

## 報告 実施工時におけるフレッシュコンクリートの単位水量管理結果 およびその考察

立松和彦\*<sup>1</sup>・山崎順二\*<sup>2</sup>

**要旨:** 高層 SRC 造 (18 階) 建物の施工時に, コンクリート中の単位水量を管理するため, 高周波加熱乾燥法による測定をプラントにて実施した。測定結果を迅速に練り混ぜに反映させることができるため, 単位水量の変動を小さく抑えることができ, また, 強度の早期推定にも応用できることができた。また, 砂利を用いた Fc36N/mm<sup>2</sup> クラスの高強度コンクリートの強度発現状況についての実施工での事例が得られた。

**キーワード:** 高周波加熱乾燥法, フレッシュコンクリート, 単位水量, 砂利

### 1. はじめに

コンクリートの品質に大きな影響を及ぼす要因の一つに単位水量があり, 日本建築学会「建築工事標準仕様書 (JASS5)」ではその上限値を 185 kg/m<sup>3</sup> に制限している。フレッシュコンクリート中の単位水量を迅速に測定する方法としては, 「塩水濃度差・比重計法」, 「高周波加熱乾燥法」などがあり<sup>1)</sup>, それぞれに特長があるが, 操作の簡便さにおいては後者の「高周波加熱乾燥法<sup>1) 2)</sup>」が優れているようである。一方, 京都地区のレディーミクストコンクリート工場では, 粗骨材として主に天然の砂利 (山砂利・陸砂利) を用いている工場がほとんどである。洛南協組 11 社 11 工場を例に挙げると粗骨材を砂利+碎石としている工場は 2 工場, 他の 9 工場は砂利のみの使用である。天然砂利の場合, 碎石よりも実積率が高いために単位水量が低減でき, 乾燥収縮の低減に有利ではあるが, マトリックスと粗骨材との界面での付着が碎石よりも弱くなるので, 高強度域での強度発現性が懸念される。

今回, 京都洛南地区において設計基準強度 36 N/mm<sup>2</sup> クラスの高強度コンクリートを実構造物に適用する機会があった。このクラスの強度のコンクリートを当地区で使用するのは初めて

であることから, その製造と品質管理には細心の注意を払う必要があった。施工に先立ち, 室内試験および実機試験練りを行って調合および強度を確認した。この強度レベルのコンクリートは, 平成 9 年 1 月の JASS 5 の改定に伴って一般コンクリートの範囲となったが, 高性能 A E 減水剤の使用という点も含め, 出荷実績のない工場から良質のコンクリートが安定的に出荷されるかどうかについては, 室内試験・実機試験からだけでは十分に推し量ることができない。そこで, コンクリートの品質に大きな影響を及ぼす要因の一つである単位水量を製造時にチェックして水量が過多にならないように, また, その変動を少しでも小さくするためにフレッシュコンクリートの単位水量管理を実施し, 圧縮強度などについても検討を加えた。本報告はそれらの結果について述べるものである。

既往の研究では浦野らの研究<sup>3)</sup>があり, 細骨材の表面水率の測定頻度を増やして設定誤差を小さくすれば (註: 通常は実測値よりも設定値の方が小さい, すなわちコンクリート中の水量が過多になるような設定で練り混ぜられている) 圧縮強度も大きく (室内試験練りの値に近づく) なり, 品質向上が図れるとしている。

\*1 (株) 浅沼組 技術研究所 建築構造研究室主任 (正会員)

\*2 (株) 浅沼組 技術研究所 建築構造研究室研究員 工修 (正会員)

## 2. 試験概要

### 2.1 工事概要・プラント概要

対象とした建物はSRC造18階の共同住宅である。コンクリートは当初2工場での供給を考えていた。室内試験練りは2工場で実施し共に良好な結果であったが、同時に施工する7棟の分担を再検討した結果、当該建物へのコンクリートの供給は1社で対応することとなった。プラントから作業所までの輸送時間は約25分である。打設はポンプ車によった。1階～11階までのFc27～36のコンクリートは高性能AE減水剤使用とした。本報での試験データはこの範囲のコンクリートのものである。調合強度は、JASS5-1993「高強度コンクリート」によって求めた。

