土木学会平成 18 年度全国大会
研究討論会　研－22　資料

インフラ構造物の維持補修における
複合新技術の利用

座　　長	上田 多門	北海道大学
話題提供者	河野 広隆	京都大学
	本間 淳史	中日本高速道路(株)
	市川 篤司	(財)鉄道総合技術研究所
	横田　弘	(独)港湾空港技術研究所
	大垣 賀津雄	川崎重工業(株)

日　　時　平成 18 年 9 月 20 日（水）14:50～16:20
場　　所　立命館大学 びわこ・くさつキャンパス
プリズムハウス P201

複合構造委員会

－目次－

複合新技術による構造物の補修・補強と複合構造委員会の役割 1
上田 多門　　北海道大学 大学院工学研究科環境創生工学専攻 教授

複合新技術によるコンクリート構造物の補修・補強への期待と課題 2
河野 広隆　　京都大学 大学院工学研究科都市環境工学専攻　教授

複合新技術による鋼構造物の補修・補強の現状と将来展望 4
大垣 賀津雄　川崎重工業(株)　技術総括本部　橋梁技術開発部　参事

複合新技術による高速道路橋の補修・補強工法の概要 6
本間 淳史　　中日本高速道路(株)　中央研究所　橋梁研究室長

鉄道構造物の補修・補強等への複合技術の利用 8
市川 篤司　　(財)鉄道総合技術研究所　構造物技術研究部長

複合新技術による港湾構造物の補修・補強の現状と将来展望 10
横田　弘　　(独)港湾空港技術研究所　研究主監　LCM 研究センター長

複合新技術による構造物の補修・補強と複合構造委員会の役割

北海道大学　正会員　　上田 多門

１．はじめに

複合技術の一つである**鋼コンクリート合成構造化による耐震補強**という視点で，複合構造委員会の前身である鋼コンクリート合成構造連合小委員会が「橋脚等の耐震補強の現状と課題　－合成構造化による耐震補強－」を 1997 年に公表している．耐震補強のために，鋼板巻立て補強したコンクリート柱，コンクリート充填した鋼管柱は，補強後の断面をみると，**図-1** に示すように，どちらもコンクリート充填鋼管柱となっていることに気づく．つまり，コンクリート構造に対しても，鋼構造に対しても，鋼コンクリート合成構造化を適用して耐震補強しているのである．

多くの補修･補強においては,既設構造物の材料とは異なる材料を用いて，**構造的に複合化（複合構造化）**したり，**材料的に複合化（複合材料化）**したりしているといえよう．この場合，構造の形態は，巻立て工法，接着工法，増厚工法，外ケーブル工法などからも明らかなように大変多様であり，適用される材料も無機材料，有機材料とこれまた多様で，必要な特性も様々である．これらの材料を，既設部表面に塗布･含浸したり，既設部コンクリートのひび割れに充填したりする．複合構造化と複合材料化による補強と補修は，必ずしも明確に区分できるものではない．例えば，耐久性を高める目的で，既設コンクリート表層に緻密で引張強度の高い材料を含浸させると，表層に強度の異なる材料層が存在するのと同様になり，複合構造としても取り扱える．また，連続繊維シートや板をコンクリートに接着する場合，樹脂が緻密で表面保護工法という役割も期待できる．

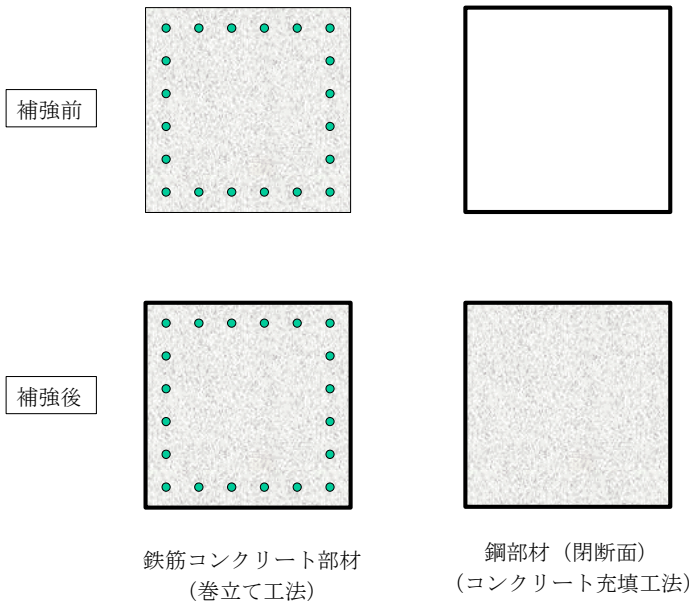


図-1 合成構造化による耐震補強

２．複合新技術による補修･補強と複合構造委員会の役割

補修・補強は実に多様な材料・構造形式を適用しているので，**多くの複合新技術が適用**されている，もしくは，適用される可能性のある分野であるといえる．複合構造委員会は，従来からの複合構造の概念に加え，コンクリート委員会や鋼構造委員会では取り扱われない複合材料，および，複合材料を用いた複合構造を積極的に取り扱っていくこととしている．その意味でも，「補修・補強」を主要テーマとして取り扱っていく．

現在，複合構造委員会内には，補修・補強を取り扱う小委員会としては，**「新材料による複合技術小委員会」**と**「維持管理小委員会」**とがある．前者では，地盤材料も含む新材料を用いた補修・補強を対象とし，後者では，維持管理対策としての補修・補強全般を対象としている．さらに，**「FRP による鋼・複合構造の補修・補強小委員会」**が立ち上がる予定である．

このような背景から，研究討論会として，「インフラ構造物の維持補修における複合新技術の利用」を複合構造委員会として実施することとなった．コンクリート構造物，鋼構造物，道路構造物，鉄道構造物，港湾構造物といった対象構造別にその分野の一流の専門家に話題提供をお願いした．補修・補強における複合材料を含む広義の複合構造の役割に関し，特に，新しい複合技術の視点から有意義な討論ができることを期待するとともに，参加者の皆様が複合構造委員会の活動にご理解いただき，今後ともご協力いただけると幸いである．

