'04.05.13
新規

'04.06.02
修正１回

'04.10.05
修正２回

'04.12.17
修正３回

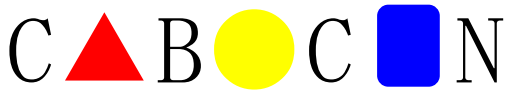
'05.04.26
修正４回

'06.04.26
修正５回

'08.04.30
修正６回

'12.04.20
修正７回

炭素繊維集成板を用いた構造物の補修・補強



カボコン工法設計施工マニュアル

（コンクリート編）

２０１４年　７月（改訂）

一般社団法人　日本炭素繊維プレート協会

序　　文

1995 年に発生した阪神淡路大震災では多くの巨大構造物が崩れ、その復興作業に携わった私達に補修・補強のあり方を考える大きなきっかけを与えた。

構造物に求められる機能は、環境条件の変化、使用目的の変更、活荷重の増大、交通量の増加等々によって絶えず変化しているので、それらに上手く対応し、機能と安全性を保証するために、補強が必要になることは言うまでもない。

構造物は一般に木材、コンクリート、鉄で構成されており、それらを補強する材料としては鉄が一番ポピュラーである。しかし、鉄には重く腐食するという大きな欠点があり、また重いがゆえその取り付けにボルトを使用し、ボルト孔による断面欠損を余儀なくされる。特にコンクリート構造物を鉄で補強する場合には、その取り付けにアンカーボルトを使用することが多く、母材を傷める結果となるのみならず、補強材自らが構造物の重量を増加させ、地震により生じる水平力が増すという逆効果があることを忘れてはならない。また、「重い」ということは当然施工性が悪いことを意味し、これらが「軽く、強く、腐食せず、施工性のよいものを」の CABOCON 工法を生み出すきっかけとなった。

CABOCON 工法とは、炭素繊維集成板（Consolidated **Ca**rbon Fiber Plate ; CCFP-CABOCON）を接着剤（**Bo**nd）で、接合・組み合わせる（**Con**nect）工法のことである。CCFP-CABOCON は、その用途、品質管理、施工を厳格に取り扱ってこそ補強材としての目的を十分に果たすものである。

このマニュアルは、「構造物の寿命を一日も長く！」という使命のもとに検討したガイドラインである。

目　　次

第１章	総　則	１頁
1.1	適用範囲	１頁
1.2	カボコン工法の概要	１頁
1.3	補強工事の手順	３頁
1.4	用語・記号	４頁
第２章	材　料	５頁
2.1	ＣＣＦＰ－ＣＡＢＯＣＯＮ	５頁
2.2	接着剤	５頁
2.3	品質管理	５頁
第３章	設　計	９頁
3.1	設計方針と目的	９頁
3.2	鉄筋基準設計	９頁
3.3	カボコン基準設計	９頁
3.4	床版補強の設計計算	１３頁
3.5	使用材料の耐久性	１７頁
3.6	防火・耐火設計	１７頁
第４章	施　工	１８頁
4.1	施工計画	１８頁
4.2	施工手順	２０頁
4.3	施工管理・品質管理・検査	２３頁
4.4	安全衛生管理	２７頁
付－１	ＣＣＦＰ－ＣＡＢＯＣＯＮと接着剤	２９頁
付－２	カボコン基準設計の考え方	３３頁
付－３	橋梁床版の設計例	４０頁
付－４	施工要領一覧表	４９頁
付－５	カボコン施工・管理要員制度	５１頁
付－６	施工写真	５２頁
付－７	カボコン工法の施工実績	５７頁
付－８	土木構造への適用に関する研究成果一覧	５９頁

CABOCON　第１章　総　則

この章では、カボコン工法全般について説明する。

1．１適用範囲

本マニュアルは、樹脂で成型した炭素繊維集成板（Consolidated Carbon Fiber Plate ;以下 CCFP-CABOCON と記す）を用いて既存構造物の曲げ耐力を向上させる工法（以下、カボコン工法と記す）の設計・施工に適用する。

本マニュアルに記載されていない事項については、関連する規準あるいは指針等に従うものとする。

1．２カボコン工法の概要

カボコン工法は、CCFP-CABOCON を既存コンクリート部材の表面に貼り付けることによって曲げ耐力を向上させる工法であり、鉄筋の腐食等による構造耐力の低下や、活荷重/積載荷重の増加に伴う補強等に用いることができる。

【解説】

カボコン工法は、一方向に配した炭素繊維にエポキシ樹脂を含浸・硬化させて作った CCFP-CABOCON を、液ダレが少ない粘性の高いエポキシ樹脂接着剤で既存コンクリート表面に貼り付け、部材の曲げ補強を行う工法である。既存鉄筋コンクリート部材の表面に CCFP-CABOCON を貼り付けることにより、CCFP-CABOCON に曲げ補強筋としての効果を期待することができる。本マニュアルは、土木構造物のうちコンクリート構造物を対象にしているが、設計の考え方は建築物への適用も可能である。

カボコン工法は、構造物の経年劣化による耐力の低下や、活荷重/積載荷重の増加等による耐力不足への補修に適用でき、また、今後予想される荷重の増加に対する補強にも対応可能だが、補修・補強設計において得られる耐力増加量は、下地コンクリートの健全性や構造部材の損傷度合いに左右されることを十分認識する必要がある。

炭素繊維シート等による既存ＲＣ柱の耐震補強がこれまで行なわれてきており、それらの経験を経て、今後はスラブ（床版）あるいは梁（桁）への炭素繊維を用いた曲げ補強の需要が増していくと思われる。しかし、曲げ補強においては強度だけでなく剛性の確保が必要であり、カボコン工法はその点からもスラブ（床版）あるいは梁（桁）の補強に適した工法と言える。また、床版に CCFP-CABOCON を貼り付けることで輪荷重の繰り返し載荷に対する疲労強度の向上が期待できる。疲労破壊は床版の押し抜き損傷として現れるが、カボコン工法により押し抜きせん断耐力の向上が図られる。

なお、本工法に関連する規準、指針として以下のものがある。（１）から（４）

は土木構造物に、（５）から（10）は鉄道関連構造物に、（11）から（15）は建築構造物にかかわるものである。

（１）　日本道路協会「道路橋示方書・同解説」Ⅲコンクリート橋編（平成２４年３月）
（２）　日本道路協会「道路橋示方書・同解説」Ⅴ耐震設計編（平成２４年３月）
（３）　建設省土木研究所ほか「コンクリート部材の補修・補強に関する共同研究報告書（Ⅲ）－炭素繊維シート接着工法による道路橋コンクリート部材の補修・補強に関する設計・施工指針（案）－」
（４）　日本土木学会「コンクリート標準示方書」（平成１４年３月）
（５）　鉄道総合技術研究所「鉄道構造物等設計標準・同解説 コンクリート構造物（平成１１年１２月）」
（６）　鉄道総合技術研究所「鉄道構造物等設計標準・同解説 鋼・合成構造物（平成１２年７月）」
（７）　鉄道総合技術研究所「鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計（平成１１年１０月）」
（８）　鉄道総合技術研究所「鉄道構造物等設計標準・同解説 シールドトンネル（平成１４年１２月）」
（９）　鉄道総合技術研究所「鉄道構造物等設計標準・同解説 鋼とコンクリートの複合構造物（平成１４年１２月）」
（10）　道総合技術研究所「鉄道構造物等設計標準・同解説 開削トンネル（平成１３年３月）」
（11）　日本建築学会「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」（1988 年改訂）
（12）　日本建築防災協会 「既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準同解説」
（13）　日本建築防災協会「既存 RC 造煙突の耐久・耐震診断指針（案）」（1981.9）
（14）　日本建築防災協会「連続繊維補強材を用いた既存鉄筋コンクリート造及び鉄骨鉄筋コンクリート造建築物の耐震改修設計・施工指針」
（15）　日本建築学会「連続繊維補強コンクリート系構造設計施工指針案」

1.3 補強工事の手順

①補強目標の設定②現状調査と結果の分析を行い、補強が必要でかつ可能と判断されたなら、③補強計画（補強設計、施工計画）立案④施工⑤検査の順で補強工事を実施する。

【解説】

補強工事の各段階における作業は以下の通りである。

① 補強目標の設定

補強後の構造物に要求される性能を設定するが、荷重条件等は用途によって異なるので、補強後の使用条件を十分に考慮して設定する必要がある。

② 現状調査と結果の分析

設計図書に基づいた事前調査を先ず行い、次いで劣化状況を含めた構造物の状況を（周辺の状況も含めて）現地調査する。現地調査では施工方法についても検討する。

③ 補強計画の立案

現状調査の結果を踏まえ、補強目標を満足するように補強計画（補強設計、施工計画）を策定する。

④ 施工

補強計画に基づいた補強工事を行う。

⑤ 検査

目標の性能を発揮できるか否かはCCFP-CABOCONの接着施工によるところが大きいので、その結果を客観的な検査方法によって確認する。

1．4 用語・記号

本マニュアルで用いられる用語および記号は次の通りである。

（１）用　語

炭素繊維　：炭素を主たる構成成分とする繊維状の結晶体。

樹脂　：連続繊維を接合して補強材を形成させるために用いる結合材。なお、樹脂は一般にエポキシ系のものが多く使われる。

CCF　：炭素繊維に樹脂を含浸・硬化させた繊維集成材で、炭素繊維含有率が 50%以上のもの。

CCFP-CABOCON　：板／帯状の CCF。

鉄筋基準設計　：破壊の支配要因を鉄筋の降伏と考えた設計法。

カボコン基準設計：破壊の支配要因を CCFP-CABOCON 接着部でのコンクリート表面の界面剥離と考えた設計法。

（２）記　号

Ap　：単位幅あたりの CCFP-CABOCON 断面積

As　：単位幅あたりの引張側鉄筋断面積

As′　：単位幅あたりの圧縮側鉄筋断面積

b　：単位幅（1000mm）

d’　：圧縮縁から圧縮側鉄筋までの距離

d　：圧縮縁から引張側鉄筋までの距離

dp　：圧縮縁から CCFP-CABOCON までの距離

E　：鋼材のヤング係数

I　：断面２次モーメント

M　：作用曲げモーメント

n　：鋼材とコンクリートのヤング係数比(=15)

np　：CCFP-CABOCON とコンクリートのヤング係数比

x　：圧縮縁から中立軸までの距離

ε　：ひずみ

σc　：コンクリートの圧縮応力度

σck　：コンクリートの設計基準応力度

σp　：CCFP-CABOCON の引張応力度

σfbu：CCFP-CABOCON による補強断面の破壊時における CCFP-CABOCON の応力度

σfba：カボコン基準設計における CCFP-CABOCON の応力度の上限値

σs　：鉄筋の引張応力度

σsf　：鉄筋の降伏応力度

CABOCON　第２章　材　料

この章では、補強に用いる CCFP-CABOCON および接着剤の材料特性について規定する。なお、コンクリートや鉄筋等については従来の基準、指針等を準用する。

2.1 CCFP-CABOCON

CCFP-CABOCON は、一方向に配した炭素繊維に樹脂を含浸・硬化させた炭素繊維集成板とし、炭素繊維の含有率は 50%以上とする。

(1) 力学的特性

JIS K 7073（炭素繊維強化プラスチックの引張試験方法）に準拠した試験による引張強度と引張弾性率が以下の規格値を満足していること。

引張強度　　1,500　N／mm^2 以上（15.3　tf／cm^2 以上）

引張弾性率　　140 kN／mm^2 以上（1,430 tf／cm^2 以上）

(2) 耐久性

JIS　A 1415（プラスチック建築材料の促進暴露試験方法）に準拠する 2,000 時間の試験を行った CCFP-CABOCON の引張強度が、試験を行わないものと比較して著しく低下しないこと。

2.2 接着剤

CCFP-CABOCON と既存コンクリートとを貼り付ける接着剤は、JIS K 7113（プラスチックの引張試験方法）及び JIS K 6850（接着剤－剛性被着材の引張せん断接着強さ試験方法）に準拠した試験による引張強度と引張せん断強度が以下の規格値を満足していること。また、CCFP-CABOCON が十分に強度を発揮できるように、CCFP-CABOCON とコンクリートとの付着（接着）特性を建研式引張試験にて把握すること。

引張強度:　　20.0　N／mm^2（204 kgf／cm^2）以上

引張せん断強度:　　14.0　N／mm^2（143 kgf／cm^2）以上

接着強度（対ｺﾝｸﾘｰﾄ）:　　1.5　N／mm^2（15.3 kgf／cm^2）以上

2.3 品質管理

使用材料はメーカーの品質規格に基づいて製作されたものを、十分な品質管理の下で使用すること。

【解説】

ここでは、カボコン工法に用いる CCFP-CABOCON と、これを既存コンクリートに貼り付ける接着剤について規定し、併せて品質管理に言及している。

CCFP-CABOCON の性能を規定することで補強部材の強度特性が確保できると考えられるため、炭素繊維およびこれに含浸される樹脂については特に規定しないが、使用する樹脂によって CCFP-CABOCON の耐久性や耐熱性が低下することがあるため、樹脂を変更する場合は十分な注意が必要である。

既存構造物に使われている鉄筋やコンクリートの性能については、設計図書を基に建設時期等を考慮して定めることとするが、強度劣化が予想される構造物では、構造物から直接採取した鉄筋やコンクリートを用いて強度試験を行うことが望ましい。

2.1 CCFP-CABOCON

補強用として使用される CCFP-CABOCON は、用いる炭素繊維の強度と弾性率を変えることによってさまざまな力学特性を持たせることが可能であるが、以下の規格値を満足していればコンクリート構造物の補強に使用することができる。

また、CCFP-CABOCON の寸法は、施工性を考慮して幅 50mm、厚さ 1.2mm を標準とするが、必要に応じてこれを変えることは可能である。

引張強度　　1,500　N／mm^2 以上（15.3　tf／cm^2 以上）

引張弾性率　　140 kN／mm^2 以上（1,430 tf／cm^2 以上）

CCFP-CABOCON の製品品質規格を付・表 1-1(P-28)に示す。

2.2 接着剤

(1)接着剤の性質

カボコン工法で使用される接着剤は無溶剤、２成分接着剤で、エポキシ樹脂と高強度の充填材から構成されている。以下の規格値を満足していればコンクリート構造物の補強に使用することができるが、施工性を考慮すれば液ダレの少ない製品が望ましい。

引張強度:　　20.0　N／mm^2（204 kgf／cm^2）以上

引張せん断強度:　　14.0　N／mm^2（143 kgf／cm^2）以上

接着強度（対ｺﾝｸﾘｰﾄ）:　　1.5　N／mm^2（15.3 kgf／cm^2）以上

接着剤の製品規格と接着剤の特性を付・表 1-2(P-29)および付・表 1-3(P-30)に示す。

(2)接着剤の付着（接着）性能

カボコン工法では、CCFP-CABOCON とコンクリートとの付着（接着）性能を確保することが極めて重要であるため、CCFP-CABOCON の接着側表面にサンディング処理を施し、コンクリートとの接着性を高めている。

CCFP-CABOCON とコンクリートとの付着強度は、引張せん断試験によって把握しておく必要がある。

JIS K 6850 に準じた、幅 25mm の CCFP-CABOCON を用いたシングルラップ試験の方法を図 2-1(P-7)に示す。

試験片の形状寸法：
幅 25mm×長さ 100mm×2 枚
（ラップ長さ 12.5mm）

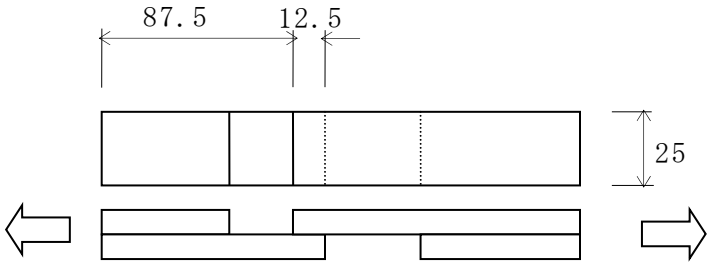


図 2-1 JIS K 6850 に準じたシングルラップ試験

(3)接着部の剥離（破壊）

CCFP-CABOCON とコンクリートを接着した試験片で引張せん断試験を行うと、剥離は全てコンクリート側の破壊によって起こり、この時の引張強度（付着強度）は 1.5～2.8N/mm^2（15～28kgf/cm^2）程度である。

