

水門からの海水侵入に関する基礎的研究

室 田 明*・神 田 徹**

1. は し が き

水資源開発の抜本的な解決策の一つとして近來、河口湖あるいは臨海ダムと称して河口部を築堤圍繞し、既存水利権にまったくわずわされず河水を有効に捕捉貯留する工法が脚光をあびつつある。こうして貯留された水は上水としては用いられないけれども工業用水としては送水距離がきわめて短縮できる利点とあいまって大いに有望、適切な開発方式である。しかしいうまでもなく水質の問題にかぎっても若干の解決さるべき水理学的問題が現われてくるはずである。その一つに塩分による貯水の汚染がある。河口部に位置するこういった貯水池で塩分侵入はある程度避けたい宿命であるけれども幸い冷却、洗浄用としての工業用水の塩分許容量は 500 ppm の程度であるからの確な工法を採るかぎりこの許容値以下におさえることは工学上さして困難ではない。

貯水池への塩分侵入あるいは汚染の形式としてはつぎのようなものが考えられよう。

- 貯水池を囲む堤体からの海水浸透によるもの
- 堤体基礎からの浸透によるもの
- 堤の越波によるもの
- 水門開放時に侵入するもの
- 池底に残存していた塩分の拡散によるもの

ここでは d) の形式について考える。池内に流入する河川の洪水時にはもちろん、舟航のためにも水門を所要時間開放する必要がある。水門数高あるいは池の内外水位差などの条件によっては外海海水が水門を経由して池内に侵入する。この問題は必ずしも河口湖にかぎらず感潮部河川での水門操作でも必然的に現われる現象であり、その理論的、実験的研究は数多く発表されている。とくに水門開放時間が長く塩水侵入が定常状態に達した場合については、Schijf, Schönfeld, Farmer, Morgan, Aron, Stommel, 伊藤, 浜田, 室田など数多くの研究がある。しかし水門開放の直後、あるいは開放時間が短い場合、すなわち非定常侵入として扱われるべき領域については、いまだ研究されるべき多くの問題を残している。とくにこういった場合の侵入に対する barrier の効果についてはほとんど解決されていない。

本文はこのような水門を経由する塩水侵入形式のうちとくに非定常問題に着目して基礎的実験を行ない、さらに gate sill のように低い水底凸出部分の侵入阻止効果について検討したところを報告する。

2. 既往の研究とわれわれの実験

水門を通過した塩水くさびの横方向拡散を考えない、いわゆる二次元的取り扱いに関し、そのもっとも単純な場合は、つぎのような model であろう。すなわち、水路幅一定の水平床矩形断面水路のある断面に隔板をそう入し、その両側に密度の異なる二種の流体を入れて隔板を引き抜く。密度の大きい流体は小さい流体の下をくさび状をなして進行していわゆる underflow を形成し、逆に密度の小さい流体は大きい流体の上をすべって overflow とよばれる。こういった密度流を densimetric exchange flow という。とくに underflow, または overflow の先端の伝播速度については、O'Brien¹ (1934), Yih (1957), Keulegan (1957), Baar (1959), Harleman (1961) などの多くの研究がある。

最近の研究は共通してダムが決壊した場合の水面変動の類推 (dam-burst analogy) に立って、つぎのようにおく。

$$c = K \sqrt{g'H} \dots\dots\dots (1)$$

ただし、 c : under (or over-) flow 先端の伝播速度

$$g' = g(\rho_2 - \rho_1)/\rho_2$$

ρ_2, ρ_1 : 下層および上層流体の密度

H : 全水深

K : 実験により定めらるべき抵抗係数

水門開放直後の c を c_i と書いて、その場合の under-flow につき

Keulegan¹⁾ は $K=0.57$ を

Harleman²⁾ は $K=0.45$ を得ている。

なお overflow の c_i は underflow のそれにくらべ 12% 程度大きいという (Keulegan)。

さらに under-, over-flow の c はともに時間の経過とともに減少し、その一例を示せば 図-1 のようである。

dam-burst で dry bed 上ではもちろん

$$c \equiv c_i = 2\sqrt{g'H} \dots\dots\dots (2)$$

で下流側波先が bed に接するような放物線となり、

* 正会員 工博 大阪大学教授 工学部

** 正会員 大阪大学助手 工学部

図-1 Wedge head の進行距離-時間曲線 (Keulegan)

