

論文

[1026] 自動計量記録値によるコンクリートの品質管理法に関する研究

正会員○豊福俊泰 (日本道路公団八代工事事務所)
 井上忠久 (有明菱光コンクリート工業)
 高吉幹生 (日本道路公団八代工事事務所)
 田中実喜也 (日本道路公団八代工事事務所)

1. まえがき

著者の一人は、コンクリートの品質管理（以後、QCと呼ぶ）において、上流で確実に管理するいわゆる川上管理体制が重要であることに着目し、骨材の品質やQC方法がコンクリートの品質に及ぼす影響を解明するとともに、データ解析（重回帰分析）によるコンクリートの品質推定方法を提案した。さらに、これらの研究を総括し、「データ解析によるコンクリートの品質管理システム」を提案した[1],[2]。本システムは、レデーミクストコンクリート（以後、生コンと呼ぶ）の生産者の立場で、生コン工場から荷おろし箇所までの納入過程において収集し得る自動計量記録値、スランプ等の管理データを用いて、圧縮強度やその他のコンクリート品質を迅速に推定解析することによって、コンクリートのQCの合理化を図るものである。

本研究は、九州自動車道八代IC～肥後トンネル間の建設工事現場で打設されたコンクリートのQCデータ（熊本県八代地区の6工場から出荷）を調査し、コンクリート工事における管理・検査方法として、本システムを実用化する場合の使用性、問題点等を検証したものである。

2. 調査概要および解析方法

図-1は、データ解析によるコンクリートの品質管理システム（自動計量記録値を活用した生コンのQCのフロー）である[2]。QCの方法は、まず、生コン工場には自動計量記録装置を設置するものとし、コンクリートの計量値を自動的に納入書にも記入して出荷する。購入者は、事前に生コン工場の計量精度を確認しておくものとし、受け入れ時には、納入書の記入値を確認する。これによって、ミスバッチ（誤配）の受け入れを防止するとともに、単位セメント量等の計量値（配合）をチェックするのである。この方法の最大の利点として特筆すべきは、購入者が、打ち込み前に荷おろし箇所において、全数（全バッチ）のコンクリートの品質を簡易に検査することが可能となる点であり、一方、生産者は生コンの品質保証が確実に図られる点である。

圧縮強度の推定計算は、試験練り（配合設計）時の圧縮強度 $f'_{c,28}$ と荷おろし箇所におけるQC時の圧縮強度 $f'_{kc,28}$ とに区分して提案[1],[3]した計算式を用いて行なわれるが、 $f'_{kc,28}$

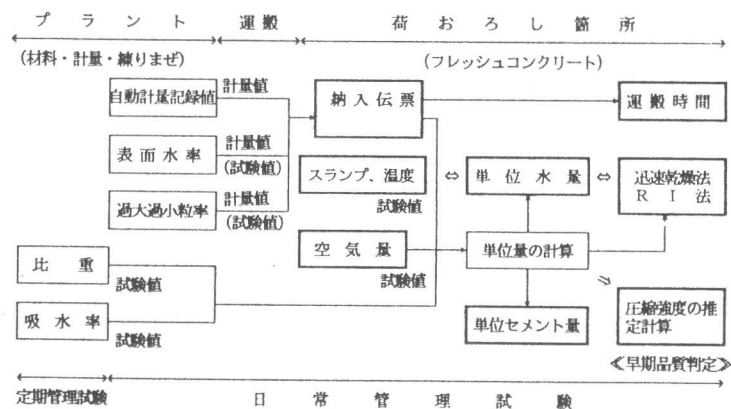


図-1 自動計量記録値を活用した生コンのQCのフロー

の推定計算式としては、文献[1]から次式のとおりでである（記号は、後述の表-1参照）。

(31)式：日本道路公団の全国の建設工事におけるQC結果から $f'_{k,c28}$ 式を $f'_{k,c28}$ 式に補正

$$f'_{k,c28} = -2024.7 + 904.68 \log C - 1.1422W + 0.5811C_{C28} + 128.88S_T - 1.553C_0 - 1.754G_G - 1.904S_L - 5.00G_Q$$

(16)式：常磐自動車道建設工事における日常管理試験結果（関東地域の9工場から出荷）

$$f'_{k,c28} = -1269.5 + 879.60 \log C - 11.678G_G + 0.9068C_{C28} - 3.523S_L - 14.56S_Q - 0.6110W - 32.82S_T - 0.082C_0$$

(33)式：データ解析によるQC実施結果（関東・九州地域の7工場から出荷）

$$f'_{k,c28} = -2217.7 + 1023.07 \log C - 0.5908W - 3.822S_L + 73.84S_T + 0.743G_M - 0.342TT$$

