

配合条件とミキサ消費電力量がコンクリートの品質に及ぼす影響

魚本健人*・西村次男**・渡部 正***・
田中恭一****

本研究は、粗骨材最大寸法、水セメント比、単位水量および混和剤の種類、量が、練りませ時間に伴う品質変化に対してどのような影響を及ぼすかについて明らかにすることを目的として行った。

その結果、練りませ時間に伴うスランプ、空気量および圧縮強度の変化曲線をミキサ形式や配合が異なる場合も含め、ミキサ消費電力量を指標として定量的に評価する手法を提案した。

Keywords : mixer, mixing time, mix proportion, electric power consumption, properties of concrete

1. はじめに

本来、コンクリートの練りませ操作は、製造されるコンクリートの品質が最良となるようにして行うのが、あるべき姿であると考えられる。しかし、現状でのパッチ式コンクリートミキサの練りませ性能試験である JIS A 1119 は、粗骨材量、モルタル量というマクロ的な混合度に着目して行われており、コンクリートの品質に対する考慮はなされていない。

そのため、コンクリートミキサの設計・製造は、コンクリートの製造効率を高めることに重点をおき、できるだけ短い練りませ時間でマクロ的な均一化を達成させるという考えで行われているといっても過言ではない。このことは、ミキサの形式が可傾式から強制式のパン型、水平二軸型へと変遷している¹⁾ ことから明らかであり、水平二軸型ミキサでの練りませ時間は 60 秒未満としている場合がほとんどである。

しかしながら、著者らは、コンクリートのスランプ、圧縮強度等の品質は、ミキサ内に投入された材料の混合度が JIS A 1119 の規定値以下となっても、その後の練りませにより大きく変化することを明らかにした^{2)~4)}。特に、スランプの変化は大きく、練りませ時間に伴って増大し、ある時間で最大値に達した後に減少する傾向を示す。そのため、コンクリートの配合上は、スランプが最大となる時間で練りませるのが最も少ない単位水量で最大のスランプが得られる有利な条件となる。スランプが最大値に達する練りませ時間は、通常行われている練りませ時間の 2~3 倍である。

本研究は、コンクリートの配合要因として、粗骨材最

大寸法、単位水量、水セメント比および添加する混和剤の種類、量が、練りませ時間に伴う品質変化に対してどのような影響を及ぼしているかを実験的に明らかにするとともに、練りませ時のミキサ消費電力量に着目して、練りませ時間に伴う品質変化について考察したものである。

2. 実験概要

(1) 使用したミキサ

実験で使用したミキサは、表-1 に示した 2 形式 3 種類であり、公称練りませ容量が 100 l の強制式パン型ミキサ M と F、および、容量が 90 l の水平二軸型ミキサである。これらのミキサの内、パン型ミキサ M は、回転羽根の軸にトルク計を設置しており、練りませ時の動力を直接計測できる構造となっている。

(2) コンクリートの配合

コンクリートの配合は、表-2 に示したとおりであり、粗骨材最大寸法が 10 mm, 20 mm, 40 mm, 水セメント比が 40%, 55%, 70%, 単位水量が 165 kg/m³, 175 kg/m³, 185 kg/m³ (練りませ 120 秒時のスランプが約 5 cm, 10 cm, 15 cm) のプレーンコンクリート、および、混和剤として AE 剤、減水剤、高性能減水剤を添加した合計 14 配合である。使用材料の諸物性を表-3 に示した。

(3) 練りませ方法

コンクリートの練りませは、ミキサ内への材料の投入場所や投入順序の影響をなくすため図-1 に示す方法で行った。すなわち、ミキサ停止状態の下で細骨材、セメント、粗骨材の順で全量の半分ずつを層状に 2 回に分けて投入し、次に、その上から水と混和剤が均等に分布するように投入した。全材料投入後は、速やかにミキサを始動してコンクリートを練りませた。なお、粗骨材は表面乾燥飽和状態、細骨材は表面水率が 0~1% となるように調整して使用した。

* 正会員 工博 東京大学生産技術研究所助教授
(〒106 東京都港区六本木 7-22-1)

** 正会員 東京大学生産技術研究所技術官

*** 正会員 前田建設工業(株) 技術研究所主任研究員

**** 正会員 藤沢薬品工業(株) 特薬事業部主任研究員

表-1 使用したミキサの諸元

種類	公称容量(ℓ)	羽根最外縁の周速(m/sec)
パン型ミキサF	100	2.65
パン型ミキサM	100	2.00
水平二軸型ミキサ	90	1.07

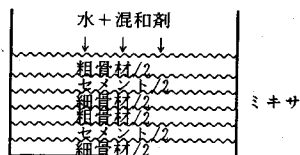


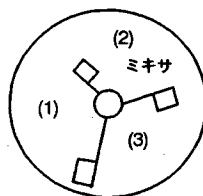
図-1 ミキサへの材料投入順序

表-2 コンクリートの配合

配合NO.	使用ミキサ	粗骨材最大寸法(mm)	水セメント比(%)	細骨材率(%)	単位量(kg/m³)			混和剤添加率(対セメント重量%)			
					セメント	水	粗骨材	AE剤	減水剤	高性能減水剤	
1	パン型F	10	55	54	387	213	926	798	-	-	-
2		20	55	47	356	196	839	957	-	-	-
3		40	55	40	331	182	737	1118	-	-	-
4		10	55	52	360	198	883	824	0.025	-	-
5		20	55	45	331	182	794	981	0.025	-	-
6		40	55	38	307	169	691	1140	0.025	-	-
7	パン型M	20	40	48.1	413	165	836	930	-	-	-
8		20	40	48.1	413	165	836	930	-	0.25	-
9		20	40	48.1	413	165	836	930	-	-	0.5
10	水平二軸	20	40	48.1	413	165	836	930	-	-	0.7
11		20	40	46.7	438	175	789	930	-	-	-
12	パン型M	20	55	49.6	318	175	889	930	-	-	-
13		20	70	50.9	254	178	934	930	-	-	-
14		20	40	45.1	463	185	742	930	-	-	-

