

中部～近畿地方における K-NET・KiK-net 地点の揺れ易さと地震動の距離減衰特性

Relative Site Factors of K-NET and KiK-net Sites and Attenuation Characteristics of Strong Motions
in Chubu and Kinki Districts

池 浦 友 則

要 約

中部～近畿地方における強震動予測のための基礎的な検討として、同地域における K-NET・KiK-net の強震記録を用いて地震動距離減衰特性を検討した。検討にあたっては、はじめに隣接観測点のネットワークを用いて同地域の K-NET・KiK-net 地点の相対サイトファクターRSFを評価し、次いで、同地域とその周辺で発生した内陸地殻内地震とスラブ内地震について、観測振幅をRSFで基準化した基盤換算振幅を求め、その距離減衰分布の特徴を調べた。内陸地殻内地震の検討では、飛騨山脈の火山帯下を通過した地震波が急激に減衰することにより距離減衰分布に大きなばらつきが生じることを明らかにした。また、スラブ内地震については、2004年の2つの紀伊半島沖地震の検討から、震源過程により顕著な方位性が現れ、距離減衰分布のばらつきが大きくなる可能性があることを示した。

目 次

- I. はじめに
- II. 相対サイトファクターの評価
- III. 地震動距離減衰特性の検討
- IV. おわりに

I. はじめに

中部～近畿にかけての本州中部の領域では、過去に濃尾地震(M8.0)という内陸地殻内の巨大な被害地震が発生しており、現在も糸魚川-静岡構造線に巨大内陸地震の発生が危惧されている¹⁾。また、南方海域では近い将来、南海トラフに沿って巨大地震が発生する確率が高いことが指摘されており²⁾、これらの巨大地震に対する防災対策が課題となっている。これらの地震の強震動予測にあたっては、この領域内で強震動がどのように伝わっていくのか、その特徴(波動伝播特性)を把握することが重要である。そこで、本研究では、防災科学技術研究所が展開している強震観測網 K-NET および KiK-net の強震観測記録³⁾をもとに、この地域の強震動の距離減衰特性を調べた。

なお、従来、距離減衰特性の検討では、強震動の伝播領域で一様な距離減衰特性を仮定し、いわゆる距離減衰式の回帰分析⁴⁾やスペクトルインバージョン解析⁵⁾によって、震源特性、伝播経路特性、サイト特性が同時に推定されることが多かった。しかしながら、中部日本では局所的に強い減衰特性を示す火山帯が密集しており⁶⁾、一様な距離減衰特性を仮定するには無理がある。そこで本研究でははじめに隣接観測点のネットワークを用いた相対サイトファクター評価法⁷⁾を適用して各観測地点の揺れ易さを評価し、次いで、その

結果を用い、この地域で最近発生した内陸地殻内地震とスラブ内地震の観測記録から地盤の揺れ易さの違いを除去した地震動振幅を求め、強震動の距離減衰特性を検討することとした。

II. 相対サイトファクターの評価

1. 評価法

(1) 隣接観測点間の相対サイトファクター評価

震源が十分に遠方の地震を隣接する2地点で観測するとき、両地点への基盤面入射波は共通とみなせるため、2地点の観測地震動のスペクトル比が地盤特性に起因する揺れ易さ(サイトファクターSF)の比を表す。そこで、本検討ではこれを様々な方向の地震で平均することにより、2地点間の平均的なSFの比を評価する。

検討にあたり、まず、隣接する2観測点のペアの条件であるが、ここでは次の条件を置いた。

a. 地点間距離が25km以内であること

この条件は、基盤面入射波がほぼ同一とみなせる範囲の大きな目安であり、既往研究でも採用されたことがある^{8) 9)}。

また、観測地震動の分析では、両地点で同時に観測された地震のうち、次の条件を満足する地震動記録を用いる。

b. 震源から2地点に伸ばした直線で作る角が5度以内

c. 2地点での観測最大加速度がいずれも100Gal以下

d. 2地点での震源距離がいずれも300km以内

このうち、bは震源から2地点に向かって放射された波動が共通し、したがってまた基盤面入射も2地点で共通することを保証するための条件、cは地盤応答が弾性範囲にあることを保証する条件である。また、dでは地震動振幅がある程度大きなデータで揺れ易さ

キーワード: 地震, 地震動, サイトファクター, 距離減衰特性, 中部地方, 近畿地方

Keywords: earthquake, strong motion, site factor, attenuation characteristics, Chubu district, Kinki district

の特徴を捉えることを意図している。

さて、隣接2地点を*i*地点、*j*地点とし、上記の条件を満足する地震記録のS波成分を考えると、*i*地点の地震動振幅 $A_i(f)$ に対し、幾何減衰効果、周辺でのQ値減衰効果、地盤増幅効果の補正を施すことにより、*j*地点の地震動振幅 $A_j(f)$ が次式のように得られる。

$$A_j(f) = A_i(f) \cdot \frac{r_i}{r_j} \exp\left[-\frac{\pi f(r_j - r_i)}{Q_{ij}\beta_{ij}}\right] \cdot \frac{G_j(f)}{G_i(f)} \quad (1)$$

ここに、 r_i と r_j および $G_i(f)$ 、 $G_j(f)$ はそれぞれ *i* 地点、*j* 地点の震源距離とサイトファクター(SF)であり、 Q_{ij} と β_{ij} はそれぞれ *i* 地点と *j* 地点の周辺におけるS波のQ値と平均速度である。

(1)式対数のをとると、次のように書ける。

$$\ln \frac{r_j A_j(f)}{r_i A_i(f)} = \ln \frac{G_j(f)}{G_i(f)} - \frac{\pi f}{Q_{ij}\beta_{ij}}(r_j - r_i) \quad (2)$$

そこで、前記の条件を満足する多くの地震を用い、(2)式をもとに $(r_j - r_i)$ を変数とする回帰分析を行うことにより、*i* 地点に対する *j* 地点のSFの比 $G_j(f)/G_i(f)$ が得られる。

(2) 隣接観測点ネットワーク内の相対サイトファクター評価

上記によりSFの比を求めた隣接2地点ペアをネットワーク状に組み合わせ、すべての隣接観測点間のスペクトル比が同時に満足されるものとして最小二乗法を適用し、参照観測点(*ref*地点)に対する*i*地点の相対サイトファクター： $RSF_i(f)$

$$RSF_i(f) = G_i(f)/G_{ref}(f) \quad (3)$$

を求める。具体的には、*i*地点に対する*j*地点のSFの比を $R_{ij}(f)$ とし、

$$\ln G_j(f) - \ln G_i(f) = \ln R_{ij}(f) \quad (4)$$

をすべての隣接地点ペアで連立させて、次の拘束条件の下で解く。

$$\ln G_{ref}(f) = 0 \quad (5)$$

2. 中部～近畿地方の相対サイトファクター

上記の方法を適用して中部～近畿地方におけるK-NETとKiK-net地点の相対サイトファクター(RSF)を評価した。解析対象としたのは3545ペア731地点である。ただし、KiK-net地点については地表観測点と地中観測点を独立に数えている。また、隣接地点間のSF比の評価に用いられた地震は合計で延べ101705地震であった。Fig.1にこれらの隣接観測地点のネットワーク(赤線)と解析に用いた地震の震央分布(グレーの○)を示す。

