

報告 香川県の生コンクリート工場における圧縮強度管理状況の実態調査とコンクリート温度による管理手法の提案

白崎 正人^{*1}・岡田 信一^{*2}・島 弘^{*3}・古田 満広^{*4}

要旨：生コンクリート工場の全国統一品質管理監査で実施する実地調査においてコンクリートの配合条件を特定し、強度管理状況の全体的傾向を分析した。その結果、低強度領域および高炉セメント B 種を使用したコンクリートは呼び強度に対する強度値の比が高くなる傾向であることが明らかになった。さらに、3 工場の年間の強度変動状況を確認した結果、夏期においては 3σ 管理図の管理限界外に打点されることがあり、供試体作製から脱型までの保管時の高温による強度低下を考慮した配合設計の必要性を再認識することができた。また、多面的に検討した結果、最も実態に即している管理方法としてコンクリート温度によって区分して評価する品質管理手法を提案することができた。

キーワード：生コンクリート、品質管理、品質管理図、圧縮強度、コンクリート温度

1. はじめに

生コンクリートの JIS 認証工場（以下、「生コン工場」という。）では JIS A 5308 に適合するように製造工程を管理して製品を生産している。品質に関する要求事項は、スランプなどのフレッシュ特性と強度が主である。この中で生産者が最も注視しているのは強度であり、また、コンクリートは構造体を構成する重要な基礎資材であることから建設関係者も関心が高い品質特性といえる。

生コン工場の全国統一品質管理監査においても、圧縮強度については JIS の規定に上乘せ基準を設けて、強度結果を呼び強度の強度値で除した強度比が 1.50 以上になった場合には減点を課すなど強度管理力の向上を図っている。香川県生コンクリート品質管理監査会議（以下、「香川会議」という。）においても強度比については、毎年討論の対象となっている。これまで同一呼び強度における工場間の水セメント比の相違、骨材の岩種およびコンクリート温度等を影響因子として分析したが、明確な要因を特定できなかつた。そのため、香川県生コンクリート工業組合（以下、「生コン組合」という。）に対し強度管理実態調査の依頼があり、所属する生コン工場から提供された工程管理用供試体の圧縮強度試験を香川県生コンクリート工業組合技術試験センター（以下、「試験所」という。）において試験を実施して分析した¹⁾。その結果、強度比 1.50 以上が常態化している工場が多いことが明らかになった。しかし、工場間で配合条件が違ふことや提供された供試体数が大きく異なることから全体的な傾向を明確にすることができなかつた。

そこで、香川会議が実施する品質管理監査の実地調査用コンクリートの配合条件をスランプ以外は統一して

呼び強度のランクが強度比へ及ぼす影響度合いを検討した。また、生コン組合技術委員会が主体となり、スランプを除く配合条件を特定し、試験所において生コン工場の製造工程管理用圧縮強度試験を 1 年間実施した。

2. 監査会議実地調査の結果および考察

全国統一品質管理監査は 1 年に 1 回実施され、監査当日に製造されたコンクリートの JIS への適合性を確認するために実地調査を行っている。香川会議では強度比が 1.50 以上の工場数の変動要因を特定しやすくするため、スランプを除く配合条件を統一し、4 年間に亘って検証した。呼び強度は、JIS A 5308 に規定されている強度の最も低い 18 と鉄筋コンクリート用として製造頻度が多い 24 とした。セメントの種類は普通ポルトランドセメント (N) と高炉セメント B 種 (BB) とし、呼び強度との組み合わせによって 18N, 24N, 18BB および 24BB の 4 種類とした。強度の結果を図-1 に、呼び強度別水セメント比の分布を図-2 に示す。

