

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^{*1}・島 弘^{*2}・福山 洋^{*3}・下村 匠^{*4}

<委員構成>

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	大成建設技術研究所	睦好宏史	埼玉大学工学部

1. はじめに

本研究委員会は 1995 年に設置され、2 年間の活動成果を委員会報告¹⁾としてまとめ、その内容の概要を昨年(1997 年)の年次大会で報告²⁾するとともに、同年 7 月 25 日には、委員会報告の内容について講習会を開催した。その詳細は各報告書にゆずるが、概要は以下のようである。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かした構造形式を考案する(未来 WG: 下村主査)。

本研究委員会の活動を引き続き 1 年間延長

した理由の一つには、昨年 10 月 14 日～16 日に札幌で、本協会(JCI)主催で開催された連続繊維補強コンクリートに関する国際シンポジウムがあげられる。この国際シンポジウムは、1993 年から 2 年ごとに、バンクーバー(カナダ)、アントワープ(ベルギー)と開催されてきたものである。このシンポジウムで、連続繊維補強コンクリートに関する世界の研究の現状が多数報告されることが明らかであったので、その内容をまとめて本委員会の調査研究報告書に取入れることが必須であるとの判断からであった。

さらに、本研究委員会の当初の活動は、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

*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)

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いる現状から、1年間の活動期間の延長により、試験方法や設計方法についても議論し、今後の方針を定めることが重要であるとの認識もあった。

延長された1年間の活動内容は、主として連続繊維シートによる既存コンクリート構造物の補修・補強に関するもので、①連続繊維シート材料の引張試験方法および付着試験方法の提案、②連続繊維シート材の実態およびそれを用いた補強設計方法および施工実績に関する追加調査、③連続繊維補強材を用いた構造物のライフサイクルを考慮した評価方法の開発である。活動内容をまとめた報告書³⁾は、前回からの追加分のみを記述することとし、応募論文とともに、5月21日に開催したシンポジウムで公表されている。以下に、この1年間の委員会活動の概要を報告する。

2. 統一化WG

2.1 はじめに

棒状の連続繊維補強材に関しては、用語とその定義、試験方法、材料規格、設計法の現状を整理し、それぞれの項目の土木分野と建築分野での統一化(試案)の提案あるいは統一化に向けての資料のとりまとめを行い、連続繊維補強コンクリート研究委員会報告書¹⁾(1997年7月)の第1章で報告した。その後、連続繊維シートを対象にして行った調査研究の成果の概要をここに報告する。

2.2 用語と定義

連続繊維シートに関する用語を表-1のように定義する。

棒状の連続繊維補強材では、その断面積に結合材の断面積をも含むものとして定義されている。しかし、連続繊維シートでは、通常ドライな状態で出荷され作業現場で結合材が含浸されるため、結合材の含有率を厳密に管理することが困難であること、また受入検査における連続繊維シートの重量の管理は、結合材が含浸されていない状態のシートに対して行われること等の理由から、連続繊維シートの材料特性値は、結合材が含浸されていない状態に対して定義されるのが妥当と考えられる。そのため、本委員会では、連続繊維シートの厚さおよび断面積を連続繊維のみを対象として定義することとした。また、連続繊維シートの引張強度は、結合材が含浸硬化されたシートの引張試験より定めることとしているが、試験で得られた引張荷重から引張応力度を算出する際に用いる断面積としては、結合材を除いた連続繊維のみの断面積を採るものとする。

連続繊維シートには、一方向強化シートだけでなく、二方向以上の方向(二方向の場合は通常は直交する二方向)に連続繊維が配置されたシートがある。二方向以上の方向に連続繊維が配置されたシートについては、それぞれの方向について目付量、厚さ、断面積、引張強度等の材料特性を定義するものとする。

表-1 連続繊維シートに関する用語の定義

連続繊維シート：連続繊維および形状保持のための補助的な材料を用いた面状の連続繊維補強材。
連続繊維シートの目付量：連続繊維シートの単位面積当たりの連続繊維のみの質量。
連続繊維シートの公称厚さ：目付量を連続繊維の密度で除した値。
連続繊維シートの公称断面積：連続繊維シートの厚さに連続繊維の配置方向に直交する方向に取った連続繊維シートの幅を乗じた値。
連続繊維シートの引張強度：連続繊維シートが耐えうる連続繊維配置方向に作用する最大の引張荷重を断面積で除した値。
連続繊維シートの引張強度の特性値：定められた試験法による連続繊維シートの引張強度の試験値のばらつきを想定した上で、試験値がそれを下回る確率がある一定の値以下となることが保証される値。
連続繊維シートの設計引張強度：連続繊維シートの強度の特性値を材料係数で除した値。

