

海·外·新·技·術

防波堤구조와 水理特性 〈끝〉

● 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)

(지난호에 이어)

4-2 Curved slit케이슨 방파제

(1) 구조

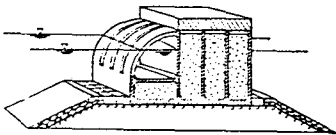


Fig. 33 Curved Slit Caisson

[그림 33]과 같은 Curved slit 케이슨은 파랑분산형 케이슨의 한 형태이다. 정면에 구멍이 뚫린 케이슨벽은 아크형이며 수평지반과 수직후면을 가진 wave chamber 모형은 측면에서 볼 때 1/4원형이다.

curved slit케이슨의 원리는 [그림 34]에 설명되어 있으며, 이는 경사벽케이슨과 파랑분산형케이슨의 혼합형이다.

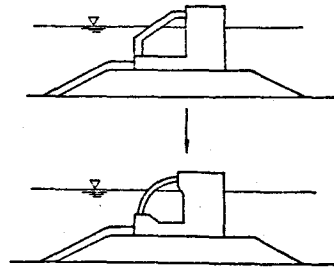
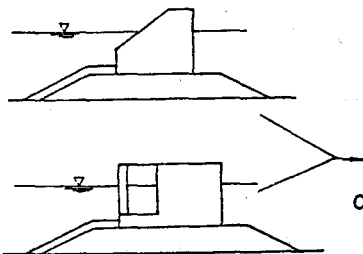


Fig. 34 Idea of Curved Slit Caisson

이러한 구조적 원리로 인하여 구멍뚫린 벽은 원호모양으로 형성되었다. 1976년부터 1983년까지 수리특성에 관한 연구와 설계시공에 필요한 공법확립을 위한 집중적인 조사가 이루어졌다.

(2) 반사파 및 전달파

Curved slit 케이슨의 수리특성은 구멍벽의 개방률에 따라 달라지며 이러한 개방률 변화에 대한 반사파 실험 결과를 (식 28)에 적용하면 최적치가 0.25로 나타난다.

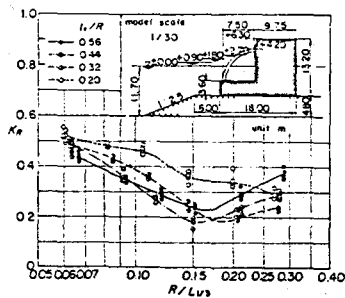


Fig. 35 Reflection Coefficient of Curved Slit Caisson

벽높이는 $lc/R=0.30$ 보다 크게 선정되어야 한다.

curved slit케이슨의 파랑흡수력은 파랑분산형 콘크리트블럭으로 피복된 혼성제의 파랑흡수력과 거의 동일하게 된다.

[그림 35]는 케이슨의 반사계수 $\epsilon=0.25$ 를 나타내는데, 여기서 R은 curved slit 케이슨의 외경이며 lc는 정온상태의 curved slit 벽 높이를 표시한 것이다.

벽높이가 너무 낮으면 curved slit 벽이 물에 잠기므로 케이슨의 반사계수 $lc/R=0.20$ 는 다른 벽의 반사계수보다 높다. 일반적으로 파랑전달에 관하여는 curved slit 케이슨의 전달계수가 wave chamber가 없는 일반케이슨의 전달계수보다 약간 적어 직립부 높이는 일반케이슨 방파제와 같은 높이로 알맞게 결정할 수 있다.

(3) 파력

curved slit케이슨의 파력특징은 wave chamber가 완전히 물에 잠겼을 경우 wave chamber 내에 충격력이 발생하는 것이다.

이러한 특징을 감안하여 파력분산에 대한 구조설계 방법이 [그림 36]과 같이 고안되었다.

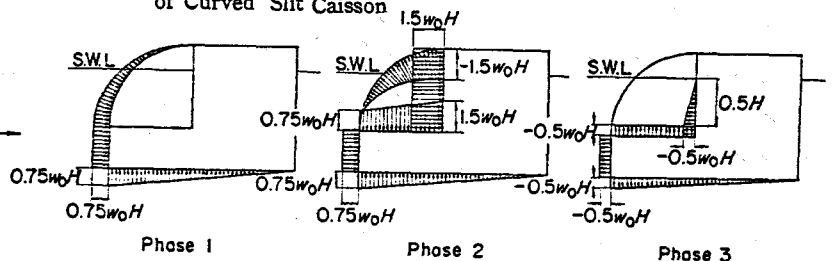


Fig. 36 Wave Pressure Distribution for the Design of Strength

- 1 단계 : wave chamber가 물로 덮이기 직전의 상태
- 2 단계 : wave chamber가 완전히 덮인 상태
- 3 단계 : 파랑통과 단계

임의 위치의 curved slit member에 대한 수직강도 f 는 다음과 같이 표시된다.

$$f = f_A \cdot \cos^2\theta + f_B \cdot \sin^2\theta \dots (29)$$

θ : 적용선분과 수평면의 각도
 f_A : $0.75 w_0 \cdot H$, f_B : $=0$ - 제1단계
 f_A : 0 , f_B : $(-1.5w_0 \cdot H)$ - 제2단계

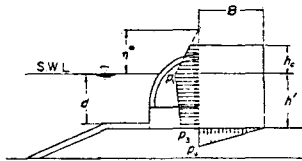


Fig. 37
Wave Pressure Distribution for the Stability Design

케이슨의 안정성 시험에 이용되는 파력은 (그림 37)과 같이 curved slit벽의 파랑분산부분을 무시하고 가설직립부에 대한 일반적인 Goda 공식을 대입하여 쉽게 계산할 수 있다.

이경우의 변형인자는 $\lambda_1 = \lambda_3 = 1.0$, $\lambda_2 = 0$ 이다.

