寒中コンクリート工事における 初期養生の計画に関するケース スタディ

CASE STUDY ON THE PLANNING FOR EARLY AGE CURING IN COLD WEATHER CONCRETING

谷口 円 ——— *1   濱 幸雄 ——— *2
佐川貴康 ——— *3

Madoka TANIGUCHI — *1   Yukio HAMA ——— *2
Takayasu SAGAWA — *3

キーワード：
寒中コンクリート工事, 初期養生, 温度, 施工計画, 気象データ

Keywords:
Cold weather concreting, Early age curing, Temperature, Planning of execution, Meteorological statistical data

A case study was conducted on the planning for early age curing in cold weather concreting. The temperature and the period of the early age curing corresponding to the mix proportion of concrete were examined for the various places in Hokkaido. As a result, it is desirable the planned temperature during early age be lower than 15°C. In colder areas of Hokkaido, it can't be constructed without continuous heating curing. In warmer areas of Hokkaido, continuous heating curing may not be necessary if the early age curing is conducted.

1. はじめに

寒中コンクリート工事では, 初期凍害の防止と低温による強度発現の遅れに対する対応の2点が技術的課題であり, 様々な対策を取ることで施工が可能となる¹⁾。初期凍害の防止に対しては, 圧縮強度 5.0N/mm² が得られるまでコンクリートを凍結させないよう初期養生が行われる。強度発現の遅れに対しては, 所要の強度を所定の材齢で確保するため, 工程上の観点から適切な時期(一般には材齢28日)に設計基準強度を確保し, 支保工解体を行い, 次工程に進めるように, コンクリートの強度増進を予測して, 調合と養生計画をバランスよく立案する必要がある。「寒中コンクリート施工指針・同解説(以下, 寒中指針とする)」¹⁾では, 調合計画は打込みから材齢28日までの予想平均気温が0°C以上の場合には, JASS5 5.5.2の方法が適用できるとしている。また, 打込みから材齢28日までの予想平均気温が0°C以下になる場合は, 採暖計画と合わせて, 積算温度と気象統計値を用い, 低温によるコンクリートの強度増進の遅れを予測し, 合理的に計画する手法が示されている。

計画の基本となる積算温度式は以下で示される。

$$M = \sum (T + 10) \Delta t \quad (1)$$

ここに, M : 積算温度(°C・D)

T : 期間 Δt のコンクリート温度(養生温度)の平均(°C)

Δt : 期間(日)

初期凍害を免れたコンクリートは, 計画に基づき継続的な保温養生が行われる。実施工で寒中施工が普及する中, 初期強度が得られた後の継続的な保温養生期間には, 採暖を行わず, 外気なりの気温の変動下で氷点下温度となっても, 強度が増進することが経験的に知られてきた。しかしながら, 計画立案の根幹となる式(1)で表され

る積算温度式は, 氷点下域での強度増進を表現できないため氷点下温度となる施工の計画ができない点が問題として指摘されていた²⁾。2010年版の寒中コンクリート施工指針・同解説¹⁾(以下, 寒中指針)資料3において, 氷点下の強度増進を適切に表現できる積算温度式が提案され, 氷点下温度での強度推定が可能となった。これにより, 施工計画は, (1)式の積算温度を氷点下温度までを含めた寒冷度の指標として活用して行い, 強度管理には, 実際の温度記録と氷点下域に対応した新しい積算温度式を用いることで, 課題となっていた氷点下域の強度増進を利用する施工が可能となった。

初期養生終了後に継続して行う養生において加熱養生を行わない場合には, 初期養生終了時に所定の強度を確実に得ることが必須となる。そのため, 初期養生温度を適切に設定し, 無理のない計画と施工時の厳密な管理を行くことが重要となる。しかしながら, 加熱養生時の養生温度については, 2015年版 JASS5 12節解説では5°Cを目標にするという記述があるのみである³⁾。2010年版寒中指針においても, 計画養生温度は5°C以上とすると記されているもののそれ以上の記述はない。5°Cは一つの目安となるものの, 気象条件, 時期や工程等の諸条件により, 異なる設定が必要であるが, 高い設定温度とすることは, 温度差によるひび割れの発生や長期強度増進を妨げるなどの影響が生じ, 好ましくない。

