

ツーポイント法によるフレッシュコンクリートの流動特性の評価

内 藤 勲* 堺 孝司**

1. まえがき

近年、水中不分離性コンクリート¹⁾あるいは締固め不要超流動コンクリート^{2) 3)}などといった高流動で高粘性なコンクリートが開発され、すでに実用化されつつある。これらのコンクリートには、高炉スラグ微粉末およびフライアッシュなどの混和材が利用されているのはもちろんのこと、特殊混和剤および高性能A E減水剤などが用いられており、コンクリートの流動特性もそれぞれ異なっている。従来、コンクリートのコンシステンシーを評価する場合、スランプ試験およびスランプフロー試験が用いられてきたが、上記のような新しいコンクリートのコンシステンシーをこれらの試験だけで評価することはむずかしい。このようなことから、現在、ツーポイント法^{4) 5)}、L型ボックスフロー試験⁶⁾、充填性評価試験⁷⁾、分離抵抗性試験⁸⁾およびO型ロート試験⁹⁾などといったさまざまな評価方法の検討^{10) 11)}がなされている。

このようなことを背景に、材料研究室ではフレッシュコンクリートの流動特性評価のために、ツーポイント法による検討を行ってきた。ここでは、ツーポイント法について概説するとともに、種々の混和材料がフレッシュコンクリートの流動特性に及ぼす影響について検討した結果について述べる。

2. ツーポイント法

2. 1 ツーポイント法の概要

ツーポイント法は、Tattersall¹²⁾らが提案しているフレッシュコンクリートの評価方法であり、写真-1に示すような回転粘度計から得られる回転数(N)とトルク(T)の関係からコンシステンシーを評価するものである。フレッシュコンクリートの流動特性は、一般的にビンガムモデルに近似でき、次式で表わすことができる。

$$T = hN + g$$

*材料研究室員 **同室長



写真-1 回転粘度計

ここで、 h は見かけの塑性粘度および g は降伏値を表わすが、これらはそれぞれビンガム体の塑性粘度(μ_{PI})および(τ_i)と比例関係にある。すなわち、次式がなりたつ。

$$\mu_{PI} = (1/G)h$$

$$\tau_i = (K/G)g$$

G はニュートン流体におけるトルク、回転数および粘度 η の関係式 $T = \eta GN$ から求められる機械定数であり、 K は、擬塑性流体における回転数および等価平均せん断速度 $\dot{\gamma}_{av}$ の関係式 $\dot{\gamma}_{av} = KN$ から求められる機械定数である。

2. 2 機械定数の算定

機械定数 G および K の算定には、それぞれニュートン流体および擬塑性流体の特性を有するような物質を用いた、回転粘度計による実験が必要となる。ここではニュートン流体として一般的なモーターオイルを、また、擬塑性流体として一般的な自動車用のシャーシグリースを用いた場合について説明する。

モーターオイルを用いた場合の回転数とトルクの関係を、図-1に示す。図-1から、各温度において算定した T/N の値とモーターオイルの粘度 η との関係を示すと、図-2のようになる。これらの関係を直線回帰すると、次式となる。

$$T/N = 0.339 \eta = G \eta$$

そのため、 G は0.339となる。

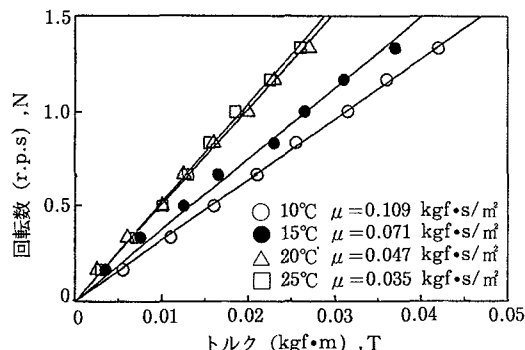


図-1 モーターオイルにおける回転数とトルクの関係

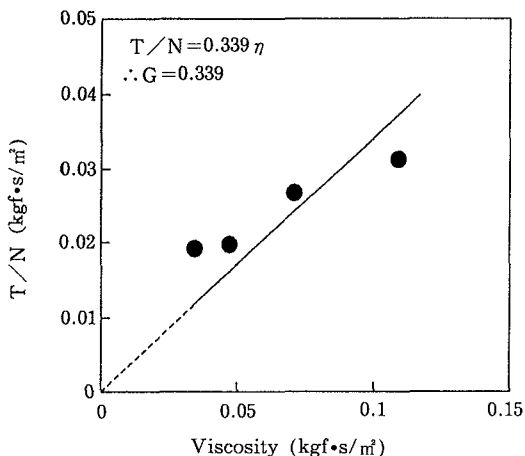


図-2 各温度の T/N とオイルの粘度の関係

シャーシグリースを用いた場合のせん断速度とせん断応力の関係を、図-3に示す。この関係から、非ニュートン粘性係数 $r=2.054$ および非ニュートン流体指数 $s=0.342$ が得られる。また、この場合の回転数とトルクの関係は図-4のようになる。

