

## 減勢機能をもつ排水側溝の抵抗特性に関する研究

### Research on Resistance Properties of Gutter with Reductive Functions of Fluid Velocity

小松利光\*・川崎昌三\*\*・矢野真一郎\*\*\*

・朝位孝二\*\*\*\*・藤田和夫\*\*\*\*\*

By Toshimitsu KOMATSU, Shozo KAWASAKI, Shinichiro YANO,  
Koji ASAI, and Kazuo FUJITA

In order to investigate the fundamental properties of resistance of gutter with a step-like bottom boundary as an energy dissipator and, in addition to that, with spur dikes, we carried out some measurements of Manning's coefficient of artificial roughness by physical model experiments. As a result, it is found that the step-like bottom boundary is effective for dissipating energy of flow in case of low water depth. It is also found that the spur dikes attached to side walls are effective in case of high water depth flow. This fact suggests that we can control the flow in a gutter by suitable combinations of those two dissipators.

**Keywords :** energy dissipator, Manning's coefficient of roughness, artificial roughness, gutter

#### 1. まえがき

平成5年8月6日に鹿児島を襲った集中豪雨は鹿児島市内を流れる甲突川を氾濫させ未曾有の大水害をもたらした。またこの水害で五石橋の内二橋を失う結果となり、鹿児島市民に大きな衝撃を与えた。鹿児島は梅雨末期の集中豪雨や台風を被りやすい地域であるため、今後も水害の発生が懸念されている。このような不安を取り除くための治水事業は人々にとって最大の関心事の一つとなっている。

鹿児島市や長崎市のように平野部が少なく、宅地開発が丘陵地や山間部にまで及んでいる都市では、都市域に降った雨は雨水流出側溝を通り都市河川へと導かれるが、高所からの雨水の流出は急勾配の道路に沿って流出側溝が設けられているため極端に流速が速くなり（写真-1）、下流域の本川へと短い到達時間で流下する。従ってそれぞれの側溝の流れ込みのピークが集中して下流域で氾濫を起こす結果となる。また誤って側溝に幼児などが転落した場合、流れが速いと巻き込まれて重大事故につながる恐れがあり、事実そのような人身事故の報告もなされている。従って、下流での洪水を防ぐための雨水の流出のコントロールと危険防止の観点から、側溝における雨水の流出速度を適宜制御することが重要となってくる。この問題を解決するため、本論文では側溝底面を階段状として流体抵抗を高めた減勢側溝が提案されている。この減勢側溝の特徴は底面を階段状にすることにより、局所的に底面を緩やかな勾配にして流れを減速させることにある。このような底面を持つ流れ場の研究としては流路工やダムの洪水吐きに関する実験<sup>1)</sup>や河川における砂連等の

\* 正会員 工博 九州大学教授 工学部建設都市工学科 (〒812-81 福岡市東区箱崎 6-10-1)

\*\*\* 正会員 工修 九州大学助手 工学部建設都市工学科

\*\*\*\*\* 正会員 九州大学技官 工学部建設都市工学科

\*\* 正会員 工修 電源開発株式会社総合技術試験所 (〒253 神奈川県茅ヶ崎市茅ヶ崎 1-9-88)

\*\*\*\* 正会員 工博 特別研究員 通産省中国工業技術研究所 環境海洋制御部 (〒737-01 呉市広末広 2-2-2)

研究<sup>2)</sup>があるが、今回のように抵抗を高めるための減勢工とみなした側溝の研究は著者の知る限りあまりないように見受けられる。また、さらに減勢効果を高めるための改良型として、水路側壁に人工粗度を設置して抵抗を大きくした場合の流れの特性についても検討を行った。

本研究では減勢側溝に付けられた人工構造物の抵抗特性を明らかにするための水理実験を行った。その結果、底面の階段形状と側壁の人工粗度が流速を低減させる抵抗として十分有効に機能するという事など、その流体力特性が明らかとなった。

