

プレパクト用モルタルミキサの練りませ効果に関する研究

奥村 忠彦

河井 徹

(土木技術部)

§ 1. まえがき

品質の高いプレパクトコンクリートを施工するために大切な要目の一つは、所要の品質の注入モルタルを製造することである。注入モルタルの製造に、プレパクト用モルタルミキサが果たす役割は、きわめて大きいのである。

注入モルタルは通常のコンクリートに比べて単位水量が多く、流動性が大きく、粗骨材を含まないので、コンクリートミキサよりもモルタルミキサの方がかくはん翼の角度、回転数などのミキサの因子が、練りませたモルタルの諸性質に及ぼす影響は大きいと思われる。

本州四国連絡橋、大黒大橋などの大型海中基礎工に、均等質で品質の高いプレパクトコンクリートを施工するために、大容量のモルタルミキサ（かくはん容量3.3~1.5m³）が開発されてきた。この開発のために、モルタルミキサに関する各種の研究が行なわれた^{1),2),3)}。

しかし、既往の研究ではモルタルミキサの型式、回転

数、練りませ時間などと注入モルタルの諸性質との関係について報告しているが^{1),2),3),4),5)}、ミキサの仕事量と注入モルタルの諸性質との関係について総合的に論じているものはない。

そこで、本研究ではモルタル材料を分散させる程度をモルタルミキサの練りませ効果と呼び、ミキサの仕事量が練りませ中に消費される単位時間あたりの電力（純消費電力と呼ぶ）で表わされることに着目して、ミキサの諸因子を変えて練りませ試験を行なった。その試験結果に基づいて、まずモルタルミキサの諸因子と純消費電力との関係について検討し、次に純消費電力と注入モルタルの諸性質との関係について検討して、モルタルミキサの練りませ効果について論じた。

§ 2. 使用したモルタルミキサについて

本研究用に試作したプレパクト用モルタルミキサを用い、上部かくはん翼をつけないものをA型モルタルミキサ、上部かくはん翼をつけた2段羽根のものをB型モルタルミキサと呼んだ。かくはん容量は240ℓで、油圧式モータでかくはん翼を回転させた。

A型モルタルミキサは、プレパクト用に一般に使われているモルタルミキサと同型式で図-1のように下部に3枚のかくはん翼を有し、ドラムに3個の抑止板を備えたものである。回転数は180~280rpmで任意に変えられ、かくはん翼の角度も任意に変えられる構造である。抑止板も取りはずしが可能なようにした。

次に、B型モルタルミキサは図-2のように、上部にもかくはん翼を有し、下部と逆方向に回転するようにした。ただし、抑止板は取り除いた。上部かくはん翼の回転数は40~65rpmで、角度も任意に変えることができるようにした。

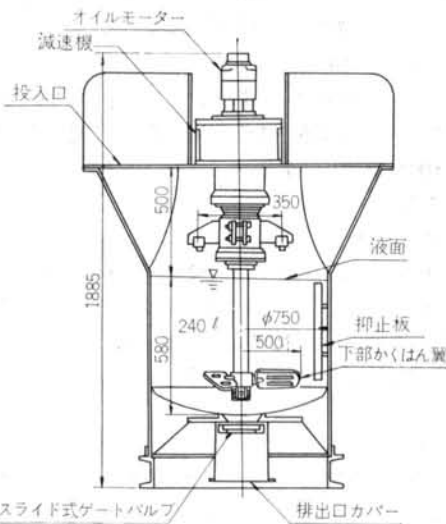


図-1 A型モルタルミキサ

§ 3. 使用材料および試験方法

3.1 使用材料

セメントは、日本セメント埼玉工場製の普通ポルトランドセメントを用いた。その試験成績は表一1のようである。JIS R 5210 (ポルトランドセメント) を満足していた。

細骨材は利根川産の川砂で、2.5mmふるいを通過するものを用いた。その試験成績は比重2.60、吸水量2.50%、粗粒率1.12で、粒度曲線は図一3のようであった。

