

論文

[1186] 関東地域におけるコンクリート品質に関する統計調査

古賀 一八^{*1}・重倉 祐光^{*2}・高橋 和雄^{*3}・高橋 保男^{*4}

1. はじめに

日本建築学会建築工事標準仕様書「鉄筋コンクリート工事（JASS5）」の昭和61年9月の大幅改定に伴って、工事現場に納入されるコンクリートの品質がどの様に変化しているか、改定前後の受入検査結果を対比して検討した報告は見受けられないようである。

そこで、本調査は関東地域においてJASS5改定に伴う設計事務所・ゼネコンの仕様変更前後の工事現場に納入されるコンクリート受け入れ検査のデータの変化を調査し、フレッシュコンクリートの品質ならびに構造体コンクリートとしての現場水中養生供試体の圧縮強度等、および同時に測定した外気温・水温との統計的な検討を行った。

2. 調査概要

以下の概要で調査を行った。

- ①調査期間 JASS5改定前として、設計事務所・ゼネコン各社コンクリート関連仕様変更前の仕様にもとずき打設された昭和60年1月～昭和62年11月打設コンクリート及び仕様変更が完全に行われた平成2年4月～平成3年3月打設コンクリートを対象
- ②地域（東京、神奈川、千葉、埼玉の1都3県）
- ③現場数（改定前67、改定後25）
- ④ゼネコン会社数（改定前4、改定後8）
- ⑤生コン会社数（改定前30、改定後34）
- ⑥フレッシュコンクリート試験（スランブ、フロー、空気量、練り上り温度）調査数（改定前6614、改定後2682）
- ⑦圧縮強度試験（現場水中養生）ロット数（改定前3411、改定後6170）
- ⑧気温および水温調査（昭和62年4月～平成4年4月） 場所：埼玉県三郷市
- ⑨コンクリートの仕様 呼び強度210～300、目標スランブ18,20,21cm、普通コンクリート、建築工事

3. 調査結果の考察

3.1 フレッシュコンクリート

(1)スランブ： 目標スランブ20、21、18cmに対する荷卸時のスランブの度数分布を図1～4に示した。改定前は21cm以下の仕様であったが、改定後の仕様は全て18以下cmとなっており、JASS5改定の主旨が遵守されている事が窺える。改定前は各々目標スランブを中心とした正規分布に近い分布を示し、目標スランブ18cmで許容値を超える割合は片側1.2%と小さい。改定後はスランブ19cmを中心とし、しかも許容値上限の20.5cmを越えるものが欠落する変則的な分布をしている。許容値を超える割合は下側は0.6%と小さいが、上側は5.9%

*1 (株)長谷工コーポレーション技術研究所材料施工システム研究室チーフ研究員、工修（正会員）

*2 東京理科大学教授 理工学部建築学科、工博（正会員） *3 同大学助手（正会員）

*4 (株)日東コンクリート技術事務所 社長（正会員）

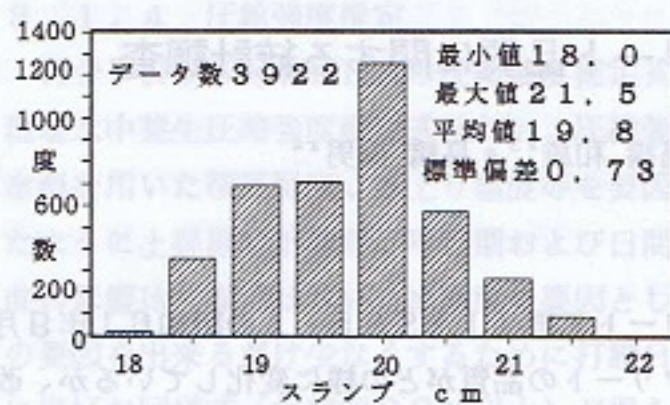


図1 目標スラブ20 c mの分布 (改定前)

