

性能評価を受けた高強度コンクリートについて

—最近の生コン工場単独申請案件に見る傾向—

Analysis on the trend of high-strength concrete applied to perform evaluation in accordance with the provisions of Article 37 item (2) of the Building Standard Law of Japan.

津平 公彦*1、永田 洋一*2、安田 真弓*3、坂本 欣吾*4

1. はじめに

建築基準の性能規定化を主な目的として改正された建築基準法（以下、法と称す）が2000年（平成12年）に施行され、それまで法第38条に規定されていた特殊な建築材料が法第37条に盛り込まれることになり、法第37条に第一号と第二号が設けられた。それと同時に定められた平成12年建設省告示第1446号¹⁾では、法第37条に該当する指定建築材料や品質等の技術的基準が示されている。

表-1に示すとおり、法第37条は、建築物の基礎や主要構造部等に使用する鋼材やコンクリート等の品質について規定している。また、平成12年建設省告示第1446号では、法第37条第一号に該当するコンクリートとして、2014年版のJIS A 5308²⁾に適合するコンクリート（必ずしも登録認証機関からJIS Q 1001³⁾やJIS Q 1011⁴⁾に基づく認証を受けている必要はない）が示されており、第一号に該当しない場合（JIS A 5308：2014に適合しないコンクリート）は、第二号の規定に従って国土交通大臣の認定を受ける必要がある。法第37条第二号に規定されている国土交通大臣の認定を受けるためには、対象となるコンクリートの性能やその使用材料、品質管理体制等について、事前に指定性能評価機関で性能評価を受けなければならない^{5) 6)}。なお、コンクリートの使用部位によらず、コンクリートの材料に関する法令⁷⁾も適用される。さらに、指定性能評価機関へ性能評価を申請

する際に適用される平成27年国土交通省告示第1164号⁸⁾では、必要に応じて「製品の品質検査の実地確認」や「製造、検査（製品の品質検査を除く。）及び品質管理の実地確認」を事前に受けることを、申請に係る工場等に求めている。

日本建築総合試験所（以下、GBRCと称す）では、2000年から指定性能評価機関として性能評価業務を行っており、高強度コンクリート等の評価実績を多数有している。本稿では、2015年度から2017年度にかけてGBRCで性能評価を実施した高強度コンクリートのうち、比較的案件数が多く、傾向が把握しやすいレディーミクスコンクリート製造工場（以下、生コン工場と称す）単独申請案件に関する分析結果について述べる。

表-1 建築基準法第37条の内容

(建築材料の品質) 第37条

建築物の基礎、主要構造部その他安全上、防火上又は衛生上重要である政令で定める部分に使用する木材、鋼材、コンクリートその他の建築材料として国土交通大臣が定めるもの（以下この条において「指定建築材料」という。）は、次の各号の一に該当するものでなければならない。

- 一 その品質が、指定建築材料ごとに国土交通大臣の指定する日本工業規格又は日本農林規格に適合するもの
- 二 前号に掲げるもののほか、指定建築材料ごとに国土交通大臣が定める安全上、防火上又は衛生上必要な品質に関する技術的基準に適合するものであることについて国土交通大臣の認定を受けたもの

*1 TSUBIRA Kimihiko：（一財）日本建築総合試験所 建築確認評定センター 建築確認評定部 性能評定課 主査

*2 NAGATA Yoichi：（一財）日本建築総合試験所 建築確認評定センター 建築確認評定部 性能評定課

*3 YASUDA Mayumi：（一財）日本建築総合試験所 建築確認評定センター 建築確認評定部 性能評定課 主査

*4 SAKAMOTO Kingo：（一財）日本建築総合試験所 建築確認評定センター 建築確認評定部 性能評定課 専門役（兼）主査

2. 分析対象とした案件

分析対象とした案件の内訳を表-2に示す。2015年度から2017年度にかけてGBRCで性能評価を実施した生コン工場単独申請案件のうち、普通ポルトランドセメント、高炉セメント B種、中庸熱ポルトランドセメントまたは低熱ポルトランドセメントを使用している高強度コンクリート（計264件）を対象とした。なお、フライアッシュや高炉スラグ微粉末等を使用している案件については、構造体強度補正值（以下、S値と称す）や設計基準強度（以下、Fcと称す）と水セメント比の関係への影響を考慮し、分析の対象には含めなかった。

3. 分析結果

3.1 評価案件数の推移

図-1は、初めて高強度コンクリートの性能評価を受けた案件（以下、新規評価案件と称す）と、それ以外の案件（以下、再評価案件と称す）の割合を示している。前述の表-2及び図-1から、2017年度に性能評価を実施した案件数が大きく増加していることや、2015年度と2016年度では新規評価案件が45%前後を占めているとともに、再評価案件では5年以内の再申請が比較的多いことが確認できる。また、2017年度では、新規評価案件の割合が50%を超えているとともに、再評価案件については、過去の認定取得時期によらず、ほぼ同じ割合であることが読み取れる。この要因の一つとして、昭和56年建設省告示第1102号⁹⁾ が2016年（平成28年）3月に改正され、それまで規定されていた現場水中養生やコア供試体による圧縮強度の管理方法の他に、標準養生による圧縮強度の管理方法と、その際に使用するS値（構造体強度補正值）が新たに追加されたことが挙げられる。高強度コンクリートで使用されることの多い普通ポルトランドセメント、中庸熱ポルトランドセメント及び低熱ポルトランドセメントについて、同告示で示されたS値を表-3に示す。同告示で示されたS値を活用する場合、標準養生供試体の圧縮強度と構造体コンクリート強度を関連付けるための模擬部材試験体から採取したコア供試体による圧縮強度からS値を求める必要がなくなり、性能評価を受けるための実験の労力が軽減されたことになる。なお、表-3における「普通ポルトランドセメントを使用するFcの範囲が36N/mm²を超え48N/mm²以下」に見られるように、同告示において養生期間中の平均気温に応じて複数のS値が設定されている場合、実際の製造時に管理がしやすい等の理由から、打込み時期によらず大きい方の値を採用している案件が大半を占めていた。

図-2は、告示改正後にあたる2016年度と2017年度の評価案件におけるS値の設定方法の割合を示している。2016年度では告示のS値を使用している割合が10%程度であったが、2017年度においては約35%まで増加している。なお、再評価案件のうち、Fcの範囲を拡げる場合や新たにセメント種類を追加する際に、模擬部材試験体の実験を実施していない範囲において、告示のS値（表-3参照）を活用するケースが多く見られた。

表-2 分析対象とした案件数(生コン工場単独申請)

性能評価を実施した年度	案件数	設定されているFcの最大値(N/mm ²)
2015年度	75	普通ポルトランドセメント：60以下
2016年度	85	高炉セメントB種：60以下
2017年度	104	中庸熱ポルトランドセメント：80以下 低熱ポルトランドセメント：80以下

