

平均 S 波速度をパラメータとする地震動強度指標の非線形地盤増幅度

防災科学技術研究所

正会員 ○末富 岩雄

//

フェロー 後藤 洋三

1.はじめに 地震観測網を利用する即時被害推定で精度良く地震動分布を評価するためには、表層地盤の増幅特性評価が大変重要である。しかしながら、強震時には地盤の非線形化の影響を受けることから、即時に適切な評価を行うことは容易ではなく、既往の手法では不十分である。また、地盤パラメータとして、地形分類等や卓越周期が用いられることが多かったが、平均 S 波速度の利用が近年増加している（たとえば、東京ガスの新防災システム）。本研究では、弱震記録の分析から得られた平均 S 波速度と増幅度の関係と地震応答解析による地盤の非線形化の影響を考慮した増幅度関数とを結びつける手法を提案する。

2.地震動強度指標の非線形増幅度 末富ら¹⁾に基づき、増幅度 λ を次式のようにモデル化する（図 1）。弱震時は地盤の材料特性はあまり変化しないので、増幅度は一定値とする。

$$\begin{aligned} \lambda &= \alpha & (X_I \leq X_{I1}) \\ \lambda &= \alpha + \frac{(X_L/X_{I2} - \alpha)}{(X_{I2} - X_{I1})} \cdot (X_I - X_{I1}) & (X_{I1} \leq X_I \leq X_{I2}) \\ \lambda &= \frac{X_L}{X_I} & (X_{I2} \leq X_I) \end{aligned} \quad (1)$$

ここで、 α は弱震時の増幅度であり、 X_I は入力地震動、 X_{I1} 、 X_{I2} は変曲点である。変曲点の間は直線で結ぶ。 X_L は地表面地震動の上限値である。末富ら²⁾は、地盤のせん断強度以上のせん断力は上層に伝わらないので、最大加速度、計測震度、SI 値には上限値が存在することを指摘している。

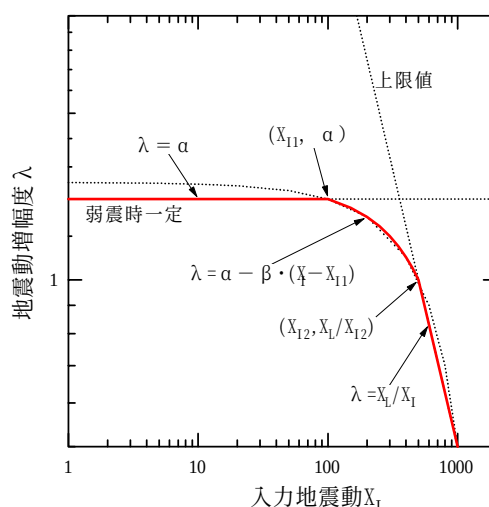


図 1 最大加速度増幅度モデル

3. 平均 S 波速度による増幅度パラメータの評価 ポートアイ

ランドや釧路港湾など強震観測記録が得られている鉛直アレー12 地点について地盤モデルを構築し、地盤材料の周波数依存性を考慮した等価線形解析³⁾を行った。入力地震動は統計的グリーン関数法 ($M=4\sim 8$) と既往観測波 (0.5~2 倍に振幅調整) を用い、観測値との比較により妥当性を確認した。そして、地盤モデル毎に上述のパラメータを評価した。ところが、このように表層地盤の地震応答解析から算出した増幅度 α は2前後の大きさにしかならず、実際に観測される地点間の差異よりも小さい。これは、実地震では、深層地盤構造の差異など次元浅層地盤のみを対象とした解析では考慮していない要因も大きいからである。そこで、地震観測記録から統計的に算出された増幅度を弱震時増幅度 α として用いることとする。そして、他のパラメータ X_{I1} 、 X_{I2} (変曲点)、 X_L (上限値) は変更しない。

