

## 委員会報告 「連続繊維補強コンクリート研究委員会報告」

丸山久一<sup>\*1</sup>・島 弘<sup>\*2</sup>・福山 洋<sup>\*3</sup>・下村 匠<sup>\*4</sup>

## &lt;委員構成&gt;

委員長	丸山久一	長岡技術科学大学工学部		
幹事	福山 洋	建設省建築研究所		
	島 弘	高知工科大学工学部		
委員	天野玲子	鹿島建設技術研究所	伊東良浩	佐藤工業中央研究所
	上田多門	北海道大学工学部	魚本健人	東京大学生産研究所
	梅原秀哲	名古屋工業大学工学部	大即信明	東京工業大学工学部
	大野定俊	竹中工務店技術研究所	金久保利之	筑波大学構造工学系
	佐藤裕一	京都大学工学部	小林克巳	福井大学工学部
	清水昭之	東京理科大学工学部	下村 匠	長岡技術科学大学工学部
	関島謙蔵	清水建設技術研究所	棚野博之	建設省建築研究所
	谷垣正治	三井建設技術研究所	鳥取誠一	鉄道総合技術研究所
	中井裕司	住友建設土木本部技術・設計部	中川裕章	鹿島建設技術研究所
	藤井 栄	京都大学工学部	藤崎忠志	清水建設技術研究所
	細谷 学	東京工業大学工学部	睦好宏史	埼玉大学工学部

## 1. はじめに

連続繊維補強材は、①軽量でかつ引張強度が高い、②鋼材のように錆ることはない、③非磁性で電波透過性が高い、等の特性を有することから、これを鉄筋の代替としてコンクリート建設分野に適用する試みが1980年代から始められている。建築および土木分野において各々調査研究が行われ、技術の現状を報告するとともに[1,2]、土木学会では設計・施工指針(案)の作成にまで至っている[3]。この材料は世界的にも注目され、1993年にアメリカコンクリート工学協会(ACI)主催の国際シンポジウム(FRPRCS-1, 1993年, カナダ国バンクーバー)が開催された折り、今後の研究活動の促進を図るため、第2回(1995年, ベルギー国アントワープ)および第3回(1997年, 日本)の国際シンポジウムの開催が参加者の間で合意された。

日本で開催する第3回国際シンポジウムは、本協会(JCI)が主催となって実施することが決定された後、連続繊維補強材の国内での技術の現状をまとめ、かつこの材料のより一層の普及を図るという観点から、1995年に設置されたのが本研究委員会である。活動の方針として、①建築および土木の両分野の現状を調査し、用語、試験方法、設計法等において統一的な案の作成を試み

\*1 長岡技術科学大学教授 工学部環境・建設系, Ph.D (正会員)

\*2 高知工科大学助教授 工学部社会システム工学科, 工博 (正会員)

\*3 建設省建築研究所国際地震工学部, 工博 (正会員)

\*4 長岡技術科学大学助教授 工学部環境・建設系, 工博 (正会員)

る（統一化 WG：島主査），②補修・補強への適用の現状をまとめる（補修・補強 WG：福山主査），さらに③連続繊維補強材の特性を活した構造形式を考案する（未来 WG：下村主査）こととした。

本研究委員会は当初 2 年間の活動期間とし，連続繊維補強材としては主として棒状のものを対象として調査研究を進めてきた。しかし，兵庫県南部地震（1995 年 1 月）の復旧において，連続繊維シート材がコンクリート構造物の補修・補強用として積極的に使用されてきており，設計・施工における知見が大幅に増加している。本委員会では，補修・補強 WG がこの現状に直ちに対応して活動しているものの，試験方法や設計方法に関しては十分検討する時間的余裕がなく，本報告では述べていない。幸い，本研究委員会は 1 年間の活動の延長が認められたことから，平成 10 年（1998 年）春には，それらをまとめた報告とともに，シンポジウムを開催する予定である。

