

東海岸防波堤의 안정성연구

崔 漢 圭 <江原大 教授>

서론

항구의 외곽시설인 방파제는 시설비의 규모가 클 뿐 아니라 자연재해에 가장 노출되어 있고 피해복구비도 막대하여 안정하면서도 경제적인 단면구조의 설계가 요구된다.

방파제에 관한 정보를 얻기 위한 도파고, 월파량, 항내전달 파고율에 관한 연구는 이미 오래전부터 행해져 왔으며 도파고에 관한 연구는 주로 완만한 경사의 경우에 대한 실험적 연구가 있었으며 월파량에 관한 연구는 실험조건의 변화에 대한 제한적인 실험결과가 미육군의 S.P.M¹⁾, Battjes²⁾, Owen³⁾ 등에 의해 보고된 바 있으며, 월파에 따른 방파제 배후의 전달파고에 대해서는 Johnson⁴⁾의 실험 Data가 발표되어져 있다. 그이후 실험조건이 향상되면서 合出良實, 竹田英草등⁵⁾에 의해 서 월파에 의한 항내 파고 전

달율에 대해서 연구가 행해졌다.

특히, 투수성 방파제의 경우는 단면구조의 다양한 변수 때문에 방대한 실험이 여러 연구자들에 의하여 시도되었다. 그러나 방파제 단면 요소중 상부 concrete 구조물의 형상변화에 따른 방파제 단면의 특성에 관한 연구는 거의 없으므로 본 실험에서는 도파고, 월파량, 전달파고에 관한 연구를 통하여 이의 특성을 규명하고자 하였다.

이론적 배경

실험파의 결정

파고는 평탄면 혹은 파장에 비하여 깊은 수심에서 진행할 때 일정한 값을 가지며 수심 파장비 (d/L)가 0.5보다 작은 수심의 경우 파의 진폭은 수심에 따라 변한다. 파고는 다음의 2가지 방법으로 제한된다. 즉 파 경사에 의해

$$H_h/L = 1/7 \quad (2-1)$$

심해에서, 상대 파고에 의해

$$H_b/d = 0.78 \quad (2-2)$$

천해에서, L은 파장이며 d는 수심이다.

위의 두가지 경우가 일반적으로 쇄파 한계로 알려져 있다. 따라서 본 연구에 있어서 방파제에 도달할 수 있는 비쇄파 파고의 최대값은 CASE 별 수심의 0.78배로 하였다.

신형 이론에 의해 표현되는 진행파의 형태는 아래와 같이 나타난다.

$$\eta = \frac{H_i}{2} \sin\left(\frac{2\pi x}{L} - \frac{2\pi t}{T}\right) \quad (2-3)$$

이러한 파는 시간동안 플러스 X방향으로 진행하다. 해가 일차에서 선형적이므로 여러파들의 조합은 간단하게 더함으로써 얻어질 수 있으며 경계치 문제를 다시 풀 필요가 없다. 그러므로 다음식은 n개 파의 수표면을 나타낸다.

$$\eta \text{ total} = \sum_{j=1}^n \eta_j \quad (2-4)$$

방파제에 의해 반사된 파는 입사파의 주기가 같고 위상만 바뀌었다고 가정할 수 있다. 이러한 파는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\eta_i = \frac{H_i}{2} \sin\left(\frac{2\pi x}{L} - \frac{2\pi t}{T}\right)$$

그리고

$$\eta_r = \frac{H_r}{2} \sin\left(\frac{2\pi x}{L} + \frac{2\pi t}{T} + \alpha\right)$$

여기에서 δ 는 위상차며 첨자 i와 r은 입사파와 반사파를 각각 표현한다. 조파관으로부터 생성되는 모든파는 동일한 주파수를 가지는 입사파와 중첩으로 볼 수 있다. 또한 방파제로 향하는 모든 파들은 일련의 입사파로 간주되며 방파제로부터 반사되는 파는 일련의 반사파로 간주되어 파군의 형태가 시간에 따라 변하지 않는 일정한 상태가 존재할 것이다. 입사파와 반사파의 중첩은 Partial standing wave로 나타나며 이러한 파형은 시간에 따라 변화하지 않는 일정한 상태가 될 때 얻어진다. 포락형 파형은 파고계를 파봉선의 직각 방향으로 천천히 움직여서 나타낸다.

