

# DFRCCによるRC梁のウェブ補強によるせん断補強効果に関する研究

## Study on Shear Strengthening Effect of RC Beams Strengthened by DFRCC on Side Surface

構造及びコンクリート工学分野 野崎 佑太

### Abstract

DFRCCによるRC梁の補強効果に関して本研究室では既設栈橋を対象とし縮小モデルを用いたせん断補強実験、数値実験によりせん断補強効果を明らかにし、せん断耐力算定式の提案を行った。ただし算定式はウェブ補強高さに制約があり、ウェブのみに補強した場合には数値実験のみであり、ウェブ補強高さを実験変数とした載荷実験を行っていない。そこで、ウェブのみに補強を施した場合の補強効果及び算定式を評価するため載荷実験およびその数値解析を行い検討した。

About shear strengthening effect of RC beams strengthened by DFRCC, shear strengthening experiments using a reduced model which targets existing pier and numerical experiments were done, then clarified the effect of shear strengthening, additionally proposed a formula for calculating shear strengthening, in our lab. However, calculation formula are limited in height strengthening, and in our lab only the numerical experiments about reinforced only web were done, then the loading test using variable height strengthening web has not done yet. Therefore the experimental and numerical analysis was performed to evaluate the reinforcing effect of the strengthening and the calculation formula when subjected to only the web.

## 1. はじめに

港湾施設の設計基準である「港湾の施設の技術上の基準・同解説（日本港湾協会）」<sup>1)</sup>が2007年に改訂されたことを受け、本研究室では栈橋上部工への有用な補修・補強方法の提案のため、高靱性繊維補強モルタルの一種であるDFRCC<sup>2)</sup>を利用した場合の補修・補強効果の検討を行ってきた<sup>3-6)</sup>。さらに、それらの結果および追加検討の結果として部分補強時のせん断耐力の算定式の提案を行った<sup>7)</sup>。提案した算定式は栈橋上部工を対象に行ったU字巻き立て補強実験結果をもとに数値実験により、上・下フランジ（上面・下面）補強時は有効高の増大によるせん断耐力増加、また、ウェブ（側面）補強時はせん断補強筋のようにトラス効果や骨材噛合せ効果の増加を検討のうえ算定式を提案している。ただし、ウェブ補強高さ( $h_{st}$ )に関しては実施した実験における補強高さを考慮してウェブ補強高さがコアコンクリート高さ( $H$ )の0.75倍以上の場合の限定した算定式としている。つまり、ウェブ補強高さをパラメータとした実験を行っていない。

そこで、ウェブのみにDFRCCを補強した場合における補強高さをパラメータにした実験を行うことにより、ウェブの補強高さを変化させた場合にせん断耐力にどのように寄与するか検討を行い、実験後に有限要素解析を行うことにより、既往研究<sup>7)</sup>で得られたせん断耐力算定式の有用性を検討する事を本研究の目的とする。

## 2. せん断載荷実験

### 2.1 供試体概要

本研究で行う載荷実験は、既往研究<sup>7)</sup>で行ったせん断破壊実験と同様のせん断スパン比1.43を有した縮小モデルで実験を行う。載荷方法は3点載荷で、せん断補強筋を有さないせん断破壊先行型RC梁である。主鉄筋に使用する鉄筋は曲げ耐力を向上させるためUSD685のD25を2本用いた。表-1~2にDFRCCの配合、実験に用いたコンクリート、DFRCC、鉄筋の材料特性を示す。また、供試体端部には板厚13mmの鋼板を配置(DFRCC端部には配置していない)し、定着具により主鉄筋を定着した。DFRCCの補強厚に関しては、繊維長12mmを考慮して、後述する各パラメータである補強高さにおいて、全て一律で25mmとした。供試体概略図を図-1に示す。

供試体作製において、まずコアコンクリート部に早強コンクリートを打設し、1週間の気中養生した後にDFRCC補強部を打設した。ただし、コアコンクリート製作時の型枠にDFRCC補強範囲にあわせて凝結遅延性の樹脂を塗布したシートを型枠内面に貼り付け、打設翌日に脱型後、高圧水により打継目を洗い出し、粗骨材を数mm露出させて凹凸を設けた上でDFRCC打設まで養生している。DFRCC打設後3週間の気中養生をし、載荷実験を実施した。

計測項目としては、試験荷重、中央変位1点、支点変位2点、鉄筋ひずみ4点、コアコンクリートひずみ

2点, DFRCC ひずみ 2点(圧縮縁まで補強された供試体のみ)とコア部と DFRCC 部の相対変位(水平変位 8点, 鉛直変位 4点)12点を計測する. 供試体作成において, コア RC 部と DFRCC 部の接合面はアンカー等で接合する事なく, 単純に目荒らしのみでの接合とした為, コア部と DFRCC 部端部の相対変位を計測する事により接合部の付着性状を確認した.

