

港湾地域で得られた既往大地震記録の比較と ケーソン式岸壁の被災程度に関する一考察

運輸省 港湾技術研究所 宮田 正史・、野津 厚一、
菅野 高弘**、井合 進***

本稿では、1995年兵庫県南部地震の際に神戸港における強震記録と港湾地域で得られた既往大地震の記録を比較することにより、本地震動の特徴を明らかにした。また、港湾施設の代表的な構造物としてケーソン式岸壁をとりあげ、地震時のケーソンの被災量（水平変位）を、現行の港湾の基準（震度法）に準じた危険度を指標とした整理、および新しい試みとして、地震動の入力エネルギーに基づいた指標を用いた整理の2種類を行った。この結果、地震動の入力エネルギーに基づいた指標とケーソン水平変位量に相関があることが明らかになった。

1.はじめに

近年、非常に大きい地盤加速度が記録された地震が相次いで生じた。その中で、平成7年兵庫県南部地震は、最大級の地震動を記録し、その人的・物的被害は甚大であった。港湾施設では、重力式岸壁（ケーソン式）の被災が著しく、神戸港の物流機能はほとんど停止した。神戸港の一般的な岸壁ケーソンの水平方向の変位は最大約6m、ケーソンの沈下は最大約2m程度にもおよんだ¹⁾。また数多くのケーソン上には、コンテナ用の大型ガントリークレーンの海脚用レールが設置されていたが、地震時のケーソンの海側への移動に伴って、クレーンの陸側と海側の脚が裂かれ、その被害を大きくしたと推定されている²⁾。これらの被害を考慮すると、今後の経済的な港湾構造物の設計に関して、その被災程度の推定が重要な課題となっている。

一方、兵庫県南部地震の直前に1994年三陸はるか沖地震が生じており、港湾地域では八戸港を中心に被害が生じた。最大加速度としては兵庫県南部地震と同程度の値を記録しているが、三陸はるか沖地震と兵庫県南部地震の被災程度を比較すると、兵庫県

南部地震の方が、港湾施設の被災としては大きいものであった。従って、地震動の特徴や各施設の断面形状および土質条件等によって、その被災程度は大きく異なることが予想される。

本研究では、兵庫県南部地震の際に神戸港で得られた強震記録と港湾地域で得られた主な既往大地震の強震記録を整理・比較することによって、兵庫県南部地震の強震動の特徴を明らかにする。また、各地震動と実際の被災程度との関係を調べるために、現行の設計法に基づいた被災変形量の推定および新たな試みとして、地震動の入力エネルギーを用いた被災量の整理を行った。

2.港湾地域で得られた既往強震記録の比較

(1) 比較対象地震および観測地点の概要

ここでは、1968年十勝沖地震、1993年釧路沖地震、1994年北海道東方沖地震、1994年三陸はるか沖地震、1995年兵庫県南部地震の5つの地震を比較対象とする。これら5地震の諸元（気象庁発表）を表-1に示す。記録の得られた港湾は表中に示すとおりである。いずれの記録も地表面で得られた記録である。また、各地震はマグニチュードが7を超える大規模な地震であり、実際に観測された地表面の補正加速度³⁾（計器補正後の加速度。以下、これを加速度とよぶ。）は水平方向で300Galを超える地震であった。これらの5つの地震は、3章で用いるケーソン式岸壁の被災例が多い港の強震記録が含まれている地震を選択した。

キーワード：強震動記録、ケーソン式岸壁、被災変形量
* 運輸省港湾技術研究所 構造部地盤震動研究室
Tel: 0468-44-5028 Fax: 0468-44-4095

** 同 構造部地震防災研究室
*** 同 構造部構造振動研究室 主任研究官
**** 同 構造部地盤震動研究室長

各港の強震観測地点の土質条件を以下に示す。

<八戸港⁴⁾>：基盤の深度は10m程度であり、基盤以浅では、N値10～20程度の砂層が存在する。但し、ここでいう基盤とはN値50以上の層を示している。<釧路港⁵⁾>：基盤の深度は約50m程度であり、基盤以浅は、N値20～50以上程度の砂層とN値10程度のシルト層が互層状に堆積している。<花咲港⁶⁾>：ほぼ岩盤上に設置されている。<神戸港>：運輸省第3港湾建設局によるボーリング調査によると、基盤の深度は80m以上であり、深度80m程度までは、主にN値50以上の砂れき層とN値10～20前後が互層状に堆積している。層厚は各5m～15m程度である。

(2) 地震動の比較

a) 最大値

表-2 に、上で示した5つの記録の水平面内および鉛直方向の加速度・速度・変位の最大値の一覧を示す。

水平面内の最大加速度は、三陸はるか沖地震の際の記録が751Galと最大であった。これに、兵庫県南部地震、釧路沖地震と続く。但し、兵庫県南部地震の神戸港の水平N43W成分は振り切れていたため注意が必要である(表-1)。近隣の他機関による記録では、600～800Gal程度が記録されているため、この記録に関しても同程度の最大加速度が生じていたことが推定される。従って、三陸はるか沖地震と兵庫県南部地震の最大加速度は同程度の可能性が高い。一方、鉛直方向の最大補正加速度は兵庫県南部地震の際の値が446Galと最大であり、これに、釧路沖地震、北海道東方沖地震が続く結果となった。また、速度と変位に関しては、神戸港の記録の最大値が他の記録に比較して突出する結果となった。水平方向の最大速度・変位に関しては他の記録の2～5倍程度であった。