一方、等価見かけ粘性 η_{app} と等価平均せん断速度 $\dot{\gamma}_{av}$ の間には次の関係がある。

$$\eta_{app} = r \dot{\gamma}_{av}^{s-1}$$

この式より、

$$\dot{\gamma}_{av} = (\eta_{app} / r)^{1/(s-1)} \quad \text{..... (A)}$$

が得られる。

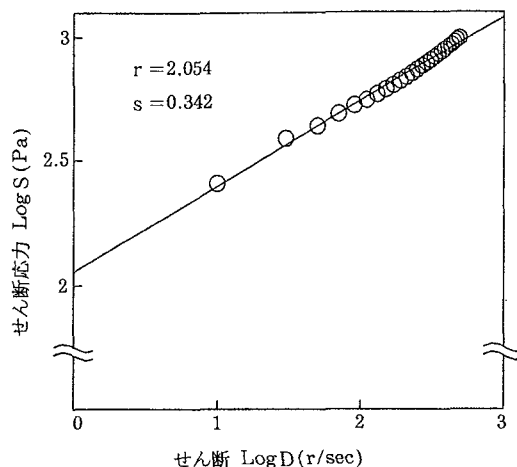


図-3 シャーシグリースにおけるせん断速度とせん断応力の関係

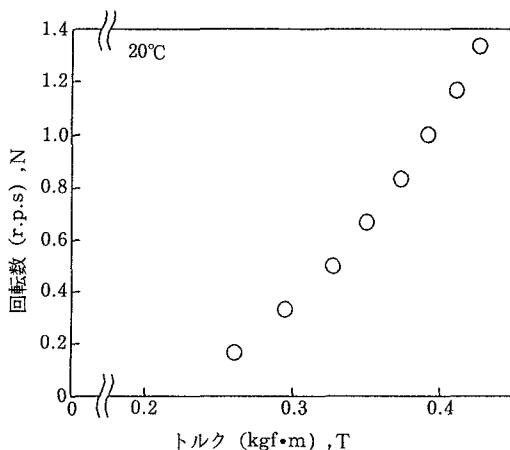


図-4 シャーシグリースにおける回転数とトルクの関係

ここで、 η_{app} は $T/N = G \eta$ の関係から次式で表わせる。

$$\eta_{app} = (1/G) \times (T/N) \quad \text{..... (B)}$$

したがって、各 T/N の値を用いて算定した $\dot{\gamma}_{av}$ と回転数との関係として、図-5が得られる。これらの関係を直線回帰すると、次式となる。

$$\dot{\gamma}_{av} = 2.393 N$$

そのため、 K は2.393となる。

3. 流動特性評価

ツーポイント法によるフレッシュコンクリートの流動特性の評価の例として、ここでは種々の混和材料を用いたコンクリートの実験結果について述べる。

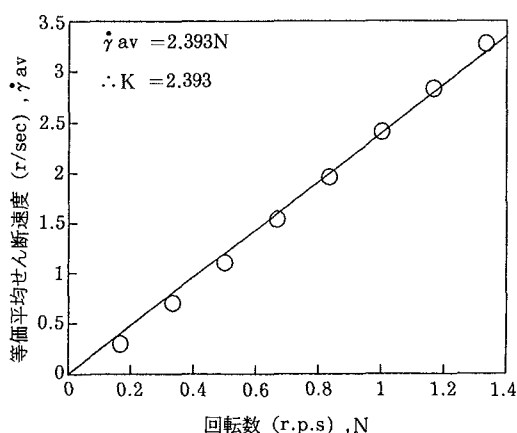


図-5 シャーシグリースにおける等価平均せん断速度と回転数の関係

表-1 および表-2 に、使用した混和材料を示す。セメントは、普通ポルトランドセメントを使用し、増粘材としてセルローズ(水分:3.7%, 粘度50,500 cP) も使用した。粗骨材は小樽見晴産の砕石を使用し、細骨材は苫小牧樽前産の海砂を使用した。粗骨材の最大寸法は25mmである。表-3 に、コンクリートの配合を示す。配合15は、スランプフローが60cm程度の超流動コンクリートである。

