

防波堤구조와 水理特性

● 日本의 防波堤 設計技術 현황

日本 港灣技術研究所

Katsutoshi Tanimoto (수공부 방파제연구실장)

Shigeo Takahashi (수공부 波에너지연구실장)

Katsutoshi Kimura (수공부 방파제연구실)

개 요

일본은 사면이 거칠은 해양으로 둘러싸여 있으므로 항만시설에 있어서 방파제는 중요한 기본시설이며 설계기술과 공사비 측면에서 높은 비중을 차지하고 있다.

이러한 관점에서 방파제에 관한 연구가 25년간 집중적으로 이루어졌으며, 이 보고서는 일본에만 보고된 사항이 있어 최근에 재검토되었다.

일본의 방파제 주요구조형태는 사석제의 기반위에 직립부분의 혼성으로 구성되어 있다.

이 사석제 방파제는 현재 전 세계에서 가장 공통적인 형식이다.

직립부가 콘크리트블럭으로 피복되어 파랑을 분산시키는 혼합형

방파제로, 일본에서는 많이 사용하고 있다.

이 보고서에서는 먼저 이러한 전통적인 방파제의 수리특성이 이미 정립된 공식과 함께 기술되어 있다.

특히 전달파의 변형에 관한 새로운 실험 결과자료가 예시되어 있다.

반면에 방파제 건설에 따른 주변조건의 변화가 야기되기 시작했다.

수심이 깊고 파랑이 심한 지역의 방파제 건설은 막대한 공사비를 소요하게 되므로 경제적인 개발 필요성을 고려하여야 한다.

이 보고서에는 Sloping top caissons, multi-cellular caissons, curved slit caissons, wave power extracting caissons, trapezoidal

caissons, dual cylinder caissons 등 여러가지 새로운 방파제 구조물이 개발현황과 함께 소개될 것이다.

1. 서론

전 세계적으로 널리 이용되는 방파제 형식은 사석제로서 원시적이지만 가장 경제적이다.

그러나 최근에는 직립형 방파제로 시공하는 나라도 있다.

특히 [그림 1]과 같이 사석제의 기반위에 직립부분을 혼성형 방파제 형식을 많이 채택하고 있다.

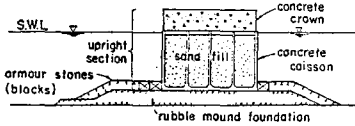


Fig. 1 Mixed Type Breakwater

혼성형 방파제는 사석형 방파제에 비하여 여러가지 장점이 있으며 더욱 안전하고 시공이 빠르고 파랑충격이 비교적 적어 일본에서는 과거 수십년간 큰 재난없이 대형공사가 이루어졌다.

그러나 혼성형 방파제는 직립부의 방벽으로부터 고도의 반향을

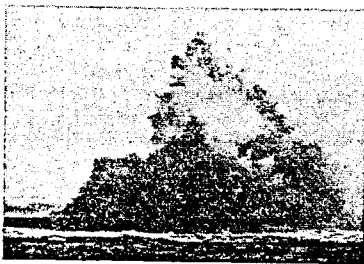


Photo 1 Wave Action on Mixed Breakwater

발생시키는 단점도 있으며 입사파가 수직벽 전체에 거의 동일하게 압력을 가하므로 파력의 영향은 더욱 크게 된다.

[사진 1]은 방파제에 작용된 강력한 파력을 형상화시킨 것이다.

위에서 설명한 혼성제의 단점은 방파제 건설에 따른 주변조건의 변화에 의해 일어나는 것이다.

항만의 인근수역이 어업활동과 소형선박 항행에 고도로 이용되기 때문에 방파제에 부딪쳐 해양을 거칠게 하는 반사파는 중요한 문제로 부각되고 있다.

또한 외해에 맞닿아 있는 자연적인 소형항구를 대형 인공항만으로 개발하기 위해서는 방파제 건설이 필수적이다.

최근에는 폭 20m 정도의 직립제는 보편화되어 있으며, 일본 남서지방에는 폭 35m가 넘는 직립제 항구도 있다.

이러한 단점을 보완하기 위하여 파랑을 분산시키는 콘크리트 블럭으로 피복한 혼성제가 비교적 수

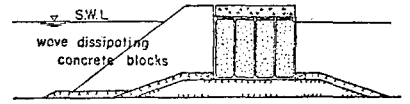


Fig. 2 Mixed Type Breakwater Covered with Wave Dissipating Concrete Blocks

심이 얇은 여러 항만에서 건설되고 있다.

