

論文 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

飯塚 貴洋^{*1}・加藤 久也^{*2}・浅野 幸男^{*3}・六郷 恵哲^{*4}

要旨：ブロック状あるいは板状の HPFRCC 母供試体から切り出した棒状の試験片を用いてダンベル型供試体を作製し、一軸引張試験を行う方法を提案した。供試体の引張応力ひずみ曲線を計測して HPFRCC 内部の引張性能の違いと引張性能に及ぼす供試体の面（型枠面、仕上げ面、切断面）や打設方向の影響について検討した。その結果、繊維が配向しやすい型枠面や仕上げ面が多いほど、変形性能を表す終局ひずみが大きい傾向にあった。母供試体の下部の方が上部よりも終局ひずみが大きい傾向にあった。母供試体内部の位置における引張性能の差を評価する方法として、提案した手法は有効であった。

キーワード：HPFRCC, 一軸引張試験, ひずみ硬化, ダンベル型供試体, 切出し供試体

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、引張および曲げ応力下において、擬似ひずみ硬化特性と複数微細ひび割れを示すひび割れ幅制御型の材料である¹⁾。HPFRCC は、新設構造部材や既設コンクリート構造物の表面補修への適用が進められている。

HPFRCC は、混入した繊維がマトリックスのひび割れ間を架橋することにより、引張性能を発揮する材料であるため、繊維の配向と引張力の作用方向との関係が重要である。一軸引張試験において、供試体の断面寸法が小さい方が、繊維の配向が 2 次元的となるとともに、二次曲げの影響が小さくなるため、初期ひび割れ発生応力、引張強度（最大応力）、軟化開始ひずみともに大きくなるのが既往の研究において報告されている²⁾。また、横方向（引張力の作用方向に直角な方法）に打設した供試体は、縦方向（並行な方向）に打設した供試体より、変形性能が優れていることが報告されている³⁾。供試体の型枠面やこて仕上げ面付近では、面に沿って繊維が配向することが知られており、繊維の配向は

引張性能に影響を及ぼすと考えられる。

本研究においては、HPFRCC で作製したブロック状ならびに板状の母供試体から、およそ 29.5×30×300mm の棒状の試験片を切出し、ダンベル型の型枠に入れ、両端の肩の部分に HPFRCC を打設し、ダンベル型切出し供試体（以下切出し供試体）を作製する方法を提案した。本研究では、切出し供試体の一軸引張試験を行い、HPFRCC の引張性能に及ぼす型枠面や打設方向の影響を明らかにすることを目的としている。

2. 実験概要

2.1 使用材料と配合ならびに強度試験結果

実験に使用した HPFRCC の配合を表-1 に示す。セメントには早強ポルトランドセメントを用いた。細骨材には 7 号珪砂を使用し、繊維には、高強度ポリエチレン繊維（直径:12 μ m, 繊維長:12mm, 引張強度 2.6GPa, 弾性係数 88GPa）を使用した。供試体は、材齢 2 日で脱型し、その後試験材齢(20~24 日)まで 20 $^{\circ}$ C の室内で湿布養生した。混和剤として高性能 AE 減水剤と増粘剤を使用した。テーブルフロー値は 150mm であ

*1 岐阜大学 工学部社会基盤工学科 (正会員)

*2 岐阜大学 大学院工学研究科社会基盤工学専攻 (正会員)

*3 岐阜大学 社会基盤工学科 (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)

表-1 HPCRCC の配合ならびに強度試験結果

水セメント比 (%)	単位量 (kg/m ³)					強度 (MPa)		ヤング係数 (GPa)
	水	セメント	細骨材	増粘剤	繊維	圧縮強度	曲げ強度	
30	380	1264	395	0.9	14.6	51.6	9.8	38.0