2011~2012年に日本建築学会北海道支部に特定課題委員会「寒中コンクリート工事合理化委員会」を設置し, 実際の寒中施工現場における初期養生時のコンクリート温度の計測を行い, 計画養生温度と構造体温度が乖離している事例が認められた。

以上から, 特定課題委員会の結果と合わせて, 北海道内の各地において, 気象統計データと調合計画と合わせて現実的な初期養生計画についてケーススタディを行った。

¹⁾ (地独) 北海道立総合研究機構建築研究本部北方建築総合研究所 研究主幹・博士(工学)
(〒078-8801 旭川市緑が丘東1-3-1-20)

²⁾ 室蘭工業大学大学院工学研究科 教授・博士(工学)

³⁾ (地独) 北海道立総合研究機構建築研究本部北方建築総合研究所 研究職員

¹⁾ Senior Research Manager, Hokkaido Research Organization, Building Research Dept. Northern Regional Building Research Institute, Dr. Eng.

²⁾ Prof., Muroran Institute of Technology, Dr. Eng.

³⁾ Researcher, Hokkaido Research Organization, Building Research Dept. Northern Regional Building Research Institute

表 1 実測現場の概要

記号	場所	建物用途	構造	打設日	計画初期養生温度 (°C)	初期養生での 採暖日数	上屋形式		設計基準強度/ 発注呼び強度
							屋根	側面	
2011-6	札幌市	共同住宅	RC	2/4	5	3	ユニット式	桢組足場+シート	36/40
2011-7				2/29	5	3			36/40
2011-8				3/16	5	3			36/40
2011-9	伊達市	老人保健施設	RC	12/19	15	2	簡易 (ブルーシート)	桢組足場+シート	27/33
2011-10	札幌市	共同住宅	RC	2/18	10	2	ユニット式	桢組足場+シート	36/42
2011-11	沼田町	体育館	S	12/26	10	4	単管足場板・コン パネ・シート	桢組足場+シート、フ ルシート二重張り	24/30
2012-4	札幌市	共同住宅	RC	12/17	10	2	簡易 (ブルーシート)	桢組足場+シート +ブルーシート	30/36
2012-5				11/16	20	6	簡易 (ブルーシート)	桢組足場+シート	21/30
2012-6				11/20	20	6			21/30
2012-7				12/4	20	6			21/30
2012-8				12/7	20	6			21/30
2012-9				12/19	20	6			21/27

2. 特定課題委員会「寒中コンクリート工事合理化委員会」で把握した現状

特定課題委員会「寒中コンクリート工事合理化委員会」（主査：谷口円）は、合理的な寒中コンクリート工事施工計画を立案するための実用的な構造体コンクリート温度予測にかかわる資料提供を目的に2011～2012年に設置され、異なる実施工現場において、外気、上屋内、構造体（打設したスラブのコンクリート温度）、管理供試体の温度データの収集・解析および積算温度と標準曲線を用いた強度推定手法の検証を行った。成果等詳細は既報^{4) 5)}を参照されたい。

表1に実測現場の概要を示す。実施工現場の測定は、北海道内の鉄筋コンクリート構造物の新築工事の6現場で行った。構造物の用途は、6現場のうち4現場がマンション、1現場が老人保健施設、1現場が体育館であった。計測は、2011、2012年の2冬、合計で12回（6現場）実施した。

