

論文 鋼繊維補強コンクリートの流動化を目的としたフレッシュ特性に関する研究

眞嶋光保*1、小比賀啓司*2

要旨：鋼繊維補強コンクリートは機能性構造材料として期待されるところであるが、配合設計方法は必ずしも確立しているわけではない。本研究では鋼繊維補強コンクリートの流動化を念頭におき、鋼繊維補強コンクリートのコンシステンシーに及ぼす要因について、単位水量、高性能減水剤使用量、細骨材率を取り上げそれぞれがフレッシュ状態の特性に及ぼす影響について調べた。実験結果により、個々の要因によるコンシステンシーに及ぼす影響を定量的に示すとともに配合設計の方針とすれば、最適細骨材率の決定、単位水量によるコンシステンシーに及ぼす影響の把握、高性能減水剤によるコンシステンシー改善、の手順により行うことができることを明らかにした。

キーワード：繊維補強コンクリート、コンシステンシー、細骨材率、配合設計

1.はじめに

鋼繊維補強コンクリートは(1)引張強度の増加、(2)破壊じん性の増大、(3)ひび割れの分散などを大きな特長とし、機能性建設材料として期待されるところである。このため、土木学会をはじめとして設計施工に関する基準もしくはマニュアル等が示されている[1][2]。しかしながら、鋼繊維補強コンクリートは構造部材の主材料として適用することは十分に普及しているとはいえない状況である。これは、鋼繊維補強コンクリートを使用することによる直接間接的な経費の増加以外に、鋼繊維補強コンクリートの製造がかなり高度な練混ぜ技術を要すること、施工にあたり入念な締固めが必要であり、ある程度の経験を要することなども影響しているものと考えられる。これらの点については、鋼繊維補強コンクリートの配合を考慮することによって製造と施工を合理化することができ、かなりの部分を解決することが可能と考えられる。また、コンクリート材料全体的にみても高強度化、高流動化に対する要請は大きく、鋼繊維補強コンクリートについても今後このような傾向が大きく求められるようになることは例外ではないと考えられる。このことは、鋼繊維補強コンクリート配合設計について、具体的で容易な方法の確立が望まれるところである。上述した指針には、一応の配合決定手順が示されているものの、全くの経験がない場合にはかなり戸惑いがあることも否めない。このような観点から、本研究では鋼繊維補強コンクリートの流動化を念頭に置いた配合設計方法を確立すべく、配合要因によるフレッシュ状態に関する特性を実験的に調べた結果について報告することとした。

2.実験計画

繊維補強コンクリートの強度はベースコンクリートのそれにかかなりの部分が依存しており、上述した繊維による補強効果は混入する鋼繊維の種類と量および両者の相関関係に依存

*1 大阪市立大学助教授 工学部土木工学科 工博(正会員)

*2 大阪市立大学工学部土木工学科

する。本研究では比較的高強度でかつ流動的な鋼繊維補強コンクリートを目的に置いていることから軟練りのベースコンクリートを基準とし、繊維混入によるコンシステンシーに及ぼす影響を明らかにし、ついで、配合要因がコンシステンシーに及ぼす影響について調べることとした。鋼繊維補強コンクリートのコンシステンシーに及ぼす影響としては、単位水量、細骨材率、空気量、鋼繊維混入量などがあげられ、流動化の点からは高性能減水剤使用量がある。本研究では、単位水量、細骨材率、高性能減水剤量の影響を定量的に把握することを目的とし、他の項目や要因については十分に検討していない。なお、空気量についてはその影響がきわめて大きいことが予備実験において明らかになっていることから、入念な管理を行い、実験では空気量 $5 \pm 0.5\%$ に納まったもののみをデータとして採用することとした。また、繊維混入量は本質的な要素ではあるが、繊維量を大きくするとコンシステンシーの低下が大きく、他の要因による変化を定量的に把握することが困難になることから、とりあえず低めに設定することとした。

