

中品質再生細骨材を使用した高靱性セメント複合材料の 圧縮破壊領域長さに関する基礎的研究

高橋 龍市*¹ 渡部 憲*²

Fundamental Study on Compressive Fracture Zone Length of Ductile Fiber-Reinforced Cementitious Composite Using Middle Quality Recycled Fine Aggregate

by

Ryuichi TAKAHASHI*¹ and Ken WATANABE*²

(Received on Sep. 30, 2014 and accepted on Nov. 13, 2014)

Abstract

Recently, ductile fiber-reinforced cementitious composites (DFRCCs) have been developed which show performance largely superior to those of current fiber-reinforced concretes. DFRCCs are composites of cementitious material reinforced with fibers, which have multiple cracking characteristics and much improved toughness during bending, tension, and compression fractures. In the present study, we have carried out uniaxial compression tests on DFRCCs using middle quality recycled fine aggregate to investigate the compressive fracture zone length. This paper presents the conclusion that the equations have been presented which estimate the compressive fracture zone length from the compressive strength for DFRCCs, using middle quality recycled fine aggregate.

Keywords: DFRCC, Recycled fine aggregate, Compression test, Compressive fracture zone length, Internal strain

1. はじめに

圧縮応力下にあるコンクリートの破壊は、特定の領域に集中して進行し、その他の領域では除荷現象が起きていることが知られている。このような現象が、鉄筋コンクリート(以下、RCと略記)構造物全体の破壊挙動にも影響を及ぼすため、これまでも数多くの研究が実施されている。例えば、中村ら^{1,2)}やTorsakら³⁾の研究では、異形加工したアクリル製角棒にひずみゲージを貼り付けたもの(以下、アクリルバーと略記)を試験体内部に埋設し、圧縮応力下にあるコンクリート試験体内部の局所的なひずみを測定することにより、圧縮破壊領域長さ(以下、 L_p と略記)の評価を試みている(以下、アクリルバー法と略記)。また、伊藤ら⁴⁾は、短繊維補強コンクリートの L_p の評価を試みている。

ところで、近年、コンクリート分野では、天然骨材採取に伴う環境破壊や天然骨材資源の枯渇問題から、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り、筆者らの一人らもこれまでに、高靱性セメント複合材料⁵⁾(以下、DFRCCと略記)への再生細骨材の

適用性を検討してきた⁶⁾。DFRCCとは、セメント系材料を繊維で補強した複合材料であり、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⁵⁾。

このような材料をRC構造物に適用しようとする場合、圧縮応力下にあるDFRCCについても、前述のような現象を解明しておくことは有用である。既報^{7,8)}では、アクリルバー法を用いて、圧縮応力下にある、天然細骨材を使用したDFRCC(以下、NDFRCCと略記)の L_p に関する研究⁷⁾、高品質再生細骨材(JIS A 5021⁹⁾に規定されている再生細骨材 H 相当の品質を使用したDFRCC(以下、RHDFRCCと略記)の L_p に関する研究⁸⁾を実施し、NDFRCCとRHDFRCCの L_p は同程度となることを明らかにした。なお、高品質再生細骨材は、通常の天然骨材と同程度の品質を有するものの、製造過程において大量に発生する副産微粉の問題が指摘されている¹⁰⁾。このような背景から、筆者らの一人らも、高品質再生細骨材と比較して、製造過程において発生する副産微粉を低減可能な中品質再生細骨材(JIS A 5022¹¹⁾に規定されている再生細骨材 M 相当の品質)の有効利用技術確立のため、中品質再生細骨材を使用したDFRCC(以下、RMDFRCCと略記)に関する検討を行っている¹²⁾。しかし、RMDFRCCの L_p に関する検討は行われていない。

そこで本研究では、アクリルバー法を用いて、

*1 工学研究科建築学専攻修士課程

*2 工学部建築学科教授

Table 1 Outline of specimen

Specimen	Water-cement ratio (W/C) (%)	Sand-cement ratio (S/C) (wt.%)	Diameter of specimen (mm)	Height of specimen (h) (mm)	Fiber volume fraction (V_f) (vol.%)
RM-D40-200-T	40	40	100	200	3.0
RM-D40-400-T				400	
RM-D50-200-T	50	65		200	
RM-D50-400-T				400	
RM-D60-200-T	60	90		200	
RM-D60-400-T				400	

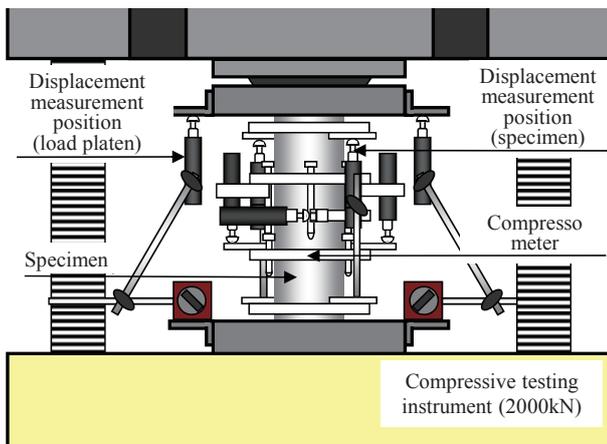


Fig.1 Compressive loading system

RMDFRCC の 1 軸圧縮試験を行い、 L_p に与える水セメント比(W/C)、試験体寸法および骨材種類の影響について検討を行った。具体的には、まず、既報⁷⁾に示された NDFRCC の L_p を評価する手法により、圧縮強度(F_c)の相違する RMDFRCC の L_p を明らかにする。次に、RMDFRCC の L_p-F_c 関係を近似式とともに示す。最後に、NDFRCC と RMDFRCC の L_p-F_c 関係を比較し、DFRCC の L_p に与える骨材種類の影響について検討した。

2. 実験方法

2.1 実験概要

本研究では、Table 1 に示す RMDFRCC の 1 軸圧縮試験を行った。細骨材は、中品質再生細骨材(表乾密度:2.44g/cm³、吸水率:6.69%、最大寸法:5.0mm)を使用した。セメントは、普通ポルトランドセメント(密度:3.16g/cm³)を用いた。使用繊維は PVA 繊維(径:0.2mm、長さ:18mm、弾性係数:27kN/mm²、引張強度:975N/mm²)とし、繊維体積混入率(V_f)を 3.0%とした。W/C は、40、50 および 60%とした。試験体寸法は、直径 ϕ を 100mm、高さ h を 200 および 400mm とした。アクリルバーを埋設した試験体(以下、アクリルバー有り試験体と略記)を W/C=40 および 60%では $h=400$ mm に各 1 体、W/C=50%では $h=200$ および 400mm に各 1 体用意した。アクリルバーを埋設していない試験体(以下、アクリルバー無し試験体と略記)を各要因 3 体用意した。荷重は、2000kN 耐

