

畝谷地區 海岸堤防의 斷面決定

朴 勝 龍*

I. 緒 言

畝谷地區는 지난해 8월에 있었던 颱風「어빙, 주디」號에 의한 폭풍우와 風浪으로 因하여 排水施設을 包含한 諸般 施設이 流失破壞되는 被害가 크기도 했지만 海水와 雨水가 低地帶 農耕地에 集水滯留되어 排水不良이 되는 일이 많다. 이와같은 被害를

防止하기 爲하여 이 畝谷地區에 海岸堤防(付排水路) 計劃을 하였는데, 이 計劃에 適用하였던 海岸堤防의 斷面決定方法을 紹介하면 다음과 같다.

計劃波高는 隣近 浦項市 海岸邊 池洞에 있는 波高觀測所의 實測値와 浦項新港의 檢潮記錄에 依하였고 海底勾配 및 모래砂場의 距離와 勾配는 現地 調査에 依하였다.

표-1. 浦項 波高觀測所 實測記錄値

관측 또는 추정치	30년 확률추정설계파고 (1969년 포항제철항기 본계획서)		50년 확률추정설계파고 (1973년 포항신항제2기 기본계획)		관 측 결 과 최 대 치						
	심해(동해영일만 외항지주)	천해(영일만내포항신항지주)	천해(영일만내포항신항지주)	71년 (3.1~12.31)	72년 (1.1~12.31)	73년 (1.1~12.31)	74년 (1.1~12.31)	75년 (1.1~12.31)	76년 (1.1~12.31)	77년 (1.1~12.31)	
최대파고				6.2M	(기계고장목측) 6.0M	5.6M	5.8M	(기계고장목측) 4.0M	6.0M	4.3M	
유의파고	5.4M	4.0M (3.63~4.0)	5.0M	3.6M	3.8M	3.9M	2.7M	2.6M	4.5M	2.6M	
유고파고의 주기	12.0초	10.0초	10.0초	8.0초	약10.0초	9.6초	8.2초	11.0초	10.0초	7.9초	
파 향	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	

觀測期間中 最大值(71年~77年)

관측 기간	일 시	최 대 치		1/10파고		1/3파고		파 향	풍 향	최대풍속 (M/sec)	조 위 (M)
		파고(M)	주기(초)	파고(M)	주기(초)	파고(M)	주기(초)				
71년(3.1~12.31)	71년 5월 일 17:00	6.2	9.0	4.2	9.2	3.6	8.9	NE	N	19.3	0.76
72년(1.1~12.31)	72년 9월 19일 09:00	6.0	10.0	—	—	3.8	10.0	〃	SSW	3.0	0.59
73년(1.1~12.31)	73년 11월 15일 15:00	5.6	10.0	4.9	9.7	3.9	9.6	〃	WSW	7.0	0.17
74년(1.1~12.31)	74년 4월 8일 09:00	5.8	8.0	3.7	8.1	2.1	8.2	〃	NNE	16.0	0.40
75년(1.1~12.31)	75년 11월 15일 10:00	4.0	11.0	3.4	11.9	2.6	11.0	〃	NNE	12.0	0.48
76년(1.1~12.31)	76년 9월 13일 10:00	6.0	10.0	5.1	10.0	4.5	10.0	〃	N	14.0	0.73
77년(1.1~12.31)	77년 1월 26일 12:00	4.3	10.0	3.1	8.8	2.6	7.9	〃	NE	7.0	0.22

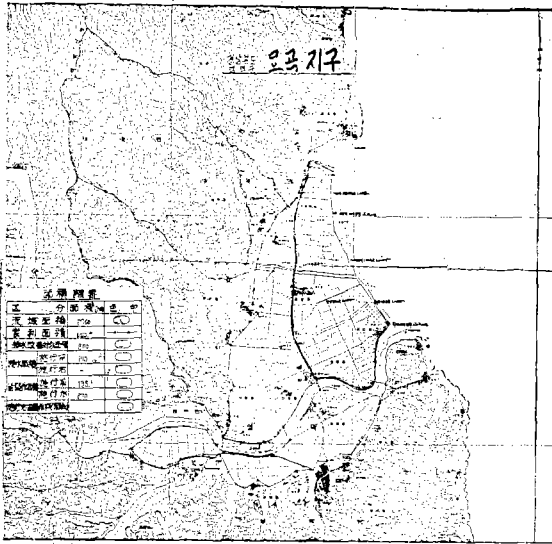
표-2. 表浦項新港의 年最大記錄値(檢潮記錄)

년 도	H.H.W.L. (cm)	L.L.W.L. (cm)	조 차	비 고
73년	+49	-23	0.72	
74	+69	-17	0.86	
75	+57	-18	0.75	
76	+62	-18	0.80	
77	+49	-20	0.69	

