

高じん性セメント複合材料 (DFRCC) の 構造利用に関する基礎的研究

学生氏名 野田 誠
指導教員 小玉 克己 栗原 哲彦

本研究では、DFRCC のフレッシュ性状および寸法効果を検討し、破壊性状を把握するため、引張軟化曲線の推定を行った。さらに、従来の補修・補強材料である鋼繊維補強コンクリートやポリマーセメントモルタルと比較・検討することにより、DFRCC の補修・補強材としての性能を照査した。その結果、DFRCC は十分に施工可能であり、寸法効果の存在も確認できた。DFRCC の引張軟化曲線は、軟化開始直後に応力が増加する区間を確認することができた。さらに、上・下面増厚補強に使用することにより、最大荷重や最大荷重時変位に著しい改善が見られ、特に、DFRCC を上面増厚した場合にその効果が最も大きかった。

Key Words : *Ductile Fiber Reinforced Cementitious Composites , Repair and Reinforcement , Tension Softening diagram, Size Effect*

1. はじめに

近年の交通車両の大型化や車両の増大、設計要領の改訂等により、コンクリート構造物は次々と寿命を迎え、その耐荷性・耐久性は低下していると考えられる。このようなコンクリート構造物は、将来的に撤去・新設とするか、あるいは補修・補強を施し供用を継続するかを選択に迫られることになり、劣化した構造物の供用を継続するには、補修・補強が必要となる。例えば、道路床版を例にとると、代表的な補強工法に上・下面増厚工法がある。増厚工法とは、床版の劣化部をはつり、コンクリートを健全な状態にし、その後、補修・補強材料で断面を修復する工法である。補修・補強材料としては、上面増厚工法では例えば鋼繊維補強コンクリート（以下、SFRC）が、下面増厚工法では例えばポリマーセメントモルタル（以下、PCM）が多く利用されている。

また現在は、従来の短繊維補強セメント系材料（以下、FRCC）の概念をさらに進化させた高じん性セメント複合材料（Ductile Fiber Reinforced Cementitious Composites、以下、DFRCC）が開発されている。DFRCC は図-1 のように定義され、FRCC の中に含まれる。図-2 に DFRCC の引張特性を示す。この材料は、曲げモーメント作用下あるいは引張力作用下においてひび割れ発生後も応力の低下が無く、見かけのひずみの増加に伴い応力が増加する「ひずみ硬化特性」と、微細ひび割れが無数に生じる「マルチプルクラック特性」を有するところに特徴がある。また、コンクリートの脆性的な性質

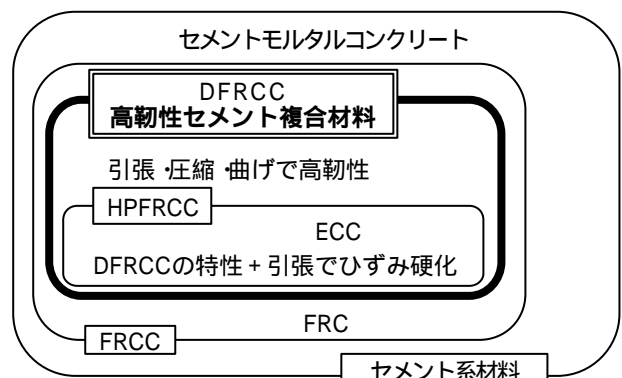


図-1 高じん性セメント複合材料の定義¹⁾

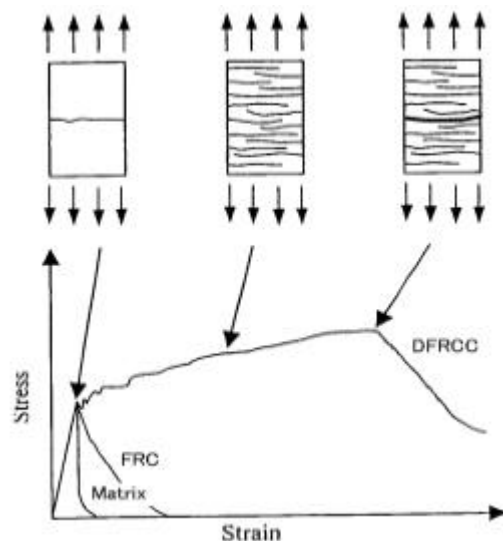


図-2 DFRCC の引張特性²⁾

を改善していることから、コンクリート構造物に適用した際、構造性能や耐久性の向上に寄与するものと期待されている。モルタル・コンクリート用の補強繊維には、多種多用の繊維が存在するが、DFRCC用の繊維としては、PVA 繊維、高強度ポリエチレン繊維、鋼繊維等が有力とされている。³⁾

本研究では、このDFRCCのフレッシュ性状および寸法効果を明確にし、引張軟化曲線を推定することにより、その破壊性状を検討した。さらに、上・下面増厚工法用の補修・補強材として用いた場合の補修・補強効果についてSFRC・PCMと比較し、検討した。

2. DFRCCの最適配合・最適練混ぜ法

2.1 使用材料

繊維には径12 μ m、長さ13mmのポリエチレン繊維(密度0.97g/cm³)を使用した。DFRCCは、モルタルに繊維を混入したものであり、粗骨材は使用していない。また、繊維の分散性および均等性を考慮した場合、モルタルには適度な粘性が必要となり、その粘性を確保するために増粘剤として非イオン系水溶性セルロースを使用した。セメントには早強ポルトランドセメントを用い、細骨材には7号珪砂(平均粒度135 μ m)を使用した。混和材には、フライアッシュ(FA)、シリカフューム(SF)、高炉スラグ微粉末(GF)を使用し、置換率を質量比20%とした。

2.2 実験概要

今回は、まず始めに最適練混ぜ法を確立し、確立された練混ぜ法により、最適配合の検討を行った。目標練混ぜ量を30Lとし、パン型ミキサーを用いて練混ぜを行った。表-1に各シリーズの配合を示す。なお練混ぜ法の検討には、既往の研究⁴⁾より得られた基準配合(シリーズN)を用いた。練混ぜ法の検討に関しては、モルタル分を先に練り、最後に湿ら

した繊維を投入する方法(L-wet-N)、最後に湿らしていない繊維を投入する方法(L-dry-N)、繊維を湿らせておき、材料を一括で投入する方法(A-wet-N)の3パターンを検討した。配合の検討に関しては、増粘剤の多少、混和剤のフレッシュ性状に対する影響を検討した。混和材の置換率は20%質量比とした。