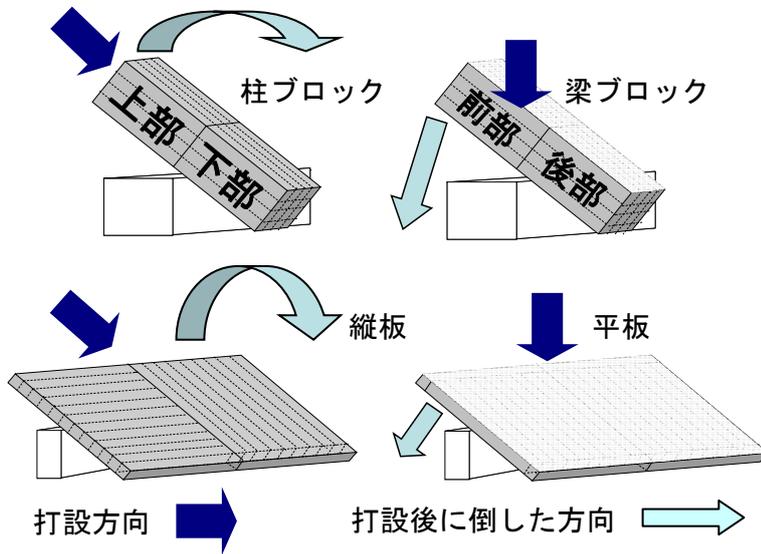


図-1 母供試体の形状および打設方法

った。HPCRCC の圧縮強度 ($\phi 100 \times 200\text{mm}$ 供試体を使用) と曲げ強度 ($100 \times 100 \times 400\text{mm}$ 供試体を使用) を表-1 に併記する。

2.2 母供試体と打設方法

ブロック状ならびに板状の HPCRCC 母供試体の形状と打設方法を図-1 に示す。柱ブロックと梁ブロックの寸法は $150 \times 150 \times 600\text{mm}$ 、縦板は $350 \times 600 \times 30\text{mm}$ 、平板は $400 \times 600 \times 30\text{mm}$ とした。

打設時には材料が流し込みやすいよう、型枠を約 45 度に傾け、HPCRCC を打設した。打設後に柱ブロックと縦板は 90 度に立て、梁ブロックと平板は 0 度に倒した。

2.3 張試験用のダンベル型供試体

引張試験用供試体の形状は、引張力の伝達部(掴み部)で破壊が生じにくいダンベル型とした。

ダンベル型供試体は、一体打ち供試体と切出し供試体からなる。一体打ちしたダンベル型供試体の寸法を図-2 に示す。供試体の外寸は、厚さ 30mm、幅 60mm、長さ 330mm とした。中央部の検長区間の断面寸法は $30 \times 30\text{mm}$ 、長さは 80mm とした。

切出しには、コンクリートカッターを用いた。中央の切出し部の断面寸法は、 $(29.5 \pm 1) \times (29.5 \pm 2)\text{mm}$ 程度であった。

切出し供試体の作製手順を図-3 に示す。前述のように、母供試体からの切出し片をダンベル型の型枠に入れ、両端の肩の部分に HPCRCC を打設し、切出し供試体を作製した。切出し片に目粗し処理は行っていないが、引張試験時に、打継ぎ部でのズレや損傷は認められなかった。

一体打ち供試体では、中央部の引張領域は、3 つの型枠面と一つの仕上げ面により構成される。一方、切出し供試体では、1~4 面が切断面であり、残りの面が型枠面あるいは仕上げ面である。切断面では、面に沿った繊維の配向はなく、むしろ面の位置で繊維は切断されている。

2.4 載荷方法

一軸引張試験に使用する載荷装置⁴⁾を図-4 に示す。鋼製フレーム(質量: 約 30kg, 外寸: $250 \times 200 \times 500\text{mm}$)の中で、上下の掴み具によりダンベル供試体の肩の部分をつんで引張力を伝達させた。載荷は建研式付着試験装置の加力部分(4kg, 手回し式)を鋼製フレーム上に置き、加力棒を介して供試体へ引張力を与えた。引張試験の境界条件としては、下側掴み具は、鋼製フレームの底板に固定させた固定支持とし、上側掴み具は加力棒の中にヒンジを設け、ピン支持とした。荷重は建研式付着試験装置の上に設置したロードセル、変位は試験体両側に取り付けられた高感度変位計(ストローク: 25mm)で計測した。

