

垂直壁上的 衝擊碎波壓에 관한 研究

이 봉 학* 최 한 규* 김 남 원**

A Study on Shock Pressure of Breaking wave Exerted Upon Vertical Wall

Lee, Bong Hak* Choi, Han Kuy* Kim, Nam Weon**

ABSTRACT

Shock pressure of wave breaking on vertical wall is studied experimentally with beaches, which have four different slopes (1/4.02, 1/7.05, 1/10, 1/13.5).

This results is summerized as follows :

1. Maximum impact pressures are occured where the wave break directly on the wall rather than breaking in front of the wall.
 2. Deep water steepness, and the beach slope are the two quantities governing the magnitude and location of maximum dimensionless impact pressure from wave breaking directly on the wall. also, the greatest pressure is produced with a beach slope of 1/10.
 3. This study is clearly shown that the location of maximum pressure can be presented above still water level under respectively experimental condition. The dimensionless elevation of maximum Pressure is greatest on a beach slope of 1/10.
-

1. 序 論

波浪의 特性은 海洋構造物의 設計에 있어서 直·間接으로 重要한 것으로서 設計目的 및 分析方法에 따라 여러가지 형태로 분류할 수 있다. 海洋構造物은 어떠한 條件하에서도 波

浪에 의해 생성된 壓力 즉, 波壓에 견디어 내도록 設計되어야 하는데 波壓을 결정하기란 매우 어렵기 때문에 經驗的 公式 및 實驗值에 의존할 수 밖에 없다.

碎波狀態의 波浪이 垂直壁에 충돌하였을 때의 波壓強度는 衝擊瞬間과 그 前後의 波形에

※ 본 논문은 1988년도 문교부 학술연구조성비에 의해 연구되었음.

* 강원대학교 공과대학 토목공학과

** 한국건설기술연구원 연구원

따라 顯著하게 변화하는데, 특히 碎波點 부근에 垂直壁이 설치되어 波浪이 碎波될 때는 碎波되는 순간에 대단히 큰 波壓이 발생한다.^{5,8,9)} 이러한 波壓強度의 변화 및 衝擊碎波壓은 실내實驗에서 뿐만아니라, 화란 Dieppe 항의 觀測實驗을 통해서도 입증된 바 있다.¹⁾ 따라서 波壓現象을 규명하기 위하여 동일한條件으로 實驗을 했다 한지라도 衝擊碎波壓으로 인하여 波壓의 측정치는 매우 광범위하게 변화되는 일이 많고, 또한 실제 구조물에서와 같이 강풍의 영향을 받으며, 불규칙한 波浪이 작용할 경우에는 더욱 광범위하게 변화된다.^{2,8)} 이때 衝擊碎波壓은 波浪의 條件이 같은 상태에 壓力과 비교하면 특히 非碎波로 인해 작용된 壓力과 비교하면 持續期間이 짧고 壓力이 매우 크며 또한 發生確率이 매우 낮기 때문에 數值解析의 方法에 의한 것보다 實驗 혹은 觀測的 方法으로 연구되어져 왔다.^{5,9)} 이러한 波壓에 대한 연구는 Stevenson을 시초로 Denny,²⁾ Minkin,⁶⁾ Nagai⁸⁾ 등 여러 학자에 의하여 연구된 바 있으며, 波壓計의 발달과 더불어 碎波壓의 규명은 더욱 활발히 진행되고 있다.

본 연구에서는 정규진동파를 이용하고, 碎波點에 垂直壁을 설치함으로써 波壓의 크기, 지속기간 그리고 공간분포 등 壓力의 중요한

성질을 Beach 경사 1/4.02, 1/7.05, 1/10.0, 1/13.5에 대하여 실험적으로 고찰함으로써, Beach 경사와 壓力 最大壓 등의 관계를 규명하여 방파제 설계시 安定性和 經濟성을 고려하는데 기초적 정보를 제공하고자 하였다.

2. 實驗方法

1) 準 備

연구에 사용된 實驗機는 강원대학교 水理實驗室內에 설치된 造波機를 이용하였으며, 본 實驗을 위하여 조파수로 끝에 큰 함관으로 Beach를 경사 1/4.02, 1/7.05, 1/10.0, 1/13.5로 제작하여 各 實驗을 위해 차례로 설치하였다. 또한, 서로 다른 波形과 충분한 波浪을 수로 전범위 일정하게 유지되도록 造波機를 작동시켰다. 직경 14mm 인 波壓計를 垂直壁 바닥으로 부터 6cm, 10cm, 13cm, 16cm로 설치하였다. 이 波壓計를 낮은 진동에 의한 어떠한 壓力이라도 나타낼 수 있도록 동적 변형을 측정기에 연결하고 이것을 Multirecorder 연결하였다. 또한, 波浪의 성질은 파고계를 통하여 Unirecorder로 기록하였다. 그림 1은 實驗을 위한 조파장치를 개략적으로 나타낸 것이다.

