

# 經濟的으로 有利한 堤塘餘水吐 溢流深算出에 對한 一考

金 哲 基

## I 머리말

우리技術者들이 어떠한設計에 當面해서나 諸分野에 따라서 力學的 또는 水理學的安全性 經濟性을 念頭에 두어야한다는것은 贅言을 要치 않는다. 아무리 構造物自體가 力學的으로 安全하다 하더라도 그安全性이 必要以上の 非經濟性을 內包하고 있다하면 全體面에서 볼때 도리혀 minus 가되는 設計라고 하지 않을수 없다. 換言하면 構造物自體가 같은使命을 다하면서 必要以上の 工事費濫用을 하게되는셈이다. 特히 一般的으로 工事費의 比重이 큰堤塘工事に 있어서는 餘水吐와 關聯시키는 綜合的인 經濟的設計를 要求한다.

堤塘餘水吐의 溢流深은 그 經濟上性格에 있어 取入堰의 溢流深과도 判異하다고 하겠다. 다시 말하면 取入堰은 大體로 自然條件에 制限된 그 全長에 걸친 溢流로 水路의 性格을 띤 關係上 Back water의 現象으로 因한 浸水面積의 增加를 가져오기는하나, 工事費의 增減關係가 그리 問題되지 않는데對하여 餘水吐溢流深의 大小가 工事費增減에 미치는 影響은 粗忽히 생각할수 없는 問題에 부딪친다. 卽 溢流深이 작어지면 餘水吐의 延長이 長大하게되어 餘水吐自體의 工費가 過大함을 免치못하나 그에 依한 堤塘의 盛土量(中心粘土包含)과 浸水面積은 相對的으로 적어 지는데 對하여 溢流深이 過大하면 餘水吐의 延長은 짧게되어 經濟的이나 그에 依한 堤塘의 盛土量과 浸水面積은 보다 膨脹하는 非經濟性이 內包하게된다. 따라서 堤塘의 盛土量은 特히 堤塘高와 堤塘延長에 支配되는 만큼 이 堤塘高와 堤塘延長의 大小는 바로 餘水吐延長을 決定짓는 卽 溢流深을 決定짓는 가장 重要한 要素가 되겠다.

然이나 우리가 이때까지 미리 餘水吐延長을 假定한 Horton 氏 方法 Erdahl 氏의 方法, 및物

部氏의 圖式解法等에 依한 洪水調節을 考慮한 溢流深決定도 하여왔든것이나, 때에따라서는 洪水調節을 無視하기도하여 達觀的으로 溢流深을 決定짓는 事例도 許多하였든것이다. 따라서 이와같은 溢流深決定에있어서는 經濟的인 不合理性이 多分히 內包하였든것이다. 여기서 이 不合理한 點을 多少나 마 解消하기 爲하여 堤塘延長과 堤塘高에對하여 經濟的으로 符合하는 餘水吐의 기리는 얼마로 決定하여야되는가? 다시말하면 溢流深을 얼마로 決定하여야만 그 溢流深에 依한 盛土量의 增加 및 其他增加에서 오는 堤塘工事費의 增加額과 그에 依한 餘水吐工事費의 和를 最小 되게 할수있겠는가? 이 最小條件을 滿足시킬수 있는 溢流深을 算出하고저하는데 本欄의 主眼點 이있다고 하겠다.

## II 數理的解析

工事費의 經濟性에 비추어 于先 式을 誘導하기 爲하여 (a) 堤塘工事費 (b) 餘水吐工事費 (c) 堤塘及 餘水吐工事費의 全體面에서 본 經濟的條件으로 나누어 考慮하고자한다.

### (a) 堤塘工事費

計劃貯水量에 따라서 滿水位까지의 堤塘標高는 決定되나 그點까지의 堤塘高는 測點마다 모두 다를것임으로 平均斷面  $A_0$ 는 (fig 1 參照)

$$\begin{aligned}
 A_0 &= \frac{V}{L_1} = \frac{I}{L_1} \left\{ \frac{a_0 l_1 + a_n l_n}{2} + a_1 \frac{l_1 + l_2}{2} + a_2 \frac{l_2 + l_3}{2} \dots + a_{n-1} \frac{l_{n-1} + l_n}{2} \right\} \\
 &= \frac{I}{L_1} \left\{ \frac{a_0 l_1 + a_n l_n}{2} + \sum_{r=1}^{n-1} ar \frac{l_r + l_{r+1}}{2} \right\} \dots \dots (1)
 \end{aligned}$$

