

論文 再生骨材を使用した高靱性AAMsコンクリートの長期性状およびRC梁への適用性

王 ハクブン^{*1}・渡部 憲^{*2}・中出 敬大^{*3}

要旨：本研究では、再生骨材を使用した高靱性AAMsコンクリートの材齢91日までの強度発現および材齢42日程度までの収縮特性について検討を行った。また、再生骨材を使用した高靱性AAMsコンクリートをRC梁に適用した場合の補強効果についても検討を行った。その結果、繊維無混入コンクリート製RC梁試験体と比較して、再生骨材を使用した高靱性AAMsコンクリートを適用することにより、著しく最大荷重および最大荷重以降の破壊靱性が改善される等の知見が得られた。

キーワード：再生骨材, 高靱性AAMsコンクリート, 強度発現, 収縮ひずみ, RC梁

1. はじめに

鉄筋コンクリート(以下、RCと略記)構造物の主材料であるコンクリートは、圧縮強度(F_c)と比較して引張強度が低く、打込み後の硬化過程における発熱や収縮の影響でひび割れが生じる。このような欠点を改善する一手法として、短繊維をコンクリートに混入した繊維補強コンクリートの開発が行われてきた。その中で、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)が開発された¹⁾。著者らの1人も、これまでに、DFRCC普及のため、再生骨材(R)を使用した高流動高靱性コンクリートについて検討を行ってきた(例えば、²⁾。

ところで現在、地球環境問題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、セメント製造時に発生するCO₂排出量の削減を目的に、ジオポリマー(GP)を含むアルカリ活性材料(以下、AAMsと略記)への関心が高まっている。AAMsとは、シリカ、アルミニウム、カルシウム成分を多く含む粉体(活性フィラー)と、水ガラス(WG)などのアルカリシリカ溶液の縮重合反応による固化体である³⁾。

AAMs普及のため、セメント代替材料としての性能検証に関する研究は、近年、精力的に実施されているが、セメントと比較してAAMsの歴史は浅く、解決すべき課題は少なくない。著者らのこれまでの知見を踏まえ、DFRCCの性能を有するAAMsが実現できれば、普及のための大きな一助になるとと思われる。

このような背景から、昨年度は、Rを使用した繊維補強AAMsコンクリートの材料特性について検討を行った⁴⁾。その結果、繊維補強AAMsコンクリートは、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、Rを使用した高靱性AAMsコンクリート(以下、R-DFRAMCと略記)が実現可能であることを示

した。このような材料をRC構造物の主要構造部等に適用しようとする場合、R-DFRAMCの強度発現や収縮特性等の長期性状およびRC部材への適用性について十分検討しておく必要がある。

そこで、本研究では、材齢91日までのR-DFRAMCの強度発現および材齢42日程度までのR-DFRAMCの収縮特性について検討を行った。また、R-DFRAMCをRC梁に適用した場合の補強効果についても検討を行った。

2. R-DFRAMCの使用材料および配(調)合概略

2.1 使用材料

使用したRの物性一覧を表-1に示す。なお、表中のR1は3および4章で、R2は5章で使用したRである。R1の再生細骨材の中目と細目の質量混合比は、3:7とした(ただし、WG体積混入率(V_{WG} , R-DFRAMC全体積中の混入率)=15%とした場合は7:3とした)。R2の再生細骨材の中目と細目の質量混合比は、1:9とした(ただし、 V_{WG} =15%とした場合は9:1とした)。結合材は、フライアッシュ(II種, 2.29~2.37g/cm³)および高炉スラグ微粉末(4000, 密度:2.89g/cm³)を質量混合比3:7として使用した。練混ぜ水(W)は、NaOH水溶液(質量分率:30.6%)を水道水で希釈し、水溶液中のNaOHモル濃度を2mol/Lとしたものを使用した。なお、Wとは別に、アルカリシリカ溶液として、WG(2号, 密度:1.46g/cm³)も併せて使用した。繊維はPVA繊維(V, 径:0.2mm, 長さ:18mm, 弾性係

