<論 文>

海雲臺 海水浴場 浸蝕에 미치는 海岸堤防의 影響에 대하여

(A Study on the HAE UN DAE Beach Deformation Caused by the Construction of a Sea Wall)

閔 丙 亨* Byung-Hyung Min
金 嘉 也** Ga-Ya Kim
李 承 輝*** Sung-Hwi Lee

要 旨

本 硏究는 海岸堤防의 設置에 따른 堤防前面의 變形과 堤脚部의 局所的 地形變動量을 알고자 海雲臺의 海洋調査와 2次元 水理模型實驗을 행한 것이며 堤防의 設置位置, 海濱傾斜와 波浪의 特性에 따른 堤防堤脚部의 最大洗掘深, 1次影響範圍, 最大變動量, 最大變動量까지의 距離 및 2次影響範圍의 값들을 究明하여 이들 地形變動量을 줄일 수 있는 海雲臺海水浴場의 浸蝕對策工法에 이바지 하고자 한다.

Abstract

This study has been carried out to investigate into the local scour of wall-toe and the beach deformation caused by the construction of a sea wall.

It has been performed to determine the values of the marine investigation of HAE UN DAE and two dimensional Movable bed hydraulic model test.

From the results of this work aprotection method of HAE UN DAE beach erosion is established to reduce the amount of topography deformation by investigating the values of the constructive position of a sea wall, seabed slope, the maximum scour depth, the first and the second influence range,

the maximum quanitity of beach deformation, and the distance measured from thesea wall to the maximum quantity of beach deformation.

1. 序 論

海濱變形의 豫測은 海岸港灣構造物의 建設에 앞서 행해야 할 環境影響評價 중 가장 重要한 것의 하나이다.

海濱에 海岸構造物이 設置되면 그 構造物에 의한 波浪의 變形의 影響으로 海濱이 變形함과 동시에 構造物에 따른 흐름을 誘發해서 漂砂移動에 큰 變化를 생기게하여 그 結果 構造物 周邊部의 地形에 顯著한 變化를 일으키게 된다. 이러한 例중 하나인 海雲臺 海水浴場은 最近 십여년간 海濱의 侵蝕으로 인한 海水浴場의 砂場面積이 顯著하게 줄어들고 있어 앞으로 對策工法으로서 護岸을 後退시키거나 突堤, 離岸堤 등의 設置와 동시에 人工養濱을 考慮해야 할 단계에 이르렀다. 이에

* 東亞大學校 土木工學科 敎授
** 東亞大學校 大學院 博士課程
*** 東亞大學校 大學院 碩士課程

따라 釜山市當局도 이의 防止對策을 세우고자 苦心하고 있으나 이에 대한 原因이나 機構를 究明할 海洋調査나 硏究를 전혀 행하지 않는 실정이다. 다행히도 海雲臺 海水浴場에 대한 海濱變形에 관심을 가지고 間斷的이나마 몇가지 項目에 걸친 海洋調査와 硏究가 있었으나[1)2)3)4)] 海岸堤防의 設置에 따른 海濱變形에 관해서는 硏究된 바가 없었다.

本 硏究는 海岸堤防의 設置에 따른 堤防前面의 變形과 堤脚部의 局所的 地形變動量을 알고자 現地의 海洋調査와 2次元 水理模型實驗을 행한 것이며 堤防의 設置位置, 海濱傾斜와 波浪의 特性에 따른 堤防堤脚部의 最大洗掘深, 1次影響範圍, 最大變動量, 最大變動量까지의 距離 및 2次影響範圍의 값들을 究明하여 海雲臺 海水浴場의 侵蝕對策工法에 이바지 하고자 한다.

2. 海岸堤防의 設置에 따른 海濱變形 解析

海岸堤防의 設置에 따른 堤脚部의 局所洗掘과 前濱部의 消失現象은 構造物, 移動床海濱, 波浪 및 흐름, 이 三者의 相互作用에 의해 일어나게 되어 이들 三者에 關係되는 수많은 要因이 複雜하게 關係하고 있는 現象이므로 洗掘, 地形變動機構를 力學的으로 解析한다는 것은 現在로서는 어렵기 때문에 여기서는 次元解析과 水理模型實驗에 의하여 解析코자 한다.

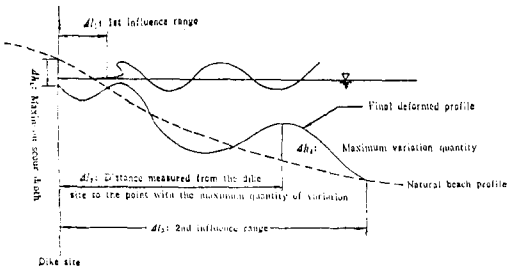

Fig. 1 Schematic representation of the beach deformation

먼저 從屬變數로서는 Fig. 1에서 보는 바와 같은 堤防前面의 最大洗掘深 Δh_1, 1次影響範圍 Δl_1, 最大變動量 Δh_2, 堤防으로부터 最大變動量까지 距離 Δl_2 및 2次影響範圍 Δl_3 등을 들 수 있다. 또한 獨立變數로서는 流體特性으로서 海水의 密度 ρ, 動粘性係數 ν, 重力加速度 g, 底質特性으로서 底質의 平均粒徑 d_{50}, 密度 σ, 空隙率 ε, 모래의 形狀係數 SF, 波浪의 特性으로서 深海波의 波高 H_0, 週期 T, 波浪의 作用時間 t, 構造物의 特性으로서 堤防前面이 水平面과 이루는 角度 θ, 構造物의 設置水深 h_i, 그리고 海濱의 平衡傾斜 i를 들 수 있다. 따라서 海岸堤防의 設置에 따른 海濱變動量 중 堤脚部의 最大洗掘深 Δh_1에 대하여 다음과 같은 關係가 成立한다.

$$\phi_1(\Delta h_1, \rho, \nu, g, d_{50}, \sigma, \varepsilon, SF, H_0, T, t, \theta, hi, i)=0 \quad \cdots\cdots (2\text{-}1)$$

Buckingham의 π 定理로부터 式 (2-1)은 다음과 같은 無次元量으로 表示된다.

$$\phi_2\left(\frac{\Delta h_1}{H_0}, \frac{T\nu}{H_0^2}, \frac{gT^2}{H_0^2}, \frac{d_{50}}{H_0}, \frac{\sigma}{\rho}, \varepsilon, SF, \frac{t}{T}, \theta, \frac{h_i}{H_0}, i\right)=0 \quad \cdots\cdots (2\text{-}2)$$

이들 無次元量 중 底質의 特性을 나타내는 ε는 海濱砂인 경우 대략 0.4~0.6이고, SF도 模型의 底質로서 모래를 사용하면 거의 一定할 것이므로 省略할 수 있다. 그리고 $\frac{T\nu}{H_0^2}$는 粘性의 效果를 나타내는 값이지만 海濱變形 現象에서는 粘性의 影響이 적으므로 또한 省略할 수 있다. 모래나 捨石의 力學的 問題의 取扱에는 水中의 무게가 重要하므로 $\frac{\sigma}{\rho}$代身에 $\left(\frac{\sigma}{\rho}-1\right)$로 쓰고 $\frac{h_i}{H_0}$는 海岸堤防의 設置位置를 나타내는 無次元量인데, 이를 물가선에서 堤防까지의 距離 x와 無堤時의 平衡海濱에 있어서의 물가선과 碎波點과의 距離 X_b로서 바꾸어 쓰면, 式 (2-2)는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\frac{\Delta h_1}{H_0}=\phi_3\left(\frac{gT^2}{H_0}, \frac{d_{50}}{H_0}, \frac{x}{X_b}, i, \frac{t}{T}, \theta, \frac{\sigma}{\rho}-1\right) \quad \cdots\cdots (2\text{-}3)$$