両セメントともに呼び強度 18 が 24 に比べて平均値が高く、強度比が 1.50 以上の工場数も多い。これは、呼び強度 18 では水セメント比の上限値 65% を優先して実質水セメント比を小さくしているのではと推測される。また、高炉セメント B 種が普通ポルトランドセメント使用のコンクリートよりも強度が高くなっている。高炉セメント B 種を使用したコンクリートは国および県等が発注した土木工事が主であり、水セメント比上限値規制が民間工事より厳密に適用されていると考えられる。そのため、普通ポルトランドセメント使用コンクリートと比べ同一呼び強度の水セメント比の平均値は両配合とも

*1 香川県生コンクリート工業組合 技術委員会 (正会員)

*2 香川県生コンクリート工業組合 技術委員会

*3 高知工科大学 工学部社会システム工学科教授 工博 (正会員)

*4 香川県生コンクリート工業組合 専務理事 (正会員)

約 1%小さくなっており、強度が高くなった要因の 1 つとして考えられる。

配合条件を特定した結果、全体の傾向として、低強度の領域および高炉セメント B 種では、配合設計で設定した強度より高くなる傾向が認められた。

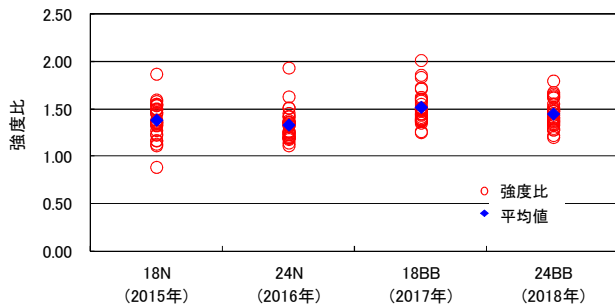


図-1 実地調査結果

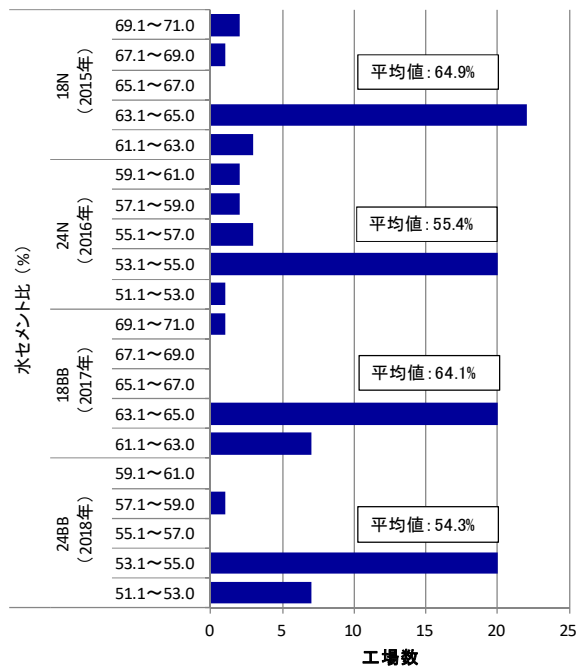


図-2 水セメント比の分布

3. 製造工程管理用供試体の強度実験

3.1 工場の選定と配合条件

(1) 生コン工場の選定

表面水率自動測定装置の社内標準化に取り組んだ工場²⁾ (以下、「A 工場」という。), 生コン組合の技術的活動に積極的に取り組む工場 (以下、「B 工場」という。) および実地調査の結果において最も強度が高い工場 (以下、「C 工場」という。) を選定した。

(2) 配合条件の特定

生コン工場では一般的に製造頻度が多い配合を製造工程管理用のコンクリートに特定して管理している。香川県のような地方では、呼び強度 18 または 21 で管理す

る工場が多い。3 工場の実態を確認し、配合条件を表-1 のとおりとした。なお、A 工場については実情に合わせてセメントを普通ポルトランドセメントまたは高炉セメント B 種とし、出荷状況によって任意に選定した。

