

大阪市立大学工学部 学生員 〇藤原 資也
大阪市立大学大学院工学研究科 正会員 角掛 久雄

大阪市立大学大学院工学研究科 学生員 畝 宏樹
五洋建設（株） 正会員 小笠原 哲也

1. はじめに

近年、港湾施設は経年劣化に加え、設計基準の改訂により、補修・補強が求められている。栈橋などの港湾施設は海面付近に位置するため、塩害劣化への対応も求められている。それらの問題を解決するため、著者らは新たな補強材料として高靱性繊維補強セメント複合材料（以下、DFRCC）に着目し、研究を行ってきた¹⁾。DFRCCとはセメントモルタル中に短繊維（本研究ではPVA繊維を使用）を練りこむことで優れた引張靱性を有し、複数微細ひび割れを発生させるマルチブルクラック効果により遮塩性に優れている。そのため、栈橋上部工への適用を考え、その補強方法として巻き立て工法に対するせん断補強効果に関して耐力式の提案を行ってきた¹⁾。曲げ補強に関しては単体補強ではDFRCCの特性を十分に発揮できず、補強材と組み合わせることが必要である²⁾。本研究ではRC梁へのDFRCCの増厚補強を行い、曲げ引張補強時のDFRCCに適した補強材の検討を行った。

2. 実験概要

実験方法は図1に示すように4点曲げ載荷とし、DFRCC補強厚は予備実験より繊維長の2倍以上とすることで安定した強度を得られることから30mmとした。表1にPVA繊維、DFRCCの材料特性を示す。実験パラメータは図2および表2に示すような補強材の種類をパラメータとし、補強材の補強時の本数分の純引張耐力を可能な限り合わせ、剛性（弾性係数）などによる変形性能への違いを検討する。ただし、補強材は港湾施設への適用を想定し、耐腐食性に優れた材料を選定した。表2に本研究に使用する補強材の材料特性を示す。なお、鉄筋（エポキシ鉄筋を想定）および、ステンレスは弾塑性材料（ステンレスは二次剛性を有する）であり、その他は弾性―破断材料である。計測項目は荷重、変位、主鉄筋ひずみ、補強材ひずみ、圧縮縁ひずみ、ひび割れ本数を計測した。

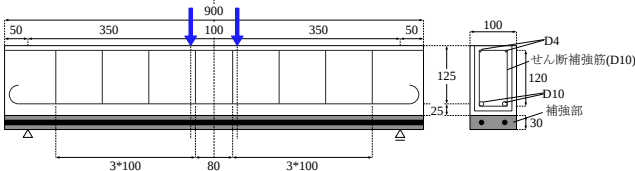


図1 供試体概要

表1 PVA 繊維，DFRCC 材料特性

PVA繊維				DFRCC		
直径 (μm)	長さ (mm)	引張強度 (N/mm ²)	弾性係数 (kN/mm ²)	圧縮強度 (N/mm ²)	弾性係数 (kN/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)
40	12	1600	40	46.3	13.9	3.29

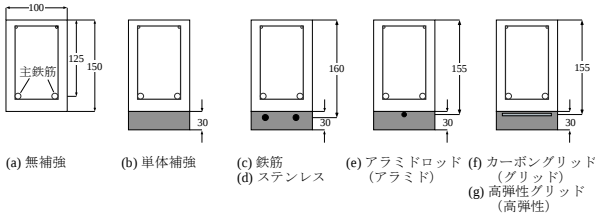


図2 実験パラメータ

表2 補強材材料特性

補強材	鉄筋	ステンレス	アラミドロッド	カーボングリッド	高弾性カーボングリッド
径(mm)	10	10	7.8	-	-
断面積(mm ²)	71.3	71.3	48	26.4	26.4
使用本数	2	2	1	1	1
引張(降伏)強度(N/mm ²)	367	353	1920	1959	1989
弾性係数(kN/mm ²)	192	200	53	107	210
伸び剛性(kN)	27443	28477	2544	2812	5555

3. 実験結果

表3に結果一覧を示す。算定耐力についてはRC梁に用いられる一般的な耐力算定法で算出し、実験で得られた耐力と比較することで耐力算定法の評価を行う。なお、DFRCC引張構成則は既研究²⁾を参考に引張強度以降、1%ひずみまで強度保持し、その後3%ひずみまで軟化するモデルを使用している。実験値／算定値を見ると、補強材を入れたパラメータは降伏時（主鉄筋降伏時）、圧壊時（コンクリートの圧縮縁が算定時の終局ひずみとなった時）ともに1程度となっており、強度設計を行う際、DFRCCと補強材で曲げ補強した場合においても一般的な耐力算定法が適用可能であると考えられる。

表3 結果一覧

パラメータ	無補強	単体補強	鉄筋	ステンレス	アラミド	グリッド	高弾性
実験値(kN) 降伏	28.0	40.2	85.9	78.6	45.9	43.6	54.8
算定値(kN) 降伏	-	41.3	82.0	80.5	46.4	47.0	52.5
実験値／算定値	-	0.97	1.05	0.98	0.99	0.93	1.04
実験値(kN) 圧壊	36.5	41.9	90.5	88.9	62.5	62.6	76.8
算定値(kN) 圧壊	-	42.1	79.0	77.7	58.1	59.3	68.7
実験値／算定値	-	0.99	1.15	1.14	1.08	1.06	1.12

