

10. 高強度コンクリートの実施工時における品質管理

Quality Control of High-strength Concrete in Construction

高見 錦一* 立松 和彦*²
千葉 哲郎*³ 伊藤 善基*³
井之川英正*³ 鈴川 衛*³

要 旨

設計基準強度 (F_c) が $36\text{N}/\text{mm}^2$ を超える高強度コンクリートを使用する場合、その品質管理には細心の注意が必要である。今回、 $F_c=45\text{N}/\text{mm}^2$, $48\text{N}/\text{mm}^2$ クラスの高強度コンクリートを使用した高層RC造建物を2物件施工した。事前に行なう試験練り（室内および実機）以外に、厳密な細骨材の表面水率管理、施工初期段階での日内変動試験、単位水量推定試験などを実施し、また、1週強度から4週および8週強度を推定するなどして、フレッシュコンクリートの性状、構造体コンクリート強度など、高強度コンクリートとして必要な品質を安定して確保することができた。

キーワード：高強度コンクリート／単位水量推定試験／品質管理／日内変動試験／早期強度推定

1. はじめに

設計基準強度 (F_c) が $36\text{N}/\text{mm}^2$ を超える高強度コンクリートを使用する場合、その品質管理においては細心の注意が必要である。近年、各地で高層のRC造建物の建設例が増加しているが、これらの建物に使用される高強度コンクリートの製造実績を有するレディーミクストコンクリート工場（以下、「プラント」）は非常に少なく、高強度コンクリートの調合設計に必要なセメント水比一圧縮強度の関係式や標準偏差の実績値などを保有していないのが現状である。また、使用する材料（特に骨材）によってコンクリートの性状が異なり、打設する部位や打設方法によってもコンクリートに要求される性能は微妙に異なってくる。そのため、工事ごとに生コンプラントを特定し、室内試験、実機試験などを実施することで、調合の調整・強度の確認などを行い、その工事に必要とされる最適な調合および管理基準を作成して実施工に臨んでいるというのが現状である。

今回、 $F_c=45\text{N}/\text{mm}^2$, $48\text{N}/\text{mm}^2$ クラスの高強度コンクリートを使用した高層RC造建物を2物件（A工事、B工事とする）施工した。事前の試験練り（室内および実機）のほか、厳密な細骨材の表面水率管理、施工初期段階での日内変動試験の実施・高周波加熱乾燥法によるコンクリート中の単位水量推定試験の実施、早期の強度推定などを行い、フレッシュコンクリートの性状、構造体コンクリート強度ともに安定した品質を確保することができた。本報では、A,B二つの作業所でおこなった高強

度コンクリートの品質管理結果について述べる。

2. 計画概要

2.1 工事概要

A工事は、東京都中央区に建設する地下2階、地上23階、基準階床面積 480m^2 の共同住宅であり、B工事は、千葉市に建設する地上19階、基準階床面積 603m^2 の共同住宅である。コンクリートの設計基準強度区分、スランプ（あるいはスランプフロー）、空気量の設定値を表-1に示す。スランプ（あるいはスランプフロー）、空気量は、A,B工事とも室内試験、実機試験を実施した結果から、最適と思われる数値を設定した。

コンクリートの打設は、A・B両工事とも1フロアを2工区に分け、VH分離打設で行った。B工事は柱、梁スラブとも全てコンクリートポンプ車で打設し、A工事では、柱のV部コンクリートは 2.5m^3 ホッパー2台を用いて打設、他の部位はポンプ車で打設した。コンクリートの輸送は、両工事とも大型のアジテータ車を使用し、その輸送時間は約25分であった。

今回、A工事で採用したプラントの骨材貯蔵施設は、船から骨材を直接荷揚げすることもあり、屋根のない露天ヤードであったため、当初から、品質の安定を求められる高強度コンクリートの製造という点において若干の懸念があった。一方、B工事のプラントの骨材貯蔵施設はコルゲートサイロであった。

*東京分室 *²建築構造研究室 *³東京本店建築部

3. 試験練りの結果

3.1 試験練り概要

発注を決定したプラント t (A工事)、プラント u (B工事) において水セメント比を 4 水準とした室内試験練りを実施し、ワーカビリティの確認とセメント水比－圧縮強度の関係を調べた。その結果が分かってから、最も高い設計基準強度に対応する仮の調合を含む 2～3 種類の調合で、A工事では中間期と夏期の、B工事では夏期の実機試験練りを行った。その際に、柱を模した試験体を作製し、コア強度および S 値（標準水中養生供試体の材齢 28 日圧縮強度と構造体コンクリートの管理材齢における圧縮強度との差）を確認した後、調合を決定した。なお、A工事・B工事とも構造体コンクリートの強度管理材齢を 56 日とした。

3.2 使用材料

両プラントの使用材料を表－2に示す。セメントは、打設部位によっては発熱の点で若干の懸念があったが、構造体コンクリートの強度管理材齢を 56 日とすれば、普通ポルトランドセメント単味で十分対応できると考えた。また、両プラントの粗骨材は見た目にもやや微粉分が多かったので、スランプフローを少し大きめの値に設定してもフレッシュコンクリートの分離抵抗性は確保できると考えた。混和剤はともにポリカルボン酸系の高性能 AE 減水剤を使用した。

