

論文 傾斜フロー試験器によるコンクリートの施工性評価

梶田 秀幸*1・梶田 佳寛*2・笹倉 博行*3・伊達 信之*4

要旨：筆者らが考案した傾斜フロー試験器によってコンクリートの見掛けの降伏値および塑性粘度を直接的に求めることができるが、測定結果のばらつきが小さいとは言えないことから、測定誤差の小さいデータが得られる測定方法について検討した。その結果、試験器の終端付近におけるコンクリートの流動先端速度を計測することによって、安定した見掛けの降伏値および塑性粘度を求められることがわかった。また、改良した測定方法による傾斜フロー試験を、コンクリートを打設する実現場において試験適用した結果、スランプ試験やスランプフロー試験では評価が難しいコンクリートの粘性を評価できる可能性が示唆された。

キーワード：施工性, 圧送性, 降伏値, 塑性粘度, 傾斜角度, 流動速度

1. はじめに

コンクリートの施工性を評価・管理する上において、フレッシュコンクリートの流動性状を定量的に把握することは重要である。フレッシュコンクリートの流動性状を表現するモデルとしてはビンガム流体モデルが一般的に用いられており、降伏値および塑性粘度という2つのレオロジー定数によって評価される¹⁾。筆者らは、L型フロー試験器を参考に、高流動コンクリートだけでなく通常の軟練りコンクリートにも適用できるような、傾斜角度が可変の傾斜フロー試験器を考案し、この試験器を用いて傾斜角度に応じてコンクリートを流下させ、その流動先端速度を計測することによって、コンクリートの見掛けの降伏値および塑性粘度を直接的に求めた²⁾。しかしながら、測定した結果のばらつきは必ずしも小さいとは言えず、降伏値が負の値になる場合や塑性粘度が極端に高い値になる場合があることなどから、安定した流動速度のデータが得られるような測定方法について検討した。その結果、試験器の終端付近における流動先端速度を計測することによって、測定誤差の小さいデータが得られる可能性が示唆された³⁾。

そこで、傾斜フロー試験器の終端付近に流動先端速度を計測するセンサーを増設して流動速度のデータを取得し、従来のゲート近傍に設置したセンサーによる流動速度のデータと比較して測定誤差の小さいデータが得られるか検証した。また、その検証結果に基づき傾斜フロー試験の測定方法を設定し、コンクリートを打設する施工現場において、コンクリート受入れ検査時に傾斜フロー試験を試験的に適用した。本稿では、傾斜フロー試験において改良した測定方法の検証結果と、実際の施工現場で試験適用した結果について述べる。

2. 傾斜フロー試験の概要

2.1 傾斜フロー試験器と測定方法の概要

傾斜フロー試験器は、図-1に示すように傾斜角度をつけて設置した直方体の箱の端部にフレッシュコンクリートを充填した後、ゲートを引き上げてコンクリートを流下させ、傾斜の途中に設置した非接触型のセンサーで流動速度を計測する装置である。これまでは、ゲートの近傍にあるセンサー（第1～第3センサー）で流動速度を計測していたが、安定した流動状態時の速度を計測する目的で試験器の終端付近にセンサー（第4～第6センサー）を増設した。流動速度は、コンクリートの流動先端が3つの点を通る時間を測定して、各々の2点間を通過する平均速度を求め、さらにその平均値を求めて

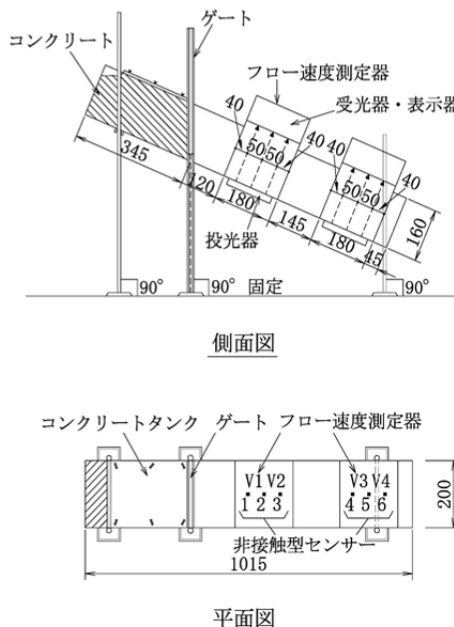


図-1 傾斜フロー試験器の概要

*1 前田建設工業 (株) 技術研究所 材料研究室 室長 (正会員)
 *2 日本大学 理工学部建築学科 特任教授 工博 (正会員)
 *3 (株) ニューテック 代表取締役社長 博士 (工学) (正会員)
 *4 (株) ニューテック 技術第二部 (正会員)

