

港湾技研資料

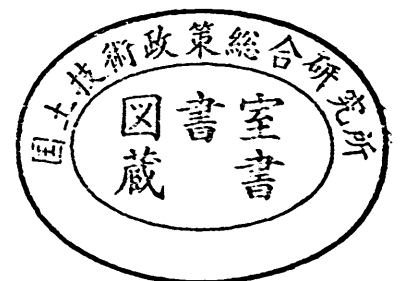
TECHNICAL NOTE OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

No. 893 Dec. 1997

距離減衰式から推定した地盤加速度と設計震度の関係

野	津	厚
上	部	生
佐	藤	博
篠	澤	巧

運輸省港湾技術研究所



目 次

要旨	4
1. はじめに	5
2. 工学的基盤における最大加速度等の距離減衰	6
2.1 検討の背景と目的	6
2.2 目的変数と説明変数	6
2.3 距離減衰式に関する港湾技術研究所における既往の研究	7
2.4 データベースの作成	7
2.5 距離減衰式の関数形	8
2.6 回帰分析手法-二段階回帰分析	10
2.7 震源近傍における最大地動-兵庫県南部地震の強震記録	10
2.8 回帰分析結果と考察	11
3. 強震記録の上下動成分に関する検討	18
3.1 検討の背景と目的	18
3.2 検討対象記録	21
3.3 上下最大加速度と水平最大加速度	21
3.4 合震度が最大となる時刻の水平加速度と上下加速度	22
3.5 合震度と水平震度	25
3.6 上下水平最大加速度比と震央距離	25
4. 工学的基盤における最大加速度等の期待値	28
4.1 検討の背景と目的	28
4.2 期待値の算定方法	28
4.3 期待値の算定結果	30
5. 地震動の最大加速度等と作用震度の関係	35
5.1 検討の背景と目的	35
5.2 検討方法	45
5.3 重力式岸壁に関する検討結果	55
5.4 矢板式岸壁に関する検討結果	61
6. 港湾構造物の耐震設計で考慮する地震外力	67
6.1 概要	67
6.2 耐震強化岸壁の耐震設計で考慮する地震外力	68
6.3 一般岸壁の耐震設計で考慮する地震外力	85
6.4 設計用入力地震動設定プログラム	85
7. 結論	100
8. あとがき	101

参考文献 102

記号表 104

Relation between Seismic Coefficient and Peak Ground Acceleration Estimated from Attenuation Relations

Atsushi NOZU*
Tatsuo UWABE**
Yukihiro SATO***
Takumi SHINOZAWA*

Synopsis

This research reviews attenuation of peak ground acceleration(PGA), statistical characteristics of vertical ground motion, expected value of PGA and relation between seismic coefficient and PGA, all of which are the basis for the present design standard of port structures. This review was conducted because of the serious damage of Kobe port, etc. due to the Hyogo-ken Nanbu Earthquake of Jan 17, 1995. After the reviews, new philosophy of aseismic design force for port structure is presented. Following conclusions are obtained in this research.

- ① Attenuation relations for corrected PGA, PGA of SMAC-B2 type accelerograph(SMAC PGA), PGV, PGD on base layer are newly obtained through statistical analysis of strong ground motion. Attenuation relation for SMAC PGA gives larger value in the near field than conventional attenuation relation presented by Noda et al.(1975) and consistent value in the far field (over several 10km) with conventional relation.
- ② According to statistical analysis of vertical ground motion, effect of vertical seismic motion is found to be small on the safety factor for sliding of rigid structure.
- ③ Expected values of PGA, etc. on base layer in Japanese coastal area for the return period of 75 years are computed based on newly derived attenuation relations. Newly obtained expected values of SMAC PGA are larger than the values obtained by Kitazawa et al.(1984) in the range of large PGA.
- ④ Relation between PGA, etc. and seismic coefficient for gravity type quaywall and anchored sheet-piling quaywall are investigated. Relation between PGA and the upper limit of seismic coefficient presented by Noda et al.(1995) is confirmed to be valid for gravity-type quaywall. The same relation is almost applicable also for anchored sheet-piling quaywall.
- ⑤ New philosophy of aseismic design force for port structure is presented.

Keyword: Hyogo-ken Nanbu Earthquake of 1995, PGA, Attenuation relation, Vertical motion, Expected value, Seismic coefficient, Gravity-type quaywall, Anchored sheet-piling quaywall, Seismic Load

* Member of Earthquake Disaster Prevention Laboratory, Structural Engineering Division

** Chief of Earthquake Disaster Prevention Laboratory, Structural Engineering Division

*** Member of Geotechnical Earthquake Engineering Laboratory, Structural Engineering Division

Port and Harbour Research Institute, Ministry of Transport
Address: 3-1-1 Nagase Yokosuka 239, Japan
Phone: +81-468-44-5030
Fax: +81-468-44-0839
E-mail: nozu@ipc.phri.go.jp

距離減衰式から推定した地盤加速度と設計震度の関係

野津 厚*
上部達生**
佐藤幸博***
篠澤 巧*

要 旨

本研究は、1995年1月17日に発生した兵庫県南部地震による神戸港等の被害の甚大さに鑑み、港湾構造物の耐震設計の拠り所となっている地震動の距離減衰式、地震動の上下動成分の特性、加速度期待値、震度と加速度の関係等について包括的な見直しを実施し、新しい地震外力の考え方を整理したものである。本研究の主要な結論は以下に示す通りである。

- ①強震記録の統計解析により工学的基盤における補正最大加速度、SMAC最大加速度、最大速度および最大変位の距離減衰式を新たに求めた。SMAC最大加速度に関する距離減衰式は、従来より港湾の分野で用いられている野田らの式と遠方（数10km以遠）で整合するものとなった。
- ②地震動の上下動成分について見直しを実施したところ、剛体構造物の地震時の滑動安定性に対する上下動の影響は大きくないことが確認された。
- ③わが国の沿岸地域の工学的基盤における最大加速度等の75年期待値を新たに求めた。今回得られたSMAC最大加速度の期待値は最大加速度の大きな領域ではこれまで用いられている北澤らの求めたものと比較して大きい傾向にある。
- ④重力式岸壁および矢板式岸壁の作用震度とSMAC最大加速度との関係の見直しを実施したところ、野田らにより提案された重力式岸壁の作用震度の上限を与える式の妥当性が確認された。同様の関係は矢板式岸壁にも準用できると考えられる。
- ⑤港湾構造物の新しい地震外力の考え方を整理した。

キーワード：1995年兵庫県南部地震、最大加速度、距離減衰式、上下動、期待値、設計震度、重力式岸壁、矢板式岸壁、地震外力

* 構造部地震防災研究室
** 構造部地震防災研究室長
*** 構造部地盤振動研究室

〒239 横須賀市長瀬3-1-1
運輸省港湾技術研究所
Phone: 0468-44-5030
Fax: 0468-44-0839
E-mail: nozu@ipc.phri.go.jp

1. はじめに

1995年1月17日に発生した兵庫県南部地震では、わが国の外貿コンテナ貨物の3割を取り扱う神戸港の港湾施設は壊滅的な被害を受けた。災害復旧費用は神戸港だけで約5600億円に達した¹⁾。本研究はこの被害の甚大さに鑑み、港湾構造物の耐震設計の外力設定の拠り所となっている地震動特性に関する知見（距離減衰特性、上下地震動の特性、加速度期待値、震度と加速度の関係等）について包括的な見直しを実施し、耐震設計で考慮する地震外力の考え方を整理したものである。

第一に、地震動の最大加速度等の距離減衰特性について見直しを実施した。兵庫県南部地震では神戸市内で震源近傍の強震記録が得られたが、大地震の震源近傍の記録が得られたのはわが国の強震観測史上ほぼ初めてのことである。1964年新潟地震では震源に近い新潟市内で強震記録が得られたが、この記録は液状化の影響を受けていると判断され、震源近傍の記録として工学的に活用されていない²⁾。従って、兵庫県南部地震で得られた神戸市内の強震記録は非常に貴重であり、こうした記録に基づいて地震動特性の見直しを実施することは極めて重要である。これまで港湾の分野では野田ら³⁾により提案された工学的基盤における最大加速度の距離減衰式が一貫して用いられてきた。この式が提案された当時は震源近傍での強震記録はほぼ皆無であったため、野田らは便宜上震源域での最大加速度はマグニチュードによらず400Galであるとして距離減衰式を求めた。震源近傍での最大加速度については記録の集積を待って再検討を行うことが課題であるとしていた³⁾。そこで、本研究では兵庫県南部地震で得られた震源近傍の強震記録を活用して距離減衰式の見直しを実施した。また、野田らによる距離減衰式の提案からほぼ20年が経過しており、兵庫県南部地震の記録以外にも多くの貴重な強震記録が得られている。従って、今の段階で距離減衰式の見直しを実施することは時宜を得たものであると考えられる。

第二に、上下地震動の特性について見直しを実施した。大地震の震源近傍では振幅の大きな上下動が発生すると言われることがある。兵庫県南部地震で被災した神戸市内では、確かに振幅の大きな上下動が観測され、このような上下動が構造物の安定に影響するのではないかと懸念が生じた。強震記録の上下動成分について調べた上部らの研究⁴⁾によれば上下動が重力式港湾構造物の安定性に及ぼす影響は大きくないとされているが、ここでは兵庫県南部地震で得られた記録等を活用して、強震記録の上下動成分の特性について改めて統計的な検討を行い、

上下動が重力式港湾構造物の安定性に及ぼす影響について考察した。

第三に、工学的基盤における最大加速度等の期待値について見直しを実施した。最大加速度の期待値に関する既往の研究としては北澤ら⁵⁾の研究がある。北澤らは1885年から1981年までの97年間の地震データと野田ら³⁾の提案した距離減衰式に基づき、わが国の沿岸地域190地点の工学的基盤における最大加速度と再現期間の関係を求めた。本研究では先に述べたように距離減衰式の見直しを実施したので、これに伴い加速度期待値についても見直しを実施する必要が生じた。そこで、北澤らの研究が実施されてから現在に至るまでに新たに蓄積された地震データも活用して、わが国の沿岸地域280地点の工学的基盤における最大加速度等の75年期待値を新たに求めた。また、日本およびその近海の工学的基盤における最大加速度等の75年期待値の分布図を作成した。

第四に、重力式岸壁および矢板式岸壁の作用震度と最大加速度等との関係について見直しを実施した。現行設計法において、固有振動周期が比較的短い構造物は震度法により設計することになっている⁶⁾。耐震設計に用いる震度としては、理論的には地震動の最大加速度を重力加速度で除した値を用いればよさそうに見えるが、実際には、地震力が時間と共に大きさと方向が変化する不規則な外力であること、地震時に構造物に変位が生じて、その値がごく小さければ地震後の調査で変位が生じたかどうか判定不能であること等から、最大加速度と震度とは直接には結びつかない。そこで、耐震設計の目標となる最大加速度が与えられた時に、構造物にどのような震度を与えて設計を行えば良いかが問題となる。野田ら³⁾は、過去の地震による重力式岸壁の被災事例を分析して被災した岸壁に作用した震度（作用震度）を求め、最大加速度と作用震度の上限との関係式として式(1)を提案した。

$$K_h = \frac{1}{3} \left(\frac{\alpha}{g} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (1)$$

ここに K_h は作用震度、 α は最大加速度(Gal)、 g は重力加速度(980Gal)である。また、北島ら⁷⁾は矢板式岸壁の被災事例を分析し、式(1)は矢板式岸壁にも準用できるとしている。式(1)を導く際に、野田ら³⁾および北島ら⁷⁾は被災港湾における最大加速度を距離減衰式により推定している。ところが、先に述べたように本研究で距離減衰式の見直しを実施したので、新しく得られた距離減衰式に基づいて式(1)の妥当性を確認する必要が生じた。そこで、本研究では既往の研究^{3), 7)}

8)⁹⁾・10)で取り扱われた被災事例や長尾ら¹¹⁾によって検討された兵庫県南部地震の被災事例の他に、1982年浦河沖地震、1993年釧路沖地震、1993年北海道南西沖地震、1994年北海道東方沖地震および1994年三陸はるか沖地震の被災事例を新たに検討対象として式(1)の妥当性を確認した。このとき、距離減衰式の他、被災港湾で観測された強震観測記録を活用した。

最後に、港湾構造物の耐震設計で考慮する地震外力の考え方を整理する。兵庫県南部地震を機に、わが国の土木構造物の耐震設計法には新しい考え方が導入された。構造物の耐用年数中に発生する可能性の高い地震動(レベル1地震動)の他に、発生確率は小さいが構造物に深刻な被害を及ぼす地震動(レベル2地震動)についても考慮すべきであるという土木学会の提言がなされている¹²⁾・13)。こうした背景を受け、橋梁の耐震設計法には新たにレベル2地震動の考え方が導入され¹⁴⁾、港湾の分野においても耐震強化岸壁の設計にレベル2地震動の考え方が導入されている¹⁵⁾・16)。こうした点を含め、耐震強化岸壁と一般岸壁のそれぞれについて地震外力の考え方を整理する。また、地震外力算定の際に本研究の2.から5.の成果がどのように利用可能であるかという点について述べる。さらに、本研究の成果を活用して設計用入力地震動を設定するためのプログラムを紹介する。

以下、2.では兵庫県南部地震の震源近傍の強震記録を考慮して工学的基盤での最大加速度等の距離減衰式を新たに求める。3.では強震記録の上下動成分に関して統計的な検討を行う。4.ではわが国の沿岸地域280地点の工学的基盤における最大加速度等の75年期待値を新たに求める。また、日本およびその近海の工学的基盤における最大加速度等の75年期待値の分布図を作成する。5.では重力式岸壁および矢板式岸壁の作用震度と地盤加速度の関係について見直しを実施する。6.では港湾構造物の耐震設計で考慮する地震外力の考え方を整理する。また、地震外力算定の際に本研究の2.から5.の成果がどのように利用可能であるかという点について述べる。さらに、本研究の成果を活用して設計用入力地震動を設定するためのプログラムを紹介する。7.では本研究のとりまとめを行う。

2. 工学的基盤における最大加速度等の距離減衰

2.1 検討の背景と目的

地震動の距離減衰式については、港湾の分野では野田ら³⁾が1975年にSMAC-B2型強震計の記録に基づいて工学的基盤の最大加速度に関する距離減衰式を提案して

おり、これが一貫して用いられてきた。しかしながら、距離減衰式は統計解析に基づくものであるから、強震記録の蓄積が進んだ場合には新たなデータベースに基づき再検討を行うことが望ましい。また、野田らの式が提案された当時は得られていなかった震源近傍の強震記録が兵庫県南部地震で得られたので、これらの記録に基づいて距離減衰式の震源近傍における値を再検討する必要が生じた。そこで、工学的基盤における最大加速度等の距離減衰式を新たに求めるとともに、野田らの式との比較を行った。

2.2 目的変数と説明変数

地震動の距離減衰式を回帰分析により求めるが、このときの目的変数は最大加速度等であり、説明変数は「地震の規模」を示す指標として気象庁マグニチュードを、「震源からの距離」を示す指標として断層面距離を採用した。

一般に構造物を建設しようとするとき、工学的基盤面(N値50以上の地層の上面)より上の表層地盤については比較的良好に調査されており、その振動特性を検討することは可能である。一方、工学的基盤面以下の地盤条件については不明な点が多い。そこで、工学的基盤における地震動(正確には工学的基盤面に下方から入射する地震動の2倍)を統計的方法により求め、これを入力条件として表層地盤の地震応答解析を行うことが多い。このため、本研究では工学的基盤における地震動の最大加速度、最大速度および最大変位を統計解析の目的変数とした。工学的基盤における地震動は、強震記録が工学的基盤とみなすことのできる観測点で得られている場合を除き、SHAKE¹⁷⁾により求めた。検討対象とした地震動の成分は、水平2成分のうち大きい方と水平2成分の平均値の両者である。後に示す期待値の検討(4.)や地震外力の検討(6.)では水平2成分のうち大きい方についての距離減衰式を用いているが、野田ら³⁾の提案した距離減衰式は水平2成分の平均値についての距離減衰式なので、比較のために水平2成分の平均値についても検討した。

強震記録の最大加速度は観測に用いられた計器の特性により異なる値となることが知られている。例えば、港湾地域強震観測で用いられているSMAC-B2型とERS型の強震計を比較すると、ERS型は高周波帯域においてSMAC-B2型よりも感度が高いため、より大きな最大加速度を与える傾向にある。従ってこれら二つのタイプの強震計によって得られた最大加速度を混用して統計解析を行うことは好ましくない。ERS型強震計による

記録から SMAC-B2 型強震計による記録と直接比較可能な波形 (SMAC 相当波形) を求める手法は既往の研究で提示されている¹⁸⁾。また, SMAC-B2 型強震計により得られた記録から ERS 型強震計による記録 (正確には若干の計器補正が加えられた補正波形) と等価な波形 (これも補正波形と呼ばれる) を求めることもできる。そこで以下では補正波形の最大加速度を補正最大加速度, SMAC-B2 型強震計による記録および SMAC 相当波形の最大加速度を SMAC 最大加速度と呼んで区別する。

説明変数の一つである「震源からの距離」を示す指標としては, 「震央距離」や「震源距離」は震源近傍に近づくとつれて距離のパラメタとして不適当となるため, ここでは「断層面距離」を指標として用いた。地震学の成果として震源の断層面が与えられている地震¹⁹⁾についてはこれを参考として断層面距離を求めた。また, それ以外の地震では勝又²⁰⁾が用いている実効距離をもって断層面距離に代用した。実効距離とは, 震源を中心とする球状の震源域を仮定したときの, 震源域から観測地点までの最短距離のことである。球状の震源域の半径は次式により求める。

$$\log_{10} \gamma = 0.5M - 2.25 \quad (2)$$

ここに γ は震源域の半径 (km), M は気象庁マグニチュードである。実効距離は野田ら³⁾が距離減衰式を導いた際にも用いられている。

近年の規模の大きな地震についてはほぼ漏れなく震源断層が与えられている。また規模の小さい地震については, 球状の震源域を仮定して求めた距離と「断層面距離」との差は大きくない。従って一部の地震について厳密な意味での「断層面距離」が用いられていないことの影響は小さいと考えられる。

2.3 距離減衰式に関する港湾技術研究所における既往の研究

野田ら³⁾は港湾地域強震観測により得られた加速度記録に基づき基盤における地震動の最大加速度の距離減衰式を求めている。用いた加速度記録は 106 成分であり, これらの記録から地盤の地震応答計算プログラム SHAKE¹⁷⁾を用いて基盤における地震動 (正確には基盤への入射地震動の 2 倍) を求め, その最大加速度をデータベースとしている。目的変数の定義は基盤における最大加速度の水平 2 成分の平均値である。データベースとなった強震記録はすべて, 当時存在した SMAC-B2 型強震計によって記録されたものであるから, 目的変数は 2.2 の定義に従えば SMAC 最大加速度である。なお, 当時は震源近傍の記録はほぼ皆無であり, 野田らは便宜上

震源域での最大加速度はマグニチュードによらず 400Gal であるとして距離減衰式を求めた。震源近傍での最大加速度については記録の集積を待って再検討を行うことが課題であるとしている。

上部²¹⁾は釜石湾口防波堤の設計用入力地震動に関する検討のなかで, 東北地方太平洋岸で得られた強震記録を整理して, 次式で示す距離減衰式を得ている。

$$\log_{10} A = 3.159 + 0.234M - 1.478 \log_{10} R \quad (3)$$

ここに A は基盤最大加速度 (Gal), M は気象庁マグニチュード, R は断層面距離 (km) である。目的変数は厳密には最大加速度の水平 2 成分の大きい方である。また, データベースには様々な計器特性をもつ強震計による記録が含まれる。

井合ら²²⁾は, 福島・田中²³⁾により提案された二段階回帰分析を港湾地域強震観測で得られた記録に適用した。距離減衰式を求めるとき, 最大加速度のデータベースに重回帰分析手法をそのままあてはめると, 地震記録のデータベースに内部的な相関関係があるため, 距離減衰係数として不当に小さな値が求められる。二段階回帰分析は, この問題を回避するための手法として提案されたものである。井合らは二段階回帰分析の有効性を確認するとともに, 結果的には以下の回帰式を得ている。

$$\log_{10} A = 0.552M - 1.965 \log_{10} (\Delta + 30) + 2.103 \quad (4)$$

$$\log_{10} A = 0.559M - 2.057 \log_{10} X + 2.187 \quad (5)$$

$$\log_{10} A = 0.490M - \log_{10} X - 0.00173X + 0.634 \quad (6)$$

ここに A は最大加速度 (Gal), M は気象庁マグニチュード, Δ は震央距離 (km), X は震源距離 (km) である。目的変数は厳密には最大加速度の水平 2 成分の大きい方である。また, データベースには様々な計器特性をもつ強震計による記録が含まれる。

以上のような既往の研究成果をふまえて, 今回新たに工学的基盤における最大加速度等の距離減衰特性について検討を行うこととした。

2.4 データベースの作成

データベース作成の手順は次の通りである。

まず港湾地域強震観測で得られている強震記録のうち, 下記の 2 つの条件を満たすものを選択した。

1) 水平 2 成分の最大加速度 (SMAC-B2 型強震計についても ERS 型強震計についても補正を実施する前の最大加速度) のうちすくなくとも一方が 50Gal を越えてい

ること

2) 当該観測点で工学的基盤までの地盤条件が既知であること

次に、採用した地表または工学的基盤での実測記録をもとに、地盤の地震応答計算プログラム SHAKE¹⁷⁾を用いて工学的基盤での地震動（正確には工学的基盤面への入射地震動の2倍）を求めた。なお、地表で50Gal以上の記録が得られた観測点で、たまたま地表と地中の同時観測を実施しており、地中の記録が得られているということもある。この場合には、地中の記録を入力波形として SHAKE の計算を行い、工学的基盤面への入射地震動の2倍を求めた。このとき、地中の強震記録が50Galを越えているかどうかは問わなかった。また、花咲港など、岩盤上に設置された強震観測点で得られた記録はそのまま工学的基盤での地震動として採用した。さらに、強震計の計器特性を考慮して、工学的基盤での補正最大加速度・SMAC最大加速度・最大速度・最大変位を求めた。最大速度および最大変位を求める際には固定フィルタを用いる方法¹⁸⁾を用いた。

また、神戸市開発局により提供を受けた平成7年兵庫県南部地震のポートアイランドにおける観測記録から SHAKE により K.P.-79m への入射地震動を求め、データベースに加えた。このとき、K.P.-79m における観測波を入力波として地盤の応答計算を行い、他の深さ、すなわち K.P.+4.5m、K.P.-12m および K.P.-28m での観測波と計算結果とが十分に一致することを確認した上で、このときの入射波を採用した。図-1は NS 成分について観測波と計算結果を比較したものである。なお、ポートアイランド K.P.-79m 地点の地震計は水平面内での方向が本来の方向からずれて設置されていたとの指摘²⁴⁾があったので、港湾技術研究所で他の深さの波形との比較・検討を行い、観測記録を水平面内で22度回転させて用いている。また、関西地震観測研究協議会より提供を受けた平成7年兵庫県南部地震の神戸大学および千早における強震記録および神戸海洋気象台における強震記録をデータベースに加えた。これらの記録を採用したのは、記録の得られた地点の地盤条件が工学的基盤に比較的近いと考えたことと、震源近傍におけるデータが不足しているためである。

以上の記録に関して、気象庁が発表している地震のマグニチュード（気象庁マグニチュード）のデータを収集した。また、記録の得られた地点の北緯・東経と当該地震の位置関係から各記録の断層面距離を求めた。

さらに、震源に近い記録を補うため、Campbell²⁵⁾が作成した米国における最大加速度のリストのうち地盤条

件が C (soft rock) または D (hard rock) であるものを最大加速度データベースに加えた。このリストには各記録の表面波マグニチュードが与えられているが、後の統計解析では表面波マグニチュードと気象庁マグニチュードの区別は特に行わなかった。また Campbell のリストに与えられている断層面距離をデータベースに加えた。

つぎに、水平2成分の最大地動の平均値を問題にしているため、水平2成分のうち1成分が欠けているデータは除外した。また、後述のように二段階回帰分析を行う関係上、一つの地震について複数の記録が得られていない場合にはその記録を削除した。また、複数のデータが得られている場合であっても、地震ごとの距離の回帰係数を求め、その値が非現実的な値となる場合にはその記録を除外した。具体的には

$$\log_{10} A_{\text{cor}} = aM - b \log_{10} R + c \quad (7)$$

により地震ごとに距離の回帰係数 b を求め、その値が -2 未満または 10 より大となる場合にはその記録を除外した。ここに A_{cor} は補正最大加速度 (Gal)、 M は気象庁マグニチュード、 R は断層面距離 (km)、 a 、 b 、 c は回帰係数である。

このようにして作成したデータベースのデータ数は、補正最大加速度および SMAC 最大加速度に関して 71 記録 142 成分、最大速度および最大変位に関しては 59 記録 118 成分である。ここでいう水平2成分の平均値に関する距離減衰式とは、個々のデータについて水平2成分の平均を求めることはせず、データベース全体を用いて回帰分析を実施して求められる距離減衰式とした。水平2成分の大きい方に関する距離減衰式を求める際にはデータベースの半分を用いた。

2.5 距離減衰式の関数形

距離減衰式は、その導出の際に用いたデータの存在範囲を超えて外挿して用いられることがしばしばある。たとえば、記録の得られている距離の範囲を超えて震源近傍での地震動を予測するような場合である。このような外挿に耐える距離減衰式を求めるためには、地震動の理論的背景に基づいた回帰モデルを設定する必要がある。福島・田中²³⁾は震源至近距離で最大加速度がほぼ一定値に飽和し、震源域から離れた距離においては実体波による点震源の幾何減衰と粘性減衰の性質を持つようなモデルとして、次式に示すモデルを用いている。

$$\log_{10} A = aM - \log_{10} (R + d 10^{-0.4M}) - bR + c \quad (8)$$

ここに A は最大加速度 (Gal)、 M はマグニチュード、

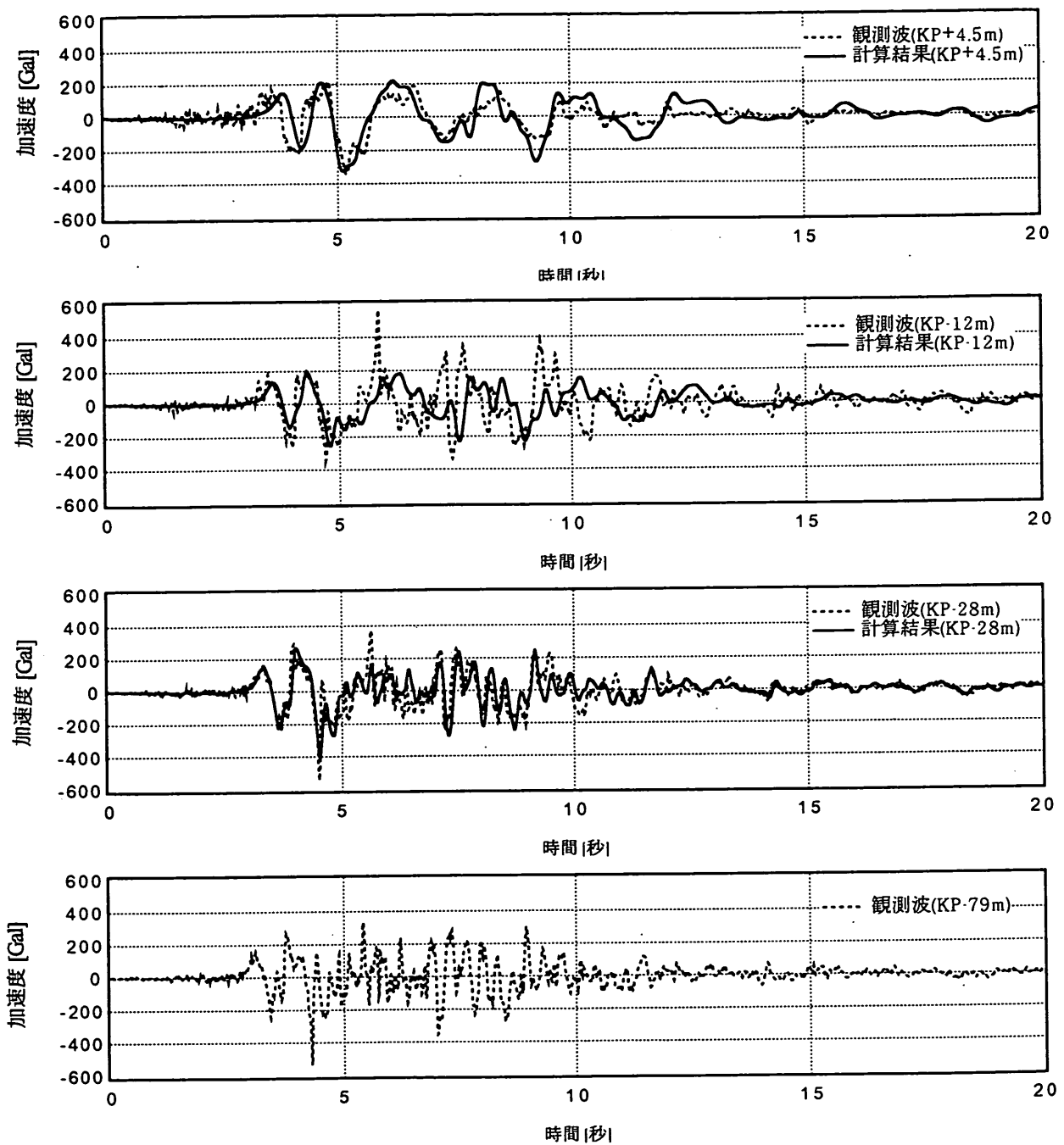


図-1 ポートアイランド鉛直アレー観測波とSHAKEの結果との比較（NS成分）
 （K.P.-79mでの観測波を入力して他の深さでの観測波と計算結果を比較した）

Rは距離（km），a，b，c，d，eは回帰係数である．本研究では補正最大加速度，SMAC最大加速度，最大速度，最大変位の各々に対してこのモデルを適用することとした．このモデルでは回帰係数に $a=e$ という条件を付すと断層面近傍での最大加速度は $A_{R=0} = 10^{-4}$ なるマグニチュードによらない一定値に収束する．本研究では震源近傍での最大加速度がマグニチュードによら

ないとの立場から，最大加速度に関する距離減衰式を求める際には $a = e$ という条件を付すこととした．最大速度および最大変位についての距離減衰式を求める際には同様の条件は付していない．

2.6 回帰分析手法 - 二段階回帰分析

統計解析により距離減衰式を求める際、最大加速度等のデータベースに対して単純に重回帰分析を当てはめた場合には、不当に小さい距離に関する回帰係数が求まる恐れがあると指摘されている^{22)・23)}。この難点を回避するために二段階回帰分析が有効であることが過去の研究により確かめられている^{22)・23)}。そこで、本研究では二段階回帰分析を行うこととした。回帰分析の手順は次の通りである。

1) 回帰係数 d と e の初期値を設定する

2) 地震ごとの回帰係数 l_j を用意し、第1段階として

$$\log_{10} A = \delta_{ij} l_j - \log_{10} (R + d 10^{eM}) - b R \quad (9)$$

により距離の回帰係数 b と地震ごとの回帰係数 l_j の値を求める。ここに A は補正最大加速度などの目的変数、 R は断層面距離、 δ_{ij} は i 番目のデータが j 番目の地震によるものである場合に 1、そうでない場合に 0 である。

3) 第二段階として、

$$l_j = a M_j + c \quad (10)$$

により回帰係数 a と c を求める。

4) もし e と a が一致していなければ $e = a$ とおき 2) をもう一度行う。

5) もし 2) を行った結果前回と同じ b が得られなければ 3) からもう一度やり直す。 b が収束したら計算を終了する。

以上の方法により回帰分析を行うと、パラメタ d および e の初期値の設定によって断層面近傍での目的変数の値は様々に異なる値をとる。この原因としては、震源近傍におけるデータ数が遠方でのデータ数と比較して依然として少ないことがあげられる。そこで本研究では震源近傍の工学的基盤における最大加速度等の値を 2.7 に示すように神戸市内の強震記録を参照してあらかじめ設定

し、この値を満足するように収束計算時のパラメタ d および e の初期値を設定することとした。

2.7 震源近傍における最大地動 - 兵庫県南部地震の強震記録

2.3 で述べたように野田ら³⁾ が距離減衰式を提案した際には、震源近傍の記録は少数であり、震源近傍での最大加速度については記録の集積を待って再検討を行うことが課題とされていた。一方、兵庫県南部地震では震源近傍で多くの強震記録が得られたが、本研究で対象としている工学的基盤における強震記録は依然として少ないのが現状である。こうしたなかで 2.4 で述べたように神戸市開発局より提供を受けたポートアイランド K.P.-79m 地点における加速度記録を SHAKE により工学的基盤面への入射地震動の 2 倍に変換し、データベースに加えた。また、関西地震観測研究協議会による神戸大学の速度記録と気象庁による神戸海洋気象台の記録をデータベースに加えた。ここでは、これら 3 地点の最大加速度等の平均値を求め、これを補正最大加速度、SMAC 最大加速度、最大速度、最大変位の震源近傍での値とすることとした。神戸大学の記録については、基本的には岩盤上の強震記録としての特徴を有するものの、トンネル内での観測点であり、トンネル周辺地盤の非線形化の影響を受けていることも指摘されている²⁶⁾。しかしながら、ここでは震源近傍のデータ数が少ないことからこの記録を採用することとした。神戸海洋気象台の記録についても、必ずしも工学的基盤とみなせる場所で得られた記録ではないが、比較的堅固な洪積層で得られた記録であること、また、震源近傍の記録の数が十分でないことから採用することとした。これら 3 地点の最大加速度等とその平均値を表-1 に示す。最大加速度等の平均値は、水平 2 成分をとともに考慮した計 6 成分の平均値と、水平 2 成分のうち大きい方だけの平均値を求めた。

表-1 兵庫県南部地震の震源近傍における最大加速度等の値

観測地点 (成分)	補正最大加速度 (Gal)	SMAC最大加速度 (Gal)	最大速度 (kine)	最大変位 (cm)
神戸大学 (NS)	270	258	55.1	13.4
神戸大学 (EW)	301	236	31.1	9.3
ポートアイランド-79.0m (NS)	817	570	78.7	20.5
ポートアイランド-79.0m (EW)	718	584	77	15.8
神戸海洋気象台 (NS)	818	761	103.5	21.8
神戸海洋気象台 (EW)	617	586	86.3	17.9
6成分の平均値	590	499	72	16.5
水平二成分の大きい方についての平均値	645	534	79.1	18.6

注) ポートアイランド-79mの最大値は基盤面における2E波の最大値である。

注) ポートアイランド-79mの波形については方向についての補正を行っている。

2.8 回帰分析結果と考察

回帰分析の結果得られた距離減衰式は次の通りである。
水平 2 成分の大きい方に対して

$$\log_{10}A_{COR} = 0.55M - \log_{10}(R + 0.005 \cdot 10^{0.55M}) - 0.00122R + 0.502 \quad (11)$$

$$\log_{10}A_{SMAC} = 0.53M - \log_{10}(R + 0.0062 \cdot 10^{0.53M}) - 0.00169R + 0.524 \quad (12)$$

$$\log_{10}V = 0.48M - \log_{10}(R + 0.014 \cdot 10^{0.43M}) - 0.00060R - 0.324 \quad (13)$$

$$\log_{10}D = 0.62M - \log_{10}(R + 0.018 \cdot 10^{0.43M}) - 0.00067R - 1.886 \quad (14)$$

水平 2 成分の平均値に対して

$$\log_{10}A_{COR} = 0.59M - \log_{10}(R + 0.003 \cdot 10^{0.59M}) - 0.00156R + 0.232 \quad (15)$$

$$\log_{10}A_{SMAC} = 0.51M - \log_{10}(R + 0.0069 \cdot 10^{0.51M}) - 0.00119R + 0.532 \quad (16)$$

$$\log_{10}V = 0.49M - \log_{10}(R + 0.014 \cdot 10^{0.43M}) - 0.00070R - 0.436 \quad (17)$$

$$\log_{10}D = 0.63M - \log_{10}(R + 0.017 \cdot 10^{0.43M}) - 0.00067R - 2.011 \quad (18)$$

ここに A_{COR} は補正最大加速度 (Gal), A_{SMAC} は SMAC 最大加速度 (Gal), V は最大速度 (kine), D は最大変位 (cm), M は気象庁マグニチュード, R は断層面距離 (km) である。これらの曲線を図示すると図-2~5に示すとおりとなる。図-6では回帰分析に用いたすべてのデータを水平 2 成分の平均値に関する距離減衰式とともに示した。

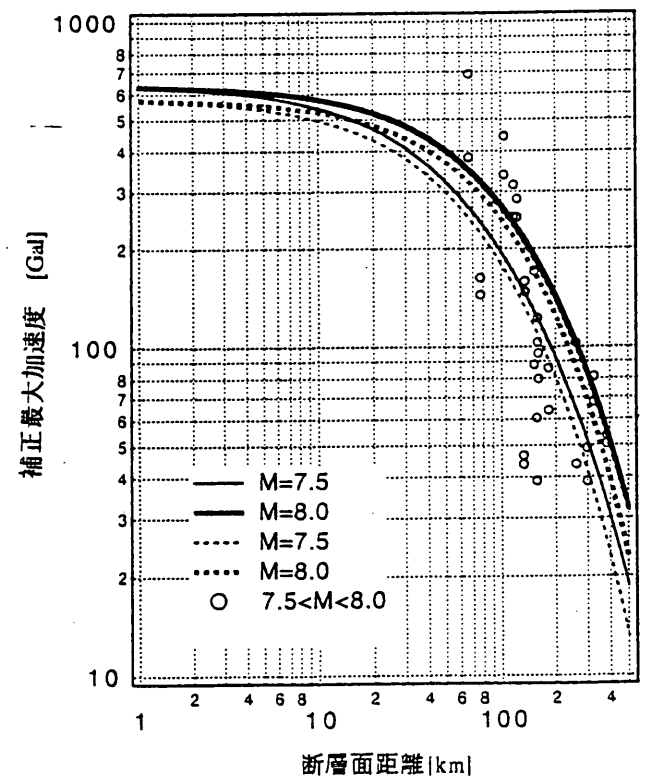
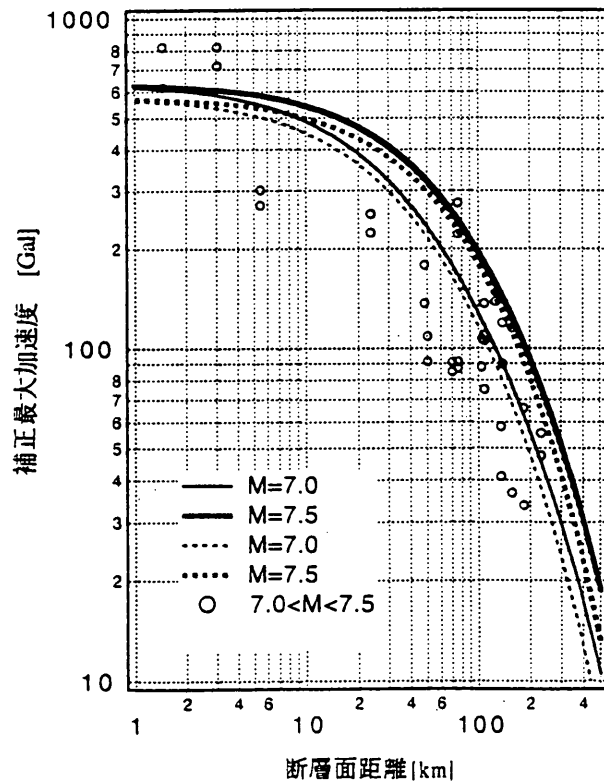
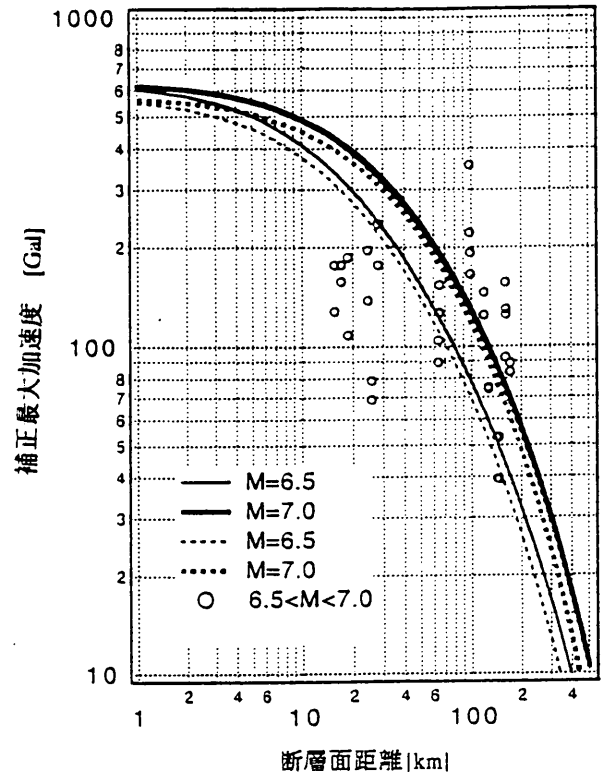
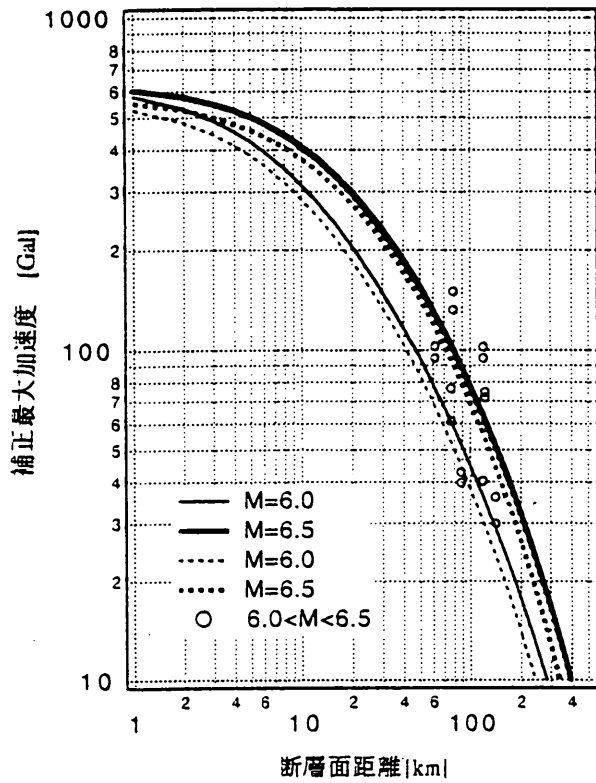


図-2 補正最大加速度の距離減衰式

実線は水平2成分の大きい方についての式、

破線は水平2成分の平均値についての式を示す。

○は統計解析に用いられたデータを示す。

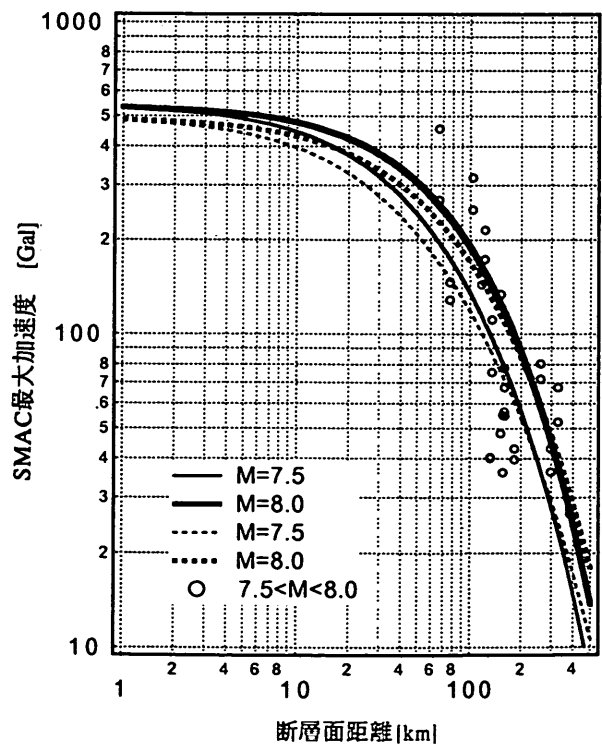
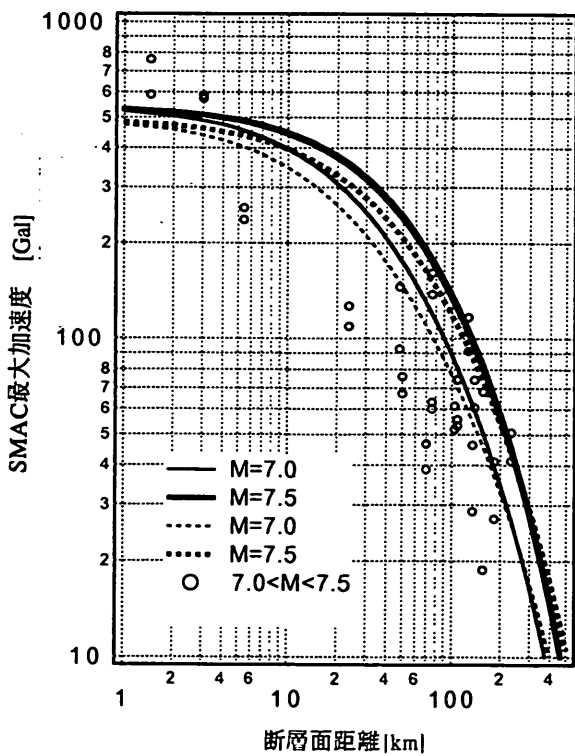
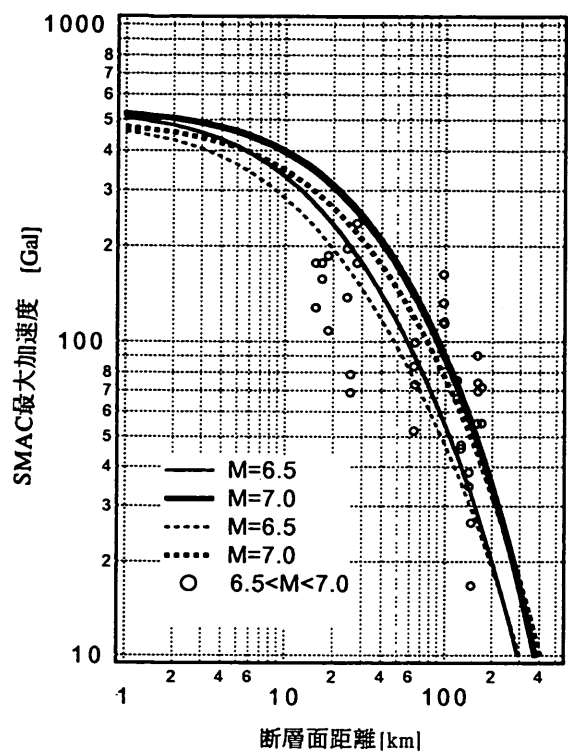
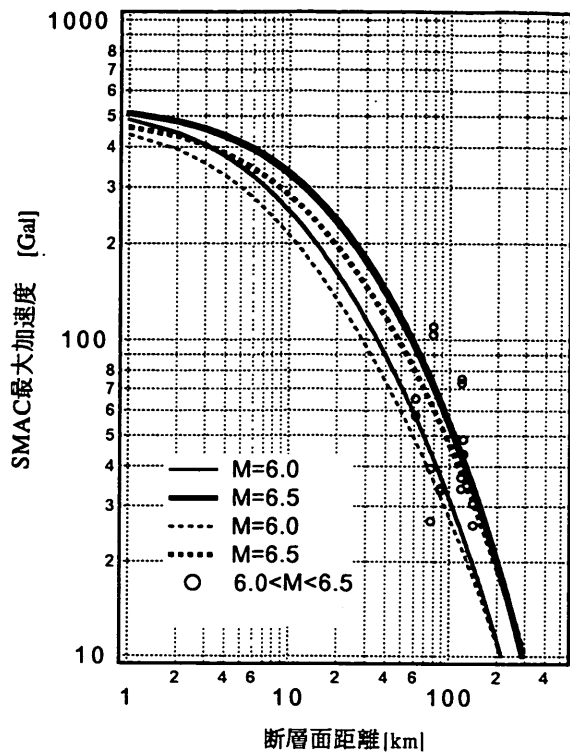


図-3 SMAC 最大加速度の距離減衰式

実線は水平 2 成分の大きい方についての式,

破線は水平 2 成分の平均値についての式を示す。

○は統計解析に用いられたデータを示す。

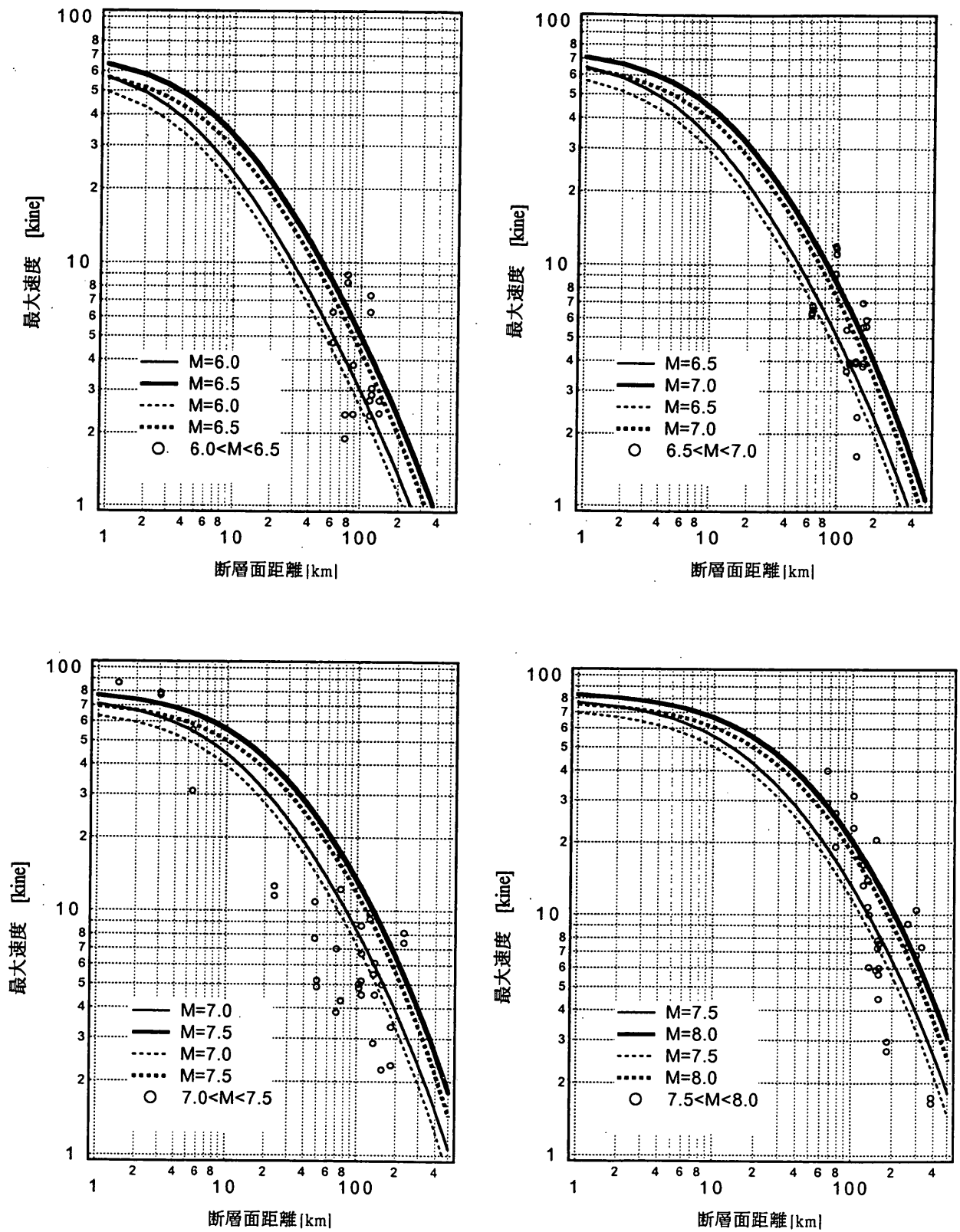


図-4 最大速度の距離減衰式

実線は水平2成分の大きい方についての式、

破線は水平2成分の平均値についての式を示す。

○は統計解析に用いられたデータを示す。

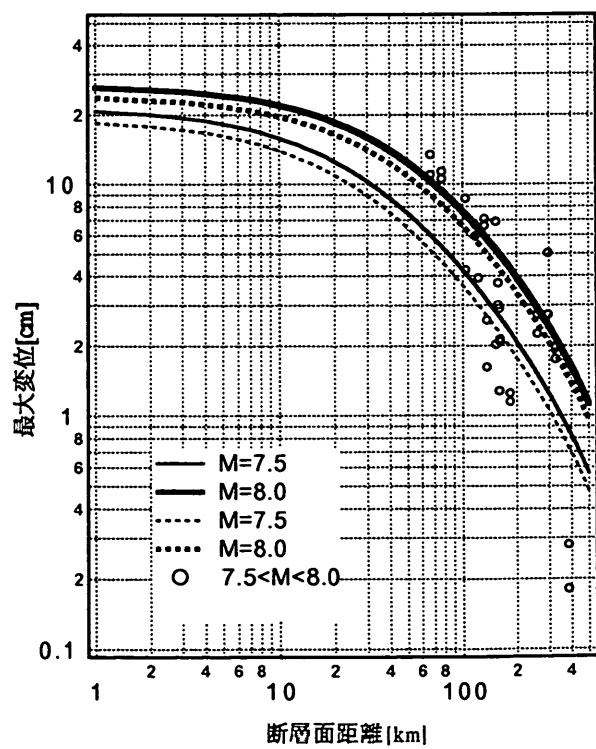
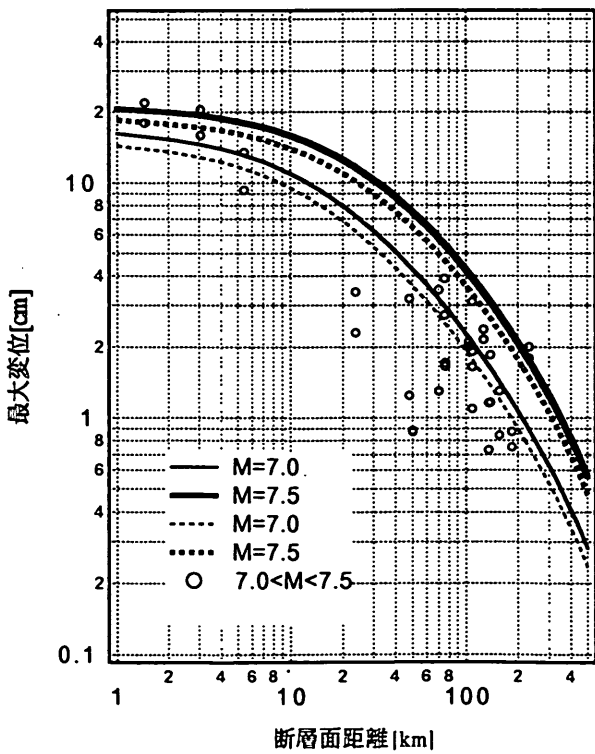
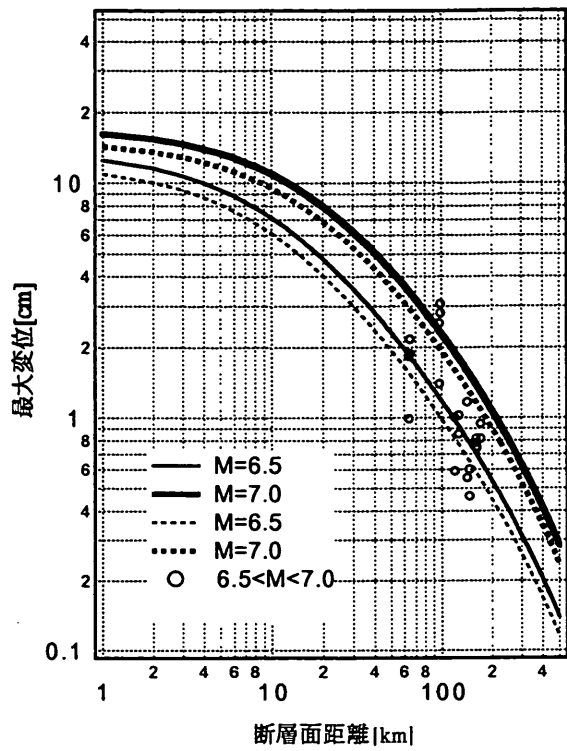
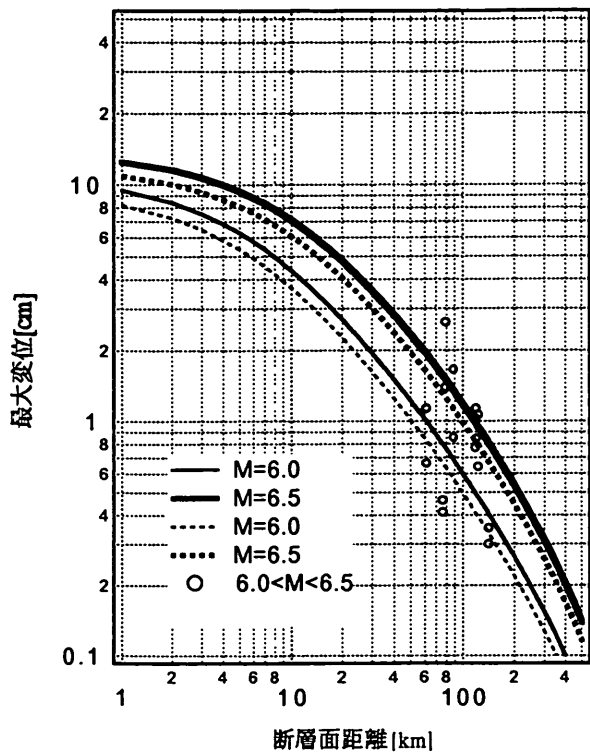


