

# 建築研究報告

BUILDING RESEARCH REPORT

No.139

February 2001

---

## 鉄筋コンクリート造建築物の 超軽量・超高層化技術の開発

Development of Advanced Reinforced Concrete  
Buildings Using High-Strength Concrete and  
Reinforcement

青山 博之、平石 久廣、榊田 佳寛、阿部 道彦、塩原 等、  
上之園 隆志、勅使川原 正臣、野口 博、藤谷 秀雄

by

Hiroyuki AOYAMA, Hisahiro HIRAISHI, Yoshihiro MASUDA,  
Michihiko ABE, Hitoshi SHIOHARA, Takashi KAMINOSONO,  
Masaomi TESHIGAWARA, Hiroshi NOGUCHI, Hideo FUJITANI

---

国土交通省建築研究所

Published by

Building Research Institute, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Japan

## はしがき

本報告は昭和 63 年から平成 4 年度にかけて行われた建設省総合技術開発プロジェクト「鉄筋コンクリート造建築物の超軽量・超高層化技術の開発」（略称 New RC 総プロ）の主要な研究成果をとりまとめたものである。本総プロでは、高強度、高品質の鉄筋とコンクリートを開発し、以って鉄筋コンクリート造の超高層化やスパンの長大化を図っている。

本総プロには建築研究所の構造、振動、入力、基礎、材料および施工分野に係る多くの研究者とともに、大学や民間の当該分野における我が国を代表する多くの研究者にご参画いただいた。さらに具体の研究開発の推進にあたっては、(社)建築業協会や(社)鋼材倶楽部、(社)セメント協会、住宅・都市整備公団（現都市基盤整備公団）、(財)日本建築センター等と共同研究を組み、文字通り産・学・官一体となってプロジェクトの実施にあたった。

本総プロにより早期に得られた成果は総プロ実施期間中から実用に供されその有効性が示された。また、本研究で開発された設計ガイドラインや施工標準は都市基盤整備公団の設計・施工指針にもほぼ全面的に反映された。それらの結果として、現在では数十棟にも及ぶ超高層鉄筋コンクリート造が本研究成果に基づいて実現されている。この他、本総プロの主要な成果は(社)日本建築学会の規準等にも広く反映されている。

以上の様に本研究成果が我が国の超高層鉄筋コンクリート造建築物の発展・普及のみならず、一般の鉄筋コンクリート造の構造・施工技術の発展に果たした意義は極めて大きいといえる。本研究報告の出版により本研究成果がますます広く活用され、我が国の鉄筋コンクリート造建築物に関する諸技術がさらに発展するとともに、優れた建築物の蓄積に寄与することを切に期待する。

平成 13 年 2 月

国土交通省建築研究所長  
山内 泰之

# 鉄筋コンクリート造建築物の超軽量・超高層化技術の開発

青山 博之\*1、平石 久廣\*2、梶田 佳寛\*3、阿部 道彦\*4、塩原 等\*5、  
上之菌 隆志\*6、勅使川原 正臣\*7、野口 博\*8、藤谷 秀雄\*9

建築研究報告 No. 139, 平成13年2月 国土交通省建築研究所

## <概要>

本報告は、昭和63年度から5箇年計画で、従来強度の2～4倍の強度を有する高強度で高品質のコンクリートおよび鉄筋を用いた新しい鉄筋コンクリート造建築物の開発を目的とした総合技術開発プロジェクト「鉄筋コンクリート造建築物の超軽量・超高層化技術の開発」（略称：New RC）の成果を記したものである。以下の9つの事項について報告している。

- 1) New RC 総プロ発足の背景となった高層鉄筋コンクリート造の住宅建築物の発達の経緯とその構造上の特徴および耐震設計法と地震応答解析技術
- 2) New RC プロジェクトの開発目標、開発体制および成果の概要
- 3) 高強度コンクリートと高強度鉄筋の開発およびその機械的性質等
- 4) 高強度コンクリートと高強度鉄筋を使用した鉄筋コンクリート造部材および、これらの部材を組み合わせた接合部の構造性能を評価する手法、ならびに部材に要求される構造性能を確保する手法
- 5) 鉄筋コンクリート構造の非線形有限要素 (FEM) 解析モデルの開発、解析例、非線形 FEM 解析のガイドライン及び非線形 FEM 解析
- 6) New RC 構造設計ガイドライン (案)
- 7) 設計用地震動
- 8) 実大規模の施工実験の概要と高強度鉄筋コンクリート造の施工標準の内容
- 9) 3つの超高層鉄筋コンクリート構造物の実用可能性に関する検討及び高強度材料を用いて実際に設計施工された超高層 RC 建築物