(그림 38)은 일반케이슨 방파제와 curved slit방파제에 대한 sliding 실험 결과이다.

s : 약 120 불규칙 파랑 작용에 의한 작용거리

H_{max} : 연속파랑의 최대높이
 H_{CG} : Goda공식으로 계산한 보통

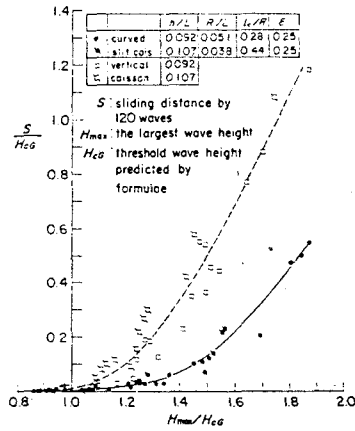


Fig. 38 Experimental Results of Sliding

케이슨 높이 및 고안공식으로 계산한 curved slit케이슨 높이

이 결과 고안방식의 curved slit 케이슨방파제가 Goda공식으로 설계된 일반 케이슨 방파제보다 안전하다는 것을 알 수 있다.

(4) Funakawa항의 curved slit케이슨방파제

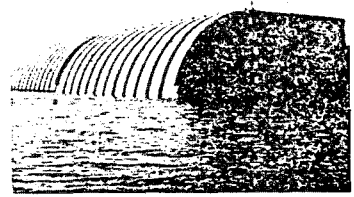


Photo 3 Curved Slit Caissons Placed Temporarily

제1구역 항만건설국에서는 1984년 Funakawa항의 curved slit케이슨방파제 150m를 완공하였으며 (그림 39)는 감준 단면도이다.

설계조건은 $T_{1/3} = 8.7S$, $H_{1/3} = 5.5m$, $H_{max} = 9.9m$ 이다.

curved slit member는 프리스트레스트 콘크리트로 조립되어 dry joint 방식으로 케이슨에 고정시킨 것이다.

(사진 3)은 Akita항에 임시로 장치한 curved slit케이슨이다.

방파제는 완성후 수차례 설계 크기의 파랑내습이 있었지만 연구 결과의 예상을 초월하여 원상대로 존재하였다.

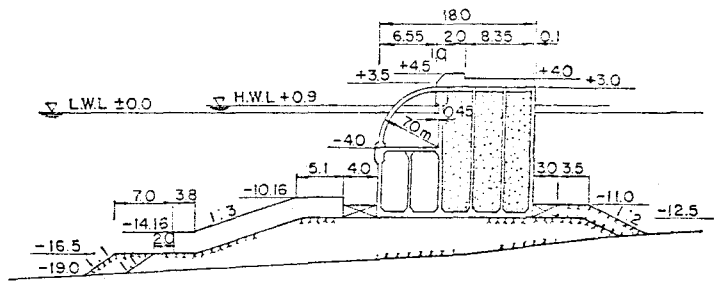


Fig. 39 Cross Section of Curved Slit Caisson Breakwater at Funakawa Port

4-3 파력 추출케이슨 방파제

(1) 구조

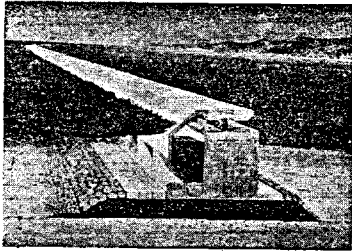


Fig. 40 Wave Power Extracting Caisson Breakwater

파에너지는 파랑분산형 케이슨방파제에 의해 즉시 분산되지만 [그림 40과] 과 같이 특수한 케이슨방파제에 의해 이용 가능한 에너지로 환원될 수 있다. 이러한 케이슨을 파력추출케이슨이라 하며 보통 콘크리트 케이슨이라 하며 보통 콘크리트케이슨 정면에 부착되는 air chamber (공기관)을 가진다.

파랑은 차단벽 아래의 구멍을 통해 공기관에 들어가서 해면의 수직진동을 일으킨다. 공기관 상부에 있는 공기는 수면이 상승할 때 압축되며 낙하할 때 팽창된다. 공기터빈 및 전동기를 케이슨에 장치한 경우의 공기활동은 터빈을 작동하는 노즐을 통해 가속도가 된다.

파력변압기와 케이슨 방파제의 조립원동력전환 및 항만보호측면에서 건설비를 절감할 수 있어 매우 매력적이다.

파력추출케이슨은 파랑분산형 케이슨의 일종이므로 서로 비슷한 유리적 특성을 지닐 것으로 예상된다.

파력추출케이슨은 경사진 상부벽을 가지며 이는 제3장에서 설명한 경사벽케이슨과 같은 특성을 가진다.

파력추출케이슨 방파제에 대한 연구는 1982년부터 5개년 특별사업계획으로 시작되어 이미 출판된 6개의 보고서에는 파력전환에 관한 문제만 기술되었다.

파력을 전력으로 전환시키는 열역학 및 물리운동학적 방법이 확립되었으며 터빈과 발전기를 포함한 전환장치의 설계방법은 이 보고서에서 고안되었다.

여기서는 파력추출방파제에 관한 최초 실험결과를 기초로 방파제 기능과 안정성을 개략적으로 설명하였다.

(2) 파력의 전환 계수, 반사 및 전달계수

공기관 내의 파력을 공기력으로 전

환시키는 계수는 파력변압기 뿐만 아니라 방파제에 있어서도 가장 중요한 인자이다. 왜냐하면 높은 전환계수가 낮은 반사계수를 산출하기 때문이다.

공기관폭 Ba 의 범위가 $0.1 \sim 0.2L_{1/3}$ 로서 Ba 가 항상 $0.13L_{1/3}$ 이 될 때 전환계수는 비교적 크다.

전환계수는 상대수심 $h/L_{1/3}$ 과 공기노즐의 개방률 ϵ 에 영향을 받으며, 상대수심이 적고 개방률이 약 $1/200$ 일 때의 계수는 0.7 이상이 된다.

