

論文 水セメント比および試験体寸法の相違する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

大瀧 諄^{*1}・渡部 憲^{*2}

要旨: 本研究では、水セメント比および試験体寸法の相違する再生細骨材を使用した高靱性セメント複合材料の一軸圧縮試験を行い、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ついて検討を行った。その結果、高靱性セメント複合材料の圧縮破壊領域長さは、水セメント比および試験体直径の増加に伴い増大する。また、本研究で示した推定式を用いることにより、試験体直径50~150mmの範囲において、圧縮強度および試験体直径の相違する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が推定できる等の知見が得られた。

キーワード: 高靱性セメント複合材料, 再生細骨材, 圧縮破壊領域長さ, 圧縮試験, 内部ひずみ

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、その他の領域では除荷現象が起き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(特に、柱梁接合部や柱基部等に形成される塑性ヒンジ領域)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の各分割区間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計測することにより、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、アクリルバー法を用いて、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、現在、生産活動を実施するにあたり地球環境問題に対する取り組みは重要な課題である。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おり、研究成果および施工事例も報告されている。しかし、経済産業省の砕石等動態統計調査結果によると、例えば、平成29年度の再生骨材の出荷量は18,211(千t)であり、内訳は、道路用・その他用が18,084(千t)、コンクリート用が127(千t)となっている。再生骨材を使用した高性能なコンクリート系材料の開発は、今後、コンクリート用骨材としての再生骨材の利用推進のための一助となるものと、筆者らは考えている。

以上のような背景から、地球環境に配慮した、高性能なコンクリートの実現を目指して、筆者らの一人らは、高靱性セメント複合材料(以下、DFRCCと略記)への、再

生細骨材の適用性を検討してきた⁵⁾。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⁶⁾。

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(破壊の局所化)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、試験体直径(ϕ)を100mm、試験体高さ(h)を200および400mmとした、水セメント比(W/C)の異なる天然および再生細骨材を使用したモルタルベースのDFRCC(以下、DFRMと略記)の L_p について検討を行っている。中村ら^{1,2)}によれば、コンクリートの L_p は圧縮強度(F_c)等に依存するとされている。また、Torsakら³⁾によれば、コンクリートの L_p は ϕ に依存するとされている。そのため、再生細骨材を使用したDFRM(以下、R-DFRMと略記)において、 F_c および ϕ の相違が L_p に及ぼす影響を検討しておくことは重要である。

そこで本研究では、アクリルバー法を用いて、W/Cおよび試験体寸法(ϕ およびh)の相違するR-DFRMの一軸圧縮試験を行い、W/Cおよび試験体寸法の相違が L_p に及ぼす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DFRMの L_p を評価する手法により、W/Cおよび試験体寸法(ϕ およびh)の相違するR-DFRMの L_p を明らかにする。次に、 $\phi=50, 100$ および150mmにおいて、R-DFRMの L_p-F_c 関係を近似式とともに示す。最後に、各 ϕ におけるR-DFRMの L_p-F_c 関係の近似式から、 F_c および ϕ の相違するR-DFRMの L_p の定式化を試みた。

2. 実験概要

本研究では、表-1に示すR-DFRMのフレッシュ試験および一軸圧縮試験を行った。なお、一部の要因におい

*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)

表-1 実験概要

| 試験体名 | 水セメント比 (W/C) (%) | 細骨材セメント比 (S/C) (%) | 繊維体積混入率 (V _f) (vol.%) | 試験体寸法 | | アクリルレバー | | | |
|----------|------------------|--------------------|-----------------------------------|-------------|-------------|---------|-----|-----|----|
| | | | | 直径 (φ) (mm) | 高さ直径比 (h/φ) | 長さ (mm) | 分割数 | | |
| R-DFRM40 | 40 | 40 | 3.0 | 50 | 3 | 130 | 4 | | |
| | | | | | | 280 | 8 | | |
| | | | | | | 430 | 10 | | |
| R-DFRM50 | 50 | 65 | | 50 | 2 | 80 | 4 | | |
| | | | | | | 130 | 4 | | |
| | | | | | | 180 | 6 | | |
| | | | | 100 | 3 | 180 | 6 | | |
| | | | | | | 280 | 8 | | |
| | | | | | | 380 | 10 | | |
| | | | | 150 | 4 | 280 | 8 | | |
| | | | | | | 430 | 10 | | |
| | | | | | | 580 | 12 | | |
| | | | R-DFRM60 | 60 | 90 | 50 | 3 | 130 | 4 |
| | | | | | | | | 280 | 8 |
| | | | | | | | | 430 | 10 |
| N-DFRM40 | 40 | 40 | | 100 | 3 | 280 | 8 | | |
| N-DFRM50 | 50 | 65 | | | | 430 | 10 | | |
| N-DFRM60 | 60 | 90 | | | | 280 | 8 | | |

