

土砂崩壊現象の音響工学的解明に関する基礎的研究

千葉工業大学大学院 非会員 原敦雄  
 千葉工業大学工学部 非会員 陶良  
 ○千葉工業大学工学部 正会員 渡辺勉  
 千葉工業大学工学部 非会員 本岡誠一

1. まえがき

土砂崩壊を予知し防災を可能とする技術の開発が望まれている。土砂崩壊現象は自然界において降雨により、土砂中の含水率が変化し、土砂の結合状態も変化し起こるものと考えられる。この状態では当然土砂中の縦波速度も変化する事が考えられるので、先ず縦波速度と N 値との相関関係から土砂崩壊現象の解明を行う事とした。

成田層山砂の安定状態の一例として、含水率 10%、湿潤密度  $1.6\text{g/cm}^3$  の自然状態を想定し実験砂槽中で成田の山砂を一定のエネルギーで締め固め、含水率を変化させた山砂中の縦波速度の計測を行った。山砂と水の混合体中の縦波速度の理論値と実測値の相対的比較を行った。縦波速度の実測値、理論値とともに、山砂の含水率が高くなると遅くなる傾向が見られたが、含水率が 17%以上になると実測値に急激な変化が見られた。同じ締め固めエネルギーでの N 値の測定結果と締め固め試験より求めた最適含水率の比較検討を行った結果、縦波速度と N 値の変曲点が最適含水率に一致する事が分かった。更に、含水率 10%湿潤密度 1.7、1.8  $\text{g/cm}^3$  の試料においても、縦波速度、N 値の変曲点、最適含水率 (含水率それぞれ 16、15%)に一致が見られた事から、土砂中の水分が最適含水率を超えると、土砂の結合状態が粗となり、土砂中の N 値及び縦波速度が急激に低下する傾向が見い出された。

2. 山砂中の縦波速度、N 値の測定方法

研究対象とした自然状態の成田層山砂において、含水率 10~25%、湿潤密度  $1.4\sim 1.9\text{g/cm}^3$  程度の範囲では土砂崩壊現象は起こらない安定した状態と言われている。筆者らは、図 1 に示す研究試料を用いて含水率 10%、湿潤密度 1.6、1.7、1.8  $\text{g/cm}^3$  の自然状態を想定した。そこで、安定した自然状態を想定した砂槽を作製す

るために、先ず測定で用いる成田層山砂の締め固め試験を行い、各湿潤密度における締め固めエネルギー( $E_c$ )を決定した。次に、安定した自然状態に、雨が降った事を想定し、含水率を変化させた試料を作製した。山砂の密度を均一にするために 6 層に分け一定のエネルギーで締め固め、3 層分の山砂を締め固めた後に、電磁誘導型音源と受波器 4 個を 3 層目と 4 層目の間(砂槽表面下 15cm)に、それぞれ 10cm間隔で直線状に埋設し、残りの 3 層も同様に締め固めた。図 2 に測定装置の概要を示す。縦波速度は、シンクロスコープ上で受信信号の振幅最大値を合わせるように位相操作を行い、各受信信号の時間差と各受波器の距離差とから求めた。図 3 に受信信号の一例を示す。更に、一面せん断試験を行い内部摩擦角  $\phi$  を求め、内部摩擦角  $\phi$  と有効上載圧  $\sigma_v'$  から N 値の算出を行った。

同様に、含水率 10%、湿潤密度  $1.6\text{g/cm}^3$  ( $E_c=1.125\text{cm}\cdot\text{kgf/cm}^3$ )、及び  $1.7\text{g/cm}^3$  ( $E_c=5.625\text{cm}\cdot\text{kgf/cm}^3$ )、 $1.8\text{g/cm}^3$  ( $E_c=9\text{cm}\cdot\text{kgf/cm}^3$ ) の試料についても測定を行った。