表-1 骨材の物性一覧

骨材種類		最大寸法 (mm)	表乾密度 (g/cm ³)	絶乾密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)	粗粒率	
R1	再生粗骨材	10	2.57	2.50	2.53	5.90	
	再生細骨材	中目	2.5	2.57	2.48	3.57	2.68
		細目	0.6	2.56	2.46	4.12	0.853
R2	再生粗骨材	10	2.53	2.43	3.98	5.92	
	再生細骨材	中目	2.5	2.51	2.40	4.60	2.62
		細目	0.6	2.50	2.38	5.06	0.982

*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 建築都市学部建築学科教授 博士(工学) (正会員)

*3 東栄住宅(株) 戸建事業本部造成部管理課 修士(工学) (正会員)

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:1262N/mm²)を使用した。また, 水溶性高分子エーテル系分離低減剤およびポリカルボン酸系高性能AE減水剤も適宜使用した。

2.2 配(調)合の概略

R-DFRAMCの配(調)合の概略を, 表-2に示す。

強度発現試験用のR-DFRAMCは, 骨材としてR1を使用し, 水結合材比(W/B)=50%, 細骨材率(s/a)=85%, V_{WG}(前述の通り, R-DFRAMC全体積中の混入率)=5, 10および15%, 繊維体積混入率(V_f)=3%および繊維体積混合比(V:S)=7:3とした。なお, 強度発現試験用のR1-DFRAMC-VWG10(V_{WG}=10%)については既報⁴⁾の結果を引用するため, 配(調)合は同じであるが骨材物性に差異がある。

収縮試験用のR-DFRAMCは, 骨材としてR1を使用し, W/B=50%, s/a=85%, V_{WG}=10%, V_f=3%およびV:S=7:3および10:0とした。なお, V:S=10:0とした高靱性AAMsモルタル(以下, R-DFRAMMと略記)およびV_f=0%とした繊維無混入AAMsコンクリートについても検討を行った。

RC梁試験体の荷重試験用のR-DFRAMCは, 骨材としてR2を使用し, W/B=50%, s/a=85%, V_{WG}=5, 10および15%, V_f=3%およびV:S=7:3とした。なお, V:S=10:0としたR-DFRAMMについても検討を行った。

本研究における目標スランブフローは, R-DFRAMC

表-2 R-DFRAMCの配(調)合の概略
(a) 強度発現試験および収縮試験用配(調)合

配(調)合名	骨材種類	水結合材比 W/B (%)	細骨材結合材比 S/B (%)	細骨材率 s/a	水ガラス体積混入率 V _{WG} (vol.%)	繊維体積混入率 V _f (%)	繊維体積混合比 (V:S)	試験種類	
R1-DFRAMC-VWG5	R1	50	170	85	5	3	7:3	強度	
R1-DFRAMC-VWG10					10				
R1-DFRAMC-VWG15					15				
R1-DFRAMC-VWG10-V10					10				
R1-DFRAMM-VWG10-V10					100				10:0
R1-AMC-VWG10					85				

(b) RC梁の荷重試験用配(調)合

配(調)合名	骨材種類	水結合材比 W/B (%)	細骨材結合材比 S/B (%)	細骨材率 s/a	水ガラス体積混入率 V _{WG} (vol.%)	繊維体積混入率 V _f (%)	繊維体積混合比 (V:S)
R2-DFRAMC-VWG5	R2	50	170	85	5	3	7:3
R2-DFRAMC-VWG10					10		
R2-DFRAMC-VWG15					15		
R2-DFRAMM-VWG10-V10					210		

表-3 強度試験結果

試験体名	圧縮強度 F _c (N/mm ²)			ヤング係数 E (kN/mm ²)		
	7日	28日	91日	7日	28日	91日
R1-DFRAMC-VWG5	17.1	24.2	29.3	15.6	17.7	18.2
R1-DFRAMC-VWG10 ⁴⁾	29.1	39.8	50.7	14.6	18.6	20.3
R1-DFRAMC-VWG15	30.6	40.9	45.9	10.0	12.9	14.7

で50±7.5cm, R-DFRAMMで60±7.5cmとした。なお, 練混ぜは既報⁴⁾に示す方法で行い, 繊維無混入AAMsコンクリートについては, スランブフローの調整は行わないこととした。

