

高強度コンクリートを対象とした空練りが モルタルフローに与える影響

坂本 恭裕^{*1}・川崎 佑磨^{*2}・福山 智子^{*3}・金 侖美^{*4}

要旨：高強度コンクリートの施工事例の増加が見込まれており、製造技術も対応していく必要がある。高強度コンクリートの流動性は、同配合・同環境でも、練混ぜ条件によって大きく異なる場合がある。本研究では、高強度コンクリートへの展開を念頭においたモルタルの練混ぜに、空練り有無、空練り時間を変化させた場合の流動性変化に着目した。その結果、空練り有無では約8cm、空練り時間では最大約10cmのフロー差が確認できた。混和剤吸着量、エトリンガイト生成量の分析結果から、空練りを行うことでフロックが形成され、その後に吸着する混和剤の量やタイミングに変化を生じさせ、流動性に差異が生じると推察した。

キーワード：高強度モルタル、空練り、フロック形成、混和剤吸着、エトリンガイト生成量

1. はじめに

現在、我が国における社会問題の一部に、「地球温暖化対策としていかに低炭素社会を実現するか」、「人口減少に伴う作業などの効率化をどのように促進するか」、「高齢化社会における技術継承をどのように効率よく行うか」など、様々な課題が挙げられている。

その中で、近年の自然災害の激甚化、頻発化等を踏まえ、防災・減災やインフラ老朽化対策等の国土強靱化といった政策から、今後、高強度コンクリートの施工は増加すると考えられる。また、日本全体の人口減少や建設業界における担い手不足といった問題から、工期削減などに伴い、プレキャストコンクリート製品の利用が促進されると予想する。さらに、JIS A 5308の改正(2019)における趣旨にも、高強度コンクリートの利用を推進するためと明記されている。

このような背景から、高強度コンクリートの施工事例はさらに増加し、施工技術だけではなく、バッチャープラントでの製造においても、その対応が求められる。一方で、練混ぜ条件がコンクリートの流動性に影響を与えることも知られており、その原因の一つとしてセメントに対する混和剤の吸着が挙

げられている^{1),2),3)}。セメント量が多くなる高強度コンクリートでは、通常のコンクリートよりもその影響が大きくなる。しかし、高強度コンクリートを対象とした配合において、上記影響の解明を試みた事例は少なく、練混ぜ条件に伴う流動性の相違の解明は急務であり、今後の高強度コンクリートの安定的な供給に寄与できると考える。

そこで本研究では、練混ぜ初期における細骨材とセメントの空練り有無と空練り時間に着目して、高強度モルタルの流動性に空練りが与える影響を考察した。スランプフロー値は、最終投入する粗骨材の影響も考えられるが、本研究では、空練りの影響をより明確に確認することを目的として、モルタルを検討対象とした。空練り条件におけるモルタルフロー（以下、フロー）値や混和剤吸着、エトリンガイト生成量の化学的考察も加えて、流動性の差異が生じる理由について推察した。

2. 空練り有無と空練り時間がフロー値に与える影響

2.1 実験概要

本研究では、複数の実験を行っており、それぞれで実験に必要な設定条件が異なる場合があるため、実験毎に概要と結

果を記述する。ここでは、全ての実験において共通の概要を示す。実験対象とした設計基準強度80N/mm²の高強度コンクリートの配合を表－1に示す。本研究では、モルタルを対象としており、この配合から、1L当たりの必要材料値を計算して後述する各試験を行った。使用材料を表－2に示す。

混和剤は単位セメント量に対して添加した。添加量は、モルタル配合で行った予備試験の結果から、フロー値の伸び率が収束した0.6%に設定した。使用ミキサは、ホバートミキサ(5L)を使用し、試験環境は温度20±2℃、湿度50%以上の一定環境下の室内で試験を行った。