本 硏究에서는 鉛直堤防만을 取扱하였으므로 θ는 一定하고, 波浪의 作用時間 $\frac{t}{T}$도 模型과 原型에서 어떤 同一造波數에 있어서의 地形變化量을 생각한다면 그 값이 一定하므로 省略된다. 따라서 式 (2-3)은 다음과 같이 된다.

$$\frac{\Delta h_1}{H_0}=\phi_4\left(\frac{gT^2}{H_0}, \frac{d_{50}}{H_0}, \frac{x}{X_b}, i, \frac{\sigma}{\rho}-1\right) \quad \cdots\cdots (2\text{-}4)$$

式 (2-4)중의 $\frac{gT^2}{H_0}$, $\frac{d_{50}}{H_0}$, $\left(\frac{\sigma}{\rho}-1\right)$의 3개의 無次元量을 아래와 같이 묶어서

$$\left\{\left(\frac{\sigma}{\rho}-1\right)\cdot\frac{gT^2}{H_0}\cdot\frac{d_{50}}{H_0}\right\}^{-1/2}=H_0/T\Big/\sqrt{\left(\frac{\sigma}{\rho}-1\right)gd_{50}}=N_s \quad [5)] \quad \cdots\cdots (2\text{-}5)$$

로 나타내면 이 N_s는 漂砂帶全域에 作用하는 無次元掃流力이다. 式 (2-4)중 $\frac{gT^2}{H_0}$의 逆數를 취하고 變形하

면 $\frac{H_0}{L_0}$가 되며, Battjes[6]가 提案한 式 (2-7)의 ξ를 使用하면 式 (2-4)는 式 (2-6)이 된다.

$$\therefore \frac{\Delta h_1}{H_0}=\phi_5\left(N_s,\ \xi,\ \frac{x}{X_b}\right) \quad \cdots\cdots(2\text{-}6)$$

$$\xi=i/\sqrt{H_0/L_0} \quad \cdots\cdots(2\text{-}7)$$

ξ; 碎波帶 相似파라미더(surf similarity parameter)

3. 海雲臺 海水浴場의 海象 및 海濱調査

3-1 海 象

海雲臺 海水浴場은 釜山市 中心部에서 北東方向에 位置하고 海岸線 길이는 總 1.8km이며, 海濱幅은 10~60m이다.

砂濱의 發達方向은 1.5km정도가 SWW16°이며, 나머지 0.3km는 SEE方向으로 位置한 非對稱 bight形砂濱이다. 砂濱前面 (Fore shore)은 玄海灘을 향한 外海方向으로 完全露出되어 있어 週期的으로 來襲하여 오는 S, SE, SSE, SSW方向의 卓越波浪 중 S19°W와 S 34°E 方向의 波浪影響[7]을 가장 많이 받고 있다. 또한 現地海岸에서의 波高 및 週期記錄은 전혀 없어 釜山外港에서 觀測된 高波 및 週期를 利用하고자 1980~1983年 (4個年)의 資料를 綜合하여 Table 1의 값을 얻었다.

3-2 海濱調査

砂濱의 汀線및 斷面變化過程을 調査하기 위하여 海濱을 20m 간격으로 測深網을 設定하였다. 現地에서의 斷面測定은 200m간격으로 陸上海濱에서는 Level를 利

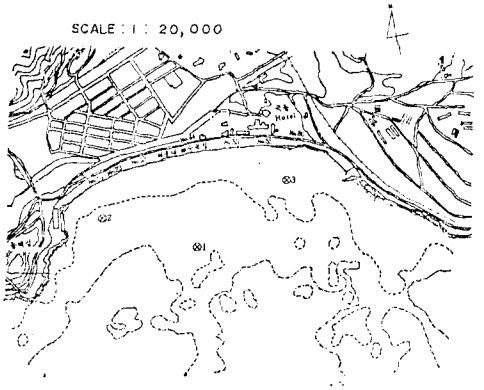

Fig. 2 Plane on the HAE UN DAE Beach

用하여 水準測量을 행하였고 海上에서는 六分儀로서 位置를 定하면서 音響測深器로서 水深測量을 하였다. 海雲臺 海濱의 平面圖는 Fig. 2와 같으며 No. 15, 23, 33, 44, 55, 65, 80地點을 代表地點으로 하였다. 1983年 1月에서 1984年 7月까지 15回 걸쳐 觀測된 橫斷變化는 각각 Fig. 3~9와 같다.

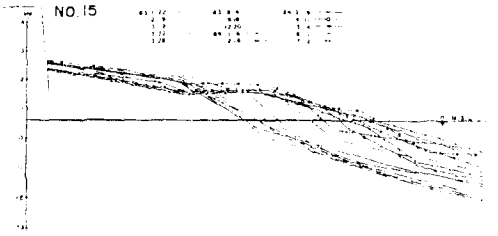

Fig. 3 Representative prefile of beach deformation.

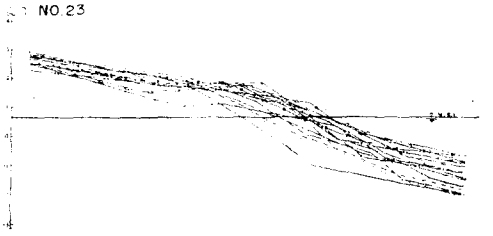

Fig. 4 Representative profile of beach deformation

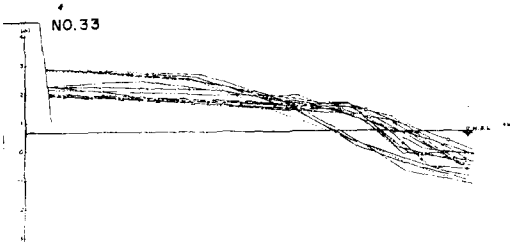

Fig. 5 Representative profile of beach deformation

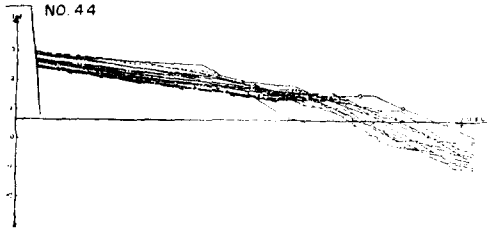

Fig. 6 Representative profile of beach deformation

Table 1. Frequency of occurance of wave height and Period (1980～1983)