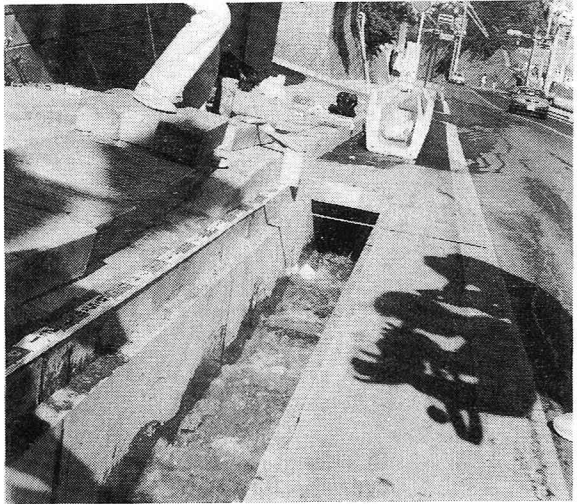


写真-1 鹿児島市内の急勾配道路側溝

## 2. 階段状底面をもつ側溝

減勢工として図-1, 2 に示すような階段状の底面を設置した側溝を考える。この階段型減勢工は側溝を水平においた場合逆勾配をとることになる。そのため側溝を急勾配に設置しても、側溝の勾配と階段型減勢工の勾配が打ち消しあって緩やかな勾配となり、流れは抑制されることが予想される。また段差が存在するためここで段落ち流れ及び跳水が発生して、エネルギー損失が生じることが期待される。このような仕組みで急勾配側溝の水流の流速を抑制することを試みる。しかしながら最も流速の抑制が要請される出水時の水深の大きい時に、階段型減勢工は単なる粗度としてしか働かず、元の側溝の勾配が再び支配的となって減勢効果が弱まることが懸念される。

### 2-1. 実験装置および実験方法

実験に用いた水路は図-1 に示した長さ  $L = 6.5\text{m}$ 、幅  $B = 0.072\text{m}$ 、高さ  $H = 0.4\text{m}$  の長方形断面の亚克力製水路である。この水路の底面に幅方向に一様な形状を持つ階段状減勢工（図-2）を敷き詰めた。水路床勾配は  $1 = 1/10$  に固定した。なお図-2 に示すように、異なる底面勾配を与える 2 種類の減勢工を採用した。

水路上流端に水を供給し、種々の流量  $Q_m$  に対する水深を測定した。水深の測定は水路下流端より  $1.05\text{m}$  の地点からと  $2.05\text{m}$  の地点から上流側に向かって  $0.72\text{m}$  区間（減勢工3つ分）の2区間で行った。流下方向に  $1.0\text{cm}$  ごとに計144点で測定した。平均水深  $h_m$  は両区間における平均水深を更に平均することで評価した。流量の調節は送水管に取り付けてあるバルブで行った。Form-I に対しては7種類、Form-II に対しては10種類の流量について実験を行った。また比較のために底面に減勢工を設置していない場合についても、同様の方法で5種類の流量について実験を行った。それぞれの実験条件と実験結果を表-1 に示す。Case I-1~7 が Form-I、Case II-1~10 が Form-II、Case 1~5 が減勢工を用いない場合に対応している。表中の  $Fr$  数、 $Re$  数は  $Fr = U_m / (gh_m)^{1/2}$ 、 $Re = U_m h_m / \nu$  で計算されている。