キーワード ： 補修・補強，複合構造，複合材料，新技術，維持管理
連絡先 ： 〒011-8628　札幌市北区北 13 条西 8 丁目　北海道大学大学院工学研究科　TEL 011-706-6218　FAX 011-707-6582

複合新技術によるコンクリート構造物の補修・補強への期待と課題

京都大学大学院　正会員　河野広隆

1. はじめに

1980 年代にわが国でコンクリート構造物の耐久性問題が社会問題化して四半世紀になる。土木のコンクリート構造物に対して本格的な補修・補強がなされるようになって約 20 年が経過した。しかし、補修・補強の技術はまだまだ開発途上であり、さまざまな試行錯誤が繰り返されている段階である。その中で、「複合新技術による補修・補強」は明確な定義は定まっていないものの、さまざまな可能性を有する技術として注目されていて、確実に応用例が増えるものと予想される。個別の応用例は、それぞれの分野の事例が紹介されるので、ここではひとつの問題提起を行い、今後の技術開発・研究の必要性を示したい。

2. コンクリート構造物の劣化問題の経緯と注目すべき事項

表−１にわが国でのコンクリート構造物の劣化問題の経緯の概略を示す。表−２には道路橋を例に、各部材の代表的な劣化要因を示す。ここで注目すべきことは、劣化問題が事前に想定していなかったもの、あるいは、理論的には生じる可能性があることはわかっていても、実施工ではその影響を過小評価していたものが大きな問題となったことである。特にコンクリート構造物では、塩化物イオンによる鉄筋のさびは劣化原因になりうることはコンクリートクライシス以前からわかっており、海砂の塩分量規制がコンクリート標準示方書には示されていた。また、海外の事例報告からアルカリ骨材反応について一部では懸念があり、調査がなされていた。このように、劣化問題が理論上は懸念されていたが、実効のある対策の実施は問題の表面化まで待たねばならなかったのである。

表−１ コンクリート構造物の劣化問題の経緯

1980‘ コンクリートクライシス 塩害＋アルカリ骨材反応
1990頃 つらら問題
（1995 神戸地震）
1999 「コンクリートが危ない」 →新幹線トンネル コールドジョイント第3者被害
2003 アル骨鉄筋破断

表－２ 道路橋の代表的な劣化

鋼上部	腐食、疲労亀裂、床版疲労
ｺﾝｸﾘｰﾄ上部工	塩害、中性化（かぶり不足）
下部工	アルカリ骨材反応、鋼亀裂

表－３ 劣化問題表面化の原因

構造物の絶対数の増加
供用年数の全体的な伸び（高齢化）
設計時想定外事象の出現
種々の環境条件下での供用 荷重条件/設置環境/利用者意識
施工の不完全さ等、人為的なもの
維持管理の不徹底

表−３は劣化問題が表面化した原因を列挙したものであるが、最初の２項目は、多くの社会資本を整備し、維持管理していく上では、どうしても避けられないものである。しかし、３項目目と４項目目は注意深く対処すれば、あるいは、避けられた可能性はあったかもしれない。最後の２項目は、建設分野だけでなく、現在わが国のさまざまな分野で、種々の社会問題を生じさせている要因の大きなものである。建設分野の信頼性を維持していく上で、人為的な要因や維持管理の適切さに起因する早期劣化問題は、なんとしてもなくしていかなければならないものである。

キーワード　：　コンクリート構造物、補修・補強、劣化要因
連絡先　：　〒615-8540　京都市西京区京都大学桂
tel: 075-383-3320　　fax: 075-383-3324

写真-１　炭素繊維による床版補強例

写真-２　種々のアルカリ骨材反応の補強例

3.　コンクリート構造物の補修・補強の課題

コンクリートの補修・補強は、対象とする構造物の種類や使用設計図書、建設時期、劣化原因の種類、劣化程度、要求される補修・補強後の性能、環境条件、供用条件などによって、非常に多様にならざるを得ない。事実、開発された補修・補強法は補修の原理、使用材料、工法など、実に多様である。その中には、複合新技術に相当する工法も多い（表-４）。

当然のことながら、補修・補強の設計の際には、選択した各材料や工法の長所を活かす配慮がなされるはずであり、多くの技術開発や研究は、そこに力点が置かれている。

表－４　コンクリート構造物の補修・補強の今後

・ひび割れ注入から耐震補強まで
・多くの新素材の導入
　樹脂、含浸材、耐食金属、各種繊維、…

・維持管理は「開発途上」
・メンテナンスからマネジメントへ

ここでもう一度、表-3 を見ていただきたい。表-3 に示すコンクリート構造物の劣化問題の表面化の原因は、実は今後、補修・補強についても発生する可能性がある問題である。塗膜材料のコンクリート内部からの水による脹れなど、予想外の原因で補修材が想定した機能を発揮できない事例は、枚挙に暇がない。ましてや、複合新技術を適用する場合は、使用材料やコンクリートとの相性などに未知の部分が多いものであるので、事前に劣化をどう想定するかが問題となるであろう。さらに既存の補修・補強工法でも品質管理・施工管理をいかに確実に行うかは、大きな問題となっている。複合新技術を適用する場合、使用材料やその組み合わせが複雑なだけでなく、その品質管理・施工管理はさらに難しくなる可能性もある。残念ながら、そうした品質管理・施工管理については、既存の補修・補強でも製造者や施工者任せになっていて、全体としては性善説に立った管理となっている。さらに補修・補強を施した構造物の管理は、維持・補修のない構造物の管理よりはるかに難しいと考えられるが、現場ではそうした実感は乏しい。補修・補強を施した構造物に関するデータを蓄積するとともに、「メンテナンス」から「マネジメント」へと意識を変えていく必要がある。

