新しい概念に基づいたコンクリートの練り混ぜに 関する一考察

STUDY ON THE APPLICATION OF NEW CONCEPT FOR KNEADING CONCRETE

前田 顯 治*, 山田 一字**, 岸谷 孝一***

Kenji MAEDA, Kazuie YAMADA and Kouichi KISHITANI

Almost similar method of mixing has been applied in various types of existing concrete mixers. Instead of mixing process, our new concept implies the kneading process to improve consistency. Lapping one half of the mix to the another half and then pressing it, by moving roller, to its original thickness is its main function. Application of compressive and shearing forces through roller movement and the minimized effect of gravity are its main advantages. This method enables concrete production with perfectly even consistency, in which the constituents of concrete are uniformly distributed. This new concept is verified through experiments; and the advantages of the new mixer over existing mixers are examined by making comparison.

Keywords: concrete, mixing, kneading, compressive force, shearing force, mixing performance

コンクリート, 混合, 練り混ぜ, 圧縮力, 剪断力, 練り混ぜ性能

1. はじめに

従来、コンクリートの練り混ぜは、様々な形式のミキサーによって行われている。しかし、これら一般のコンクリート用のミキサーは回転式タイプが主流であり、動力によってドラムや回転羽を回し、材料を攪拌し分散して混ぜる形式となっている。

一方、日本で古くから行われている蕎麦や饅頭の練り方を見ると、まず初めに材料を混ぜた後練る作業を行う。すなわち、あらかじめ混ぜた材料を加圧しながら延ばし重ね、また加圧し延ばすという操作を繰り返すことによって、材料の練り混ぜを行っている。この練り混ぜ方法を従来の回転式タイプのコンクリートミキサーと比較すると、特に練り混ぜ中の圧縮作用や剪断（へらなで）作用が優れていると言う特長を有している。

著者らは、この圧縮・剪断作用の卓越した蕎麦や饅頭の練り方に着目して、この練り混ぜの概念をコンクリート等の製造に応用するために、一連の研究を行っている。

本報告は、この概念のコンクリート等の製造への適用性について、実験的に検討を加えた結果についてとりまとめたものである。

2. ミキサーの基本原理解

2. 1 概要

著者らは、蕎麦や饅頭の練り混ぜ方法に着目し、この概念をミキサーの基本原理解として持ち込んだものであり、コンクリート材料を1/2にして重ねた後、加圧しながら元の厚さに戻す操作を繰り返すことで練り混ぜを行うことを基本としている。それゆえ、このミキサーで上記の操作を10回行うと形成される層の数は、1.024となり、30回では理論上10億の層が形成され、一層の厚さは水の分子に相当するオーダーとなる。それゆえ、この考え方によって練り混ぜを行えば、上下に材料が均一に分散すると同時に圧延時の圧縮・剪断力によって、

* 前田建設工業 代表取締役会長

** 前田建設工業 技術開発部長・工博

*** 日本大学理工学部建築学科 教授・工博

Chairman, Maeda Corporation

General manager, Technology Development Maeda Corporation, Dr. Eng.

Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Science and Eng., Nihon Univ., Dr. Eng.

コンクリートが練り混ぜられることとなる。

この基本原理を、できるだけ忠実に再現するために、設計・製作した試験用のプロトタイプミキサーの作動により、このミキサーの原理についてを説明する。

2. 2 プロトタイプミキサーの構造

ミキサーの作動原理を再現するために製作したプロトタイプミキサーの構造を、図1に示す。

図1は、練り混ぜ機本体の概要を表したものであり、図2は、ミキサー本体の各ピストンの動きと、材料のミキサー内部での移動の状況を、模式図的に表現したものである。

2. 3 プロトタイプミキサーを用いた基本原理の確認

ここでは、試作したプロトタイプミキサーを用いて行った練り混ぜの基本原理、すなわち n 回の練り混ぜで形成される層の数が 2^n 個となることを確認するために、実施した試験の結果について述べる。