2.2 空練り有無による影響

(1) 概要

細骨材の表面水とセメントによる初期水和の影響を確認するため、細骨材とセメントの練混ぜ（以下、空練り）を行い、その後に細骨材の表面水分を差し引いた練混ぜ水と混和剤を投入して練混ぜる（以下、本練り）方法でモルタルを製作し、フロー値の比較を行った。上記のモルタルの練混ぜ方法について図化したものを図－1に示す。

試験パターンとしては、空練りの有無、また絶乾状態の細骨材を用いて空練りを行った場合の3パターンを基本条件とした。空練り有の場合の空練り時間は30秒とし、合計練混ぜ時間3、4、7、10、15、20分それぞれにおけるフロー測定をバッチごとに行った。湿潤状態の細骨材における表面水率は3%に統一して実験を行った。

また、混和剤の有無も空練りにおけるフロー差に寄与するのかを確認するため、混和剤無の配合についても空練り有無の2パターンでフロー値の測定を行った。なお、混和剤無の配合については、混和剤有の配合で計算した1L当たりの必要材料値では練混ぜができないため、フロー測定の比較ができるように、単位水量を2倍にして水セメント比42.8%の条件で試験を行った。

(2) 実験結果および考察

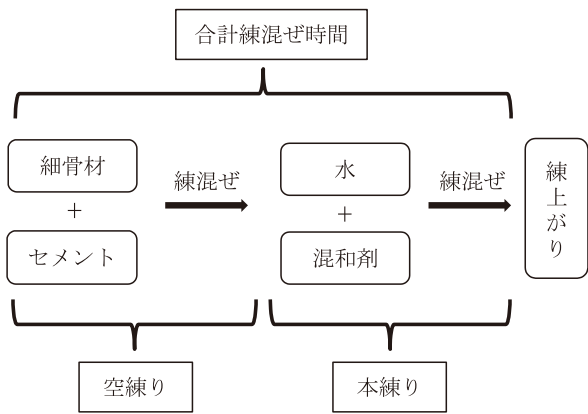
各練混ぜ時間のフロー値を図－2に示す。予備実験によるミキサの動力データからも練混ぜ完了には7分間の練混ぜが必要であった。練混ぜ完了である7分以降において、空練り無および細骨材が絶乾状態である場合には、練混ぜ時間を増加させても空練り有のフロー値に達することはなく、一定の差（約8cm）を保っていることがわかる。

また、細骨材が絶乾状態であれば、空練りを行っても空練り無のフロー値とほぼ同程度という結果から、空練りによるフロー値への影響は、練混ぜ初期における細骨材の表面水がセメント粒子と事前に接することにより、フロー値の増加に寄与すると考えられる。

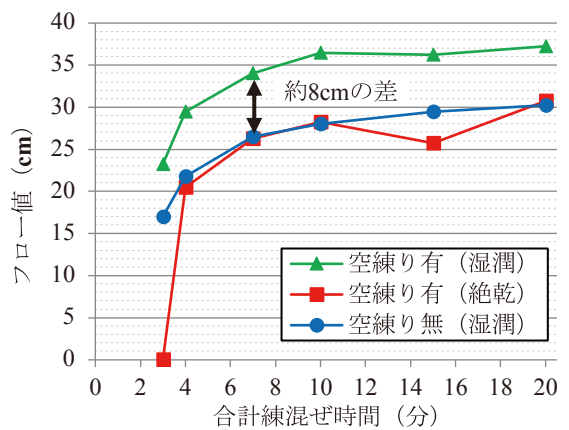
さらに、混和剤無の配合について、空練り有無で比較した結果を図－3に示す。混和剤有の配合では空練りを行うことで、空練りを行わなかった場合よりフロー値が約8cm増加することが上記の試験からわかるが、混和剤無の場合は空練りによるフロー値への影響はみられなかった。