* 農業振興公社 農地擴大部

表一4. Wave run up高에 의한 海岸堤防의 天端 標高 計算

觀測年	區分	深海波高 ①	深海波長 ②	周期 ③	碎波水深 mason h_b/H_0 ④	波形傾斜 ⑥	假定R의 ⑦	Cota의 계산				R의計算 R/H ₀ ⑪	R의計算 R ⑫	假左邊 定值外標 計算值호산 의 차 ⑬	餘裕高 ⑭	堤頂 標高 ⑮	摘要	
								R ₀ ⑤	R ⑦	高差 ⑧	水平距離: l ⑨							
1976	10 波高	5.1	156	10	1.32	6.73	4.5	11.23	150	134.6	3.6	288.2	25.66	0.8	4.08	0.32	1.03.16	計算內譯 ①: H ₀ : 波高觀測 ②: L: 所測實 ③: T: 測值 ④: h _b /H ₀ : 그림. ⑤: h _b /H ₀ : 그림. ⑥: H ₀ /L ₀ : ①/② ⑦: Wave run up 의 假定值: R ⑧: h: 鉛直高(h _b + R) ⑤+⑦ ⑨: l: 水平距離, ⑩: ⑨ ₁ +⑨ ₂ ⑪: 150 ⑫: 160-(8- h _b /H ₀)×20 ⑬: (假定 R- 2.7)×2: (⑦ -2.7)×2 ⑭: cot α=h/l=⑨ /⑧ ⑮: R/H ₀ : 그림. 1 ⑯: R=H ₀ ×R/H ₀ =①×⑪: 計算 wave run up高 ⑰: 假定R-計算 R=⑦-⑫ ⑱: 假定R-1.34 ⑲: ⑰-1.34 ⑳: ⑱-1.0 ㉑: ⑱-1.0 ㉒: ⑱-1.0 제방의 標高 표고
		3.1	121	8.8	1.38	4.28	3.0	7.28	150	134.6	1.6	286.2	27.97	0.65	3.32	0.185	2.16	
1975	3.4	221	11.9		1.65	5.61	3.5	9.11	150	112.2	0.6	236.2	32.44	0.54	1.674	1.326	1.01.66	
		102	8.1		1.305	4.83	2.0	6.83	111	96.6	—	196.5	31.29	0.55	1.71	0.29	0.66	
1974	3.7	102	8.1		1.305	4.83	2.0	6.83	111	96.6	—	207.6	30.4	0.55	2.04	0.04	0.66	
		147	9.7		1.32	6.47	3.5	9.97	150	129.4	1.6	281	28.2	0.65	3.18	0.31	1.01.66	
1973	4.9	147	9.7		1.32	6.47	3.5	9.97	150	129.4	1.6	281	28.2	0.61	2.99	0.21	1.01.66	
		132	9.2		1.33	5.59	3.0	9.47	150	129.4	0.6	280	29.57	0.60	2.94	0.06	1.66	
1971	4.2	132	9.2		1.33	5.59	3.0	9.47	150	129.4	0.6	280	29.57	0.60	2.94	0.06	1.66	
		156	10		1.40	5.32	3.0	7.82	138.6	106.4	0.6	257	30.89	0.62	2.47	0.53	1.01.66	
1972	3 養有波	3.8	156	10	1.40	5.32	3.0	7.82	138.6	106.4	0.6	257	30.89	0.62	2.47	0.53	1.01.66	
		2.6	189	11	1.70	4.42	3.0	7.42	150	88.4	0.6	239	32.21	0.60	1.56	1.44	1.01.66	
1975	2.6	189	11		1.70	4.42	3.0	7.42	150	88.4	0.6	239	32.21	0.60	1.56	1.44	1.01.66	
		156	10		1.31	7.86	4.7	12.56	150	157.2	—	199.4	31.06	0.45	1.17	0.83	1.01.66	
1977	4.5	156	10		1.36	6.12	3.2	9.32	150	122.4	1.0	273.4	29.33	0.72	3.24	0.04	1.86	
		6.2	126	9	1.32	8.18	5.0	13.18	150	160	4.6	314.6	23.87	0.81	5.02	0.02	3.66	
1976	6.0	156	10		1.31	7.86	4.7	12.56	150	157.2	4.2	311.2	24.59	0.77	4.62	0.08	3.36	
		5.8	100	8	1.30	7.54	4.5	12.04	150	150.8	3.6	304.4	25.28	0.75	4.35	0.15	3.16	
1974	5.6	156	10		1.31	7.86	4.7	12.56	150	157.2	4.2	311.2	24.59	0.77	4.62	0.08	3.36	
		189	11		1.47	5.88	3.0	8.88	150	146.8	3.6	300.4	25.37	0.74	4.14	0.356	1.04.16	
1973	4.0	189	11		1.47	5.88	3.0	8.88	150	146.8	3.6	300.4	25.37	0.74	4.14	0.356	1.04.16	
		156	10		1.31	7.34	4.3	11.64	150	146.8	3.2	300	25.77	0.72	4.03	0.27	2.96	
1975	4.3	156	10		1.31	7.34	4.3	11.64	150	146.8	3.2	300	25.77	0.72	4.03	0.27	2.96	
		189	11		1.47	5.88	3.0	8.88	150	146.8	3.6	300.4	25.37	0.74	4.14	0.356	1.04.16	
1977	4.3	156	10		1.36	5.85	3.0	8.85	150	117	0.6	268.22	30.20	0.63	2.52	0.48	1.03.96	
		156	10		1.36	5.85	3.0	8.85	150	117	—	256.22	30.57	0.60	2.40	0.10	1.16	
1977	4.3	156	10		1.36	5.85	3.0	8.85	150	117	0.6	267.60	30.23	0.69	2.97	0.03	1.66	
		156	10		1.36	5.85	3.0	8.85	150	117	0.6	267.60	30.23	0.69	2.97	0.03	1.66	



畝谷地區 排水改善事業計劃 平面圖(1/25,000圖)

II. 地區의 立地의 現況

畝谷地區는 浦項~삼척간 東海高速道 東便에 位置하여 勾配 1/1000內外인 慶尙北道 盈德郡 柄谷面에 所在하는 海岸邊의 300ha의 農耕地를 갖는다. 背後地 流域 1800ha의 流出水는 地區內 低地帶를 거쳐 바다로 흐른다.

海面的 年平均 潮差는 0.25m이고 水面에서부터의 海底勾配는 平均 $\frac{1}{20}$ 정도이며 160m경도 繼續되다가 急하여 진다. 耕地와 海水面과의 高差는 平均 2.5m이고, 海岸邊에 드문드문 防風海松林이 있으나 一部를 除外하고는 幼木이어서 防風役割을 못하고 있으며 1959年 9月 17日의 「SARA」號 颶風時 流失되었던 일이 있다.

波高 5m 이상의 風浪은 平 2~3回程度로 이럴때 던 海水가 耕地로 侵入하고 豪雨를 同伴할때는 被害가 더욱 莫甚한 곳이다. 그러므로 海岸堤防4km의 築造와 그 內側의 排水路改修는 이 地區의 가장 重要한 課題이었다.

排水路의 굴착土量을 流用하여 堤防을 築造해야 하기때문에 現地盤의 土性은 粒徑 0.15~2.0mm로 서 重量百分率 95%인 白色中 細砂質土이다. 또 機械化施工에 依한 盛土를 하고져 計劃하여 傾斜型堤防(內外비탈 1:2)斷面으로 決定하였으므로 海側外 斜面은 波浪에 依한 衝擊壓力에 抵抗할 수 있는 돌 불임으로 하고 堤防高는 wave run up에 依하여 決定하였다.

現地의 地形, 물가에서 堤防築造 豫定線까지의 距離, 海底勾配等 斷面은 그림. 17과 같고 風速, 波高, 波長, 周期等 波高記錄은 표-1과 같다.

III. 海岸堤防의 設計

1. 設計를 爲한 理論的 根據

가. 堤防高의 決定; 堤防高를 決定하는데는 合理的인 設計高潮位의 推定과 風浪의 淺海域에 浸入함에 따르는 물결의 기어올림높이의 推定이 基本要素가 된다. 이들 基本要素에 對한 推定은 다음 方法에 依하였다. 堤防高=(設計高潮位)+(wave run up)+(餘裕高)

1) 設計高潮位 推定(大潮 平均 滿潮位)

浦項新港 檢潮記錄에 依하면 平均海水面의 標高는 建設部 水準點으로 -1.463m 이다. 波高觀測所의 0點 標高는 建設部 水準點으로 換算하여 檢潮記錄의 平均 海水面보다 0.882m 가 낮은 -2.345m 이다.

표-4에서와 같이 1974年 交通部 水路局 標識課潮位 觀測記錄에 依據 極最大潮差는 0.86m 였다(M.S.L上+0.69m M.S.L.下 -0.17m)

따라서 極最大滿潮位는 -1.665m 로 推定다.

2) 高潮偏差(ρ)의 推定

$$\rho = 0.9914\rho + 4.8 \times 10^{-2} \frac{Fv^2}{h} \cdot \cos^2\theta + \frac{0.9914\rho}{1 - \left(\frac{V}{C}\right)}$$

ρ : 偏差 cm

4ρ : 氣壓降下量(mb) $1013\text{mb} - 1000\text{mb} = 13\text{mb}$

v : 風速 19.3m/sec

θ : 風向과 堤防의 法線과 이루는 각 4° 風向 NE. $\cos\theta = 0.998629$

h : 바람吹送方向의 平均水深(m) 1500m

F : 바람에 依한 吹送距離(對岸距離) 500km(日本 本島까지)

V : 低氣壓移動速度 $14.5\text{km/hr} = 4.03\text{m/sec}$

$C = \sqrt{gk}$ 만에서의 長波의 速度

$$\sqrt{9.8 \times 1500} = 121.24\text{m}$$

$$\rho = 0.991 \times 13 + 4.8 \times 10^{-2} \frac{500 \times 19.3}{1500}$$

$$\times 0.998629^2 + \frac{0.991 \times 13}{1 - \left(\frac{4.03}{121.24}\right)^2}$$

$$= 12.88 + 6.511 + 12.89 \div 32.2\text{cm}$$

따라서 略最高 高潮位는 $-1.655 + 0.322 \div -1.34\text{m}$ 로 推定된다.

