

인천대교 접속교 파일캡의 해석과 설계

Analysis and Design of Approach Bridge Pile Cap in Incheon Bridge Project

송종영* 신현양** 최규용*** 송창희**** 이태열***** 심이수*****

Song, Jong Young Shin, Hyun Yang Choi, Kyu Yong Song, Chang Hee Lee, Tae Yeol Shim, Ih Soo

ABSTRACT

For structural engineers, design of pile cap causes difficulties since design of this member is not specifically addressed by codes. In general, pile cap is considered as deep beam and designed for shear and moment at specified critical section. This is called as traditional section method. However, many international design codes suggest the application of strut tie method for better design of this member. In this paper, a brief application of strut tie method to the design check of pile cap structure designed by section method is presented. Unlike well known pile cap with single column, the example pile cap has two columns. In order to find out proper load path under various load condition, three dimensional finite element method was carried out. The result indicates that provided reinforcement by traditional section method has sufficient capacity to meet the design requirements.

1. 서론

국내의 해상교량의 하부구조물에서 자주 접하게 되는 파일캡 구조물은 일반적으로 상부거더에서 발생하는 축력 및 모멘트를 말뚝기초에 전달하는 역할을 한다. 구조적인 관점에서 파일캡은 두꺼운 슬래브 형태로써, 말뚝기초의 두부와 접하는 면을 지점으로 아래에서 작용하는 집중하중과 교각과 만나는 상면에 축력, 수평력 및 모멘트가 작용한다. 국내의 파일캡 설계는 대부분 전통적인 방법인 파일캡을 깊은보로 간주하여 위험단면에서의 전단검토를 중심으로 설계가 진행되어 왔으며, 최근에는 보다 합리적인 파일캡의 설계방법이라 간주되는 스트럿 타이방법의 적용이 증가하고 있는 실정이다. 대부분의 스트럿 타이방법을 적용한 파일캡 구조물과는 달리, 본 논문에서는 파일캡 구조물 가운데에서 특히 두 개의 교각을 지지하는 인천대교 접속교의 파일캡에 대해, 깊은 보 방식으로 설계된 보강철근을 스트럿 타이 방법을 적용하여 검증한 사례를 소개하고자 한다. 교각과 교각사이의 상, 하단 파일캡에서 효과적인 하중의 흐름을 표현하는 스트럿 타이모델의 형성을 위해서 3차원 유한요소해석이 수행되었으며, 이를 바탕으로 3차원 스트럿 타이모델을 구성하여 연결지점에서의 상, 하부 철근배근의 적정성을 검토하였다.

- * 정회원, 삼성물산(주)건설부문 인천대교현장 설계팀 과장
- ** 정회원, 삼성물산(주)건설부문 인천대교현장 설계팀 팀장
- *** 정회원, 삼성물산(주)건설부문 기술연구소 과장
- **** 정회원, 서영엔지니어링 인천대교현장 설계팀 차장
- ***** 정회원, 삼성물산(주)건설부문 토목기술팀 과장
- ***** 정회원, 삼성물산(주)건설부문 인천대교현장 설계팀 대리

2. 단면법에 의한 파일캡의 설계

인천대교 접속교 파일캡은 거푸집으로 활용되는 500mm 두께의 PC House를 포함하여, 28m × 13m × 5m의 크기를 갖으며, 그림에서 보는 바와 같이, 5m × 4m의 교각을 통해 상부 구조물에서 작용하는 하중을 2.4m 말뚝 8본으로 전달하게 된다.

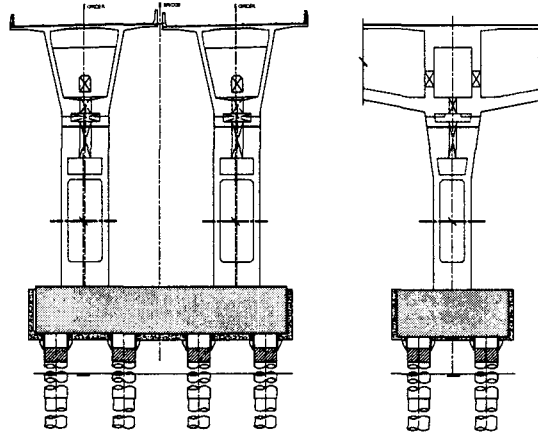


그림 1 인천대교 접속교의 파일캡

교축직각방향의 파일캡의 경우에는 일반적인 단일 기둥을 네 개의 말뚝이 지지하는 파일캡 구조와 동일하나, 교축방향에 대해서는 두 개의 교각을 네 개의 말뚝으로 전달하는 구조계가 된다.

