파일형 선박충돌방호공의 거동특성

Behavior characteristics of Pile-type vessel collision protective structure

이 정 우* • 박 준 석** • 이 계 희***
Lee, Jeong-Woo • Park, Jun-Seok • Lee, Gye-Hee

요 약

본 논문에서는 파일형 선박충돌 방호공에 선박이 충돌하였을 때 방호공의 거동을 해석하였다. 방호공의 구조는 상부슬래브, RCP 말뚝 및 이를 지지하는 지반은 비선형 지반스프링으로 모델링 하였다. 상부슬래브 8절점요소로 모델링 하였으며 철근과 콘크리트로 구성되어있다. RCP 말뚝은 철근망과 충진콘크리트로 구성되어있으며 충돌 시 파괴거동을 표현할 수 있는 Damaged Plasticity로 모델을 사용하였고 Shell 요소로 모델링 하였다. 선박충돌 시 선박의 강성에 따른 거동 특성을 파악하기 위해 선박을 강체모델과 실제모델에 대한 해석을 수행하였다. 선박과 교량의 충돌은 정면충돌로 고려하였으며, 충돌속도는 3.3m/sec로 가정하였다. 선박과 방호공과의 충돌 해석은 비선형 해석 프로그램인 ABAQUS/Explicit을 이용하여 수행하였으며, 이를 통하여 선박 충돌 시 방호공의 에너지 거동을 분석하였다. 해석결과 선박의 강성이 커질수록 슬래브의 변형 및 소산 에너지량이 커지는 것을 확인할 수 있었다.

keywords : 선박충돌, 파일형 방호공, 에너지 소산, *AASHTO,* 충돌에너지

1. 서 론

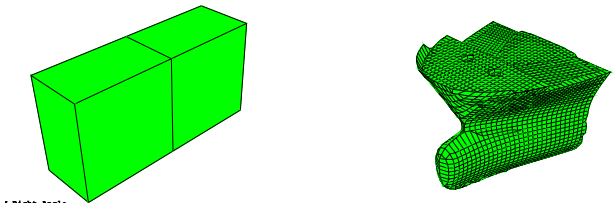
항로에 교량 및 구조물의 기초가 위치하는 사례가 증가함에 따라 구조물과 선박과의 충돌 가능성이 커지고 있다. 1980년 미국 플로리다의 Sunshine Skyway Bridge의 사고나 1996년 포틀랜드 주에서 발생한 사고에서 보듯이 교량 구조물과 선박과의 충돌 사고는 인명손실 뿐 아니라 사회적 인프라 및 환경오염에도 매우 큰 영향을 끼친다. 따라서 해상교량은 선박의 충돌로부터 교량을 보호하기 위하여 선박 충돌방호공을 설치하게 된다. 본 논문에서는 파일형 선박충돌방호공과 선박의 충돌 시 선박의 강성에 따른 방호공의 거동에 대하여 연구하였다.

2. 해석모델

2.1 충돌선박의 모델링

본 논문에서는 DWT33000의 화물선(Burk Carrier)을 대상으로 모델링을 하였으며, 강체 모델링과 상세모델링으로 나누어 실시하였다. 강체 모델링은 충돌 시 선박변형의 영향을 받지 않는 방호공의 거동을 파악하기 위해 실시하였으며 선박의 선수부를 8절점 강체로 모델링하였다. 상세모델링은 선수부와 선미로 나누어서 모델링하였다. 선수부는 충돌 시 발생하는 변형을 실제로 묘사하기 위해서, 11000여개의 Shell 요소로 모델링하였으며, 탄소성 거동을 하는 것으로 가정하였다. 그리고 실제 선박의 강성을 가질 수 있도록 SS400 을 사용하여 모델링 하였다. 선체는 충돌 시 변형이 크게 일어나지 않으므로 탄성재료로 모델링하였다. 이때 선박질량의 5%를 수리동역학적인 추가질량으로 고려하였다.(AASHTO, 1991)

* 학생회원 • 목포해양대학교 해양건설시스템학과 석사과정 whitehead83@mmu.ac.kr
** 학생회원 • 목포해양대학교 해양건설시스템학과 석사과정 slamyaci@cyworld.com
*** 정회원 • 목포해양대학교 해양건설시스템학과 교수 lghlsk@mmu.ac.kr



