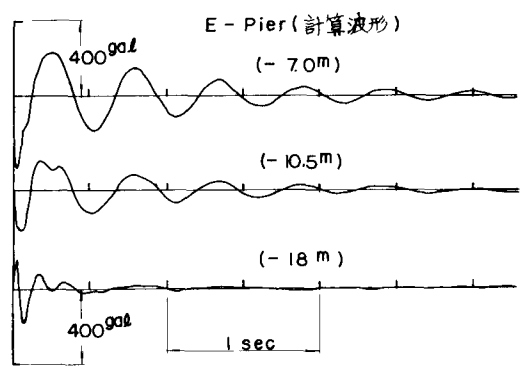
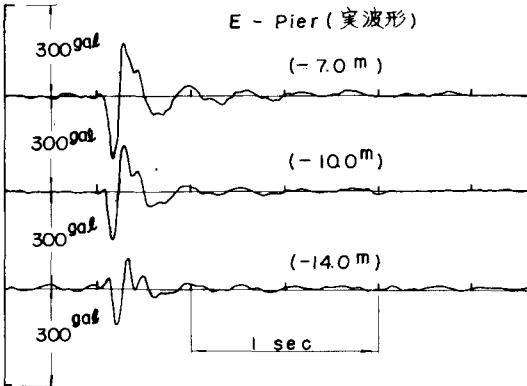
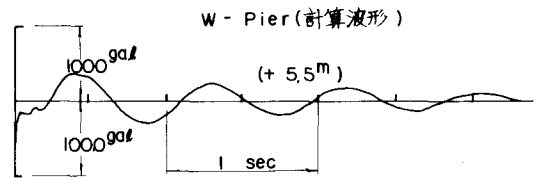
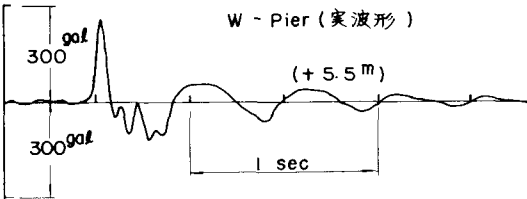


図-3 実減衰波形の1例 (H = 100 ton)

図-4 計算による減衰波形の1例 (モデル-3)

試験結果の一部を表-1に示す。これはW-Pier、E-Pierの基礎天端における減衰波形(加速度波形)から得られた値であるが、試験条件の範囲において初期水平荷重=一定(H=40 ton)では潮位は振動応答値に影響を与えていない。また潮位=一定のとき初期荷重の増加に伴う減衰定数の影響はW-Pierのほうが大きく、増大する傾向にある。一方実減衰波形と計算による減衰波形の1例を図-3および図-4に示すが、計算による減衰波形は後述するモデル-3について運動方程式

$[M] \cdot \{\ddot{x}\} + [C] \cdot \{\dot{x}\} + [K] \cdot \{x\} = \{F\}$ の外力ベクトルを $\{F\} = 0$ とおき、初期条件 $\{x\}_{t=0} = [K]^{-1} \cdot \{F_0\}$, $\{\dot{x}\}_{t=0} = 0$ のもとで線形加速度法によつて求めた。初期減衰は実験値の方が大きく、最大加速度は計算値の方が大きい。また深度が深くなるにつれて2次のモードが顕著に現われている。