地盤パラメータとして様々なものがあるが、ここでは詳細な地盤データベースを簡易に活用できる平均 S 波速度を用いる。田村・山崎・Shabestari⁴⁾は、K-NET 観測地点について地震動強度指標の距離減衰式を回帰分析により作成する際に得られる地盤増幅度と深さ $d(m)$ までの平均 S 波速度 $AVS(d)$ との関係を以下のように求めている。なお、 $AVS(20)=600m/s$ の地点を基準点 (増幅度=1.0) とした時の増幅度として評価している。

$$\text{最大加速度増幅度} \quad \log(\alpha_{PGA}) = -0.436 * \log(AVS(8)) + 1.21 \quad (2)$$

$$\text{最大速度増幅度} \quad \log(\alpha_{PGV}) = -0.734 * \log(AVS(20)) + 2.03 \quad (3)$$

$$\text{SI 値増幅度} \quad \log(\alpha_{SI}) = -0.785 * \log(AVS(20)) + 2.18 \quad (4)$$

キーワード：地盤増幅度、非線形、地震動強度指標、地震防災

連絡先：〒210-0855 川崎市川崎区南渡田町 1-2, TEL 044-329-1146, FAX 044-329-1135

深さ d は 1m ピッチで調べて最も相関が高い時の深さを用いている。前述の 12 地点での平均 S 波速度と増幅度パラメータの関係を求めた結果を、最大加速度について図 2 と式(5)～(7), SI 値について図 3 と式(8)～(10)に示す。最大速度の増幅度は地盤の非線形化の影響が見られなかったため、式(3)のみで評価できる。以上の関係を用いることにより、平均 S 波速度から地点の非線形地盤増幅度を評価することができる。

