

関東平野における周波数特性を考慮した地盤増幅率に関する研究

1. 背景と目的

構造物の耐震設計をする上で構造物に作用する地震動を予測することが極めて重要であり対象となる地点で予測される地震動を適切に評価する必要がある。また、地震防災を考える上では、その地域がどれだけ地震動による影響を受け易いかを評価しておくことが重要となる。

広域に渡って地震動分布を推定するために、現在は最大速度振幅における増幅率を用いることが多い [松岡・翠川 (1994)]⁽¹⁾。これは比較的被害との相関が良いと言われるが、近年の構造物の周期特性は短周期から長周期まで様々であり、対象構造物の周期帯をカバーしているとは必ずしも言えない。つまり、周期特性を考慮することができる増幅率の評価が必要となっている。

本研究ではまず関東平野周辺に設置された強震計観測点 (K-net、SK-net) 557 個の中のいずれか 1 個以上で観測記録がある M4.6 以上の地震 31 個を対象に、スペクトル領域での線形インバージョン手法を用いて震源特性・伝播経路特性・地盤増幅特性を分離する [岩田・入倉 (1986)]⁽²⁾。また、理論との整合性を得る。

分離された地盤増幅特性は地震基盤 (Vs=3000m/s 相当) から地表までの増幅特性を示すものとなり、深層地盤による長周期増幅率も考慮されている。こうして得られた増幅特性を、面的に拡大させるために地形分類および表層 30m 平均 S 波速度と対応させる。そして、周期特性に考慮した増幅特性を考慮する必要があることを証明する。

2. 地震動特性の分離

解析に用いたデータは関東平野周辺で発生した M4.6 ~ 6.1、震源深さ 24 ~ 96km の 31 個の地震による関東平野内の K-net・SK-net 観測点で得られたものである (表 1 又は図 1)。なお震源距離が 200km を超えるものおよび SN 比が良くないものは解析対象から外してある。地表で観測される地震動の S 波部分は次式で近似できる。

$$O_{ij}(f) = S_i(f)G_j(f) \frac{\exp(-fR_{ij}/Q_s(f)V_{sij})}{R_{ij}}$$

ここで $O_{ij}(f)$ は i 番目の地震の j 番目の観測点における S 波部分の観測スペクトル。 $S_i(f)$ は i 番目の地震の震源スペクトル。 $G_j(f)$ は j 番目の観測点における地盤増幅特性を示すスペクトル。 R_{ij} は i 番目の地震の震源から j 番目の観測点までの距離。 $Q_s(f)$ は S 波の減衰特性を表す値の逆数。 V_{sij} は i 番目の地震の震源から j 番目の観測点に至るまでの平均的な S 波速度をそれぞれ示している。