表-1 コンクリートの配合条件

工場	A工場		B工場	C工場
呼び強度	21	21	21	21
スランプ (cm)	8~18	8~18	8~18	8~18
粗骨材の最大寸法 (mm)	20	20	20	20
セメントの種類	普通ポルトランドセメント	高炉セメント B 種	普通ポルトランドセメント	普通ポルトランドセメント
記号	21N	21BB	21N	21N

(3) コンクリートの配合

コンクリートの使用材料を表-2 に、スランプ 8cm の配合を表-3 に示す。使用材料では C 工場が細骨材および粗骨材ともに石灰岩系骨材を、3 工場ともに高機能 AE 減水剤を用いていることが特徴といえる。

水セメント比は上限値規制を意識してか 60%または 59%である。また、石灰岩系骨材を多く使用している C 工場の単位水量が他の工場より 10kg/m³ 程度少ないと想定していたが、ほぼ同じであり意外な結果であった。なお、C 工場の配合強度が他の工場よりも高くなっている理由を確認した結果、設計変動係数を実績よりも約 5% 大きく設定しているとの回答が得られた。

表-2 使用材料

工場	A工場	B工場	C工場
セメント	Uセメント	Tセメント	Tセメント
水	工業用水	上水道水	工業用水
細骨材	砕砂60% 海砂40%	石灰砕砂50% 砕砂50%	石灰砕砂70% 砕砂30%
粗骨材	砕石1505 砕石2010	砕石1505 砕石2010	石灰砕石 2005
混和剤	高機能 AE減水剤	高機能 AE減水剤	高機能 AE減水剤

表-3 コンクリートの配合 (スランプ 8cm)

工場	配合強度 (N/mm ²)	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m ³)				
				水	セメント	細骨材	粗骨材	AE 減水剤
A 工場 [21N]	25.6	60	48.2	159	265	887	970	2.38
A 工場 [21BB]	25.6	59	46.8	156	265	861	994	2.12
B 工場 [21N]	25.5	59	46.2	157	267	869	1006	1.87
C 工場 [21N]	28.6	59	46.8	158	268	883	1023	1.88

(4) 配合の修正

外気温に影響される練混ぜ後のスランブを安定させるために、夏期において配合を修正するのが一般的である。3工場ともにAE減水剤の使用量で調整をしている。なお、A工場は夏期では使用量増加に加えて遅延形への変更や冬期配合では単位水量を減じていることが他の2工場と異なっている。配合修正方法を表-4に示す。

表-4 配合修正方法

工場	A工場【21N】	A工場【21BB】	B工場【21N】	C工場【21N】
配合修正方法	AE減水剤と単位水量の増減	AE減水剤と単位水量の増減	AE減水剤使用量の増減	AE減水剤使用量の増減
混和剤使用量	標準期	C×0.9%	C×0.8%	C×0.7%
	夏期	C×1.3%	C×1.1%	C×1.0%
	冬期	C×0.9%	C×0.8%	—
単位水量	標準期と夏期同じ 冬期：5kg/m ³ 減	標準期と夏期同じ 冬期：6kg/m ³ 減	全期間同じ	全期間同じ
適用期間	標準期	4/1~6/4 10/16~12/25	4/1~6/5 10/29~12/25	4/1~6/30 9/16~3/31
	夏期	6/5~10/15	6/6~10/28	7/1~9/15
	冬期	12/26~3/31	12/26~3/31	—
混和剤の種類	夏期は遅延形 その他標準形	夏期は遅延形 その他標準形	標準形	標準形

3.2 強度実験の手順

(1) 実験の期間

本実験の実施期間は2018年11月から2019年10月までの1年間とした。

(2) 供試体の作製

JIS認証工場の品質管理体制を規定しているJIS Q 1011では、製造工程管理として代表的な配合を1日に1回以上強度管理することが要求されている。本管理用供試体作製時に3本追加し、工場試験とは別に試験所において試験を実施した。なお、脱型時期は工場の判断によって作製後1日から3日とし、試験所への供試体搬入は作製後1週間を目安とした。また、試験所において供試体両面を研磨し、供試体平面度の均一化を図った。