流動先端速度とする。また、速度センサーを通過する時の、コンクリート流の傾斜面からの垂直高さ（以下、流動高さ）と略記する）は、第1および第4センサーの付近にあらかじめセットしたスケールで目視により測定する。傾斜角度は1°～36°の可変であり、ゲートは各々の傾斜角度ごとに鉛直になるよう取り付けられている。

2.2 見掛けの降伏値および塑性粘度の算定方法

傾斜フロー試験におけるフレッシュコンクリートに作用する見掛けのせん断応力 τ (Pa)は(1)式で求めて、見掛けのせん断ひずみ速度(1/sec)は流動先端速度(m/sec)を流動高さ(m)で除して求めた。また、傾斜角度の違いより得られた見掛けのせん断ひずみ速度と見掛けのせん断応力の関係は線形の関係となる。これを直線回帰すると、回帰直線の切片は見掛けのせん断ひずみ速度が0であるため降伏値に相当するものと考えられ、これを見掛けの降伏値（以下、 τ_y と略記）とした。一方、回帰直線の傾きは見掛けのせん断ひずみ速度に対する見掛けのせん断応力の変化であるため塑性粘度に相当するものと考えられ、これを見掛けの塑性粘度（以下、 η と略記）とした。なお、流動中のすべり摩擦抵抗の影響は小さい⁴⁾ため無視している。

$$\tau = W \times h \times g \times \sin \theta \quad (1)$$

ここに、 W ：単位容積質量 (kg/m³)
 h ：速度センサーを通過する時のコンクリート流の傾斜面からの垂直高さ (m)
 g ：重力加速度 (9.807m/sec²)
 θ ：傾斜角度

3. 傾斜フロー試験方法の検証

3.1 実験概要

(1) 使用材料および割合

表-1に、コンクリートの使用材料を示す。また表-2に、コンクリートの割合を示す。

(2) 練混ぜ方法

コンクリートは、1バッチ40ℓを強制2軸ミキサ（容量55ℓ）により90～120秒間練り混ぜた後、ミキサから排出して試験に供した。なお、水セメント比36%および30%の割合は、5分間静置した後、ミキサから排出した。

(3) 測定項目および方法

表-3に、フレッシュコンクリート試験の項目および方法を示す。傾斜フロー試験については、通常、非接触型センサーによって第1・第2センサー間の速度（以下、V1と略記）および第2・第3センサー間の速度（以下、V2と略記）を計測するが、より流下した時点での速度を把握するために、第4・第5センサー間の速度（以下、V3と略記）および第5・第6センサー間の速度（以下、V4と略記）を計測した。また、今後の現場における測定

を視野に入れた簡便な測定方法として、ゲートから終端までの時間をストップウォッチにて手で計測し平均速度（以下、V5と略記する）を求める方法についても測定した。さらに、既往の結果⁵⁾では試料量により見掛けのせん断ひずみ速度とせん断応力との関係に差がみられたため、試料量は8820ccと5000ccの2水準で確認した。

3.2 実験結果および考察

(1) フレッシュコンクリート試験の結果

表-4に、フレッシュコンクリート試験の結果を示す。また、表-5に、傾斜フロー試験における流動先端速度と流動高さの測定結果を示す。コンクリートのスランプおよびスランプフローともに、いずれの試料においても目標値の範囲内の値が得られた。また空気量も、いずれも目標値の範囲内であり、良好なフレッシュ状態のコンクリートが試料として採取できたとと言える。傾斜フロー試験の流動先端速度については、V3・V4およびV5は、すべての試料において傾斜角度が大きくなるほど流動先端速度は速くなり、それらの関係が逆転する現象はみられず測定誤差の小さいデータが得られた。しかし、V1・V2は、2つの試料（試料No.36-88

表-1 検証実験コンクリートの使用材料

練混ぜ水 (W)	上水道水
セメント (C)	普通ポルトランドセメント 密度:3.16g/cm ³
細骨材 (S)	千葉県富津市産 山砂 (S1) (S1とS2の混合) 表乾密度:2.57g/cm ³ 粗粒率:2.05 比は、質量比で 栃木県佐野市産 砕砂 (S2) 表乾密度:2.67g/cm ³ 50:50) 粗粒率:3.13 粒形判定実積率:59.6%
粗骨材 (G)	栃木県佐野市産 石灰岩碎石 表乾密度:2.70g/cm ³ 粒形判定実積率:58.6%
混和剤 (Ad)	高性能AE減水剤 ポリカルボン酸系

