

1. はじめに

斜面動態の計測に基づく崩壊発生時刻の予測のためには、地表面変位の経時変化に基づき崩壊発生時間を求める齊藤¹⁾や福園²⁾の方法が知られている。これらは模型斜面などの崩壊前の時間-変位の関係の実験式に基づく方法であり、降雨による斜面崩壊のように、地下水位上昇に伴って斜面がせん断変形・破壊する場合の、斜面内の間隙水圧の変化を扱うことができない。この場合間隙水圧（応力）とせん断ひずみの関係に基づいた予測手法が必要と考える。昨年度は地表面変位と地下水位の計測に基づく斜面崩壊発生時刻の予測手法を提案した³⁾。今回はMEMS等の傾斜計で簡便に計測できる斜面内のせん断ひずみと、間隙水圧の関係に基づく、斜面のせん断変形の予測手法を検討する。

2. 模型実験

(独)防災科学技術研究所の大型降雨実験施設内で砂質土より成る模型斜面を作製し、人工降雨を与えて、斜面内の土壌水分や地下水位、そして斜面の変形を計測した(図-1)。今回の検討では、斜面下端から250cmの位置に、鉛直方向の深さ9.2cm毎に傾斜計を繋いだ、内部歪計によるせん断ひずみを検討対象とした、また同一地点で計測された地下水位から、傾斜計の深さ毎の間隙水圧水頭を求めた。実験方法の詳細は参考文献³⁾を参照されたい。

3. 実験結果

崩壊発生までの模型斜面中の傾斜計設置深さにおけるせん断ひずみと間隙水圧水頭の関係を図-2に示す。間隙水圧増加量に対するせん断ひずみ増加量が徐々に大きくなり、崩壊直前には間隙水圧がほぼ一定の下でせん断ひずみが増加する形状をとり、双曲線形で近似できる。しかし深い位置の方が間隙水圧の最大値は大きくなる。ここで深さ50.6cmの場合は複雑な形状をしているが、これは2つの双曲線が組み合わさった形状と解釈でき、今回の検討対象からは外す。

4. 斜面内のせん断ひずみ経時変化の予測手法の提案

例として深さ41.4cmにおける計測データを用いて以下に説明する。

(1) 「せん断ひずみ～間隙水圧」の予測式

任意の時刻までの斜面内のせん断ひずみ γ と間隙水圧水頭 P の値から、以下に示すような双曲線関数を用いた近似式を作成し、予測式とする。ここで G_{sur} および P_{max} は実験定数である。

$$\gamma = \frac{1}{G_{sur}} \frac{P_{max} \cdot P}{P_{max} - P} \quad (1)$$

ここで γ/γ_{max} を崩壊発生までの時刻を表すパラメーターとする。 γ_{max} は計測される最大せん断ひずみである。 $\gamma/\gamma_{max} = 0.28$ までの計測データを用いた近似式の作成を図-3に例示する。次に様々な γ/γ_{max} までのデータを用いて作成した近似式を、実測値と共に図-4に比較して示す。 $\gamma/\gamma_{max} = 0.5$ 以降では実測値の再現性が良い。

(2) 「時間～間隙水圧」の予測式

次に崩壊発生前の任意の時刻までの計測データを用いて、「時間～間隙水圧水頭」の近似式を作成する。ここでは以下のようなべき乗関数を用いて実測との誤差を小さくした。ここで a_1 と a_2 は実験定数、 T は間隙水圧発生以降の時間である。

$$P = a_1 \cdot T^{a_2} \quad (2)$$

様々な γ/γ_{max} までのデータを用いて作成した近似式を、実測値と共に示したのが図-5である。 $\gamma/\gamma_{max} = 0.28$ 以降では実測を比較的良く再現している。