나. wave run up(기어올림높이)의 計算.

1) 設計波의 決定

堤防의 높이 決定에 影響을 미치는 要素는 堤防에 부딪치는 波濤의 기어올림 높이고 越波量이고 斷面의 決定에서는 波壓, 堤防의 安全度, 基礎地盤의 土質, 施工法, 經濟的인 效果와 工事費等일 것이다 그러므로 기어올림 높이, 越波量, 波壓이 얼마나 되는가를 求하려면, 設計波로서 어떤 波濤를 使用할 것인가가 大端히 重要한데 보통 最大有義波를 採擇 하나 만드시 그렇지는 않아서 基礎地盤의 土質·盛土材料等を 考慮하여 最大波高를 採用할때도 있다.

2) 水理模型 實驗例

海岸에 隣接된 堤防을 海岸이나 물가보다 陸地側으로 또는 물가보다 바닷側으로 더 나아가 設置하는가에 따라서 기어올림 높이나 波壓이 달라질 것이고 海底勾配와 바닷가의 傾斜度, 土質, 堤防外側의 기울기 및 構成材料等に 따라서도 달라질 것이다. 本地區의 境遇에는 堤防을 물가보다 陸地側에 設置하는 경우로서 波高는 일단 碎波된 後 堤防에 기어오르기 때문에 堤防이 碎波點인 물가에 있는 경우보다 기어올림 높이나 波壓이 상당히 적어질 것이다 그래서 海底勾配와 堤防外側 기울기, 堤防의 位置를 變更하여 가며 똑같은 模型을 製作하여 實驗한 Granthem (1953)을 위시하여 Sibul, Saville, 細井, 三井(日本 土木研究所) 등의 水理 模型實驗에 依한 많은 實驗結果를 檢討하였다. 日本의 細井, 三井과 Saville의 實驗結果를 土臺로 實驗한 結果에 依하면 本設計例와 같이 물가에서 堤防 築造位置 地點까지의 距離가 約 150m이고 現地 바닷가의 傾斜 $\frac{1}{55}$ 에서도 使用할 수 있는 複斷面인 境遇의 實驗圖表를 發表하였다.

Saville은 複雜한 斷面形狀을 갖인 堤防에서 기어올림 높이를 實驗에 依據 測定하여 實用化할 수 있도록 다음 그림. 1과 같은 圖表를 發表하였다.

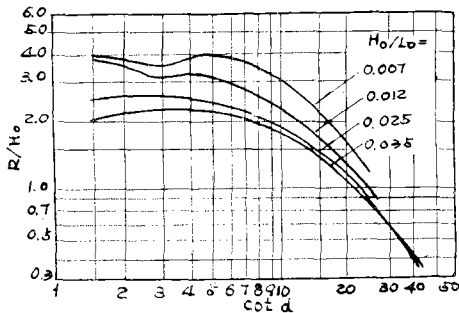


그림. 1. 비탈면상의 碎波高(複合斷面)

이를 基礎로 日本의 三井, 細井氏에 依하면 물가

에서 陸地側으로 떨어져 築造하는 경우가 많았고 波濤가 큰 때에는 더욱 그러했다고 한다.

立地的 與件上 堤防設置位置가 물가보다 陸地側에 있는 本地區로 設計例를 考察하는 것이지만 實際로는 堤防設置位置가 碎波點 附近에 있는 境遇와 이보다 물가에 있는 境遇가 있겠다. 細井의 實驗에서 그림. 2와 같이 海底勾配가 $\frac{1}{5}$ 인 때 堤防을 設置할 境遇를 생각하여 그와 같은 模型을 製作하고 位置를 變更하여가며 各 境遇의 기어올림 높이를 實驗해서 얻은 結果는 그림. 3과 같았다고 했다. 橫軸은 堤防 斜面上(堤脚) 水深 h 와 深海波長 L_o 의 비이고 縱軸은 靜水面上에서 測定한 wave run up 高 R 와 深海波高 H_o 의 비를 나타낸 경우인데 $R/L_o=0$ 이면 堤防을 물가에 設置한 境遇이며 $h/L_o < 0$ 이면 물가보다 陸地

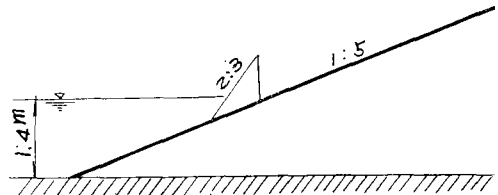


그림. 2. 海岸模型

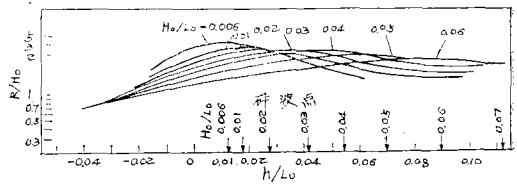


그림. 3. 그림. 2 模型으로 實驗한 기어올림고 (碎波點)

側에 있는 境遇인 것이다. 그림의 曲線은 波形傾斜 H_o/L_o 를 barometer로한 結果인데 例를들어 $H_o/L_o = 0.03$ 의 曲線을 생각해 보자. 碎波點은 그림에서 나타내 진것과 같이 $h/L_o = 0.041$ 로써 R/H_o 의 最大값은 $h/L_o = 0.03 \sim 0.041$ 의 사이에 있다. 그러므로 堤防의 비탈이 碎波點보다 多少 陸地側에 있는 경우가 最大의 기어올림 높이를 나타낸다. h/L_o 가 이보다 적어지면 R/H_o 도 감소한다. 지금 深海에서 일어나는 最大의 有義波를 $H_o = 6m$, $L_o = 200m$ 라 하고 堤防을 水深 2m인 場所에 設置한다고 하면 $H_o/L_o = 0.03$, $h/L_o = 0.01$ 이 되므로 $R/H_o = 2.7$ 로써, $R = 6 \times 2.7 = 16.2m$ 가 된다.

