

[84] 自動計測・制御を応用した生コンクリートの製造方法の開発

村 上 武 夫 (竹中工務店 東京本店)

瀬戸 口 渉 (竹中工務店 東京本店)

正会員 ○曾 根 徳 明 (小野田セメント 中央研究所)

木佐木 靖 男 (オックス ソフトウェア工場)

1. まえがき

近年の生コン工場の多くは高度に自動化が進み、製造部門においても配合の指示からアジテータ車への積み込みまでの一連の製造工程が一貫してコンピュータ制御され、この方式は信頼性の高い生コンの製造に貢献してきた。しかし、この製造方式においてもコンクリートのスランプ、骨材の表面水率はオペレータの勘と経験に頼らざるを得ない。筆者らの測定結果によれば工場で使用される細骨材の表面水率は日内でも数%程度変動する場合もあり、この変動がコンクリートの品質変動の要因のひとつとも考えられた。そこで、スランプ値、骨材表面水率を連続的に自動測定し、さらにこの測定値を自動的に反映させるコンピュータ制御による生コンの製造方式を開発した。

本報告は、上述の新しく開発した製造方式の概要とこの方式によって生コンプラントで製造し、建築構造物へ出荷したコンクリートの品質を従来の製造方式によるものと長期にわたり比較検討したものである。

2. 実験方法

2.1 実験の対象としたコンクリート構造物、実験を実施した生コン工場および生コンの製造方法

実験対象としたコンクリート構造物はSRC造の9階建ビルであり、各階の床面積は約220㎡、1階当りのコンクリート打設量は約150㎡であった。工場から施工現場までの運搬所要時間は約1時間である。実験は昭和59年7月から最上階の打設が完了した12月中旬まで合計10回実施した。

実験を行なった生コン工場は傾胴型ミキサ(112切)を2基備え、月産約2万㎡の大型プラントである。細・粗骨材にはそれぞれ、山砂、碎石(最大寸法20mm)を標準的に使用している。実験に用いたコンクリートはスランプ18cm、呼び強度210~270kg/cm²のものであり、JIS A 5308の標準品に該当する。コンクリートの配合は表-1に示すとおりである。

表-1 実験に用いた基本設定配合

指 定		W/C (%)	S/A (%)	単 位 量 (kg/m ³)					製造 ^④	出荷月
強 度 (kg/cm ²)	スランプ (cm)			C	W	S ¹⁾	G ²⁾	Ad ³⁾		
210	18	67.5	48.5	270	182	867	964	1080	従・開	7・9
225	18	64.5	48.0	273	176	864	980	1092	従	10
240	18	62.0	47.5	284	176	851	983	1136	従・開	10
255	18	59.5	47.5	296	176	846	980	1184	従・開	11
255	18	59.5	47.5	291	173	851	986	1164	従・開	11・12
270	18	57.5	47.0	301	173	839	991	1204	開	12