3.使用材料

3.1 セメントおよび骨材

セメントは早強ポルトランドセメントを使用した。細骨材は2種の海砂を混合し粒度調整して用いた。粒度調整後の比重は2.55、粗粒率は2.86である。また、粗骨材についても碎石を粒度調整して用いた。粗骨材最大寸法は25mm、比重2.60、粗粒率6.46である。

3.2 鋼繊維

使用鋼繊維は径0.8mm、長さ60mm、両端フック付きのものである。なお、本研究での繊維混入量は体積比によることとしているが、混入率は外割によっている。

3.3 混和材料

ベースコンクリートは通常のAEコンクリートを想定していることから一般的なAE減水剤を使用している。また、空気量の調整にはAE補助剤を併用した。また、鋼繊維補強コンクリートの流動化にはリグニン系の高性能AE減水剤を用い、練混ぜ時に同時添加することとした。なお、配合によっては空気量の調整が必要な場合があり、AE補助剤もしくは空気量調整剤(消泡剤)を併用した。

表-1 ベースとするコンクリートの配合

粗骨材 の最大 寸法 (mm)	スラン プの範 囲 (cm)	空気量 の範囲 (%)	水セメ ント比 (%)	細骨材 率 (%)	単位量(kg/m ³)				
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤 Ad.
25	18±2.5	5±0.5	55	42	190	346	740	936	C× 0.25

3.4 基本配合

鋼繊維補強コンクリートはベースコンクリートに大きく依存することは前述したとおりである。このため、比較的流動性の高いコンクリートを基本として実験を進めることとした。試験練りにあたっては最適細骨材率のもとでスランプ18cmが得られるよう行い表-1のように決定した。この配合によるコンクリートの強度は7日材齢で387kgf/cm²である。

4.実験結果と考察

ベースコンクリートへの鋼繊維混入によるコンシステンシーの影響についての結果を図-1に示す。鋼繊維の混入により直線的にスランプが低下していることが分かるが、この低下量は小林ら[3]の実験結果（繊維量1%で5~6cmの低下）よりかなり大きいものとなっており、繊維混入量1%で15cm程度の低下である。この両者の相違は使用鋼繊維、特に表面処理形状の差などの影響が考えられるが、どちらにしる混入後のコンシステンシーおよびワーカビリティの改善が必要なことが明らかである。また、空気量および細骨材の粒度により影響を受けるようである。

繊維補強コンクリートでは繊維の補強効果を大きくするため一般に細骨材率を大きくする。しかし、細骨材率の増加は硬化コンクリートに及ぼす影響のみならず、フレッシュ状態の面からも必要である。すなわち、繊維補強コンクリートでは、繊維そのものがコンクリートの流動に抵抗するためこれを緩和するために細骨材率の増加が必要である。このため、他の配合要因を一定とし細骨材率のみを変化させた場合のスランプを調べた。結果を図-2に示すが、繊維量0.5%の混入によりスランプ値の

