

論文 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

白鳥 有平^{*1}・渡部 憲^{*2}

要旨：本研究では、材齢および水結合材比の異なる、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材齢および水結合材比の影響について検討した。その結果、材齢および水結合材比の相違に伴うRC梁試験体の最大荷重の変動は、再生細骨材を使用した高流動高靱性セメント複合材料の材料特性(主として圧縮強度、引張強度、引張終局ひずみ)の相違を把握すれば、概ね、解析的に説明可能である等の知見を得た。

キーワード：再生細骨材、高靱性セメント複合材料、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性能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考えられる。

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進するためにも、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、DFRCCのワーカビリティの改善および再生細骨材の用途拡大を目的に、混和材としてフライアッシュ、細骨材として再生細骨材を使用した高流動DFRCC(以下、HFDFRCCと略記)の材料特性について検討を行った。その結果、再生細骨材を使用したHFDFRCC(以下、R-HFDFRCC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-HFDFRCC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-HFDFRCC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-HFDFRCC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。

また、R-HFDFRCCにはフライアッシュを使用しており、一般的に、フライアッシュを使用したコンクリートは、長期的な強度の増進が大きいと、強度管理材齢を56および91日のような長期材齢としている⁴⁾。そのため、R-HFDFRCC製RC部材の破壊挙動に関する長期材齢での検討が重要である。

そこで、本研究では、材齢および水結合材比(以下、W/Bと略記)の相違がR-HFDFRCC製RC梁のせん断耐力に及ぼす影響を検討するため、材齢およびW/Bの異なるR-HFDFRCC製RC梁試験体の載荷試験を行った。また、

表-1 HFDFRCC製RC梁試験体を使用したHFDFRCCおよび主筋の概要

試験体名	HFDFRCCの配合			主筋(D16, SD490)			
	水結合材比 W/B (%)	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-HFDFRCC-40-56D	40	40	3	5.88	511	2607	197
R-HFDFRCC-50-28D							
R-HFDFRCC-50-56D	50	65					
R-HFDFRCC-50-91D							
R-HFDFRCC-60-56D	60	90					
R-HFDFRCC-50-56D	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)

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-HFDFRCC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-HFDFRCC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. 実験方法

本研究では，表－1に示す，材齢およびW/Bを検討項目とした，R-HFDFRCCの材料試験およびR-HFDFRCC製RC梁試験体の載荷試験を実施した。再生細骨材(R)は，中目(最大骨材寸法:2.5mm，表乾密度:2.57g/cm³，吸水率:2.89%，粗粒率:2.61)と細目(最大骨材寸法:0.6mm，表乾密度:2.53g/cm³，吸水率:4.46%，粗粒率:1.16)を混合使用した。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-HFDFRCCのW/Bは40，50および60%とした。R-HFDFRCCの材料試験用試験体およびR-HFDFRCC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840°DD，1680°DDおよび2730°DD{材齢28日(28D)，56日(56D)および91日(91D)に相当}となるまで湿布養生し，その後，各試験を実施した。繊維はPVA繊維(径:0.2mm，長さ:18mm，弾性係数:27kN/mm²，引張強度:975N/mm²)を使用し，繊維体積混入率(V_f)を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。なお，天然細骨材{N，砕砂(最大骨材寸法:2.5mm，表乾密度:2.66g/cm³，吸水率:1.01%，粗粒率:2.86)と山砂(最大骨材寸法:1.2mm，表乾密度:2.59g/cm³，吸水率:1.50%，粗粒率:1.40)を混合使用}を使用したHFDFRCC(N-HFDFRCC)製RC梁試験体(W/B=50%のみ)についても合わせて検討を行った。

2.1 材料試験

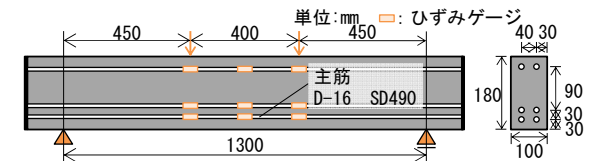
本研究では，HFDFRCC製RC梁試験体の強度管理，並びに材料構成則を特徴づける破壊力学パラメータを抽出するため，HFDFRCCの1軸圧縮試験，3等分点曲げ試験，引抜き試験および鉄筋の引張試験を実施した。