上屋については、簡易的なブルーシートによるもの、打設後も継続設置されるユニット式上屋や単管、コンパネ、足場板とブルーシートから構成される上屋が設置されていた。側面養生は、大半が桢組足場に防災シート（一部透明シートの利用もあり）を張った養生であった。初期養生の計画期間は、2日から7日間であり、計画養生温度も5、10、15、20℃とさまざまであった。

図1に計画養生温度を横軸とし、縦軸に構造体温度と計画養生温度の差を取り、養生上屋の種別ごとに示す。計画養生温度が15℃までは構造体温度と計画養生温度の差がすべてプラスとなり、安全側に養生が行われている。20℃ではすべてマイナスとなり、構造体温度が計画養生温度を下回っていた。また、構造体温度が計画養生温度を下回るものは、すべて簡易養生上屋（ブルーシート）であった。簡易養生上屋（ブルーシート）では、計画養生温度を高く設定し過ぎると養生温度を確保できない場合があると考えられる。

図2に横軸に計画養生温度と外気温の差をとり、縦軸に構造体温度と計画養生温度の差の関係を示す。計画養生温度と外気との温度差が大きくなると、構造体温度が計画養生温度よりも低くなった。計画養生温度と外気の差が15℃程度までは、構造体温度が計画養生温度を下回ることにはなかった。15℃から20℃では、場合によっては、構造体温度が計画養生温度を下回るものがあり、20℃以上となると構造体温度は計画養生温度を下回る結果となった。

図1 計画養生温度と躯体温度と計画養生温度の差の関係

図2 計画養生温度と外気温の差と構造体温度と計画養生温度の差の関係

現行の計画手法、仮設資材等の範囲では、設定できる計画養生温度に上限があり、15℃程度までとすることが望ましいと考える。15℃以上に設定したい場合は、保温養生の計画手法について、別途信頼できる資料等に基づき、詳細な検討を行う必要がある。

3. ケーススタディ

ここでは、気象統計データと調合計画と合わせて現実的な初期養生計画について検討を行った。

3.1 条件設定

図3に工事計画立案の手順を示す¹⁾。

図3 工事計画立案の手順

養生の計画と調合の計画は密接に関連する。初期養生計画と継続養生のバランスを見ながら、考えていくことが肝要である。ここで検討する計画条件は以下とする。

- ・使用するセメントは普通ポルトランドセメント
- ・設計基準強度 F_c および耐久設計基準強度 F_q は、 24N/mm^2
- ・設計基準強度を確保する材齢（支保工の解体を行う材齢）は 28 日、構造体コンクリート強度を保証する材齢は 91 日
- ・初期養生は最長 1 週間まで実施、計画温度を $5\sim 15^\circ\text{C}$ とする
- ・継続養生に加熱養生を行わない。
- ・調合計画では、積算温度をもとに構造体強度補正值 S を求める。

計画条件と寒中指針表 4.3 より、構造体強度補正值 S が 9N/mm^2 の時は設計基準強度 F_c を確保できる積算温度の下限値の標準値が $210^\circ\text{D}\cdot\text{D}$ 、構造体コンクリート強度を保証する材齢までに必要となる積算温度が $360^\circ\text{D}\cdot\text{D}$ 、 6N/mm^2 の時はそれぞれ $285^\circ\text{D}\cdot\text{D}$ 、 $530^\circ\text{D}\cdot\text{D}$ となる¹⁾。

建設地は北海道内を想定し、寒中コンクリート期間の開始時期(11月上旬の地域、中旬の地域、下旬の地域)を気象条件の厳しさの指標として3つに区分し、その区分の中の代表的な都市(旭川, 札幌, 室蘭)について、検討することとした。

