

I-566 地震時における応答と過剰間隙水圧の上昇を考慮した盛土の信頼性解析

藤和不動産

正会員○日比野友亮

金沢大学工学部

正会員 北浦 勝

同

池本敏和

1. はじめに

盛土の地震時安定解析についての検討が広く行われているものの、砂質地盤内の過剰間隙水圧上昇をも考慮した例は少ない。本研究では地震時における盛土の安定解析に砂質地盤内の過剰間隙水圧蓄積および消散過程を取り入れた信頼性手法を用い、盛土の耐震安全性に関する検討を行う。また過剰間隙水圧上昇を考慮した場合としない場合の盛土の安定解析の結果とを比較し、過剰間隙水圧上昇が盛土の破壊確率に及ぼす影響を考察する。盛土に作用させる地震加速度の評価に当たっては、応答スペクトル法 concepts を利用して、エネルギー的に等価な応答加速度を算出するという、新たな方法を用いている。さらに本手法を実際の震害事例に適用した結果についても報告する。

2. 盛土の安定解析モデル

盛土の安定解析モデルを図-1に示す。本研究では盛土の安定解析に簡便分割法による円弧すべり法を用いた。従って盛土の安全率 F_s は次式のように表される。

$$F_s = \frac{\Sigma [c \cdot l + \{(1 - k_v) \cdot W \cdot \cos \alpha - k_h \cdot W \cdot \sin \alpha - U \cdot l\} \cdot \tan \phi]}{\Sigma \{[(1 - k_v) \cdot W \cdot \sin \alpha + k_h \cdot W \cdot \cos \alpha]\}} \quad (1)$$

ここで、 c は粘着力、 l はすべり面の長さ、 W は重量、 k_h 、 k_v はそれぞれ水平震度、鉛直震度、 U は間隙水圧の上昇による力、 ϕ は摩擦角、 α は水平面とすべり方向とのなす角である。 k_h および k_v は次のように求める。すなわち、応答スペクトル法を用いて求まる最大応答速度 S_v と最大応答変位 S_d とから盛土の運動エネルギーと位置エネルギーとを次式のように等しいと置き、エネルギー的に等価な応答加速度 A を算出する。

$$M \cdot A \cdot S_d(T, h) = \frac{1}{2} M \cdot S_v^2(T, h) \quad (2)$$

ここで、 M は盛土の質量、 A はエネルギー的に等価な応答加速度、 T および h はそれぞれ盛土の固有周期、減衰定数を表わす。 A を地表面における最大加速度 A_g で基準化した値 α_A の結果を図-2に示す。図中の α_A は15地震記録の結果を平均化したものであり、 T および h ごとに求められる。従って、ここでは α_A に地表面における最大加速度を乗じ、さらに重力加速度で除して k_h を求める。また k_v は別途の検討により k_h に0.6 を乗じた値を用いる。

過剰間隙水圧の蓄積過程として Martin, Finn, Seed のモデルを用い、地下水面下にあるすべり面にのみ過剰間隙水圧の上昇を考慮する。過剰間隙水圧の消散過程では式(3)の鉛直1次元のみを考慮した透水方程式を用いる。

$$\frac{\partial u}{\partial t} = B \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \quad (3)$$

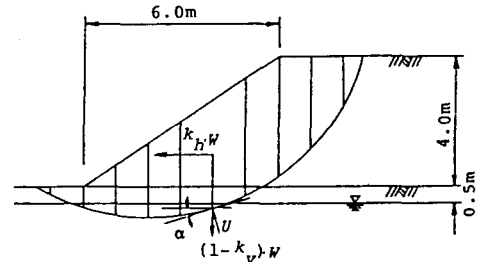
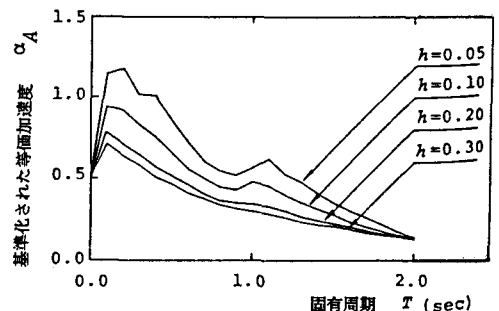


