

I. 서 론

근대의 토지이용 특징중의 하나는 해안이나 임해지대의 활용을 들 수 있다.

이러한 추이는 부족한 토지문제의 해결책에도 있으나 물의 이용이 편리한 곳으로의, 자연스러운 집중현상으로도 볼 수 있으며, 특히 운송수단으로서의 수륙수송의 전환이 이루어지는 장소가 되기 때문이다.

이러한 장소에 항만이 건설된 것으로서, BC2000년경 이집트의 pharos항이 높이 6~9m, 천단폭(天端幅)5~12m, 길이 약 2,600m의 사석(捨石)방파제를 축조했다고 하는 기록이 있으며¹⁾, 이와같은 항만은 고대로서는 상상하기 어려운 대규모의 것으로 볼 수 있으므로, 항만의 이용목적이 어업의 범위를 넘고 있음을 알 수 있다.

따라서 원초적인 인간의 삶에 필요한 어업이 주목적이었던 항만의 기원은 인간의 정착생활과 거의 같은 시대임이 분명하며, 항시 해안공학적 문제가 발생했을 것으로 본다.

해안공학이란 본래 해양학, 기상학, 수리학, 유체역학, 전자공학, 구조공학, 토질역학 등에 관련된 토목공학의 한 분야로서 예로부터 항만공학의 중요한 일부분이 되고 있으며, 제2차 세계대전 중에는 군사작전에 해상의 파랑에 대한 지식이 필요하게 되어 모형실험에 의한 상륙작전이 검토되는 등 많은 연구가 있었다. 전쟁이 끝난후, 군사목적으로 연구되었던 지식이 일반에게 발표되면서 해안, 항만 구조물의 설계 등에 활용하게 되었다.

그 내용으로서는 파랑의 예측을

企·劃·特·輯 調查報告

水理模型 實驗으로 추적한

耐波 安定性

洪 吉 杓
(國立建設試驗所수공과)

비롯하여 연해에서의 파(波)의 변형, 해저지형의 변화 등이 있다.

이와같이 연해안수리현상에 관련된 해안공학의 내용은, 방재상의 목적, 항만을 비롯한 연안 이용의 목적, 기타 여러 목적으로, 해안에 구조물을 축조한다든지, 어떠한 변형을 주는 경우를 상정하여, 파(波), 흐름 등의 중요하다고 생각되는 외적조건을 연구하고, 또는 축조된 해안구조물이 해안지형이나 주위의 자연환경 등에 어떠한 영향을 주는지를 구명(究明)하여, 바람직하지 않은 영향을 제거하는 방안을 강구하는 것이다.

본문에서는 어항건설에 따른 이와같은 문제들에 대하여 지금까지의 취급방법에 대하여 재검토, 논의코자 한다.

II. 어항의 재해

어항이라고 하면, 수산업이나 어업에 필요한 선박의 안전한 피박(避泊)과 계류가 될 수 있고, 하역작업이 지장없이 이뤄질 수 있는 항만으로서, 수산업의 근거지이기도 하다.

최근, 어선어업, 즉 잡는 어업과 함께 기르는 어업 재배어업이 급속하게 개발, 보급되고 있다.

재배어업에는 수산물의 증양식 기술이 필요하며, 그것과 관련된 토목기술을 수산토목이라 하여, 주로 수산환경을 제어하기 위한 기술개발을 목적으로 하고 있다. 즉 수리학상 유리한 양식장의 구조, 만(灣)을 양식과 축양어장으로 하는 경우의 해수교류추진공법, 암장(岩場)에서의 축양지의 파의 이용, 망시설 등에 대한 흐름과 같은 수리학적검토가 문제이며, 이러한 시설이나 사육되고 있는 수산생물을 재해로부터 지켜야 하