図-5 最大変位の距離減衰式

実線は水平2成分の大きい方についての式、

破線は水平2成分の平均値についての式を示す。

○は統計解析に用いられたデータを示す。

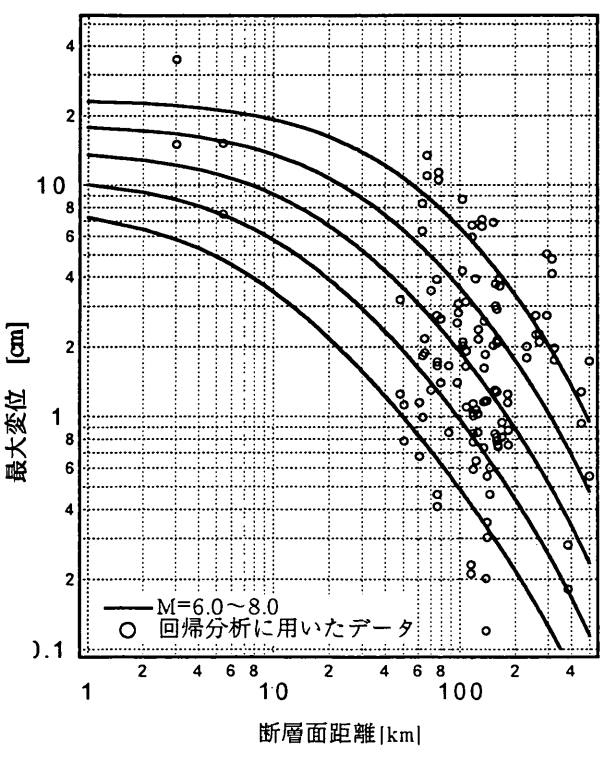
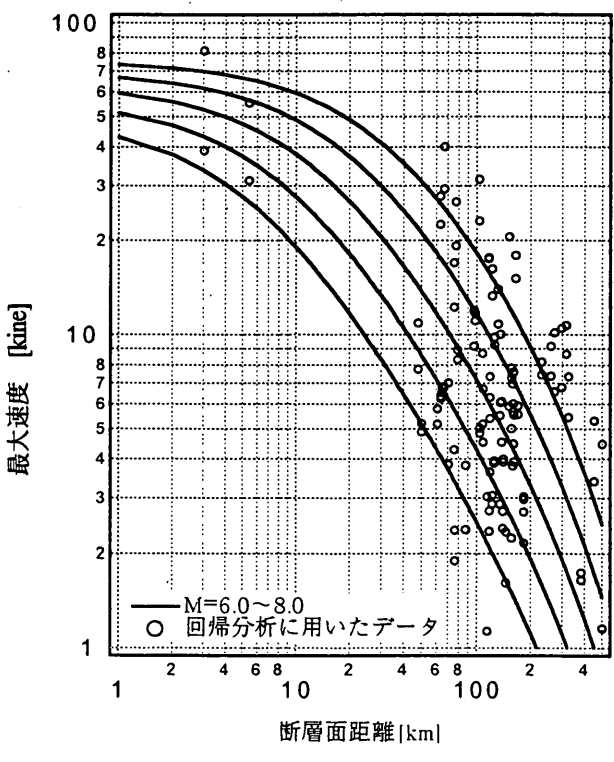
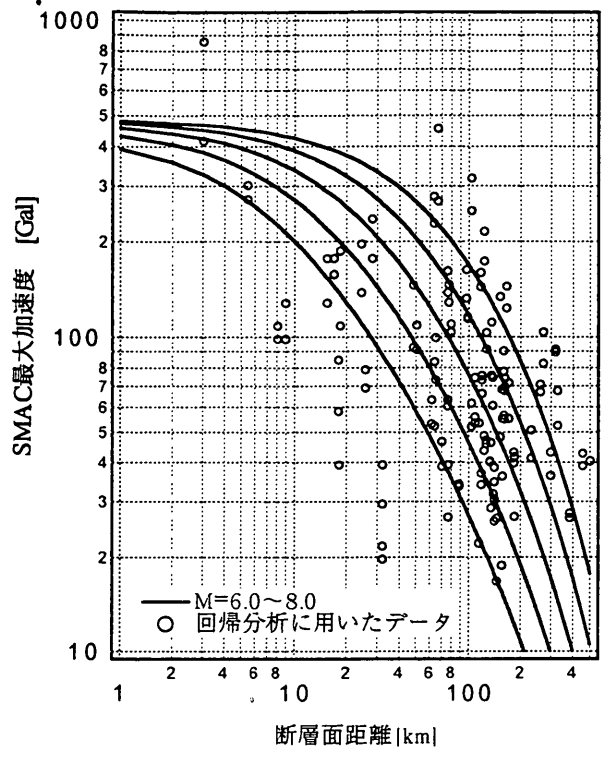
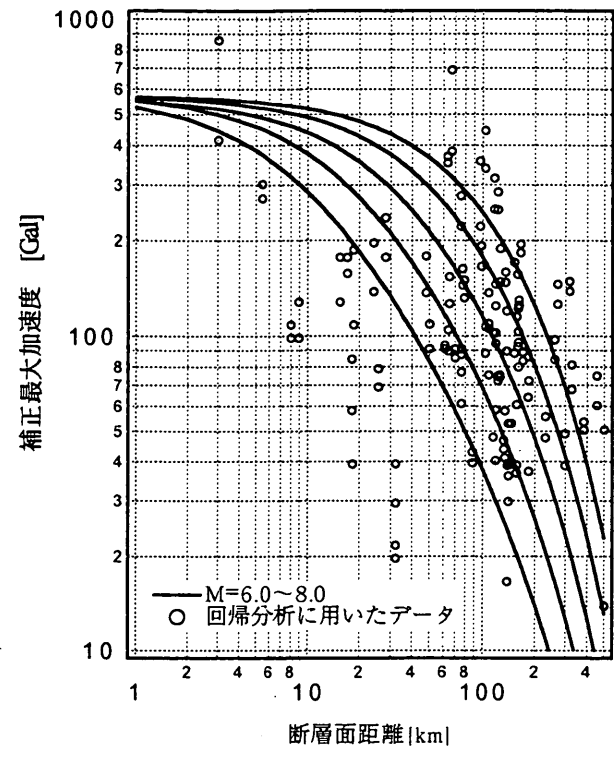


図-6 水平2成分の大きい方に関する距離減衰式と回帰分析に用いたデータ

図-7ではSMAC最大加速度の距離減衰式（水平2成分の平均値）を野田ら³⁾による式と比較している。両者は目的変数・説明変数とも共通であるから、直接比較可能である。新旧の距離減衰式は震源近傍では値が異なるものの、遠方（数10km以遠）においては、 $M=6.0\sim$

6.5 の10km～80kmを除き、互いに整合性のあるものとなっている。このことは、野田らの式が当時の限られたデータの中で地震動の距離減衰特性を良く捉え得ていたことを意味すると考えられる。

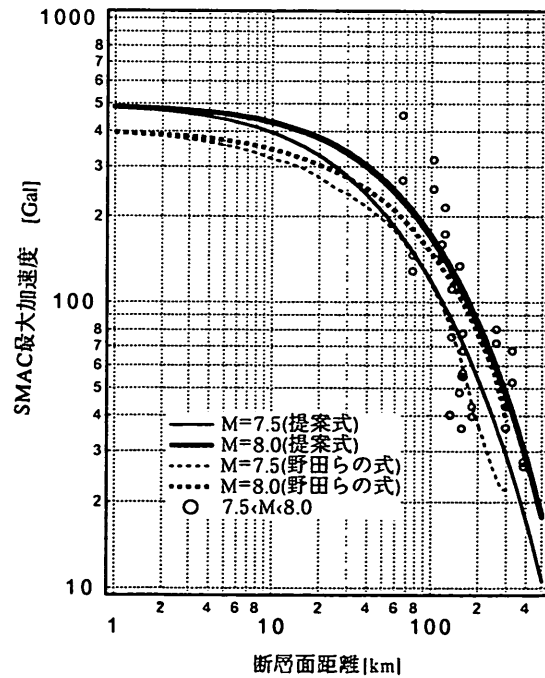
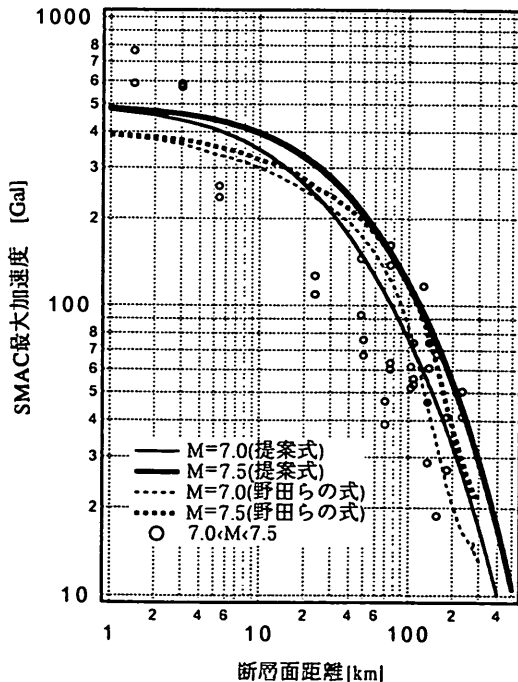
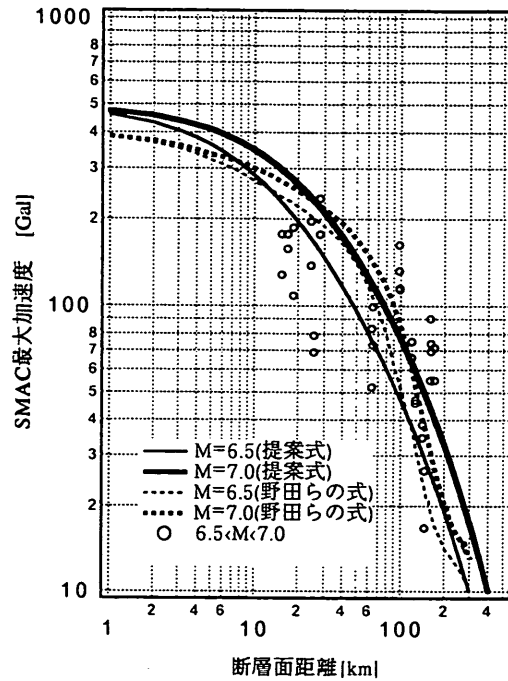
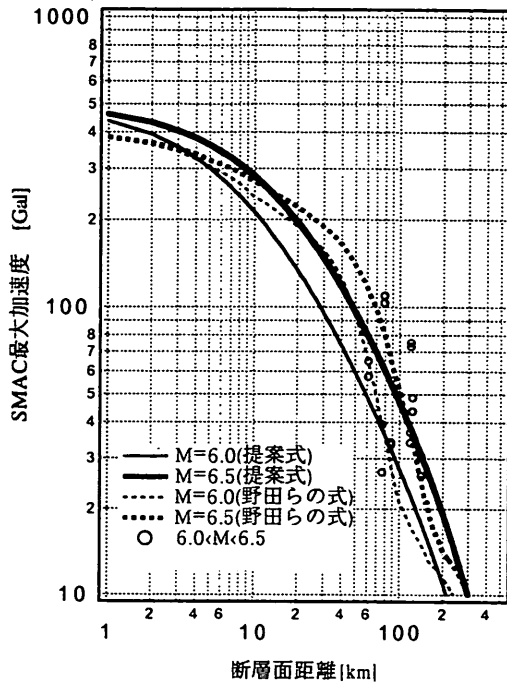


図-7 SMAC最大加速度（水平2成分の平均値）に関する距離減衰式と野田らの式（1975）との比較（両者の目的変数と説明変数は共通であるから直接比較できる）

図-8は補正最大加速度についての距離減衰式（水平2成分の大きい方， $M=7.2$ ）を土岐ら²⁷⁾の収集した1995年兵庫県南部地震の岩盤における最大加速度のデータと比較したものである。土岐らのデータの距離のパラメータは断層線から観測点までの最短距離であるが、兵庫県南部地震は横ずれ断層型の地震であり、なおかつ震源断層がほぼ地表に達していたので、距離減衰式とデータとで距離のパラメータは共通であると考えられる。両者を比較すると、曲線の傾き（距離による減衰の大きさ）については、両者の間に整合性が見られる。最大加速度の絶対値については土岐らのデータの方が小さな値を示しているが、この理由の一つは地盤条件の違いであると思われる。すなわち土岐らのデータのほとんどは工学的基盤よりもさらに堅固な岩盤上で得られたものであり、そのために最大加速度が小さな値を示しているものと思われる。

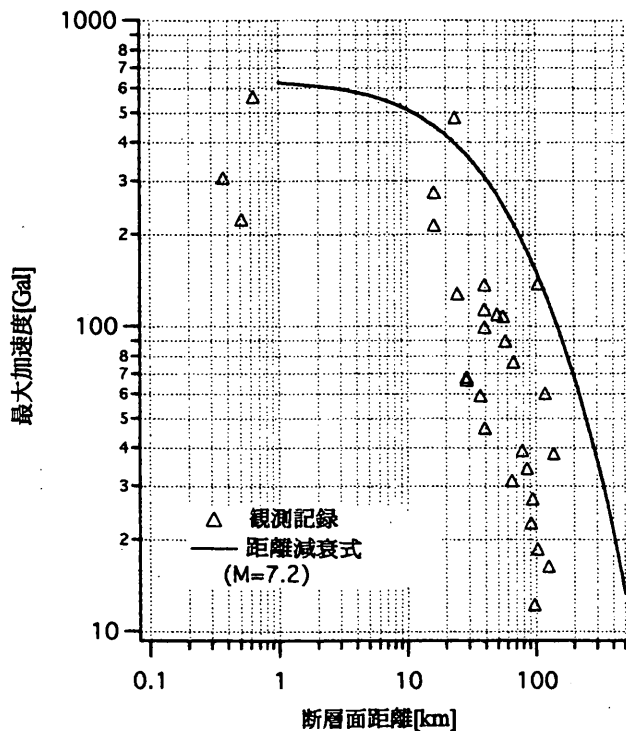


図-8 補正最大加速度に関する距離減衰式（水平2成分の大きい方， $M=7.2$ ）と兵庫県南部地震の岩盤における最大加速度記録の比較

図-9では本研究で得られた最大加速度の距離減衰式（水平2成分の大きい方）をわが国の主要な既往の距離減衰式と比較している。なお、距離減衰式ごとに距離のパラメータが異なるのでいちがいには比較はできないが、

ここでは大まかな相違を明らかにする目的で比較を行っている。土研式は川島ら²⁸⁾により求められ道路橋仕法書¹⁴⁾に掲載されている距離減衰式である。一種地盤から三種地盤まで地盤種別毎の式が与えられているが、ここでは一種地盤に関する式を示した。図中に示した距離減衰式の中で土研式だけは二段階回帰分析を行っていない。土研式の距離の係数が他の式と比較して小さいのはこのためであると考えられる。福島・田中²⁹⁾は距離減衰式の導出に二段階回帰分析を導入したが、その後、新しいデータを加えて改良を試みている。図中に示したものは文献²⁹⁾に掲載された改良後の福島式である。福島式では軟弱地盤から花崗岩の露頭まで幅広い地盤条件で得られたデータを用いている。福島式が本研究の式と比較して小さな最大加速度を与える傾向にあるのは、岩盤のデータが含まれていることの影響であると考えられる。安中式³⁰⁾は電力関係でしばしば用いられている式である。ここでは震源深さが0である場合の式を示した。岩盤のデータを採用しているため、本研究の式よりも小さな最大加速度を与える傾向にある。

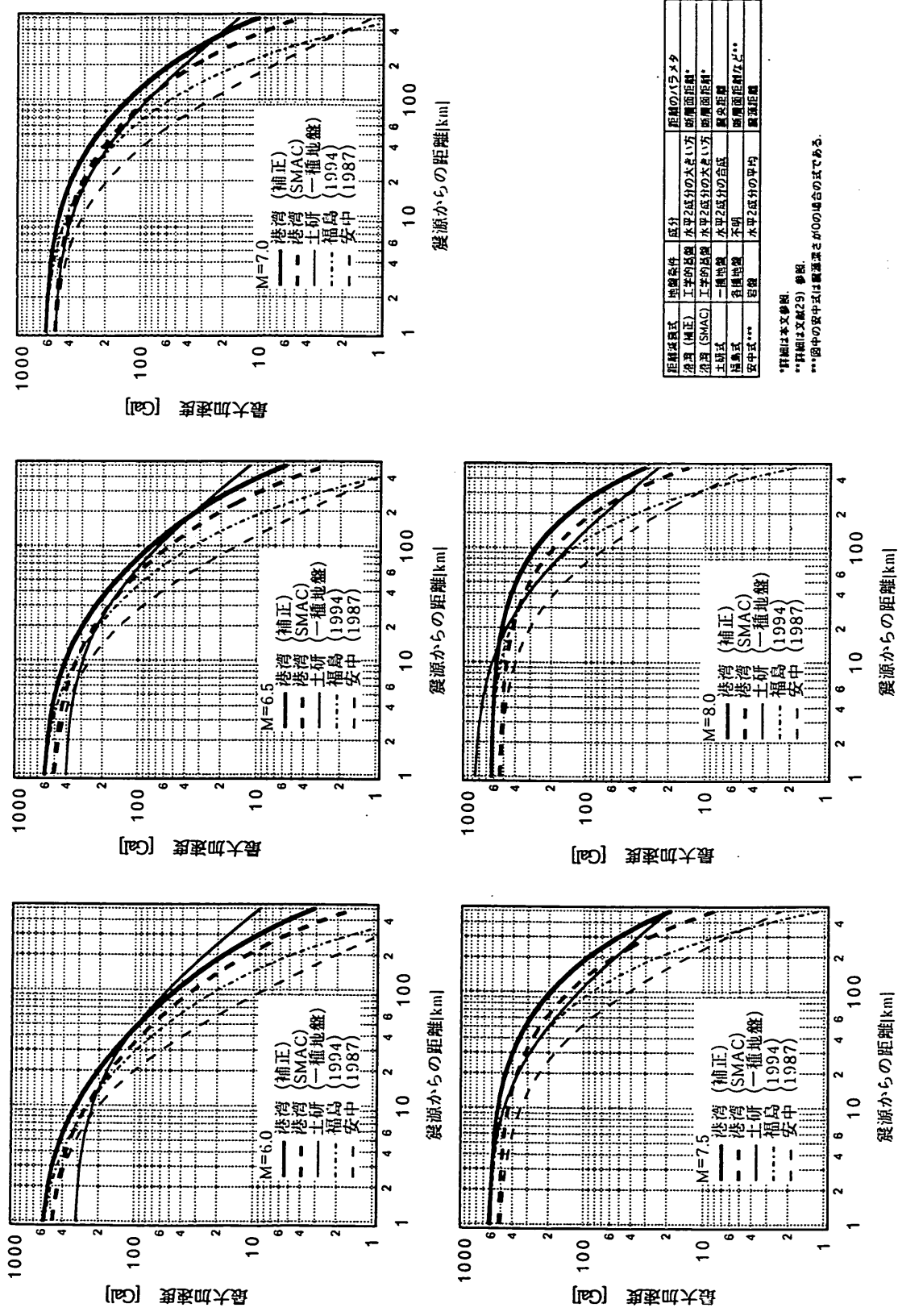
なお、本研究で得られた距離減衰式について、その自然対数の標準偏差を求めたところ、表-2に示すように、まず水平2成分の大きい方に対する式では、補正最大加速度0.62，SMAC最大加速度0.55，最大速度0.48，最大変位0.53であった。また、水平2成分の平均値に対する式では、補正最大加速度0.63，SMAC最大加速度0.54，最大速度0.53，最大変位0.58であった。参考までに、福島²⁹⁾の距離減衰式では0.64（福島の論文に示されているのは常用対数の標準偏差であり、この値は0.28），Joyner and Boore³¹⁾が求めた米国における地表地震動の距離減衰式では最大加速度について0.59（Joyner and Booreの論文に示されているのは常用対数の標準偏差であり、この値は0.26），最大速度について0.51（同じく0.22）であるから、今回得られた距離減衰式のデータのばらつきは福島やJoyner and Booreのものと同程度であるといえる。

3. 強震記録の上下動成分に関する検討

3.1 検討の背景と目的

港湾構造物の現行の技術基準⁶⁾によれば震度法による港湾構造物の設計では水平震度のみ考慮し、鉛直震度を考慮するには定められていない。この理由として、次のようなことが挙げられている⁶⁾。

①観測結果によると、震央付近を除けば地震動の鉛直成分は水平成分と比較してあまり大きくないこと。



距離減衰式	適用条件	区分	距離のパラメタ
補正 (補正)	工業的設備	水平2成分の大きい方	震源面距離*
須賀 (SMAC)	工業的設備	水平2成分の大きい方	震源面距離*
土研式	一般地盤	水平2成分の合成	震源距離
福島式	各種地盤	不明	震源距離など**
安中式***	岩盤	水平2成分の平均	震源距離

*詳細は本文参照。
 **詳細は文献(29)参照。
 ***図中の安中式は震源距離が0の場合の式である。

図-9 本研究の距離減衰式とわが国の主要な既往の距離減衰式との比較

表-2 本研究で求めた距離減衰式の標準偏差

	水平2成分の平均	水平2成分の大きい方
補正最大加速度	0.63	0.62
SMAC最大加速度	0.54	0.55
最大速度	0.53	0.48
最大変位	0.58	0.53

【参考】 福島 (1994) では最大加速度 : 0.64,
 Joyner&Boore (1981) では最大加速度 : 0.59, 最大速度 : 0.51

②水平震度はこれまでの経験に基づき鉛直方向の地震動の影響も含めて水平震度として表していると考えられること。

②を別な言葉で言い換えるとすれば次のようになる。野田らの研究³⁾や本研究の5.で検討されているように、作用震度と最大加速度の関係においては作用震度は被災事例の安定計算により得られており、地震時の上下動の影響を含んだ量である。そこで、設計の目標となる水平最大加速度を式(1)により水平設計震度に換算して設計

を行えば、仮に鉛直震度を考慮しなくとも、上下動の振幅が極端に大きくなければ構造物は十分に安定を保つことが期待される。

それでは、統計的に見て上下動の振幅がどの程度大きいか問題となるが、これについては、①に示すように震央付近を除けば地震動の鉛直成分は水平成分と比較してあまり大きくないとされている。これは、強震記録の上下動成分について解析した上部らの研究⁴⁾に基づいた考え方である。

さて、1995年兵庫県南部地震で被災した神戸市内では、強大な水平動とならび振幅の大きな上下動が観測された。図-10に神戸港工事事務所で観測された加速度波形を示す(SMAC-B2型強震計による観測波形)。上下動の振幅は283Galにのぼる。このような振幅の大きい上下動が構造物の安定に影響するのではないかの懸念が生じた。

また、上部らの研究⁴⁾が行われてからすでに20年程度経過しており、新たな強震記録の蓄積も進んでいる。

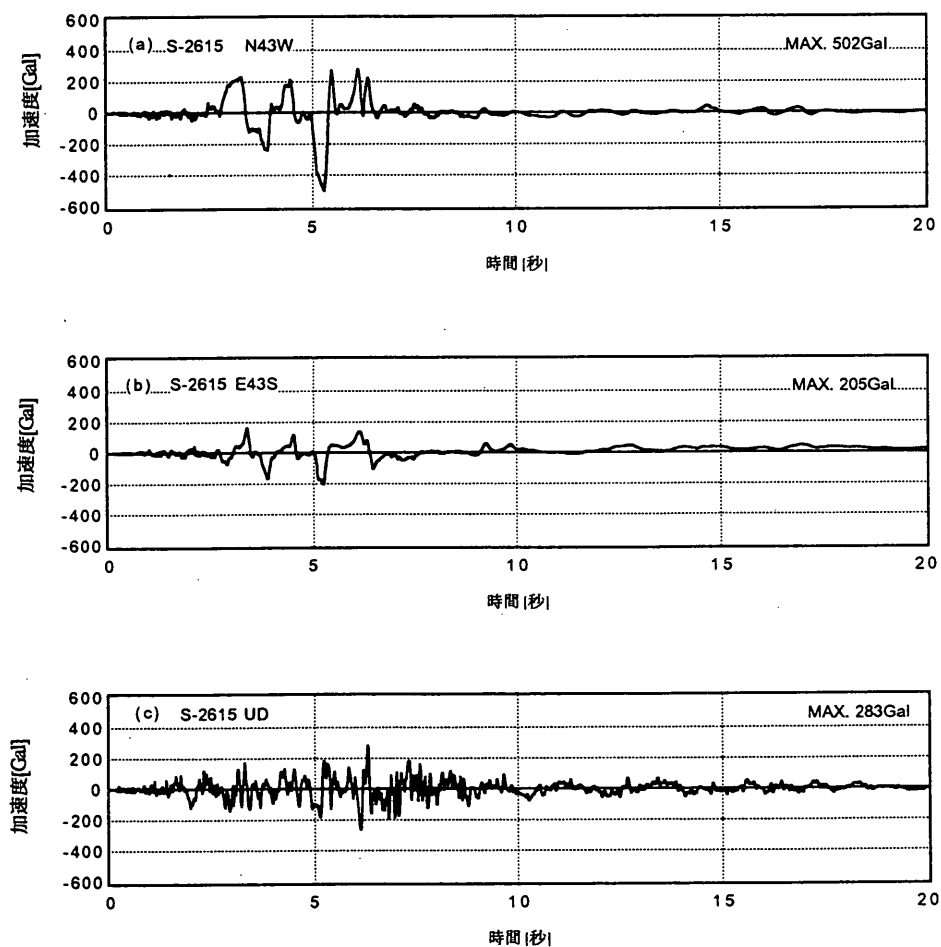


図-10 神戸港工事事務所で観測された加速度波形

そこで、本研究では、上部らの研究⁴⁾に倣い、港湾地域強震観測で得られた強震記録の上下動成分の特性について改めて統計的な検討を行い、上下動が重力式港湾構造物の安定性に及ぼす影響について考察を行った。

3.2 検討対象記録

ここで検討対象とした記録は、港湾地域強震観測でこれまで得られている記録のうち、水平2成分のいずれか一方が50Galを越えているものであって、かつ、3成分の記録がそろっている地表での観測記録である。地中の観測記録や構造物上での観測記録は検討対象としていない。用いられた記録はSMAC-B2型強震計により得られたもの113記録339成分、ERS強震計により得られたもの61記録183成分である。

検討は強震記録の「補正波形」および「SMAC相当波形」について行った。すなわち、2.で述べたのと同様の手法によりERS強震計で得られた記録をSMAC相当の波形に変換し、これをSMAC-B2強震計で得られた記録と合わせて「SMAC相当波形」と呼ぶこととした。

また、SMAC-B2強震計による記録とERS強震計による記録の双方から「補正波形」を求めた。その結果、522成分のSMAC相当波形と同じ数の補正波形が検討対象となった。

3.3 上下最大加速度と水平最大加速度

まず、上下最大加速度と水平最大加速度（水平2成分のうち大きい方）の関係を求めた。上部らが行った同様の検討⁴⁾では、水平最大加速度が50Gal以上の記録については、少数の記録を除けばほとんどの場合両者の比（上下水平最大加速度比と定義する）は1/2以下であった。なお、上部らの研究で対象とした記録はほとんどがSMAC-B2型強震計による記録である。

図-11はSMAC相当波形についての結果を、図-12は補正波形についての結果を示している。これらの図によると、SMAC相当波形については、少数の記録を除けばほとんどの場合上下水平最大加速度比は1/2以下である。一方、補正波形については上下水平最大加速度比が1/2を上回る記録がやや多く見られる。

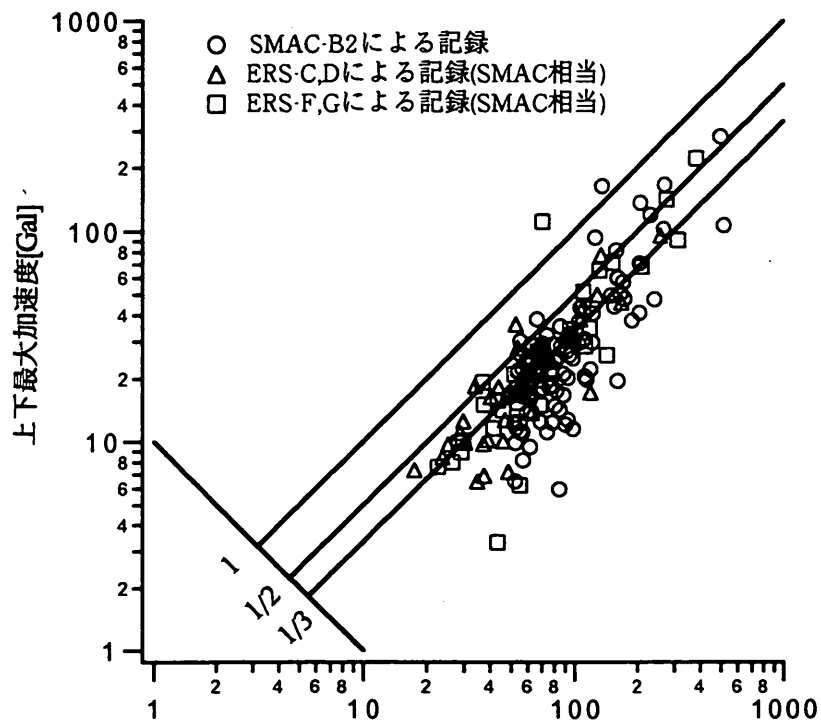


図-11 上下最大加速度と水平最大加速度（水平2成分の大きい方）
（SMAC相当波形）

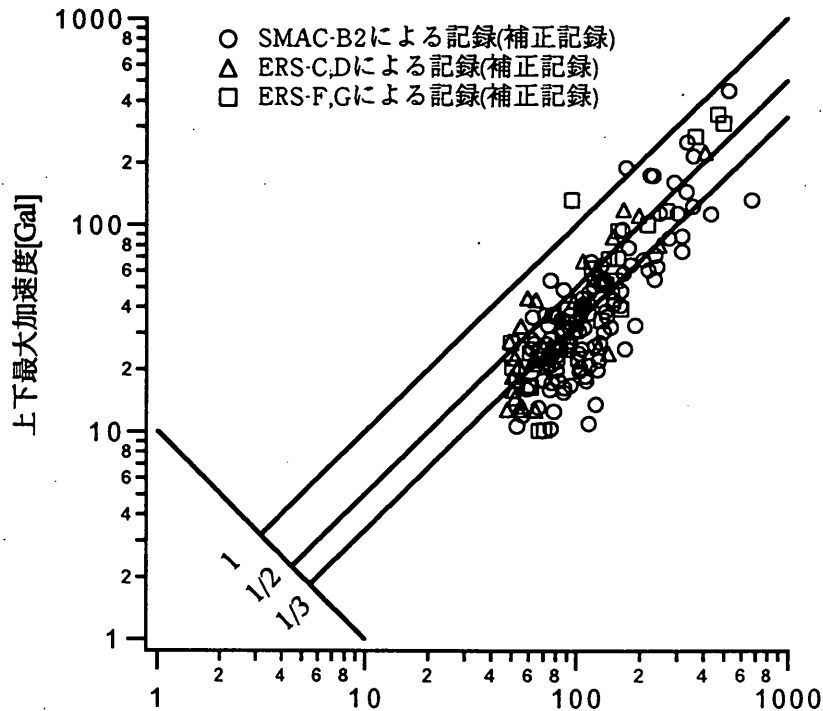


図-12 上下最大加速度と水平最大加速度（水平2成分の大きい方）
（補正波形）

SMAC 相当波形について得られた結果は、上部らの検討結果と整合するものである。一方、補正波形についての結果では上下動の振幅がやや大きい傾向にある。これは、上下動が水平動と比較して高周波成分をより多く含むので、強震計の移行に伴い、SMAC-B2型強震計では観測できなかった上下動の高い振動数のピークが観測されるようになったためであると考えられる。

3.4 合震度が最大となる時刻の水平加速度と上下加速度

3.3では水平最大加速度と上下最大加速度の比について検討したが、実際には両者の発生する時刻には差があることが普通であり、水平最大加速度と上下最大加速度が同時に構造物に作用することはまず無いと言える。

そこで、ここでは上部⁴⁾に倣い、合震度の概念を導入して上下動成分についての検討を進める。時々刻々の合震度は次式で定義される。

$$K(t) = |A_h(t)| / (g - |A_v(t)|) \quad (19)$$

ここに $A_h(t)$ は水平合成加速度、 $A_v(t)$ は鉛直加速度、 g は重力加速度である。合震度については次のような性質がある。

1) 剛な基礎上に置かれた剛体の滑動に関する安全率は、

地震動継続時間中、合震度が最大となる時刻に最小となる。

2) 図-13に示すように、剛な基礎上に置かれた剛体に水平震度 $|A_h(t)/g|$ と鉛直震度 $|A_v(t)/g|$ が同時に作用した状態 (A) と、水平方向に合震度 $K(t)$ が作用して鉛直震度は作用しない状態 (B) では、滑動に関する安全率は等しい。

そこで、各記録について時々刻々の合震度を求め合震度が最大となる時刻（すなわち滑動安全率が最小となる時刻）における上下加速度と水平加速度の関係を求めた。なお、ここに言う水平加速度とは水平合成加速度（水平2成分のベクトル和の絶対値）である。上部らが行った同様の検討⁴⁾では、合震度が最大となる時刻における上下加速度と水平加速度の比は $1/3$ 以下であった。

図-14には SMAC 相当波形についての結果を、図-15には補正波形についての結果を示している。これらの図によれば両者の比はほぼ $1/3$ 以下であり、上部らによる検討結果と整合する結果となった。このことは、剛基礎上の剛体の滑動に及ぼす上下地震動の影響が統計的には大きくないことを意味する。なお、水平合成最大加速度と水平最大加速度（水平2成分のうち大きい方）の関係を SMAC 相当波形について示したものが図-16、補正波形について示したものが図-17である。これらの

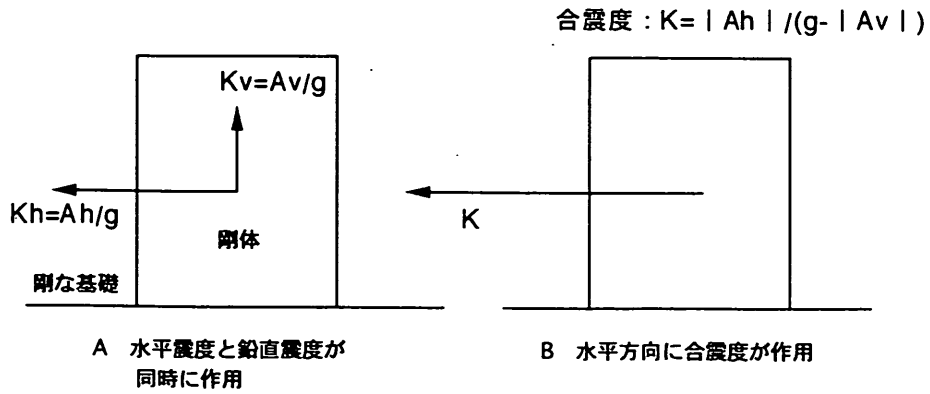


図-13 合震度の概念

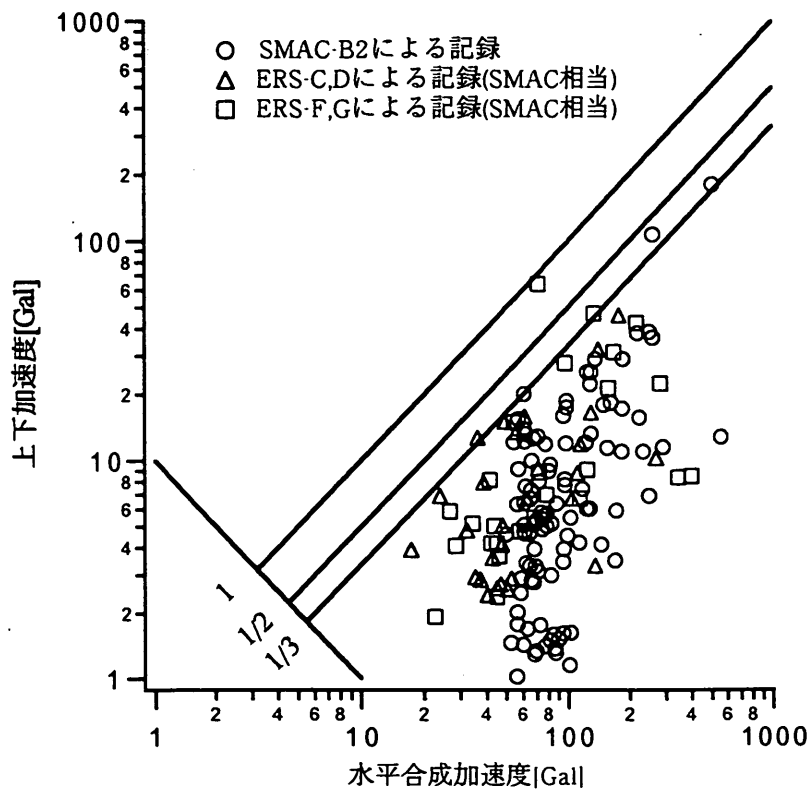


図-14 合震度が最大となる時刻における上下加速度と水平合成加速度 (SMAC相当波形)

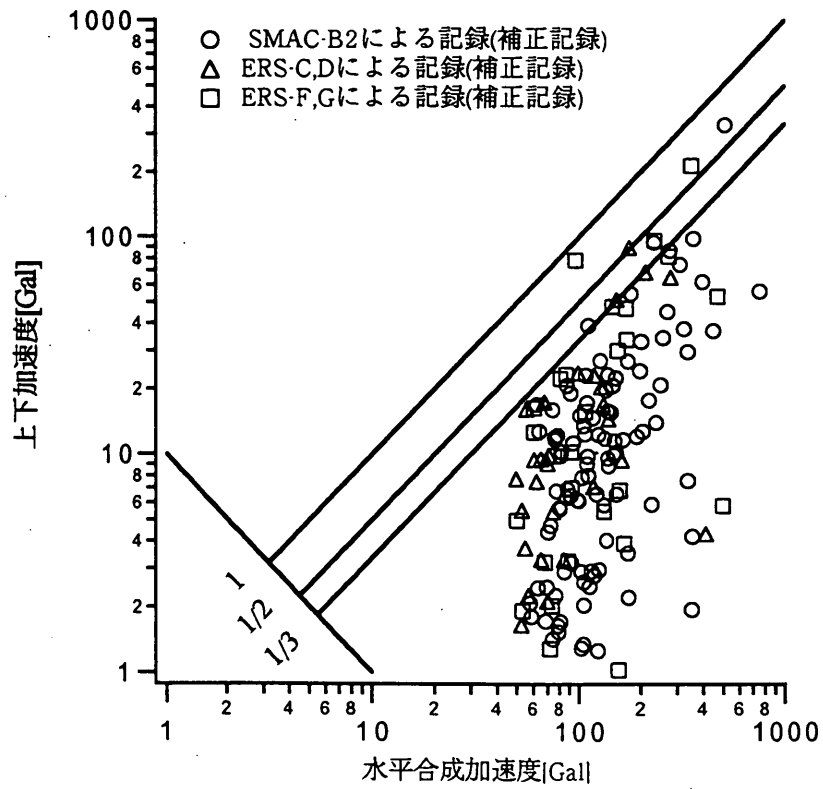


図-15 合震度が最大となる時刻における上下加速度と水平合成加速度 (補正波形)

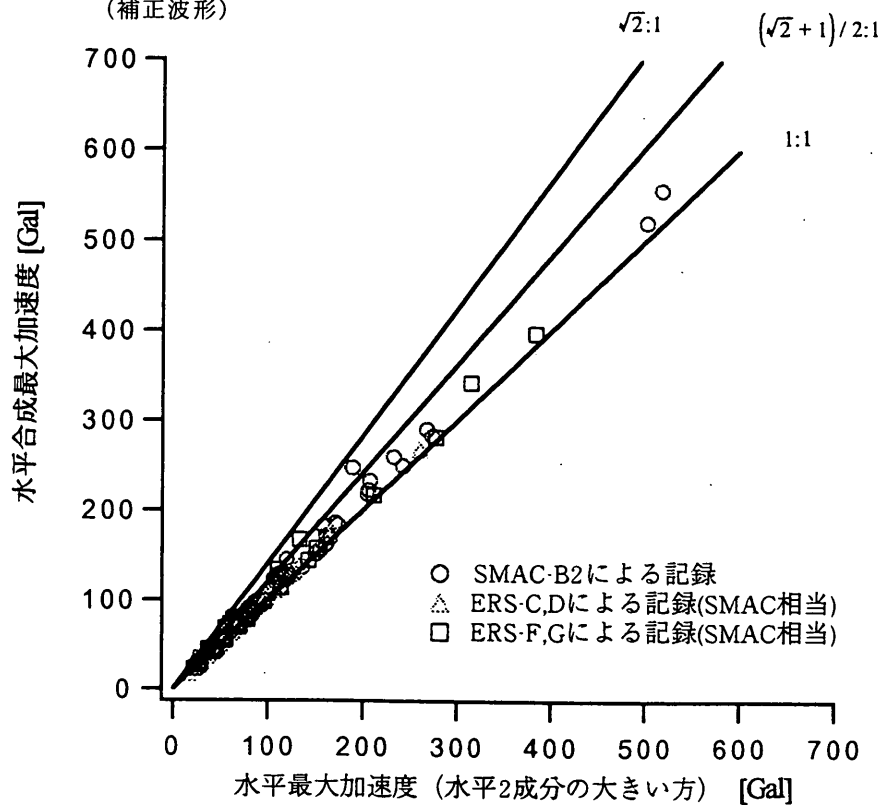


図-16 水平合成最大加速度と水平最大加速度 (水平2成分の大きい方) (SMAC相当波形)

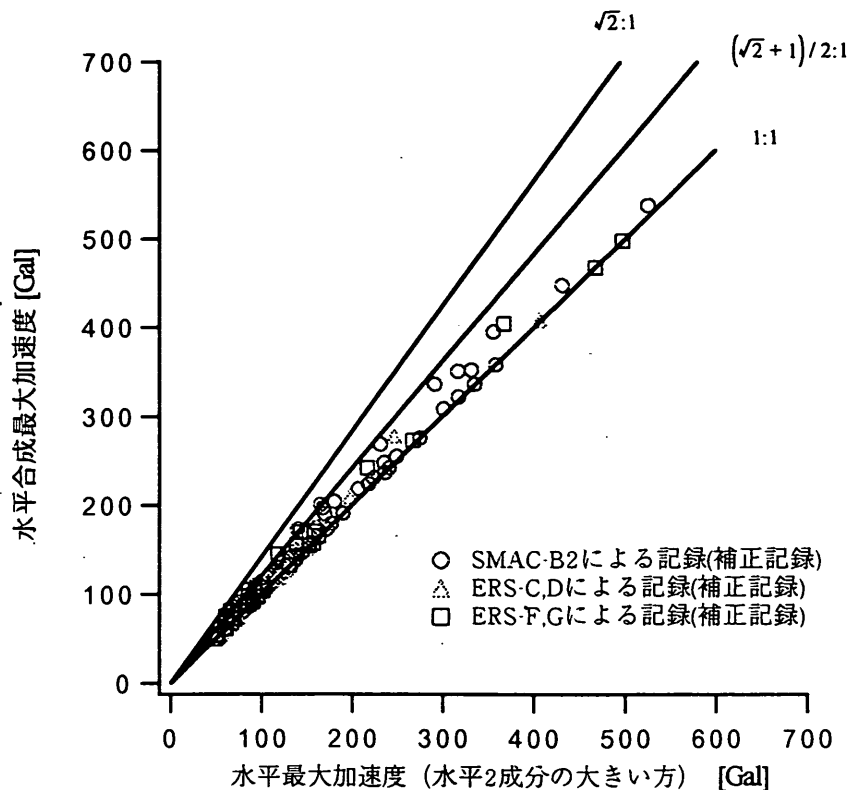


図-17 水平合成最大加速度と水平最大加速度（水平2成分の大きい方）
（補正波形）

図に示す通り，水平合成最大加速度と水平最大加速度（水平2成分のうち大きい方）の差は小さい．これも上部らによる検討結果と整合する結果である．

3.5 合震度と水平震度

ここでは，合震度の最大値と水平震度の最大値を比較することにより，剛な基礎の上に置かれた剛体の滑動安定性に及ぼす上下動の影響について考察する．

合震度の最大値と水平震度の最大値を比較した結果を図-18および図-19に示す．ここでは，水平最大加速度（水平2成分のうち大きい方）を重力加速度で除した値を水平震度としている．図-18はSMAC相当波形についての結果，図-19は補正波形についての結果である．図によれば，ほとんどの記録について両者の差は小さくなく，合震度の最大値は水平震度の最大値の1.2倍以下である．この結果は，剛基盤上の剛体の滑動という理想的な状態について検討した結果ではあるが，重力式岸壁の堤体のような剛な構造物の滑動安定性に及ぼす上下動の

影響は大きくないことが推察される．

以上の検討から，重力式港湾構造物の地震時の滑動安定性に及ぼす上下動の影響は大きくないことが推察される．

3.6 上下水平最大加速度比と震央距離

上部ら⁴⁾は上下水平最大加速度比に影響を及ぼす要因として水平最大加速度，震央距離，マグニチュード，地盤条件，発震機構等について検討を行っている．ここでは，これらの要因の中で震央距離と上下水平最大加速度比との関係について検討を行った．図-20および図-21は縦軸に上下水平最大加速度比を，横軸に強震記録の震央距離をとって図示したものである．図-20はSMAC相当波形についての結果，図-21は補正波形についての結果を示している．

直下型地震すなわち震央距離が小さい地震では上下動の振幅が大きいと言われることがあるが，ここに示した結果からは必ずしもそのような傾向は見られない．

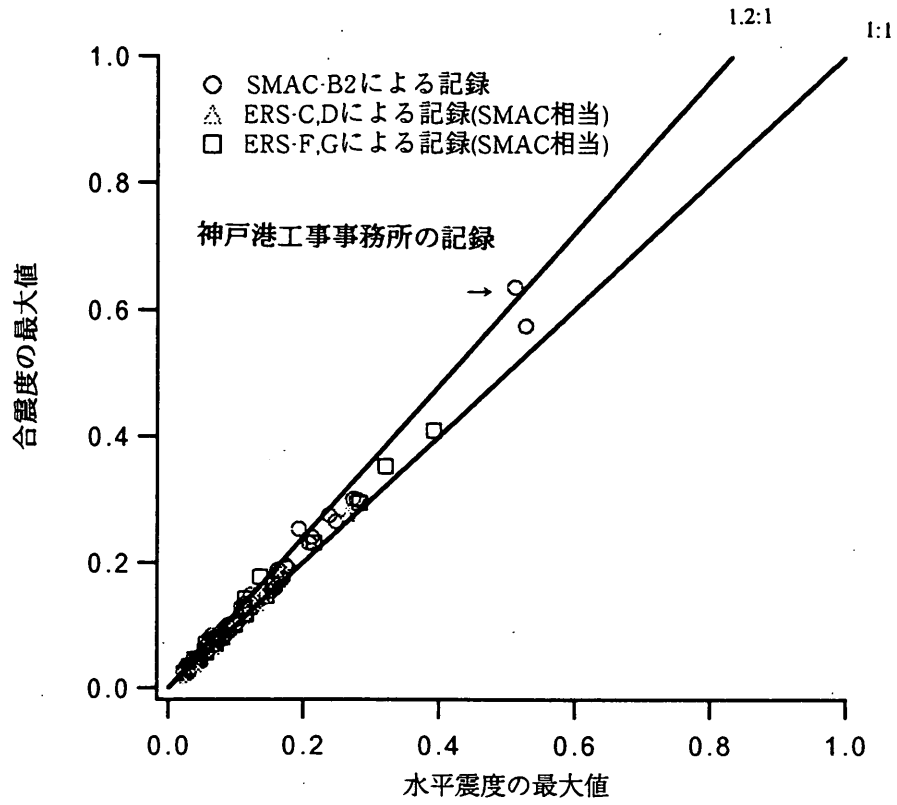


図-18 合震度の最大値と水平震度の最大値
 (SMAC相当波形)

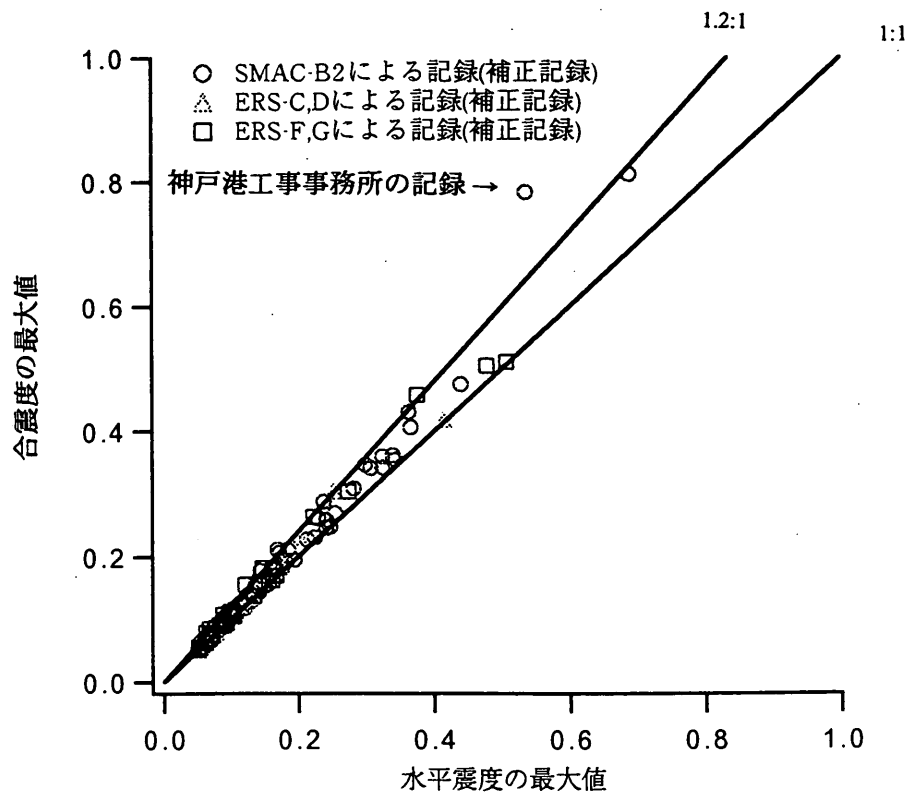


図-19 合震度の最大値と水平震度の最大値
 (補正波形)

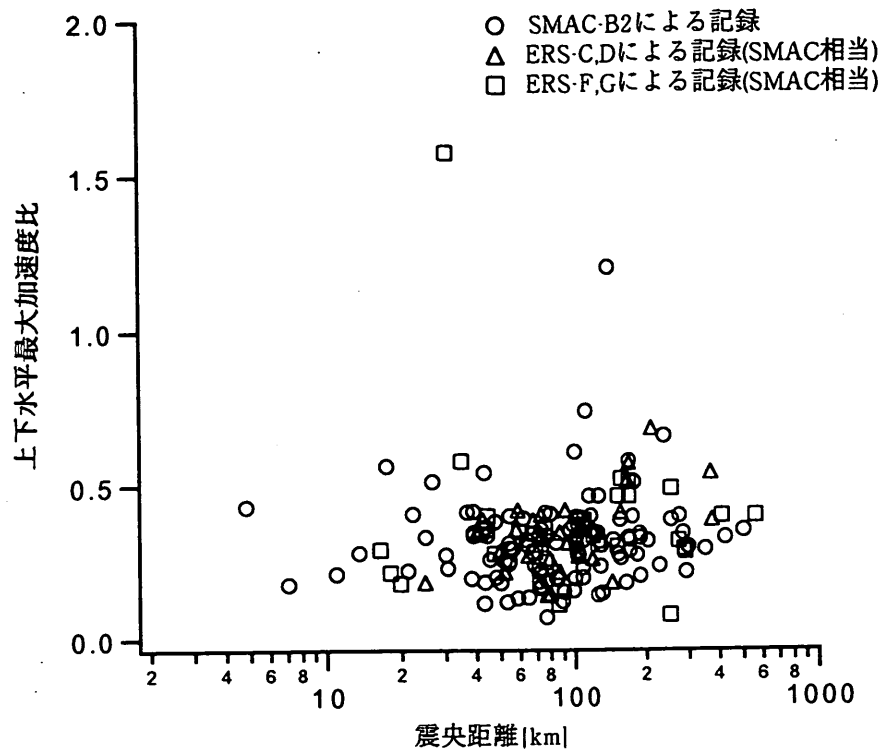


図-20 上下水平最大加速度比と震央距離
(SMAC相当波形)