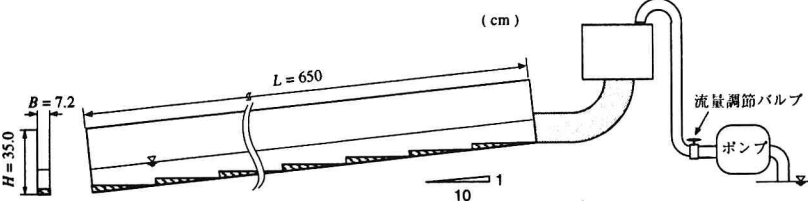


図-1 実験装置

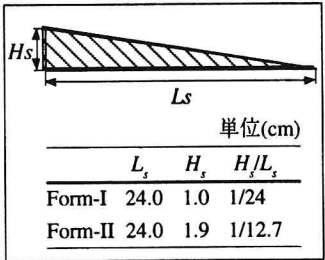


図-2 階段状底面の側面図と諸元

2-2. 実験結果及びその考察

表-1 実験条件と実験結果

| Case  | $Q_m$<br>( $10^{-3} \text{ m}^3/\text{sec.}$ ) | $h_m$<br>(cm) | $U_m$<br>(m/sec.) | $n_m$  | $Fr$ | $Re$<br>( $10^4$ ) | $B_m/h_m$ |
|-------|------------------------------------------------|---------------|-------------------|--------|------|--------------------|-----------|
| I-1   | 0.462                                          | 0.809         | 0.79              | 0.0140 | 2.82 | 0.49               | 8.90      |
| I-2   | 2.34                                           | 2.07          | 1.57              | 0.0112 | 3.49 | 2.5                | 3.48      |
| I-3   | 4.48                                           | 3.14          | 1.98              | 0.0105 | 3.57 | 4.8                | 2.29      |
| I-4   | 5.61                                           | 3.66          | 2.13              | 0.0102 | 3.56 | 6.0                | 1.97      |
| I-5   | 7.85                                           | 4.72          | 2.31              | 0.0102 | 3.40 | 8.3                | 1.53      |
| I-6   | 10.3                                           | 5.87          | 2.45              | 0.0102 | 3.22 | 11.0               | 1.23      |
| I-7   | 13.7                                           | 7.28          | 2.61              | 0.0101 | 3.09 | 15.0               | 0.99      |
| II-1  | 0.376                                          | 0.902         | 0.58              | 0.0204 | 1.95 | 0.40               | 7.98      |
| II-2  | 0.476                                          | 0.969         | 0.68              | 0.0180 | 2.21 | 0.51               | 7.43      |
| II-3  | 0.997                                          | 1.57          | 0.88              | 0.0177 | 2.24 | 1.1                | 4.58      |
| II-4  | 1.43                                           | 1.82          | 1.09              | 0.0152 | 2.59 | 1.5                | 3.96      |
| II-5  | 2.12                                           | 2.12          | 1.39              | 0.0128 | 3.05 | 2.3                | 3.40      |
| II-6  | 3.18                                           | 2.87          | 1.54              | 0.0130 | 2.91 | 3.4                | 2.51      |
| II-7  | 4.97                                           | 4.04          | 1.71              | 0.0132 | 2.71 | 5.3                | 1.78      |
| II-8  | 6.58                                           | 4.97          | 1.84              | 0.0130 | 2.63 | 7.0                | 1.45      |
| II-9  | 7.26                                           | 5.51          | 1.83              | 0.0135 | 2.49 | 7.7                | 1.31      |
| II-10 | 9.25                                           | 6.33          | 2.03              | 0.0126 | 2.57 | 9.8                | 1.14      |
| 1     | 0.766                                          | 0.800         | 1.33              | 0.0083 | 4.75 | 0.81               | 9.00      |
| 2     | 2.78                                           | 1.80          | 2.15              | 0.0077 | 5.11 | 3.0                | 4.00      |
| 3     | 6.06                                           | 3.03          | 2.78              | 0.0074 | 5.10 | 6.4                | 2.38      |
| 4     | 9.43                                           | 4.45          | 2.94              | 0.0079 | 4.46 | 10.0               | 1.62      |
| 5     | 11.8                                           | 5.47          | 3.01              | 0.0082 | 4.11 | 13.0               | 1.32      |

減勢工形状 Form-I、II の場合の各流量  $Q_m$  に対する水面形をそれぞれ図-3、4 に示す。今回の実験では全ての流量に対して流れは射流であったため、水路床形状と同位相の水面形状を持っていることが分かる。しかしながら、水深が小さい場合に見られる段落ち・跳水によるエネルギー損失機構は流量が大きくなるにつれて顕著には現れなくなっており、減勢効果が小さくなることが予想される。

図-5 は水深  $h_m$  と断面合成粗度係数  $n_m$  の関係を示したものである。比較のため減勢工を設置していない場合の実験結果も併示している。 $n_m$  の算定は Manning の平均流速公式より逆算した。図から水深が大きくなるに

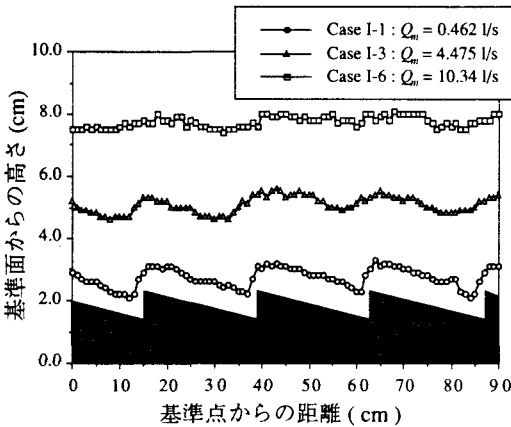


図-3 水面形の測定結果 (Form-I に対して)

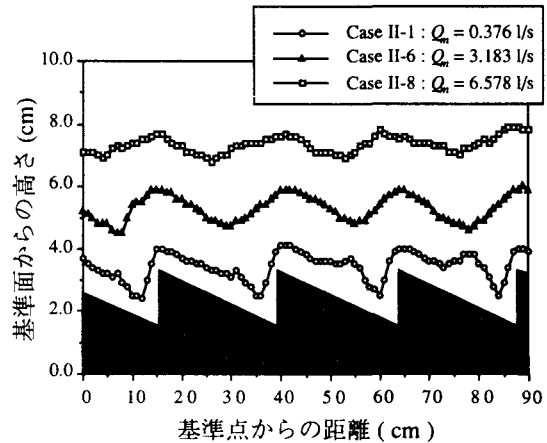


図-4 水面形の測定結果 (Form-II に対して)

つれ粗度係数は予想通り低下していくことが分かる。Form-I の場合は水深が 3.5 cm 以上で  $n_m$  はほぼ一定値の 0.01 をとる。また Form-II の場合も水深が 2.0 cm 以上ではほぼ一定値の  $n_m=0.013$  となる。これは水深が大きくなると階段状底面での段落ちなどによるエネルギー消費の合成粗度係数  $n_m$  への寄与が小さくなり、単に底面粗度としてしか効かなくなってくるためと思われる。