## 2. 統一化 WG

統一化 WG の目的は，建築および土木分野でまとめられている技術の現状[1,2]，指針（案）[3]等を参考として，両分野における共通事項や異なる事項等を整理・検討し，国内での統一的な案を作成することである。検討内容は，主として，①用語と定義，②試験方法，③材料規格，および④設計法とした。両分野で共通に定められているものもあるが，使用目的が異なることから，各々独自に定めている事項，あるいは，両分野とも明記していない事項等も数多くある。そのような状況を踏まえて，本 WG では，全般の事項について統一的な案の作成を試みた。以下に，報告書において特徴的な事項の概要を示す。詳細は委員会報告書を参照されたい。

### 2. 1 用語と定義

この項では，内容を「用語と定義の現状」および「用語と定義の統一化」にまとめた。表-1 に統一化の一例を示す。

表-1 用語の統一化の例

建築分野	土木分野	試案	備考
結合材	繊維結合材	結合材	シートも含め一般化
繊維混入率	軸方向繊維体積混入率	繊維体積混入率	シートは除く
連続繊維筋	連続繊維補強筋	連続繊維補強筋	
棒材	連続繊維棒材	連続繊維棒材	
保証引張強度		引張強度	
	保証耐力	耐力	
公称断面積	連続繊維補強材の公称断面積	連続繊維補強材の公称断面積	鋼材と定義が異なるため
		連続繊維補強材の公称直径	
		連続繊維補強材の公称周長	
最大外径	最大寸法		検討中

### 2. 2 試験方法

連続繊維補強材（棒材）の試験方法として，土木学会では 10 種類の試験方法を提案している[3]。一方，建築分野ではまだ正規に定められたものはないが，基本物性に関連して試験方法が示されている[1]。これらを検討して，本委員会では以下の 9 項目について素案をまとめた。

- ① 連続繊維補強材の引張試験方法
- ② 連続繊維補強材の曲げ引張試験方法
- ③ 連続繊維補強材の曲げ成形部の強度試験方法
- ④ 連続繊維補強材のクリープ破壊試験方法
- ⑤ 連続繊維補強材の長時間リラクセーション試験方法
- ⑥ 連続繊維補強材の高サイクル引張疲労試験方法
- ⑦ 連続繊維補強材の熱機械分析による熱膨張係数の試験方法
- ⑧ 連続繊維補強材の耐アルカリ試験方法
- ⑨ 引抜き試験による連続繊維補強材とコンクリートとの付着試験方法

### 2.3 材料規格

この項は、「材料規格の現状」と「設計用値の決定方法（素案）」からなっている。以下に、素案の一例を表-2に示す。このような規格とした理由については、委員会報告書を参照されたい。

表-2 規格値の定め方

項目	定め方
公称断面積	連続繊維補強材の体積を長さで除した値。体積の測定は、長さが1mの試験片のものをJIS R 3505に定めるメスシリンダーを用いて行う
公称直径	断面が円形の場合は公称断面積を円周率 $\pi$ で除した値の平方根を2倍した値 ( $D=2\sqrt{A/\pi}$ )
公称周長	断面が円形の場合は公称直径に円周率を乗じた値 ( $=\pi D$ )とし、断面が矩形の場合には断面の高さと幅の和を2倍した値 ( $=2(h+w)$ )
公称単位質量	連続繊維補強材の質量を長さで除した値
引張強度の特性値	連続繊維補強材の引張試験結果の平均値から標準偏差の3倍を減じた値
設計引張強度	引張強度の特性値を安全係数で除した値
連続繊維補強材の圧縮強度	設計では考慮しない
連続繊維補強材のせん断強度	設計では考慮しない
引張応力-ひずみ関係	ヤング係数を傾きとした原点を通る直線
ヤング係数	連続繊維補強材の引張応力-ひずみ曲線上の2点(最大引張荷重の20%と50%)を通る直線の傾き