注 1) 山砂, 2) 碎石, 3) AE減水剤(C×0.4%), 4) 従: 従来方式, 開: 開発方式

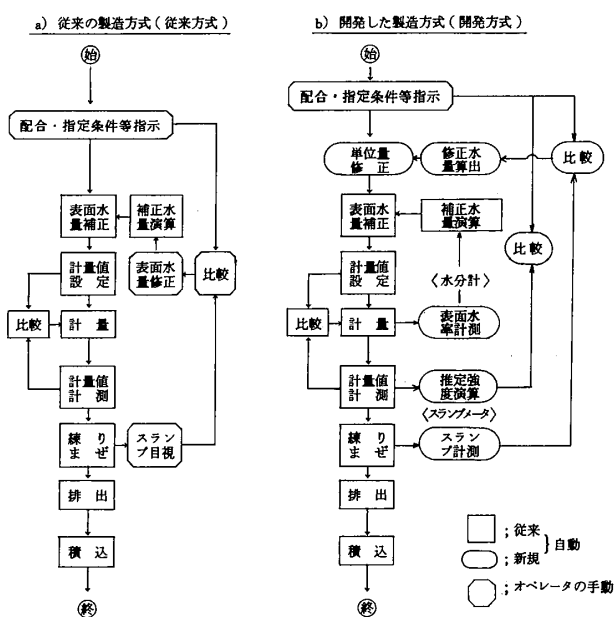


図-1 生コンクリート製造のフローチャート

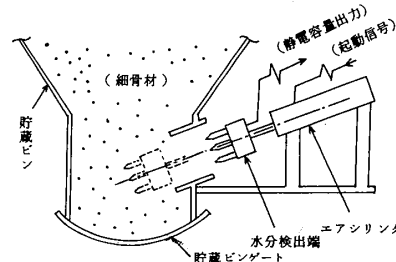


図-2 表面水率測定の概要

生コンの製造方法は従来の方式（以下、従来方式と呼ぶ）と新しく開発した方式（以下、開発方式と呼ぶ）を用い、両者を比較しながら実験を進めた。従来方式とは図-1a)に示すとおり、オペレータの配合指示から積み込みまでの工程が自動的に行なわれるが、このうち、オペレータが練りませ 完了時にスランプ値を目視判定し、これに応じて表面水率の設定値を手動変更して所望のコンクリートを製造する方式である。これに対し、開発方式とは図-1b)に示すように、スランプの目視観察と表面水率の手動設定を後述のスランプ測定装置（以下、スランプメータと呼ぶ）と骨材表面水率測定装置（以下、水分計と呼ぶ）の自動計測結果に置き換え、これらの結果をもとに所定のスランプと強度が得られるように表-1に示したコンクリートの基本配合を自動的に逐次変更する方式であり、製造しようとするコンクリートの番号のみ、オペレータが入力さえすれば、あとは製造からアジテータ車への積み込みまで自動的に行なわれるものである。なお、開発方式には材料の実計量値等から推定強度を演算する機能も備えている。

実験に用いた水分計は高周波静電容量方式であり、図-2に示すように、細骨材貯蔵ビンに取付けた水分検出端が細骨材の計量ごとに挿入されこの静電容量を計測するとともに表面水率に変換して出力するものである。一方、実験に用いたスランプメータはミキサ消費電流をスランプに変換する方式であるが、消費電流の計測・平準化および練りませ容量、コンクリートの種類等ごとのスランプへの変換をコンピュータ処理させるものである。本実験に先立ち、約2ヶ月間、水分計、スランプメータについて実験した結果、実測値に対してそれぞれ、6%付近で $\pm 0.4\%$ 程度、19cm付近で ± 1 cm程度の測定精度であった。

2.2 試料採取および測定項目

本実験では工場製造時の生コンの品質について検討することが目的であるため、試料は工場出荷時のアジテータ車より2～3車ごとに採取することとし、この試料についてスランプ、空気量および強度を測定した。なお、あわせて、実験したコンクリートのスランプ値等の自動測定結果も印字記録させた。開発方式において、スランプ自動制御に用いる目標スランプ値は運搬中のスランプ低下を加味し、また、制御に用いる測定値はアジテータ車への積み込みバッチ数を勘案して、2バッチの平均値とし、両者の間に1cm以上の差異を生じた場合に配合の修正を行なうように設定した。

3. 結果および考察

3.1 水分計およびスランプメータによる測定結果

図-3は水分計を用いて測定した表面水率と実測した表面水率の関係を示したものである。図によれば、比較的長期間でも静電容量から表面水率へ変換する関係に同一のものをを用いても、実用上の精度は得られることが分かった。一方、図-4はスランプメータを用いて測定したスランプ値と実測したスランプ値との関係を示したものである。スランプメータによるスランプ値は2バッチの平均値を、ま