이러한 방법을 사용하면 상대적인 최고, 최저파가 모든 입사파 파장의 1/4에서 나타나며 최대파고 점은 입사파와 반사파가 동일 위상일때, 최소점은 입사파와 반사파의 위상이 서로 직각일 때 나타난다.

최대파고는 파고들의 합으로 표현되며

$$H_{\max} = H_i + H_r \quad (2-5)$$

최소파고는 파고들의 차로 표시된다.

$$H_{\min} = H_i - H_r \quad (2-6)$$

따라서 입사파고 (H_i)는 다음의 합으로 나타난다.

$$H_i = \frac{H_{\max} + H_{\min}}{2} \quad (2-7)$$

반사파고 (H_r)는 다음의 차로 나타난다.

$$H_r = \frac{H_{\max} - H_{\min}}{2} \quad (2-8)$$

반사계수 (K_r)은 반사파고와 입사파고의 비로서 나타내어진다.

$$K_r = \frac{H_r}{H_i} = \frac{H_{\max} - H_{\min}}{H_{\max} + H_{\min}} \quad (2-9)$$

부분반사에 관한 문제를 풀기위해 고차 파이론을 사용할 경우에는 비선형형 때문에 그 해가 매우 복잡하다. 만일 수면파가 고차이론해를 위해 선형적으로 이루어 졌다면 그 해는 위에 나타난 것과 같이 동일하다.

Goda^{6,7)}는 부분반사 문제를 해결하기 위해 3차 근사까지 경계치 문제를 풀었다. 이의 해를 이용하여 비선형 효과로 인한 파고의 계산편차가 5%보다 큰 경우에는 Goda의 방법을 써서 수정했다.

선형파이론에 따르면 단위 시간당의 에너지는 에너지의 밀도와 에너지의 진행률의 합과 동일하며 에너지 밀도는 파고의 제곱에 비례한다. 따라서 어떠한 두 수심에서 파고비는

구하고자 하는 수심에서의 에너지 진행률의 1/2승에 반비례한다. Shore Protection Manual에서는 이의 비를 계산하여 table화 하였으며 천수계수 K_s 는 다음과 같이 표현한다.

$$K_s = \frac{H}{H_o'}$$

여기에서 H 는 수심 d 에서의 파고이며 H_o 는 환산 심해파고이다. 천수계수는 상대수심 (d/L_o)만의 함수이며, 수심과 심해파장 ($L_o = 1.56T^2$)의 비다. 어떠한 두 수심에서 천수계수의 비는 각각의 수심에서 파고의 비로 나타난다.

$$\frac{H_1}{H_2} \frac{H_1/H_o'}{H_2/H_o'} = \frac{K_{s1}}{K_{s2}} \quad (2-10)$$

파고측정은 포락형 파형 측정 방법을 써서 일정한 간격에

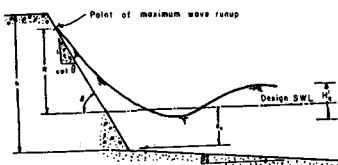


그림 2-1 Definition sketch of wave runup

서 측정한다. 이때 다른 장소에서의 파고는 두 지점에서 K_{s1} 과 K_{s2} 를 결정하여 상대수심을 사용함으로써 다른 지점의 파고를 계산한다.

$$H_2 = \left(\frac{K_{s1}}{K_{s2}}\right)H_1 \quad (2-11)$$

도파고, 전달파

규칙파의 도파고는 정수면위의 수직높이를 말하며 정의도는 그림 2-1과 같다. 투수성 방파제 단면의 전달파는 월파와 투과에 의한 합성파로 이루어진다. 따라서 전달률 K_T 는 다음식으로 나타난다.

$$K_T = \sqrt{K_{T0}^2 + K_{Tt}^2} \quad (2-12)$$

여기서 K_{T0} 는 월파에 의한 계수이며, K_{Tt} 는 투과에 의한 계수이다.

상사법칙

모형실험에 있어서 가장 중요한 것은 원형과 모형의 상사관계이다.

