

일본의 New RC 연구개발 개요 (I) Summary of New RC Project in Japan (I)



김 화 중*

1. 서언

최근 고강도 콘크리트를 이용한 고층 철근 콘크리트건물의 건축에 관심이 높아지고 있으며, 先進各國에서도 이에 따른 많은 연구가 진행되고 있는 실정이다.

따라서, 이 글에서 고강도 콘크리트에 관심을 가지고 있는 연구자들을 위해 일본의 연구개발 개요를 92년도 New RC연구개발 개요 보고서를 중심으로 연구목적, 체제, 연구성과에 대해서 간단히 소개하고자 한다.

2. 日本의 철근콘크리트 건물의 超輕量 超高層化 기술의 개발에 대한 연구목적과 체제

2.1 연구목적

최근, 고강도 콘크리트를 이용한 고층 철근콘크리트조의 개발이 행해지면서, 철근콘크리트(RC)조 건축물의 이미지를 변화시켰다. 今後, RC조 건

축물에 있어서 고강도철근 콘크리트의 보급 및 고강도(초고강도)화의 요망은 점점 더 높아진다고 생각되며, 행정적으로도 그 대응을 시도할 필요가 생겼다. 그러나, 이러한 요망에 따라 고강도 콘크리트의 활용을 위해서는, 아래와 같은 문제점을 해결할 필요가 있다.

- ① 고강도 콘크리트의 제조, 품질관리, 시공에 관한 관련기술 자료가 불충분하기 때문에, 재료의 품질에 대한 충분한 보증이 되지 않는 점. 또 초고강도 콘크리트 제조기술 자체가 아직 확립되어 있지 않는 점.
- ② 고강도 콘크리트에 맞는 고강도철근이 실용화되어 있지 않는 점.
- ③ 고강도 재료 및 그것을 이용한 부재 및 가구(架構)의 기본적 성능에 관한 자료가 불충분한 점.
- ④ 고강도재료의 특성을 적극적으로 활용한 설계법이 확립되어 있지 않는 점.

이러한 문제점을 해결하기 위하여 이 연구는 88년도에서 93년도까지의 5개년 계획으로, 産 · 學 · 官에 의해 재료, 제조, 시공, 설계, 행정의 모든 분야에 걸쳐 연구하였고 고강도인 동시에 고품질의 재료에 의한 새로운 RC조 건축물(약칭)의 개발 및 그 보급을 시도하고 있다.

* 정희원, 경북대학교 건축공학과 교수

대상으로 하는 재료의 강도는, 콘크리트 압축강도는 $f_c' = 300 \text{ kg/cm}^2 \sim 1,200 \text{ kg/cm}^2$, 철근 항복강도는 $f_y = 4,000 \text{ kg/cm}^2 \sim 12,000 \text{ kg/cm}^2$ 이다.

2.2 연구체제

연구개발의 실시체제는 그림 1에 나타난 바와 같으며, New RC연구조정 위원회, New기술위원회, RC연구추진 위원회를 비롯해서, 이 밑에 5개의 분과회 및 필요한 working group을 (財) 국토개발기술연구센터에 설치했다. 또, (財) 국토개발기술연구센터는 주택 도시정비공단으로부터 연구위탁을 받은 것과 더불어, (社) 일본건축학회에 연구협력을 요청했다.

3. 일본의 철근콘크리트 건축물의 초경량 초고층화 기술의 연구성과

3.1 고강도콘크리트 분과회 연구 성과 요약

1) 재료 개발 Working Group

(1) 고강도·초고강도 콘크리트용 시멘트의 개발

시멘트 입도(粒度)의 개선에 따른 초고강도용 시멘트의 개발을 실시했다. 유동성과 강도의 면으로 판단하면 기본 시멘트와 조분(粗粉), 미분(微粉)의 적절한 배율은 70:20 정도로 판명되었다. 또, 수분제비(水粉體比)를 20% 이하로 해도 강도는 반드시 증가하지는 않았다. 기본 시멘트의 종류를 바꾸어도 21cm 정도로 유동성이 좋고, 28일 압축강도가 1000 kgf/cm^2 를 넘는 콘크리트를 얻었다.

