

# 函館港の軟弱地盤とその近傍地盤における地震動の比較

関宝琪<sup>1</sup>・森伸一郎<sup>2</sup>・沼田淳紀<sup>3</sup>

<sup>1</sup>非会員 工修 飛鳥建設株式会社 技術研究所 研究員 (〒270-02 千葉県関宿町木間が瀬 5472)

<sup>2</sup>正会員 飛鳥建設株式会社 技術研究所 主任研究員 (〒270-02 千葉県関宿町木間が瀬 5472)

<sup>3</sup>正会員 工修 飛鳥建設株式会社 技術研究所 研究員 (〒270-02 千葉県関宿町木間が瀬 5472)

1993年北海道南西沖地震以降、著者らが観測している函館港北埠頭 (KTW) の他、KTW 近傍の函館海洋気象台 (JMA)、建設省建築研究所による函館開発建設部 (HDB)、運輸省港湾技術研究所による港湾建設事務所 (PHRI) の計4ヶ所で震度3以上の強い地震動が得られた。ここでは、これらの地震記録を用い、KTWの地震記録との比較を行った。その結果、KTWは、JMAと比較して、1秒以上の長周期領域で増幅が大きい。増幅特性は震源の方位により異なる。また、HDBやPHRIでは、JMAに比べると長周期の増幅特性はKTWと同程度であるが、KTWはPHRIとは1秒以下で異なり、HDBとは3秒以下でほぼ同等の増幅特性を有していることがわかった。

**Key Words :** earthquake observation, ground motion, soft ground, amplification, response spectrum

## 1. はじめに

著者らは、1993年北海道南西沖地震以降、軟弱層が厚く堆積する函館港の北埠頭において地震観測を行い<sup>1)</sup>、新第三紀層上面が比較的浅い気象台および函館開発建設部の観測記録と比較することにより地震動増幅特性について検討してきた<sup>2)、3)、4)</sup>。

その後、函館海洋気象台で震度3以上を記録した地震が発生し、函館市内では、著者らが観測している函館港北埠頭 (KTW) の他、函館海洋気象台 (JMA)、建設省建築研究所による函館開発建設部 (HDB)、運輸省港湾技術研究所による港湾建設事務所 (PHRI) の計4ヶ所で地震記録が得られた。ここでは、これらの地震記録を用い、北埠頭の地震記録との比較を行った。

## 2. 地震観測地点の位置と基盤地形

図-1に4つの地震観測地点の位置と、工学的基盤と考えられる新第三紀層の推定基盤深さの等高線を示す<sup>5)</sup>。

HDBはKTWの東方に約2km、JMAはKTWのほぼ北東に約3.5km、PHRIはKTWのほぼ南に約

2km離れている。図によれば、基盤は、JMAでは地表近くに、HDBでは20m近くに現れるが、函館港湾に近づくとともに急激に深くなり、PHRIでは約80m、KTWでは110m程度で現われると推定される。したがって、JMAは概ね工学的な基盤における記録と見なすことができると考えられる。