また、CCFP-CABOCON と直交方向に炭素繊維シートもしくは CCFP-CABOCON を貼り付けて定着性を向上させた試験片は引張強度が増し、最高で 2.0 倍程度にまで達する。

なお、引張せん断試験における剥離時の CCFP-CABOCON のひずみは 2,000×10^{-6} 程度であるが、曲げ引張状態での剥離ひずみはこの値より大きくなるとの報告がある。

(4)環境温度の影響

各環境温度（20℃、40℃、60℃、80℃、100℃）における CCFP-CABOCON とコンクリートとの付着強度の関係を表 2-4 に示す。

試験は、CCFP-CABOCON を貼り付けた試験片を各試験温度で 3 時間加熱した後、建研式接着試験機を用いて接着面に垂直な方向に力を加える方法で行った。

試験の結果、80℃まではいずれもコンクリートが破壊し、付着強度の大幅な低下は見られなかったが、100℃では接着面での剥離が見られ、付着強度は大きく低下した。

表 2-1　環境温度と CCFP-CABOCON とコンクリートの付着強度の関係

環境温度 (° C)	付着強さ (N/mm^2)	破壊モード (破壊部位)
20	2.7	コンクリート母材破壊
40	2.8	コンクリート母材破壊
60	2.6	コンクリート母材破壊
80	1.7	コンクリート母材破壊
100	0.2	CCFP-CABOCON/接着剤界面

2.3 使用材料の品質管理

(1) CCFP-CABOCON

メーカーの品質規格等に基づいて製造されたものを使用し、品質はメーカーから提出される検査成績表によって確認する。メーカーは、CCFP-CABOCON の出荷ロットを明確にし、製品の品質確認が常に出来るようにしておく。

(2) 接着剤

メーカーの品質規格等に基づいて製造されたものを使用し、品質はメーカーから提出される検査成績書によって確認する。また、必要に応じて、現場で製作した試験片を用いて必要な強度確認試験を行う。

カボコン工法で使用される CCFP-CABOCON および接着剤の例を付・表 1-2(P-29)に示す。

CABOCON　第３章　設　計

この章では、カボコン工法を用いた既存構造物の補強設計について説明する。

3．1 設計方針と目的

CCFP-CABOCON を用いて既存コンクリート構造物を曲げ補強することで、経年劣化や荷重増加に起因する耐力不足、剛性不足を補い、本来必要とされる機能を回復・維持させることを設計の目的とする。

3．2 鉄筋基準設計

既設構造物の各材料に発生する応力度を許容応力度設計法にて照査した後、鉄筋が許容応力度を超える場合は CCFP-CABOCON を鉄筋量換算した補強断面で照査を行い鉄筋及び鉄筋量換算した CCFP-CABOCON の発生応力度が許容応力度以下となるように補強設計を行う。この場合 CCFP-CABOCON の許容応力度は鉄筋と同じ値とする。

鉄筋基準設計とは、鉄筋の降伏が破壊の支配要因と考えた設計法である。

3．3 カボコン基準設計

鉄筋コンクリート表面に CCFP-CABOCON を貼り付けた断面は、複合断面として外力に抵抗する能力を有している。この複合断面の破壊を支配する要因は接着部でのコンクリート表面の界面剥離である。この時 CCFP-CABOCON の応力度の上限値は、破壊時に生じる応力度に安全係数 1.7 を考慮して σ_{fba}=240N/mm^2（2,400kgf/cm^2）とする。また、鉄筋の引張応力度の上限値は σ_{sf}/1.0～ σ_{sf}/1.05、コンクリートの圧縮応力度の上限値はは σ_{ck}/1.3～ σ_{ck}/1.5 とする。

カボコン基準設計とは、CCFP-CABOCON 接着部でのコンクリート表面の界面剥離が破壊の支配要因と考えた設計法である。

【解説】

3．1 設計方針と目的

カボコン工法は曲げ部材、特に梁、桁あるいは床版の曲げ補強を対象とした工法であり、橋脚や柱を炭素繊維シート等で耐震補強する場合のせん断補強やじん性補強とは目的が異なる。

既設のコンクリート構造物は経年変化によって劣化し、あるいは、規格の改訂による荷重増加や当初想定していない設備が増設されることによって損傷が発生する。このような状況にある構造物を放置しておくと、コンクリートや鉄筋の断面欠損が進み、耐力や剛性が不足して補強・補修が必要となる。

耐力不足となった断面の曲げ補強材として CCFP-CABOCON を使用すれば、耐力不足、剛性不足を容易に補うことができ、構造物に本来求められる機能を回復・維持させることが可能になるため、これを設計の目的とする。

3．2 鉄筋基準設計

高架橋の床組みは道路橋示方書やコンクリート標準示方書等に規定されている設計方法により、また建築構造のスラブおよび梁は建築基準法や建築工事標準仕様書（JASS5）および鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説に規定されている設計方法により照査を行い、必要な耐力や剛性が確保できるように補強設計が行われる。

既存の断面を許容応力度設計法で照査し、断面の耐力が不足している場合にはCCFP-CABOCONで補強を行う。その際、CCFP-CABOCONを鋼材（鉄筋）に換算することによって断面諸量を算出するため、断面の照査においては、荷重により生じる断面力に対してコンクリート、鉄筋、CCFP-CABOCONの各材料に生じる応力度を規定値（許容応力度）以下とする必要がある。この場合CCFP-CABOCONの許容応力度は鉄筋の値と同じとする。

コンクリートおよび鉄筋を弾性範囲内で使用することを前提とした鉄筋基準設計による設計では、CCFP-CABOCONの高い強度を有効に発揮させる前に、鉄筋の許容応力度によってその断面の耐力が決まることになる。

3．3カボコン基準設計

CCFP-CABOCONは鋼材と同程度のヤング係数を持ち、引張強度は鋼材の６倍程度の値を有しているので、この高い引張強度を有効に使用する設計法が望まれる。

コンクリート構造物の補強にCCFP-CABOCONを使用する場合には、カボコン基準設計を採用することができる。

断面を構成する材料は、それぞれが異なった強度と機械的性質を有しているが、これらが複合された場合の応力－ひずみ特性を考慮することにより、複合断面としての高い耐力を期待することが可能となる。この複合断面の破壊を支配する要因は接着部でのコンクリート表面の界面剥離である。断面力が大きくなるに従い、強度の高いCCFP-CABOCONの応力－ひずみ関係が複合断面の挙動を支配することになる。強度の低い鉄筋およびコンクリートの応力度はひずみの増加にともない降伏応力度に達するものの、破壊に至るまでの間、強度の高いCCFP-CABOCONによってその状態が保持されるからである。この設計手法は各材料の応力度の上限値を決め、発生応力度がその値以下となるように設計することにあり、許容応力度設計法の考えを受けたものと言える。

カボコン基準設計の考え方は付-２に詳しい解説があるので参照されたい。

（１）破壊時におけるCCFP-CABOCONの強度

CCFP-CABOCONを曲げ補強材として使用した断面の破壊は接着部でのコンクリート表面の界面剥離となることがこれまでの確認試験で明らかになっている。

確認試験による計測データから、破壊時においてCCFP-CABOCONに加わっている応力度はσ_{fbu}=400 N/mm^{2}であった。この値を元に、既存コンクリート表面の界面剥離を考慮した安全係数　1.7 を設定することにより、CCFP-CABOCON の応力度の上限値を$\sigma_{fba}=\sigma_{fbu}/1.7$=240 N/mm^{2}とした。

ただし、別途確認試験を実施し、破壊時におけるCCFP-CABOCONの応力度を確認した場合はその値をもちいてよい。

（２）鉄筋およびコンクリートの応力度の上限値

CCFP-CABOCON の応力－ひずみ関係に支配されるコンクリートおよび鉄筋は、断面力の増加に伴い降伏域に達し、その状態を保持し続けることから、これらの材料が破壊を支配する要因でないことが明らかである。しかし、降伏を超える応力度を複合断面を構成する材料に生じさせることは構造上好ましくない。従ってCCFP-CABOCON 以外の材料では応力度の上限値は限界状態設計法で一般的に採用される材料の安全係数（材料係数）を考慮して決定した。

鉄筋の規格値を降伏応力度σ_{sf}とすると、このときの材料の安全係数（材料係数）は 1.0～1.05 とする。コンクリートの規格値を設計基準強度σ_{ck}とすると、このときの材料の安全係数（材料係数）は 1.3～1.5 とする

（３）設計法の相違

鉄筋基準設計およびカボコン基準設計はそれぞれに利点があるので、設計方法の採用に当たっては対象構造物に応じた検討を行い、どちらを採用すべきかを決定する必要がある。

どちらも、断面を構成する各材料の応力度の大小により照査を行うことは許容応力度設計法の形となっている。しかし前者が弾性範囲内の設計であるのに対し、後者はある材料に対して、より非線形領域に近づくことを認めた設計であり、その違いを十分理解して設計にあたることが重要である。

（４）CCFP-CABOCONの最大間隔

カボコン工法の設計においては、鉄筋基準設計及びカボコン基準設計の２つの設計手法を提案している。これらの設計手法ではコンクリート、鉄筋、CCFP-CABOCON それぞれにおいて許容応力度または各材料の応力度の上限値を定め、計算による発生応力度が、それらの値以下となるように設計する。

しかしながら、既存するコンクリート構造物にカボコン工法を採用する場合、補強効果の他に、経年劣化を受けたコンクリート構造物の剥落防止効果、ひび割れ抑制も期待することから、CCFP-CABOCONの最大間隔を 500mm 以内とする。

（５）CCFP-CABOCON の定着長

カボコン工法の設計において CCFP-CABOCON による補強が有効に機能するためには、必要定着長を満足する必要がある。CCFP-CABOCON による補強では、CCFP-CABOCON 接着部でのコンクリートとの界面剥離が破壊を支配する要因であることが既往実験から確認されている。

そこで、必要定着長の算定は、「コンクリート構造物の補強指針（案）P.41 連続炭素繊維シート接着工法の定着式（解 9.2.2)」と同様の考え方に基づき、設計荷重に対して剥離を生じさせない次式により算出する。

$L_{CCF}=\sigma p \cdot n \cdot t / \tau a$

ここに、

L_{CCF}：設計荷重に対して剥離を生じさせない定着長(mm)

σp：設計荷重作用時の CCFP-CABOCON に作用する引張応力度(N/mm2)

n：CCFP-CABOCON の積層数（工場製品の場合は１とする。）

t：CCFP-CABOCON の厚さ(mm)

τa：CCFP-CABOCON とコンクリートとの付着強度(N/mm2)で、接着強度（対コンクリート）1.5N/mm2 を既存コンクリート表面の界面剥離を考慮した安全係数 1.7 を考慮した $\tau a=1.5/1.7=0.88$ N/mm2 とする。

（６）CCFP-CABOCON の継手長

CCFP-CABOCON を長手方向に重ね継ぎさせる必要がある場合、継手長は 200mm 以上確保すること。なお、継手位置は同一断面に配置してはならない。

また、板厚が t=2.4mm 以上の CCFP-CABOCON を重ね継ぎさせる場合は、継手長さを長くする必要があり、場合によっては継手部の上にさらに CCFP-CABOCON を貼り付けたり適切な処置を検討する。

3．4 床版補強の設計計算

（1）一　般

カボコン工法による鉄筋コンクリート床版の補修・補強は、コンクリート床版に接着したCCFP-CABOCONを鉄筋量換算して床版耐荷力の増加を図るとともに、剛性を高めることでひび割れの発生や進行を防止し、床版の疲労による劣化を抑制する。

（2）中間部床版の補強

引張側となる床版の下面にCCFP-CABOCONを貼り付けることにより曲げ補強を行う。計算で耐力に係わるのは主鉄筋方向の補強であるが、配力鉄筋方向にも主鉄筋と同程度の間隔で貼り付けることを原則とする。主桁近傍は床版に発生する曲げモーメントが負の範囲となるので、ハンチ部分へのCCFP-CABOCONの設置は不要とする。

（3）張出部床版の補強

引張側となる床版の上面にCCFP-CABOCONを貼り付けることにより曲げ補強を行う。外桁より内側に必要寸法を伸ばして定着させることにより、主桁上での断面補強を完全に行うものとする。配力鉄筋方向の設置は必要により行うものとする。

【解説】

（１）床版の変遷と損傷

床版の設計方法はこれまで何回か大きな改訂が行われてきた。古くは昭和39年に、高強度鉄筋の普及により鋼道路橋示方書（「S39道示」）における鉄筋の許容応力度が118N/mm^2（1200kgf/cm^2）から177N/mm^2（1800kgf/cm^2）に緩和された。その後早期の劣化が問題となり、昭和42年には主鉄筋に対する配力鉄筋の最小量の比がそれまでの25%から70%へ増加され、翌年の昭和43年には鉄筋の許容応力度が138N/mm^2（1400kgf/cm^2）に低減された。さらに床版の最小厚の規定や平成5年11月の車両制限令による車両総重量規制緩和、および道路構造令による設計自動車荷重の増大を経て、現在に至っている。[1)] これらの荷重増大は中間床版の損傷を招き、また、都市内高架橋では周辺環境の移り変わりにより、当初荷重として想定していなかった高遮音壁などが設置されたため、張出部床版も耐力不足となっている。

床版の損傷はそのまま路面の欠陥となり、交通にも危険を及ぼすものであるため、その損傷を早期に発見し、損傷が過度に進行しない時点で適切な補修・補強対策を講じることが重要である。また、現状で顕著なひび割れや劣化が認められなくとも、将来的に劣化の進行が懸念される場合には、事前対策を講じることで床版の長寿命化を図ることが維持管理の観点から望まれる。

（２）中間部床版の補強

中間部床版の補強・補修工事は、樹脂注入＋鋼板接着、あるいは炭素繊維シート接着などにより、下面に足場を設置しての施工実績がこれまでにあるが、前者はひび割れから侵入した雨水によって鋼板と床版の接着が劣化するという弱点があり、後者では作業性は優れるものの雨水による水が抜けずに溜まってしまう問題が指摘されている。さらに、両工法とも施工後に床版地肌の観察が出来なくなるという管理上の問題も指摘されている。

これらの問題に対してカボコン工法では、格子状に補強材が貼り付けられるため雨水の滞留による弊害がほとんどなく、補強後の床版地肌の観察も可能である。

図 3-4-1　床版下面への CCFP-CABOCON の貼付例

（３）張出部床版の補強

張出部床版は上面が引張、中間部床版は下面が引張であり、CCFP-CABOCON で補強す
る側が異なる。

張出部の床版は舗装に覆われているので、これまでは床版部に生じたひび割れが確認できなかったが、今般この箇所につき張出長、遮音壁高さ、床版厚、主鉄筋量に着目してパラメトリックに計算を試みたところ、多くのケースで現行の許容応力度を超過していることが確認された。[2)]

なお、舗装を撤去する際に床版表面に凹凸を生じ易いので、その場合は CCFP-CABOCON の設置溝を設けてから設置するのがよい。

施工方法は第４章を、また設計例は付－３を参照されたい。

（４）床版の補強設計

鉄筋コンクリート床版の断面応力度の計算は以下により行う。なお、用いる記号は第１章 1.4 用語・記号に示されている。

ここに示した設計方法による計算例を付－３に示す。

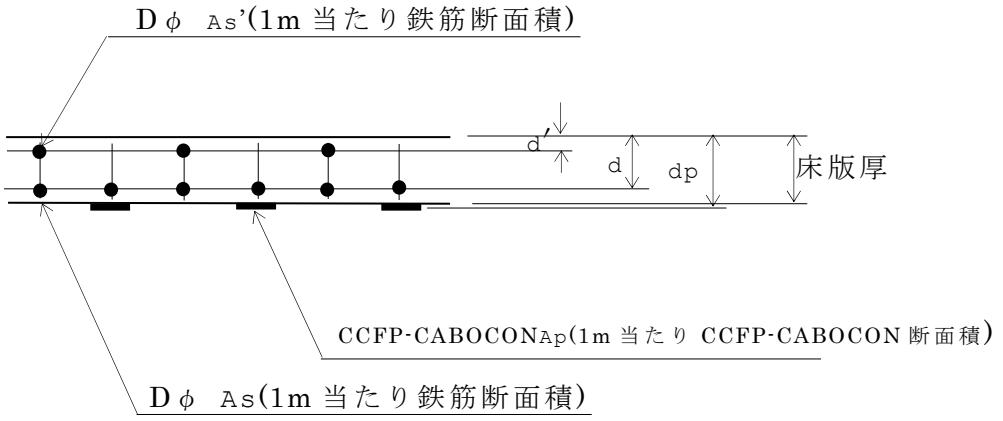


図 3-4-2　床版の補強断面（正の曲げモーメント）

圧縮端から中立軸までの距離

$$x = -\frac{n\,(As + As') + np \cdot Ap}{b} + \sqrt{\left\{\frac{n\,(As + As') + np \cdot Ap}{b}\right\}^2 + \frac{2\,n\,(As\,d + As'\,d') + 2\,np\,Ap\,dp}{b}}$$

