

北海道大学工学部 正員 工博 尾崎 晃

大学院 学生員 ○沢村寿男

工学部 学生員 新井泰澄

1. 諸言

捨石の各種異型コンフリートブロックによって形成されたマウンド又は斜面における消波効果を説明するため昨年度に引き続き空隙内における流れの抵抗法則に関する基礎的研究を行った。過去におけるこの種の問題に関する研究は、層流状態のDarcyの法則が成立する範囲内でなされ、乱流域での研究はその数が極めて少ない。このような透過構造物中を流れる水の流れは、急拡急縮した断面を集中分散しながら流れている。この空隙内の流れと管の流れとして取扱うことにより、管路についての既知の理論と比較しつつ、実際の流れと推定しようとするものである。解析を容易とするため前回は表面粗度の小さい同一粒径のガラス球を用いて実験を行ったが、今回はガラス球についてはレイルズ数のより大きい領域まで測定範囲を拡張し、また実際の捨石マウンドの機構に近づくため粒度のそろった碎石とも使用した。尚今回の実験は定常流に限った。

2. 実験装置と方法

透過構造物の長さ $l=30\text{ cm}$ と $l=25\text{ cm}$ の透明アクリル樹脂の内管($D=20\text{ cm}$)を用い、その中に被透水体(ガラス球・碎石)を充填した。使用したガラス球はそれぞれ直径 $d=1.22\text{ cm}$, 2.36 cm , 2.91 cm であり、碎石は同じく、 $d=10\sim15$, $15\sim20$, $20\sim25$, $25\sim30$, $30\sim40$ の5種である。ガラス球の一層当りの球の数は平均して径の小さな方より順に、214個、52個、37個であり、碎石は178個、96個、64個、25個であった。尚こゝで使用した碎石の中、 $d=20\sim25$ のものだけは種類が別で、玉石を砕いた碎石のため多少滑らかな面と持ち、残りの全ては、滑らかな面は全くない碎石であった。流量はポンプと透過構造物との間にオリフィスを設置し、水銀マノメーターにより測定した。損失水頭及び、流入損失測定は、左右同じ高さに設けた各6個、計12個の穴をマノメーターに接続した。配置は図-2の通りである。図-2-Iは流入損失測定のため被透水体を入れる籠を短かくしたものである。各種の被透水体に関する損失水頭は図-2-IIの配置で測定した。

3. 透過構造物内の定常流について

本実験によって得られた結果と抵抗係数 λ とRe数との関係で表わすために昨年と同様に次のような仮定を設け、ガラス球と碎石とを比較を試みた。つまり透過構造物を空隙の大きさを代表する径を持つた多数の管の集合体と仮定した。この考えに基づき、透過構造物内の流れと空隙の大きさを代表す

図-1 実験装置

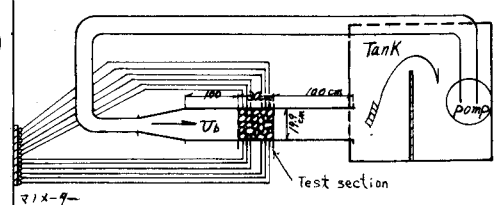
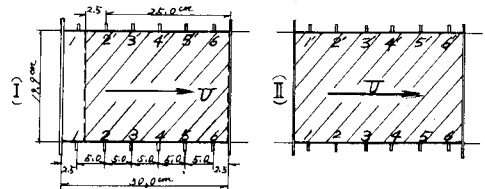


図-2 Test section



る径をもった管路内の流れとして扱うことにした。本研究では透過構造物内の空隙配置の形態と知るために構造物を後述の方法で切断し、その結果得られた実験空隙面積の平均を A_{mean} として有効流水断面面積とし、一方流速 U_{eff} を Q/A_{mean} (Q : 流量) と仮定し、この U_{eff} と表-2 に提案されている d_{eff} を用いて抵抗係数 $f_{eff} = S \cdot d_{eff}^{29}/U_{eff}^2$ 、 $R_{eff} = \frac{U_{eff} \cdot d_{eff}}{\nu}$ と定義して実験結果を整理すると図-3 の C_f のようになる。従来用いられている $f_b = S \cdot d^{29}/U_b^2$ と $R_b = \frac{U_b \cdot d}{\nu}$ の関係、更に N.V. Fedoroff の提案した $f_p = f_b/n^3$ 、 $d_p = d/n^3$ の関係を用いて整理したものと、それぞれ C_2 、 C_3 として図-3 に示した。 C_2 における仮定、即ち流速として全断面面積の平均流速、即ち接近流速と、そのよる透過構造物中の流速とすることには、かなりの飛躍があり有効径と流速の関連性は弱くなり、この仮定より得られる流速および有効径は不合理な面が多い。 C_3 における仮定は N.V. Fedoroff が行った実験については球径が ($d = 0.096 \text{ cm} \sim 0.917 \text{ cm}$) で、円筒の径に比

