

II-22 定常流におけるスリット壁の抵抗係数

吉 高 専 正会員 浦島 三朗
 吉 高 専 正会員 石塚 新一
 空 工 大 正会員 近藤 徹郎

1. まえがき 近年、傾斜堤の消波効果と海域の有効利用の点から直立消波構造物の開発がさかんに行われ、また普及してきている。その代表的なものは多孔壁やスリット壁などの透水壁を使用し、透水壁型直立消波構造物である。この方面の研究もさかんに行われ、波浪変形理論¹⁾の提案や透水壁に作用する波力もMorison式²⁾によって推定する方法が試みられている。これらの波浪変形理論や波力算定にMorison式を適用する場合、透水壁の抗力係数 C_d および質量係数 C_m をどのように定めるかが問題となる。孤立構造物の場合は多くの研究がなされ、その特性および各種形状の定常流実験による乱流域の抗力係数 C_d が求められており設計上自由のない所までとされている。透水壁についても、波動実験による乱流域と定常流実験による乱流域の抗力係数 C_d の値が比較的に連続し、抗力係数 C_d と抵抗係数 C_x の関係も導かれており、円形多孔壁については近藤らによってその特性が明らかにされ、定常流実験による乱流域の抵抗係数 C_x の実験式も提案³⁾されている。しかし、スリット壁についてはその報告は少なく、特に乱流域の抵抗係数 C_x の値は、Mellorによる推定方法や開水路のピアによる損失およびスクリーンによる損失を参考にする程度である。これらの推定の条件はスリット壁の条件を十分に満足しておらず、特に壁厚の影響は含まれていない。そこで本報告はスリット壁の抵抗係数も定常流実験より求め、各推定方法と比較検討したものである。

2. 実験方法 実験は長さ11.0m、高さ0.4m、幅0.5mの定常可変開水路を用い、この水路の一部に長さ1.0m、高さ0.2m、幅0.4mの矩形断面の管路状態にし、その中央にスリット壁をもうけ前後の圧力水頭差をピエゾメータと連結した傾斜マノメータより測定した。なお流量測定は直角三角ピエゾを用いて行った。スリット壁の種類は波動実験で使用した模型と相似な模型(標準型)9種類と角柱の幅 b を4cmに固定し、空隙率 α 、スリット幅 s 、壁厚 d を変えた模型(角柱列型)12種類の計21種類である。これらの模型の諸元を表-1に示す。但し、表-1に示す標準型のスリット壁の諸元は、スリット幅 s 、角柱幅 b を、空隙率 α およびスリットの個数を変えずに同じ幅の角柱が等間隔に並んだ場合の角柱列型に換算したものである。なお管路部の状態を写真-1、標準型および角柱列型のスリット壁の模型を写真-2に示す。

3. 実験結果および考察 実験によりスリット壁による損失水頭 Δh を求め、次式により抵抗係数 C_x を算出した。

表-1. 模型の諸元

	α (%)	b (cm)	s (cm)	d (cm)	d/s
標準型	25	4.0	1.7	1.5	0.90
				3.0	1.80
				4.5	2.70
	35	4.3	2.3	1.5	0.64
				3.0	1.29
				4.5	1.93
	50	3.3	3.3	1.5	0.45
				3.0	0.90
				4.5	1.35
角柱別型	20	4.0	1.0	1.5	1.50
				3.0	3.00
				4.5	4.50
	30		1.7	1.5	0.88
				3.0	1.75
				4.5	2.63
	40		2.7	1.5	0.56
				3.0	1.12
				4.5	1.67
	50		4.0	1.5	0.38
				3.0	0.75
				4.5	1.13