一般的으로  $a_0 = a_n = 0$  일때는 (1)式은

$$A_0 = \frac{I}{L_1} \sum_{r=1}^{n-1} a_r \frac{lr+lr+1}{2} \dots\dots(1')$$

$$여기서 a_r = bhr + \frac{z_1+z_2}{2} hr^2 \dots\dots(1'')$$

平均斷面  $A_0$ 를 滿足시키는 堤塘高  $H_0$ 는 다음식

$$A_0 = bH_0 + \frac{z_1+z_2}{2} H_0^2 \dots\dots(2) \text{에 依하여 求}$$

하고, 溢流深  $H$ 라 하면 洪水位까지의 높이는  $H_0+H$ 로 表現하게 된다.

(1) (1') (1'') (2)式에서

$V$ ... 堤塘總盛土量  $m^3$ )

$a_r$ ... 地盤高上의 滿水位까지의 堤塘任意斷面  $(m^2)$

$l_r$ ... 任意測點의 區間距離  $(m)$

$A_0$ ... 地盤高上의 滿水位까지의 堤塘平均斷面  $(m^2)$

$b$ ... 計劃堤塘頂幅  $(m)$

$hr$ ... 地盤高上의 滿水位까지의 任意測點의 堤塘高  $(m)$

$z_1$ ... 內法  $z_2$ ... 外法

$a_0 a_1 a_2 \dots a_{n-1}$ ,  $an$ ... 堤塘 各測點의 斷面積  $(m^2)$

$l_1 l_2 l_3 \dots l_{n-1} l_n$ ... 堤塘各測點의 區間距離  $(m)$

$H_0$ ... 平均斷面  $A_0$ 를 滿足시키는 堤塘高  $(m)$

$L_1$ ... 堤塘延長  $(m)$

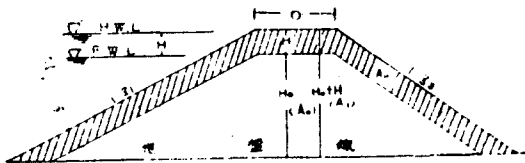


Fig. 1 堤塘平均斷面圖

然이나 洪水位上의 餘裕高는 大體로 一定하여 餘水吐工事費及堤塘工事費의 相互關係의 經濟的面에 미치는 影響이 없으므로 이 餘裕高問題는 論할價値가 없다고 생각하여 洪水位까지의 堤塘高  $(H+H_0)$ 에 對하여서만 그經濟性을 살펴보고저하는 것이다.

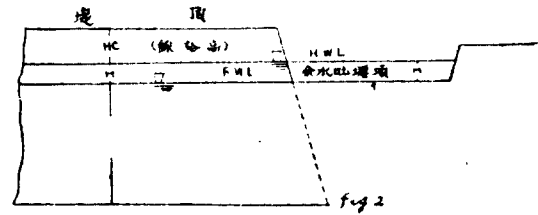
堤塘高  $H+H_0$ 에 對한斷面積  $A_1$ 은

$$A_1 = b(H+H_0) + \frac{z_1+z_2}{2} (H+H_0)^2 \dots\dots(3)$$

溢流深  $H$ 에 依한 增加斷面積  $Aa$ 는 (fig1 參照 陰影部分)

$$Aa = A_1 - A_0 = (b + (z_1+z_2)H_0)H + \frac{z_1+z_2}{2} H^2 \dots\dots(3')$$

堤塘의 延長을  $L_1$  平均增加斷面積  $Aa$  盛土(粘土包含)  $1m^3$  當單價  $\rho_1$ 로 內法의 增加한 波止張石의 法長을  $\sqrt{1+z_1^2} H$  外法의 增加한 芝(張芝



或은 筋芝)의 法長을  $\sqrt{1+z_2^2} H$  그리고 波止張石 및 筋芝(筋)의  $1m^2$  當의 單價를 各各  $\rho_2$  및  $\rho_3$  라 하면 堤塘高가 溢流深  $H$ 만큼 增加함으로서 增加한 堤塘工事費  $M_1$ 은

$$M_1 = L_1 [A_0 \rho_1 + \sqrt{1+z_1^2} H \rho_2 + \sqrt{1+z_2^2} H \rho_3] = L_1 [(b + (z_1+z_2)H_0) H \rho_1 + \frac{z_1+z_2}{2} H^2 \rho_1 + \sqrt{1+z_1^2} H \rho_2 + \sqrt{1+z_2^2} H \rho_3] \dots\dots(4)$$