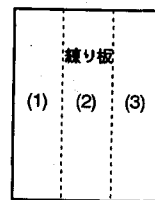
表-3 使用した材料の諸物性

種類	諸元	適用配合
セメント	普通ボルトランドセメント	No.1~No.14
細骨材	富士川産川砂, 比重2.62, 吸水率1.32%, F.M.=2.78	No.1~No.6
	大井川産川砂, 比重2.62, 吸水率1.67%, F.M.=2.60	No.6~No.14
粗骨材	笠間産碎石, 比重2.65, 吸水率0.68%	No.1~No.6
	秩父産碎石, 比重2.70, 吸水率0.62%	No.6~No.14
AE剤	天然樹脂系	No.4~No.6
減水剤	ポリオール複合体系	No.8
高性能減水剤	高縮合芳香族スルホン酸塩	No.9.No.10



ミキサ内の3箇所より採取

(a)パン型ミキサの場合



練り板上に排出した3箇所より採取

(b)水平二軸型ミキサの場合

図-2 品質試験用のコンクリート試料の採取位置

標準的な練りませ時間は, 20, 60, 120, 180, 300, 1000秒とし, 各配合に対して6バッチ練りませた. 1バッチ当たりの練りませ量は, パン型ミキサMのみ公称容量の70%とし, その他は100%とした.

(4) 測定項目

コンクリート練りませ中は, ミキサの消費動力として, モーターの消費電力量を測定した. また, パン型ミキサMについては, 回転トルクも一部測定した.

練りませ終了後の品質試験は, スランプ(JIS A 1101), 空気量(JIS A 1128), 材令28日圧縮強度(JIS A 1108)について行った. 試験に供する試料は, 図-2に示すように所定時間練りませた後に, パン型ミキサではミキサ内の3箇所から直接採取し, 水平二軸型ミキサでは練り板上に排出した3箇所から採取した. いずれの場合も, コンクリートは練り直しを行わないで採取し, それぞれの試験を1バッチ当たり3回行い, その平均値を品質特性値とした. なお, 圧縮強度は, 3箇所から各3本採取して試験を行った.

3. 練りませ時のミキサ動力に関する検討

コンクリートの練りませは, その構成材料である細・粗骨材, セメントおよび水を均一分散させることであり, そのためには物理的な外力を加える必要がある. 化学工業の分野では, ミキサの混合特性および混合性能を評価する指標として動力という物理量が用いられる場合が多い⁵⁾. 動力は, ミキサ羽根に直接作用する力, すなわち, 回転トルクによって測定することができるが, 簡易的手法として, ミキサモーターの消費電力量を代用特性として用いられる場合がある.

図-3は, パン型ミキサMを使用して, 配合No.7~No.14のコンクリートを練りませた時のコンクリート単位体積当たりの積算消費電力量と積算トルク(積算動力)の関係を示したものである. コンクリート単位体積当たりの積算消費電力量は, コンクリート練りませ時の積算消費電力量からミキサ空転時の積算消費電力量を引いて, コンクリート単位体積当たりに換算した値(wh/l)である. コンクリート単位体積当たりの積算トルク

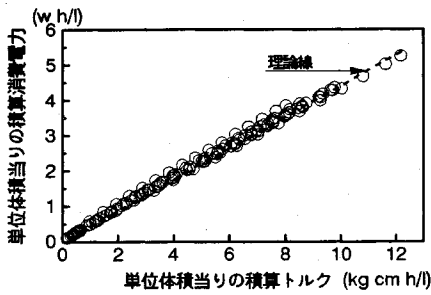


図-3 ミキサの積算トルクと積算消費電力量の関係 (パン型ミキサ M, 配合 No. 7~No. 14)

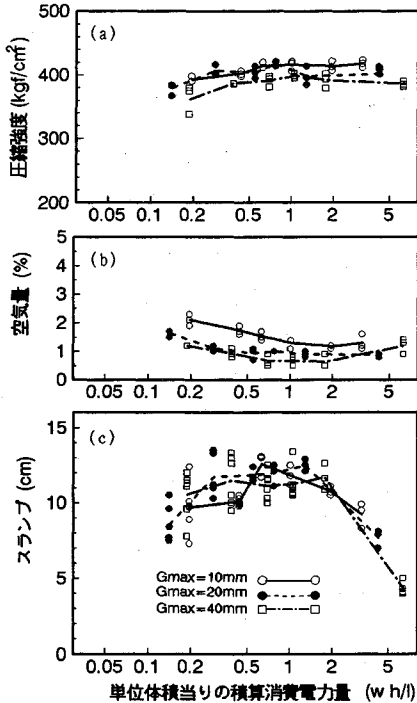


図-4 粗骨材最大寸法が異なるプレーンコンクリートのミキサ消費電力量と品質特性の関係 (パン型ミキサ F)

($\text{kg} \cdot \text{cm} \cdot \text{h/l}$) についても同様にして求めた。

図から明らかなように、積算消費電力量と積算トルクは、配合の違いに係わらず比例関係にあり、図中に示した理論上の値、すなわち、測定した積算トルクを電力の単位系に換算した値とほぼ一致している。したがって、練りませ時のミキサモータの消費電力量は、動力を評価する代用特性として十分適用可能であると判断できる。

4. ミキサ消費電力量とコンクリート品質の関係

著者らは、同一配合のコンクリートの場合、使用するミキサの形式や容量が異なっても、コンクリート単位体積当たりの積算消費電力量 (以下、ミキサ消費電力量と称す) が同じとなる時間で練りませれば、製造されるコ

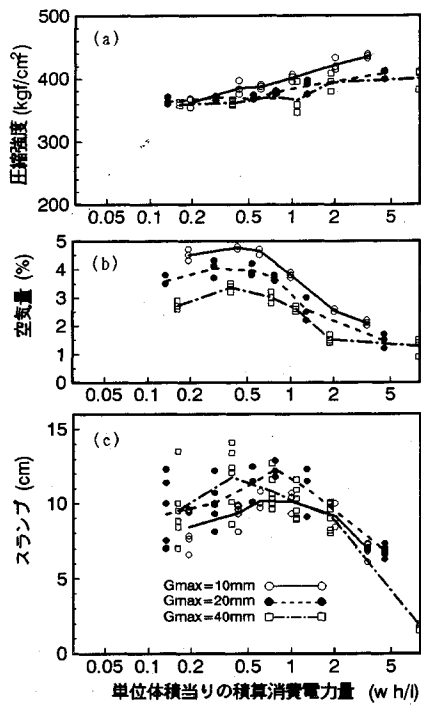


図-5 粗骨材最大寸法が異なる AE コンクリートのミキサ消費電力量と品質特性の関係 (パン型ミキサ F)