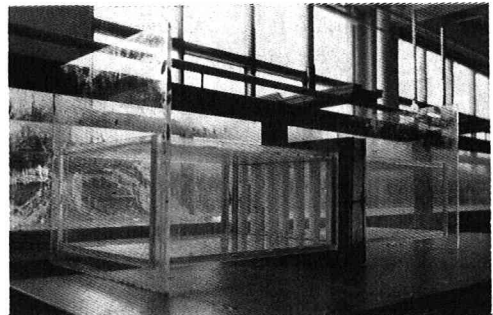
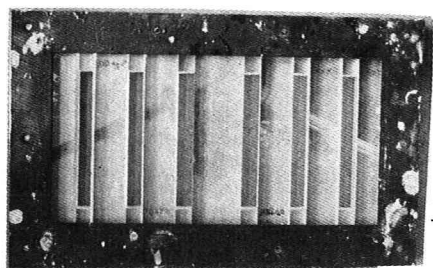
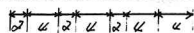
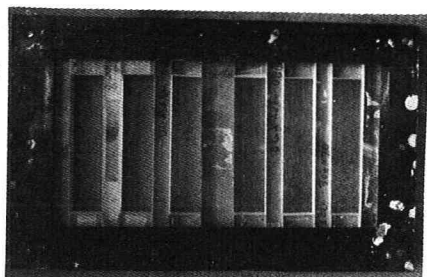
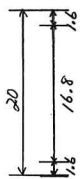
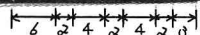


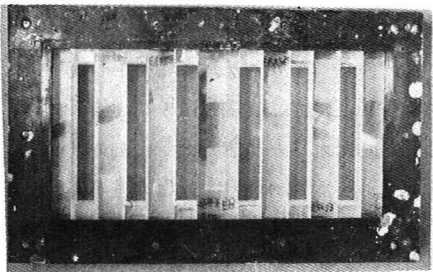
写真-1. 管路部



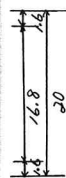
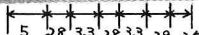
標準型 (λ=25%)



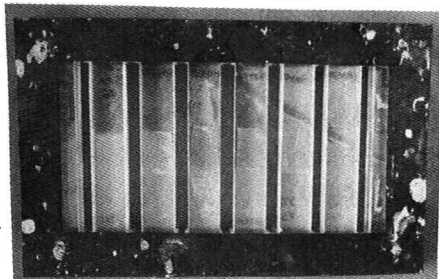
角柱列型 (λ=50%)



標準型 (λ=35%)



(単位: cm)



角柱列型 (λ=20%)

写真2. スリットの模型

$$C_{d2} = \Delta h / (V^2 / 2g) \quad (1)$$

但し、 V は管路内の流速、 g は重力加速度である。

Meiらは次式により抵抗係数 C_{d1} を求めた。⁴⁾

$$C_{d1} = (S/S_{sc} - 1)^2 = (S/c_{sc} - 1)^2 \quad (2)$$

但し、 $c = 0.6 + 0.4(S/s)^2$

ここにおいて、 S は管路断面積、 $S_{sc} = cS_0$ は空隙を通過する噴流の最小断面積 (Vena Contracta)、 S_0 はスリットの断面積、 C は縮流係数を表わす。