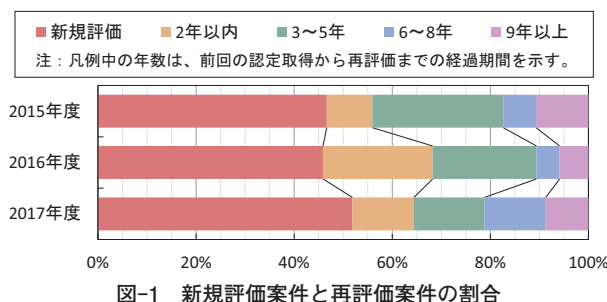
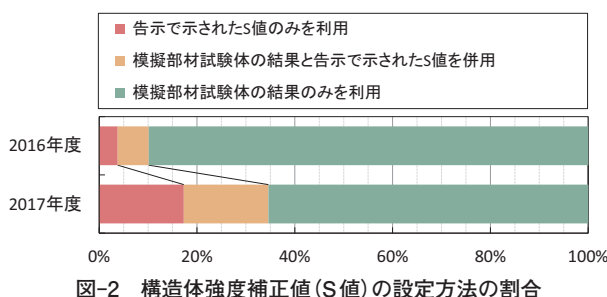


表-3 昭和56年建設省告示第1102号で示された構造体強度補正值（昭和56年建設省告示第1102号⁹⁾の一部をもとに作成）

セメントの種類	Fcの範囲(N/mm ²)	養生期間中の平均気温(θ)(°C)	構造体強度補正值(S値)(N/mm ²)
普通ポルトランドセメント	36 < Fc ≤ 48	15 ≤ θ	9
		θ < 15	6
	48 < Fc ≤ 60	25 ≤ θ	12
		θ < 25	9
中庸熱ポルトランドセメント	36 < Fc ≤ 60	—	3
	60 < Fc ≤ 80	—	6
低熱ポルトランドセメント	36 < Fc ≤ 60	5 ≤ θ	0
		θ < 5	3
	60 < Fc ≤ 80	—	3



3.2 セメント

図-3及び表-4には、各案件におけるセメント種類の設定状況を、全国12地域に分類してまとめて示した。なお、表-4では、合計（セメント種類別）に対する各セメントの案件数または合計（地域別）の割合を、地域別に百分率で示している。また、1案件の中に複数種類のセメントを設定している場合でも、セメントの種類毎に合計したため、表-2で示した案件数よりも多くなっている。

表-4における合計（地域別）の欄を見ると、南関東の割合が非常に高く、関西・東海・九州がそれに続く傾向にあることが確認できる。

各地域におけるセメント種類別の割合に着目すると、全地域で普通ポルトランドセメントと中庸熱ポルトランドセメントが設定されているとともに、中庸熱ポルトランドセメントは南関東・東海・九州で、低熱ポルトランドセメントは南関東・関西・東海・中国での設定が多いことが分かる。また、環境配慮の観点から改めて高炉セメントへの注目が高まっているが、高炉セメントB種も一部地域で設定されていることが確認できる。新規評価案件において高炉セメントB種を設定している案件は1件もなかったが、再評価で過去の認定内容を一部変更する際に、高炉セメントB種に関する内容はそのまま継続して設定されていた。

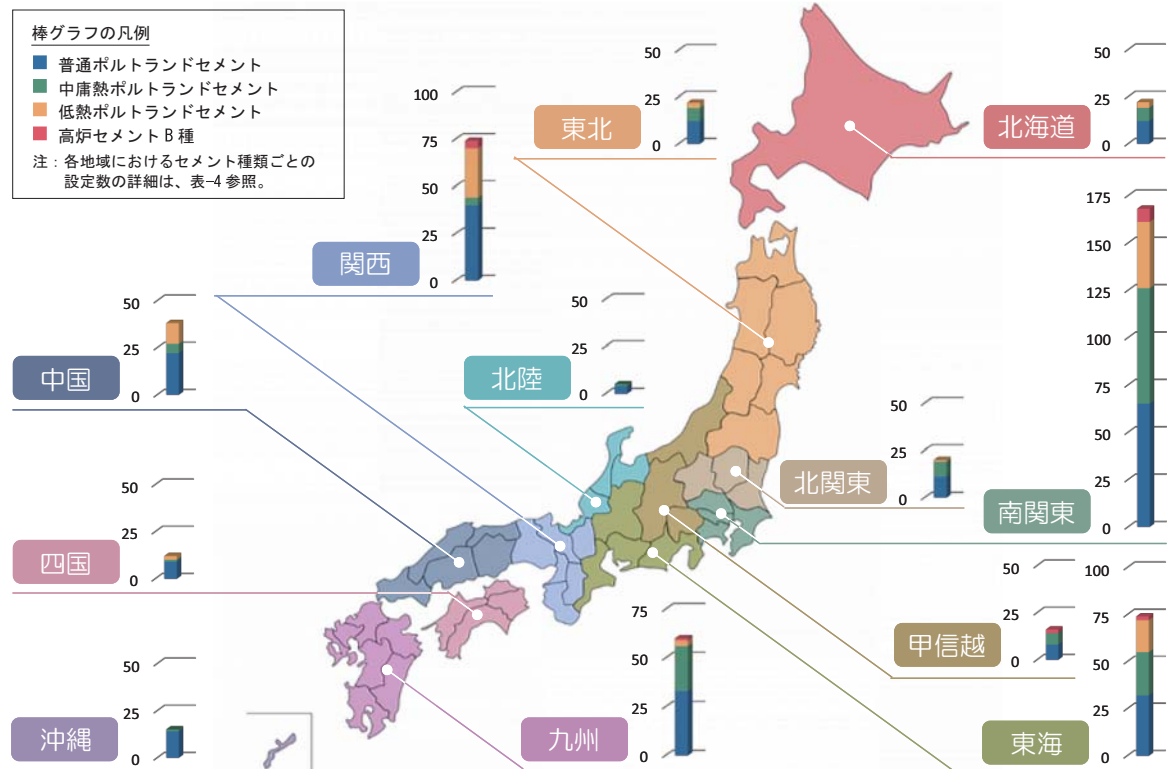


図-3 各地域におけるセメント種類の設定状況と案件数

表-4 セメント種類別の各地域における割合
(上段:セメントの種類に応じた合計値に対する割合(%)、下段:案件数)

セメントの種類	北海道	東北	北関東	南関東	東海	北陸	甲信越	関西	中国	四国	九州	沖縄	合計 ^{注)}
普通ポルトランドセメント	4.6 (12)	4.6 (12)	4.2 (11)	24.8 (65)	12.2 (32)	1.5 (4)	3.1 (8)	15.3 (40)	8.4 (22)	3.4 (9)	12.6 (33)	5.3 (14)	— (262)
中庸熱ポルトランドセメント	4.8 (7)	4.8 (7)	5.4 (8)	41.5 (61)	15.6 (23)	0.7 (1)	4.1 (6)	2.7 (4)	3.4 (5)	0.7 (1)	15.6 (23)	0.7 (1)	— (147)
低熱ポルトランドセメント	3.0 (3)	3.0 (3)	1.0 (1)	35.4 (35)	17.2 (17)	0.0 (0)	0.0 (0)	26.3 (26)	11.1 (11)	2.0 (2)	3.0 (3)	0.0 (0)	— (101)
高炉セメントB種	0.0 (0)	0.0 (0)	0.0 (0)	43.8 (7)	12.5 (2)	0.0 (0)	12.5 (2)	25.0 (4)	0.0 (0)	0.0 (0)	6.3 (1)	0.0 (0)	— (16)
合計(地域別)	4.2 (22)	4.2 (22)	3.8 (20)	31.9 (168)	14.1 (74)	1.0 (5)	3.0 (16)	14.1 (74)	7.2 (38)	2.3 (12)	11.4 (60)	2.9 (15)	— (526)

