高強度コンクリートの構造体中での強度発現性と調合強度

STRENGTH DEVELOPMENT OF HIGH-STRENGTH CONCRETE IN STRUCTURE AND PROPORTIONING STRENGTH

梶田佳寛*, 佐藤幸恵**, 友澤史紀***

Yoshihiro MASUDA, Sachie SATO and Fuminori TOMOSAWA

The temperature rise of the concrete in early age affects on long term strength development of concrete in the structure between the age of 28 and 91 days.

In this study, comparison between the compressive strength of control specimen subjected to standard curing at 28 days and the compressive strength of core specimens taken from structural members was made, and observations methods of evaluating the concrete strength in structure were discussed.

When the maximum temperature of the concrete in the structure exceeds 60°C, the concrete strength in structure may be lower than the compressive strength of the 28 days standard curing specimens.

Keywords: High-strength concrete, Strength development of concrete in structure, Control specimen,

Core specimens, Maximum temperature

高強度コンクリート, 構造体コンクリートの強度発現, 管理用供試体, コア供試体, 最高温度

1. はじめに

鉄筋コンクリート造建築物の構造安全性を確保するためには、構造体コンクリートが所定の強度を有していることが必要である。構造体コンクリートの強度は、構造体から採取したコア供試体の圧縮強度によって最も良く評価されると考えられるが、常にコア供試体を採取して構造体コンクリートの強度を評価することは困難である。そのため、通常は構造体から採取したコア供試体の圧縮強度と工事現場で採取して標準養生・現場水中養生などの養生を行った管理用供試体の圧縮強度の関係を把握した上で、管理用供試体を用いて構造体コンクリートの強度を評価している。また、日本建築学会の建築工事標準仕様書 5 鉄筋コンクリート工事（以下 JASS5 と略す）では、設計基準強度が 36N/mm² 以下の通常強度のコンクリートについて、構造体コンクリートの強度は、現場水中養生した供試体の圧縮強度で推定できるとして、現場水中養生供試体と標準養生供試体との強度発現の差をもとに調合強度式を定めている。

しかし、設計基準強度が 36N/mm² を超える高強度コンクリートについては、コア供試体と管理用供試体との関係はまだ十分に明らかにされているとはいえず、工事ごとに実大部材を作製し、コア供試体と管理用供試体との関係を求めて調合強度および強度管理方法を定めるとしているのが現状である。

本論文は、高強度コンクリートを用いた実大部材から採取したコア供試体の圧縮強度のデータを収集し、高強度コンクリートの構造体における強度発現性や強度分布特性などを明らかにし、管理用供試体との関係を把握して、調合強度の定め方および強度管理方法を検討したものである。

2. 検討対象とした資料と施工実験の概要

2. 1 検討対象とした資料

高強度コンクリートの構造体における強度発現性に関する膨大な資料が、日本建築センターの高層鉄筋コンクリート造技術指導委員会（旧技術検討委員会）に提出された施工実験報告書として残されている。この技術指導委員会は、過去 51 件の技術指導（技術検討）を完了しており、本論文は 1986 年以降に技術指導委員会に申請された 46 件のうち、施工実験の報告書で構造体から採取した個々のコア供試体の採取位置、圧縮強度、調合条件等の諸元がそろっている 41 件の報告書^{1)~41)}ならびに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: NewRC 総プロ）の実大施工実験⁴²⁾の報告書を検討対象とした。

日本建築センターの技術指導委員会に申請された個々の案件におけるコンクリートの設計基準強度の最大値は 36~60N/mm² の範囲

* 宇都宮大学工学部建設学科 教授・工博

** 宇都宮大学大学院工学研究科博士後期課程
大学院生・修士(工学)

*** 北海道大学工学研究科 教授・工博

Prof, Dept of Architecture and Civil Eng, Faculty of Eng, Utsunomiya Univ, Dr Eng

Graduate Student, Graduate School of Eng, Utsunomiya Univ, M Eng

Prof, Graduate School of Eng, Hokkaido Univ, Dr Eng

にある。また、NewRC 総プロの実大施工実験では、設計基準強度 100N/mm² および 60N/mm² を対象としたが、本論文ではそのうち 60 N/mm² のみを対象とする。

