

論文 高流動コンクリートの鉄筋間通過性に関する研究

吉野 公*1・西林 新蔵*2・井上 正一*3・黒田 保*4

要旨：本研究は、鉄筋間を通過する高流動コンクリートの速度、流動距離および粗骨材の分離の程度を測定し、それに基づいて鉄筋間通過性を評価した。さらに、この鉄筋間通過性とモルタルのレオロジー定数、付着特性およびコンクリートのレオロジー定数、配合（細骨材量、増粘剤の有無等）との関係を検討した結果について述べたものである。

キーワード：高流動コンクリート，鉄筋間通過性，レオロジー定数，付着特性

1. はじめに

高流動コンクリートは鉄筋間や型枠間などの間隙を通過する際の通りやすさ、すなわち良好な間隙通過性が求められる。この高流動コンクリートの間隙通過性に関しては、鉄筋間の閉塞の有無に重点を置いた研究が先行したが、最近レオロジー的な検討[1, 2]、評価手法の検討[3]などの研究が行われるようになってきた。しかし、間隙通過性に影響を及ぼす要因はコンクリートのレオロジー性質、配筋条件、使用材料の構成（配合）など多く、充填予測を行うためには明らかにされなければならない問題点が多い。

本研究では、コンクリートおよびモルタルのレオロジー定数、モルタルの付着強度などの物性値が間隙通過性のうちの特に鉄筋間通過性に及ぼす影響を明らかにするとともに、増粘剤系高流動コンクリートと粉体系高流動コンクリートの鉄筋間通過性を比較することによって、粉体量あるいは細骨材量などの両者の配合の違いが鉄筋間通過性に及ぼす影響を検討したものである。

2. 実験概要

2.1 使用材料および配合条件

本研究で使用した結合材は普通セメントおよび高炉スラグ微粉末である。これらの物理的性質を表-1に示す。高炉スラグは普通セメントに対して置換率50%で用い、増粘剤系高流動コンクリートにはスラグIを、粉体系高流動コンクリートにはスラグIIを用いた。また、混和剤には、ポリカルボン酸系の高性能A E減水剤およびセルローズ系の増粘剤を使用した。骨材には粗骨材として碎石、細骨材として砕砂と陸砂を混合したものをを用いた。骨材の物理的性質を表-2に示す。

表-3および4に高流動コンクリートの配合条件を示す。増粘剤系、粉体系とも粗骨材量、スランブフローおよび空

表-1 結合材の物理的性質

種類	比重	粉末度 (cm ² /g)	置換率 (%)
普通セメント	3.15	3,150	—
高炉スラグI	2.90	4,320	50
高炉スラグII	2.89	6,020	50

- *1 鳥取大学講師 工学部土木工学科、博士（工学）（正会員）
- *2 鳥取大学教授 工学部土木工学科、工博（正会員）
- *3 鳥取大学助教授 工学部土木工学科、工博（正会員）
- *4 鳥取大学助手 工学部土木工学科、工修（正会員）

気量を一定とした。増粘剤系では増粘剤の添加量を水量に対する比率で、0.20、0.25、0.30%の3水準とし、単位水量を変化させることにより細骨材量を3水準変化させた。

