

(A-2) 模型実験における防波堤開口部の流量係数について

京都大学助教授 防災研究所 樋口 明生

同 助手 同 吉田 幸三

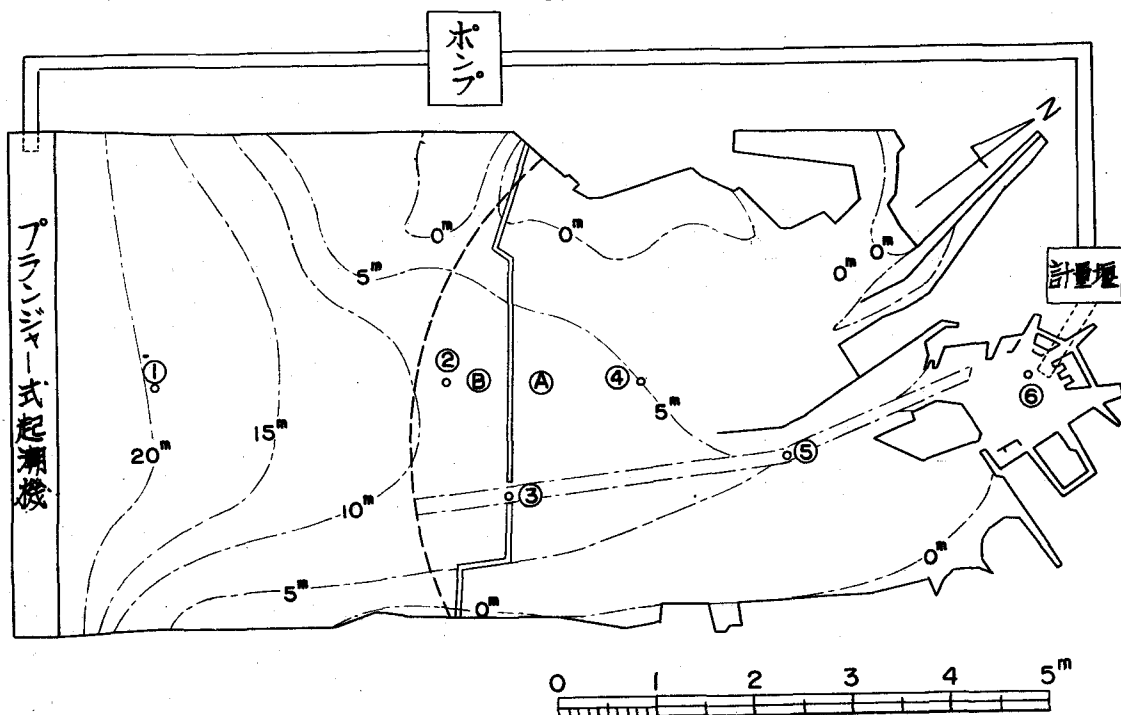
1. まえがき

港湾が外海と比較的狭い港口のような開口部をもつた防波堤によつて囲まれているような場合の、潮汐をふくむ長周期の水位変動 および、それにともなう流れの問題を取り扱う水理模型実験においては、原型と模型との間の力学的相似性の観点から、水平縮尺と鉛直縮尺との異つた模型、すなわち歪んだ模型を使用するのが常である。¹⁾

現在、名古屋港の港域線に沿つて、木曾川河口左岸から対岸の知多半島古見地区に至る延長約10 Kmの大防波堤が建設され始めている。著者らは、この大防波堤の完成前後における名古屋港を原型として採用し、すでに潮流に関する予備実験を行なつて、二、三の興味ある結果を得た。²⁾ また、外海にいろいろな長周期の正弦的な水位変動を与えた場合の港内の水位変動に関する実験も行ない、その特性について、いくつかの事柄を明らかにした。³⁾

水理模型実験を行なうに際しては、原型と模型との間に力学的相似性が保持されているかどうかをよく確かめることが最も重要な問題である。広い海域と狭い防波堤開口部とで構成された一つの振動系とみなされる名古屋港のような場合、それぞれの場所において、同時に満足するような相似則を見

