

日本建築学会「暑中コンクリートの施工指針・同解説」改定の背景と要点

小山, 智幸
九州大学大学院人間環境学研究院 : 准教授

伊藤, 是清
東海大学現代教養センター : 教授

陣内, 浩
東京工芸大学工学部建築学科 : 教授

<https://hdl.handle.net/2324/7174500>

出版情報 : Concrete Journal. 58 (3), pp.217-222, 2020. Japan Concrete Institute
バージョン :
権利関係 : © 2020 Japan Concrete Institute



日本建築学会「暑中コンクリートの施工指針・同解説」改定の背景と要点

小山 智幸^{*1}・伊藤 是清^{*2}・陣内 浩^{*3}

概要 暑中環境で施工されるコンクリートに生じる種々の不具合の対策方法に関する指針である、日本建築学会「暑中コンクリートの施工指針・同解説」が2019年7月に改定された。本稿では、近年ますます過酷化する暑中環境の気候特性を整理するとともに、同指針の制定の経緯から改定の背景、ならびに各章における改定の要点を述べた。

キーワード：暑中コンクリート工事、施工指針、気候特性、改定の要点、酷暑期

1. はじめに

暑中環境下で製造・施工されるコンクリートは、高い外気温や日射の影響で、練上がり時の温度が高くなるために、標準環境下の場合と比較して、スランプや空気量が小さくなる傾向がある(図-1)。高温や日射の影響は運搬中から打込み後も継続し、コンクリート温度はさらに上昇、その結果、スランプの低下が大きくなる、コールドジョイントが生じやすくなる、長期強度の増進が鈍化する、耐久性が低くなるなど、コンクリートの種々の性質に変化が現れる。暑中期におけるこのような現象は、温度が上昇するに従って徐々に変化する性格のものであり、水の凍結といった状態変化を伴う寒中期とは異なりある温度を境にして急激に変化が現れるものではなく、少なくとも初期凍害のようにコンクリートに致命的な悪影響

を及ぼすものではないと考えられてきた。そのため、我が国においては従来、暑中コンクリートに関する系統的な研究は少なく、また実際の工事においても、ほどほどの対策を講じるだけで済ませてきたのが実状であった...というのが、本指針初版の序文の概要であり、2000年の改定においても、上記の状況は大きくは変わっていなかった。しかし前回の指針改定以降、気候変動に伴う夏期の気温の上昇は誰の目にも明らかなものになり、暑中コンクリート工事の適用期間の目安となる日平均気温が25℃を超える期間も着実に長くなった¹⁾。他方、セメントは普通ポルトランドセメントにおいても強度が高くなる傾向にあり²⁾、常用されるコンクリートも年々高強度化している。これらは、水和発熱の増大に繋がり、暑中環境の過酷化と相まってコンクリート温度を上昇させることになるため、先に述べた不具合がさらに顕在化しやすくなった。

また、猛暑日などが当たり前になった現在の暑中環境において、コンクリート工事の不具合を防止するには、「ほどほどの対策」で十分とはいえなくなってきた。このような状況に対応し、昨今では実機レベルを含む暑中環境でのコンクリートの実験や研究が各所で組織的かつ体系的に行われるようになり、実態調査の事例も充実してきた。さらに、過酷な現場で重激な労働をする作業員への配慮などについても明文化された指標が必要とされるようになってきた。

そこで、日本建築学会では2016年4月に「暑中コンクリートの施工指針改定小委員会(主査：小山智幸)」を組織し、2019年7月に約20年ぶりに暑中コンクリートの指針の改定を行った。本稿ではこれらの概要について述べる。

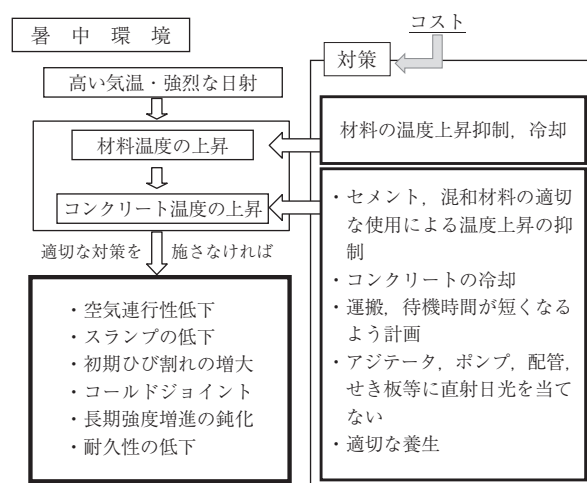


図-1 暑中環境下における不具合と対策

2. 気候変動下における暑中環境

表-1に、気象庁が公開³⁾している我が国における日最高気温の歴代の最高記録を示す。本誌2010年1月号でも同様の記述を行ったが¹⁾、表から明らかなように、上位10位までのうちほとんどがここ数年の間に(上記記事で