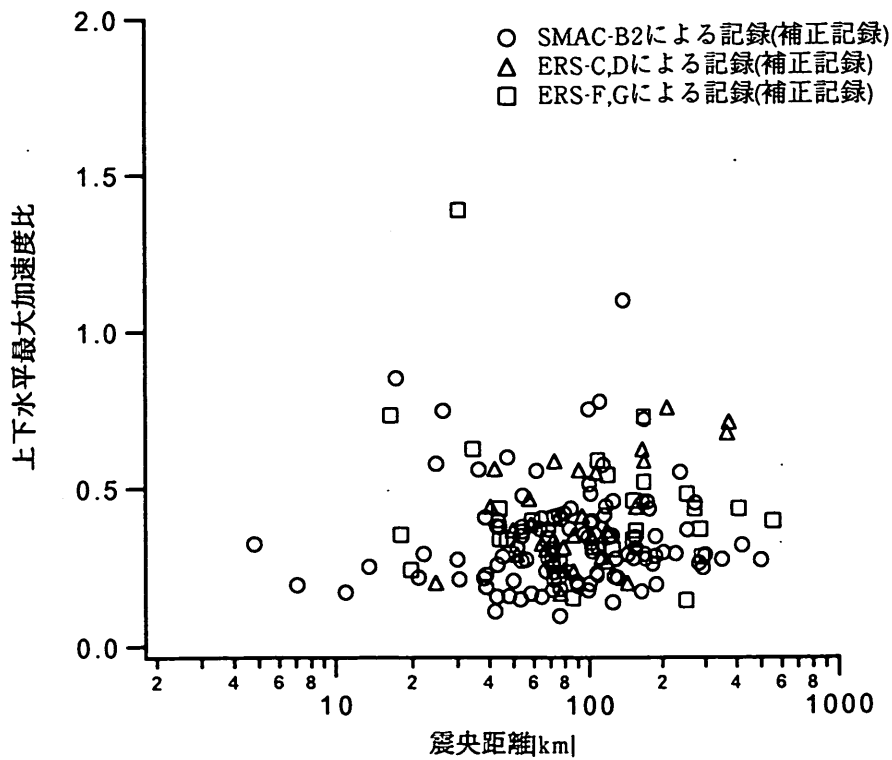


図-21 上下水平最大加速度比と震央距離
(補正波形)

4. 工学的基盤における最大加速度等の期待値

4.1 検討の背景と目的

沿岸地域の工学的基盤における最大加速度の期待値については北澤ら⁵⁾の研究がある。北澤らは1885年から1981年までの97年間の地震データと野田ら³⁾の提案した距離減衰式に基づき、わが国の沿岸地域190地点の工学的基盤における最大加速度期待値と再現期間の関係を求めた。埋立地の液状化ハンドブック(平成5年版)³²⁾に示された地域毎の基盤加速度は、北澤らの研究により求められた工学的基盤における75年期待加速度の値を参照して定められたものである。その後、地震データの蓄積があり、また、本研究の2.に示すように距離減衰式の見直しを実施したので、工学的基盤における加速度期待値についても見直しを実施することとした。また、工学的基盤における最大速度、最大変位の期待値についても検討した。

4.2 期待値の算定方法

本研究では、1885年1月から1995年5月まで110年5カ月間の地震データと距離減衰式に基づき、沿岸地域の工学的基盤における補正最大加速度・SMAC最大加

速度・最大速度・最大変位の75年期待値を求めた。対象とした地震は、1885年から1980年までについては宇津カタログ³³⁾に掲載されたマグニチュード6.0以上の地震およびマグニチュード6.0未満の被害地震であり、1981年から1995年5月までについては気象庁地震月報³⁴⁾に掲載されたものうちマグニチュード5.6以上のものである。ただし、大地震に伴って発生する前震や余震については、これらを単独の地震として扱うと地震危険度を過大に評価することになるため、データベースから削除することとした。具体的には、次のような操作を行った。

- ①データベースから任意に地震Aを選ぶ。
 - ②地震Aの発生年月日の前後一ヶ月以内にAの震源位置から半径50km以内で発生し、地震Aよりもマグニチュードの小さい地震は、地震Aの前震もしくは余震であるとみなして削除する。
 - ③地震Aの発生以後の一ヶ月以内にAの震源位置から半径50km以内で発生し、地震Aとマグニチュードの等しい地震は、地震Aの余震であるとみなして削除する。
- ①～③の操作をデータベースに含まれるすべての地震について行った。この結果、対象となった地震の震央位置を図-22に示す。

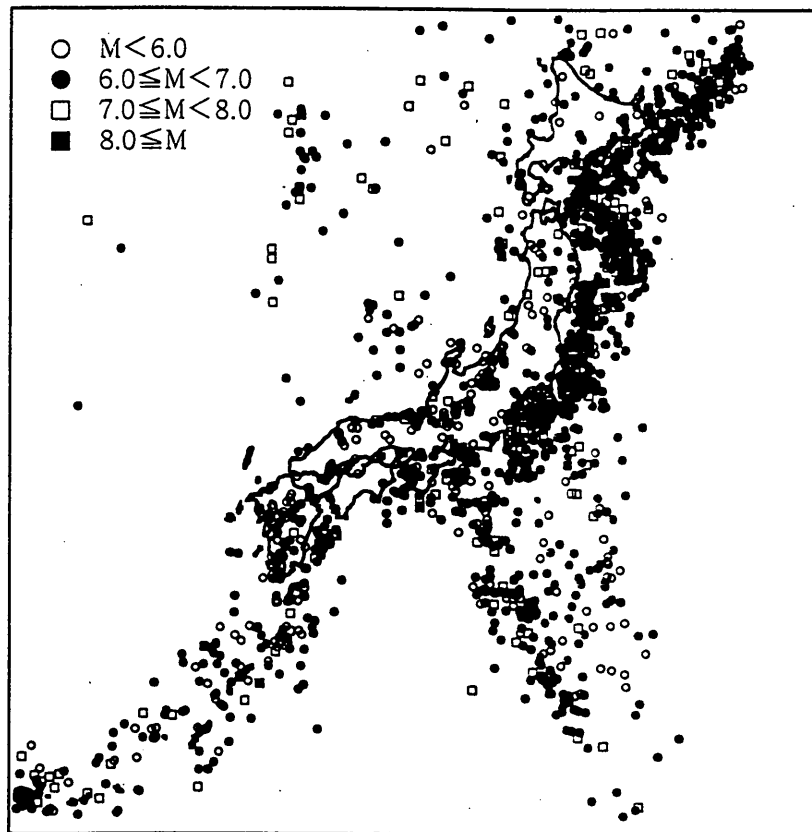


図-22 最大加速度等の期待値を求める際に用いた地震データ

以下、補正最大加速度を例として、工学的基盤における期待値の求め方を説明する。以下に示す検討方法は北澤ら⁹⁾の示した方法と全く同様であるが、やや異なる説明の仕方を試みている。

まず、データベースに含まれる個々の地震について、2. で求めた距離減衰式により、与えられたサイトでの補正最大加速度を求める。補正最大加速度に限らず、距離減衰式はすべて水平2成分の大きい方についての式を用いた。2. と同様に、地震学の成果として震源の断層面の推定されている地震¹⁰⁾についてはこれを参考として断層面距離を求め、そうでない地震については震源を中心とする球状の震源域を仮定して、この震源域から対象地点までの最短距離をもって断層面距離に代用した。

次に、サイト毎に補正最大加速度の上位20位をリストアップする。ここで、K/N年間に於ける補正最大加速度の最大値を確率変数と考へ、この値が第m位のデ

$$T_r = \frac{K}{N} \frac{N+1}{m} \quad (20)$$

そこで、上位20位のデータを各々のデータの再現期間に応じて、補正最大加速度と再現期間の関係を示す図面上にプロットしていく。この作業を横浜港について行った結果を図-23に示している。

ここで、K/N年間に発生する補正最大加速度の最大値は式(21)に示すWeibull分布もしくは式(22)に示す二重指数分布に従うと仮定する。

$$F_X(x) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x-B}{A}\right)^k\right] \quad (21)$$

$$F_X(x) = \exp\left[-\exp\left\{-\left(\frac{x-B}{A}\right)\right\}\right] \quad (22)$$

ここにXはK/N年間の補正最大加速度の最大値、F_X(x)は確率変数Xの分布関数、A,B,kはパラメタである。このとき、再現期間は次式で与えられる。

$$T_r = \frac{K}{N} \left(1 - F_X(x)\right)^{-1} \quad (23)$$

補正最大加速度と再現期間の関係を示す図面上で式(23)で示される曲線が先にプロットしたデータに最も適合するように、分布関数の種類とパラメタを決定する。具体的には次のような方法で行った。

- ① Weibull分布パラメタkを0.75, 0.80, 1.00, 1.10, 1.25, 1.50, 2.00の7通りとし、これに二重指数分布を加えた8通りの分布関数を考へる。
- ② 各々の分布関数について、最小自乗法でA, Bを決定する。Weibull分布のときには式(24)、二重指数分布については式(25)により γ_v を求め、式(26)から線形回帰分析により最適なA, Bを求める。

$$\gamma_v = \left\{-\ln\left(\frac{m}{N+1}\right)\right\}^{1/k} \quad (24)$$

$$\gamma_v = -\ln\left\{-\ln\left(1 - \frac{m}{N+1}\right)\right\} \quad (25)$$

$$X = A\gamma_v + B \quad (26)$$

また、このときの相関係数を求める。

- ③ ②で最も良い相関係数を与える分布関数とA,B,kの値を採用する。

以上の手順により横浜港で最適な分布関数とパラメタを決定し、式(23)から補正最大加速度と再現期間の関係を求めたものが図-23の実線である。横浜港ではWeibull分布が採用され、A=92.9, B=141.7, k=0.75と求まった。

最後に、決定された分布関数とパラメタを用いて、式

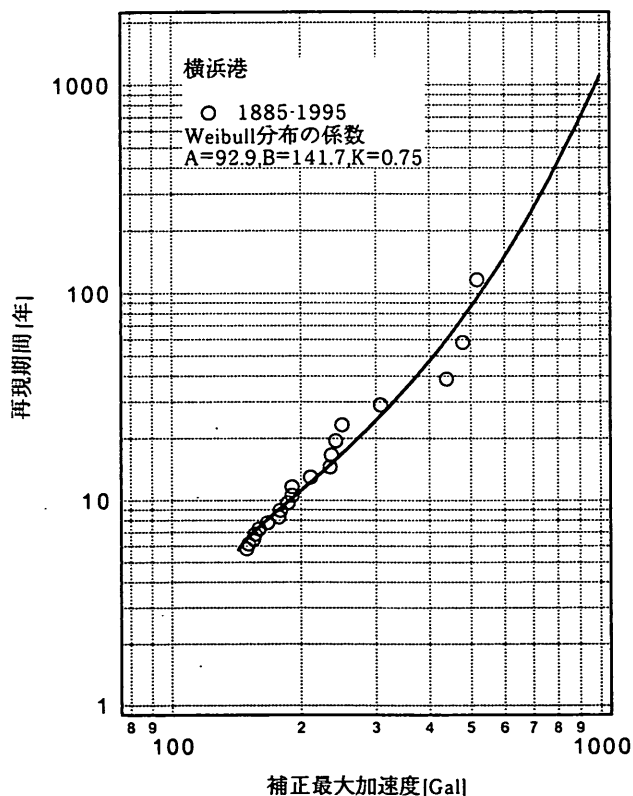


図-23 横浜港における補正最大加速度と再現期間の関係

ータを超過する確率は $m/(N+1)$ であるとする。ここにKは地震データのカバーしている期間で、本研究ではK=110.4年、Nはデータ個数で、本研究ではN=20である。このように考えると、各々のデータの再現期間は次式により与えられる。

(23) から再現期間 75 年に相当する補正最大加速度を求め、期待値とする。横浜港では 476Gal となる。なお、ここで得られる期待値は厳密には期待値ではなく、それ以上の値が平均して一回発生するような値であるが³⁵⁾、地震危険度解析の慣例にならい、ここでは期待値と呼ぶ。

SMAC 最大加速度、最大速度、最大変位の期待値の求め方も以上に示した方法と全く同様である。

4.3 期待値の算定結果

4.2 で述べた方法で、わが国の 280 港湾の工学的基盤における補正最大加速度・SMAC 最大加速度・最大速度・最大変位の 75 年期待値を計算した結果を表-3 に示

す。期待値を計算した港湾の位置を図-24 (a) - (f) に地方ごとに示す。図中に示された番号は表-3 の番号と対応している。どの港湾においても、最終的に採用された分布関数は Weibull 分布であり、二重指数分布が採用された港湾はなかった。表-4 は SMAC 最大加速度と再現期間の関係について Weibull 分布の係数を各港湾毎に示したものである。

図-25 には、北澤ら⁵⁾ の求めたわが国の沿岸地域 190 地点の工学的基盤における最大加速度の 75 年期待値と、本研究で求めた SMAC 最大加速度の 75 年期待値を比較して示す。図-25 によれば、最大加速度の小さな領域では新旧の期待値の差は小さいが、最大加速度の大きな領



図-24 (a) 最大加速度等の期待値を計算した港湾の位置 (北海道)



図-24 (c) 最大加速度等の期待値を計算した港湾の位置 (関東・中部)

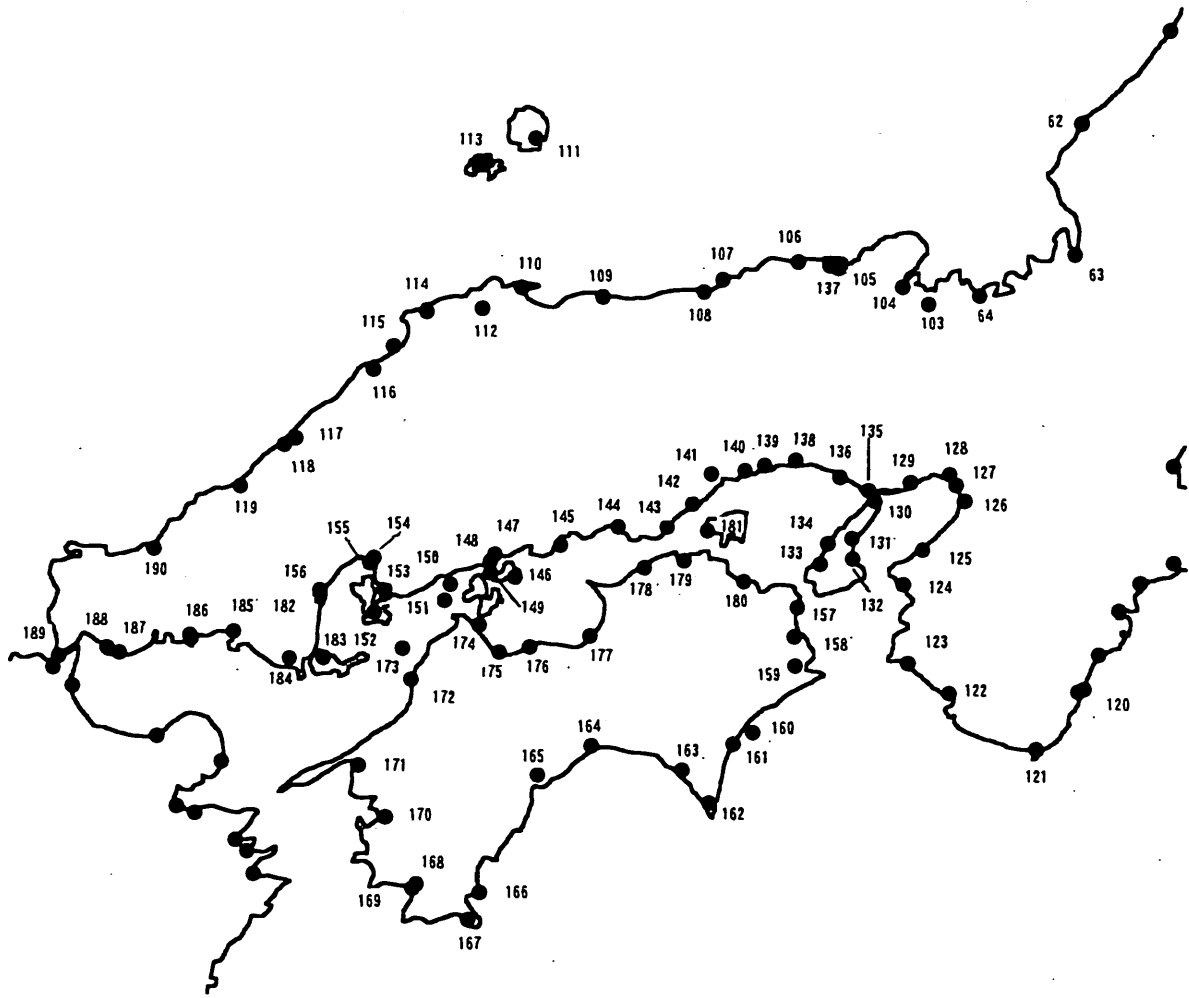


図-24 (d) 最大加速度等の期待値を計算した港湾の位置 (近畿・中国・四国)

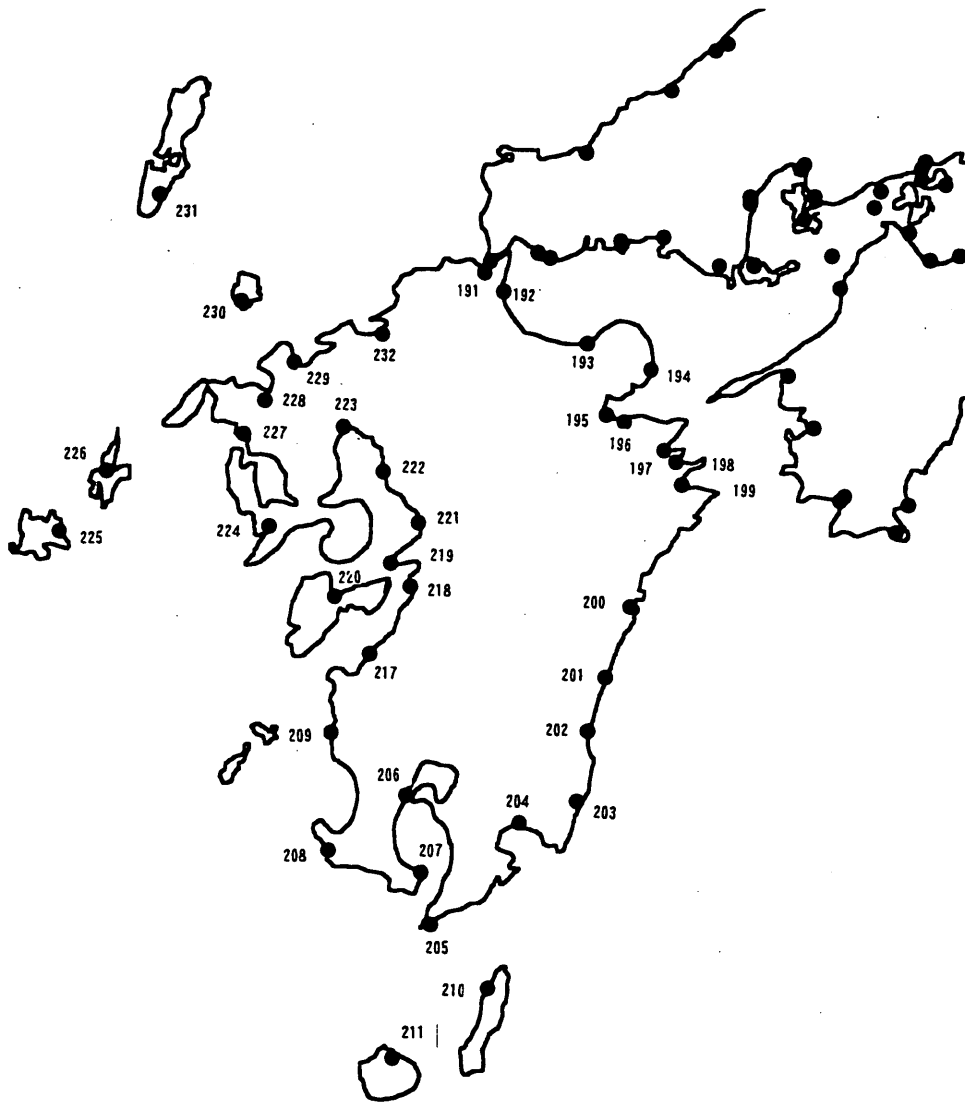


図-24 (e) 最大加速度等の期待値を計算した港湾の位置 (奄美・沖縄を除く九州)

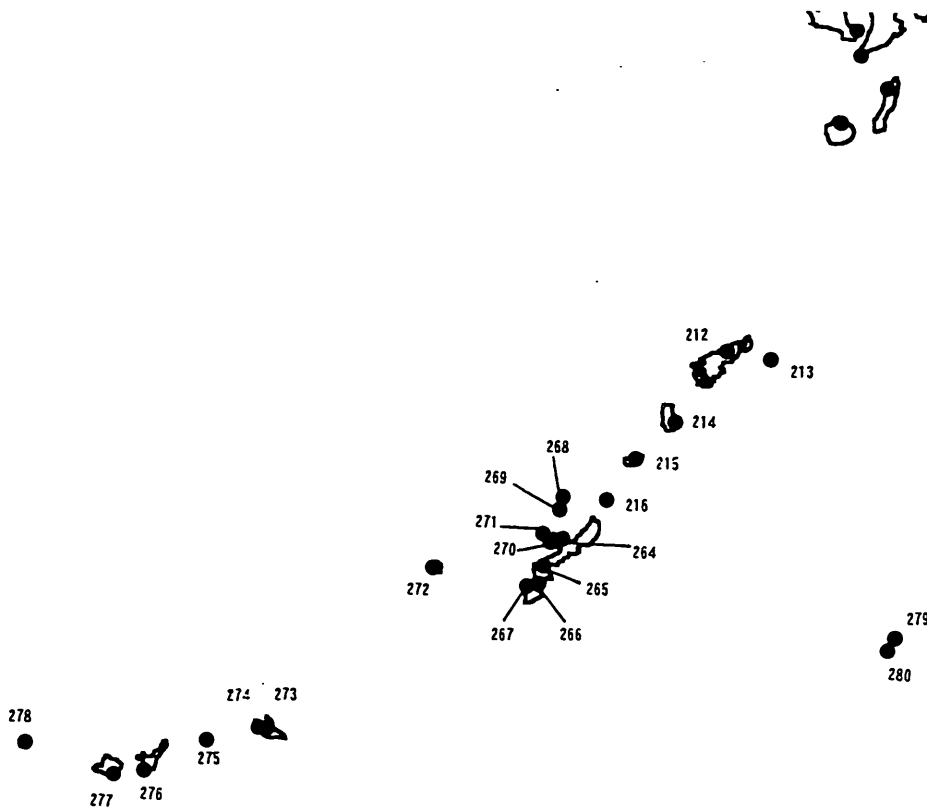


図-24 (f) 最大加速度等の期待値を計算した港湾の位置 (奄美・沖縄)

域では今回求めた加速度期待値の方が大きい傾向にある。これは、2. で求めた SMAC 最大加速度の距離減衰式が、震源近傍において野田らの提案した距離減衰式と比較して大きな値を与えるためであると考えられる。

日本およびその近海の工学的基盤における補正最大加速度・SMAC 最大加速度・最大速度・最大変位の 75 年期待値の分布を図-26～図-29 に示す。この分布図は東経 122 度～148 度、北緯 24 度～46 度の範囲を東経・北緯それぞれ 0.1 度刻みに分割し、 $261 \times 221 = 57,681$ 箇所の格子点において期待値を計算することにより作成したものである。図-26～図-29 によれば、日本海溝や南海トラフ等、プレートの沈み込み帯に沿った地域では他の地域と比較して地震危険度が高いことがわかる。また、東北日本の日本海側にも地震危険度の高い地域が見られる。

5. 地震動の最大加速度等と作用震度の関係

5.1 検討の背景と目的

現行設計法において、固有振動周期が比較的短い構造物は震度法により設計することになっている⁶⁾。震度法とは、構造物の重量と震度の積で与えられる地震力が構造物に静的に作用すると考えて設計を行う方法である。耐震設計に用いる震度としては、理論的には地震動の最大加速度を重力加速度で除した値を用いればよさそうに見えるが、実際には、地震力が時間と共に大きさと方向が変化する不規則な外力であること、地震時に構造物に変位が生じて、その値がごく小さければ地震後の調査で変位が生じたかどうか判定不能であること等から、最大加速度と震度とは直接には結びつかない。そこで、耐震設計の目標となる最大加速度が与えられた時に、構造物にどのような震度を与えて設計を行えば良いかが問題となる。

野田ら³⁾は、過去の地震による重力式岸壁の被災事例を分析して、被災した岸壁に作用した震度（作用震度）

表-3 港湾の工学的基盤における最大加速度等の75年期待値

	港湾名	東経	北緯	補正最大加速度	SMAC最大加速度	最大速度	最大変位
		[度]	[度]	[Gal]	[Gal]	[kine]	[cm]
1	稚内	141.69	45.41	84	53	5.7	1.7
2	宗谷	141.95	45.52	81	52	5.5	1.6
3	枝幸	142.59	44.93	93	54	7.0	2.5
4	紋別	143.37	44.34	153	99	11.3	4.2
5	網走	144.29	44.01	216	152	16.2	6.0
6	宇登呂漁港	145.00	44.12	205	135	15.6	6.0
7	標津漁港	145.20	43.70	261	181	19.9	7.6
8	根室	145.58	43.34	357	267	29.0	10.4
9	霧多布	145.14	43.08	366	275	30.8	11.2
10	釧路	144.32	43.00	339	255	29.6	11.0
11	十勝	143.33	42.30	383	292	33.1	12.0
12	浦河	142.77	42.16	519	421	51.6	13.8
13	えりも	143.14	42.01	442	345	40.9	14.5
14	苫小牧(東)	141.78	42.61	228	161	16.6	6.3
15	苫小牧(西)	141.63	42.64	203	141	15.0	5.9
16	白老	141.32	42.51	192	126	14.3	5.7
17	室蘭	140.97	42.35	194	127	14.3	5.6
18	森	140.60	42.12	214	145	15.9	6.0
19	磯法華	141.17	41.82	239	163	18.3	7.1
20	函館	140.71	41.80	220	148	16.4	6.3
21	松前	140.08	41.42	280	202	21.1	7.4
22	江差	140.10	41.86	296	218	22.6	7.5
23	瀬棚	139.85	42.46	275	205	22.6	7.5
24	岩内	140.53	42.99	202	139	14.7	5.1
25	余市	140.78	43.21	199	138	14.1	4.8
26	小樽	141.02	43.19	182	124	12.8	4.4
27	石狩湾新港	141.28	43.20	166	111	12.0	4.5
28	石狩	141.35	43.25	166	113	11.9	4.5
29	増毛	141.54	43.85	199	145	14.0	4.2
30	留萌	141.64	43.97	184	135	12.4	3.7
31	羽幌	141.70	44.37	164	122	11.3	3.1
32	天塩	141.74	44.87	96	60	6.7	2.2
33	鱒泊	141.23	45.24	101	65	7.0	2.2
34	くつがた	141.14	45.19	105	67	7.3	2.3
35	鬼脇	141.31	45.13	101	64	7.0	2.2
36	香深	141.05	45.30	105	68	7.3	2.3
37	船泊	141.04	45.45	104	66	7.1	2.2
38	焼尻	141.43	44.44	146	105	9.8	3.1
39	天亮	141.33	44.44	147	105	10.0	3.2
40	奥尻	139.52	42.17	362	286	36.8	11.2
41	能代	140.00	40.22	298	223	21.9	7.1
42	船川	139.85	39.88	331	257	25.4	7.7
43	秋田	140.15	39.75	362	280	28.6	8.2
44	本荘	140.02	39.38	365	284	28.5	8.0
45	酒田	139.83	38.90	427	342	42.3	10.6
46	加茂	139.73	38.76	398	317	36.0	9.5
47	岩船	139.43	38.18	306	242	27.6	8.0
48	新潟	139.07	37.93	283	219	23.7	6.8
49	寺泊	138.79	37.68	209	159	15.0	4.5
50	両津	138.45	38.07	172	121	12.4	4.0
51	小木	138.28	37.81	159	111	11.2	3.7
52	柏崎	138.53	37.37	187	140	12.9	3.9
53	直江津	138.25	37.18	219	173	15.7	3.6
54	姫川	137.85	37.05	151	111	10.8	3.6
55	魚津	137.39	36.82	168	110	12.0	4.3
56	伏木富山	137.12	36.77	194	136	13.7	4.7
57	七尾	136.97	37.05	237	177	16.9	4.7
58	飯田	137.26	37.44	261	203	19.2	4.4
59	輪島	136.90	37.39	199	149	13.2	3.9
60	福浦	136.73	37.08	367	294	35.6	7.7
61	金沢	136.60	36.60	274	204	20.5	6.4
62	福井	136.13	36.22	460	369	40.1	10.9
63	敦賀	136.07	35.65	378	296	30.8	9.6
64	和田	135.58	35.48	310	237	23.4	7.4
65	深浦	139.94	40.64	290	216	21.9	7.4

66	青森	140.73	40.82	224	155	16.8	6.6
67	野辺地	141.13	40.87	271	195	20.8	7.9
68	大湊	141.18	41.27	265	188	20.7	7.9
69	大向	140.90	41.53	233	158	17.7	6.9
70	尻矢崎	141.45	41.42	306	228	24.6	9.0
71	むつ小河原	141.38	40.93	322	248	25.6	9.1
72	八戸	141.53	40.53	338	255	26.7	9.7
73	久慈	141.83	40.18	352	267	28.6	10.4
74	宮古	141.97	39.63	295	217	23.6	8.5
75	釜石	141.90	39.27	260	193	20.2	7.3
76	大船渡	141.73	39.05	259	192	19.2	7.1
77	気仙沼	141.59	38.90	299	225	22.0	7.0
78	女川	141.17	38.44	372	293	29.6	8.2
79	石巻	141.27	38.40	353	274	27.1	7.9
80	塩釜	141.05	38.32	313	237	23.5	6.9
81	相馬	140.97	37.83	299	222	22.5	7.4
82	久之浜	141.01	37.15	372	286	29.8	9.2
83	小名浜	140.90	36.95	362	278	28.6	8.8
84	日立	140.62	36.48	382	300	31.1	9.2
85	常陸那珂	140.60	36.33	382	299	30.8	9.2
86	大洗	140.57	36.30	379	294	30.3	9.1
87	鹿島	140.68	35.92	338	257	26.0	7.7
88	興津	140.25	35.13	497	407	45.2	11.7
89	館山	139.87	34.98	444	360	44.7	13.5
90	木更津	139.92	35.38	411	325	35.5	10.8
91	千葉	140.12	35.58	365	283	29.5	9.2
92	東京	139.77	35.63	416	331	35.5	10.5
93	川崎	139.75	35.50	472	384	42.6	11.7
94	横浜	139.63	35.47	476	384	43.7	12.4
95	横須賀	139.67	35.28	441	353	40.9	12.4
96	葉山	139.57	35.28	451	363	43.0	13.1
97	湘南	139.48	35.30	471	381	46.4	13.9
98	大磯	139.32	35.30	538	446	57.7	15.9
99	真鶴	139.15	35.15	529	435	54.7	16.0
100	元町	139.36	34.75	503	408	46.1	11.8
101	三池	139.54	34.08	393	313	31.2	7.5
102	八重根	139.73	33.13	129	85	9.0	3.1
103	舞鶴	135.32	35.45	379	297	30.4	8.6
104	宮津	135.19	35.53	501	407	48.9	12.3
105	久美浜	134.87	35.62	506	413	49.5	11.8
106	柴山	134.67	35.65	511	418	48.8	11.2
107	田後	134.28	35.58	411	329	34.0	8.5
108	鳥取	134.18	35.53	438	354	38.8	9.4
109	赤崎	133.66	35.51	247	189	17.9	5.1
110	境	133.25	35.55	267	210	19.6	4.3
111	西郷	133.33	36.20	120	79	8.2	2.6
112	松江	133.05	35.46	195	153	13.3	3.2
113	別府	133.04	36.10	105	70	7.0	2.1
114	河下	132.77	35.45	140	102	9.4	2.9
115	田饅	132.60	35.30	180	136	12.3	3.2
116	久手	132.50	35.20	198	151	13.7	3.4
117	江津	132.11	34.90	162	115	11.1	3.3
118	浜田	132.05	34.87	163	117	11.1	3.3
119	益田	131.83	34.69	194	143	13.4	3.7
120	新宮	136.00	33.72	426	335	38.3	12.6
121	袋	135.78	33.47	516	419	51.0	15.5
122	文里	135.36	33.73	523	425	51.9	13.6
123	日高	135.16	33.87	386	299	31.5	9.8
124	和歌山下津	135.15	34.22	304	232	22.8	7.3
125	阪南	135.25	34.37	297	221	22.3	7.1
126	堺泉北	135.47	34.58	337	257	25.7	7.5
127	大阪	135.43	34.65	336	256	26.0	7.7
128	尼崎西宮芦屋	135.40	34.70	333	254	26.1	7.8
129	神戸	135.20	34.67	403	321	39.6	10.5
130	岩屋	135.02	34.59	475	384	48.3	11.6
131	津名	134.90	34.43	334	256	27.1	8.0
132	洲本	134.90	34.34	301	225	23.1	7.2

133	澁	134.74	34.32	274	201	20.4	6.7
134	都志	134.78	34.41	296	221	22.7	7.0
135	明石	134.99	34.64	434	346	39.7	9.9
136	東播磨	134.85	34.70	323	246	25.0	7.1
137	津居山	134.83	35.63	498	406	48.4	11.6
138	姫路	134.63	34.78	248	181	17.9	5.6
139	相生	134.47	34.76	228	163	16.1	5.2
140	赤穂	134.37	34.74	212	153	14.9	5.0
141	東備	134.20	34.73	197	136	14.1	4.8
142	岡山	134.10	34.60	198	135	14.0	4.8
143	宇野	133.97	34.50	196	134	13.9	4.8
144	水島	133.72	34.50	190	128	13.5	4.7
145	福山	133.43	34.42	195	136	14.0	4.7
146	土庄	133.20	34.28	215	157	15.5	5.2
147	尾道糸崎	133.10	34.38	214	156	15.4	5.1
148	須波	133.08	34.35	219	160	15.8	5.2
149	瀬戸田	133.08	34.30	225	164	16.3	5.3
150	大西	132.88	34.25	256	192	19.4	6.0
151	御手洗	132.85	34.18	271	205	20.8	6.3
152	釣上田	132.50	34.13	309	239	25.5	7.3
153	呉	132.55	34.23	292	224	23.6	6.8
154	小用	132.50	34.37	257	195	19.9	5.9
155	広島	132.48	34.35	262	199	20.3	6.0
156	大竹	132.23	34.23	262	199	20.3	6.0
157	粟津	134.62	34.13	270	197	20.2	6.8
158	小松島	134.60	34.00	289	216	22.2	7.4
159	橋	134.60	33.87	326	249	25.8	8.3
160	浅川	134.38	33.58	384	304	33.4	10.2
161	甲浦	134.28	33.53	375	296	32.6	10.0
162	室津	134.15	33.27	413	331	40.0	11.8
163	奈判利	134.02	33.42	404	322	37.6	11.0
164	高知	133.57	33.53	301	231	26.1	8.6
165	須崎	133.30	33.40	309	237	27.7	9.2
166	下田	133.01	32.88	343	263	29.1	9.6
167	あしずり	132.95	32.76	351	268	28.7	9.4
168	宿毛湾	132.70	32.92	323	242	24.8	8.1
169	片島	132.68	32.90	325	244	24.9	8.1
170	宇和島	132.55	33.22	285	209	21.3	7.1
171	八幡浜	132.42	33.45	270	198	19.8	6.5
172	松山	132.68	33.83	294	224	22.6	7.0
173	中島	132.64	33.97	309	238	24.7	7.3
174	今治	133.02	34.07	256	192	19.1	6.2
175	東予	133.12	33.95	258	192	19.4	6.4
176	新居浜	133.27	33.97	267	199	20.1	6.3
177	三島川之江	133.57	34.02	249	184	18.6	6.0
178	坂出	133.85	34.32	203	140	14.6	5.1
179	高松	134.05	34.35	208	144	15.0	5.2
180	三本松	134.35	34.25	236	168	17.3	5.9
181	土庄	134.17	34.48	207	142	14.8	5.1
182	岩国	132.23	34.20	267	203	20.7	6.1
183	久賀	132.25	33.93	285	217	21.9	6.4
184	柳井	132.08	33.93	254	190	18.7	5.7
185	徳山下松	131.80	34.05	199	143	14.1	4.4
186	三田尻中関	131.58	34.03	174	124	12.1	3.8
187	宇部	131.23	33.95	181	133	12.6	3.5
188	小野田	131.17	33.97	179	132	12.5	3.4
189	下関	130.93	33.93	142	101	9.8	3.0
190	萩	131.40	34.41	193	143	13.2	3.6
191	北九州	130.90	33.88	137	97	9.4	2.9
192	河田	131.00	33.80	150	107	10.3	3.1
193	高田	131.42	33.58	220	164	15.5	4.2
194	大分空港	131.74	33.47	281	216	20.5	5.2
195	別府	131.52	33.27	245	191	17.1	4.5
196	大分	131.61	33.24	276	213	20.1	5.0
197	臼杵	131.81	33.12	338	262	28.0	6.8
198	津久見	131.87	33.07	295	223	22.0	5.7
199	佐伯	131.90	32.97	248	187	17.6	5.4

200	細島	131.65	32.43	293	226	21.4	6.1
201	高鍋	131.53	32.12	313	241	22.9	6.5
202	宮崎	131.45	31.88	318	251	23.6	5.9
203	油津	131.40	31.57	257	192	17.7	4.9
204	志布志	131.12	31.47	252	188	17.7	5.0
205	大泊	130.70	31.01	229	168	15.7	4.5
206	鹿兒島	130.57	31.58	391	321	39.6	9.3
207	指宿	130.65	31.24	297	229	22.4	5.9
208	平崎	130.20	31.33	254	194	18.3	4.8
209	川内	130.20	31.85	237	182	17.1	4.6
210	西之表	130.98	30.73	273	207	19.7	5.6
211	宮之浦	130.53	30.41	245	180	17.4	5.3
212	名瀬	129.50	28.38	298	221	23.0	7.7
213	甑	129.94	28.33	361	278	29.8	9.4
214	龜鏡	129.03	27.74	277	206	20.7	6.7
215	和泊	128.66	27.40	209	147	14.8	5.0
216	与論	128.40	27.03	168	113	11.8	4.0
217	水俣	130.38	32.20	276	216	19.6	4.5
218	八代	130.57	32.50	307	243	22.5	4.8
219	三角	130.47	32.60	307	243	22.7	5.3
220	本渡	130.20	32.45	275	215	21.0	5.4
221	熊本	130.60	32.78	347	281	28.1	6.2
222	三池	130.42	33.00	228	174	16.0	4.2
223	住之江	130.22	33.19	181	135	12.4	3.4
224	長崎	129.87	32.75	276	218	23.5	5.8
225	福江	128.85	32.70	92	60	6.2	1.8
226	胄方	129.07	32.97	98	65	6.6	1.9
227	佐世保	129.73	33.15	149	108	10.1	2.9
228	伊万里	129.83	33.30	141	102	9.5	2.6
229	唐津	129.97	33.47	152	112	10.3	2.6
230	郷ノ浦	129.70	33.73	100	69	6.8	1.9
231	厳原	129.28	34.18	61	37	4.4	1.3
232	博多	130.40	33.60	207	160	14.7	3.2
233	熱海	139.08	35.10	524	430	52.5	15.4
234	伊東	139.10	34.97	491	400	45.8	13.3
235	下田	138.95	34.67	446	359	38.2	10.2
236	松崎	138.77	34.75	459	365	39.6	10.7
237	宇久須	138.77	34.85	429	341	35.8	10.8
238	土肥	138.78	34.90	438	344	37.6	11.4
239	沼津	138.85	35.07	460	366	41.3	12.8
240	田子の浦	138.70	35.13	408	316	34.8	11.1
241	清水	138.50	35.03	355	269	28.4	9.6
242	大井川	138.30	34.79	369	286	31.3	10.2
243	御前崎	138.23	34.60	370	287	33.5	11.1
244	浜名	137.60	34.68	365	280	32.9	11.0
245	三河	137.33	34.77	391	303	34.1	10.9
246	伊良湖	137.03	34.58	377	290	31.8	10.4
247	衣浦	136.97	34.88	387	299	33.3	11.0
248	師崎	136.98	34.70	386	299	32.7	10.6
249	名古屋	136.88	35.08	396	312	37.0	12.1
250	常滑	136.85	34.87	371	285	31.5	10.6
251	四日市	136.63	34.95	365	281	30.6	10.1
252	白子	136.60	34.83	340	257	27.6	9.4
253	津松阪	136.52	34.70	323	240	25.4	8.8
254	鳥羽	136.85	34.48	349	265	28.9	9.8
255	宇治山田	136.79	34.50	345	260	28.2	9.6
256	浜島	136.75	34.29	341	257	28.6	9.8
257	的矢	136.87	34.37	346	262	29.1	9.9
258	五か所	136.70	34.33	339	255	28.1	9.6
259	吉津	136.50	34.27	342	258	27.8	9.5
260	尾鷲	136.22	34.07	375	287	30.9	10.3
261	長島	136.33	34.19	358	272	29.0	9.7
262	木本	136.11	33.88	397	307	33.7	11.2
263	義賢	136.03	33.73	422	331	37.7	12.4
264	運天	128.00	26.67	148	100	10.0	3.4
265	金武湾	127.83	26.42	167	118	11.3	3.4
266	中城湾	127.79	26.26	190	137	12.9	3.6

267	那覇	127.68	26.23	183	131	12.4	3.5
268	泊(伊平屋島)	127.97	27.03	145	95	10.1	3.5
269	仲田(伊是名島)	127.95	26.92	143	95	10.0	3.5
270	本部	127.88	26.63	149	101	10.1	3.3
271	伊江(伊江島)	127.80	26.70	146	98	9.9	3.2
272	兼城(久米島)	126.75	26.33	172	120	11.5	3.5
273	平良	125.28	24.80	232	171	17.0	5.4
274	長山(伊良部島)	125.20	24.80	241	178	17.7	5.6
275	普天間(多良間島)	124.72	24.65	285	212	21.0	6.3
276	石垣	124.15	24.33	227	166	15.6	5.0
277	仲間(西表島)	123.87	24.27	230	166	16.4	5.5
278	祖納(与那国島)	123.00	24.47	399	312	35.4	11.2
279	西(北大東島)	131.27	25.95	96	59	7.0	2.3
280	西(南大東島)	131.20	25.83	92	55	6.7	2.2

を求め、最大加速度と作用震度の上限との関係式として式(1)を提案した。

$$K_h = \frac{1}{3} \left(\frac{\alpha}{g} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (1)$$

ここに K_h は作用震度、 α は最大加速度 (Gal)、 g は重力加速度 (980Gal) である。同様の関係が矢板式岸壁に対しても適用可能かという点については北島ら⁷⁾が検討を行っており、式(1)は矢板式岸壁にも準用できるとの結論を得ている。そこで、耐震設計の目標となる最大加速度を式(1)により震度に換算し、震度法による耐震設計を行えば、その構造物は地震に対して十分に安全であるということになる。なお、式(1)は背後地盤や基礎地盤で液状化や過剰間隙水圧の上昇が発生しない場合に限り有効である。また、野田らや北島らの検討は、当時得られていたSMAC-B2型強震計の加速度記録によるものである。従って、式(1)はSMAC最大加速度と作用震度の上限との関係式と考えられる。

さて、式(1)を導くにあたり野田らは被災港湾における最大加速度を距離減衰式により推定している。ところが、2.で述べたように本研究で距離減衰式の見直しを実施したので、新しく得られた距離減衰式に基づいて式(1)の妥当性を確認する必要が生じた。また、式(1)は過去の地震による港湾の被災事例に基づいて得られた経験式であるから、その信頼性をより確かなものとしていくため、新たな被災が発生した場合には被災事例に基づいて再検討を行うことが望ましい。1978年宮城県沖地震、あるいは1983年日本海中部地震の後には、被災記録に基づいて式(1)に関する検討が行われた^{9)、10)}。また、1995年兵庫県南部地震で被災した神戸港の重力式岸壁については長尾ら¹¹⁾が同様の検討を行っている。しかし、これらの地震以外にも1982年浦河沖地震、1993年釧路沖地震、1993年北海道南西沖地震、1994年

北海道東方沖地震、1994年三陸はるか沖地震といった被害地震が発生しており、これらの地震による岸壁の被災事例は未だ検討対象となっていない。

そこで、本研究では既往の被災事例について新たに最大加速度等を推定し、新しい被災事例については岸壁に作用した震度と最大加速度等の両者を推定して、この結果を併せて、重力式岸壁・矢板式岸壁の震度と地盤加速度の関係について再検討を行うこととした。なお、最大加速度については、2.で述べたのと同じ理由により補正最大加速度とSMAC最大加速度を区別して扱った。

ここ数年に生じた港湾の地震被害の教訓の一つは、構造物の被災程度と地盤加速度の大きさが必ずしもよい対応を示さないという事実である³⁶⁾。1995年兵庫県南部地震により神戸港が甚大な被害を受けたのに対し、1994年三陸はるか沖地震による八戸港の被害は比較的軽微であった。ところが神戸港と八戸港で得られた強震記録を見ると、加速度記録の最大値はほぼ同程度である(図-30)。このことから、港湾構造物に及ぼす地震動の破壊力が最大加速度のみでは説明できないことが推察される。兵庫県南部地震の地震動は主要動部分に長周期成分を含んでおり、加速度波形を積分して得られる最大速度・最大変位は三陸はるか沖地震の八戸港の記録よりもかなり大きな値となっている(図-31)。そこで、最大加速度のような地震動の短周期成分を代表するパラメタよりも、最大速度等の地震動の長周期成分を代表するパラメタが岸壁の被害の大きさとよく対応するということが考えられる。このようなことから、本研究では、作用震度と最大加速度の関係のみならず、作用震度と最大速度、最大変位、SI値との関係についても検討を行うこととした。SI値は地震動の破壊力を表す一つの指標としてG.W.Housner³⁷⁾が提案しているものであり、減衰定数20%として計算した地震動の速度応答スペクトルの周期0.1秒から2.5秒までの平均値である。

表-4 SMAC 最大加速度の期待値に関する港湾毎の Weibull 分布の係数

港湾	B [Gal]	A [Gal]	相関係数	k	SMAC最大加速度の 75年期待値[Gal]	
1	稚内	5.4	13.3	0.97	0.75	53
2	宗谷	4.7	13.1	0.98	0.75	52
3	枝幸	17.3	10.3	0.99	0.75	54
4	紋別	27.6	19.8	0.99	0.75	99
5	網走	41.6	42.3	0.99	1.00	152
6	宇登呂漁港	54.1	33.7	0.99	1.10	135
7	標津漁港	63.5	54.7	0.99	1.25	181
8	根室	78.4	87.4	0.96	1.25	267
9	霧多布	63.6	88.4	0.99	1.10	275
10	釧路	71.1	51.1	0.93	0.75	255
11	十勝	110.2	50.6	0.97	0.75	292
12	浦河	109.3	86.7	0.98	0.75	421
13	えりも	115.1	64.0	0.97	0.75	345
14	苫小牧(東)	59.9	38.9	0.99	1.00	161
15	苫小牧(西)	55.1	35.9	0.99	1.10	141
16	白老	50.6	35.2	0.99	1.25	126
17	室蘭	56.4	21.3	0.99	0.80	127
18	森	47.8	26.9	0.99	0.75	145
19	磯法華	78.4	23.4	0.96	0.75	163
20	函館	59.0	24.9	0.98	0.75	148
21	松前	38.7	45.4	0.97	0.75	202
22	江差	26.6	53.3	0.98	0.75	218
23	瀬棚	8.7	54.6	0.89	0.75	205
24	岩内	25.7	31.5	0.96	0.75	139
25	余市	27.2	30.7	0.98	0.75	138
26	小樽	32.9	27.3	0.98	0.80	124
27	石狩湾新港	33.9	32.3	0.99	1.10	111
28	石狩	36.2	29.3	1.00	1.00	113
29	増毛	24.7	33.4	0.95	0.75	145
30	留萌	25.1	30.6	0.99	0.75	135
31	羽幌	15.4	29.6	0.99	0.75	122
32	天塩	14.0	13.9	0.99	0.80	60
33	鷹泊	4.7	16.7	0.98	0.75	65
34	くつがた	4.5	17.5	0.97	0.75	67
35	鬼脇	6.9	15.9	0.98	0.75	64
36	香深	3.4	17.9	0.98	0.75	68
37	船泊	1.9	17.9	0.98	0.75	66
38	焼尻	15.1	27.2	0.97	0.80	105
39	天売	14.3	27.4	0.98	0.80	105
40	奥尻	-9.0	82.1	0.89	0.75	286
41	能代	38.6	70.8	0.97	1.00	223
42	船川	39.2	65.6	0.96	0.80	257
43	秋田	38.6	67.2	0.99	0.75	280
44	本荘	36.6	68.8	0.99	0.75	284
45	酒田	11.2	92.1	0.93	0.75	342
46	加茂	15.6	83.9	0.93	0.75	317
47	岩船	16.2	63.0	0.84	0.75	242
48	新潟	12.8	57.4	0.86	0.75	219
49	寺泊	29.8	36.1	0.95	0.75	159
50	両津	20.8	27.9	0.84	0.75	121
51	小木	25.7	23.7	0.91	0.75	111
52	柏崎	45.1	26.4	0.98	0.75	140
53	直江津	52.7	33.5	0.98	0.75	173
54	姫川	43.3	31.2	0.99	1.25	111
55	魚津	43.6	25.6	0.95	1.00	110
56	伏木富山	41.9	26.3	0.99	0.75	136
57	七尾	26.4	41.9	0.98	0.75	177
58	飯田	15.2	52.3	0.95	0.75	203
59	輪島	23.9	37.7	0.99	0.80	149
60	福浦	-1.2	82.2	0.86	0.75	294
61	金沢	21.0	70.1	0.98	1.00	204
62	福井	25.9	95.5	0.98	0.75	369
63	敦賀	49.5	68.6	0.99	0.75	296
64	和田	25.6	88.4	0.99	1.10	237
65	深浦	51.7	45.8	0.98	0.75	216

66	青森	47.1	57.0	0.99	1.50	155
67	野辺地	62.0	61.8	0.98	1.25	195
68	大湊	76.6	42.6	0.99	1.00	188
69	大間	71.0	24.3	0.99	0.75	158
70	尻矢崎	96.4	39.7	0.98	0.80	228
71	むつ小河原	66.0	84.7	0.98	1.25	248
72	八戸	48.6	108.8	0.99	1.50	255
73	久慈	69.9	104.1	0.98	1.50	267
74	宮古	87.7	49.7	0.99	1.00	217
75	釜石	105.0	24.5	0.99	0.75	193
76	大船渡	102.4	34.2	0.99	1.00	192
77	気仙沼	90.9	51.5	0.99	1.00	225
78	女川	79.8	59.3	0.97	0.75	293
79	石巻	75.6	76.0	0.99	1.00	274
80	塩釜	69.9	64.1	0.98	1.00	237
81	相馬	86.2	37.9	0.98	0.75	222
82	久之浜	84.4	77.2	0.98	1.00	286
83	小名浜	85.4	73.8	0.99	1.00	278
84	日立	103.7	54.5	0.99	0.75	300
85	常陸那珂	102.4	54.8	0.99	0.75	299
86	大洗	96.2	59.7	0.99	0.80	294
87	鹿島	92.0	63.3	0.99	1.00	257
88	興津	70.7	93.7	0.98	0.75	407
89	館山	67.7	81.3	0.95	0.75	360
90	木更津	97.5	63.2	0.97	0.75	325
91	千葉	100.6	50.7	0.97	0.75	283
92	東京	103.4	63.2	0.99	0.75	331
93	川崎	95.9	80.2	0.98	0.75	384
94	横浜	102.1	78.5	0.97	0.75	384
95	横須賀	90.0	73.2	0.98	0.75	353
96	葉山	93.6	74.9	0.96	0.75	363
97	湘南	99.3	78.5	0.94	0.75	381
98	大磯	106.0	94.8	0.97	0.75	446
99	真鶴	110.8	90.2	0.98	0.75	435
100	元町	79.7	125.7	0.99	1.00	408
101	三池	72.2	72.7	0.99	0.80	313
102	八重根	36.5	25.7	0.99	1.50	85
103	舞鶴	35.3	72.9	1.00	0.75	297
104	宮津	14.4	109.3	0.97	0.75	407
105	久美浜	10.1	112.1	0.99	0.75	413
106	柴山	8.2	114.1	0.99	0.75	418
107	田後	17.2	86.8	0.99	0.75	329
108	鳥取	10.3	95.6	0.97	0.75	354
109	赤崎	33.8	43.1	0.95	0.75	189
110	境	25.8	51.3	0.96	0.75	210
111	西郷	19.9	16.6	0.98	0.75	79
112	松江	16.9	63.2	0.97	1.25	153
113	別府	19.8	14.0	0.97	0.75	70
114	河下	18.8	43.8	0.99	1.50	102
115	田饅	29.8	29.6	0.98	0.75	136
116	久手	24.9	35.1	0.98	0.75	151
117	江津	21.9	25.9	0.99	0.75	115
118	浜田	20.7	26.8	0.99	0.75	117
119	益田	16.9	35.1	0.95	0.75	143
120	新宮	31.5	84.4	0.98	0.75	335
121	袋	26.7	109.3	0.98	0.75	419
122	文里	48.9	104.8	0.99	0.75	425
123	日高	73.0	68.2	0.97	0.80	299
124	和歌山下津	65.9	63.5	0.97	1.00	232
125	阪南	67.4	42.8	0.99	0.75	221
126	堺泉北	49.7	57.7	0.99	0.75	257
127	大阪	47.3	58.1	0.98	0.75	256
128	尼崎西宮芦屋	46.4	57.8	0.97	0.75	254
129	神戸	28.8	81.4	0.91	0.75	321
130	岩屋	16.5	102.3	0.90	0.75	384
131	津名	41.6	59.7	0.95	0.75	256
132	洲本	52.9	47.9	0.97	0.75	225

