

竹中技術研究所 正会員 ○伊藤 孔一
同 上 正会員 吉岡 保彦
同 上 佐久田 昌治

1. はじめに

最近、各方面で水中コンクリート用の粘稠剤の開発が活発に行なわれており、その施工例も増加している。この種の混和材料は、コンクリートに粘性を与えて水中での分離に対する抵抗性を増し、同時に流動性を保持して self-compaction を可能とする点に基本性能があるが、この材料の添加が、コンクリート及びモルタルのレオロジ的な性質に如何なる影響を及ぼすのかについての報告は筆者の知る限りにおいて皆無である。元来、フレッシュコンクリートのレオロジーに関する研究は、施工時のコンクリートの挙動の解明を主たる目的としているが、水中に打設されるコンクリートでは人手的な締固めの作業が不可能であることを考慮すると、粘稠剤を含む水中コンクリートのレオロジーは、通常のコンクリートのそれと比べて、なお一層重要であると言える。本報では水中コンクリート用粘稠剤を添加したモルタルの構成方程式を求める目的で実施した実験結果について述べる。

2. 試験装置

モルタル、コンクリートなどのセメント混合物のレオロジ的な性質の評価方法に関しては多くの議論があり、結論を得るに致っていない。ここでは、Tattersall, Bloomer¹⁾及び Banfill²⁾の報告をもとにして、原理的には、TattersallのTwo-point Testを、また回転制御装置とトルク検出装置は従来の回転粘度計のシステムを取り入れた装置を試作した。装置の概要を図-1に示す。この装置においては、試料を入れた外筒が回転すると、内部のプロペラによって試料の剪断が生じ、そのレオロジ的な性質に応じて伝達されるトルクをプロペラの軸に連結したトーションワイヤーによって検出する。従来の二重円筒型回転粘度計では、局所的なスリップ、試料の軟化、水分移動が生じやすい欠点があったが、本装置ではこれらの影響を低減し、平均化することを意図している。

図-2は、粘度計校正用の標準液（昭和電工製、JS500）を用いた場合の回転速度（ N ）とトルク（ T ）の関係を示しており、広い回転速度の範囲で、トルクが正確に比例して推移していることから、この装置によって生ずる剪断変形のパターンは 3.33 rev/sec (200 r.p.m.) までの範囲で一定ということが出来る。

3. 実験概要

水セメント比、粘稠剤の有無、流動化剤の有無を変化させたモルタルの配合7種（表-1）を検討の対象とした。これらのうち、NO.1~3は粘稠剤のみを含むものであり、NO.4~5は粘稠剤と流動化剤を含むものであり、NO.6~7はこれらの剤を含まないものである。なお、粘稠剤としてはポリアクリルアミド誘導体を主成分

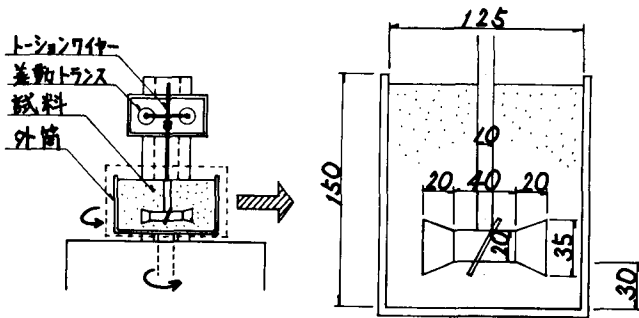


図-1 試験装置の概要

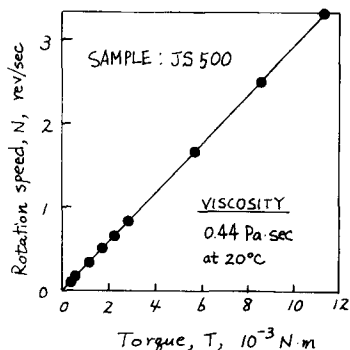


図-2 粘度計標準液による校正結果

とするものを、また流動化剤としてはメラミンスルホン酸塩を主成分とするものを用いた。また、セメントは普通ポルトランドセメントであり、骨材の最大径は5mmである。

実験は、まず、試料を外筒に充填し、プロペラを挿入した後、外筒を0.083～0.83 rev/sec（5～50 r.p.m.）までの速度で回転させた時のプロペラの軸にかかるトルクを測定することにより行なった。

