

1. はじめに

近年, 1995年1月17日に発生した兵庫県南部地震や2000年10月6日に発生した鳥取県西部地震に代表される大規模地震が各地で発生し, 地震を誘因とした斜面崩壊が多発している. これまでの斜面崩壊を対象とした研究の大部分は, 降雨をその誘因とした現象に集中し, 地震を引き金とする斜面崩壊に関する研究事例は少ない. 本研究は, 外力として地震力(加速度)が作用した際の土質強度の変化特性を把握するとともに, 斜面の安定性の挙動を知ることを目的として実施したものである.

2. 実験方法

本研究では, 地震が発生した場合の地震の規模すなわち衝撃力と土質強度( $C, \phi$ )との関係を把握するため, 「衝撃試験(落下試験)」と「一面セン断試験」を実施した. 実験砂としては, 豊浦標準砂を使用した. 落下試験装置は, 図-1に示すように, セン断箱固定用の支柱, セン断箱の上面に取り付けられた加速度計及び加速度表示計により構成され, 所定の高さからセン断箱を自由落下させることにより, 地面に落下した際の加速度を加速度表示計により読みとった. ここで, 地震力の伝わる方向の違いを考慮し, 供試体のセン断面に対して鉛直方向に衝撃が加わった場合と, 水平方向に衝撃が加わった場合の2タイプの落下試験を行った. 予備実験により得られた落下高と加速度との関係(図-2)を(1)式に示す. ここに,  $G$ : 加速度(gal),  $H$ : 落下

$$G = 8.1393 \cdot H^{1.1606} \dots\dots\dots(1)$$

高(cm)である. 衝撃力としては, 落下高を種々変化させることにより, 0~680galの範囲内で6段階設定した. さらに, 地震発生時の斜面の水分状態の相違による土質強度変化の違いを定量的に把握するため, 実験用供試体の水分調整を行い, 供試体の含水状態を飽和状態・絶乾状態・自然含水状態(土壌水分吸引圧: 25, 35cmH<sub>2</sub>O)の4パターン変化させた. 実験ケースは, 地震力の伝わる方向: 2方向, 衝撃力: 6段階, 含水状態: 4パターンをそれぞれ組み合わせ合わせた合計30ケースである.

3. 考察

3.1 衝撃力の相違による土質強度変化

衝撃力(加速度)と土質強度( $C, \phi$ )との関係を図-3に示す. 水分状態を飽和状態及び絶乾状態とした場合の粘着力は, 衝撃力の増加とともに増大し, 190galを境に減少傾向を示すものの, 衝撃力を与えた場合には, 平常時(0gal)よりも大きな値を示す結果となった. これは, 衝撃を与えた際に供試体が圧密されるため, その結果として粘着力が平常時よりも大きな値を示したものと推測される. これに対して, 土壌水分吸引圧を25cmH<sub>2</sub>O及び35cmH<sub>2</sub>Oに調整した場合の粘着力は衝撃力の増加とともに急激な低下を示し, 鉛直方向に340galの衝撃力を与えた場合には, 粘着力は0(kgf/cm<sup>2</sup>)となった.

一方, 内部摩擦角に関しては, 衝撃を与えるると平常時よりも若干ながら大きな値を示すようになるものの, その変化度合いは粘着力の変化度合いよりも小さいことがわかる.

3.2 飽和度の相違による土質強度変化

衝撃を与えた際の飽和度と土質強度との関係を図-4に示す. 衝撃を与えない場合(0gal)の粘着力は飽和度の増加とともに増大し, 土壌水分吸引圧を25cmH<sub>2</sub>Oとした場合を境に急激に低下するのに対し, すべり面に対して水平方向に190galの衝撃を与えた場合を除き, 衝撃を与えた場合には, 逆に, 粘着力は飽和度の増加とともに減少し, 土壌水分吸引圧を25cmH<sub>2</sub>Oとした場合を境に増加する傾向が認められた. 一方, 内部摩擦角は, 平常時(0gal)と水平方向に衝撃190galを与えた場合, 飽和度に関係なくほぼ一定値を示した. これに対して, 鉛直方向に衝撃を