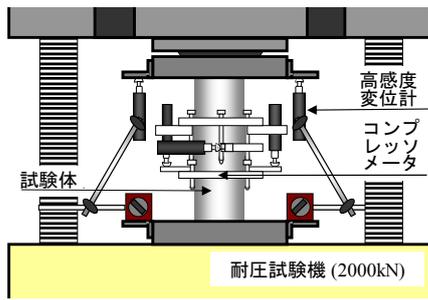


図-1 一軸圧縮載荷

て、天然細骨材(N)を使用したDFRM(以下、N-DFRMと略記)についても、併せて検討を行った。本研究で利用した細骨材は、R{H相当の再生細骨材(最大骨材寸法:2.5mm, 表乾密度:2.59g/cm³, 吸水率:2.59%)およびN{砕砂(最大骨材寸法:2.5mm, 表乾密度:2.64g/cm³, 吸水率:0.97%)と山砂(最大骨材寸法:1.2mm, 表乾密度:2.64g/cm³, 吸水率:1.46%)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-DFRMおよびN-DFRMのW/Cは、40、50および60%とした。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3.0%とした。R-DFRMの試験体寸法は、φを50、100および150mmとし、試験体高さ直径比(h/φ)を2、3および4とした。なお、N-DFRMの試験体寸法は、φを100mm, h/φを3とした場合のみとした。打込みは、hに応じて2、3または4層詰めとした。締めめは、各層、突き棒を用いて試験体の上面積約700mm²に1回の割合で突き、ジギングを行った。試験体本数は、各要因において、アクリルレバーを埋設した試験体(以下、アクリルレバー有り試験体と略記)を1体、アクリルレバーを埋設していない試験体(以下、アクリルレバー無し試験体と略記)を6体とした。フレッシュ試験では、モルタルフロー試験および空気量試験を行った。一軸圧縮載荷は、2000kN耐圧試験機を使用し、一軸圧縮試験時の載荷盤の拘束による影響^{8) 例え、9)}を軽減するため、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

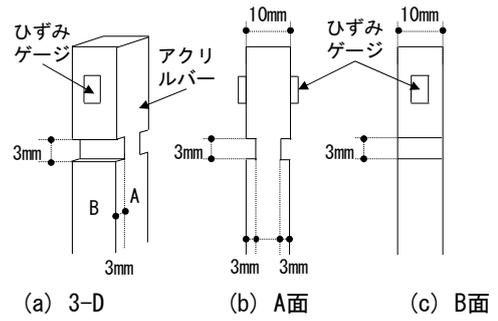
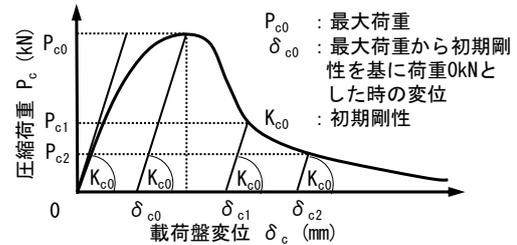
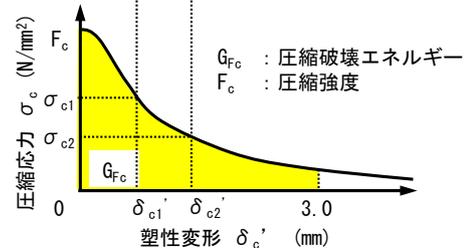


