

---

フィリピン焼結工場シーバースの振動特性とその耐震性

On Dynamic Characteristic and Aseismic Behavior Estimation of the Sea Berth in the Philippine Sinter Corporation

清水 久男(Hisao Shimizu) 古谷 博明(Hiroaki Furuya) 石田 昌弘(Masahiro Ishida)  
井上 末富(Suetomi Inoue) 三好 弘高(Hirotaka Miyoshi)

---

要旨：

Philippine Sinter Corporation に付帯して建設されたシーバースを主対象に振動試験を実施し、その構造物系の耐震性評価を行い次のような成果を得た。(1) 常時微重測定からシーバースの卓越振動数および減衰定数はそれぞれ 1.077Hz, 4.4%である。(2) 地盤の常時微動測定結果に基づいて作成した模擬地震波および実地震波に対して応答スペクトル法による動的解析を行った結果、シーバース上での応答加速度倍率は前者で 1.40、後者で 1.66 となる。(3) モデル解析からシーバース上での応答加速度倍率は 2.07 となる。以上の結果から判断して、本シーバース設計に用いた設計震度 0.15 は妥当な値と言える。

---

Synopsis：

Aseismic design of a sea berth leaves yet many problems to be solved. In order to study characteristics of dynamic behavior and to estimate aseismicity of a sea berth, a vibration test has been carried out at the sea berth constructed in the Philippine Sinter Corporation in Mar., 1977. Results are: (1) Natural frequencies of the sea berth and damping factor are 1077Hz and 4.4%, respectively according to microtremor observation. (2) From dynamic analysis by response spectra method, acceleration ratio on the sea berth is 1.40 for the artificial earthquake and 1.66 for the Taft Earthquake. (3) From dynamic analysis by the lumped mass model, acceleration ratio is 2.07 for the Taft Earthquake. Considering from these results, seismic coefficient of 0.15 for designing of this berth seems to be reasonable.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

# フィリピン焼結工場シーバースの振動特性とその耐震性

## On Dynamic Characteristic and Aseismic Behavior Estimation of the Sea Berth in the Philippine Sinter Corporation

清水 久 男\*  
Hisao Shimizu

古 谷 博 明\*\*  
Hiroaki Furuya

石 田 昌 弘\*\*\*  
Masahiro Ishida

井 上 末 富\*\*\*\*  
Suetomi Inoue

三 好 弘 高\*\*\*\*\*  
Hirohisa Miyoshi

### Synopsis:

Aseismic design of a sea berth leaves yet many problems to be solved. In order to study characteristics of dynamic behavior and to estimate aseismicity of a sea berth, a vibration test has been carried out at the sea berth constructed in the Philippine Sinter Corporation in Mar., 1977.

Results are:

- (1) Natural frequencies of the sea berth and damping factor are 1.077Hz and 4.4%, respectively according to microtremor observation.
- (2) From dynamic analysis by response spectra method, acceleration ratio on the sea berth is 1.40 for the artificial earthquake and 1.66 for the Taft Earthquake.
- (3) From dynamic analysis by the lumped mass model, acceleration ratio is 2.07 for the Taft Earthquake.

Considering from these results, seismic coefficient of 0.15 for designing of this berth seems to be reasonable.

## 1. 緒 言

近年、数多く建設されるようになったシーバースは、船舶接岸時の水平力が大きいために主として静的設計が行われている。Philippine Sinter

Corporation (以下PSCと記述)に付帯するシーバースに対しては、常時における静的設計および地震時における震度法による動的設計<sup>1,2)</sup>がなされた。しかしながら、シーバースという複雑な構造系を有する構造物、すなわち長尺杭を有する下部工およびアンローダーを有する上部工からなる構

\* エンジニアリング事業部建設技術部土木技術室  
主任(課長待遇)

\*\*\* エンジニアリング事業部建設技術部構造技術センター  
主任(掛長待遇)

\*\*\*\* エンジニアリング事業部建設技術部建材・海洋技術室  
主任(掛長待遇)

[昭和53年1月12日原稿受付]

\*\* エンジニアリング事業部建設技術部土木技術室  
主任(掛長待遇)

\*\*\*\* エンジニアリング事業部建設技術部構造技術センター

造物の設計の妥当性を論ずる場合には、実構造物の挙動を把握する以外にない。まして、地震時における設計、すなわち耐震設計となると、その妥当性をチェックするには実構造物に対する耐震試験以外に方法はない。また、フィリピン地域は最近マグニチュード7～8の大規模地震のため多大の被害を受け、今後もこの程度の規模の地震が予想される。この意味から本報文では、PSCに建設されたシーバースを中心に震動試験を実施しその耐震性を報告する。

## 2. シーバースの振動測定

### 2.1 測定目的

測定対象とした規模のシーバース (Photo.1 参照) が地震を受けたときの応答特性を解析し、それを耐震設計に取り入れた例はすでにいくつか見られるが、この場合、構造部材の剛性、地盤の抵抗力および構造物と地盤との相互作用等の仮定に起因する誤差が含まれることは否めず、応答解析の基本となる固有振動数や減衰定数の算出精度には自ずと限界がある。したがって、実構造物の振動特性に関する実測データを多数収録し、それを解析に取り入れることは設計の信頼性を高めるうえで必要不可欠な作業と言える。しかしながら、実際には実測に要する費用や労力が比較的膨大なものになること、大規模シーバースの建設件数が少ないことなどの理由もあって、固有振動数特性についてすら実測された例は極めて少ない。

このような情勢を考慮し、Fig.1 に示すシーバースの固有振動数特性、地盤とシーバースおよびシーバース上に搭載されたアンローダーの連成振

動特性および構造物周辺地盤の振動特性を常時振動測定により求め、後述する応答解析結果と比較検討することにより、今後の類似構造物に対するより合理的な耐震設計資料を得ることを目的とした。

