観測記録に基づいた東京都心部の応答加速度の増幅特性

清水建設技術研究所　正会員　藤川　智，非会員　神原　浩
東京大学地震研究所　非会員　酒井慎一，非会員　平田　直

1. はじめに

地震被害想定の高精度化や，実務における設計地震動の適切な設定のためには，サイトにおける地震動増幅特性の評価が重要な要素となる．実際に，近年の高密度な地震観測網の整備により，わずかな水平距離の違いで観測地震動が大きく異なる事例も報告されている．本研究では，MeSO-net 観測記録[1)]に基づき，東京都 23 区内を対象とする比較的狭い領域において，加速度応答スペクトルの増幅度について，その空間的変動とサイトごとのばらつきの分析を行った．

2. 応答加速度の空間変動

東北地方太平洋沖地震とその主な余震を含む 13 地震の観測記録を検討に用いた．表 1 に対象とする地震を示す．観測サイトは，東京 23 区内（概ね 25km 四方）の 49 観測点とした．観測点は概ね 2～5km の間隔で配置されている（位置は後述の図 3 参照）．これらの観測点では上記 13 地震の記録がすべて得られている．

図 1 には東北地方太平洋沖地震を例として，全観測点の加速度応答スペクトルを示す．ここで応答加速度は水平二成分の合成値とした．震源距離の大きさに比して，観測点は比較的狭い範囲に位置するが，観測点ごとに応答加速度は大きくばらつき，それらのばらつきは周期により異なることがわかる．東北地方太平洋沖地震の場合には，比較的ばらつきが大きい周期 0.3s の対数標準偏差は 0.46，周期 5s では 0.15 である．

図 2 にはそれぞれの地震における加速度応答スペクトルの対数標準偏差（ばらつき）を示す．長周期になるほどばらつきは小さくなる傾向にある．逆に，短周期側ではばらつきが大きく，よりローカルな地盤構造などを反映しているものと考えられる．ただし，MeSO-net の地震計は深さ 20m のボアホール内に設置されているため，表層数 m 程度の局所的な地盤構造の影響は比較的受けにくいものと考えられる．これらのばらつきは地震により異なり，比較的ばらつきが小さい周期 5s でも，対数標準偏差は 0.15～0.35 と幅を示す．これらの地震内のばらつきの要因としては，サイト固有の増幅特性の違いに加え，距離減衰の影響も含まれるものと考えられる．

表 1　地震の諸元

No.	発生日時	規模	東経[度]	北緯[度]	深さ[km]
1	2011/03/11-14:46	M9.0	142.9	38.1	24
2	2011/03/11-15:15	M7.6	141.3	36.1	43
3	2011/03/14-10:02	M6.2	141.1	36.5	32
4	2011/03/15-22:31	M6.4	138.7	35.3	14
5	2011/03/16-12:52	M6.1	140.9	35.8	10
6	2011/03/19-18:56	M6.1	140.6	36.8	5
7	2011/04/07-23:32	M7.2	141.9	38.2	66
8	2011/04/11-17:16	M7.0	140.7	36.9	6
9	2011/04/12-08:08	M6.4	140.9	35.5	26
10	2011/04/16-11:19	M5.9	139.9	36.3	79
11	2011/04/21-22:37	M6.0	140.7	35.7	46
12	2012/01/01-14:27	M7.0	138.6	31.4	397
13	2012/03/14-21:05	M6.1	140.9	35.7	15

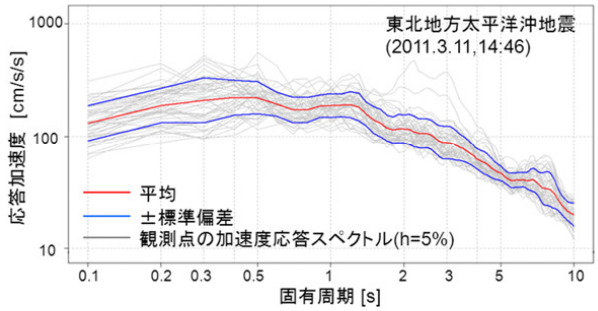


図 1　東北地方太平洋沖地震の加速度応答スペクトル

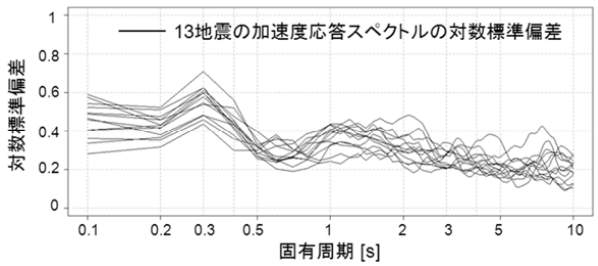


図 2　加速度応答スペクトルの対数標準偏差

3. 応答加速度の相対的な増幅度

加速度応答スペクトルについて，空間的に相対的な増幅度を算出し，その分布とばらつきを評価した．ここで相対的な増幅度は，地震ごとに全観測点の応答加速度（周期 T 秒）の平均値（相乗平均）を基準として，各観測点での相対的な増幅度を算出した．このとき，既往の距離減衰式[2)]に基づいて距離減衰の補正を行った．

