

해 외 학 술 정 보

Coastal Engineering



이 창 훈
세종대학교 건설환경공학과 교수
clee@sejong.ac.kr

1. 머리말

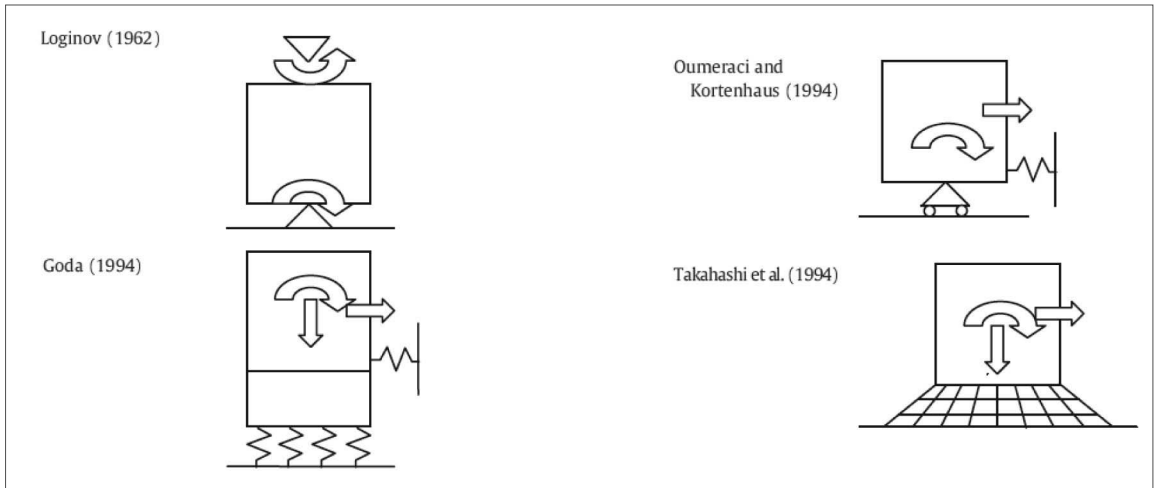
네덜란드 Elsevier에서 발간되는 논문집인 Coastal Engineering의 2011년도 논문을 조사하였다. 1월부터 12월까지 매달 약 8편씩 총 93편의 논문이 게재되었다. 각 논문을 파랑·해류, 표사·하상변동, 구조물·파력으로 구분해 보니 각각 48편, 32편, 13편이 게재되었다. Coastal Engineering에서는 해안의 외력인 파랑과 해류의 역학적인 원리를 규명하는 것이 연구자들의 최대 관심사인 것 같다. 해안선 가까운 곳에서 발생하는 침식·퇴적과 이에 따른 하상변동이 그 다음으로 많은 관심을 받고 있는 것 같다. 구조물·파력과 관련된 논문은 주로 일본이나 영국의 학자들에 의해 많이 게재되었다. 이 세 분야는 해안공학에서 수량적인 분야에 해당하는 것으로서 최근 21세기에 중요하게 대두되고 있는 해안에서 발생하는 수질, 생태, 환경적인 문제는 찾을 수 없었다. 아마도 Coastal Engineering이 초기에

수량적인 분야에만 국한하여 나타났기 때문이 아닌가 짐작한다. 해안의 수질적인 문제에 관심이 있는 독자는 Coastal Engineering이외의 다른 논문집에서 참고해야 할 것이다.

논문집을 살펴보면서 독자들에게 소개할 거리를 찾던 중 국내 연구자의 논문이 먼저 눈에 띄었다. 서울대학교 서경덕 교수팀에서 구조물·파력 분야에 3편의 논문(Na 등 2011; Suh 등, 2011a, 2011b)을 게재하였고, 한양대학교 윤성범 교수팀에서 파랑·해류 분야에 1편의 논문(Choi와 Yoon, 2011)을 게재하였다.

2. 논문 내용

논문을 살펴 보던 중 독자들에게 소개할 만한 논문을 찾게 되었다(Cuomo 등, 2011). 이 논문은 구조물·파력 분야에서 이탈리아, 영국, 일본의 연구



〈그림 1〉 기존의 연구에서 동적해석을 위해 사용한 기본 형상도

진들이 공동으로 연구한 내용이였다. 그들은 혼성체에 쇄파 또는 비쇄파가 내습할 때 발생하는 구조물의 응력과 전단 파괴를 시간에 따라 예측하는 기법을 개발하였다. 예측기법의 개발을 이탈리아, 영국에서 담당하고, 예측기법의 검증을 위한 수리모형실험은 일본에서 담당하였다.