3. R-DFRAMCの強度発現

3.1 実験概要

本研究では, 表-2(a)に示すR-DFRAMCの材齢91日までの1軸圧縮試験を行った。

1軸圧縮試験は, 試験方法を文献⁶⁾に準じて行い, 荷重は, 2000kN耐圧試験機を使用して行った。試験体は100φ×200mmの円柱試験体とし, 各水準6体作製した。計測項目は, 荷重, コンプレッソ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。各計測データはデータロガーを使用して取り込んだ。試験体は, 打込み後5日(湿布養生)で脱型し, 試験時(材齢7, 28および91日)まで恒温水槽内での標準養生とした。

3.2 強度発現試験結果

表-3, 図-1および2に, 1軸圧縮試験により得られた, 材齢91日までのR-DFRAMCの強度試験結果を示す。なお, 図表中には, 既報のR1-DFRAMC-VWG10の結果⁴⁾も示している。

図-1および2によれば, 材齢91日までのR-DFRAMCのF_cおよびヤング係数(E)は, V_{WG}の相違に係わらず材齢の経過に伴い増大している。なお, 材齢28日のF_cは, 既報⁴⁾ではR1-DFRAMC-VWG10が39.8N/mm², R1-DFRAMC-VWG15が43.1N/mm²であった。しかし, 本報では表-3に示す通り, 材齢28日におけるR1-DFRAMC-VW

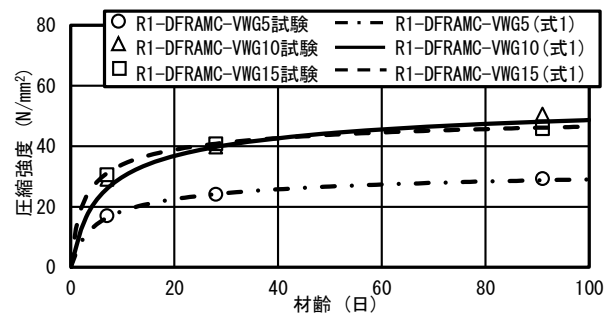


図-1 圧縮強度-材齢関係

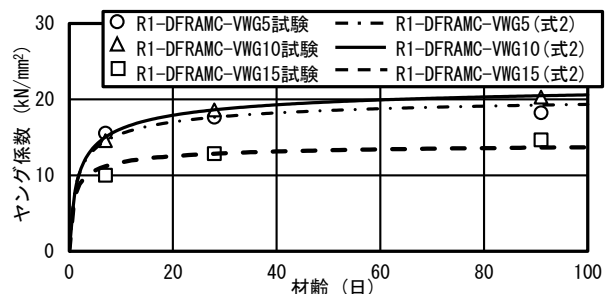


図-2 ヤング係数-材齢関係

G15の F_c は40.9N/mm²となり、R1-DFRAMC-VWG10との差は縮小し、材齢91日では両者の値が逆転した。既報⁴⁾では、所要の F_c を得ようとする場合、 V_{WG} の調整が効果的であるとしたが、 $V_{WG}=10\%$ を超える範囲では、 F_c の発現が頭打ちとなる傾向にあるため、注意を要する。また、R1-DFRAMC-VWG15のEがR1-DFRAMC-VWG5およびR1-DFRAMC-VWG10と比較して低下しているのは、既報⁴⁾の通り、目標スランプフローを達成するため、他の V_{WG} と比較して細骨材結合材比(S/B)を下げたことにより細骨材量や粗骨材量が少なくなったことが一因であると考えている。

ここで、材齢91日までのR-DFRAMCの F_c 発現に関して、CEB-FIP Model Code 1990⁷⁾(以下、MC90と略記)をベースとした近似式による近似を試みる。

MC90ベース式:

$$F_c(t) = \exp \left[s \left\{ 1 - (28/t)^{1/2} \right\} \right] \cdot F_c(28) \quad (1)$$

$$E(t) = \sqrt{\exp \left[s \left\{ 1 - (28/t)^{1/2} \right\} \right]} \cdot E(28) \quad (2)$$

ここに、t:材齢(日)、 $F_c(28)$ および $E(28)$:材齢28日における圧縮強度(N/mm²)およびヤング係数(kN/mm²)、s:材料定数である。