なお、参照観測点としてはKiK-net豊橋北(AICH22)の地中観測点(GL-203m)を採用した。同地点の地盤構造³⁾をTable 1に示す。これによると最下層のVpとVsはそれぞれ5.5km/s、3.0km/sであり、地中観測点が地震基盤相当の岩盤内に位置することが分かる。

この参照観測点を基準として評価された、地表観測点における水平動と上下動のRSFの分布をそれぞれFig.2、Fig.3に示す。なお、距離減衰特性の検討では周波数帯域毎の特徴を観察することが多い。そこで、RSFも周波数0.3Hz～30Hzの帯域をTable 2の8つの帯域に分割して表示することとした。また、各図ではRSFの大きさを暖色～寒色で表し、その値を右側のカラーバーで示した。

これらの図によると、いずれの周波数帯域でもRSFの最大/最小の比が30倍前後になることは珍しくない。このことは観測地震動の振幅が地盤の揺れ易さの影響だけでその程度ばらつくことを意

味しており、地盤の揺れ易さの違いが精度良く距離減衰特性を検討する上で大きな障害となることを示している。

さて、Fig.2の水平動成分のRSFの分布を見ると、低周波数側の帯域では海岸線の周辺や内陸の平野部でRSFが大きく、兵庫県、紀伊半島、岐阜県、愛知県、長野県の山岳部分で小さい傾向がある。低周波数領域における地盤増幅は堆積層が厚い地域で大きく、薄い地域で小さくなることが知られており、この特徴はそれらと調和的である。一方、高周波数側の帯域のRSFは、山岳部で比較的大きいのに対し、海岸線付近で小さい地点が多く、低周波数側とは傾向が逆である。これについては、山岳部では硬質地盤の上に薄く軟弱層が存在するケースが多く、強震時に最表層部分の共振現象が現れ易いこと、逆に、海浜部では堆積層が厚いため地盤内部を上昇する間に高周波数成分が減衰し易いこと、が影響しているものと考えら

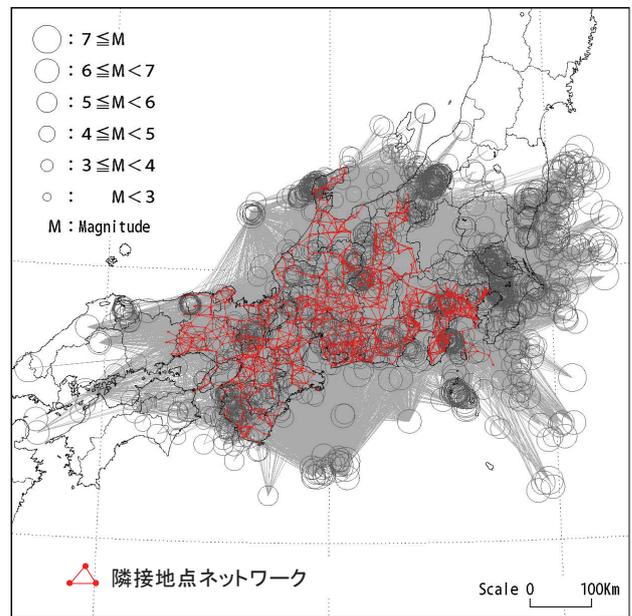


Fig.1 中部・近畿地方の隣接地点ネットワークと震央分布 (Adjacent Sites Network and Epicenters)

Table 1 KiK-net 豊橋北 (AICH22) の地盤構造³⁾ (Velocity Structure of AICH22)

No	Depth(m)	Vp(m/s)	Vs(m/s)
1	0～2	400	190
2	2～36	1800	440
3	36～64	1800	520
4	64～116	4000	2100
5	116～158	5500	2300
6	158～203	5500	3000

Table 2 解析周波数帯域の分割

(Frequency Bands used in this Analyses)

帯域番号	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8
下限周波数	0.3	0.6	1.0	1.8	3.1	5.5	9.7	17
中心周波数	0.41	0.74	1.3	2.3	4.1	7.1	13	23
上限周波数	0.6	1.0	1.7	3.0	5.3	9.3	16	30