2.3 試験方法 (試案)

(1) 連続繊維シートの引張試験方法 (試案)

試験体を図-1 に示す。定着部は、試験体を試験部で破壊させ得る能力を有するものでなければならない。試験体の数は5個以上とする。試験体のヤング係数および終局ひずみを求めるため、ひずみゲージを試験体試験部の中央の表裏に引張方向に正しく取り付ける。

載荷速度は試験体に1分間につき100～500N/mm²に相当する定荷重速度で載荷するのを標準とする。また、ひずみ制御方式の試験機を用いる場合は、試験体を1分間にひずみ1%に相当する定ひずみ速度で載荷する。載荷試験は引張破壊まで、荷重とひずみを等間隔で計測・記録する。

試験結果の報告には、次の事項等を記載する。

- (1) 各試験体ごとに形状寸法、連続繊維の断面積、最大引張荷重(N)ならびに最大引張荷重および引張強度の平均値(N/mm²)と標準偏差(N/mm²)
- (2) 各試験体ごとの引張剛性(N), ヤング係数(N/mm²)ならびにそれらの平均値(N/mm²)
- (3) 各試験体ごとの終局ひずみ(m/m)ならびにその平均値(m/m)
- (4) 各試験体ごとの応力-ひずみ曲線

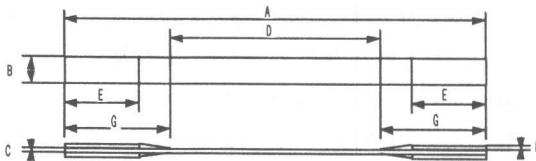


図-1 連続繊維シートの引張試験体

表-2 引張試験体の寸法

試験片の種類	単位: mm	
	A形	B形
A 全長	200 以上	
B 両端の幅	12.5	10～15
C 試験体の厚さ	無規定	
D 試験部の長さ	100 以上	
E つかみ部の長さ	35 以上	
F タブの厚さ	1～2	
G タブの長さ	50 以上	

(2) 引張試験による連続繊維シートとコンクリートとの付着試験方法 (試案)

試験体を図-2 に示す。コンクリート部分の形状は直方体とし、その四隅に面取りを施す。中心軸には引張荷重伝達用の鋼ボルト等を配置する。中央位置両側には切り欠きを設け、鋼ボルト等はこの位置で切断する。連続繊維シートは試験体のコンクリート打設面と直交する両側面に貼り付ける。シートの幅は50mmとし、試験体全長にわたり貼り付ける。層数は1層を原則とする。試験体中央より片側一方には、定着用として幅100mm以上のシートを1周巻き付ける。試験体の数は3体以上とする。

試験体の変位は、中央切り欠き位置のひび割れ幅または相対変位を測定する。最大付着応力および有効付着長さは、試験体中央部から適切な間隔でシートにひずみゲージを貼り付け、最大荷重時のひずみ分布より計算する。

試験体は取り付け前に、切り欠き部に初期ひび割れを導入する。載荷速度は、連続繊維シートの平均引張応力度が1分間につき10～20N/mm²の割合で増加させることを標準とする。

試験結果の報告には、次の事項等を記載する。

- (1) 各試験体ごとの荷重～中央ひび割れ幅関係または荷重～相対変位関係
- (2) 各試験体ごとのシートのひずみ分布
- (3) 各試験体ごとの最大付着応力(N/mm²), 有効付着長さ(mm)ならびにその平均値および最終破壊状況

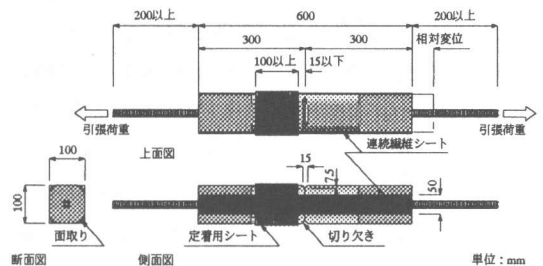


図-2 連続繊維シートの付着試験体

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、いわゆる State-of-the-art report を作成することである。今回の委員会報告書³⁾では 1997 年 7 月に出版された報告書¹⁾を基に、その後の新たな研究結果や知見を盛り込み、また、これまでに扱っていなかった「設計における留意点」を新たに追加した。さらに、「材料」、「工法」、および「適用事例」については再度アンケート調査を行い、最新のデータを取りまとめた。すなわち、今回の報告書は前報告書を補い、現時点での技術の現状を総括的に取りまとめたものである。

