

連続繊維補強材を用いたコンクリート構造物
設計・施工マニュアル（案）
（6 訂 版）

2015 年 6 月

建設用先端複合材技術協会（A C C）

目 次

第1章 総則	1
1.1 適用の範囲	1
1.2 用語の定義	1
1.3 設計計算の基本	2
1.4 設計の前提となる施工の条件	3
1.5 設計図等に記載すべき事項	3
第2章 設計の基本	4
2.1 設計一般	4
2.2 設計計算に用いる荷重の組合せ	5
2.3 荷重に対する安全性等の照査	6
第3章 使用材料	7
3.1 連続繊維補強材	7
3.1.1 CFCC工法	9
3.1.2 リードライン工法	10
3.1.3 NACCストランド工法	11
3.1.4 FiBRA工法	12
3.1.5 テクノーラ工法	13
3.1.6 ネフマック工法	14
3.2 定着具	15
3.2.1 CFCC工法	16
3.2.2 NACCストランド工法	18
3.2.3 FiBRA工法	21
3.2.4 テクノーラ工法	24
3.3 コンクリート	26
3.4 連続繊維補強材の設計基準値	27
3.5 シース	29
3.6 PCグラウト	30
第4章 許容応力度	31
4.1 一般	31
4.2 コンクリートの許容応力度	32
4.3 補強筋の許容応力度	36
4.3.1 連続繊維補強筋の許容応力度	36
4.3.2 鉄筋の許容応力度	37
4.4 緊張材の許容応力度	38
4.4.1 連続繊維緊張材の許容応力度	38

4.4.2 PC鋼材の許容応力度	38
第5章 部材の照査	39
5.1 総則	39
5.2 曲げモーメント又は軸方向力が作用する部材の照査	40
5.2.1 一般	40
5.2.2 有効断面	40
5.2.3 設計荷重作用時の照査	42
5.2.4 許容ひび割れ幅	42
5.2.5 曲げひび割れの検討	43
5.2.6 終局荷重作用時の照査	44
5.3 せん断力が作用する部材の照査	46
5.3.1 一般	46
5.3.2 有効断面	47
5.3.3 設計荷重作用時の照査	47
5.3.4 終局荷重作用時の照査	49
5.4 ねじりモーメントが作用する部材の照査	56
5.5 鉄筋とコンクリートとの付着に関する照査	56
5.6 押抜きせん断に関する照査	57
第6章 耐久性の検討	58
6.1 一般	58
6.2 塩害に対する検討	58
第7章 構造細目	61
7.1 適用の範囲	61
7.2 一般	61
7.3 形状および部材寸法	61
7.4 最小補強筋量	62
7.5 プレストレストコンクリート構造の引張補強筋	62
7.6 連続繊維補強材の配置	63
7.6.1 連続繊維補強材のかぶり	63
7.6.2 連続繊維補強材のあき	64
7.6.3 連続繊維補強筋の定着	64
7.6.4 フックおよび曲げ形状	65
7.6.5 連続繊維補強筋の継手	66
7.6.6 連続繊維緊張材の配置	67
7.6.7 連続繊維緊張材の定着	71
7.6.8 定着具付近の補強	73
7.6.9 スターラップおよび折曲げ補強筋の配置	73
7.6.10 ねじりモーメントに対する補強筋の配置	74

第8章 施工	75
8.1 適用の範囲	75
8.2 施工一般	75
8.3 施工要領書	75
8.4 材料	75
8.4.1 一般	75
8.4.2 コンクリート	76
8.4.3 連続繊維補強材	76
8.4.4 シース	77
8.4.5 連続繊維緊張材の定着具及び接続具	77
8.4.6 グラウト	77
8.4.7 接着剤	78
8.4.8 貯蔵	78
8.5 レディーミクストコンクリート	78
8.6 コンクリート工	79
8.7 連続繊維補強筋の加工、配筋、および継手	80
8.8 連続繊維緊張材の配置および緊張工	81
8.9 グラウトの施工	83