週期(sec) / 波高(m)	0～5	5～7	7～9	9～11	11～13	13～15	15以上	小 計	備 考
0.5 未滿	1,026 (70.2)	31 (2.1)	45 (3.1)	19 (1.3)	9 (0.6)	2 (0.1)		1,132 (77.5)	回 數 (%)
0.5～0.99		91 (0.2)	112 (7.7)	24 (1.6)	13 (0.8)	3 (0.2)		243 (16.6)	
1.0～1.49		13 (0.9)	30 (2.1)	7 (0.5)	5 (0.3)	1 (0.0)		56 (3.8)	
1.5～1.99		2 (0.1)	12 (0.8)	4 (0.3)				18 (1.2)	
2.0～2.49			6 (0.4)					6 (0.4)	
2.5～2.99			2 (0.1)	1 (0.0)				3 (0.2)	
3.0 上小			1 (0.0)	1 (0.0)	1 (0.0)			3 (0.2)	
小 計	1,026 (70.2)	137 (9.4)	208 (14.2)	56 (3.8)	28 (1.9)	6 (0.4)		1,461 (100.0)	

Table 2. Median diameter S.b. slope of beach sand

point / Date	No. 23		No. 44		No. 65		Remarks
	Sea bottom slope	d_{50}	Sea bottom slope	d_{50}	Sea bottom slope	d_{50}	
81.10.25	1/12	0.76	1/13	0.85	1/18	0.46	d_{50} : mm
11.5	1/11		1/13		1/18		No. 23 : (1/10～1/16)
11.27	1/10	0.70	1/14	0.70	1/27	0.42	
12.17	1/12	0.70	1/17	0.65	1/24	0.40	No. 44 : (1/13～1/20)
12.27	1/11		1/14		1/24		
82. 1.7	1/11	0.69	1/14	0.53	1/25	0.36	No. 65 : (1/18～1/30)
2.7		0.51		0.48		0.37	
3.11	1/11	0.51	1/18	0.48	1/22	0.36	
3.17	1/13	0.50	1/18	0.48	1/26	0.35	
5.16	1/10	0.50	1/20	0.46	1/30	0.35	
6.6	1/10	0.48	1/20	0.45	1/28	0.35	
83. 1.22	1/10	0.46	1/19	0.41	1/21	0.33	No. 23 : (1/12～1/19)
2.9	1/12		1/15		1/19		
3.12	1/16		1/14		1/23		No. 44 : (1/14～1/22)
3.22	1/12		1/18		1/27		
3.28	1/11		1/22		1/24		No. 65 : (1/19～1/30)
8.4	1/13	0.44	1/20	0.40	1/25	0.40	
8.23	1/12	0.43	1/19	0.40	1/25	0.40	
9.18	1/13		1/19		1/25		
11.5	1/14		1/20		1/27		
12.20	1/14	0.43	1/20	0.41	1/27	0.37	
84. 1.6	1/13	0.44	1/21	0.41	1/28	0.37	
2.16	1/12	0.43	1/21	0.40	1/28	0.35	
4.11	1/19	0.44	1/21	0.40	1/30	0.33	
6.1	1/18	0.44	1/22	0.40	1/29	0.31	

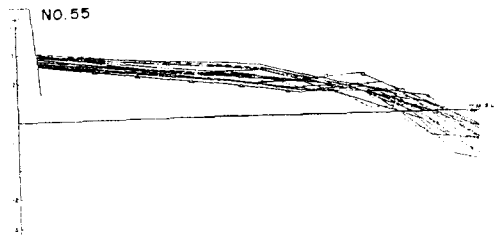

Fig. 7 Representative profile of beach deformation

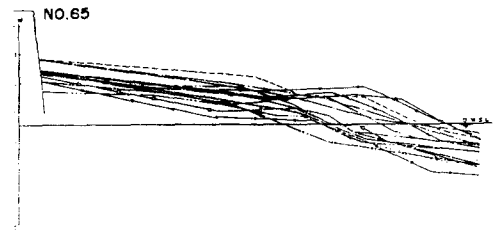

Fig. 8 Representative profile of beach deformation

Fig. 9 Representative profile of beach deformation

Fig. 3～9까지의 海濱斷面變化를 綜合하여 海雲臺 海水浴場의 代表構斷面을 圖示한 바 Fig. 10과 같았다. Fig. 10에서 汀線에서 水深 3m까지의 海底傾斜는 대략 1/30이고 그보다 깊은곳은 1/60의 海底傾斜로 되어 있었다.

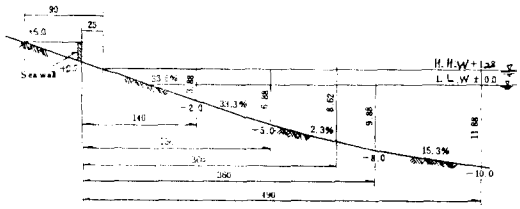

Fig. 10 Representative profile on the HAE UN DAE beach

또한 각 代表地點의 護岸에서 汀線까지의 距離를 經年的으로 나타내면 Fig. 11과 같다.

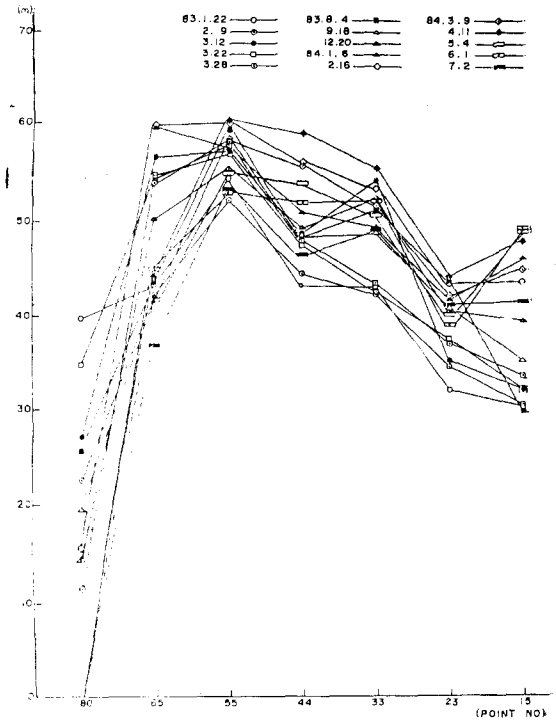

Fig. 11 Diagram of distances from seawall to shoreline

3-3 海底物質調査

각 砂濱의 地形變化와 堆積 또는 侵蝕되고 있는 底質粒子사이의 函數關係를 究明하기 위하여 砂濱의 각 斷面을 中心으로 스쿠버의 協助를 받아 海底砂를 採取하여 粒度分析實驗을 行하여 얻어진 底質의 平均粒徑(d_{50})은 Table 2～3과 같다.

그러나 Table 2에서 나타난 값들은 固定된 값이 아니고 그때의 波浪에 對應하고 있는 것이다. Table 3에서는 粒子의 構成分布現象을 보다 局部的으로 알기 위하여 距離에 따른 分布現況을 나타낸 것이다. 또한 實驗對象地點의 粒徑은 0.39～0.85mm로서 平均粒徑 d_{50}=0.62mm를 現地의 代表粒徑으로 보았다.

3-4 浮流砂 및 掃流砂 調査[8)]

浮遊砂 및 掃流砂의 採取地點은 Fig. 2에서 ⊗1로 表示된 곳이다.

가. 海水中의 浮遊砂

本 海域의 海水中의 浮遊砂量을 調査하기 위하여 滿干潮別로 中層(6/10의 深度)의 海水試料 2l 식을 轉倒採水器에 의해 採水하였다.

