論文 棒状供試体を後成形したダンベル型供試体による HPFRCC の一軸引 張試験方法の検討

田中 僚*1・高田 浩夫*2・浅野 幸男*3・六郷 恵哲*4

要旨:施工現場で棒状供試体を簡便に作製し、ダンベル型供試体に後成形して一軸引張試験をすることで、HPFRCC の一軸引張特性が確認できることを確かめた。ダンベル型供試体の製作経験や締固めの際のテーブルバイブレータの振動の有無は、一軸引張試験結果に有意な差を与えなかった。成形材の収縮対策をしなくても一軸引張試験結果のばらつきと平均において、一体成形した供試体の試験値と有意な差は認められなかった。また、成形材の繊維量を1.25%から0.25%ずつ0.5%まで減じても、繊維量による試験結果に対する有意な影響はなく、一体成形したダンベル型供試体と同等の試験結果を得ることができた。

キーワード:棒状供試体,後成形,ダンベル型供試体,HPFRCC,一軸引張試験

1. はじめに

複数微細ひび割れ型繊維補強セメント複合材料 (以下、HPFRCC) は、プレキャスト部材として利用されるほかに、プレミックス材料を現場で練り混ぜて吹付け施工されたり、レディーミクストコンクリート工場で練り混ぜて現場で打設されたりして利用されている1)。

HPFRCC の力学特性の特徴は、一軸引張応力下におけ る擬似ひずみ硬化挙動にあり、土木学会では、推奨する 一軸直接引張試験法ならびに強度試験用供試体の作り方 を規定している。この試験で用いる供試体は,一軸引張 試験機の把持装置の寸法, 形状に合致するよう両端の掴 み部がダンベル型に拡幅された専用の型枠を用いて作製 されるが、型枠はダンベル型に金属を削り出した精密な 加工が施されており、現状において容易に入手できるも のではない。一軸引張試験に代えて曲げ試験によって, ひび割れ挙動を簡便に確認することもしばしば行われて いるが、一軸引張試験では複数ひび割れ性状を示さない 材料であっても曲げ試験では複数ひび割れ性状を示す 2) 場合もあり、引張試験を曲げ試験により代替することに は限界がある。一方、筆者らは、ブロック状あるいは平 板状の HPFRCC 供試体から棒状供試体を切り出して後 成形したダンベル型供試体を用いて,一軸引張試験を行 っている³⁾。

そこで、本研究では、補強、表面保護材料として、これからの普及拡大が大きく期待される HPFRCC の課題として提起される品質管理方法の確立 4)に着目し、現場で簡便に供試体を作製し材料特性の管理を容易にすることで施工品質の安定、向上に寄与することを目的として、棒状の供試体を後から試験機関等でダンベル型に成形し

て実施する一軸引張試験方法を検討した。

2. 実験概要

2.1 HPFRCC の種類と配合

本実験で一軸引張特性を確認した HPFRCC は,高強度ポリエチレン繊維(以下,PE)を体積比で1.25%混入したものである。

棒状供試体を一軸引張試験機の把持装置に適したダンベル型に成形するため後から両端の掴み部に打設する材料(以下,成形材)は、繊維混入量1.25vol%を基本として、成形材の繊維量の違いによる引張特性への影響を確認する場合は、1.0,0.75,0.50vol%と変化させた。なお、予備試験において、成形材に繊維を混入しない場合には、掴み部で局部的な破壊が生じる場合があったため、対象から除いている。また、筆者らの既往の研究5に基づき収縮補償をした膨張型のHPFRCCの成形材への適用を検討した。

使用材料を表-1 に、基本配合、因子ならびに実験水

表-1 使用材料

材料	仕様,物性
高強度ポリエチレン繊維 (PE)	繊維径 12μm,繊維長 12mm, 密度 0.97g/cm³,
(IL)	5] 浓浊及 2.0GPa, 浑性涂数 88GPa
セメント (C)	名及 5.13g/cm
膨張材 (EX)	日尔 省及 3.03 g/cm
石灰石粉 (LP)	密度 2.71g/cm³, 比表面積 3.05cm²/g
細骨材 (S)	7 号珪砂,密度 2.63g/cm ³
高性能 AE 減水剤 (SP)	
増粘剤 (MC)	水溶性メチルセルロース系

^{*1} 岐阜大学 工学部社会基盤工学科 (正会員)

^{*2} 岐阜県生コンクリート工業組合 技術センター所長 博士(工学) (正会員)

