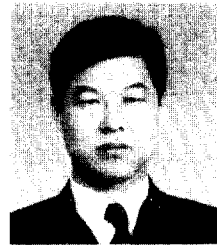


日本の New RC 연구개발 개요(Ⅱ) Summary of New RC Project in Japan(Ⅱ)



김 화 중*

1. 서언

최근 고강도 콘크리트에 관한 관심이 커짐에 따라 지난호(93년 9월호)에 일본의 92년도 New RC 연구 개발개요 보고서 내용 중 일부를 소개한 바 있다. 이어서 이번 호에는 연구성과를 중심으로 간단히 소개하고자 한다.

2. 日本의 철근콘크리트 건물의 超輕量 超高層化 기술 연구성과

2.1 구조성능분과회 성과요약

1) 線材 Working Group

(1) 보의 휨항복 후의 부착 割裂 파괴에 관한 연구

압축강도 800kgf/cm²의 콘크리트와 항복강도 7,000kgf/cm²의 철근을 이용한 보 부재의 正負 교환 역대칭 휨 전단 재하 실험을 하고, 부착 割裂 파괴 性狀에 관해서 검토하여 이하의 결과가 얻어졌다.

① 고강도 RC보의 항복 후의 반복재하에 의한 부착 割裂 파괴에 대해서, 실제부착응력과 부착 割裂 강도의 비로 나타낸 부착지표가, 변형 성능평가에 있어서도 유효한 척도로 되었다. 또, 현저한 소성 변형성능의 저하를 받들지 않는 부착지표치는 1.0정도라고 생각된다.

② 內側筋과 外側筋의 배근이 같은 二段 배근보에서는, 外側筋의 부착응력(전단응력)의 영향으로 내측근에 따른 부착 割裂 균열이 선행해서 생겼다.

③ 二段 배근과 一段배근의 보에서는 반복에 의한 부착 성능지하 性狀의 차이는 명확하지 않지만, 부재의 변형성능은 二段배근의 경우가 早期에 성능이 저하했다.

④ 높이가 큰 보(전단 스팬비가 작은 보)일수록 부착성능이 저하하기 쉽지만, 부착 성능의 저하가 부재의 변형성능에 미치는 영향은 작았다.

(2) 큰 高軸方向力을 받는 기둥의 휨 항복 후의 부착 割裂 파괴에 관한 연구

전단 스팬비 2.0~1.5의 기둥에 있어서, 中子筋에 의해 구속받는 주근의 미끄러짐이 韌性에 미치는 영향에 관해 검토했다. 90년도의 中子筋 없는

* 정회원, 경북대학교 건축공학과 교수

기둥의 결과와 합쳐서 이하의 결과가 얻어졌다.

- ① 주근의 미끄러짐은 個別이 아니라, 群으로써 거의 동시에 미끄러져 나온다는 것을 알았으므로, 中子筋이 없는 기둥의 부착파괴에 의한 靱性を 主筋群으로써 아래의 식으로 평가할 수 있다.

$$R_s = 0.144 - 0.132(\tau f' / \tau_{bu}) (\geq R_e)$$

$$\tau f' = db(2\sigma_y) / (4Lb)$$

$$Lb = L - d - d\gamma$$

$$\gamma = N / (bD\sigma_B / 3) \leq 1$$

여기서, R_s 는 主筋群의 미끄러지기 시작하는 部材角, R_e 는 휨항복시의 部材角이다. τ_{bu} 는 일본 건축학회 『RC건물의 終局強度型 내진설계지침』(以下, 『이하지침』)의 精算式에 의한 부착강도로써, 인장 주근의 평균이다. db , σ_y 는 주근의 經과 항복응력도, σ_B 는 콘크리트강도, L , D , d , b , N 는 각각 시험체의 全長, 전체높이, 유효높이, 폭, 軸力이다.

- ② 中子筋이 있는 시험체에 관해서도, 아래식이 얻어졌지만, 今後 데이터수를 증가시켜서 검토할 필요가 있다.

$$R_s = 0.174 - 0.132(\tau f' / \tau_{bu}) (\geq R_e)$$

(3) 고강도 콘크리트를 이용한 기둥의 휨항복 후의 변형성능에 관한 연구

고강도 RC기둥에 있어서, 전단 span比를 1.5 및 2.0, 軸力比를 0.15~0.5 또는 변동축력으로 5개의 시험체의 실험을 행하여 축력이 變形性能에 미치는 영향과 縱割에 의한 파괴에 관해서 검토했다. 그 결과는 다음과 같다.

- ① 어느 시험체에서도 주근의 압축 항복이 선행하였으며, 콘크리트의 壓壞로 최대내력을 결정했다. 최대내력 발생 후는, 고속력의 것만큼 변형성능이 뒤떨어졌다.
- ② 전단 스판비 1.5의 시험체에서는, 변동축력의 것이 일정축력의 것보다 변형성능이 우수했다.

③ 전단 스판비 1.5의 시험체에서는, 부재중앙에 세로 균열이 발생했다.

(4) 기둥의 압축 휨항복 후의 변형성능에 관한 연구

고층 및 초고층 건축물에서 특히 문제로 되는 기둥의 축방향 내력(縮) 및 수평내력에 주목한 二방향 휨전단 실험을 하고, 부재각 1/100 rad.에서의 작용축력의 영향을 검토했다. 그 결과는 다음과 같다.

- ① 定軸力 증분 type 시험체의 축력 $0.3bD\sigma_B$ 부터, $0.6bD\sigma_B$ 에 있어서 벡터 최대 모멘트는 축변형의 진전에도 상관없이 저하하지 않았다.
- ② 高軸力하에서는, 반복 재하를 많이 받은 시험체의 휨내력이 크게 저하했다.
- ③ 二방향 四葉型에서 변형 履歷의 半分側에서 고속력으로 한 변동축력 시험체의 압축 파괴시 누적 부재각은, 동일 정축력 시험체의 압축 파괴시 누적 부재각의 약 2배로 되었다.
- ④ 동일 축력에서 압축파괴에 이르는 경우, 압축파괴시의 전체 축변형은 거의 같은 값이 되었다.