낮은물시멘트비에 있어서 각종 시판 시멘트의

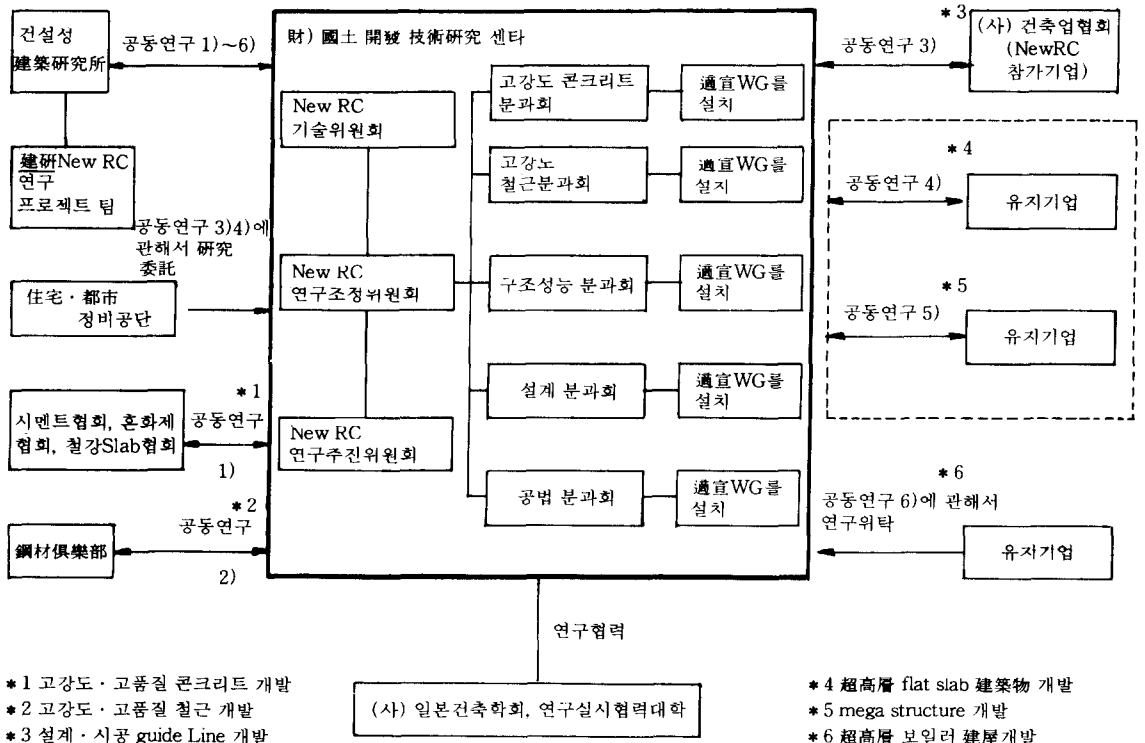


그림 1 프로젝트 실시체제

성상(性狀)에 관해서 조사했다. 수화열(水和熱)은 물시멘트비 30%의 쪽이 40%보다 낮은 값을 나타냈지만, 시멘트 종류별로 본 수화발열(水和發熱)의 경향에는 물시멘트비에 따른 차이점은 보이지 않았다. 모르타르 중 시멘트분의 건조수축은 물시멘트비가 낮을수록 작아졌다. 콘크리트강도와 상관은, JIS 모르타르 강도보다도 저수비(低水比) 모르타르의 강도 쪽이 좋았다.

(2) 고강도 초고강도 콘크리트용 골재의 개발

천연사(天然砂)와 쇄사(碎砂)에 대해서 물시멘트비 30%의 시멘트풀과 모르타르의 압축강도를 비교함으로써 강도에 관한 세골재의 품질 평가를 했다.

그리고 고강도 콘크리트의 압축강도에 미치는 조골재의 강도·탄성계수, 형상, 입도의 영향을 조사해서, 콘크리트에서 높은 강도를 얻기 위해서는, 모르타르와 같은 정도의 탄성계수를 가지는 조골재를 사용할 것, 또, 형상(形狀)은 둥글지 않은 쪽이 유리하다는 것을 알았다.

(3) 고강도·초고강도 콘크리트용 혼화제의 개발

고강도 콘크리트용 고감수성(高減水性) 혼화제의 품질기준, 사용규준을 작성하는 것을 목적으로 한 일련의 실험 중 하나로써, 설계기준강도 1,000kgf/cm²급(水結合材比 22%)의 고강도 콘크리트를 대상으로 해서, 시판 또는 시작(試作)의 고감수성(高減水性) 혼화제 10 개의 상표를 이용해서 공통실험을 했다. 그 결과, 목적으로 하는 고강도 콘크리트를 만드는데 있어서, 고감수성(高減水性) 혼화제의 적용성, 혼화제로서의 실리카흙 및 고로슬래그 미분말(微粉末)의 이점, 결점을 명확하게 할 수 있었다.

그리고 결합재로써, 시멘트 + 고로슬래그 微粉末 + 실리카흙(또는 네오흙)의 3가지 성분계를 이용한 低水 結合材比의 콘크리트의 강도 발현성을 조사했다. 그 결과, 3가지 성분계 결합재를 이용한 콘크리트는 2가지 성분계보다 압축강도가 크고, 특히 장기강도의 여분이 커진다는 것이 확실해졌다.

실리카흙의 혼입량과 풀의 강도성상과의 관계를 명확히 하기 위해, 풀의 물시멘트비, 단위수량,

단위시멘트용적, 水結合材比 등을 일정하게 해서 모르타르를 제작하고, flow值, 휨인장강도, 압축강도등을 조사했다. 단위시멘트 용적이 일정한 조건에서는, 실리카흙 혼입량과 압축강도 사이에 직선관계가 보이며, 이 직선의 기울기에서 실리카흙의 혼입효과를 평가할 수 있다고 결론내렸다.