図-6 は水深  $h_m$  と断面平均流速  $U_m$  の関係を示したものである。Form-I、II とも減勢工がない場合に比べ流速が抑制されており、減勢工としての効果がある程度認められる。

次に、水深  $h_m$  と流量  $Q_m$  の関係を図-7 に示す。減勢工の効果により水路の通水能力が低下することが分かる。通水能力の低下を、同一水深で減勢工がない場合の流量に対する減勢工があることによる流量の減少分という相対減少率の形で評価したものが図-8 である。当初の予想通り水深が小さいときは減少率は大き

いが、水深が大きくなるにつれて減少率は低下し、Form-I の場合およそ20%にまで、Form-II の場合は約40%まで下がる。これは水深が大きいときは同一水深で減勢工がない場合に流し得る流量の2割及び4割しか流量を削減できないことを意味している。

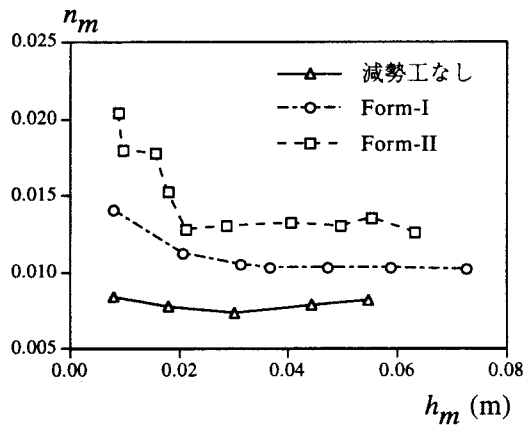


図-5 水深  $h_m$  と粗度係数  $n_m$  の関係

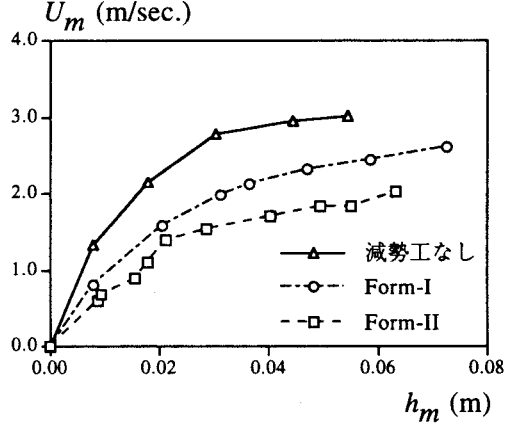


図-6 水深  $h_m$  と流速  $U_m$  の関係 ( $I=1/10$  のとき)

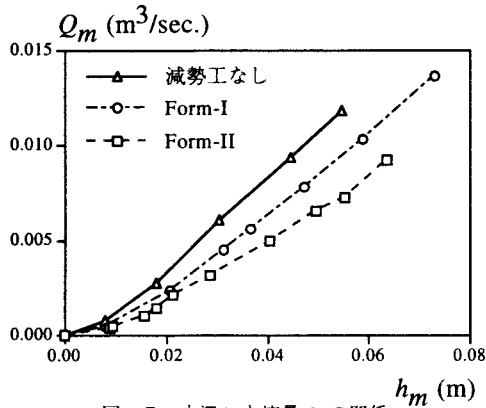


図-7 水深  $h_m$  と流量  $Q_m$  の関係 ( $I=1/10$  のとき)

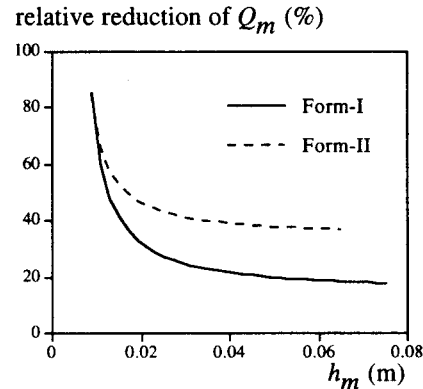


図-8 水深  $h_m$  と流量の相対減少率の関係 ( $I=1/10$  のとき)

### 2-3. 実物スケールに関する考察

前節までは模型スケールに対する考察であったが、この実験結果を実物スケールに戻すときの議論が必要である。本節では本模型水路の粗度係数を実物スケールの粗度係数に換算し、原型の減勢側溝における減勢効果について考察する。原型の側溝としてはコンクリート製で幅 30cm、単体としての長さは 2m のものがよく用いられている。そこで、ここではそのコンクリート側溝の底部に長さ1m の階段が2 個設置されているものを原型として考える。従って模型の縮尺は  $7.2/30 \approx 1/4.2$  である。

