

二軸強制練りミキサにおけるブレード形状連続性・傾斜角度・回転方向の
複合最適化による練混ぜ流動制御と超高強度コンクリート製造への影響

AUTHOR

簗谷 武^{*1} KAGOTANI Takeshi

概要

ABSTRACT

本研究は、二軸強制練りミキサにおけるブレード形状連続性、傾斜角度および回転方向の複合最適化を通じて、超高強度コンクリートの練混ぜ効率および品質均一性を向上させることを目的とした。従来研究では各パラメータが独立して検討されてきたが、本研究ではそれらの相互作用に基づく包括的な最適化を行い、練混ぜ段階ごとの流動制御手法を提案した。実験では可視化ミキサと容量60Lのテストミキサを用い、傾斜角度0°、15°、35°および回転方向（正回転・逆回転）、ブレードの連続性を変化させて、流動解析におけるミキサ内流動の最適条件の確認を行い、モルタルペースト試験練りでは高強度配合の初期、後期の練混ぜ過程にて圧縮強度、空気量が最適となるには回転方向を変化させることが有効であることを明らかとした。本研究では今後の超高強度コンクリート製造における省エネルギー化および練混ぜ最適化に資する知見をまとめた。

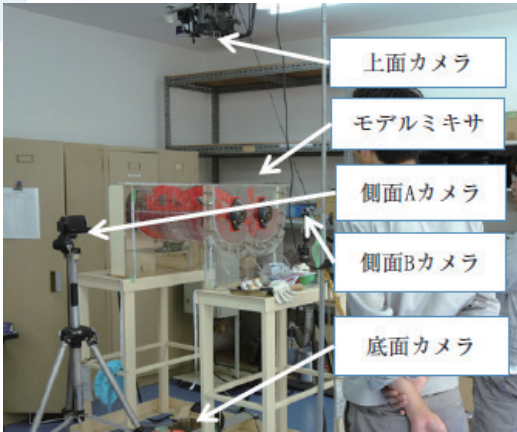
1. 序章

二軸強制練りミキサは、コンクリートの均質化と品質安定化を目的として広く用いられており、その流動特性はブレード形状、傾斜角度、回転方向といった幾何的および運動学的要素に大きく依存する。特に近年では、超高強度コンクリート(UHPC)のように水結合材比が低く、高い粘性を有する材料が増加しており、従来のミキサ構造では十分な分散性が得られないという課題が指摘されている。このため、ブレード設計においては単なる攪拌効率だけでなく、粒子群の循環流動とせん断流分布の最適化が求められている。過去の研究【1】【2】【3】において、ブレードの傾斜角度、形状連続性および回転方向を個別に評価し、それぞれの要素が練混ぜ効率に及ぼす影響を定量化した。本研究では、これらの成果を統合し、ブレード形状連続性×傾斜角度×回転方向の三要素を複合的に最適化する流動制御手法を提案する。また、練混ぜ過程を初期・後期に分け、それぞれの段階に適した回転方向を制御する「段階的流動最適化モデル」を構築することを目的とした。

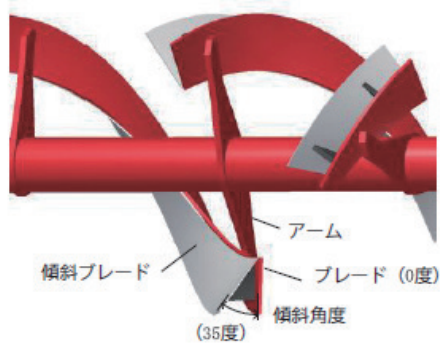
2. 研究方法

研究では、ブレード傾斜角度、回転方向、形状連続性の3つを主変数として設定した。傾斜角度は0°、15°、35°の3段階とし、ブレード形状は断続型（パドル型）と連続型（スクリュー型）を比較、回転方向は正回転（時計回り）および逆回転（反時計回り）の両方で実験を行った。また、流動解析は三次元トレーサ粒子法として34.5ℓの透明アクリル樹脂ケーシングで製作した可視化ミキサ内に高分子ポリマーにて作成した疑似モルタル