외곽 구조물인 방파제 가운데 혼성체는 주로 일본에 많이 건설되었고, 국내에서도 수심이 깊은 해역에 대형으로 건설되고 있다. 혼성체는 경사면이 있는 마운드 위에 직립구조물인 케이슨이 있는 구조로서 비쇄파에서는 구조물의 안정성에 문제가 없지만 충격파가 작용하는 쇄파가 발생하는 경우 구조물의 안정성에 문제가 발생한다. 즉, 쇄파가 발생하기 시작하는 지점에서는 파랑의 전면이 거의 수직이 되고 이 파랑이 케이슨의 직립 벽에 부딪치게 되면 0.1초 이내의 아주 짧은 시간동안 정수압의 수십 배에 이르는 충격 쇄파압이 발생할 가능성이 크다.

현재 항만구조물의 안정성 예측을 정적 해석으로 하고 있다. 즉, 파랑 내습 시 외력과 구조물의 응력을 시간에 따른 이력으로 하지 않고 구조물의 응력 한계보다 더 큰 외력이 오면 구조물이 파괴(전단, 전도 등의)가 발생하였다고 결정한다. 실제 외력은 구조물의 응력보다 더 큰 값이 영원히 오지 않고 한정

된 시간동안 오고, 전단 또는 전도의 파괴도 한정된 시간동안 발생하기 때문에 정적 해석기법을 이용하여서는 구조물의 파괴를 정확히 결정할 수 없다.

본 논문은 먼저 기존의 동적 해석 기법을 소개하였다. 〈그림 1〉은 기존의 연구자들이 혼성체의 동적해석을 하는 기본 형상을 도시한 것이다.

Loginov(1962)는 구조물의 위·아래의 무게중심점을 기준으로 회전운동을 해석하였고, Goda(1994)는 구조물 아래와 뒤에 모두 다 복원력을 허용하면서(즉, 스프링을 두어) 수평운동과 회전운동을 해석하였다. Oumeraci와 Kortenhaus(1994)는 구조물의 뒤에 복원력 및 구조물 아래에 수평이동을 허용하면서 수평운동과 회전운동을 해석하였다. Takahashi 등(1994)은 구조물과 그 아래 기초의 동적거동을 유한요소법으로 해석하였다. 이 중에서 Takahashi 등의 방법이 가장 정확하지만 해석이 복잡한 불편한 점이 있다.

기존 연구와 달리 본 논문은 구조물과 그 아래 기초 사이 여러 지점에 스프링을 두어 구조물의 수평, 수직, 회전 운동을 허용하고, 각 운동의 복원력과 에너지감쇠를 고려하였다. 〈그림 2〉는 그들이 혼성체의 동적해석에 사용한 기본 형상도이다. 그들이 제안한 운동방정식은 다음과 같이 표현된다.

$$M \cdot \ddot{u}(t) + C \cdot \dot{u}(t) + K \cdot u(t) = F(t)$$

위 식에서 M, C, K는 케이슨의 총 질량(kg), 감쇠 계수(c), 스프링상수(k)의 행렬이고, u는 3개의 자유도를 갖는 변위벡터이다. 변위 요소에는 수평(x축 방향) u_x 변위, 수직(y축 방향) 변위 u_y , 회전각(θ) u_θ 가 있다. 각 지점에서 수평 및 수직방향의 변위는 다음과 같다.

$$u_{x,i} = u_x$$

$$u_{y,\theta} = u_y + u_\theta \cdot x_i$$

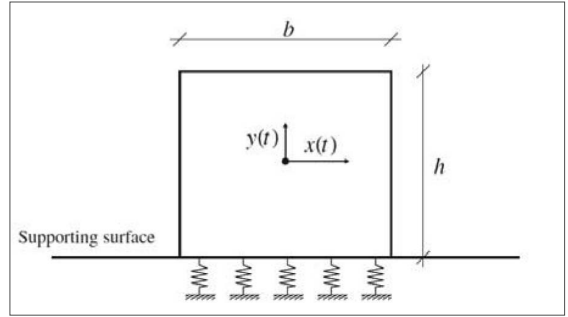
F(t)는 응력벡터로서 각각의 스프링 지점에서 다음과 같은 3가지 요소로 구성되어 있다.

$$F_x(t) = m_x \cdot \ddot{u}_x(t) + c \cdot \dot{u}_x(t) + \left[\sum_{i=1}^{n_{spring}} k_{x,i} \cdot u_x(t) \right]$$

$$F_y(t) = m_y \cdot \ddot{u}_y(t) - m_w \cdot g + c_y \cdot \dot{u}_y(t) + \left[\sum_{i=1}^{n_{spring}} k_{y,i} \cdot (u_y(t) + u_\theta(t) \cdot x_i) \right]$$

$$F_\theta(t) = m_\theta \cdot \ddot{u}_\theta(t) + c_\theta \cdot \dot{u}_\theta(t) + \left[\sum_{i=1}^{n_{spring}} k_{\theta,i} \cdot u_\theta(t) \right]$$