(b) 餘水吐工事費

洪水量  $Q$ 가 一定할때 餘水吐延長의 長短이 溢流深  $H$ 에 左右되는바는 이미 常識化된 바이지만 이 延長의 長短은 곧 工事費의 增加의 影響을 미치며 (1)에서 記述한바 이 餘水吐工事費의 形成은 堤塘工事費의 그것과 相反되는 條件에 놓여있다고 하겠다. 여기서 溢流深을  $H$ 라 할때 (完全溢流時) 餘水吐延長  $L_2$ 는 Francis 氏 公式에 依하여

$$L_2 = \frac{Q}{CH^{3/2}} \dots\dots(5)$$

餘水吐의 平均斷面 (側溝의 土工量 및 工作物一切包含)을 基準으로 한 單位長當의 工事費를  $S$ 라 하면 그 餘水吐 工事費  $M_2$ 는

$$M_2 = L_2 S = S \frac{Q}{CH^{3/2}} \dots\dots(6)$$

여기서 單位長當의 工事費  $S$ 는 平均斷面に 包含되어 있는 土工 및 各工作物의 單位長 工事費의 和로 表現됨을 附記하여 둔다.

(C) 堤塘及餘水吐工事費의 全體面에서 본 經濟的條件

前記(4)式과 (6)式에 依하여 全工事費  $M$ 는

$$M = M_1 + M_2 = L_1 [(b + (z_1+z_2)H_0) H \rho_1 + \frac{z_1+z_2}{2} H^2 \rho_1 + \sqrt{1+z_1^2} H \rho_2 + \sqrt{1+z_2^2} H \rho_3] + S \frac{Q}{CH^{3/2}} \dots\dots(7)$$

全工事費  $M$ 의 最少되는 條件  $\frac{dM}{dH} = 0$  임으로

$$\frac{dM}{dH} = L_1 (z_1+z_2) \rho_1 H + L_1 [(b + z_1+z_2) H_0]$$

$$\rho_1 + \sqrt{1+Z_1^2} \rho_2 + \sqrt{1+Z_2^2} \rho_3 - \frac{3}{2} \frac{SQ}{CH^{5/2}} = 0 \dots (8)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{여기서 } B &= L_1 (z_1 + z_2) \rho_1 \\ D &= L_1 [(b + (z_1 + z_2)H_0) \rho_1 + \sqrt{1+Z_1^2} \rho_2 + \sqrt{1+Z_2^2} \rho_3] \\ E &= -\frac{3}{2} \frac{SQ}{C} \end{aligned} \right\} (8')$$

로하고 (8')式을 (8)에 代入하면  $BH + D + EH^{5/2} = 0$

$$\therefore BH + D = -EH^{5/2} \dots (9)$$

即(9)式을 滿足시키는  $H$ 는 곧 經濟的으로 有利한 溢流深이 될것이다. 이 經濟的 溢流深과 이 에 依한 餘水吐長을 算出하자면 (1) (2) (8') (9) 및 (5)式을 運用함으로써 決解될것이다.