(3) 試験項目

供試体作製時にスランブ、空気量およびコンクリート温度をJISに準拠して測定した。また、エアメータ法によって単位水量の推定試験を実施した。供試体は脱型後直ちに工場において標準水中養生を行った。試験所への搬入後も材齢28日まで標準水中養生を行い、圧縮強度試験を実施した。さらに、参考として1か月に1回の頻度で、工場で採取したセメントの圧縮強さ試験を試験所で実施した。

3.3 強度試験の結果と考察

(1) 強度試験結果

試験所で実施した強度試験の結果を表-5 および図-

3に示す。実験期間における生コン工場の製造日数は3工場ともに約270日であるが、特定した配合条件のコンクリートが製造されなかったこと等が影響し、提供された供試体数は実験前の想定よりも少なかった。

3工場ともに平均値は、配合設計で設定している配合強度よりも高くなっている。中でもC工場の強度は呼び強度の約2倍であり、突出して高い。石灰岩系骨材を主に使用していることがC工場の特徴といえる。しかし、生コン組合技術委員会の研究成果³⁾では骨材の岩種がコンクリートの品質に与える影響度合いはスランブが最も大きく、強度へはほぼ影響しないことが報告されていることから、単純に岩種の違いであるとは説明できない。1m³当りの粉体量を一定以上確保するために設計単位水量と単位セメント量を多く見積っているために実質水セメント比が小さくなっているのではと考えられるが、明確な原因は特定できなかった。また、夏期において強度が低下する傾向が認められ、高炉セメントB種では、その傾向が顕著であることがわかる。渡部らの研究⁴⁾で供試体作製後初期の保管温度の影響は普通ポルトランドセメントより高炉セメントB種が大きいと報告されており、それと同じ結果となった。

表-5 3工場の強度

項目	A工場【21N】	A工場【21BB】	B工場	C工場
データ数	74	82	108	65
平均値 (N/mm ²)	30.24	29.56	31.38	42.11
最大値 (N/mm ²)	35.6	36.0	41.0	51.1
最小値 (N/mm ²)	23.1	24.4	23.4	33.7
標準偏差 (N/mm ²)	2.16	3.00	2.91	3.55
変動係数 (%)	7.1	10.2	9.3	8.4

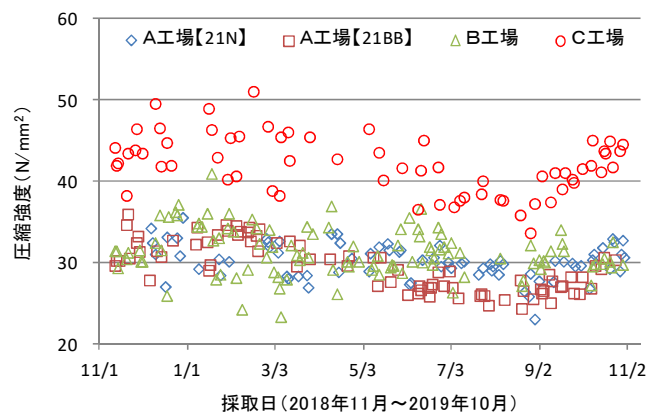


図-3 3工場の強度

(2) セメントの試験結果

セメントの材齢28日の圧縮強さの結果を図-4に示す。3工場ともに60N/mm²前後であり、顕著な違いは認められなかった。C工場の突出した強度の原因としてセメント強度は影響していないといえる。

