

高強度コンクリート ($F_c=600 \text{ kgf/cm}^2$) の高層建築物への適用

西田 朗 (技術研究所) 山崎 庸行 (技術研究所)
江原 恭二 (技術研究所) 熊谷 仁志 (技術研究所)
橋 大介 (技術研究所)

§ 1. はじめに

近年、建築分野では設計基準強度が $420 \sim 480 \text{ kgf/cm}^2$ の高強度コンクリートを使用した高層建築物が建設されるようになり、その製造・施工技術については多くの報告がなされている。また、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」(New RC)では、設計基準強度 1200 kgf/cm^2 までの高強度コンクリートの施工・品質管理に関する検討が進められている¹⁾。一方、当社ではこうした動きに先行して、コンクリート強度 $1,000 \text{ kgf/cm}^2$ 以上の超高強度コンクリートの製造・施工技術や設計基準強度 600 kgf/cm^2 の高強度コンクリートの実施工に関する報告²⁾³⁾を既に行なっており、これらの中で多くの知見を得ている。こうした背景のもと、神奈川県海老名市において当社の設計・施工で建設が進められている地上25階建ての高層建築物に、設計基準強度 $420 \sim 600 \text{ kgf/cm}^2$ の高強度コンクリートの適用が計画され、そのための製造・施工技術を検討する機会を得た。このため、既報²⁾³⁾の結果を踏

まえて設計基準強度 $420 \sim 600 \text{ kgf/cm}^2$ の高強度コンクリートの調査設計と構造体強度の管理に関する検討を行なった。本報告は、このうち国内で初めて高層建築物に適用される設計基準強度 600 kgf/cm^2 の高強度コンクリートに関する検討結果を中心に取りまとめたものである。図-1に、本報告における検討の流れを示す。

§ 2. 建物概要

建物の概要を以下に、また平面図および断面図を図-2に示す⁴⁾。

所在地	神奈川県海老名市
用途	事務所、ホテル、他
構造	RC造(コアウォールシステム)
敷地面積	$9,733 \text{ m}^2$
建築面積	$4,838 \text{ m}^2$
延べ面積	$54,204 \text{ m}^2$
基準階面積	$1,393 \text{ m}^2$
階数	地下1階、地上25階、塔屋1階
建物高さ	最高部高さ 107.80 m
	基準階高 3.90 m

このうち、設計基準強度 600 kgf/cm^2 の高強度コンクリートはB1FL-2, 300~3FL, 同じく設計基準強度 480 kgf/cm^2 については3FL~6FL, 420 kgf/cm^2 は6FL~9FLに使用が予定されている。

§ 3. 室内実験

3.1 実験概要

室内調査実験は、使用材料の選定と調査の検討を中心とし、 $\phi 10 \times 20 \text{ cm}$ の標準養生供試体の圧縮強度で評価を行なった。次に、実施工で所要の品質が得られると思われる調査について断熱温度上昇試験を行なった。これら

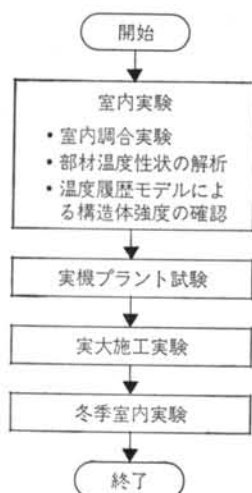
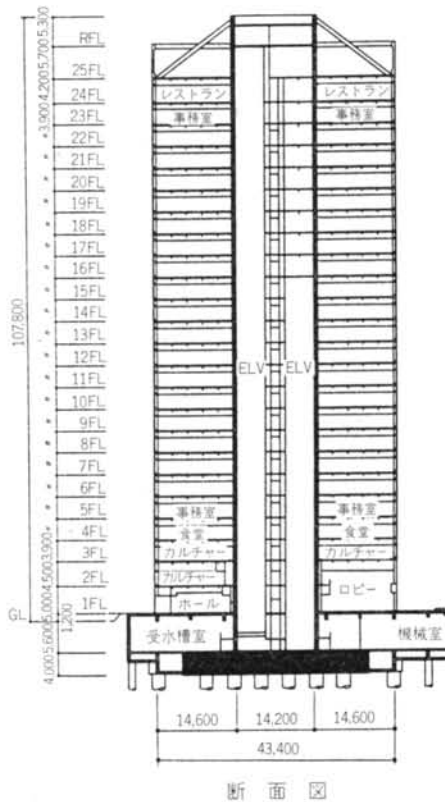


図-1 検討の流れ

の結果と対象構造物の部材寸法等を用いて有限要素法による温度解析を行ない、解析結果から得られた温度履歴を与えた供試体の強度発現の検討を行なった⁵⁾。なお、温度履歴は、夏季を想定した場合の安全側評価として最も温度上昇が大きくなる部材中心部を対象とした⁶⁾。