그러나 수심이 깊고 파랑이 심한 지역의 방파제는 대규모 블럭을 사용하도록 되어 있으며 블럭 강도에 따른 문제점이 근래 발견되었다.

또한 수심이 깊은 지역에 건설되는 방파제는 구조가 반경사형이며 단면적이 커지기 때문에 공사비가 함수적으로 증가하는 점도 중요한 문제이다.

이와같은 약조건에 적합한 새로운 방파제 형식의 개발이 일본에서는 현실문제로 부각되어 적정한 방파제 구조연구에 집중적인 노력이 경주되고 있다.

이 보고서에서는 이러한 연구내용 및 전통적인 방파제 구조와 새

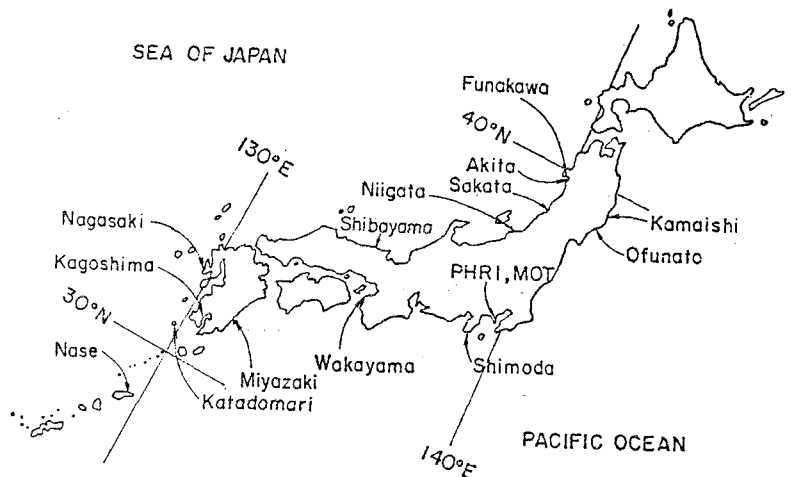


Fig. 3 Location Map of Ports Referred in the Report

로운 형식의 방파제에 대한 몇가지 수리특성이 소개될 것이다.

[그림 3]은 이 보고서와 관련된 항구위치도이다.

2. 일본의 전통적 방파제에 대한 수리특성

2-1 정의

(1) 방파제의 횡단면

일본의 전통적인 방파제는 앞장에서 설명한 대로 직립부 전면에 파랑을 분산시키는 콘크리트 블럭을 피복하거나 피복치 않는 혼합형이다.

[그림 4]는 방파제 횡단면을 정의하는 부호표시이며 파랑분산을 위한 콘크리트 블럭의 높이는 직립부 높이와 동일하다.

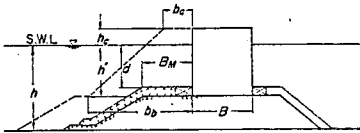


Fig. 4 Definition Sketch of Cross Section of Mixed Type Breakwater

- h : 수심깊이
- h' : 직립부의 수중깊이
- d : 사석기반의 깊이
- hc : 직립부의 수상높이
- B : 직립부의 폭
- BM : 사석 어깨폭
- Bc : 콘크리트블럭의 어깨 폭
- bb : 콘크리트블럭의 바닥 폭

(2) 반사 및 전달계수의 정의

파랑이 방파제에 부딪치게 되면

파(波)에너지의 일부는 분산되고 잔여에너지는 반향되어 방파제 전면에서 반사파를 일으키고 동시에 방파제 후면으로 전달되는 파랑을 만들어 낸다.

반사파는 방파제 앞에서 교란을 일으켜 때때로 문제를 야기시키며 전달파는 방파제 설계에서 본질적으로 중요한 요인이 된다.

왜냐하면 방파제의 가장 기본적인 기능은 파랑을 막아 항내수면을 정온시키는 것이기 때문이다.

파랑의 반사 및 전달 정도는 대개 계수로 측정되며 다음과 같은 함수관계를 갖는다.

$$K_R = H_R/H_I \dots\dots\dots (1)$$

$$K_T = H_T/H_I \dots\dots\dots (2)$$

- K_R : 반사계수
- K_T : 전달계수
- H_I : 파랑높이
- H_R : 반사파높이
- H_T : 전달파높이

이 보고서에서 제시한 모든 자료는 별도 규정이 없으면 불규칙파의 실험결과치이며 반사 및 전달계수는 대응 유효파고 비율에 의해 정해진다.