表－2 使用材料

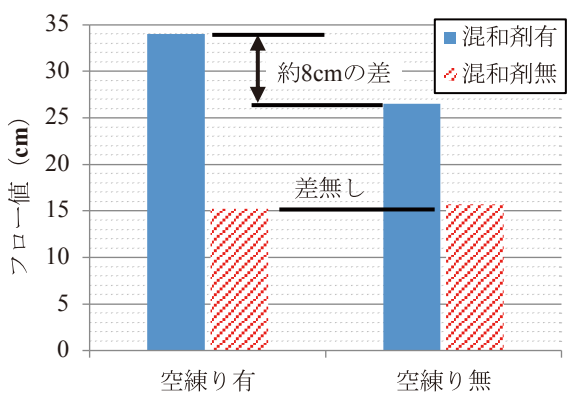
材料	種類および品質
セメント <i>C</i>	低熱ポルトランドセメント 密度：3.23g/cm ³
細骨材 <i>S</i>	砕砂 岩種：安山岩 表乾密度：2.54g/cm ³
混和剤 <i>Pc</i>	高性能減水剤 主成分：ポリカルボン酸系化合物



図－1 モルタル練混ぜ方法



図－2 空練り有無によるフロー



図－3 混和剤有無での空練りによるフロー

*1 日工株式会社 技術本部 開発部（正会員）

*2 立命館大学 理工学部 環境都市工学科 准教授 博士(工学)（正会員）

*3 立命館大学 理工学部 建築都市デザイン学科 准教授 博士(工学)（正会員）

*4 立命館大学 総合科学技術研究機構 助教 博士(工学)（正会員）

以上の図－2、図－3による結果から、細骨材の表面水とセメントが初期水和を起こし、その後の本練り時に投入される混和剤がフロー値に寄与すると考えられる。

空練り有無については、同じ配合・環境においてもモルタルの流動性に影響を与えていることが確認できた。細骨材表面のわずかな水分とセメントの初期水和に対する混和剤の影響が大きく寄与することが理由として推察される。

2.3 空練り時間による影響

(1) 概要

前項の検討により、空練り有無が流動性に与える影響として、セメントの初期水とおよび混和剤の関係が推察できた。本項では、空練り時間がモルタルの流動性に与える影響を確認した。

空練り時間は0、30、60、90秒の4パターンとした。合計練混ぜ時間は7分に固定して、空練り時間に応じて本練り時間を変更した。その他の条件は、前項の試験概要と同様に、ホバートミキサ(5L)を使用し、試験環境は、温度20±2℃、湿度50%以上の一定環境下の室内で試験を行った。細骨材は、表面水率が3%のものを使用した。

(2) 実験結果および考察

各空練り時間に対するフロー値の結果を図－4に示す。空練り時間の増加に伴いフロー値が大きくなる結果を得た。この結果から、混和剤が投入される前に、細骨材の表面水とセメントの接触時間が増加することで、フロー値の増加に寄与している可能性が考えられる。ここで、空練りによって細骨材の表面水がどの程度セメントに対して移動しているのか不明であるため、次章で検討した。

3. 空練りが流動性に与えるメカニズム

2章における結果から、細骨材の表面水とセメントの接触有無(空練り有無)とその時間(空練り時間)がフロー値に影響していることがわかった。そこで本章では、物理的試験として、細骨材の表面水がセメントにどの程度移動しているのか、そしてその表面水で生じるフロックの形成量について簡易的な確認実験を行った。さらに、化学的試験として、混和剤吸着量の測定およびエトリンガイト生成量の測定を行った。

3.1 細骨材の表面水移動に関する実験

(1) 概要

空練り時間に応じて、細骨材の表面水がどのようにセメント粒子に吸着および移動しているかを定量化するために、赤外線多成分計を用いて試験を行った。実験に用いる材料は、セメントの代用として白色の粉体である炭酸カルシウム(密度:2.71g/cm³)と細骨材を用いた。炭酸カルシウムを用いることにより、水との反応もなく、粉体と細骨材の純粋な分散の評価につなげることが可能と考えたためである。砂の粒子径に比べ十分小さい粉体であるため、セメントとの物性値差については、分散を評価するにあたっては影響ないと判断した。