## 2.2 実験パラメータ

本実験で用いる実験パラメータは, 上述したようにウェブの補強高さとした. 実験パラメータとして無補強の供試体も含め 7体のパラメータで実験を行った(図-1(2)参照). 供試体名称は, WF が全補強, WL がウェブ下面からの補強, WU がウェブ上面からの補強, WLU はどちらでもない補強を表し, その後の数字は補強領域の高さを表している. WF-300 はウェブを全補強した供試体であり, それに対して算定式においてはフランジ下面より  $0.2H$  のウェブ補強はせん断補強効果が小さいため無視している. そのため, その検証として梁高の上面から  $0.8H$  を補強した供試体である WU-240 の実験を行った. その他の供試体は全て算定式の適用範囲外である  $0.75H$  未満の場合であり, WU-150 は上面から  $0.5H$  を補強する事で WU-240 との補強高さの違いによる比較を行う. その補強範囲を上下逆さにしたものが WL-150 であり, 下面から  $0.5H$  を補強することで WU-150 との効果の比較を行う. さらに下面からの補強高さによる違いを見るため, 下面から  $200\text{mm}(2/3H)$  補強した WL-200 で比較を行う. この WL-200 は曲げ応力時の中立軸程度まで補強したものであり, せん断圧縮破壊に対する DFRCC の効果も検討するため圧縮域を補強していない. WLU-140 は WL-200 に対して算定上無視する下面の  $0.2H$  を除いたものであり, WL-200 と同様の効果が得られるのか比較を行う. 以上より, 本実験では計 7種のパラメータで実験を行った.

## 2.3 実験結果

載荷実験による破壊状況の一例として WU-240, WL-200 の実験終了後のひび割れ図を図-2 に示す. 破壊形式としては全ての供試体で, 斜めひび割れの発達によってコンクリートの圧縮域が次第に減少し, 最終的には載荷点近傍の圧縮域コンクリートの圧壊により破壊が生じる結果となった. また, コアコンクリートと DFRCC 補強部のずれはなく, 一体となって破壊に至った.

次に補強範囲による挙動の比較を行うため, 中央変位を示す. ただし一例として, 無補強 W0, 圧縮縁の補強供試体 WU-150, 引張側の補強供試体 WL-200 について図-3 に示す. 図より, DFRCC の補強による初期剛性の増加といった事は見られず, また破壊時の中

表-1 DFRCC 配合表

水結合比	繊維混入率	細骨材率	単体量( $\text{kg}/\text{m}^3$ )							
			水	早強セメント	フライアッシュ	細骨材	繊維	高性能AE減水剤	増粘剤	消泡剤
W/(C+FA) (%)	Vf (%)	S/C (%)	W	C	FA	S	PVA	SP	VA	EB
45	2	50	458	815	204	407	26	10	0.4	0.82

表-2 材料定数

	コンクリート			鉄筋(USD685)			
	圧縮強度 (MPa)	弾性係数 (GPa)	ポアソン比	引張強度 (MPa)	降伏応力 (MPa)	弾性係数 (GPa)	引張強度 (MPa)
コアコンクリート	40.5	30.3	0.19	2.95	715.2	190.3	933.7
DFRCC	43.1	15.4	0.20	2.67			

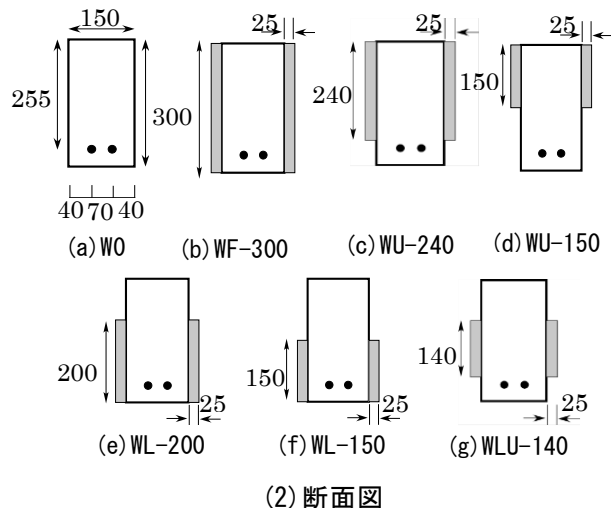
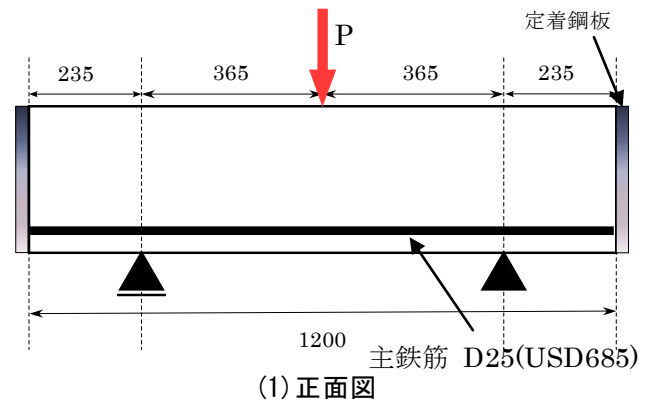


