

論文 水結合材比の相違する再生骨材を使用した高流動高靱性コンクリート製RC梁のせん断耐力に関する基礎的研究

白鳥 有平*1・渡部 憲*2

要旨: 本研究では、水結合材比の相違する再生骨材を使用した高流動高靱性コンクリート製RC梁試験体の載荷試験および同試験を対象とした非線形有限要素解析を行い、RC梁のせん断耐力に及ぼす水結合材比の影響について検討を行った。その結果、水結合材比の低下に伴い、再生骨材を使用した高流動高靱性コンクリート製RC梁試験体の最大荷重が増大する傾向を、本解析手法を用いることにより、概ね評価できる等の知見が得られた。

キーワード: 再生骨材, 高靱性コンクリート, 高流動, RC梁, FEM

1. はじめに

近年、既存の繊維補強コンクリートをはるかに上回る性能を有する高靱性セメント複合材料(以下、DFRCCと略記)が開発されている¹⁾。DFRCCとは、セメント系材料を繊維で補強した複合材料で、曲げ応力下において複数ひび割れ特性を示し、曲げ、引張、圧縮破壊時の靱性が大幅に向上した材料である¹⁾。この材料は、一般的なコンクリートの脆性的な性質を克服していることから、コンクリート系構造要素の力学特性や耐久性の大幅な向上が見込めるほか従来のセメント系材料に代わる高性能な補修用材料、衝撃緩衝材料など、新しい各種の用途が期待されている。しかし、実際にDFRCCを使用した施工例は報告されているものの²⁾、その数は未だ少ないのが現状である。この理由としては、施工性の問題や、他の材料と比較してコストが高い等の問題が挙げられる。今後、DFRCCの利用を推進していくためには、既存材料の改良を含む新しい材料の開発が必要である。

ところで、現在、生産活動を実施するにあたり地球環境に対する取り組みは重要な課題であり、コンクリートの分野においても、解体コンクリート塊から取り出した再生骨材を使用して再びコンクリートを製造する、再生骨材コンクリートの研究が活発に実施されている。今後、コンクリートのリサイクルを更に積極的に推し進めるためにも、再生骨材の新たな有効利用技術を開発しておく必要がある。

このような背景から、筆者らの一人ら³⁾は、高流動高靱性コンクリート(以下、HFDFRCと略記)への再生骨材の適用性について検討を行った。その結果、再生骨材を使用したHFDFRC(以下、R-HFDFRCと略記)は、十分なひび割れ分散性および優れた曲げ靱性を有していること等を明らかにしている。

このような材料を鉄筋コンクリート(以下、RCと略記)

構造物に適用しようとする場合、R-HFDFRC製RC部材のせん断耐力を適切に評価できるせん断耐力算定式について検討を行っておくことが重要である。そのためには、RC部材のせん断耐力に影響を及ぼすとされる圧縮強度、引張鉄筋比、せん断補強筋比およびせん断スパン比等を検討項目とした、R-HFDFRC製RC部材の載荷試験を行い、適切な強度管理の基、実験データを蓄積していく必要がある。それと同時に、解析的手法を用いて、内部応力状態等の実験では得られない情報を得ることにより、R-HFDFRC製RC部材のせん断耐力発現機構についても検討しておく必要がある。

そこで、本研究では、水結合材比(以下、W/Bと略記)の相違がR-HFDFRC製RC梁のせん断耐力に及ぼす影響を検討するため、W/Bの異なるR-HFDFRC製RC梁試験体の載荷試験を行った。また、1軸圧縮試験、3等分点曲げ試験などの材料試験を行い、R-HFDFRCの材料構成則を特徴づける破壊力学パラメータを抽出した。さらに、これらの材料構成則を有限要素法(以下、FEMと略記)解析汎用コードに導入し、R-HFDFRC製RC梁試験体の塑性変形挙動について解析的に検討を行った。

2. 実験概要

本研究では、表-1に示す、W/Bを検討項目とした、R-HFDFRCの材料試験およびR-HFDFRC製RC梁試験体

表-1 HFDFRC製RC梁試験体の概要

試験体名	HFDFRC				主筋(D16, SD490)				
	使用骨材	水結合材比 W/B (%)	細骨材率 s/a (%)	細骨材結合材比 S/B (%)	繊維体積混入率 V_f (%)	引張鉄筋比 (%)	降伏強度 (N/mm ²)	降伏ひずみ ($\times 10^{-6}$)	ヤング係数 (kN/mm ²)
R-HFC-40	R	40	85	40	3	5.88	511	2607	197
R-HFC-50		50		65					
R-HFC-60		60		90					
N-HFC-50	N	50		65					

