

1. はじめに

地盤の液状化予測を行う場合の地震動特性として、最大加速度のみならず、地震動の繰返し回数も重要なパラメータであることは周知のとおりであり、Seedら¹⁾や時松・吉見²⁾による液状化簡易判定法では、この影響を地震のマグニチュードの大きさに依存させる形で考慮している。したがって、地震危険度解析により液状化予測の設計地震動を設定する場合には、この繰返し回数の効果を考慮した有効加速度³⁾のアテニュエーション式を用いて危険度解析を行う必要がある（図-1の方法①）。しかしながら、地震動の繰返し回数に寄与するマグニチュードの重みは地盤の液状化強度により異なるものであり、この解析方法では地盤の液状化強度に応じて数多くの危険度解析を実施することが必要となる。本研究はこの繁雑さを解消するため、最大加速度の危険度解析を行う場合に、期待最大加速度に対するマグニチュードの貢献度を合わせて求め、その貢献度に基づく等価マグニチュードを定義することにより、簡便な形で期待有効加速度が算定されるべく（図-1の方法②）、手法の定式化を行ったものである。

2. マグニチュードの貢献度

まず、図-1の方法②におけるマグニチュードの貢献度について述べる。なお、本研究で用いた地震危険度解析の方法は Cornell⁴⁾が提案したものである。最大加速度の地震危険度解析により、ある期間 T における期待値 a_T が定まったとき、その加速度 a_T を生ぜしめた地震のマグニチュードが m_i である確率を加速度 a_T に対するマグニチュードの貢献度 $C_M(m_i, a_T)$ と定義する。このとき、貢献度 $C_M(m_i, a_T)$ はベイズの定理から次式で表される。

$$C_M(m_i, a_T) = \frac{P(A=a_T | m_i) \cdot P(m_i)}{P(A=a_T)}$$

ここに、 $P(A=a_T | m_i)$ はマグニチュード m_i の地震が発生したとき、サイトで a_T の加速度が生じる確率、 $P(m_i)$ は地震が発生したとき、そのマグニチュードが m_i である確率、 $P(A=a_T)$ は地震が発生したとき、サイトで a_T の加速度が生じる確率（全てのマグニチュードを考慮）である。これらはいずれも a_T を算定する際の最大加速度の危険度解析において求められる。

3. 等価マグニチュード

このようにして求められた、期待最大加速度 a_T に対するマグニチュードの貢献度 $C_M(m_i, a_T)$ をマグニチュードに関し平均すれば、それが a_T に貢献する期待マグニチュードとなるが、これをここでは等価マグニチュード $M_{eq}(a_T)$ と呼ぶ。

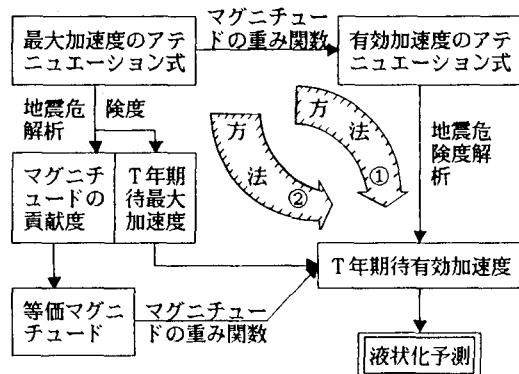


図-1 液状化予測のための地震危険度解析のフロー

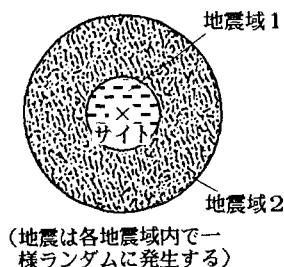


図-2 地震域のモデル

表-1 解析条件

解析条件	地震域1	地震域2
半径 (km)	30	600
G-R式のb値	1.1	0.9
最小マグニチュード	5.0	5.0
最大マグニチュード	7.0	8.5
年平均地震発生率 (単位面積当たり)	5×10^{-5}	1×10^{-4}

4. 期待有効加速度の算定

等価マグニチュード $M_{eq}(a_T)$ が定まれば、それから求めるマグニチュードの重み関数 $\varepsilon(M_{eq}(a_T))$ と、最初に危険度解析から得られている T 年期待最大加速度 a_T を掛け合わせることで、 T 年期待有効加速度 a^*_T が算定できる。