図 - 1 模型一般図

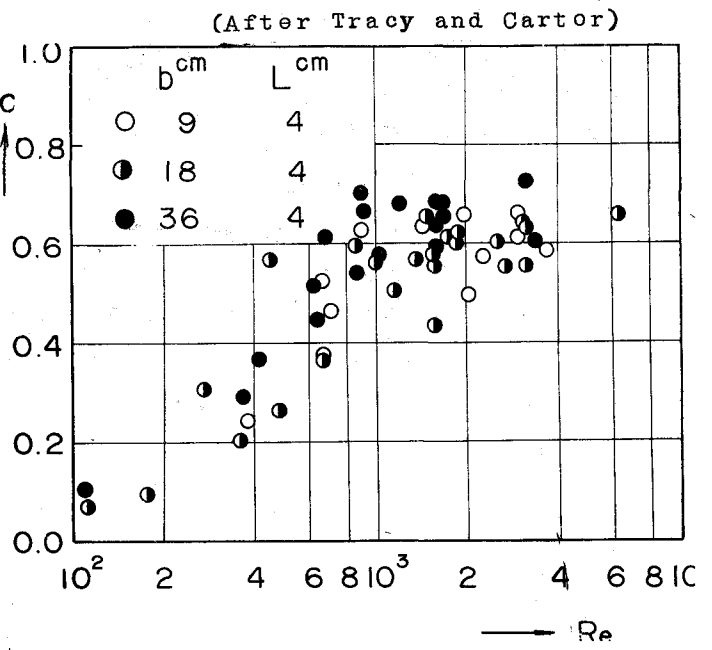


出すことは困難である。広い海域に対しては、昨年の海岸工学講演会講演集²⁾で述べたような相似則が適用できることを検証実験の結果から明らかにした。しかしながら、防波堤開口部においても、広い海域のものと同じ相似則が適用できるかどうかは十分吟味しなければならない。水理模型実験から定量的に正確な資料を得るためには、この点に関して詳細な検討を加える必要があるが、このような場合の原型の資料は皆無であるから、実験結果と原型の資料とを比較検証を行なつて、相似性を確かめることはできない。したがつて、

図-2 開口部における水面形

各種の縮尺の模型防波堤の開口部の流量係数をいろいろの巾につき求めて、原型における防波堤開口部の流量係数の値を推察することにし、その値に応じた模型防波堤を用いて長周期の水位変動に関する水理模型実験を行えばよいであろう。

ここでは、以上の観点から、潮流に関する実験に用いた名古屋港の模型を使用して、いろいろな港口巾をもつた模型防波堤の開口部の流量係数について調べた結果を報告する。



2. 実験施設

実験は宇治川水理実験所の屋内にある、長さ約11m、巾約5mの小潮の実験水槽に設けられた模型を使用して行なつた。この模型は図-1に示すようなもので、その諸元は表-1に示す。これは現状の名古屋港に防波堤だけが完成した場合のものであつて、埋立地は含まれておらず、また港内の海底地形も現状のままで、防波堤および埋立地の完成後に計画されているようにはなっていない。海底地形は防水モルタルコテ仕上げである。

防波堤開口部は底長 $L=4\text{cm}$ の鉄板製の直立壁矩形断面のものを使用し、防波堤断面形は計画通りには再現されていない。また、その開口部は必要に応じていろいろな巾に変化させた。