図-2 アクリルレバーの形状



(a) 荷重-載荷盤変位関係



(b) 応力-塑性変形関係

図-3 圧縮破壊エネルギーの評価方法

布したものを鋼製載荷盤と試験体上下間に挿入して行った。一軸圧縮試験の概要を図-1に示す。計測項目は、荷重、試験体中央部の縦・横ひずみ、載荷盤間変位およびアクリルレバーによる高さ方向各部位の内部ひずみ(ε_{li})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。アクリルレバーは、表-1に示す長さおよび分割数とし、図-2に示す溝を設けることにより、高さ方向に分割した。そして、アクリルレバーの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レバーを設置し、ε_{li}を測定できるようにした。試験体は打込み後2日で脱型し、載荷試験時(材齢28日)まで標準養生した。なお、試験体の打込み面は、載荷試験直前に研磨した。φ=50および100mmの場合は、研磨機を用いて研磨し、φ=150mmの場合は、ガラス板に紙やすりを貼り付けたものを用いて手作業で研磨した。

2.1 圧縮破壊エネルギーの評価方法

圧縮破壊エネルギー(G_{Fc})については、文献¹⁰⁾に示す手法により評価した。図-3に、G_{Fc}の評価方法を示す。

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{図-3(a)}を圧縮応力(σ_c)-塑性変形(δ_c')関係

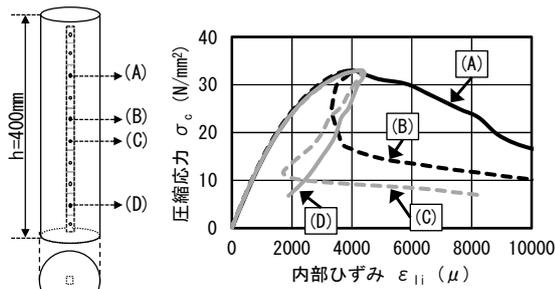


図-4 圧縮応力-内部ひずみ関係

{図-3(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。なお、 $P_c - \delta_c$ 関係における P_{c0} までの δ_c には、試験体中央部の縦ひずみより算出した値を用いた。これは、テフロンシートによる影響(見かけの K_{c0} の低下)を取り除くためである。

次に、 $\sigma_c - \delta_c'$ 関係から δ_c' が3.0mmまでの面積{図-3(b)の着色部分}を求める。この面積が G_{F_c} である。

2.2 圧縮破壊領域長さの評価方法

本研究では、中村らの手法²⁾をベースとし、以下の手順で、R-DFRMおよびN-DFRMの L_p を評価した⁷⁾。

1)実験より得られた各部位の $\sigma_c - \varepsilon_{ii}$ 関係を、局所化領域と除荷領域の $\sigma_c - \varepsilon_{ii}$ 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{図-4中の(A)}、ひずみが減少する場合は除荷領域{図-4中の(D)}の $\sigma_c - \varepsilon_{ii}$ 関係である。なお筆者らは、図-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{図-4中の(B)}を局所化領域、小さいもの{図-4中の(C)}を除荷領域の $\sigma_c - \varepsilon_{ii}$ 関係とした。

2)局所化領域と除荷領域に区別された $\sigma_c - \varepsilon_{ii}$ 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 L_p を算出した。

$$\varepsilon_{av} = f \cdot \varepsilon + (1 - f) \varepsilon_u \quad (1)$$

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

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長に対する容積比(断面一定の場合、 L_p/h)であり、一定値に収束するとされる。