대부분의 수리 및 항만 모형 실험에서는 실험대상인 물의 움직임을 다루기 때문에 기하

학적 상사성이나 운동학적 상사성에 비하여 동력학적 상사성을 보다 분명하게 검토하여야 한다. 본 실험에서는 Froude의 상사법칙을 적용시켰다.

실험방법과 장치

우리나라 동해안의 어항중 강원도 삼척군 근덕면 초곡리에 위치하고 있는 2중어항인 초곡항은 사석방파제로 방호되고 있으며, 본 연구에서는 1/40 축척 Model을 이용하여 실험을 수행하였다.

또한 수리모형실험은 강원대학교 토목공학과 수리실험실에 설치된 수조에서 실시했다. (그림 3-1)

실험대상 단면은 CASE I (그림 3-2)의 경우 초곡항의 기존 단면형태를 이용하였고, CASE II (그림 3-3)는 상부 concrete 구조물의 항측상단에 Apron을 설치하였으며 CASE III (그림 3-4)는 CASE II의 형태에 Hole을 설치하여 투과 및 월류수맥의 Energy가 감쇄될 수 있도록 계획하였다. T.T.P는 정적형태의 소요갯수로 1층은 정적형태로 2층은 난적형태로 쌓아 실

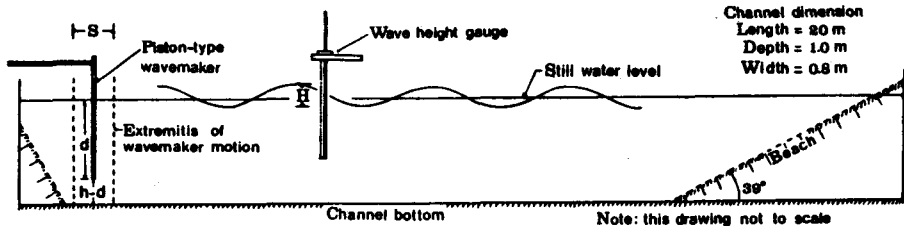


그림 3-1 Definition sketch of wave generator

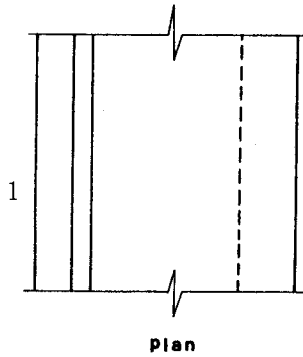
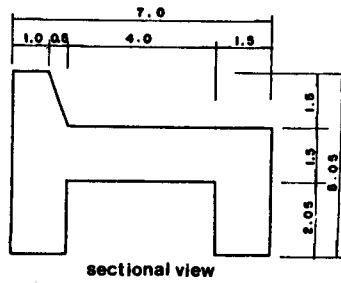
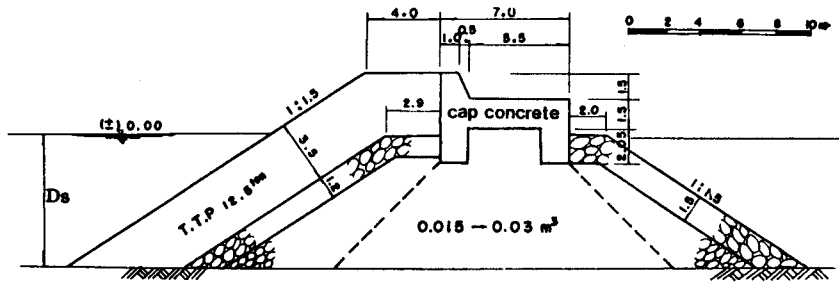