材料としてモルタルを用い、モルタルの半分を赤色の顔料で着色し、2層に分けてミキサー内に詰め、練り混ぜた結果を、写真1に示す。この写真から、モルタルに対しても原理通りの練り混ぜが可能であることが、明らかとなった。

図1 プロトタイプミキサーの構造

図2 プロトタイプミキサーの作動概要

3. ミキサーの特徴

3. 1 概要

蕎麦や饅頭の練り方に着目したミキサーは、従来のコンクリートミキサーとは、全く発想の異なったミキサーであり、回転式の一般のミキサーと比較すると、次の様な練り混ぜ時の効果が、期待できるものと考えらる。

- ①練り混ぜ時に材料に圧縮力が作用する。
- ②圧延時に剪断力が作用する。
- ③重力の影響を受けにくい。

一方、機構上次の様な欠点も考えられる。

- ④奥行き方向（伸ばす方向に直角方向）の材料移動が少ない。

また、著者らは、この研究に先だって一般に使用されているミキサーの性能を練り混ぜ時間とエネルギーの観点から分析し、

- ①コンクリートミキサーの練り混ぜに必要な時間は、必しも最適な練り混ぜ条件の下で決定されていない。
- ②ミキサーの型式、容量に関係なくコンクリートに加えられたエネルギーの大きさで、練り混ぜ状況を判断することができる。等の指摘を文献1) 2) 3)で行っている。

本研究も上述のような観点から、このミキサーの練り混ぜ性能について検討を加えることとする。ただし、本ミキサーにおいては、コンクリートの練り混ぜ時間の代わりに練り混ぜ回数を、その要因として考える。

3. 2 実験用モデル機

前章では、練り混ぜの基本原理を確認するためにプロトタイプミキサーを製作したが、このミキサーは練り混ぜ量が15ℓと少ないことから、更に大型の実験用モデル機を設計・製作して、コンクリートの練り混ぜ性能試

写真1 層を形成したモルタルの状況

験を行うこととした。

この実験用モデル機は、実用に供することが可能な大型の実用機を念頭に置いて設計したものであり、先に製作したプロトタイプミキサーとは構造は異なっているものの、練り混ぜの原理に則った機構となっている。

写真2と図3に実験用モデル機の概要を示す。

本機は、材料を1/2にして重ねるための一組のバケットと、圧縮して圧延するためのローラーで構成されている。このバケットとローラーは、互いに連結棒で接続されており、ローラーが左右に移動すると連動して、バケットが材料をすくい重ねる操作を行う構造となっている。図3は、この実験用モデル機の動きを示したものである。

3. 3 実験用モデル機によるコンクリートの練り混ぜ性能試験

3. 3. 1 実験方法

実験用モデル機によるコンクリートの練り混ぜ性能試験は、次の2シリーズから構成されている。

1) シリーズ1；コンクリートを練り混ぜた時の、ミキサー内の材料の均一性およびコンクリートの品質の均一性について、練り混ぜ回数の影響を把握することを目的としている。

2) シリーズ2；このミキサーの練り混ぜ性能に与える材料投入方法の影響について、すなわち、3. 1④『奥行き方向の材料の移動が少ない』と言う一種の欠点と考えられる材料移動の影響について、調査することを目的としている。

各シリーズの実験方法は次に述べるとおりである。

(1) シリーズ1

コンクリートの材料は、図3のようにミキサーの中央位置に投入された後、前述した如くバケットとローラーによって練り混ぜられるため、ミキサー内のコンクリートの均一性は、ローラーの走行方向に沿ってコンクリートを4等分し、それぞれの位置から試料を乱すことなく

写真2 実験用モデル機

採取し、以下の要領で調査した。

①スランプ：4等分した4箇所それぞれに対して1回

②空気量：同上

③粗骨材量とモルタルの差：同上

④圧縮強度：4箇所に対して各6本（2材令分）

これらのデータに基づいて、ミキサー内の品質のばらつきと練り混ぜ回数の関係について検討した。

使用したコンクリートの調査は、表1に示したうちの、スランプ12cmの普通コンクリートとした。材料のうち、モルタルは、プレミックスして、実験用モデル機にはモルタル・粗骨材・モルタル・粗骨材の順に4層で投入した。