2. 2 実験装置および実験方法

高流動コンクリートの流動性および鉄筋間通過性をL型フロー試験装置、鉄筋間通過性試験装置(図-1)および球引上げ粘度計によって検討した。鉄筋間通過性試験装置の鉄筋はL型フロー試験装置にD13mmの異形鉄筋を鉄筋のあき37mmで開口部から5cmの位置に配置したものである。L型フロー試験、鉄筋間通過性試験では、流動距離および10~15cmの間を流れる流動速度を測定した。さらに、鉄筋間通過性試験において、鉄筋間通過前後の試料を採取し、粗骨材の単位量を測定することによって、材料分離を検討した。また、ウェットスクリーニングモルタルに対して、球引上げ粘度計によるレオロジー定数の測定、付着試験装置(図-2)による付着強度の測定を行った。なお、付着試験における引上げ速度は、予備試験を行い決定した。図-3に予備試験結果を示す。図の縦軸には、引上げ速度1mm/s時の付着強度を1としたときの強度比をとっている。図より、引上げ速度が1~3.5mm/sの範囲では強度比はほぼ1となり、この範囲では引上げ速度が変化しても付着強度はほとんど変わらないと考えられる。引上げ速度が3.5mm/sを超えると引上げ速度の増加とともに強度比は大きくなっており、引上げ速度に比例して付着強度が増加することがわかる。この結果より、本研究においては、引上げ速度の影響が小さく測定時間の短い3.5mm/sを引上げ速度として測定を行った。

3. 結果および考察

3. 1 鉄筋間通過性に及ぼす配合の影響

図-4は細骨材容積割合が一定(0.346)の場合に

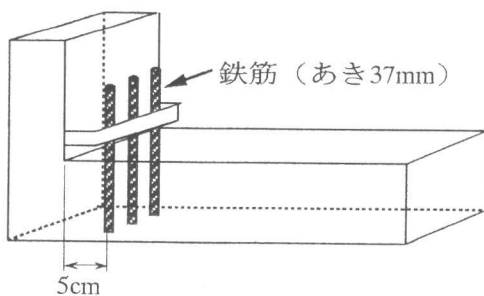


図-1 鉄筋間通過性試験装置の概略

表-2 骨材の物理的性質

骨材の種類	最大寸法 (mm)	比重	吸水率 (%)	F.M.	実積率 (%)	比表面積[4] (cm ² /cm ³)
粗骨材	20	2.69	0.80	6.81	58.0	6.1
細骨材	—	2.67	1.40	2.72	67.3	394.2

表-3 増粘剤系の配合条件

単位水量	170, 180, 190 kg/m ³
水粉体比	0.5
単位粗骨材量	850 kg/m ³
増粘剤の添加量	W×0.20, 0.25, 0.30 %
スラグ置換率	0, 50 %
スランプフロー	60±5 cm
空気量	4.5±1.5 %

表-4 粉体系の配合条件

単位水量	170 kg/m ³
水粉体比	0.3
単位粗骨材量	850 kg/m ³
スラグ置換率	0, 50 %
スランプフロー	60±5 cm
空気量	4.5±1.5 %

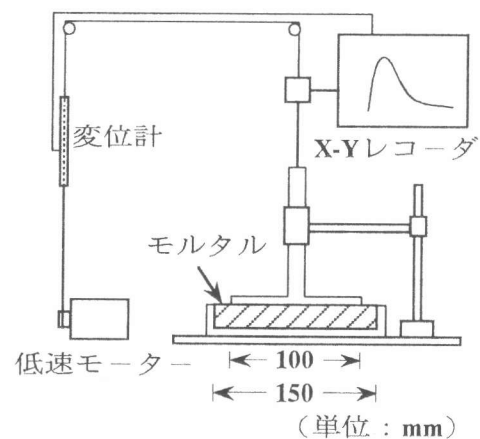


図-2 付着強度測定装置の概略

おける増粘剤の添加量がL型フロー試験の流動距離 (LF) および鉄筋間通過試験の流動距離 (LFs) に及ぼす影響およびL型フロー試験の流動速度 (VL) および鉄筋間通過試験の流動速度 (VLs) に及ぼす影響を示したものである。

本研究では高性能A E減水剤の添加量を調整してコンクリートのスランブフローを一定としており、スランブフローと同様にコンクリートの降伏値と関連したLFも増粘剤の添加量にかかわらず一定となっている。一方、LFsは鉄筋が存在することによりLFに比較していずれのコンクリートも小さな値となっているが、増粘剤の添加量の影響は見られない。鉄筋間で骨材のブロッキングによる閉塞が生じた場合、LFsはLFに比較して極端に減少する[5]が、図から明らかなように、本研究では閉塞を生じたコンクリートはなく、鉄筋間通過前後の試料を採取し検討した材料分離試験においても明確な分離の現象は生じていなかった。