QCデータの調査は、建設工事において出荷した生コン工場にデータ記入要領を配布して、圧縮強度の推定計算に必要な項目を、日常管理試験結果報告書、自動計量記録値等から試験担当者が作成し、コンピュータに入力した。入力データは、異常値をチェックし、自動計量記録値、骨材の表面水率、細骨材の過大粒率、粗骨材の過小粒率、空気量等から、1m³の配合を求め解析データとした。集計した解析データは、表-1に示すとおりであり、昭和58年12月から平成1年10月までに12工事で打設された294,479m³のコンクリートの圧縮強度試験結果（4872配合）である。 $f'_{k,c28}$ の推定計算方法の検討にあたっては、次の6Caseを比較した。

表-1 解析データ

項目	区分	記号	単位	N工場 (熊本県)	O工場 (熊本県)	P工場 (熊本県)	Q工場 (熊本県)	R工場 (熊本県)	S工場 (熊本県)	全工場
調査 工場の 概要	型式 容量 型 サ キ キ ックス 表面 水率 補正 装置 自動 計量 記録 装置			強制練り 1.5m ³ ×1 パンチカード 細骨材 横打式	傾胴式 1.0m ³ ×2 パンチカード 細骨材 横打式	強制練り 1.5m ³ ×1 パンチカード 細骨材 横打式	強制2軸 1.5m ³ ×1 ICメモリ式 細骨材 横打式	傾胴式 1.0m ³ ×2 ICメモリ式 細骨材 横打式	強制練り 1.5m ³ ×1 ICメモリ式 細骨材 横打式	
	細骨材の産地			熊本県混合砂 (川砂+海砂) 熊本県川砂利	熊本県陸砂 熊本県陸砂利	熊本県混合砂 (川砂+海砂) 熊本県川砂利	熊本県混合砂 (川砂+海砂) 熊本県川砂利	熊本県混合砂 (川砂+海砂) 熊本県川砂利	熊本県混合砂 (川砂+海砂) 熊本県川砂利	
	粗骨材の産地									
	細骨材の表面水率 粗骨材の表面水率			2回/日 0	3~4回/日 降雨時のみ	2回/日 0	3回/日 降雨時のみ	3回/日 降雨時のみ	2回/日 降雨時のみ	
調査 概要	調査期間 配合呼び強度の値		か月 配合 kgf/cnf	66 578 (531) 80,240,350, 400	55 886 (171) 180,240	32 877 (263) 180,240	57 858 (394) 180,240,350	27 777 (250) 180,240	42 896 (306) 180,240,400	71 4872 (1915) 180,240,350, 400
	スランブ		cm	7,8,15	8,15	8,15	7,8,15	8,15	7,8,15	7,8,15
配合	圧縮強度(材令28日)	$f'_{k,c28}$	kgf/cnf	197~566	219~371	220~343	209~432	221~355	228~491	197~566
	圧縮強度(材令7日)	$f'_{k,c7}$	kgf/cnf	86~497	106~268	124~235	117~387	103~241	107~427	86~497
配合	セメント比	W/C	%	35.1~64.5	44.7~65.7	46.1~67.7	43.4~70.1	46.8~63.7	39.8~64.5	35.1~70.1
	水セメント比	C/W	%	1.55~2.85	1.52~2.24	1.48~2.17	1.43~2.31	1.57~2.14	1.55~2.51	1.43~2.35
	単位セメント量	C	kg/m ³	239~431	230~301	237~301	238~381	238~302	239~430	230~431
	細骨材率	W S/a	kg/m ³ %	140~178 37.6~47.0	124~170 38.6~44.3	128~164 37.6~43.1	137~169 38.2~48.3	131~165 37.4~45.0	133~171 36.4~42.2	124~178 36.4~48.3
コン クリ ート	スランブ	SL	cm	6.0~16.5	6.9~16.5	7.0~16.9	7.0~17.3	6.5~17.3	6.5~17.0	6.0~17.3
	空気量	A	%	3.0~4.9	3.3~4.7	4.0~4.6	3.4~4.7	3.4~4.7	3.2~5.0	3.0~5.0
	コンクリート温度	CO	°C	7.0~30.0	10.0~31.5	10.0~31.0	10.2~31.0	10.0~30.0	9.5~30.0	7.0~31.5
運搬	運搬時間	TT	min	35~60	31~48	30~45	10~58	10~95	24~61	10~95
セ メント	粉末度(ブレン値)	C _F	cm ² /g	2970~4360	3170~4060	3160~3730	3150~4430	3170~3940	3240~4430	2970~4430
	圧縮強度(材令28日)	C _{c28}	kgf/cnf	415~527	408~427	405~425	405~473	418~426	408~488	405~527
細 骨 材	表面水率	S _w	%	2.4~11.6	3.0~11.1	4.1~9.5	3.4~9.7	4.9~11.1	1.8~8.6	1.8~11.6
	0.15mmふるい通過量	S _{0.15}	%	1.0~9.0	1.0~4.0	2.0~4.0	2.0~4.0	2.0~6.0	3.0~8.0	1.0~9.0
	粗粒率	S _{FM}	%	2.60~2.99	2.70~2.92	2.67~2.81	2.56~2.77	2.63~2.74	2.65~2.78	2.56~2.99
	粗骨材単位容積質量	S _T	kg/ℓ	1.58~1.65	1.55~1.56	1.65~1.74	1.64~1.66	1.64~1.65	1.59~1.64	1.55~1.74
	吸水量	S _Q	%	1.14~2.07	1.67~1.95	1.81~2.03	2.04~2.17	1.97~2.03	1.78~1.86	1.14~2.17
粗 骨 材	最大寸法	G _M	mm	25~40	25~40	25~40	25~40	25~40	25~40	25~40
	実積率	G _G	%	61.2~64.1	63.9~65.3	63.5~65.2	63.0~65.6	62.7~65.6	61.5~64.5	61.2~65.6
	吸水率	G _Q	%	0.84~1.27	1.62~1.87	0.81~0.96	0.64~0.85	1.00~1.14	0.84~0.98	0.64~1.87
	からかい石片	G _V	%	0.0~4.8	2.0~3.8	0.2~2.6	1.7~3.5	0.4~2.4	1.2~2.7	0.0~4.8