ンクリートの品質が同一となることを既に明らかにした²⁾。ここでは、配合が異なる場合の影響を明らかにするための検討を行った。

図-4~図-9は、コンクリートの粗骨材最大寸法、水セメント比、単位水量、添加する混和剤の種類、量、および、使用するミキサ形式が、コンクリート品質に対してどのような影響を及ぼしているかを示したものである。横軸は、ミキサ消費電力量である。そして、図中にプロットしたマーカーは、各練りませ時間での測定値であり、曲線はそれらの平均値を結んだ直線で表したものである。

これらの図から明らかなように、いずれの配合でも既往の研究結果²⁾と同様な傾向が認められる。すなわち、スランプは、ミキサ消費電力量の増大に伴って増加し、最大値に達した後に減少している。空気量は、プレーンコンクリートの場合、ミキサ消費電力量の増大に伴って減少し、圧縮強度は増大している。

なお、このように、練りませ時間に伴ってスランプ等のコンシステンシーが変化するという現象は、セメントの種類に係わらず認められ⁶⁾、また、セメントの代わりにそれ自体は不活性な高炉スラグ微粉末を全量置き換えたコンクリートでも生じること⁷⁾、等が明らかになっており、セメントの分散性状が大きく影響していると推測されている。

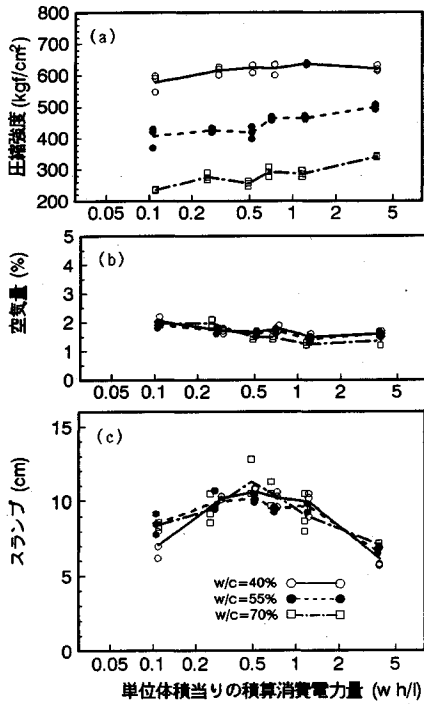


図-6 水セメント比が異なるコンクリートのミキサ消費電力量と品質特性の関係 (パン型ミキサ M)

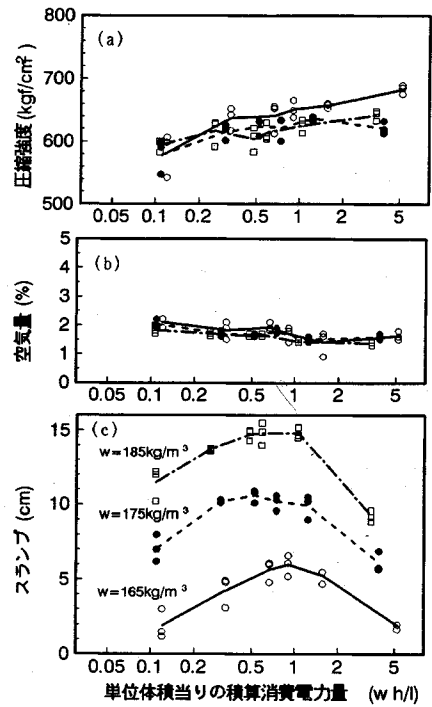


図-7 単位水量が異なるコンクリートのミキサ消費電力量と品質特性の関係 (パン型ミキサ M)

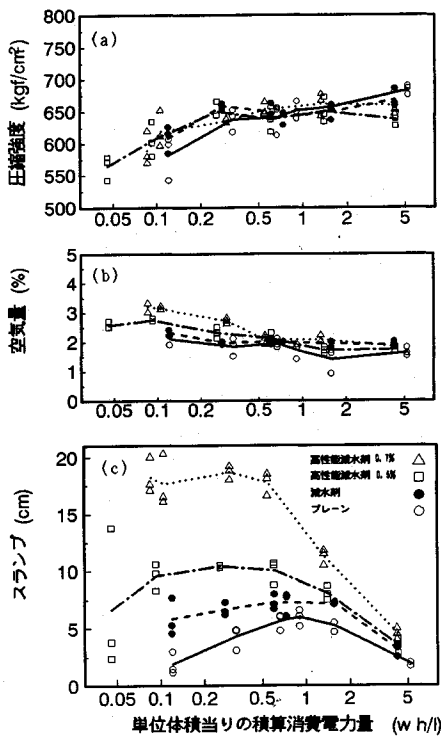


図-8 混和剤を添加したコンクリートのミキサ消費電力量と品質特性の関係 (パン型ミキサ M)

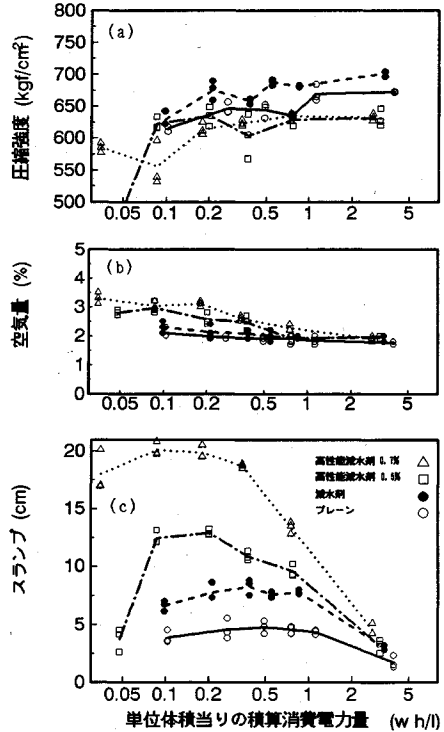


図-9 混和剤を添加したコンクリートのミキサ消費電力量と品質特性の関係 (水平二軸型ミキサ)