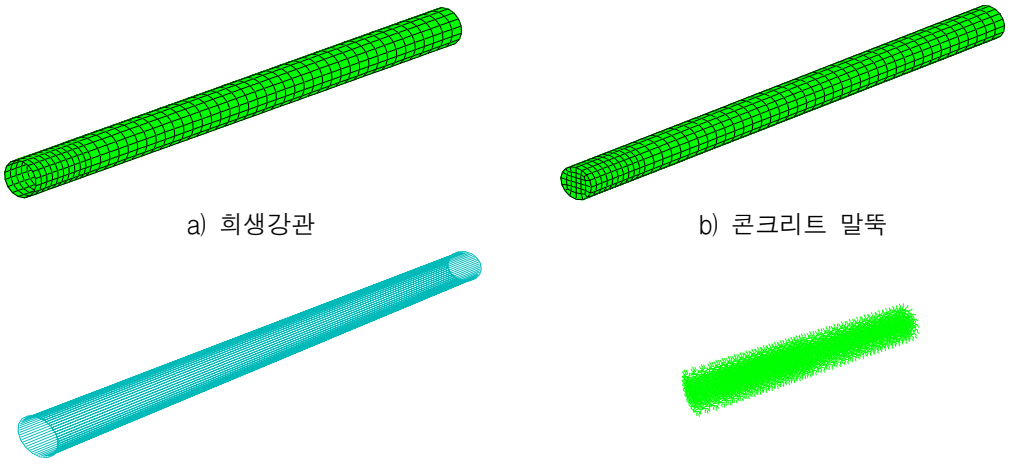
a) 단순 모델링 b) 상세 모델링

그림 1 선수 모델링

2.3 방호공 모델링

2.3.1 파일(Pile)

본 해석에서 파일은 희생강관, 속채움 콘크리트, 철근망, 지반 스프링으로 구성된다. 속채움 콘크리트는 damaged plastic 재료를 사용하여 균열 및 파쇄현상을 나타낼 수 있게 하였으며, 파일에 삽입된 종방향 철근을 모델링하여 콘크리트 영역에 embeded element로 고려하도록 하였다. 또한 파일의 강관을 shell 요소로 모델링 하였다.



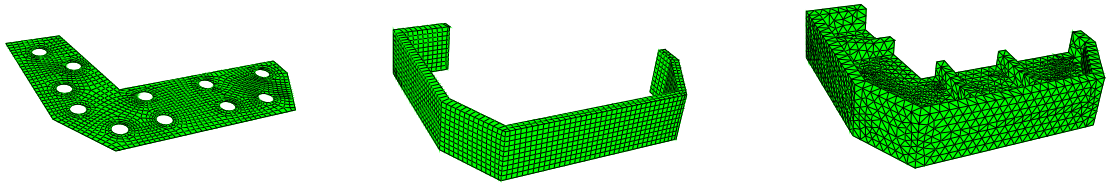
a) 희생강관 b) 콘크리트 말뚝

c) 철근망 d) 지반 스프링

그림 2 단일 파일 및 주변지반의 해석모델

2.3.2 슬래브(Slab)

슬래브는 파일이 일체거동 하도록 파일의 상부에 설치된다. 해석에 사용한 슬래브 모델은 철근망과 콘크리트로 만들어진 Upper로 구성되어있다. 슬래브는 충돌 시의 균열 및 파괴형상을 구현하기 위하여 Shell 요소로 상세모델링 하였다. 콘크리트는 Damaged Plastic 모델을 사용하여 Upper의 균열 및 파괴거동이 나타나도록 하였다. 그리고 파일을 지지하는 지반은 비선형 지반 스프링 모델을 사용하여 지반의 비선형성을 고려하였다.



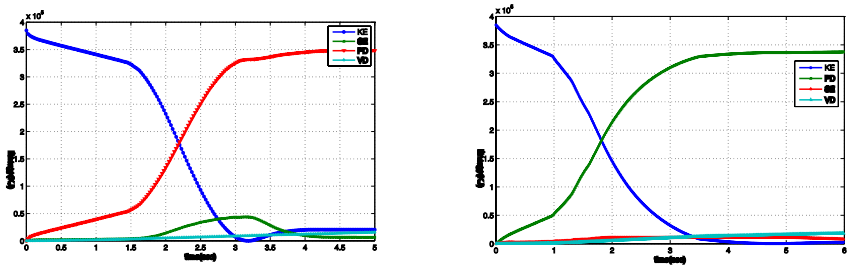
a) Slab Rebar b) Slab Wall Rebar c) Slab Upper

그림 3 Slab 구성요소 모델링

3. 해석조건

본 논문에서는 충돌속도가 3.3m/sec 일 때, 직접적인 정면충돌에 대한 해석을 수행하였다. 이때 슬래브의 질량은 2550ton/m^3이고 선수는 강체모델과 상세모델을 각각 슬래브에 충돌 시켰다. 해석 프로그램은 범용 유한요소 프로그램인 ABAQUS/Explicit 6.5를 사용하였다.