^{*3} 岐阜大学 社会資本アセットマネジメントセンター 博士(工学) (正会員)

^{*4} 岐阜大学 工学部社会基盤工学科教授 工博 (正会員)

	公 こ 空中間目														
		使用箇層	斤			単位量(I				(kg/m^3)					
シリ	ダンベ	棒状		W/P	W/B]	Powde	r					因子	実験
ーズ	, · <u> </u>	供試体	成形材	(%)	(%)	W	Bin	der	LP	S	SP MC	SP MC PE		1	水準
	供試体	DVIPVIT					C	EX	LJI						
1				20.0	E 1 E	200	607	0	570	221	10.0	1.0	10.1	供試体作製経験	2
1		_	_	30.0	54.5	380	697	0	570	321	19.0	1.0	12.1	締固め方法	2
2	0	0	0	30.0	44.1	380	862	0	405	348	19.0	1.0	12.1	成形材への	2
2	_	1	膨張型	30.0	44.1	380	810	52	405	346	19.0	1.0	12.1	膨張材添加	2
3	0	0	0	30.0	44.1	380	862	0	405	348	19.0	1.0	12.1	成形材の繊維量	5

表-2 基本配合、因子ならびに実験水準

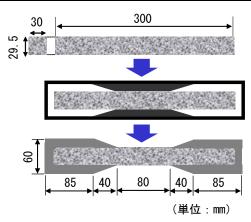


図-1 供試体形状, 寸法ならびに作製順序

準を表-2に示す。練混ぜは定格容量 10 リットルのオムニミキサーを用いた。

2.2 供試体の成形と一軸引張試験方法

棒状供試体の寸法は,幅 29.5mm,高さ 30mm,長さ 300mm とし、型枠は汎用性を考慮してメタルフォームに 30×30mmの鋼製の角柱を固定して用いた。材齢7日で 一軸試験機の把持装置に適した形状の型枠にセットして 掴み部に成形材を充填してダンベル型供試体を作製した。 早強セメントを使用したので,材齢14日で一軸引張試験 に供した。棒状供試体ならびに形成材は、木づちを用い て締め固め, 打設翌日に脱型した。成形材を充填する直 前に、成形材と接する界面を水洗しながらワイヤーブラ シで清掃し打継ぎ面の処理を行った。各実験シリーズで は、同一バッチから棒状供試体と同時に、コントロール として一体成形のダンベル型供試体を作製した。コント ロールを含めた供試体の養生は、現場で吹付け施工され る材料の施工管理また棒状供試体の試験機関への輸送を 考慮して、水中に浸漬することなく水分の逸散を抑制す るよう, 供試体を湿布で包んで湿空養生し, 成形後も同 様にした。養生室の環境は室温 20℃, 相対湿度 80%であ った。供試体形状、寸法ならびに作製順序を図-1に、 一軸引張試験装置を写真-1に示す。

2.3 実験シリーズと検討事項

(1) シリーズ 1:供試体作製者,作製方法が試験結果 に及ぼす影響に関する実験

棒状供試体による実験の前に、施工現場で様々な人が





写真-1 一軸引張試験装置

供試体を作製することを想定し、供試体作製経験を要因として HPFRCC 研究暦 5 年以上の経験豊富な研究者と 1 年未満の学生が作製した 2 水準の一体成形のダンベル型供試体による一軸引張試験を実施した。また、研究室では JIS R 5201 に規定するテーブルバイブレータを用いて振動による供試体の締固めを行うことができるが、施工現場では木づち等を用いた打撃による締固めが一般的であると考え、振動の有無を因子とした 2 水準の締固め方法による一体成形のダンベル型供試体による引張試験を実施した。それぞれの試験結果について JIS Z 9041-2 に準拠して分散と平均の比較を行った。この実験結果から以降のシリーズでは、供試体の作製は学生が担当し締固めは木づちを用いて行った。

(2) シリーズ 2:成形材への膨張材添加の有無が引張 試験結果に及ぼす影響に関する実験

筆者らの既往の研究⁵⁾によると HPFRCC は水和初期に 大きな自己収縮を示すことから、成形材の体積変化が棒 状供試体の引張試験結果に及ぼす影響について、成形材 にセメント質量の 6%を内割りで膨張材を添加した膨張 型 HPFRCC を用いた場合と、通常の HPFRCC を用いた 場合について確認した。膨張材添加を要因とした引張試 験結果への影響を一体成形したコントロール供試体の分 散と平均の比較により検討した。