図—2 平面図および断面図

3.2 使用材料および調合

実験に使用した材料を表—1に示す。骨材は、実施工の際にコンクリートの供給を行なうレディーミクストコンクリート工場で購入可能な、高強度コンクリートに適していると思われる硬質砂岩砕石と川砂の組み合わせ、同工場で通常使用している川砂利と混合砂の組み合わせ、および比較用に当社技術研究所所有の硬質砂岩砕石と陸砂の組み合わせを使用した。

調合は、既報³⁾の実績から表—2に示すように単位水量をすべて 165 kg/m^3 一定とした。シリーズ1は、レディーミクストコンクリート工場で購入可能な砕石と川砂を使用し、水セメント比27.5~42.0%、目標スランプ21 cm、同空気量2%とした。シリーズ2は、レディーミクストコンクリート工場で購入可能な川砂利と混合砂を使用し、またシリーズ3は比較用骨材を用いて、それぞれ水セメント比26.5~30.0%、目標スランプ23 cm、同空気量2%とした。

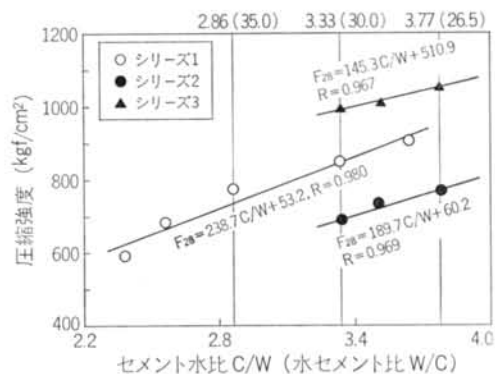
3.3 実験結果および考察

3.3.1 圧縮強度

材齢28日における圧縮強度試験結果を図—3に示す。圧縮強度は、使用骨材を変えた各シリーズによって異なり、水セメント比30%の場合にシリーズ1で 848 kgf/cm^2 、シリーズ2では 685 kgf/cm^2 、シリーズ3で $1,001 \text{ kgf/cm}^2$ となった。この結果から、シリーズ2の骨材を使用した場合に設計基準強度 600 kgf/cm^2 を満足するためにはかなりの低水セメント比が必要になり、製造・施工上の困難が予想されたこと、またシリーズ3の骨材は運搬、保管等の手間や経済性を考えると実用的でないことから、シリーズ1の骨材を選定することとした。

3.3.2 温度履歴モデルによる強度発現

圧縮強度試験の結果から、シリーズ1の水セメント比30~39%の調合について断熱温度上昇試験を行ない、こ



図—3 圧縮強度試験結果 (室内実験)

使用材料	記号	種類	物性および成分
セメント	C	普通ポルトランドセメント	比重3.16 比表面積3250cm ² /g
細骨材	S 1	山砂(市原産)	表乾比重2.56 吸水率2.22% 粗粒率1.41
	S 2	川砂(相模川産)	表乾比重2.59 吸水率1.81% 粗粒率3.06
	S 3	陸砂(浜岡産)	表乾比重2.59 吸水率1.50% 粗粒率2.82
粗骨材	G 1	川砂利(相模川産)	最大寸法25mm 表乾比重2.66 吸水率1.76%
	G 2	硬質砂岩碎石(多摩産)	最大寸法20mm 表乾比重2.70 吸水率0.66%
	G 3	硬質砂岩碎石(青梅産)	最大寸法20mm 表乾比重2.63 吸水率0.85%
混和剤	AD	高性能AE減水剤	主成分: ポリアルキルアリルスルホン酸塩
水	W	水道水	—