図-3 R_e と C との関係

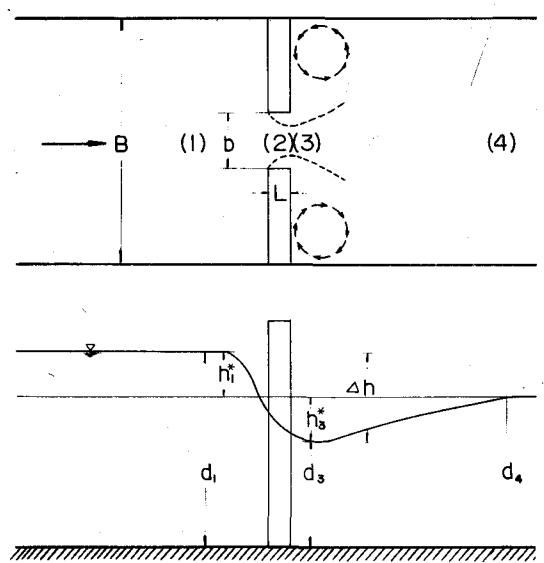


表-1 模型諸元

水平縮尺 $x_p/x_m = x_r = 2000$
鉛直縮尺 $h_p/h_m = h_r = 667$
時間縮尺 $t_p/t_m = t_r = 77.5$
流速縮尺 $U_p/U_m = U_r = 25.8$
流量縮尺 $Q_p/Q_m = Q_r = 3.42 \times 10^7$
歪 $x_r/h_r = 3$

	模型	原型
開口部巾	9 cm	18.0 m
b	18	360
	36	720
水深	1.56 cm	9+1.4 m
	2.01	12+1.4
	2.61	16+1.4
周期	1.55 min	2h _r
	3.10	14
	9.61	12h _r 25min

図-1に示すように、ポンプで水を循環させて、外海から給水管、計量ぜきを通して港内に給水し、この模型に定常流を与えた。この実験の場合には、流量は計量ぜきで測定し、水位は内外の①および②の2点において、ポイントゲージで測定した。

また、この水槽には付属の5×0.3×0.3mのプランジャー式起潮機があり、水位変動はこれによつて与えられるようになっている。

3. 実験結果とその考察

図-1に示すような水槽において、ポンプで水を循環させ、この模型に定常流を与えて、矩形断面をもつた防波堤開口部の流量係数を、いろいろな巾のもとについて調べた。いま、直立壁矩形断面の

表-2(1) 矩形断面防波堤開口部の流量係数

(b=9cmの場合)

d ₄ (cm)	u (cm/s)	△h (cm)	c	F _r	R _e
1.77	7.93	0.08	0.633	0.602	1401
1.98	3.54	0.03	0.463	0.254	700
1.89	10.47	0.13	0.655	0.769	1978
2.27	3.92	0.02	0.628	0.263	890
2.16	13.71	0.22	0.660	0.943	2957
2.88	2.32	0.01	0.523	0.138	667
2.85	6.09	0.05	0.615	0.365	1735
3.49	1.08	0.01	0.245	0.059	378
3.46	5.85	0.07	0.499	0.318	2023
3.43	8.54	0.10	0.610	0.466	2925
4.00	1.67	0.01	0.377	0.084	667
3.97	5.71	0.05	0.576	0.290	2268
3.90	9.35	0.13	0.585	0.478	3647
3.78	17.35	0.36	0.653	0.910	6561

表-2(2) 矩形断面防波堤開口部の流量係数

(b=18cmの場合)

d ₄ (cm)	u (cm/s)	△h (cm)	C	F _r	R _e
1.83	2.49	0.01	0.561	0.185	455
1.80	5.56	0.05	0.560	0.418	1000
1.77	7.55	0.09	0.568	0.573	1334
1.99	1.37	0.01	0.309	0.098	272
1.95	5.91	0.07	0.504	0.428	1150
1.90	9.94	0.13	0.622	0.728	1889
2.28	1.56	0.03	0.204	0.104	355
2.25	6.51	0.05	0.656	0.439	1490
2.27	3.74	0.02	0.599	0.251	850
2.22	7.00	0.08	0.559	0.474	1555
2.13	14.18	0.25	0.641	0.982	3017
2.89	2.29	0.02	0.367	0.136	661
2.85	6.58	0.06	0.607	0.394	1873
2.81	8.93	0.11	0.608	0.538	2511

開口部の底長 L は 4 cm とし、防波堤開口部が名古屋港の航路の部分に当るようにして、その開口部の巾 b を 9、18、および 36 cm の 3 種類に変え実験を行なった。この場合の防波堤開口部の流速 u としては、定常流の流量 Q をその港口断面積 A で割った値を採用することにした。