(3) 「時間～せん断ひずみ」の予測式

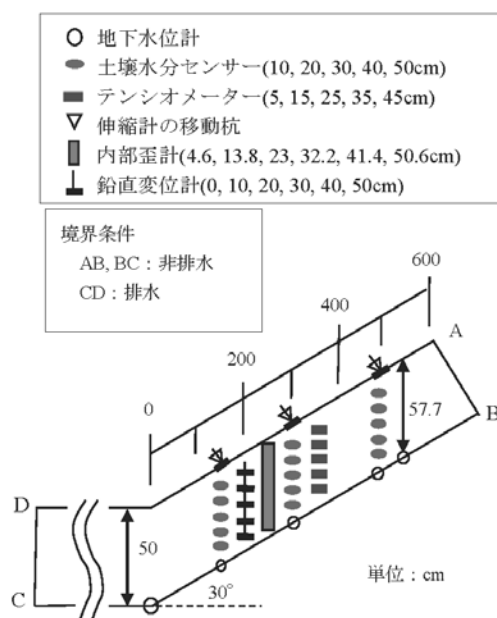


図-1 模型斜面

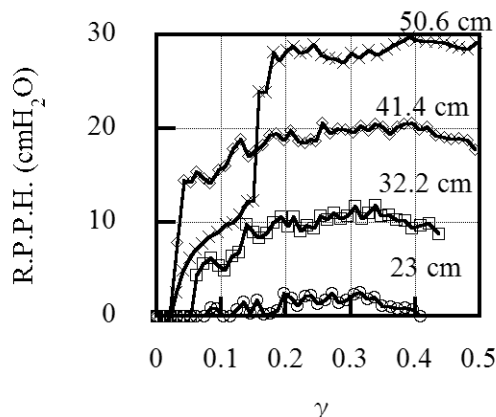


図-2 斜面内のせん断ひずみと間隙水圧水頭 (R.P.P.H.) の関係

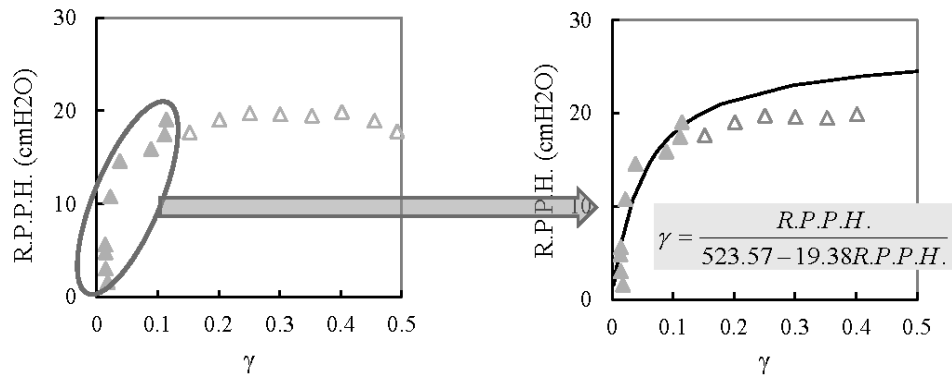


図-3 $\gamma/\gamma_{\max} = 0.28$ までの計測データを用いた「間隙水圧水頭～せん断ひずみ」近似式の作成

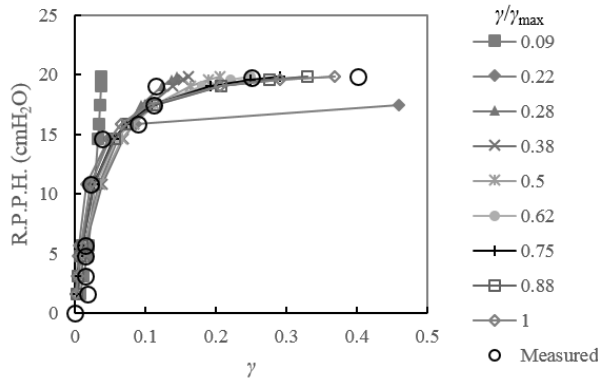


図-4 「間隙水圧水頭～せん断ひずみ」予測式の比較

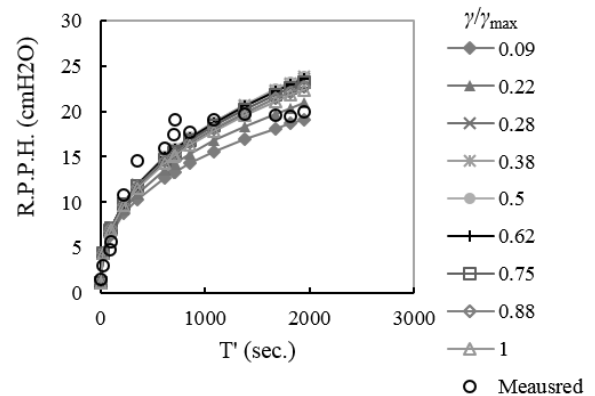


図-5 「時間～間隙水圧水頭」予測式の比較

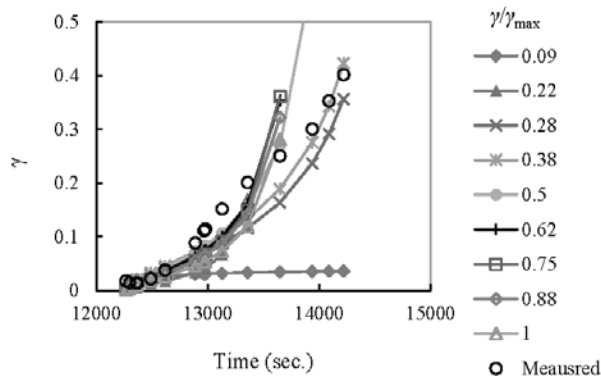


図-6 「時間～せん断ひずみ」予測式と実測値の比較

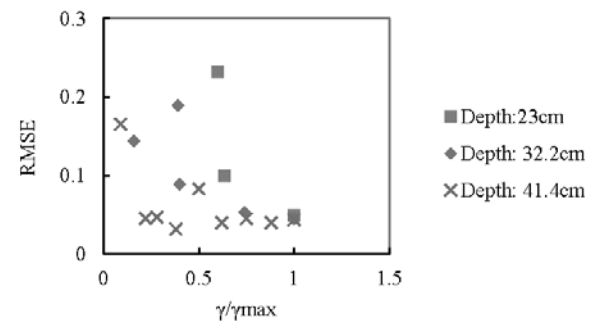


図-7 「時間～せん断ひずみ」予測式と実測値の間の誤差

RMSE: 二乗平均平方根

上述のように作成した、同じ時刻までのデータを用いた「せん断ひずみ～間隙水圧」および「時間～間隙水圧」の近似式を組み合わせ、「時間～せん断ひずみ」の予測式を作成する。様々な時刻 $\gamma/\gamma_{\max}$ までのデータを用いて作成した「時間～せん断ひずみ」予測式を、実測値と比較して図-6に示す。 $\gamma/\gamma_{\max} = 0.5$ 以降では実測値の再現性が良いことがわかる。

(4) 「時間～せん断ひずみ」予測結果の評価

上述の方法で求めた「時間～せん断ひずみ」予測の結果と、せん断ひずみの実測値の間の誤差を図-7に比較する。これを見ると崩壊発生に近い時刻までのデータを用いた方が誤差は小さく、予測精度が良いことがわかる。また深い位置でのせん断ひずみの予測の方が誤差は少ないことも判明した。

参考文献

- 1) 斉藤孝彦：土と基礎，29(5)，77-82(1981)．
- 2) 福岡輝旗：地すべり，22(2)，8-13(1985)．
- 3) 笹原克夫，酒井直樹：地盤工学ジャーナル，9(4)(2014)．