(5) 최소철근비의 규정에 관한 연구

휨응력이 지배적인 고강도 RC부재(주로 보)에 있어서, 적절한 균열폭 제어를 하기 위해, 비교적 철근량이 작은 RC보의 균열 폭과 철근 응력도의 관계를 검토했다. 시험체는 4개으로써, 그 중 3개의 주근량은, 균열 발생시에 균열폭을 0.3mm 정도로 되도록, 그 때 주근의 응력이 $2,000\text{kgf}/\text{cm}^2$ 이 되도록, 다른 1개는, 균열발생 모멘트가 항복모멘트의 2/3가 되도록 결정했다. 실험에 의해, 아래의 결과가 얻어졌다.

- ① 균열발생 後도, 급격하게 변형이 진전하지 않고, 균열폭의 제어(0.3mm)는 최소철근비를 결정하는 요인으로서는 되지 않지만, 철근량이 적어지면 균열폭이 불규칙하게 커지는 경향이 있다.
- ② 균열폭은 기존의 균열 평가식으로 안전하게 평가할 수 있다.

2) 面材 Working Group

(1) 해석모델의 작성 및 paramatrix study

91년도에 예정된 실험시험체 중 전단 파괴 실험형의 내진벽을 대상으로 하여 벽철근비를 변동시킨 시험체 5개의 전단내력에 관해서 유효요소법에 의한 해석을 하고, 해석법의 적합성을 검토하였다. 그 결과는 다음과 같다.

균열 콘크리트의 주응력-변형 관계로써, 종래의 보통강도 콘크리트용의 構成則을 이용한 해석과, 고강도 콘크리트 평판실험으로 얻은 野口가 제안한 構成則 모델을 채용하여 개선한 해석을 하고, 최대내력 時의 舉動을 실험결과와 비교검토하였다. 그 결과, 壁橫補強筋이 항복하고 있는 시험체에서는 적합성이 약간 나쁜 것과 壁橫補強筋量의 증가에 의한 내력상승의 경향을 대부분 추적할 수 있었다.

(2) 2방향 변형을 받는 내진벽의 변형 성능에 관한 연구

본 연구에서는 連層 耐震壁의 2방향 재하 실험을 하고, 2방향 변형을 받은 내진벽의 舉動을 파악하여 변형의 한계에 관해서 검토했다. 그 결과는 다음과 같다.

1방향 재하의 시험체에 비해 2방향 H형 재하의 시험체는, 변형능력이 저하했다. 2방향 재하한 시험체 중에서도 기둥의 구속량이 작은 시험체 및 軸力比가 큰 시험체는 변형능력이 떨어지며, 壁板의 拘束을 했던 시험체는 약간 변형능력이 향상하였다. 2방향 변형을 받는 내진벽은, 面外 방향 加力時에도 側柱와 壁板의 압축변형이 증대하고, 壁板의 압축변형이 최대강도시의 변형을 넘어서 응력을 유지할 수 없는 변형에 달했을 때에 壁板의 壓壞가 생기고 이 壓壞가 변형능력을 규정한다고 생각되어졌다. 또, 이 面外방향 加力時에 있어서 壁板의 軸力부담이 側柱의 조기 壓壞를 방지하고 있다고도 말할 수 있었다.

(3) 壁板 전단압축 파괴형 내진벽의 휨 성능에 관한 연구

고강도 철근 콘크리트조 내진벽의 정적 加力 실험에서, 휨항복 前後에서 橫補強筋의 항복 혹은 壁板의 전단압축파괴가 생기는 내진벽의 파괴狀, 復元力 특성(항복점강성, 강도, 韌性)등을 명

확히 하고, 그 설계식을 검토했다. 그 결과는 다음과 같다.

① 4개의 시험체에서는 각각, 전단 補強筋의 破斷, 壁板의 壓壞 등의 脆性的인 파괴가 생겼다. 그러나, 側柱는 전진해서, 모두 軸力을 충분히 유지하여 안정하고 있었다.

② 전단강도는, $v_c=3.68\sigma_B^{1/3}$, $\cot\phi=1.5$ 로 함으로써 학회지침식에 의해 평가할 수 있었다.

③ 내진벽의 누적 변형 능력은, 휨강도시 전단력에 필요한 콘크리트 강도 유효계수가 적을수록 커졌다.

(4) 내진벽의 전단강도에 관한 연구

고강도 RC전단형 내진벽의 靜的加力 실험을 행하여 학회지침의 전단 강도식의 적합성(콘크리트 압축강도의 유효계수, 트러스 機構의 콘크리트 壓縮束의 각도, 補強筋量의 上限値 下限値), 파괴형상, 復元力 특성의 모델화 등에 관해서 검토를 했다. 그 결과는 다음과 같다.

① CEB-draft의 $v=3.68\sigma_B^{1/3}$ 의 값을 이용하면, 전단 補強筋比가 작은 시험체에서는 $\cot\phi=2.0$ 으로 하면 계산치는 실험치와 일치하지만, 전단보강근비가 큰 시험체에서는, $\cot\phi=1.0$ 으로하면 계산치는 실험치와 잘 일치한다. $\cot\phi$ 에 관해서는, 전단 補強筋比의 증대와 함께 $\cot\phi=2.0 \rightarrow \cot\phi=1.0$ 으로 변화시키면 아주 적합한 결과로 되었다.

② 고강도 RC내진벽의 復元力 특성은, 잔류변형이 작은 S자형 에너지 흡수능력이 낮은 履歴狀으로 되며, $M/Q \cdot d=1.33$ 에서는, $R=7.5 \times 10^{-3} \text{rad}$, $M/Q \cdot d=2.0$ 에서는 $R=10 \times 10^{-3} \text{rad}$ 부근에서 압축 전단보강근의 壓壞에 의해 전단내력에 이르렀다. 또, 전단 補強筋比가 0.53%이하의 시험체에서는 壁橫筋이 항복했다.

③ 벽 전단 補強筋의 증가와 더불어, 전단력은 증가했지만, 전단 補強筋比가 0.62% 이상의 시험체에서는 증가의 정도가 완화되었다.