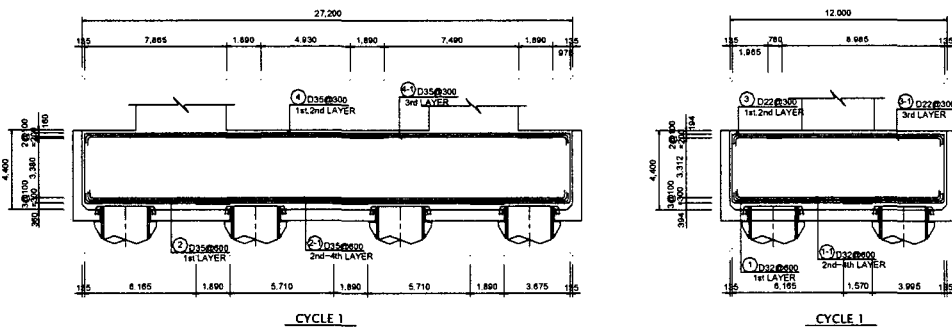


그림 2 단면법에 의해 설계된 파일캡 배근도에

그림 2에서는 전통적인 단면법에 의해 설계된 파일캡의 배근도를 보여준다. 인천대교 접속교 파일캡의 경우에는 지반스프링을 사용하여 말뚝과 파일캡의 연결을 모사하였으며 말뚝과 교각의 연결은 강결요소를 사용하였고, 교축방향은 네 개의 보요소를 교직방향은 한 개의 보요소를 사용하여 파일캡과 기둥 및 말뚝을 모델링하였다. 구조해석시 하중조합은 사용한계상태, 강도하중상태, 극한하중상태를 적용하였으며 각각의 하중상태에 대해 단면에서 발생한 가장 큰 부재력을 바탕으로 유효폭을 갖는 보요소에 대한 상단 및 하단의 휨, 전단설계가 수행되며, 최소 철근량 및 균열검토 등의 일반적인 설계 과정을 통해 최종배근이 확정된다. 단면법에 의해 파일캡이 설계되는 경우에는 파일캡 유효면적에 산정된 필요 철근이 균등하게 배근되는 특징을 갖는다.

3. 스트럿 타이 모델을 적용한 배근검토

스트럿 타이를 적용하는 단계는 일반적으로 다음과 같이 진행된다. [1] 하중작용점 및 지점에서의 지압검토 → [2] 스트럿 타이 모델의 구성 및 부재력 산정 → [3] 타이 보강철근의 검토 → [4] 절점영역의 설계 및 정착검토 → [5] 스트럿의 검토 → [6] 균열제어를 위한 최소철근량 배근 → [7] 최종배근도 작성. 이 때, 스트럿 타이 모델을 구조물의 특성에 맞게 구성하는 것이 설계자에게 매우 중요한 사항이며, 이를 위해서 코벨 또는 깊은 보와 같이 하중경로가 분명한 구조물의 경우에는 기존에 제시된 모델을 사용하거나, 선형탄성해석을 적용하여 주요 스트럿과 타이의 위치를 결정하는 방법이 추천되고 있다.

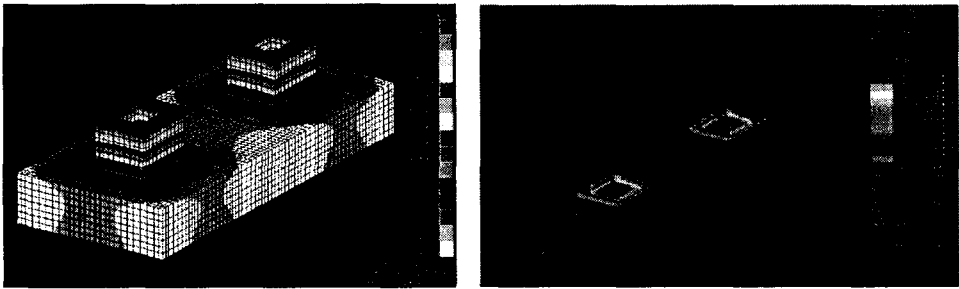


그림 3 유한요소모델의 구성 및 압축하중에 의한 주응력흐름

교각과 교각을 연결하는 파일캡의 상, 하단의 하중흐름을 보다 명확하게 파악하기 위해서, 그림과 같이 고체요소를 사용하여 3차원 유한요소해석을 수행하였다. 이 때, 말뚝두부와 파일캡과 만나는 지점을 고정단 경계조건으로 적용하였으며, 효율적인 하중표현을 위해서 교각의 일부를 함께 모델링하였다. 연직하중에 의한 주응력 흐름을 살펴보면 단일 교각을 갖는 파일캡 구조물에서 압축 스트럿을 구성하는 교각과 말뚝을 연결하는 네 개의 주요경로가 분명하게 나타나고 있음을 알 수 있다. 이러한 탄성해석결과를 토대로, 스트럿 타이모델을 적용하기 위한 3차원 트러스를 구성하였다.

연직하중이 주하중으로 작용하는 경우에는 다음 그림과 같이, 3차원 유한요소해석결과와 같이 주요압축력의 흐름이 분명하게 나타나며, 교각이 연결되는 파일캡 상단에서 인장력이 하단에서는 압축력이 발생함을 알 수 있다.