또한 $h/L_o = 0.035$ 에서 碎波되는 경우에는 R/H_o 는 最高值 3.5이며 $L_o = \frac{2}{0.035} = 57.1m$, $H_o = 57.1 \times 0.03 = 1.71m$ 의 關係에서 $R = 1.71 \times 3.5 = 5.99 \approx 6.0$

m로서 이것은 上記한 19.2m에 比하여 대단히 적다. 그러므로 이러한 경우에는 最大의 有義波를 使用할때 波濤의 기어올림 높이가 最大가 되므로 設計波로서는 最大의 有義波를 使用해야 할 것이다. 海底勾配가 $\frac{1}{5}$ 보다 大端히 急한 境遇에는 最大有義波의 碎波點과 堤防位置와의 距離가 比較的가 차가 때에는 上記와 같은 現象이 일어나며 海底의 勾配가 지극히 緩慢한 경우를 생각해서 그림. 4와 같이 물가에서 陸地側으로 勾配가 $\frac{1}{20}$ 이고 물가에서 海面側으로의 勾配가 $\frac{1}{6}$ 과 $\frac{1}{70}$ 로된 模型實驗結果는 그림. 5와 같았다. 前述한바와 같이 最大의 有義波高 $H_o=6m$ 波長, $L_o=200m$, $h=2m$ 라고 한다면 $H_o/L_o=0.03$ 의 曲線上에서 $h/L_o=0.01$ 에 對한 R/H_o 값은 0.5가(추정치)되므로 $R=6 \times 0.5=3.0m$ 가 되며

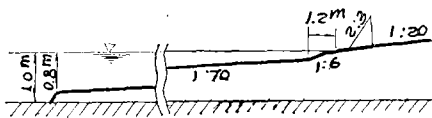


그림. 4. 해안의 모형

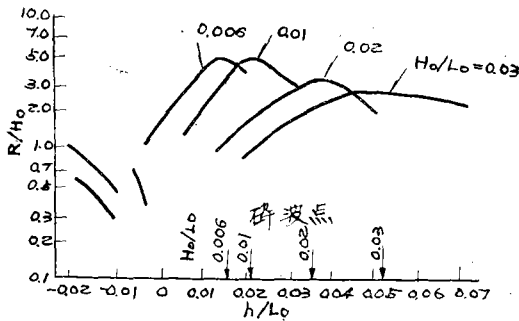


그림. 5. 그림. 4의 해안 제방에 대하여 실험한 기어올림고

$h/L_o=0.048$ 로 될때는 $L_o = \frac{2}{0.048} = 41.7m$ 이고 $H_o/L_o=0.03$ 로 되어서 $H_o=1.25m$ 이다. 이경우 $R/H_o=2.8$, $R=3.5m$ 로서 最大의 有義波高를 使用하는데 보다는도 $H_o=1.25m$ 의 波濤를 使用하는데가 R 의 값이 크게 되므로 設計波로서는 $H_o=1.25m$ 의 波濤를 써야 할 것이다. 이와같이 堤防築造 豫定地點의 地形과 물가에서의 距離, 勾配, 물가로부터 海面쪽의 海底勾配等과 波高(H_o), 波長(L_o), 水深(h)에 따라서 R (wave run up)의 크기가 正比例한다고 볼 수 없기 때문에 水理模型 實驗結果에 依據한 實驗圖表를 使用하여 各 條件에 對하여 計算 檢討하여볼 必要가 있다.

本地區는 現地 與件上 堤防 築造 豫定地의 基礎

地盤과 盛土材料로 보아서 물가 近處에 堤防 築造 計劃을 하기에는 不可能하므로 堤防을 물가보다 陸地側으로 設置하는 것이 有利하다. 또 얼마 떨어져 築造하느냐?와 그 堤高를 얼마로 하는것이 가장 有利한가가 問題다 即, 堤防을 물가보다 陸地側에 設置하는 境遇 그림. 5의 $h/L_o < 0$ 의 範圍內에 있는 曲線은 不明確하므로 Saville의 表示法을 變形 使用하였다.

다. 波濤의 기어올림 높이와 堤防高

(1) 堤防이 碎波點 附近에 있는 境遇 또는 이보다 물가에 있는 境遇 이 때에는 堤防의 法面勾配가 緩和하다면 法面上에서 碎波되는 狀態가 나타난다. 入射波가 堤防에 부딪쳐 全反射되는 때는 完全重複波가 생기며 反射率은 堤防法面の 勾配, 波形傾斜(H_o/L_o) 淺水度에 依하여 變化하고 法面勾配나 淺水度가 크고 波形傾斜가 적은 때는 反射率은 크게 된다고 한다. 直立堤防의 境遇에는 反射率은 보통 85% 以上으로서 全反射에 가깝다. 波濤는 全反射와 全碎波(法面上에서는 完全히 碎波되어 完全한 反射波는 생기지 않음)의 中間狀態에 있는 境遇가 大部分으로 日本亦是 이러한 狀態가 大部分이라고 한다.

日本에서 現地 堤防高 決定에 使用되고 있는 것으로는 上記한 佐藤, 岸의 것, 石原의 것, Saville의 方法(法面勾配가 單斷面, 複斷面の 境遇), 細井三井의 方法(主로 堤防이 碎波點보다 陸地側에 있는 경우에 대해서 行한 水理模型實驗이 있음)이 있다. 바람을 考慮한 實驗은 그 數가 적으며 結果値는 差가 甚하고 精度가 떨어진다는 理由에서 使用되지 않는다. 表面勾配面이 階段 또는 그 外의 粗度에 대한 實驗은 「Denmark」에서 行하였는데 法面勾配가 均一하던 堤防前面에선 碎波되지 않는 狀態의 것이 있다고 한다. 上記의 實驗은 全部 波濤의 入射方向이 堤防의 法線에 直角인 境遇인데 細井, 首藤은 入射方向의 角度를 堤防法線에 對해서 여러가지로 變化시켜 法面勾配가 2割인 堤防을 대상으로 기어올림높이를 測定한바 興味있는 結果를 얻었다고 한다.

이 內容에서 여러가지의 실험결과를 使用 堤防高를 決定하는 때에 着眼해야 할 點은 海底의 勾配라고 한다.

따라서 堤防보다 물가에서 碎波되는 境遇에는 碎波點과 堤防과의 距離가 기어올림 높이에 큰 影響을 미치는데 이 距離와 海底勾配가 큰가, 적은가(大體

로 1/30을 基準으로)에 따라 큰 差가 있다고 한다.

(2) 堤防의 法面勾配가 一定한 境遇

가) 佐藤 岸의 實驗

幅 0.6m, 거리 18.4m, 水深 0.25m의 水槽에서 1/9의 海底勾配에 1割 勾配의 堤防을 設置하여 實驗을 하였다. 그 結果는 그림. 6와 같이 相對기어

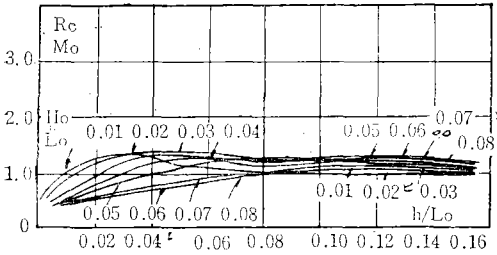


그림. 6. 割堤防의 기어올림고(佐藤岸의 실험)

올림高(R/H_0)와 堤脚의 相對水深(h/L_0)과의 關係와 深海波의 波形傾斜(H_0/L_0)를 barometer로 하여 나타낸 것이다. R (wave run up)은 靜水面上에서 鉛直方向으로 測定한 wave run up高를 나타내고 있는데 다음 Saville의 方法을 써서 比較 考察해 보기로 한다.