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。

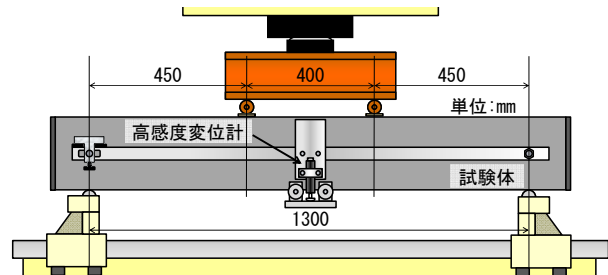
1軸圧縮試験は，試験方法を文献⁵⁾に準じ，計測項目を荷重，コンプレッソメーターによる試験体中央部の縦・

表－2 HFDFRCC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)	ポアソン比 ν	圧縮破壊エネルギー G_{Fc} (N/mm)	曲げ強度 $F_{t,b}$ (N/mm ²)	引張強度 $F_{t,b}$ (N/mm ²)	引張終局ひずみ $\epsilon_{tu,b}$	引抜き強度 τ_{max} (N/mm ²)
R-HFDFRCC-40-56D	50.4	19.3	0.229	64.7	7.15	2.25	0.0190	17.1
R-HFDFRCC-50-28D	29.3	13.9	0.216	49.8	6.27	2.05	0.0289	12.9
R-HFDFRCC-50-56D	35.4	15.9	0.207	59.7	6.52	2.25	0.0302	15.8
R-HFDFRCC-50-91D	45.5	17.1	0.217	67.4	6.43	2.25	0.0315	14.7
R-HFDFRCC-60-56D	28.6	14.1	0.233	53.6	6.34	1.88	0.0330	12.3
N-HFDFRCC-50-56D	38.3	15.4	0.209	49.2	6.29	2.12	0.0231	12.8
								0.205
								0.449
								0.357
								0.273
								0.418
								0.353



図－1 RC梁試験体



図－2 RC梁載荷試験

横ひずみおよび高感度変位計による載荷盤間変位とした。なお，圧縮破壊エネルギー(G_{Fc})は，文献⁵⁾，⁶⁾に示す手法により算出した(文献⁵⁾，⁶⁾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⁷⁾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⁷⁾附属書(参考)を基に，文献⁸⁾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⁹⁾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¹⁰⁾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鉄筋およびHFDFRCCの材料特性一覧を表－1および2に示す。

2.2 RC梁載荷試験

HFDFRCC製RC梁試験体の概要を図－1に，載荷試験の概要を図－2にそれぞれ示す。HFDFRCC製RC梁試験体は，文献¹¹⁾，¹²⁾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)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、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。荷重は、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¹³⁾等々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、R-HFDFRCC製RC梁試験体の荷重試験を対象とした3次元非線形FEM解析を行った。R-HFDFRCC

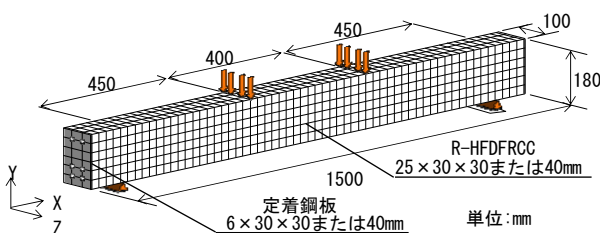


図-3 RC梁試験体の要素分割

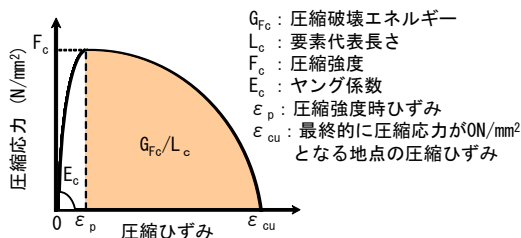


図-4 圧縮応力-ひずみ関係

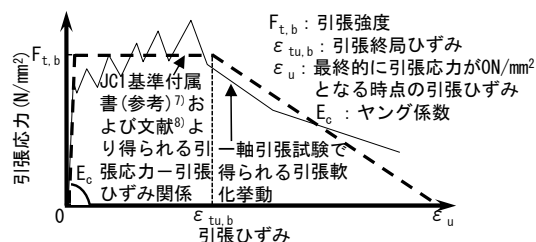


図-5 引張応力-ひずみ関係

製RC梁試験体はR-HFDFRCCを25×30×30mmおよび40mm、定着鋼板を6×30×30mmおよび40mmの要素で分割した。R-HFDFRCC製RC梁試験体の要素分割を図-3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¹⁴⁾。