本報告では、このうち「材料」、「工法」、「研究の現状」、「評価法」、「設計における留意点」、「適用事例」についての概要を紹介する。

3.2 材料、工法

平成 10 年に再度アンケート結果の見直しを行い、新たに開発された材料または工法が追加された他、材料特性や適用実績の変更など前回のアンケート結果に若干の修正がなされた。その結果、材料については 11 種類、工法については 15 種類のデータが収集できた。図-3 にアンケート結果から得られた各種連続繊維シートの引張強度と弾性率の関係を示す。炭素繊維シートは、弾性率が 380~640GPa の高弾性タイプと弾性率が 230GPa で引張強度が 4000MPa の高強度タイプに分類できる。また、アラミド繊維は炭素繊維に比べて弾性率、引張強度ともに低いが、伸び率が 2~4% と高い値を示している。なお、今回のアンケート結果では、繊維シートの引張強度は繊維素材の引張強度の約 80~90% であった。また、各メーカーにおいて設定されている連続繊維シートの引張強度の安全率は、連続繊維シートの引張強度の平均値と保証値の差を標準偏差で除した値で見ると、低いもので 3.0、最も高いもので 6.8 程度であり、平均値は 4.34 であった (図-4 参照)。

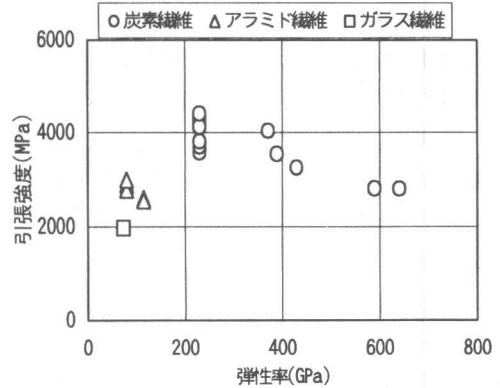


図-3 弾性率と引張強度の関係

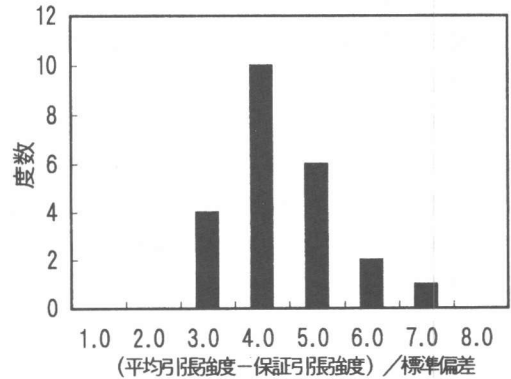


図-4 連続繊維シートの引張強度の安全率

3.3 研究の現状

(1) 柱 (土木分野)

土木分野では、主筋段落とし部の補強効果の確認、せん断補強効果の評価、靱性補強効果の評価に関する研究が増えている。また、50m を越える高速道路の高架橋への適用を目的とした実験や地下鉄中柱を対象とした高軸力下での実大実験なども行われており、評価や実施工への適用に関する研究報告が増加してきている。

(2) 柱 (建築分野)

建築分野では、コンクリートの圧縮靱性改善効果、せん断補強効果、靱性補強効果に関する研究が活発に行われており、高速載荷実験や高軸力下の実験などの報告も見られる。また、せん断耐力評価や靱性能の評価に関する提案も増加してきている。これらに加えて、付着割裂耐

