港湾空港技術研究所 資料

TECHNICAL NOTE

OF

THE PORT AND AIRPORT RESEARCH INSTITUTE

No. 1214 June

June 2010

スペクトルインバージョンに基づく 道北の強震観測地点におけるサイト増幅特性

 野津
 厚

 菅野
 高弘

独立行政法人 港湾空港技術研究所

Independent Administrative Institution, Port and Airport Research Institute, Japan 目 次

要	旨													 	 		 	 	•••	•••	• • •	• •	 •••	3
1.	はじめ	に・												 	 	•••	 	 					 	4
2.	道北に	おけ	る既	注の	ッサ	イト	·増中	畐特	性	評佰	≣の	問題	夏点	 •••	 	•••	 	 					 	4
3.	解析に	用い	たデ	² —5	יל ז	解析	「手治	÷٤	• • •					 	 	•••	 	 		•••			 	6
4.	結果と	考察							• • •					 	 	•••	 	 		•••			 •	9
5.	まとめ	,												 	 	•••	 	 		•••			 •	17
謝	辞 …					••••			•••					 	 	•••	 	 	•••	•••			 •	18
参	考文献								• • •					 	 		 	 		•••			 •	18

Site Amplification Factor for Strong-Motion Sites in Northern Hokkaido, Japan, Based on Spectral Inversion Technique

Atsushi NOZU* Takahiro SUGANO**

Synopsis

In areas with low seismic activity, such as Northern Hokkaido, Japan, site amplification factors are evaluated based on limited number of seismograms. In this case, the evaluated site amplification factors are quite dependent on the characteristics of individual records. Although site amplification factors at 260 strong-motion sites in Hokkaido were evaluated by Nozu and Nagao (2005), it was found afterword that the site amplification factors at several sites, most of which are located in Northern Hokkaido, are overestimated at around 0.2 Hz due to inadequate characteristics of the records. Therefore, in this study, site amplification factors for strong-motion sites in Northern Hokkaido were re-evaluated based on currently available strong motion data using spectral inversion technique. In the analysis, records from four earthquakes at 118 sites were used. To avoid the trade-off between the source characteristics and the site amplification factor, the site amplification factors at three sites were constrained using the results of Nozu and Nagao (2005). As a result of the analysis, the site amplification factors at 115 sites were newly obtained. It can be recognized that the new results are free from the overestimation around 0.2 Hz which was found in the results of the conventional analysis (Nozu and Nagao, 2005). For the majority of sites and frequencies, the newly obtained site amplification factors are in agreement with the results of Nozu and Nagao (2005). In the west of Northern Hokkaido, where thick sediments are located, the evaluated site amplification factors are large in the low frequency range (0.2 - 1 Hz). The source characteristics estimated in the analysis are in good agreement in the low frequency range with the F-net CMT solutions, indicating the adequacy of the constraint used for the inversion.

Key Words: Strong ground motion, site amplification factor, spectral inversion, Northern Hokkaido

^{*} Senior Researcher, Geotechnical and Structural Engineering Department

^{**} Director, Earthquake Disaster Prevention Engineering Division, Geotechnical and Structural Engineering Department 3-1-1 Nagase, Yokosuka, 239-0826 Japan

Phone : +81-46-844-5058 Fax : +81-46-844-0839 e-mail:nozu@pari.go.jp

スペクトルインバージョンに基づく 道北の強震観測地点におけるサイト増幅特性

野津 厚*·菅野 高弘**

要 旨

道北のように地震の発生が比較的少ない地域では、限られたデータに基づいてサイト増幅特性が 評価されている.その場合.用いられた記録の特性により.サイト増幅特性が大きく影響を受ける 場合がある.既往の研究(野津・長尾, 2005)では全国の強震観測地点を対象にサイト増幅特性の 評価を行っており、北海道では 260 の地点が対象となっているが、このうち道北を中心とするいく つかの地点では、用いられた記録の特性により、低周波側(0.2Hz 付近)においてサイト増幅特性が 過大評価となっていることがわかった.そこで、本研究では道北地方などを対象として、現時点で 利用可能なデータに基づき、スペクトルインバージョンによりサイト増幅特性の再評価を行った。 解析では 2004 年 12 月から 2005 年 3 月にかけて対象地域に強震記録をもたらした 4 つの地震を対象 とし、それらの地震に対して震央距離 150km 以内にある 118 の地点を対象とした.また、既往の研 究結果との連続性を保つ観点から、既往の研究において問題なくサイト増幅特性が評価されている3 地点におけるサイト増幅特性を拘束条件として与えた.解析の結果,115の地点においてサイト増幅 特性が新たに評価された、本研究で得られたサイト増幅特性を既往の研究のものと比較すると、既 往の研究では複数の地点で見られた低周波側(0.2Hz付近)でのサイト増幅特性の過大評価が、本研 究では解消されていることが確認された.それ以外の観測点や周波数帯域に着目すると、本研究で 得られたサイト増幅特性は概ね既往の研究におけるサイト増幅特性と調和的である場合が多い。新 たに得られたサイト増幅特性と地下構造との対応関係に着目すると、北海道の中でも特に厚い堆積 層の分布する地域として知られている道北の西側(サロベツ原野周辺)では低周波側で非常に大き なサイト増幅特性を示す地点が多いことがわかる.また、後志支庁の赤井川カルデラや網走支庁の 山間部にも低周波側で非常に大きなサイト増幅特性を示す地点が分布している.一方, 雄冬岬の近 くに位置する HKD023 では 0.2-2Hz の範囲でサイト増幅特性は 1~2 の範囲に収まっている.サイト 増幅特性と同時に得られた4つの地震の震源特性とF-netによるCMT解の地震モーメントとの比較 を行ったところ互いに調和的であることがわかった.

キーワード:地震動,サイト増幅特性,スペクトルインバージョン,道北

^{*} 地盤·構造部主任研究官

^{**} 地盤·構造部地震防災研究領域長

^{〒239-0826} 横須賀市長瀬3-1-1 港湾空港技術研究所

電話:046-844-5058 Fax:046-844-0839 e-mail:nozu@pari.go.jp

1. はじめに

一般に,地震による地盤の揺れ(地震動)は震源断層の 破壊過程の影響(震源特性)と震源から地震基盤に至る伝 播経路の影響(伝播経路特性),それに地震基盤から地表に 至る堆積層の影響(サイト特性)の三者によって決まると 考えられている(図-1.1).ここに地震基盤とは一般に花崗 岩でS波速度が3km/s以上の地層を言う.堆積層が地震動 に及ぼす影響は非常に大きいため(例えば野津・長尾,2005), 将来の地震による揺れの推定を行う場合,堆積層の影響す なわちサイト特性を適切に考慮することが重要である.な お,ここで言うサイト特性とは,工学的基盤面より上方の 表層地盤と,工学的基盤面より下方の深層地盤の双方の影 響を含むものである.

地震動のフーリエ振幅スペクトルO(f)は,式 (1.1) に 示すように,震源特性・伝播経路特性・サイト特性の積で 表される.

O(f) = S(f) P(f) G(f) (1.1) ここに、S(f)は震源特性、P(f)は伝播経路特性、G(f)は サイト特性である.以下においては、前報(野津・長尾、 2005)と同様、堆積層が地震動のフーリエ振幅スペクトル に及ぼす影響(すなわちG(f))を指す用語として「サイト 増幅特性」を、堆積層が地震動に及ぼす影響を一般的に指 す用語として「サイト特性」をそれぞれ用いることとする.

強震記録の得られている地点でのサイト増幅特性を評価 するための手法の一つとしてスペクトルインバージョン (岩田・入倉, 1986)がある.この方法は、複数の地点で 得られた強震記録のフーリエ振幅スペクトルに対して一種 の回帰分析を適用する方法である.この方法によれば、地 下構造の情報が十分でない地域においても、深層地盤の影 響を含む形でサイト増幅特性を評価することができる.野 津・長尾(2005)は北海道から九州にかけての強震記録に 対してスペクトルインバージョンを適用し、強震観測地点 におけるサイト増幅特性の評価を行った.野津・菅野(2007) は類似の手法を沖縄・奄美地域の強震記録に適用し、強震 観測地点におけるサイト増幅特性の評価を行っている.

しかしながら、野津・長尾(2005)の研究では、道北の ように地震の発生が少ない地域においては、極めて限られ たデータに基づいてサイト増幅特性が評価されており、そ の場合の評価結果は用いられたデータの性質に大きく影響 を受けることになる.後に2.で述べるように、野津・長尾 (2005)の解析に用いられた道北地方のデータの中には、

この種の解析に用いるのに適さないデータが存在していた ことがわかっている.従って,道北地方ではサイト増幅特 性の再評価が必要であると考えられる.



図-1.1 震源特性・伝播経路特性・サイト特性

そこで、本研究では現時点で利用可能な道北地方の強震 観測記録について整理を行い、利用可能なデータに対して スペクトルインバージョン手法を適用することにより、道 北地方の強震観測点におけるサイト増幅特性の再評価を行 った.よって本研究は野津・長尾(2005)の補遺として位 置づけられるべきものである.以下、2.においては、道北 地方のサイト増幅特性の既往の研究における評価の問題点 について述べる.3.では今回新たに実施した解析において 対象としたデータと解析手法について述べる.4.では解析 結果について述べる.5.では全体のまとめを行う.

2. 道北における既往のサイト増幅特性評価の問題点

道北のように地震の発生が比較的少ない地域においては、 極めて限られたデータに基づいてサイト増幅特性が評価さ れている場合がある.このような場合,用いられている記 録の特性によっては、サイト増幅特性の信頼性が十分でな い可能性がある.野津・長尾(2005)によってサイト増幅 特性の評価されている北海道の強震観測地点は全部で260 地点であるが、これらの観測点を解析に用いられた記録の 数によって分類しプロットすると図-2.1のようになる.10 個以上のデータに基づいてサイト増幅特性が評価されてい る地点は主に地震活動の活発な太平洋岸に分布している. 一方、3 個未満のデータに基づいてサイト増幅特性が評価 されている地点も存在しており、主に道北に分布している. これは、道北地方が比較的地震の発生が少ない地域であり、 解析条件を満足する記録の数が少ないためである.

また,北海道の260地点のうち,図-2.2に示す56の地 点では,2004年12月14日15:01に留萌支庁南部で発生し た地震(M4.7)の記録が解析に用いられている.ところが, この地震の記録は,以下に述べるような理由で,サイト増



図-2.1 既往の研究(野津・長尾, 2005)で用いられた記 録の数



 図-2.2 2004年12月14日15:01 留萌支庁南部の地震 (M4.7)の震央と,既往の研究(野津・長尾,2005) で同地震の記録が用いられた地点.

幅特性の評価には適さない記録であることがわかった.