練り混ぜ回数は、5, 10, 15, 20および50回の5水準である。なお、③の『粗骨材量とモルタルの差』については、JIS A 1119に準拠した。

(2) シリーズ2

シリーズ2の材料の投入方法と練り混ぜ後の試料のサンプリング位置を、それぞれ図4と図5に示した。本シリーズは、材料の奥行き方向の移動、すなわち、ローラーの走行と直角方向への材料の移動状況を把握することに主眼を置いているため、最も極端な場合を想定した材料の投入方法を設定している。シリーズ1と同様に、プレミックスされたモルタルは、図4に示した如く、ロー

1. ミキサーの中央部に材料を投入する。

2. ローラーが走行しながら材料の1/2を持ち上げる。

3. 材料を重ねる。

4. ローラーが走行しながら材料を圧延する。必要回数まで、2から4の操作を左右交互に繰り返す。

図3 実験用モデル機の作動概要

表1 コンクリートの調合

タイプ	Gmax (mm)	W/C (%)	s/a (%)	スランプ (cm)	空気量 (%)	単位量 (kg/m ³)				
						水	セメント	細骨材	粗骨材	混和剤 No. 70
AE-8	20	55	45	8	4.0	160	291	831	1056	0.73
AE-12	20	55	45	12	4.0	165	300	822	1045	0.75

ローラーの走行方向（平面図）

図4 粗骨材とモルタルの投入方法

ローラーの走行方向（平面図）

図5 試料のサンプリング方法

ラーの走行方向に2分割して投入し粗骨材と平面的に分離した。

練り混ぜ回数は、10、15及び30回の3水準とし、使用したコンクリートは、スランプ8cmで調合は表1に示すとおりである。また、練り混ぜ後のコンクリートに対する試験項目は、シリーズ1と同様とした。ただし、強度は6か所に対して、それ以外の品質は図5の③④の2か所のデータで比較した。

3. 3. 2 実験結果と考察

(1) シリーズ1

シリーズ1の実験の結果を、練り混ぜ回数に対してコンクリートのそれぞれの品質特性ごとにプロットすると、図6から図9が得られる。

図6は、JIS A 1119に準拠した粗骨材量と、モルタルの差とを現したものである。粗骨材量の差は、いずれの回数でもJISで定められた5%を下回っている。

しかしながら、練り混ぜ回数が5回の場合3.4%であったものが10回以上練り混ぜると1%以下と、急激に小さくなる。一方、モルタルの差はいずれの回数においても0.1%程度と、JISの0.8%に比べて小さくなっており、材料が良く分散していることが分かる。

これは、本ミキサー場合、モルタルの先練りが前提に

図6 練り混ぜ回数と粗骨材量の差およびモルタルの差の関係

なっているためであり、通常のみキサーに比べこの特長が顕著に現れたものと考えられる。

スランプと空気量の結果は、図7と図8に示したとおりである。これらの図では、左右の縦軸が4箇所のサンプルの平均値と変動係数を表わしている。

スランプの平均値は、練り混ぜ回数が多くなっても大きな変化は認められないが、その変動係数は練り混ぜ回数5回で50%あったものが、10回以降急激に減少して、15回を越えるとスランプの試験誤差に匹敵する値まで小さくなっていくことが分かる。

それに対して、空気量は平均値・ばらつきとも練り混ぜ回数に関係なく、ほぼ一定の値を示しており、変動係数は試験誤差程度に小さくなっている。コンクリート中の空気がモルタル中に存在することを考えれば、先のモルタルの差（図6）と同様に、モルタル先練りの効果が現れている。

次に、同時に行った2軸ミキサーのスランプと空気量の値（スランプ13.4cm空気量5.2%）をこれらの値と比較すると、本ミキサーの方が従来のミキサーに比べ、それぞれ2cm、1%程度小さくなっている。これは、本ミキサーは練り混ぜ中の圧縮作用が大きいため、従来の回転式のミキサーより空気の連行が少なく、その分スランプも小さくなったものと判断される。それゆえ、空気量はこのロス分を考慮して、モルタルの先練り時に空