### 2.4 設計法

以下の6項目について、建築および土木分野の現状をまとめ、相違点を明らかにするとともに、せん断耐力については両分野の相対比較も行った。

- ① 曲げおよび軸方向力に対する検討
- ② せん断耐力 -土木学会と建築学会式の比較-
- ③ 付着・定着に対する検討
- ④ ひび割れに対する検討
- ⑤ 連続繊維補強コンクリート部材の耐火性評価
- ⑥ 鉄筋との併用構造

### 3. 補修・補強 WG

#### 3. 1 はじめに

補修・補強 WG の目的は、連続繊維を用いた補修・補強工法に関するわが国の技術の現状をまとめ、State-of-the-art report を作成することである。WG の活動は、材料メーカーに対するヒアリング調査、材料・工法・適用事例に関するアンケート調査、研究の現状の文献調査およびこれまでに提案された試験法や設計・施工に関する指針類の調査を行い、これを材料や工法の種類に依らず、横並びに検討し技術の現状として取りまとめるという方法で行った。

連続繊維を用いた補修・補強工法としては、繊維シートを貼り付けまたは巻き付けて樹脂を塗布・含浸させる硬化させるものが多い。その他に、予め成形された FRP シートを柱周りに取り付ける工法も提案されている。また、連続繊維補強材をアウトケーブルとして用いる補強工法も土木の分野では用いられている。平成 7,8 年度は、主として繊維シートを用いた補修・補強工法について取りまとめている。現在までの検討結果の概要を以下に示す。詳細は、委員会報告書を参照して戴きたい。

#### 3. 2 特徴

繊維シートを用いた補修・補強工法は、1980 年代から研究が進められてきた比較的新しい補修・補強技術の一つであるが、1995 年兵庫県南部地震の被害の経験が契機となり、ここ数年、研究および適用の事例が急激に増加してきた。繊維シートの材料の特徴としては、1)高強度、2)軽量、3)フレキシブルで躯体への追従性が良い、4)一般に耐食性に優れている、5)降伏現象を示さない、6)ヤング係数は炭素繊維はほぼ鉄筋と同等以上、アラミド繊維とガラス繊維は鉄筋よりも小さい、といった項目があげられる。また、繊維シートを用いた補修・補強工法の施工上の特徴としては、1)工期が一般に、コンクリート巻き立て工法や鋼板巻き立て工法に比べて短い、2)トータルコストが一般に鋼板巻き立て工法よりも安価である、3)軽量で、躯体への追従性が良く、溶接などの熟練工を要しないため施工性が良好であり、運搬も容易である、4)重量の増加は設計上無視できる、5)せん断補強の場合は構造体の初期剛性が変わらない、6)耐久性が高い材料であるためメンテナンスが容易である、7)樹脂は施工時の気温に適合したものをを用いる必要があり、低温の場合には適用できないものもある、8)耐火性を要する場合には、十分な被覆が必要であるといった項目が挙げられる。

#### 3. 3 材料

11 種類の繊維シートについて材料特性に関するデータが収集され、繊維の種類、繊維シートの種類および FRP シートの特性がまとめられた。なお、ここでは、繊維素材そのものを「繊維」、それらの繊維をプリプレグや織物にした材料を「繊維シート」、さらに繊維シートに樹脂を含浸し硬化させたものを「FRP シート」と呼んでいる。アンケート結果による繊維の種類は、炭素、アラミド、ガラスに、繊維シートの種類は、二方向織物、一方向織物、一方向プリプレグ、一方向シートに分類された。FRP シートの特性としては、引張強度、ヤング係数とその求め方および繊維強度との関係などがまとめられている。

#### 3. 4 工法

12 種類の工法についてデータが収集され、工法の概要、適用部位と補強目的および工法の特徴

についてまとめられた。工法の概要は、ケレンなどによるコンクリート表面の不陸調整やプライマーの塗布等の下地処理を行った後、繊維シートを貼り付けまたは巻き付けて樹脂を塗布・含浸させ、樹脂の硬化後に仕上げを行うというもので、調査した工法のほとんどに共通している。この他に、予め成形された FRP シートを柱周りに取り付ける工法も提案されている。適用部位は、土木構造物では、橋脚、桁、床板、トンネルなど、建築構造物では、柱、梁、壁、床、煙突などであり多岐にわたっている。補強の目的は大きく分けて、せん断補強、曲げ補強および靱性の向上のための圧縮補強に分類される。この他に、劣化した部材の補修に用いられた例も多く見られる。