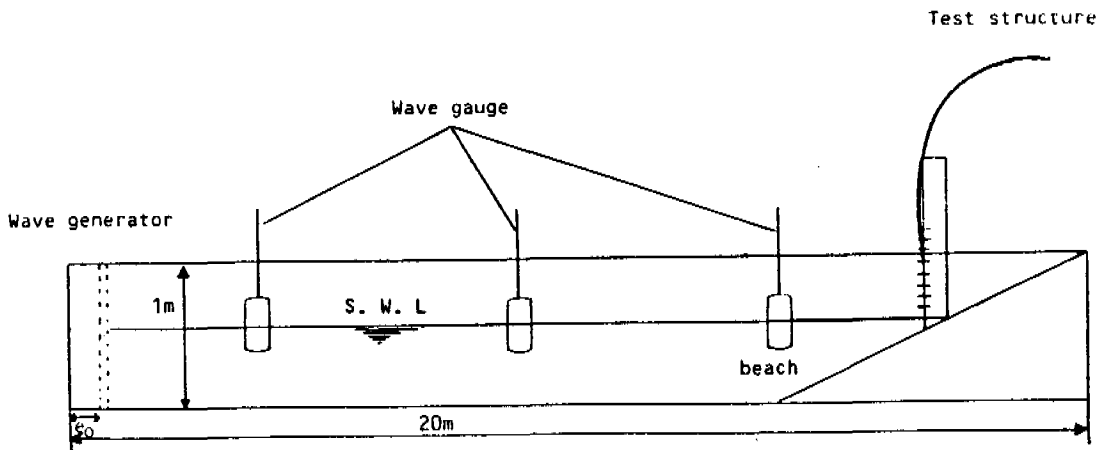


Fig.1. Wave Tank(not to scale)

2) 方 法

垂直壁을 설치하지 않고 있을 때 Beach 바닥에 자유로이 이동할 수 있도록 진동波浪을 발생하였다. 이 波浪이 정규적으로 전파되어 경사진 Beach 상에 찌그러진 형태로 도착되어 최종적으로 깨어졌다. 波浪과 碎波의 성질을 기록한 후에 波浪이 碎波되기 바로전에 垂直壁을 설치하여 벽과 波浪 前面이 동시에 부딪치도록 하였다. 주기(T)와 波形傾斜(Ho/Lo)가 바뀔 때 마다 다시 波浪의 성질을 기록하고 碎波되기전의 최소수심이 되는 곳으로 垂直壁을 설치하면서 實驗을 반복하였다. 여기서 Ho는 파고이고 Lo는 파장이다. 각 衝擊測定이 끝난 후, 다음 實驗을 진행되기전에 반사파로 인한 중복파가 없도록 조파기를정지시켰다. 이 절차에서 7 - 10 번 정도의 衝擊壓 測定으로 한번의 實驗을 완료하고, 다음 實驗으로 하는등 계속적인 實驗을 수행하였다. 이 과정에서 垂直壁上에 波浪의 전면이 부딪치는 순간에 파고를 측정하기 위하여 Video Camera 를, 波壓을 측정하기 위해 Multi-recorder 를 동시에 작동시켰다.

3. 實驗結果 및 考察

垂直壁과 완전한 碎波로 인해 발생하는 衝擊壓의 형태는 매우 여러가지의 양상으로 나타났다. 그림 2와 같이 수직면을 수반하는

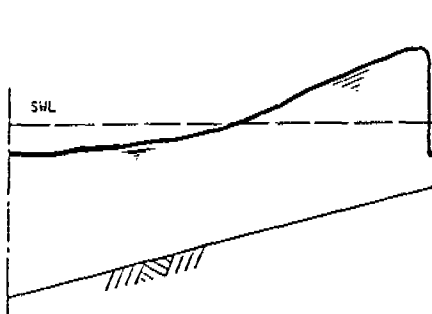


Fig. 2. Wave Breaking Directly on Wall

波浪이 垂直壁上에서 碎波될 때 最大衝擊壓이 발생하였으며, 두개의 평행한 면의 수직적인 衝擊은 垂直壁 전면에서 거의 동시에 波壓을 기록하였다. 이러한 衝擊으로 부터 얻어낸 壓力의 형태를 그림 3에 도시하였다.

