

## [117] 連続ミキサの練りませ機構に関する基礎的研究

正会員 ○神山行男 (竹中技術研究所)  
 正会員 越川茂雄 (日本大学生産工学部)  
 正会員 鈴木一雄 (東京都立大学工学部)

### 1. まえがき

連続ミキサは、コンパクトで機動性に富み、バッチ式ミキサと同等の品質を有するコンクリートの製造が可能であることから、最近、NATMや海洋工事の現場プラントとして使用実績が増加してきている。しかし、連続ミキサはわが国に導入されてから日が浅いこともある、練りませ機構等については不明な点も多く、コンクリートの練り上り直後の性状が安定しないなど、幾つかの問題点も指摘されている。

本研究は、連続ミキサの練りませ機構についてバッチ式ミキサと対比しながら実験、検討を行なうとともに、その実験結果に基づいて現在使用されている連続ミキサの改良を試みたものである。

### 2. 使用材料

セメントはN社製のフライアッシュB種セメント（比重：2.99）、粗骨材は君津産の山砂（比重：2.58、吸水率：1.63%、粗粒率：2.53）、粗骨材は鬼怒川産の陸砂利（比重：2.62、吸水率：1.27%、粗粒率：6.67）をそれぞれ使用した。また、AE減水剤および流動化剤はいずれもN社製のものを使用した。

### 3. 連続ミキサの練りませ機構に関する検討

連続ミキサはオーガータイプで容積計量したコンクリート材料をミキサの一方より連続的に供給して練りませを行ない、他方より練りませたコンクリートを連続的に吐出する構造となっており、バッチ式ミキサとその構造を著しく異にすることから、練りませ機構について練りませエネルギーの面から検討した。

#### 3.1 実験方法

水セメント比50%、スランプ8cm、空気量4%の同一配合のコンクリートを、K社製2軸強制練りミキサ（容量3m<sup>3</sup>）とS社製連続ミキサ（容量90L, 45m<sup>3</sup>/h）の2種類のミキサを用いて練りませを行ない、材料投入から練りませ、排出までの負荷電力をコンシスティンシーメーターで測定して比較した。

#### 3.2 実験結果および考察

2軸強制練りミキサおよび連続ミキサの練りませ時の負荷電力の測定結果を図-1および2に、さらに、その測定結果から消費電力量の時間の積分値として算定した消費エネルギーを表-1に示す。

図-1において、2軸強制練りミキサの負荷電力の測定結果は、各材料を順次投入しながら攪拌を開始したAの状態では負荷電力は急激に上昇し、全材料が投入され練りませが進行するBの状態では負荷電力は徐々に低下し、やがてコンクリートが均等質となった練りませ開始から約30秒経過後のCの状態では安定域に達し、負荷電力もほぼ一定の値を示した。