- \*1 東京大学 工学部 名誉教授
- \*2 建設省建築研究所 基準認証研究センター
- \*3 宇都宮大学 工学部 建設学科
- \*4 工学院大学 工学部 建築学科
- \*5 東京大学 工学部 建築学科
- \*6 建設省建築研究所 基準認証研究センター
- \*7 建設省建築研究所 第三研究部
- \*8 千葉大学 工学部 建築学科
- \*9 建設省建築研究所 基準認証研究センター

” DEVELOPMENT OF ADVANCED REINFORCED CONCRETE BUILDINGS USING  
HIGH-STRENGTH CONCRETE AND REINFORCEMENT ”

by

Hiroyuki AOYAMA\*<sup>1</sup>, Hisahiro HIRAISHI\*<sup>2</sup>, Yoshihiro MASUDA\*<sup>3</sup>,  
Michihiko ABE\*<sup>4</sup>, Hitoshi SHIOHARA\*<sup>5</sup>, Takashi KAMINOSONO\*<sup>6</sup>,  
Masaomi TESHIGAWARA\*<sup>7</sup>, Hiroshi NOGUCHI\*<sup>8</sup>, Hideo FUJITANI\*<sup>9</sup>

Building Research Report, No. 139, February, 2001, Building Research Institute

ABSTRACT

Reinforced concrete has widely been used for medium-rise buildings because of low cost, excellent durability and easy maintenance, and so on. However, it would have been impossible to realize the super high-rise buildings and buildings with long spans which are currently required to build from architectural and social points of view, if the material strength had remained within the traditional range..

A five-year National Project was promoted by the Ministry of Construction of Japan since 1988 to develop structures such as super high-rise reinforced concrete buildings using high strength and high-quality concrete and reinforcing steel. The project was simply referred to “ New RC”. The specified strength of concrete was from 30 to 120 MPa and the yield strength of high quality reinforcing steel bars was from 400 to 1,200 MPa.

This report consists of nine chapters which present the outline and results obtained through this project.

In chapter 1, the process of development and the structural features of high-rise reinforced concrete buildings are explained. It was the major motivation of New RC project to develop even taller high-rise reinforced concrete buildings in the seismic area. The seismic design and dynamic response analysis method of high-rise buildings which were prevalent at the time of New RC project initiation is also introduced in this chapter.

In chapter 2, the development goal of New RC project, the development organization and the outline of expected results are mentioned.

Chapter 3 is entitled “high strength materials” and describes the development of high strength concrete and reinforcement their mechanical characteristics.

---

\*1 Tokyo University, School of Engineering, Professor Emeritus

\*2 Director, Codes and Evaluation Research Center, BRI.

\*3 Utsumiya University, Faculty of Engineering, Department of Architecture and Civil Engineering

\*4 Kogakuin University, Faculty of Engineering, Department of Architecture.

\*5 Tokyo University, School of Engineering, Department of Architecture

\*6 Program Director for International Codes and Standard Research, BRI.

\*7 Structure Division, Structural Engineering Department, BRI.

\*8 Chiba University, Faculty of Engineering, Department of Architecture

\*9 Performance System Division, Codes and Evaluation Research Center, BRI.

Chapter 4 describes the structural tests of New RC structural members such as beams, columns, walls, and so on, subjected to simulated seismic loading, and the evaluation methods of structural performance of New RC members and assemblies.

Chapter 5 is entitled "Finite Element Analysis", and describes the development of non-linear finite element analytical models for New RC members, examples of analysis that supplement, and the guidelines for the structural testing of Chapter 4, non-linear finite element analysis.

Chapter 6 introduces the "New RC Structural Design Guideline(draft)"emphasizing the new seismic design method for New RC high-rise buildings, which basically consists of evaluation of seismic behavior through time history response analysis.

In Chapter 7, design earthquake motions to be used in the response analysis of the New RC structural design in the previous chapter are explained.

In Chapter 8, the outline of a full-scale construction test and "New RC Construction Standard (draft)" that is the compilation of standard specifications for New RC materials, their manufacturing and processing, and various phases of construction works, are presented.