図-3は、各配合についての回転速度とトルクの関係を示すものであるが、これらの関係は(1)式で示される直線式に近似したものとなっている。

$$T = g + \eta N \quad \text{----- (1)}$$

Tattersallによれば、¹⁾このようなTとNの直線的な関係を有する流体は、ビンガムのモデルに合致した力学挙動を示すものと見なしてよく、 g 及び η は各々降伏値(τ_0)と塑性粘性係数(η)に単純に比例する。(この理論的裏付けについては文献1)参照) この比例定数を求めるには、ある剪断変形速度における η の値が既知な物質についてのTとNの関係をプロットすればよい。ここでは、前記の粘度計校正液及び55%、61%の重量濃度をもつカオリンスラリーを用いてこれらの比例定数を求めた。

$$\tau_0 = 1.30 \times 10^{-3} \text{ m}^{-3} \cdot g \quad \text{----- (2)}$$

$$\eta = 1.28 \times 10^{-2} \text{ m}^{-3} \cdot (\text{rev}) \cdot \eta \quad \text{----- (3)}$$

各配合についての g , η , τ_0 及び η の結果を表-2に示す。

4. 実験結果及び考察

- (1) 粘稠剤を添加したモルタルの構成方程式は、ビンガムのモデル; $\tau = \tau_0 + \eta (dv/dx)$ の形と見なせる。
- (2) 粘稠剤は降伏値と塑性粘性係数の双方を高める作用をし、単独添加の場合、降伏値で91～299 Pa、塑性粘性係数で35～40 Pa・secの範囲にある。これを同じ配合で粘稠剤を含まない配合と比較すると、各々10倍、13倍程度である。
- (3) 粘稠剤に流動化剤を併用すると、粘稠剤単独添加に比較して、降伏値、塑性粘性係数のいずれをも低減する。この場合、塑性粘性係数は $1/2$ 程度にしか低減させないのに対して、降伏値は $1/5$ 程度にまで低減し、流動化剤の効果は降伏値に対して、より顕著な低減効果を示す。この結果、本実験に供した配合のうち、粘稠剤と流動化剤の双方を含むNO.4及びNO.5は、実用的にニュートニアンと見なし得さしつかえない性状を示している。

(4) 上記の性状はself-compactionの機能を要求される水中打設用コンクリートに対して好都合な性質といえる。

(5) 粘稠剤及び流動化剤の有無にかかわらず、降伏値の大きさはフロー値と良好な相関関係を有している。

参考文献 1) Tattersall,G.H and Bloomer,S.J. "Further development of the two-point test for workability and extension of its range", Magazine of Concrete Research, Vol.31, NO.109, Dec.1979. 2) Banfill,P.F.G. "A viscometric study of cement pastes containing superplasticizer with a note on experimental techniques", Magazine of Concrete Research, Vol.33, NO.114, Mar.1981.

表-1 モルタルの配合

No.	水セメント比 (%)	砂セメント比	粘稠剤添加量 (%対セメント)	流動化剤添加量 (%対セメント)	フロー値 (mm)
1	60	1:2	0.8	—	225×227
2	65	1:2	0.8	—	232×234
3	50	1:2	0.8	—	193×195
4	60	1:2	0.8	1.0	242×249
5	60	1:2	0.8	2.0	258×262
6	60	1:2	—	—	290×290
7	45	1:1.77	—	—	214×212

※各配合にセメント重量比0.25%のAE減水剤使用

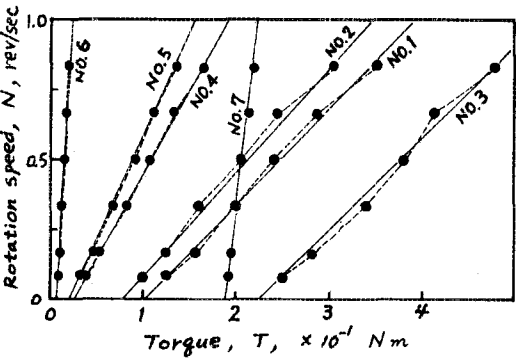


図-3 各配合における回転速度とトルクの関係

表-2 g , η , τ_0 及び η の結果

配合 No.	1	2	3	4	5	6	7
g ($\times 10^{-1}$ N.m)	1.0	0.7	2.3	0.25	0.22	0.10	1.9
η ($\times 10^{-1}$ N.m sec/m ²)	3.0	2.7	3.1	1.7	1.4	0.24	0.45
τ_0 (Pa)	130	91	299	32	29	13	247
η (Pa・sec)	38	35	40	22	18	3.1	5.8