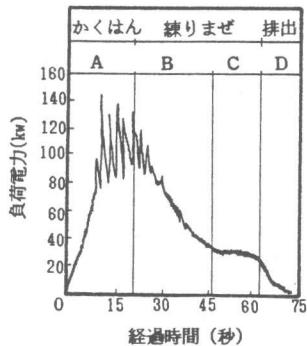


図-1 二軸強制練りミキサの練りませ負荷電力の測定結果

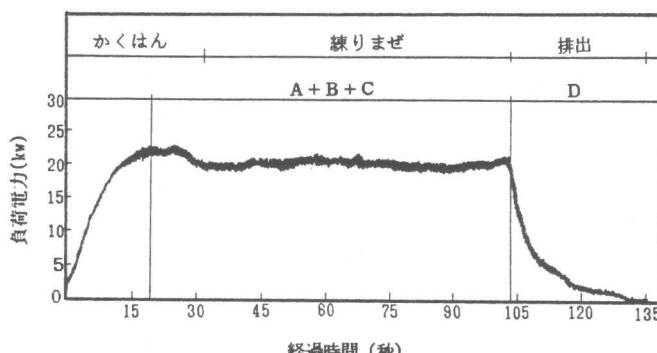


図-2 連続ミキサの練りませ負荷電力の測定結果

これに対して、図-2に示す連続ミキサの負荷電力の測定結果は、2軸強制練りミキサの測定結果とは著しくパターンを異にした。

すなわち、連続ミキサの一方から材料の投入が開始

され、他方の排出口にコンクリートが達し、ミキサ内全体がコンクリートで満たされるまでは当然のことながら、負荷電力は2軸強制練りミキサの場合と同様に急激に増加した。しかし、ミキサ内にコンクリートが満たされ、連続的に流れだすと若干の凹凸はあるが負荷電力はほぼ一定の値を示した。これは先に述べた2軸強制練りミキサ内で進行するA、BおよびCの状態が、連続ミキサでは一方の材料投入口から他方の排出口に向うミキサ内で順次しかも連続的に起っているからである。したがって、最大負荷電力は表-1に示すように2軸強制練りミキサの43kW/m<sup>3</sup>に比べて239kW/m<sup>3</sup>と約6倍の値を示した。また、この測定結果から消費電力量の時間の積分値として算定した消費エネルギーは、同じく表-1に示すように2軸強制練りミキサが0.315kWh/m<sup>3</sup>であるのに対して、連続ミキサは0.816kWh/m<sup>3</sup>と約2.5倍の大きな値を示した。

以上、負荷電力の測定結果から、連続ミキサは少量のコンクリートを2軸強制練りミキサの約2.5倍の大きな練りませエネルギーで短時間に練り上げ、この時に生ずる粗骨材のかみ等の抵抗を半円状の硬質ゴムでできた周壁で吸収し、しかも、練りませを連続的に行なうことによってコンクリートの製造能力を確保するきわめて効率的な機構を有していることが明らかとなった。

#### 4. 連続ミキサの練りませ時間に関する検討

連続ミキサで製造したコンクリートは練りませ直後の性状が不安定であり、ASTM-C685でもまだ固まらないコンクリートの試験は練り上り4分経過後に行なうように規定している。連続ミキサを現場プラントとして使用した場合、練り上り直後の性状が不安定であるということは、圧送時のポンパビリチーや型わく内に打設して締固め中のコンクリートのワーカビリチーが経時に伴ない変化することを示すものであり、施工上問題となることからこの点について検討した。

##### 4.1 実験方法

まず、製造直後のコンクリートの性状が安定しない原因について、セメントの初期水和速度に着目し、セメントの注水からの初期水和速度を、微小熱量計を用いて水和発熱過程として測定し練りませ時間との関係を検討した。次に、コンクリートの配合を水セメント比50%、練りませ時間約11秒においてスランプ4cm、空気量4%となるようにした一定のものとし、連続ミキサの回転軸の回転数(90~120r.p.m)、材料の供給速度(材料供給フィーダーのモーターの周波数13~60ヘルツ)およびミキサの台数(1台ないし2台連結)を組合せて、練りませ時間を約10秒から60秒まで9段階に変化させて練りませを行ない、練りませ時間がコンクリートの性状に及ぼす影響について検討した。試験にあたっては、スランプおよび空気量の試験は直後、5分後および20分後の3回とし、圧縮強度試験は練りませ直後に試料を採取して、1練りませ条件につきφ10×20cm供試体を3個づつ成形し、20℃の水中で28日間養生した後試験を行なった。

##### 4.2 実験結果および考察

微小熱量計を用いて測定した水和発熱過程は図-3に示すようであって、AE減水剤をセメント重量の0.25%使用した場合の注水から初期水和反応の第1ピークまでの時間は約70秒であった。この測定結果はセメントペースを60r.p.mの低速でゆるやかに攪拌した時のものであり、コンクリートが連続ミキサで練りませられる状態を考えた場合、細粗骨材粒子により摩擦されること、練りませエネルギーが大きいこと

表-1 練りませエネルギーの測定結果

ミキサの種類	最大負荷電力(kW)		消費エネルギー(kWh)	
	測定値	1m <sup>3</sup> 当たり	測定値	1m <sup>3</sup> 当たり
2軸強制練りミキサ	129	43	0.946	0.315
連続ミキサ	21.9	239	0.489	0.816

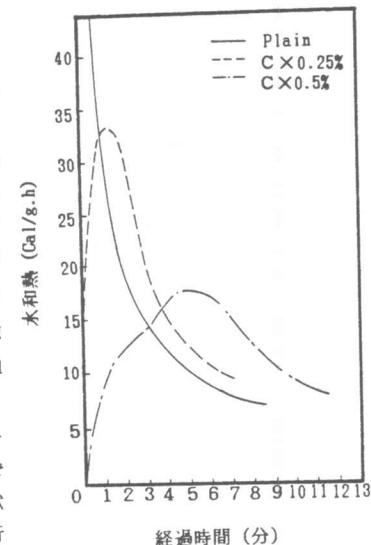


図-3 微小熱量計で測定した初期水和発熱過程

等により、これよりも短時間にセメント粒子表面のぬれ面積が著しく増加し、水和反応は大幅に加速され注水後かなり短時間に第1ピークに達すると予想されるが、それでも連続ミキサで11秒間練りませられたコンクリートが、その時点で初期水和反応が見掛上終了し、さらに練り殺されていわゆるドルマント期に達しているとは考えにくく、やはり、これが練りませ直後に性状が安定しない原因になっているものと推察された。

