

	くりた もりお
氏 名	栗田 守朗
授 与 学 位	博士 (工学)
学位授与年月日	平成16年 月 日
学位授与の根拠法規	学位規則第4条第2項
最 終 学 歴	昭和55年3月 東北大学大学院工学研究科土木工学専攻博士課程前期課程修了
学 位 論 文 題 目	高性能鋼繊維補強コンクリートの開発に関する実験的研究
論 文 審 査 委 員	主査 東北大学教授 三浦 尚 東北大学教授 鈴木基行 東北大学教授 風間基樹

## 論 文 内 容 要 旨

建設工事においては品質向上，コスト縮減，工期短縮などが常に要求されており，強度，耐久性あるいは施工性などに代表されるコンクリートの性能を高めることによりこれらに应运してきた歴史がある。今後はさらに，コンクリートの耐久性，リサイクル，維持管理，施工の合理化が強く求められるため，コンクリートの高性能化に関する研究がますます重要になると考えられる。コンクリートの高性能化の手法としては，セメントや混和材料を活用する方法と繊維など他の材料を組み合わせる材料複合化方法とに分類される。材料複合化技術の代表的な例として鋼繊維補強コンクリートがある。鋼繊維補強コンクリートは，コンクリート中に短鋼繊維を一様に分散させることにより，普通コンクリートの持つもろさを改善し，曲げ強度，引張強度などの力学的特性を高めた複合材料であるが，一般のコンクリートと比較して，ポンプ圧送時におけるファイバーボールによる閉塞や締固め方法の不適による鋼繊維の不均一など，その施工性に課題があることが指摘されている。一方，鋼繊維を多量に混入し，かつ高強度を有する鋼繊維補強材料に関する開発が行われている。これらは従来の鋼繊維補強コンクリートの硬化性状を飛躍的に向上させたものであり，その効果的な適用先が望まれている。

前述の背景から，本研究は，鋼繊維補強コンクリートの高性能化を図るとともに，その実用化を目的とした。一つは，鋼繊維補強コンクリートの施工性を向上させることを指向した高流動鋼繊維補強コンクリートであり，そのフレッシュ性状に着目して配合設計方法を提案することである。二つ目は，高強度化そして鋼繊維混入率を高めることによって硬化特性を向上させることを指向した高強度鋼繊維補強材料であり，プレキャストコンクリート構造における継手部の合理化を目的に，高強度鋼繊維補強材料の適用可能性を図ることである。本論文は，全編6章よりなる。以下に各章の概要を述べる。

第1章では，高性能鋼繊維補強コンクリートが必要とされる社会的および技術的な背景を述べるとともに，本研究の目的および本論文の構成について述べた。

第2章では，本論文の研究に関連した既往の研究について述べた。施工性を高めた鋼繊維補強コンクリートに関する既往の研究としては，シールドトンネル工法の一つである ECL(Extruded Concrete Lining)工法の覆工コンクリートを対象として，従来よりも流動性を高めた鋼繊維補強コンクリートの

検討がなされているが、配合設計方法の提案にはいたっていない。高流動鋼繊維補強コンクリートの配合設計に着目した既往の研究としては、混入する鋼繊維の表面積と置換する粗骨材表面積が等価となる置換方法に基づいた配合設計方法が提案されているが、材料分離抵抗性や施工にかかわる観点からの検討はなされていない。したがって、高流動鋼繊維補強コンクリートの配合設計方法やポンプ圧送性状などの施工にかかわる基礎的な研究が求められている。

硬化性状を高めた鋼繊維補強材料に関する既往の研究としては、シリカフュームおよび高性能(AE)減水剤を組み合わせることによってセメント硬化体の高強度化を図り、容積比で2~12%と多量の鋼繊維を混入する方法が検討され、100~200N/mm<sup>2</sup>以上の圧縮強度、20~60N/mm<sup>2</sup>程度の曲げ強度を有する高強度鋼繊維補強材料がある。このような材料は高価であるためその具体的な適用方法に課題が残されている。しかし、コンクリート構造物に部分的にこのような材料を使用することが可能となれば経済的で効果的であると考えられる。その適用先として、プレキャストコンクリート工法における継手部や柱はり接合部などが考えられ、コンクリート構造物において課題となっている継手部の合理化に資する材料としてその可能性を有していると考えられる。