[그림 41]은 파력추출케이슨 방파제(WPEC)의 반사계수를 나타낸다. 경사벽케이슨(STC) 및 파랑분산형 콘크리트블럭으로 피복된 경사벽케이슨(STC-B)의 반사계수는 그림과 같다.

실험모형파력추출케이슨의 폭 B 는 136cm , 기초깊이 h' 72.5cm , 꼭대기높이 hc 55cm , 공기관폭 Ba 35m , 수심 h 는 97.5cm 이다.

경사벽케이슨의 모델은 파력추출케이슨과 거의 같으며 벽전면의 구멍이 없다.

파력추출케이슨의 반사계수는 비교적 파고가 적은 경우 0.45 이며 파고가 클 때도 약 0.55 이다. 파력추출케이슨의 반사계수는 경사벽케이슨보다 훨씬 작으나 파랑분산형 콘크리트블럭으로 피복된 경사벽 케이슨의 반사계수보다는 크다.

파력추출케이슨의 전달계수 및 월파현상은 같은 높이의 경사벽케이슨에 비하여 작다. 경사벽케이슨이 벽높이 $0.6H_{1/3}$ 인 보통케이슨보다 파랑전달을 감소시키려면 벽높이 $1.0H_{1/3}$ 이 필요하다. 그러므로 벽높이 $1.0H_{1/3}$ 인 파력추출케이

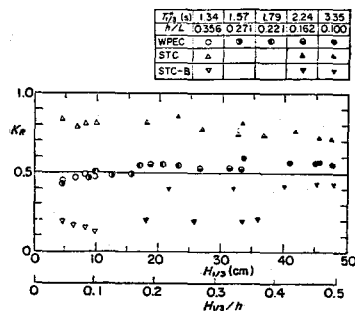


Fig. 41 Reflection Coefficient

수는 $0.6H_{1/3}$ 의 보통케이슨보다 낮은 전달계수를 갖는다.

그러나 공기관은 방파제벽이 높으면 높은 수위에 고정될 수 있으며 공기노즐의 해수가 터빈실로 침입하는 위험부담을 감소시킨다. 공기관 속의 노즐위치는 수면에서 $0.5H_{max}$ 정도 높아야 된다.

케이슨의 안정성 설계는 일반적으로 Goda공식을 이용하여 수행될 수 있다.

변형인자 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ 는 각각 설계도에서 1.0, 0, 1.0이며 경사벽 전면의 효과는 3-2절에서 이미 설명되었다.

(4) Sakata항의 파력추출케이슨 현장실험

제에 터빈과 변압기를 설치할 것이다.

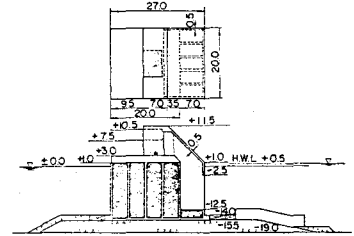


Fig. 43 Sectional View of Wave Power Extracting Caisson at Sakata Port

(3) 파 력

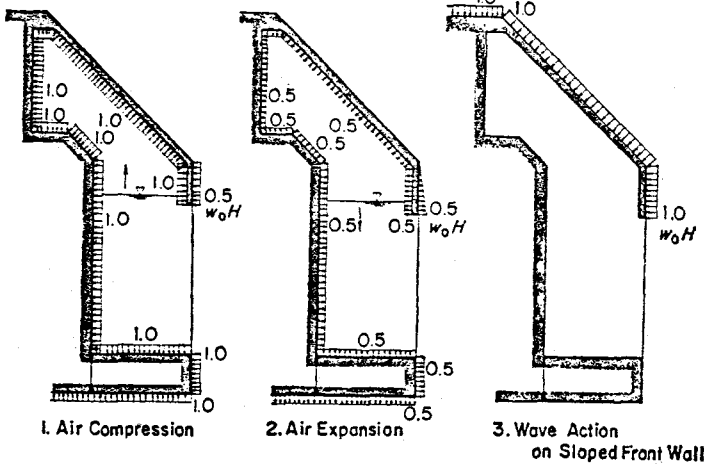


Fig. 42 Pressure Distribution for the Design of Air Chamber Wall

[그림 42]는 파력추출 케이슨의 공기관 설계에 대한 압력 분포도이다.

유도된 파랑의 양, 음 공기압력은 공기관벽에 작용하며 직접적인 파력은 벽 전면에서 작용한다. 그러므로 그림에서 보여진 설계도의 3단계가 고려된다.

비록 모델 실험에서 측정된 양 공기압력이 그림보다 훨씬 커지더라도 공기압축의 모델규격효과는 원형속의 압력을 감소시키기 때문에 그림에서 압력분포도를 주는 것으로 고려된다.

연안발전기술연구소는 파력추출 케이슨방파제를 이용한 파력전환 방식의 경제적 타당성을 조사하기 위하여 위원회를 구성하였다.

약 20개의 관련기업과 정부기관이 위원회에 참여하여 파력추출케이슨 방파제 방식이 경제적 타당성을 가지며 가까운 장래에 건설될 것으로 결론지었다.

운수성 제1구역 항만건설국은 1987~1991까지 Sakata 항에서 파력추출케이슨 방파제의 현장실험을 하기로 결정하였으며 [그림 43]과 같은 원형파력추출케이슨 방파

5. 심해방파제

5-1 직립부기본형

(1) 일본의 심해방파제 및 파랑조건 방파제는 대개 천해에 건설되며 수심은 25m 이내이다.

그러나 지형적 조건 때문에 오후나토, 나가시키, 가고시마, 나세항의 방파제는 수심 30~40m인 심해에 건설되었다. 현재 건설중인 시모다, 카마이시항의 수심은 각각 42m, 63m이다.

일본전역의 방파제 최대조건은 사카타항의 $T_{1/3}=16.0S$, $H_{1/3}=12.0m$ 이지만 시모다항의 심해 방파제에 대한 최대 설계파랑조건은 $T_{1/3}=16.4S$, $H_{1/3}=8.4m$ 이다.