(式-3.4.1)

断面定数

$$I = \frac{b\,x^3}{3} + n\,As\,(d - x)^2 + n\,As'(x - d')^2 + np\,Ap\,(dp - x)^2$$

(式-3.4.2)

コンクリート応力度

$$\sigma_c = \frac{M}{I}x$$

(式-3.4.3)

鉄筋応力度

$$\sigma_s = n\,\frac{M}{I}(d - x)$$

(式-3.4.4)

CCFP-CABOCON 応力度

$$\sigma_p = np\,\frac{M}{I}(dp - x)$$

(式-3.4.5)

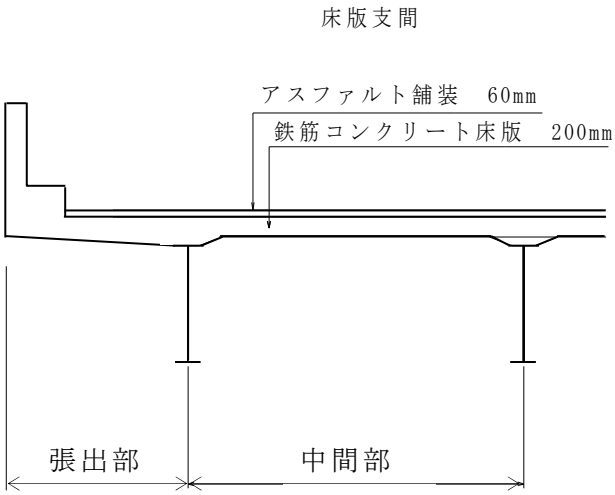


図 3-4-3　床版概念図

参考文献　1)コンクリート部材の補修・補強に関する共同研究報告書（Ⅲ）－炭素繊維シート接着工法による道路橋コンクリート部材の補修・補強に関する設計・施工指針（案）－、平成 11 年 12 月、建設省土木研究所、炭素繊維補修・補強工法技術研究会
2)張出床版部の耐力照査（案)、平成 15 年 3 月、カボコン工法研究会

3.5 使用材料の耐久性

カボコン工法の設計に際しては、使用材料（CCFP-CABOCON と接着剤）の耐久性、CCFP-CABOCON とコンクリートとの接着耐久性、および活荷重/積載荷重に対する疲労特性等、構造物へ長期間使用するために必要な性状を把握しておく。

【解説】

(1)　CCFP-CABOCON の耐候性

CCFP-CABOCON は鋼材に比べて耐食性に優れるものの、繊維結合材としての樹脂の耐侯性（紫外線劣化）が問題となるので、直射日光を浴びるような箇所へ貼り付ける場合は、耐候性を有する塗料などで表面仕上げを行うことが望ましい。

(2)　接着耐久性

シート状炭素繊維とコンクリートとの接着耐久性は、JIS A 1415（プラスチック建築材料の促進暴露試験方法）に基づく促進暴露を行った後、せん断引張試験によって評価が行われているので、CCFP-CABOCON とコンクリートの接着耐久性についても、同様の試験で耐久性を確認することが望ましい。

(3)活荷重に対する疲労特性

従来、鉄道構造物や道路橋構造物のうち、鋼床版では疲労設計を行ってきた。近年、活荷重による繰り返し載荷に起因すると考えられる損傷が一般の道路橋構造物にも発見され問題となっている。したがって、直接輪荷重を受けるコンクリート床版などを CCFP-CABOCON で補修・補強する場合は、接着部の耐久性などを確認する目的で疲労試験を実施することが望ましい。

3.6 防火・耐火設計

カボコン工法の設計に際しては、構造物の用途、周辺環境等を考慮し、防火・耐火性能を確保する必要があると判断される場合は、適切な耐火被覆等を施す。

【解説】

CCFP-CABOCON が高温に曝されると、構成材料であるエポキシ樹脂が軟化して強度が低下するため、構造物の用途、周辺環境等を考慮し、必要な場合には CCFP-CABOCON に耐火被覆を施す。

CABOCON　第４章　施　工

この章では、施工時の留意点について説明する。

4.1 施工計画

施工現場の作業環境、材料の購入と保管、機材の搬入と据付、下地処理、CCFP-CABOCON の貼付位置と方法等について予め検討を行い、施工方法および作業工程について綿密な計画を立てる。

【解説】

工事施工に先立ち、客先を始めとする工事関係者と十分に打合わせるとともに、関係図書の調査や施工現場の作業環境等を調査するなどの準備を行い、不明点は着工までに明らかにしておく。

既存構造物の補修・補強工事では、使用する機器の大きさ、重量などの面で制約を受けることがあり、また、使用中の状態で工事を行うことが求められる場合もある。後者では、施工期間、施工範囲、作業時間、資材の搬入・搬出、騒音・振動・ほこり・臭気などに対しても制約を受けるので、これらを念頭に置いた綿密な施工計画を作成し、安全かつ確実な作業が行われるようにしておく。

なお、カボコン工法で使用される CCFP-CABOCON と接着剤（エポキシ樹脂）は従来の建設現場ではあまり使用されないものであるため、材料についての正しい知識と取り扱い方法を工事関係者に事前に指導しておく必要がある。

材料の取り扱い等、施工計画上の留意点を以下に示す。

① CCFP-CABOCON の貼付けが障害物等によって妨げられるのを防ぐため、CCF ﾌﾟﾚｰﾄ接着部およびその近傍の構造を設計図面等で予めよく確認し、必要に応じて現場確認を行う。また CCFP-CABOCON 貼付け面の健全性の確認は 4.3(3)により行う。

② 補修・補強に用いる CCFP-CABOCON は、表面に傷などがあると強度が大幅に低下するので、入荷時によく確認し、取扱いには十分注意する。

③ CCFP-CABOCON に使われているエポキシ樹脂は紫外線照射や熱によって強度が低下することがあるので、CCFP-CABOCON の保管や施工に際しては、直射日光を避ける、溶接の火花が当らないようにする、等の注意が必要である。

④ CCFP-CABOCON は、端部の定着を考慮して設計長より（ﾌﾟﾚｰﾄ幅の２倍程度）長くするのがよい。

⑤ CCFP-CABOCON に使われている炭素繊維は導電性であるため、電線の近くなどで作業を行うときは感電に注意する。

⑥ 接着材に用いられるエポキシ樹脂には、皮膚に付着したり蒸気を吸入するとかぶれや中毒等を起こす恐れのある物質が含まれているため、取り扱う

際は保護具を使用する、室内で使用する場合には換気を行う、等の注意が必要である。

⑦ 気温が低い場合や過度の水分がある場合は接着強度の十分な発現が期待できないため、施工環境に十分配慮し、5℃以下での施工は原則として行わないようにする。

⑧ 接着剤の使用可能時間が短いので(20℃で 60 分以内)、施工個所、投入する作業員の数等から施工長を決定し、それに見合った最適量を調合して使用する。

⑨ CCFP-CABOCON の残材や使い残しの接着剤は産業廃棄物として処理し、放置や焼却をしてはならない。

4.2 施工手順

カボコン工法は以下の手順で施工する。

(1) 下地処理（下地調整）
(2) CCFP-CABOCON の切断
(3) プライマーの塗布
(4) 接着剤の混合
(5) 接着剤の塗布
(6) CCFP-CABOCON の貼り付け
(7) 養生
(8) 次工程への処置
(9) 検査

【解説】

カボコン工法は、既存コンクリートの表面に貼付けられた CCFP-CABOCON によって構造物の補強を行う工法なので、CCFP-CABOCON とコンクリートとの一体化が不可欠であり、このため既存構造物を補修・補強する際には、経年劣化を受けたコンクリート表面を下地処理し、健全性を確保することが極めて重要である。カボコン工法による施工例を付-6 に示す。また、各種材料を取り扱う際には、性能、安全性などを確保するために、各メーカーから提出された MSDS（原料安全データシート）を参照するとよい。

(1) 下地処理

CCFP-CABOCON を取り付ける既存コンクリートの表面を以下の手順で仕上げ、健全性を確保する。

ブラストやディスクサンダー掛け（２種ケレン）により、脆弱コンクリート、ごみ、汚れなどを幅 100mm（CCFP-CABOCON 幅＋50mm の範囲）で除去し、必要に応じてひび割れの修復（樹脂注入等）を行う。仕上げ材の除去に伴う凹凸や既存コンクリートの不陸は断面修復材等で補修し､鉄筋の露出部は防錆処理を施す。

接着性を確保するため油分（オイル、グリース等）があれば除去し、水分計によってコンクリート表面の水分を１０％以下に管理する。

梁やスラブの下端にはジャンカあるいは木屑などが混入していることがあるが、このような場合は下地処理を入念に行う必要がある。

なお、建物の内部のような閉鎖された空間でサンダー掛けを行う場合は、周辺の機器等にほこりが入らないよう換気に注意する必要がある｡粉塵飛散が少ない処理方法としてバキューム・ブラスト工法がある。

(2) CCFP-CABOCON の切断

CCFP-CABOCON は通常 50m の長さがロール状に巻かれた状態で現場に搬入さ

れ、このロールから所定量を取り出して使用するが、CCFP-CABOCON は剛性が高いため取り出しの際に跳ね返る恐れがあり、また、素手で扱うと手を切る恐れがあるので、取扱いには十分な注意が必要である。

CCFP-CABOCON は、ディスクサンダー、ダイヤモンドディスクカッター等によって指定された寸法に切断することが出来る。この際乾式で切断すると炭素繊維と樹脂の微粉末が飛散するので、防塵マスク、防塵メガネ、革手袋等を着用するとともに、工事用掃除機などで微粉末を吸引しながら切断する等の措置が必要である。また、炭素繊維の微粉末は電気系統のショート引き起こすことがあるので、周辺の状況にも十分な配慮が必要である。

以上の理由により、CCFP-CABOCON の寸法が判っている場合や、施工場所で他の作業が同時に行われているような場合は、予め別の場所で切断しておくことが望ましい。

コンクリートに接着される側の CCFP-CABOCON の面は付着性を高めるためにサンディング処理（目荒らし）が行われているので、この面に付着したほこりや油をアセトン等の有機溶剤で除去する。

(3) プライマー塗布

コンクリート表面の劣化が激しく充分な接着効果が期待できない場合は、下地処理面にプライマー(Ｅプライマー)を 0.02kg/m(W=50mm)を標準に塗布する。プライマー塗布はコンクリート表面の水分が１０％以下であることを確認して行うが、やむを得ず１０％を越えた状態で塗布しなければならない場合は別途メーカーと相談する。

(4) 接着剤の調合

用いる接着剤（ボンド E-2370MS･W）は２成分混合型であり、主剤（Ａ成分；灰色）の中に硬化剤（Ｂ成分；黒色）を重量比２対１で加え、電動低速ハンドミキサーで約３分間（max. 500rpm)、空気が混入しないように注意しながら攪拌混合する。

この場合、大量の接着剤を一度に混合すると化学反応によって温度が上昇し、使用可能時間が短くなるので、作業量を考慮して混合量を決める必要がある。また、使用可能時間（２０℃で６０分）を超えた接着剤は使用できないので、時間あたりの作業量を想定した接着剤の配合管理も必要である。

なお、接着剤は夏対応型と冬対応型の２種類があるので、施工時期を考慮して発注する必要がある。

接着主剤の主成分であるエポキシ樹脂によって作業従事者が皮膚のかぶれ等を起こす場合があるので、調合に当たっては保護手袋、保護メガネ、保護マスクなどを着用し、換気に注意して作業を行うのがよい。

(5) 接着剤の塗布

下地処理面又はプライマーを塗布したコンクリート表面に、ヘラ、コテを用い、接着剤を厚さ 1～2mm となるように塗布する。また、CCFP-CABOCON に、専用の冶具を用い、接着剤を台形状に厚さ 1～2mm となるよう塗布する。50mm 幅の CCFP-CABOCON で使用する接着剤の量は、下地の状態等によって異なるが通常 0.3～0.5kg/m 程度である（溝ハツリの場合は 0.6kg/m)。なお、接着剤によって皮膚のかぶれ等が生じる場合があるので､作業者は保護手袋の着用が必要である。

(6) CCFP-CABOCON の貼り付け

予め墨出ししたコンクリート表面の所定の位置に CCFP-CABOCON を設置し、コンクリートと CCFP-CABOCON との間に空隙を作らないようローラー等で押さえる。特に重ね部や端部は空隙が生じ易いので十分押さえ込む。CCFP-CABOCON の両端からはみ出た接着剤は硬化する前にヘラ等で除去し、CCFP-CABOCON に付着した接着剤も硬化前にアセトン等の有機溶剤で除去する。作業に用いた工具類は使用後直ちにアセトン等の有機溶剤で洗浄しておく。

(7) 養生

カボコン工法では、軽量な CCFP-CABCON を粘着性の高い接着剤で貼り付けるため､通常はクランプによる押さえ(締め付け)などの養生を必要としないが、施工に当たっては現場の状況をよく観察し､押さえの要否を判断する必要がある。施工後は 20℃で 24 時間以上の養生期間をとり、養生にあたっては、過度の振動、衝撃、水分などを与えないように注意しなければならない。なお気温が低いと接着強度に十分な発現が期待できないので、5℃以下では原則として施工を行わない。やむを得ず施工する場合は、温風で加熱する等十分な養生を行う。

(8) 次工程への必要な処置

耐火、耐熱、耐紫外線、美装などの目的で補強部分(CCFP-CABOCON の表面)に仕上げ施工をする場合は、CCFP-CABOCON の表面の油分を充分に除去する。また表面を被覆材などで覆う場合は、一体性を強化する為、プライマー(Ｅプライマー)を 0.02kg/m を標準に塗布する。次工程への処理は、各種用途に応じて異なる為、事前にメーカーと打合わせておくとよい。

(9) 検査

4.3 施工管理・品質管理・検査に定める検査を行う。

4.3 施工管理・品質管理・検査

カボコン工法による補修・補強工事は、しっかりした管理体制のもとので、当該作業の指揮を担当する「施工管理士」の指揮により「主任技能士」/「技能士」が、品質管理に十分配慮しつつ行うこととする。

カボコン施工・管理要員制度は別途定める。

また、施工の各段階において、工事の品質が確保されていることを検査によって確認しなければならない。検査要領は別途定める。

【解説】

カボコン工法の品質を確保するためには、工事施工の体制と各人の役割分担が明確であること、作業従事者が本工法に求められる技能に習熟していること、および、関係者全員が品質管理に対する十分な認識を有していること、の３点が不可欠である。このため、カボコン工法の施工に従事する作業員全員を対象とするカボコン施工・管理要員制度を設け、併せて、施工の各段階が終了した時点で工事の信頼性を確認するための検査を行う。カボコン施工・管理要員制度については、付－５にて後述する。

品質確保と記録保存のための管理シートを表 4-3-3 に例示する。

表 4-3-3　管理シート

CCFP-CABOCON
管理シート　（床版・張出床版補強）

作成年月日　〇〇年〇〇月〇〇日
作 成 者　〇〇 〇〇

工事名		〇〇〇工事
請負者		〇〇〇株式会社
現場代理人		〇〇〇設計事務所
CABOCON 施工管理士		〇〇 〇〇
施工現場		〇〇 〇〇
設計事務所		
工事の概要	工　期	①　〇〇年〇〇月〇〇日　～　〇〇年〇〇月〇〇日
	施工上の注意	
	施工範囲	①事前調査　②設計　③施工
	施工面	①　鉄　②　ｺﾝｸﾘﾄ　③　木　④その他　取付面　①　下面　②側面　③　上面　①床②梁③柱
	概算数量	①　CCFP-CABOCON 設計施工長　m