注) セメントの種類に応じた合計値。

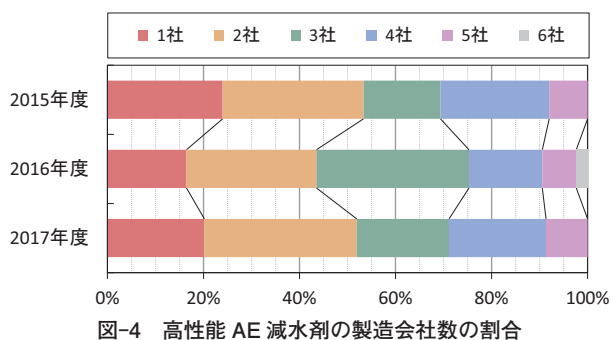


図-4 高性能 AE 減水剤の製造会社数の割合

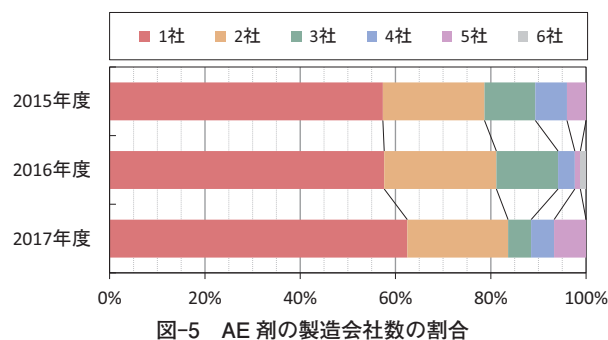


図-5 AE 剤の製造会社数の割合

3.3 化学混和剤

図-4及び図-5は、各案件において設定されている高性能AE減水剤とAE剤の製造会社数の割合を示している。なお、対象とした全ての案件において高性能AE減水剤とAE剤が設定されていた。図-4及び図-5より、高性能AE減水剤については、施工会社等から多種の指定がある場合にも対応できるように、化学混和剤の製造会社数を複数設定している案件が多いことが確認できる。一方、AE剤については、生コン工場における貯蔵設備の関係等から、化学混和剤の製造会社数を2社以下としている案件が全体の約80%を占めていることが分かる。

3.4 構造体強度補正值 (S 値)

図-6は、JASS 5¹⁰⁾を参考にして作成したコンクリートの強度発現性とS値の関係の概念図である。昭和56年建設省告示第1102号では、コンクリートの強度と F_c との関係について、3種類の管理方法とそれぞれの管理方法に対応する判定基準が規定されており、性能評価の対象となるコンクリートについても同告示を満足する必要がある。

高強度コンクリートの場合、構造体コンクリート強度が F_c を満足することを確認するために、S値を用いて標準養生供試体の圧縮強度と構造体コンクリート強度を関連付けている。なお、 mS_n とは、標準養生供試体の材齢をm日、構造体コンクリート強度の材齢をn日とする際に使用するS値を表す記号であり、 $0N/mm^2$ 以上の値を設定することになる。一方、コンクリートの F_c は、保有水平耐力計算¹¹⁾や許容応力度等計算¹²⁾等の構造計算において、部材の剛性や耐力(または応力)を算出する際に使用される。コンクリート部材の各種応力や曲げモーメントについては、鉄筋コンクリート造の黎明期から検討されており^{例えば、13) 14)}、日本におけるその時々^{例えば、15) 16)}の建築法令等でも規定化されている^{例えば、15) 16)}。現在の建築法令においてもコンクリートの強度や各種許容応力度、材料強度(コンクリートの場合、設計基準強度と同じ値)が規定されている^{19) 20)}。

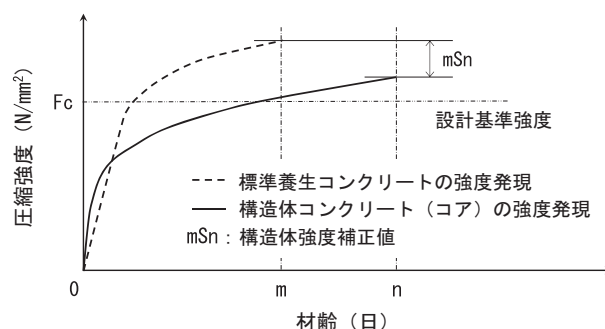
図-6 コンクリートの強度発現性と構造体強度補正值 (JASS5¹⁰⁾を参考にして作成)

図-7.1から図-7.6には、普通ポルトランドセメント、中庸熱ポルトランドセメントまたは低熱ポルトランドセメントを使用する案件において設定されているS値のうち、普通ポルトランドセメントでは $F_c=48N/mm^2$ 及び $F_c=60N/mm^2$ 、中庸熱ポルトランドセメントと低熱ポルトランドセメントでは $F_c=60N/mm^2$ 及び $F_c=80N/mm^2$ の各打込み時期(夏期・標準期・冬期)における $28S_{91}$ の値の相対度数を、セメント種類と F_c 、打込み時期別に示した(申請案件において、 $28S_{91}$ の値を小数点以下1桁まで設定している場合は、整数となるように四捨五入を行った)。なお、図中の矢印は、表-3で示した昭和56年建設省告示第1102号(平成28年3月17日改正)で定められているS値(養生期間中の平均気温に応じて複数の数値がある場合は、大きい方の値)を示している(2015年度は告示改正前のため、矢印を破線とした)。

図-7.1から図-7.6より、次の(1)から(3)の傾向を読み取ることができる。

(1) グラフの形状について

全対象案件において、模擬部材試験体から得られたS値または告示のS値を採用しているため、相対度数のピークが複数存在する場合や、明瞭なピークが存在しない場合が散見される。なお、中庸熱ポルトランドセメントと低熱ポルトランドセメントのS値に $0N/mm^2$ の設定が多いのは、実験から得られたS値が0または0未満の数値となったことが原因である。

注：図-7.1 の $\downarrow$ 及び $\downarrow$ は、昭和56年建設省告示第1102号（平成28年3月17日改正）で示された普通ポルトランドセメント、 $F_c=48\text{N/mm}^2$ に対応するS値のうち、養生期間中の平均気温によらず大きい方の値（ 9N/mm^2 ）に該当する箇所を示している。