*1 こやま・ともゆき／九州大学大学院人間環境学研究院 准教授(正会員)

*2 いたう・これきよ／東海大学・現代教養センター 教授(正会員)

*3 じんない・ひろし／東京工芸大学・工学部建築学科 教授(正会員)

表-1 日最高気温の歴代最高記録³⁾

順位	都道府県	観測所	観測値	
			℃	年/月/日
1	埼玉県	熊谷	41.1	2018/07/23
2	岐阜県	美濃	41.0	2018/08/08
〃	山形県	金山	41.0	2018/08/06
〃	高知県	江川崎	41.0	2013/08/12
5	岐阜県	多治見	40.9	2007/08/16
6	新潟県	中条	40.8	2018/08/23
〃	東京都	青梅	40.8	2018/07/23
〃	山形県	山形	40.8	1933/07/25
9	山梨県	甲府	40.7	2013/08/10
10	新潟県	寺泊	40.6	2019/08/15

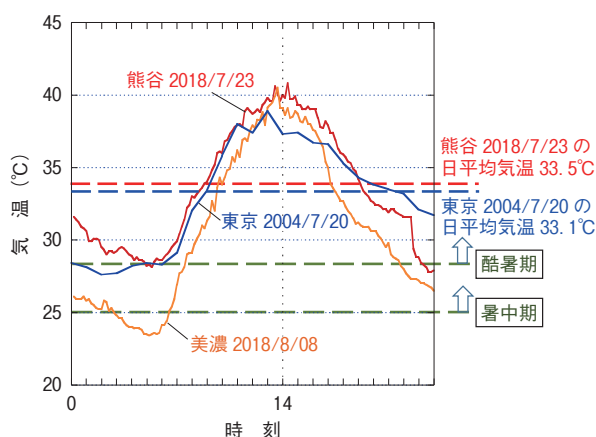


図-2 日最高気温が歴代最高となった熊谷などにおける気温の日変動²⁾より作成

は「十数年の間に」と表現したが) 更新されており, 温暖化の影響が顕著に現れている。

図-2 は, 表-1 に示した歴代 1 位の最高気温を記録した 2018 年 7 月 23 日の埼玉県熊谷, ならび同 2 位の 2018 年 8 月 8 日の岐阜県美濃における気温の日変動を表している³⁾より作成。後出の図-6 に示すように, 日平均気温が 28℃ を超えれば荷卸し時のコンクリート温度が 35℃ を超える可能性が極めて高くなる (図-7 中の「酷暑期」, 後出) が, 当時の熊谷では日平均気温は 33℃ を超えている。同図中に東京の例を示しているが, 日最高気温は 2~3℃ 程度低いが, 日平均気温は上記の熊谷の値とそれほど変わらないことがわかる。