この地震は、2004 年 12 月 14 日 14:56 に留萌支庁南部で 発生した M6.1 の地震の余震であり、本震のわずか 5 分後 に発生している.防災科学技術研究所の強震観測網 KiK-net (Aoi et al., 2000)の観測点 SOYH06(場所は図-2.3 参照) の地表における加速度波形を図-2.4 に示すが、120 秒間の 記録全体にわたり、周期 5 秒程度のたいへん顕著な波が観 測されていることがわかる.この波は S 波到達時刻(グラ



(M4.7) による SOYH06 の地表における 3 成分の 加速度波形(上から順に東西,南北,上下成分).

フでは15秒付近)よりも前から観測されていることから, 15:01の余震によって励起されたと考えることは不合理で ある.したがって,これは5分前の本震によって励起され た波が観測されたものと考えられる.同じように,本震に よって励起されたと考えられる顕著な波は,K-NET (Kinoshita, 1998)の観測点である HKD014, HKD016 や



図-2.5 既往の研究(野津・長尾, 2005)で評価されているHKD014, HKD016, RMIH01, SOYH01, SOYH03, SOYH04, SOYH06におけるサイト増幅特性.

KiK-net の観測点である RMIH01, SOYH01, SOYH03, SOYH04, SOYH06 等の余震記録の中にも認められる(こ

れらの観測点の位置については図-2.3 を参照されたい). 既往の研究(野津・長尾,2005)ではこれらの地震波を15:01 の余震に励起されたものとみなしてサイト増幅特性を求め ているので,特に周期5秒付近(周波数0.2Hz付近)では サイト増幅特性が過大評価されている可能性がある.実際, これらの地点に対して既往の研究で求められているサイト 増幅特性は図-2.5に見られるように周波数0.2Hz付近にお いて著しく大きな値を示しており,過大評価が生じている と考えられる.15:01の余震の記録を用いている他の地点 においても,評価されたサイト増幅特性には誤差が含まれ ている可能性がある.

そこで、本研究では、主に 15:01 の余震の記録を用いて サイト増幅特性が評価された強震観測地点を対象とし、こ れに、既往の研究でサイト増幅特性の評価されていなかっ た観測地点を加え、現時点で利用可能なデータをもとにサ イト増幅特性の再評価を行うこととした.

3. 解析に用いたデータと解析手法

まず,解析対象地震の選定の考え方について述べる.一 般にスペクトルインバージョンでは対象とする地震の規模 に対して制約を設けることが多い、例えば野津・長尾(2005) の研究では解析に M4.5 以上 M6.0 未満の記録を用いている. ここで、M4.5 未満の記録を除外したのは、規模の小さい地 震の記録は低周波側での精度が十分でないことが多いため である.また, M6.0 以上の記録を除外したのは, スペクト ルインバージョンでは震源から各方面に放射される地震波 のスペクトルが等しいと仮定することが多く、規模の大き い地震ほどこの仮定が満たされにくくなるためである。し かしながら、本研究で対象とする道北地方は地震活動度の 低い地域であるため既存の地震観測記録が少なく、上記の 条件をそのまま適用した場合には、解析が困難である.こ うした中で,2004年12月14日14:56に留萌支庁南部で発 生した M6.1 の地震は、道北地方の広い範囲で観測されて おり, 貴重なデータを提供している. そこで, 本研究では, 既往の研究の条件からはわずかに外れるものの、この地震 を解析対象地震の一つとした、この地震を地震1とする、

その他の解析対象地震としては,道北地方で強震記録の 得られている地震として,2004年12月14日17:54北海道 西方沖の地震(M4.8),2004年12月15日2:29北海道西方 沖の地震(M4.6),および2005年3月18日9:38北海道西 方沖の地震(M5.0)を選定した.これらを地震2~地震4 とする.地震1~地震4の震央を図-3.1に示す.

次に,解析対象地点の選定の考え方について述べる.既 往の研究では,震央距離が150kmを越える記録を解析から



 図-3.1 解析対象とする 118 地点. このうち 3 地点(■) では既往の研究(野津・長尾, 2005)のサイト増幅特性を拘束 条件として与え,残りの 115 地点でサイト増幅特性を評価する(○).



図-3.2 対象地点の分類

表-3.1 対象地点一覧.条件欄で■となっているのは既往の研究(野津・長尾, 2005)のサイト増幅特性を拘束条件とし て与える地点,条件欄で※となっているのは既往の研究(野津・長尾, 2005)で15:01の余震の記録を用いてサイ ト増幅特性が評価されている地点.