測定項目はフロー値、単位量あたりの繊維量の2項目とし、フロー試験は「セメントの物理試験方法(JIS R 5201)」に準拠して行った。また、単位量あたりの繊維量の測定は、練りあがったDFRCCから任意に3箇所取り出し、この重量を計測し、その後モルタル分を洗い流し、乾燥させて、繊維のみとした重量を計測した。これより、残った繊維の重量を洗い流し前のDFRCCの重量で除した値を単位量あたりの繊維量として求めた。

2.3 実験結果

図-3にフロー値および単位量あたりの繊維量のグラフを示す。ただし、単位量あたりの繊維量に関して、黒丸が測定値、白丸が平均値である。また、A-wet-NとL-dry-Nに関しては一箇所しか測定しておらず、その値を白丸とした。

図-3より練混ぜ方法の違いによるフロー値の差はほとんど見られず、全て170mm程度の流動性の良いものだった。しかし、練混ぜ過程において、材料を一括投入したものは一度ミキサー内で玉になってしまい、ミキサーに負荷のかかる方法となった。また、繊維を湿らせずに投入すると練混ぜ時に繊維が舞ってしまった。よって最適練混ぜ法は、モルタル分を先に練り、最後に湿らした繊維を投入する方法(L-wet-N)を採用した。

写真-1に増粘剤を変化させたシリーズの供試体を示す。増粘剤を変化させると、V-1.5は粘性が高くなり、フロー値が156mmと小さかった。また写真-1からも確認できるが、打設は可能だが締固めがうまくいかず、気泡だらけの供試体になってしまっ

表-1 各シリーズの配合

シリーズ	W/B %	単位量 (kg/m ³)					Ad %	
		W	C	混和材	S	V		F
N	30	342	1264	253	395	0.9	14.6	3
V-0						0		
V-0.5						0.45		
V-1.5						1.35		
FA						0.9		
SF						0.9		
GF						0.9		

B: 結合材 C: 早強ポルトランドセメント S: 7号珪砂 V: 増粘剤
 F: ポリエチレン繊維 (体積混入率1.5%) Ad: 高性能AE減水剤 (結合材に対する質量比)

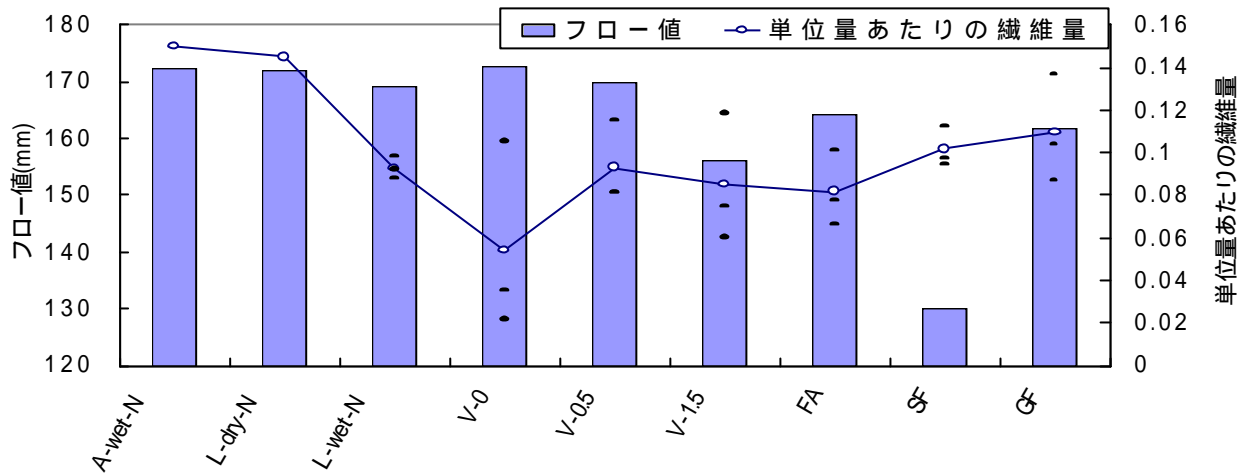


図-3 各シリーズのフロー値および単位量あたりの繊維量

た．増粘剤を入れなかった V-0 に関しては，ブリーディングを起こしてしまい，打設面に白いレイタンスが現れた．V-0.5 は，基準のものとはほとんど変わらず，フロー値にも差は見られなかった．また増粘剤が少ない方が，締固めやすく大きな気泡も少なかった．

写真-2 に基準とした L-wet-N と違いの見られたシリカフェームのフロー写真を示す．セメントを混和材で置換したものは，フロー値が基準配合の N に比べて低下した．また写真-2 より，シリカフェームはフロー値が 130mm と固練りのモルタルとなってしまった．フライアッシュと高炉スラグ微粉末に関しては，練り上がりの様子は基準配合 N とほとんど変わらず，施工が可能であった．



写真-1 供試体写真 (左:V-0 右:V-1.5)

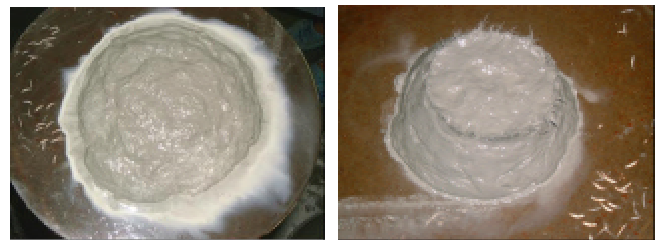


写真-2 フロー写真 (左:L-wet-N 右:シリカフェーム)

3. DFRCC の寸法効果

3.1 実験概要

角柱供試体の寸法を幅 D×高さ H×長さ L の全てを変化させたもの(大きさの変化)と高さ H のみ変化させたもの(高さの変化)の 2 パターン作製し，練混ぜは表-1 のシリーズ N の配合で行った．荷重方法は 3 等分点曲げ試験とし，荷重をロードセルで，荷重点変位を変位計(ストローク 50mm)で対角に 2 点測定した．また，支点沈下も変位計(ストローク 25mm)で測定した．

3.3 実験結果

図-4 に大きさの変化による断面積(D×H)と曲げ強度の関係を示す．大きさの変化による寸法効果に関しては，測定値には若干のバラツキが見られるが，平均値を取ると寸法効果の影響が確認でき，寸法の増大に伴い，強度が低下している．