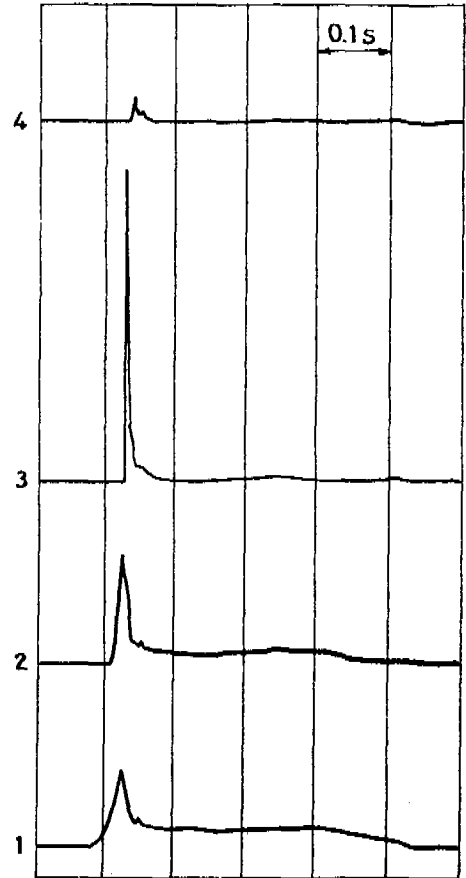


Fig. 3. Typical Pressure Histories From Type of Wave Breaking shown in 2

각 實驗에서 벽과 波浪 전면이 完全衝擊으로 인한 波壓의 크기와 部分衝擊으로 인한 波壓의 크기와는 커다란 차이를 나타내었기 때문에 完全衝擊으로 인한 實驗値中 그림 3과 같이 명확한 관계를 나타낸 것을 크기순으로 4개씩 선별하였다. 이상에서 얻은 實驗의

결과를 비교하기 위하여 그림 4 - 7와 같이 無次元的으로 나타내었다.

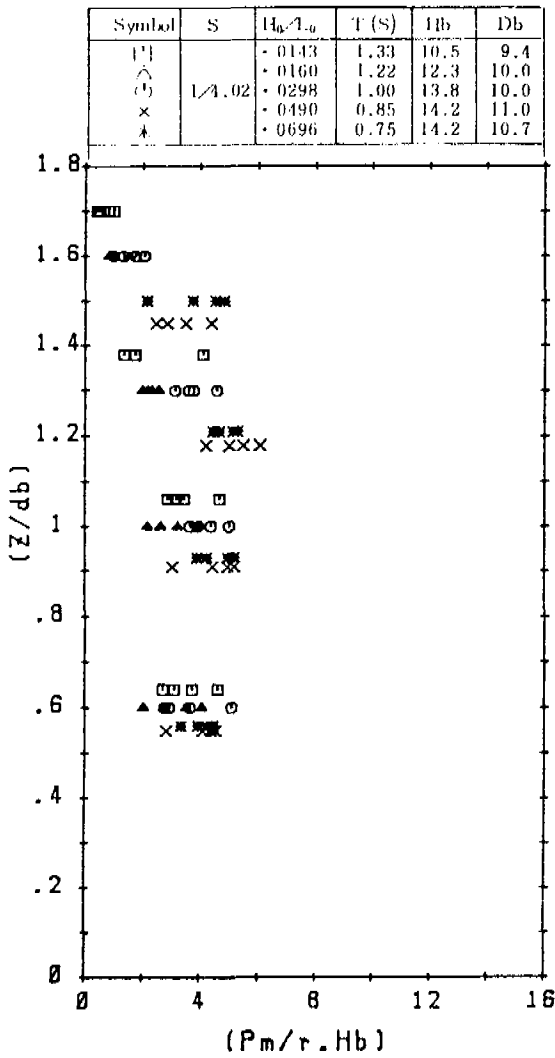


Fig. 4. Dimensionless Vertical Distribution of Simultaneous Shock Pressures, S=1/4.02