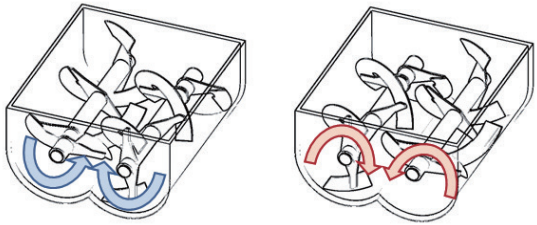
内にトレーサ粒子を配置して攪拌中の流動を上下左右からビデオカメラで撮影しトレーサの位置座標を測定することでミキサ内の材料流速を評価した（写真—1参照、図—1参照）。実機試験ではテストミキサ（容量60L）を用いた練混ぜ試験を行い、練混ぜ時間を60、120、180秒とし、配合は設計圧縮強度100N/mm²、水/粉体（セメント+混和材）比20%とし、モルタルペースト、練混ぜ容量は40L/Bにてモルタルフロー値、圧縮強度試験28日（φ50×100mm供試体を使用）、空気量を評価した。（写真—2、図—2、3、4参照）



写真—1 可視化試験風景



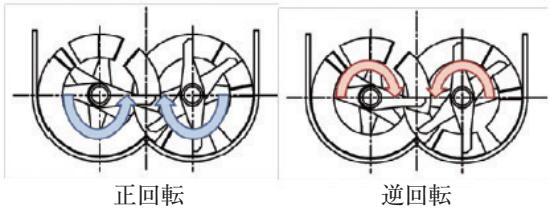
図—1 ブレード傾斜角度



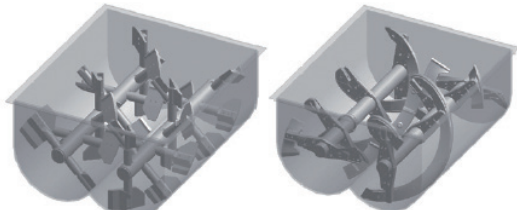
左：正回転 右：逆回転
図—2 回転方向および形状



写真—2 本試験で用いたテストミキサ



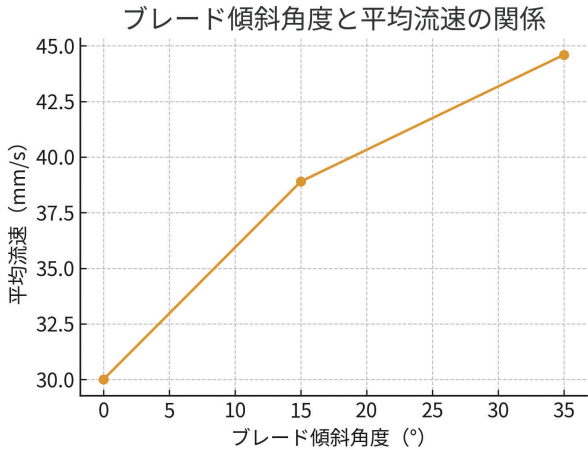
図—3 ブレード回転方向



断続ブレード 連続ブレード
図—4 ブレードの連続性概念図

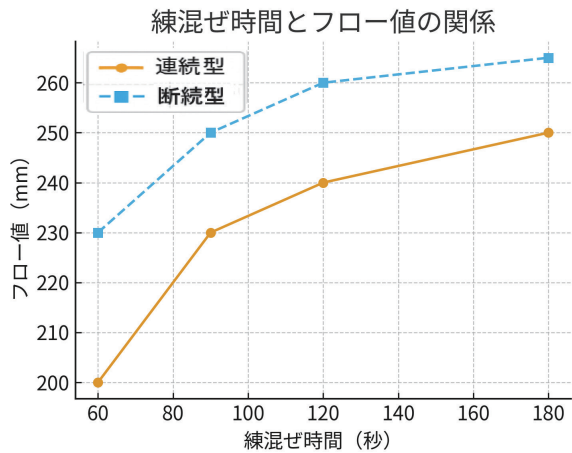
3. 結果と考察

図—5より、ブレード傾斜角度の増大に伴い、平均流速が増加する傾向が確認された。特に鉛直方向の流速成分が強化され、上下循環流が支配的となる。これは、せん断層がブレード表面に沿って形成され、粗骨材の浮上および沈降が均衡することによるものである。一方、傾斜角度が過大となると、流動が一方向化し、側壁付近での滞留が発生することも確認された。これにより、傾斜角度は過大でも過小でもなく、15°程度が最適範囲であると推定される。



図—5 ブレード傾斜角度と平均流速の関係

図—6では、連続型ブレードを用いた場合、練混ぜ60秒の段階でフロー値が従来型よりも約15%高い値を示した。これは、連続ブレードによる局部交錯流動がせん断応力を均一化し、凝集した粉体群を早期に分散させるためである。また、逆回転では初期段階での材料分散が促進され、短時間で均一化が進行した。