심해의 최대 파랑조건인 $T_{1/3}=16.0S$, $H_{1/3}=14.0m$ 는 과거 반세기를 통하여 가장 강한 태풍에 대해 측정된 것이지만 여기서는 심해방파제의 직립부기본형을 연구하였다.

방파제의 설계과고는 심해에서 계획기간까지 파랑변형을 고려하여 결정되어야 한다.

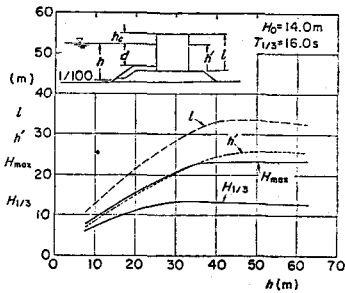


Fig. 44 Variation of Wave Height and Height of Upright Section vs Water Depth

[그림 44]는 해저경사 1/100, 수심 10~60m 사이의 방파제 직립부 높이와 파고의 변화를 나타낸다.

유의파($H_{1/3}$) 및 최대파(H_{max})는 해수 차단으로 인한 파랑변형의 Goda이론에 의해 산출되며 최대 파고는 $H_{1/30}$ 과 일치한다.

심해의 유의파 및 최대파는 각각 14.0m, 25.2m이며 파랑전달의 해수차단효과에 의해 변화한다.

기호 h' , l 은 해저깊이와 전체 높이를 나타내며 다음 공식으로 계산된다.

$$h' = 25 + \min(0.6h, H_{max}) \quad \dots(30)$$

$$l = h' + 0.6H_{1/3} \quad \dots(31)$$

식(30)은 해수차단에 의한 충격력을 피하는 상태를 나타낸다.

만일 피복층을 포함한 기초사석의 깊이가 0.6h 및 H_{max} 보다 깊으면 어떠한 충격력도 작용하지 않는 것으로 추정되며 피복두께는 2.5m 정도이다.

식(31)의 l 은 수면위의 높이가 $0.6H_{1/3}$ 로 추정될 때 직립부 전체높이에 해당된다. 이결과에 의하면 전체높이는 수심증가에 비례하나 40m 이상의 심해에서는 거의 일정

한 높이인 33m 정도가 된다.

이는 파랑영향이 심한 심해의 방파제는 매우 높은 직립부가 필요함을 나타낸다.

(2) 직립부의 기본형과 설계방법

심해방파제의 직립부는 [그림 45]와 같이 직사각형케이슨, 사다리꼴케이슨, 원주형케이슨 등 3가지의 기본형이 있다.

방파제 연장방향에서 모든 케이슨의 높이와 길이는 같으며 각각 l , $2R$ 로 나타낸다.

여기서 R은 원주형케이슨의 반지름이다.

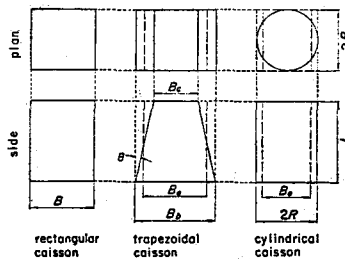


Fig. 45 Basic Shapes of Upright Section

B: 직사각형 케이슨의 너비

B_c, B_b : 사다리꼴케이슨의 꼭대기 및 밑바닥 너비

Q: 사다리꼴케이슨의 선분각도

B_e : 동일면적의 직사각형케이슨에 대응하는 사다리꼴 및 원주형 케이슨의 너비

사다리꼴케이슨의 선분각도 Q는 경제성을 고려하여 최대 15°로 제한되며 원주형케이슨의 밑바닥은 적당한 두께의 직사각형 평판이다.

이러한 케이슨의 설계과랑조건에 대한 안정성 계산은 [그림 44]

와 같이 수심에 따라 결정된다.

케이슨 체적의 25%는 철근콘크리트이며 나머지는 모래로 채워진다.

그리고 마찰계수는 0.6정도로 추정되며 설계범위 및 기준은 다음과 같다.

- a) 활동 및 전도에 대한 안전계수는 1.2 이상
- b) 허용전단강도는 60tf/m^2

(3) 계산결과

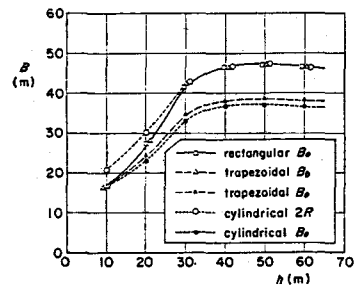


Fig. 46 Bottom and Equivalent Widths of Upright Sections vs Water Depth

[그림 46]은 케이슨 밑바닥과 대응너비를 나타내며 바닥너비는 기초사석의 규격에 좌우한다. 수심 30m 이상에서는 3가지 케이슨의 바닥너비가 동일하며, 수심이 낮은 곳에서는 비록 원주형 케이슨의 바닥너비가 다른 케이슨보다 크지만 [그림 46]에서의 너비는 직립부 전체체적과 관계가 있다.

원주형케이슨의 너비가 가장 작고 직사각형케이슨이 가장 크다.

[그림 47]에서 나타내는 전체 측면적 S는 케이슨 크기의 또 다른 면이며 콘크리트 골조의 관련이 있다.

원주형케이슨의 면적이 최소이

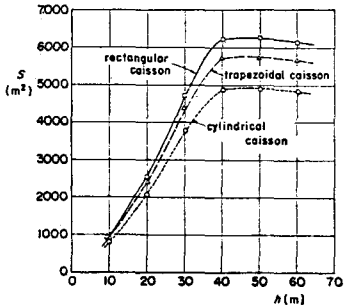


Fig. 47 Total Side Area of Upright Sections vs Water Depth

고 직사각형 케이슨 면적이 최대이다. 이러한 심해방파제의 직립부에 대한 등가너비 및 전체측면적의 결과는 사다리꼴과 원주형케이슨이 직사각형케이슨보다 더 경제적이며 특히 원주형케이슨은 심해방파제에 가장 적합하다는 것을 증명한다.