In the last Chapter 9, feasibility studies on three new types of buildings using high-strength materials are mentioned first, and high-rise buildings that were actually designed and constructed or under construction are introduced.

The authors wish that the publication of this report will further promote the dissemination of the results of the New RC project into practice, and will also encourage further research on the use of high strength and high performance materials to reinforced concrete structures.

## 鉄筋コンクリート造建築物の超軽量・超高層化技術の開発

はじめに

鉄筋コンクリート構造は、優れた耐火性、経済性、耐久性、維持管理性により従来から 2・7 階建ての代表的な建築物に用いられてきた。しかしながら、コンクリートそのものは、素材的にじん性面で鉄骨に劣ることなどから、我が国では鉄筋コンクリート造の高層建築物への適用は見送られてきた。この壁を打破したのが、それ以前のコンクリート強度の約 2 倍の強度をもつ高強度コンクリートの開発と、部材としてのじん性を確保するための構造技術の開発、コンピュータを利用した地震応答等の解析技術の発達、新しい施工技術等の開発ならびに施工品質管理の技術の向上である。この結果として出現した 20・40 階建ての高層鉄筋コンクリート造の住宅建築物は、鉄筋コンクリート造の新たな発展を予想させた。

しかしながら同時に、この高層鉄筋コンクリート造建築物の普及の過程において、今後さらなるコンクリートの高強度ならびにこの高強度のコンクリートを十分に生かし得る高強度鉄筋の実用化なくしては、さらなる超高層化や事務所建築物等に要求される豊かな空間を構築するにはおのずと限界があることも明らかとなった。

このため、建設省は、昭和 63 年度から 5 箇年計画で、従来強度の 2・4 倍の強度を有する高強度で高品質のコンクリートおよび鉄筋を用いた新しい鉄筋コンクリート造建築物の開発を目的とした総合技術開発プロジェクト「鉄筋コンクリート造建築物の超軽量・超高層化技術の開発」（略称：New RC）を推進した。本報告書は、この New RC 総合技術開発プロジェクトの成果を記したものであって、9 章から成っている。

第 1 章は、New RC プロジェクトの研究の位置付けを明確にし、第 2 章以下で詳述する New RC の研究・開発へ至る道筋を明らかにしたもので、高層鉄筋コンクリート造の住宅建築物の発達の経緯とその構造上の特徴、耐震設計法や地震応答解析の技術の現状およびさらなる超高層化や高性能化を図るための現状での技術的な課題などについて総合的に取りまとめている。

第 2 章は、開発体制、開発目標、主要な成果の概要など本研究の全体像の概略について記している。

第 3 章は、「高強度材料」と題し、高強度コンクリート分科会と高強度鉄筋分科会の研究成果に立脚して、高強度材料の開発とその機械的性質等について述べている。

第 4 章は、高強度コンクリートと高強度鉄筋を使用した鉄筋コンクリート造部材および、これらの部材を組み合わせた接合部の構造性能を評価する手法、そして部材に要求される構造性能を確保する手法について述べている。

第 5 章は、「有限要素解析」と題する。この章は主として高強度鉄筋分科会が行なった鉄筋コンクリート構造の非線形有限要素（FEM）解析モデルの開発、解析例、非線形 FEM 解析のガイドラインの作成などについて述べ、非線形 FEM 解析についても述

べている。

第6章は、「New RC 構造設計ガイドライン（案）」としてまとめたものを紹介している。

第7章は、設計用地震動について述べている。

第8章は、実大規模の施工実験の概要と高強度鉄筋コンクリート造の施工標準の内容について述べている。

第9章は、3つの実用可能性の検討について述べ、次いで高強度材料を用いて実際に設計施工された鉄筋コンクリート造建築物について述べている。

本研究で得られた成果は、日本建築学会の JASS5 や設計指針・規定等に広く活用され、また本研究成果を受け、既に 20 設計を超える高強度材料を用いた超高層鉄筋コンクリート造が実現化されている。