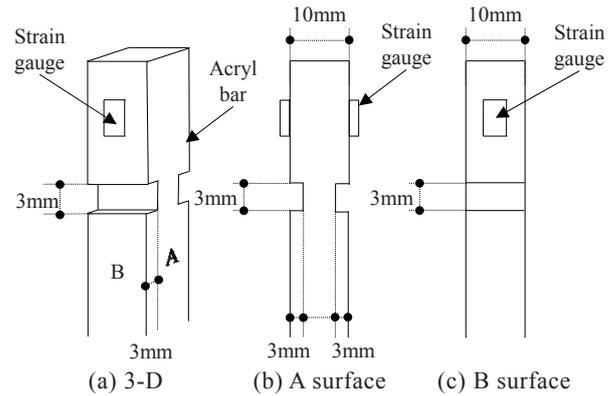


Fig.2 Shape of acryl bar

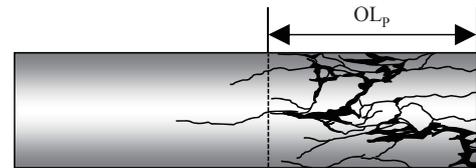


Fig.3 Compressive fracture zone length measurement method (OL_p)

圧試験機を使用し、2 枚のテフロンシート(厚さ 0.1mm)の間にシリコンオイルを塗布したものを鋼製荷重盤と試験体上下間に挿入して行った。この理由は、以前から指摘されている 1 軸圧縮試験時の荷重盤の拘束による影響¹³⁾を軽減させるためである。1 軸圧縮荷重の概要を Fig.1 に示す。測定項目は、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、試験体間変位、荷重盤間変位およびアクリルバーによる試験体内部の縦ひずみとした。各計測データは、データロガーを使用して取り込んだ。アクリルバーは、長さ $h=200$ mm 用では 180mm、 $h=400$ mm 用では 380mm とし、Fig.2 に示す溝を設けることにより、 $h=200$ mm 用では長さ方向に 6 分割、 $h=400$ mm 用では 10 分割した。そして、各分割区間にひずみゲージを貼り付け、防水処理後、上下端面から 10mm の隙間を設け、試験体中央部にアクリルバーを設置し、試験体高さ方向各部位の内部ひずみを測定できるようにした。試験体は打設後 2 日で脱型、試験時(材齢 28 日)まで標準養生した。

2.2 圧縮破壊領域長さの評価方法

本研究では、既報⁷⁾に示された以下のような 2 種類の手法により、RMDFRCC の L_p を評価した。

- (1) 圧縮試験後に試験体外部に発生した、巨視的なひび割れ領域の長さを OL_p とした(試験体全周を確認し、試験体の高さ方向に、ひび割れが 5~6 本以上入っている領域の長さを計測)。一例として、Fig.3 に破壊状況のスケッチ($h=400$ mm)を示す。

- (2) 中村らの手法²⁾をベースとし、以下の手順で L_p を評価した(NIL_p)。

- 1) 実験より得られた各部位の圧縮応力(σ_c)–内部ひずみ(ϵ_{ii})関係を、局所化領域と除荷領域の $\sigma_c-\epsilon_{ii}$ 関係に区別する。 F_c 以降、ひずみが増加する場合は局所化領域(Fig.4 中の(A))、ひずみが減少する場合は除荷領域

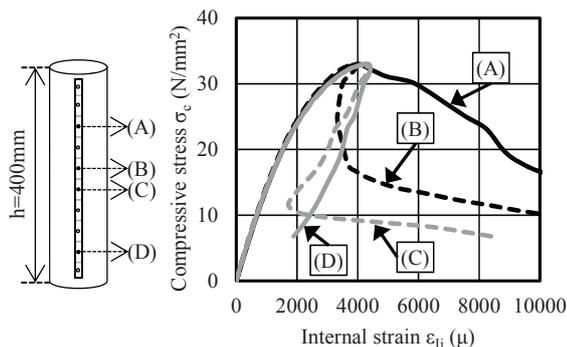
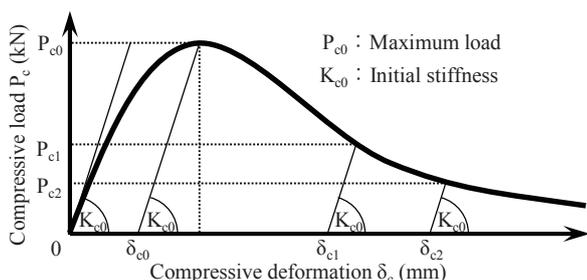
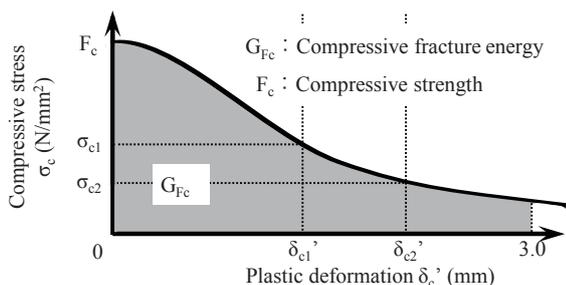


Fig.4 Compressive stress – internal strain relationship



(a) Compressive load – compressive deformation relationship



(b) Compressive stress – plastic deformation relationship

Fig.5 Estimation procedure of compressive fracture energy

(Fig.4 中の(D))の $\sigma_c - \epsilon_{ii}$ 関係である。なお筆者らは、Fig.4 中の(B)および(C)のような場合、 F_c 以降、 F_c の30%時の ϵ_{ii} が、 F_c 時の ϵ_{ii} より大きいもの(Fig.4 中の(B))を局所化領域、小さいもの(Fig.4 中の(C))を除荷領域の $\sigma_c - \epsilon_{ii}$ 関係とした。