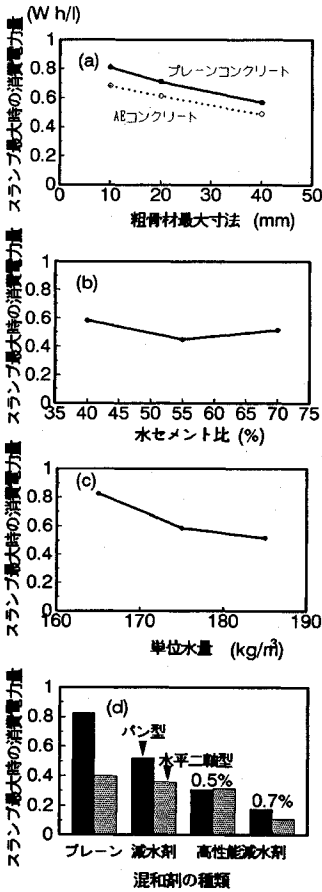


図-10 スランプが最大となる消費電力量

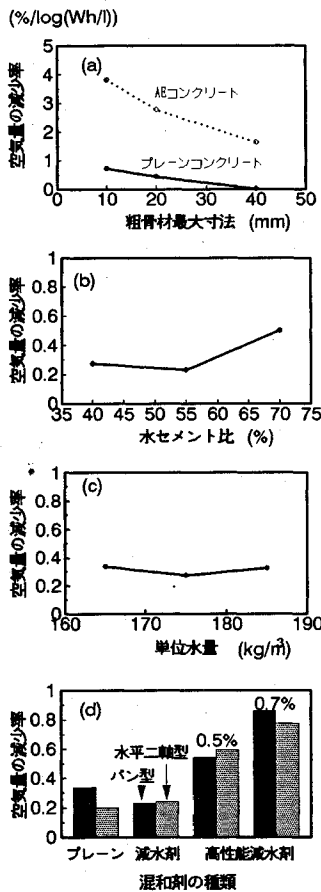


図-11 消費電力量の増大に伴う空気量の減少率

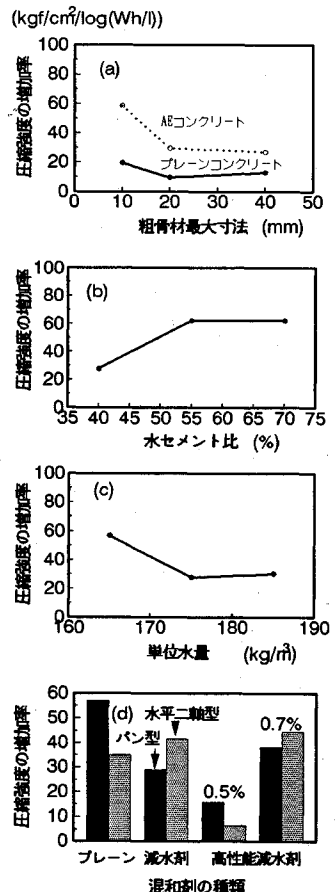


図-12 消費電力量の増大に伴う圧縮強度の増加率

図-4～図-9より、コンクリート品質の変化曲線の形状は配合によって異なっていることが認められる。そこで、これらの傾向について検討するため、図-10にスランプが最大となるミキサ消費電力量を、図-11にプレーンコンクリートにおけるミキサ消費電力量の増大に伴う空気量の減少率を、図-12にミキサ消費電力量の増大に伴う圧縮強度の増加率を各配合に対して求めて示した。スランプが最大となるミキサ消費電力量は、スランプの変化をミキサ消費電力量の対数値を用いて二次曲線で回帰して求めた。空気量と圧縮強度の変化率は、ミキサ消費電力量の対数値を用いて直線回帰し、その勾配とした。なお、圧縮強度については、ミキサ消費電力量が0.05 wh/l以上の値を使用して求めた。

以下に、図-4～図-12を基にして、各種配合要因の影響に関する結果について述べる。

(1) 粗骨材最大寸法およびAE剤添加の影響

図-4および図-5に、プレーンコンクリートとAEコンクリートにおいて、粗骨材最大寸法を10 mm, 20

mm, 40 mmと変化させた配合のミキサ消費電力量とスランプ、空気量および圧縮強度の関係を示した。

スランプが最大となるミキサ消費電力量は、図-10(a)に示したように、粗骨材最大寸法が大きいものほど小さく、プレーンコンクリートの場合、粗骨材最大寸法が10 mmの配合で0.81 wh/l, 20 mmの配合で0.71 wh/l, 40 mmの配合で0.57 wh/lである。そして、AEコンクリートの方がプレーンコンクリートより全体的に約15%小さくなる傾向が認められる。

このように、粗骨材最大寸法が大きい配合ほど、スランプが最大となるミキサ消費電力量が小さくなるという傾向は、練りませ容量が3 m³の水平二軸型ミキサでの実験結果⁹⁾と一致している。これは、寸法の大きな粗骨材の存在により練りませ効率が向上することを意味しており、粗骨材がミーリング分散に類するような役割を果たしているものと考えられる。すなわち、ボールミル、ロールミル等のように、粗骨材が水の偏在によって凝集したセメント粒子を分散させるのに有効に作用していることが推測できる。

空気量の変化曲線(図-4 (b), 図-5 (b))は、プレーンコンクリートとAEコンクリートとは異なっており、プレーンコンクリートの場合にはミキサ消費電力量に伴って単調に減少するが、AEコンクリートの場合には練りませ初期の0.3~0.5 wh/lで最大となり、その後減少する傾向が認められる。

プレーンコンクリートならびにAEコンクリートにおけるミキサ消費電力量の増大に伴う空気量の減少率は、図-11 (a)に示すように、粗骨材最大寸法が大きいほど小さくなる傾向が認められる。これは、練りませ初期の段階での空気の巻き込み量に依存している傾向があり、粗骨材最大寸法が大きいほど小さい。この傾向は、AEコンクリートにおいても認められる。

