

空中超音波による開水路の粗度係数測定方法に関する基礎式の提案について

The relation between reflection intensity of aerial ultrasonic wave and Manning's coefficient of roughness.

○小古 貴晃, 岡島 賢治, 石黒 覚, 伊藤 良栄, 長岡 誠也

KOFURU Takaaki , OKAJIMA Kenji , ISHIGURO Satoru , ITO Ryoei , NAGAOKA Seiya

1. はじめに

コンクリート水路の通水機能を評価するにあたり, マニングの粗度係数がよく用いられる. 維持管理の容易さのため, 水路の粗度係数を簡易に測定する手法が必要とされている.

中矢ら(2008)が摩耗による水路表面の凹凸を算術平均粗さで表し, 算術平均粗さと粗度係数との関係式を提案している. また, 長岡ら(2014)は算術平均粗さの安価で面的な測定方法として空中超音波を利用し, 算術平均粗さと空中超音波の反射強度との関係式を提案している. 本研究では, 空中超音波の最大振幅幅を利用した粗度係数を推定する方法を開発することを目的とした.

2. 模型水路実験概要

本研究において用いた水路を図 1, 2 に示す. 水平勾配水路であり, 上流の乱流と下流の堰上げ背水の影響を小さくするため, 中央の区間 8 m を測定区間とした. 水位の計測には, 誤差の除去のために容量式波高計を用いた. 測定間隔は 0.1 秒間隔で 10 秒間行った. 最大流量は 0.0612 m³/s までの測定が可能であり, 電磁式流量計を用いて流量を測定した. コンクリートパネルを水路に取り付け実験を行った. パネルは長さ 1000mm, 幅 450mm, 厚さ 50mm のものを使用した. エネルギー勾配 I_e を(1)式から求め, マニング式(2)から粗度係数 n_m を求めた.

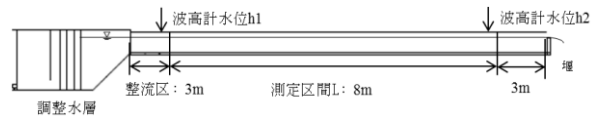


図 1 模型水路縦断面図

Hydraulic profile of experimental channel

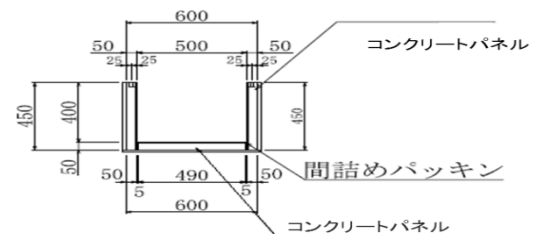


図 2 模型水路正面図

Cross-section view of experimental

$$I_e = \frac{\left\{ \left(\frac{v_1^2}{2g} \right) + h_1 \right\} - \left\{ \left(\frac{v_2^2}{2g} \right) + h_2 \right\}}{L} \quad (1)$$

$$n_m = \frac{1}{v} R^{\frac{2}{3}} I_e^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

ここで, v :平均流速(m/s), v_1, v_2 :流速(m/s), h_1, h_2 :水深, R :径深(m/s)とする.

3. 粗度係数の推定方法

粗度係数の推定方法を考える. 中矢ら(2008)によると, 換算粗度係数 n_s と算術平均粗さ R_a の関係は以下の(3), (4)式を粗度係数が流れの状態にかかわらず一定であるとき適用しうるとされる.

$$k_s = 2 \times R_a \quad (3) \qquad n_s \approx 0.042 k_s^{\frac{1}{6}} \quad (4)$$

ここで, k_s :相当粗度である

また、長岡ら(2014)によると2眼の空中超音波センサ(日本セラミック(株)製 T/R40-16)を使用した時、高さ0.55mからの測定の場合、最大振幅 y は(5)式であらわされる。

$$y = 1788.8e^{-0.61R_a} \quad (5), \text{ただし } R^2 = 0.7272$$

(5)式および(3), (4)式から、最大振幅 y と換算粗度係数 n_a の次式の関係が導かれる。

$$n_a = -0.134 \log \frac{y}{1788.8} \quad (6)$$

4. 結果と考察

算術平均粗さが0.0mmのパネルを設置した水路において、流量を $0.01m^3/s \sim 0.06m^3/s$ まで $0.01m^3/s$ ごとに、径深、流速を4パターン変化させ計24パターンの実験を行った。フルード数を一般の農業用水路と同様に0.2~0.7程度に合わせて実験を行った。結果を表1に示す。No.3,4,20のようにフルード数が小さく低流速の場合には、水面勾配が小さくなり計測誤差が過大になったものと思われるため、今回の考察では除去する。実測した平均の粗度係数は0.0113となった。