施工実験報告書は、数例を除いてほとんどがコンクリート強度を従来単位 (kgf/cm²) で表示している。しかし、本論文では、SI 単位で表示し、10kgf/cm²=1N/mm² と換算して解析することとした。

2. 2 施工法の概要

コンクリートの打込み方法は、垂直部材 (柱) と水平部材 (梁、床) とを打ち分ける VH 分離打ち方式と、これらを同日中に打ち込む一体打ち方式とがあるが、ほとんどが VH 分離打ち方式で、後者は数例しかない。コンクリートのスランプは、設計基準強度が 60N/mm² と 48N/mm² の一部が 21cm であるが、それ以外は 18cm である。セメントは、最近が高粉末タイプの低熱ポルトランドセメントを用いる例も増えてきたが、今回対象としている施工実験は、普通ポルトランドセメントを用いている。混和剤は、1987 年までは流動化剤を、1988 年以降は高性能 AE 減水剤を使用している。

鉄筋は、先組みされており、型枠はほとんどシステム型枠である。VH 分離打ち方式の場合の一般的な施工手順は、柱筋の先組み→柱筋の建込み→継手施工→柱型枠の建込み→柱コンクリートの打込み→梁・床型枠の建込み→梁筋の建込み・床筋の施工→梁・床コンクリートの打込みであるが、柱コンクリートの打込みと梁・床型枠の建込みとが逆になる例もある。

2. 3 施工実験の概要

技術指導委員会に提出された施工実験報告書の施工実験には、施工実証実験 (実大施工実験ということもある) と施工予備実験とがある。施工実証実験は、試設計建築物の設計基準強度が最大となる下層階の 1~2 層・1~3 スパンを抽出した柱・梁・床からなる架構を対象として、施工法の概要で述べた手順に従って施工し、その構造体コンクリート強度、寸法精度、仕上げ状況、作業性などを確認するものである。また、施工予備実験は、施工実証実験とほとんど同じことを予行演習的に行ったものと、柱部材のみを取り出してコンクリートの打込み実験を行ったものなど様々である。

