

HPFRCC の曲げ性状におけるたわみと曲率の関係

正会員 ○清水 克将*
同 金久保 利之**
同 閑田 徹志***
同 永井 寛****

HPFRCC 曲率 たわみ 歪硬化 歪軟化

1. はじめに

近年国内外の研究機関で注目されている高靱性セメント系複合材料（以下、HPFRCC）がある。この材料は、モルタル練混ぜ最中に高性能短繊維を混入させたもので、引張応力下において、ひび割れ発生後も荷重を維持しながら数%程度まで変形する高い靱性を有する材料である。この材料を構造部材に適用するためには、この材料の特長である引張性能を適切に評価することが必要である。

これまでに一軸引張性能を評価するための試験方法が種々検討されている。その中でも曲げ試験は特殊な治具や型枠を必要としない簡易な試験方法として挙げられており、曲げ試験から引張性能を評価する方法として、たわみから求める方法¹⁾や、軸方向変位から求める方法²⁾が提案されている。通常、曲げ試験で変位を計測する場合、たわみを計測することが一般的であるため、たわみから算出した曲率と軸方向変位から直接算出した曲率との整合性を見ることは、より簡易な試験方法による引張性能評価の助けになるものと考えられる。そこで本研究では、曲げ供試体の表裏に計測装置を取り付け、表側で軸方向変位、裏側でたわみを計測した曲げ試験を実施し、それぞれから求めた曲率の整合性について比較検討を行う。

2. 供試体および使用材料

曲げ供試体は 100×100×400mm の角柱供試体で、縦打ちおよび横打ちで 3 体ずつ 2 バッチ製作した。HPFRCC の調合計画と繊維の力学特性を表 1 および表 2 に、供試体名称を図 1 に示す。また、HPFRCC の力学特性を表 3 に示す。圧縮強度と割線剛性はφ100×200mm 円柱供試体による圧縮試験結果であり、初期ひび割れ強度および終局歪は縦打ちがφ100×200mm 円柱くびれ型供試体、横打ちが 100×100×400mm 角柱くびれ型供試体の一軸引張試験結果から算出したものである²⁾。一軸引張試験結果の例を図 2 に示す。縦打ち供試体では、初期ひび割れ発生後一度応力が減少し、その後 0.5%程度まで応力を維持している。横打ち供試体では明確な歪硬化性状が確認され、マルチプレクラックの発生とともに 2%程度までの変形能を有している。

表 1 調合計画

W/C (%)	S/B	W (kg/m ³)	S (kg/m ³)	空気量 (%)	V _f (%)
46.0	0.80	364	636	10	1.9

表 2 繊維の力学特性

使用繊維	L _f (mm)	D _f (μm)	σ _{fu} (MPa)	E _f (GPa)
ビニロン (PVA-R)	12.0	40.0	1600	40.0

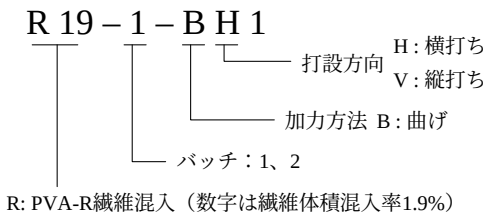


図 1 供試体名称

表 3 HPFRCC の力学特性

	圧縮強度*1 (MPa)	圧縮強度時歪*1 (%)	割線剛性*1 (GPa)	初期ひび割れ強度 (MPa)	引張終局歪 (%)
縦打ち	37.8	0.41	16.9	3.87*2	0.57*2
横打ち				2.17*3	1.52*3

*1: φ100×200mm 円柱供試体による圧縮試験
*2: φ100×200mm 円柱くびれ型供試体による引張試験
*3: 100×100×400mm 角柱くびれ型供試体による引張試験

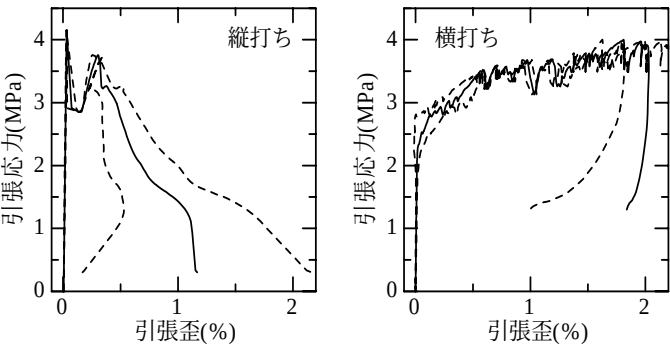


図 2 一軸引張試験結果の例

3. 曲げ試験方法

曲げ試験方法を図 3 に示す。載荷方法は三等分載荷を行い、計測は、供試体の表側には曲率計測用として純曲げ区間の上下 2 点間の軸方向変位を変位計により計測し、供試体の裏側では純曲げ区間 3 点のたわみを計測した。たわみ計測値からの曲率算定は、純曲げスパン内の曲率分布が一定であると仮定し、中央たわみ δ_B と加力点たわみ δ_A 、 δ_C の差分より以下の式から算出した（図 4 参照）。

$$\frac{2\delta_B - \delta_A - \delta_C}{2} = \frac{M l_0^2}{8EI} = \frac{\phi l_0^2}{8}$$
$$\therefore \phi = \frac{4}{l_0^2}(2\delta_B - \delta_A - \delta_C)$$