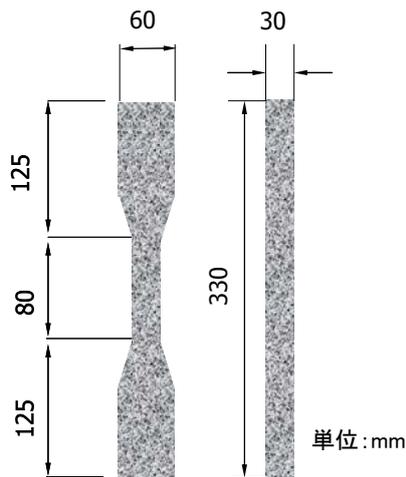


図-2 ダンベル型供試体寸法

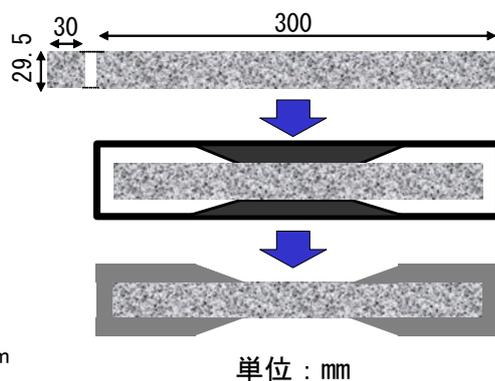


図-3 切出し供試体作成手順

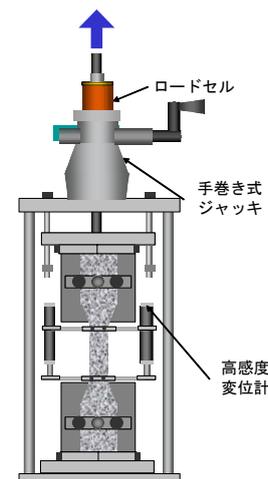


図-4 载荷装置

3. 試験結果及び考察

ダンベル型供試体から求めた引張応力-ひずみ曲線を図-5~9に示す。測定した断面積で荷重を除いて引張応力を求め、変位を検長(80mm)で除してひずみを求めた。

引張応力-ひずみ曲線から、初期ひび割れ発生応力、引張強度、終局ひずみ(引張強度時のひずみ)、終局ひずみまでの曲線下の面積(主にひび割れ形成に使われるエネルギー)を求め、同一条件の供試体の結果を平均して表-2に示す。

3.1 一体打ち供試体と切出し供試体

一体打ち供試体の引張強度は5.20MPa、終局ひずみは1.45%であった。

表-2ならびに図-6~9からわかるように、切出し供試体の場合、全体的に、切断面が少なく、繊維が配向しやすい型枠面や仕上げ面が多

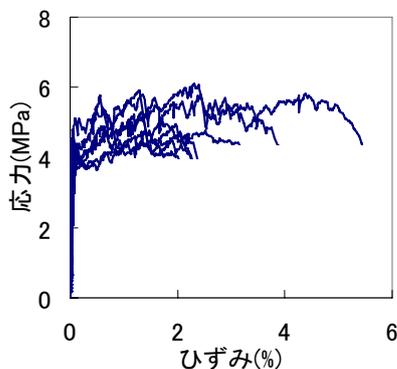


図-5 一体打ち供試体

いほど、引張強度と引張変形量(終局ひずみ)が大であった。一体打ち供試体に比べ、切出し供試体では、引張強度は1/2程度となり、複数ひび割れが生じないものも多くあった。