はじめに

本マニュアル(案)は、従来のPC鋼材あるいは鉄筋の代わりに連続繊維補強材を用いるコンクリート構造物の設計・施工ガイドラインである。使用にあたっては、連続繊維とPC鋼材との併用、連続繊維と鉄筋との併用も可能であり、建設用先端複合材料技術協会（略称：ACC）の責任においてまとめたものである。

従来、コンクリート構造物は高耐久性を有しておりメンテナンスフリーといわれていた。しかし、近年、コンクリート構造物における中性化、塩化物イオンの侵入にともなう鋼材の腐食がコンクリートの耐久性を損なうのとして社会的に注目を集めており、コンクリート構造物の維持管理費の増大が懸念され始めている。

一方、1970年代に高強度、高耐久性、軽量、非磁性などの優れた特徴をもつ材料として連続繊維補強材が着目されコンクリート構造物に適用する研究が行われてきた。これまでに土木学会から設計・施工指針類が発刊されており、適用にあたっては技術的に十分環境が整備されてきたといえる。しかし今日まで、連続繊維補強材は厳しい環境条件に耐えうる反面、鋼材に比較して高い材料費が建設コストに跳ね返り、初期建設費を主体とした評価では、その採用が困難であった。

しかし、近年、100年を目安とする構造物の長寿命化がいわれるようになり、初期建設費だけでなく、維持管理費まで含めたライフサイクルコスト(以下LCC)の評価が取り入れられようとしている。このような情勢のなか、連続繊維補強材はもともと高耐久性を有しており、LCCの観点からは今後採用の可能性が増加するものと予想される。

6訂版の主な改訂点は以下のとおりである。

- (1) 平成24年の道路橋示方書の書式に準拠し、使いやすくしたこと。
- (2) 示方書の改訂に伴い、各許容応力度を見直したこと。
- (3) 使用材料として生産されていない製品を削除したこと。

尚、本マニュアルは連続繊維補強材に関わる点を除き、それ以外は日本道路協会発行の「道路橋示方書・同解説」（平成14年版）のⅠ共通編および、Ⅲコンクリート橋編に準拠している点に注目していただきたい。

ACCでは、初版は平成4年3月に「新素材研究会」が作成した原案を内部資料として発表して以来、基準改訂のたびにマニュアルを出版してきた。このたび「道路橋示方書」が改訂されたことを受けて、6訂版を発刊する運びとなった。

今後とも連続繊維補強材を用いたコンクリート構造物の発展に本マニュアルが活用されるように祈念してやまない。

第1章 総 則

1.1 適用の範囲

このマニュアルは、連続繊維補強材を緊張材および補強筋として用いたコンクリート構造物に適用する。

このマニュアルが対象とする構造は、従来使用しているPC鋼材および鉄筋の一部もしくは全てを軽量で耐久性に優れた連続繊維補強材へ替えて適用するPC構造またはRC構造である。マニュアルでは主に連続繊維補強材の適用に関して記述しているが、その他の事項については、日本道路協会「道路橋示方書Ⅲコンクリート橋編」に従うこととする。

なお、連続繊維補強材で補強したコンクリート部材のねじりに関する知見は、未だ十分ではない。したがって、部材に対するねじりの影響を無視できない構造については別途検討を行うものとする。