4. 試験結果

曲げモーメントと軸方向変位およびたわみから求めた曲率の関係の例を図 5 に、最大曲げモーメント時の曲率の比較を表 4 に示す。表中の平均は純曲げスパン外で最終破壊に至ったものを省いて算出してある。また、破壊形式とは純曲げスパン内で最終破壊（○）したか否（×）かを示している。たわみから求めた曲率は実験結果を概ね捉えていることがわかる。最大曲げモーメント時曲率の比較では、横打ち供試体の曲率とたわみ計測から得られた曲率はほぼ同等でばらつきが小さいのに対し、縦打ち供試体はばらつきが大きい。この原因は縦打ちの引張性状が初期ひび割れ発生後、一部歪硬化傾向を示しているためと考えられ、曲率分布が一定であるという仮定の適用が困難な場合があるものと思われる。一方、横打ちのように、引張性状がマルチプルクラック、歪硬化性状を示す材料であれば、たわみ測定値からの曲率算定が適用できるものと考えられる。

5. まとめ

曲げ試験において、たわみより算出した曲率と軸方向変位より測定した曲率との整合性を調べるための実験を行った。その結果、一軸引張性状において歪硬化が認められた横打ちの試験体において、よい整合性を示した。このことから、曲げ試験で曲率を計測することなく、たわみの計測から HPRCC の引張性能を評価することが可能になるとと思われる。

参考文献

1)永井覚、閑田徹志、丸田誠：高靱性繊維補強セメント複合材料の基礎力学性状に関する研究 その 2、日本建築学会大会学術講演梗概集、C-2、pp.145～147、2002.8
2)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、2003.7

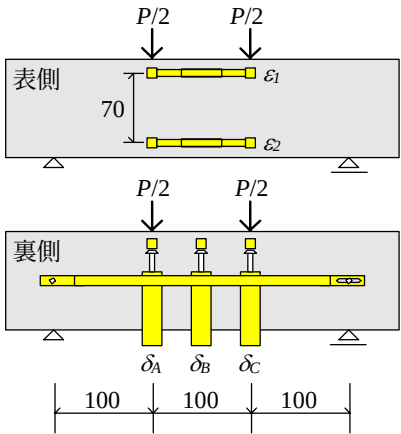


図 3 曲げ試験方法

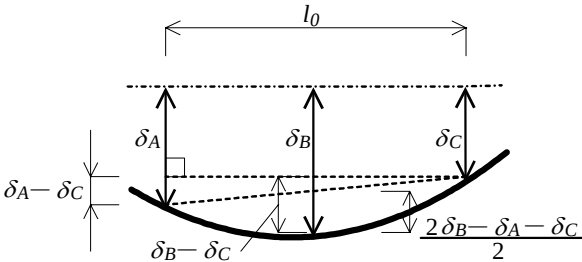


図 4 曲率算出方法

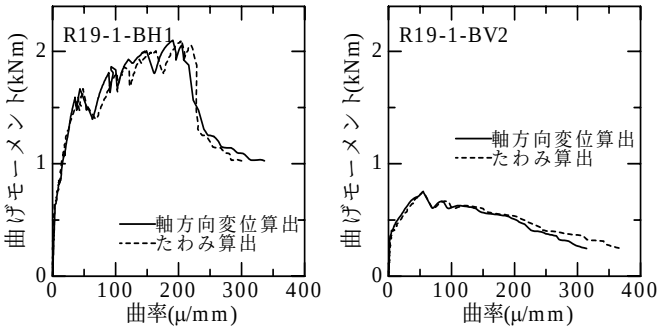


図 5 曲げモーメントー曲率関係

表 4 最大曲げモーメント時の曲率の比較

供試体	最大モーメント時の曲率(μ/mm)		軸方向 ／たわみ	破壊 形式
	軸方向変位算出	たわみ算出		
R19-1-BV1	85	75	1.13	×
R19-1-BV2	55	55	1.00	○
R19-1-BV3	49	73	0.67	×
R19-2-BV1	149	76	1.96	○
R19-2-BV2	40	62	0.65	○
R19-2-BV3	19	61	0.31	×
平均	81	64	1.27	
R19-1-BH1	191	205	0.95	○
R19-1-BH2	148	183	0.81	○
R19-1-BH3	264	218	1.21	○
R19-2-BH1	167	148	1.13	○
R19-2-BH2	195	180	1.08	×
R19-2-BH3	123	182	0.68	○
平均	179	187	1.04	

*筑波大学大学院理工学研究科

**筑波大学機能工学系 講師・博士（工学）

***鹿島建設技術研究所 上席研究員・Ph.D.

****鹿島建設技術研究所 主任研究員・工修

*Master's Program in Science and Engineering, University of Tsukuba

**Assist. Prof., IEMS, University of Tsukuba, Dr.E.

***Chief Research Engineer, Kajima Technical Research Institute, Ph.D.

****Senior Research Engineer, Kajima Technical Research Institute, M.Eng.