

Fresh and Early Age Properties of High Flowing Concrete

(高流動コンクリートの初期性状に関する研究)

学位論文内容の要旨

近年、土木・建築のコンクリート工学分野において、施工の省力化、構造物の高性能化の要求から、締固めが不要で型枠充填性に優れた高流動コンクリートに関する技術開発が活発に行われている。しかし、このコンクリートはこれまでのコンクリートとは物性が大巾に異なる新しい技術であり、基本となる初期物性についても性能評価の手法が定まっていない。また、現在提唱されている高流動コンクリートの種類は、その用いられる材料・調合の相違から極めて多岐にわたっており、高流動コンクリートを全体としてとらえた基礎的な性能が十分に把握されているとはいえない状況にある。

本研究は、このような段階にある高流動コンクリートの技術について、その初期性状、すなわちフレッシュおよび硬化初期段階の性状を検討したものであり、フレッシュ時の流動性と分離性状、空気連行性とその耐凍害性への影響、硬化初期段階での凍結の影響および低温時の凝結特性についての広範な実験研究の成果を内容としている。

高流動コンクリートは、高い流動性と型枠充填性を確保するため、流動性ととともに骨材分離に対する抵抗性が要求される。このため、本論文では、始めに、高流動コンクリートの流動性を物理的にとらえることを目的に、各種の高流動コンクリートについてツーポイント法によるレオロジー試験を実施した。この結果、流動特性が同じようであると考えられていた高流動コンクリートも、コンクリートのタイプによって物理的な特性が著しく異なるものであること、また、通常のコンクリートの流動性・軟らかさを表すスランプ値が物理的には降伏値のみに依存するのに対し、高流動コンクリートの流動性の指標となるスランプフロー値は、降伏値だけではなく塑性粘度をも含めた物性であり、さらに分離の影響も受けることなどを明らかにした。

高流動コンクリートの流動性を把握する目的でLフロー試験がしばしば行われている。本論文では、この試験で得られた流動特性を電気回路理論を応用して解析し、結果が想定した電気回路モデルに良く対応すること、鉄筋などの障害物の影響が電気回路モデルでは抵抗(R)として把握しうることを示した。また、高流動コンクリートの施工で重要な骨材の分離特性を把握するため、独自に工夫した分離測定法を考案し、これにより各種の高流動コンクリートの分離の状況を測定した。この結果、この手法が比較的簡便に高流動コンクリートの分離と

骨材の間隙通過性を表すこと、また分離のない高流動コンクリートには降状値と塑性粘度に最適な範囲が認められること、この範囲は高流動コンクリートのタイプによって異なることを示した。

高流動コンクリートでは、その高い流動性ゆえに空気量を安定的に保持することがかならずしも容易とはいえない。本論文では、広範な高流動コンクリートについて、フレッシュ段階で測定される空気量と硬化後のコンクリート中に存在する気泡の特性を詳細に検討した。この結果、高流動コンクリートはその流動性が高いことによりフレッシュ段階で測定された空気が硬化後に減少する可能性のあること、分離が気泡の消失に関係することなどを示した。さらに、連行空気の特徴では、鉍物微粉末を用いた高流動コンクリートの硬化後の気泡組織が比較的微細であり、フレッシュから硬化までの過程で消失する気泡には粗大なものが多く、空気量の減少の割りには気泡間隔係数の増大が少ないことを明らかにし、増粘剤系の高流動コンクリートでは気泡組織が粗大となる傾向があり、耐凍害性に問題の多いことを示した。また、気泡の連行特性におよぼす要因の役割を検討した結果、ポリカルボン酸系の高性能AE減水剤を用いた高流動コンクリートにおいて、温度による影響、ミキサの練混ぜ特性の影響が大きく、これらの条件が変動した場合、コンクリートに連行される空気量が大幅に異なり、その管理が極めて重要であることを示した。

フレッシュ段階におけるコンクリートの空気連行性は硬化後のコンクリートの耐凍害性に支配的な要因となる。このため、多様な空気連行性をもつ高流動コンクリートの耐凍害性についても検討を加え、従来、耐凍害性に優れていると考えられていた低水セメント比の高流動コンクリートにおいても、空気の連行がない場合には、養生の条件、これによる水和の進行の程度により著しく耐凍害性が劣る結果となること、したがって高流動コンクリートにおいてもフレッシュ段階での空気の連行とその管理が重要なことを明らかにした。