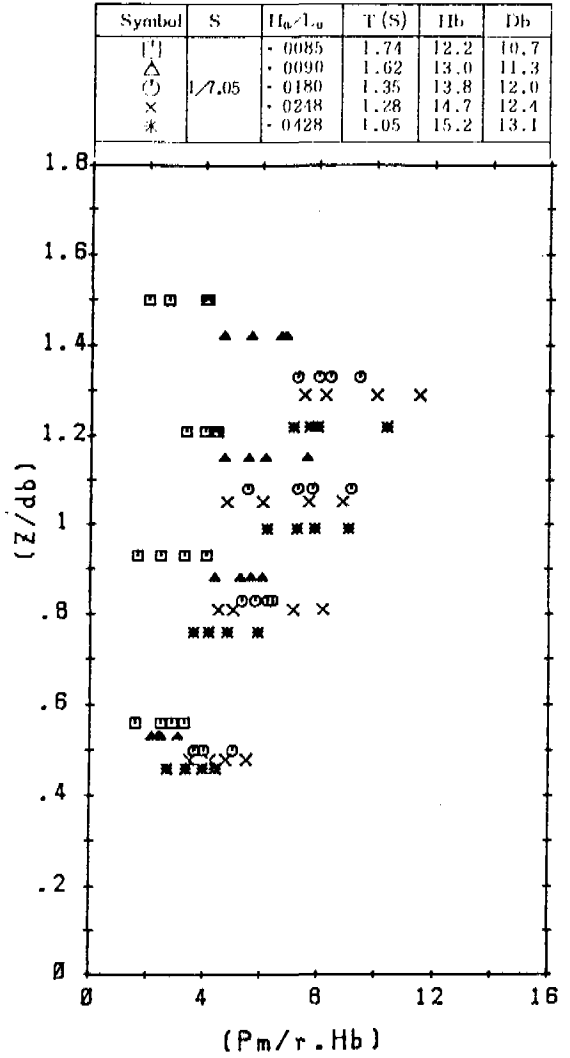


Fig. 5. Dimensionless Vertical Distribution of Simultaneous Shock Pressures, S=1/7.05

Symbol	S	H_0/L_0	T(S)	Hb	Db
□	1/10	·0028	2.06	11.6	10.0
△		·0036	2.04	12.3	10.2
○		·0143	1.43	13.2	11.4
×		·0174	1.32	13.8	12.5
*		·0347	1.07	14.5	12.8

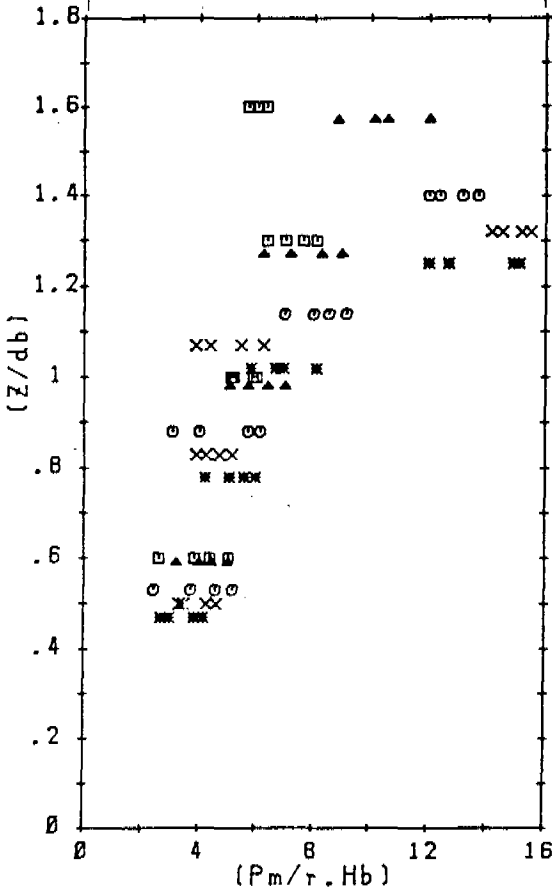


Fig. 6. Dimensionless Vertical Distribution of Simultaneous Shock Pressures, $S=1/10.0$

Symbol	S	H_0/L_0	T(S)	Hb	Db
□	1/13.5	·0028	2.16	10.0	9.70
△		·0035	2.03	10.7	9.80
○		·0043	1.88	11.2	10.2
×		·0099	1.54	11.9	10.8
*		·0164	1.32	12.6	11.3