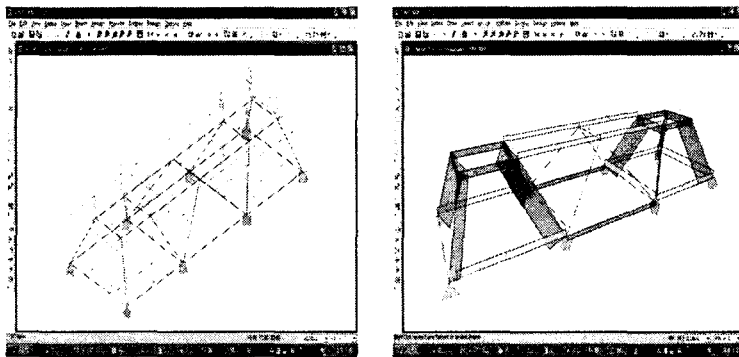


그림 4 연직하중 작용에 대한 부재력

교축직각방향으로 작용하는 지진력 및 풍하중과 같이, 수평력과 모멘트가 작용하는 하중조건에서 구성된 스트럿 타이모델에 발생하는 부재력은 다음 그림과 같다. 교각과 교각을 연결하는 상단 슬래브에서 인장발생영역과 압축발생영역이 나타나며, 이는 깊은 보로 파일캡을 설계하는 경우의 지진하중 발생시의 부재력 거동과 유사하다. 인장력을 받는 타이 부재검토 결과 상단 슬래브에 발생하는 최대 인장력의 크기는 61111 kN이며, D35철근을 사용하는 경우에는 160개의 철근이 필요함을 알 수 있다. 단면법에 의해 산정된 타이영역에 배근된 철근량은 200개로써, 스트럿 타이방법에 의한 소요량보다 많음을 알 수 있다. 따라서, 하중작용 유효폭 단면에 균등하게 분포된 철근량을 고려할 때, 단면법의 경우가 보수적으로 설계되어짐을 알 수 있다.

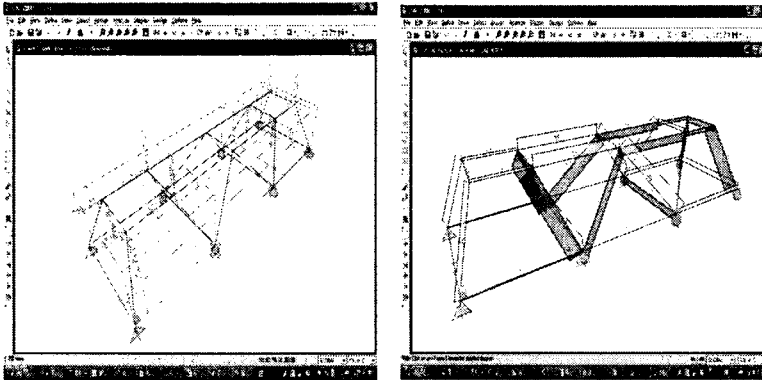


그림 5 수평력을 포함한 하중작용에 대한 부재력

4. 결론

본 논문에서는 일반적으로 널리 알려진 한 개의 교각을 지지하는 파일캡 구조와는 달리, 두 개의 교각을 지지하는 파일캡 구조물에서 단면법으로 배근된 교각을 연결하는 상부 슬래브의 소요 철근량의 적정성을 스트럿 타이방법을 적용하여 검증하였다. 적용대상 구조물은 인천대교 접속교의 파일캡이며, 실제 단면법으로 배근되고 스트럿 타이방법으로 검토된 배근상세에 대해 연구를 수행하였다. 교각으로부터 파일캡을 지나서 말뚝기초로 전달되는 하중 경로특성을 효과적으로 모사하기 위해서, 3차원 유한요소해석을 수행하였으며 수행된 결과를 토대로 구성된 스트럿 타이모델에 대해서 대표적인 두가지 하중경우에 대해 부재력 검토를 수행하였다. 연직하중이 주요하중으로 작용하는 경우와는 달리 수평하중이 작용하는 경우에 교각과 교각을 연결하는 상부 슬래브에 인장력이 크게 발생함을 알 수 있으며, 전통적인 단면법으로 배근된 경우가 스트럿 타이방법을 적용한 경우보다 많은 철근이 필요함을 확인하였다. 향후, 2차원 트러스 타이 모델과 3차원모델 및 단면법의 상호검토 등을 통해 각 방법의 차이점에 대한 비교연구를 수행할 예정이다.

참고문헌

1. Mitchell, D., Collins, M., AASHTO LRFD Strut-and-Tie Model, Design Example, PCA, 2004.
2. Reineck, K., Examples for the Design of Structural Concrete with Strut-and-Tie Models, ACI SP-208, 2002.