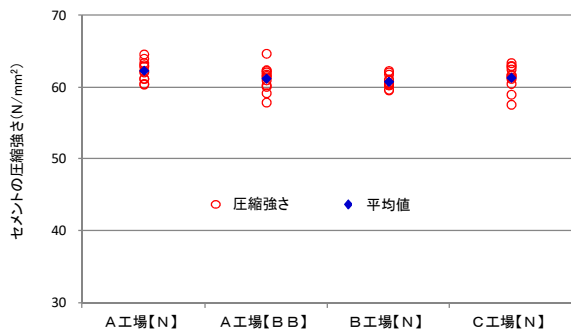


図-4 セメントの圧縮強さ

3.4 品質管理の適切性評価

多面的な分析を行って管理状況を評価した。なお、紙面の都合上、A工場の評価結果のみを報告する。

(1) 3σ管理

生コン工場の強度管理方法は生コン工場の品質管理ガイドブックで推奨されている手法⁵⁾を用いるのが一般的であるが、今回は1点でも管理限界値の外に打点されれば異常値と判断される3σ管理を用いて評価した。全結果を3σ管理図として整理した。21Nを図-5に、21BBを図-6に示す。

21Nでは8月下旬に1回だけ下方管理限界を下回っている。21BBはすべての強度が管理限界内である。これは、標準偏差が2.16 N/mm²の21Nに対し、21BBは夏期に強度が低下したことによって3.00 N/mm²と大きくなり、管理限界幅が大きくなったことが原因として考えられる。

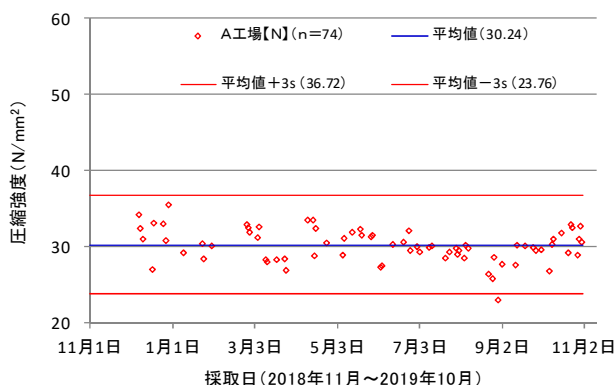


図-5 3σ管理図 (A工場の21N)

(2) コンクリート温度による分析

1年間のコンクリート温度の推移を図-7に示す。15℃以上25℃未満を標準期、25℃以上を夏期、15℃未満を冬期と区分した。なお、境界温度の付近でコンクリート温

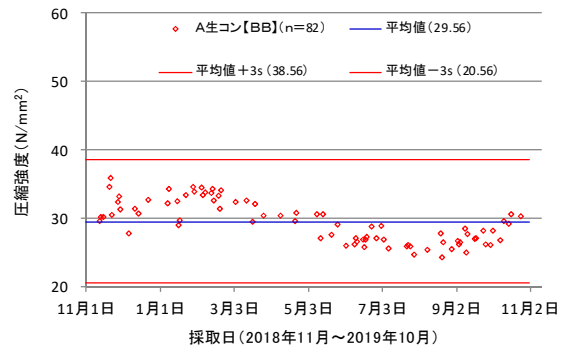


図-6 3σ管理図 (A工場の21BB)

度が前後する期間については、10日単位で定めて強度を整理した。結果を表-6および表-7と図-8および図-9に示す。また、期間を分かりやすくするために、起点を4月1日とした。

21Nおよび21BBともに、全体管理図より適切な品質管理であるといえる。21Nでは、夏期において下方管理限界値を1点だけ下回っているが、23.1 N/mm²と呼び強度は上回っている。当該工場に品質管理状況を確認したが異常値になった明確な原因は得られなかった。作製日が8月下旬であり、酷暑が要因として考えられる。21BBの平均値を比較すると、標準期は29.6 N/mm²、夏期は26.8 N/mm²、冬期は32.4 N/mm²と季節によって約3 N/mm²の差があり、21Nと比較して外気温の影響が顕著であることがわかる。なお、最も低い夏期の平均値でも配合強度を上回っており、品質管理上は問題がないといえる。また、21BBをさらに適切な管理図とするために、スタート時期を夏期では6月1日、冬期では11月20日への変更を提案する。