## 鉄筋コンクリート造建築物の超軽量・超高層化技術の開発

1.	高層鉄筋コンクリート造建築物の発達	
1.1	高層鉄筋コンクリート造建築物の登場	1
1.1.1	歴史的背景	1
1.1.2	日本建築センターの技術指導	1
1.2	構造計画	1
1.2.1	平面計画	1
1.2.2	構造形式	5
1.2.3	立面計画	5
1.2.4	構造部材の形状寸法	5
1.3	使用材料と施工	6
1.3.1	コンクリート	6
1.3.2	鉄筋	6
1.3.3	プレキャスト化	6
1.3.4	鉄筋の先組み	7
1.3.5	鉄筋の継手と定着	7
1.3.6	コンクリートの打設	7
1.3.7	施工管理	7
1.4	耐震設計	7
1.4.1	基本方針	7
1.4.2	耐震性能の目標と設計手順	8
1.4.3	設計用地震力	8
1.4.4	必要保有水平耐力	8
1.4.5	1次設計	8
1.4.6	2次設計	9
1.4.7	実験による確認	10
1.5	地震応答解析	10
1.5.1	線形解析	10
1.5.2	質点系の非線形解析	10
1.5.3	骨組の非線形解析	10
1.5.4	入力地震動	10
1.5.5	減衰	10
1.5.6	応答結果	10
1.6	結び	10
1.6.1	高層RC造実現の技術的要因	10
1.6.2	高強度材料の必要性	11



2.	New RC プロジェクト	
2.1	背景	13
2.2	開発目標	13
2.3	開発体制	14
2.4	成果	14
2.4.1	高強度・超高強度鉄筋コンクリート用材料の開発	14
2.4.2	施工標準の開発	14
2.4.3	構造性能評価手法の開発	14
2.4.4	設計手法の開発	14
2.4.5	応用研究	14
2.5	成果の普及	15
3.	高強度材料	
3.1	高強度コンクリート	25
3.1.1	高強度コンクリートの材料および調合	25
3.1.2	高強度コンクリートの諸性質	33
3.2	高強度の鉄筋規格と試作	43
3.2.1	高強度鉄筋分科会	43
3.2.2	高強度鉄筋の実用化に向けての課題	43
3.2.3	現行の JIS 規格との関係	43
3.2.4	高強度鉄筋の規格案	44
3.2.5	規格降伏点強度	46
3.2.6	降伏歪の棚の歪度の制限	46
3.2.7	降伏比の上限	46
3.2.8	伸び・曲げ加工時の損傷防止	46
3.2.9	製造方法と化学成分	47
3.2.10	試作結果の例	47
3.2.11	耐火性	49
3.2.12	耐久性	50
3.2.13	高強度鉄筋の継手工法	50
3.2.14	重ね継手	51
3.2.15	部材中の継手の性能	51
3.3	複合材料としての鉄筋コンクリートの力学特性	53
3.3.1	付着・定着機構における高強度鉄筋の課題	53
3.3.2	外部柱はり接合部へのはり主筋定着方法	53
3.3.3	内部柱はり接合部へのはり主筋の定着方法	55

3.3.4	高強度コンクリートと横拘束効果	56
3.3.5	高強度鉄筋を用いた横拘束における横補強筋の応力度の上限	58
3.3.6	主筋の圧縮座屈を防ぐ方法	59
3.3.7	高強度コンクリートの二軸応力特性	60
3.3.8	面内力を受ける鉄筋コンクリート平板耐力・変形	61
4.	高強度材料を用いた部材の構造性能	
4.1	はじめに	63
4.2	梁および柱の構造性能	63
4.2.1	梁の曲げ降伏後の付着割裂破壊に関する研究	63
4.2.2	梁の曲げ性能に対するスラブの効果に関する研究	66
4.2.3	柱の曲げ降伏後の変形性能に関する研究	70
4.2.4	二方向曲げ応力を受ける柱の曲げ性能に関する研究	72
4.2.5	高軸力を受ける柱の縦ひび割れに関する研究	75
4.2.6	柱のせん断性能に関する研究	76
4.2.7	梁のせん断性能に関する研究	80
4.3	耐震壁の構造性能	82
4.3.1	壁板せん断圧縮破壊型耐震壁の曲げ性能に関する研究	82
4.3.2	二方向変形を受ける耐震壁の変形性能に関する研究	85
4.3.3	耐震壁のせん断耐力に関する研究	88
4.4	柱梁接合部の構造性能	91
4.4.1	内柱梁接合部の定着・付着性能に関する研究	91
4.4.2	二方向載荷を受ける直交梁付き柱梁接合部のせん断性能に関する研究	96
4.4.3	外柱梁接合部のせん断性能に関する研究	100
4.4.4	1階柱と基礎のコンクリート強度差の影響に関する研究	102
4.5	構造性能評価法	104
4.5.1	梁の復元力特性	104
4.5.2	柱の変形性能	107
4.5.3	梁及び柱のせん断耐力	108
4.5.4	曲げ降伏型耐震壁の耐力	109
4.5.5	柱梁接合部のせん断耐力	109
4.5.6	1階柱基礎梁接合部の鉛直軸力支持性能	110
4.6	おわりに	111
5.	有限要素解析	
5.1	有限要素法	113

