

HFRCC 構成則のせん断破壊力学モデルへの適用性の検証

正会員 ○古城拓哉*
同 佐藤裕一**
同 金子佳生***

ハイブリッド型繊維補強 せん断破壊力学モデル
一面せん断実験 材料構成則

はじめに

近年、モルタルに鋼繊維とポリエチレン繊維を混入して靱性能を向上させたハイブリッド型繊維補強セメント系複合材料 (Hybrid Fiber Reinforced Cementitious Composites : HFRCC) の材料構成則およびせん断破壊のモデル化に関する研究が進められている^{1),2),3)}。特にせん断破壊のモデル化に関しては、既往の研究においてせん断破壊力学モデルが提案されており、エネルギー吸収壁などの部材レベルでの剛性、耐力を評価することが可能な水準に達している⁴⁾。しかしながら、HFRCC 構成則を適用したせん断破壊力学モデルに対して、二軸応力下の厳密な要素実験に基づく検証は行われていなかった。

そこで本論では、HFRCC 構成則のせん断破壊力学モデルへの適用性を検証するため、HFRCC 一面せん断実験を実施し、既往研究に基づくせん断破壊力学モデルを用いた解析と比較・検討を行う。

せん断破壊力学モデルの概要

せん断破壊力学モデルは、せん断力を受けるセメント系材料の応力場に対して材料特性、圧縮・引張構成則、鉄筋の物性を入力することで、せん断破壊が起こると想定される損傷領域幅 W_{di} を持つ部分要素について、ポストピーク領域を含むせん断応力 - せん断ひずみ関係を算出するものである。

本論では、既往研究^{3),4)}に基づくせん断破壊力学モデルを、HFRCC に対して適用した。せん断破壊力学モデルには、既往の研究^{2),4)}を参考に、図 1 のように構築した HFRCC 構成則を用いた。構成則には、一面せん断実験に先立って行った材料試験の結果から得られた材料特性を用いた。HFRCC の材料特性は表 1 に示す通りである。

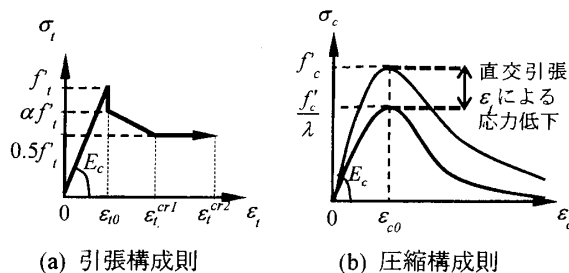


図 1 HFRCC 構成則

表 1 HFRCC 材料特性

材料	圧縮強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	破壊エネルギー (N/mm)	静弾性係数 (N/mm ²)
HFRCC3	39.2	6.0	8.36	14.8
HFRCC4	29.2	5.8	9.88	12.5

一面せん断実験の概要

既往研究^{1),2)}と同じ調査とした HFRCC を用いて、水平切欠き付き試験体の一面せん断実験を行った。試験体一覧を表 2 に、試験体の形状を図 2 にそれぞれ示す。実験は単調載荷、繰返し載荷をそれぞれ 2 体ずつ、合計 4 体について行った。プレーンコンクリートを用いて行われた既往の一面せん断実験⁵⁾においては、脆性的な破壊を示したことから載荷の制御が困難で、想定した破壊形式が観察されたのは、支持条件を上部・下部ともに球座とした場合のみであったと報告されている。本実験に用いる HFRCC は、高い靱性を有するため、安定した破壊進行が得られると考え、HF60-3、HF60-4 の 2 体の支持条件は設置の容易さを考慮した上部球座、下部固定とした。一方、HF60-5、HF60-6 の 2 体は支持条件の影響を確認するため、上部球座、下部球座とした。

HF60-3、HF60-4 の 2 体は、図 2 に示す計測用ボルト A1~2 間の垂直変位を正面と背面でそれぞれ計測した。HF60-5、HF60-6 の 2 体は、中央切欠き間におけるせん断変位をより正確に計測するために、計測用ボルト B1~4 間でそれぞれ水平方向の伸び、垂直方向の伸び、斜め方向の伸びを、正面と背面で計測した。

繰返し載荷は、荷重が 20kN、40kN に達した点、最大荷重点、および垂直変位が 1mm、2mm、4mm に達した点において除荷・再載荷し、以降はノッチ上端が下端に接触した時点で載荷終了とした。

表 2 試験体一覧

試験体	支持条件		材料	載荷方法
	上部	下部		
HF60-3	球座	固定	HFRCC3	単調
HF60-4	球座	固定	HFRCC3	繰返し
HF60-5	球座	球座	HFRCC4	単調
HF60-6	球座	球座	HFRCC4	繰返し