*1 東海大学大学院 工学研究科建築土木工学専攻 (学生会員)

*2 東海大学 工学部建築学科教授 博士(工学) (正会員)

の載荷試験を実施した。なお、一部の要因において、天然骨材(N)を使用した場合(N-HFDFRC)についても、併わせて検討を行った。本研究で使用した骨材は、R{粗骨材としてM相当の再生粗骨材(最大骨材寸法10mm, 表乾密度:2.59g/cm³, 吸水率:3.48%)およびH相当の再生細骨材として中目(最大骨材寸法2.5mm, 表乾密度:2.60g/cm³, 吸水率:2.70%)と細目(最大骨材寸法0.6mm, 表乾密度:2.58g/cm³, 吸水率:3.12%)を混合}およびN{粗骨材として砕石(最大骨材寸法10mm, 表乾密度:2.66g/cm³, 吸水率:2.50%)および細骨材として砕砂(最大骨材寸法2.5mm, 表乾密度:2.66g/cm³, 吸水率:1.00%)と山砂(最大骨材寸法1.2mm, 表乾密度:2.60g/cm³, 吸水率:1.48%)を混合}である。セメントは普通ポルトランドセメント(密度:3.16g/cm³)を使用し、R-HFDFRCのW/Bは、40, 50および60%とした。また、N-HFDFRCのW/Bは、50%とした。繊維はPVA繊維(V, 径:0.2mm, 長さ:18mm, 弾性係数:27kN/mm², 引張強度:975N/mm²)および鋼繊維(S, 径:0.55mm, 長さ:30mm, 弾性係数:210kN/mm², 引張強度:1145N/mm²)を混合使用し、繊維体積混入率(V_f)を3%, VとSの繊維体積混合比(V:S)を7:3とした。混和材料は高性能AE減水剤, 分離低減剤およびフライアッシュII種(密度:2.30g/cm³, セメント置換率20%で使用)を使用した。HFDFRCの材料試験用試験体およびHFDFRC製RC梁試験体は、打込み後2日で脱型し、養生室内の積算温度が1680°DD{56日(56D)に相当}となるまで湿布養生し、その後、各試験を実施した。

2.1 材料試験

本研究では、HFDFRC製RC梁試験体の強度管理、並びに材料構成則を特徴づける破壊力学パラメータを抽出するため、HFDFRCの1軸圧縮試験, 3等分点曲げ試験, 引抜き試験および鉄筋の引張試験を実施した。

試験体は、1軸圧縮試験では100φ×200mmの円柱試験体, 3等分点曲げ試験では100×100×400mmの角柱試験体, 引抜き試験ではD-16(SD490)の鉄筋を挿入した100×100×100mmの角柱試験体で、鉄筋の引張試験ではD-16(SD490), 平行部長さを公称直径の10倍以上とした棒状試験体とした。試験体本数は、1軸圧縮試験および3等分点曲げ試験で6体製作し、引抜き試験および鉄筋の引張試験では3体製作した。

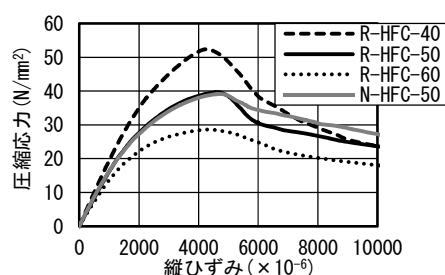


図-1 圧縮応力-ひずみ関係

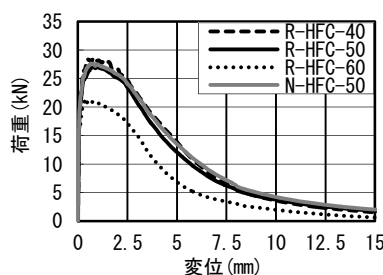


図-2 荷重-変位関係

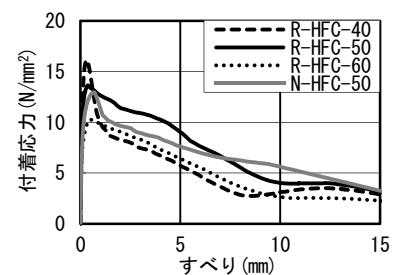


図-3 付着応力-すべり関係

1軸圧縮試験は、試験方法を文献⁴⁾に準じ、計測項目を荷重、コンプレッションメーターによる試験体中央部の縦・横ひずみおよび高感度変位計による荷重盤間変位とした。なお、圧縮破壊エネルギー(G_{Fc})は、文献^{4),5)}に示す手法により算出した(文献^{4),5)}中の、塑性変形が3.0mmまでの値)。