3.2 柱ブロックからの切出し供試体

表-2からわかるように、柱ブロック(高さ600mm)からの切出し供試体の場合、上部の供試体(引張試験区間は底面から410~490mm)の終局ひずみ(0.11~0.18%)に比べ、下部の供試体(同じく110~190mm)の終局ひずみ(0.16~0.50%)の方が大であった。

HPFRCCは繊維の分散性を良くするためにある程度の粘性を有しているが、そのため巻き込まれた気泡が抜け難いという特徴がある。高さが600mmの柱ブロックでは、気泡が下部よりも上部に多く残った可能性が考えられるが、この点についてはさらに検討する必要がある。

3.3 梁ブロックからの切出し供試体

表-2からわかるように梁ブロックからの切出し供試体の場合、前部の終局ひずみ(0.20~0.96%)は、後部の終局ひずみ(0.27~0.35%)より大きくなる傾向にあり、型枠面を含む周辺部(切断面2または3)の終局ひずみ(0.27~0.96%)が、型枠面を含まない中央部(切断面4)の終局ひずみ(0.20~0.34%)より大であった。

型枠内に打設したHPFRCC内部の繊維の配向や偏り、気泡の分布(寸法や量)と関連させて

表-2 引張応力ひずみ曲線から求めた評価値

供試体種類	切出し場所/ 供試体の方向	面の数			供試体数 (本)	初期ひび割れ 発生応力 (MPa)	引張 強度 (MPa)	終局 ひず み (%)	終局ひずみ までの面積 (kPa)
		切 断 面	型 枠 面	仕 上 面					
一体打ち供試体	水平方向	0	3	1	7(3)	4.18	5.20	1.45	67.9
柱ブロックから の 切出し供試体	上部	2	2	0	4	3.09	3.13	0.18	5.8
		3	1	0	7+(1)	2.81	2.94	0.11	3.9
		4	0	0	4	2.65	2.85	0.12	2.7
	下部	2	2	0	4	2.59	2.91	0.50	14.5
		3	1	0	8	2.39	2.72	0.16	3.7
		4	0	0	2+(2)	2.00	2.23	0.20	3.9
	平均					2.60	2.82	0.20	6.0
梁ブロックから の 切出し供試体	前部	2	1	1	2	2.77	3.83	0.96	33.7
		2	2	0	1+(1)				
		3	1	0	6				
		3	0	1	2				
	後部	4	0	0	3+(1)	2.59	2.80	0.20	6.0
		2	1	1	2	3.03	3.08	0.35	10.5
		2	2	0	2	2.31	2.37	0.27	7.9
		3	1	0	6				
		3	0	1	2				
		4	0	0	4	1.70	1.70	0.34	6.8
		平均					2.43	2.76	0.47
縦板からの 切出し供試体	下部 水平方	1	3	0	2	4.12	4.95	1.64	70.0
		2	2	0	4				
	上部 水平方	1	2	1	1	3.00	4.00	1.31	45.5
		2	2	0	3+(2)				
	鉛直方向	1	3	0	1	2.39	2.58	0.45	9.4
		2	2	0	5+(2)				
平均					3.19	3.82	1.11	41.2	
平板からの 切出し供試体	水平方向	1	2	1	3+(3)	3.65	4.49	1.29	40.3
		2	1	1	10+(5)	3.15	3.88	0.50	19.3
	平均					3.3	4.0	0.7	24.5

注) 供試体数欄の()は、破断位置が検長外(主にくびれ部)等の理由のため除外した数を表す。

引張性能の違いについて検討する必要があると考えている。

3.4 縦板ならびに平板からの切出し供試体

表-2 からわかるように縦板からの切出し供試体の場合、下部で水平方向の供試体の終局ひずみ(1.64%)が大きく、一体打ち供試体と同程度であった。水平方向の供試体の引張強度(4.00~4.95MPa)、終局ひずみ(1.31~1.64%)は、鉛直方向の供試体の引張強度(2.58MPa)、終局ひずみ(0.45%)に比べ大であった。この理由として、縦板に HPRCC を打設する際に、鋼棒(直径 16mm)を型枠内部で端から端へ移動させたため、繊維