混和剤は、コンケム社製イントルージョンエイドを用いた。

水は上水道水を使用した。

注入モルタルには通常フライアッシュを用いるが、本研究はモルタルミキサの性能試験であるので、試験結果のばらつきを少なくするためにフライアッシュを用いなかった。

3.2 注入モルタルの配合

注入モルタルの配合は、標準的なものとして表一2のようにした。本実験ではすべて同一配合とした。

3.3 試験の要因と水準

試験の要因と水準は表一3のようにした。

3.4 試験のフローチャート

練りまぜ試験は図一4のような流れで行なった。

3.5 試験方法

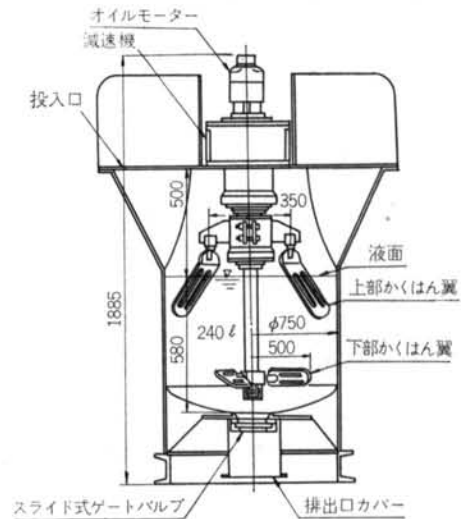
試験項目は、代表的な注入モルタルの性質を表わすものとして、コンシステンシー、膨張率、ブリージング率、単位容積重量、保水性、圧縮強度とした。さらに、ミキサの仕事量を求めるために純消費電力の測定も行なった。

(1)コンシステンシー試験

注入モルタルのコンシステンシーは、土木学会規準 H-III, 1 (プレパックドコンクリートの注入モルタルのコンシステンシー試験方法) に準じて試験した。すなわち、P ロートをを用いて1,725ccのモルタルが自由流下する時間で表示する方法で、この流下時間をフロー値と呼んだ。

(2)膨張率・ブリージング率試験

注入モルタルの膨張率、ブリージング率試験は、建築学会 JASS 5T-701, b (注入モルタルの膨張率、ブリージング率試験方法) に準じて行なった。すなわち、目盛付き1,000ccメスシリンダーを用いて、水面



図一2 B型モルタルミキサ

とモルタル面の経時変化を測定する方法である。

(3)単位容積重量試験

注入モルタルの単位容積重量は、容量約1ℓのガラス製容器の中に空気が混入しないようにモルタルを入れ、その重量を測定する方法で試験した。

(4)保水性試験

注入モルタルの保水性試験は、注入モルタル中の水を真空で吸引する方法で、モルタル中の水の抜けにくさを示すものである。試験方法について2, 3提案されているが^{(4), (6), (7)}、わが国では規準化されていない。本研究では、アメリカの Corps of Engineers の CRD-C 80 (Method of Test for Water Retentivity of Grout Mixtures) に準じて、保水性試験を行なった。

すなわち、図一5のような試験装置を用いて500ccの注入モルタルをロートに入れ、これを-700mmHgの真空で吸引して脱水量と経過時間との関係を求めた。50cc脱水するのに要する時間を注入モルタルの保水性と称した。

(5)圧縮強度試験

注入モルタルの圧縮強度試験は、土木学会規準 H-III, 4 (プレパックドコンクリートの注入モルタルの圧縮強度試験方法) に準じて行なった。

脱型後は20±2℃の水中で養生し、材令28日で試験した。

(6)消費電力

ミキサが消費する電力の測定は、油圧ユニットで横河電機製の自動記録計を用いて行なった。測定結果の一例は図一6のようである。オイルポンプと油圧モータで

消費される電力の合計が記録される。したがって、ミキサのかくはん翼を回転させるために消費される電力、すなわち 図-6 の H を純消費電力と呼んだ。

§ 4. モルタルミキサの仕事量について

モルタルミキサの仕事量は § 3. に定義した純消費電力で表わされるので、まず、かくはん翼の形状寸法、角度および回転数、抑止板の形状寸法と純消費電力との関係について検討を行なった。

