地盤条件とサイト増幅特性の関係の評価

舞鶴工業高等専門学校　　正会員　○西川　隼人
金沢大学大学院自然科学研究科　　正会員　　宮島　昌克

１．序論

本論文は地盤条件と地震動のサイト増幅特性との関係を調べることによって，地盤条件からサイト増幅特性を評価する際の基礎的な情報を提供することを目的とする．検討にあたり構造物の甚大な被害に影響を及ぼす周期を考慮する．既往の研究において周期1秒程度の地震波が構造物被害に大きく影響を及ぼしていることが指摘されている[1]ことから，本論文では，この周期帯域を対象にする．計算範囲は川上らの研究[2]を参考に周期0.5～1.5秒とする．また，川上らの研究では地盤条件として表層地盤の平均S波速度が用いられているが，ここでは平均S波速度だけでなく，地盤条件として広く用いられている地盤の卓越周期に関しても検討を実施する．解析には北陸地方のK-NET，KiK-net観測点で得られた記録を用いる．観測点数はそれぞれ19，12地点である．

２．解析

サイト増幅特性を二段階回帰分析[3]の手法を用いて評価する．解析に用いるのは地震動の加速度フーリエスペクトルでありS波部分を対象とする．加速度フーリエスペクトルの常用対数が次式のように表されるものとする．

$$\log A_{ij}(f) = S_i(f) - \log R_{ij} + b(f)R_{ij} + \sum_{k=1} \delta_{jk} g_j(f) \qquad (1)$$

$A_{ij}(f)$はi番目の地震におけるj番目の観測点の加速度フーリエスペクトルである．$S_i(f)$はi番目の地震の震源特性を表わす係数，R_{ij}はi番目の地震におけるj番目の観測点の震源距離（km）である．$b(f)$は距離係数，$g_j(f)$はj番目の観測点のサイト係数，δ_{kj}はクロネッカーのデルタであり，k=jの場合は1，それ以外では0である．$A_{ij}(f)$はS波到達から10秒間の時間領域から算出した．波形を切り出す際には両端にコサインテーパーを施したウィンドウをかけた．また，周波数領域においてはノイズによる影響を避けるために0.5～10Hzを対象とし，バンド幅0.4HzのParzenウィンドウを用いてスペクトルを平滑化した．式 (1) の係数を回帰分析によって求める．回帰分析の際にはK-NET白峰観測点を基準点とし，この観測点のサイト係数$g_j(f)$を0に固定して計算した．よって，得られる$g_j(f)$は白峰に対する相対的な値となる．解析の対象としたのは1997～2005年に石川県と福井県近傍で発生した14地震であり，気象庁マグニチュードM_{JMA}は4.2～6.1，震源深さは8～22kmである．**図1**に周期0.5～1.5秒におけるサイト増幅特性（$G_j(f) = 10^{g_j(f)}$）の平均値$\overline{G}(f)$を示す．**図1**から明らかなように能登地方の観測点で平均値$\overline{G}(f)$の大きい箇所が多く見られる．

3. 地盤条件

地盤の卓越周期は石川県内の観測点については堂下ら[4]が測定した常時微動記録から求めた H/V スペクトル比[5]によって評価した．ただし，福井県の観測点では常時微動測定を行っていないので，微動 H/V スペクトル比と対応の良い地震動の H/V スペクトル比から地盤の卓越周期を評価する．また，平均 S 波速度$\overline{V_S}(d)$は深さ 30m まで 5m ピッチで計算した．各観測点で得られた微動と地震動の H/V スペクトル比から求めた卓越周期の分布は**図 2** に示すとおりである．

4. 地盤条件とサイト増幅特性の関係

地盤の卓越周期とサイト増幅特性の平均値$\overline{G}(f)$の関係を**図3**に示す．両者の相関係数は0.71とまずまず良好であった．$\overline{G}(f)$の計算の対象とした周期帯域は0.5～1.5秒であるため，地盤の卓越周期が長周期側にあるほど，$\overline{G}(f)$が大きいという正の相関が見られたものと考えられる．

図4に5mピッチで計算した平均S波速度と$\overline{G}(f)$の間の決定係数を示す．ここでは両パラメータの常用対数を検討に用いている．**図4**から明らかなように地表から任意の深さdが5～20mの範囲ではdが大きくなるほど決定係数が大きくなり，20の場合に決定係数が最も大きくなっている．この場合の平均S波速度と$\overline{G}(f)$の決定係数は0.52と良好である．dが20を超えると決定係数が急激に低下している．この要因には様々なことが考えられるが，ボーリングデータの不足からデータ数が少なくなっており，単純に他のケースとの比較を行うことが出来ないので，ここでは詳しい議論を行わない．今後，対象とする観測点を増やした上で詳しい検討を行う予定である．

キーワード　サイト増幅特性，周期 1 秒，地盤の卓越周期，平均 S 波速度
連絡先　　〒625-8511　京都府舞鶴市字白屋 234　ＴＥＬ0773-62-8897