Manning の粗度係数  $n$  と摩擦損失係数  $f$  の関係は次式で与えられる。

$$f = \frac{8gn^2}{R^{1/3}} \tag{1}$$

ここで、 $R (= Bh / (B+2h) )$  は水路の径深である。

流れは模型、原型共に十分乱れているので、構成材料の相当粗度並びに幾何学的形状が相似であれば、両者の摩擦損失係数  $f_m, f_p$  は一致することが期待される。従って、この関係と式 (1) より次式が得られる。

$$n_p = n_m \left( \frac{R_p}{R_m} \right)^{1/6} \tag{2}$$

ここで添え字の  $p, m$  はそれぞれ原型、模型を表す。上式により模型と原型の粗度係数が関係付けられる。

しかしながら相当粗度まで相似となる材料を捜すのは一般的に容易ではない。今回の模型実験では水路材料として Manning の粗度係数  $n_m = 0.009$  のアクリル板を用いたので、(2) 式に  $n_m = n_p$ ,  $R_p/R_m \doteq 4.2$  を代入すると、模型のアクリル材に相当する原型の材料の粗度係数は  $n_p = 0.0115$  となる。コンクリートの粗度係数は一般に  $0.010 \sim 0.020$  であり、その標準値は  $0.014$  である<sup>3)</sup>。上で求められた  $n_p$  は若干小さめであるが範囲内に入っており、また水路底面の粗度係数は材料の相当粗度よりも減勢工の形状の効果が支配的と思われる点を考慮すると、模型のアクリル材料は十分粗度の縮尺を満足しているものと判断される。従って模型実験から得られた  $n_m$  から直接 (2) 式を用いて、原型の粗度係数  $n_p$  を算出することにする。

原型スケールでの水深  $h_p$  と (2) 式より求めた原型の合成粗度係数  $n_p$  の関係を図-9 に示す。水深が大きくなるにつれて粗度係数は低下してほぼ一定値に漸近し、 $h_p \geq 15$  cm では Form-I で  $n_p \doteq 0.013$ 、Form-II で  $n_p \doteq 0.017$  となる。ここではコンクリートの粗度係数はアクリル製模型水路との縮尺の関係から  $n_c = 0.0115$  としているが、図-9 における  $n_p$  と  $n_c$  の差が階段状粗度由来のものである。従って原型側溝に用いる実際のコンクリートの  $n_c$  の値が求められれば、上記の  $n_p$  と  $n_c$  の差を  $n_c$  に上乘せすることにより、実際の減勢側溝原型の粗度係数  $n_p$  が評価される。また、 $h_p$  と  $n_p$  及び水路床勾配  $I = 1/10$  を用いて Manning の平均流速公式により算定した流量  $Q_p$  から相対減少率を求めてプロットしたものが図-10 である。模型の場合と同様、水深の増加に伴い流量抑制効果は低下する傾向があるが、その漸近値は模型の場合よりも更に小さくなっている。

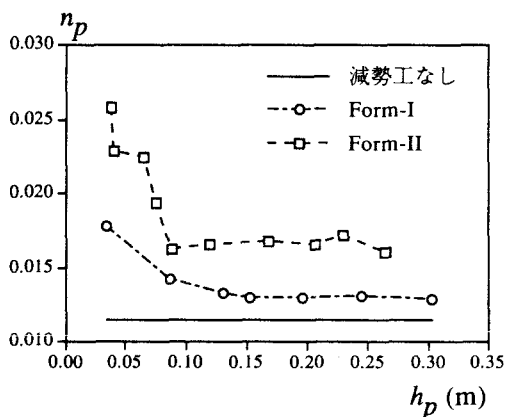


図-9 原型での水深  $h_p$  と粗度係数  $n_p$  の関係

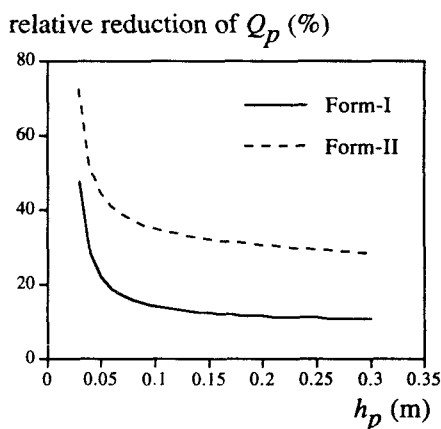


図-10 原型での水深  $h_p$  と流量の相対減少率の関係 ( $I = 1/10$  のとき)

### 3. 側壁に人工粗度を設置した減勢側溝

前述の実験より階段状底面のみを持つ減勢側溝では、水深が大きくなると減勢効果が低下することがわかった。そこで、改善策として、Form-II の減勢工を底面に敷き詰めた水路の側壁に図-11 に示すような人工粗度を取り付けることを考える。これは水深が増した場合に同時に流体抵抗も増加させることにより、流速低減機能を維持させるようにしたものである。この側溝の抵抗特性を調べるために、以下に記す様な実験を行った。