第3章では、鋼繊維補強コンクリートの高性能化の概念について示し、高流動化および高強度化の方法を提案した。高流動鋼繊維補強コンクリートの配合設計方法を提案する目的で、フレッシュな性能である流動性、材料分離抵抗性、経時保持性に関して実験的な検討を行った。流動性および材料分離抵抗性に関しては、鋼繊維混入率、単位粗骨材絶対容積および増粘剤量を要因とした実験を実施した。高流動鋼繊維補強コンクリートの材料分離性状とモルタルの性状との関係から、材料分離が生じないモルタルの性能を定量的に明らかにし、さらに、材料分離性状は鋼繊維の材料分離指数で評価することが妥当であることを提案した。また、材料分離が生じない範囲で、流動性、変形性に優れた高流動鋼繊維補強コンクリートの配合を設計するには、鋼繊維混入率と単位粗骨材絶対容積に着目し、それらの組合せが以下であることを明らかにした(図1参照)。

- ・鋼繊維混入率 0.5vol%の場合：単位粗骨材絶対容積 275ℓ /m<sup>3</sup>程度以下
- ・鋼繊維混入率 0.75vol%の場合：単位粗骨材絶対容積 250ℓ /m<sup>3</sup>程度以下
- ・鋼繊維混入率 1.0vol%の場合：単位粗骨材絶対容積 200ℓ /m<sup>3</sup>程度以下

鋼繊維補強コンクリートの高強度化は、セメント硬化体の高強度化に着目し、シリカフュームを用いたDSPセメントを用い、細骨材として普通骨材および硬質なポーキサイトを用いて、鋼繊維混入率を要因とした実験を行った。その結果、圧縮強度 130N/mm<sup>2</sup>程度の高強度が得られること、また、鋼繊維混入率の増加にともない曲げ強度は改善され、6%の混入率で20N/mm<sup>2</sup>程度の高い曲げ強度が得られることを明らかにした。骨材として硬質なポーキサイトを用いた場合は圧縮強度が200N/mm<sup>2</sup>程度に達し、強度の改善に有効であることを明らかにした。一方、鋼繊維を混入した場合の施工における打込み易さの点から判断すると、鋼繊維混入率は3%程度までが適当であることを示した。

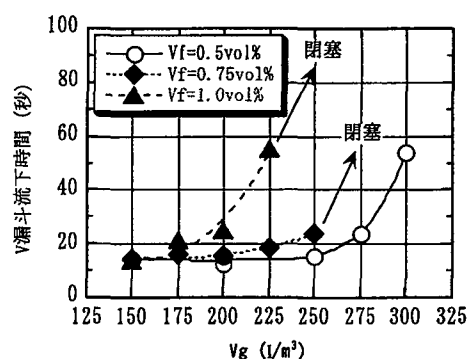


図1 単位粗骨材絶対容積とV漏斗流下時間

第4章では、高流動鋼繊維補強コンクリートを実際の覆工コンクリート工事へ適用した例について論じた。適用した工事およびECL工法についてそれらの概要を示した。覆工コンクリートに要求される性能(経時保持性、初期強度発現性)を明らかにし、実施工に供する配合を選定する目的で、環境温度

の影響およびポンプ圧送性など施工に関して実験的な検討を行った。環境温度に関する試験では、通年施工を考慮しコンクリートの練上り温度を 10~35℃の範囲で変化させた。練上り温度 35℃の厳しい条件においても混和剤の種類および使用量を適切に組み合わせることにより、良好な流動性の経時保持性が得られることを明らかにした(図2参照)。これらの結果をもとに、各温度範囲において要求性能を満足する混和剤およびその使用量の組合せを提案した。また、高流動鋼繊維補強コンクリートのポンプ圧送試験を通じて、圧送前後の品質、管内圧力損失などの基礎的な性状が明らかとなったことにより、高流動鋼繊維補強コンクリートのポンパビリティの評価が可能となった。これらの実験結果は実施工に供する高流動鋼繊維補強コンクリートの施工管理に反映され、要求品質を満足する約 14000m<sup>3</sup>の覆工コンクリートが施工された。