### 3. 5 研究の現状

文献調査、資料調査を基に、材料性能、構造性能、耐久性能、耐火性能などに関する研究の現状をまとめた。

#### 1) 柱 (土木分野)

橋脚には一般に軸方向鉄筋の段落し部が設けられている。土木分野では、先ず、連続繊維ストランド巻き付けによるその部分の補強が実験的に研究され、補強効果および設計手法が確立された。その後、繊維シートによるせん断抵抗や靱性の向上に関する研究が急速に増加した。既存の柱や橋脚の補強に関しては、コンファインド・コンクリートの圧縮試験や柱の水平加力実験などが数多く実施され、コンファインド効果の確認、せん断耐力の向上、靱性能の改善などが報告されている。

#### 2) 柱 (建築分野)

連続繊維を利用した柱の耐震補強法の研究の最初は、連続繊維ストランドをスパイラル状に柱に巻き付けたものであった。その後、1995年の兵庫県南部地震を契機に、各研究機関で精力的に繊維シートなどによる補強の研究が実施されている。建築分野における繊維シートによる柱の補修・補強としては、横補強されたコンクリートの圧縮性状、せん断補強方法、せん断耐力算定法、靱性評価手法などが検討され、既存柱の耐震補強に対する連続繊維シート工法の有効性が報告されている。

#### 3) 梁, 床

梁や床に関する研究も徐々に増えており、コンクリートと繊維シートとの付着が十分ならば、曲げ強度やせん断強度の向上に繊維シートが有効であることが分かっている。外ケーブルに連続繊維補強材を使用した既存コンクリート橋の補強に関する研究も実施されている。外ケーブルに使用することにより、連続繊維補強材に働く応力はケーブルに沿ってほぼ一様に分布するので、応力集中による補強材の破断の防止に有効である。連続繊維補強材を外ケーブルとして用いることにより、コンクリート梁の曲げ強度ばかりでなくせん断強度も増加すると報告されている。

#### 4) その他

その他の研究として、繊維シートの付着特性、継手特性、耐久性および耐火性や壁の補強などが実施されている。継手特性では、炭素繊維シートの5から10cmの長さの継手で繊維シートの全強度が伝達できると報告されている。また、炭素繊維シートを接着したコンクリート試験体の曲げ試験や引張試験結果によれば、平均付着強度は接着長さが減少するにつれ増加する傾向にあり、コンクリートの破壊や界面での付着破壊が発生している。紫外線などに対する炭素繊維シートの耐久性は促進試験で調べられており、耐久性には問題ないことが分かっている。また、炭素繊維

繊維シートの耐火性の研究では、適切な耐火被覆がなされるならば FRP シートの強度は低下しないことが示されている。繊維シートの定着に関する研究は、梁や壁の構造実験に関連して実施されており、適切な定着により補強効果の向上が図れることが示されている。

### 3. 6 評価法

繊維シートによる補修・補強法として、わが国で現在、設計法、施工法、試験法等の評価法が確立しているものは、土木・建築分野ともにあるが、繊維の種類としては、炭素繊維とアラミド繊維のみである。それらを対象構造物、繊維の種類で分類すると以下ようになる。

- ① 炭素繊維シート・ストランドによる鉄筋コンクリート道路橋脚の補強
- ② 炭素繊維シートによる鉄筋コンクリート道路橋床版の補修・補強
- ③ 炭素繊維シートによる鉄筋コンクリート道路橋脚の補修・補強
- ④ 炭素繊維シートによる鉄筋コンクリート鉄道高架橋柱の耐震補強
- ⑤ 炭素繊維シートによる鉄筋コンクリート地下鉄柱の耐震補強
- ⑥ 炭素繊維シートによる鉄筋コンクリート建築物柱の耐震補強
- ⑦ アラミド繊維シートによる鉄筋コンクリート鉄道高架橋柱の耐震補強