が型枠面に沿って配向したものと考えられる。

縦方向の供試体では、初期ひび割れ発生応力が小さく、載荷前にすでにひび割れが生じているものもあった。この研究で用いた縦板のように型枠の側板が広く供試体厚さが小さい場合には、HPRCC の収縮を型枠が拘束している可能性も考えられる。この点は今後の課題である。

さらに平板からの切出し供試体の終局ひずみ(0.50~1.29)は、縦板からの切出し供試体の終局ひずみ(0.45~1.64%)に比べて小さく、一体打ち供試体の終局ひずみ(1.45%)の 1/3~2/3 程度であった。

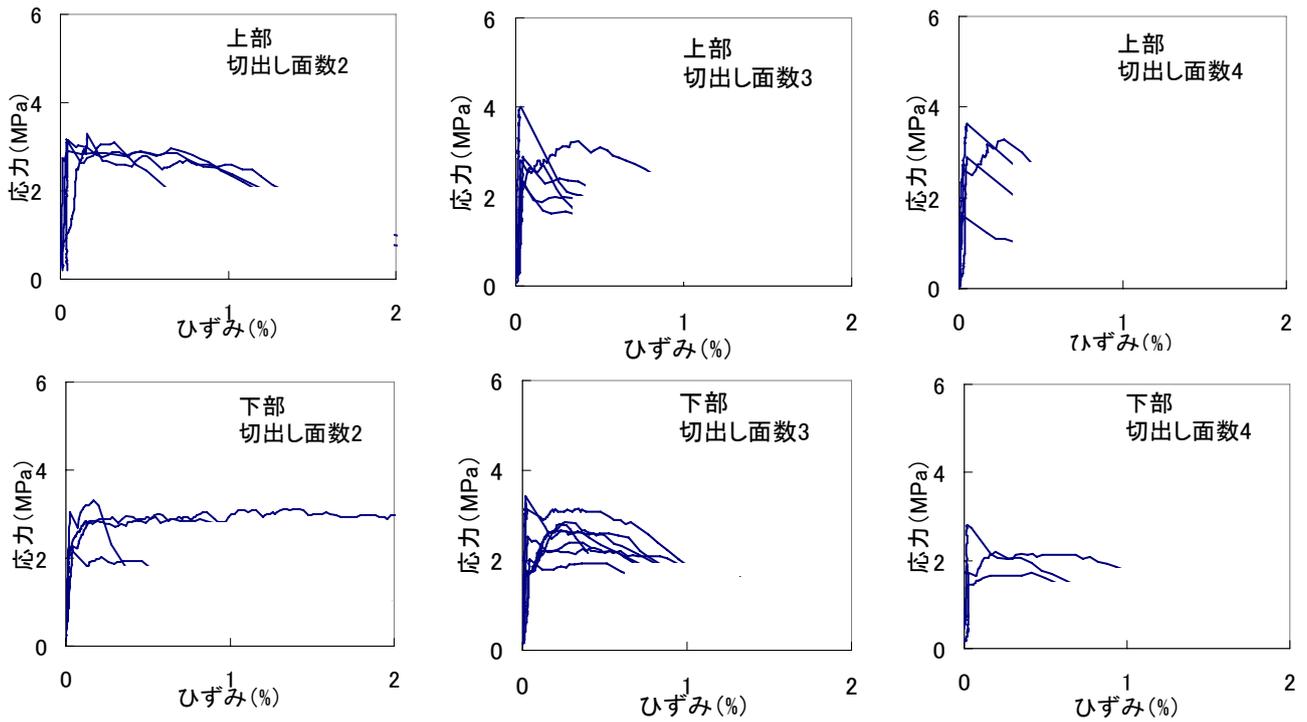


図-6 柱ブロックからの切出し供試体

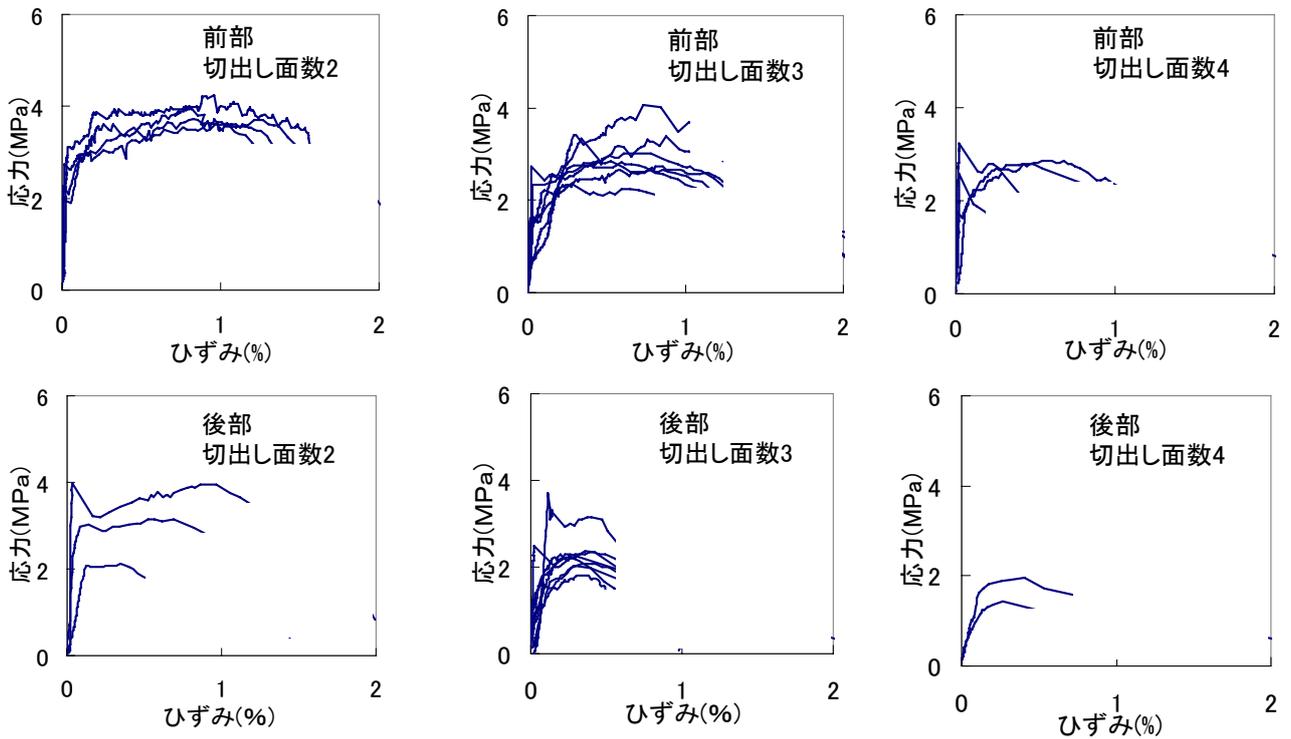


図-7 梁ブロックからの切出し供試体

4. 結論

切り出した棒状の試験片をダンベル型供試体に加工し一軸引張試験を行う方法を提案した。この方法を用いて、HPFRCC ブロック内部の引

張性能のばらつきを明らかにするとともに、引張性能に及ぼす供試体の面(型枠面, 仕上げ面, 切断面)の影響について検討した。得られた結果は次の通りである。