### 2.2 測定内容

シーバースのほか、アンローダー、カーゴバースおよび周辺地盤上の常時微動とこれらの連成振動を測定した。ヒックアップは常時微動計(測定範囲: 周波数0.2~70Hz, 加速度 $2.0 \times 10^{-2} \sim 3.0 \times 10^3$  Gal, 変位 $5.0 \times 10^{-3} \sim 8.0 \times 10^4 \mu$ )と低域振動計(測定範囲: 周波数0.3~50Hz, 加速度 $2.0 \times 10^{-2} \sim 1.0 \times 10^3$  Gal, 変位 $2.0 \times 10^3 \sim 1.0 \times 10^8 \mu$ )を用い、Fig.2.3 に示す地点に適宜設置した。同時測定可能な最大チャンネル数はこれらの増幅器との関係より、前者が3、後者が6であるため測定の目的に応じてこれらを下記のように使い分けた。

- (1) アンローダー、シーバース、地盤(カーゴバース)の連成振動測定では、低域振動計を使用する (Fig.2 のL-1, L-2, L-3)。
- (2) シーバース、アンローダー、カーゴバースの常時微動測定では常時微動計を使用する (Fig.2 のM-1, M-2, M-3, M-4, M-5)。
- (3) 周辺地盤(ヤード上)の常時微動測定では常時微動計を使用する (Fig.3 のM-5-1, M-5-2, M-5-3)。

なお、低域振動計を使用した場合は、同一測定点に対して各々の加速度と変位を、常時微動計を使用した場合は速度と変位をそれぞれ測定した。各ヒックアップで感知した振動波形は増幅器を通してカセットデータレコーダーに収録し、そのデータをシンクロスコープで確認した。データ収録時間は原則として3minとし、この間、波浪、自動