4. 鋼管矢板井筒の振動モデル¹⁾

鋼管矢板井筒基礎の動的解析を行なうにあつて基礎体および地盤に対して図-5に示す種類の

連成モデルを設定した。

モデル-1は剛体型、
モデル-2はセン断型、
モデル-3は連続ばり型である。各モデルについて次に示す仮定を設定した。

〔モデル-1〕①鋼管矢板井筒基礎はコンクリートケーソンのような剛体構造と考えるが、躯体、桁などは考慮していない。②基礎

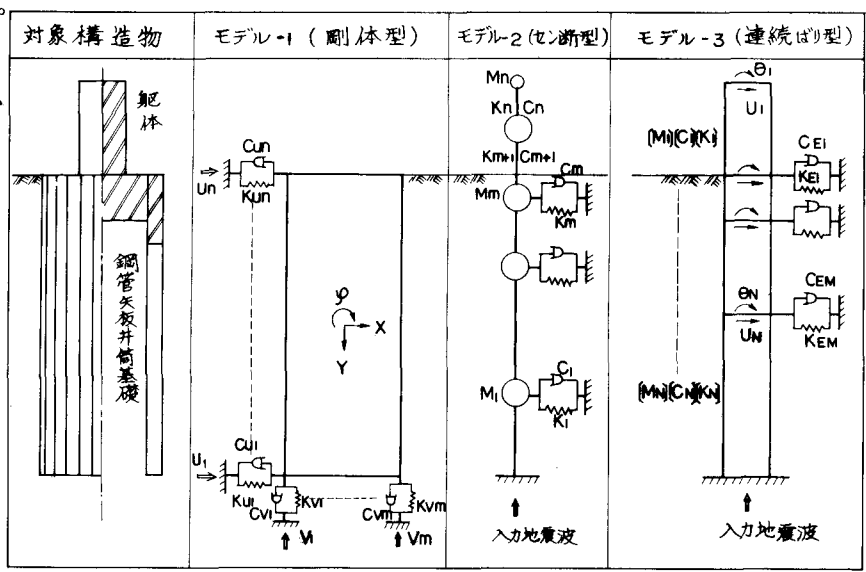


図-5 鋼管矢板井筒の振動モデル

体の側面および底面はパネとダッシュポットからなる地盤によつて支えられる。③基礎体底面には鉛直、水平方向の地震動が作用し、側面には地盤のみの弾性応答解析で求められた地震応答入力が入力作用する。④基礎体の運動は基礎体の重心において並進、回転および鉛直方向を考え、ねじり振動および奥行き方向の振動は考慮しない。⑤基礎体-地盤系において B_1 -linear な履歴復元力特性を有する。ただし基礎体の上下動に対しては正確制のみの履歴復元力特性を考える。

〔モデル-2〕①躯体および鋼管矢板井筒基礎を数個の質点におきかえ、各質点はパネおよびダッシュポットによつて支えられる多自由度力学モデルを考える。②パネ定数は鋼管矢板井筒を弾性支承上の梁と考えた場合の Chang の式によつて得られるものとする。③構造物の減衰機構は変形速度に比例する粘性減衰のみを採用する。④モデルに対して実地震波は基礎から作用するが、その振動は並進のみを考え、奥行き方向および上下方向の振動は無視する。⑤基礎体-地盤系は linear な履歴復元力特性を有する。

〔モデル-3〕①躯体および鋼管矢板井筒基礎を数個の要素に分割し、各要素は曲げ剛度を有する弾性支承上の梁と考える。②各要素間の質量は分布質量系として扱う。③基礎体の振動は各要素に回転と曲げを伴うものとし、奥行き方向および上下方向の振動は無視する。④基礎における支持条件は固定またはヒンジを考える。⑤基礎体および地盤に対して各々の減衰係数を用い、剛性マトリックスに比例するものとする。⑥基礎体-地盤系は linear な履歴復元力特性を有する。

5 結 論

(1) 上記モデルに対して固有値解析を行ない、表-2 に示すような結果が得られた。これによると、各モデルの固有値が実験から得られた固有値と良く対応していることが認められる。地盤の堅さは鋼管矢板井筒の挙動に大きく影響するので、耐震設計を行なう場合においても地盤の評価を慎重に行なうべきであるが、ここで述べたモデルによる動的解析では静的設計における地震時の地盤条件がその応答値に最も適している。

(2) 両 Pier は砂礫層に深く根入れされており、岩盤あるいは洪積層に相当する支持条件を有すると考え、岩盤に対する平均応答スペクトル曲線の $h = 0.10$ に近い応答スペクトル曲線を有する Taft S 69°E を用いて地震応答計算を行なったが、最大入力加速度 150 gal に対して図-6 に示す応答値が得られた。したがって平均応答スペクトル曲線を用いて動的設計をした場合は、W-Pier は最適な設計であると考えられ、E-Pier はやや不利な設計を行なったと考えられる。²⁾