プラントの設備は、骨材はコルゲートサイロでストック、ミキサー形式は強制二軸で容量は2.5m<sup>3</sup>である。細骨材の表面水測定は自動測定装置を備えている。

### 2.2 試験項目および試験方法

フレッシュコンクリートの水セメント比を簡易かつ迅速に推定する方法として高周波加熱乾燥法<sup>1)2)</sup>が提案されている。今回実施した試験も基本的には上記の方法に準じているが、精度よりも簡便性・迅速性・プラントでの導入のしやすさを考慮して細部を変更して適用している。1回の測定に用いるモルタル試料の量は400gとし、恒量になるまで(200V-1400Wで5分)乾燥させた。単位水量の推定フローを図-1に示す。単位水量の計算を行うに当たり、セメントと初期に水和する結合水量(1.4%)、混和剤の固形分率(28%)および細骨材の吸水量について補正を行った。なお、今回は「推定結果を練り混ぜに迅速にフィードバックさせる」ことを主眼に置いたため、試験値は1試料の試験結果を用いた。単位水量の測定試験はプラントで実施し、出荷時のスランプ・スランプフロー・空気量・コンクリート温度の試験値と併せて検討し、練り混ぜ時の高性能AE減水剤添加量および細骨材表面水率設定値の調整のための判断材料とし

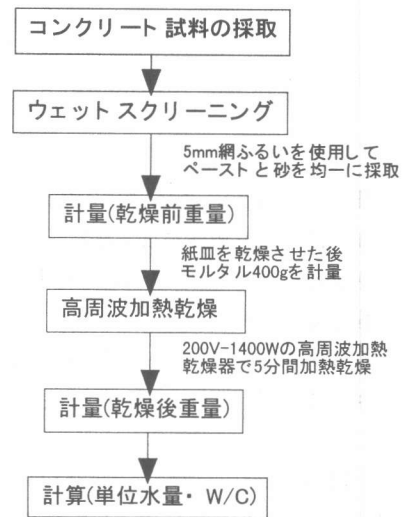


図-1 単位水量の推定フロー

表-1 コンクリートの使用材料

セメント	普通ポルトランドセメント (T社製) 密度3.16g/cm <sup>3</sup>
水	地下水
細骨材	城陽産山砂 表乾比重2.55 吸水率2.2% 粗粒率2.70
粗骨材	城陽産山砂利+高槻産碎石 (混合比50:50) 比重2.66 実積率60.2% 粗粒率6.88
高性能AE減水剤	ポリカルボン酸系高性能AE減水剤 HP-11

た。なお、測定頻度は50m<sup>3</sup>に1回を目安とし、単位水量の目標値は、計画値以下とした。

### 2.3 使用材料および調合

表-1にコンクリートの使用材料を、表-2にコンクリートの調合を示す。今回のプラントでは粗骨材に砂利と碎石の混合使用が可能であったため、50:50の混合比率で使用した。また、水セメント比が35～40%となり粘性の増加による施工性の著しい低下が懸念されたので、設計時はスランプ18cmであったが試験練りを行って19.5cmに変更した。

表-2 コンクリートの調合

呼び方	水セメント比 %	細骨材率 %	粗骨材かさ容積 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>	設定スランプ cm	設定空気量 %	単位量 kg/m <sup>3</sup>					
						水	セメント	細骨材		粗骨材	混和剤
								山砂	砂利		
36-19.5-25N	34.5	43.4	0.590	19.5	4.0	175	507	696	467	468	C×0.95%
33-19.5-25N	37.0	43.8				175	473	709	467	468	C×0.95%
30-19.5-25N	42.5	46.0				175	412	774	467	468	C×0.95%
27-18-25N	46.0	44.5	0.620	18	4.5	169	367	766	491	491	C×0.95%