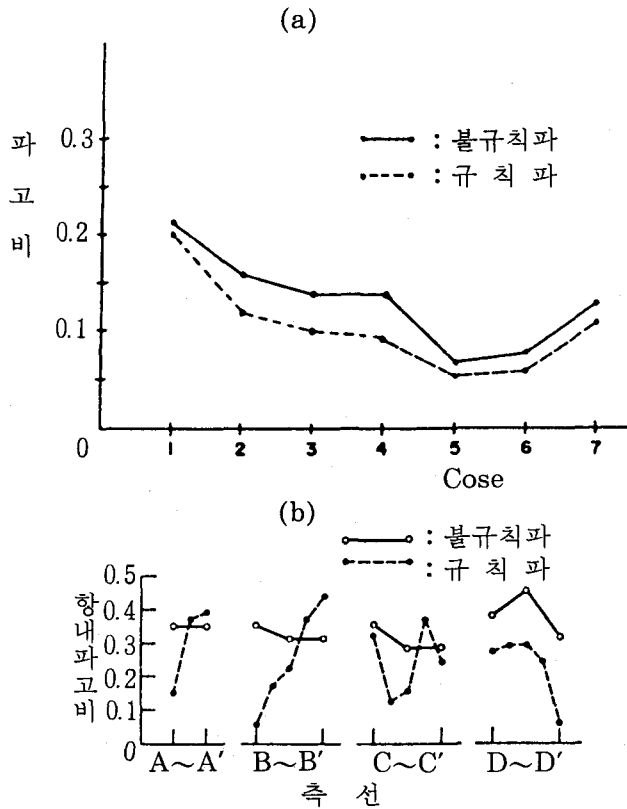


Fig 1. 불규칙파와 규칙파에 의한 항내 波高比 측정치의 비교

는 것이 과제로서, 파나 흐름을 제어할 필요성이 있다.

일반적으로 어항의 재해라고 하면, 태풍이나 높은 파랑에 의하여 항만의 시설물이 피해를 입는 것을 말하며, 주로 항만의 외곽시설인 방파제의 피해를 거론하는 경우가 많다.

그러나, 어항이 수산업의 근거지로서의 역할을 하고 있음을 생각할 때, 수산환경의 보존적 시점에서 논의하는 것이 바람직하다.

해안이나 임해지역의 이용개발이 활발해지고 인구나 산업이 이곳에 집중됨에 따라 피해의 규모도 점점 증가되고 있다.

우리 나라는 태풍, 동기(冬期)계

절풍 등에 의한 높은 파랑이나 高潮(해일)의 위험이 상존하며, 또 해안의 침식, 하구폐쇄, 항만매몰(埋沒)에 부심하고 있다.

1. 고조재해(高潮災害)

태풍에 의하여 고조가 발생하면, 모든 경우에, 폭풍에 의한 파랑이 이것과 동반됨으로써 고조재해는 파랑의 영향이 큰 것이 보통이다. 일반적으로 고조에 의한 재해는 조위의 이상상승과 파랑에 따른 항만이나 해안시설의 파괴와 침수가 원인이므로 배후지가 저지대인 경우는 침수피해가 우려된다.

2. 파랑재해

우리 나라의 동남해안이나 제주도를 비롯한 도서지방에는 태풍이

나 동계계절풍에 의한 파랑의 내습이 많고, 이와같은 풍파는 파의 에너지가 크고, 파력이 강대한 격랑이기 때문에 각종의 해안구조물이 파괴되고, 또 국소세굴(局所洗掘)이 동반되므로 도괴(倒壞)되는 예가 많다.

3. 표사(漂砂)재해

파랑은 해저지형변동의 주요한 외력이며, 구조물 주위의 국소세굴의 원인이다.

이와같은 표사문제는 해안침식, 국소세굴, 항만매몰 등의 형태로 나타나며, 고조나 파랑재해가 순간적인데 비하여 점진적으로 일어난다.