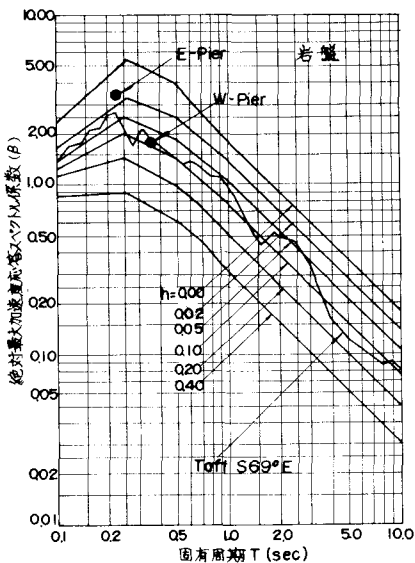


図-6 平均応答スペクトル曲線

表-2 1 次の固有値に対する比較

	W - Pier		E - Pier	
	固有振動数 (Hz)	固有周期 (sec)	固有振動数 (Hz)	固有周期 (sec)
自由振動試験	25~27	0.40~0.365	42~4.7	0.24~0.21
常時微動測定	2.8	0.36	4.6	0.22
モデル-1	—	—	—	—
モデル-2	3.0	0.335	4.5	0.22
モデル-3	2.88	0.347	4.64	0.215

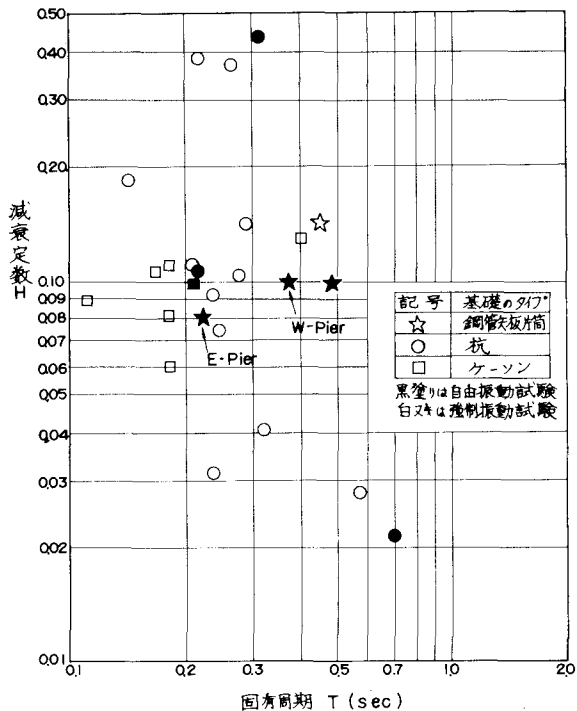


図-7 橋脚の減衰定数と固有周期の関係

(3) 杭、ケーソンおよび鋼管矢板井筒を基礎とする橋脚に対して過去に行なわれた振動試験結果を引用し、今回の試験結果をプロットすれば、³⁾ 固有周期と減衰定数の関係は図-7 に示すとおりである。鋼管矢板井筒は軟弱な地盤で支持層の深い場所にほとんど使用されているので、比較的良質な地盤でしかもそれほど深くない基礎として用いられるケーソン等と応答値の大小を比較してもそれほど意味はないが、図-7 からみるかぎりでは鋼管矢板井筒基礎は杭やケーソンの基礎と同程度の振動特性を有し、比較的減衰性のある構造物であると推定される。

参考文献

- (1) 西村昭彦：井筒基礎橋脚の動的解析、構造物設計資料 Ⅻ 28, Dec., 1971, P 35~39
- (2) 日本道路協会：道路橋耐震設計指針・同解説、昭和47年4月
- (3) 栗林栄一、岩崎敏男：橋梁の耐震設計に関する研究(Ⅳ)一橋梁の振動減衰に関する実測結果一、土木研究所報告 139号の2, Feb., 1970