

報告 ドライミックス方式によるコンクリートの製造システムの実用化に関する検討

近松 竜一^{*1}・北條 泰秀^{*2}・代田 俊秋^{*3}

要旨：セメントや骨材をバッチ単位で予め計量し、長期保存可能な状態でドライミックス製品として現場に運搬し、現場でモービル型ミキサを用いてコンクリートを練り混ぜるドライミックス方式による製造システムの実用化に向け検討を行った。その結果、本システムによれば、現場までの運搬工程を省略し運搬中の品質変化の影響を排除することで、単位水量が少なく品質の変動が少ないコンクリートを供給できること、製造量の多少によらず各種コンクリートを簡易に製造し、バッチ毎に品質を保証できることを明らかにした。

キーワード：ドライミックス方式、移動式、製造システム、品質安定性

1. はじめに

わが国においては、セントラルミキシング方式によるコンクリートの供給体制が確立しており¹⁾、ほとんどの工事現場はレディーミクストコンクリートを購入することができる。また、現場までのコンクリートの場外運搬には、トラックアジテータ車が用いられ、運搬中の材料分離を抑制するよう十分な配慮がなされている。

JIS A 5308 では、練混ぜから荷卸しまでに要する時間が 1.5 時間以内と規定されており、1 つの工場からコンクリートを供給できる範囲は限界がある。また、現場毎にプラントからの運搬距離が相違するだけでなく、運搬経路や時間帯によっては交通渋滞の影響を受ける場合もある。したがって、レディーミクストコンクリートを購入する場合は、施工計画時に場外運搬時のコンクリートの品質変化の影響を考慮し適切な配車計画を策定することが重要である。また、とりわけ寒暖の差が大きい地域では、年間のコンクリートの練上り温度の差が 20℃以上となる場合もあり、温度条件によるフレッシュコンクリートの品質変化を考慮して配合を修正する必要がある。

所要の性能を有するコンクリート構造物を構築するうえで、コンクリートの打込みは施工の要である。この打込みに際して所要のワーカビリティが確保されるようコンクリートを製造し、その品質を精度良く管理するには、できるだけ工事現場に近い条件でコンクリートを製造する方が有利となる。

コンクリートの製造量が数十万 m³ 以上となる大規模なダムコンクリート工事や昼夜を問わず連続的に吹付けコンクリートを供給する必要があるトンネル工事においては、プロジェクト毎に工事現場にバッチャープラントを設置し、コンクリートを製造するのが一般的である。

しかし、現場にレディーミクストコンクリート工場と同等の製造設備を配備し、運用するには多大なコストがかかることから、現場でのコンクリートの製造は現状では上記したような一部の工事に限定されている。

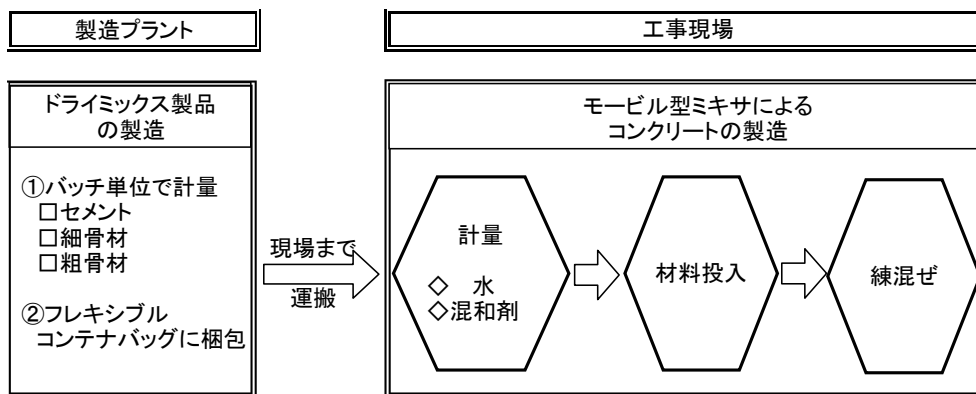
一方、道路などの緊急工事で数時間の水準でコンクリートに早期の強度発現が必要とされる場合、補修・補強工事で複数の特殊な材料を混合する場合などでは、現場でバッチミキサ車によりコンクリートを製造する方法が一般に用いられている。バッチミキサ車にはコンクリートの製造に必要な材料の貯蔵・計量や練混ぜに必要な装置一式が搭載されており、バッチ計量が可能な場合にはセントラルミキシング方式と同等の品質のコンクリートを製造することができる。しかし、このバッチミキサ車は上記の特殊工事に限定して用いられており、材料や設備も特殊コンクリート専用の仕様であるため、必ずしも汎用性が高いとはいえない。レディーミクストコンクリートのように多様な材料を用いる場合には材料の切替えが必要となること、コンクリートを連続的に製造するには各材料を別途供給する必要がある、製造量や速度の制約を受けることなど、実用面で難がある場合が多い。これに対し、セメントや骨材をバッチ単位で予め計量し、長期保存可能な状態でドライミックス製品として現場に運搬すれば、これらの課題を解決できると考えられる。