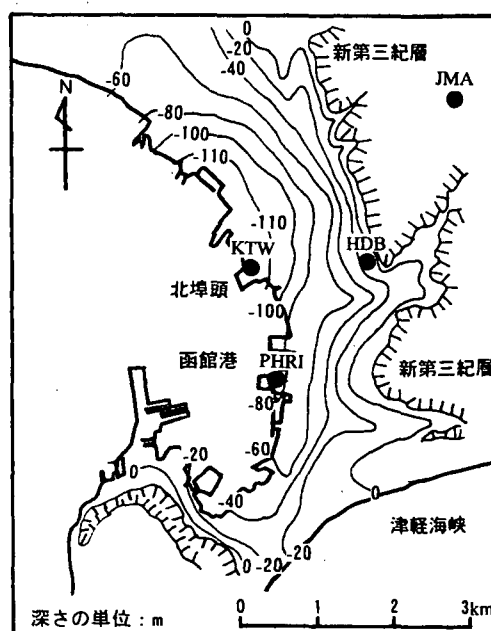


図-1 地震観測地点のと推定基盤深さ<sup>5)</sup>

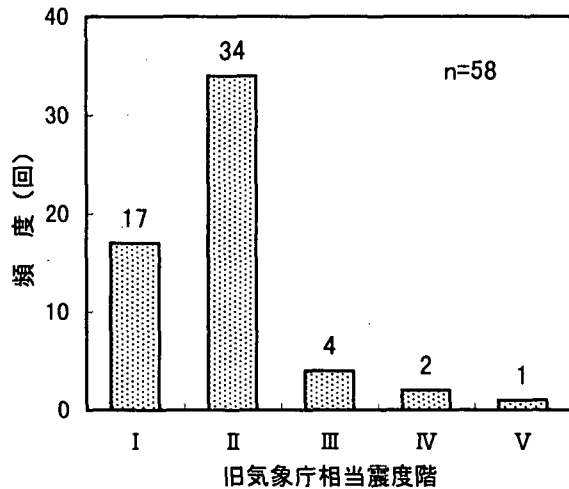


図-2 KTW で観測された地震動の震度階の頻度分布

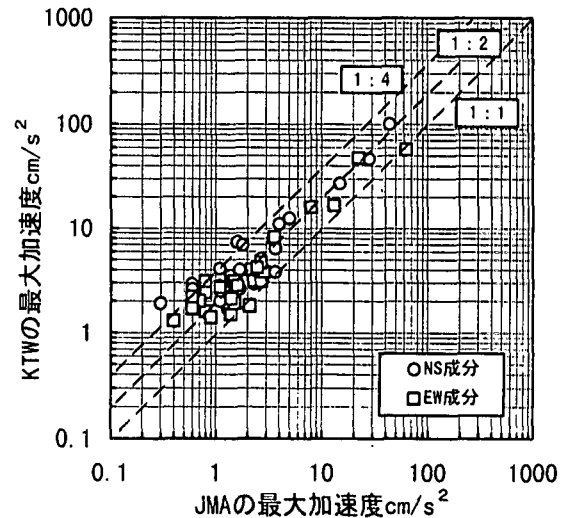


図-3 KTW と JMA の最大加速度の相関

### 3. 観測記録の概要

KTW での地震観測は 1993 年 8 月 6 日から開始し、1995 年 1 月 12 日まで、58 の地震記録を得た。

図-2に KTW で観測された地震動の旧気象庁相当震度階の頻度分布を示す。およそ 9 割は震度 2 相当以下の弱地震動であるが、震度 3～5 に相当する強い地震動の記録も得られている。また、函館海洋気象台が発表した震度 3 以上の強い地震動は、震度 4 と震度 3 がそれぞれ 2 回あったが、KTW ではそのうち 3 回の地震記録が得られた。なお、JMA の加速度記録は、気象協会から入手したデジタル地震動記録のほか、同気象台より提供を受けたアナログ記録もある。

図-3に KTW と JMA で共通した 26 の地震記録の最大加速度の相関を示す。JMA と比較して、KTW の方が大きく、およそ 1～5 倍にばらつく。データセットが小さな地震動記録で構成されているときには平均的に約 2.5 倍であったが、図-3によれば、平均的に約 2 倍である。すなわち、平均的な倍率の低下は、大きな地震がデータセットに加わったためであると考えられる。最大加速度で、KTW は JMA の約 2 倍の大きさに増幅され、揺れやすいことがわかる。また、最大加速度から換算される震度を求め比較すると、JMA と KTW が同じ震度の地震が 6、JMA より KTW が震度で 1 大きい地震が 20 あり、同じ地震で、KTW は JMA より震度が 1 大きくなる地盤であると言える。

### 4. 強震記録の比較

1993 年北海道南西沖地震以降、KTW で得られた気象庁震度 3 以上の地震記録は、1994 年北海道東方沖地震、1994 年三陸はるか沖地震、1995 年 1 月 7 日の同最大余震の 3 つである。

表-1にこれらの地震の諸元と地盤最大加速度 (PGA) を示す。PGA は 1994 年三陸はるか沖地震の EW 成分を除けば、KTW の方が 1.3 倍～2.3 倍大きいことが特徴である。

一例として、図-4に 1994 年北海道東方沖地震の際、4 地点で観測された水平動加速度時刻歴 (NS) を示す。KTW の方が振幅の大きい主要動部分の継続時間が長い。これがもう一つの特徴である。そこで、概ね工学的基盤と考えられる JMA を基準にしたときの KTW の地震記録の周期特性を検討するため、それぞれの地震に対する KTW の加速度応答スペクトル比 (NS 成分、減衰定数 5%) を検討する。

表-1 3 つの主な地震記録の加速度最大値

地震名称	地震諸元				函館 KTW 震央 距離 (km)	最大加速度(cm/s <sup>2</sup> )			
	北緯 東経	深さ (km)	マグニ チュード	JMA 震度		KTW		JMA	
						NS	EW	NS	EW
1994年10月04日 北海道東方沖地震	43° 22' 147° 40'	30	8.1	Ⅲ	596	46.6	47.7	28.1	22.3
1994年12月28日 三陸はるか沖地震	40° 27' 143° 43'	0	7.5	Ⅳ	292	100.0	57.2	44.3	62.8
1995年01月07日 上記地震最大余震	40° 14' 142° 23'	50	6.9	Ⅲ	218	27.0	16.6	14.9	13.2