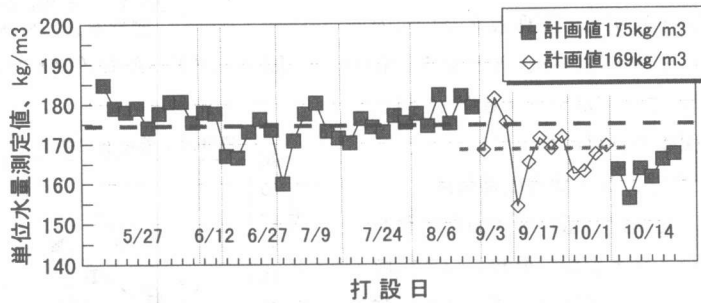


図-2 単位水量の測定値の日間推移

### 3. 試験結果および考察

#### 3.1 単位水量の測定結果

測定した単位水量の日間推移を図-2に、単位水量の計画値と測定値の比較を図-3に示す。また、計画値 175 kg/m<sup>3</sup> の場合の測定値を度数分布で表した図を図-4に示す。データ数 40, 平均値 173.6 kg/m<sup>3</sup>, 標準偏差 6.6 kg/m<sup>3</sup>, 変動係数は 3.80 % であった。単位水量測定値の標準偏差 6.6 kg/m<sup>3</sup> を計画調合の値を用いて水セメント比に換算すると 1.2 ~ 1.4 % になる。この値をさらに、図-6の回帰式を用いて強度に換算すると約 1.8 N/mm<sup>2</sup> の標準偏差になる。実強度を 45 ~ 50 N/mm<sup>2</sup> とすると変動係数では約 3.6 % となるが、この値は他の高強度コンクリート実施工でのデータ(例えば4)と比較しても同程度以上の小さな値であり、ほぼ満足できる結果が得られた。

例えば管理基準値を「計画値+10kg/m<sup>3</sup>以下」とすると、水セメント比としては強度レベルによって「計画値+2.0 ~ +2.5 % 以下」程度の管理基準値になる。水セメント比「+2.0 ~

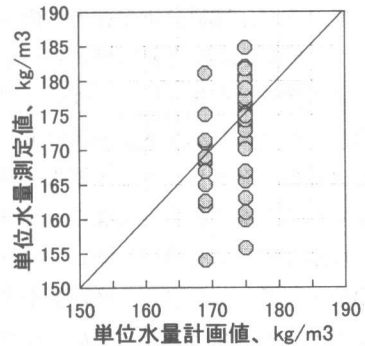


図-3 単位水量の計画値と測定値の比較

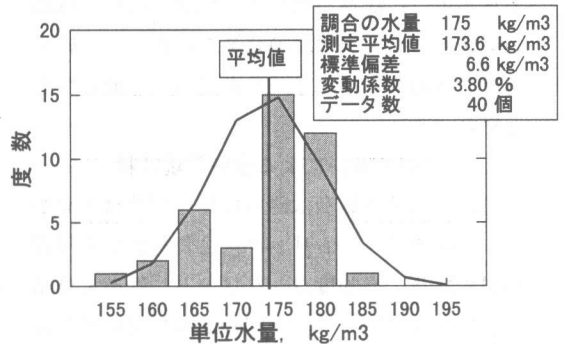


図-4 単位水量の測定値の度数分布

+2.5 %」を同様に回帰式を用いて強度に換算すると、2.95 ~ 3.68 N/mm<sup>2</sup>となる。標準偏差を $\sigma$ として管理基準値が平均値 $\pm 2\sigma$ と考えると強度の変動は、標準偏差で1.5 ~ 1.8 N/mm<sup>2</sup>程度となり、基準値としてはやや厳しい値となる。実際の管理基準値としてはもう少し幅を広げて、水セメント比で「計画値 $\pm 4\%$ 以下」の基準値としている例<sup>8)</sup>がみられる。また、今回の測定結果を正規分布に当てはめて確率分布を検討すると、測定値が上方管理限界としての管理基準値を外れる確率は約6.5%となる。計画値169 kg/m<sup>3</sup>についてはデータ数が12個と少ないので標準偏差の計算は行っていない。