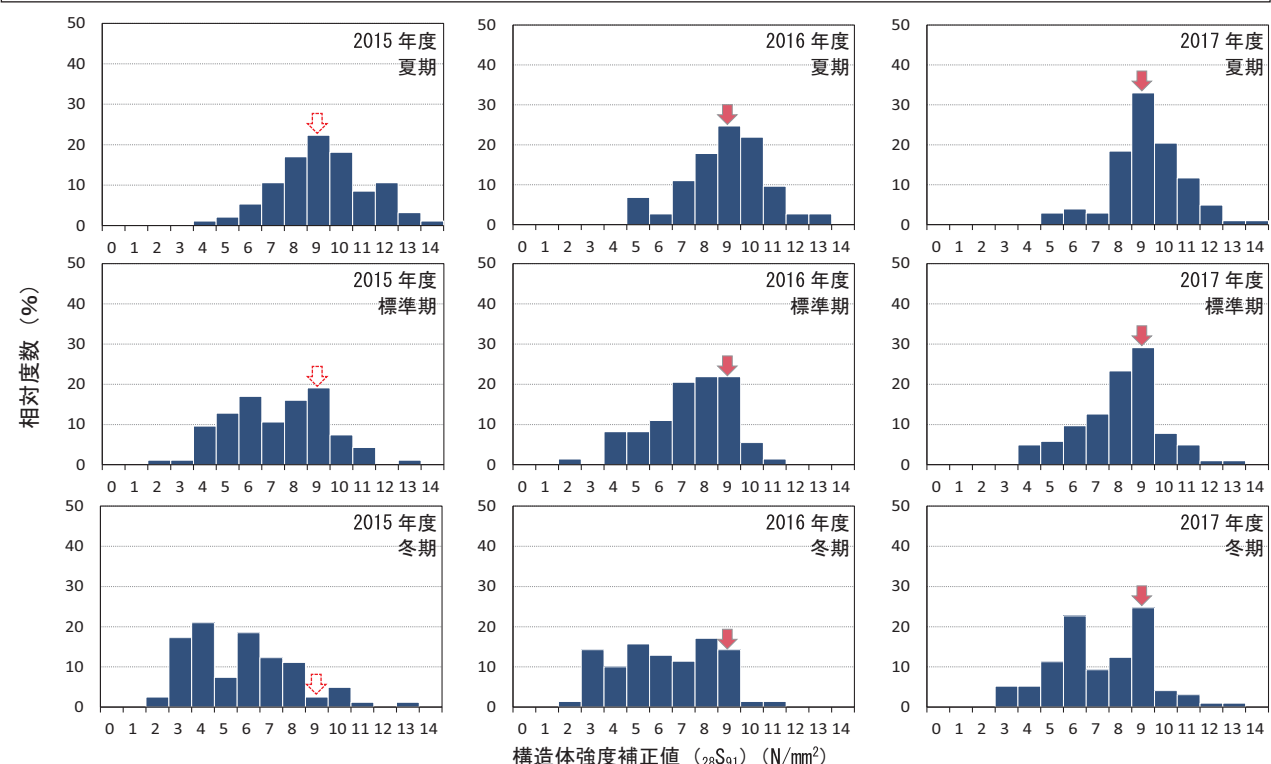


図-7.1 構造体強度補正值 ($_{28}S_{91}$) の設定状況 (普通ポルトランドセメント、設計基準強度 48N/mm^2)

注：図-7.2 の $\downarrow$ 及び $\downarrow$ は、昭和56年建設省告示第1102号（平成28年3月17日改正）で示された普通ポルトランドセメント、 $F_c=60\text{N/mm}^2$ に対応するS値のうち、養生期間中の平均気温によらず大きい方の値（ 12N/mm^2 ）に該当する箇所を示している。

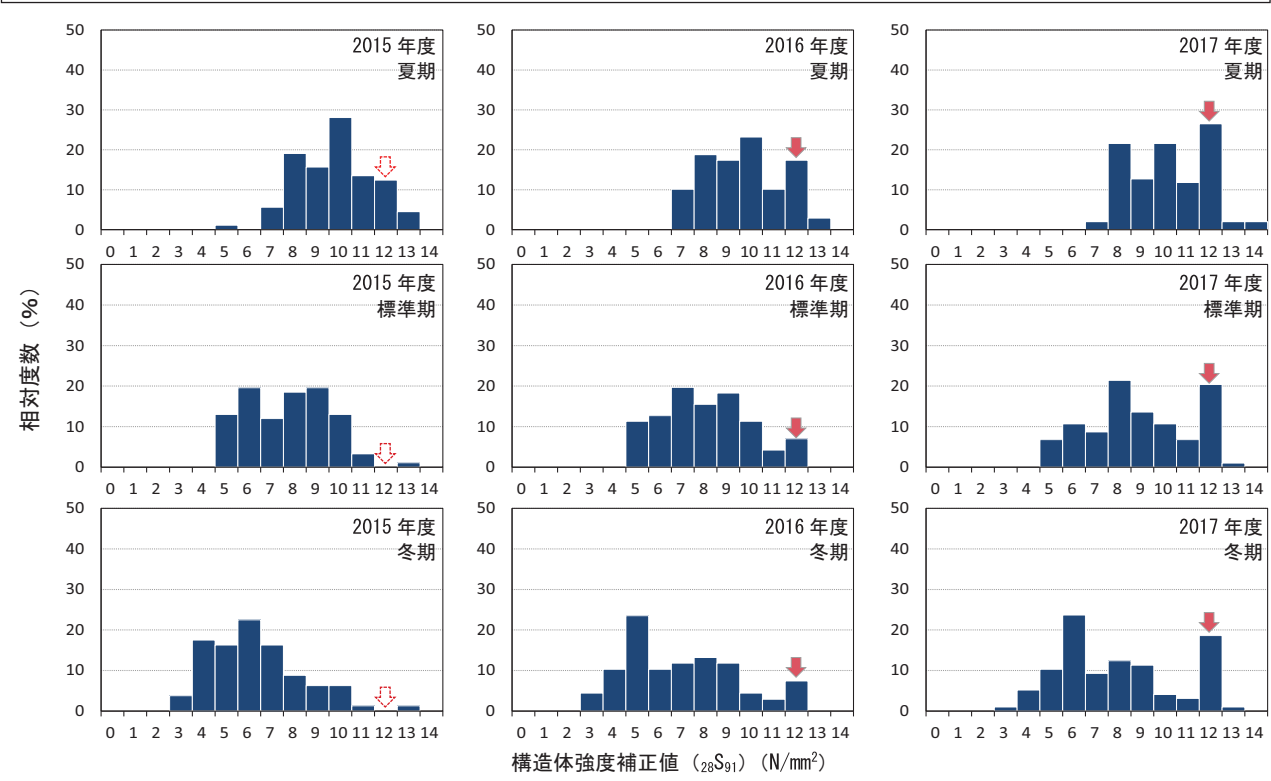


図-7.2 構造体強度補正值 ($_{28}S_{91}$) の設定状況 (普通ポルトランドセメント、設計基準強度 60N/mm^2)

注：図-7.3の $\circ$ 及び $\downarrow$ は、昭和56年建設省告示第1102号（平成28年3月17日改正）で示された中庸熱ポルトランドセメント、 $F_c=60\text{N/mm}^2$ に対応するS値（ 3N/mm^2 ）に該当する箇所を示している。