1	墨出し作業	定着面の破損の有無		合 ・ 否
		設計図との位置確認	※別紙寸法位置出し図参照	合 ・ 否
2	下地処理	コンクリート表面の水分量	%（10%以下）	合 ・ 否
		溝ハツリ部凹凸	※別紙出来形図参照	良 ・ 否
3	CCFP－CABOCON 高強度タイプ	CCFP-CABOCON 納品量	m（50m/巻）	
		製品の表面・外観の異常の有無		良 ・ 否
		加工製品寸法の確認	±2mm　別紙製品検査記録	合 ・ 否
4	接着剤 エポキシ樹脂（E2370M） 接着剤混合比	接着剤の納品量	セット（15kg/セット）	
		接着剤の保管状態		良 ・ 否
		質量比（主剤）2:（硬化剤）1 混合		合 ・ 否
		練り混ぜの均一性		良 ・ 否
5	無収縮モルタル	無収縮モルタル納品量	m3（　袋）	合 ・ 否
		練り混ぜの均一性		良 ・ 否

6　CCFP-CABOCON 貼付作業時温度湿度管
（気温 5℃以上、湿度80%以下）

作業内容	作業日	接着剤 標準使用量 kg/m	施工長 m	実施量 kg	作業場所	午前 温度 ℃	午前 湿度 %	午後 温度 ℃	午後 湿度 %

7	検査	付着力検査（供試体・現地）	建研式　N/mm2（1.5N/mm2 以上）	合 ・ 否
		空隙検査（CCFP-CABOCON 貼付後）	打音確認	合 ・ 否
		※付着力試験<JIS A 6909>別紙報告書		

特記事項

別紙報告書

1. 製品検査報告書
2. 付着力試験報告書
3. 日常管理報告書
   接着剤数量集計表
   施工状況記録
4. Jロート試験報告書
5. 出来形図

(1)施工管理体制

カボコン工法による補修･補強工事は､カボコン工法研究会に設けられた｢カボコン施工・管理要員制度」に定める「施工管理士」のもとで、関係者全員の役割分担が明確に示された体制とし､工法に対する教育と作業者の技能習熟にも配慮する。

(2) 材料管理

①購入材料の製品規格を試験成績書との照合によって行う。

②数量を伝票で確認し、外観目視により異常がないことを確認する。

③梱包を解いた CCFP-CABOCON は取扱いに注意し、傷を付けたり接着面を油分等で汚したりしないようにする。

④接着剤は有効期限があるので、期限内であることを確認する。季節によって異なる製品を使用しなければならない場合はその確認も行う。

(3) コンクリート面の検査

施工に先立ち、CCFP-CABOCON 取り付け場所およびその周辺のコンクリートの健全性を目視で確認する。目視検査の項目は、劣化の程度、平面性（凹凸)、ジャンカや木屑の混入、ひび割れ等の有無とする。

健全性を試験で確認しておく必要があると判断された場合は、 建研式引張試験器を用いて付着力試験を行い､1.5N/mm^2 以上の付着強度があれば合格とする。

試験箇所と回数は発注者と打合せて決定するか、もしくは施工箇所毎に、あるいは施工区画 250m^2 毎に 1 箇所以上実施し、1 箇所 3 点をとりその平均が 1.5N/mm^2 以上を合格とする。

建研式引張試験器を用いた接着試験の概要を図 4-3-1 に示す。

(4)下地処理検査

下地処理が終了したなら、CCFP-CABOCON 取り付け場所およびその周辺の状況を目視で検査し、CCFP-CABOCON の接着が可能であることを確認する。目視検査の項目は、平面性（平滑性)、チリや油分等の付着の有無とする。

(5) CCFP-CABOCON 接着面の浮き（空隙）検査

CCFP-CABOCON の貼付け作業が終了したなら、先ず目視検査で異常が無いことも確認し、次いで、接着不良や気泡の介在等による浮き（空隙）が接着部に存在しないことを打音検査（パールハンマー）で確認する。

(6) CCFP-CABOCON 接着面に浮き（空隙）が発見された時の措置

接着部に空隙が発見された場合は、充填孔を設け、内部に接着剤を充填する。接着剤の充填で対処できない浮き（空隙）がある場合は、不良箇所を取り外し、再施工を行う。

(7) 養生終了後の付着力検査

施工時に予め準備しておいた接着試験部で、養生終了後の接着強度を確認する。試験は建研式引張試験で行い、付着力 1.5N/mm^2 以上を合格とする。

検査頻度は、１回/工事とする。なお、現場条件等により付着試験はコンクリート板（供試体）で行う場合もある。（付着力検査の実施要領は施工計画書等で事前に明確にしておく。）

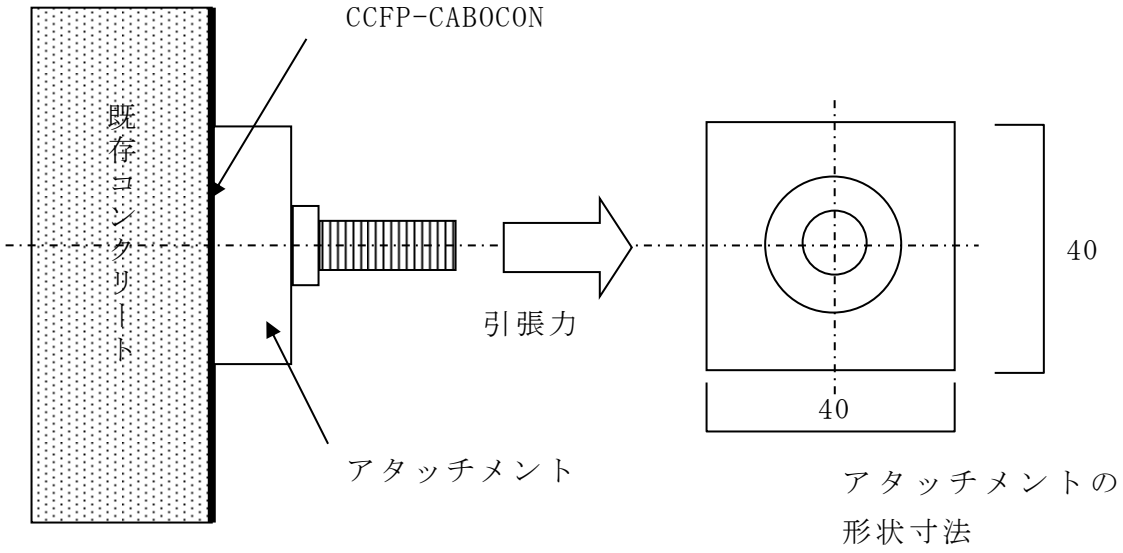


図 4-3-1　接着試験の概要

4.4 安全衛生管理

カボコン工法による補修・補強工事を施工するに当たっては、「労働安全衛生法」を初めとする関係法令を遵守しなければならない。

【解説】

安全衛生管理の側面から見たカボコン工法による補修・補強工事の特徴は、高所作業となる場合が多いこと、限られた場所で異なる作業を同時並行的に進めなければならないケースが多いこと、CCFP-CABOCON やエポキシ樹脂接着剤のような従来の建設の現場であまり使用されない材料を扱うこと、の３点である。このため、安全関係法令のどれを遵守しなければならないかを予め明らかにし、万全の安全対策を講じるとともに、衛生面からは、作業前の教育により、作業従事者に材料の正しい知識と正しい取り扱い方法を周知徹底させることが必要である。

安全衛生管理上留意しておくべき項目と具体的な対策を以下に示す。

・　墜落・転落・落下災害の防止

① 安全な足場と昇降設備を確保し、必要に応じて安全ネットを設置する。
② 高所作業中は安全帯を必ず使用する。
③ 不必要なものを足場の上に置かない。
④ 関係の無い作業区域には立ち入らない。

(2) CCFP-CABOCON の取扱いに関係する災害の防止

CCFP-CABOCON は通常 50m の長さがロール状に巻かれた状態で現場に搬入され、このロールから所定量を取り出して使用するが、CCFP-CABOCON は剛性が高いため跳ね返る恐れがあり、取扱いには十分な注意が必要である。

・ CCFP-CABOCON の荷ほどきは 2 人が CCFP-CABOCON の側面に立ち、十分注意を払いながら行う。
② CCFP-CABOCON を素手で取り扱うと手を切る恐れがあるので、皮製の手袋を着用する。
③ CCFP-CABOCON を切断すると炭素繊維と樹脂の微粉が飛散するので、防塵マスク、防塵メガネを着用する。
④ 上記微粉末が電動工具等の中に入るとショートを引き起こすことがあるため、工事用掃除機などで微粉末を吸引しながら切断する等の配慮が必要である。
⑤ CCFP-CABOCON に使われている炭素繊維は導電性なので、近くに電線等がある場合は感電に注意する。

(3) 接着剤や有機溶剤の取扱いに関係する災害の防止

① 接着主剤の主成分であるエポキシ樹脂によって作業従事者が皮膚のか

ぶれ等を起こす場合があるので、調合に当たっては保護手袋、保護メガネ、保護マスクなどを着用し、換気の良い場所で作業を行う。

② 接着剤に対する応急処置は以下のようにする。

ａ.目に入った場合　：多量の流水で洗浄し、直ちに医師の診断を受ける。

ｂ.皮膚に付着した場合　：石鹸と大量の水で洗い流し、炎症、かゆみなどがある場合は医師の診断を受ける。

ｃ.飲み込んだ場合　：口腔内を洗い、直ちに医師の診断を受ける。

③ 作業工具の洗浄に用いる有機溶剤に対しても、接着剤と同じく保護手袋、保護メガネ、保護マスクなどを着用し、換気のよい場所で作業を行うようにする。

④ 有機溶剤は引火しやすいので火気を使用しない。やむを得ない場合は消化器を設置する等対策を講ずる。

(4) その他

残材やゴミは分別し、指定された方法で適切に処理する。CCFP-CABOCON の残材や使い残しの接着剤は産業廃棄物として処理し、放置や焼却等を行ってはならない。(CCFP-CABOCON については材料メーカーの技術開発により再利用可能となる可能性がある)

C▲B●C■N　付－１　CCFP-CABOCON と接着剤

カボコン工法で使用される CCFP-CABOCON の例を付・表 1-1 に、接着剤の例を付・表 1-2 および付・表 1-3 に示す。また接着剤の材齢と圧縮降伏強さの関係については、付・図 1-1 に示す。

付・表 1-1　CCFP-CABOCON 品質規格

品名	規格
繊維特性	高強度
幅（mm）	50±3%
厚さ(mm)	1.2±10%
引張強度 N/mm^2(kgf/cm^2)	2350 以上 (24000 以上)
引張弾性率 N/mm^2(kgf/cm^2)	$1.52*10^5$ 以上 ($1.55*10^6$ 以上)
破断伸び率	1.6%以上
炭素繊維含有率	50%以上

１）幅寸法及び板厚寸法の許容値は、JIS　K　7015 に準拠。

２）試験方法は、JIS　K　7073 に準拠。

３）ﾒｰｶｰ検査。

引張強度と引張弾性率の測定は JIS K 7073（炭素繊維強化プラスチックの引張試験方法）に準拠して行われる。

付・表 1-2　接　着　剤

ボンド E-2370M(S･W)製品規格値

試験項目	試験方法・条件	単位	社内規格
垂直ダレ（混合物）	JIS A 5758(20℃)		ダレを認めないこと
比重（硬化物）	JIS K 7112(20℃)		1.6±0.1
可使時間	温度上昇法	分	60 以上（20℃）
圧縮降伏強さ	JIS K 7208(20℃/7 日)	$N/mm^2(kgf/cm^2)$	70(714)以上
曲げ強さ	JIS K 7203(20℃/7 日)	$N/mm^2(kgf/cm^2)$	40(408)以上
引張強さ	JIS K 7113(20℃/7 日)	$N/mm^2(kgf/cm^2)$	20(204)以上
圧縮弾性係数	JIS K 7208(20℃/7 日)	$N/mm^2(kgf/cm^2)$	4,000(41,000)以上
引張せん断強さ	JIS K 6850(20℃/7 日)	$N/mm^2(kgf/cm^2)$	14(142)以上
衝撃強さ	JIS K 7111(20℃/7 日)	$KJ/m^2(kgf/cm)$	2.0(20)以上
硬度（ショア D）	JIS K 7215(20℃/7 日)	HDD	80 以上

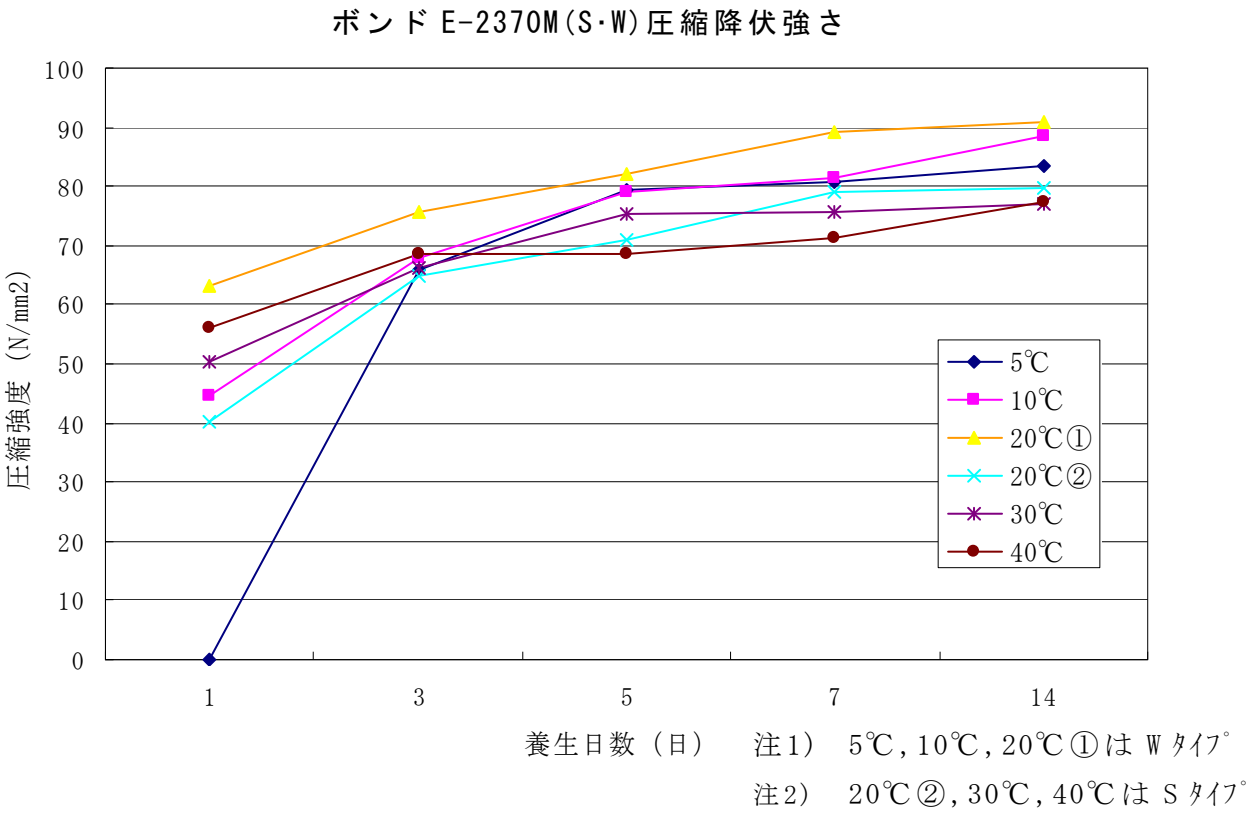
国際単位系(SI)による数値の換算は、

1kgf＝9.8N, 1cP＝1mPa･s, 1kgf･cm＝9.8×10^{-2}J

付・表 1-3　接 着 剤 の 特 性

ボンド E-2370M(S･W)の特性

主成分	Ａ成分：エポキシ樹脂 Ｂ成分：変性脂肪族ポリアミン					
色	グレー（Ａ成分：灰色，　Ｂ成分：黒）					
混合比	Ａ成分：Ｂ成分＝　2：1　　（重量比）					
可使時間		℃	Ｓタイプ(分)	Ｗタイプ(分)		
（温度上昇法・300g)		40	34	－		
		30	44	－		
		20	79	66		
		10	182	138		
		5	－	202		
貯蔵	5～35℃の湿気の少ない場所に貯蔵する。					
保存期間	6ヶ月　未開封で冷暗所に保管					
荷姿	15 kg（セット） Ａ成分（主剤）　：　10 kg／缶 Ｂ成分（硬化剤）　：　5 kg／缶					
性状・性能						
比重	1.6					
圧縮強さ		5℃	10℃	20℃	30℃	40℃
N/mm^2	1 日	-- (---)	44.7(456)	40.1(409)	50.4(514)	56.2(573)
(kgf/cm^2)	3 日	66.0(673)	67.9(693)	64.7(660)	66.2(675)	68.7(701)
	5 日	79.4(810)	78.9(805)	71.0(724)	75.5(770)	68.7(701)
	7 日	80.8(824)	81.3(829)	79.2(808)	75.7(772)	71.4(728)
	14 日	83.5(852)	88.5(903)	79.6(812)	77.0(785)	77.5(791)
		・ 5℃,10℃はＷタイプ。20℃,30℃,40℃はＳタイプ				
接着強さ	・コンクリート　1.5(15)以上（建研式） （コンクリートの強度による）					
N/mm^2(kgf/cm^2)	・ スチール（サンドブラスト処理）14(142)以上 （JIS K 6850 引張せん断強さ）					
熱膨張係数	4.7 ×10^{-5}　(20℃)					
圧縮弾性係数	5.8 ×10^3　(20℃　7日養生)					
N/mm^2(kgf/cm^2)	(5.9 ×10^4)					