図-1 盛土の安定解析モデル

図-2 α_A のスペクトル

ここに、 u は間隙水圧、 B は係数、 t および z はそれぞれ時間と距離である。係数 B は飽和領域の場合、 $B = k_z / (m_v \cdot \gamma_w)$ 、不飽和領域の場合、 $B = k_z^* / C$ で表される。 k_z および k_z^* はそれぞれの領域における透水係数、 m_v は土の体積圧縮係数、 γ_w は水の単位体積重量、 C は比水分容量である。ただし盛土の安定解析において間隙水圧の上昇による力 U を求める場合は、式(3)を差分化して用いている。信頼性解析にあたっては、Point Estimate Method¹⁾を用い、粘着力 c および摩擦角 ϕ のばらつきのみを考慮した。 c および ϕ の変動係数はそれぞれ0.27、0.19に、また c および ϕ の標本平均の変動係数は0.1と仮定した。表-1に盛土の安定解析に用いた諸数値を示す。

3. 結果と考察

地表面における最大加速度 A_g に対する過剰間隙水圧の上昇を考慮した場合と考慮しない場合の盛土の破壊確率 P_f を図-3に示す。図-3における一点鎖線はそれぞれの破壊確率の標準偏差である。同図から A_g が大きくなるにつれ、過剰間隙水圧上昇を考慮した場合の P_f と考慮しない場合の P_f に開きが生じ、例えば $A_g = 500$ gal の場合には両者の P_f に0.2程度の差が生じていることがわかる。ちなみに過剰間隙水圧上昇を考慮した場合、 A_g が450 gal 程度になると安全率 F_s が1(破壊確率は0.5程度)を下回り、考慮しない場合、 A_g が550 gal になっても F_s は1以上であった。このことはやはり間隙水圧を考慮することによって小さな加速度でも盛土の破壊が発生することを示唆するものである。

つぎに新潟地震(1964)、宮城県沖地震(1978)の際に被害を受けた9個の盛土に本手法を適用した結果について考察する。土の粘着力や内部摩擦角の平均の変動係数にはそれぞれ0.30、0.22を用いた。盛土の破壊確率 P_f の変動と建設省土木研究所によるところの被害ランクとの対応を図-4に示す。被害ランク α は大きな被害を表し、被害ランク γ は軽微な被害を表す。被害ランクが γ から α に移るにつれ、盛土の P_f は高くなる傾向にあり、かつ P_f の変動が小さくなることは興味深い。

以上みたように、過剰間隙水圧上昇を考慮した場合の盛土の破壊確率と考慮しない場合のそれとの差は決して無視しえない値であること、実際の震害事例に本手法を適用した結果、被害ランクと P_f にある程度の関係があり、また被害の程度が大きいほど P_f のばらつきが小さいこと、などがわかった。

最後に本研究の盛土の被害事例は建設省土木研究所より提供されたことを明記し、ここに深甚なる謝意を表する次第である。本研究には文部省科学研究費の支援を受けたことを付記する。

表-1 解析に用いた諸数値

	地下水位内	地盤内	盛土内
c (tf/m ²)	0.537	1.341	2.090
ϕ (°)	25	25	25
γ_t (tf/m ³)	2.230	2.150	1.980
T (sec)			0.16
h			0.20

γ_t : 土の湿潤単位体積重量、 T 、 h : 盛土の固有周期、減衰定数

k_z (cm/sec)	0.0204	m_v (cm/kgf)	0.1000
k_z^* (cm/sec)	0.0144	γ_w (kgf/cm ³)	0.0010

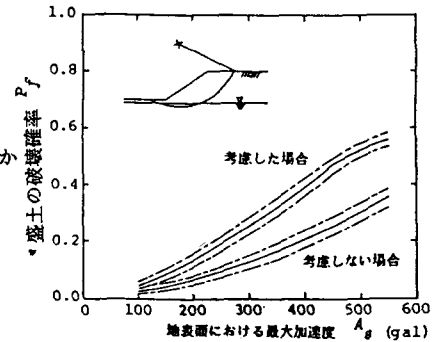


図-3 過剰間隙水圧上昇を考慮した場合の結果と考慮しない場合の結果との関係

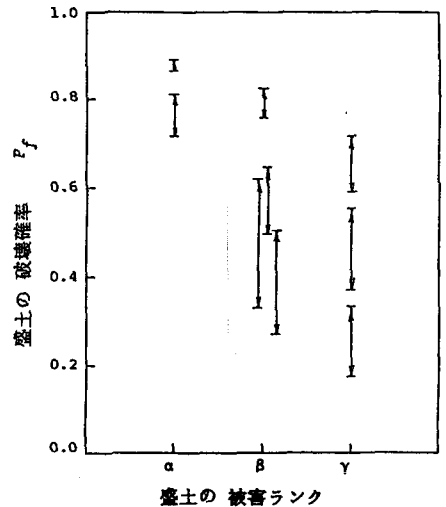


図-4 P_f と盛土の被害ランクとの対応

参考文献

- 1) Rosenblueth, E.: Point Estimates for Probability Moments, Proceedings of the National Academy of Science, Vol. 72, No. 10, 1975.