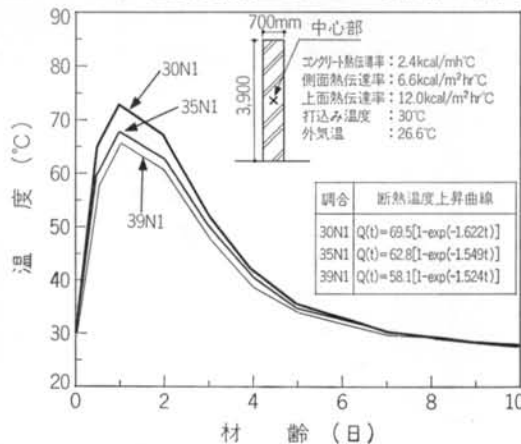
表一 使用材料

シリーズ	調合名	W/C (%)	W (kg/m ³)	C (kg/m ³)	s/a (%)	粗骨材	細骨材	AD (C×%)
1	27N 1	27.5	165	600	40.0	G 2 : 多摩産砕石	S 2 : 相模川産川砂	2.0%
	30N 1	30.0		550	42.0			
	35N 1	35.0		471	44.0			
	39N 1	39.0		423	44.0			
	42N 1	42.0		393	46.0			
2	26N 2	26.5	165	623	40.0	G 1 : 相模川産川砂利	混合砂 (S1 : S2 = 15 : 85)	2.9~3.0%
	28N 2	28.5		579	40.0			
	30N 2	30.0		550	40.0			
3	26N 3	26.5	165	623	40.0	G 3 : 青梅産砕石	G 3 : 浜岡産陸砂	2.0~2.2%
	28N 3	28.5		579	40.0			
	30N 3	30.0		550	40.0			

表二 コンクリートの調合

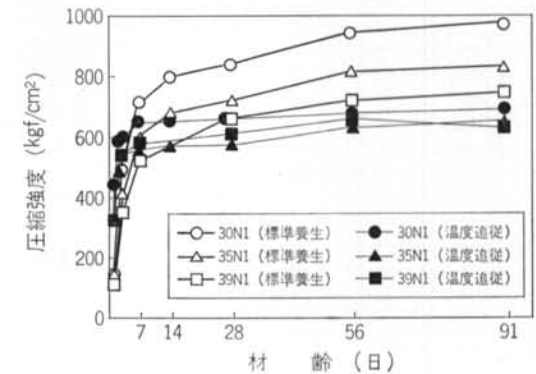
の結果を用いて有限要素法により、夏季を想定した場合の部材中心部の温度履歴モデルを作成した。温度解析条件および解析結果を図一4に示す。

次に、水槽中でこの温度履歴を与えたφ10×20cm供試体の材齢91日までの強度発現を標準養生の場合と併せて図一5に示す。温度追従養生を行なった供試体は標準養



図一4 温度解析結果(室内実験)

生の場合と異なり、いずれの調合においても材齢7日以降の強度発現が停滞し、強度発現に対する温度履歴の影響を確認することができた⁷⁹⁾。また、材齢28日における標準養生の圧縮強度は、水セメント比30%で838kgf/cm²、35%で719kgf/cm²、39%で666kgf/cm²であったが、温度追従養生の場合は水セメント比30%で664kgf/cm²、35%で578kgf/cm²、39%で613kgf/cm²であり、標準養生に比べて水セメント比による差は小さく、強度発現が頭打ちにな



図一5 温度履歴供試体の強度発現

る傾向が認められた。

以上の結果から、室内実験において温度履歴を与えた供試体強度を検討することによって、構造体コンクリートの強度発現の傾向を推定することができた。設計基準強度 420~600 kgf/cm² の高強度コンクリートを対象とした場合、夏季施工では標準養生強度を基準とした調合設計では危険側の調合になる可能性があり、温度履歴による強度停滞を加味して、構造体を基準とした調合設計を行なう必要がある。

§ 4. 実機プラント試験

4.1 実験概要

室内実験の結果をもとに、レディーミクストコンクリート工場において練混ぜを行ない、圧縮強度と水セメント比の関係の確認を行なった。また、設計基準強度 600 kgf/cm² を想定した水セメント比 30% のコンクリートについて、スランブ、フローおよび空気量の経時変化の確認を行ない、併せて同工場内で図-6 に示す実際の構造体と同じ壁厚 (700mm) の試験体にこれを打ち込み、温度測定、温度追従養生による強度発現の確認、コア強度の測定を行なった。なお、練混ぜの際には骨材の表面水率の変動によるスランブ、圧縮強度の変化に対応するため、水分管理計を使用して管理を行なった³⁾。実験は7月に実施した。

4.2 使用材料および調合

使用した材料および調合は、室内実験のシリーズ1を基本とし、単位水量を 165kgf/m³ 一定とした。水セメント比は設計基準強度 420~600 kgf/cm² のコンクリートに対応するように 27.5~48.0% の範囲とした。目標スラン

ブは、設計基準強度 600 kgf/cm² のコンクリートで 23.0 cm, 480kgf/cm² で 21.0cm, 420kgf/cm² で 18.0cm とし、目標空気量はすべて 2.0% とした。

4.3 実験結果および考察

4.3.1 フレッシュコンクリートの経時変化

アジテータ車で練り置いたコンクリートの練上がり90分までのスランブ、フロー、空気量の経時変化を図-7 に示す。90分経過でスランブおよび空気量は殆ど変化がなく、フローは若干小さくなったが、施工上の問題はないと判断された。

