

I-335 強震記録のインバージョン解析から求まる地盤増幅特性に関する検討

(株)熊谷組 正員○寺田 倫康・阿部 健一

1. はじめに

筆者らは、これまで宮城・福島両県で展開している高密度アレー観測システム(KASSEM)で得られた強震記録を用いてインバージョン解析を行い、幾つかの検討を行ってきた^{1)・2)}。インバージョン解析においては、拘束条件として地盤の増幅特性($G_j(f)$)を与えなければならず、これまで、地表観測点について $G_j(f) \geq 2$ あるいは地中観測点について $G_j(f) \geq 1$ としてきた。地表観測点の $G_j(f) \geq 2$ とした場合、基盤露頭と考えられる地点については広周波数帯で $G_j(f) = 2$ となるのが理想である。しかし、解析の結果求まる各観測点の内、基盤露頭に近いと思われるS-4地点の増幅特性は、図-1に示すように、14Hz付近に顕著なピークを持っている。S-4地点で最近行った地盤調査の結果、この地点は表層から20~25m位までせん断波速度 $V_s = 1100\text{m/S}$ の風化花崗岩でそれより深部は $V_s = 2400\text{m/S}$ の健全な花崗岩であることが分かった³⁾。そこで、今回は簡単な地盤モデルから求まる理論増幅特性をS-4地点の拘束条件として与えインバージョン解析を行い、他の地表観測点(特に、花崗岩露頭地点)の地盤増幅特性について検討した。

2. 解析手法

解析に用いた地震記録は、図-2に示すように、主に福島県沖で発生したマグニチュード $M = 4.5 \sim 6.7$ の32地震について、強震観測点8地点で得られた150記録である。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 $Q_s(f)$ 、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⁾。

$$\log O_{ij}(f) = \log G_j(f) + \log S_i(f) - (\log e) \pi R_{ij} / Q_s(f) \quad (1)$$

ここで、 $Q_s(f)$ は伝播経路の平均的は 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、まず、(1)式を記録が欠けている地点も含めた解析ができる様に拡張した。次に、S-4地点の増幅特性については、地形の影響の少ない地点であると考えられるので、図-3に示すように表層の風化花崗岩層と基盤層からなる単層地盤にモデル化し、図-1のピーク値に合うような減衰を考慮した重複反射法による理論増幅特性を求めた。そして、拘束条件としてS-4地点の地盤増幅特性 $G_{S-4}(f)$ を図-3に示す増幅特性を与え、他の地点についてはS-4地点の拘束条件が効き易いように $G_j(f) \geq 0.05$ のもとでインバージョン解析を行った。

3. 解析結果

インバージョン解析により求まった地盤増幅特性の内、花崗岩露頭の観測点の4地点(S-1, S-3, S-4, S-7)の結果を図-4~図-7に示す。S-4地点の結果を見ると与えた拘束条件と一致しており、ほぼ満足できる結果が得られたと思われる。

理論解によれば、増幅特性のピーク値(A_{max})および一次共振周波数(f_1)は次式で表せる。

$$A_{max} = 2(\rho_1 V_{s1}) / (\rho_2 V_{s2}) \quad (2)$$

$$f_1 = V_{s1} / 4H \quad (3)$$

ここで、添字の数字は層番号を表

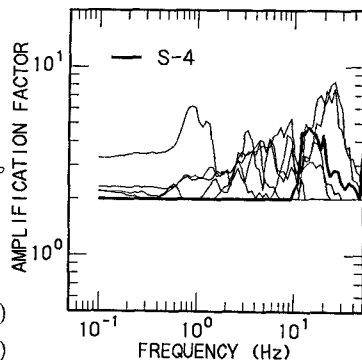


図-1 インバージョン解析による増幅特性

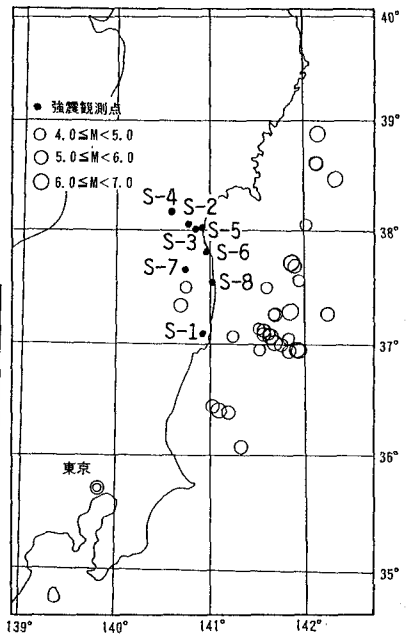


図-2 解析対象地震

し、1が風化層、2が基盤層に対応している。ただし、 $\rho_1 = \rho_2$ とし、 $V_{s2} = 2400\text{m/s}$ と仮定した。

各地点の結果から、 A_{max} と f_1 を読み取り、(2)、(3)式と比較検討することで V_{s1} および H を、それぞれ各地点の風化花崗岩層のせん断波速度および層厚と考えれば、各地点の風化の程度を推定することもできる。

