

水門の流量係数を水理模型実験によって求める場合、縮尺効果が現われることは、従来よりよく知られているところである。これは、模型における現象が実物のそれと相似でないことに起因するが、

1. 流出現象のどの部分がどのように相似でないか、
2. 流量係数を対象とした場合、縮尺効果を見逃しうる模型の限界はどの程度か、

といった点については、いまだ明確にされていない。本研究は、水平開水路に設置された底流型鉛直刃形水門からの自由流出についておこなった実験結果をもとにして、これらの問題について若干の考察をおこなったものである。

1 流出現象の相似性に関する考察

1.1 流出現象の相似条件と縮尺効果

水平開水路に設置された鉛直刃形水門からの自由流出に関係する任意の定量的な性質 A は、次式のような関数として表わされると考えてよいであろう。

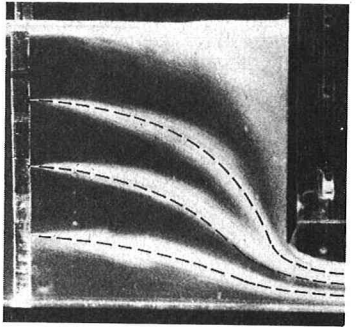
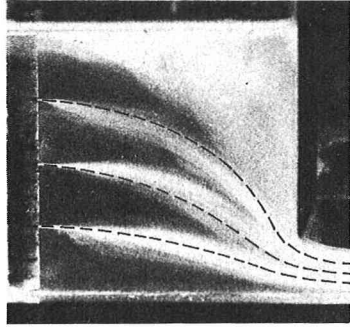
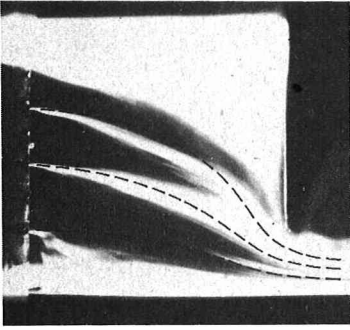
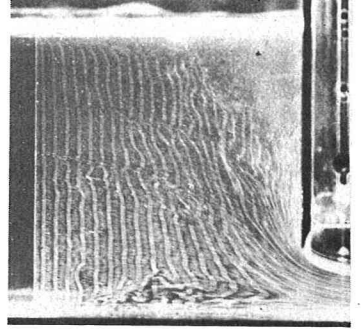
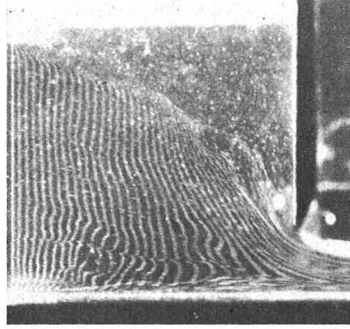
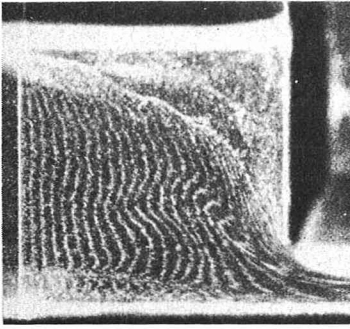
$$A = f_A(a, h, B, \rho, g, \mu, \sigma) \quad (1)$$

ここに、 a は水門の開き高、 h は上流水深、 B は水路幅、 ρ は流体密度、 g は重力加速度、 μ は粘性係数、 σ は表面張力である。いま、 a 、 ρ および g を次元の基本量として、次元解析をおこなうと、式 (1) に対応する無次元の関係式として、次式が得られる。

$$\pi_A = \varphi_A\left(\frac{a}{h}, \frac{a}{B}, \frac{\sqrt{ga} \cdot a}{\nu}, \frac{\sqrt{ga}}{\sqrt{\sigma/a\rho}}\right) \quad (2)$$