圧縮強度は、消費電力量の増大に伴って徐々に増加(図-4 (a), 図-5 (a))し、その増加率は、粗骨材最大寸法が大きいほど小さくなる(図-12 (a))傾向が認められ、その原因の一つに空気量の減少が考えられる。

(2) 水セメント比の影響

図-6に、水セメント比を40%、55%、70%と変化させた配合の、ミキサ消費電力量とスランプ、空気量および圧縮強度の関係を示した。図から明らかなように、スランプの変化曲線、空気量の変化曲線は、水セメント比の違いに係わらずほぼ一致している。スランプが最大となるミキサ消費電力量は、図-10 (b)に示すように約0.5 wh/lである。

圧縮強度の増加率は、図-12 (b)に示すように、水セメント比が40%の配合が50%、70%の配合より小さい。

(3) 単位水量の影響

図-7に、単位水量を165 kg/m³、175 kg/m³、185 kg/m³と変化させた配合の、ミキサ消費電力量とスランプ、空気量および圧縮強度の関係を示した。

スランプが最大となるミキサ消費電力量は、図-10(c)に示すように、単位水量が多い配合の方が僅かではあるが小さくなる傾向を示しており、単位水量が165 kg/m³の配合で0.82 wh/l、175 kg/m³で0.58 wh/l、185 kg/m³で0.52 wh/lである。

空気量の減少率は、単位水量の違いにかかわらずほぼ一致している(図-11 (c))。

圧縮強度の増加率は、図-12 (c)に示すように、単位水量が175 kg/m³と185 kg/m³の配合ではほぼ同一であるが、165 kg/m³の配合ではそれらより大きい。

(4) 減水剤、高性能減水剤の添加による影響

図-8、図-9にパン型ミキサと水平二軸型ミキサを使用し、減水剤および高性能減水剤を添加した配合のミキサ消費電力量とスランプ、空気量および圧縮強度の関係を示した。

高性能減水剤を添加すると、ミキサ消費電力量の増大

に伴うコンクリート品質の変化性状に大きな影響を及ぼし、特に、スランプに及ぼす影響が著しい。すなわち、高性能減水剤を添加すると、図-10 (d)に示すように、スランプが最大となるミキサ消費電力量が著しく小さくなる傾向が認められる。パン型ミキサの場合、スランプが最大となる消費電力量は、プレーンコンクリートの場合には0.82 wh/lであるのに対し、高性能減水剤を0.7%添加すると0.17 wh/lとなる。高性能減水剤を添加してスランプを増大させた場合と、プレーンコンクリートで単位水量を増加させてスランプを増大させた場合とでは、スランプが最大となる消費電力量に違いが認められ、前者の方が小さなミキサ消費電力量となっている。

高性能減水剤を添加した場合には、その化学的作用により、セメント粒子を分散させる役割を果たすため、練りませ初期の段階でスランプが最大となるものと考えられる。すなわち、高性能減水剤を添加した配合と同様なスランプの変化曲線は、セメントペーストを専用の高速ミキサで事前に十分練りませしておき、それを使用してコンクリートを練りませた場合にも生じる現象²⁾であり、セメント粒子の分散性状がスランプに大きな影響を及ぼしていることが推測できる。

一方、コンクリート品質のバラツキは、図-8、図-9に示すように、いずれの配合でもミキサ消費電力量が約0.2 wh/l以下の場合には大きい。特に、高性能減水剤を添加した場合には、スランプが最大となる付近であってもバラツキが大きいという傾向が認められる。

5. 練りませ時のコンクリート品質の評価手法とその適用法に関する考察

コンクリートの代表的な品質特性値であるスランプ、空気量、圧縮強度は、前述した実験結果および既往の研究結果²⁾の如く、練りませ時間、すなわち、ミキサ消費電力量の増大に伴って変化する。そして、例え同一の材料、同一の配合、同一の練りませ時間としても使用するミキサが異なれば得られるコンクリートの品質特性値も異なる。

したがって、どのような条件で練りませれば、どの程度のバラツキで、どのような品質のコンクリートが得られるかが分かれば、所要の品質が得られる条件、配合上有利となる条件、あるいは、バラツキを所要以下にする条件等を事前に推測でき、コンクリートの品質管理を行う上で有用となると考えられる。そこで、ここでは、マクロ的ではあるが、練りませ時のミキサ消費電力量を指標として、ミキサ内のコンクリート品質の均一性と品質特性値の変化を、ミキサ形式や配合が異なる場合も含めて評価する方法について検討した。

検討に当たっては、今回の実験結果と既往の実験結

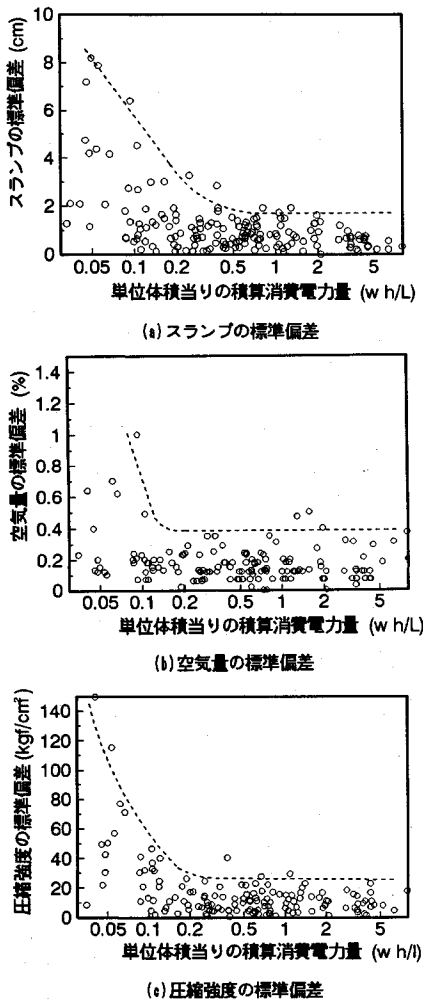


図-13 ミキサ消費電力量と品質のバラツキ

果²⁾とを使用した(実験方法は両者とも全く同一である)。それらの実験条件の範囲、および、ここで検討した範囲は以下のとおりである。

- ・ミキサ形式の種類：可傾式ミキサ2切, 4切, 8切, 水平二軸型ミキサ90l, パン型ミキサM100l, パン型ミキサF100l
- ・練りませ方法：図-1参照
- ・練りませ時間：10~1000秒
- ・粗骨材最大寸法：10, 20, 40mm
- ・水セメント比：40, 55, 70%
- ・スランブ：6~19cm(練りませの進行に伴って最大となった時の値)
- ・空気量：0.9~4.8%
- ・混和剤：プレーン, AE剤, AE減水剤