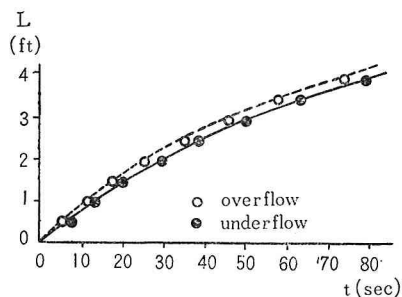
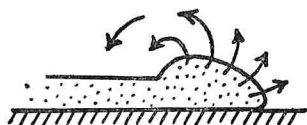


図-2



決壊後の dam 位置の水深は常に $(4/9)H$ で不変である。

この類推が効かないのは、とくに underflow ではすでに古く Prandtl が指摘したように 図-2 のように波先が拡散 head を形成し、dam-burst の forerunner のそれよりはるかに大きな抵抗をうけるためである。

こういった抵抗効果がすべて式 (1) の K に含まれるのであるが、 K を支配する parameter として Baar³⁾ は densimetric Froude-Reynolds number : $F \cdot R$ を採用し、これをつぎのようにおく。

$$F \cdot R = \sqrt{g'H^3}/\nu \dots\dots\dots (3)$$

ただし、 ν : 動粘性係数。

Keulegan は同じく densimetric Reynolds number を採っているが代表的流速として $\sqrt{g'H}$ を用いると式 (3) にまったく一致する。

ところでこういった parameter を用いて K についての data を整理してもなかなか系統的な傾向がみられず、実験値はかなり広く散乱する。前述したように、underflow の先端 head の形状がかなり微妙に外的条件に支配されてその抵抗が敏感に変動し、そのため K 値のちらばりが大きいものと思われる。この問題に関し、既述のように二、三の実験の報告はあるけれども、上の意味でなお実験資料の集積が必要であると認められるので、あえてここに同じ問題について追試を行なったものである。

つぎに、水路床に設けた barrier の効果については開水路不等流の類推から barrier 上での densimetric な支配断面の形成と、internal jump が基本的な問題となる。この際、underflow のみならず barrier の上で overflow による逆向き流れも発生しているので内部ジャンプの機構もやや複雑となろう。こういった基礎的問題とともに、barrier の塩水侵入阻止効果についてももちろん実験的検討を行なう。

3. 実験装置および実験方法

実験水路は、長さ 6 m、幅 0.2 m、高さ 0.2 m の透明塩化ビニール製水路を用い、水路中央に隔板を設ける。塩水側を blue black ink で着色する。

ゲートを引上げると同時に 2 台の 8 ミリカメラで under-flow および over-flow を追跡し、8 ミリのコマ数から wedge head の速度を算出した (もちろんカメラのコマ送り速度の検定も行なった)。

侵入抑制の barrier としては水門扉、戸当たりの sill を想定して、上辺 4 cm、下辺 6 cm、高さ 2 cm の台形 sill を設けた。

実験範囲は、全水深 : $4 \leq H \leq 14$ cm、密度差 : $0.010 \leq \Delta\rho/\rho \leq 0.040$ である。

4. 実験結果

(1) Wedge head 付近の流況

gate の引き抜きによって淡水中に侵入する wedge の初期形状は先端の尖ったほぼ流線形であるが、とくに wedge 厚さが薄い場合は進行につれてしだいにその先端がふくらみを持ちはじめ、wedge は明確な wedge head を形成しつつ進行する (写真-1, 2)。

wedge head は前面の淡水を前方と背面へはね上げると同時に head の界面付近の塩水自体も淡水の中へまき上げられ、head 背面へ落下する。head におけるこの混合にともなって head より後部の界面には、波高 1~2