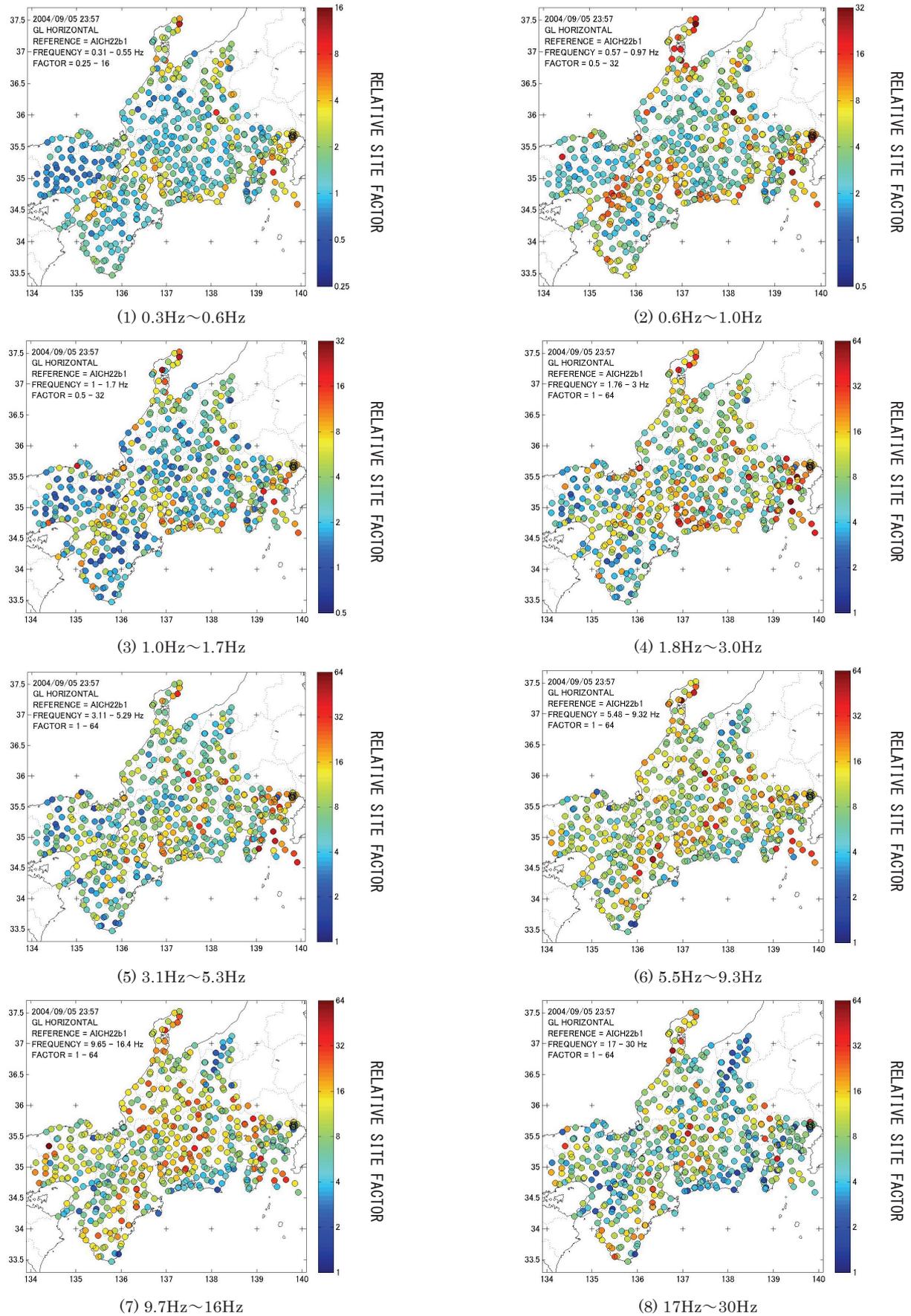


Fig.2 地表観測点における水平成分の相対サイトファクターの分布
 (Relative Site Factors of Horizontal Components at Ground Surface Observation Points)

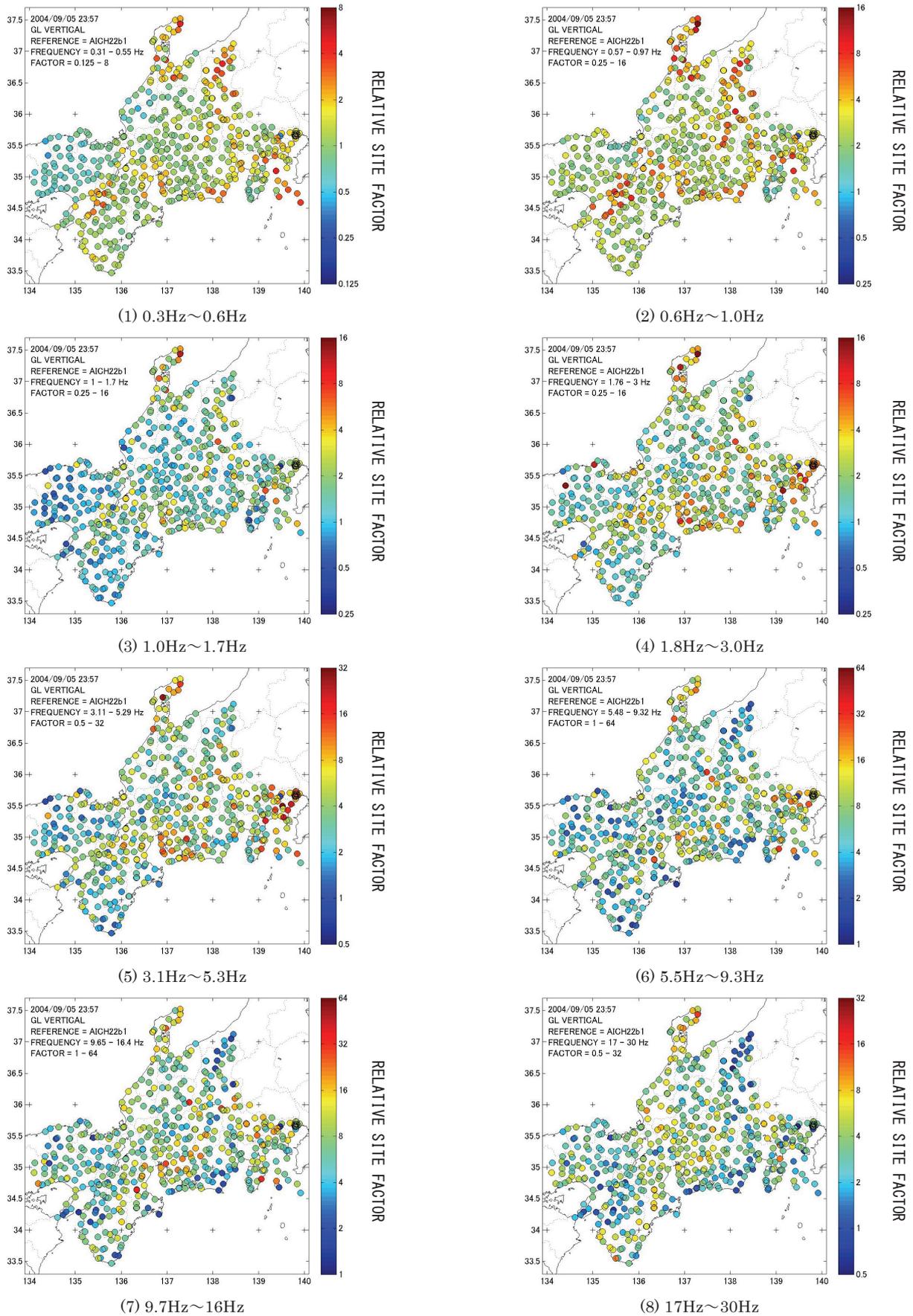


Fig.3 地表観測点における上下成分の相対サイトファクターの分布
(Relative Site Factors of Vertical Components at Ground Surface Observation Points)

れる。このほかに、高周波数側の帯域では長野・新潟県境に近い千曲川の流域に沿ってRSFがやや低い地点が分布している。

Fig.3の上下動成分のRSFの分布でも水平動成分で見られたものと類似の傾向が認められる。

Ⅲ. 地震動距離減衰特性の検討

1. 距離減衰特性の検討法と解析地震

上記で評価したRSFを用いて観測地震動から各観測地点の揺れ易さの違いを除去し、中部～近畿地方とその周辺で発生した地震について強震動の波動伝播特性を検討する。揺れ易さの除去は次のように説明される。まず、 i 地点の地震動振幅 $A_i(f)$ は、震源特性 $S(f)$ 、伝播経路特性 $P_i(f)$ 、サイトファクター $G_i(f)$ の積で表される。

$$A_i(f) = S(f) \cdot P_i(f) \cdot G_i(f) \quad (6)$$

$A_i(f)$ を i 地点のRSF((3)式)で割算して $B_i(f)$ とすると(7)式のようになり、震源特性と伝播経路特性を実際に観測した条件のまま、サイト特性だけ参照観測点の条件に変換することができる。

$$B_i(f) = A_i(f) / RSF_i(f) = S(f) \cdot P_i(f) \cdot G_{ref}(f) \quad (7)$$

そのため、(7)式の $B_i(f)$ を用いることにより、全地点の揺れ易さの違いを解消して距離減衰特性を観察することが可能となる。

さて、今回、距離減衰特性を検討するのは、中部～近畿地方とその周辺で発生した内陸地殻内地震6地震とスラブ内地震5地震である。それらの地震諸元をそれぞれTable 3, 4に示す。表でDateとTimeが地震発生の日時、N.L.とE.L.が震央位置の北緯(度)、東経(度)、HとMが震源深さ(km)とマグニチュードを示している。これらの地震の震央分布(★)をFig. 4に示す。なお、地震動の距離減衰特性を検討する際には、火山周辺ではしばしば顕著な減衰体の存在が指摘^{10) 11)}されていることに注意が必要である。そこで、Fig. 4では第四紀火山の位置⁶⁾も●で示した。なお、●の大きさは火山間の相対的な山体サイズを表している。この地域では、岐阜県・長野県の北部から新潟県・群馬県にかけて、および富士山から伊豆諸島にかけて数多くの火山が集中していることがわかる。