3等分点曲げ試験は、試験方法を文献⁶⁾に準じ、計測項目を荷重、高感度変位計によるスパン中央部の変位およびパイ型変位計による曲率とした。引張強度($F_{t,b}$)および引張終局ひずみ($\epsilon_{tu,b}$)は文献⁶⁾附属書(参考)を基に、文献⁷⁾に示す手法により算出した。

引抜き試験は、試験方法を文献⁸⁾に準じ、計測項目を荷重および鉄筋のすべり量とした。

鉄筋の引張試験は、試験方法を文献⁹⁾に準じ、計測項目を荷重、試験体中央部の縦・横ひずみおよび伸び量とした。

各種材料試験の計測データは、データロガーを使用して取り込んだ。

各種材料試験により得られたHFDFRCおよび鉄筋の材料特性一覧を表-1および表-2に示す。また、1軸圧縮試験により得られたHFDFRCの圧縮応力-縦ひずみ関係を図-1に、3等分点曲げ試験により得られたHFDFRCの荷重-変位関係を図-2に、引抜き試験により得られたHFDFRCの付着応力-すべり関係を図-3に、それぞれ示す。

2.2 RC梁載荷試験

HFDFRC製RC梁試験体の概要を図-4に、載荷試験の概要を図-5に、それぞれ示す。HFDFRC製RC梁試験体は、文献^{10),11)}を参考にして主筋をD-16(SD490), 引張鉄筋比(P_t)=5.88%とした、梁せい(D)180mm×梁幅(B)

表-2 HFDFRCの材料特性一覧

試験体名	圧縮			曲げ			引抜き	
	圧縮強度 F_c (N/mm ²)	ヤング係数 E_c (kN/mm ²)	圧縮破壊エネルギー G _{Fc} (N/mm)	曲げ強度 (N/mm ²)	引張強度 $F_{t,b}$ (N/mm ²)	引張終局ひずみ $\epsilon_{tu,b}$	付着強度 τ_{max} (N/mm ²)	付着強度時すべり S_u (mm)
R-HFC-40	52.9	20.2	79.0	8.84	2.69	0.0170	16.2	0.292
R-HFC-50	39.8	16.7	71.4	8.51	2.78	0.0160	13.7	0.444
R-HFC-60	28.8	14.2	55.5	6.47	2.13	0.0213	10.3	0.600
N-HFC-50	39.2	16.6	78.5	8.45	2.75	0.0156	13.1	0.711

100mm×梁長さ1500mmの試験体である。支点間距離(L)を1300mm, せん断スパン長(a)を450mm, 載荷点間距離を400mmとし, 主筋は試験体両端の定着鋼板(厚さ6mm)に溶接した。載荷は, 1000kN万能試験機を使用して行い, 計測項目は, 荷重, 高感度変位計によるスパン中央部の変位およびひずみゲージによる主筋のひずみとし, 各計測データは, データロガーを使用して取り込んだ。一般的なコンクリートを使用したRC梁のせん断耐力は, 文献¹¹⁾等に示されている以下の式により算出した。

$$Q_{bu} = \left\{ \frac{0.092 k_u k_p (18 + F_c)}{M/(Qd) + 0.12} + 0.85 \sqrt{P_w \sigma_{wy}} \right\} bj \quad (1)$$

ここに, Q_{bu} : せん断耐力(N), k_u : 梁断面寸法による補正係数で1.0とした, k_p : 引張鉄筋比による補正係数で $0.82P_t^{0.23}$ とした, F_c : コンクリートの圧縮強度(N/mm²), $M/(Qd)$: せん断スパン比, P_w : せん断補強筋比(%), σ_{wy} : せん断補強筋の降伏強度(N/mm²), d : 梁の有効せい(mm), b : 梁幅(mm), j : 応力中心間距離(mm)である。

3. 解析概要

3.1 試験体のモデル化および解析方法

本研究では, HFDFRC製RC梁試験体の載荷試験を対象とした3次元非線形FEM解析を行った。HFDFRC製RC梁試験体はHFDFRCを25×30×30mmおよび40mm, 定着鋼板を6×30×30mmおよび40mm, 支点・載荷点を25×6×30mmおよび40mmの要素で分割した。HFDFRC製RC梁試験体の要素分割を図-6に示す。各要素は8節点アイソパラメトリックソリッド要素とし, 主筋は付着すべり埋め込み鉄筋要素とした。この要素を使用した場合, 鉄筋はトラス要素としてモデル化され, ソリッド要素とトラス要素は界面要素により結合される¹²⁾。