表-1 高強度コンクリート実大柱部材施工実験の概要

番号	施工実験 実施期間	実験場所	実験 回数	部材 寸法 (mm)	柱部材 総数	設計基準強 度 (N/mm ²)	調合強度 (N/mm ²)	水セメ ント比 (%)	単位セメン ト量 (kg/m ³)	打込み 温度 (°C)	最高温度 (°C)	試験体数	
												28日	91日
1	1986.4~1986.5	愛知県豊川市/横浜市	2	850,900	4	42.0	47.8	39.0	395~421	~25.0	56.0	72	54
2	1986.1~1986.9	千葉県流山市	2	850	4	48.0	64.0	34.5	481	8.0~28.0	78.0	51	18
3	1986.9	横浜市	2	850,950	4	36.0	44.0	40.0	438	27.5~29.0	不明	24	0
4	1986.10~1987.2	神奈川県大和市	2	900	4	36.0	49.0	38.0	408~448	15.0~22.0	48.0	48	0
5	1987.2	埼玉県与野市	1	900	3	42.0	53.5	34.0	515	—	不明	54	54
6	1987.1~1987.9	千葉県東葛飾郡関宿町	2	900,950	6	36.0	50.0	40.0	405~413	10.0~33.0	63.0	84	0
7	1986.4~1987.10	東京都青梅市	3	800	11	36.0	48.8	38.0	377~468	17.5~31.0	68.0	70	0
8	1987.4~1987.12	神奈川県厚木市	2	900	8	42.0	51.0	35.0	459~486	17.0~24.0	64.0	56	36
9	1987.11~1988.3	茨城県取手市	2	900	8	36.0	46.8	36.0	473~486	14.5~20.0	45.0	99	0
10	1987.12~1988.4	神奈川県愛甲郡愛川町	2	1000	3	42.0	—	33.0	515	18.5~26.0	66.7	26	0
11	1988.8~1988.11	埼玉県入間郡大井町	2	850,900	5	42.0	53.5	35.0	447~475	17.0~32.0	40.0	100	0
12	1988.12~1989.9	茨城県古河市	2	900	3	36.0	43.0	44.7	350~369	13.0~32.0	59.7	54	9
13	1989.9	千葉県印旛郡白井町	1	900	3	42.0	—	36.0	464	31.5~32.0	61.2	72	0
14	1989.9	大阪市	1	1000	2	42.0	—	40.0	438	31.0~32.5	65.5	24	0
15	1988.11~1990.2	埼玉県南埼玉郡白岡町	5	800~900	14	42.0	55.8	35.5	367~500	15.5~22.0	65.2	89	0
16	1989.9~1990.7	兵庫県西宮市	4	1000	8	42.0	51.8	40.0	425~447	11.0~33.0	72.0	66	20
17	1988.9~1991.3	千葉県市川市	4	850,900	16	42.0	60.0	30.5	477~548	15.0~32.5	66.0	118	104
18	1990.7~1991.3	千葉県成田市	2	950	6	42.0	—	33.0	457~485	16.0~36.0	78.0	117	0
19	1989.12~1991.3	埼玉県入間郡日高町	4	850~950	9	36.0	49.0	38.0	378~447	16.0~33.0	59.7	112	61
20	1989.12~1991.3	茨城県猿島郡総和町	6	850,950	18	42.0	50.4	38.0	354~459	10.5~35.0	86.3	224	76
21	1991.10~1991.11	茨城県つくば市	3	850	10	60.0	—	27.0	611	24.0~27.0	76.0	152	116
22	1991.12	栃木県河内郡南河内町	1	900	1	48.0	64.5	32.8	439~517	18.4~26.3	63.0	10	28
23	1991.1~1992.1	大阪府門真市	4	950,970	15	42.0	58.2	35.0	398~500	13.0~34.0	58.0	176	0
24	1991.8~1992.3	神奈川県厚木市	3	900,1000	5	42.0	—	39.5	413~446	17.0~27.5	不明	66	75
25	1991.9~1992.11	千葉県東葛飾郡関宿町	5	650~750	11	54.0	66.5	29.0	425~630	19.0~34.0	80.0	178	33
26	1993.3	東京都府中市	1	850	4	42.0	57.0	36.0	459	19.7~20.1	53.0	72	72
27	1992.6~1993.6	千葉県印旛郡印西町	2	850,900	8	42.0	50.4	41.0	415	28.2~29.4	不明	88	48
28	1991.9~1993.8	埼玉県大宮市	5	900	15	42.0	55.4	36.0	425~472	17.5~35.5	72.0	181	92
29	1992.1~1993.8	千葉県富津市	3	900,950	11	48.0	56.8	34.0	446~416	16.0~31.0	73.0	54	74
30	1993.2~1994.2	横浜市	6	900,950	22	42.0	63.4	35.5	314~532	11.5~33.6	88.5	326	322
31	1993.10~1994.3	神奈川県相模原市	2	850	3	48.0	63.0	30.0	413~500	18.0~	63.0	36	36
32	1993.11~1994.10	千葉県船橋市	2	900,950	3	42.0	56.0	39.0	415~486	17.0~23.0	62.1	46	45
33	1994.6~1994.11	千葉県印旛郡印西町	2	850,950	8	42.0	50.4	40.5	407~415	19.0~	59.6	113	89
34	1994.11	千葉県習志野市	1	900	2	42.0	55.8	35.5	451	16.0	41.5	17	18
35	1993.12~1994.12	埼玉県上尾市	2	950	5	42.0	50.4	39.0	423	14.5~15.2	50.6	35	44
36	1993.9~1995.7	千葉県市原市	6	900,950	15	42.0	62.4	36.0	378~472	13.8~34.7	78.3	363	362
37	1994.8~1995.10	茨城県稲敷郡美浦村	5	900,950	10	48.0	69.4	36.6	447~531	11.0~37.0	89.2	162	331
38	1995.10	東京都世田谷区	1	900	1	42.0	56.0	39.5	418	29.1	64.4	0	21
39	1990.8~1995.11	大阪府茨木市/東京都東大和市	5	900,950	12	42.0	57.6	31.0	389~545	13.0~35.0	83.0	90	72
40	1994.10~1996.5	兵庫県三田市	3	850~1000	11	42.0	61.8	36.0	380~565	12.1~26.8	80.1	142	141
41	1997.4~1998.1	大阪府大東市	3	900	6	60.0	83.0	33.0	531~550	13.3~31.0	81.0	23	35
42	1998.4~1999.3	千葉県印旛郡白井町	2	950	5	48.0	61.7	34.5	493~567	19.0~24.5	93.5	57	75