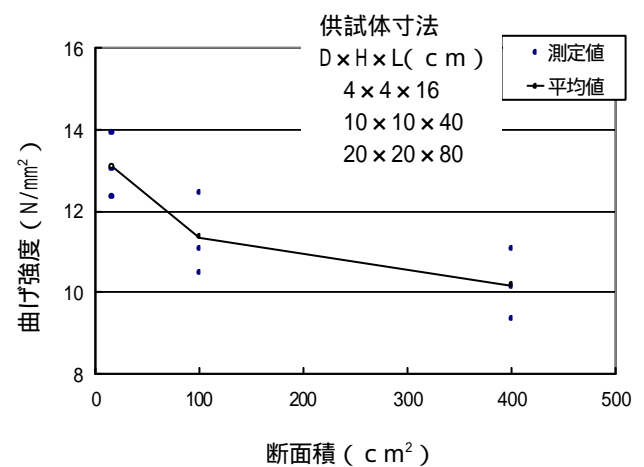


図-4 断面積(D×H)と曲げ強度の関係

図-5 に高さ(H)の変化による最大荷重における

最大変位を示す．高さ変化による寸法効果に関しては，最大荷重における最大変位に関して，高さが小さいほど変位が大きくなっているのが分かる．特に高さ 50mm と 100mm ではほとんど差がないが，50mm と 25mm を比べるとその差が大きくなっている．

4. DFRCC の引張軟化曲線

4.1 実験概要

はり供試体（寸法 100×100×400mm）には，シリーズ N の配合で作製し，ひび割れの分散を抑えるため，中央に切欠き（幅 3mm）を設けた．切欠き深さは 30, 50mm の 2 種類とした．また，ひび割れの分散を抑えるために切欠きを 3/4 周（両側面の切欠き深さ 10mm）入れた供試体も作製した．試験方法は 3 点曲げ試験（スパン 30mm）とし，それぞれ荷重，切欠き肩口開口変位（以下，CMOD）と載荷点変位をそれぞれロードセル，クリップゲージ（ストローク 3mm）および高感度変位計（ストローク 25mm）により計測した．**図-6** に供試体および試験概略図を示す．シリーズ名は供試体下縁のみ切欠きを設けたものを nor，3/4 周入れたものを new とし，そのシリーズ名の後に切欠き深さの値を設けた．なお補修・補強材の比較材料として，鋼繊維補強コンクリート（以下，SFRC），ポリマーセメントモルタル（以下，PCM）と，母材として普通強度コンクリート（以下，NC）と比較する．

4.2 解析概要⁵⁾

計測された荷重 - CMOD 曲線および荷重 - 載荷点変位曲線から多直線近似法により引張軟化曲線を推定した．多直線近似解析法とは，実験で得られた荷重 - 変位関係を基に逆解析により引張軟化曲線を推定する方法である．仮想ひび割れモデルを用いたひび割れ進展解析を基本とし，ひび割れを進展させるごとに，引張軟化曲線の先端の勾配を仮定して荷重 - 変位関係を計算し，これと実験結果が合致するように引張軟化曲線を順次決定していく．

4.3 実験結果

(1) 荷重 CMOD 曲線および荷重 変位曲線

図-7 に各シリーズの荷重 CMOD 曲線（3 本の平均曲線）を，**図-8** に各シリーズの荷重 変位曲線（3 本の平均曲線）を示す．

図-7，**図-8** において荷重 CMOD 曲線は，クリップゲージの測定限度を超えてしまったため，途中までの計測となった．ひび割れ発生後，急激に荷重低下する繊維無混入の普通コンクリートに比べ，ひび割れ発生後も荷重低下が見られず，最大荷重に至るまで荷重増