2-2 파랑의 반사

(1) 혼성제의 반사계수

반사계수는 일반적으로 높은 편이나 사석기반과 월파의 영향으로 1.0이하이다.

특히 한번 부딪친 파랑이 방파제에 작용할 때는 상당히 감소된다.

[그림 5]는 파랑주기($T_{1/3}$)에

대응하는 파고($H_{1/3}$)와 파장($L_{1/3}$)으로 대표되는 다양한 파랑상태에 대한 2개 계열의 실험결과치이다.

첫째 계열에서 수심과 기초사석 두께의 함수관계인 d/h 가 주로 변화하며 수심에 대한 직립부의 수상높이인 hc/h 는 둘째 계열에서 변화되어 진다.

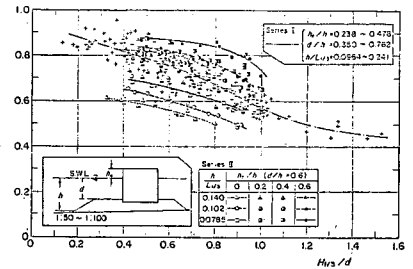


Fig. 5 Reflection Coefficients of Mixed Type Breakwaters

[그림 5]에서 횡좌표($H_{1/3}/d$)는 직립부 수중깊이와 파고의 비율을 나타내며 방파정도를 재는 기본적인 자로 고려될 수 있다.

일점쇄선(---)은 첫째 계열의 실험자료에 대한 평균관계를 나타낸다. 나머지선은 상대수심($h/L_{1/3}$)이 각각 다른 상태에서 둘째 계열의 실험자료 상한선과 하한선을 표시한다.

이 실험결과에 의하면 반사계수는 $H_{1/3}/d$ 의 증가에 따라 수치가 감소되는 추세를 보여주고 있다.

또 다른 중요한 변수는 파고에 대한 상대적인 직립부의 높이인 $hc/L_{1/3}$ 계수이다.

왜냐하면 이 변수는 파랑의 월파를 조절하기 때문이다.

비록 파랑폭대기의 높이는 수심 때문에 수치상으로 표현될 수 없지만 둘째 계열의 결과는 이 사실을 증명해주고 있다.

2) 파랑분산용 콘크리트 블럭식 혼성제의 반사계수

파랑의 반사와 파력을 감소시키기 위하여 파랑분산용 콘크리트 블럭으로 직립부를 피복한다.

반사계수는 파랑에 대한 콘크리트블럭 피복넓이(이하 '블럭의 폭'이라 함)의 함수관계에 따라 큰 영향을 받는다.

[그림 6]은 반사계수의 실험결과를 나타내며 부호 Be는 다음 함수에 의해 정해지는 '블럭의 폭'이다.

$$Be = b_0 - \frac{\cot \theta}{h + hc} \times \left\{ \int_0^h \frac{\cos^2 h^2 2\pi(h+z)/L}{\cos^2 h^2 2\pi h/L} dz + \frac{1}{2} hc^2 \right\} \dots \dots \dots (3)$$

b₀: 수면 정온상태에서의 '블럭의 폭'

θ: 수평면과의 경사 각도

z: 수평면의 종 좌표

[그림 6]의 자료는 각각 다른 단계별의 표시인 Be/L_{1/3}과 hc/h에 의해 구별된다.

선의 0.2 < hc/h ≤ 0.4 사이에 있

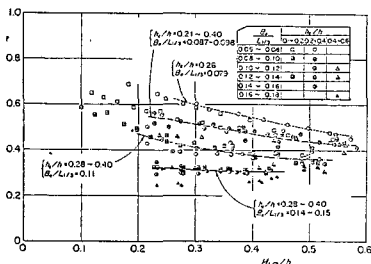


Fig. 6 Reflection Coefficients of Mixed Type Breakwaters Covered with Wave Dissipating Concrete Blocks

는 단계별 구분자료의 평균함수관계를 표시하고 있으며, 수치는 hc/h와 Be/L_{1/3}에 대한 실질적인 범위를 나타낸다.

반사계수는 Be/L_{1/3}이 증가하면 감소되는 결과를 가져오는 것을 알 수 있다.