して著しく小さいため実際の平均断面面積と πr^2 を乗じて得た平均空隙断面面積の差は少ないが本実験の場合、粒径が大きく管軸方向にはほぼ等方的に詰まられても、それと直角方向には、その空隙部分が等方性とは考えられない状態であって、極端に平均断面とは異なる。従って、透過構造物内の流れの損失を扱うには実際の空隙断面面積の平均とその時の流速を用いて表わした抵抗係数 C_f を取るのが妥当であろう。しかし、 C_f の仮定において潤邊を求めるためには後述するような作業を必要とし、かなり困難で精度が問題となる。ここで空隙面積の全面積に対する空隙率を P とすると

$$\frac{A_v}{A_T} = P \quad \text{--- (1)}$$

よって空隙面積は

$$A_v = A_T \cdot P = \alpha^2 P \quad \text{--- (2)}$$

1 つの空隙面積は円の数を m とすると

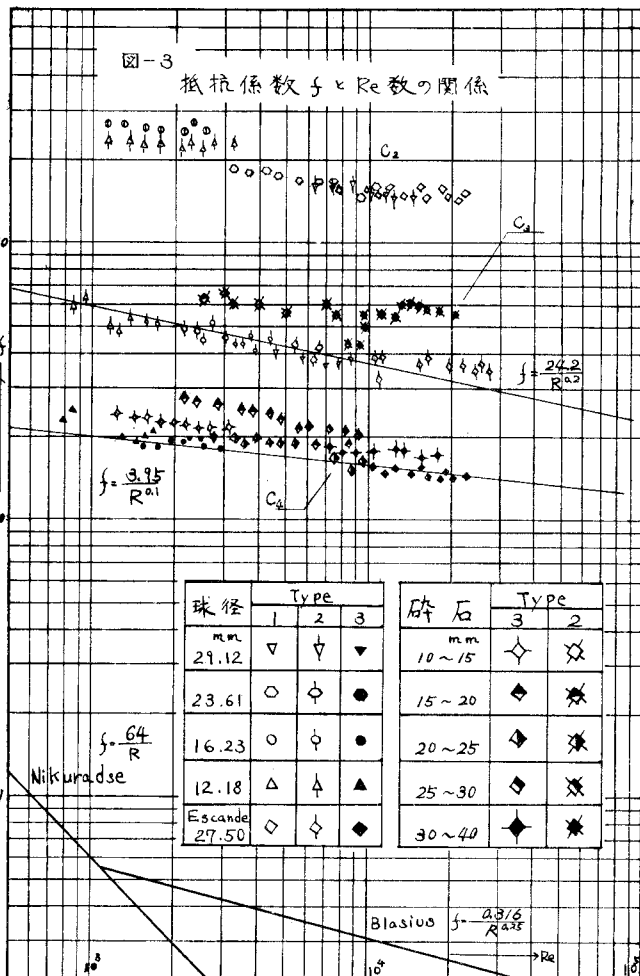
$$\frac{\alpha^2 P}{m} \quad \text{--- (3)}$$

その空隙の面積を円の面積に換算

$$\frac{\pi r^2}{4} = \frac{\alpha^2 P}{m} \quad \text{--- (4)}$$

表-1

碎石	10~15	15~20	20~25	25~30	30~40
n	0.0249	0.0326	0.0486	0.0390	0.0580
d cm	1.25	1.75	2.25	2.75	3.50
$d \cdot n^{1/3}$ cm	0.9398	1.324	1.638	2.090	2.698
$A \cdot n^{2/3}$ cm ²	175.79	177.00	174.02	179.65	174.74
A_{mean} cm ²	133.91	142.22	129.22	141.02	132.11
$\frac{A_{mean}}{A_{total}}$	0.9305	0.0573	0.0455	0.0534	0.0247