이들 試料들의 海水中의 浮遊物質의 量을 測定한 結

Table 3. Diameter at representative point in the distance

d_{50} distance / point	diameter(mm) 50(m)	100(m)	200(m)	300(m)	400(m)	500(m)	Remarks
No. 23	0.79	0.48	0.42	0.47	0.37	0.30	Surveying 83. 8.24
No. 33	0.78	0.50	0.46	0.43	0.40	0.25	
No. 44	0.65	0.39	0.38	0.40	0.36	0.26	
No. 55	0.50	0.38	0.40	0.41	0.38	0.20	
No. 65	0.48	0.45	0.39	0.40	0.33	0.11	

Table 4. Results of Suspended Load Observation

Water Depth (m)	Layer	Flood Tide Date	Flood Tide Weight (mg/l)	Ebb Tide Date	Ebb Tide Weight(mg/l)
9.2	Mid	9.2 16 : 30	9.5	8.26 14 : 30	8.0

Table 5. Results of Directional Suspended Load Drift Sampling

Water Depth (m)	obs. day & Dire. / Amount	8.17^{16h}~8.23^{09h} E	W	S	N	8.23^{09h}~8.31^{13h} E	W	S	N	8.31^{13h}~9.4^{10h} E	W	S	N
9.2	Drift(g)	20	40	30	30	131	108	137	158	65	100	96	75
	g/day	3.5	7.0	5.3	5.3	16.0	13.2	16.7	19.3	16.7	25.6	24.6	19.2

Table 6. Results of Bed Load observation

Water Depth(m)	obs. Day / Amount	8.17^{16h}~8.23^{09h}	8.23^{09h}~8.31^{13h}	8.31^{h}~9.4^{10h}	Remarks
9.2	Amount	90	300	73	Daily Mean
	Drift(g)				(g/Day)
	g/Day	14.75	36.59	18.72	23.35

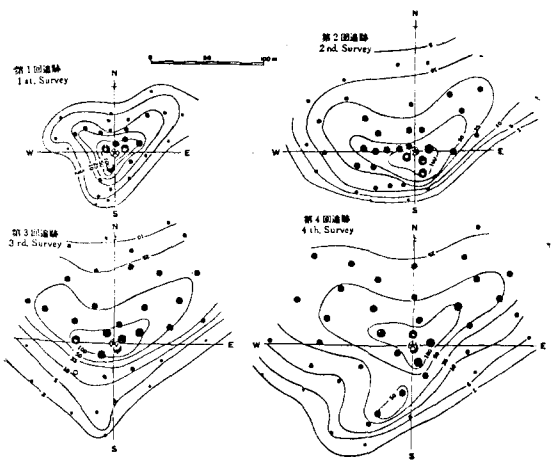

Fig. 12 Fluorescent sand distribution (⊗2)

果는 Table 4와 같다.

나. 方向別 捕砂器에 의한 浮遊砂

이 調査는 海底에서 0.5m 부근의 底層水中의 浮遊砂의 移動量을 推定하기 위한 것으로서 延 3回에 걸쳐 調査하였다. 調査器는 ϕ5~6cm의 竹桿筒 4個 (0.3m 높이에 2cm×5cm의 直四角形 구멍이 뚫림)을 正方型 앵글 架臺(四方 1.0m×높이 0.5m)에 東西南北 4方向으로 固定시킨 것이다.

觀測結果는 Table 5와 같다.

다. 掃流砂

海底砂의 掃流現象을 파악하기 위하여 海底에 掃流砂器(높이 10cm×폭 30cm× 길이 50cm)를 安置시켰다가 4~7日 간격으로 引揚하여 放置期間中의 掃流砂量을 延 3回에 걸쳐 測定하였다.

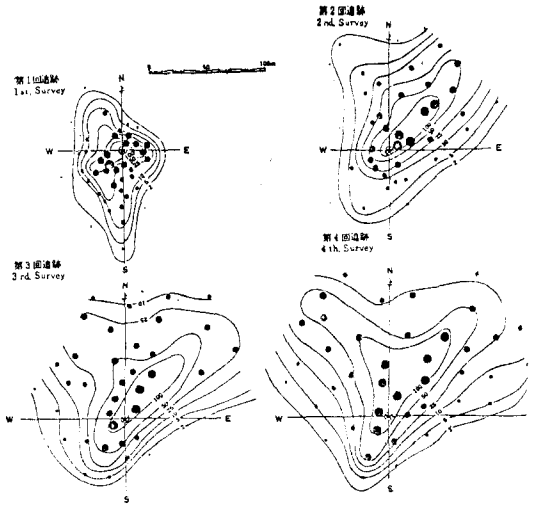

Fig. 13 Fluorescent sand distibution (⊗3)

測定成果는 Table 6과 같다.

3-5 螢光砂追跡調査[8]

螢光砂追跡調査地點은 Fig. 2에서 ⊗2, ⊗3 으로 表示하였다.

가. 調査方法

海底砂의 移動을 調査하기 위하여 天然砂에 流砂調査用 螢光塗料를 染色한 螢光砂를 200kg씩 투입한 후 약 1개월간에 걸쳐 4~7日 간격으로 延 4回 追跡採砂하여 分析하였다.

나. 螢光砂追跡

採砂方法은 투입점을 中心으로 하여 8~12方位로 약 10~15m 간격으로 總 50~75個 地點에서 그레브型 採砂器에 의해 약 600gr의 시료를 採取하였고 각 採取點의 位置는 六分儀 測量으로 결정하였다.

위와같이 螢光砂에 의해 얻어진 海底砂의 移動狀況을 圖示하였더니 Fig. 12~13과 같았다.

Table 7. Values of C $i=1/30$, $d_{50}=0.062$cm

H_0(m) / T(sec)	0.5	0.75	1.0	1.25	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
3	13.1	19.7	26.3	32.8	39.4	52.5	65.6	78.8	91.8	105.0	118.1	131.3
4	10.9	16.3	21.7	27.1	32.6	43.4	54.3	65.1	76.0	86.9	97.7	108.6
5	9.4	14.1	18.7	23.4	28.1	37.5	46.8	56.2	65.0	75.0	84.3	93.7
6	8.3	12.5	16.6	20.8	24.9	33.2	41.5	49.8	58.2	66.5	74.8	83.1
7	7.5	11.3	15.0	18.8	22.5	30.0	37.5	45.0	52.5	60.0	67.5	75.0
8	6.9	10.3	13.7	17.2	20.6	27.5	34.4	41.2	48.1	55.0	61.8	68.7
9	6.4	9.5	12.7	15.9	19.1	25.4	31.8	38.1	44.5	50.9	57.2	63.6
10	5.9	8.9	11.9	14.8	17.8	23.7	29.7	35.6	41.5	47.4	53.4	59.3
11	5.6	8.4	11.1	13.9	16.7	22.3	27.8	33.4	39.0	44.5	50.1	55.7
12	5.3	7.9	10.5	13.1	15.8	21.0	26.3	31.5	36.8	44.1	47.3	52.6
13	5.0	7.5	10.0	12.5	15.0	20.0	24.9	29.9	34.9	39.9	43.9	50.0
14	4.7	7.1	9.5	11.9	14.2	19.0	23.7	28.5	33.2	38.0	42.7	47.5

4. 水理實驗

4-1 實驗對象波浪의 決定

本 實驗에서는 現地海濱에서의 4年 동안의 週期, 波高 觀測記錄과 砂村[9]가 漂砂의 移動에 따른 侵蝕, 堆積의 基準을 實驗으로 통해 提案한 式

$$H_0/L_0<0.1\text{의 경우 } C=\frac{H_0}{L_0}\left(\frac{d_{50}}{L_0}\right)^{-0.67}(i)^{0.27}\geq 18 \quad \cdots\cdots(4\text{-}1)$$

에 의해서 堆積性을 보이는 波浪중 가장 큰 값인 $H_0=1.0$m, $T=8$sec 또 多期波浪 中 4種등 도합 7種類를 實驗對象波浪으로 選定하였다. C값 및 實驗對象波浪은 Table 7~8과 같다.