上記のリストからも明らかなように、多くが繊維の種類でいえば炭素繊維シートによる補強であり、対象構造物でいえば橋脚の耐震補強である。1995年の兵庫県南部地震が、耐震補強を強く推し進めているのがその背景にある。また、1995年の道路橋の設計荷重の改訂、近年の床版の劣化問題も、床版の補強に連続繊維シートによる補強を導入させている理由となっている。

設計法での注目点の第一は、JIS 規格がまだない連続繊維シートの材料の設計用値をどのように与えるかという点である。多くの場合、99.9%信頼限界(平均値  $-3\sigma$ :  $\sigma$  は標準偏差)を引張強度の特性値としている。最近のデータの集積により、信頼性のある特性値を与えることができるようになってきている。第二の点は、鋼材と比較して弾性係数が大きく異なる連続繊維を用いた場合の部材の耐力の推定である。曲げ耐力の場合、概ね鉄筋コンクリートと同様な方法で推定が可能であるが、ひび割れでの応力集中によるシートの破断強度の低下およびシートの剥離を考慮すると、シートの強度を多少低減した値を用いて曲げ耐力を推定するのが一般的である。実験式であるせん断耐力推定式の場合は、弾性係数の影響、鋼材と異なり降伏しないことの影響、曲げと同様に剥離の影響等があり、曲げ耐力以上に推定は困難である。現在の推定式は、鉄筋コンクリートの式を準用し、シートの強度をかなり低減させた値を用いることとしており、場合によっては、必要以上に安全な式となっている。一方、剥離に関する規定としては、定着長を計算するための平均付着強度を与えている場合がある。

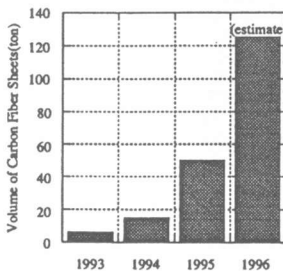
施工法では、コンクリート表面とシートの密着、接着剤であるエポキシ樹脂のシートへの十分な含浸、エポキシ樹脂の硬化不良に対する配慮が重点的に記述されている。コンクリート表面の下地処理工、プライマー工はシートの密着性を高めるのに重要な工程である。下地処理の際のコンクリート表面の不陸の除去は、シートに歪みを生じさせないためであり、特に炭素繊維の場合重要である。また、部材断面隅角部の局面整形も同じ理由で重要で、炭素繊維の場合、局面の半径として 1~5cm の規定がある。プライマー及びエポキシ樹脂の硬化不良を防ぐために、施工温度は 5°C 以上とする規定がある。水分との接触を防ぐこと、気泡を除去すること等の規定もあるが、樹脂の養生に対する規定は特にない。仕上げ工は、美観、耐久性、耐火性など所要性能に応じて規定がある。耐久性には樹脂塗装が一般的で、アラミド繊維の場合特に最低限の塗装を義務

づけている。耐火性に対してはエポキシ樹脂の変成温度以下になるよう要求している。

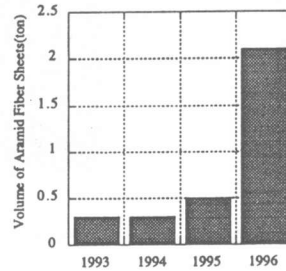
試験法としてはほとんど整備されておらず、引張試験法に関する規定があるだけといってもよい。これも、シートに対して開発された試験法というわけではなく、既存の炭素繊維強化樹脂の引張試験法を準用しているに過ぎない。供試体の幅をどうするかなど、解決すべき問題がある。付着強度試験としては、コンクリート表面との接着状況を品質管理するための接着試験があるが、設計に必要な付着強度を直接測定するものではない。

