



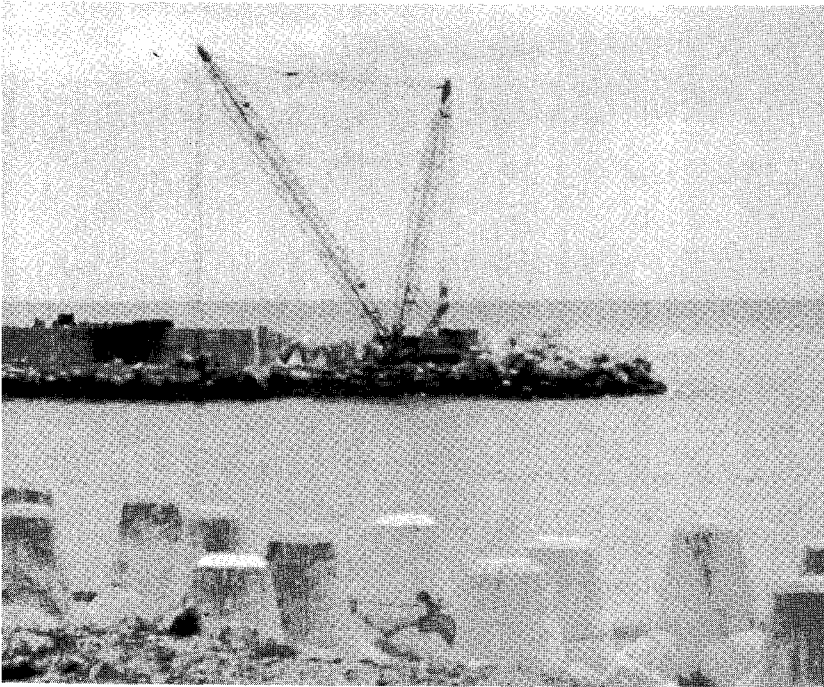
防波堤의 새形態

金 鼎 鉉 <<株>唯一綜合技術團 顧問>

李 義 允 <<株>唯一綜合技術團 專務理事>

1. 머리말

방파제는 항만의곽시설의 대표적시설로서 외해로부터 침입되는 파랑을 제어하여 항내의 정온도를 확보 유지시켜서 선박의 운항, 정박, 계안하역작업의



特殊 구조形式 갖춘

重力 · 非重力式 防波堤

원활안전을 가져오며 물가의 각종시설의 보전이용에 기여한다. 근래에는 상술한 항내수역의 정온도화의 기능외에 수역의 경관 및 친수화기능면도 고려하고 있다. 항만은 산업의 발달 수륙교통 등의 필요성에 따라 그 성격

이 다양화되고 규모가 확대됨에 따라 방파제도 이에 부응하여 발전되어 왔다.

이에 방파제의 구조양식을 분별하면 대략 다음과 같다.

1.1 일반방파제

- 1) 傾斜堤: 捨石式경사제, 捨부력식 경사제
- 2) 直立堤: 케이손직립제부력식 직립제, 셀라부력식 직립제, 콘크리트 團塊式 직립제
- 3) 混成堤: 케이손식 혼성제, 부력식 혼성제, 셀라부력식 혼성제, 콘크리트 단괴식 혼성제
- 4) 소파부력 被覆堤

1.2 특수방파제

2. 一般防波堤

2.1 경사제

경사제는 石材(割石類)나, 콘크리트부력을 台形狀으로 積置造成한 것으로 주로 경사면에서 碎波에 의하여 에너지를 逸散하는 구조이다.

2.2 직립제

직립제는 前面이 鉛直한 壁體를 海底에 거치한 구조로서 주로 파랑의 에너지를 반사시키는 구조이다.

2.3 혼성제

혼성제는 捨石基盤堤上에 직립벽을 설치한 구조로서 파고에 비하여 사석기반제가 높을 때는 경사제기능에 가깝고 낮을 때는 직립제기능으로 된다.

2.4 消波부력 피복제

소파부력 피복제는 주로 직립제 또는 혼성제의 前面에 소파부력을 설치한 것으로서 異形부력

으로 파랑의 에너지를 逸散시키고 직립부로 파랑의 투과를 막는 역할을 한다.

3. 새로운 防波堤

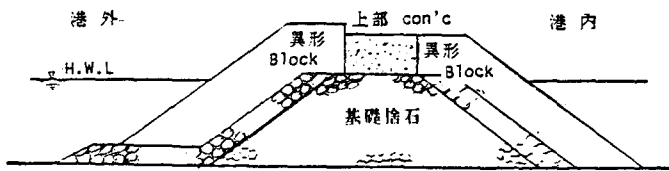
새롭다는 말은 시대의 흐름이 결정하는 개념이나 동일한 시점에서 문화수준의 차에 의하여 한 지역의 구식이 다른 지역에서는 새로운 것이되며, 한 지역의

새로운 것이 타지역에서 구식이 된다는 것을 생각하며, 이 새로운 장을 잃어주기 바란다.

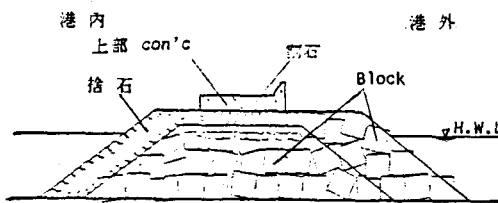
최근기술의 발전에 따라 방파제도 새로운 형식의 방파제가 개발되고 있다.