따라서, 그것에 대한 대책이 소

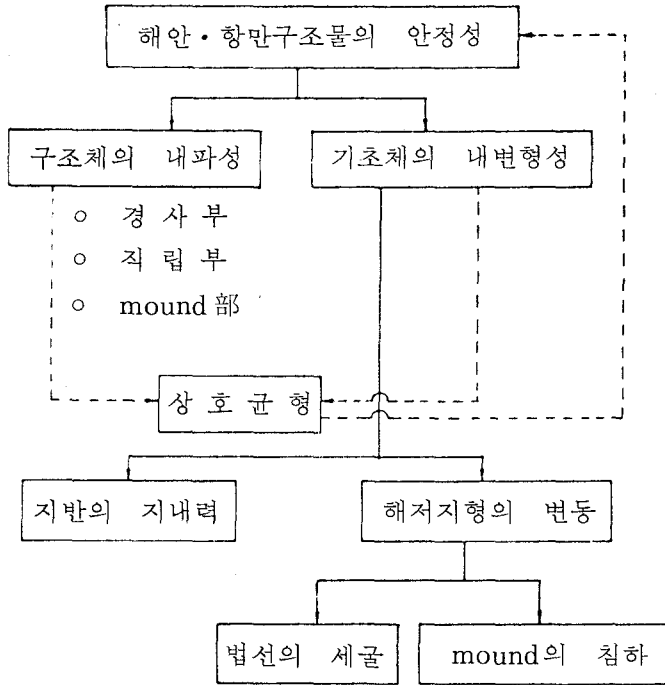


Fig 2. 방파제의 안정성 검토 사항

홀해지는 경우가 많다.

III. 설계파에 대한 고찰

해안이나 항만구조물의 내파안정성의 확보는 매우 중요하며, 외력조건으로서의 설계파를 결정하는 데에는 어려운 점이 많이 있다. 이 설계파의 결정은 해안공학의 가장 중요한 부분으로서 예로부터 부단한 노력이 집중되고 있다.

설계파의 산정은 많은 관점에서 다룰 수 있는데, 즉 대상물의 목적, 사회적 여건, 기존의 자료, 설계수법 등 관여되는 사항이 무수히 많다고 본다.

또 수리현상만으로 압축하여 논

의할 때, 현상의 복잡성 때문에 계산이나 수치시뮬레이션의 정도가 떨어진다.

따라서 현재로서는 중요한 시설이나, 많은 비용이 요하는 부분에 대하여는 수리모형실험을 실시하는 것이 보통이다.

여기에서는 수리실험에 사용하는 설계파 또는 실험파에 대하여 기술한다.

1. 항내정온에 관한 모형실험

파랑의 이론적인 기술은 그렇게 간단하지가 않다.

따라서 이론적인 취급에 있어서는 파형(波形)을 규칙파로 가정한 모델을 생각하는 경우가 많으며, 파랑에 관한 모든 계산이 이것에

기초를 두고 있다. 항만구조물의 배치계획과 같은 해안, 항만구조물의 평면계획에는 입사파(入射波)의 변형을 검토하는 것이 주종이 되고 있다.

이때 대상의 실제의 파랑은 불규칙적인 운동이 연속적으로 계속되는 불규칙파로서 그것의 표현은 주파수(周波數) spectra만으로는 충분치 못하며, 각방향의 성분파가 겹쳐서 나타나기 때문에 방향 spectra의 개념을 넣어서 다음과 같이 표현한다.