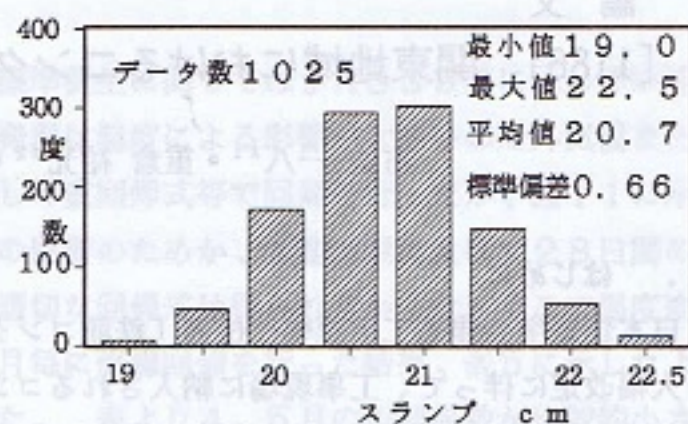


図2 目標スラブ21 c mの分布 (改定前)

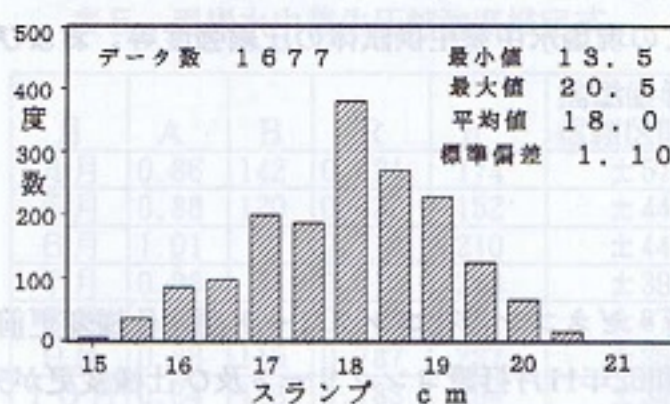


図3 目標スラブ18 c mの分布 (改定前)

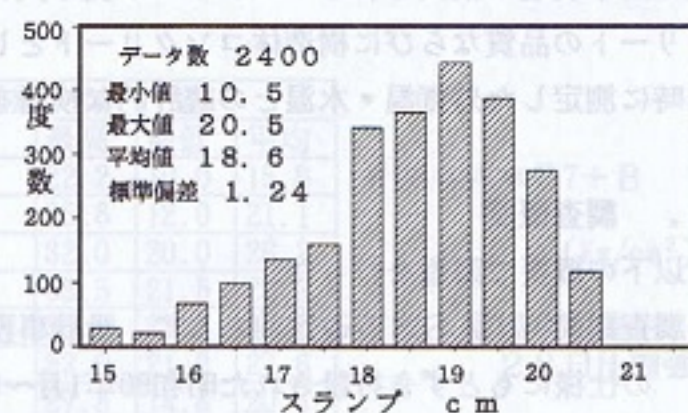


図4 目標スラブ18 c mの分布 (改定後)

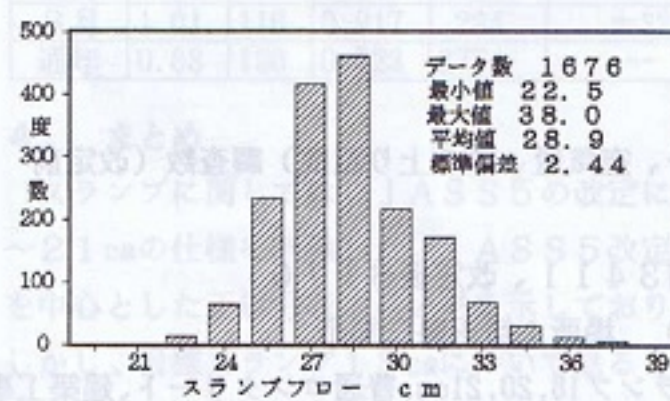


図5 スラブフロー値の分布 (SL18、改定前)