1 1	番号	観測占名	観測網	東経	北緯	冬件	記録数	番号	観測占名	観測網	東経	北緯	冬件	記録数
2 HLD003 K-NET 141/3627 45.030 1 81 HKD0185 K-NET 142.075 27.755 1 3 HKD006 K-NET 142.017 43.2291 45.2291	1	HKD001	K-NFT	141 6720	45 4163		1	60	HKD184	K-NFT	141.6010	42,7900	- 2811	2
3 HND004 K-NET 1422255 452141 1 62 ABSH01 KK-ret 1422081 442533 2 5 HND006 K-NET 142319 45.1289 1 63 ABSH03 KK-ret 1430404 44.210 1 7 HND006 K-NET 1422764 44.9357 1 66 ABSH05 KK-ret 1430406 44.1123 2 9 HND010 K-NET 142763 44.9057 1 66 ABSH05 KK-ret 1430400 44.1123 2 9 HND010 K-NET 142.763 44.2063 37.3 1 14.8071 43.4063 37.3 10 HND016 K-NET 141.8274 44.2083 2 73 1KM1010 KK-ret 141.8673 44.2063 3 3 11 HND011 K-NET 141.8673 44.9408 4 3 71 145.775 44.5488 4 476 140.8478 44.3708 44.4708 4 476	2	HKD003	K-NFT	141,7667	45,1030		1	61	HKD185	K-NFT	141.4021	42,7755		1
4 HKD005 K-NET 142,077 45.229 1 63 ABSH02 KK-rnet 142,248 44.819 1 6 HKD007 K-NET 142,239 44.259 44.259 44.259 44.259 44.129 1 1 64.859405 KK-rnet 143,040 44.199 1 1 1 65 ABSH05 KK-rnet 143,040 44.199 1 1 1 66 ABSH05 KK-rnet 143,0453 43.249 3 1 1 1 1 66 ABSH05 KK-rnet 143,0453 43.2493 3 2 1 1 1 1 14,0473 43.4063 3 2 1 1 141,043 44.2132 42.869 1 1 1 1 141,043 44.023 3 2 1 141,043 44.033 2 1 141,043 44.2132 44.2869 1 1 141,043 44.213 44.2414 3 3 3	3	HKD004	K-NFT	142 2255	45 2141		1	62	ABSH01	KiK-net	142 8483	44 5253	*	2
5 HKD006 K-NET 142,2519 45,1266 1 64,4851N03 KK-rnet 142,049 44,3819 1 7 HKD008 K-NET 142,274 44,3915 1 66,4851N03 KK-rnet 142,0190 44,1123 2 9 HKD008 K-NET 142,743 44,917 1 67,4851N03 KK-rnet 143,0490 44,1123 2 9 HKD010 K-NET 142,7633 44,700 1 66,8581N13 KK-rnet 143,8253 42,8689 1 11 HKD016 K-NET 141,8263 42,77 7 KKHN101 KK-rnet 141,8663 42,8789 3 7 1KKH010 KK-rnet 141,8663 42,8789 43,3734 44,3819	4	HKD005	K-NFT	142 1077	45 3299		1	63	ABSH02	KiK-net	143 0304	44 4210	*	1
6 HKD002 K-NET 1422008 442998 1 65 ABSH04 KK-rnet 142009 441999 1 7 HKD008 K-NET 1424811 44317 1 66 ABSH07 KK-rnet 1430409 431498 2 9 HKD010 K-NET 1424811 44317 1 66 ABSH07 KK-rnet 1434833 43739 % 2 10 HKD013 K-NET 1410473 45309 1 69 IBLH01 KK-rnet 1413824 447195 % 3 72 IKKH01 KK-rnet 1415631 452555 % 2 11 HKD015 K-NET 1415634 44353 % 2 71 KKM101 KK-rnet 1415634 422555 % 4 16 HKD015 K-NET 1415634 44353 % 2 71 KKM101 KK-rnet 1423074 443555 % 4 188 443598	. 5	HKD006	K-NFT	142 3519	45 1266		1	64	ABSH03	KiK-net	143 2446	44 3819	**	1
7 HKD002 K-NET 142,574 44,376 1 66,485,400 KK-net 143,004 34,304 X122 X25 9 HKD010 K-NET 142,733 44,406 1 66,485,403 KK-net 143,204 34,334 X214 1 10 HKD010 K-NET 141,075 45,504 3 71,1164 KK-net 141,322 42,2814 1 11 HKD016 K-NET 141,824 44,015 3 71,1164 KK-net 114,228 42,2715 3 3 71,1164 KK-net 114,053 43,053 3 31,1164 KK-net 114,054 42,356 3 31,1164 KK-net 114,054 42,356 44,4553 44,456 3 71,1164 44,4108 44,4108 44,4408 44,4408 44,4408 44,4408 44,4408 44,4408 44,4408 44,4408 44,444,442,424 44,444,442,424 44,444,442,424 44,444,442,424 44,444,442,424 44,444,444,444,444,444,444,444,444,444	6	HKD007	K-NFT	142 2908	44 9698		1	65	ABSH04	KiK-net	143 0806	44 1896		1
B HK0009 K-NET 142,4311 44,4417 1 67,485,400 KK-net 143,2000 43,4459 X 1 9 HK0010 K-NET 141,04753 45,2049 1 69,180,401 KK-net 141,2523 42,3734 X 1 11 HK0016 K-NET 141,8541 45,203 X 1 141,8232 42,3722 42,8714 1 12 HK0015 K-NET 141,8264 45,8223 X 2 73,1KKH01 KK-net 141,8434 43,4063 X 2 73,1KKH01 KK-net 141,8454 43,4063 X 2 73,1KKH01 KK-net 142,0457 44,44708 X 44,44708 X 44,44708 X 44,4708 X 47,KKWH04 KK-net 142,0494 44,4708 X 34,44277 X X44489 X 76,KKWH03 KK-net 142,0494 44,308 X 44,4708 X 44,4708 X 44,44708 X X5,4444	7	HKD008	K-NFT	142 5744	44 9375		1	66	ABSH05	KiK-net	143 0149	44 1123	**	2
9 HKD010 K-NET 142.733 44.7406 1 68.485+113 KK-net 14.3253 43.7364 % 1 10 HKD014 K-NET 14.1854 45.5519 % 1 70.1804/00 KK-net 14.13228 42.8714 1 11 HKD016 K-NET 14.1824 44.2155 % 3 71.16740 KK-net 14.13228 42.8714 1 11 HKD016 K-NET 14.18273 44.3553 % 2 73.16740 KK-net 14.12275 44.5556 % 2 73.16740 KK-net 14.2375 44.5566 % 4 16 HKD021 K-NET 14.18673 44.3166 % 4 76.16740 KK-net 14.2375 44.5566 % 4 17 HKD021 K-NET 14.18673 44.3669 3 79.16740 KK-net 14.23641 44.3552 3 3 3 3 3 3 3 3 </td <td>8</td> <td></td> <td>K-NET</td> <td>142 4811</td> <td>44 8417</td> <td></td> <td>1</td> <td>67</td> <td>ABSH07</td> <td>KiK-net</td> <td>143 0900</td> <td>43 8469</td> <td>*</td> <td>2</td>	8		K-NET	142 4811	44 8417		1	67	ABSH07	KiK-net	143 0900	43 8469	*	2
10 HKD013 K-NET 141.0475 45.049 1 69 IBUH01 KK-net 142.322 42.8714 1 12 HKD015 K-NET 141.8541 45.5519 % 1 70 IBUH02 KK-net 141.8273 43.4053 % 3 13 HKD016 K-NET 141.8284 44.8484 3 72 IKKH03 KK-net 141.8456 42.8856 % 2 73 IKKH03 KK-net 141.6448 42.8856 % 2 73 IKKH03 KK-net 141.2473 44.3480 % 2 73 IKKH03 KK-net 142.0484 44.4383 % 4 14 HKD02 K-NET 141.8674 44.3089 % 73 KKWH04 KK-net 142.0484 44.333 % 4 14 HKD02 K-NET 142.8175 44.3809 % 73 KKWH04 KK-net 142.0484 44.333 3 3 3	9		K-NET	142 7633	44.7406		1	68	ABSH13	KiK-net	143 4553	43 7394	*	1
11 HK0014 K-NET 141844 45219 1 12 HK0015 K-NET 1417500 44.8445 3 13 HK0016 K-NET 141.8294 44.7185 % 3 14 HK017 K-NET 141.863 44.8453 2 73 IKRH02 KK-net 141.863 44.858 % 2 16 HK0017 K-NET 141.863 44.861 % 2 73 KKN-net 142.8075 44.8450 % 4 16 HK0019 K-NET 141.8643 42.8453 % 4 75 KKN-net 142.8776 44.8458 % 2 16 HK0020 K-NET 141.8673 43.9407 % 4 75 KKN-net 142.8477 44.3883 % 3 79 KKN-net 142.8494 44.3183 % 33 1 141.8573 43.9407 % 4 3.872 2 75 KKN+net 142.8694 44.3187 3 2 75 KKN+net 142.8694 44.3187	10	HKD013	K-NFT	141 0475	45 3049		1	69	IBUH01	KiK-net	141 8228	42 8714	//	1
12 HK0015 K-NET 141/2000 44.8945 3 71 KKPnol KiK-net 141/8573 43.003 % 3 13 HKD016 K-NET 141/2244 44.795 % 3 72 KKPnol KiK-net 141/8561 43.2179 % 3 72 KKPnol KiK-net 141/8561 43.2179 % 3 72 KKPnol KiK-net 141/8561 43.2179 % 3 72 KKPnol KiK-net 141/8561 43.2173 % 2 74 KKWnol KiK-net 142.5075 44.5486 % 4 76 KKWnol KiK-net 142.6342 44.4383 % 3 79 KKWnol KiK-net 142.6342 44.3183 % 3 32 14K0025 K-NET 142.6342 44.2080 1 80 KKWnol KiK-net 142.6342 44.3183 % 3 32 14K0025 K-NET 142.4394 43.3612 1 80 KKWnol KiK-net 142.6342 44.3813 3 34 44 44.1481 <	11	HKD014	K-NFT	141 8541	45 2519	*	1	70	IBUH02	KiK-net	142 1322	42 8689		1
11 HKD016 K-NET 141/854 44.7195 ※ 3 72 KKHnot 141/854 43.2179 ※ 2 14 HKD017 K-NET 141/854 44.5453 % 2 73 KKHnot 141.856 42.2956 % 24.8558 % 4 16 HKD018 K-NET 141.8974 44.5613 % 2 76 KKHnot 142.2075 44.5458 % 4 17 HKD020 K-NET 141.8674 43.757 % 44.44708 % 4 18 HKD021 K-NET 141.8673 44.0489 3 79 KKMnot KK-net 142.8484 44.3183 % 4 3 79 KKMnot KK-net 142.8484 44.818 2 76 KK-net 142.8494 43.817 2 2 KKM0t0 KK-net 142.8404 43.817 2 2 44.6504 44.44906 1 85 KKMut0 KK-net 142.8694 44.8514 1 85 KKMut1 KK-net 142.8694 4	12	HKD015	K-NET	141 7500	44 8845		3	71	IKRH01	KiK-net	141 5873	43 4063	*	3
14 HKD017 K-NET 14 14 73 KR-Net 14 6436 2 8556 X 2 15 HKD018 K-NET 14 16533 44 24 356 X 4 16 HKD018 K-NET 14 16642 44 44 34 X 4 75 KKWH03 KKr-net 142 277 44 54 58 4 5 4 4 5 4 4 4 4 4 <td>13</td> <td></td> <td>K-NET</td> <td>141 8284</td> <td>44 7195</td> <td>*</td> <td>3</td> <td>72</td> <td>IKRH02</td> <td>KiK-net</td> <td>141.6561</td> <td>43 21 79</td> <td>*</td> <td>3</td>	13		K-NET	141 8284	44 7195	*	3	72	IKRH02	KiK-net	141.6561	43 21 79	*	3
15 HKD018 K~NET 141.953 44.5453 2 74 KKWH01 KK~net 142.3075 44.5950 2 16 HKD019 K~NET 141.6672 44.4361 4 4 75 KKWH01 KK~net 142.3075 44.5980 4 4 4 4 4 4 4 4 5 KKWH01 KK~net 142.3075 44.5980 4	14		K-NET	141 7664	44 5323	*	2	73	IKRH03	KiK-net	141 6436	42 8856	*	2
16 HKD019 K-NET 141.8978 44.3611 *** 4 17 HKD020 K-NET 141.6842 44.4168 *** 4 18 HKD021 K-NET 141.6842 44.4168 *** 4 18 HKD021 K-NET 141.6857 43.775 *** 2 20 HKD024 K-NET 141.8573 44.4049 3 3 2 21 HKD025 K-NET 142.2347 44.3168 3 3 0 KKWH07 KKWH04 44.3557 44.5458 4 22 HKD028 K-NET 142.6418 44.3111 1 8 KKWH11 KK-met 142.2872 43.9731 2 4 24 HKD028 K-NET 142.6418 44.3111 1 8 5 KKWH11 KK-met 142.2872 43.9731 2 4 35 4 36 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4	15	HKD018	K-NFT	141 9653	44 5453	*	2	74	KKWH01	KiK-net	142 3075	44 5950	**	4