以上の観点から、工事現場で多種多様なコンクリートを簡易にかつ経済的に製造するために、ドライミックス方式による製造システムの実用性に関して実験的に検討した。本報告では、この製造システムの概要、ドライミックス方式による使用材料の管理、本システムにより製造した場合のコンクリートの品質の安定性や特殊コンクリートなどの製造結果について報告する。

*1 榊大林組 技術本部 技術研究所 生産技術研究部 主任研究員 工博 (正会員)

*2 太平洋マテリアル(株) 開発研究所 高機能建材グループ サブリーダー 工修 (正会員)

*3 21 コンクリート (正会員)



図ー１ ドライミックス方式によるコンクリート製造システムの概要



図ー２ ドライミックス製品の製造工程と概要

2. ドライミックス方式による製造システムの概要

2.1 システムの構成

このシステムの特長は、コンクリートの材料計量の一部の工程と練混ぜの工程を分離したこと、現場でのコンクリート製造に関わる諸設備を最小化し、モービル型ミキサに掲載したことである。

システムの構成および製造工程の流れを図ー１に示す。コンクリートの使用材料のうち、セメント、細骨材および粗骨材をバッチ単位で予め計量し、フレキシブルコンテナバックに詰めた状態で現場まで運搬する。現場には、水と混和剤の計量装置およびミキサを配備した簡易型バッチミキサ車を配備する。バッチ単位で水と混和剤を計量し、ドライミックス製品とともにミキサに投入しコンクリートを練り混ぜる。練り混ぜたコンクリートは専用のポンプで排出される。

2.2 ドライミックス方式の概要

予め表面水率を調整した細骨材と粗骨材、およびセメントを計量し、フレキシブルコンテナバックに詰め、バッチ単位の混合物（以下、ドライミックス製品）として現場まで運搬する。したがって、現場ではこれらの固体材料の計量工程を省略することができ、計量設備の簡素化が図れる。

ドライミックス方式で計量した混合物の製造工程と概

要を図ー２に示す。セメントはバッグの内袋に充てんすることで、骨材とは独立した構造となっている。フレキシブルコンテナバックの底部には排出口が設けられており、フレキシブルコンテナバックを吊り上げた状態で底部から骨材、セメントの順で材料を放出できる。

2.3 モービル型ミキサの概要

モービル型ミキサの概要を図ー３に示す。

このモービル型ミキサは、トラック車両に容量 1m^3 の水平一軸型強制練りミキサを2基積載している。

コンクリートの製造の手順を写真ー１に示す。トラックには水および混和剤の貯蔵タンクと計量器が装備されており、制御装置を介してこれらの材料を計量し、ミキサ内に投入する。一方、ドライミックス方式で計量した骨材とセメントの混合物は併設のクレーンによってミキサの直上まで吊り上げ、底部の排出口から骨材、セメントの順にミキサ内に投入し、コンクリートを練り混ぜる。

コンクリートは、2台のミキサを用いて交互に練り混ぜ、材料の投入作業に左右されることなく効率的にコンクリートを製造できるよう配慮している。また、練り混ぜたコンクリートはホッパ（容量 1.5m^3 ）に移された後、シュートを介して直接型枠内に打ち込むことができる。また、車両にはスクイズ式のコンクリートポンプが併設されており、打込み箇所まで数十mの範囲であればその