133	澁	49.2	42.3	0.97	0.75	201
134	都志	43.8	49.4	0.96	0.75	221
135	明石	21.9	90.1	0.91	0.75	346
136	東播磨	36.4	58.4	0.98	0.75	246
137	津居山	10.9	110.0	0.99	0.75	406
138	姫路	48.4	37.0	0.98	0.75	181
139	相生	44.5	35.7	0.99	0.80	163
140	赤穂	43.0	33.1	0.99	0.80	153
141	東備	34.2	39.0	0.97	1.00	136
142	岡山	37.0	27.4	0.99	0.75	135
143	宇野	33.0	28.0	0.99	0.75	134
144	水島	29.4	27.6	0.99	0.75	128
145	福山	30.0	29.6	0.96	0.75	136
146	土庄	26.4	36.2	0.93	0.75	157
147	尾道系崎	25.8	36.1	0.93	0.75	156
148	須波	24.8	37.5	0.93	0.75	160
149	瀬戸田	24.0	39.0	0.93	0.75	164
150	大西	17.6	48.7	0.93	0.75	192
151	御手洗	15.9	52.6	0.93	0.75	205
152	釣上田	10.2	63.7	0.92	0.75	239
153	呉	11.0	59.3	0.92	0.75	224
154	小用	14.9	50.3	0.91	0.75	195
155	広島	14.4	51.4	0.91	0.75	199
156	大竹	16.5	50.7	0.91	0.75	199
157	粟津	49.1	41.1	0.99	0.75	197
158	小松島	47.6	46.8	0.97	0.75	216
159	橋	45.7	56.6	0.99	0.75	249
160	浅川	29.9	76.4	0.97	0.75	304
161	甲浦	26.5	75.1	0.98	0.75	296
162	雲津	13.9	88.3	0.92	0.75	331
163	奈判利	11.2	86.6	0.91	0.75	322
164	高知	16.5	59.8	0.89	0.75	231
165	須崎	15.1	61.7	0.87	0.75	237
166	下田	30.6	64.8	0.96	0.75	263
167	あしずり	38.8	63.9	0.98	0.75	268
168	宿毛湾	51.7	53.1	1.00	0.75	242
169	片島	53.9	52.8	0.99	0.75	244
170	宇和島	43.0	50.1	0.99	0.80	209
171	八幡浜	42.5	43.3	1.00	0.75	198
172	松山	21.0	56.6	0.96	0.75	224
173	中島	14.3	62.4	0.95	0.75	238
174	今治	20.7	47.7	0.94	0.75	192
175	東予	23.2	47.0	0.94	0.75	192
176	新居浜	23.1	49.1	0.94	0.75	199
177	三島川之江	24.4	44.5	0.97	0.75	184
178	坂出	30.4	30.6	0.98	0.75	140
179	高松	33.7	30.7	0.98	0.75	144
180	三本松	40.0	35.6	0.98	0.75	168
181	土庄	36.7	29.4	0.99	0.75	142
182	岩国	16.5	51.8	0.91	0.75	203
183	久賀	23.7	53.8	0.95	0.75	217
184	柳井	29.4	44.7	0.96	0.75	190
185	徳山下松	34.5	30.3	0.92	0.75	143
186	三田尻中関	37.3	24.0	0.96	0.75	124
187	宇部	30.9	28.5	0.97	0.75	133
188	小野田	29.2	28.6	0.96	0.75	132
189	下関	33.1	18.9	0.99	0.75	101
190	萩	19.1	34.5	0.97	0.75	143
191	北九州	35.5	17.0	0.99	0.75	97
192	苅田	38.6	19.0	0.99	0.75	107
193	高田	43.2	33.8	0.97	0.75	164
194	大分空港	42.5	48.3	0.98	0.75	216
195	別府	55.8	40.7	0.98	0.80	191
196	大分	54.8	44.1	0.98	0.75	213
197	臼杵	48.9	59.4	0.88	0.75	262
198	津久見	60.5	45.3	0.95	0.75	223
199	佐伯	53.1	62.0	0.98	1.25	187

200	細島	69.0	72.9	0.99	1.25	226
201	高鍋	84.4	60.0	1.00	1.00	241
202	宮崎	73.3	74.3	1.00	1.10	251
203	油津	51.5	74.1	0.99	1.50	192
204	志布志	61.8	35.2	0.95	0.75	188
205	大泊	42.3	35.1	0.98	0.75	168
206	鹿児島	18.0	84.3	0.89	0.75	321
207	指宿	31.8	55.0	0.95	0.75	229
208	平嶋	25.0	47.1	0.96	0.75	194
209	川内	34.2	41.3	0.93	0.75	182
210	西之表	41.0	46.1	0.97	0.75	207
211	宮之浦	29.3	42.1	0.97	0.75	180
212	名瀬	25.0	54.6	0.95	0.75	221
213	湾	18.9	72.1	0.97	0.75	278
214	龜徳	15.5	53.0	0.95	0.75	206
215	和泊	23.8	34.4	0.96	0.75	147
216	与論	28.9	23.4	0.98	0.75	113
217	水俣	44.7	47.7	0.99	0.75	216
218	八代	47.5	54.4	1.00	0.75	243
219	三角	43.9	55.5	0.98	0.75	243
220	本渡	28.2	52.1	0.92	0.75	215
221	熊本	42.2	66.4	0.95	0.75	281
222	三池	43.3	36.4	0.96	0.75	174
223	住之江	33.1	28.5	0.95	0.75	135
224	長崎	4.4	59.5	0.83	0.75	218
225	福江	11.3	13.6	0.97	0.75	60
226	晋方	12.0	14.9	0.93	0.75	65
227	佐世保	18.4	24.8	0.89	0.75	108
228	伊万里	20.4	22.7	0.95	0.75	102
229	唐津	20.5	25.4	0.93	0.75	112
230	郷ノ浦	16.6	14.5	0.95	0.75	69
231	厳原	9.9	7.7	0.98	0.75	37
232	博多	22.6	38.1	0.94	0.75	160
233	熱海	108.0	89.5	0.98	0.75	430
234	伊東	78.4	123.2	0.99	1.00	400
235	下田	67.0	122.0	0.99	1.10	359
236	松崎	79.1	86.3	0.99	0.80	365
237	宇久須	71.8	103.2	0.97	1.00	341
238	土肥	70.2	105.0	0.98	1.00	344
239	沼津	95.2	81.5	0.98	0.80	366
240	田子の浦	78.1	91.2	0.99	1.00	316
241	清水	40.8	120.5	0.99	1.50	269
242	大井川	48.8	90.7	0.97	1.00	286
243	御前崎	49.7	66.0	0.93	0.75	287
244	浜名	26.5	70.7	0.94	0.75	280
245	三河	23.6	77.7	0.93	0.75	303
246	伊良湖	20.8	75.0	0.96	0.75	290
247	衣浦	30.7	74.8	0.92	0.75	299
248	師崎	23.2	76.9	0.94	0.75	299
249	名古屋	41.1	75.5	0.96	0.75	312
250	常滑	34.3	69.7	0.95	0.75	285
251	四日市	45.1	65.7	0.99	0.75	281
252	白子	41.8	60.0	0.98	0.75	257
253	津松阪	40.6	55.4	0.97	0.75	240
254	鳥羽	24.8	66.7	0.98	0.75	265
255	宇治山田	26.7	65.0	0.98	0.75	260
256	浜島	26.2	64.3	0.96	0.75	257
257	的矢	23.6	66.4	0.97	0.75	262
258	五か所	28.0	63.1	0.97	0.75	255
259	吉津	32.1	62.9	0.98	0.75	258
260	尾鷲	35.2	70.2	0.97	0.75	287
261	長島	34.1	66.3	0.98	0.75	272
262	木本	34.3	75.8	0.97	0.75	307
263	鵜殿	30.7	83.5	0.98	0.75	331
264	運天	13.8	45.6	0.99	1.50	100
265	金武湾	21.2	37.1	0.98	1.00	118
266	中城湾	24.7	31.2	0.98	0.75	137

267	那覇	25.0	29.5	0.98	0.75	131
268	泊 (伊平屋島)	25.7	26.4	0.98	1.00	95
269	仲田 (伊是名島)	24.3	29.6	0.99	1.10	95
270	本部	12.5	47.0	0.99	1.50	101
271	伊江 (伊江島)	13.6	44.6	0.99	1.50	98
272	兼城 (久米島)	6.6	47.5	0.98	1.10	120
273	平良	16.4	43.0	0.94	0.75	171
274	長山 (伊良部島)	15.9	45.1	0.94	0.75	178
275	普天間 (多良間島)	19.7	53.5	0.97	0.75	212
276	石垣	31.2	62.8	0.99	1.25	166
277	仲間 (西表島)	43.7	56.7	0.99	1.25	166
278	祖納 (与那国島)	61.6	69.6	0.96	0.75	312
279	西 (北大東島)	1.0	16.1	0.98	0.75	59
280	西 (南大東島)	0.7	15.2	0.98	0.75	55

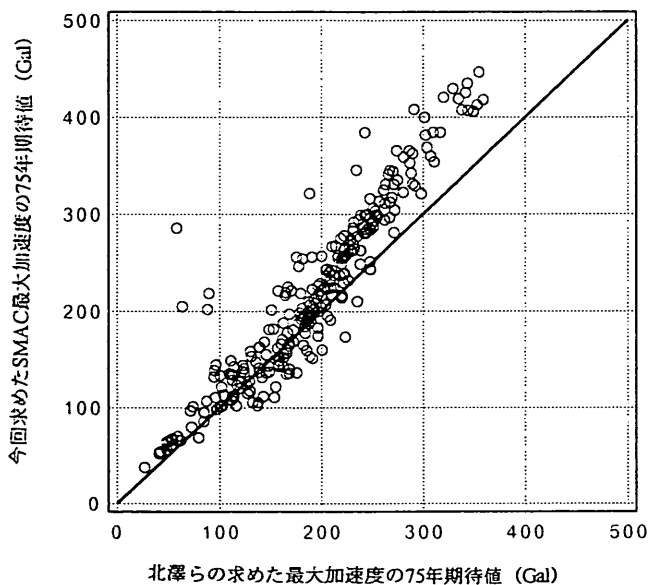


図-25 今回新たに求めた SMAC 最大加速度の 75 年期待値と北澤らの求めた最大加速度の 75 年期待値との比較

5.2 検討方法

本研究で岸壁の作用震度と最大加速度等との関係を求める手順は以下に示す通りである。

- ① 本研究で新しく検討対象とする被災港湾の重力式岸壁および矢板式岸壁（それぞれ無被災岸壁を含む）については現行設計法⁶⁾で安定計算を行い、設計で考慮する各破壊モードに対して安全率が 1 となるような震度（限界震度）を求める。
- ② 各岸壁について実際に破壊が生じたかどうかを判定し、岸壁の作用震度の範囲を求める。
- ③ 一方、既往の研究ですでに検討対象となっている被災事例については、それらの文献に掲載された岸壁もしくは港湾毎の作用震度の範囲を調べ、①②で新しく求めた作用震度の範囲と併せて、岸壁の作用震度の範囲に

関するデータベースを作成する。

- ④ すべての岸壁・港湾について地盤の最大加速度等の推定を行う。

- ⑤ ③④から岸壁の作用震度と最大加速度等との関係を求める。

以下、これらの手順について詳述していく。

① 現行設計法による安定計算

過去の被害地震で被災した重力式岸壁・矢板式岸壁について現行設計法による安定計算を行う。本研究で安定計算の対象とした岸壁は 1982 年浦河沖地震、1993 年釧路沖地震、1993 年北海道南西沖地震、1994 年北海道東方沖地震、1994 年三陸はるか沖地震の 5 つの被害地震で被災した 50 の重力式岸壁と 16 の矢板式岸壁である。安定計算の対象とした岸壁の一覧を表-5 に示す。安定計算の方法は、重力式岸壁・矢板式岸壁についてそれぞれ以下に述べる通りである。

まず、重力式岸壁については、滑動・転倒・基礎の支持力不足の三つの破壊モードに対して安全率が 1 となるような震度を求める。計算条件は以下の通りである。

1) 構造諸元

原則として標準断面図等の構造諸元に従うが、ケーソン隔壁等不明な部分については以下の通りとした。

側壁： $t=40\text{cm}$ ， $\gamma = 2.45$

隔壁： $t=20\text{cm}$ ， 5.0m 間隔， $\gamma = 2.45\text{tf/m}^3$

蓋コンクリート： $t=30\text{cm}$ ， $\gamma = 2.3\text{tf/m}^3$

底版： $t=50\text{cm}$ ， $\gamma = 2.45\text{tf/m}^3$

ケーソン中詰： $\gamma = 2.0\text{tf/m}^3$ の砂

2) 土圧

土圧計算は物部・岡部式によるものとし、残留水位以下の部分については見掛けの震度を用いる。見掛けの震度の算定式は技術基準⁶⁾に示されている式を用いる。

3) 前面水位および残留水位

前面水位としては L.W.L を用いる。残留水位は、場所打ちコンクリート式岸壁については L.W.L と H.W.L の

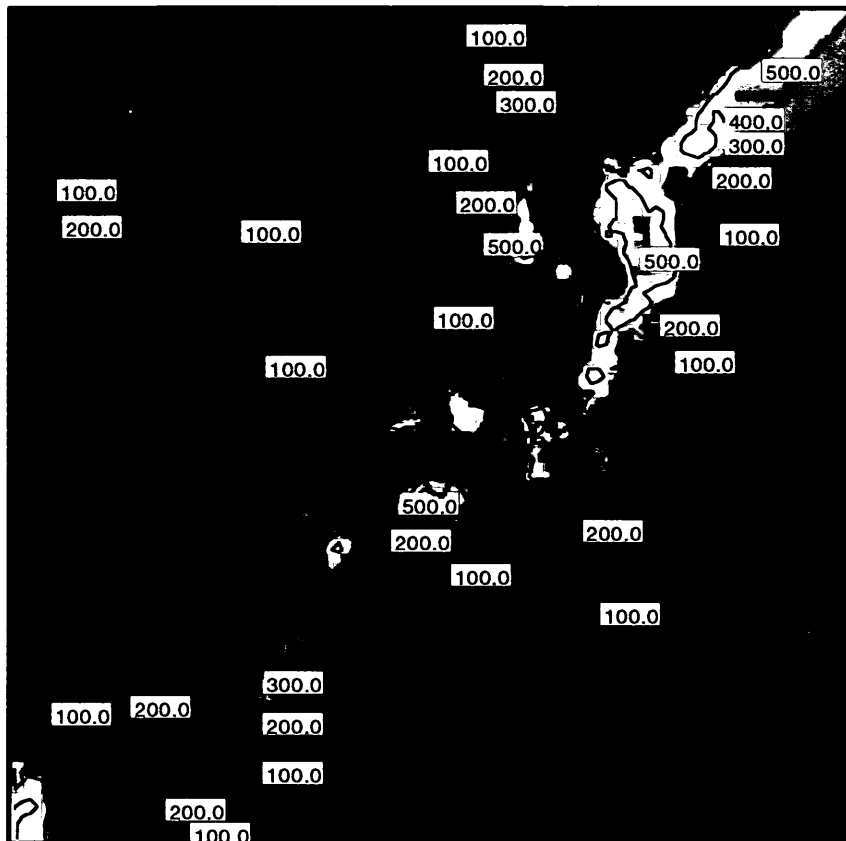


図-26 日本およびその近海の工学的基盤における補正最大加速度の75年期待値

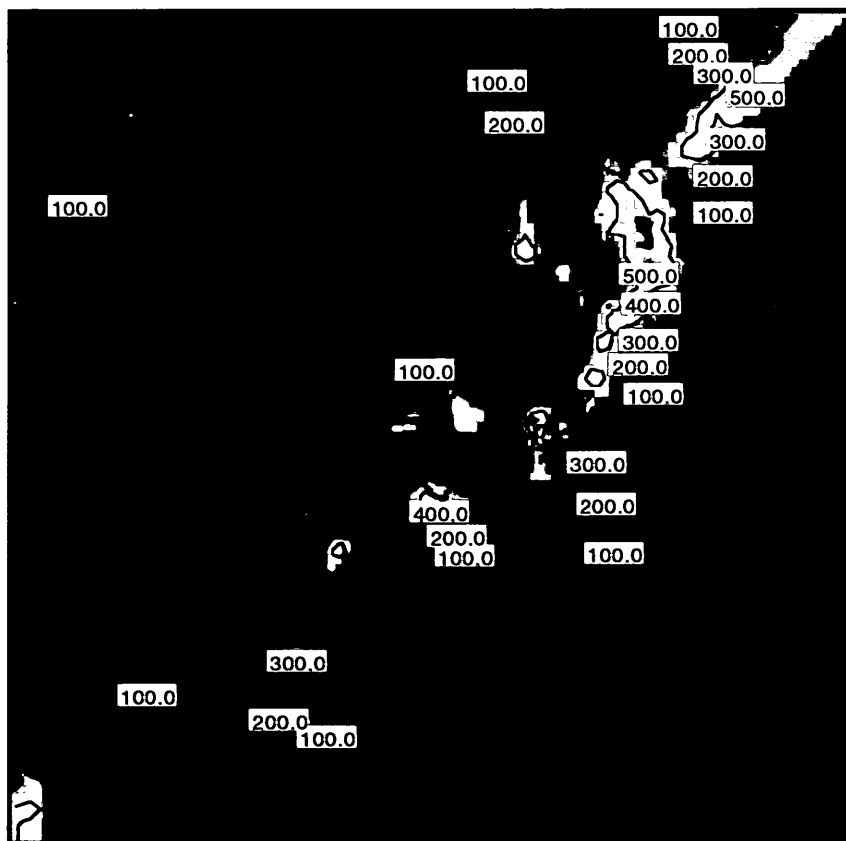


図-27 日本およびその近海の工学的基盤におけるSMAC最大加速度の75年期待値

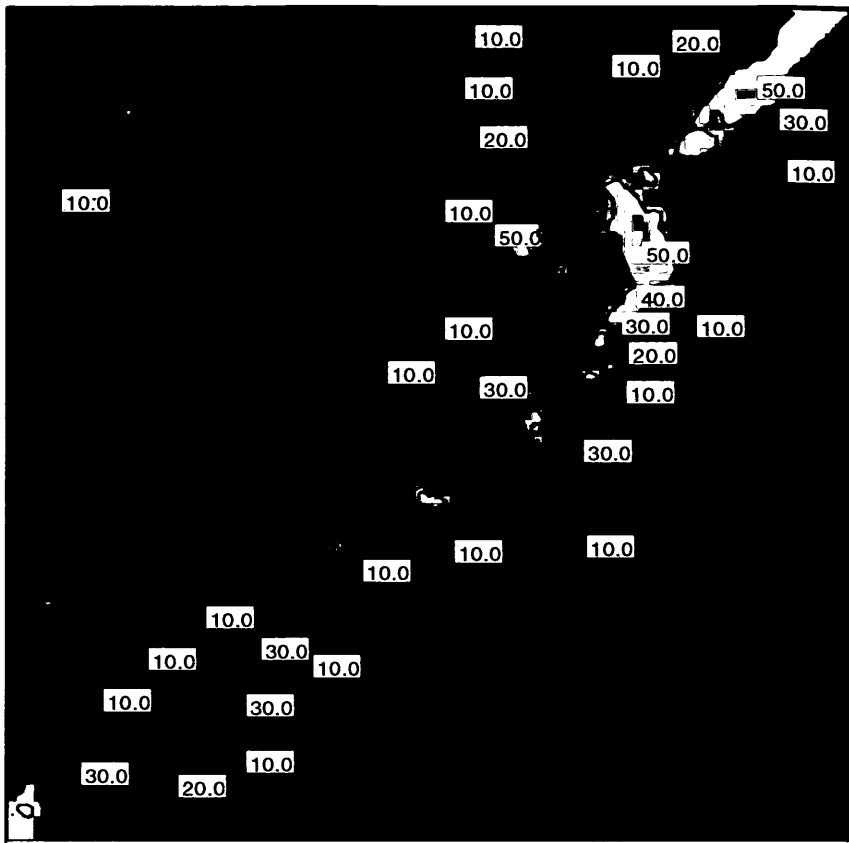


図-28 日本およびその近海の工学的基盤における最大速度の75年期待値

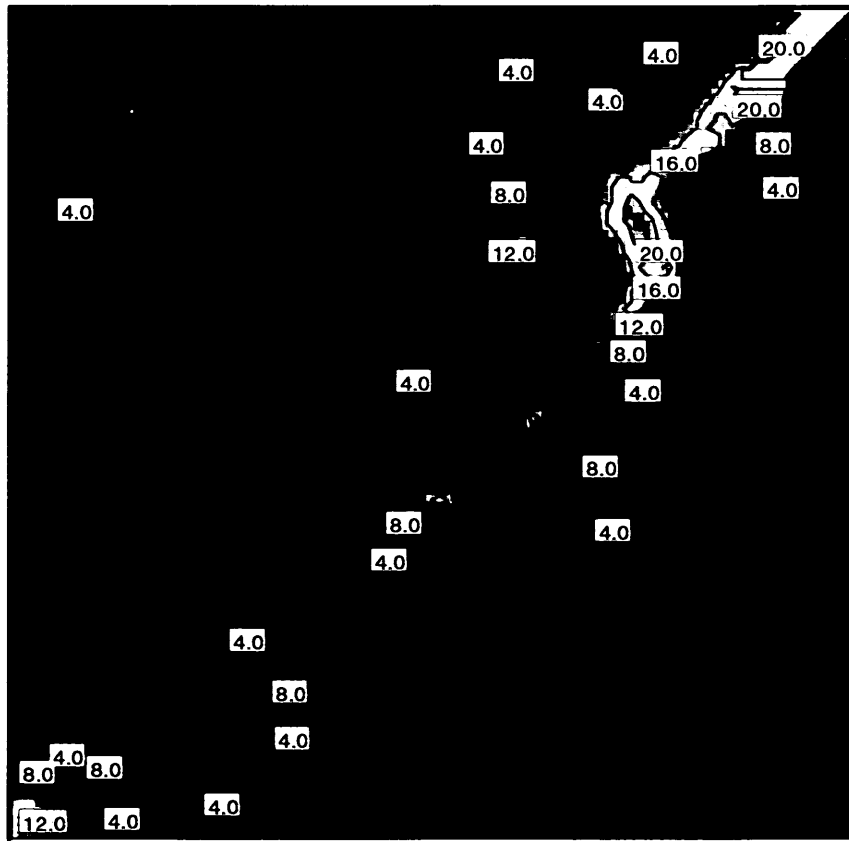


図-29 日本およびその近海の工学的基盤における最大変位の75年期待値

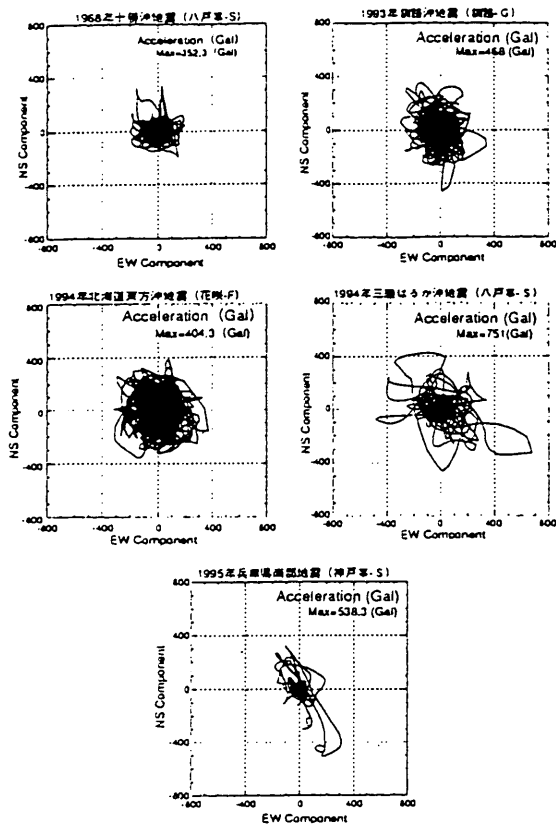


図-30 水平面内の加速度軌跡

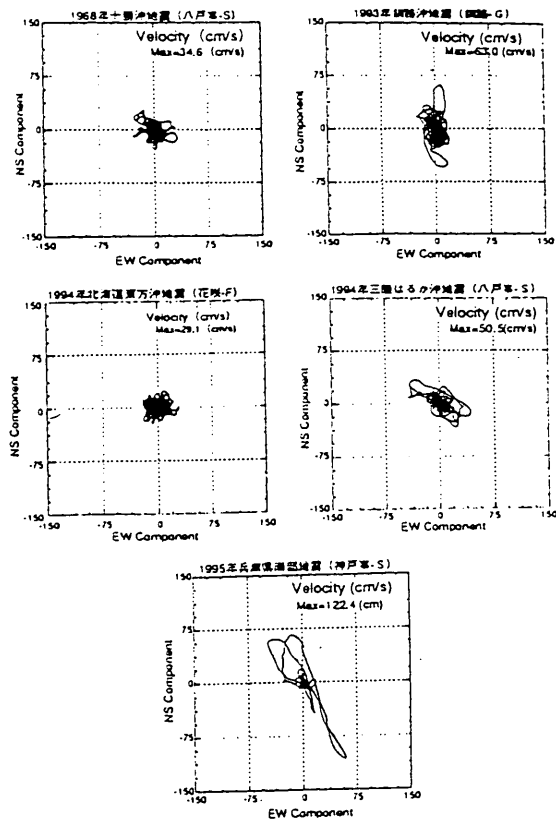


図-31 水平面内の速度軌跡

2/3 の値を用いることし、それ以外の重力式岸壁については L.W.L と H.W.L の 1/3 の値を用いる。

4) 上載荷重

上載荷重については、ここでは考慮しないこととした。

5) 背後地盤の物性

原則として標準断面図等に表示された値を用いるが、不明の場合には技術基準に準拠して表-6に示す値を用いる。

表-6 背後地盤の物性が不明の場合に用いる値

埋立材料	ϕ	γ (tf/m^3)	γ' (tf/m^3)
切込砂利, 碎石	40°	1.8	1.0
裏込砂利, 碎石	35°	1.8	1.0
砂岩ずり	30°	1.8	1.0
埋立土 (砂質土)	30°	1.8	1.0
スラグ	35°	2.0	1.5

6) 壁面摩擦角

壁面摩擦角は主働土圧に対して $\delta = +15^\circ$, 受働土圧に対して $\delta = -15^\circ$ とする。

7) 摩擦係数

技術基準に示される以下の値を用いる。

- 0.5 (コンクリート-岩盤)
- 0.6 (コンクリート-捨石)
- 0.5 (コンクリート-コンクリート)
- 0.7 (場所打ちコンクリート-岩盤)

8) 基礎の支持力の検討方法

基礎の支持力に関する検討は技術基準に示されたビショップ法で行う。

9) 基礎捨石の物性

基礎の支持力に関する検討をビショップ法で行う関係上、技術基準に示されるように $\phi = 35^\circ$, $c = 2.0\text{tf/m}^2$ とする。

10) 基礎地盤の物性

基礎の支持力に関する検討をビショップ法で行う関係上、技術基準に示されるように N 値が 10 以下のとき $\phi = 40^\circ$, N 値が 10 以上のとき $\phi = 45^\circ$ とする。

以上のような計算条件で、滑動・転倒・基礎の支持力不足の3つの破壊モードに対して安全率が1となるような震度を求める。これを各破壊モードに関する限界震度と呼ぶ。また、限界震度の中で最小のものを破壊震度と呼ぶ。重力式岸壁について実際に安定計算を行うと、基礎の支持力に関する限界震度と滑動に関する限界震度のどちらかが最小となる場合が多く、本研究で行った安定計算では転倒に関する限界震度が最小となる事例は見られなかった。

表-5 安定計算の対象とした岸壁の一覧

地 震 名	施設番号	港 名	区 名	施設名	構造形式	設計震度	完成年度	破壊震度	破壊モード
三陸はるか沖 地 震	1	青森港	本港地区	-10.0m岸壁	ケーソン	0.10	H.2	0.131	基礎の支持力不足
	2	むつ小河原港	鷹架地区	-10.0m岸壁	鋼矢板	0.20	不明	0.219	矢板根入れ部のはらみだし
	3	八戸港	八太郎4号地区	-12.0m岸壁	ケーソン	不明	不明	0.102	基礎の支持力不足
	4	八戸港	八太郎4号地区	-5.0m岸壁	鋼矢板	不明	不明	0.078	矢板根入れ部のはらみだし
	5	八戸港	河原木地区	-14.0m岸壁	ケーソン	不明	不明	0.128	基礎の支持力不足
	6	八戸港	1号埠頭地区	-13.0m岸壁	ケーソン	0.10	不明	0.121	基礎の支持力不足
	7	釧路港	知人町	-4.0m物揚場	消波ブロック	0.15	S.56	0.165	基礎の支持力不足
	8	釧路港	知人町	-5.0m岸壁	リフトブロック	0.15	S.57	0.134	基礎の支持力不足
	9	釧路港	入舟	-7.5m岸壁	ケーソン	0.20	S.60	0.223	基礎の支持力不足
	10	釧路港	入舟	-6.0m岸壁	ケーソン	0.20	S.63	0.236	基礎の支持力不足・滑動
釧路沖地震	11	釧路港	北埠頭	-8.0m岸壁	ケーソン	0.15	S.25(H:30改)	0.169	基礎の支持力不足
	12	釧路港	北埠頭	-9.0m岸壁	ケーソン	0.15	S.25(H:30改)	0.153	基礎の支持力不足
	13	釧路港	漁港埠頭	-7.0m岸壁	ケーソン	0.20	S.55	0.186	基礎の支持力不足
	14	釧路港	漁港埠頭	-7.5m岸壁	鋼矢板	0.20	S.55	0.323	矢板の応折損
	15	釧路港	副港	-5.0m岸壁	鋼矢板	0.15	S.45改	0.260	矢板根入れ部のはらみだし
	16	釧路港	副港	-5.0m岸壁	ケーソン	0.20	S.62改	0.231	基礎の支持力不足
	17	釧路港	副港	-5.0m岸壁	ケーソン	0.20	S.62改	0.231	基礎の支持力不足
	18	釧路港	副港	-4.0m物揚場	L型ブロック	不明	S.26	0.126	滑動
	19	釧路港	第一埠頭地区	-12.0m岸壁	鋼管矢板	0.20	S.50	0.250	矢板根入れ部のはらみだし
	20	釧路港	第一埠頭地区	-9.0m岸壁	ケーソン	0.20	S.50	0.229	滑動
	21	釧路港	第二埠頭地区	-7.5m岸壁	ケーソン	0.20	S.57	0.240	滑動
	22	釧路港	第二埠頭地区	-10.0m岸壁	ケーソン	0.20	S.57	0.233	滑動
	23	釧路港	第二埠頭地区	-12.0m岸壁	ケーソン	0.20	S.57	0.203	基礎の支持力不足
	24	釧路港	第二埠頭地区	-9.0m岸壁	ケーソン	0.20	S.60	0.217	基礎の支持力不足
	25	釧路港	第二埠頭地区	-7.5m岸壁	ケーソン	0.20	S.63	0.220	基礎の支持力不足
	26	釧路港	第二埠頭地区	-4.0m物揚場	プレバックド	0.15	S.63	0.115	基礎の支持力不足
27	浦河港		-7.5m岸壁	ケーソン	0.20	H.3	0.228	滑動	
28	十勝港	第三埠頭地区	-7.5m岸壁	ケーソン	0.15	H.3	0.137	基礎の支持力不足	
29	十勝港	第三埠頭地区	-5.5m岸壁	プレバックド	0.10	H.3	0.146	基礎の支持力不足	
30	霧多布港		-5.0m岸壁	消波ブロック	0.15	S.58	0.179	基礎の支持力不足	
31	霧多布港		-5.0m岸壁	鋼矢板	0.20	S.63	0.237	掘え工の不安定	
32	根室港	東地区	-10.0m岸壁	ケーソン	0.20	H.3	0.224	滑動	
33	浦河港	北埠頭	-7.5m岸壁	プレバックド	0.15	S.56	0.160	滑動(-4.0m)	
34	浦河港	北埠頭	-5.5m岸壁	ケーソン	不明	不明	0.081	基礎の支持力不足	
35	浦河港	北埠頭	-4.5m岸壁	L型ブロック	不明	不明	0.106	基礎の支持力不足	
36	浦河港	中央埠頭	-4.5m岸壁	ケーソン	0.10	不明	0.105	滑動	

浦河沖地震	37	浦河港	第二物揚場	- 4.0m岸壁	ブロック積	0.15	S.56	0.105	基礎の支持力不足
	38	浦河港	南埠頭	- 5.5m岸壁	ケーソン	不明	不明	0.091	基礎の支持力不足
	39	浦河港	西二号埠頭	- 7.5m岸壁	ケーソン	不明	不明	0.108	基礎の支持力不足
	40	室蘭港	崎守地区	- 12.0m岸壁	鋼矢板	不明	不明	0.197	矢板根入れ部のはらみだし
北海道 南西沖地震	41	十勝港	第二埠頭	- 7.5m岸壁	ケーソン	不明	不明	0.123	基礎の支持力不足
	42	函館港	弁天地区	- 8.0m岸壁	鋼矢板	不明	不明	0.147	矢板根入れ部のはらみだし
	43	函館港	西埠頭地区	- 6.5m岸壁	鋼矢板	不明	不明	0.236	矢板根入れ部のはらみだし
	44	函館港	大町土砂処分場	- 4.5m岸壁	鋼矢板	不明	不明	0.266	矢板根入れ部のはらみだし
	45	函館港	豊川埠頭	- 5.0m岸壁	鋼矢板	0.10	不明	0.134	矢板根入れ部のはらみだし
	46	函館港	中央埠頭地区	- 5.5m岸壁	鋼矢板	不明	不明	0.228	控え工の不安定
	47	函館港	北埠頭地区	- 5.5m岸壁	鋼矢板(控え斜杭)	0.10	不明	0.081	控え工の不安定
	48	森港	西側	- 5.5m岸壁	ケーソン	不明	不明	0.168	基礎の支持力不足
	49	森港	東側	- 5.5m岸壁	鋼矢板	不明	不明	0.157	控え工の不安定
	50	森港	中央埠頭	- 4.5m岸壁	鋼矢板	不明	不明	0.183	矢板根入れ部のはらみだし
	51	森港	中央埠頭物揚場	- 3.5m岸壁	鋼矢板	不明	不明	0.160	矢板根入れ部のはらみだし
	52	根室港	東地区	- 10.0m岸壁	ケーソン	0.20	H.3	0.224	滑動
	53	根室港	港湾施設用地	- 4.5m岸壁	ケーソン	不明	不明	0.175	基礎の支持力不足
	54	根室港	東物揚場	- 4.0m岸壁	L型ブロック	0.30	S.44	0.143	基礎の支持力不足
	55	根室港	中央物揚場	- 4.0m岸壁	ケーソン	不明	不明	0.121	基礎の支持力不足
	56	根室港	漁業埠頭	- 4.5m岸壁	重力式	0.15	S.56	0.170	滑動(-3.0m)
57	根室港	西浜埠頭	- 5.5m岸壁	L型ブロック	不明	不明	0.113	基礎の支持力不足	
58	根室港	西浜埠頭	- 6.0m岸壁	重力式	不明	不明	0.108	基礎の支持力不足	
59	根室港	西浜	- 5.0m岸壁	7-0ヶB型	不明	不明	0.168	滑動(-3.3m)	
60	根室港	西浜	- 5.0m岸壁	プレバックスド	不明	不明	0.101	基礎の支持力不足	
61	根室港	西浜	- 6.0m岸壁	ケーソン	0.20	S.48	0.215	基礎の支持力不足	
62	根室港	本町	- 6.0m岸壁	プレバックスド	0.15	S.48	0.244	滑動	
63	根室港	本町物揚場	- 4.0m岸壁	L型ブロック	不明	不明	0.164	滑動	
64	根室港	海岸町物揚場	- 4.0m岸壁	L型ブロック	0.15	S.45	0.164	滑動	
65	根室港	北地区	- 4.0m岸壁	プレバックスド	不明	不明	0.110	滑動(-2.0m)	
66	根室港	北地区	- 5.5m岸壁	プレバックスド 及び L型ブロック	不明	不明	0.121	滑動(プレバックスド)	
								0.148	滑動(L型ブロック)

次に、矢板式岸壁については、矢板根入れ部のはらみだし・矢板の折損・タイロッドの切断・控え工の不安定の4つの破壊モードに対して安全率が1となるような震度を求める。計算条件は以下の通りである。

1) 構造諸元

原則として標準断面図等の構造諸元に従うが、不明な点については以下の通りとした。

矢板：材質はSY30

タイロッド：材質はSS41，取付間隔は1.6m

控え工：矢板の材質はSY30，鋼杭の材質はSKK41
また、腐食による断面減少は考慮しない。

2) 土圧

土圧計算は物部・岡部式によるものとし、残留水位以下の部分については見掛けの震度を用いる。見掛けの震度の算定式は技術基準に示されている式を用いる。

3) 前面水位および残留水位

前面水位としてはL.W.Lの値を用いる。残留水位はL.W.LとH.W.Lの2/3の値を用いることとする。

4) 上載荷重

上載荷重については、ここでは考慮しないこととした。

5) 背後地盤の物性

原則として標準断面図等に示された値を用いるが、不明の場合には技術基準に準拠して表-6に示す値を用いる。控え直杭の安定計算に必要な地盤物性が不明の場合には、地盤をC型地盤とし、N値は5とする。

6) 壁面摩擦角

壁面摩擦角は、主動土圧については $\delta = +15^\circ$ とする。受働土圧については、矢板壁では $\delta = -15^\circ$ ，控え版では $\delta = 0^\circ$ ，デッドマンアンカー（水平面に対してタイロッドの傾角が 10° 以上）では $\delta = +15^\circ$ とする。

7) 基礎地盤の物性

基礎地盤の物性については砂質土は式(27)，粘性土は式(28)で与える。

$$\phi = \sqrt{12N} + 20 \quad (27)$$

$$C = N / 16 \quad (28)$$

以上のような計算条件で矢板根入れ部のはらみだし・矢板の折損・タイロッドの切断・控え工の不安定の4つの破壊モードに対して安全率が1となるような震度（もしくは発生応力が許容応力と等しくなるような震度）を求める。これを各破壊モードに関する限界震度と呼ぶ。また、限界震度の中で最小のものを破壊震度と呼ぶ。矢板式岸壁について実際に安定計算を行うと、根入れに関する限界震度が最小となる場合が多い。次いで控え工の

不安定に関する限界震度が最小となる場合も見られるが、矢板の折損に関する限界震度が最小となったのは今回の検討ではわずかに1例であり、タイロッドの切断に関する限界震度が最小となった例は見られなかった。

②作用震度の範囲の決定

①で安定計算の対象とした50の重力式岸壁と16の矢板式岸壁について、破壊が生じたかどうかの判断を行う。重力式岸壁の地震後の状態を見ると、堤体の変位の有無がはっきりわかる場合もあるが、堤体の変位しているかどうか判然としない場合もある。矢板式岸壁についても、被災・無被災の判断が難しい場合がある。そこで、なんらかの判断基準が必要となる。

重力式岸壁については、被害報告^{38), 39), 40), 41), 42)}を参照して、5cm以上の法線のはらみだし、もしくは10cm以上の天端の沈下あったとされる場合に当該岸壁は破壊したとみなし、作用震度が破壊震度より大であるとした。また、そうでない場合には作用震度は破壊震度より小であるとした。法線のはらみだし量や天端沈下量の基準値は既往の文献⁸⁾を参照して定めたものである。岸壁の隅角部では他の部分よりも大きな変位が生じる場合が多いが、隅角部の変位は破壊の有無の判断には用いないこととした。

一方、矢板式岸壁については、北島ら⁷⁾に準じて破壊の有無の判定を行うこととし、被害報告^{38), 39), 40), 41), 42)}を参照して以下のように作用震度の範囲を決定した。

作用震度 < 破壊震度	被災程度 0 の場合
作用震度 = 破壊震度	被災程度 II の場合
作用震度 > 破壊震度	被災程度 III 以上の場合

なお、被災程度がIの施設は検討対象外とした。ここに被災程度とは新潟地震以降の被害地震において、港湾施設の被災程度を総合的に判断して表示するのに用いられている5段階のランクのことで、各被災程度に対応する被災状況は表-7に示す通りである。

③岸壁の作用震度に関する既往の文献の調査

②では、比較的最近発生した5つの地震で被災した港湾の岸壁について作用震度の範囲が求まることになるが、それ以外の多くの地震については、作用震度の範囲に関する既往の研究成果^{3), 7), 8), 9), 10), 11)}が利用可能であるから、こうした資料を整理して作用震度の範囲に関するデータベースを作成した。文献3), 8)では作用震度の範囲が与えられているので、その値をそのまま採用して用いた。文献7), 9), 10)では岸壁の各破壊モードに関する限界震度が与えられているので、こ

表-7 被災程度

被災程度	被災の状況
0	無被災
I	本体に異常はないが、付属構造物に破壊や変状が認められるもの。
II	本体にかなり変状の起こったもの。
III	形はとどめているが、構造物本体に破壊が起こったと認められるもの。
IV	全壊して形をとどめていないもの。

の中から最小のものを選んで破壊震度とし、②で述べた判断基準に従って各岸壁の作用震度の範囲を求めた。文献11)では岸壁の破壊震度が与えられているので、②で述べた判断基準に従って各岸壁の作用震度の範囲を求めた。なお、これら既往の文献に示されている岸壁の限界震度の値は、必ずしも現行設計法に基づいた安定計算によって求められたものではない。例えば、現行設計法では基礎の支持力の検討はビショップ法により行うこととされているが、文献3), 8), 9)では基礎の支持力に対する検討は片山・内田法により行われている。したがって、これら既往の文献に示されている被災事例について現行設計法による安定計算を行えばこれらの文献に示されている限界震度とはやや異なる限界震度が求まる可能性もあるが、本研究では既往の文献に示されている限界震度の値をそのまま用いている。参考までに、今回新たに実施した安定計算の計算方法・計算条件と既往の文献に与えられている計算方法・計算条件との差異を一覧表として表-8(a),(b)に示す。

④地盤の最大加速度等の推定

①および②で作用震度の範囲を求めた施設、および、③で作用震度の範囲を既往の文献から調査した施設について、地盤の最大加速度等を推定する。式(1)で用いられている最大加速度は地表での加速度であるから、ここでは岸壁背後の地表における最大加速度等を推定する。

まず、被災港湾で強震記録が得られている場合には、座標変換により各岸壁の法線直角方向の時刻歴波形を求め、補正最大加速度、SMAC最大加速度、最大速度、最大変位・SI値を求めた。加速度の正負は岸壁に作用する慣性力の方向と関係する。慣性力が海方向を向いていることが岸壁にとっては危険である。そこで、補正最大加速度およびSMAC最大加速度については、岸壁に海方向の慣性力が作用するような符号の加速度のピークの中で、絶対値が最大のものを選んだ。最大速度・最大変位についてはこのような考慮はしていない。実際には、

同一の港湾でも被災を受けた岸壁と強震観測地点とで地盤条件が異なる場合があり、従って、作用した地震動が異なる場合はあり得るが、ここではその違いは無視している。この方法で最大加速度等を推定した港湾は細島港(1968年日向灘地震)、室蘭港、青森港、八戸港、宮古港(以上、1968年十勝沖地震)、釧路港(1973年根室半島沖地震)、塩釜港(1975年宮城県沖地震)、室蘭港、十勝港(以上、1982年浦河沖地震)、秋田港(1983年日本海中部地震)、釧路港、浦河港、十勝港、根室港(以上、1993年釧路沖地震)、函館港(1993年北海道南西沖地震)、根室港(1994年北海道東方沖地震)、青森港、八戸港(以上、1994年三陸はるか沖地震)の、のべ18港である。

兵庫県南部地震の神戸港の各施設については、長尾ら¹¹⁾が岸壁毎の地盤条件を考慮して岸壁背後の地表における法線直角方向の地震動を推定している。本研究では、長尾らの求めた波形に基づき地表での補正最大加速度、SMAC最大加速度、最大速度・最大変位、SI値を求めた。補正最大加速度およびSMAC最大加速度については、岸壁に海方向の慣性力が作用するような符号の加速度のピークの中で、絶対値が最大のものを選んだ。

強震記録の得られていない被災港湾については、2.で求めた距離減衰式により工学的基盤における最大加速度等を推定し、港湾の代表的な地盤条件に対してSHAKEを用いた地盤の地震応答計算を行うことにより、地表における補正最大加速度、SMAC最大加速度、最大速度、最大変位を求めた。この作業の対象となった港湾の一覧を表-9に示す。地表の補正最大加速度を求める時には補正最大加速度に関する距離減衰式を、SMAC最大加速度を求める時にはSMAC最大加速度に関する距離減衰式を、最大速度を求める時には最大速度に関する距離減衰式を、最大変位を求める時には最大変位に関する距離減衰式をそれぞれ用いた。用いた距離減衰式はいずれも水平2成分の平均値に関する式である。2.と同様に、地震学の成果として震源の断層面の推定されている地震¹⁹⁾についてはこれを参考として断層面距離を求め、そうでない地震については震源を中心とする球状の震源域を仮定して、この震源域から対象地点までの最短距離をもって断層面距離に代用した。地盤の地震応答計算には、表-9に示すように既往の強震観測記録から選択した波形を振幅のみ調整して用いた。以上のようにして推定した地表における最大加速度等は

- 1) 工学的基盤における最大加速度等の推定値は1.で述べたようにばらつきを含むものである。
- 2) 地盤の地震応答計算による地表加速度等の推定にも、

表-8 (a) 既往の文献で採用されている安定計算方法・計算条件と本研究の安定計算方法・計算条件との差異 (重力式)

土庄	前面水位	残留水位	上面荷重	背後地盤の物性	前面摩擦角	摩擦係数	基礎の支持力の検討方法	基礎積石の物性*	基礎地盤の物性*
三橋・中山 (1974)	物部・凹部 見かけの摩擦係数は 圧縮係数のもの 向上	地震時の水位 L.W.L.+潮差の1/3 埋所打ちコンクリートは L.W.L.+潮差の約1/2	記録の残っている場合考慮 向上	φ=40°(砂石) φ=30°(砂質土) φ=35°(中間) 向上	主働土圧+15° 受働土圧-15° 向上	0.6 (コンクリート-積石) 0.7 (コンクリート-岩盤) 0.5 (コンクリート-岩盤) 0.6 (コンクリート-積石) 0.8 (埋所打ちコンクリート-岩盤)	円形すべり (内山・内田法) 向上	φ=40° 向上	φ=35° (N=8-15) φ=30° (N=5-8) 向上
野田・上部・千歳 (1975)	物部・凹部 見かけの摩擦係数は 圧縮係数のもの 向上	地震時の水位 L.W.L.+潮差の1/3 埋所打ちコンクリートは L.W.L.+潮差の約1/2	記録の残っている場合考慮 向上	φ=40°(砂石) φ=30°(砂質土) φ=35°(中間) 向上	主働土圧+15° 受働土圧-15° 向上	0.6 (コンクリート-積石) 0.7 (コンクリート-岩盤) 0.5 (コンクリート-岩盤) 0.6 (コンクリート-積石) 0.8 (埋所打ちコンクリート-岩盤)	円形すべり (内山・内田法) マウンド内埋設すべり 埋し庄 向上	φ=40° φ=50° (特殊ケース) φ=30° φ=40° (N<10) φ=45° (N>10) 向上	φ=35° (N=8-15) φ=30° (N=5-8) 向上
榎田ら (1983)	物部・凹部 見かけの摩擦係数は 圧縮係数のもの 向上	地震時の水位 L.W.L.+潮差の1/3 埋所打ちコンクリートは L.W.L.+潮差の約1/2	記録の残っている場合考慮 向上	φ=40°(砂石) φ=30°(砂質土) φ=35°(中間) 向上	主働土圧+15° 受働土圧-15° 向上	0.6 (コンクリート-積石) 0.7 (コンクリート-岩盤) 0.5 (コンクリート-岩盤) 0.6 (コンクリート-積石) 0.8 (埋所打ちコンクリート-岩盤)	円形すべり (内山・内田法) マウンド内埋設すべり 埋し庄 向上	φ=40° φ=50° (特殊ケース) φ=30° φ=40° (N<10) φ=45° (N>10) 向上	φ=35° (N=8-15) φ=30° (N=5-8) 向上
長尾ら (1995)	物部・凹部 見かけの摩擦係数は 圧縮係数のもの 向上	地震時の水位 L.W.L.+潮差の1/3 埋所打ちコンクリートは L.W.L.+潮差の約1/2	記録の残っている場合考慮 向上	φ=40°(砂石) φ=30°(砂質土) φ=35°(中間) 向上	主働土圧+15° 受働土圧-15° 向上	0.6 (コンクリート-積石) 0.7 (コンクリート-岩盤) 0.5 (コンクリート-岩盤) 0.6 (コンクリート-積石) 0.8 (埋所打ちコンクリート-岩盤)	円形すべり (内山・内田法) マウンド内埋設すべり 埋し庄 向上	φ=40° φ=50° (特殊ケース) φ=30° φ=40° (N<10) φ=45° (N>10) 向上	φ=35° (N=8-15) φ=30° (N=5-8) 向上
本研究	物部・凹部 見かけの摩擦係数は 圧縮係数のもの 向上	地震時の水位 L.W.L.+潮差の1/3 埋所打ちコンクリートは L.W.L.+潮差の約1/2	記録の残っている場合考慮 向上	φ=40°(砂石) φ=30°(砂質土) φ=35°(中間) 向上	主働土圧+15° 受働土圧-15° 向上	0.6 (コンクリート-積石) 0.7 (コンクリート-岩盤) 0.5 (コンクリート-岩盤) 0.6 (コンクリート-積石) 0.8 (埋所打ちコンクリート-岩盤)	円形すべり (内山・内田法) マウンド内埋設すべり 埋し庄 向上	φ=40° φ=50° (特殊ケース) φ=30° φ=40° (N<10) φ=45° (N>10) 向上	φ=35° (N=8-15) φ=30° (N=5-8) 向上

*の項目は、内山・内田法で基礎の支持力の検討を行う場合には裏に添した値よりも割り増しを行う。

表-8 (b) 既往の文献で採用されている安定計算方法・計算条件と本研究の安定計算方法・計算条件との差異 (矢板式)

土庄	前面水位	残留水位	上面荷重	背後地盤の物性	前面摩擦角	基礎の支持力の検討方法	基礎積石の物性*	基礎地盤の物性*
北島・上部 (1979)	物部・凹部 見かけの摩擦係数は 圧縮係数のもの 向上	地震時の水位 L.W.L.+潮差の2/3	記録の残っている場合考慮 向上	φ=40°(砂石) φ=30°(砂質土) φ=35°(中間) 向上	主働土圧+15° 受働土圧-15° (矢板版) 0° (埋入版) +15° (デッドマンアンカー)	円形すべり (内山・内田法) マウンド内埋設すべり 埋し庄 向上	φ=40° φ=50° (特殊ケース) φ=30° φ=40° (N<10) φ=45° (N>10) 向上	φ=35° (N=8-15) φ=30° (N=5-8) 向上
榎田ら (1983)	物部・凹部 見かけの摩擦係数は 圧縮係数のもの 向上	地震時の水位 L.W.L.+潮差の1/3 埋所打ちコンクリートは L.W.L.+潮差の約1/2	記録の残っている場合考慮 向上	φ=40°(砂石) φ=30°(砂質土) φ=35°(中間) 向上	主働土圧+15° 受働土圧-15° (矢板版) 0° (埋入版) +15° (デッドマンアンカー)	円形すべり (内山・内田法) マウンド内埋設すべり 埋し庄 向上	φ=40° φ=50° (特殊ケース) φ=30° φ=40° (N<10) φ=45° (N>10) 向上	φ=35° (N=8-15) φ=30° (N=5-8) 向上
本研究	物部・凹部 見かけの摩擦係数は 圧縮係数のもの 向上	地震時の水位 L.W.L.+潮差の1/3 埋所打ちコンクリートは L.W.L.+潮差の約1/2	記録の残っている場合考慮 向上	φ=40°(砂石) φ=30°(砂質土) φ=35°(中間) 向上	主働土圧+15° 受働土圧-15° (矢板版) 0° (埋入版) +15° (デッドマンアンカー)	円形すべり (内山・内田法) マウンド内埋設すべり 埋し庄 向上	φ=40° φ=50° (特殊ケース) φ=30° φ=40° (N<10) φ=45° (N>10) 向上	φ=35° (N=8-15) φ=30° (N=5-8) 向上

表-9 距離減衰式により最大加速度等を推定した港湾

整理No.	地震名(地震No.)	発生年月日	マグニチュード M	断層面距離 (km)	港湾名	地震応答計算に用いた波形	備考
1	関東地震(495)	1923.09.01	7.9	52.0	東京港	S-252(NS)の基盤波形	
2	北伊豆地震(685)	1930.11.26	7.3	44.7	清水港	S-74(EW)の基盤波形	
3	静岡地震(815)	1935.07.11	6.4	20.1	清水港	S-74(EW)の基盤波形	
4	男鹿地震(938)	1939.05.01	6.8	54.2	秋田港	S-252(NS)の基盤波形	
5	南海地震(1069)	1946.12.21	8.0	155.0	宇野港	S-252(NS)の基盤波形	
6	南海地震(1069)	1946.12.21	8.0	151.3	坂出港	S-252(NS)の基盤波形	
7	南海地震(1069)	1946.12.21	8.0	87.8	小松島港	S-252(NS)の基盤波形	
8	南海地震(1069)	1946.12.21	8.0	143.0	高松港	S-252(NS)の基盤波形	
9	南海地震(1069)	1946.12.21	8.0	45.3	和歌山港	S-252(NS)の基盤波形	
10	南海地震(1069)	1946.12.21	8.0	201.8	宇和島港	S-252(NS)の基盤波形	
11	十勝沖地震(1151)	1952.03.04	8.2	52.4	厚岸漁港	S-252(NS)の基盤波形	
12	十勝沖地震(1151)	1952.03.04	8.2	36.5	釧路港	S-252(NS)の基盤波形	
13	十勝沖地震(1151)	1952.03.04	8.2	47.9	十勝港	S-252(NS)の基盤波形	
14	手リ地震	1960.05.23	Ms=8.5	130.0	P t. Montl	S-252(NS)の基盤波形	Msは理科年表による
15	日向灘地震(1340)	1968.04.01	7.5	34.1	内海港	S-252(NS)の基盤波形	
16	日向灘地震(1340)	1968.04.01	7.5	40.6	油津港	S-252(NS)の基盤波形	
17	新潟地震(1403)	1964.06.16	7.5	39.8	岩船港	S-252(NS)の基盤波形	
18	新潟地震(1403)	1964.06.16	7.5	32.3	酒田港	S-252(NS)の基盤波形	
19	新潟地震(1403)	1964.06.16	7.5	121.8	秋田港	S-252(NS)の基盤波形	
20	新潟地震(1403)	1964.06.16	7.5	2.8	新潟港	S-252(NS)の基盤波形	
21	十勝沖地震(1509)	1968.05.16	7.9	117.3	函館港	S-252(NS)の基盤波形	
22	十勝沖地震(1509)	1968.05.16	7.9	102.7	野辺地港	S-252(NS)の基盤波形	
23	根室半島沖地震(1610)	1973.06.17	7.4	57.7	根室港	S-733(NS)の基盤波形	
24	根室半島沖地震(1610)	1973.06.17	7.4	56.1	霧多布港	S-733(NS)の基盤波形	
25	根室半島沖地震(1610)	1973.06.17	7.4	65.5	厚岸漁港	S-733(NS)の基盤波形	
26	伊豆半島沖地震(1626)	1974.05.09	6.9	24.6	稲取漁港	S-74(NS)の基盤波形	
27	伊豆半島沖地震(1626)	1974.05.09	6.9	10.5	下田港	S-74(NS)の基盤波形	
28	伊豆半島沖地震(1626)	1974.05.09	6.9	7.5	妻良漁港	S-74(NS)の基盤波形	
29	宮城県沖地震(1695)	1978.06.12	7.4	65.9	塩釜港	S-1210(E41N)	
30	宮城県沖地震(1695)	1978.06.12	7.4	67.3	仙台港	S-1210(E41N)	
31	宮城県沖地震(1695)	1978.06.12	7.4	57.9	石巻港	S-1210(E41N)	
32	宮城県沖地震(1695)	1978.06.12	7.4	65.8	松島港	S-1210(E41N)	
33	宮城県沖地震(1695)	1978.06.12	7.4	67.1	開上港	S-1210(E41N)	
34	宮城県沖地震(1695)	1978.06.12	7.4	85.3	相馬港	S-1210(E41N)	
35	釧路沖地震(2184)	1993.01.15	7.8	112.5	霧多布港	F-506(NS)	
36	北海道南西沖地震(2197)	1993.07.12	7.8	98.4	森港	F-541(N03W)	
37	北海道東方沖地震(2245)	1994.10.04	8.1	66.2	根室港	F-681(E20S)	
38	三陸はるか沖地震(2252)	1994.12.28	7.5	71.4	むつ小川原港	S-2597(EW)の基盤波形	