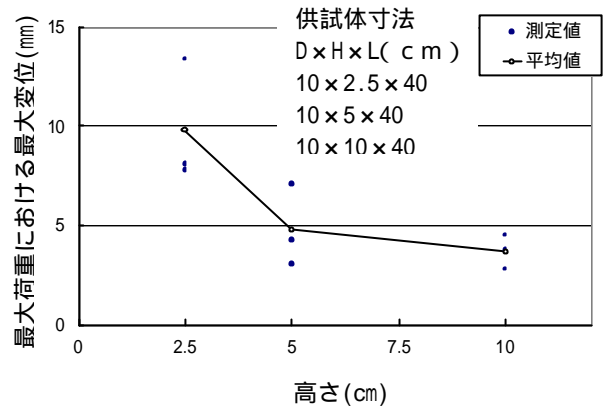


図-5 高さ (H) 変化と最大荷重における最大変位

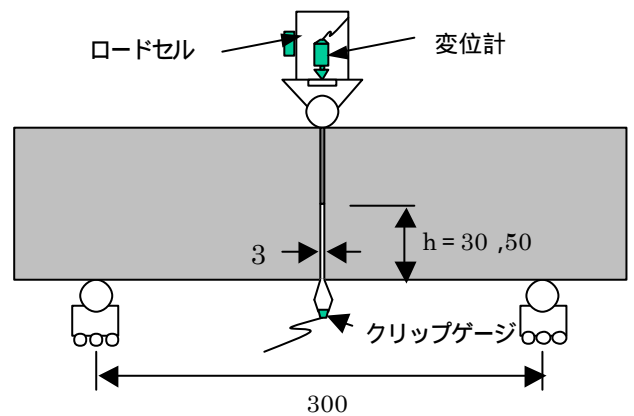


図-6 new シリーズの供試体および試験概略図（単位:mm）

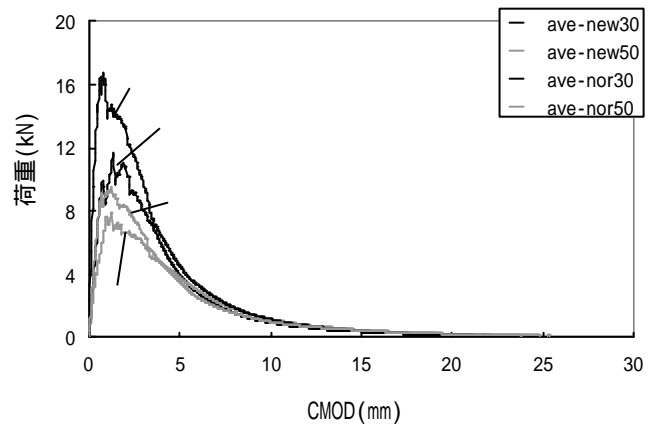


図-7 各シリーズの荷重 CMOD 曲線（平均曲線）

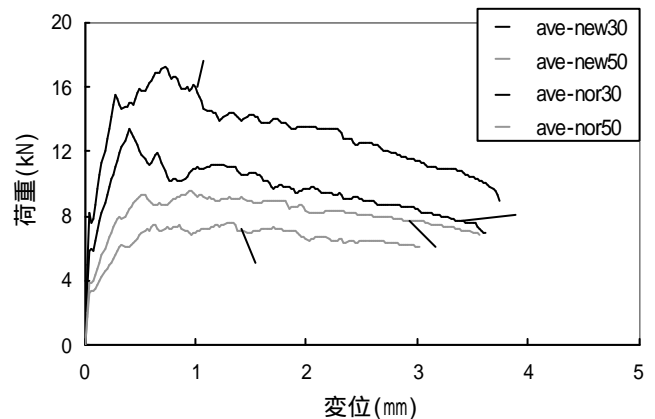


図-8 各シリーズの荷重 変位曲線（平均曲線）

加を示し、ピーク以降緩やかに荷重低下した。荷重変位曲線においても、同様の特徴を示し、さらに荷重が 0 になるまで変位を測定できた。さらに、荷重 CMOD 曲線、荷重 変位曲線両方とも、切欠き 30mm のものに対して切欠き 50mm のものは、ひび割れ発生後の荷重増加や荷重ピーク以降の荷重低下が緩やかである。

図-9 に試験終了後のひび割れ図を示す。はり側面に切り欠きを設けた new シリーズではひび割れの発生をリガメント部のみに限定できた。一方、はり側面に切欠きを設けなかった nor シリーズでは、主ひび割れをリガメント部に発生させることができ、主ひび割れの周囲に微細ひび割れが数多く生じていることが分かった。リガメント高さが高い nor30 の方がひび割れの分散性が良いことが分かる。

また、引張軟化曲線がひび割れを介して伝達される引張応力とその位置でのひび割れ幅との関係を示すものであるなら、微細ひび割れの影響の少ない破壊パターンが望ましく nor30 と nor50 とでは nor50 の方がより適切な引張軟化曲線の形状が得られると言える。さらに、はり側面の切欠きの有無については、切欠きのある方が微細ひび割れの発生が抑制でき、もっとも適切なひび割れ発生・進展状況となる。したがって、DFRCC のような微細ひび割れが数多く発生するものでは、ひび割れの分散を極力押さえたはり供試体から引張軟化曲線を推定する必要があると考える。

(2) 引張軟化曲線

図-10 に荷重 CMOD 曲線(平均曲線)より推定した引張軟化曲線を、図-11 に荷重 変位曲線(平均曲線)より推定した引張軟化曲線を示す。図-12 では各種コンクリートおよびモルタルの引張軟化曲線を比較した。

図-10 より、荷重-CMOD 曲線より推定した引張軟化曲線は曲線初期において全てのシリーズを通して、軟化開始後、急激に引張応力が減少するが、その後応力が回復する区間があることが明らかになった。この応力回復は、繊維による架橋則が発揮されたためと考えられる。また、この曲線形状の特徴は荷重 変位曲線より推定した引張軟化曲線でも確認できるが、バラツキが少なく、より顕著に現れた。しかし、応力がゼロまで低下してないため、曲線の形状が不明瞭であり、解析で用いる軟化曲線のモデル化は困難である。よって、今回は曲線の形状を把握することのみとした。

図-11 より、荷重 変位曲線(平均曲線)より推定した引張軟化曲線では、new30 の曲線が上下に変動しているが、その他のシリーズでは、曲線全体の形

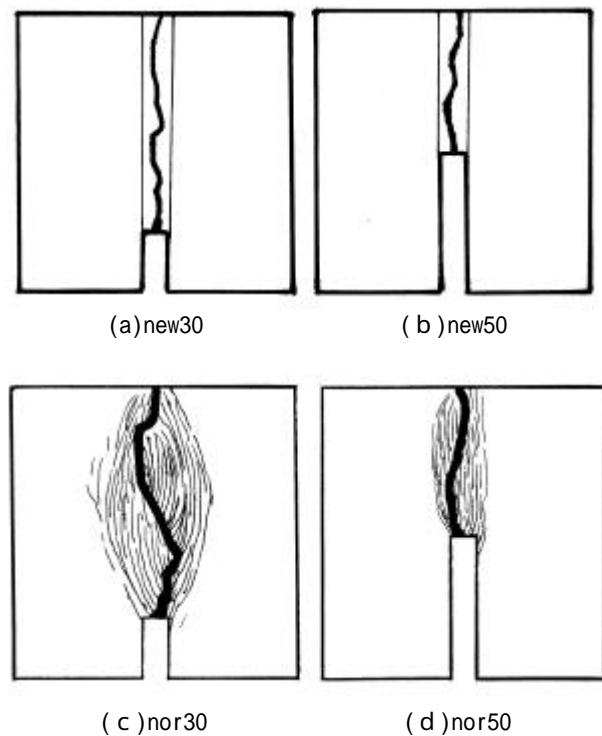


図-9 各シリーズの試験終了後のひび割れ図

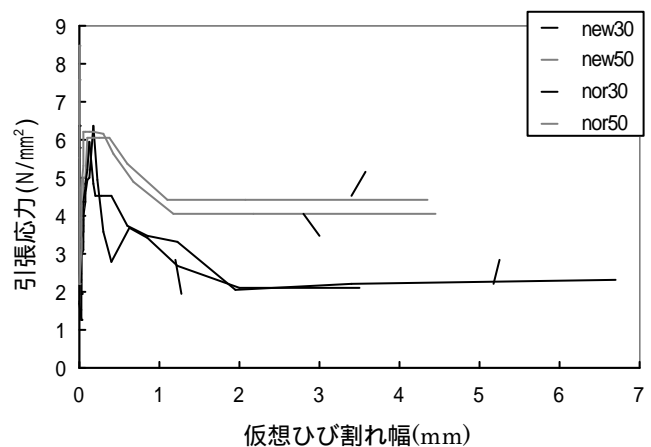
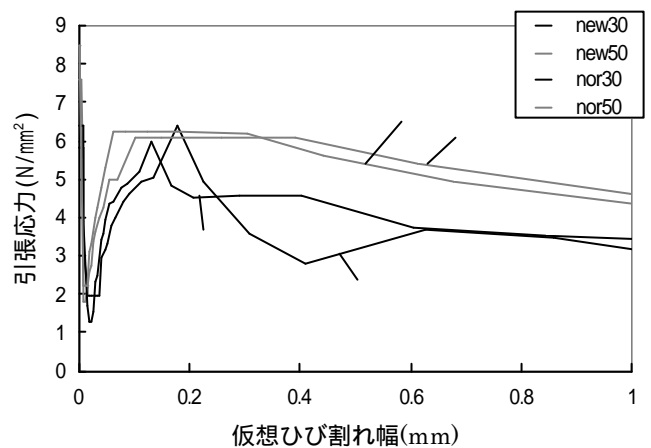