4.　おわりに

複合新技術による補修・補強は、大きな可能性を有するだけに、次にあげるような要素が、その普及の足かせにならないよう、幅広い視野からの検討が必要になると考える。

- 劣化の把握あるいは想定
- 品質管理・施工管理の高度化
- 上記のためのデータの蓄積と公開

複合新技術による鋼構造物の補修・補強の現状と将来展望

川崎重工業（株）　正会員　　大垣賀津雄

１．はじめに

インフラ鋼構造物老朽化は年々増加しており，腐食や疲労き裂などによる損傷事例も数多く見受けられるようになってきている．このような状況を鑑み，日本鋼構造協会(JSSC)では，2005 年度より，土木鋼構造診断士・同補の資格制度が設立される等，社会情勢もその重要性を把握してきているものといえる．このような損傷に対して，補修・補強，あるいは予防保全する際には，複合新技術を用いることが有効な手段であると思われる．本文は，これらの補修・補強事例として，CFRP による鋼部材の補強，セメント系複合材料による鋼床版の疲労損傷に対する予防保全技術を示す．また，我が国のインフラメンテナンス分野ではまだなじみの薄い，空気チューブ，ポリウレタンエラストマ，強化ガラス，マグネシウム合金等の革新的な新材料，新工法について，紹介するものである．

２．FRP を用いた鋼部材の補強

FRP はすでに多くの適用事例があり，特に新材料と呼ぶ時代でもない．とりわけ，CFRP による補強工法は，RC 床版や RC 橋脚の補強に多くの実績があるが，鋼部材への適用事例はまだ多くないのが実状である．しかしながら，鋼構造物の腐食劣化部の補修，疲労に対する延命化，耐荷機能向上等で,CFRP による補強工法は有効なのもとして評価されてきている．

図 1 はトラス橋の横桁をCFRP板により補強した事例である．設計活荷重がTL-14 にて設計されていた本橋を，B活荷重仕様にした補強事例である[1)]．補強後はボルトもなく補修箇所が目立たないことも特長といえる．

図 2 はCFRPシートを５層貼付けた補強梁の静的載荷実験の状況である．この実験結果では，CFRPは鋼部材の降伏点付近まで，炭素繊維を有効断面とした合成梁計算値と一致する補強効果を示し，引張フランジのみならず圧縮フランジへの補強も有効であることを示している[2)]．

このように，CFRP による補強工法は，塗装用の足場設置時に施工できる簡単な工事であること等から，鋼板をボルトや溶接で接合して補強する工法の代替案として有効であると考えられる．

a） 施工時

b） 施工後

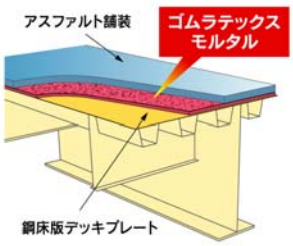
図 1 CFRP 板による補強工法

図 2 CFRP ｼｰﾄ補強梁曲げ試験

３．セメント系複合材料による鋼床版の補強

鋼床版桁橋は都市内橋梁として数多くの施工実績のある構造形式であるが，近年，重交通車両の交通量の増加等もあり，疲労損傷の発生が報告されてきている．この種の橋梁の予防保全対策としては,**図 3** に示すとおり，高靭性セメント系材料を舗装（基層）の代わりに施工し，合成鋼床版化することが有効な手段と考えられる．

近年，鋼繊維補強コンクリート(SFRC)を施工した事例[3)]や，高靭性繊維セメント複合材料(ECC)を施工した事例[4)]がある．また，**図 3** に示すようなゴムラテックスモルタルを施工する工法[5)]等も開発されている．これらの工法は，今後，経済性，施工性，安全性等の要求性能が比較検討され，施工事例が増えるものと考えられる．



a)補強構造

b)施工確認試験

図 3 ゴムラテックスモルタルによる鋼床版の補強例

キーワード ： CFRP，SFRC，ECC，ゴムラテックス，空気チューブ，ウレタンエラストマ，強化ガラス，マグネシウム合金
連絡先 ： 〒675-0180　兵庫県加古郡播磨町新島８　川崎重工業㈱技術開発本部　TEL 0794-35-8419

４．その他新材料を用いた補修・補強

(1) 空気チューブ

図 4 に示すような，空気膜チューブとテンションケーブル，圧縮ストラットを組合せた超軽量構造部材が開発されている[6]．円筒チューブ内に圧縮空気を充填し，チューブの上縁に鋼やFRP製の圧縮材を配置し，支点部の上端から支間中央下端に向けてスパイラル状にテンションケーブルを巻きつけた構造となっている．極めて軽量であるばかりでなく，未使用時には圧縮材，ケーブルを取外し，チューブ内の圧縮空気を抜いて折りたたんでコンパクトに収納することができ，緊急橋梁としての利用も考えられる．

図 4 空気チューブ緊急橋梁
(http://www.prospective-concepts.ch/html/site_en.htm より)

(2) ポリウレタンエラストマ

図 5 に示すような，２層の鋼板の間にポリウレタンエラストマを注入して成形した３層構造体(SPS)は，腐食の防止，金属疲労の低減，補強板を取付ける補強工事よりもコスト低減の可能性があることなどから，注目されている複合新工法である[7]．ポリウレタンの性能により，制振性，吸音声に優れている．本工法は，例えば，橋梁デッキのオーバーレイ，鋼製橋脚耐震補強，船舶，パイプラインのメンテナンスにも適用が図られている．

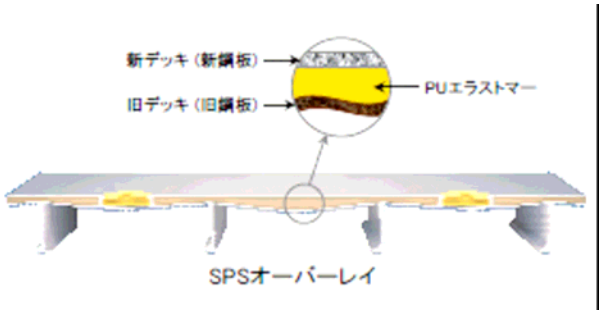


図 5　SPS によるオーバーレイ
(SPS;Sandwich Plate System, ie ﾊﾟﾝﾌﾚｯﾄより)