解析方法は、最初に自重を加え、次に図-3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DIANA9.4.4¹⁴⁾を使用し、非線形反復計算法はNewton-Raphson法とした。

3.2 材料構成則

R-HFDFRCC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。

R-HFDFRCCの圧縮側の応力-ひずみ関係は図-4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。 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、Vecchio¹⁵⁾らが提案している横拘束による圧縮強度の増大、Collins¹⁶⁾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。

R-HFDFRCCの引張側の応力-ひずみ関係は、図-5に示すように、筆者らの一人ら⁸⁾が提案している多直線モデルを適用した。

R-HFDFRCC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R-HFDFRCC間に適用した付着応力-すべり関係を図-6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。

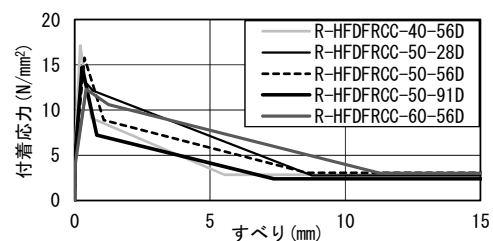
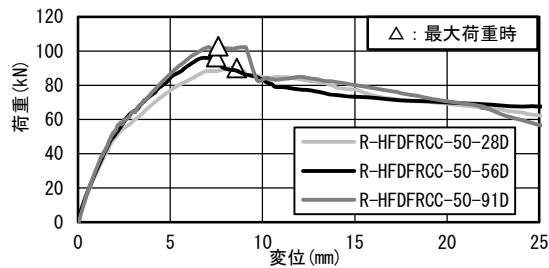
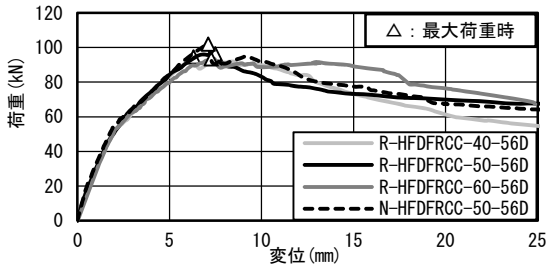


図-6 付着応力-すべり関係

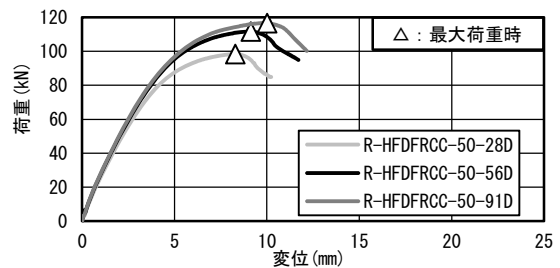


(a) 材齢の影響

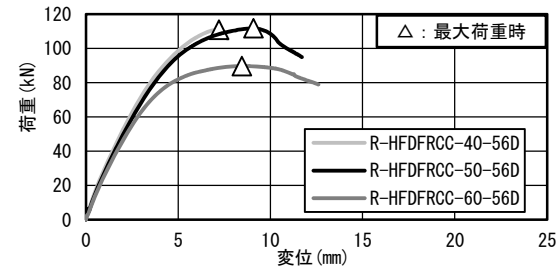


(b) W/Bの影響

図-7 荷重－変位関係(実験)



(a) 材齢の影響



(b) W/Bの影響

図-8 荷重－変位関係(解析)

表-3 HFDFRCC製RC梁の最大荷重一覧

試験体名	最大荷重(kN)	
	実験	解析
R-HFDFRCC-40-56D	94.6	111
R-HFDFRCC-50-28D	90.0	98.4
R-HFDFRCC-50-56D	96.3	112
R-HFDFRCC-50-91D	103	117
R-HFDFRCC-60-56D	93.6	89.8
N-HFDFRCC-50-56D	102	