Case-1 [(31)式] : (31)式による計算

Case-2 [(16)式] : (16)式による計算

Case-3 [(33)式] : (33)式による計算

Case-4 [C/W式] : 試験練り時に配合種別ごとに求めた $f'_{c,28}$ とC/Wとの関係式による計算

Case-5 [$f'_{c,7}$ 式] : 試験練り時に配合種別ごとに求めた $f'_{c,28}$ と $f'_{c,7}$ との関係式による計算

Case-6 [工場式] : 出荷実績のデータを重回帰分析して求めた回帰式による計算

変数増減法 (分散比 $F_{IN}=F_{OUT}=2.0$)

変数とした項目 logC、W、SL、A、CO、 $C_{c,28}$ 、 S_T 、 S_Q 、 G_M 、 G_G 、 G_Q

3. $f'_{k,c,28}$ の推定計算方法の検討

3.1 $f'_{k,c,28}$ に及ぼす要因

表-2は、 $f'_{k,c,28}$ に及ぼす要因を明らかにするため、各工場のデータを重回帰分析した結果である (Case-6)。いずれもlogCとの強い相関が認められ、この判明だけで $f'_{k,c,28}$ が標準偏差16~31kgf/cm²の範囲で求められることが示されている。次にはSLが取り入れられており、この2項目が判明すると、15~23kgf/cm²の範囲となっている。また、他の項目も既報[1]の解析結果と

