

斜面および土構造物の地震危険度解析

名古屋大学 工学部 正 松 尾 稔
名城大学 理工学部 正 O 板 橋 一 雄

1. まえがき

筆者らは、斜面や土構造物の耐震設計法・診断法を模索するため、震度法・円弧すべり法による地震時の破壊例・非破壊例の解析を行ってきた。その結果、震度法・円弧すべり法が地震による斜面や土構造物の破壊もある程度説明付けできることも知った。そして、震度法・円弧すべり法から予測される震度 k （筆者らは逆算震度と呼ぶ）と各地震時の最大加速度の距離減衰式から推定される最大加速度 α の関係を明らかにしてきた。また、この関係を考慮した地震危険度解析の方向付けも示してきた¹⁾。そこで、この報告ではまず始めに、震度 k にもとづく斜面や土構造物の地震危険度解析の方法を示し、次に、最も簡単な地震源モデルを仮定したときの結果に対する地震源パラメータの感度分析の一例を示すこととする。

2. 震度にもとづく地震危険度解析

地震危険度解析に必要な項目は4つある。それは、①地震動パラメータの距離減衰式、②地震源モデル、③地震マグニチュード M の頻度分布、④地震の発生時系列である。Cornell²⁾は地震動パラメータとして、最大加速度 Y を考え式(1)を用いている。また、地震源モデルとして、距離 R に関する

$$Y = b_1 \cdot e^{b_2 M} \cdot R^{-b_3} \quad (1)$$

確率密度関数 $f_k(k)$ が簡単になるような線形震源、環状震源を考えている。そして M についてはGutenberg-Richterの式を用い、地震発生時系列についてはポアソン過程を仮定している。

以上の仮定に加え、筆者らは震度 K と最大加速度 Y の直線関係式(2)¹⁾を考慮し、式(1)とあわせて、震度 K の距離減衰式を考えた。

$$K = c_1 + c_2 \cdot Y \quad (2) \quad K = c_1 + c_2 b_1 \cdot e^{b_2 M} \cdot R^{-b_3} \quad (2')$$

また、筆者らは現在、最近20年間に生じている地震を整理し、“地震の巣”を明らかにしつつあるが、各“地震の巣”で発生する地震のマグニチュードに関しては第1近似としてGutenberg-Richter式が成立すること、多くの場合上に凸となることがわかっているため、これらの条件も考慮した。この報告では、震源モデルとして線形震源（長さ l 、距離 d ）を仮定した場合のみを示すが、 M がGutenberg-Richter式すなわち、累積分布関数が $F_M(m) = S \{1 - \exp[-\beta(m - m_0)]\}$ の場合（ M の上限 m_1 、下限 m_0 を考慮）には、震度 K の累積分布関数、確率密度関数を $F_K(k)$ 、 $f_K(k)$ とすると、

$$\left. \begin{aligned} F_K(k) &= 1 - \frac{S}{l} C G(k - c_1)^{-\beta/b_2} \\ f_K(k) &= \frac{\beta S}{b_2 l} C G(k - c_1)^{-(\frac{\beta}{b_2} + 1)} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

ここに、 $S = \{1 - \exp[-\beta(m_1 - m_0)]\}^{-1}$
 $C = (c_2 b_1)^{\beta/b_2} \cdot e^{\beta m_0}$
 $G = \int_d^{m_0} [2r^{-1-\frac{\beta}{b_2}} / \sqrt{r^2 - d^2}] dr$ となる。

そして、地震発生時系列をポアソン過程とすれば、 t 年間に事象 $[K_{\max} \geq k]$ が生ずる確率は、

$$P[K_{\max} \geq k] = 1 - \exp\left[-\frac{\nu t S}{l} C G(k - c_1)^{\frac{\beta}{b_2}}\right] \quad (4)$$

ここに ν は地震の平均発生率。

また、 M の累積分布関数が $F_M(m) = S \{ 1 - \exp[\beta(m-m_0) + \gamma(m-m_0)^2] \}$ の場合には、

$$F_k(k) = 1 - \frac{2\sqrt{l_0^2 - d^2}}{l} (1-S) - \frac{S}{l} (k-C_1)^{\frac{\beta}{b_2} - 2m_0 \frac{\gamma}{b_2}} \cdot C \cdot G \cdot \exp\left[\frac{\gamma}{b_2^2} \left(\ln \frac{k-C_1}{C_2 b_1}\right)^2\right] \quad (5)$$