3. 結果と考察

3.1 各種材料特性

(1) モルタルフロー

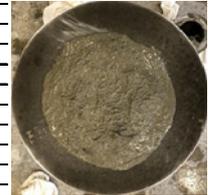
表-2に、R-DFRMおよびN-DFRMのモルタルフロー

表-2 モルタルフロー等の材料特性

| 試験体名 | 試験体直径(φ)(mm) | 試験体高さ直径比 | フレッシュ時 | | 硬化時 | |
|----------|--------------|----------|-------------|--------|------|----------------------------|
| | | | モルタルフロー(mm) | 空気量(%) | 材料分離 | 単位容積質量(g/cm ³) |
| R-DFRM40 | 50 | 3 | 200 | 2.0 | 無 | 2.08 |
| | 100 | | | | | 2.07 |
| | 150 | | | | | 2.06 |
| R-DFRM50 | 50 | 189 | 2.3 | 無 | 2.02 | |
| | | | | | 3 | 2.02 |
| | 4 | | | | 2.03 | |
| | 100 | | | | 2.02 | |
| | | | | | 3 | 2.02 |
| | | | | | 4 | 2.02 |
| | 150 | | | | 2.01 | |
| 3 | | 2.02 | | | | |
| R-DFRM60 | 50 | 3 | 182 | 2.7 | 無 | 1.98 |
| | 100 | | | | | 1.98 |
| | 150 | | | | | 1.98 |
| N-DFRM40 | 100 | 3 | | | | 198 |
| N-DFRM50 | | | | | | 203 |
| N-DFRM60 | | | | | | 195 |
| N-DFRM60 | | | | | | 1.8 |



(a) R-DFRM50



(b) N-DFRM50

写真-1 モルタルフロー試験結果の一例

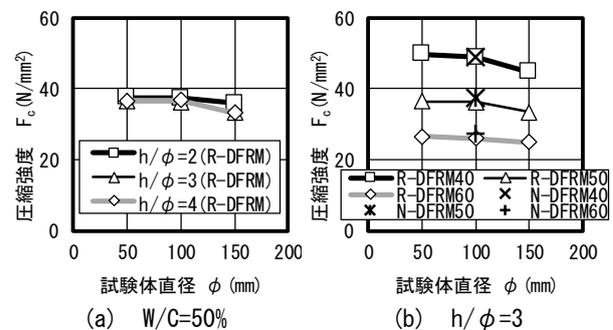


図-5 圧縮強度-試験体直径関係

等の材料特性を示す。また、写真-1に、R-DFRMおよびN-DFRMのモルタルフロー試験結果の一例を示す。

表-2によれば、R-DFRMおよびN-DFRMのモルタルフローは、182~203mmとなっており、W/Cおよび骨材種類の相違に係わらず、材料分離を生じることはなかった(写真-1は、モルタルフロー試験結果の一例であるが、全ての結果において材料分離無し)。

(2) 圧縮強度

図-5に、R-DFRM試験体(アクリルバー無し試験体)より得られた $F_c - \phi$ 関係を示す。なお、図-5(b)中には、N-DFRM試験体($\phi = 100$ mm, $h/\phi = 3$)の結果も示してある。

まず、図-5(a)によれば、W/C=50%におけるR-DFRMの F_c は、 $\phi = 50 \sim 100$ mmの範囲では不明瞭であるが、 ϕ が50mmから150mmになると、 h/ϕ の相違に係わらず、低下していることがわかる。 $\phi = 150$ mmにおけるR-DFRMの F_c は、 $\phi = 50$ mmの場合と比較して、 $h/\phi = 2$ で4.22%、 $h/\phi = 3$ で8.07%、 $h/\phi = 4$ で9.52%低下している。

次に、図-5(b)によれば、 $h/\phi = 3$ におけるR-DFRMの F_c は、 $\phi = 50 \sim 100$ mmの範囲では不明瞭であるが、 ϕ が50mmから150mmになると、W/Cの相違に係わらず、低下していることがわかる。 $\phi = 150$ mmにおけるR-DFRMの F_c は、 $\phi = 50$ mmの場合と比較して、W/C=40%で