写真-1

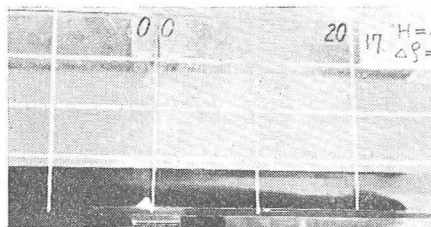


写真-2

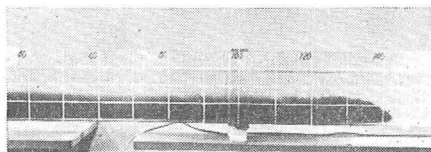


写真-3

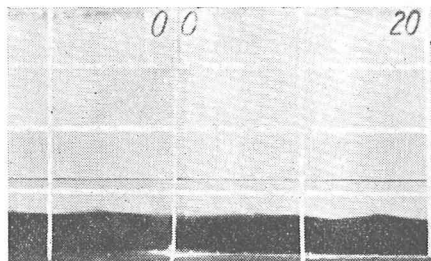


表-1 Under-flow, sill のない場合

実験番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
H	14 cm	14 cm	14 cm	12 cm	12 cm	12 cm	10 cm	10 cm	10 cm	8 cm	8 cm	8 cm	6 cm	6 cm	6 cm	4 cm	4 cm	4 cm
$\rho_1: 0.9987$ $\rho_2: 1.0389$	$\rho_1: 0.9987$ $\rho_2: 1.0245$	$\rho_1: 0.9987$ $\rho_2: 1.0245$	$\rho_1: 0.9987$ $\rho_2: 1.0105$	$\rho_1: 0.9987$ $\rho_2: 1.0396$	$\rho_1: 0.9987$ $\rho_2: 1.0241$	$\rho_1: 0.9987$ $\rho_2: 1.0101$	$\rho_1: 0.9987$ $\rho_2: 1.0396$	$\rho_1: 0.9987$ $\rho_2: 1.0249$	$\rho_1: 0.9987$ $\rho_2: 1.0105$	$\rho_1: 0.9987$ $\rho_2: 1.0396$	$\rho_1: 0.9987$ $\rho_2: 1.0241$	$\rho_1: 0.9987$ $\rho_2: 1.0105$	$\rho_1: 0.9987$ $\rho_2: 1.0396$	$\rho_1: 0.9987$ $\rho_2: 1.0244$	$\rho_1: 0.9987$ $\rho_2: 1.0101$	$\rho_1: 0.9987$ $\rho_2: 1.0396$	$\rho_1: 0.9987$ $\rho_2: 1.0241$	$\rho_1: 0.9987$ $\rho_2: 1.0105$
L (cm)	$\frac{c}{\text{cm/sec}}$	K	$\frac{c}{\text{cm/sec}}$	K	$\frac{c}{\text{cm/sec}}$	K	$\frac{c}{\text{cm/sec}}$	K	$\frac{c}{\text{cm/sec}}$	K	$\frac{c}{\text{cm/sec}}$	K	$\frac{c}{\text{cm/sec}}$	K	$\frac{c}{\text{cm/sec}}$	K	$\frac{c}{\text{cm/sec}}$	K
10	8.4	0.36	7.3	0.43	6.3	0.49	9.4	0.43	6.3	0.36	5.6	0.49	10.5	0.53	7.3	0.46	4.3	0.40
30	8.0	0.35	7.3	0.43	5.6	0.44	13.0	0.60	7.3	0.43	5.3	0.46	10.5	0.53	7.3	0.46	5.6	0.40
50	8.9	0.38	7.3	0.43	5.1	0.40	10.5	0.48	7.7	0.45	5.4	0.47	11.2	0.57	7.0	0.44	5.6	0.42
70	7.3	0.31	7.3	0.43	5.3	0.42	8.9	0.41	8.0	0.47	5.6	0.49	8.9	0.45	7.7	0.48	4.4	0.41
90	7.3	0.31	7.0	0.41	5.8	0.46	8.9	0.41	8.0	0.47	5.6	0.49	9.4	0.48	7.3	0.46	5.6	0.42
110	8.9	0.38	8.0	0.47	5.3	0.42	11.2	0.52	7.3	0.43	5.6	0.49	9.4	0.48	7.7	0.48	5.6	0.42
130	8.0	0.34	8.0	0.47	5.6	0.44	10.5	0.48	8.4	0.49	6.0	0.52	10.5	0.53	7.3	0.46	4.8	0.45
150	9.5	0.41	7.3	0.43	5.1	0.40	12.0	0.55	8.0	0.47	5.2	0.45	9.4	0.47	7.7	0.48	5.2	0.49
170	8.4	0.36	7.0	0.41	5.1	0.40	10.6	0.49	8.4	0.49	5.6	0.48	9.4	0.50	5.2	0.49	5.4	0.53
190	7.6	0.33	8.0	0.47	5.4	0.43	10.0	0.46	8.0	0.47	5.4	0.47	10.0	0.50	8.4	0.53	4.7	0.44
210	7.6	0.33	7.2	0.42	5.6	0.44	10.0	0.46	7.2	0.42	5.7	0.50	9.4	0.48	7.6	0.48	4.7	0.44
230	7.6	0.33	6.9	0.40	4.7	0.37	10.6	0.49	7.6	0.44	5.4	0.47	10.0	0.50	6.6	0.41	4.9	0.46
250	7.6	0.33	7.6	0.44	5.2	0.41	10.6	0.49	7.6	0.44	5.4	0.47	10.5	0.53	7.2	0.45	5.1	0.47
270	8.4	0.36	7.2	0.42	5.2	0.41	10.0	0.46	7.6	0.44	5.2	0.45	10.0	0.50	6.9	0.43	5.1	0.47