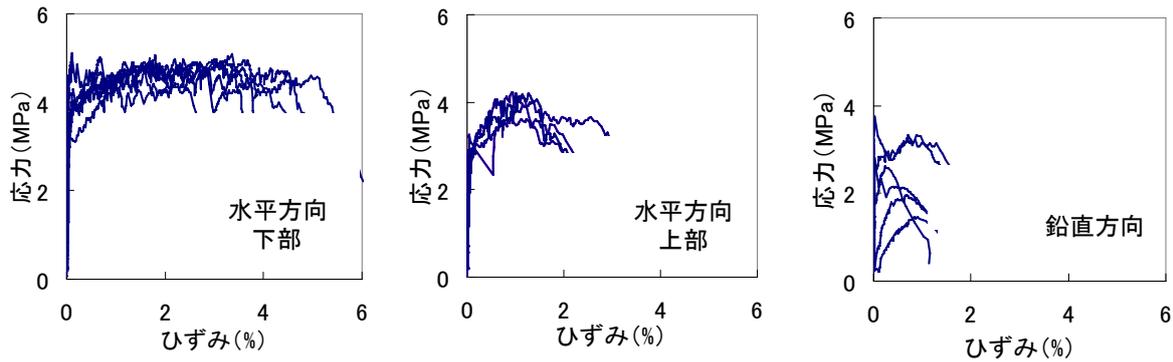


図-8 縦板からの切出し供試体

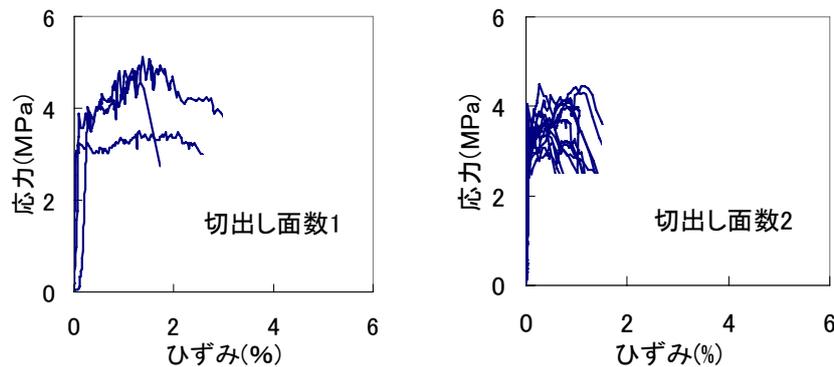


図-9 平板からの切出し供試体

- (1)母供試体から切出した試験片をダンベル型の型枠に入れ、両端の肩の部分に HPRCC を打設する方法で作製した切出し供試体についても、一体打ち供試体の場合と同様に、安定して一軸引張試験を行うことが可能であった。HPRCC ブロック内における場所や方向により異なる引張性能を評価するための方法として、提案したこの方法は有効であった。
- (2)切出し供試体の場合、全体的に、繊維が配向しやすい型枠面や仕上げ面が多いほど、変形性能を表す終局ひずみが多い傾向にあった。母供試体の下部の方が上部よりも終局ひずみが多い傾向にあった。母供試体内部の位置により、引張性能は大きく異なっていた。

現時点では、HPRCC は既設コンクリート造物の表面補修等に 10~30mm 程度の厚みで使われるか、鉄筋を配置して鉄筋コンクリート部材として使用されている。しかし、500mm 程度あるいはそれ以上の厚みで無筋の引張力を受ける

部材として HPRCC を使う場合には、部材内部の場所による引張性能の違いについての配慮が必要となる場合もあると考えられる。

参考文献

- 1) 土木学会：複数微細ひび割れ型繊維補強モルタルの評価と利用，コンクリート技術シリーズ，No.64，2006
- 2) 柏木章宏，稲熊唯史，山下賢司，六郷恵哲：HPRCC の一軸引張試験による引張特性評価に関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.28，No.1，pp.317-322，2006
- 3) 清水克将，金久保利之，閑田徹志，永井覚：HPRCC の一軸引張および曲げ性状に及ぼす打設方向の影響，コンクリート工学年次論文集，Vol.25，No.1，pp.281-286，2003
- 4) 森山守・林承燦・内田裕市・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の引張性能と試験装置，コンクリート工学年次論文集，Vol.28，No.1，pp.311-316，2006