表-2 検証実験コンクリートの割合*

割合 No.	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				Ad (C×%)	目標SL または 目標SF (cm)	目標空気量 (%)	
			W	C	S (S1 S2)	G				
45	45	49.8	175	389	428	428	891	1.05	21±1.5	4.5 ±1.0
36	36	47.3	175	486	388	388	891	1.15	60±5.0	
30	30	44.6	175	583	348	348	891	1.15	60±5.0	

*記号説明 W/C：水セメント比、s/a：細骨材率、W・C・S・G、Ad：表-1参照、SL：スランプ、SF：スランプフロー

表-3 フレッシュコンクリート試験の項目および方法

試験項目	試験方法
スランプ	JISA 1101により測定した。
スランプフロー	JISA 1150により測定した。
空気量	JISA 1128により測定した。
単位容積質量	JISA 1116により測定した。
均一性	目視により判断した。
練上がり温度	JISA 1156により測定した。
傾斜フロー試験	傾斜フロー試験器により下記の速度と第1および第4センサー付近の流動高さを測定。試料量は8820ccおよび5000cc。 ・V1（第1・第2センサー間の速度） ・V2（第2・第3センサー間の速度） ・V3（第4・第5センサー間の速度） ・V4（第5・第6センサー間の速度） ・V5（ゲート～終端の平均速度）

の 18°-23°, No.36-50 の 26°-29°) において逆転現象がみられた。これは、V1・V2 の計測位置がゲートに近いこと、一定の速度になりきっていない時に測定していることが主な原因と推測される。

(2) 見掛けのせん断ひずみ速度とせん断応力の関係

図-2 に、傾斜フロー試験結果から得られた流動先端速度を流動高さで除して求めた見掛けのせん断ひずみ速度と、見掛けのせん断応力との関係を示す。また、図中に見掛けのせん断ひずみ速度とせん断応力の直線回帰式および決定係数を示す。いずれの試料においても、見掛けのせん断ひずみ速度とせん断応力との直線関係は高い相関性を示しており、多くの試料において決定係数は 0.9 以上となった。この中で決定係数が 0.9 を下回った試料は、V1・V2 で計測した試料に多く、水セメント比 30% の調合については見掛けの降伏値に相当する回帰直線の切片が負の値となった。これは、上述したように、V1・V2 の計測位置がゲートに近いため、特に粘性が高い試料の場合は引き上げられるゲートの影響を受け、一定の速度になりきっていない時に V1・V2 の計測がなされていることが主たる原因と推測される。ただし、V3・V4 で計測した試料においても、試料 No.45-50 のように決定係数の低いものがある。これは、32°における流動高さが 20mm と非常に低く、せん断ひずみ速度を測るには誤差が大きくなったものと推察される。この場合は、試料量を多くするなどの対策が必要と考えられる。一方、V5 により計測した結果については、試料 No.30-88 では回帰直線の切片が負の値となったが、決定係数は 0.9 以

上であり全般に測定誤差の小さいデータが得られた。試料量の影響については、既往の結果⁵⁾では V1・V2 の計測で試料量により見掛けのせん断ひずみ速度とせん断応力

表-4 検証実験のフレッシュコンクリート試験結果*

試料 No.	W/C (%)	試料量 (cc)	SL (cm)	SF (cm)	単位容積質量 (kg/m ³)	空気量 (%)	コンクリート温度 (°C)
45-88	45	8820	22.5	41.0	2326	4.0	23
45-50		5000	22.5	41.0	2309	5.0	23
36-88	36	8820	—	63.0	2344	4.0	23
36-50		5000	—	59.0	2354	4.0	23
30-88	30	8820	—	61.5	2349	4.5	24
30-50		5000	—	59.0	2362	4.5	24

