

## 기둥·보 접합부의 내진설계



김석구\*

## 1. 개요

본 글은 梅田 幹夫의 「철근 콘크리트 건물의 최신 내진설계」에서 발췌하였으며 우리의 내진설계사에 참고가 되도록 이를 소개한다.

1995년 兵庫縣 남부 지진에서 보여진 철근콘크리트계 건물이 새로운 타입의 지진 피해인 기둥·보 접합부의 전단파괴의 대응에 대한 것으로, 파괴에는 이로지 않았지만 헐린 건물이 적지 않은 것에 대해 기둥이나 보와 같이 접합부의 검토를 하지 않으면 앞으로 접합부의 피해가 더욱 더 생기기 쉬운 것을 소개하고, 이것을 막기 위해 필요한 내진설계법을 제시하고 있다.

기둥·보 접합부의 피해는 벽이 많은 강도 저항형의 건물에서는 일어나기 어려운 것에 비해 벽이 적은 순라멘에 가까운 건물에서 일어나기 쉽다. 또 접합부

의 피해는 작용 지진력이나 충모멘트에 저항하는 기둥이나 보의 단면이 작아 그 결과 철근량이 많아진 건물에서 생기기 쉽다.

## 2. 기둥·보 접합부 패널의 지진피해

본래 기둥·보 접합부의 피해 사례는 외국에서는 몇 차례 험자한 사례가 있지만 일본에서는 거의 없었기 때문에 일반건물의 내진설계에서는 기둥·보 접합부의 검토는 보통 실시되고 있지 않았다. 그런데 접합부 피해가 발견된 건물의 대부분은 이를바 신내진설계법에 의해 설계된 건물로서 이 파괴 모드가 취성적인 파괴 모드인 점에서 최근 주목받아 왔다.

현재까지의 것으로 극히 일반적인 기둥이나 보의 단면 치수를 가지는 골조에 대해서 기둥·보 접합부가 전단파괴될 때 라멘의 내진 강도를 구해 보면 보

\* 상회원, (주)쓰리디구조 대표이사

통의 훨 내력시의 강도에 비교해 큰 차이가 없는 경우도 많으므로 앞으로 접합부의 설계에 충분한 주의를 해야 한다는 것을 알 수 있다.

### 3. 기둥·보 접합부 패널파괴의 의미

최근의 연구 성과에 따르면 일반적으로 지진력의 작용으로 기둥·보 접합부가 전단파괴할 때의 라멘 구조에 의한 건물의 내진 강도의 레벨은 비교적 작으므로 다음과 같은 조건이 접합부 패널의 전단파괴와 그때 건물의 내진 강도에 크게 영향을 주었다는 것을 알 수 있다.

- 1) 층 바닥 면적 기둥 비율이 작은 경우
- 2) 층 높이에 비해 보 높이가 작은 경우
- 3) 보의 인장 강재량이 많거나 재료 강도가 큰 경우
- 4) 콘크리트 강도가 작은 경우
- 5) 보가 기둥에 편심될 경우

일반적으로 접합 주택에서는 장면 방향이 순라멘에 가깝고 또 보 높이를 크게 잡는 동시에, 기둥의 차수도 가능한 한 크게 되기 때문에 중고층이 위에서 설명한 1)이나 2)에 해당하는 것이 많다. 또, 이번의 지진동 주파수 특성은 1초 전후의 장주기 성분이 강하기 때문에 중고층 건물에는 입력이 커지므로 접합부에서 엄격한 조건이 걸치게 된다.

현재 철근 콘크리트조에 대해서는 설계에 사용하는 콘크리트 강도가 본래보다 다소 커지는 경향이므로 사용하는 주근의 강도는 더욱 커지고 또, 전단 보강용의 강재강도도 커지는 등, 부재에 대해서는 보다 작은 단면에 의해 생기는 훨 강도나 전단 강도를 설계할 수 있는 조건이 마련되어 있지만 이러한 사항은 기둥·보 접합부의 용력을 보다 한층 더 엄격하게 된다.

