

[116] 練りませエネルギーがフレッシュコンクリートの性状に およぼす影響

正会員 ○曾我晋也(五洋建設技術研究所)

正会員 高木兼士(五洋建設技術研究所)

木村 敦(五洋建設技術研究所)

1. まえがき

コンクリートの練りませ方法について、材料の一部を練りませたのち、残りの材料を投入して練りませるといった分割混練をおこなうことによって、コンクリートの品質を改善する方法が開発され^{1),2)}、注目を集めている。一方、現状の生コンプラント等においてコンクリートを製造する場合には、セメント、骨材、水および混和剤の全材料を、同時にミキサに投入して一定時間練りませる方法が、原則とされている。材料の投入のうち、練りませ水の投入時間は、10~15 sec の間でおこなわれており、水の投入時間が長くなると、練りませ完了時間が延びかつ、ミキサモータ電流(電力)値が大きくなり、ミキサの機械的能力の面から好ましくないとされている³⁾。

本研究では、練りませ水の投入速度(以下、加水速度という)が、練り上がり後のフレッシュコンクリートに与える影響を調べるため、加水速度を遅くする方法と従来の投入方法の比較をおこなうとともに、ミキサ消費電力値から求めた練りませエネルギーと、練り上がり直後のフレッシュコンクリートの性状の関係について、実験的に検討した。

2. 実験概要

(1) 使用材料および配合

セメントは、普通ポルトランドセメントを使用した。細骨材には、君津産山砂(比重 2.63)を、粗骨材には、八王子産硬質砂岩(比重 10~20 mm ... 2.68, 5~10mm ... 2.63)をそれぞれ使い、AE 剤として、天然樹脂酸塩系のものを使用した。今回の実験に使用したコンクリートの配合を表-1 に示す。

(2) 実験計画

実験は、シリーズ1 ... 55ℓ 強制練りミキサ・練りませ量40ℓ、シリーズ2 ... 100ℓ 強制練りミキサ・練りませ量60ℓの容量の異なるミキサを用いて実施した。シリーズ1, 2における実験ケースを表-2 に示す。加水速度は、2, 10kg/sec の2通りとした。加水速度10 kg/secは、生コンプラント等において、コンクリートを製造する場合の練りませ水投入時間(10~15 sec)から換算し、決定した値である。練りませ方法は、図-1 に示すように、M-1, M-2 法の2種類とし、シリーズ2のミキサブレード回転数を変えた実験では、M-1 法のみを用いた。M-1 法は、細骨材(S), 粗骨材(G), セメント(C)を投入し、ミキサ起動と同時に加水する方法である。M-2 法は、細骨材, 粗骨材, セメントを30sec空練り後、加水する方法である。ミキサブレード回転数は、通常のプラントミキサの回転数の範囲(20~35 rpm)から決定した。細骨材は表乾もしくはそれに近い状態とした。なお、実験は恒温恒湿室(20±5℃, 60±5%RH)内に実施した。

表-1 配合表

| 最粗骨材寸法(mm) | W/C (%) | s/a (%) | 単位量(kg/m ³) | | | | AE剤 (%) | |
|------------|---------|---------|-------------------------|-----|-----|---------|---------|------|
| | | | セメント | 水 | 細骨材 | 粗骨材(mm) | | |
| 20 | 60.0 | 45.0 | 267 | 160 | 846 | 521 | 521 | 0.03 |

表-2 実験ケース

| シリーズ | ミキサの種類 | 練りませ方法 | 加水速度(kg/sec) | ミキサブレード回転数(r.p.m) | 練りませ時間(sec) |
|-------|-----------|--------|--------------|-------------------|-------------|
| シリーズ1 | 55ℓ 強制練り | M-1 | 2 | 74 | 120,210,300 |
| | | | 10 | | 60,120,210 |
| | | M-2 | 10 | 60,120,210 | |
| シリーズ2 | 100ℓ 強制練り | M-1 | 2 | - | 17 |
| | | | | | 37 |
| | | | | | 60 |
| | | | 10 | | 17 |
| | | | | | 37 |
| | | | | | 60 |