表-2 Under-flow, sill のある場合

実験番号	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
H	14 cm	14 cm	14 cm	12 cm	12 cm	12 cm	10 cm	10 cm	10 cm	8 cm	8 cm	8 cm	6 cm	6 cm	6 cm	4 cm	4 cm	4 cm
$\rho_1: 0.9987$ $\rho_2: 1.0389$	$\rho_1: 0.9987$ $\rho_2: 1.0245$	$\rho_1: 0.9987$ $\rho_2: 1.0245$	$\rho_1: 0.9987$ $\rho_2: 1.0105$	$\rho_1: 0.9987$ $\rho_2: 1.0396$	$\rho_1: 0.9987$ $\rho_2: 1.0249$	$\rho_1: 0.9987$ $\rho_2: 1.0105$	$\rho_1: 0.9987$ $\rho_2: 1.0396$	$\rho_1: 0.9987$ $\rho_2: 1.0241$	$\rho_1: 0.9987$ $\rho_2: 1.0105$	$\rho_1: 0.9987$ $\rho_2: 1.0396$	$\rho_1: 0.9987$ $\rho_2: 1.0241$	$\rho_1: 0.9987$ $\rho_2: 1.0105$	$\rho_1: 0.9987$ $\rho_2: 1.0396$	$\rho_1: 0.9987$ $\rho_2: 1.0244$	$\rho_1: 0.9987$ $\rho_2: 1.0105$	$\rho_1: 0.9987$ $\rho_2: 1.0396$	$\rho_1: 0.9987$ $\rho_2: 1.0241$	$\rho_1: 0.9987$ $\rho_2: 1.0105$
L (cm)	$\frac{c}{\text{cm/sec}}$	K	$\frac{c}{\text{cm/sec}}$	K	$\frac{c}{\text{cm/sec}}$	K	$\frac{c}{\text{cm/sec}}$	K	$\frac{c}{\text{cm/sec}}$	K	$\frac{c}{\text{cm/sec}}$	K	$\frac{c}{\text{cm/sec}}$	K	$\frac{c}{\text{cm/sec}}$	K	$\frac{c}{\text{cm/sec}}$	K
10	12.2	0.53	9.2	0.49	6.7	0.53	9.6	0.44	7.5	0.43	5.0	0.44	8.1	0.41	7.3	0.47	3.7	0.35
30	11.8	0.51	8.7	0.46	7.2	0.47	10.6	0.49	8.7	0.50	5.4	0.47	8.3	0.42	6.3	0.46	3.8	0.35
50	12.5	0.54	8.4	0.45	5.9	0.46	10.6	0.49	7.7	0.44	5.3	0.47	8.6	0.43	5.6	0.43	3.6	0.33
70	11.1	0.48	8.0	0.43	6.3	0.49	8.7	0.40	7.7	0.45	5.2	0.45	7.4	0.38	5.9	0.38	3.3	0.31
90	11.1	0.48	9.6	0.51	6.0	0.48	8.7	0.40	7.7	0.45	5.2	0.45	7.4	0.38	6.3	0.40	3.7	0.35
110	11.8	0.51	8.4	0.45	5.8	0.46	10.1	0.47	7.4	0.43	5.1	0.45	8.0	0.41	6.3	0.45	3.6	0.33
130	12.5	0.54	8.4	0.45	6.3	0.49	10.6	0.49	8.0	0.46	5.1	0.45	8.7	0.44	5.6	0.43	3.7	0.35
150	11.8	0.51	8.0	0.43	6.0	0.48	9.6	0.44	7.5	0.43	5.2	0.46	8.0	0.41	5.9	0.38	3.4	0.32
170	12.5	0.54	8.7	0.46	5.8	0.46	10.0	0.46	7.7	0.44	5.2	0.45	8.4	0.43	5.9	0.38	3.6	0.35
190	11.8	0.51	9.1	0.48	6.3	0.50	9.2	0.42	7.4	0.43	4.8	0.42	7.2	0.37	5.7	0.37	3.7	0.35
210	10.6	0.46			5.6	0.44	9.2	0.42	7.1	0.41	4.9	0.43	7.4	0.38	6.1	0.39	3.6	0.34
230									4.0	0.37	6.3	0.36						
250									3.9	0.36								
270									3.5	0.33								