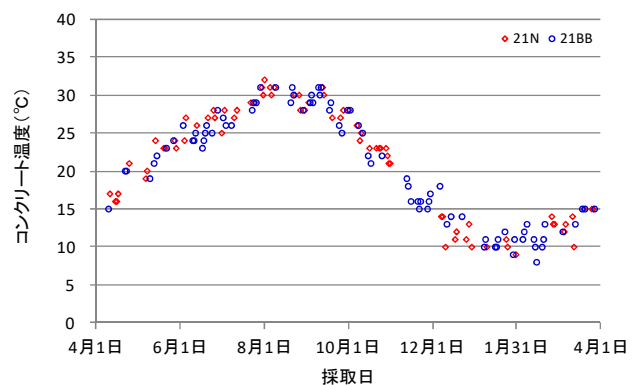


図-7 コンクリート温度

(3) 配合条件 (スランブ) による分析

本実験では、スランブは8cm~18cmの範囲で任意とした。そこで、スランブ別に強度を整理し、スランブの影響を検討した。結果を図-10に示す。コンクリートの強度は、普通強度領域においては水セメント比が支配する。

表-6 コンクリート温度による分析【21N】

項目	標準期	夏期	冬期
適用期間	4/1~6/20 10/11~11/30	6/21~10/10	12/1~3/31
データ数	23	29	22
平均値 (N/mm ²)	31.05	29.16	30.83
最大値 (N/mm ²)	33.6	32.2	35.6
最小値 (N/mm ²)	27.4	23.1	27.0
標準偏差 (N/mm ²)	1.79	1.80	2.42
変動係数 (%)	5.8	6.2	7.8

表-7 コンクリート温度による分析【21BB】

項目	標準期	夏期	冬期
適用期間	4/1~6/20 10/11~11/30	6/21~10/10	12/1~3/31
データ数	29	27	26
平均値 (N/mm ²)	29.62	26.75	32.42
最大値 (N/mm ²)	36.0	29.0	34.7
最小値 (N/mm ²)	25.9	24.4	27.9
標準偏差 (N/mm ²)	2.54	1.23	1.85
変動係数 (%)	8.6	4.6	5.7

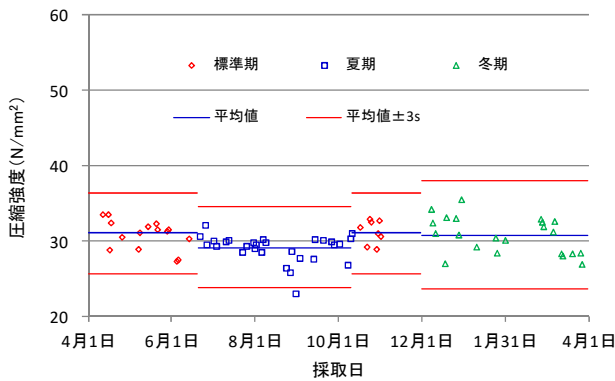


図-8 コンクリート温度による分析【21N】

スラブが異なっても水セメント比を一定にすることが一般的な配合設計であり、本結果でもデータ数が異なるものの顕著な差異は認められなかった。

(4) 単位容積質量による分析

供試体の単位容積質量が大きいと空気量が少なく緻密な組織であり、そのために強度も大きくなるのではないかと考えられ、両者の関係を検討した。標準配合の全材料の合計を配合設計単位容積質量 (A) とし、供試体の質量と寸法から求めた実測単位容積質量 (B) を A で