3.2 試験練り結果

(1)セメント水比と圧縮強度の関係

室内試験におけるセメント水比と圧縮強度の関係を図－1に示す。両プラントとも良好な相関関係を示した。同図に、実機試験結果のうち、4 週標準養生強度および 8 週簡易断熱養生強度をあわせて示した。A工事では、実機の 4 週強度は、室内試験の結果を大きく下回った。B工事では、実機試験と室内試験の結果はほぼ同等の結果が得られた。これらの結果をもとに、A工事・B工事におけるセメント水比と圧縮強度の関係式を下記のように定めた。

A工事

(中間期・冬期) : $F_{28} = 20.09 \times C/W + 6.55$

(夏期) : $F_{28} = 19.51 \times C/W + 6.36$

B工事

(中間期・冬期) : $F_{28} = 23.93 \times C/W - 0.18$

(夏期) : $F_{28} = 21.17 \times C/W + 3.92$

(2)S値の検討

室内試験では、S 値（4 週標準養生強度と 8 週簡易断熱養生強度との差）と C/W との間には良好な相関関係が認められたので、S 値と C/W は比例すると考えた。室内試験での結果および実機試験で得られた S 値を図－2に示す。また、実機試験時に作製した柱模擬試験体から採取した 13 週コア強度は 8 週簡易断熱養生強度よりもすべて大きくなった。図－2には 4 週標準養生強度と 13 週コア強度との差も示した。これらの結果から、S 値を下記のように定めた。

A工事 (中間期・冬期) : $S = 3.35 \times C/W - 3.91$

(夏期) : 同上

B工事 (中間期・冬期) : $S = 3.91 \times C/W + 0.36$

(夏期) : $S = 11.69 \times C/W - 17.59$

表－1 コンクリートの使用区分およびスランプ（あるいはスランプフロー）・空気量の管理基準値

(a) A工事				
適用部位	セメントの種類	$F_c(N/mm^2)$	スランプ・スランプフロー(cm)	空気量(%)
基礎・地中梁	BB	30	18±1.5	4.5±1.5
B2階柱～1階床	N	39	21±2.5	2.0～5.0
1階柱～4階床		48	スランプフロー 50±10	
4階柱～7階床		45	スランプフロー 45±7.5	
7階柱～10階床		42		
10階柱～15階床		39	21±2.5	4.5±1.5
15階柱～18階床		36		
18階柱～21階床		33		
21階柱～R階床		30		
塔屋		27	18±1.5	

(b) B工事				
適用部位	セメントの種類	$F_c(N/mm^2)$	スランプ・スランプフロー(cm)	空気量(%)
基礎・地中梁	N	39	スランプフロー 50±7.5	3.0±1.5
1階柱～6階床		45	スランプフロー 55±10	
6階柱～15階床		39	スランプフロー 50±7.5	
15階柱～R階床		33	21±1.5	4.5±1.5
塔屋		27	18±2.5	

表－2 使用材料

	A工事 プラント t	B工事 プラント u
セメント	普通ポルトランドセメント(宇部セメント) 比重 3.15	普通ポルトランドセメント(太平洋) 比重 3.16
細骨材	プレミックス砂(山砂:砕砂 8:2) 比重 2.61 FM 2.56	君津山砂(比重 2.6):大船渡砕砂(比重 2.64) 8:2 FM 2.66
粗骨材	伊佐・八戸石灰石砕石 2005 7:3 比重 2.7 実積率 60%	津久見産石灰石砕石 2005 比重 2.7 実積率 61%
混和剤	ポリカルボン酸系高性能 AE 減水剤 (花王 マイティ 3000)	ポリカルボン酸系高性能 AE 減水剤 (ボゾリス SP-8)

(3)強度推定式の検討

室内試験および実機試験において求めた、1週標準養生強度と4週標準養生強度および8週簡易断熱養生強度との関係を図-3に示す。施工時に、1週標準養生強度から4週標準養生強度および8週簡易断熱養生強度を推定して、早期の強度判定および強度発現不良などへの対処に役立てるのが目的である。強度推定式は下記のように定めた。

A工事（全期間〔4週標準養生強度の推定〕）

$$: \sigma_{28} = 1.008 \times \sigma_7 + 10.32$$

（全期間〔8週簡易断熱養生強度の推定〕）

$$: \sigma_{56} = 0.846 \times \sigma_7 + 8.049$$

B工事（全期間〔4週標準養生強度の推定〕）

$$: \sigma_{28} = 1.006 \times \sigma_7 + 10.45$$

（全期間〔8週簡易断熱養生強度の推定〕）

$$: \sigma_{56} = 0.842 \times \sigma_7 + 8.29$$

(4)調査計画

調査強度は、JASS 5 19節「高強度コンクリート」に示された式1、式2を満足するように定めた。

$$F_{28} \geq F_q + S + 2\sigma \quad \dots \dots \text{式1}$$

$$F_{28} \geq 0.9(F_q + S) + 3\sigma \quad \dots \dots \text{式2}$$

品質基準強度（ F_q ）は、実機試験の結果では両工事とも $F_q = F_c$ （設計基準強度）とする事ができたが、A工事ではプラントの骨材貯蔵施設が屋根の無い露天ヤードであり、コンクリートの品質変化が大きいと予測されたために、A工事ではJASS5のとおり $F_q = F_c + 3(N/mm^2)$ とした。標準偏差（ σ ）は、当該プラントにおいて製造実績のある強度レベルでは工場実績にもとづき、製造実績の無い強度レベルではJASS5に準じ $0.1(F_q + S)$ とした。計画調査を表-3に示す。