解析方法は, 最初に自重を加え, 次に図-6中の矢印位置に強制変位を漸増的に加えることとした。なお, 解析コードは汎用構造解析プログラムDIANA9.4.4¹²⁾を使用し, 非線形反復計算法はNewton-Raphson法とした。

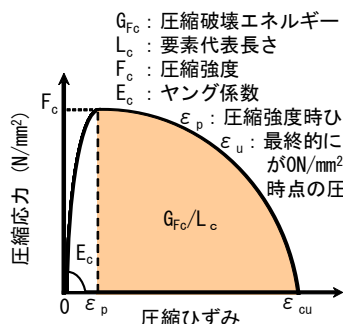


図-7 圧縮応力-ひずみ関係

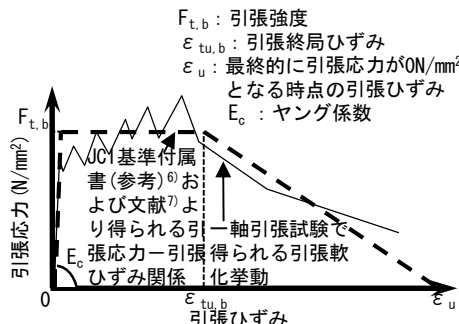


図-8 引張応力-ひずみ関係

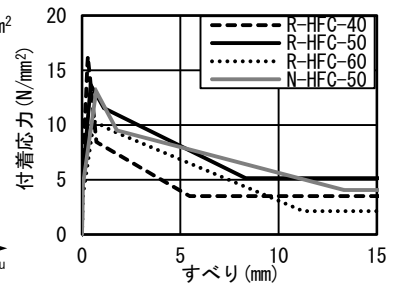


図-9 付着応力-すべり関係

3.2 材料構成則

HFDFRCの破壊現象を扱うため, 圧縮側および引張側に全ひずみに基づく構成則を適用し, ひび割れは, ひび割れ回転を考慮した分布ひび割れモデルとした。

HFDFRCの圧縮側の応力-ひずみ関係は図-7に示すParabolicで表し, 応力下降域で囲まれる面積は G_{F_c} /要素代表長さ(L_c)とした。 E_c , F_c および G_{F_c} は表-2の材料試験結果とし, L_c は要素体積と等価な体積をもつ球の直径とした。また, Vecchio¹³⁾らが提案している横拘束による圧縮強度の増大, Collins¹⁴⁾らが提案しているひび割れたコンクリートの圧縮強度低減を考慮した。

HFDFRCの引張側の応力-ひずみ関係は, 図-8に示すように, 3等分点曲げ試験結果(前掲, 図-2)から導き出される, 筆者らの一人ら⁷⁾が提案している多直線モデルを適用した。

HFDFRCと梁主筋の間には, 引抜き試験により得られた付着応力-すべり関係(前掲, 図-3)より構築した多直線モデルを適用した。本付着すべりモデルの各点にお

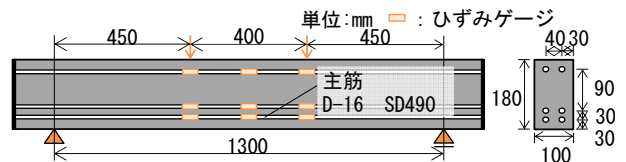


図-4 RC梁試験体

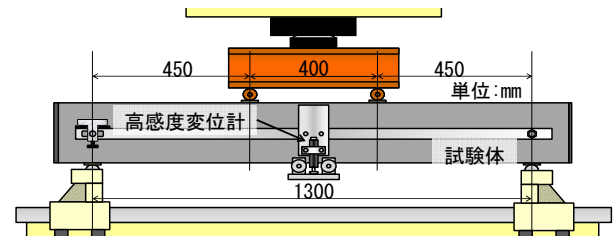


図-5 RC梁載荷試験

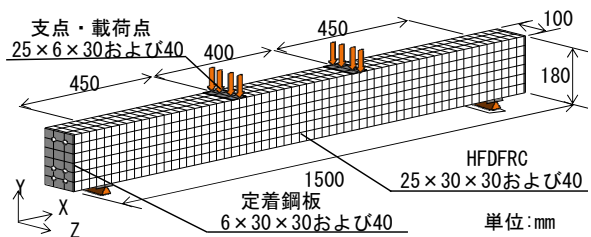


図-6 RC梁試験体の要素分割

ける付着応力は実験結果の平均値とした。また、各点のすべりは、実験により得られた付着応力-すべり関係の形状を考慮し、第1点を付着強度時すべり(S_u)の1/20、第2点を S_u 、第3点を S_u の2.5倍、第4点を第3点の7.5倍とした。梁主筋とHDFRC間に適用した付着応力-すべり関係を図-9に示す。