5-2 Kamaishi항의 심해방파제

(1) 사업개요

세계에서 가장 깊은 방파제 Kamaishi항에 건설중이며 [그림 48]은 Kamaishi만의 방파제 계획 평면도이다.

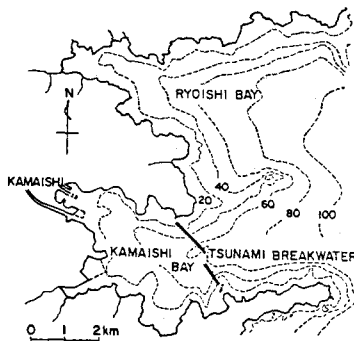


Fig. 48 Plan of Breakwaters at Kamaishi Port

이 계획에 의하면 방파제 길이의 1/2은 50m 이상의 심해에 위치해 있으며 가장 깊은 곳은 63m이다.

방파제는 폭풍, 파랑 뿐만 아니라 쓰나미에 대하여도 안전하도록 설계되었으며 준비공사를 포함한 시공은 제2구역 항만건설국에 의해 1978년 착공되었다.

의 효율성을 입증하기 위하여 1/40 축소모델과 2개 대체부분을 함께 실험하였다.

하나는 고안단면이고 나머지는 전면의 고체수직벽이다.

이는 근해에 케이슨 후면을 배치하므로서 실현되었으며 이러한 2가지 부분을 각각 흡수형과 반사형이라 부른다.

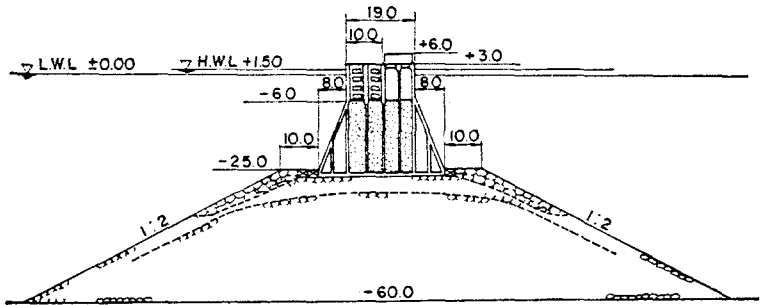


Fig. 49 Proposed Cross Section (Deep Part)

[그림 49]는 심해구역의 표준단면도이며 설계파랑 조건은 $T_{1/3} = 12.0S$, $H_{1/3} = 8.0m$ 이다. 직립부의 아랫부분은 지진발생시 수압을 감소시키기 위하여 사다리꼴로 되어 있으며 윗부분은 2중 수평구멍벽의 파랑분산형이다.

실험실에서 파에너지 분산장치

(2) 불규칙파에 의한 파력

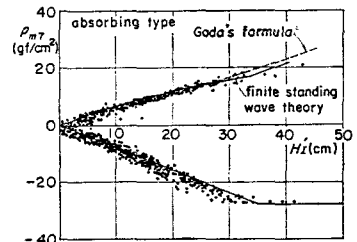


Fig. 50 Positive and Negative Peak Values of Wave Pressure

[그림 50]은 흡수형의 전면벽에서 측정된 압력강도를 나타내며 측정위치는 해면에서 약 28cm 깊이에 위치하고 있다. 자료는 개별 파랑에 대한 양과 음의 최대치를 나타낸다.

그림에서 양최대치에 대한 Goda 공식으로 계산한 것과 음과 양 최대치의 제4열 근사치에 대한 한정

지속파랑이론으로 계산된 관계가 나타나 있다.

이 계산에서 직립부는 수직벽으로 대체되었고 기초사석효과는 한 정지속파랑이론에 의해 무시되었다.

이 계산결과, 음최대강도의 절대치가 양의 절대치보다 크다는 것이 입증되었으며 반사형도 같은 결과로 산출되었다. 이는 상대적으로 심해의 지속파력에 대한 두드러진 특징이다.

(3) 활동에 대한 검토

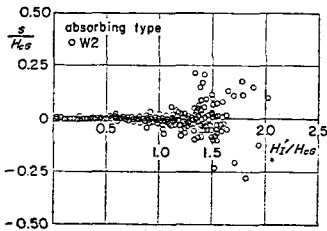


Fig. 51 Sliding Distance by a Wave (Absorbing Type)

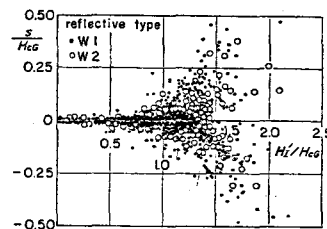


Fig. 52 Sliding Distance by a Wave (Reflective Type)

실험에서 직립부의 활동거리는 3가지 무게 w_1, w_2, w_3 에 대하여 측정된다.

이 3가지 무게는 설계공식에 의해 계획된 케이슨무게의 각각 0.7, 0.8, 1.0배에 해당된다.

(그림 51, 52)는 개별파랑에 대한 양과 음의 활동거리 실험결과를 나타내며 여기서 양과 음의 활동결과는 각각 난바다와 해안을 향한 활동을 말한다.

이는 수치로 나타낼 수 없는 형태로서 H_{CG} 로 표현되며 양 활동에 대한 Goda공식에 의해 추정되는 파고를 말한다.

그림의 자료는 넓게 분포되어 있지만 결과는 직립부가 난바다와 해안 양측방향에서 제거되었음을 보여준다.

이는 천해방파제와 매우 다르지만 특징은 해안쪽 방향에서만 활동을 보여준다.

흡수형의 활동거리는 일반적으로 반사형보다 적으며 양 방향에서는 더욱 적다. 그 이유는 하향파력이 wave chamber에 작용하며 수평력이 약간 감소하기 때문이다.