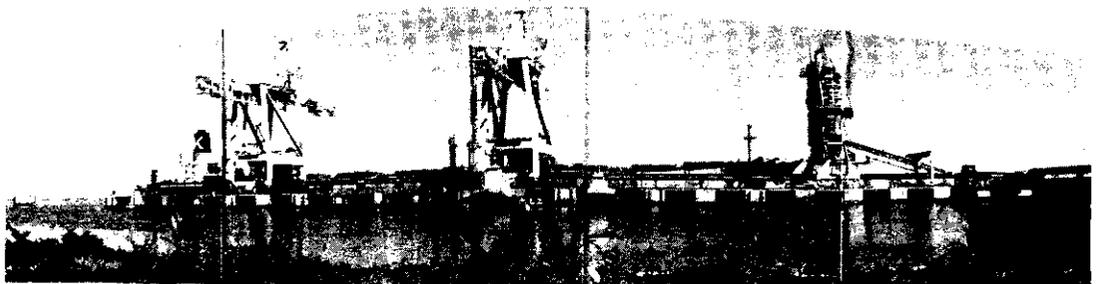


Photo.1 General view of the sea berth

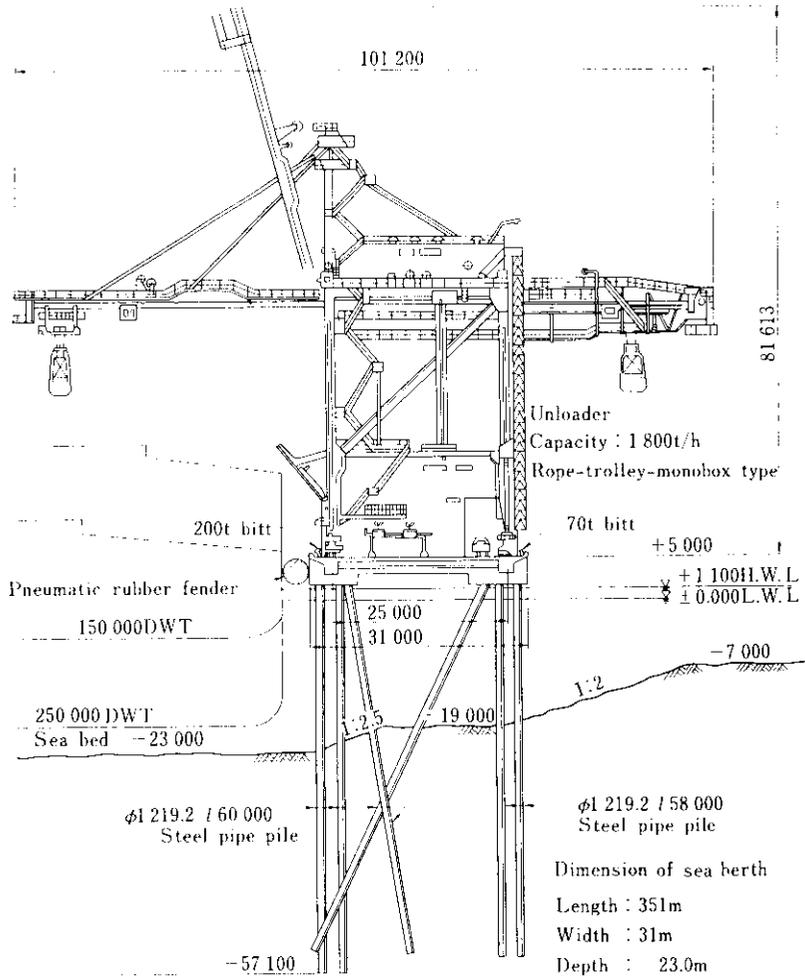


Fig.1 Standard cross section of sea berth

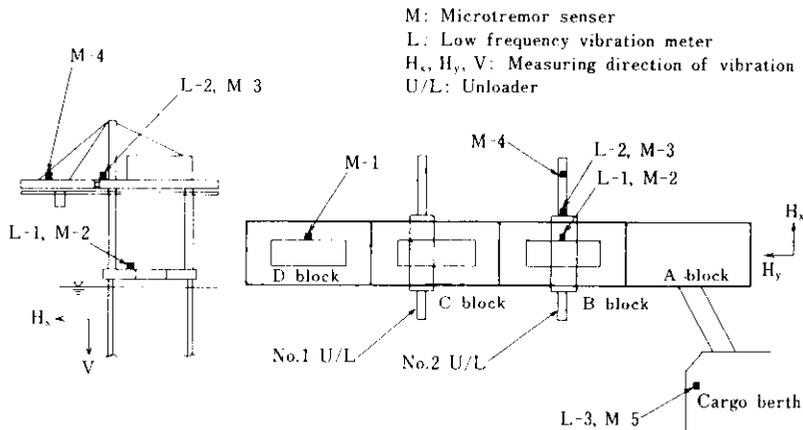


Fig.2 Measuring location of microtremor sensor at main sea berth and cargo berth

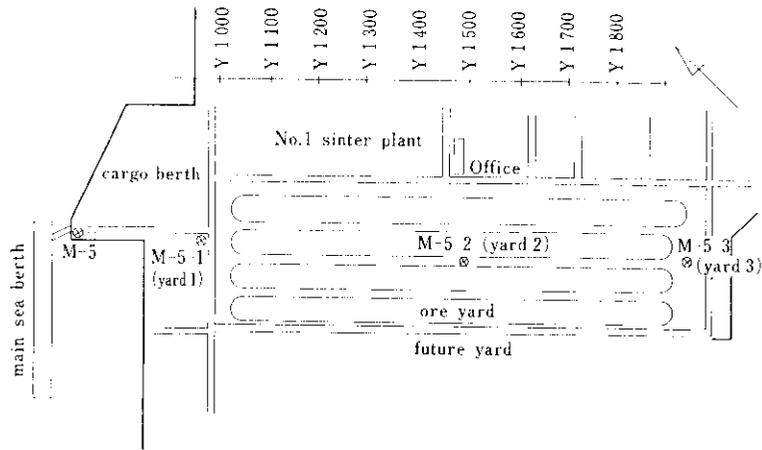


Fig.3 Measuring location of microtremor sensor at yards

車走行および工場内のベルトコンベアの稼働等による雑振動の影響ができる限り含まれないよう配慮した。

### 2・3 測定結果

記録の解析はすべてフーリエ・アナライザーで行い、その結果を Table 1 に示す。同表は常時微動の最大変位、最大加速度、卓越振動数(卓越周期)を各成分ごとに表示したものである。なお、最大加速度は実測変位と卓越振動数から換算したもの

である。また卓越振動数は、常時微動記録を時間間隔 10ms のサンプリングで 2048 個のサンプル数のデジタル量をフーリエ変換したものからパワースペクトルを求め、これらを 5 回アベレージングした結果の 1 次、2 次および 3 次のピークの振動数である。一例としてシーバース、アンローダー、カーゴバースおよびヤード 1 のパワースペクトルを Fig.4 に示す。なお Table 1 の component は振動測定方向を意味し、 $H_x$  はシーバース長軸直角方向、 $H_y$  は同平行方向、 $V$  は鉛直方向を表す。同

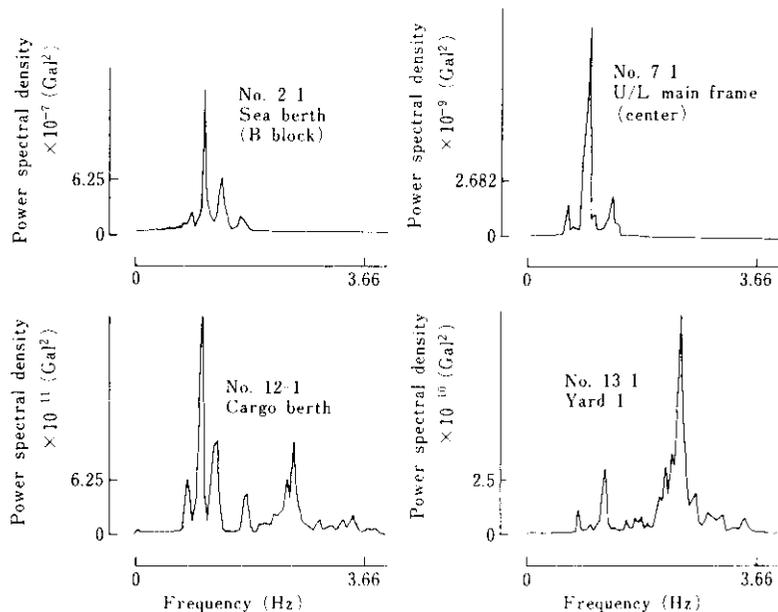


Fig.4 Power spectral density function for microtremor  $H_x$

Table 1 Measured results of displacement and natural frequency by microtremor sensor at some points in Fig.2 and 3