注) 最大値は全て地表で観測された地震記録による

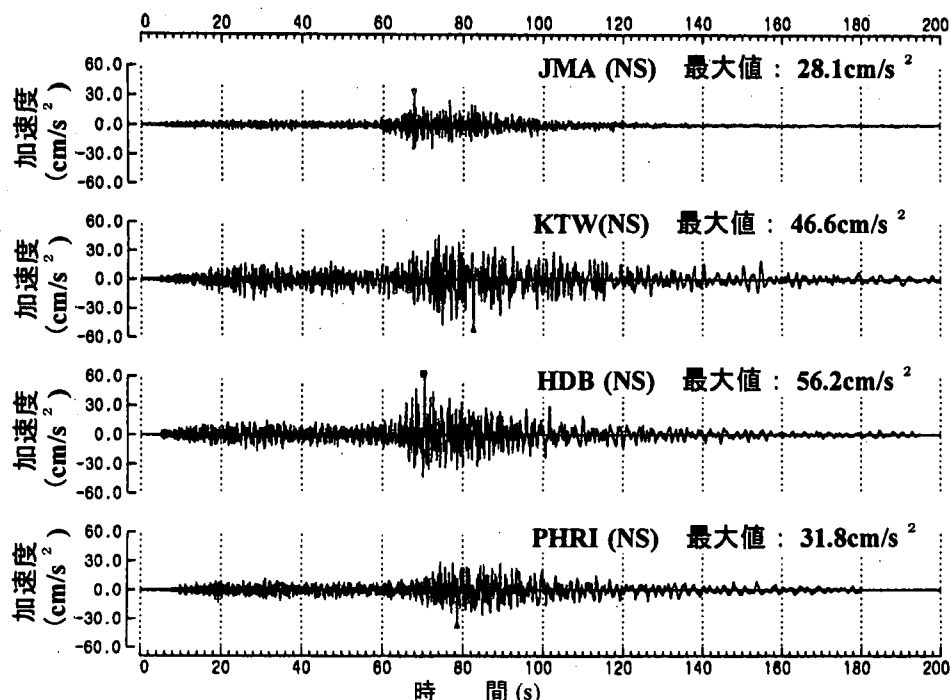


図-4 観測された地震動の加速度時刻歴  
(1994年北海道東方沖地震)

図-5に伝播特性が同等と考えられる1994年三陸はるか沖地震(点線)および、1995年1月7日に発生した最大余震である岩手県沖の地震(実線)のJMAに対するスペクトル比を示す。0.6~0.7秒と3~5秒に共通したピークが現れ、前者はKTWの沖積層部分の卓越周期にほぼ合致する。後者は基盤層より上部の卓越周期と考えられる。

図-6に震央方位が東と南という異なる伝播経路である、1994年北海道東方沖地震(実線)、および1994年三陸はるか沖地震(点線)の、JMAに対するKTWのスペクトル比を示す。0.6~0.7秒では共通してピークが見られ、前述の考察を裏づけている。1秒以上の長周期成分では、両地震ともに大きく増幅するが、東方からの地震では、2~3秒に卓越したピークを有するのに対し、南方からの地震では3~5秒にピークを有し、基盤地形と入射方向により増幅特性が大きく異なることがわかる。

なお、0.3秒以下の短周期領域ではいずれもおおよそ1~3倍程度となるが、この周期帯では散乱減衰の影響が大きいと考えられ、詳細は検討できない。

以上のことから、JMAを基準にKTWの増幅特性を検討しようとする、0.6~0.7秒付近の増幅特性は伝播経路によらず、同様なものとなり、沖積層の励起に相当する地盤内増幅として説明できるが、2~5秒のやや長周期領域では、増幅特性は伝播特性や減衰特性に依存すると言える。そこで、沖積地盤の2地点HDBとPHRIに対するKTWの相対的な増幅特性を検討する。

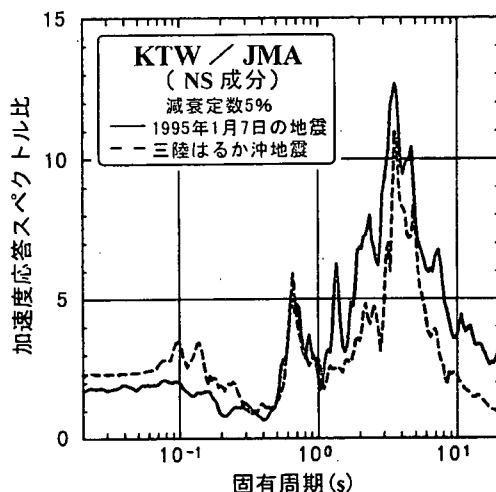


図-5 加速度応答スペクトル比(KTW/JMA)  
(三陸はるか沖地震とその最大余震)