ここに、 ν は動粘性係数である。さて、大きさの異なる二つの系において、現象が力学的に相似であるためには、 π_A が両系においてひとしくならなければならない。¹⁾すなわち、 a/h 、 a/B 、 $\sqrt{ga} \cdot a/\nu$ および $\sqrt{ga}/\sqrt{\sigma/a\rho}$ が両系においてひとしければ、現象は力学的に相似となる。いま、大きさの異なる二つの流出模型において、 a/h および a/B をひとしくすることは可能であるが、 ρ 、 g 、 μ および σ はほぼ一定の値であるから、 $\sqrt{ga} \cdot a/\nu$ および $\sqrt{ga}/\sqrt{\sigma/a\rho}$ は水門の開き高 a のみの関数となり、両系においてこれらの量はひとしくなりえない。すなわち、これらの量が現象の縮尺効果の原因となる。

流量係数における縮尺効果も $\sqrt{ga} \cdot a/\nu$ あるいは $\sqrt{ga}/\sqrt{\sigma/a\rho}$ の影響によるものである。したがって、縮尺効果の特性は、これらの量の影響を理論的あるいは実験的に明らかにすることによって得られる。ところが、流出現象についてこれらの量の影響を適切に表現する数学的モデルはいまだ十分ではない。したがって、理論的な取り扱いには現在のところ困難である。そこで本研究では、実験的に縮尺効果の特性を検討するが、流量係数という巨視的な取り扱いをするまえに、まず、流出現象の相似性がどのように満足されていないかという点、およびそれらと流量係数における縮尺効果との関係について考察する。

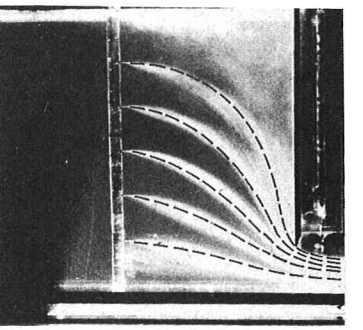
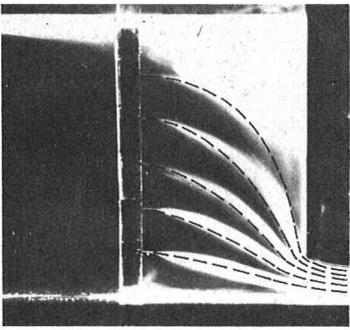
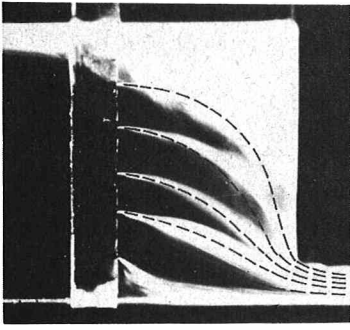
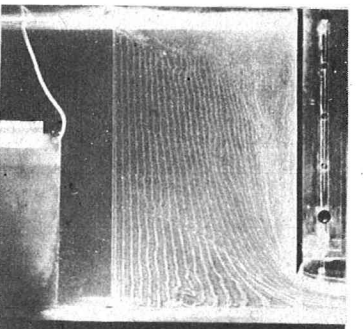
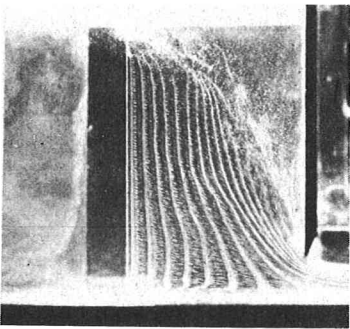
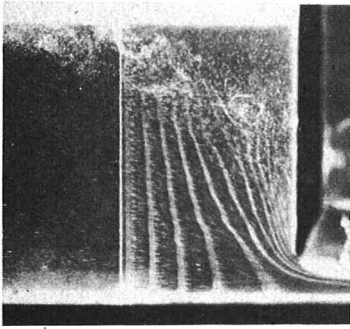


$a = 1 \text{ cm}$

$a = 2 \text{ cm}$

$a = 4 \text{ cm}$

写真 1 ($a/h = 0.25$)