(3) 強化ガラス

高い弾性係数を持ちながら透明であるガラスは，美しさなどの点で有効な材料であるが，脆いため衝撃荷重に弱いという難点がある．そこで，表面を圧縮して破壊に対する抵抗性を高めた強化ガラスが考案されており，自動車や電子レンジなどに使用されていることは周知の通りである．近年，建築分野ではビルの外壁，天井，床，階段等の構造材料として用いられてきている[8]．今後，土木分野でも化粧板，高欄，照明装置等に使用されることが考えられる．また，積極的に補強材料として,鋼部材とガラスをボルトで合成して応力分担し,美しく合理的な補強工法が開発されることも考えられる．

(4) マグネシウム合金

マグネシウムは実用金属中最も軽く，地球上で 6 番目に豊富な金属といわれている．鉱物として地殻の中の 2.5%をしめ，海水中にも溶解しており，我が国においても豊富な資源といえる．**表 1** に示すとおり，比重は 1.8 程度で，アルミの 2/3，チタンの 1/3，鉄の 1/4 である．また，振動吸収性が高く，自動車のホイールやハードディスクの材料として用いられている．さらに，マグネシウム合金は，アルミニウム合金や軟鋼よりも加工硬化率が高く，衝突時のくぼみが生じにくいことから，携帯電話やデジタルカメラの小型家電に最適な材料とされている.マグネシウムは再生が容易で，リサイクルに向いていること等も特長として挙げられる．今後，アルミ合金に代わり，壁高欄，検査車，拡幅用床版，照明柱等にマグネシウム合金が登場する日も近いと思われる．

表 1　各種金属の特性比較

金属材料	比重	引張強度 MPa	伸び (%)	ヤング係数 GPa
マグネシウム合金(AZ31)	1.78	280	18	45
アルミニウム合金(6063)	2.68	230	16	70
純チタン	4.51	400	40	108
ステンレス(SUS304)	8.03	690	56	203

５．まとめ

近年，新設工事が減少する一方で，既設鋼構造物の補修・補強分野の技術課題が増えてきている．今後，上述の新材料，新工法を用いた合理的な複合構造がこれらの分野に適用され，革新的技術の創出時代が訪れることを願っている次第である．

【参考文献】 1)渡邉，板垣，鈴木：炭素繊維強化樹脂板による鋼橋の補強，鋼構造年次論文報告集第 8 巻，pp.679-682, 2000.11
2)冨田，稲葉，大垣，杉浦，長井，小林：炭素繊維ｼｰﾄにより補強された鋼製梁の強度特性に関する実験研究，第 61 回土木学会年講,I-659，2006.9
3)小野，下里，神木，稲葉，冨田：鋼繊維補強コンクリート敷設により補強された鋼床版の輪荷重疲労試験，第 61 回土木学会年講,I-560，2006.9
4)的場,大田,三田村,今野,松井：高靭性ｾﾒﾝﾄ複合材料で上面増厚した合成鋼床版の疲労耐久性に関する研究，第 5 回道路橋床版ｼﾝﾎﾟｼﾞｳﾑ，(40),2006.7
5)国島，大垣，杉浦，下里，牛越：ゴムラテックスモルタルを合成した鋼床版の静的載荷実験，第 61 回土木学会年講,I-558，2006.9
6)R.H.Luchsinger, A.Pedretti, M.Perdetti, P.Steingruber: The new Structural concept Tensairity:Basic Principle; http://www.airlight.biz/default.aspx
7) Kennedy, D.J.L., Dorton, R.A., and Alexander: The Sandwich Plate System for bridge decks, Proceedings 19th Annual International Bridge Conference, Engineers Society of Western Pennsylvania, Pittsburgh PA, June 2002,
8) 久田，本田，尾崎，平島，上杉：強化ガラス部材の荷重支持能力に関する基礎的研究，構造工学論文集，VOL.51B，2005.3

複合新技術による高速道路橋の補修・補強工法の概要

NEXCO 中央研究所　正会員　　本間淳史

１．はじめに

高速道路３会社（以下，NEXCO）が管理する高速道路の供用延長は平成 18 年 4 月現在で約 8,300km，このうち橋梁は延長約 1,250km（15%），約 13,400 橋の維持管理を行っている．これらの橋梁の平均供用年数は約 20 年，最も経過年数の多い名神高速道路（S38 開通）では 40 年を超えており，供用経過年数の増加につれて老朽化が進行する高速道路ストックに対し，更なる効率的・経済的な橋梁管理技術が望まれている。

本稿では，現在の NEXCO において取り組んでいる橋梁保全技術のうち，繊維強化プラスチック（FRP）を用いた複合新技術による補修・補強工法について概要を紹介する．

２．炭素繊維シートによる鋼構造物の腐食補修

腐食により劣化した鋼構造物の補修方法としては，腐食部のケレン・再塗装が一般的であるが，断面欠損により機能回復を必要とする場合においては，その対策では不十分となるため，部材の交換や溶接・ボルト等による当て板添接等､大がかりな対策を要するのが現状である．しかしながら、供用開始後数十年が経過し、補修を施されながらも徐々に進行した腐食により断面欠損を起こした構造物も増加してきており、供用中のさまざまな制約条件の下で、機能回復をともなう補修を効果的に行える工法が求められている．