그림 3-2 Section of CASE I

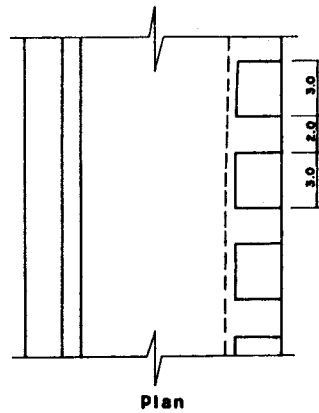
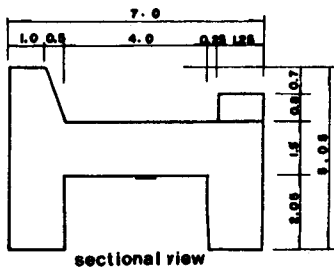
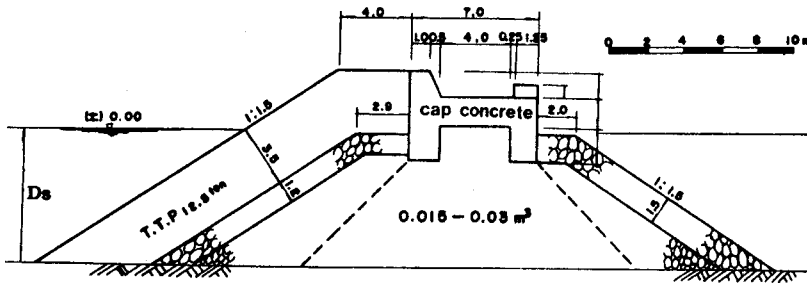


그림 3-3 Section of CASE II

면에 설치되어 있는 격자망을 통하여 측정을 했으며 격자망은 1cm간격으로 바둑판 모양으로 되어 있다. 측정값은 격자망의 가장 가까운 선을 읽어 결정했다. 전달파고는 입사파와는 전혀 다른 새로운 독립파며 계산에 대해서는 전달파의 연속기록지 안에서 입사파 주기와 거의 대등한 주기를 갖는 파의 파고만을 대상으로 해 고려하였다.¹⁰⁾ 파고가 매우 클 경우에는 실험을 중단하고 피복제를 다시 쌓은 다음 실험을 계속하였다.

결과 및 고찰

실험의 결과는 도파, 전달파순으로 설명하였으며 각각 CASE별로 비교하였다. 파형경사는 도파고의 독립변수로써 가장 널리 쓰이며 본 논문에서는 H_0'/L_0 에 비례하는 변수로 심해파 형태 H_0'/T^2 을 사용하였다. 전달파고는 독립변수를 파형경사에 2π 배한 H_i/gT^2 을 이용하여 전달률과 비교하였다.

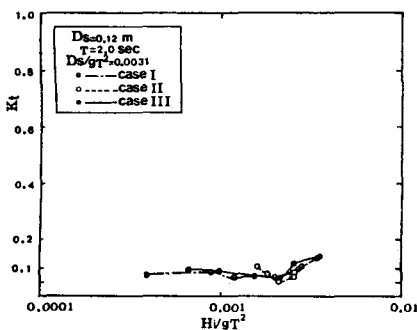
도파고는 상부 concrete 구조물의 형상에 영향을 받지 않음을 그림 (4-1)-(4-3) 에서 보인 바와 같다. 따라서 월파량의 경우도 영향을 받지 않음을 알 수 있다.

전달파고는 Run Group I 에서 $D_s/gT^2 = 0.0031, 0.002, 0.0014, 0.00099$ 의 경우에 대하여 입사파고를 변화시켜 $K_t = H_t/H_i$ 의 부치원 값과 비교하였으며, 그림 (4-4)에서 보인 바와 같이 월파보다는 투과에 의한 Energy가 항내 후면의 수면교란을 지배하기 때문에 K_t 값이 0-0.2의 범위에서 작은 정도의 차이를 나타내고 있다. 여기서 D_s 는 방파제의 전면에서 수심이다. Run Group II 는 월파된 수류 Energy와 투과 Energy가 항내 수면 교란의 원인이 되며 Run Group I 보다 월파량이 증가함에 따라 상부 concrete 구조물의 영향을 받고 있다. Run Group III 는 월파량의 증가로 인하여 월류수맥의 Energy 가 Run Group II 보다 더욱 크게 감소하는 경향을 보