4. 結果と考察

表-3に、HFDFRCC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 HFDFRCC製RC梁試験体の荷重－変位関係

図-7に、HFDFRCC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-7(b)中には、N-HFDFRCC製RC梁試験体(N-HFDFRCC-50-56D)の結果も示してある。また、図中の各結果における三角印は最大荷重時を示している(図-8も同様)。いずれの実験結果においても、主筋が降伏せず最大荷重をむかえ、せん断破壊に至った。

まず、材齢の影響{図-7(a)および表-3}について注目すると、R-HFDFRCC-50-56Dの最大荷重は、R-HFDFRCC-50-28Dの最大荷重に対して7.0%上昇した。また、R-HFDFRCC-50-91Dの最大荷重はR-HFDFRCC-50-28Dの最大荷重に対して14.4%上昇した。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R-HFDFRCC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-HFDFRCC-50-28Dで40.6kN、R-HFDFRCC-50-56Dで45.9kN、R-HFDFRCC-50-91Dで54.5kN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-HFDFRCC-50-28Dで2.22倍、R-HFDFRCC-50-56Dで2.16倍、R-HFDFRCC-50-91Dで2.10倍となり、RC梁試験体にR-HFDFRCC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-HFDFRCC-50-56Dの計算せん断耐力は、R-HFDFRCC-50-28Dの計算せん断耐力に対して13.1%上昇し、R-HFDFRCC-50-91Dの計算せん断耐力は、R-HFDFRCC-50-28Dの計算せん

断耐力に対して34.2%上昇した。即ち、材齢による F_c の相違がR-HFDFRCC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と比較して小さい。

次に、W/Bの影響{図-7(b)および表-3}について注目すると、R-HFDFRCC-60-56Dの最大荷重は、R-HFDFRCC-50-56Dの最大荷重に対して2.88%低下した。一方、R-HFDFRCC-40-56Dは、R-HFDFRCC-50-56Dと比較して、W/Bが低いにも係らず、R-HFDFRCC-40-56Dの最大荷重は、R-HFDFRCC-50-56Dの最大荷重に対して1.80%低下した。前掲、表-2によれば、強度管理用試験体により得られた F_c は、R-HFDFRCC-40-56D>R-HFDFRCC-50-56Dとなっており、計算せん断耐力は、R-HFDFRCC-40-56Dで58.7kN、R-HFDFRCC-50-56Dで45.9kNとなる。文献¹¹⁾によれば、複数微細ひび割れ型繊維補強セメント複合材料製RC部材のせん断耐力を算出する場合、複数微細ひび割れ型繊維補強セメント複合材料(一軸引張試験により求めた引張終局ひずみの平均値が0.5%以上等の条件)の設計引張降伏強度が考慮される。前掲、表-2によれば、R-HFDFRCC-40-56DとR-HFDFRCC-50-56Dの F_{tb} は同値である。しかし、強度管理用試験体により得られた ϵ_{tb} は、R-HFDFRCC-40-56D<R-HFDFRCC-50-56Dとなっており、 F_c および F_{tb} 以外に、R-HFDFRCCの引張靱性がR-HFDFRCC製RC梁の最大荷重に影響を及ぼしたと思われる。なお、N-

HFD FRCC-50-56Dの最大荷重は、R-HFD FRCC-50-56Dと比較して若干高くなっている。文献¹⁷⁾によれば、天然細骨材を使用したDFRCC製RC梁試験体の最大荷重は、再生細骨材を使用した場合と比較して若干高くなっている。HFD FRCC製RC梁試験体についても、DFRCC製RC梁試験体と同様の傾向となることがわかった。

図-8に、R-HFD FRCC製RC梁試験体の荷重変位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、主筋が降伏せずに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。

まず、材齢の影響{図-8(a)および表-3}について注目すると、前述の実験により得られた最大荷重と比較して高くなっている。しかし、材齢の経過に伴い、R-HFD FRCC製RC梁試験体の最大荷重が増大する傾向を、本解析においても評価できている。

次に、W/Bの影響{図-8(b)および表-3}について注目すると、前述の実験により得られた最大荷重と比較して、R-HFD FRCC-40-56Dでは高く、R-HFD FRCC-60-56Dでは若干低くなっている。しかし、R-HFD FRCC-40-56Dの最大荷重がR-HFD FRCC-50-56Dと比較して低下する傾向を、本解析においても評価できている。