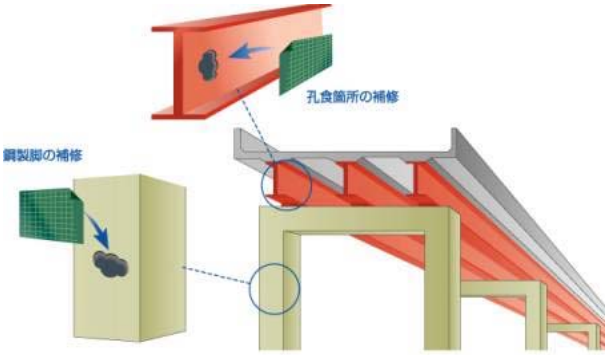


図-1 CFRP による腐食部の補修

このような中、鋼板を溶接やボルトで添接する従来補修法の代替案として，炭素繊維シート（CFRP）を用いた工法が有効であると考えられる．CFRP は鋼板に比べはるかに重量が軽く，施工にあたり重機を必要としないという特徴を持つ．技術開発に当たっては，既設構造物の部分的な補修を想定し，補修範囲の影響および応力状態（引張・圧縮）の違いに着目したモデル試験体を用いて実験的に検討を行っている[1)]．

３．ガラス繊維シート貼付による溶接部の疲労対策

近年，実構造物の溶接継手部分において疲労に起因すると思われるき裂損傷の発生が相次いでおり，この対策として FRP により鋼構造物の疲労強度を増加および回復する方法を研究している．これまで，CFRP を鋼部材に巻き付けあるいは貼り付けることにより，補修・補強する方法に関する検討[2)]が行われてきたが，巻き付けが難しい箇所は貼付のみによる補修だけとなり，補強による予防保全が出来ない．このため，将来的にき裂の発生が予想される部位に対して，補強後における点検の妨げとならず，また数多くの箇所に施すための簡便な補修補強方法の確立が望まれる．

図-2　GFRP による疲労亀裂対策

そこでガラス繊維強化プラスチック（GFRP）を溶接継手部の表面に貼付することにより，疲労き裂発生に対する予防保全として適用することを検討している．GFRP は柔軟性に富み溶接継手のような複雑な箇所にも適用可能である上に，透明で施工後においても引き続き目視点検が可能であるという特性を持ち，また施工においても，プライマーで鋼部材に貼付するのみで専門的な技術を必要としないという利点を有している．

キーワード　：　炭素繊維，ガラス繊維，ビニロン繊維，補修，補強，剥落防止
連絡先　：　〒194-8508　東京都町田市 1-4-1　中日本高速道路㈱中央研究所
TEL 042-791-1621　FAX 042-791-2380

４．炭素繊維プレートによるＲＣ箱桁の補強

中央自動車道調布高架橋は３径間連続ＲＣ箱桁橋であるが，供用後 28 年経過し，車両大型化及び経年変化による損傷等の影響で下床版に遊離石灰やひび割れが多数発生し，主桁たわみも大きいことから剛性改善を目的とした補強工事が急務であった．本橋ではＩＣ近接のため交通規制を伴わない下面からのみの補強工法として，交差道路との桁下空間の厳しい建築限界も考慮し，厚さ２㎜の炭素繊維プレートを緊張してコンクリートにプレストレスを導入するアウトプレート工法をＲＣ橋の補強に初めて採用した[3)]．

本工法は，プレストレスを導入したアウトプレート（炭素繊維強化ポリマー製、断面 50mm×2mm）を主桁のコンクリート下面に接着することにより，曲げ耐力の向上を図る補強工法である．プレストレスの導入効果により，補強前の死荷重あるいは超過荷重による応力および変形を改善することができ，既存のひび割れを積極的に制御することが可能となる．また，プレストレスによる不静定力を活用することで，上面からの補強に依存せず，下面補強のみで連続構造に対処できるという利点を有している．

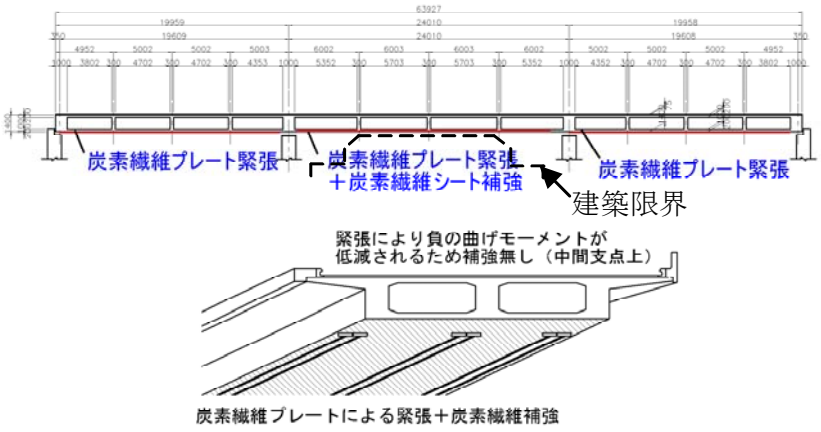


図-3　アウトプレート工法による補強概要図

５．ビニロン繊維シートによる剥落防止対策

近年，コンクリート構造物の劣化によるひび割れや剥離，およびこれに伴うコンクリート片の落下事故の発生が社会問題となっている．特に，交通量の多い道路や鉄道等との重要交差箇所においては，コンクリート片の落下による第三者への影響度が大きく，確実に剥落を防止する必要がある．NEXCO では平成 12 年 11 月にマニュアル[4)] を策定し，第三者被害が想定される箇所について対策を実施してきた．

剥落防止に求める要求性能は，剥落防止性能と耐久性能の２つに大別できる．前者については，押抜き試験で得られる荷重－変位曲線より，変位が 10mm 以上の範囲で最大荷重 1.5kN 以上が得られることと規定しており，変位を 10mm 以上とすることにより点検により変状部が発見されやすくすることも考慮している．後者については，紫外線，温冷繰返しおよびアルカリ浸漬による負荷を与えることによって，初期性状と負荷後の性状を比較し耐久性を評価する．

使用材料は工法ごとに異なるが，最も多い組合せは，プライマーはエポキシ樹脂系，主構造はビニロン繊維メッシュシート＋エポキシ樹脂，上塗りはポリウレタン系やアクリルウレタン系である．

