

(株)熊谷組 正員○寺田 倫康・阿部 健一

1. はじめに

強震記録を用いたインバージョン解析を行う際には、拘束条件として地盤の増幅特性($G_j(f)$)を与える必要があるが、この増幅特性は理論的に説明が付やすく実現象との整合性が取れていることがインバージョン解析の信頼性を保証する一要因となる。そのためには、比較的地盤構造の単純であると思われる岩盤露頭地点の増幅特性を用いる方が都合が良い¹⁾。筆者らは、岩盤中の地震動の伝播特性や増幅特性を評価する目的で宮城・福島両県で展開している高密度アレー観測システム(KASSEM)の花崗岩露頭観測点(S4地点)の地下25mの地点に、一昨年中観測点(以後S4-D地点と呼ぶ)を増設した²⁾。観測開始以来いくつかの地震記録がS4地点およびS4-D地点で同時に得られたので、これらの記録を用いてS4地点の増幅特性を検討した。さらに、その結果をもとにインバージョン解析を実施し、岩盤露頭の強震観測点の増幅特性について検討を行った。

2. 花崗岩サイトの増幅特性

地震計設置時に行った地盤調査の結果S4地点の地盤構造は図-1に示すように、GL-22mまでは風化の影響でマサ化し、せん断波速度(V_s)が1100m/s程度に低下しており、それ以深は健岩が現れ一部風化帯が存在するが、概ね $V_s=2400$ m/sの花崗岩基盤と見なすことができる。地震計は、地表および地中(GL-25m)の地点に設置されている。両地点で観測された10地震($M=4\sim 7.8$)の記録の水平動の主要動部(直達S波以降)について両地点間の速度応答スペクトル($h=0\%$)比を計算し平均を取った結果を図-2に示す。ここで、S4-D地点以深を剛体基盤とし風化層を粘弾性体と仮定した二層地盤を考えると、S4/S4-Dの伝達関数は次式で表される。

$$G_4(t) = 1 / \sqrt{\cos^2(2\pi H/(tV_s)) + (\alpha_s H)^2 \sin^2(2\pi H/(tV_s))} \quad (1)$$

ここで、 $\alpha_s = \pi \tan \delta_s / (tV_s)$ 、 $\tan \delta_s = 1/Q$ 、 H, V_s および Q はそれぞれ表層地盤の層厚とせん断波速度および Q 値である。(1)式は、一次共振周期(t_1)が $t_1 = 4H/V_s$ の時に次式の最大値(A_{max})をとる。

$$A_{max} = 1 / (\alpha_s H) = 4Q / \pi \quad (2)$$

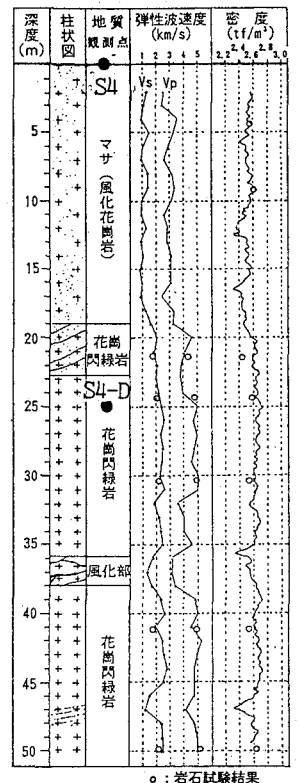
図-2より A_{max} を読み取り(2)式から推定した Q 値を用いて計算した(1)式の値は図-2の細線で示すように、観測スペクトル比の結果と良く整合している。また、ここで仮定した Q 値と V_s との関係は概ね $Q=V_s/90$ で表され、既往の研究結果($Q=V_s/8\sim V_s/128$)³⁾との対応も良い。以上の結果からS4地点の水平動増幅特性については、比較的小さいモデルで表現することが可能であると思われる。

3. インバージョン解析

インバージョンの定式化は、次式に示すように j 観測点での i 地震の観測記録から求めた観測スペクトル $O_{ij}(f)$ を、震源特性 $S_i(f)$ 、伝播経路の減衰特性、および観測点近傍の地盤の増幅特性 $G_j(f)$ の線型結合で表現した⁴⁾。

$$\log O_{ij}(t) = \log G_j(t) + \log S_i(t) - \log R_{ij} - (\log e) \pi R_{ij} / (tQ_s(f)V_s) \quad (3)$$

ここで、 $Q_s(f)$ は伝播経路の平均的 Q_s 値、 R_{ij} は i 地震の j 観測点での震源距離である。今回の解析では、拘束条件としてS4地点の地盤増幅特性 $G_{s4}(f)$ を図-2に示すS4/S4-Dの観測スペクトル比で与えた。解析に用いた地震記録は、S4-D地点を設置する以前に観測されたマグニチュード $M=4.5\sim 6.7$ の25地震の地表観測点8地点で得られた110記録である。したがって解析結果の $S_i(f)$ および $Q_s(f)$ の解釈についてはやや問題があるが、各観測点の増幅特性は地中観測点S4-Dに対する増幅率と見なすことができる。