5.2	有限要素法と鉄筋コンクリート	114
5.2.1	鉄筋コンクリートに関する主に日本における有限要素法の歴史	114
5.2.2	鉄筋コンクリートのモデル化	115
5.3	高強度材料を用いたRC部材の有限要素解析の概要	116
5.4	高強度材料を用いたRC部材の比較解析	116
5.4.1	梁・平板・耐震壁の比較解析	116
5.4.2	材料構成則	117
5.4.3	解析モデルおよび結果	118
5.5	高強度梁部材のFEMパラメータ解析	120
5.6	高強度柱部材のFEMパラメータ解析	123
5.7	高強度柱・梁接合部のFEMパラメータ解析	125
5.8	耐震壁のFEMパラメータ解析	126
5.9	平板のFEMパラメータ解析	127
6.	構造設計法	
6.1	はじめに	131
6.2	New RC構造設計ガイドラインの特徴	131
6.2.1	三段階での耐震性の検討	132
6.2.2	設計用地震動の提案	132
6.2.3	水平二方向、および、鉛直地震動に対する考慮	132
6.2.4	要求安全率の明確化	132
6.2.5	材料強度のばらつき、および、強度評価式の精度の考慮	132
6.2.6	基礎構造の設計、および、上部構造との連成の考慮	132
6.3	耐震設計のクライテリアとその確認	132
6.4	想定する入力地震動	134
6.4.1	入力地震動の性質	134
6.4.2	New RC地震動	134
6.4.3	建築基準法施行令によるRt曲線とNew RC波の 目標地震応答スペクトルとの関係	134
6.5	建築物のモデル化	135
6.5.1	建築物のモデル化	135
6.5.2	建物モデルと入力地震動、基礎構造、地盤の関係	135
6.6	部材の復元力特性	136
6.6.1	信頼強度、上限強度	136
6.6.2	部材のモデル化	136
6.6.3	履歴特性	137

6.7	設計方向	137
6.7.1	任意の方向における設計用応力	137
6.7.2	水平2方向地震入力について	138
6.7.3	地震動の鉛直動成分の影響	138
6.8	基礎構造	138
6.8.1	基礎構造の設計の方針	138
6.8.2	基礎の支持力	138
6.8.3	基礎の水平抵抗	139
6.9	設計例	139
6.9.1	60階建て純ラーメン構造共同住宅	139
6.9.2	40階建てチューブ構造事務所ビル(ダブルチューブとチューブコア)	142
6.9.3	中高層事務所ビル(15階建て純ラーメン、15階建て壁入りラーメン、 25階建て純ラーメン)	146
6.10	終わりに	149
7.	地震動・荷重	
7.1	はじめに	151
7.2	検討用入力地震動の作成	151
7.2.1	New RC地震動のレベル	151
7.2.2	New RC地震動波形例	156
7.2.3	地震応答解析と入力地震動	170
7.2.4	2方向地震動とそれによる応答	172
7.2.5	上下地震動特性とその設計用入力地震動への取扱い例	180
7.3	設計用外力分布作成のための検討	182
7.3.1	地盤・建物の相互作用の地震力分布形に及ぼす影響	182
7.3.2	地盤・建物の相互作用を考慮した設計事例	185
7.4	おわりに	185
8.	高強度鉄筋コンクリートの施工法	
8.1	まえがき	187
8.2	実大施工実験	187
8.2.1	目的	187
8.2.2	施工実験の概要	187
8.2.3	コンクリートの調合	188
8.2.4	鉄筋工事の概要	190
8.2.5	コンクリート工事	191

8.2.6	まとめ	200
8.3	高強度コンクリートの施工標準	201
8.3.1	高強度コンクリート工事の施工標準	201
8.3.2	高強度鉄筋工事の施工標準	209
8.3.3	型枠工事の施工標準	210
9.	実用可能性と実施例	
9.1	実用可能性検討	211
9.1.1	超高層フラットスラブ構造	211
9.1.2	メガストラクチャー	216
9.1.3	大規模ボックス壁柱構造	224
9.2	日本における実施例	232

謝辞