表-3 Over-flow, sill のない場合

実験番号	37	38	39	40	41	42	43	44	45
H	14 cm	14 cm	14 cm	10 cm	10 cm	10 cm	6 cm	6 cm	6 cm
	$\rho_1: 0.9987$ $\rho_2: 1.0389$	$\rho_1: 0.9987$ $\rho_2: 1.0248$	$\rho_1: 0.9987$ $\rho_2: 1.0105$	$\rho_1: 0.9987$ $\rho_2: 1.0396$	$\rho_1: 0.9987$ $\rho_2: 1.0249$	$\rho_1: 0.9987$ $\rho_2: 1.0105$	$\rho_1: 0.9987$ $\rho_2: 1.0389$	$\rho_1: 0.9987$ $\rho_2: 1.0244$	$\rho_1: 0.9987$ $\rho_2: 1.0101$
L (cm)	$\frac{c}{(\text{cm/sec})}$ K	$\frac{c}{(\text{cm/sec})}$ K	$\frac{c}{(\text{cm/sec})}$ K	$\frac{c}{(\text{cm/sec})}$ K	$\frac{c}{(\text{cm/sec})}$ K	$\frac{c}{(\text{cm/sec})}$ K	$\frac{c}{(\text{cm/sec})}$ K	$\frac{c}{(\text{cm/sec})}$ K	$\frac{c}{(\text{cm/sec})}$ K
10	8.4 0.36	8.0 0.43	4.8 0.38	8.9 0.45	6.9 0.44	5.3 0.50	6.7 0.44	4.2 0.35	3.5 0.42
30	9.4 .40	8.9 .47	5.3 .42	8.9 .45	7.3 .46	5.9 .55	6.2 .40	4.7 .38	3.6 .44
50	10.6 .46	8.9 .47	6.2 .48	9.4 .47	7.3 .46	4.3 .40	6.4 .42	5.9 .48	3.7 .45
70	12.3 .53	8.9 .47	5.5 .43	10.0 .50	8.0 .50	5.2 .48	7.6 .50	5.9 .48	4.4 .54
90	11.5 .49	8.9 .47	6.2 .48	10.6 .54	8.4 .53	5.5 .51	7.3 .48	5.9 .48	3.7 .45
110	11.4 .49	8.9 .47	6.4 .50	10.0 .50	8.0 .50	5.9 .55	7.3 .48	5.2 .42	4.6 .56
130	10.6 .46	8.9 .47	6.4 .50	9.4 .47	8.9 .56	5.7 .53	6.7 .44	4.7 .38	4.6 .56
150	10.6 .46	10.0 .53	6.4 .50	10.0 .50	8.4 .53	6.4 .60	6.7 .44	6.2 .50	4.0 .49
170	11.4 .49	10.0 .53	6.4 .50	10.6 .54	7.6 .48	5.7 .53	6.4 .42	5.7 .47	
190	11.4 .49	9.4 .50	6.7 .52	10.6 .54		5.9 .55	6.9 .46		
210	10.6 .46	8.9 .47	6.4 .50			5.7 .53			