施工実験では、柱のコンクリートだけでなく、梁・床のコンクリートも実験しているが、構造体コンクリートの強度性状については、柱のコンクリートのみを対象とした。また、本論文では、レディーミクストコンクリート工場で製造した高強度コンクリートを屋外で実大柱部材に打ち込んだ場合のみを対象とし、部材の一部を切り出して断熱材などで覆ったいわゆる模擬部材と称されるものに打ち込んだ場合は対象としなかった。なお、実大柱には、鉄筋コンクリート柱と無筋コンクリート柱とがあるが、両者を対象とした。

検討対象とした施工実験の概要を表-1に示す。実験回数は、コンクリート打込み日ごとに数えた回数であり、調合強度、水セメント比は最後に行われた施工実証実験における値である。実験回数は、延べ120回、コアを採取して圧縮強度を試験した柱部材総数は322本である。コア供試体の圧縮強度試験の材齢は、1980年代は材齢28日のみ行うという場合が多いが、1990年代は28日と91日の両方で試験している例が多い。1材齢に1部材から採取したコア供試体の本数は、最少2本から最多44本まであり、平均すると12.5本である。

3. 検討結果と考察

3. 1 コアの採取方向の影響

施工実験における柱部材からのコア供試体の採取方向には、部材軸に沿って縦方向に行う場合と部材軸に直行するように横方向に行う場合とがある。そこで、コアの採取方向が圧縮強度におよぼす影響⁴³⁾を検討するために、1材齢に1部材から縦方向、横方向の両方向から各々複数本のコア供試体を採取しているものを取り上げ、それらの圧縮強度の平均値の関係を示したものが図-1である。1部材で両方向からコアを採取している例は12社、43部材あった。図-1より、縦方向に採取した方が横方向に採取したものより若干強度が高い傾向にあるが、大きな差はない。従って、以下の検討ではコアの採取方向に関しては区別しないで取り扱うこととする。

3. 2 構造体中での圧縮強度のばらつき

1部材から採取したコア供試体の本数とその圧縮強度の標準偏差の関係を図-2に示す。図-2から、コア供試体の本数と圧縮強度の標準偏差はほとんど関係がないことがわかる。

そこで、1部材から3本以上のコアを採取しているものを対象に、

1部材における圧縮強度の平均値と標準偏差の関係を示すと図-3のようになる。図-3から、標準偏差は、圧縮強度が 36N/mm^2 から 80N/mm^2 の範囲において、圧縮強度とほとんど無関係に 1N/mm^2 から 8N/mm^2 の範囲に分布していることがわかる。さらに、この標準偏差を変動係数で示すと、平均では6~7%、最大では11~12%となる。

図-1 コア採取方向の影響

図-2 コア供試体数と標準偏差の関係

図-3 構造体コンクリートの圧縮強度の平均値と標準偏差

3. 3 構造体における強度発現

同じ部材から採取したコア供試体の材齢 28 日圧縮強度の平均値と材齢 91 日圧縮強度の平均値の関係を図-4 に示す。図-4 から、構造体においては材齢 28 日から材齢 91 日にかけて圧縮強度はおよそ 1.12 倍に増加することがわかる。

図-4 同一部材から採取したコア供試体の材齢28日の圧縮強度の平均値と材齢91日の圧縮強度の平均値の関係

次に、材齢 91

日圧縮強度の材齢 28 日圧縮強度に対する割合に及ぼす部材のコンクリートの最高温度の影響を図-5 に示す。図-5 から、コンクリートの最高温度が高くなると、材齢 91 日の圧縮強度の材齢 28 日の圧縮強度に対する割合は小さくなり、最高温度が約 75℃ になると約 20% の確率で材齢 28 日からの圧縮強度の増加がみられなくなるものが現れることがうかがえる。