새로운 방파제는 보통일반의 방파제와 무언가 다른 특수성이 있고 아직까지는 유형이 적은 방파제이다. 새로운 방파제에 있어서의 특수성은 다종다양하여 일률적으로 논할 수 없다. 특수성

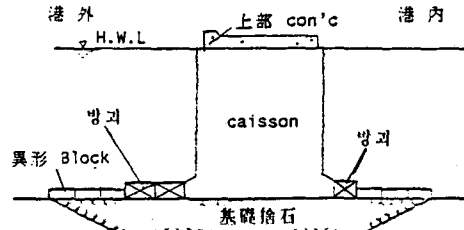
이 요구하는 요소로서는 그 방파제가 이루어야 할 목적, 각종의 기능, 설계시공상 특수조건재료, 시공능력, 工費 工期에 관한 조건 등이다. 재래의 일반방파제로서는 이용목적 및 성능상 한계가 있으므로 새로운 이용성과 향상 강화된 성능을 가지며 안정성, 시공성, 경제성을 만족시키는 새로운 특수구조형식의 방파제를 연구개발해 왔다. 근년의 이 새로운 형식의 방파제를 대별하면



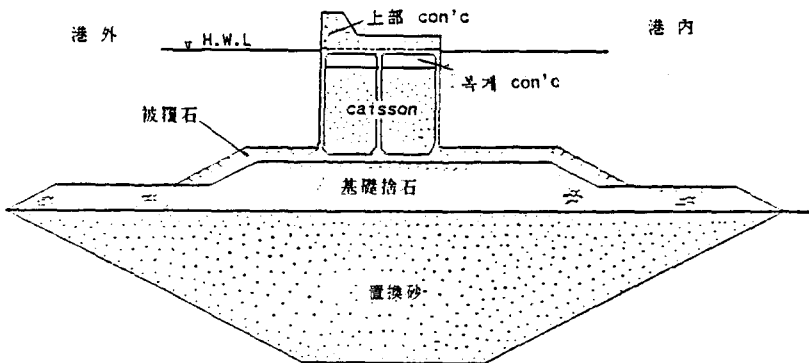
(a) 捨石式 傾斜堤의 例



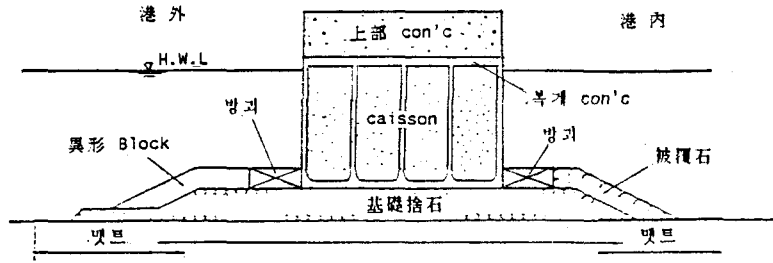
(b) 블럭式 傾斜堤의 例



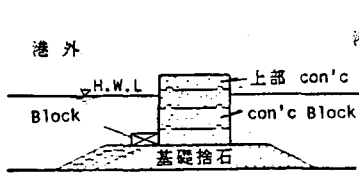
(c) 케이슨式 直立堤의 例



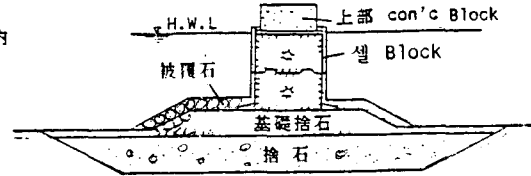
(d) 케이슨式 混成堤의 例 (軟弱地盤)



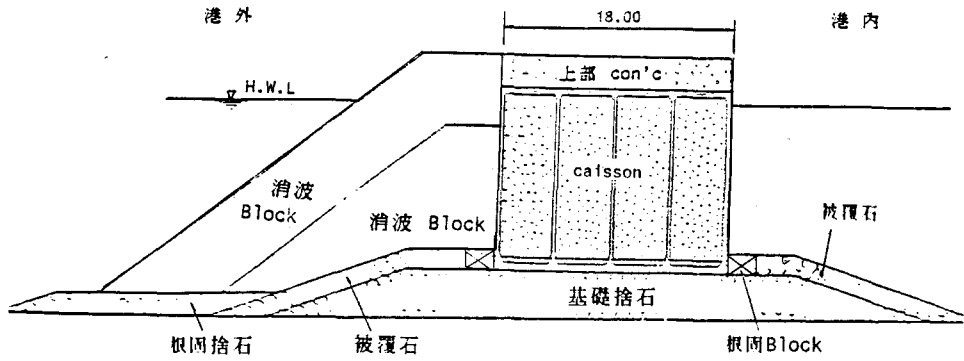
(e) 케이슨식 混成堤의 例



(f) 블럭식 混成堤의 例



(g) 셸블럭식 混成堤의 例



(h) 소파블럭 被覆石의 例

그림 1-1. 각 종 형식별 방파제단면에

다음과 같다.

- 새로운 방파제(특수방파제)
 - 重力式 방파제
 - 直立消波부력堤
 - 消波케이슨堤
 - 異形케이슨堤
 - 기타
 - 非重力式 방파제
 - 杭式방파제(커틀스堤)
 - 鋼管방파제 등)
 - 浮上방파제 및
 - 空氣방파제

3.1 중력식특수방파제

이 방파제는 提體중량으로 외력에 저항하는 방파제이다. 대개 개래 혼성제의 직립부를 소파기능 및 내파안전면에서 개량한 것이고 전술한 바와 같이 각종 형식이 있고, 해수의 透過형과 불투과형이 있다.

3.1.1 직립소파부력제

이 방파제는 소파기능이 있는 직립소파부력을 鉛直으로 積置조

성한 提로서 소파부력에는 많은 형이 있다. 비교적 파고가 낮은 내해지역에 사용된다. 항내정운도를 확보하기 위하여는 방파제에 의한 반사파 율파를 경감하여야 한다.

반사율은 부력의 형식과 작용파의 주기에 따라 변화하므로 반사율결정에는 원칙적으로 수리시험에 준하여야 한다. 이것이 곤란할 때는 해당조건에 부합된 과거자료가 있으면 이를 이용하기