시멘트를 분말도 8,000cm²/g의 고로슬래그 미분말에서 치환한 水結合材比 25% 및 30%의 콘크리트에 관한 굵지않은 상태의 성상(치환율 0, 30, 50%), 역학특성(치환율 30%) 및 동결융해 저항성(치환율 0, 50%)을 조사했다. 혼화제의 사용율이 거의 같은 경우, 고로슬래그 미분말의 치환율이 증대하면 공기량은 감소하는 경향을 나타내고, 水結合材比 25%에서는, slump flow 속도가 늦어졌다. 압축강도는, 설계기준강도 600 kgf/cm²를 만족하고, 동결융해 저항성도 우수한 결과를 나타냈다.

작년도 개발한 에트린가이트계 특수혼화제는, 水結合材比가 적을수록 응결과 초기강도의 발현이 늦어진다는 것을 알 수 있었다. 때문에, 본 년도는, 응결性狀을 개선한 특수혼화제를 이용해서 작년도와 거의 같은 정도의 검토를 행한 결과, 초기강도의 발현이 개선된 동시에 그 외 성질은 작년도의 혼화제를 이용한 경우와 거의 같은 정도로 되었다.

(4) 고강도·초고강도 콘크리트의 調合 방법

설계기준강도 600kgf/cm²을 넘는 콘크리트의 調合방법의 순서의 확인 및 그것을 위한 기초자료를 얻는 것을 목적으로 하여, 혼화제의 종류 치환율과 단위수량이 콘크리트의 모든 성질에 미치는 영향에 관한 실험적 검토를 했다. 혼화제의 치환율은, 실리카흙에서는 10% 정도, 고로슬래그 微粉末에서는 30~50% 정도의 것이 바람직하다고 짐작할 수 있었으며, 또, 구조체 콘크리트(柱模倣部材)의 재령 13주의 코아 강도와 비교하면, 혼화재를 혼입한 것이 無混入의 것보다 상회하는 결과를 얻었다.

2) 성능평가 Working Group

(1) 고강도·초고강도 콘크리트의 워커빌리티 평가방법

고로슬래그 微粉末을 혼입한 水結合材比 30%의 콘크리트에 대해 진동 타설 응고시간이 조골재의 沈降과 콘크리트의 압축강도에 미치는 영향을 조사한 결과, 고성능 AE감수제의 사용량이 많은 경우에는, 과진동은 조골재의 분리를 가져오지만, 이것에 의한 압축강도의 저하는 생기지 않는다는 것을 밝혔다. 조골재의 분리 저항성은 매트릭스 모르타르의 레오로지 定數를 이용해서 평가할 수 있지만, 통상의 반죽질기 시험에 의해 검출하는 것은 불가능하였다.

또한 배근한 壁狀型 거푸집 안으로 넣을 때의 fresh 콘크리트의 擧動을 점소성 공간요소법을 이용해서 시뮬레이트하는 경우, 해석시에 입력하는 fresh 콘크리트의 레오로지 정수를 배근의 조건에 의해 補正하는 것에 의해 대응할 수 있다는 것이 확실해졌다.

低水 시멘트비의 콘크리트 반죽질기 및 재료분리의 평가시험방법으로써 목적에 맞는 4가지 레벨의 방법을 제안했다. 레벨 1은 현장관리를 위한 간이시험법으로써, 반죽질기 평가시험은 슬럼프치와 슬럼프 flow치의 병용에 의해, 또, 재료분리 평가시험은 슬럼프 시험의 눈어림(目視)에 의한 것. 레벨 2는 조합결정을 위한 시험, 레벨 3은 레오로지 정수에 근거한 평가시험, 레벨 4는 더욱 엄밀한 레오로지 성질의 측정시험이다.

(2) 고강도·초고강도 콘크리트의 역학특성의 평가방법

압축강도시험에 있어서 端面 처리방법으로써의 unbond capping의 적용성을 검토하기 위해서, 콘크리트의 강도레벨을 바꾸고, 컴팩트의 경도 두께, 鋼제들의 內徑이 파괴性狀 압축강도 시험결과에 미치는 영향을 조사해서, 고강도 초고강도의 영역에서는 기계연마에 비해서 unbond capping의 쪽이 전반적으로 압축강도가 높아서 파괴도 국부적으로 되는 결과를 얻었다. 이것에 의해, unbond capping의 쪽이 파괴직전까지 공시체의 변형이 균일하다고 推察된다.

고강도 초고강도 confined 콘크리트의 압축강도와 압축강도時의 변형, 그 이하의 응력-변형관계에 미치는 콘크리트의 물結合材比, 조골재의 종류, spiral筋의 종류와 양의 영향을 조사하여,

spiral筋의 간격이 적어지면 압축강도 및 압축강도시의 변형은 증대하고, 압축강도시 이후도 급격한 내력저하를 만들지 않는 것, 고장력강으로 사용하면, 압축강도시 이하의 내력저하가 거의 없는 것을 판명했다.

고강도 콘크리트의 응력 변형곡선에 미치는 조골재의 입도분포 형상 암석種類의 영향 조골재의 입도 분포를 cap grade로 한 경우, 고응력역에 있어서 포아송비의 증대가 생기고, 응력 변형곡선은 脆性的인 성상을 나타낸다. 구형의 조골재를 이용한 경우에는, 응력 변형곡선은 선형적, 脆性的으로 되며, 최대응력 근접까지 포아송비의 증대는 보이지 않는다. 조골재의 암석종류에 따라 응력 변형曲線의 성상은 다르게 나타났다.

