



寒中コンクリート技術の課題と動向

メタデータ	言語: jpn 出版者: 株式会社セメント新聞社 公開日: 2016-02-16 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 濱, 幸雄 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10258/3856

寒中コンクリート技術の課題と動向

著者	濱 幸雄
雑誌名	月刊コンクリートテクノ
巻	35
号	1
ページ	31-36
発行年	2016-01-01
URL	http://hdl.handle.net/10258/3856

寒中コンクリート技術の課題と動向

濱 幸雄

1. はじめに

土木学会「コンクリート標準示方書」¹⁾、日本建築学会「建築工事標準仕様書 (JASS 5)」²⁾ および「寒中コンクリート施工指針」³⁾ では、コンクリートが凍結するおそれのある時期に施工するコンクリート工事を寒中コンクリートとして、その適用期間を定めている。

寒中コンクリートは、寒冷地における建設工事の通年化の基本であり、関連設備の有効活用、労働者の恒常的な雇用など地域経済の活性化に対しても大きな意義がある。しかしながら、強度補正によるコンクリートコストの増加、養生のための上屋・加温、積雪対策などの付加的経費が必要となるため、寒中コンクリートに対する積極的な取り組みを阻害する要因となっている。

また、熱効率の悪い上屋内部を暖めるというエネルギー多消費型の従来の手法に代わる、省資源・省エネルギー型および地球環境保全をも視野に入れた多様な工法の開発が望まれている。近年では、低温下での強度増進性状を改善する耐寒促進剤の利用技術や打設後のコンクリートの発熱を有効に利用し、その温度履歴を予測して施工計画を行う方法などが提案・実用化されている⁴⁾。

本稿では、寒中コンクリートの施工技術に関する課

筆者：(はま・ゆきお) 室蘭工業大学大学院くらし環境系領域 教授

題と動向を紹介する。

2. 寒中コンクリート施工技術の概要

寒中コンクリートで最も大切なことは初期凍害の防止であるといっても過言ではない。初期凍害は、硬化の初期段階のコンクリート中で水分が凍結することによって生じ、コンクリートの硬化後の強度や耐凍害性など所定の性能を得ることが困難となるばかりか、その後の強度発現がほとんど得られないほどの状況になる場合がある。この初期凍害の防止には、AE剤またはAE減水剤により所要の空気量を確保することと、打設後のコンクリートが所定の圧縮強度となるまで凍結させないように初期養生を行うことが基本である。初期凍害防止のために必要な圧縮強度は $5.0\text{N}/\text{mm}^2$ とされている。

一方、低温による強度発現の遅れに対しては、温度による配(調)合の補正および保温(加熱)養生による対応がなされている。特に建築工事では、躯体工事後に仕上げ工事があり、計画された所定の材齢でせき板および支保工を解体する必要があるため、計画された材齢において所定の強度を得ることを目的として、予想される養生温度に対応した強度の不足分を上乗せした調合設計がされている。

低温がきびしい場合、養生のための環境を人為的につくる必要がある。一般には写真-1に示すように、仮設上屋で覆い、その内部をヒータなどであたためる方法がとられる。仮設上屋は、コンクリートの養生温



写真-1 養生上屋内部の状況

度の確保だけでなく、寒い時期における労働環境の保持にも役立ち、降雪に対する対策を容易にする。このような作業空間の構造的な安全性の検討も必要であり、また特殊な工事ではエアードームの利用も試みられている。

なお、土木と建築の分野では寒中コンクリートの取扱いの規定および用語に表-1に示すような差異がある。

3. 寒中コンクリート工事の適用期間

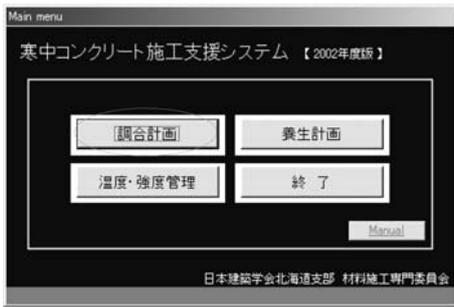
寒中コンクリート工事の適用期間は、気温によって定められている。コンクリート標準示方書では「日平均気温が4℃以下になると予想される期間」、JASS 5では「打込み日を含む旬の日平均気温が4℃以下の期間」および「コンクリートの打込み後91日までの積算温度が840° D・Dを下回る期間」のいずれかに該当する期間とされている。建築と土木での寒中コンクリー

