排水閘門通水能力計算速算法

A Quick Method for Routine Computation of Sluice Discharge

明　　寬　　甚

Ⅰ. 序　論

干拓工事 計劃設計에 있어서 地區內 排水를 自然排水方法에 依存할 때 排水閘門의 排除能力을 檢討하는 過程은 무엇보다 時間과 努力을 必要로 하며 귀찮은 일이지만 이 計算에 正確을 期해야만 經濟的인 通水斷面을 決定할 수가 있을 것이다. 이런 意味에서 排除能力檢討에 簡便한 速算法을 紹介하고저 한다.

勿論 誘導된 公式을 使用하는데에는 潮遊池(또는 淡水池)內 內水位變動狀態나 閘門에 따르는 몇가지 係數의 採擇은 問題가 되지만 여기서는 몇가지를 假定하고 誘導하였으므로 多少의 矛盾點이 內包되어 있으리라고 생각된다. 그러나 斷面決定이나 湛水深 및 湛水時間 把握에 큰 支障은 招來치 않을 것이다. 또 誘導된 公式은 水理現狀이 潛流일때 $\left(Z<\frac{H}{3}\right)$ 限하여 有效하므로 앞으로 있을 淡水化 計劃地區같은 內水位變動이 比較的 적은 곳에만 有效할것이다.

Ⅱ. 基本公式

瞬間 單位排除量을 q 라고 하면 이 量은 排除時間T 동안에 時間에 따라 繼續的으로 變化하고 있다. 每干潮時마다의 總排除量은

$$Q=\int_0^T q\cdot dt$$

로 表示할 수 있는데 이것은 時間에 따라 變化하는 排除量曲線을 積分하므로써 얻어진다. 時間別排除量曲線은 30分 或은 1時間마다의 순간排除量을 求해야만 그릴 수 가 있다. 그러나 이 計算은 時間과 努力을 많이 必要로 하므로 每干潮時마다 1回의 計算으로 排除量을 求하는 簡單한 方法을 誘導하였다. 序論에서 記述한 바와 같이 本文에서는 潛流現象만을 考慮하였다.

一般的으로 單位排除量 算出은 다음公式으로 주어진다.

$$q=\mu bh\sqrt{2g(H-h)} \cdots\cdots\cdots\cdots (1)$$

여기서 q＝單位排除量(m^3/sec)

μ＝樋管收縮係數

b＝通水口의 幅(m)

h＝通水口內의 水位(m)

g＝重力加速度(m/sec^2)

H＝閘門上流部 全水頭(energey 水頭)

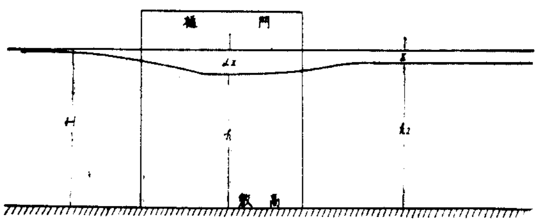


圖　A

또 上圖에서 Z는 上下流에 있어서의 水位差이고 a는 通水口斷面內 水深에 따라 變化하는 流速의 訂正을 爲한 係數(普通 a＝1.15)라하면

$$平均流速水頭=1.15\times\frac{(通水口內\ 平均流速)^2}{2g}$$

로 된다. 公式(1)에 平均流速水頭와

$$h=H-\alpha Z$$

를 代入하면

$$q=b(H-\alpha Z)\sqrt{\frac{2g\mu^2\alpha Z}{1.15}}$$

$$=b(H-\alpha Z)\sqrt{\frac{2g\beta Z}{1.15}} \cdots\cdots\cdots\cdots (2)$$

가 된다. 여기서 $\beta=\mu^2\alpha$로 놓았다.

α와 β는 實驗에 依해서 決定될것이지만 $\alpha=1.37$로 假定하고 計算하였다.