*記号説明 試料No.: 水セメント比(W/C)-試料量, SL: スランプ, SF: スランプフロー

表-5 検証実験におけるコンクリートの傾斜フローによる流動先端速度と流動高さ

試料 No.	角度 (°)	流動先端速度 (m/sec)					流動高さ (m)*		
		V1	V2	V3	V4	V5	V1・V2	V3・V4	V5
45-88	23	0.396	0.314	0.125	0.109	0.192	0.050	0.040	0.045
	26	0.694	0.617	0.420	0.364	0.532	0.045	0.035	0.040
	29	0.649	0.684	0.641	0.581	0.593	0.045	0.035	0.040
	32	0.793	0.843	0.925	0.909	0.728	0.045	0.040	0.043
45-50	23	0.357	0.257	0.120	0.111	0.186	0.045	0.035	0.040
	26	0.450	0.431	0.218	0.199	0.302	0.045	0.030	0.038
	29	0.537	0.462	0.261	0.273	0.379	0.045	0.035	0.040
	32	0.574	0.588	0.588	0.595	0.528	0.035	0.020	0.028
36-88	14	0.299	0.295	0.157	0.125	0.186	0.060	0.050	0.055
	18	0.409	0.370	0.205	0.207	0.253	0.055	0.045	0.050
	23	0.381	0.352	0.233	0.233	0.289	0.060	0.045	0.053
	29	0.641	0.561	0.431	0.354	0.456	0.055	0.045	0.050
36-50	20	0.228	0.192	0.110	0.115	0.136	0.050	0.035	0.043
	23	0.338	0.274	0.152	0.142	0.214	0.050	0.035	0.043
	26	0.434	0.480	0.194	0.177	0.295	0.050	0.040	0.045
	29	0.427	0.404	0.209	0.228	0.302	0.050	0.035	0.043
30-88	14	0.178	0.144	0.087	0.077	0.123	0.070	0.055	0.063
	18	0.235	0.202	0.131	0.110	0.159	0.070	0.050	0.060
	23	0.250	0.200	0.154	0.135	0.191	0.060	0.050	0.055
	29	0.287	0.312	0.212	0.192	0.245	0.070	0.050	0.060
30-50	20	0.146	0.118	0.055	0.067	0.092	0.050	0.035	0.043
	23	0.146	0.143	0.087	0.094	0.121	0.050	0.035	0.043
	26	0.186	0.167	0.099	0.083	0.145	0.055	0.035	0.045
	29	0.248	0.240	0.118	0.124	0.182	0.050	0.035	0.043

*V1・V2: 第1センサー付近, V3・V4: 第4センサー付近, V5: V1・V2 と V3・V4 の平均値

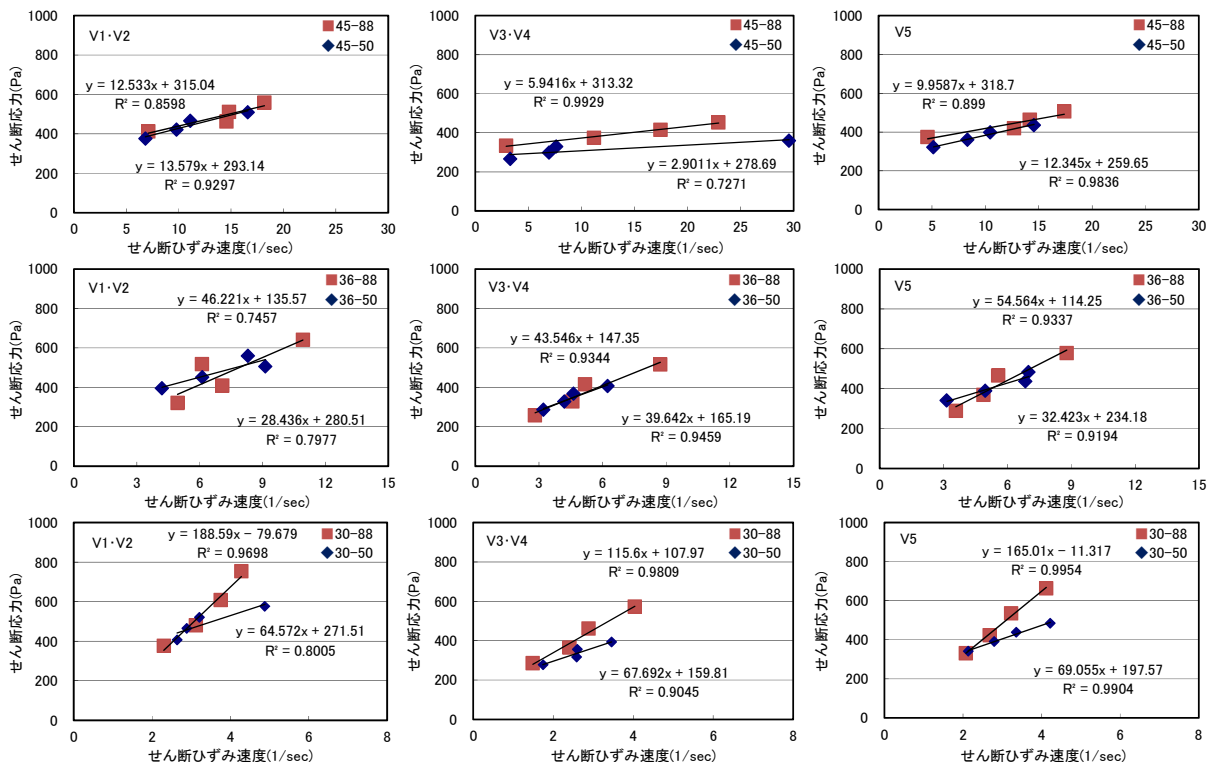


図-2 検証実験におけるコンクリートの見掛けのせん断ひずみ速度とせん断応力の関係

との関係に差がみられたが、本実験の範囲では、V1・V2の計測でも水セメント比45%のコンクリートでは差がみられなかった。一方、V3・V4またはV5により計測した場合、水セメント比30%における計測では差がみられたものの、それ以外は大きな差がみられなかった。