Exp. No.	Location	Component	Displacement (mm)	Acceleration (Gal)	Natural frequency		
					1st Hz (s)	2nd Hz (s)	3rd Hz (s)
2-1	Sea berth (B block)	H <sub>x</sub>	$4.600 \times 10^{-3}$	0.021	1.077 (0.929)	1.357 (0.737)	( )
		H <sub>y</sub>	$2.730 \times 10^{-3}$	0.012	1.077 (0.929)	1.357 (0.737)	( )
		V	$2.500 \times 10^{-3}$	0.011	1.077 (0.929)	1.357 (0.737)	( )
7-1	U/L main frame (center)	H <sub>x</sub>	$32.80 \times 10^{-3}$	0.116	0.947 (1.056)	1.323 (0.756)	( )
		H <sub>y</sub>	$32.90 \times 10^{-3}$	0.116	0.947 (1.056)	1.323 (0.756)	( )
		V	$36.90 \times 10^{-3}$	0.131	0.947 (1.056)	1.336 (0.749)	( )
8-1	U/L main frame (tip)	H <sub>x</sub>	$208.3 \times 10^{-3}$	0.271	0.574 (1.828)	1.126 (0.889)	( )
		H <sub>y</sub>	$90.80 \times 10^{-3}$	0.118	0.574 (1.828)	1.126 (0.889)	( )
		V	$64.20 \times 10^{-3}$	0.083	0.574 (1.828)	1.126 (0.889)	( )
11-1	Sea berth (D block)	H <sub>x</sub>	$43.60 \times 10^{-3}$	0.199	1.077 (0.929)	( )	( )
		H <sub>y</sub>	$21.40 \times 10^{-3}$	0.098	1.077 (0.929)	( )	( )
		V	$25.40 \times 10^{-3}$	0.107	1.034 (0.967)	1.206 (0.829)	( )
12-1	Cargo berth	H <sub>x</sub>	$4.590 \times 10^{-3}$	0.021	1.077 (0.929)	1.292 (0.774)	2.499 (0.400)
		H <sub>y</sub>	$4.800 \times 10^{-3}$	0.021	1.077 (0.929)	1.292 (0.774)	2.499 (0.400)
		V	$4.450 \times 10^{-3}$	0.020	1.077 (0.929)	2.499 (0.400)	1.292 (0.774)
13-1	Yard 1	H <sub>x</sub>	$5.310 \times 10^{-3}$	0.131	2.499 (0.400)	1.292 (0.774)	( )
		H <sub>y</sub>	$5.530 \times 10^{-3}$	0.136	2.499 (0.400)	1.292 (0.774)	( )
		V	$5.360 \times 10^{-3}$	0.132	2.499 (0.400)	2.326 (0.430)	2.240 (0.446)
14-1	Yard 2	H <sub>x</sub>	$6.111 \times 10^{-3}$	0.038	2.398 (0.416)	1.249 (0.800)	( )
		H <sub>y</sub>	$5.789 \times 10^{-3}$	0.036	2.398 (0.416)	1.249 (0.800)	( )
		V	$5.809 \times 10^{-3}$	0.133	2.398 (0.416)	1.249 (0.800)	( )
15-1	Yard 3	H <sub>x</sub>	$2.347 \times 10^{-3}$	0.011	7.576 (0.132)	1.077 (0.928)	4.775 (0.209)
		H <sub>y</sub>	$2.739 \times 10^{-3}$	0.013	7.576 (0.132)	8.500 (0.118)	1.256 (0.796)
		V	$2.319 \times 10^{-3}$	0.011	7.576 (0.132)	1.077 (0.928)	4.775 (0.209)

表より以下のことが言える。

- (1) 常時微動の最大変位は、アンローダーメインビーム先端部を除けば  $44 \times 10^{-3}$  mm 程度である。
- (2) シーバースは4ブロックに分れているが、アンローダーが搭載されたBブロックと無搭載のDブロックの1次の卓越周期が一致していることより、シーバース各ブロックの振動特性はほぼ同一であり、アンローダー搭載によるシーバースの固有振動数への影響は無視しうるほど小さい。
- (3) 耐震設計上最も重要となる固有周期は、シーバースでは1.077Hz、アンローダーメインビーム接

合部では0.947Hz、メインビーム先端部では0.574 Hz、カーゴバースでは1.077Hzである。

- (4) カーゴバースとシーバースの卓越振動数が同一になっているのは、カーゴバースは連絡橋でシーバースと接続していることおよびカーゴバースのパワースペクトルの3次のピーク値とヤード1の1次のピーク値とが同一であることから判断し、シーバースと近接地盤とは相互に影響を受ける。
- (5) 陸上部ヤードに関しては、ヤード1は埋立地盤、ヤード2は原地盤、ヤード3は切り土地盤と想定されるが、ヤード1とヤード2の卓越振動数

はほぼ同一であり、両者とも埋立地盤であろうと推察される。ヤード3の卓越振動数は7.576Hzであり、これがPSC建設地点の原地盤の固有振動数と解して大過なかろう。

つぎに、低域振動計を用いてアンローダー、シーバース、カーゴバースの振動を同時測定した結果について述べる。上記3点を結ぶ振動モードを0.039sごとに20ステップ、合計0.78s間示したモード図がFig.5である。同図よりシーバース長軸方向および同直角方向の振動モードは定性的に類似していること、定量的にはアンローダーメインビームの最大振幅が軸方向ではシーバース上とほぼ同値であり、軸直角方向ではかなり小さいことがわかる。上記アンローダーの最大振幅がシーバ

ース上よりも小さい理由は、図からもわかるように両者の位相が異なることに起因すると考えてよいであろう。

### 3. シーバースの耐震設計

#### 3.1 シーバースの耐震性評価

振動測定結果をシーバースの耐震設計に反映するためには、実際の地震時の本構造物の応答を計算する必要がある。この場合、設計上は応答の時間的変動よりもむしろ応答加速度や応答変位の最大値が重要な要素となる。したがって、ここでは地震の継続時間内に1質点系モデルの最大相対変