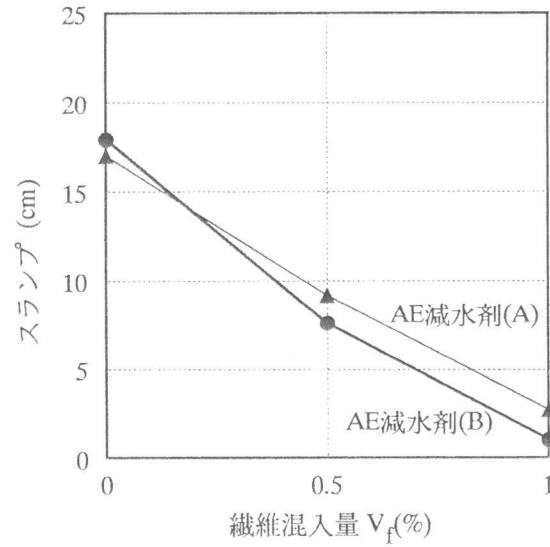


図-1 繊維混入量によるスランプ変化

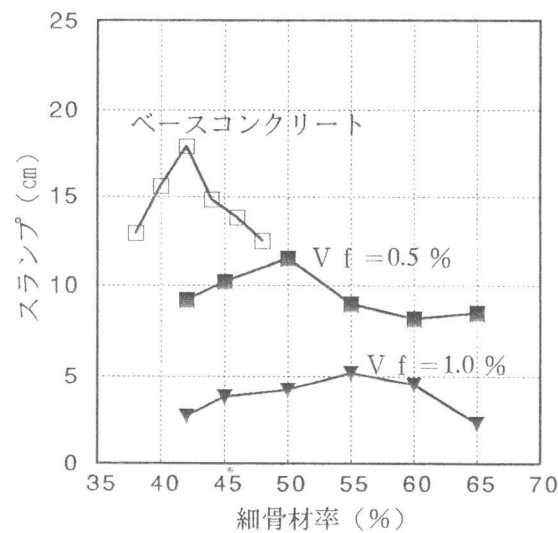


図-2 繊維混入による最適細骨材率への影響

最大を示す細骨材率、すなわち最適細骨材率は 12~13% 増加することが認められる。この値は繊維混入量によって異なることが指摘されているが、数値そのものは一般的な認識値よりかなり大きいようである。

コンシステンシーの改善策として、高性能減水剤の果たす役割は大きい。したがって、鋼繊維補強コンクリートについてもその効果を定量的に把握しておく必要がある。図-3 に高性能減水剤添加による鋼繊維補強コンクリートのスランプの影響について示す。使用した高性能減水剤の技術資料によると使用量 2%程度まではほぼ直線的なスランプの増加傾向が認められているとしているが、本実験においては繊維量 0.5%の場合には使用量 1~1.5%程度でスランプ増加には頭打ち現象がみられる。また、繊維混入量が 1%となるとコンシステンシー改善にはほとんど効果が現れないことが分かる。さらに使用量を増加させるとコンクリート中のペースト部分だけが流出するという一種の材料分離傾向が認められるようになった。したがって、鋼繊維補強コンクリートでの高性能減水剤の使用限界は 2%程度にあるものと考えられる。

コンクリートのコンシステンシーには単位水量の影響は大きく、ある一定範囲内では単位水量の増減量とスランプの増減量が比例すると言うことが認められている。

鋼繊維補強コンクリートにおいても概ね同様の傾向があるものと考えられる。ベースコンクリートの単位水量 190kg および水量を増加させ 205kg とした場合の実験結果を図-4 に示