$$\log(ACC_{I1}) = 2.362 \times \log(AVS(8)) - 2.996 \quad (R=0.78) \quad (5)$$

$$\log(ACC_{I2}) = 0.982 \times \log(AVS(8)) + 0.848 \quad (R=0.55) \quad (6)$$

$$\log(ACC_L) = 0.932 \times \log(AVS(8)) + 0.890 \quad (R=0.52) \quad (7)$$

$$\log(SI_{I1}) = 1.717 \times \log(AVS(20)) - 2.297 \quad (R=0.76) \quad (8)$$

$$\log(SI_{I2}) = 0.597 \times \log(AVS(20)) + 0.774 \quad (R=0.69) \quad (9)$$

$$\log(SI_L) = 0.725 \times \log(AVS(20)) + 0.471 \quad (R=0.77) \quad (10)$$

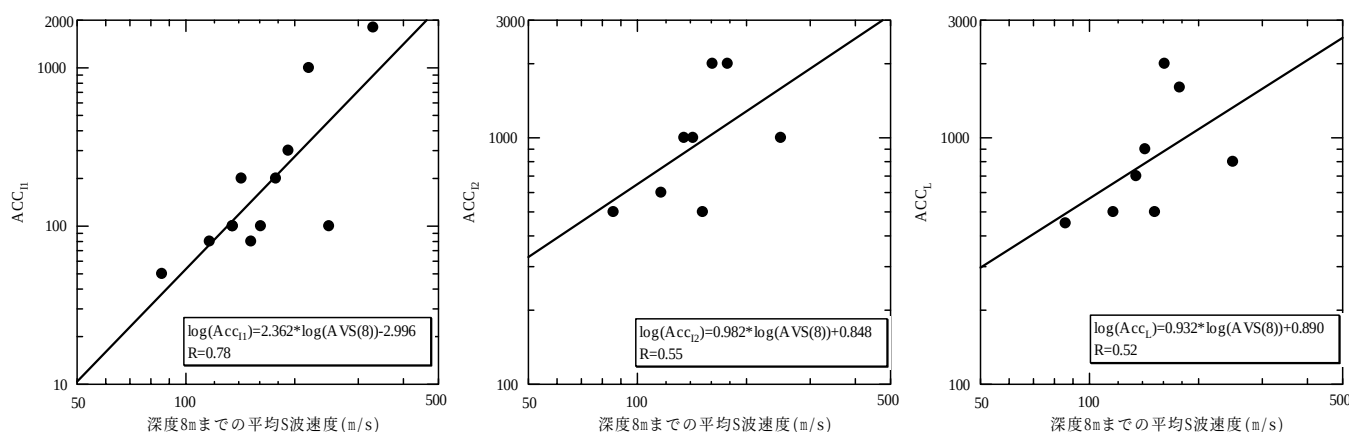


図 2 最大加速度増幅度のパラメータと $AVS(8)$ の関係

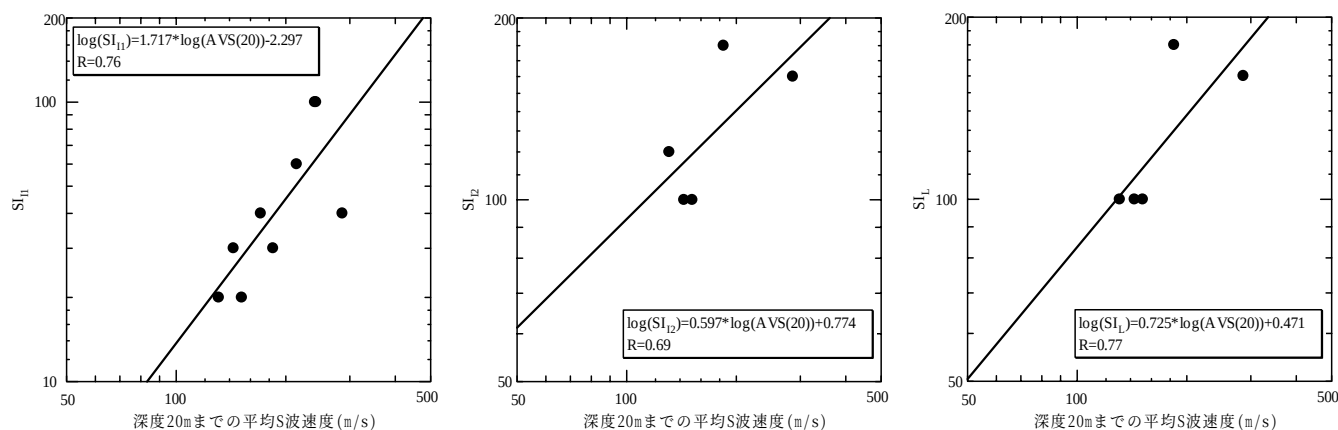


図 3 SI 値増幅度のパラメータと $AVS(20)$ の関係

4. おわりに 大都市などボーリングデータが整備されている地域では、地盤の平均 S 波速度を小メッシュで評価することが可能であり、その際に地盤の非線形化の影響を考慮する手法を提案した。今後、計測震度についても検討し、地盤モデルを追加してパラメータの信頼性を高める予定である。なお本研究は、文部科学省による新世紀重点研究創生プラン RR2002 防災分野「大都市大災害軽減化特別プロジェクト」の一環として行われたものである。

参考文献 1)末富岩雄, 吉田望, 他:断層モデルによる地震波を用いた表層地盤地震応答解析に基づく各種地震動代表値の増幅度評価, 第 25 回地震工学研究発表会講演論文集, pp.89-92, 1999. 2)末富岩雄, 澤田純男, 他:地震動の上限値と地盤のせん断強度の関係, 土木学会論文集, No.654/I-52, pp.195-206, 2000. 3)Suetomi, I. & Yoshida, N.:Damping characteristics of soil deposits during strong ground motions, *Proceedings of the second international symposium on the effects of surface geology on seismic motion, Yokohama*, pp.765-772, 1998. 4)田村勇, 山崎文雄, K.T.Shabestari: K-NET 地震記録を用いた平均 S 波速度による地盤増幅度の推定, 土木学会第 55 回年次学術講演会講演概要集, I-B, pp.714-715, 2000.