図-5 コンクリートの最高温度がコア強度の増進に及ぼす影響

3. 4 管理用供試体の圧縮強度とコア供試体の圧縮強度の関係

通常強度のコンクリートでは、構造体コンクリートの強度は現場水中養生または現場封かん養生した供試体の圧縮強度で推定することとしている。そこで、今回の対象としている高強度コンクリートについても現場水中養生供試体の材齢 28 日圧縮強度とコア供試体の材齢 28 日および 91 日圧縮強度の関係をみると図-6 のようになり、現場封かん養生供試体の材齢 91 日圧縮強度とコア供試体の材齢 91 日圧縮強度の関係は図-7 のようになる。現場水中養生供試体の材齢 28 日圧縮強度に対するコア供試体の圧縮強度は、材齢 28 日では平均して 93% 程度であるが、材齢 91 日では平均して 102% 程度に増大している。また、材齢 91 日の現場封かん養生供試体の圧縮強度に対するコア供試体の圧縮強度は、平均して 97% 程度である。これらの関係は、通常強度のコンクリートの場合と大差はないようである。

標準養生供試体と現場水中養生供試体および現場封かん養生供試体との圧縮強度の差と平均気温との関係を図-8、図-9 に示す。平均気温は、施工実験場所での気温のデータが残されていないため、理科年表の東京、名古屋および大阪の平均気温のデータを用いた。図-8、図-9 から、設計基準強度が 36N/mm² を越える高強度コンクリー

図-6 現場水中養生供試体28日圧縮強度とコア供試体28日および91日圧縮強度の関係

図-7 現場封かん養生供試体とコア供試体の圧縮強度の関係

図-8 平均気温と強度差の関係

図-9 平均気温と強度差の関係

図-10 標準28日強度に対する28日および91日コア供試体強度

トにおいても、平均的には JASS5 における予想平均気温による強度補正值とほぼ同じような値になっているが、ばらつきはかなり大きい。本論文で対象とした柱部材のほとんどは、断面寸法が $80 \times 80 \sim 100 \times 100 \text{ cm}$ であり、マスコンクリートである。そのため、平均気温ではなく、平均養生温度（コンクリート温度）に基づく強度補正值を設定した方が良いと考えられる。

高強度コンクリートは、単位セメント量が多く、構造体コンクリートは初期材齢に高温履歴を受け、現場水中養生や現場封かん養生した供試体とは異なる温度履歴となる。そのため、現場水中養生や現場封かん養生した供試体で構造体コンクリートの強度を評価することは合理的でないと考えられる。

そこで、構造体コンクリートの強度を標準養生供試体の圧縮強度、いわゆるポテンシャルの強度をもとに評価することとする。標準養生供試体の材齢 28 日圧縮強度に対するコア供試体の圧縮強度の関係を示すと図-10 のようになり、コア供試体の圧縮強度は材齢 28 日では平均して標準養生供試体の材齢 28 日圧縮強度の約 90% であるが、材齢 91 日では平均して 99% 程度に増加し、ほとんど標準養生供試体の材齢 28 日圧縮強度と同じ値になる。

次に、コンクリートの最高温度と標準養生供試体の 28 日圧縮強度に対するコア供試体の材齢 91 日圧縮強度の比の関係を示すと図-11 のようになる。図-11 から、コンクリートの最高温度が 1°C 高くなる

図-11 材齢28日標準強度に対する材齢91日コア供試体強度の比と最高温度の関係

ごとに、コア供試体の材齢 91 日圧縮強度の標準養生供試体の材齢 28 日の圧縮強度に対する割合は 0.0036 だけ小さくなり、最高温度が約 60°C になるとコア供試体の材齢 91 日圧縮強度は半数の場合にポテンシャルの強度である標準養生供試体の材齢 28 日の圧縮強度に達しなくなることが考えられる⁴⁴⁾。このことから、最高温度が 60°C

図-12 荷卸し温度と最高温度

以上の場合、1℃につき 0.0036 の強度低下があると考えられるので、調合強度は(1)式による割増しをするのが良いと考えられる。

$$\alpha_T = 1 + 0.0036 \times (T_{\max} - 60) \quad \cdots (1)$$

ただし、 α_T : 調合強度の割増し係数

$T_{\max}$: コンクリートの最高温度(℃)

以上のことをまとめると、構造体コンクリートの強度を材齢 91 日のコア供試体の圧縮強度で定義した場合、コンクリートの最高温度が 60℃以下の場合、ポテンシャルの強度である標準養生供試体の材齢 28 日圧縮強度とみなせば良く、最高温度が 60℃以上の場合、(1)式の割増し係数 α_T で標準養生供試体の材齢 28 日圧縮強度を除した値とみなせば良いと考えられる。