$a = 1 \text{ cm}$

$a = 2 \text{ cm}$

$a = 4 \text{ cm}$

写真 2 ($a/h = 0.167$)

1.2 水門上流部の流体運動の相似性

写真1および写真2は、それぞれ a/h が0.25および0.167の場合について、模型の鉛直方向の長さの比を1:2:4にした場合の、水門上流部の流況の変化を示したものである。各写真の上段はトレーサーとして水素気泡を、下段はフロールエッセンを用いたものであり、それぞれから流速変化の概略および流線形状を知ることができる。下段の写真の破線は、ポテンシャル流を仮定して計算された流線を示している。これらの写真から、模型が小さくなるほど死水域とみなされる領域が大きくなっていることがわかる。すなわち、主流の占める領域が変化している。このことは模型の運動学的な相似性が満足されていないことを示している。このように死水域の大きさが変化することと流量係数の縮尺効果との関係については、つぎのように考えられる。すなわち、死水域が大きくなると、流出端近傍における鉛直下向きの流速成分が減少し、縮流効果が減少して、流量係数を大きくすることが予想される。

1.3 縮流係数の相似性

水門より下流側、開き高の約2倍の距離のところに最浅水深が現われるが、この水深と開き高との比、すなわち縮流係数は長さの無次元量であり、相似な模型においては同じ値でなければならない。図1は縮流係数 C_c の実験値を示したものであるが、 a/h および a/B を一定にして、模型の大きさを変え、縮流係数が変化することがわかる。すなわち、流体運動が相似でないことを示している。縮流係数の実験値は、模型が小さくなるほど大きくなり、その傾向は a/h が大きくなるほど顕著であるが、このことは、前述の死水域の形状と密接な関係があるようである。すなわち、模型が小さくなると死水域が大きくなり、縮流効果が減少するため、縮流係数が大きくなると考えられる。

図に示された a が6.0 cmおよび8.0 cmの場合の実験値をも考慮すると、開き高が6.0 cm程度以上の模型では、縮流係数はほとんど変化しなくなることがわかる。また、その場合の値は、ポテンシャル流の仮定にもとづいて得られた、FangmeierとStrelkoffの理論値²⁾とほぼ同程度の値になることがわかる。

縮流係数の非相似性は、縮流係数が流量係数の重要な構成要素であることから、直接的に流量係数の縮尺効果の原因となることは明らかである。

2 流量係数における縮尺効果

前項では、大きさの異なる水理模型において、流出現象が相似でなくなる

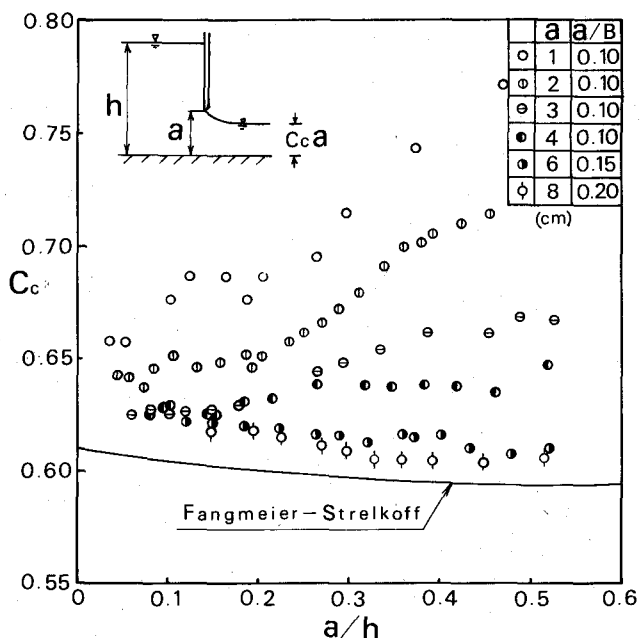


図1 縮流係数

模様を示したが、流量係数における縮尺効果は、これらの非相似性の集積結果として現われる。さきに述べたように、これらの非相似性を説明できる数学的シミュレーションが現段階では困難であるので、ここでは流量係数の縮尺効果の特性を、以下の方法で実験的に検討する。