(3) シリーズ 3:成形材の繊維量が引張試験結果に及ぼす影響に関する実験

成形材の繊維量を減ずることで流動性が増し施工性が

向上すると考えられる。そこで、このシリーズでは繊維量1.25vol%の棒状供試体の成形材の繊維量を要因として、繊維量を1.25、1.0、0.75、0.5vol%と段階的に変化させた4 水準の引張試験を行った。引張試験における特性値への影響について、分散分析から母平均の区間推定を行い、コントロール供試体と比較した。

3. 実験結果および考察

実験データは、土木学会複数微細ひび割れ型繊維補強セメント複合材料設計・施工指針(案)¹⁾(以下、土木学会施工指針)試験方法2一軸引張試験方法2.6g)に規定するよう、ひび割れ荷重、引張強度、引張終局ひずみは、引張終局ひずみが最大の供試体と最小の供試体の2本(試験結果表中で網掛けを施した値)を除外した3本の平均により求め、ばらつきについて分散を求める場合には、実施した全ての試験結果を用いて算出し整理した。

3.1 シリーズ 1: 供試体作製者, 作製方法が試験結果に 及ぼす影響

表-3 に供試体作製経験の異なる A, B が作製した一体成形のダンベル型供試体による一軸引張試験結果を示す。図-2 に一軸引張試験における応力とひずみの関係を示す。

(1) ひび割れ強度

試験結果の検討にあたって,まずJIS Z 9041-2 書式 G 二つの分散又は標準偏差の比較 を使用して,供試体製作

者 A, B がテーブルバイブレータを使用した場合の分散 について検討した。

帰無仮説と検定のタイプ 両側検定 $H_0: \sigma_A^2 = \sigma_B^2$ 有意水準: $\alpha=0.05$, 自由度: $\nu_A=5-1=4$, $\nu_B=5-1=4$ 表-3 から $V_A=0.0289$ N^2/mm^4 , $V_B=0.0577$ N^2/mm^4 V_A , V_B いずれか大きい方を分子において F_0 を求める。

 $F_0 = 0.0577/0.0289 = 1.997$

F分布の上側確率 $F_{1-\alpha/2}(\nu_1, \nu_2) = 9.60$

 F_0 <9.60 であるので、 H_0 は棄却されない。よって供試体作製者 A、B がテーブルバイブレータを使用して作製したダンベル型供試体による一軸引張試験におけるひび割れ強度の分散は、有意水準 5%で有意な差が検出されなかった。

両者の分散 σ_A^2 , σ_B^2 が等しいといえるので、次に JIS Z 9041-2 書式 C 二つの対応のない測定の平均の比較(分散未知。ただし、等しいと仮定してよい場合)を使用して、供試体製作者 A, B がテーブルバイブレータを使用して作製したダンベル型供試体による一軸引張試験におけるひび割れ強度の平均について検討した。

帰無仮説と検定のタイプ 両側検定 $H_0: \mu_A = \mu_B$ 有意水準: $\alpha = 0.05$,測定値の個数: $n_A = 3$, $n_B = 3$ 自由度: $\nu = 3 + 3 - 2 = 4$ t 分布統計数値表の値 $t_{1-\alpha/2}(4) = 2.78$ 表 -3 から $D = \bar{x}_A - \bar{x}_B = 3.56 - 3.50 = 0.06$ 同じく表 -3 から

