

ミキサ回転方向による 高強度コンクリート練混ぜへの影響について

籠谷 武・田村 彰啓
日工株式会社

要旨:近年、高強度・高流動コンクリートのような高粉体量の配合が多くなってきている。これらは、従来の低スランプコンクリートに比べ、粗骨材割合が少ないため、コンクリートミキサによる練混ぜ時間は長くなる傾向にある。そのため2軸強制練りミキサの高性能化が求められている。筆者らはミキサの回転方向に着目し、回転方向によるミキサ内での流動の違いを可視化実験手法により明らかにした。本研究では、その可視化実験の実証試験としてテストミキサにて高強度コンクリート配合のモルタルを練混ぜてその影響の違いを確認した。そして、回転方向を組合せ新しい練混ぜ方式のミキサを考案しその性能を検証した。

キーワード:2軸強制練りミキサ, 回転方向, 高流動コンクリート, 新型ミキサ

1. はじめに

近年、高強度コンクリート、高流動コンクリート、超高強度モルタル等の数多くの高性能コンクリートが出現している。これらは構造物の設計や施工の概念を大きく変化させるだけでなく、配合設計や練混ぜ等の製造技術に対しても大きな影響を与える結果となった。これらのコンクリートは、超微粒子であるシリカフェームや高炉スラグ微粉末、フライアッシュなどの混和材を混合し、従来に比べ粉体量が多い。高粉体配合の高性能コンクリートは、普通コンクリートに比べ、材料本来の性能を発揮する状態まで練混ぜるのに時間を長くとる必要がある。例えば100N/mm²を超える超高強度コンクリートの練混ぜ時間は、通常120秒以上を必要とする。このため、レディーミクストコンクリート工場では、供給能力の低下が問題となっている。この原因は、高強度コンクリート配合が、高粉体量であり、かつ単位粗骨材量が850kg/m³前後で極端に粗骨材量が少ないことにより、粗骨材粒子群の回転・衝突による練混ぜが期待できないためである。そのため、高性能コンクリートの練混ぜ時間の短縮を可能とする2軸強制練りミキサの高性能化が要求されている。

これまで橋本¹⁾は、2軸強制練りミキサのコンクリート練混ぜ機構の解明を目的とし、フレッシュコンクリートの可視化モデルを用いて、ミキサ内のコンクリートの挙動をビデオ画像で記録する試験方法を提案した。この手法を用いて、吉田²⁾は、ブレード形状の違いによる混合度を定量的に評価し、練混ぜ性能への影響を明らかにし、ミキサの性能向上へと役立てた。また、籠谷³⁾はミキサ回転方向による流動の違いを明らかにした。

本研究では、粉体量が多い高強度コンクリートに適したコンクリートミキサの新たな可能性を追求すべく、ミキサの回転方向に着目し可視化実験で得られた流動の違いを実際に

テストミキサにて高強度コンクリート配合のモルタルを練混ぜることでその影響を確認した。また、その際に発生した課題を改良し新しい練混ぜ方式のミキサを考案した。

2. 2軸強制練りミキサの流動形態

図-1に2軸強制練りミキサの練混ぜに寄与する2つの流動機構の概念を示す⁴⁾。図(a)より、1本のシャフト回りには、“らせん流動”が形成される。隣り合ったシャフトから逆位相に発生するらせん流動によりミキサ内を循環する“巨視的な練混ぜ”は「全体循環流動」と呼ばれ、投入された粒度が大きく異なる各種粉体材料を均一に混合する流れを形成する。図(b)の2本のシャフト間において逆位相のらせん流動が交互に衝突し合うことにより形成する“微視的な練混ぜ”は「局部交錯流動」と呼ばれ、セメント粒子と水の接触頻度を高め、セメントの水和反応を活発にする作用を与える流れを形成する。

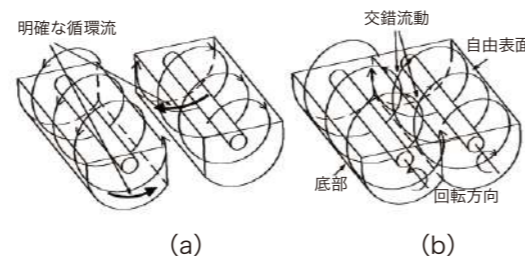


図-1 2軸強制練りミキサの流動形態⁴⁾

3. 2軸強制練りミキサのブレードの回転方向

2軸強制練りミキサの回転方向を図-2に示すように、外側から内側へ回転する方向を正回転、内側から外側へ回転する方向を逆回転と定義する。コンクリート分野での2軸

強制練りミキサのブレード回転方向は、正回転方向である。その理由の一つにブレードとケーシング間への粗骨材の噛み込みの影響を緩和することが挙げられる。一般的な練混ぜ量の場合、練混ぜ中の材料高さはミキサ軸中心より下に位置するため、ブレードがケーシングへ接近するときの粗骨材を噛み込むスペースを極力少なくできるようになっている。これを逆回転方向に回した場合、ブレードが粗骨材を運びながらケーシング中央へ進入するため、粗骨材を噛み込みやすくなるのである。