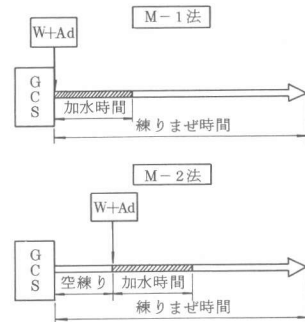


図-1 練りませ方法

(3) 測定項目

測定項目は、練り上がり直後のスランプ、空気量、ブリージング率、および練りませ時のミキサ消費電力である。ミキサ消費電力の測定には、図-2に示す装置を用い、電流、電圧の検出値から換算して電力を求めた。

3. 実験結果

(1) 練りませ時間がコンクリートの品質におよぼす影響

練りませ時間とフレッシュコンクリートの性状の関係を調べるため、加水速度（2, 10kg/sec）、および空練りの有無による比較をおこなった。その結果を図-3に示す。

全体的に見ると、練りませ時間の増加とともに、スランプ、空気量、ブリージング率は、減少する傾向を示すが、詳細に見ると練りませ時間60 secにおいて、M-2法は、M-1法に比べ、スランプ、空気量は小さい。また、ブリージング率は、M-2法よりM-1法が、加水速度10kg/secより2kg/secが、それぞれ小さく、両者の差は、練りませ時間が短くなるにつれ、顕著となる。

練りませ時間を空練りを除いた加水開始からの時間とし、M-2法による結果を図中矢印のようにシフトさせると、加水速度10 kg/secの関係は一つの曲線としてあらわされる。つまり、練り上がり後のコンクリートの品質変化は、空練りには関係なく、加水開始からの練りませ時間に影響するものと考えられる。また加水速度を遅くする方法は、練りませ過程で、キャピラリー状態（セメントペーストの団粒内部が水で満たされ、空けきがない状態）となる。したがって、加水速度を遅くする方法は、一度に水を投入してスラリー状にしたものに比べて、セメントペーストの団粒が小さく、見かけの比表面積の増大により、吸着水量が増加する。その結果、ブリージング率が減少したものと考えられる。

(2) ブレード回転数がコンクリートの品質におよぼす影響

ミキサブレード回転数とフレッシュコンクリートの性状の関係を調べるため、練りませ時間（120, 210, 300 sec）および加水速度（2, 10 kg/sec）による比較をおこなった。その結果を図-4に示す。ミキサブレード回転数の増加とともに、スランプ、空気量は増大し、さらに回転数を増すと、逆に減少へと転ずる。また、ブリージング率は、回転数の増加とともに直線的に減少する。

低速回転時（17 rpm）では、練りませ時間が長くなるにつれてスランプ、空気量は増加するが、高速回転時（60 rpm）では、逆に、その値は、わずかに減少する。練りませが不十分な状態ではスランプ・空気量は小さく、その後のかくはんによる材料の分散により、一担上昇するが、さらにかくはんをおこなえば、逆に減少へと転ずる。

