

粒状路盤材料の透水特性と水分保持特性に関する検討

(株) NIPPO コーポレーション 技術研究所 正会員 ○石垣 勉
(株) NIPPO コーポレーション 技術研究所 正会員 根本 信行

1. はじめに

都市における水循環再生の観点から、車道透水性舗装の重交通への適用に関する検討がなされてきている。粒状路盤の透水特性と水分保持特性は、透水性舗装の雨水貯留浸透性能に影響を与える要因であると共に、舗装構造の長期的支持性能に影響を与えることも考えられる。本報告では、粒状路盤材料の透水特性と水分保持特性の把握を目的に、定水位飽和透水試験装置と土柱法保水性試験装置を試作し、クラッシュラン材料におけるこれらの特性について検討した結果、幾つかの知見を得たので報告する。

2. 試験装置及び試験方法

ASTM D2434-68¹⁾を参考に試作した定水位飽和透水試験装置を図-1に示す。従来の透水試験は CBR 試験用モールド (d=150mm) を用いる方法などで行われてきているが、本検討では路盤材料の最大粒径 ($D_{max}=37.5\text{mm}$) を考慮して約 8 倍となる内径 ($d=305\text{mm}$) の鋼製円筒とした。試験には水道水を用いたが、取水口より貯水槽内の砂フィルターを通過させることにより脱気したものを使用した。貯水槽から上部バルブより円筒内の供試体に透水させ、排水をメスシリンダで採取した。電子天秤で排水重量を計測し、単位時間当たりの排水量を算出した。本検討では水頭 h を変化させることにより、異なる動水勾配 ($i=0.02\sim1.00$) での試験を行った。土柱法保水性試験装置を図-2に示す。内径 305mm、高さ 50mm の鋼製円筒を積み重ね、連結部分をゴムリングで止水した。水分保持特性は排水過程と吸水過程にヒステリシスがある²⁾が、本検討では飽和状態からの排水過程による試験を行った。飽和後吸排気バルブと底部バルブを開放して飽和状態の供試体から降下排水させた。排水終了時の自由水面位置は排水口の高さを予め調整し、供試体底部から 100mm の位置とした。排水終了時点供試体内の水分平衡とみなし、円筒を最上段より順に撤去し、各高さにおける採取試料の含水比を測定した。

3. 供試体の作製方法

試料として用いたクラッシュラン材料の性状を表-1に示す。粒度分布は各材料の粒度範囲 (JIS A 5001) の中央粒度とし、最大粒径を調製した粒度とした。締固めには上載式振動締固め試験機 (振動板 $\phi 280\text{mm}$ 、振動数 2850rpm、質量 19.3kg、起振力 1.96kN) を用いた。1 層当りの締固め層厚は 120mm とし、試験供試体の締固め層数は 4 層 (高さ $H=480\text{mm}$ 、内径 $d=305\text{mm}$ 、 $H/d \approx 1.6$) とした。層毎の試料を JIS A 1210 の方法により得られた最適含水比に加水調整し、最大乾燥密度の 97.5%密度の供試体を作製した。