試験のための試料は、コンクリートを50ℓのパン型強制練りミキサを用いて練混ぜ、4cmの敷モルタル

表-1 混和材の物理特性

種 類	記号	粉末度 (cm ³ /g)		比 重
		呼び値	実測値	
高炉スラグ微粉末	S4	4,000	4,050	2.91
フライアッシュ	F		3,340	2.13
石灰石粉末	石粉		4,890	2.73

表-2 混和剤の種類

品 目	記号	主 成 分
A E減水剤	AB	リグニンスルホン酸化合物
高性能A E減水剤	SP	ポリカルボン酸エーテル系複合物

を敷いた円筒容器(φ250×300cm)に三層に分けて投入し、各層突棒で25回突固めて作成した。試験は回転翼を容器の中で回転させ、各回転数におけるトルクを測定した。回転数は10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80r.p.mの8段階に変化させた。

表-4 に、測定結果の一覧表を示す。図-6～8 および9 に、回転粘度計から得られた回転数とトル

表-3 コンクリートの配合

配合	W / C	s / a	単 位 量						置換率			添 加 量
	(%)	(%)	(kg / m ³)				(ℓ / m ³)		(%)			(g / cm ³)
			C	W	S	G	AE	SP	S4	F	石粉	セルローズ
0	48.3	45.0	300	145	866	1,053	3.750					
1	48.3			145	859	1,047	3.750		60			
2	48.3			145	859	1,046	3.750		65			
3	48.3			145	859	1,046	3.750		70			
4	51.7			155	852	1,040	3.750				20	
5	51.7			155	852	1,040	3.750				30	
6	51.7			155	847	1,030	3.750		65		20	
7	51.7			155	847	1,030	3.750		65		30	
8	48.3			145	859	1,046		2,100	65			
9	48.3			145	859	1,046		2,100	65		20	
10	48.3			145	859	1,046		2,100	65		30	
11	48.3			145	850	1,034		1,500	45	20		
12	48.3			145	850	1,034		1,500	45	20		300
13	48.3			145	850	1,034		1,500	45	20		400
14	48.3			145	850	1,034		1,500	45	20		500
15	30.1	45.7	528	159	760	900		3,097	30	40	20	

※配合15は、高炉スラグ微粉末の粉末度6,000 cm³/gを使用。

表-4 測定結果

配合 番号	見かけ塑性粘度 h ($\text{kgf} \cdot \text{s} / \text{m}^2$)	見かけの降伏値 g ($\text{kgf} \cdot \text{m}$)	塑性粘度 μ_{pl} ($\text{kgf} \cdot \text{s} / \text{m}^2$)	降伏値 τ_i ($\text{kgf} \cdot \text{m}$)	フランプ (cm)
0	0.2895	0.3457	0.853	2.438	14
1	0.4014	0.3839	1.183	2.707	18
2	0.4009	0.2727	1.182	1.923	20
3	0.3907	0.3627	1.151	2.558	20
4	0.2442	0.3385	0.720	2.387	12
5	0.2674	0.3799	0.788	2.679	15
6	0.3046	0.2814	0.898	1.984	21
7	0.3194	0.3301	0.941	2.328	20
8	0.4028	0.2753	1.187	1.941	20
9	0.4391	0.2773	1.294	1.955	19
10	0.3691	0.2778	1.088	1.959	20
11	0.4344	0.2151	1.280	1.517	21
12	0.4705	0.2880	1.387	2.031	22
13	0.5358	0.3390	1.579	2.391	23
14	0.6163	0.2913	1.816	2.047	21
15	0.4936	0.1484	1.455	1.046	27