表-2 Case-6の重回帰分析結果

区分	ステップ										注1)	演算結果の回帰式	注2)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
N工場	logC, (SL), (W), (CO), $C_{c,28}$, (G_c)											$f'_{k,c,28} = -1953.5 + 1032.11 \log C - 5.838G_w - 1.7994W - 1.166CO + 0.2680C_{c,28} - 33.50G_c$ (-51.11) (45.11) (-12.99) (-10.17) (-8.60) (7.89) (-4.05) (n=578, i=11, p=6, R=0.973, K=0.946, $e_s=18.5$ kgf/cm ² , $z_s=0.056$)	式(1)
O工場	logC, (SL), G_M , (CO), (W)											$f'_{k,c,28} = -2208.3 - 1062.39 \log C - 7.485SL + 0.422G_M - 0.176CO - 0.2011W$ (-43.63) (58.84) (-26.27) (3.32) (-2.05) (-1.73) (n=886, i=11, p=5, R=0.933, K=0.870, $e_s=14.3$ kgf/cm ² , $z_s=0.054$)	式(2)
P工場	logC, (SL), (W), (G_s), (S_T), ($C_{c,28}$), S_Q , (CO), (G_c)											$f'_{k,c,28} = -1076.0 + 1022.25 \log C - 5.252SL - 0.7819W - 7.703G_s - 151.08S_T - 0.5019C_{c,28} + 12.41S_Q - 0.187CO - 30.77G_c$ (-7.56) (49.92) (-17.74) (-5.90) (-4.42) (-3.79) (-2.86) (1.54) (-2.09) (-1.59) (n=877, i=11, p=9, R=0.929, K=0.863, $e_s=13.4$ kgf/cm ² , $z_s=0.051$)	式(3)
Q工場	logC, (SL), (W), (CO), (S_Q), ($C_{c,28}$), (S_T)											$f'_{k,c,28} = 1245.5 - 856.06 \log C - 5.483SL - 0.7497W - 0.364CO - 36.61S_Q + 0.1757C_{c,28} - 233.56S_T$ (-5.35) (47.27) (-26.41) (-5.57) (-4.02) (-1.75) (2.05) (-1.51) (n=858, i=11, p=7, R=0.946, K=0.896, $e_s=14.1$ kgf/cm ² , $z_s=0.054$)	式(4)
R工場	logC, (SL), G_M , (CO), ($C_{c,28}$), (A)											$f'_{k,c,28} = -1826.3 - 1011.03 \log C - 7.227SL + 1.519G_M - 0.309CO - 0.7366C_{c,28} - 4.16A$ (-10.10) (49.49) (-25.82) (10.95) (-3.27) (-1.75) (-1.55) (n=777, i=11, p=6, R=0.924, K=0.853, $e_s=14.3$ kgf/cm ² , $z_s=0.051$)	式(5)
S工場	logC, (W), (CO), (SL), $C_{c,28}$, G_M											$f'_{k,c,28} = -2023.9 - 986.82 \log C - 1.3545W - 0.346CO - 1.862SL + 0.3046C_{c,28} + 0.324G_M$ (-33.45) (56.51) (-5.54) (-4.42) (-4.08) (2.62) (1.49) (n=896, i=11, p=6, R=0.917, K=0.840, $e_s=13.1$ kgf/cm ² , $z_s=0.044$)	式(6)
全体	logC, (SL), G_M , $C_{c,28}$, (W), (CO), (S_Q), (G_c), (A), G_M , (S_T)											$f'_{k,c,28} = -2013.4 + 973.54 \log C - 5.767SL + 0.304G_M - 0.2727C_{c,28} - 0.9314W - 0.333CO - 19.25S_Q - 10.59G_c - 3.05A$ (-70.51) (131.42) (-41.93) (8.59) (14.64) (-14.53) (-8.52) (-9.59) (-6.30) (-3.14) +1.645G_s - 29.53S_T (4.43) (-2.49) (n=4872, i=11, p=11, R=0.951, K=0.940, $e_s=15.6$ kgf/cm ² , $z_s=0.055$)	式(7)

注1) 上段: 項目名で()内は負の相関および()無しは正の相関、中段: 重回帰係数Rを%で表した値、下段: 回帰残差e (=実測値 y_i - 推定計量値 Y_i)の標準偏差 e_s (kgf/cm²)
注2) 下段の()内はt値、p: 全項目数iの自由度、 z_s : (y_i/Y_i)の標準偏差

表-3 推定計算式の比較

区分	N工場			O工場			P工場			Q工場			R工場			S工場			6工場の平均値		
	r	\bar{e} , \bar{z}	e_s , z_s	r	\bar{e} , \bar{z}	e_s , z_s	r	\bar{e} , \bar{z}	e_s , z_s	r	\bar{e} , \bar{z}	e_s , z_s	r	\bar{e} , \bar{z}	e_s , z_s	r	\bar{e} , \bar{z}	e_s , z_s	r	\bar{e} , \bar{z}	e_s , z_s
Case-1 [(31)式]	0.957	-9.1 0.973	23.2 0.071	0.859	-0.5 0.998	21.2 0.079	0.866	-14.1 0.949	18.2 0.064	0.891	-23.2 0.920	20.0 0.071	0.874	-7.7 0.974	18.5 0.084	0.885	-3.4 0.989	15.4 0.051	0.889	-9.7 0.967	19.4 0.067
Case-2 [(16)式]	0.937	-38.5 0.900	33.0 0.079	0.900	-7.9 0.969	18.7 0.067	0.909	-4.0 0.985	15.2 0.056	0.919	-16.4 0.943	17.6 0.063	0.866	-0.7 1.003	22.2 0.073	0.861	-14.3 0.956	17.6 0.054	0.899	-13.6 0.959	20.7 0.085
Case-3 [(33)式]	0.960	+15.7 1.047	23.7 0.073	0.899	+4.4 1.015	18.6 0.069	0.915	-2.9 0.990	14.7 0.057	0.907	-9.7 0.967	18.8 0.072	0.911	+2.8 1.012	15.7 0.057	0.911	-12.4 1.045	13.9 0.051	0.917	+3.8 1.012	17.6 0.063
Case-4 [C/W式]	0.960	-12.8 0.967	26.6 0.064	0.889	+16.0 1.062	19.9 0.074	0.921	-6.7 0.975	14.2 0.052	0.947	-5.0 0.982	14.3 0.054	0.905	-2.9 0.989	15.9 0.055	0.916	-4.0 0.986	13.2 0.043	0.923	-2.6 0.994	17.4 0.057
Case-5 [$f'_{c,7}$ 式]	0.984	+4.6 1.016	14.6 0.043	0.710	+7.2 1.029	32.4 0.116	0.961	-1.8 0.994	11.0 0.040	0.984	-3.3 0.988	8.7 0.031	0.973	+3.0 1.010	8.8 0.031	0.953	+10.3 1.035	11.1 0.039	0.928	+3.3 1.012	14.4 0.050
Case-6 [工場式]	0.974	+0.2 1.000	18.2 0.055	0.934	-0.1 1.000	15.0 0.055	0.929	+0.0 1.000	13.4 0.051	0.946	+0.1 1.000	14.1 0.054	0.924	+0.0 1.000	14.3 0.051	0.917	+0.1 1.000	13.1 0.044	0.937	+0.1 1.000	14.7 0.052