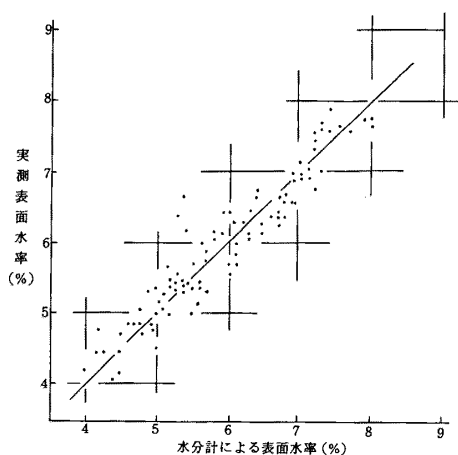


図-3 表面水率測定結果（7月～12月）

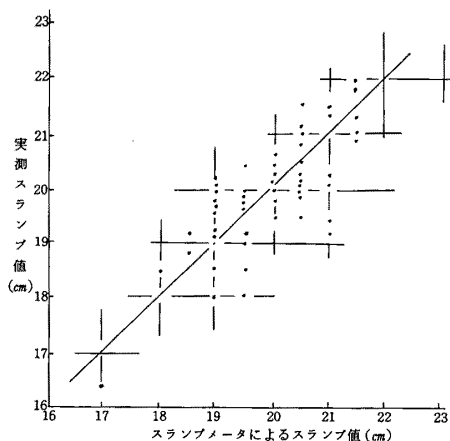


図-4 スランプ測定結果（7月～12月）

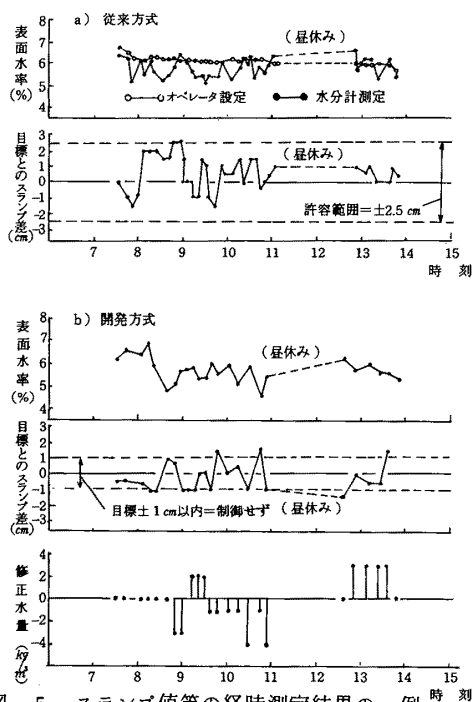


図-5 スランプ値等の経時測定結果の一例

た計測スランプ値はアジテータ車から採取したものの実測値をそれぞれ示した。図によれば、水分計の場合と同様、あらかじめ、ミキサ消費電流とスランプ値との関係を適切に設定しておけばスランプメータを用いてもコンクリートのスランプ値を精度良く測定できることが分かった。したがって、測定方法、保守管理に若干の配慮をすれば水分計、スランプメータとも生コンプラントにおいて、十分実用可能と考えられる。

3.2 開発方式によるスランプの自動制御

図-5は細骨材の表面水率とコンクリートのスランプ値の自動測定結果を示した一例である。図-5a)は従来方式によるものであるが、これによれば表面水率は短時間に変動し、図中に併示したオペレータの設定表面水率はこれに追従できず、両者の差が増大する場合にはスランプの変動も増すことが確かめられた。すなわち、オペレータの表面水率の設定誤差もスランプ変動の要因のひとつと考えられる。しかし、水分計で測定した表面水率をそのまま用いても所定のスランプは得られない。すなわち、測定表面水率を用いる開発方式の場合(図-5b))にも図示した例では表-1に示した基本の配合に対し、 $-4 \sim 3 \text{ kg/m}^3$ の水量を修正しなければ所定のスランプを有したコンクリートが得られない。表-2はこの修正水量を実験日ごとにまとめたものである。表によれば修正水量の平均値はいずれも $\pm 2 \text{ kg/m}^3$ 以下であるが、日内では $\pm 5 \text{ kg/m}^3$ 程度を推移し、換言すれば同一配合を用いた場合には $\pm 2 \text{ cm}$ 程度の日内スランプ変動があることが分かった。このように、修正水量を必要とする理由については断言できないが、連行空気量の日内変動等のコンクリート自体に関する要因、細骨材の粒度変動等の材料に関する要因、気温の急激な変動等の製造条件に関する要因などがコンクリートのスランプに対して複雑に影響を及ぼしているものと考えられる。

3.3 異なる製造方式により製造したコンクリートの諸性質

表-3は従来方式および開発方式により製造したコンクリートについて、それぞれスランプ、空気量および圧縮強度を示したものである。表-3a)はスランプについて取りまとめたものである。これによれば、両者の方式を比べた場合、開発方式は従来の方法よりもスランプの変動の少ないコンクリートを製造することができると明らかとなった。表には実測値のほかにスランプメータを用いて測定した値についても示したが、これらも実測値の場合と同様の傾向が認められた。