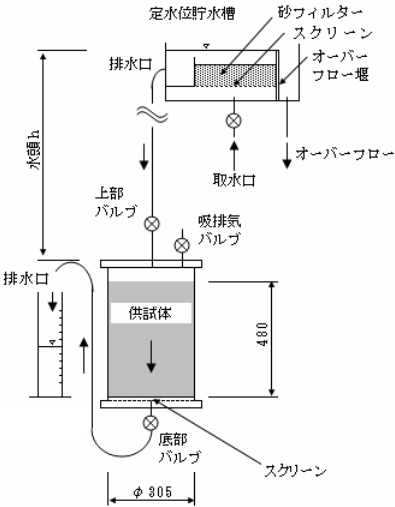


図-1 定水位飽和透水試験装置

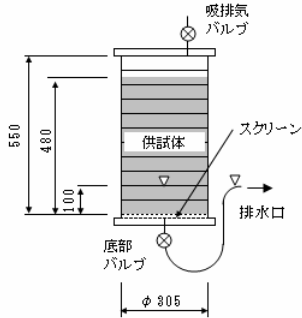


図-2 土柱法保水性試験装置

表-1 クラッシュラン試料の性状

		C-40	C-30	C-20
最大粒径	D_{max} (mm)	37.5	31.5	19.0
60%粒径	D_{60} (mm)	15.8	13.2	9.0
30%粒径	D_{30} (mm)	5.20	4.75	3.60
10%粒径	D_{10} (mm)	0.67	0.46	0.29
均等係数	U_c	23.6	28.7	31.0
曲率係数	U_c'	2.6	3.7	5.0
吸水率	(%)	0.57	0.59	0.63
塑性指数	PI	NP	NP	NP
骨材の密度	ρ_s (g/cm ³)	2.653	2.650	2.643
最大乾燥密度	ρ_{dmax} (g/cm ³)	2.105	2.097	2.068
最適含水比	w_{opt} (%)	3.0	3.5	4.1
97.5%締固め密度	ρ_d (g/cm ³)	2.052	2.045	2.016
97.5%締固め間隙率	n	0.226	0.228	0.237

キーワード 車道透水性舗装, 粒状路盤材料, 飽和透水係数, マトリックポテンシャル, 体積含水率

連絡先 〒140-0002 東京都品川区東品川 3-32-34 (株) NIPPO コーポレーション 技術研究所 TEL 03-3471-8542

4. 試験結果

図－3に動水勾配と流速の関係を示す．図中の破線は両対数グラフ上において動水勾配 i と流速 v が比例する関係，すなわちダルシー則 ($v = ki$) に従う関係を示している．図より最大粒径が大きい試料ほど，低い動水勾配において破線が示すダルシー則から外れていることがわかる．本検討の C-40 では $i = 0.02$ ，C-30 は $i = 0.08$ ，C-20 は $i = 0.2$ 以上において，動水勾配が大きくなるほど流速が破線に対して低下する傾向を示し，層流から乱流に遷移していると考えられる．

図－4に動水勾配と飽和透水係数の関係を示す．図は $i = 0.02 \sim 1.00$ の範囲において透水係数 k_{15} を算出したものである．図より最大粒径が大きい試料ほど k_{15} が高くなる傾向を示し，動水勾配が大きくなるほど k_{15} が低くなる傾向を示している．本試験は k_{15} が 10^{-1} から 10^{-2} cm/s オーダーの良好な透水性を有しているケースの場合ではあるが，動水勾配により飽和透水係数の値は約 1.5～3 倍の違いとなっている．

図－5に水分保持特性の概念³⁾を示す．図は土構造が水を引き付ける作用を表すマトリックポテンシャル ϕ_m と体積含水率 θ の関係を示し，図中の ϕ_α は空気侵入値， θ_r は残留体積含水率， θ_s は飽和体積含水率，破線は水分特性曲線である． ϕ_α を境界として飽和域と不飽和域に分かれ ϕ_α が低い値，つまり飽和域が大きいほど水分保持能力が高いことを示している．なお， ϕ_m と θ は以下の式で与えられる．

$$\phi_m = -\rho_w \cdot g \cdot z \quad (1) \quad \theta = w \cdot \rho_d / \rho_w \quad (2)$$

