

사석식 경사방파제에 작용하는 파압이 제체 안정성에 미치는 영향 The Effect of Wave Pressure on Stability Rubble Mound Breakwater

정규향¹⁾, Gyu-Hyang Cheong, 이용대²⁾, Yong-Dae Lee, 이병문³⁾, Byong-Moon Lee, 정삼기⁴⁾, Sam-Gi Jeong, 김근섭⁵⁾, Keun-Sup Kim

- 1) 서울시 도시기반시설본부 시설안전부, Senior Associate, Facility Safety Division, Seoul Metropolitan Infrastructure Headquarters
- 2) 서울시 도시기반시설본부 시설안전부 부장, General Manager, Facility Safety Division, Seoul Metropolitan Infrastructure Headquarters
- 3) 서울시 도시기반시설본부 시설안전부 팀장, Manager, Facility Safety Division, Seoul Metropolitan Infrastructure Headquarters
- 4) 서울시 도시기반시설본부 시설안전부, Senior Associate, Facility Safety Division, Seoul Metropolitan Infrastructure Headquarters
- 5) 서울시 도시기반시설본부 시설안전부, Senior Associate, Facility Safety Division, Seoul Metropolitan Infrastructure Headquarters

SYNOPSIS : Arrangement of the facilities for improving harbor functions depends on sea and land conditions such as the ship's arrival and departure conditions, waves and tide. And the plan and the size of the facilities depend much on harbor and marine environment condition such as cargo quantity, ship size, ship traffic and seawater circulation. Among these, waves have so much effect on a breakwater design that it is the most important to understand their characteristics and to apply them to breakwater design. Therefore, to analyze the effect of waves characteristics over a rubble mound breakwater, we have calculated wave pressure by using numerical analysis at each tide level and have analyzed the effect of wave pressure on structure stability by conducting the stability analysis with the wave pressure.

As a result, it is found that during low and mean tide level time the biggest wave pressure is estimated near calm water level. But during high tide time, the biggest wave pressure is estimated in front of capping. And the stability analysis indicates also that a structure is most unstable when low tide time wave pressure is acting on.

After reviewing the stability of a structure by applying vertical and horizon wave forces, it is concluded that safety factor is lower than ordinary time(max. about 15%), is also reviewed when designing a rubble mound breakwater.

Keywords : breakwater, rubble mound, mean tide level time, vertical and horizon wave forces

1. 서론

방파제는 태풍 등 파랑으로부터 항만시설을 보호하고 항내수역의 정온도 확보를 위한 필수적인 외곽 시설이다. 항만시설의 배치 형태는 선박의 입출항조건이나 파랑 등 해상조건과 지반조건 등에 따라 차이가 많으며 이중에서도 파랑의 규모는 항만에서의 방파제 설계에 미치는 영향이 매우 크기 때문에 적

용 설계파고를 결정하고 그 특성을 정확히 파악하여 방파제 설계에 반영하는 것은 어느 조건보다도 중요한 결정요소중의 하나이다. 따라서 본 연구는 이러한 파랑의 특성이 사석식 경사방파제에 어떻게 작용하는가를 기 검증된 수치파동수로 프로그램인 CADMAS-SURF를 적용하여 조위별 구조물에 작용하는 파압을 먼저 수리학적 측면에서 분석하고, 각 조위별 산정된 연직 및 수평파력을 방파제에 적용하여 파력이 사석식 경사방파제의 안정성에 미치는 영향을 토질역학적 측면에서 규명하고자 하였다.

2. 파력산정방법

2.1 적용단면 및 수치수로

파력을 산정하기 위한 모델 방파제는 조수간만의 차가 비교적 큰 군산항 ○○방파제를 적용하였으며 방파제의 단면 및 제원은 그림1에 나타내었다.

수치파동수로서 조파판과 구조물의 거리는 2L, 에너지 감쇠대(Damping Zone)의 길이는 1L의 길이로 수치수로의 양끝에 설치하여 반사파에 의한 영향을 무시하였다. 그림 2는 각 해석 조위별 수로단면을 나타내고 있는데 총 수로의 길이는 조위에 따라 고조위, 평조위, 저조위에서 각각 770.4m, 704.0m, 619.4m로 하여 해석을 수행하였다.