4.1 A型モルタルミキサにおける仕事量について

A型モルタルミキサにおけるかくはん翼の角度、および回転数と純消費電力との関係は、図-7、図-8に示すように角度および回転数の増加にともなってほぼ直線的に純消費電力が増大した。すなわち、かくはん翼の角度および回転数がミキサの仕事量に及ぼす影響は、ほぼ一次的であるといえる。例えば、かくはん翼の角度と純消費

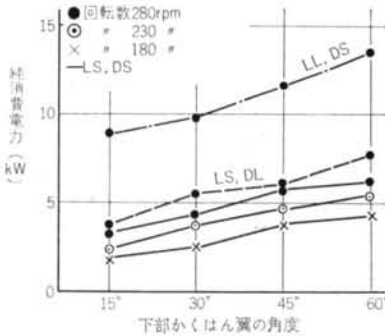


図-7 A型ミキサにおける下部かくはん翼の角度と純消費電力との関係

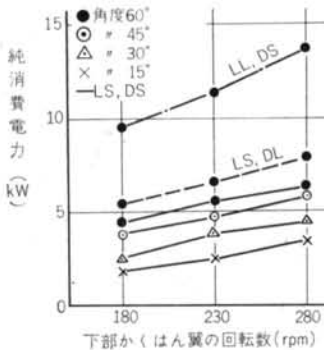


図-8 A型ミキサにおける下部かくはん翼の回転数と純消費電力との関係

上部かくはん翼	下部かくはん翼の回転数 (rpm)	相関係数	回帰直線	変動係数 (%)
なし	180	0.987	$y = 3.45x + 0.94$	5.87
	230	0.993	$y = 3.94x + 1.58$	3.76
	280	0.983	$y = 4.10x + 2.35$	5.21

注) y は消費電力で、 x は下部かくはん翼の角度 (60° を 1 として計算した) である

表-4 下部かくはん翼の角度と純消費電力との関係



写真-1 練りまぜ状況(45°, 280rpm)



写真-2 練りまぜ状況(45°, 230rpm)



写真-3 練りまぜ状況(45°, 180rpm)

費電力との相関係数を求めると、表-4のように約0.99できわめてよい相関を示した。角度が45°の場合における練りませ状況を、写真-1~3に示した。これらの写真から、目視によっても回転数が異なると練りませ状況が相違することが明らかに認められた。

次に、かくはん翼の形状寸法と純消費電力との関係について検討を行なった。かくはん翼の幅を一定にして、長さを250mm (LS) と325mm (LL) にした場合の純消費電力は、図-7, 8のように長さを1.3倍にすると、純消費電力は約2.26倍になった。かくはん翼の長さがミキサの仕事量に及ぼす影響は、角度および回転数の影響よりも大きいことが示された。

また、抑止板の面積比が1.69倍 (DS と DL の面積比) になると純消費電力は約1.18倍になった。なお、DL の場合、図-4に示すように50mmのすき間があるが、その面積は考慮していない。

したがって、通常使用されているモルタルミキサのかくはん翼の角度および回転数が、ミキサの仕事量、すなわち純消費電力に及ぼす影響は一次的であるとともに、かくはん翼の長さの影響はきわめて大きいことが示された。また適当な抑止板であれば、面積を大きくしても純消費電力に及ぼす影響がそれほど大きくないことも示された。