ままポンプ圧送することもできる。さらに大規模な現場の場合には、併設のポンプを用いて製造したコンクリートをアジテータ車に積み込み、打込み箇所まで運搬した後、一般的なコンクリート工事と同様に、コンクリートポンプ車を介して打ち込むことも可能である。

ドライミックス方式によるコンクリートの練混ぜのサイクルタイムを表-1に示す。1バッチ当たりの練混ぜ量は 1m^3 で、全材料投入後60秒間練り混ぜる。材料の投入開始からコンクリートの排出までのサイクルタイムは計200秒程度で、 $15\text{m}^3/\text{h}$ 程度の製造能力がある。

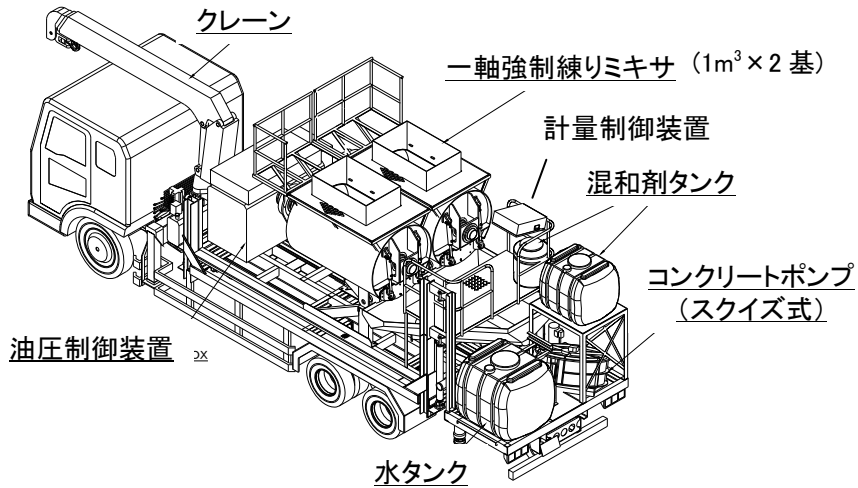


図-3 モービル型ミキサの概要



水、混和剤の計量、印字記録の確認

ドライミックス製品をミキサへ投入

ミキサで練混ぜ、ポンプで排出

写真-1 モービル型ミキサによるコンクリートの製造の流れ

表-1 練混ぜのサイクルタイム (1m^3 /バッチの場合)

項目	40	80	120	160	200(秒)
ミキサの高速回転(30rpm)			80秒		
ミキサのアジテート(5rpm)		95秒			20秒
混和剤の投入	5秒				
水の投入		90			
フレキシブルコンテナバッグの吊上げ		70秒			
骨材・セメントの投入			20秒		
フレキシブルコンテナバッグの吊下げ			30秒		
練混ぜ				60秒	
排出					20秒

3. ドライミックス方式における材料の品質管理および計量精度の検証

ドライミックス方式では、表面水率を予め調整した細骨材と粗骨材、およびセメントを予め計量する。そこで、これらの材料を計量した後の貯蔵期間中の品質の変化について検証した。

ドライミックス製品中の細骨材の表面水率の経時変化を図-4に示す。計量時の表面水率が4.5%程度の場合、7日経過後で約0.3%程度、14日経過後で約0.5%程度、表面水率がそれぞれ低下する結果となった。骨材を袋に詰め込んでから練り混ぜるまでの貯蔵期間が通常は1週間以内であること、袋詰めする際の細骨材の含水状態として通常は表面水率が3%以下の範囲で実施していることを踏まえると、貯蔵期間中の表面水の変化については実用上は計量誤差の範囲内で管理できると考えられる。

なお、粗骨材については、計量工程は細骨材と同じであるが、その表面水率はほぼ表乾状態に調整して計量されている。細骨材と併せて、貯蔵中の骨材表面水の変動がコンクリートの品質に及ぼす影響については特に問題ないと考えられる。

計量後のセメントの品質の経時変化の確認試験結果を表-2に示す。ドライミックス製品の袋詰めから約1ヶ月経過後もセメントの品質はほとんど変化していない。通常貯蔵期間内（7日以内）であれば、降雨や日射を避けることで貯蔵による品質変動の問題は生じないと考えられる。ドライミックス方式での骨材およびセメントの計量装置および移動式ミキサ車の水および混和剤の計量装置で各材料を計量した場合の計量誤差の一例を表-3に示す。各材料ともに計量値は許容誤差の範囲内で、精度良く計量できることが示されている。なお、各材料の計量結果は計量印字記録により出力され、練り混ぜたコンクリートの配合を直接検査することも可能である。