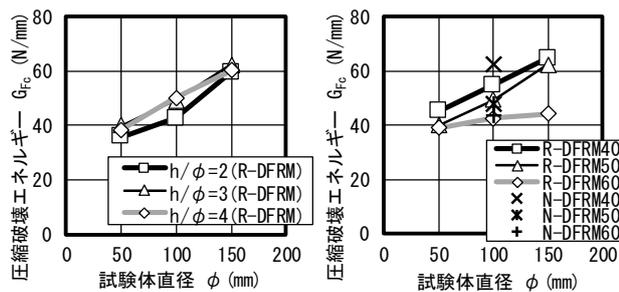


図-6 圧縮破壊エネルギー—試験体直径関係

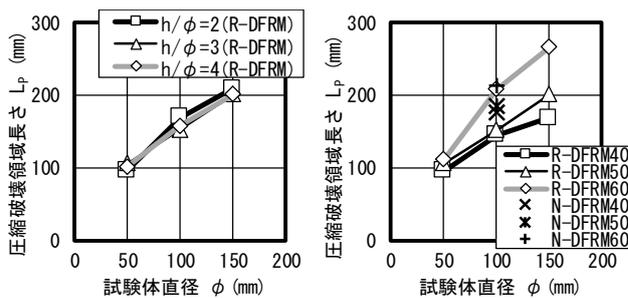


図-7 圧縮破壊領域長さ—試験体直径関係

10.1%, W/C=50%で8.07%, W/C=60%で5.94%低下している。

以上、コンクリート同様¹¹⁾、R-DFRMにおいても、 h/ϕ およびW/Cの相違に係わらず、 ϕ の増加に伴い F_c が低下する傾向(寸法効果)が確認できた。ただし、W/C=40%におけるR-DFRMの単位容積質量は、 ϕ の増加に伴い低下しており(表-2参照)、今後、詳細に検討を行う必要がある。

なお、同一W/C、 $\phi=100\text{mm}$ ($h/\phi=3$)とした場合、R-DFRMとN-DFRMの F_c は、概ね同程度となっており、既報⁸⁾と同様に、高品質再生細骨材を使用した場合のDFRMの F_c は、天然細骨材を使用した場合と比較して、大きな差がないことを確認できた。

(3) 圧縮破壊エネルギー

図-6に、R-DFRM試験体(アクリルバー無し試験体)より得られた $G_{Fc}-\phi$ 関係を示す。なお、図-6(b)中には、N-DFRM試験体($\phi=100\text{mm}$, $h/\phi=3$)の結果も示している。

まず、図-6(a)によれば、W/C=50%におけるR-DFRMの G_{Fc} は、 $h/\phi=2$ の場合、他の h/ϕ と比較して、若干、低くなっているが、同一 ϕ であれば、概ね同程度の値となっており、 h/ϕ の相違に係わらず、 ϕ の増加に伴い増大している。 $\phi=150\text{mm}$ におけるR-DFRMの G_{Fc} は、 $\phi=50\text{mm}$ の場合と比較して、 $h/\phi=2$ で66.0%、 $h/\phi=3$ で55.7%、 $h/\phi=4$ で56.5%増大している。

次に、図-6(b)によれば、 $h/\phi=3$ におけるR-DFRMの G_{Fc} は、W/Cの相違に係わらず、 ϕ の増加に伴い増大している。 $\phi=150\text{mm}$ におけるR-DFRMの G_{Fc} は、 $\phi=50\text{mm}$ の場合と比較して、W/C=40%で43.2%、W/C=50%で55.7%、W/C=60%で9.46%増大している。また、 ϕ の増加に伴う G_{Fc} の増加割合は、W/Cの相違により異なっている。

なお、同一W/C、 $\phi=100\text{mm}$ ($h/\phi=3$)とした場合、R-DFRMとN-DFRMの G_{Fc} は、W/C=50%では、概ね同程度となっているが、W/C=40および60%では、R-DFRM<N-DFRMとなっている。既報⁸⁾においても、一部要因の G_{Fc} でR-DFRM(高品質再生細骨材を使用)<N-DFRMとな



写真-2 試験体破壊状況の一例

る場合が確認されている。骨材種類の相違がDFRMの G_{Fc} に及ぼす影響について、今後、詳細に検討を行う必要がある。

(4) 圧縮破壊領域長さ

図-7に、R-DFRM試験体(アクリルバー有り試験体)より得られた $L_p-\phi$ 関係を示す。なお、図-7(b)中には、N-DFRM試験体($\phi=100\text{mm}$, $h/\phi=3$)の結果も示している。また、写真-2に、一軸圧縮試験後のアクリルバー有り試験体($h/\phi=3$)の破壊状況の一例を示す(左からR-DFRM50の $\phi=50\text{mm}$ 試験体、R-DFRM40の $\phi=100\text{mm}$ 試験体、R-DFRM50の $\phi=100\text{mm}$ 試験体、R-DFRM60の $\phi=100\text{mm}$ 試験体、R-DFRM50の $\phi=150\text{mm}$ 試験体である)。