1.2 用語の定義

このマニュアルで用いる用語の定義は次のとおりとする。

- ①連続繊維補強材……連続繊維に繊維結合材を含浸させ、硬化させて成形し、コンクリートを補強する目的で使用する一方向強化材や連続繊維のみを束ねたもの。
- ②連続繊維緊張材……連続繊維補強材のうち、コンクリートにプレストレスを与える緊張材として使用するもの。棒状やストランド状のことが多い。
- ③連続繊維補強筋……連続繊維補強材のうち、連続繊維緊張材以外のもの。
- ④連続繊維補強材の公称断面積……連続繊維補強材の体積を長さで除した値。
- ⑤連続繊維補強材の有効断面積……連続繊維補強材の応力計算用の断面積。
- ⑥連続繊維補強材の有効ヤング係数……連続繊維補強材の引張剛性を有効断面積で除した値。
- ⑦連続繊維補強材の設計引張荷重……定められた試験方法による連続繊維補強材の耐力の試験値のばらつきを考慮した上で、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。
- ⑧連続繊維緊張材の見かけのリラクセーション率……一定のひずみを保持した状態で時間の経過とともに応力が減少する現象に、コンクリートの乾燥収縮およびクリープなどによる影響を考慮した連続繊維緊張材引張力の減少量を、最初に与えた連続繊維緊張材引張力に対する百分率で表した値。
- ⑨連続繊維補強材の設計基準強度……連続繊維補強材の設計引張荷重を有効断面積で除した値。
- ⑩クリープ破壊耐力……連続繊維補強材に静的な引張荷重が持続して作用した場合、静的耐力以下で破断する現象をクリープ破壊といい、そのときの耐力。
- ⑪PC構造(プレストレスコンクリート構造)……プレストレスを導入して補強されたコンクリート構造。
- ⑫RC構造……補強材で補強されたコンクリート構造。

- ① 一般に、連続繊維補強材は、多数本の連続繊維を樹脂などの結合材を含浸させ、硬化させて成形したものであり、用いられる繊維の種類、繊維量、断面形状、表面状態によって、物理的性質が異なっている。

用いられる繊維としては、炭素繊維、アラミド繊維などがある。

炭素繊維は、高分子繊維のポリアクリルニトリルを原料とするもの(PAN系)と石炭・石油ピッチを原料とするもの(ピッチ系)の2種類がある。

アラミド繊維は、芳香族ポリアミド・(Aromatic Polyamide)繊維の略称であり、その素材として、パラ結合によるもの(PPTA)とパラ結合に一部メタ結合を含むものの2種類がある。ここでは両者ともパラ系アラミドと総称している。

結合材としては、多くはエポキシ樹脂やビニルエステル樹脂などが用いられている。

断面および表面形状としては、直線的で円形または板状のもの、より線状や組み紐状のもの、あるいはその表面に繊維を巻き付けたものなどがある。

ここで対象とする連続繊維補強材は、コンクリート構造の補強用に鉄筋およびPC鋼材の代替品として開発された連続繊維補強材とし、設計に必要な特性値に関して基本的なデータを有しているものとする。

- ② PC鋼材の代替品として配置する。

- ③ 鉄筋の代替品として配置する。

- ⑥ 各素材メーカーの保証引張荷重は、土木学会基準「JSCE-E-131-1995連続繊維補強材の品質規格(案)」によるものとし、製造期間における製品の引張試験結果の(平均値 -3σ)の値を上回らないこととする。

1.3 設計計算の基本

- (1) 設計計算の精度は、設計条件等の精度を十分把握したうえで、適切に定めなければならない。設計計算は、最終段階で有効数字3けたが得られるように行うのがよい。
- (2) 設計計算にあたっては、荷重状態に応じた部材の材料特性、構造の幾何学特性、支持条件等を適切に評価できる解析理論および解析モデルを用いなければならない。

- (1) 荷重条件、材料の設計基準値、設計計算の基本となる諸方法等に誤差が含まれていないという前提で、断面算定の最終段階で照査の対象となる数値の有効数字を3けたまで確保すればよいとの趣旨である。なお、コンクリートの応力度は曲げ応力度で 0.1N/mm^2 、せん断応力度で 0.01N/mm^2 、鋼材の応力度で 1N/mm^2 の単位まで算出すればよい。
- (2) 解析理論は、材料の非線形特性を考慮するか否かで弾性理論と非弾性理論とに、変形による二次的効果を考慮するか否かで微小変形理論と有限変形理論とに区別される。例えば線形解析は弾性微小変形理論に基づく解析である。構造解析においては、構造部材の材料的特性(応力度-ひずみ関係、クリープ・乾燥収縮、材料強度)、照査の対象とする荷重強度(設計荷重作用時、終局荷重作用時)、けた構造や吊構造、アーチ構造といった構造形式等に応じて適切な解析理論を用いて構造解析を行わなければならない。また、構造解析に用いる解析モデルは、橋の形状等に応じ、一般に、はりや柱等の棒部材、スラブやシェル等の板部材およびこれらの接合状態、構造系外部からの支持条件からなる単純化した構造解析モデルを選定してよい。