### 3.7 適用事例

連続繊維補強材を土木・建築構造物の補修・補強に適用しようという研究は、1980年頃から始まった。実構造物に適用されたのは、1984年に炭素繊維シートが鉄道橋の橋脚ひび割れ部の補修に用いられたのが最初である。それ以来、適用事例は徐々に増えつつあったが、1995年の兵庫県南部地震を契機に急増している。図-1に1993年以降の炭素繊維シートおよびアラミド繊維シートの需要量の推移を示す。炭素繊維シートの需要量は、1993年には6トン程度であったが、毎年ほぼ3倍近い伸び率を示し、1996年には約125トンにまで増加している。アラミド繊維シートは、実用化されてからあまり時間がたっていないこともあり、炭素繊維シートに比べると適用例は少ないが、図-1(b)に示すように着実に使用量は増加している。現在、これらのシートによる補修・補強工法の設計・施工指針が官学民の協力により整備されつつあり、連続繊維シートの需要が増加する傾向は今後も続くと考えられる。炭素繊維シートによる補修・補強の施工件数を図-2に示す。用途別では、橋梁や建築物への適用事例が多く、両者で全体の約80%を占めている。また、トンネルや煙突への適用例も比較的多い。アラミド繊維シートは、1993~95年で6件であった施工実績が、1996年だけで12件に達しており、今後も施工件数が増加していくものと予想される。



(a)炭素繊維シート



(b)アラミド繊維シート

図-1 連続繊維シート需要量の推移

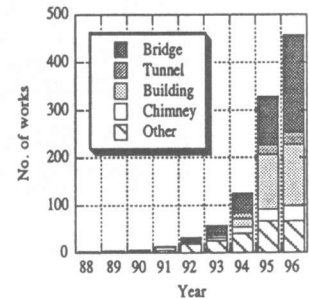


図-2 炭素繊維シートによる補修・補強件数の推移

写真-1は、せん断補強を目的として、高速道路の橋脚の段落とし部に炭素繊維シートを用いた例である。炭素繊維シートは帯鉄筋方向に巻き付けられており、適用面積は480m<sup>2</sup>である。写真-2は、都市高速道路の橋脚に靱性補強を施した例である。炭素繊維シート10層を帯鉄筋方向に巻き付けて、拘束効果による靱性の向上を目的としている。施工空間が狭いうえに、交通量が多く夜間しか通行規制ができない場所での施工であり、繊維シートの施工性の良さが活かされた例である。写真-3は、B活荷重対策として床版の耐荷力を向上させるために、RC床版下面に炭素繊維シートを橋軸方向および橋軸直角方向ともに2層ずつ貼り付けた例である。写真-4は、



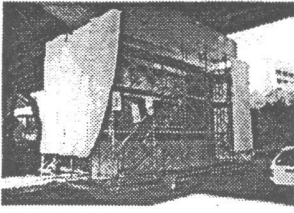


写真-1 高速道路橋脚の段落とし部のせん断補強

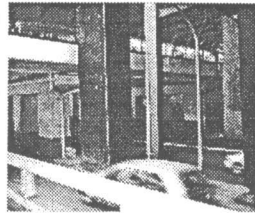


写真-2 都市高速道路橋脚の靱性補強

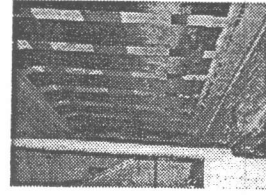


写真-3 RC床版下面の補強 (B活荷重対策)