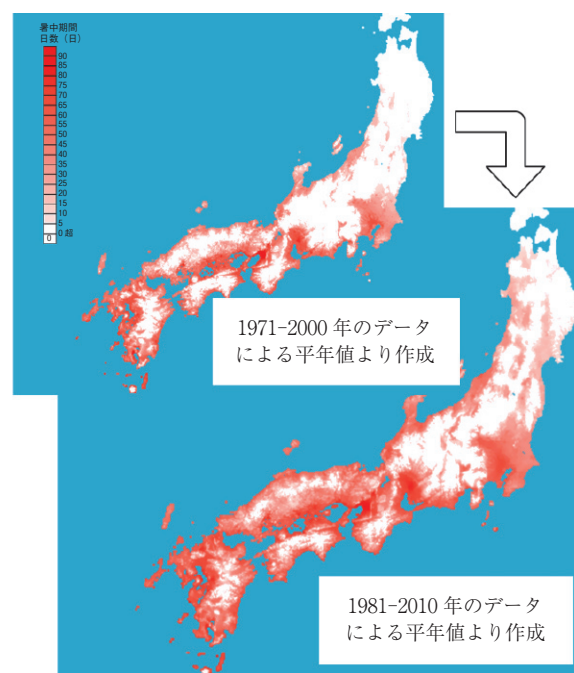


図-3 暑中適用期間の分布と増加 (メッシュ平年値)³⁾より作成

図-3 は, 気象庁が発表しているメッシュ平年値³⁾ から算定した, 暑中コンクリート適用期間の変遷を示している。なお同図は, 公表されているメッシュ平年値が月平均気温でありそのままでは適用期間が算定できないため, 月平均気温と適用期間の日数の間に相関があることを利用して作成したものである。色が濃いほど日数が長いことを表している。これらより, 暑中コンクリートの適用期間は北海道を除く全国に分布していること, 大都市圏で継続日数が長いこと, 温暖化の影響を反映して日数が急激に増大していることなどがうかがえる。

3. 改定の概要

先に述べた背景をもとに, 下記の委員構成で検討を行い, 本指針の 2 度目となる改定が行われた。

改定小委員会の構成

主査: 小山 智幸
幹事: 伊藤 是清, 陣内 浩
委員: 新 大軌, 一瀬 賢一, 岩清水 隆, 黒田 泰弘,
小山田英弘, 鶴田 達哉, 鍋沢 斤吾, 船本 憲治,
本田 悟, 前田 禎夫, 松倉 隼人, 湯浅 昇

Background and Outline of “Recommendation for Practice of Hot Weather Concreting” Revised by AIJ

By T. Koyama, K. Ito and H. Jinnai

Concrete Journal, Vol.58, No.3, pp.217~222, Mar. 2020

Synopsis The Architectural Institute of Japan’s “Recommendation for Practice of Hot Weather Concreting”, which consists of guidelines for measures against various problems that affect concreting in hot environments, was revised in July 2019. This paper first lays out the climatic characteristics of increasingly hot summer environments, then gives the background of the revisions that have been made since the establishment of this Recommendation, and the main points of revision in each chapter.

Keywords : Hot weather concreting, Recommendation for practice, Climate, Essential point of revision, Intense hot weather period

本指針の今回の改定のポイントを表-2に示す。また、改定前後の構成を図-4に比較する。今回の改定では、効果的な対策を施すためにはコストへの配慮が不可欠であることを、そのためには設計段階からの検討が必要であることを明記するため、旧版の1章 総則「1.3 設計段階での暑中対策」および「1.4 施工段階での暑中対策」に実態調査や最新の知見を取り入れ、「3章 設計・施工計画」として新設した。

3.1 1章 総 則

1章では、本指針の適用範囲、暑中コンクリートの適用期間などについて記述している。

暑中コンクリートの適用期間は、日平均気温の日別平滑値が25.0℃を超える期間を基準としており、その算定には、指針旧版や現行のJASS 5で30年間の日平均気温

表-2 改定のポイント

- ・暑中対策とコストへの配慮を設計段階で求める
- ・適用期間の算定方法：
 - 直近10年の日別平滑値（平年値〔10年〕）を標準
- ・酷暑期の新設：
 - 受入れ時のコンクリート温度が35℃を超える可能性が高くなる期間を暑中期の中に新設し、より入念な対策を求める
- ・受入れ時のコンクリート温度の上限値を38℃とする場合は、適切な対応を求める
- ・受入れ時の目標スランプ：21 cmを原則
- ・化学混和剤：遅延形の高性能 AE 減水剤の使用を原則
- ・乾燥収縮率の目標値： 8×10^{-4} 以下
- ・実験結果等、新たな成果の反映

旧 2000 年版	改定版
1章 総 則	1章 総 則
2章 暑中環境におけるコンクリートの諸性質	2章 暑中環境におけるコンクリートの諸性質
3章 コンクリート材料	3章 設計・施工計画
4章 調 合	4章 材 料
5章 発注・製造・輸送および受入れ	5章 調 合
6章 打込み計画（準備・段取り）	6章 発注・製造・運搬および受入れ
7章 運搬・打込み・締固め	7章 打込み計画
8章 仕上げ	8章 打込み・締固め
9章 養 生	9章 仕上げ
10章 品質管理・検査	10章 養 生
	11章 品質管理および検査