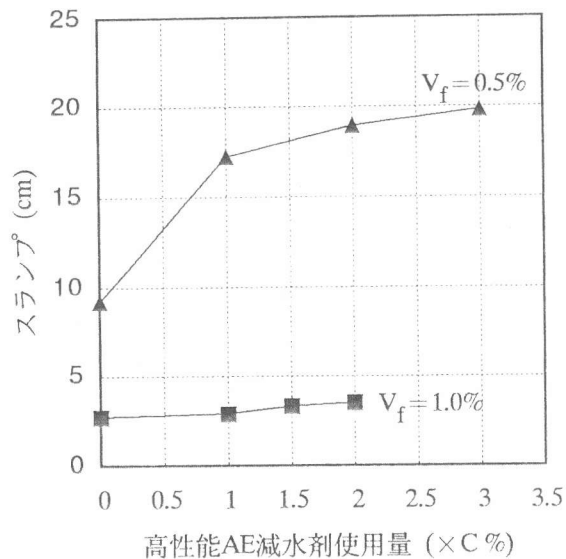


図-3 高性能AE減水剤のスランプに及ぼす影響

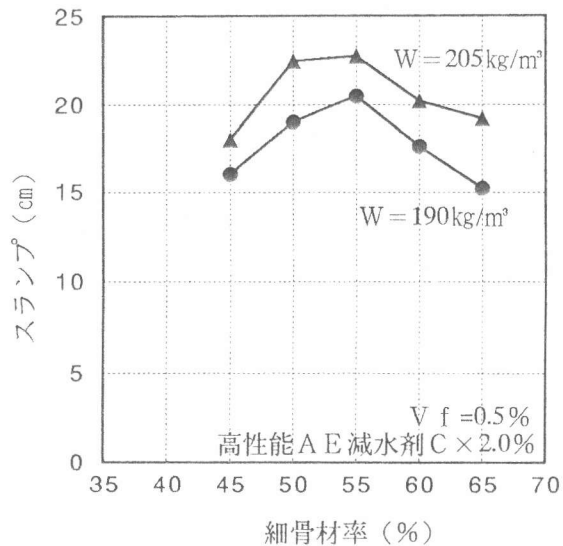


図-4 単位水量のスランプに及ぼす影響

す。図から分かるように単位水量の 15kg の増加に対しスランプで約 2 cm の増加が得られており、これは細骨材率にはほぼ影響されないようである。なお、この単位水量の増加は割合で言えば 190kg に対し、約 8% の増加率である。

高性能 AE 減水剤は添加によって大きな減水効果を得ることを目的としており、コンシステンシーの改善につながる。この効果そのものは図 -3 の実験において確認しているが、最適細骨材率を考慮した鋼繊維補強コンクリート用の配合についても定量的に把握しておかなければならない。このため、高性能 AE 減水剤の添加量を変えて最適細骨材率の確認を行った。図 -5 に示すように単位水量の効果と同様最適細骨材率に及ぼす影響はなく、高性能減水剤 1% の増加により 4 cm のスランプ増加が期待できることが分かる。なお、この数値は図 -3 に示しているように減水剤の量と比例関係にあるとは限らずさらにデータの積み重ねが必要である。また、減水剤の使用量が多すぎると材料分離が顕著にみられるようになる。

以上の実験は、単位水量、高性能 AE 減水剤量および細骨材率に及ぼす影響を定量的に調べたものであるが、使用材料が限定されていることから、現時点では一般普遍的な定量値とするには至らない。事実、定量値はこれまでに示されている指針値と比べるとかなり大きめの値となっている。この相違については種々の要因が考えられるが、以上に述べた方法に