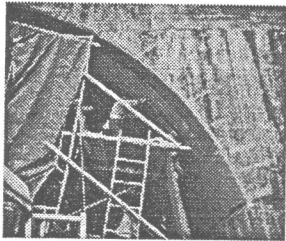


写真-4 トンネル覆工部の補強

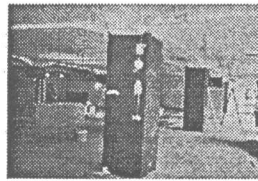


写真-5 体育館の柱のせん断補強

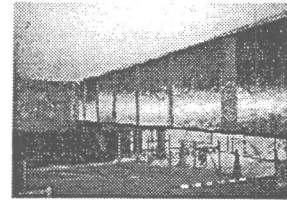


写真-6 老朽化した学校の梁の補強



写真-7 学校の床スラブの補強

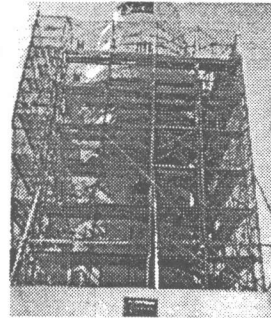


写真-8 灯台の補強

ひび割れ補修の目的で、自動車用トンネルの覆工部に炭素繊維シートを軸方向および周方向にそれぞれ1層ずつ貼った例であり、繊維シートの使用量は約3000m<sup>2</sup>である。写真-5は、体育館の柱のせん断補強のために、炭素繊維シートを貼り付けた例である。この場合には、縦方向1層、横方向2層を貼り付けている。写真-6は、竣工後約60年経過した学校の梁を、せん断、曲げ補強およびひび割れ防止を目的として、炭素繊維シートで補強した例である。この場合には、梁の長手方向の下面および側面の一部に3層貼り付けている。写真-7は、学校のスラブの上面および下面に炭素繊維シートを貼って補強した例であり、床スラブのたわみ改善およびひび割れの進行防止を目的としている。繊維シートの使用量は約1000m<sup>2</sup>である。写真-8は、灯台の耐震補強にアラミド繊維シートを用いた例であり、縦横2方向に繊維を織ったタイプのシートを用いている。補強範囲は14.9mの高さまでであり、基部の1.8mの範囲では6層巻き付けて補強している。



### 3. 8 今後の課題

連続繊維シートを用いた補修・補強工法は、ここ数年で飛躍的に適用増加してきた工法であるため、他の補修・補強工法に比べて経験不足の感否めない。今後さらに研究が進み、さらなる普及やより広い対象への適用が望まれる。そのための今後の課題として、材料の高性能化・低価格化、補強部材の性能評価法の充実、施工法の改善・施工管理法の充実、環境へ及ぼす影響の把握、技術者の育成といった項目があげられる。

### 4. 未来 WG

連続繊維補強材のコンクリート構造への適用が試みられて久しい。高強度、耐食性、軽量性、非磁性など連続繊維補強材の特徴を生かした種々の利用方法が提案された。提案された利用方法の中には着実に実績を増やし、今後ますますの普及が期待されるものもある。シート材による既設構造物の耐震補強はその好例である。一方、当初に期待されたほども実際には採用されなかったり、試験的な適用の段階に終始している利用方法もいくつかある。

連続繊維補強コンクリートの将来における有効な利用の方向を模索するため、本委員会第三のワーキンググループとして未来 WG が設けられた。連続繊維補強コンクリート構造の過去と現在における適用例の検証、未来における新しい利用法の検討をテーマとして活動を続けてきた。

#### 4. 1 連続繊維補強コンクリート構造の総合評価

連続繊維補強材の登場の際には、これまでの補強材にない新しい特徴が脚光を浴びた。一方、普及が芳しくない説明として従来の材料よりもコストが高いことが指摘されることが多い。しかし、新しい材料である連続繊維補強材に対して、材料特性、コストなど、単一の側面のみを取り上げ、既存の補強材との比較で単に優劣を考えたのでは、真の価値は評価されにくいのではないかと思われる。そこで、構造物の種々の側面における、顕在的あるいは潜在的な長所と問題点を分析し、それらをもとに連続繊維補強コンクリート構造の総合的な実力を浮き彫りにすることを試みた。次のような基本的な考え方にに基づき、構造物の評価システムを作成した。