図-1 供試体略図

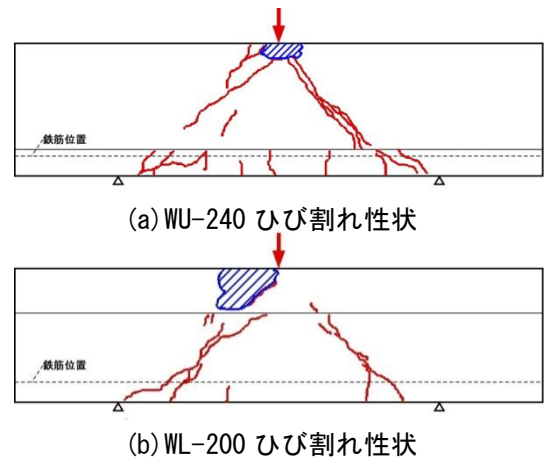


図-2 ひび割れ図一例

中央変位も概ね一致した結果となった。他の供試体においても同様に剛性と破壊時変位は概ね一致した結果となっていた。コア部と DFRCC においては一体性を確認できているが、初期剛性である曲げ剛性に関しては DFRCC の効果は小さい事がわかる。

次に荷重点付近の上縁のコアコンクリートひずみを一例として中央変位と同様に W-0, WL-200, WU-150 の供試体について図-4 に示す。ただし R は荷重点右側, L は左側のひずみを表す。図より圧縮側である上縁を補強した WU-150 は圧縮ひずみを保持したまま荷重が上昇していくが、圧縮側を補強していない供試体 WL-200, W-0 はせん断変形が卓越すると少なくとも片側のひずみは引張側に進展し破壊に至る傾向を示した。このことから圧縮縁の補強はせん断変形抑制効果、せん断剛性の上昇が伺える。

図-5 に W-0 および WL-200 の主鉄筋の端(支点より 50mm 内側)ひずみを示す。DFRCC を補強した WL-200 は斜めひび割れ発生後にひずみと荷重がゆるやかに上昇していくのに対し、無補強 W-0 は斜めひび割れの影響で大きくひずみのみが進展していることがわかる。このことから DFRCC による補強効果はせん断補強筋による補強効果と同様に斜めひび割れ抑制効果が伺える。また計測した主鉄筋のひずみはすべて降伏する事なく破壊に至る結果となった。

### 3. 有限要素解析

#### 3.1 解析モデルおよび構成則

図-5 に解析モデルの一例を示す。解析対象としている実験供試体について部材軸方向および部材軸直角方向にそれぞれ 1/2 領域を抽出した 2 次元 1/4 モデルとしている。各要素についてはコアコンクリートと DFRCC 補強部については平面応力要素、主鉄筋についてはトラス要素をそれぞれ用いた。材料定数については実験時に行なった材料試験結果(表-2 参照)である各値を用いた。材料構成則について、コンクリートは軟化域を含めた圧縮側では修正 Ahmad モデル、一方、引張強度後では出雲モデルとし、鉄筋については高強度鉄筋(降伏強度  $715\text{N/mm}^2$ )を用いており実験時に降伏が確認されなかったため弾性体とし、DFRCC については圧縮側上昇域では Fafitis-Shah モデル、圧縮強度後の軟化域では修正 Ahmad モデル、引張側には図-6 に示すダンベル型一軸試験により得られた応力-ひずみ関係に基づいてモデル化したものをそれぞれ用いた。また、コア部と DFRCC 補強部の要素間にフィルム要素を挿入して剛結合とし、一体化を図った。