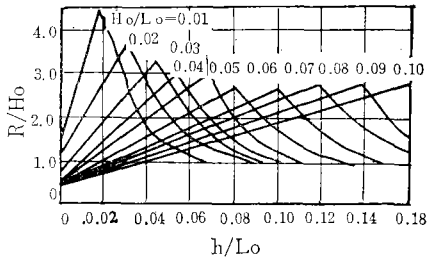


그림. 7 (a). 파도가 비산치 않는 때의 기어올림고

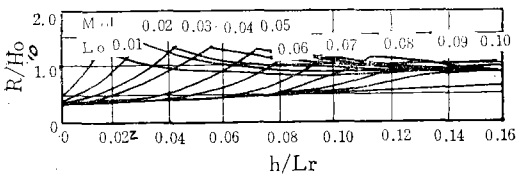


그림. 7 (b). 비산은 넘치고 파도는 넘치지 않는 한계에서의 기어올림고

나. 石原, 岩垣, 鈴木의 實驗: 1/10 勾配의 海底에 鉛直壁을 이룬 堤防을 設置하여 wave run up高를 測定하였다. 그림. 7 (a)는 波濤와 飛散이 없는 때의 堤防高를 나타낸 것이고 (b)는 飛散은 넘치고 波濤는 넘치지 않는 限界에서 堤防高를 나타낸 것이다. 위 兩者를 比較하여 쉽게 알 수 있는 것은 飛

散이 뛰어오르는 높이가 大端히 커서 R/H_0 의 最大値는 約 4.5나 된다. 法面勾配가 0.5割이나 鉛直에 가차운 急한 境遇에는 波濤와 그것(水塊)의 wave run up高는 比較的 적은데 飛散은 제법 높다. 堤防高의 決定에 있어서는 波濤에 依해서 堤防을 越流하지 않도록 하는 것인데 法面勾配가 急한 때에는 飛散과 水塊가 不明確하여 多量의 물이 치솟았다가 落下하는 것을 생각할 수 있으며 앞으로는 別途의 決定法을 檢討하여 採用하여야 할 것이다.

다. Saville의 實驗

Saville의 實驗은 廣範圍하며 그 實驗値를 現在 日本에서 널리 使用되고 있다. 여러가지 法面勾配의 堤防을 1/10의 海底勾配上에 設置하고 水深을 變化시켜가며 실시한 結果는 다음 그림. 8 및 그림. 9와 같다.

a. b.를 比較하면 a.와 같이 堤脚水深이 큰 경우 에는 堤防勾配의 影響은 R/H_0 의 값에 크게 나타나 는데 水深이 적은 경우(물가에 堤防을 設置하는 경우)에는 法面勾配의 影響은 적다.

그림. 9에서 R/H_0 의 값은 $H_0/L_0=0.01, 0.02, 0.06$ 인 경우 堤防法面 및 R/H_0 를 barometer로 한 것이다. 이것에 依하면 鉛直壁의 경우, R/H_0 가 減少하여 R/H_0 의 最大値는 약 1:3에서 1:5의 사이에 나타난다.

佐藤은 1/17의 기울기의 바닥 위에 2割 勾配의 堤防을 설치하여 실시한 結果는 그림. 10과 같다. 上記와 같이 보통 1/10, 1/17의 海底勾配上에 直立型 이나 1割 勾配, 2割 勾配의 堤防에서 佐藤, 岸 또는 石原 등의 실험結果를 使用하여 求한 wave run up高 와 Saville의 實驗結果를 使用하여 求한 wave run up高와 는 큰 差異가 있는 데 이것은 그 높이를 目測 으로 했기 때문에 실제로 使用해야 할 것은 兩者中 큰 값을 採用하는 것이 좋을 것이다. 以上の 실험 은 해저의 구배가 1/10~1/17의 경우이므로 本地區

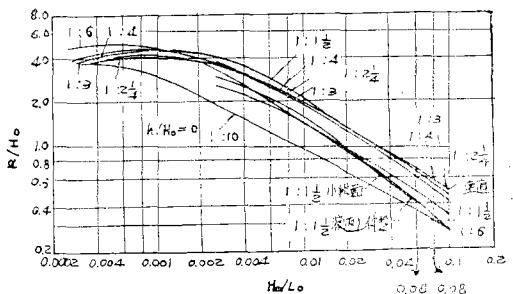


그림. 8 (a). 제방선 수심이 큰 때의 기어올림높이

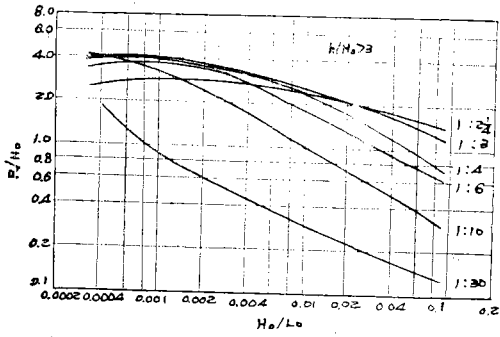


그림. 8 (b), 堤防先水深이 0인때 기어올림높이

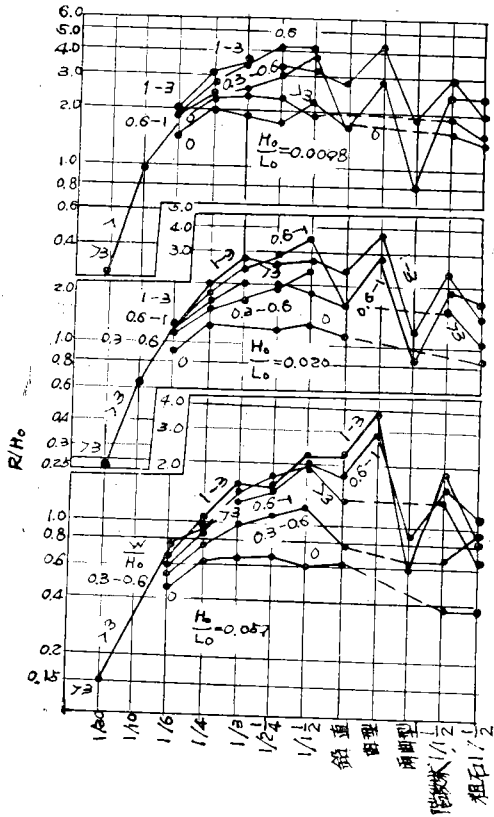


그림. 9. 法面구배와 기어올림 높이의 관계

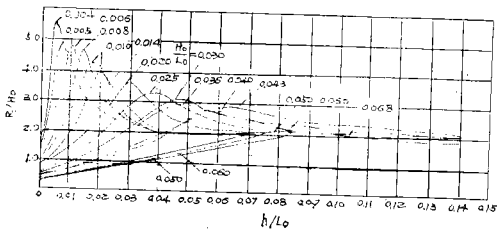


그림. 10. $\frac{1}{17}$ 勾配에 2割堤防을 設置한 때의 기어올림고

의 地形과 같은 $\frac{1}{24} \sim \frac{1}{30}$ 内外와 같은 勾配인 때에는 다음과 같다(그림. 11, 12, 13 첨부).