図-12 に人工粗度を設置した場合の水路の概要図を示す。栗谷・小松<sup>4)</sup>は人工側壁粗度の粗度形状と粗度係数に関する基礎的研究を行い、粗度の突出高さ  $k$  と設置間隔  $s$  との比  $s/k$  が 10 程度で側壁粗度による抵抗が最大になると報告している。そこで本実験では、 $s/k = 10$  となるように粗度の高さを  $k = 1.2$  cm、設置間隔を  $s = 12.0$  cm とした。また、粗度を左右で  $\Delta s = s/2 = 6.0$  cm ずつずらして非対称に配列し、階段の端から  $d$  だけ浮かして設置した (図-12 参照)。これは流水中の浮遊物が粗度にひっかかるのを防いで水路の通水能力を確保するためと、小流量のときには底面減勢工のみで十分であり、流量が多くなったときに初めて側面粗度が効果を発揮するようにするためである。なお、栗谷・小松<sup>4)</sup>は粗度を片側ずらした場合

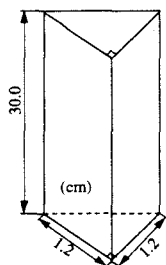


図-1 1 人工粗度の概形

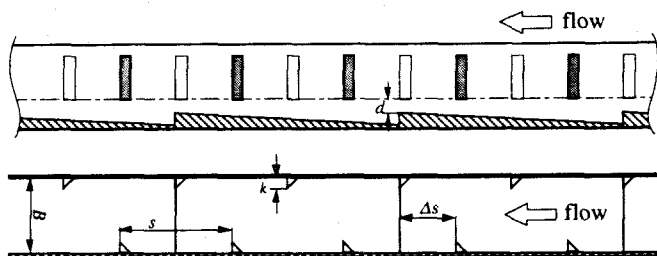


図-1 2 人工粗度の配置 (上図：側面図、下図：平面図)

表-2 実験条件と実験結果 (人工粗度を設置した場合)

| Case  | $Q_m$<br>( $10^{-3} \text{ m}^3/\text{sec.}$ ) | $h_m$<br>(cm) | $U_m$<br>(m/sec.) | $n_m$  | $Fr$ | $Re$ | $B_m/h_m$<br>( $10^4$ ) |
|-------|------------------------------------------------|---------------|-------------------|--------|------|------|-------------------------|
| SI-1  | 0.553                                          | 1.49          | 0.52              | 0.0294 | 1.35 | 0.59 | 4.84                    |
| SI-2  | 0.790                                          | 2.37          | 0.46              | 0.0403 | 0.96 | 0.84 | 3.04                    |
| SI-3  | 1.18                                           | 3.82          | 0.43              | 0.0515 | 0.70 | 1.3  | 1.88                    |
| SI-4  | 1.73                                           | 5.31          | 0.45              | 0.0541 | 0.63 | 1.8  | 1.36                    |
| SI-5  | 2.92                                           | 7.92          | 0.51              | 0.0525 | 0.58 | 3.1  | 0.91                    |
| SI-6  | 3.76                                           | 9.67          | 0.54              | 0.0517 | 0.55 | 4.0  | 0.74                    |
| SII-1 | 0.376                                          | 0.902         | 0.58              | 0.0204 | 1.95 | 0.40 | 7.98                    |
| SII-2 | 0.476                                          | 0.969         | 0.68              | 0.0180 | 2.21 | 0.51 | 7.43                    |
| SII-3 | 0.997                                          | 1.57          | 0.88              | 0.0177 | 2.24 | 1.1  | 4.58                    |
| SII-4 | 1.17                                           | 1.76          | 0.92              | 0.0178 | 2.22 | 1.2  | 4.09                    |
| SII-5 | 2.11                                           | 2.77          | 1.06              | 0.0187 | 2.03 | 2.2  | 2.60                    |
| SII-6 | 2.44                                           | 3.50          | 0.97              | 0.0222 | 1.65 | 2.6  | 2.06                    |
| SII-7 | 2.90                                           | 5.10          | 0.79              | 0.0306 | 1.12 | 3.1  | 1.41                    |
| SII-8 | 3.50                                           | 7.99          | 0.61              | 0.0443 | 0.69 | 3.7  | 0.90                    |
| SII-9 | 3.91                                           | 8.32          | 0.65              | 0.0415 | 0.72 | 4.2  | 0.86                    |