본 논문은 비쇄파와 쇄파의 각 경우에 파랑하중, 응력, 변위가 시간이 경과하면서 어떻게 바뀌는지 다음과 같이 상세히 제시하였다. 즉, 파랑이 구조물에 도달하면 케이슨에 작용하는 하중과 기초의 응력이 점점 증가한다. 하중이 증가함에 따라 케이슨이 회전하고 케이슨의 전면이 위로 뜨게 된다. 이 순간 케이슨의 아래 앞 부분의 응력이 0이 될 때까지 감소한다. 반면에 케이슨의 아래 뒷 부분의 응력은 크게 증가한다. 해수면이 하강하는 경우 케이슨의 전면에 작용하는 하중은 감소하고 케이슨이 외해 방향으로 회전한다. 만약 수평하중이 전단 저항력보다 더 크면 수평방향의 이동(즉, 전단파괴)이 발생하고, 이동 지점에서 마찰이 감소하여 기초의 응력이



〈그림 2〉 본 논문에서 동적해석을 위해 사용한 형상도

감소한다. 수평이동이 발생하는 순간 이동속도가 갑자기 증가하다가 케이슨이 멈출 때까지 감소한다. 한번 씩 내습할 때마다 케이슨이 이동하여 내습 횟수가 증가할수록 이동거리가 증가한다. 충격 쇄파의 경우 구조물에 영향을 주는 시간이 비쇄파에 비해서 아주 짧아서 갑작스럽게 구조물의 변위가 발생한다.

그들은 더 나아가 여러 수리모형실험 자료가 있는 경우에 동적해석을 수행하여 실험 자료와 비교하여 해석 방법의 정확성을 검증하였다.

3. 맺음말

본 논문은 파랑에 의한 혼성제의 거동을 시간에 따라 예측하는 동적거동기법을 개발하고 검증하였다. 이러한 동적거동 예측기법은 기존의 정적 해석 기법에 비해서 매번 내습하는 파랑에 의한 거동을 정확하고 상세하게 예측할 수 있다는 면에서 그 가치가 크다고 판단된다. 과거에 유한요소법을 사용하여 동적거동을 예측한 예가 있는데 이는 훨씬 복잡하고 시간이력을 추적하는데 계산이 많이 걸리는 문제점이 있다. 본 논문은 동적거동을 해석하는데 있어서 쇄파의 결정, 기초의 물성치 결정 등에 단순화와 근사화가 많이 있는 것을 확인하였다. 이러한 요소의 결정을 좀 더 정확히 하게 되면 더 정확한 동적 거동 예측이 가능하리라 짐작된다. 국내 연구자들도 이러한 동적거동예측기법을 시도하여 선진기술을

습득할 필요가 있다고 생각하였다.

참고문헌

- Choi, J., Yoon, S.B. (2011). Numerical simulation of nearshore circulation on field topography under random wave environment. *Coastal Engineering* 58, 395-408.
- Cuomo, G., Lupoi, G., Shimosako, K.-I., Takashi, S. (2011). Dynamic response and sliding distance of composite breakwaters under breaking and non-breaking wave attack. *Coastal Engineering* 58, 953-969.
- Goda, Y. (1994). Dynamic response of up-right breakwater to impulsive force of breaking waves. *Coastal Engineering* 22, 135-158.
- Loginov, V.N. (1962). Evaluation of the pressure impulse on vertical structures subject to breaking waves. *Trudy Soiuzmorniiproekta (in Russian)* 2, 47-59.
- Na, S.J., Do, K. D., Suh, K.-D. (2011). Forecast of wave run-up on coastal structure using offshore wave forecast data. *Coastal Engineering* 58, 739-748.
- Oumeraci, H., Kortenhaus, A. (1994). Analysis of dynamic response of caisson breakwaters, *Coastal Engineering* 22, 159-183.
- Suh, K.-D. Ji, C.-H., Kim, B.H. (2011a). Closed-form solutions for wave reflection and transmission by vertical slotted barrier. *Coastal Engineering* 58, 1089-1096.
- Suh, K.-D., Kim, Y.W., Ji, C.H. (2011b). An empirical formula for friction coefficient of a perforated wall with vertical slits. *Coastal Engineering* 58, 85-93.
- Takahashi, S., Tanimoto, K., Shimosako, K. (1994). Dynamic response and sliding of breakwater caissons against impulsive breaking wave forces. *Proc. of the Wave Barriers in Deep Waters Workshop*. Port and Harbour Research Institute, Yokosuka, Japan.