4.2 B型モルタルミキサにおける仕事量について

図-4に示した形状寸法の小さい上部かくはん翼 US を用いた場合、上部の回転数が異なると下部の角度と純消費電力との関係は、A型モルタルミキサの場合と同様にほぼ直線的に増大した。しかし40rpmの場合は、下部の回転数が230rpm以上になると、図-9に示すように下部の角度が60°の場合、45°の場合よりも純消費電力が減少した。これは上部かくはん翼がUSでは形状寸法が小さかったために、写真-4に示すように下部の角度が60°になるとドラムに沿ってモルタルが流れて、モルタル面は中央が下がり外周が上がることになり、上部かくはん翼が有効に働かなかつたためと考えられる。一方、上部かくはん翼を65rpmで回転させると、モルタル表面に逆方向の大きな回転力を与えることができ、モルタルそのものの回転速度を下げる事ができたものと思われる。したがって、モルタル表面は水平に近づき上部かくはん翼の効果が出たようである。

そこで、上部かくはん翼の形状寸法を大きくするために、長さは変えないで幅を200mmのULにして練りませ試験を行なった。その結果、図-9のように下部の角度の増大にともなって純消費電力はほぼ直線的に増加

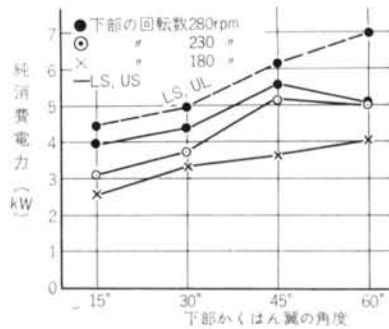


図-9 B型ミキサにおける下部かくはん翼の角度と純消費電力との関係(上部0°, 40rpm)



写真-4 上部(0°, 40rpm), 下部(60°, 280rpm)の場合の練りませ状況

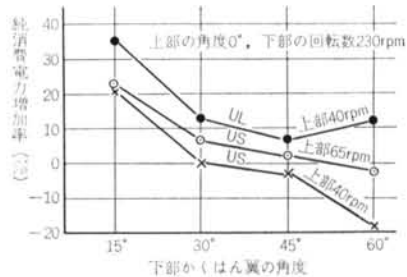


図-10 B型ミキサにおける純消費電力増加率

し、練りませ状況が改善された。

したがって、このB型ミキサの場合は上部かくはん翼の幅が200mm程度あれば、ドラムに沿って流れるモルタル上面付近に上部かくはん翼が有効に働くことが明らかになった。

次に、A型モルタルミキサとB型モルタルミキサにおける純消費電力を比較して、上部かくはん翼の効果について検討を行なった。すなわち、次式でB型モルタルミ

キサの純消費電力の増加率を表わした。

純消費電力増加率＝

$$\frac{(B型ミキサの純消費電力) - (A型ミキサの純消費電力)}{(A型ミキサの純消費電力)} \times 100(\%)$$

下部かくはん翼の回転数が 280rpm の場合の純消費電力の増加率と下部かくはん翼の角度との関係は、**図-10**のように上部かくはん翼の形状寸法および回転数によって傾向が異なった。すなわち、上部の回転数および形状寸法が大きいほど、純消費電力増加率は増大した。この理由も、前述したモルタルの流れの相違によるものと考えられる。**図-10**に示すように、純消費電力の増加率は下部かくはん翼の角度が15°程度では20%以上であるが、45°になると10%以下となっている。

したがって、下部かくはん翼の角度が小さい場合は、2段かくはん翼のB型モルタルミキサの方が良く、角度が大きくなるにつれてA型モルタルミキサ、すなわち抑止板の効果が大きくなること示された。実用的には下部の角度を30°以上にすればはA型モルタルミキサで十分な練りませ効果が期待できると思われる。

§ 5. 注入モルタルの諸性質と純消費電力との関係について

§ 4. でモルタルミキサの諸因子と純消費電力との関係を明らかにしたので、次に純消費電力と注入モルタルの諸性質との関係について検討し、プレパクト用モルタルミキサの練りませ効果について論ずる。

5.1 フロー値と純消費電力との関係について

3分練りの注入モルタルのフロー値と純消費電力との関係は、**図-11**に示すように純消費電力が6kW程度までは純消費電力の増加にともなってフロー値は減少しコンシステンシーが改善されるが、6kW程度以上になると純消費電力の増加にともなってフロー値は増加した。