表-3 連続繊維補強材による補強工法規準・指針一覧

規準・指針名	発行者	発行時期	連続繊維の種類	対象構造物	補強目的
炭素繊維による鉄筋コンクリート橋脚の補強工法 設計・施工要領(案)	日本道路公団試験研究所橋梁研究室	1995年2月	炭素繊維シート／ストランド	道路橋脚	段落とし部と基部の耐震補強(曲げ, せん断補強)
CFRP による既存鉄筋コンクリート柱の耐震補強工法	CRS 研究会	1995年9月	炭素繊維シート／ストランド	建築物柱	耐震補強(せん断補強)
炭素繊維シートによるコンクリート構造物の補修・補強設計・施工マニュアル(案) 橋脚編	炭素繊維による補修・補強工法技術研究会 橋梁下部工部会	1996年	炭素繊維シート	道路橋脚	耐震補強(曲げ, せん断補強)
炭素繊維シートによるコンクリート構造物の補修・補強設計・施工マニュアル(案) 橋梁上部工鉄筋コンクリート床版編	炭素繊維による補修・補強工法技術研究会 橋梁上部工部会	1996年	炭素繊維シート	道路橋床版	新活荷重対応補強劣化補強(曲げ補強)
MARS 工法(既存鉄筋コンクリート柱の炭素繊維シート耐震補強工法)	MARS 研究会	1996年2月	炭素繊維シート	建築物柱	耐震補強(せん断, じん性補強)
炭素繊維シートによる鉄道高架橋柱の耐震補強設計・施工指針	鉄道総合技術研究所	1996年7月	炭素繊維シート	鉄道高架橋柱	耐震補強(せん断, じん性, 曲げ補強)
アラミド繊維シートによる鉄道高架橋柱の耐震補強設計・施工指針	鉄道総合技術研究所	1996年11月	アラミド繊維シート	鉄道高架橋柱	耐震補強(せん断, じん性, 曲げ補強)
炭素繊維シートによる地下鉄 RC 柱の耐震補強設計・施工指針	鉄道総合技術研究所	1997年1月	炭素繊維シート	地下鉄柱	耐震補強(せん断, じん性補強)
AF 工法(アラミド繊維を用いた既存鉄筋コンクリート造柱の耐震補強工法)設計・施工指針	AF 工法研究会	1997年2月	アラミド繊維シート	建築物柱	耐震補強(せん断, じん性補強)
炭素繊維シートによる RC 橋脚補強に関する設計施工要領(案)	阪神高速道路公団コンクリート構造物の耐久性に関する調査研究委員会	1997年5月	炭素繊維シート	道路橋脚	段落し部と基部の耐震補強(せん断, じん性, 曲げ補強)
SR-CF 工法による鉄筋コンクリート柱の設計施工指針	SR-CF 工法研究会	1997年12月	炭素繊維シート	建築物柱	主に耐震補強(せん断, じん性補強)
アラミド繊維シートによる鉄筋コンクリート橋脚の補強工法 設計・施工要領(案)	アラミド補強研究会	1998年1月	アラミド繊維シート	道路橋脚	段落し部と基部の耐震補強(せん断, じん性, 曲げ補強)
日米共研ハイブリッド構造「連続繊維シートを用いた改修設計ガイドライン」	(社)建築研究振興協会	1998年3月	連続繊維シート全般	建築物全般	補強・補修全般

力の改善効果, 曲げ補強効果, 鉄筋が腐食した柱部材に対する補強効果, 被災した部材に対する補強効果, 主筋が丸鋼の場合の補強効果, 袖壁付き柱に対する補強方法と効果, 非充腹型鉄骨鉄筋コンクリート造柱部材に対する補強効果などに関する研究も見られるようになり, 適用範囲の拡大を目指していることが伺われる。

(3) 梁, 床

梁に関する研究は, せん断補強と曲げ補強を対象としたものに分けられる。せん断補強では, 床スラブが取り付く場合の定着方法に関する研究, 曲げ補強では端部定着方法に関する研究が多い。また, 外ケーブルに連続繊維補強材を使用した補強に関する研究も実施されている。

(4) その他

その他の研究としては, 耐震壁の補強, シートの定着, シートの継手長さ, シート曲げ加工

部の引張強度などに関する研究が多く見られる。また, 冬場や寒冷地での施工に適したメチルメタクリレート樹脂を接着剤に用いた場合の補強効果に関する実験も実施されている。

3.4 評価法

現在までにわが国において提案されている連続繊維補強材による補強・補修の設計指針類は, 本委員会で調査して得られた情報の限りにおいては, 表-3 のとおりである。報告書では, ここに示した 13 の設計指針類のうち, 新たに加わった 4 件 (炭素繊維シートによる RC 橋脚補強に関する設計施工要領(案), SR-CF 工法による鉄筋コンクリート柱の設計施工指針, アラミド繊維シートによる鉄筋コンクリート橋脚の補強工法 設計・施工要領(案), 日米共研ハイブリッド構造「連続繊維シートを用いた改修設計ガイドライン」) について概要を紹介している。

3.5 設計における留意点

(1) 曲げ補強

連続繊維シートにより梁、スラブの曲げ耐力を増加させる補強方法は、構造部材の自重の増加が小さいことや、施工性が良いために適用範囲が広いことなどのメリットがある。その反面、シートとコンクリートが剥離する場合があることや、効率の良い定着方法が確立されていないことなどが問題点として挙げられる。付着剥離については、設計において付着特性を考慮した耐力算定を行う必要がある。シートとコンクリートの付着特性には、コンクリート強度や樹脂の種類、定着方法などさまざまな因子が影響を及ぼすので、耐力算定については付着に関しての十分な検討が不可欠である。既往の設計マニュアルでは、設計用の付着強度として4~7 kgf/cm²程度の安全側の値を採用し、これに基づいて定着長を決定している。しかし、実際に作用する付着応力は貼り付け面積全域に一様には分布せず、定着長の取り方や補強方法、部材の種類、シートの種類などによっても大きさが異なることが考えられるため、設計用付着強度の値の設定については十分な注意が必要である。一方、付着破壊を起こさせないために、シートを定着具などによりコンクリート部材に定着する方法も考えられる。この場合、定着性能は定着具の種類や定着方法により異なると考えられるため、現段階では設計方法として一般化することは困難である。よって、実験により個々の定着方法の安全性を確認して用いることが、最も確実な方法であろう。定着は、通常シートの付着破壊を先行させないために用いるものであるが、定着性能が不十分な場合には定着部の破壊によって補強耐力が決まることもあり得ることに留意しておく必要がある。