波形の選択等の任意性があり、ばらつきが含まれている。等の理由により、地表で強震観測記録が得られている場合と比較すれば推定精度は劣る。

⑤作用震度と最大加速度等との関係の検討

以上により、被災した岸壁の作用震度と地盤加速度等が推定されるので、作用震度と最大加速度等をそれぞれ縦軸と横軸にとった図面上に被災データをプロットし、作用震度と地盤加速度等との関係を求める。被災データをプロットする時に、強震記録が得られている被災港湾、あるいは、強震記録に基づき、岸壁毎の地盤条件の相違を考慮して地盤加速度を求めた港湾（すなわち兵庫県南部地震の神戸港）については、被災データを岸壁毎にプロットしていく。そうでない場合には、被災港湾の各岸壁に作用した震度が同一であると仮定してその作用震度の範囲を求め、距離減衰式から推定した地表の最大加速度等に対してプロットを行う。なお、上述のように、最大加速度等の推定に距離減衰式を用いた場合には、強震記録の存在する場合と比較してその推定精度は低い。従って、本研究では、実際の強震記録に基づいてプロットされた岸壁毎のデータを重視することとする。

5.3 重力式岸壁に関する検討結果

表-10は、強震観測記録から地盤加速度等を求めた重力式岸壁（神戸港の岸壁を含む）について、地震名、港湾名、施設名、構造形式、作用震度の範囲、強震記録番号、法線直角方向、補正最大加速度の推定値、SMAC最大加速度の推定値、最大速度の推定値、最大変位の推定値を示したものである。強震観測記録の番号は強震観測年報⁴³⁾などで用いられている番号である。また、法線直角方向は、各々の岸壁の法線上に海に向かって立った時の視線の向く方向を、北から時計回りに測った角度のことである。表-11は、距離減衰式により地盤加速度等を推定した港湾について、地震名、港湾名、補正最大加速度の推定値、SMAC最大加速度の推定値、最大速度の推定値、最大変位の推定値および作用震度の範囲を示したものである。

図-32～図-36は表-10および表-11に基づいて重力式岸壁の作用震度と補正最大加速度・SMAC最大加速度・最大速度・最大変位・SI値との関係を求めたものである。

これらの図において、釧路沖地震、北海道東方沖地震および兵庫県南部地震による被災施設で、背後地盤で液状化が発生していたと判断される施設は、ここでの検討対象外であるからプロットを行っていない。プロットの対象外とした施設は表-10においてハッチングを行っ

た11の施設である。これらのうち、釧路沖地震による釧路港の6つの被災施設については、被害報告³⁹⁾の図-3.4.1および図-3.4.2から背後地盤で明らかに液状化が発生していたことが認められる。北海道東方沖地震による根室港花咲地区の2つの被災施設のうち、東地区（-10.0m）岸壁については被害報告⁴¹⁾の記述から背後地盤で液状化が発生していたことは明らかである。また、西浜（-6.0m）岸壁についても、地震後の土質調査で背後地盤が液状化すると判定されたことから、地震時に液状化が発生していたと考えられる。兵庫県南部地震による神戸港の3つの被災施設は、地震後に行われた付近の被災施設の模型振動実験⁴⁴⁾や有効応力解析⁴⁵⁾の結果から判断して、背後地盤で液状化が発生していた可能性が高い。そこで、以上の11の施設はプロットの対象外とした。なお、ここでは式（1）の検証を行う観点からプロットの対象外とする施設を選んでおり、すべての被災施設について液状化の有無を判定しているわけではない。また、ここでプロットの対象外とした施設には神戸港摩耶埠頭の耐震強化岸壁が含まれる。摩耶埠頭岸壁の被災メカニズムについては今後詳細な検討を行い、その成果を今後の耐震強化岸壁の設計にフィードバックさせる必要があると考えられる。

さて、図-33の図中には野田らにより提案されたSMAC最大加速度と作用震度の上限との関係を与える式（1）を示している。岸壁毎のプロットを行ったデータに注目するとすべてのデータが式（1）よりも下に存在している。式（1）よりも上に存在している作用震度のデータは強震記録が得られていない港湾の被災データであり、最大加速度の推定精度が比較的劣る。これらのことを考慮すれば、式（1）が作用震度の上限を与える曲線であると判断される。

SMAC最大加速度と作用震度の上限との関係式（1）を200Gal以下の範囲で修正した次式についても、図-33によればほぼ被災データの上限を与えていることが確認される。

$$K_a = \frac{A_{SMAC}}{g} \quad (A_{SMAC} \leq 200Gal) \quad (29)$$

$$K_a = \frac{1}{3} \left(\frac{A_{SMAC}}{g} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (A_{SMAC} > 200Gal)$$

図-32から図-36によれば、地震動のパラメタの中で、他のパラメタと比較して目立って作用震度との対応が良いパラメタは見いだされなかった。しかしながら、いずれの図においても、作用震度の上限を規定する曲線を引くことは可能である。図中の曲線は現行の重力式岸壁における作用震度の上限を与える曲線とほぼ等価な曲線であり、それぞれ作用震度のほぼ上限を与える曲線と

表-10 重力式岸壁の作用震度と最大加速度（岸壁毎のデータ）

地震名	地震番号	港名	港番号	施設名	形式	作用震度の範囲	地震記録	法線道角方向 (N・E)	推定補正加速度 (Gal)	推定SMAc加速度 (Gal)	推定速度 (kine)	推定変位 (cm)	推定引張 (kine)
十勝沖	1509	室蘭	17	西1号埠頭西側 (-4.5m)	ケーソン	0.15<e<0.173	S-234	295	351	131	17.9	5.7	18.7
十勝沖	1509	室蘭	17	西1号埠頭西側 (-5.5m)	ケーソン	0.168<e	S-234	295	351	131	17.9	5.7	18.7
十勝沖	1509	室蘭	17	西2号埠頭西側 (-7.5m)	ケーソン	0.135<e	S-234	295	351	131	17.9	5.7	18.7
十勝沖	1509	室蘭	17	富士路埠頭中横 (-9.0m)	ケーソン	0.170<e	S-234	350	206	190	20.9	8.5	25.5
十勝沖	1509	室蘭	17	富士路埠頭乙種 (-9.0m)	場所打コンクリート	不明	S-234	350	206	190	20.9	8.5	25.5
十勝沖	1509	青森	66	中央埠頭岸壁 (-7.5m)	ブロック	0.11<e	S-235	348	251	189	47.4	17.4	43.0
十勝沖	1509	青森	66	浜町埠頭 (-5.5m)	ブロック	0.075<e<0.145	S-235	348	251	189	47.4	17.4	43.0
十勝沖	1509	青森	66	浜町埠頭 (-5.6m)	ケーソン	0.14<e	S-235	348	251	189	47.4	17.4	43.0
十勝沖	1509	青森	66	堤川左岸物堤 (-2.5m)	ケーソン	0.14<e<0.16	S-235	112	153	145	32.6	11.8	35.2
十勝沖	1509	八戸	72	船地区岸壁 (-5.0m)	ケーソン	e<0.168	S-252	285	196	170	34.3	12.4	41.2
十勝沖	1509	八戸	72	船地区4号物堤 (-2.7m)	ブロック	e<0.12	S-252	100	210	186	33.9	12.3	41.2
十勝沖	1509	八戸	72	白銀埠頭先端物堤 (-2.85m)	ブロック	0.1<e	S-252	350	219	154	29.5	10.9	32.0
十勝沖	1509	八戸	72	白銀埠頭1号岸壁	ケーソン	不明	S-252	85	199	178	31.2	11.8	40.2
十勝沖	1509	宮古	74	出帆埠頭岸壁 (-7.3m)	ケーソン	e<0.21	S-236	17	179	104	8.3	2.7	6.8
十勝沖	1509	宮古	74	出帆埠頭物堤 (-4.0m)	ケーソン	e<0.20	S-236	197	161	123	8.3	2.7	6.8
相模半島沖	1610	釧路	10	驛町岸壁 (-6.0m)	ケーソン	不明	S-733	175	155	141	28.2	6.2	35.6
相模半島沖	1610	釧路	10	南埠頭岸壁 (-7.9m)	ブロック	不明	S-733	355	214	162	28.2	6.2	35.6
宮城県沖	1695	塩釜	80	要港浦物堤 (南)	ブロック	0.10<e	S-1201	253	266	239	49.3	10.7	54.9
宮城県沖	1695	塩釜	80	要港浦物堤 (東)	ブロック	0.14<e	S-1201	342	221	181	33.7	7.2	47.2
宮城県沖	1695	塩釜	80	吉田花浜-1.5m物堤	ブロック	0.09<e	S-1201	54	282	259	44.2	7.9	49.9
宮城県沖	1695	塩釜	80	石浜物堤 (B)	ブロック	0.18<e	S-1201	112	264	230	49.7	12.7	62.0
宮城県沖	1695	塩釜	80	石浜-1.5m物堤	ブロック	e<0.16	S-1201	35	254	229	35.4	5.5	45.5
宮城県沖	1695	塩釜	80	代ヶ崎-1.5m物堤	ブロック	e<0.10	S-1201	0	199	168	29.8	6.2	39.7
浦河沖	1763	室蘭	17	築地地区西二丁目埠頭-7.5m岸壁	ケーソン	e<0.108	M-521	301	196	167	12.7	1.8	17.0
浦河沖	1763	十勝	11	第二埠頭地区-7.5m岸壁	ケーソン	e<0.123	S-1474	18	146	123	12.6	2.2	13.5
日本海中部	1804	秋田	43	外港-13.0m岸壁	ケーソン	0.14<e	S-1567	202	186	167	21.3	7.6	29.9
日本海中部	1804	秋田	43	中島1号岸壁	ケーソン	0.18<e	F-507	238	204	174	21.6	8.1	24.0
釧路沖	2184	釧路	10	知人町地区物堤 (-4.0m)	セルラーブロック	e<0.165	F-507	322	376	250	49.6	13.0	57.3
釧路沖	2184	釧路	10	知人町地区船溜岸壁 (-5.0m)	ブロック	e<0.134	F-507	261	322	231	22.8	5.0	31.0
釧路沖	2184	釧路	10	入船地区岸壁 (-7.5m)	ケーソン	e<0.223	F-507	330	408	254	24.6	14.2	62.1
釧路沖	2184	釧路	10	入船地区岸壁 (-6.0m)	ケーソン	e<0.236	F-507	335	427	261	57.3	14.8	64.7
釧路沖	2184	釧路	10	北埠頭南岸壁 (-8.0m)	ケーソン	0.169<e	F-507	199	335	298	62.0	15.6	71.3
釧路沖	2184	釧路	10	北埠頭西岸壁 (-9.0m)	ケーソン	0.153<e	F-507	288	365	264	28.6	7.4	38.4
釧路沖	2184	釧路	10	漁港東側岸壁 (-7.0m)	ケーソン	0.186<e	F-507	108	344	239	28.6	7.4	38.4
釧路沖	2184	釧路	10	釧路地区岸壁 (-5.0m)	ケーソン	e<0.231	F-507	279	358	251	25.1	6.1	35.3
釧路沖	2184	釧路	10	釧路地区物堤 (-4.0m)	L型ブロック	e<0.126	F-507	230	307	271	46.3	11.8	56.4
釧路沖	2184	釧路	10	築1埠頭地区西側岸壁 (-9.0m)	ケーソン	0.229<e	F-507	294	362	265	32.2	8.3	41.2
釧路沖	2184	釧路	10	築2埠頭地区東側岸壁 (-7.5m)	ケーソン	0.24<e	F-507	114	365	256	32.2	8.3	41.2
釧路沖	2184	釧路	10	築2埠頭地区東側岸壁 (-10.0m)	ケーソン	0.233<e	F-507	114	366	256	32.2	8.3	41.2
釧路沖	2184	釧路	10	築2埠頭地区西側岸壁 (-12.0m)	ケーソン	0.203<e	F-507	190	333	289	63.8	15.9	72.7
釧路沖	2184	釧路	10	築2埠頭地区西側岸壁 (-9.0m)	ケーソン	0.217<e	F-507	294	362	265	32.2	8.3	41.2
釧路沖	2184	釧路	10	築2埠頭地区西側岸壁 (-7.5m)	ケーソン	0.224<e	F-507	294	362	265	32.2	8.3	41.2
釧路沖	2184	釧路	10	築2埠頭地区西側物堤 (-4.0m)	ブロック	0.115<e	F-507	294	362	265	32.2	8.3	41.2
釧路沖	2184	浦河	12	岸壁 (-7.5m)	ケーソン	e<0.228	S-2490	229	184	150	17.5	3.0	19.7
釧路沖	2184	十勝	11	岸壁 (南) (-7.5m)	ケーソン	e<0.137	M-1443	209	334	221	13.1	2.4	16.8
釧路沖	2184	根室 (花咲)	8	岸壁 (東) (-10.0m)	ケーソン	e<0.224	F-510	240	142	121	10.3	3.0	14.2
北海道東方沖	2245	根室 (花咲)	8	築地地区 (-10.0m) 岸壁	ケーソン	0.224<e	F-681	240	372	272	26.0	6.6	33.2
北海道東方沖	2245	根室 (花咲)	8	港湾施設用地 (東) 東側岸壁	ケーソン	0.175<e	F-681	155	404	231	26.7	8.5	28.5
北海道東方沖	2245	根室 (花咲)	8	東物堤 (-4.0m)	L型ブロック	0.143<e	F-681	270	385	279	23.9	6.2	33.8
北海道東方沖	2245	根室 (花咲)	8	中央物堤 (-4.0m)	ケーソン	0.121<e	F-681	230	345	257	26.9	6.8	32.5

北海道東方沖	2245	相置 (花咲)	8	漁業埠頭-4.5m岸壁	注入コンクリート	0.17ce	F-681	142	391	238	25.5	8.3	28.2
北海道東方沖	2245	相置 (花咲)	8	西浜埠頭-5.5m岸壁	L型ブロック	0.113ce	F-681	170	393	223	28.7	8.1	29.6
北海道東方沖	2245	相置 (花咲)	8	西浜埠頭-6.0m岸壁	注入コンクリート	0.108ce	F-681	170	393	223	28.7	8.1	29.6
北海道東方沖	2245	相置 (花咲)	8	西浜 (-5.0m) 岸壁	ブロック	0.168ce	F-681	150	402	235	26.3	8.5	28.2
北海道東方沖	2245	相置 (花咲)	8	西浜 (-5.0m) 岸壁	ブロック	0.101ce	F-681	62	387	280	25.8	6.5	33.2
北海道東方沖	2245	相置 (花咲)	8	西浜 (-6.0m) 岸壁	ケーソン	0.25ce	F-681	62	387	280	25.8	6.5	33.2
北海道東方沖	2245	相置 (相置)	8	本町-6.0m岸壁	ブロック	e<0.244	F-681	36	383	262	26.7	7.6	31.7
北海道東方沖	2245	相置 (相置)	8	本町物置 (-4.0m)	L型ブロック	0.164ce	F-681	0	319	216	29.1	8.2	30.5
北海道東方沖	2245	相置 (相置)	8	海岸物置 (-4.0m)	L型ブロック	0.164ce	F-681	315	396	265	24.5	8.1	29.5
北海道東方沖	2245	相置 (相置)	8	北地区埠頭 (-4.0m)	注入コンクリート	e<0.11	F-681	225	327	247	27.0	7.2	32.2
北海道東方沖	2245	相置 (相置)	8	北地区岸壁 (-5.5m)	注入コンクリート	0.121ce	F-681	225	327	247	27.0	7.2	32.2
北海道東方沖	2245	相置 (相置)	8	北地区岸壁 (-5.5m)	L型ブロック	0.148ce	F-681	225	327	247	27.0	7.2	32.2
三陸はるか沖	2252	曹置	66	本港地区埠頭岸壁 (-10.0m)	ケーソン	e<0.131	F-692	298	151	146	29.4	7.3	39.8
三陸はるか沖	2252	八戸	72	八本船4号埠頭地区岸壁 (-12.0m)	ケーソン	0.102ce	S-2597	151	484	427	47.5	15.8	66.5
三陸はるか沖	2252	八戸	72	河原木地区岸壁 (-14.0m)	ケーソン	0.128ce	S-2597	46	406	327	27.4	4.8	32.6
三陸はるか沖	2252	八戸	72	1号埠頭地区岸壁 (-13.0m) 0岸壁	ケーソン	e<0.121	S-2597	15	452	258	25.3	7.9	28.2
兵庫橋南側	2259	神戸	129	PI岸壁取付	置力式	0.14ce	使用せず	65	357	316	53.0	13.5	68.7
兵庫橋南側	2259	神戸	129	陸地埠頭-12m岸壁	置力式	0.25ce	使用せず	225	269	245	27.9	11.9	52.2
兵庫橋南側	2259	神戸	129	陸地埠頭-10m岸壁	置力式	0.25ce	使用せず	225	269	245	27.9	11.9	52.2
兵庫橋南側	2259	神戸	129	PIコンテナバースPC-3	置力式	0.14ce	使用せず	265	363	324	78.2	18.8	72.4
兵庫橋南側	2259	神戸	129	新港第4突堤2号岸壁	置力式	0.12ce	使用せず	255	350	329	70.0	14.4	70.1
兵庫橋南側	2259	神戸	129	新港第4突堤-12m岸壁	置力式	0.22ce	使用せず	255	350	329	70.0	14.4	70.1
兵庫橋南側	2259	神戸	129	新港第4突堤先頭部	置力式	0.28ce	使用せず	135	492	422	122.4	35.6	123.7
兵庫橋南側	2259	神戸	129	RIトランバースC	置力式	0.20ce	使用せず	262	221	218	66.7	27.2	65.2
兵庫橋南側	2259	神戸	129	RI-7.5m岸壁内覆バース	置力式	0.17ce	使用せず	82	165	161	69.5	37.3	58.4
兵庫橋南側	2259	神戸	129	岸壁埠頭-12m岸壁	置力式	0.18ce	使用せず	172	297	289	101.0	35.5	104.4
兵庫橋南側	2259	神戸	129	RIトランバースS	置力式	0.20ce	使用せず	192	241	238	89.3	44.4	81.0
兵庫橋南側	2259	神戸	129	RI-4.0m物置	置力式	0.13ce	使用せず	355	293	291	134.0	56.6	110.1
兵庫橋南側	2259	神戸	129	RI-8.5m岸壁RF-3バース	置力式	0.18ce	使用せず	0	324	321	103.9	52.2	88.4
兵庫橋南側	2259	神戸	129	RIコンテナバースRC-4	置力式	0.15ce	使用せず	172	276	273	116.6	55.7	99.6

表-11 重力式岸壁の作用震度と最大加速度（港湾毎のデータ）

地震名	地震番号	港名	港番号	補正加速度 (Gal)	SMAC加速度 (Gal)	速度 (kine)	変位 (cm)	作用震度の下限	作用震度の上限	作用震度の推定値
関東地震	495	東京港	92	331	341	31.6	9.9	0.15		
関東地震	495	横浜港	94	450	318	43.2	15.0	0.22	0.25	
関東地震	495	横須賀港	95	484	345	49.8	17.3	0.14	0.16	
関東地震	495	鎌倉七ヶ浜	-	492	352	51.6	17.9	0.19	0.23	
北伊豆地震	815	清水港	241	255	295	43.5	9.7			0.1
静岡地震	815	清水港	241	236	270	37.3	6.2	0.17	0.24	
男鹿地震	938	船川港	42	282	195	19.8	4.9		0.125	
男鹿地震	938	秋田港	43	323	192	12.7	2.7	0.2		
南海地震	1069	宇野港	143	129	100	21.6	5.1	0.18	0.19	
南海地震	1069	坂出港	178	154	130	17.8	5.0	0.135	0.145	
南海地震	1069	小松島港	158	208	185	35.8	8.7	0.155		
南海地震	1069	高松港	179	244	143	14.0	4.8	0.1		
南海地震	1069	和歌山港	124	210	199	45.0	12.2	0.15		
南海地震	1069	宇和島港	170	176	106	11.7	3.4		0.12	
1952年十勝沖地震	1151	厚岸漁港	-	222	196	48.4	18.0		0.21	
1952年十勝沖地震	1151	釧路港	10	264	236	60.1	18.2	0.19	0.2	
1952年十勝沖地震	1151	浦河港	12	352	245	30.2	11.6		0.225	
1952年十勝沖地震	1151	十勝港	11	545	324	37.1	13.3		0.25	
チリ地震		Pt.montt	-	318	208	24.4	9.3	0.15		
日向灘地震	1340	内海港	-	228	190	25.4	5.1		0.19	
日向灘地震	1340	油津港	203	192	191	22.6	4.4			0.19
新潟地震	1403	岩船港	47	191	228	40.9	8.6		0.16	
新潟地震	1403	酒田港	45	303	260	35.1	8.9		0.13	
新潟地震	1403	秋田港	43	287	161	11.4	3.0		0.085	
1968年十勝沖地震	1509	浦河港	12	359	248	29.5	10.3		0.185	
1968年十勝沖地震	1509	函館港	20	130	133	23.6	5.4		0.158	
1968年十勝沖地震	1509	野辺地港	67	128	131	26.9	6.0	0.13		
根室半島沖地震	1610	根室港	8	343	272	21.0	5.3			0.2
根室半島沖地震	1610	花咲港	8	251	170	17.2	5.2	0.195	0.2	
根室半島沖地震	1610	霧多布港	9	312	193	17.9	5.2	0.19	0.2	
根室半島沖地震	1610	厚岸漁港	-	195	203	30.3	5.9	0.225		
1974年伊豆半島沖地震	1626	稲取漁港	-	345	284	26.6	8.1		0.25	
1974年伊豆半島沖地震	1626	下田港	235	230	290	64.9	13.8	0.15	0.23	
1974年伊豆半島沖地震	1626	養父漁港	-	317	388	62.9	16.5	0.235		
宮城県沖地震	1695	雄物港	-	270	183	18.9	5.6	0.06	0.1	
宮城県沖地震	1695	女川港	78	237	160	16.0	4.8		0.09	
宮城県沖地震	1695	秋浜港	-	269	183	18.8	5.6	0.07	0.11	
宮城県沖地震	1695	金華山港	-	281	191	19.9	5.9		0.13	
宮城県沖地震	1695	松島港	-	193	122	14.8	5.9		0.2	
浦河沖地震	1763	浦河港	12	453	322	41.6	11.2	0.106	0.16	

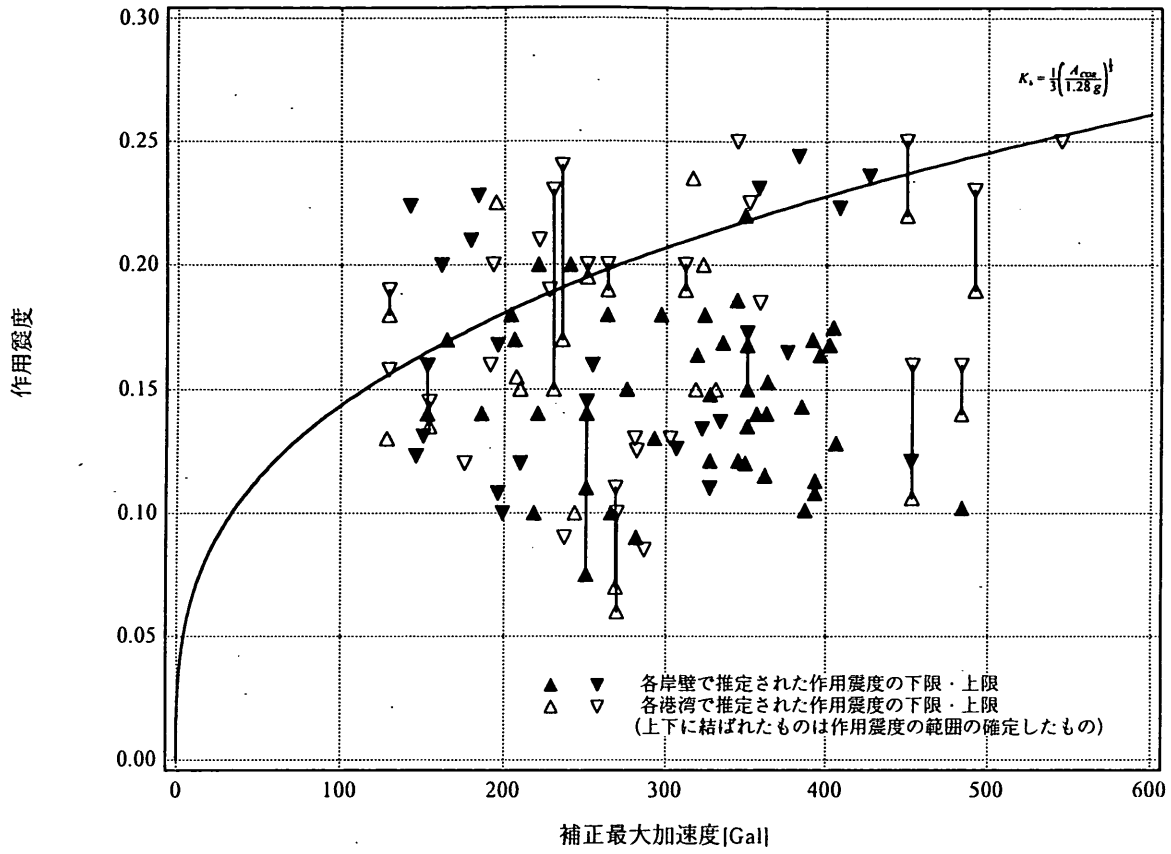


図-32 重力式岸壁の作用震度と補正最大加速度の関係

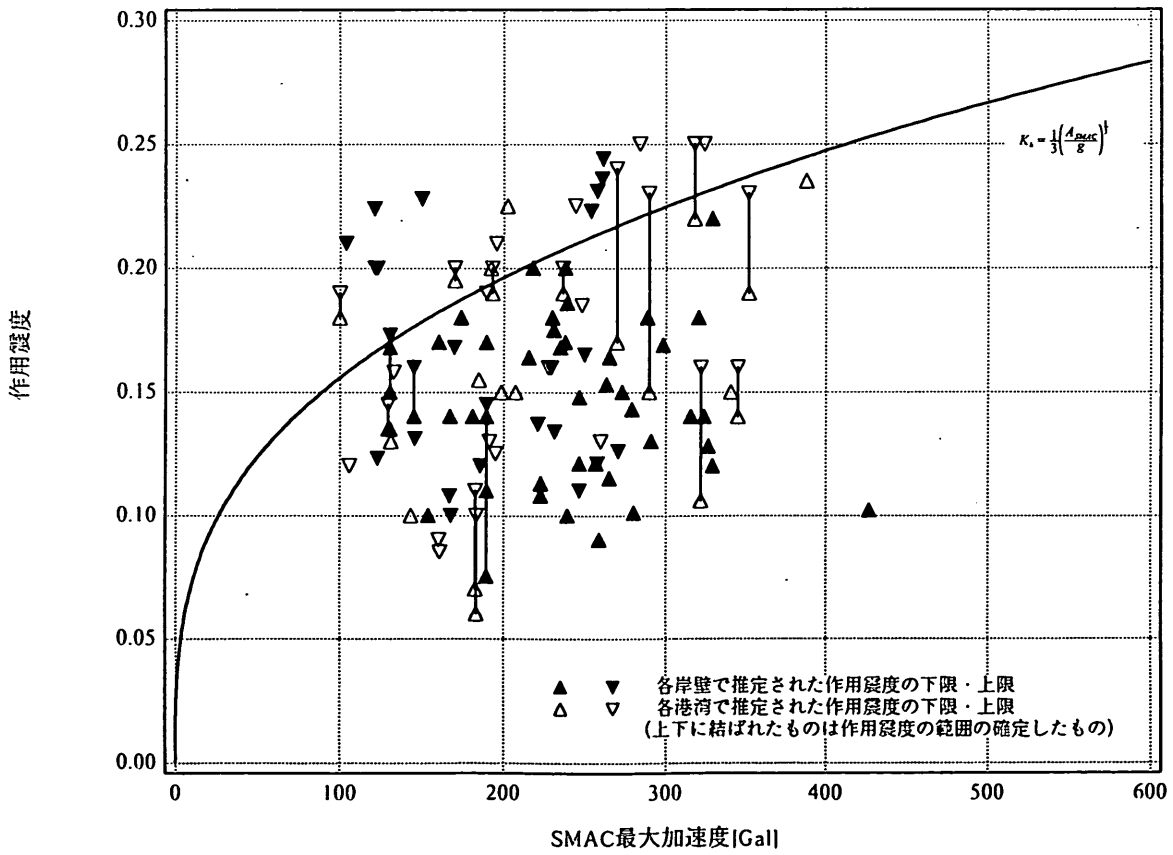


図-33 重力式岸壁の作用震度と SMAC 最大加速度の関係

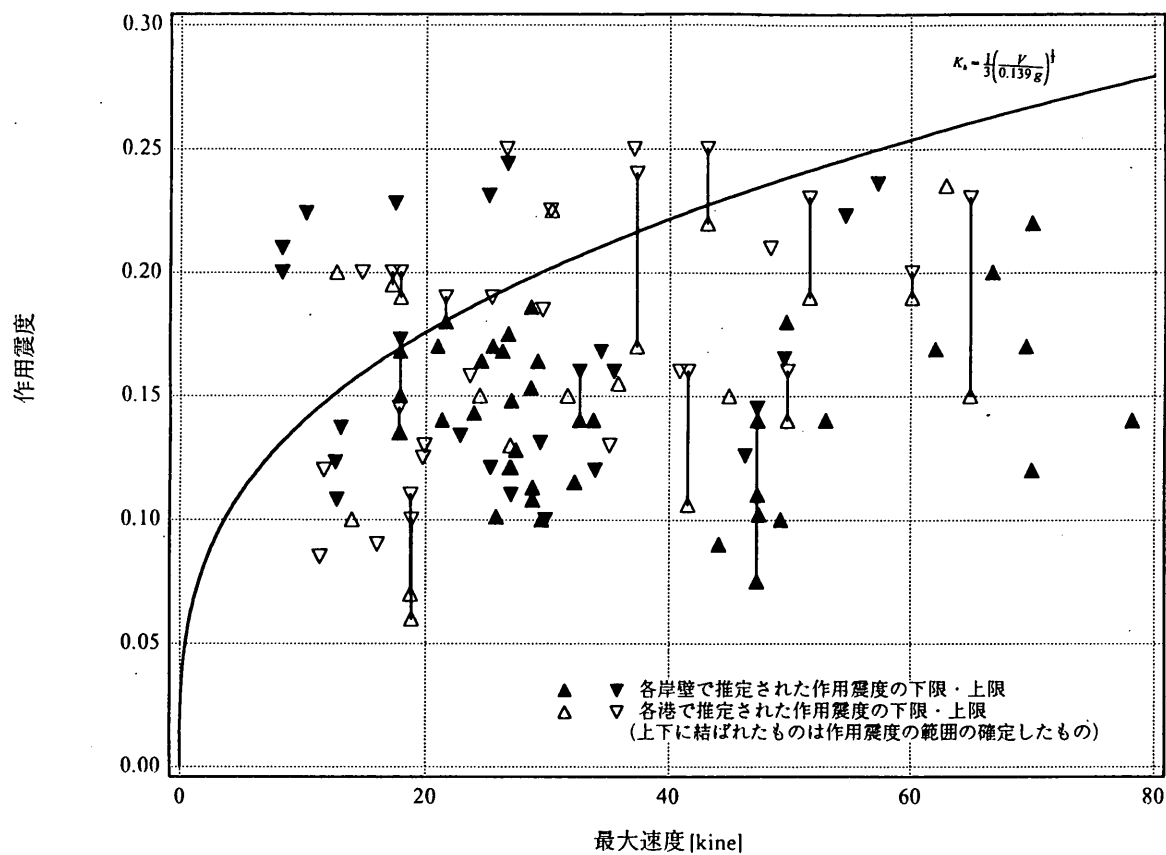


図-34 重力式岸壁の作用震度と最大速度の関係

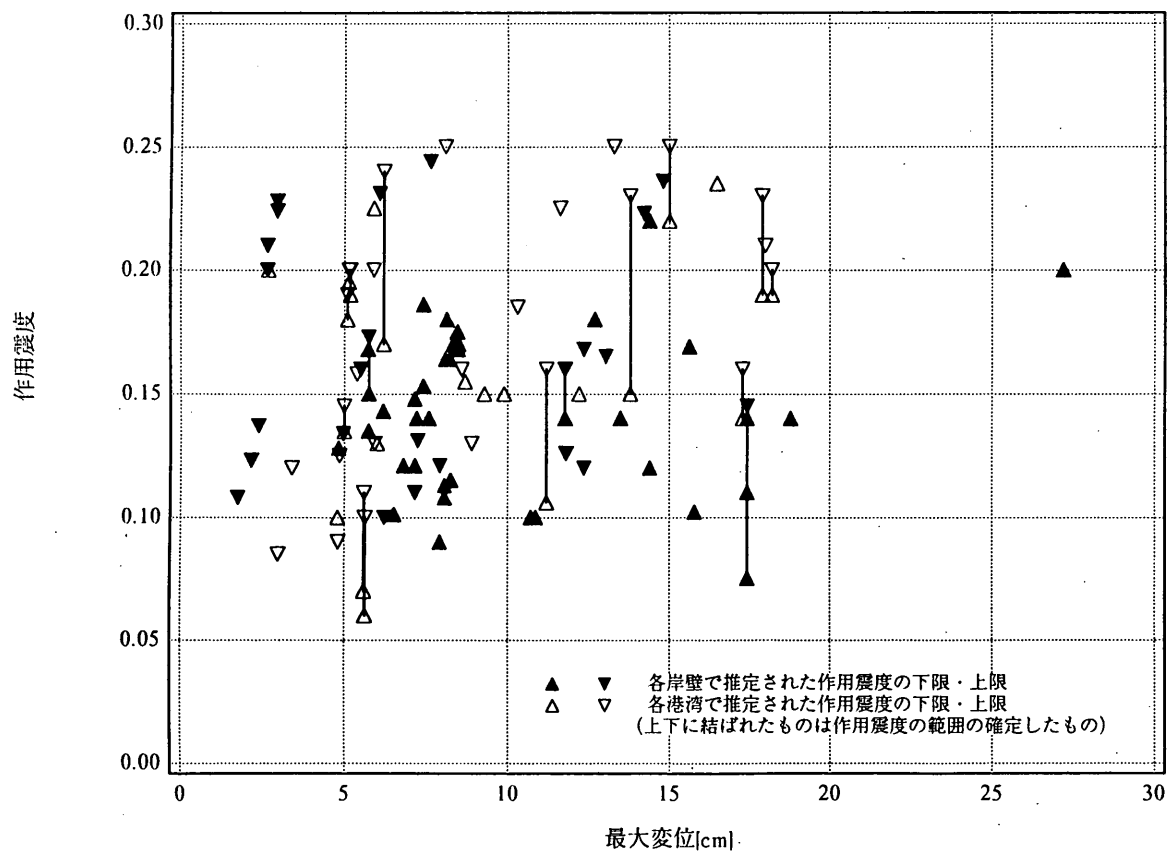


図-35 重力式岸壁の作用震度と最大変位の関係

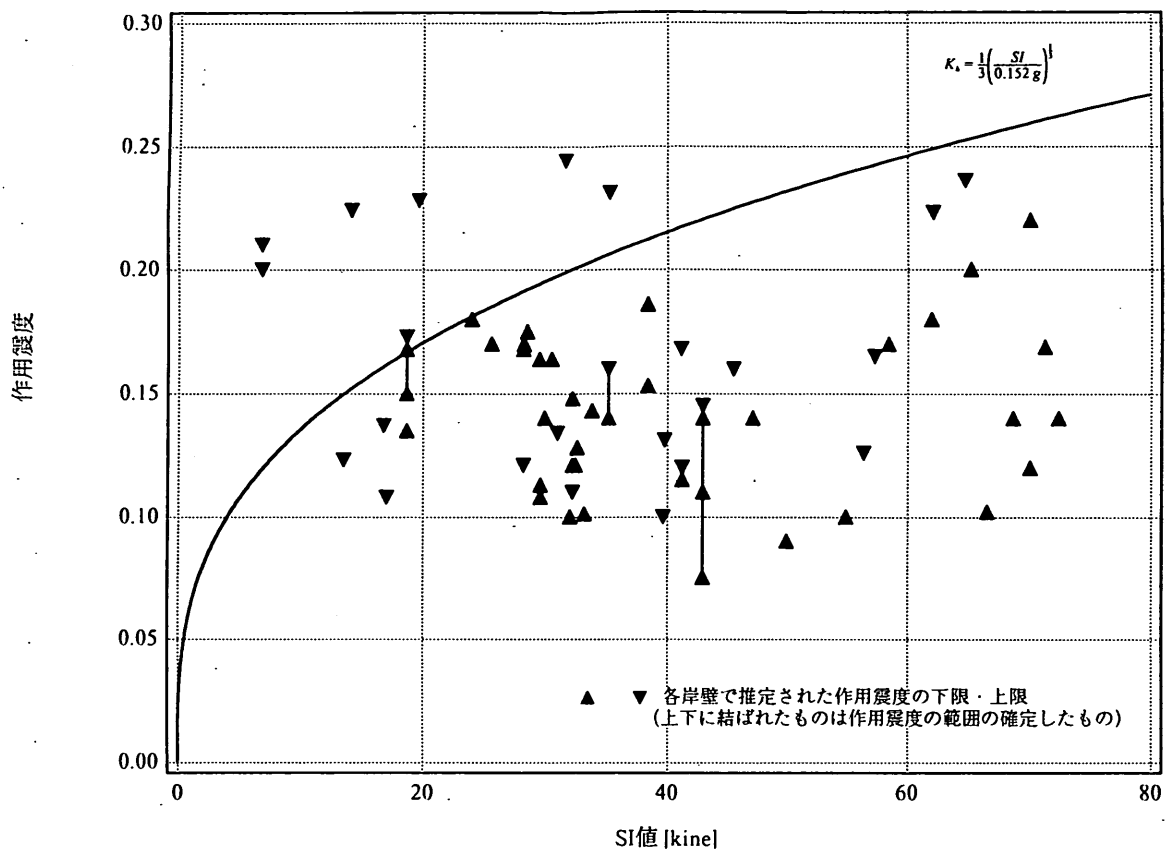


図-36 重力式岸壁の作用震度とSI値の関係

なっている。これらの曲線は次のようにして求めた。

被災港湾において記録された強震記録19記録の水平38成分についてSMAC最大加速度と補正最大加速度、最大速度、SI値との関係をプロットし(図-37)、平均的な関係として次式を得た。

$$A_{COR} = 1.28 \times A_{SMAC} \quad (30)$$

$$V = 0.139 \times A_{SMAC} \quad (31)$$

$$SI = 0.152 \times A_{SMAC} \quad (32)$$

ここに A_{COR} は補正最大加速度(Gal)、 A_{SMAC} はSMAC最大加速度(Gal)、 V は最大速度(kine)、 SI はSI値(kine)である。これらの関係を重力式岸壁に関する式(1)に代入すると図示した曲線が得られる。

$$K_s = \frac{1}{3} \left(\frac{A_{COR}}{1.28g} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (33)$$

$$K_s = \frac{1}{3} \left(\frac{V}{0.139g} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (34)$$

$$K_s = \frac{1}{3} \left(\frac{SI}{0.152g} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (35)$$

5.4 矢板式岸壁に関する検討結果

表-12は強震観測記録から地盤加速度等を求めた矢板式岸壁について、地震名、港湾名、施設名、構造形式、作用震度の範囲、強震記録番号、法線直角方向、補正最大加速度の推定値、SMAC最大加速度の推定値、最大速度の推定値、最大変位の推定値を示したものである。表-13には距離減衰式により地盤加速度等を推定した港湾について、地震名、港湾名、補正最大加速度の推定値、SMAC最大加速度の推定値、最大速度の推定値、最大変位の推定値および作用震度の範囲を示したものである。

図-38~42は表-12および表-13に基づいて矢板式岸壁の作用震度と補正最大加速度・SMAC最大加速度・最大速度・最大変位・SI値との関係を求めたものである。図中に引いた曲線については重力式岸壁の場合と同様である。

これらの図において、釧路沖地震による被災施設で、背後地盤で液状化が発生していたと判断される施設は、ここでの検討対象外であるからプロットを行っていない。プロットの対象外とした施設は表-12においてハッチン

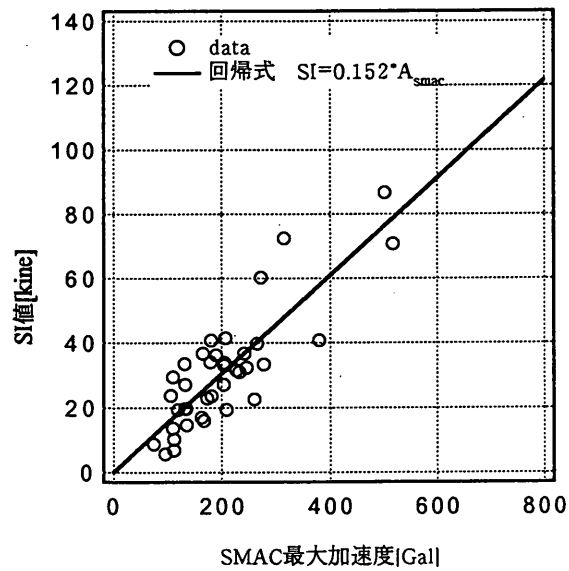
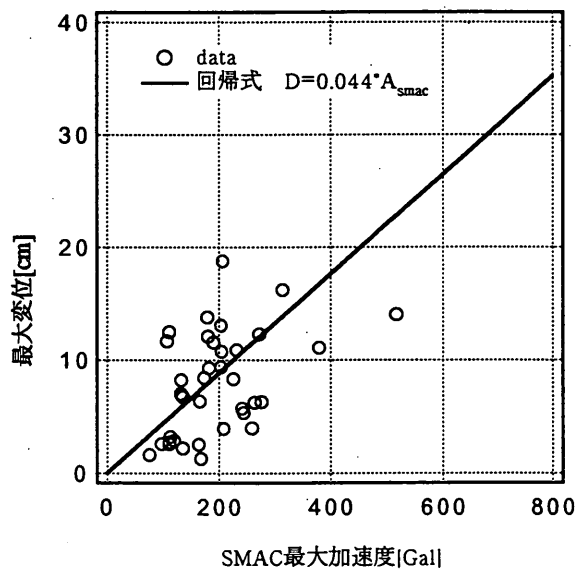
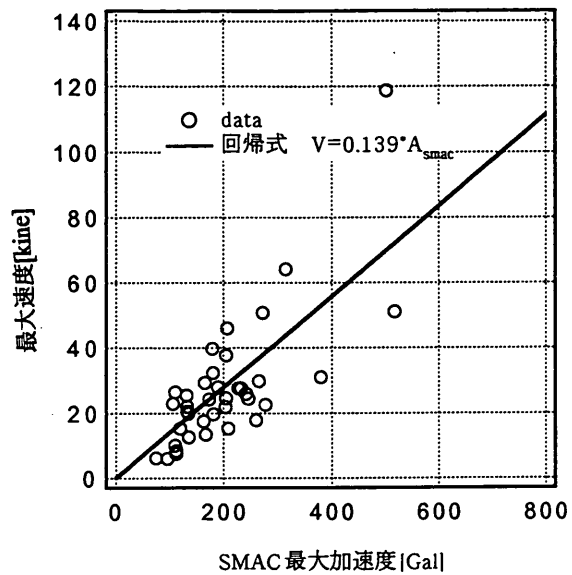
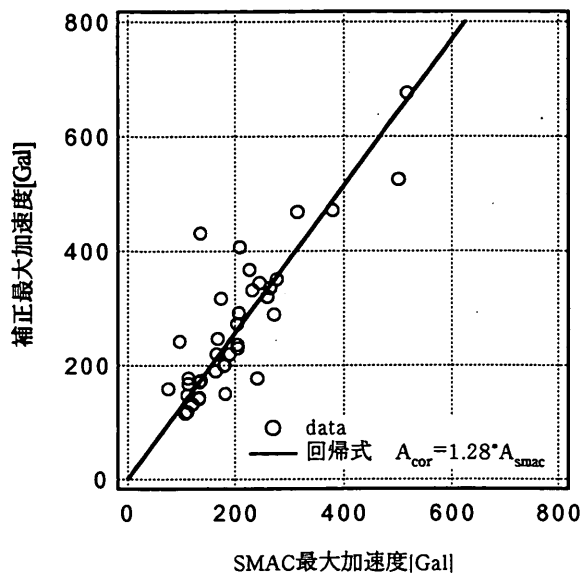


図-37 被災港湾における SMAC 最大加速度と補正最大加速度，最大速度，最大変位，SI 値との平均的な関係

表-12 矢板式岸壁の作用震度と最大加速度（岸壁毎のデータ）

地震名	地震番号	港名	港番号	施設名	形式	作用震度の範囲	地震記録	法線偏向角 (Nφ・E)	推定補正加速度 (Gal)	推定SMAC加減 (Gal)	推定速度 (kine)	推定変位 (cm)	推定S値 (kine)
1968年日向沖	1505	細島	200	工業地区-5.5m岸壁			S-213	33	228	195	20.1	7.1	29.7
十勝沖	1509	八戸	72	八太郎-3.5m物揚場	e<0.215	0.19	S-252	63	207	173	31.4	9.6	35.7
十勝沖	1509	八戸	72	第一工業港3号トゾ2号岸壁	e<0.21		S-252	94	200	182	33.0	12.2	41.0
十勝沖	1509	八戸	72	第一工業港日石岸壁	0.225<e		S-252	180	332	233	27.6	10.9	30.9
十勝沖	1509	八戸	72	第一工業港小中野1号岸壁	0.235<e		S-252	30	177	146	23.7	9.0	28.2
十勝沖	1509	八戸	72	第一工業港小中野2号岸壁	e<0.22		S-252	30	177	146	23.7	9.0	28.2
十勝沖	1509	八戸	72	第一工業港火力発電機庫2号	e<0.25		S-252	180	332	233	27.6	10.9	30.9
十勝沖	1509	八戸	72	第一工業港防衛庁岸壁	e<0.24		S-252	180	332	233	27.6	10.9	30.9
十勝沖	1509	八戸	72	第一工業港出光岸壁	e<0.22		S-252	180	332	233	27.6	10.9	30.9
十勝沖	1509	八戸	72	積島漁港岸壁	e<0.25		S-252	107	332	233	27.6	10.9	41.1
十勝沖	1509	青森	66	油川-4.5m岸壁	e<0.15		S-235	35	335	233	34.3	18.4	43.2
十勝沖	1509	青森	66	油川-2.0m物揚場	0.25	0.25	S-235	140	193	193	42.6	13.6	42.2
十勝沖	1509	青森	66	畑垣-7.5m岸壁	0.125	0.125	S-235	298	194	177	31.7	11.3	36.9
十勝沖	1509	青森	66	埴川石岸物揚場	e<0.1		S-235	292	199	181	32.6	11.8	35.2
十勝沖	1509	青森	66	中央埠頭西1岸壁	e<0.12		S-235	348	251	189	47.4	17.4	43.0
十勝沖	1509	富山	17	西1号埠頭西1・2号埠頭間岸壁	0.125	0.125	S-234	26	238	216	24.5	10.4	30.2
十勝沖	1509	富山	17	西2号埠頭西2・3号埠頭間岸壁	0.125	0.125	S-234	27	238	217	24.5	10.4	30.2
十勝沖	1509	富山	17	西3号埠頭西側岸壁先端部	0.14	0.14	S-234	293	354	132	18.2	5.9	18.6
十勝沖	1509	富山	17	西3号埠頭西側岸壁基部	0.225	0.225	S-234	293	354	132	18.2	5.9	18.6
十勝沖	1509	富山	17	西3号埠頭先端補強	0.145	0.145	S-234	24	239	217	24.4	10.4	30.1
十勝沖	1509	富山	17	西3号埠頭東側-9.0m岸壁先端部	0.19	0.19	S-234	111	221	156	18.4	6.0	18.6
十勝沖	1509	富山	17	西3号埠頭東側-9.0m岸壁基部	0.25	0.25	S-234	111	221	156	18.4	6.0	18.6
十勝沖	1509	富山	17	西3号埠頭-7.5m岸壁	e<0.22		S-234	111	221	156	19.4	6.0	18.6
十勝沖	1509	富山	17	西3号埠頭-4.5m岸壁	e<0.21		S-234	111	221	156	18.4	6.0	18.6
十勝沖	1509	富山	17	西3号埠頭-3.5m物揚場	e<0.16		S-234	111	221	156	18.4	6.0	18.6
十勝沖	1509	富山	17	富士鉄埠頭-1.3m岸壁	e<0.17		S-234	350	206	190	20.9	8.5	25.5
十勝沖	1509	富山	17	富士鉄埠頭富山製鉄化学岸壁	0.13	0.13	S-234	175	271	136	21.4	9.0	26.3
十勝沖	1509	富山	17	日石埠頭矢板補強	e<0.17		S-234	193	267	123	23.7	10.2	29.3
十勝沖	1509	富山	17	日石埠頭-5.5m岸壁	e<0.15		S-234	193	267	123	23.7	10.2	29.3
十勝沖	1509	富山	17	日通埠頭8号岸壁			S-234	不明					
十勝沖	1509	富山	17	日通埠頭2号岸壁			S-234	不明					
十勝沖	1509	富山	17	日通埠頭3号岸壁			S-234	不明					
十勝沖	1509	富山	17	中卵埠頭岸壁			S-234	不明					
根室半島沖	1610	釧路	10	西港-3.0m物揚場	0.21	0.21	S-733	131	182	122	24.4	10.4	30.1
根室半島沖	1610	釧路	10	中央埠頭3バーズ	0.18	0.18	S-733	287	109	101	14.8	3.6	18.1
根室半島沖	1610	釧路	10	中央埠頭-7.5m岸壁			S-733	172	152	141	27.5	6.1	35.0
瀬河沖	1763	秋田	43	大浜-10.0m1号岸壁	e<0.197		M-521	216	220	116	9.3	3.2	12.0
日本海中部	1804	秋田	43	大浜-10.0m2号岸壁	e<0.152		S-1567	257	225	198	24.2	9.1	30.4
日本海中部	1804	秋田	43	大浜-10.0m3号岸壁	0.177<e		S-1567	300	218	200	26.5	15.0	39.9
日本海中部	1804	秋田	43	中島3号岸壁	0.14<e		S-1567	257	225	198	24.2	9.1	30.4
日本海中部	1804	秋田	43	向浜-10.0m2号岸壁	0.143<e		S-1567	238	204	174	21.6	8.1	24.0
日本海中部	1804	秋田	43	向浜-10.0m1号岸壁	0.147<e		S-1567	52	207	160	20.3	7.9	23.5
釧路沖	2184	釧路	10	釧路地区南側岸壁(-7.5m)	0.23<e		F-507	197	335	295	62.5	15.7	71.8
釧路沖	2184	釧路	10	釧路地区南側岸壁(-5.0m)	0.22<e		F-507	195	307	271	46.3	11.8	56.4
釧路沖	2184	釧路	10	釧路地区南側岸壁(-1.2m)	e<0.25		F-507	195	335	294	62.9	15.8	72.1
北海道函館沖	2197	函館	20	弁天地区第6岸壁(-8.0m)	0.147<e		F-545	85	118	110	22.7	11.3	23.6
北海道函館沖	2197	函館	20	西埠頭地区F岸壁(-6.5m)	e<0.236		F-545	130	105	105	25.5	16.1	27.0
北海道函館沖	2197	函館	20	大町土砂処分場補強A(-4.5m)	e<0.266		F-545	205	134	127	25.7	11.5	28.5
北海道函館沖	2197	函館	20	釧路埠頭岸壁(-5.0m)	e<0.134		F-545	320	101	96	25.8	15.9	28.2
北海道函館沖	2197	函館	20	中央埠頭地区北側第2岸壁(-9.0m)	e<0.228		F-545	328	101	95	26.5	15.3	28.9
北海道函館沖	2197	函館	20	北埠頭地区B岸壁(-5.5m)	0.081<e		F-545	264	102	89	22.6	11.1	23.7
三陸はるか沖	2252	八戸	72	八太郎4号埠頭地区岸壁(-5.0m)	0.078<e		S-2597	62	470	380	37.1	7.5	47.8

表-13 矢板式岸壁の作用震度と最大加速度（港湾毎のデータ）

地震名	地震番号	港名	港番号	補正加速度 (Gal)	SMAC加速度 (Gal)	速度 (kine)	変位 (cm)	作用震度の下限	作用震度の上限	作用震度の推定値
男鹿地震	938	秋田港	43	323	192	12.7	2.7			0.16
南海地震	1069	名古屋港	249	195	146	14.3	3.8		0.23	
チリ地震		Pt. montt	-	318	208	24.4	9.3		0.2	
新潟地震	1403	新潟港	48	533	386	59.9	18.3			0.15
新潟地震	1403	酒田港	45	303	260	35.1	8.9		0.16	
1968年十勝沖地震	1509	大船渡港	76	150	101	10.5	3.8		0.06	
1968年十勝沖地震	1509	大湊港	68	146	130	18.1	4.5	0.15	0.175	
1968年十勝沖地震	1509	函館港	20	130	133	23.6	5.4			0.16
1968年十勝沖地震	1509	苫小牧港	15	161	122	13.0	4.1		0.19	
1970年日向灘地震	1562	外の浦港	-	47	44	8.8	1.9			0.17
根室半島沖地震	1610	霧多布港	9	312	193	17.9	5.2	0.16		
1974年伊豆半島沖地震	1626	下田港	235	230	290	64.9	13.8		0.17	
宮城県沖地震	1695	仙台港	-	162	117	16.8	5.4		0.17	
宮城県沖地震	1695	石巻港	79	204	144	17.4	6.7		0.14	
宮城県沖地震	1695	萩浜港	-	269	183	18.8	5.6			
宮城県沖地震	1695	相馬港	81	321	168	17.7	4.1		0.18	
釧路沖地震	2184	霧多布港	9	181	126	18.7	14.3		0.237	
三陸はるか沖地震	2252	むつ小川原港	71	286	195	19.1	4.6		0.219	