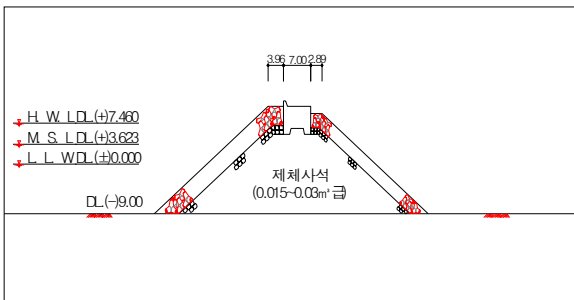


그림 1. 모델 방파제의 표준단면도

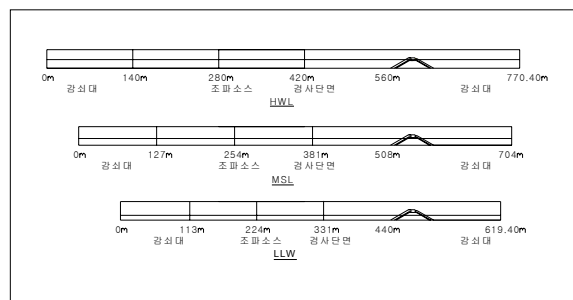


그림 2. 해석조건별 수치수로

2.2 계산조건

수치해석에 사용된 수치파동수로의 가로, 세로방향의 격자간격은 해석시간의 단축을 위하여 $\Delta x = 1.0m$, Δz 는 0.5m로 하였다. 수치계산에 사용된 계산시간은 파장과 수조 길이에 따라 $\Delta t = 0.001 \sim 0.2$ sec로 하고 총계산시간은 구조물까지의 도달시간 등을 고려하여 120초로 설정하였다.

표 1. 계산조건 및 입사파 제원

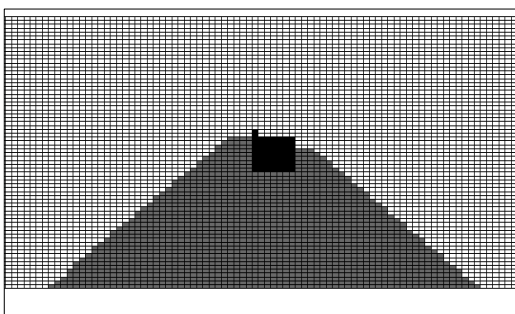


그림 3. 수치파동수로의 격자모델

구 분	조 위	입사파 제원		
		파고 (m)	주기 (s)	파장(m)
모델방파제	HWL	4.6	12.1	140.0
	MSL	4.6	12.1	127.0
	LLW	4.6	12.1	109.0

제체에 작용하는 수평파력은 수평 5m간격으로 산정하였으며 최대 수평파압을 확인하기 위해 상치콘크리트 전면에서는 2.5m간격으로 파압을 산정하였다. 또한 제체 및 지반에 작용하는 연직파력은 연직방향 3.0m간격으로 산정하였으며 연직파력 산정시 순수하게 제체에 작용하는 파압만을 연직합력으로 산정하였다.

3. 사석경사제에 작용하는 파압

3.1 조위별 수립자의 움직임

그림4.는 고조위, 평균조위, 저조위에서 1주기(12초) 동안 시간별 수립자의 움직임을 나타내고 있다. 그림4.에 나타낸바와 같이 고조위에서 항외측에서 항내측으로 상치콘크리트를 월류하는 월파가 발생됨을 알 수 있다. 그러나 고조위와는 달리 평균조위와 저조위에서 월파는 발생되지 않았다.