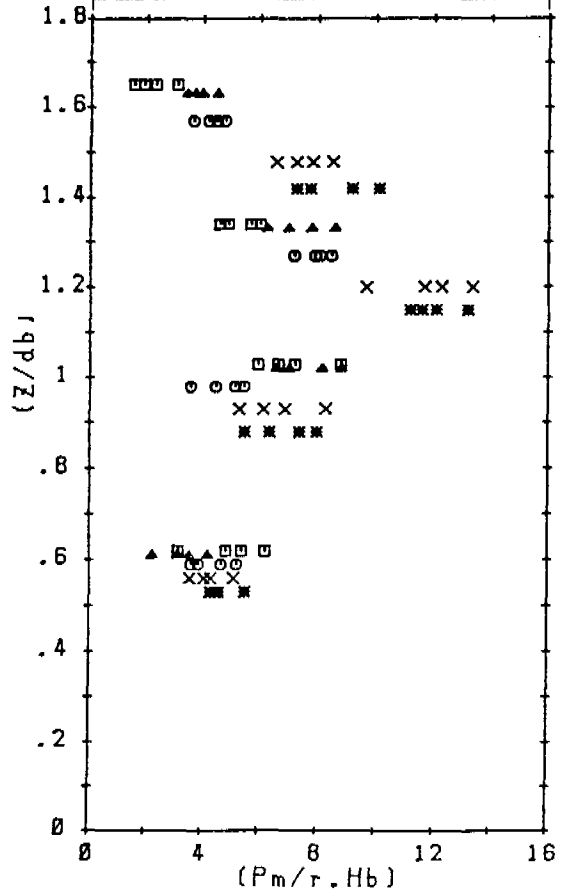


Fig. 7. Dimensionless Vertical Distribution of Simultaneous Shock Pressures, $S=1/13.5$

그림 4-7에서 無次元壓力 P_m 은 $P'm/r * H_b$ 이고, 無次元高度 z 는 z/db 이다. 여기서 z 는 垂直壁 바닥에서 부터 측정할 고도이고, db 는 碎波點에서의 물의 깊이이며, $P'm$ 은 波壓이다. 또한 r 은 물의 밀도이고 H_b 는 碎波點에서의 파고이다. 垂直壁上的 壓力 $P'm$ 의 最大值 $P'max$ 와 바닥위

最大壓의 위치 h_{max} 는 無次元的으로 다음과 같이 표시될 수 있다.

$$\begin{aligned}
 P_{max} &= P'max/r * H_b, \\
 Z_{max} &= h_{max} / db
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

그림 4-7에서 보면 파형경사 (H_0/L_0)와

Beach 경사 (S) 가 P_{max} 와 Z_{max} 에 영향을 주고 있음을 알 수 있다. 또한, 그림 4-7은 파형경사 (Ho/Lo)가 모든 Beach 상에서 점점 가파르게 됨에 따라 P_{max} 와 Z_{max} 가 증가함을 알 수 있으며, Beach 경사 1/10 에서 最大衝擊壓을 발생할 뿐만 아니라 최고높은 높이로 衝擊壓이 발생하였다.

1) 衝擊壓의 垂直分布

衝擊壓의 垂直分布에 대한 정확한 결정은 상대적으로 간단하고 신뢰성있는 壓力計에 있다.

그러나 최근들어 신뢰성있는 壓力計의 사용에도 불구하고 碎波에 의해 垂直壁에 작용된 衝擊壓에 대한 垂直分布의 견해는 매우 다름을 알 수 있다. 衝擊壓에 대한 초기實驗은 垂直壁에 작용된 最大衝擊壓만을 고려하였기 때문에 단한개의 壓力計를 사용하였으나, 후에 垂直壁의 全壓力 결정을 위해 공간壓力의 묘사가 필요하게 되었다. Minikin⁶⁾은 처음 포물선 분포를 제시하여 지금까지 주로 사용하였다. 그러나 Nagai⁸⁾는 Minikin⁶⁾의 식을 인정하였으나 Nagai⁸⁾의 實驗結果中 한부분으로 분류하였다.