図-1 S4地点の地盤調査結果²⁾

4. 岩盤露頭観測点の増幅特性

インバージョン解析により求めた地盤増幅特性の内S4地点以外の岩盤露頭観測点の6地点(S1,S2,S3,S6,S7,S8)の結果を図-3～図-8に示す。なおS4地点については、図-2に示した拘束条件(観測スペクトル比)とほぼ一致した結果が得られた。一次共振周期(t_1)および増幅特性のピーク値(A_{max})は表層のせん断波速度および層厚と密接に関連しており表層の地盤構成を特徴付けるものである。岩盤観測点の内花崗岩露頭の地点(S1,S3,S7)では、 $t_1 \approx 0.1 \sim 0.2$ 秒、 $A_{max} \approx 3.3 \sim 9.5$ である。いずれの地点も明瞭なピーク値を持ち短周期側に斬増していく傾向がある。それに対し軟岩露頭の地点(S2,S6,S8)は、 $t_1 \approx 0.4 \sim 1.2$ 秒、 $A_{max} \approx 2.7 \sim 3.7$ と花崗岩地点に比べて t_1 が長く、 A_{max} が小さくなる傾向がある。S8地点を除いては、増幅特性に明瞭なピーク値が現れず全体的に平坦は形状をしており花崗岩露頭地点とは傾向が異なる。

5. まとめ

地表と地中で同時に観測された地震記録のスペクトル比による岩盤露頭観測点(S4地点)の増幅特性と地盤調査結果を基に求めた伝達関数を比較することにより、S4地点の水平動増幅特性は比較的簡単な地盤モデルで表現できることが分かった。このことはS4地点が基盤として適当であることを示唆している。また観測スペクトル比を拘束条件としたインバージョン解析より求めた各岩盤観測点の増幅特性は花崗岩と軟岩でかなり明瞭な違いが認められた。以上の結果より、地中観測点の記録を用いて各露頭観測点の地盤構造を同定できる可能性あることが分かった。

【参考文献】1)寺田他,土木学会第47回年次学術講演会,1992.
2)阿部他,土木学会第47回年次学術講演会,1992.3)建築学会,地震荷重,
p119,1987.4)Wata,T.et al.J.Phys.Earth.,36,1988.

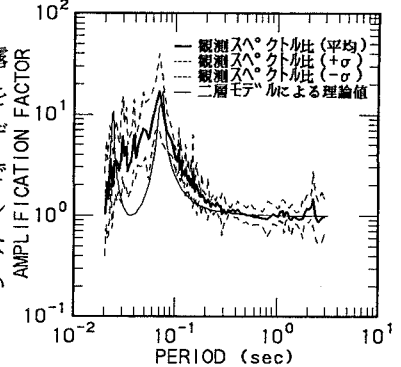


図-2 S4地点の増幅特性

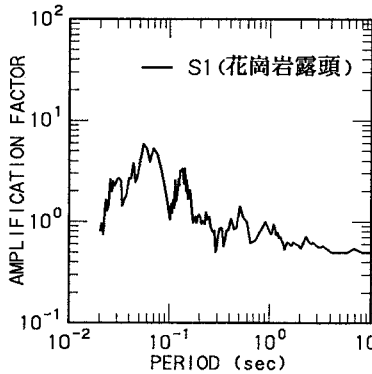


図-3 S1地点の増幅特性

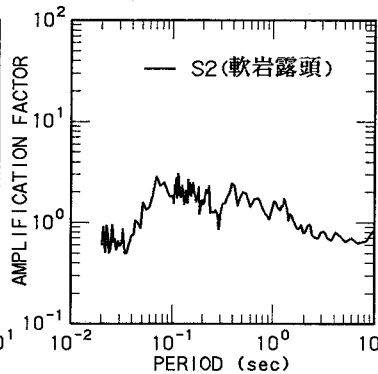


図-4 S2地点の増幅特性

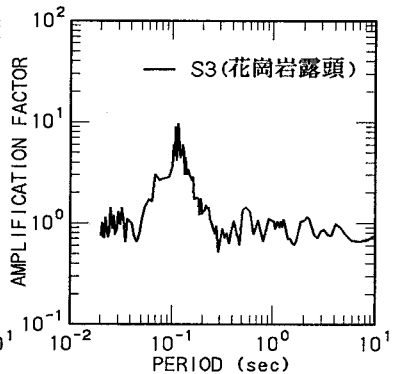


図-5 S3地点の増幅特性

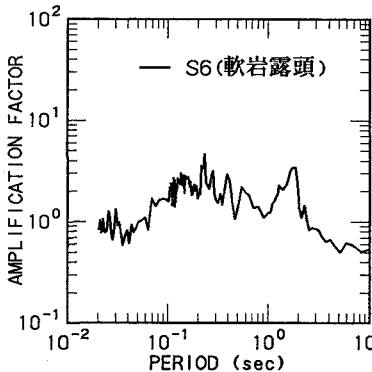


図-6 S6地点の増幅特性

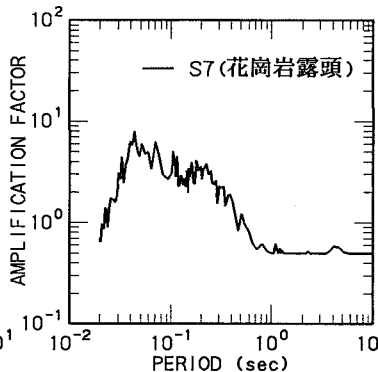


図-7 S7地点の増幅特性

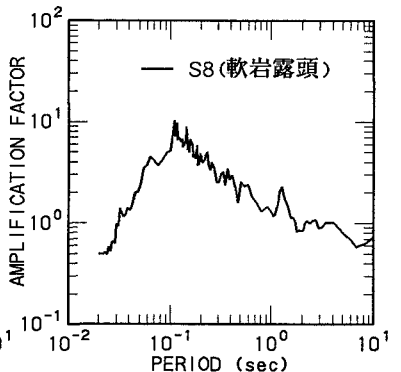


図-8 S8地点の増幅特性