4.2 各種材料特性がR-HFD FRCC製RC梁試験体の

最大荷重に及ぼす影響

前述4.1を踏まえ、 F_c 、 G_{Fc} 、 $F_{t,b}$ 、 $\epsilon_{tu,b}$ 、付着強度(τ_{max})および付着強度時すべり(S_u)が、R-HFD FRCC製RC梁試験体の最大荷重に及ぼす影響について、解析的に検討を行った。解析要因の一覧を表-4に示す。解析では、R-HFD FRCC製RC梁試験体(R-HFD FRCC-50-56D)の荷重試験を対象とした解析を基準として、 F_c 、 G_{Fc} 、 $F_{t,b}$ 、 $\epsilon_{tu,b}$ 、 τ_{max} および S_u をパラメータとした。なお、各パラメータの変動範囲は、前掲、表-2に示した、材齢およびW/Bの相違するR-HFD FRCCの材料特性を参考に設定した。

図-9に、解析により得られた最大荷重と各解析パラメータとの関係を示す。

まず、図-9(a)によれば(Case-1, R-HFD FRCC-50-56DおよびCase-2), 最大荷重は、 F_c が20.0~35.4N/mm²に増加すると20.1kN、 F_c が35.4~50.4N/mm²に増加すると9.08kN増大している。

次に、図-9(b), (e)および(f)によれば、最大荷重は、 G_{Fc} が55.0~65.0N/mm、 τ_{max} が10.0~20.0N/mm²および S_u が0.200~0.500mmの範囲において、 G_{Fc} 、 τ_{max} および S_u の相違に係らず大きく変動していない。

続いて、図-9(c)によれば(Case-5, R-HFD FRCC-50-56DおよびCase-6), 最大荷重は、 $F_{t,b}$ が2.00~2.50N/mm²の範囲において、 $F_{t,b}$ の増加に伴い直線的に増大している。 $F_{t,b}$ が2.00~2.50N/mm²に増加すると、最大荷重は、

表-4 解析要因一覧

解析要因	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)	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-HFD FRCC-50-56D	35.4	15.9	59.7	2.25	0.0302	15.8	0.357
Case-1	20.0						
Case-2	50.4						
Case-3							
Case-4				2.00	0.0190	10.0	0.200
Case-5							
Case-6				2.50	0.0604	20.0	0.500
Case-7							
Case-8				2.25	0.0302	15.8	0.357
Case-9							
Case-10							
Case-11							
Case-12							
Case-13							
Case-14	50.4						

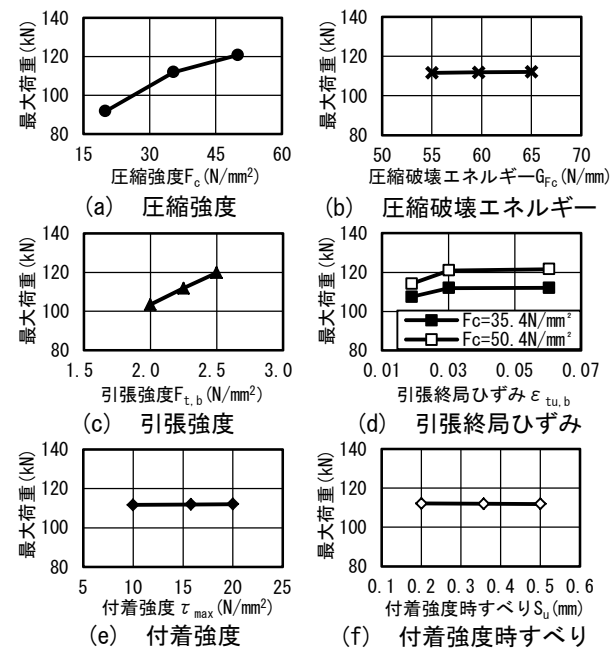


図-9 最大荷重と各解析パラメータとの関係

16.4kN増大した。

さらに、図-9(d)の $F_c=35.4\text{N/mm}^2$ とした場合の結果によれば(Case-7, R-HFD FRCC-50-56DおよびCase-8), 最大荷重は、 $\epsilon_{tu,b}$ が0.0190~0.0302に増加すると4.45kN増大した。また、 $F_c=50.4\text{N/mm}^2$ とした場合の結果によれば(Case-13, Case-2およびCase-14), 最大荷重は、 $\epsilon_{tu,b}$ が0.0190~0.0302に増加すると6.86kN増大した。 $\epsilon_{tu,b}$ が最大荷重に及ぼす影響は、基準とする F_c により相違していることがわかる。一方、 $\epsilon_{tu,b}$ が0.0302~0.0604に倍増しても、 F_c の相違に係らず、最大荷重は、ほとんど増大していない。