3分練りのフロー値と1分練りのフロー値の差と、純消費電力との関係は**図-12**のようで、純消費電力の増加にともなってフロー値の差は直線的に増加した。6kW程度まではフロー値の差は負であって、6kW程度以上ではフロー値の差は正になった。

練りませによってモルタルのコンシステンシーが改善される理由として、次のことが考えられる。

セメント粒子は水と接すると、van der Waals 力および静電気力によって凝集体を形成し、その内部に水およ

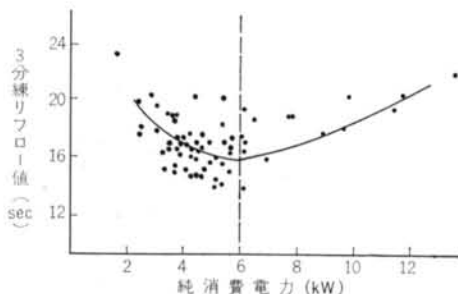


図-11 純消費電力と3分練りのフロー値との関係

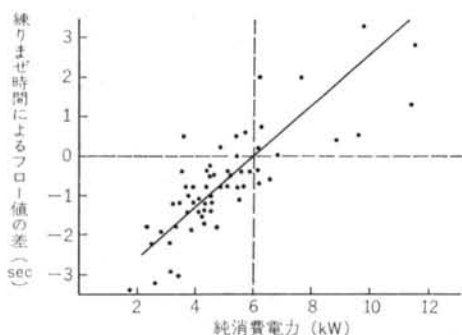


図-12 純消費電力と練りませ時間によるフロー値の差との関係

び空気が閉じこめられる^{8),9)}と考えられる。その凝集体に機械的な力を与えて凝集体を破壊させると、その空げきに閉じこめられていた空気と水が遊離してモルタル中で占める固体部分(凝集体内に固定されていた空気と水は、この分散系においては固体とみなされる)の容積が減少して、その結果モルタルのコンシステンシーが増大すると思われる。

上述したことを考慮すると、純消費電力が6kW以下の場合には練りませ時間が1分ではまだ凝集体が多く残り練りませ効果が十分でないことを示している。純消費電力が6kW以上の場合3分練りのフロー値が増加しているのは、固体部分がほぼ全部破壊された後5.2で述べる理由によるセメント粒子の保水量の増大、温度上昇などの影響が大きかったものと思われるが、さらに検討する必要がある。

以後は、3分練りのモルタルについてのみ論ずる。

5.2 保水性と純消費電力との関係について

純消費電力と注入モルタルの保水性との関係は、**図-13**に示すように純消費電力の増加にともなって直線的に増加し、その傾向は純消費電力が大きい場合でも変らな。その相関係数は $r = 0.845$ であり、他の試験結果よ

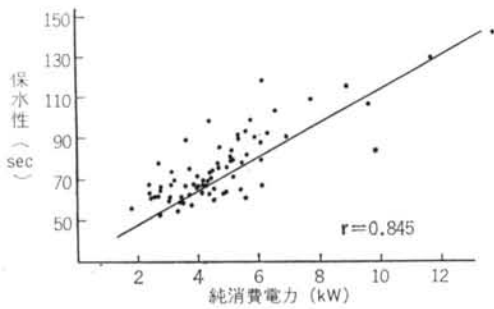


図-13 純消費電力と保水性との関係
りも良好であった。

保水性試験は、§ 3. に述べたように一定の外力によってモルタルから水を強制的に分離させ脱水するので、モルタルの保水能力、換言すれば材料分離の生じにくさを表わすものである。練りませ効果が十分でセメント粒子が良く分散しているほど、セメントの比表面積は増加する。セメント粒子表面に吸着されていて動かないと考えられる水量（保水量と呼ぶ）は、その性質上粒子の表面積の和に比例する。セメント粒子の全表面積は、砂の全表面積に比較して非常に大きいので、単位モルタル中の保水量の大部分はセメント粒子に集中し、砂粒子に付着する量はきわめて少ない。モルタル中の全水量からセメント粒子の保水量を引いた水量として求めた自由水量に相当する部分が、保水性試験により脱水されることを考慮すると、保水性が良好であるほど、すなわち純消費電力が大きいほど練りませ効果が良いことを示している。