5. 試算例

次に、本手法により解析を行った例について述べる。図-2に解析に用いた地震域のモデルを、表-1に地震発生モデルに関する諸条件を示す。また、表-2に最大加速度、有効加速度のアテニュエーション式、および、地震動の繰り返し回数に寄与するマグニチュードの重み関数を示す。なお、アテニュエーション式に含まれるばらつきについては考慮していない。

図-3は地震危険度解析により得られた最大加速度と有効加速度の期待値を示したものである。また、図-4は最大加速度が100, 200, 300(gal)の各レベルに対するマグニチュードの貢献度を示したものである。図-3の有効加速度の期待値が最終的に求めたいものであり、この結果は方法①（図-1参照）の解析結果に対応する。図-3において、期間が大きくなるにつれて、最大加速度と有効加速度の期待値の大小関係が逆転する傾向が見られるが、これは加速度レベルの増大につれて、マグニチュードの大きな地震の貢献度が増加することに起因するものと考えられ、図-4の結果がそれを裏付けている。

表-3には図-4に示したマグニチュードの貢献度を基に算定した等価マグニチュード、それに対応するマグニチュードの重み関数、および方法②の最終結果として得られた有効加速度の期待値を示す。また、同表には危険度解析から直接求めた有効加速度の期待値（方法①・図-3の破線に対応）も合わせて示す。両手法による結果は比較的良好に一致しており、本研究で提案した方法②の考え方がきわめて有効であることがわかる。

6. むすび

本研究では、液状化予測に用いる有効加速度を地震危険度解析により設定する場合の期待有効加速度の簡便な算定法について検討した。ここで提案した手法を用いて等価マグニチュードを算定しておけば、地盤の液状化強度の違いによりマグニチュードの重み関数に変化しても、簡単に期待有効加速度を算定することができる。

表-2 アテニュエーション式とマグニチュードの重み関数

- (1) アテニュエーション式
（道路橋示方書⑤の4種地盤の式）
$$A = 12.8 \times 10^{0.432M} \times (\Delta + 10)^{-1.112}$$
- (2) マグニチュードの重み関数
（時松・吉見②の方法に基づく）
$$\varepsilon(M) = (M - 1) / 6.5$$
- (3) 有効加速度のアテニュエーション式
（(1)×(2)）
$$A^* = 1.97 \times (M - 1) \times 10^{0.432M} \times (\Delta + 10)^{-1.112}$$

（注）ここで定義した有効加速度 A^* を0.65倍すれば、15回の正弦波の振幅になる。

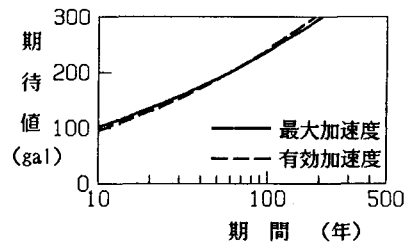


図-3 最大加速度・有効加速度の期待値

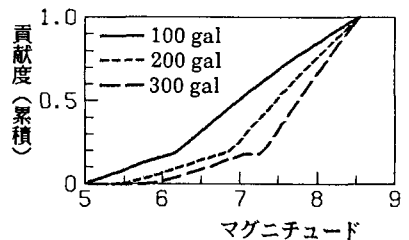


図-4 マグニチュードの貢献度

表-3 手法①②による結果の比較

期待最大 加速度 (gal)	再現 期間 (年)	等価マ グニチ ュード	マグニ チュード の重み 関数	期待有効 加速度 (gal)	方法①による 期待有効加 速度 (gal)
100	9	6.96	0.917	91.7	93.5
200	60	7.39	0.984	196.7	199.4
300	207	7.65	1.023	307.0	310.7

- 【参考文献】 1) Seed, H.B. et al (1983) : ASCE, Vol.109, No.GT3, pp.458-482.
 2) Tokimatsu, K. and Yoshimi, Y. (1983) : Soils and Foundations, Vol.23, No.4, pp.56-74.
 3) Whitman, R.V. (1978) : Proc. Int. Earthquake Microzonation Conf. Vol.III, pp.1247-1255.
 4) Cornell, C.A. (1968) : BSSA, Vol.58, No.5, pp.1583-1606.
 5) 日本道路協会 (1980) : 道路橋示方書・同解説, V耐震設計編, p.108.