3. 5 構造体コンクリートの温度上昇量

コンクリートは、初期材齢に高温履歴を受けると長期材齢における強度発現の増加が停滞することが知られている。図-12 は、月別のコンクリートの打込み温度または荷卸し温度と部材の最高温度を示したものであるが、打込み温度が高いとコンクリート温度上昇量も大きくなる傾向にあることがわかる。構造体コンクリートの温度上昇に影響を及ぼす要因として、単位セメント量、部材寸法の他にコンクリート打込み温度が考えられる。そこで、これらの要因を説明変数とし、構造体コンクリートの最高温度を従属変数として重回帰分析を行うと表-2 により、構造体コンクリートの最高温度は、(2)式で表される。また、(2)式で得られる推定値と実測値とを比較すると図-13 のようになり、比較的良く推定できることがわかる。

$$T_{\max} = 0.058 \cdot C + 0.043 \cdot D + 1.61 \cdot T_0 - 44.2 \quad \cdots (2)$$

ここで $T_{\max}$: コンクリート最高温度(℃)

C : 単位セメント量(kg/m³)

D : 柱部材寸法(mm)

T_0 : コンクリート打込み温度(℃)

3. 6 標準養生供試体の 28 日圧縮強度の変動

一連の施工実験では、柱のコンクリートの打込みに際しては 2~4 台の運搬車のコンクリートを、また、梁・床のコンクリートの打込みに際しては 3~10 数台の運搬車のコンクリートを用いて実験している。また、土間コンクリートの打込みに際しても同じ調合の数台

表-2 温度上昇に及ぼす各種要因分

説明変数	偏回帰係数	標準誤差	t 値
切片	-44.2	12.94	-3.42
C	0.058	0.0082	7.03
D	0.043	0.0119	3.64
T_0	1.61	0.920	17.46

重相関係数 (R) .0845

寄与率 (R^2) .0713

自由度調整済み寄与率 0.708

標準誤差 8.193

観測数 .148

図-13 最高温度の計算値と実測値の関係

図-14 日内標準偏差と日間標準偏差の関係

の運搬車のコンクリートを用いている例もある。そこで、これらのデータを用い、日内変動、日間変動および全変動を調べることにした。日内変動は 1 運搬車から採取した標準養生供試体の材齢 28 日圧縮強度の平均値を 1 データとし、2~4 台分の標準偏差 σ_s から求めた。日間変動は、柱コンクリートの打込み日の圧縮強度の平均値、梁・床コンクリートの打込み日の圧縮強度の平均値および土間コンクリートの打込みがある場合は、その圧縮強度の平均値を各々 1 データとしてそれらの標準偏差 σ_s から求めた。図-14 は日内標準偏差と日間標準偏差の関係を示したものであるが、これら両者にはほとんど相関関係はみられない。図-15 は、圧縮強度の平均値と標準偏

図-15 圧縮強度の平均値と標準偏差の関係

差の関係を示したものである。日内標準偏差は圧縮強度の平均値に対して平均で約3.8%、最大で約7.2%、日間変動は、平均で約4.7%、最大で9.8%となった。

全変動の σ_T^2 は、日内変動 σ_d^2 と日間変動 σ_b^2 の和として求められ全標準偏差は平均で約6.2%、最大で約10.2%である。これらの値は既往の調査⁴⁵⁾と比較的一致している。