次に、9段階に練りませ時間を変化させてスランプおよび空気量試験、圧縮強度試験を行なった結果を図-4～6に示す。図-4において、練りませ時間20秒程度までは、練りませ時間が長くなる程練りませ直後のスランプは大幅に増加したが、それ以上においては練りませ時間が長くなてもスランプの増加の程度は小さくなった。また、練りませ時間と経時に伴なうスランプ低下の関係は、練り上りから5分後、20分後いずれにおいても、練りませ時間が長くなる程低下幅は小さくなる傾向を示し、この傾向は練り上り5分後から20分後までよりも、練り上り直後から5分後までの方が著しかった。

練りませ時間が空気量に及ぼす影響は、図-5に示すように練りませ時間20秒程度までは練りませ時間が長くなる程空気量は増加する傾向を示したが、それ以上練りませ時間が長くなると逆に減少し、ほぼ一定の値を示した。材令28日の圧縮強度は練りませ時間によって若干相違が見られたが、空気量の違いを空気量1%当たりの増減が圧縮強度で5%の増減に相当すると仮定して試験結果を補正し、分散分析によってその有意差を検討した結果は図-6に示すようにいずれの練りませ時間においても有意な差は認められなかった。

以上の実験結果から、連続ミキサの練りませ時間はセメントの初期水和反応の第1ピークが終了し、まだ固まらないコンクリートの性状が安定する20秒以上とする必要があることが明らかとなった。

### 5. 連続ミキサの改良

実験、検討の結果、現在使用されている連続ミキサは練りませ時間が不足していることが明らかとなつたので、練りませ時間約25秒のミキサを試作し、性能試験を行なつて検討した。

#### 5.1 実験方法

水セメント比53%、スランプ6cm、空気量4%の配合のコンクリートを用いて、表-2に示す試作した改良型ミキサと比較のための標準型ミキサの練りませ性能試験を行なつた。練りませ性能試験はJIS A 1119に準じてミキサの運転開始から0.3m<sup>3</sup>および1.0m<sup>3</sup>排出時に試料を採取して試験を行なつた。

次に、練りませ時間の不足がセメントの水和反応速度に起因していることから、差がより明瞭となるようにそれぞれのミキサで製造したスランプ6cmのベースコンクリートをスランプ15

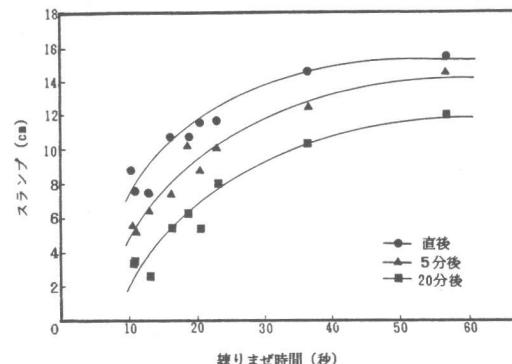


図-4 練りませ時間とスランプの関係

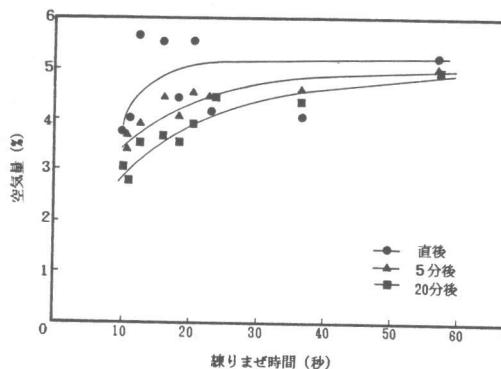


図-5 練りませ時間と空気量の関係

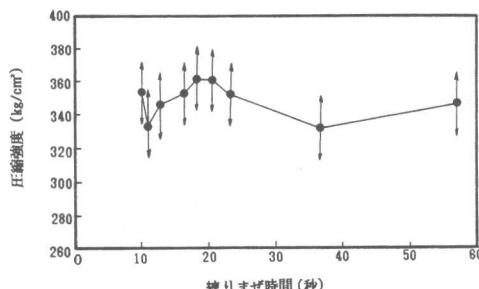


図-6 練りませ時間と圧縮強度の関係

cmに流動化し、スランプ

および空気量の練りまぜ

直後から60分後までの経時変化を20分間隔で測定するとともに、流動化直後に採取した供試体の圧縮強度試験を行なった。

## 5.2 実験結果および考察

ミキサの練りまぜ性能試験結果は、モルタルの単位容積重量差で標準型ミキサが0.32%、改良型ミキサが0.22%、単位粗骨材量の差で標準型ミキサが2.74%、改良型ミキサが2.38%といずれも規格値を十分満足していた。