付・図 1-1　エポキシ樹脂材齢と圧縮降伏強さとの関係

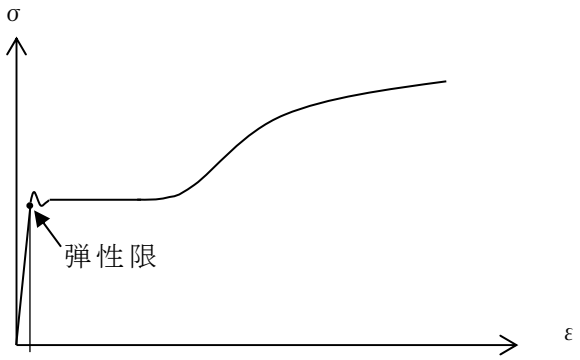
C▲B●C■N　付－２　カボコン基準設計の考え方

断面を構成する材料はそれぞれ異なった強度、機械的特性を有している。これらが複合された場合の応力－ひずみ特性を考えることにより、複合断面としての高い耐力を期待することが出来る。

・ ひずみ制御の考えに基づく設計方法

（１） 軟鋼の応力－ひずみ関係

軟鋼の場合、応力－ひずみ関係は下図のようになる。



ε_y =0.12%

付・図 2-1　軟鋼の応力－ひずみ関係

降伏点（σ_y）が 240N/mm^2 の鋼材（SS400）は下式により降伏時のひずみを求めることが出来る。

$$E_y = \sigma_y / E \qquad \text{（付・式 2-1）}$$

$$= 240 / 2.0\times10^5 = 0.0012 \rightarrow 0.12\%$$

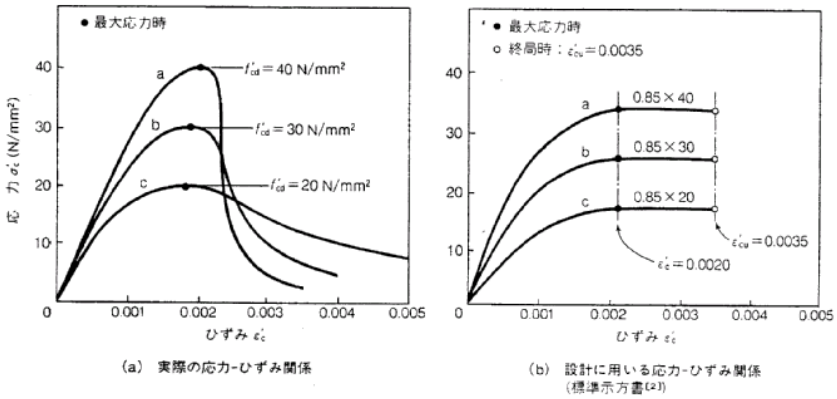
ここに、ε_y ：降伏時の鋼材のひずみ

σ_y ：軟鋼の降伏応力度　240 N/mm^2

E_s ：鋼材のヤング係数　2.0×10^5 N/mm^2

（２） コンクリートの応力－ひずみ関係

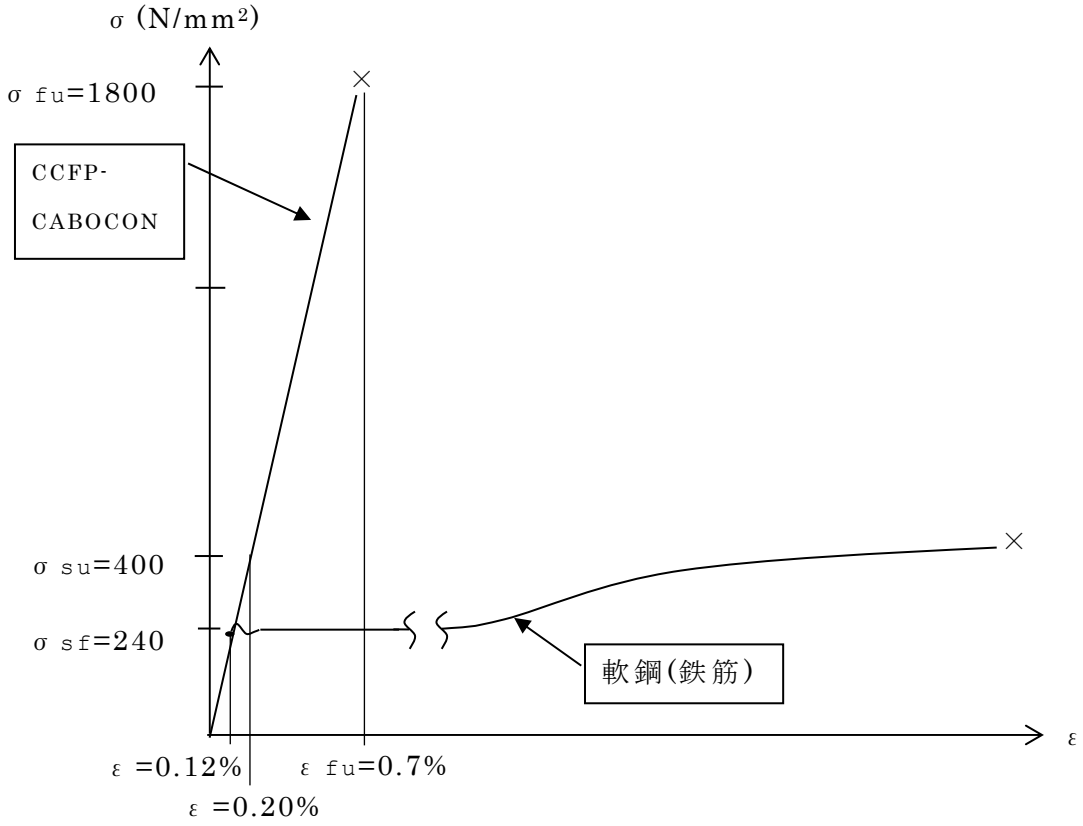
コンクリートの応力－ひずみ関係はコンクリート標準示方書に推奨モデルが示されている。それによれば、コンクリートの最大応力度を $0.85\sigma'_{cd}$ とした場合の終局ひずみは ε'_{cu}=0.0035、最大応力に達したときのひずみは ε'_c=0.0020 と規定されている。



付・図 2-2　コンクリートの応力－ひずみ関係

（３） CCFP-CABOCON との複合を考慮した鉄筋の挙動

今回確認試験に用いた CCFP-CABOCON は引張弾性係数 Ef=2.0×10^{5}N/mm^2、破断強度 σ fu=1800N/mm^2 の製品である。CCFP-CABOCON が破断するまでの応力－ひずみ関係を付・図 2-3 に示す。CCFP-CABOCON の破断時（σ fu=1800N/mm^2）のひずみは 0.7%である。このとき鉄筋は塑性域に達しており、ひずみは増加するが、応力は一定となる降伏棚にある。軟鋼の場合、破断時の伸びは最大 20%程度になることを考えると、CCFP-CABOCON 破断時の 0.7%のひずみは軟鋼にとって許容可能な範囲と考えることができる。この考えを基礎に、CCFP-CABOCON の高い強度を有効に利用できる設計が可能になる。



付・図 2-3　CCFP-CABOCON と軟鋼の応力－ひずみ関

2. カボコン基準設計における応力度の上限値の算定

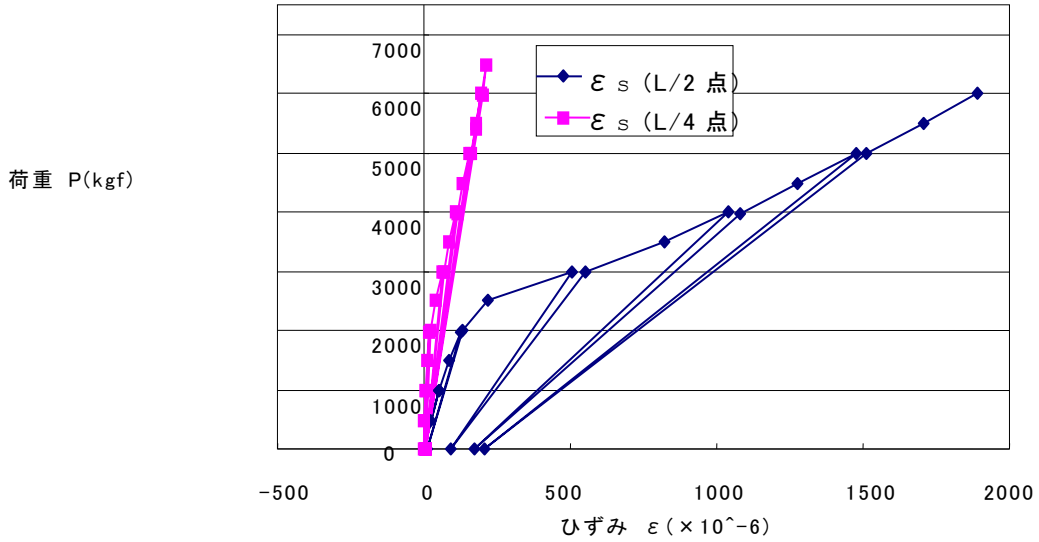
床版下面のひび割れ補強確認試験[1),2)]を実施した。供試体として鉄筋コンクリート製土留板に CCFP-CABOCON を貼り付け、２点載荷により荷重をかけた。

CCFP-CABOCON を曲げ補強材として使用した場合の破壊は、接着部でのコンクリート表面の界面剥離となることがこれまでの確認試験で明らかになっている。試験結果から支間中央(L/2)点の鉄筋のひずみ値は $\varepsilon_{s(平均)}$=1975μ ≒0.0020 であった。この数値から鉄筋応力度を算出すると $\sigma_{su}=\varepsilon_{s(平均)}\times E_s$ = 0.0020×2.0×10^5= 400 N/mm^2 となる。この値は SS400 級鋼材の破断強度にほぼ等しい値であるが、実際には 0.0020 のひずみを生じている鋼材は降伏棚で塑性化が生じており応力度は降伏応力度（σ_{sf}= 240 N/mm^2）でそれ以上の増加はないことが確認できる。

付・表 2-1　破壊荷重と鉄筋のひずみ

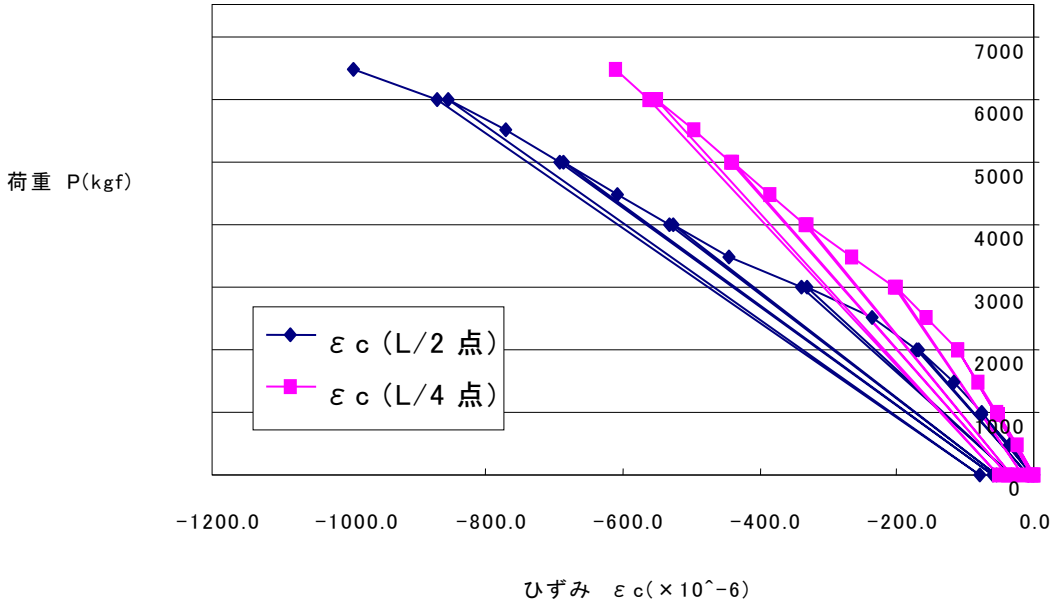
試験体	破壊荷重 (KN)	ε_s	破壊状況
CFRC1	58.80	—	接着剤のせん断破壊
CFRC2	58.65	—	〃
CFRC3	53.94	1800	〃
CFRC4	63.74	2400	〃
CFRC5	63.74	1800	〃
CFRC6	63.55	1900	〃
平均	60.40	1975	──

－は計測不良のためデータなし



付・図 2-4 荷重－鉄筋ひずみ図 （CFRC6 AFT）

また、この時のコンクリート上面（圧縮域）のひずみは最大 0.001 程度であった。このことから、本試験体を用いた確認試験では引張側の鉄筋コンクリートのひずみに比べ圧縮側のコンクリートひずみは約半分の値を示おり、この値はコンクリート標準示方書に示される終局時のひずみ ε'_{cu}=0.0035、最大応力時のひずみ ε'_{c}=0.0020 を下回るものである。



付・図 2-5　荷重－上面コンクリートひずみ図（CFRC6 AFT）

以上により、接着部でのコンクリート表面の界面剥離を破壊と考えた場合、CCFP-CABOCON に加わる応力度は、弾性係数がほぼ等しい鉄筋のひずみ値とほぼ同じ挙動を示すことを考慮し、σ_{fbu}=400 N/mm^2 とすることができる。

CCFP-CABOCON を既存コンクリート表面に貼り付けて長期間使用する場合は、接着部あるいはコンクリートの経年劣化等、現時点では不明な部分が残されている。このため本マニュアルでは、上記 σ_{fbu}=400 N/mm^2 をそのまま使うことはせず、コンクリート表面の剥離破壊を考慮した安全率 1.7 を想定して、CCFP-CABOCON に期待する耐力を $\sigma_{fba}=\sigma_{fbu}/1.7$=240 N/mm^2 とすることにした。