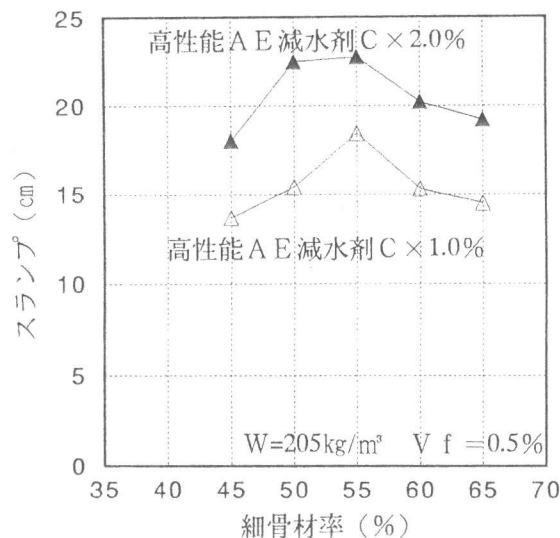


図-5 高性能AE減水剤のスランプに及ぼす影響

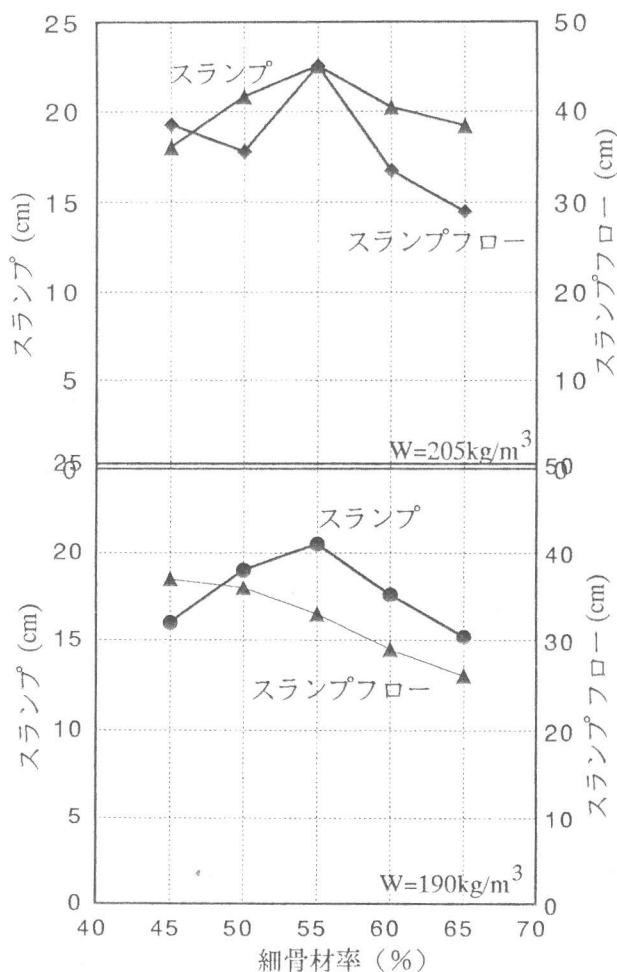


図-6 各種細骨材率におけるスランプおよびスランプフロー関係 (Vf=0.5%、高性能AE減水剤C×2.0%)

よって使用材料が異なった場合においてもコンシステンシーの影響を定量化できる。すなわち、所要の繊維量混入のもとでコンシステンシーが最大を示す最適細骨材率を求め、最適細骨材率のもとで単位水量を増減させることにより所要のコンシステンシーを得、さらに高性能AE減水剤によって減水効果を得るという方法である。

本研究は鋼繊維補強コンクリートの高流動化を念頭に置いていることからコンシステンシーの測定をスランプだけでなくスランプフローについても測定している。スランプ試験との対比を図-6に示すが、スランプとスランプフローのピーク値は必ずしも一致しているとはいえない。このことから、高流動鋼繊維補強コンクリートの判定方法はさらに検討が必要であることが推測される。

5. 結 論

本研究から得られた結論をまとめると以下のとおりである。

- (1) 鋼繊維のコンクリート中への混入によりコンシステンシーは直線的に低下する。また、低下の程度には細骨材の粒度が影響するようである。
- (2) 鋼繊維補強コンクリートが最大のコンシステンシーを示す細骨材率は普通コンクリートに比べかなり大きい。高性能減水剤の影響はそれほど大きい。
- (3) 単位水量の増加によって一定の範囲内ではコンシステンシーは増加する。
- (4) 高性能減水剤の鋼繊維補強コンクリートへの適用は一定の範囲で効果を発揮するが、その範囲は普通コンクリートほどではない。
- (5) 基本的な配合方法としては、最適細骨材率の決定、単位水量の調整によるコンシステンシーの確保、高性能減水剤によるコンシステンシーの確保の順により行うことができる。

参考文献

- [1] 土木学会編：鋼繊維補強コンクリート設計施工指針（案）コンクリートライブラリー第50号、土木学会、1983
- [2] 鋼材倶楽部編：鋼繊維補強コンクリート設計施工マニュアル（道路舗装編）、技法堂出版、1992
- [3] 小林・岡村：所要のコンシステンシーを得るための鋼繊維補強コンクリートの配合設計方法、土木学会論文集、No.293、1980