17 HKD020 K-NET 141.6642 44.4186 2 76 KK/met 142.2764 44.4706 % 18 HKD021 K-NET 141.6370 43.3407 % 4 77 KK/mH0 KK/met 142.034 44.4533 % 4 20 HKD023 K-NET 141.8573 44.0499 3 77 KK/MH0 KK/met 142.0344 44.3183 % 3 20 HKD025 K-NET 142.0717 44.8116 1 80 KK/MH0 KK/met 142.7694 44.3183 % 3	16		K-NET	141 6978	44 3611	*	4	75	KKWH02	KiK-net	142 5775	44 5486	×	4
18 HKD021 K-NET 141.8370 43.9407 ** 4 19 HKD023 K-NET 141.8573 43.9407 ** 4 19 HKD023 K-NET 141.8573 ** 2 77 KKWH03 KiK-net 142.4094 44.4353 ** 3 21 HKD024 K-NET 142.8054 44.2847 1 30 KKWH03 KiK-net 142.4047 43.3572 2 2 22 HKD026 K-NET 142.8427 44.8598 1 30 KKWH10 KiK-net 142.6400 43.3011 1 24 HKD029 K-NET 142.4347 44.43598 1 30 KKWH10 KiK-net 142.6404 43.5014 1 1 26 KKWH11 KiK-net 142.2627 43.9731 % 4 26 144.43508 % 4 20 27 142.6504 43.5522 1 7 KKW112 KiK-net 142.5284 43.3817 1 1 8 8 8 30 30 31.4503 33.	17		K-NET	141 6642	44.1486	*	2	76	KKWH03	KiK-net	142 2764	44 4708	×	4
19 HKD023 K-NET 141365 43.7735 2 78 KKWH05 KiK-net 142.6342 44.2897 3 20 HKD024 K-NET 141.3673 44.049 3 3 79 KKWH05 KiK-net 142.6342 44.2897 3 3 21 HKD025 K-NET 142.2634 44.311 1 81 KKWH05 KiK-net 142.6404 43.0381 1 1 1 84 KKWH05 KiK-net 142.2672 43.9731 % 4 4 44.1821 44.1821 1 84 KKWH10 KiK-net 142.2672 43.9731 % 4 4 43.5089 1 85 85 1 86 KKWH11 KiK-net 142.644 43.5089 2 1 35 85 1 18 86 1 18 86 1 13 14 43.5089 2 1 18 142.634 43.5089 2 1 35 85 1 18 141.2634 43.9363 4 33 35 33	18		K-NET	141 6370	43 9407	*	4	70	KKWH04	KiK-net	142 4094	44 4353	×	4
20 HK0024 K-NET 1418573 44.0489 3 21 HK0024 K-NET 142.7594 44.3183 3 21 HK0025 K-NET 142.7534 44.0489 3 22 HK0027 K-NET 142.8347 44.8166 1 38 KKWH06 KiK-net 142.4347 44.3183 % 43.387 2 22 HK0027 K-NET 142.4347 44.43568 1 38 KKWH10 KiK-net 142.6600 43.0311 1 24 HK0029 K-NET 142.6419 44.3111 1 88 KKWH11 KiK-net 142.644 43.508 % 4 25 HK0029 K-NET 142.6419 44.3111 1 86 KKWH14 KiK-net 142.644 43.508 2 2 29 HK0033 K-NET 142.645 44.3553 1 87 KKWH15 KiK-net 142.644 43.5014 % 3 30 HK0034 K-NET 142.6457 43.8543 1 89 RMH02 KiK-net 141.8254 44.9553 4 31 HK0047 K-NET 142.6581 43.8545 1 <td>19</td> <td>HKD023</td> <td>K-NET</td> <td>141 3685</td> <td>43 7735</td> <td>*</td> <td>2</td> <td>78</td> <td>KKWH05</td> <td>KiK-net</td> <td>142 6342</td> <td>44 2897</td> <td>×</td> <td>3</td>	19	HKD023	K-NET	141 3685	43 7735	*	2	78	KKWH05	KiK-net	142 6342	44 2897	×	3
21 HKD025 K-NET 142.017 44.8116 1 22 HKD026 K-NET 142.017 44.8116 1 23 HKD026 K-NET 142.0367 44.816 1 24 HKD027 K-NET 142.0477 44.3066 1 24 HKD028 K-NET 142.0547 44.6594 4 25 HKD032 K-NET 142.6474 44.3598 1 26 HKD030 K-NET 142.6592 44.1851 1 26 HKD032 K-NET 142.65952 44.1851 1 28 HKD033 K-NET 142.7694 43.8522 1 29 HKD033 K-NET 142.7694 43.8522 1 30 HKD037 K-NET 142.7694 43.852 1 31 HKD037 K-NET 142.7694 44.8520 1 33 HKD043 K-NET 142.9477 43.2877 1 95 SSB102 KiK-net 140.9534 43.0503 1 36	20		K-NET	141 8573	44.0489		3	70	KKWH06	KiK-net	142 7694	44.3183	×	3
1 1	21		K-NET	142 0717	44.8116	-	1	80		KiK-net	142 3447	43 3672	~~	2
L23 HKD027 K-NET H23427 44.4806 1 23 HKD028 K-NET H23427 44.4806 1 24 HKD028 K-NET H234247 44.3598 1 25 HKD030 K-NET H224547 44.3598 1 26 HKD030 K-NET H223942 44.1821 1 26 HKD032 K-NET H225952 44.1821 1 28 HKD033 K-NET H225695 43.3090 1 88 KKWH110 KK-met 142.0833 45.0144 3.3817 1 29 HKD033 K-NET 142.6867 43.5845 1 87 MKH010 KK-met 142.0833 45.0144 3.38249 1 88 MH102 KK-met 141.9258 44.6350 44.93503 4 34 44.2867 1 94 858H02 KK-met 140.8261 42.924 43.2817 1 95 SBSH03 KK-met 140.8261	22	HKD026	K-NET	142 2636	44.7284		1	81	KKWH08	KiK-net	142.6600	43 0381		1
24 HKD028 K-NET 142.6419 44.3598 1 25 HKD029 K-NET 142.6419 44.3111 1 26 HKD029 K-NET 142.6419 44.3111 1 26 HKD030 K-NET 142.5952 44.1185 1 85 KKWH11 KK-net 142.2823 43.3817 1 27 HKD031 K-NET 142.6952 44.1185 1 86 KKWH14 KK-net 142.2823 43.3817 1 28 HKD033 K-NET 142.6954 43.8950 1 87 KKWH15 KK-net 142.0944 43.8522 1 30 HKD034 K-NET 142.6837 43.8249 1 90 RMIH03 KK-net 141.9258 44.9251 3 34 HKD043 K-NET 142.6837 43.8249 1 93 SBSH01 KK-net 140.9254 43.2317 3 35 HKD044 K-NET 142.9447 44.3527 1 95 SBSH01 KK-net 140.8254 3.2317 <td< td=""><td>23</td><td></td><td>K-NET</td><td>142 3427</td><td>44.4806</td><td></td><td>1</td><td>82</td><td>KKWH10</td><td>KiK-net</td><td>142.0567</td><td>44 6594</td><td>×</td><td>4</td></td<>	23		K-NET	142 3427	44.4806		1	82	KKWH10	KiK-net	142.0567	44 6594	×	4
25 HKD029 K-NET 142.6419 44.311 1 26 HKD030 K-NET 142.6419 44.3121 1 26 HKD030 K-NET 142.5924 44.1821 1 27 HKD031 K-NET 142.4123 44.0235 1 28 HKD032 K-NET 142.4123 44.0235 1 30 HKD034 K-NET 142.4123 44.0235 1 30 HKD034 K-NET 142.4675 43.8843 1 31 HKD037 K-NET 142.4675 43.8845 1 31 HKD044 K-NET 142.6691 44.5450 1 34 HKD044 K-NET 142.9644 44.827 1 35 HKD044 K-NET 142.9647 44.3287 1 36 HKD044 K-NET 142.9477 44.3287 1 36 HKD045 K-NET 142.9474 44.3287 1 <	24	HKD028	K-NFT	142 4547	44 3598		1	83	KKWH11	KiK-net	142 2872	43 9731	*	4
Link Link <thlink< th=""> Link Link <thl< td=""><td>25</td><td></td><td>K-NET</td><td>142 6419</td><td>44 3111</td><td></td><td>1</td><td>84</td><td>KKWH12</td><td>KiK-net</td><td>142 6044</td><td>43 5014</td><td>///</td><td>1</td></thl<></thlink<>	25		K-NET	142 6419	44 3111		1	84	KKWH12	KiK-net	142 6044	43 5014	///	1
27 HKD031 K-NET 142.5952 44.185 1 28 HKD032 K-NET 142.4123 44.0235 1 29 HKD033 K-NET 142.4123 44.0235 1 29 HKD033 K-NET 142.424123 44.0235 1 30 HKD033 K-NET 142.42765 43.38543 1 30 HKD034 K-NET 142.4675 43.5885 1 31 HKD044 K-NET 142.4675 43.5885 1 31 HKD044 K-NET 142.691 44.5450 1 33 HKD044 K-NET 142.9644 44.5820 1 34 HKD045 K-NET 142.9447 44.3227 1 36 HKD045 K-NET 142.9447 44.3227 1 36 HKD047 K-NET 142.9447 14.3227 1 36 HKD047 K-NET 142.944 44.0071 2	26	HKD030	K-NFT	142 3942	44 1821	*	1	85	KKWH13	KiK-net	142 3944	43 5089	**	2
28 HKD032 K-NET 142.123 44.0235 1 29 HKD033 K-NET 142.5695 43.9090 1 30 HKD034 K-NET 142.5695 43.9090 1 30 HKD034 K-NET 142.5695 43.9090 1 31 HKD037 K-NET 142.686 43.8543 1 31 HKD041 K-NET 142.6837 43.6249 1 32 HKD044 K-NET 142.6837 43.6249 1 33 HKD044 K-NET 142.6837 43.6249 1 33 HKD044 K-NET 142.6837 43.6240 1 34 HKD044 K-NET 142.9474 44.3287 1 35 SBSH004 K-NET 143.3538 44.3527 1 36 HKD045 K-NET 142.1424 44.3007 2 38 HKD116 K-NET 142.133.332 1 36 <t< td=""><td>27</td><td>HKD031</td><td>K-NFT</td><td>142 5952</td><td>44.1185</td><td>//</td><td>1</td><td>86</td><td>KKWH14</td><td>KiK-net</td><td>142 5283</td><td>43 3817</td><td></td><td>1</td></t<>	27	HKD031	K-NFT	142 5952	44.1185	//	1	86	KKWH14	KiK-net	142 5283	43 3817		1
29 HKD033 K-NET 142,5695 43,9090 1 30 HKD034 K-NET 142,7686 43,8543 1 31 HKD037 K-NET 142,7686 43,8543 1 31 HKD037 K-NET 142,675 43,5855 1 32 HKD041 K-NET 142,6837 43,6249 1 33 HKD042 K-NET 142,6837 43,6249 1 34 HKD044 K-NET 142,5691 44,5450 1 35 HKD044 K-NET 142,5644 44,520 1 36 HKD045 K-NET 142,9447 44,3287 1 36 HKD047 K-NET 142,9438 44,071 2 39 HKD116 K-NET 142,1484 44,0071 2 39 SOYH010 KiK-net 140,8251 42,2478 1 38 HKD116 K-NET 142,1383 43,3070 3 98 SOYH02 KiK-net 141,8372 45,2261 2 101 <soyh04< td=""> KiK-net 141,8</soyh04<>	28	HKD032	K-NFT	142 4123	44 0235		1	87	KKWH15	KiK-net	142,7694	43 8522		1
30 HKD034 K-NET 142.7686 43.8543 1 31 HKD037 K-NET 142.7686 43.8543 1 31 HKD037 K-NET 142.675 43.5885 1 32 HKD041 K-NET 142.6675 43.5885 1 33 HKD042 K-NET 142.6675 43.5885 1 33 HKD042 K-NET 142.6675 43.5820 1 34 HKD043 K-NET 142.9644 44.5820 1 35 HKD044 K-NET 142.9644 44.5820 1 36 HKD045 K-NET 142.9447 44.3287 1 36 HKD044 K-NET 143.953 44.3557 1 37 HKD047 K-NET 142.9447 44.3287 1 38 HKD115 K-NET 142.9447 44.3287 1 39 BSH01 KiK-net 140.8261 42.9478 1 31 HKD117 K-NET 141.9342 43.8007 3 9 SOYH02 KiK-net 142.1224 45.3224 2 39 HKD116 K-NET 141.853 43.332	29	HKD033	K-NFT	142 5695	43 9090		1	88	RMIH01	KiK-net	142 0833	45 0144	*	3