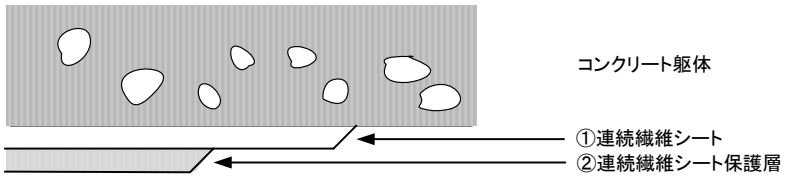


図-4　剥落防止対策の概要

【参考文献】

1）杉浦，大垣，長井，稲葉，小林：炭素繊維シート（CFRP）を用いた鋼橋の補修・補強に関する一検討，第 2 回 FRP 橋梁に関するシンポジウム講演論文集，2006. 1

2）大倉，福井，中村，松上，祝：炭素繊維シートの鋼板疲労亀裂補修への適用，鋼構造年次論文報告集，第 8 巻，pp. 689-696，2000. 11.

3）藤田, 井村, 松田, 駒田, 高橋:調布高架橋のアウトプレート工法による補強工事と実橋載荷試験, 橋梁と基礎, vol38, pp. 15-19, 2004. 10.

4）コンクリート片はく落防止対策マニュアル：日本道路公団技術部構造技術課，平成 12 年 11 月

鉄道構造物の補修・補強等への複合技術の利用

(財)鉄道総合技術研究所　　フェロー会員　　市川 篤司

１．はじめに

構造物の維持管理では，発生した損傷や劣化の補修，性能向上のための補強あるいは構造改良などが行われる．このような補修，補強あるいは構造改良（以下，補修・補強等）では，圧縮に弱い鋼部材の補強にコンクリートを，また引張に弱いコンクリート部材の補強に鋼材や炭素繊維のような新素材を利用する，いわゆる複合技術が鉄道でも盛んに利用されている．

構造物に対する補修・補強等では，何のためにどの程度の性能の向上を目指すかといった目標を明確に設定することが重要となる．そこで，複合技術の構造物維持管理への利用を考えるにあたって，ここではまず構造物の補修・補強等がどのような目的のもとで行われているかについて述べ，次にそれぞれに対して鉄道で利用されている事例を紹介し，今後複合技術がどのように利用されていくと考えられるかについて述べる．

２．構造物維持管理における補修・補強等の目的

構造物の補修・補強等は，耐久性の向上，耐荷力の向上等を目的に行われる．一般には，以下のような目的のもとに行われる．

① 構造物に要求される性能が向上し，それに対応させるために性能の向上を図る．
② 損傷等によって低下した構造物あるいは部材の性能(力学的な性能)を回復させる，あるいは低下させない．
③ 維持管理上の弱点箇所を積極的に解消する．
④ 経年化が進み損傷や劣化が多く見られる構造物を，性能を向上させることによって長寿命化を図る．

３．鉄道構造物の補修，補強等における複合技術利用の例

これまで鉄道では，２．に述べた①，②および③の目的で行われる補修，補強等に複合技術が利用されている．以下にその概要を紹介する．

（１）要求性能の向上に対応するために行われている補強

兵庫県南部地震で，RC ラーメン高架橋，橋脚，開削トンネルが大きな被害を受け，それを契機に構造物に求められる耐震性能は大幅に高まった．既設構造物の耐震補強では，兵庫県南部地震のような大規模地震動に対して崩壊させないための補強が求められるようになった．特に鉄道構造物の崩壊は，RC 柱のせん断破壊が原因であったことから，せん断耐力の向上を主な目的に耐震補強が行われている．耐震補強の方法として様々な工法が開発されているが，柱を補強材で被覆することによってせん断耐力を向上させる補強材被覆工法が多く用いられている．この工法では，鋼板を用いた鋼板巻立て工法が一般的であるが，高架下が利用されている箇所等では作業性に問題があることから，FRP シート巻立て工法，FRP 吹付け工法，炭素繊維巻立て工法，アラミド繊維巻立て工法など新素材を用いた工法が開発されている．

図1　鉄道高架橋RC柱の耐震補強

（２）損傷や劣化により低下した性能を向上するために行われている補強

構造物には，様々な損傷や劣化が発生する．例えば，コンクリート構造物には，中性化，塩害，アルカリ骨材反応等が発生し，鋼構造物には疲労き裂，腐食等が発生する．このような損傷等によって低下した構造物の

キーワード ： 複合技術，鉄道構造物，補修・補強，構造改良
連絡先 ： 〒185-8540　東京都国分寺市光町 2-8-38　TEL 042-573-7260　FAX 042-573-7472

性能（耐荷力）を向上するための補強に複合技術が利用されている．例えば，塩害で鉄筋腐食が進行したコンクリート高架橋の床版に鋼板補強が行われ，アルカリ骨材でひび割れが発生したコンクリート橋脚に鋼板巻き補強が行われている．

（3）維持管理の弱点箇所を解消するために行われている補強

コンクリート構造物からのコンクリート片の落下事故が相次ぎ，構造物の耐久性が社会問題化した．コンクリート片の落下は，構造物直下を通行中の人や車両に大きな被害を及ぼすため，構造物管理者にとっては大きな維持管理上の弱点になっている．一部のトンネルでは，このような弱点を解消するため，落下の可能性のある箇所に対してその防止を主な目的に，覆工コンクリートの補強も兼ねて，鋼板や新素材による被覆工法が適用されている．新素材には，アラミド繊維が用いられている．

4．鉄道構造物で今後利用が考えられる複合技術

これまで鉄道では，3．で述べたように，①，②および③の目的で行われる補修・補強等を中心に複合技術が利用されている．これらの目的で行われる補修・補強等は今後も広く利用されていくと考えられる．①に関しては，鉄道には様々な時代の様々な形式の構造物があり，それらに対してバランスのとれた耐震補強を行っていく必要があるが，その補強に複合技術の出番は多いと考えられる．②では，例えば腐食で座屈強度が低下した鋼部材の補強や塩害等で鉄筋腐食の進んだコンクリート部材の補強への利用が考えられる．③では，例えば弱点となりやすい構造物境界や部材連結部を複合技術で補強することが考えられる．また，④に関しても以下のような利用が考えられる．