の効果についても検討を行っているが、その効果はあまり顕著ではないと報告している。水路床勾配  $I$  は  $1/10$  に固定した。測定項目および測定方法は側壁粗度を設置していない場合と同様である。水深の測定区間は水路下流端より  $1.20 \text{ m}$  の地点から  $1.44 \text{ m}$  までの  $0.24 \text{ m}$  間で、流下方向に  $2.4 \text{ cm}$  毎、水路横断方向に  $2.4 \text{ cm}$  毎に計  $39$  点で測定した。平均水深  $h_m$  はこれらの水深を平均したものを用いた。階段の上端から側壁粗度下端までの距離  $d$  が  $0 \text{ cm}$  のものを Form-SI、 $1.6 \text{ cm}$  のものを Form-SII とする。それぞれの実験条件と実験結果を表-2 に示す。Case SI-1~6 が Form-SI に、Case SII-1~9 が Form-SII を用いる場合に対応している。

各 Case における水深  $h_m$  に対する合成粗度係数  $n_m$  を図-1 3 に、断面平均流速  $U_m$  を図-1 4 に、流量  $Q_m$  を図-1 5、流量の相対減少率を図-1 6 にそれぞれ示す。図-1 3 より、Form-SI の場合は水深の増加に伴って粗度係数も増加し、水深  $0.04 \text{ m}$  からは粗度係数がほぼ一定値をとるようになることが分かる。これは  $h_m \geq 0.04 \text{ m}$  では水路側壁の粗度の影響が支配的になっていることを表しているものと思われる。また、Form-SII の場合は水深  $0.02 \text{ m}$  程度までは側壁粗度底部が水表面に接していないために、Form-SI の減勢工のみを設置した場合と同一となる。水深が  $0.02 \text{ m}$  を越えると側壁粗度の影響が出はじめ、水深の増加に従って粗度係数も増加していく。図-1 4、1 5 に明らかなように、Form-SI, SII ともに階段状減勢工のみの場合 (図-6、7) と較べて著しい減勢効果を発揮している。また、図-1 6 から、水深が大きい時にも階段状減勢工のみの場合と異なり、減少率が  $80 \sim 83\%$  となって高い減勢効果を維持できること分かる。

粗度係数の原型スケールへの換算は 2-3 節と同様の手法を用いた。側壁に粗度を設置した場合の実験では水路底面、側壁の両方とも形状による抵抗が卓越していると思われるので、水路の材質の違いによる影響は無視できるものとし、2-3 節における縮尺を用いて式 (2) から原型の合成粗度係数  $n_p$  を算出した。原型スケール (模型を  $4.2$  倍したもの) での各水深  $h_p$  における合成粗度係数  $n_p$  を図-1 7 に、流量の相対減少率を図-1 8 に、流速  $U_p$  を図-1 9 に示す。水深が大きくなる程高い減勢効果を示しており、流速はほぼ一定に保たれている。これらの結果からこの側面粗度付き減勢側溝は十分実用的であることが分かる。

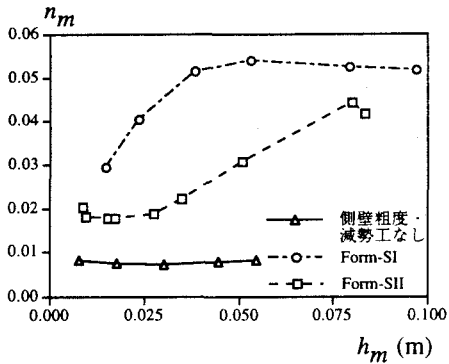


図-1 3 水深  $h_m$  と粗度係数  $n_m$  の関係

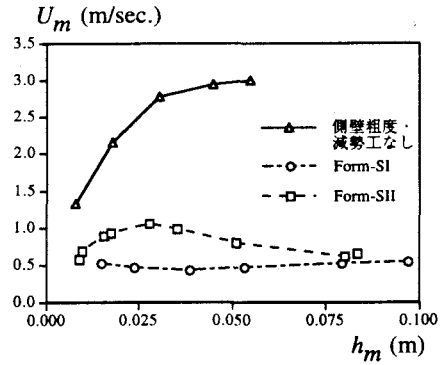


図-1 4 水深  $h_m$  と流速  $U_m$  の関係 ( $I=1/10$  のとき)

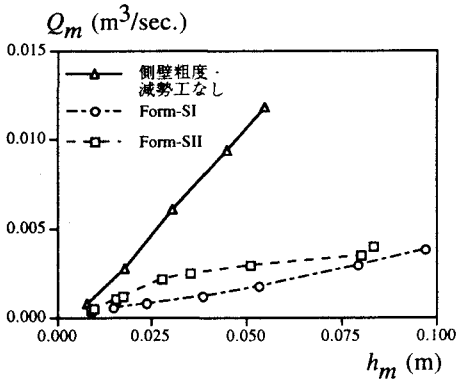


図-1 5 水深  $h_m$  と流量  $Q_m$  の関係  
( $I=1/10$  のとき)

