

港湾地域強震観測の概要

野津厚*・林公美*・菅野高弘**

Outline of the Strong Motion Earthquake Observation in Japanese Ports

Atsushi NOZU*, Kumi HAYASHI* and Takahiro SUGANO*

**Port and Airport Research Institute, Japan*

nozu@pari.go.jp, hayashi@pari.go.jp, sugano@pari.go.jp

Abstract

The Strong-Motion Earthquake Observation in Japanese Ports started in 1962 with eleven SMAC-B2 accelerographs. The first record was obtained on March 27, 1963 in the Port of Nagoya. Since then, the observation has been conducted based on the collaboration between the Port and Harbour Research Institute (PHRI), the Ministry of Transport, and relevant regional port offices of the central or local governments. The network expanded gradually and 110 accelerographs had been installed in 60 ports as of November 2004. In April 2001, PHRI was succeeded by two institutes, namely, the Independent Administrative Institution Port and Airport Research Institute (PARI) and the National Institute for Land and Infrastructure Management (NILIM). Both institutes are involved in the Strong-Motion Earthquake Observation in Japanese Ports.

Key words : Strong-Motion Earthquake Observation in Japanese Ports, site effects, soil nonlinearity, web site

1. 観測の経緯と現在の観測網

港湾地域強震観測は1962年に開始され、その年度に京浜港、清水港、名古屋港、神戸港、鹿児島港など計11台が設置された(土田, 1979)。これらは強震測定委員会が開発したSMAC-B2型強震計であった。港湾における最初の強震記録は1963年3月27日に越前岬沖で発生した地震を名古屋港で観測したものである。以来、強震計の維持管理を主に港湾建設局等の機関が実施し、記録の解析を港湾技術研究所が担当するという形で観測が進められてきた。

SMAC-B2型強震計の設置と並行して、港湾における観測(例えばボアホールでの観測)により適した強震計の開発が進められた。その結果、電磁式でオシログラフに記録の得られるERS-B,C,D型や、デジタル式のERS-F,G型が開発された。各々の強震計の詳細は強震観測年報等(例えば井合他, 1978, 野津他, 2004)を参照していただきたい。最近では、やはりデジタル式のSMAC-MDU型も導入されている。

図1に現在の観測網を示す。2004年11月現在では全

国60の港湾に110台の強震計が設置されている。この観測網は現在すべてデジタル式強震計で構成されている。SMAC-B2型強震計は2003年2月を最後に姿を消した。2001年4月には港湾技術研究所を母体として独立行政法人港湾空港技術研究所と国土技術政策総合研究所(の一部)が誕生したが、このうち港湾空港技術研究所は電話回線によるデータの収集と保管、計器補正、強震観測年報の刊行などを、旧港湾技術研究所から引き継いで実施している。一方、国土技術政策総合研究所はウェブ・サイトを開設し、データ提供の窓口となっている。この二つの研究所以外で観測に関わっている機関の名称を列挙すると次の通りである。

(国の機関)

国土交通省港湾局、東北地方整備局、関東地方整備局、北陸地方整備局、中部地方整備局、近畿地方整備局、中国地方整備局、四国地方整備局、九州地方整備局、北海道開発局、内閣府沖縄総合事務局

(地方自治体)

東京都港湾局、静岡県港湾総室、大阪市港湾局、宮崎県港湾課

*独立行政法人 港湾空港技術研究所



図1 現在の港湾地域強震観測網
Fig. 1 Current network of the Strong-Motion Earthquake Observation in Japanese Ports.

2. 観測の目的

港湾地域強震観測の目的は極めて多岐にわたるが、

- ①被害地震が発生した場合に、その揺れを記録して、被害の分析に利用すること（例えば菅野他，1995；一井他，1997）
- ②サイト特性を解明すること
- ③良質な中小地震の記録を取得して強震動予測に活用すること

を主な目的としている。その他、鉛直アレーを用いた表層地盤の応答特性の解明や構造物の地震応答特性の解明も目的としている。地盤と構造物で同時に観測を行っている例を図2に示す。

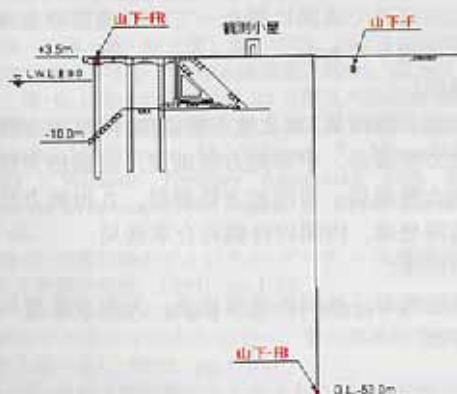


図2 棧橋上における観測事例（横浜港）
Fig. 2 Observation on a piled pier at Yokohama Port.

