

不飽和土における降水の浸透速度

長崎大学 正 伊勢田哲也

正 ○武政剛弘

一ノ瀬和雄

1. まえがき

近年、各地で梅雨期に発生している豪雨災害において、人的被害の大半が斜面崩壊、土石流による被害であると報告されている。この斜面崩壊の原因については、降雨による地表面からの浸透水と地下水の挙動が支配的であると考えられる。したがって斜面崩壊を予知するには、事前にこの土中水の移動状況を的確かつ迅速に検知、あわせて土の含水率の変化も知る必要がある。

筆者らは、従来から地盤調査方法の一つとして使用されている電気探査法の原理を用いて、独自で地中浸透水検出装置の開発を行なっている。今回、斜面崩壊の予知を行なう目的の一端として、実験室にてこの装置による地中浸透水の挙動を定量的に測る試験を行なったのでその試験結果の一部を報告する。

2. 試験方法と試料

試験装置としては、図-1に示すように外径7.5cmの塩ビパイプの外周に10cm毎に銅製電極を取付けたゾンデを、内径20cmの塩ビ管内の所定の締固めを施した土に挿入して試験を行なった。

この原理は、地表面からの雨水の浸透に伴う浸透前線の移動による土の含水率の急上昇を、土の電導度の変化に変換して記録するものである。したがってこの方法によると、土を乱さなくて的確かつ迅速に土中水の移動

表-1 試験に使用した土質

G _s	w(%)	w _L (%)	w _p (%)	I _p	統一分類
2.75	3.15	4.83	3.46	1.37	M L

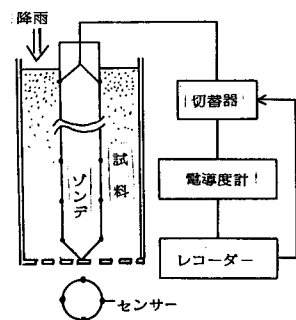


図-1 試験装置

状況を測ることが出来かつ土壌水分の動的変化の連続記録が可能になる。

表-1に掲げる試験に使用した土質は、昭和57年7月の長崎豪雨時に斜面崩壊が発生した長崎市北部の滑石地区より採土したものである。

3. 試験結果と考察

(1) 浸潤速度（透水速度）と浸潤強度

自然含水状態（約 $w=31.5\%$ ）の一様に乾燥した土を、前述の試験円筒内に厚さ5cmのレキを敷き、その上に40cmの試験土柱になるように詰める。そして土柱上端の表面に一定のタン水深 h_0 （0.3cm）を境界条件として与えた場合の浸潤状況を考える。試料土柱上端を座標原点とし、鉛直下方に y 軸をとる。そして初期体積含水率を θ_0 とし、土柱上端から浸潤前線までの全体（ y の長さの湿润土柱）が体積含水率 θ で湿润した状態を満しながら浸潤前線が進むと仮定する。この場合、長さ y の湿润土柱の水について、重力 $F_g = \rho g (y + h_0)$ 、前進毛管力 $F_c = \rho g h_c$ 、粘性抵抗 $F_v = \alpha \mu y$ （ μ ：流動の平均速度）の三者が作用し釣り合っていると考え運動方程式を立てる。そして μ の代わりにフラックス q を用いると(1)式を得る。

$$\theta = K \frac{y + h_0 + h_c}{y} \quad (1) \quad \text{ただし} \quad K = \frac{\rho g}{\alpha} = k \frac{\rho g}{\eta}$$

(1)式は浸透流動のDarcy則の水頭の項に前進毛管力を考慮した形となっている。式中の比例定数 K は、近似的に飽和係数と考えられる。一方、長さ y の湿润土柱に対する連続の式は

$$A \cdot \delta t = (A \times dy) \times (\theta - \theta_0) \quad (2)$$

A: 浸潤土柱の断面積

となる。(1)式と(2)式より前線の位置と到達時間の関係を得たのが(3)式である。

$$t = \frac{\theta - \theta_0}{K} \left\{ y - (h_0 + h_c) \ln \left(\frac{y}{h_0 + h_c} + 1 \right) \right\} \quad (3)$$