$$S(f, \theta) = S(f)G(f; \theta) \dots \dots (1)$$

여기서 $S(f, \theta)$ 는 방향 spectra

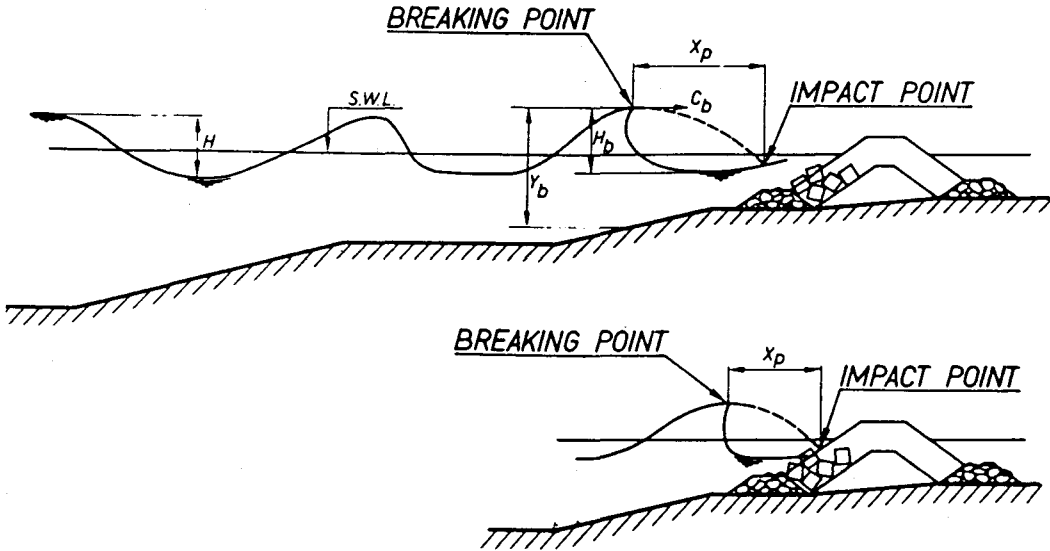


Fig 3. 쇄파형태(breaker geometry)

밀도함수이고, $G(f; \theta)$ 는 방향분 포함수이다.

그러나, 이와같은 성질의 파를 실험실에서 만들기는 매우 어려우므로 예로부터 방향, 파고 및 주기가 일정한 규칙파로서의 실험이 많이 실시되고 있다.

그러나 최근에는 실험장비의 발전에 따라 주파수 spectra를 사용한 불규칙파의 실험이 점차 일반화 되는 추세이다.

불규칙파에 의한 항내 정온도의 실험은 영국, 덴마크, 일본 등의 수리연구소에서는 표준으로 되어 있으나, 우리 나라에서는, 최근에 수건의 실험을 실시한 정도이다²⁾. 일반적으로 항내에 있어서 파의

반사가 현저한 항에 있어서는 규칙파와 불규칙파로서 항내 파고의 측정결과가 상위한 수가 적지않다.

Fig 1(a), (b)는 불규칙파와 규칙파의 실험결과와의 비교예이다³⁾.

Fig 1(a), (b)

그림(a)는 실험 case별의 평균 파고비의 비교로서 불규칙파와 규칙파사이에 차가 나타나고 있다. 또 그림(b)는 같은 case의 구역별 값의 비교로서 규칙파의 경우는 파고의 측정장소에 따라서 측정치가 현저하게 변화하고 있으므로 등파고비선도(等波高比線圖)로서 나타내기에는 매우 복잡하게 된다.

또, 주기를 조금 변화시킴으로서도 파고분포는 큰폭으로 변화한다.

실제의 항에서는 내습파가 spectra로서 나타내어지는 다수의 주기성분이 포함되어 있기 때문에, 이러한 경우 장소적 변화가 평활하게 된다. 불규칙파실험은 이와같은 파랑상황을 재현하는 것으로 간주되고 있다.

1. 구조물의 안정성에 관한 모형실험

방파제 등의 해안, 항만구조물의 내파 안정성의 문제는 Fig 2와 같이 구조체가 작용파력에 견딜 수 있는 충분한 중량을 갖고 있을 뿐만 아니라, 구조물 주위의 지형