2-3 파랑의 전달

(1) 전달계수

전달파는 구조물을 통한 전도와 월파에 의해 발생되며, 전달계수는 각각 K_{T1}와 K_{T0}로 표시하고 총 전달계수는 K_T는 다음 함수로 나타낸다.

$$K_T = \{K_{T1}^2 + K_{T0}^2\}^{1/2} \dots \dots \dots (4)$$

월파에 의한 전달파는 다량의 해수 낙차로 발생되기 때문에 고주파인자와같은 복잡한 형태를 띠고 있다.

그러므로 전달파의 파고 및 주기는 기본파랑과 다르다. 또 다른 특이한 현상은 불규칙적인 전달파는 장주기파의 파고 및 주기분포성 등의 특성을 변화시킨다는 점이다.

(2) 혼성제의 전달계수

혼성제의 전달파는 주로 많은 양의 월파에 의한 낙차충격 및 풍력으로 발생된 것이다.

그러므로 파고와 방파제 높이의 비율은 파랑전달계수를 구성하는 기본적인 변수이다.

Goda et al(1969)는 규칙적인 파랑실험에 의하여 다음과 같은 혼성제의 전달계수를 제안했다.

$$K_T = \left[0.25 \left(1 - \sin \frac{\pi}{2\alpha} \left(\frac{hc}{HI} + \beta \right) \right)^2 + 0.01 \left(1 - \frac{h'}{h} \right)^2 \right]^{1/2}$$

$$K_T = 0.1 \left(1 - \frac{h'}{h} \right)$$

$$; B - \alpha < hc/HI < \alpha - \beta$$

$$; hc/HI \geq \alpha - \beta$$

$$\alpha = 2.2$$

β: [그림 7] 참조

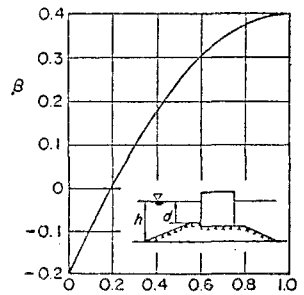


Fig. 7 Nomograph for Parameter β

이러한 함수관계는 규칙적인 파랑실험에 의한 것이지만 불규칙파의 전달계수에도 적용될 수 있다.

일본의 방파제는 대부분 직립부 높이의 함수 hc/HI_{1/3}=0.6에 의해 설계되었다.

HI_{1/3}: 약 50년 주기의 설계파고

이와같이 전달계수는 식(5)에 의해 산출되고 기본조건인 d/h=0.6 및 h'/h=0.7 일 때 약 0.2로 계산된다.

(3) 파랑분산용 콘크리트블럭식 혼성제의 전달계수

전달계수 블럭의 폭과 파장의 함수관계 및 주요계수인 hc/HI_{1/3}에 의해 다소 영향을 받는다.

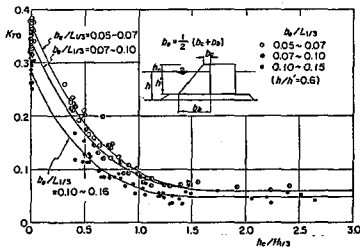


Fig. 8 Wave Transmission Coefficient for Mixed Type Breakwaters Covered with Wave Dissipating Concrete Blocks

(그림 8)은 불규칙 파랑실험의 결과치를 나타낸다. 전달파고는 직립부 후면거리(3~6)h의 위치에서 측정되며 방파제 직후면의 전달계수는 K_{T0} 로 나타낸다.

(그림 8)에서 짙은 곡선은 각각 다른 $b_e/L_{T1/3}$ 에 대한 실험자료의 평균치를 나타내며, b_e 는 아래 함수의 '블럭의 폭'에 해당된다.

$$b_e = 0.5(bc + b_s) \dots\dots\dots (6)$$

평균함수에 의한 전달계수는 직립부 높이의 0.6에 대하여 그 범위가 0.10~0.16 정도이다.

이는 식(5)의 전달계수보다 적으며 '블럭의 폭'이 넓을 수록 전달계수가 적어지는 것을 보여준다.

(4) 파랑전달에 의한 주기변화

지금까지는 방파제 직후면의 전달계수만 제시되었으나 파랑 분산형 콘크리트블럭식 혼성제의 불규칙 전달파의 특징이 소개된다.

(그림 9)는 방파제 직후방 전달파의 주기와 입사파랑과의 비율을 나타낸다.

약간 다른 조건의 두가지 실험방법에 의한 자료로 설계되는 전달파의 주기는 $K_{T0}=0.1\sim0.2$ 의 기본조건에서 입사파의 주기로부터

상당히 감소된다.