4.3.2 圧縮強度

材齢28日における標準養生圧縮強度の試験結果を、室内実験のシリーズ1と比較して図-8 に示す。この結果から、実機プラントで製造したコンクリートは同一水セメント比で、室内実験結果に比べて 70~90 kgf/cm² 程度強度が小さくなることが確認された。この差を式で表わすと次のようになる。

$$\Delta F_{28} = 13.3 C/W + 44.4 \quad \dots\dots(1)$$

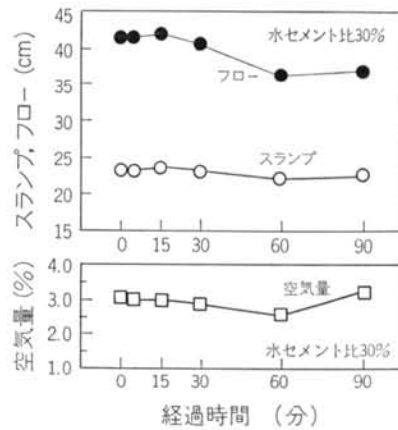


図-7 フレッシュコンクリートの経時変化

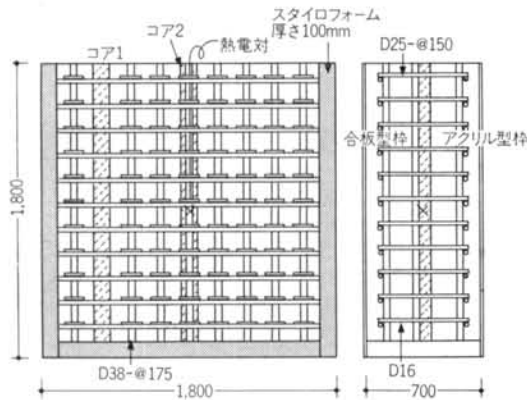


図-6 試験体の概要 (プラント実験)

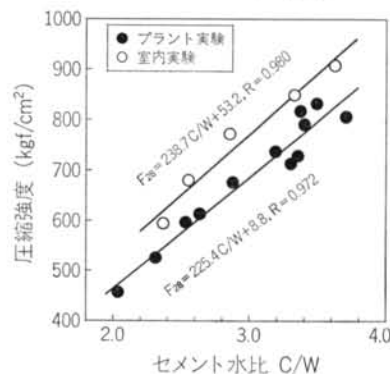


図-8 圧縮強度試験結果 (プラント実験)

ΔF_{28} : 室内実験強度とプラント強度の差

C/W: セメント水比

このことから、設計基準強度 420~600 kgf/cm² 程度の高強度コンクリートは事前に実機プラントで試験練りを行ない、調合設計を行なうことが必要である。

4.3.3 モデル試験体の温度、強度性状

図-6の試験体に打ち込んだコンクリートの温度履歴を、室内実験時に得た温度解析結果と併せて図-9に示す。この図から、温度履歴は解析結果に比べ最高温度で

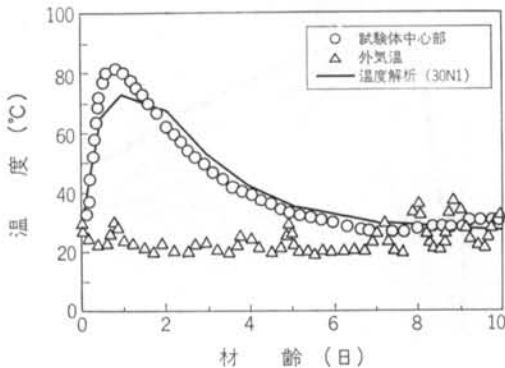


図-9 温度履歴測定結果 (プラント実験)

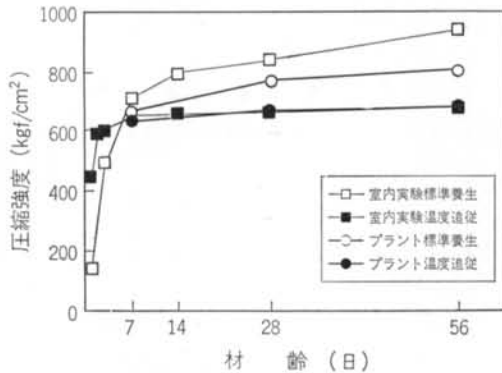


図-10 強度発現の比較

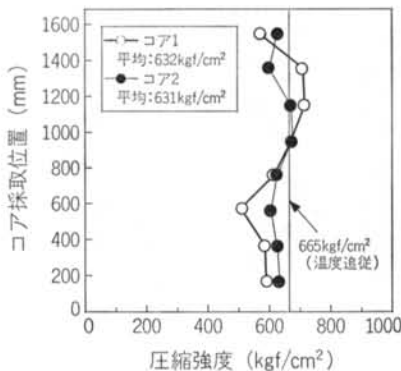


図-11 コア強度の分布 (プラント実験)