したがって、モルタルミキサの練りませ効果を判定する試験方法として、保水性試験は適していると考えられる。

5.3 膨張率と純消費電力との関係について

純消費電力と膨張率との関係は、図-14に示したように6kW程度まではほぼ直線的に膨張率は増加しているが、6kW程度以上になるとほぼ一定値であった。

注入モルタルの膨張は、混和剤の中に含まれているアルミニウム粉末とセメント中のアルカリ分とが反応して数多くの微細な水素気泡を発生するために生ずる。岩崎氏⁹⁾はその初期の反応速度について、次の関係があることを報告している。

$$\frac{dx}{dt} = kS[\text{OH}^-] \cdot [\text{SO}_4^{--}]^2$$

ただし、 x : 反応量

t : 時間

k : 定数

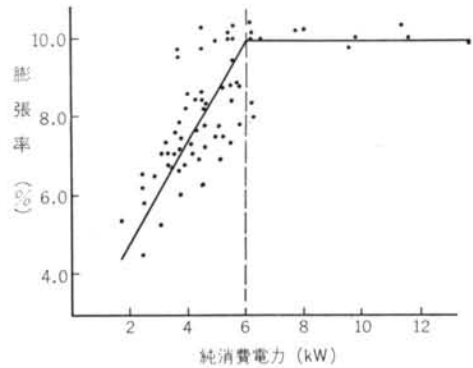


図-14 純消費電力と膨張率

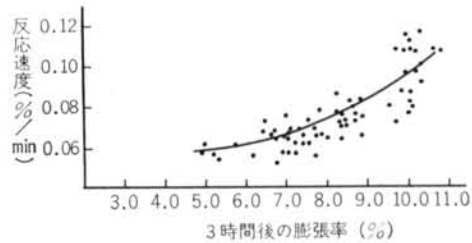


図-15 反応速度と3時間後の膨張率との関係

S : t 分後の Al 粉末の表面積

$[\text{OH}^-], [\text{SO}_4^{--}]$: $\text{OH}^-, \text{SO}_4^{--}$ の液相中のイオン濃度

また、アルミニウム粉末は薄片状なので、時間の経過とともに反応に有効な表面積 S の減少が少ないと考えられ、モルタルの液相中のイオン濃度はほぼ平衡濃度に達しており、 $[\text{OH}^-] \cdot [\text{SO}_4^{--}]^2$ の経時変化はほとんどないと述べている。

セメント粒子の分散が良ければ粒子と水の接する面積が増大するので、 $[\text{OH}^-] \cdot [\text{SO}_4^{--}]^2$ の濃度が増大する。その結果 $\frac{dx}{dt}$ の値、すなわち初期反応速度が大きくなるものと思われる。初期反応速度（練りませ後30分までの膨張は時間に対して直線と考えられるので、30分後までの膨張率から初期反応速度を求めた）と、練りませ後3時間の膨張率との関係は、図-15に示すように良好な相関が得られたので、3時間後の膨張率が大きいほど $[\text{OH}^-] \cdot [\text{SO}_4^{--}]^2$ の値が大きいものと思われ、練りませ効果が良いことを示している。

また、純消費電力が6kW程度以上の場合、3時間後の膨張率が10%を越えて一定値になっているが、これは混和剤中に含まれているアルミニウム粉末の約80%が反応して、ほぼアルミニウム粉末の反応が終了しているためと考えられる。

したがって、本実験の場合純消費電力が6kW程度ま

ではほぼ直線的に膨張率が増大し、6 kW 程度で $[\text{OH}^-] \cdot [\text{SO}_4^{2-}]^2$ のイオン濃度が必要かつ十分な値に達したと思われる。実用的には、純消費電力が6 kW 以上になっても注入モルタルの膨張率にはそれ程効果がないと思われる。