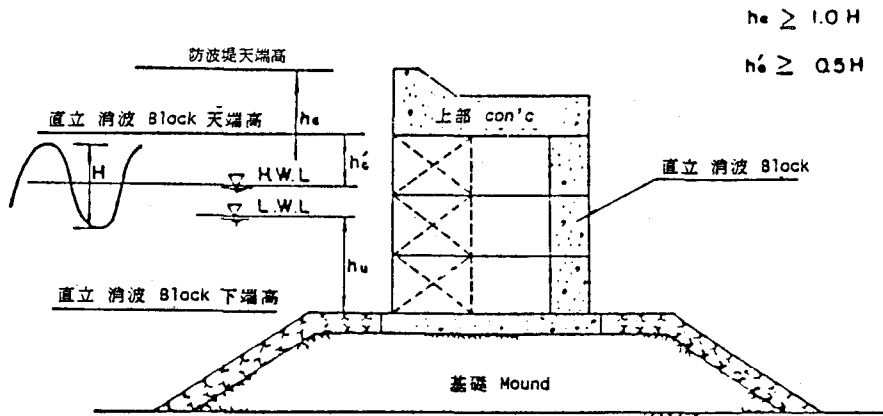


그림 3-1 직립소파부력식 방파제 마루높이의 설명도

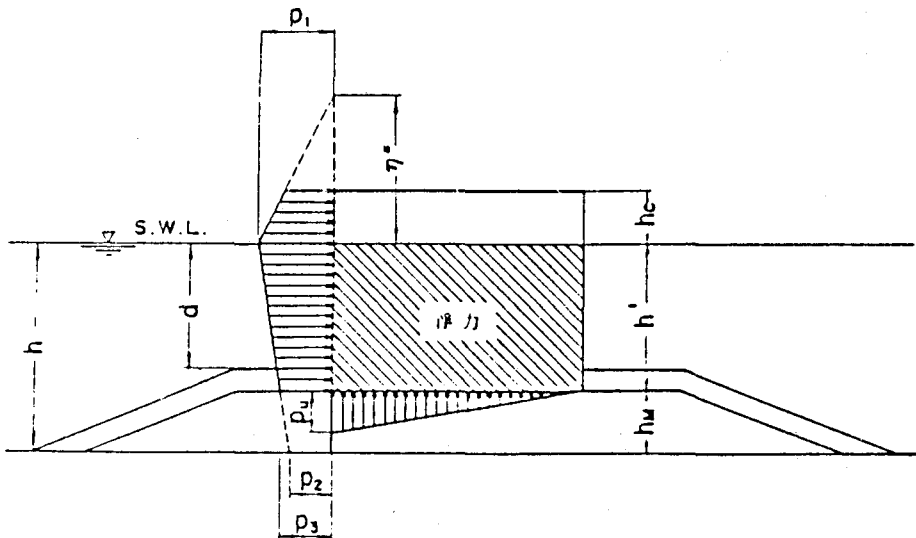


그림 3-2 설계계산에 쓰이는 파압분포

도 한다.

반사율, 관계 Datar에 따르면 조건에 따라 다소의 차가 있으나 대개 $B/L=0.15\sim 0.2$ 때에 $0.2\sim 0.3$ 정도이다.

B : 직립소파부력제의 전벽부에서 후벽까지의 폭

L : 파장

소파부위치 : 소파효과는 소파부위치에 영향을 받는다. 그 위치는 마루부 하단부는 계획조위를 기준하여

$+0.5H, -2H$ 가 적합하다.

(그림 3-1 참조)

월파를 고려하여 방파제 높이는 $0.8H\sim 1.0H$ 정도이다.

개론하면 직립소파부력제는 반사파 월파 등의 경감성능에 있어 직립제와 소파부력 피복제의 중간에 속하며 작용하는 파력에 관하여는 반사특성은 주기에 의하여 다음으로 설계파의 결정에도 방파제의 안전성을 검토하는 파랑과 반사파에 의한 항내정온도

를 검토하는 파랑을 구분하여 고려할 필요가 있다.

안전성 검토파력은 소파구조관계로 직립벽에 작용하는 파력과 다르므로 수리실험에 의하여 결정함이 원칙이다. 그러나 실험이 곤란할 때는 직립벽에 작용하는 중복파 및 쇄파의 파력을 산출하는 습田式을 補正한 식을 사용할 수 있다.

靜水面의 높이에서 최대치 P_1 , 정수면상 η^* 의 높이에서 0, 水

底에서 P_2 가 되는 직선분포로서, 壁底面부터 마루까지의 과압을 고려한다. (그림 3-2 참조)

$$\eta^* = 1.5\lambda H_{\max}$$

$$P_1 = \lambda \alpha_1 W_0 H_{\max} \dots (4.5.1-4)$$

$$P_2 = \frac{P_1}{\cosh(2\pi h/L)} \dots (4.5. -5)$$

$$P_3 = \alpha_3 P_1 \dots (4.5.1-6)$$

$$\alpha_1 = 0.6 + \frac{1}{2} \left[\frac{4\pi h/L}{\sinh(4\pi h/L)} \right]^2 \dots (4.5.1-7)$$

$$\alpha_3 = 1 - \frac{h'}{h} \left[1 - \frac{1}{\cosh(2\pi h/L)} \right] \dots (4.5.1-8)$$

여기에

η^* : 정수면상 과압강도가 0가 되는 높이 (m)

P_1 : 정수면에 있어서의 과압 강도 (tf/m²)

P_2 : 해저면에 있어서의 과압 강도 (tf/m²)

P_3 : 직립벽저면에 있어서의 과압강도 (tf/m²)

h : 직립벽전면에 있어서의 수심 (m)

h_b : 직립벽전면에서 외해에 유의과고의 5배만큼 떨어진 지점에서의 수심 (m)

h' : 직립벽저면의 수심 (m)

d : 根固工 또는 마운드 被覆工 마루의 어느것이든 작은쪽의 수심 (m)

w_0 : 해수의 단위체적중량 (tf/m³)

H_{\max} : 설계계산에 쓰이는 최고 과고 (m)

L : 수심에 있어서의 설계계산에 쓰이는 파장 (m)

λ : 과압계 감률

3.1.2 직립소파 케이슨 방파제 케이슨 혼성체에 있어 케이슨

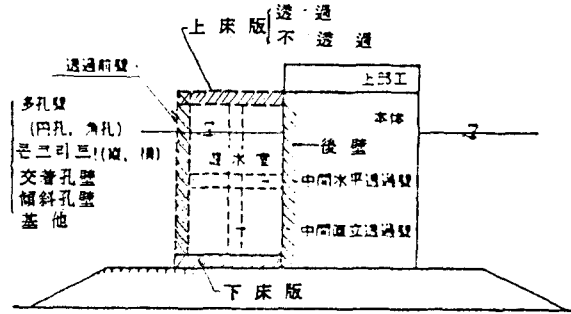


그림 3-3 직립소파 케이슨의 구조

前部に 소파기능을 갖춘 케이슨 제이다. 소파기구로서는 전벽은 투과벽이고 연속되는 내부공간은 遊水室로 되어있다.