図-10 荷重 CMOD 曲線より推定した引張軟化曲線 (上:初期 下:全体)

状にほとんど差がなく、同形状のものが得られたため、new30を除いた3つのシリーズを平均し、DFRCCの引張軟化曲線とした。ここで得られた引張軟化曲線をモデル化し、解析に用いることにした。

図-10、図-11とも、切欠き深さによる影響については、いずれのシリーズも切欠き深さが深い方が、引張軟化曲線の応力レベルが高く、切欠き深さの影響が明確に現れた。はり側面に切欠きのないnorシリーズでは、微細ひび割れの発生の著しいnor30の方が引張軟化曲線の応力レベルが小さくなった。はり側面の切欠き有無に関しては、軟化初期の段階では、はり側面に切欠きが無いものの方が応力の伝達が高いが、ひび割れが進むにつれてはり側面に切欠きがある方が応力の伝達が大きくなっている。これは既往の研究からも伺い知ることが出来る。ひび割れが分散したコンクリートの引張軟化曲線と切欠きを入れてひび割れを局所化したコンクリートの引張軟化曲線を比較すると、後者の方が応力の伝達が高いことが報告されている。⁶⁾

図-12より、DFRCCと各種コンクリートおよびモルタルの引張軟化曲線を比較すると、NCやPCMに比べると、大幅に引張応力の低下が緩やかになっており、ひび割れ抵抗性が増していることが分かる。また、SFRCと比べても、曲線初期の応力低下が小さいことやその後応力回復が見られる。特に、応力回復はDFRCCの大きな特徴であり、他のシリーズには見られない傾向である。最大仮想ひび割れ幅に関しても、同じモルタルのPCMに比べて、10倍以上の大きな値を示している。

5. DFRCCを補修・補強材として用いたRCはりの破壊性状

5.1 実験概要

補強はり供試体の概略を図-13に、寸法諸元を表-2に示す。母材のはり供試体は床版の切出しを想定した複鉄筋構造のRCはりとした。はり供試体は曲げ破壊型を想定し、圧縮および引張鉄筋には2D10(SD295)を配筋し、鉛直スターラップには供試体中心よりD10(SD295)を70mm間隔で配筋した。下面増厚補強されたはり供試体には、補強部に補強鉄筋として3D6(SD295)を配筋したものとそうでないものを作製した。母材のはり供試体を28日間湿布養生した後、はり供試体の上・下縁の付着面を目粗した。その後、上・下面にDFRCCを増厚(厚さ22mm)し、14日間湿布養生した。母材にはW/C=55%のプレーンコンクリートを用い、補修・補強材として用いたDFRCCは表-1のシリーズNの配

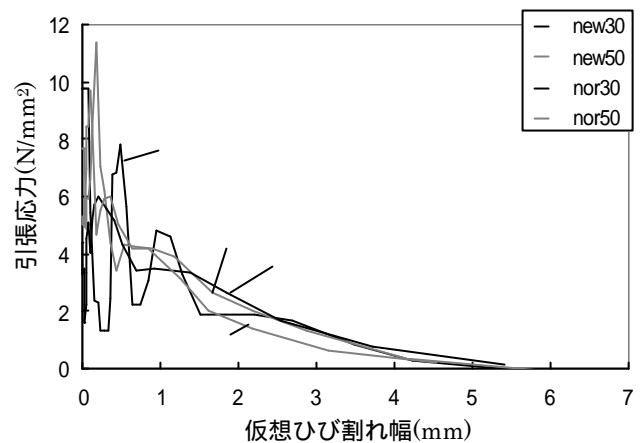
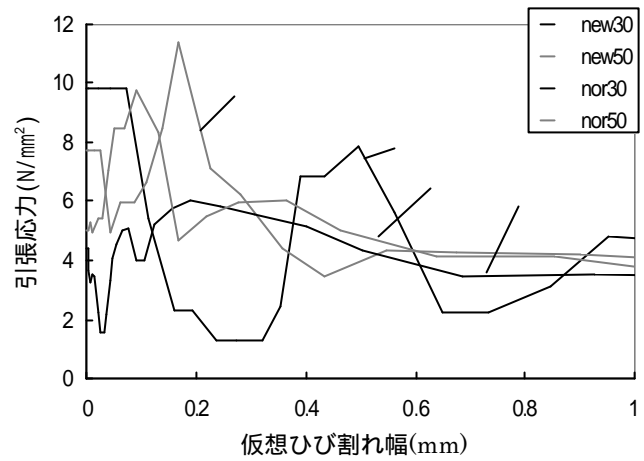


図-11 荷重変位曲線より推定した引張軟化曲線 (上:初期 下:全体)

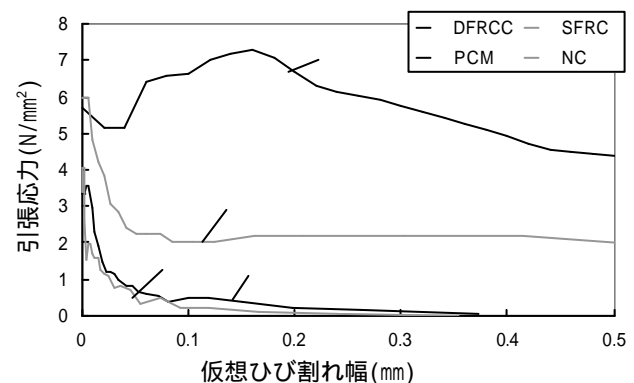
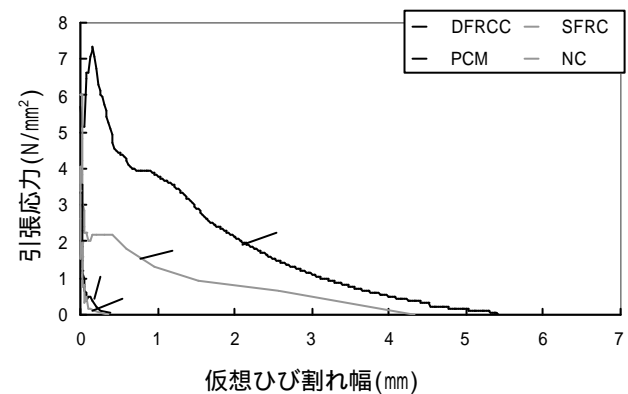


図-12 各種コンクリートおよびモルタルの引張軟化曲線との比較 (上:初期 下:全体)