3軸 압축하의 고강도 초고강도 콘크리트의 응력 변형관계식 및 각종 橫補強筋에 의한 confined 효과

고강도 초고강도 콘크리트의 압축靱性的 개선 효과를 정량적으로 파악하기 위해 3軸 압축시의 응력 변형關係에 미치는 콘크리트 강도와 축압의 영향, 1軸 압축시의 거동에 미치는 橫補強筋의 형상과 降伏강도, 공시체의 높이·직경비와 橫補強筋의 양의 영향을 조사했다. 각종 橫補強筋의 보강효율이 얻어졌으며, 또, 橫補強筋의 구속효과는 공시체의 높이·직경비의 증가와 함께 감소하는 것이 명확하게 되었다.

割裂 인장강도에 미치는 형틀의 종류, 공시체의 크기, 적하속도의 영향 및 割裂 인장강도와 純인장강도의 관계를 조사했다. 형틀이 새로운 것과 오래된 것의 차가 割裂강도에 미치는 영향은 인정되지 않지만, 간이형틀을 사용하면 결과의 변동이 현저히 커진다. 공시체의 직경이 10cm에 비해서 15cm의 쪽이 인장강도가 커졌다. 純인장강도는 割裂 인장강도보다 작았다.

고강도·초고강도 철근콘크리트부재의 압축 크리프 거동 콘크리트강도 600 kgf/cm²와 1,000 kgf/cm²을 대상으로, 부재의 압축 creep 擧動에 미치는 부재단면, 재하응력, 분위기 조건의 영향을 검토했다. 재하기간 182일까지의 결과에 따르면, 시험체의 중앙과 표면에서 콘크리트의 변형에는 차가 인정되지 않았다. 크리프 변형은, 재하응

력이 클수록 크고, 콘크리트 강도가 큰쪽이 작고, 또, 밀폐상태보다 건조상태 쪽이 커졌다. 부재단면치수의 영향은 $1,000\text{kgf}/\text{cm}^2$ 급의 쪽이 작아졌다.

(3) 고강도·초고강도 콘크리트의 내구성의 평가

고강도 콘크리트의 耐凍害性은, 대략 같은 정도의 강도가 얻어지는 콘크리트에서도 사용하는 골재, 고성능 AE 감수제의 종류 및 사용량 등, 未解明의 요인에 영향을 받고, 동일 물시멘트비에서도 耐凍害性은 다를 가능성이 높다. 동결 융해 시험 등에 의해 耐凍害性의 확인을 하지 않는 경우에는 連行 공기를 도입해서 耐凍害性의 향상을 시도하는 것이 안전하다고 생각된다.

모르타르바 시험에서 알칼리량 1.2%에서는 팽창하지 않지만, 알칼리량 1.5%로 하면 팽창하는 골재를 이용해서 일본 콘크리트 공학협회에 의한 방법으로 콘크리트에 의한 실험을 한 결과, NaOH를 $2.4\text{ kg}/\text{m}^3$ 가해서 콘크리트의 총 알칼리량을 $5.7\text{kg}/\text{cm}^3$ 로 한 단위 시멘트량 $350\text{ kg}/\text{m}^3$ 의 콘크리트, 또, NaOH를 $1.8\text{ kg}/\text{m}^3$ 가해서 콘크리트의 총 알칼리량을 $6.5\text{ kg}/\text{m}^3$ 로 한 단위 시멘트량 $500\text{kg}/\text{m}^3$ 의 콘크리트와 재령 6개월까지 팽창의 경향은 전혀 보이지 않았다.

(4) 고강도·초고강도 콘크리트의 내화성의 평가

50cm 입방체 시험체를 이용해서 물시멘트비 25%, 35% 및 60%의 콘크리트의 내화性狀을 검토했다. 시험체는 재령 4주까지 옥외에서 습윤 양생을 하고, 그 후 2개월 자연건조시킨 후, 내화실험을 했다. 물시멘트비 35% 이상에서는 爆裂이 생기지 않았지만, 물시멘트비 25%에서는 爆裂이 생겼다. 시험체를 자연건조시킨 후 강조건조시키면 물시멘트비 25%에서도 爆裂이 생기지 않았다. 콘크리트 시험체의 온도분포에서는, 물시멘트비에 의한 차이는 보이지 않았다.

3) 시공 Working Group

(1) 구조체 콘크리트 강도의 평가방법

각종 혼화재를 사용한 물結合材比 30%의 고강도 콘크리트에 관해서, 혼화재를 사용한 경우의

강도 발현성상, 기동 模擬 부재의 온도상승이 강도 발현에 미치는 영향, 구조체 강도와 관리용 공시체 강도와의 관계에 관해서 검토했다. 그 결과, 혼화재를 사용한 경우는 장기에서의 강도 발현이 큰 것, 부재의 상승온도가 낮은 쪽이 장기에서의 강도 증진이 높은 것, 기동 모의 부재에서 2배 코아 강도는 현장수중, 현장 sealed 양생 공시체 강도에 대해서는 85~90% 이상이지만, 온도追隨 양생 공시체 강도에 대해서는 대략 95% 이상이라는 것이 명확하게 되었다.