사각형 부호로 표시된 자료가 다른 것에 비해 작은 이유는 첫째 계열의 자료가 파랑 단면도로부터 더 낮은 주파인자를 제거하기 때문인 것으로 분석되어진다.

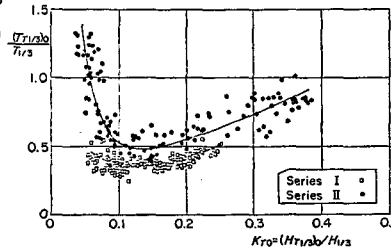


Fig. 9 Change of Significant Wave Period by Wave Transmission

(5) 불규칙전달파의 대표적인 파고 불규칙 전달파의 파고분포는 반사파고 분포와 매우 다르다.

(그림 10)은 방파제 직후방에서 측정된 전달파의 반사파고와 다른 대표적인 파고의 비율에 대한 실험결과를 나타낸 것이다.

특히 반사파고에 대한 최대파고의 비율인 $(H_{Tmax})_0 / (H_{T1/3})_0$ 가 널리 산재되어 있으며, 일반적으로 2.0보다 적은 반사파의 비율보다 더 큰 수치를 나타내고 있다.

이러한 결과로 $K_{T0}=0.2$ 일 때 전

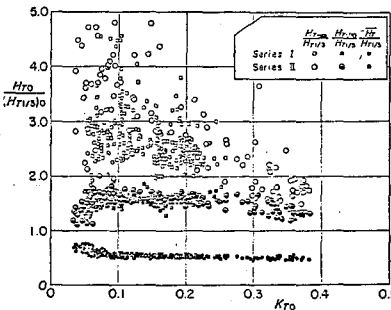


Fig. 10 Relation of Representative Wave Heights of Irregular Transmitted Waves

달파와 대표적인 파고간에는 다음 함수관계가 이루어진다.

$$(H_{Tmax})_0 / (H_{T1/3})_0 = 2.0\sim3.5$$

$$(H_{T1/10})_0 / (H_{T1/3})_0 = 1.4\sim1.7$$

$$(H_T)_0 / (H_{T1/3})_0 = 0.5\sim0.6$$

(6) 파랑전파에 의한 전달파의 파고와 주기편차

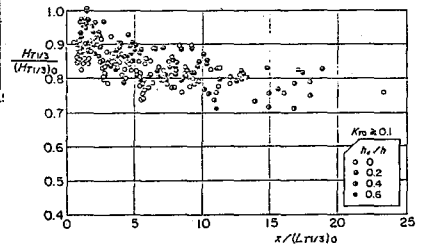


Fig. 11 Variation of Significant Wave Height of Transmitted Waves during Propagation

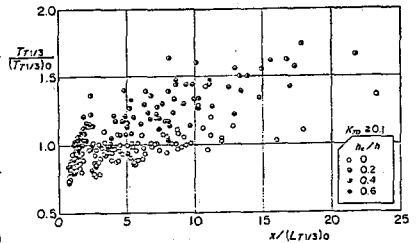


Fig. 12 Variation of Significant Wave Period of Transmitted Waves during Propagation

불규칙 전달파는 상당한 거리로 전파될 때 파고, 주기 등과 같은 파랑의 속성이 달라진다.

(그림 11)과 (그림 12)는 반사파의 파고 및 주기편차에 대한 것이다.

(그림 11~12)에서 x 는 직립부면에서의 거리이며 $(L_{T1/3})_0$ 은 방파제 직후방의 주기($T_{T1/3})_0$ 에 해당되는 파장을 표시한다.

$H_{T1/3}$ 및 $T_{T1/3}$ 은 각각 임의 거리에 위치한 파고와 주기를 나타낸

다. 비록 자료가 분산되어 있지만 전 달파가 긴 거리로 전파될 때에는 파고는 감소되고 주기는 증가함을 알 수 있다.

2-4 직립부의 파력

(1) 일반적인 Goda 방식

혼성제를 설계함에 있어 직립부의 파력은 가장 중요한 주변의 힘이다.