赤外線多成分計による測定対象は色の波長と水の波長

とし、空練り後の材料表面における波長から吸光度を測定した。なお、細骨材の表面水と炭酸カルシウムの本来の色では波長差が生じにくい。そこで、炭酸カルシウムとの色波長差をより明確にするために、絶乾状態の細骨材に表面水3%となるように食紅で着色させた水を吸収させた。

各材料の計量値は、表－1に示した基準配合から1L当たりの必要材料値を計算した。測定条件は、空練り時間を30、60、90秒の3パターンとして、本練りを行う前の空練りのみを測定対象とした。空練り直後の材料をステンレス製のバットに移し、表面を平滑に調整した後、その容器内を図－5に示すように6区分に分割した。各区分中央の表面色波長および水波長の測定を3回ずつ行い、1試料当たり計18回の測定を行った。

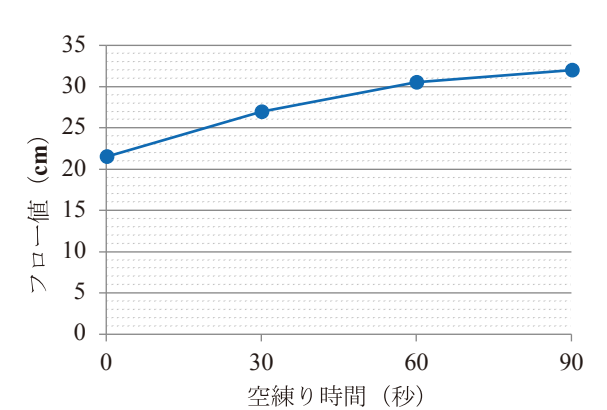
(2) 実験結果および考察

各空練り時間に対して測定した色吸光度および水吸光度の結果をそれぞれ図－6、図－7に示す。

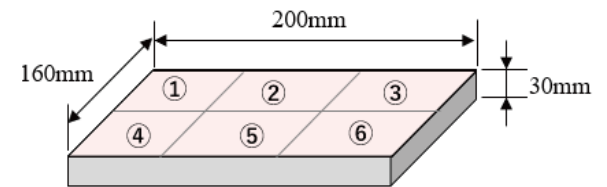
各吸光度は、数値が大きくなるにつれて、着色箇所が多く、また、水が表面に存在していることを示す。図－6から、色吸光度では、空練り時間の増加に伴って吸光度が高くなり、炭酸カルシウムの着色箇所が多くなっている。図－7から、水吸光度でも、空練り時間の増加に伴って、吸光度が増加しており、色吸光度と同様の結果を得た。

両吸光度の結果から、細骨材と炭酸カルシウムが接触する時間が長いほど、細骨材の表面水が炭酸カルシウムに移動していることがわかった。

また、各測定箇所のバラつきは、空練り時間の増加に伴って小さくなっており、表面水が均一に分散していることが読み取れる。



図－4 空練り時間におけるフロー



図－5 吸光度測定箇所

3.2 セメントフロックの形成に関する実験

(1) 概要

セメントは加水されると水和反応によってセメント粒子の表面に正の電荷が発生して不安定となり粒子同士がくっついてフロックを形成する。そこで本報では、空練り時間に応じて、細骨材の表面水がセメント粒子に移動している影響を確認するため、ふるいを用いて、フロック形成量を測定した。

測定方法は、空練りのみを行った試料全量を、ふるいにかけて、通過量およびふるいに留まった量を測定した。空練り無については、攪拌自体していないため、評価には加えないこととする。

水との接触がないセメント粒子をふるい分けるため、ふるいの網目は0.15mmを用いて測定を行った。

(2) 実験結果および考察

各空練り時間に対するふるい試験の結果を表－3に示す。前項の表面水移動の実験結果からも想定できる通り、空練り時間が長くなれば表面水の移動量も多くなるため、フロック形成量が多くなる結果を得た。目視確認でも、空練りを長く行うことで、ダマが多くでき、ふるいを通過する量に差があることが確認できた。