VLはコンクリートの塑性粘度と関連した指標であるが、図より、増粘剤の添加量の増加とともにVLは小さくなっており、増粘剤の添加量がコンクリートの塑性粘度に及ぼす影響がうかがわれる。一方、VLsはVLに比較してかなり小さな値となっており、本研究で採用した鉄筋の配置がコンクリートの流動に大きな影響を与えたことがわかる。また、VLsもVL同様、増粘剤の添加量の増加に伴って小さくなる傾向がみられる。

図-5は増粘剤の添加量一定(0.25)の場合における細骨材容積割合がLF、LFsに及ぼす影響およびVL、VLsに及ぼす影響をそれぞれ示したものである。本研究における配合条件では、粗骨材の単位容積および水結合材比が一定であることから、細骨材容積割合が増加すると単位水量および単位結合材量が減少することになる。図より、細骨材容積割合が増加するにしたがってVLは減少する傾向がみられるが、VLsでは明確な傾向はみられなかった。

図-6は粉体系を含めた高流動コンクリートの塑性粘度とVLおよびVLsとの関係を示したものである。図より、本研究の範囲内では、VLはコンクリートの塑性粘度とほぼ直線関係にあることがわかる。一方、VLsはコンクリートの塑性粘度が減少すると大きくなる傾向はみられるが、