$$\eta^* = 0.75(1 + \cos\beta)\lambda_1 H_D \dots\dots\dots (7)$$

$$P_1 = 0.5(1 + \cos\beta)(\alpha_1 + \lambda_2 \cdot \alpha_2 \cdot \cos^2\beta)W_0 \cdot \lambda_1 \cdot H_D \dots\dots\dots (8)$$

$$P_3 = \alpha_3 \cdot P_1 \dots\dots\dots (9)$$

$$P_4 = \alpha_4 \cdot P_1 \dots\dots\dots (10)$$

$$P_U = 0.5(1 + \cos\beta)\lambda_3 \cdot \alpha_1 \cdot \alpha_3 \cdot W_0 \cdot H_D \dots\dots\dots (11)$$

$$\alpha_1 = 0.6 + \frac{1}{2} \left[\frac{4\pi h/L_D}{\sin h(4\pi h/L_D)} \right]^2 \dots\dots\dots (12)$$

$$\alpha_2 = \min \left\{ \frac{hb-d}{3hb} \left(\frac{H_D}{d} \right)^2, \frac{2d}{H_D} \right\} \dots\dots\dots (13)$$

$$\alpha_3 = 1 - \frac{h'}{h} \left[1 - \frac{1}{\cos h(2\pi h/L_D)} \right] \dots\dots\dots (14)$$

$$\alpha_4 = 1 - \frac{hc^*}{\eta^*} \dots\dots\dots (15)$$

$$hc^* = \min\{\eta^*, hc\} \dots\dots\dots (16)$$

η^* : 수평면상의 가상수압

P_1 : 수평면상의 압력도

P_3 : 직립부의 저변 수면상태 압력도

P_4 : 직립부의 상부 압력도

그러므로 직립부의 파력에 대한 집중적인 연구가 이루어져 왔다.

이러한 연구의 결과로 1973년 Goda에 의한 설계파계산공식이 확립되어 일본의 혼성제 설계에

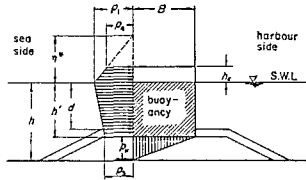


Fig. 13 Distribution of Design Wave Pressure

성공적으로 적용되었다.

[그림 13]은 Goda식에 의한 파력분포도이며, 다음과 같이 일반적인 공식으로 기술된다.

방파제 설계에 있어 설계파의 최대파와 주기에 일치하는 파장은 H_D 및 L_{D0} 임.

(2) 혼성제의 직립부에 대한 파력

직립제 및 혼성제의 직립부에 대한 변수 $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = 1.0$ 은 Goda 공식이 고안된 후 처음으로 적용된 것이다.

비록 Goda공식이 직립부의 설계적용에는 성공하였지만 제한적 조건의 파력을 예상하는 데는 실패하였다.

이 중 하나가 거대하고 높은 사석기반의 직립부에 대한 파력이다. 예를 들면 [그림 15]는 직립부의 전체 높이에 대한 평균파랑압력도 \bar{p} 의 편차를 설명해 준다.

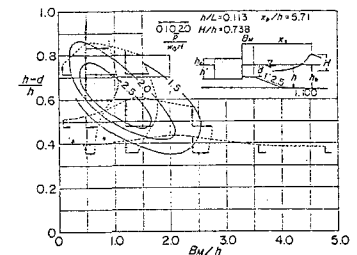


Fig. 15 Example of Wave Force Variation due to Mound Configuration

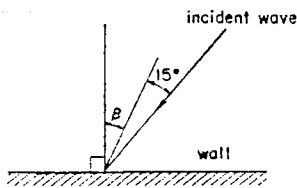


Fig. 14 Angle of Wave Incidence

P_U : 직립부의 저변 압력도

W_0 : 특정수면의 무게

hb : 벽면에서 파고의 5배거리에 위치한 해안수심

H_D : 설계파고

L_{D0} : 설계파장

β : 입사각도[그림 14]참조

[그림 15]의 횡좌표는 사석어깨 폭과 수심의 상관관계를 나타내며 피복층을 포함한 사석기반 두께와 수심의 관계를 표시한다.

이 자료는 여러 형태의 사석기반에 대한 직립부 활동실험 결과이며, 파랑압력도는 활동에 대한 강도와 동일하다고 할 수 있다.

[그림 15]에서 강도편차는 파랑 조건 $h/L=0.113$ 및 $H/h=0.738$ 일 때 \bar{p}/W_0 에 대하여 일정한 선으로 나타난다.

따라서 파력강도는 사석기반 높이와 어깨폭에 크게 영향을 받으며 쇄파력은 사석기반이 불리하게 높고 넓을 때 매우 증가함을 알 수 있다. Goda공식은 사석어깨폭의 영향을 고려하지 않을 뿐 아니라 수치로 표시할 수 없는 예상강도가 겨우 2.0이므로 완전하지 못하며 제한된 조건의 파력을 예상할 수 없다.