3.3 混和剤吸着量に関する実験

(1) 概要

3.1および3.2から、細骨材の表面水がセメント粒子に与える影響がわかった。そこで、本項では、空練り段階による細骨材の表面水が本練りで投入される混和剤の吸着にどの程度影響を及ぼすのか確認するため、空練り時間に応じた混和剤吸着量の測定を行った。

各材料の計量値は、表－1に示した基準配合から1L当たりの必要材料値を計算して作製したモルタルを用いた。図－8に示すように、遠心分離機で液相と固相に分離し、抽出した液相を熱分析することで、液相中の混和剤の残存量を測定した。

測定条件は、空練り時間を0、30、90秒の3パターンとした。合計練混ぜ時間は7分で固定とし、空練り時間に応じて本練り時間を変更した。作製したモルタルから分離した液相を採取して、5回ずつ測定を行った。

(2) 実験結果および考察

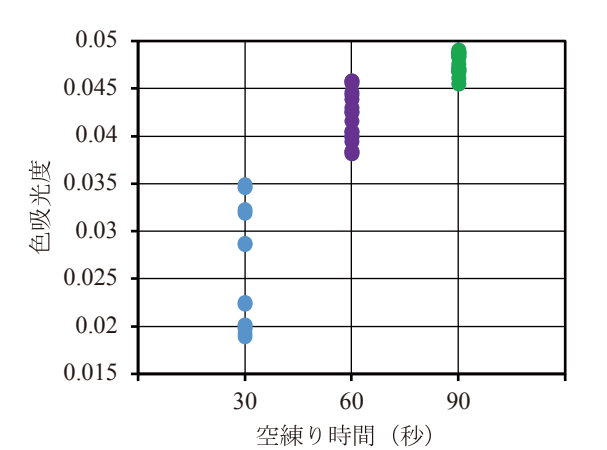
各空練り時間に対して作製したモルタルからの混和剤残存量の結果を図－9に示す。各残存量の結果から、空練り時間0秒では液相に残る混和剤量が少なく、空練り時間が増加するに伴って、液相に残る混和剤量が多くなることがわかった。そのことから、空練り時間が短い場合は、固相への混和剤吸着量が大きく、空練り時間が長い場合は吸着量が小さくなる結果を得た。

3.4 エトリンガイト生成量に関する実験

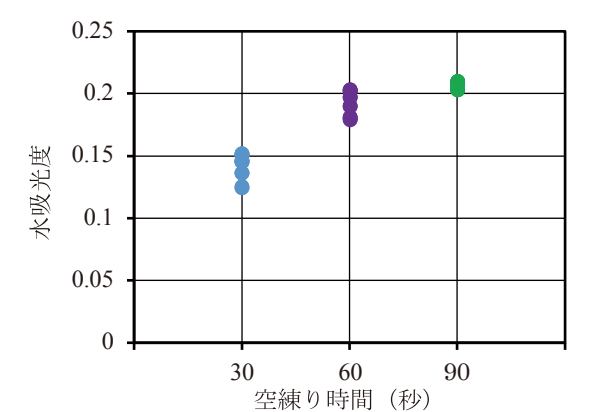
(1) 概要

エトリンガイトは水和反応によって生成されるため、3.2で実施したフロックの存在確認に関する指標となると考えた。測定方法は、図－8で示すように、混和剤吸着量測定の際に遠心分離機で固相に分けた試料を用いて、X線回折を行った。練混ぜ直後の比較を行うため、アセトンで水和反応を停止させた。

混和剤吸着量の測定に使用したモルタルを用いているため、測定条件は、空練り時間を0、30、90秒の3パターンとした。予備試験でエトリンガイト生成量のピーク値が8.7～9.4°であることを確認しているため、その回折角度範囲の積分強度として比較を行った。



図－6 空練り時間における色吸光度



図－7 空練り時間における水吸光度

	空練り時間	
	30 秒	90 秒
ふるい通過重量 (g)	204.0	175.3
留まった重量 (g)	1275.2	1301.0

表－3 ふるい試験結果