(3) 見掛けの降伏値と塑性粘度

2.2節で述べたように、図-2に示す回帰直線の切片が τ_y 、傾きが η であり、それを整理して一覧表にしたものを表-6に示す。また、図-3に、コンクリートの調合・性質と、V1・V2、V3・V4およびV5の計測結果から得られた $\tau_y \cdot \eta$ との関係を示す。 τ_y はスランプフロー値と、 η は水セメント比との間に相関がみられた。ただし、V1・V2の計測結果から得られた τ_y はスランプフロー値との相関が低い結果となり、安定した流動先端速度のデータが得られなかったことによるものと考えられる。一方で、V3・V4の計測結果から得られた $\tau_y \cdot \eta$ はスランプフロー値と水セメント比との相関が高い結果となった。また、V5の計測結果から得られた $\tau_y \cdot \eta$ もスランプフロー値と水セメント比との相関が高い結果となり、簡便な測定方法ではあるが概略値を把握するには適用可能な測定方法と考えられる。

3.3 検証結果のまとめ

以上の検証試験の結果から、傾斜フロー試験器の終端付近における流動先端速度（V3・V4）を計測する方が、従来のゲート近傍における計測（V1・V2）よりも、測定誤差の小さいデータが得られることがわかった。しかしながら、試験器終端付近の計測はコンクリートタンクから離れていることから、試料量や傾斜角度、コンクリートの降伏値によっては、流動高さが不十分となって誤差が大きくなる場合があり、またコンクリートの流下途中で止まってしまう計測自体ができなくなる場合もあるので、現場に適用する際は事前に試験練りを行って確認する必要がある。なお、V5による簡便な計測も、適用可能と判断できる。特に、現場における試験では迅速性が求められるため有効な測定方法と考えられる。

4. 傾斜フロー試験の現場適用

4.1 実打設コンクリートの概要

(1) 使用材料および割合

実打設したコンクリートは、設計基準強度が42N/mm²の高強度コンクリートであり、セメントに中庸熟ポルトランドセメントを使用し、水セメント比は41.8%の割合である。表-7にコンクリートの使用材料、表-8にコンクリートの調合を示す。なお、試験練りコンクリートの使用材料および割合も同様である。

(2) 練混ぜ方法

試験練りコンクリートは、1バッチ40ℓを強制2軸ミ

キサ（容量60ℓ）によって90秒間練り混ぜた後、5分間静置してミキサから排出し試験に供した。

実打設したコンクリートは、1バッチ2.25m³および2.00m³を強制2軸ミキサ（容量3.25m³）により45秒間練り混ぜた後、計4.25m³をトラックアジテータに積み込み、現場へ運搬した。運搬時間は30～40分である。

4.2 適用現場の概要

傾斜フロー試験を試験的に適用した現場は、東京都内の鉄筋コンクリート造集合住宅の工事であり、地中梁のコンクリートを打設する際に試験適用した。打設時期は9月であり、打設中の外気温は24～28℃であった。

表-6 検証実験におけるコンクリートの傾斜フロー試験から求めた見掛けの降伏値および塑性粘度

試料 No.	V1・V2		V3・V4		V5	
	τ_y (Pa)	η (Pa·s)	τ_y (Pa)	η (Pa·s)	τ_y (Pa)	η (Pa·s)
45-88	315	12.5	313	5.94	319	9.96
45-50	293	13.6	279	2.90	260	12.3
36-88	136	46.2	147	43.5	114	54.6
36-50	281	28.4	165	39.6	234	32.4
30-88	-79.7	189	108	116	-11.3	165
30-50	272	64.6	160	67.7	198	69.1