10°C程度の差が生じたが、温度履歴全体の傾向は同様のものとなった。この差については、熱伝達率等の解析条件の相違や、試験体の温度上昇が外気温の上昇時に重なったこと等が原因と考えられる。

試験体の温度履歴を与えた温度追従養生供試体と標準養生供試体の強度発現を、室内実験結果と併せて図-10に示す。強度発現は、標準養生強度で室内実験結果との差が認められたが、温度追従養生強度については材齢28日で室内実験の664kgf/cm²に比べて665kgf/cm²とほぼ同等の値であった。これは、室内実験と同様に強度発現の頭打ち現象によるものと思われる。

図-11は、試験体から採取したコアの材齢28日における強度分布を高さ方向に示したものである。コア強度は平均値でそれぞれ632kgf/cm²、631kgf/cm²となったが、一部で600kgf/cm²を下回るものも認められた。また、温度追従養生強度と比較すると若干低めの強度を示したがその差は5%程度であり、コア供試体の成型による強度低下等を考慮すれば良好な対応が得られたものと判断される。

§ 5. 実大施工実験

5.1 実験概要

室内実験、実機プラント試験の結果を踏まえて、設計基準強度600kgf/cm²のコンクリートを対象に、図-12に示す実施工建物の一部をモデル化した試験体にコンクリートを打ち込み、その強度性状の検討を行なった。試験体型枠は、レディーミクストコンクリート工場から1.5 km程度の距離にある現場敷地内に組み立てた。また、コンクリートは水分管理計を使用して練混ぜ管理を行な

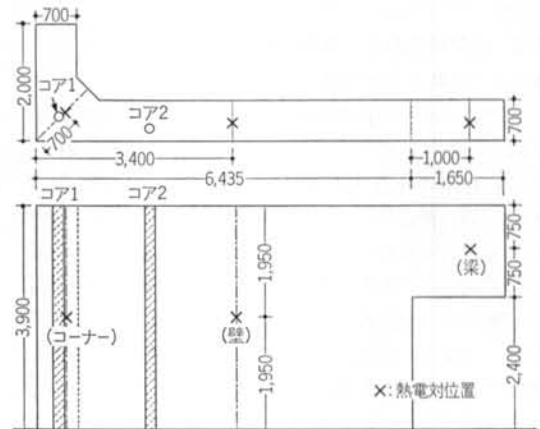


図-12 試験体の概要 (実大施工実験)

い、アジテータ車で現場まで運搬し、ポンプ車にトレミー管を接続して打込みを行なった。ここで、試験体の部材厚方向の中心位置において、コーナー、壁中央、梁中央の各箇所温度測定を行ない、中で最も温度上昇が大きいと予想されたコーナー部分の温度を追従させた供試体の強度測定を行なった。また、材齢28日においてコア強度の測定を行なった。実験は8月下旬に実施した。

5.2 使用材料および割合

使用材料は、室内実験のシリーズ1と同一のものとした。割合は、実機プラント試験の結果を踏まえて式(2)のように定めた。

$$F_{28} = \alpha(F_c + 1.73\sigma) \quad \dots\dots(2)$$

F_{28} : 割合強度

α : 構造体強度補正係数 (α = 標準養生強度 / 構造体強度推定値)

F_c : 設計基準強度 (600kgf/cm²)

σ : 標準偏差 ($\sigma = 0.08 F_c$)

この式は、JASS5の気温による温度補正の考え方⁹⁾と異なり、コンクリートの温度履歴による強度低下分を、構造体強度に対する標準養生強度の比率で補正して割合強度を求める形をとっている。ここで、標準養生強度は実機プラント試験で得られた770kgf/cm²とし、構造体強度推定値については同じく実機プラント試験の温度追従養生強度665kgf/cm²を用い、これらの値から $\alpha = 1.16$ を求めた。以上の条件で割合強度を求めると792kgf/cm²となり、実機プラント試験における強度—セメント水比の関係から水セメント比は28.8%となる。この結果から、実大施工実験における水セメント比を28.5%に設定した。なお、単位水量は、室内実験、実機プラント試験と同じ165kg/m³とした。

5.3 実験結果および考察

5.3.1 試験体温度履歴

試験体と温度追従水槽および外気温の温度履歴を図-13に示す。この結果、コーナー部分の温度上昇が最も大きく、材齢16時間で最高温度92.9℃に達した。次に、壁中央部分、梁部分の順に温度上昇が大きく、これらの位置でも最高温度は89~90℃に達した。コーナー部分の温度に追従させた養生水槽は、最高温度が89.1℃と部材に比べ若干低い値となった。これは、追従させる温度が90℃以上と非常に高温となったため、水槽周囲への放熱が過大になったことが主な原因であり、水槽付近の外気温が50℃程度になっていることから推察される。この点についてはその後、室内実験において断熱材等の使用で