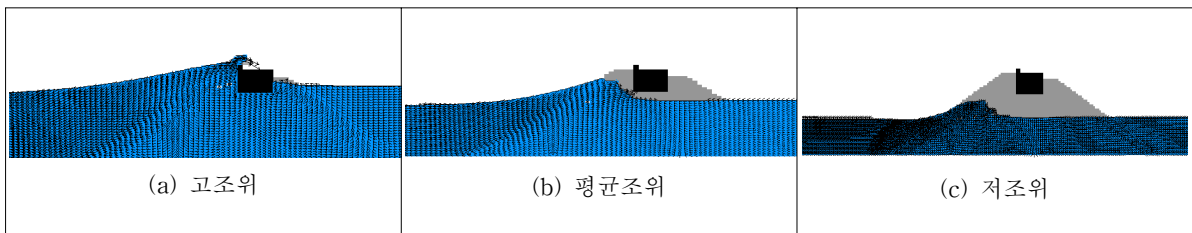


그림 4. 수립자의 움직임

3.2 수평파압

그림5.의 (a)는 고조위에서 수평파력을 산정한 것인데 수평파압의 합력은 방파제 단부에서부터 점차적으로 증가하다 상치콘크리트 전면에서 가장 크게 발생됨을 알 수 있는데, 이는 상치콘크리트에 파가 반사되어 나타나는 반사파의 영향인 것으로 판단된다. (b)와 (c)는 각각 평조위와 저조위시에 파압의 분포를 나타낸 것이다. 이 경우에는 정수면과 제체 사면이 만나는 지점의 부근에서 가장 큰 파압이 발생하는 것으로 나타났다. 위의 사실로 미루어 보아 사석식 경사방파제의 안정검토시 파압의 산정 위치는 고조위시는 상치콘크리트 전면, 평균조위 및 저조위시는 정수면과 제체 사면이 만나는 점의 위치에서 산정하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

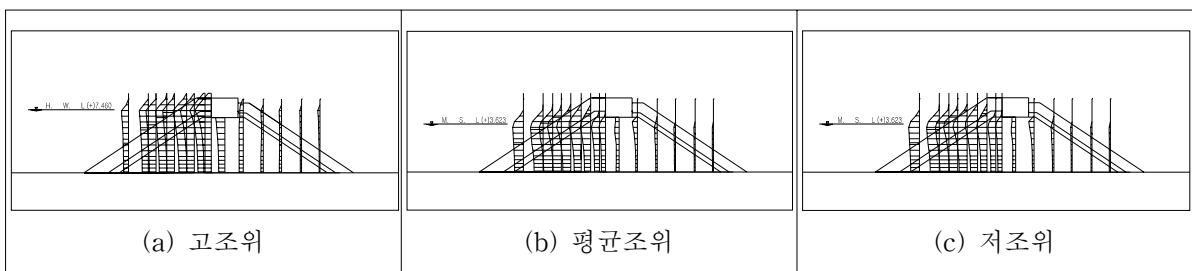


그림 5. 조위별 경사제 내부의 수평파압 분포도

3.3 연직파압

그림6.은 사석식 경사제에 작용하는 조위별 연직파력의 공간분포와 합력을 나타낸 것이다. 연직파력의 산정은 구조물과 지반이 만나는 점에서부터 3m간격으로 산정하였으며, 구조물에 직접 작용하는 하중만 전체 연직합력으로 고려하였다. 연직파력 산정결과 구조물에 작용하는 연직합력은 구조물과 지반이 접하는 면에서 가장 크게 작용하였고, 조위별 파력의 크기는 고조위시에 가장 크게 작용함을 알 수 있었다.