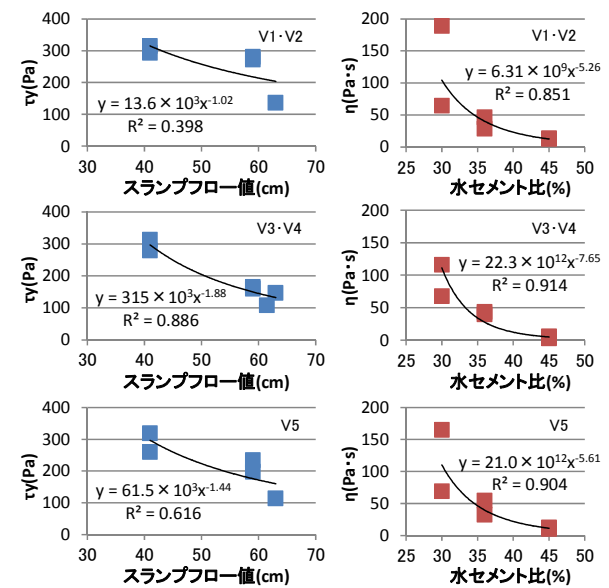


図-3 検証実験におけるコンクリートの調合・性質と見掛けの降伏値・塑性粘度の関係

表-7 実打設コンクリートの使用材料

練混ぜ水 (W)	上水道水
セメント (C)	中庸熟ポルトランドセメント 密度:3.21g/cm ³
細骨材 (S)	千葉県富津市産 山砂 表乾密度:2.61g/cm ³ 粗粒率:2.60
粗骨材 (G)	高知県吾川郡産 石灰岩砕石 表乾密度:2.70g/cm ³ 粒形判定実積率:61.0%
混和剤 (Ad)	高性能AE減水剤 ポリカルボン酸系

表-8 実打設コンクリートの調合*

Fc (N/mm ²)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				Ad (C×%)	SL (cm)	Air (%)
			W	C	S	G			
42	41.8	46.7	175	419	809	956	1.05	21	3.0

*記号説明 Fc:設計基準強度, W/C:水セメント比, s/a:細骨材率, W・C・S・G・Ad:表-7参照, SL:スランプ, Air:空気量

4.3 測定項目および方法

(1) 試験練りの測定項目

表-3 に示すフレッシュコンクリート試験を実施した。試験練りでは、事前にフレッシュコンクリートの状態を確認し、現場で実施する傾斜フロー試験方法を設定するため、流動先端速度は V1・V2, V3・V4, V5 について、傾斜角度は 23°, 26°, 29°, 32° の 4 水準について計測した。なお、試料量は当初 5000cc とする予定であったが、検証試験の結果を踏まえ 6500cc に増量した。

(2) 現場適用の測定項目

表-3 に示すフレッシュコンクリート試験を実施した。現場では、コンクリート受入れ検査を 3 回実施するため、その検査にあわせて傾斜フロー試験を実施した。ただし、傾斜フロー試験は現場での測定であることから、迅速性を考慮して流動先端速度のセンサーによる計測は 1 箇所とし (V5 は計測)、傾斜角度は 3 水準とした。また、傾斜フロー試験より得られる見掛けの塑性粘度との関係を確認するために、管内圧力損失を測定した。具体的には、傾斜フロー試験を実施したコンクリートが圧送されている水平配管 (4B 管) の直管部分 (長さ 6m) の管内圧力を計測し、その結果から管内圧力損失を算定した。表-9 に、コンクリートポンプの仕様を示す。

4.4 測定結果と考察

表-10 に、フレッシュコンクリート試験の結果を示す。また、表-11 に傾斜フロー試験における流動先端速度と流動高さの測定結果を、図-4 に傾斜フロー試験から得られた見掛けのせん断ひずみ速度とせん断応力との関係を、表-12 に傾斜フロー試験から得られた τ および η の一覧を示す。さらに、圧送配管内の圧力計測の結果から得られた管内圧力損失について、図-5 に理論吐出量との関係を、図-6 に η との関係を示す。

(1) 試験練りの結果

コンクリートのスランプおよび空気量ともに管理値である $21 \pm 2\text{cm}$ および $3.0 \pm 1.5\%$ を満足し、良好なフレッシュ状態のコンクリートが得られた。傾斜フロー試験の流動先端速度については、V1・V2, V3・V4 および V5 は、すべての試料において傾斜角度が大きく

なるほど流動先端速度は速くなり、逆転現象はみられず測定誤差の小さいデータが得られた。見掛けのせん断ひずみ速度とせん断応力との関係については、V1・V2 の決定係数がやや低く 0.9 を下回ったが、V3・V4 および V5 は 0.9 以上となり、検証試験と同様の結果となった。このことから、現場適用の傾斜フロー試験については、流動先端速度の計測は V3・V4 および V5 とすることとした。また、傾斜角度については、23° における試料の流動速度が終端近くで遅くなったことから、現場適用の傾斜角度は 23° を除く、26°, 29°, 32° について計測することとした。