(5)強度管理

構造体コンクリートの強度管理は、A工事、B工事とも管理材齢を56日とし、簡易断熱養生供試体で管理することとした。判定基準は、 $F_q + 1.05\sigma$ 以上を合格とした。検査ロットは、打設日ごと・部位ごとかつ、 $100m^3$ 以下を1ロットとし、1週・4週標準養生供試体と8週簡易断熱養生供試体を作製した。なお、簡易断熱養生は、厚み150mmのポリスチレンフォーム保温板の容器で材齢7日まで断熱養生した後、現場封かん養生とした。また、1週標準養生強度から4週標準養生強度と8週簡易断熱養生強度の推定を行い、管理した。

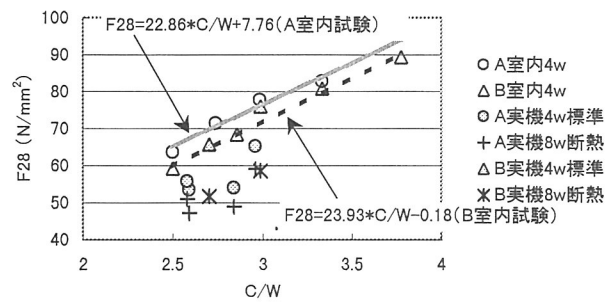


図-1 セメント水比と圧縮強度の関係（試験練り）

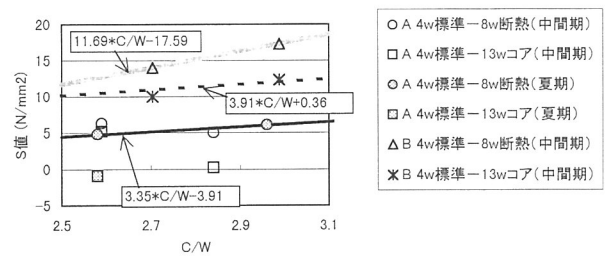


図-2 セメント水比とS値の関係（試験練り）

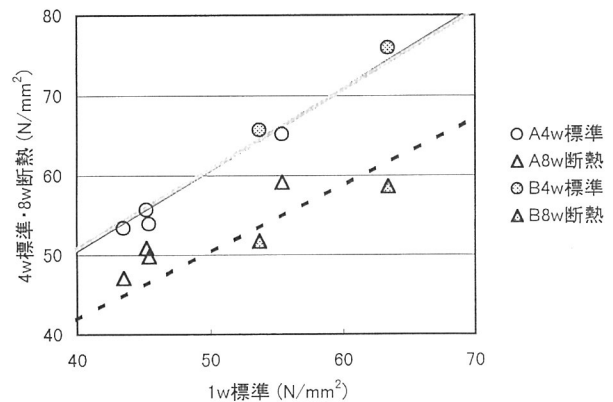


図-3 1週標準養生強度と4週標準養生強度および8週簡易断熱養生強度との関係（試験練り）

表-3 計画調査

工事	記号	プラント	F_c (N/mm^2)	S値	σ	F_{28} (N/mm^2)	W/C (%)	s/a (%)	単位水量 (kg/m^3)
A	tN4	t	39.0	4.3	4.6	55.5	38.9	45.5	165
	tN10		48.0	6.3	5.7	68.7	33.0	43.4	
	tN8		45.0	5.8	5.4	64.6	35.0	44.2	
	tN5		42.0	5.0	5.0	60.0	37.9	45.1	
	tN6			5.2	5.0	60.2	37.0	44.9	
	tS5	y	39.0	4.6	4.7	56.0	37.7	45.0	
	yS5			4.4	4.6	55.6	39.5	45.6	
B	N2	u	39.0	11.6	5.06	58.2	41.0	45.9	165
	N3		45.0	13.3	5.83	59.7	40.0	45.7	
	N9					70.2	34.0	43.0	
	S5					62.8	38.0	45.1	
	S6		39.0	12.9	5.19	64.4	37.0	44.9	