(2) せん断補強・靱性補強

a) 袖壁付き柱、スラブ付き梁

直交壁を有する柱をシートにより補強する場合は、適切な考え方により金物などを介してシートを閉鎖的に巻き付ければ、面外方向に対し

ては独立柱に巻き付けた場合と同じ評価方法を用いることができる。しかし、シート補強により袖壁付き柱の面内せん断耐力を向上させる場合に関しては、実験研究資料が現時点では不十分なため、個々に実験などにより補強効果を適切に評価する必要がある。シート補強された袖壁付き柱のせん断耐力評価式も提案されているが、個々の研究で対象としている補強方法や検討されている式、および式に採用するシートの引張強度などに違いがあるため、適用に当たっては、背景となる実験の範囲に留意する必要がある。

一方、柱や壁などの鉛直部材の水平耐力を向上させても、梁の耐力により建築物の耐震性能が決まる場合もあるので、既存建築物の耐震性能を向上させるためには、梁の補強方法を検討することも重要な課題である。しかし、建築物の梁には床スラブが付く場合がほとんどであるため、連続繊維シートを部材の全周に巻き付けるのは困難である。この場合のシートによるせん断補強方法と効果に関する研究データはまだ少ないため、適用に当たっては実験などによりその補強効果を適切に評価する必要がある。既往の実験研究では、定着方法により部材の性能に大きな差が認められること、スラブ下面まで貼り付けボルトなどで定着してもスラブ下での割裂き破壊が生じると十分なせん断補強効果が得られないこと、などが指摘されている。

b) 壁

連続繊維シートを既存壁に貼り付けてせん断補強する方法には、施工時における騒音、振動、粉塵などの発生が抑えられ、また、施工後における床面積の減少がほとんどないといった長所がある。既往の実験研究によると、シートで補強することにより既存壁のせん断耐力が最大3割程度上昇するという報告がある。また、シートの貼り付け方法やシート端部の定着方法によってその破壊性状やせん断耐力の上昇程度が異なること、シートを貼り付けるのみより、フラットバーやアングルなどを用いてシート端部を

定着した方がせん断耐力が向上することも指摘されている。ただし、シートによる既存壁のせん断補強効果に関する実験研究資料は現時点では十分ではないので、適用に当たっては、個々に実験などによりその補強効果を適切に評価する必要がある。

c) 仕上げを除去しない場合

既存建築物の耐震補強では、補強工事中も建物を使用したいという要求が高いため、騒音、振動、粉塵の発生や火気の扱い等が著しく制限されることがある。連続繊維シートによる補強は、これまでは仕上げ層を全て撤去して補強を行ってきたが、この方法では、騒音、振動、粉塵などの発生は避け難いことから、仕上げ層の撤去を行わない補強工法が求められてきている。このような補強を行う場合の留意点としては、以下のようなものがある。(1)仕上げモルタルを除去せずにシート補強する場合には、まず打診などにより仕上げモルタルに浮きがないかどうかを調べなければならない。ここで浮きの発生が確認された場合には、その部分の仕上げモルタルを除去するか、若しくは樹脂注入などの方法により空隙をなくす必要がある。(2)モルタル強度が躯体コンクリートに比べて極端に低い場合には、シートによる補強効果に影響を及ぼすことも考えられ得るので、仕上げモルタルの強度も確認しておくことが望ましい。(3)補強効果については、仕上げモルタルと躯体コンクリートの間に隙間がなければ、仕上げモルタルを無視したRC断面を用い、仕上げがない場合を対象とした独立柱に対する既提案の評価方法に準じてせん断耐力および靱性能を算定することにより評価できる。