表-9 コンクリートポンプの仕様

ポンプ形式	ピストン式コンクリートポンプ
最大吐出量	100m ³ /hr.
最大吐出圧力	5.6MPa
吐出シリンダサイズ	Φ205×1650mm

表-10 実打設コンクリートのフレッシュコンクリート試験結果

試料 No.	測定場所	測定場所温度(°C)/湿度(%)	試料量(cc)	SL (cm)	SF (cm)	単位容積質量(kg/m ³)	空気量(%)	コンクリート温度(°C)
L	試験室	21 / 60	6500	21.0	37.5	2395	2.4	23
S-1	現場ヤード	24 / -		21.0	35.0	2375	2.6	30
S-2		24 / -		22.5	41.0	2411	1.7	31
S-3		27 / -		21.5	38.0	2363	3.7	32

*記号説明 試料No.: 測定場所 (試験室: L, 現場: S) - 測定回数 (現場のみ), SL: スランプ, SF: スランプフロー

表-11 実打設コンクリートの傾斜フローによる流動先端速度と流動高さ

試料 No.	角度 (°)	流動先端速度(m/sec)*1					流動高さ(m)*2		
		V1	V2	V3	V4	V5	V1・V2	V3・V4	V5
L	23	0.308	0.312	0.159	0.158	0.233	0.056	0.035	0.046
	26	0.476	0.520	0.215	0.230	0.327	0.056	0.037	0.047
	29	0.537	0.476	0.268	0.255	0.370	0.057	0.035	0.046
	32	0.641	0.575	0.442	0.362	0.508	0.056	0.040	0.048
S-1	26	/	/	/	0.125	0.198	0.050	0.035	0.043
	29	/	/	/	0.181	0.253	0.055	0.030	0.043
	32	/	/	0.260	0.243	0.335	0.055	0.030	0.043
S-2	26	/	/	0.157	0.156	0.241	0.055	0.040	0.048
	29	/	/	0.271	0.218	0.312	0.065	0.040	0.053
	32	/	/	0.320	0.320	0.353	0.060	0.040	0.050
S-3	26	/	/	0.176	0.154	0.262	0.050	0.030	0.040
	29	/	/	0.257	0.213	0.349	0.045	0.035	0.040
	32	/	/	0.384	0.354	0.465	0.050	0.030	0.040

*1 異常値を検出

*2 V1・V2: 第1センサー付近, V3・V4: 第4センサー付近, V5: V1・V2とV3・V4の平均値

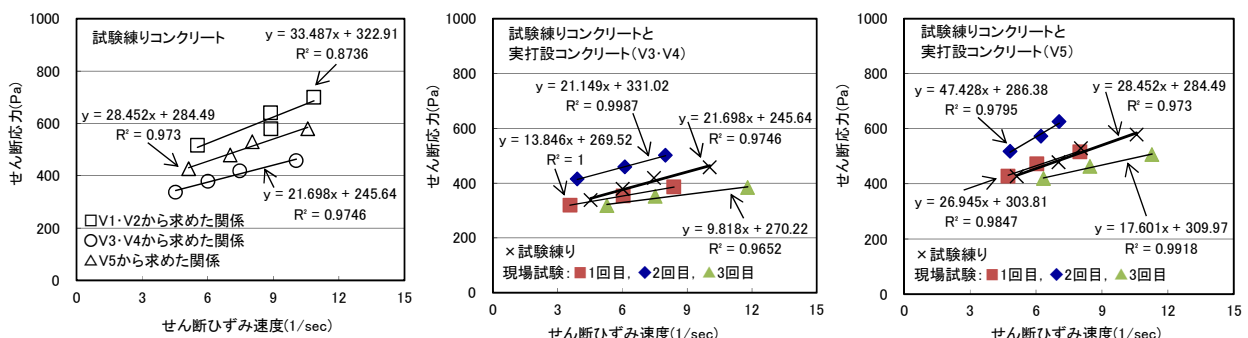


図-4 試験練りと実打設コンクリートにおける見掛けのせん断ひずみ速度とせん断応力の関係

(2) 現場適用の結果

いずれのコンクリートの受入れ検査においても、スランプ、空気量およびコンクリート温度は、管理値である $21 \pm 2\text{cm}$ 、 $3.0 \pm 1.5\%$ および 35°C 以下を満足し、試験練りコンクリートと同様、良好なフレッシュ状態のコンクリートが得られた。傾斜フロー試験の流動先端速度については、V3・V4 および V5 とともに、すべての試料において傾斜角度が大きくなるほど流動先端速度は速くなり、逆転現象はみられずに測定誤差の小さいデータが得られた。見掛けのせん断ひずみ速度とせん断応力との関係については、V3・V4 および V5 とともに決定係数が 0.9 以上の高い相関を示し、試験練りコンクリートとの関係は実打設コンクリートの 3 回の結果が試験練りコンクリートを中心に上下にばらつく関係となった。スランプ値やスランプフロー値の結果はいずれのコンクリートとも大きな差はなく τ_y も大きな差はみられないが、目視および手でコンクリートをかき混ぜた感覚による粘性には差があり η との相関がみられた。これは、後述するが η と管内圧力損失との関係からも同様の傾向がみられた。これらのことから、傾斜フロー試験によってスランプ試験やスランプフロー試験では評価が難しいコンクリートの粘性を評価できる可能性が示唆された。