鉄筋の降伏基準は、Von Mises基準を適用した。鉄筋の降伏強度およびヤング係数は表-1に従い、応力-ひずみ関係をbi-linearモデルとした。なお、第2勾配の剛性はヤング係数の1/100とした。

4. 結果と考察

表-3に、HDFRC製RC梁試験体の載荷試験および解析により得られた最大荷重の一覧を示す。

4.1 HDFRC製RC梁試験体の荷重-変位関係

図-10に、HDFRC製RC梁試験体の載荷試験により得られた荷重-変位関係を示す。なお、図中の各結果における印は最大荷重時を示している(図-12も同様)。いずれの実験結果においても、主筋が降伏せずに最大荷重をむかえ、せん断破壊に至った。

図-10および表-3によれば、R-HDFRC製RC梁試験体の最大荷重は、W/Bの低下に伴い増大しており、R-HFC-40の最大荷重はR-HFC-50の最大荷重に対して15.2%上昇した。また、R-HFC-60の最大荷重は、R-HFC-50の最大荷重に対して9.24%低下した。ここで、一般的なコンクリートを使用したRC梁のせん断耐力を算出する場合に用いられる式(1)に、本材料試験で得られたHDFRCの F_c (前掲、表-2)を代入し、せん断耐力を算出すると、計算せん断耐力は、R-HFC-40で60.9kN、R-HFC-50で49.6kN、R-HFC-60で40.2kN、N-HFC-50で49.1kNとなり、実験により得られた最大荷重は計算せん断耐力に対して、R-HFC-40で1.99倍、R-HFC-50で2.11倍、R-HFC-60で2.37倍、N-HFC-50で2.13倍となり、RC梁試験体にRおよびNを使用したHDFRCを適用することにより、RC梁試験体の最大荷重は大幅に増大している。また、R-HFC-40の計算せん断耐力は、R-HFC-50の計算せん断耐力に対して22.8%上昇し、R-HFC-60の計算せん断耐力は、R-HFC-50の計算せん断耐力に対して19.0%低下した。R-HDFRCの F_c を式(1)に代入して算出した計算せん断耐力は、同一 F_c のコンクリートを使用したRC梁の計算せん断耐力である。即ち、W/Bによる F_c の相違がR-HDFRC製RC梁試験体の最大荷重に及ぼす影響は、一般的なコンクリートを使用した場合{ただし、コンクリートのせん断耐力は、R-HDFRCの F_c を式(1)に代入して算出}と比較して小さい。なお、N-HFC-50の最大荷重は、R-HFC-50の最大荷重と比較して同値となっており、本研究の範囲において、骨材種類の相違

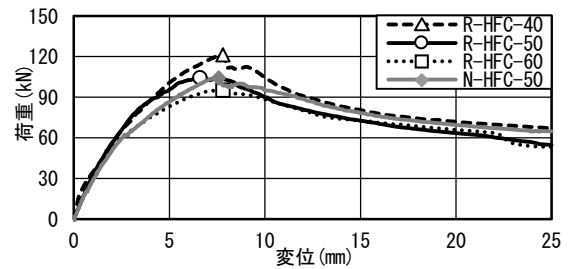


図-10 荷重-変位関係(実験)

表-3 HDFRC製RC梁の最大荷重一覧

試験体名	最大荷重(kN)	
	実験	解析
R-HFC-40	121	143
R-HFC-50	105	129
R-HFC-60	95.3	106
N-HFC-50	105	130

表-4 R-HDFRCC製RC梁の最大荷重および材料特性一覧¹⁵⁾

試験体名	水結合 材比 W/B (%)	RC梁			
		最大 荷重 (kN)	圧縮強度 F_c (N/mm^2)	引張強度 $F_{t,b}$ (N/mm^2)	引張終局 ひずみ $\epsilon_{t,u,b}$
R-HDFRCC-40-56D	40	94.6	50.4	2.25	0.0190
R-HDFRCC-50-56D	50	96.3	35.4	2.25	0.0302
R-HDFRCC-60-56D	60	93.6	28.6	1.88	0.0330