追従性を改善した。また、途中で発生した2回の急激な温度降下は蒸発水補給のため、補給直前には空焚きに近い状態になった。これについても、水槽蓋の改善、水補給で防止できることを確認した。

5.3.2 圧縮強度

図-14は、アジテータ車ごとに採取した供試体の標準および温度追従養生の材齢28日における圧縮強度を示したものである。この結果から、標準養生強度の平均値は786kgf/cm²、標準偏差は約18kgf/cm²であり、ばらつきの

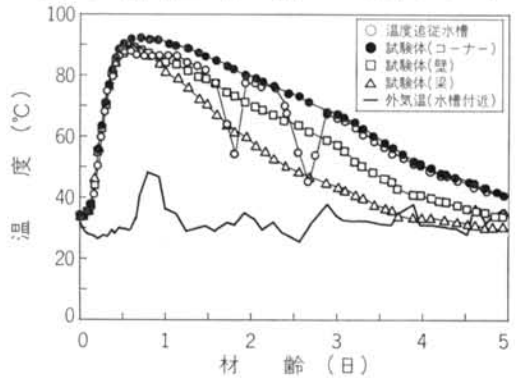


図-13 温度履歴測定結果(実大施工実験)

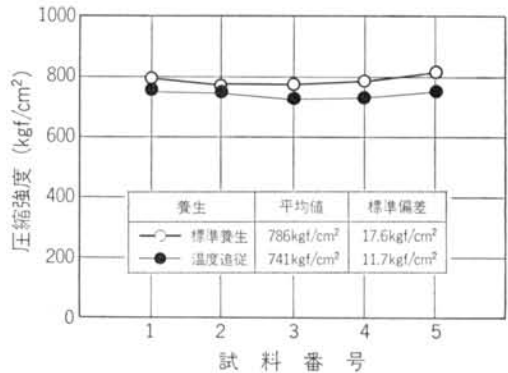


図-14 圧縮強度の変動

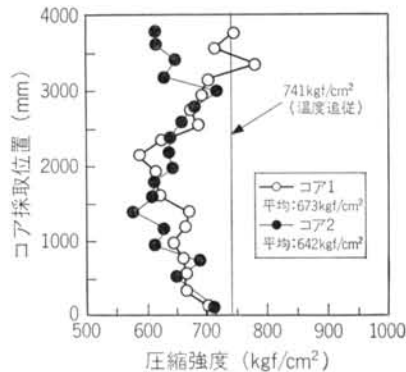


図-15 コア強度の分布(実大施工実験)

小さい所定の強度のコンクリートを得ることができた。これは、水分管理計による充分な練混ぜ管理の結果と考えられる³⁾。また、温度追従養生の強度平均値は714kgf/cm²となり、標準養生強度との比率は1.06で、実機プラント試験の結果より小さい値となった。他方、図-15は試験体から採取したコア強度の高さ方向の分布を示したものである。コア強度は平均値でそれぞれ673kgf/cm²、642kgf/cm²となり、また、全36本のコアの中で600kgf/cm²を下回ったものは2本だけであり、ほぼ所要の強度を得ることができた。このことから、今回設定した水セメント比28.5%は妥当なものと判断される。また、コア強度と温度追従養生の強度を比較すると、コア強度が9～13%低い値となっており、実機プラント試験の結果に比べてその差が大きくなった。これは、温度追従養生強度が標準養生強度に近い値を示したことを合わせて考えると、実大施工実験では室内実験や実機プラント試験の場合と異なり、温度追従養生強度の頭打ち傾向が小さかったものと判断される。この点については、温度追従養生装置の管理が不十分であったこと等が影響していると考えられる。

§ 6. 冬季室内実験

6.1 実験概要

実大施工実験までの結果を踏まえて、冬季施工を想定した場合の構造体コンクリートの強度発現を捉え、冬季における調合補正の必要性を検討するために、室内で温度追従養生実験を行なった。

室内実験で得た水セメント比30～39%のコンクリートの断熱温度上昇曲線をもとに、外気温5℃、2日で型枠取り外しの条件で設計基準強度600、480、420kgf/cm²の