### 4. 기둥·보 접합부 전단 설계법

#### 4.1 설계용 전단력( $V$ )

수평력을 받아들이는 보 항복형의 가구에서 기둥·보 접합부에 생기는 전단력  $V$ 는 식(1)과 같이 좌우의 보에 생기는 인장력  $T, T'$ 의 합이며, 위층의 기둥에 생기는 전단력  $Vc$ 를 당기는 값으로서 표시할 수 있다.(그림 1참조)

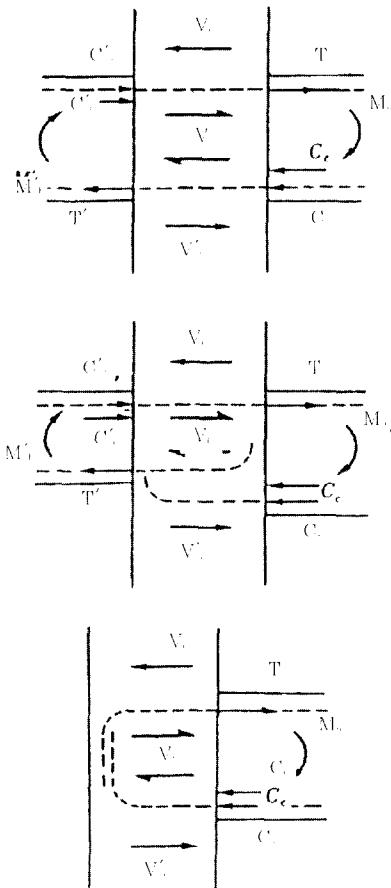


그림 1

$$V_i = T + C_s + C_c - Vv = T + T' - V_c \quad (1)$$

또한  $Vc$ 는 기둥에 생기는 전단력이기 때문에 정확하게는 보 항복 메커니즘에 따른 상태에서의 기둥 전단력으로 얻어지지만, 여기에서는 다음 식 (2)에서 산출해도 좋다.

$$Vc = 2(I_b / L \cdot M_b + I_b / L \cdot M_b) / (I_c + I_c) \quad (2)$$

$M_b, M_b$  : 좌우 보 끝 모멘트(종국 모멘트)

$I_b, I_b$  : 좌우 보의 스팬 길이

$L, L_b$  : 좌우 보의 암 길이

$I_c, I_c$  : 상하 기둥의 길이(보의 중심 사이 높이)

위 식 (1), (2)에서 다음과 같은 것을 알 수 있다.

1) 설계용 전단력  $V_i$ 는 보의 휨 종국 모멘트  $M_y$ 로 나타낼 수 있기 때문에  $M_y$ 를 적용하여  $V_i$ 를 직접 산출할 수 있다.

2)  $V_i$ 는  $T+T'$ 와  $V_c$ 의 차이에 의해 표시하지만  $V_c$ 는 대개  $T+T'$ 에 비례하는 바와 같은 값이 되기 때문에, 결국  $V_i$ 는 대개  $T+T'$ 에 비례하게 되며, 보의 인장 항복력이 클수록 즉 주근량이나 항복점 강도가 높을수록  $V_i$ 는 큰 값이 된다.

3) 동일의  $M_y$ 를 가지는 보에서는 보 높이가 작을수록  $T$ 나  $T'$ 는 커지기 때문에, 결국 같은 기둥 단면에 같은 보유 내력을 가지는 건물에서 보 높이가 다른 경우에는 접합부 패널의 전단력은 보 높이가 작고 주근이 많을수록 커진다.

4) 식의 성격상  $M_b$ 나  $T+T'$ 의 계산에 사용되는 철근의 강도는 규격 항복점 강도는 아니고 실제 항복점 강도에 가까운 이른바 재료강도이고, 또 상단 인장력  $T$ 의 계산에 사용되는 인장 철근의 단면적은 보의 주근에 폭 1m 정도의 슬래브내 철근도 가상할 필요가 있다.