表-4 Over-flow, sill のある場合

実験番号	46	47	48	49	50	51	52	53	54
H	14 cm	14 cm	14 cm	10 cm	10 cm	10 cm	6 cm	6 cm	6 cm
	$\rho_1: 0.9987$ $\rho_2: 1.0389$	$\rho_1: 0.9987$ $\rho_2: 1.0248$	$\rho_1: 0.9987$ $\rho_2: 1.0105$	$\rho_1: 0.9987$ $\rho_2: 1.0396$	$\rho_1: 0.9987$ $\rho_2: 1.0241$	$\rho_1: 0.9987$ $\rho_2: 1.0105$	$\rho_1: 0.9987$ $\rho_2: 1.0396$	$\rho_1: 0.9987$ $\rho_2: 1.0245$	$\rho_1: 0.9987$ $\rho_2: 1.0105$
L (cm)	$\frac{c}{(\text{cm/sec})}$ K	$\frac{c}{(\text{cm/sec})}$ K	$\frac{c}{(\text{cm/sec})}$ K	$\frac{c}{(\text{cm/sec})}$ K	$\frac{c}{(\text{cm/sec})}$ K	$\frac{c}{(\text{cm/sec})}$ K	$\frac{c}{(\text{cm/sec})}$ K	$\frac{c}{(\text{cm/sec})}$ K	$\frac{c}{(\text{cm/sec})}$ K
10	8.4 0.36	6.9 0.37	4.8 0.38	8.0 0.40	5.2 0.33	3.9 0.36	5.5 0.36	4.4 0.36	3.4 0.41
30	10.0 .43	8.9 .47	6.7 .53	8.4 .42	7.3 .46	4.7 .44	6.9 .45	4.3 .35	3.8 .46
50	11.4 .49	9.4 .50	6.4 .50	8.9 .45	7.6 .48	5.2 .48	6.7 .43	3.8 .31	3.9 .47
70	12.3 .53	10.0 .53	5.9 .47	9.4 .47	8.0 .51	4.8 .45	6.7 .43	4.0 .33	4.0 .48
90	12.3 .53	9.4 .50	6.7 .53	9.4 .47	8.0 .51	11.2 .48	6.7 .43	4.0 .33	4.1 .49
110	13.3 .57	10.0 .53	6.9 .55	8.9 .45	6.9 .44	11.2 .48	6.4 .42	4.3 .35	4.0 .48
130	12.3 .53	9.4 .50	6.9 .55	9.4 .47	7.3 .46	6.2 .58	6.7 .43	5.3 .43	4.2 .51
150	13.3 .57	11.4 .61	7.3 .57	10.0 .50	8.9 .57	5.7 .53	6.9 .45	5.5 .45	3.7 .45
170	12.3 .53	9.4 .50	6.7 .53	8.4 .42	8.9 .57	5.3 .50	6.7 .43	5.0 .41	
190	12.3 .53	9.4 .50	6.9 .55	8.9 .45	8.4 .54	5.2 .48	6.4 .42	5.0 .41	
210	12.3 .53	10.0 .53	6.9 .55	8.4 .42	8.0 .51	5.3 .50	6.2 .40	5.2 .42	

cm, 波長 2~10 cm の ripple が生じ, wedge の進行方向と逆方向に位相が伝播する (写真-3)。この ripple の形成が界面における抵抗に寄与するはずでその意味で注目すべき現象である。

(2) Wedge head の伝播速度

図-3 は wedge head の進行距離—時間曲線の一例である。少なくとも図に示す測定範囲では head の伝播速度はほぼ一定である。この曲線より得られる head の伝播速度 c と $K \equiv c/\sqrt{g'H}$ を 表-1, 2, 3, 4 と 図-4, 5, 6, 7 に示す。

図-4 ($H=10$ cm) のように水深 (したがって wedge の厚さ) が大きい場合は K はほぼ一定で, 進行による伝播速度の減少は見られないが, 図-5 ($H=6$ cm) のように水深あるいは wedge 厚さが小さくなると, かなり顕著な減衰が認められる。なお K の値は H および $4\rho/\rho$ のおのおのの変化に対して, 必ずしも systematic な傾向を示さず, したがって K そのものは densimetric Reynolds 数のみの一義的な関数とはいえないようである。

前述のように K は抵抗を表わす係数であるが, ここでは head に関する抵抗の要素として head の形状抵抗

と界面および底面の摩擦抵抗とが考えられる。

いま, 前者の form resistance の支配的な要素を head 部分の高さと考え, その代表値として neck 部の厚さ δ を採用し, K と δ/H の関連を検討してみれば 図-8 のごとくである。仮に界面での skin friction が卓越する