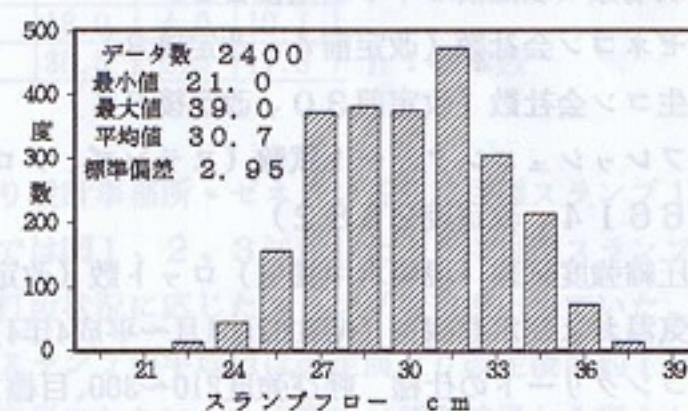


図6 スラブフロー値の分布 (SL18、改定後)

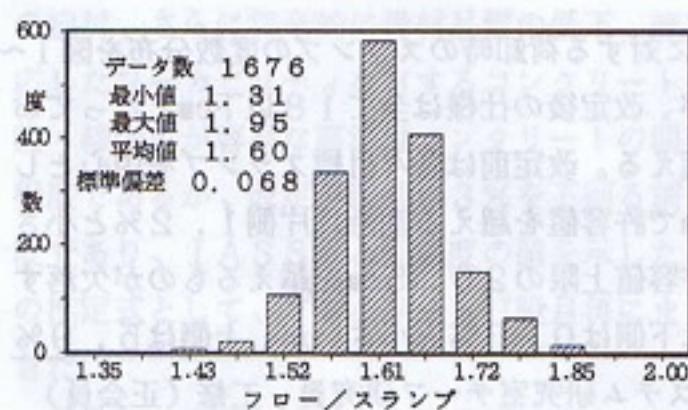


図7 フロー/スラブの分布 (SL18、改定前)

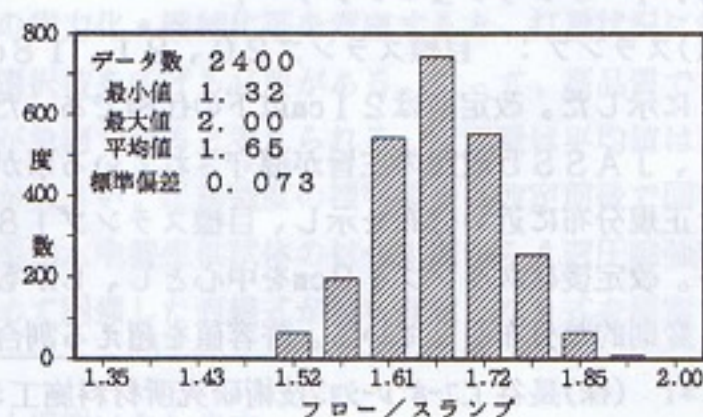


図8 フロー/スラブの分布 (SL18、改定後)

と大きい。これは、改定によってスランブ19～21cmの仕様がなくなり、許容範囲内で少しでも打設を容易にしたいという現場の意図の現れであり、許容値上限の20.5cmを超えるコンクリートは返却しているのではないと思われる。

(2)スランブフロー： 目標スランブ18cmに於けるフローの平均値は、改定前29cm、改定後31cmと2cm増加している（図5、6）。また、フロー／スランブの平均値は改定前1.60、改定後1.65と改定後が大きくなっている（図7、8）。この事は、スランブ18cm程度と19cm程度のスランブの状態が異なり、改定後のフロー／スランブはフレッシュコンクリートの状態が改定前のスランブ20または21cmに限りなく近いものとなっていると考えられる。

(3)空気量： 図9、10に示したように、平均値は改定前3.8%、改定後3.9%とほぼ同程度の値を示している。許容値を超える割合は、改定前後とも3%を下回る割合の方が高い（5%を超える割合：改定前0.9%・改定後1.4%、3%を下回る割合：改定前5.7%、改定後4.1%）。また改定前後とも標準偏差 σ が0.50であることから、目標空気量に対する許容差が $\pm 1\%$ （ 2σ ）であれば97.8%、許容差 $\pm 1.5\%$ （ 3σ ）であれば99.9%が許容値内におさまる、合格する事になる。