トの適用期間の違いは、土木では初期凍害のみを対象としているのに対して、建築では低温による強度発現の遅れに対する対応も考慮に入れているためである。

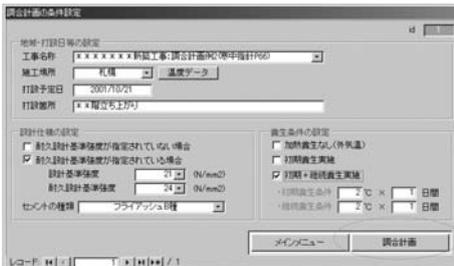
JASS 5では、1965年の大改定時に当時の強度上の水セメント比65%のコンクリートで標準養生・材齢28日の強度に対する温度による強度低下率が25%となる条件が370° D・Dであることを根拠に、「コンクリートの打込みから28日までの外気温について求める積算温度が370° D・D以下の期間（この間の日平均気温の平均値が3.2℃以下となる期間に相当する）」と定義され、2003年版JASS 5まで踏襲されてきたが、2009年の大改定で寒中コンクリートにおける初期凍害の防止と低温による強度発現の遅れに対する対応という2つの目的を明確にし、初期凍害防止対策を講じなければならない期間として「打込み日を含む旬の日平均気温が4℃以下の期間」を、材齢91日までに構造体コンクリートで品質基準強度を確保するために、低温による強度発現の遅れに対する調合上の対策および養生条件の検討が必要となる期間として「コンクリートの打込み後91日までの積算温度が840° D・Dを下回る期間」を対応させるように変更された。この変更により、初期凍害を対象とした気温の条件が土木と建築で整合するとともに、北海道では初期凍害対策と強度増進対策の両方が必要となり、本州では初期凍害対策のみが必要となる地点が多いというように、地域の気象条件の違いと必要な対策が明確になった。

表-1 土木分野と建築分野における寒中コンクリートの取扱い上の比較

		土木 (RC示方書)	建築 (JASS 5)
寒中コンクリートの期間		日平均気温が4℃以下と予想される とき	以下のいずれかに該当する期間 1) 日平均気温が4℃以下 2) 材齢91日までの積算温度 M_{91} が840° D・D未満
強度増進の遅れに対する対応		特になし	調合の補正
初期養生終了時の圧縮強度		部材条件により4段階に区分	5.0N/mm ²
コンクリート温度		打込み時に5~20℃	荷卸し時に10~20℃
関 養 生 方 法 に 用 語	コンクリート温度を保つための 養生方法の総称	温度制御養生 (暑中コンクリート、マスコンク リート、工場製品の養生を含む)	保温養生
	断熱型枠、シート類を用いる養 生	保温養生	無加熱養生 (断熱型枠：断熱養生) (シート類：被覆養生)
	ヒーターなどを用いる養生	給熱養生	加熱養生