以上のことから、高強度コンクリートの標準養生供試体の材齢28日圧縮強度の標準偏差(全変動)は、最大で圧縮強度の平均値の約10%として良いと考えられる。

4. 結論

本論文は、普通ポルトランドセメントを用いた設計基準強度が36~60N/mm²の高強度コンクリートの実大柱部材から採取したコア供

試体の圧縮強度のデータを収集し、高強度コンクリートの構造体における強度発現性、調合強度の定め方などを検討したものである。その結果は次のようにまとめられる。

- (1) コアの採取方向と圧縮強度との関係は、鉛直方向に採取した方が水平方向に採取したものより若干高い傾向にあるが、大きな差はない。
- (2) 1部材から採取したコア供試体の圧縮強度の標準偏差は、1N/mm²から8N/mm²の範囲に分布し、変動係数で表すと平均で6~7%、最大で11~12%となる。
- (3) 材齢28日から91日にかけて、構造体における圧縮強度は平均して約1.12倍に増大するが、コンクリートの最高温度が高くなるごとにその割合は小さくなり、最高温度が約75℃になるとその約20%に強度の増進がなくなる。
- (4) 標準養生供試体の材齢28日圧縮強度に対するコア供試体の材齢91日圧縮強度の比は、コンクリートの最高温度が60℃になると半数の場合に1以下になる。このことから、最高温度が60℃以上になると、調合強度は $1+0.0036(T_{max}-60)$ (ただし T_{max} :コンクリートの最高温度)の割増を必要とする。
- (5) 構造体コンクリートの温度上昇量は、単位セメント量、部材寸法およびコンクリート打込み温度の関数として(2)式で良く表される。
- (6) 標準養生供試体の28日圧縮強度の標準偏差は、最大で圧縮強度の平均値の約10%である。

謝辞

本解析の実施に際して貴重なデータの使用を許可いただきました三井建設、フジタ、熊谷組、間組、西松建設、飛島建設、銭高組、前田建設工業、日本国土開発、佐藤工業、安藤建設、東海興業、不動建設、奥村組、浅沼組、新井組、五洋建設、鉄建建設、日産建設、地崎工業、住友建設、松村組、長谷工コーポレーション、三菱建設、青木建設、藤木工務店、北野建設、新日本製鐵、東急建設・東急工建、東鉄工業・大都工業、多田建設、富士工、共立建設、勝村建設・日東建設・日特建設、日本建設、白石建設・松尾工務店、東洋建設、大日本土木、大末建設、大鉄工業、大木建設の関係各位に感謝いたします。また、本解析に際して協力いただきました宇都宮大学卒論生細田竜子さんに謝意を表します。

参考文献

- 1) 三井建設：三井建設高層RCシステム(MRC-40)実大施工実験報告書, 1986.11
- 2) フジタ：FHRCシステム 実大施工実験報告書, 1986.11
- 3) 熊谷組：熊谷組超高層RC構法 実大施工実験報告書, 1986.11
- 4) 間組：間組高層RCシステム HRC-35 実大施工実験報告書, 1987.4
- 5) 西松建設：高層RC(NH-RC)システム 実大施工実験報告書, 1987.5
- 6) 飛島建設：飛島式高層鉄筋コンクリート構造システム(スカイリブ) 実大施工実験報告書, 1987.12
- 7) 銭高組：ZRC(超高層RC集合住宅)システム 実大施工実験報告書, 1987.12
[注] 銭高組技報 No.13, 1989
- 8) 前田建設工業：前田建設工業高層RCシステム(MARCシステム) 実大施工実験報告書, 1988.6
[注] 技術研究所報 Vol.29-2, 1988
- 9) 日本国土開発：日本国土開発高層RCシステム(SHRCシステム) 実大施工実験報告書, 1988.9
- 10) 佐藤工業：佐藤工業高層RCシステム(SHRCシステム) 実大施工実験報告書, 1989.4
- 11) 安藤建設：ARCS-25 安藤超高層RCシステム 実大施工実験報告書, 1989.4
- 12) 東海興業：高層鉄筋コンクリート構造システム(TK-HRC30) 実大施工実験報告書
- 13) 不動建設：FIT-HRPC(不動高層RCシステム) 実大施工実験報告書
- 14) 奥村組：高層鉄筋コンクリート構造システム(SKYRC-30システム) 実大施工実験報告書, 1989.11
- 15) 浅沼組：浅沼超高層RC住宅構法(A-HRC30) 実大施工実験報告書, 1990.4