31 HKD037 K-NET 142.4675 43.5885 1 32 HKD041 K-NET 142.6837 43.6249 1 33 HKD042 K-NET 142.6637 43.5885 1 33 HKD042 K-NET 142.6637 43.5820 1 34 HKD043 K-NET 142.9644 44.5820 1 35 HKD044 K-NET 142.9644 44.5820 1 36 HKD045 K-NET 142.9644 44.5820 1 37 HKD047 K-NET 142.9447 44.3287 1 38 HKD115 K-NET 142.9447 44.3287 1 39 SBSH03 KiK-net 140.8251 42.9478 1 38 HKD115 K-NET 142.0525 43.7243 1 96 SBSH05 KiK-net 140.8251 42.9478 1 30 BKD116 K-NET 141.8553 43.3322 1 100 SOYH04 KiK-net 141.877 45.9288 3 41 HKD119 K-NET 141.8574 43.3332 1 100 SOYH04 KiK-net 141.877 45.9288 3	30	HKD034	K-NET	142.7686	43.8543		1	89	RMIH02	KiK-net	141.9289	44.8925	*	4
32 HKD041 K-NET 142.6837 43.6249 1 33 HKD042 K-NET 142.5691 44.5450 1 34 HKD043 K-NET 142.9644 44.5820 1 35 HKD044 K-NET 142.9644 44.5820 1 36 HKD045 K-NET 142.9644 44.3287 1 36 HKD045 K-NET 142.9447 44.3287 1 36 HKD045 K-NET 142.9447 44.3287 1 37 HKD047 K-NET 142.9447 44.3287 1 38 HKD115 K-NET 142.1484 44.0071 2 29 HKD116 K-NET 141.9342 43.8007 3 99 SOYH01 KiK-net 142.224 45.3224 2 39 HKD117 K-NET 142.1844 40.071 3 99 SOYH02 KiK-net 142.228 45.2508 3 41 HKD117 K-NET 142.1853 43.3432 1 100 SOYH04 KiK-net 141.8	31	HKD037	K-NET	142.4675	43.5885		1	90	RMIH03	KiK-net	141.8225	44.6336	*	4
33 HKD042 K-NET 142.5691 44.5450 1 33 HKD043 K-NET 142.9644 44.5820 1 34 HKD043 K-NET 142.9644 44.5820 1 35 HKD044 K-NET 142.9644 44.5820 1 36 HKD045 K-NET 142.9447 44.796 1 37 HKD047 K-NET 142.9447 44.3287 1 38 HKD15 K-NET 142.9447 44.3287 1 38 HKD15 K-NET 142.9447 44.3287 1 38 HKD15 K-NET 142.9478 1 140.8235 43.0818 1 39 HKD116 K-NET 142.952 43.7243 1 19 SOYH03 KiK-net 142.122 45.5208 3 40 HKD119 K-NET 141.6635 43.3343 2 101 SOYH04 KiK-net 141.774 45.9978 1 41 HKD120 K-NET 141.8204 42.8711 1 104 SOYH06	32	HKD041	K-NET	142.6837	43.6249		1	91	RMIH04	KiK-net	141.9658	44.0953	*	4
34 HKD043 K-NET 142.9644 44.5820 1 35 HKD044 K-NET 143.1277 44.4796 1 36 HKD045 K-NET 143.1277 44.4796 1 36 HKD045 K-NET 142.9447 44.3287 1 37 HKD047 K-NET 142.9447 44.3287 1 38 HKD115 K-NET 142.9447 44.3287 1 38 HKD115 K-NET 142.9447 44.3287 1 38 HKD116 K-NET 142.0526 43.7243 1 39 SOYH02 KiK-net 141.8212 45.2508 3 41 HKD117 K-NET 141.6635 43.3433 2 101 SOYH03 KiK-net 141.824 45.2281 2 42 HKD120 K-NET 141.8553 43.3332 1 100 SOYH03 KiK-net 141.824 45.0978 1 44 HKD120	33	HKD042	K-NET	142.5691	44.5450		1	92	RMIH05	KiK-net	141.7914	44.0231	*	3
35 HKD044 K-NET 143.1277 44.4796 ※ 1 36 HKD045 K-NET 142.9447 44.3287 1 37 HKD047 K-NET 142.9447 44.3287 1 38 HKD15 K-NET 142.9478 1 38 HKD15 K-NET 142.1844 44.0071 2 39 HKD116 K-NET 142.0525 43.7243 1 96 SSDYH01 KiK-net 142.2293 45.2141 2 40 HKD116 K-NET 142.0525 43.7243 1 98 SOYH01 KiK-net 141.8274 45.208 33 41 HKD119 K-NET 141.6635 43.3443 2 101 <soyh06< td=""> KiK-net 141.872 45.0997 2 43 HKD122 K-NET 141.8553 43.3332 1 103 SOYH07 KiK-net 142.4346 45.0978 1 44 HKD128 K-NET 141.8221 42.8741 1 103 SOYH07 KiK-net 142.4367 44.4710</soyh06<>	34	HKD043	K-NET	142.9644	44.5820		1	93	SBSH01	KiK-net	140.6264	43.2317	*	1
36 HKD045 K-NET 142.9447 44.3287 1 37 HKD047 K-NET 143.3538 44.3557 ■ 1 38 HKD115 K-NET 142.1484 44.0577 ■ 1 38 HKD115 K-NET 142.1484 44.0071 ※ 2 97 SOYH01 KiK-net 140.8261 42.9478 1 39 HKD116 K-NET 142.1244 43.8007 ※ 3 98 SOYH01 KiK-net 142.224 45.3324 % 2 40 HKD117 K-NET 142.0525 43.7243 ※ 1 99 SOYH04 KiK-net 141.8272 45.2508 ※ 33 41 HKD120 K-NET 141.6635 43.3443 2 100 SOYH04 KiK-net 141.8244 45.2918 2 43 HKD121 K-NET 141.8254 42.8741 1 103 SOYH08 KiK-net 142.4366 45.0978 1 104 SOYH09 KiK-net 142.1433 44.710 % <	35	HKD044	K-NET	143.1277	44.4796	*	1	94	SBSH02	KiK-net	140.5053	43.0503		1
37 HKD047 K-NET 143.3538 44.3557 ■ 1 38 HKD115 K-NET 142.1484 44.0071 ※ 2 39 HKD116 K-NET 141.9342 43.8007 ※ 3 40 HKD117 K-NET 142.0525 43.7243 ※ 1 40 HKD117 K-NET 142.0525 43.7243 ※ 1 41 HKD120 K-NET 141.6635 43.3443 2 101 SOYH02 KiK-net 141.872 45.2508 ※ 3 42 HKD120 K-NET 141.6635 43.3443 2 101 SOYH04 KiK-net 141.8772 45.0997 ※ 2 43 HKD127 K-NET 141.8553 43.3325 1 103 SOYH08 KiK-net 142.4346 45.0978 3 44 HKD128 K-NET 141.8221 42.7655 1 104 SOYH08 KiK-net 142.6078 44.7410 ※ 2 47 HKD138 K-NET 140.6014<	36	HKD045	K-NET	142.9447	44.3287		1	95	SBSH03	KiK-net	140.8235	43.0818	*	1
38 HKD115 K-NET 142.1484 44.0071 ※ 2 39 HKD116 K-NET 141.9342 43.8007 ※ 3 40 HKD117 K-NET 141.9342 43.8007 ※ 3 41 HKD119 K-NET 142.9255 43.7243 % 1 42 HKD120 K-NET 141.6355 43.7243 % 1 42 HKD120 K-NET 141.6355 43.3332 1 100 SOYH04 KiK-net 141.872 45.0978 2 43 HKD127 K-NET 141.8204 42.8741 1 103 SOYH06 KiK-net 142.286 44.9364 2 45 HKD127 K-NET 141.8204 42.8741 1 104 SOYH08 KiK-net 142.436 45.0978 1 47 HKD137 K-NET 140.6014 43.2921 1 1 105 SOYH09 KiK-net 142.1452 44.1136 <td>37</td> <td>HKD047</td> <td>K-NET</td> <td>143.3538</td> <td>44.3557</td> <td></td> <td>1</td> <td>96</td> <td>SBSH05</td> <td>KiK-net</td> <td>140.8261</td> <td>42.9478</td> <td></td> <td>1</td>	37	HKD047	K-NET	143.3538	44.3557		1	96	SBSH05	KiK-net	140.8261	42.9478		1
39 HKD116 K-NET 141.9342 43.8007 ※ 3 40 HKD117 K-NET 142.0525 43.7243 ※ 1 41 HKD117 K-NET 142.0525 43.7243 ※ 1 42 HKD120 K-NET 142.0525 43.7243 % 1 42 HKD120 K-NET 141.6635 43.343 2 101 SOYH07 KiK-net 141.872 45.0978 2 43 HKD121 K-NET 141.8204 42.8741 1 103 SOYH07 KiK-net 142.4346 45.0978 1 44 HKD127 K-NET 141.8204 42.8741 1 1 104 SOYH07 KiK-net 142.4364 45.0978 1 45 HKD137 K-NET 140.3791 43.3235 1 1 105 SOYH07 KiK-net 142.4907 44.8547 % 3 49 HKD138 K-NET 140.0814	38	HKD115	K-NET	142.1484	44.0071	*	2	97	SOYH01	KiK-net	142.1224	45.3324	*	2
40 HKD117 K-NET 142.0525 43.7243 ※ 1 41 HKD119 K-NET 142.1914 43.5199 1 42 HKD120 K-NET 141.6635 43.3443 2 43 HKD121 K-NET 141.6635 43.3443 2 43 HKD122 K-NET 141.8553 43.3332 1 44 HKD122 K-NET 141.8553 43.3332 1 45 HKD127 K-NET 141.8553 43.3325 1 46 HKD128 K-NET 141.8221 42.6555 1 104 SOYH09 KiK-net 142.6078 44.7410 2 47 HKD137 K-NET 140.6014 43.2921 1 106 SRCH01 KiK-net 142.1452 44.1136 3 48 HKD138 K-NET 140.6014 43.2921 1 107 SRCH02 KiK-net 142.1452 44.1136 3 50 HKD140 K-NET 140.935 43.1907 1 109 SRCH03 KiK-net 142.1452 44.1136 <t< td=""><td>39</td><td>HKD116</td><td>K-NET</td><td>141.9342</td><td>43.8007</td><td>*</td><td>3</td><td>98</td><td>SOYH02</td><td>KiK-net</td><td>142.2293</td><td>45.2141</td><td></td><td>2</td></t<>	39	HKD116	K-NET	141.9342	43.8007	*	3	98	SOYH02	KiK-net	142.2293	45.2141		2
41 HKD119 K-NET 142.1914 43.5199 1 42 HKD120 K-NET 141.6635 43.3443 2 43 HKD121 K-NET 141.8553 43.3322 1 44 HKD121 K-NET 141.8553 43.3322 1 44 HKD121 K-NET 141.8553 43.3322 1 45 HKD127 K-NET 141.7754 43.1968 1 103 SOYH07 KiK-net 142.2286 44.9364 2 45 HKD127 K-NET 141.8201 42.7655 1 105 SOYH07 KiK-net 142.4307 44.8547 % 1 46 HKD137 K-NET 140.3791 43.3235 1 105 SOYH07 KiK-net 142.6078 44.7410 % 2 47 HKD138 K-NET 140.6014 43.2921 1 106 SRCH01 KiK-net 142.1633 44.2780 % 3 49 HKD142 K-NET 140.8200 43.0807 1 105	40	HKD117	K-NET	142.0525	43.7243	*	1	99	SOYH03	KiK-net	141.6372	45.2508	*	3
42 HKD120 K-NET 141.6635 43.3443 2 43 HKD121 K-NET 141.8553 43.3332 1 44 HKD122 K-NET 141.7754 43.1968 1 45 HKD127 K-NET 141.7754 43.1968 1 45 HKD127 K-NET 141.8204 42.8741 1 46 HKD138 K-NET 141.8204 42.8741 1 47 HKD138 K-NET 140.3791 43.3235 1 48 HKD138 K-NET 140.6014 43.2921 1 105 SOYH10 KiK-net 142.1633 44.2780 3 50 HKD140 K-NET 140.935 43.1974 % 3 107 SRCH01 KiK-net 142.1632 43.8179 % 4 51 HKD142 K-NET 140.8200 43.0846 1 107 SRCH02 KiK-net 142.1632 43.8179 % 4 52 HKD175 K-NET 141.3882 43.6015 2 111	41	HKD119	K-NET	142.1914	43.5199		1	100	SOYH04	KiK-net	141.8844	45.2281	*	2
43 HKD121 K-NET 141.8553 43.332 1 44 HKD122 K-NET 141.7754 43.1968 1 45 HKD127 K-NET 141.7754 43.1968 1 46 HKD127 K-NET 141.8204 42.8741 1 46 HKD128 K-NET 141.8221 42.7655 1 47 HKD137 K-NET 140.3791 43.3235 1 48 HKD138 K-NET 140.6014 43.2921 1 106 SRCH01 KiK-net 142.1633 44.2780 ※ 3 50 HKD138 K-NET 140.6014 43.2921 1 106 SRCH01 KiK-net 142.1452 44.1136 ※ 3 50 HKD140 K-NET 140.8200 43.0846 ※ 1 107 SRCH03 KiK-net 142.1452 43.8179 ※ 4 51 HKD176 K-NET 141.8820 43.0015 2 111 SRCH05 KiK-net 142.0814 43.6924 ※	42	HKD120	K-NET	141.6635	43.3443		2	101	SOYH06	KiK-net	141.7872	45.0997	*	2