注) r: 単相関係数、 \bar{e} , \bar{z} : 上段が \bar{e} (回帰残差eの平均値, kgf/cm²)で、下段が \bar{z} (実測値 y_i /推定計量値 Y_i の平均値)
 e_s , z_s : 上段が e_s (eの標準偏差, kgf/cm²)で、下段が z_s (y_i/Y_i の標準偏差)

も傾向があっており、変数とした項目は普遍性があると言えよう。

3.2 f'_{kc28} の推定計算式の比較

全データに対してCase-1~5の推定計算を行なった結果は、表-3に示すとおりである。データ数が異なるが、Case-5の $f'_{c,7}$ 式による推定計算方法が、最も標準偏差が小さく6工場平均で14.4kgf/cm²であり、精度が良い。この原因は、QCデータの場合、C、SL、CO、A以外の項目は、使用材料の試験頻度を増加することが困難であり、試験値が即座に判明しないため、いわば概略値が報告されていることによるとみなされる。次に精度が良いのは、当然のことながらCase-6の工場別に重回帰分析

した結果であるが、推定計算方法としては、配合種別ごとにC/Wとの関係式により計算するCase-4の場合、データ解析によるQCを実施して推定式((33)式)を求めたCase-3の場合、全国の建設工事におけるQC結果から推定式((31)式)を求めたCase-1の場合、常磐自動車道の建設工事における日常管理試験結果から推定式((16)式)を求めたCase-2の場合の順となっている。

しかし、全国の建設工事における品質調査の結果、生コンの製造時には、試験室で実施する試験練りとは異なり、練り混ぜ方法の相違、材料、気象条件、運搬時間等の変動が必ず生じるため、全国平均で $f'_{kc28} \approx 0.95f'_{c,28}$ となる傾向が認められている[1]、[4]。しかも、CおよびW以外の項目を圧縮強度の変動要因から除外するのは、重回帰分析結果からも不合理であると判断される。一方、Case-1およびCase-2の場合は、回帰残差の平均値が一方(推定計算値が実測値より大きい)となっている。Case-1のN工場の場合を、図-2に示す。この理由は、次の3.3で検討する。

3.3 生コン工場のQC結果を反映させた f'_{kc28} の推定計算方法

(31)式は全国のデータ、また、(16)式は関東地区のデータから求めた推定式であるため、骨材品質の地域特性の相違によって f'_{kc28} の平均値に差が生じることがある[1]。また、同一の生コン工場であっても、出荷コンクリートの種別(C、W等)の偏り、骨材の品質変動があるため、

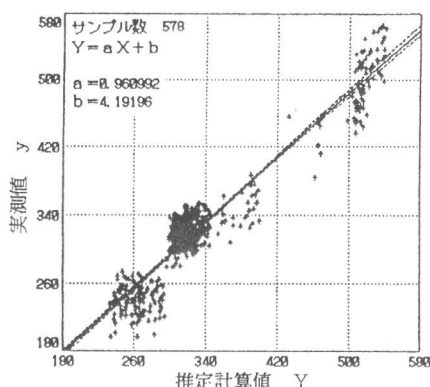


図-2 f'_{kc28} の推定計算値と実測値の関係(Case-1のN工場)

表-4 Case-6の重回帰分析結果(データ数が最初の200個の場合)