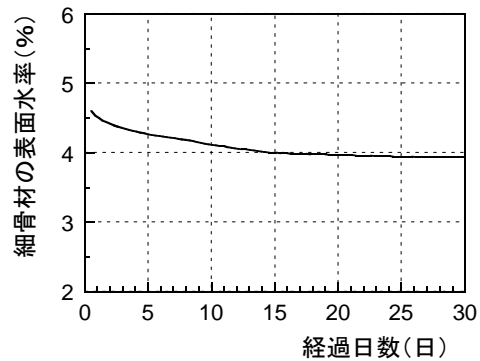


図-4 製品中の細骨材の表面水率の経時変化

表-2 セメントの品質の経時変化

項目		経過日数				
		0日	3日	7日	14日	28日
密度 (g/cm ³)		3.18	3.18	3.18	3.18	3.18
凝結 (h-m)	始発	2-9	2-9	2-9	2-9	2-9
	終結	3-23	3-23	3-24	3-25	3-25
強熱減量 (%)		1.78	1.80	1.74	1.79	1.80

表-3 動荷重の誤差の一例

種類	ケース1 (24-8-20) 計量誤差 (%)	ケース2 (21-18-20) 計量誤差 (%)	許容計量誤差 (%)
セメント	-0.34~0.17	-0.32~0.32	±1
細骨材	0.22~0.66	-0.65~0.76	±3
粗骨材	-0.51~0	-0.55~0.11	±3
水	0	0	±1
混和剤	0.57	0.51	±3

表-4 コンクリートの配合および試験結果

設計基準強度 (N/mm ²)	荷卸しの目標スランブ (cm)	場外運搬想定時間 (分)	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)					スランブの経時変化				荷卸し時 空気量 (%)	Con. 温度 (°C)	圧縮強度 f _{c28} (N/mm ²)		
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	AE 減水剤 WR	スランブ (cm)								
										0分	30分	60分	90分					
24	12	0	55.5	45.2	156	281	884	1075	2.81	13.5	-	-	-	5.3	20	32.3		
		90			160	289	823	1002	2.89	16.0	15.0	13.5	12.5	4.5	22	31.5		
	18	0		46.4	166	299	860	957	2.78	17.0	-	-	-	5.0	20	30.1		
		90		172	310	823	954	3.10	20.5	19.0	18.0	17.0	3.8	23	30.0			
	36	12		0	42.5	41.2	158	372	772	1107	3.72	12.5	-	-	-	4.9	21	40.6
				90			162	382	717	1027	3.82	15.5	14.5	13.0	12.0	4.0	22	40.6
18		0	42.1	168		396	770	1063	3.96	17.5	-	-	-	5.0	20	41.3		
		90	174	410		710	980	4.10	20.0	19.0	18.0	17.5	3.8	22	40.0			
45	12	0	36.5	38.6	160	439	700	1119	4.39	10.5	-	-	-	4.7	21	51.7		
		90			164	450	648	1035	4.50	13.0	12.0	11.0	10.5	3.8	22	50.6		
	18	0		39.3	169	463	696	1080	4.63	16.5	-	-	-	4.8	21	52.8		
		90			175	480	639	991	4.80	19.5	18.0	17.5	16.5	4.0	23	51.0		

備考) セメント(密度 3.15g/cm³)、陸砂(表乾密度 2.59g/cm³、吸水率 2.26%、粗粒率 2.75)、

砂利(最大寸法 25mm、表乾密度 2.60g/cm³、吸水率 2.07%、粗粒率 6.85)

4. ドライミックス方式による製造システムを適用して製造したコンクリートの品質

4.1 場外運搬の有無が品質に及ぼす影響

ドライミックス方式による現場製造システムによれば、現場で練り混ぜ後、直ちに打ち込むことが可能である。このため、現場から離れたレディーミキストコンクリート工場で製造し運搬する場合と異なり、運搬に伴うフレッシュコンクリートの経時変化の影響を排除することができる。そこで、同一の材料、同一の製造設備を用い、場外運搬時間を90分とし、実際の運搬条件に併せてアジテートした状態で打込み時に所定のスランプとなるように調整した場合および練上り直後に所定のスランプとなるよう調整した場合について、それぞれコンクリートを製造し、両者の配合やそれらの品質を比較した。