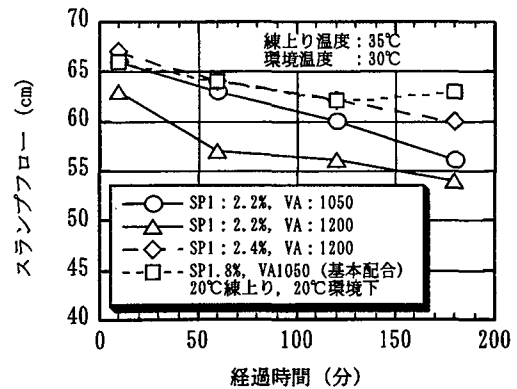


図2 流動性の経時変化性状

第5章では、プレキャストコンクリート構造における部材接合作業の迅速化のために、施工の容易な継手方法の実現可能性を検討した。実験は、曲げスパンに継手部を有する鉄筋コンクリートはりを対象として、要因を継手部の構造(重ね継手、突き合わせ継手)と継手部に用いる材料とした。突き合わせ継手とは、主鉄筋が重なっていない断面を有する継手をいう。継手部材料には、高強度鋼繊維補強モルタル(UHS-SFRM)および高流動鋼繊維補強コンクリート(SFRC)を使用した。

重ね継手に関する実験は、重ね継手長を 5d, 10d および 15d (d: 鉄筋の直径)とし、横方向鉄筋を用いない配筋とした。実験の結果、継手部を有しない試験体と同等の変形性能を有する継手部の条件は、重ね継手長が 10d で継手材料が鋼繊維混入率 3%の高強度鋼繊維補強モルタル(UHS-SFRM-3)の場合(図3参照)、および重ね継手長が 15d で継手材料が鋼繊維混入率 1%の高流動鋼繊維補強コンクリート(SFRC-1)の場合であった。この結果から、鋼繊維を混入した高強度材料を用いることにより、重ね継手長を従来の重ね継手長の 1/2~1/3に低減することが可能となることが明らかとなった。

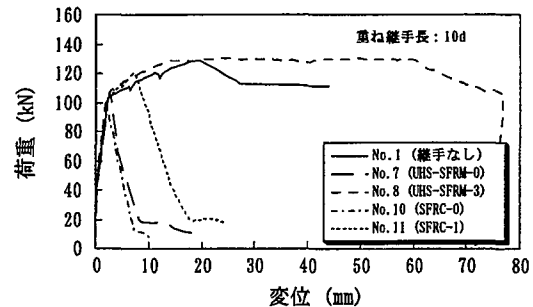


図3 重ね継手構造(重ね継手長 10d)

また、三浦が提案した定着長の算定式を用いて、重ね継手構造が成立することを検証した。突き合わせ継手に関する実験は、要因を定着長および添筋の有無とした。定着長は 5d および 10d とし、横方向鉄筋を用いない配筋とした。実験の結果、継手部を有しない試験体と同等以上の最大荷重を有する継手部の条件は、定着長が 10d で継手材料が鋼繊維混入率 3%の高強度鋼繊維補強モルタル(UHS-SFRM-3)の場合であった(図4参照)。また、突き合わせ継手に添筋を用いることにより、変形性能が大幅に改善されることを明らかにした。これらの結果から、配筋条件および継手部材料を適切に選定することにより現状よりも簡易な継手構造が成立する可能性が得られることを示した。

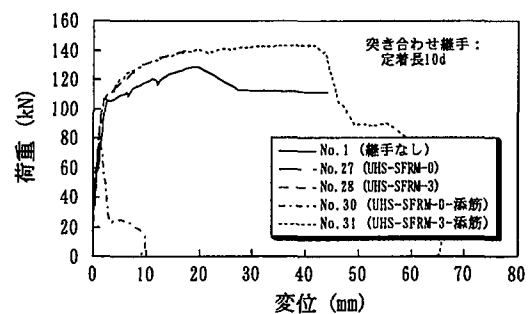


図4 突き合わせ継手構造(定着長 10d)

第6章では、各章で得られた主要な結論をまとめることにより、本論文の結論とした。

論文審査結果の要旨及び学力認定結果の要旨

論文提出者氏名	栗田 守朗
論文題目	高性能鋼繊維補強コンクリートの開発に関する実験的研究
論文審査及び 学力認定担当者	主査 教授 三浦 尚 教授 鈴木 基行 教授 風間 基樹