図-4 改定前後の目次構成の比較

から算定された「平年値」が用いられてきた。しかしながら、近年の気候変動の影響により、平年値から予想された適用期間の日数（図-5中の階段状の実線）は実際の日数（同、折線）と比較して、2000年頃から大きく乖離する傾向にあった。そこで今回、より適切な設定を行うため、直近の過去10年間の日平均気温から平滑値（平年値〔10年〕と定義）を求め、適用期間の基準とすることとした。図-3より、平年値〔10年〕から予想された適用期間の日数（図中■印）の方が、平年値の場合よりも実際の傾向に近いことがわかる。

本指針では受入れ時のコンクリート温度は35℃以下を原則としているが、九州地方における実態調査ならびに近畿地方における実験によれば、出荷時の日平均気温が28.0℃を超えると、受入れ時のコンクリート温度が35℃を超える事例が増加することが示されている（図-6）。このような実態を考慮し、暑中期のうち、日平均気温の日別平滑値が28.0℃を超える期間を「酷暑期」として新たに定義し（図-7）、酷暑期以外の暑中期よりも入念な対策を講じることとした。

3.2 2章 暑中環境におけるコンクリートの諸性質

2章では、初版より、高温環境によってもたらされるコンクリートの諸性質の変化について詳細な解説を記述している。今回の改定では、特に化学混和剤の記述内容を充実させた。

3.3 3章 設計・施工計画

先に述べたように3章では、設計段階で設計図書に暑中コンクリート工事に必要な対策を講じ、そのための適切な予算措置を行う必要があることを明記した。暑中対策の検討は、暑中コンクリート工事で不具合を発生させる要因が広範囲にわたるため、発注者、設計者・工事監理者、施工者およびレディーミクストコンクリート工場（以下、生コン工場と称す）の十分な事前協議に基づいて行うこととした。また、酷暑期には、設計段階および施工段階での暑中対策をより入念に講じることとし、具体的な検討項目を示した。