表 — 3	一輔引張試験結果	12.11	ブル
₹ — 3	一辈马兔乱缺烷果	(ンリ	ームロ

公 一年 月 月 日本												
特性値		因子	_	1	2	3	4	5	平	均).	分散
	1	振動	Α	3.59	3.41	3.88	3.67	3.59	3.56	3.53	0.0289	0.0532
ひび割れ強度*	1	有り	В	3.52	3.52	3.56	2.98	3.41	3.50	3.33	0.0577	(N^2/mm^4)
(N/mm^2)	2	振動	A	4.03	3.70	3.74	3.88	3.77	3.85	3.68	0.0176	0.0515
	4	無し	В	3.34	3.70	3.74	3.30	3.52	3.51	3.00	0.0400	(N^2/mm^4)
	1	振動	A	4.97	4.54	5.23	4.68	4.32	4.51	4.70	0.1282	0.1145
引張強度*	1	有り	В	4.32	4.54	5.26	4.61	4.86	4.89	4.70	0.1289	(N^2/mm^4)
(N/mm^2)	2	振動	A	4.83	4.07	4.36	4.94	4.75	4.65	4.74	0.1335	0.1474
	2	無し	В	4.28	5.34	5.05	4.61	4.54	4.83	4.74	0.1781	(N^2/mm^4)
	1	振動	A	0.74	1.81	2.40	1.32	1.50	1.54	1.76	0.3754	0.3436
終局ひずみ*	1	有り	В	1.08	1.96	1.69	2.54	2.28	1.98	1.70	0.3184	$(\%^2)$
(%)	2	振動	A	1.08	0.85	1.58	2.42	2.22	1.63	1.68	0.4683	0.3800
		無し	В	1.58	1.68	2.53	2.41	1.13	1.74	1.00	0.3485	$(\%^2)$

注* 網掛け部は引張終局ひずみが最大または最小の供試体を表す。

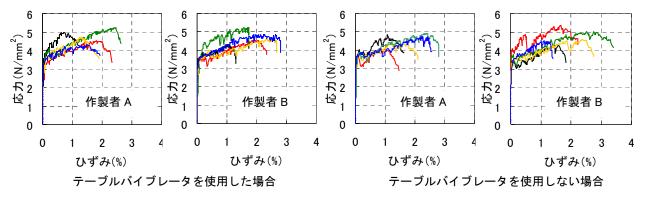


図-2 一軸引張試験における応力とひずみの関係 (シリーズ1)

Q = $(n_A-1)S_A^2 + (n_B-1)S_B^2 = 2 \times 0.0289 + 2 \times 0.0577$ = 0.1732

$$S_D = \sqrt{\frac{n_A + n_B}{n_A n_B} \frac{Q}{V}} = 0.170 \tag{1}$$

B= $t_{1-\alpha/2}(\nu)S_D = 2.78 \times 0.170 = 0.473$

|D|>B のとき帰無仮説 H_0 を棄却するが,この場合 0.06 <0.473 であるので H_0 は棄却されない。よって,供試体作製者 A, B によるひび割れ強度の平均に有意水準 5% で有意な差が見出されなかった。

同様に供試体製作者 A, B がテーブルバイブレータを使用しない場合のひび割れ強度の分散について検討した。 表一3 から F_0 = 0.0400/0.0176= 2.273 となり, F 分布の上側確率 $F_{1-\alpha/2}(\nu_1,\nu_2)$ = 9.60 から F_0 < 9.60 であるので, H_0 は棄却されない。続く平均の検討では, 表一3 から $D=\bar{x}_A-\bar{x}_B=3.85-3.51=0.34$, $Q=(n_A-1)S_A^2+(n_B-1)S_B^2=2$ × 0.0176+2×0.0400 = 0.1152 となり,

$$S_D = \sqrt{\frac{n_1 + n_2}{n_1 n_2}} \frac{Q}{v} = 0.139 \tag{2}$$

 $B=t_{1-\alpha/2}(\nu)S_D=2.78\times0.139=0.386$ となる。 |D|>B のとき帰無仮説 H_0 を棄却するが、この場合 0.34 <0.386 であるので H_0 は棄却されない。よって、供試体作製者 A,B によるひび割れ強度の平均値に有意水準 5% で有意な差が見出されなかった。

供試体作製者による有意な差が見出されなかったので,

両者の試験値をプールして、テーブルバイブレータによる振動の有無が試験結果に及ぼす影響を同様の手順で検討した。

帰無仮説と検定のタイプ 両側検定 $H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$ 有意水準: $\alpha = 0.05$, 自由度: $\nu_1 = 10 - 1 = 9$, $\nu_2 = 10 - 1 = 9$ 表 -3 から $V_1 = 0.0532$ N^2/mm^4 , $V_2 = 0.0515$ N^2/mm^4 V_1 , V_2 いずれか大きい方を分子において F_0 を求める。

 $F_0 = 0.0532/0.0515 = 1.997$

F 分布の上側確率 $F_{1-\alpha/2}(\nu_1, \nu_2)=4.02$

 F_0 <<4.02 であるので、 H_0 は棄却されない。よって、テーブルバイブレータによる振動の有無により一軸引張試験におけるひび割れ強度の分散は、有意水準 5%で有意な差が検出されなかった。平均についても振動の有無による有意な差は見出されなかった。