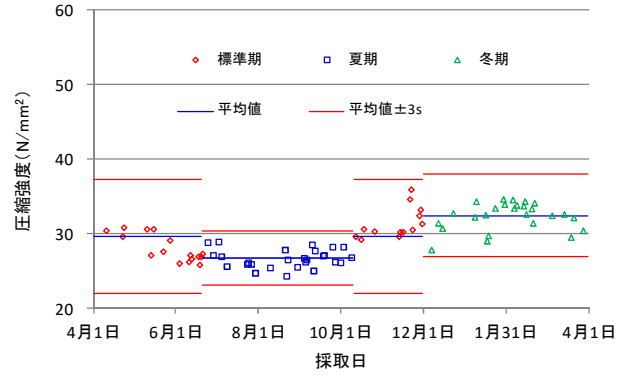


図-9 コンクリート温度による分析【21BB】

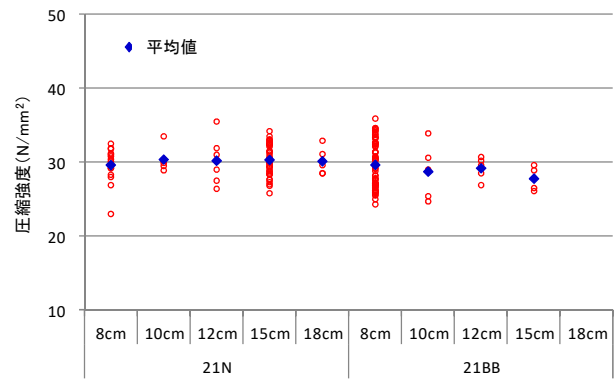


図-10 スラブ別圧縮強度

除して単位容積質量比とした。供試体 1 本毎に整理した結果を図-11 に示す。21N および 21BB とともに単位容積質量比が大きくなれば強度も高くなる傾向が僅かながら認められるが、精度は低く、強度を評価する指標としては採用できないと考えられる。

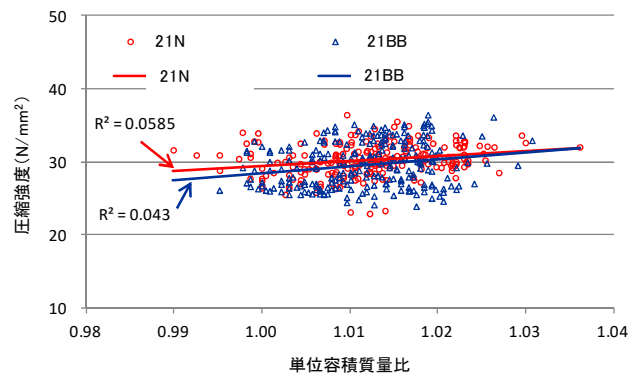


図-11 単位容積質量と強度の関係

(5) 単位水量推定値による分析

エアメータ法による単位水量の推定結果を図-12 に示す。また、単位水量の推定値と配合計画値との差を求めて強度への影響を検討した。結果を図-13 に示す。なお、期間を分かりやすくするために、起点を 4 月 1 日とした。両配合ともに夏期において設計値に対してマイナ

ス側に打点されることがほとんどないことおよび全体的にプラス側に推移していることが特徴といえるが、季節による偏り等は認められなかった。

単位水量の差と強度との関係では、差がプラス側になれば強度が低下する傾向が両配合とも認められるものの相関係数は低く、強度評価の指標として十分であるとはいえない。また、21BB では夏期における初期保管温度の影響で強度が低下し、単位水量の影響がさらに小さくなったのではないかと考えられる。