4. 水量の管理

4.1 細骨材表面水率

高強度コンクリートでは、細骨材の表面水率の変動に起因するコンクリート中の水量の変動がコンクリートの品質に大きな影響を及ぼす。そこで、工事を開始する約6ヶ月前に各プラントの細骨材表面水率の変動を調査した。その結果を図-4に示す。B工事のプラントにおける細骨材表面水率の変動に比べ、A工事のプラントにおける表面水率の変動はかなり大きいことがわかる。短期間のデータではあるが、1日のうちでも変動の幅は最大で3%と大きな値であった。表面水率の変動が大きいと、コンクリート練り混ぜ時の表面水率の設定値と実際の値との誤差が大きくなってしまいう危険性が高くなる。そうするとフレッシュコンクリートの性状も安定せず、強度の変動も大きくなってしまふ。こうした危険性を抑えて安定した品質のコンクリートを製造するためには、A工事のプラントでは少なくとも1時間ごとに細骨材表面水率の試験を行う必要があると考えた。一方、B工事のプラントでは2時間ごとにおこなうこととした。A工事の地下1階 ($F_c=39\text{N}/\text{mm}^2$) の打設時に、プラントで細骨材の表面水率測定を生コン車3台毎に行なった結果を図-5に示す。表面水率の値は、最大値7.2%、最小値5.3%であり、日内の変動幅としては約2%とやや大きな変動であるが、測定頻度を多くすることで、練り混ぜ時の表面水率の設定値と実際の表面水率との差(ずれ)をほぼ0.5%以下に抑えることが出来た。

5. 日内変動試験 (A工事)

5.1 概要

A工事においては前述のようにコンクリート中の細骨材の表面水率の変動が比較的大きいために、結果的にコンクリートの品質も大きく変動してしまう危険性があった。そこで、その変動の程度を把握するために、A工事のみではあるが工事の初期の段階でコンクリート中の単位水量・フレッシュコンクリートの性状・圧縮強度の日内変動試験を行った。試験は、地下1階立ち上がり部打設時 ($F_c=39\text{N}/\text{mm}^2$, 打設量 340m^3 , ポンプ車2台) と4階梁スラブ部打設時 ($F_c=48\text{N}/\text{mm}^2$, 打設量 90m^3 , ポンプ車1台) に生コン車3台毎(約10・15分間隔)に行った。

5.2 単位水量推定試験

単位水量推定試験は高周波加熱乾燥法によって、生コンの荷卸時に実施した。簡便性、迅速性を考慮し、試料数は1回1試料とした。試料600gを200Vの電子レン

ジで恒量になるまで(6分)乾燥し、逸散水量を測定して単位水量を算出した。事前の室内試験で得られた結果から、セメントとの結合水率を1.4、混和剤固形分を20%、水の未蒸発分を2%、および細骨材の吸水量について補正を行なって算出した。測定結果を図-6に示す。地下1階 ($F_c=39\text{N}/\text{mm}^2$) では、設定値 $165\text{kg}/\text{m}^3$ に対して平均 $165\text{kg}/\text{m}^3$ 、変動係数0.6%、4階梁スラブ ($F_c=48\text{N}/\text{mm}^2$) でも平均 $166.2\text{kg}/\text{m}^3$ 、変動係数1.2%であり、予想以上の安定した数値であった。

5.3 フレッシュコンクリートの性状

出荷時と荷卸時のフレッシュコンクリートの性状を図-7に、フレッシュコンクリートの日内変動調査結果を表-4に示す。出荷時と荷卸時の性状変化の全体的な傾向としては、スランプは1.0cm程度低下し、空気量は若干減少する傾向にあった。また、地下1階 ($F_c=39\text{N}/\text{mm}^2$) の打設時には10時前後に荷卸時のスランプが安定していなかった。これは、その時刻に外気温が8℃から12℃まで急激に上昇したため、混和剤の減水性が低下したものと考える。

5.4 圧縮強度

圧縮強度の日内変動試験(材齢28日標準水中養生)の結果は、地下1階 ($F_c=39\text{N}/\text{mm}^2$) で平均 $72.1\text{N}/\text{mm}^2$ 、標準偏差 $2.09\text{N}/\text{mm}^2$ 、変動係数2.9%、4階梁スラブ ($F_c=48\text{N}/\text{mm}^2$) では、平均 $79.7\text{N}/\text{mm}^2$ 、標準偏差 $1.93\text{N}/\text{mm}^2$ 、変動係数2.4%で、非常に安定した値であった。