5) 위에서 설명한 여러 사항에서 접합부의 전단 파괴를 방지하기 위해 유효한 보의 철근비의 상한이나 재료 높이의 하한값 설정의 필요성을 지적할 수 있다.

#### 4.2 종국 전단 내력( $V_{ju}$ )

접합부의 종국 전단 내력은 다음의 식 (3)에 표시한다.

$$V_{ju} = k \cdot \Phi \cdot F_c \cdot b_j \cdot D \quad (3)$$

$k$  : 접합부의 형상에 의한 계수

$k=3$  : +형 접합부

$k=2$  : T형 및 T형 접합부

$k=1$  : L형 접합부

$\Phi$  : 접합부의 구속 상태에 의한 계수

$\Phi=1.1$  : 양측 직교 보 설치의 경우

$\Phi=1.0$  : 접합부 횡보상근의 철근 계수( $P_s \cdot \sigma_e / \sigma_n$ )

가 0.1 이상의 경우

$\Phi=0.9$  : 상기 이외의 경우

$F_c$  : 접합부 콘크리트의 전단강도의 기준값

$F_c=0.1\sigma_n$  ( $\sigma_n$ 는 콘크리트의 압축강도)

$b_j$  : 기둥 높이 또는 90도 휨근의 정착부의 수평 투영 길이(그림 2 참조)

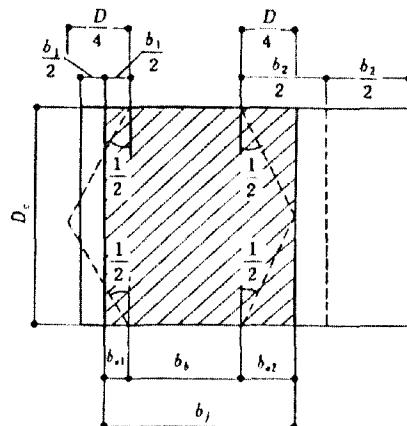
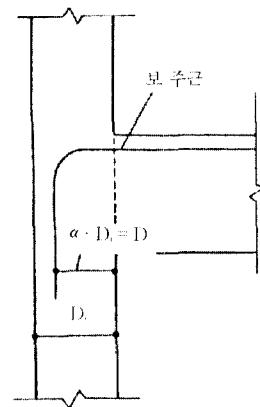


그림 2

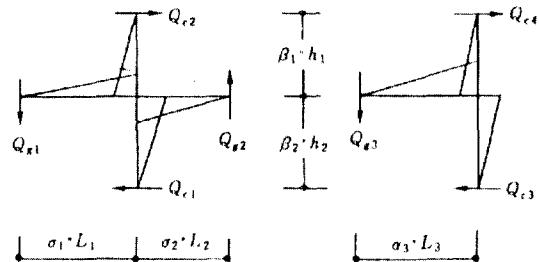


그림 3

$b_j$  : 접합부 유효폭으로 식 (4)에 의한다.(그림 3 참조)

$$b_j = b_o + b_{o1} + b_{o2} \quad (4)$$

식 (3)에서 접합부의 전단 내력의 특징은 다음과 같이 요약된다.

1) 기둥·보의 접합부의 형상은 접합부에 집중되는 기둥과 보의 수에 의해 정해지는 +형, T형, L형으로 분류되지만 그것들의 형상에 의한 내력 차이는 대체로 3:2:1로 큰 차이가 있다.

2) 접합부의 내력은 대체로 (기둥 폭과 보 폭의 평균값)  $\times$  (기둥의 높이)로 표시하는 유효 단면적에 비례한다. 그러나 기둥에 폭이 좁은 보가 편심하여 배달리면 유효 단면적이 꽤 작아진다.