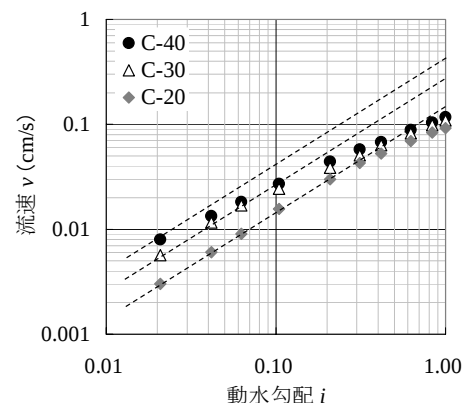
ここに， ϕ_m ：マトリックポテンシャル (kPa)， θ ：体積含水率， ρ_w ：水の密度 (kg/m^3)， g ：重力加速度 (m/s^2)， z ：排水口を基準位置としたときの試料位置 (m)， w ：含水比， ρ_d ：供試体の乾燥密度 (kg/m^3)

図－6にマトリックポテンシャルと体積含水率の関係を示す．本検討では z の位置を各鋼製円筒の中心高さまでとみなし，算出した ϕ_m と θ との関係を図上にプロットした．また $z=0$ ($\phi_m=0$) の位置を飽和とみなし， θ_s は間隙率 n とした．図より θ_r は最大粒径が大きくなるほど低くなる傾向を示し，試料の粒径・粒度などが θ_r に影響を与えられ，本試験に用いたクラッシュラン試料の水分保持能力は低いものと考えられる．

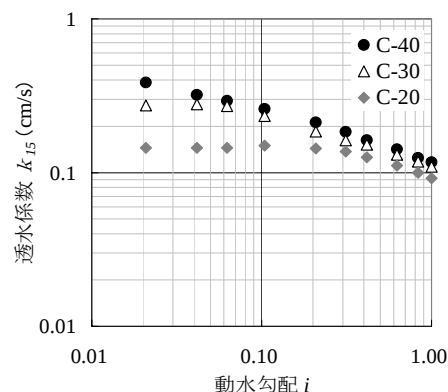
5. まとめ

限定された条件下ではあるが，粒状路盤材料の透水特性と水分保持特性に関して以下の知見を得た．今後，更なる検討を進めていきたい．

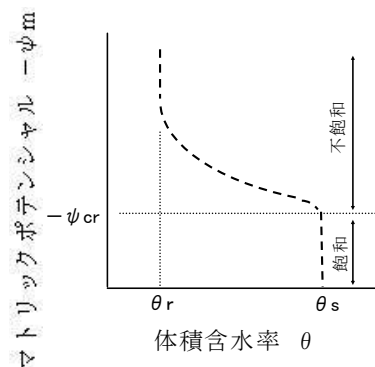
- (1) 透水特性は粒径や粒度などの影響により変化する．飽和透水係数は最大粒径が大きいほど高くなる傾向を示し，また動水勾配が大きくなるほど透水係数が低下する傾向がある．
- (2) 残留体積含水率は最大粒径が大きいほど低くなる傾向を示している．また水分保持能力を示す空気侵入値は何れの試料においても 0 に近い値と考えられ，水分保持能力は低いものと考えられる．



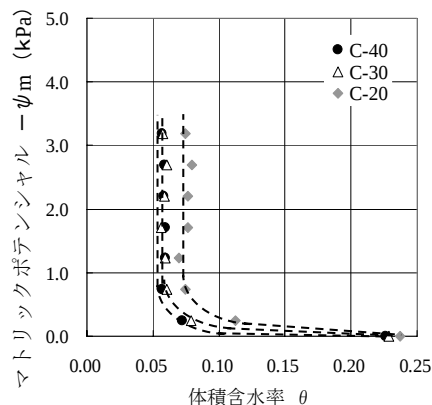
図－3 動水勾配と流速の関係



図－4 動水勾配と透水係数の関係



図－5 水分保持特性の概念



図－6 マトリックポテンシャルと体積含水率の関係

参考文献 1) ASTM, Annual Book of ASTM Standards 2001 Section 4 Construction Vol. 04.08, pp. 231-235, 2001 2) Ning Lu, William J Likos, Unsaturated Soils Mechanics, John Wiley & Sons, Inc., pp. 183, 2004 3) 不飽和地盤の挙動と評価：(社) 地盤工学会, pp. 27, 2004