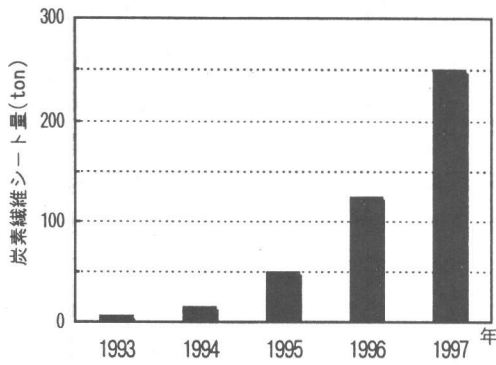
d) 主筋が丸鋼の場合

柱や梁などのRC部材は、一般にトラス機構とアーチ機構によってせん断力に抵抗する。トラス機構はせん断補強筋の引張力、主筋とコンクリートの付着力、およびコンクリート束の圧縮力によって形成されるので、主筋が丸鋼の場合で主筋のすべり破壊によって耐力が決まる場合

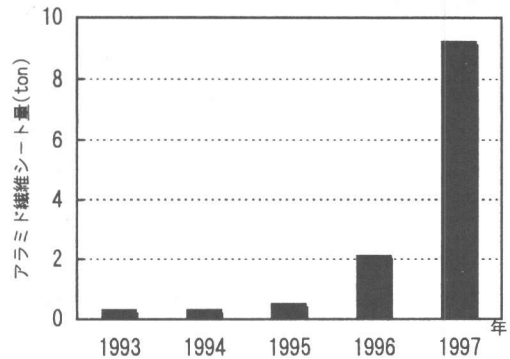
には異形鉄筋と同等のせん断強度は得られない。これは、トラス機構が十分な抵抗能力を発揮せず、主としてアーチ機構のみで外力に抵抗することによって考えられる。このような問題は、連続繊維シートで補強された部材に限らず、鋼板巻き工法やRC巻き工法等既往の方法で補強された部材についても共通して言えることであるが、丸鋼を用いた構造物が数多く現存している状況を考えると、重要な課題として取り上げる必要があるものと思われる。現在、丸鋼を主筋に用いた柱の付着破壊性状に関しては、シートによる補強工法を対象にいくつかの便法が提案されている。それらを大別すると、丸鋼の付着強度として短期許容付着強度等を取りトラス機構で負担できるせん断力を制限する方法や丸鋼を用いた実験により提案されたせん断評価式(例えば荒川 min 式)を用いる方法等のように部材の付着耐力を評価する方法と、材端の圧縮側コンクリートの靱性能を評価する方法等部材靱性能を評価する方法とがある。今後、主筋に丸鋼を用いた部材の耐力や変形性能、履歴性状等に関する実験データを蓄積するとともに抵抗機構に基づいた耐力評価方法を確立していくことが、既存構造物の補強設計において重要な課題と考えられる。

3.6 適用事例

図-5(a)は、1993年以降の炭素繊維シート使用量の推移を示したものである。1993年には6トン程度であった使用量は、年々増加し続けており、1996年には約125トン、1997年には約250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実績は少ないが、図-5(b)に示すように着実に使用量は増加しており、1997年には約9トンに急増している。図-6は、炭素繊維シートによる補修・補強の施工件数の推移を示している。用途別では、橋梁や建築物への適用事例が増加し続けているが、トンネルや煙突への適用例は比較的落ち着いてきている。橋梁ではこ