2. 内陸地殻内地震の距離減衰特性

内陸地殻内地震の検討では、まず始めに距離減衰特性が比較的単純なケースとして、(IL5)2013/04/13 05:33 淡路島の地震(H15 km, M6.3)を取り上げ、震源からの放射パターン特性に起因する方位性の影響^{12) 13)}を避けて周波数7Hz付近の帯域の地震動に注目し、距離減衰の特徴を観察する。この地震による周波数7Hz付近の地表観測振幅 $A_i(f)$ の分布とRSFの効果を除去した振幅 $B_i(f)$ の分布をそれぞれFig.5aとFig.5bに示す。これらの図では震央位置を★で示している。また、各地点の振幅の大きさを暖色～寒色で表示しており、その振幅値は右側のカラーバーのとおりである。

Fig.5aの観測振幅 $A_i(f)$ の分布では、観測地点毎に揺れ易さが違うため、近い地点間でも顕著に振幅が異なる例が見られるが、Fig.5bの基盤地震動に換算した振幅 $B_i(f)$ の分布では観測地点毎の揺れ易さの違いが解消されたことにより、震源から遠ざかるにつれて振幅が滑らかに減少する単純な分布となり、距離減衰特性が観察し易くなっていることが分かる。

また、IL5の地震で周波数7Hz付近の地震動について、地表、地

Table 3 解析した内陸地殻内地震の諸元

(List of Inland Earthquakes)							
No.	Date	Time	N.L.	E.L.	H	M	震源地名
			(degN)	(degE)	(km)		
(IL1)	2000/06/07	06:16	36.8265	135.5630	21.30	6.2	石川県西方沖
(IL2)	2007/03/25	09:41	37.2207	136.6860	10.70	6.9	能登半島沖
(IL3)	2011/03/12	03:59	36.9860	138.5978	8.38	6.7	長野県北部
(IL4)	2011/03/15	22:31	35.3095	138.7145	14.31	6.4	静岡県東部
(IL5)	2013/04/13	05:33	34.4188	134.8290	14.85	6.3	淡路島
(IL6)	2014/11/22	22:08	36.6928	137.8910	4.59	6.7	長野県北部

Table 4 解析したスラブ内地震の諸元

(List of Intrastub Earthquakes)							
No.	Date	Time	N.L.	E.L.	H	M	震源地名
			(degN)	(degE)	(km)		
(SL1)	1997/05/24	02:50	34.5008	137.4998	23.10	6.0	遠州灘
(SL2)	2004/09/05	19:07	33.0332	136.7977	37.58	7.1	紀伊半島沖
(SL3)	2004/09/05	23:57	33.1375	137.1413	43.54	7.4	紀伊半島沖
(SL4)	2009/08/11	05:07	34.7862	138.4993	23.32	6.5	駿河湾
(SL5)	2011/08/01	23:58	34.7070	138.5488	23.03	6.2	駿河湾

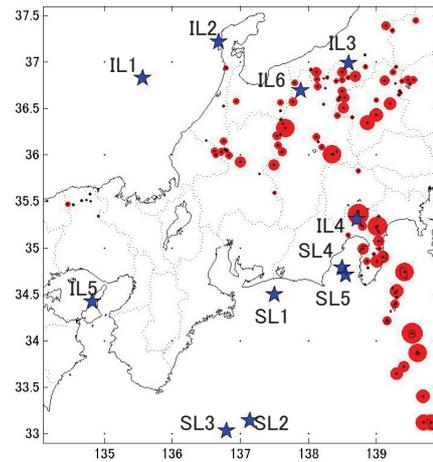


Fig.4 解析地震の震央と第四紀火山の分布

(Distribution Epicenters of Events and Volcanoes)

中を問わず、すべての観測記録から各々のRSFの効果を除去した $B_i(f)$ の距離減衰分布をFig.6に示す。図中の赤線は震源距離 r を用いた次の多項式で表される平均値とその±標準偏差の幅である。

$$\ln a(r) = \sum_{k=0}^K b_k (\ln r)^k \quad (8)$$

ここに、 $a(r)$ は震源距離 r における平均振幅、 b_k は定数係数、 K は多項式の次数であり、 K は最小AICの基準¹⁴⁾により選定される。

また、図中には幾何減衰効果の目安として震源距離 r の0乗、-1/2乗、-1乗の傾きも示した。図からわかるように、この地震の場合は今回検討している領域において距離減衰分布が非常によくまとまっており、Q値効果によって遠方になるほど振幅が減少してゆく様子も明瞭にとらえられている。

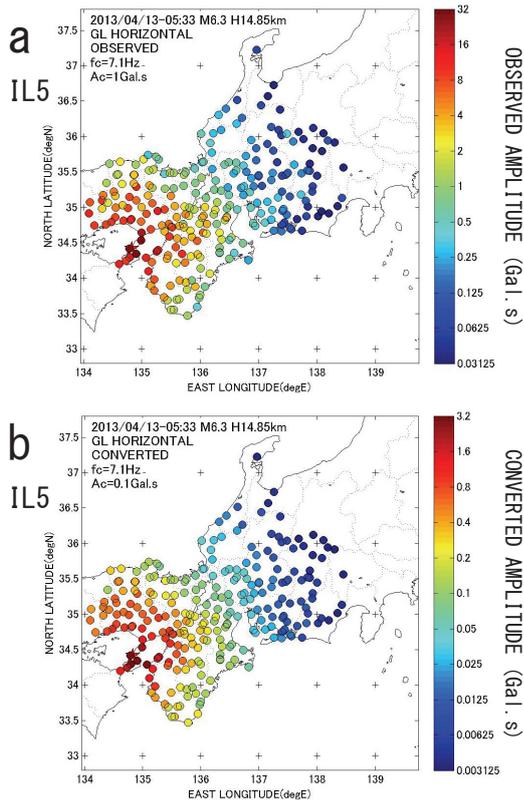


Fig.5 (IL5)2013/04/13 淡路島の地震による周波数 7Hz 付近の地表観測振幅とその基盤換算振幅の分布
(Distribution of Observed Amplitudes and Converted ones due to the 2013/04/13 Awajishima Event)

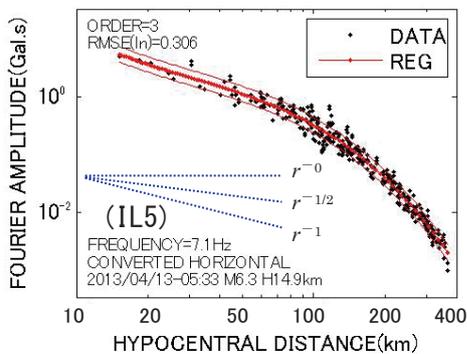


Fig.6 周波数 7Hz 付近の基盤換算振幅の距離減衰分布
(Attenuation Distribution of Converted Base-Rock Motions)