#### 3.2 解析結果

解析結果の一例として無補強 W-0, 圧縮縁からの補強 WU-240, 引張側からの補強 WL-200 についての最

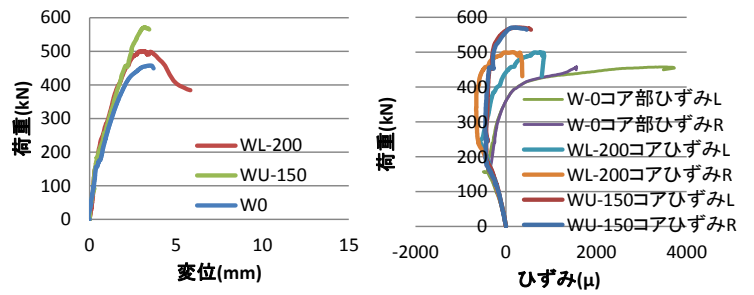


図-3 中央変位

図-4 コンクリートひずみ

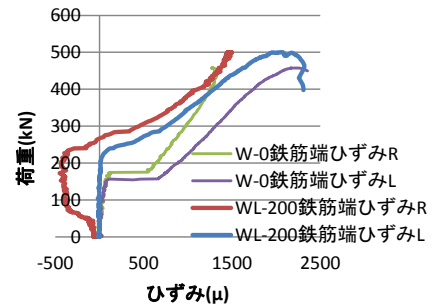


図-5 主鉄筋端ひずみ

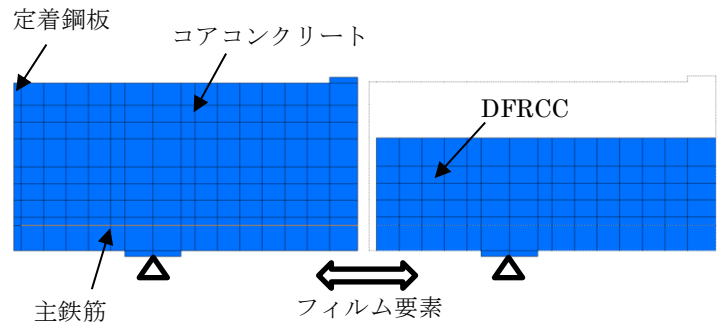


図-5 解析モデル

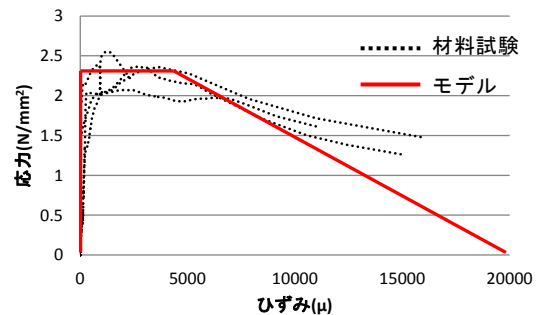


図-6 DFRCC 引張側構成則

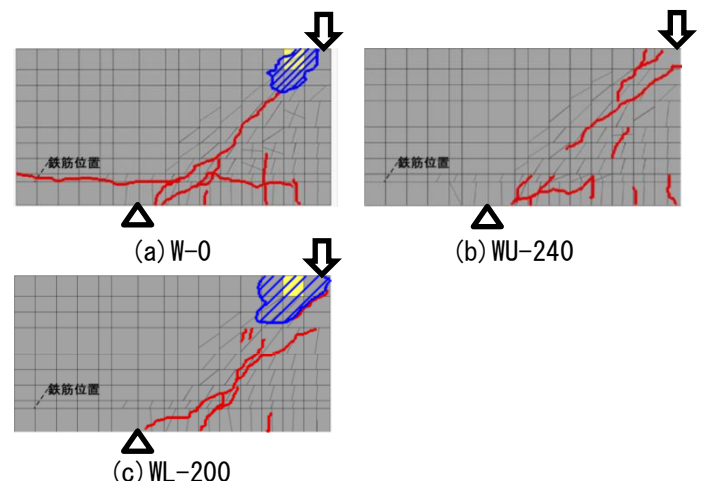


図-7 ひび割れ性状

大荷重時のひび割れ性状を図-7に、荷重—中央変位関係を図-8、最大荷重時における最小主応力図を図-9に示す。解析による破壊形式は実験で見られた斜めせん断ひび割れ発生箇所やコアコンクリートの圧壊(図中黄色)を精度良く表現することができており、実験での破壊形式を解析で精度良く表現することができたと言える。解析における荷重—中央変位および剛性は実験を追従することが困難であった。理由として、W-0算定せん断耐力が280kNであるのに対し実験では457.7kNと過大になっていることと、図にも示すように解析と実験で剛性が大きく異なっていることの検証として剛性理論値と比較したが、解析では理論値と同程度であるが実験は大きく差が生じている結果となった。しかし、実験と同様に解析結果からも補強による曲げ剛性の増加は見られずせん断補強効果を得られていることが確認できた。次に最小主応力図について、どのモデルも載荷点から支点にかけて圧縮ストラットを形成しせん断破壊の傾向を捉えることが出来たと言える。WL-200とWU-240のDFRCC補強部の応力の流れとして、圧縮側に補強したWU-240は大きく応力を分担しているのに対しWL-200はDFRCCによる分担が小さいことがわかる。このことが後述する耐力増分寄与に大きく影響する結果となった。一例としてWU-240とWL-200について示したが、他の圧縮域補強並びに引張域補強供試体も同様の傾向を示していた。