図-3 wedge head の進行距離—時間曲線

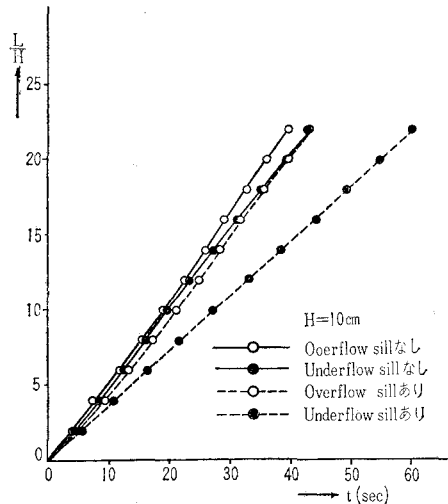
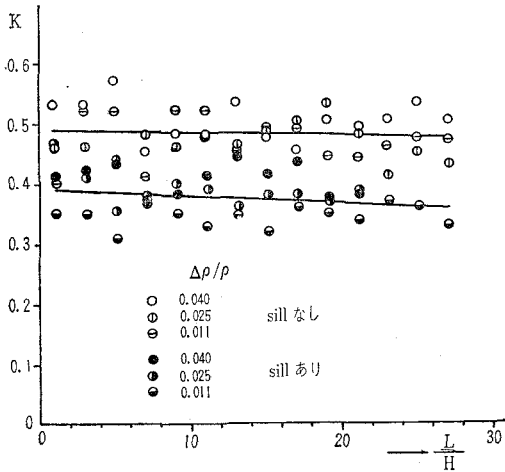
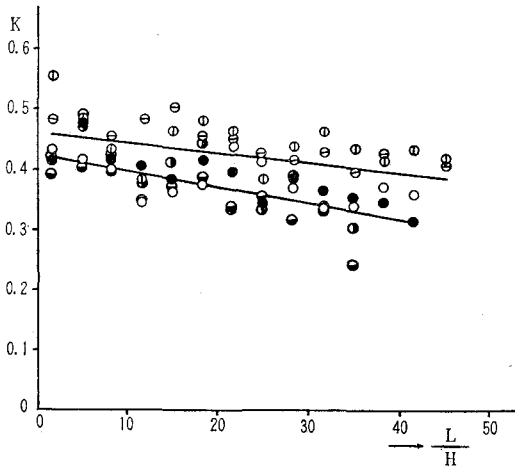
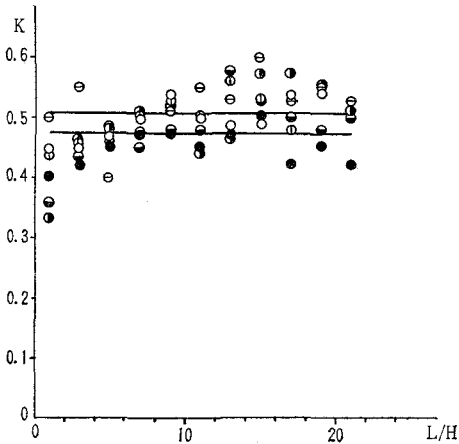
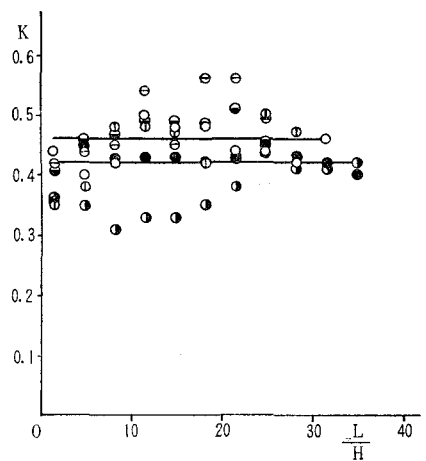
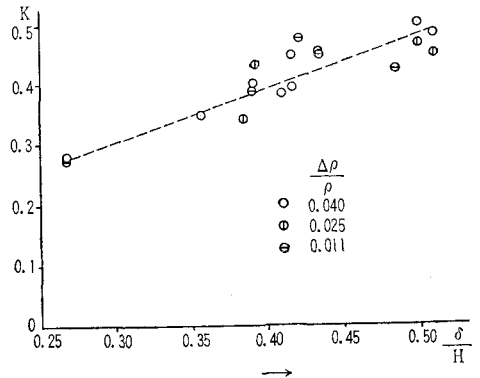


図-4 under-flow の K 値 ($H=10$ cm)図-5 under-flow の K 値 ($H=6$ cm)図-6 over-flow の K 値 ($H=10$ cm)図-7 over-flow の K 値 ($H=6$ cm)図-8 $K \sim \delta/H$ 

向を示し、塩分侵入の問題に関しては、単に densimetric Reynolds 数のみならず、wedge thickness: δ をかなり主要な factor として考えなければならぬと思う。

(3) Gate 位置の界面の高さ

gate 位置での界面の高さは時間的にほとんど不変であり、この不動点を軸心として界面勾配のみが変化していく。全水深 H と界面の高さ h_G の関係を示せば 図-9 のごとく、 $h_G \approx 0.5 H$ となる。これは前述のように dam-burst の場合の $h_d = (4/9) H$ の analogy がほぼ有効なことを示唆しており、海水侵入量の算定に当たってきわめて便利な一特性である。

全水深が小さく、sill のある場合には界面の高さは、sill のない場合にくらべ、大きくなることは当然であるが、特に sill の高さが水深の $1/2$ の場合には $h_G \approx 0.63 H$ 、sill 天端からの界面高さ $h_s \approx 0.13 H$ の程度となる。