Ⅲ. 速算法의 誘導

公式(2)는 다음과 같이 쓸 수도 있다.

$$q=b\sqrt{\frac{2g\beta}{1.15}}\,(H-\alpha Z)\ \sqrt{Z}\ \cdots\cdots\cdots\cdots(3)$$

여기서

$b=\sqrt{\frac{2g\beta}{1.15}}=C$(C 는 各 排水閘門마다 相異한 常數라고 생각할 수 있음)

라고 놓으면

$$q=C(H-\alpha Z)\sqrt{Z}\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(4)$$

排除時間 T 秒동안에 總排除量은

$$Q=\int_0^T g\,dt=C\int_0^T(H-\alpha Z)\sqrt{Z}\,dt\ \cdots(5)$$

式中 $\int(H-\alpha Z)(\sqrt{Z}dt)$는 $(H-\alpha Z)$와 t 와의 關係曲線 (圖 1)上에 各 圖心點을 가진 線分dt와 높이 $\sqrt{Z}$ 와의 積으로 表示되는 여러微小區間의 敷高(Sill)에 關한 moment 의 和를 나타내며 또한 面積 (S)과 敷高上 微小區間으로 構成된 圖의 重心까지의 높이(距離) (A)와의 積과 같다. $Z=H-h_2$ 는 大略 上流部 水位와 下流部水位와의 差와 같다.

a. 面積 S 의 定義

첫째로 面積項

$$S=\int_0^T\sqrt{Z}\,dt$$

로 부터 直接面積을 求할 수 있게 하기위해서는

$$0=\int_0^T Z\ dt$$

와 같은 形態의 式을 찾아야 할것이다. 圖 2에서 潮位曲線과 排除時間 T사이의 內水位의 變化를 나타낼 수 있는 두 曲線과의 水位差를 Z로 나타낼 수 있을것이다. Z의 曲線은 圖 3에 다시 그렸는데 그것은 水平線을 基線으로 하고 a 와 a′曲線을 그렸다. 더욱이 a 와 a′曲線은 排除時間의 終了를 나타내는 點을 通하는 垂直線을 基線으로 하고 曲線을 그리면 各各 b와 b′曲線과 같이 變한다. 이 變形은 $\int_0^T f(z)dt$ 의 値에 아무런 變化를 주지 않을것이다.

圖 4 는 函數

$$Z=at^nT^{1-n}$$

에 있어서 n 의 여러値에 對한것을 나타낸것이다.

圖 3 의 b 와 b′曲線은 $0.5<n<1.0$에 對한 圖 4 의 諸曲線과 大體로 一致 한다.

n 値의 變化에 따라

$\int_0^T\sqrt{Z}\,dt=S$, $\qquad\sqrt{\int_0^T Z\ dt}=\sqrt{0}$

와 $\frac{S}{\sqrt{0}}=P$

의 値가 下記 表와 같이 주어진다.

n	s	$\sqrt{o}$	d
0	$1,000T^{3/2}a^{1/2}$	$1,000T\ a^{1/2}$	$1,000T^{1/2}$
0.5	$0.800T^{3/2}a^{1/2}$	$0.817T\ a^{1/2}$	$0.980T^{1/2}$
1	$0.667T^{3/2}a^{1/2}$	$0.707T\ a^{1/2}$	$0.945T^{1/2}$
2	$0.500T^{3/2}a^{1/2}$	$0.578T\ a^{1/2}$	$0.866T^{1/2}$

圖 5에서 P는 n의 函數로서 表示되어 있다. 이것은 $0.5<n<1.0$, $0.980T^{1/2}>P>0.945T^{1/2}$ 에 對하여 有効하다. 그러므로 潮位曲線에 對하여 다음 關係가 있다는 事實을 알 수 있다.

$$S=\int_0^T\sqrt{Z}\ dt=0.96T^{1/2}\sqrt{\int_0^T Z\ dt}$$

$$=0.96\sqrt{T\cdot O}$$

b. 높이 A 의 定義

面積 S 의 重心까지의 높이 A를 생각하면 圖 1에서 假定한것 처럼 높이 $\sqrt{Z}$ 의 全微小區間은 曲線의 가장밑點 D에 集中되어 있다고 생각하면 重心도 D에 있어야 한다. 한편 曲線 AFDK (閘門內水位)는 二次曲線과 一致하고 $\sqrt{Z}$의 모든 微小區間의 높이가 같다고 假定하면 重心은 다음과 같은 距離에 있어야 한다. (圖 1參照)

即 $$\frac{\left(\frac{1}{2}dT+\frac{2}{3}fT\right)\sqrt{Z}}{T\cdot\sqrt{Z}}=\frac{1}{2}d+\frac{2}{3}f$$

되는 곳에 있어야 한다. (點 C 까지의거리) 여기서

$$FE=\frac{\alpha-1}{\alpha}\times FG=\frac{0.37}{1.37}\times FG=0.27\ FG$$

와 $FC=0.33\ FH$ 이다.