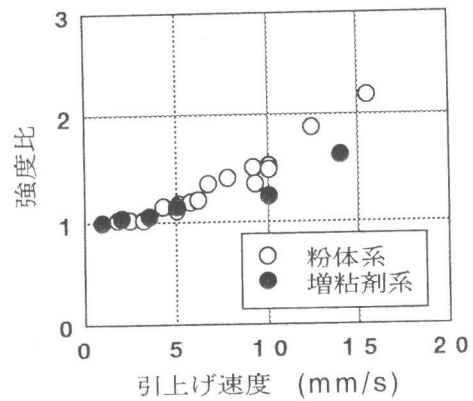


図-3 付着強度予備試験結果

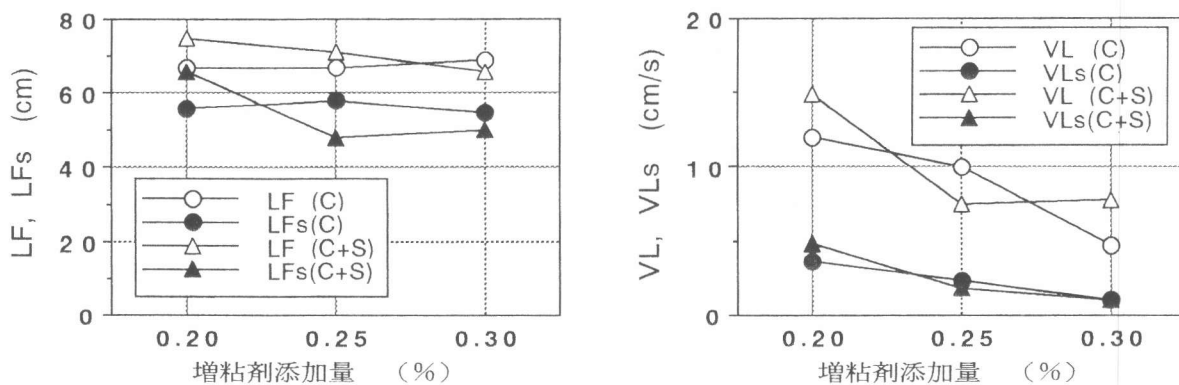


図-4 増粘剤添加量がL型フローおよび鉄筋間通過試験結果に及ぼす影響

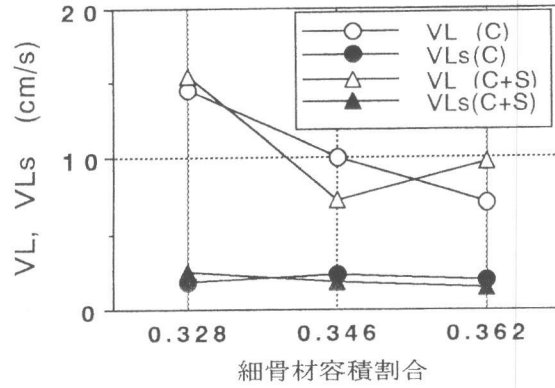
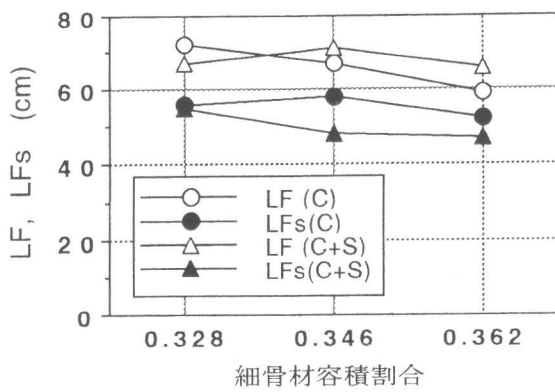


図-5 細骨材容積割合がL型フローおよび鉄筋間通過試験結果に及ぼす影響

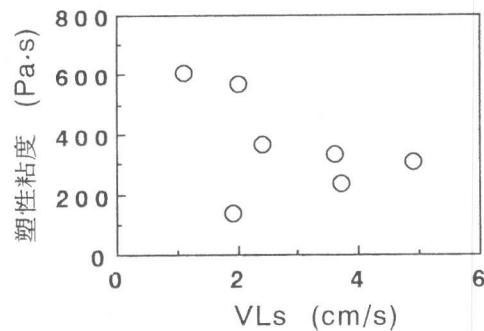
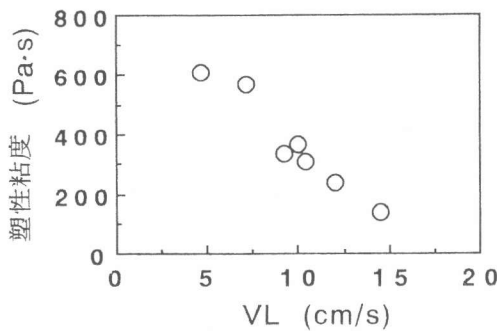


図-6 高流動コンクリートの塑性粘度とVLおよびVLsとの関係

VLと塑性粘度との関係に比べ非常に相関が悪く、鉄筋が存在する場合の流動速度はコンクリートの塑性粘度で一義的に決まらないものと考えられる。これに関連して、図-7はレオロジー定数がほぼ同じである粉体系と増粘剤系高流動コンクリートのVLおよびVLsを比較したものである。図より、VLは粉体系と増粘剤系であり差はみられないが、VLsでは、粉体系が増粘剤系よりも速いことがわかる。

3.2 鉄筋間通過性に影響を及ぼす要因の検討

閉塞の有無に着目した鉄筋間通過性に関しては、高流動コンクリートの流動性ととも配筋条件、粗骨材量が特に主要な要因となる。しかし、本研究で対象としているような閉塞の起こらない場合においても、鉄筋間を通過する流動性の変化に及ぼす要因を明らかにすることが充填予測等を行うためには重要である。