旭川, 札幌, 室蘭において、11月から3月末の間の全日について、各日を打設日として寒中コンクリート工事を行う場合に必要となる初期養生をパターン分けし、継続養生に加熱養生を用いない場合に得られる材齢 28 日および 91 日での積算温度を算出した。算出した積算温度値をもとに調合計画（構造体強度補正值）と初期養生計画とのバランスについて検討した。初期養生計画のパターンは、 $5^\circ\text{C}3$ 日 ($45^\circ\text{D}\cdot\text{D}$)、 $10^\circ\text{C}3$ 日 ($60^\circ\text{D}\cdot\text{D}$)、 $5^\circ\text{C}5$ 日 ($75^\circ\text{D}\cdot\text{D}$)、 $5^\circ\text{C}7$ 日 ($105^\circ\text{D}\cdot\text{D}$)、 $10^\circ\text{C}6$ 日 ($120^\circ\text{D}\cdot\text{D}$)、 $15^\circ\text{C}7$ 日 ($175^\circ\text{D}\cdot\text{D}$) とした。

検討に用いる気象条件は気象庁が提供している平年値 2010⁹⁾を用いた。

3.2 結果と考察

図4に11月から3月末までの各日において、初期養生を6パター

ンとした際に計画で得られる材齢 28 日までの積算温度、図5に材齢 91 日までに得られる積算温度を示す。

図4中の $S=6$ 285DD, $S=9$ 210DD とあるのは、設計基準強度 F_c を確保できる積算温度の下限値の標準値が、構造体強度補正值 S は 6N/mm^2 の時 $285^\circ\text{D}\cdot\text{D}$ 、 S が 9N/mm^2 の時は、 $210^\circ\text{D}\cdot\text{D}$ であることを表す。図5中の $S=6$ 530DD, $S=9$ 360D とあるのは、構造体コンクリート強度を保証する材齢 91 日までの積算温度の下限値が構造体強度補正值 S は 6N/mm^2 の時 $530^\circ\text{D}\cdot\text{D}$ 、 S が 9N/mm^2 の時は、 $360^\circ\text{D}\cdot\text{D}$ であることを表す。

旭川では、材齢 28 日までに必要となる積算温度の下限値について、構造体強度補正值 $S=6$ では、12 月から 2 月半ばにおいて、設定した初期養生の範囲では確保できないこととなった。構造体強度補正值 $S=9$ では、 $15^\circ\text{C}7$ 日の初期養生の場合のみ、冬期間を通して確保できていた。初期養生を $5^\circ\text{C}7$ 日 ($105^\circ\text{D}\cdot\text{D}$) としても、12 月初旬から 2 月半ばまでは所定の積算温度が得られない結果となった。寒冷条件の厳しい地区は、11 月の向寒期の施工では、継続養生での加熱養生なしでは、積算温度の加算が期待できないと考えられる。

材齢 91 日までに必要となる積算温度は、構造体強度補正值 $S=6$ では、11 月中旬から 12 月下旬の打込み日の場合には、設定した初期養生の範囲では確保できないこととなった。構造体強度補正值 $S=9$ では、初期養生の条件にかかわらず、冬期間を通して概ね確保できていた。

札幌では、材齢 28 日までに必要となる積算温度の下限値について、構造体強度補正值 $S=6$ では、 $15^\circ\text{C}7$ 日の初期養生の場合のみ、冬期間を通して確保できていた。そのほかの養生では、12 月から 2 月後半において、確保できない時期があった。構造体強度補正值 $S=9$ では、 $5^\circ\text{C}3$ 日、 $10^\circ\text{C}3$ 日を除くと、冬期間を通して概ね確保できていた。

材齢 91 日までに必要となる積算温度は、いずれの構造体強度補正值、初期養生条件でも、冬期間を通して概ね確保できていた。

室蘭では、材齢 28 日までに必要となる積算温度の下限値について、構造体強度補正值 $S=6$ では、 $10^\circ\text{C}6$ 日、 $15^\circ\text{C}7$ 日の初期養生では、冬期間を通して確保できていた。そのほかの養生では、12 月から 2 月後半において、確保できない時期があった。構造体強度補正值 $S=9$ では、すべての初期養生条件で冬期間を通して概ね必要な積算温度が確保できていた。