3) 전단 Working Group

(1) 기둥의 전단성능에 관한 연구

압축강도 $600\text{kg}/\text{cm}^2$ 의 콘크리트를 이용한 RC 기둥의 전단 파괴性狀을 실험적으로 파악하고, 마지막에 전단내력의 설계식과의 적합성에 대해서 검토하며, 아래의 결과를 얻었다.

- ① 전단내력은, $P_w\sigma_{wy}$ 의 증가와 함께 커지지만, 그 증가율은 $P_w\sigma_{wy}$ 의 증가에 대해서 작아진다. 또, $P_w\sigma_{wy}$ 가 큰 경우는, 軸力에 의한 영향도 작아졌다.
- ② 전단 補強筋의 $P_w\sigma_{wy}$ 가 같을 때, σ_{wy} 을 높이고 지름을 작게 했던 것은, σ_{wy} 를 낮추고 지름을 크게 했던 것보다, 전단내력은 작아졌다.
- ③ 학회지침의 전단 耐力式의 A법 및 B법에 의해 계산치와 실험결과를 비교하면, 실험치에 대해서 A법은 낮고, B법은 높은 값으로 되었다. 또, A법 및 B법에서는 軸力을 고려할 수 없으므로, 실용적인 형으로 축력의 효과를 도입하는 수법을 다시 검토할 필요가 있다. 또, 마지막에 전단내력을 若林 南式으로 검토하는 경우, 실험번호에 대한 내력의 性狀은 내력 평가할 수 있지만, 계산치의 쪽이 약간 높은 경향이 있었다.

(2) 보의 전단성능에 관한 연구

학회지침의 A법에 의해 고강도 RC보의 전단설계를 할 때에, 강도형 부재의 전단강도 산정시의 유효 압축강도에서, 韌性型 부재에 대해 유효압축강도의 低減의 방법까지를 통일적으로 취급하여, 적절한 유효압축 강도 산정법을 얻는 것을 목적으로 실험적인 검토를 하였다.

보 부재의 전단 설계시에 기본으로 되는 유효압축강도로서, 강도형 부재에 이용되는 $v_0f_c=3.68f_c^{0.667}$ 식을 이용한다면, 학회지침의 A법에 나타나는 유효 압축강도저감범에서, 설계에 필요한 精度의 韌性型 부재로써의 보의 전단설계가 가능하다는 것이 명확하게 되었다.

(3) 有孔보의 전단실험(1)

고강도 RC의 有孔보에 관해서, 학회지침의 전단설계식을 적용할 수 있는지의 여부가, 3개의 구

멍을 근접시킨 경우의 영향 및 구멍을 보강하는 斜철근의 필요정착길이에 대해 검토되어졌다. 그 결과는 다음과 같다.

- ① 고강도 RC의 有孔보의 전단강도는, 구멍이 한개인 경우에는 학회지침의 계산치를 상당히 초과했다.
- ② 3개의 구멍을 근접시킨(구멍직경의 1.3배의 간격) 시험체에서는, 구멍끼리를 연결한 강사 균열에 의해 내력이 저하하였다.
- ③ 본 연구에서 이용한 簡略型의 斜철근은 구멍의 주변을 감싸는 구조이었던 때문에, 꺾어서 휘게 한 휨정착 부분에 따른 균열이 발생하고, 학회지침의 보강방법에 비해 전단강도가 적었다.

(4) 有孔보의 전단실험(2)

고강도 RC의 有孔보의 전단내력에 대한 開孔의 영향과 韌筋의 補強효과에 관해서 검토하여 아래의 결과가 얻어졌다.

- ① 開孔보의 전단내력은 無開孔보에 비해 약 45%의 값으로 되었다.
- ② 韌筋으로 開孔보강한 경우, 無補強의 경우에 대해서 약 30%의 내력 상승이 보여진다.
- ③ 실험치와 荒川 mean식, 荒川 minimum식, HFW의 제안식, 廣澤式에 의한 전단내력의 계산치와의 비는 0.94~1.21로써 비교적 좋은 대응을 나타내었다.

(5) 13,000 kgf/cm²급의 전단 補強筋을 이용한 기둥의 전단 성능에 관한 연구

압축강도 $600\text{kgf}/\text{cm}^2$ 의 콘크리트와 항복강도 $13,000\text{kgf}/\text{cm}^2$ 의 고강도 전단 補強筋을 이용한 RC기둥의 전단 파괴性狀을 실험적으로 검토했다. 그 결과는 다음과 같다.

- ① 전단 補強筋의 $P_w\sigma_{wy}$ 가 커지면 최대내력은 커지는 경향이 있었지만, 그 증가율은 $P_w\sigma_{wy}$ 의 증가에 대해서 작았다. 또, $P_w\sigma_{wy}$ 가 커질수록 최대내력 이후의 내력의 저하율은 작고, 변형 능력은 커졌다. 또, $P_w\sigma_{wy}$ 이 일정하더라도, 外周 스파이럴근만의 것에 대해, 圈型에 배근된 것은 내력 및 변형능력이 함께 커졌다. 그러나, 어떠한 시험체에서도 전단 補強筋은 항복 응력도에 달하지 않았다.

② 중국 진단내력은 부착 割裂 파괴 강도식에 의해 대략 평가할 수 있었다. 그러나, 主筋 및 진단 補強筋의 응력 분포 등과 관련하여, 또 그 타당성을 검토할 필요가 있다.

(6) 보의 진단성능에 관한 연구

학회지침의 A법으로 RC보의 진단강도를 평가하려고 할 때, 트러스 機構에서의 콘크리트 압축 응력 σ_c 와 콘크리트 유효 압축강도 $v_c f_c$ 가 파라미터로 되어 있지만, 이것들은 실험과의 대응으로 결정할 수 밖에 없다. 그런데, 여기서는 실제의 물리현상을 충실하게 나타내는 모델로써, Kupfer에 의해 제안된 방법을 개량·확장한 모델로 하여 보의 진단 강도를 산정했다.

그 결과를 진단 WG가 收拾한 보의 실험결과와 비교한 결과, 꽤 높은 精度로 산정할 수 있다는 것을 알았다.