管内圧力損失については、図-5、6 に示すように、理論吐出量および η との間に高い相関がみられた。管内圧力損失は吐出量やコンクリートの粘性との相関が高いといわれている⁹⁾ことから、傾斜フロー試験の結果から得られる η は、コンクリートの粘性を評価できる可能性があると考えられる。

5. まとめ

以上の結果から、傾斜フロー試験の測定方法については、試験器の終端付近における流動先端速度を計測する方が、従来のゲート近傍における計測よりも、測定誤差の小さいデータが得られることがわかった。しかしながら、試験器終端付近の計測はコンクリートタンクから離れていることから、試料量や傾斜角度、コンクリートの降伏値によっては、流動高さが不十分となって誤差が大きくなる場合があり、またコンクリートの流下が途中で止まってしまい計測自体ができなくなる場合もあるので、現場に適用する際は事前に試験練りを行い確認する必要がある。なお、ゲートから終端までの平均速度を測定する簡便な計測も、適用可能と判断できる。特に、現場における試験では迅速性が求められるため、有効な測定方法と考えられる。

また、コンクリートを打設する現場において、コンクリート受入れ検査時に傾斜フロー試験を試験的に適用し

表-12 試験練りと実打設コンクリートの傾斜フロー試験から求めた見掛けの降伏値および塑性粘度

試料 No.	V1・V2		V3・V4		V5	
	τ_y (Pa)	η (Pa·s)	τ_y (Pa)	η (Pa·s)	τ_y (Pa)	η (Pa·s)
L	323	33.5	246	21.7	285	28.5
S-1	—	—	270	13.8	304	26.9
S-2	—	—	331	21.1	286	47.4
S-3	—	—	270	9.82	310	17.6

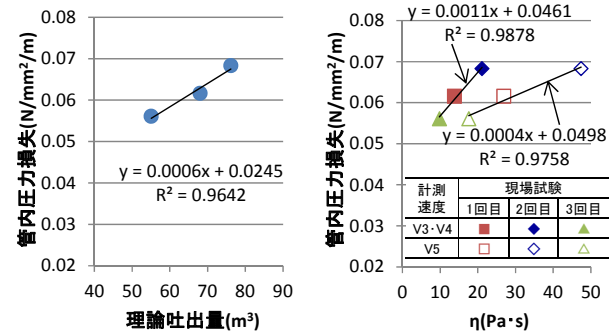


図-5 理論吐出量と管内圧力損失の関係
図-6 見掛けの塑性粘度と管内圧力損失の関係

た結果、傾斜フロー試験によってスランプ試験やスランプフロー試験では評価が難しいコンクリートの粘性を評価できる可能性が示唆された。しかしながら、試験適用した事例は本事例のみであることから、今後も試験的に適用して傾斜フロー試験方法の妥当性を検証するとともに、コンクリートの粘性を評価できる試験方法として確認していく予定である。

参考文献

- 1) 谷川恭雄監修：フレッシュコンクリートの流動特性とその予測，セメントジャーナル社，pp.9-21，2004.9
- 2) 笹倉博行ほか：傾斜フロー試験器によるフレッシュコンクリートの流動性評価に関する実験，日本建築学会技術報告集，第18巻，第38号，pp.11-14，2012.2
- 3) 梶田秀幸ほか：傾斜フロー試験器によるフレッシュコンクリートの施工性評価に関する検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.37，No.1，pp.1207-1212，2015.7
- 4) 日本コンクリート工学協会：フレッシュコンクリートの力学モデル研究委員会報告書，pp.70-74，1996.4
- 5) Hideyuki Kajita et al.: Experimental evaluation of workability for fresh concrete by using the inclined flow test apparatus, Proceedings of the 12th Japan·Korea Joint Symposium on Building Materials & Construction, Vol. 12, pp. 305-310, July 2015.
- 6) 和美廣喜ほか：高強度コンクリートのポンプ圧送性に関する実験研究，日本建築学会構造系論文集，Vol.466，pp.11-20，1994.12