$FG<FH$ 일때에는

$$0.27\ FG<0.33\ FH$$

이렇게 하여

$$FE<FC$$

C($\alpha<1.50$일 때는 恒常 E 위에 있음)는 曲線 AFDK 가 二次曲線으로 恒常 E 위에 있다면

$$FE<FC$$

가 된다. 事實 微小區間의 높이 $\sqrt{Z}$는 다 같지

는 않다. 曲線下部에 位置한 것은 曲線의 上部에 位置한것 보다 높다.

그러므로 重心은 圖 1 의 斜線으로 表示한 面積에 있어서 C 보다 밑, D 보다 위에 位置해야 한다.

重心은 排除時間의 $\frac{T}{2}$ 되는 時刻에 潮位曲線上 點 E를 通하는 水平線上에 있다고 假定 할수 있다. (圖 1 參照) 閘門敷高로 부터 點 E 까지의 높이 A(圖 1 參照)는 쉽게 潮位曲線에서 求할 수 가 있다.

計算誤差는 敷高의 깊이에 關係가 있어 깊으면 깊을 수록 誤差는 적어진다.

Ⅲ. 結　　論

排除量에 對한 公式(5)는 다음과 같이 表示할 수 있다.

$$Q=C\times A\times 0.96\sqrt{T\cdot O} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(6)$$

或은

$$Q=C'A\sqrt{T\cdot O} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(7)$$

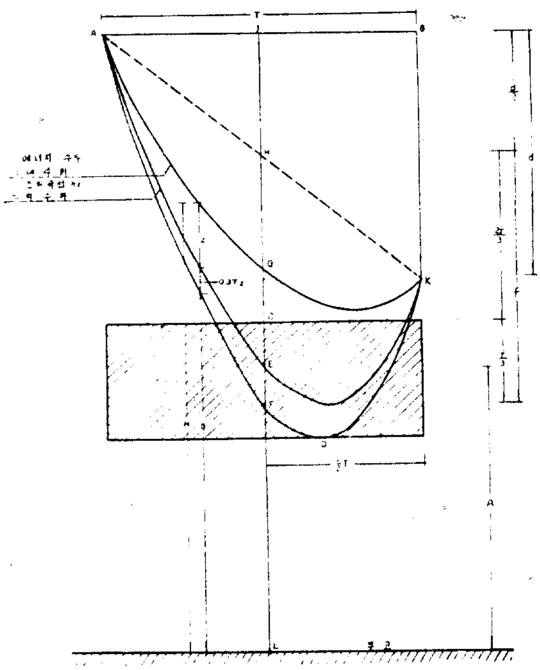


圖 1

여기서　Q=每 排除時間의 全排除量(m^3)

$C'=0.96C=0.96\times b\sqrt{\frac{2g\beta}{1.15}}$ ($m^{3/2}$/sec)

A=排除時間 中間되는 時刻의 潮位曲線 以下 敷高(Sill) 까지의 깊이(m)

T=排除時間(sec)

O=排除時間中 內外水位로 쌓여진 部分의 面積(m·sec)

勿論 O를 排除時間 T와 $\frac{T}{2}$에서의 內外水位差 V와의 積으로써 表示할수 있다.

이리하여

$O=\gamma VT$ 이다.

例를 들면 水位差 Z는 時間에 對한 二次函數

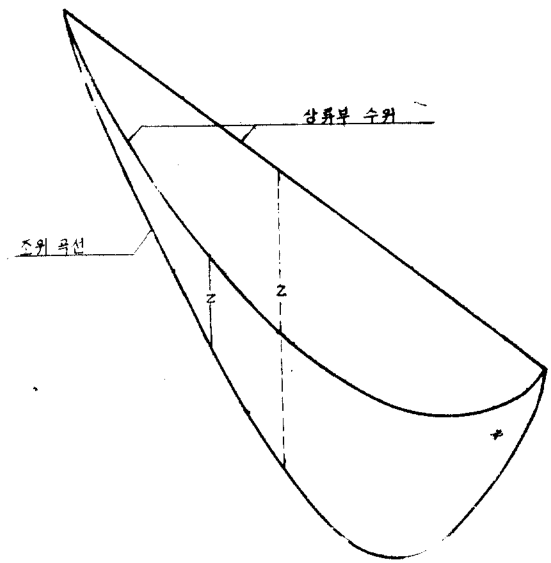


圖 2

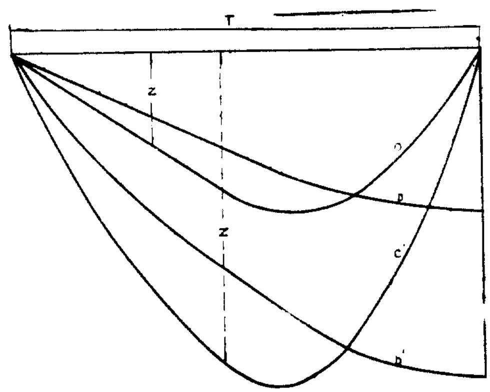


圖 3

$$O=\frac{2}{3}\cdot V\cdot T \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(8)$$