区分	ステップ								演算結果の回帰式 注2)
	1	2	3	4	5	6	7	注1) 8	
N工場	log C, (SL), C _{c28} , (CO), (W), S _q	92	97	98	98	98	98	98	$f'_{kc28} = -1779.3 + 885.29 \log C - 6.954 SL + 0.3748 C_{c28} - 1.198 CO - 1.2588 W + 14.19 S_q$ (-34.72) (28.98) (-11.96) (8.02) (-5.46) (-4.00) (2.23) (n=200, i=11, p=6, R=0.980, K=0.961, e _s =18.1kgf/cm ² , z _s =0.058) 式(8)
O工場	log C, (C _{c28}), (SL)	90	91	91					$f'_{kc28} = -1736.6 + 1009.92 \log C - 0.8865 C_{c28} - 6.696 SL$ (-12.76) (30.88) (-3.35) (-2.61) (n=200, i=11, p=3, R=0.913, K=0.833, e _s =16.6kgf/cm ² , z _s =0.055) 式(9)
P工場	log C, (G _m), (C _{c28}), (S _T), G _q , G _m , -G _γ	93	94	94	94	94	94	94	$f'_{kc28} = -1125.1 + 1073.44 \log C - 1.3678 C_{c28} - 467.14 S_T + 153.50 G_q + 0.538 G_m$ (-3.70) (31.17) (-6.13) (-3.63) (1.97) (2.60) (n=200, i=11, p=5, R=0.944, K=0.891, e _s =13.4kgf/cm ² , z _s =0.049) 式(10)
Q工場	(G _γ), log C, (W), (SL), -G _γ , (CO), (C _{c28}), G _q	74	79	93	93	93	93	93	$f'_{kc28} = -1723.4 + 1074.33 \log C - 2.2405 W - 4.181 SL - 0.428 CO - 0.6568 C_{c28} + 52.66 G_q$ (-5.35) (21.33) (-6.13) (-9.34) (-2.41) (-2.18) (1.96) (n=200, i=11, p=6, R=0.933, K=0.870, e _s =13.8kgf/cm ² , z _s =0.054) 式(11)
R工場	log C, G _m , (SL)	89	91	92					$f'_{kc28} = -2065.4 + 972.80 \log C + 1.547 G_m - 7.553 SL$ (-21.36) (26.87) (5.88) (-5.05) (n=200, i=11, p=3, R=0.922, K=0.850, e _s =14.3kgf/cm ² , z _s =0.051) 式(12)
S工場	log C, (W), (A)	91	92	93					$f'_{kc28} = -1899.0 + 972.18 \log C - 1.0314 W - 4.23 A$ (-29.48) (30.71) (-4.98) (-1.47) (n=200, i=11, p=3, R=0.925, K=0.856, e _s =13.9kgf/cm ² , z _s =0.048) 式(13)

注1)、注2): 表-3の注参照

表-5 最初の200個のデータに対する推定計算の比較

区分 Case	N工場			O工場			P工場			Q工場			R工場			S工場			6工場の平均値		
	r	\bar{e}, \bar{z}	$e_{..z}$	r	\bar{e}, \bar{z}	$e_{..z}$	r	\bar{e}, \bar{z}	$e_{..z}$	r	\bar{e}, \bar{z}	$e_{..z}$	r	\bar{e}, \bar{z}	$e_{..z}$	r	\bar{e}, \bar{z}	$e_{..z}$	r	\bar{e}, \bar{z}	$e_{..z}$
Case-1 [(31)式]	0.967	-25.2 0.925	23.5 0.073	0.861	+10.7 1.037	21.0 0.074	0.925	-1.0 0.995	15.7 0.056	0.860	-29.1 0.898	19.8 0.070	0.881	-7.2 0.976	17.9 0.062	0.890	-0.6 0.980	16.9 0.057	0.897	-8.7 0.969	19.1 0.065
Case-2 [(16)式]	0.967	-66.2 0.827	29.2 0.063	0.880	+4.0 1.013	19.6 0.066	0.932	+3.2 1.011	15.0 0.054	0.899	-17.3 0.936	17.8 0.066	0.867	+3.7 1.019	21.0 0.071	0.888	-20.6 0.935	17.4 0.054	0.906	-15.5 0.957	20.0 0.062
Case-6 [工場式]	0.980	+0.1 1.000	18.1 0.058	0.913	+0.0 1.000	16.6 0.055	0.944	+0.1 1.000	13.4 0.049	0.933	+0.1 1.000	13.8 0.054	0.922	+0.1 1.000	14.3 0.051	0.925	+0.1 1.000	13.9 0.048	0.936	-0.1 1.000	15.0 0.053