以上より、本研究の範囲において、R-HFD FRCC製RC梁試験体の最大荷重に大きく影響を及ぼしているR-HFD FRCCの材料特性は、 F_c および $F_{t,b}$ である。また、R-HFD FRCCの $\epsilon_{tu,b}$ は、0.0190~0.0302の範囲において、R-HFD FRCC製RC梁試験体の最大荷重に影響を及ぼす。

即ち、材齢およびW/Bの相違に伴うR-HFD FRCC製RC

梁試験体の最大荷重の変動は、R-HFDFRCCの材料特性の相違(主として圧縮強度、引張強度、引張終局ひずみ)を把握すれば、概ね、解析的に説明可能である。

なお、追加解析として、R-HFDFRCC製RC梁試験体(R-HFDFRCC-50-56D)の載荷試験を対象とした解析を基準として、ヤング係数(E_c)およびポアソン比(ν)をパラメータとした解析を行った。その結果、最大荷重は、 E_c が15.9～19.3kN/mm²に増加すると1.30kN、 ν が0.207～0.229に増加すると2.58kN低下し、これらの値も、多少、最大荷重に影響を及ぼしていることがわかった。

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) 材齢の経過に伴い、R-HFDFRCC製RC梁試験体の最大荷重は増加し、その傾向を、本解析においても評価できた。
- 2) 水結合材比を40%としたR-HFDFRCC製RC梁試験体の最大荷重は、水結合材比を50%とした場合と比較して低下し、その傾向を、本解析においても評価できた。
- 3) R-HFDFRCCの引張終局ひずみは、0.0190～0.0302の範囲において、R-HFDFRCC製RC梁試験体の最大荷重に影響を及ぼす。
- 4) 材齢および水結合材比の相違に伴うR-HFDFRCC製RC梁試験体の最大荷重の変動は、R-HFDFRCCの材料特性(主として圧縮強度、引張強度、引張終局ひずみ)の相違を把握すれば、概ね、解析的に説明可能である。

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) 大津 直人、渡部 憲：再生細骨材を使用した高流動繊維補強モルタルに関する基礎的研究、コンクリート工学年次論文集、Vol.38, No.1, pp.357-362、2016.7
- 4) 日本建築学会：フライアッシュを使用するコンク

リートの調合設計・設計指針・同解説、日本建築学会、204pp., 2007.10

- 5) 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
- 6) 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
- 7) JCI規準：繊維補強セメント複合材料の曲げモーメントー曲率曲線試験方法(JCI-S-003-2007)、コンクリート工学協会、8pp., 2007
- 8) 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
- 9) 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
- 10) 日本工業規格：金属材料引張試験方法(JIS Z 2241)、2011
- 11) 複数微細ひび割れ型繊維補強セメント複合材料指針作成小委員会：複数ひび割れ型繊維補強セメント複合材料設計・施工指針(案)、土木学会、pp.30-32、2007.3
- 12) 永井 覚、高稻 宜和、関田 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
- 13) 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
- 14) DIANA Foundation Expertise Center for Computational Mechanics (DIANA version-9): DIANA finite Element Analysis Users Manual, TNO Building and Construction Research.
- 15) Selby, R.G., and Vecchio.F.J.: Three-dimensional Constitutive Relations for Reinforced Concrete. Tech. Rep. 93-02. Univ.Toront, 1993
- 16) Vecchio.F.J., and Collins, M.P.: Compression Response of Cracked Reinforced Concrete, ASCE, pp.3590-3610, 1993
- 17) 河村 準、渡部 憲、大津 直人：再生細骨材を使用した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 (その1) 実験概要および結果、日本建築学会学術講演梗概集(関東)、pp.205-206、2015.9