(1) コンクリート品質の均一性

図-13は、ミキサ内コンクリートのスランブ、空気量、

圧縮強度の標準偏差が、ミキサ消費電力量の増大に伴ってどのように変化しているかを示したものである。標準偏差は、ミキサ内の3箇所から採取した試料の特性値から求めた値である。図中には、プロットしたデータのほぼ上限と思われる付近を点線で表示した。

図から明らかなように、いずれの品質特性値の標準偏差も練りませ初期の段階では非常に大きく、ミキサ消費電力量の増大に伴って減少する傾向が認められる。空気量と圧縮強度の標準偏差は、ミキサ消費電力量が0.1~0.2Wh/lで、それぞれ0~30kgf/cm², 0~0.4%の範囲で定常状態となり、それ以上練りませてもバラツキは減少しない。一方、スランブの標準偏差は、0~1.5cmの範囲で定常状態となるが、その時のミキサ消費電力量は、空気量や圧縮強度に比較して大きく約0.3Wh/lである。このように、ミキサ内コンクリートの品質が均一となっているかどうかを判定するためには、スランブのバラツキという特性が重要であろうと判断される。

以上、ここでの検討の範囲内からいえることは、使用するミキサ形式や配合が異なる場合であっても、ミキサ消費電力量が約0.3Wh/l以上となるように練りませを行わないと、ミキサ内コンクリートの品質特性値のバラツキは大きく、望ましい練りませではないと判断される。なお、その値以下のミキサ消費電力量で練りませると、バッチ間の品質の変動も大きくなると予想される。

(2) 品質特性値の変化性状

a) スランブの変化曲線

スランブは、配合が異なる場合でも、あるミキサ消費電力量の時に最大となる変化曲線を示す。また、高性能減水剤を添加した配合を除けば、全体的なスランブの変化曲線はほぼ同様な傾向を示している。

そこで、高性能減水剤を添加した配合を除いた今回の実験結果と既往の実験結果²⁾を含めて、各練りませ時間でのスランブ測定値(3箇所の平均値)と最大スランブ値の比を相対スランブとして、ミキサ消費電力量との関係を図-14に示した。ただし、スランブの最大値は、各実験ケースにおいて、ミキサ消費電力量とスランブの関係を二次曲線で回帰して推定した値を用いた。プロットした値を二次曲線で回帰し、得られた式での相対スランブの最大値が100となるように縦軸方向のみを補正した結果を下記に示した(図-14の中にプロットしてある点および回帰線も同様に補正した)。

$$Sl_r = 95.74 - 29.07 \log P - 49.63 (\log P)^2 \dots \dots (1)$$

ここに Sl_r ：相対スランブ(各練りませ時間でのスランブ Sl と最大スランブ Sl_{max} の比 = $(sl/sl_{max} \times 100)$)

P ：ミキサ消費電力量 (wh/l)

図から明らかなように、ミキサ消費電力量が0.3Wh/l以上の場合、両者の間には強い相関性が認められ、

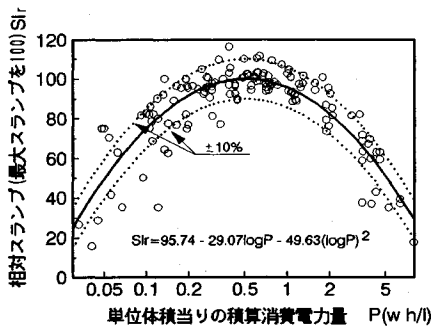


図-14 スランプの変化曲線の一般化

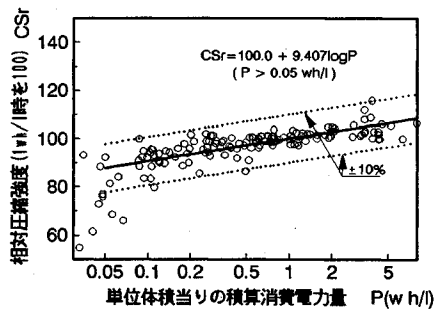
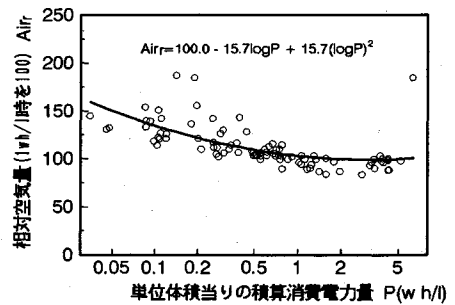
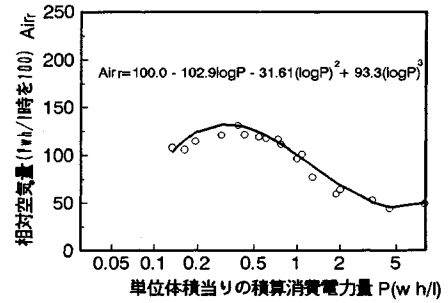


図-16 圧縮強度の変化曲線の一般化



(a) プレーンコンクリート



(b) AEコンクリート

図-15 空気量の変化曲線の一般化

配合の違い、ミキサ形式の違いにかかわらず式(1)の二次曲線で表すことができ、ほぼ±10%の範囲にプロットされている。スランプが最大となるミキサ消費電力量は0.5 wh/lである。

b) 空気量の変化曲線

プレーンコンクリートの空気量は、配合が異なる場合でもミキサ消費電力量の増大に伴って減少するという傾向は一致している。その減少率は、配合によって異なる傾向が認められた。しかし、4. a) で述べたように、その原因は練りませ初期の段階での空気巻き込み量に依存されているものと考えられ、ある程度以上のミキサ消費電力量となれば、ほぼ同程度の空気量になる傾向が認められる。このことは、AEコンクリートについてもいえる。