(3) 堤防 法面이 屈折한 境遇(複合斷面)

Saville은 複雜한 斷面形狀을 갖인 堤防에서 wave run up高를 算定하기 爲하여 그림. 11과 같이 一定한 勾配를 갖는 斜面에 對한 實驗曲線을 쓰도록 提案하였다. 그림. 12에 보는 바와 같이 우선 碎波點을 求한 다음, wave run up高를 假定하여 그 點을 碎波點으로 하고 堤防上에 點을 연결하여 假想勾配로 한다. 다음에 그림. 11 을 使用하여 그 假想勾配上에서 wave run up高를 求한다. 이것이 假定한 값과 一致될때 까지 計算을 反復한다. 이러한 方法으로 求한 結果는 實際의 複合斷面の 實驗値와 比較하여 一般적으로 10% 以內의 誤差(最大 25%)로서 兩者가 거의 一致되도록 한다. 이러한 方法은 法面의 形狀이 折線인 境遇에 대해서도 適用되는데 여러 勾配의

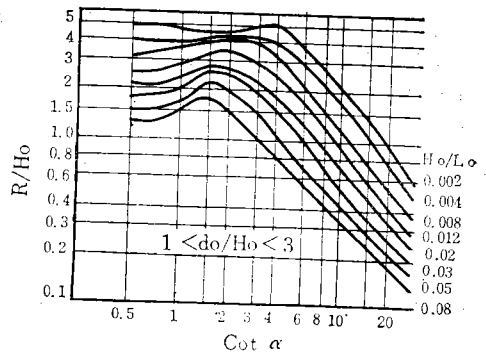


그림. 11. 複雜한 斷面形狀을 갖인 堤防에서의 기어올림고

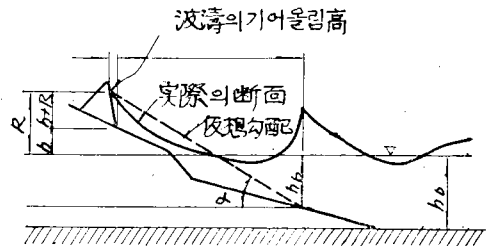


그림. 12. 屈折한 境遇의 海岸堤防의 略圖

海底上에 堤防을 設置하는 境遇에 대해서도 碎波點인 海底上 어느 點에서 假想勾配를 생각하여 使用하면 便利하다. 그러므로 假想勾配가 (cota) $\frac{1}{2} \sim \frac{1}{30}$ 의 範圍內에서 實驗曲線을 그릴 수 있는데 海底勾配가 $\frac{1}{30}$ 보다 急한 海岸에 堤防을 設置한다면 이 구배상에서 碎波되는 境遇의 wave run up高를 求할

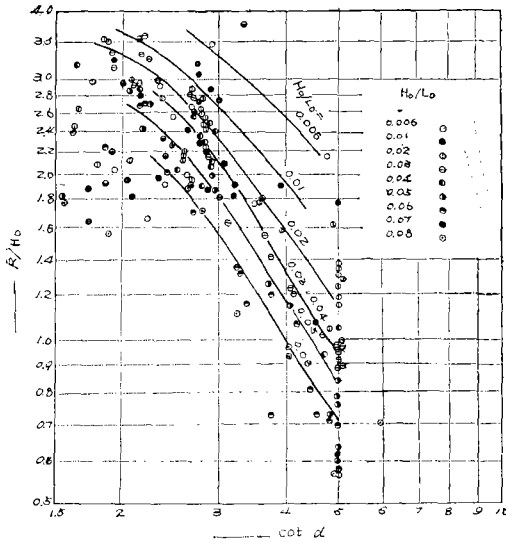


그림. 13. 細井·三井의 實驗圖

수 있다. 따라서 海底勾配가 몹서 緩慢한 境遇인 그림. 11의 曲線을 適用할 수 있는데 前述한 細井, 三井의 實驗結果를 比較하면 若干의 差가 있다.

前記한 그림. 5에 나타난 實驗値와 그림. 11의 實驗値는 같으며 橫軸에 $\cot \alpha$ 縱軸에 R/H_o 를 나타낸 그림. 1을 使用한다. 그림中 曲線은 $\frac{1}{70}$ 의 勾配上에서 碎波되는 境遇의 實驗値를 表示한 것인데 $\frac{1}{6}$ 勾配上에서 碎波되는 波濤에 대한 R/H_o 의 값은 4個의 曲線의 實驗値 보다는 어느정도 적게 되며 그림. 11에 나타난 값과 비슷하다. 그림. 11과 그림. 1을 比較한다면 잘 判斷되는데 같은 波形傾斜에 대해서 $\cot \alpha > 3$ 의 範圍에선 그림. 1에 나타난 값과 큰 차이가 있다고 한다.

細井, 三井은 $\frac{1}{6}$ 인 海底勾配를 갖는 곳에 1.5割의 堤防을 設置하여 實驗을 하였다, 그 結果는 前記한 그림. 3에 나타난 것과 같으며 이를 Saville의 表示方法으로 圖示한다면 그림. 13과 같이 된다.

이 曲線을 그림. 11의 것과 比較하면 大體로 一致하고 있다. 以上을 要約하면 大端히 完만한 勾配上에서 碎波되는 境遇에는 Saville의 曲線을 使用하는 것이 不適當하며 一般的으로 可能한 限 그 勾配가 1:30보다 急한 境遇에 適用하는 것이 바람직하다. 그러나 이런 경우 假想勾配가 緩慢하여 실제보다 적은 값이 될때가 있어서 注意해야할 必要가 있다. 本地區와 같이 물가에서 陸地側으로 $\frac{1}{55}$ 程度 勾配이고 물가에서 海面側으로 $\frac{1}{20}$ 勾配로 160m 가량 繼續되다. $\frac{1}{5} \sim \frac{1}{10}$ 程度의 海底勾配를 이룬 境遇에서 堤

防을 물가나 물가 가차운데 設置하는 때의 기어올림 높이는 最大波이전 有義波이전 間이 最少 6m 以上이 되어 도저히 築造 不可能 하였다.

一般的으로 波濤가 큰 곳에서는 日本에도 물가에서 陸地側으로 떨어져 堤防을 設置한 例가 많았다.

2. 計算例

1972年 9月 19日 09:00時에 觀測되었던 最大波高를 計劃波로 하고 上記의 여러境遇에 對하여 計算해 본다면 다음과 같다. 干先 $\frac{1}{10}$ 의 海底勾配上에 設置한 直立型의 堤防에 對한 石原 및 Saville의 實驗値를 使用한다. 또 $\frac{1}{17}$ 의 海底勾配上에 2割의 堤防을 設置하는 때는 佐藤, 岸의 것을 使用하고 複合斷面에 대해서는 Saville의 實驗値를 使用한다. 그래서 例를 들어 各各의 기어올림 높이를 各各의 圖表를 使用하여 求하여 보았다.

가. 堤防을 碎波帶에 設置하는 境遇; 深海波高 $H_o=6m$, 深海波長 $L_o=156m$, $\frac{1}{20}$ 의 海底 勾配上에 (模型實驗은 $\frac{1}{10}$ 海底勾配에서 實施했으나 現地가 $\frac{1}{20}$ 이므로 實驗値를 그대로 使用함) 直立型의 堤防을 設置하고 堤防前面의 水深 (h)를 3m로 할때 기어올림높이를 여러 方法에 의거 檢討하면, $\frac{H_o}{L_o}=0.0384 (=0.04)$ $h/L_o=0.019 (=0.02)$ (ㄱ) 그림. 7 (b)를 使用하면 $R/H_o=0.5$, $\therefore R=5 \times 0.5=3.0m$ 이다. (ㄴ) 그림. 9를 使用하면 近似的 $h/H_o=0.50$, $H_o/L_o=0.02$ 의 도표를 써서 求하면 ($h/H_o=0.3 \sim 0.6$ 의 曲線을 쓴다) $R/H_o=1.8$, $\therefore R=6 \times 1.8=10.8m$ 이다. 다음으로 複斷面에 對한 saville의 方法을 單斷面의

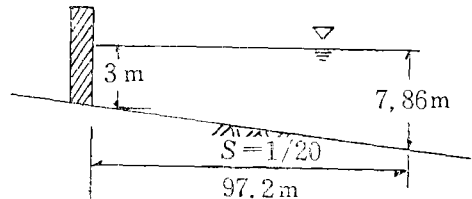


그림. 14. 海岸제방의 模型圖

堤防에 對하여 檢討하여 보자. 여기서 海底의 勾配가 $\frac{1}{10}$ 인 境遇에 대한 값은 그림. 8과 그림. 9에서 얻은 直接의인 數値이므로 參考로 그림 11을 써서 檢討해 본다면 다음과 같다.