図 3 に周期 0.1s, 0.3s, 1s, 3s の応答加速度の増幅度の空

キーワード　増幅度，応答スペクトル，地震観測記録，ばらつき
連絡先　　東京都江東区越中島 3-4-17　清水建設 技術研究所

間分布を示す．図中の○の色は増幅度を示し，○の大きさはサイト内の増幅度の対数標準偏差を示す．各サイトの増幅度の平均値は，周期T=0.1sで0.5～1.8，T=0.3sで0.4～2.2，T=1sで0.6～2.1，T=3sで0.8～2.0である．また，サイト内の増幅度の対数標準偏差は，T=0.1sで0.09～0.29，T=0.3sで0.11～0.42，T=1sで0.11～0.29，T=3sで0.12～0.34となっている．

周期0.1s, 0.3s, 1sでは，概ね東経139.75度以東の都心東部などで増幅度が大きく，地震によりこの周期帯域の応答加速度が相対的に大きくなる傾向にあることが観測記録から示される．一方，それ以西の都心西部では増幅度が小さく，応答加速度が相対的に小さい傾向にあることがわかる．やや長周期帯域の周期3sでは，周期1s以下に比べ，増幅度の空間的なばらつきはあまり大きくない．ただし，都心東部に加え，都心北西部の増幅度がやや大きくなっており，周期1s以下には表れない傾向が見られる．

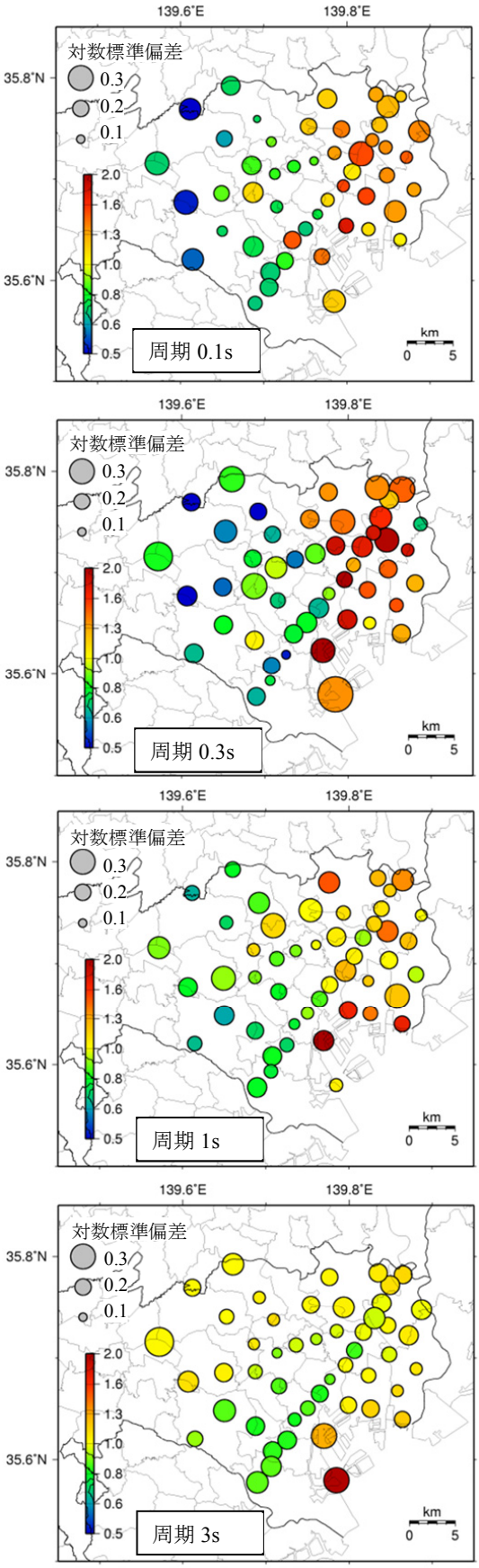
以上のように，東京都心部の比較的狭い領域でも，応答加速度の増幅度は空間的に大きく変化することと，さらに増幅度はサイト内でも大きなばらつきを示すことが分かる．増幅度の空間変動の要因としては，サイト直下の弾性波速度構造や地質の違い，さらに周辺の不整形構造の影響などが主要因として考えられる．一方で，既往の研究では同じサイトでも震源方向により増幅特性が変化することも指摘されており，サイト内の増幅度のばらつきの要因の一つになっていることも考えられる．また，上述のように，周期3sの増幅度の空間分布の傾向が周期 1s 以下と異なる点については，この周期帯域の増幅に影響を与えるような地下構造を反映している可能性があり，詳細な分析が課題と考えられる．

4. まとめ

観測記録に基づき，東京都心部の加速度応答スペクトルの相対的な増幅度を算出し，それらの空間変動とサイト内のばらつきの分析を行った．このような比較的狭い領域でも，増幅度は空間的に大きく変化し，サイト内においても大きなばらつきがあることを示した．このような地震動の増幅度を地震被害想定や耐震設計に適用する場合には，その平均値だけでなく，そのばらつきの扱いについても検討が必要と考えられる．また，増幅度と地下構造の関係の分析が今後の課題と考えられる．

謝辞　本研究では MeSO-net 観測記録を使用しており，関係各位に謝意を表します．

参考文献　1)酒井・平田：東京大学地震彙報，84, pp.57-69, 2009. 2)Kanno et al.：Bull. Seismol. Soc. Am., 96, pp.879-897, 2006.



○の色は増幅度の平均値を，
○の大きさは対数標準偏差を示す．

図 3　応答加速度(h=5%)の相対的な増幅度の平均値とばらつき