鉛直方向の地震動の最大値に関して見ると、加速度では三陸はるか沖地震と兵庫県南部地震が最大であったが、速度・変位に関しては、同じく兵庫県南部地震の最大値が他の地震の最大値より数倍大きい結果となった。

三陸はるか沖地震の被災程度は、兵庫県南部地震や釧路沖地震に比較して軽微にとどまっていることを考慮すると、少なくとも加速度の最大値を構造物の被災程度を表わす唯一の指標とするのには無理があるようである。

表-1 比較対象地震の諸元

地震名	1968年十勝沖地震	1993年釧路沖地震	1994年北海道東方沖地震	1994年三陸はるか沖地震	1995年兵庫県南部地震
震源日時	5月16日 9:49	1月15日 20:06	5月16日 9:49	12月28日 21:19	1月17日 5:46
源深さ(Km)	0	103	23	0	14
マグニチュード	7.9	7.8	8.1	7.5	7.2
観測場所(名称)	八戸港 (八戸事-S)	釧路港 (釧路-G)	花咲港 (花咲-F)	八戸港 (八戸事-S)	神戸港 (神戸事-S)
震央距離(Km)	180	12	168	188	17
強震計の種類	SMAC-B2型	ERS-G型	ERS-F型	SMAC-B2型	SMAC-B2型

表-2 比較対象地震の加速度・速度・変位の最大値

	水平最大補正 加速度 (Gal)	鉛直最大補正 加速度 (Gal)	水平最大 速度 (cm/s)	鉛直最大 速度 (cm/s)	水平最大 変位 (cm)	鉛直最大 変位 (cm)
1968年十勝沖地震 (八戸港、八戸事-S)	352 (259)	145 (119)	34.6	14.0	12.4	4.0
1993年釧路沖地震 (釧路港、釧路-G)	468 (342)	342 (91)	63.0	7.2	19.5	1.0
1994年北海道東方沖地震 (花咲港、花咲-F)	404 (281)	267 (142)	29.1	14.2	8.5	5.3
1994年三陸はるか沖地震 (八戸港、八戸事-S)	751 (556)	132 (107)	50.5	11.7	16.3	3.1
1995年兵庫県南部地震 (神戸港、神戸事-S)	538 [※] (521)	446 (283)	122.4 [※]	33.8	43.3 [※]	10.9

※振り切れ。 ☆加速度の $\bar{\quad}$ 内の数値は、SMAC加速度を表わす。

b) 加速度・速度の時刻歴

(加速度) 図-1(a)に水平方向の、図-1(b)に鉛直方向の加速度時刻歴を示す。図中の水平加速度は水平面内の卓越方向の波形を示している。また、水平面内で卓越方向がない場合には、水平計測2成分のうち最大加速度が大きい方の成分の波形を用いた。

水平方向の加速度時刻歴の比較より、兵庫県南部地震の特徴として、継続時間が短いこと、長周期かつ加速度振幅の非常に大きい波が数波含まれていること、ある時刻を過ぎると極端にその振幅が小さくなること等が挙げられる。ある時刻を超えると加速度の振幅が極端に小さくなるのは、地盤の液状化が生じたために、基盤に入力したせん断波が上方に伝わらないためと推定される。

兵庫県南部地震の地震動のような長周期かつ振幅の大きい加速度が入力すると、構造物のひずみが大きくなり、破壊に至りやすいと考えられる。今回の比較対象とする地震波の場合には、各強震記録の加速度が最大値をとる付近の波の半周期(この場合は、加速度ピークの直前にゼロ線を通じた時から、ピーク時刻の後に初めてゼロ線を通する時刻までの時間とする)は、十勝沖地震の場合0.11秒、釧路沖地震

の場合0.5秒、北海道東方沖地震の場合0.12秒、三陸はるか沖地震の場合0.27秒、兵庫県南部地震の場合0.42秒であった。ピーク時のみを比較すると、釧路沖地震と兵庫県南部地震が、他の地震動に比較してピーク時の波の半周期が大きい結果となっていた。但し、これらの地震波は、基盤に入力してくる地震動ではなく、基盤から表層地盤を経て地表面で観測された波であることに注意しなければならない。釧路港の場合、表層地盤と深度77mの2層観測が行われており、地表と地中の記録が同時に得られたが、深度77mの加速度記録では、表層地盤に見られるような長周期の波は含まれておらず、深度77mから地表に至る地盤中で長周期成分が増幅された結果となっている⁷⁾。しかし、神戸港の記録の場合、神戸市港湾局によるポートアイランドの4層観測の結果によると、すでに深度83mの地点において地表で確認されるような長周期の波形が認められる⁸⁾。基盤に入力してきた地震動自体が長周期成分を有してしたようである。これも兵庫県南部地震の特徴のひとつである。また、釧路沖地震の釧路港における加速度波形ではスパイク状の波形が見られ⁷⁾、この場合、砂は完全な液状化状態には至らず、いわゆるサイクリック・モビリティ状態にあったと推定されている。神戸港の強震観測点付近においても液状化の痕跡は認められたが、液状化による大きな被害は生じなかった。