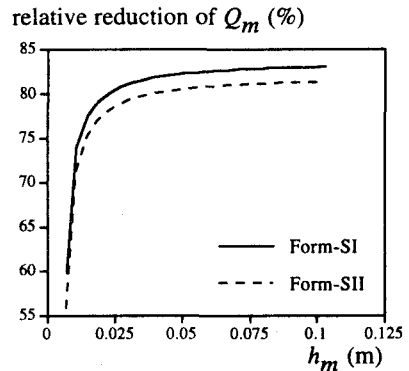


図-1 6 水深  $h_m$  と流量の相対減少率の関係  
( $I=1/10$  のとき)

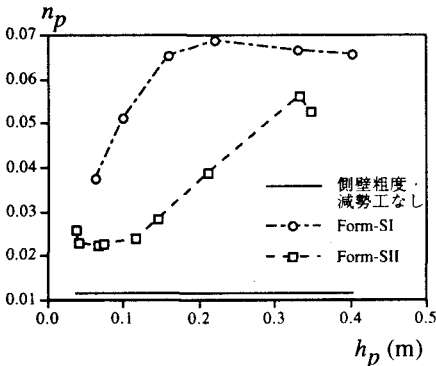


図-1 7 原型の水深  $h_p$  と粗度係数  $n_p$  の関係  
(側壁粗度設置の場合)

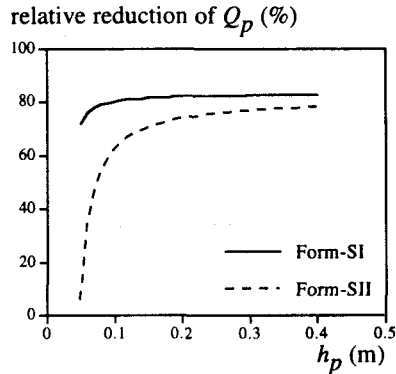


図-1 8 原型の水深  $h_p$  と流量の相対減少率の関係  
(側壁粗度設置の場合)

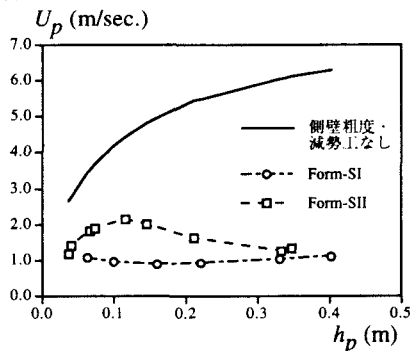


図-1 9 原型の水深  $h_p$  と平均流速  $U_p$  の関係  
(側壁粗度設置の場合)

#### 4. まとめ

本研究で得られた結果を要約すれば次のようになる。

- (1) 階段状底面のみを持つ減勢側溝は、流量が少ない場合には合成粗度係数は大きな値をとるが、流量が多くなるにつれて減少し一定値に漸近する。従って小流量では流速は抑制されるが、最も流速抑制が必要な大流量の時にはその効果はあまり期待できない。
- (2) 上述の短所を補うために、側壁に人工粗度を取り付けた側溝を新たに提案し実験を行った。その結果、側壁粗度が比較的小さいにもかかわらず水深が大きくなっても十分な減勢効果が得られることを確認した。従って、どの程度の側壁粗度を設置するかについては、どの程度の減勢・減速が必要かという各地域の個別の要請に対応すればよい。
- (3) 模型実験で得られた合成粗度係数を実物スケールに換算し、実用面に容易に適用出来るようにした。
- (4) ここで提案されている側壁粗度は大きな抵抗を生じさせる割にはそのサイズが小さいため、出水時の浮遊物が引っかかりやすくなる心配は不要である。
- (5) 本研究により、道路の勾配に合わせて側溝を設置しなければならない急傾斜の地域でも、雨水の流出速度、ピークの到達時間などをコントロールできることになる。従って、水文・地理情報を用いて、それぞれの地域に最も好ましい出水パターンが実現できるように流出系を設計することが可能となった。

最後に、本研究を行うに当たり多自然の町研究所の上野孝敏所長ならびに九州大学大学院生小橋乃子君の絶大な協力を得た。ここに記し、感謝の意を表する。

#### 参考文献

- 1). CHANSON, H. (1994) : Hydraulic Design of Stepped Cascades, Channels, Weirs and Spillways, Pergamon.
- 2). 例えば、大貫博史、森田英男、吉川秀夫(1984)："河床波上の流れについて"、水理講演会論文集、28, pp. 729-734.や、湯浅博明、湯城豊勝(1983)："砂漣の流水抵抗について"、水理講演会論文集、27, pp. 673-680. 等
- 3). 水理公式集(1985)、土木学会、pp. 13.
- 4). 栗谷陽一、小松利光、川崎昌三、朝位孝二、藤田和夫(1995)："人工粗度を用いた恒流の生成に関する研究"、水工学論文集、39, pp. 589-594.