

두꺼운 기초의 스트럿-타이 모델

Strut-and-Tie Model for Thick Footing

천 성 철* 홍 성 곁** 오 보 환***

Chun, Sung Chul Hong, Sung Gul Oh, Bohwan

ABSTRACT

A thick footing is a D-region and it cannot be designed according to Bernoulli's beam theory. Using a smeared nodal zone and a fan, the thick footing is modeled based on an actual stress flow. A design procedure for determining a depth of the footing and an amount and a development length of reinforcement is provided.

요 약

두꺼운 기초는 응력교란 구역으로 보 이론에 근거한 설계가 적용될 수 없다. 실제 힘의 흐름을 분산 절점영역과 팬을 이용한 스트럿-타이 이론으로 모델링하였으며, 부재 높이와 철근량 그리고 정착 설계 방법을 제안하였다.

1. 서 론

초고층 건물에서는 높은 축력으로 인해 매우 두꺼운 기초가 사용되며, 현재 건설 중인 주상복합 건물의 경우 3800mm 두께의 기초가 적용된 사례도 있다. 높은 축력을 받기 위해 말뚝이 사용되기도 하지만, 지반상태가 양호한 경우에는 직접기초로 설계된다. 특히 초고층 건물이 위치하는 대도시의 경우 대부분 지반상태가 양호하여 40층 이상의 건물에서도 말뚝 없이 직접기초로 설계된다.

콘크리트구조설계기준에서는 기초를 슬래브와 같은 휨부재로 간주하며, 말뚝이 기둥 가까이 설치된 경우에만 스트럿-타이 적용을 요구하고 있다. 그러나 그림1(b)의 두꺼운 기초는 보 이론이 적용되지 않는 D영역으로 분류될 수 있다. 독립기초 또는 전면기초가 적용되는 실제 초고층 건물은 일반적인 휨부재의 설계 방법과 동일하게 설계되고 있는데, 특히 기둥면을 휨모멘트에 대한 위험단면으로 설정하여 필요한 인장력을 산정하고 철근 정착의 기준으로 삼고 있다. 실제 거동은 이와 상이한데, 기둥 중심부에서 하단 철근에 최대 인장력이 작용한다.¹⁾

기초는 시공 후 손상정도를 육안으로 관찰할 수 없기 때문에 다른 부재에 비해 관심이 결여되어 왔으며, 부재 치수가 크기 때문에 실험적 연구도 많이 수행되지 않았다. 그러나 기초는 전체 구조물의 안전성을 결정하는 매우 중요한 부재로 실제 거동과 힘의 흐름에 근거한 합리적인 설계방법의 제시가 필요하다. 본 연구에서는 분산 절점영역(smeared nodal zone)을 이용한 스트럿-타이모델로 두꺼운 기초를 해석하고 유효깊이와 철근량, 그리고 철근 정착길이 산정 방법을 제시하고자 한다.

* 정회원, (주)대우건설 기술연구원, 책임연구원

** 정회원, 서울대학교 건축학과 교수

*** 정회원, (주)대우건설 기술연구원, 전문위원

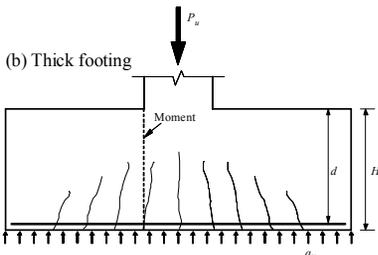
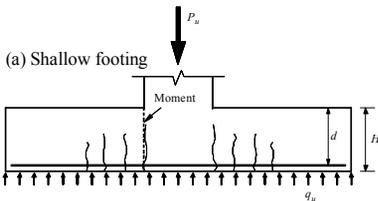
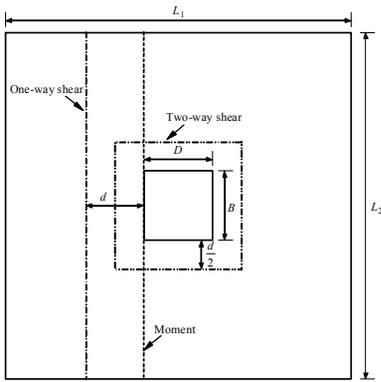