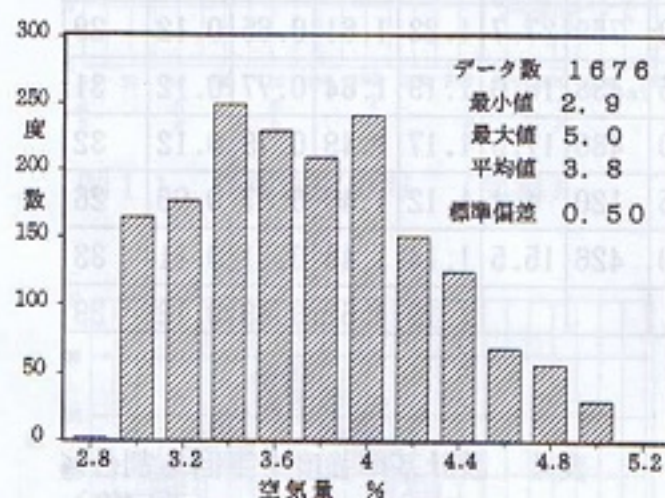


図9 空気量の分布（改定前）

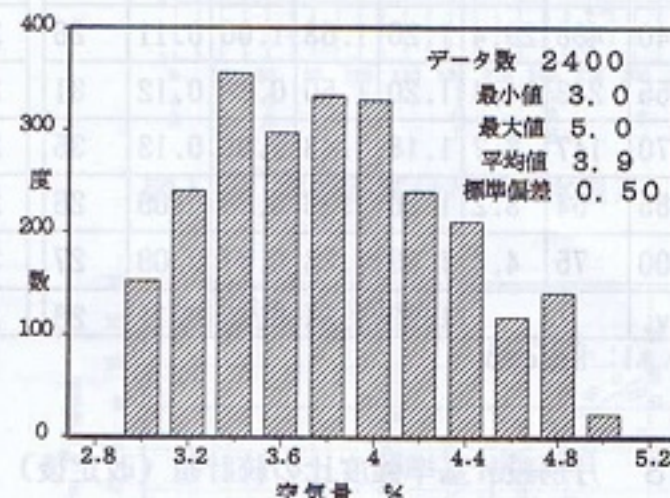


図10 空気量の分布（改定後）

3.2 圧縮強度

(1)呼び強度比： ここで用いた呼び強度比は現場水中養生材令4週圧縮強度の呼び強度に対する比とした。呼び強度比の比較は、温度補正値が適切である場合、割り増し係数の検討及びばらつき（標準偏差）の比較に有効であると考えられる。

呼び強度比の呼び強度毎の平均値は表1に示したように、改定前で1.09～1.32、改定後で1.12～1.29であり、改定後の幅およびその平均値は改定前より小さくなっている。また標準偏差は改定前後でほぼ同じ値を示している。標準偏差はJASS5において、基本仕様では実績値または35Kg/cm²、高強度コンクリート仕様（設計基準強度270～360Kg/cm²）では実績値または呼び強度の0.1倍のいずれか大きい方となっている。JASS5の規定値はおおむね妥当な値と考えられる。

呼び強度別の試験回数の割合は、表1、2に示したように改定前後とも240が最も多いが、改定後は高強度の割合が多くなっている。

(2)設計基準強度比：ここで用いた設計基準強度比は現場水中養生材令4週圧縮強度の設計基準強度に対する比とした。設計基準強度比は、構造体コンクリートが設計基準強度に対しどの程度の

差があるのか、設計基準強度を下回る確率がどの程度であるかを見るのに有効である。

表3に設計基準強度比の月別の統計値、表4に設計基準強度を下回る割合を設計基準強度別に示した。表より月別の設計基準強度比は、平均値が1.27～1.48であり、気温補正強度の大きい月ほど大きくなっている。設計基準強度を下回る割合が最も高かったのは8月であった。3月に設計基準強度を下回る割合が高かったのは、再調査の結果偶然によるものではない原因によるものであった。設計基準強度を下回る確率はおおむね0.7%程度と考えられる。