気連行剤の使用量で調整する必要がある。

図9は、材令7日と28日におけるコンクリートの圧縮強度の平均値と、変動係数を示したものである。平均

図7 練り混ぜ回数とスランプの平均値と変動の関係

図8 練り混ぜ回数と空気量の平均値と変動の関係

図9 練り混ぜ回数と圧縮強度の平均値と変動の関係

値は、練り混ぜ回数が多くなるに従って若干大きくなる傾向にあるが、従来のミキサーとほぼ同程度で両者の間に大きな差は認められない。変動係数は、練り混ぜ回数5回で6%程度であったものが、10回を越えると約半分と小さくなって行く。

これらの結果を前述の文献のデータと比較すると、本ミキサーの場合10回程度練り混ぜれば、従来の傾胴ミキサーと強制ミキサーのそれぞれ120秒、40秒に相当する練り混ぜ性能が得られるものと考えられることができる。

(2) シリーズ2

シリーズ2の結果は、図10から図13のとおりとなった。図の表示はシリーズ1に準じているが、圧縮強度以外は図5の③④におけるデータの差として整理した。

粗骨材とモルタルを、ローラーの走行方向に沿って二分して投入する極端な場合、シリーズ1とくらべて、品質が安定するまでの練り混ぜ回数が5回程増加した。しかし、これ以降の結果は同様となり、材料の投入が大きく片寄っても所要の品質のコンクリートの製造が可能であることが明らかとなった。

これらの結果は、ローラーで材料を圧延する際に材料がローラー走行方向にだけ移動するのではなく、二次元的な広がりを持って材料が移動していくことを示唆して

図10 練り混ぜ回数と骨材量の差およびモルタルの差の関係

いるものと考えることができる。実際、コンクリート練り混ぜ中の材料の移動状態を目視で観察しても、この状況を確認することができる。

したがって、本ミキサーの場合、材料が片寄って投入されても、練り混ぜ回数を増加させることで、所要の品

図1.1 練り混ぜ回数とスランプの平均値と差の関係

図1.2 練り混ぜ回数と空気量の平均値と差の関係

図1.3 練り混ぜ回数と圧縮強度の平均値と差の関係

質を得ることができる。しかし、コンクリートの製造効率の観点からは、従来と同様に、材料をできるだけ均等に投入する機構を機械製作時の設計において、考慮しておくことが肝要であると思われる。

4. 新しい練り混ぜ方法の適用性

4.1 概要

本章では、本ミキサーの特長を確認するために、従来のミキサーでは練り混ぜが困難とされる材料に対する適用性について検討した。

本実験で対象とした材料は次のとおりで、従来のミキサーでは練り混ぜが困難なものである。

- 1) 極端に比重差の大きな材料の組み合わせ（発泡スチロールを混入した軽量モルタル等）
- 2) 貧調合で骨材粒子にセメントペーストを、コーティングしなければならない様な調合
- 3) 高粘性の材料

4.2 極端に比重の異なる材料の練り混ぜ

発泡スチロールは、コンクリートの軽量化に極めて有望な材料であるが、比重が0.02から0.04と非常に小さく、かつ濡れ難いことなどの理由で、これを混入したモルタル（コンクリート）を、従来のミキサーで直接練り混ぜることは困難であった。

ここでは、発泡スチロールのビーズを骨材とした軽量モルタル（以下、EPSモルタルと称す）への本ミキサーの適用性について調べる。

使用した発泡スチロールはビーズ状のもので、その物理的性質は表2に示すとおりであり、比重は0.035と他の材料に比べて極端に小さい。

EPSモルタルの調合は表3のごとく選定し、目標としたEPSモルタルの比重は1.1で、発泡スチロールの混入率は体積で50%である。

材料の練り混ぜ方法は前章と同様で、発泡スチロールを先練りしたモルタルと絡めながらミキサーに投入し、10回練り混ぜを行った後、型枠に打ち込み蒸気養生に

表2 EPSビーズの物理的性質

粒径 (mm)		実積率 (%)	空隙率 (%)	単位体積重量 (kg/m ³)	比重
最小	最大				
1.2	2.5	60.6	39.4	0.021	0.035