次に、図-1(b)に示す鉛直方向の加速度時刻歴を見ると、兵庫県南部地震の特徴としては、水平方向の加速度と同じく、地震の継続時間が短いこと、および最大値が446Galと非常に大きいことが挙げられる。一般構造物の被災程度に地震の上下動がどの程度影響を与えるかは、いまだに不明な点が多いが、港湾施設であるケーソン式岸壁（神戸港の代表的な断面）に関しては、地震動の上下動の大小がその被災変形量に与える影響は小さいことが、振動台を用いた模型実験⁹⁾および有効応力解析による数値計算¹⁰⁾により確認されている。また、鉛直方向の加速度時刻歴を見ると、水平方向に比較して、継続時間が若干長い。これは、水平動としてのせん断波は、地盤の液状化のため、上方には伝わらず極端にある時刻を境に小さくなるが、上下動は液状化の有無に関わらず、地盤中を伝わるためと推定される。

(速度) 図-2(a)に水平方向の、図-2(b)に鉛直方向の速度時刻歴を示す。水平方向の成分は図-1の加速度と同じとする。兵庫県南部地震の水平方向の速度波形の特徴は、加速度と同様に継続時間が短かく、かつ振幅の大きい波が2波程度存在することである。この長周期かつ大振幅の波が、地震動のエネルギーの大きさを表わしている。

また、鉛直方向の速度時刻歴より、兵庫県南部地震の速度の最大値は他の4つの地震に比較して、突出して大きな値をとることがわかる。

c) 加速度・速度の水平面内の軌跡

図-3に5つの地震記録の水平面内の加速度軌跡を示す。兵庫県南部地震の特徴としては、水平面に強い方向性を有することである。この卓越方向は、推定されている断層¹¹⁾と直交する方向に一致している。これに比べて、他の4地震の加速度は円状に分布しており、明確な方向性は認められない。

同様に、図-4に水平面内の速度軌跡を示す。5地震の中では、釧路沖地震と三陸はるか沖地震および兵庫県南部地震が方向性を有していることがわかる。加速度では方向性を持たない地震動が、速度において方向性を持つのは、加速度と速度では方向性に大きく影響する周期帯が若干異なるためである。

d) 応答スペクトル

図-5に5つの強震記録の水平方向の加速度応答スペクトルを示す。それぞれの地震でかなり異なった周期特性を有しているが、周期約1.5秒以上の長周期構造物に着目すれば、兵庫県南部地震と釧路沖地震の応答値が、他の地震に比較して大きく、さらに構造物の固有周期が約2.5秒以上では、兵庫県南部地震の加速度応答が他の地震の応答値を大きく上回っていることがわかる。

同様に、図-6に5つの強震地震の水平方向の疑似速度応答スペクトルを示す。加速度と同様に、固有周期の長い(約2.5秒以上)構造物では、兵庫県南部地震の応答値が他の地震に比べて大きな応答をしていることがわかる。

3. ケーソン式岸壁の被災程度と地震動の関係

この章では、既往の大地震の際に強震記録が得られている港湾で被災を受けたケーソン式岸壁のうち、詳細な資料・断面や地盤条件等が把握されている施

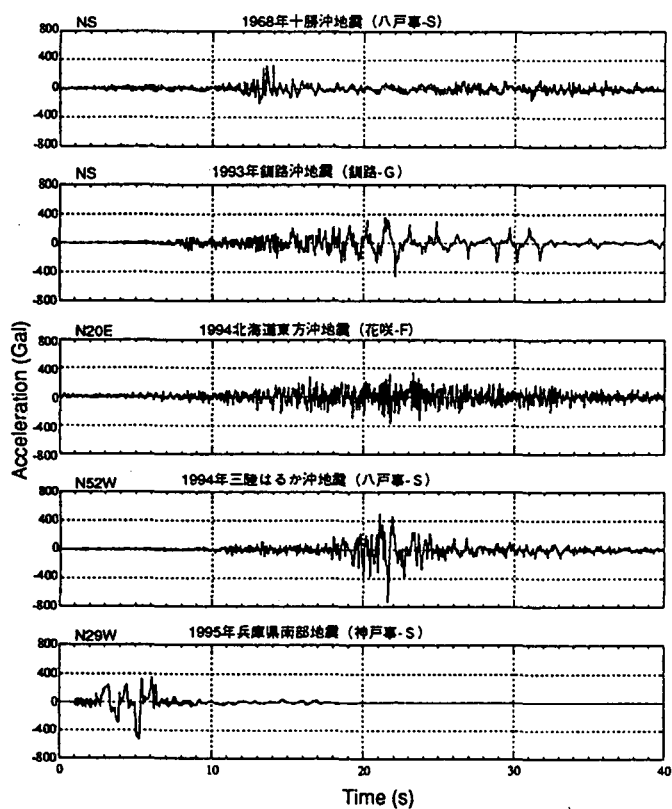


図-1 (a) 加速度時刻歴 (水平方向)