付・表 2-2　カボコン基準設計での CCFP-CABOCON 応力度の上限値

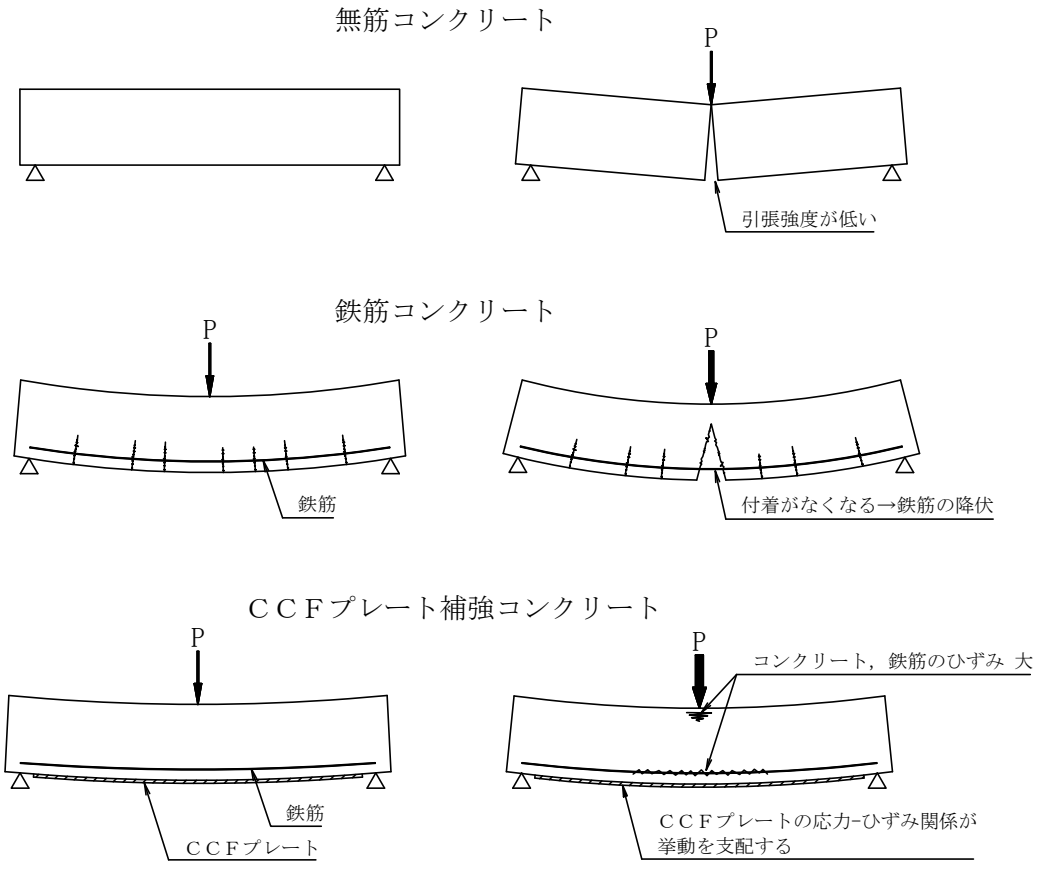
	応力度の上限値
CCFP-CABOCON	240 N/mm^2

鉄筋およびコンクリート強度はひずみに着目してつぎのように考えるものとする。異種の材料が複合された断面の挙動は高強度の材料のひずみに支配される

ため、鉄筋についてはひずみが 0.2%以下、コンクリートについてはひずみが 0.35%以下の降伏棚の範囲にある。しかし、降伏を超える応力度を生じさせることを許すことは構造上好ましくない。従ってそれぞれの材料では応力度の上限値は降伏応力度を超えない範囲で決めるのがよい。本マニュアルでは、限界状態設計法で一般的に採用される材料の安全係数（材料係数）を考慮してその値を決定した。すなわち、鉄筋の規格値を降伏応力度 σ_{sf} とし、このときの材料の安全係数（材料係数）は 1.0 ～1.05 とする。コンクリートの規格値を設計基準強度 σ_{ck} とし、材料の安全係数（材料係数）は 1.3～1.5 とする。

3. コンクリート部材の補強

コンクリート部材は、コンクリートに鉄筋という異種の材料を組み合わせることで耐力が向上することは周知の事柄である。補強材料のひとつとして CCF ﾌﾟﾚｰﾄを使用することで同じ効果を得ることが可能である。



付･図 2-6　コンクリート断面の補強補強概念図

無筋コンクリート部材ではコンクリートの引張強度は圧縮強度の 1/10 程度しかないため外力により引張応力度を受ける側にひび割れが生じ、簡単に破断してしまう。コンクリートの引張強度が破壊の支配要因となる。

無筋コンクリート部材の引張側に靭性に富みコンクリートに比べ高い強度を有する鉄筋を配置したものが、鉄筋コンクリート部材である。引張側でコンクリートにひび割れが生じた後、鉄筋が引張力を負担することでその強度を有効に利用することができる。鉄筋を配置することで無筋コンクリートの場合に耐えられなかったひび割れに抵抗できる部材とすることが可能となる。荷重が増加すると、鉄筋がコンクリートの中で滑りひび割れの拡大をくい止められず、鉄筋の応力度が急激に増加し降伏応力度を超えて著しい変形を生じて破壊に至る。この時、破壊の支配要因は鉄筋の降伏（または、コンクリートの圧壊）である。

鉄筋コンクリート断面の耐力が不足する場合、CCFP-CABOCON に耐力を期待した設計を行うことができる。高い強度の CCFP-CABOCON の応力－ひずみ関係により、コンクリートおよび鉄筋は降伏域近くの高い応力度を負担することが可能になる。CCFP-CABOCON が接着部でのコンクリート表面の界面剥離を生じるまで部材は大きな断面力に耐えることができる。

各断面の破壊の支配要因および材料強度の安全係数を付・表 2-3 に示す。

付・表 2-3　破壊の支配要因および安全係数（γ）

材料／断面	ｺﾝｸﾘｰﾄ	鉄筋	接着剤剥離	CCFP-CABOCON	破壊の支配要因
無筋コンクリート	曲げをうける構造物には使用されない	―	―	―	コンクリート引張破壊
鉄筋コンクリート	3	1.7	―	―	鉄筋とコンクリートの付着切れによるひび割れ幅増大→鉄筋の降伏
CCFP-CABOCON 補強コンクリート	1.3～1.5 （ 3 ）	1.0～1.05 （ 1.7 ）	1.7 （ 2.9 ）	10 （ 17 ）	接着部でのコンクリート表面の界面剥離

1．着色部は断面強度を決定する要因を示す。

2．（ ）内は CCFP-CABOCON 補強断面の設計を、「鉄筋基準設計」で行った場合を示す。「カボコン基準設計」に比べ、各材料の安全係数が大きくなり材料強度を有効に利用できない。

4.安全性の考察

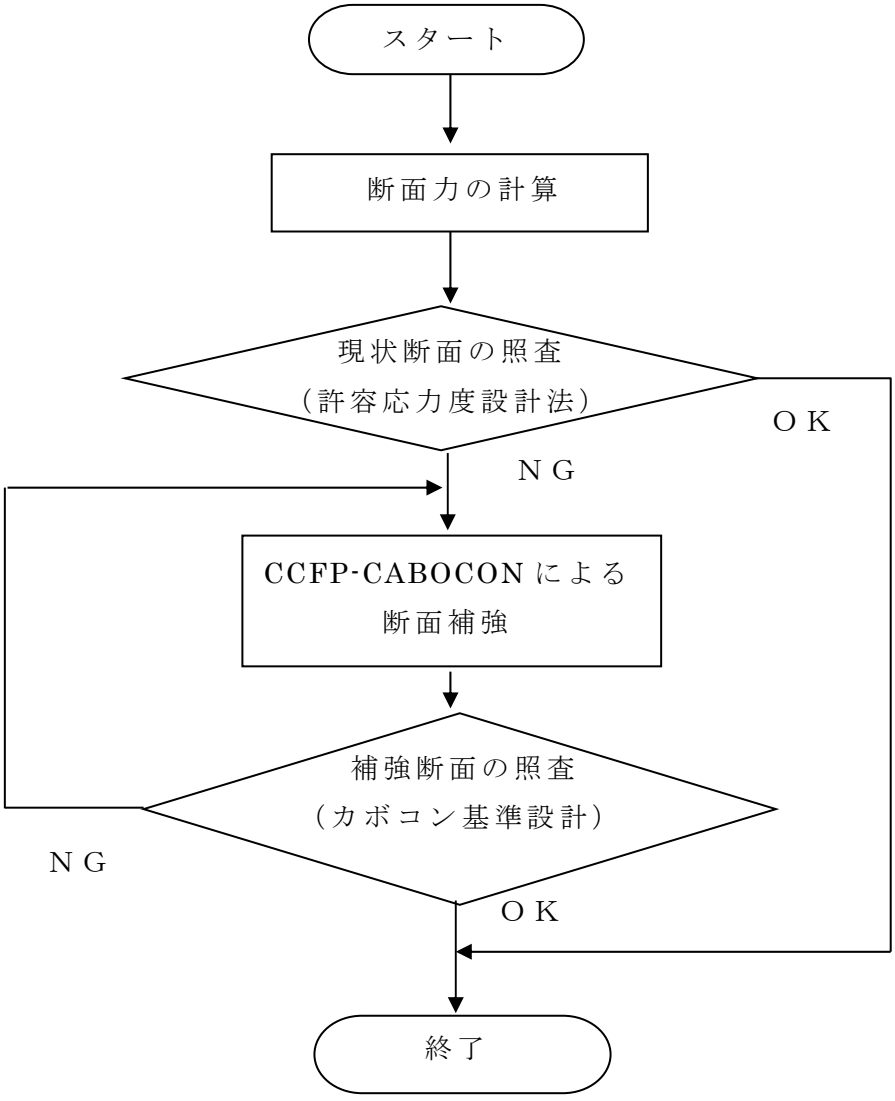
供用中に CCFP-CABOCON が剥離してしまったと仮定する。それも、補強に用いた CCF ﾌﾟﾚｰﾄが全面剥離してしまうという、現実に起こるとは考えにくい事態(設計荷重の 1.7 を超える荷重が載荷された状況）を想定してみる。

この場合、CCFP-CABOCON の支えを失った部材は徐々に変形するが、付・図 2-3 に示されているように CCFP-CABOCON 剥離時の鉄筋のひずみは最大でも 0.20%であり、破断時のひずみ(最大 20%)に対して大きな余裕を残している。このため、CCFP-CABOCON 剥離後に荷重が加わり続けたとしても、それが設計荷重の範囲内であるなら、鉄筋の延びに伴って部材の変形は残留するものの直ちに破断に至ることはなく、最悪の事態は回避できる。

参考文献　1)鉄筋コンクリート床版補強工法確認実験（床版下面ひび割れ補強確認試験）報告書、平成 12 年 12 月、タカラ技研（株）
2)CFRP で補強されたひび割れを有する RC 床版の載荷試験、平城、弓倉、西川、松尾他、土木学会第 56 回年次学術講演会、Ⅰ-B110、平成 13 年 10 月

C▲B●C■N　付－３　橋梁床版の設計例

ここでは、橋梁床版の設計例を示す。
計算のフローを付・図 3-1 に示す。



付・図 3-1　床版補強設計のフロー

設計条件の確認

１．設計条件

床版の諸元については以下のように想定する。

コンクリート設計基準強度　σ_{ck} = 30 N/mm^2

許容応力度　σ_c = 10 N/mm^2　= σ_{ck} / 3

（カボコン基準設計の場合　σ_c = 23 N/mm^2　= σ_{ck} / 1.3）

鉄筋の降伏応力度(SD295)　σ_{sf} = 240 N/mm^2

鉄筋の許容応力度(SD295)　σ_{sa} = 140 N/mm^2　= σ_{sf} / 1.7

（カボコン基準設計の場合　σ_{sa} = 240 N/mm^2　= σ_{sf} / 1.0）

１－２．補強材料（CCFP-CABOCON）

引張強度　2,350 N/mm^2

許容応力度　σ_{fba} = 240 N/mm^2

弾性係数　1.52 ×10^5 N/mm^2

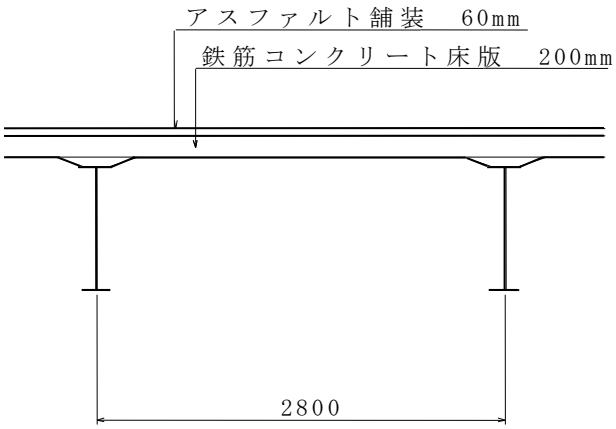
寸　法　（幅）50 ×（厚）1.2

弾性係数比 np: 15.0

２．中間床版

床版断面力の計算

２－１．曲げモーメント



（１）死荷重曲げモーメント

舗装	0.060 × 22.50	=	1.35	KN/m2
床版	0.200 × 24.50	=	4.90	KN/m2
		Wd =	6.25	KN/m2

$M_d = W_d \times L^2 / 10 = 6.25 \times 2.800^2 / 10 = 4.90$ KN･m

（２）活荷重曲げモーメント

輪荷重　$P = 100$ KN

床版支間による割り増し係数

$\lambda = 1.0 + (2.8 - 2.5) / 12 = 1.025$

$M_l = (0.12 L + 0.07) P \times 0.8 \times \lambda$

$= (0.12 \times 2.8 + 0.07) \times 100 \times 0.8 \times 1.025$

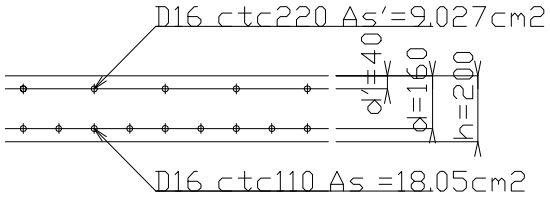
$= 33.292$ KN･m

（３）合計曲げモーメント

$M = M_d + M_l = 4.90 + 33.292 = 38.192$ KN･m

許容応力度設計法による断面照査…中間床版

（1）無補強の床版の計算　【許容応力度設計法による計算】



$$x = -\frac{n\,(\,As + As'\,)}{b} + \sqrt{\left\{\frac{n\,(\,As + As'\,)}{b}\right\}^2 + \frac{2\,n\,(\,As\,d + As'\,d'\,)}{b}}$$

$$= -\frac{15\,(\,18.05 + 9.027\,)}{100} + \sqrt{\left\{\frac{15\,(\,18.05 + 9.027\,)}{100}\right\}^2 + \frac{2 \times 15\,(\,18.05 \times 16 + 9.027 \times 4\,)}{100}}$$

$$= 6.610 \quad \mathrm{cm}$$

$$I = \frac{b\,x^3}{3} + n\,As\,(\,d - x\,)^2 + n\,As'\,(\,x - d'\,)^2$$

$$= \frac{100 \times 6.61^3}{3} + 15 \times 18.05 \times (\,16 - 6.61\,)^2 + 15 \times 9.027 \times (\,6.61 - 4\,)^2$$

$$= 34422 \quad \mathrm{cm}^4$$

コンクリートの応力度

$$\sigma c = \frac{M}{I}\,x = \frac{38.192 \times 10^6}{344220000} \times 66.1$$

$$= 7.3 \quad \mathrm{N/mm}^2 < 10 \quad \mathrm{N/mm}^2$$

許容応力度は道示の規定による

鉄筋の応力度

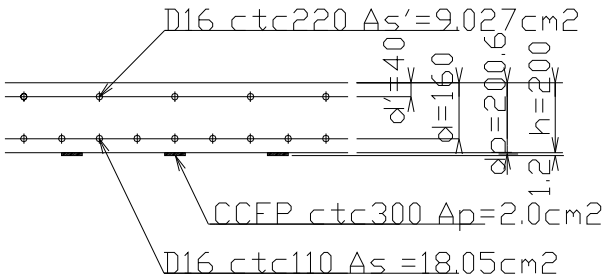
$$\sigma s = n\,\frac{M}{I}\,(\,d - x\,) = 15\,\frac{38.192 \times 10^6}{344220000} \times (\,160 - 66.1\,)$$

$$= 156 \quad \mathrm{N/mm}^2 > 140 \quad \mathrm{N/mm}^2 \quad \text{OUT!}$$

許容応力度は道示の規定による

カボコン基準設計による断面照査…中間床版

（2）補強断面（炭素繊維集成板１層 ctc 30.0cm）【カボコン基準設計による計算】



$$x = -\frac{n(As + As') + np \cdot Ap}{b} + \sqrt{\left\{\frac{n(As + As') + np \cdot Ap}{b}\right\}^2 + \frac{2n(As\,d + As'\,d') + 2np\,Ap\,dp}{b}}$$

$$= -\frac{15(18.05 + 9.027) + 15.0 \times 2.0}{100} + \sqrt{\left\{\frac{15(18.05 + 9.027) + 15.0 \times 2.0}{100}\right\}^2 + \frac{2 \times 15(18.05 \times 16.0 + 9.03 \times 4) + 2 \times 15.0 \times 2.0 \times 20.06}{100}}$$

$$= 6.98 \quad cm$$

$$I = \frac{b x^3}{3} + n\,As\,(d - x)^2 + n\,As'(x - d')^2 + npAp(dp - x)^2$$

$$= \frac{100 \times 6.98^3}{3} + 15 \times 18.05 \times (16.0 - 6.98)^2 + 15 \times 9.027 \times (6.98 - 4.0)^2 + 15.0 \times 2.0 \times (20.06 - 6.98)^2$$

$$= 39699 \quad cm^4$$

コンクリートの応力度

$$\sigma c = \frac{M}{I} x = \frac{38.192 \times 10^6}{396990000} \times 69.8$$

$$= 6.7 \quad N/mm^2 < 23 \quad N/mm^2$$

応力度の上限値は本マニュアルの規定による

鉄筋の応力度

$$\sigma s = n \frac{M}{I}(d - x) = 15 \frac{38.192 \times 10^6}{396990000} \times (160.0 - 69.8)$$

$$= 130 \quad N/mm^2 < 240 \quad N/mm^2$$

応力度の上限値は本マニュアルの規定による

炭素繊維集成板(CCFP)の応力度

$$\sigma p = np \frac{M}{I}(dp - x) = 15.0 \frac{38.192 \times 10^6}{396990000} \times (200.6 - 69.8)$$