■ 計算例

다음 明岩堤水利組合 龍亭堤에 對한 計算例를

第一表 (1') 및 (1'') 式에 依함

測點	r	區間距離 lr	平均距離 $\frac{l+r+1}{2}$	堤塘高 hr	頂巾 b	bhr	hr <sup>2</sup>	$\frac{Z_1+Z_2^2}{2}$	$\frac{Z_1+Z_2^2}{2} hr^2$	$\frac{ar = bhr + \frac{Z_1+Z_2^2}{2} hr^2}{2}$ (m.)	$\frac{ar(lr+lr+1)}{2}$ (m <sup>2</sup> )	備考
No. 0+	1.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	a <sub>r</sub> 의 값은 直接 planimeter 에 依하여 求하여도 可함
No. 1	1	8.5	9.25	6.83	6.00	40.98	46.65	2.5	116.62	157.60	1,457. <sup>80</sup>	
No. 2	2	10.0	10.00	11.94	"	71.64	142.56	"	356.40	428.04	4,280. <sup>40</sup>	
No. 3	3	10.0	10.00	15.23	"	91.38	231.95	"	579.88	671.26	6,712. <sup>60</sup>	
No. 4	4	10.0	10.00	14.15	"	84.90	200.22	"	500.55	585.45	5,854. <sup>50</sup>	
No. 5	5	10.0	10.00	14.04	"	84.24	197.22	"	492.80	577.04	5,770. <sup>40</sup>	
No. 6	6	10.0	10.00	13.50	"	81.00	182.25	"	455.63	536.63	5,366. <sup>60</sup>	
No. 7	7	10.0	10.00	13.50	"	81.00	182.25	"	455.63	536.63	5,366. <sup>60</sup>	
No. 8	8	10.0	10.00	12.99	"	77.94	168.74	"	421.85	499.79	4,997. <sup>80</sup>	
No. 9	9	10.0	10.00	12.11	"	72.66	146.65	"	366.62	439.28	4,352. <sup>80</sup>	
No. 10	10	10.0	10.00	10.31	"	61.86	106.30	"	267.75	327.61	3,276. <sup>10</sup>	
No. 11	11	10.0	10.00	8.99	"	53.94	80.82	"	202.05	255.99	2,559. <sup>90</sup>	
No. 12	12	10.0	10.00	6.17	"	37.02	38.07	"	95.17	132.15	1,321. <sup>90</sup>	
No. 13	13	10.0	5.75	0.78	"	4.68	0.61	"	1.52	6.20	35. <sup>65</sup>	
No. 13+	1.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
計		$L_1 = \sum lr = 130$								$\frac{\sum ar}{2} = 51,592.55$	$\frac{A_0 = \frac{1}{L_1} \sum ar}{2} = 395.33 \text{ m.}$	

들어 從前計劃 溢流深과 比較檢討코져 한다.

堤塘延長  $L_1=130m$  內法  $Z_1=2.8$  外法  $Z_2=2.2$  頂巾  $b=6.00m$  第一表에 依하여 堤塘의 平均斷面  $A_0=395.3 m^2$  라고하면 (2)式에 依하여  $H_0$ 를 求하면 다음과같다.

$$A_0 = bH_0 + \frac{Z_1+Z_2}{2} H_0^2 \text{ 에서}$$

$$2.5H_0^2 + 6H_0 - 395.33 = 0$$

$$\therefore H_0 = \frac{-6 + \sqrt{36 + 3953.70}}{5} = 11.43m \dots (7)$$

(8')式에 (7)을 代入하고  $B, D$  및  $E$ 를 求하면 다음과같다.

盛土單價  $\rho_1=728 \text{ HW/m}^3$ , 波止張石單價,  $\rho_2=1,480 \text{ HW/m}^2$ , 外堤張芝單價  $\rho_3=200 \text{ HW/m}^2$  洪水量  $Q=24.00 \text{ m}^3/\text{sec}$ , 堰의 流量係數  $C=1.837$ , 第二表에 依하여 餘水吐 單位長當의 工事費  $S=213,790 \text{ HW}$  임으로

第二表 餘水吐單位長의 單價

種別	數量	單位	單價 HW	金額	備考
切土	10.56	m <sup>3</sup>	465	14,210.40	
岩切	35.00	"	2,501	87,535.00	
粘土	5.0	"	1,536	7,726.08	
練積石 Concrete 1:2:4	3.00	m <sup>2</sup>	4,380	13,140.00	
玉 Concrete 3合入	2.57	m <sup>2</sup>	8,587	24,888.45	
Concrete 1:3:6	1.81	"	8,967	15,464.54	
型 枠	1.57	"	8,497	16,768.29	
洋 灰	5.00	m <sup>2</sup>	827	4,879.00	
合 計	33.85	袋	862	29,178.50	
				212,790.76	米當單價

$$B=L_1(Z_1+Z_2)\rho_1=130 \times 5 \times 728=473,200 \dots\dots(\text{ㄴ})$$

$$D=L_1\{b+(Z_1+Z_2)H_0\}\rho_1+\sqrt{1+Z_1^2}\rho_2+\sqrt{1+Z_2^2}\rho_3=130\{(6+5 \times 11.43)728+2.973 \times 1,480+2.417 \times 200\}=6,611,363^{20} \dots\dots(\text{ㄷ})$$

$$E=-\frac{3}{2} \frac{SQ}{C}=-\frac{3}{2} \frac{213,79076 \times 24.00}{1.87} =-4,189,69372 \dots\dots(\text{ㄹ})$$