(ㄷ) 그림. 11을 쓰는데, 그림 16, (b)의 mason의 曲線은 $H_o/L_o=0.0384$ 에 대해서 $h_b/H_o=1.31$ 이므로 $h_b=6 \times 1.31=7.86m$ 이다. 萬一 $R=6.0m$ 로 假定한다

던 그림. 14에서 $\cot a = \frac{97.2}{13.86} = 7.0$ 로 되어 그림. 11에서 $R/H_0 = 0.8$ 로 $R = 0.8 \times 6 = 4.8\text{m}$ 로 된다. 그러므로 $R = 5.0\text{m}$ 로 假定하면 $\cot a = \frac{97.2}{12.86} = 7.55$ $R/H_0 = 0.79$, $R = 0.79 \times 6 = 4.74\text{m}$ 로 $R = 5\text{m}$ 의 假定値와 비슷하다. 이 값은 (ㄴ)으로 求한 값과 차이가 있다. 이것은 實驗을 1/10海底勾配上에서 行하여 얻은 實驗圖表를 찾아고 求하였고 또 그 各各의 實驗을 目測으로 했기 때문이라 생각된다. 다음으로 上記와 같은 計劃波로서 그림. 10을 써서 기어올림 높이를 計算해 보자. 計劃波와 地形은 같고 法面기울기가 2割인 堤防을 設置하는 境遇(ㄱ) 그림. 10을 利用할 때 $H_0 = 6.0\text{m}$, $L_0 = 156\text{m}$, $H_0/L_0 = 0.0384$, $h/L_0 = 0.02$ 에서 $R/H_0 = 1.3$, $R = 6 \times 1.3 = 7.8\text{m}$ 이다.

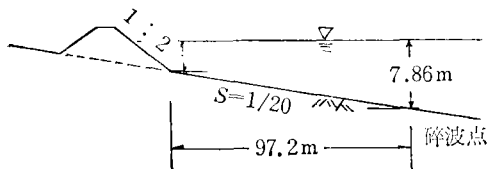


그림. 15. 海岸堤防의 模型圖

(ㄴ) 그림. 15을 쓰는데 그림. 15에서 $R = 9.0\text{m}$ 로 假定하면, $\cot a = \frac{18+97.2}{16.86} = \frac{115.2}{16.86} = 6.83$ 로서 (碎波水深 $h_b = 7.86\text{m}$) 이 때 $R/H_0 = 0.60$ $R = 3.60\text{m}$ 以上の 結果에 의거 2割 堤防의 境遇에는 적은 기어올림 높이를 나타낸다. 그리고 그림. 10은 直接的인 기어올림 높이를 나타낸것인데 $\frac{1}{10}$ 의 海底勾配上에서 2割堤防을 設置하는때의 기어올림 높이는 그림. 10에 依한다.

나. 堤防이 碎波點 近處에 있는 境遇: 堤防의 法面近處에서 碎波되는데 堤防設置 近處의 海底勾配는 기어올림 높이에 關係가 없다. 지금 $H_0 = 6\text{m}$, $L_0 = 156\text{m}$, $h = 4.2\text{m}$ 인때 直立堤에 對해서 기어올림 높이를 求한다면 그림. 7 (b)를 쓰면 $H_0/L_0 = 0.04$, $h/L_0 = 0.03$ 으로서 $R/H_0 = 0.7$ 이므로 $R = 4.2\text{m}$ 이다. 또 그림. 9를 쓰면 $H_0/L_0 = 0.04$ 이나 제일 가까운 0.02에서 $h/H_0 = 0.7$ 이므로 $h/H_0 = 0.7 \sim 1$ 의 曲線上에서 $R/H_0 = 1.8$ 를 얻는다. 따라서 $R = 10.8\text{m}$ 가 된다. 이 그림. 9에서 求한 R 의 값은 相當히 큰 것이었는데 이것은 目測에 依據해서 實驗値를 求했기 때문이라 생각된다. 다음에 法面의 勾配가 2割인 堤防을 設置하는 境遇 그림. 10을 쓰면 $H_0/L_0 = 0.0384$, $h/L_0 = 0.0269$, $R/H_0 = 1.7$ 로서 $R = 10.2\text{m}$ 이다. 또 그림. 9를 쓰면 $H_0/L_0 = 0.02$ 일때 $R/H_0 = 1.8$ 이므로

$R = 10.8\text{m}$ 인 것이다.

여기서 實際로는 H_0/L_0 의 값이 0.0384인데 $R = 10.8\text{m}$ 로 되어 그림. 10에 의거 求한 값과 같다. 그러므로 2割 堤防인 境遇 飛散이 적게되어 目測으로 測定한 差가 적고 그림. 9와 그림. 10은 같다.

다. 물가보다 陸地側에 堤防을 設置하는 境遇: $H_0 = 6\text{m}$, $L_0 = 156\text{m}$ 의 計劃波인 境遇, 그림. 16 (b)에 依하면 $H_0/L_0 = 0.0384 (= 0.04)$, $h_b/H_0 = 1.31$, $h_b = 7.86\text{m}$ 인 條件에서 波濤가 $\frac{1}{20}$ 海底勾配上에서 碎波된다. 그러므로 $\frac{1}{20}$ 海底勾配上에 堤防을 設置한다면 複合斷面으로 생각하고 그림. 11을 使用하여 기어올림 높이를 求한다. 지금 $R = 4.7\text{m}$ 로 假定하면, $\cot a = \frac{160+150-(8-7.86) \times 20 + (4.7-2.7) \times 2}{7.86+4.7} = \frac{311.2}{12.56} = 24.77$, $R/H_0 = 0.2$ 이므로 $R = 1.2\text{m}$, 따라서 그림.