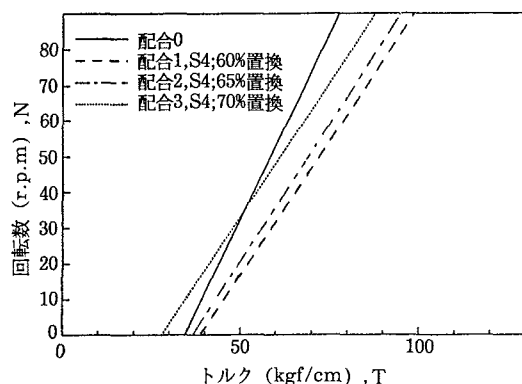


図-6 回転数とトルクの関係に及ぼす高炉スラグ微粉末の影響

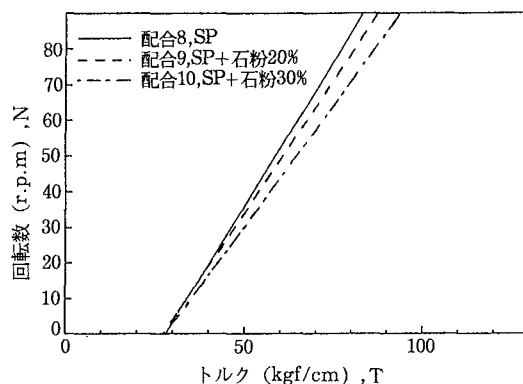


図-8 回転数とトルクの関係に及ぼす高性能AE減水剤と石粉の影響

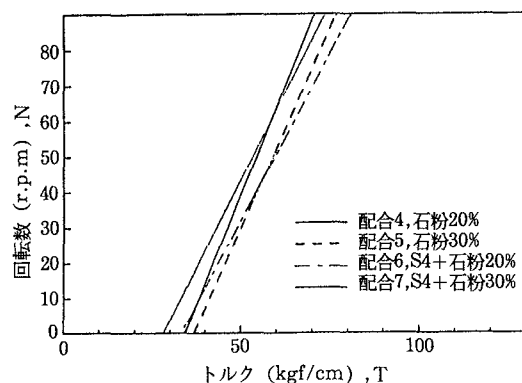


図-7 回転数とトルクの関係に及ぼす石粉の影響

クの関係を示す。直線と縦軸との勾配が見かけの塑性粘度 h であり、直線と横軸との切片、すなわち回転数が 0 のときのトルクの値が見かけの降伏値 g である。図-6 から、高炉スラグ微粉末の置換率を増加させると、見かけの降伏値は小さくなるが見かけの塑性粘度には影響がない。しかしながら、高炉スラグ微粉末を置換した場合としない場合では、置換した場合の方が見かけの塑性粘度は大きくなる。図-7 から、石灰石粉末（以下、石粉）の置換率を増加させると、見かけの降伏値は大きくなるが見かけの塑性粘度には影響しない。また、これに高炉スラグ微粉末を組合せた場合も同様な結果となった。

図-8から、高性能A E減水剤と石粉を組合わせた場合、石粉の置換率を増加させるに従って見かけの塑性粘度は大きくなるが、見かけの降伏値はほぼ同じである。図-9から、セルロースの添加量を増加させると、見かけの塑性粘度および降伏値は大きくなる。

図-10および11に、スランプと降伏値および塑性粘度の関係を示す。図-10から、スランプが大きくなると降伏値は小さくなる傾向が見られる。図-11から、高性能A E減水剤を使用した場合とA E減水剤を使用した場合では、前者の方が塑性粘度は全体的に大きくなる傾向がある。また、前者では、スランプはほぼ同じでも塑性粘度が大きく異なり、後者では、スランプが大きく異なっても塑性粘度はほぼ同じになる傾向がある。このように、スランプでは評価できないフレッシュコンクリートの流動特性を、ツーポイント法では評価が可能である。