(7) 13,000kgf/cm²급의 진단 補強筋을 이용한 보의 진단 성능에 관한 연구

콘크리트 강도 1,420kgf/cm² 程度의 고강도 콘크리트를 이용해서, 진단 補強筋比와 항복강도의 積 $P_w f_{wy}$ 를 약 40에서 160kgf/cm²의 사이에서 변화시킨 보 시험체 4개에 관해서 逆대칭 加力 실험을 하였다. 그 결과는 다음과 같다.

어느 시험체에서도 휘항복은 생기지 않았다. 가장 진단 補強筋比가 큰 시험체에서 최대강도시에 부착 割裂 균열이 관찰되었지만, 남은 시험체 3개에 관해서는 전형적인 진단파괴의 양상이 나타났다.

중국 강도지침 A법에 있어서, $v\sigma_B = 3.68\sigma_B^{0.667}$ 로 해서 구한 진단 강도 계산치에 대해서, 실험에서 얻어진 최대강도의 비는, 최대강도시에 부착 割裂 균열이 관찰된 가장 진단 補強筋比가 큰 시험체를 제외하면 0.66~0.74 程度이며, 꽤 작은 값이 되었다.

(8) 기둥의 진단 강도식의 精度

기둥 부재에 대한 진단 강도식을 제안할 때 기초적 검토자료를 얻기 위해, 콘크리트 강도가 $\sigma_B = 1,200 \text{ kfg/cm}^2$ 程度까지의 철근 콘크리트 기둥의 진단실험 데이터를 이용해서, 기존의 8종류의 진단 강도식(학회지침 A법, B법, 修正 荒川

mean식, 修正 南式, ACI식, NZS식, CEB식, CSA식)의 내력 예측 精度를 검증했다. 그 결과는 다음과 같다.

① 8개식 모두 계산치가 실험치에 대해서 안전측으로 평가될 수 있는 傾向이 있다. 또, 학회지침 A법, B법, 修正 荒川 mean式 및 修正 南式에서는 콘크리트 강도가 높아질수록 실험치에 대해서 과대평가가 되었다.

② 학회지침 A법 및 修正 荒川式에서는 콘크리트 강도가 예측 精度에 미치는 영향은 작지만, 학회지침 B법 및 修正 南式에서는 콘크리트 강도가 높아질수록 실험치에 대해서 과대평가로 된다.

③ 학회지침 A법, B법, 修正 荒川mean式 및 修正 南式에 관해서는, 진단 보강강도 강도가 예측 精度에 미치는 영향은 두드러지게 보이지 않았다.

(9) 보의 진단 강도식의 精度

기존의 보에 관한 진단 실험결과를 사용해서, 현재 잘 사용되는 진단 보강 산정식의 精度를 검증했다. 대상으로 했던 진단 강도 산정식은, 학회지침 A법, 학회지침 A법 - CEB(콘크리트 유효 압축 강도는 CEB - MC 90 드레프트式, $v \cdot \sigma_B = 3.68 \cdot \sigma_B^{0.667}$ 로 했다.), 학회지침 B법, 荒川mean式이다. 그의 결과는 다음과 같다.

실험치와 진단 강도 계산치의 비는, 전 데이터를 대상으로 했던 경우는 평균치로 0.90~1.25, 진단 파괴 데이터에 대해서는 평균치 1.06~1.27로써, 휘과 진단파괴는 대략 양호하게 판별되었다. 여기서, 진단 파괴의 판정은, $Q_{exp}/Q_f - Q_s/Q_f$ 관계에서 $Q_{exp}/Q_f < 1$ 인 동시에 $Q_s/Q_f < 1(Q_{exp} : \text{실험치}, Q_s : \text{진단 강도계산치 } Q_f : \text{휨강도계산치})$ 로 했다. 또, 휨 중국강도의 계산에는, 건축센터지침 약산식을 이용했다. 진단파괴 데이터에 관해서는, 학회지침식에 의한 경우는, 평균치로 1.06~1.12로서 실험치를 꽤 精度가 좋게 평가할 수 있지만, B법에서는, 폭이 크고, 또, 荒川mean式에서는, 1.27로써 진단 강도를 아주 낮게 평가했다.

4) 접합부 · 架構 Working Group

(1) 2방향 재하를 받은 직교 보가 붙은 기둥 보 접합부의 전단성능에 관한 연구

압축강도 $600\text{kgf}/\text{cm}^2$ 의 콘크리트와 USD 685 class의 주근을 이용하며, 약 1/2.5 스케일의 슬라브가 있는 입체기둥 보 접합부 2개(內柱 1개, 外柱 1개)를 제작하고, 2방향 지진력을 고려하여, 2방향 정적 正負 반복 加力을 하였다. 시험체는, 보 항복형으로써, 1방향 加力時 보 휨항복과 접합부 파괴가 동시에 생기도록 설계했다. 실험에서는 계획대로, 보 휨항복 직후에 접합부 파괴가 생기는 파괴 모드가 되었다. 이 때 접합부 강도에 대해서 아래의 결과가 얻어졌다.

- ① 직교보, 슬라브의 효과에 의해 접합부의 최대 전단응력도는, 기존의 평면 기둥 보 접합부의 접합부 전단응력도와 비교해서 꽤 높고, 內柱 type에서는, $0.37\sigma_B$, 외주 type에서는 $0.20\sigma_B$ 로 되었다.
- ② 2방향 加力의 영향에 의해, 主 방향으로 加力한 다음 보 끝 변위를 가진채로 직교 방향에서도 加力하면, 主방향의 접합부의 전단력은 20% 程度 저하했다.

(2) 外柱 · 보 접합부의 전단 성능에 관한 연구

고강도 RC의 外柱 · 보 접합부의 전단 저항性狀에 영향을 주는 모든 요인 중, 재하 履歷(一방향 단조 재하, 正負 교반 반복 재하), 접합부 판넬 내의 Hoop근량, 기둥 軸力 레벨(변동 軸力을 포함), 콘크리트 강도와 Hoop근 항복 강도가 미치는 영향에 대해서 검토했다. 그 결과는 다음과 같다.