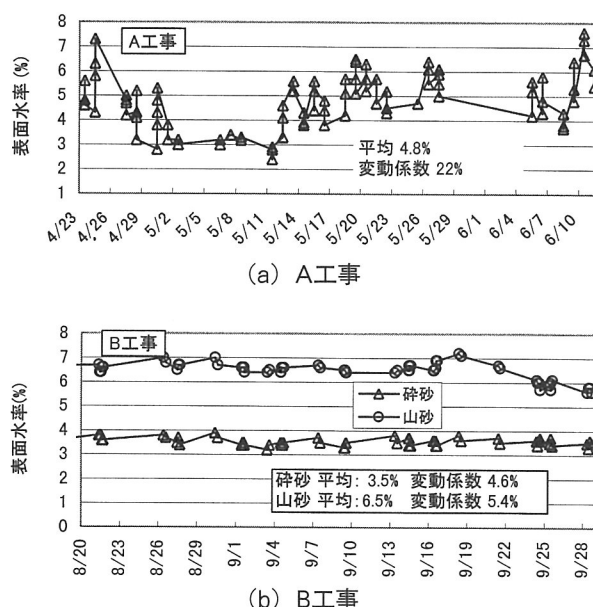


図-4 細骨材表面水率

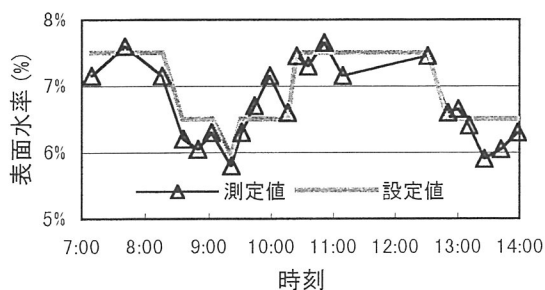


図-5 表面水率日内変化

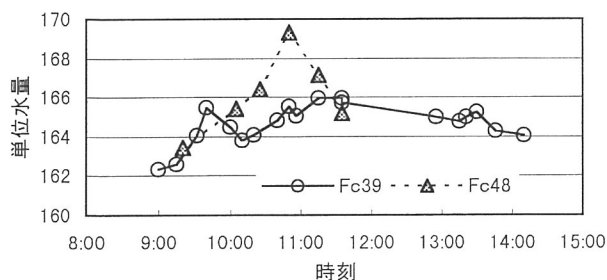
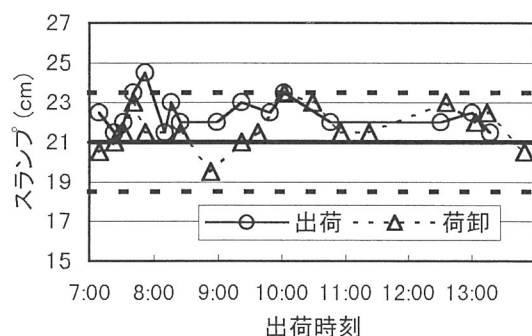
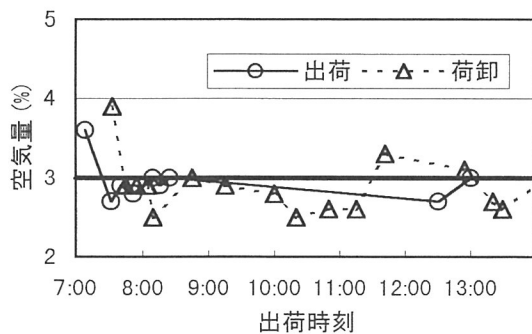


図-6 単位水量推定試験の結果



(a) スランプ



(b) 空気量

図-7 フレッシュコンクリートの出荷と荷卸時の性状
(日内変動試験)

表-4 フレッシュコンクリート日内変動試験結果

	スランプ (cm)		フロー (cm)		空気量 (%)	
	Fc39	Fc48	Fc39	Fc48	Fc39	Fc48
試料数	18	8	18	8	18	8
平均	21.7	24.1	38.2	45.5	2.9	2.4
標準偏差	1.09	0.79	4.26	2.67	0.32	0.10
変動係数	5.02%	3.28%	11.15%	5.87%	11.03%	4.17%

6. 品質管理結果および考察

6.1 フレッシュ性状

A工事・B工事におけるフレッシュコンクリートの管理は、荷卸時に全アジテータ車について目視および触診を行い、試験は、打設日毎に最初の5台および構造体コンクリート圧縮強度判定用供試体採取時に行った。表-5, 表-6に品質管理結果を示す。打設したコンクリートは、ほぼ所要の品質を有していた。A工事でのスランプ ($F_c=39\text{N}/\text{mm}^2$)、フロー ($F_c=48,45,42\text{N}/\text{mm}^2$) の変動係数は製造経験が進むにつれて小さくなる傾向が伺え、高強度コンクリートの製造実績が少ないプラントにおける習熟効果がみられる結果となった。B工事におけるフローの変動係数はA工事よりやや小さな値であった。空気量については、A工事・B工事とも目標値に比べ若干小さめであったが、管理基準値を下回るものはほとんどみられなかった。なお、フレッシュコンクリート性状の日間変動は、日内変動試験で得られた日内変動の値を若干上回る値であり、硬化コンクリートの日内変動は日間変動の約半分の値であった。

6.2 圧縮強度

A工事・B工事における各調査毎の標準偏差、変動係数を表-7, 表-8に示す。A工事・B工事ともに、標準水中養生材齢28日強度の変動係数は簡易断熱養生材齢56日強度の変動係数よりも小さな値であり、標準偏差は調査計画時に設定した数値を大きく下回っていた。強度は、安定していたと考えられる。

実施工で得られた結果によるセメント水比と圧縮強度の関係を図-8に示す。標準水中養生材齢28日強度は、A工事・B工事とも当初設定した値をほぼ満足したが、材齢56日簡易断熱養生供試体強度は、A工事の高強度部分では室内試験の値を下回るものが多かった。後述するが、初期に高温履歴を受けたことにより強度増進が阻害されたと考えられる。