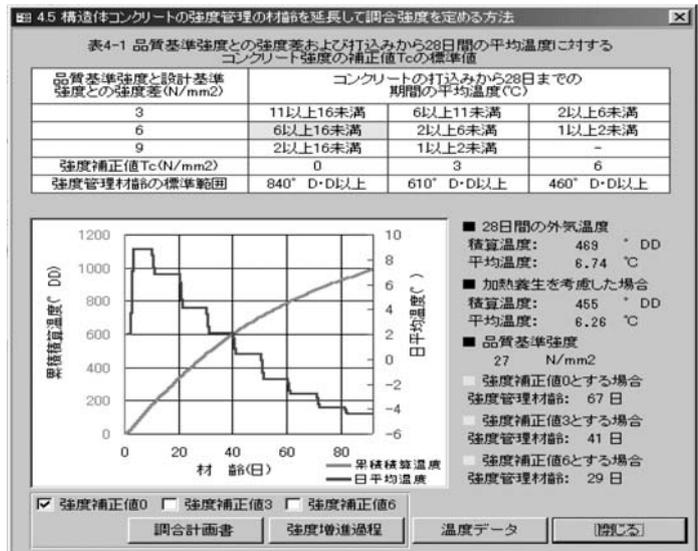
■メインメニュー



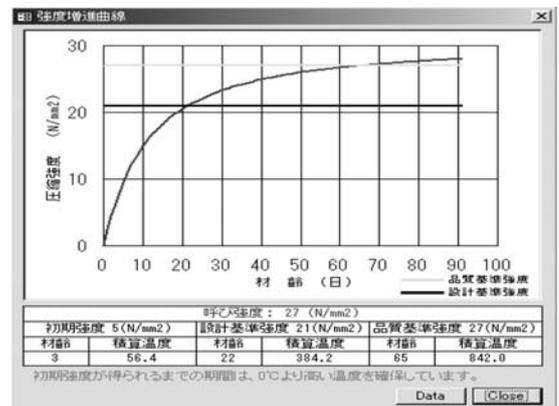
■調査条件の設定



■調査計画書の作成



■調査計画関連情報



■強度増進過程の表示

図-1 寒中コンクリート施工支援システム (©M'sシステム)

4. 寒中コンクリート施工支援システム

寒中コンクリート工事では、施工時期・工程、養生、配（調）合、養生囲い、管理、予算など工事全般にわたって、絶えずフィードバックを繰り返しながら、全体として無理のないバランスのとれた計画を立案する必要がある。実務において寒中コンクリートの計画を行う際には、各種指針類、気象資料、過去の施工計画書を参考にして、配（調）合・養生などの条件を変えた煩雑な計算を行い、コンクリートの要求品質を確保するとともに、経済的な計画を立案しなければならず、ベテランの技術者にとっても骨の折れる作業である。

日本建築学会北海道支部「コンクリートの調査設計

研究委員会」では、2002年に「寒中コンクリート施工指針・同解説」(1998年版)に対応した調査計画・養生計画・強度管理をパソコン上で簡便に実施できる施工支援システムを開発した。このシステムは、図-1に示すように、メインメニューを中心として調査計画・養生計画・温度および強度管理機能で構成されており、各工事物件および各部位別に効率的なデータ管理および調査計画書、養生計画書、実績温度記録表、強度推定書の出力が可能である。北海道内では、ゼネコン、生コンプラント等の多くの実務者に利用され、これまでの多大な時間を要した手計算から解放され各種算定業務の効率化が図られており、2009年版 JASS 5 および2010年版寒中指針に対応したシステムがシェアウエ

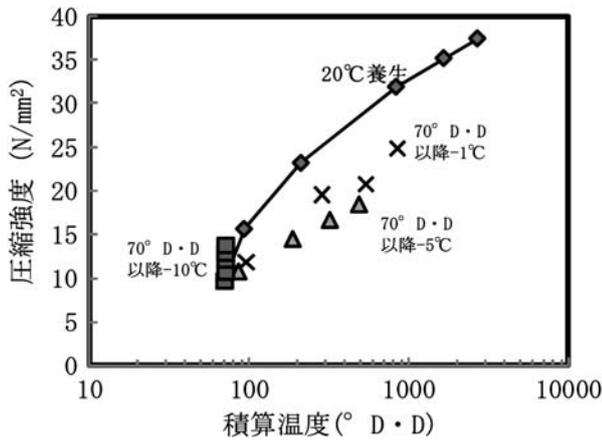


図-2 凍結状態に保持した場合の積算温度と圧縮強度の関係

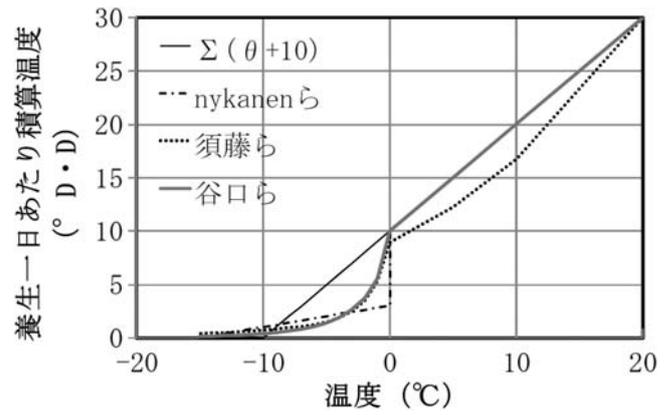


図-3 養生温度に対する1日あたり積算温度

アで入手することができる。

しかし、このような支援システムの功罪として、計画のプロセスがブラックボックス化し、誤った施工がなされる危険性もあることから、利用者にはこれまで以上に寒中コンクリートに関する十分な理解が要求されることを忘れてはならない。