(2) 고강도 콘크리트 및 초고강도 콘크리트의 시공법

작년도는, 진동기를 이용해서 제작한 고강도 콘크리트($f_c' = 600\text{ kgf}/\text{cm}^2$)의 cold-joint에 관해서 조사하고, 타설 시간 간격이 길수록, 온도가 높아질수록, 다짐이 부족할수록, 또, 슬럼프가 낮을수록 영향이 크다는 것이 밝혀졌다. 본년도는, 진동기를 이용하지 않고 제작한 고강도 콘크리트의 cold-joint의 발생요인에 관해서 검토를 하였다. 영향의 정도가, 타설 시간 > 양생방법 > 타설 방향 > 환경온도 > 타설높이의 순으로 되는 것, 또, cold-joint의 발생방지는, 타설 면의 건조방지가 유효하다는 결과를 얻었다.

설계기준강도 $600\text{ kgf}/\text{cm}^2$ 급에서 슬럼프 18cm와 25cm, 설계기준강도 $1,000\text{ kgf}/\text{cm}^2$ 급에서 슬럼프 25cm의 2가지의 調査에 관해서, 단면 $60\text{ cm} \times 60\text{ cm}$ 의 높이 90cm의 형틀에 2층으로 나누어서 콘크리트를 넣고, 棒形 진동기에 의해 타설을 하고, 加振시간이 콘크리트의 강도, 비중, 氣泡 분포 및 조골재 분포에 미치는 영향을 조사했다. 슬럼프 18cm의 콘크리트에서는 분리를 일으키지 않는 범위에서 진동 타설 시간을 길게 했던 쪽이 밀실하고 強固한 구조체가 얻어지지만, 슬럼프 25cm에서는 加振시간의 영향은 명확하지 않고, 조골재의 분리 沈降도 보이지 않았다.

고강도 콘크리트의 혼합 性狀에 미치는 mix의 형상, 물結合材比, 혼화재의 종류, 재료 투입순서의 영향에 대해 혼합 시간을 3단계로 변화시켜서 검토했다. 혼합의 적정한 시간은, mix의 負荷전류의 經時變化를 조사하여, 전류가 거의 평형상태로 되었을 때로 하면 좋고, 이 시간은, 눈어림으로 콘

크리트로 된 것이 확인되고부터 30~60초후였다.

(3) 고강도 초고강도 콘크리트의 제조시 시공시의 품질조사방법

實大 시공 실험시에 아지테이트車에서 시료를 채취해서 농도차·比重計法에 의해 굵지않은 상태의 콘크리트의 구성재료의 量 추정을, 또, 球引上 시험에 의해 레오로지 정수의 측정에 의해 응고 상황을 파악할 수 있었다.

3.2 高強度鐵筋 分科會 成果 概要

1) 철근개발 역학특성 Working Group

(1) 고강도·고품질 철근의 제조기술의 검토 시작 및 시작품의 기본성능

작년도부터 계속해서, 명료한 降伏棚을 가진 USD685(규격降伏点 685 MPa)와 명료한 降伏棚이 없는 USD980(규격降伏点 980 MPa) 및 전단보강근에만 사용하는 USD785(규격降伏点 785 MPa)와 USD1275(규격降伏点 1275 MPa)의 각각의 고강도 이형철근의 試作을 행하였다. 이러한 고강도 이형철근의 품질규격을 작성하기 위해 필요로 되는 ① 화학성분, ② 實 降伏点的 변동, ③ 破斷 신축 변형, ④ 인장강도와 降伏강도의 비, ⑤ 降伏棚의 길이, ⑥ 휨가공성능 등의 試作品의 기본성능에 관한 자료를 수집 정리했다. 이 결과를 현재 제조 가능한 고강도 철근의 재료특성의 일람표로써 정리했다.

(2) 고강도·고품질 철근의 재료역학 특성

① 가스 壓接性

고강도 主筋의 이음공법으로써, 현재 SD 490 이하의 철근에서 사용되고 있는 가스 壓接 공법이 적용 가능한지의 여부를 검토하기 위해, 고강도 이형철근의 USD685의 D25를 가스 壓接하고, 코브 부착, 0.8d 절삭의 試驗片을 작성하고, 인장시험과 휨시험을 했다. 인장시험에서는 코브부착, 0.8d 절삭의 어느 조건에서도 母體 破斷으로 규격인장강도가 발휘되는 것을 확인했다. 또, 휨시험에서는, 壓接조건의 개량에 의해 작년도부터 壓接部の 휨성능이 향상하는 것을 확인했다. 180도 휨도 일부의 시험체에서는 가능했지만, 45도 휨에서도 일부 折損하는 것도 있어서 변동이 컸다.