一方、化学や食品分野においては、ニーダ⁵⁾のように逆回転方向に回すミキサは存在する。ニーダとは2本の混合翼が互いに逆方向に回転し、混合物をせん断・圧縮・引き伸ばして練り混ぜる装置のことであり、主に粘性材料に使用される。しかし、噛み込みの懸念のある材料では一般的に使用されない。冒頭での説明のように近年の高強度コンクリートのように高粉体配合が増えており、これらをいかに早く練混ぜることができるかが重要であるため、ブレードの回転方向による練混ぜへの影響を解明することは必要である。

4. 実験概要

4.1 使用ミキサ

本実験で用いたモデル2軸強制練りミキサを写真-1に示す。実験に用いたモデル2軸強制練りミキサの定格容量は75ℓ、回転数は59min⁻¹である。ブレードは連続らせん形状とし、ブレード回転方向による直接的な影響を確認するため軸はない構造とした。

4.2 配合と使用材料

配合は高粉体量で流動性の性状を確認しやすい高強度コンクリート配合のモルタルとし、設計圧縮強度100N/mm²、水/粉体(セメント+混和材)比20%とした。示方配合を表-1に示す。セメントは普通ポルトランドセメント(比表面積≧2500cm²/g)で、細骨材は砕砂(密度:2.6、吸水率1.24%、FM2.7)、混和材として高炉スラグ微粉末を使用し、混和剤は超高強度コンクリート用の高性能減衰剤を使用した。

4.3 実験パラメータ

4.3.1 ブレードの回転方向

テストミキサのブレード構成と回転方向を図-3に示す。パラメータは正回転、逆回転の2パターンとした。正回転のブレード構成で逆回転させると、材料が逆方向に送られ、ケーシング内を循環しないため、逆回転時は、シャフトを左右入替えて、ブレードが材料を循環させる方向になるように変更した。

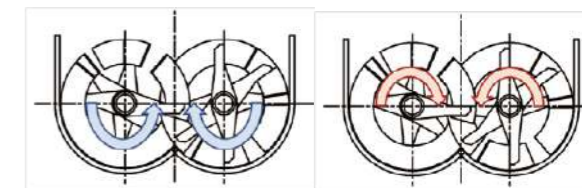


図-2 ブレードの回転方向



写真-1 本実験で用いたミキサ

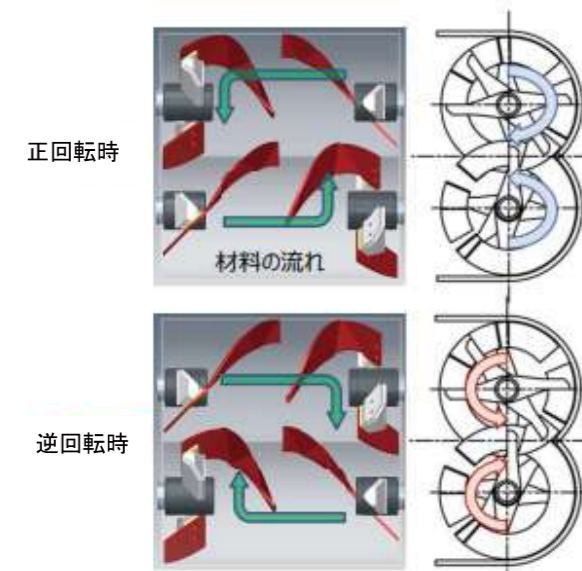


図-3 テストミキサのブレード回転方向

表-1 実験に用いた示方配合

目標フロー	単位数 kg/m ³				
	水	セメント	細骨材	高性能減水剤	高強度混48
250mm	243	1034	920	12	182

4.4 実験方法と評価方法

実験手順を以下に示す。

- (1)練混ぜ容量は40ℓ/Bとし、各材料を計量した後、細骨材、混和材、セメントの順で投入する。
- (2)ミキサを起動し、水(高性能減衰剤を含む)を投入する。
- (3)所定の練混ぜ時間90秒、120秒、180秒にてミキサを停止し、排出後に以下の試験を実施した。