注) 表-2の注)参照

表-6 201個以降のデータに対し回帰残差の平均値で補正した推定計算の比較

区分 Case	N工場			O工場			P工場			Q工場			R工場			S工場			6工場の平均値		
	r	\bar{e}, \bar{z}	$e_{..z}$	r	\bar{e}, \bar{z}	$e_{..z}$	r	\bar{e}, \bar{z}	$e_{..z}$	r	\bar{e}, \bar{z}	$e_{..z}$	r	\bar{e}, \bar{z}	$e_{..z}$	r	\bar{e}, \bar{z}	$e_{..z}$	r	\bar{e}, \bar{z}	$e_{..z}$
Case-1 [(31)式- e_{zoc}]	0.968	+24.7 1.083	17.9 0.061	0.851	-14.5 0.948	20.2 0.073	0.868	-17.0 0.939	17.0 0.061	0.904	+7.8 1.034	19.7 0.083	0.872	-0.6 0.999	18.7 0.066	0.881	+3.2 1.011	14.8 0.050	0.891	+0.6 1.002	18.1 0.066
Case-2 [(16)式- e_{zoc}]	0.962	+42.3 1.151	24.5 0.091	0.902	-15.5 0.942	16.9 0.061	0.907	-9.3 0.966	14.5 0.053	0.929	+1.2 1.008	17.6 0.069	0.867	-5.9 0.985	22.4 0.072	0.856	+8.1 1.030	17.3 0.059	0.904	+3.5 1.015	18.9 0.068
Case-6 [200個の回帰式]	0.969	+16.0 1.048	18.7 0.056	0.921	-2.4 0.989	15.7 0.058	0.731	-8.7 0.974	26.3 0.096	0.926	+6.7 1.027	17.0 0.067	0.922	-1.5 0.994	14.6 0.051	0.896	-5.2 0.983	13.9 0.045	0.894	+0.8 1.003	17.7 0.062

注) e_{zoc} : 最初の200個のデータに対する回帰残差の平均値、他の記号は表-2の注)参照

その後のコンクリートの品質推定式として最適とは限らないことが、想定される。

そこで、十分なQCデータが得られた状態を想定し、表-4は、各生コン工場の最初の200個のデータを重回帰分析した結果であり、表-5にこのデータに対して(31)式 (Case-1) および(16)式 (Case-2)で推定計算を行なった結果を示す。回帰残差の平均値は、Case-1の場合-29.1~+10.7kgf/cm²で6工場の平均値が-8.7kgf/cm²、Case-2の場合-66.2~+4.0kgf/cm²で6工場の平均値が-15.5kgf/cm²で、重回帰分析を行なったCase-6の場合は当然ながらこれらの値がほぼ0となっている。

次に、各生コン工場ごとにこれらの回帰残差の平均値で(31)式および(16)式を補正し、201個以降のデータに対して推定計算を行なった結果を、表-6に示す。この場合、回帰残差の平均値は、Case-1の場合-17.0~+24.7kgf/cm²で6工場の平均値が+0.6kgf/cm²、Case-2の場合-15.5~+42.3kgf/cm²で6工場の平均値が+3.5kgf/cm²で、推定精度が向上している。一方、重回帰分析によって各生コン工場の回帰式を求め、201個以降のデータに対して推定計算を行なった結果 (Case-6)は、表-6から回帰残差の平均値が-8.7~+16.0kgf/cm²で6工場の平均値が+0.8kgf/cm²となっており、回帰残差の標準偏差で比較してもCase-1、Case-2の場合との優位性が小さくなっている。前述のデータの偏りは、P工場の場合に表われており、最初の200個のデータに対しては適合性が良い回帰式であっても、その後の品質推定計算式としては、ばらつきが大きくなり適合性が低下することがある (相関係数が小さく、回帰残差が大きくなっている)。

3.4 自動計量記録装置の必要性

図-3は、図-2に示したN工場のQCデータである。昭和58年12月~平成1年5月の間に3工事で打設された39,000m³のコンクリートで、 f'_{kc28} が197~566の範囲 (図-3の(a)参照、データ数578個、変動係数24.1%)に分布しており、使用セメント=普通・高炉・早強セメント、 $C=239\sim 431\text{kg/m}^3$ (同図の(b)参照、変動係数17.8%)、 $W=140\sim 178\text{kg/m}^3$ 、 $W/C=35.1\sim 64.5\%$ 、 $s/a=37.6\sim 47.0\%$ 、 $SL=6.0\sim 16.5\text{cm}$ 、 $CO=7.0\sim 30.0^\circ\text{C}$ 、 $S_w=2.4\sim 11.6\%$ 、 $S_{0.15}=1.0\sim 9.0\%$ 、 $G_M=25\sim 40\text{mm}$ とそれぞれ分布範囲が広いが、呼び強度の値240kgf/cm²、スランプ8cm、粗骨材の最大寸法20・25mmの普通セメント使用コンクリート ($B_{0-1}\cdot B_{1-1}$ という)に限定すると、同