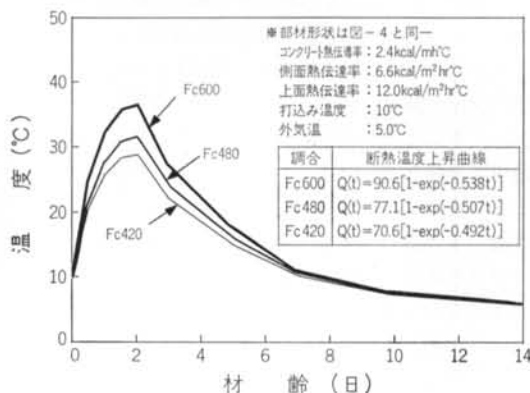


図-16 温度解析結果 (冬季室内実験)

コンクリートについて部材の温度解析を行なった。冬季施工では、外気温の影響により部材表面部の強度発現が問題になると考えられるため⁹⁾、部材表面から50mmの位置を対象として解析を行なった。温度解析条件および解析結果を図-16に示す。ここで得られた温度履歴を与えて養生した供試体と、標準養生および5℃一定で封かん養生を行なったものについて各材齢で圧縮強度試験を行なった。なお、ここでは調合名を設計基準強度に対応してそれぞれFc600、Fc480、Fc420と称する。

6.2 使用材料および調合

実験には室内実験、実機プラント試験、実大施工実験と同様の材料を使用した。なお、Fc600では細骨材をS2単味とし、Fc480、Fc420ではS1とS2の混合砂 (S1:S2=15:85) とした。

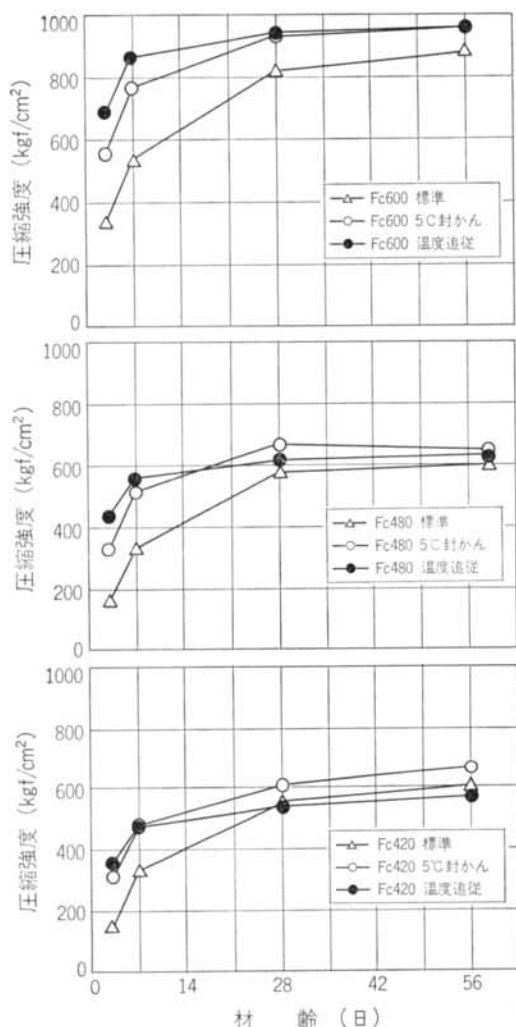
調合は、Fc600のコンクリートは実大施工実験と同様に水セメント比を28.5%とした。また、Fc480、Fc420のコンクリートは式(2)を用いて、調合強度をそれぞれ634kgf/cm²、555kgf/cm²とし、これより水セメント比を36.0、41.0%とした。なお、目標スランプはFc600で23cm、Fc480で21cm、Fc420で18cmとし、目標空気量はすべて2.0%とした。

6.3 実験結果および考察

各コンクリートの強度発現を図-17に示す。Fc600のコンクリートでは、材齢7日までの強度は温度追従、標準、封かんの順に大きく、材齢28、56日では温度追従と標準がほぼ同等の値となり、5℃封かんがこれらより小さな値となった。Fc480のコンクリートでは、材齢3、7日まではFc600のコンクリートと同様な傾向になったが、材齢28、56日では温度追従、標準、封かんの差が小さいものになった。Fc420のコンクリートでは、温度追従養生を行なった供試体が初期材齢で標準養生強度とほぼ同程度になり、材齢28、56日では標準養生強度より若干小さく、5℃封かん養生の強度と同等の値であった。

材齢28日における各コンクリートの標準養生強度は、Fc600で930kgf/cm²、Fc480で666kgf/cm²、Fc420で605kgf/cm²であった。これらの強度を室内とプラントにおける強度差(式(1))を用いて補正するとFc600が839kgf/cm²、Fc480が585kgf/cm²、Fc420が528kgf/cm²となり、Fc600は調合強度を満足したが、Fc480とFc420は調合強度を若干下回るものとなった。これは、Fc480、Fc420で細骨材に混合砂を使用したことが影響しているものと考えられる。