② 용접성

고강도 主筋의 현장용접의 가능성을 검토하기 위해, 半自動의 탄산가스 용접용 초고강도의 용접 wire를 개발하고, 이미 실용화되어 있는 KEN-SH 법에 의해, USD685의 D25와 D32의 용접부 공시체를 작성하고, 인장시험과 휨시험을 했다. 실험의 변수는, (1) 開先 간격, (2) 용접전류, (3) 전압, (4) 예열, 余盛의 有無로 했다. 인장시험에서는, 예열·余盛의 부여에 의해 강도의 상승이 보였지만, 모두 모체의 열 영향부에서의 破斷이 일어나며, 용접부 공시체의 인장강도는, 모체의 降伏강도보다 높지만, 모체의 규격 인장강도에는 미치지 못했다. 휨시험에서는, 휨각도 5~15도에서 破斷했다. 따라서, 용접 이음을 구조물에 적용하기 위해서는, 今後, 이음부의 余盛量 및 그 형상의 제어 등 시공방법의 검토와 적용부위의 검토가 필요하다.

③ 고온시의 역학특성

내화설계에 필요한 기초데이터를 얻기 위해, 고강도 이형철근의 USD 685와 USD 980, 전단보강근용의 USD 785 및 비교용의 SD 345의 냉각 후 인장시험을 했다. 그 결과, (1) 고강도 主筋 USD 685와 전단 보강근용의 USD 785는, 가열온도가 섭씨 700도 이상 되면 降伏点과 인장강도가 저하하고 그 저하율은, SD 345보다 조금 커지는 것, (2) off line 열처리에 의해 제조된 USD 980은, 가열온도가 섭씨 600도 이상으로 되면 항복점, 인장강도가 저하하는 것이 명확해졌다. 고온인장시험은, 가열로가 부적합해서 현재 중단 중이며, 今後 실시한다.

④ 철근의 변형 時效 효과시험

강재의 종류에 따라서는, 가공 변형을 받으면 시간경과에 따라서 경화해서 切損하기 쉬운(변형 時效효과) 경우가 있다. 고강도 철근에서 이 효과의 유무를 조사하기 위해, 성분분 아즈롤에 의해 제조한 USD 685의 D32 고강도 이형철근을 공시체로 하고, 10%의 인장 변형을 미리 부여하고, 계속해서 100℃ 1시간(전리爐)의 時效 축진을 한 다음, 인장시험을 했다. 그 결과, 성분 調整아즈롤系 USD 685의 D32에서는, 응력-변형도 관계는, 母材의 인장性狀과 변함없이 변형 時效 硬化는 거의

보이지 않았다.

⑤ 철근의 耐食性

고강도 철근을 이용한 철근콘크리트 부재의 시공에 있어서 異種 鋼材(보통철근 등)와의 混在 사용이 되고 있기 때문에, 접촉 부위 등에 부식이 생기지 않는가를 비이커 안에 콘크리트 內의 환경을 模擬한 $\text{NaCl} + \text{Ca}(\text{OH})_2$ 수용액으로 耐食性 시험을 해서 검토했다. 또, 單體에서의 耐食性도 같이 검토했다. 공시체는, SD345, USD685, USD980으로 했다. 그 결과, 單體로 이용하는 경우의 耐食性은, 종래의 철근과 같은 정도이며, 異種철근의 접촉의 경우에는, 低강도의 철근이 부식해서 고강도의 철근은 防食되는 경향이 있지만, pH 12의 환경에서는, coupling에 의한 부식속도가 0.001~0.019 mm/년으로 대단히 작고, 중성화를 想定한 pH 10의 경우도 0.18~0.20 mm/년으로 單體에서의 부식 시험치와 같은 程度 혹은 그 이하였다. 今後, 未실시한 최대 孔食 깊이의 측정을 금후 실시해서 局部 부식에 관한 검토도 할 예정으로 있다.

(3) 고강도 철근의 이음 성능

① 이음 團體의 성능

고강도 이형철근의 USD685의 나사 철근을 대상으로 해서, 이미 실용화되어 있는 SD390까지의 이음 공법 중, 예폭시수지 그라우트 이음, 및 무기 그라우트 이음을 선정하고, 이음 공시체를 D19, D22, D25, D32, D38, 및 D41에 관해서 작성하고, 일본건축센터의 철근이음 성능 판정기준(1982년)에 규정된 (a) 一방향 인장 시험, (b) 탄성域 반복 시험 및 (c) 塑性域 반복시험을 했다. 시험체는 전부 母材 破斷해서 현행의 이음성능 판정기준에 있어서 강도규격 이외의 항목에 관한 A급과 同等 이상의 성능을 가지는 것이 확실해졌다.

② 部材 中の 이음성능의 검토

고강도 철근의 항복비는 일반적으로 보통강도 철근보다 높기 때문에, 휨 전단력을 받아서 휨 반복하는 부재에서는, 특히 主筋比가 낮아지면 塑性 引지영역이 확대되어진다는지, 주근의 인장변형이 위험단면 부근에 집중할 가능성이 있다. 그래서, 압축강도가 700 kgf/cm^2 의 콘크리트와 항복강도가 $7,000 \text{ kgf/cm}^2$ 정도에서 破斷 신축이 대

략 10%의 주근을 이용하며, 인장 주근비가 0.47%인 1/2 스케일의 철근콘크리트 캔틸레버 시험체 3개를 작성하고, 漸增振幅의 靜的正負를 반복해서 加力을 하고, 위험단면에서의 주근의 인장변형에 관한 진행상황과 그 분포를 측정했다.