6.3 温度

高強度コンクリートは単位セメント量が多くなるため、セメントの水和熱によって構造体が初期に高温履歴を受ける。初期硬化時に 65°C 以上の高温履歴を受けると、構造体コンクリートの強度発現性を阻害するおそれがあるとされている。

今回は、構造体コンクリート強度の判定を簡易断熱養生における供試体強度で判定しているので、その簡易断熱養生が構造体コンクリートと同じ温度履歴を受けているかどうかを確認しておく必要がある。そこで、A工事・B工事とも各調査ごとに、打設した柱・梁の中央部と端

部および簡易断熱養生供試体の温度を材齢7日まで熱電対で測定した。A工事での測定結果の例を図-9に、各部材ごとにセメント10kg当たりの温度上昇量を計算した結果を図-10に示す。図-9では、部材の最高温度はほぼ65℃程度に収まっていること、また、管理として用いた簡易断熱養生の最高温度は部材の最高温度と同等以上であり、積算温度を考慮すると、強度判定はかなり安

全側で判定している可能性があることがわかる。図-10からは、打設時のコンクリート温度、打設部位、およびセメント量から、初期硬化時のコンクリート温度上昇量の推測が可能であることがうかがえる。なお、柱の温度履歴は事前に行った温度解析シュミレーションとほぼ同じ履歴であった。

表-5 A工事フレッシュコンクリート管理結果 (X:平均 Y:変動係数)

Fc	39		48		45		42		39	
調合	t N4		t N10		t N8		t N5		t N6	
打設時期	11/21~12/21		12/26~3/8		3/8~4/12		4/12~4/26		5/6~5/15	
平均外気温	12.5		11.8		15.0		17.7		20.2	
試料数	96		73		66		30		27	
	X	V	X	V	X	V	X	V	X	V
スランプ	22.2	6.1%	24.5	4.8%	23.4	4.3%	23.2	4.2%	23.8	3.8%
フロー	40.4	14.1%	48.6	10.7%	43.5	9.0%	43.0	8.9%	45.9	9.5%
フロー/スランプ	1.82	9.7%	1.98	7.0%	1.86	5.3%	1.85	5.2%	1.93	6.1%
空気量	2.9	14.5%	2.6	11.7%	2.5	11.9%	2.7	18.0%	2.7	17.5%
コンクリート温度	18.0	—	14.7	—	19.5	—	21.6	—	24.1	—

表-6 B工事フレッシュコンクリート管理結果 (X:平均 Y:変動係数)

Fc	39		45		39	
調合	S5,S6		N3		N9	
打設時期	7/28-9/16		9/22-10/9		10/16-12/9	
試料数	76		33		126	
	X	V	X	V	X	V
フロー	50.7	3.8%	51.8	7.3%	54.6	8.5%
空気量	2.8	20.4%	2.6	14.8%	2.7	26.9%
コンクリート温度	33.9	—	30.9	—	27.0	—

表-7 A工事圧縮強度管理結果

Fc	39		48		45		42				39	
期間	冬期						中間期				夏期	
調合	t N4		t N10		t N8		t N5		t N6		t S5	
材齢・養生	28S	56D	28S	56D	28S	56D	28S	56D	28S	56D	28S	56D
試料数	21		14		12		7		4		17	
平均	72.7	58.3	73.5	57.6	72.5	61.7	63.3	58.2	61.5	60.5	62.7	58.0
標準偏差	4.56	3.34	2.85	2.82	3.84	6.40	1.32	3.51	3.36	3.32	4.45	5.69
変動係数	6.3%	5.7%	3.9%	4.9%	5.3%	10.4%	2.1%	6.0%	5.5%	5.5%	7.1%	9.8%

表-8 B工事圧縮強度管理結果

Fc	39		45		39	
期間	夏期		中間期		冬期	
調合	S5	S6	N3	N9	N9	N8
材齢・養生	28S	56D	28S	56D	28S	56D
試料数	12	12	8	8	7	7
平均	72.4	56.6	61.9	49.4	75.7	58.7
標準偏差	4.44	2.97	3.98	3.89	3.70	2.59
変動係数	6.1%	5.3%	6.4%	7.9%	4.9%	4.4%

28S:材齢4w標準養生 56D:材齢8w簡易断熱養生

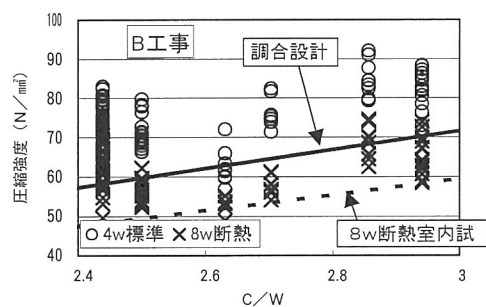
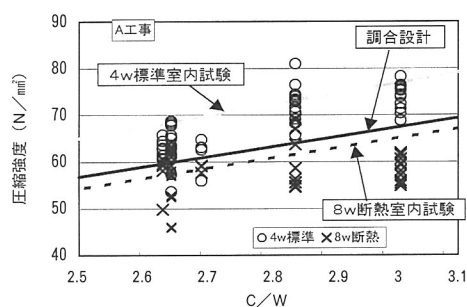