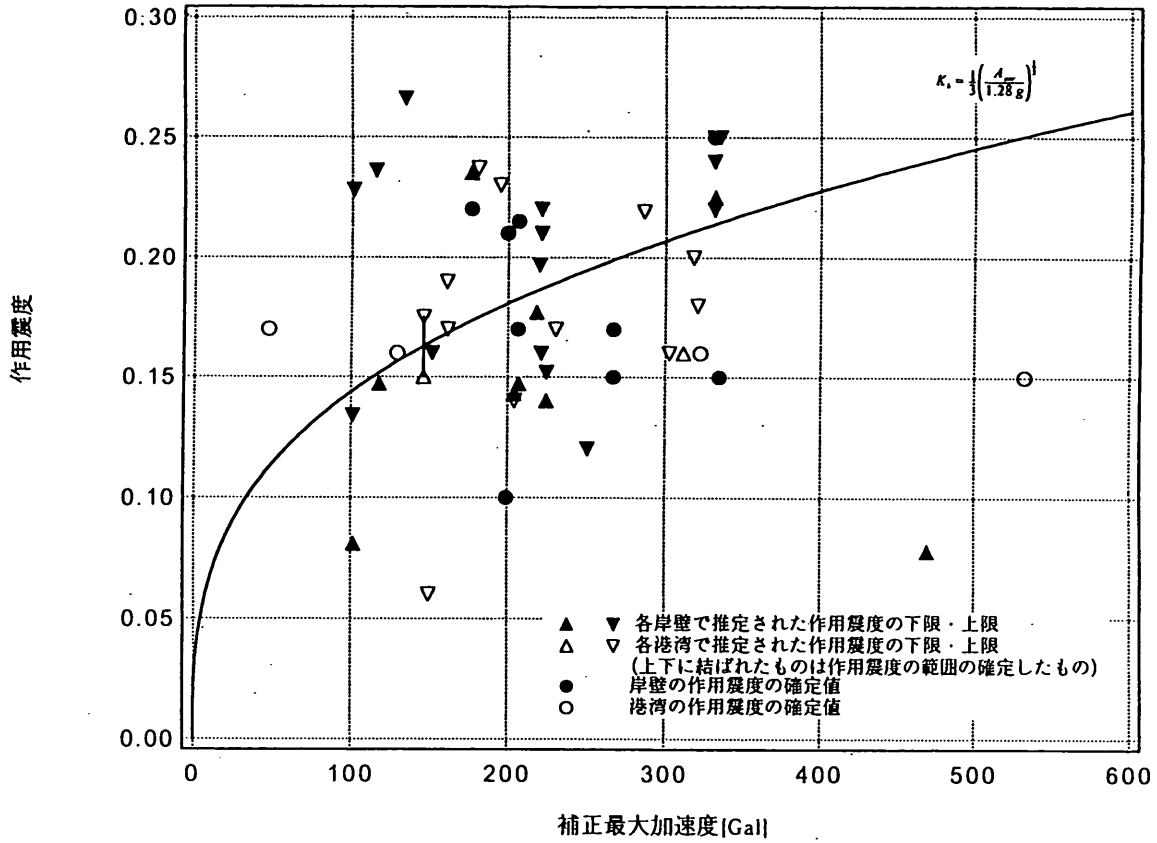


図-38 矢板式岸壁の作用震度と補正最大加速度の関係

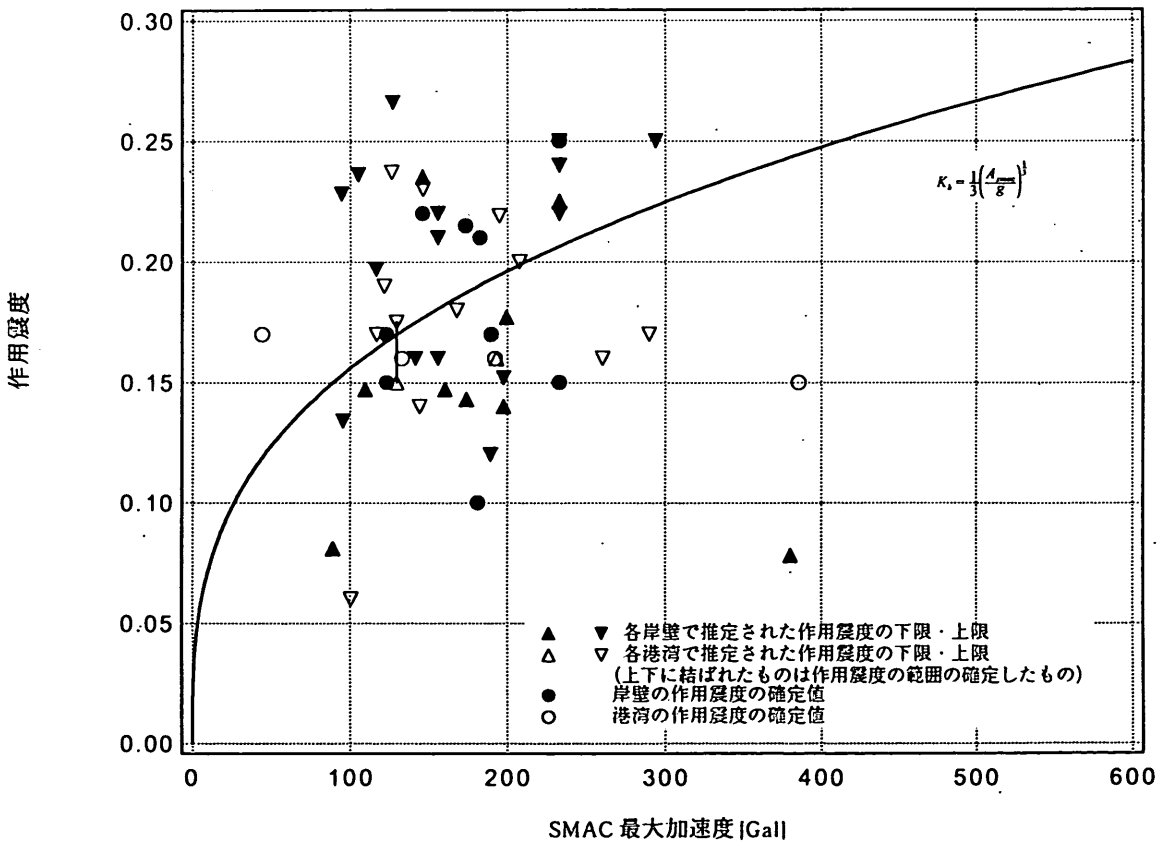


図-39 矢板式岸壁の作用震度と SMAC 最大加速度の関係

設計震度

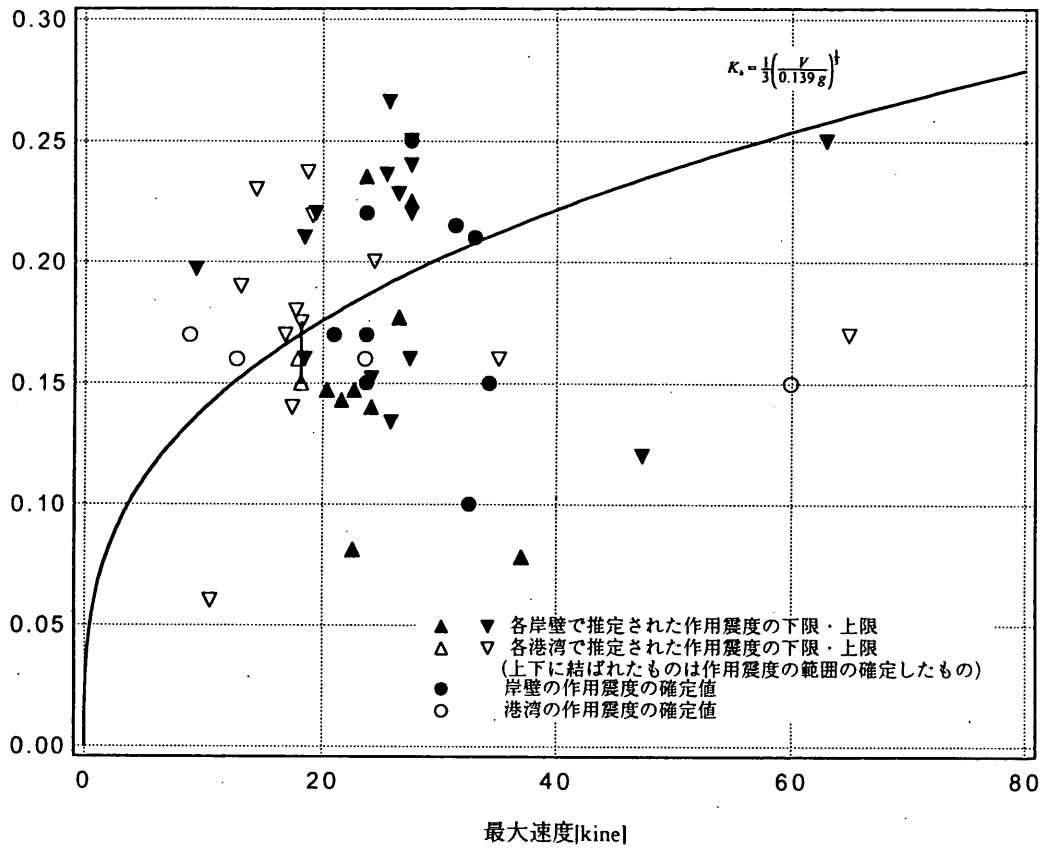


図-40 矢板式岸壁の作用震度と最大速度の関係

設計震度

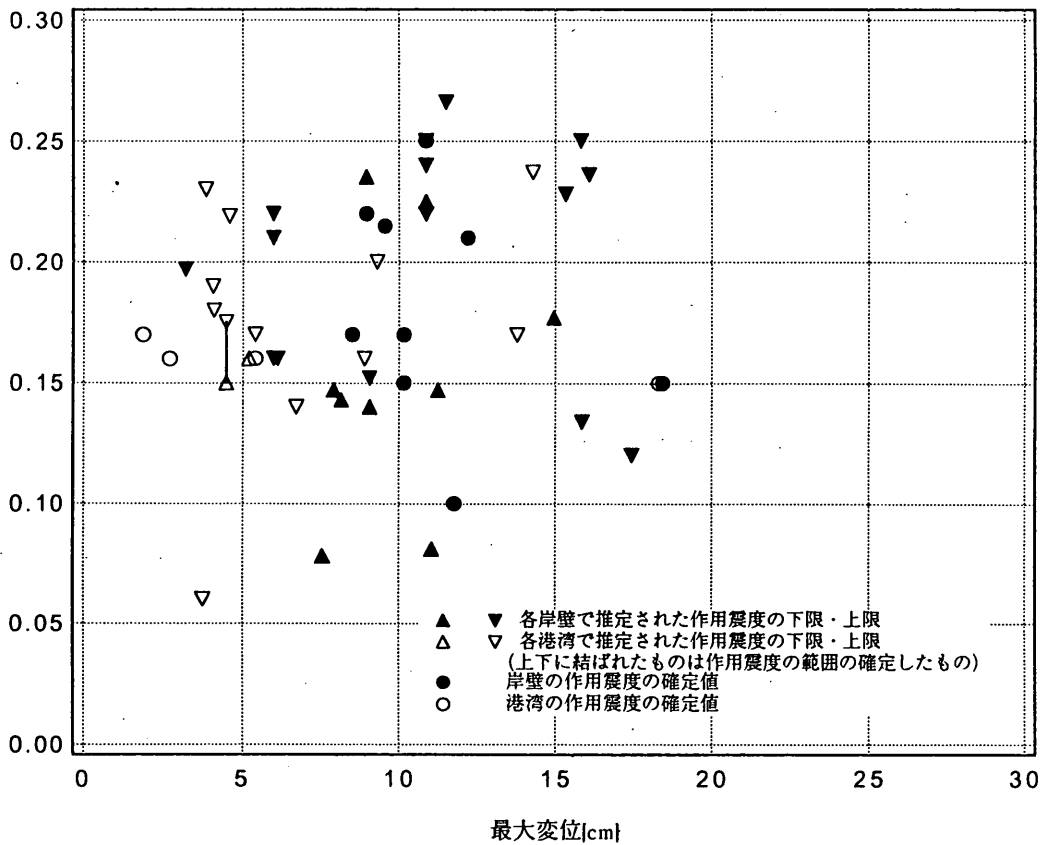


図-41 矢板式岸壁の作用震度と最大変位の関係

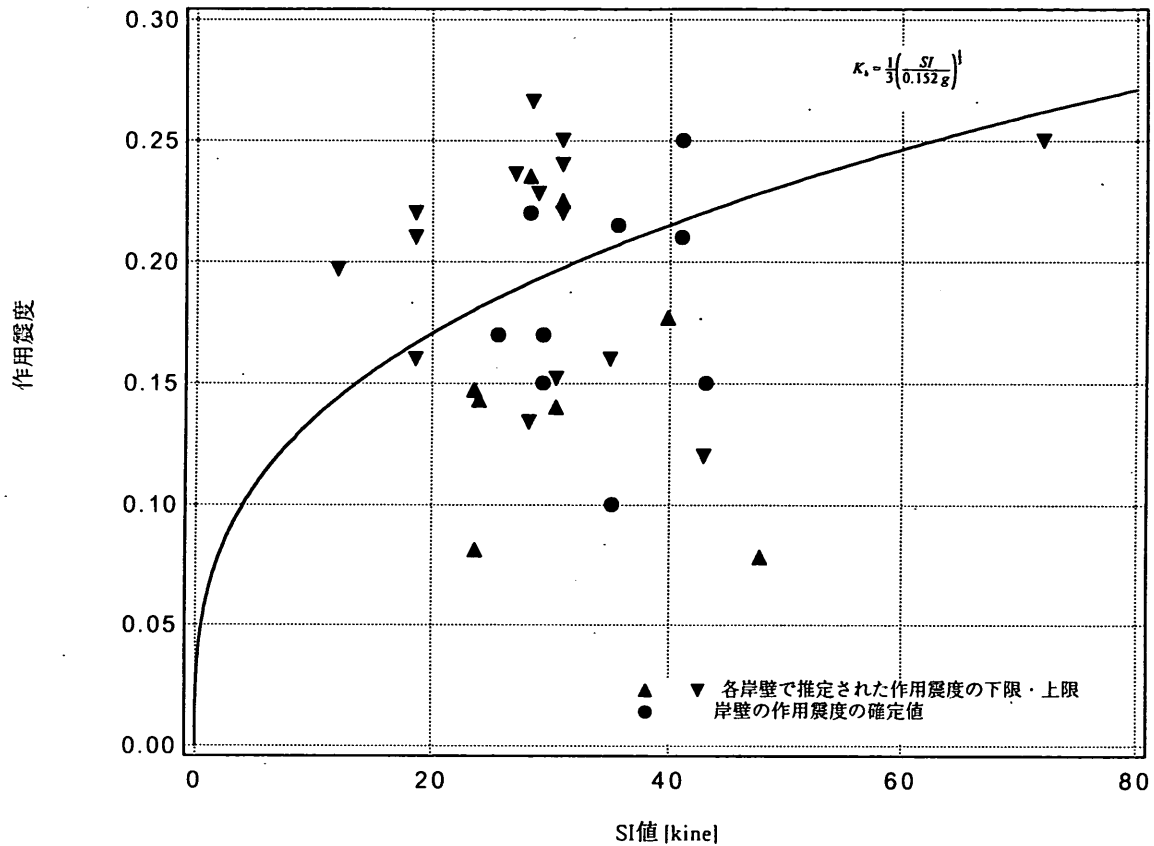


図-42 矢板式岸壁の作用震度と SI 値の関係

グを行った2つの施設である。これらの施設については、被害報告³⁹⁾の図-3.4.1および図-3.4.2から背後地盤で液状化が発生していたことは明らかである。なお、ここでも式(1)の検証を行う観点からプロットの対象外とする施設を選んでおり、すべての被災施設について液状化の有無を判定しているわけではない。

図-39によれば矢板式岸壁の作用震度のなかには式(1)よりも大きい値を示しているものがある。これらは十勝沖地震の際の八戸港及び青森港で得られたデータである。これらのデータは前回北島ら⁷⁾が矢板式岸壁の作用震度と地盤加速度の関係を検討した際にも例外として存在したものである。当時の北島らの判断をそのまま採用するとすれば、重力式岸壁に関する作用震度の上限を与える式(1)は矢板式岸壁にも準用できることになる。

6. 港湾構造物の耐震設計で考慮する地震外力

6.1 概要

本章では、港湾構造物の耐震設計で考慮する地震外力の考え方を整理し、本研究の2.から5.の成果を地震外力の設定にどのように活用できるかという点について述べる。また、本研究の成果を活用して設計用入力地震動を設定するためのプログラムを紹介する。

兵庫県南部地震を機に、わが国の土木構造物の耐震設計法には新しい考え方が導入された。構造物の耐用年数中に発生する可能性の高い地震動(レベル1地震動)の他に、発生確率は小さいが構造物に深刻な被害を及ぼす地震動(レベル2地震動)についても考慮するという考え方である。

レベル2地震動の考え方には主に二つの新しい点がある。第一点はレベル2地震動の与え方に関するものである。兵庫県南部地震の発生により、内陸活断層で発生する大地震の震源近傍では非常に破壊力の大きい地震動が発生する場合のあることが示された。このことを踏まえ、レベル2地震動を設定する際に、建設地点近傍の活断層

で地震が発生する可能性がある場合には、こうした地震による地震動をレベル2地震動とする必要があるという考え方である。第二点は耐震性能の規定方法に関するものである。レベル2地震動に対しては構造物の重要度に応じて許容できる被災程度を規定するという性能設計の考え方である。レベル2地震動の考え方は兵庫県南部地震後の土木学会の提言に盛り込まれ¹²⁾・¹³⁾、その後、道路橋の耐震設計法に導入された¹⁴⁾。港湾の分野においても耐震強化岸壁の設計にレベル2地震動の考え方が導入されている¹⁵⁾・¹⁶⁾。

以下、レベル1地震動およびレベル2地震動の概念を利用して、港湾構造物の耐震設計で考慮する地震外力の考え方について整理する。6.2では耐震強化岸壁について、6.3では一般岸壁について、それぞれ整理する。最後に、6.4では本研究の成果を活用して設計用入力地震動を設定するためのプログラムを紹介する。

6.2 耐震強化岸壁の耐震設計で考慮する地震外力

耐震強化岸壁は震災直後の住民の避難、緊急物資輸送路の確保、経済社会活動の維持等を目的として建設されるものであるから、その耐震性の確保は特に重要である。

6.1に述べたように、耐震強化岸壁の設計にはレベル2地震動の考え方が導入されることになった¹⁵⁾・¹⁶⁾。レベル2地震動を考慮した耐震強化岸壁の設計手順は次のとおりである¹⁶⁾。

- ①設計対象地震の選択
- ②設計対象地震動（レベル2地震動）の設定
- ③震度法による構造断面・諸元の決定
- ④設計対象地震動（レベル2地震動）に対する変形等の照査
- ⑤細部設計

耐震強化岸壁の設計対象地震動は非常に強いものとなる場合が多いので、この地震動に対して全く残留変形を生じないような岸壁を造ることは不可能であるか、可能であるとしても過大な初期建設費を必要とすることになる。従って、設計対象地震動に対して岸壁の機能が維持されることが耐震設計の目標となる。以上の耐震強化岸壁の耐震設計法は以下の点を踏まえて決定されている。第一に、構造断面・諸元を決める手順は震度法に基づいて体系化されてきているので、今後も震度法により行うことが簡便で合理的である。第二に、港湾構造物の過去の被災事例によれば、ある地震外力に対して、大きな設計震度で設計された岸壁は、小さな設計震度で設計された岸壁と比較して、変形が小さい傾向にある³⁹⁾・⁴⁶⁾・⁴⁷⁾。すなわち、岸壁の設計震度はもともと岸壁が変形するか

しないかの限界の地震力を定めたものであるが、変形する場合の変形の大きさとも関係していることが示されている。このことを考慮すると、地震時の変形量を小さく抑さえ、地震直後も岸壁の機能が維持されることを目指すという設計の目標を達成するために、耐震強化岸壁の設計震度を十分に大きくとることは有効である。第三に、震度法による設計を実施することにより、レベル1地震動に対して耐震強化岸壁が所要の安全率を有していることも確認される。このようなことから施設断面・諸元の決定には震度法が採用されている。しかし、震度法のみでは構造物や地盤等の安定性の検討が不十分な場合があると考えられるため、水中振動台による模型振動実験⁴⁴⁾や有効応力解析⁴⁵⁾による変形照査を実施する必要がある。

さて、レベル2地震動に対応した耐震強化岸壁の設計を実施するためには①設計対象地震の選定が適切であること、②設計対象地震動の与え方が適切であること、③与えられた地震動に対する変形予測手法が適切であること等の条件が必要である。この中で、①、②については必ずしも解決済みの課題ではない。土木学会にも専門の小委員会が設置され、議論が行われている。特に、変形照査を実施する関係上、地震動の最大振幅のみならず時刻歴波形を与える必要があり、これをどのように与えるかが課題である。また、プレート境界で発生するマグニチュードの大きい地震による震源近傍の地震動は、内陸活断層による震源近傍の地震動とは異なる性質を持つと予想されるが、この型の地震による震源近傍の強震記録が現在のところ得られていないので、現状では地震動の特性について多くの不明な点が残されている。

以上のように耐震強化岸壁の設計対象地震および地震動の設定には多くの課題も残されているが、港湾局技術課¹⁶⁾が示した耐震強化岸壁の地震外力の設定方法は現段階では比較的妥当性を有する方法であると考えられる。以下、この方法について述べる。

(a) 設計対象地震の選択

耐震強化岸壁の設計対象地震は原則として地域防災計画で定められた想定地震とする。地域防災計画で定められた想定地震が無い場合、または耐震強化岸壁の設計に用いる地震を別途検討することが適当な場合には以下のように対象地震を選定する。

i) 活断層および歴史地震の調査

耐震強化岸壁の設計対象地震としては、活断層で発生する可能性のある地震や過去に発生した記録が残っている地震（歴史地震）の中から、対象構造物にとって最も

危険な地震動をもたらす地震を選定することを基本とする。そのために先ず建設地点周辺の活断層分布を調査する必要がある。内陸の活断層で発生する地震は一般に再現期間が非常に長いので（多くは数千年以上）、地震が発生したという記録が歴史に残されていない活断層であっても、構造物の耐用年数中に地震を引き起こす可能性がある。例えば、兵庫県南部地震の発生以前の段階において、この地震が発生することを歴史地震の情報だけから予測することは不可能であった。従って、耐震強化岸壁の設計対象地震を選定するためには、歴史地震の調査のみならず、建設地点周辺の活断層の調査が必要である。この作業に役立つ活断層マップが出版されている^{48)・49)}。特に【新編】日本の活断層⁴⁸⁾に掲載された「確実度Ⅰ」の活断層が参考になる。ただし、兵庫県南部地震以後、国や地方自治体等の手により活断層の調査が積極的に実施されているので、活断層マップ以外に、こうした新たな調査の結果にも注目する必要がある。

活断層という言葉は狭義には内陸の活断層を指すが、ここで調査の対象とする活断層は海底の活断層を含む広義の活断層のことである。特に、太平洋プレートやフィリピン海プレートが陸のプレートの下に沈み込むプレート境界では、歴史時代に繰り返し巨大地震が発生している。これら巨大地震の発生源あるプレート境界もここでは活断層のうちを含めて考える。

ii) 工学的基盤における最大加速度の設定

次に、こうした活断層で地震が発生する場合の建設地点の工学的基盤における地震動を予測する。2.で述べたように、一般に構造物を建設しようとするとき、工学的基盤面（N値50以上の地層の上面）より上の表層地盤については比較的良好に調査されており、その振動特性を検討することは可能である。一方、工学的基盤面以下の地盤条件については不明な場合が多い。そこで、ここでは工学的基盤における地震動（正確には工学的基盤面に下方から入射する地震動の2倍）を統計的方法により求め、これを入力条件として表層地盤の地震応答解析を行うことを考える。

工学的基盤における地震動を求めるためには種々の方法が考えられるが、簡易な方法としては2.で求めた最大加速度の距離減衰式を用いることができる。

$$\log_{10} A_{SMAC} = 0.53M - \log_{10}(R + 0.0062 \cdot 10^{0.53M}) - 0.00169R + 0.524 \quad (12)$$

ここに、 A_{SMAC} はSMAC最大加速度（Gal）、 M は気象庁マグニチュード、 R は断層面距離（km）である。ここでSMAC最大加速度の距離減衰式を用いるのは、耐震強化岸壁の設計震度を求める際に、地表でのSMAC

最大加速度が必要となるためである。

さて、この方法で工学的基盤での最大加速度を推定するとき、地震の規模（気象庁マグニチュード）と断層面距離が必要となる。

内陸の活断層で発生する地震のマグニチュードは式(36)により推定することができる⁵⁰⁾。

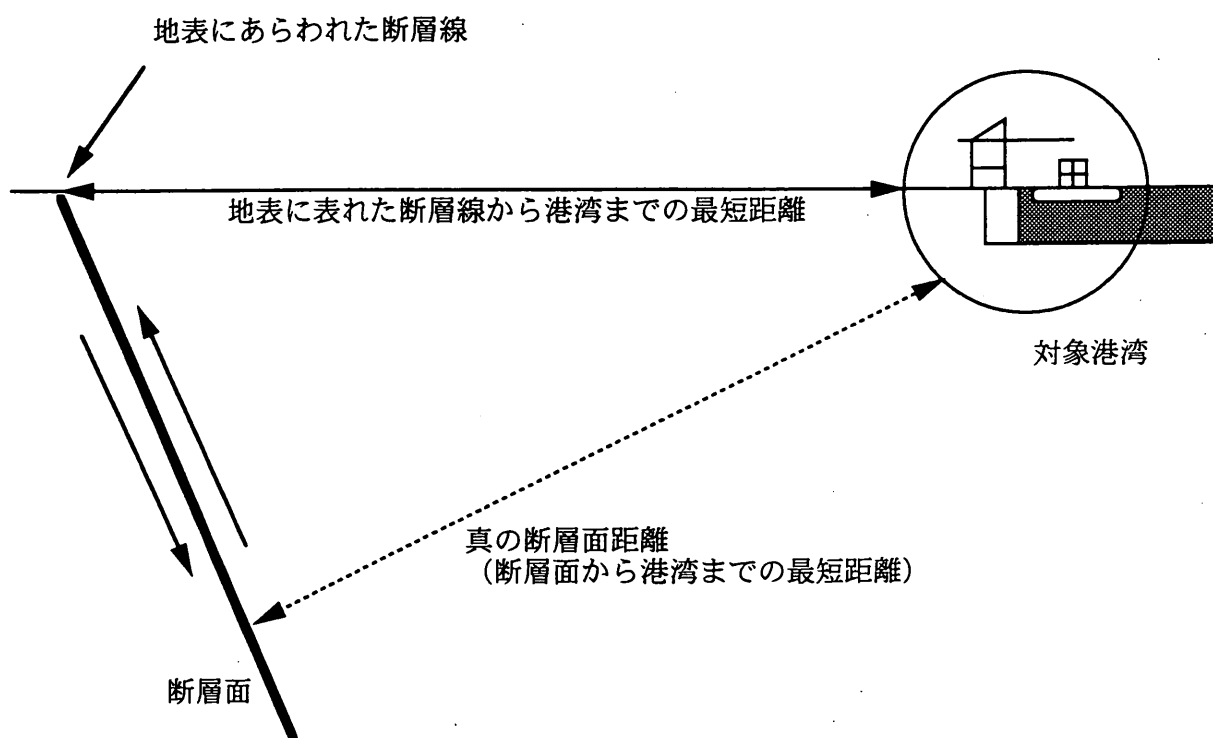
$$\log L = 0.6M - 2.9 \quad (36)$$

ここに L は地表地震断層の長さ（km）、 M はマグニチュードである。活断層マップを見ると、いくつかの活断層が近接して存在し、全体として活断層帯を形成している場合がある。このような場合には活断層帯全体が同時に活動して地震を引き起こすことが多いから、マグニチュードの推定に用いる活断層の長さとしては、活断層帯全体の長さを用いる必要がある。複数の活断層を一つの活断層帯とみなすかどうかは、それらの相互間隔が5km以内であるかどうかを目安とする⁵¹⁾。

活断層から建設地点までの距離は、用いる距離減衰式の本来の定義からすれば、図-43に示すように断層面の深さ方向の広がりやを考慮して最短距離を求めることが望ましい。しかし、活断層マップに掲載されている多くの活断層については、その地表における位置は示されているものの傾斜角（dip）や深さ方向の広がりについては不明である場合が多い。そこで現実的な方法として、地表の断層線から港湾までの最短距離をもって代用する方法が考えられる。

こうしてマグニチュードと距離が求められると、距離減衰式により建設地点の工学的基盤における最大加速度が求められる。以上の作業を個々の活断層にたいして実施する。

一方、建設地点周辺で発生した歴史地震についても調査する。このために参考となる書物や論文が出されている^{33)・34)・52)}。こうした歴史地震についても、建設地点での工学的基盤におけるSMAC最大加速度を推定する。このとき、多くの歴史地震については地震学者の手によりその震源断層の位置が決定されているので¹⁹⁾、震源断層から建設地点までの最短距離を用いてSMAC最大加速度を求める。地震学者の手により決定された震源断層の例を図-44(a)-(e)に示す。(a)は1703年元禄地震の震源断層を、(b)は1707年宝永地震の震源断層を、(c)は1854年安政南海地震の震源断層を、(d)は1923年関東地震の震源断層を、(e)は1946年南海地震の震源断層をそれぞれ示したものである。いずれも、震源断層を地表面に投影したものを示している。一方、震源断層の位置が決定されていない歴史地震については、2.で述べたようにマグニチュードに応じた球状の震源域を仮定し



港湾の基盤加速度を求めるときに、真の断層面距離を用いることが理想であるが、断層面の傾斜角や深さ方向の広がりが分からないときには真の断層面距離が求まらない。従って、この時には、地表に表れた断層線から港湾までの最短距離で代用する

図-43 対象港湾と断層面および地表の断層線の位置関係

て実効距離を求め、これを断層面距離の代わりに用いる。ただし、1884年以前の歴史地震のうち、震源断層の位置が明らかにされていない地震は、多くの場合震源位置の決定精度が十分ではない。こうした地震について、上述の方法で実効距離を求め、これを震源距離の代用として最大加速度を求めると、過大評価となる場合がある。このような場合には、こうした歴史地震の震源断層を地質学的な調査により明らかにすることが理想であるが、それが困難である場合には、こうした歴史地震を設計対象地震の選択肢からはずすこともやむを得ないと考えられる。

iii) 設計対象地震の選択

以上のようにして、活断層で発生する地震および歴史地震による工学的基盤のSMAC最大加速度が求まるので、この中から最も大きなSMAC最大加速度をもたらす地震を選び、これを設計対象地震とする。このとき、最大加速度の大きな地震動が必ずしも構造物に大きな被害をもたらすとは限らないので、最大加速度の大小だけ

を基準として設計対象地震を選ぶのはやや便宜的であるが、現実的な方法である。

iv) 設計対象地震の選択の例

以上のような方法で設計対象地震の選択を行った例を表-14に示す。ここでは広島港を例として取りあげている。ここで用いた歴史地震データのうち、1885年から1980年までの地震は宇津カタログ³³⁾に掲載されたマグニチュード6.0以上の地震およびマグニチュード6.0未満の被害地震であり、これらの地震には仮に[1]-[1723]の番号がふられている。1981年から1995年5月までの地震は気象庁地震月報³⁴⁾に掲載されたもののうちマグニチュード5.6以上のものであり、これらには[1724]-[2279]の番号がふられている。1884年以前の歴史地震は宇佐見カタログ⁵²⁾から引いており、これらには[2280]-[2495]の番号がふられている。以上の歴史地震について、震源断層が推定されている場合にはその位置を考慮する¹⁹⁾。一方、活断層マップ⁴⁸⁾から予測した地震には[2496]-[3277]の番号がふられている。表-15に活断層マップから予測した総ての地震のパラメータ一覧を



図-44 (a) 1703 年元禄地震の震源断層

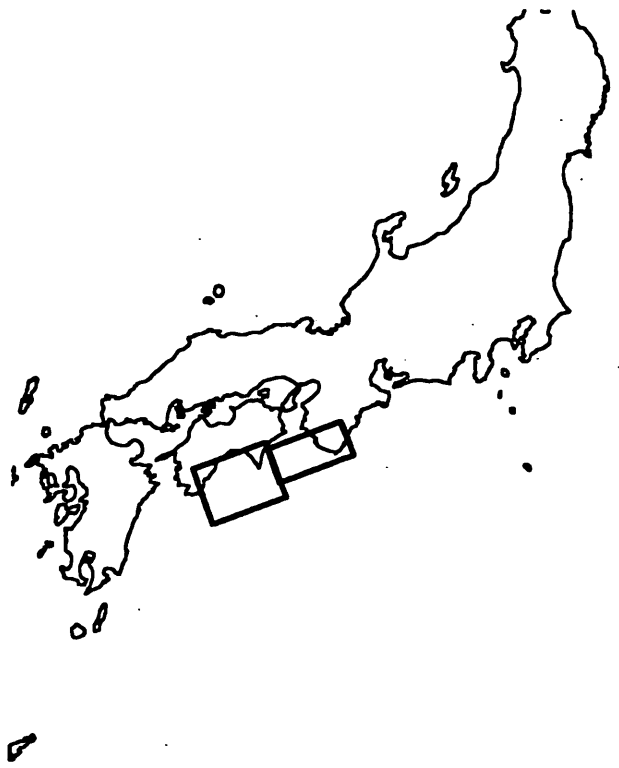


図-44 (c) 1854 年安政南海地震の震源断層

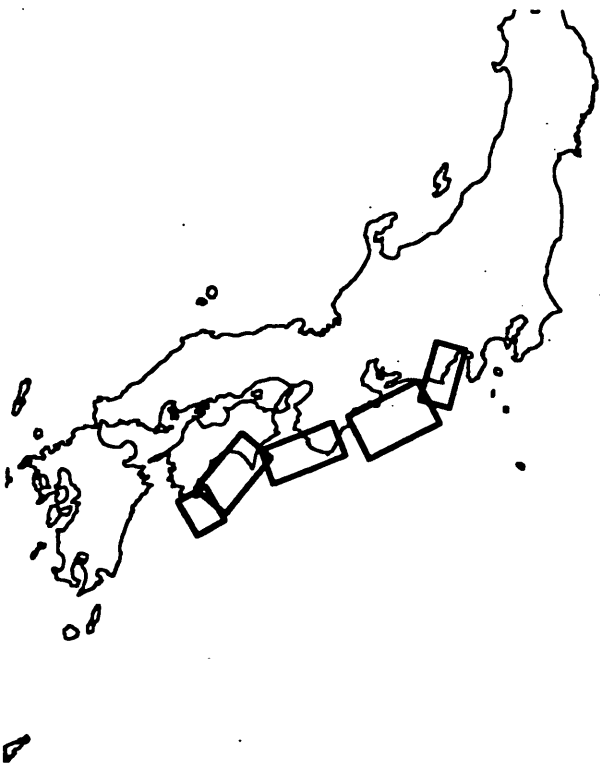


図-44 (b) 1707 年宝永地震の震源断層



図-44 (d) 1923 年関東地震の震源断層

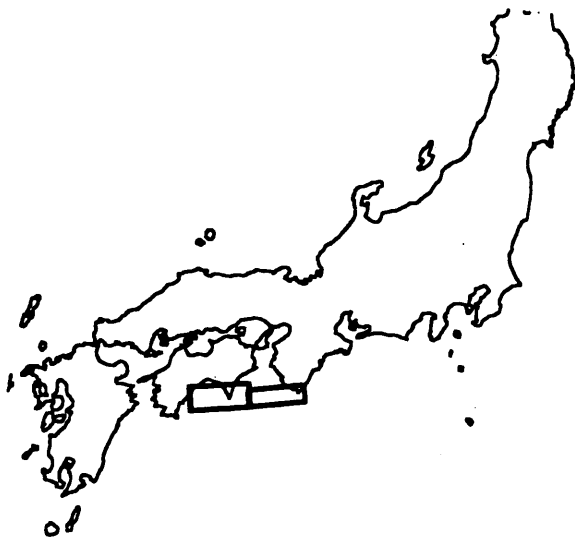


図-44 (e) 1946年南海地震の震源断層

示す。表-15に示された諸元の意味するところは図-45に示す通りである。表-15において、図幅番号とは文献(48)において当該活断層の基準点が掲載されている図幅番号を示す。図幅番号の欄に「付図I」とある場合には当該活断層の基準点が文献(48)の付図Iに掲載されていることを示す。

以上のすべての地震に対して広島港の工学的基盤におけるSMAC最大加速度を計算し、上位20位のみを示したものが表-14である。表には地震の発生日月日(歴史地震の場合)、震源の東経、北緯、深さ、マグニチュード、断層面距離、そして基盤加速度が示されている。表-14によれば、1884年以前の歴史地震が1位、2位となっているが、これらの地震の震源位置の決定精度が十分でないことを考慮してこれらを除き、3位にランクされている地震番号[2692]の地震を採用することが適当であると考えられる。従って、設計基盤加速度は356Galとなる。地震番号[2692]の地震は己斐断層の地震である。

表-14 活断層や歴史地震の調査による港湾の基盤加速度の算出例
(広島港, 東経132.48度, 北緯34.35度)

地震番号	発生日	発生月	発生日	震源の東経 (度)	震源の北緯 (度)	震源の深さ (km)	M	断層面距離 (km)	基盤加速度 (Gal)
[2480]	1857	10	12	132.50	34.00	0.0	7.8	0.0	539
[2366]	1686	1	4	132.60	34.00	0.0	7.4	12.2	416
[2692]				132.41	34.38	0.0	6.4	7.2	356
[190]	1905	6	2	132.50	34.10	40.0	7.3	23.6	325
[2693]				132.90	33.81	0.0	8.5	71.4	300
[2690]				132.06	34.10	0.0	7.0	27.0	263
[2691]				132.29	34.17	0.0	6.5	16.5	259
[2348]	1649	3	17	132.50	33.70	0.0	7.3	47.1	222
[2412]	1769	8	29	132.10	33.00	0.0	8.0	97.8	193
[2470]	1854	12	24	135.00	33.00	0.0	8.4	137.2	178
[2492]	1872	3	14	132.10	35.15	0.0	7.3	64.2	175
[2377]	1707	10	28	135.90	33.20	0.0	8.4	142.8	171
[3102]				132.28	34.18	0.0	6.1	20.4	170
[3101]				132.28	34.21	0.0	6.0	19.3	164
[2934]				132.09	34.10	0.0	6.5	35.0	156
[2487]	1859	10	4	132.00	34.50	0.0	6.5	37.0	149
[1069]	1946	12	21	135.62	33.03	20.0	8.0	133.1	144
[2296]	887	8	26	135.00	33.00	0.0	8.5	177.0	143
[2312]	1361	8	3	135.00	33.00	0.0	8.5	177.0	143
[2281]	684	11	29	134.25	32.75	0.0	8.3	162.3	140

注1) 地震番号は

[1]-[2279] 1885年から1995年5月までの歴史地震

[2280]-[2495] 1884年以前の歴史地震

[2496]-[3277] 活断層マップから予測した地震

注2) 活断層マップから予測した地震については、発生日月は空欄となっている

注3) 基盤加速度とは距離減衰式で求めた工学的基盤におけるSMAC最大加速度である。

表-15 活断層で発生することが予想される仮想地震のパラメタ

活断層番号	基準点の東経 (度)	基準点の北緯 (度)	長さ (km)	走行方向 (度)	推定M	図幅番号
2496	144.78	43.86	13.7	30	6.7	5
2497	144.18	43.87	14.7	0	6.8	5
2498	143.35	43.16	14.0	22	6.7	9
2499	143.30	42.90	12.0	168	6.6	9
2500	142.35	43.26	15.3	10	6.8	14
2501	141.66	44.20	5.3	14	6	18
2502	141.73	43.40	35.0	18.5	7.4	19
2503	141.85	43.78	10.3	164	6.5	19
2504	141.75	43.09	7.5	12	6.3	20
2505	141.76	42.87	12.0	165	6.6	20
2506	140.78	43.07	5.0	35	6	22
2507	140.31	42.73	5.0	159	6	22
2508	140.33	42.47	7.8	12	6.3	23
2509	140.58	41.73	21.5	10.5	7.1	24
2510	140.16	41.86	5.0	7.5	6	24
2511	140.53	40.76	7.0	160	6.2	29
2512	140.58	40.70	6.0	9	6.1	29
2513	140.02	40.11	7.5	20	6.3	31
2514	140.05	40.28	8.0	171	6.3	31
2515	140.81	40.14	9.0	4	6.4	31
2516	140.57	39.33	32.5	12	7.4	34
2517	140.94	39.71	6.5	7	6.2	34
2518	139.89	40.00	5.0	177	6	35
2519	141.01	39.15	12.0	0	6.6	36
2520	140.71	39.27	10.5	5	6.5	37
2521	140.28	38.72	8.0	170	6.3	37
2522	140.22	38.83	12.6	172.5	6.7	37
2523	140.98	39.23	46.0	20	7.6	37
2524	139.93	39.06	6.0	161	6.1	38
2525	139.95	38.89	8.0	0	6.3	38
2526	140.60	38.21	7.0	21	6.2	40
2527	140.84	38.22	7.0	45	6.2	40
2528	139.95	38.04	20.0	14	7	41
2529	138.34	38.18	14.0	44	6.7	42
2530	140.86	37.83	19.0	170	7	43
2531	140.35	37.70	43.0	30	7.6	43
2532	140.02	37.95	5.0	22	6	43
2533	140.02	37.90	5.8	58	6.1	43
2534	139.26	37.75	18.5	17	6.9	44
2535	139.78	37.64	7.0	175	6.2	44
2536	139.79	37.52	23.0	14	7.1	44
2537	139.80	37.39	14.0	7	6.7	44
2538	138.35	37.96	8.5	53	6.4	45
2539	138.75	37.47	5.0	39	6	45
2540	138.85	37.40	13.0	33	6.7	45
2541	139.86	36.82	38.0	11.5	7.5	50
2542	139.91	37.05	9.0	11.5	6.4	50
2543	139.24	36.21	10.0	132.5	6.5	51
2544	139.30	35.82	22.0	142	7.1	52
2545	139.08	35.49	5.0	43	6	52
2546	139.00	35.35	7.3	46	6.3	52
2547	139.00	35.37	22.3	95.5	7.1	52
2548	139.11	35.35	13.3	132.5	6.7	52
2549	139.60	35.24	12.3	110	6.6	53
2550	139.83	35.07	7.0	84	6.2	53
2551	139.26	35.30	15.2	14	6.8	53
2552	139.01	35.17	26.0	179	7.2	53
2553	138.34	36.88	10.5	24	6.5	58
2554	138.67	37.02	13.0	39	6.7	58
2555	138.80	36.97	7.0	26	6.2	58
2556	138.77	37.31	11.3	0	6.6	58
2557	137.96	36.20	11.0	154	6.6	59
2558	138.10	36.08	35.3	148	7.4	59
2559	138.15	36.13	8.0	117	6.3	59
2560	138.15	36.62	40.0	35	7.5	59
2561	138.42	36.43	9.5	117	6.5	59
2562	138.38	35.44	7.0	30	6.2	60
2563	138.53	35.57	8.0	64	6.3	60
2564	138.43	35.65	9.5	178	6.5	60
2565	138.38	35.78	11.5	156	6.6	60
2566	138.33	35.76	20.0	163	7	60
2567	138.56	35.10	10.0	10	6.5	61
2568	138.59	35.27	18.3	170	6.9	61

2569	138.78	34.64	8.0	125	6.3	62
2570	137.14	36.66	8.0	48	6.3	63
2571	137.45	36.79	7.0	46	6.2	63
2572	137.86	36.61	15.6	13.5	6.8	64
2573	137.09	36.04	10.0	36	6.5	64
2574	137.00	36.01	10.0	152	6.5	64
2575	137.40	36.01	11.0	63	6.6	64
2576	137.87	36.00	15.0	47.5	6.8	64
2577	137.06	35.90	12.6	44	6.7	65
2578	137.03	35.38	10.0	137.5	6.5	65
2579	137.18	35.96	58.0	139	7.8	65
2580	137.18	35.68	14.0	51	6.7	65
2581	137.15	35.62	11.3	65	6.6	65
2582	137.29	35.62	11.5	48.5	6.6	65
2583	137.21	35.58	23.0	128	7.1	65
2584	137.38	35.57	7.7	48	6.3	65
2585	137.28	35.33	33.0	57	7.4	65
2586	137.35	35.30	12.0	67.5	6.6	65
2587	137.66	35.33	16.0	23	6.8	65
2588	137.59	35.52	20.0	33	7	65
2589	137.56	35.59	10.0	33	6.5	65
2590	137.68	35.43	54.3	12	7.7	65
2591	137.74	36.00	7.5	158.5	6.3	65
2592	137.87	35.89	10.7	133	6.5	65
2593	137.91	35.85	15.5	26.5	6.8	65
2594	137.94	35.82	9.3	21	6.4	65
2595	137.75	35.40	43.3	19	7.6	65
2596	137.72	35.42	9.0	130.5	6.4	65
2597	137.10	35.26	13.3	74	6.7	66
2598	137.13	35.18	55.7	41	7.7	66
2599	137.13	35.11	7.3	32	6.3	66
2600	137.66	35.30	5.3	120	6	66
2601	137.76	35.23	12.3	57	6.6	66
2602	137.83	35.10	8.0	55	6.3	66
2603	137.92	35.33	23.0	15	7.1	66
2604	136.70	37.15	6.0	11	6.1	69
2605	136.79	36.93	12.0	56	6.6	69
2606	136.90	36.70	7.0	39	6.2	69
2607	136.92	36.50	9.3	28	6.4	70
2608	136.63	36.45	27.0	24.5	7.2	70
2609	136.84	36.52	11.5	28	6.6	70
2610	136.22	36.25	25.0	166	7.2	70
2611	136.89	36.27	54.0	53	7.7	70
2612	136.98	36.26	60.0	58	7.8	70
2613	136.85	35.87	17.3	147	6.9	71
2614	136.36	35.91	13.7	126.5	6.7	71
2615	136.63	35.62	6.7	121	6.2	71
2616	136.55	35.73	31.7	141	7.3	71
2617	136.28	35.74	11.0	45	6.6	71
2618	136.28	35.48	9.0	117	6.4	71
2619	136.40	35.38	6.0	112	6.1	71
2620	136.11	35.59	6.7	134	6.2	71
2621	136.01	35.49	10.7	28.5	6.5	71
2622	136.06	35.52	8.5	38	6.4	71
2623	136.06	35.48	10.5	41.5	6.5	71
2624	136.02	35.33	8.7	4	6.4	71
2625	136.17	35.43	12.5	135	6.7	71
2626	136.90	34.85	8.0	171	6.3	71
2627	136.53	35.32	32.0	153	7.3	72
2628	136.62	34.98	12.0	29.5	6.6	72
2629	136.60	34.90	7.0	1.5	6.2	72
2630	136.41	34.79	52.0	7.5	7.7	72
2631	136.38	35.33	9.0	100.5	6.4	72
2632	136.28	35.19	32.7	166.5	7.4	72
2633	136.40	34.92	5.0	52	6	72
2634	136.29	34.88	6.0	79	6.1	72
2635	136.22	34.70	29.0	2.5	7.3	72
2636	136.10	35.08	8.7	171	6.4	72
2637	136.00	34.91	12.5	50	6.7	72
2638	136.00	34.83	7.0	47.5	6.2	72
2639	136.06	34.86	8.5	105	6.4	72
2640	136.75	34.93	29.5	157	7.3	72
2641	136.47	34.60	15.0	180	6.8	73
2642	136.00	34.56	13.0	37	6.7	73

2643	135.99	34.60	16.7	43	6.9	73
2644	135.91	35.50	11.0	3.5	6.6	75
2645	135.94	35.37	7.0	48.5	6.2	75
2646	135.92	35.35	8.0	14	6.3	75
2647	135.06	35.66	6.0	164	6.1	75
2648	135.01	35.69	8.5	153.5	6.4	75
2649	135.00	35.51	12.0	66	6.6	75
2650	135.85	35.03	38.7	18	7.5	76
2651	135.78	34.93	32.7	19	7.4	76
2652	135.87	34.77	11.0	42.5	6.6	76
2653	135.84	34.71	15.0	163	6.8	76
2654	135.57	35.11	7.3	141	6.3	76
2655	135.40	35.16	13.5	101	6.7	76
2656	135.25	34.80	38.3	79.5	7.5	76
2657	135.63	34.80	43.3	190	7.6	76
2658	135.68	34.81	5.0	42	6	76
2659	135.73	34.79	13.5	174.5	6.7	76
2660	135.30	35.30	6.7	58	6.2	76
2661	135.28	35.25	13.0	107	6.7	76
2662	135.43	34.83	6.5	33.5	6.2	76
2663	135.31	34.87	11.0	106	6.6	76
2664	135.18	34.76	11.5	65	6.6	76
2665	135.40	35.06	7.0	108	6.2	76
2666	135.70	34.74	15.0	176	6.8	76
2667	135.95	34.76	22.3	65.5	7.1	76
2668	135.96	35.15	14.5	52	6.8	76
2669	135.06	34.76	12.0	178	6.6	76
2670	135.63	34.55	8.5	55	6.4	77
2671	135.48	34.42	8.8	29	6.4	77
2672	135.37	34.38	12.3	73	6.6	77
2673	135.17	34.26	76.7	80.5	8	77
2674	135.92	34.64	9.6	11.5	6.5	77
2675	135.72	34.60	21.3	15.5	7	77
2676	135.10	34.63	32.0	49	7.3	77
2677	135.09	34.63	5.0	30	6	77
2678	134.06	35.45	9.3	78	6.4	79
2679	134.07	35.40	6.3	91	6.2	79
2680	134.28	35.13	48.3	118	7.6	80
2681	134.82	34.92	11.0	123	6.6	80
2682	134.33	34.05	9.6	85	6.5	81
2683	134.53	34.16	11.3	79.5	6.6	81
2684	134.77	34.38	9.7	61	6.5	81
2685	134.87	34.51	9.3	159	6.4	81
2686	134.00	34.23	23.3	85	7.1	81
2687	134.83	34.43	23.3	36	7.1	81
2688	134.85	34.33	10.0	45	6.5	81
2689	133.03	35.51	5.3	84	6	84
2690	132.06	34.10	21.0	45	7	91
2691	132.29	34.17	10.7	25	6.5	91
2692	132.41	34.38	8.3	25	6.4	91
2693	132.90	33.81	149.0	75	8.5	92
2694	132.67	33.71	11.7	49.5	6.6	92
2695	130.92	34.23	19.3	137.5	7	96
2696	130.86	33.75	14.0	16	6.7	99
2697	130.75	33.79	10.0	166.5	6.5	99
2698	130.53	33.77	11.3	146.5	6.6	99
2699	131.68	33.12	7.0	72	6.2	101
2700	131.52	33.08	7.0	43	6.2	101
2701	131.01	33.24	38.0	90	7.5	101
2702	131.00	33.20	20.7	104	7	101
2703	131.33	33.25	8.3	68.5	6.4	101
2704	131.51	33.32	9.0	97	6.4	101
2705	131.16	33.32	52.2	89	7.7	101
2706	130.84	33.01	5.0	67	6	102
2707	130.91	32.97	7.0	120	6.2	102
2708	130.66	32.55	46.7	51.5	7.6	102
2709	130.56	33.31	22.0	85.5	7.1	102
2710	130.17	32.79	16.5	93	6.9	102
2711	130.23	32.72	22.7	111	7.1	102
2712	130.08	32.76	5.0	88	6	102
2713	130.05	32.73	13.3	104	6.7	102
2714	130.04	32.69	9.0	102	6.4	102
2715	131.09	32.66	6.5	66	6.2	105
2716	130.30	32.03	9.0	60.5	6.4	106

2717	129.93	32.66	6.3	69	6.2	107
2718	131.02	30.77	10.7	145	6.5	112
2719	130.53	31.21	9.0	39	6.4	112
2720	130.56	31.17	8.0	174.5	6.3	112
2721	130.96	30.57	5.0	144	6	114
2722	130.93	30.52	6.0	142.5	6.1	114
2723	130.92	30.50	6.5	146.5	6.2	114
2724	130.49	30.24	10.3	73	6.5	114
2725	128.42	27.06	5.0	162	6	119
2726	127.81	26.43	11.0	145	6.6	120
2727	127.66	26.09	9.5	73	6.5	120
2728	125.29	24.89	21.0	151	7	122
2729	123.75	24.06	5.0	100	6	123
2730	122.94	24.44	10.0	80	6.5	123
2731	145.13	44.06	3.7	34	5.8	1
2732	144.38	43.62	2.0	109	5.3	5
2733	143.97	42.89	2.3	16	5.4	9
2734	143.29	42.95	1.7	3	5.2	9
2735	143.27	42.74	5.0	6	6	9
2736	143.16	42.55	3.3	8	5.7	10
2737	143.16	42.47	4.8	155	6	10
2738	143.25	42.35	1.3	149	5	10
2739	142.09	44.99	3.0	8	5.6	11
2740	142.71	42.75	1.7	154	5.2	14
2741	142.70	42.72	1.0	94	4.8	14
2742	142.37	43.19	5.3	33	6	14
2743	141.67	44.15	3.0	150	5.6	18
2744	141.60	43.40	4.7	5	6	19
2745	141.75	42.92	2.3	162	5.4	20
2746	141.46	43.28	4.3	177	5.9	20
2747	141.84	42.67	1.7	177	5.2	21
2748	140.32	42.59	3.0	9	5.6	23
2749	140.30	42.59	3.0	20	5.6	23
2750	140.24	42.27	2.7	21	5.6	23
2751	140.56	42.09	2.3	154	5.4	23
2752	140.42	41.63	1.0	0	4.8	24
2753	139.99	40.72	1.3	152	5	29
2754	140.10	40.05	3.7	8	5.8	31
2755	141.05	39.88	2.3	153	5.4	33
2756	140.73	39.75	4.7	163	6	34
2757	140.13	39.89	1.3	25	5	34
2758	139.74	39.98	2.7	162	5.6	35
2759	141.04	39.13	4.0	173	5.8	36
2760	140.99	39.16	3.3	3	5.7	37
2761	140.37	38.72	1.0	173	4.8	37
2762	140.31	38.71	3.7	162	5.8	37
2763	140.36	38.70	1.0	172	4.8	37
2764	140.01	39.14	1.3	86	5	37
2765	140.00	39.12	1.3	138	5	37
2766	139.95	39.19	3.0	174	5.6	38
2767	140.77	38.19	2.3	57	5.4	40
2768	140.75	38.28	2.0	14	5.3	40
2769	140.46	38.58	3.7	49	5.8	40
2770	140.42	38.60	2.0	9	5.3	40
2771	140.38	38.56	1.7	178	5.2	40
2772	140.35	38.53	2.3	20	5.4	40
2773	140.32	38.47	4.3	7	5.9	40
2774	140.32	38.48	8.3	8	6.4	40
2775	140.32	38.16	7.3	46	6.3	40
2776	140.27	38.15	4.0	47	5.8	40
2777	140.13	38.27	4.0	38	5.8	40
2778	140.36	38.65	1.7	156	5.2	40
2779	139.51	38.21	2.7	52	5.6	41
2780	139.48	38.81	1.7	39	5.2	41
2781	139.39	38.06	3.7	35	5.8	41
2782	139.19	37.66	4.7	30	6	44
2783	139.06	37.54	2.0	35	5.3	44
2784	138.25	37.84	1.0	55	4.8	45
2785	139.85	37.27	4.3	5	5.9	50
2786	139.79	36.95	4.3	125	5.9	50
2787	139.25	36.74	3.0	6	5.6	50
2788	139.19	36.17	5.0	123	6	51
2789	139.09	36.21	1.7	117	5.2	51
2790	139.01	36.22	2.7	123	5.6	51