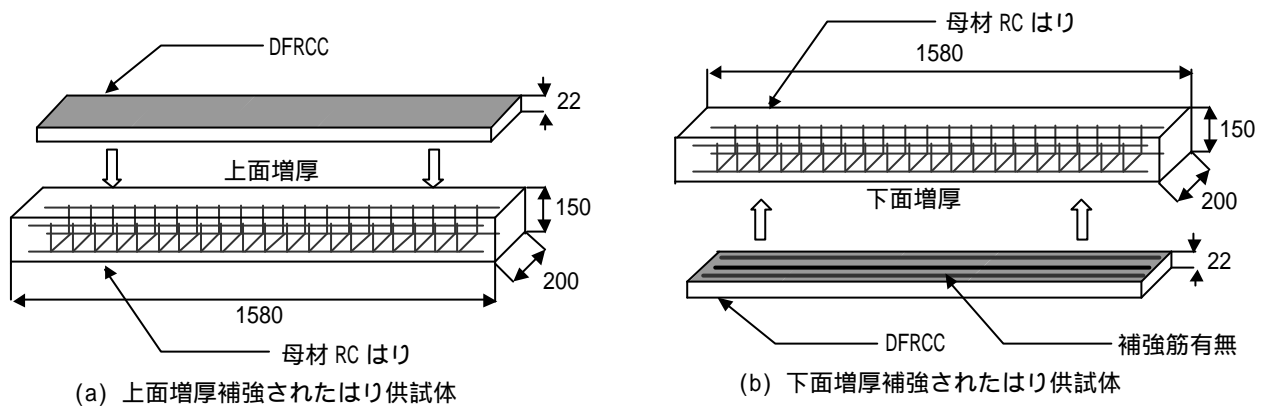


図-13 補強はり供試体の概略

表-2 補強はり供試体の寸法諸元

シリーズ	母材コンクリート							DFRCC		
	コンクリート部 幅×高さ×長さ [スパン](mm)	鉄筋部					コンクリート部 寸法	鉄筋部 補強部		
		引張	圧縮		スターラップ			鉄筋量	有効高さ (mm)	
		鉄筋量	有効高 さ(mm)	鉄筋量	有効高 さ(mm)	鉄筋量	間隔			
無補強	200×150×1580 [1380]	2D10	11.5	2D10	35	D10	70	-	-	
上面								200×22×1480	-	-
下面(有)								200×22×1280	3D6	153
下面(無)									-	-

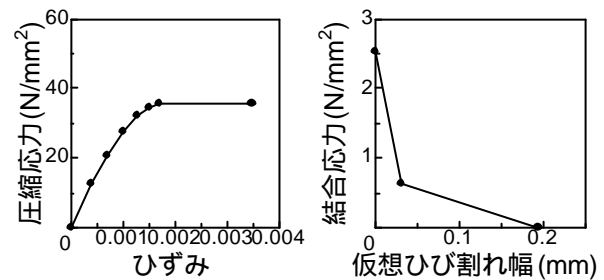
表-3 試験材齢時における材料定数

母材コンクリート			
強度(N/mm ²)			ヤング係数 (kN/mm ²)
圧縮	引張	曲げ	
36.9	2.89	4.38	28.6
DFRCC			
強度(N/mm ²)			ヤング係数 (kN/mm ²)
圧縮	引張	曲げ	
57.8	8.60	18.0	24.1

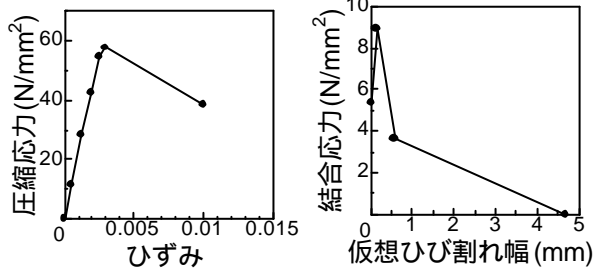
合で練混ぜを行った。荷重は、スパン 1380mm の 3 等分点曲げ荷重試験とした。荷重，荷重点変位，支点沈下量をそれぞれ試験機附属のロードセル（容量 300kN），変位計（ストローク 50mm），変位計（ストローク 25mm）により計測した。表-3 に試験材齢時の材料定数を示す。なお，荷重は，はり上縁の圧壊を明確に観察できた時点で終了とした。

5.2 解析概要

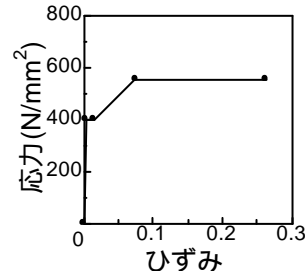
補強はり供試体の荷重 - 変位曲線を簡易的な断面解析法により推定した。ここでは，はりは曲げ破壊し，曲げモーメント区間でひび割れが 1 本のみ発生するという仮定のもと，断面力の釣合いから，曲げモーメント - 曲率関係を算出し，その後，荷重 - 変位関係を推定する方法を用いた。曲げモーメント - 曲率関係を算出するには，切断法⁷⁾を利用した。断面解析に用いた各材料の圧縮および引張特性を図-14 に示す。各材料の応力 - ひずみ関係（あるいは



(a) 圧縮および引張特性（母材）



(b) 圧縮および引張特性（DFRCC）



(c) 圧縮および引張特性（鉄筋）

図-14 応力ひずみ関係および引張軟化曲線のモデル

引張軟化曲線)は、示方書⁸⁾、設計指針(案)⁹⁾または実測(あるいは多直線近似法による推定結果)に基づいてモデル化した。

なお、解析上における終局判定は、はり上縁の圧縮ひずみが終局ひずみに達した時点とした。

5.2 実験結果および解析結果

図-15 に補強方法別の荷重-変位曲線を示す。実験結果に関しては、いずれの補強はり供試体も無補強

に比べ、最大荷重の増加を確認することができた。しかし、下面増厚した RC はりは、補強筋の有無に関係なく、無補強と同程度の変形性能しか得られなかった。これに対して、上面増厚した RC はりでは、著しい変形性能が見られ、最終変形も 100mm に近い性能を示した。これは、下面増厚では引張側にある DFRCC に先に主ひび割れが入ってしまい、その部分からひび割れが進展した。そのため、DFRCC