流動化コンクリートのスランプおよび空気量の測定結果は図-7および8に示すようであって、スランプの経時変化はミキサによって著しく相違し、ベースコンクリートを改良型ミキサを用いて製造した流動化コンクリートのスランプ低下は、標準型ミキサを用いた場合に比べていずれの経時においても2cm以上小さい値となった。これは先に述べたように標準型ミキサを用いて製造したベースコンクリートは初期の水和反応の第1ピークが終了しておらず、流動化中にも水和反応が継続しこの水和反応によって多くの流動化剤が消費され、セメント粒子表面に吸着して分散状態を維持するために必要な液相中に残存する流動化剤量が減少したことに起因すると思われる。このことは、改良型ミキサを用いた場合に比べて同一スランプ増大量を得るための流動化剤使用量がセメント100kg当たり100cc増加した事でも裏付けられる。なお、空気量の経時変化ならびに材令28日の圧縮強度にはミキサ違いによる差は認められなかった。

## 6.まとめ

連続ミキサの練りまぜ機構についてバッチ式ミキサと対比しながら実験、検討を行ない、その実験結果に基づいて現在使用されている連続ミキサの改良を試みた。

今回の実験範囲で得られた結論を要約すると以下のとおりである。

(1) 連続ミキサは少量のコンクリートを大きな練りまぜエネルギーで短時間で練り上げ、この時に生ずる粗骨材のかみ等の抵抗を半円状の硬質ゴムでできた周壁で吸収し、しかも、練りまぜを連続的に行なうことによってコンクリートの製造能力を確保するきわめて効率的な機構を有していることが明らかとなった。

(2) 連続ミキサで製造したコンクリートの練りまぜ直後の性状が安定しないのは、セメントの水和反応速度に起因する練りまぜ時間の不足によるものであり、コンクリートの性状を安定させるためには、少なくとも練りまぜ時間を20秒以上とする必要があることが明らかとなった。

(3) 著者らが試作した練りまぜ時間を25秒とした改良型連続ミキサは、従来使用されている連続ミキサで製造したコンクリートに比べて、練りまぜ直後の性状の変化も小さく、経時に伴なうスランプの低下も大幅に減少でき、すぐれた性能を有していることを確認した。

表-2 連続ミキサの仕様

ミキサの種類	製造能力 (m <sup>3</sup> /h)	ミキサの形状			羽根の構成			回転数 (r.p.m.)	滞留時間 (秒)	練り角度 (度)
		重量 (kg)	容積 (ℓ)	長さ (m)	外径 (mm)	ピッチ (mm)	枚数			
標準型	25	550	90	1.91	270	270	18	19	220	11 13
改良型A	25	750	170	2.84	305	305	17	18	160	30 13
改良型B	25	750	170	2.84	305	305	19	19	160	25 13

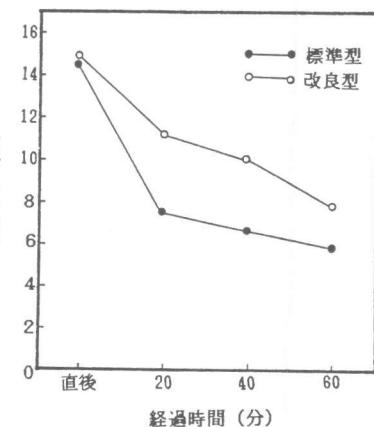


図-7 スランプの経時変化

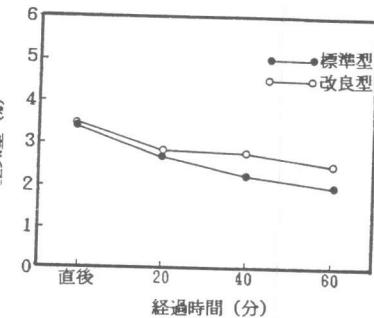


図-8 空気量の経時変化

表-3 コンクリートの圧縮強度試験結果

ミキサの種類	圧縮強度 (kg/cm <sup>2</sup> )
標準型	302 298 331
改良型	279 317 306