흡수형 케이슨의 무게가 설계치보다 크거나 같기 때문에 어떠한 활동도 관찰되지 않으므로 흡수형은 반사형보다 활동에 대하여 더욱 안정하다고 할 수 있다.

5-3 개발중인 2중원주형케이슨 방파제

(1) 구조

원주형케이슨을 사용한 심해방파제가 실험실에서 연구되고 있다.

지금까지 실험실에서 연구된 구조는 (그림 53)과 같이 직사각형 기초에 고정된 2중수직원주(실린더)로 구성된 케이슨이다.

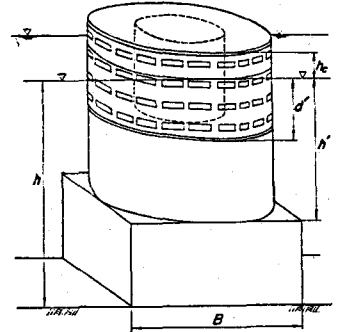


Fig. 53 Dual Cylindrical Caisson

바깥 실린더는 전체높이의 1/3인 상층부구간에 구멍이 뚫려 있고, 바깥쪽과 안쪽 실린더의 공간은 도우넛모양의 wave chamber를 형성한다.

바깥실린더의 상층부는 전, 후면으로 구분될 수 있으며 각각 다른 구멍의 비율로 구성되어 있어 이를 ϵ_1, ϵ_2 이라 한다.

극단 수치 $\epsilon_1=0$ 인 케이슨을 파랑분산형, 후면구멍이 뚫린 케이슨을 침투형이라 부른다.

실험에서 수심 $h=125\text{cm}$ 인 수평 밀바닥에 직접케이슨을 설치했다.

양실린더의 내외직경은 각각 98cm 및 50cm이고 기초케이슨의 높이는 양면에 공통적으로 50cm이다.

(2) 파랑분산 능력

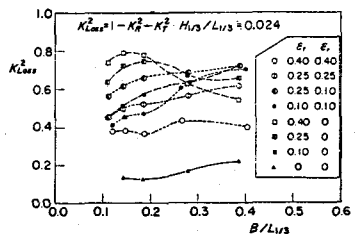


Fig. 54 Energy Dissipation Rate of Dual Cylindrical Caisson

(그림 54)는 다음 방정식으로 정의되는 에너지분산율을 나타낸다.

$$K_{loss} = 1 - K_R^2 - K_T^2 \dots \dots (32)$$

K_R, K_T : 실험 파고에 대한 반사 및 전달계수

ϵ_f 및 ϵ_r 에 대한 여러가지 조합이 실험되었다.

$\epsilon_f = \epsilon_r = 0$ 인 케이스는 0.2이하의 에너지 분산율을 보유한 불침투성 단일원주형 케이스이다.

그러나 고도의 에너지분산은 $\epsilon_f = 0.25, \epsilon_r = 0.10$ 인 침투성과 $\epsilon_f = 0.25$ 인 파랑분산형에 의해 이루어진다.

이때 에너지 분산율은 침투형 0.55~0.70, 파랑분산형 0.60~0.75이다.

(3) 파 력

파력계산방법은 구조실험에서 고안되었으며 (그림 55)는 wave crest 단계의 일반적인 압력강도 분산을 나타낸다.

이 강도는 일반적인 수직벽의 파력변형에 의해 Goda 공식으로 계산될 수 있다.

케이스는 여러부문의 변형인자는 wave crest 주변의 2단계에 대하여 표 1에 나타나 있다.

Table 1 Modification Factors

modification factor	phase 1	phase 2	
		type 1*	type 2**
λ_{of}	0.90	0.80	0.80
λ_{ofp}	0.65	0.35	0.30
λ_{orp}	0	0.45	0.80
λ_{if}	0.15	0.60	0.75
λ_{ir}	0	0.60	0.75

* permeable type

** wave dissipating type

1단계는 케이스의 외곽에서 파력이 우월할 때이며, 2단계는 wave chamber 속의 파력이 우월할 때이다.

파랑에 의한 음(-)파력은 제4 근사치에 대한 한정지속파랑이론에 따라 구해질 수 있으나 wave chamber 속의 잔여수면은 다음 이론에서 분리되어 얻어진다.

침투형($\epsilon_f = 0.25, \epsilon_r = 0.10$)

$$: \eta^- = -0.30H$$

파랑분산형($\epsilon_f = 0.25$)

$$: \eta^- = -0.25H$$

η^- = wave chamber 내의 수면 정수면의 각각 다른 해저기준에 대응하는 정수압은 wave chamber 내와 동일하게 간주되어야 한다.

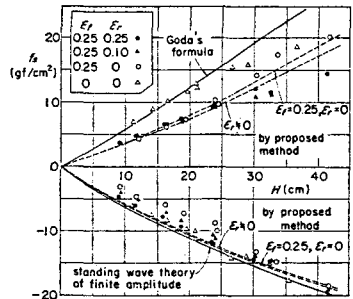


Fig. 56 Total Wave Force Intensity against Sliding

(그림 56)은 전체 파력강도 f_s 가 다음 방정식으로 정의됨을 보여준다.

$$f_s = (F_H \pm \mu \cdot F_V) / (h' + hc) \dots (33)$$

F_H : 전체수평력

F_V : 전체수직력

μ : 마찰계수 (=0.6)

식에서 +, - 부호는 F_H 부호와 일치한다.

그림에서 실험자료는 최대치, 1/10평균최대, 1/3평균최대, 불규칙 평균파력과 같은 수치를 나타내며 대표파고와 일치한다.

침투형 및 분산형 구조의 양(+) 파력이 불침투성 원주형 케이스의 ($\epsilon_f = \epsilon_r = 0$) 파력으로부터 상당히 감소되는 것으로 밝혀졌다.