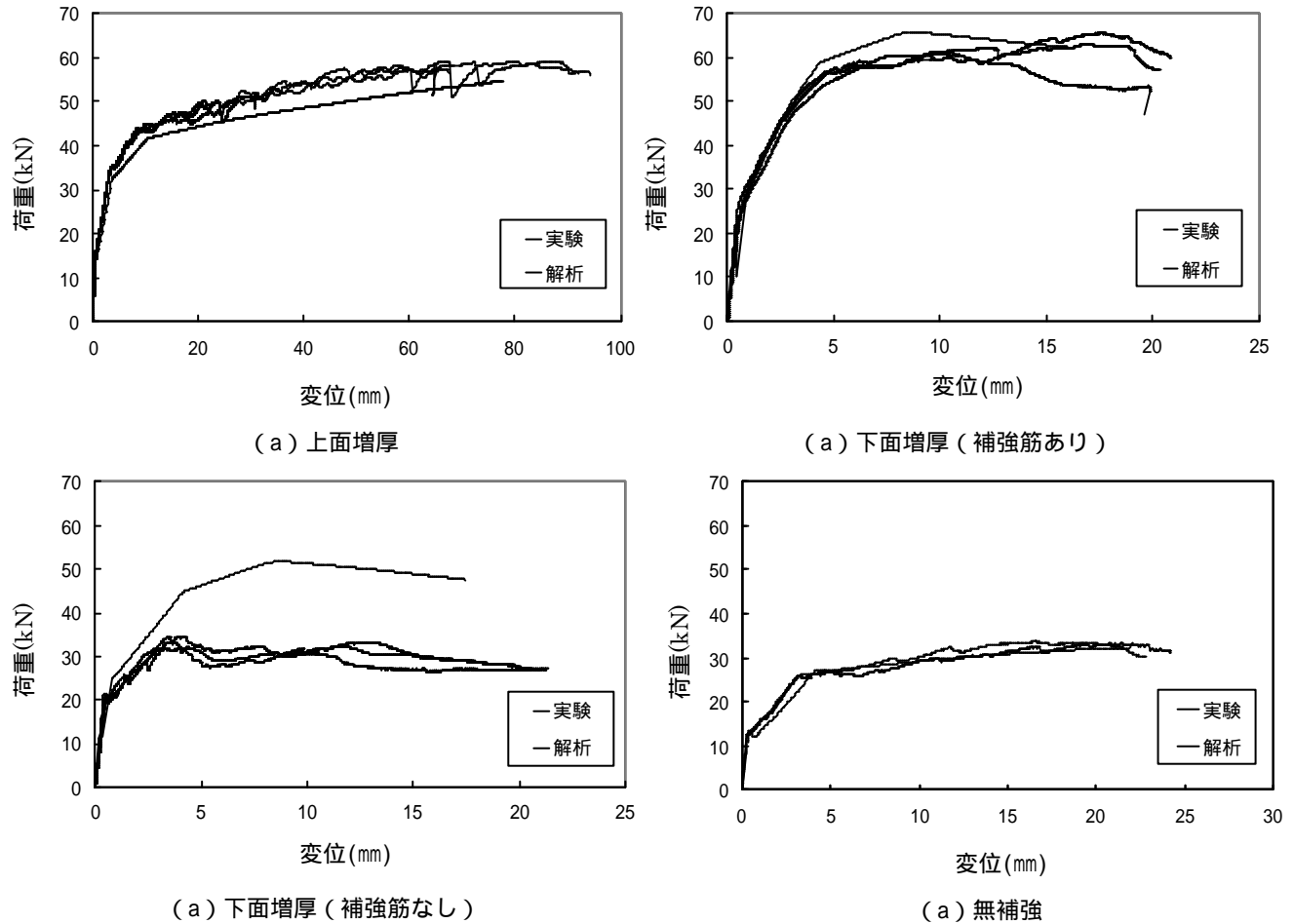


図-15 上面増厚補強 RC はりの荷重 変位曲線

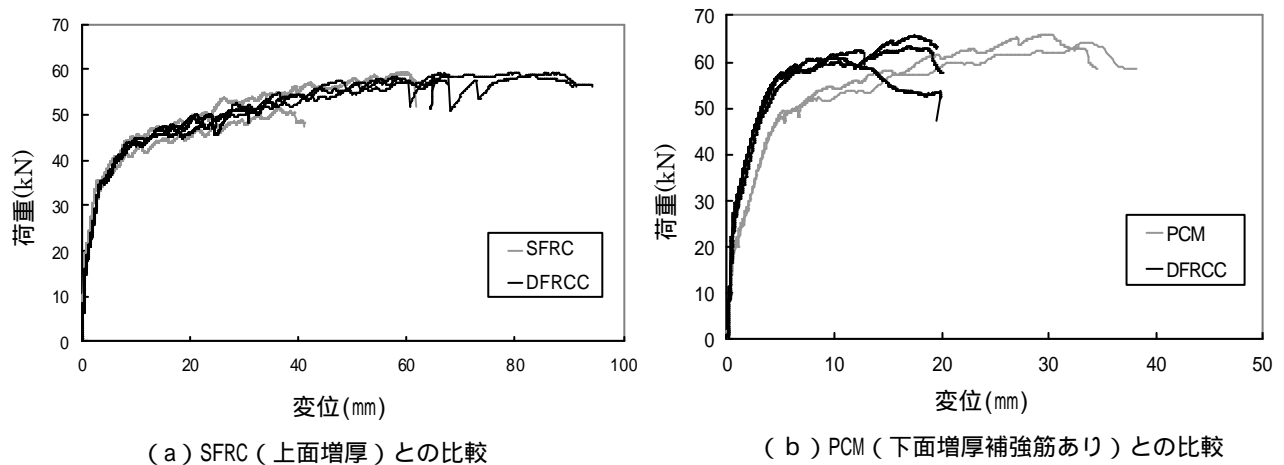


図-16 補強はり供試体のひび割れ図

表-4 最初のひび割れ荷重および最大荷重

シリーズ	ひび割れ荷重(kN)		最大荷重(kN)	
	実験	解析	実験	解析
上面	14.8	16.1	58.8	54.8
下面(有)	25.0	22.4	63.3	65.9
下面(無)	20.3	21.4	33.4	51.8
無補強	12.8	8.75	33.5	32.3