表-3b)はコンクリートの空気量の測定結果を示したものである。開発方式においても所定の空気量を得るための制御は実行していないものの、表に示した結果によれば、この方式で製造したコンクリートの空気量の変動は若干、減少する傾向にあることが分か

表-2 修正水量の範囲

指定 強度 (kg/cm ²)	スランプ (cm)	バッチ 数	基本単位 水量 (kg/m ³)	修正水量(kg/m ³)		出荷 月	コンクリート 温度 (℃)	外気温 (℃)
				範囲	平均値			
210	18	62	182	(0)	(0)	9	25~27	23~23
240	18	46	176	-4~5	0.65	10	18~21	16~17
240	18	50	176	-4~3	0.08	11	18~20	17~18
255	18	50	173	-2~5	1.96	11	14~16	21~23
270	18	56	173	-5~2	-1.54	12	10~13	6~11

表-3 製造方式の相違とコンクリートの品質

a) スランプ(指定18 cm)

製造 種類	個数	平均値 (cm)	不偏分散	標準偏差 (cm)	検 定	
					平均値の差	分散の比
従来	43	20.59	1.1759	1.08	$t_0 = 1.209$	$F_0 = **$ 1.516
開発	41	20.33	0.7751	0.88		
従来	279	19.91	1.7365	1.32	0.763	1.410
開発	258	19.83	1.2316	1.10		

注1) スランプメータによる計測値の記録

b) 空気量(指定4.0%)

製造 種類	目標 (%)	個数	平均値 (%)	不偏分散	標準偏差 (%)	検 定	
						平均値の差	分散の比
従来	(4.5)	43	4.52	0.5027	0.71	$t_0 = 1.298$	$F_0 = *$ 1.627
開発	(4.5)	41	4.70	0.3097	0.56		

c) 圧縮強度

呼び (kg/cm ²)	製造 種類	目標 (kg/cm ²)	個数	平均値 (kg/cm ²)	不偏分散	標準偏差 (kg/cm ²)	変動係数 (%)	検 定	
								平均値の差	分散の比
210	従来	260	10	298	10854	10.42	3.50	$t_0 = **$ 8.798	$F_0 = **$ 14036
	開発		10	268	773	2.78	1.04		
	従来		82	277	6878	8.29	2.99	6.474	54652
	開発		62	271	126	1.12	0.41		
225	従来	275	8	266	2914	5.40	2.03	-	-
	開発		51	279	15418	12.42	4.43		
240	従来	290	5	271	6530	8.08	2.97	3.704	2264
	開発		14	289	14782	12.93	4.21		
	従来		50	295	18362	13.55	4.60	4.671	45219
	開発		100	304	406	2.02	0.66		
255	従来	305	8	343	17498	13.23	3.86	0.989	1.466
	開発		8	337	11936	10.93	3.24		
	従来		100	323	22189	14.90	4.68	3.290	48977
	開発		50	318	453	2.13	0.66		
270	従来	320	8	344	5484	7.41	2.15	-	-
	開発		54	335	287	1.69	0.51		

注1) 推定強度の記録

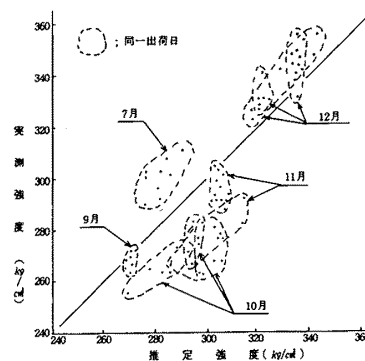


図-6 推定強度と実測強度との関係

った。このような結果が得られた理由については、上述のとおり、コンクリートのスランブ値のばらつきが減少することを考えあわせれば、スランブ変動の減少が付加的に空気量変動の減少に寄与したとも推察される。