さらに、(3)式と(1)式により刻々の浸潤強度を示すフラックス δ と時間の関係も得ることが出来る。以上の関係を試験結果より示したのが図-2 である。これによると、同種の土でも締固めの状態で土中水の挙動に顕著な差異が出ている。しかも通常言われているように、一般に乾燥した土への浸潤では初期の大きな浸潤が急激に減少して一定値に達することも説明出来る。なお(3)式を用いる際の毛管水頭 h_0 の値は、 $h_0 = 11 \text{ cm}$ ($\gamma_d = 1.24$), $h_0 = 1 \text{ cm}$ ($\gamma_d = 1.11$) の値を使用した。この値は毛管上昇高の約 $1/3$ をとっている。

(2) 浸潤終了後の不飽和土柱内の水の挙動

浸潤試験と同様な試験条件で、浸潤前線が土柱下端に到達後、土柱境界条件を一様に保って2~3日放置する。土柱下端からの排水量が一定量になった時点で、土柱上端にトレーサーとして塩を投入する。結果を図-3 に示す。図中の緩やかな勾配の直線がトレーサーの移動状態で、急勾配の方は図-2 に示した浸潤状況を示す。この試験により得られる諸量を表-2 に示す。表中の V は排水量より求めた平均透下速度である。 V_n は図-3 の直線の勾配より算出したトレー

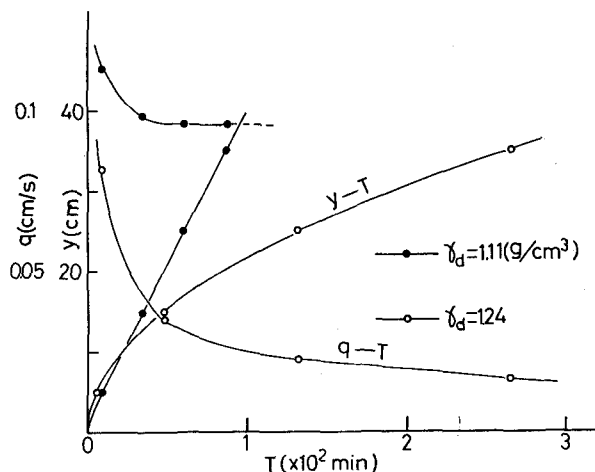


図-2 浸潤前線、浸潤強度の時間変化

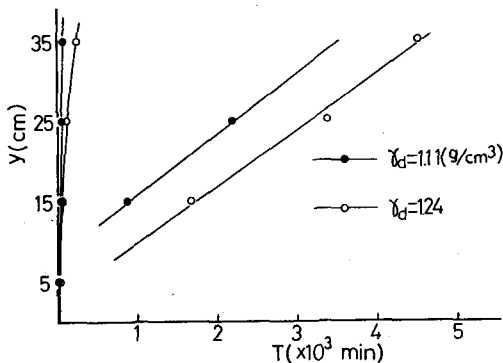


図-3 浸潤後の不飽和土柱の水の移動状況

表-2 不飽和土柱の試験結果

V: 流量より算出, V_n : トレーサーの移動より算出

$\gamma_d (\text{g/cm}^3)$	$n (\%)$	$V (\text{cm/s})$	$V_n (\text{cm/s})$	$n' (\%)$
1.11	60	182×10^{-6}	1.3×10^{-4}	14.0
1.24	55	8.1×10^{-6}	1.1×10^{-4}	7.4

サーの透下速度である。したがってこの V_n の値が真の透下速度と考えられる。そこで、“みかけの速度 V_n ” と “真の速度 V_n ” の関係、 $V = \gamma V_n$ より算出した値が有効空隙率として考えられるのである。結果より、締固めにより変化は見られるが、浸潤状態が終了した後の不飽和土柱の水は、初期の空隙率 n の値の10~20%前後の空隙を移動していると考えられる。したがって他の空隙部分は付着水で満ちて、注水停止後も保水される。以上の事柄は実際の降雨に対しても、初期の段階では浸潤現象として速い速度で浸透した水は、降雨停止後も速くには排水されずに大部分が保水され、浸潤前線が浸透した後の土壌では断続的な降雨に対して、少量でも地下水位は速に対応すると推測される。

[参考文献] 八幡敏雄; 土壌の物理, 東大出版, p8~98, 宇野尚雄土の水分保持特性よりみた浸透と排水, 土基礎, 16121, No.8, 1973, 21~25, 伊勢田; 地中浸透水検出装置について, 土木技術研究成果報告書, 長崎先端技術開発協議会, 昭和57.12, p39~43.