水路床がほとんど水平な場合の開水路において、流水に直角に橋台や防波堤のような突出構造物を設けた場合に、その狭くをつた開口部における水面形は図-2 のようになっている。Tracy および Carter の実験⁴⁾によれば、水路の巾 B に対して開口部の巾 b が小さい場合、すなわち、 b/B が 1 に比べて非常に小さい場合、背水比 $h_1/\Delta h$ がほとんど 1 に近いことが示されている。また、 Δh を直接測定することは、流水の最も縮流される断面³⁾の位置が固定しないなどの理由により困難である。したがって、われわれの実験では、Tracy および Carter によるところの、防波堤開口部の巾が広い海域の巾に比べて非常に小さい場合に相当するので、図-1 の④および⑤の 2 点における水位を測定し、その差 $h_1 = d_1 - d_4$ を求めて、これを防波堤の背水効果による水位差 Δh と考えることにした。

防波堤開口部に定常流を流した場合の流量係数 C は

$$C = \frac{Q}{A \sqrt{2g\Delta h}}$$

で表わされる。ここで、 Q は流量、 A は開口部における流水の断面積 ($d_4 \times b$) および Δh は開口部の影響を受けない位置の水位差である。

表-2(2) 矩形断面防波堤開口部の流量係数

($b = 18 \text{ cm}$ の場合) — 続き —

d_4 (cm)	u (cm/s)	Δh (cm)	C	F_r	R_e
2.87	1.67	0.02	0.267	0.099	478
2.85	6.09	0.05	0.615	0.365	1734
2.78	11.18	0.16	0.631	0.678	3107
3.51	0.32	0.01	0.071	0.017	111
3.48	4.43	0.03	0.578	0.240	1539
3.42	7.78	0.10	0.556	0.425	2661
4.03	0.44	0.01	0.099	0.022	177
3.98	3.86	0.04	0.436	0.195	1539
3.98	7.81	0.10	0.558	0.395	3106
3.80	16.37	0.32	0.665	0.848	6222

表-2(3) 矩形断面防波堤開口部流量係数

($b = 36 \text{ cm}$ の場合)

d_4 (cm)	u (cm/s)	Δh (cm)	C	F_r	R_e
1.43	4.69	0.03	0.612	0.396	672
1.42	6.24	0.04	0.704	0.529	883
1.37	11.36	0.14	0.686	0.980	1556
1.56	3.96	0.03	0.518	0.321	616
1.54	5.92	0.04	0.669	0.482	911
1.49	10.49	0.14	0.633	0.869	1558
1.81	2.30	0.02	0.369	0.173	417
1.79	4.79	0.04	0.541	0.362	859
1.74	9.62	0.11	0.654	0.737	1669
2.32	0.47	0.01	0.106	0.031	108
2.29	2.79	0.02	0.447	0.186	639
2.27	5.16	0.03	0.682	0.346	1172
2.25	6.93	0.07	0.591	0.467	1558
2.17	14.36	0.20	0.726	0.986	3111
2.81	1.29	0.01	0.290	0.077	361
2.78	3.61	0.02	0.579	0.219	1005
2.76	6.03	0.04	0.681	0.366	1664
2.67	12.59	0.22	0.606	0.779	3362

直立壁矩形断面をもつた防波堤開口部の巾 $b=9\text{ cm}$ 、 $b=18\text{ cm}$ 、および $b=36\text{ cm}$ の場合の流量係数 C の値はそれぞれ表-2 に示すようである。ここに、フルード数は $Fr=u/\sqrt{gd}$ 、レイノルズ数は $Re=ud/\nu$ を採用した。

いま、横軸にレイノルズ数 Re をとつて流量係数 C の値を図示すると、図-3 のようである。この図から明らかなことは、流量係数 C は開口部の巾 b による差異は著しくなく、レイノルズ数 Re が 10^3 よりも小さい場合、すなわち、流れが層流である範囲では C の値はかなり変化しているが、 Re が 10^3 よりも大きい場合、すなわち、流れが乱流である範囲では、少し点がばらついて