表-3c)は圧縮強度について呼び強度別に比較したものである。表中の試料は実験日に応じて1日ないし2日間に得られた結果を取りまとめた。表によれば、実験強度の変動係数は呼び強度により異なるものの、開発方式によって製造したコンクリートの方が減少する傾向が認められ、両者の方式について、ばらつきを検定を行った結果、呼び強度が210 kg/cm²～255 kg/cm²の範囲においてはいずれの場合にも高度に有意な差のあることが確かめられた。したがって、上述のスランブの場合と同様、開発方式、すなわち、所定の強度が得られるようにコンクリートの水セメント比を一定に保ったまま配合を修正するコンクリートの製造方式は従来の方式に比べ、強度の変動も少ないコンクリートを製造することができると明らかとなった。

3.4 コンクリートの推定強度

開発方式によるコンクリート製造方法にはセメント、細・粗骨材、練りまぜ水の各計量値と水分計により測定した表面水率から実際に練りまぜられたコンクリートの水セメント比を演算し、これを推定強度に変換する機能も備えている。図-6はこの推定強度と実測強度との関係を示したものである。本実験にはセメント水比から強度を算出する推定式に期間中、同一のものを用いたが、図に示されたように両者の関係式を季節ごとに求めて設定すれば

推定の精度はより一層、向上するものと推察される。このように生コン製造時に所定の材令の強度を的確に把握できることは品質管理上、有効な手段と考えられる。図-7は推定強度と実測強度との関係について詳細に検討するため、従来方式の場合についてのみ示したものである。図-7a)はオペレータの設定した表面水率をもとに、また、図-7b)は水分計により測定した表面水率をもとに推定強度を算出したものである。これらによれば、設定表面水率を用いた推定強度は材料計量の誤差範囲で変動するのみであるが、これに対し、測定表面水率を用いたものは実測強度との等価線にほぼ平行に分布することが認められた。このことは従来方式によるコンクリートの強度変動の主因のひとつは前述のスランブの場合と同様、表面水率の手動設定誤差に伴う水セメント比の変動によるものと考えられ、強度変動の少ない生コンを製造するという観点からも表面水率の連続測定の重要性をあらためて示唆するものであろう。

4. まとめ

スランブおよび骨材表面水率の自動測定結果を用い、所定のスランブおよび強度が得られるように逐次、自動的に配合修正を行なう生コンの製造方式について長期間、検討した。その結果、以下のことが判明した。

- 1) 水分計、スランブメータとも測定方法、保守等に配慮すれば生コンプラントにおいて実用可能である。
- 2) 従来の製造方式に比べ、スランブ、空気量、強度とも変動の少ないコンクリートを製造することができる。
- 3) 実計量値と測定表面水率をもとにした強度推定は生コン製造時における品質管理上、有効である。

(参考文献) 1) 西, 大塩, 曾根, 城国, 木佐木; マイコン制御によるレデーミクストコンクリートの品質管理, セメント技術年報, 36, 昭和57年。

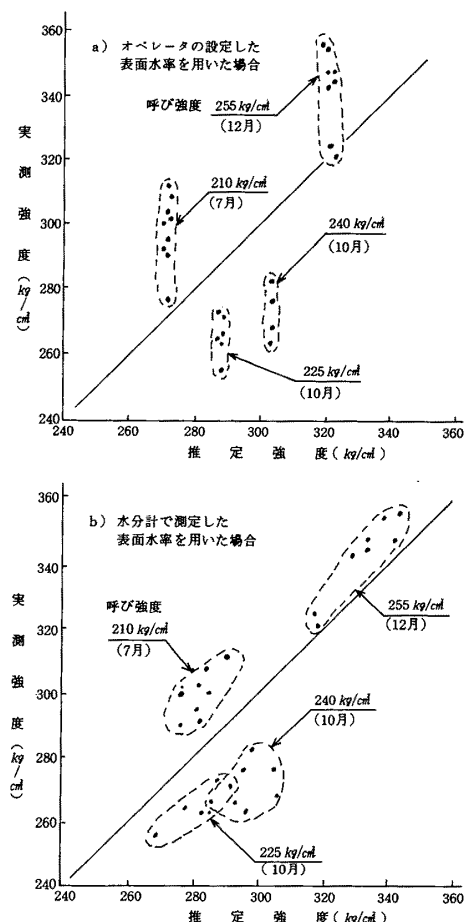


図-7 従来方式により製造したコンクリートの推定強度と実測強度との関係