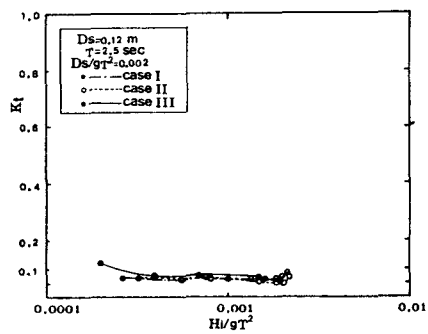
이고 있다. 이는 월파량의 증가에 따른 수류 Energy의 감소 형태가 상부 concrete 구조물의 형상에 영향을 받고 있음을 나타내고 있다. 즉 Run Group I, Run Group II, Run Group III로 갈수록 전달파고는 상부 concrete 구조물의 형상에 의한 차이가 커짐을 그림 (4-4)-(4-6)에서 보인 바와 같다. 이는 월파량이 증가함에 따라 월류하는 수류 Energy 가 Hole과 Apron에서 감소한다는 것을 알 수 있다.

결론

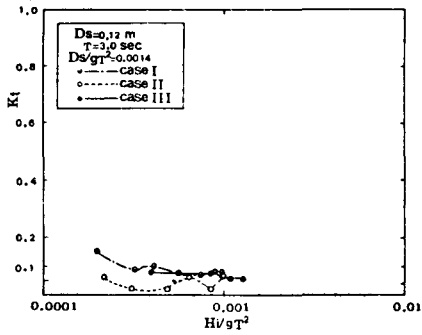
경사 방파제 구조물에서 Cap concrete 의 형상변화에 따른 항내 전달파고의 감소효과를 비교하기 위하여 3가지 Cap concrete 의 단면형에 대하여 2차원 조파수조내에서 모형실험을 수행하였다. 그 결과 상부 concrete 구조물에 설치된 Hole과 Apron은 투과 Energy와 월파되는 수류 Energy를 감소시킴을 알 수 있었다. 따라서 전달파고는 상부



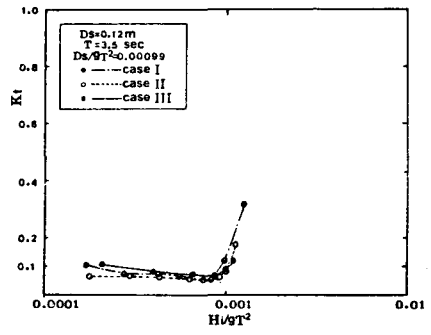
(a) T = 2.0 sec



(b) T = 2.5 sec



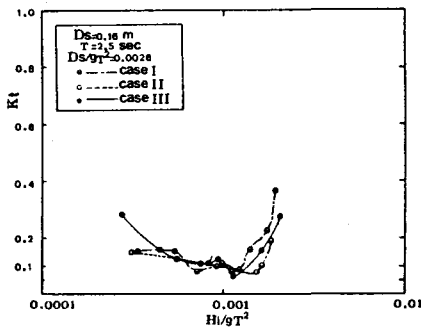
(c) T = 3.0sec



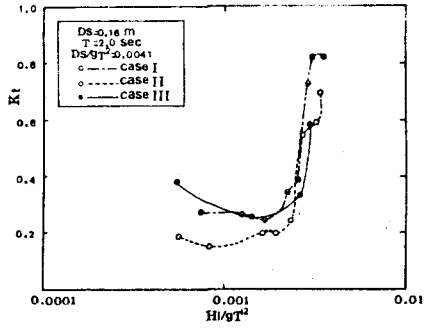
(d) T = 3.5sec

그림 4-4 Run GROUP I

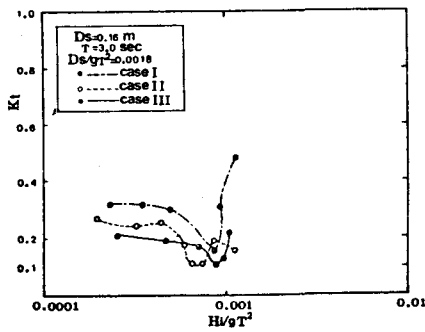
Wave transmission past breakwater with tetrapod armor units.
 $D_s = 12\text{cm}$