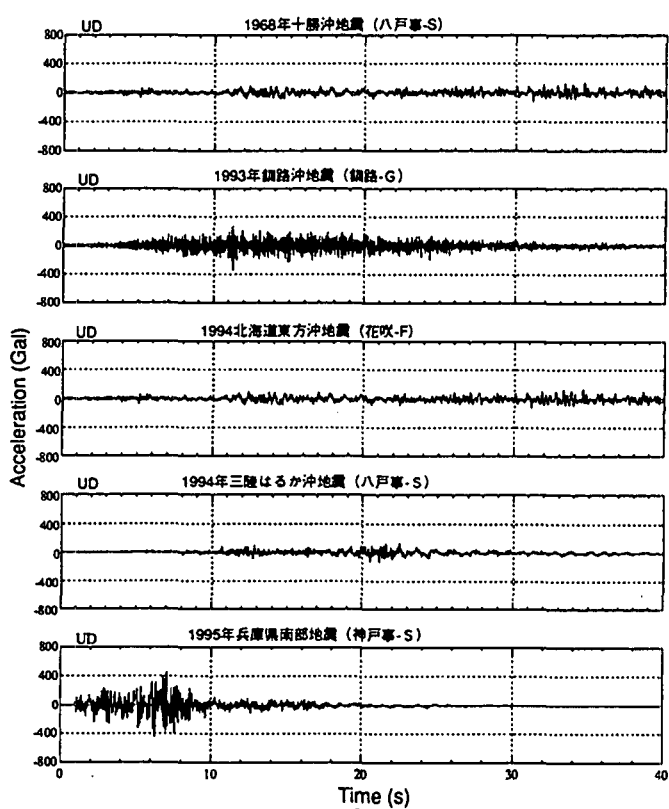


図-1 (b) 加速度時刻歴 (鉛直方向)

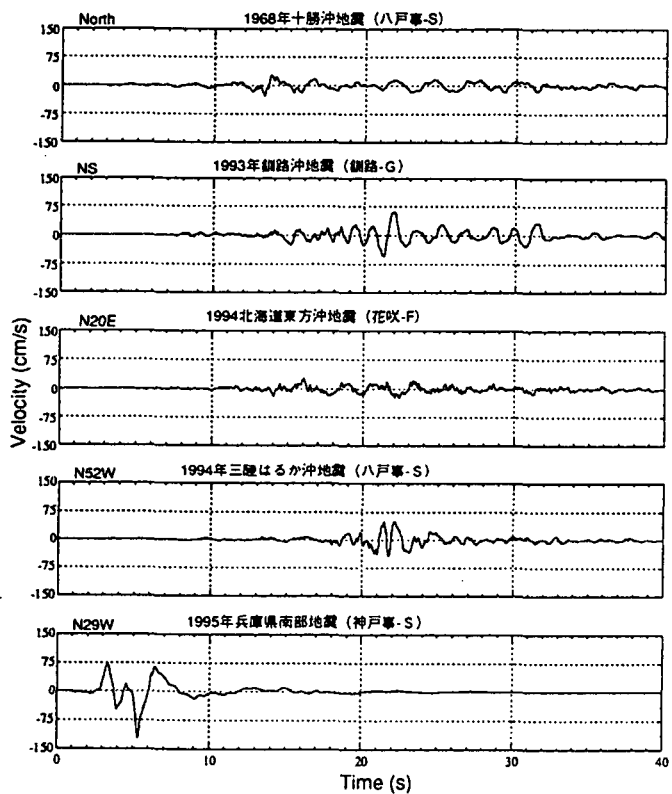


図-2 (a) 速度時刻歴 (水平方向)

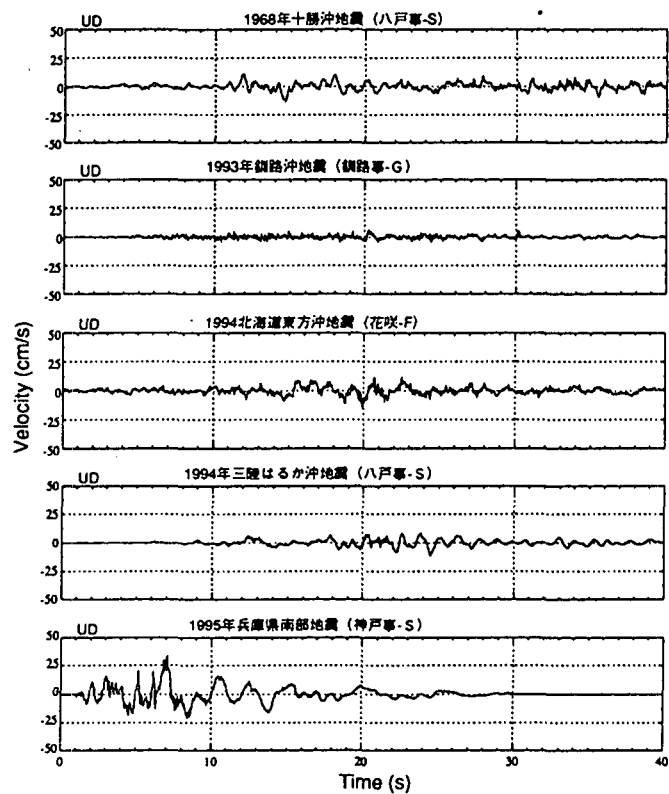


図-2 (b) 速度時刻歴 (鉛直方向)