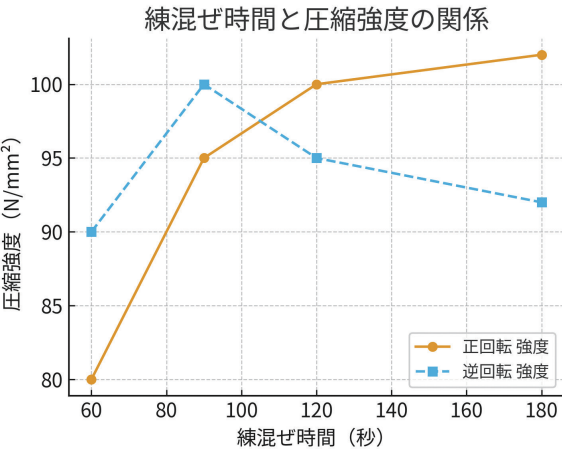


図—6 練混ぜ時間とフロー値の関係

*1 日工株式会社 技術本部 技術統括部 機械設計部 機械設計2課 課長 博士(工学)

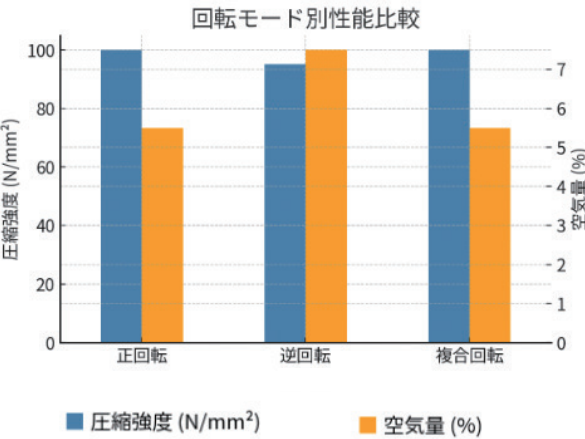
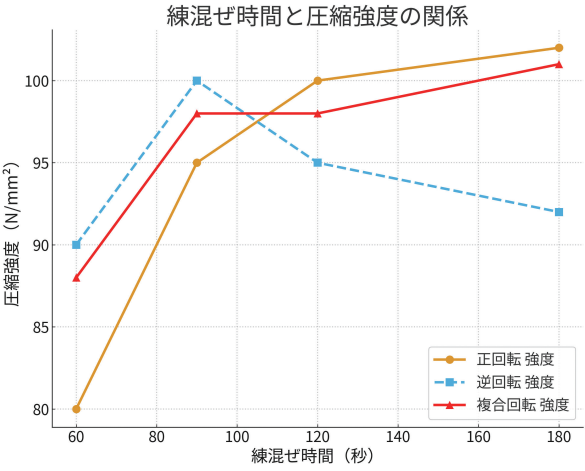


図一7に示すように、逆回転では練混ぜ初期に高いせん断エネルギーが発生し、粒子間の再配置が促進されることで、短時間で高い圧縮強度が得られた。しかし、長時間の逆回転では過剰な空気巻き込みにより強度が低下する傾向が見られた(図一8空気量参照)。正回転では、流動が安定し、練混ぜ後期に高い練り上がりの品質を保持できた。これらの結果から、初期に逆回転、中期以降に正回転へと切り替える段階的制御が、最も効率的な練混ぜ方法であると考えられる。



図一7 練混ぜ時間と圧縮強度の関係

図一8では、複合回転モードとして逆回転90秒+正回転90秒にて試験を実施。高い圧縮強度と低空気量を同時に達成することが確認できた。このモードでは、逆回転時に粒子群を解ほぐし、正回転時に再配列させるサイクルが繰り返され、流動状態の均一化が促進される。以上より、段階的制御モデルは単一方向運転に比べて高効率・高品質を両立できることが示された。



図一8 回転モード別性能比較

4. 結論

本研究では、二軸強制練りミキサにおけるブレード形状連続性、傾斜角度および回転方向の3要素を複合的に最適化し、練混ぜ効率と品質を同時に向上させる方法を提案した。得られた知見を要約すると、(1) 傾斜角度は15°付近がミキサ内を滞留することなく最も流動効率が高く、(2) 連続ブレードは短時間で均一な練混ぜを実現し、(3) 初期逆回転・後期正回転を組み合わせた段階的制御が最も高い性能を示した。これらの結果は、今後の大型ミキサ設計や省エネ化の観点からも重要であり、流動制御に基づく実機設計指針として有効であると判断される。

筆者紹介



籠谷 武
KAGOTANI TAKESHI

2004年入社

博士(工学)
機械設計部
機械設計2課

MEMO



参考文献 REFERENCES

- [1] 籠谷・田村ほか(2020)『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』
- [2] 吉田・籠谷ほか(2020)『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』
- [3] 籠谷・田村(2021)『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』