表3 EPSモルタルの調合

W/C (%)	単位量 (kg/m ³)					モルタルの比重
	水	セメント	砂	EPS	混和剤 No.70	
35	210	600	262	17.5	1.50	1.09

て養生し試験体を作製した。

写真3は、作製したEPSモルタル試験体の断面の写真であるが、発泡スチロールビーズは均一に分散しており、練り混ぜが確実に行われていたことが分かる。

このことは、比重が極端に小さくしかも表面が濡れ難い発泡スチロールビーズの様な材料でも、重力の影響を受けにくく、かつ圧縮作用の卓越した本ミキサーにおいては、普通のコンクリートと同様に練り混ぜることが可能であること示しているものと考えられる。

4. 3 貧調合モルタルの練り混ぜ

単位セメント量と単位水量が少ない、いわゆる貧調合のコンクリートはRCDやRCCなどで多用されている。

この種のコンクリートは、コンクリートを構成するバインダーとしてのセメントペーストが通常のコンクリートに比べて少ないため、品質は骨材へのペーストのコーティングの良否に支配されるものと考えらる。

写真3 EPSモルタル試験体の断面の状況

4. 3. 1 モルタルの調合と実験方法

実験に用いたモルタルは、1:6モルタルで水セメント比は35%と60%の二種類である。これらの調合を表4に示す。

モルタルは、初め2分間水平2軸ミキサーによって練り混ぜた後、その半分をさらに本ミキサーの練り混ぜ方法で30回練り混ぜた。練り混ぜ終了後、それぞれの試料からサンプリングして4×4×16cmの曲げ試験用型枠に3層で打設した。各層は25回つき棒にて突固め、材令2日で脱型した後、材令7日と28日において曲げおよび圧縮試験を行い、練り混ぜの効果について検討した。

4. 3. 2 実験結果

2種類の調合のモルタルの曲げ強度と圧縮強度の結果を、表4にまとめて示す。

強度試験の結果を見ると、水平2軸ミキサーで練り混ぜただけの試験体より、さらに30回本原理で練り混ぜを行った試験体の方が、曲げ・圧縮強度とも20%程度大きくなっていることが分かる。試験体は、いずれも同一のバッチから採取し成型したものであることを考慮すると、この強度の差は追加した30回の練り混ぜの効果によるものと考えることができる。

このような貧調合の場合、従来の回転式のミキサーでは、材料の分散は可能なものの、骨材に対してバインダーであるセメントペーストを、あるいは、バインダーとしての水をセメント粒子にコーティングする力が不十分である。これに対して、本ミキサーは圧縮と剪断作用が卓越しているため、その特長が遺憾なく発揮されたものと推定される。

4. 4 高粘性材料の練り混ぜ

セメントコンクリートは、練り混ぜの対象として比較的粘性の小さな材料である。粘性が大きくなると、従来

表4 貧調合モルタルの調合と強度試験の結果

W/C (%)	単位量(kg/m ³)			練り混ぜ条件	圧縮強度 (MPa)						曲げ強度 (MPa)			
	セメント	砂	水		材令 7 日		材令 28 日		材令 7 日		材令 28 日			
					結果	平均	結果	平均	結果	平均	結果	平均		
35	337	2022	118	二軸のみ	12.1	11.9	11.3	12.1	11.6	11.0	2.3	2.4	3.0	3.0
					11.9	12.4		10.7	10.0		2.7		2.9	
					8.9	10.5		12.6	8.9		2.2		3.1	
				二軸と本原理	16.1	15.0	16.8	16.2	3.6	3.6	3.2	3.2		
					16.7	16.6	15.6	13.9	3.6		3.3			
					18.2	17.6	14.7	14.9	3.5		3.2			
60	311	1866	187	二軸のみ	18.6	16.7	17.8	22.3	18.8	21.0	3.9	3.8	4.6	4.8
					18.5	17.1		21.7	21.1		3.8		4.7	
					17.3	18.5		20.4	21.7		3.7		5.0	
				二軸と本原理	23.8	21.7	28.0	29.1	4.7	4.7	6.4	6.3		
					19.8	19.1	28.6	29.9	4.3		6.1			
					23.3	22.2	27.6	28.6	5.0		6.3			