d'Aubuissonの開水路のピアによる損失水頭を求める式より抵抗係数 C_{d2} は次式で求められる。⁵⁾

$$C_{d2} = 1/c^2\lambda^2 - 1 \quad (3)$$

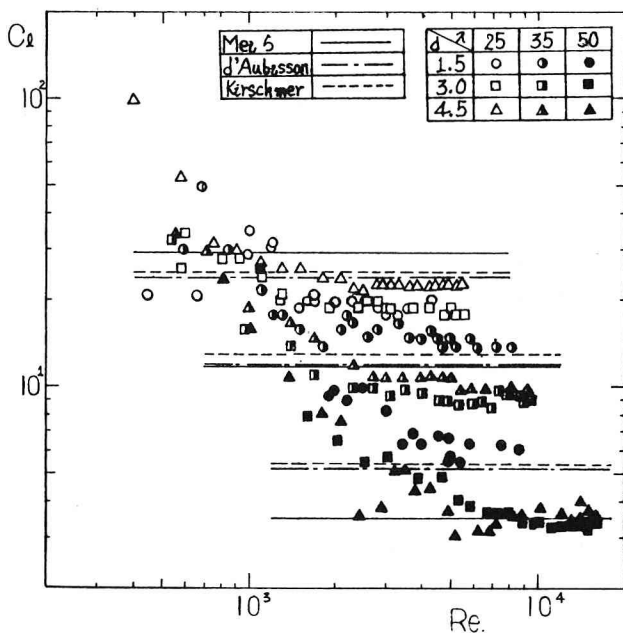
但し、 C はピアの形状による係数で各形状によって実験値が求められており、ここにおいては長方形断面の $C=0.8$ を使用した。

Kirschmerのスクリーンによる損失水頭を求める式より抵抗係数 C_{d3} を求めると次式のようなになる。⁶⁾

$$C_{d3} = \beta \cdot \sin \theta (b/s)^{4/3} + 1/\lambda^2 - 1 \quad (4)$$

但し、 β はスクリーンの形状による係数で $\beta=2.42$ (長方形断面)、 θ はスクリーンの傾斜角でここでは $\sin 90^\circ = 1$ を使用している。

抵抗係数 C_d とReynolds数の関係を標準型を図-1に、角柱列型を図-2に示す。図中の実線、一点鎖線および破線は各々Meiら、d'AubuissonおよびKirschmerによる抵抗係数の推定値 C_{d1} 、 C_{d2} および C_{d3} を示す。d'Aubuissonの推定値 C_d とKirschmerの推定値 C_{d3} は各空隙率においてはほぼ同じ値になり、Meiらによる推定値 C_{d1} は C_{d2} 、



C_{d3} と比較すると $\lambda = 0.25$ 付近ではほぼ同値を示し、 $\lambda > 0.25$ では C_{d1} の方が小さい値を、 $\lambda < 0.25$ では C_{d1} の方が大きい値を推定する。実験より求めた抵抗係数 C_d は空隙率 λ が小さくなるに従い大きくなり、また同一空隙率においては壁厚が小さいほど C_d は大きくなる。各推定値 C_{d1}, C_{d2}, C_{d3} は各空隙率のおよその抵抗係数を推定しているが、壁厚のおよその影響は大きく、これを無視して推定するのは多少無理がある。

定常流実験ではほぼ一定値とみられる乱流域の抵抗係数 C_d の平均値を λ および d/s の関数で表現することを検討したところ、図-3 のように縦軸に $\lambda^{3.0} C_d$ をとって d/s の関数としてプロットするとかなり良く整理できた。乱流域ではおおよそ下式で近似できる。

$$C_{d0} = \frac{0.52}{\lambda^{3.0} (d/s)^{0.46}} \quad \text{--- (5)}$$

標準型のスリット壁についても角柱列に換算することによって (5) 式で比較的よく表わすことができ、一般的なスリット壁の抵抗係数の推定にも (5) 式がある程度使用できるものと考えられる。