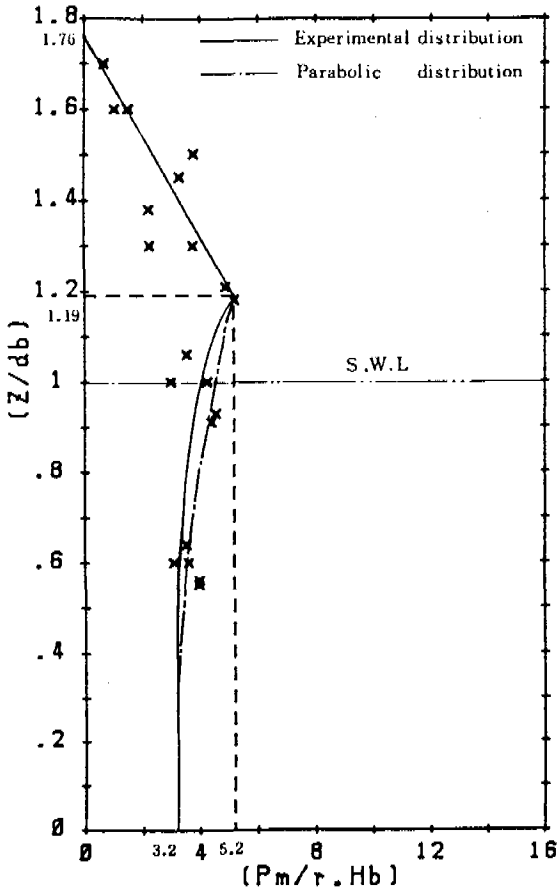


Fig.8. Vertical Distribution of Dimensionless Shock Pressures, $S = 1/4.02$

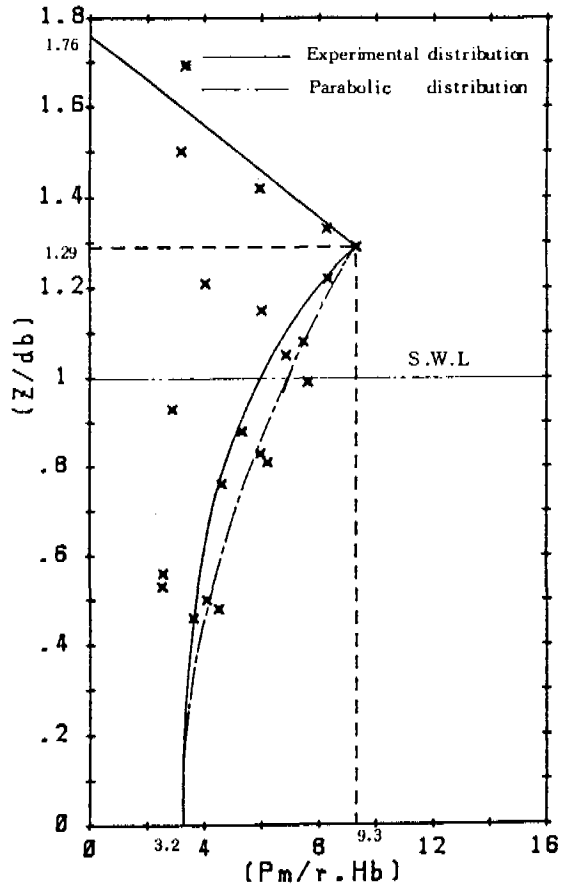


Fig.9. Vertical Distribution of Dimensionless Shock Pressures, $S = 1/7.05$

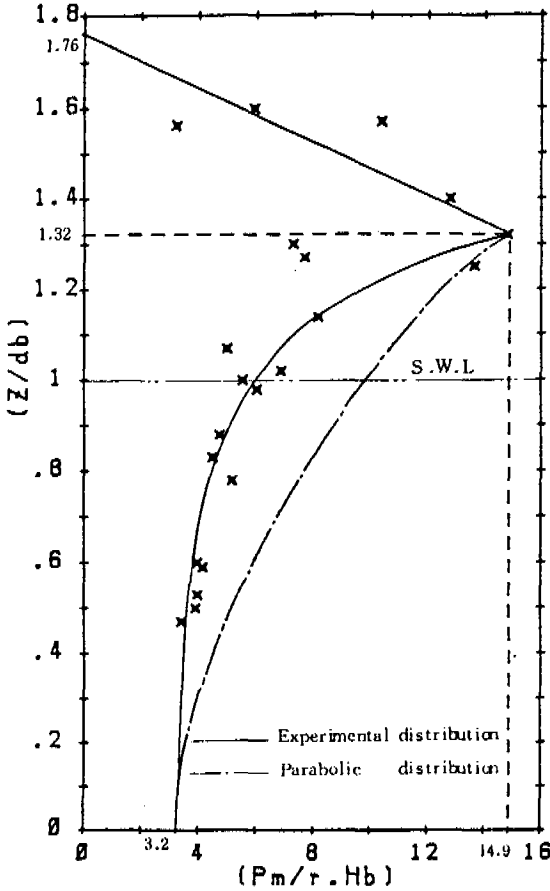


Fig.10. Vertical Distribution of Dimensionless Shock Pressures, $S = 1/10.0$

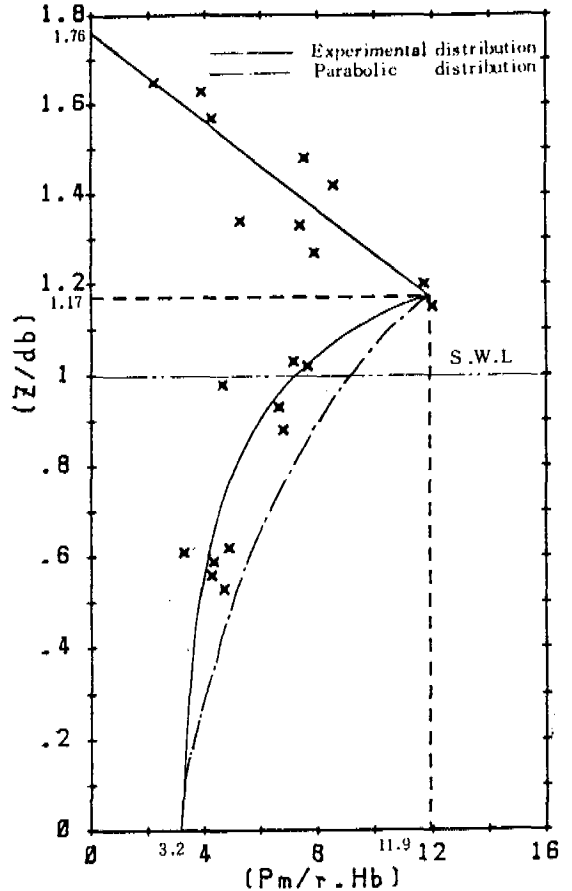


Fig.11. Vertical Distribution of Dimensionless Shock Pressures, $S = 1/13$

본 연구는 Nagai⁸⁾의 연구와는 달리 完全衝擊으로만 單一壓力分布型을 가정하였기 때문에 垂直壁面上的의 碎波力을 衝擊壓으로만 한정하였다. 그림 8-11의 각 점들은 그림 4-7에서 無次元 값들의 평균값을 나타낸 것이다. 그림 8-11은 그림 4-7보다 더 명확하게 Beach 경사의 중요성을 잘 나타내고 있다. 平均最大壓 P_{max} 와 바닥壓力(P_{bot}) 사이의 분포된 자료는 Minikin⁶⁾에 의한 분포와 잘 일치하고 있으며, 최근 정규진동파의 實驗을 통한 Korkgöz⁵⁾의 식과 잘 일치하고 있음을 알 수 있다.

$$P_z = P_{bot} + (P_{max} - P_{bot}) \frac{Z^2}{Z_{max}^2} \quad (2)$$

여기서, P_z : 바닥에서 z 까지 無次元 壓力이다. P_{max} , P_{bot} 는 無次元的으로 平均最大壓과 平均바닥압력으로서 Z_{max} 와 함께 그림 12(a)(b)와 그림 13에 나타냈고 最大壓위의 분포는 碎波峰에서 零이기 때문에 선형으로 나타냈다.