44 HKD122 K-NET 141.7754 43.1968 1 45 HKD127 K-NET 141.8204 42.8741 1 46 HKD128 K-NET 141.8204 42.8741 1 46 HKD128 K-NET 141.8204 42.8741 1 46 HKD128 K-NET 141.8201 42.7655 1 47 HKD137 K-NET 140.3791 43.3235 1 48 HKD138 K-NET 140.6014 43.2921 1 49 HKD139 K-NET 140.7818 43.1974 % 3 50 HKD140 K-NET 140.9935 43.1907 1 108 SRCH03 KiK-net 142.1452 44.1136 % 3 50 HKD142 K-NET 140.8200 43.0846 % 1 108 SRCH03 KiK-net 142.1452 43.8179 % 4 51 HKD175 K-NET 141.8820 43.6015 2 111 SRCH05 KiK-net 142.0814 43.6924 % <	43	HKD121	K-NET	141.8553	43.3332		1	102	SOYH07	KiK-net	142.4346	45.0978		1
45HKD127K-NET141.820442.8741146HKD128K-NET141.822142.7655147HKD137K-NET140.379143.3235148HKD138K-NET140.601443.2921149HKD139K-NET140.781843.1974%350HKD140K-NET140.993543.1977151HKD142K-NET140.820043.0846%151HKD175K-NET141.382243.6015253HKD176K-NET141.382243.6015254HKD178K-NET141.346443.4001155HKD178K-NET141.304643.1721156HKD179K-NET141.351343.1390157HKD180K-NET141.546243.1161258HKD181K-NET141.552442.9925159HKD182K-NET141.552442.99251	44	HKD122	K-NET	141.7754	43.1968		1	103	SOYH08	KiK-net	142.2286	44.9364		2
46 HKD128 K-NET 141.8221 42.7655 1 47 HKD137 K-NET 140.3791 43.3235 1 48 HKD138 K-NET 140.6014 43.2921 1 49 HKD139 K-NET 140.6014 43.2921 1 49 HKD139 K-NET 140.7818 43.1974 % 3 50 HKD140 K-NET 140.9935 43.1977 1 105 SCH04 KiK-net 142.1452 44.1136 % 3 50 HKD140 K-NET 140.9935 43.1977 1 109 SRCH03 KiK-net 142.1452 44.3176 % 3 50 HKD170 K-NET 140.8200 43.0846 % 1 109 SRCH04 KiK-net 142.1632 43.8219 % 3 51 HKD175 K-NET 141.3824 43.6015 2 111 SRCH06 KiK-net 142.0624 % 3 3 1115 SRCH07 KiK-net 141.9128 43.5114 % 3	45	HKD127	K-NET	141.8204	42.8741		1	104	SOYH09	KiK-net	142.4907	44.8547	*	1
47 HKD137 K-NET 140.3791 43.3235 1 48 HKD138 K-NET 140.6014 43.2921 1 49 HKD139 K-NET 140.6014 43.2921 1 49 HKD139 K-NET 140.7818 43.1974 % 3 50 HKD140 K-NET 140.9935 43.1974 % 3 50 HKD142 K-NET 140.9935 43.1907 1 51 HKD175 K-NET 140.8200 43.0846 % 1 52 HKD175 K-NET 141.3882 43.6015 2 111 SRCH06 KiK-net 142.1632 43.8219 % 3 53 HKD176 K-NET 141.3882 43.6015 2 111 SRCH06 KiK-net 142.0632 43.8219 % 3 54 HKD177 K-NET 141.3846 43.4001 1 13 SRCH07 KiK-net 141.9128 43.2276 2 113 SRCH08 KiK-net 141.9128 43.5114 % <	46	HKD128	K-NET	141.8221	42.7655		1	105	SOYH10	KiK-net	142.6078	44.7410	*	2
48 HKD138 K-NET 140.6014 43.2921 1 49 HKD139 K-NET 140.7818 43.1974 ※ 3 50 HKD140 K-NET 140.7818 43.1974 ※ 3 50 HKD140 K-NET 140.9935 43.1907 1 51 HKD142 K-NET 140.8200 43.0846 % 1 52 HKD175 K-NET 141.3882 43.6015 2 111 SRCH02 KiK-net 142.1632 43.8219 % 3 53 HKD176 K-NET 141.3882 43.6015 2 111 SRCH06 KiK-net 142.0632 43.8219 % 3 54 HKD176 K-NET 141.3822 43.6015 2 111 SRCH06 KiK-net 142.0632 43.8219 % 3 55 HKD176 K-NET 141.3464 43.4001 1 113 SRCH08 KiK-net 141.9128 43.5114 % 33 56 HKD178 K-NET 141.5171 4	47	HKD137	K-NET	140.3791	43.3235		1	106	SRCH01	KiK-net	142.1633	44.2780	×	3
49 HKD139 K-NET 140.7818 43.1974 ※ 3 50 HKD140 K-NET 140.9935 43.1907 1 51 HKD140 K-NET 140.9935 43.1907 1 51 HKD142 K-NET 140.8200 43.0846 ※ 1 52 HKD175 K-NET 141.3882 43.6015 2 111 SRCH03 KiK-net 142.1632 43.8219 ※ 3 52 HKD175 K-NET 141.3882 43.6015 2 111 SRCH06 KiK-net 142.0814 43.6924 ※ 3 53 HKD176 K-NET 141.3446 43.4001 1 111 SRCH07 KiK-net 141.9106 43.2276 2 54 HKD177 K-NET 141.3046 43.1721 1 114 SRCH09 KiK-net 141.9128 43.5114 ※ 3 55 HKD178 K-NET 141.5171 43.2237 1 115 SRCH09 KiK-net 142.0123 42.9905 1 1	48	HKD138	K-NET	140.6014	43.2921		1	107	SRCH02	KiK-net	142.1452	44.1136	*	3
50 HKD140 K-NET 140.9935 43.1907 1 51 HKD142 K-NET 140.8200 43.0846 ※ 1 52 HKD175 K-NET 141.8822 43.6015 2 111 SRCH04 KiK-net 142.1632 43.8219 ※ 3 52 HKD175 K-NET 141.3882 43.6015 2 111 SRCH06 KiK-net 142.0814 43.6924 ※ 3 53 HKD176 K-NET 141.5924 43.5324 2 112 SRCH07 KiK-net 141.9016 43.2276 2 54 HKD177 K-NET 141.3046 43.1721 1 114 SRCH08 KiK-net 141.9128 43.5114 ※ 33 55 HKD178 K-NET 141.5171 43.2237 1 115 SRCH09 KiK-net 141.8100 43.0563 33 56 HKD179 K-NET 141.3513 43.1390 1 116 TKCH04 KiK-net 142.0123 42.9905 1 57 HKD181	49	HKD139	K-NET	140.7818	43.1974	×	3	108	SRCH03	KiK-net	142.1296	43.9970	Ж	3
51 HKD142 K-NET 140.8200 43.0846 ※ 1 110 SRCH05 KiK-net 142.1632 43.8219 ※ 3 52 HKD175 K-NET 141.3882 43.6015 2 111 SRCH05 KiK-net 142.0814 43.6924 ※ 3 53 HKD176 K-NET 141.5924 43.5324 2 111 SRCH06 KiK-net 141.0016 43.2276 2 54 HKD177 K-NET 141.4346 43.4001 1 1 113 SRCH08 KiK-net 141.9106 43.2276 2 113 SRCH08 KiK-net 141.9108 43.0563 3 3 55 HKD178 K-NET 141.5171 43.2237 1 115 SRCH09 KiK-net 142.0123 42.9905 1 56 HKD180 K-NET 141.3513 43.1390 1 116 TKCH04 KiK-net 142.0123 42.9905 1 57 HKD181 K-NET 141.5462 43.1161 2 117 TKCH10 KiK	50	HKD140	K-NET	140.9935	43.1907		1	109	SRCH04	KiK-net	141.9435	43.8179	*	4
52 HKD175 K-NET 141.3882 43.6015 2 111 SRCH06 KiK-net 142.0814 43.6924 ※ 33 53 HKD176 K-NET 141.5924 43.5324 2 112 SRCH07 KiK-net 141.9016 43.2276 2 54 HKD177 K-NET 141.4346 43.4001 1 113 SRCH08 KiK-net 141.9128 43.5114 ※ 33 55 HKD178 K-NET 141.3046 43.1721 1 114 SRCH09 KiK-net 141.8100 43.0563 33 56 HKD179 K-NET 141.5171 43.2237 1 115 SRCH10 KiK-net 142.0123 42.9905 1 57 HKD180 K-NET 141.3513 43.1390 1 116 TKCH04 KiK-net 142.0214 43.1714 1 58 HKD181 K-NET 141.5462 43.1161 2 117 TKCH10 KiK-net 142.9486 43.3313 1 59 HKD182 K-NET 141.5524 <td>51</td> <td>HKD142</td> <td>K-NET</td> <td>140.8200</td> <td>43.0846</td> <td>*</td> <td>1</td> <td>110</td> <td>SRCH05</td> <td>KiK-net</td> <td>142.1632</td> <td>43.8219</td> <td>*</td> <td>3</td>	51	HKD142	K-NET	140.8200	43.0846	*	1	110	SRCH05	KiK-net	142.1632	43.8219	*	3
53 HKD176 K-NET 141.5924 43.5324 2 112 SRCH07 KiK-net 141.9016 43.2276 2 54 HKD177 K-NET 141.4346 43.4001 1 113 SRCH08 KiK-net 141.916 43.2276 2 55 HKD177 K-NET 141.4346 43.4001 1 113 SRCH08 KiK-net 141.9128 43.5114 ※ 33 55 HKD178 K-NET 141.5171 43.2237 1 114 SRCH09 KiK-net 141.8100 43.0563 33 56 HKD179 K-NET 141.5171 43.2237 1 115 SRCH10 KiK-net 142.0123 42.9905 1 57 HKD180 K-NET 141.3513 43.1390 1 116 TKCH04 KiK-net 142.9214 43.1714 1 58 HKD181 K-NET 141.5462 43.1161 2 117 TKCH10 KiK-net 142.9486 43.3313 1 59 HKD182 K-NET 141.5524 42.9925	52	HKD175	K-NET	141.3882	43.6015		2	111	SRCH06	KiK-net	142.0814	43.6924	*	3
54 HKD177 K-NET 141.4346 43.4001 1 55 HKD178 K-NET 141.3046 43.1721 1 55 HKD178 K-NET 141.3046 43.1721 1 56 HKD179 K-NET 141.5171 43.2237 1 57 HKD180 K-NET 141.3513 43.1390 1 58 HKD181 K-NET 141.5462 43.1161 2 59 HKD182 K-NET 141.5524 42.9925 1	53	HKD176	K-NET	141.5924	43.5324		2	112	SRCH07	KiK-net	141.9016	43.2276		2
55 HKD178 K-NET 141.3046 43.1721 1 56 HKD179 K-NET 141.5171 43.2237 1 114 SRCH09 KiK-net 141.8100 43.0563 33 56 HKD179 K-NET 141.5171 43.2237 1 115 SRCH10 KiK-net 142.0123 42.9905 1 57 HKD180 K-NET 141.3513 43.1390 1 116 TKCH04 KiK-net 142.9214 43.1714 1 58 HKD181 K-NET 141.5462 43.1161 2 117 TKCH10 KiK-net 142.9486 43.3313 1 59 HKD182 K-NET 141.5524 42.9925 1 118 8 maj-G 港湾 141.6340 43.9500 ※ 1	54	HKD177	K-NET	141.4346	43.4001		1	113	SRCH08	KiK-net	141.9128	43.5114	*	3
56 HKD179 K-NET 141.5171 43.2237 1 115 SRCH10 KiK-net 142.0123 42.9905 1 57 HKD180 K-NET 141.3513 43.1390 1 116 TKCH04 KiK-net 142.9214 43.1714 1 58 HKD181 K-NET 141.5462 43.1161 2 117 TKCH10 KiK-net 142.9486 43.3313 1 59 HKD182 K-NET 141.5524 42.9925 1 118 Bğ-G 港湾 141.6340 43.9500 ※ 1	55	HKD178	K-NET	141.3046	43.1721		1	114	SRCH09	KiK-net	141.8100	43.0563		3
57 HKD180 K-NET 141.3513 43.1390 1 58 HKD181 K-NET 141.5462 43.1161 2 59 HKD182 K-NET 141.5524 42.9925 1 118 留萌-G 港湾 141.6340 43.9500 ※	56	HKD179	K-NET	141.5171	43.2237		1	115	SRCH10	KiK-net	142.0123	42.9905		1
58 HKD181 K-NET 141.5462 43.1161 2 117 TKCH10 KiK-net 142.9486 43.3313 1 59 HKD182 K-NET 141.5524 42.9925 1 118 留萌-G 港湾 141.6340 43.9500 ※ 1	57	HKD180	K-NET	141.3513	43.1390		1	116	TKCH04	KiK-net	142.9214	43.1714		1
59 HKD182 K-NET 141.5524 42.9925 1 118 留萌-G 港湾 141.6340 43.9500 ※ 1	58	HKD181	K-NET	141.5462	43.1161		2	117	TKCH10	KiK-net	142.9486	43.3313		1
	59	HKD182	K-NET	141.5524	42.9925		1	118	留萌−G	港湾	141.6340	43.9500	*	1