(2) 最大引張強度,終局ひずみ

ひび割れ強度と同様の手順で作製者 A, B ならびにテーブルバイブレータの振動の有無による試験結果に及ぼす影響を検討した結果, 試験結果に有意な差は見出せなかった。

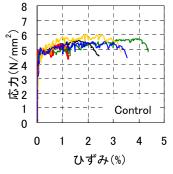
従って、土木学会施工指針¹⁾に準拠して、供試体作製の際に、打重ねや打継ぎを設けないよう注意して気泡を巻き込まないよう連続的に一方向より型枠内に材料を打ち込むことで、供試体作製者の経験やテーブルバイブレータの使用に影響されることなく、一軸引張試験によりHPFRCCの材料特性の確認ができるといえる。

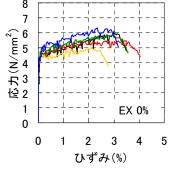
3.2 シリーズ 2:成形材への膨張材添加の有無が引張試

特性値		因子	1	2	3	4	5	平均	分散	
ひび割れ強度	0	Control	4.68	4.90	4.72	4.60	5.05	4.78	$0.0332 \text{ N}^2/\text{mm}^4$	
(N/mm ²)	1	EX 0%	4.43	4.64	4.61	4.32	4.36	4.54	$0.0211 \text{ N}^2/\text{mm}^4$	
(14/111111)	2	EX 6%	4.03	4.10	4.36	4.28	4.83	4.14	$0.0990 \text{ N}^2/\text{mm}^4$	
引張強度	0	Control	5.66	5.30	5.77	6.03	5.52	5.74	$0.0745 \text{ N}^2/\text{mm}^4$	
71版现度 (N/mm ²)	1	EX 0%	6.13	5.48	5.88	5.01	6.32	5.89	$0.2764 \text{ N}^2/\text{mm}^4$	
(14/111111)	2	EX 6%	5.59	5.63	5.59	5.26	5.70	5.49	$0.0290 \text{ N}^2/\text{mm}^4$	
奴 巳 ハギカ	0	Control	1.63	0.93	3.97	1.97	2.20	1.93	1.2764 % ²	
終局ひずみ (%)	1	EX 0%	3.00	2.68	2.94	2.12	2.35	2.66	$0.1433~\%^2$	
	2	EX 6%	2.70	2.36	1.70	<u>1.71</u>	3.11	2.26	$0.3816 \%^2$	
F* (因杆)子型/子目	JE 44	ロかどれば	日上十十二	とは日い	. n #+⇒+	14+++	1	泊上点は松	1. 日間地効の揺り	

表-4 一軸引張試験結果 (シリーズ 2)

注* 網掛け部は引張終局ひずみが最大または最小の供試体を表し、下線太字は検長区間端部の掴み部付近でひび割れが局所化した供試体を表す。





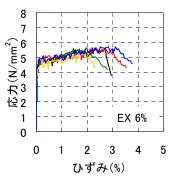


図-3 一軸引張試験における応力とひずみの関係(シリーズ2)

験結果に及ぼす影響

シリーズ 2 の引張試験結果を表-4 に,またそのときの応力とひずみの関係を図-3 に示す。一体成形したダンベル型供試体をコントロールとして,シリーズ 1 と同様に F 検定,t 検定により分散,平均の有意差を確認した。

ひび割れ強度のF検定において膨張型 HPFRCC を成形材に用いた供試体とコントロールの分散に有意な差は見出せなかったが、平均の検討では、 $\mathbf{表}-\mathbf{4}$ から $D=\bar{x}_0-\bar{x}_2=4.78-4.14=0.64$, $Q=(n_0-1)S_0^2+(n_2-1)S_2^2=2$ ×0.0332+2×0.0990=0.2644 となり、

$$S_D = \sqrt{\frac{n_0 + n_2}{n_0 n_2}} \frac{Q}{V} = 0.210 \tag{3}$$

 \mathbf{B} = $t_{1-\alpha/2}(\nu)$ S_D= 2.78×0.210 = 0.583 となった。 $|\mathbf{D}|$ >B のとき帰無仮説 \mathbf{H}_0 を棄却するので,この場合有意水準 5%で有意な差が検出された。

表-4 の終局ひずみの試験結果において、検長区間端部の掴み部付近でひび割れが局所化した供試体の試験値に下線を施し太字で示す。検長区間端部でひび割れが局所化した場合、終局ひずみの試験値が小さくなることから、コントロール供試体の終局ひずみの分散が大きくなり、また平均が小さくなったと考えられる。