$$Z (= z/db) = 1.76$$

그림 12 (a), (b)에는 Minikin⁶⁾에 의한 衝擊壓의 범위를 도시하였다. 그러나, 그림 12에서 보면 본 연구에서 추정한 衝擊壓의 크기는 Minikin⁶⁾에 의해 제시된 값보다 너무 크게 측정된 것으로서 이는 實驗條件이 다르기 때문이라고 사료된다. 또한, Korkgöz⁵⁾가 제시한 無次元 高度의 관계는 본 實驗의 결과와 잘 일치함을 알 수 있었다.

2) 最大壓力

Richert⁹⁾는 Beach 경사 1/10에서 最大壓力이 발생한다는 것을 제안하였다. 본 연구에서도 또한 Beach 경사 1/10에서 最大壓力이 발생하였다. 그림 12 (a), (b)에서 보면 Beach 경사가 1/10보다 급하면 $P'_{max}/r \cdot H_b$ 는 급속히 감소하고 또한, 1/10보다 완만한 경사상에서도 점차로 감소함을 알 수 있었다. 많은 학자들은 특정한 파장과 해변경사 條件에 따른 最大壓力점에 대해 여러 위치를 제시하였지만 본 實驗의 범위에서 보면 Kirkgöz⁵⁾의 견해와 거의 유사함을 알 수 있다.

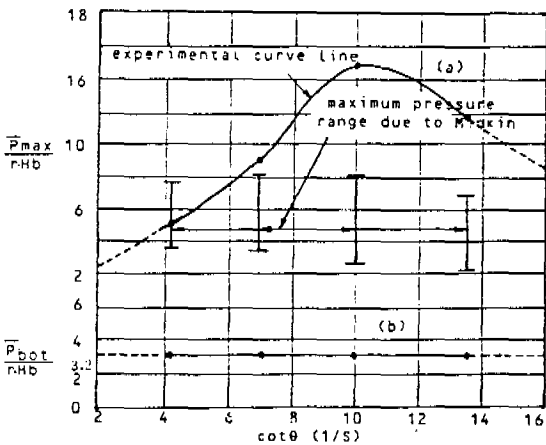


Fig.12.(a) Dimensionless Maximum Pressure and (b) as Function of Beach Slope

3) 바닥 압력

벽 밑 바닥에서의 衝擊壓은 상당한 눈쟁의 대상이 되고 있으나, Richert⁹⁾는 어떤 경우라도 바닥에서 0으로 감소하지 않는다고 기술하였다. 본 實驗에서 비록 垂直壁바닥에 壓力計를 설치하지 않았으나, 그림 8-11에서 보면 Richert⁹⁾ 등과 동일함을 알 수 있었다. 그림 12 (b)에서 보면 바닥압력은 實驗한 전 범위를 통하여 $P_{bot} = 3.2 r \cdot H_b$ 로 나타났다.