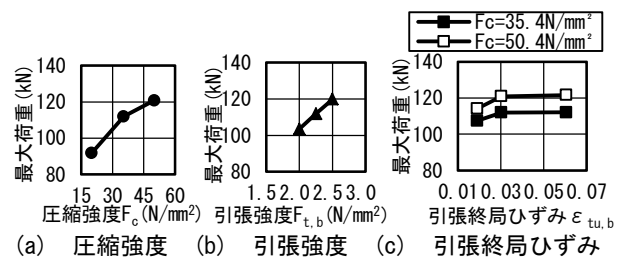


図-11 最大荷重-各種材料特性関係(解析)¹⁵⁾

がHDFRC製RC梁試験体の最大荷重に及ぼす影響は小さい。

ここで、本報と同様の配筋および載荷条件とした、再生細骨材を使用したモルタルベースの高流動DFRCC(以下、R-HDFRCCと略記)製RC梁試験体の載荷試験により得られた既報の結果¹⁵⁾と本報の結果を比較する。既報¹⁵⁾では、R-HDFRCC製RC梁試験体の最大荷重(表-4参照)に大きく影響を及ぼしているR-HDFRCCの材料特性は、 F_c 、 $F_{t,b}$ および $\epsilon_{t,u,b}$ であることを、パラメータ解析によって示した。また、パラメータ解析によって得られたR-HDFRCC製RC梁試験体の最大荷重- F_c 、 $F_{t,b}$ および $\epsilon_{t,u,b}$ 関係も示した(図-11参照)。

前掲、表-3(実験を参照)および表-4によれば、同一W/Bの場合、載荷試験により得られたR-HDFRC製RC梁試験体の最大荷重>R-HDFRCC製RC梁試験体の最大荷重となっている。この材料の相違による最大荷重上昇について、 F_c 、 $F_{t,b}$ および $\epsilon_{t,u,b}$ の相違に着目して説明を試みる。なお、表-4によれば、R-HDFRCC製RC梁試験体の最大荷重は、W/Bの相違により大きく変動せず、

図-11(a)の傾向と相違している。これは、W/Bの相違により、R-HFDFRCCの F_c の他、 $F_{t,b}$ および $\epsilon_{t,b}$ が相違し、これらの値がR-HFDFRCC製RC梁の最大荷重に影響を及ぼしたためである。また、既報の解析¹⁵⁾および本解析では、R-HFDFRCCおよびR-HFDFRCのひび割れを表現するため、ひび割れ回転を考慮したモデルを使用しており、圧縮側構成則および引張側構成則からせん断挙動が決定される。即ち、解析において、R-HFDFRCCとR-HFDFRCの区別は、圧縮側・引張側構成則の相違(特に、 F_c 、 $F_{t,b}$ および $\epsilon_{t,b}$ の相違)により表現される。

表-5に、同一W/Bにおける、1) 荷重試験により得られたR-HFDFRC製RC梁試験体の最大荷重からR-HFDFRCC製RC梁試験体の最大荷重を減じた値(以下、材料の相違による最大荷重上昇と略記)、2) 図-11を使用して算出した、R-HFDFRCとR-HFDFRCCを比較した際の材料特性の相違による最大荷重上昇(以下、材料特性の相違による最大荷重上昇(推定)と略記)および3) 材料特性の相違による最大荷重上昇(推定)の合計を示す。なお、材料特性が図-11の範囲を超える場合は、外挿して最大荷重を算出した。また、 $\epsilon_{t,b}$ の相違による最大荷重上昇は、W/B=40%では $F_c=50.4\text{N/mm}^2$ の結果を、W/B=50および60%では $F_c=35.4\text{N/mm}^2$ の結果を使用して算出した。

表-5によれば、材料の相違による最大荷重上昇と材料特性の相違による最大荷重上昇(推定)の合計の間には、W/B=40%では12.0kN、W/B=50%では4.90kN、W/B=60%では3.29kNの差が生じている。しかし、同一W/Bであれば、R-HFDFRC製RC梁試験体の最大荷重>R-HFDFRCC製RC梁試験体の最大荷重となることを、 F_c 、 $F_{t,b}$ および $\epsilon_{t,b}$ の相違に着目することにより把握できる。

今後、 F_c 、 $F_{t,b}$ および $\epsilon_{t,b}$ の相違がRC梁試験体の最大荷重に及ぼす影響について、さらに詳細に検討を重ねる必要がある。

図-12に、HFDFRC製RC梁試験体の荷重試験を対象とした解析により得られた荷重-変位関係を示す。なお、いずれの解析結果においても、主筋が降伏せず最大荷重をむかえたことを確認しており、実験時の破壊モードを再現できている。