表-4に、式(1)および(2)の材料定数を示す。また、1軸圧縮試験結果に対する式(1)および(2)の近似誤差も表-4に示す。なお、図-1および図-2中に、式(1)および(2)による近似結果を示す。

表-4によれば、材齢91日までの試験結果に対する式(1)による F_c の近似誤差は-10.8~+1.40%、式(2)によるEの近似誤差は-7.06~+11.6%となっている。材齢91日までのR-DFRAMCの F_c およびEは、式(1)および(2)により概ね近似可能である。ただし、前述の通り、 $V_{WG}=10\%$ を超える範囲では注意を要する。

4. R-DFRAMCの収縮特性

4.1 実験概要

本研究では、表-2(a)に示すR-DFRAMCの材齢42日程度までの収縮試験を行った。

表-4 材料定数および近似誤差

試験体名	材料定数	試験結果に対する式(1)および式(2)の近似誤差(%)					
		圧縮強度(F_c)			ヤング係数(E)		
		s	7日	28日	91日	7日	28日
R1-DFRAMC-VWG5	0.390	-4.25	0.000	-1.92	-6.66	0.000	5.64
R1-DFRAMC-VWG10	0.427	-10.8	0.000	-4.98	3.11	0.000	0.933
R1-DFRAMC-VWG15	0.274	1.40	0.000	0.622	11.6	0.000	-7.06

表-5 各収縮ひずみ一覧

試験体名	収縮ひずみ(μ)	
	7日	乾燥7日 乾燥28日 乾燥35日
R1-DFRAMC-VWG10	-424	-998 -1733 -1846
R1-DFRAMC-VWG10-V10	-509	-1135 -2037 -2181
R1-DFRAMM-VWG10-V10	-712	-1222 -2295 -2476
R1-AMC-VWG10	-759	-1122 -2132 -2301

収縮試験は、以下に示す手法により行った²⁾。試験体は、100×100×400mmの角柱試験体とし、各水準2体作製した。計測項目は、試験体内部の中央に設置した検長100mmの埋込み型ひずみゲージによる試験体長手方向の収縮ひずみ(R1-DFRAMC-VWG10のみ熱電対を設置)とした。型枠の内側と試験体との摩擦抵抗を低減するため、型枠の内側にはテフロンシート(厚さ:0.1mm)を2枚重ねて敷設し、その間にシリコンオイルを塗布した。試験体は、打込み後5日(湿布養生)で脱型した。その後、恒温水槽内での標準養生とし、材齢7日で恒温恒湿室内(20°C, 60%RH)での空中養生とした。各計測データはデータロガーを使用して取り込んだ。

4.2 収縮試験結果

収縮試験により得られたR-DFRAMCの各収縮ひずみの一覧を表-5に、収縮ひずみの経時変化を図-3に、乾燥収縮ひずみの経時変化を図-4に示す。なお、収縮ひずみは打込み後を、乾燥収縮ひずみは乾燥開始時を初期値としたひずみである。

まず、表-5および図-3によれば、乾燥開始前(湿布養生の後、恒温水槽内での標準養生)にも係わらず、いずれの結果も収縮が進行しており、材齢7日(乾燥開始直前)における収縮ひずみは、R1-AMC-VWG10(繊維無混入コンクリート:759 μ)>R1-DFRAMM-VWG10-V10(V混入モルタルベース:712 μ)>R1-DFRAMC-VWG10-V10(V混入コンクリートベース:509 μ)>R1-DFRAMC-VWG10(VおよびS混入コンクリートベース:424 μ)であり、R1-DFRAMM-VWG10-V10とR1-DFRAMC-VWG10-V10の差は203 μ 、R1-DFRAMC-VWG10-V10とR1-DFRAMC-VWG10の差は85 μ となっている。

次に、表-5および図-4によれば、乾燥材齢35日における乾燥収縮ひずみは、R1-DFRAMM-VWG10-V10(V混入モルタルベース:2476 μ)>R1-AMC-VWG10(繊維無混入コンクリート:2301 μ)>R1-DFRAMC-VWG10-V10(V混入コンクリートベース:2181 μ)>R1-DFRAMC-VWG10(VおよびS混入コンクリートベース:1846 μ)であり、R1-DFRAMM-VWG10-V10とR1-DFRAMC-VWG10-V10