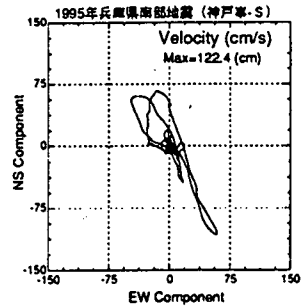
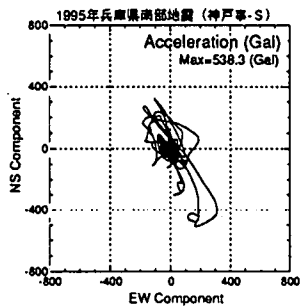
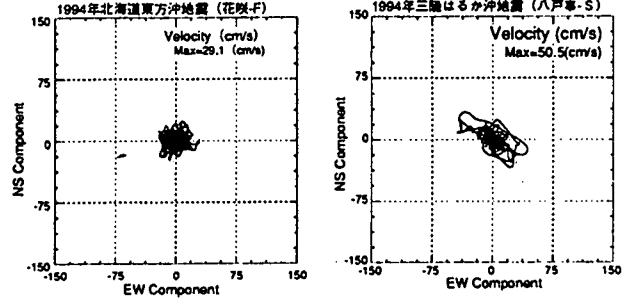
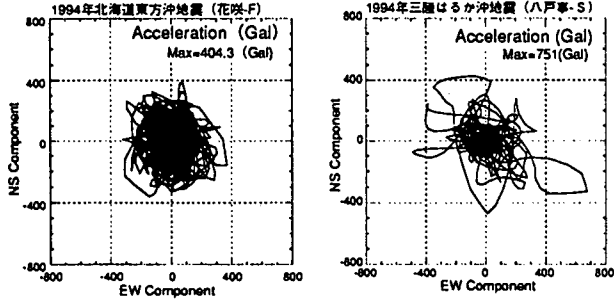
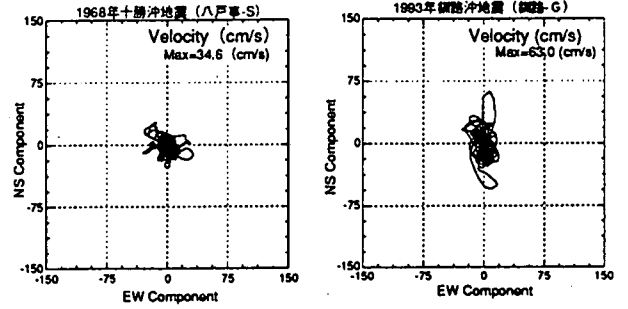
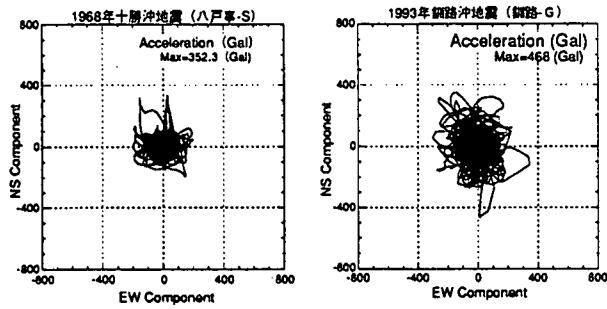