2)局所化領域と除荷領域に区別された $\sigma_c - \epsilon_{ii}$ 関係を、それぞれ平均し、文献²⁾に示されている式(1)および(2)を用いて、 NIL_p を算出した。

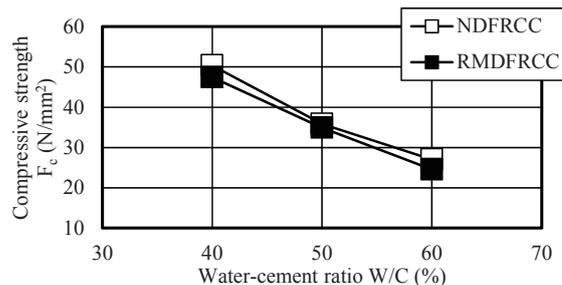
$$\epsilon_{av} = f \cdot \epsilon + (1 - f) \epsilon_u \quad (1)$$

$$NIL_p = h \cdot f \quad (2)$$

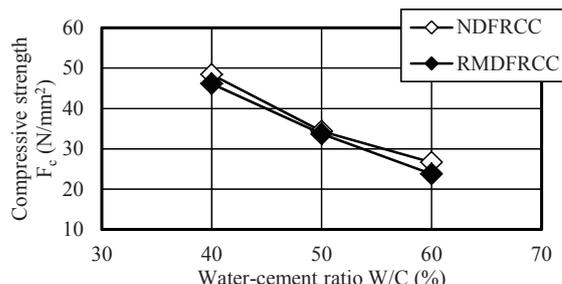
ここに、 ϵ_{av} :平均ひずみ(試験体全長の平均縦ひずみ)、 ϵ :局所化領域のひずみ、 ϵ_u :除荷領域のひずみ、 f :局所化領域の試験体全体に対する容積比(断面一定の場合、 NIL_p/h)であり、一定の値に収束するとされている。

2.3 圧縮破壊エネルギーの評価方法

圧縮破壊エネルギー(以下、 G_{Fc} と略記)については、文献¹⁴⁾に示す手法により評価した。Fig.5に G_{Fc} の評価方法



(a) h=200mm



(b) h=400mm

Fig.6 Compressive strength – water-cement ratio relationship

を示す。まず、実験により得られた圧縮荷重(P_c)–載荷盤間変位(δ_c)関係(Fig.5(a))を $\sigma_c - \delta_c'$ 関係(Fig.5(b))に変換する。このとき、 $P_c - \delta_c$ 関係の最大荷重(P_{c0})時から初期剛性(K_{c0})を基に荷重0kNまでおろした点 δ_{c0} を求め、その点を $\delta_c' = 0$ mmとする。 σ_c は F_c となり、 $\sigma_c - \delta_c'$ 関係の第1点が定まる。以降、圧縮荷重 P_{c1} 時では、 K_{c0} を基に荷重0kNまでおろした点 δ_{c1} を求め、 $\delta_{c1}' = \delta_{c1} - \delta_{c0}$ 、 $\sigma_{c1} = P_{c1}/$ 試験体断面積となり、結果として $\sigma_c - \delta_c'$ 関係が得られる。次に、 $\sigma_c - \delta_c'$ 関係から δ_c' が3.0mmまでの面積(Fig.5(b)の網掛け部分)を求める。この面積が G_{Fc} である。

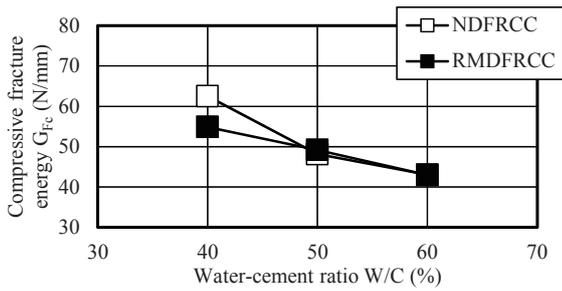
3. 結果と考察

3.1 各種材料特性

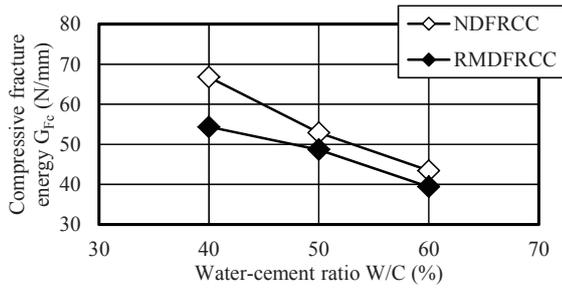
Fig.6および7に、 h の異なるRMDFRCC試験体より得られた、 F_c 、 $G_{Fc} - W/C$ 関係を示す。なお、Fig.6および7中には、既報⁷⁾のNDFRCC試験体の結果も示してある。また、Fig.6および7中の F_c および G_{Fc} は、アクリルバー無し試験体より得られた値(試験体3体の平均値)を示している。

まず、Fig.6によれば、DFRCCの F_c は、同一骨材種類の場合、 h の相違に係わらず、 W/C の増加に伴い低下している。また、骨材種類の相違に注目すると、同一 h および W/C の場合、RMDFRCCの F_c は、NDFRCCと比較して若干低い値を示している。

次に、Fig.7によれば、DFRCCの G_{Fc} は、同一骨材種類の場合、 h の相違に係わらず、 W/C の増加に伴い低下している。骨材種類の相違に注目すると、Fig.7(a)の $h=200$ mmにおいて、 $W/C=40\%$ では、RMDFRCCの G_{Fc} は、NDFRCCと比較して低い値を示している。しかし、 $W/C=50$ および 60% では、このような傾向が、不明瞭であった。一方、Fig.7(b)の $h=400$ mmでは、 W/C の相違に