まず、図-7(a)によれば、W/C=50%におけるR-DFRMの L_p は、 h/ϕ の相違に係わらず、 ϕ の増加に伴い増大している。また、R-DFRMの L_p は、 h/ϕ の相違に係わらず、同一 ϕ において、概ね、一定値($\phi=50\text{mm}$ において93~106mm、 $\phi=100\text{mm}$ において152~169mm、 $\phi=150\text{mm}$ において201~210mm)となっている。このことから、 ϕ の増加に伴う L_p の増大が、前掲、図-6(a)の傾向(G_{Fc} が、 ϕ の増加に伴い増大する傾向)に影響を及ぼしていると考えられる。

次に、図-7(b)によれば、 $h/\phi=3$ におけるR-DFRMの L_p は、W/Cの相違に係わらず、 ϕ の増加に伴い増大している。 $\phi=150\text{mm}$ におけるR-DFRMの L_p は、 $\phi=50\text{mm}$ の

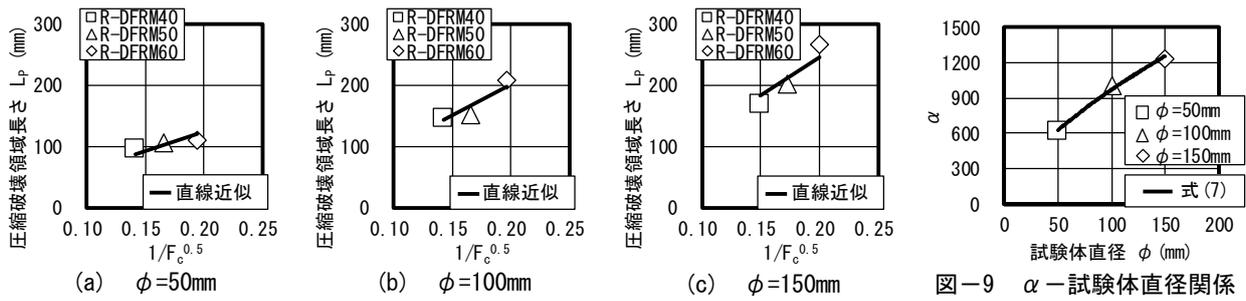


図-8 圧縮破壊領域長さ- $1/F_c^{0.5}$ 関係

図-9 α -試験体直径関係

場合と比較して、W/C=40%で75.9%、W/C=50%で90.5%、W/C=60%で140%増大している。また、 ϕ の増加に伴う L_p の増加割合は、W/Cの相違により異なっている。これらのことと、前掲、図-6(b)の傾向(ϕ の増加に伴う G_{Fc} の増加割合が、W/Cの相違により異なること)から、 ϕ の相違による L_p の変動が、R-DFRMの G_{Fc} に及ぼす影響は、 F_c レベルにより相違するものと考えられる。

以上、R-DFRMの L_p は、 h/ϕ およびW/Cの相違に係わらず、Torsakら³⁾の指摘するコンクリートの L_p と同様に ϕ に依存していることがわかった。

なお、同一W/C、 $\phi=100\text{mm}$ ($h/\phi=3$)とした場合、R-DFRMとN-DFRMの L_p は、W/C=60%では、概ね同程度となっているが、W/C=40および50%では、R-DFRM<N-DFRMとなっている。既報⁸⁾においても、一部要因の L_p でR-DFRM(高品質再生細骨材を使用)<N-DFRMとなる場合が確認されている。骨材種類の相違がDFRMの L_p に及ぼす影響について、今後、詳細に検討を行う必要がある。