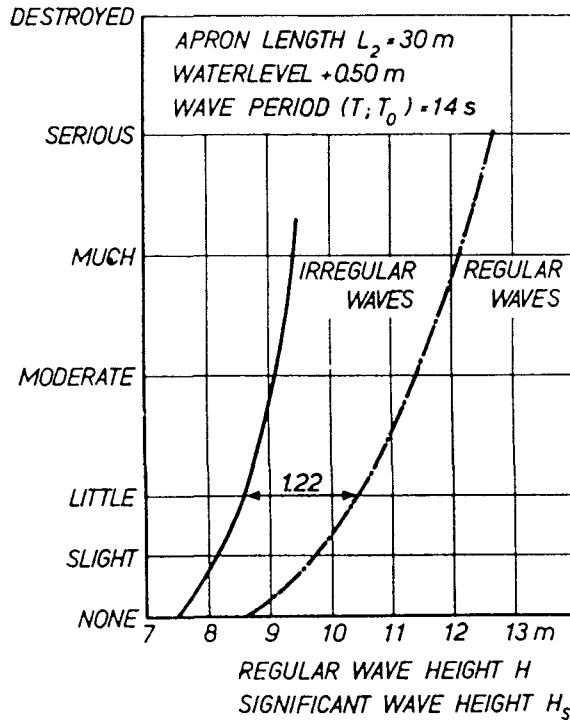


Fig 4. damage funtion의 비교

변동 즉 세굴현상에 의한 기초체의 침하변형에 대하여 안정할 수 있어야 한다.

방파제 중에서 혼성제의 안정성은 직립부의 문제, 근고부(根固部)의 문제 및 전면의 세굴에 대한 문제가 있다.

이러한 문제점에 대하여 실제의 상황과 똑같은 불규칙파로서 실험함이 바람직하나, 현재로서는 반사파의 취급, 기타의 문제가 있기 때문에 실험에 제약이 있다. 따라서 직립부에 대한 내파력은 파군(波群)중의 최고파로서 활동관계를 검토함이 표준으로 되어 있다.

또 근고부(根固部)에 대하여는 일률적으로 논의할 수 없으며, 직

립부에 의한 중복파형, 쇄파형태, down rush 등의 복잡한 수리현상의 복합으로 나타나기 때문에 수조내에서의 다중반사 영향을 고려한 불규칙파의 실험이 바람직하다.

경사제의 경우는, 소파공의 내파력이 절대파 에너지의 크기에만 의존되지 않고 주기의 특성에서 오는 공명(共鳴)현상의 영향이 크며, Fig 3과 같이 breaker geometry (쇄파형태)가 중요한 피해의 원인이 되므로 불규칙파에 의한 충분한 검토가 요구된다.

그러나, 전술한 바와 같이 수조내에서의 반사파의 취급이나, 기타 성분파 상호간의 간섭문제 등에 의하여 실제현상의 재현이 어

려우므로, 대상파의 특성을 검토한 대표적인 몇개의 성분파로서 나누어 검토하는 방법, 즉 규칙파의 실험이 효과적일 수도 있다고 생각된다.

예를 들면, 유의파를 설계파로 생각할 경우에 $H_{1/3}$ 및 $T_{1/3}$ 전후의 수종의 성분파마다의 실험을 실시하고, 종합적으로 판단할 수 있다. 이 때에 성분파와 그것이 조합이라고 생각되어지는 불규칙파와의 피해정도의 비교는 Fig 4의 사례 연구의 일례와 같이 $H_{1/10}$ 정도로 고려할 수 있다⁴⁾.