コンクリートの配合および各種試験結果の一覧を表-4に示す。セメントは普通ポルトランドセメント、細骨材は陸砂、粗骨材は砂利、混和剤はAE減水剤を使用した。これらの物性は表中に併記した。

また、これらのうち、スランプの経時変化の一例を図-5に、運搬時間の有無による単位水量の相違について整理した結果を図-6に示す。

練上りから90分後までのスランプの低下量はいずれの配合も約3cm程度で、レディーミキストコンクリートのスランプの許容誤差±2.5cmの範囲内にある。ただし、90分間のスランプロスを見込んで配合を定めると、約4~6kg/m³の単位水量が増加する結果となり、品質面からは練混ぜ後速やかに打ち込むのが望ましい。なお、上記のスランプの経時変化に対する配合の調整方法として、減水剤の使用量を増加する方法もあり、この場合には運搬時間によらず単位水量を同一にすることも可能である。

4.2 コンクリートの品質の安定性に関する検証

ドライミックス方式による製造システムでは、バッチ毎に計量が保証されたコンクリートを練り混ぜ、速やかに打ち込むため、品質の変動も少ないと考えられる。そこで、1ヶ月以内に計量したドライミックス製品を対象に同一配合のコンクリートを繰り返し製造し、これらの品質を実験的に検証した。表-4に示す使用材料を用い、水セメント比を51.5%、単位水量を160kg/m³とした。

56バッチのコンクリートの各種品質について統計処理した結果を図-7に示す。スランプは目標が18cmに対して16.5~18.5cm、空気量は目標が4.5%に対して4.3~6.0%の範囲であった。また、高精度エアメータ法によるフレッシュコンクリートの単位水量は、設定値が160kg/m³に対して、平均値が約161kg/m³、154~169kg/m³の範囲内であった。さらに、圧縮強度に関しては、材齢7日および28日ともに変動係数が約5%以内であり、ばらつきが少ないことが確認できた。