S-1地点は、 $A_{max} = 3.0$ であり、 $V_{s1} = 1600\text{m/s}$ となる。また、 $f_1 = 7\text{Hz}$ とすれば $H = 57\text{m}$ になる。この値を用いて理論増幅特性を求めると図中の点線になる。インバージョン解析結果の増幅特性は低周波数域で2.0よりも小さくなっており、この地点の増幅特性は風化層の他の要因(例えば地形)を考える必要があると思われる。

S-3地点は、 $A_{max} = 7.0$ 、 $f_1 = 7.5\text{Hz}$ とすれば、 $V_{s1} = 690\text{m/s}$ 、 $H = 23\text{m}$ になる。したがって、この地点は他の地点に比べ風化の度合いがやや激しいことが考えられる。また、これを基に理論値を求めると図-5に示すように一次のピークまでは理論値とインバージョン結果の整合性が良いが、高次のピーク値に関しては、両者の結果と大きくずれている。この理由については、高周波数域での減衰特性等の影響が考えられる。

S-7地点は、 $A_{max} = 4.8$ 、 $f_1 = 4.5\text{Hz}$ とすれば、 $V_{s1} = 1000\text{m/s}$ 、 $H = 56\text{m}$ になる。しかし、二次のピーク値を説明しようとする $f_1 = 9.0\text{Hz}$ とした方がよく対応し、その時の風化層厚は $H = 28\text{m}$ になる。いずれにしても、この地点の風化の度合いはS-4地点と同程度であるが、風化層厚がS-4地点に比べてやや厚いと言える。

5. まとめ

インバージョン解析の拘束条件として、地形的影響が少なく基盤露頭と思われるS-4地点の地盤調査結果を基に求めた理論増幅特性を用いることにより、拘束条件の普遍性をより明確にすることができた。また、求めた他の岩盤露頭地点の増幅特性をS-4地点同様、風化層と基盤層の単層構造を考え理論値と比較することにより推定した各地点の風化の度合いは表-1のように、S-4地点と同程度か、やや進んでいることが分かった。しかし、S-1地点のように単層構造では説明しきれない地点もあり今後の課題である。

【参考文献】1)寺田他,第25回土質工学研究発表会,1989. 2)寺田他,土木学会第47回年次学術講演会,1991. 3)阿部他,土木学会第47回年次学術講演会,1992. 4)Iwata, T. et al. J. Phys. Earth., 36, 1988.

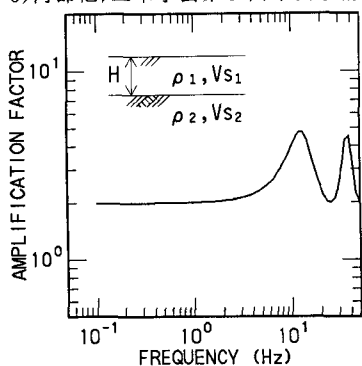


図-3 単層地盤の増幅特性(S-4)

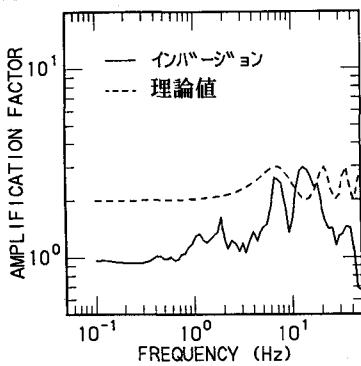


図-4 S-1地点の増幅特性

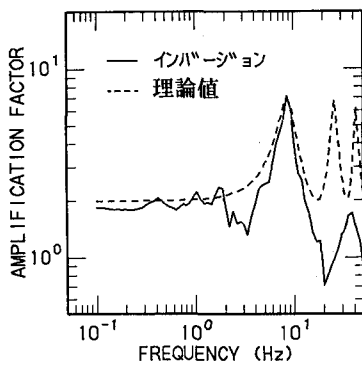


図-5 S-3地点の増幅特性

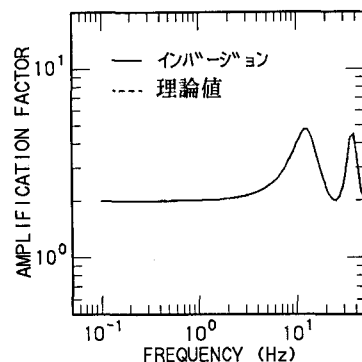


図-6 S-4地点の増幅特性

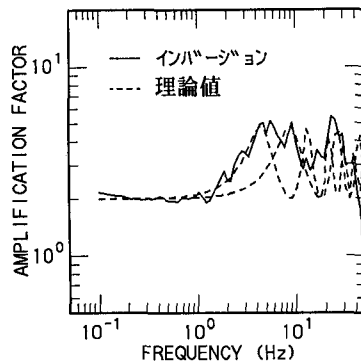


図-7 S-7地点の増幅特性

表-1 風化層の推定結果

地点	風化層のせん断波速度 V_{s1} (m/s)	風化層厚 H (m/s)
S-1	1600	57
S-3	690	23
S-7	1000	56 or 28
S-4	1000	20