表1 呼び強度比の統計値（改定前）

呼び強度	試験回数	試験回数の割合%	呼び強度比				標準偏差 *1
			平均	最大	最小	偏差	
210	417	24.6	1.32	1.85	1.02	0.13	27
225	258	15.2	1.27	1.60	0.99	0.12	27
240	498	29.4	1.25	1.63	1.00	0.11	26
255	243	14.4	1.20	1.50	0.88	0.12	31
270	147	8.7	1.18	1.48	0.95	0.13	35
285	54	3.2	1.20	1.36	0.88	0.09	26
300	75	4.4	1.09	1.33	0.81	0.09	27
Av.			1.22	1.54	0.93	0.11	28

*1: Kg/cm²

表2 呼び強度比の統計値（改定後）

呼び強度	試験回数	試験回数の割合%	呼び強度比				標準偏差 *1
			平均	最大	最小	偏差	
210	315	11.5	1.29	1.62	0.95	0.14	29
225	203	7.4	1.22	1.47	0.93	0.11	25
240	759	27.7	1.23	1.61	0.65	0.12	29
255	438	16.0	1.19	1.64	0.77	0.12	31
270	480	17.5	1.17	1.49	0.79	0.12	32
285	120	4.4	1.12	1.40	0.87	0.09	26
300	426	15.5	1.14	1.43	0.81	0.11	33
Av.			1.19	1.52	0.83	0.12	29

表3 月別設計基準強度比の統計値（改定後）

月	設計基準強度比				標準 偏差	標本 数	設計基準強度 を下回る 割合%	
	平均	最大	最小	数			割合%	
4	1.34	1.62	0.89	0.13	99	1	1.01	
5	1.27	1.53	0.99	0.12	93	1	1.08	
6	1.27	1.61	0.80	0.11	168	1	0.60	
7	1.27	1.64	1.03	0.11	198	0	0.00	
8	1.30	1.62	0.93	0.14	150	5	3.33	
9	1.27	1.60	0.93	0.12	207	1	0.48	
10	1.31	1.69	0.99	0.13	264	1	0.38	
11	1.38	1.72	1.03	0.13	282	0	0.00	
12	1.45	2.05	1.01	0.19	288	0	0.00	
1	1.47	1.81	1.05	0.15	105	0	0.00	
2	1.48	2.00	1.18	0.16	219	0	0.00	
3	1.42	1.76	0.74	0.17	195	6	3.08	

表4 設計基準強度を下回る割合%（改定後）

設計基準強度 Kg/cm ²	標本数	設計基準強度を下回る 数	割合%
180	3	0	0.00
210	1032	7	0.68
225	33	1	3.03
240	1173	8	0.68
255	27	0	0.00

$$\text{設計基準強度比} = \frac{\text{現場水中4週強度}}{\text{設計基準強度}}$$

3.1.3 温度補正值

(1)温度変化： 外気温は、アスファルト上の百葉箱、水中温度はトタン屋根下に設置した、180x90x50cmの鋼製養生槽内で測定した。図11～12に示したように、外気温の日平均値は約1～36℃まで35℃の幅で変化するのに対し、水温の日平均値は5～32℃まで幅は27℃と外気温の変化より小さい。打込み時の温度は10～35℃、幅は25℃であり、JASS5の規定値10～35℃の範囲を満足している。

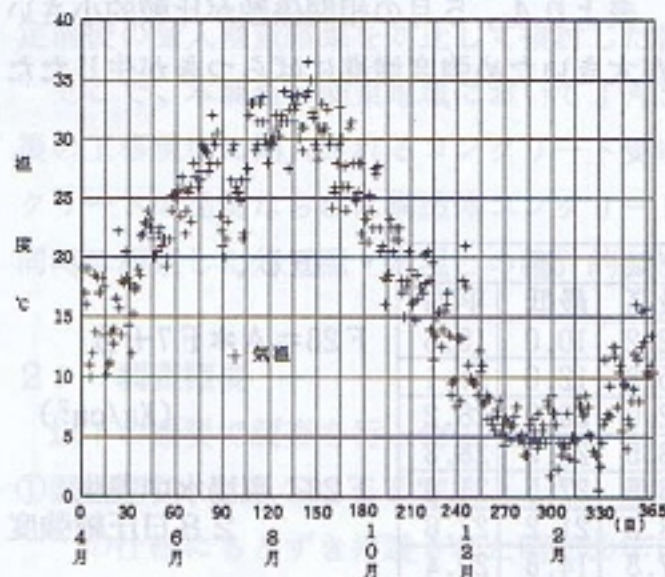


図11 年間温度分布 (気温)