以上と同様の検討を Table 3 の残りの 5 つの内陸地震についても実施した。そのうち、7Hz 付近における距離減衰分布を検討した結果を Fig.7a~e に示す。図中には Fig.6 と同様に多項式による平均振幅と土標準偏差の幅も示している。また、それぞれ採用された次数とその場合における $\ln a(r)$ の RMS 誤差を左上部に示している。これらによれば、同じ周波数 7Hz 付近の地震動でありながら、距離減衰分布の特徴は地震によって大きく異なる。とりわけ、b (IL2) 2007/03/25 能登半島沖の地震と e (IL6) 2014/11/22 長野県北部の地震では、それぞれ震源距離 130km 付近や 40km 付近よりも遠方の範囲で二重の振幅分布が認められ、特異な現象が生じていることが

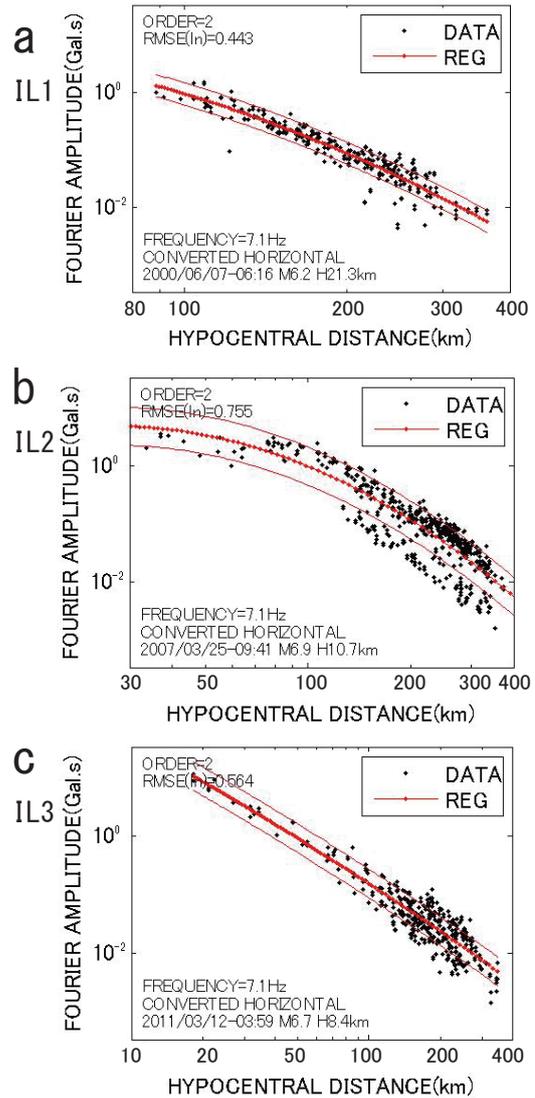


Fig.7 内陸地震による基盤換算振幅の距離減衰分布
(Attenuation of Base-Rock Motions from Inland Events)

分かる。また、c (IL3) 2011/03/12 長野県北部の地震でも (IL2) や (IL6) ほどは明瞭でないが震源距離 200~300 km 付近で二重の分布が見られ、d (IL4) 2011/03/15 静岡県東部の地震でも震源距離 200km 付近から急激に振幅が低下する部分があることがわかる。

これらの現象を調べるにあたり、特異な傾向を示した地点が空間的にどのような領域を占めているのかを把握するため、各地点の基盤換算振幅 $B_i(f)$ をもとに、(8)式の平均振幅 $a(r)$ と対数標準偏差 σ_{ln} を用いて(9)式の基準化誤差 (NER) を求め、その空間分布を観察した。

$$NER = (\ln B_i(f) - \ln a(r)) / \sigma_{ln} \quad (9)$$

Fig.7 のうち、(IL1) 2000/06/07 石川県西方沖の地震は Fig.6 に示した (IL5) ほどではないが、RMSE の値が相対的に小さく、比較的良くまとまっている。そこで、それ以外の (IL2) 2007/03/25 能登半島沖の地震、(IL3) 2011/03/12 長野県北部の地震、(IL4) 2011/03/15 静岡県東部の地震および (IL6) 2014/11/22 長野県北部の地震について NER の分布を検討した。それらの検討結果を Fig.8a~d に示す。

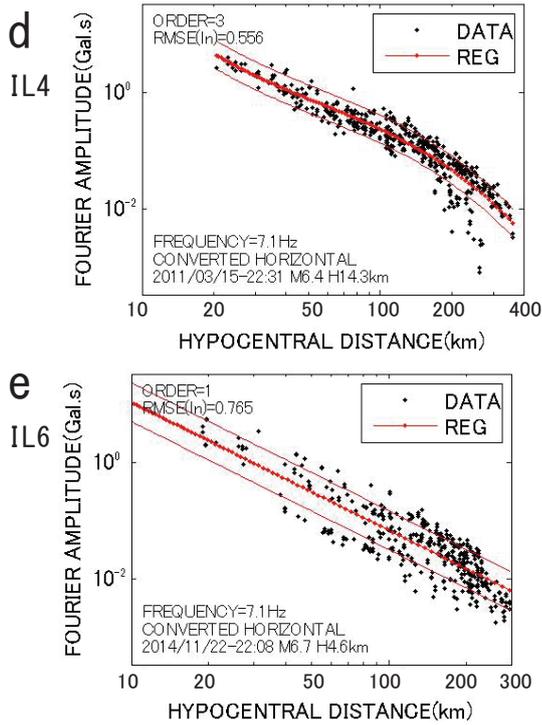


Fig.7 (続き) 内陸地震による基盤換算振幅の距離減衰分布
(Attenuation of Base-Rock Motions from Inland Events)

これらの図では基準化誤差 NER の大小を $+3 \sim -3$ の範囲で暖色～寒色で示しており、例えば NER が $+3$ であれば、平均値に比べて 3σ 分振幅が大きいことを表す。また、特に NER が小さい領域の方位を破線で挟んで示した。この結果によれば、(IL2) 2007/03/25 能登半島沖の地震では、震源から南東方向の伊豆半島～東京に向かう範囲で著しく NER が小さく、また、(IL6) 2014/11/22 長野県北部の地震の場合は震源から西南西に向かう範囲で著しく NER が小さい。さらに、(IL4) 2011/03/15 静岡県東部の地震でも震央から北西に向かって富山県に入った段階で振幅が低下している。いずれの地震でも、震央から遠ざかるにつれて顕著に NER が低下している領域の手前には飛騨山脈がある。飛騨山脈の下には顕著な減衰体が存在することが知られており^{10) 11)}、震源から放出された波動が、飛騨山脈の下を通過する間に急激に減衰し、その進行方向における距離減衰分布に特異な段差が生じたものと解釈される。また、Fig.8b ではこのほかに南方でも NER がやや小さい領域がある。これには群馬県西部の白根山、浅間山等の火山周辺の減衰性が影響を及ぼしている可能性がある。ただし、振幅低下の度合いは西南西方向ほどではないため、その減衰性の強さも飛騨山脈周辺には及ばないだろう。