유수실후벽이 불투과되는 것을 불투과형이라 하고 투과되는 것을 투과형이라 하며 유수실이 이중실로 된 것도 있다. 그림 3-3은 직립 소파케이슨의 구조요소를 모식표시한 것이다.

각요소의 형상조합에 의하여 다양한 구조로 만들 수 있다. 따라서 직립소파 케이슨에는 多孔 (각형, 원형) 케이슨, Slit (縱橫) 케이슨, 곡면 Slit 형등 다양하게 개발되고 있다. 도면 참조

본 방파제의 방파작용은 파랑이 투과벽을 통과할 때의 마찰저항에 의한 에너지 감쇠 및 유수실 내부공간에서의 반사파의 상호간섭에 의한 에너지 감쇠로 이루어지는 것이고 그 성능은 형식 구조와 파랑주기에 따라 변화하므로 각각 조건에 부합된 모형실험에 의하여 검토하여야 한다.

이제 단일의 직립투과벽과 유수실이 있고 유수실후벽의 불투과로 되어있는 케이슨을 대상으로 검토하여 보면 일반케이슨체에 비교하여 다음의 특징이 있다.

1. 반사파, 전달파를 경감시

킨다.

2. 파력을 완화할 수 있고 高마운드등에서 보통케이슨에 작용하는 강대한 충격쇄파력의 작용을 크게 경감시킨다.

소파부의 검토

직립소파케이슨체의 소파기능은 주로 반사파력을 감소시키며 방파제 높이와 더불어 월파향 내전달과의 감소에 관계된다.

1. 반사율은 파랑의 주기에 따라 변하므로 반사율결정대상파의 선정이 필요하다.

2. 반사율은 消波部の 구조양식 및 그 제원에 준하여 다르며 소파효과는 소파부의 설치위치에 따라 다르다. 즉 계획주위에 대하여 상하단위치로서 하단은 (+) 0.5H1/3, 상단은 (-) 2H1/3 이상이 적당할 것 같다.

반사율에 영향을 주는 구조요소는 전면투과벽의 구조, 유수실의 폭, 遊水實上床版이 있을때 상판의 높이 및 혼성체의 경우는 마운드의 높이등에 따라 달라진다.

전면투과벽구조에는 원공, 각공, 중slit, 횡slit, 경사공, 교차공등 여러가지가 있고, 소파능력은 구조에 따라 다수의 차는 있으나 주로 그 開口率에 의한다.

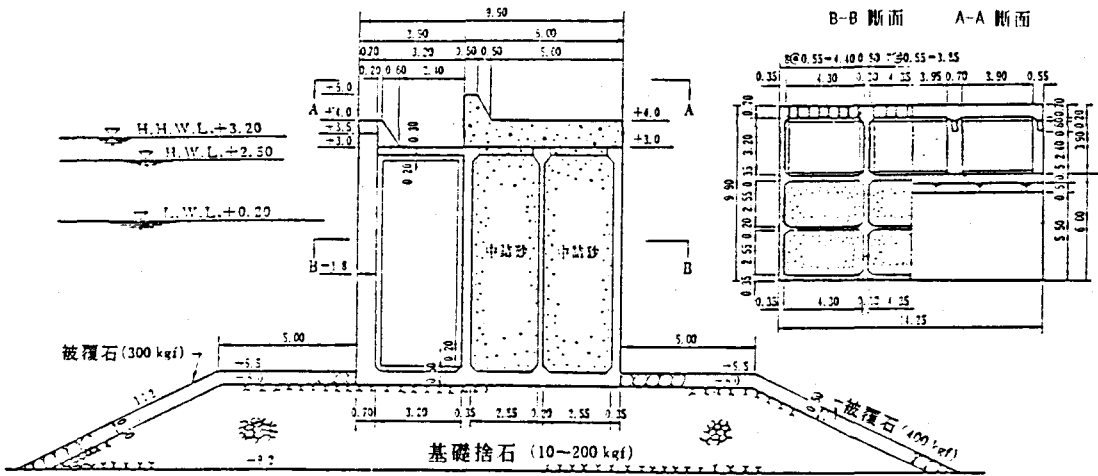


그림 3-4 중슬릿케이슨 직립제

(單位 : m)

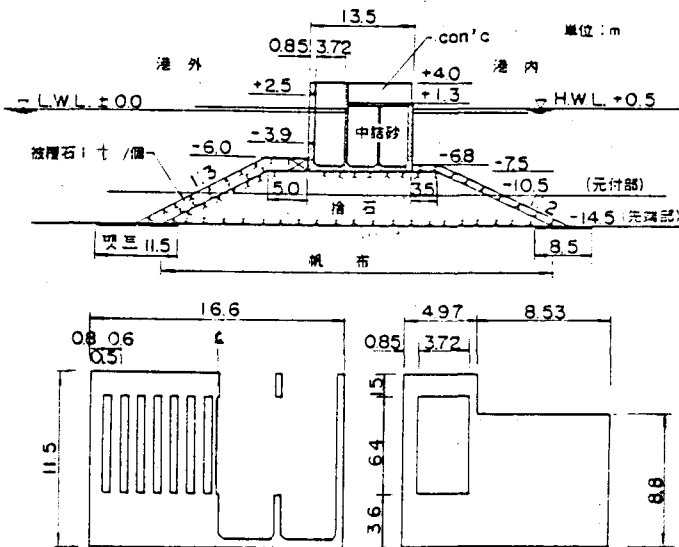


그림 3-5 직립제 파제제

개구율 : 개구면적의 주위투과 벽면적비이다. 소파부의 위치가(파고, 조위, 수심조건에 대하여) 적절할 때는 중 slit형의 예에서는 최소반사율을 주는 개구율은 0.2 정도이다. 다음으로 반사율에 영향을 주

는 것은 透水室의 폭이다. 실험에 의하면 불규칙파의 경우는 $B/L=0.2$ 일때 0.3 규칙파의 경우는 $B/L=0.15$ 일때 0.2가 가장 작은 반사율을 나타낸다.

