

コンクリートの発熱特性を利用した寒中コンクリートの 施工方法及び品質管理方法に関する研究

学位論文内容の要旨

地球環境破壊の加速化や、阪神大震災の大きな被害、また相次ぎのコンクリート構造物の品質・安全事故などから、環境保全や品質・安全保証などの重要性が叫ばれている昨今、建設現場、特にエネルギーの消費の大きい寒冷期におけるコンクリートの施工現場においては、高品質保証を前提とした省エネルギーかつ合理的な施工・管理方法が要求されている。なお、建築基準法の性能規定型の移行に伴い、設計・施工の方法が多様化も期待されている。

本一連の研究は、このような時代と社会な要請を応じて、打込まれたコンクリートの発熱特性を有効利用した施工・管理の技術を研究・開発したものとして、従来の主流となる養生上屋を設けて加熱養生の低減またはなくすや、大型構造物の品質・耐久性の向上及び低コストかつ合理的な施工・管理が実現できるようになった。

本研究では、寒中コンクリート工事の施工と管理の両面で、コンクリートの発熱特性等を明らかにする上に、それを有効に利用する方法として、「寒中ホットコンクリート施工技術」、「低発熱型セメントを用いる寒中マスコンクリート施工技術」及び「簡易断熱養生箱を用いた寒中コンクリート強度管理方法」技術を確立させ、さらに、すでに確立された他のコンクリートの発熱特性を利用した寒中施工技術を加えて、総合的な寒中施工・管理システムを提案するものである。

本論文は、6章から構成されており、各章における検討内容は、以下のように要約される。

第1章「序 論」：この章では、本研究の背景及び研究対象を概説すると共に、研究と関連する既往研究を調査して問題点を指摘する上に、本研究の位置付け・目的を示した。

第2章「寒中コンクリート技術としたホットコンクリート」：この章では、コンクリート発熱特性を生かして寒中施工に利用する方法としてのホットコンクリートの技術に関する検討したものである。

一般の寒中工事では、主に養生上屋を設けて施工作業空間を暖める加熱養生を用いている。エネルギーを大量消費するにも拘わらず、熱効率もそれほど期待できない。

このため、本研究の中では、寒中施工する際、コンクリートの打込み温度を高め、コンクリートの大きい熱容量が利用することによって、コンクリート温度が降下する間に積算温度の増加による強度増進の促進され、初期凍害を防止する一つの手段として、ホットコンクリートの寒中施工への利用する方法に関して検討した。

第3章「低発熱セメントの寒中マスコンクリート施工への適用」：この章では、寒中マスコンクリートの有害な温度ひび割れの発生を防止するため、コンクリートの水和熱を抑制効果のある低発熱型セメントを利用する技術に関する検討したものである。

原子力発電所の鉄筋コンクリート施設のようなマッシブな部材を持つマスコンクリートの寒中施工では、低い外気温と水和熱を大量に蓄積されたコンクリートの間に温度差が大きい、そのた

めに部材内部と表面との温度差が大きくなり、内部拘束によるひび割れが発生しやすくなる。また、コンクリート部材の最高温度とその後平均外気温まで冷える温度差が大きい場合、外部拘束ひび割れが発生する恐れがある。この有害な温度ひび割れを起こす内外の高い温度差を抑制する必要がある。

このため、本研究の中では、寒中でもマスコンクリートの有害な温度ひび割れの発生を防止するため、コンクリートの水和熱を抑制効果のある低発熱型セメントを利用する技術に関する検討した。これは、コンクリートの発熱特性を逆に利用する(コンクリートの水和発熱を抑制する)施工法であると言えるであろう。

第4章「簡易断熱養生箱を用いた寒中コンクリートの温度・強度管理方法」：この章では、コンクリートの発熱特性を利用した寒中コンクリートの管理方法として、簡易断熱養生箱を用いた強度管理方法について検討したものである。

寒中施工においては、打込まれたコンクリートの温度・強度を適切に把握するからこそ成り立つものであるとされている。一般に、実施工された構造体コンクリートの強度は、一般に直径が10cmで高さが20cm($\Phi 10 \times 20\text{cm}$)の現場封かん養生供試体による管理する。しかし、この強度管理方法では、供試体コンクリートの単位容積当たりの表面積は、構造体コンクリートより非常に大きい、水和発熱が表面から大量に発散することなどから、供試体コンクリートと構造体コンクリートの温度履歴は大きく相違し、適切な温度・強度管理が困難となる。

このことから、構造体コンクリート強度管理のための合理的な供試体養生方法として、実施工コンクリート構造物の実際の温度履歴に追従する温度条件を、自動的に供試体に与える方法「温度追従養生」を開発された。この管理システムは、技術的に優れるが、設備等が高価で一般の中小規模の建設現場などでは使用が困難な場合も多い。

一方、適当な厚さの断熱材で作った簡易断熱養生箱内に置かれた封かん養生供試体が、コンクリートの水和反応による水和熱が蓄積され、構造体コンクリートと類似した温度履歴、強度発現を示すことを利用した簡易断熱養生は、比較的合理で安価な方法であるため、中小規模の建設現場にも簡易に利用できるのが大いに注目されている。しかし、簡易断熱養生箱の条件は、構造体コンクリートの条件との対応関係がまだ明らかになっていないのが現状である。

このため、本研究の中では、構造体コンクリートの温度履歴に対応した簡易断熱養生条件を究明するなど、簡易断熱養生箱による実施工の寒中コンクリートを簡便かつ合理的に温度・強度を管理する方法として検討を行った。