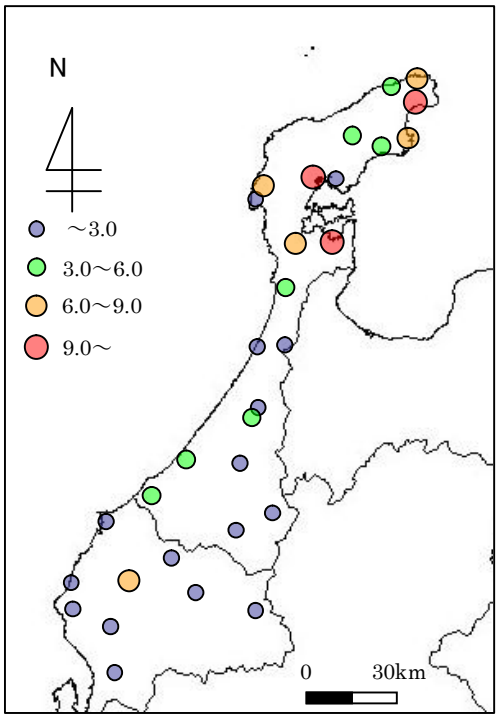

図 1　サイト増幅特性の平均値$\overline{G}(f)$の分布

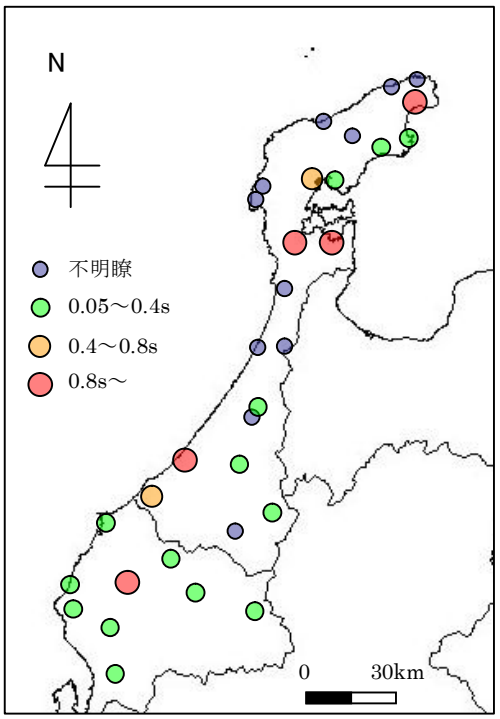

図 2　地盤の卓越周期 T_g の分布

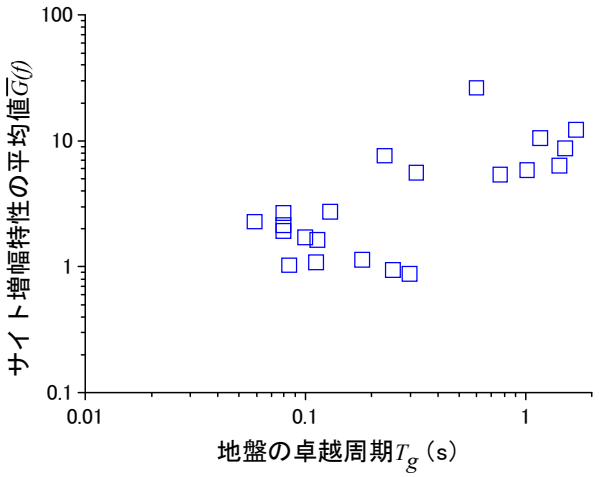

図 3　地盤の卓越周期 T_g と$\overline{G}(f)$の関係

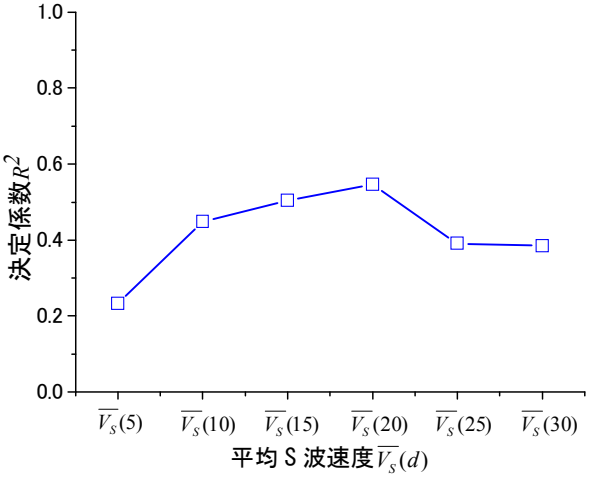

図 4　平均 S 波速度$\overline{V_s}(d)$と決定係数 R^2 の関係

５．結論

本論文では地盤条件とサイト増幅特性の関係を考察するにあたり，地震による構造物被害に大きな影響を及ぼす地震波の周期帯に着目して検討を行った．地盤条件としてはこれまでの研究で広く用いられてきた表層地盤の平均S波速度と地盤の卓越周期を採用した．地盤条件とサイト増幅特性の関係を調べたところ，地盤の卓越周期を地盤条件とした場合の平均的なサイト増幅特性$\overline{G}(f)$との相関係数は0.71であった．また，平均S波速度については地表から深さ20mまでを計算対象とした場合に両者の相関関係が最も高かった．上述のように地盤条件と周期1秒前後のサイト増幅特性との間には明瞭な相関関係があることが分かった．

謝辞：独立行政法人　防災科学技術研究所の K-NET，KiK-net の観測記録を使用させて頂きました．

参考文献: 1) 境ら：建物被害率の予測を目的とした地震動の破壊力指標の提案，日本建築学会構造系論文集, No. 555, pp.85-91, 2002. 2) 川上ら：地震観測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，日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.687-688, 2004. 3) Fukushima, Y. and Tanaka, T.：A new attenuation relation for peak horizontal acceleration of strong earthquake ground motion in Japan, *Bull. Seism. Soc. Am.,* Vol.84, pp.757-783, 1990. 4) 堂下ら：石川県における地震観測点の特徴と計測震度に及ぼす影響，日本地震工学会-2004 梗概集，pp.42-45，2005. 5) 中村：常時微動計測に基づく表層地盤の地震動特性の推定，鉄道総研報告，pp.18-27, 1988.