いるけれども、 $C=0.6\sim0.7$ ぐらいに落ち着くようである。

つぎに、横軸にフルード数 Fr をとつて流量係数 C の値を図示すると、図-4 のようである。この図から明らかなことは、図-3 から当然予想されることではあるが、レイノルズ数 Re の値が 10^3 を限界として、流れが層流である範囲と乱流である範囲との二つの場合にわけて考えなければならないことである。すなわち、流量係数 C の値はそれぞれの範囲で異なった関係で表わされるように思われる。Kindsvater および Carter の実験⁵⁾によれば、開口部の巾の比 b/B の値に関係なしに、フルード数 $Fr=0.1\sim0.8$ の範囲では、流量係数 C の値は $Fr=0.5$ のときの値を中心として $\pm 10\%$ 程度変化することが示されている。これは流れが完全乱流である場合についての実験であろう。図-4 から明らかなように、流れが乱流である場合には、フルード数 Fr の増加につれて、流量係数 C の値が $0.6\sim0.7$ の間を変化する関係で表わされる。また、流れが層流である場合には、流量係数 C はフルード数 Fr の増加とともに急に増大することがわかる。

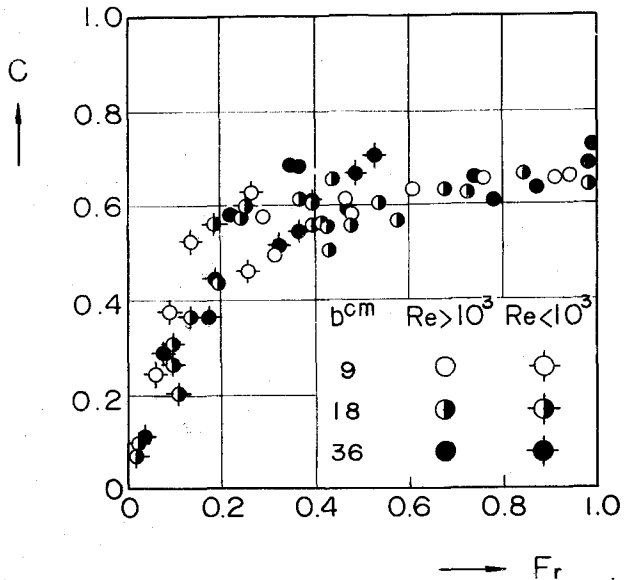
4. むすび

水平縮尺 $1/2000$ 、鉛直縮尺 $1/667$ の名古屋港の模型を用い、直立壁矩形断面の防波堤開口部の流量係数について、3種類の開口部の巾につき実験を行なつた結果、流量係数は開口部の巾による差異はあまり認められず、流れが層流域であるかあるいは乱流域であるかによつて、開口部における水理現象は非常に異なつた様相をみせることが明らかになつた。

今後は、さらに大きなスケールの模型と複雑な断面形をもつた模型防波堤の場合についても実験を行ない、資料を加えて詳細な検討をして行きたいと思つている。

最後に、この研究を遂行するにあつて、終始適切な御指導を賜つた岩垣雄一教授、ならびに実験に協力して頂いた北川吉男、平賀太郎の両氏に深甚なる謝意を表する次第である。

図-4. Fr と C との関係



参 考 文 献

- 1) 岩垣雄一：海岸および港湾の模型実験について、海岸工学の最近の進歩、土木学会関西支部、昭和36年3月、pp・21~42
- 2) 樋口明生・吉田幸三：名古屋港の潮流に関する模型実験(1)、第8回海岸工学講演会講演集、昭和36年9月、pp・114~118
- 3) 樋口明生・吉田幸三：名古屋港の水位変動の特性について、第9回海岸工学講演会講演集、昭和37年10月、
- 4) Tracy, H. J. and Carter, R. W.: Backwater Effects of Open-channel Constructions, A. S. C. E. Transactions, Vol. 120, 1955, pp. 993~1006
- 5) Kindsvater, C. E. and Carter, R. W.: Tranquil Flow through Open-channel Constructions, A. S. C. E. Transactions, Vol. 120, 1955, pp. 955~980