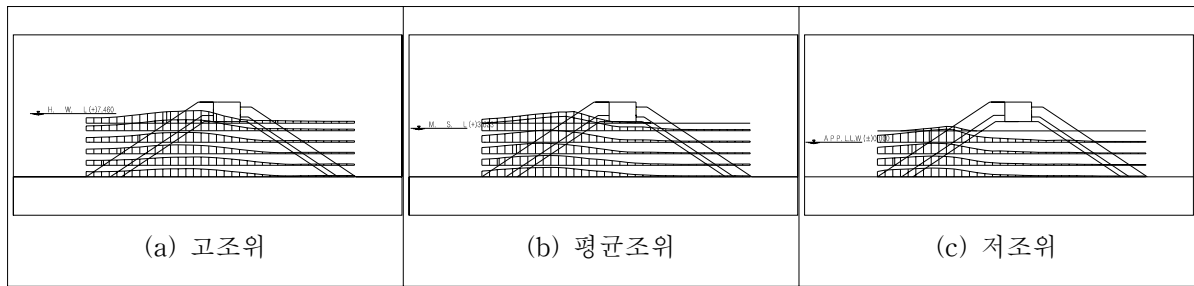


그림 6. 조위별 경사제 내부의 연직과압 분포도

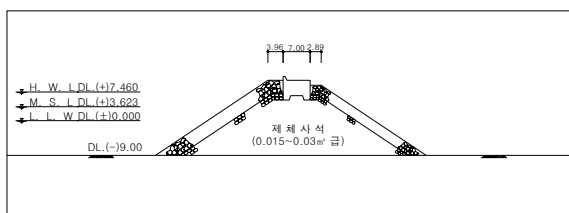
4. 과압이 방파제의 안정성에 미치는 영향

4.1 개요

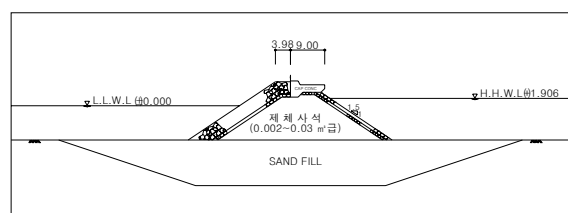
과압이 사석식경사방파제의 안정성에 미치는 영향을 분석하기 위해 군산 ○○방파제와 부산 ○○방파제를 사례지역으로 선정하였다. 두 지역을 선정한 이유는 제체의 단면형상 및 과고가 유사하여 비교검토가 용이하다고 판단하였기 때문이다. 사례지역의 계산조건 및 표준단면은 각각 표 2.와 그림 7.에 나타내었다. 제체재료는 기초지반위에 사석재, 피복석, TTP 및 상치콘크리트로 구성되어 있고 방파제 사면의 기울기는 모두 1:1.5로 되어 있어 국내에서 가장 보편화된 단면형상의 특징을 보이고 있다. 토질특성으로서는 점토지반의 c값이 2.95~6.11t/m²로 군산지역 점성토의 강도정수가 과압밀로 인하여 다소 큰 값을 나타내고 있다. 사석 및 모래의 내부마찰각은 30~40°를 적용하였다.

표 2. 부산 ○○방파제에 적용된 계산조건 및 입사파 제원

구분	조위	입사파 제원		
		파고 (m)	주기 (s)	파장(m)
부산 ○○방파제	HWL	4.5	14.0	139.0
	LLW	4.5	14.0	127.0



(a) 군산 ○○방파제 표준단면도



(b) 부산 ○○방파제 표준단면도

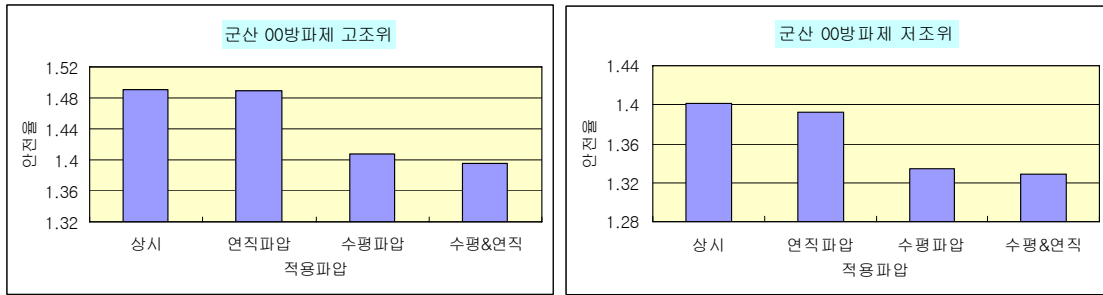
그림 7. 안정해석에 적용된 방파제 표준단면도

안정해석에 사용된 프로그램은 범용이면서 항만분야에 널리 보급된 일본 후지쓰사의 코스타낙 (COSTANAK)을 사용하였으며 비숍(BISHOP)방법에 의해 안정해석을 수행하였다.