(a) h=200mm



(b) h=400mm

Fig.7 Compressive fracture energy – water-cement ratio relationship

係わらず，RMDFRCC の G_{Fc} は，NDFRCC と比較して低い値を示している。

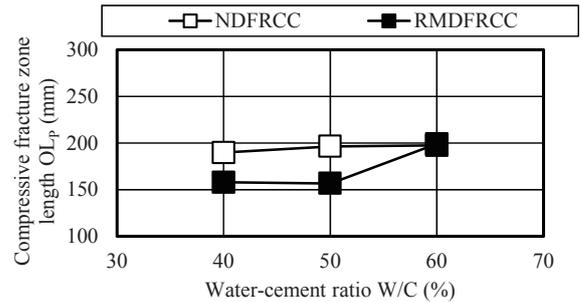
3.2 圧縮破壊領域長さー水セメント比関係

Fig.8 に，RMDFRCC 試験体より得られた L_p -W/C 関係を示す。Fig.8 中の OL_p はアクリルバー無し試験体より得られた値(試験体 3 体の平均値)を， $OL_p(A)$ はアクリルバー有り試験体より得られた値を示している。なお，Fig.8 中には，既報⁷⁾の NDFRCC 試験体の結果も示してある。また，Fig.8(a)(h=200mm)では，NDFRCC の W/C=40, 50, 60%および RMDFRCC の W/C=60%において，ほぼ全ての試験体で試験体全長が破壊していたため， OL_p は各試験体の実測 $h=196\sim 200$ mm となっている。

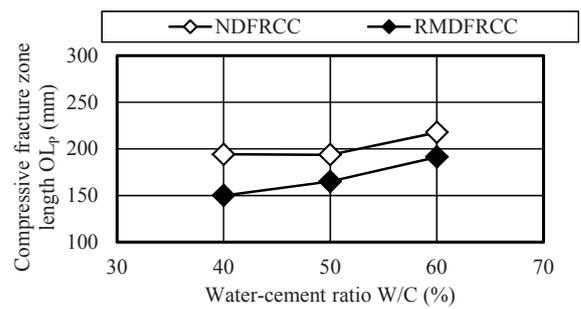
まず，Fig.8(a)(h=200mm)の OL_p の結果によれば，NDFRCC の OL_p は，W/C の相違に係わらず 200mm 程度となっている。この理由は，前述の通りである。一方，RMDFRCC の OL_p は，W/C=40 および 50%では，160mm 程度であるが，W/C=60%では，200mm 程度に増大している。

次に，Fig.8(b)(h=400mm)の OL_p の結果によれば，W/C=40 および 50%において，NDFRCC の OL_p がほぼ同値となっているものの，骨材種類の相違に係わらず，W/C=40~60%の範囲において，W/C の増加に伴い OL_p は増大する傾向を示している。また，同一 W/C の場合，RMDFRCC の OL_p は，NDFRCC と比較して 12~23%程度低い値を示している。なお，h=400mm における RMDFRCC の OL_p の値は，W/C=40%では $OL_p=150$ mm，W/C=50%では $OL_p=165$ mm，W/C=60%では $OL_p=191$ mm であった。

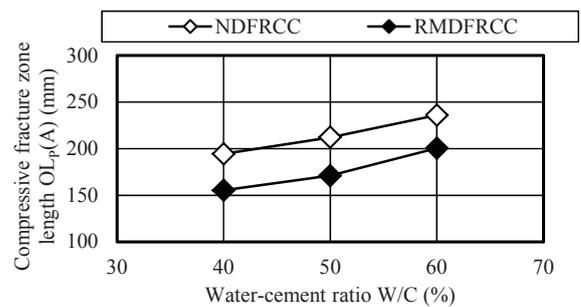
続いて，Fig.8(c)(h=400mm)の $OL_p(A)$ の結果によれば，骨材種類の相違に係わらず，W/C=40~60%の範囲において，W/C の増加に伴い $OL_p(A)$ は増大する傾向を示してい



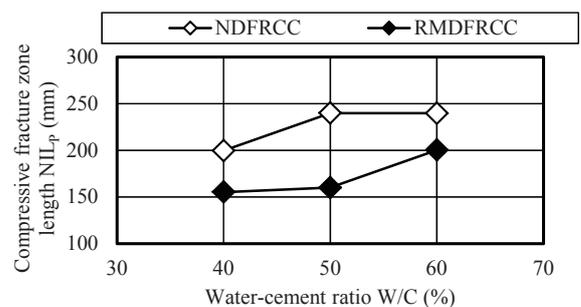
(a) OL_p (h=200mm)



(b) OL_p (h=400mm)



(c) $OL_p(A)$ (h=400mm)



(d) NIL_p (h=400mm)

Fig.8 Compressive fracture zone length – water-cement ratio relationship

る。また，同一 W/C の場合，RMDFRCC の $OL_p(A)$ は，NDFRCC と比較して 15~20%程度低い値を示している。なお，h=400mm における RMDFRCC の $OL_p(A)$ の値は W/C=40%では $OL_p(A)=155$ mm，W/C=50%では $OL_p(A)=171$ mm，W/C=60%では $OL_p(A)=201$ mm であった。

さらに，Fig.8(d)(h=400mm)の NIL_p の結果によれば，W/C=50 および 60%において，NDFRCC の NIL_p がほぼ同値となり，W/C=40 および 50%において，RDFRCC の NIL_p がほぼ同値となっているものの，骨材種類の相違に係わらず，W/C=40~60%の範囲において，W/C の増加に伴い