### 3.2 測定した水セメント比と圧縮強度

図-5に、測定した単位水量から求めた水セメント比の日平均データと現場で荷卸し時に採取したテストピースによる標準水中養生28日強度の日平均データとの相関を示す。同一バッチでの比較ができなかったため日平均データ同士を比較しているが、回帰分析の結果、相関係数 $R^2$ は0.928となり比較的よい相関を示した。各工場ごとにデータを蓄積していけば、測定した単位水量から求めた水セメント比によって練り混ぜた直後のコンクリートで圧縮強度を精度よく推定することが可能<sup>5) 7)</sup>となり、品質の劣った(強度が要求品質を満足しない)コンクリートを出荷・打設してしまう危険性を小さくすることができると考えられる。また、そうすることによって強度の変動を小さく抑えることができるようになり、現状の、地域によっては過剰気味ともいえる強度の余裕を小さくし、結果的に経済的なコンクリートの製造が可能になると思われる。

### 3.3 骨材の違いによる強度発現性状

通常、天然の砂利は碎石に比べて骨材表面が滑らかなため、マトリックスと骨材界面の付着が弱くなり、高強度コンクリートにはあまり適さないとされている。今回の工事では碎石と砂利を50:50の比率で混合使用しているが若干の懸念はあった。図-6は、使用する骨材の違いに

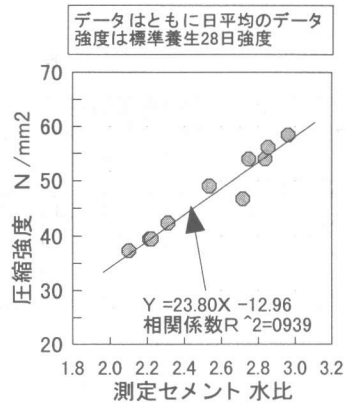


図-5 測定したセメント水比と圧縮強度

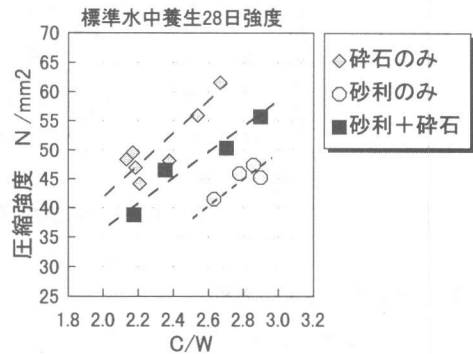


図-6 骨材の違いによる強度発現性状の例

による強度発現性状の例を実工事のデータからプロットしたものである。いずれも普通ポルトランドセメント、高性能AE減水剤を使用している。図中の「砂利+碎石」のデータは今回の工事のものであり、Fc36 ~ Fc27 N/mm<sup>2</sup>クラス・実測の空気量は3%前後である。「碎石のみ」のデータは文献4<sup>4)</sup>に基づいており、Fc42 ~ Fc30 N/mm<sup>2</sup>クラス・実測空気量は3%前後である。「砂利のみ」のデータは文献5<sup>5)</sup>に基づいており、Fc36 N/mm<sup>2</sup>クラス・実測空気量は3.5%前後である。図から、実強度で45 ~ 50 N/mm<sup>2</sup>を得ようとするとき、「碎石のみ」ではC/Wは2.2程度(W/C=45%程度)、「砂利のみ」ではC/Wは2.8程度(W/C=36%程度)、「砂利+碎石」ではC/Wは2.5程度(W/C=40%程度)となる。セメント協会の共通試験による調査結果<sup>6)</sup>では実強度40 N/mm<sup>2</sup>に対して、碎石コンクリ

ートと砂利コンクリート(ともにスランプ 21cm)の水セメント比の差は約 3%となっていることと比較すると、大きな差であるといえる。すなわち、実強度で 45 ~ 50 N/mm<sup>2</sup>のクラスの高強度コンクリートであっても、使用する骨材の種類によって強度の発現性状に大きな差が生じる場合があることがわかる。