Table 8. Wave Charactics used in the experiment

Wave No.	H(m)	T(sec)	H_0/L_0	N_s
W-1	1.0	8	0.010	1.25
W-2	1.5	8	0.0150	1.87
W-3	2.25	8	0.0225	2.81
W-4	3.0	10	0.0192	3.0
W-5	3.5	10	0.0224	3.46
W-6	4.5	10	0.0288	4.45
W-7	5.5	11	0.0291	5.44

4-2 模型縮尺의 決定

가. 幾何學的 縮尺의 算定

本 實驗에서는 實驗水槽의 크기를 고려하여 幾何學的 縮尺을 入=1/30로 했다. 이때 Table 8의 現地波浪은 Froude則에 따라 Table 9와 같이 縮尺되었다.

Table 9. Wave characeristics used in the experiment (in the Model)

Wave No.	H(cm)	T(sec)	H_0/L_0	N_s
W-1	3.3	1.46	0.009	0.40
W-2	5.0	1.46	0.015	0.60
W-3	7.5	1.46	0.022	0.90
W-4	10.0	1.83	0.019	0.96
W-5	11.7	1.83	0.022	1.12
W-6	15.0	1.83	0.028	1.44
W-7	18.3	2.0	0.029	1.81

나. 低質 縮尺의 算定

現地 低質砂의 平均粒徑 d_{50p}=0.062cm이므로 0.015 cm<d_{50p}<0.4cm에서의 沈降速度는 $\omega_0 \propto d_{50}^n$, $\frac{1}{2}<n<2$로 나타난다. d_{50p}에 대한 沈降速度 ω_{0p}를 Yalin[10]의 圖表에서 읽어 ω_{0p}=10.56cm/sec를 구하였다. ω_{0m}은 式 $\frac{\omega_{0m}}{\omega_{0p}}=\frac{U_{*m}}{U_{*p}}=(\lambda)^{1/2}$로 부터

$$\omega_{0m}=(\lambda)^{1/2}\omega_{0p}=1.93(\text{cm/sec})$$

가 되고, 이 ω_{0m}에 대응하는 d_{50m}을 역시 Yalin[9]의 圖表에서 읽어 d_{50m}=0.02cm인 低質粒徑을 模型底質砂로서 決定하였다.

이때 底質粒徑의 縮尺은

$$n_{d50}=\frac{d_{50m}}{d_{50p}}=\frac{0.02}{0.062}\fallingdotseq\frac{1}{3}$$이다.

다. 時間縮尺의 算定

時間縮尺을 決定하는 式[11]에 λ=1/30, n_{d50}=1/3을 代入하고 整理하면

$$n_t\fallingdotseq 18.26\exp(-0.99A_p\cdot M) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(4\text{-}3)$$

이 얻어진다. Table 8으로 부터 現地의 $N_S(=N_{SP})$는 1~5의 範圍에 있으므로 現地의 $A(=A_P)$의 값은 대략 5×10^{-3}~5×10^{-4}이라 推定된다. 따라서 위 時間縮尺을 決定하는 式 n_t는 造波開始 直後에는 $e^{-0.9A_p\cdot M}\fallingdotseq1.0$이 되므로 $n_t\fallingdotseq18.26$

즉, 模型의 造波時間의 약 1/18.26이 現地 時間에

Table 10. Cases of experiments

Case No.	Wave No.	Proto H_P(m)/T_P(sec)	Model H_m(cm)/T_m(sec)	Remarks
C-1-0	W-1	1.0m/8sec	3.3cm/1.46sec	無
C-1-1	W-1	1.0m/8sec	3.3cm/1.46sec	x=10m
C-2-0	W-2	1.5m/8sec	5.0cm/1.46sec	無
C-2-1	W-2	1.5m/8sec	5.0cm/1.46sec	x=10m
C-3-0	W-3	2.25m/8sec	7.5cm/1.46sec	無
C-3-1	W-3	2.25m/8sec	7.5cm/1.46sec	x=10m
C-3-2	W-3	2.25m/8sec	7.5cm/1.46sec	x=25m
C-4-0	W-4	3.0m/10sec	10.0cm/1.83sec	無
C-4-1	W-4	3.0m/10sec	10.0cm/1.83sec	x=10m
C-4-2	W-4	3.0m/10sec	10.0cm/1.83sec	x=25m
C-5-0	W-5	3.5m/10sec	11.7cm/1.83sec	無
C-5-1	W-5	3.5m/10sec	11.7cm/1.83sec	x=10m
C-5-2	W-5	3.5m/10sec	11.7cm/1.83sec	x=25m
C-6-0	W-6	4.5m/10sec	15.0cm/1.83sec	無
C-6-1	W-6	4.5m/10sec	15.0cm/1.83sec	x=10m
C-6-2	W-6	4.5m/10sec	15.0cm/1.83sec	x=25m
C-6-3	W-6	4.5m/10sec	15.0cm/1.83sec	x=40m
C-7-0	W-7	5.5m/11sec	18.3cm/2.0sec	無
C-7-1	W-7	5.5m/11sec	18.3cm/2.0sec	x=10m
C-7-2	W-7	5.5m/11sec	18.3cm/2.0sec	x=25m
C-7-3	W-7	5.5m/11sec	18.3cm/2.0sec	x=40m

該當하나, 造波數 M의 增加와 함께 時間縮尺은 指數函數的으로 減少해 간다.

現地 A의 平均값은 10^{-3}정도이므로

M=100波에서 $n_t \fallingdotseq 16.54$

M=500波에서 $n_t \fallingdotseq 11.13$

M=1000波에서 $n_t \fallingdotseq 6.78$

M=5000波에서 $n_t \fallingdotseq 0.13$

이다.

本 實驗對象波浪의 平均週期를 9秒라 하면 이 波浪이 10時間 來襲했을때 來襲波數 M은 4000波가 되므로 이때의 地形變動의 時間縮尺 $n_t \fallingdotseq 0.348$이다 따라서

$\therefore t_m$=210分이 된다.

4-3 實驗種類

基本的인 護岸斷面은 鉛直堤防을 1/30로 縮尺한 것을 對象으로 하였다. 護岸設置位置는 初期平衡海濱의 물가선에서 陸岸쪽으로 10m, 25m, 40m地點 設置하였다. 實驗種類를 綜合하면 Table 10과 같다.

4-4 實驗裝置 및 方法

길이 25.2m×높이1.0m×幅 0.6m인 그 한쪽면의 一部를 아크릴板을 붙인 2次元 造波水槽를 사용하였다. 造波裝置의 反對쪽에는 Fig.14와 같이 傾斜 1/100의木製水路床을 設置하고 水深 10cm보다 얕은 곳은 1/30의 傾斜로 하고 그 보다 깊은 곳은 1/60의 傾斜가 되겠끔 d_{50}=0.2mm의 混合砂를 깔아서 模型 海濱으로 하였으며 그 두께는 10~30cm가 되게 하였다.