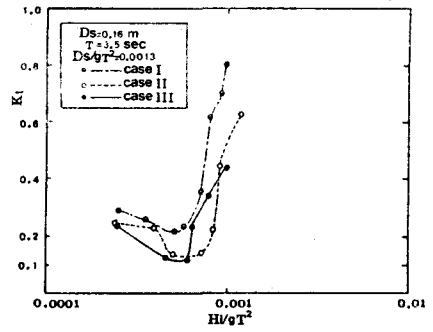
(a) T = 2.0sec



(b) T = 2.5sec



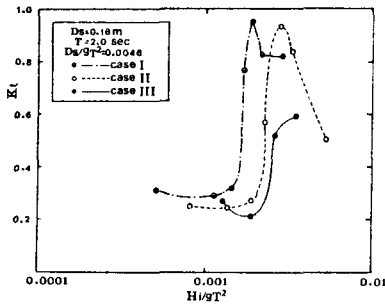
(c) T = 3.0sec



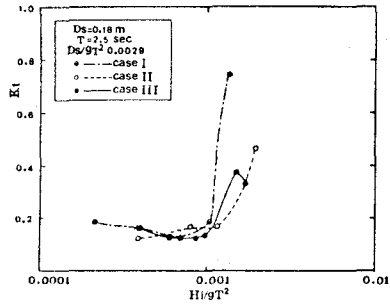
(d) T = 3.5sec

그림 4-5 RUN GROUP II

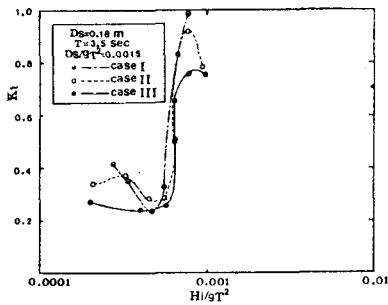
Wave transmission past breakwater with tetrapod armor units.
 $D_s = 16\text{cm}$



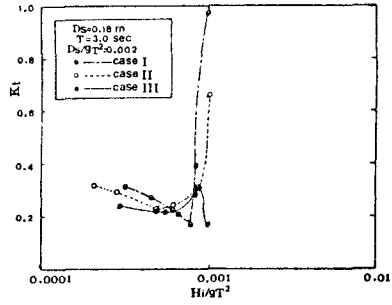
(a) T = 2.0sec



(b) T = 2.5sec



(c) T = 3.0sec



(d) T = 3.5sec

그림 4-6 RUN GROUP III

Wave transmission past breakwater with tetrapod armor units.
 $D_s = 16\text{cm}$

concrete 구조물의 형상에 지배를 받는다. ㉔

참고문헌

1. U.S. Army Corps of Engineers, Research Center, Shore Protection Manual, 3rd, ed., U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., (1977)
2. Battijes, S.L., Method for Estimating Overtopping Rates, Technical Report (in Publication), U.S. Army Engineering Waterways Experiment station, Vol.17, (1974)
3. Owen, M.W., Design of Seawalls Allowing for Wave Overtopping on Gravel Inlands, ASCE Journal of Waterway, port, coastal and Ocean Engineering, WW4, Vol, 109, pp. 429-444, (November 1983)
4. Johnson, J.W., Fuchs, R.A. and Morison, J.R., The Damping Action of Submerged Breakwater, Tran, A,G,U, Vol.32, No.5, pp. 704-718. (1951)
5. Goda, Y., Expected Rate of Irregular Wave Overtopping of Seawalls, coastal Engineering in Japan, Vol.14, (1971)
6. Goda, Y., Re-analysis of Laboratory Data on Wave Transmission over Breakwaters, Report of the Port and Harbour Research Institute, Vol.8, No.3, pp.3-18 Septembe (1969)
7. Goda, Y. and Abe, Y., Apparent Coefficient on Partial Reflection of Finite Amplitude Waves, Report of the port and Harbour Research Institute, Vol.7, No.3 September pp. 3-58, (1968)
8. Charles K. Sollitt, C.K., A Large Scale Model Study of Placed Ston Breakwaters, Ocean Engineering Oregon State University, pp.107,(1988)
9. Diephuis, J.G.H.R., Scale Effect Involving the Breaking of Waves, Proc. 6th Conf. on Coastal Eng, pp. 194-201, (1985).
10. 三浦晃 遠藤茂勝, 潛提による傳達波の特性について : 第26會 海岸工學講研會 論文集. pp. 304-308, (1979)