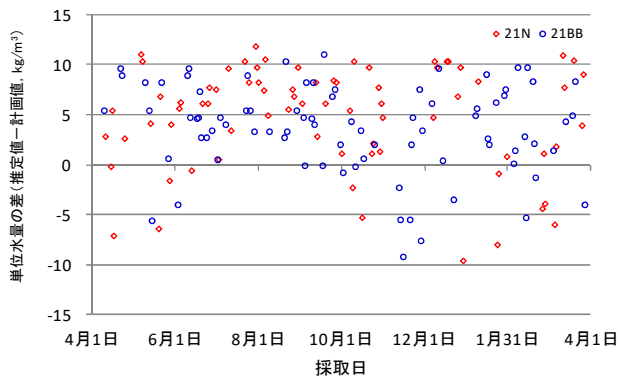


図-12 単位水量推定値の年間変動

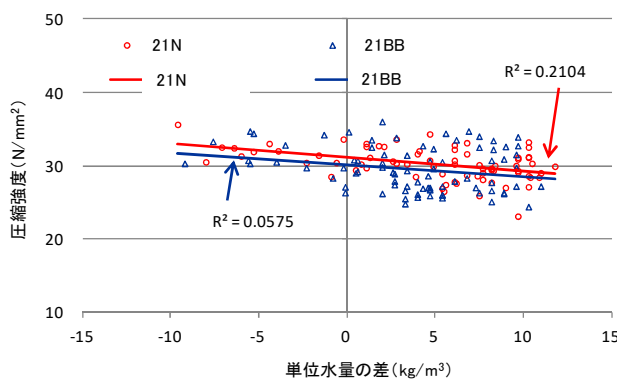


図-13 単位水量推定値と強度の関係

(6) その他の要因

前述した分析以外にも、以下の指標と強度との関係について検討したが、明確な傾向は認められなかった。

- ・ 採取から脱型までの時間
- ・ 1 バッチ当りの練混ぜ量
- ・ 強度試験の担当者

4. まとめ

生コンクリート工場の全国統一品質管理監査における実地調査の結果および選定した3工場の製造工程管理の結果より以下の知見が得られた。

(1) 呼び強度が低いコンクリートおよび高炉セメント

を使用したコンクリートは、強度を呼び強度で除した強度比が高くなる傾向が認められる。原因として水セメント比の上限値規制を優先した配合設計になっているのではないかと考えられる。

- (2) 変動度合いの指標である変動係数は、3工場ともに7~10%の範囲であり、社内管理の範囲内であった。
- (3) C工場の強度が突出した結果について、合理的な評価はできなかったが、単位水量の計画値を大きく見積もっているのが一要因ではないかと考えられた。
- (4) A工場の結果を多面的に分析した結果、コンクリート温度によって区分して管理図を整理することが望ましい方法であると考えられる。
- (5) 長期間に亘って連続した管理図を採用せずに、コンクリート温度あるいは外気温等によって期間を区分することが強度管理の強化に繋がると考えられる。
- (6) 夏期と冬期の強度差を考えると水セメント比の増減を含めて、季節による配合修正手法のさらなる細分化によって品質管理力は向上すると思われる。

謝辞：本実験は、JCI 四国支部の「四国の生コン技術力活性化委員会【第4期】」の活動として実施した。委員の皆様および工程管理用供試体を提供して頂いた3工場の皆様に深甚の謝意を表します。

参考文献

- 1) 新居 宏美, 川原 勝, 岡田 信一, 内田 琢也, 古田 満広: コンクリートの圧縮強度の年間変動に関する実態調査報告, 第17回生コン技術大会研究発表論文集, pp.113-118, 2013
- 2) 福岡 康弘, 新居 宏美, 古田 満広, 橋本 親典: 細骨材の表面水率自動測定装置の測定精度向上と社内標準化, コンクリート工学年次論文集, Vol.40, No.1, pp.1149-1154, 2018
- 3) 内田琢也, 新居 宏美, 古田 満広, 橋本 親典: 骨材の岩種がコンクリートの品質に及ぼす影響に関する調査, コンクリート工学年次論文集, Vol.40, No.1, pp.411-416, 2018
- 4) 渡部 善弘, 宮下 幹夫, 新迫 東洋男, 島 弘: 養生条件および養生温度の違いによって異なる強度発現の予測, コンクリート工学年次論文集, Vol.36, No.1, pp.370-375, 2014
- 5) 全国生コンクリート工業組合連合会: 生コン工場品質管理ガイドブック (第6次改訂版), pp.301-308, 2019