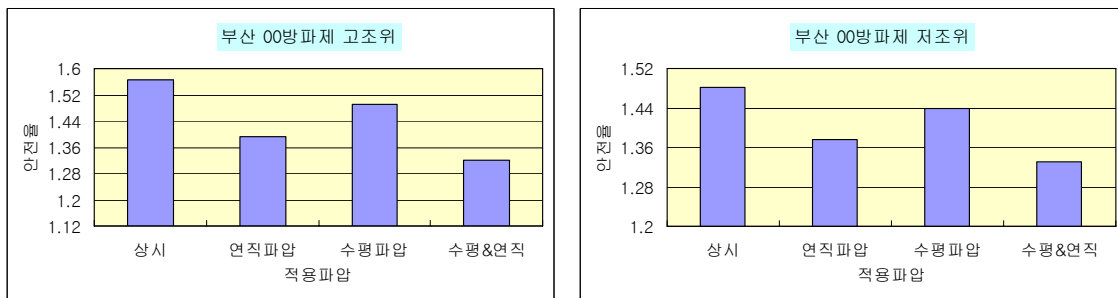
4.2 안정검토 결과

선정된 사례지역의 사석식 경사방파제에 연직 및 수평과압 동시 적용시 상시 안전율에 비해 최대 약

15%나 감소하여 파압이 체체의 안전율에 미치는 영향이 대단히 큰 것으로 나타나 차후 사석식 경사방파제의 안정해석시 파압의 영향을 반드시 고려해야 될 것으로 판단된다.



(a) 고조위 (b)저조위
 그림 8. 군산 ○○방파제의 고조위 및 저조위시 작용파압별 안전율



(a) 고조위 (b)저조위
 그림 9. 부산 ○○방파제의 고조위 및 저조위시 작용파압별 안전율

5. 결론

사석식 경사방파제에 작용하는 조위별 연직 및 수평파력을 산정하기 위하여 수치파동수로 (CADMAS-SURF)를 이용하였으며, 파압이 체체의 안정성에 미치는 영향을 분석하기 위하여 각 조위별 산정된 연직 및 수평파력을 체체에 적용하여 원호활동검토를 수행하였다. 안정성 검토 수행결과 다음과 같은 주요 결론을 얻었다.

1. 조위별 최대 수평파력 분석결과 평조위(MSL) 와 저조위(LLW)에서는 정지수면 근처에서 최대 수평파력이 산정되었으나 고조위(HWL)에서는 정지수면과 상치콘크리트 사이에서 최대 파력이 산정되었다. 이는 상치콘크리트에 파가 반사되어 나타나는 반사파 현상 때문으로 판단된다.
2. 방파제에 작용하는 단위면적당 연직파력은 정수면의 위치에서 가장 크게 산정되었으나 전체 연직파력은 구조물과 지반이 접하는 부분에서 가장 크게 산정되었다.
3. 최대 수평파력이 작용하는 조위는 고조위 때였으며, 지반에 작용하는 최대 연직파력 또한 고조위 조건에서 발생되었는데 이는 수평파압이 작용하는 면적이 고조위때가 가장 크기 때문으로 판단된다.
4. 파압작용시 원호활동 검토결과 저조위에서 발생하는 파압 적용시 안전율이 가장 낮게 나타났으며, 상시 안전율보다 약 7%정도 낮게 산정되었다. 따라서 파압작용시 사석식 경사방파제에 적용하는 조위는 상시와 별도로 저조위시 원호활동검토를 수행하여야 할 것으로 판단된다.
5. 사석식 경사방파제에 작용하는 연직 및 수평파력을 적용하여 체체의 안정성을 검토한 결과 상시보다 안전율이

최대 약15%정도 작게 나타나 파력이 제체의 안정성에 미치는 영향이 상당하므로 차후 사석식 경사방파제 설계시 반드시 제체에 작용하는 연직 및 수평파압을 산정하여 안정성검토에 적용하여야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 부산지방해양수산청(2002). 부산 서방파제 축조공사 실시설계용역
2. 박현주, 전인식, 이달수 (2002). 경사식 방파제의 수리특성 결정을 위한 수치 해석, **한국해양·해양공학회지**, 14(1): pp. 19-33.
3. 성상봉, 전인식, 이달수(2003). 경사식 방파제의 전사면 파압에 대한 고찰(I.수치파동수조의 적용), **대한토목학회논문집**, 제 23권, 제 6호,pp. 575-579.
4. 성상봉, 전인식, 이달수(2003). 경사식 방파제의 전사면 파압에 대한 고찰 (II.실험식의 제안), **대한토목학회논문집**, 제 23권, 제6B호, pp. 581-585
5. 성상봉, 전인식(2004). 경사식 방파제의 제체 파압 결정을 위한 수치해석, **한국해양·해양공학회 발표 논문집**, pp. 100-104.
6. 군산지방해양수산청(2006). 군·장 신항만 남방파제 축조공사 실시설계용역
7. 沿岸技術開發センター(2001), 數値波動水路の 研究・開發(CADMAS-SURF)