이에 L는 입사파의 파장 B는 유수실의 폭 + 투과벽의 두께이다. 또 반사율은 유수실上床版의

유무, 그 높이에 의하여 변한다. 소파성능면에서는 천정을 충분히 높게 하거나 없는 것이 좋다. 상상판에 배출공을 설치하는 것도 좋다.

월파랑 항내전달과는 방파제마루높이에 따라 다르나, 실험에 의하면 유수실폭이 월파랑에 영향을 준다. 월파랑의 보통케이슨제와 소파케이슨제를 비교할 때 $B/L=0.15$ 일때 0.3정도이다. 따라서 소파케이슨제높이는 보통케이슨제보다 낮게 된다.

직립케이슨에 작용하는 파력은 보통케이슨 경우와 같이 파랑, 조위, 수심, 해저지형 마운드 형상등에 의하여 변화하는 외에 소파부의 구조에 의하여 복잡하게 변화하므로 일반적인 산정식은 규정하기가 불가능하다. 구조양식에 의하여 특히 충분히 신뢰할 수 있는 산정이 제안된 이외는 각각조건에 적합한 수리모형실험에 대하여 파력을 검토할 것이며 파력에는 안정성검토파력과 파部材에 작용하는 파력으로 구분검토하여야 한다.

- L : 수심 h 에 있어서의 설계계산에 쓰이는 파장(m)
- β : 방파제법선의 垂線과, 파랑의 주방향에서 $\pm 15^\circ$ 범위로 가장 위험한 방향과 이룬 각도
- λ λ : 직립소파 케이슨이 구조 등에 의한 파압의 보정계수

部材에 작용하는 파력은 각부재에 대하여 가장 위험한 상태를 고려하여 결정한다. 특히 유수실의 폭, 천정의 유무, 천정의 높이 등 부재에 작용하는 파력이 크게 다르므로 충분히 검토되어야 한다.

투과성중력식방파제

중력식구조의 투과성방파제에 관하여는 여러가지가 연구되어 개발단계에 있는 것이 많다. 실용에 있어서는 과거의 실적연구결과와 실험에 의하여 해수의 투과성, 반사율, 파고전달율, 안전성 등을 검토하여야 한다,

구조형식을 대별하면 有孔구조, 유수실이 있는 구조, 보라스 구조 등이 있다.

有孔구조는 벽체에 구멍을 관통시켜 물의 투과성을 갖게하고 그리고 공내통과시 에너지를 감쇠시키는 것이고, 유수실이 있는 구조는 전후의 다공벽의 사이에 유수부를 설치하고 유수부에 투과성隔壁을 설치한 것이다. 보라스 구조는 格子狀의 堤體를 重積한 구조이다. slit케이슨을 석재나 부력으로 속채운 것이다. (그림 3-10, 3-11, 3-12 참조)

3.1.3 異形케이슨堤

異形케이슨제에는 上部斜面케이슨 勾形케이슨제, 마루디셀타케이슨제, 파력발전케이슨제, 원통형케이슨제 등이 있다.

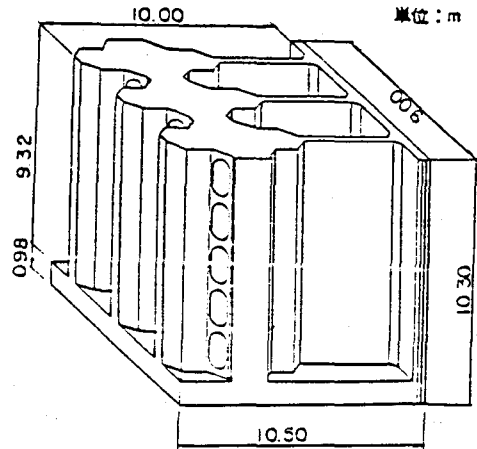
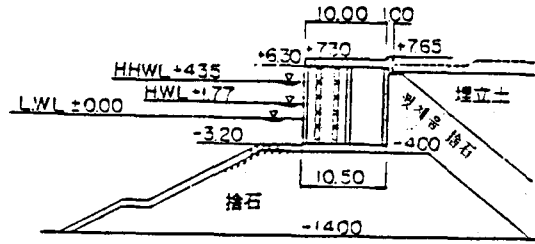


그림 3-8 남대판만안북부처리립입호안 (크로스호로케이슨)

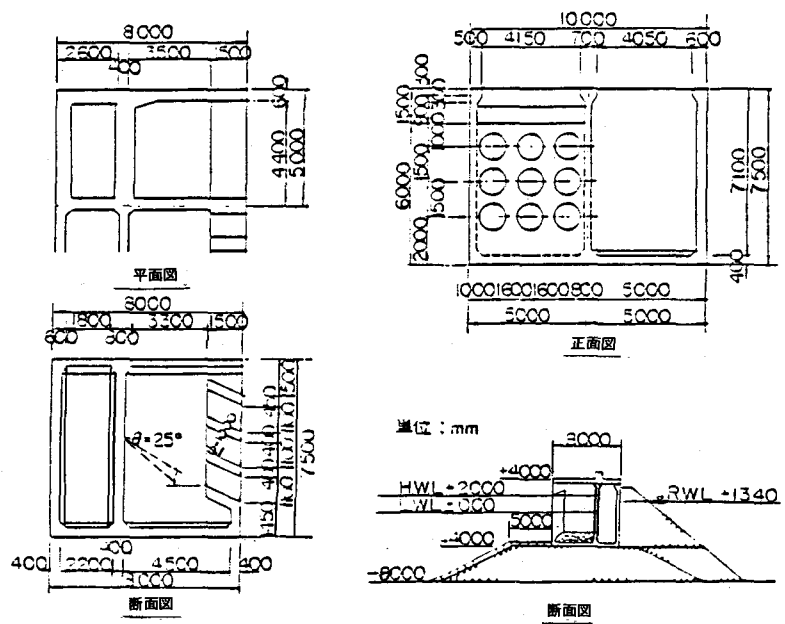


그림 3-9 가와사끼항부도정층폐기물매립호안 (마르티스로푸케이슨)