3. 特徴的な記録

港湾地域強震観測によりこれまで取得された記録のうち、特徴的な記録をいくつか紹介する。

3.1 再来大地震の記録

1968年5月16日に発生した十勝沖地震では東北から北海道にかけての広い地域で強震記録が取得された。このうち八戸港の記録（いわゆる八戸波）は当時の代表的な強震記録であり、周期2.5sの成分を多く含むことが当時注目を集めた（図3）。

八戸港では、1994年12月28日に発生した三陸はるか沖地震による記録も得られているが、このときの八戸港における記録も、周期2.5sの卓越するものとなっており、そのフーリエスペクトルは1968年十勝沖地震のもの極めて類似している。これらの記録はいずれもSMAC-B2型強震計により得られたものである。観測地点は厳密に言えば200mほど南北に隔たっている。

八戸波に含まれる周期2.5sの成分の成因についてはこれまでかなり研究がなされてきており、現在では、八戸港における深い地下構造の影響であると考えられている（例えば工藤，1993）。三陸はるか沖地震など比較的最近の地震でも、この成分を強く含む波が繰り返し観測されることは、このことを裏付けている。八戸波は現在でも高層建築物の耐震設計に利用されることが多いが、八戸港とは地下構造の異なる別の敷地での設計用入力地震動として、八戸波が適しているとは考えられない。

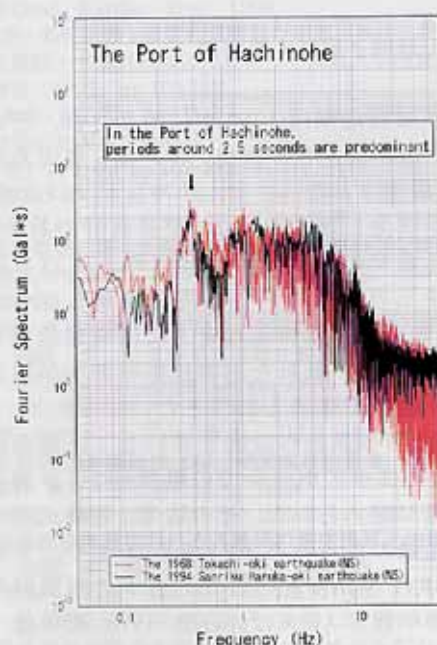


図3 1968年十勝沖地震と1994年三陸はるか沖地震による八戸港でのフーリエスペクトル

Fig.3 Fourier Spectra of strong ground motions at Hachinohe Port from the 1968 Tokachi-oki Earthquake and the 1994 Sanriku-haruka-oki Earthquake.

3.2 サイト特性の明瞭に現れている記録

これまでの観測事例から、サイト特性が顕著に現れている事例を紹介する。鳥取県の重要港湾である境港の観測点(境港-G)は弓ヶ浜半島北端の堆積層(吉川他, 2002)上に位置している。2000年10月6日に発生した鳥取県西部地震では、断層直交成分で60kine程度の記録が得られている。この記録を、周辺の他機関の記録と比較してみる。



図4 2000年鳥取県西部地震において記録の得られた境港市の港湾とその周辺の観測点。

Fig.4 Observation sites in and around the City of Samaiminato. Sakaiminato-G at the port, JMA (Japan Meteorological Agency), SMN001 (K-NET) and SMNH10 (KIK-NET). The former two are located on sedimentary layers in the Yumigahama Pen. The latter two are located at the foot of hills in the Shimane Pen.