本指針では、受入れ時のコンクリート温度は35℃を原則としており、35℃を超えないような対策を講じる必要

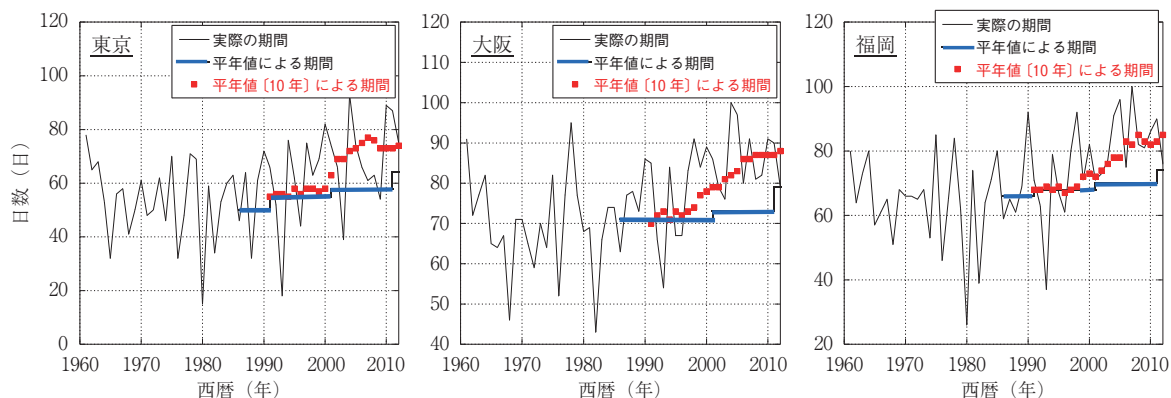


図-5 平年値および平年値〔10年〕から予測した適用期間と実際の期間の関係^①

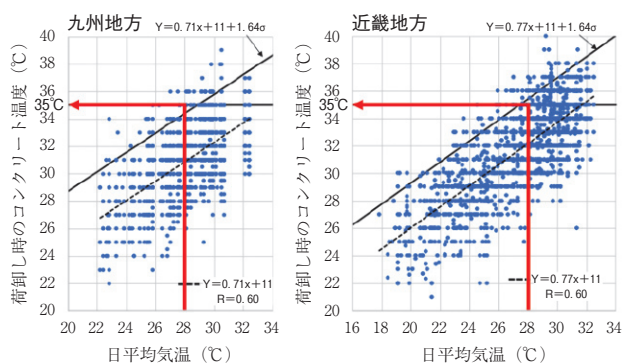


図-6 日平均気温と荷卸し時のコンクリート温度の関係⁵⁾

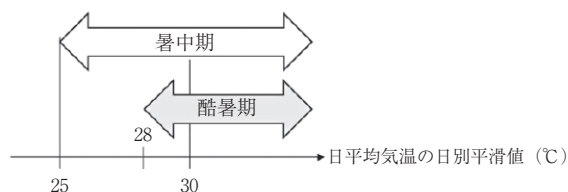


図-7 暑中期と酷暑期の関係⁵⁾

がある。しかしながら、対策を講じて35℃を超えることが避けられない事態も想定されるので、このような状況に備えて、品質確保のための方策を工事管理者と講じておくことが重要である。また、コンクリート温度の上限値を、35℃を超えて38℃とする場合についても規定し、適切な対策を採り、試し練りにより性能を確認することとし、そのための適用条件を解説に示した。

「3.2 設計段階における暑中対策」において、①受入れ時のコンクリートの目標スランプは21 cmを原則とすること、②化学混和剤は遅延形の高性能AE減水剤とすること、③酷暑期においては、使用するコンクリートの乾燥収縮率の目標値を 8×10^{-4} 以下とすること、などのコンクリートの仕様を規定した。

①は、受入れ時のスランプの設定を大きくすることがコールドジョイントなどの暑中期における不具合を抑制する現実的かつ有効な対策であると位置付けたことによるものである。化学混和剤の性能向上により、単位水量を増加させることなく実現可能である。

②では、遅延形の高性能AE減水剤の使用は、標準形と比較して、暑中期におけるスランプ保持性(図-8)やコールドジョイント抑制に有効(許容打重ね時間間隔を延長可)であることが実機実験において確認されていることを反映させた。

③では、施工時の外気温が高いほど外気温の低下に伴う収縮量が大きくなることが実験により示されているため、酷暑期には計画供用期間の級にかかわらず、ひび割れ対策として乾燥収縮の目標値を規定した。

なお、①および②に関しては、「酷暑期以外の暑中期」と「酷暑期」に分類して、規定を変更(目標スランプを小さくする、他の化学混和剤の使用)できる条件を示した。

「3.3 施工段階における暑中対策」には、構造体コン

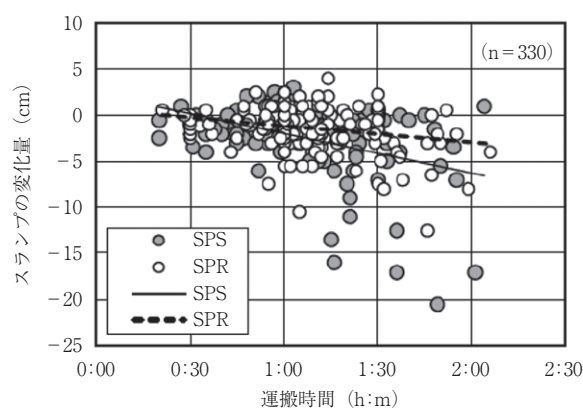


図-8 高性能AE減水剤の種類が運搬時間とスランプの変化量に及ぼす影響 (SPS：標準形，SPR：遅延形)⁶⁾

クリートの品質確保のみならず、作業員の体力の消耗にも配慮して計画することを明記した。

3.4 4章 材 料

4章では、外気温などによってコンクリートの材料温度が上昇する状況下で要求品質を満足するコンクリートを製造するための、材料選定時における対策(低発熱型のポルトランドセメントや混合セメントの活用など)について、生コン工場における材料温度の実態調査(詳細は巻末の資料4に記載)や最新の研究成果を反映させて記述している。

今回の改定では「3.2 設計段階における暑中対策」で、遅延形の高性能AE減水剤を用いることを原則としたことや、フライアッシュや高炉スラグ微粉末などの混和材を環境配慮に有効な材料として位置付けたことなどを反映し、これらを暑中期の特長を活かして用いるよう求めた。その他、コンクリートの構成材料以外の、膜養生剤や収縮低減剤などの暑中対策に有効な材料についても、「4.6 その他の材料」として節を新たに設け、記述を加えた。