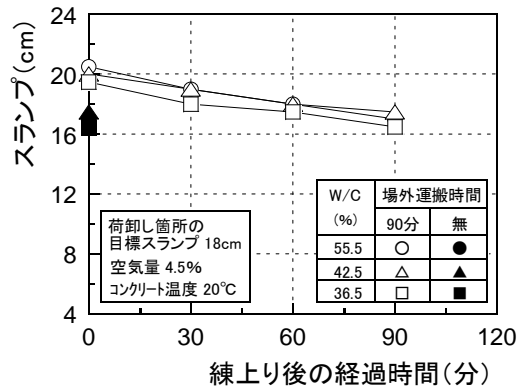


図-5 スランプの経時変化測定結果

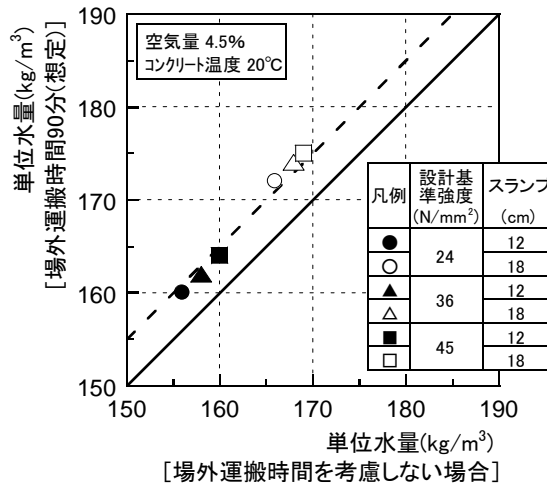


図-6 場外運搬の有無による単位水量の相違

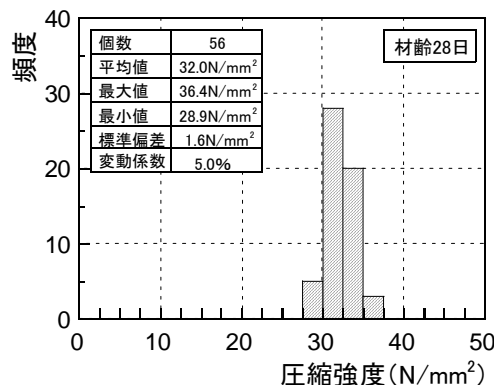
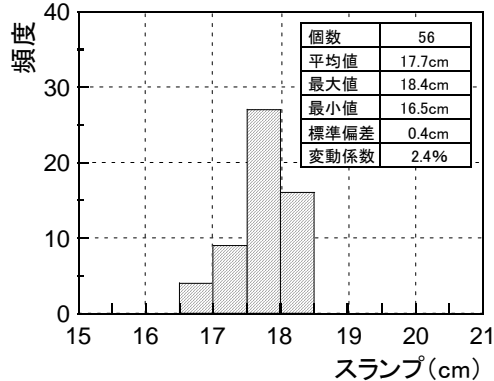


図-7 コンクリートの品質安定性の検証結果

表－5 速硬コンクリートの配合および品質試験結果

配合条件			W/P	s/a	単 位 量 (kg/m ³)				コンクリートの品質試験結果					
設計基準強度 (N/mm ²)	スランプ (cm)	空気量 (%)			W	C	AD1	AD2	スランプ (cm)	空気量 (%)	圧縮強度 (N/mm ²)			
											6h	24h	1d	28d
24(12h)	12以上	3%以下	37.5	42	160	299	128	3.8	19.5	2.7	24.8	42.1	49.2	64.5

*AD1 速硬性混和剤, AD2 遅延剤

表－6 水中不分離性コンクリートの配合および品質試験結果

配合条件			W/P	s/a	単 位 量 (kg/m ³)				コンクリートの品質試験結果					
設計基準強度 (N/mm ²)	スランプフロー (cm)	空気量 (%)			W	C	AD3	AD4	スランプフロー (cm)	空気量 (%)	圧縮強度 (N/mm ²)			
											水中作製		気中作製	
											7d	28d	7d	28d
24(水中)	50±5	4%以下	50	40	220	440	2.5	0.88	47.0	1.6	29.0	40.7	34.5	45.0

*AD3 水中不分離性混和剤, AD4 高性能減水剤

4.3 特殊コンクリートの製造に関する検証

コンクリートに特殊な機能性を付与するには、練混ぜ時に特殊な混和材料を添加する必要がある。レディーミクストコンクリート工場特殊コンクリートを製造する場合、この混和材料を手動で投入するために製造速度が低下したり、次のバッチで練り混ぜるコンクリートの品質に対する影響を確認するなど、通常より製造時の管理が煩雑となる傾向がある。

特に、水中不分離性コンクリートは粘性が極めて高く、異種のコンクリートを練り混ぜた場合にエントレインドエアの連行性やコンシステンシーに悪影響を及ぼす可能性が大きい。また、速硬コンクリートの場合、早強性を高めるうえで練上りから打込みに要する時間をできるだけ短縮することが望ましく、現場での製造の方が有利といえる。

本システムを用いて速硬コンクリートおよび水中不分離性コンクリートを製造した場合の配合および品質試験結果をそれぞれ表－5および表－6に示す。

これらの表によれば、いずれのコンクリートもそれぞれ目標とする品質が十分に確保されており、現場での簡易製造システムと組み合わせることにより、特殊コンクリートの特性を最大限に活かしつつ、経済的にも相乗効果が期待できるものと考えられる。

5. まとめ

本報告の範囲内で得られた知見を以下に示す。

(1) 密封式のフレキシブルコンテナバッグに骨材を詰め、さらに骨材と独立した内袋にセメントを充てんすることで、ドライミックス製品中の各材料の品質を少なくとも1ヶ月程度は保証できる。

(2) 現場までの運搬工程を省略し運搬中の品質変化の影響を排除することにより、単位水量が少なく、品質のばらつきが少ないコンクリートを供給できる。

(3) ドライミックス方式による製造システムによれば、製造量の多少や配合の種類によらず現場で簡易にコンクリートを製造し、これらの品質をバッチ毎に保証できる。

参考文献

- 1) 例えば、コンクリート構造物の高信頼性施工システム研究委員会報告書、日本コンクリート工学協会、2002.7