練りませによる材料の分散は、練りませ時間、ミキサブレード

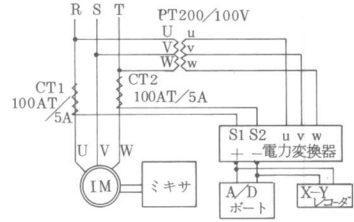


図-2 電力検出装置の構成

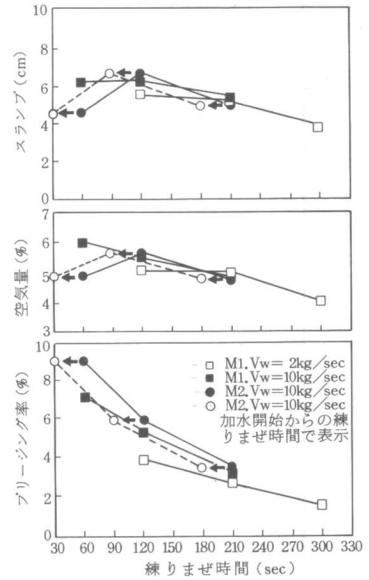


図-3 練りませ時間とコンクリートの性状

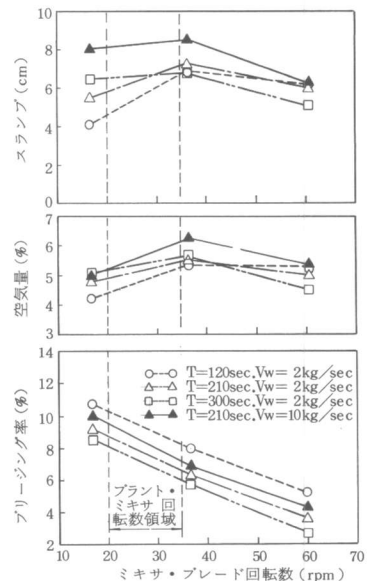


図-4 ミキサブレード回転数とコンクリートの性状

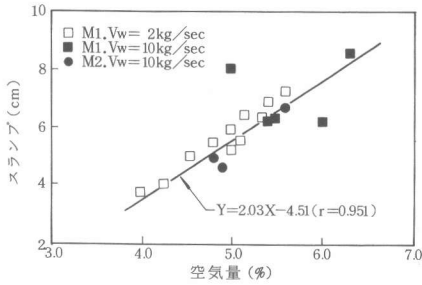


図-5 空気量とスラップ

回転数，加水速度に影響され，練りませ時間を長くし，ミキサブレード回転数を増加し，かつ加水速度を遅くすることにより，ブリーディング率を大巾に低減することができる。

(3) 空気量とスラップの関係

実験により得られた空気量とスラップの関係を図-5に示す。空気量の増加にともないスラップは増大する傾向を示し，両者の間には，良好な相関が認められ，相関係数は $r = 0.951$ であった。したがって，一連の実験におけるスラップの変動は，空気量の変化による影響が大きいと考えられる。

(4) 練りませ時間・回転数と練りませエネルギーの関係

練りませ時のミキサ消費電力の推移の一例を図-6に示す。加水開始からのミキサ消費電力は，空練りの有無にかかわらず，ほぼ同様の傾向を示す。しかし，加水速度により大きく異なり，加水速度を遅くすることにより，電力量は増大する。この点に着目し，測定したミキサ消費電力から，練りませエネルギーを算出し，練りませ時間およびミキサブレード回転数との関係を求めた。その結果を図-7，図-8に示す。練りませエネルギーは，加水開始から練りませ終了までにミキサがおこなう仕事量と定義し，ミキサ消費電力の積算値（積算電力量）から，次式により求めた。

$$E = \left\{ \left(\sum_{i=1}^{t/\Delta t} P_i \times \Delta t \right) / 3600 \right\} / V$$

- E : 練りませエネルギー (wh/ℓ)
- t : 加水開始からの練りませ時間 (sec)
- Δt : 測定間隔 0.5 sec
- P_i : ミキサ消費電力 (w)
- V : 練りませ量 (ℓ)

図-7から明らかのように，練りませ時間が長くなるにつれ，練りませエネルギーは，ほぼ直線的に増大する。加水速度 2kg/sec では，10kg/sec にくらべて，練りませエネルギーは，0.3 wh/ℓ程度増大する。また空練り有の場合には，無に比べ，練りませエネルギーは0.2wh/ℓ増大するが，練りませ時間を加水開始から練りませ終了までの時間として考えた場合，M-1法とM-2法はひとつの直線として表わされる。

図-8からミキサブレード回転数が大きくなるにつれて，練りませエネルギーは増大する。また練りませ時間が長くなるにつれ，練りませエネルギーの増加率は，0.016から0.035wh/ℓ・rpmに変化する。この現象から，練りま

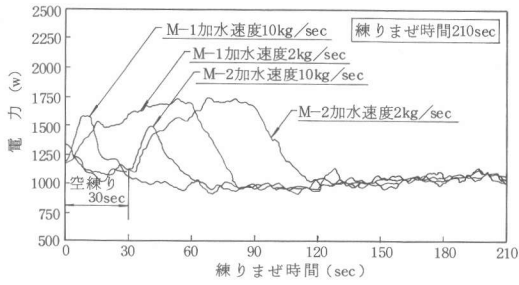


図-6 ミキサ消費電力の推移

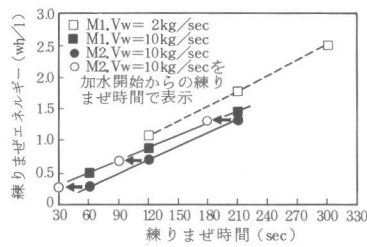


図-7 練りませ時間と練りませエネルギー

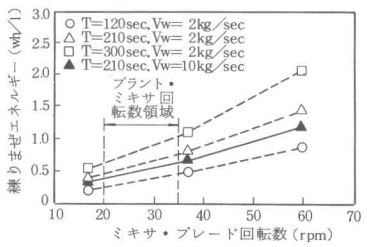


図-8 ミキサ・ブレード回転数と練りませエネルギー

ぜエネルギーの増大は、ミキサブレード回転数と練りませ時間の相乗効果によって生じると判断される。また、ミキサブレード回転数が増加するにつれ、加水速度による練りませエネルギーの差は増大する。