3) 접합부의 내력은 콘크리트 압축강도에 직접 비례하지만 패널존의 보강근 증가로 내력 상승은 작아져서 대개 10% 이내에 그친다. 이것에 대해 내라멘의 내기둥에서 직교 보가 2개 접속하는 경우는 직교 보가 1개인 경우에 비해 약 20%의 내력 상승이 있다.

4) 접합부의 전단 파괴는 주로 콘크리트의 경사 방향의 압축 파괴에 의해 지배되기 때문에 취성적인 경향을 나타내지만 파괴는 현저하게 급격한 것은 아니다.

최근의 연구 성과에 의하면  $\sigma_u$ 가  $400\text{kg/cm}^2$ 를 넘는 고강도 콘크리트의 경우에는 식(3)은 과대 평가되어 F<sub>1</sub>로서  $\sigma_{p,0}$ 정도에 비례하는 쪽이 적합성이 좋다고 한다.

## 5. 기둥·보 접합부의 전단 여유도 제안

내진설계에서 인성에 우수한 기둥, 보나 내력벽을 계획할 때, 각 부재의 붕괴형을 휩 항복형 또는 다른 부재의 휩 항복에서 정해진 메커니즘으로 하는 동시에, 작용 전단력에 대해 적당한 전단 여유도를 설정하여 부재의 전단 설계를 실시하는 것이 일반적으로 행해진다.

설계단계에서는 콘크리트 강도는 어느 정도의 상승을 기대할 수 있는 실제 강도 대신에 안전측으로 설계 기준 강도를 사용하는 반면, 철근의 강도로서는 재료 강도는 아니고, 일반적으로 상정되는 실항복집

강도로서 1.25  $\sigma_u$ 를 사용하는 것으로서 어느 의미에서 여유도를 고려하고 있다.

兵庫縣 남부 자진에 의한 접합부 피해 건물에 관한 분석을 진행하는데 있어서 그 중에는 다음과 같은 정보가 포함되어 있다.

1) 접합부 전단 강도식은 약  $350\text{kg/cm}^2$  이하의 콘크리트 강도를 사용한 비교적 소형 시험체의 데이터를 중심으로 정리해 두고, 콘크리트 강도가 큰 경우 및 실세에 아주 가까운 시험체의 데이터에 대해서는 다소 과대한 값을 주는 경향이 있다.

2) 콘크리트의 설계 기준 강도를 사용하여 바닥 슬래브근을 고려한 보 휩 항복시의 접합부의 전단 여유도  $S_i(V_s / V)$ 를 산출, 실제로 관찰된 접합부의 손상 정도와 비교한 결과,  $S_i = 1.3 \sim 1.5$ 에서도 파괴에 가까운 손상 상태가 확인되고 있다.

3) 건물 표면에 압제가 인정되는 정도의 손상을 일으킨 경우는 콘크리트가 내부까지 압제해서 코어 채취가 불가능하다.

현재 일본건축학회에서는 접합부나 종국 강도 설계법의 검토 그룹이 이러한 문제를 면밀히 검토하고 있으므로, 가까운 장래에 새로운 설계식이 제안될 가능성이 있지만, 그때까지는 당면 설계에 사용하는 값으로서 접합부의 전단 여유도를 이하에 제안한다.

1. RC 접합부의 전단 설계에 사용하는 전단 여유도는 구조특성계수  $D_s = 0.3$ 일 때에  $S_i = 1.4$  정도로 해서,  $D_s$ 가 이것보다 클 때는  $S$ 를 조금 작은 값을 한다.

2. 내진벽을 가지는 구조의 경우에는  $S$ 를 약간 작은 듯한 값을 한다.

또한 개개 건물의 설계에서는 현재의 장소, 설계자 개인 개인이 최신의 정보에 기초해 이러한 접합부의 파괴를 설계 명확성으로서 어떻게 생각하는지, 그 판단에 따라서 전단 여유도를 적절하게 설정할 필요가 있음을 강조해 둔다. ■