그림1. 직접기초의 위험단면

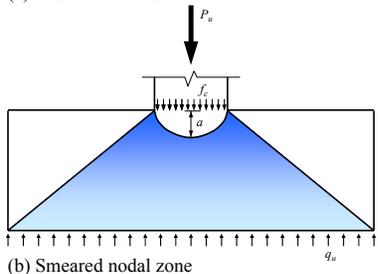
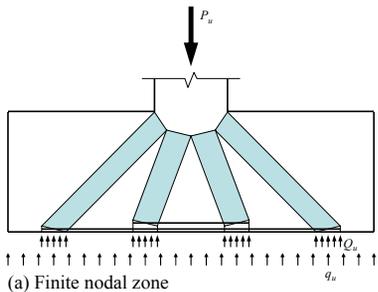


그림2. 스트럿-타이 모델

2. 깊은 기초의 스트럿-타이 모델

그림2는 2가지 방법의 스트럿-타이 모델을 보여주고 있다. 그림2(a)는 콘크리트구조설계기준 부록III에 의한 방법으로 지반의 등분포 반력을 임의의 유한한 절점으로 치환하였다. 모델에 대한 직관적인 이해가 쉽고, 유한한 치수를 가정하기 때문에 절점과 스트럿 그리고 타이의 설계가 용이하다. 그러나 타이의 정착 설계가 실제 거동과 맞지 않고, 확장 절점영역(extended nodal zone) 개념을 채용해도 직선 정착길이가 확보되지 않는다. 불필요한 깔고리 정착이나 기계적 정착을 사용해야하는 모순이 있다.

그림2(b)는 연속적인 지반의 지지력과 철근의 부착을 그대로 모사할 수 있는 분산 절점영역과 팬(fan)을 사용한 모델이다. 실제 힘의 흐름을 그대로 표현할 수 있고, 특히 타이의 정착 설계가 함께 이루어지는 장점이 있다. 그림2(b) 모델을 기반으로 힘의 평형과 기하학적 조건을 이용하여 식(1)의 지배방정식을 도출할 수 있다. 지배방정식이 해를 갖기 위해서는 기초의 유효깊이(d)가 식(2)의 조건을 만족해야 한다. 기둥 하부 절점의 깊이(a)는 식(3)으로 산정할 수 있으며, 타이에 작용되는 인장력은 식(4)로 산정할 수 있다. 타이에 작용되는 단위길이당 부착응력은 식(5)가 되며, 설계 부착강도와 비교를 통해 정착설계가 완성된다.

$$d^2 - \frac{f_c}{4f_{cu}} \left(\frac{L_1}{D} - 1 \right) D^2 = 0 \quad (1) \quad d \geq \frac{D}{2} \sqrt{\frac{f_c}{f_{cu}} \left(\frac{L_1}{D} - 1 \right)} \quad (2)$$

$$a = d + \sqrt{d^2 - \frac{f_c}{4f_{cu}} \left(\frac{L_1}{D} - 1 \right) D^2} \quad (3) \quad T = \int_0^{L_1} U dx = a B f_{cu} = A_s f_y \quad (4)$$

$$\frac{U}{L_2} = q_u \cot \theta = q_u \frac{\left(\frac{L_1}{D} - 1 \right) x}{\sqrt{\frac{f_c}{f_{cu}} \left(\frac{L_1}{D} - 1 \right) x^2 + (d-a)^2}} \quad (5)$$

3. 결론

두꺼운 직접기초는 응력교란 구역으로 보 이론에 근거하여 설계가 적용될 수 없다. 실제 힘의 흐름을 분산 절점영역과 팬을 이용한 스트럿-타이 이론으로 모델링하였으며, 부재 높이와 철근량 그리고 정착설계 방법을 제안하였다.

감사의 글

이 논문은 07첨단도시개발사업 (과제번호: 07도시재생B03)의 지원사업으로 이루어진 것으로 이에 감사 드립니다.

참고문헌

1. Josef Hegger, Alaa G. Sherif, and Marcus Ricker, "Experimental Investigations on Punching Behavior of Reinforced Concrete Footings," ACI Structural Journal, V. 103, No. 4, 2006, pp. 604~613