- ① 접합부의 전단 균열 발생하중은 인장 주응력 설에 의해 안전하다고 추정할 수 있었다.
- ② Hoop근량은 0.2%에서 0.4%로 증가시키면 접합부의 전단 강도는 7% 상승했다. 또 Hoop근은, 접합부의 전단 변형의 억제, 主筋이 접합부에서 빠져나오는 것의 억제에 효과가 있지만, 이 효과가 나타나는 것은 변형각 1/50 이후였다.
- ③ 主軸力은, 접합부 전단 변형의 억제, 접합부 내 보근 부착응력의 확보에 효과가 있으며, 또 접합부 전단 강도도 훨씬 상승시켰다.

(3) 外柱 · 보 접합부의 전단 성능에 관한 연구

압축강도 $500\sim 800\text{kgf}/\text{cm}^2$ 의 콘크리트와 SD70 상당의 고강도 철근으로 된 外柱 · 보 접합부에 관해서, 실시설계와 같이 보 항복 선행형으로 했던 경우의 지진시 전단 저항성능을 파악하는 것을 목적으로 해서 실험적으로 검토를 했다. 그 결과는 다음과 같다.

- ① 기둥 보 · 접합부의 종국 전단내력은 콘크리트 강도 $900\text{kgf}/\text{cm}^2$ 이하의 전역에 걸쳐서 $\tau_u = 1.85 \times \tau_B^{0.655}$ 로 나타났다.
- ② 90도 절곡 휨철근의 정착내력으로써 side splite 파괴 이외에 斜 割裂 파괴에 의한 평가가 필요했다.
- ③ 2단 배근 휨 정착의 각 단의 정착내력은, 1단 배근의 정착내력보다 대폭 저하하므로, 설계에서는 이것을 고려할 필요가 있었다.

(4) 內柱 · 보 접합부의 정착 · 부착성능에 관한 연구

內柱 · 보 접합부 內를 통해서 배근된 보 주근의 과도한 부착 성능저하를 방지하기 위해, 학회지침에서는, 부착 성능저하의 제한으로써 부착지표 μ 가 제안되고 있지만, 고강도 RC에의 적용에 관해서는 불명확하다. 그러므로, New RC 內柱 보 · 접합부의 보 휨항복 후의 보 관통 철근의 부착 성능저하에 대해서 실험적으로 검토했다. 그 결과는 다음과 같다.

- ① 전단 내력 餘裕度(τ_{py}/τ_{max} , $\tau_{max}=6\sqrt{\sigma_B}$)가 0.5~0.75 정도의 전단입력에 대해서도, 보 휨항복 후의 보 주근 부착 성능저하에 의해, 콘크리트 · 전단보강근의 압축응력 집중이 생겨서, 보통 강도 접합부 이상으로 콘크리트 유효계수 ν 의 저하가 두드러지며, 접합부 파괴가 助長된다.
- ② 본 실험의 범위에서는, 전단 입력 레벨과 보 휨항복시 부착응력도 사이에는 특히 명확한 관계는 보이지 않았다.
- ③ 접합부 파괴 판정 지표 J와 부착지표 μ 에 의한 파괴모드의 판별에서는, B·J형 파괴 zone이, $\mu=10$ 이상에서 부착 성능저하를 고려한 線에 따라 오른쪽이 높아지는 경향을 나타내고 있다. (μ 의 증가와 함께 J도 증가)

(5) 外柱·보 접합부의 정착·부착성능에 관한 연구

고강도의 철근을 折曲 정착에 이용하는 경우에는, 정착내력을 확보하기 위해 큰 반경이 요구되기 때문에, 직교보의 철근이 절곡의 内側을 통하는 경우에는 직교보의 배근법이 규제되는 것으로 된다. 때문에 직교보와의 시공성을 높이는 정착수법의 개발과 구부림 취 배근에 수반하는 정착내력 저감 요인에 대해서 검토하는 것을 목적으로 하였다.

- ① 90도 折曲 정착철근의 内法반경을 철근 지름의 2~3배로 하는 것이 실용상의 가능성이 있다.
- ② 2단 배근에서는, 1단보다 2단 철근 쪽이 정착내력은 낮고, 또 2단배근의 내력은 대폭 저하하였다.
- ③ 折曲근이 병렬하는 경우 내력의 영향은 아주 작아졌다.
- ④ 철근지름의 2.5배의 정착강관은 통상의 기둥보 크기의 콘크리트 피복두께에서는 정착과 괴하지 않았다.

(6) 1층 기둥과 기초의 콘크리트 강도차의 영향에 관한 연구

고층 RC 구조에서는 고강도 콘크리트를 이용하는 1층 기둥에 비해서, 기초보는 보통 강도의 콘크리트를 이용하는 것이 일반적이다. 이 강도차가 접합부, 또 기둥의 휨압축과괴性狀에 미치는 영향을 명확히 하는 것을 목적으로 해서 실험적으로 검토했다. 그 결과는 다음과 같다.

- ① 기초보의 형상이 + 인 경우는, 본 연구의 강도차 程度(기둥 600 kgf/cm², 기초는 200 kgf/cm²)라면, 一軸 압축시 및 휨 압축시에 있어서 특히 문제로 되는 것은 아니라고 생각된다.
- ② 기초보의 性狀이 T형, L형인 경우는, 一軸 압축시에 있어서 기둥 부분보다 먼저 기초보 부분에서 파괴되는 것이 예상되며, 高軸 압축력이 작용하는 隅角部와 隅部の 설계에 있어서는 기초보의 지압 강도의 검토를 행하거나, 뺀어나온 부분을 놓아 + 자형으로 하는 것 등이 바람직하다고 생각된다.

2.2 91년도 설계 분과회 연구 성과 요약

1) New RC 구조에 적합한 건물의 상세한 설계 및 검토

89년도에 試設計된 60층 주택(純 라멘, 내력벽 라멘), 40층 사무소(더블 튜브, 튜브 코어), 25층 사무소(純 라멘), 15층 사무소(純 라멘, 내력벽 라멘)에 대해서, 90년도에 지진 動荷重 WG에서 제안된 “표준 입력 地震動”에 의한 응답, 및 同년도에 설계법 WG에서 제안된 설계법 案에서 나타낸 “설계 criteria”에 대해서 검토를 행하였다.