去年度の研究⁽³⁾で用いた地震には規模の小さいものも含まれており低振動数領域では信頼性が欠け、解析対象

表 1 本研究に用いる地震の震源位置

発生年月日	Mj	震源深さ	震源位置
2004/10/6 23:40	M5.7	66km	茨城県南部(35 59.1'N 140 5.5'E)
2004/8/6 3:23	M4.6	75km	千葉県北西部(35 36.7'N 140 3.5'E)
2004/7/10 20:07	M4.7	48km	茨城県南部(36 4.6'N 139 53.3'E)
2003/10/15 16:30	M5.1	74km	千葉県北西部(35 36.6'N 140 3.1'E)
2003/9/20 12:54	M5.8	70km	千葉県南部 (35 12.9'N 140 18.2'E)
2003/8/18 18:59	M4.8	69km	千葉県北西部(35 48.0'N 140 6.7'E)
2003/5/12 0:57	M5.3	47km	茨城県南部(35 51.9'N 140 5.3'E)
2003/4/8 4:17	M4.6	47km	茨城県南部(36 4.1'N 139 54.7'E)
2003/3/13 12:12	M5.0	47km	茨城県南部(36 5.2'N 139 51.5'E)
2002/7/13 21:45	M4.8	65km	茨城県南部(35 59.7'N 140 7.6'E)
2002/6/20 8:33	M4.7	47km	千葉県北東部(35 44.4'N 140 42.3'E)
2002/6/14 11:42	M5.1	57km	茨城県南部(36 12.7'N 139 58.8'E)
2002/5/19 5:00	M4.6	72km	千葉県北西部(35 38.5'N 140 12.9'E)
2002/5/4 20:35	M4.8	32km	千葉県北東部(35 27.6'N 140 24.5'E)
2001/12/8 4:07	M4.6	24km	神奈川県西部(35 32.2'N 139 8.9'E)
2001/11/17 1:31	M4.6	73km	千葉県北西部(35 36.9'N 140 4.9'E)
2001/7/20 6:02	M5.0	55km	茨城県南部(36 9.5'N 139 48.9'E)
2001/5/31 8:59	M4.7	56km	茨城県南部(36 10.3'N 139 48.6'E)
2001/5/25 15:55	M5.0	47km	千葉県北東部(35 45.3'N 140 40.1'E)
2000/9/29 8:56	M4.6	86km	神奈川県東部(35 31.8'N 139 42.5'E)
2000/6/3 17:54	M6.1	48km	千葉県北東部(35 41.1'N 140 44.9'E)
2000/4/10 6:30	M4.8	55km	茨城県南部(36 11.2'N 140 3.8'E)
1999/12/4 14:06	M4.9	96km	鹿島灘 (35 55.7'N 140 46.3'E)
1999/9/13 7:56	M5.1	76km	千葉県北西部(35 35.6'N 140 9.7'E)
1999/7/15 7:56	M5.0	50km	千葉県北東部(35 55.9'N 140 26.6'E)
1998/11/8 21:40	M4.7	80km	東京湾 (35 37.6'N 140 2.5'E)
1998/8/29 8:46	M5.3	65km	東京湾 (35 37.7'N 140 1.9'E)
1998/6/24 23:52	M4.7	68km	茨城県南部(36 9.0'N 140 6.1'E)
1998/5/16 3:45	M4.8	73km	千葉県南部(34 56.0'N 139 55.5'E)
1998/1/16 10:57	M4.7	53km	千葉県南部(35 12.9'N 140 19.3'E)