除外している.これは、震央距離が大きい記録の場合、Lg 適さないためである.この条件は本研究でも踏襲すること 波(例えば Street et al., 1975) など, 震源に由来する表面波 が多く含まれる場合があり、それが卓越した記録は解析に

とした.そこで、本研究では、地震1~地震4のいずれか が観測されており, かつ震央距離が 150km 未満であるよう

な観測点を選定し,それらを解析の対象とした. 選定され た観測点は全部で118地点であった.それらの観測点を図 -3.1および表-3.1に示す.

さて、全118地点の中には、既往の研究(野津・長尾、 2005)においてサイト増幅特性が評価されている地点も存 在する.既往の研究で述べられているように、スペクトル インバージョンでは、解析結果である震源特性とサイト増 幅特性との間にはトレードオフの関係があり、これを回避 するためには、一つ以上の地震の震源特性に対して拘束を 与えるか、または、一つ以上の地点のサイト増幅特性に対 して拘束を与える必要がある.本研究では,既往の研究結 果との連続性を保つ観点から,既往の研究においてサイト 増幅特性が評価されている地点におけるサイト増幅特性を 拘束条件として与えた.ただし、既往の研究でサイト増幅 特性が評価されている地点であっても、15:01の余震の記 録が用いられている地点では、サイト増幅特性の信頼性が 十分でない可能性がある. そこで、本研究では、既往の研 究で 15:01 の余震の記録を用いずにサイト増幅特性が評価 されている地点のうち,対象地域の中心部に位置する HKD024, HKD047, および ABSH04 の 3 地点におけるサイ ト増幅特性を拘束した.それらの地点を図-3.1に示す.

対象地点には,既往の研究でサイト増幅特性の評価に 15:01の余震の記録が用いられた 56 地点のうち 54 地点が 含まれている(図-3.2).従って,本解析によりほとんどの 地点においてサイト増幅特性の再評価が可能であると考え られる.なお,既往の研究で 15:01の余震の記録が用いら れた地点のうち,今回の解析の対象とすることができなか った地点は HKD022 と KKWH09 である.

対象地震による対象地点での観測記録を収集したとこ ろ全部で220の記録(440の水平成分)が存在した(KiK-net は地表の記録を用いる).ただし,このうち5つは200Gal を越える記録であり,表層地盤の非線形挙動の影響が考え られたので除外した.その結果,解析対象記録数は215と なった(430の水平成分).なお,既往の研究(野津・長尾, 2005)では100Galを超える記録を解析対象から除外してい る.本研究では,道北地方において解析対象記録が少ない ことを考慮し,除外する記録の条件を変更した.なお, 100Galを越える記録のうちKiK-netの記録については,地 中に対する地表のスペクトル比をとることにより,著しい 非線形挙動は生じていないことを確認した.従って,100Gal を超える記録を用いたことが解析結果に及ぼす影響は大き くないと考えられるが,この点については,記録の蓄積を 待ってさらに検証を行うことが望ましい.

上記の記録に対して,水平2成分のフーリエスペクトル を計算し,バンド幅0.05HzのParzen ウインドウを適用し, 水平2成分のベクトル和をとったものを解析対象データと した.

一般に M 個の地震 (i=1,2,...M) の記録が N 個の観測点
 (i=1,2,...N) で得られているとき, 観測記録のフーリエ振幅スペクトルは震源特性・伝播経路特性・サイト増幅特性の積として式 (3.1) で表すことができる(例えば岩田・入倉, 1986).

 $O_{ij}(f)=S_i(f)P_{ij}(f)G_j(f)$ (3.1) ここに $S_i(f)$ は第*i*地震の震源特性(震源スペクトル), $P_{ij}(f)$ は第*i*地震の震源から第*j*地点の地震基盤までの伝播経路 特性, $G_j(f)$ は第*j*地点のサイト増幅特性である.伝播経路 特性 $P_{ij}(f)$ は、震源から球面状に広がる実体波の幾何減衰 (1/r)と非弾性減衰を考慮すると、次式で表すことができ る.

$$P_{ij}(f) = \frac{1}{r_{ij}} \exp\left(-\pi f r_{ij} / Q V_S\right)$$
(3.2)

式 (3.2) の r_{ij} は震源距離, V_s は伝播経路における平均的な S 波速度である.また,式 (3.2) のQはQ値と呼ばれるも ので,この値が小さいほど伝播経路での非弾性減衰が大き いことを意味する.ここでQ値としては,既往の研究(野 津・長尾,2005) との連続性を考慮し,佐藤・巽(2002) が東日本の海溝型地震に対して求めている値($Q=114 f^{0.92}$) を与えた.

式(3.1)の両辺の常用対数をとると次式を得る.

 $\log O_{ij} = \log S_i + \log P_{ij} + \log G_j \tag{3.3}$

ここでは表現を簡単にするため、周波数への依存を示すf を省略した.式 (3.3)には震源特性S_iとサイト増幅特性G_j の併せて M+N 個の未知数が含まれていることになる(Q 値を既知とする場合).一方,式の本数は使用可能な記録の 数に等しい.そこで,使用可能な記録の数が M+Nよりも 多ければ,最小自乗法により式 (3.3)の残差を最小とする ような未知数を周波数毎に求めることができる.以上がス ペクトルインバージョンの基本的考え方である.ただし, ここでは既知のサイト増幅特性を拘束条件として与えてい

る. これを式で書くと次のようになる. $\log G_j = \log \overline{G}_j$ (3.4) ここで \overline{G}_j は既知のサイト増幅特性を表す.ここでは式(3.3) と(3.4)の残差の合計が最小となるような未知数を周波数 毎に求めた.解析対象周波数は,既往の研究と同様,

4. 結果と考察

0.2-10Hz とした.

今回サイト増幅特性を評価した地点のうち,既往の研究 (野津・長尾, 2005)で15:01の余震の記録を用いてサイ



図-4.1 新旧のサイト増幅特性の比較(その1)破線が既往の研究(野津・長尾, 2005). 実線が今回.



図-4.2 新旧のサイト増幅特性の比較(その2)破線が既往の研究(野津・長尾,2005). 実線が今回.



図-4.3 新旧のサイト増幅特性の比較(その3)破線が既往の研究(野津・長尾,2005). 実線が今回.







図-4.6 新旧のサイト増幅特性の比較(その6)破線が既往の研究(野津・長尾, 2005). 実線が今回.



図-4.7 本研究で対象とした地点(○)のうち,0.2-1Hz の範囲で20倍を越えるサイト増幅特性が得られた 地点(■).