評価方法を以下に示す。

- ・ミキサ内目視による流動性発現評価
- ・モルタルフロー値、200mm到達時間、停止時間
- ・圧縮強度試験(7日、28日)φ50×100mm供試体

写真-2にミニフロー値測定、空気量測定風景を示す。



写真-2 実験風景 左:ミニフロー測定 右:空気量測定

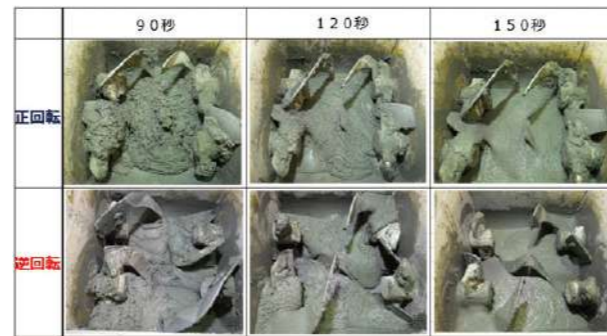


図-4 目視による流動性評価

5. 実験結果および考察

各練混ぜ時間におけるミキサ内目視による流動性評価を図-4に示す。ミキサ運転停止時のモルタルの広がりやすさで流動性を判断したが、逆回転の方が流動の発現が早く、正回転と比べ約30秒程度早いことを確認した。次にフレッシュ試験結果(ミニフロー値、200mm到達時間、停止時間、空気量)を図-5に示す。ミニスランプフロー測定結果からは90秒時点で逆回転が250mm、正回転が230mmと逆回転の方がフローが大きくなった。また、200mm到達時間と停止時間からも逆回転の方が短時間で伸びて止まっていることが確認された。空気量は、逆回転が正回転より全体的に高く、練混ぜ時間180秒で7.5%と最も高くなった。

次に練混ぜ時間と28日圧縮試験強度結果および供試体密度の関係を図-6に示す。逆回転では練混ぜ時間90秒で所定の圧縮強度を得られているが、練混ぜ時間が長くなると圧縮強度が低下しており、密度に関しては練混ぜ時間180秒で低下が確認された。この理由については、練混ぜ時間が増えると空気量が増加していることから練混ぜ中にエンラップトエアが増加しモルタル内の密度が低下したことで強度が低下していると推測される。

以上の結果から考察すると、逆回転は正回転より短い時間で高強度モルタルを練混ぜる特性があると考えられる。これは図-7に示すように逆回転ブレードがケーシング内の壁面へ押し付けるように圧縮せん断効果が高まり効果的に作用しているためと考えられる。その一方、エンラップトエア発生に関しては、回転の性質上モルタルの粘性発現後に材料が2軸間で分断されそれぞれの場所で滞留するように動きため、何度も同じところをブレードで掻きあげられることが原因でエアーを巻き込んでいると推察される。