- ① 1차 탄성 주기 4초전후의 60층 주택, 40층 사무소 건물이 표준 입력 地震動에 의한 응답은, 최대속도를 50kine으로 한 기준과에 대한 응답과 비교해서 약간 크게 나타났다. 응답 criteria(층간 변형각은 1/100 이하)는 만족했다. 25층 사무소(1차 탄성주기 2.5초 전후), 15층 사무소(1차 탄성주기 1.5초 전후)에 대해서는 기준과에 비해서 특히 큰 응답을 나타내는 것은 없었다.

② 설계 criteria에서 문제로 된 점을 아래에 나타낸다.

- 60층 純 라멘 건물에서는 保證 변형시(정적 설계용 외력 중심 위치에서의 변형각, R이 1/50)에서는 梁의 최대부재각이 1/37로 되었다. 외주 변동 軸力의 응답치는 保證 변형시의 약 75%였다. 保證 변형시의 軸力의 산정법(직교방향의 축력의 평가도 포함)이 중요하다.
- 60층 내력벽 라멘 건물에서는 지진력의 2방향 동시성을 어떻게 설계에 받아들이는가에 관한 해석법, 내력 여유도의 평가법이 문제로 되었다.
- 40층 더블 튜브 건물에서는 R = 1/50시의 각 부 응력에 대해서 내력 여유도를 확보하는 것은 상당히 곤란했다.
- 40층 튜브코어 건물에서는 동적 설계 criteria는 만족하며, R = 1/100에서 C₀=0.25를 확보될 수 없었다. 또, R = 1/50시의 코어 내력벽의 變形能은 1층에서 1/150 정도 필요하였다.

- 15층 및 25층 건물에서는 criteria는 대략 만족되었지만, 고강도 철근을 사용하고 있기 때문에 保證 변형시의 응력이 설계 한계 변형시에 필요로 되는 응력에 비해서 커진다. 保證 변형각의 크기 등에 과제가 있다고 생각된다.

2) 설계법 작성을 위한 해석적 연구

(1) 側柱, 隅柱에 작용하는 軸力 평가에 관한 연구

전년도까지, 3차원 地動의 작용하에 생기는 기동 軸力의 3軸 중첩(重疊) 性狀을 정량화하고, 수평면상에서의 2차원 효과, 鉛直 방향 地動의 부가 효과를 코드화 하기 위해 필요한 기초자료를 제공했다. 거기에서의 검토는 수평방향 진동에 있어서 고차적인 모드의 勵起 효과가 거의 없는 가까운 최하층을 대상으로 한 것이었지만, 금번 연구의 試設計 그룹에 의해, 중간층에서의 변동 축력량이 설계상의 포인트로 되는 사례도 보고되고 있어, 최하층 부근을 벗어난 위치에서의 변동 축력 평가에 있어서 크게 효과를 기대할 수 있는 고차적인 모드의 동적 勵起 효과의 실체를 금년도는 확증하고, 略算을 지향한 그 파악법을 나타냈다.

(2) 동적 검토용 해석모델에 대해서

간소화된 응답 예측의 방법으로써 SRSS법을 이용하여, 가능한 한 精度가 높은 결과를 얻기 위한 방법을 검토했다. 대화형 프로그램을 작성하고, New RC지진동 하중 WG에 의해 제안되고 있는 模擬 속도 응답 스펙트럼을 이용해서 설계의 초기단계에서 최대 응답 변위 및 최대 應答層 전단력을 추정하는 일이 되었다.

(3) 소성역에서 誘起된 비틀림에 관한 연구

다층 건물에 관한 동적 효과에 의한 부가적인 비틀림의 발생 요인 등의 기본 문제를 검토함과 더불어 비틀림이 생기지 않는 범위, 특히 New RC에 의해 중요한 손상으로 되지 않도록 비틀림의 허용범위를 검토했다.

그 결과 梁 항복이 성립한다면, 소성역에서의 비틀림은 대략 무시하는 것이 가능한 정도라는 것이 판명되었다.

(4) 초고층 건물의 지진 응답에 미치는 고차 모드의 영향에 대해서

탄·소성역에 있어서 변위의 定mode를 이용한 모드 합성 수법에 의해, 초고층건물(RC 60층 건물)의 탄 소성 지진 응답에 관한 검토를 했다.

層水平變位, 層間變形에 관해서는 모드 합성 수법에 의해 비교적 精度 높게 추정할 수 있었다. 層剪斷力, 總轉倒모멘트에 관해서는, 값에 대단히 큰 차이가 있다는 것이 전반적인 경향이라 추정할 수 있었다.

(5) 連層 지진벽의 효용에 대해서(벽의 변형 제어능력)

12층, 60층의 모델을 사용하여 검토한 결과, 아래의 것이 명확하게 되었다.

架構 내에 설치된 連層壁에는, 전체 가구의 변형 모드를 중간 변형각 동등의 모드로 규약하는 성능 발휘가 기대된다. 모드를 정량화하는 지표에 의해 관정하면, 모드 제어능의 발휘는 입력 지진동 특성에 의한 영향은 적지만, 벽 경계 梁의 강도분포, 캡플링하는 기둥보 가구의 가구로써의 강도에 의해 변동이 생긴다.

(6) P-Δ 효과에 대해서

P-Δ 효과의 영향을 주기변화, 剛性的의 負 구배화, 높이방향의 剛性분포변화의 관점에서 검토하였다. 그 결과, 주기 증대에 따른 영향은 주기 2초 이상에서, 강성의 負구배화에 의한 영향은 주기 3초 이상에서 컸다. 多質点系 모델에서는 P-Δ 효과에 의한 강성 내력 분포를 고려하면 層部가 상대적으로 강성 내력도 낮아지는 應答이 집중할 우려가 있다. 항복점 이하의 강성의 負구배화의 방지, 剛性, 내력분포의 확보가 필요하다.

3) 설계법의 세부 검토

고강도 콘크리트 철근의 재료 특성을 활용해서 계획하는 New RC조 건축물의 설계에 있어서, 耐震 안전성을 주로 하는 안전성을 확보하는 데 필요가 되는 요건을 정리하며, 설계지침의 原案을 책정하였다.

설계의 기본방침은 아래와 같다.