이러한 사실에도 불구하고 Goda공식이 설계파고 계산에 있어서 매우 유용한 이유는 예외적으로 큰 파력을 받는 방파제 건설은 안정성 결여 및 공사비 과다로 채택되지 않기 때문이다.

파랑이 수직으로 방파제에 작용할 때 $d/h > 0.6$ 정도의 낮은 사석기반구조가 가장 합리적이다.

(3) 파랑분산용 콘크리트 블럭식 직립부에 대한 파력

직립부에 작용하는 파력은 파랑

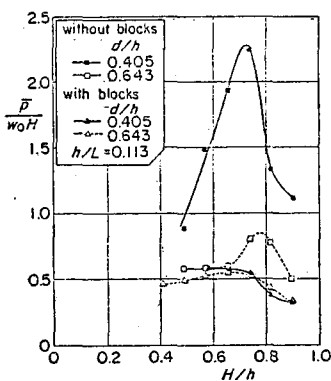


Fig. 16 Change of Impulsive Wave Pressure by Covering with Wave Dissipating Concrete Blocks

분산용 콘크리트블럭에 의해 감소되며, 특히 쇄파에 의한 충격력은 충분히 피복된 직립부에 전달된다.

[그림 16]은 전체높이에 대한 직립부의 평균압력강도가 파랑분산형 콘크리트블럭의 피복유무에 따라 어떻게 다른가를 보여준다.

사석기반의 높이함수 $d/h=0.405$ 일 때 강도가 크게 감소되는 것을 알 수 있으며, 이 압력은 피복되지 않은 구조물일 때는 직립부에 그대로 작용한다.

파랑분산형 콘크리트블럭으로 피복된 직립부의 파력은 일반적으로 Goda공식에 의해 계산될 수 있다.

다음 변수를 이용할 경우 λ_1, λ_2 의 범위는 파장에 대한 블럭폭의 함수차이와 일치될 수 있으나 공식화 되지는 않고 있다.

$$\lambda_1 = \lambda_3 = 0.8 \sim 1.0 \quad \text{및} \quad \lambda_2 = 0$$

직립부가 파랑분산형 콘크리트블럭으로 완전히 피복되었을 경우에는 최소치 0.8이 공통적으로 적용되며, 특히 주의할 것은 건설중인 방파제 구조물의 피복이 충분하지 못하면 파력은 대부분 크게 증가하게 된다.

2-5 사석기반의 단위피복 안전성

(1) 안정방정식

혼성제는 직립부 뿐만 아니라 사석부분도 파랑에 대하여 안정되어야 하며 안정성 확보를 위하여 큰 규격의 사석 또는 콘크리트블럭으로 사석기반위에 피복되어야

한다.

피복재의 소요중량을 측정하는 방정식은 1959년 Hudson이 고안한 공식이 자주 적용된다.

$$W = \frac{r_r}{N_s^3 (S_r - 1)^3} \cdot H^3 \dots \dots \dots (17)$$

- W : 각 피복재의 소요중량
- r_r : 피복재의 단위중량(t/m^3)
- S_r : 피복재의 해수에 대한 비중
- H : 관측파고 보통 충분한 파고
- N_s : 피복재의 안정번호

안정번호 N_s 는 피복재의 모양, 시공방법, 사석기반형태, 파랑조건(파고, 주기, 파장, 시기) 등의 변수에 따라 변하므로, 이러한 영향 변수는 적절한 실험결과에 기초하여 결정되어야 한다.

(2) 속채움석의 안정번호

Tanimoto et al(1982)은 분석적 검토사항 및 불규칙파 실험에 기초하여 속채움석의 안정번호 계산식을 다음과 같이 제안했다.

$$N_s = \max\{1.8, 1.3\alpha + 1.8E_{Exp} [-1.5\alpha(1-K)]\} \dots \dots \dots (18)$$

$$\alpha = \{(1-K)/K_1\beta\} \cdot (h'/H_{1/3}) \dots \dots \dots (19)$$

$$K = K_1 \cdot K_2 \dots \dots \dots (20)$$

$$K_1 = (4\pi h'/L) / \sin h(4\pi h'/L') \dots \dots \dots (21)$$

$$K_2 = \sin^2(2\pi BM/L') \dots \dots \dots (22)$$

L' : 깊이 h' 에서 주기에 대응하는 파장

이러한 공식에서 알 수 있듯이 안정번호는 $h'/H_{1/3}$, h'/L' , B_M/L' 의 3가지 주요항수에 대한 기능이 다.