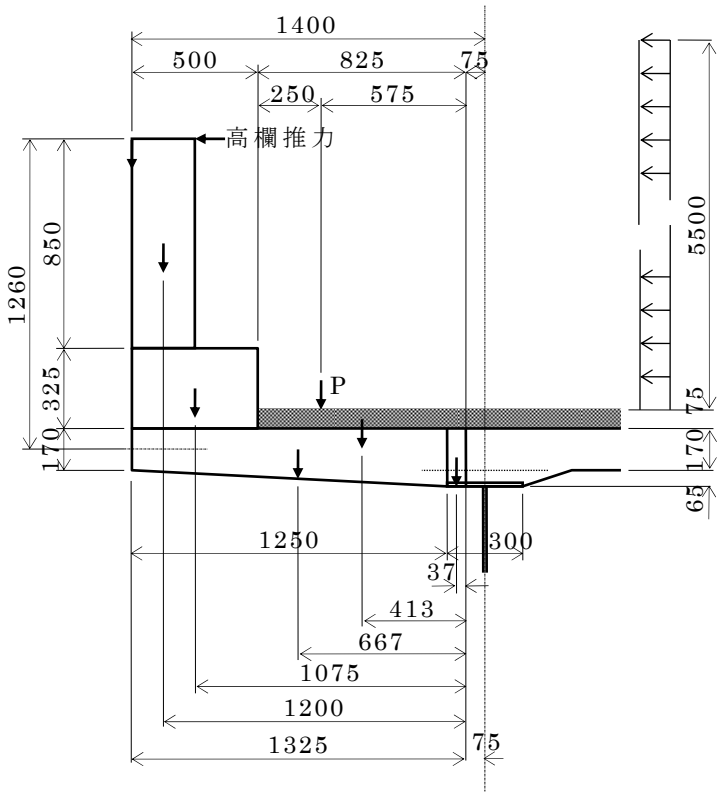
$$= 189 \quad N/mm^2 < 240 \quad N/mm^2$$

応力度の上限値は本マニュアルの規定による

３．張出床版

床版断面力の計算

３－１．曲げモーメント



舗装厚	車道		75 mm
床版厚			170 mm
設計活荷重	B活荷重（T荷重）	P =	100 kN
風荷重	活荷重無載荷時		3.00 kN/m^2
	活荷重載荷時		1.50 kN/m^2
高欄推力	（左側） 壁高欄		10.00 kN/m

・　死荷重曲げモーメント

舗装	-22.50 * 0.075 * 0.825^2 / 2	=	-0.57 kN･m
床版１	-24.50 * (0.170 + 0.235) / 2 * 1.250 * 0.667	=	-4.13 kN･m
床版２	-24.50 * 0.235 * 0.075^2 / 2	=	-0.02 kN･m
地覆	-3.98 * 1.075	=	-4.28 kN･m
高欄	-4.59 * 1.200	=	-5.51 kN･m
遮音壁	-6.00 * 1.325	=	-7.95 kN･m

Σ Md = -22.46 kN･m

（２）活荷重曲げモーメント＞

常時　ML = -(P * Ls) / (1.30 * Ls + 0.25)

= -(100 * 0.575) / (1.30 * 0.575 + 0.25)　= -57.64 kN･m

衝突時　ML = -(P * Ls) / (1.30 * Ls + 0.25)

= -(100 * 0.575) / (1.30 * 0.575 + 0.25)　= -57.64 kN･m

・　高欄推力による曲げモーメント＞

Mh = -10.00 * 1.260 = -12.60 kN･m

（載荷高 = 1.100 + 0.075 + 0.170 / 2 = 1.260 m）

・　風荷重による曲げモーメント＞

活荷重無載荷時　Mw1 = -3.00 * 5.500 * 2.910 = -48.02 kN･m

活荷重載荷時　Mw2 = -1.50 * 5.500 * 2.910 = -24.01 kN･m

（載荷高 = 5.500 / 2 + 0.075 + 0.170 / 2 = 2.910 m）

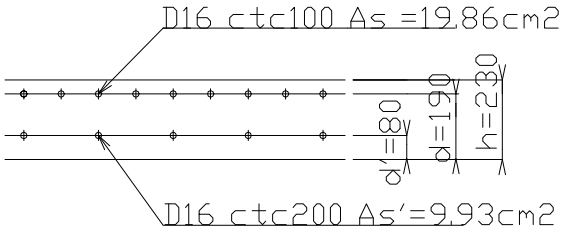
・　断面力の集計

		曲げﾓｰﾒﾝﾄ	割増係数	換算曲げﾓｰﾒﾝﾄ
		M(kN･m)	α	M/α
主鉄筋方向	1.死荷重	-22.46	----	----
	2.活荷重（常時）	-57.64	----	----
	3.活荷重（衝突時）	-57.64	----	----
	4.高欄推力	-12.60	----	----
	5.風荷重（無載荷時）	-48.02	----	----
	6.風荷重（活荷重載荷時）	-24.01	----	----
	7.(1+2)	-80.10	1.00	-80.10
	8.(1+5)	-70.48	1.20	-58.73
	9.(1+2+6)	-104.11	1.25	-83.29
	10.(1+3+4)	-92.70	1.50	-61.80

許容応力度設計法による断面照査…張出床版

３－２．断面計算

（１）無補強の床版の計算　　【許容応力度設計法による計算】



$$x = -\frac{n\,(As + As')}{b} + \sqrt{\left\{n\frac{(As + As')}{b}\right\}^2 + \frac{2n\,(As\,d + As'\,d')}{b}}$$

$$= -\frac{15\,(19.86 + 9.93)}{100} + \sqrt{\left\{\frac{15\,(19.86 + 9.93)}{100}\right\}^2 + \frac{2\times 15\,(19.86\times 19 + 9.930\times 8)}{100}}$$

$$= 8.060 \text{ cm}$$

$$I = \frac{b\,x^3}{3} + n\,As\,(d - x)^2 + n\,As'\,(x - d')^2$$

$$= \frac{100\times 8.06^3}{3} + 15\times 19.86\times(19 - 8.06)^2 + 15\times 9.93\times(8.06 - 8)^2$$

$$= 53108 \text{ cm}^4$$

コンクリートの応力度

$$\sigma c = \frac{M}{I}x = \frac{83.300\times 10^6}{531080000}\times 80.6$$

$$= 12.6 \text{ N/mm}^2 > 10 \text{ N/mm}^2 \quad \text{OUT!}$$

許容応力度は道示の規定による

鉄筋の応力度

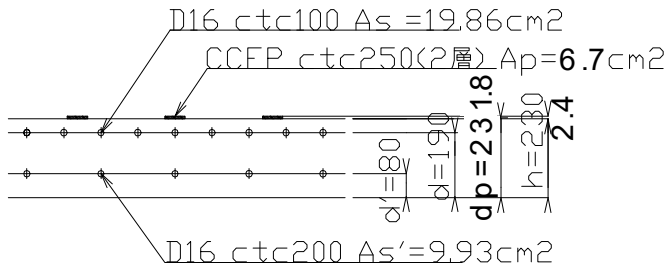
$$\sigma s = n\frac{M}{I}(d - x) = 15\,\frac{83.300\times 10^6}{531080000}\times(190 - 80.6)$$

$$= 257 \text{ N/mm}^2 > 140 \text{ N/mm}^2 \quad \text{OUT!}$$

許容応力度は道示の規定による

カボコン基準設計による断面照査…張出床版

（2）補強断面（炭素繊維集成板2層 ctc 18.0cm）【カボコン基準考設計による計算】



$$x = -\frac{n(As + As') + np \cdot Ap}{b} + \sqrt{\left\{\frac{n(As + As') + np \cdot Ap}{b}\right\}^2 + \frac{2n(As\,d + As'\,d') + 2np\,Ap\,dp}{b}}$$

$$= -\frac{15(19.86 + 9.93) + 15.0 \times 6.7}{100} + \sqrt{\left\{\frac{15(19.86 + 9.93) + 15.0 \times 6.7}{100}\right\}^2 + \frac{2 \times 15(19.86 \times 19.0 + 9.93 \times 8) + 2 \times 15.0 \times 6.7 \times 23.18}{100}}$$

$$= 9.14 \text{ cm}$$

$$I = \frac{b\,x^3}{3} + n\,As\,(d - x)^2 + n\,As'(x - d')^2 + np\,Ap(dp - x)^2$$

$$= \frac{100 \times 9.14^3}{3} + 15 \times 19.86 \times (19.0 - 9.14)^2 + 15 \times 9.93 \times (9.14 - 8.0)^2 + 15.0 \times 6.7 \times (23.18 - 9.14)^2$$

$$= 74418 \text{ cm}^4$$

コンクリートの応力度

$$\sigma c = \frac{M}{I} x = \frac{83.300 \times 10^6}{744180000} \times 91.4$$

$= 10.2$ N/mm^2 ＜ 23 N/mm^2　応力度の上限値は本マニュアルの規定による

鉄筋の応力度

$$\sigma s = n \frac{M}{I}(d - x) = 15 \frac{83.300 \times 10^6}{744180000} \times (190.0 - 91.4)$$

$= 166$ N/mm^2 ＜ 240 N/mm^2　応力度の上限値は本マニュアルの規定による

炭素繊維集成板(CCFP)の応力度

$$\sigma p = np \frac{M}{I}(dp - x) = 15.0 \frac{83.300 \times 10^6}{744180000} \times (231.8 - 91.4)$$

$= 236$ N/mm^2 ＜ 240 N/mm^2　応力度の上限値は本マニュアルの規定による

CABOCON　付－４　施工要領一覧表

施　工　要　領

工程	方法	その他留意事項	使用施工具
①詳細調査	1. 現地調査 目視によるコンクリート被着体の調査 2. 詳細設計及び図面等作成 定着を考慮＋10cm	・ 現地調査によりコンクリートのひびわれ・欠損部の位置、大きさ等を調査する。 ・ コンクリートの表面水分を調べる。10%以下 ・ コンクリート表面の強さを調べる。1.5N/mm^{2}以上	ｸﾗｯｸｹﾞｰｼﾞ 水分計 建研式 引張力試験機
②下地調整	1. サンドブラスト 又はﾃﾞｨｽｸｻﾝﾀﾞｰ掛け 2. 不陸調整 CCFP-CABOCON 貼付け補強部分は、コンクリート表面の不陸調整（5mm 以内）を行い平滑にする。ジャンカ等の不良部分は、穴埋め補修する。	・ ブラスト処理又はサンダー掛けでコンクリート表面を研削し、脆弱部分、油脂分及び付着物を除去する。 ・ 研削で生じた表面の埃等をエアーブロー等で除去する。 ・水で洗浄する場合は、その後十分乾燥させる。 ・ 不陸調整・穴埋めには、断面修復材を使用する。規定の混合比で練り混ぜを行う。 ・鉄筋露出がある場合は、錆の撤去後、防錆剤を塗布、穴埋め補修する。	発電機 ディスクサンダー 防塵マスク 防塵メガネ バキューム クリーナー
③墨出し工	1. 貼付け位置の墨出しする。		
④プライマー塗布	下地処理面 50mm 幅で 0.02kg/m を標準にＥプラーマ-等塗布		刷毛Ｅプライマーまたは E-810L
⑤CCFP-CABOCON の切断	1. 指定された寸法に切断する。	・ ディスクサンダー ダイヤモンドカッター等で CCFP-CABOCON を切断する。	ディスクサンダー ﾀﾞｲﾔﾓﾝﾄﾞｶｯﾀｰ 防塵マスク、 防塵メガネ、 防護手袋
⑥貼付け用接着剤の混合	1. 予備混合 2. 混合	・主剤（A成分）、硬化剤（B成分）をそれぞれの容器の中でよくかき混ぜる。 ・ A成分の容器にB成分を質量比２対１で加え、電動低速ハンドミキサーで空気を巻き込まないよう均質になるまで(約３分間)混合する。 ・ 時間内に使用し得る量を混合する。(20℃60 分) ・可使時間を超えたものは使用しない。	電動低速 ハンドミキサー

工程	方法	その他留意事項	使用施工具
⑦接着剤の塗布	1. コンクリート下地への塗布 2. CCFP-CABOCON への塗布	・ CCFP-CABOCON を貼付けるコンクリート部分に混合した接着剤を約 1㎜ 厚に塗布する。(0.4～0.6kg/m) ・ クリーナーで塗布面を洗浄した CCFP-CABOCON に、へら、コテ、塗布用冶具を用い、接着剤を 1～2㎜ 厚、中央部を厚めに塗布する。	へら コテ 塗布用冶具
⑧CCFP-CABOCON の貼付け	1. CCFP-CABOCON を所定の位置に貼付ける。 2. ローラー等で CCFP-CABOCON をおさえ、CCFP-CABOCON の両側から接着剤がはみ出るまで圧着する。 3. はみ出した接着剤をヘラ等で取り除く。 4. CCFP-CABOCON の表面に付着した接着剤を有機溶剤等でふき取る。	・コンクリート面が湿潤状態の時は十分乾燥させた後に作業を行う。 ・ 空隙が出来ないよう注意する。検査機器で測定し記録を提出する(⑫検査参照)。 ・使用した接着剤の強度をチェックするため、現場で試験片を作成する。	ローラー へら シリコンゴム型
⑨洗浄	1. 作業が終了したら、直ちに施工器具を有機溶剤等で洗浄する。	・石鹸で手や皮膚をよく洗う。	
⑩養生	1. エポキシ樹脂が硬化するまで外力を加えず養生する。	・通常は７日の養生期間をとる。	
⑪次工程への処置	1. 必要に応じて下地処理を施工する。	・CCFP-CABOCON 表面と次工程の仕上げ材の一体性を高める。	
⑫検査 4 章 4.3 参照	1. 下地検査 事前に、貼付け位置付近でコンクリート面の引張り強さを調査する。 2. CCFP-CABOCON 接着面の浮き(空隙)検査 3. 接着部の品質検査 養生終了に接着強度の測定を行う。	・ 建研式引張り試験機を用いて試験を行う。(1.5N/㎟2 以上) ・ 目視および超音波共振測定器を用いて検査を行う。なお、発注者の了解がある場合はパールハンマーで代替することができる。 ・ 引張りせん断接着強さの供試体を予め作成しておき、養生後に接着強さを測定する。(1.5N/㎟2 以上)	建研式 引張り試験機 超音波共振測定器 パールハンマー