1.4 設計の前提となる施工の条件

- (1) コンクリート構造物の設計にあたっては、施工の条件を適切に考慮しなければならない。
- (2) 7章までの規定の適用にあたっては、8章の規定が満足されることを前提とする。したがって、実際の施工の条件が8章によりがたい場合には、それを設計において考慮しなければならない。

(1) コンクリート構造物は、その施工が安全性、耐久性等を大きく左右するため、設計にあたっては8章に規定する施工の条件を満足し、さらに施工のしやすさに配慮することが重要である。8章に規定する施工の条件が満たされない場合は、試験等を別途行い、7章までの規定によった場合と同等以上の安全度が確保されるように構造物を設計しなければならない。

1.5 設計図等に記載する事項

設計図等には、施工および維持管理に必要な事項を記載しなければならない。

設計図および設計計算書には、下記の項目を記載するとよい。

1) 施工に関する事項

- ① 施工方法
- ② 設計計算書

プレストレストコンクリート構造物では、施工の各段階において構造形式が異なる場合が多く、それぞれの状態における部材の安全性を確認することが必要であり、施工者がこれを十分理解できるように設計計算書を作成する必要がある。

- ③ 連続繊維補強材、鋼材の配置、あき、かぶり
- ④ 連続繊維補強材、鋼材の材質、種類
- ⑤ コンクリートの品質

コンクリートの品質には、セメントの種類、配合、設計基準強度、スランプ、最大骨材寸法、空気量等がある。

- ⑥ コンクリートの打継目位置、処理方法

コンクリートの打継目位置、処理方法は、強度および耐久性に影響するため、可能な限り記載することが望ましい。

- ⑦ シースの材質、径
- ⑧ 連続繊維補強材、鉄筋の継手方法、継手位置
- ⑨ プレストレスリングの計算の仮定および結果
- ⑩ その他

PCグラウトの注入口、排出口、排気口等のグラウト注入に関する事項を記載することが望ましい。

- 2) 設計の前提とした施工の条件施工における設計上の前提条件であり、施工において満足しなければならない事項等を記載する。
- 3) 設計で考慮した維持管理に関する事項、維持管理にあたり設計で配慮した事項、想定した将来の維持管理条件等を記載する。

第2章 設計の基本

2.1 設計一般

- (1) 使用目的との適合性および構造物の安全性の照査は、2.2に規定する荷重の組合せを用いて、2.3の規定により行うものとする。
- (2) 耐久性の検討は、6章の規定により行うものとする。

(1)は構造設計による要求性能の確保について規定したものであり、(2)は耐久性を確保するために規定したものである。2.1に規定する要求性能のうち施工の確実性、安全性、維持管理の容易さ、環境との調和および経済性については、構造設計、耐久性の検討をおこなう際に常に念頭におくものとし、いくつかの構造設計をおこなって比較する等して最適なものとなるよう検討しなければならない。

- (1) 通行者が安全かつ快適に使用できる供用性を確保するためには、供用性を害するような過大な変形を生じないことおよび通行者に不快感を与えるような振動を生じないことが要求される。また構造物の安全性を確保するためには、断面の破壊によって耐荷能力が失われることを避けなければならない。

構造設計とはこうした要求を満足するために、設計計算を行うことにより最適な構造諸元を決定する作業であり、コンクリート構造物の構造設計においては、次のような2種類の照査を行うものとした。