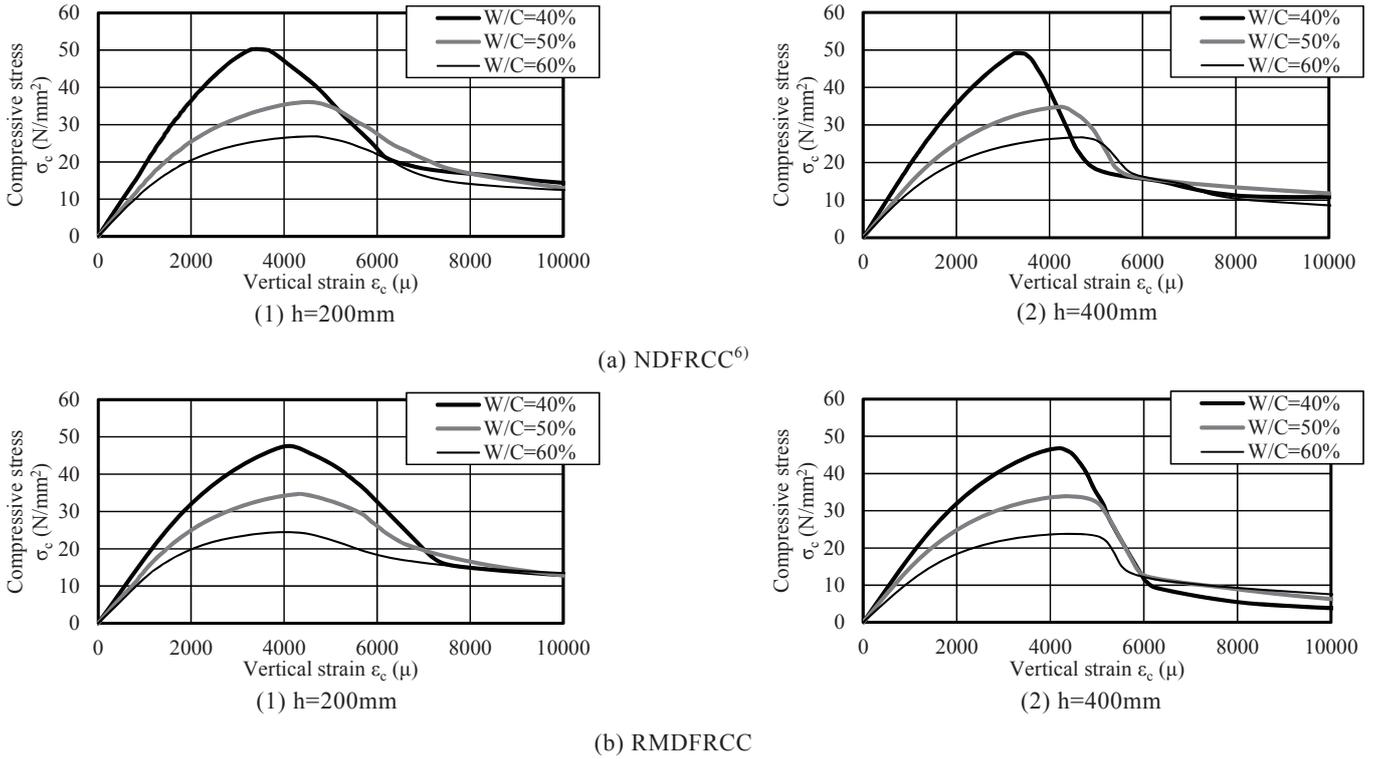


Fig.9 Compressive stress - vertical strain relationship

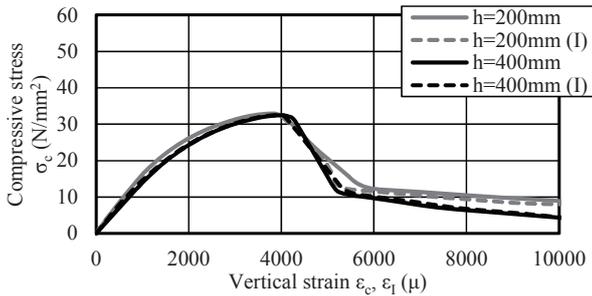


Fig.10 Compressive stress - vertical strain relationship (RM-D50-T-A)

NIL_pは増大する傾向を示している。また、同一 W/C の場合、RMDFRCC の NIL_p は、NDFRCC と比較して 16～33%程度低い値を示している。なお、h=400mm における RMDFRCC の NIL_p の値は、W/C=40%では NIL_p=155mm、W/C=50%では NIL_p=160mm、W/C=60%では NIL_p=200mm であった。

以上より、W/C=40～60%の範囲において、各評価方法より得られた L_p の値は、骨材種類の相違に係わらず、W/C の増加に伴い増大する傾向にある。また、同一 W/C の場合、各評価方法より得られた RMDFRCC の L_p は、NDFRCC と比較して 12～33%程度低い値となる。

3.3 圧縮応力-縦ひずみ関係

Fig.9 に、W/C の異なるアクリルバー無し DFRCC 試験体より得られた σ_c-縦ひずみ(ε_c)関係を、骨材種類および h 別に示す(Fig.9(a)は既報⁷⁾の NDFRCC 試験体の結果、Fig.9(b)は RMDFRCC 試験体の結果である)。なお、ε_c は試験体両脇に設置した変位計より得られた縦ひずみであ

る。また、各 σ_c-ε_c 関係は、試験体 3 体中の代表的な値である。Fig.9 によれば、h=200mm の結果では、骨材種類の相違に係わらず、F_c以降、急激に σ_cが低下する際の負勾配は、W/C の増加に伴い、緩やかとなる傾向にある。しかし、h=400mm の結果では、このような傾向が、多少、不明瞭となる。また、同一 W/C の場合、骨材種類の相違に係わらず、F_c以降、急激に σ_cが低下する際の負勾配は、h=200mm の結果と比較して、h=400mm の結果が急勾配となっている。これは、試験体直径に対する h の比率の影響¹⁵⁾と思われる。

Fig.10 に、一例として W/C=50%のアクリルバー有り RMDFRCC 試験体より得られた σ_c-ε_c 関係および σ_c-ε_l 関係を示す。ε_l は、アクリルバーより得られた各部位の ε_{li} から算出した、試験体全長の縦ひずみである。なお、Fig.10 中の実線で示したものが σ_c-ε_c 関係、破線で示したものが σ_c-ε_l 関係(Fig.10 中の(I))である。Fig.10 によれば、W/C の相違に係わらず、同一試験体から得られた σ_c-ε_c 関係と σ_c-ε_l 関係は、概ね一致している。なお、W/C の異なるその他のアクリルバー有り試験体においても、同様の傾向が確認できた。

3.4 圧縮応力-内部ひずみ関係

Fig.11 に、ε_{li} の測定位置を、h 別に示す。また、Fig.12 に、W/C=50%の h=200mm アクリルバー有り RMDFRCC 試験体より得られた σ_c-ε_{li} 関係を ε_{li} の測定位置別に示す。なお、Fig.12 中の凡例番号は、Fig.11(a)の測定位置番号と対応している。

Fig.12 によれば、測定位置(2)～(5)より得られた σ_c-ε_{li} 関係では、F_c以降、ひずみが増加しているため、2.2 節(2)