5.4 ブリージング率と純消費電力との関係について

純消費電力とブリージング率との関係は、図-16のようであって保水性と逆の関係が認められた。すなわち、純消費電力が増加するにともなってブリージング率は減少し、純消費電力が大きい場合でもほぼ直線関係を示した。その相関係数は $r = -0.781$ であり、比較的良好な相関を示した。

ブリージングは重力の作用によって固体粒子が沈降し自由水が分離上昇する現象で、前述した保水性試験と密接な関係にある。したがって、保水性と同様に純消費電力が大きいほど、セメントの練りませ効果が良いことが示された。

5.5 単位容積重量と純消費電力との関係について

純消費電力とモルタルの単位容積重量との関係は、図-17に示したように純消費電力が6 kW 程度まではほぼ直線的に増加する傾向が認められた。これは、純消費電

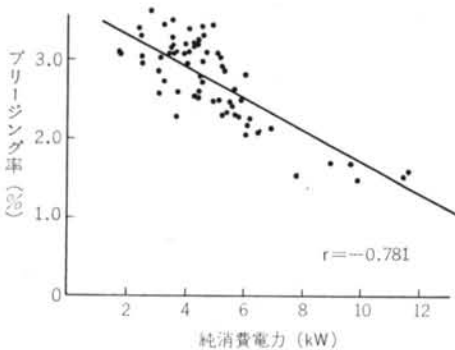


図-16 純消費電力とブリージング率との関係

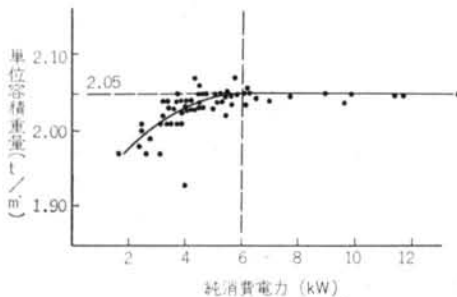


図-17 純消費電力と単位容積重量との関係

力が大きいほどセメントの凝集体が破壊されて、凝集体の内部に閉じこめられていた空気が遊離してモルタルの液相中に入り、その後モルタルの外に追い出されて 2.05 t/m^3 の単位容積重量にほぼ達するのである。

したがって、これ以上の単位容積重量にはなり得ないが、練りませ効果が純消費電力の増大とともに増すことは、他の試験結果からも推定できる。しかし、実用的には膨張率の場合と同様に、純消費電力を6 kW 程度以上にしても練りませ効果はそれ程改善されないのである。

5.6 圧縮強度と純消費電力との関係について

図-18は純消費電力と材令28日の圧縮強度との関係を示したが、全体的に試験値のばらつきがあり、両者の間には明瞭な相関関係は認められなかった。純消費電力が6 kW 程度以上の場合はほぼ 300 kg/cm^2 の一定値で、6 kW 程度以下の場合より多少減少しているようであった。

図-19に膨張率と圧縮強度との関係を示したが、膨張率が10%以上の場合は、10%以下の場合に比較して圧縮強度の減少がみられた。すなわち、膨張率が10%程度以上の場合は、図-18に示した純消費電力が6 kW 程度以上の場合に相当しており、膨張率が10%程度以上の場合には、過度な水素気泡の発生のために練りませ効果が良