よって換算された円の直径 γ は

$$\gamma = \sqrt{\frac{4a^2P}{m\pi}} \quad \text{--- (5)}$$

正方形のときから円の場合へ応用すると

$$\gamma = \sqrt{\frac{4P}{m\pi}(\pi D^2)} = D\sqrt{\frac{P}{m}} \quad \text{--- (6)}$$

(6)式による計算値 γ を表-2で実測値(4R)および
N.V. Fedoroffの仮定 $dn^{1/3}$ と比較してある。ガラス球の
場合、(6)式による計算値 γ は $An^{1/3}$ が生ずる断面の径
深Rの4倍に、また $d_p = dn^{1/3}$ とはとんど一致してい
る。これは(6)式の仮定で被透水体を円と考えており

、ガラス球の場合は、モデルにはとんど一致していると考えられる。一方碎石の場合(6)式の γ は $d_p = dn^{1/3}$ と一致するが、実測値4Rよりは大きい。ただし、Rは仮想径深。実測値4Rを求める際の潤辺が
碎石の場合複雑に入り組み大きい値となり、4Rは潤辺に反比例して小さくなっている。しかしその
傾向は γ と4Rの比($\gamma/4R$)が1.5~1.6と変動が少ないことから考え、碎石の形状による係数とみてよいので
はないか。昨年度の第I報におけるよりも大きいReの範囲で測定した結果図-3のようにガラス球は

、同じような被透水体で実験を行なった Escande の実験
結果を換算してプロットした点と一致した結果を得る
ことができた。碎石の場合は抵抗係数 λ がガラス球の
よりいずれの仮定においても少し大きい値を示し、
この差は表面粗度による抵抗が大きく影響していると
考えられるが、屈曲、断面の変化、分合流等の全ての
抵抗も変化していると考えられ、空隙内機構が充分解
析されていない現段階では結論を下せない。

写真 碎石 $d = 1.5 \sim 2.0 \text{ cm}$

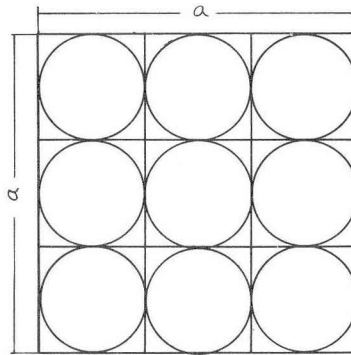
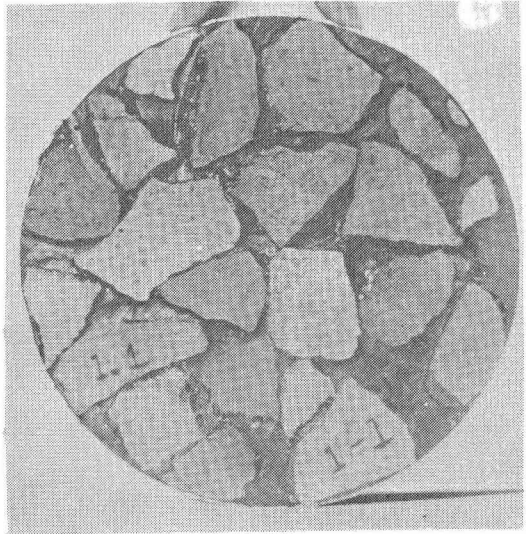
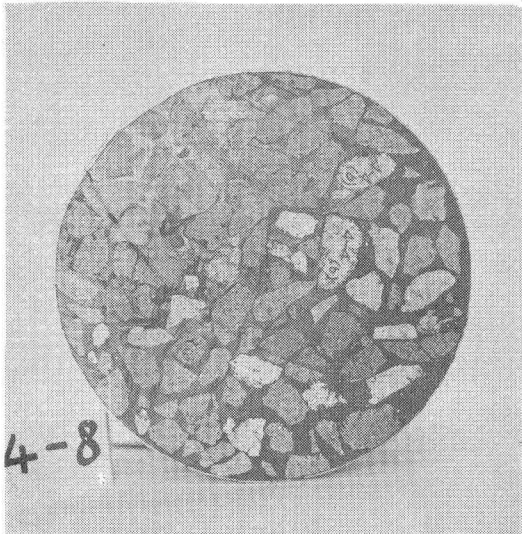