- 1) 供用性を低下させないことおよびこのための構造物の安全性を確保することに関しては、設計で想定する期間にたびたび作用すると考えられる設計荷重によって構造物の各部材に生じる応力が部材の安全を確保できるレベルに留まること、ひび割れが有害なものとならないことを照査するものとした。なお、2.3に解説するが、コンクリート構造物では変形や振動に関する照査は一般に応力照査に含まれていると考えてよい。
 - 2) 破壊に対する構造物の安全性を確保するために、設計で想定する期間に作用することはまれであるが、設計荷重よりも大きな終局荷重によって橋の各部材に生じる断面力よりも、部材の破壊に対する耐力の方が大きいことを照査するものとした。
 - 3) 地震の影響の検討、すなわち、地震の影響に対する応答値の算出や部材の照査は、日本道路協会「道路橋示方書Ⅴ耐震設計編」の規定によるものとする。ただし、レベル1地震動に対する耐震性能1の照査は、本編の規定によるものとする。
- (2) コンクリート構造物における耐久性確保について記述したものであり、6章に基づき検討を行わなければならない。

2.2 設計計算に用いる荷重の組合せ

- (1) 設計計算に用いる荷重は、(2)および(3)とする。
- (2) 設計荷重作用時の荷重の組合せは、表-2.2.1の荷重の組合せのうち、最も不利となる条件を考慮して行うものとする。
- (3) 終局荷重作用時の荷重の組合せは、次のとおりとする。
- (a) $1.3 \times (\text{死荷重}) + 2.5 \times (\text{活荷重} + \text{衝撃})$
- (b) $1.0 \times (\text{死荷重}) + 2.5 \times (\text{活荷重} + \text{衝撃})$
- (c) $1.7 \times (\text{死荷重} + \text{活荷重} + \text{衝撃})$

表-2.2.1 荷重の組合せ

荷重の組合せ	
上部 構造	1.主荷重(P)+主荷重に相当する特殊荷重(PP)
	2.主荷重(P)+主荷重に相当する特殊荷重(PP)+温度変化の影響(T)
	3.主荷重(P)+主荷重に相当する特殊荷重(PP)+風荷重(W)
	4.主荷重(P)+主荷重に相当する特殊荷重(PP)+温度変化の影響(T)+風荷重(W)
	5.主荷重(P)+主荷重に相当する特殊荷重(PP)+制動荷重(BK)
	6.主荷重(P)+主荷重に相当する特殊荷重(PP)+衝突荷重(CO)
	7.活荷重および衝撃以外の主荷重+地震の影響(EQ)
	8.風荷重(W)
	9.制動荷重(BK)
	10.施工時荷重(ER)

- (1) 設計計算に用いる荷重の組合せは設計荷重作用時および終局荷重作用時とした。ただし、斜張橋等の活荷重や風荷重等による影響が大きく、疲労による影響が考えられるときは、照査用の荷重等を適切に考慮することが望ましい。
- (2) 設計荷重作用時には、表-2.2.1の荷重の組合せについて部材断面の応力度の照査を行わなければならない。

また、この条は、同時に作用する可能性が強い荷重の組合せのうち、構造物および各部材に不利な影響を与える組合せを示したものである。

これらの組合せではそれぞれ発生頻度や構造物および各部材に与える影響度が異なるので、この示方書では荷重の各組合せに応じて異なった許容応力度の割増し係数を規定している。

橋の設計に際してはこの条に示す荷重の各組合せに対する応力度がその組合せにおける許容応力度をこえないようにしなければならない。

なお、プレストレストコンクリート部材の、プレストレス(PS)の算出は、プレストレッシング直後のプレストレスカおよび有効プレストレスカの2種類を考慮しなければならない。

- (3) 終局荷重作用時における荷重に乗じる係数と組合せについて規定したものである。ここで、地震の影響については、レベル2地震動に対する耐震性能の照査を耐震設計で行うことから、終局荷重作用時の荷重組合せとしては考慮していない。

荷重に乗じる係数については、各荷重のばらつき、施工精度のばらつき等を考慮して、確率論的に定められるべき数値である。しかし、現在の段階では、すべての荷重について、合理的な係数を与える程十分な資料が得られていないので、従来と同様な値を用いることにした。なお、プレストレストコンクリートの不静定構造においては、プレストレスカおよびコンクリートのクリープや乾燥収縮により不静定力が一般に生じるため、終局荷重作用時の照査においてこれを考慮する必要がある。その場合、終局荷重作用時の荷重の組合せにおいて、係数を1.0としてこれらの不静定力を加えるものとする。