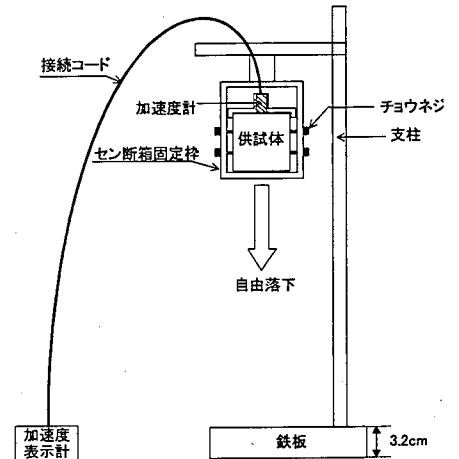


図-1 落下試験装置の概要

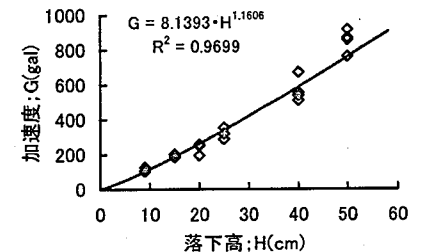


図-2 落下高と加速度との関係

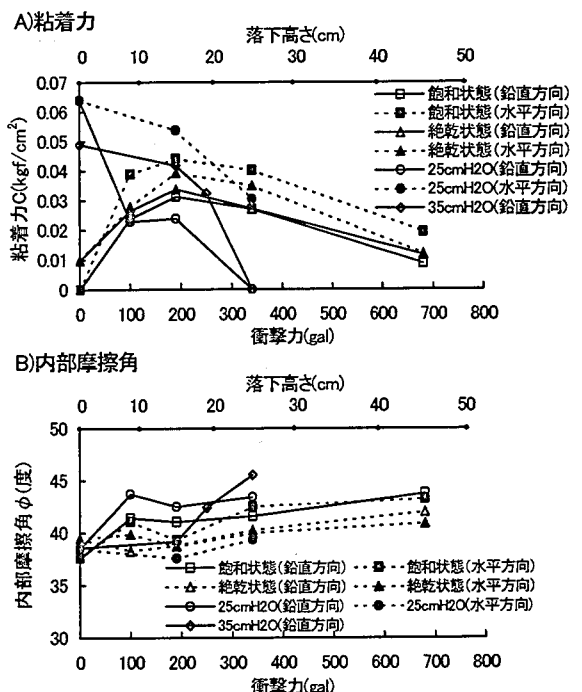


図-3 衝撃力と土質強度との関係

与えた場合には、飽和度の増加とともに内部摩擦角も増加傾向を示すものの、その変化度合いは粘着力の変化度合いよりも小さいことがわかる。

### 3.3 斜面の安定性

無限長斜面を仮定すると、斜面の安定性は、(2)式を用いて判断することができる。ここに、 $F_s$ :安全率、 $C$ :粘着力( $\text{tf}/\text{m}^2$ )、 $\phi$ :土の

$$F_s = \frac{C \cdot (\sigma_0 - h \cdot \gamma_w) \cdot \cos^2 \beta \cdot \tan \phi}{\sigma_0 \cdot \sin \beta \cdot \cos \beta}$$

$$\sigma_0 = (D - h) \cdot \rho_t + h \cdot \gamma_w \cdot n + h \cdot \rho_d \quad \dots \dots (2)$$