실제의 변수는, (1) 항복비(90%와 75%), (2) 위험단면에 기계식 이음 coupler의 有無로 했다. 시험의 결과, 항복비가 높을수록 부재의 휨 위험단면에서 주근의 인장변형의 집중이 커지며, 항복비가 90%의 경우 부재각이 약 1/20으로 주근 破斷이 일어났다. 기계식 이음을 이용하면 보다 두드러진 변형이 집중한다는 것을 알았다.

③ 겹친 이음 규정의 검토

고강도철근의 주근은, 기계식 이음 등에 의해 확실히 이어지는 것이 바람직하지만, 壁筋과 슬라브筋에서는, 시공성과 cost를 고려하면 겹친이음을 사용하는 것도 많다고 想定된다. 그런데 부착정착WG에서는 실시된 고강도 콘크리트의 부착특성의 시험결과를 참조해서 고강도철근을 콘크리트 안에 겹친 이음하는 경우의 겹친 길이를 계산함과 동시에, 겹친 이음 강도의 확인시험 때에 고려해야 하는 항목을 抽出했다.

(4) 고강도 고품질 철근의 제조기준, 사용기준, 품질관리기준의 素案의 작성

금년도까지 試作된 철근에 관해서 얻은, (1) 철근의 제조방법, (2) 화학성분, (3) 역학특성 등의 데이터를 근거로, 고강도 고품질 철근의 규격안의 골자를 작성했다.

2) 철근공법 Working Group

(1) 배근, 정착, 이음의 설계 기본방침의 책정

공법 분과회의 철근공사 시공표준작성 WG와 협력해서, 시공표준의 철근공사의 原案 작성을 했다. (성과 개요 보고는 공법 분과회의 성과로써 보고)

(2) 배근, 정착, 이음의 설계 기본 방침의 책정을 위한 보충 실험

보충실험으로써, 고강도 철근의 휨과 휨반복 실험을 추가해서 실시하는 것으로 했다. 표준화된 시험법이 없기 때문에, 간편한 휨과 휨반복 실험 방법의 가능성을 검토했다. (성과 개요보고는 없

음)

3) Confined 콘크리트 Working Group

(1) 實大 部材의 중심 압축시험

압축강도의 목표치가 800 kgf/cm²의 고강도 콘크리트를 이용해서 47 cm x 47 cm로 圓型의 보강강근을 배치한 정방형 단면의 철근 콘크리트 角柱 시험체 4개와 비교용의 동일 형상의 무근 콘크리트柱 시험체를 작성해서 중심 압축시험을 하는 실험계획을 입안하고, 시험체를 작성했다. 92년에 加力예정으로 하고 있다. 실험결과, 무근 콘크리트柱 시험체에서 채취한 코어를 뺀 실린더 공시체의 강도를 기준으로 검토될 예정이다.

(2) 塑性 힌지의 主筋 방지효과의 정량화

주근과 帶筋에 고강도 철근을 사용한 철근콘크리트柱 시험체 24개를 작성하고, 주근의 좌굴性狀과 橫補強筋에 의한 좌굴 방지 효과를 검토하기 위해, 靜的 一方向 漸增積荷의 중심압축시험을 했다. 시험체는 上下의 재하판과 접하는 부분은 철골stab로 하고, 여기에 주근을 용접하고, 또 철골stab와 중앙 시험구간 경계에 styloform의 slit를 두고, 주근에만 軸力이 작용해서 콘크리트가 축력을 부담하지 않도록 했다. 시험체의 변수는, 주근 좌굴을 구속하는 帶筋의 간격(4d 6d 8d 여기에, d:주근의 공칭경)으로 주근경으로 했다. 그 결과 다음의 결과가 얻어졌다. (1) 주근의 좌굴은 모두 주근의 압축 항복 후에 보이며, 최대압축강도는 주근의 압축 항복강도에 의해 결정되며 帶筋量의 영향은 받지 않았다. (2) 최대응력시의 압축변형치는 帶筋 간격이 적을수록 큰 값으로 되었으므로, 帶筋 간격이 적을수록 변형능력이 향상한다고 말할 수 있다.

(3) confined 콘크리트의 역학특성에 관한 자료의 정리

confined 콘크리트의 응력 변형도 관계에 관한 기존의 모든 提案式에 관한 비교 연구를 하고, (1) 간편성, (2) 실험결과와의 적합성, (3) 고강도 재료에 대한 확장성 등을 고려하고, 철근콘크리트조로 이용되는 실용적인 橫補鋼의 배근형식을 대상으로 하는 a) 丹形 斷面柱用과 b) 정방형 斷面柱用의 모델을 선택했다. 모델을 표현하는 식 중의

변수는, 기존의 실험자료에 근거해서 결정했다. 이상과 같이 해서 구한 응력 - 변형도 관계의 모델이 고강도 재료를 이용한 본 종합기술개발 프로젝트로 실시된 실험결과에 적용할 수 있는가를 검토했다.