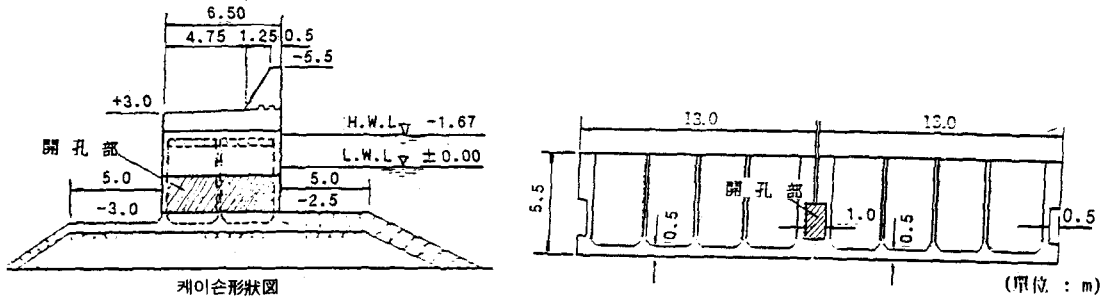


그림 3-10 투과성 중력식 구조의 방파제

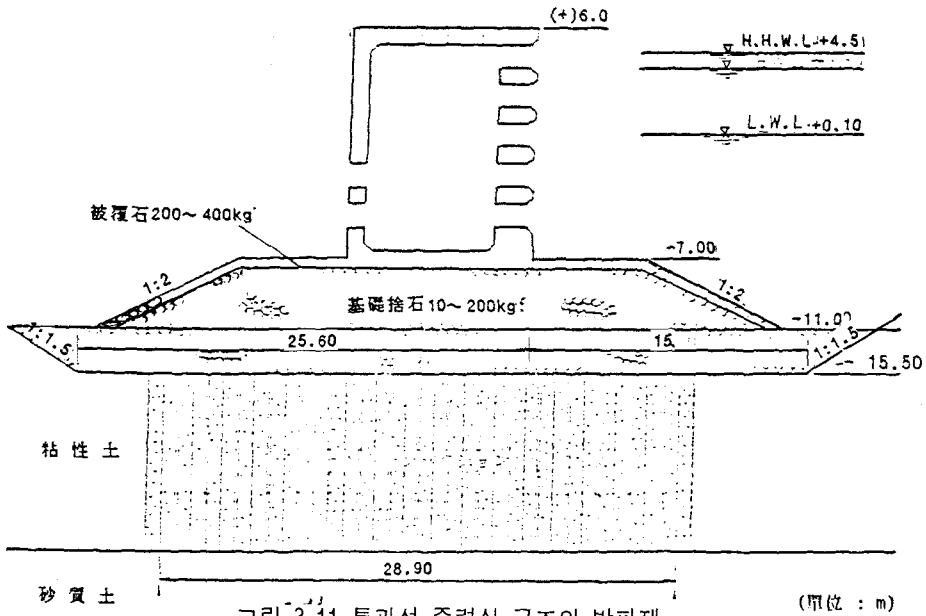


그림 3-11 투과성 중력식 구조의 방파제

1) 상부사면케이손제
상부를 사면형으로 한 케이손제이다. 사면 勾配는 45°를 표준으로 하고 수중파력을 감소시키고 사면에 작용하는 파력을 제체 안전(限界滑動重量 감소)에 이용함을 목적으로 한다. 통상직립제보다 반사파전달과고가 크다. 방파제마루 높이도 높여야 된다. 설계과는 실험 또는 산식에 의하여 산출한다.

2) 台形케이손제
堤體節減으로 大深度 방파제로

개발되고 있다.

- 3) 마루디셀라케이손제
- 4) 수력발전케이손제
- 5) 이중 원통형 소파케이손제

수력발전케이손제는 작용파력을 발전에 전용하는 형식이다. (그림 3-13~3-18 참조)

4. 非重力式防波堤

말뚝의 저항력이나 繫留索張力

등 중력이상의 저항력으로 주로 저항하는 구조이고 일반적으로 투과성 있는 형식이 많다.

4.1 커텐식 방파제

이 방파제는 투과성이 있는 말뚝식 구조물로서 물입자운동이 심한 수면부근을 커텐벽으로 차단하여 방파하는 형식으로서 파고가 적은 내해만 등에 적당하다. 또한 경량인 고로 연약지대에도 적당하다. 벽에는 Slot가 설치되어 있고 소파반사율은 소파