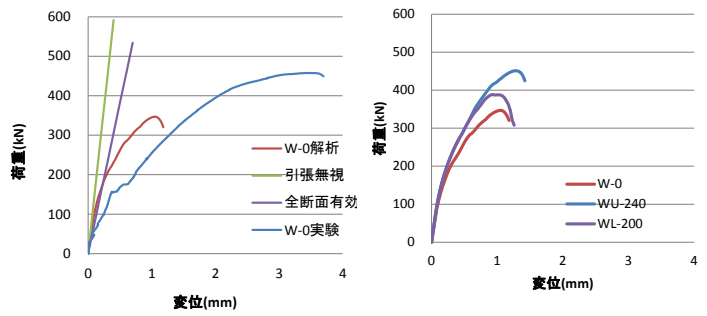


図-8 荷重—変位関係

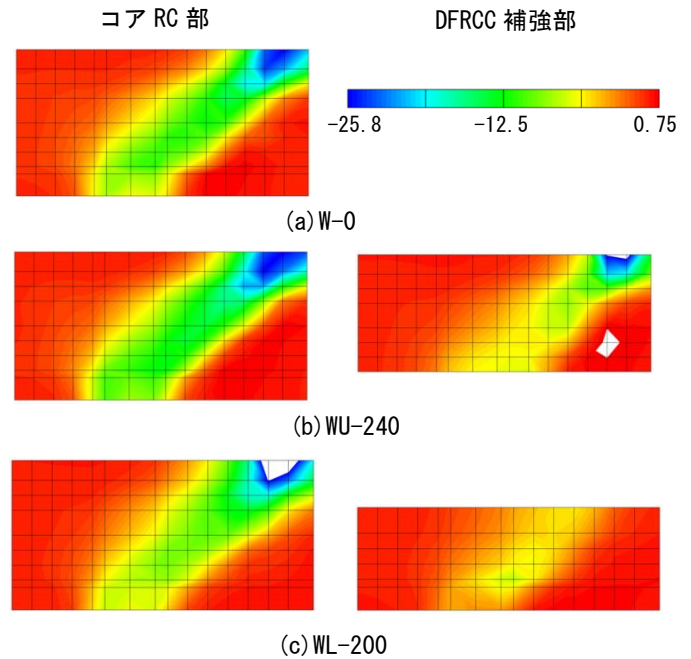


図-9 最小主応力コンター図

#### 4. 実験および解析の耐力増分

##### 4.1 破壊荷重

載荷実験および解析により得られた破壊荷重の一覧と実験および解析により得られた各供試体における無補強時実験荷重と比較した際の耐力増分量の一覧を表-3に併せて示す。実験より下面フランジからの補強(WL-200, WL-150, WF-300)に関しては、補強領域が増すに従い、荷重も上昇するという結果を得る事ができたが、上面からの補強(WU-240, WU-150, WF-300)については、補強領域が増すにつれて、実験荷重が低下し、下フランジからの補強と同様の傾向は得る事が出来なかった。当然、供試体によるばらつきも含まれると思われるが、上面から0.5Hしか補強していなくてもウェブ全面を補強したものと同等の補強効果がせ

表-3 破壊荷重一覧および耐力増分量

供試体名	実験荷重 (kN)	耐力増分量 【実験】(kN)	解析荷重 (kN)	耐力増分量 【解析】(kN)
W-0	457.7		346.7	
WF-300	547.3	89.6	463.8	117.1
WU-240	560.5	102.8	451.2	104.5
WU-150	570.6	112.9	427.7	81.0
WL-200	500.4	42.7	388.7	42.0
WL-150	488.0	30.3	377.2	30.5
WLU-140	469.2	11.5	386.5	39.8

表-4 実験および解析と算定値一覧

供試体名	耐力増分量 【実験】(kN)	耐力増分量 【解析】(kN)	耐力増分量 【算定】(kN)	$V_T$ 【算定】	$V_w$ 【算定】	【実験】/ 【算定】	【解析】/ 【算定】
WF-300	89.6	117.1	96.6	27.0	69.6	0.93	1.21
WU-240	102.8	104.5	96.6	27.0	69.6	1.06	1.08
WU-150	112.9	81.0	82.7	18.2	64.5	1.37	0.98
WL-200	42.7	42.0	87.5	24.2	63.3	0.49	0.48
WL-150	30.3	30.5	72.5	18.2	54.3	0.42	0.42
WLU-140	11.5	39.8	80.2	16.9	63.3	0.14	0.50

ん断圧縮破壊の場合は得られることが考えられる。また、圧縮縁(上面)からの補強と引張縁(下面)からの補強を比較すると、同じ補強領域の高さでも圧縮縁からの補強した供試体の方が、より補強効果を高めるという結果となった。破壊形式が載荷点近傍のコンクリートの圧壊であることから、DFRCCによりコアコンクリートが拘束されている事が影響を与え、無拘束である下面からの補強供試体よりも、せん断耐力が上昇し補強効果が増大すると考えられる。

実験と解析の耐力増分量を比較してみると WL-200, WL-150 は実験での耐力増分と解析がほぼ一致している結果となった。解析での応力分担が上面からの補強の際と下面からの補強の際で大きく異なることが、同じ補強高さでもせん断耐力への寄与が小さいことがわかる。また上面からの補強に関しては、上述したように、実験が補強高さとの相関性を現せていないことや実験でのバラツキを考慮すると、解析での耐力増分量は実験と比較して概ね評価できると考えることが出来る。WLU-140 に関しては、実験と解析の耐力増分量に大きく差が生じる結果となった。