(5) 練りませエネルギーがコンクリートの品質におよぼす影響
練りませエネルギーと練り上がり後のコンクリートの性状の関係を図-9に示す。

図に示すスランブ値は、図-5から明らかとなった空気量とスランブの関係式を用い、空気量5%に補正した値である。

補正後のスランブは、練りませエネルギーの増減に対し、ほとんど変化しない。したがって、図-3、および図-4に示される練りませ時間、ミキサブレード回転数によるスランブの変動は、空気量の増減による影響としてとらえることができる。また、練りませエネルギーが0.5 wh/ℓ以下では、スランブのパラツキが大きくなる。

練りませエネルギーの増大とともに、空気量は増加し、さらにエネルギーを与えるとその値は減少へと転ずる。練りませエネルギーが0.5~0.8 wh/ℓにおいて、空気量は極大値を示す。

練りませエネルギーの増大とともにブリージング率は減少し、エネルギーが小さい場合にその減少率は大きくなる。

これらの結果から、練りませ時間、ミキサブレード回転数、加水速度、およびミキサ容量によるコンクリートの品質の変動は、ミキサ消費電力から求めた練りませエネルギーの変化としてとらえることができる。コンクリートの品質を改善するためには、練りませエネルギーを高める必要がある。その手段として、練りませ時間の増加、ミキサの高速回転が最も効果的であり、また加水速度の減少も有効であると考えられる。

6. まとめ

本実験により得られた結果をまとめると以下のとおりである。

- (1) 練り上がり後のコンクリートの品質変化には、空練りによる効果は認められず、加水開始から練りませ終了までの時間に支配される。
- (2) 加水速度を2kg/secと遅くすることにより、ブリージング率は減少する。同一練りませ時間におけるその減少量は、練りませ時間が短いほど大きい。
- (3) ミキサブレード回転数により、コンクリートの性状は変化する。特に、ミキサブレードを高速回転することにより、ブリージング率は急激に減少する。
- (4) 練りませエネルギーに最も影響を与える要因は、練りませ時間、ミキサブレード回転数である。またその量の増加とともに、加水速度の減少効果によりエネルギーはさらに増大する。
- (5) 練りませエネルギーを用いて、フレッシュコンクリートの品質を評価することができる。練りませエネルギーが小さい領域では、特にブリージング率の変動量は大きく、安定したコンクリートの品質を得るためには、少なくとも1.0 wh/ℓ以上のエネルギーが必要となる。

参考文献

- 1) 魚本, 星野: コンクリートの分割練りませ方法に関する基礎的研究, 第4回コンクリート工学年次講演会, 1982.
- 2) 田澤, 円: ダブルミキシング効果に関する2,3の実験と考察, セメント技術年報 37, 48, 1983.
- 3) 生コン工場品質管理ガイドブック, 全国生コンクリート工業組合連合会, 1980.

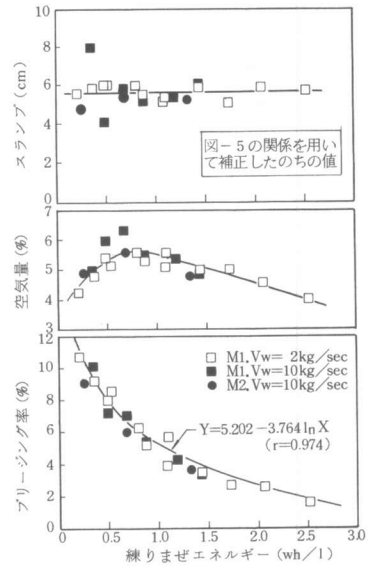


図-9 練りませエネルギーとコンクリートの性状