図-8 セメント水比と圧縮強度の関係

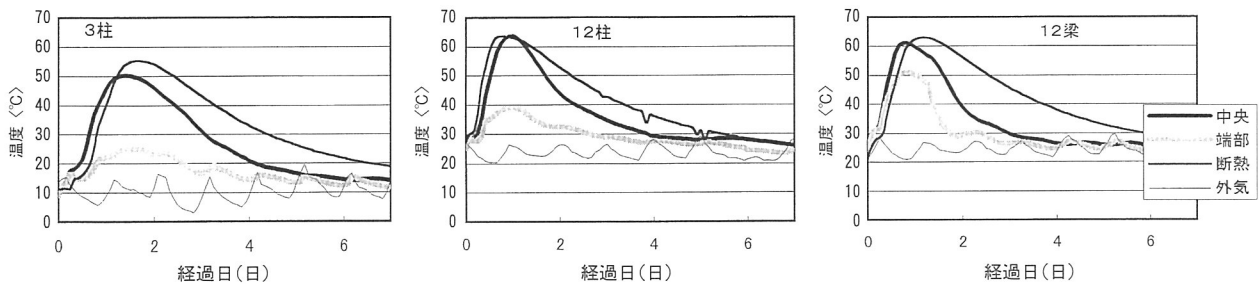


図-9 温度測定結果例 (A工事)

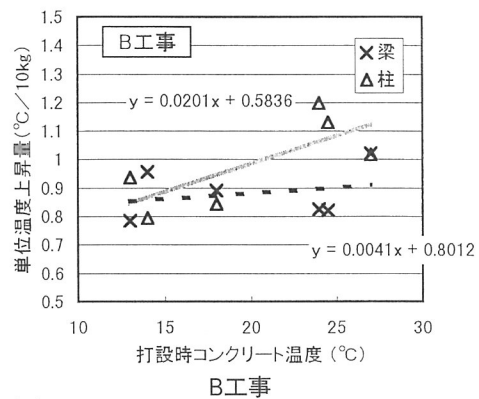
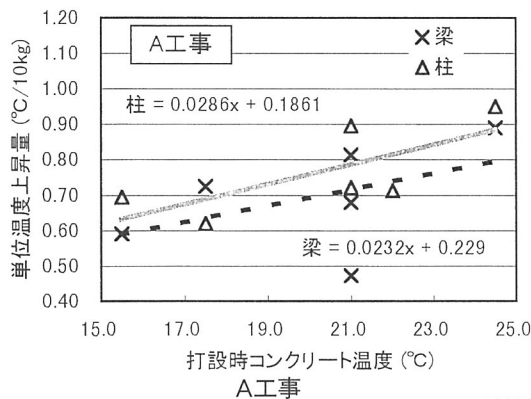


図-10 単位セメント温度上昇量

6.4 早期強度推定

今回の工事においては、1週標準養生供試体強度から4週標準養生供試体強度と8週簡易断熱供試体強度を推定し、推定強度が大きな場合には、次打設の発注時にW/Cを大きくし、反対に小さな場合には、次打設の発注時にW/Cを小さくしたり、また、打設した構造体の初期湿潤養生期間を長くするなどの配慮を行い管理に役立てた。

図-11に、A工事・B工事における1週強度と4週標準、8週断熱強度の関係を示す。図中の線は、当初設定した関係式である。A工事では、1週強度が55N/mm²程度までは4週強度、8週強度とも当初の推定式を上回るものが多かったが、1週強度が55N/mm²程度を超えると、8週断熱養生では推定式を下回るものが多くみられた。簡易断熱養生供試体強度が小さくなったのは、簡易断熱養生温度が構造体コンクリート温度よりやや高い温度履歴であったために、強度の増進が小さくなったと考えられる。B工事では、4週標準、8週断熱強度とも当初の設定とほぼ近い数値となった。季節毎に検討すると、打設時のコンクリート温度が高い夏期での強度増進は小さく、コンクリート温度の低い冬期の強度増進は大きくなった。この傾向は、簡易断熱養生でも顕著であった。この事からも、初期養生期間に高温履歴を受けた場合、長期の強度増進は阻害されるものと考えられる。