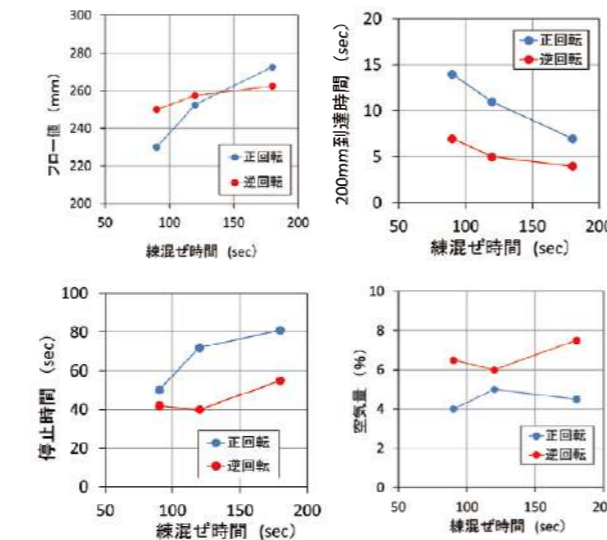


図-5 フレッシュ性状測定結果

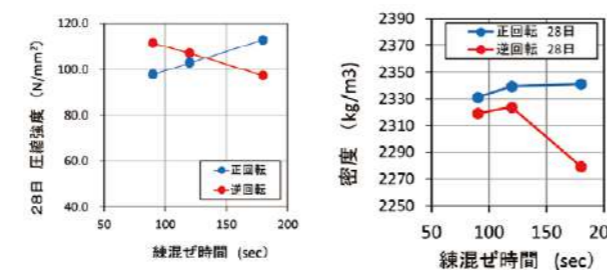


図-6 圧縮強度試験結果

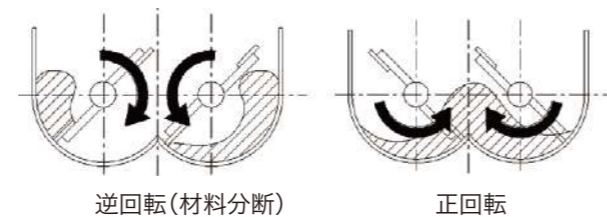


図-7 逆回転の課題解説

6. 回転方向を組合せた新タイプミキサ

6.1 ミキサ解説

前章で述べた逆回転時の材料の滞留を解消するために考案したのが図-8に示す正回転と逆回転を組合せた新タイプのミキサである。まず軸を無くしブレードを軸方向の中心にて分離することで回転方向の制約を無くし、正回転、逆回転を交互に配置し材料をケーシング内で循環させることで材料の滞留を解消した。また逆回転のブレードとケーシングとの圧縮やブレード間での交錯領域にてせん断効果も期待できる構造とした。本章では、この新タイプミキサと現行の高性能汎用タイプミキサにて高強度コンクリート配合のモルタルを練混ぜ比較することで性能評価を行った。

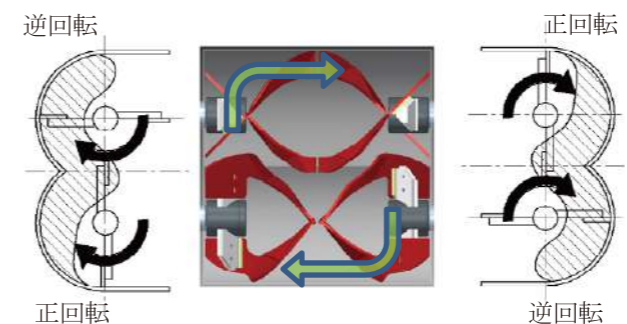


図-8 新タイプミキサ回転方向解説

6.2 実験概要

写真-3に新タイプと汎用タイプの写真を示す。新タイプは定格容量75ℓ、回転数50min⁻¹で現行タイプは定格容量60ℓ、回転数59min⁻¹とした。回転数は周速を合わせた。また練混ぜ容量は定格の50%で新タイプは37.5ℓ、汎用タイプは30ℓとした。試験配合および評価方法は前章と同様とし、実験手順は、練混ぜ時間を60秒、90秒、120秒とした。



写真-3 使用ミキサ 左:新タイプ 右:汎用タイプ

6.3. 実験結果および考察

本試験で得られた目視による流動性評価を図-9に、フレッシュ試験結果(ミニフロー値、空気量)を図-10に示す。目視による流動性評価では、フロー発現までの練混ぜ時間が新タイプが約90秒であるのに対し、汎用タイプは120秒以上かかることが確認された。また、ミニフロー値測定結果では新タイプは60秒で240mmと十分に流動性がでていますが汎用タイプは130mmとまだ練混ぜ途中であることがわかる。汎用タイプのフロー値が90秒から大きくなっている理由は目視からも練混ぜがまだ不十分であり水分が表にでていたためと推測される。また、空気量測定結果では新タイプと汎用タイプで大きな差はなかったため、逆回転のようなエンラップトエアの増加はなかったと思われる。

次に練混ぜ時間と28日圧縮試験強度結果および供試体密度の関係を図-11に示す。圧縮強度100Nに到達するのに必要な練混ぜ時間は新タイプでは60秒であるのに対し、汎用タイプでは180秒程度かかっていることがわかる。また、供試体密度に関しては、両タイプにおいて大きな差は見られず逆回転時のように密度の低下は確認されなかった。これらの結果から、回転方向を組合せミキサ内を循環できるように改良したことで、逆回転のメリットであった高流動モルタルへの圧縮せん断作用による効果的な練混ぜ性能を持ちながら、デメリットであった材料の滞留によるエンラップトエアの巻き込みを解消できたと考えられる。