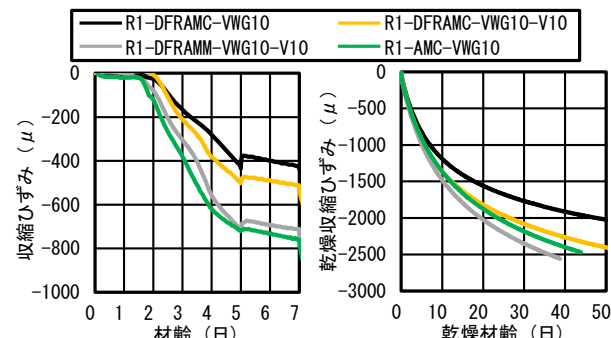


図-3 収縮ひずみの経時変化

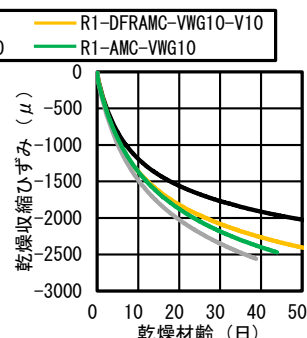


図-4 乾燥収縮ひずみの経時変化

の差は295 μ , R1-DFRAMC-VWG10-V10とR1-DFRAMC-VWG10の差は335 μ となっている。

以上より、粗骨材や鋼繊維の混入により、効果的にR-DFRAMCの収縮および乾燥収縮ひずみを低減できることがわかった。

5. R-DFRAMC製RC梁試験体の荷重試験

5.1 実験概要

(1) 材料試験

本研究では、表-6に示すR-DFRAMC製RC梁試験体の強度管理のため、R-DFRAMC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行った。

試験体は、1軸圧縮試験では100 ϕ ×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等分点曲げ試験では各水準6体、引抜き試験および鉄筋の引張試験では各水準3体とした。

1軸圧縮試験は、試験材齢および養生方法以外、前掲、3.1に準じて行った。なお、圧縮破壊エネルギー(G_{Fc})は、文献⁶⁾に示す手法により算出した(文献⁶⁾中の塑性変形3.0mmまでの値)。

表-6 R-DFRAMC製RC梁試験体の概要

試験体名	R-DFRAMC	主筋(D-16, SD490)			
	配(調)合種類 (表-2参照)	引張鉄筋比 (%)	降伏強度 (N/mm ²)	降伏ひずみ (μ)	ヤング係数 (kN/mm ²)
R-DAC-VWG5	R2-DFRAMC-VWG5	5.88	570	2899	202
R-DAC-VWG10	R2-DFRAMC-VWG10				
R-DAC-VWG15	R2-DFRAMC-VWG15				
R-DAM-VWG10	R2-DFRAMC-VWG10-V10				

表-7 R-DFRAMC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 (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)	付着強度すべり S_u (mm)
R-DAC-VWG5	23.2	17.8	40.1	6.23	1.99	0.0161	7.73	0.598
R-DAC-VWG10	39.8	18.1	53.4	7.28	2.53	0.0144	12.9	0.488
R-DAC-VWG15	39.2	12.4	54.8	5.40	1.94	0.0161	12.0	0.621
R-DAM-VWG10	43.0	18.1	52.3	7.70	2.46	0.0238	12.3	0.663