そこで、今回実験を行ったプレーンコンクリートとAEコンクリートのそれぞれに対して、各実験ケース毎にミキサ消費電力量が1 wh/l時の空気量を100とした相対空気量を求めた。そして、全実験ケースについてのミキサ消費電力量との関係を表すと図-15 (a), (b) に示すとおりとなる。プレーンコンクリートの場合には二次曲線で回帰し、AEコンクリートの場合には三次曲線で回帰した。得られた結果に対し、相対スランプの場合と同様な方法で、ミキサ消費電力量が1 wh/l時の相対空気量が100となるように補正すると下記のような回帰式となる。

① プレーンコンクリートの場合

$$Air_r = 100.0 - 15.7 \log P + 15.7 (\log P)^2 \dots \dots \dots (2)$$

② AEコンクリートの場合

$$Air_r = 100.3 - 102.9 \log P - 3.6 (\log P)^2 + 93.3 (\log P)^3 \dots \dots \dots (3)$$

ここに Air_r : ミキサの消費電力量が1 wh/lの時の100とした相対空気量

P : ミキサ消費電力量 (wh/l)

図から明らかなように、プレーンコンクリートの場合には、ミキサ消費電力量が約0.5 wh/l以上での相関性が強い。AEコンクリートの場合には、測定値が少ないものの全体的に強い相関性が認められ、0.3 wh/l程度で最大値を示している。

なお、AE剤の添加量がここでの実験より少なく、かつ、空気量も少ない場合には、ミキサ消費電力量の増大に伴う空気量の変化がほとんど認められないので²⁾、そのような場合には式(3)を適用することはできない。

c) 圧縮強度の変化曲線

圧縮強度は、ミキサ消費電力量の増大に伴って増加し、配合が異なっても増加傾向は共通している。圧縮強度の増加率は、配合によって異なるもののミキサ消費電力量1 wh/l当たり10~60 kgf/cm²の範囲内にある。

そこで、今回の実験結果と既往の実験結果²⁾を対象として、空気量の場合と同様な方法により、ミキサ消費電力量が1 wh/l時の圧縮強度を100とした相対圧縮強度

を求めた。そして、ミキサ消費電力量との関係を図-16に示した。ミキサ消費電力量が0.05 wh/l以上を対象として一次回帰し、得られた式に対して相対空気量の場合と同様、ミキサ消費電力量が1 wh/l時の相対圧縮強度が100となるように補正すると下記のような回帰式となる。

$$CS_r = 100.0 + 9.407 \log P \dots \dots \dots (4)$$

ここに CS_r : ミキサの消費電力量が1 wh/lの時を100とした相対圧縮強度

P : ミキサ消費電力量(wh/l)

図から明らかなように、両者の間には強い相関性が認められ、回帰式に対してほぼ±10%の範囲にプロットされている。

以上のように、今回検討した実験条件の範囲内では、コンクリート配合、練りませ時間および使用するミキサ形式が異なる場合であっても、コンクリートの品質特性値を相対スランプ、相対空気量および相対圧縮強度という形で表せば、それらの変化性状をミキサ消費電力量を指標として表示できることが明らかになった。これらの式(1)~(4)を用いることにより、ある特定のミキサ消費電力量でコンクリートを練りませて品質を確認すれば、任意の電力量消費時の品質が予測可能である。例えば、ミキサ消費電力量 P で練りませたコンクリートのスランプ SI と式(1)で求められる相対スランプ SL/SL_{max} より、最大スランプを推測することができるのみならず、任意のミキサ消費電力量時におけるスランプをも予測可能となる。

したがって、このような手法は、以下に示すような事項に適用ができるものと考えられる。

(1) 配合上有利な練りませ条件の選定

コンクリートを製造する上では、配合上最も有利となる練りませ条件は、①スランプは最も大きくなること、②AEコンクリートの空気量は、それが最大となること、③圧縮強度は、できるだけ大きくなること、である。また、品質管理上は、品質のパラツキが最も小さくなるようにすることが有利な条件である。

図-14~図-16からいえることは、上記①~③の事項を同時に満たすような、配合上最も有利となるミキサ消費電力量は存在しない。しかしながら、各品質に対するバランスのとれた組み合わせが要求される場合には、そのような要求品質となる時のミキサ消費電力量時が、配合上有利な練りませ条件といえる。また、ある特定の特性値のみを重要視し、それを配合上最も有利にしたいというような要求もあるものと考えられる。

これらのような練りませ条件を選定する場合には、ミキサ内の品質のパラツキを示した図-12、および、品質の変化曲線を表した式(1)~(4)を適用することによ

り所要の品質となるようなミキサ消費電力量を推測することができ、練りませ条件を選定するため判断指標とすることができると思われる。

スランプと空気量の測定結果からいえることは、スランプが最大となる時間あるいはミキサ消費電力量で練りませれば、空気量も最大付近にあり最も合理的であると考えられる。そして、図-13(a)に示したようにスランプのパラツキも小さくすることができる。実験結果では、スランプが最大となる練りませ時間は、ミキサ形式や配合の違いによって異なり40~300秒の範囲にあるが^{2)~4)}、ミキサ消費電力量を指標とすれば、それらの違いにかかわらず0.5 wh/l程度の値でスランプが最大となる。この値は、コンクリートプラントにおける3 m³水平二軸型ミキサでの実験結果⁸⁾と一致している。このプラントにおける通常の稼働時には、0.2 wh/l程度のミキサ消費電力量で練りませられており、その時のスランプは最大スランプ(0.5 wh/l時に15 cm)に比べて約5 cm小さかった⁸⁾。

(2) コンクリート品質の管理指標

一般に、コンクリートミキサでの練りませ時間は、JIS A 1119の試験により決定されているが、その方法での判定の基準となる特性値は、粗骨材量とモルタル量のバラツキである。しかし、その判定基準を満たしている練りませ時間であっても、ミキサ形式や容量が異なれば得られる品質も異なることが明らかにされている^{2),8)}。

