

1. まえがき

雨水による地表面の湛水は、鉄道路路盤においては噴泥発生の主要因と考えられる重要な問題である。今回、雨水の浸透解析を行なって、地表面が湛水する土質条件を求め、さらに模型実験により確認した。

2. 雨水の浸透解析

雨水が浸透する状態を図-1に示すようにモデル化した。ここで、地盤は均質とし、含水量は浸透域内で一定、浸透前線を境として急変し、降雨量は浸透量を上回るものと仮定して、ダルシーの法則を用いて浸透前線の下降速度を求めると

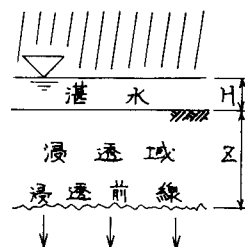


図-1 雨水の浸透モデル

$$V_z = \frac{k_w}{\beta} \cdot \frac{Z+H - \frac{S+P_z}{\gamma_w}}{Z} \quad (1), \quad V_z = \frac{dz}{dt} \quad (2)$$

ここに、 V_z : 浸透前線の下降速度 (cm/sec), k_w : 不飽和透水係数 (cm/sec),

β : 貯留係数 (—), Z : 浸透前線の深さ (cm),

S : 浸透前線以下の土のサクション (g/cm^2 , 負で表わす),

H : 湛水深さ (cm), P_z : 浸透前線以下の土中の空気圧と湛水面の空気圧との差 (g/cm^2),

t : 雨が降り始めるからの経過時間 (sec), γ_w : 水の単位体積重量 (g/cm^3),

q_z : 単位面積当りの浸透量 (cm^3/cm^2)

(1)式と(2)式において、 k_w , β , γ_w , S , P_z , H , を一定として土について解き、 $t=0$ において $Z=0$ の初期条件を入れれば(3)式で表わされる。また、 q_z と Z の関係は(4)式で表わされる。

$$t = \frac{\beta}{k_w} \cdot \left\{ Z + \left(\frac{S+P_z}{\gamma_w} - H \right) \cdot \log_e \left(\frac{Z}{H - \frac{S+P_z}{\gamma_w}} + 1 \right) \right\} \quad (3) \quad q_z = \beta \cdot Z \quad (4)$$

上記諸数値のうち、 k_w の推定法の一例としてAverjanovの $k_w = (\text{飽和透水係数}) \times (\text{飽和度}/100)^{3.5}$ があり、 S については道路路床土の粘土～砂質土における30例の調査結果では $0 \sim 400 \text{ g/cm}^2$ であったと報告³⁾されている。 β については水平浸透のときは $\beta = 0.87 \times (\text{間げき率}) - (\text{体積含水率})$ で表わされると報告⁴⁾されているが、今回の鉛直方向浸透実験では飽和度を表わす係数 0.87 は約1割小さくなっていた。

図-2には(3)式と(4)式から $H=0$, $P_z=0$ の場合について求めた土質条件と浸透量の関係を示した。これによると、透水係数が 10^{-4} cm/sec 以下になると地表面排水が良くない場合には湛水するものと考えられる。

3. 模型実験

模型実験は、試料に豊浦標準砂を用い、実験器具としてはメスシリンダー、マンメーター、真ちゅう管、等を用い、図-3のようにセットして行なった。

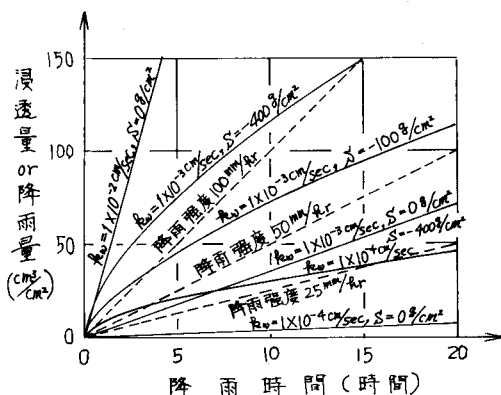


図-2 降雨時間と浸透量の関係

浸透前線以下の空気が開放される場合(2回実施)については、試料土の含水比が $w \div 7.0\%$ に調整して排水用の真ちゅう管を埋めこんで試料土の乾燥単位体積重量 $\gamma_d \div 1.40 \text{ g/cm}^3$ になるように締固め、また、空気が閉塞される場合(4回実施)については、 $w \div 7.0\%$ 、 3.5% に調整して空気圧測定のためにマンメーターにつなげたビニール管を埋めこんで $\gamma_d \div 1.40 \text{ g/cm}^3$ になるように締固めた。