(4) 侵入塩水量

gate 位置における塩水の流速を測定することは困難であるから、一定時間間隔をおいて撮影した写真から単位時間当りの侵入塩水量を概算する。

単位時間当りの侵入量は時間的にほぼ一定であり、これを sill のある場合とない場合につき比較すれば 図一

とすれば、 δ/H の増加とともに K の値は増加するはずで、逆に head の form resistance が大であるとすれば K は δ/H の増加とともに減少するはずである。図-8 のように δ/H の増加とともに K 値はかなり増加する傾

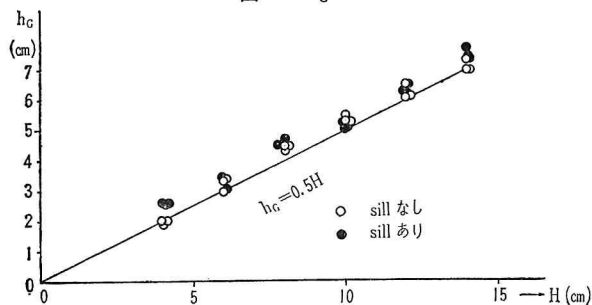
図-9 $h_G \sim H$ 

写真-4

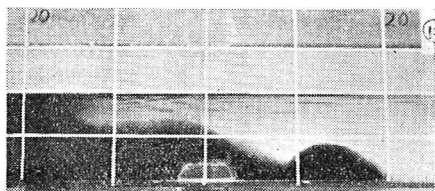
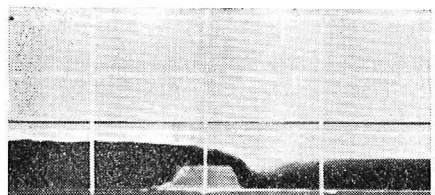


写真-5

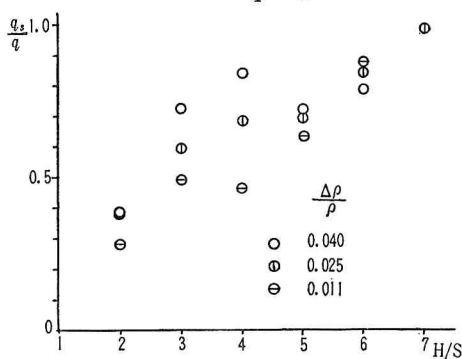
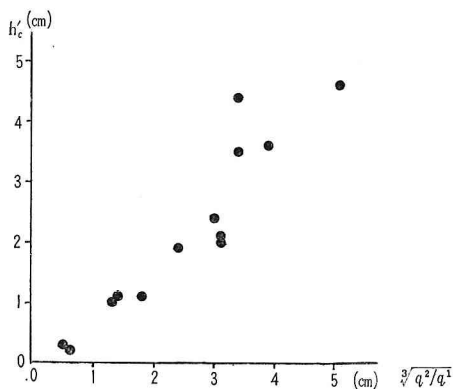


10 となる。ここに、 q, q_s はそれぞれ sill のない場合、sill のある場合の単位時間の侵入塩水量、 H は全水深、 s は sill の高さである。sill の効果は水深、密度差が減少するにしたがってともに増加することが明らかであり、 $H/s \geq 7$ では sill による侵入阻止の効果はほとんど認められない。

(5) Barrier 付近の流況

barrier のある場合には、隔板を引き上げると同時に sill を越して落下し、まもなく head が形成される。写真-4 は gate を引き抜いた直後の overflow, underflow を示すもので、wedge head の形成が見られる。

つぎに、sill を越えた塩水流は、写真-5 のように、その下流側で内部ジャンプを起こしているの、sill 上

図-10 $\frac{q_s}{q} \sim \frac{H}{s}$ 図-11 $h'_c \sim \sqrt[3]{q^2/q'}$ 

では densimetric な支配断面が形成されるはずであるが、sill 上の densimetric な限界水深として $h'_c = \sqrt[3]{q^2/q'}$ を考える。 h'_c と $\sqrt[3]{q^2/q'}$ の測定値をとすれば 図-11 となり、開水路の analogy がきくようである。

参考文献

- 1) Keulegan, G.H. : The Motion of Saline Fronts in Still Water, Natl. Bur. Standards (U.S.) Rept. 5831, April, 1958.
- 2) Harleman, D.R. : Stratified Flow, Handbook of Fluid Dynamics, 1961.
- 3) Barr, D.I.H. : Densimetric Exchange Flow in Rectangular Channels, La Houille Blanche, November, 1963.