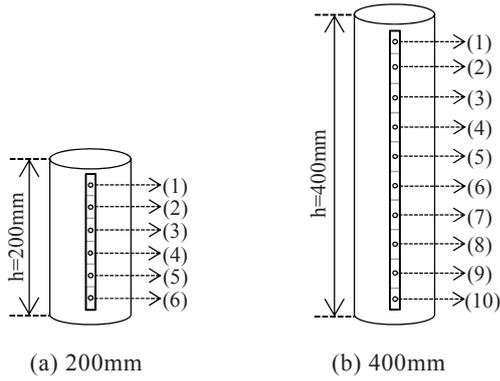
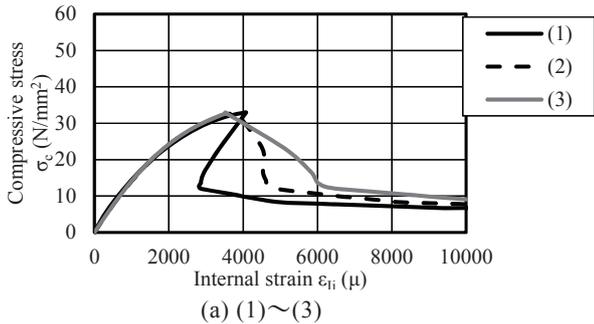
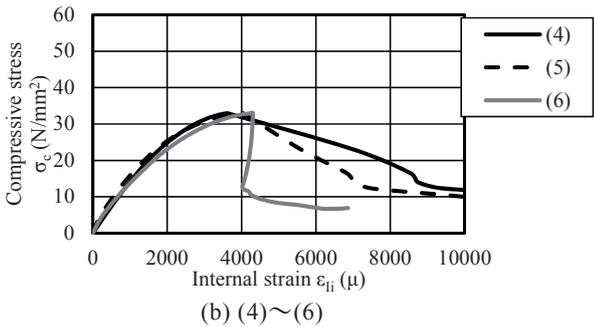


Fig. 11 Measurement position of internal strain



(a) (1)~(3)



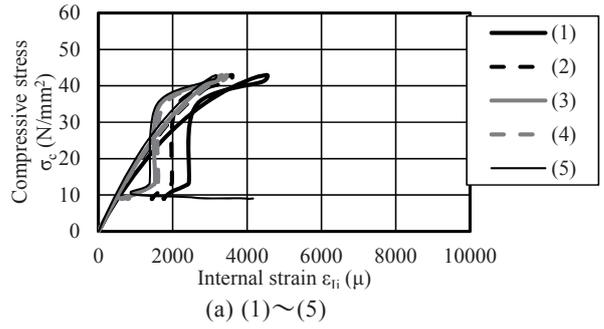
(b) (4)~(6)

Fig. 12 Compressive stress - internal strain relationship (RM-D50-200-T-A)

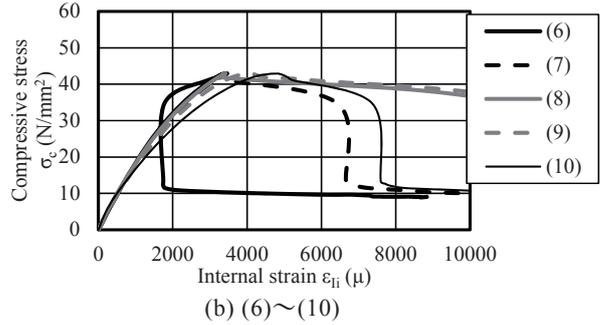
の手法で区別すると、いずれの $\sigma_c - \epsilon_{ii}$ 関係も、局所化領域の $\sigma_c - \epsilon_{ii}$ 関係に区別される。また、測定位置(1)および(6)より得られた $\sigma_c - \epsilon_{ii}$ 関係では、 F_c 以降、一旦ひずみが減少し、その後、増加に転じている。これらを、2.2節(2)の手法で区別すると、測定位置(6)より得られた $\sigma_c - \epsilon_{ii}$ 関係は局所化領域、測定位置(1)より得られた $\sigma_c - \epsilon_{ii}$ 関係は除荷領域の $\sigma_c - \epsilon_{ii}$ 関係に区別される。以上のことは、 $\sigma_c - \epsilon_{ii}$ 関係から判断される定性的な傾向として、試験体高さ方向の8割程度(160mm程度)が破壊したことを意味しており、同一試験体より得られた $OL_p(A)=160\text{mm}$ と概ね合致している。

Fig. 13, 14 および 15 に、 $h=400\text{mm}$ アクリルバー有り RMDFRCC 試験体より得られた $\sigma_c - \epsilon_{ii}$ 関係を、W/C および ϵ_{ii} の測定位置別に示す(Fig. 13 は W/C=40%, Fig. 14 は W/C=50%, Fig. 15 は W/C=60%の結果である)。なお、Fig. 13, 14 および 15 中の凡例番号は、Fig. 11(b)の測定位置番号と対応している。

まず、Fig. 13 によれば、測定位置(7)~(10)より得られた $\sigma_c - \epsilon_{ii}$ 関係では、 F_c 以降、ひずみが増加しているため、

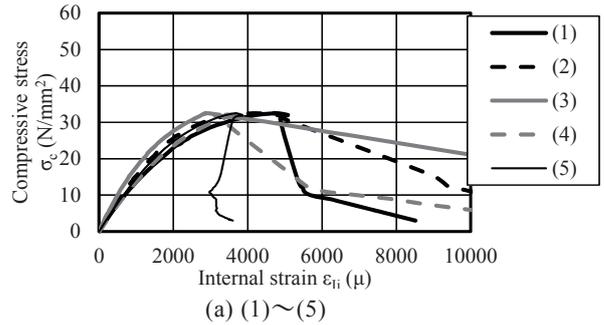


(a) (1)~(5)

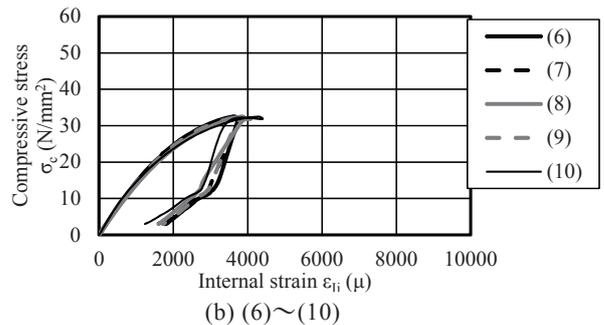


(b) (6)~(10)

Fig. 13 Compressive stress - internal strain relationship (RM-D40-400-T-A)



(a) (1)~(5)



(b) (6)~(10)

Fig. 14 Compressive stress - internal strain relationship (RM-D50-400-T-A)