2791	139.30	36.13	2.3	149	5.4	51
2792	139.11	35.62	4.0	111	5.8	52
2793	139.03	35.30	7.3	32	6.3	52
2794	139.04	35.37	2.7	5	5.6	52
2795	139.95	35.14	2.0	80	5.3	53
2796	139.38	35.18	3.3	109	5.7	53
2797	139.08	35.30	4.7	165	6	53
2798	139.03	35.31	1.3	111	5	53
2799	139.09	35.05	1.3	135	5	53
2800	139.00	34.95	1.7	111	5.2	53
2801	139.02	34.88	1.7	32	5.2	53
2802	142.16	26.63	1.3	55	5	57
2803	141.32	24.79	1.0	106	4.8	57
2804	141.30	24.77	3.7	13	5.8	57
2805	138.82	37.26	2.3	0	5.4	58
2806	138.59	36.99	1.7	85	5.2	58
2807	138.32	37.06	2.0	34	5.3	58
2808	138.42	36.85	10.3	5	6.5	58
2809	138.44	36.78	3.0	13	5.6	58
2810	138.03	36.92	1.3	160	5	58
2811	138.84	36.32	4.3	143	5.9	59
2812	138.46	36.61	3.0	22	5.6	59
2813	138.03	36.56	2.3	29	5.4	59
2814	138.03	36.09	12.7	147	6.7	59
2815	138.36	35.54	8.0	9	6.3	60
2816	138.10	36.00	2.3	132	5.4	60
2817	138.76	35.22	1.0	2	4.8	61
2818	138.96	34.95	5.0	136	6	61
2819	138.96	34.93	4.7	123	6	61
2820	138.91	34.88	2.0	113	5.3	61
2821	138.96	34.85	2.3	147	5.4	61
2822	138.94	34.85	2.3	140	5.4	61
2823	138.87	34.77	2.0	129	5.3	61
2824	138.82	34.77	3.0	24	5.6	61
2825	138.14	34.76	2.0	133	5.3	61
2826	138.14	34.74	2.0	120	5.3	61
2827	138.17	34.67	1.0	49	4.8	61
2828	138.20	34.60	1.7	25	5.2	62
2829	138.20	34.63	1.7	161	5.2	62
2830	138.20	34.62	1.3	19	5	62
2831	138.19	34.61	1.0	34	4.8	62
2832	137.84	36.69	5.0	36	6	63
2833	137.80	36.78	2.0	52	5.3	63
2834	137.77	36.79	2.3	40	5.4	63
2835	137.57	36.88	1.3	27	5	63
2836	137.56	36.91	1.3	50	5	63
2837	137.73	36.82	1.0	113	4.8	63
2838	137.74	36.77	2.3	20	5.4	63
2839	137.74	36.70	1.3	63	5	63
2840	137.69	36.76	2.3	0	5.4	63
2841	137.56	36.69	1.3	45	5	63
2842	137.41	36.74	1.7	41	5.2	63
2843	137.10	37.28	2.3	48	5.4	63
2844	137.07	37.23	3.3	36	5.7	63
2845	137.00	37.20	1.3	65	5	63
2846	137.14	36.67	3.3	13	5.7	63
2847	137.83	36.46	1.3	148	5	64
2848	137.97	36.14	2.0	26	5.3	64
2849	137.53	36.57	6.0	78	6.1	64
2850	137.64	36.45	1.7	8	5.2	64
2851	137.61	36.46	1.0	25	4.8	64
2852	137.71	36.24	4.0	41	5.8	64
2853	137.27	36.11	3.0	54	5.6	64
2854	137.27	36.08	3.7	56	5.8	64
2855	137.29	36.52	6.7	55	6.2	64
2856	137.16	36.17	4.3	61	5.9	64
2857	137.06	36.11	2.3	46	5.4	64
2858	137.17	36.16	5.3	61	6	64
2859	137.08	36.09	4.7	54	6	64
2860	137.10	36.01	1.0	54	4.8	65
2861	137.76	36.37	4.7	149	6	65
2862	137.51	35.52	3.0	41	5.6	65
2863	137.42	35.26	5.3	38	6	65
2864	137.24	35.20	9.0	64	6.4	65

2865	137.39	35.52	4.3	83	5.9	65
2866	137.43	53.45	7.7	60	6.3	65
2867	137.32	35.46	4.0	150	5.8	68
2868	137.48	35.41	3.1	155	5.7	68
2869	137.23	37.34	1.7	42	5.2	69
2870	137.19	37.34	4.7	18	6	69
2871	136.99	37.22	1.3	41	5	69
2872	136.98	37.22	2.0	177	5.3	69
2873	136.86	37.27	1.7	45	5.2	69
2874	136.87	37.17	3.3	25	5.7	69
2875	136.94	37.12	1.7	1	5.2	69
2876	136.96	37.01	1.0	55	4.8	69
2877	136.83	37.89	7.3	46	6.3	70
2878	136.74	37.07	2.3	173	5.4	70
2879	136.83	36.36	4.7	173	6	71
2880	136.03	36.04	4.3	24	5.9	71
2881	136.94	35.98	1.3	54	5	71
2882	136.88	35.87	2.3	158	5.4	71
2883	136.67	35.51	2.3	78	5.4	71
2884	136.57	35.53	4.0	101	5.8	71
2885	136.34	35.96	1.0	84	4.8	71
2886	136.03	35.61	2.7	124	5.6	71
2887	136.00	35.46	2.0	57	5.3	72
2888	136.01	35.76	3.7	140	5.8	72
2889	136.27	35.27	2.0	156	5.3	72
2890	136.42	34.68	2.0	24	5.3	72
2891	136.08	35.03	3.7	149	5.8	72
2892	136.07	35.09	1.3	57	5	72
2893	136.18	34.94	3.0	161	5.6	72
2894	136.10	34.97	1.7	82	5.2	72
2895	136.04	34.99	4.7	89	6	72
2896	136.06	34.72	5.0	50	6	72
2897	136.19	34.68	6.3	51	6.2	72
2898	136.54	35.14	4.3	106	5.9	72
2899	136.55	34.79	1.3	0	5	72
2900	136.27	34.98	2.3	59	5.4	72
2901	136.06	35.28	6.0	171	6.1	72
2902	136.01	35.20	3.0	5	5.6	72
2903	136.53	34.54	2.7	98	5.6	73
2904	136.51	34.54	2.0	54	5.3	73
2905	136.20	34.61	3.3	53	5.7	73
2906	135.96	35.57	2.3	161	5.4	75
2907	135.88	35.45	4.0	118	5.8	75
2908	135.92	35.28	4.3	121	5.9	76
2909	135.88	35.27	1.7	14	5.2	76
2910	135.69	34.98	4.3	163	5.9	76
2911	135.66	34.95	4.0	147	5.8	76
2912	135.67	34.91	3.0	139	5.6	76
2913	135.70	34.77	2.0	21	5.3	76
2914	135.72	34.80	2.3	130	5.4	76
2915	135.48	34.82	7.0	168	6.2	76
2916	135.67	34.91	1.3	63	5	76
2917	135.66	34.89	2.7	67	5.6	76
2918	135.51	34.67	1.7	179	5.2	77
2919	135.63	34.53	3.3	141	5.7	77
2920	135.71	34.50	7.7	177	6.3	77
2921	135.55	34.43	8.7	46	6.4	77
2922	135.45	34.49	8.7	177	6.4	77
2923	135.02	34.56	4.0	32	5.8	77
2924	134.78	34.20	5.0	65	6	81
2925	134.00	34.20	4.0	79	5.8	81
2926	134.86	34.36	4.0	60	5.8	81
2927	134.78	34.37	2.3	162	5.4	81
2928	134.70	34.32	1.3	164	5	81
2929	134.11	33.32	1.7	146	5.2	82
2930	134.00	35.42	3.0	0	5.6	84
2931	133.76	35.41	3.7	155	5.8	84
2932	133.85	34.25	1.7	134	5.2	86
2933	133.03	32.74	3.0	156	5.6	88
2934	132.09	34.10	10.3	53	6.5	91
2935	132.09	34.10	4.0	37	5.8	91
2936	131.71	33.57	2.3	30	5.4	98
2937	131.50	33.42	3.0	110	5.6	98
2938	131.48	33.39	6.0	85	6.1	98

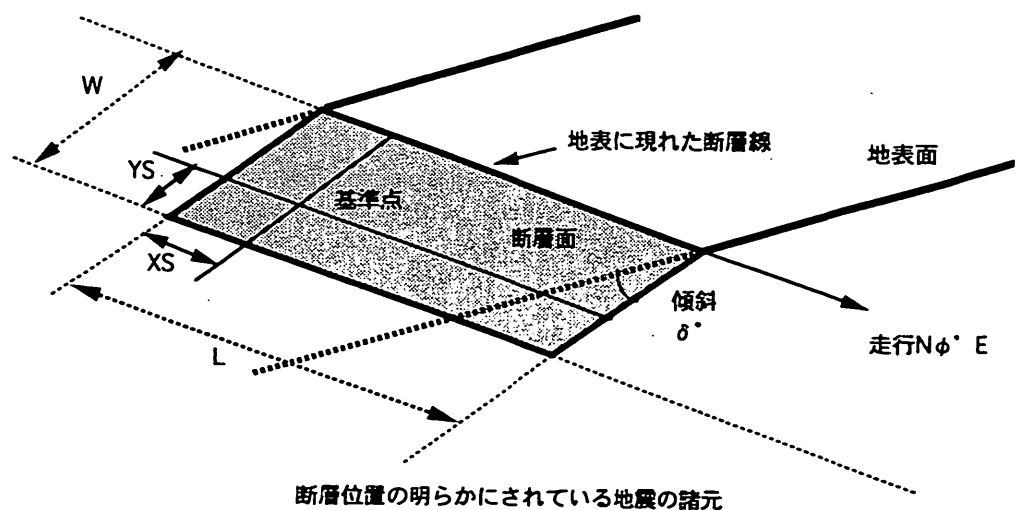
2939	131.44	33.33	1.0	63	4.8	98
2940	131.46	33.33	2.0	90	5.3	98
2941	131.36	33.89	1.7	47	5.2	98
2942	130.65	33.63	2.3	143	5.4	99
2943	131.77	33.22	1.3	69	5	101
2944	131.30	33.29	18.0	98	6.9	101
2945	131.30	33.31	7.3	84	6.3	101
2946	131.29	33.26	3.0	80	5.6	101
2947	131.26	33.09	1.3	75	5	101
2948	131.19	33.12	1.3	80	5	101
2949	131.18	33.06	1.0	130	4.8	101
2950	130.59	32.90	3.3	73	5.7	102
2951	130.62	32.87	3.3	80	5.7	102
2952	130.31	32.81	1.0	64	4.8	102
2953	130.81	32.99	1.0	114	4.8	102
2954	130.42	32.92	8.0	130	6.3	102
2955	131.50	32.22	1.7	33	5.2	105
2956	130.84	32.26	2.3	72	5.4	106
2957	130.82	32.24	4.7	60	6	106
2958	130.82	31.70	3.0	149	5.6	110
2959	130.93	31.88	3.3	95	5.7	110
2960	130.20	30.44	1.7	33	5.2	114
2961	129.98	28.37	7.0	42	6.2	117
2962	128.89	27.81	3.3	152	5.7	118
2963	128.89	27.72	2.3	93	5.4	118
2964	128.93	27.68	2.7	145	5.6	118
2965	128.63	27.39	4.0	61	5.8	118
2966	128.20	26.64	2.7	105	5.6	120
2967	127.78	26.14	3.0	64	5.6	120
2968	127.72	26.26	3.3	141	5.7	120
2969	127.68	26.14	2.7	46	5.6	120
2970	127.22	26.58	2.3	33	5.4	121
2971	124.70	24.74	1.0	4	4.8	122
2972	124.70	24.67	4.0	145	5.8	122
2973	122.86	24.48	12.0	78	6.6	付園I
2974	122.88	24.36	13.0	85	6.7	付園I
2975	122.92	24.42	9.0	85.5	6.4	付園I
2976	123.04	24.51	15.0	93	6.8	付園I
2977	123.10	24.43	8.0	89	6.3	付園I
2978	123.13	24.67	24.0	83	7.1	付園I
2979	123.14	24.65	24.0	102	7.1	付園I
2980	123.39	24.69	13.0	110	6.7	付園I
2981	123.41	24.37	15.0	102.5	6.8	付園I
2982	123.43	24.32	12.0	103	6.6	付園I
2983	123.46	24.41	10.0	99	6.5	付園I
2984	123.54	24.67	29.5	107	7.3	付園I
2985	123.59	24.38	45.0	60	7.6	付園I
2986	123.61	24.61	13.0	106.5	6.7	付園I
2987	123.67	24.27	12.0	130	6.6	付園I
2988	123.89	24.60	48.0	58	7.6	付園I
2989	123.98	24.13	35.0	89	7.4	付園I
2990	124.00	24.11	9.0	72	6.4	付園I
2991	124.16	24.15	10.0	107	6.5	付園I
2992	124.35	24.92	40.0	79	7.5	付園I
2993	124.48	24.57	25.0	134	7.2	付園I
2994	124.62	24.68	32.0	139	7.3	付園I
2995	125.07	24.88	8.0	38	6.3	付園I
2996	125.35	24.42	11.0	6	6.6	付園I
2997	125.48	24.52	10.0	16	6.5	付園I
2998	126.36	26.00	45.0	108	7.6	付園I
2999	126.65	25.78	36.0	162	7.4	付園I
3000	127.33	25.88	16.0	149	6.8	付園I
3001	126.63	26.27	14.0	146	6.7	付園I
3002	126.68	26.48	25.0	49	7.2	付園I
3003	126.79	26.71	14.0	43	6.7	付園I
3004	126.90	26.38	13.5	85	6.7	付園I
3005	127.02	26.42	36.0	37.5	7.4	付園I
3006	127.13	26.01	20.5	3	7	付園I
3007	127.87	26.76	10.0	101	6.5	付園I
3008	127.95	26.03	9.0	48	6.4	付園I
3009	128.51	26.91	33.0	137	7.4	付園I
3010	128.57	26.94	13.0	127.5	6.7	付園I
3011	128.37	27.47	31.0	150	7.3	付園I
3012	128.43	27.94	26.0	60	7.2	付園I

3013	128.58	27.41	40.0	52	7.5	付圖 I
3014	129.47	27.71	18.0	35	6.9	付圖 I
3015	129.67	27.88	24.0	20	7.1	付圖 I
3016	129.08	28.14	20.0	17	7	付圖 I
3017	129.19	28.38	9.0	51	6.4	付圖 I
3018	129.46	28.46	28.0	50	7.2	付圖 I
3019	129.83	28.12	12.5	45	6.7	付圖 I
3020	129.84	28.08	13.0	37	6.7	付圖 I
3021	129.90	28.02	18.0	31	6.9	付圖 I
3022	129.91	28.43	33.0	30	7.4	付圖 I
3023	129.32	29.58	34.0	10	7.4	付圖 I
3024	129.37	29.95	33.0	10	7.4	付圖 I
3025	130.16	29.88	28.0	23	7.2	付圖 I
3026	130.86	29.83	21.0	50	7	付圖 I
3027	130.90	29.64	44.0	38	7.6	付圖 I
3028	131.12	29.97	23.0	30	7.1	付圖 I
3029	129.25	30.75	37.0	50	7.4	付圖 I
3030	129.60	30.59	19.0	41	7	付圖 I
3031	129.63	30.26	21.0	40	7	付圖 I
3032	129.73	30.64	13.0	6	6.7	付圖 I
3033	130.21	30.62	6.5	166	6.2	付圖 I
3034	130.29	30.08	20.0	26	7	付圖 I
3035	130.39	30.61	9.0	165	6.4	付圖 I
3036	131.05	30.09	12.0	25	6.6	付圖 I
3037	131.13	30.27	21.0	10	7	付圖 I
3038	131.26	30.20	38.0	24	7.5	付圖 I
3039	131.28	30.44	16.0	34.5	6.8	付圖 I
3040	131.38	30.96	9.0	37	6.4	付圖 I
3041	131.40	30.00	17.0	67	6.9	付圖 I
3042	131.54	30.95	12.0	30	6.6	付圖 I
3043	131.55	30.58	12.0	11	6.6	付圖 I
3044	131.76	30.45	13.0	17	6.7	付圖 I
3045	131.58	31.16	20.0	30	7	付圖 I
3046	131.74	31.21	31.0	27.5	7.3	付圖 I
3047	131.95	31.45	10.0	160	6.5	付圖 I
3048	132.03	31.78	11.0	175	6.6	付圖 I
3049	132.11	31.06	24.0	34	7.1	付圖 I
3050	132.17	31.88	34.0	16	7.4	付圖 I
3051	132.21	31.48	18.0	165	6.9	付圖 I
3052	132.39	31.57	17.0	21	6.9	付圖 I
3053	132.49	31.78	26.0	27	7.2	付圖 I
3054	132.65	32.19	17.5	10	6.9	付圖 I
3055	132.77	32.08	18.0	17	6.9	付圖 I
3056	133.01	32.80	10.0	152	6.5	付圖 I
3057	133.15	32.09	18.0	63.5	6.9	付圖 I
3058	133.18	32.12	33.0	39.5	7.4	付圖 I
3059	133.25	32.26	12.0	38.5	6.6	付圖 I
3060	133.42	32.16	38.0	14	7.5	付圖 I
3061	133.49	32.02	26.0	56.5	7.2	付圖 I
3062	133.56	32.30	156.0	61	8.5	付圖 I
3063	133.71	32.45	19.0	65	7	付圖 I
3064	134.19	32.85	67.0	10	7.9	付圖 I
3065	134.24	32.91	22.0	2	7.1	付圖 I
3066	134.30	32.86	7.0	77.5	6.2	付圖 I
3067	134.44	32.93	17.5	75	6.9	付圖 I
3068	134.57	32.99	17.0	76	6.9	付圖 I
3069	135.03	32.98	32.0	75.5	7.3	付圖 I
3070	135.24	32.99	24.0	72.5	7.1	付圖 I
3071	135.20	32.85	37.0	66	7.4	付圖 I
3072	135.70	32.92	35.0	69	7.4	付圖 I
3073	138.89	32.55	101.5	12	8.2	付圖 I
3074	139.51	32.46	9.0	170	6.4	付圖 I
3075	139.66	32.52	12.0	177.5	6.6	付圖 I
3076	140.00	32.62	26.0	8	7.2	付圖 I
3077	133.54	33.31	5.0	97.5	6	付圖 I
3078	133.60	33.34	16.0	108	6.8	付圖 I
3079	133.90	33.41	44.0	180	7.6	付圖 I
3080	133.97	33.34	6.0	20	6.1	付圖 I
3081	133.96	33.25	13.5	25.5	6.7	付圖 I
3082	134.02	33.22	11.0	24.5	6.6	付圖 I
3083	134.09	33.21	10.0	17.5	6.5	付圖 I
3084	134.34	33.07	13.0	90.5	6.7	付圖 I
3085	134.31	33.05	10.5	103	6.5	付圖 I
3086	134.29	33.03	14.0	103.5	6.7	付圖 I

3087	134.51	33.06	7.0	62.5	6.2	付図 I
3088	134.88	33.13	8.0	131	6.3	付図 I
3089	134.57	33.05	21.0	76.5	7	付図 I
3090	134.72	33.23	22.0	99	7.1	付図 I
3091	135.83	33.15	12.0	110	6.6	付図 I
3092	136.11	33.02	38.5	75	7.5	付図 I
3093	136.31	33.55	85.5	61.5	8.1	付図 I
3094	136.81	33.31	9.0	68.5	6.4	付図 I
3095	136.80	33.82	18.0	72.5	6.9	付図 I
3096	137.42	33.83	25.5	43	7.2	付図 I
3097	139.11	33.90	16.0	16	6.8	付図 I
3098	139.43	33.91	8.0	12	6.3	付図 I
3099	139.54	33.40	31.0	170	7.3	付図 I
3100	139.96	33.79	9.5	8	6.5	付図 I
3101	132.28	34.21	5.0	33.5	6	付図 I
3102	132.28	34.18	6.0	35	6.1	付図 I
3103	136.76	34.92	16.0	164	6.8	付図 I
3104	136.83	34.74	7.0	151.5	6.2	付図 I
3105	137.00	34.16	5.0	80	6	付図 I
3106	137.14	34.21	10.0	138	6.5	付図 I
3107	137.31	34.16	16.0	61.5	6.8	付図 I
3108	137.33	34.35	5.0	119.5	6	付図 I
3109	137.41	34.32	10.0	68.5	6.5	付図 I
3110	137.52	34.08	15.0	18	6.8	付図 I
3111	137.62	34.20	35.0	48	7.4	付図 I
3112	137.63	34.16	20.0	177	7	付図 I
3113	137.67	34.39	13.0	58.5	6.7	付図 I
3114	137.68	34.32	23.0	53	7.1	付図 I
3115	137.88	34.56	7.0	162	6.2	付図 I
3116	138.01	34.22	12.0	26.5	6.6	付図 I
3117	138.11	34.22	25.0	41	7.2	付図 I
3118	138.35	34.59	21.0	6	7	付図 I
3119	138.38	34.56	5.0	77	6	付図 I
3120	138.38	34.79	7.0	21	6.2	付図 I
3121	138.40	34.54	18.0	50	6.9	付図 I
3122	138.40	34.68	15.0	31.5	6.8	付図 I
3123	138.40	34.62	12.0	45.5	6.6	付図 I
3124	138.41	34.42	10.0	29	6.5	付図 I
3125	138.44	34.40	16.5	25	6.9	付図 I
3126	138.49	34.37	71.0	10	7.9	付図 I
3127	138.51	34.81	8.5	72.5	6.4	付図 I
3128	138.54	34.69	8.0	35	6.3	付図 I
3129	138.58	34.93	8.0	11	6.3	付図 I
3130	138.70	34.29	22.0	23	7.1	付図 I
3131	138.97	34.01	13.0	27	6.7	付図 I
3132	139.02	34.05	15.0	53.5	6.8	付図 I
3133	139.24	34.97	21.0	5	7	付図 I
3134	139.49	34.87	70.0	85	7.9	付図 I
3135	139.50	34.90	10.0	130	6.5	付図 I
3136	139.51	35.00	9.0	147	6.4	付図 I
3137	139.46	34.20	5.0	20	6	付図 I
3138	139.46	34.12	8.0	35	6.3	付図 I
3139	139.74	34.70	49.0	65.5	7.7	付図 I
3140	140.02	34.68	21.0	120	7	付図 I
3141	140.04	34.66	8.0	37	6.3	付図 I
3142	140.04	34.60	58.0	101	7.8	付図 I
3143	140.14	34.79	77.0	97	8	付図 I
3144	140.58	34.91	21.0	21	7	付図 I
3145	139.21	35.20	10.0	169.5	6.5	付図 I
3146	139.22	35.32	36.5	153	7.4	付図 I
3147	139.32	35.17	7.0	45	6.2	付図 I
3148	139.33	35.12	18.0	135.5	6.9	付図 I
3149	139.32	35.03	20.0	161.5	7	付図 I
3150	139.37	35.15	5.0	142	6	付図 I
3151	139.47	35.02	6.0	44.5	6.1	付図 I
3152	140.19	35.07	36.0	107.5	7.4	付図 I
3153	140.81	35.36	45.0	137.5	7.6	付図 I
3154	140.90	35.06	21.5	112	7.1	付図 I
3155	141.23	35.51	32.0	9.5	7.3	付図 I
3156	141.24	35.01	22.0	44	7.1	付図 I
3157	141.44	35.79	13.0	153	6.7	付図 I
3158	141.48	35.78	7.0	148.5	6.2	付図 I
3159	142.40	35.75	115.0	36	8.3	付図 I
3160	141.18	36.12	8.0	168	6.3	付図 I

3161	141.29	36.16	12.0	48	6.6	付図 I
3162	141.65	36.44	21.0	24	7	付図 I
3163	141.42	36.60	29.5	21.5	7.3	付図 I
3164	141.39	36.84	12.0	31	6.6	付図 I
3165	141.44	36.83	12.0	39	6.6	付図 I
3166	141.47	36.98	11.0	45	6.6	付図 I
3167	142.14	37.42	12.0	10	6.6	付図 I
3168	142.27	37.43	22.0	35	7.1	付図 I
3169	142.36	37.63	9.0	22	6.4	付図 I
3170	142.35	37.77	8.0	12	6.3	付図 I
3171	143.25	37.82	35.0	12	7.4	付図 I
3172	142.40	38.53	8.0	175	6.3	付図 I
3173	142.52	38.58	7.5	0	6.3	付図 I
3174	142.60	38.16	7.0	27	6.2	付図 I
3175	143.13	38.63	46.0	170	7.6	付図 I
3176	142.32	39.24	23.0	7	7.1	付図 I
3177	142.46	39.47	22.0	10	7.1	付図 I
3178	142.55	39.36	24.0	43	7.1	付図 I
3179	142.63	39.26	37.0	30	7.4	付図 I
3180	142.80	39.59	10.0	5	6.5	付図 I
3181	142.80	39.93	31.0	3	7.3	付図 I
3182	142.02	40.88	20.0	172.5	7	付図 I
3183	141.92	40.69	11.0	167	6.6	付図 I
3184	142.00	40.48	7.0	163	6.2	付図 I
3185	142.70	40.14	8.0	165	6.3	付図 I
3186	143.08	40.42	23.0	127	7.1	付図 I
3187	141.50	40.93	85.0	6	8	付図 I
3188	141.40	41.59	12.0	40	6.6	付図 I
3189	143.59	41.67	14.0	104	6.7	付図 I
3190	143.76	42.14	53.0	140	7.7	付図 I
3191	143.40	44.60	5.5	0	6.1	付図 I
3192	143.48	44.64	7.0	178	6.2	付図 I
3193	144.22	44.96	5.0	0	6	付図 I
3194	144.20	44.34	75.0	5	8	付図 I
3195	144.27	44.39	26.0	0	7.2	付図 I
3196	144.38	44.12	43.0	2	7.6	付図 I
3197	128.91	31.69	30.0	52.5	7.3	付図 I
3198	129.06	31.08	20.0	40	7	付図 I
3199	129.16	31.24	13.0	42	6.7	付図 I
3200	129.32	31.05	21.0	29	7	付図 I
3201	129.51	31.27	32.0	36	7.3	付図 I
3202	129.55	31.49	77.5	16	8	付図 I
3203	130.57	31.16	10.0	179	6.5	付図 I
3204	128.64	32.36	12.0	148	6.6	付図 I
3205	128.70	32.42	11.0	162	6.6	付図 I
3206	129.36	32.14	29.0	41	7.3	付図 I
3207	130.42	32.69	6.0	70	6.1	付図 I
3208	128.21	33.39	33.0	4	7.4	付図 I
3209	128.25	33.49	24.5	6	7.1	付図 I
3210	129.14	33.96	8.0	41	6.3	付図 I
3211	129.11	34.22	8.0	4	6.3	付図 I
3212	129.31	34.70	17.0	25	6.9	付図 I
3213	130.57	34.82	9.0	38	6.4	付図 I
3214	135.68	35.77	29.0	46.5	7.3	付図 I
3215	130.48	35.35	19.0	80	7	付図 I
3216	130.62	35.60	85.0	64	8	付図 I
3217	135.68	35.77	29.0	46.5	7.3	付図 I
3218	135.92	36.39	33.0	45	7.4	付図 I
3219	135.87	36.26	7.0	42	6.2	付図 I
3220	135.71	36.16	14.0	42	6.7	付図 I
3221	135.68	36.24	13.0	47	6.7	付図 I
3222	135.25	36.75	35.0	56	7.4	付図 I
3223	134.94	36.53	36.0	58	7.4	付図 I
3224	134.66	36.70	49.0	49	7.7	付図 I
3225	134.71	36.16	45.0	44	7.6	付図 I
3226	138.50	37.87	28.0	29	7.2	付図 I
3227	138.14	37.89	18.0	3	6.9	付図 I
3228	138.06	37.79	35.0	0	7.4	付図 I
3229	137.93	37.86	19.0	0	7	付図 I
3230	138.42	37.52	9.0	10	6.4	付図 I
3231	138.33	37.67	15.0	174	6.8	付図 I
3232	138.19	37.59	7.0	20	6.2	付図 I
3233	137.98	37.52	10.0	28	6.5	付図 I
3234	137.63	37.62	19.0	47	7	付図 I

3235	137.41	37.56	11.0	147	6.6	付図 I
3236	137.36	37.59	6.0	24.5	6.1	付図 I
3237	137.85	37.27	27.0	27.5	7.2	付図 I
3238	137.92	37.11	18.0	42	6.9	付図 I
3239	137.63	37.06	10.0	66	6.5	付図 I
3240	139.02	38.80	26.0	46	7.2	付図 I
3241	138.60	38.32	75.5	18.5	8	付図 I
3242	139.87	39.87	7.0	164	6.2	付図 I
3243	139.47	39.66	27.0	20	7.2	付図 I
3244	139.58	39.42	39.0	2	7.5	付図 I
3245	139.33	39.00	9.0	38	6.4	付図 I
3246	138.96	40.46	17.0	11	6.9	付図 I
3247	138.94	40.26	21.0	23	7	付図 I
3248	138.88	40.06	16.0	13	6.8	付図 I
3249	140.00	41.91	9.0	168	6.4	付図 I
3250	139.88	41.42	16.0	9	6.8	付図 I
3251	139.82	41.43	35.0	14.5	7.4	付図 I
3252	139.61	41.96	25.0	15	7.2	付図 I
3253	139.64	41.54	40.0	2	7.5	付図 I
3254	140.34	41.38	11.5	164	6.6	付図 I
3255	140.29	41.35	12.5	171.5	6.7	付図 I
3256	140.15	41.25	10.0	8	6.5	付図 I
3257	140.02	41.28	14.0	155	6.7	付図 I
3258	139.96	41.07	10.0	6	6.5	付図 I
3259	139.62	41.25	20.0	179	7	付図 I
3260	139.58	41.30	20.0	179.5	7	付図 I
3261	140.11	42.81	7.0	20	6.2	付図 I
3262	139.66	42.67	45.0	5	7.6	付図 I
3263	139.52	42.76	17.0	167	6.9	付図 I
3264	139.66	42.22	8.0	4.5	6.3	付図 I
3265	140.80	43.71	12.0	132	6.6	付図 I
3266	140.84	43.41	22.0	10	7.1	付図 I
3267	140.38	43.63	86.0	21.5	8.1	付図 I
3268	140.46	43.52	25.0	125	7.2	付図 I
3269	140.38	43.52	10.0	174	6.5	付図 I
3270	140.28	43.45	11.0	0	6.6	付図 I
3271	140.18	43.46	14.5	154	6.8	付図 I
3272	139.64	43.49	68.0	150	7.9	付図 I
3273	140.85	44.24	13.0	157	6.7	付図 I
3274	140.84	44.22	22.0	168	7.1	付図 I
3275	140.61	44.71	94.0	15	8.1	付図 I
3276	140.53	44.75	24.0	13	7.1	付図 I
3277	140.04	39.41	29.3	5	7.3	34



図は断層面を上から見おろしたものである。
 L は地表面と平行な方向、 W はそれに直交する方向とする。
 走行 ϕ は、 L の方向を北から東向きに測ったものである。
 傾斜 δ は、断層面と地表面のなす角である。
 XS, YS は断層面における基準点の位置を示す。

図-45 基準点、走行、傾斜角、 L 、 W 、 XS 、 YS 等の断層パラメタの意味

(b) 地盤の応答計算

(a) で述べた方法で設計対象地震を選択した場合、工学的基盤における SMAC 最大加速度はすでに得られていることになる。そこで、次のステップとして地盤の応答計算により地表での SMAC 最大加速度を求めることが必要である。このための計算手法として代表的なものに SHAKE¹⁷⁾ がある。

SHAKE により地盤の応答計算を行う際には、工学的基盤から上の地盤を水平成層地盤であると見なしてモデル化する。モデル化の方法は液状化対策ハンドブック³²⁾等に詳しく記述されている。岸壁の建設と同時に背後地盤で液状化対策等の地盤改良が実施される予定である場合には、改良後の地盤をモデル化する必要がある。

応答計算に用いる波形は、1) 対象とする地震の震源特性、2) 伝播経路特性、3) 工学的基盤以下の地盤の特性の三者を考慮して定めることが理想的であるが、これが困難である場合には、過去に得られている強震記録の中から波形を選択し、その振幅にある倍率をかけて、その最大値をあらかじめ求めておいた SMAC 最大加速度に一致させたものを、工学的基盤での設計対象地震動と考える。このとき、選択する波形は工学的基盤への入射波の二倍に相当する波形で、かつ、SMAC 相当の波形である必要がある。また、設計対象地震が (c) に示す「直下の大地震」である場合には 6.4 で述べるポートアイランド基盤波を選択することが適切である。ここで得られた工学的基盤での設計対象地震動は、震度法により設計を実施する場合だけではなく、耐震強化岸壁の構造上の安定を確保する目的で岸壁背後や基礎地盤での液状化予測・判定を実施する場合にもそのまま適用することができる。しかし、耐震強化岸壁の変形照査等の目的で地震応答解析を実施する場合には、(d) に述べるように SMAC-B2 型強震計では計測できない高い周波数成分を含んだ波形を用いることが望ましい。

以上の手順で得られた工学的基盤での設計対象地震動を SHAKE に 2E 波として入力して地盤の応答計算を行い、地表における SMAC 最大加速度を求める。

(c) 設計震度の算定

地表における SMAC 最大加速度と作用震度の上限との関係を示す式 (29) により設計震度を決定する。

$$K_h = \frac{A_{SMAC}}{g} \quad (A_{SMAC} \leq 200Gal) \quad (29)$$

$$K_h = \frac{1}{3} \left(\frac{A_{SMAC}}{g} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (A_{SMAC} > 200Gal)$$

ここに K_h は設計水平震度、 A_{SMAC} は SMAC 最大加速度 (Gal)、 g は重力加速度 (980Gal) である。

ただし、設計対象地震が「直下の大地震」であると判

断される場合には式 (29) が与える設計震度と 0.25 を比較して大きい方を設計震度とする。また、設計対象地震が「直下の大地震」ではないと判断される場合には式 (37) により設計震度を算出し、式 (29) が与える設計震度と比較して総合的に判断して設計震度を決定する。

$$\text{設計震度} = \text{地域別震度} \times \text{地盤種別係数} \times \text{重要度係数} \quad (37)$$

ここに、地域別震度としては技術基準に示された値を用い、重要度係数は 1.5 とする。設計対象地震が「直下の大地震」であるかどうかの判断は次のように行う。設計対象地震を、そのマグニチュードと断層面距離に応じて図-46上にプロットする。図-46は右上がりの線によって下の部分 (領域 A) と上の部分 (領域 B) に区切られている。領域 A に属する地震は比較的距離が小さくマグニチュードが比較的大きいので、伝播経路での減衰があまり期待できず、建設地点に大きな地震動をもたらす。ここでは、設計対象地震が領域 A に含まれればこれを「直下の大地震」と定義する。この定義に従うと、港湾によっては海底で発生する地震が「直下の大地震」という位置づけになる場合もあることに注意する必要がある。例えば、1923 年の関東地震は、フィリピン海プレートが日本列島の下に沈み込む相模トラフで発生したものであるが、横須賀港にとっては「直下の大地震」である。

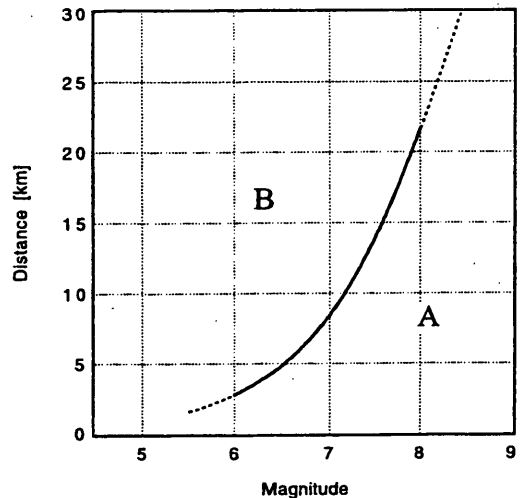


図-46 設計対象地震が直下の大地震であるかどうかを判定するための活断層の分類 (領域 A に属する活断層で発生する地震は直下の大地震であると判定する)

(d) 変形照査の実施

算出された設計震度に基づいて岸壁の構造断面・諸元

が決定されると、次に変形照査を実施する必要がある。変形照査では、SMAC-B2型強震計で計測されないような高い振動数成分が構造物に及ぼす影響についても考慮することが望ましいので、ここでは式(11)により工学的基盤での補正最大加速度を求める。応答計算に用いる波形は、1)対象とする地震の震源特性、2)伝播経路特性、3)工学的基盤以下の地盤の特性の三者を考慮して定めることが理想的であるが、これが困難である場合には、過去に得られている強震記録の中から波形を選択し、その振幅にある倍率をかけて、その最大値をあらかじめ求めておいた補正最大加速度に一致させたものを、工学的基盤での設計対象地震動と考える。このとき、選択する波形は工学的基盤への入射波の二倍に相当する波形で、かつ、補正波形である必要がある。SMAC相当波形を選択して、これにある倍率をかけて最大値を調整した場合には、不当に長周期成分の多い波形となる恐れがある。また、設計対象地震が(c)に示す「直下の大地震」である場合には6.4で述べるポートアイランド基盤波のSMAC相当波形に変換する前の波形を選択することが適切である。

ここで得られた波形を入力地震動として用い、変形照査を実施する。その方法として水中振動台による模型振動実験⁴⁴⁾や有効応力解析⁴⁵⁾があるが、その内容にはここでは立ち入らない。

6.3 一般岸壁の耐震設計で考慮する地震外力

現行の港湾構造物の技術基準⁶⁾によれば、一般岸壁の耐震設計は震度法により実施することになっている。震度法は構造物の破壊後の挙動を追跡できないという欠点があるものの、現在まで多くの港湾構造物の設計で実績があること、簡便であること等から、今後も一般岸壁の設計に用いられていくものと考えられる。ただし、栈橋の設計には修正震度法が導入されることになった^{16)、53)}ので、以下の議論では栈橋は対象外とする。

現行の技術基準によれば、一般岸壁の設計震度は次式により算定することになっている。

$$\text{設計震度} = \text{地域別震度} \times \text{地盤種別係数} \times \text{重要度係数} \quad (37)$$

地域別震度はもともと再現期間75年に対応する地震動強さを地域毎に調査し、これに基づいて定めたものである。従って、重要度係数が1.0の構造物(B級構造物)は再現期間75年の地震動に対して所要の安全率が確保されるように設計されることになる。重要度係数がより大きい構造物はより長い再現期間の地震動に、重要度係数がより小さい構造物はより短い再現期間の地震動に對

応している。いずれにせよ、一般岸壁はレベル1地震動に対して所要の安全率が確保されるように設計される。

レベル2地震動に対する一般岸壁の許容被災程度については、現行の港湾構造物の技術基準⁶⁾や兵庫県南部地震後に公表された通達等^{15)、16)}には明記されていない。しかし、6.2に述べたように、大きな設計震度で設計された岸壁は、小さな設計震度で設計された岸壁よりも地震時の変形が小さい傾向にあることが過去の被災事例から判明しており^{39)、46)、47)}、このことを考慮すると、重要度係数を大きくとって設計した岸壁では、レベル2地震動に対して変形量がより小さく、地震による機能の低下がより小さいことが期待される。

一般岸壁については、ある程度の耐震性を確保する一方で、経済性にも配慮した設計を行う必要があるから、上述のように確率論的に設計震度を定めることは合理的である。設計震度が大きければ、予想される被災量と被災額(期待被災額)は小さいけれども初期建設費が高くなる。一方、設計震度が小さければ初期建設費は安くなるけれども期待被災額は大きくなる。この初期建設費と予想される被災額の和(期待総費用)が最小となる場合を経済的観点からの最適設計震度と考え、この最適設計震度を重力式岸壁について試算した研究⁵⁴⁾によれば、現行設計法が与える設計震度は経済的観点からほぼ妥当であるとされている。

現行設計法で採用されている地域別震度の妥当性については、本研究で得られた地震動の距離減衰特性、工学的基盤における加速度期待値、作用震度と最大加速度の関係等に基づいて検討され、その結果が次の基準の改定に盛り込まれることになっている。

6.4 設計用入力地震動設定プログラム

本研究で得られた成果に基づいて港湾構造物の耐震設計に用いる設計用入力地震動を設定するプログラム(PORTEXPC)を作成した。プログラムはFORTRAN77で書かれており、計算に必要なデータと共に添付のフロッピーディスクに納められている。本プログラムは自由に使用、配布することができるが、著作権は港湾技術研究所が有する。また、営利を目的とした使用は許可しない。さらに、本プログラムの変更は原則として許可しない。また、添付の地震波形データを使用してその成果を公表する場合には港湾技術研究所および神戸市開発局で得られた記録であることを明記しなければならない。本プログラムを用いて得られた結果の妥当性の判断は使用者自身で行うべきものであり、開発者は使用によって生じたどのような問題に関しても責任はとら

ない。

本プログラムはユーザーの指定する地点での工学的基盤における設計用入力地震動を設定する。本プログラムでは、レベル1地震動とレベル2地震動を次のようにして定めることにしている。

まず、レベル1地震動については、ユーザーが指定した地点について4.で述べた手法により補正最大加速度、SMAC最大加速度、最大速度、最大変位の期待値を求め表示する。再現期間はユーザーが指定する。また、既往の強震記録の加速度波形の中からユーザーが選択した波形を振幅のみ調整して、最大振幅がSMAC最大加速度の期待値に一致するようにしたものをレベル1地震動とする。このとき選択する波形は工学的基盤への入射波の二倍に相当する波形で、なおかつSMAC相当の波形である必要がある。本資料に添付されたFDのファイルdt-shakeに含まれる地震波形データはすべてこの条件を満足している。期待値を求める時に用いるデータは4.で示したように、1885年1月から1995年5月までの110年5ヶ月間の地震データ³³⁾・³⁴⁾および震源断層データ¹⁹⁾である。1885年から1980年までの地震については宇津カタログ³³⁾に掲載されたマグニチュード6.0以上の地震およびマグニチュード6.0未満の被害地震を用いる。1981年から1995年5月までの地震は気象庁地震月報³⁴⁾に掲載されたもののうちマグニチュード5.6以上のものを用いる。これらの地震には本研究を通じて[1]-[2279]の番号がふられている。これらの地震データから4.で述べた考え方で前震・余震を削除し、ナンバリングし直したデータを用いる。距離減衰式は2.で求めた式のうち水平2成分の大きい方についての式を用いる。

レベル2地震動については、6.2で述べた活断層および歴史地震の調査による設計対象地震の選択方法に従って

- 1) 1885年から1995年5月までの地震 [1]-[2279]に加え
- 2) 1884年以前の歴史地震 [2280]-[2495]
- 3) 活断層で発生することが予想される地震 [2496]-[3277]

の中からユーザーの指定する地点に危険な地震動をもたらす地震をリストアップし、そのの中からユーザーが選択した地震による地震動をレベル2地震動とする。さらに既往の強震記録の加速度波形の中からユーザーが選択した波形の振幅を調整して、最大振幅が選択された地震のSMAC最大加速度に一致するようにしたものをレベル2地震動の時刻歴波形とする。レベル1地震動の場合と同様、このとき選択する波形は工学的基盤への入射波の二

倍に相当する波形で、かつ、SMAC相当の波形である必要がある。ここで得られたレベル2地震動の時刻歴波形は、耐震強化岸壁の設計震度の算定に用いることができる。

本プログラムによりレベル1地震動およびレベル2地震動の設定を行う方法を以下に示す。ここでは広島港および神戸港の例を取り上げている。添付のFDに含まれる入力データ例は以下に示す計算例と対応している。

まず、添付のFDに次に示すファイルがもれなく含まれていることを確認していただきたい。

- 1) ソースプログラム : portexpc.f
- 2) ファイルテーブルの一例 : filetable
- 3) 入力データの一例 : inp.dat
- 4) レベル1地震動設定用地震データ : eq.l1
- 5) レベル1地震動設定用断層面データ : fault.l1
- 6) レベル2地震動設定用地震データ : eq.l2
- 7) レベル2地震動設定用断層面データ : fault.l2
- 8) 地震波形データの一例 : dt-shake

ユーザーはまずソースプログラム portexpc.f をコンパイルしてモジュールを作成する必要がある。ソースプログラム以外のファイルの内容について以下に説明する。

- 2) ファイルテーブルの一例 : filetable

データの入出力に用いるファイル名を指定するためのファイルであり、その書式は図-47に示す通りである。また、例として添付されているファイル (filetable) の内容は図-48に示すとおりである。

```
eq.l1
fault.l1
eq.l2
fault.l2
eq20ae.dat
eq20as.dat
eq20v.dat
eq20d.dat
expae.dat
expas.dat
expv.dat
expd.dat
```

図-48 ファイルテーブルの内容

- 3) 入力データの一例 : inp.dat

入力データの書式は図-49に示す通りである。また、例として添付されているファイル (inp.dat) の内容は図-50に示すとおりである。この例では1行目から2行

レベル1地震動設定用地震データファイル名 (A60)	(1枚)
レベル1地震動設定用断層面データファイル名 (A60)	(1枚)
レベル2地震動設定用地震データファイル名 (A60)	(1枚)
レベル2地震動設定用断層面データファイル名 (A60)	(1枚)
期待値算定に用いる代表20地震データ出力ファイル名(補正最大加速度) (A60)	(1枚)
期待値算定に用いる代表20地震データ出力ファイル名(SMAC最大加速度) (A60)	(1枚)
期待値算定に用いる代表20地震データ出力ファイル名(最大速度) (A60)	(1枚)
期待値算定に用いる代表20地震データ出力ファイル名(最大変位) (A60)	(1枚)
期待値算定結果出力ファイル名(補正最大加速度) (A60)	(1枚)
期待値算定結果出力ファイル名(SMAC最大加速度) (A60)	(1枚)
期待値算定結果出力ファイル名(最大速度) (A60)	(1枚)
期待値算定結果出力ファイル名(最大変位) (A60)	(1枚)
	(1枚)

図-47 ファイルテーブルの書式

地点番号 (I5)	地点名 (A20)	東経(度) (F10.2)	北緯(度) (F10.2)	再現期間(年) (F10.1)	(必要枚数)
					(1枚)
	時刻歴波形作成に用いる原波形ファイル名 (A60)				(1枚)
	設計用時刻歴波形ファイル名 (A60)				(1枚)

*東経および北緯の入力は度単位であり、分・秒は用いない。

図-49 入力データファイルの書式

1HIROSHIMA	132.48	34.35	75.0
2KOBE	135.20	34.67	75.0
dt-shake			
wave.rsl			

図-50 入力データの内容

目にかけて広島港および神戸港の東経(度)と北緯(度), レベル1地震動算定に用いる再現期間(年)が入力されている。3行目以下には時刻歴波形作成に用いる原波形の入力ファイル名(dt-shake)および設計用時刻歴波形の出力ファイル名(wave.rsl)が指定されている。

4) レベル1地震動設定用地震データ: eq.ll

1885年1月から1995年5月までの110年5ヶ月間の地震データ^{33)・34)}から前震・余震を削除したものである。書式は図-51に示す通りである。

5) レベル1地震動設定用断層面データ: fault.ll

eq.llに収録された地震のうち震源断層位置が推定されている地震¹⁹⁾の断層面データである。書式は図-52に

データ期間 (年) (F10.3)							
[] (1枚)							
地震番号年 (15)	月 (15)	日 (15)	震源の東経 (度) (F10.4)	震源の北緯 (度) (F10.4)	震源の深さ (km) (F10.1)	マグニチュード (F10.1)	(必要枚数)
[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]

*地震番号は1から始まる通し番号とする。

図-51 レベル1地震動設定用地震データの書式

地震番号年 (15)	月 (15)	日 (15)	基準点東経 (度) (F10.4)	基準点北緯 (度) (F10.4)	基準点深さ (km) (F10.1)		
L (km) (F10.2)	W (km) (F10.2)	XS (km) (F10.2)	YS (km) (F10.2)	走行 (度) (F10.2)	傾斜 (度) (F10.2)	マグニチュード (F10.1)	
[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]

以上の2行が1枚の断層面に対応しており、これが断層面の数だけ繰り返される。

- *地震番号はレベル1地震動設定用地震データの地震番号と対応させる必要がある。
- *断層位置の明らかでない地震については断層面データは入力しない。
- *ひとつの地震が複数の震源断層からなる場合には、同一の地震番号に対してデータを繰り返し入力する。
- *基準点・L・W・XS・YS・走行・傾斜等の意味については図-44参照。

図-52 レベル1地震動設定用断層面データの書式

地震番号年 (15)	月 (15)	日 (15)	震源の東経 (度) (F10.4)	震源の北緯 (度) (F10.4)	震源の深さ (km) (F10.1)	マグニチュード (F10.1)	(必要枚数)
[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]

*地震番号は1から始まる通し番号とする。

図-53 レベル2地震動設定用地震データの書式

地震番号年 (15)	月 (15)	日 (15)	基準点東経 (度) (F10.4)	基準点北緯 (度) (F10.4)	基準点深さ (km) (F10.1)		
L (km) (F10.2)	W (km) (F10.2)	XS (km) (F10.2)	YS (km) (F10.2)	走行 (度) (F10.2)	傾斜 (度) (F10.2)	マグニチュード (F10.1)	
[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]

以上の2行が1枚の断層面に対応しており、これが断層面の数だけ繰り返される。

- *地震番号はレベル2地震動設定用地震データの地震番号と対応させる必要がある。
- *断層位置の明らかでない地震については断層面データは入力しない。
- *ひとつの地震が複数の震源断層からなる場合には、同一の地震番号に対してデータを繰り返し入力する。
- *基準点・L・W・XS・YS・走行・傾斜等の意味については図-44参照。

図-54 レベル2地震動設定用断層面データの書式

に示す通りである。

6) レベル2地震動設定用地震データ : eq.l2

1885年から1995年5月までの地震に、1884年以前の歴史地震と活断層で発生することが予想される仮想地震とを加えたものである。書式は図-53に示す通りである。

7) レベル2地震動設定用断層面データ : fault.l2

eq.l2に収録された地震のうち震源断層位置が特定できる地震の断層面データである。歴史地震については地震学の成果として位置が推定されている断層面¹⁹⁾のデータであり、活断層での仮想地震については、断層面のパラメタのうち、6.2に示された考え方で最大加速度を求める際に必要となるパラメタを入力している。書式は

図-54に示す通りである。

8) 地震波形データの一例 : dt-shake

時刻歴波形作成に用いる原波形ファイルであり、7本の波形が収録されている。ここに収録された波形は港湾地域強震観測および神戸市開発局の観測で得られたもので、工学的基盤への入射波の二倍に相当する波形であり、なおかつSMAC相当の波形である。収録された波形の一覧を表-16に示す。データのフォーマットは港湾技術研究所でしばしば用いられている図-55に示すフォーマットである。

1番目、2番目の波形は1968年十勝沖地震の際に八戸港で記録された波形(港湾地域強震観測での記録番号

表-16 ファイル dt-shake に収録された波形一覧

波形番号	記録番号	成分	観測地点	発震年月日	地震名	M	震源距離 (km)	最大加速度 (Gal)
1	S-252	NS基盤	八戸港	1968.5.16	十勝沖地震	7.9	178	170
2	S-252	EW基盤	八戸港	1968.5.16	十勝沖地震	7.9	178	160
3	S-1210	E41N	大船渡港	1978.6.12	宮城県沖地震	7.4	111	161
4	S-1210	N41W	大船渡港	1978.6.12	宮城県沖地震	7.4	111	138
5	S-1567	NS基盤	秋田港	1983.5.26	日本海中部地震	7.7	109	153
6	S-1567	EW基盤	秋田港	1983.5.26	日本海中部地震	7.7	109	143
7	PI-79	NS基盤	ポートアイランド	1995.1.17	兵庫県南部地震	7.2	21	570

注) dt-shakeに含まれる地震波はGal単位で、すべてデータ数は2000、時刻刻みは0.01秒である。

NFL (18)	NFO (18)	ND (18)	NB (18)	DT (F8.2)	
A(1), I=1.20 (20A4)					(1枚)
NN(1), I=1.20 (1018)					(1枚)
VV(1), I=1.20 (10F8.3)					(2枚)
ACC(1), I=1,ND (10F8.3)					(2枚)
					(必要枚数)

以上の書式が1本の波形に対応しており、ファイルに複数の波形が含まれるときには以上の書式が繰り返される。

NFL: ファイルに複数の波形が含まれる場合の波形番号

ND: データ数

DT: 記録時間間隔 (s)

A: 波形に関するコメント

ACC(I): 加速度データ (Gal)

NFO, NB, NN(I)およびVV(I)は、本プログラムでは使用しないので空欄としてよい。

図-55 時刻歴波形のフォーマット

S-252) をもとに工学的基盤での 2E 波を求めたものである。このうち NS 成分をここでは八戸波と呼ぶ。3 番目、4 番目の波形は 1978 年宮城県沖地震の際に大船渡湾口防波堤付近で観測された波形（港湾地域強震観測での記録番号 S-1210）であり、このうち E41N 成分をここでは大船渡波と呼ぶ。S-1210 は工学的基盤と見なすことのできる位置で観測された波形であるから、2E 波に直す作業は行っていない。5 番目、6 番目の波形は 1983 年日本海中部地震の際に秋田港で記録された波形（港湾地域強震観測での記録番号 S-1567）をもとに工学的基盤での 2E 波を求めたものである。以上の波形はもともと SMAC-B2 型強震計で観測された波形であるから、SMAC 相当波形への変換作業は行っていない。7 番目の波形は 1995 年兵庫県南部地震の際に神戸市開発局がポートアイランドに設置していた鉛直アレーで観測された波形のうち、K.P.-79m で観測された NS 成分をもとに K.P.-79m 地点での 2E 波を求め、2. に述べた方法で SMAC 相当波形に変換したものである（ここではポートアイランド基盤波と呼ぶ）。なお、ポートアイランド K.P.-79m 地点の地震計は水平面内での方向が本来