気象庁の観測点(JMA)は、港湾の観測点と同様、弓ヶ浜半島の堆積層上に位置しており、防災科学技術研究所の観測点(SMN001とSMNH10)は島根半島の山麓に位置している(図4)。

これら4地点での加速度波形の比較を図5に示す(いずれも座標変換して求めた断層直交成分)。これを見ると、まず、気象庁の記録の振幅の大きさが目を引く。気象庁観測点は境港-Gから西に12kmほどしか離れていないが、最大加速度で2.7倍もの違いがある。このことについては、境港-Gで表層地盤が過剰間隙水圧の上昇を含む強い非線形挙動を示したことが原因であると考えられる(三輪他, 2002)。一方、SMN001とSMNH10の波形は、振幅が小さく、高周波成分が卓越していて、継続時間は短い。

次に速度波形の比較を行う(図6)。ここでは加速度波形を0.1-2Hzの帯域通過フィルタに通し、周波数領域で積分して速度波形を求めた。堆積層上に位置する観測点(境港-GとJMA)では最大速度は60kine程度であり、島根半島の山麓に位置する観測点(SMN001とSMNH10)では最大速度は15kine程度である。

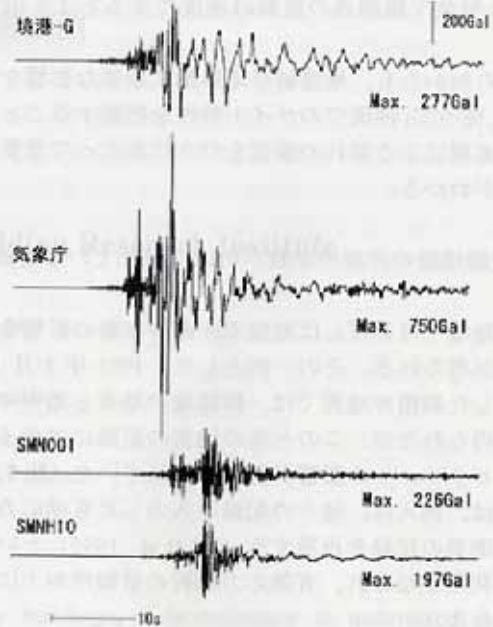


図5 2000年鳥取県西部地震の際に境港市の港湾とその周辺で観測された加速度波形。

Fig.5 Acceleration time histories observed in and around the City of Samaiminato during the 2000 Tottoriken-seibu Earthquake.

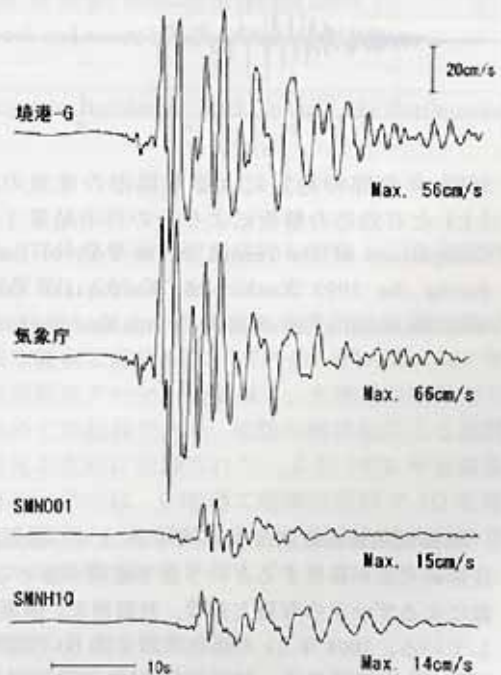


図6 図5の加速度波形を積分して求めた速度波形。

Fig.6 Integrated velocities from the acceleration time histories shown in Fig. 6.

つまり、地下構造の影響により、最大速度に4倍程度の顕著な違いがある。加速度では大きな違いの見られた境港-Gと気象庁観測点の波形は速度で見るとよく似ている。

以上の例からも、堆積層が地震動に重要な影響を及ぼすこと、従って、港湾でのサイト特性を把握することが、将来の地震による揺れの推定を行うにあたって重要であることがわかる。

3.3 表層地盤の非線形挙動が明瞭に現れている記録

港湾地域ではしばしば地盤の非線形挙動の影響を受けた記録が得られる。その一例として、1993年1月15日に発生した釧路沖地震では、釧路港の地表と地中で同時記録が得られたが、このときの地表の記録にはサイクリックモビリティの影響が明瞭に現れていた(図7)。この記録は、例えば、地中の記録を入力した有効応力解析により地表の記録を再現する(Iai et al., 1995)といった形で利用がなされ、有効応力解析の信頼性向上に大きく寄与した。