2.2節(2)の手法で区別すると、いずれの $\sigma_c - \epsilon_{ii}$ 関係も、局所化領域の $\sigma_c - \epsilon_{ii}$ 関係に区別される。また、測定位置(1)~(4)より得られた $\sigma_c - \epsilon_{ii}$ 関係では、 F_c 以降、ひずみが減少しているため、2.2節(2)の手法で区別すると、いずれの $\sigma_c - \epsilon_{ii}$ 関係も、除荷領域の $\sigma_c - \epsilon_{ii}$ 関係に区別される。さらに、測定位置(5)および(6)より得られた $\sigma_c - \epsilon_{ii}$ 関係では、 F_c 以降、ひずみが一旦減少し、その後、増加に転じている。これらを、2.2節(2)の手法で区別すると、どちらも除荷領域の $\sigma_c - \epsilon_{ii}$ 関係に区別される。以上のことは、 $\sigma_c - \epsilon_{ii}$ 関係から判断される定性的な傾向として、

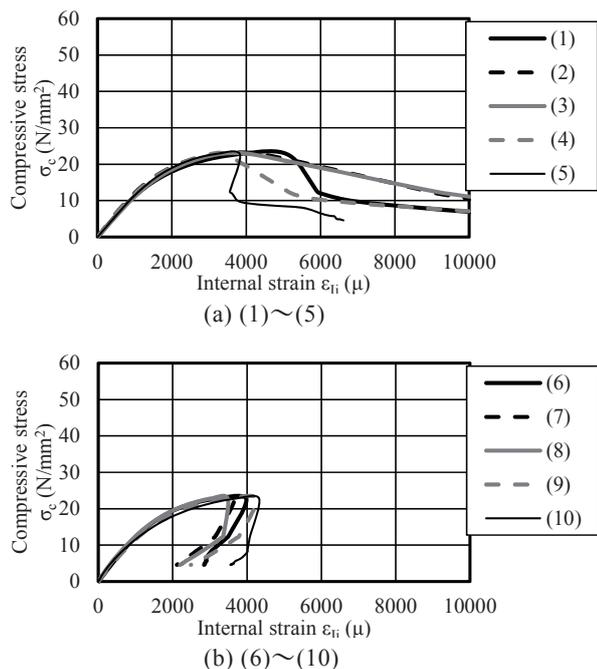


Fig.15 Compressive stress—internal strain relationship (RM-D60-400-T-A)

試験体高さ方向の4割程度(160mm程度)が破壊したことを意味しており、前述の $OL_p(A)=155\text{mm}$ と概ね合致している。

次に、Fig.14によれば、測定位置(1)~(4)より得られた $\sigma_c-\varepsilon_{ii}$ 関係では、 F_c 以降、ひずみが増加しているため、2.2節(2)の手法で区別すると、いずれの $\sigma_c-\varepsilon_{ii}$ 関係も、局所化領域の $\sigma_c-\varepsilon_{ii}$ 関係に区別される。また、測定位置(6)~(10)より得られた $\sigma_c-\varepsilon_{ii}$ 関係では、 F_c 以降、ひずみが減少しているため、2.2節(2)の手法で区別すると、いずれの $\sigma_c-\varepsilon_{ii}$ 関係も、除荷領域の $\sigma_c-\varepsilon_{ii}$ 関係に区別される。さらに、測定位置(5)より得られた $\sigma_c-\varepsilon_{ii}$ 関係では、 F_c 以降、ひずみが一旦減少し、その後、増加に転じている。これを、2.2節(2)の手法で区別すると、除荷領域の $\sigma_c-\varepsilon_{ii}$ 関係に区別される。以上のことは、 $\sigma_c-\varepsilon_{ii}$ 関係から判断される定性的な傾向として、試験体高さ方向の4割程度(160mm程度)が破壊したことを意味しており、前述の $OL_p(A)=171\text{mm}$ と比較して、10mm程度の差があるものの、切欠き間隔(40mm)を踏まえると、概ね合致していると言える。

最後に、Fig.15によれば、測定位置(1)~(4)より得られた $\sigma_c-\varepsilon_{ii}$ 関係では、 F_c 以降、ひずみが増加しているため、2.2節(2)の手法で区別すると、いずれの $\sigma_c-\varepsilon_{ii}$ 関係も、局所化領域の $\sigma_c-\varepsilon_{ii}$ 関係に区別される。また、測定位置(6)~(10)より得られた $\sigma_c-\varepsilon_{ii}$ 関係では、 F_c 以降、ひずみが減少しているため、2.2節(2)の手法で区別すると、いずれの $\sigma_c-\varepsilon_{ii}$ 関係も、除荷領域の $\sigma_c-\varepsilon_{ii}$ 関係に区別される。さらに、測定位置(5)より得られた $\sigma_c-\varepsilon_{ii}$ 関係では、 F_c 以降、ひずみが一旦減少し、その後、増加に転じている。これを、2.2節(2)の手法で区別すると、局所化領域の $\sigma_c-\varepsilon_{ii}$ 関係に区別される。以上のことは、 $\sigma_c-\varepsilon_{ii}$ 関係から判断される定性的な傾向として、試験体高さ方向の

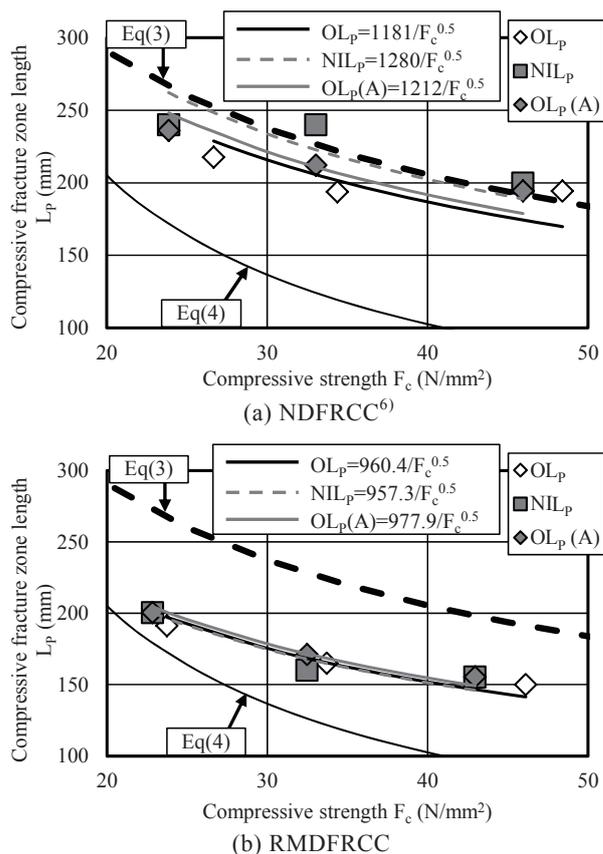


Fig.16 Compressive fracture zone length—compressive strength relationship

半分程度(200mm程度)が破壊したことを意味しており、前述の $OL_p(A)=201\text{mm}$ と概ね合致している。

即ち、W/C および h の相違に係わらず、アクリルバー有りRMDFRCC試験体の $\sigma_c-\varepsilon_{ii}$ 関係から判断される定性的な L_p は、 $OL_p(A)$ と概ね合致する。