- ① 보 항복 선행형의 붕괴형을 상정하고, 그 이외의 붕괴형을 허용하지 않는다.
- ② 장기 하중에 대한 검토는 균열, 처짐 등의 사용성의 조건에 의해, 허용 응력도 체계의 설계를 한다.

③ 지진력에 대한 안전성의 검토는 건물의 진 방향에 대해서 1방향으로 한다.

④ 동적 해석 등에 의한 설계로써 상정하는 변형(응답 한계 변형)까지의 내진성 확인을 한다.

⑤ 응답 한계 변형 시의 2배 이상의 에너지를 확보할 수 있는 변형(架構설계 변형)까지의 내진성을 정적인 설계용 하중(0.25 Rt 이상)에 대해서 확인한다.

⑥ 架構 설계 변형시에서의 각 부재의 변형능력을 그 下限値로써 保證한다.

4) 검토용 입력 地震動의 작성

(1) 지진동의 레벨

① 스펙트럼의 기대치

東京을 예로 해서, 지진기반($V_s = 3 \text{ km/s}$)에 있어서 응답 스펙트럼의 위험도 평가를 하여, 현재 제안하고 있는 關東 지진에 상당하는 설계용 스펙트럼의 기초로 되고 있는 小林・翠川 및 石田의 거리 감쇠식에 있어서 마그니튜드 8, 진원 거리 50 km의 기반 스펙트럼과 같은 程度의 강도를 가지는 스펙트럼의 재현 기대치를 구하고, 검토를 하였다.

그 결과, 이 스펙트럼은 재현 기간 150~200년에 상당하는 것을 알았다.

② 레벨 1 지진동과 레벨 2 지진동의 강도 관계

최대속도와 스펙트럼에 관한 재현 기대치의 관점에서 標記의 관계에 관해서 검토했다. 여기서, 레벨 1 지진동과 레벨 2 지진동 각각이 50년과 200년의 재현 기대치에 상당하는 것으로 하였다. 東京을 대상으로 한 검토의 결과, 레벨 2 지진동에 대한 레벨 1 지진동의 강도의 비는, 대략 0.4 ~ 0.55의 범위에 있는 것을 알았다.

(2) 地震動의 방향

수평 地震動의 특성이 방향에 따라 어떻게 변화하는가를 시술했다. 관련 자료에 근거해서, 提案 地震動이 어떠한 것에 대응한다고 생각해야 하는가를 설명하고, 提案 地震動의 정의를 기술했다. 참고를 위해 2방향 입력에 의한 응답 스펙트럼에 관해서도 언급했다.

(3) 提案 地震動의 특성

• 현 제안 地震動의 에너지 스펙트럼 해석 및

비정상 스펙트럼 해석 등을 했다.

그 결과를 표준 설계용 입력 地震動과 비교하고, 제안 地震動의 기본적인 특성을 검토함과 동시에, 해석에 사용할 때의 계속시간의 유의 등에 관해서 논했다.

• 上下動 특성에 관한 기존 문헌 조사

上下動 특성, 上下動 성분과 水平動 성분과의 비율에 관한 기존 문헌의 조사결과에서 이러한 분석에 사용된 관측 기록의 종류, 대상 주기 영역, 과동 증분, 분석 척도 등의 대표적인 指摘 사항 및 上下動을 평가한 다음 유의점을 열거했다.

(4) 설계용 외력 분포 작성을 위한 상세검토

1) 지반-건물의 상호작용을 고려한 설계용 외력 분포

① 모델 해석에 의한 검토

試설계 건물(40층 더블 튜브)을 대상으로 해서, 지반-건물의 상호작용효과(스웨이, 록킹 모델로 나타낸다.)에 의한 외력 분포형에 대한 영향을 고찰했다. 수법으로써는 地震動 특성(用 模擬 地震動 특성) 및 진동계를 진부 확률량으로 나타내고, 지진시의 응답을 응답 최대치의 평균과 평균치 주위의 변동(변동계수로 표현)에 의해 층 전달력 계수의 분포에 관해서 평가했다.

② 고층 건물 설계 사례

실시 물건의 자료를 조사하고, 외력 분포의 형상과 설정방법, 上部 구조, 下部 구조, 지반조건 등의 모든 특성과 기초 고정 및 連成系 모델의 지진 응답 해석 결과에서, 외력 분포와 최대 응답분포와의 관계와 경향을 정리하고, 외력 분포를 적절하게 평가하기 위한 기초자료를 제공하였다.

③ 지반 건물계의 입력 위치

기초구조 WG에서 행해지고 있는 地震動 입력 위치와 건물-지반-杭의 모델화의 영향의 검토의 一環으로써, 양질 지반에 직접 기초형식으로 지진된 경우에, 기초의 根入 효과를 고려한 지진 응답 해석을 했다.

(5) 杭의 극한 강도 산정법의 정리

설계에 잘 사용되고 있는 1층 기초 고정 모델, B2층 기초고정모델, SR 모델, 랜형 모델, 적자 모델 등의 지진 응답 해석결과를 비교하고, 아래 사항의 정성적 경향을 파악하였다.

- 지반, 杭의 剛性 등이 건물의 응답에 주는 영향
- 지진 입력 위치와 건물 - 지반 - 杭의 간략화 모델의 검토(상부의 설계는 1층 기초고정으로 하고 있다. 어떠한 경우에 1층 기초 고정 의 오차가 적은가 등)
- 杭의 擧動, 응력, 杭頭 집중 하중을 기본으로 한 현상의 항의 지진 설계법과의 비교 등 (SR 모델(杭頭 집중 하중)과 켈첸형의 비교)

고층빌딩의 경우에 1층 기초고정 모델, B2층 基礎固定모델, SR 모델, 켈첸형 모델 등의 설계에서 잘 이용되는 모델의 지진 응답 해석결과를 비교하고, 아래의 결론을 얻었다.

1층 고정 모델의 고유 주기는 B 2층 고정 모델의 고유 주기와 거의 같다.

1층 기초 고정 모델에서 동적 해석을 하는 일이 많지만, 공학적으로는, 그만큼 문제는 없는 것이라고 생각된다.