温度追従養生を行なった供試体の強度は、材齢28日で



図—17 各調合の強度発現

は Fc600 が標準養生と同等, Fc480 が標準養生と 5°C 封かん養生の中間, Fc420 が 5°C 封かん養生と同等の値となった。この結果から, Fc480, Fc420 のコンクリートについては打込み時期により温度補正值や管理材齢延長の考慮が必要になるものと思われる。

§ 7. まとめ

設計基準強度 420~600 kgf/cm² の高強度コンクリートを高層建築物に適用するための製造・施工技術に関する

検討を行ない, この中で調合設計, 構造体強度管理を中心に実験を行なった。

本研究の範囲で得られた結果をまとめると, 以下のようになる。

(1)室内調合実験の結果, 設計基準強度600kgf/cm²程度までの高強度コンクリートを得るためには, 骨材の選定を充分に行なうことが必要であることが分かった。また, 部材温度履歴モデルを与えた温度追従養生を行なった結果, コンクリートの強度発現は標準養生と比べて大きく異なることが確認され, 室内実験で構造体強度の傾向を捉えることができた。

(2)レディーミクストコンクリート工場における練混ぜ実験の結果, アジテータ車に練り置いたコンクリートの90分までのスランプロスは殆どなく, 良好な状態を保持することができた。また, 実機プラントで練り混ぜたコンクリートは, 室内実験に比べて同一水セメント比で70~90 kgf/cm²程度強度が小さくなることが確認され, 設計基準強度420~600 kgf/cm²の高強度コンクリートの調合設計には, 実機プラントにおける練混ぜ試験結果が必要であることが分かった。同時に打ち込んだモデル試験体のコア強度は, 温度追従養生供試体の強度に比べて5%程度の低下となり, 良好な対応が得られた。

(3)設計基準強度600kgf/cm²のコンクリートを対象として行なった実大施工実験において, 標準養生強度と構造体強度推定値の比率による補正係数を用いた調合強度算定式から, 水セメント比を28.5%とすることで, 強度管理材齢28日において実大試験体から採取したコア強度は所要の強度をほぼ満足するものとなった。

(4)冬季を想定した室内実験の結果から, 低温時には設計基準強度480, 420 kgf/cm²のコンクリートで, 温度補正による調合の変更や管理材齢の延長を考慮する必要がある。

(5)調合設計において, 標準養生強度と構造体強度推定値の比率により調合強度を算出する方法や, 構造体の強度を部材の温度追従養生強度で判定する方法は, 設定数値の決定や装置の管理に注意が必要であることが分かった。こうした点を充分検討したうえで, これらの方法は設計基準強度420~600kgf/cm²の範囲の高強度コンクリートに有用であると考えられる。

謝辞 本研究の実施に当たり, 海老名第一生命ビルディング建設所をはじめ社内関係各位の協力を得た。ここに, 慎んで謝意を表します。

<参考文献>

- 1) 樹田佳寛：“コンクリートのハイパフォーマンス化に向けて 建築における高強度化への対応” 月刊生コンクリート Vol. 9, No. 11 (1990年) pp. 58~67
- 2) 河井徹, 山崎庸行, 今井実, 橋大介, 稲田泰夫：“1000 kgf/cm² コンクリートの実用化への挑戦” セメント・コンクリート No. 508 (1989年) pp. 31~38
- 3) 橋大介, 熊谷仁志, 山崎庸行, 鈴木忠彦：“高強度コンクリート ($F_c=600\text{kgf/cm}^2$) の建築構造物への適用に関する研究” コンクリート工学論文集 Vol. 2, No. 2 (1991年) pp. 131~142
- 4) 今井三雄, 中島秀雄, 熊谷仁志, 徳田浩：“RCコアウォールシステムを用いた高層事務所ビルの構造設計” ビルディングレター No. 291 (1992年) pp. 9~14
- 5) 桑原隆司, 西田朗, 森永繁：“シミズ・コンクリート強度管理システムの研究・開発” 清水建設研究報告 Vol. 51 (1990年) pp. 11~22
- 6) 桑原隆司, 安斎俊哉：“マスコンクリートの強度管理方法” 清水建設技術資料 No. 86-05 (1987年)
- 7) 西田朗, 岡田武二, 桑原隆司：“暑中コンクリートおよび高強度コンクリートにおける積算温度方式の適用に関する研究” コンクリート工学年次論文報告集 Vol. 14, No. 1 (1992年) pp. 511~516
- 8) 樹田佳寛, 阿部道彦, 松本雅之：“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” 日本建築学会大会学術講演梗概集 (1991年) pp. 837~838
- 9) 日本建築学会編：“建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5：鉄筋コンクリート工事” 日本建築学会 (1993年) pp. 141~154

