

水理条件を考慮した農業用水路の通水性能評価に関する研究

Study on Flow Transmissibility of Irrigation Canals Considering Hydraulic Conditions

齋 幸治*・○太田垣晃一郎**・長谷川雄基***・佐藤周之*
Sai Koji, Otagaki Koichiro, Hasegawa Yuki, Sato Shushi

1. はじめに 近年日本では、長期供用に伴う老朽化の進んだ農業用水路が多く存在し、それらの機能保全が喫緊の課題となっている。このような水路を適切に維持・管理していくためには、水路に求められる各種性能の明確化およびそれらに対する評価手法の確立が不可欠である。とくに、水路に要求される性能のうち、通水性能の評価は設計流量を計画通りに通水するために極めて重要である。現在、通水性能の指標として、マンシングの粗度係数が着目され、その評価に関する研究が進められている¹⁾。しかしながら、粗度係数の値は表面粗度、流速、径深といった各種水路・水理条件によって変化することが知られており²⁾、今後種々の水理条件を考慮した粗度係数の評価が望まれる。そこで本研究では、可変勾配型開水路実験装置を用いた水理実験に基づき、流速や水路床勾配といった水理条件が粗度係数に与える影響について定量的に検討した。

2. 実験概要と粗度係数の推定方法 本研究では、可変勾配型開水路実験装置を用いた水理実験に基づき、種々の流況における粗度係数の値を推定した。ここでは、実際の農業用水路での通水性能の評価を想定して、開水路実験装置にコンクリートベンチフリュームを設置し、同部材内を通水する水面形状を測定することで粗度係数の推定を試みた。ベンチフリュームの流下方向の長さおよび通水幅はそれぞれ 18m, 0.6m である。ここでは、流量一定条件下で断面平均流速と水路床勾配について変動させ、数パターンの流況における粗度係数の推定を行なった。水路床勾配は、 $\theta=0\sim 0.3^\circ$ ($0\sim 1/192$)の範囲を設定した。水深の測定には、ポイントゲージ(株式会社ケネック製, PH-340)を使用した。水深は、水路内の横断方向の3測点での値の平均値とした。このような水深測定を流下方向に向かって等間隔(1m)ごとに行い、水路内の水面形を測定した。水面形の測定結果を基にして、次式の不等流の基礎式をルンゲ・クッタ法により数値積分することで粗度係数を推定した。

$$\frac{dh}{dx} = \frac{i - \frac{n^2 Q^2}{\{bh/(b+2h)\}^{4/3} b^2 h^2}}{1 - \frac{\alpha Q^2}{g b^2 h^3}} \quad (1)$$

x : 流下方向,	h : 水深 (m)
Q : 流量 (m^3/s)	α : 流量係数
b : 水路幅 (m),	i : 水路床勾配,
n : 粗度係数 ($\text{s}/\text{m}^{1/3}$)	
g : 重力加速度 (m/s^2)	

ここで、実験により得られた実測水深 h_0 と計算水深 h_c による評価関数の最も小さい n をその流れにおける粗度係数とした。評価関数には、 χ^2 二乗誤差を採用した。なお、参考までに、ベンチフリュームを設置しない状態の実験水路(ポリウレタン塗装による滑面、一部アクリル板)自体の粗度係数も上記手法により測定した。実験水路の流下方向の長さ、通水幅はそれぞれ 22m, 0.9m である。

3. 結果と考察 ベンチフリュームおよび実験水路の各流況における粗度係数の推定値をフルード数と関連付けて Fig. 1 に示す。同図より、粗度係数の値は、フルード数の上昇に従って低下する傾向が見られ、両者に高い負の相関性が確認された。すなわち、水理条件の変化に伴い粗度係数の値も大きく変化していることが分かった。ここで、ベンチフリュームと実験水路の推定結果を比較するにあ

*高知大学農学部 Faculty of Agriculture, Kochi University, **独立行政法人水資源機構 Incorporated Administrative Agency Japan Water Agency, ***高知大学農学部農学科 Faculty of Agriculture and Agricultural Science program, Kochi University
キーワード: 農業用水路, 通水性能, 粗度係数, 水理条件