5. 氷点下の積算温度と強度増進の関係

建築分野では積算温度が調査計画および強度の管理に広く利用されている。一方、土木分野では配合の決定に積算温度を使っていないが、強度の目安を得る手法として積算温度が利用されている。積算温度関数式の基準温度は一般に -10°C であり、 -10°C 以上では得られる積算温度が同じになれば、強度も同じであることを意味している。ただし、この積算温度と強度との関係式は実験式であり、導出のための実験の温度範囲が 0°C 以上の範囲であるため、その適用は 0°C 以上に限られる。しかしながら、寒中コンクリート工事が行われるような地域では、継続養生終了後にコンクリート温度が 0°C 以下となる場合があり、厳密には現状では積算温度による強度の管理ができないこととなる。原則論に従って 0°C 以下の温度範囲で得られる積算温度を無視することは寒中コンクリート工事での工学的な対応とはいえ、特に強度発現の管理を重視する建築分野では大きな課題となっていた。

図-2に積算温度式を使って算出した積算温度を用いて、氷点下のコンクリートの強度増進を 20°C 養生

の結果と比較して示す⁴⁾。凍結状態が持続された条件では、同じ積算温度の凍結していないコンクリートの強度よりもかなり小さくなり、その傾向は温度の低いものほど顕著となる。しかし、 -10°C においても、長期材齢ではわずかながら強度増進が認められる。

氷点下の強度増進を表すための温度時間関数としては、古くからニケネンの補正係数を用いた(1)式による積算温度が知られていた。

$\theta \leq 0$ の時

$$M = \Sigma 0.2(\theta + 15) \Delta t \quad (1)$$

ここに、 M : 積算温度 ($^{\circ}\text{D}\cdot\text{D}$)

θ : Δt のコンクリート温度 ($^{\circ}\text{C}$)

Δt : 温度測定間隔 (日)

また、須藤ら⁵⁾は乾燥、凍結による水の化学ポテンシャル変化に着目し、Arrhenius則で記述した反応速度定数の見かけの活性化エネルギーの変化から算出した等価材齢を積算温度に換算する等価積算温度を提案していた。さらに最近では、谷口ら⁶⁾が氷点下を含む広い範囲の一定温度での実験結果から、凍結による水の化学ポテンシャル低下を考慮した以下の積算温度式(2)、(3)を提案している。

$\theta \geq 0$ の時

$$M = \Sigma (\theta + 10) \Delta t \quad (2)$$

$\theta < 0$ の時

$$M = \Sigma 10 \times \exp(-0.60 \times (-\theta)^{0.74}) \Delta t \quad (3)$$

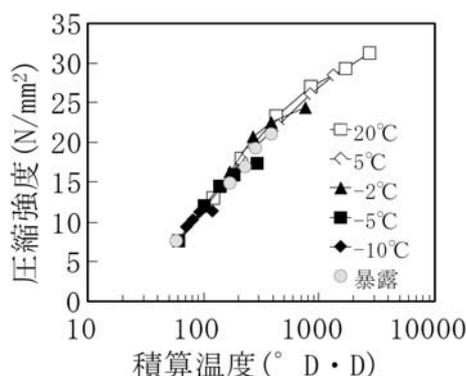


図-4 氷点下のコンクリートの積算温度と圧縮強度の関係

図-3に各温度養生一日あたりで算定される積算温度を算出式別に示す。0°C以上での式を氷点下に適用した場合に比べ、ニケネンの式では、0°Cを境に一定温度条件で得られる積算温度が顕著に低下しているが、谷口らの式では0°Cをはさみ連続的に積算温度が算出されていることがわかる。また、図-4に北海道旭川市の寒中コンクリート期間に屋外暴露養生を行ったコンクリートでの圧縮強度増進実験の結果を(2)および(3)式で整理した結果を示すが、上記の提案式により氷点下のコンクリートの強度増進が、0°C以上で養生したコンクリートで得られる積算温度と圧縮強度の関係と同じに表せることが確認されている。このような近年の新たな研究成果により、寒中コンクリート工事全般で取り扱いに苦慮してきた大きな課題が解消できるものと考えられる。