3.2 圧縮破壊領域長さの定式化

本研究では、 F_c および ϕ の相違するR-DFRMの L_p に関して、文献¹⁾で提案されている式(3)をベースとし、定式化を試みた。

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

図-8に、 $h/\phi=3$ としたR-DFRM試験体(アクリルバー有り試験体)より得られた $L_p-1/F_c^{0.5}$ 関係を直線近似結果とともに示す。

まず、図-8(a)によれば、 $\phi=50\text{mm}$ におけるR-DFRMの L_p は、 $1/F_c^{0.5}$ の増加に伴い増大する傾向にあり、 $L_p-1/F_c^{0.5}$ 関係について、直線近似すると、式(4)が得られる。

$$L_p = \frac{618.46}{\sqrt{F_c}}, \quad \phi = 50\text{mm} \quad (4)$$

次に、図-8(b)によれば、 $\phi=100\text{mm}$ におけるR-DFRMの L_p は、 $1/F_c^{0.5}$ の増加に伴い増大する傾向にあり、 $L_p-1/F_c^{0.5}$ 関係について、直線近似すると、式(5)が

表-3 各式における実験値に対する近似誤差

| 試験体名 | 水セメント比 (W/C) (%) | 試験体寸法 直径(ϕ) (mm) | 実験値に対する近似誤差 | | | |
|----------|------------------------|-------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | | | 式(4) (%) | 式(5) (%) | 式(6) (%) | 式(8) (%) |
| R-DFRM40 | 40 | 50 | -8.65 | | | -7.51 |
| R-DFRM50 | 50 | | -3.13 | | | -1.92 |
| R-DFRM60 | 60 | | 8.01 | | | 9.36 |
| R-DFRM40 | 40 | 100 | | -0.765 | | -4.08 |
| R-DFRM50 | 50 | | | 9.61 | | 5.94 |
| R-DFRM60 | 60 | | | -5.54 | | -8.69 |
| R-DFRM40 | 40 | 150 | | | 8.97 | 11.3 |
| R-DFRM50 | 50 | | | | 5.49 | 7.75 |
| R-DFRM60 | 60 | | | | -7.83 | -5.85 |

得られる。

$$L_p = \frac{1005.4}{\sqrt{F_c}}, \quad \phi = 100\text{mm} \quad (5)$$

さらに、図-8(c)によれば、 $\phi=150\text{mm}$ におけるR-DFRMの L_p は、 $1/F_c^{0.5}$ の増加に伴い増大する傾向にあり、 $L_p-1/F_c^{0.5}$ 関係について、直線近似すると、式(6)が得られる。

$$L_p = \frac{1230.3}{\sqrt{F_c}}, \quad \phi = 150\text{mm} \quad (6)$$

図-9に、 $h/\phi=3$ としたR-DFRM試験体(アクリルバー有り試験体)より得られた $\alpha-\phi$ 関係を累乗近似結果とともに示す。なお、 α は式(4)~(6)における分子の値である。R-DFRMの α は、 ϕ の増加に伴い増大する傾向にあり、 $\alpha-\phi$ 関係について、累乗近似すると、式(7)が得られる。

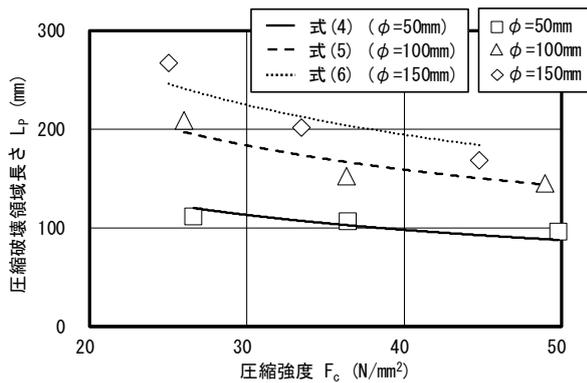
$$\alpha = 52.407 \cdot \phi^{0.63412} \quad (7)$$