第5章「コンクリート発熱特性を考慮して寒中コンクリートの施工及び品質管理への提案」：この章では、本研究における検討したコンクリート発熱特性を利用した寒中コンクリートの施工・管理技術を実務的寒中施工に適用するには、利用方法や、使用条件・範囲及び留意点・注意事項等を明示する上に、すでに確立された他のコンクリート発熱特性を利用した寒中コンクリート技術を加えて、環境保全に寄与できる総合的な省エネルギー・高品質保証の寒中施工・管理システムを提案した。この提案の実施することによって、寒中施工は、省エネルギー、かつ安全合理的に容易に行えると思われる。

第6章「総括」：この章では、本研究を総括し、得られた成果を要約すると共に、今後の課題と展望を述べた。

本研究で検討した技術を加えることによって、寒中コンクリート施工・管理技術は、現段階では一つ完結した形となった。コンクリート技術の多様化、高度化が求めている社会的なニーズに応じるように、寒中施工・管理に多くの選択肢の提供することでき、寒冷期においても寒中施工がスムーズに行えることから、積雪寒冷地の地域経済活動の活性化に貢献できる技術として、その有効利用がますます期待されると考えられる。

学位論文審査の要旨

主 査	教 授	友 澤 史 紀
副 査	教 授	石 山 祐 二
副 査	教 授	佐 伯 昇
副 査	助教授	千 歩 修
副 査	助教授	名 和 豊 春

学 位 論 文 題 名

コンクリートの発熱特性を利用した寒中コンクリートの 施工方法及び品質管理方法に関する研究

寒冷期におけるコンクリートの施工は寒冷地において重要なものであり、わが国では養生上屋、加熱および調合補正を組み合わせた寒中コンクリートが一般的な方法として実用化されている。しかしながら、このような空間およびコンクリートに加熱を行う施工方法は、エネルギーの消費が大きく、コンクリートが過剰品質の傾向となることが指摘されており、資源問題や品質管理等の重要性がさげられる昨今、省エネルギーかつ合理的で確実な施工・管理方法が要求されている。

本研究は、コンクリートの打込み温度を高めてコンクリートの大きな熱容量とコンクリート温度が低下する間の強度増進を期待する「寒中ホットコンクリート」、寒中マスコンクリートの水和熱と低温の外気との間の温度差による温度ひびわれ防止方法のひとつとしての「低発熱形セメントを用いる寒中マスコンクリート」および寒中において封緘供試体と構造体の温度履歴の差が大きくなる強度管理上の問題を合理的に解決するものとして「簡易断熱養生箱を用いた寒中コンクリート強度管理方法」を提案したものであるが、このために必要な技術、すなわち、ホットコンクリートの性状把握と改善、打ち込まれたコンクリートの発熱特性の有効利用等、様々な技術において多くの新しい知見を得ている。

本論文の成果とその評価を要約すると以下ようになる。

1) ホットコンクリートで問題となるスランプロス、強度増進等の問題に対して混和剤の効果、コンクリート温度の影響を明確にしている。これにより、コンクリートの温度が高くなることによる弊害を最小限の範囲で使用することを可能としている。また、部材条件、外気温およびコンクリート温度の関係を明確にし、初期凍害を受けないためのホットコンクリートの適用条

件を示している。これにより、寒中コンクリートにおけるホットコンクリートの有効利用のための条件が明らかになったものと評価される。

2) 低発熱形セメントを寒中コンクリートに利用するために必要なものとして、このセメントを用いたコンクリートの初期凍害抵抗性、強度増進、調合計算における温度補正值のデータを示し、また、寒中コンクリートにおける低発熱形セメントのマスコンクリートの温度びびわれ防止効果を明らかにしている。これにより、低発熱形セメントの寒中コンクリートへの有効利用のための条件が明確になったものと評価される。

3) 簡易断熱養生箱を用いた寒中コンクリートの強度管理方法を提案し、断熱材厚さを調整した断熱養生箱の断熱性と各種部材の温度履歴の関係を明らかにすることにより、この方法の実用性を明らかにしている。一般に、実施工の構造体コンクリートの強度は、現場封かん養生供試体による管理されるが、この方法で寒中コンクリートの管理を行うと、セメントの水和熱の効果が適切に評価されず、供試体コンクリートと構造体コンクリートの温度履歴は大きく異なり、コンクリートが過剰品質となってしまう。このような条件における強度管理方法として実際の施工コンクリート構造物の温度履歴に追従する温度条件を、自動的に強度管理用供試体に与える方法（温度追従養生）が開発されている。しかしながら、この管理システムは、技術的に優れているものの、設備等が高価で一般の中小規模の建設現場などでは使用が困難であった。ここで提案された簡易断熱養生箱を用いる管理方法は、安価で中小規模の建設現場にも簡易に利用できるものであり、寒中コンクリートの強度管理を合理的に、確実に、かつ容易に行う方法として評価される。

これを要するに、著者は、コンクリートの発熱特性を寒中施工に有効に利用することに着目し、寒中ホットコンクリートの性状の解明と有効利用法の提案、低発熱形セメントを寒中コンクリート施工に用いるための要件の明確化、および構造物と簡易断熱養生箱中のコンクリート供試体の温度履歴の対応の明確化と寒中コンクリート強度管理方法の提案を行ったものであり、コンクリート工学および建築材料学の発展に貢献するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。