특히 침투형은 wave crest에서 해안방향보다 파랑을 통한 난파대로 움직인다고 예측되며 고안방식으로 계산된 힘은 실험치와 일치된다.

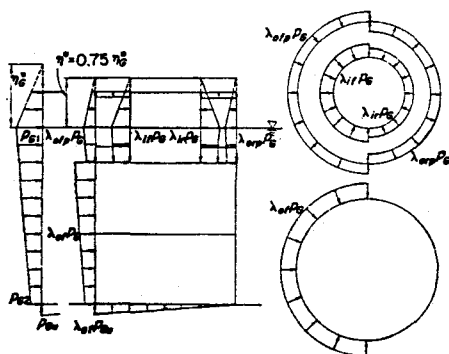


Fig. 55 Distribution of Design Wave Pressure at Wave Crest

6. 결 론

일본은 전국토가 거친 해양으로 둘러싸여 있어 방파제는 항만의 기본시설이다. 4반세기동안 PHRI에서 방파제의 구조역할에 대한 집중적인 연구가 이루어졌으며 이 보고서에 최근의 결과가 재검토되었다.

왜냐하면 그 결과 중 대부분이 일본에서만 보고되었기 때문이다.

특히 제2장은 이미 확립된 공식을 포함하여 전통적인 방파제의 수리특성을 기술하였다.

방파제 후면에 전달되는 불규칙파의 변형은 이론적으로 계속 연구되어야 하며 또 하나의 흥미있는 과제는 방파제의 통계학적 안정성이다. 통계학적으로 다양한 안정성을 고려한 방파제 변형방법은 더욱 개발되어야 한다.

제3장에서 5장까지는 여러가지

새로운 방파제 구조가 소개되었다. 이중 몇가지는 실제 건설되었으며 나머지는 현재실험중에 있다.

이 보고서에 소개된 새로운 방파제 구조에 대한 모델실험이 계속 진행될 것이며 가까운 장래에 많은 항구의 방파제 건설에 활용되기를 기대하고 있다.

제3구역 항만건설국은 원주형케이스 방파제를 시바야마항에 건설하기로 결정하였다.

Acknowledgements

The authors wish to thank Dr. Goda, Director General of the Port and Harbour Research Institute, for his precious comments and critical reviews of the manuscript. Thanks should also be extended to many members of the Breakwaters Laboratory and the Wave Power Laboratory for their cooperation in conduction the studies.

References

- 1) Goda, Y. : Re-analysis of laboratory data on wave trasmission over berakwaters, *Rept. Port and Harbour Res. Inst.*, Vol. 8, No. 3, 1969, pp. 3~18.
- 2) Tanimoto, K., and Osato, M. : Irregular transmitted waves behind mixed type breakwaters covered with wave dissipating concrete blocks, *Proc. 26th Japanese Conf. Coastal Eng.*, 1979, pp. 309~313(in Japanese).
- 3) Goda, Y. : A new method of wave pressure calculation for the design of composite breakwaters, *Rept. Port and Harbour Res. Inst.*, Vol. 12, No. 3, 1973, pp. 31~70(in Japanese), or *Proc. 14th Coastal Eng. Conf., ASCE*, 1974, pp. 1702~1720.
- 4) Tanimoto, K., Takahashi, S., and Kitatani, T. : Experimental study of impact breaking wave forces on a vertical-wall caisson of composite breakwater, *Rept. Port and Harbour Res. Inst.*, Vol. 20, No. 2, 1981, pp. 3~39(in Japanese).
- 5) Takimoto, K., Takahashi, S., and Myose, K. : Experimental study of random wave forces on upright section of breakwaters, *Rept. port and Harbour Res, Inst.*, Vol. 23, No. 3, 1984, pp. 47~99(in Japanese).
- 6) Hudson, R. Y. : Laboratory investigation of rubble mound breakwaters, *J. Waterways and Harbors Div., Proc ASCE*, Vol. 85, No. 31, 1959, pp. 93~121.

-
-
- 7) Tanimoto, K., Yagyu, T., Muranaga, T., Shibata, K., and Goda, Y. : Stability of armour units for foundation mounds of composite breakwaters by irregular wave tests, *Rept. Port and Harbour Res. Inst.*, vol. 21, No. 3. 1982. pp. 3~42(in Japanese).
 - 8) Tanimoto, K., Yagyu, T., and Goda, Y. : Irregular wave tests for composite breakwater foundation, *Proc, 18th Conf. Coastal Eng., ASCE*, 1982, pp. 2144~2163.
 - 9) Tanimoto, K., Haranaka, S., and Yamazaki, K. : Experimental study on the stability of wave dissipating concrete blocks against irregular waves, *Rept. Port and Harbour Res. Inst.*, Vol. 24, No. 2, 1985, pp. 85~120(in Japanese).
 - 10) Morihira, M., and Kunita, O. : Model experiments on hydraulic characteristics of sloped-wall breakwater, *Proc. 26th Japanese Conf. Coastal Eng.*, 1979, pp. 295~288(in Japanese).
 - 11) Tanimoto, K., and Kimura, K. : A hydraulic experimental study on trapezoidal caisson breakwaters, *Tech. Note Port and Harbour Res. Inst.* No. 528, 1985, 28p.(in Japanese).
 - 12) Goulet, M. : Sur certains mouvements periodiques de la mer au voisinage d'une paroi oblique ou courbe, *Annales des ponts et chaussees*, 1937 IV, pp.476~537.
 - 13) Tanimoto, K., Haranaka, S., Tomida, E., Muranaga, T., and Suzumura, S. : a hydraulic experimental study on multi-cellular caisson breakwaters, *Rept. Port and Harbour Res. Inst.*, Vol. 20, No. 2, 1981, pp. 41~74(in Japanese).
 - 14) Tanimoto, K., Okumura, T., Namerikawa, N., Hashizume, F., and Ishimaru, Y. : Development of semi-circular breakwaters, *Proc. Civil Eng. in the Ocean*, Vol. 3, 1987, pp. 7~12 (in Japanese).
 - 15) Jarlan, G. E. : A Perforated vertical wall breakwater, *The Dock and Harbour Authority*, Vol. 41, No.488, 1961, pp. 394~398.
 - 16) Tanimoto, K., Haranaka, S., Tomida, E., and Suzumura, S. : A hydraulic experimental study on curved slit caisson breakwaters, *Rept. Port and Harbour Res. Inst.*, Vol. 19, No. 4, 1984, pp. 3~53(in Japanese).
 - 17) Ojima, R., goda, Y., and Suzumura, S. : Analysis of pneumatic-Type wave power extractors utilizing caisson breakwaters, A study on development of wave power (1st Rept.), *Rept. Port and Harbour Res. Inst.*, Vol. 22, No. 3, 1983, pp. 125~158(in Japanese), or Ojima, R., Suzumura, S. and Goda, Y. : Theory and experiments on extractable wave power by an oscillating water-column type breakwater caisson. *Coastal Eng. Japan*, Vol. 27, 1984, pp. 315~326.
 - 18) Ojima, R. and Suzumura, S. : Wave forces on a pneumatic type wave power extractors utilizing caisson breakwaters, A study on development of wave power (2nd Rept.), *Rept. Port and Harbour Res. Inst.*, Vol. 23, No. 1, 1984, pp.54~81(in Japanese).
 - 19) Takahashi, S. Ojima, R., and Suzumura, S. : Air power of pneumatic-type wave power extractors due to irregular wave actions, A study on development of wave power (3rd Rept.), *Rept. Port and Harbour Res. Inst.*, Vol. 24, No. 1, 1985, pp. 3~41.
 - 20) Takahashi, S., Suzumura, S., and Myose, K. : Turbine Power of pneumatic-type wave power