- (1) 評価の対象は補強材のみではなく、これを用いたコンクリート構造とする。
- (2) 構造物の施工から供用、解体に至るまでのライフサイクルを評価の基軸に据える。
- (3) 評価の項目には、環境への影響、施工時の苦渋作業の程度など、従来評価されることが少なかった項目も取り入れる。
- (4) 評価の方法は、基準となる従来構造あるいは工法を選び、各項目についてそれとの相対比較により行なう。

AFRP ロッドを利用した柔構造樫管、各種の繊維材料を用いた吊り床版橋、テレビ電波透過型カーテンウォールなど、これまで我が国で提案あるいは実際に採用された特徴的な連続繊維補強コンクリート構造を 10 例選定し、評価システムにより評価を行った。表-3 は、石油地下備蓄基地の岩盤タンクの吹付けコンクリートの補強材に GFRP メッシュを適用した例を評価した結果である。従来の溶接金網を用いた吹付けコンクリートと比較した場合の得失を A,B,C の 3 段階で示すと表-3 のようになった。連続繊維補強コンクリート構造には、作業の苦渋性からの解放、耐久性の向上など、イニシャルコストに直接反映されない長所を有していることがわかる。連続繊維補強コンクリートが有効に利用されるためには、このような潜在的な得失をも含めて、総合的な観点から評価することが重要であると考えている。

表-3 GFRP メッシュを用いた吹付けコンクリートの評価

評価項目		評価	備考	
供用前	材料	補強材	C	GFRP メッシュは鉄筋よりも高価
		コンクリート	A	二次吹付けの余吹きが減少する
		その他の材料	C	ステーブルを必要とする
		プレキャスト化	B	在来構造もプレキャスト化はない
	施工	人為的作業	A	材料の軽量化, 取付け作業が簡便
		機械的作業	C	エアネイラーを必要とする
		工期	B	
	施工の合理化	プレキャスト化	B	在来構造もプレキャスト化はない
		特殊な作業	B	
		作業の苦渋性	A	補強材の取付け作業が簡便になる
		作業の簡便性	A	材料の軽量化, 取付け作業が簡便
	環境への影響	材料の製造	B	
使い捨て材料		B		
施工の環境負荷		B		
供用時	構造物の耐久性		A	地下水に塩分が含まれていても問題ない
	特殊な性能		B	
	社会的影響		A	新技術の実用化によるイメージアップ
供用後	解体作業		A	はつり作業が容易になる
	環境への影響	リサイクル	C	繊維・樹脂の処理が難しい
		解体作業	B	

#### 4. 2 連続繊維補強コンクリートの可能性

補強材の材料特性を改善することにより, どのような構造形式, 性能の実現が可能となるかについて定量的な知見を持つことは, 材料を開発する立場, 材料を利用する立場の双方にとって重要であり, 連続繊維補強コンクリートの将来を方向づける駆動力となり得る。未来 WG では, これまで次の例についてシミュレーションを行った。

- ①連続繊維緊張材を用いたプレストレストコンクリート梁について, 緊張材の有効強度, コンクリート強度, コンクリート重量を変化させることにより, スパンの長大化, 梁せいの低減がどの程度可能となるか試算した。
- ②連続繊維補強モルタル板永久型枠のメッシュピッチと, 中性化, 塩化物の侵入に対する抵抗性との関係について検討した。
- ③耐震補強工事に伴う二酸化炭素排出量を試算し, 連続繊維補強材を用いた場合, 従来の工法に比べ環境への負荷がどう変わるか検討した。

#### [引用文献]

- [1]建設省大臣官房技術調査室: 連続繊維補強コンクリート-諸性質と設計法-, 連続繊維補強コンクリート編集委員会, 技報堂, 1995
- [2]土木学会: 連続繊維補強材のコンクリート構造物への適用, コンクリートライブラリー72, 土木学会, 1992
- [3]土木学会: 連続繊維補強材を用いたコンクリート構造物の設計・施工指針(案), コンクリートライブラリー88, 土木学会, 1996