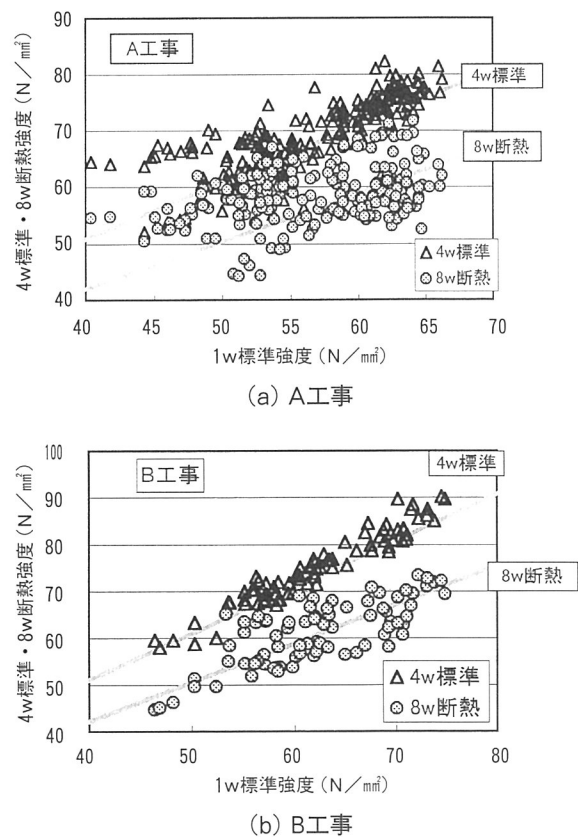
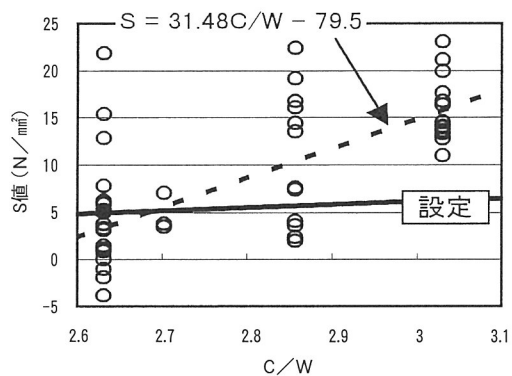


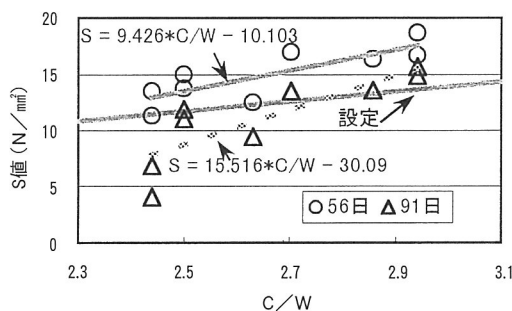
図-11 1週標準養生強度と4週標準養生強度および8週簡易断熱養生強度との関係

6.5 S値の検討

実際に得られた強度から計算したS値を図-12に示す。B工事では、材齢56日を基準にしたS値は当初の設定より大きな値となったが、材齢91日を基準にしてS値を計算してみると、ほぼ当初設定した通りとなった。一方、A工事では、 $F_c=39\text{N}/\text{mm}^2$ クラスでは、当初計画していた通りの値であったが、それ以外は、計画値よりかなり大きな値となった。特に、強度が大きくなるほどその傾向は大きくなっている。しかし、実機試験でも、夏期では簡易断熱養生強度が同材齢のコア強度より $3\text{N}/\text{mm}^2$ 程度低かったこと、A工事の簡易断熱養生温度が、部材中央部温度より高かったことを考えると、簡易断熱養生強度は、構造体コンクリートの強度より小さな値である可能性が高く、材齢4w標準養生供試体強度と構造体コンクリートとの差（本来の意味でのS値）は、もう少し小さくなると推察される。



(a) A工事



(b) B工事

図-12 セメント水比とS値の関係

7. まとめ

通常、事前に行われる試験練り（室内および実機）のほかに、A工事では厳密な細骨材の表面水率管理、施工初期段階での日内変動試験、単位水量推定試験などを実施し、また、早期の強度推定を行ったことによって、フレッシュコンクリートの性状、構造体コンクリート強度など、高強度コンクリートとして求められる品質を安定させることができた。また、施工面についてもコンクリートを密実に打設することができ、ひび割れ発生が少ない構造体コンクリートを作り上げることができた。

今回の管理結果より、以下のことが確認された。

- フレッシュコンクリート性状の日内変動は、日間変動を若干下回る値であり、硬化コンクリートの日内変動は日間変動の約半分の値であった。したがって、施工当初に日内変動試験を実施しておけば、その後の施工管理に役立たせることが可能となる。
- 夏期施工では、構造体コンクリートの部材最高温度が 65°C を超えることもあるので、調査設計の際、また、管理する際にも細心の注意が必要である。
- 簡易断熱養生で、構造体コンクリートと同様の温度履歴を与えることが可能であるが、場合によっては簡易断熱養生のほうが構造体よりもかなり厳しい温度履歴になってしまうこともあるので注意が必要である。
- 初期養生期間中に高温履歴を受けやすい夏期の場合は、長期の強度増進が期待できない。

今後、今回のデータを参考に、初期養生期間に高温履歴を受ける部材のコア強度と簡易断熱養生供試体強度および標準養生供試体強度との関係を明確にして、高強度コンクリートの調査設計や施工管理に役立たせたい。

[参考文献]

- 1) 山崎順二他、京都地区の天然砂利を用いた高強度コンクリートの実構造物への適用とその品質管理、日本建築学会技術報告集 No.7 pp.13-16、1992年2月
- 2) 山崎順二他、22階建て高層RC造住宅における高強度コンクリートの品質管理、日本建築学会大会学術講演梗概集 pp591-592、1995年8月
- 3) 日本建築学会、高性能AE減水剤コンクリートの調合・製造および施工指針・同解説、pp130-136、1999年