#### 4.2 算定耐力式

上述したように補強範囲により補強効果が大きく異なっている。そこで算定耐力と比較を行う事で算定式の有用性を検討する。算定耐力式は既往研究<sup>7)</sup>での評価式を用い、その評価式を以下に示す。

$$V_{fd} = V_f + V_T + V_w \quad (1)$$

$$V_T = 2 \cdot f_{st} \cdot t_{st} \cdot \text{Min}(h_{st}, l_{st}, (7/8)d) \quad (2)$$

$$V_w = \beta_d \cdot \Delta\beta_w \cdot \beta_a \cdot f_{dd} \cdot b_w \cdot d \quad (3)$$

$$\Delta\beta_w = \alpha_w \cdot \sqrt{(100p_w^{eq} \cdot d_w/d)} \quad (4)$$

$$d_w = 0.8H - h_{st}/2 \quad (5)$$

$$\underline{h}_{st} = h_{st} - 0.2H \quad (6)$$

$$p_w^{eq} = (2t_{st} \cdot \underline{h}_{st} / b_w d) \cdot (E_{st} / E_s) \quad (7)$$

ここで、

$V_{fd}$ : DFRCC が負担するせん断耐力(kN)

$b_w$ : 腹部の幅(mm)

$t_{st}$ : DFRCC 補強厚(mm)

$f_{st}$ : DFRCC の引張降伏強度(N/mm<sup>2</sup>)

$V_T$ : ウェブ補強によるコア部の強度増加量(kN)

$V_f$ : フランジ補強による強度増加量(kN)

$V_w$ : DFRCC 補強による自身の強度増加量(kN)

$\alpha_w$ : ウェブ補強による骨材噛み合わせを考慮する係数

$p_w^{eq}$ : ウェブ補強による等価せん断補強筋比

$\underline{h}_{st}$ : 有効補強高さ(下端~0.2Hは無効区間)

$E_{st}$ : DFRCC の弾性係数(kN/mm<sup>2</sup>)

$E_s$ : 主鉄筋の弾性係数(kN/mm<sup>2</sup>)

$d_w$ : 有効補強区間の重心位置

$d$ : 有効高さ(mm)

$\underline{d}$ : 修正有効高さ(下フランジ補強のある場合は補強厚を加えた値)

$f_{dd}$ : コンクリート圧縮強度で決まる基準せん断強度

DFRCC 補強によるせん断耐力増分は、フランジ部補強による増分  $V_f$  (本研究では  $V_f=0$ )、DFRCC そのものによるせん断耐力の増分量  $V_T$  (トラス効果)、DFRCC 補強により骨材の噛み合せ効果等でのコア RC 強度の増加量  $V_w$ 、の 3 つを累加した値としている。また、上述したように、有効補強高さ( $\underline{h}_{st}$ )を設ける事により、ウェブ補強の有効区間を設定した。

以上の評価式(1)を用いて DFRCC 補強によるせん断耐力増分量を算定した。また、ウェブ補強による骨材噛み合わせを考慮する係数  $\alpha_w$  は補強高( $\underline{h}_{st}$ )0.75H 以上の時 0.6 と定義しているが、補強高が 0.75H 未満の供試体もあるため、その  $\alpha_w$  を変化させ、補強による増加耐力の検討を行った。

#### 4.3 各供試体の実験および解析による耐力増分と算定値

骨材の噛み合わせを考慮する係数  $\alpha_w$  を一般的な 0.6 とした場合の DFRCC 補強による耐力増分量および実験および解析で得られた耐力増分量の一覧を表-5 に示す。

圧縮縁に補強を施した供試体(WF-300, WU-240, WU-150)については、算定式で得られた増加耐力と実験および解析により得られた増加耐力は同程度もしくはそれ以上の値を得る事ができた。具体的には WF-300 と WU-240 の供試体は、梁高に対して下面 2 割(0.2H)は無効区間であることから、算定増分量は同値であるが、実験で得られた増分量と比較すると、算定値に対して±7%となっており概ね評価することができる。しかし解析では耐力増分量に差が生ずる結果となった。WU-150 の供試体の耐力増分量と比較すると、補強領域の幅の大小と実験による耐力増分量の相関性を得る事が出来なかった。破壊形式が同様である事から、WU-150 のせん断耐力が上昇した原因としてコアコンクリート部のせん断耐力のばらつきが一因とは考えられるが、0.75H 未満の 0.5H の有効補強高さにも関わらず、算定式を満足する結果が得られた。

また下面から引張側のみに補強を施した供試体(WL-200, WL-150)については実験および解析どちらも算定値を大きく下回る結果となった。また、WLU-140 の供試体についても期待した補強効果を得る事が出来なかった。特に実験においての WLU-140 が算定値より非常に小さい理由として、圧縮域まで補強していない上、主鉄筋位置までも補強していない中途半端な位置となり、トラス効果が有効に機能しなかったためと考えられる。