6. 初期材齢の凍結が耐久性に及ぼす影響と初期凍害の評価指標

初期凍害の防止のためには打込み後から硬化の初期段階のコンクリートを凍結させないことが鉄則であるが、向寒期の施工や仕上げモルタルまたは軽微な構造物等では十分な養生や温度管理が行われず、予期せぬ寒波での凍結事例も散見される。初期材齢の凍結の影響を評価する方法として、実験・研究における供試体レベルでは、凍結後の強度回復の程度で被害の程度を評価するのが一般的であるが、オーソライズされた判定基準は存在していない。また、実構造物では、施工空間やコンクリートの温度、目視による凍結の有無で初期凍害を判定しているが、コンクリートの物性で直

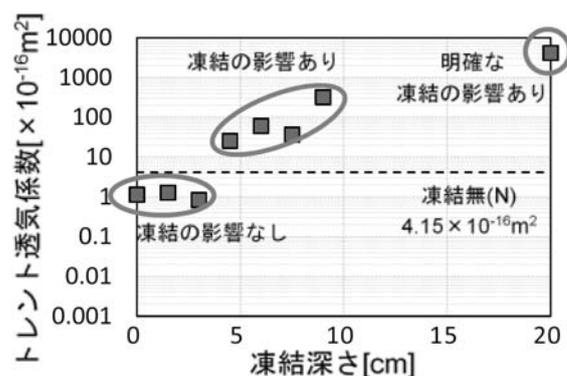


図-5 凍結深さ（露出高さ）とトレント透気係数の関係

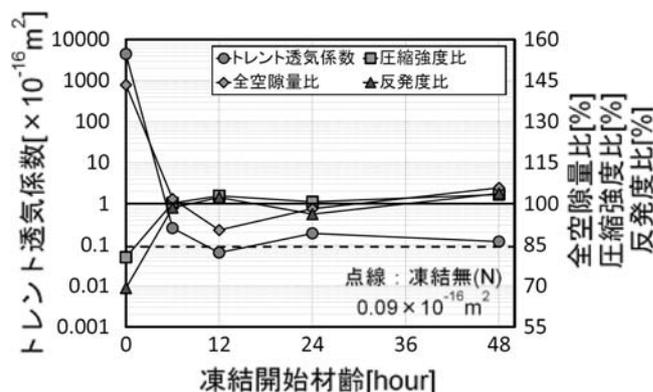


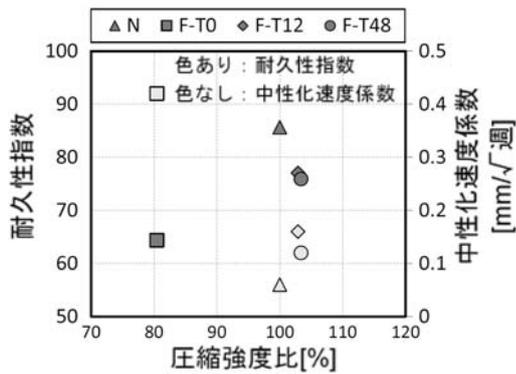
図-6 凍結開始材齢とトレント透気係数、全空隙量、圧縮強度、反発度の関係

接評価する方法はないのが現状である。

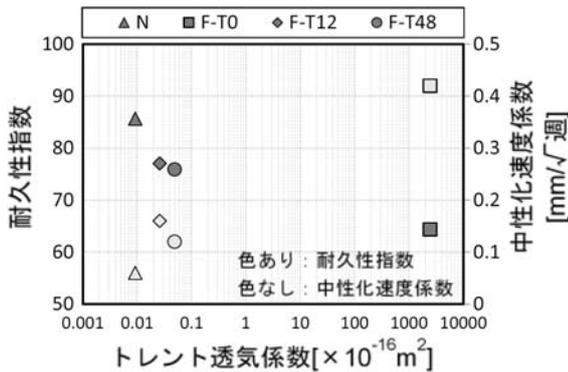
近年、原位置かつ非破壊でコンクリートの透気性を評価できる手法として、トレント法（ダブルチャンバー法）による透気試験方法が注目されており、初期凍害に起因する組織の粗大化による透気性の変化を把握することで被害程度の評価が可能と考えられる