図-3 水平面内の加速度軌跡

図-4 水平面内の速度軌跡

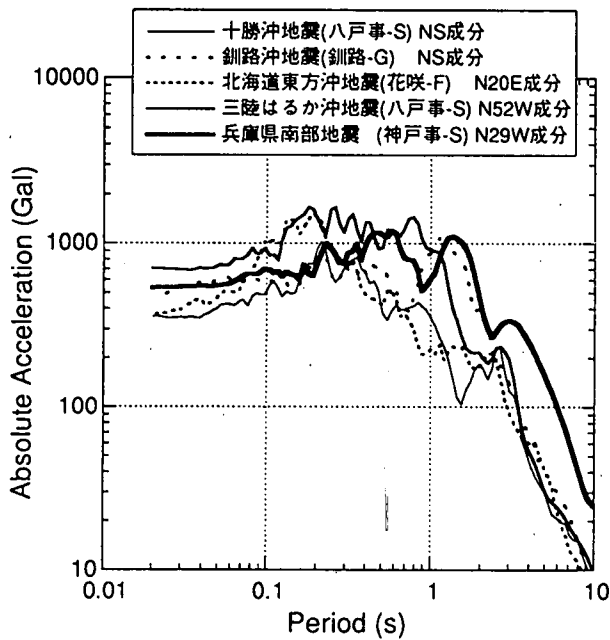


図-5 絶対加速度応答スペクトルの比較

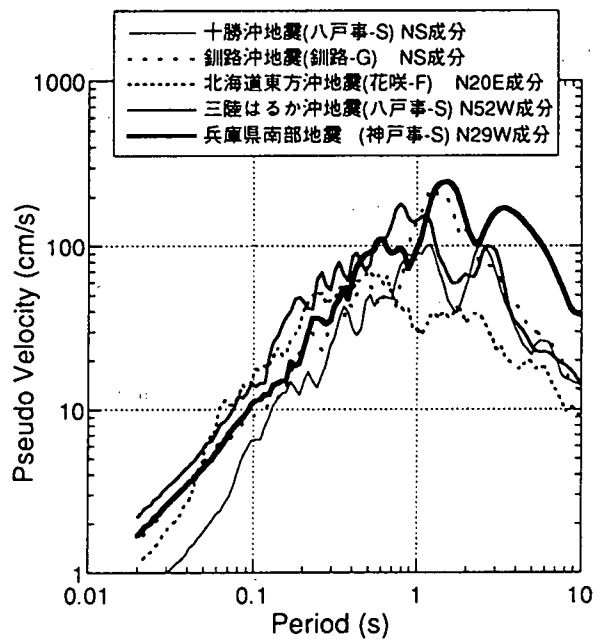


図-6 疑似速度応答スペクトルの比較

設を対象として、ケーソン被災量の代表としての水平変位量と作用地震動との関係を調べ、若干の考察を行う。今回の整理では、ケーソンの最大水平変位と後述する危険度および地震動の入力エネルギーに基づく指標との関係を整理する。対象とした地震は全7地震、強震記録は12記録、ケーソン式岸壁の被災事例は46施設である。また、対象とした地震は、1968年十勝沖地震、1982年浦河沖地震、1983年日本海中部地震、1993年釧路沖地震、1994年北海道東方沖地震、1994年三陸はるか沖地震、1995年兵庫県南部地震である。その中では、釧路沖地震と兵庫県南部地震の際の被災事例が多く、それぞれ15施設、14施設である。これらの被災事例を用いた整理を、以下に行う。但し、これらのデータには、液状化が確認されている施設も含まれている。また、兵庫県南部地震の際の神戸港のケーソン式岸壁に関しては、ケーソンマウンド直下の置換砂の有無およびその層厚が、ケーソンの被災程度に大きく影響していることが、振動台を用いた模型実験⁹⁾および数値計算¹⁰⁾により明らかになっている。さらに、ケーソンの水平変位は、主にケーソンマウンドと置換砂間の滑りによるものであることが第三港湾建設局の地震後の現地調査⁹⁾により確認されている。従って、今回対象とする被災データに関しては、種々の被災形態のものが含まれており、注意が必要である。

(1) 危険度とケーソン水平変位

震度法による現行基準に従えば、地震時に構造物に作用する作用震度がケーソン式岸壁の破壊震度を超えた場合、その構造物は破壊することになる。

但し、港湾構造物の耐震設計で用いられる作用震度は多数の建設実績や既往の地震による被害の事例をもとに、工学的判断に基づいて定められるものである。ここで言う作用震度は、港湾構造物の一つである重力式岸壁の地震被災例を現行の設計法で解析した結果によって得られた関係より求められる¹²⁾。作用震度と作用加速度の関係式を以下に示す。

$$\left\{ \begin{array}{l} K_e = \left(\frac{\alpha}{g} \right) \dots \dots \dots (\alpha \leq 200Gal) \\ K_e = \frac{1}{3} \left(\frac{\alpha}{g} \right)^{\frac{1}{3}} \dots \dots \dots (\alpha \geq 200Gal) \end{array} \right.$$

ここに K_e : 作用震度、 α : 地盤加速度 (Gal)、 g : 重力加速度 (980Gal) である。この関係式により推定される作用震度は、大規模な地震を想定した地域の構造物の設計震度の推定に役立っている。一方、ケーソン式岸壁の破壊震度とは、ケーソンの3つの破壊モードである転倒・滑動・滑りの内、安全率が最小になるモードによって定まる震度を表わす。

既往の研究では、ケーソン式岸壁の各種被災量を現行の港湾構造物の基準に準拠した形で、上部がとりまとめている¹³⁾。この整理では、構造物に作用する作用震度が破壊震度に比較して大きければ大きいほど被災変形量も大きくなると仮定し、作用震度 (K_e) と破壊震度 (K_c) の比 (K_e/K_c) を危険度と定義し、危険度と被災変形量の関係を求めている。但し、この整理においては、液状化による被災事例は除去してある。これは、液状化が生じた場合、震度法の概念では、その被害を説明できないからである。また、港湾の現行設計法では、事前に液状化すると判定された地盤に関しては、なんらかの地盤改良を施し、液状化しない地盤にすることを基本としている。しかし、現実には既存岸壁等では対策が為されていないものもあり、種々の被災形態に対応する被災変形量の推定が望まれている。よって、今回の整理では液状化・非液状化の区別はせずに被災データを整理した。

上部¹³⁾の研究成果によると、重力式岸壁に関しては、最大水平変位と危険度との相関が、他の被災量 (平均水平変位や最大・平均水平変位/ケーソン高さ等) との相関よりも高いという結果が得られている。従って、本研究においても、最大水平変位と危険度との関係を整理することとする。また、作用震度の計算の際に与える地盤加速度 α は、各港湾で得られた加速度記録を岸壁法線に直交する方向に直し、その成分の最大加速度を与えた。

図-7に最大水平変位と危険度の関係を示す。図中の記号は、地震ごとに異なる記号を用いている。この図より、危険度が1.0以下では、比較的ケーソン水平変位は小さいが、危険度が1.0を超える付近において変位は大きくなる傾向にあることがわかる。設計上、危険度1.0の時にケーソンは破壊することになるが、この結果はこれを支持するものとなっている。また、危険度が大きくなるにつれて、水平変位量も