(a) 炭素繊維シートの場合



(b) アラミド繊維シートの場合

図-5 連続繊維シートの使用量の推移

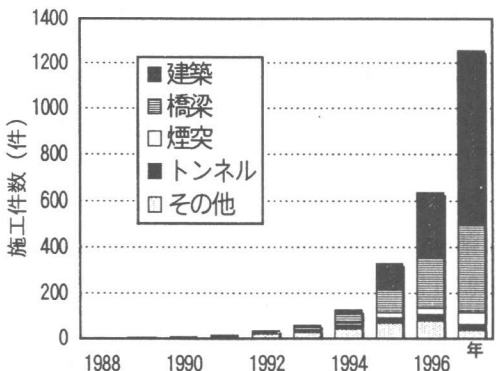


図-6 炭素繊維による補修・補強件数の推移

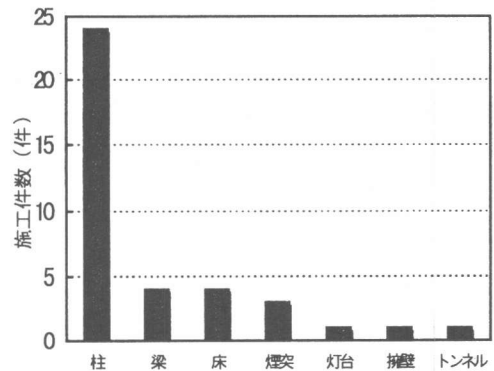


図-7 補強部位別に見たアラミド繊維による施工実績

注) 上記のグラフは、炭素繊維シートについては主要メーカー3社の資料を、アラミド繊維シートについてはアラミド繊維研究会の資料をもとに作成した。

れまで橋脚の耐震補強に用いられる場合が多かったが、1997年はB活荷重補強として床版に適用される事例が増加している。これに対して、アラミド繊維シートは、1993～95年で6件しかなかった施工実績が、1996年だけで13件、1997年には20件に達しており、施工件数が急増している。図-7はこれまでのアラミド繊維シートによる施工件数を用途別に示したものであるが、炭素繊維シートと同様に、圧倒的に橋脚や建築構造物柱の耐震補強への適用事例が多い。炭素繊維シートおよびアラミド繊維シートともに、これまでは試験的に用いられる事例が多く、補強工事としては小規模のものが多かったが、最近では本格的に使用されるようになり、1件あたりのシート使用量が増加している

のが特徴である。現在、炭素繊維やアラミド繊維などの連続繊維シートによる補修・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。

写真-1は、高さ50mを超える中空円断面高橋脚の段落し部の曲げ補強およびせん断補強に炭素繊維シートを用いた例である。高い位置では吊りゴンドラによる施工が行われた。炭素繊維シートの使用量は約50,000m²で、世界最大規模である。写真-2は、建築構造物の柱の耐震補強例である。あらかじめ工場でコの字型やL字型に加工した炭素繊維シート成形板で既存橋脚を囲み、隙間にグラウト材を注入する工法が採用されている。この工法により、現場での

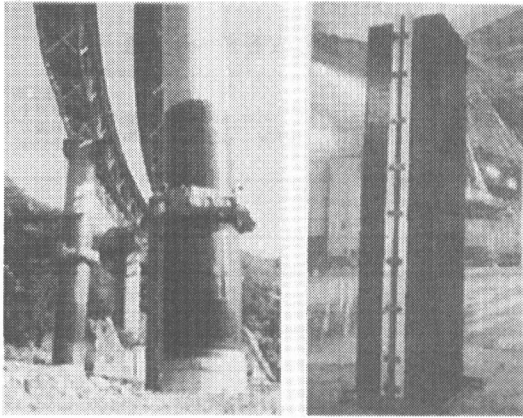


写真-1 中空円断面
高橋脚の段落し補強

写真-2 炭素繊維シ
ート成形板による
柱の耐震補強

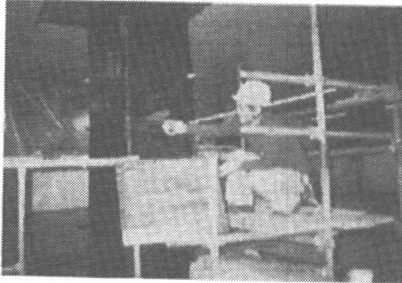


写真-3 地下鉄中柱のせん断補強

下地処理、シートの接着作業が不要となり、建物をほぼ通常通りに使用しながら作業することができる。写真-3 は、地下鉄中柱（コンコースの中柱）のせん断補強に炭素繊維シートを適用した例である。地下鉄中柱では、建築限界の問題、狭い施工空間での作業性、工期短縮といった理由から、炭素繊維シートによる巻き立て工法が注目を集めている。写真-4 は、鉄道高架橋の中層梁のせん断およびじん性補強にアラミド繊維シートを用いた例である。鋼板等を用いる工法では施工が困難であるため、作業性の良いアラミド繊維シートが採用された。写真-5 は、高速道路の壁式橋脚の耐震補強工事にアラミド繊維ロッドを用いた例である。曲げじん性の向上を目的として壁橋脚基部を鋼板で巻き立て、終局時の鋼板のはらみ出しを抑えてコンクリートを拘束するため、壁厚方向にアラミド繊維ロッドでプレストレスを与えている。

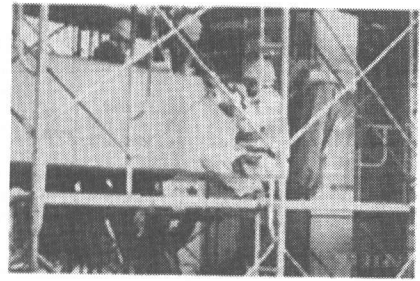


写真-4 鉄道高架橋の中層梁の補強

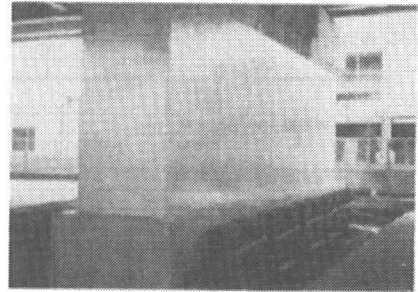


写真-5 壁式橋脚の耐震補強

4. 未来WG

4.1 はじめに

未来 WG では、各種連続繊維補強コンクリート構造物の将来における有効な利用の足がかりとなるべく、構造物の総合評価に関する研究を一貫して行ってきた。

周知のように、連続繊維補強材は種々の面で従来の補強材とは異なる性質を有している。それゆえ、連続繊維補強材を用いた構造物もまた、長所、短所ともに従来の構造物とは異なる。連続繊維補強コンクリート構造物の持つ顕在的、潜在的な得失を斟酌し、構造物の総合的な実力を評価することにより、適切な利用の方向、改善すべき課題が明確にできると考えた。