3.5 5章 調 合

5章では、4章までに規定された品質のコンクリートを実現するための、調合計画の留意事項や調合設計方法などについて記述している。

コンクリートの調合は原則として試し練りによって定めること、練上がり時の目標スランプは、受入れ地点での目標スランプが得られるように場外運搬中のスランプの低下などを見込んで定めるように規定した。単位水量に関しては、乾燥収縮およびブリーディングを考慮して、乾燥収縮の場合は原則として 185 kg/m^3 以下、ブリーディングの場合は標準として 185 kg/m^3 以下とし、「原則」、「標準」という表現を用いて規定している。これは、2015年改定の「コンクリートの調合設計指針・同解説」を踏襲したもので、原則とは実験データなどで要求性能を満たすことが説明できない限り基本的には規定に従うことであり、標準とは一般的に使われる目安であることを意味する。

調合設計の基本的な考え方はJASS 5と同様であるが、

2015年改定の「コンクリートの調査設計指針・同解説」を踏襲し、施工上要求される材齢における構造体コンクリートの圧縮強度を考慮できるようにした。構造体強度補正值 S 値に関しては、JASS 5の5節（調合）および21節（マスコンクリート）の規定を踏襲している。ただし、フライアッシュセメントB種を用いたコンクリートは夏期の構造体強度補正值が小さくなるという最新の知見などをもとに（図-9）、構造体強度補正值 $_{28}S_{91}$ の標準値を低減し、 3 N/mm^2 とした。

3.6 6章 発注・製造・運搬および受入れ

6章では、コンクリートの発注、製造管理、工事現場までの運搬（場外運搬）、現場での受入れにおける暑中対策について記述している。

生コン工場の選定に関しては、実施工における運搬時間、待ち時間および打込み時間のばらつきを考慮し、JASS 5における練混ぜから打込み終了までの時間限度の規定値である90分（外気温が 25°C 以上の場合）を満足するためには建築現場までの運搬時間の平均が何分以内の工場を選定する必要があるのか、その算定方法を東京都内の現場を例に示した。また、運搬中や待機中の温度上昇を防ぐためには、トラックアジテータのドラム表面の日射の反射率を高めることが有効であり、遮熱塗装の効果は認められるものの、色の影響の方が卓越することを示した（図-10、図-11）。

コンクリートの練上がり温度に関しては、旧版を踏襲し、受入れ時に所定のコンクリート温度が得られるように気象条件や運搬時間を考慮して定めることとした。また、旧版の練上がり時または荷卸し時のコンクリート温度推定式中の諸定数に実機実験の結果を反映させ、より具体的な値を示した。

3.7 7章 打込み計画

7章では、高温環境に起因するコンクリート性状の変化に配慮した打込み計画の策定方法について記述している。「7.2 打込み計画策定の基本原則」では、打込み計画書の作成における留意点に関する具体的な対策の事例を解説に盛り込み、内容を充実させた。

3.8 8章 打込み・締固め

8章では、場内運搬、打込み、締固めにおける施工方法および対策について記述している。

今回の改定では、場内運搬の待ち時間等で許容値以上にスランプが低下した場合、緊急時の救済措置として、①練混ぜから打込み終了までの時間が原則として90分以内であること、ならびに、②回復後のコンクリートが計画時のスランプと空気量を満足している場合には、化学混和剤の添加によってスランプを回復することを許容している。とくに酷暑期においては事前に工事監理者と協議し、対策を施工計画書に盛り込んでおくことが重要である。