上記のうち、(IL2) 2007/03/25 能登半島沖の地震と (IL6) 2014/11/22 長野県北部の地震についてそれぞれ比較的振幅が小さい方位と大きい方位を選定して距離減衰分布の様子を確認した。Fig.9a, b にその結果を示す。振幅が小さい方位と大きい方位は a. (IL2) 2007/03/25 能登半島沖の地震では $N125^\circ E$, $N180^\circ E$ 、一方、b. (IL6) 2014/11/22 長野県北部の地震では $N245^\circ E$, $N185^\circ E$ とした。図では、いずれも上記方位の $\pm 15^\circ$ の範囲内にある地点を取り上げて、それぞれ青と赤で区別している。どちらの地震でも 2 重の分布になっている距離範囲では距離減衰の分布がおおむね平行であり、a では

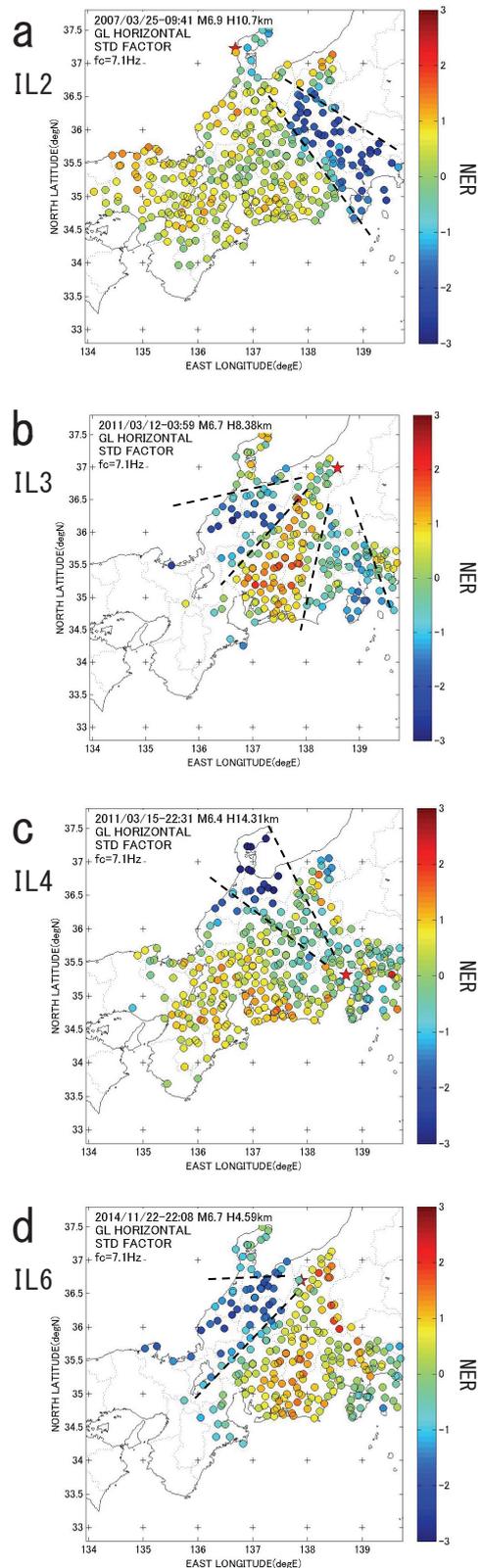


Fig.8 基盤換算振幅の平均振幅からの基準化誤差
(Spatial Distribution of Normalized Deviation)

震源距離 120～130km 付近で、b では震源距離 40km 程度までの間の限られた範囲で 1 桁近く振幅が低下していることが分かる。これらの結果は飛騨山脈下の顕著な減衰体の存在を示唆している。

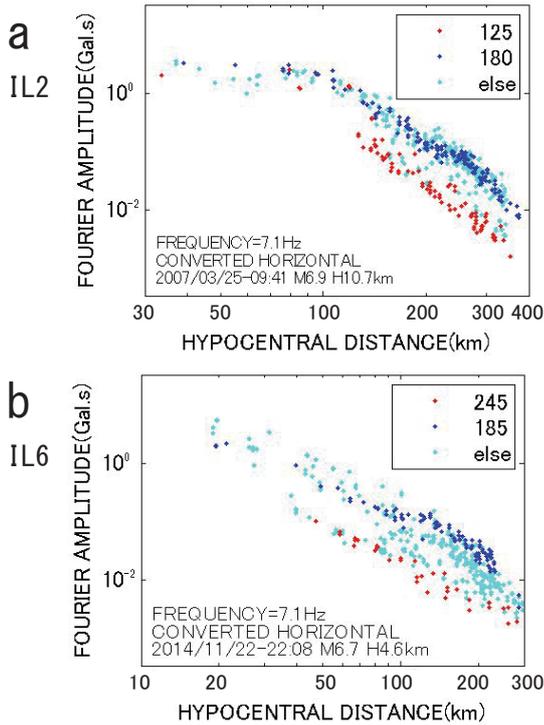


Fig.9 特定方位における基盤換算振幅の距離減衰分布
(Attenuation of Base-Rock Motions in specific Directions)

3. スラブ内地震の距離減衰特性

スラブ内地震については今回検討する最大規模の地震である (SL3) 2004/09/05 23:57 紀伊半島沖の地震(H44km, M7.4)を例にして結果を示す。まず, Fig.10a, bに周波数7Hz付近の地表観測振幅とその基盤換算振幅の分布を示す。これらによると, 全体的にやや西側の振幅が大きい傾向はあるが特定の狭い方位範囲で大きくなったり小さくなったりするような現象は目立たない。

また, 周波数7Hz付近の振幅について, すべての観測点のデータで基盤換算振幅を求め, 距離減衰分布を調べた結果を Fig.11 に示す。これによると, 基盤換算振幅の距離減衰分布は, (IL5) 2013/04/13 淡路島の地震の場合(Fig.6)ほどではないが, 図中のRMSEの値0.39から分かるように比較的良くまとまっており, (IL2) 2007/03/25 能登半島の地震(Fig.7(2))や(IL6) 2014/11/22 長野県北部の地震(Fig.7(5))の際に見られたような特異なばらつきは認められない。

Fig.12a~d はほかのスラブ内地震についても Fig.11 と同じ検討を行った結果である。なお, このうち, Fig.12a の(SL1) 1997/05/24 遠州灘の地震(M6.0, H23km)はKiK-netの観測が始まる前の地震であったため, ほかの地震に比べ観測記録が少ない。この地震を除くと, (8)式の回帰分析で得られた平均振幅の対数標準偏差は0.4~0.5前後であり, Fig.11 と同程度のばらつきである。

このうち, 中部~近畿地方の全域を検討できる紀伊半島沖の2地震と駿河湾の2地震で標準化誤差(NER)の空間分布を検討した。まず, Fig.13a と Fig.13b は(SL2) 2004/09/05 19:07 紀伊半島沖地震(M7.1, H38km)と(SL3) 2004/09/05 23:57 紀伊半島沖地震(M7.4, H44km)による周波数7Hz付近のNERの分布である。震源位置はいずれも紀伊半島南東沖であるが, NERの分布性状は異なる。例えば, Fig.13a で大きな領域は震央の北東側(岐阜県から長野県中部にか