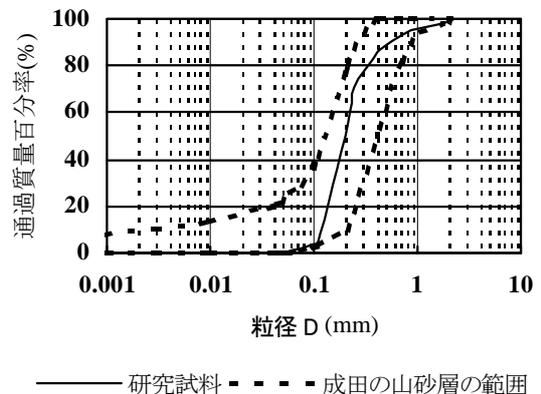


図 1 成田層山砂と研究試料の粒径加積曲線

縦波速度、湿潤密度、最適含水率、N 値、成田砂の含水率、インパルス音波

千葉県習志野市津田沼 2-17-1 千葉工業大学工学部電子工学科 Tel 047-478-0839 Fax 047-478-0404

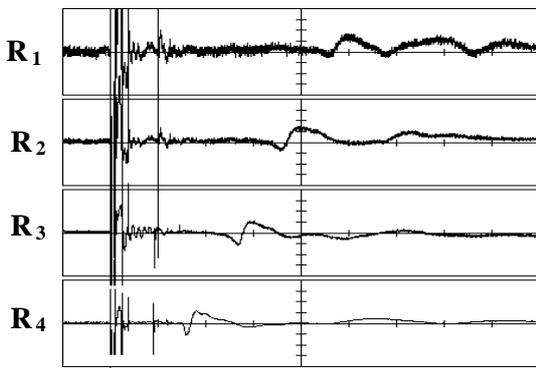
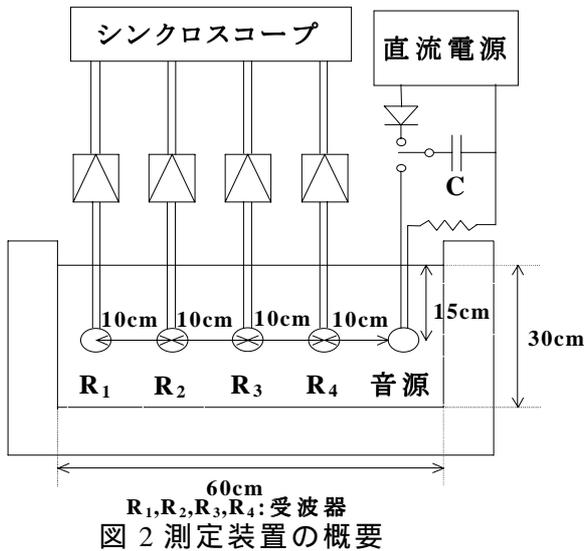


図 3 受信信号の一例

**3. 混合体中の縦波速度の理論計算**

水と山砂の体積比を変化させた混合体中の縦波速度の理論計算を行った。一般的に、縦波速度は次式で与えられる。

$$C_v = \sqrt{\frac{\bar{K}}{\bar{\rho}}}$$

水と山砂の混合体中に含まれる山砂の体積比を  $\Phi$ 、水の体積比を  $(1-\Phi)$  とする。また、山砂と水の体積弾性率をそれぞれ  $K_g, K_w$  とすると、混合体中の平均体積弾性率  $\bar{K}$  は以下の式となる。

$$\frac{1}{\bar{K}} = \frac{\Phi}{K_g} + \frac{1-\Phi}{K_w}$$

一方、山砂と水の密度をそれぞれ  $\rho_g, \rho_w$  とすれば、混合体中の平均密度  $\bar{\rho}$  は、以下の式で表される。

$$\bar{\rho} = \Phi \rho_g + (1-\Phi) \rho_w$$

混合体中での縦波速度  $C_v$  は次式となる。

$$C_v = \left\{ \frac{\rho_g}{K_g} \Phi^2 + \left( \frac{\rho_w}{K_g} + \frac{\rho_g}{K_w} \right) \Phi(1-\Phi) + \frac{\rho_w}{K_w} (1-\Phi)^2 \right\}^{\frac{1}{2}}$$