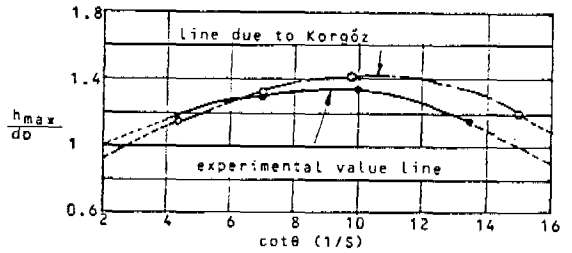


Fig.13. Dimensionless Elevation of Maximum Pressure

4) 考 察

동일 條件下의 波壓測定에서 생성되는 오차는 피할 수 없었다. 이러한 이유는 첫째로 반사파의 영향으로 동일한 振動波浪이 불가능하였고, 둘째로, 정확한 碎波點에 垂直壁을 정확히 설치하기란 사실상 불가능하였기 때문에 波浪의 수직면이 정확히 벽에 일치하지 못하여 最大壓力이 발생할 깊이 (dm)와 db 사이에 차이를 나타냈기 때문이다.

본 연구에서 이러한 문제로 자료해석시 dm을 db로 가정하였음을 밝혀두며, 이와 같은 연구가 앞으로 계속되어 더욱 더 많은 實驗을 통하여, 또한 다른 접근방법을 이용하면 해양 구조물 설계시 기본자료가 될수 있으리라 사료된다.

4. 결 론

해양구조물 설계시 최소의 경비, 最大의 안정성을 유지하기 위해 最大波壓이 발생될 條件은 피하여야 한다. 그러나 불가피하게 이러한 條件에 구조물을 설치하여야 할 경우에 이에 상응하는 설계를 해야 한다.

본 연구에서는 最大壓이 일어나기 쉬운 중간경사상에서의 垂直壁에 대한 衝擊碎波壓을 實驗的으로 연구한바, 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 波浪이 垂直壁 전면에서 碎波될 때 보나도 垂直壁面上에서 碎波될 때 最大壓이 발생하였다.
2. 파형경사 (Ho/Lo), Beach 경사(S)는 無次元 最大衝擊壓 $P'_{max} / r \cdot H_b$ 의 위치와 크기를 결정하는 두개의 변량이며, 最大衝擊壓은 Beach 경사 1/10 에서 발생하였다.
3. 最大壓의 위치는 實驗한 各 條件의 경우 수면위에 존재하였고, 最大 無次元 고도는 1/10 Beach 상에서 最大가 되었다.

참 고 문 헌

1. Bagnold, R. A., "Interim Report on water Pressure Research", Journal of The Institute of Civil Engineer, London, England Vol.12. pp.202-226, 1939.
2. Denny, D.F., "Further Experiment on Wave Pressures", Journal of the Institute of Civil Engineer, London, Vol. 35, pp.330

-345, 1951.

3. Weggel, J.R., and Maxwell, W.H. C., "Experimental Study of Breaking Wave Pressure", Paper No.OTC1244. offshore Technology Conference, Texas, 1970. pp.175 ~ 188.
4. Hedges, T.S., and Kirkgöz, M. S., "An Experimental study of the Transformation of Plunging Breakers", Coastal Engineering Elsevier, Scientific Pub. Co., Amsterdam, Vol.4, pp.319-333, 1981.
5. Kirkgöz, M.S., "Shock Pressure of Breaking Waves on Vertical Walls", Journal of the Waterway port Coastal and Ocean Engineering, ASCE, Vol 108. pp.81-95, 1982.
6. Minikin, R.R., "Winds, Waves and Maritime Structures", Charles Griffin & Co., 1950.
7. Mitsuyasu, H., "Shock Pressure of Breaking Wave" Proceeding of Tenth Conference on Coastal Engineering, ASCE, Vol.1, pp. 268-283. 1966.
8. Nagai, S., "Shock Pressures Exerted by Breaking Waves on Breakwaters", Journal of Waterway and Harbors Div., ASCE, Vol.86 pp.1-38, 1960.
9. Richert, G., "Experimental Investigation of Shock Pressures Against Breakwaters", Proceedings Eleventh Conference on Coastal Engineering, ASCE, Vol.1, pp.954 - 973, 1968.