(ㄴ) (ㄷ) 및 (ㄹ) 式을 (9) 式에 代入하면  
 $473,200 H + 6,611,363^{20} = 4,189,69372$   
 $H^{-\frac{5}{2}} \dots\dots(\text{ㄹ})$

$H=0.8m$  일 때  $H^{-\frac{5}{2}} = \frac{1}{0.575}$

따라서 (ㄹ) 式의 左邊의 值 =  $473,200 \times 0.8 + 6,611,363^{20} = 6,989,923^{20}$

右邊의 值 =  $\frac{1}{0.575} \times 4,189,69372 = 7,286,423^{86}$

∴ 左邊의 值 < 右邊의 值 ……(ㄷ)

$H=0.82m$  일 때  $H^{-\frac{5}{2}} = \frac{1}{0.605}$  따라서 이때

(ㄹ) 式의 左邊의 值 =  $473,200 \times 0.82 + 6,611,363^{20} = 6,999,387^{20} \dots\dots$

右邊의 值 =  $\frac{1}{0.605} \times 4,189,69372 = 6,925,11352$

∴ 左邊의 值 > 右邊의 值 ……(ㄸ)

(ㄷ) 및 (ㄸ) 式에서 보는바와같이 用地買收費問題를 考慮하지 않는다면 (ㄹ) 式을 滿足시키는 經濟的 溢流深은  $H=0.81m$ 로 될것이나 溢流深에 依한 用地買收費增加額을 考慮에 넣는다면 溢流深은  $H=0.81m$  以下가 되어야 할 것이다. 따라서 여기서는  $H=0.8m$ 로 決定 하겠다.

然이나 現在 施工完了한 餘水吐 溢流深은  $H=1.00m$ 로 計劃하였던 것이며, 따라서  $0.2m$  過大한 溢流深이라고 할 것이다. 이때에 餘水吐 延長  $L_2$ 는 (5) 式에 依하여

$$L_2 = \frac{Q}{CH^{\frac{3}{2}}} = \frac{24.00}{1.87 \times 0.8^{\frac{3}{2}}} = 18.20m \text{ 로 되}$$

어 從前의 計劃 延長  $14.60m$ 에 比하여  $3.60m$  延長되는 結果가 된다. 더욱이 試算의 度數를 逐次 增加하면 보다 正確한 값을 求할수있음을 附言하여 둔다.

#### IV 結 論

以上은 堤塘及 餘水吐工에서의 經濟的 溢流深의 算出方法을 考察한바이지만 溢流深의 大小는 浸水面積의 大小를 支配하여 卽 用地買收費의 多寡를 窺來시키는 要素이기도 하다. 그러므로 溢流深을 決定짓는 데는 滿水位上의 用地買收費增加額도 參酌하는 것이 合理的인 것이 아닐까 한다.

(II)의 (8) (8') 및 (9) 式을 吟味컨데 滿水位까지의 堤塘高  $H_0$ , 頂巾  $b$  延長  $L_1$  單位長當의 工事費 卽 盛土(粘土包含)의 單價  $\rho_1$ , 張石 및 芝(폐)의 單價  $\rho_2$  및  $\rho_3$  또 內外法  $Z_1$  및  $Z_2$ 의 값이 크면 (9) 式을 滿足시키는 溢流深  $H$ 의 값은 작아져야 할 것이나, 餘水土工에서의 洪水量  $Q$  및 單位長當의 工事費  $S$  卽 堰體 側壁 數張等 工作物 및 土工의 單價가 클 때에는 (9) 式을 滿足시키는 溢流深  $H$ 는 커져야 할 것임으로, 이와 相反되는 條件下에서는 溢流深  $H$ 도 相反된 値로 變化하여 自然 그關係의 制限을 不免 하겠다. 以上의 考察內容에 不備한 點이 許多하게 숨어있으리라고 본다. 先賢諸賢의 아낌없는 批判을 仰請하는 同時에 앞으로 더욱 簡易하고도 正確한 算出方法에 對한 下敎를 期待하여 마지 않는바이다.

(筆者; 水滌 忠北道支部 勤務)