**4. 縦波速度と N 値、締固め試験の測定結果**

含水率 10%、湿潤密度  $1.6 \text{ g/cm}^3$  ( $E_c = 1.125 \text{ cm} \cdot \text{kgf/cm}^3$ ) の自然状態において含水率 17% までは、理論値と

実測値の音速相対値を比較すると、理論値は、含水率が高くなっても顕著な変化は見られないが実測値においては含水率 17% を超えると急激な変化が見られた。N 値においても縦波速度と同じ含水率を超すと急激な変化が見られた。縦波速度と N 値の測定結果を図 4、5 に示す。又、締固め試験より最適含水率を求めた結果、最適含水率は 17% となり、縦波速度と N 値の変曲点と一致している。締固め試験の測定結果を図 6 に示す。又、縦波速度と N 値の変曲点と最適含水率は、湿潤密度  $1.7 \text{ g/cm}^3$  ( $E_c = 5.625 \text{ cm} \cdot \text{kgf/cm}^3$ ) では含水率 16%、湿潤密度  $1.8 \text{ g/cm}^3$  ( $E_c = 9 \text{ cm} \cdot \text{kgf/cm}^3$ ) では含水率 15% において一致している。

以上の結果から縦波速度と N 値の急激な変化が起きているところでは、土砂崩壊現象が起き始めていると推察した。

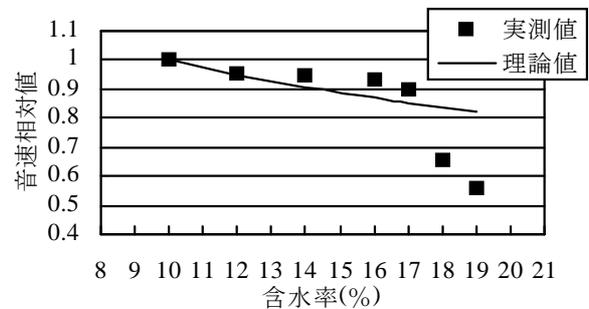


図 4 含水率と縦波速度の実測値、理論値の関係 (含水率 10% で規格化)

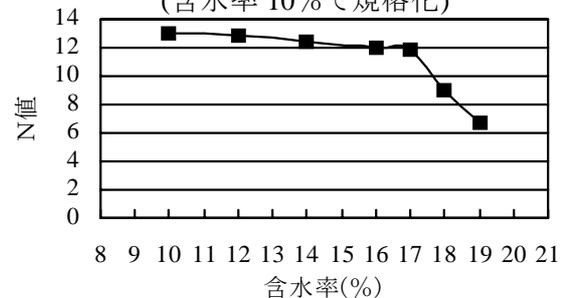


図 5 含水率と N 値の関係

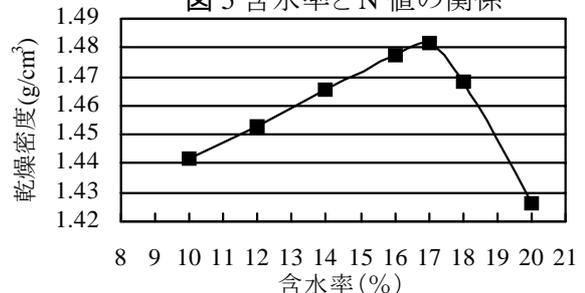


図 6 締固め曲線

**5. 結論**

最適含水率を超えると土砂中の N 値及び縦波速度が急激に低下する現象が解ったので、この現象を利用した土砂崩壊の予知の可能性が見い出せるものと考えている。