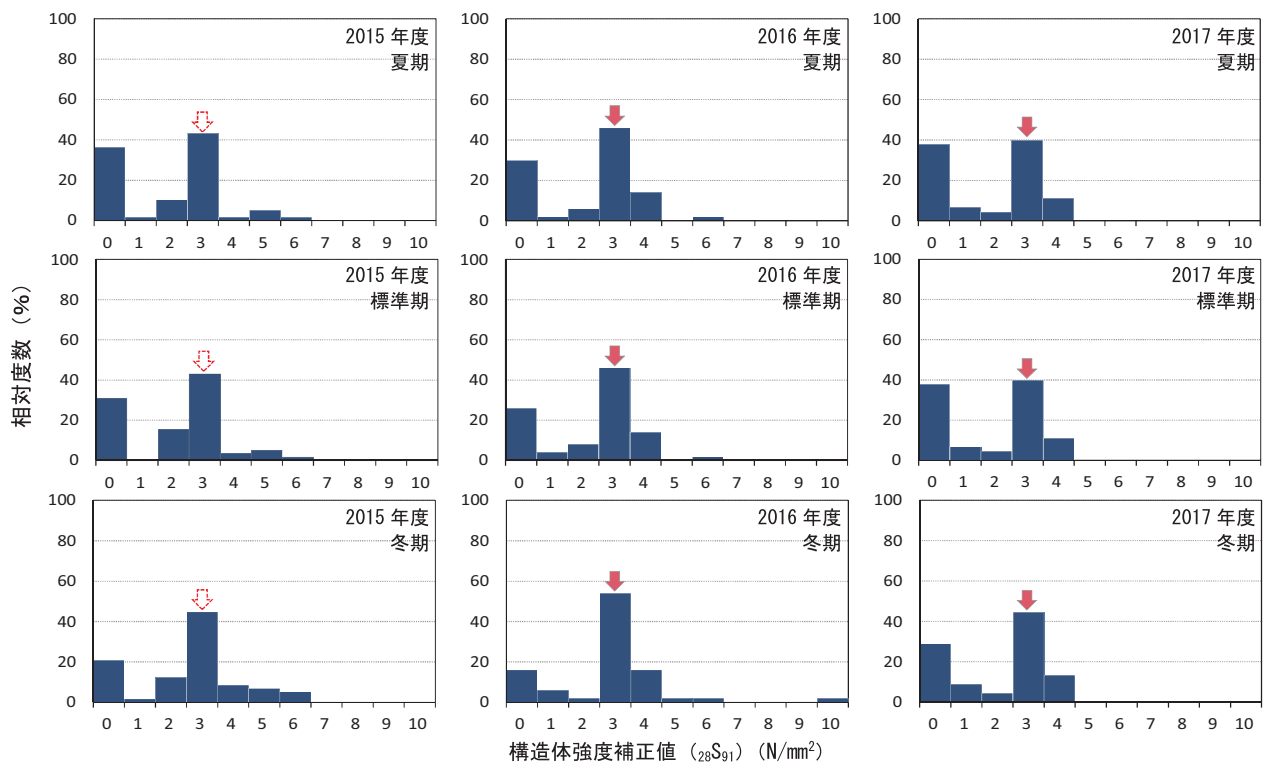


図-7.3 構造体強度補正值 ($_{28}S_{91}$) の設定状況 (中庸熱ポルトランドセメント、設計基準強度 60N/mm^2)

注：図-7.4の $\circ$ 及び $\downarrow$ は、昭和56年建設省告示第1102号（平成28年3月17日改正）で示された中庸熱ポルトランドセメント、 $F_c=80\text{N/mm}^2$ に対応するS値（ 6N/mm^2 ）に該当する箇所を示している。

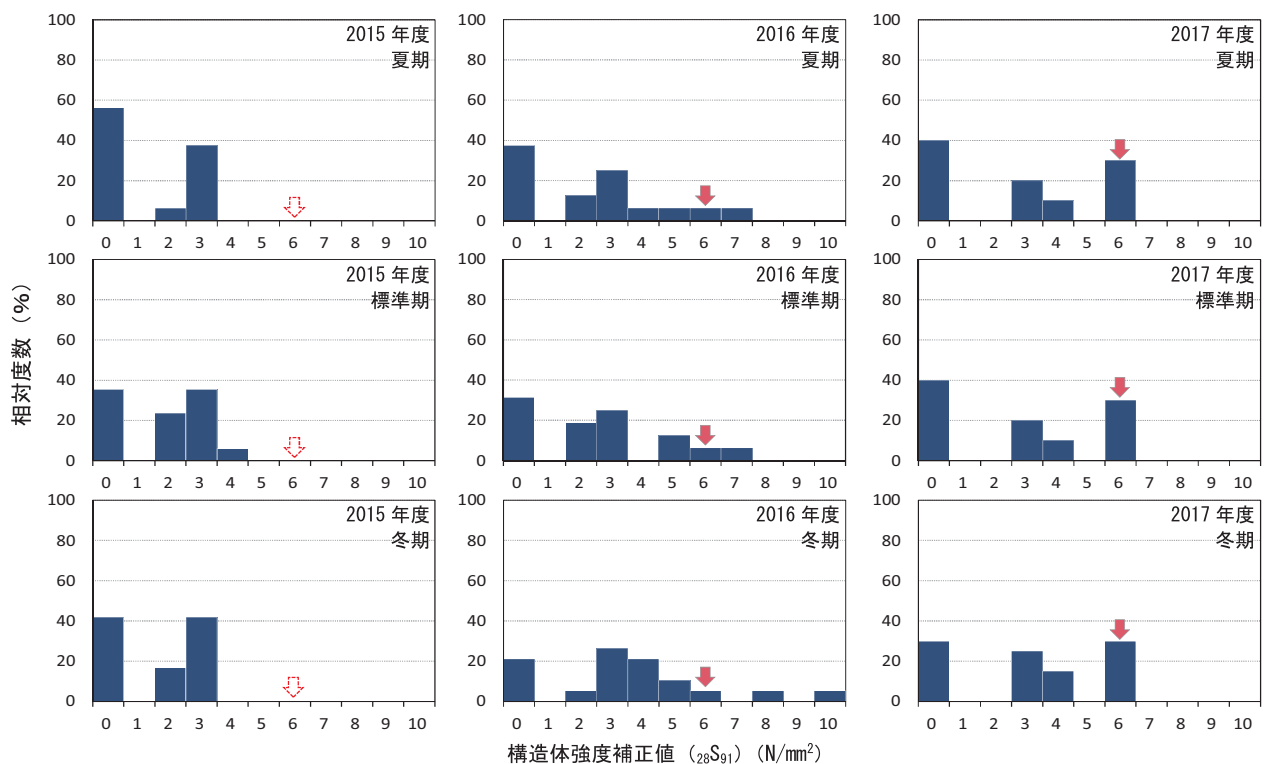


図-7.4 構造体強度補正值 ($_{28}S_{91}$) の設定状況 (中庸熱ポルトランドセメント、設計基準強度 80N/mm^2)

注：図-7.5 の $\downarrow$ 及び $\downarrow$ は、昭和 56 年建設省告示第 1102 号（平成 28 年 3 月 17 日改正）で示された低熱ポルトランドセメント、 $F_c=60\text{N/mm}^2$ に対応する S 値のうち、養生期間中の平均気温によらず大きい方の値（ 3N/mm^2 ）に該当する箇所を示している。