2.3 工法 分科會 연구 성과 개요 요약

(1) 고강도 철근 콘크리트조의 시공 표준안의 검토

고강도 철근 콘크리트조의 시공 표준을 작성하기 위해, 철근 공사 시공 표준 작성 WG 및 콘크리트 공사 시공 표준 작성 WG에 있어서 각각 철근 공사 및 거푸집공사, 콘크리트 공사의 시공표준의 내용에 관해서 심의했다. 목차 내용은 아래와 같다.

제 1 장 총칙(적용범위, 原則, 시공계획, 품질관리계획, 시공체제, 품질관리체제)

제 2 장 철근공사(총칙, 철근의 품질, 철근의 가공, 철근의 이음, 철근의 조립, 품질관리, 철근공사의 시공계획)

제 3 장 거푸집공사(일반사항, 거푸집의 재료, 거푸집의 설계, 거푸집의 치수 허용차, 거푸집의 구조개산, 거푸집의 가공 및 조립, 거푸집 공사의 품질관리, 거푸집의 준치 기간)

제 4 장 콘크리트 공사(총칙, 콘크리트의 품질, 콘크리트의 재료, 調合, 콘크리트의 제조, fresh

콘크리트의 , 사, 콘크리트의 타설, 上面의 마감, 양생, 압축강도의 검사)

(2) 고강도 철근 콘크리트조의 실대 시공실험

고강도 콘크리트 및 고강도 철근을 이용한 건축물에 있어서, 구조체 콘크리트로서 소요의 품질이 얻어진다는 것을 확인함과 함께, 상정된 시공 상의 문제점을 명확하게 하고, 시공 표준 작성을 위한 자료를 얻는 것을 목적으로 실대규모의 시험시공을 했다. 시험체는, 試설계 건축물의 低層階를 모델로 한 1 스패 x 1 스패의 내진벽을 가지는 2층의 實大치수 라멘 架構 시험체와, 5개의 기둥형 시험체(85 x 85 x 290 cm)이다.

콘크리트의 설계 기준 강도는 600 kgf/cm² 및 1,000 kgf/cm²급으로 하고, 600 kgf/cm² 급은 실리카흄 등의 특수한 혼화제를 이용하지 않고, 1,000 kgf/cm²급은 혼화제로써 실리카흄을 이용하였다. 콘크리트의 슬럼프는 21cm, 25cm으로 하고, 혼화제는 고성능 AE 감수제를 사용했다. 철근은, 주근에 고강도 泰徑 이형철근(ρ_y : 685 N/mm²)을 이용했다.

콘크리트의 타설은, 기둥 및 벽의 수직 부재와 梁 및 바닥의 수평부재를 분리해서 타설 VH 분리 타설과, 기둥 및 슬라브筋의 위에서 타설하는 일체타설을 채용했다.

콘크리트의 슬럼프가 21 cm 정도에서는 타설과 결속 둘 다 곤란하다. 타설량에 관해서는, 타설 속도가 25m³/h 정도에서는 문제 없었지만, 이보다 빨라지면, 결속작업이 곤란했다. 또, 고강도 콘크리트에서는 1층 당 20초의 加振을 했지만, 空氣泡이 빠지는 것이 불충분하였다. 또, 고강도콘크리트에서는 바닥마감에 있어서 적절한 살수가 유효하였다.

콘크리트의 온도 상승량은 가장 큰 경우에 약 50℃이며, 최고 온도는 약 75℃였다.

기둥형 시험체에 있어서 코어 공시체의 재령 91일의 압축강도의 평균치는 1,000 kgf/cm²급으로써 1,072 kgf/cm², 600 kgf/cm²급에서는 769 kgf/cm²이며, 600kgf/cm² 급에서는 설계 기준 강도를 충분히 만족하고 있었지만 1,000 kgf/cm² 급에서는 설계기준강도를 약간 만족했다. 또, 架

構 시험체에 있어서 코아 시험체의 압축강도는, 기동형 시험체에 비해서 낮았지만, 설계 기준 강도는 만족하였다. 구조체 콘크리트의 압축강도의 표준 편차는 50~60 kg/cm²이며, 표준양생했던 관리용 공시체의 압축강도와 구조체 콘크리트 강도의 차는 0~180 kg/cm²이며, 600kg/cm²급에 관해서는 충분히 시공할 수 있다는 것을 알았다.

3. 결 과

지금까지 1, 2차에 걸쳐 일본의 New RC Pro-

ject의 연구목적, 체제 및 연구성과에 대해서 간단히 살펴보았다. 이에 대한 자세한 내용 정리는 최종보고서가 입수되는 대로 학회지를 통해서 다시 보고할 예정이다. 다만, 이 연구의 체제를 보면서 내가 느낀 것은 우리도 하루빨리 국가적인 차원에서 건설기술에 대한 종합적인 現 문제점 정리와 이에 따른 연구체제를 마련하여 실용에 직접 사용할 수 있고, 기준이 될 수 있도록 하는 연구의 태세를 갖는 것이 선진국으로 들어설수 있는 지름길이며, 自國을 위한 학문발전에 꼭 필요하다고 사료된다. □

전문서적 보급 안내

「고성능유동화제를 이용한 고강도콘크리트의 제조와 특성 및 활용」

- 본학회 국제워크숍 교재 -

• 주요내용

- I. Achieving and Testing High Performance Concrete
Cement and Superplasticizer Compatibility
Current and Future Applications of High Performance Concrete (Dr. Pierre-Claude Aitcin, 캐나다 Sherbrooke University 교수)
- II. 고강도 콘크리트 제조를 위한 국내의 혼화제 제조 현황 및 특성, 혼화제의 기구(노재성 교수, 충남대학교 정밀공업화학과)
- III. State-of-the-Art on High-Strength Concrete in Japan (Dr. Yasuo Tanigawa, 일본 Nagoya University 교수)
- IV. 고강도 콘크리트 건축구조물의 국내 개발과 활용 및 전망(신성우 교수, 한양대학교 건축공학과)
- V. 고성능콘크리트 및 고강도콘크리트의 개발과 국내 토목구조물의 활용전망(오병환 교수, 서울대학교 토목공학과)

• 교재보급가 : 회 원 : 18,000원

비회원 : 20,000원(문의처 546-5384, 543-1916)