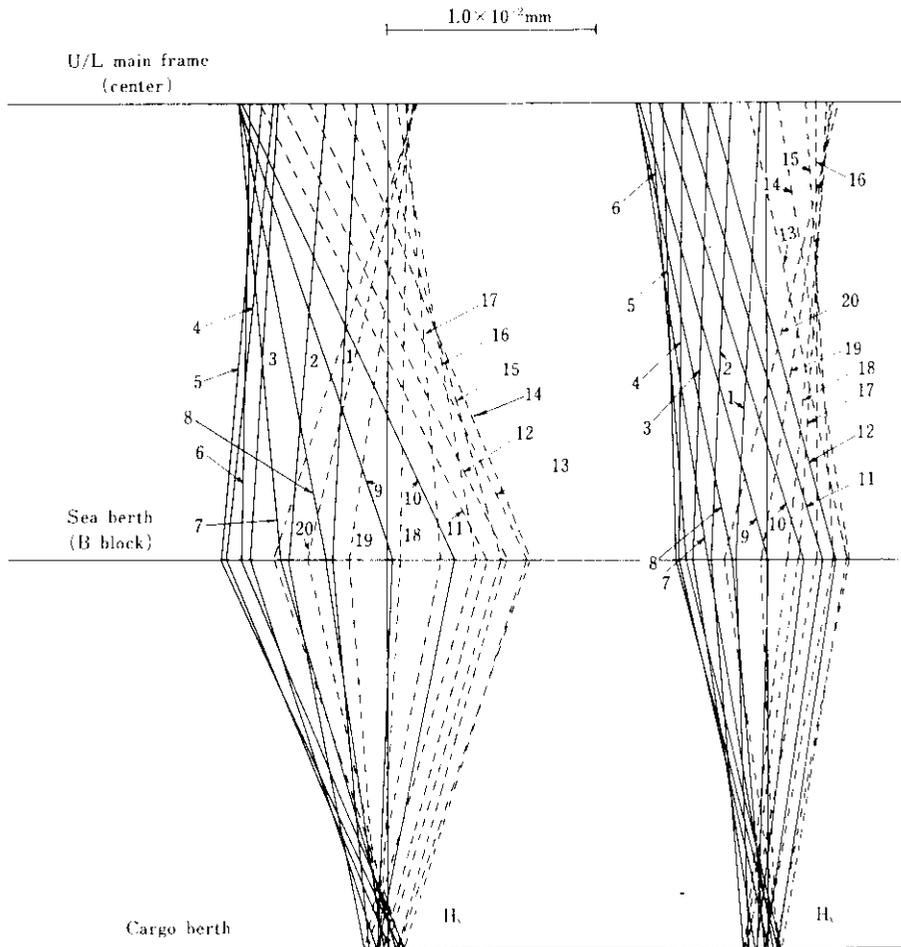


Fig.5 Vibrational modes of three points in Fig.2 by low frequency vibration meter (lag time = 0.039s)

位、最大相対速度、最大絶対加速度を求める。このような諸量はすべて振動系の減衰定数、固有周期および入力としての地震動加速度時刻歴との関数となる。固有周期は前述のように本測定により明確になっているのでこれを使用すればよく、したがって入力地震動の設定、減衰定数の推定が重要な問題となる。入力地震動は陸上部ヤード2で測定した常時微動記録の変位成分を用い、これを2回微分した加速度成分に次式の強度特性を乗じた時刻歴の加速度を採用することとした。

$$F_0 = t \cdot e^{-\beta t} \quad \dots\dots\dots (1)$$

$t$ : 時刻,  $\beta = 1.0$

以上の方法で求めた模擬地震加速度波形、そのパワースペクトルおよび自己相関関数の一例を Fig. 6, 7, 8 に示す。さらに、減衰定数は厳密には自由振動試験等から求めるべきであろうが、多大な労力を要するため、ここでは簡便的に常時微動記録の中から波形が減衰形状を有する領域を選び、対数減衰率から個々の減衰定数を推定した結果、シーバース上では4.42%、アンローダーメインビーム接合部では7.84%、アンローダーメインビーム先端部では4.53%となった。

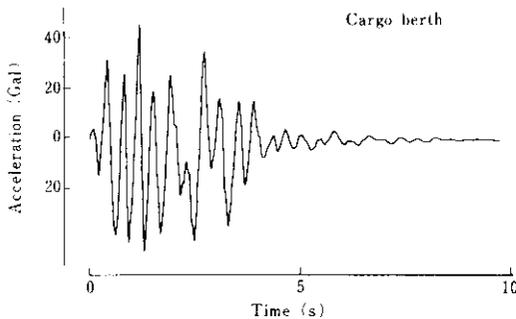


Fig.6 An example of acceleration record of artificial earthquake by calculation

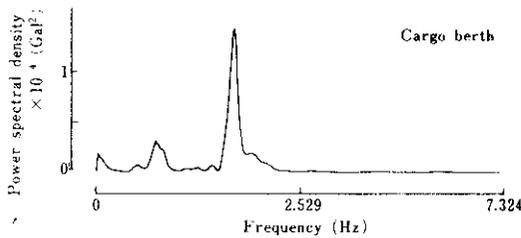


Fig.7 An example of power spectral density function for artificial earthquake by calculation H<sub>1</sub>

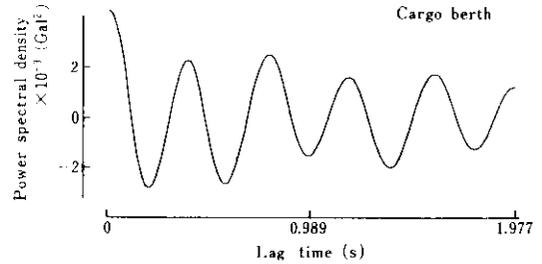


Fig.8 An example of auto correlation function for artificial earthquake by calculation H<sub>1</sub>

前述のように設定した模擬地震加速度波形を用い、減衰定数を任意のパラメーターとしたときのシーバース、アンローダーメインビーム接合部および同先端部の最大応答加速度倍率と最大応答変位を算出して Fig.9 に示す。また、常時微動波形から推定した減衰定数を使用して各応答値を求めると、図中に●、▲および■印で示したように最

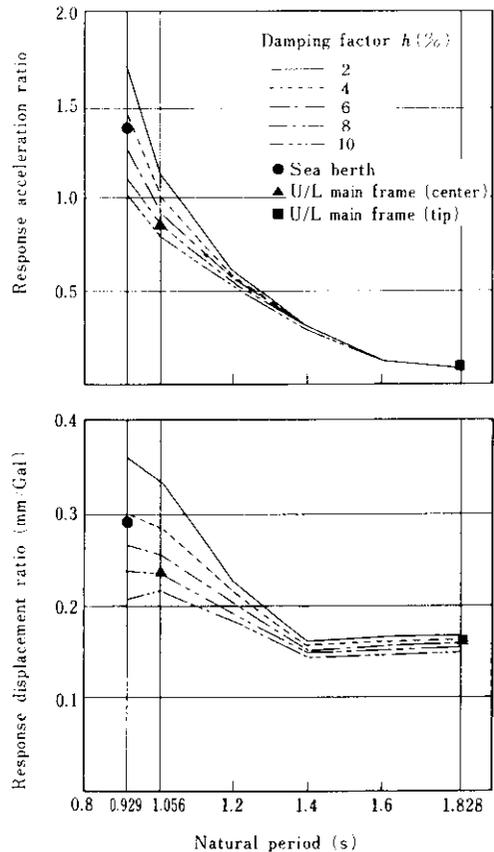


Fig.9 Response spectral curves of sea berth and unloader main frames for artificial earthquake