이다. 式 (7)을 要約하면

$$Q=C'A\sqrt{T\gamma VT}$$
$$=C''AT\sqrt{V} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(9)$$

여기서

$$C''=C'\sqrt{\gamma}$$

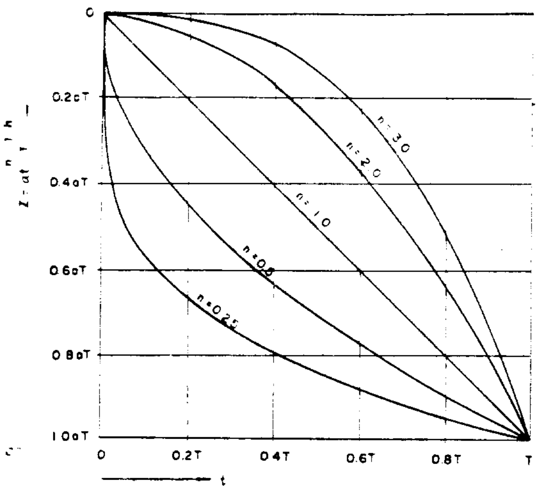
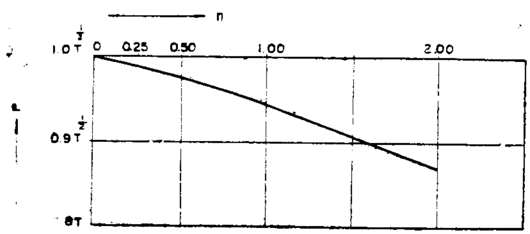


圖 4



例題

圖 5

a. 地區條件

下記와 같은 諸條件을 갖인 地區潮遊池의 水位變動을 檢討코저한다

1. 淡水池(또는 潮遊池)의 標高別 湛水量曲線은 瑞山 B地區의 것을 擇하였음. (圖—9)
2. 排水閘門의 幅은 40m 로 取하고 敷高(Sill)의 높이는 +40m 로함.
3. 流域으로 부터의 淡水流入量은 表 1 과 같음.
4. 標準潮位曲線과 干潮位는 表 2 와 같음.
5. 潮遊池內의 必要水位는 +48m 로함.
6. 使用公式은 前項에서 誘導한

$$Q=C'A\sqrt{T\cdot O}$$

를 使用하였는데 여기서

$$C'=0.6\times b\times\sqrt{\frac{2g\beta}{1.15}}\,(m^{3/2}/sec)$$

$\beta=1$ 로 假定

$b=49$ m

$$O=\frac{2}{3}VT$$

b. 內水位變化(假定)

計劃地區에 있어서는 內水位變化를 把握하는 問題가 가장 困難하다. 여기서는 DR. VAN DAM 의 講義錄에서 그대로 採用하였다. (圖—6 참조)

計算의 始點은 排水閘門의 門扉가 열려 排除되는 瞬間 부터 12時間을 單位로 하였고, 其單位內에 있어서의 排除는 開始瞬間부터 約 3時間에 完了된다고 假定한 것이다

1. 潮遊池의 平均水位(A)

$$A_{\circ}=B+\frac{7}{8}f-\frac{1}{2}\gamma$$

여기서 A=12時間동안의 潮遊池平均水位(+m)

B=排除가 始作될 瞬間의 潮遊池水位(+m)

f=排除로 因한 潮遊池水位降下(m)

γ=流域으로 부터의 潮遊池로 流入하는 水量으로 因한 水位上昇值(m)

2. 12時間의 마지막순간에 있어서의 潮遊池의 水位(E)

$$E=B+f-\gamma(+m)$$

3. 排水되는 동안의 平均水位(A)

$$A_1=\frac{B+L}{2}=\frac{B+B+f-\frac{\gamma}{4}}{2}=B+\frac{f}{2}-\frac{\gamma}{8}$$