實驗은 다음 順序로 하였다.

가. 먼저 水深 10cm보다 깊은 곳은 1/60, 10cm보다 얕은 곳은 1/30의 傾斜가 되도록 整地한다.

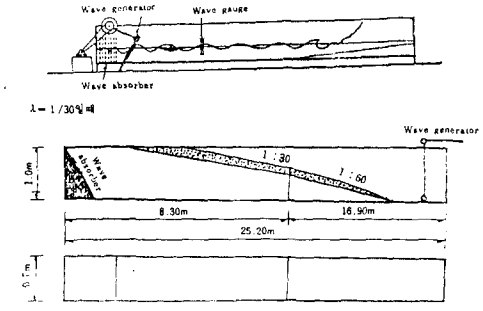

Fig. 14 Schematic representation of the experiment flume.

나. $W-1$ (H_0=3.3cm, T=1.46sec)의 波를 3시간 30분 作用시키, 現地 初期平衡海濱 斷面을 만들고, 이 平衡斷面을 測定한다.

다. 다음에 Table 10에서 나타낸 鉛直堤防을 設置位置마다 設置하고, 波浪의 作用時間이 5分, 15分, 30分, 60分, ……, 210分이 될 때마다 造波를 中止하고 海濱斷面 形狀을 測定한다.

5. 實驗結果

5-1 模型實驗의 再現性

水深 10cm보다 얕은 곳은 1/30, 10cm보다 깊은 곳은 1/60로 整地한 뒤 $W-1$(H_0=3.3cm, T=1.46cm)의 波浪을 3시간 30분 作用시킨 후의 海濱斷面은 Fig. 15와 같으며 Fig.15에 現地 海濱斷面을 再現하고 있는가를 檢討한 것이 Fig.16이다. 實線은 現地의 No.15~80 地點까지 7個地點의 海濱斷面을 汀線이 一致되겠금 그린 것이다. Fig.16에서 흰 동그라미표(○)는 實驗으로 再現된 初期平衡海濱斷面의 平均的인 形狀을 나타낸 것이다.

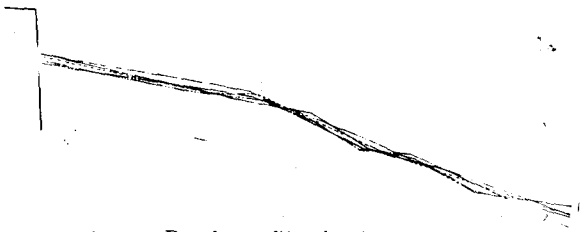

Fig. 15 Beach profiles in the experiment

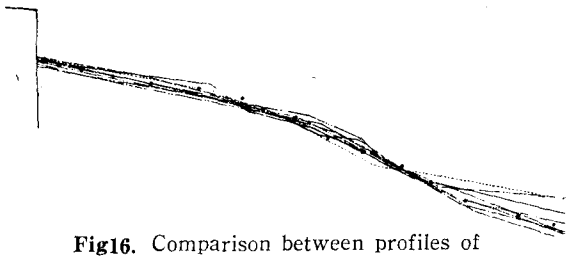

Fig16. Comparison between profiles of natural and model beach

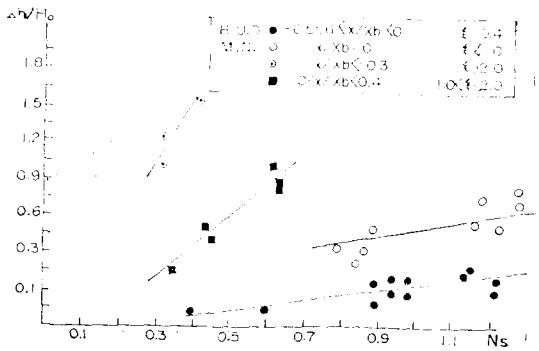

Fig. 17 Relation between $\Delta h_1/H_0$ and N_s

5-2 最大洗掘深 Δh_1

종래의 局所洗掘의 硏究는 堤防의 最大洗掘深과 最終洗掘深에 관한 것들이었으나 海岸堤防의 維持, 根入工의 設計 등 工學的 目的에서는 가장 危險한 最大洗掘深을 취해야 한다. 따라서 関[11]의 次元解析에 따른 最大洗掘深 Δh_1는 $\Delta h_1/H_0=\phi(N_s,\xi,x/X_b)$이다.

여기서는 $\xi<0.4$인 경우 뿐이므로 그 相關圖를 plot 한 結果 Fig. 17과 같다.

5-3 1次影響範圍, Δl_1

平衡狀態의 海濱에 海岸堤防을 設置했을때, 이것에 特性이 다른 波浪이 來襲하면 海濱이 變形하게되고 이때 Fig. 1에서와 같이 海岸堤防에서 最終變形斷面이 初期平衡斷面과 交差하는 點까지의 水平距離를 1次影響範圍라 한다.

따라서 1次影響範圍의 값 Δl_1 역시,

$\Delta l_1/L_0=\phi(N_s,\xi,x/X_b)$로 구한다.

實驗結果 얻어진 값을 圖示하면 Fig. 18과 같다.

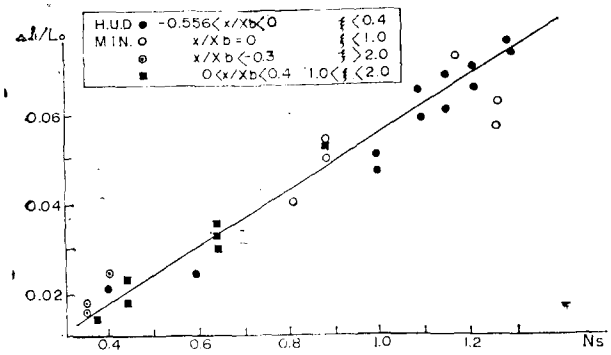

Fig. 18 Relation between $\Delta l_1/L_0$ and N_s

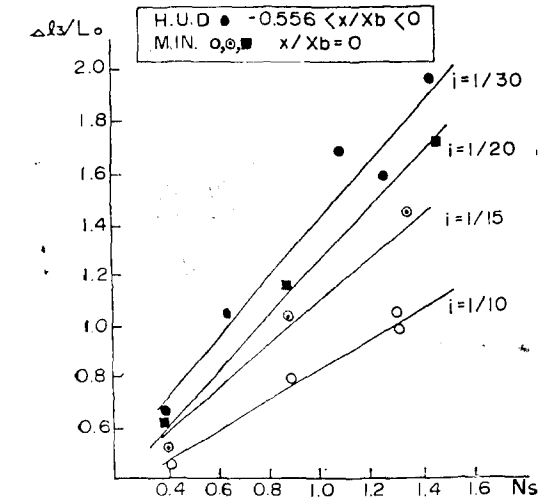

Fig. 19 Relation between $\Delta l_3/L_0$ and N_s

5-4 2次影響範圍, Δl_3

2次影響範圍란, 平衡海濱에 海岸堤防이 設置되고, 그후 어떤 來襲波가 왔을 때의 地形變動量 Δh가 砂漣의 높이[12][13]보다 크지 않는 地點까지의 堤防으로 부터의 水平距離를 말하고, 이는 海岸環境保全的意味를 가진다.