4.2 構造物のライフサイクル評価

連続繊維補強コンクリート構造物の長所、短所は、材料段階から、構造物の施工、供用、解体に至るライフサイクル中の 20 個の項目において評価することとした（表-4）。これらの項目には、材料のコスト、構造物の耐久性などの一般に注目される項目だけでなく、施工時の作業員の苦渋性の軽減、解体時の環境負荷などの看過されがちな項目も含まれている。

表-4 連続繊維補強コンクリート構造物のPRすべき項目と改善すべき課題

評価項目		1:AFRP ロッド柔 構造補管	2:吊り床 版橋	3:カーテ ンウォール	4:電磁環 境改善を 目的とし たカーテ ンウォール	5:吹付け コンク リートへ のGFRP メッシュ の適用	6:シール ド発達・ 到達立杭	7:柱の耐 震補強	8:煙突の 耐震補強	9:海洋構 造物	10:超伝導 磁気浮上 式鉄道ガ イドウェ イ	
供用前	材料	補強材									△	
		コンクリート	△	△							△	
		その他の材料						△				
	施工	プレキャスト化 に関する費用	△	△		△					○	
		人為的作業	△		△	△		△			△	△
		機械的作業	△	△								
	施工の合理化	工期	△		△	△	△					△
		プレキャスト化	△	○								○
		特殊な作業						○	○			
		作業の苦渋性		○			○	△	△		○	○
	環境への影響	作業の簡便性	○	○			○	△			○	○
		材料の製造にとも なう環境負荷										
使い捨て材料 施工にともなう 環境負荷		○					○	○	○	○	○	
供用時	構造物の耐久性							△				
	特殊な性能				△	△			△		△	
	社会的影響	○	△	○		○	○	○			△	
供用後	解体作業				○	○				○		
	環境への影響						○	○		○		

○：積極的にPRすべきと思われる項目 △：改善が必要と思われる項目

4.3 各評価項目の重み係数

構造物は固有の特徴を客観的に有するが、これを受け入れる人間あるいは社会は、ある価値判断に基づきその特徴をふるいにかけて、総合的な評価を行っていると考えられる。換言すれば、ライフサイクル中の20個の評価項目は、それぞれ異なる重みを持ち、構造物の種類、評価する人の立場、構造物を取りまく社会の状況などにより重みの配分が異なると考えられる。そこで、各評価項目の評点 X に重み係数 A を乗じた量の線形和により、構造物の総合評価 S を算定する簡単な数理モデルを作成した。

$$S = AX = a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_{20}x_{20} \quad (1)$$

未来 WG では、重み係数の配分の一般的な傾向を知るため、10例の連続繊維補強コンクリート構造物(表-4)の各評価項目の重み係数について、本委員会委員の協力を得てアンケートを行った。その結果の詳細は委員会報告書³⁾にゆずるが、構造物の耐久性、特殊な性能(軽量性、非磁性など)、補強材のコストなどの項目は、多くの連続繊維補強コンクリート構造物で重視されることが明らかとなった。

4.4 総合評価に基づく検討

10例の連続繊維補強コンクリート構造物について、各評価項目の評点(素点)と、アンケートの結果得られた重み係数をもとに検討を行った結果、構造物の長所であっても受け入れる側からは重視される度合いが低い項目(表-4中の○)、重視されるにもかかわらず構造物とその期待に込めていない項目(表-4中の△)が明らかとなった。連続繊維補強コンクリート構造物の普及のためには、○印の項目について積極的にPRすること、および長所が適切に評価される社会的なシステムを形成することが望まれる。△印の項目については、今後研究開発を重ねてゆく価値があると思われる。

参考文献

- 1) 日本コンクリート工学協会：連続繊維補強コンクリート研究委員会報告書，1997.7
- 2) 丸山久一ほか：連続繊維補強コンクリート研究委員会報告，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.19，No.2，pp.7-16，1997.6
- 3) 日本コンクリート工学協会：連続繊維補強コンクリート研究委員会報告書II，1998.5