#### 4.4 骨材噛み合せ効果の低減

圧縮域を補強していない供試体が、実験および解析

から期待した耐力増分量を得られていない原因のひとつとして、DFRCC 補強領域の幅が狭くなると骨材の噛み合せ効果が低減する可能性がある事もしくはトラス効果が低減する事が考えられる。既往研究<sup>7)</sup>での評価式内で用いられているモデルは、補強領域が梁高に対して75%程度以上と、本実験で用いられた補強領域が小さいモデル(WU-150, WL-200, WL-150, WLU-140)とは異なり、補強領域が大きいモデルを対象としてきた。そこで、算定耐力を大きく下回った3体の結果に対して、骨材の噛み合せ効果を考慮する係数 $\alpha_w$ を変化させ、その算定増分量と実験および解析による増分量を比較、検討した。また、 $V_T$ であるトラス効果を考慮しない場合も比較した。 $\alpha_w$ を0.6, 0.3, 0.15, 0の4パターンで変化させ、その算定値と実験および解析で得られた耐力増分量の比較の一覧を表-6に示す。また $\alpha_w$ が0の時は、骨材の噛み合せ効果を無視し、トラス効果のみでの耐力増分( $V_T$ )を表している。

表-5  $\alpha_w$  による算定値の影響

供試体名	耐力増分量【実験】(kN)	耐力増分量【解析】(kN)	$\alpha_w=0.6$ 耐力増分量【算定】(kN)			$\alpha_w=0.3$ 耐力増分量【算定】(kN)		
			計	$V_T$	$V_w$	計	$V_T$	$V_w$
WL-200	42.7	42.0	87.5	24.2	63.3	55.8	24.2	31.6
WL-150	30.3	30.5	72.5	18.2	54.3	45.3	18.2	27.2
WLU-140	11.5	39.8	80.2	16.9	63.3	48.5	16.9	31.6
供試体名	耐力増分量【実験】(kN)	耐力増分量【解析】(kN)	$\alpha_w=0.15$ 耐力増分量【算定】(kN)			$\alpha_w=0$ 耐力増分量【算定】(kN)		
			計	$V_T$	$V_w$	計	$V_T$	$V_w$
WL-200	42.7	42.0	40.0	24.2	15.8	24.2	24.2	0
WL-150	30.3	30.5	31.7	18.2	13.6	18.2	18.2	0
WLU-140	11.5	39.8	32.7	16.9	15.8	16.9	16.9	0

表-5 より下面側からDFRCCを補強したWL-200及びWL-150の供試体に関しては、骨材噛み合せ係数を $\alpha_w=0.15$ とした時に実験結果および解析結果と算定耐力値が概ね一致する事を示した。実験荷重のWLU-140の供試体に関しては、骨材の噛み合せ効果を無視したトラス効果のみの耐力増分量をも満足する事ができない結果となったが解析からはWL-200と同等の耐力増分量を発揮した。そこで、上述したように実験結果から耐力増分量が非常に小さい理由として、トラス効果が機能していないものとして $V_w$ のみで比較すると実験荷重においては $\alpha_w=0.15$ で概ね一致する。このことは $V_w$ については下面から $0.75H$ 未満については $\alpha_w=0.15$ とすることで耐力を評価できると考える事が出来る。 $V_T$ については、圧縮域もしくは引張鉄筋の範囲まで補強することで評価できると考える事が出来る。

## 5. 結論

せん断破壊型RC梁を対象にDFRCCによるウェブ補強高さ及びウェブ補強領域をパラメータとした3点荷重実験および数値解析を行った。得られた結果を以下に示す。

(1)DFRCCを目荒らしのみで接合しても全供試体で一

体性が確認でき、荷重点付近のコアコンクリートの圧壊によるせん断圧縮破壊を全供試体で確認する事が出来た。

- (2)DFRCCによるウェブ補強効果として、曲げ剛性はあまり増加しないが、せん断補強効果を実験および解析から確認する事が出来た。
- (3)DFRCCの補強効果は、せん断圧縮破壊型の場合圧縮側からの補強は引張側からの補強に比べ、同じ補強領域でもせん断耐力に大きく寄与することがわかった。
- (4)梁高( $H$ )に対して補強高さが $0.75H$ 以上とする既往研究<sup>7)</sup>でのせん断耐力増分の提案算定式は圧縮縁から $0.5H$ までの補強高さについても適用可能となり得る事がわかった。
- (5)引張側から補強した場合の補強高さが $0.75H$ 以下の時は、骨材の噛み合せを考慮する係数は $\alpha_w=0.15$ とする事で適用可能である事を明らかにした。
- (6)引張側からの補強の場合と圧縮側から補強の場合では、DFRCCによる応力に分担に相違があることがわかった。