ト増幅特性が評価されていた 54 地点について,新旧のサイ ト増幅特性を比較したものが図-4.1~図-4.6 である.2. で 述べたように,道北の HKD014, HKD016, RMIH01, SOYH01, SOYH03, SOYH04, SOYH06 等の地点では, 既往の研究で は 15:01 の余震観測記録の影響で 0.2Hz 付近のサイト増幅 特性が過大評価されていたが、今回の解析結果では過大評 価が解消されていることが図-4.1~図-4.6からわかる. そ れ以外の観測点や周波数帯域に着目すると、本研究で得ら れたサイト増幅特性は概ね既往の研究におけるサイト増幅 特性と調和的である場合が多い.なお、高周波側で新旧の サイト増幅特性に違いのある観測点もあるが、これは主に 解析に用いられた個々の記録の特性によると考えられる. サイト増幅特性は複数の記録に対する平均値として定義さ れるので、解析に利用できる記録の数が少ない間は、個々 の記録の特性が反映されやすい、今後、道北地域において 解析に利用できる記録の数が増えるにしたがい、より安定 した解析結果が得られるものと期待される.

ここで、低周波側(0.2-1Hzの範囲)で20倍を越えるような非常に大きなサイト増幅特性が得られている地点に着目すると、全部で27地点存在する.それらを地図上にプロットすると図-4.7のようになる.この図からわかるように、低周波側で非常に大きなサイト増幅特性を示す地点は道北の西側(サロベツ原野周辺)に多く分布している.サロベツ原野とその周辺は北海道の中でも特に厚い堆積層の分布する地域として知られており(例えば中央防災会議,2008)、上記の結果はこうした地下構造と関係があるものと考えら

れる.ただし,低周波側でサイト増幅特性の非常に大きい 地点は道北の東側にも分布している.この他,低周波側で サイト増幅特性の非常に大きい地点は名寄盆地,石狩平野, 後志支庁の赤井川カルデラ,網走支庁の山間部などにも分 布している.

一方,サイト増幅特性の非常に小さい地点に目を向けて みると,雄冬岬の近くに位置する HKD023 では,0.2-2Hz の範囲でサイト増幅特性は 1~2 の範囲に収まっており,地 震基盤に近い特性を示している(図-4.1).

本解析では、サイト増幅特性と同時に、4 つの地震の震 源特性が得られている.3.で述べたように、スペクトルイ ンバージョンでは震源特性とサイト増幅特性の間にトレー ドオフの関係がある.このことを回避するため、スペクト ルインバージョンでは拘束条件を与えるが(本研究では HKD024, HKD047,および ABSH04 のサイト増幅特性), 与えた拘束条件が不適切である場合には、震源特性、サイ ト増幅特性とも不適切なものが求まる恐れがある.そこで、 本研究で得られている震源特性が妥当なものであるかを確 認するため、防災科学技術研究所の F-net による CMT 解(福 山他, 1998)による地震モーメント(例えば日本港湾協会, 2007)との比較を行った.

本研究で得られた震源特性を図-4.8に細実線で示す.震 源特性 *S(f)*はしばしばωスクエアモデル(Aki, 1967)を用 いて式(4.1)のようにモデル化される(例えば Boore, 1983; 日本港湾協会, 2007).

$$S(f) = R_{\theta\phi} * FS * PRTITN * \frac{M_0}{4\pi\rho V_S^3} * \frac{(2\pi f)^2}{1 + (\frac{f}{f_c})^2}$$
(4.1)

ここに M_0 は地震モーメント, f_c はコーナー周波数(例えば 日本港湾協会,2007)、 ρ は震源付近の密度、 V_S は震源付 近の S 波速度、 $R_{\theta\phi}$ はラディエーション係数(例えば日本 港湾協会,2007)、FS は自由地表面による増幅の効果を表 す係数(=2)、PRTITN は地震波のエネルギーの水平2成分 への分配を表す係数である.ただし本研究では解析の対象 としてフーリエスペクトルの水平2成分のベクトル和を対 象としているので PRTITN=1 である.また、図-4.8 に震源 特性をプロットする際には FS=2 で除して示している.従 って、図-4.8 に示された震源特性は式で表現すれば

$$S(f) = R_{\theta\phi}^{x} \frac{M_{0}}{4\pi\rho V_{S}^{3}} \frac{(2\pi f)^{2}}{1 + \left(\frac{f}{f_{c}}\right)^{2}}$$
(4.2)

となる.従ってωスクエアモデルではコーナー周波数より も低周波側では震源特性は周波数の自乗に比例し,両対数 軸上では傾き2の直線となる.またコーナー周波数は規模 の大きい地震ほど低周波側にあると考えられている.



図-4.8 本研究で推定された震源特性(細実線). 太実線は F-net の CMT 解(福山他, 1998)から推定される震源特性の 低周波側のフラットレベル. 破線は既往の研究(野津・長尾, 2005)の震源特性.

ここでは防災科学技術研究所の F-net による CMT 解(福山他, 1998)の地震モーメントを式(4.2)に代入し震源スペクトルの低周波側の直線部分を求めた.その際,震源深さを考慮し,いずれの地震に対しても ρ =2.4ton/m³, V_S =3.55km/sを用いた(福山他, 1998).またラディエーション係数としては全方位への平均値 0.63を用いた.こうして求めた低周波側の直線部分を図-4.8に太実線で示している.

本研究で得られた震源特性の低周波部分は、地震規模が 大きくコーナー周波数の低い地震1(M6.1)に対してはあ まりはっきりしないものの、それ以外の地震に対しては、 F-netのCMT解から求めた低周波側の直線部分と良く整合 している.従って、本研究で与えた拘束条件(HKD024, HKD047, ABSH04におけるサイト増幅特性)は適切なも のであったと考えられる. なお,既往の研究(野津・長尾, 2005)でも地震2は解析に用いられており震源特性が評価 されているので参考のため図-4.8に示した.

5. まとめ

本研究では,既往の研究(野津・長尾,2005)において サイト増幅特性が評価されている北海道の260地点のうち, 道北を中心とするいくつかの地点において,用いられた記 録の特性により低周波側(0.2Hz付近)においてサイト増 幅特性が過大評価となっていることに着目し,現時点で利 用可能なデータに基づいてスペクトルインバージョンによ りサイト増幅特性の再評価を行った.

解析では 2004 年 12 月から 2005 年 3 月にかけて対象地

域に強震記録をもたらした4つの地震を対象とし、それら の地震に対して震央距離150km以内にある118の地点を対 象とした.また,既往の研究結果との連続性を保つ観点か ら,既往の研究においてサイト増幅特性が問題なく評価さ れている3地点におけるサイト増幅特性を拘束条件として 与えた. 解析の結果, 115 の地点においてサイト増幅特性 が新たに評価された.本研究で得られたサイト増幅特性を 既往の研究のものと比較すると、既往の研究では複数の地 点で見られた低周波側(0.2Hz付近)でのサイト増幅特性 の過大評価が、本研究では解消されていることが確認され た. それ以外の観測点や周波数帯域に着目すると、本研究 で得られたサイト増幅特性は概ね既往の研究におけるサイ ト増幅特性と調和的である場合が多い.新たに得られたサ イト増幅特性と地下構造との対応関係に着目すると、北海 道の中でも特に厚い堆積層の分布する地域として知られて いる道北の西側(サロベツ原野周辺)では低周波側で非常 に大きなサイト増幅特性を示す地点が多いことがわかる. また、後志支庁の赤井川カルデラや網走支庁の山間部にも 低周波側で非常に大きなサイト増幅特性を示す地点が分布 している.一方, 雄冬岬の近くに位置する HKD023 では 0.2-2Hzの範囲でサイト増幅特性は1~2の範囲に収まって いる.サイト増幅特性と同時に得られた4つの地震の震源 特性と F-net による CMT 解の地震モーメントとの比較を行 ったところ互いに調和的であることがわかった.

本研究により得られたサイト増幅特性は一定の信頼性 を有すると考えられるが、対象地域は地震の少ない地域で あるため、今回の解析に用いることのできた記録の数も必 ずしも多いとは言えない(表-3.1).従って、当該地域にお いて今後新たに地震観測記録が得られた場合には、それら に基づいてサイト増幅特性の再評価を行い、サイト増幅特 性評価の、ひいては耐震設計の一層の信頼性向上を図って いくことが重要である.本研究で得られたサイト増幅特性 と震源特性の数値データを参考のため付録 CD に示す.

(2010年1月27日受付)

謝辞

本研究をすすめるにあたり,国土技術政策総合研究所港 湾研究部港湾施設研究室の長尾毅室長および(株)ニュー ジェックの山田雅行氏から御意見をいただきました.(独) 防災科学技術研究所の K-NET, KiK-net の強震記録, F-net の CMT 解を利用しました.記して謝意を表します.

参考文献

岩田知孝・入倉孝次郎(1986):観測された地震波から震源

特性, 伝播経路特性及び観測点近傍の地盤特性を分離 する試み, 地震 2, 第 39 巻, pp.579-593.

- 佐藤智美・巽誉樹(2002):全国の強震記録に基づく内陸地 震と海溝性地震の震源・伝播・サイト特性,日本建築 学会構造系論文集,第556号,pp.15-24.
- 中央防災会議(2008):長周期地震動の卓越周期と深部地盤 の固有周期,東南海、南海地震等に関する専門調査会 平成20年12月5日記者発表資料,http://www.bousai. go.jp/jishin/chubou/nankai/36/shiryou/shiryou4.pdf.

日本港湾協会(2007):港湾の施設の技術上の基準・同解説.

- 野津厚・長尾毅 (2005): スペクトルインバージョンに基づ く全国の港湾等の強震観測地点におけるサイト増幅特 性,港湾空港技術研究所資料, No.1112.
- 野津厚・菅野高弘(2007):スペクトルインバージョンに基 づく南西諸島の強震観測地点におけるサイト増幅特性, 港湾空港技術研究所資料, No.1149.
- 福山英一・石田瑞穂・Douglas S. Dreger・川井啓廉(1998): オンライン広帯域地震データを用いた完全自動メカニ ズム決定,地震2,第51巻,pp.149-156.
- Aki, K. (1967): Scaling law of seismic spectrum, *J. Geophys. Res.*, Vol.72, pp.1217-1231.
- Aoi, S., K. Obara, S. Hori, K. Kasahara, and Y. Okada (2000): New strong-motion observation network: KiK-net, *Eos Trans. Am. Geophys. Union*, 81, 329.
- Boore, D.M. (1983): Stochastic simulation of high-frequency ground motions based on seismological models of the radiated spectra, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol.73, pp.1865-1894.
- Kinoshita, S. (1998): Kyoshin Net (K-net), Seim. Res. Lett., Vol. 69, pp.309-332.
- Street, R., R. Herrmann and O. Nuttli (1975), Spectral characteristics of the Lg wave generated by central United States earthquakes, *Geophys. J. R. Astr. Soc.*, Vol.41, pp.51-63.



Copyright © (2010) by PARI

All rights reserved. No part of this book must be reproduced by any means without the written permission of the President of PARI.

この資料は,港湾空港技術研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって,本報告 書の全部または一部の転載,複写は港湾空港技術研究所理事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。