図-12および前掲、表-3によれば、W/Bおよび骨材種類の相違に係らず、解析により得られた最大荷重>実験により得られた最大荷重となっている。しかし、W/Bの低下に伴い、R-HFDFRC製RC梁試験体の最大荷重が増大する傾向を、本解析においても、概ね評価できている。また、N-HFC-50およびR-HFC-50の解析により得られた最大荷重は、ほぼ同値となっており、前述の実験結果と同様の傾向を示している。

4.2 ひび割れ発生状況

表-5 RC梁の最大荷重上昇一覧

W/B (%)	材料の相違による最大荷重上昇(kN)	材料特性の相違による最大荷重上昇(推定)(kN)			合計
		F_c	$F_{t,b}$	$\epsilon_{t,b}$	
40	26.4	1.76	14.0	-1.37	14.4
50	8.70	2.67	16.8	-5.92	13.6
60	1.70	0.261	8.45	-3.72	4.99

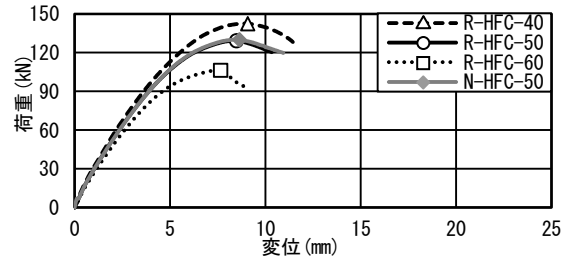


図-12 荷重-変位関係(解析)

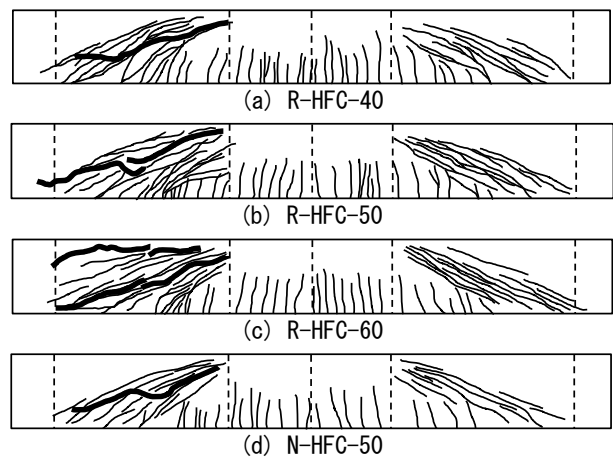


図-13 ひび割れ図(実験)

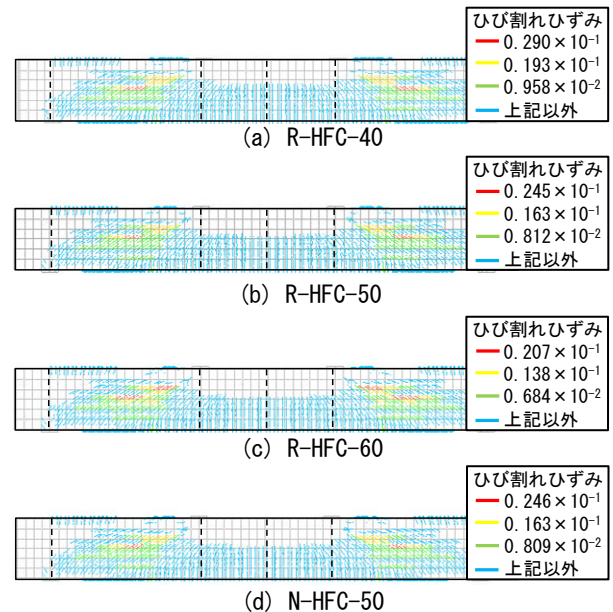


図-14 ひび割れ図(解析)

図-13に、HFDFRC製RC梁試験体の荷重試験により得られたひび割れ発生状況、図-14に同試験を対象とした解析により得られたひび割れ発生状況(ひび割れひずみ)を示す。なお、図-13では最大荷重時のひび割れ発

生状況を示しており、図中の太線は、最終的に、ひび割れが大きく開口した箇所を示している。図-14では解析結果における最大荷重時のひび割れ発生状況を示しており、短線の方は、ひび割れひずみと直交方向(ひび割れ方向)を示している。

まず、実験により得られたひび割れ発生状況(図-13)に着目すると、W/Bおよび骨材種類の相違に係らず、いずれの実験結果においても、梁下部に曲げひび割れが多数発生し、その後荷重の増加に伴い、せん断スパンに発生した多数のひび割れの一部が増大・連結し、せん断破壊に至った。