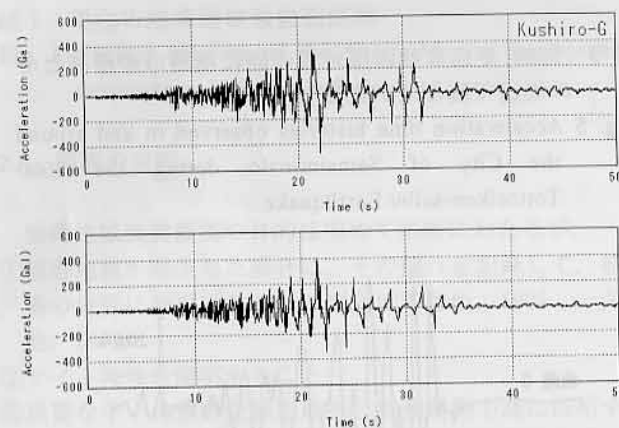


図7 1993年釧路沖地震による釧路港の地表の記録(上)と有効応力解析によるその再現結果(下)。

Fig. 7 Comparison of the record at the Port of Kushiro during the 1993 Kushiro-oki Earthquake (above) with the result of an effective stress analysis (below)

4. ウェブ・サイト

港湾地域強震観測の記録は、3.で紹介した記録を含め、すべてウェブ・サイト(www.eq.ysk.niml.go.jp)から入手できる。

5. 謝辞

本論文では防災科学技術研究所のK-NETとKIK-NETおよび気象庁の記録を利用しています。記して謝意を表します。

6. 参考文献

- 1) 井合進・倉田栄一・土田肇(1978): 強震記録の数字化と補正, 港湾技研資料, No.286.
- 2) Iai, S., Morita, T., Kameoka, T., Matsunaga, Y. and Abiko, K. (1995): Response of a dense sand deposit during 1993 Kushiro Oki earthquake, Soils and Foundations, Vol.35, No.1, pp.115-132.
- 3) 一井康二・井合進・森田年一(1997): 兵庫県南部地震におけるケーソン式岸壁の挙動の有効応力解析, 港湾技研報告, 第36巻, 第2号, pp.41-86.
- 4) 工藤一嘉(1993): 強震動予測を中心とした地震工学研究のあゆみ, 地震2, 46, pp.151-159.
- 5) 三輪滋・池田隆明・綾部孝之・沼田淳紀(2002): 2000年鳥取県西部地震における境港市の地盤の地震時挙動, 構造工学論文集, 48A, pp.445-455.
- 6) 野津厚・鈴木嘉秀・早田泰子・菅野高弘(2004): 港湾地域強震観測年報(2003), 港湾空港技術研究所資料, No.1084.
- 7) 菅野高弘・三藤正明・及川研(1995): 兵庫県南部地震による港湾施設の被害考察(その8)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, pp.207-252.
- 8) 土田肇: 港湾地域強震観測の現状と成果(1979), 港湾技術研究所講演会講演集, pp.127-195.
- 9) 吉川大智・盛川仁・赤松純平・野口竜也・西田良平(2002): 余震, 微動, 重力を用いた弓ヶ浜半島における2次元基盤構造の推定, 地震2, 55, pp.61-73.

要旨

港湾地域強震観測は1962年に始まり、強震計の維持管理を主に港湾建設局等の機関が、記録の解析を港湾技術研究所が担当するという形で観測が進められてきた。2001年4月からは、港湾空港技術研究所が電話回線によるデータの収集と保管、計器補正、強震観測年報の刊行などを、旧港湾技術研究所から引き継いで実施している。2004年11月現在では全国60の港湾に110台の強震計が設置されている。観測の目的は極めて多岐にわたるが、特に、被害地震の揺れを記録して、被害の分析に利用すること、サイト特性を把握し将来の地震による揺れの予測に役立てることなどを主な目的としている。

キーワード: 港湾地域強震観測, サイト特性, 非線形挙動, ウェブ・サイト