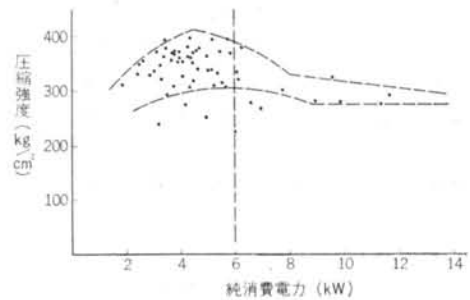


図-18 純消費電力と圧縮強度との関係

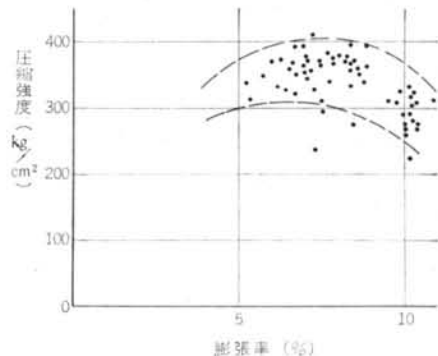


図-19 膨張率と圧縮強度との関係

いにもかかわらず、圧縮強度が減少したものと思われる。

§ 6. 結 び

A, B型プレパクト用モルタルミキサの諸因子を変えて練りませ試験を行なって、モルタルミキサの練りませ効果について検討を行なった。実験の範囲内で次のことがいえると思う。

- 1) かくはん翼の角度、回転数および長さがミキサの仕事量、すなわち純消費電力に及ぼす影響は角度、回転数および長さが増大するほど純消費電力は一次的に増すが、なかでも長さの影響が最も大きい。
- 2) A型モルタルミキサで、適当な抑止板を選定すれば、それ以上大きな抑止板を取付けても、純消費電力の増加は少なかった。
- 3) 上部にかくはん翼を設けてこれを下部と逆方向に回転させたB型モルタルミキサの場合、下部の角度が小さいとA型モルタルミキサより純消費電力が増加するが、下部の角度が45°以上になるとその増加はほとんどなかった。下部の角度が大きいとモルタル流の表面が放物線のように中央が下るので、上部かくはん翼の効果が小さくなるためと考えられる。
- 4) 注入モルタルの保水性およびブリージング率と純消費

電力との関係は、純消費電力の増大にともなって保水性は増加し、ブリージング率は減少したので、純消費電力が増大するほどモルタルミキサの練りませ効果は大きくなるものと思われる。

- 5) しかし、純消費電力が6kW程度までは膨張率および単位容積重量は増加するが、6kW以上になるといずれもほぼ一定値を示した。また、3分練りのフロー値は6kW程度までは減少するが、6kW以上になると増大した。
- 6) したがって、純消費電力は大きいほどモルタルミキサの練りませ効果は増大するが、実用的には6kW程度が最も望ましいと思われる。
- 7) モルタルミキサの性能を判定する方法として、注入モルタルの保水性およびブリージング率試験が適当であるが、限界を示すために膨張率および単位容積重量試験と併用するのが望ましい。

本研究では、バッチ内の変動、練りませ時間の影響について試験していないので、今後これらの問題点も解明して、モルタルミキサの設計、ならびに性能判定試験方法に役立てたい。

本研究を行なうに際して有益なご示唆をいただいた東洋大学の岩崎訓明先生、実験にご助力いただいた鉦研試験工業㈱の担当の方々、および土木技術部プレパクト運営課の方々に感謝の意を表する。

〈参考文献〉

- 1) 北山・武川・奥村：“大容量モルタルミキサの分散効果に関する研究” 土木学会第28回年次学術講演会講演概要集，昭和48年10月
- 2) 土木工業協会：“本四連絡橋児島～坂出基礎工調査実験報告書（その5）” 昭和49年3月
- 3) 人見・坂本・山中・高島：“海中コンクリートの大規模実験工事” 土木施工15巻4号，昭和49年4月
- 4) 赤塚雄三：“注入モルタルに関する基礎研究” 港湾技術研究所報告3巻6号，昭和39年11月
- 5) 岩崎訓明：“プレバックドコンクリートの施工方法に関する基礎的研究” 土木学会論文集98号，昭和38年10月
- 6) 新見芳男：“プレバックドコンクリート用モルタルの保水性試験方法について” 日本建築学会関東支部第39回学術研究発表会，昭和43年
- 7) “General Specifications for Prapak Concrete” Intrusion-Prepakt Inc., 昭和30年
- 8) T. C. Powers: “Properties of Fresh Concrete”
- 9) A. Jahanson: “The Relationship between Mixing Time and Type of Concrete Mixer” RILEM Seminar on Fresh Concrete