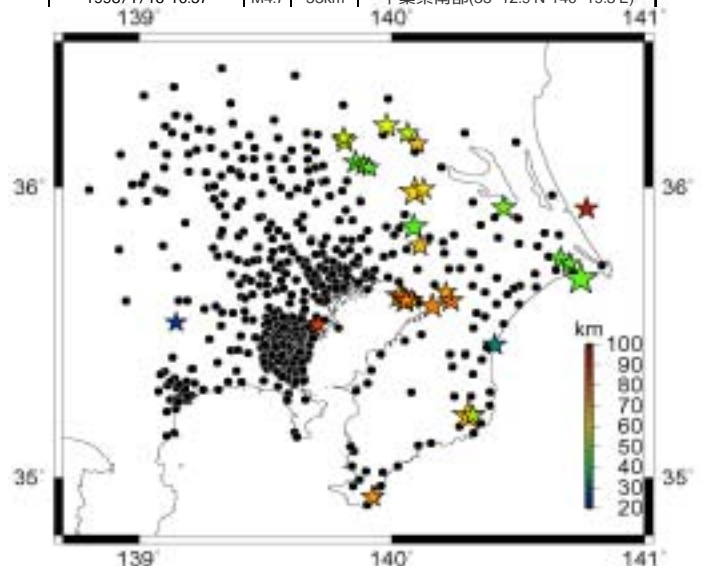


図 1 震源位置 が観測点

とする振動数範囲は 0.5Hz ~ 10Hz(0.1 秒 ~ 2 秒)であった。本年度は解析対象の地震を見直すことにより、0.3Hz ~ 20Hz(0.05 秒 ~ 3 秒)まで広げた。このインバージョンには震源特性と地盤増幅特性との間でトレードオフが生じてしまうので、何らかの拘束条件が必要となる。ここでは経験的増幅特性評価法 [鶴来・他 (1997)]⁽⁴⁾を用いて K-net 観測点の SIT012 (飯能)、TKY002 (松原)の地震基盤相当から地表までの増幅特性を評価し、それらを拘束条件として用いた。2 点の拘束を用いることで、個々を絶対値とするのではなく、相互に作用し合った結果が得られる。また、減衰を示す Q_s 値は、関東地下深部の複雑な地帯構造を考慮し、地震発生域により 4 つに分けて評価した (表 2 参照)。

分離された Q_s 値・震源スペクトル・増幅率をそれぞれ 図 2、図 3、図 4 に示す。 Q_s 値の図には既往の研究で得

られた値も併記してある。高振動数になるに従い減衰が小さくなっていく傾向が見られ、太平洋プレート内で発生した地震は特にその傾向が強い。震源スペクトルは高振動数になるに従い ~ 2 で減少しており、経験的震源則に当てはまる。増幅率は関東平野の堆積層に合う結果となった。以上のことから、既往の研究で得られた値と矛盾しない値が得られた。こうして得られた増幅特性も良い傾向が得られているはずである。三つを例に挙げるが、理論との整合性が得られた(図5参照)。

表2 地震発生域

地震タイプ	母体数
A:太平洋プレート内	5
B:太平洋プレートとフィリピン海プレートの境界	15
C:フィリピン海プレート内	3
D:フィリピン海プレートと陸のプレートの境界	8
計	31

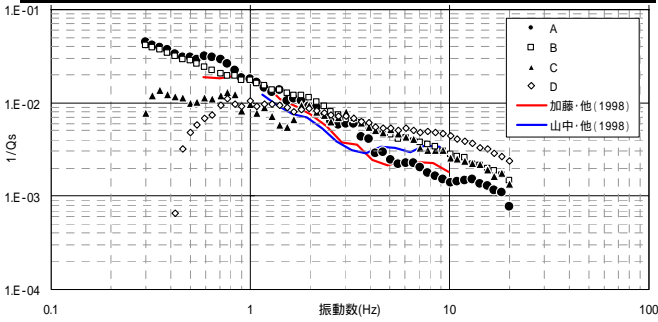


図2 Qs値

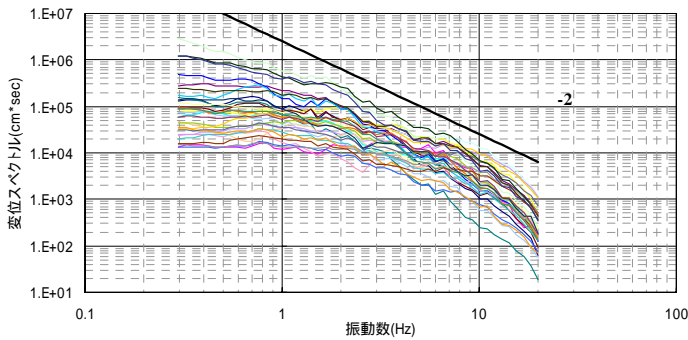
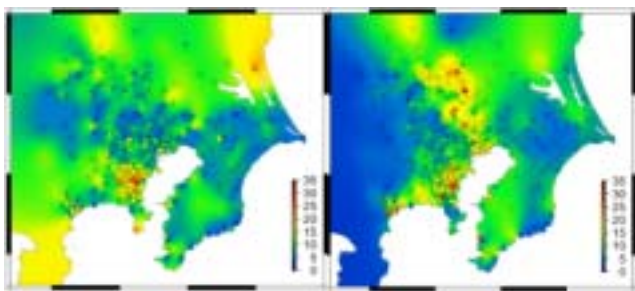