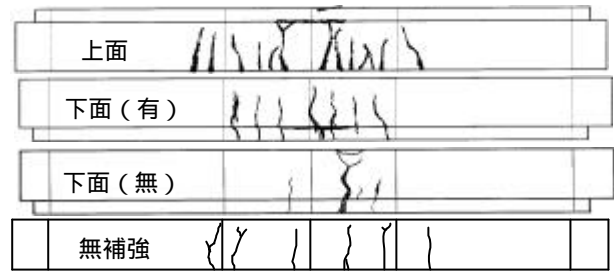


図-17 補強はり供試体のひび割れ図

の特徴であるひび割れの分散が確認できず、主ひび割れのひび割れ幅が増大し、無補強と同じ状態になってしまったと考えられる。しかし、上面増厚では、最後までDFRCCに主ひび割れが入ることが無く、最終的に母材と補強材との付着界面のはく離により破壊に至っている。下面増厚(補強筋なし)では、変位4mmほどで一度ピークを迎え、荷重低下した。その後は、無補強とほぼ同じ荷重で推移した。

解析結果に関しては、下面増厚(補強筋なし)を除き、いずれも荷重-変位曲線を良好に再現できた。

図-16にSFRC¹⁰⁾およびPCM¹¹⁾と比較したグラフを示す。図-16よりSFRCとの比較では曲線形状、最大荷重ともほとんど変わらないが、変形性能に関して、DFRCCの方が向上していることが分かった。PCMとの比較では最大荷重に大きな差は見られないが、変形性能はPCMの方が大きくなっている。

表-4に初期ひび割れ荷重および最大荷重を、図-17に試験後のひび割れ図を示す。下面増厚(補強筋なし)において、実験と解析の荷重-変位曲線が大きく異なったのは、破壊パターンが他と異なり、早期に破壊の局所化が起こり、DFRCCの特徴であるひび割れの分散が見られず、これにより母材側でもひび割れが局所化してしまったため、強度が頭打ちになったと考えられる。

DFRCCは上面増厚することによりRCはりの変形性能を向上させることができた。また、下面増厚(補強筋あり)は、ひび割れ荷重および最大荷重ともに大きな値を示している。

6. 結論

(1)フレッシュ性状に関して、プレーンなモルタルでも十分練混ぜ可能であることが確認できた。また増粘剤が少ないと、締固めやすく有害な気泡も入りにくかった。そこで、増粘剤を調整することにより、より施工性の高いDFRCCが出来るものと考えられる。

(2)寸法効果の影響が確認でき、寸法の増大に伴

い強度は低下した。

(3)DFRCCの引張軟化曲線を多直線近似法から推定することができた。その形状は通常の普通コンクリートや鋼繊維補強コンクリート、ポリマーセメントとは大きく異なり、繊維の架橋効果が著しく発揮されている形状となり、ひび割れ抵抗性が著しく向上していると考えられる。

(4)上面増厚の場合、SFRCと比較してDFRCCにより変形能を向上させることができ、最終的に100mm程度の変位を示した。脆性的な破壊を防ぐときや大変形を必要とする場合に有効であると考えられる。

(5)下面増厚における最大変位(20mm程度)でも、無補強以上の耐力を示しており、十分な補強効果が得られた。下面増厚の場合、補強筋を配筋しないとひび割れが局所化し、DFRCCの特徴がほとんど見られず、断面増加による耐力上昇のみ確認できた。しかし、補強筋を配筋したものは、初期ひび割れ荷重、最大荷重とも大きな値をとったPCMと比較すると、ひび割れ発生荷重が大きくなっている。以上より、ひび割れを抑制したい止水材や被覆材としての利用が見込まれる。

(6)解析では通常の鉄筋コンクリートはりで用いられる曲げ解析により、下面増厚(補強筋なし)を除き、無補強および上・下面増厚補強されたRCはりの荷重-変位曲線を評価できた。

以上より、DFRCC補強材としての性能は上面増厚することにより補強筋を用いずに十分な耐力と変形性能が確認できたため、コスト面、施工面、耐力などから、最も有効な補強工法であると考えられる。

謝辞：本研究を進めるにあたり、小玉克己教授、栗原哲彦講師には終始ご指導、ご鞭撻を頂きました。実験を行う際には、学部生の皆様にも協力してもらいました。ここに厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) (社) 日本コンクリート工学協会：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 2002.1
- 2) 福山洋 倉本洋：構造物の高性能化を目指す 21 世紀のコンクリート技術 /5. 21 世紀のコンクリート スマートコンクリート - 高じん性コンクリート - , コンクリート工学 Vol.39, No.1, pp.104-109, 2001.1
- 3) Victor C. Li takashi matumoto : Fatigue Crack Growth analysis of Fiber Reinforced Concrete with Effect of Interfacial Bond Degradation
- 4) 鎌田敏郎, 谷口俊哉, Victor Li, 六郷恵彦：高じん性短繊維補強セメント系複合材料を用いて補修したコンクリート部材の挙動, Cement Science and Concrete Technology, No.54, p p .462-467, 2000
- 5) (社) 日本コンクリート工学協会：コンクリートの破壊特性の試験方法に関する調査研究委員会報告書, 2001
- 6) 栗原哲彦 安藤貴宏 国枝稔 六郷恵哲：他直線近似法による引張軟化曲線の推定と短繊維補強コンクリートの曲げ破壊性状, 土木学会論文集, No. 532, Vol-30, pp. 119-129, 1996. 2
- 7) 内田裕市ほか：コンクリートの曲げ強度の寸法効果に関する破壊力学的検討, 土木学会論文集, No.441, V-16, pp.101-107, 1992
- 8) 土木学会：コンクリート標準示方書, 構造性能照査編, 2002 年制定
- 9) 土木学会：鋼繊維補強鉄筋コンクリート柱部材の設計指針(案), 平成 11 年版
- 10) 高橋禎文：鋼繊維補強コンクリートを上面増厚した RC はりの曲げ破壊性状, 平成 13 年度 卒業論文
- 11) 竹田 一隆：平成 補修・補強部のはく離に関する実験的研究 平成 13 年度 修士学位論文

STRUCTURAL APPLICATIONS OF DUCTILE FIBER REINFORCED
CEMENTITIOUS COMPOSITES(DFRCC) WITH POLYETHYLENE FIBER

Makoto NODA

In this study, it was investigated about the efficiency of Ductile Fiber Reinforced Cementitious Composites (DFRCC) for repair and reinforcement materials. First, fresh properties of DFRCC and size effect of the bending strength of DFRCC were examined. Second, tension softening diagrams of DFRCC was estimated. Finally, fracture properties of over or under reinforced beams of DFRCC in bending were examined.

In result, the best mixing method of DFRCC and size effect of the bending strength of DFRCC were made clear. It was observed that cohesive stress of tension softening diagrams of DFRCC increases just after softening. The ductility of over or under reinforced beams of DFRCC was remarkably improved compared with that of non-reinforced beam. Particularly, the over reinforcement method by using DFRCC was better than other methods.