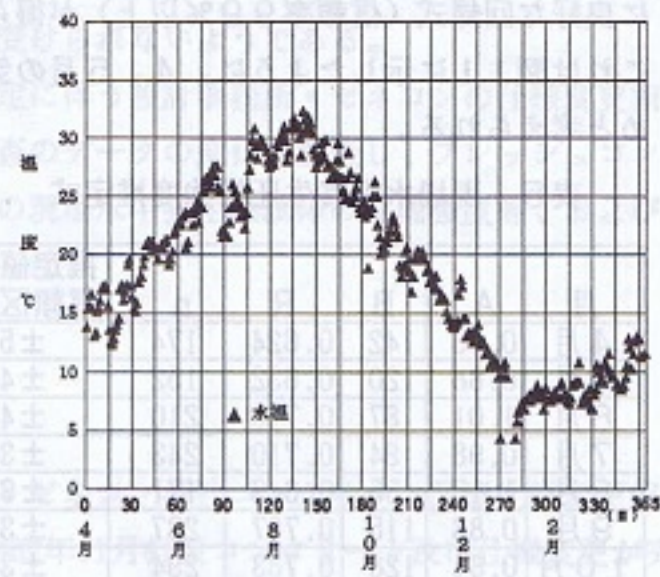


図12 年間温度分布 (水温)

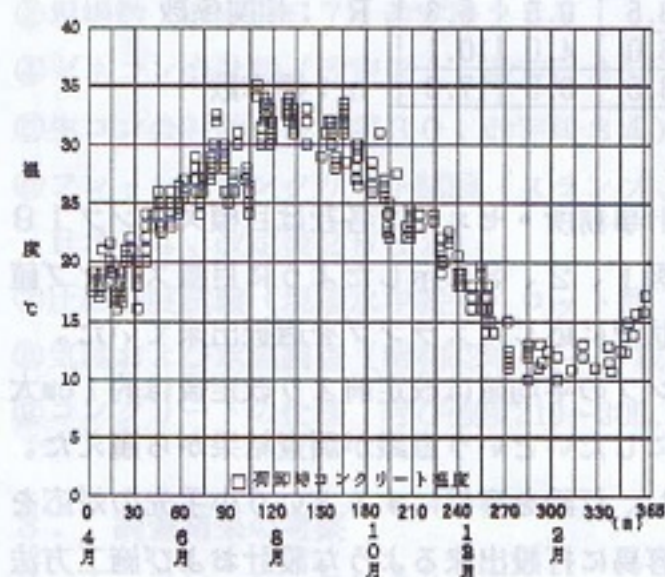


図13 年間温度分布
(荷卸時コンクリート温度)

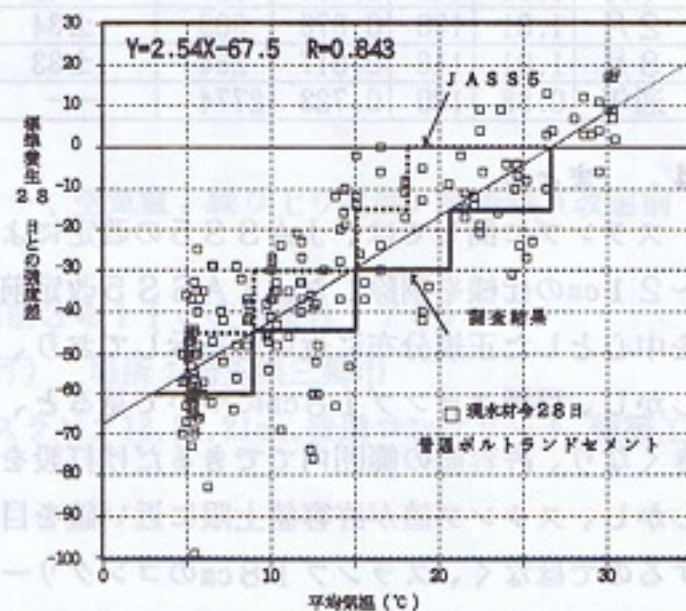


図14 平均気温と標準養生28日圧縮強度
との強度差

(2)温度と圧縮強度との関係： 平均気温と養生別強度差（現場水中養生28日強度-標準養生28日圧縮強度）の関係を図14に示した(H.3.1～H.4.7)。図より今回調査した結果にもとずいた温度補正值は、JASS5の温度補正值より大きな結果を示した。気温が20℃を越えても温度補正が必要となったのは、平均気温が20℃の期間は図11に示したように、28日間では約5℃の幅があり、20℃一定の標準養生とは異なる強度発現をしたものと考えられる。