ここに、 $S = \{ 1 - \exp[\beta(m_1-m_0) + \gamma(m_1-m_0)^2] \}^{-1}$
 $C = (C_2 b_1)^{\frac{\beta}{b_2} + 2m_0 \frac{\gamma}{b_2}} \cdot \exp[-\beta m_0 + \gamma m_0^2]$
 $G = \int_0^{r_0} \exp\left[\frac{b_2 \gamma}{b_2^2} \ln(r) \left(2 \ln \frac{k-C_1}{C_2 b_1} + b_2 \ln(r)\right)\right] \cdot r^{\frac{b_2 \beta}{b_2^2} - 2m_0 \frac{b_2 \gamma}{b_2^2}} \cdot \frac{2r}{\sqrt{r^2 - d^2}} dr$

として、

$$P[K_{max} \geq k] = 1 - \exp\{-\lambda t [1 - F_k(k)]\} \quad \text{となる。} \quad (6)$$

3. 計算結果の一例

図-1 は以下の計算で仮定したマグニチュードの頻度分布に関する仮定である。Gutenberg-Richter 式で $\beta = 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0$ の場合ならびに上に凸な場合の関係式を図示してある。図-2, 3 は Gutenberg-Richter 式で β が異なる場合の式(3) の $F_k(k), f_k(k)$ および式(4) の $P[K_{max} \geq k]$ の比較である。これらの図から、 β が大きくなる程、大きなマグニチュードの地震の発生する可能性が低くなるため、震度 k に対して $f_k(k)$ が急激に減少し、また、 $P[K_{max} \geq k]$ の時間的増加割合が低くなることがわかる。また、図-4, 5 は式(3) ~ (6) の比較である。式(3), (4) と式(5), (6) の結果には大きな差が認められる。すなわち、 $f_k(k)$ のピークは右にずれ、大きな震度の生ずる可能性が高くなり、 $P[K_{max} \geq k]$ の値も k の小さいとき式(6) がかなり大きくなっている。

これらの計算では、 $b_1=100, b_2=1, b_3=1.5, G=0.072, C=0.00034, d=50\text{km}, l=10\text{km}, m_0=4.0, m_1=8.5, \nu=5.0$ と仮定しているが、他の場合も同様の傾向を示した。

4. あとがき

今後、種々のパラメータに対して実際に得られる値を用い地震危険度解析を実施していきたい。なお、この研究にあたり、名城大学4年牛田昌実、岸悟、高田聡、竹中郁尊君の援助を得た。記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 松尾稔, 板橋一雄: 斜面および土構造物の耐震性評価に関する研究, 土木学会論文報告集, 第352号/Ⅲ-2, pp. 111~118
- 2) Cornell, C.A.: Engineering Seismic Risk Analysis, Bull. of the Seismological Society of America, Vol. 58, No. 5, pp. 1607~1620

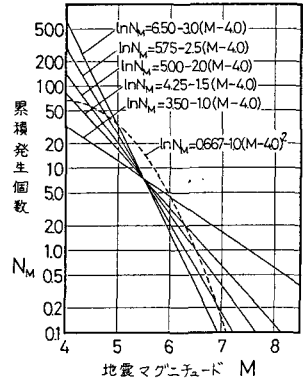


図-1

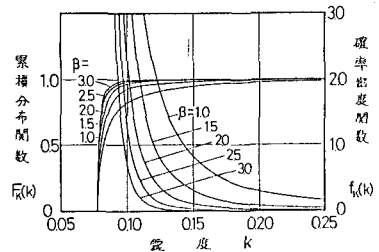


図-2

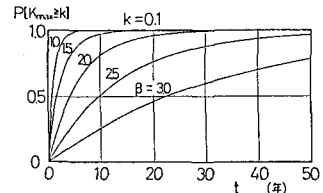


図-3

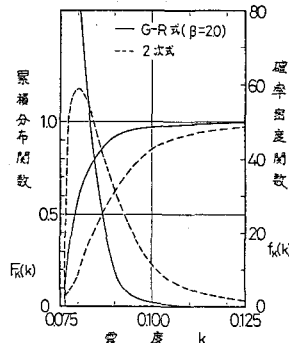


図-4

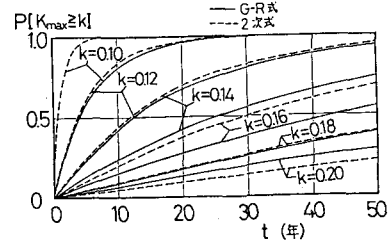


図-5