大きくなる傾向にあるが、一方では危険度が2を超えるような場合でも、変位がほとんどない事例もあり、データは大きくばらつくようになる。

(2) 地震動の入力エネルギーとケーソン水平変位

ケーソンの水平変位量に影響を与える要因は多数あるが、地盤条件や構造断面といった要因の他に、もう一つ重要なファクターがある。それはケーソンに作用する地震動の特徴である。地震動を特徴づけるものとして、加速度や速度の最大値といった指標や、振動型・衝撃型といった曖昧なものまで多々ある。しかし、実際のケーソン模型の実験を行えば容易に確認できるが、ある程度のレベル以上の地震動が作用している間、ケーソンは海側へ移動し続ける。これは、ケーソン式岸壁の構造は海側と陸側のバランスが悪く、バランスの不釣り合いを解消するまで、ケーソンが移動するためである。また、ケーソン周辺地盤に入力する総エネルギーが大きくなるほど、地盤の軟化は進行し、地盤の変形量は大きくなると考えられる。従って、地震動の作用している継続時間と地震動の本来持っている総エネルギーは、ケーソンの水平移動量に非常に大きな影響を与えていると考えられる。

弾性体中を進行するせん断波が単位面積を通過する総エネルギー (E_{all}) は単純に下式 (1) で表わせる。

$$E_{all} = \rho V_s \int_0^T v(t)^2 dt \dots\dots (1)$$

$$E_v = \int_0^T v(t)^2 dt \dots\dots (2)$$

ここに、v(t) は弾性体の振動速度、tは時刻、Tは継続時間、ρは物体の密度、V_sは物体のせん断波速度である。せん断波速度V_sと密度ρが一定と仮定すると、ケーソン周辺地盤に入力する単位面積を通過する総エネルギーは、式(2)で表わせる地盤速度v(t)の2乗を地震継続時間で積分した値(以下、E_vと呼ぶ)に比例する。

ケーソン周辺地盤に入力した地震動のエネルギーは、反射して出て行くもの、地盤の非線形化により消費されるもの、さらにケーソンの移動に消費されるエネルギーに大別される。従って、入力したエネルギーE_vの一部が、ケーソン背面の土圧としてケーソンを海側へ移動させるエネルギーに変換されると

考えられる。この比率をCとすると、ケーソンの背後地盤がケーソンを移動させるポテンシャルは、E_{all}・Cと表わせる。ケーソン背面壁が受ける背後地盤からの土圧はケーソン高さHの2乗に比例するので、この比率Cは、H²に比例すると考えられる。従って、入力地震動がケーソンを移動させるエネルギーポテンシャルは E_{all}・H² に比例する。

一方、重量W、高さH、幅Dのケーソンが滑動により水平方向に距離x移動したと仮定すると、その際に摩擦により消費されるエネルギーは、ケーソンとマウンド間の動摩擦係数をμとすると μ Wx と表わせる。またケーソンの単位体積重量をγ_cとすると、この量は、μ γ_c HDx と表わせる。

ここで、ケーソンの摩擦により消費されるエネルギー μ γ_c HDx と、入力地震動がケーソンを移動させるエネルギーの代表値 E_{all}・H² とは比例すると考えられるので、以下の関係式 (2) が得られる。よって、ケーソンの水平移動量xに関しては、式 (3) の関係が成り立つ。さらに、物体の密度ρ、せん断波速度V_s、ケーソンの単位体積重量γ_cを一定とし仮定すれば、先に示したE_vを用いて式 (4) のような関係が推定される。

$$\mu \gamma_c HDx \propto E_{all} \times H^2 \dots\dots (3)$$

$$x \propto E_{all} \times \frac{H}{\mu \gamma_c D} \dots\dots (4)$$

$$x \propto E_v \times \frac{H}{D} \dots\dots (5)$$

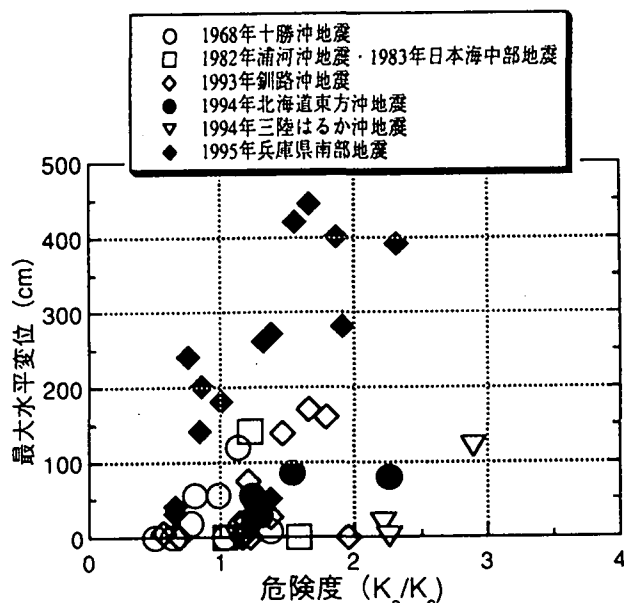


図-7 危険度とケーソン最大水平変位の関係

式(5)の関係は、地盤に入力するエネルギーが大きいほど、ケーソン高さが大きいほど、さらにケーソン幅が小さいほど、ケーソンの水平変位が大きくなることを示している。また、今回は簡単のため、地表で得られた速度記録(加速度記録を1回積分)を E_v の算出に用いた。また、 E_v の計算に当っては、危険度と同様にケーソン岸壁法線に直交する成分に速度波形を偏角し、その速度波形を用いた。これにより、地震動の方向性が考慮される。