그러나 설계파의 결정은 구조물의 안정성이나 경제성에 큰 요인이 되므로 구조형식에 따라서 결

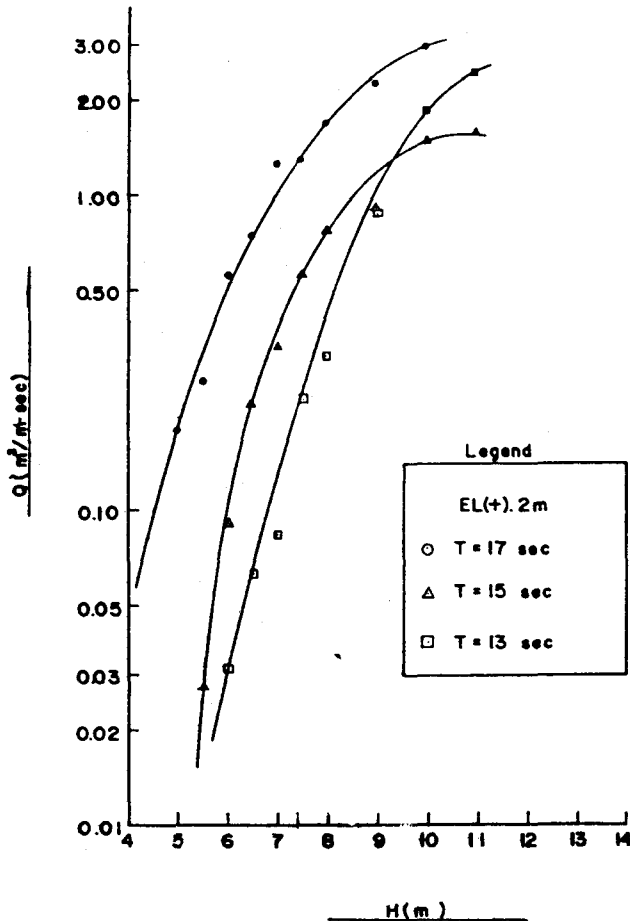


Fig 5. 규칙파에 의한 월파측정치의 1 예

정할 문제라고 생각된다.

즉 혼성제의 직립부에 대한 파력의 계산에는 최대파, 경사제의 경우에는 $H_{1/10}$ 과 등으로 검토될 수 있으나, 상대수심이 작은 경우에는 구조물 설치장소에서 일어날 수 있는 극한파로서의 설계일지라도 비경제적이라고 말할 수 없으며, 대수심일 경우는 파랑의 극치 통계분석이 절실하게 요구된다.

3. 월파에 관한 모형실험

호안이나 해안매립에 파의 쳐올림이나 월파, 혹은 직립소파안벽의 반사특성 등의 문제는 정밀한 이론해석이 어려우므로, 일반적으로 수리모형실험에 의하여 답을 얻고 있다. 파의 쳐올림이나 월파량의 산정도는 모두가 모형실험의 결과이다.

월파량에 관한 실험은 불규칙파의 파군을 대상으로 행하는 것이 원칙이다.

불규칙파의 경우는 100~200파를 연속으로 작용시켜서 해석하며, 실험수조의 영향을 피하기 위하여 수파 내지 수십파의 짧은 불규칙파를 작용시켜서 종합적으로 해석하거나, Fig 5의 예와 같이 종래의 방법인 규칙파를 사용할 때는, 설계대상파의 특성을 고려한 성분파로 나누어 실험을 실시함으로써 대상구조물의 월파 특성을 알 수도 있다.

4. 구조물 전면의 세굴에 관한 모형실험

방파제 전면이 사빈일 경우에는, 저질의 중입입경(粒徑) $d_{50}=0.2\sim 1.0mm$ 에서 파고 $2\sim 3m$ 에서도 다음 식과 같은 상태로 되어 저질은 부

$$U_b / W_o > 10 \dots\dots\dots(2)$$

유현상이 현저하게 되고, 항상 세굴의 위험성이 있다⁵⁾.

식에서 $U_b = \pi H / T \cdot 1 / \sin kh$ 로 나타내어지는 진행파에서의 저면최대 물입자의 속도이고, W_o 는 저질의 정수(靜水)층에서의 침강속도이다.

이와같은 세굴대책실험은 제체가 변화하는 상태의 발생규모의 세굴량을 수조내에서 재현시켜야 하므로 2차원적 실험이 3차원적 실험보다 유리하다.

또 2차원적 실험에서는 세굴량이 현저한 규칙파에 의한 실험이 유리하다.

실험파의 재원으로서의 입사파의 파장의 $L/4$ 부근에서 세굴이 일어나기 쉬우므로 파고보다는 파장의 선택이 중요하며 실험사(實驗砂)는 상기한 (2)식의 조건에 합치되도록 선정할 필요가 있다.