次に、解析により得られたひび割れ発生状況(図-14)に着目すると、W/Bおよび骨材種類の相違に係らず、いずれの解析結果においても、実験結果と同様に、梁下部に曲げひび割れが多数発生し、その後、荷重の上昇に伴い、せん断スパンに発生した多数の微細ひび割れの一部が拡大・連結し(図中の黒線)、最大荷重をむかえていることがわかる。

以上、HFD-FRC製RC梁試験体の載荷試験により得られたひび割れ発生状況を、本解析においても、概ね再現できている。

5. まとめ

本研究の範囲において、得られた知見を以下に示す。

- 1) R-HFD-FRC製RC梁試験体の最大荷重は、水結合材比の低下に伴い増大するが、水結合材比による圧縮強度の相違が最大荷重に及ぼす影響は、一般的なコンクリートを使用した場合{ただし、コンクリートのせん断耐力は、R-HFD-FRCの圧縮強度を式(1)に代入して算出}と比較して小さい。
- 2) 同一水結合材比であれば、R-HFD-FRC製RC梁試験体の最大荷重>R-HFD-FRC製RC梁試験体の最大荷重となることを、圧縮強度、引張強度および引張終局ひずみの相違に着目することにより把握できる。
- 3) 水結合材比の低下に伴い、R-HFD-FRC製RC梁試験体の最大荷重が増大する傾向を、本解析手法を用いることにより、概ね評価できる。

謝辞

本研究の一部はJSPS科研費(課題番号:15K06307, 代表者:渡部憲)の助成を受けて行われたものである。

参考文献

- 1) 高靱性セメント複合材料の性能評価と構造利用研究委員会:高靱性セメント複合材料を知る・作る・使う,高靱性セメント複合材料の性能評価と構造利用研究委員会報告書,日本コンクリート工学協会,

pp.1-10, 2002.1

- 2) 高強度・高靱性コンクリート利用研究委員会:高強度・高靱性コンクリート利用研究委員会報告書,日本コンクリート工学協会, pp.74-85, 2009.3
- 3) 渡辺 健, 渡部 憲:再生骨材を使用した高流動繊維補強コンクリートの力学特性, コンクリート工学年次論文集, Vol.39, No.1, pp.271-276, 2017.7
- 4) 渡部 憲, 大岡督尚, 白都 滋, 加藤雄介:再生細骨材を使用した高靱性セメント複合材料の圧縮破壊挙動, コンクリート工学年次論文集, Vol.28, No.1, pp.485-490, 2006.7
- 5) 渡部 憲, 大岡督尚, 白井伸明, 森泉和人:各種コンクリートの圧縮軟化挙動, コンクリート工学年次論文集, Vol.22, No.2, pp.493-498, 2000.6
- 6) JCI規準:繊維補強セメント複合材料の曲げモーメント-曲率曲線試験方法(JCI-S-003-2007), コンクリート工学協会, 8pp., 2007
- 7) 渡部 憲, 佐藤史康, 三浦康彰, 渋谷恒太:各種細骨材を使用した高靱性セメント複合材料の引張軟化挙動, コンクリート工学年次論文集, Vol.32, No.1, pp.287-292, 2010.7
- 8) 建材試験センター規格:引抜き試験による鉄筋とコンクリートとの付着強さ試験方法(JSTM C 2101), 建材試験センター, 2005
- 9) 日本工業規格:金属材料引張試験方法(JIS Z 2241), 2011
- 10) 永井 覚, 高稲宜和, 閑田徹志, 丸田 誠:高靱性繊維補強セメント複合材料を用いた梁部材の曲げせん断性状 その2 実験結果の考察, 日本建築学会学術講演梗概集(関東), pp.313-314, 2001.9
- 11) 日本建築学会関東支部:鉄筋コンクリート構造の設計 学びやすい構造設計, 日本建築学会関東支部, pp.275-290, 2002.1
- 12) DIANA Foundation Expertise Center for Computational Mechanics (DIANA version-9): DIANA finite Element Analysis Users Manual, TNO Building and Construction Research.
- 13) Selby, R.G., and Vecchio.F.J.: Three-dimensional Constitutive Relations for Reinforced Concrete. Tech. Rep. 93-02. Univ.Toront, 1993
- 14) Vecchio.F.J., and Collins, M.P.:Compression Response of Cracked Reinforced Concrete, ASCE, pp.3590-3610, 1993
- 15) 白鳥有平, 渡部 憲:再生細骨材を使用した高流動高靱性セメント複合材料製RC梁のせん断耐力に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.39, No.1, pp.241-246, 2017.7