図-4

表-2

$d \text{ cm}$	$d_p = dn^{1/3}$	4R	$\gamma = D\sqrt{\frac{P}{m}}$
1.218	0.866	0.951	0.893
2.361	—	—	—
2.912	2.151	2.089	2.149
1.0 ~ 1.5	0.9398	0.5904	0.9732
1.5 ~ 2.0	1.3235	0.906	1.3780
2.0 ~ 2.5	1.6830	1.009	1.6034
2.5 ~ 3.0	2.0900	1.441	2.0927
3.0 ~ 4.0	2.6978	1.583	2.5940

$d = 3.0 \sim 4.0 \text{ cm}$

写真は空隙断面の変化の測定に使用した代表的断面である。Test section の透過構造物と同じ条件とするため、内径 $D=20^{\text{cm}}$ のブリキの同管を作成し、測定に使用した碎石をそのまゝ詰め、アスファルトを流し込んで固定し、それをグイヤモンドカッターで 0.5^{mm} 間隔毎に切断したものである。これより空隙の断面積と求めた。

4. 流入損失と空隙の関係について

流入損失そのものを直接、数値で表わすことは本実験では出来ないが、空隙内の損失分配と流入部附近での損失分配とを比較することにより、空隙の大きさに関する相異を傾向としてだけであるが、知ることが出来た。

空隙の形が大きい流入部では損失が大きくなってきており、 Q が大きくなると流入部表面の損失が関係すると推定される。空隙内では空隙断面

の変動が多い被透水体の小さな球で構成された構造物程損失が大きい。

5. 結論

図-3より解るように、各うつの仮定においていずれも碎石の抵抗係数が、ガラス球のちより少し大きくできており、これは空隙の状態の解明が充分されていない故に、現在結論を急ぐことは出来ないが、表面粗度の影響と考えられる。Cqの仮定において定義された $\gamma = D \sqrt{\frac{P}{m}}$ は $d_p = d \cdot n^{1/3}$ と同じ値と示しており、従って $d_p = d \cdot n^{1/3}$ を用いた方が簡単で良い。尚これから2つの仮定のいずれを用いても碎石による4Rの実測値の1.5~1.6倍を示す。従って抵抗係数の計算に当っては1.5~1.6と碎石の形状による係数とみて換算した値(仮想径深)を用いた方が、実際の流れにより近い解析ができる。透過構造に流れが入り込む場合には、空隙内に流入する瞬間において断面の形状、空隙面積の大小により異なった一種の流入損失がenergy-lossに大きく影響していることが解ったが、断面の形状、空隙の大きさ、その分散度から上述の表-3の結果がlinearに変化することは考えられず、この点について非定常流の流入部分における衝撃的energy-lossと平行に研究を進めている。

参考文献

- 1) M.L.Escande ; Perte de charge à la traversée d'un milieu perméable constitué de sphères identiques, Académie des Sciences 1962
- 2) 室山 明、佐藤 邦男；地下水流の抵抗法則に関する基礎的研究，第21回年次学術講演会講演集 昭41.
- 3) N.V.Feodrotov and B.A.Bakhmeteff ; Flow through granular media. Trans. A.S.M.E. Vol.59. 1937
- 4) 岡田晴夫；名古屋港高潮防波堤の洗振防止に対する一考察、土木技術 1964
- 5) 応用水理学 Ⅱ、丸善出版

表-3

Q	流入 損失 S _i	空隙内 損失 S _o	S _i / S _o	Q	流入 損失 S _i	空隙内 損失 S _o	S _i / S _o
15.29	13.9	6.65	2.093	15.40	11.7	9.25	1.276
14.20	12.0	5.7	2.105	14.19	10.8	7.78	1.388
12.88	9.9	4.6	2.152	13.17	9.6	6.78	1.416
11.79	8.6	4.0	2.150	12.30	8.2	5.95	1.378
11.07	7.4	3.5	2.114	11.32	7.2	5.08	1.417
8.95	5.0	2.4	2.083	9.08	4.6	3.36	1.370