式 (2) における π_A として、流量係数 C を用いると、 ρ, μ, σ および g を一定として次式が得られる。

$$C = \mathcal{F}_C \left(\frac{a}{h}, \frac{a}{B}, a \right)$$

したがって、 a/h および a/B を一定にして、 a を変化させることにより、縮尺効果の特性が明らかにされる。ところが、 a/B による流量係数の変化は、とくに a が大きい場合には、ほとんど無視される。そこで以下では a/h を一定にして、 a を変化させて縮尺効果の特性を検討する。

実験は、幅 B が 10, 15, 20, 30 および 40 cm のアクリライト製水平水路を用いておこなった。

図 2 は、模型の大きさによる流量係数の変化を、 a/h をパラメーターとして示したものである。この場合、流量係数は、 $C = Q/Ba\sqrt{2gh}$ 、(Q : 流量) として求められたものである。この図によると、模型が小さくなると流量係数が大きくなるのがわかるが、その傾向は、 a/h が大きいほど顕著である。また、縮尺効果が顕著に現われる模型の限界は、 a/h が大きいほど大きくなることが認められる。 a/h が 0.1 から 0.5 までの範囲を考えると、 a が 6 cm 以上になると、もはや縮尺効果はほとんどないと考えてよいであろう。このことは、図 1 において、縮流係数がやはり $a > 6$ cm でほとんど変化しなくなったことを考えれば、ほぼ妥当と考えられる。