- 〔注〕浅沼組技術研究所報 No 2, 1990
- 16) 新井組：新井組超高層 RC 造建築物設計施工システム (AHRC-35) 実大施工実験報告書, 1990. 12
 - 17) 五洋建設：五洋建設超高層 RC 構法 (PHRC システム) 実大施工実験報告書, 1991. 5
〔注〕技術研究所年報 Vol 21, 1991
 - 18) 鉄建建設：鉄建式高層鉄筋コンクリート造システム (THR-30) 実大施工実験報告書, 1991. 5
〔注〕'92 研究発表概要 特集号
 - 19) 日産建設：日産建設超高層 RC 構法 (NRC-25 システム) 実大施工実験報告書, 1991. 8
 - 20) 地崎工業：地崎工業超高層 RC 構法 (CHRC システム) 実大施工実験報告書, 1992. 1
 - 21) 住友建設：住友式高層 RC 造建築システム (Shis-RC30) 実大施工実験報告書, 1992. 5
 - 22) 松村組：松村式高層鉄筋コンクリート造構法 (MHR-100 システム) 実大施工実験報告書, 1992. 5
 - 23) 長谷工コーポレーション：長谷工高層鉄筋コンクリート造設計・施工システム 実大施工実験報告書, 1992. 7
〔注〕長谷工技報 No. 9 別冊
 - 24) 三菱建設：三菱建設高層鉄筋コンクリート造構法 (MC-HRPC25 システム) 実大施工実験報告書, 1993. 3
〔注〕技報 Vol 2, 1993
 - 25) 青木建設：青木式高層 RC 集合住宅構法 (AHS 構法) 実大施工実験報告書, 1993. 5
 - 26) 藤木工務店：藤木工務店高層鉄筋コンクリート造 (FKRC システム) 実大施工実験報告書, 1993. 12
 - 27) 北野建設：北野建設高層 RC 造建築システム (KTN-RC システム) 実大施工実験報告書, 1993. 12
 - 28) 新日本製鐵：新日鐵超高層 RC 構法 (NS35 システム) 実大施工実験報告書, 1993. 12
 - 29) 東急建設：東急建設・東急工建高層 PRC 構法 (THRPC システム) 実大施工実験報告書, 1994. 7
 - 30) 東鉄工業・大都工業：東鉄・大都高層鉄筋コンクリート構法 (TD-KRC30 システム) 実大施工実験報告書, 1994. 9
 - 31) 多田建設：多田建設高層 RC 造建築構法 (TKRC-30 建築システム) 実大施工実験報告書, 1995. 4
 - 32) 富士工：富士工式高層鉄筋コンクリート構法 (HUIKO-HRC30 システム) 実大施工実験報告書, 1995. 7
 - 33) 共立建設・NTT ファシリティーズ：NTT ファシリティーズ・共立建設高層 RC 構法 (N・共 HRC30 システム) 実大施工実験報告書, 1995. 7
 - 34) 勝村建設・日東建設・日特建設：KNN 高層鉄筋コンクリート構法 (KNN-HRC システム) 実大施工実験報告書, 1995. 10
 - 35) 日本建設：日本建設高層鉄筋コンクリート構法 (N-HRC システム) 実大施工実験報告書, 1996. 2
 - 36) 白石建設・松尾工務店：白石・松尾高層鉄筋コンクリート構法 (S&M KRC-27 システム) 実大施工実験報告書, 1996. 6
 - 37) 東洋建設：東洋建設高層 RC 構法 (TOWERS-31) 実大施工実験報告書, 1996. 6
〔注〕東洋建設技術研究報告特集号 1996. 9
 - 38) 大日本土木：大日本土木高層鉄筋コンクリート造システム (Hb-R) 実大施工実験報告書, 1996. 7
 - 39) 大木建設：大木建設高層鉄筋コンクリート造構法 (Dhi-RC システム) 実大施工実験報告書, 1997. 2
 - 40) 大鉄工業・ジェイ・エル西日本コンサルタンツ：大鉄・J R 西日本 G 構造 RC 構法 (D&J-HRC システム) 実大施工実験報告書, 1998. 6
 - 41) 大木建設：大木建設高層 RC 構法 (OH-RC30 システム) 実大施工実験報告書, 1999. 8
 - 42) 岡本公夫, 上村克郎, 友澤史紀, 清水昭之, 梶田佳寛, 中根淳, 平賀友晃, 他：NewRC 実大施工実験 その 1～その 31, 日本建築学会学術講演梗概集 A (北陸) pp. 299-360, 1992. 8
 - 43) 構造体コンクリート強度研究委員会：構造体コンクリート強度に関する研究の動向と問題点, 日本建築学会, 1987. 11
 - 44) 松本雅之, 梶田佳寛, 阿部道彦：高強度コンクリートを用いた構造体コンクリートの強度管理方法に関する考察, 日本建築学会学術講演梗概集 A (東北) pp. 837-838, 1991. 9
 - 45) 福士勲, 横山昌寛：高強度コンクリートの品質変動特性に関する実態調査, セメント・コンクリート No. 538, pp. 25-33, 1991. 12

(1999年12月10日原稿受理, 2000年6月12日採用決定)