4) 構成방정식 유한요소법 Working Group

(1) 철근콘크리트 구조물에 대한 유한요소법 적용의 guide line의 검토

비선형 유한요소법 해석을 철근 콘크리트 부재에 적용하고, 고강도부재의 진단 부착성능이 보통강도 재료의 경우와 어떻게 다른 것인가, 또, 설계에 어떻게 공헌할 수 있는가를 검토했다. 연구는 91년과 92년의 2년 계획으로 하고 92년은, 다음의 작업을 했다. ① 고강도 재료의 비선형 구성측의 모델화와 plate form을 포함한 복수 프로그램에 대한 implimentation ② plate form을 포함한 복수 프로그램에 의한, 보통강도재료, 고강도 재료의 부재의 해석과 프로그램의 신뢰성의 검토

5) 부착 정착 Working Group

(1) 부착 작용에 의존하는 휨부재의 부착성능 평가

고강도철근 고강도 콘크리트를 사용한 철근콘크리트조 보와 기둥부재에 있어서, 휨反曲點이 있는 부재의 중간부분의 부착성능을 검토하기 위해, 89년도에 계획된, 콘크리트강도, 부착길이, 補強筋 량과 배치를 변수로 한 side split型의 부착 割裂과괴를 일으키도록 설계된 단순지지보형의 시험체 26개의 실험이 이미 종료되었다. 이러한 결과에서, ① 고강도 콘크리트의 경우에, 橫補強筋의 부착강도에 미치는 효과는 보통콘크리트의 경우보다 높다는 것, ② 부착길이가 긴만큼 부착강도는 저하하지만 그 정도는, 橫補強筋이 많을수록 둔화한다는 것, ③ 콘크리트 강도가 높을수록 상단근과 하단근과의 부착강도의 차가 적어진다는 것을 알았다. 또, 이러한 결과를 종래의 국내의 부착실험결과와 함께 통계적으로 처리하고, 기존의 藤井, 森田의 부착 割裂 강도의 提案式을 수정해서, 副帶筋이 어떤 경우에는 다시 적합성이 향상하는 신부착 割裂 강도식을 제안했다.

(2) 부착성능 시험방법의 표준화

관련한 시험체로써 割裂 부착 파괴를 일으킬 수 있는 부착시험법을 적용해서, 3종류의 이형 철근(橫節, 波節, 나선강付) 에 9개의 부착강도시험을 콘크리트 압축강도 1,000 kgf/cm²의 조건으로 하는 節形狀의 부착성능에 미치는 영향을 검토했다. 波節 철근은, 橫節철근과 비교해서 약 90%의 부착강도로 되며, 나선강付 철근에서는 약 65%의 부착강도를 발휘했다.

(3) 기계식 정착 기계식 부착의 성능

외기둥보 집합부 내에서는 보주근의 90도 구부림 정착을 사용할 수 없는 경우에 대체의 보주근의 정착방법으로써, plate 또는 nut에 의한 기계식 정착의 이용을 생각할 수 있다. 그런데, 이러한 공법을 이용한 경우의 기계식 정착의 강도를 검토하기 위해, 外柱보 집합부내의 응력상태를 재현하는 加力 방법을 이용해서, 30 x 30 cm의 기둥에 2개의 보주근을 정착했다. 56組의 공식체의 기계식 정착의

一방향 靜的 引拔강도의 실험을 했다. 시험체의 변수는, ① 정착 plate + nut 또는, nut만, ② 정착길이, ③ 橫補強筋比, ④ 보주근의 부착의 有無, ⑤ 주축력의 유무, ⑥ 보의 키, ⑦ 콘크리트 강도이다. 본 실험에서는, 이러한 정착강도에 미치는 영향에 관한 자료가 얻어졌다. 또, 정착조건이 유리하게 되면 파괴형식이, a) 支點파괴, b) cone 파괴, c) 引단파괴, d) 보근파단, 의 순으로 移行하는 것이 관찰되었다.

4. 결 언

본 글에서는 일본의 New RC의 연구목적·체제 및 고강도 콘크리트분과회, 고강도 철근분과회의 성과에 대하여 살펴보았다. 다음호(1993년 12월호)에는 구조 성능분과회, 설계분과회 공법분과회의 성과에 대해 기술할 예정이다. □

전문서적 보급 안내

“콘크리트 구조물의 비파괴 검사 및 안전진단”

— 본 학회 제2회 기술강좌 교재 —

- 주요내용 : 비파괴검사의 종류, 특징 및 적용방법(이리형)
 - 반발경도, 초음파 및 탄성파법에 의한 비파괴 검사방법(최계식)
 - 전자파, 방사선, 적외선 등을 이용한 비파괴 시험(임창덕)
 - 콘크리트 구조물에 대한 비파괴검사의 응용 및 평가(권영웅)
 - 콘크리트 건축구조물의 안전진단 및 평가(김상식)
 - 콘크리트 토목구조물의 안전진단 및 평가(오병환)
 - 콘크리트 구조물의 유지관리 및 보수, 보강공법(박승범)
 - 콘크리트 내구성 향상방법 및 관련 시험방법(정재동)
- 보급가격 : 20,000원
 - 문의처 : 546-5384, 543-1916