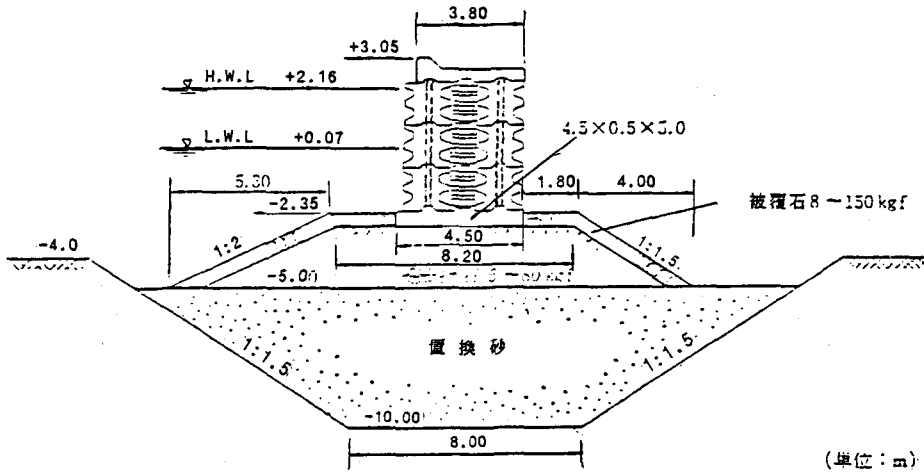


그림 3-12 투과성 중력식 구조의 방파제

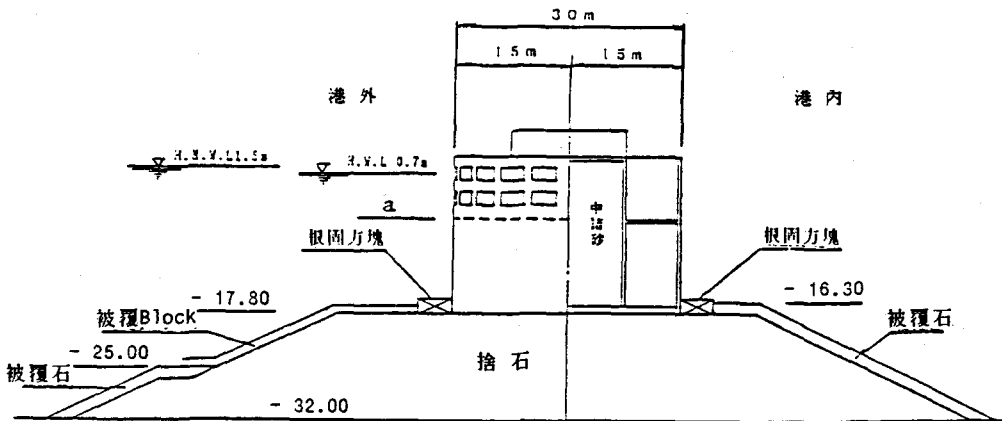


그림 3-13 이중원통케이손제

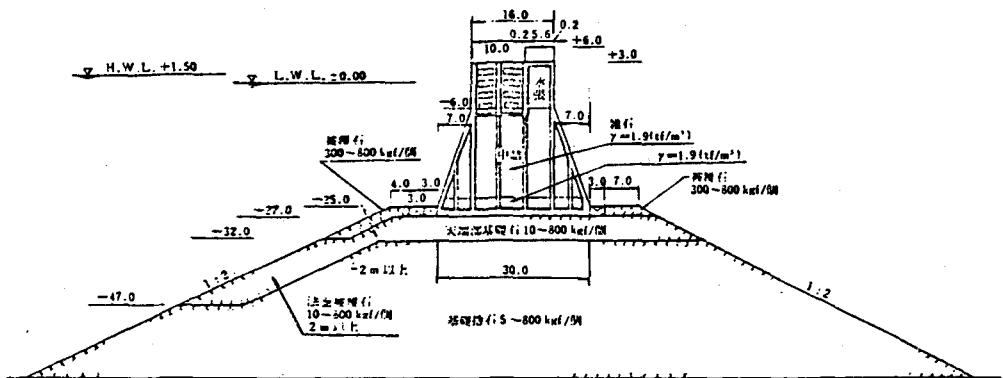


그림 3-14 이중횡 슬리트케이손제

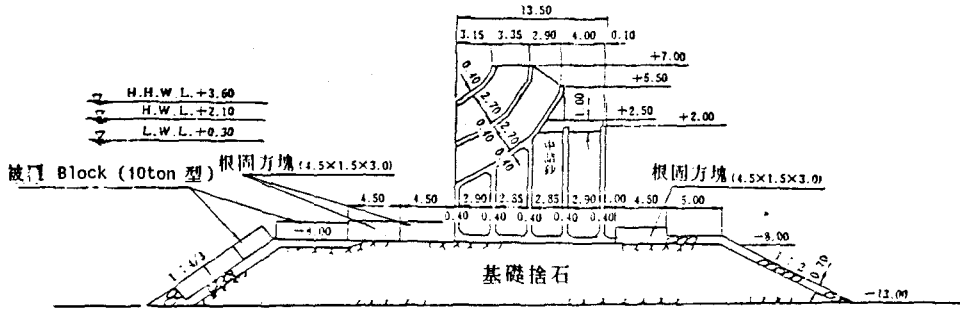


그림 3-15 마루디셀라케이손제

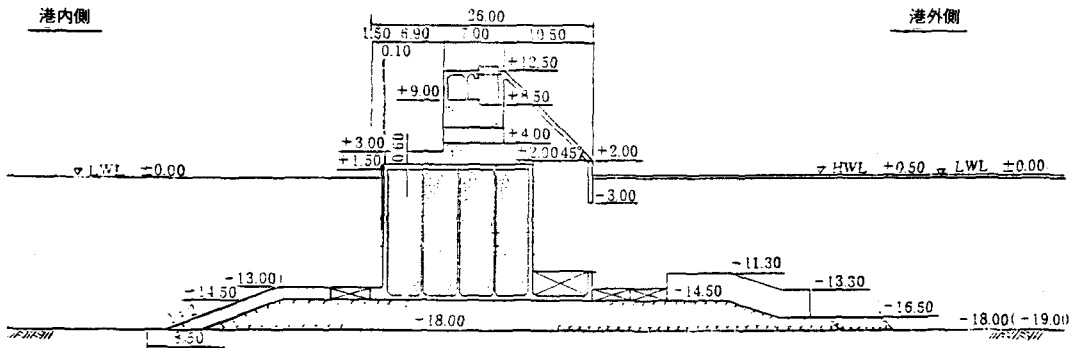


그림 3-16 파력발전케이손제

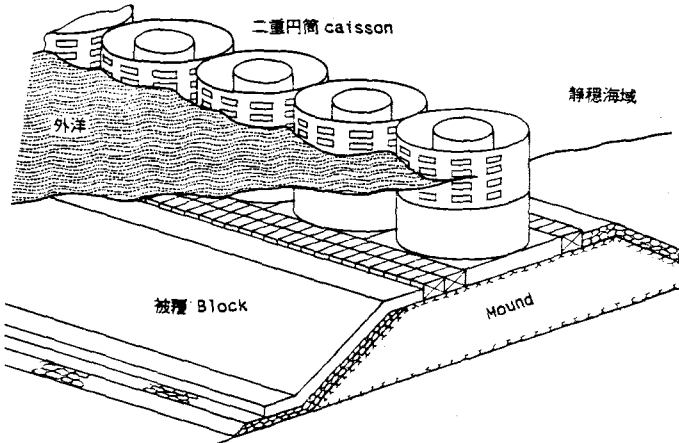


그림 3-17 이중원통케이손제의 개요

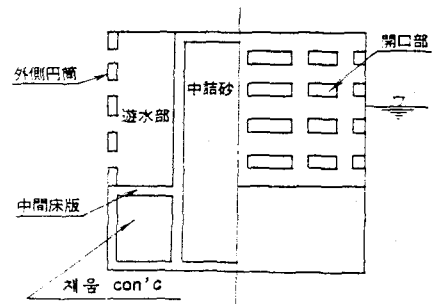


그림 3-18 이중원통케이손 구조개요

부러피복제 정도까지 저하할 수 있다.