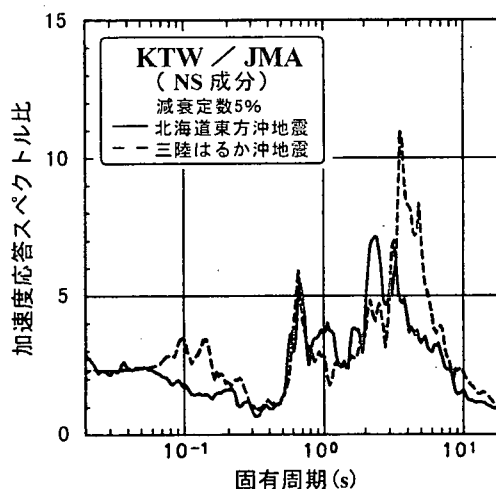


図-6 加速度応答スペクトル比(KTW/JMA)  
(北海道東方沖地震と三陸はるか沖地震)

図-7に1994年北海道東方沖地震に関するKTWの、HDBおよびPHRIに対する加速度応答スペクトル比を示す。臨海部に位置するPHRIに対するスペクトル比(点線)では、2秒以上では概ね1であり、深い構造の影響は同程度に現れていることがわかる。0.5～0.8秒では約2倍に達し、先の考察から沖積層における増幅はKTWの方が大きいことがわかる。一方、HDB(実線)に対するスペクトル比を見ると、3秒以下の領域で概ね1であり、表層の増幅の程度は同程度であると言える。4秒以上でKTWが大きいのは深い地盤構造の違いと考えられる。したがって、3秒以下の周期領域に限れば、HDBとKTWは最も増幅特性が類似していることがわかる。

## 5. 結論

(1) KTWは、JMAと比較して、1秒以上の長周期領域で増幅が大きい。しかし、増幅特性は震源の方位により異なる、東方の震源では2～3秒、南方の震源では3～5秒の成分が大きく増幅され、函館港の基盤構造と入射方向との組み合わせにより増幅特性が異なることがわかった。

(2) 0.6～0.7秒で増幅が見られるが、この増幅特性は震源に依存せず、KTWの沖積層での増幅特性を表していると考えられる。

(3) HDBやPHRIでは、JMAに比べると長周期の増幅特性はKTWと同程度である。KTWはPHRIとは1秒以下で異なるが、HDBとは3秒以下でほぼ同様であり、3秒以上の長周期領域を除けばKTWとHDBは同等の増幅特性を有していると言える。

**謝辞：** 本論文で用いたPHRI、HDB地点の地震観測記録は運輸省港湾技術研究所の井合進室長、および建設省建築研究所の北川良和部長(現・広島大学教授)、鹿嶋俊英氏より、頂戴致しました。また、JMAのデジタル記録は気象協会より購入し、アナログ記録は函館海洋気象台より御提供戴きました。最後に記して、謝意を表します。

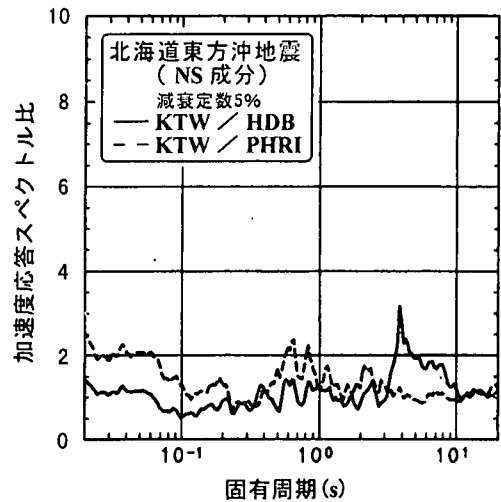


図-7 2地点の加速度応答スペクトル比  
(北海道東方沖地震)

## 参考文献

- 1) 三輪 滋, 森 伸一郎, 関 宝琪: 函館市臨海埋立地盤における1993年北海道南西沖地震の余震観測, 土質工学会北海道支部技術報告集第34号, pp.120-129, 1994.2
- 2) 三輪 滋, 森 伸一郎, 関 宝琪: 1993年北海道南西沖地震で液状化の発生した地盤の地震応答解析, 土質工学会北海道支部技術報告集第34号, pp.88-97, 1994.2
- 3) 三輪 滋, 森 伸一郎: 函館港の軟弱埋立地盤での地震動増幅特性, 土質工学会軟弱地盤における地震動増幅シボジウム発表論文集, pp.245-258, 1994.10
- 4) 関 宝琪, 森 伸一郎, 沼田 淳紀, 三輪 滋: 1994年北海道東方沖地震における函館港の軟弱埋立地盤とその近傍の地震動の比較, 日本建築学会大会学術講演梗概集構造II, pp.289-290, 1996.9
- 5) 北海道防災会議, 北海道における特異地盤に対する地震緊急対策に関する研究 第5編 昭和44年度研究報告書, 1970.4