鉄道構造物は，鋼橋で平均経年が 60 年を超え，コンクリート構造物でも 50 年を超えている．未だにレンガ構造物や石積み構造物も数多く残っている．これらの構造物には，損傷や劣化が多発している．しかし，これらの構造物を全て取り替えることは不可能である．一方で，このような経年化の進んだ旧式の構造物でもライフサイクルコストの観点から見ると，新しい構造物に取替えるより長寿命化を図る方が有利になる．このようなことから鉄道では，今後，経年化が進み損傷や劣化が多く見られる構造物の性能を向上し長寿命化を図る目的での補強あるいは構造改良が重要になるものと考えられる．以下に，それ例を紹介する．

（1）レンガ積み構造物の長寿命化のための補強

橋脚・橋台やトンネルにレンガ造りのものが数多く残っている．これらのレンガ構造物は，目地部等に損傷が発生し，耐荷力が低下しているものが多い．また，耐震性能にも劣っていることから，鉄道路線としての安全性および耐震性能を高めるには，これらに対する補強が必ず必要になる．このため，健全度の評価方法，補修・補強法等の研究が進められている．補強方法としては，鋼板接着補強工法や新素材を用いて一体化する方法等が考えられる．

（2）鋼桁の長寿命化のための構造改良

経年の進んだ鋼橋は，多かれ少なかれ腐食が進み耐荷力が低下しているものが多い．一方，これらの鋼橋の多くは，開床式のため騒音が大きいといった課題を抱えている．これらの問題点に対して，図２に示すように合成構造化を行うことで結果的に長寿命化が可能になると考えられる．すなわち，鋼桁を合成桁に構造改良を施すことによって，力学的な性能が改善されるとともに，騒音も大幅に低減される．

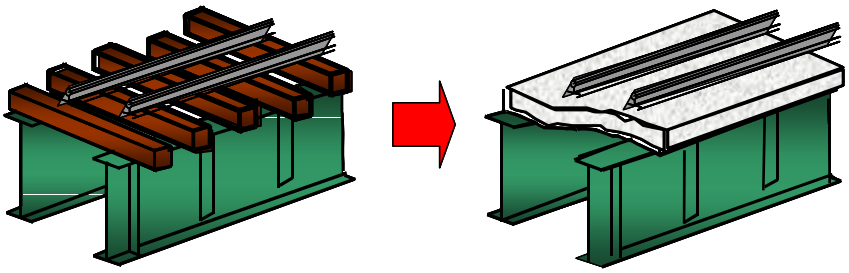


図２　腐食の進んだ開床式鋼橋の合成構造化

5．おわりに

鋼部材は圧縮力に弱く，コンクリート部材は引張に弱い．これらの弱点を克服する技術が複合技術である．複合技術は，補修・補強等の目的を問わず今後も幅広く利用されていくと考えられる．近い将来，経年が進み損傷や劣化が進んでいる旧式構造物の補強・構造改善にも利用できると考えられる．新素材の開発等，複合技術の技術開発は目覚しいものがあり，これらの補修・補強等に，様々な新しいアイデアが出てくることが期待される．

複合新技術による港湾構造物の補修・補強の現状と将来展望

（独）港湾空港技術研究所　フェロー　　横田　弘

１．はじめに

港湾の施設は，防波堤等の外郭施設，岸壁等の係留施設，水底トンネル等の臨港交通施設など多岐にわたる．これらの施設を構成する構造物は，厳しい海洋環境に長期間曝されることになり，材料の劣化に伴う構造物の性能低下が問題となる．これは，鋼矢板や鋼管杭の防食被覆の劣化や鋼材自体の腐食，あるいはコンクリート上部工の塩害劣化として顕在化する．このような場合，望ましくは深刻な状況になる前に，必要な補修・補強等の対策が必要となる．従来の補修・補強においては，鋼材あるいはコンクリートが用いられる場合がほとんどである．

本稿では，船舶が接岸する係留施設の構造物として矢板式係船岸および桟橋式係船岸を事例として取り上げ，その劣化・変状の事例およびこれらに対する補修・補強における現状の手法を紹介する．また，FRP 等の新素材を活用した補修・補強の展望について述べる．

２．劣化・変状の実態

(1)　鋼部材

係留施設の代表例は，**図-1** に示す矢板式係船岸および**図-2** に示す桟橋式係船岸である．矢板式係船岸は，鋼矢板を地盤中に打ち込んで土留め壁とし，これと背後に設置した控え工とをタイロッドで連結した構造である．桟橋式係船岸は，鋼管杭の下部工の上に上部工を配置するもので，我が国では片側のみに係船できる横桟橋の建設実績が多い．また，海外ではコンクリート杭が下部工として用いられる事例がほとんどであるが，我が国では地震時の性能確保の観点から鋼管杭が用いられる．これらの構造物は，いわゆる混合構造に分類される．

鋼矢板であっても鋼管杭であっても，海水あるいは海洋環境に直接曝される鋼部材の前面が最も厳しい腐食環境にある．特に，朔望平均干潮位（L.W.L）直下の部分では，急速に腐食が進行することが多く，**図-3** に示すように，孔が開く場合もある．腐食により矢板壁に孔が開くことになれば，背後の土砂がそこを通して流出することになるので，構造物としては極めて危険な状態になる．鋼管杭でも孔が開けば耐力が低下し，施設全体の倒壊につながることもある．

(2)　コンクリート部材

矢板壁上部のコンクリート上部工では，構造性能の低下につながるような顕著な劣化・変状が生じる事例は少ない．一方，桟橋のコンクリート上部工は，港湾構造物の中でも塩害劣化の事例が最も多い場所である．塩害はいくつかの段階を経て進行して行くが，**図-4** に示すように，コンクリートの腐食ひび割れ，かぶりコンクリートの剥落，内部鉄筋の激しい腐食や破断が散見される．