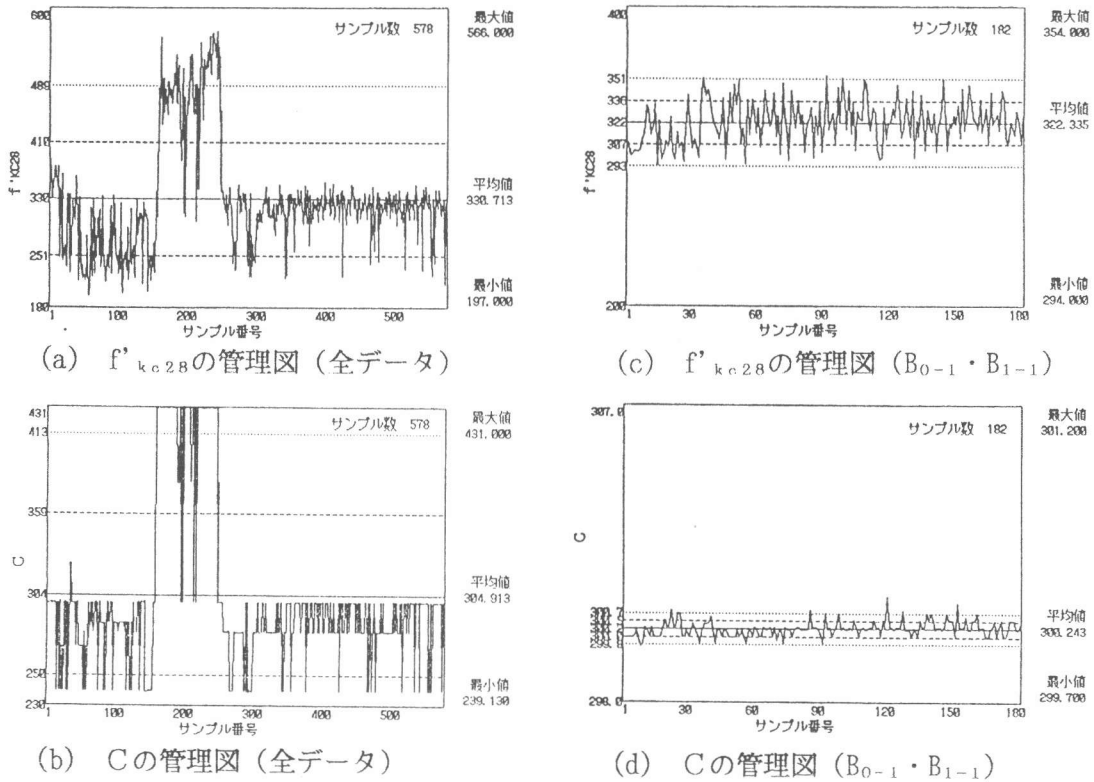


図-3 N工場のQCデータ

図の(c)および(d)に示すように $f'_{kc28} = 294 \sim 354 \text{ kgf/cm}^2$ (変動係数4.5%)、 $C = 299.7 \sim 301.2 \text{ kg/m}^3$ (変動係数0.1%)と、変動がきわめて小さい結果となっている。

すなわち、コンクリートのQCにおいて最も重要なことは、管理試験頻度を増加してコンクリートの品質変動が小さくなるように努めることよりも、購入者が指定したコンクリートの種別、配合を間違えるいわゆるミスバッチが生じないように、荷おろし箇所で簡易に検査できるシステムを確立することである。自動計量記録値によるコンクリートのQCの必要性は、論を待たない。

4. 結論

本研究により得られた結果をまとめると、次のとおりである。

- (1) f'_{kc28} の推定計算式として、(31)式および(33)式は普遍性があると考えられる。生コン工場のQCデータを推定計算式とする場合には、データの偏りに留意する必要がある。
- (2) 自動計量記録値を活用した生コンのQCは、きわめて合理的であり、納入書に計量値(特にCの値)を自動的に記録する装置の開発は容易であり、この早期実用化が待たれる。

参考文献

- [1] 豊福俊泰：データ解析によるコンクリートの品質管理システムに関する研究、土木学会論文集、第426号/V-14、pp.55~64、1991年2月
- [2] 豊福俊泰・増田隆・吉岡博幸：迅速乾燥法、RI法および自動計量記録値による単位水量の早期迅速試験法に関する研究、コンクリート工学論文集、第1巻第1号、pp.165~176、1990年1月
- [3] 豊福俊泰：データ解析によるコンクリートの圧縮強度の推定方法に関する研究、土木学会論文集、第420号/V-13、pp.125~134、1990年8月
- [4] 豊福俊泰：データ解析によるコンクリートの品質変化とその要因に関する研究、土木学会論文集、第408号/V-11、pp.147~156、1989年8月