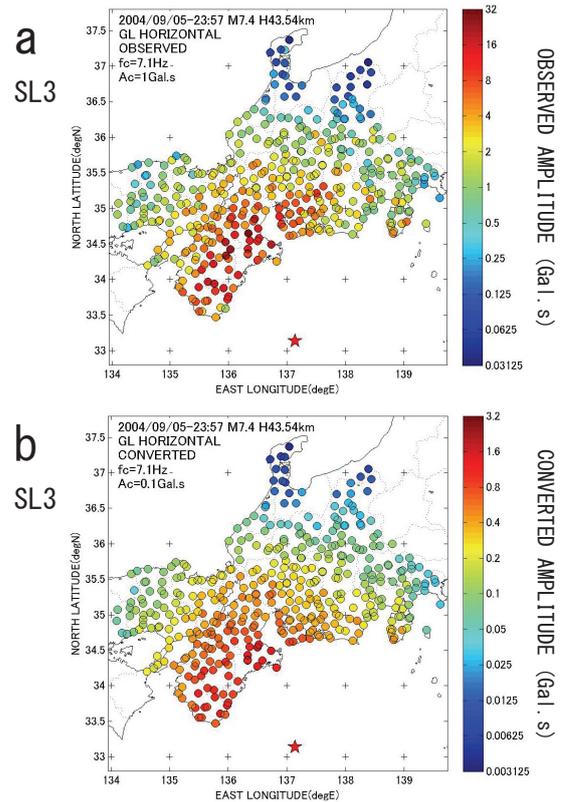


Fig.10 (SL3) 2004/09/05 23:57 紀伊半島沖の地震による周波数7Hz付近の地表観測振幅とその基盤換算振幅の分布
(Distribution of Observed Amplitudes and Converted ones due to the 2004/09/05 23:57 Off Kii Peninsula Event)

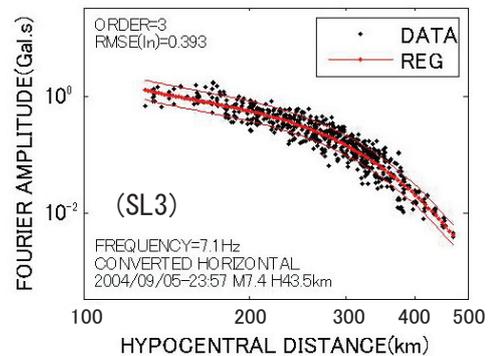


Fig.11 周波数7Hz付近の基盤換算振幅の距離減衰分布
(Attenuation Distribution of Converted Base-Rock Motions)

けて)の領域であるのに対し, Fig.13b ではむしろ震央の北西側で大きい。山中¹⁵⁾によれば19:07の地震は震源から東西方向に広がるbi-lateral破壊であり, 一方, 23:57の地震は北西方向に広がるunilateral破壊であった。NERの分布性状の違いにはこのような破壊過程の違いが影響を及ぼしていたことが考えられる。

一方, Fig.13c と Fig.13d はそれぞれ(SL4) 2009/08/11 と(SL5) 2011/08/01の駿河湾の地震の結果である。この2地震のNERの分布は, 紀伊半島沖の2地震とは違い, 互いに良く似た特徴の分布性状を示しており, 振幅のばらつきが主に構造的な条件で再現されていることを示唆している。

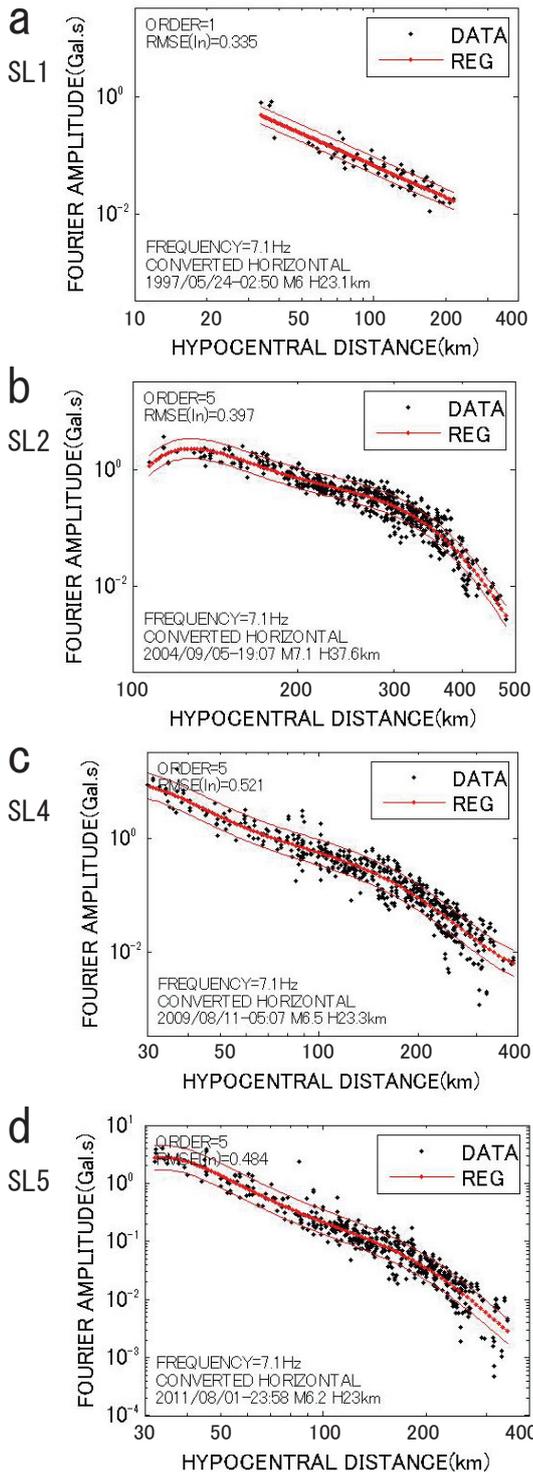


Fig.12 スラブ内地震による基盤換算振幅の距離減衰分布 (Attenuation of Base-Rock Motions from Intraslab Events)

IV. おわりに

中部～近畿地方における K-NET・KiK-net の観測記録³⁾を用いて同地域の距離減衰特性を検討した。検討にあたっては、はじめに中部～近畿地方の K-NET・KiK-net 地点の揺れ易さを把握するため、隣接観測点のネットワークを用いる方法⁷⁾によりサイトファクターRSFを評価した。次いで、同地域およびその周辺で発生した M \geq 6.0