図-8に $E_v \times H/D$ とケーソン水平変位の関係を示す。危険度と水平変位の関係と比べて、相関が若干良くなっている。簡単な仮定に基づき、かつ種々の被災事例が含まれているにもかかわらず、ケーソンの最大水平変位と各地震動の関係はうまく表現されている。この指標でみると、兵庫県南部地震の入力エネルギーは、他の地震動に比べて非常に大きいものであったことがわかる。また、三陸はるか沖地震と兵庫県南部地震の水平最大加速度は、同程度であったがエネルギーで比較すると大きく違うことがわかる。このように、地震動の方向性と入力エネルギーはケーソンの最大水平変位に大きな影響を与えることが明らかになった。今後は、各断面について置換砂の有無、地盤条件・液状化等の影響を詳細に検討する必要がある。また、模型実験・数値計算によって、様々な特徴を持つ地震動をケーソンに作用させた、この結果との比較・検証を行う予定である。

4. おわりに

港湾地域で得られた既往大地震の比較により、兵庫県南部地震の地震動の特徴が明らかになった。また、新しい試みとしてケーソン式岸壁の最大水平変位(46被災事例)を地震動のエネルギーに基づいた指標を用いて整理した。その結果、提案した指標はケーソンの最大水平変位量と整合性のあるものであった。

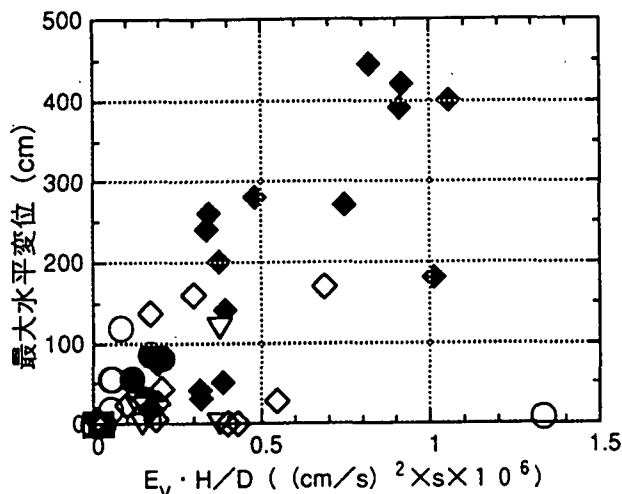


図-8 $E_v \times H/D$ とケーソン最大水平変位の関係

【参考文献】

- 1) 井合進：ケーソン式岸壁の被害の特徴、土木学会誌80-7、pp.46-49、1995年6月
- 2) 田中祐人、阿比留久徳、他：兵庫県南部地震によるコンテナクレーンの被災状況と地震時の応答について、本講演会に投稿中
- 3) 松永康男、桜井博孝、他：港湾地域強震観測年報(1992&1993)、港湾技研資料、No.776、1994
- 4) 横山淑子、倉田栄一：港湾地域強震観測地点資料(その4)、港湾技研資料、No.298、1978
- 5) 上田、稲富、他：1993年釧路沖地震港湾被害報告、港湾技研資料、No.766、1993
- 6) 倉田栄一、土田肇：港湾地域強震観測地点資料(その2)、港湾技研資料、No.107、1970
- 7) 松永康男、桜井博孝、他：1993年釧路沖地震の港湾地域における強震記録、港湾技研資料、No.777、1994
- 8) 吉田望：1995年兵庫県南部地震におけるポートアイランの地震応答解析、土と基礎、Vol.43、No.10 pp.49-54、1995
- 9) 運輸省港湾局・港湾技術研究所：地震対策に関する港湾技術セミナーテキスト、1995年11月
- 10) 一井康二、井合進、他：有効応力解析によるケーソン式岸壁の被災原因分析、本講演会に投稿中
- 11) 菊地正幸：遠地の強震記録による震源メカニズム、兵庫県南部地震調査報告会記録、第四紀世学会、1995
- 12) 野田節男、上部達生、他：重力式岸壁の震度と地盤加速度、港湾技術研究所報告、第14巻、第4号、pp.67~111、1975
- 13) 上部達生：地震被災事例に基づく重力式および矢板式係船岸の被災変形量と被災額の推定、港湾技研資料、No.473、1983

A Comparison of Strong-Earthquake Records in Port Areas and Considerations in Horizontal Displacement of Caisson Type Quay Walls.

Masafumi Miyata, Atsushi Nozu, Takahiro Sugano, Susumu Iai,

Through a comparison of strong ground motion records of 1995 Hanshin Great Earthquake and those of previous great earthquakes, characteristic of the Hanshin Great Earthquake was identified.

46 earthquake damage data of caisson type quay walls were put in order with two factor. One was seismic safety factor according to present standards for port facilities. The other was newly proposed factor based on energy of ground motion due to earthquakes. The factor took effect of direction of ground motion into consideration. The results showed that the later factor had a correlation between lateral displacement of the caissons.