3.5 圧縮破壊領域長さ

骨材種類の異なるDFRCC試験体より得られた L_p-F_c 関係($h=400\text{mm}$)を、Fig.16に示す。なお、Fig.16(a)は、既報⁷⁾のNDFRCC試験体の結果である。また、Fig.16中には、各評価方法より得られた L_p-F_c 関係に対して、累乗近似した結果も示してある。さらに、Fig.16中の太曲線は、中村らの文献¹⁾で提案されている式(3)($\phi=150\text{mm}$, $h=450\text{mm}$ のコンクリート試験体より得られた式)を用いて算出した L_p-F_c 関係、細曲線は、伊藤らの文献⁴⁾で提案されている式(4)($\phi=100, 150$ および 200mm , $h=400\text{mm}$ のプレーンおよび短繊維補強コンクリート試験体より得られた式)を用いて算出した L_p-F_c 関係である。

$$L_p = \frac{1300}{\sqrt{F_c}} \quad (3)$$

$$L_p = \frac{4100}{F_c} \cdot \beta_{LP} \quad (4)$$

ここに、 β_{LP} : 試験体直径の影響、繊維混入率の影響を考慮する係数であり、本研究では1.0である。

Fig.16によれば、まず、NDFRCCの結果に注目すると、

いずれの評価方法より得られた L_p も、式(3)の曲線に近似している。一方、RMDFRCCの結果に注目すると、いずれの評価方法より得られた L_p も、式(3)に RMDFRCC の F_c を代入して得られた L_p と比較して、低い値を示している。また、いずれの評価方法より得られた L_p も、式(4)に RMDFRCC の F_c を代入して得られた L_p と比較して、高い値を示している。なお、各評価方法より得られた、RMDFRCC と既報⁷⁾の NDFRCC の L_p-F_c 関係に関する近似式の係数を比較(RMDFRCC/NDFRCC を算出)すると、 OL_p では 0.8131、 $OL_p(A)$ では 0.8068、 NIL_p では 0.7478 となり、同一評価方法においては、RMDFRCC の L_p-F_c 関係に関する近似式の係数は、NDFRCC と比較して低い値となった。

4. まとめ

本研究で得られた知見を、以下にまとめる。

- 1) 同一 W/C の場合、各評価方法より得られた RMDFRCC の L_p は、NDFRCC と比較して 12~33% 程度低い値となる。
- 2) W/C の相違に係わらず、アクリルバー有り RMDFRCC 試験体の $\sigma_c-\varepsilon_{fi}$ 関係から判断される定性的な L_p は、 $OL_p(A)$ と概ね合致する。
- 3) 本研究の範囲において、RMDFRCC の L_p-F_c 関係に関する近似式が得られた。

今後、 ϕ が DFRCC 試験体の L_p に与える影響について検討を行っていく予定である。

参考文献

- 1) Nakamura,H.,Higai,T. : Compressive Fracture Energy and Fracture Zone Length of Concrete, Seminar on Post-Peak Behavior of RC Structures Subjected to Seismic Loads, pp.259-272 (1999).
- 2) 平井圭, 中村光, 檜貝勇: コンクリートの圧縮破壊領域の推定に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.17, No.2, pp.339-344 (1995).
- 3) Torsak,L.,Watanabe,K.,Matsuo,M.,Niwa,J. : Experimental Study on parameters in Localization of Concrete Subjected to Compression, JSCE, No.669/V-50, pp.309-321 (2001).
- 4) 伊藤始, 岩波光保, 横田弘, 岸添拓, 石川靖晃, 久保全弘: 短繊維補強コンクリートの圧縮破壊性状に関する実験的研究, 土木学会論文集 E, Vol.62, No.2, pp.341-355 (2006).
- 5) 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).
- 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 (2006).
- 7) 松木雄一郎, 渡部憲, 高橋龍市, 田口皓也: 高靱性セメント複合材料の圧縮破壊領域長さ, コンクリート工学年次論文集, Vol.35, No.1, pp.349-354 (2013).
- 8) 高橋龍市, 渡部憲, 松木雄一郎, 田中直樹: 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領域長さに関する基礎的研究, 東海大学工学部紀要, Vol.53, No.2, pp.33-40 (2013).
- 9) JIS 規格: コンクリート用再生骨材 H(JIS A 5021), 日本規格協会, pp.185-187 (2005).
- 10) 黒瀬英樹, 橋本紳一郎, 江本幸雄, 吉里哲郎: 中品質再生骨材の RC はりへの適用性評価, コンクリート工学年次論文集, Vol.31, No.1, pp.1789-1794 (2009).
- 11) JIS 規格: 再生骨材 M を用いたコンクリート(JIS A 5022), 日本規格協会, pp.315-327 (2007).
- 12) 渡部憲, 大岡督尚, 白都滋: 再生細骨材を用いた繊維補強セメント複合材料の材料特性, コンクリート工学テクニカルレポート, Vol.44, No.3, pp.11-18 (2006).
- 13) RILEM TC 148-SSC : Report of the Round Robin Test carried out by RILEM TC 148-SSC, Materials and Structures/ Materiaux et Constructions, Vol.30, pp.195-209 (1997).
- 14) 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).
- 15) 金子佳生, 三橋博三, 桐越一紀, 下川博之: 繊維補強セメント系材料の圧縮軟化特性—繊維混入率と試験体寸法をパラメータとした圧縮試験と数値解析—, 日本建築学会構造系論文集, 第 592 号, pp.19-26 (2005).