また、酷暑期では圧送用の輸送管は遮熱・断熱カバーなどで覆うことを原則とすることを追記した。そのほか、

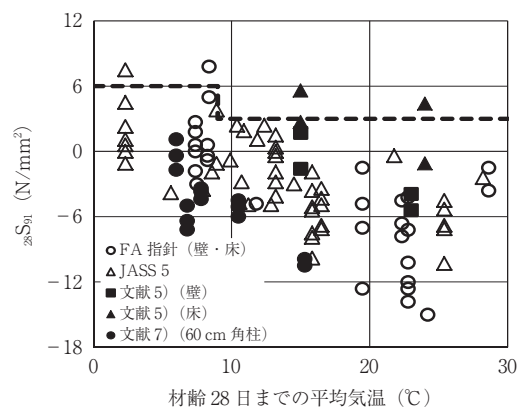


図-9 フライアッシュセメントB種を用いたコンクリートの構造体強度補正值 $_{28}S_{91}$ ⁷⁾

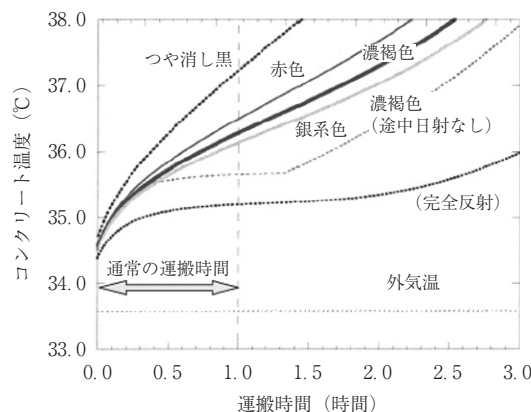


図-10 運搬中のコンクリート温度解析結果の一例⁸⁾

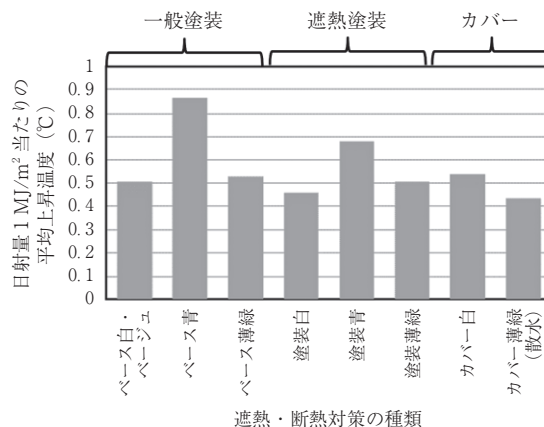


図-11 日射量 1 MJ/m^2 あたりの温度上昇量（トラックアジテータのドラム内）⁹⁾に一部加筆

実機実験結果に基づき、打重ね時間間隔に関する解説の記述を充実させた。

3.9 9章 仕上げ

9章では、仕上げ作業の方法および留意点を記述している。

旧版と同様に散水をしての仕上げ作業を禁止しているが、高温環境に配慮し、水分の逸散が大きく仕上げ完了までの乾燥が著しい場合には、噴霧により少量の水を補ってよいこととした。

また、酷暑期には、プラスチック収縮ひび割れの発生

抑制と、こて仕上げ作業の効率化の面から養生剤の使用を推奨している。

3.10 10章 養生

10章では、暑中におけるコンクリートの養生方法、開始時期、継続期間等について記述している。

養生方法は、旧版と同様に、湿潤養生は原則として給水養生とし、シート養生などの保水養生は給水養生が実用的でない場合の次善の策と位置づけている。本指針における湿潤養生の方法の定義および養生手段の例を図-12に示している。酷暑期には、給水養生、保水養生のいずれかを行うことを必須とし、打込み当日からの水分の逸散防止に特に注意を払うこととした。

現行版 JASS 5 13 節（暑中コンクリート）では、2009 年度版 JASS 5 13 節の解説に記載されていた“所定の圧縮強度が得られれば湿潤養生を打ち切ることができる”という記述を削除している。これは、暑中期では、上記の規定に従えば、初期強度発現の面からは翌日といったごく早期に養生を終了させることができるが、一方で表層部の組織がポーラスとなり、耐久性が損なわれるおそれがあるためである¹⁰⁾。本指針でも現行版 JASS 5 13 節の考えを踏襲し、セメントの種類に応じた所定の日数で養生期間を管理することとしている。