検定の結果、膨張材を添加しない成形材を用いた供試 体の試験値は、コントロール供試体の試験値と有意な差 が見出されず、収縮対策をしなくても試験結果に影響が ないことが確認された。よって,以降膨張材を添加しない成形材を用いることとした。

3.3 シリーズ 3: 成形材の繊維量が引張試験結果に及ぼ す影響

成形材の繊維量を 1.25vol%から 0.25vol%ずつ 0.5vol% まで減じたときの一軸引張試験結果を表-5 に、またそのときの応力とひずみの関係を図-4 にコントロール供試体のデータと伴に示す。成形材のフレッシュ性状は、繊維量を減ずるに従いJIS R 5201 による 15 打フロー値が 155、167、185、224 と増大し流動性が増した。

表-6 分散分析表

ひび割れ強度

要因	平方和	自由度	分散	分散比	限界値
繊維量	0.170	4	0.0425	1.33	2.87
実験誤差	0.638	20	0.0319		
計	0.808	24			

引張強度

要因	平方和	自由度	分散	分散比	限界値
繊維量	0.806	4	0.201	0.633	2.87
実験誤差	6.365	20	0.318		
計	7.171	24			

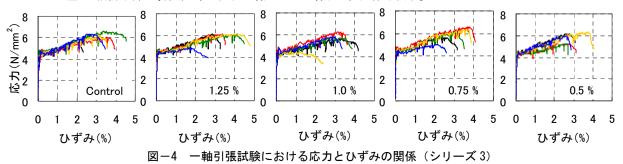
終局ひずみ

4											
要因	平方和	自由度	分散	分散比	限界値						
繊維量	1.012	4	0.253	0.386	2.87						
実験誤差	13.114	20	0.656								
計	14.126	24									

表-5 一軸引張試験結果 (シリーズ3)

式 ・ 判別政政 が ・										
特性値	因子	1	2	3	4	5	平均	分散		
	Control	4.36	4.28	4.50	4.50	4.21	4.40	$0.0169 \text{ N}^2/\text{mm}^4$		
ひび割れ強度	1.25 %	4.43	4.39	4.68	4.36	4.46	4.39	$0.0160 \text{ N}^2/\text{mm}^4$		
(N/mm ²)	1.00 %	4.25	4.21	4.36	4.07	4.32	4.30	$0.0127 \text{ N}^2/\text{mm}^4$		
(14/111111)	0.75 %	4.25	4.84	4.43	4.14	4.10	4.27	$0.0908 \text{ N}^2/\text{mm}^4$		
	0.50 %	4.54	4.28	4.32	4.57	4.61	4.48	$0.0232 \text{ N}^2/\text{mm}^4$		
	Control	5.59	5.99	6.61	6.21	6.35	6.39	$0.1486 \text{ N}^2/\text{mm}^4$		
引張強度	1.25 %	6.17	6.13	6.13	6.13	4.90	6.14	$0.3078 \text{ N}^2/\text{mm}^4$		
71版组度 (N/mm ²)	1.00 %	5.63	6.28	5.81	4.46	5.84	5.98	$0.4661 \text{ N}^2/\text{mm}^4$		
(14/111111)	0.75 %	5.66	6.61	6.10	6.42	5.05	6.06	$0.3929 \text{ N}^2/\text{mm}^4$		
	0.50 %	6.17	5.26	5.26	6.39	5.99	5.81	$0.2758 \text{ N}^2/\text{mm}^4$		
	Control	1.84	3.57	3.39	3.11	2.66	3.05	$0.4788 \%^2$		
奴 巳 バーデファ	1.25 %	2.85	3.38	4.13	3.98	1.74	3.40	$0.9396 \%^2$		
終局ひずみ (%)	1.00 %	3.30	3.27	2.93	0.73	2.77	2.99	$1.1434 \%^2$		
	0.75 %	2.31	3.79	3.14	3.73	2.12	3.06	$0.6064 \%^2$		
	0.50 %	2.78	2.79	2.65	3.45	2.66	2.74	$0.1108 \%^2$		