たり、両者の径深が大きく異なることに留意しなければならない。また、壁面における摩擦損失を大きく支配する通水の乱流状態を考慮して、レイノルズ数と粗度係数との関係について検討した。その結果を **Fig. 2** に示す。フルード数との関係と同様に、粗度係数の値はレイノルズ数と高い負の相関が見られた。しかしながら、レイノルズ数の上昇に対する粗度係数の変動特性はベンチフリュームと実験水路で大きく異なった。 $Re=11000$ 程度では、両者の粗度係数に大きな差は見られないが、レイノルズ数の上昇に伴い、両者の粗度係数の差が大きくなった。すなわち、 $Re=11000$ 程度では、コンクリート壁面であるベンチフリュームと極めて滑らかな壁面である実験水路の粗度係数に大きな差は生じず、 $Re>12000$ の流況においては、コンクリート壁面の粗度係数が低下する。以上のことから、粗度係数は流況あるいは径深といった水理条件により大きく変化すること、フルード数およびレイノルズ数と高い相関性を持つことなどが確認された。

土地改良事業計画設計基準・設計「水路工」基準書・記述書²⁾などに記載されているコンクリートベンチフリュームの粗度係数の標準値は0.014程度である。上記の実験結果から明らかのように、このような粗度係数の標準値は、高フルード数、高レイノルズ数における値であると考えられた。

ところで、現実の農業用水路において、完全な定常等流を得るのはほぼ不可能であるが、便宜的に等流と見なせば、マンシングの平均流公式より簡易的に粗度係数を求めることができる。そこで、上記のベンチフリュームを対象とした水理実験の流れを等流と見なした上で粗度係数の値を算定し、2章の方法で算出した粗度係数の値と比較を行った。結果を **Table 1** にまとめる。なお、同表中の n_1 は不等流水面形より算出した値、 n_2 はマンシングの平均流公式から簡易的に求めた値である。同表より、すべての実験条件において n_2 の値は n_1 の値より過大に評価された。現場において粗度係数を推定するにあたっては、より精度の高い簡易的な粗度係数推定方法を考案しなければならない。

4. おわりに 本研究では、農業用水路における水理性能の規定化に向けた基礎的研究として、各種水理条件が粗度係数に与える影響について定量的に検討した。今後、壁面状態の異なる部材における粗度係数のデータの集積や、現場での実用的な粗度係数の推定方法等を検討していく必要がある。

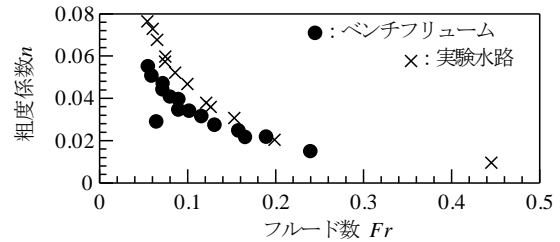


Fig. 1 Relationship between roughness coefficient and Froude number.

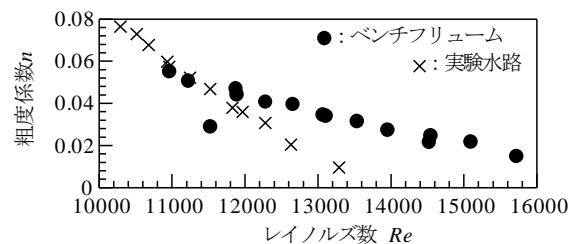


Fig. 2 Relationship between roughness coefficient and Reynold number.

Table 1 Roughness coefficient estimated by Manning's formula.

流況 (フルード数)	n_1	n_2
0.1904	0.0213	0.0394
0.1169	0.0311	0.0629
0.0812	0.0403	0.0883
0.0603	0.0503	0.1157
0.2406	0.0145	0.0457
0.1318	0.0270	0.0793
0.0907	0.0392	0.1135
0.0658	0.0285	0.1519
0.1666	0.0212	0.0829
0.0907	0.0342	0.1250
0.0729	0.0466	0.1682

【引用文献】1) 土地改良事業計画設計基準 設計「水路工」基準書・技術書 (2001) : 農業水産省農村振興局, pp.152-207. 2) 中矢ら (2008) : 摩耗したコンクリート水路表層形状からの粗度係数推定手法, 農業農村工学会, (258) pp.501~506.