4. 排水 終了後 나머지 時間동안 9 時間의 平均水位(A_2)

$$A_1=\frac{L+E}{2}=\frac{B+f-\frac{\gamma}{4}+B+f-r}{2}$$

$$=B+f-\frac{5}{8}\gamma$$

여기서 L=排除完了時의 水位

5. 12時間동안의 平均水位($A_{\circ}$)

$$A_{\circ}=\frac{A_1+3A_2}{4}=\frac{B+\frac{f}{2}-\frac{\gamma}{8}+3B+3f-\frac{15}{8}r}{4}$$

$$=B+\frac{7}{8}f-\frac{\gamma}{2}$$

6. 排除終了時(3 時間後)의 水位(L)

$$L=B+f-\frac{\gamma}{4}$$

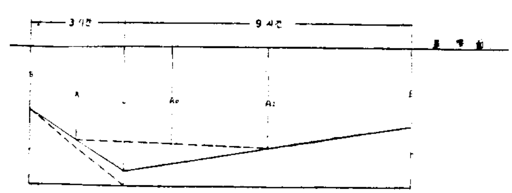


圖 6

C. 計算說明

潮遊池內 必要水位를 +48m로 定하고 아래와 같은 計算을 하였다.

計算表(表-3)의 ①欄에 日字(12時間씩 區分함)를 ②欄에는 表-1과 같은 12時間동안 流域으로 부터의 流入量(蒸發量은 無視)을 記入한다. 計算에 便利를 爲해서 ⑪欄에는 干潮位(表-2)를 記入하였다. 計算順序는 第1日午前分부터 始作하는데 ⑨欄의 必要內水位(+48m)를 起點으로 하여 于先 圖-8 湛水量曲線의 +48m되는 點에서 부터 橫으로 流入量 ($1.4 \times 10^7 m^3$)을 읽고 그 點에서 縱으로 曲線과 만나는 點까지의 垂直距離 即 水位上昇値(γ)을 求하여 ③欄에 記入하고 ④⑤欄도 計算한다. ⑥欄의 水位 降下値(f)는 처음 假定한 다음 ⑩欄의 最終排除水位(L)을 計算하여 ⑪欄의 干潮位때 標準干潮位曲線(圖-7)上에 最終水位(E) (여기서는 計算起點水位+48m)와 最終排除水位(L)를 記入하여 內水位線 EL을 긋고 T,V 및 A를 求하여 ⑫⑬⑭欄에 各各記入하여 排除量 Q를 計算한다.

처음 假定한 水位降下値(f)의 正誤를 檢討키 위하여 湛水量曲線(圖-8)上에서 排除終了水位(L)로 부터 排除量 Q되는 點에 縱으로 세운線과 曲線과의 만나는 點까지의 垂直距離가 (f)와 같으면 繼續 ⑦⑧⑨欄을 計算하고 行을 바꾸어서 第1日午後分을 前과 같이 ⓟ欄 最終水位(E)로 부터 計算을 進行하게 되지만 萬一 假定한 (f)와 一致 하지않으면 다시 假定하여 一致할 때 까지 反復하게된다.

(표-1) 유 입 량 (m^3)

日		유 입 량(m^3)
1	a	14,462,900
	b	11,128,200
2	a	5,000,000
	b	4,000,000
3	a	3,500,000
		2,800,000
4	a	1,500,000
	b	500,000
5	a	0
	b	
6	a	

(표-2) 조 위 표 (간조위

日		간 조 위(tm)
1	a	48.00
	b	49.24
2	a	48.80
	b	47.60
3	a	47.80
	b	45.90
4	a	46.40
	b	46.00
5	a	46.10
	b	45.90

以上 記述한 結果로 ⑨欄과 같은 內水位 變化(圖-9)를 얻게 되는데 浸水時間이나 浸水深의 許容範圍內에 있으면 假定斷面은 採擇될 수 있지만 許容範圍를 벗어나면 通水斷面을 다시 假定하여 上述한 過程을 되풀이해야 한다.