IV. 항내정온도의 재평가

정온한 항내수역을 확보하는 것은 새로운 항만을 계획하거나, 기존항만을 개량 또는 확장함에 있어서 고려되어야 할 중요한 과제 중의 하나이다.

정온한 수역이라고 하면, 선박의 안전한 피박과 계류가 될 수 있는 곳이어야 하며, 하역작업이 지장없이 될 수 있는 수역을 말한다.

항내수역의 정온은 정온도라는

●●

**정온한 수역이라고 하면,
선박의 안전한
피박과 계류가
될 수 있는
곳이어야 하며,
하역작업이 지장없이
될 수 있는 수역을
말한다.
항내수역의 정온은
정온도라는 용어를
사용하는 수가 많으며,
정온도라는 파랑 및
바람, 흐름 등의
해상, 기상조건 뿐만 아니라,
하역효율로 본
경제적 조건도
고려에 넣어야
한다.**

●●

용어를 사용하는 수가 많으며, 정온도는 파랑 및 바람, 흐름 등의 해상, 기상조건 뿐만 아니라, 하역효율로 본 경제적 조건도 고려에 넣어야 한다.

최근, 항만의 정온도를 나타내는 지표로서 안벽 전면에서의 파고가 $50\sim 70cm$ (어항의 경우는 $30\sim 50cm$)보다 작은 날이 1년을 통하여 몇일이 되는지로서 검토되고 있다.

일반적으로 1년을 통하여 항내 파고가 $50\sim 70cm$ 을 넘지 않는 날 비율이 $90\sim 95\%$ 이하가 되는 항만을 차폐(遮蔽)가 좋은 정온한 항만으로 볼 수 있는데, 현재의 방법으로서의 항내 정온도 지표계산에 있어서의 하나의 factor인 파의 주기가 고려되지 않은 것이다.

그러나 안벽 전면에서의 장주기 파에 의한 선체의 동요는 항만의 운영에 많은 영향을 끼치고 있음이 지적되고 있다.

따라서, 최근에는 하역효율로서 본 항내 정온도의 평가를 위하여, 계류된 선박의 운동을 해석하는 연구가 활발히 진행되고 있다⁶⁾.

선체의 운동은 6 자유도의 운동으로 대별되는데, heaving, swaging 및 surging의 병진(並進)운동과 pitching, rolling 및 yawing의 회전운동으로서, 단주기 선체운동으로서 5~20sec 정도의 주기운동에서 탁월한 rolling이나 heaving 과 장주기 운동으로서는 1~2min 정도의 주기운동에서 탁월한 계류계의 surging, 및 yawing의 고유주기가 1~2min 정도에서 발생한다. 이와같은 선체운동과 관련해서 각종 작업선이나 소형선의 한계파고는 Glenn⁷⁾이나 Santema⁸⁾ 등의 조사 연구결과로서 판단하면 유의파고로서 $50cm$ 정도라고 할 수 있다.

Vanoni와 Carr⁹⁾는 계류선의 계류색(繫留索)이 절단되고, 잔교의 말뚝이 파손되었을 때의 파고기록으로부터 피재시(被災時)의 파의 주기가 15sec, 파고가 $15\sim 20cm$ 의 나뭇과 주기 3분, 파고 $6\sim 9cm$ 의 장주기파가 공존된 예를 지적하고 있다.

한편, 장주기파에 의한 계류선의 운동의 위험성을 지적하고, 계통적인 연구를 한 것은 Wilson으로서 계류색이 절단되고, 배 또는 안벽에 피해를 입혔을 때의 파고 H와 주기 T와의 관계를 이론적으로 해석하여, 장주기 영역에서의 한계파고와 주기의 관계를 다음식으로 나타내고 있다¹⁰⁾.

$$H/T < 0.116 \text{ cm/sec} \dots\dots\dots(3)$$

또 항내의 정온도의 문제로서는, 하역중의 선체 운동 뿐만 아니라, 높은 파랑시 선박 피박의 문제가 있다.