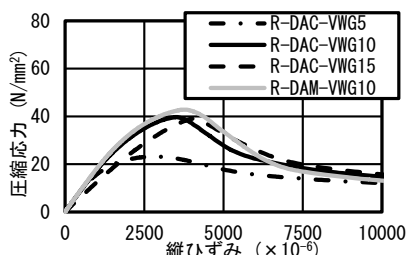


図-5 圧縮応力-ひずみ関係

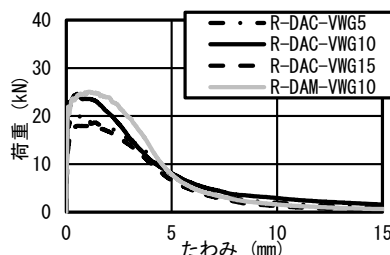


図-6 荷重-たわみ関係

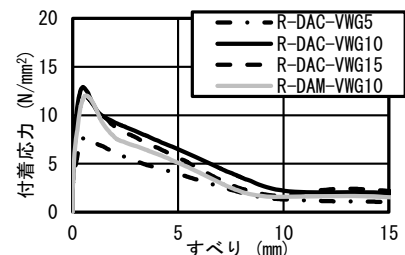


図-7 付着応力-すべり関係

3等分点曲げ試験は、試験方法を文献⁸⁾に準じて行い、計測項目を、荷重、高感度変位計によるスパン中央部のたわみ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⁸⁾付属書(参考)を基に、文献⁹⁾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¹⁰⁾に準じて行い、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¹¹⁾に準じて行い、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、R-DFRAMCおよび鉄筋の材料特性一覧を表-6および表-7に示す。また、1軸圧縮試験により得られた圧縮応力-縦ひずみ関係を図-5に、3等分点曲げ試験により得られた荷重-たわみ関係を図-6に、引抜き試験により得られた付着応力-すべり関係を図-7に、それぞれ示す。

(2) RC梁荷重試験

R-DFRAMC製RC梁試験体の詳細を図-8に、荷重試験の概要を図-9に示す。せん断破壊を目指したR-DFRAMC製RC梁試験体は、文献^{12),13)}を参考にして主筋をD-16(SD490)、引張鉄筋比を5.88%とした、梁せい180mm×梁幅100mm×梁長さ1500mmの試験体で、支点間距離を1300mm、せん断スパン長を450mm、荷重点間距離を400mmとし、主筋を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、計測項目を荷重、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た。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。

$$Q_{bu} = \left\{ \frac{0.092 k_u k_p (18 + F_c)}{M/(Qd) + 0.12} + 0.85 \sqrt{P_w \sigma_{wy}} \right\} bj \quad (3)$$

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0.82 P_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) 試験体の養生

材料試験用試験体およびRC梁試験体は、打込み後5日(R2-DFRAMM-VWG10-V10を使用した場合4日)で脱型し、試験時まで{積算温度が840°DD(標準養生材齢28日に相当)となるまで}養生箱内での湿布養生とした。

5.2 結果と考察

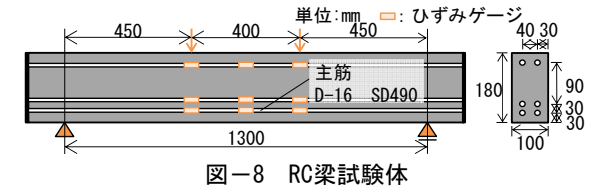


図-8 RC梁試験体

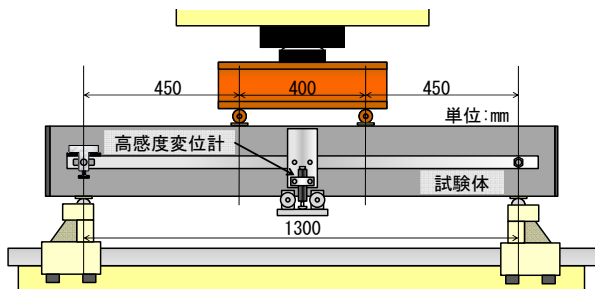


図-9 RC梁載荷試験

表-8 R-DFRAMC製RC梁試験体の最大荷重

試験体名	実験最大荷重 (kN)	計算せん断耐力 (kN)	実験/計算
R-DAC-VWG5	90.4	35.4	2.55
R-DAC-VWG10	110	49.6	2.22
R-DAC-VWG15	89.5	49.1	1.82
R-DAM-VWG10	89.9	52.4	1.72
R-C-SS	75.9	65.6	1.16

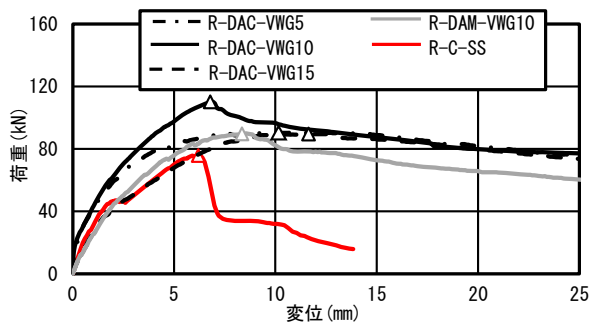


図-10 荷重-変位関係 (RC梁載荷試験)