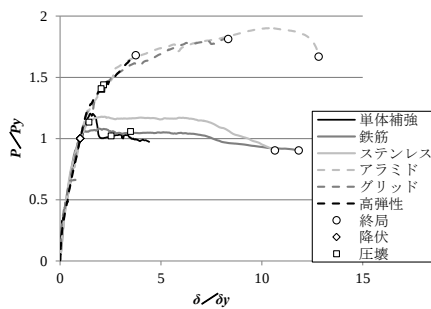


図3 $P/P_y - \delta/\delta_y$ 関係

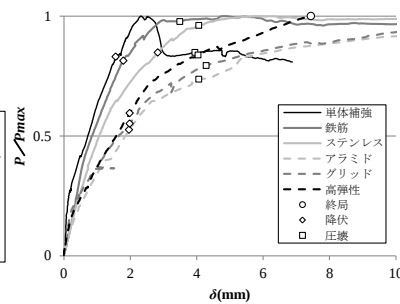


図4 $P/P_{max} - \delta$ 関係

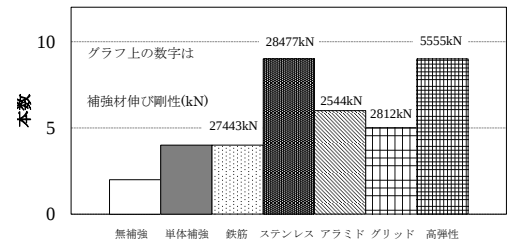


図5 ひび割れ本数

図3に各パラメータの実験値を降伏耐力，降伏変位で無次元化した $P/P_y - \delta/\delta_y$ 関係，図4に実験値を最大耐力で無次元化した $P/P_{max} - \delta$ 関係を示す．図3より，降伏以降による差異が大きい．弾塑性材料は降伏後の荷重増加は小さく，最大耐力以降緩やかに荷重低下する傾向が見られた．同じ弾塑性材料であるステンレスは二次剛性をもつため鉄筋よりも荷重の増加が見られた．弾性一破断材料は材質に関わらず降伏を基準にすると同様な挙動となり，補強材破断に達するまで荷重が上がり続けた．破断ひずみの違いにより変位に差が生じていた．

無補強と単体補強を比較した際，表3を見ると，耐力増分に関してはDFRCCの補強効果が現れているといえるが，図4を見ると，単体補強はひび割れの局所化により圧壊前で荷重は急激に低下しており，変位が3mm程度で効果が小さくなった．しかし，補強材を入れたパラメータに関しては明らかにDFRCCの補強効果継続の変位は大きくなり，降伏棚を有する鉄筋を用いた場合を見ると，6~7mm程度で効果が小さくなっていることが確認できる．7mm程度で破断に至った高弾性グリッドは最後までDFRCCの補強効果を保って破壊に至っていた．

次にDFRCC補強効果の一つであるひび割れ分散性による評価を行う．その方法として図5に示すように主鉄筋降伏時におけるひび割れ本数の違いを比較検討する．実構造物に適用する際は降伏以前のひび割れ分散性が重要であり，加えて，図4を見ると，降伏変位に大きな差異がないためである．測定範囲は载荷点直下にひび割れが集中していたため純曲げ区間+両側5cmとした．図5をみると，補強材を入れることでひび割れ本数は増加傾向となった．これは補強材が変形に対して抵抗することで，ひび割れの局所化を遅らせ，

その間にひび割れを分散させるためであると考えられる．鉄筋のひび割れ本数が少ない理由は補強材としての鉄筋は降伏しているため，2次剛性をもつステンレスと降伏棚をもつ鉄筋との違いと考えられる．弾性一破断材料を比較すると，伸び剛性の大きい高弾性グリッドが優れ，伸び剛性が近似しているアラミドとグリッドは同程度となった．

以上のことから強度設計に対するRC梁を補強する際，降伏棚を持つ鉄筋よりもDFRCCの特性を発揮する補強材は変形に対する抵抗性を持ち続け，そのうえで補強材に高弾性部材を用いることで最大荷重までDFRCCとの相乗効果を発揮することがわかった．

4. 結論

- 1) RC梁をDFRCCと補強材で曲げ補強した場合においても一般的な耐力算定法が適用でき，強度設計が可能であることを示した．
- 2) DFRCCの特性を発揮する補強材としては変形に対する抵抗性を持ち続け，そのうえで補強材に高弾性部材を用いることで最大荷重までDFRCCとの相乗効果を発揮することがわかった．

謝辞：本研究は科学研究費補助金基盤研究(c)（課題番号 23560577 代表角掛久雄）として行った．ここに記して感謝の意を表します．

参考文献

- 1) 大内一，小笠原哲也，角掛久雄：DFRCCのU字巻き立てによるせん断補強，土木学会論文集 E2，Vol.68，No.4，pp.251-270，2012
- 2) 小笠原哲也，猪木勇次，角掛久雄，大内一：高靱性繊維補強セメント複合材料（DFRCC）による栈橋梁部への増厚曲げ補強に関する基礎的研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.33，No.2，pp.1255-1260，2011