4. 해석결과



a) 강체 모델링 b) 상세 모델링

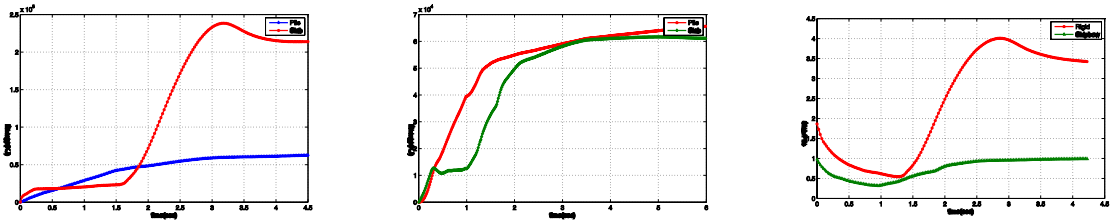
그림 4 선수강도에 따른 에너지 시스템 거동

그림 4는 충돌후의 에너지 거동을 나타낸 것이다. 선박의 운동에너지는 충돌과 동시에 소성에너지로 소산되는 것을 확인할 수 있다. 선박의 충돌이 끝나는 시점은 운동에너지가 0이 되는 지점으로 강체모델의 경우 3.2초경이었으며 상세모델의 경우는 5.6초경인 것으로 나타났다. 운동에너지가 0이 된 후 다시 운동에너지가 증가하는 경향을 나타내는데 이는 선박의 반동에 의해 발생하는 것으로, 이는 충돌 후에도 방호공의 강성을 완전히 잃지 않고 강성을 지니고 있음을 나타낸다.

a) 강체 모델링 b) 상세 모델링

그림 5 방호공의 최종변형 형상

그림 5는 충돌이 끝난 방호공 슬래브의 모습이다. 상세모델링에 비해 강체 모델링의 슬래브의 변형이 심하게 일어난 것을 확인할 수 있다. 상세 모델링의 경우 충돌이 일어나면 선수와 슬래브의 변형이 동시에 일어나면서 충돌에너지를 소산시키지만 강체모델링의 경우는 선수에서의 변형 및 에너지 소산이 없으므로 슬래브와 파일의 변형이 커지면서 에너지를 소산시키는 것을 알 수 있다.



a) 강성 모델링 b) 상세 모델링 c) 슬래브와 파일 에너지 비

그림 6 선수 강도에 따른 파일과 슬래브의 에너지 거동

강성모델의 경우 충돌 후 2초경까지는 파일의 에너지소산이 우세하다가 급격히 슬래브의 에너지 소산이 급격히 증가한다. 이에 비해 상세모델은 슬래브와 파일의 에너지 소산이 비슷하게 이루어진다. 슬래브와 파일의 에너지 비는 강체모델의 경우 에너지 비가 1/2에서 급격히 증가해 4배에 가까운 에너지를 슬래브가 부

담하였다. 이에비해 상세모델은 에너지 비가 1에 수렴하는 것을 확인할 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 충돌 시 선박의 강성이 파일형 선박충돌방호공의 거동에 미치는 영향을 파악하기 위하여 DWT33000의 강체모델과 상세모델을 파일형 선박 충돌 방호공에 충돌하였을 때를 가정하여 해석을 수행하였다. 해석결과 선박의 강성이 커질수록 슬래브와 파일의 에너지 비가 커지는 것을 확인할 수 있었다. 이는 선박과 선박의 강성이 커질수록 슬래브가 소산시키는 에너지가 파일보다 많아진다는 것을 나타내며, 슬래브의 중요성이 커진다는 것을 나타낸다.

참고문헌

이계희(2009) 파일형 선박충돌방호공의 해석, **대한토목학회논문집**, 제 25권 6A호, pp 1133 ~1141.

배용귀.이성로(2008) 파일지지 구조물의 선박 충돌거동에 대한 해석", **대한토목학회논문집**, 제 28권 3A호, pp323~330

이성진(2006) 해상 교량 선박 충돌방호공의 충돌 해석 및 변수 연구, **대한토목학회 정기학술대회**, pp 1790~1793

AASHTO(1991) Guide Specification and Commentary for Vessel Collision Design of Highway Bridges.

ABAQUS V6.5 User's manual, HKC, (2005)