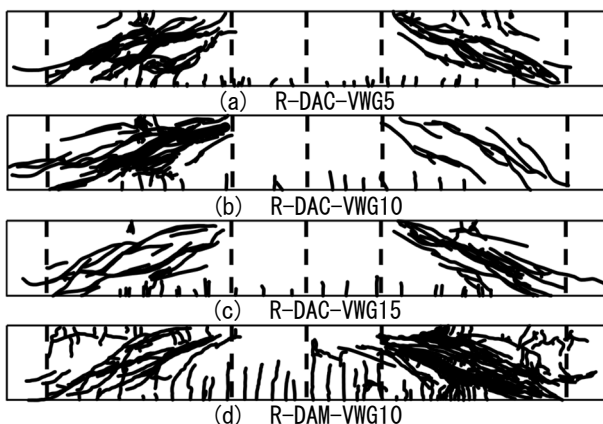


図-11 ひび割れ発生状況(最終破壊時)

表-8に、R-DFRAMC製RC梁試験体の載荷試験により得られた最大荷重の一覧を示す。また、図-10に、R-DFRAMC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-10中の各結果における三角印は最大荷重時を示している。また、表-8および図-10中には、Rを使用した繊維無混入コンクリート製RC梁試験体(R-C-SS: $F_c=58.4\text{N/mm}^2$, 最大荷重75.9kN)の載荷試験結果¹⁴⁾も示している。いずれの載荷試験結果においても、まず、純曲げスパン内に曲げひび割れが発生し、次に、支点と載荷点を結ぶ位置に斜めひび割れが発生・進展した。その後、R-DAC-VWG5試験体では、載荷点直下の圧縮側主筋の座屈(目視確認はできず、ひずみゲージの値で主筋断面上側の圧縮降伏、下側の引張降伏を確認)と同時に最大荷重をむかえ、その他の試験体では、主筋が降伏することなく最大荷重をむかえた。R-DFRAMC製RC梁試験体のひび割れ発生状況を、図-11に示す。

表-8および図-10によれば、RC梁試験体にR-DFRAMCを適用することにより、R-C-SSと比較して著しく最大荷重およびそれ以降の破壊靱性が改善されている。

RC梁試験体の最大荷重は、一般にコンクリートの F_c の影響を受ける。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(3)に、強度管理用試験体より得られたR-DFRAMCの F_c (前掲、表-7)を代入し、せん断耐力を算出すると、計算せん断耐力は表-8に示す値となり、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-DAC-VWG5で2.55倍、R-DAC-VWG10で2.22倍、R-DAC-VWG15で1.82倍、R-DAM-VWG10で1.72倍であった。なお、一般的な繊維無混入コンクリートを使用したR-C-SSでは、1.16倍であった。

一方、DFRCC製RC梁試験体の最大荷重に影響を及ぼしているのは、例えば白鳥らによれば¹⁵⁾、DFRCCの F_c のみでなく、 $F_{t,b}$ および $\epsilon_{tu,b}$ であるとしている。

まず、 V_{WG} の影響について注目すると、R-DFRAMC製RC梁試験体の最大荷重は、 $R-DAC-VWG10 > R-DAC-VWG5 > R-DAC-VWG15$ (ただし、 $R-DAC-VWG5$ と $R-DAC-VWG15$ は、ほぼ同値)となっている。表-7によれば、強度管理用試験体より得られた F_c は、 $R-DAC-VWG10 > R-DAC-VWG15 > R-DAC-VWG5$ となっている。しかし、 $F_{t,b}$ は、 $R-DAC-VWG10 > R-DAC-VWG5 > R-DAC-VWG15$ となっており、 $\epsilon_{tu,b}$ は、 $R-DAC-VWG10 > R-DAC-VWG5 = R-DAC-VWG15$ となっている。R-DAC-VWG10の最大荷重が最上位となることは、 F_c 、 $F_{t,b}$ および $\epsilon_{tu,b}$ により説明可能と思われる。しかし、R-DAC-VWG5およびR-DAC-VWG15の最大荷重の大小関係(ほぼ同値)については、両者の F_c や $F_{t,b}$ の差からは説明し難いものと思われる。なお、 F_c の低いR-DAC-VWG5については、本配筋条件では