野口ら[2]は高流動コンクリートが間隙を通過する際の流動速度低下および閉塞をコンクリートの塑性粘度および降伏値が、みかけ上増大したものとし、次式のような考え方を示している。

$$\tau = \alpha \tau_y + \beta \eta \dot{\gamma} \quad (1)$$

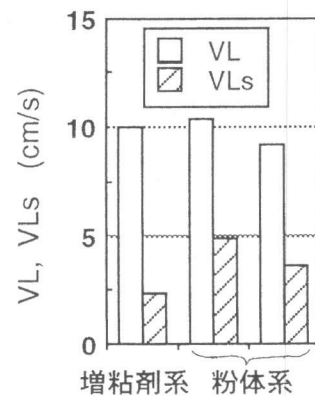


図-7 増粘剤系と粉体系の流動速度の比較

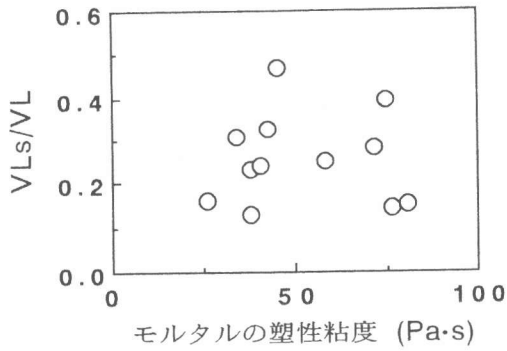


図-8 V_{Ls}/V_Lとモルタルの塑性粘度との関係

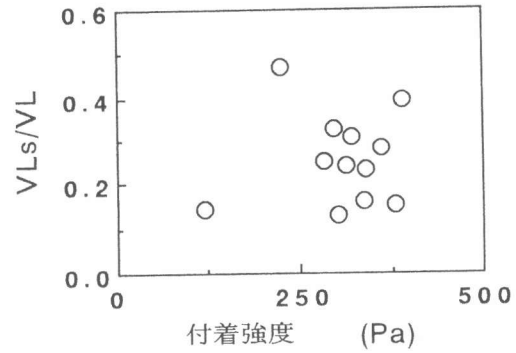


図-9 V_{Ls}/V_Lと付着強度との関係

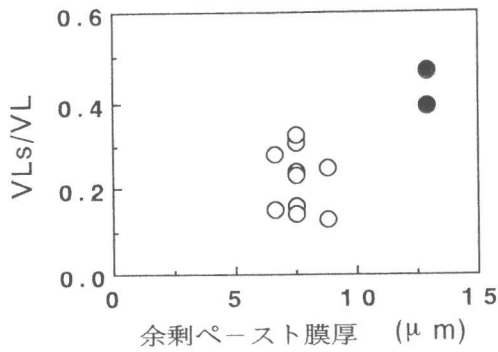


図-10 V_{Ls}/V_Lと余剰ペースト膜厚との関係

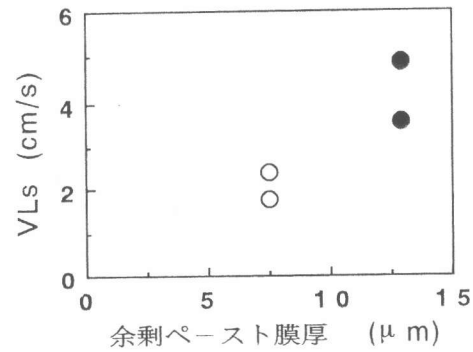


図-11 V_{Ls}と余剰ペースト膜厚との関係

ここで、 τ はせん断力、 τ_y は降伏値、 η は塑性粘度、 $\dot{\gamma}$ はひずみ速度、 α および β は間隙の寸法、粗骨材寸法などによって変化する係数である。

本研究では、この考え方を参考にし、V_Lがコンクリートの塑性粘度と関連し、V_{Ls}が鉄筋間通過によるみかけの塑性粘度と関連すると仮定し、V_{Ls}/V_Lとモルタルのレオロジー定数および付着強度との関係を検討した。

図-8にV_{Ls}/V_Lとモルタルの塑性粘度との関係を、図-9にV_{Ls}/V_Lとモルタルの付着強度との関係をそれぞれ示す。これらの図より、V_{Ls}/V_Lとモルタルのレオロジー定数および付着強度との間に明確な関係はみられなかった。3.1で述べたように、本研究では鉄筋間を通過する際の材料分離および閉塞はみられなかった。このような場合、高流動コンクリートの材料分離に関連すると言われているモルタルのレオロジー定数および付着強度はコンクリートの間隙通過性にあまり影響を与えないものと考えられる。