-
-
- extractors utilizing caisson breakwaters, a study on development of wave power (4th Rept.), *Rept. Port and Harbour Res. Inst.*, vol. 24, No. 2, 1985, pp. 205~238(in Japanese), or Turbine power by wave power extraction system with vertical breakwaters, *Proc. 5th OMAE Conf.*, 1986, pp. 553~559.
- 21) Takahashi, S., Myose, K., and Tanaka, S. : Variation of wave power extraction due to incident angle and directional wave spreading, A study on development of wave power(5th Rept.), *Rept. Port and Harbour Res. Inst.*, Vol. 26, No. 1, 1987, pp. 3~39.
 - 22) Takahashi, S., Adachi, T., and Tanaka, S. : Electric power generation by a largescale model of pneumatic-type wave power converter, A study on development of wave power (6th Rept.), *Rept. Port and Harbour Res. Inst.*, Vol. 26, No. 3, 1987, pp. 3~35(in Japanese).
 - 23) Takahashi, S., and Tanimoto, K. : Uplift forces on a ceiling slab of wave dissipating caisson with permeable front wall(2nd Rept.), -Field data analysis-, *Rept. Port and Harbour Res. Inst.*, Vol. 23, No. 2, 1984, pp. 3~25(in Japanese), or Uplift forces due to compression of enclosed air layer and their similitude law, *Coastal Eng. Japan*, Vol. 28, pp. 191~206, 1985.
 - 24) Coastal Development Institute of Technology : Report of the comprehensive study on wave energy utilization, 1987, 697p.(in Japanese).
 - 25) Goda Y. : Irregular wave deformation in the surf zone, *Coastal Eng. Japan*, Vol. 18, 1975, pp. 13~26.
 - 26) Obori, K., Kotani, H., and Kume, H. : Technical investigation on the design of Kamaishi bay mouth breakwater, *Proc. 10th symp. Civil Eng. in the Ocean*, 1995, pp. 45~50(in Japanese).
 - 27) Tanimoto, K., Kimura, K., and Miyazaki, K. : Study on stability of deep water breakwater against waves(1st Rept.), -Wave forces on upright section of trapezoidal shape and its stability against sliding-, *Rept. Port and Harbour Res. Inst.*, Vol. 27, No. 1, 1988, pp. 3~29(in Japanese).
 - 28) Tanimoto, K., Kataoka, S., Haranaka, S., Suzuki, S., Shimosako, K., and Miyazaki, K. : Hydraulic characteristics and design wave forces of double-cylindrical caisson, -A study on development of deepwater breakwater(Part 4)-, *Tech. Note Port and Harbour Res. Inst.*, No. 600, 1987, pp. 1~21(in Japanese).

List of Symbols

B	: width of upright section
B_M	: berm width of rubble mound foundation
d	: crest depth of armour layer of rubble mound foundation
D	: damage percent of rubble structure, or width of slit member
f	: force intensity
F_H	: horizontal wave force
F_V	: vertical wave force
h	: water depth from still water level
h'	: bottom depth of upright section(caisson)
h_c	: crest height of upright section above still water level
H	: wave height
H_i	: incident wave height
H_R	: reflected wave height
H_T	: transmitted wave height
H_{T0}	: transmitted wave height directly behind breakwater
H_{max}	: largest wave height of irregular waves
$H_{1/3}$: significant wave height
H_D	: representative wave height in design calculation
H_{cG}	: threshold wave height predicted by generalized Goda formula against sliding
K_D	: stability coefficient in Hudson's formula
K_R	: reflection coefficient
K_T	: transmission coefficient
K_{T0}	: transmission coefficient directly behind breakwater
L	: wavelength
$L_{1/3}$: wavelength corresponding to significant wave period
N_s	: stability number of armour units
p	: wave pressure intensity
s	: sliding distance of upright section
S_r	: specific gravity of armour unit relative to water
$T_{1/3}$: significant wave period
w_0	: unit weight of water
W	: weight of armour unit
γ_r	: unit weight of rubble unit
ε	: opening ratio of permeable wall
θ	: angle of structure slope measured from vertical
λ	: modification factor of wave pressure