算術平均粗さが0.0mmの時、(3), (4)式は換算粗度係数 n_s が0となってしまう、用いられない。ここで、(5)式より、最大振幅 y を算術平均粗さから推定すると1788.8mVとなる。(6)式から換算粗度 n_a を求めると0.0079となった。これは、(3)式、(5)式の近似式を経た値であるために、実測値とは異なる値になった可能性がある。

また、表面の凹凸の形状によって反射の特性が変わることが懸念される。推定される粗度係数に違いが発生する可能性が考えられる。したがって、超音波の最大振幅とマンニングの粗度係数を直接換算できる関係式を導く必要がある。また、実際の水路においては目地の粗度係数に対する影響を考慮しなければならない。目地の与える影響を定量化する必要がある。

5. まとめ

コンクリート水路の通水機能を評価するうえで、相当粗度に算術平均粗さを用いた場合、算術平均粗さが0.0mmである時に換算粗度係数を求められない。空中超音波を用いた最大振幅による直接粗度係数を換算できる測定法が有効となりうることが示された。

今後は水理実験を続け凹凸の形状の分類、目地の粗度係数に対する影響を検討していかなければならない。

引用文献

中矢ら(2008): 摩耗したコンクリート水路表面形状からの粗度係数推定手法, 農業農村工学会論文集第258号, pp23-28

長岡ら(2014): 空中超音波を用いたコンクリート面の粗さ測定, 農業農村工学会大会講演会講演要旨集, pp668-669

表 1 粗度係数測定結果

The result of experiment

No.	流量(m ³ /s)	径深(m)	均流速(m/s)	フルード数	レイノルズ数	粗度係数
1	0.0103	0.0479	0.3483	0.46	24422	0.0110
2	0.0108	0.0731	0.2091	0.21	14661	0.0164
3	0.0104	0.0953	0.1351	0.11	9473	0.0185
4	0.0105	0.1126	0.1024	0.07	7181	0.0228
5	0.0208	0.0637	0.4884	0.53	34243	0.0107
6	0.0203	0.0847	0.3168	0.28	22211	0.0140
7	0.0207	0.1052	0.2272	0.17	15933	0.0109
8	0.0203	0.1202	0.1752	0.12	12286	0.0104
9	0.0304	0.0751	0.5671	0.55	39759	0.0102
10	0.0304	0.0934	0.4079	0.34	28604	0.0121
11	0.0303	0.1125	0.2964	0.21	20785	0.0113
12	0.0305	0.1290	0.2288	0.14	16040	0.0111
13	0.0421	0.0846	0.6591	0.59	46214	0.0103
14	0.0416	0.1008	0.4926	0.38	34541	0.0117
15	0.0419	0.1187	0.3709	0.25	28604	0.0104
16	0.0417	0.1350	0.2840	0.17	19910	0.0096
17	0.0500	0.0896	0.7171	0.61	50280	0.0106
18	0.0503	0.1060	0.5471	0.41	38357	0.0120
19	0.0501	0.1225	0.4169	0.27	29234	0.0101
20	0.0505	0.1383	0.3263	0.19	22877	0.0056
21	0.0599	0.0965	0.7631	0.61	53501	0.0105
22	0.0612	0.1111	0.6121	0.44	42918	0.0105
23	0.0599	0.1264	0.4684	0.30	32840	0.0112
24	0.0600	0.1265	0.4689	0.30	32874	0.0112

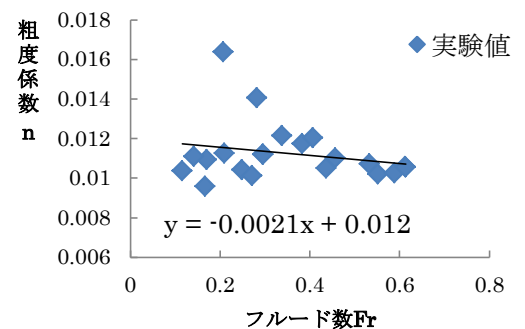


図 3 フルード数と粗度係数の関係

Relationship between Froude number and the coefficient of roughness

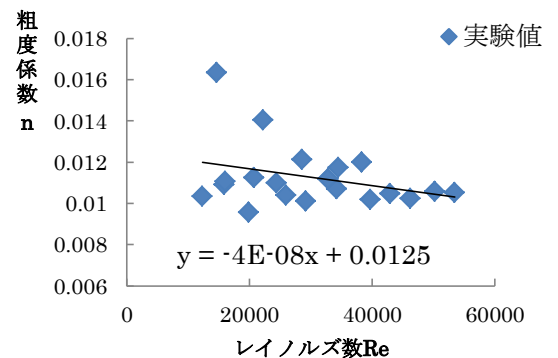


図 4 レイノルズ数と粗度係数の関係

Relationship between Reynolds number and the coefficient of roughness