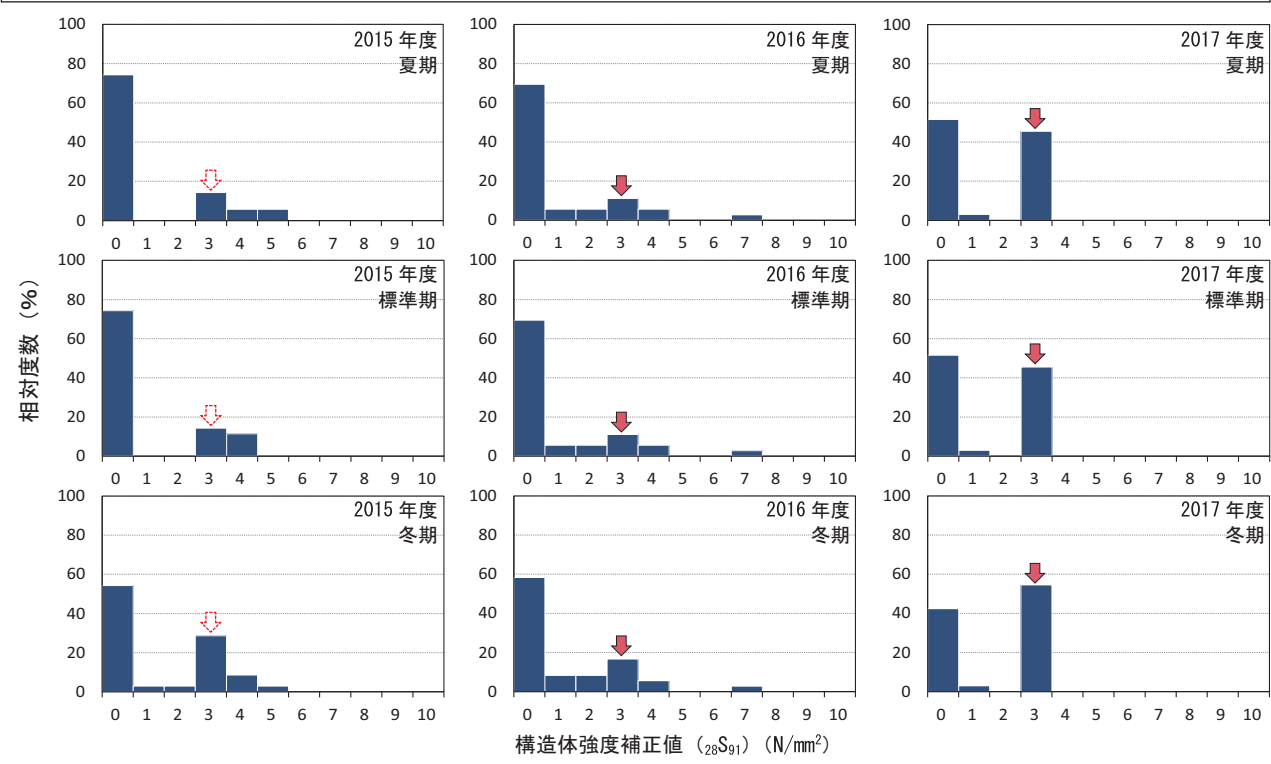


図-7.5 構造体強度補正值 ($_{28}S_{91}$) の設定状況 (低熱ポルトランドセメント、設計基準強度 60N/mm^2)

注：図-7.6 の $\downarrow$ 及び $\downarrow$ は、昭和 56 年建設省告示第 1102 号（平成 28 年 3 月 17 日改正）で示された低熱ポルトランドセメント、 $F_c=80\text{N/mm}^2$ に対応する S 値（ 3N/mm^2 ）に該当する箇所を示している。

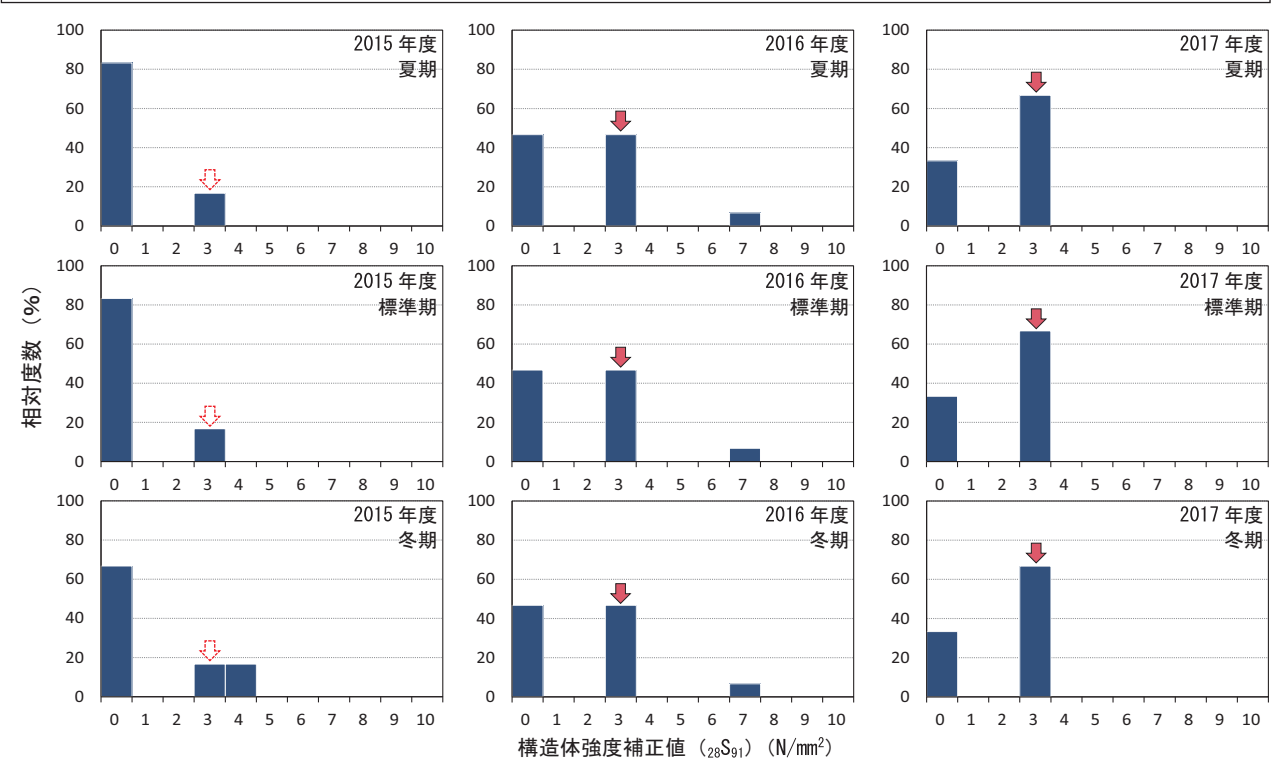


図-7.6 構造体強度補正值 ($_{28}S_{91}$) の設定状況 (低熱ポルトランドセメント、設計基準強度 80N/mm^2)

(2) 打込み時期による傾向

普通ポルトランドセメントの場合、冬期<標準期<夏の順にS値が大きくなっており、打込み時期による傾向を確認することができる。一方、中庸熱ポルトランドセメントと低熱ポルトランドセメントの場合、打込み時期によらず同一のS値を設定している案件が大半を占めており、図-7.3から図-7.6において打込み時期による差異は確認できない。

(3) 昭和56年建設省告示第1102号（平成28年3月17日改正）の影響

普通ポルトランドセメントと低熱ポルトランドセメントの場合、2016年度及び2017年度において、昭和56年建設省告示第1102号（平成28年3月17日改正）で示されたS値に対応する相対度数が増加していることが分かる。一方、中庸熱ポルトランドセメントの場合、 $F_c=60\text{N/mm}^2$ では2015年度から2017年度におけるS値の設定状況に大きな変化は確認できないが、 $F_c=80\text{N/mm}^2$ の2016年度及び2017年度において同告示で示されたS値に対応する相対度数の増加が確認できる。評価案件数の推移でも述べたとおり、2018年3月に実施された同告示の改正に伴って、模擬部材試験体の製作を行うことなくS値を設定する方法が選択できるようになったことが影響していると考えられる。

3.5 水セメント比と設計基準強度

古くから、コンクリートの圧縮強度を推定する方法や、使用材料、調合、練混ぜ、養生及び供試体の製作手順等も含めた高強度コンクリートの製造方法について研究がなされており^{例え、23)～31)}、単位セメント量だけでなく単位水量もコンクリートの圧縮強度に影響することが確認されている。現在では、コンクリートの圧縮強度を推定する方法として、水セメント比（以下、W/Cと称す）を用いた回帰曲線やセメント水比（W/Cの逆数。以下、C/Wと称す）を用いた一次関数等が知られているが、極めて実用性が高く、取扱いも容易であることから、C/Wを用いた一次関数による推定方法が広く利用されている。コンクリートの調合設計指針・同解説³²⁾においても、試験結果から得られるC/Wを用いた一次関数（回帰直線）から安全を考慮して採用するW/Cを設定する方法が示されている。