通常、強制練り式ミキサの場合には、試験室の小型ミキサで120秒、プラントの大型ミキサで30~60秒で練りませられているが、両ミキサで得られる品質が同一にならない場合がある。これは、練りませ時間が異なることもさることながら、ミキサの消費電力量が同一でないことが原因の一つであると考えられ、水平二軸型ミキサの場合には、試験室の100 l小型ミキサとプラントの3 m³大型ミキサとにおいても、ミキサ消費電力量を同一とすれば得られる品質も同一であることが確認されている⁸⁾。

したがって、本研究結果からいえることは、同一配合の場合、異なるミキサを使用して同一品質のコンクリートを得ようとする場合には、同一のミキサ消費電力量となるようにして練りませることが条件である。そして、ミキサでの練りませを、従来のような時間で管理するよりも、ミキサ消費電力量を指標として管理した方が合理的であろうと判断される。

(3) 練りませ効率、性能の判定指標

異なる形式のミキサを使用して、同一のミキサ消費電力量となる時間でコンクリートを練りませ、その時の品質特性値およびバラツキを調べることにより、練りませに要した時間からミキサの効率、性能を比較することが可能であろうと思われる。すなわち、異なるミキサを使

用して、各々同一の消費電力量でコンクリートを練りまぜると、得られる品質はほぼ同一となるため、その練りまぜに要した時間が短いミキサの方が効率、性能とも優れていると判断できると考えられる。

6. 結 論

本研究では、ミキサでの練りまぜ時間がコンクリートの品質に対してどのような影響を及ぼすかについて、様々な配合について検討を行うとともに、ミキサ消費電力量を指標として練りまぜ時間に伴う品質変化性状について考察した。その結果、今回の実験の範囲内で以下のことが明らかとなった。

(1) 粗骨材最大寸法、水セメント比、単位水量が異なる配合、および、AE 剤、減水剤、高性能減水剤を添加した配合のいずれの場合においても、練りまぜ時間とともにコンクリート品質は変化する。その変化性状は、配合が異なっても傾向的には同様である。

(2) スランプは、いずれの配合でも練りまぜ時間とともに増大し、最大値に達した後に減少する。スランプが最大値となる練りまぜ時間およびミキサ消費電力量は、配合によって異なる場合がある。特に、高性能減水剤を添加してスランプを増大させることの影響が大きいことが明らかとなった。

(3) 空気量は、プレーンコンクリートの場合には練りまぜ時間に伴って減少するが、AE コンクリートの場合には、練りまぜ初期の段階で増加傾向を示しその後反転して減少傾向を示す。そして、圧縮強度は、いずれの配合でも練りまぜ時間に伴って増大する傾向を示すことが明らかになった。

(4) 練りまぜ時間に伴うスランプ、空気量、圧縮強度の変化曲線を、ミキサ形式や配合が異なる場合をも含め、ミキサ消費電力量を指標とした定量的な評価手法を提案した。そして、その手法を用いれば、ある特定のミキサ消費電力量で練りまぜたコンクリートの品質を確認することにより、任意のミキサ消費電力量時の品質を予

測でき、配合上有利な練りまぜ条件の選定、品質管理のための指標、ミキサ練りまぜ性能の判定指標に対して有用である。

(5) コンクリートを製造するで、配合上およびパラツキを考慮した品質管理上最も有利な条件は、高性能減水剤を使用しない場合には、スランプと空気量に着目するならば、それらが最大となる時間で練りまぜることである。本実験結果でのそのような条件は、ミキサ形式、配合の違いにかかわらず、ミキサの消費電力量が 0.5 wh/l 程度であった。

参 考 文 献

- 1) 土木学会コンクリート施工研究小委員会練りまぜワーキンググループ報告：コンクリートの練りまぜに関する技術と研究の現状，1986年3月。
- 2) 岸・渡部・山田・魚本：ミキサの種類と練りまぜ時間がコンクリートの品質に及ぼす影響，土木学会論文集，第402号，1989年2月。
- 3) 魚本・西村・渡部：コンクリートミキサの練りまぜ機構に関する研究，第43回セメント技術大会講演集，1989年4月。
- 4) 魚本・西村・田中：コンクリートミキサによる練りまぜ機構，第44回セメント技術大会講演集，1990年4月。
- 5) 日本粉体工業協会編：混合混練技術。
- 6) 江口・名和・大久保：モルタルの流動性および強度性状に及ぼす混練時間の影響，コンクリート工学年次論文報告集，第13巻，第1号，1991。
- 7) 岸・渡部・牧野・山田：練りまぜ進行過程におけるコンクリートの物性および均一性，コンクリート工学年次論文報告集，第9巻，第1号，1987。
- 8) 魚本・岸・黒井・白木・田沢・田中・渡部：3m³ミキサと100lミキサで練りまぜたコンクリートの品質比較実験，フレッシュコンクリートの挙動とその施工への応用に関するシンポジウム，日本コンクリート工学協会，1989年4月。
- 9) 牧野・渡部・山田：練りまぜ方法の違いがコンクリートの品質に及ぼす影響，土木学会第43回年次学術講演会，1988年10月。

(1991.4.1 受付)

EFFECT OF MIX PROPORTION AND ELECTRIC POWER CONSUMPTION OF MIXER ON PROPERTIES OF CONCRETE

Taketo UOMOTO, Tsugio NISHIMURA, Tadashi WATANABE and Kyouichi TANAKA

Although material and mix proportion of concrete is the same, mixed concrete has different properties, in general, when type and volume of concrete mixers used are different. To obtain the same property concrete, the previous paper [2] clarified that concrete has to be mixed with the same total electric power consumption per unit volume of concrete (EPC). The purpose of this paper is to clarify whether the method can be used in case of concrete with different mix proportions. The experimental results with 14 mix proportions show that although mix proportion has some effect on the relation between EPC and concrete properties, the relation is almost the same. Based on these test results, 0.5 wh/L is proposed as the most sufficient value of EPC to mix normal concrete. A method to estimate the properties of concrete at certain mixing time is also proposed.