材齢 91 日までに必要となる積算温度は、いずれの構造体強度補正值、初期養生条件でも、冬期間を通して概ね確保できていた。

以上から、気象条件の厳しい旭川では、構造体強度補正值を 9N/mm^2 としても、 $15^\circ\text{C}7$ 日 ($175^\circ\text{D}\cdot\text{D}$) 以上の初期養生を行う必要がある。

札幌では、構造体強度補正值を 9N/mm^2 としても、12 月下旬から 1 月下旬では、初期養生を 5°C で 5 日 ($75^\circ\text{D}\cdot\text{D}$) 以上行う必要がある。旭川, 札幌などの状況では、打設時期もふまえて、継続養生において適宜必要な加熱養生を行うことが効率的と考えられる。

室蘭では、構造体強度補正值を 9N/mm^2 とすれば、初期養生は $5^\circ\text{C}3$ 日行うことで、冬期間を通じて施工可能であった。

今後は積算温度を寒冷度の指標とし、各地域について、寒冷度と養生条件の関係を整理し、まとめる予定である。

4. まとめ

図4 材齢28日に得られる積算温度

図5 材齢91日に得られる積算温度

本検討の結果を以下にまとめる。

- ・初期養生における計画温度は原則、上限を15℃程度にすることが望ましい。
- ・北海道内の寒冷な地域では、構造体強度補正値を 9N/mm^2 としても、初期養生のみでは、必要な積算温度が確保できず、初期養生後に必要加熱養生が必要な時期がある。
- ・北海道内でも比較的温暖な地域では、初期養生を5℃3日程度行うことで必要な積算温度が確保できる場合がある。

謝辞

本報告の一部は、2011～2012年日本建築学会北海道支部特定課題委員会「寒中コンクリート工事合理化委員会」(主査：谷口円)の成果を元に検討を進めたものである。多大な御協力を頂いた関係各位に心から謝意を表します。

参考文献

- 1) 寒中コンクリート施工指針・同解説、日本建築学会、2010
- 2) Madoka TANIGUCHI, Osamu KATSURA, Yukio HAMA: A PROPOSAL OF TEMPERATURE-TIME FUNCTION ON THE STRENGTH DEVELOPMENT OF CONCRETE UNDER SUB-ZERO TEMPERATURE, Journal of Structural and Construction Engineering (Transactions of AIJ), Volume 74, Issue 640, pp. 995-1003, 2009 (in Japanese)

谷口円, 桂修, 濱幸雄: 氷点下のコンクリート強度増進と温度時間関数: 日本建築学会構造系論文集, Vol. 74, No. 640, pp. 995-1003, 2009

- 3) 建築標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート工事 2018, 日本建築学会, 2018
- 4) Madoka TANIGUCHI, Takayuki FUKASE, Osamu KATSURA, Yukio HAMA: Temperature of structure, outdoor and environment in real construction site: Part1 The outline of measurement and results in summer, Summaries of technical papers of annual meeting, pp. 385-386, 2013, Architectural Institute of Japan (in Japanese)
谷口円, 桂修, 深瀬孝之, 濱幸雄: 実施工現場におけるコンクリート, 外気, 環境温度その1 測定概要と夏期の結果, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 385-386, 2013
- 5) Takayuki FUKASE, Madoka TANIGUCHI, Yukio HAMA, Takuya HASEGAWA: Temperature of structure, outdoor and environment in real construction site: Part2 The measurements in winter, Summaries of technical papers of annual meeting, pp. 387-388, 2013, Architectural Institute of Japan (in Japanese)
深瀬孝之, 谷口円, 濱幸雄, 長谷川拓哉: 実施工現場におけるコンクリート, 外気, 環境温度その2 冬期の結果, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 387-388, 2013
- 6) 平年値 2010 統計期間 1981年～2010年 第3版, 気象業務支援センター

[2020年5月19日原稿受理 2020年9月4日採用決定]