分析の対象とした全ての案件においても、コンクリートの圧縮強度を推定するためにC/Wを用いた一次関数が利用されているが、実際に高強度コンクリートを製造する際にはW/Cで管理を行うため、本稿では F_c とW/Cの関係について分析を行った。

図-8.1から図-8.3には、普通ポルトランドセメント、中庸熱ポルトランドセメント及び低熱ポルトランドセメントの3種類全てを製造しているセメント製造者（4社）を使用し、かつ、材齢28日・目標空気量3.0%を設定している案件を抽出し、各セメントの打込み時期に応じたW/Cと F_c の関係を示した。なお、高強度コンクリートとして申請するために、全ての案件において F_c との和が 45N/mm^2 を超えるようにS値を定めており、セメントの種類や打込み時期によらず $F_c=40\text{N/mm}^2$ 前後ではほぼ同じW/Cが設定されていたことから、対象とする F_c の範囲を 45N/mm^2 以上とした。また、各図中の菱形、実線及び破線は、次に示す①から③の手順で作成した。

- ① 抽出した各 F_c に対応する設定W/Cの平均値と標準偏差を計算し、各 F_c に対応する設定W/Cの平均値を図中に菱形で示した。
- ② ①で計算した各 F_c に対応する設定W/Cの平均値と F_c との回帰曲線を求め、これを図中に実線で示した。
- ③ ①で計算した各 F_c に対応する設定W/Cの平均値と標準偏差から、設定W/Cの平均値に標準偏差の3倍を加えた数値（設定W/Cが正規分布に従うと仮定した場合の、99.73%信頼区間の上限に対応）を算出し、この値と F_c との回帰曲線を求め、これを図中に破線で示した。

図-8.1から図-8.3より、次の（1）から（3）の傾向を読み取ることができる。

(1) W/Cの設定値

各図中に菱形で示した各 F_c における設定W/Cの平均値は、普通ポルトランドセメントの場合、 $F_c=60\text{N/mm}^2$ では夏期がW/C=28%前後、標準期がW/C=29%前後、冬期がW/C=30%前後となっている。一方、中庸熱ポルトランドセメントと低熱ポルトランドセメントの場合、打込み時期によらず、 $F_c=60\text{N/mm}^2$ ではW/C=31%前後、 $F_c=80\text{N/mm}^2$ ではW/C=23%前後となっている。

(2) 設定W/Cのばらつき

セメントの種類によらず、 F_c が大きくなるにつれて、各 F_c における設定W/Cのばらつきが小さくなる傾向が確認できる。なお、各設定W/Cにおける標準偏差の最小値は1.00%、最大値は2.35%であった。また、設定W/Cの変動係数（各設定W/Cの標準偏差を、対応する設定W/Cの平均値で除した値を百分率で表記）の最小値は3.6%、最大値は6.2%であった。

(3) 打込み時期による傾向

普通ポルトランドセメントの場合、夏期>標準期>冬期の順に設定W/Cの値が小さくなっていることが分かる。

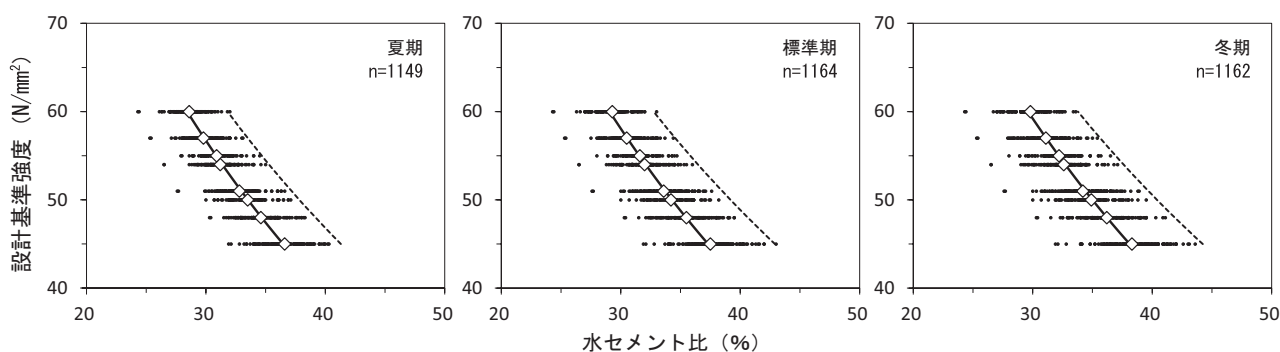


図-8.1 水セメント比と設計基準強度の関係
(普通ポルトランドセメント、材齢28日、目標空気量3.0%)

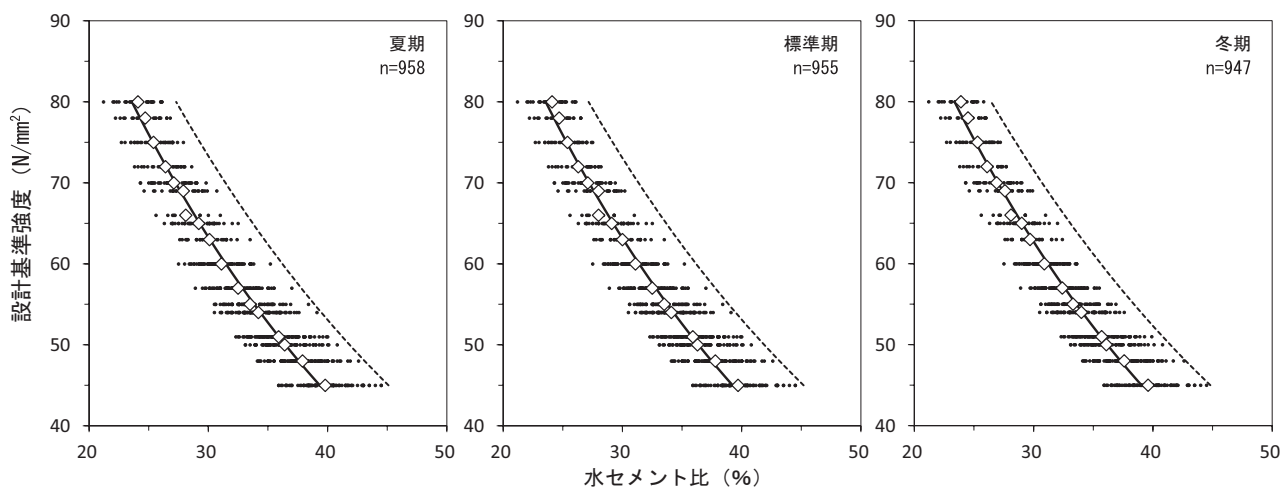


図-8.2 水セメント比と設計基準強度の関係
(中庸熱ポルトランドセメント、材齢28日、目標空気量3.0%)