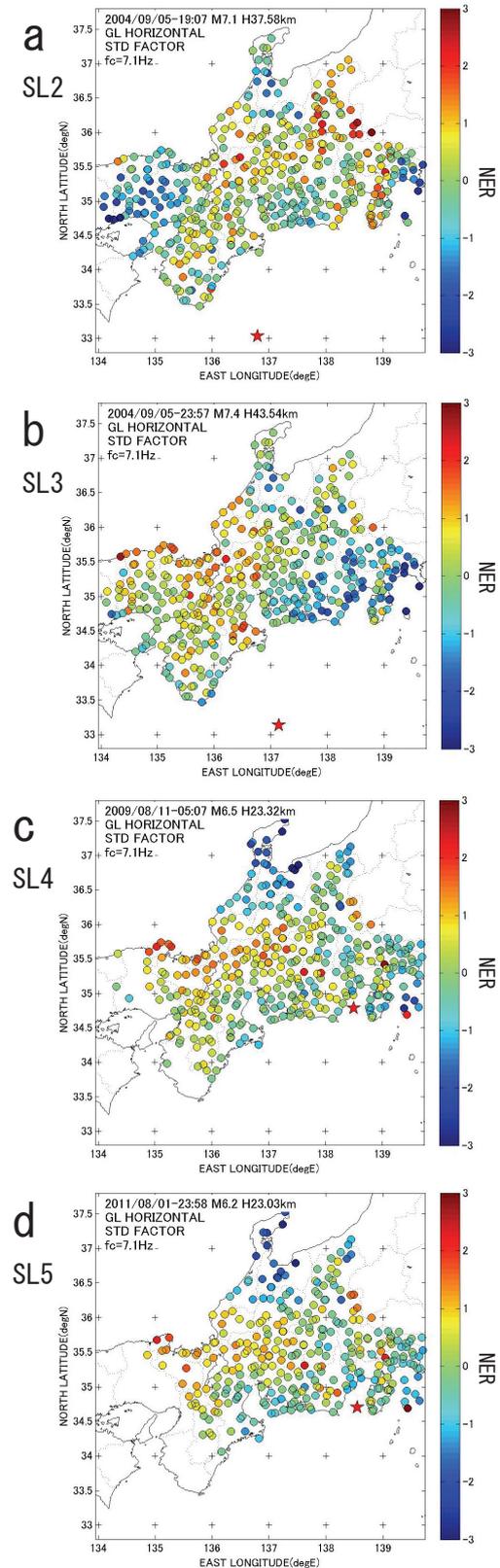


Fig.13 基盤換算振幅の平均振幅からの基準化誤差 (Spatial Distribution of Normalized Deviation)

の内陸地殻内地震とスラブ内地震を取り上げ、観測振幅をRSFで割算して基盤換算振幅を求め、観測地点毎の揺れ易さの違いを排除した状態で距離減衰特性を観察した。その結果、内陸地殻内地震の

検討では、飛騨山脈の火山帯下を通過した地震動が顕著に減衰することにより距離減衰特性に大きなばらつきが現れることを示した。また、スラブ内地震の検討では、2004年の2つの紀伊半島沖地震の例から震源の破壊過程の影響で距離減衰特性のばらつきが大きくなる可能性を指摘した。

今後、強震動の予測精度を向上させていく上では、これらの要因によるばらつきを抑制していくことが重要である。前者は主に構造的な要因であり、全国にわたって減衰構造を明らかにする必要がある。既にその試みは行われているが^{16) 17)}、空間分解能と精度の向上が課題であろう。一方、後者の改善には、これまで距離減衰式ではあまり考慮されていなかった震源からの方位を新たなパラメタとして導入してみる検討が必要となる。

謝 辞

本研究では、防災科学技術研究所 K-NET, KiK-net の強震記録を使用いたしました。記して感謝いたします。

参考文献

- 1) 地震調査研究推進本部地震調査委員会；糸魚川－静岡構造線断層帯の長期評価（第二版），2015.
- 2) 地震調査研究推進本部地震調査委員会；南海トラフの地震活動の長期評価（第二版）について，2013.
- 3) 防災科学技術研究所強震観測網（K-NET, KiK-net）(<http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/>)
- 4) Joyner, W. B. and D. M. Boore ; Peak horizontal acceleration and velocity from strong-motion records including records from the 1979 Imperial Valley, California, earthquake, Bull. Seism. Soc. Am., 71, 1981, pp.2011-2038.
- 5) 加藤研一，池浦友則：東北地方南部で発生したプレート境界地震の震源・伝播経路・地盤増幅特性，第12回日本地震工学シンポジウム，2006，pp.234-237.
- 6) 第四紀火山カタログ委員会；日本の第四紀火山カタログ，火山，第44巻，第6号，1999，pp.285-289.
- 7) 池浦友則，加藤研一；隣接2地点ペアのネットワークに基づく相対地盤増幅率の広域評価 — 東北地方太平洋側の K-NET・KiK-net サイトへの適用 —，日本地震工学会論文集，第11巻，第4号，2011，pp.48-67.
- 8) Borchardt, R. D. ; Empirical evidence for acceleration-dependent amplification factors, Bull. Seism. Soc. Am., 92, 2002, pp.761-782.
- 9) 藤本一雄，翠川三郎；近接観測点ペアの強震記録に基づく地盤増幅度と地盤の平均 S 波速度の関係，日本地震工学会論文集，第6巻，第1号，2006，pp.11-22.
- 10) Katsumata, K., T. Urabe, and M. Mizoue ; Evidence for a seismic attenuation anomaly beneath the Hida Mountain Range, Central Honshu, Japan, Geophys. J. Int., 1995, pp.237-246.
- 11) 天池文男・八代和彦：長野県西部地域における伝播経路 Q 値特性の研究，日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道)，2004，pp.509-510.
- 12) Liu, H.-L., and D. V. Helmberger ; The 23:19 aftershock of the 15 October 1979 Imperial Valley earthquake: More evidence for an asperity, Bull. Seism. Soc. Am., 75, 1985, pp.689-708.
- 13) 佐藤智美；Kik-net 強震記録に基づく鳥取県西部地震とその余震のラディエーションパターン及び fmax の評価，日本建築学会構造系論文集，556, 2002, pp.25-34.
- 14) 坂元慶行，石黒真木夫，北川源四郎；情報量統計学，情報科学講座，A・5・4，共立出版，1984.
- 15) 山中佳子；9月5日の紀伊半島南東沖の地震（Mj6.9, Mj7.4, Mj6.4），EIC 地震学ノート，No.152, 2004.
- 16) Sekine, S. ; Tomographic inversion of ground motion amplitudes for the 3-D attenuation structure beneath the Japan islands, Report of the National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, No.68, 2005, pp.137-174.
- 17) 中村亮一，植竹富一；地殻・上部マントルでの減衰 — トモグラフィ手法による Q 値評価とその利用 —，物理探査，第65巻，第1&2号，2012，pp.67-77.

Relative Site Factors of K-NET and KiK-net Sites and Attenuation Characteristics of Strong Motions in Chubu and Kinki Districts

Tomonori Ikeura

Attenuation characteristics of strong motions were investigated using strong motion records of K-NET and KiK-net sites in Chubu and Kinki districts. In this study, relative site factors(RSF) of K-NET and KiK-net sites in these areas were evaluated by a method using network of adjacent strong-motion sites. And the characteristics of attenuation distributions of base rock motion amplitudes, which were estimated from observed ones due to inland and intraslab earthquakes in and around these districts, were examined. Analyses of strong motion data from inland earthquakes clarified that volcanic zones on wave propagateing paths caused large scatters of seismic motion amplitudes in Chubu district. It was found that a directivity of source process of large earthquake also caused large scatter of amplitudes in attenuation distributions from analyses of data from intraslab earthquakes.