따라서 2次影響範圍 Δl_3의 값도

$\Delta l_3/L_0=\phi(N_s,\xi,x/X_b)$로 구한다.

Δl_3의 값을 整理하면 Fig. 19와 같다.

5-5 最大變動量, Δh_2

最大變動量 Δh_2도

$\Delta h_2/H_0=\phi(N_s,\xi,x/X_b)$

와 같이 나타낼 수 있고 浸蝕型과 堆積型에 대한 實驗結果를 整理하면 Fig. 20~21과 같다.

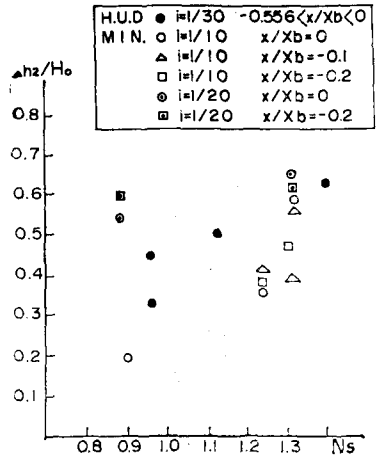

Fig. 20 Relation between $\Delta h_2/H_0$ and N_s (Erosion type)

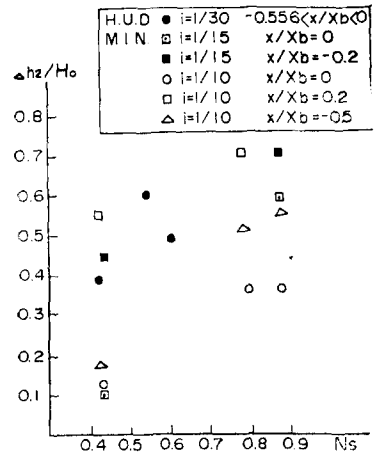

Fig. 21 Relation between $\Delta h_2/H_0$ and N_s (accretion type)

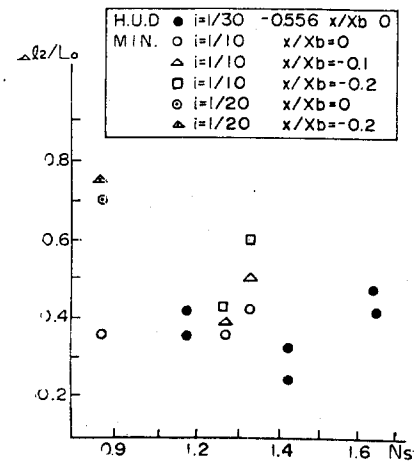

Fig. 22 Relation between $\Delta l_2/L_0$ and N_s (Erosion type)

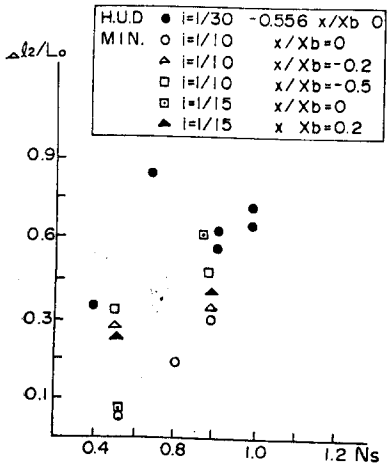

Fig. 23 Relation between $\Delta l_2/L_0$ and N_s (Accretion type)

5-6 最大變動量發生地點까지의 距離, Δl_2

最大變動量發生地點까지의 距離 Δl_2도,

$$\Delta l_2/L_0=\phi(N_s, \xi, x/X_b)$$

로 나타낼 수 있고 浸蝕型과 堆積型에 대한 實驗結果를 整理하면 Fig. 22~23과 같다.

6. 考 察

1) 海濱調査에 대하여

가. Fig. 3~9와 Fig. 11에서 보면 海濱斷面의 汀線이 後退하는 傾向이 顯著히 나타나고 있으며 또한 落潮때 Wave Energy가 集中되는 No. 80地點附近에는 심한 浸蝕現象을 보였다. 그러나 조선비치쪽인 No. 15 地點附近에는 늦겨울에서부터 초여름에 접어들면서 점점 堆積되어가는 現象을 나타내고 있는데 이는 漲潮때 Wave Energy의 集中과 離岸流의 影響으로 여겨진다. 그리고 現在의 最終斷面이 Concave Profile(凹型)을 나타내고 있어 浸蝕現象이 계속 進行될 것으로 보여지며 이러한 傾向은 同期間동안의 卓越한 波浪과 海濱流 및 海岸構造物과도 관계가 깊은 것으로 생각되어진다.

나. Table 2에서 보면 No. 15地點에서 No. 80地點方向으로 갈수록 海濱傾斜는 緩漫해지며 海濱砂의 粒徑 역시 가늘어지고 있다. 이는 関[10]의 硏究結果인 海濱傾斜 i가 완화할수록 地形變化量이 급격하다는 것과 一致함을 보여주고 있다. 또한 이는 溫泉및 海水浴場을 겸비한 國內의 第一 관광지로서 여름철 海水浴場 利用客들이 밟으므로 인한 磨耗現象으로 짐작된다. 그리고 經年的變化를 No. 23, 44, 65 點點의 d_{50}를 圖示한 것이 Fig. 24와 같다.

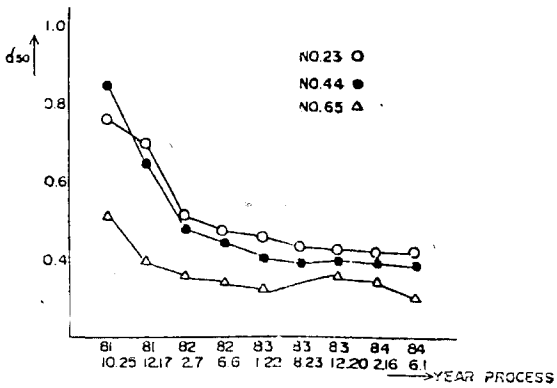

Fig. 24 Diameter in Year Process

다. 浮遊砂 및 掃流砂의 調査 結果에 의하면, 海雲臺外側 450m 海域에서 浮遊砂量은 약 9mg/l로서 약간의 變化 밖에 보이지 않고 있다. 그리고 方向別 捕砂器에 의한 浮遊砂量은 各 方向으로 약 12~15g/日을 나타내고 있고 그 粒徑 構成比를 보면 Fine Sand 7.1%, Silt 83.3%, Clay 9.6%로 이루어져 있다. 또한 掃流砂量은 매우 적은 23gr/日을 나타내고 있다.

그 粒徑 構成比는 Fine Sand 1.5%, Silt 94.1%, Clay 4.4%로 이루어져 있다.

라. 海雲臺 海濱의 21日間에 걸친 螢光砂 追跡調査 結果는 NE 및 NW方向으로 약 150~200m移動하였다.

2) 模型實驗의 再現性에 대하여

海雲臺 海濱에 대한 水理模型實驗에 있어서의 底質縮尺과 時間緖尺에 의하여 행하여진 實驗結果는 現地와 좋은 再現性이 確認되었다.