## 参考文献

- 1)国土交通省港湾局監修：港湾の施設の技術上の基準・同解説、(社)日本港湾協会、2007
- 2)土木学会：複数微細ひび割れ型繊維補強セメント複合材料設計・施工指針(案)、コンクリートライブラリー127、2007
- 3)谷口勝基、斎藤尚、角掛久雄、大内一：高靱性モルタルのせん断補強への適用に関する研究、コンクリート工学年次論文集、Vol. 30, No. 3, pp. 1471-1476, 2008
- 4)小笠原哲也、金春日、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せん断補強効果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. 32, pp.1381-1386, 2010
- 5)角掛久雄、小笠原哲也、大内一、鬼頭宏明：塩害劣化を受けたRC-DFRCC合成部材の曲げ荷重実験、コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 32, pp.1387-1392, 2010
- 6)小笠原哲也、猪木勇至、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効果に関する基礎的研究、コンクリート工学年次論文報告集、日本コンクリート工学会、Vol. 33, pp.1255-1260, 2011
- 7)大内一、小笠原哲也、角掛久雄：DFRCCのU字型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

討議等

◆討議【谷口 与史也先生】

DFRCC の物理的、機械的性質について教えてください。

◆回答

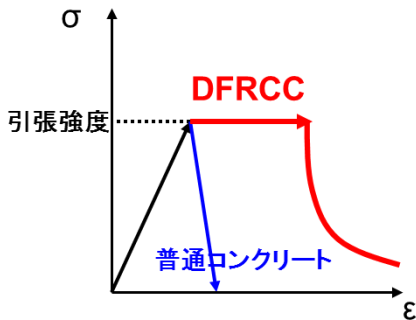
本研究で用いました有機繊維は PVA 繊維で、載荷実験時に行った材料試験結果、PVA 繊維の材料物性について示します。主たる特徴としては普通コンクリートと比較し高い圧縮強度および引張靱性を持つことが大きな特徴です。

DFRCC 材料試験結果

バッチ	補強供試体名	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	弾性係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比	フロー (mm)	空気量 (%)
1バッチ	WF-300	1.92	41.3	15.2	0.18	495.0	0.6
2バッチ	WU-150	2.37	42.0	15.3	0.20		
3バッチ	WU-240	3.22	45.5	15.8	0.22		
4バッチ	WL-150	4.09	43.0	15.3	0.23		
5バッチ	WL-200	2.07	43.5	15.4	0.18		
6バッチ	WLU-140	2.37	43.3	15.2	0.18		
平均		2.67	43.1	15.4	0.20		

ポリビニルアルコール (PVA) 繊維の物性

種類	径 μm	長さ mm	密度 g/cm <sup>3</sup>	引張強度 Mpa	弾性係数 Gpa	破断伸度 %
PVA	40	12	1.3	1600	40	6



DFRCC の引張応力化応力—ひずみ関係

◆討議【谷口 与史也先生】

WLU 型で引張鉄筋位置までの補強が必要な理由を教えてください。

◆回答

まず本研究の結論として、WLU 型のみ引張主鉄筋位置までの補強が必要な可能性があると知見を示した理由は、破壊形式に大きく関係している。破壊形式が載荷点近傍のコアコンクリートの圧壊であることから、供試体上面を補強しないもの、かつ引張主鉄筋位置まで補強を施さないものに関しては、主鉄筋から伝達されるトラス効果(せん断補強筋と同様な効果)が有効に機能しないことが実験結果から推察されるため、このような知見を示しました。

◆討議【谷口 与史也先生】

同じ補強高さ(補強量)で得られる増分が異なるメカニズムについて説明してください。

◆回答

同じ補強量で比較した際にその耐力増分量が違うのは、例えば WL-150 と WU-150 を比較際に破壊形式が載荷点付近のコアコンクリートの圧壊であるせん断圧縮破壊であることから、上面を補強した U シリーズは上面が DFRCC により拘束されることによりせん断耐力が上昇しているものと考えられる。下面を補強した L シリーズは載荷点直下が無拘束であり、引張縁側の DFRCC のダウエル効果が小さく補強効果が小さいことが、拘束された U シリーズに比べ耐力増分量が小さくなったことにより、せん断耐力の寄与率に違いがあることが考えられます。

◆討議【松村 正秀先生】

無補強供試体について、荷重—変位関係の解析と実験の整合性が取れていないのに耐力増分量を比較する次のステップに進んでよいのか？

◆回答

無補強供試体に関して、実験結果と解析結果は大きく異なった結果となっていますが、まず剛性の違いについては、解析が理論値を満足していることから実験の剛性が過小に評価されていることがわかります。次に耐力に関してですが、算定せん断耐力に対して 164% とかなり大きくなっており、解析においても実験を再現するように耐力向上するためのモデルの検討を行い、最大荷重に対して 20% 程度まで解析耐力を近づけた結果であり、耐力としてはある程度安全性が得られたものと判断しました。破壊形式は実験と解析で同様の結果を示していることから、最大耐力自体は若干低いものの、挙動特性は適切であると考え、この無補強の解析モデルをベースに補強効果を検討していくものとした。