11에 나타난것과 같이 saville의 曲線은 海底勾配가 $\frac{1}{30}$ 보다 急한 境遇에 適應하는 것이므로 海底勾配가 $\frac{1}{20}$ 이고 陸地側으로 向한 勾配가 $\frac{1}{55.45}$ 인 相異한 條件下에서 求한 波濤의 기어올림 높이는 saville의 曲線을 使用하여 求한 R 값보다 大端히 적게 된다. 그러므로 $\frac{1}{70}$ 의 海底勾配上에는 그림. 1의 曲線을 使用하여 求하는 것이 바람직하므로 위와같이 本地區의 地形과 같은 때에는 그림. 1을 써서 求해야할 것이다. 따라서 그림. 1을 써서 求하면 다음과 같다. 그림. 17에서 $H_0 = 6\text{m}$, $L_0 = 156\text{m}$, $H_0/L_0 = 0.0384$, $h_b/H_0 = 1.31$, \therefore 碎波水深 $h_b = 1.31 \times 6 = 7.86\text{m}$, $\therefore \cot a = \frac{150+160-(8-7.86) \times 20 + (4.7-2.7) \times 2}{7.86+4.7} = \frac{311.2}{12.56} = 24.77$

그림. 16 (a) (b)의 mason의 碎波曲線을 使用하여 計算하면 $h_b = 1.31 \times 6 = 7.86\text{m}$ 가 된다. 따라서 碎波點에서 堤防位置까지의 水平距離는 311.2m이다. 지금 $R = 4.7\text{m}$ 로 假定하면 $\cot a = 3.11.2/12.56 = 24.77$ 이 된다. 그림. 1에서 $H_0/L_0 = 0.038$ 의 波形 傾斜曲線上에서 $\cot a = 24.77$ 에 대한 R/H_0 의 값을 求한다면 약 0.77이 된다.

그러므로 $R = 6 \times 0.77 = 4.62\text{m}$ 로 假定한 값 4.7과 근사하다. 다음 또 $H_0 = 9.2\text{m}$, $L_0 = 126\text{m}$ 의 波濤를 생각하면 그림. 16 (b)의 mason의 曲線으로부터 $h_p/H_0 = 1.32$, $h_p = 1.32 \times 6.2 = 8.18\text{m}$ 가 된다. 따라서 碎波點과 堤防과의 距離는 314.6m이다(計算, $R = 5.0\text{m}$ 로 假定, $l = 150 + 160 + (5 - 2.7) \times 2 = 314.6\text{m}$, $h = 8.18 + 5.0 = 13.18\text{m}$), 따라서 $\cot a = 314.6/13.18 = 23.87$ 이 되고 이에 대한 $R/H_0 = 0.81$ 이다. 그러므로 $R = 0.81 \times 6.2 = 5.02\text{m}$ 로서 假定한 $R = 5\text{m}$ 와 大體로 一致한다.

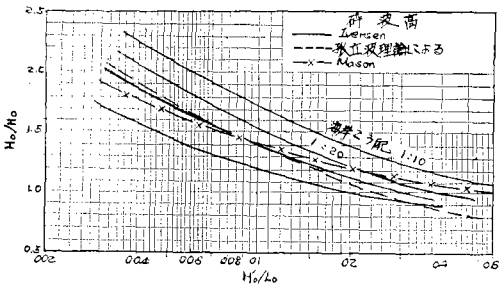


그림. 16 (a). 碎波高計算圖

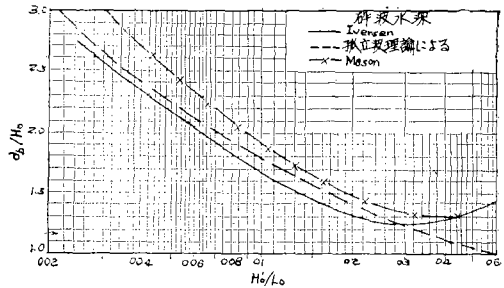


그림. 16 (b). 碎波水深計算圖

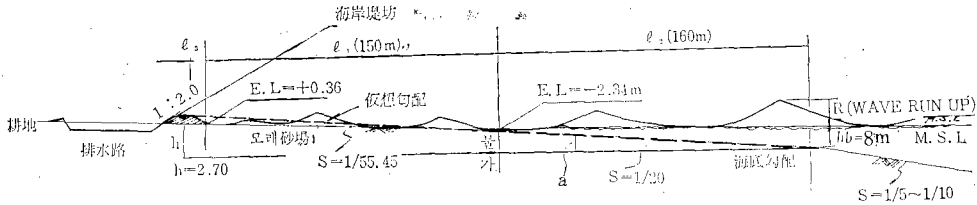


그림. 17. 畝谷地區 海岸堤防의 標準斷面圖(複斷面)

以上과 같이 勾配가 $\frac{1}{30}$ 内外에 該當하므로 堤防을 물가인 碎波點 近處에 設置하는때는 $R=10$ 이고 單斷面으로서 碎波點 가운데 設置한때에는 $R=8$ 이다. 또 堤防을 陸地側으로 150m 떨어져서 設置하는 때는 $R=4\sim 5$ 로 적게 되기때문에 現地與件(防風帶가 물가에서 陸地側으로 떨어져 150m 距離內에 있음) 및 基礎地盤, 盛土材料를 考慮하여 이것을 擇하였다. 이것은 가장 危險한 最大波高가 일어나는 颶風時의 波高, 平均 5.5m 以上에서도 거어올림 높이 (R)는 最大로 4~5m 程度로 判斷되기 때문이다.

IV. 結 論

그러므로 堤防을 陸地側으로 물가에서 約 150m 떨어진 곳에 設置토록 하였다. 極最大 滿潮位인데 E.L. -1.655m이고, 여기서 高潮偏差를 감안하면 그 E.L.(標高)은 -1.34m되나, mean sea level은 E.L. -2.34m로서 이것과 約 1.0m의 差가 생기며 餘裕高 1.0m를 감안하면 約 2m의 餘裕가 있어 堤防을 飛散越流하기가 어려울 것으로 平時의 mean sea level과 背後地의 經濟性, 其他 立地與件을 참작하여 海岸의 堤防 堤頂 標高를 E.L.+4.0m로 計劃하였다. 또 堤防의 斷面型에 對해서는 前述한바와 같이 現地의 土質이 dia=0.15~2.0mm인 白色中細

砂質土이며 機械化施工에 依據 盛土하는 關係와 築造材料의 安息角 등을 고려하여 堤防의 内外斜面을 1:2로 하였다. 또 바다쪽 外斜面은 風浪에 의한 衝擊壓力에 抵抗하고 洗掘을 防止할 수 있도록 돌블림 (0.35×0.35×0.55m)으로 하였다.

堤體는 共히 非塑性體인 모래로 이루어졌기 때문에 斜面安全度에 對한 檢討가 不必要하나 陸地쪽 內斜面은 雨滴 및 강우, 바람에 依한 侵蝕等에 對하여 安全하도록 侵蝕保護工法으로 concrete block, Concrete lining 등의 工法이 있으나 工事費를 감안하여 斜面을 หิน가마니로 覆여서 multhing하고 그것을 새끼와 고치로 固定시켜 그 위에다 現地에서 잘 自生하는 灌木種類인 쪽제비싸리를 植栽하여 植生侵蝕保護工으로 하였다. 또 이곳은 立地與件上 오랜 옛날부터 海岸모래 砂場에 防風海松을 植木하였으나 곳곳의 몇군데를 除外하고는 바람에 幼木이 뽑히는 등 많은 失敗를 해왔던 곳으로 海邊 防風林帶의 存續은 그 무엇보다 더 重要하며 앞으로 永遠히 防風林은(堤防과 함께) 이곳 모든것의 生命으로 남을 것이다.

本 設計例의 紹介가 우리 農業土木技術人들의 손 을 기다리는 西南岸 干拓堤防의 斷面決定에 있어서 多少나마 參考와 도움이 된다면 多幸한 일 이 아닐 수 없겠다.