藤原ら[6]によれば、粗骨材のみの場合、通常の高流動コンクリートよりも狭い間隙でも通過できることから、高流動コンクリートの間隙での通過性に関しては細骨材の作用についても考慮する必要があることを指摘している。そこで、細骨材の影響を考慮し、コンクリート中の骨材の動きやすさを示す指標でもある余剰ペースト膜厚[7]を求め、V_{Ls}/V_Lと余剰ペースト膜厚との関係を検討した(図-10)。余剰ペースト膜厚は次式で求められる。

$$F_p = (1 - V \cdot 10^2 / C) \cdot 10^4 / (S \cdot V) \quad (2)$$

ここで、 F_p は余剰ペースト膜厚(μm)、 V は骨材の体積濃度、 C は骨材の実積率(%)、 S

は骨材の比表面積 (cm^2/cm^3) である。

図-10の黒丸は粉体系であり、白丸は増粘剤系である。図より、全体的には余剰ペースト膜厚が大きくなるとVLs/VLが大きくなり、鉄筋間通過性が向上する傾向を示しているが、増粘剤系の余剰ペースト膜厚の範囲が狭いこともあり、明確な傾向とはなっていない。

図-11は粉体系と同程度の塑性粘度を有する高流動コンクリートだけで余剰ペースト膜厚とVLsとの関係をみたものであるが、高流動コンクリートの塑性粘度（本研究の場合、降伏値も）が同程度（約 $300\sim 370\text{Pa}\cdot\text{s}$ ）の場合には、余剰ペースト膜厚が増加すると鉄筋間通過の際の速度が速くなり、鉄筋間通過性が向上する傾向がみられる。したがって、今後データを増やして検討することによって、鉄筋間通過性に及ぼす細骨材の影響を余剰ペースト膜厚で整理できる可能性があると思われる。

4. まとめ

本研究は、増粘剤の添加量および細骨材量が増粘剤系高流動コンクリートの流動性および鉄筋間通過性に及ぼす影響を明らかにし、粉体系高流動コンクリートも含めて、鉄筋間通過性に影響を及ぼす要因を明らかにすることを目的に行ったものである。その結果、粗骨材量一定の条件下、増粘剤あるいは細骨材量が増加するとコンクリートの流動性および鉄筋通過性が低下すること、閉塞や材料分離を伴わない場合の鉄筋間通過性は、モルタルのレオロジー定数および付着強度の影響はあまりみられないことが明らかとなった。また、鉄筋間通過性には細骨材が影響することから、これを評価する手法を検討することが必要であり、余剰ペースト膜厚もそのひとつの手法となる可能性がある。

参考文献

- [1]藤原浩巳ほか：高流動コンクリートの鉄筋通過性に関する基礎研究、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.15、No.1、pp.122-130、1993.6
- [2]野口貴文ほか：高流動コンクリートの間隙通過性に関するレオロジー的考察、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.17、No.1、pp.23-28、1995.6
- [3]黒川善幸ほか：高流動コンクリートの間隙通過性の簡易評価手法、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.17、No.1、pp.29-34、1995.6
- [4]吉野 公ほか：コンクリートのレオロジー定数に及ぼす使用材料の影響、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.17、No.1、pp.581-586、1995.6
- [5]吉野 公ほか：高流動コンクリートの流動性評価に関する研究、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.15、No.1、pp.119-124、1993.6
- [6]藤原浩巳ほか：高流動コンクリートの間隙通過性に関する研究、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.17、No.1、pp.17-22、1995.6
- [7]Powers, T. C. : The Properties of Fresh Concrete, John Wiley & Sons, Inc., pp.121-124, 1968.