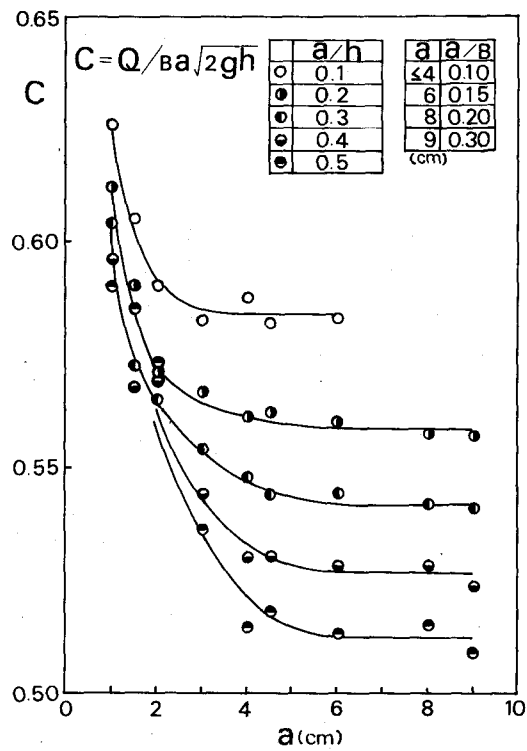


図 2 流 量 係 数

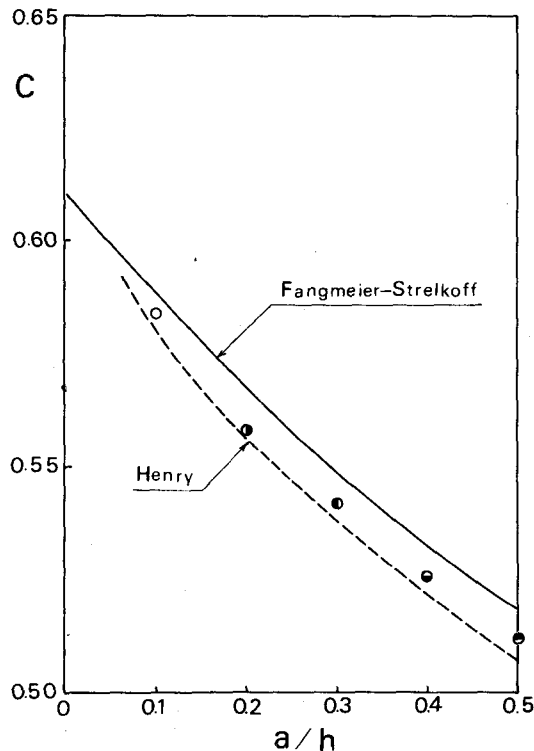


図 3 流 量 係 数

図3は、図2において縮尺効果がほとんどないと考えられる流量係数の値を、FangmeierとStrelkoffの理論曲線、およびHenry³⁾の実験曲線と比較したものである。この図では、大きな模型（実物）の流量係数は、ほぼポテンシャル理論より得られる値とひとしいと考えてよいことがわかる。図1では、縮流係数の実験値は、FangmeierとStrelkoffの理論値よりも大きな値を示していたが、流量係数の実験値は、彼らの値より小さくなっている。これは、主として、エネルギー損失の影響を示すものであろう。

図4は、Gentilini⁴⁾およびRajaratnam⁵⁾による流量係数の実験結果を示したものである。それぞれの実験値においても、

模型が小さくなると、たしかに流量係数が大きくなることを示している。しかし、本研究とほぼ同じような条件のもとでおこなわれている実験値であっても、流量係数の絶対的な値が異なること、および、本研究で認められたような、顕著な縮尺効果が現われる模型の大きさ、あるいは a/h の範囲についての資料が十分でないため、彼らの実験値にもとづいて、縮尺効果の全体的な傾向について考察することは困難である。

本研究をすすめるにあたっては、京都大学の岩佐義朗教授より懇篤な御指導を賜った。また、実験に際しては、広島大学大学院学生弘中洋二君より多大の御助力をえた。ここに深く感謝する次第である。

参 考 文 献

- 1) Yalin, M. S.: Theory of Hydraulic Models, Macmillan, London, 1971.
- 2) Fangmeier, D. D. & Strelkoff, T. S.: Solution for Gravity Flow under a Sluice Gate, Jour. EM-Div., Proc. ASCE., Feb. 1968.
- 3) Henry, H. R.: Discharge Characteristics of Sluice Gate, Proc. ASCE., vol. 75, Dec. 1949.
- 4) Gentilini, B.: Efflusso dalle luci soggiacenti alle pratoie piane inclinate e a settore, L'Energia Elettrica, Giugno, 1941.
- 5) Rajaratnam, N. & Subramanya, K.: Flow Equation of the Sluice Gate, Jour. IR-Div., Proc. ASCE., Sept. 1967.

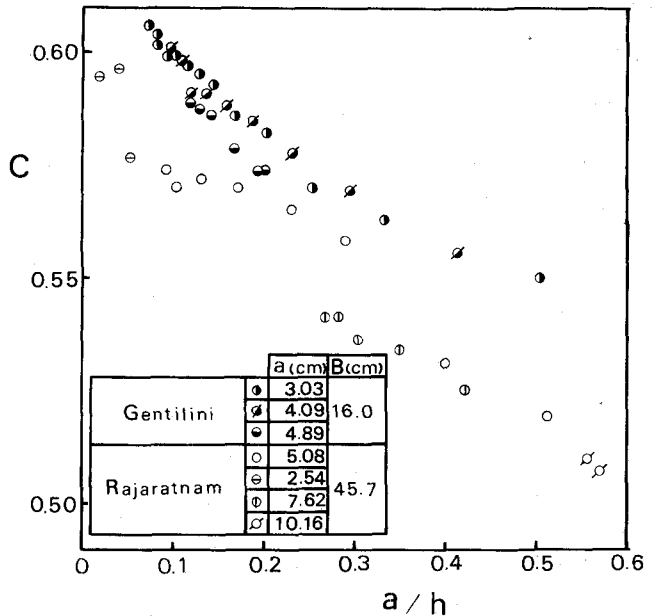


図4 流量係数 (Gentilini, Rajaratnam)