大応答加速度に対する入力加速度の比、すなわち応答倍率はシーバース上では入力加速度の約1.4倍、アンローダーメインビーム接合部で0.8倍となり、最大応答変位はシーバース上で0.29mm/Gal、アンローダーメインビーム接合部で0.24mm/Gal程度になることがわかる。

本結果を耐震設計の資料とするため、ルソン地震(1968年8月)における Diliman Observatory で観測された最大加速度 70Gal<sup>4)</sup>を採用すれば、シーバース上での最大応答加速度は 98Gal、最大応答変位は 20.3mm 程度となる。本シーバース設計にあたり、動的設計に際して震度法を採用していることは前述したが、その際の設計震度は 0.15(約 150Gal)であることから、この程度の地震に対して本シーバースは十分安全であると結論できる。

前述のように、応答を求めるうえで重要な減衰定数は常時微動測定の結果から算出したものであり、また応答解析は簡単な1質点系にモデル化した結果であるため、これらの応答値にはある程度の誤差が含まれていることは否めない。しかしながら、フィリピン地域の地震のデータが整備され、基盤に生じる最大加速度の期待値がかなりの精度で把握されるようになれば、ここで示したデータおよび結果はより合理的な耐震設計を行うための有益な基礎資料になるものと思われる。

### 3.2 シーバースの地震応答解析

Penzien<sup>5)</sup>、Seed等は、建築部門の上部構造物の動的解析手法と基礎部門の土の動的性質の研究および解析手法を基礎構造物(柱およびフーチング)に取り入れることにより結合し、土、杭、構造物の連成振動数値解析として地盤-基礎-構造物系のモデル化および解析手法の確立を図った。ここではシーバースおよびアンローダーを Penzien系モデルに置きかえてモデル解析を行い、実験結果とあわせ本シーバースの耐震性を論じる。本シーバース(Fig.1参照)の多質点系モデルを Fig.10に示す。本モデルは地盤を多質点せん断型、杭を曲げ型、上部構造を曲げせん断型振動体とし、杭基礎との相互作用はバネ-ダッシュポット系で表現する。Penzien系においては構造物(杭、基礎、等価地盤、上部構造物)の振動による周辺地盤への影響は無視しうるとし、周辺地盤の振動は構造

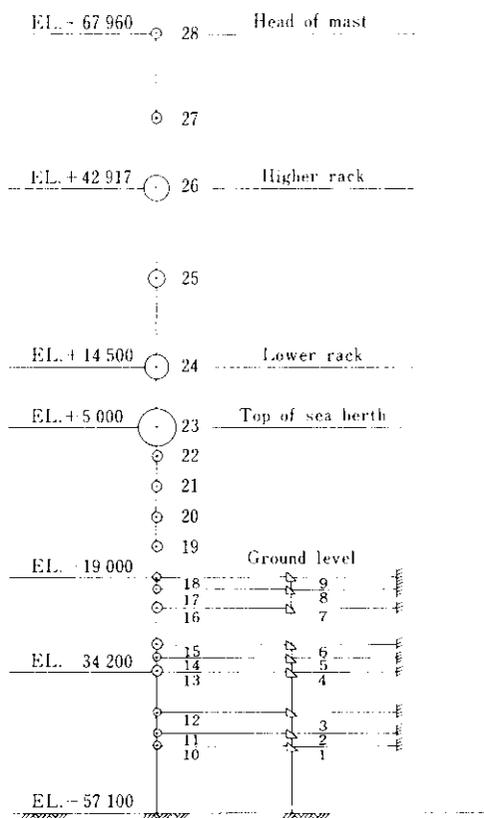


Fig.10 Lumped mass idealization of sea berth and unloader

物へ影響を与えるものとして解析している。ただし、等価地盤とは杭群の間に介在し杭と一緒に振動する地盤と定義し、等価地盤系とは杭を含めたものを定義する。Fig.10のモデルにおいて質点1~9が周辺地盤、質点10~18が等価地盤系、質点19~28が上部構造物を表す。

数値計算に際して地盤データの考え方を述べる。地盤データは単位体積重量 $\gamma$ 、せん断弾性係数 $G$ および減衰定数 $h$ がその3要素と考えられ、とくにせん断弾性係数 $G$ の決定が問題である。せん断弾性係数 $G$ および減衰定数 $h$ は、そのひずみレベルによって変化する本来非線形なものである。したがって、想定ひずみレベルを弾性範囲におくか、弾塑性範囲におくか、または破壊まで考えるかによって異なる値をとるべきである。せん断弾性係数 $G$ 、減衰定数 $h$ の値については詳しい報告<sup>6)</sup>があるが確固たるものはない。ここでは簡単な土質調査からその推定方法として汎用されている

砂質土地盤についての犬崎の式<sup>6)</sup>、すなわち  $G = 120N^{0.8}$  ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ) (ただし  $N$  は  $N$  値) を用いる。主たる地盤データを Table 2 に一括表示する。また横方向地盤反力係数は、Mindlin<sup>7)</sup> が示した基礎底面に水平力が作用したときの地中の任意点における水平変位から求めた。等価地盤に関しては、田村ら<sup>8)</sup> は円形断面の井筒の振動実験を行い、等価地盤系として井筒の周囲に円筒状のものを考えたとき、その径が井筒外径の 1.5~2.7 倍であったこと、その他現場実験結果との対比において等価地盤半径を 1.5~2.5 倍程度にとるのが妥当であると報告している。本解析では以上のことを考慮して、等価地盤半径を杭半径の 1.5 倍として計算する。なお、斜杭はすべて直杭と同様の評価を行い解析している。つぎに入力地震波についてであるが、Fig. 11 に示すように比較的長周期成分を有している The 1952 Kern Country Earthquake (地震継続