以上より、 F_c および ϕ の相違がR-DFRMの L_p に及ぼす影響を整理すると、式(8)が得られる。

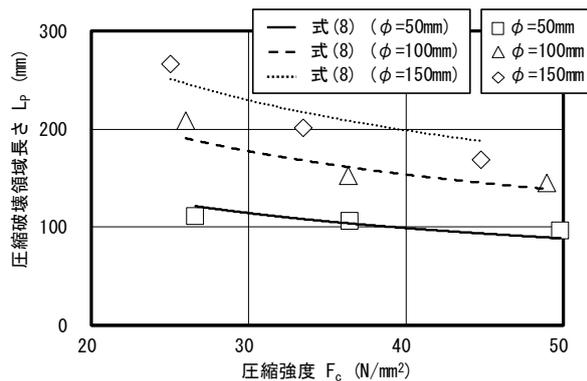
$$L_p = \frac{52.407 \cdot \phi^{0.63412}}{\sqrt{F_c}}, \quad 50 \leq \phi \leq 150 \text{ (mm)} \quad (8)$$

表-3に、 $h/\phi=3$ としたR-DFRM試験体(アクリルバー有り試験体)より得られた L_p と式(4)~(6)および(8)より得られた L_p の近似誤差を示す。また、図-10に、 $h/\phi=3$ としたR-DFRM試験体(アクリルバー有り試験体)より得られた L_p-F_c 関係を示す。なお、図-10中の曲線は、式(4)~(6)および(8)より得られた L_p-F_c 関係である。

表-3によれば、R-DFRMの L_p と式(4)~(6)および(8)より得られた L_p の近似誤差は、式(4)~(6)で-8.65~



(a) 実験値および式(4)～(6)



(b) 実験値および式(8)

図-10 圧縮破壊領域長さ-試験体直径関係

+9.61%, 式(8)で-8.69～+11.3%となっている。式(4)～(6)における L_p の近似誤差と、式(8)における L_p の近似誤差は、概ね、同程度となっており、R-DFRMの L_p は、 F_c および ϕ の相違に係わらず、式(8)により、概ね近似可能である。

即ち、式(8)を用いることにより、 $\phi=50\sim 150\text{mm}$ の範囲において、 F_c および ϕ の相違するR-DFRMの L_p が推定できる。

4. まとめ

本研究の範囲において得られた知見を、以下にまとめる。

- 1) H相当の再生細骨材を使用した高靱性セメント複合材料においても、コンクリート同様、試験体高さ直径比および水セメント比の相違に係わらず、試験体直径の増加に伴い圧縮強度が低下する。
- 2) H相当の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エネルギーは、試験体高さ直径比および水セメント比の相違に係わらず、試験体直径の増加に伴い増大する。
- 3) H相当の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は、水セメント比および試験体高さ直径比の相違に係わらず、試験体直径に依存する。

- 4) 本研究で示した推定式を用いることにより、試験体直径50～150mmの範囲において、圧縮強度および試験体直径の相違するH相当の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が推定できる。

参考文献

- 1) Nakamura,H.,Higai,T.:Compressive Fracture Energy and Fracture ZoneLength of Concrete, Seminar on Post-Peak Behavior of RC Structures Subjected to Seismic Loads, p p.259-272, Oct.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, 1995.6
- 3) Torsak,L.,Watanabe,K.,Matsuo,M.,Niwa,J.:Experiment al Study on Parameters in Localization of Concrete Subjecte d to Compression, JSCE, No.669/V-50,pp.309-321, Feb.2 001
- 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, N o.2, pp.341-355, 2006.5
- 5) 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.11-1 8, 2006.3
- 6) 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, 12 8pp., 2002.1
- 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, 201 3.7
- 8) 高橋龍市, 渡部憲: 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, コンクリート工学年次論文集, Vol.37, No.1, pp.337-342, 2015
- 9) RILEM TC 148-SSC:Report of the Round Robin Test carried out by RILEM TC 148-SSC, Materials and Structure s/ Materiaux et Constructions, Vol.30, pp.195-209, May.1 997
- 10) 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.
- 11) 塩屋俊幸, 長谷川俊昭: コンクリート構造物の寸法効果, コンクリート工学, Vol.30, No.8, pp.5-15, 1 992.8