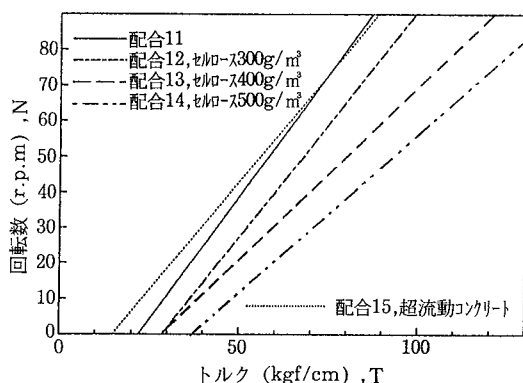


図-9 回転数とトルクの関係に及ぼすセルロースの影響

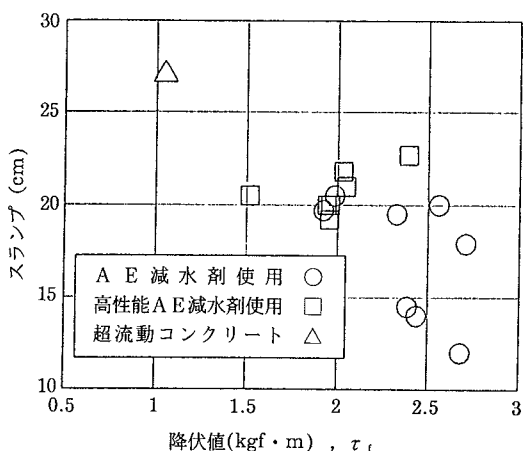


図-10 スランプと降伏値の関係

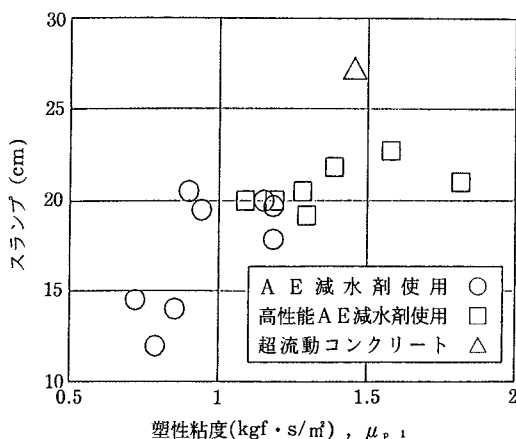


図-11 スランプと塑性粘度の関係

4. あとがき

高流動コンクリートの流動特性の評価は、スランプ試験などよりもツーポイント法を用いた方が正確に判断できると思われる。しかしながら、回転翼の形状による材料分離の問題、目標となる塑性粘度および降伏値の確立など、さまざまな問題が残っている。また、回転粘度計は、測定が容易でないことやコストの問題などにより現場での適用はむずかしい。したがって、レオロジー定数を評価できる簡易な試験方法の開発が望まれる。材料研究室では、これらのことを含め、さらにツーポイント法の検討を進めていくつもりである。

参考文献

- 1) 土木学会：水中不分離コンクリート設計施工指針(案), コンクリートライブラリー第67号, 1991.
- 2) 岡村 甫, 國島正彦, 前川宏一, 小沢一雅：ハイパフォーマンスコンクリート — 超流動性を持つ締固め不要のコンクリート, 第250回コンクリート講演会テキスト, pp. 91~100, 1991. 2.
- 3) 竹下治之, 佐原晴也, 横田季彦：締固め不要の高流動コンクリートに関する基礎的研究, コンクリート工学論文集, 1990. 1.
- 4) 和美広喜, 笠井 浩, 柳田克己, 亀田康弘：回転翼型粘度計による高強度コンクリートの流動特性値測定方法に関する実験的研究, コンクリート工学論文集第1巻第1号, pp. 133~141, 1990. 1.
- 5) 角田 忍, 岸本 敏, 明石外世樹：回転翼型レオメータによる各種コンクリートのワーカビリティ評価,

- コンクリート工学年次論文報告集10-2, pp. 343～348, 1988.
- 6) 米澤敏男, 和泉意登志, 三井健郎, 奥野 亨: 高強度コンクリートのワーカビリティに関するL型フロー試験による研究, コンクリート工学年次論文報告集, 11-1, pp.171～176, 1989.
- 7) 藤原浩巳, 下山善秀, 富田六郎, 久保田裕康: 高流動コンクリートの充填性に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文報告集14-1, pp. 27～32, 1992.
- 8) 坂本 淳, 松岡康訓, 新藤竹文, S.Tangtermsirikul: 超流動コンクリートのワーカビリティ評価手法に関する研究, コンクリートの製造システムに関するシンポジウム論文集, pp. 55～60, 1992. 5.
- 9) 近松竜一, 三浦律彦, 青木 茂, 十河茂幸: Oロート流下試験による高流動コンクリートの流動性の評価, コンクリートの製造システムに関するシンポジウム論文集, pp. 49～54, 1992. 5.
- 10) 近松竜一, 三浦律彦, 青木 茂, 十河茂幸: 高流動コンクリートの流動性を評価する方法, セメント・コンクリート№530, pp. 60～66, 1991. 4.
- 11) 近松竜一, 竹田宣典, 十河茂幸: 超流動コンクリートの流動性と分離抵抗性に関する一考察, コンクリート工学年次論文報告集14-1, pp. 381～386, 1992.
- 12) Tattersall.G.H: The Rheology of Fresh Concrete, PITMAN, 1983.

*

*

*