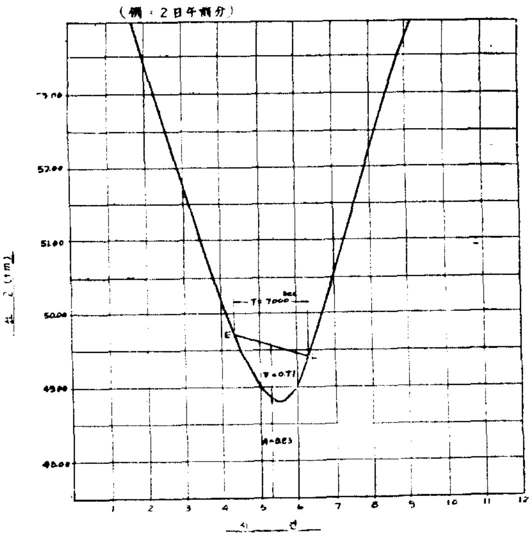


圖 7 표준간조위 곡선

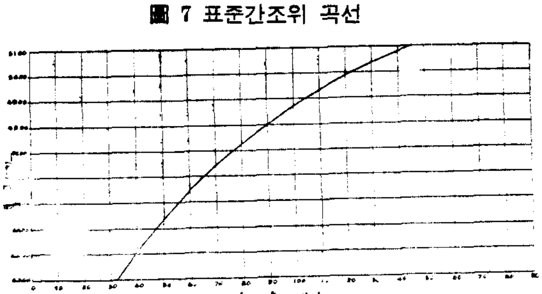


圖 8 표고별 내용적 곡선

表—3 排水閘門能力計算表

① 日	② 流入量 (m^3)	③ 水位上昇 (γ) (m)	④ $\left(\frac{\gamma}{2}\right)$ (m)	⑤ $\left(\frac{\gamma}{4}\right)$ (m)	⑥ 水位降下 (f) (m)	⑦ $\frac{7}{8}f$ (m)	⑧ (g)=B−$\frac{7}{8}$f+$\frac{\gamma}{2}$ 平均水位 (+m)	⑨ (E)=B−f+γ 最終水位 (m+)
								48.00
1 a	14,460,000	1.00	0.50	0.25	0	0	48.50	49.00
b	11,128,000	0.73	0.36	0.18	0	0	49.36	49.73
2 a	5,000,000	0.28	0.14	0.07	0.38	0.33	49.54	49.63
b	4,000,000	0.28	0.14	0.07	0.82	0.71	49.06	49.09
3 a	3,500,000	0.24	0.12	0.06	0.54	0.47	48.74	48.79
b	2,800,000	0.20	0.10	0.05	1.18	1.03	47.86	47.81
4 a	1,300,000	0.11	0.05	0.02	0.58	0.50	47.36	47.34
b							(以 下 省 略)	
5 a								

① 日	⑩ (L)=B−f+$\frac{\gamma}{4}$ 排除終了時水位 (+m)	⑪ 干潮位 (+m)	⑫ T (sec)	⑬ $\sqrt{\frac{2}{3}V}$ (m)	⑭ A (m)	⑮ C′=158.6	⑯ 總排除量 (m^3)	備考
1 a	48.25	48.00	0	0		158.6	0	
b	49.18	49.23	0	0		〃	0	$Q=C'A\cdot T\sqrt{\frac{2}{3}V}$
2 a	49.42	48.80	7,000	0.69	8.83	〃	6,780,000	$C'=0.96\cdot b\sqrt{\frac{2g\beta}{1.15}}$
b	48.88	47.60	11,520	1.03	7.70	〃	14,500,000	
3 a	48.61	47.80	8,640	0.81	7.85	〃	8,760,000	$\beta=1$ b=40m
b	47.66	45.90	14,580	1.23	6.05	〃	17,200,000	
4 a	47.2	46.40	9,000	0.82	6.50	〃	7,630,000	必要平均內水位 +48.00
b								
5 a								

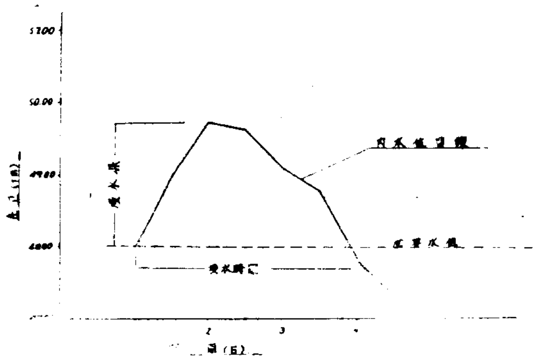


圖 9 內水位 變化曲線

參 考 文 獻

1. a Quick method for a routine computation of discharge through a sluice near tidae waters by Van Dam
2. Drainage computaition

(筆者 土聯 干拓部)