### 3.4 測定値に対するアクションについて

通常、AE減水剤を使用する場合は、その添加量を一定(セメント量×0.25%程度にしている例が多い)にし、一日数回の細骨材表面水率の測定値およびモニターによる目視あるいはアンメーターなどによるミキサの電流負荷値をもとにオペレータが判断をして水量の微調整をしているようである。しかし、細骨材表面水率の設定値は実測値よりも低い(すなわちコンクリート中の水量が多くなる)場合が見受けられる<sup>3)</sup>。このことは、プラントが施工現場での荷卸し時スランプの確保を重点的に管理しているためと考えられる。また、呼び強度 21 ~ 24 クラスのコンクリートであれば、水量が若干過多になっても強度には余裕があるため、乾燥収縮ひび割れなどの問題が生じない限り”水量過多による強度不足”といった問題が顕在化せずに済

んでしまうといった側面もあると推測される。

一方、高性能AE減水剤を用いて単位水量を抑える必要がある高強度域では、水量の変動は材料分離・強度の低下など無視し得ない悪影響をコンクリートに与える危険性が大きくなってくる。そして、混和剤添加量を一定としてスランプ値優先で水量を調整するような従来の方法は製造する側にとっても良い方法とはいえない。

今回の工事を目指したのは、高性能AE減水剤の添加量および表面水率の設定値を適切な値にするためにコンクリート中の水量を製造時に測定するという、フレキシビリティがあり、かつリアルタイムに近い対応が可能な管理体制である。例えばスランプが大きい(軟らかい)場合、水が多いのか混和剤が多いのかという判断が必要になる。その判断のために高周波加熱乾燥法によってコンクリート中の単位水量を迅速に測定し、製造に反映させるのである。上述の場合、測定・計算の結果、水が多いのであれば水を減らす、水が計画値通りであれば混和剤を減らすという判断が可能になる。その結果、その日に適切な添加量を決定し、以後は測定値が大幅に変動しない限りごくわずかの表面水率の調整のみで対応できると考えられた。

表-3 表面水率・高性能AE減水剤添加量の設定値および水量・スランプの測定例

case	呼び方	単位水量 計画値 kg/m <sup>3</sup>	測定 番号	<練り混ぜ時の設定値>		練り混ぜ後の試験結果			
				表面水率 設定値 %	高性能AE 設定値 C × %	単位水量 kg/m <sup>3</sup>	スランプ cm		
case1	36-19.5-25N  水量: 大 スランプ: 大 の場合	175	1	4.0	0.95	184.8	23.5	5/27午前	
		175	2	4.5	0.95	179.0	23.0		
		175	3	設定変更→	0.85				
		175	4	5.0	0.85	178.0	20.2		
		175	5	5.0	0.85	179.0	21.0		
case2	33-19.5-25N  水量: 小~ok スランプ: ok の場合	175	1	8.0	0.95	170.1	20.0	7/24	
		175	2	6.5	0.95	176.2	19.0		
		175	3	5.0	0.95	174.1	20.0		
		175	4	5.0	0.95	172.8	21.0		
		175	5	7.0	0.95	176.9	20.5		
		175	6	5.5	0.95	175.2	19.6		
case3	30-19.5-25N  水量: 突発的に変動 スランプ: ok の場合	175	1	6.0	0.90	177.4	17.0	8/6	
		175	2	6.0	0.90	174.3	18.0		
		175	3	設定変更→	0.90	182.0	19.5		
		175	4	7.0	1.00	174.9	原因不明		
		175	5	6.0	1.00	181.7	19.2		
		175	6	6.5	1.00	178.9	21.5		
case4	27-18-25N  水量: 小 スランプ: ok の場合	169	1	9.0	1.00	154.0	20.8	9/17	
		169	2	7.0 ←設定変更?	1.00	165.0	19.9		
		169	3	6.0	1.00	171.0	20.1		
		169	4	6.5	1.00	168.5	21.1		
		169	5	6.0	1.00	171.4	21.3		