論文審査結果の要旨

近年、我が国の建設工事においては、技術の進歩に伴い、各種建設材料において、さらなる品質の向上が要求されるようになってきた。この研究は比較的新しい建設材料である鋼繊維補強コンクリートを対象とし、性能をより高めることによりさらなる分野への適用を可能にすることを目的として、高性能鋼繊維補強コンクリートの開発を試み、その適用を本論文は、全編6章よりなる。

第1章は序論であり、高性能鋼繊維補強コンクリートが必要とされる社会的および技術的背景および研究目的を示している。

第2章は既往の研究で鋼繊維補強コンクリートに関する過去の研究、実際の施工における材料の適用例、およびその問題点などをまとめている。

第3章では鋼繊維補強コンクリートの高性能化の概念を確認し、高流動化および高強度化の方針を示した。その後、実験的研究によって、高流動化、高強度化するためのコンクリートの配合設計方法を明らかにした。これは有用な知見である。

第4章では高流動鋼繊維補強コンクリートをシールドトンネルの覆工コンクリートに適用する場合の問題点を抽出し、施工に適するコンクリートの配合方法および製造方法を確立した。また、高流動鋼繊維補強コンクリートの温度がその性質に及ぼす影響を明らかにするとともに、ポンプ圧送したときの影響を調べ、ポンプ圧送に適する高流動鋼繊維補強コンクリートを開発した。

第5章は高強度高流動鋼繊維補強コンクリートの部材接合部への適用に関する研究である。プレキャストコンクリート構造においては、現場で各プレキャスト部材を接合する必要があるが、この継ぎ手をいかに迅速に行うかというところがこの種の工事の有用性の決め手である。この研究ではこの部材継ぎ手の問題点を高性能鋼繊維補強コンクリートを用いることによって解決したものであり、これは貴重な結果である。

第6章は結論である。

以上要するに、本論文は、高性能鋼繊維補強コンクリートを開発するとともに、それをトンネル覆工コンクリートやプレキャスト部材の接合部へ適用することを可能にしたものである。コンクリート工学及び土木工学の進展に寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。

学力認定結果の要旨

平成16年2月12日、審査委員並びに関係教官出席のもとに、学力確認のための試験を行なった結果、本人はコンクリート工学及び土木工学に関する十分な学力と研究指導能力を有することを確認した。

なお、英学術論文に対する理解力から見て、外国語に対する学力も十分であることを認めた。

## 論文審査結果の要旨

近年、我が国の建設工事においては、技術の進歩に伴い、各種建設材料において、さらなる品質の向上が要求されるようになってきた。この研究は比較的新しい建設材料である鋼繊維補強コンクリートを対象とし、性能をより高めることによってさらに新しい分野への適用を可能にすることを目的として、高性能鋼繊維補強コンクリートの開発を試みたものである。本論文は、全編6章よりなる。

第1章は序論であり、高性能鋼繊維補強コンクリートが必要とされる社会的および技術的背景および研究目的を示している。

第2章は既往の研究であり、鋼繊維補強コンクリートに関する過去の研究、実際の施工におけるこの材料の適用例、およびその問題点などをまとめている。

第3章では鋼繊維補強コンクリートの高性能化の概念を確認し、高流動化および高強度化の方針を示した。その後、実験的研究によって、高流動化、高強度化するためのコンクリートの配合設計方法を明らかにした。これは有用な知見である。

第4章では高流動鋼繊維補強コンクリートをシールドトンネルの覆工コンクリートに適用する場合の問題点を抽出し、施工に適するコンクリートの配合方法および製造方法を確立した。また、高流動鋼繊維補強コンクリートの温度がその性質に及ぼす影響を明らかにするとともに、ポンプ圧送したときの影響を調べ、ポンプ圧送に適する高流動鋼繊維補強コンクリートを開発した。

第5章は高強度高流動鋼繊維補強コンクリートの部材接合部への適用に関する研究である。プレキャストコンクリート構造においては、現場で各プレキャスト部材を接合することが必要になるが、この継ぎ手をいかに迅速に行うかということがこの種の工事の有用性の決めてであった。この研究ではこの部材継ぎ手の問題点を高性能鋼繊維補強コンクリートを用いることによって解決したものであり、これは貴重な結果である。

第6章は結論である。

以上要するに、本論文は、高性能鋼繊維補強コンクリートを開発するとともに、それをトンネル覆工コンクリートやプレキャスト部材の接合部へ適用することを可能にしたものであって、コンクリート工学及び土木工学の進展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。