なお、円形多孔壁についても定常流実験がおこなわれており、その結果、乱流域ではおおよそ下式で近似されるとしている。³⁾

$$C_{d0} = \frac{0.48}{\lambda^{2.5} (d/\phi)^{0.4}} \quad \text{--- (6)}$$

ここに、 ϕ は孔径である。

(2) 式から (6) 式の各推定式を抵抗係数 C_d と d/s または d/ϕ で各空隙率ごとに表わすと図-4 のようになる。図中において d/s の変化に対し C_d が一定値を示す直線が (2) 式から (4) 式までの推定式である。なお、 d/s または d/ϕ の変化に対し C_d が変化している直線が実験より求めた推定式 (5) 式、(6) 式を表わし、実線がスリット壁、破線が円形多孔壁を表わす。また、図中の曲線は (5) 式と (2) 式、(3) 式および (4) 式の抵抗係数が各空隙において同値となる d/s の変化を表わす。(2) 式による推定値は空隙率がおおよそ $\lambda = 0.25 \sim 0.4$ の範囲において、 $d/s = 1.1$ 付近の実験値と比較的適合しており、(3) 式、(4) 式による推定値は空隙率の減少とともに実験値と適合する d/s が大きくなる。これらの推定式が実験値を十分表現できない理由としては、Mei らの方法による (2) 式は単一の薄いスリット壁についての推定で、スリットが近接してそこを通過する際に噴流が相互に干渉するような場合には原則的に適用できない。また、d'Aubisson, Kirschmer の方法による (3) 式、(4) 式は、開水路のピエゾメーターやスクリーンの空隙率のように大きい場合の推定式であり、これらに比べて空隙が小さいスリット壁においてはスリットを通過する際に流速が大きく変化し、また (3) 式、(4) 式はピエゾメーターやスクリーンのバーの形状によって式中の係数をきめており d がほぼ一定値に近い値であ

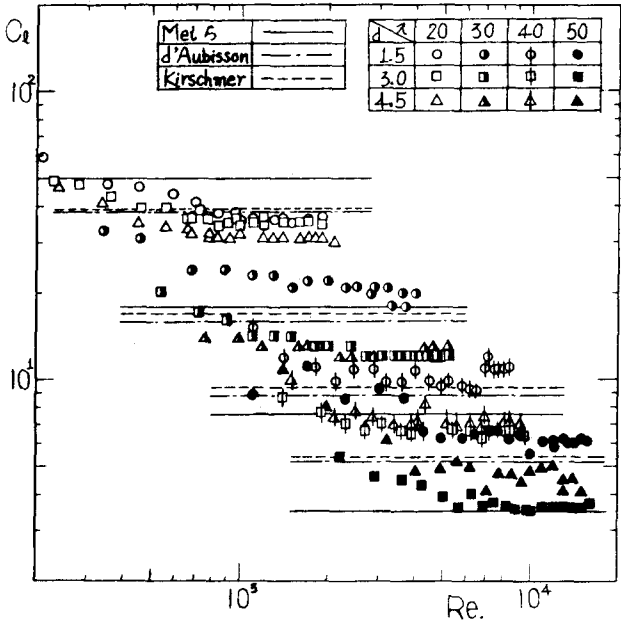


図-2. 角柱列型の C_d と Re の関係

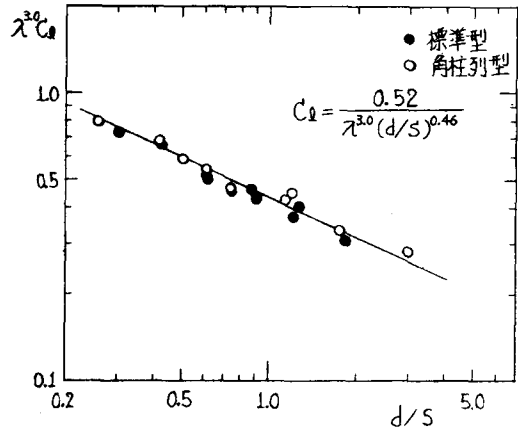


図-3. $\lambda^{3.0} C_d$ と d/s の関係

るためこれをスリット壁に適用するには多少無理がある。円形多孔壁の孔径 ϕ とスリット壁のスリット幅 s を同じものとしてあつかうと、同一空隙率において $d/s = d/\phi$ ではスリット壁の抵抗係数の方が大きく、乱流域ではスリット壁の方が抵抗が大きいと考えられる。同一空隙率、同一壁厚で同じ抵抗係数を得るためにはスリット幅 s を孔径 ϕ より小さくする必要がある。