注* 網掛け部は引張終局ひずみが最大または最小の供試体を表す。



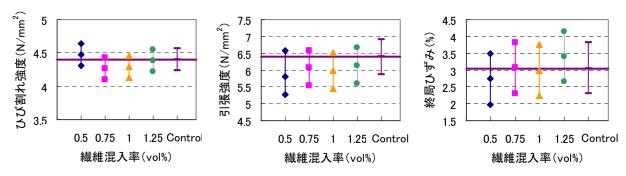


図-5 母平均の区間推定とコントロール供試体との比較

ひび割れ強度、引張強度、終局ひずみの分散分析表を表-6に示す。限界値は、危険率5%におけるF分布の上側分位点を表す。いずれの特性値の分散分析表においても分散比が限界値より小さいことから、コントロールを含めて実験水準間のひび割れ強度、引張強度、終局ひずみに危険率5%で有意な差は検出されなかった。

次に各水準における特性値について信頼率95%で母平均の区間推定を行った。母平均の信頼区間は次式により 求めた

$$\overline{x}_{i} \pm t(\phi_{e}, \alpha) \sqrt{\frac{V_{e}}{n_{i}}} = \overline{x}_{i} \pm t(20, 0.05) \sqrt{\frac{V_{e}}{n_{i}}}$$

$$= \overline{x}_{i} \pm 2.086 \sqrt{\frac{V_{e}}{5}}$$
(4)

ここで、 \bar{x}_i は各水準の表-5 に示す平均、 V_e は表-6 に示す実験誤差の分散を表す。

推定結果を図-5 に示す。図中の水平太線はコントロールの平均を表す。各特性値におけるいずれの水準の推定区間にもコントロールの値が含まれ、繊維量による傾向は見られない。このことから繊維量1.25vol%の棒状供試体をダンベル型に成形する場合、本実験で設定した範囲では繊維の量に関係なく、いずれの繊維量の成形材を用いて棒状供試体をダンベル型供試体に後成形しても、一体成形したダンベル型供試体と同等の試験結果を得ることができるといえる。

4. まとめ

棒状の供試体を後からダンベル型供試体に成形して用いる HPFRCC の一軸引張試験方法を検討した。本研究で対象とした材料で得られた知見は以下のとおりである。

- (1) ダンベル型供試体の作製経験や締固めの際のテーブルバイブレータの振動の有無は,一軸引張試験結果に有意な差を与えなかった。
- (2) 膨張材を添加しない HPFRCC を成形材に用いた後成形のダンベル型供試体の一軸引張試験のばらつきと平均は,一体成形した供試体と統計的に有意な差が認められたなったことから,収縮対策を行わな

くても試験結果に影響がないことが確認された。

(3) 成形材の繊維量を 1.25vol% から 0.25vol% ずつ 0.5vol%まで減じた場合,繊維量 1.25vol%の棒状供試体の引張試験結果に対する形成材の繊維量による有意な影響はなく,一体成形したダンベル型供試体と同等の試験結果を得ることができた。

以上のことについて、施工現場で棒状供試体を簡便に作製し、ダンベル型供試体に後成形して一軸引張試験をすることで、HPFRCCの一軸引張特性が確認できることを確かめた。

本研究は、限られた数のデータによる統計的検討であるため、実験回数を重ね信頼性を増すこと、また迅速に試験ができる成形材の検討も含めて、棒状部分のHPFRCCの材質と成形材の材質の差が、どの程度許容されるかについても、今後の研究課題と考える。

参考文献

- 土木学会:複数微細ひび割れ型繊維補強セメント複合材料設計・施工指針(案),コンクリートライブラリー127,2007.3
- Antonie E. Naaman: Toughness, Ductility, Surface Energy and Deflection-Hardening FRC Composites, Proceedings of the JCI International Workshop on DFRCC - Application and Evaluation -, pp.33-57, Oct. 2002
- 3) 飯塚貴洋, 加藤久也, 浅野幸男, 六郷恵哲: HPFRCC ブロック内部の引張性能の違いと型枠面の影響に 関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.29, No.1, pp.357-362, 2007.7
- 4) 閑田徹志,坂田昇,国枝稔,六郷恵哲:複数微細ひび割れ型繊維補強セメント複合材料(HPFRCC)の研究の現状と構造利用の事例,コンクリート工学,Vol.44, No.3, pp.3-10, 2006.3
- 5) 高田浩夫,高橋祐二,阪口裕紀,小林孝一,六郷恵哲:膨張材の多量混入による鉄筋補強 HPFRCC はり部材のひび割れ性状の改善,土木学会論文集 E, Vol.66, No.3, pp.337-347, 2010.9