時間 30s、最大加速度 153Gal) の Taft での加速度波形<sup>9)</sup> を使用する。Fig. 12 はそのパワースペクトル、Fig. 13 は自己相関関数であり、1.03~3.16Hz の波が多く、3・1 で採用した模擬地震波形と比較的類似した地震波であると考えられる。応答計算はその主要動が含まれる 20s 間について行った。Fig. 14 には、Fig. 10 に示す質点 23 (シーバース上)、質点 26 (アンローダー上部横桁上) および質点 28 (マスト上) の応答加速度を示す。同図から、シーバース上およびアンローダー上部横桁上の挙動はほぼ類似している。これは、モデル化に際しシーバースとアンローダーの結合方法を完全剛としたこと、アンローダーの剛性を比較的大に評価したことおよび上部構造系の減衰定数を 2% にしたことにより起因する。最大応答加速度は質点 23、26 で 317 Gal (応答倍率 2.07)、質点 28 で 227 Gal (応答倍率 1.48) である。Fig. 15 に本解析に用いた地震波による最大地震応答加速度を、減衰定数  $h$  をパラメータとして示す。同図の減衰定数 2% の実線下にシーバース上およびアンローダー上部横桁上の非減衰固有周期 0.929 および 1.056s (Table 1 参照)

Table 2 Layered system used for response analysis

Layer No.	N-value	Modulus of rigidity $G$ ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )	Damping factor $h$	Poisson's ratio $\nu$	Thickness (cm)	Bulk density ( $\text{t}/\text{m}^3$ )
1	5	434	0.01~0.03	0.14	220	1.7
2	14	991	0.01~0.03	0.14	280	1.7
3	17	1 158	0.01~0.03	0.14	600	1.7
4	34	2 015	0.03	0.13	200	1.8
5	20	1 318	0.03	0.13	220	1.8
6	40	2 295	0.03	0.13	660	1.8
7	50	2 744	0.03	0.13	330	1.7
8	11	817	0.01~0.03	0.13	200	1.7
9	50	2 744	0.01~0.03	0.13	1 100	1.7