硬化初期段階のコンクリートが凍結することにより生じる初期凍害について、施工段階で考えられる数回の凍結に耐えるための初期強度の限界を空気量との対応で示し、初期凍結を免れるためには空気の連行と 80 kgf/cm^2 程度の初期強度の達成が必要なことを明らかにし、各種の高流動コンクリートについて、この強度を得るための養生期間を示した。さらに、これまで高流動コンクリートの凝結特性についての知見が極めて限られていたことから、各種の高流動コンクリートについて、温度条件が異なる場合の凝結性状を検討し、高流動コンクリートでは、通常のコングリートと比較して増粘剤系の調合を中心に凝結の遅延があり、温度低下に伴ってその程度が拡大することを認めた。

以上の結果より、開発されて間もない高流動コンクリートの初期性状について多くの知見が得られ、その実務に必要な指針を得ることができた。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 鎌 田 英 治
副 査 教 授 佐 伯 昇
副 査 教 授 石 山 祐 二
副 査 教 授 城 攻

学 位 論 文 題 名

Fresh and Early Age Properties of High Flowing Concrete

(高流動コンクリートの初期性状に関する研究)

近年、コンクリート工事の合理化、省力化などの要求から、高い流動性に材料分離抵抗性を併せ持つ高流動コンクリートが提案され、これまで様々な高流動コンクリートが開発されている。しかし、このコンクリートは従来のコンクリートとは物性が大巾に異なる新しい技術であり、性能評価の手法が定まっていない。本研究は、このような段階にある高流動コンクリートのフレッシュおよび硬化初期段階の性状を検討したものであり、フレッシュ時の流動性と分離性状、空気連行性とその耐凍害性への影響、硬化初期段階での凍結の影響および低温時の凝結特性についての広範な実験研究を内容としている。成果を要約すると以下のようになる。

① 従来、高流動コンクリートの流動特性がその組成によって異なることは明瞭には意識されていなかった。著者は、高流動コンクリートの流動特性を降伏値、塑性粘度をもつビンガム流体と考え、その物理的な特性が著しく異なるものであることを示した。また、通常のコンクリートの流動性・軟らかさの指標であるスランプ値が物理的には降伏値のみに依存するのに対し、高流動コンクリートの流動性を表すスランプフロー値は、降伏値だけではなく塑性粘度を含めた物性であり、分離の影響も受けることなどを明らかにした。さらに、高流動コンクリートの流動性評価にしばしば用いられるLフロー試験試験についての実験結果を電気回路理論を応用して解析し、結果が想定した電気回路モデルに良く対応することを示した。これらの成果は、高流動コンクリートのフレッシュ時の特性についての評価指標とその役割を提示したものであり、極めて有用な知見である。

② フレッシュ時の高流動コンクリートでは、流動性だけではなく骨材分離が重要となる。著者は、分離特性を評価するため独自に工夫した測定法を考案し、この手法が比較的簡便に高流動コンクリートの分離と骨材の間隙通過性を表すこと、また分離のない高流動コンクリートには降伏値と塑性粘度に最適な範囲が認められること、この範囲は高流動コンクリートのタイプによって異なることを示した。この試験法の提案と得られた結果は、高流動コンクリートの分離を評価するための重要な手がかりを与えるものである。

③ 高流動コンクリートの空気連行性とその保持能力に関し、高流動コンクリートはその流動性が高いことによりフレッシュ段階で測定された空気が硬化後に消失している可能性のあること、分離が気泡の消失に関係することなどを明らかにした。さらに、鉱物微粉末を用いた高流動コンクリートの硬化後の気泡組織が比較的微細であり、増粘剤系の高流動コンクリートでは気泡組織が粗大となる傾向があること、高流動コンクリート用の混和剤の種類によって温度変動による影響、ミキサーの練混ぜ性能の影響が大きく表れることを示した。これらの成果は、高流動コンクリートの空気連行性についての新知見であり、調合設計・施工の実務に有益な指針を与える。

④ 従来、耐凍害性に優れていると考えられていた低水セメント比の高流動コンクリートも、空気の連行がない場合には、養生の条件により著しく耐凍害性が劣る結果となること、したがって高流動コンクリートにおいてもフレッシュ段階での空気の連行とその管理が重要なことを明らかにした。また、硬化初期段階のコンクリートの凍結による被害を防止するには空気の連行と 80 kgf/cm^2 程度の初期強度の達成が必要なことを明らかにし、各種の高流動コンクリートについて、この強度を得るための養生期間を示した。さらに、温度条件が異なる場合の凝結性状について、高流動コンクリートでは通常のコンクリートと比較して増粘剤系の調合を中心に凝結の遅延があり、温度低下に伴ってその程度が拡大することを示した。これらの結果は、低温時の施工、寒中コンクリートの実務に必要な基本的な知見である。

これを要するに、著者は、開発されて間もない高流動コンクリートの初期性状について、有益な多くの知見および実務に必要な指針を提供しており、コンクリート工学・建築材料学の進歩に寄与するところ大である。

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。