CABOCON　付－５　カボコン施工・管理要員制度

カボコン工法研究会では、「カボコン施工・管理要員制度」を設け、「施工・管理要員制度委員会（以下、委員会という。）」で管掌している。

カボコン施工・管理要員制度では「施工管理士」、「主任技能者」ならびに「技能者」を定めている。

1. 施工管理士

（１）施工管理士は、カボコン工事の管理能力を有すると委員会が認証した者とする。

（２）施工管理士は、担当するカボコン工事の施工について、高品質並びに安全作業等の施工管理全般に責任を負う。

（３）施工管理士は、工事ごとに実績のある技能者の中から主任技能者を選任し、当該現場を統括させる。

（４）施工管理士は、新規に施工を行う作業員に対し技能者教育を行い、技能者として委員会に登録する。

（５）施工管理士の氏名は、カボコン工法研究会が、定期的に発行する施工実績集に、工事名などと共に記録、公表される。

2. 主任技能者

（１）主任技能者は、工事ごとに施工管理士から選任された者とする。

（２）主任技能者は、施工現場に常駐し、作業を統括する。

（３）実績の少ない技能者がいる場合、主任技能者は、その者を指導する。

3. 技能者

（１）技能者は、施工管理士による教育を受け、技能者として委員会に登録された者とする。

（２）実績の少ない技能者は、主任技能者の指導の下で作業に従事する。

CABOCON　付－６　施工写真

1. 梁 ・ スラブ下面への施工

付・図 6-1-1
下　地　処　理

付・図 6-1-2
CCFP-CABOCON への接着剤塗布

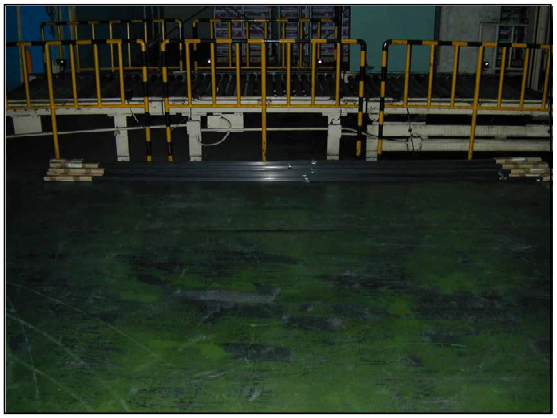
付・図 6-1-3
CCFP-CABOCON をローラーにて圧着

付・図 6-1-4
床版下の補強完了

付・図 6-1-5
梁下の補強完了

2. 倉庫スラブ上面への施工

付・図 6-2-1
施　工　前

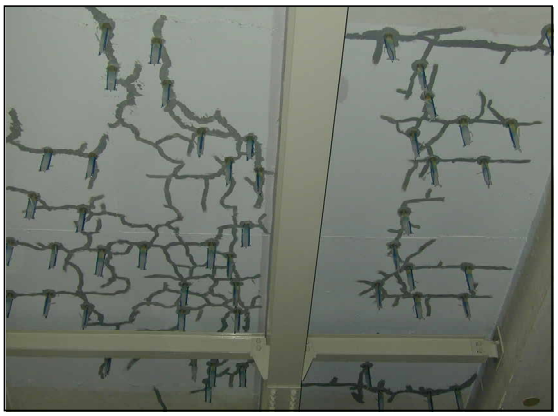


付・図 6-2-2
床仕上材の撤去

付・図 6-2-3
下　地　処　理

付・図 6-2-4
プライマー塗布

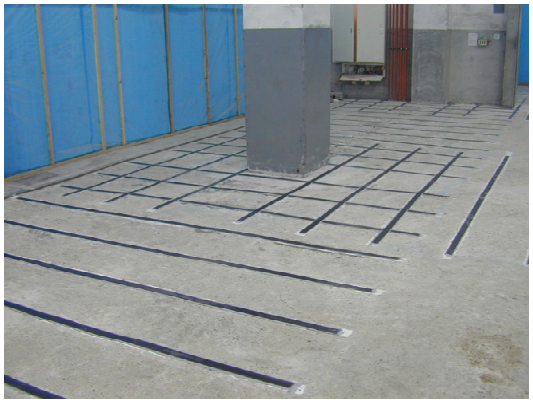
付・図 6-2-5
床下面への樹脂注入



付・図 6-2-6
CCFP-CABOCON の接着状況

付・図 6-2-7
ローラーによる圧着

付・図 6-2-8
CCFP-CABOCON 端部の定着



付・図 6-2-9
CCFP-CABOCON の接着完了

付・図 6-2-10
仕上げ材を施し完成引き渡し

CABOCON　付－７　カボコン工法の施工実績

付・表 7-1　カボコン工法施工実績一覧表

番号	工　事　名	発注者	補　強 対　象	施工 延長 (m)	施　工　年 月	備考
1	下水道災害復旧（人孔補修）工事	西宮市	人孔ﾌﾞﾛｯｸの補強	10	H8.1	
2	下水度災害復旧(高座川改修)工事	西宮市	水路擁壁部の補強	80	H8.2	
3	河川災害復旧（荒戎川その１）工事	西宮市	ｶﾙﾊﾞｰﾄﾎﾞｯｸｽの補強	220	H9.3	
4	北陸自動車道日野川橋下面補修工事	日本道路公団 北陸支社 福井管理事務所	RC 床版 下面ｸﾗｯｸ進行抑制	60	H9.11	
5	県単）橋梁維持修繕工事	福井県 大野土木事務所	RC 床版の補強	160	H10.10	
6	東名高速道路 第１鉢地川橋桁補強工事	日本道路公団 名古屋管理局 豊川管理事務所	PC 桁端 部の補強	72	H11.2	
7	西名阪自動車道馬司橋主桁補強工事	日本道路公団 大阪管理局南大阪管理事務所	PC 桁端部補強	12	H11.3	
8	東名高速道路 白川避溢橋桁補強工事	日本道路公団 名古屋管理局 豊川管理事務所	PC 桁端部の補強	340	H12.2	
9	桜の目橋橋梁補修工事	宮城県 古川土木事務所	鋼橋横桁の補強	3444	H14.3	
10	三洋電機住道倉庫 206 号棟床補強工事　第１期工事	三洋電機㈱	倉庫ｽﾗﾌﾞ補強	3180	H14.9	
11	コンクリート桁補修工事	阪神高速道路公団	ｺﾝｸﾘｰﾄ横桁の補強	53	H14.10	
12	三洋電機住道倉庫 206 号棟床補強工事　第２期工事	三洋電機㈱	倉庫ｽﾗﾌﾞ補強	6183	H14.9	
13	三洋電機住道 302 号棟床補強工事	三洋電機㈱	製造ﾗｲﾝｽﾗﾌﾞ補強	1797	H15.12	
14	太師ボウル２Ｆ床補強工事	㈱松慶	２Ｆｽﾗﾌﾞ補強	342	H16.1	
15	Ｉ邸車庫補強工事	民間（個人）	車庫天井の補強	140	H16.2	
16	高橋補強工事	山形県白鷹町	ｺﾝｸﾘｰﾄ橋の補強	887	H16.3	

17	小谷木橋補強工事	岩手県水沢町	ｺﾝｸﾘｰﾄ橋ｹﾞﾙﾊﾞｰ部の補強	22	H16.4	
18	木村アルミ倉庫床補強工事	木村アルミ㈱	商品倉庫ｽﾗﾌﾞの補強	180	H16.6	
19	災害緊急復旧工事大用知橋補修工事	徳島県	災害復旧工事	100	H16.9	
20	中津川浄水場浄水場構造物耐震修繕工事	岐阜県 東濃用水道事務所	浄水場管廊の耐震補強	907	H16.10	高弾性ﾀｲﾌﾟ使用
21	24 号嵯峨谷橋耐震補強工事	国土交通省 近畿地方整備局 和歌山河川国道事務所	RCT ｹﾞﾙﾊﾞｰ橋主桁補強他	547	H17.2	
22	K ﾏﾝｼｮﾝ改築工事	民間	用途変更に伴うｽﾗﾌﾞ補強	86	H17.6	
23	港北 NT ｼﾝﾌｫﾆｯｸﾋﾙｽﾞ人工地盤改修工事	都市再生機構 神奈川地域支社	ﾏﾝｼｮﾝ駐車場の梁補強	1430	H17.6	
24	K 邸梁補強工事	民間	長ｽﾊﾟﾝの木造梁補強	6	H17.6	
25	大学実験棟梁補強	某大学	劣化した梁の補強	30	H17.7	
26	奥白滝・上白滝間上三湧別川 B 橋修繕	JR 北海道	橋脚補強	17	H17.9	
27	元村恵山線第 7 号橋外架替工事	函館土木現場所	橋梁補強	35	H17.10	
28	端の川 1 号橋改修工事	上磯町役場	橋梁補強	87	H17.10	
29	特定交通安全施設等整備工事（交差点改良）日開谷橋	徳島県 川島土木事務所	張出床版・主桁補強	2020	H18.2	
30	土讃線･阿波池田西井川こ線橋外 3 耐震補強(日和佐跨線橋)	JR 四国	張出床版補強	50	H18.3	
31	H17 川土鳴門池田線阿波･伊沢下伊沢谷橋橋梁工事	徳島県 川島土木事務所	PC 桁主桁補強	180	H18.3	
32	鵡川沙流川維持工事の内管理施設設置工事	室蘭開発建設部 苫小牧河川事務所	上載荷重増加に伴うｽﾗﾌﾞ補強	9	H18.3	

33	平成 17 年度県単道路特殊改良工事（弁天橋）	長野県 飯田建設事務所	橋梁の主桁補強	90	H18.3	
34	美深 3 線・恩根内 25 線樋門門柱補強工事	旭川開発建設部 名寄川河川事務所	上載荷重増加に伴うｽﾗﾌﾞ補強	81	H18.5	
35	美濃田大橋 床版補強工事	徳島県 池田土木事務所	吊橋 RC 床版の補強	633	H18.8	
36	平成 18 年度池田管内防護柵更新工事(6 橋)	国土交通省 四国地方整備局 徳島河川国道事務所	張出床版補強	880	H19.2	
37	平成 18 年度徳島管内防護柵更新工事(2 橋)	国土交通省 四国地方整備局 徳島河川国道事務所	張出床版補強	750	H19.2	
38	ｼﾞｬﾊﾟﾝｴﾅｼﾞｰ DC 装置 CD 基礎補強工事	鹿島（株）	ｺｰｸｽ架台の補強	2720	H19.2	
39	平成 19 年度池田管内防護柵更新工事(山小谷橋)	国土交通省 四国地方整備局 徳島河川国道事務所	張出床版補強	50	H19.10	
40	平成 19 年度日和佐管内防護柵更新工事(東鉦打橋)	国土交通省 四国地方整備局 徳島河川国道事務所	張出床版補強	80	H20.1	
41	H19 鳴土鳴門公園線鳴・鳴門土佐泊浦　橋梁修繕工事(網干島橋)	徳島県 鳴門土木事務所	張出床版補強	125	H20.1	
42	平成 19 年度 地方道路整備臨時交付金事業中分中央線（中分橋）	徳島県 上勝町役場	RC 床版補強	30	H20.3	

CABOCN　付－８

土木構造への適用に関する研究成果一覧

付・表 8-1　学会等発表一覧

参考	論　　文	研 究 者	学　　会　　名	年　度
1	炭素繊維強化樹脂板（カーボン板）による鋼橋補強の事例	板垣一也 渡邉憲市 鈴木博之	社団法人　日本鋼構造協会 【第8回　鋼構造物の補修・補強技術報告会】	平成14年6月
2	炭素繊維強化樹脂板を接着した圧縮鋼板の極限強度解析	宇井　崇 汐待公二朗 西村宣男 鈴木博之	日本学術会議ﾒｶﾆｸｽ・構造研究連絡委員会 構造工学専門委員会 社団法人　土木学会 社団法人　日本建築学会 【構造工学論文集】	平成14年3月
3	炭素繊維強化樹脂板により補強された既設鋼製橋脚の 繰返し載荷試験	永崎央輔 鈴木博之 西村宣男 袴田文雄	社団法人　土木学会 【土木学会第56回年次学術講演会】	平成13年10月
4	炭素繊維強化樹脂板を接着した圧縮鋼板の座屈解析	汐待公二朗 宇井　崇 西村宣男 鈴木博之	社団法人　土木学会 【土木学会第56回年次学術講演会】	平成13年10月
5	炭素繊維強化樹脂板で強化されたひび割れを有する RC床版の載荷試験	平城弘一 原田廣美 鈴木廣治 弓倉啓右 西川朝彦 松尾　勉	社団法人　土木学会　関西支部 【平成13年度　関西支部年次学術講演概要】	平成13年6月
6	CFRP板により補強された鋼製梁の力学的特性	松田大伸 鈴木博之	社団法人　土木学会　関東支部 【第28回関東支部技術研究発表会】	平成13年3月
7	き裂を有する材の炭素繊維強化樹脂板による補強	鈴木博之 永崎央輔 遠藤勇一 池田圭一	社団法人　日本鋼構造協会 【鋼構造年次論文報告集　第8巻】	平成12年11月
8	炭素繊維強化樹脂板による鋼橋の補強	渡邉憲市 板垣一也 鈴木博之	社団法人　日本鋼構造協会 【鋼構造年次論文報告集　第8巻】	平成12年11月
9	炭素繊維強化樹脂板で補強されたき裂を有する 部材の引張試験	永崎央輔 遠藤勇一 鈴木博之 池田圭一	社団法人　土木学会 【土木学会第55回年次学術講演会】	平成12年9月
10	炭素繊維強化樹脂板（カーボン板）による鋼橋の補強	佐々木克尚 板垣一也 渡邉憲市 鈴木博之	社団法人　土木学会 【土木学会第55回年次学術講演会】	平成12年9月

参考	論　　文	研 究 者	学　　会　　名	年　度
11	炭素繊維強化樹脂板を接着した圧縮鋼板の座屈解析	永崎央輔 鈴木博之 西村宣男 袴田文雄	社団法人　土木学会 【土木学会第55回年次学術講演会】	平成12年9月
12	既設鋼製橋脚の炭素繊維強化樹脂板による耐震補強	汐待公二朗 宇井　崇 西村宣男 鈴木博之	社団法人　土木学会 【土木学会第55回年次学術講演会】	平成12年9月
13	カーボン板で補強された鋼部材の曲げ試験	大澤幸男 鈴木博之 池田圭一	社団法人　土木学会　関東支部 【第27回　関東支部技術研究発表会】	平成12年3月
14	き裂を有する部材の炭素繊維強化樹脂板による 補強に関する基礎的研究	遠藤勇一 鈴木博之 池田圭一	社団法人　土木学会　関東支部 【第27回　関東支部技術研究発表会】	平成12年3月
15	既設鋼製橋脚の炭素繊維強化樹脂板による耐震補強	菊地健治 鈴木博之 西村宣男 袴田文雄	社団法人　土木学会　関東支部 【第27回　関東支部技術研究発表会】	平成12年3月
16	切欠きを有する材の炭素繊維強化樹脂板による補強	鈴木博之 井東恵美 袴田文雄	社団法人　日本鋼構造協会 【鋼構造年次論文報告集　第7巻】	平成11年11月
17	炭素繊維強化樹脂板を用いた切欠き材の補強に関する 基礎的研究	井東恵美 鈴木博之 袴田文雄	社団法人　土木学会 【土木学会第54回年次学術講演会】	平成11年9月
18	既設鋼製橋脚の炭素繊維強化樹脂板による耐震補強	鈴木博之 西村宣男 袴田文雄	社団法人　土木学会 【土木学会第54回年次学術講演会】	平成11年9月
19	CFRP板接着による鋼製パネルと変形能の改善に関する 基礎的研究	宇井　崇 汐待公二朗 西村宣男	社団法人　土木学会 【第4回　鋼構造物の非線形数値解析と 耐震設計への応用に関する論文集】	
20	カーボン板によるコンクリート梁の補強に関する実験的考察	鈴木博之 西川朝彦 真鍋育弘 土屋好男	社団法人　土木学会 【土木学会第52回年次学術講演会】	平成9年9月
21	カーボン板で補強されたコンクリート梁の曲げ試験	鈴木博之 西川朝彦 真鍋育弘 土屋好男	社団法人　土木学会　関西支部 【平成9年度　関西支部年次学術講演概要】	平成9年5月