図-5に供試体作製後直ちに-20°Cで凍結深さを変化させて24時間凍結させた後、20°Cで28日間の回復養生を行なった供試体と凍結なしの20°Cで材齢28日養生した供試体のトレント透気係数を比較して示す。トレント透気係数は、凍結の影響により増大しており、凍結深さ（露出高さ）が大きいほど透気係数が大きくなっている。このことは、初期材齢時の凍結による被害の程度や影響深さをトレント透気係数が反映していることを示唆している。

図-6に凍結開始材齢を変化させた場合のトレント透気係数（凍結後の回復養生材齢1日）および回復養生材齢28日における凍結なし供試体に対する圧縮強度比、全空隙量比、反発度比を示す。トレント透気係数



(1) 圧縮強度比を指標とした場合



(2) トレント透気係数を指標とした場合

図-7 初期凍害の程度が凍結融解抵抗性および中性化速度係数に及ぼす影響

は、凍結開始材齢0時間（打設直後）が非常に大きな値を示しているが、6時間以降では凍結なしの条件と大きな差がなくなっている。圧縮強度比、反発度比、全空隙量比についても同様に、凍結開始材齢0時間だけが凍結なしと比べて凍結の影響を大きく受けているものの、6時間以降では凍結なしとの差がなくなっている。このことから、トレント透気係数は圧縮強度比、反発度比、全空隙量比と同様に、初期凍害の評価指標として利用可能であるといえる。

図-7に初期凍害の程度が凍結融解抵抗性および中性化抵抗性に及ぼす影響を示す。なお、初期凍害の程度の評価指標として、トレント透気係数（凍結後の回復養生材齢1日）および回復養生材齢28日における凍結なし供試体に対すると圧縮強度比を用いている。初期凍害の評価指標を圧縮強度比とした場合には、初期の凍結の影響で圧縮強度比が低下すると、耐久性指数

が低下し、中性化速度係数が増大する傾向を示しているものの、同程度の圧縮強度比で耐久性指数および中性化速度係数に大きな差が見られることから、耐久性に対する初期凍害の影響を表す指標としては適していないといえる。一方で、トレント透気係数を用いた場合には、耐久性指数および中性化速度係数の変化をほぼ直線関係で表すことができている、初期凍害の評価指標としてトレント透気係数が有効であることがわかる。

以上のように、トレント透気係数を指標とすることで、これまで評価できなかった実構造物での初期凍害の被害の程度と耐久性に及ぼす影響を非破壊で定量的に評価できることが明らかとなり、寒中コンクリートの品質管理の精度向上に寄与できるものと考えている。

7. おわりに

寒中コンクリートの技術は、材料の開発と施工法の進歩とともに発展してきており、現段階ではその技術的課題はほぼ克服された段階にあるといえる。しかしながら、CO₂削減が叫ばれる現在、さらなる脱皮が必要である。

【参考文献】

- 1) 土木学会：コンクリート標準示方書，2007
- 2) 日本建築学会：建築工事標準仕様書5 鉄筋コンクリート工事，2009
- 3) 日本建築学会：寒中コンクリート施工指針・同解説，1998
- 4) 北海道立北方建築総合研究所：寒冷期におけるコンクリート工事の新技術ガイド，北海道建築指導センター，1999
- 5) 須藤由美子，桂 修，吉野利幸，三森敏司，濱 幸雄：凍結および乾燥を受けたセメント硬化体の水和反応速度と強度増進，日本建築学会構造系論文集，第542号，pp.17-22，2001.4
- 6) 谷口 円，濱 幸雄，桂 修：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，第640号，pp.995-1004，2009.6