3) 局所洗掘에 대하여

現地調査에 의하면 No.75地點에서부터 No.83地點에서는 砂濱의 完全流失로 인한 堤防前面의 洗掘現象이 심하게 일어나고 있으며 이는 本 研究의 結果 堤防設置位置 x/X_b와 底質粒徑과 波高와의 比 d_{50}/H_0, 波形傾斜 H_0/L_0을 考慮한 漂砂帶의 無次元掃流力 N_s에 의하여 判別될 수 있음을 알았고 이로 인하여 局所洗掘深과 1次影響範圍의 값을 定量的으로 解析할 수 있게 되었다. 따라서 이 地點은 海岸保全的인 面에서 堤防設置位置가 考慮되어야 할 것으로 思料된다.

4) 2次影響範圍에 대하여

外海쪽 地形의 變動을 代表하는 2次影響範圍 Δl_3, 最大變動量 Δh_2, 最大變動量까지의 距離 Δl_2등의 地形變動量은

$$\frac{\Delta l_2}{L_0},\ \frac{\Delta h_2}{H_0},\ \frac{\Delta l_3}{L_0}=\phi''(N_s,\xi,x/X_b)$$

로서 表示되나 外海쪽 地形變動에 있어서는 ξ_b의 影響보다는 碎波點보다 外海쪽까지의 海濱傾斜 i와 강한相關關係로 나타낸 點이 局所洗掘量과 다른 點이었다.

2次影響範圍 Δl_3의 값을 나타낸 Fig.19에서 i의 값이 적어짐에 따라 2次影響範圍 Δl_3의 값이 커지는 강한 直線的인 相關關係를 알 수 있다. 즉 海濱傾斜 i가 완화할수록 地形變化量이 급격함을 알수 있다.

5) 最大變動量 및 最大變動量 發生地點까지의 距離에 대하여

Fig.20, 21의 最大變動量 Δh_2의 값 및 Fig.22, 23의 最大變動量 發生地點까지의 距離 Δl_2의 값은 浸蝕型과 堆積型과 함께 實驗資料가 不足하여 확실하지는 않지만 海濱傾斜 i가 완화할수록 Δh_2와 Δl_2가 커지는 傾向을 나타내고 있다.

7. 結 論

本 研究는 海雲臺 海濱變形 및 海岸堤防의 影響에대한 對策工法을 水理模型實驗을 통하여 樹立한 目的으로 必要한 海洋調査를 행하고 아울러 2次元 移動床水理模型 實驗으로 海雲臺 海岸堤防에 있어서의 最大洗掘深, 1次影響範圍 및 2次影響範圍등의 地形變動量에 관한 研究를 하였으며, 그 結果를 要約하면 다음과 같다.

1) 海雲臺 海濱은 No.55地點에서 No.80地點 方向으로 갈수록 浸蝕이 심하게 일어나고 또한 季節的 特性은 확실치 않으나 조선비치쪽인 No.15地點과 No.23地點에서는 늦겨울에서 초여름까지는 점점 堆積되어가는 現象이 보이고. 초여름에서 초겨울철에는 다시 浸蝕되는 傾向으로 나타나고 있다.

2) No.15地點에서 No.80地點方向으로 갈수록 斜面傾斜는 緩漫해지며 海濱砂의 粒徑역시 가늘어지고 있다. 또한 海雲臺 海濱砂의 平均粒徑이 經年的으로 작아지고 있기 때문에 同一波高에서도 海濱이 浸蝕을 받게된다.

3) 海雲臺 海濱의 水理模型 實驗에 있어서 幾何學的縮尺이 1/30일때 底質縮尺은 1/3, 時間縮尺은 波浪의 現地時間 10時間 來襲했을 때 3時間 30分으로서 좋은 再現性을 나타내었다.

4) No.75地點~No.83地點에서는 砂濱의 完全流失로 인한 堤防前面의 洗掘現象이 심하게 일어나고 있으며, 이는 水理模型實驗 結果인 1,2次 影響範圍의 값에 의하면 해빈경사 i값이 적어짐에 따라 $\Delta l_1, \Delta l_3$의 값이 커지는 直線的인 相關關係를 알 수 있다.

5) 最大洗掘深 Δh_1, 1次影響範圍 Δl_1, 2次影響範圍 Δl_3 등의 地形變動量는 $\xi<0.4$일때 N_s와는 강한 直線關係가 얻어졌다.

따라서 海岸構造物의 設置에 따른 局所洗掘과 堤防前面의 地形變動量을 Y라하면 堤防設置位置 x/X_b를 固定하고, ξ및 i를 파라미터로 하였을때

$$Y=aN_s+b$$

$$Y=a(H_0/d_{50})^{y2}(H_0/L_0)^{y2}+b$$

인 相關關係가 얻어진다.

또한 이 研究結果로부터 이들 地形變動量를 줄이는 海岸保全對策工法은 H_0/d_{50}나 波形傾斜를 減少시키는 方法이 提案될 수 있을 것이다.

本 論文은 1983年度, 韓國科學財團研究 助成費에 의하여 研究되었음

參 考 文 獻

1) 咸契運·梁崙模 "海岸地形變化에 관한 調査研究 慶尙大學校 論文集, 第19輯, 1980.4, pp.161~171

2) 咸契運 "Empirical Eigenfunction을 利用한 海岸地形變化 推定에 관한 研究" 慶尙大學校 論文集, 第20輯, 1981,5, pp.495~508

3) 咸契運 "Transition Matrices에 의한 海雲臺 海濱斷面의 遷移 解析" 慶尙大學校 論文集, 第21輯, 1982, pp.153~157

4) 金熙鍾외 2인 "海雲臺 砂濱의 漂砂에 관한 研究" 東亞大學校 資源開發研究所 研究報告, 第6卷, 第2號, 1982.1, pp31~47

5) 椹木亨, 出口一郎, 岡田學, "二次元 海濱の碎波帶における漂砂移動について" 海岸工學講演會論文集, 第26回, 1979, pp. 167～171

6) Battjes, J.A., "Surf Similarity," Inter. Conf. on Coastal Eng., Proc. 14th, 1974, pp. 466～480

7) Nippon Tetrapod CO. "The study on shoreline changes for suyeong Development project." 1984. 4. pp. 1～162

8) 閔丙亨 외 3인 "海雲臺 海濱變形에 관한 硏究" 東亞大學校 資源開發硏究所 硏究報告, 第8卷第1號, 1984. 2. pp. 1～27.

9) 破村繼夫, "自然海濱における汀線位置の時間的變化に關する豫測モデル" 海岸工學講演會 論文集, 第27回, 1980, pp. 255～259

10) Yalin, M. S., Mechanics of Sediment Transport (England: Pergamon Press, 1972), pp. 68～71

11) 閔丙亨, "海岸堤防의 設置에 따른 海濱變形에관한 硏究" 釜山大 博士學位 論文, 1982, pp. 1～33

12) 本間仁, 堀川清司, 鹿島遼一, "波による浮遊砂に關する硏究," 海岸工學講演會講集, 第11回, pp. 159～169(1964)

13) 野田英明, 井保武壽, "波による海底砂の移動限界と砂れんの發生", 海岸工學講演會講演集, 第11回, pp. 153～158(1964)

14) 服部昌太郎, 川又良一, "海岸堤防による二次元海濱の地形變化", 海岸工學講演會論文集, 第23回, pp. 234～239(1976)