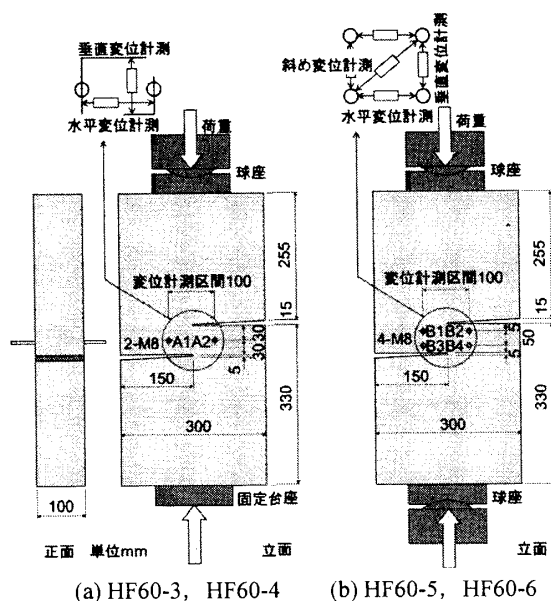


図2 試験体形状

実験結果および解析結果との比較

せん断破壊力学モデルを用いて、一面せん断試験体の解析を行い、モデルへの構成則の適用性について検証する。せん断破壊力学モデルで解析する部分要素の損傷領域幅 W_{da} は、実験時の目視による観察のみから厳密に決定できないため、解析にあたっては W_{da} を 10mm, 30mm の 2 種類とした。

実験結果と解析結果を図 3 に比較する。いずれの試験体においても最大荷重は概ね一致している。損傷領域幅については、 $W_{da}=30\text{mm}$ とすることで初期剛性と最大荷重時の垂直変位は概ね整合するが、ポストピーク領域については耐力を過大評価している。一方、 $W_{da}=10\text{mm}$ とした場合はポストピーク領域の荷重を良好に評価しているが、初期剛性を若干過大評価している。また、中央切欠き間におけるせん断変位をより正確に計測した HF60-5, HF60-6 の 2 体の実験結果とよく一致している。これらの結果の原因としては、せん断破壊力学モデルでは純粋なせん断変形のみを考慮しているが、実験時の変位の計測においては、せん断変形だけでなく曲げ変形が含まれており、計測上の剛性が低下したことが考えられる。

まとめ

HFRCC 構成則のせん断破壊力学モデルへの適用性を検証するため、HFRCC 一面せん断実験を実施し、せん断破壊力学モデルを用いた解析と比較・検討を行った。

実験および解析の結果、以下の知見を得た。

- (1) HFRCC を用いた一面せん断実験では、球座支持、固定支持ともに安定したせん断力 - 変位関係を得ることができ、支持条件によって最大耐力に大きな差は見られない。
- (2) HFRCC 構成則を適用したせん断破壊力学モデルによる解析では、一面せん断試験体の最大荷重を概ね良好に評価できた。剛性およびポストピーク領域の評価に関しては、実験において曲げ変形を含まないより正確なせん断変位を計測して比較する必要があると考えられる。

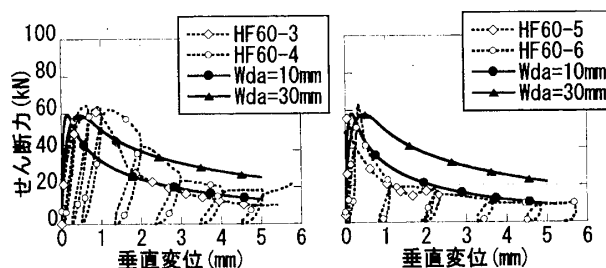


図3 実験結果および解析結果との比較

参考文献

- 1) 佐々木勇気, 金子佳生, 桐越一紀: 新構法に用いられる繊維補強セメント系複合材料の材料特性および構成則, 日本建築学会東北支部研究報告集・構造系, 第 71 号, pp.115-118, 2008.6
- 2) 古城拓哉, 金子佳生, 佐藤裕一: 繊維補強セメント系複合材料の材料特性および一軸構成モデル, 日本建築学会学術講演梗概集・材料施工系, pp.819-820, 2010
- 3) 金子佳生, 三橋博三: ひずみ局所化領域におけるコンクリートのせん断軟化特性に関する解析的研究, 日本建築学会構造系論文集, 第 573 号, pp.145-152, 2003.11
- 4) 大作亮平, 金子佳生, 三橋博三, 竹林裕高: 力学モデルを用いたエネルギー吸収壁のモデル化手法に関する研究, 日本建築学会東北支部研究報告集・構造系, 第 69 号, pp.63-66, 2006.6
- 5) 石原誠一郎ほか: 水平ノッチのあるプレーンコンクリートの一面せん断実験—マイクロメカニクスによる考察—, 日本建築学会構造系論文集, 第 570 号, pp.145-150, 2003.8

*京都大学 大学院修士課程

**京都大学 助教 博士 (工学)

***京都大学 教授 Ph.D.

*Graduate Student, Kyoto University

**Assistant Prof., Kyoto University, Dr. Eng.

***Professor, Kyoto University, Ph.D.