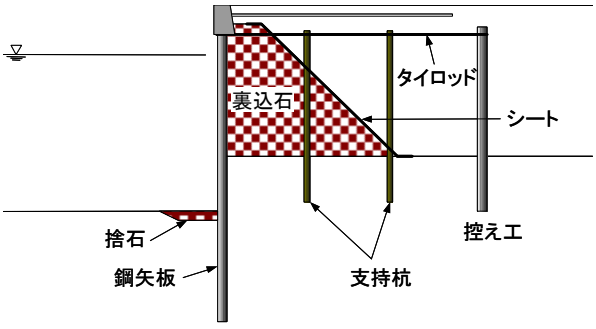


図-1　矢板式係船岸の標準断面の例

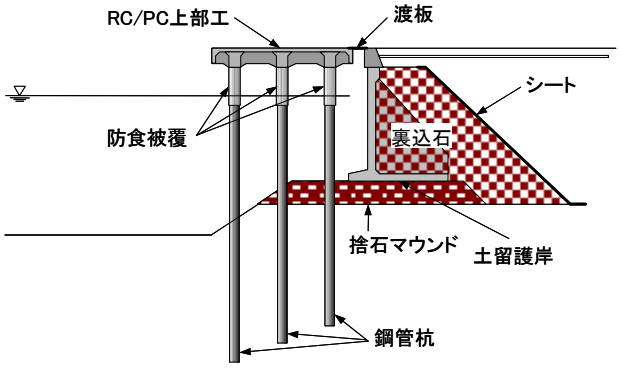


図-2　桟橋式係船岸の標準断面の例

キーワード　：　係留施設，腐食，防食，塩害，補修，FRP
連絡先　：　〒239-0826　横須賀市長瀬 3-1-1　TEL 046-844-5089　FAX 046-844-0255

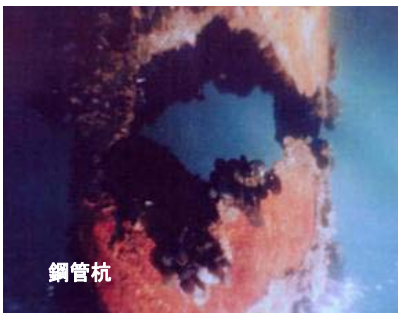


図-3　鋼部材の腐食による孔開き

図-4　桟橋上部工の塩害

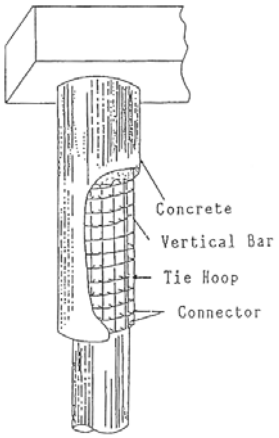


図-5　RC 巻立てによる鋼管杭の補修・補強

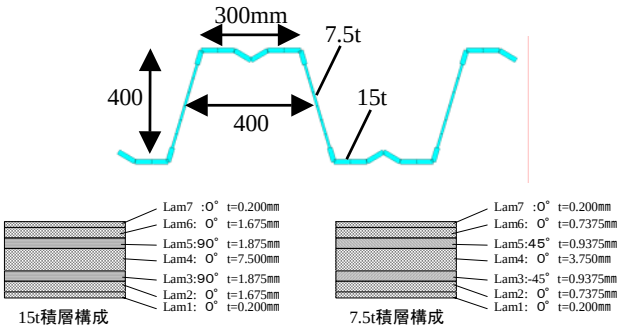


図-6　CFRP による矢板部材の試設計

３．補修・補強の実態と展望

(1) 補修・補強の現状

孔が開いた鋼部材の補修・補強は，鋼板を溶接する方法あるいは RC 巻立てによる方法（図-5）が用いられることが多い．いずれも孔開き断面の全強を鋼板あるいは RC により確保するもので，鋼矢板および鋼管杭の両者に適用できる．RC で補修・補強した部分は，合成構造に変化することになる．両方向とも海水中での施工となるため，溶接あるいはコンクリート打設のいずれも大規模な工事になる．また，補修・補強後の再劣化を防ぐために，相応の劣化防止対策を採る必要がある．

塩害を受けた桟橋式係船岸のコンクリート上部工では，劣化の程度に応じた補修・補強法が採られる．これまでの実績を見ると，軽微なひび割れの段階で予防保全的な補修が施されるというよりも，重度の劣化に至った後に断面修復などの方法で補修されることが多い．この場合，RC に対して RC で補修・補強するということで構造形式が変化することは無い．

その他，構造的な補強工法として，鋼管杭間あるいは鋼矢板と鋼管杭間にブレースを設けた水中格点工法あるいは水中ストラット工法の採用実績もある．

(2) 将来の展望

これらに対して，鋼やコンクリート以外の材料を用いて複合化する補修・補強法の開発・検討を進めている．その一例として，図-6に示すようなCFRP材による矢板部材の開発がある[1)]．これはCFRP素線を港湾矢板用に最適配置させて，CFRPの有する優れた力学性状と耐久性を最大限に発揮させようとするものである．まだ，試設計の段階であるが，フランジに局部座屈防止用の細工を行うことで，十分に矢板材として使えると考えている．これを用いて，腐食して孔の開いた鋼矢板の直前面に新たな矢板壁を構築することで，新旧部材を新材料で合成する補修・補強工法となり得る可能性があると期待している．

４．おわりに

今後，新たな材料を構造材として活用することで，従来の枠を超えた新しい補修・補強工法の開発を目指した検討を続け，試作品の製造や各種試験による確認・検証を行う予定である．

【参考文献】1) 横田他：先進複合材料の港湾構造物への適用に関する検討，土木学会第 60 回年次学術講演会講演概要集，2005.9