커텐벽은 배열에 따라 일중 커텐堤, 이중 커텐堤로 구분된다.

이중제는 전후방파제사이의 파

력감량효과가 커서 반사파전달과 의 저감효과가 현저하다.

커텐벽하에 유속이 상당히 빠르므로 세굴방지시설이 필요하다.

파력은 일중 커텐제, 이중 커

텐제 별 및 커텐에 설치된 Slot의 개구율에 따라 변하므로 수리실험에 의할 것이고 기존 Data에 의하여 적절한 산식의 유도가 되면 이를 사용할 수 있다.

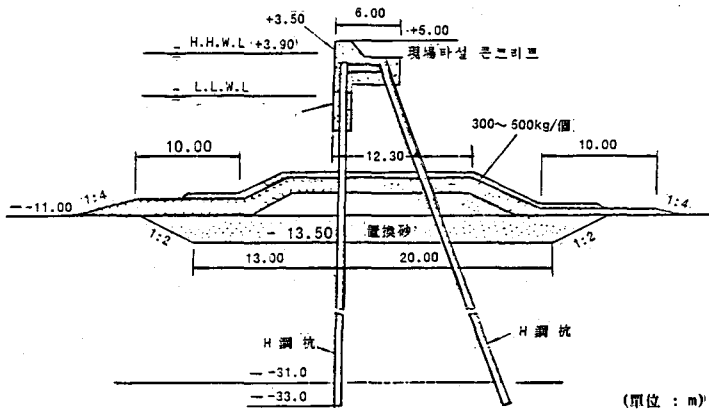


그림 4-1 커텐 방파제 그림 4-2 강관항 방파제

4.2 강관방파제

鋼管의 연결타설로 벽을 형성하여 파랑의 침입을 막는 방파제이다. 파력은 직립벽에 작용하는 파력산정식을 사용할 수 있다. 이 방파제는 杭間隔間의 지반에 세굴 방지공이 필요하다. (그림 4-1 참조)

4.3 부체방파제

浮體방파제는 부체로 파랑을 막는 형식이다. 지반에 영향을 받지 않고 해수나 토사의 이동을 막지 않으며 이동이 가능한 것 등의 이점이 있는 반면 상당한 전달과가 생기는 것, 파랑의 특성에 따라 그 효과가 크게 다른 것, 耐波에 한계가 있어 큰 파랑이 있는 곳에서는 사용이 곤란한 것, 앵커계통의 충격적 반복하중에 대한 저항 등이 충분히 구명되어 있지 않은 등의 문제가 있다. 또 繫留索이 절단되면 浮體가 표류하여 이차적 재해를 가져올 경우가 있다.

실용적으로는 양식장의 방호 등 항내의 파고 및 주기가 작은 곳에 사용하며 항만공사의 가동률의 향상, 매립토사, 유사방지 등에 이용할 수 있다. 방파제의 형성에는 폰튼 및 뗏목 등이 있다. 폰튼형은 파에너지를 부체

의 운동으로 변환하여 계류색의 탄성특성을 이용하여 파랑과 부체운동과의 위상을 다르게하여 소파효과를 얻는 것이다.

短形斷面浮體를 사용한 경우는 일반적으로 파랑의 주기에 비하여 부체의 회전운동이나 상하운동의 고유주기가 길수록 소파효과가 있으나 파랑의 주기가 커지면 효과는 크게 감소한다. 뗏목형은 뗏목형의 부체로서 넓게 수면을 덮음으로써 유체의 운동에 변형을 주고 따라서 파고를 저하시키는 것이다. 파랑의 파장에 대한 뗏목의 길이가 길수록 효과가 있다. 또 뗏목을 다단으로 할수록 효과가 있으나 이 형식의 것도 파장이 긴 파랑에 대하여는 효과가 감소한다.

4.4 공기방파제

이 방파제는 해저에 설치한 多孔管으로부터 공기를 방출하여 기포를 발생시켜 수면에 상승하는 기포에 의하여 생기는 過流 및 수평류에 의하여 파랑의 에너지를 감소시키는 것이다. 이러한 방파제에서는 해저에 공기 또는 水流의 분출구를 설치할 뿐이므로 선박의 항행을 방

해치 않고 소파작용외에 항내의 수질개선효과도 기대할 수 있는 이점이 있다.

5. 맺는말

비중력식방파제커텐식은 경랑이고 소파능력도 양호하며 연약지반에도 적격이고, 浮上式은 이동이 가능하여 예를 들면 방호가 필요한 항만공사의 가동을 향상, 매립공사의 토사유실 방지 등에 사용되며, 공기방파제는 설치가 간편하고 해수의 유통이 양호하여 항내의 수질개선에 효과가 기대되며 선박항행에도 지장이 없고 부상식과 같이 지반과 표사 등에 영향이 적다. 이상 비중력식은 특성상 파고가 낮은 內海와 灣內 등에 적격하다.

중력식인 소파케이손방파제는 그 소파구조에 의하여 반사파전달과를 경감시키고, 파력을 완화 특히 보통케이손 혼성제에서 발생하는 거대한 충격과와 같은 파랑을 크게 경감시키는 등 한계활동중량을 감소시키므로 堤體중량을 절감할 수 있고, 이형케이손제는 사면에 작용하는 파력의 鉛直分力이 堤底面에 작용하여 방파제의 활동저항력을 증대시킨다. 따라서 근래 항만의 거대화 워터후론트 思潮에 의하여 방파제의 심도화가 요청되는 바 소파성케이손제, 이형케이손제 등은 재래일반방파제에 비하여 堤體의 경감을 가져올 수 있으므로 더욱 그 성능향상을 위하여 연구개발하여 大深度방파제에 사용하여야 한다. 그 중 이중원통형 소파케이손제 등은 경관미화로 이체로운 형이라 할 수 있다. ㉔