3.11 11章 品質管理および検査

11章では、暑中コンクリート工事における品質管理および検査は JASS 5 に準じるものとして、これを補足する最新のデータや知見を盛り込んでいる。

品質管理上の留意事項として、コンクリート温度を測

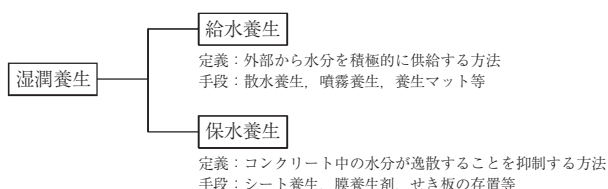


図-12 本指針における湿潤養生の方法および手段⁹⁾

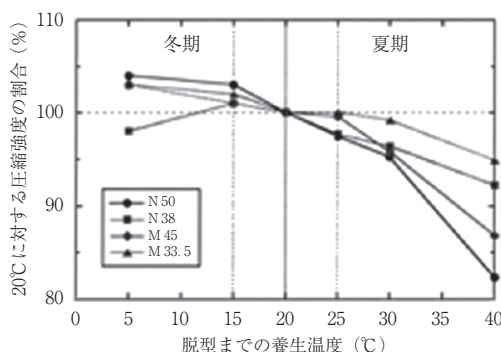


図-13 脱型までの初期養生温度の違いが標準養生供試体の圧縮強度に及ぼす影響¹¹⁾（供試体採取から脱型までの1日間、上記温度で養生後に20℃水中養生）

定する温度計の種類によって温度差や温度が安定するまでの時間差が生じること、構造体コンクリートの強度管理用の標準養生供試体を、採取後わずか1日でも高温下に放置すれば著しく強度が低下すること（図-13）、採取後の運搬による振動が圧縮強度に影響すること、現場水中養生供試体も35℃を超えるような高温下で供試体を採取すると圧縮強度が低下することなどを指摘し、コンクリート温度測定や管理用供試験体の温度管理に関する記述を充実させた。

4. おわりに

昨年7月に本指針改定講習会を、東京、大阪、福岡の3会場で開催し、暑中コンクリート工事に携わる設計者・施工者・工事監理者・レディーミクストコンクリート製造業者、その他多くの技術者の参加を得た。暑中コンクリートの品質向上に対する関心の現れと感じている。

本指針末尾の資料には、気象庁データを用いた暑中コンクリート工事の適用期間の求め方、各地の暑中期・酷暑期の日数の算定例・特長、ブリーフィング（事前協議）チェックリストの例、暑中期の生コン工場における材料温度の実態調査の結果を示している。

改定にあたりご尽力頂いた委員各位、実態調査にご協力頂いた各地の生コンクリート工業組合の方々、そのほか、猛暑の中で実験を実施され貴重なデータをご提供頂いた多くの方々に末尾ながらここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 小山智幸・小山田英弘：暑中コンクリートと九州，コンクリート工学，Vol.48，No.1，pp.84～88，2010.1
- 2) 日本コンクリート工学協会：セメント系材料・骨材研究委員会報告書，p.7，p.130など，2005.9
- 3) 気象庁ホームページ（<http://www.data.jma.go.jp>）
- 4) 松本侑也・小山智幸・小山田英弘：気候変動下における暑中コンクリート工事適用期間の予測方法，都市・建築学研究，九州大学大学院人間環境学研究院紀要，第24号，pp.117～122，2013.7
- 5) 日本建築学会：暑中コンクリートの施工指針・同解説，2019.7
- 6) 日本建築学会近畿支部：暑中コンクリート工事における対策マニュアル2018，2019.3
- 7) 船本憲治・鄭林琳：フライアッシュセメントB種・C種相当を使用したコンクリートの構造体強度補正值（S値・SM値）に関する検討，日本建築学会九州支部研究報告，第58号，pp.5～8，2019.3
- 8) 大川裕・小山智幸・小山田英弘・伊藤是清・新大軌・米谷裕希：暑中コンクリートの運搬中の温度上昇に関する研究：運搬時における簡易な温度解析手法の検討，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.627～628，2013.8
- 9) 鈴木峰人・岩清水隆・山崎順二・山田藍・山路克昌・潤田嘉彦・廣藤義和・毛利彰仁：暑中期における運搬車の遮断・断熱対策がコンクリート温度の上昇に及ぼす影響 その9 対策車における温度上昇の抑制効果の検証，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.499～500，2017.7
- 10) 小山智幸・小山田英弘・北山博規：暑中コンクリート工事における品質管理に関する研究 湿潤養生期間に関する実大模擬実験，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.651～652，2009.8
- 11) 片山行雄・黒田泰弘・河上浩司・西田浩和・菊地俊文：脱型までの温度が管理用供試体の圧縮強度に及ぼす影響，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.617～618，2014.9