内部摩擦角( $^\circ$ )、 $h$ :地下水深(m)、 $\gamma_w$ :水の単位体積重量( $\text{tf}/\text{m}^3$ ;  $1\text{tf}/\text{m}^3$ )、 $\beta$ :斜面勾配( $^\circ$ )、 $\sigma_0$ :鉛直応力( $\text{tf}/\text{m}^2$ )、 $D$ :表土層厚(m)、 $\rho_t$ :土の湿潤密度( $\text{tf}/\text{m}^3$ )、 $\rho_d$ :土の乾燥密度( $\text{tf}/\text{m}^3$ ;  $1.48\text{tf}/\text{m}^3$ )、 $n$ :間隙率( $\text{m}^3/\text{m}^3$ ;  $0.44\text{ m}^3/\text{m}^3$ )であり、これらの値は土質試験により求めた実測値である。ここで、飽和状態時の地下水深; $h$ は、表土層厚; $D$ と同値とし、それ以外の水分状態では、地下水深; $h=0\text{m}$ と設定した。モデル斜面としては、斜面勾配; $\beta$ を $35^\circ$ 、 $40^\circ$ 、 $45^\circ$ の3パターン、表土層厚; $D$ を $0.5\text{m}$ 、 $1\text{m}$ 、 $1.5\text{m}$ の3パターン変化させ、これらを組み合わせた合計9種類設定した。これら9種類のモデル斜面の内、斜面勾配; $\beta=45^\circ$ 、表土層厚; $D=0.5\text{m}$ とした場合の衝撃力と安全率との関係を図-5に示す。水分状態を飽和状態及び絶乾状態とした場合には、 $190\text{gal}$ 以上の衝撃を与えると、安全率は低下傾向を示すようになるものの、いずれの場合も斜面の安定性は平常時( $0\text{gal}$ )よりも増加する結果となった。一方、土壤水分吸引圧を $25\text{cmH}_2\text{O}$ 及び $35\text{cmH}_2\text{O}$ とした場合には、斜面の安定性は衝撃力の増加とともに急激に低下する結果となった。表土層厚を $0.5\text{m}$ とした場合を例として、今回の実験ケース中、自然含水状態に近い土壤水分吸引圧を $25\text{cmH}_2\text{O}$ 及び $35\text{cmH}_2\text{O}$ とした場合の衝撃力と安全率との関係をとりまとめたものを図-6に示す。安全率は、衝撃力の増加とともに急激に低下し、土壤水分吸引圧: $25\text{cmH}_2\text{O}$ 、斜面勾配: $45^\circ$ とした場合、鉛直方向の衝撃 $340\text{gal}$ を与えた場合に、安全率は $1.0$ を下回り崩壊が発生する結果となった。一方、斜面勾配; $\beta=45^\circ$ 、表土層厚; $D=0.5\text{m}$ とした場合の飽和度と安全率との関係(図-7)より、同一の衝撃を与えた場合には、飽和度の増加とともに安全率は低下傾向を示す結果となり、この傾向は衝撃力の増加とともにより顕著に認められる。また、衝撃に対する安全率の挙動は、衝撃に対する粘着力の挙動と類似しており、地震時の斜面の安定性は、内部摩擦角よりも粘着力の影響を強く受けるようである。

### 4. まとめ

本研究では、地震の規模すなわち衝撃(加速度)が斜面の安定性に及ぼす影響について検討を行った。得られた主な知見は以下のとおりである。

- 1)飽和状態下や絶乾状態下では、衝撃が加わると斜面は安定する結果となったが、自然含水状態下( $25,35\text{cmH}_2\text{O}$ )では、衝撃力の増加とともに斜面の安定性は著しく低下する。
- 2)同一規模の地震であっても、飽和度の増加とともに斜面の安定性は低下することとなる。

今後は、現地採取試料に対しても同様の検討を行い、本研究で得られた結果の妥当性について考察する必要がある。また、本研究において供試体に対して与えた衝撃力は自由落下によるものである。このため、より実際の地震波に近い衝撃を与えた詳細な検討が必要となる。