(3) 중량과 손실퍼센트 간의 함수관계

(그림 17)은 손실퍼센트 D에 대한 연구실험 결과를 나타낸 것이다.

W : 실험에 사용된 평균중량
 Wc : 공식 (17)~(22)에 의한 산출중량

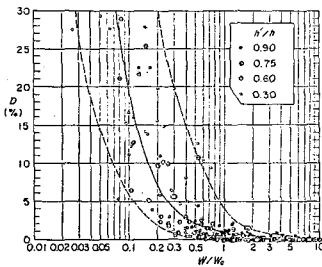


Fig. 17 Experimental Results of Damage Percent

이 자료는 매우 분산되어 D=5 일 때 W/Wc 수치는 0.1에서 1.0까지 분포되어 있다.

이것은 안정번호 공식의 부정확성 뿐만 아니라 사석구조의 안정에 대한 필수적인 속성에서 나온 결과이며 사석구조 안정의 다양성에 관한 다른 예를 다음 장에서 논의코자 한다.

(그림 17)의 실험결과는 안정번호에 대한 평가방법을 매우 신중하게 고려한 것이며, 사석의 피해퍼센트를 중량으로 계산하면 5이하임을 보여준다.

2-6 파랑분산용 콘크리트 블록의 안정성

(1) Hudson공식

경사구조에 대한 피복재 소요 중량을 측정하기 위하여는 보통

Hudson 공식을 적용한다.

혼성제의 파랑분산용 콘크리트 블록에 대한 안정성도 Hudson식에 의한다.

$$W = \frac{r_r}{K_D(S_r - 1)^3 \cot \alpha} H^3 \dots \dots \dots (23)$$

α : 수평면에서의 경사각도

K_D : 피복재의 안정계수

식(23)의 안정계수 K_D 는 구조 및 수리적 조건과 관련된 여러 변수와 함수관계이다.

그러나 전 세계에서 많은 연구가 진행되고 있음에도 불구하고 완전한 공식화가 이루어지지 않은 이유중 하나는 안정성의 다양화 문제이다.

(2) 안정성의 다양화

(그림 18)은 동일형 콘크리트블럭의 다양한 불규칙 파랑 상태에 대한 피해퍼센트와 K_D 치 관계를 고안한 것이다.

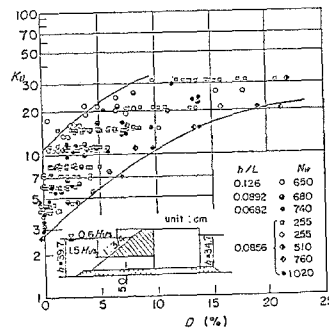


Fig. 18 Experimental Relation Between Damage Percent and K_D Value

실험은 동일한 방법 및 피해범위에 대하여 같은 수로에서 이루어졌다.

그럼에도 불구하고 결과치는 대

단히 넓게 분산되었으며. 일정한 K_D 를 결정하는 것은 불가능하였다.

이러한 편차에는 두가지 이유가 있는데 하나는 상대적인 파고, 수심, 다른 파랑의 연속기간 등 파랑상태 차이이며 또 다른 이유는 안정성의 다양화로서 여기서는 후자에 대해서만 논의하기로 한다.

(그림 18)은 주기가 동일한 조건일 때 반복실험에 의한 자료이며 (그림 19)는 반복실험결과에 대한 본질적 상태인 D=0와 일치하는 K_D 치의 일반화된 분포도를 나타낸다.

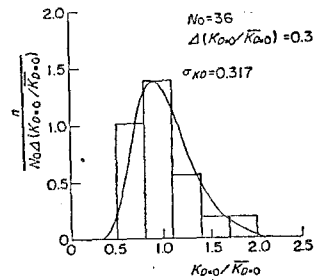


Fig. 19 Distribution of K_D Value

이 결과에 의한 편차계수는 0.32이며 반복실험의 편차는 이러한 실험파랑의 조건차이로 인한 것과 같다.

이것은 사석재의 안정이 반드시 충분한 실험자료에 의하여 측정되어야 함을 뜻한다.

반복실험 결과에 기초하여 Tanimoto et al(1985)은 임의 상태의 피해퍼센트 표준편차를 측정할 수 있는 식을 고안하였다.

$$\sqrt{D/\bar{D}} = 0.89\bar{D}^{-0.57} \dots \dots \dots (24)$$

D : 예상 피해퍼센트 값

\sqrt{D} : 피해퍼센트의 표준편차