前述の破壊形態となっていることに注意が必要である。

次に、粗骨材や鋼繊維混入の影響について注目すると、R-DFRAMC製RC梁試験体の最大荷重は、R-DAC-VWG10>R-DAM-VWG10となっている。表-7によれば、強度管理用試験体より得られた F_c は、R-DAM-VWG10>R-DAC-VWG10となっている。しかし、 F_{tb} は、R-DAC-VWG10>R-DAM-VWG10、 $\epsilon_{u,b}$ は、R-DAM-VWG10>R-DAC-VWG10となっている。ここで両者の F_c 、 F_{tb} および $\epsilon_{u,b}$ を、文献¹⁵⁾中の図-9に当てはめて最大荷重への影響を計算すると、R-DAM-VWG10の最大荷重は、R-DAC-VWG10と比較して3.46kN上昇する結果となった。

以上のことから、R-DFRAMC製RC梁試験体の最大荷重に影響を及ぼしているR-DFRAMCの物性は、 F_c 、 F_{tb} および $\epsilon_{u,b}$ のみでなく、斜めひび割れ面における粗骨材や鋼繊維が存在することによるせん断抵抗機構の変化等が影響しているものと思われる。また、前述4章では、湿布養生や標準養生中においても、R-DFRAMCの収縮ひずみの増大が確認された。そして、粗骨材や鋼繊維の混入により、効果的にR-DFRAMCの収縮ひずみを低減できることがわかった。R-DAM-VWG10(V混入モルタルベース)やR-DAC-VWG15(VおよびS混入コンクリートベース、目標スランプフローを達成するため、細骨材量や粗骨材量が少ない)では、他の試験体と比較して収縮ひずみが大きくなり、それが載荷前の初期引張応力として働き、結果としてRC梁試験体の最大荷重を低下させた可能性もある。

今後、R-DFRAMC製RC梁試験体の最大荷重に及ぼす初期引張応力等の影響について、検討する予定である。

6. 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) $V_{wg}=10\%$ 以下の範囲内において、材齢91日までのR-DFRAMCの F_c および E は、MC90をベースとした近似式により概ね近似可能である。
- 2) 粗骨材や鋼繊維の混入により、効果的にR-DFRAMCの収縮および乾燥収縮ひずみを低減できる。
- 3) 繊維無混入コンクリート製RC梁試験体と比較して、R-DFRAMCを適用することにより、著しく最大荷重および最大荷重以降の破壊靱性が改善される。

謝辞

本研究の一部は、JSPS科研費(課題番号：23K04126、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.128, 2002.1

- 2) 安西拓巳，渡部憲：再生骨材を使用した高流動高靱性コンクリートの収縮ひずみ低減，コンクリート工学年次論文集，Vol.42，No.1，pp.173-178，2020.7
- 3) 新しいアルカリ活性材料を用いた低炭素社会におけるインフラ構築に関する研究小委員会(233委員会)：新しいアルカリ活性材料を用いた低炭素社会におけるインフラ構築に関する研究報告書，土木学会コンクリート委員会，pp.1-5，2022.3
- 4) 王ハクブン，渡部憲：再生骨材を使用した繊維補強AAMsコンクリート，コンクリート工学年次論文集，Vol.46，No.1，pp.1033-1038，2024.6
- 5) 中出敬大，渡部憲：再生細骨材を使用した繊維補強AAMs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.46，No.1，pp.1201-1206，2024.6
- 6) 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
- 7) CEB：CEB-FIP MODEL CODE1990，Thomas Telford
- 8) 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，pp.1-8，2007
- 9) 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
- 10) 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
- 11) 日本産業規格：金属材料引張試験方法(JIS Z 2241)，2022
- 12) 永井寛，高稻宜和，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
- 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) 佐藤勉，渡部憲，中村允哉：せん断補強筋の無い高靱性コンクリート製RC梁の破壊性状，コンクリート工学年次論文集，Vol.36，No.1，pp.418-423，2014.7
- 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