4. あとがき 以上、スリット壁や円形多孔壁のような透水壁においては、空隙率とともに壁厚も抵抗係数を決定する大きな要素となり、スリット壁についてはおよそ(5)式で近似できる。Meiらによる推定式(2)式は、空隙率 λ がおよそ $\lambda = 0.25 \sim 0.4$ の範囲において、壁厚とスリット幅がほぼ等しい状態の実験値と比較よく一致し、d'AubissonおよびKirschmerによる推定式(3)式、(4)式は、両推定値ともほぼ等しい値となるが、実験値とは空隙率が増加するとともに d/s が大きくなる場合に比較的一致し、ある空隙率の概略値を知る程度である。またスリット壁の抵抗係数は、円形多孔壁と比べると同一条件ではスリット壁の方が大きな値を示し、乱流域ではスリット壁の方が抵抗が大きいと考えられる。但し、スリット幅 s と孔径 ϕ を同じ要素と考えている。

標準型のスリット壁についても角柱列型に換算することによって抵抗係数もおよそ(5)式で推定することができたが、今後各種形状のスリット壁および甲詰めケーソンとした場合の抵抗係数についても調べる必要がある。またMorison式による波力算定等において抵抗係数とともに重要な係数である質量係数についても、今後さらに調べたい。

参考文献

- 1) Kondo : Analysis of breakwaters having two porous wall, Coastal Structures 79, ASCE, Vol. 11, pp. 962~977, 1977.
- 2) 森山・服部・近藤 : 多孔壁に作用する波力の特性, 第35回土木学会年次概要集, pp. 35~36, 1980.
- 3) 近藤・佐藤 : 多孔壁の損失係数と見掛けのオリフィス長との推定, 第26回海岸工学論文集, pp. 333~337, 1979.
- 4) Mei, C.C., P.L.F. Liu and A.T. Ippen : Quadratic loss and scattering of long waves, Proc. of ASCE, Vol. 100, WW3, pp. 217~239, 1974.
- 5) J.F. d'Aubuisson de Voisin : "Traité d'hydraulique" ("Treatise on Hydraulics"), 2d ed, Pitois, Levrault & Cie, Paris, 1840.
- 6) Kirschmer, O. : Untersuchungen über den Gefällsverlust an Rechen, Mitteilungen des Hydraulischen Instituts der Technischen Hochschule München, No.1, 1926.

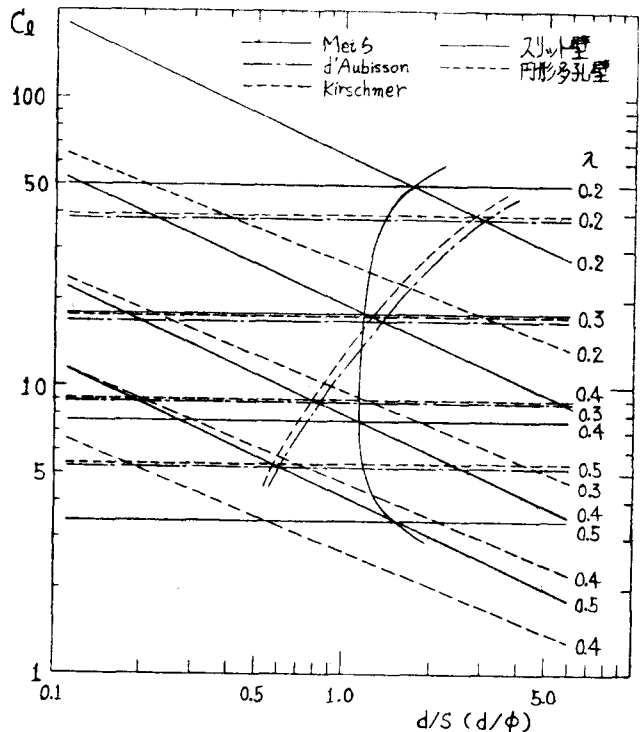


図-4. 各空隙率における抵抗係数と $d/s (d/\phi)$ の関係