3.1.4 圧縮強度推定

材令7日から材令28日の圧縮強度推定式は標準養生に関してはJASS5等に示しているが、現場水中養生圧縮強度推定式はない。圧縮強度発現は温度による影響が大きいため外気温または水温を用いた積算温度、練上り温度等を要因として重回帰式等で回帰を行ったが、図11に示したように上昇期、下降期、平行期および日間差の影響のためか、強度発現に及ぼす28日間の温度の影響は一様ではないため温度を要因とした適切な回帰式は得られなかった。そこで温度変化の要因を出来るだけ少なくするために打設日の月毎に直線回帰を行った結果、表5に示したように良好な回帰式（信頼率99%以上）が得られた。表より4、5月の相関係数が比較的小さい。これは図11に示したように、4、5月の気温変化が大きいため強度増進にばらつきが生じたためと考えられる。

表5 現場水中養生圧縮強度推定式

月	A	B	R	n	推定値の95% 信頼区間	気 温			但し、 F28=A*F7+B (Kg/cm ²) F28：現場水中養生 28日圧縮強度 F7：現場水中養生 7日圧縮強度 R：相関係数 n：標本数
						最高	最低	平均	
4月	0.86	142	0.624	174	±57	22.2	10.0	15.6	
5月	0.88	120	0.632	152	±44	25.8	12.0	21.1	
6月	1.01	87	0.716	210	±44	32.0	20.0	26.2	
7月	0.98	94	0.710	243	±39	33.5	21.5	28.3	
8月	1.15	55	0.843	171	±37	36.5	27.5	31.8	
9月	0.86	115	0.787	237	±35	33.0	21.2	27.6	
10月	0.84	128	0.783	294	±34	27.8	14.8	20.4	
11月	0.76	153	0.830	300	±34	21.0	7.5	14.9	
12月	0.91	141	0.853	324	±38	12.2	4.2	8.5	
1月	0.89	159	0.855	126	±42	8.5	1.8	5.4	
2月	1.01	130	0.878	309	±34	8.5	0.5	5.3	
3月	1.01	116	0.917	234	±33	16.0	4.0	10.1	
通年	0.88	130	0.723	2774	---	36.5	0.5	17.9	

4. まとめ

スランブに関しては、JASS5の改定により設計事務所・ゼネコン各社は目標スランブ19～21cmの仕様を削除した。JASS5改定前では図1、2、3に示したように目標スランブ値を中心とした正規分布に近い形を示しており、打設状況に応じたスランブを選択出来ていた。しかし、目標スランブ18cmについて見ると、スランブの平均値は改定前より改定後は約1cm大きくなり、許容値の範囲内でできるだけ打設を容易にしたいという意識が調査結果から窺えた。しかし、スランブ値が許容値上限に近い値を目標とし、打設を容易にするという小手先の対応をするのではなく、スランブ18cmのコンクリートが容易に打設出来るような設計および施工方法の検討、さらに将来的に骨材品質の低下、施工の省力化・機械化等を考慮すると、打設状況に対応したワーカビリティを有するコンクリートの選択枝を広げる必要がある。従って、高品質で打設・締固めが容易な高流動コンクリートの開発が急務であると考えられる。空気量は平均値は同程度であるが、改定前後共に3%を下回る割合が大きい。圧縮強度の標準偏差は改定前後で同程度であり、JASS5と同程度の値を示した。現場水中養生供試体の材令1週から4週圧縮強度の推定式として、コンクリート打設月毎にまとめて回帰した直線式が最も有意となり式を提案できた。

最後に、貴重なデータを提供頂いた方々に深く感謝いたします。