次に、数個のビーカーに水を50ccずつ入れ、試料土の表面がわずかに湛水するようにビーカーから注水しながら50cc浸透ごとの経過時間を記録し、空気閉塞系の場合にはさらに30秒ごとのマンメーターの読みもとった。空気開放系の場合には非常にスムーズに浸透したが、空気閉塞系の場合には、気泡の発生、上昇、噴出、等が起り、噴出時にはマンメーターの読みも急低下した。

このほか、(3)式による計算値の算出等のため、豊浦標準砂に対する水の毛管上昇実験も行なった。

4. 実験結果と考察

今回の浸透実験の実測値と(3)式等による計算値の対比を、空気開放系および閉塞系について各1例ずつ示した(表-1, 2)。他の実験結果も大体同じような傾向にあり、実測値と計算値は良く対応していた。

表-1 空気開放系における浸透実験結果 (NO.1)

浸透量	実測浸透時間	(3)式による浸透時間	(4)式による浸透時間	諸数値
50 cm ³	0.15	0.18	5.5	$\gamma_d = 1.40 \text{ g/cm}^3$
100	1.07	1.03	10.9	$w = 6.86\%$
150	2.15	2.07	16.4	$\beta = 0.280$
200	3.30	3.27	21.9	(以上実測)
250	4.57	4.58	27.9	$k_w = 8.33 \times 10^{-3} \text{ cm/sec}$
最終268				(計算)
				$S = -25 \text{ g/cm}^3$
				(図-4より)

表-2 空気閉塞系における浸透実験結果 (NO.1)

浸透量	実測浸透時間	(3)式による浸透時間	(4)式による浸透時間	諸数値
50 cm ³	0.26	0.37	5.6	$\gamma_d = 1.40 \text{ g/cm}^3$
100	2.15	2.00	11.2	$w = 7.10\%$
150	4.25	3.49	16.7	$\beta = 0.265$
200	6.38	5.54	22.3	$k_w = 7.45 \times 10^{-3} \text{ cm/sec}$
250	8.51	8.10	27.9	(計算)
最終262				$S = -25 \text{ g/cm}^3$ (図-4より)
				$P_3 = 13.6 \text{ g/cm}^2$
				(実測値の最大12 mmHg)

その最大値は今回の実験において10~14 mmHgであった。 P_3 の最大値は、表面張力と空気圧のバランスが崩れる限界値であると考えれば、図-4の毛管上昇曲線の立上り部の折れ戻の少し上付近になるはずであり、その値は約11 mmHgに相当している。

5. あとがき

今回は、相当大胆な仮定に基づいて雨水が地表面に湛水する土質条件を求めたが、今後はサクシオンが大きき浸透前線に境に含水量が危変しないような場合についても検討したい。また、地表面に湛水が起らない場合の浸透のメカニズムについても検討してみたい。

文

献

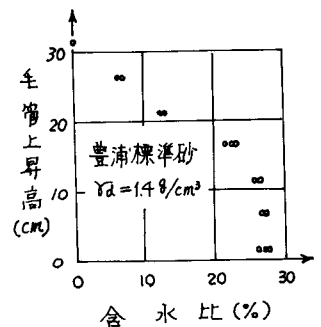


図-4 毛管上昇実験結果

- 1) 久保田敬一他 “透水—設計へのアプローチ”, 鹿島出版会, 1976, P 10~26
- 2) 宇野尚雄 “透水係数を推定する実験公式について”, 土木学会中部Ⅲ-5, 1974, P 115~116
- 3) 森 麟 “舗装道路に床のサクシオンと含水量の実態調査”, 土と基礎, 1956.3, P 28~31
- 4) 石原安雄他 “雨水の鉛直浸透に関する実験的研究”, 京大防災研究所年報, 1966.3, P 551~563.
- 5) 高木不折他 “砂柱における鉛直浸透の機構に関する研究”, 土木学会論文報告集, 1978.3, P 37~44