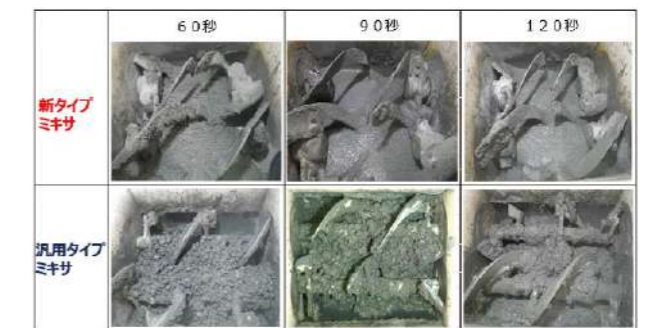


図-9 目視による流動性評価

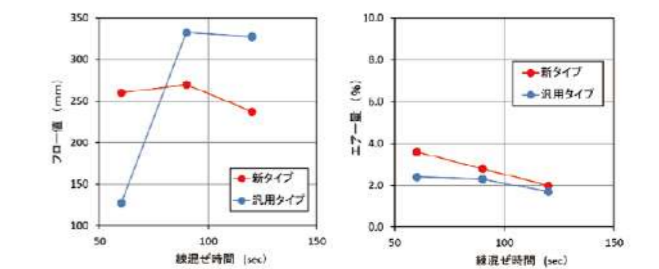


図-10 フレッシュ性状測定結果

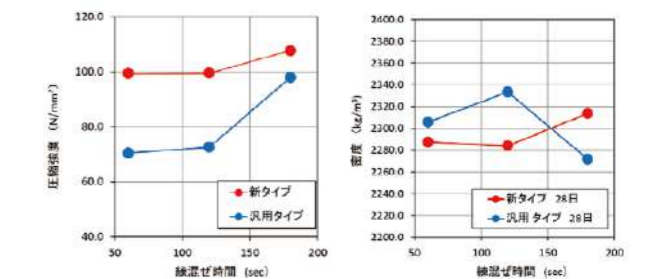


図-11 圧縮強度試験結果

7. まとめ

本研究は、回転方向による高強度コンクリート配合のモルタルへの練混ぜの影響を確認し、正転逆転を組合せ高粉体配合に有効な新しいタイプのミキサを考案した。本研究の結果について以下のことが確認できた。

- 1) 逆回転による練混ぜは正回転に比べ流動性発現までの練混ぜ時間が短くなることを確認した。
- 2) 逆回転時にはミキサ内で材料が分断される方向に動き滞留する傾向があることを確認した。
- 3) 新タイプミキサは高性能な汎用タイプミキサよりも短い時間で練混ぜることを確認した。
- 4) 逆回転による壁面および羽根交錯領域での圧縮・せん断作用によって高粘性な高粉体配合を効果的に練混ぜるミキサであることを確認した。
- 5) モルタルの粘性発現後も容器内全体で材料は流動しており、逆回転のみの課題であった材料の滞留とエントラップトエア増加は解消された。

本ミキサの特徴である材料を中心へ寄せながら圧縮やせん断により練り上げる挙動は高強度コンクリートのような高粘性材料において材料自体に強制的に混練力が作用しやすい構造となっている。今後コンクリート材料のみならず幅広い分野においての有効性を確認していきたい。

参考文献

- 1) 橋本 親典, 平井 秀幸, 辻 幸和, 田村 真: 2軸強制練りミキサ内のコンクリートの練混ぜ機構の可視化, コンクリート工学年次論文報告集, Vol15, No.1, pp.1037-1041, 1993
- 2) 吉田 元昭, 橋本 親典, 渡邊 健, 水口 裕之: 2軸強制練りミキサのブレード形状が超高強度コンクリートの練混ぜ時間の短縮化に与える影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.31, No.1, pp.1639-1644, 2009
- 3) 籠谷 武, 中島 翼, 橋本 親典, 渡邊 健: 3次元画像解析手法を用いた2軸強制練りミキサの流動解析とその定量化, コンクリート工学年次論文集, Vol.40, No.1, pp.1263-1268, 2018
- 4) 橋本 親典, 辻 幸和, 杉山 隆文: 練混ぜ時間が2軸強制練りミキサの練混ぜ性能に与える影響, セメント・コンクリート論文集, No.51, pp.582-587, 1997.1
- 5) 日本粉体工業協会編 編集委員長 矢野 武夫: 混合混練技術, 日刊工業新聞社発行, 6.3.3双腕形ニーダ, p198, 1980

筆者紹介



KAGOTANI Takeshi
籠谷 武

2004年入社
日工(株)テクノセンター
開発部 開発2課リーダー



TAMURA Akihiro
田村 彰啓

2014年入社
日工(株)テクノセンター
開発部 開発3課