図3 震源スペクトル



短周期(0.1~0.5秒平均値)長周期(0.5~1.5秒平均値)
図4 増幅率図

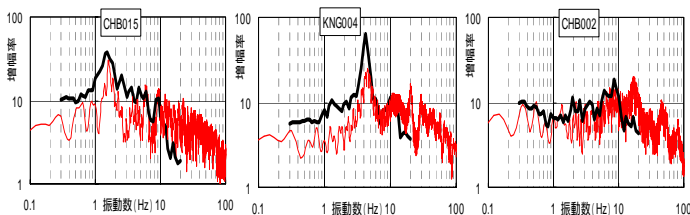


図5 理論増幅率

3. サイト特性と地形分類

拘束条件を地震基盤から地表までの増幅率とすることにより、インバージョンで得られたサイト特性は各観測点における地震基盤から地表に至る構造を反映したものとなると考えられる。増幅特性の短周期領域での値(0.1~0.5秒の平均値)と長周期領域での値(0.5~1.5秒の平均値)を各観測点で計算し、その観測点の位置する地形分類と対応付けて地形分類毎にその値の平均値を求めた。例として山地、ローム台地、埋立地を図6(太線が平均値、細線が平均値±、()内は母体数)に示す。

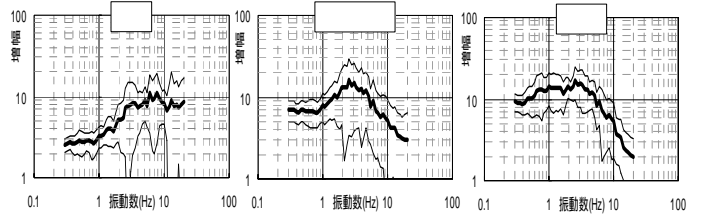


図6 増幅特性平均値

4. 表層30m平均S波速度との対応

PS検層が行われている観測点で表層30m平均S波速度を計算し、短周期領域、長周期領域の増幅率との対応関係を調べた(図7)。すると、長周期領域の方が相関の良い結果となり、短周期領域には相関はみられない結果となった。

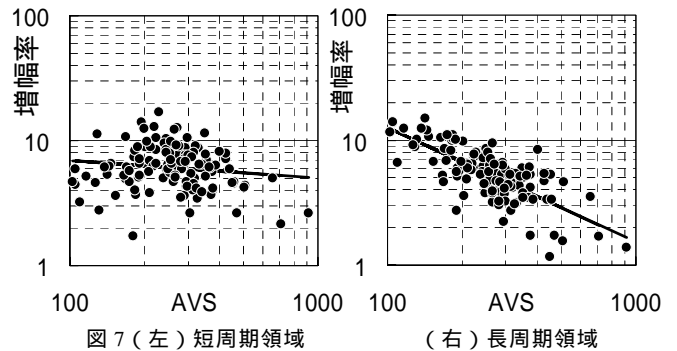


図7(左)短周期領域 (右)長周期領域

5. 今後の課題

インバージョンで得られたサイト特性は地震基盤から地表に至る構造によるものなので、それぞれ定量的に分離評価可能にできるようにしたい。表層と深層に分けて評価する手法を開発し結果をまとめる。

【謝辞】

本研究において、株式会社 緯緯研究所の川上洋介氏は多くの時間と労力をさい、熱心なご指導・ご協力をいただきました。また、防災科学研究所のK-NET、首都圏地震観測総合ネットワークSK-NETの地震観測記録を使用させていただきました。ここに記して感謝の意を表します。

【参考文献】

- (1) 松岡昌志・翠川三郎(1994): 国土数値情報とサイスマックマイクロローニング: 第22回地震動シンポジウム資料集 p23-34
- (2) 岩田孝彦・入倉孝次郎(1996): 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, p579-593
- (3) 川上洋介(2004): 地震記録より推定した関東平野におけるサイト特性と地形分類との関係
- (4) 鶴岡雅人・田沼慶・入倉孝次郎・古和田明(1997): 経緯的网站増幅率推定手法に関する検討: 地震2, 第30巻, p215-227