の方向からずれて設置されていたとの指摘²⁴⁾があったので、港湾技術研究所で他の深さの波形との比較・検討を行い、観測記録を水平面内で 22 度回転させて用いている。八戸波・大船渡波・ポートアイランド基盤波の三者について、加速度波形を図示したものが図-56、フーリエスペクトルを図示したものが図-57である。図-57に示すように八戸波とポートアイランド基盤波の卓越振動数は比較的低く、大船渡波の卓越振動数は比較的高い。

さて、プログラムを起動するとファイルテーブルを聞いてくるので、ファイルテーブル名を入力する（図-58）。2 行目がファイルテーブル名である。次に、入力データファイル名を聞いてくるので、ファイル名を入力する（図-59）。2 行目がファイル名である。ここで入力ファイルで指定された港名、東経（度）、北緯（度）、レベル 1 地震動算定に用いる再現期間（年）が表示されるので、データに誤りがないか確認できる（図-60）。この後レベル 1 地震動の算定が行われ、次いで、レベル 2 地震動の設定のため、歴史地震や活断層の仮想地震の中で港湾に強い地震動をもたらすと考えられる地震の一覧が画面に表示される。図-61の例では広島港に強い地震

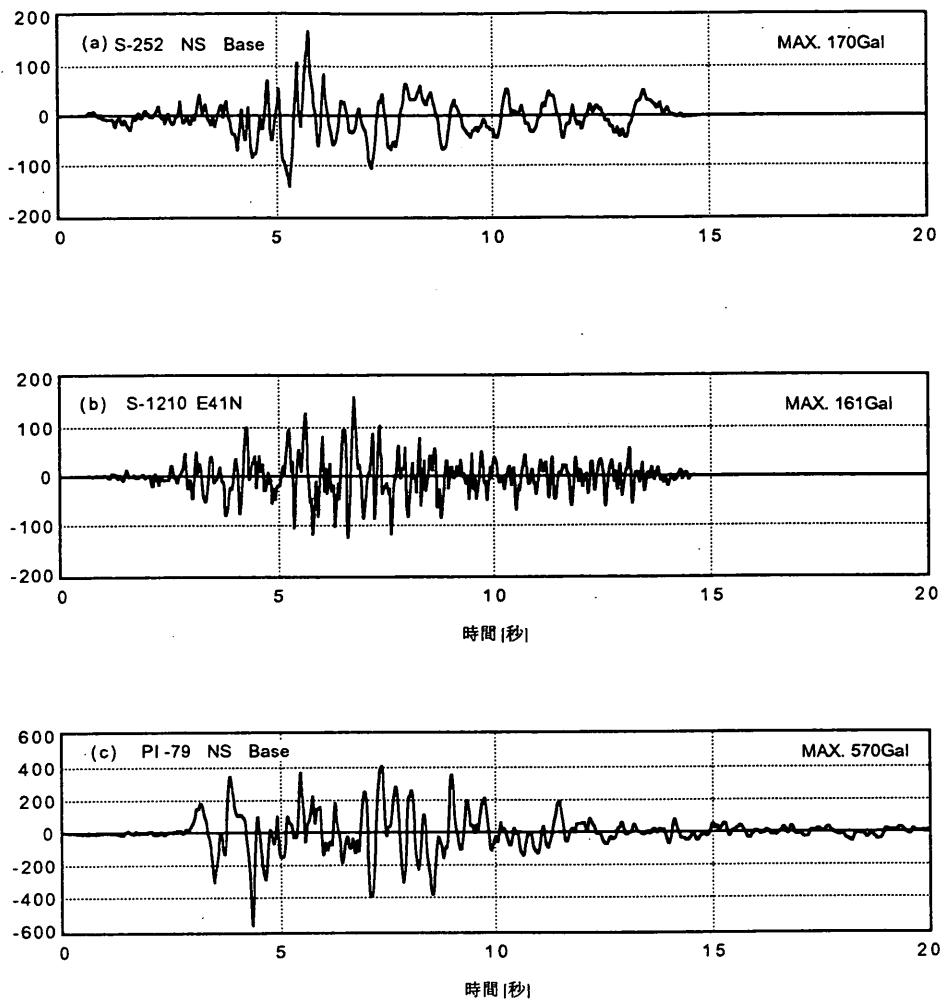


図-56 八戸波，大船渡波，ポートアイランド基盤波の波形

動をもたらすと考えられる地震の一覧が表示されている。ここには地震番号 EQ，地震の発生日月日（歴史地震の場合） Y，M，D，震源の東経 ALOEQ，北緯 ALAEQ，深さ DEPTH，マグニチュード MAGNITUDE，そして基盤加速度 SMACACC. が示されている。図-61によれば，1884年以前の歴史地震が1位，2位となっているが，前述の考えでこれらを除き，3位にランクされている地震番号 [2692] の地震を採用することが適当であると考えられる。そこで，地震番号 [2692] の地震を選択し地震番号を入力する（図-61）。地震番号 [2692] の地震は己斐断層の地震である。入力データで複数の港湾を指定した時にはすべての港湾について地震の一覧を表示し，レベル2地震動の地震番号の入力が求められるので，レベル2地震動の選択を行う。この例では神戸港のレベル2地震動として地震番号 [2259] の地震（兵庫県南部地震）を採用した（図-62）。以上により各港湾のレベル1地震動，レベル2地震動の振幅が求まったので，それ

らが画面に表示される（図-63）。レベル1地震動については地点番号 NO.，再現期間 R. PERIOD，補正最大加速度の期待値 Acor，SMAC最大加速度の期待値 Asmac，最大速度の期待値 VEL，最大変位の期待値 DISP が表示され，レベル2地震動については地点番号 NO. と SMAC最大加速度の値 Asmac が表示される。

最後に，設計用時刻歴波形の作成のため波形を選択する。まず，dt-shake に収録されている波形の種類とその最大値が画面に表示され，広島港のレベル1地震動を作成するための波形を聞いてくる（図-64）。そこでユーザーは使用する波形の番号を入力する。ここでは八戸波を選択した例を示す（図-64）。この作業を広島港のレベル2地震動や，神戸港のレベル1地震動，レベル2地震動についても実施する。ここではそれぞれポートアイランド基盤波，八戸波，ポートアイランド基盤波を選択した例を示す（図-65）。以上で作業は完了である。

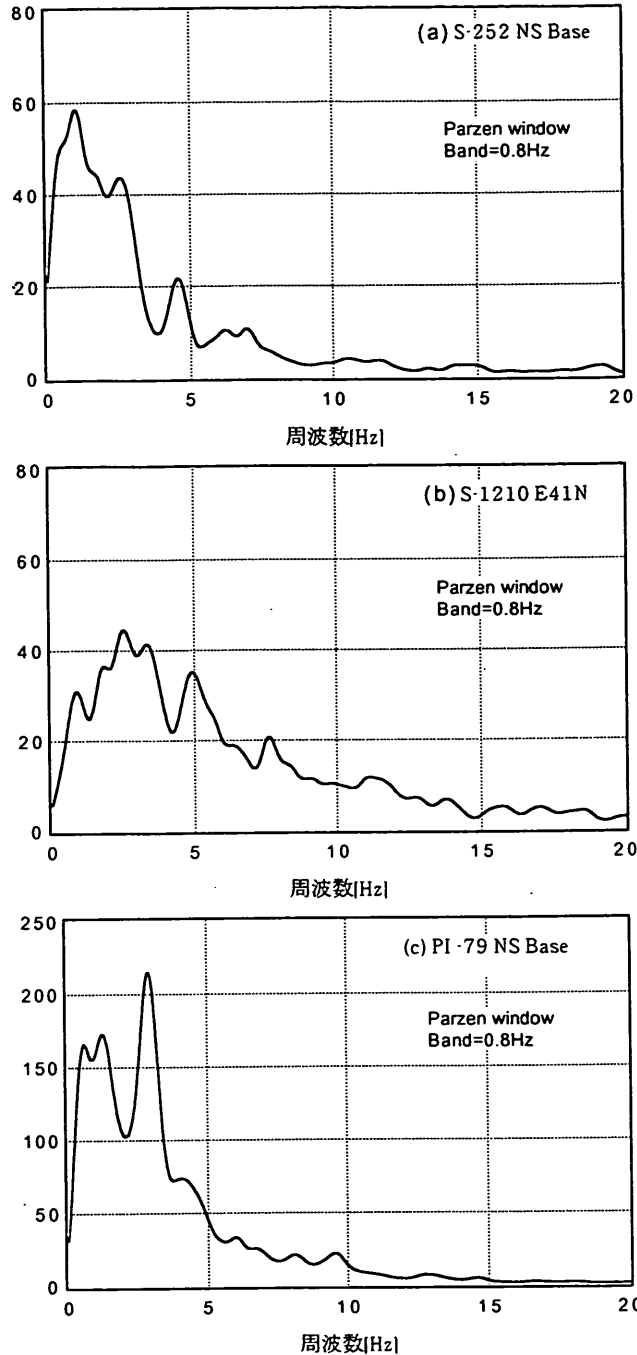


図-57 八戸波，大船渡波，ポートアイランド基盤波のフーリエスペクトル

INPUT DATA FILE TABLE NAME
filetable

図-58 ファイルテーブル名の入力

INPUT DATA FILE NAME
inp.dat

図-59 入力データファイル名の入力

計算結果のうち，期待値算定に用いる代表 20 地震デ

ータは図-66～図-69に示すようにそれぞれファイルテーブルで指定したファイルに保存される。図-66には補正最大加速度の，図-67には SMAC 最大加速度の，図-68には最大速度の，図-69には最大変位の代表 20 データを示す。書式はそれぞれ図-70，図-71，図-72，図-73に示す通りである。また，期待値算定結果については図-74～図-77に示すようにそれぞれファイルテーブルで指定したファイルに保存される。図-74には補正最大加速度の，図-75には SMAC 最大加速度の，図-76には最大速

度の、図-77には最大変位の期待値算定結果を示す。書式はそれぞれ図-78、図-79、図-80、図-81に示す通りである。最後に設定された設計用時刻歴波形が原波形と同じフォーマットで指定されたファイルに保存される。こ

の例では図-82に示すように広島港のレベル1地震動、レベル2地震動、神戸港のレベル1地震動、レベル2地震動の順で保存される。

NO.	PORT	LONG.	LATI.	R.PERIOD
1	HIROSHIMA	132.480	34.350	75.000
2	KOBE	135.200	34.670	75.000

図-60 入力した港湾位置および再現期間の確認

NO.	PORT	LONGITUDE	LATITUDE
1	HIROSHIMA	132.48	34.35

EQ	Y	M	D	ALOEQ	ALAEQ	DEPTH	MAGNITUDE	SMAC.ACC.
2480	1857	10	12	132.50	34.00	0.0	7.8	539.10
2366	1686	1	4	132.60	34.00	0.0	7.4	416.06
2692	0	0	0	132.41	34.38	0.0	6.4	356.10
190	1905	6	2	132.50	34.10	40.0	7.3	325.19
2693	0	0	0	132.90	33.81	0.0	8.5	300.46
2690	0	0	0	132.06	34.10	0.0	7.0	262.71
2691	0	0	0	132.29	34.17	0.0	6.5	258.70
2348	1649	3	17	132.50	33.70	0.0	7.3	221.62
2412	1769	8	29	132.10	33.00	0.0	8.0	193.32
2470	1854	12	24	135.00	33.00	0.0	8.4	177.52
2492	1872	3	14	132.10	35.15	0.0	7.3	175.19
2377	1707	10	28	135.90	33.20	0.0	8.4	170.60
3102	0	0	0	132.28	34.18	0.0	6.1	170.30
3101	0	0	0	132.28	34.21	0.0	6.0	163.79
2934	0	0	0	132.09	34.10	0.0	6.5	155.59
2487	1859	10	4	132.00	34.50	0.0	6.5	148.68
1069	1946	12	21	135.62	33.03	20.0	8.0	143.83
2296	887	8	26	135.00	33.00	0.0	8.5	143.09
2312	1361	8	3	135.00	33.00	0.0	8.5	143.09
2281	684	11	29	134.25	32.75	0.0	8.3	140.30

WHICH EARTHQUAKE FOR L2 GROUND MOTION?
2692

図-61 広島港のレベル2地震動の選択

NO. PORT LONGITUDE LATITUDE
 2 KOBE 135.20 34.67

EQ	Y	M	D	ALOEQ	ALAEQ	DEPTH	MAGNITUDE	SMAC.ACC.
2330	1596	9	5	135.60	34.65	0.0	7.8	539.10
2259	1995	1	17	135.05	34.60	14.0	7.2	520.41
2676	0	0	0	135.10	34.63	0.0	7.3	504.65
2656	0	0	0	135.25	34.80	0.0	7.5	403.97
2664	0	0	0	135.18	34.76	0.0	6.6	341.02
2673	0	0	0	135.17	34.26	0.0	8.0	321.17
2669	0	0	0	135.06	34.76	0.0	6.6	314.03
2687	0	0	0	134.83	34.43	0.0	7.1	309.84
2324	1510	9	21	135.60	34.60	0.0	7.0	309.33
2657	0	0	0	135.63	34.80	0.0	7.6	302.87
2292	868	8	3	134.80	34.80	0.0	7.0	296.20
2677	0	0	0	135.09	34.63	0.0	6.0	290.37
2304	1185	8	13	135.80	35.00	0.0	7.4	269.83
2296	887	8	26	135.00	33.00	0.0	8.5	268.36
2312	1361	8	3	135.00	33.00	0.0	8.5	268.36
2467	1854	7	9	136.00	34.75	0.0	7.5	266.91
2693	0	0	0	132.90	33.81	0.0	8.5	263.40
2680	0	0	0	134.28	35.13	0.0	7.6	252.92
2377	1707	10	28	135.90	33.20	0.0	8.4	242.24
2470	1854	12	24	135.00	33.00	0.0	8.4	242.24

WHICH EARTHQUAKE FOR L2 GROUND MOTION?

2259

図-62 神戸港のレベル2地震動の選択

DESIGN GROUND MOTION

L1 GROUND MOTION

NO.	R.	PERIOD	Acor	Asmac	VEL.	DISP.
		(year)	(gal)	(gal)	(kine)	(cm)
1		75.00	261.6	198.9	20.3	6.0
2		75.00	402.8	321.2	39.6	10.5

L2 GROUND MOTION

No.	Asmac
	(gal)
1	356.1
2	520.4

図-63 レベル1地震動, レベル2地震動の振幅の表示

YOU CAN CHOOSE WAVE FROM FOLLOWINGS

1	S-252(2)SOUTH	MAX=	170.14	MIN=	-142.56
2	S-252(2)WEST	MAX=	140.70	MIN=	-159.79
3	S-1210 E41N	MAX=	161.18	MIN=	-125.58
4	S-1210 N41W	MAX=	117.13	MIN=	-137.58
5	S-1567 NORTH	MAX=	121.53	MIN=	-153.10
6	S-1567 EAST	MAX=	142.66	MIN=	-106.15
7	PI-79 NORTH	MAX=	410.36	MIN=	-570.00

WHICH WAVE FOR L1 GROUND MOTION AT HIROSHIMA ?

1

図-64 広島港のレベル1地震動の波形選択

YOU CAN CHOOSE WAVE FROM FOLLOWINGS

1	S-252(2)SOUTH	MAX=	170.14	MIN=	-142.56
2	S-252(2)WEST	MAX=	140.70	MIN=	-159.79
3	S-1210 E41N	MAX=	161.18	MIN=	-125.58
4	S-1210 N41W	MAX=	117.13	MIN=	-137.58
5	S-1567 NORTH	MAX=	121.53	MIN=	-153.10
6	S-1567 EAST	MAX=	142.66	MIN=	-106.15
7	PI-79 NORTH	MAX=	410.36	MIN=	-570.00

WHICH WAVE FOR L2 GROUND MOTION AT HIROSHIMA ?

7

YOU CAN CHOOSE WAVE FROM FOLLOWINGS

1	S-252(2)SOUTH	MAX=	170.14	MIN=	-142.56
2	S-252(2)WEST	MAX=	140.70	MIN=	-159.79
3	S-1210 E41N	MAX=	161.18	MIN=	-125.58
4	S-1210 N41W	MAX=	117.13	MIN=	-137.58
5	S-1567 NORTH	MAX=	121.53	MIN=	-153.10
6	S-1567 EAST	MAX=	142.66	MIN=	-106.15
7	PI-79 NORTH	MAX=	410.36	MIN=	-570.00

WHICH WAVE FOR L1 GROUND MOTION AT KOBE ?

1

YOU CAN CHOOSE WAVE FROM FOLLOWINGS

1	S-252(2)SOUTH	MAX=	170.14	MIN=	-142.56
2	S-252(2)WEST	MAX=	140.70	MIN=	-159.79
3	S-1210 E41N	MAX=	161.18	MIN=	-125.58
4	S-1210 N41W	MAX=	117.13	MIN=	-137.58
5	S-1567 NORTH	MAX=	121.53	MIN=	-153.10
6	S-1567 EAST	MAX=	142.66	MIN=	-106.15
7	PI-79 NORTH	MAX=	410.36	MIN=	-570.00

WHICH WAVE FOR L2 GROUND MOTION AT KOBE ?

7

図-65 広島港のレベル2地震動および神戸港の地震動の波形選択

1HIROSHIMA

132.48 34.35

163	1905	6	2	132.50	34.10	40.0	7.3	410.84
885	1946	12	21	135.62	33.03	20.0	8.0	214.18
925	1949	7	12	132.68	34.07	40.0	6.2	121.37
173	1905	12	8	132.40	34.00	40.0	6.2	116.00
1227	1968	4	1	132.53	32.28	30.0	7.5	91.70
585	1930	12	20	132.80	34.90	0.0	6.1	84.10
148	1903	3	21	132.20	33.80	40.0	6.2	81.62
842	1943	9	10	134.08	35.52	0.0	7.2	76.21
1245	1968	8	6	132.38	33.30	40.0	6.6	75.66
231	1909	11	10	131.10	32.30	150.0	7.6	68.64
1381	1978	6	4	132.70	35.08	0.0	6.1	66.11
804	1941	4	6	131.55	34.73	10.0	6.2	63.65
371	1919	11	1	132.90	34.80	7.0	5.8	63.20
109	1899	11	25	132.30	32.70	40.0	6.9	60.93
1528	1984	8	7	132.15	32.38	33.0	7.1	60.14
1492	1983	8	26	131.60	33.55	116.0	6.8	56.77
1861	1995	1	17	135.05	34.60	14.0	7.2	55.69
1395	1979	7	13	132.05	33.85	70.0	6.1	54.96
611	1931	11	2	132.63	32.25	40.0	7.1	54.86
811	1941	11	19	132.08	32.02	0.0	7.2	52.66

2KOBE

135.20 34.67

1861	1995	1	17	135.05	34.60	14.0	7.2	617.11
329	1916	11	26	135.00	34.60	7.0	6.1	266.78
885	1946	12	21	135.62	33.03	20.0	8.0	216.94
859	1944	12	7	136.62	33.80	30.0	7.9	195.43
35	1891	10	28	136.60	35.60	7.0	8.0	179.79
513	1927	3	7	135.15	35.53	0.0	7.3	172.66
707	1936	2	21	135.72	34.58	0.0	6.4	168.97
969	1952	7	18	135.78	34.45	60.0	6.8	149.75
98	1899	3	7	136.10	34.10	40.0	7.0	135.83
842	1943	9	10	134.08	35.52	0.0	7.2	127.40
479	1925	5	23	134.80	35.60	7.0	6.8	109.69
911	1948	6	15	135.40	33.75	10.0	6.7	103.76
746	1938	1	12	135.07	33.58	0.0	6.8	96.66
226	1909	8	14	136.30	35.40	7.0	6.8	89.91
1140	1963	3	27	135.77	35.78	0.0	6.9	89.45
907	1948	4	18	135.62	33.28	0.0	7.0	86.51
933	1950	4	26	135.67	33.92	40.0	6.5	84.44
515	1927	4	1	135.17	35.65	0.0	6.5	77.71
913	1948	6	28	136.20	36.17	0.0	7.1	70.54
942	1950	11	6	134.83	33.45	30.0	6.7	70.04

図-66 期待値算定に用いる代表 20 地震データ (補正最大加速度)

HIROSHIMA			132.48	34.35				
163	1905	6 2	132.50	34.10	40.0	7.3	325.19	
885	1946	12 21	135.62	33.03	20.0	8.0	143.83	
925	1949	7 12	132.68	34.07	40.0	6.2	91.83	
173	1905	12 8	132.40	34.00	40.0	6.2	87.48	
585	1930	12 20	132.80	34.90	0.0	6.1	62.58	
148	1903	3 21	132.20	33.80	40.0	6.2	59.91	
1227	1968	4 1	132.53	32.28	30.0	7.5	56.13	
1245	1968	8 6	132.38	33.30	40.0	6.6	52.28	
1381	1978	6 4	132.70	35.08	0.0	6.1	48.26	
842	1943	9 10	134.08	35.52	0.0	7.2	47.69	
371	1919	11 1	132.90	34.80	7.0	5.8	47.62	
804	1941	4 6	131.55	34.73	10.0	6.2	45.70	
1395	1979	7 13	132.05	33.85	70.0	6.1	39.46	
231	1909	11 10	131.10	32.30	150.0	7.6	38.93	
109	1899	11 25	132.30	32.70	40.0	6.9	38.89	
1528	1984	8 7	132.15	32.38	33.0	7.1	36.86	
1492	1983	8 26	131.60	33.55	116.0	6.8	36.53	
88	1898	4 3	131.20	34.60	7.0	6.2	33.13	
611	1931	11 2	132.63	32.25	40.0	7.1	33.10	
1861	1995	1 17	135.05	34.60	14.0	7.2	33.00	
2KOBE			135.20	34.67				
1861	1995	1 17	135.05	34.60	14.0	7.2	520.41	
329	1916	11 26	135.00	34.60	7.0	6.1	213.22	
885	1946	12 21	135.62	33.03	20.0	8.0	146.07	
859	1944	12 7	136.62	33.80	30.0	7.9	130.26	
707	1936	2 21	135.72	34.58	0.0	6.4	128.74	
513	1927	3 7	135.15	35.53	0.0	7.3	120.90	
35	1891	10 28	136.60	35.60	7.0	8.0	116.33	
969	1952	7 18	135.78	34.45	60.0	6.8	108.82	
98	1899	3 7	136.10	34.10	40.0	7.0	95.40	
842	1943	9 10	134.08	35.52	0.0	7.2	86.42	
479	1925	5 23	134.80	35.60	7.0	6.8	76.98	
911	1948	6 15	135.40	33.75	10.0	6.7	73.30	
746	1938	1 12	135.07	33.58	0.0	6.8	66.81	
226	1909	8 14	136.30	35.40	7.0	6.8	61.59	
1140	1963	3 27	135.77	35.78	0.0	6.9	60.32	
933	1950	4 26	135.67	33.92	40.0	6.5	59.89	
907	1948	4 18	135.62	33.28	0.0	7.0	57.17	
515	1927	4 1	135.17	35.65	0.0	6.5	54.64	
569	1929	11 20	135.15	34.10	0.0	5.8	47.54	
942	1950	11 6	134.83	33.45	30.0	6.7	47.20	

図-67 期待値算定に用いる代表 20 地震データ (SMAC 最大加速度)

1HIROSHIMA			132.48	34.35			
163	1905	6 2	132.50	34.10	40.0	7.3	34.09
885	1946	12 21	135.62	33.03	20.0	8.0	15.87
925	1949	7 12	132.68	34.07	40.0	6.2	7.88
173	1905	12 8	132.40	34.00	40.0	6.2	7.53
1227	1968	4 1	132.53	32.28	30.0	7.5	6.40
585	1930	12 20	132.80	34.90	0.0	6.1	5.47
148	1903	3 21	132.20	33.80	40.0	6.2	5.30
842	1943	9 10	134.08	35.52	0.0	7.2	5.21
231	1909	11 10	131.10	32.30	150.0	7.6	5.07
1245	1968	8 6	132.38	33.30	40.0	6.6	4.94
1381	1978	6 4	132.70	35.08	0.0	6.1	4.34
371	1919	11 1	132.90	34.80	7.0	5.8	4.19
1528	1984	8 7	132.15	32.38	33.0	7.1	4.19
804	1941	4 6	131.55	34.73	10.0	6.2	4.18
109	1899	11 25	132.30	32.70	40.0	6.9	4.14
1861	1995	1 17	135.05	34.60	14.0	7.2	3.97
611	1931	11 2	132.63	32.25	40.0	7.1	3.87
1492	1983	8 26	131.60	33.55	116.0	6.8	3.86
811	1941	11 19	132.08	32.02	0.0	7.2	3.79
513	1927	3 7	135.15	35.53	0.0	7.3	3.71
2KOBE			135.20	34.67			
1861	1995	1 17	135.05	34.60	14.0	7.2	72.03
329	1916	11 26	135.00	34.60	7.0	6.1	19.04
885	1946	12 21	135.62	33.03	20.0	8.0	16.09
859	1944	12 7	136.62	33.80	30.0	7.9	14.14
35	1891	10 28	136.60	35.60	7.0	8.0	13.20
513	1927	3 7	135.15	35.53	0.0	7.3	11.54
707	1936	2 21	135.72	34.58	0.0	6.4	11.11
969	1952	7 18	135.78	34.45	60.0	6.8	9.72
98	1899	3 7	136.10	34.10	40.0	7.0	8.85
842	1943	9 10	134.08	35.52	0.0	7.2	8.41
479	1925	5 23	134.80	35.60	7.0	6.8	7.10
911	1948	6 15	135.40	33.75	10.0	6.7	6.70
746	1938	1 12	135.07	33.58	0.0	6.8	6.28
1140	1963	3 27	135.77	35.78	0.0	6.9	5.87
226	1909	8 14	136.30	35.40	7.0	6.8	5.86
907	1948	4 18	135.62	33.28	0.0	7.0	5.73
933	1950	4 26	135.67	33.92	40.0	6.5	5.47
515	1927	4 1	135.17	35.65	0.0	6.5	5.06
913	1948	6 28	136.20	36.17	0.0	7.1	4.81
942	1950	11 6	134.83	33.45	30.0	6.7	4.62

図-68 期待値算定に用いる代表 20 地震データ (最大速度)

1HIROSHIMA				132.48		34.35		
163	1905	6	2	132.50	34.10	40.0	7.3	9.61
885	1946	12	21	135.62	33.03	20.0	8.0	5.90
1227	1968	4	1	132.53	32.28	30.0	7.5	2.06
231	1909	11	10	131.10	32.30	150.0	7.6	1.67
925	1949	7	12	132.68	34.07	40.0	6.2	1.67
173	1905	12	8	132.40	34.00	40.0	6.2	1.59
842	1943	9	10	134.08	35.52	0.0	7.2	1.52
1245	1968	8	6	132.38	33.30	40.0	6.6	1.20
1528	1984	8	7	132.15	32.38	33.0	7.1	1.19
1861	1995	1	17	135.05	34.60	14.0	7.2	1.16
148	1903	3	21	132.20	33.80	40.0	6.2	1.13
585	1930	12	20	132.80	34.90	0.0	6.1	1.13
513	1927	3	7	135.15	35.53	0.0	7.3	1.12
811	1941	11	19	132.08	32.02	0.0	7.2	1.11
109	1899	11	25	132.30	32.70	40.0	6.9	1.10
611	1931	11	2	132.63	32.25	40.0	7.1	1.09
1492	1983	8	26	131.60	33.55	116.0	6.8	1.00
15	1887	4	29	132.00	32.00	40.0	7.1	0.92
1381	1978	6	4	132.70	35.08	0.0	6.1	0.90
804	1941	4	6	131.55	34.73	10.0	6.2	0.89

2KOBE				135.20		34.67		
1861	1995	1	17	135.05	34.60	14.0	7.2	17.56
885	1946	12	21	135.62	33.03	20.0	8.0	5.98
859	1944	12	7	136.62	33.80	30.0	7.9	5.11
35	1891	10	28	136.60	35.60	7.0	8.0	4.93
329	1916	11	26	135.00	34.60	7.0	6.1	3.75
513	1927	3	7	135.15	35.53	0.0	7.3	3.46
969	1952	7	18	135.78	34.45	60.0	6.8	2.49
707	1936	2	21	135.72	34.58	0.0	6.4	2.49
842	1943	9	10	134.08	35.52	0.0	7.2	2.46
98	1899	3	7	136.10	34.10	40.0	7.0	2.43
479	1925	5	23	134.80	35.60	7.0	6.8	1.83
911	1948	6	15	135.40	33.75	10.0	6.7	1.67
746	1938	1	12	135.07	33.58	0.0	6.8	1.62
907	1948	4	18	135.62	33.28	0.0	7.0	1.58
1140	1963	3	27	135.77	35.78	0.0	6.9	1.56
226	1909	8	14	136.30	35.40	7.0	6.8	1.51
913	1948	6	28	136.20	36.17	0.0	7.1	1.36
163	1905	6	2	132.50	34.10	40.0	7.3	1.31
933	1950	4	26	135.67	33.92	40.0	6.5	1.28
515	1927	4	1	135.17	35.65	0.0	6.5	1.19

図-69 期待値算定に用いる代表 20 地震データ (最大変位)

地点番号 (15)	地点名 (A20)	東経(度) (F10.2)	北緯(度) (F10.2)					
空白行 (A80)								
地震番号 (15)	年 (15)	月 (15)	日 (15)	震源の東経(度) (F10.2)	震源の北緯(度) (F10.2)	震源の深さ(km) (F10.1)	マグニチュード (F10.1)	補正最大加速度(Gal) (F10.2)

*以上の書式が一つの地点に対応しており、複数の地点について計算したときには以上の書式が繰り返される。

図-70 期待値算定用に用いる代表 20 地震データの書式 (補正最大加速度)

地点番号 (15)	地点名 (A20)	東経(度) (F10.2)	北緯(度) (F10.2)					
空白行 (A80)								
地震番号 (15)	年 (15)	月 (15)	日 (15)	震源の東経(度) (F10.2)	震源の北緯(度) (F10.2)	震源の深さ(km) (F10.1)	マグニチュード (F10.1)	SMAC最大加速度(Gal) (F10.2)

*以上の書式が一つの地点に対応しており、複数の地点について計算したときには以上の書式が繰り返される。

図-71 期待値算定用に用いる代表 20 地震データの書式 (SMAC 最大加速度)

地点番号 (15)	地点名 (A20)	東経(度) (F10.2)	北緯(度) (F10.2)					
空白行 (A80)								
地震番号 (15)	年 (15)	月 (15)	日 (15)	震源の東経(度) (F10.2)	震源の北緯(度) (F10.2)	震源の深さ(km) (F10.1)	マグニチュード (F10.1)	最大速度 (F10.2)

*以上の書式が一つの地点に対応しており、複数の地点について計算したときには以上の書式が繰り返される。

図-72 期待値算定用に用いる代表 20 地震データの書式 (最大速度)

地点番号 (15)	地点名 (A20)	東経(度) (F10.2)	北緯(度) (F10.2)					
空白行 (A80)								
地震番号 (15)	年 (15)	月 (15)	日 (15)	震源の東経(度) (F10.2)	震源の北緯(度) (F10.2)	震源の深さ(km) (F10.1)	マグニチュード (F10.1)	最大変位(cm) (F10.2)

*以上の書式が一つの地点に対応しており、複数の地点について計算したときには以上の書式が繰り返される。

図-73 期待値算定用に用いる代表 20 地震データの書式 (最大変位)

HIROSHIMA	28.99178	64.75236	0.913719	0.75	261.56
2KOBE	54.38824	97.00491	0.932050	0.75	402.79

図-74 期待値算定結果 (補正最大加速度)

HIROSHIMA	14.39627	51.36576	0.906208	0.75	198.88
2KOBE	28.75296	81.42666	0.910240	0.75	321.21

図-75 期待値算定結果 (SMAC 最大加速度)

HIROSHIMA	1.41813	5.26085	0.882875	0.75	20.31
2KOBE	0.85203	10.77672	0.856179	0.75	39.56

図-76 期待値算定結果 (最大速度)

1HIROSHIMA	0.22153	1.60888	0.888580	0.75	6.00
2KOBE	0.32545	2.83399	0.907324	0.75	10.50

図-77 期待値算定結果 (最大変位)

地点番号 (15)	地点名 (A20)	B (Gal) (F10.5)	A (Gal) (F10.5)	相関係数 (F10.6)	k (F10.6)	補正最大加速度の期待値 (Gal) (F10.6)
						(計算地点数と同じ枚数)

図-78 期待値算定結果の書式 (補正最大加速度)

地点番号 (15)	地点名 (A20)	B (Gal) (F10.5)	A (Gal) (F10.5)	相関係数 (F10.6)	k (F10.6)	SMAC最大加速度の期待値 (Gal) (F10.6)
						(計算地点数と同じ枚数)

図-79 期待値算定結果の書式 (SMAC 最大加速度)

地点番号 (15)	地点名 (A20)	B (Gal) (F10.5)	A (Gal) (F10.5)	相関係数 (F10.6)	k (F10.6)	最大速度の期待値 (kine) (F10.6)
						(計算地点数と同じ枚数)

図-80 期待値算定結果の書式 (最大速度)

地点番号 (15)	地点名 (A20)	B (Gal) (F10.5)	A (Gal) (F10.5)	相関係数 (F10.6)	k (F10.6)	最大変位の期待値 (cm) (F10.6)
						(計算地点数と同じ枚数)

図-81 期待値算定結果の書式 (最大変位)

S-252(2)SOUTH	MAX= 198.88	at 5.74(sec)	MIN= -166.64	at 5.30(sec)
PI-79 NORTH	MAX= 256.37	at 7.37(sec)	MIN= -356.10	at 4.36(sec)
S-252(2)SOUTH	MAX= 321.21	at 5.74(sec)	MIN= -269.14	at 5.30(sec)
PI-79 NORTH	MAX= 374.66	at 7.37(sec)	MIN= -520.41	at 4.36(sec)

図-82 作成された設計用入力地震動

7. 結論

本研究は、1995年1月17日に発生した兵庫県南部地震による神戸港等の被害の甚大さに鑑み、港湾構造物の耐震設計の外力設定の拠り所となっている地震動特性に関する知見（距離減衰特性、上下地震動の特性、加速度期待値、震度と加速度の関係等）について包括的な見直しを実施し、耐震設計で考慮する地震外力の考え方を整理したものである。

本研究の2.では兵庫県南部地震の震源近傍の強震記録を考慮して、工学的基盤での最大加速度等の距離減衰式を新たに求めた。3.では強震記録の上下動成分に関して統計的な検討を行った。4.では2.で新たな距離減衰式が得られたことに伴い、わが国の沿岸地域の工学的基盤における最大加速度等の75年期待値を新たに求めた。また、日本およびその近海の工学的基盤における最大加速度等の75年期待値の分布図を作成した。5.では最近の主な被害地震による港湾の被災事例等により、重力式岸壁および矢板式岸壁の震度と加速度の関係について見直

しを実施した。このとき、被災港湾で観測された強震観測記録の他、2.で求めた距離減衰式を活用した。6.では、耐震設計で考慮する地震外力の考え方を整理し、2.から5.の成果を地震外力の設定にどのように活用できるかについて述べた。また、港湾構造物の設計用入力地震動を設定するプログラムを紹介した。

本研究により得られた主要な結論は以下の通りである。
①強震記録の統計解析により工学的基盤における補正最大加速度、SMAC最大加速度、最大速度および最大変位の距離減衰式を新たに求めた。SMAC最大加速度に関する距離減衰式は、従来より港湾の分野で用いられている野田らの式と遠方（数10km以上）で整合するものとなった。また、今回得られた距離減衰式のデータのばらつきは福島²⁹⁾やJoyner and Boore³¹⁾のものと同程度であると言える。

②地震動の上下動成分について見直しを実施したところ、剛体構造物の地震時の滑動安定性に対する上下動の影響は大きくないことが確認された。

③わが国の沿岸地域の工学的基盤における最大加速度等

の75年期待値を新たに求めた。今回得られたSMAC最大加速度の期待値を北澤らの求めたものと比較したところ、最大加速度の小さな領域では両者の差は小さいが、最大加速度の大きな領域では今回求めた期待値のほうが大きい傾向にある。また、日本およびその近海の工学的基盤における最大加速度等の75年期待値の分布図を作成した。

④重力式岸壁および矢板式岸壁の作用震度とSMAC最大加速度との関係の見直しを実施したところ、野田らにより提案された重力式岸壁の作用震度の上限を与える式の妥当性が確認された。同様の関係は矢板式岸壁にも準用できると考えられる。SMAC最大加速度以外の地震動のパラメタ（最大速度等）についても検討したが、SMAC最大加速度と比較して目立って作用震度との対応が良いパラメタは見いだされなかった。

⑤港湾構造物の耐震設計で考慮する地震外力の考え方を整理し、本研究の成果を地震外力の設定に活用する方法を示した。

8. あとがき

本研究では、距離減衰式、地震動の上下動の特性、加速度期待値、震度と加速度の関係等について、現在得られているデータに基づいて包括的な見直しを実施した。この結果は、今後、港湾構造物の耐震設計に活用することができると考える。

本研究の結果は港湾の地震時の被災事例や強震観測記録の統計解析によるものである。従って、得られた結果が机上の空論ではないという強みがあるが、その反面、特に震度と加速度の関係等では、理論的な背景が必ずしも十分に説明されていない。従って、本研究で得られた結果の信頼性をより一層確かなものとしていくためには、今後も被災事例や強震記録等の新しいデータの収集に努め、こうしたデータに照らして本研究で得られた結果の妥当性を確認していく必要がある。

また、残された課題としては次のような点が指摘できる。

①一般に距離減衰式に含まれるばらつきには震源に関するばらつき、伝播経路に関するばらつき、地盤条件に関するばらつきの三者がある。本研究では、地盤条件を工学的基盤に統一して距離減衰式を導いたので、様々な地盤条件で得られた地表の最大加速度に関する距離減衰式と比較してばらつきが小さくなることが期待されたが、ばらつきの値は各種地盤のデータを含む福島の距離減衰式²⁹⁾と同程度となった。この原因としては、震源や伝

播経路のばらつきが支配的であるということも考えられるが、一口に工学的基盤と言ってもN値が50ちょうどの地層から岩盤に近いところまで条件は様々であり、工学的基盤の地震動といえどもローカルな地盤条件の影響を受けていると考えられる。そこで、回帰分析の説明変数に地点毎の工学的基盤のせん断剛性を加えれば、よりばらつきの少ない距離減衰式が導かれる可能性がある。

②工学的基盤における地震動を求める際に、本研究では等価線形化手法による地盤の応答計算¹⁷⁾を行った。等価線形化手法によると地盤の地震応答を必ずしも精度よく計算できない場合があるが⁵⁵⁾、地表や地中での観測記録から基盤入射波を分離するためにはこれまで周波数領域での計算方法しかなく、ここでは周波数領域で計算のできる等価線形化手法を用いた。しかし、近年、時間領域で基盤入射波を求める手法が開発されはじめており⁵⁶⁾、こうした手法を用いれば工学的基盤における地震動がより精度よく求まる可能性がある。

③強震観測記録の上下動成分に関する検討では、剛体構造物の滑動安全率に及ぼす上下動の影響は大きくないことが示された。しかし、本研究では構造物の変形量に及ぼす上下動の影響については議論していない。兵庫県南部地震により被災した重力式岸壁の有効応力解析では上下動の影響は大きくないとされているが⁴⁵⁾、こうした点について模型振動実験等を通じてより一層明確にしていく必要があると考えられる。

④最大加速度等の期待値に関する研究では、最近の110年間程度の歴史地震データに基づいて地震発生の定常性を仮定した研究を行っている。しかし、レベル2地震動のような再現期間の長い地震動を確率的に評価しようとする場合には、歴史地震データから得られたハザード曲線（地震動強さと再現期間の関係を示す曲線）を再現期間の長い領域に外挿するだけでは不十分であり、活断層で地震が発生する確率を考慮した検討が別途必要となる⁵⁷⁾。

⑤作用震度と地盤加速度等の関係については、作用震度の上限を与える既往の関係の適用性が示されたが、構造物の作用震度は採用する設計法に依存する量であるから、もしも将来震度法による港湾構造物の設計法が大きく変更になることがあれば、作用震度と地盤加速度の関係は改めて求める必要がある。

⑥耐震強化岸壁の設計対象地震の選択方法として、本研究では決定論的な方法を示した。さらに合理的な選択方法を目指して、確率論的な方法による選択も検討していく必要がある。

⑦本研究の6. では、耐震強化岸壁の設計対象地震動、す

なわちレベル2地震動の与え方として現段階で比較的妥当であると考えられる方法を紹介したが、レベル2地震動をいかに与えるかという問題は今後とも検討していくべき問題である。変形照査を実施する関係上、地震動の最大振幅のみならず時刻歴波形を与える必要があり、これをどのように与えるかが課題である。また、プレート境界で発生するマグニチュードの大きい地震による震源近傍の地震動は、それほどマグニチュードの大きい内陸活断層による震源近傍の地震動とは異なる性質を持つと予想されるが、この型の地震による震源近傍の強震記録が現在のところ得られていないので、プレート境界で発生するマグニチュードの大きい地震による震源近傍の地震動を設定する場合には十分な検討が必要である。

④本研究の6.2で述べた岸壁の変形量照査では、SMAC-B2型強震計では計測されないような高い振動数成分を含む補正波形を用いることになっているが、岸壁の変形に有効な地震動の周波数帯域を明らかにしていくことも地震外力設定の立場からは重要であると考えられる。

(1997年9月30日受付)

謝辞

本研究の実施にあたり、稲富隆昌特別研究官からは終始かわらぬ暖かいはげましの言葉をいただきました。井合進地盤震動研究室長には距離減衰式を求める際の統計解析手法について御指導いただき、また様々な文献を紹介していただきました。倉田栄一情報センター主任研究官からは日本地図の数値データの提供を受けました。長尾毅計画設計基準部主任研究官からは、兵庫県南部地震による神戸港の重力式岸壁の被災事例について、岸壁毎の地盤条件を考慮した法線直角方向の推定加速度波形を提供していただきました。岩上淳一構造部長には本研究を纏めるにあたり御指導いただきました。神戸市開発局（当時）および関西地震観測連絡協議会からは兵庫県南部地震による神戸市内の貴重な強震記録を提供していただきました。本研究の2.および5.は（株）パシフィックコンサルタンツの方々による作業を踏まえた内容となっています。本研究の6.では港湾局海岸防災課および開発エンジニアリング（株）の方々により作成された活断層データを使用しています。以上の方々はこの場を借りて感謝いたします。また、本研究は港湾地域強震観測の成果によるところが大であります。港湾地域強震観測に従事されている全国の方々に敬意を表する次第です。

参考文献

- 1) 稲富隆昌, 善功企, 外山進一, 上部達生, 井合進, 菅野高弘, 寺内潔, 横田弘, 藤本健幸, 田中祐人, 山崎浩之, 小泉哲也, 長尾毅, 野津厚, 宮田正史, 一井康二, 森田年一, 南兼一郎, 及川研, 松永康男, 石井正樹, 杉山盛行, 高崎伸彦, 小林延行, 岡下勝彦: 1995年兵庫県南部地震による港湾施設等被害報告, 港湾技研資料, No.857, 1997年3月
- 2) 工藤一嘉: 強震動予測を中心とした地震工学研究のあゆみ, 総合報告地震学・地震工学研究の現状と展望(その1), 地震, 第2輯, 第46巻, 1993年, pp.151-159
- 3) 野田節男, 上部達生, 千葉忠樹: 重力式岸壁の震度と地盤加速度, 港湾技術研究所報告, 第4巻, 第4号, 1975年12月, pp.67-111
- 4) 上部達生, 野田節男, 倉田栄一: 強震記録の上下動成分の解析と重力式岸壁の安定に関する事例研究, 港湾技術研究所報告, 第15巻, 第2号, 1976年
- 5) 北澤壮介, 上部達生, 檜垣典弘: 沿岸地域における基盤の最大加速度期待値の推定, 港湾技研資料, No.486, 1984年7月
- 6) 運輸省港湾局監修: 港湾の施設の技術上の基準・同解説, 日本港湾協会, 1989年2月
- 7) 北島昭一, 上部達生: 矢板岸壁地震時被災の分析, 港湾技術研究所報告, 第18巻, 第1号, 1979年3月, pp.67-127
- 8) 三橋郁雄, 中山種清: 1973年根室半島沖地震などの被災例による現行設計法の検討, 港湾技研資料, No.184, 1974年6月
- 9) 福田功, 柴田綱三, 金子英久, 白石修章, 大堀晃一: 1978年宮城県沖地震の被災事例などによる現行設計法の検討, 港湾技研資料, No.449, 1983年6月
- 10) 運輸省第一港湾建設局: 秋田港地震災害復旧報告 - 1983年日本海中部地震, 1984年3月
- 11) 長尾毅, 小泉哲也, 木阪恒彦, 寺内潔, 細川浩二, 門脇陽治, 宇野建司: 兵庫県南部地震による港湾施設の被害考察(その9) 神戸港ケーソン式岸壁の安定性に関する一考察, 港湾技研資料, No.813, 1995年9月, pp.301-336
- 12) 土木学会耐震基準等基本問題検討会議: 土木構造物等の耐震基準等に関する提言, 土木学会誌, Vol.80, No.8, 1995年7月, 前付
- 13) 土木構造物耐震基準基本問題検討会議: 土木学会耐震基準等に関する提言集, 土木学会, 1996年5月
- 14) (社)日本道路協会: 道路橋仕方書・同解説, V

耐震設計編, 1996年11月

15) 運輸省港湾局長: 港湾の施設の耐震設計に係わる当面の措置について, 1995年11月17日

16) 運輸省港湾局技術課: 港湾の施設の耐震設計に係る当面の措置の扱いについて, 事務連絡, 1997年8月28日

17) Schnabel, P.B., Lysmer, J. and Seed, H.B.: SHAKE - A Computer Program for Earthquake Response Analysis of Horizontally Layered Sites, Report No. EERC 72-12, Col. of Eng., University of California at Berkeley, December 1972

18) 松永康男, 桜井博孝, 森田年一, 井合進: 港湾地域強震観測年報(1992年&1993年), 港湾技研資料, No.776, 1994年6月

19) 佐藤良輔編: 日本の地震断層パラメーター・ハンドブック, 鹿島出版会, 1989年3月

20) 勝又護: 地震動の最大加速度の推定, 験震時報, 第37巻, 第3号, 1972年1月, pp.79-87

21) 上部達生: 東北地方太平洋沿岸地域の基盤における地震動 - 釜石湾口防波堤の設計用入力地震動 -, 港湾技研資料, No.412, 1982年3月

22) 井合進, 倉田栄一, 向井健: 地震最大加速度の距離減衰, 港湾技研資料, No.724, 1992年3月

23) Fukushima, Y. and Tanaka, T.: A new Attenuation Relation for Peak Horizontal Acceleration of Strong Earthquake Ground Motion in Japan, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 84, August 1990, pp.757-783

24) 関口宏二, 杉戸真太, 岡二三生, 八島厚, 田口洋輔, 加藤要一: 兵庫県南部地震における鉛直アレー強震記録に基づく地震動非線形増幅特性と地盤震動解析法の検討, 阪神・淡路大震災に関する学術講演会論文集, 1996年1月, pp.109-116

25) Campbell, K. W.: Near-Source Attenuation of Peak Horizontal Acceleration, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 71, No.6, December 1981, pp.2039-2070

26) 末富岩雄, 土岐憲三: 神戸大学観測点における表層地盤の影響に関する検討, 第24回地震工学研究発表会講演論文集, 第一分冊, (社)土木学会地震工学委員会, 1997年7月, pp.57-60

27) 土岐憲三, 後藤洋三, 江尻譲嗣, 澤田純男: 兵庫県南部地震の震源特性と地盤震動特性, 土木学会誌, Vol.80, No.10, 1995年9月, pp.32-43

28) 川島一彦, 相沢興, 高橋和之: 最大地震動および地震応答スペクトルの距離減衰式, 土木研究所報告, 第166号, 1985年

29) 福島美光: 地震波の発生, 伝播の理論を背景とした入力地震動の経験的予測, ORI研究報告, 93-07, 清水建設株式会社, 1994年3月

30) 安中正, 山谷敦, 桃林治彦, 野沢是幸: 関東および周辺地域の地震観測記録を用いた基盤における最大加速度推定式の検討, 第19回地震工学研究発表会, 1987年, pp.129-132

31) Joyner, W. B. and Boore, D. M.: Peak Horizontal Acceleration and Velocity from Strong Motion Records including Records from the 1979 Imperial Valley, California, Earthquake, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 71, December 1981, pp.2011-2038

32) 運輸省港湾局監修: 埋立地における液状化対策ハンドブック, 沿岸開発技術センター, 1993年3月

33) 宇津徳治: 日本付近のM 6.0以上の地震および被害地震の表: 1885年~1980年, 地震研究所彙報, Vol.57, 1982年, pp.401-463

34) 気象庁: 地震月報

35) 理論地震動研究会編著: 地震動-その合成と波形処理, 第5章, 地震危険度解析, 鹿島出版会, 1994年2月, p.143

36) 宮田正史, 野津厚, 菅野高弘, 井合進: 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, 阪神・淡路大震災に関する学術講演会論文集, 1996年1月, pp.53-60

37) Housner, G.W.: Measures of Earthquake Ground Shaking, *Proceedings of the US Conference on Earthquake Engineering*, 1975, pp.25-33.

38) 土田肇, 稲富隆昌, 上田寛: 1982年浦河沖地震港湾被害報告, 港湾技研資料, No.472, 1983年12月

39) 上田茂, 稲富隆昌, 上部達生, 井合進, 風間基樹, 松永康男, 藤本健幸, 菊池善昭, 宮井真一郎, 関口信一郎, 藤本義則: 1993年釧路沖地震港湾施設被害報告, 港湾技研資料, No.766, 1993年12月

40) 稲富隆昌, 上部達生, 井合進, 風間基樹, 山崎浩之, 松永康男, 関口信一郎, 水野雄三, 藤本義則: 1993年北海道南西沖地震による港湾施設被害報告, No.791, 1994年12月

41) 稲富隆昌, 上部達生, 井合進, 田中祐人, 山崎浩之, 宮井真一郎, 野津厚, 宮田正史, 藤本義則: 1994年北海道東方沖地震による港湾施設被害報告, 港湾技研資料, No.856, 1997年3月

42) 運輸省第二港湾建設局, 運輸省港湾技術研究所: 三陸はるか沖地震現地調査報告書<港湾施設編>, 1995年1月

- 43) 土田肇, 山田通一郎, 倉田栄一, 須藤克子: 港湾地域強震観測年報 (1963, 1964), 港湾技研資料, No.55, 1968年9月
- 44) 菅野高弘, 三藤正明, 及川研: 兵庫県南部地震による港湾施設の被害考察(その6) ケーソン式岸壁の被災に関する模型振動実験, 港湾技研資料, No.813, 1995年9月, pp.207-252
- 45) 井合進, 一井康二, 森田年一: 兵庫県南部地震による港湾施設の被害考察(その7) ケーソン式岸壁の有効応力解析, 港湾技研資料, No.813, 1995年9月, pp.253-279
- 46) 上部達生: 地震被災事例に基づく重力式及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年12月
- 47) 上部達生, 高野剛光, 松永康男: 兵庫県南部地震による港湾施設の被害考察(その3) 神戸港のケーソン式大型岸壁の被災分析, 港湾技研資料, No.813, 1995年9月
- 48) 活断層研究会編: 新編日本の活断層 - 分布図と資料, 東京大学出版会, 1991年3月
- 49) 九州活構造研究会編: 九州の活断層, 東京大学出版会, 1989年9月
- 50) 松田時彦: 活断層から発生する地震の規模と周期について, 地震II, 28, 1975年, pp.269-283
- 51) 松田時彦: 活断層, 岩波新書, 423, 1995年12月
- 52) 宇佐見龍夫: 新編日本被害地震総覧 [増補改訂版 416-1995], 東京大学出版会, 1996年
- 53) 運輸省港湾局長: 港湾の施設の耐震設計に係る当面の措置(その2)について, 1997年8月28日
- 54) Uwabe, T.: Allowable Residual Displacement of Gravity Quaywalls Given by Optimum Seismic Coefficient from Economical Viewpoint, *Proc. of JSCE*, No.404, I-11, April 1989, pp.173-182
- 55) 吉田望: 実用プログラム SHAKE の適用性, 軟弱地盤における地震動増幅シンポジウム発表論文集, (社)土質工学会軟弱地盤における地震動増幅と被害に関する研究委員会, 1994年10月, pp.14-31
- 56) 酒井久和, 澤田純男, 土岐憲三: 時間領域における基盤入力地震動の推定, 土木学会第52回年次学術講演会講演概要集, I-642, 1995年9月, pp.1284-1285
- 57) 石川裕, 奥村俊彦, 亀田弘行: 活断層を考慮した神戸における地震危険度評価, 阪神淡路大震災に関する学術講演会論文集, (社)土木学会, 1996年1月, pp.61-68

記号表

- A: 最大加速度, Weibull 分布および二重指数分布のパラメタ
- $A_h(t)$: 水平合成加速度
- $A_v(t)$: 鉛直加速度
- a: 距離減衰式の回帰係数
- A_{COR} : 補正最大加速度
- A_{SMAC} : SMAC 最大加速度
- B: Weibull 分布および二重指数分布のパラメタ
- b: 距離減衰式の回帰係数
- C: 粘着力
- c: 距離減衰式の回帰係数
- D: 最大変位
- d: 距離減衰式の回帰係数
- e: 距離減衰式の回帰係数
- $F_x(X)$: K/N 年間の最大加速度等の最大値 X の分布関数
- g: 重力加速度
- K: 地震データのカバーしている期間
- k: Weibull 分布のパラメタ
- K_h : 作用震度
- $K(t)$: 合震度
- L: 地表地震断層の長さ
- l_j : 地震毎の回帰係数
- M: マグニチュード
- m: 期待値を求める際に用いる最大加速度等のデータの順位
- N: N 値, 期待値を求める際に用いる最大加速度等のデータの個数
- R: 断層面距離
- SI: SI 値
- t: ケーソン側壁・隔壁・底版等の厚さ
- V: 最大速度
- X: 震源距離, K/N 年間の最大加速度等の最大値
- α : 最大加速度
- Δ : 震央距離
- δ : 壁面摩擦角
- δ_{ij} : i 番目のデータが j 番目の地震によるものである場合に 1, そうでない場合に 0
- γ : 単位体積重量, 震源域の半径
- γ' : 水中単位体積重量
- γ_v : Weibull 分布および二重指数分布のパラメタを回帰分析により求める際に用いるパラメタ
- ϕ : 内部摩擦角

港湾技研資料 No.893

1997.12

編集兼発行人 運輸省港湾技術研究所

発行所 運輸省港湾技術研究所

印刷所 阿部写真印刷株式会社

Published by the Port and Harbour Research Institute
Nagase, Yokosuka, Japan

Copyright ©(1997)by P.H.R.I

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.H.R.I

この資料は、港湾技術研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本資料の全部又は一部の転載、複写は、港湾技術研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。