の回転式ミキサーでの練り混ぜは困難を極める。

そこで、セメント系の材料ではないが、粘性の極めて大きい極端な材料として、粘土をバインダーとして取り上げ骨材との練り混ぜ状態について、定性的な検討を行った。

4. 4. 1 実験方法

陶土に適量の水を加え粘度を調整してから、水平2軸ミキサーに粗骨材とともに投入した後練り混ぜを行い、練り混ぜ中およびミキサーから排出された材料の状況を観察する。さらに、水平2軸ミキサーから排出された材料を本ミキサーに投入して10回、本原理に準じて練り混ぜを行い同様に粗骨材と粘土の分散状況について観察した。

4. 4. 2 実験結果

写真4と写真5は、練り混ぜ終了直後の材料の状況を示したものである。写真からも明かなように、粘性が粘土のように大きくなると回転式のミキサーでは軸の回りに粘土が付着して、とも回りするために練り混ぜは不可能で、粗骨材も粘土に付着したのみで分散していない。

これに対して、本ミキサーの特長である圧縮力と剪断力を練り混ぜ中に材料に加えると、バインダーである粘土が粗骨材の回りにコーティングされ、骨材も全体に分散し良好な練り混ぜ状態となる。

したがって、粘性の大きな材料の場合には、回転式の従来のミキサーよりこの種の練り混ぜ方法が卓越しているものと判断される。

5. 結 論

本研究は、従来の練り混ぜ方法とは全く発想の異なった練り混ぜの方法に着目して、この原理をコンクリート等の製造へ適用すべく、基礎的な実験を行い練り混ぜ性能という観点から検討を行った。その結果、本実験の範囲内で以下のことが結論される。

写真4 水平2軸ミキサーで練り混ぜた粘土と骨材の状況

写真5 実験用モデル機で10回練り混ぜた粘土と骨材の状況

本ミキサーは、

(1) 普通コンクリートについては、10回程度の練り混ぜで従来のミキサーと同程度の練り混ぜ性能を得ることができる。

さらに、従来のミキサーでは練り混ぜが困難とされている次のような材料、

(1) 極端に比重差の大きな材料の組み合わせ

(2) 貧調合で骨材粒子にセメントペーストをコーティングしなければならない様な調合

(3) 高粘性の材料

などに対しても、優れた練り混ぜ性能を有していることが明らかとなった。

なお、本研究においては一部コンクリート系以外の材料も含め、新しい概念の練り混ぜ方法の適用性について検討した。これらの事例は、実験を開始して間もないため必ずしも十分な検討が行われているとは言えず、今後の課題として引き続き実験を行い、さらに練り混ぜの現象を明らかにしていく必要があると考えられる。

しかしながら、すでに述べたように、本ミキサーの特長をコンクリートの練り混ぜに応用すれば、材料として選択の余地は大きく拡大する。このことは、全く新しい発想のコンクリートの材料を生み出す可能を秘めているものと考えられる。

参考文献

- 1) ミキサの形式・容量がコンクリートの品質に及ぼす影響；岸 他；フレッシュコンクリートの物性とその施工への適用に関するシンポジウム論文集；1986
- 2) 3m³ ミキサと100ℓ ミキサで練り混ぜたコンクリートの品質比較実験；魚本 他；フレッシュコンクリートの挙動と施工への応用に関するシンポジウム；1989
- 3) ミキサの種類と練り混ぜ時間がコンクリートの品質に及ぼす影響；岸 他；土木学会論文集；1989

(1994年11月10日原稿受理, 1995年4月24日採用決定)