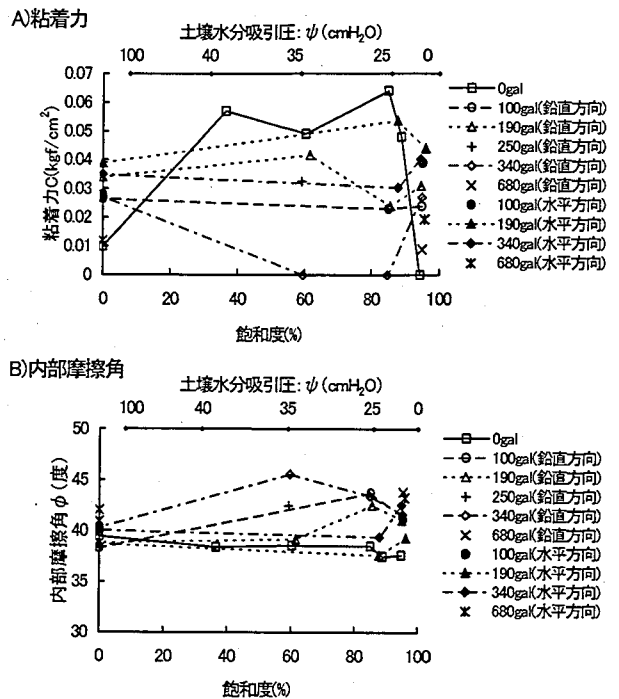


図-4 飽和度と土質強度との関係

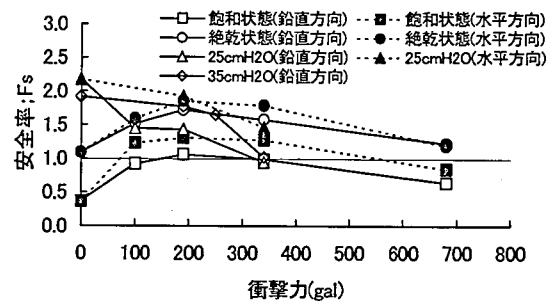


図-5 衝撃力と安全率との関係 ( $\beta=45^\circ$ ,  $D=0.5\text{m}$ )

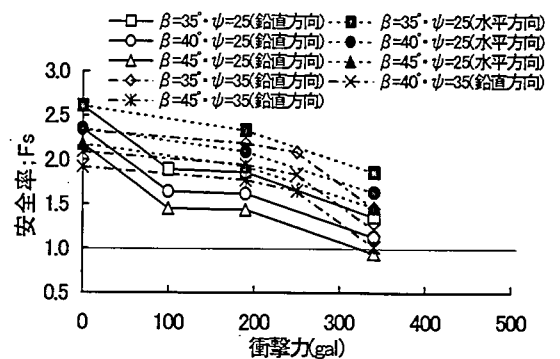


図-6 衝撃力と安全率との関係 ( $\psi=25,35\text{cmH}_2\text{O}$ ,  $D=0.5\text{m}$ )

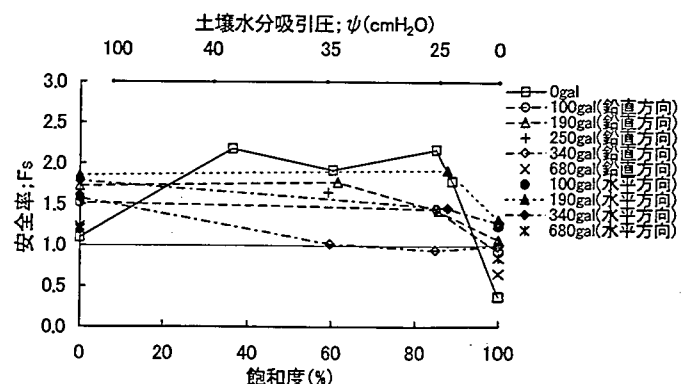


図-7 飽和度と安全率との関係 ( $\beta=45^\circ$ ,  $D=0.5\text{m}$ )