대형선박은 높은 파랑시에는 항내로부터, 항외로 피난하여, 항외에서 묘박(錨泊) 혹은 항행하여 안전을 기도하지만, 중소형 선박은 항내에 묘박 혹은 계류하여 피난하여야 하므로, 항내는 이와같은 선박에 대하여도 충분히 안전하게 피박할 수 있도록 정온해야 한다.

V. 결 언

이상과 같이 어항의 건설이나 유지관리에 필요한 해안공학적 문제 가운데에서 내파안정성 문제에 대하여 기술하였다.

해안수리현상도 일반수리현상과

마찬가지로 그것의 복잡성 때문에 이론적인 해석이나 수치 simulation만으로는 해결되지 않는 부분이 많으므로 수리모형 실험으로 검토하는 경우가 많다.

항내정온도, 구조물의 안정성, 해저지형 변동이나 침식대책 등의 검토시에 가장 중요한 외력인 설계파의 결정은 일률적으로 논의될 수 없는 사항으로 3항에서 고찰한 설계파 내지는 실험파를 적절하게 선정함으로써 실제현상의 재현이 용이하며, 따라서 문제점의 해결에 보다 접근할 수 있을 것으로 생각된다.

항만이나 해안구조물의 계획 및 설계에 있어서는 수리모형 실험에 의하여 결정할 사항이 적지 않다.

종래 파랑에 관한 모형실험은

규칙파를 사용한 것이 대부분이었으나, 최근에는 불규칙파에 의한 실험시설이 점차로 정비되고 있으며, 국립건설시험소에서 여러건의 불규칙파 사용의 실험을 실시한바 있다.

모형실험의 기본은 상사율(相似率)이고 모형과 실물과의 형상, 운동, 작용력의 3점에서 상사되는 것이 요구되는데, 이렇게만 되면 소기의 목적을 훌륭하게 달성시킬 수 있다.

그러나 수리모형실험에 있어서도 해석에 있어서는 많은 연구자료의 이용과 simulation 등의 수단을 가미하여 종합적으로 판단하는 것이 바람직하며, 충분한 경험과 현지조사결과도 아울러 고려하여 검토하는 것이 중요하다.

참 고 문 헌

- 1) Wiegel, Robert L. : Oceanographical Engineering, Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, N.J., 1964
- 2) 例를 들면
九龍浦港 水理模型實驗報告書. 建設資料 No 476, 國立建設試驗所, 1987.
- 3) 厚浦港 水理模型實驗報告書. 建設資料 No 481, 國立建設試驗所, 1988.
- 4) J.H.Van Oorschoot and A.Wevers : Sea-bed Configuration in Relation to Breakwater Stability, proc. 13th I.C.C.E. 1982.
- 5) 入江功 外 3人 : 重複波에 의한 防波堤 前面의 海底洗掘, 第 31回 海岸工學講演會 論文集, 1984.
- 6) 例를 들면
棋本亨, 久保雅義 : 荷役限界로 본 港內靜穩度에 관한 연구 (第1~4報), 第24~27回, 海岸工學講演會 論文集, 1977~1980.
- 7) Glenn A. H. : Wave, Tide, Current, and Hurricane Problems in Coastal Operations, the Oil and Gas Journal, P. 320, 1950.
- 8) Santema P. : About the Estimation of the Number of Days With Favorable Meteorological and Oceanographical Conditions on the Sea Coast and in Estures, Proc. 5th Conf. on Coastal Eng., pp. 405~410, 1954.
- 9) Vanon : , V. A. and J. H. Carr : harbor Surfing, Proc, of 1st Conf. on Coastal Eng., pp.60~68, 1950.
- 10) Wilson, B. W. : The Threshold of Surge Damage for Moored Ships, Proc. Inst. Civil Eng., Vol. 38, pp. 107~134, 1967.