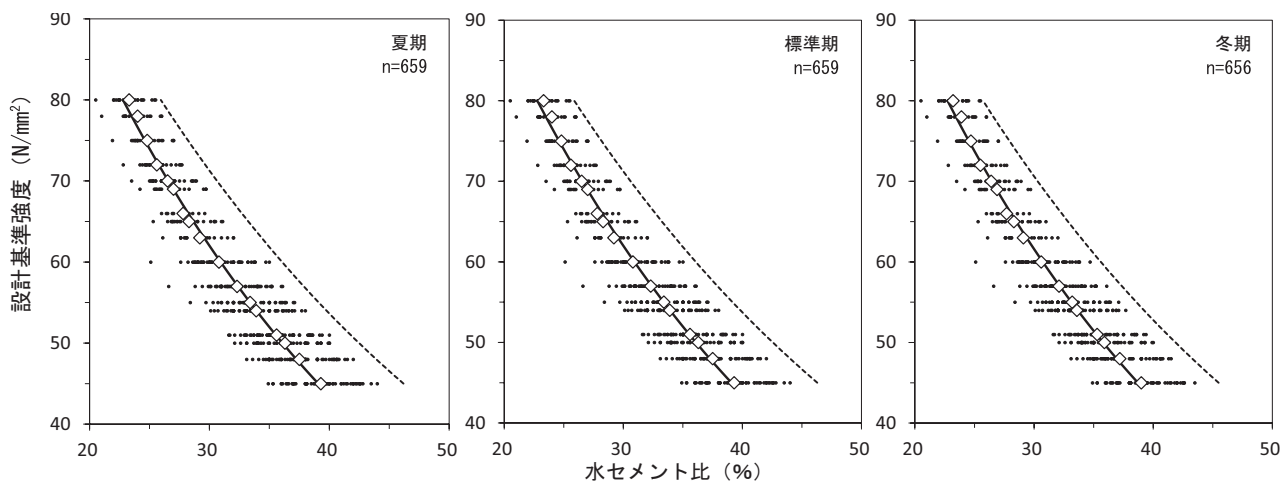


図-8.3 水セメント比と設計基準強度の関係
(低熱ポルトランドセメント、材齢28日、目標空気量3.0%)

一方、中庸熱ポルトランドセメントと低熱ポルトランドセメントでは、打込み時期による傾向は確認できない。

4. まとめ

2015年度から2017年度にかけてGBRCで性能評価を実施した高強度コンクリートのうち、生コン工場単独申請案件を対象とした分析を行い、その傾向について述べた。

なお、コンクリートの使用材料や製造設備、品質管理体制等によって、高強度コンクリートのS値やW/Cと F_c の関係等が異なる場合もある。既に認定を取得している過去の評価案件と比較する場合や、新規申請または再申請において本稿を参考とされる際には、高強度コンクリートの技術の現状(2009)³³⁾や高強度コンクリート施工指針・同解説³⁴⁾等と併せて確認して頂けると幸いである。

【参考文献】

- 1) 平成 12 年建設省告示第 1446 号（建築物の基礎、主要構造部等に使用する建築材料並びにこれらの建築材料が適合すべき日本工業規格又は日本農林規格及び品質に関する技術的基準を定める件），平成 12 年 5 月 31 日公布，平成 30 年 6 月 14 日最終改正
- 2) JIS A 5308（レディーミクストコンクリート），1953 年 11 月 7 日制定，2014 年 3 月 20 日最新改正
- 3) JIS Q 1001（適合性評価 - 日本工業規格への適合性の認証 - 一般認証指針），2005 年 8 月 20 日制定，2015 年 7 月 21 日最新改正
- 4) JIS Q 1011（適合性評価 - 日本工業規格への適合性の認証 - 分野別認証指針（レディーミクストコンクリート）），2005 年 8 月 20 日制定，2014 年 3 月 20 日最新改正
- 5) 建築基準法 第 68 条の 25
- 6) 建築基準法 第 77 条の 56
- 7) 建築基準法施行令 第 72 条
- 8) 平成 27 年国土交通省告示第 1164 号（申請者が工場等において行う試験に立ち会い、又は工場等における指定建築材料の製造、検査若しくは品質管理を実地に確認する必要がある場合及びその費用を定める件），平成 27 年 12 月 1 日公布，平成 29 年 1 月 20 日最終改正
- 9) 昭和 56 年建設省告示第 1102 号（設計基準強度との関係において安全上必要なコンクリート強度の基準等），昭和 56 年 6 月 1 日公布，平成 28 年 3 月 17 日最終改正
- 10) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 鉄筋コンクリート工事，2018
- 11) 建築基準法施行令 第 82 条
- 12) 建築基準法施行令 第 82 条の 6
- 13) G.A.Wayss：Das System Monier（Eisengerippe mit Cementumhüllung）in seiner Anwendung auf das gesamte Bauwesen., A.Seydel & Cie., Berlin, 1887
- 14) 廣井勇：鐵筋混凝土橋梁，工學會誌，第二十二輯第二百五十三卷，明治三十六年六月
- 15) 市街地建築物法施行規則改正，内務省令第一號，昭和七年一月十二日
- 16) 臨時日本標準規格第五三二號（建築物ノ荷重），昭和十九年五月二十日
- 17) 臨時日本標準規格第五三三號（建築物強度計算ノ基本），昭和十九年五月二十日
- 18) 日本建築規格 建築物の構造計算（建築 3001），商工省建設院告示第一号，昭和二十三年四月三十日
- 19) 建築基準法施行令 第 74 条
- 20) 建築基準法施行令 第 91 条
- 21) 建築基準法施行令 第 97 条
- 22) 平成 12 年建設省告示第 1450 号（コンクリートの付着、引張り及びせん断に対する許容応力度及び材料強度を定める件），平成 12 年 5 月 31 日公布
- 23) M.Feret：Sur La Compacité Des Mortiers Hydrauliques, Annales des Ponts et Chaussées-Mémoires et Documents relatifs a l' Art des Constructions-, N° 21, 7° Série, Tome IV, 2° Semestre, Paris, 1892
- 24) 土居松市，阪口芳三郎：コンクリート強度試験報告，建築雑誌，第三一輯第三六四號，大正六年四月
- 25) D.A.Abrams：Design of Concrete Mixtures, Bulletin 1, Structural Materials Research Laboratory, Lewis Institute, 1918
- 26) A.N.Talbot：A Proposed Method of Estimating the Density and Strength of Concrete and Proportioning the Materials by the Experimental and Analytical Consideration of the Voids in Mortar and Concrete, Proceedings of ASTM, Vol.21, 1921
- 27) 濱田稔：コンクリート應圧強度に関する研究（強度の理論と配合方法），建築雑誌，第四一輯第四九二號，昭和二年二月
- 28) L.Lyse：Tests on Consistency and Strength of Concrete Having Constant Water Content, Proceedings of the American Society for Testing Materials, Vol.32, Part II, 1932
- 29) 内山實：リースの説と之に基くコンクリート配合の設計法，土木學會誌，第二十四卷十二號，昭和 13 年 12 月
- 30) T.C.Powers and T.L.Brownnyard：Studies of the Physical Properties of Hardened Portland Cement Paste Bulletin 22, Research Laboratories of the Portland Cement Association, March, 1948
- 31) 吉田徳次郎：最高強度コンクリートの製造に就いて，土木學會誌，第二十六卷十一號，昭和 15 年 11 月
- 32) 日本建築学会：コンクリートの調合設計指針・同解説，2015
- 33) 日本建築学会：高強度コンクリートの技術の現状（2009），2009
- 34) 日本建築学会：高強度コンクリート施工指針・同解説，2013

【執筆著者】



*1 津平 公彦
(TSUBIRA Kimihiko)



*2 永田 洋一
(NAGATA Yoichi)



*3 安田 真弓
(YASUDA Mayumi)



*4 坂本 欣吾
(SAKAMOTO Kingo)