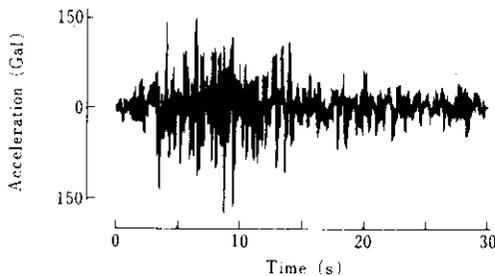


Fig. 11 Accelerogram of Taft Earthquake used for response analysis of sea berth

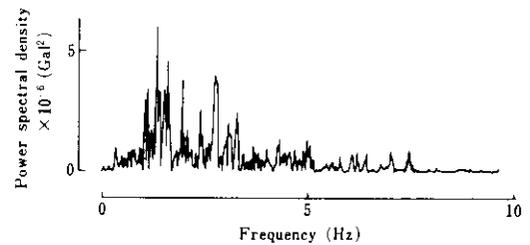


Fig. 12 Power spectral density function of Taft Earthquake

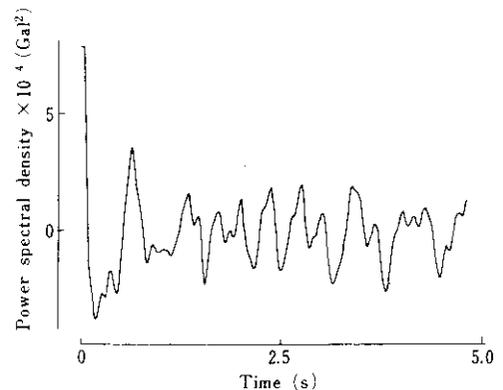


Fig. 13 Auto-correlation function of Taft Earthquake

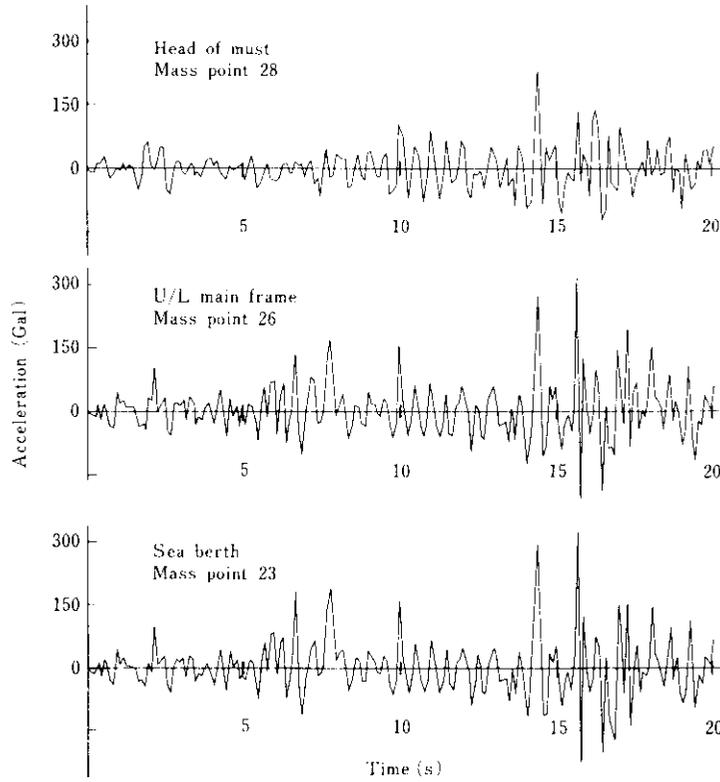


Fig.14 Calculated response acceleration of mass point 28, 26 and 23 in Fig.10

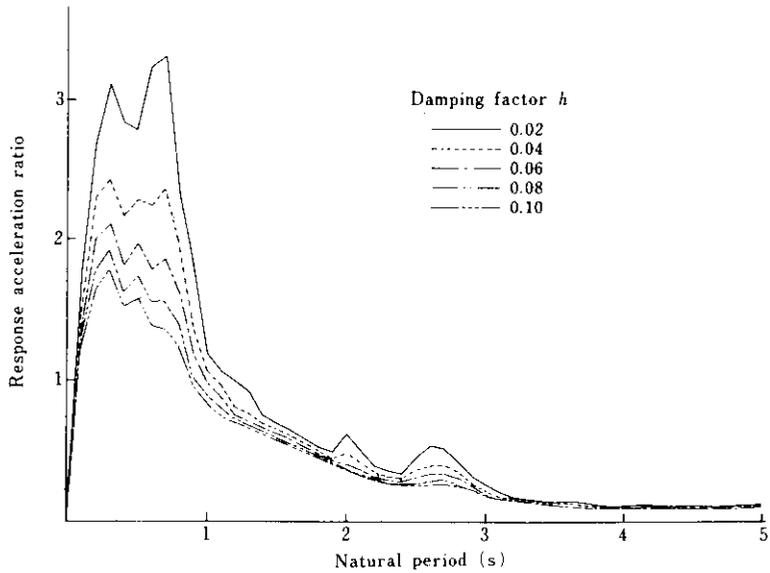


Fig.15 Response spectral curves for Taft Earthquake

を当てはめて見ると、応答倍率は前者で1.66、後者で1.12となり、モデル解析結果を比較すればその応答倍率は2～3割小さくなっているが、本解析は構造物を1質点系と仮定していることを考慮すれば、ほぼ良好な対応を示していると考えられる。本解析結果からシーバースの耐震性を検討するが、新耐震設計法(案)<sup>10)</sup>の土木構造物の耐震設計に用いる動的解析法としては、

(1) 地盤、地震のマグニチュード、震央距離ごとに示してある地震応答スペクトル曲線を用いる応答スペクトル法

(2) 地震動の波形を用いる時刻応答解析法

の2方法のいずれかを用いることを提唱している。

さらに、(2)の方法を用いる場合には地震動の波形は3種類を用い、入力レベルは本来は観測された値を用いることとしている。ここで行った解析は前出の(2)の方法とその簡便法によったが、現地での地震観測記録が入手できなかったため、代表的な1種類の地震波について行ったものである。その両者の結果はほぼ満足すべきものであった。3・1で述べたように、当地で観測された地震の最大加速度は70Galであるから、本解析結果を用いてシーバース上の最大応答加速度を計算すると前述の(2)の方法では144.9Gal(70Gal×2.07)、その簡便法では116.2Gal(70Gal×1.66)となる。この結果、本シーバースの設計震度が0.15(約150Gal)であることから判断しても、本シーバースはこの程度の地震に対して安全であることを示唆している。

#### 4. 結 語

PSCに付帯して建設されたシーバースを主対象とした耐震試験を実施し、シーバース、アンローダー、周辺地盤の振動特性を適確にとらえるとともに、測定データを基にして作成した模擬地震波を用いた応答ベクトルによる動的解析および本シーバースのモデル解析を行い、本構造物の耐震性評価を行った結果、次のような成果を得た。

(1) 常時微動測定によるシーバース、アンローダーメインビーム接合部および周辺地盤(原地盤)の卓越振動数はそれぞれ1.077、0.947および7.576Hzであった。また、前2者の減衰定数は約4.4、7.8%であった。

(2) (1)の測定結果を用いて作成した模擬地震波およびTaft地震について応答スペクトル法による動的解析を行った結果、シーバース上での応答加速度倍率は前者で1.40、後者で1.66となる。

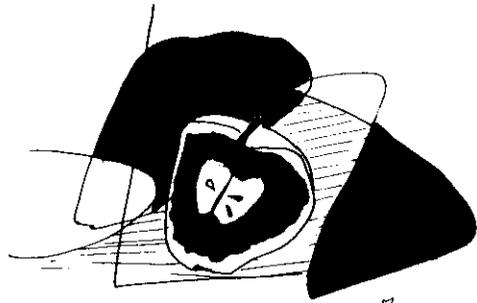
(3) シーバースおよびアンローダーをPenzien系モデルに置換して時刻歴応答解析を行った結果、シーバース上での最大応答加速度倍率は2.07となり、(2)の結果と比較的良好な対応を示す。

(4) シーバースの耐震性評価に際して、現地での過去の代表的な大地震の最大加速度70Galを動的解析結果に適用すれば、シーバース上での最大応答加速度は約145Gal(応答震度0.145)となり、本シーバース設計に用いた設計震度0.15は妥当な値と言える。

最後に、本振動測定を遂行するにあたり多大の御協力を賜ったPSC関係各位に対して心から感謝の意を表する次第である。

#### 参 考 文 献

- 1) 清水、吉谷、榊：川崎製鉄技報，9（1977）1・2，69
- 2) Kawasaki Steel Corp. Engineering Center: Mindanao Sinter Plant Project, Survey Report, (1974)
- 3) 野尻、三村、村山、中山、藤田：鹿島建設技術研究所年報，(1972) 20，43～51
- 4) S.Omote, Y.Osawa, I.Skinner and Y.Yoshimi: Philippines, Luzon Earthquake of 2 Aug. 1968, (1969)
- 5) J.Penzien, C.F.Scheffy and R.A.Parmelee: Proc. ASCE, EM, 90 (1964) 3
- 6) 土質工学会編：土と構造物の動的相互作用，(1973)，7～66
- 7) R.D.Mindlin: Journ. Appl. Mech., 16 (1949), 259～268
- 8) 田村、神谷、西村：土木学会第11回地震工学研究発表会，(1971)
- 9) I.M.Idriss, J.Lysmer, R.Hwang and H.B.Seed: EERC Report, (1973) 16, (California Univ.)
- 10) 栗林：橋梁と基礎，11（1977）12，47



7