表-4 測定値に対するアクションの目安

		スランブ測定値		
		小さい(硬い)	ちょうどよい	大きい(軟らかい)
単位水量測定値	小さい	SP → W ↑	SP → W →	SP ↓↓ W ↑↑
	ちょうどよい	SP ↑ W →	SP → W →	SP ↓ W →
	大きい	SP ↑ W ↓↓	SP ↑or→ W ↓	SP →or↓ W ↓↓

SP: 高性能AE減水剤の添加量  
 W: コンクリート中の水量  
 →: そのまま  
 ↑: 増やす  
 ↓: 減らす  
 注) 2本の矢印は変化させる幅が大きいことを示す

コンクリートの粘性大きい  
 分離しやすい、収縮も大きい

表-3は、今回の工事において、プラントでの単位水量の測定値とスランブの測定値をもとに高性能AE減水剤の添加量および水量の調整を行った際のアクションの例を抜粋したものである。必ずしもうまくいった例ばかりではないが、全体的な傾向としては水量のコントロールはよい成果を得られたと思っている。表-4は、今回の工事における結果などをもとにした、アクションの目安を表にしたものである。例えば、スランブはちょうどよいが水量は大きい場合(表の中央の列・下段)だと、高性能AE減水剤(SP)を増やして、水量(W)は小さくする。表の左上(スランブ小・水量小)の場合だとコンクリートの粘性が強くなり施工性もよくない。この場合は高性能AE減水剤(SP)はそのままとし、水量(W)を増やす。このようにして製造段階でコンクリート中の水量をチェックしてスランブ値(これも工場での試験が必要)と組み合わせて判断し、高性能AE減水剤の添加量を日によって適切な値に調整することで、水量の変動を少しでも小さくすることができ、高品質なコンクリートを安定して供給することが可能になるのではないかと考えられる。

#### 4. まとめ

砂利を用いた Fc36N/mm<sup>2</sup> クラスの高強度コンクリートの実施工時に、高周波加熱乾燥法によるコンクリート中の単位水量の測定を実施し

て水量の管理を行った結果は以下の通りである。

- 1) プラントでコンクリート中の水量およびスランブの測定を行うことで測定結果を迅速に練り混ぜに反映させることができるため、単位水量の平均値はほぼ計画値通りとなった。
- 2) 実強度で 45 ~ 50 N/mm<sup>2</sup> のクラスの高強度コンクリートであっても、使用する骨材の種類によって強度に大きな差が生じる場合がある。
- 3) フレッシュコンクリートの単位水量を迅速に測定することにより圧縮強度を早期に予測することが可能である。
- 4) 単位水量およびスランブの測定値をもとに高性能AE減水剤の添加量および水量の調整を行う際のアクションの目安となる表を得た。

最後に、竹本油脂(株)、タイコー(株)京都工場をはじめご協力いただいた関係各位に対し深甚の謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 日本建築学会：高性能 AE 減水剤コンクリートの調査・製造および施工指針(案)同解説, pp.94-111, 1992
- 2) 友沢史紀, 榊田佳寛, 棚野博之：高周波加熱装置を用いたフレッシュコンクリートの単位水量簡易迅速試験方法の開発, 日本建築学会構造系論文報告集, No.400, pp.1-8, 1989.6
- 3) 浦野英男ほか：高強度コンクリート製造時の細骨材表面水の変動と圧縮強度の関係(その1-その2), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.765-768, 1991.9
- 4) 立松和彦, 森口五郎, 山崎順二：22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, 日本建築学会近畿支部研究報告集, pp.17-20, 1995.5
- 5) 山崎順二, 立松和彦：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第7号, pp.13-16, 1999.2
- 6) 岡田 清, 六車 照編：コンクリート工学ハンドブック, 朝倉書店, pp.351-352, 1981
- 7) 黒島 毅ほか：高強度コンクリート製造時における水量を中心とした品質管理, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.439-440, 1992.8
- 8) 岡本昌和ほか：堺市駅前地区再開発におけるツインタワー超高層RC造住宅の設計と施工, G B R C, Vol.23, No.3, pp.2-16, 1998.7