2.3 荷重に対する安全性等の照査

- (1) 構造物の安全性等を確保するために強度、変形および安定を照査しなければならない。
- (2) (1)を照査するにあたっては、設計荷重作用時に部材に発生する応力度が4章に規定する許容応力度以下であることを照査しなければならない。
- (3) (1)を照査するにあたっては、終局荷重作用時に部材に発生する断面力が耐力以下であることを照査しなければならない。
- (4) (2)および(3)で規定する照査によるほか、5章以降の規定にしたがって安全性等の照査を行う場合には、基本的事項については(1)を満足するとみなしてよい。

- (2) 設計荷重作用時に部材断面に生じる応力度を許容応力度以下とすることにより、RC構造においては過大なひび割れを防ぎ、PC構造においてはひび割れが発生しないように設計することができる。そこで、曲げモーメント、軸方向力、せん断力、ねじりモーメントといった断面力に対して、設計荷重作用時には2.2(2)項に規定する荷重組合せにより部材断面に生じる連続繊維補強材や鉄筋およびコンクリートの応力度が許容応力度以下であることを照査することとしている。
- (3) 終局荷重作用時には2.2(3)項に規定する荷重組合せにより部材断面に作用する設計断面力が断面耐力以下であることを照査することにより、部材の曲げ破壊、せん断破壊、コンクリートの圧壊を防ぎ、構造物の安全性を照査することができる。そこで、コンクリート構造物においては、(2)に加えて終局荷重作用時の照査を行うこととしており、5章の部材の照査で記述している。
- (4) 本編では、コンクリート構造物の設計における基本的な事項について記載しており、このマニュアルに規定していない事項については、必要に応じて関連する技術基準等を参考に検討することが望ましい。

また、本編の規定では、活荷重等による疲労および振動の照査を直接的には行っていない。このうち、疲労については、コンクリート道路橋のような低応力振幅で多繰返し回数を受ける場合の材料の疲労強度に関して十分な知見が得られていないものの、許容応力度は疲労についてもある程度配慮されており、さらにコンクリート道路橋では疲労が問題となった事例は少ない。また、振動についても、現時点では振動を照査する適切な活荷重モデル、維持管理上目標とする路面性状および許容される振動レベルが規定されていないものの、許容応力度を満足するコンクリート橋で振動が問題となった事例は報告されていない。以上のことから、本編の規定にしたがって照査した場合は、これらの疲労および振動の照査を行ったものとしてよいこととした。

なお、風に起因する振動に対する照査は、「道路橋耐風設計便覧」(日本道路協会)により検討を行うものとする。

第3章 使用材料

3.1 連続繊維補強材

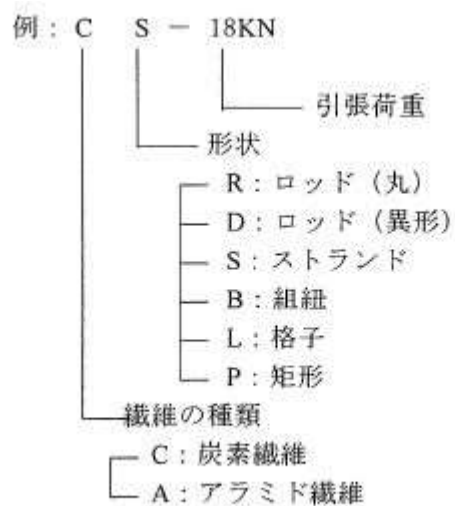
緊張材および補強筋に用いる連続繊維補強材は、材料の引張特性、温度特性および耐久性等が確認されていない。

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）」（以下、「土木学会 FRP 指針案」と略称する）施工編 2.3 参照

表-3.1.1 に示す連続繊維補強材は、緊張材及び補強筋として用いられるもの 5 種類、補強筋として用いられるもの 1 種類で、その引張特性、温度特性および耐久性等が確認されているものである。

各工法毎における連続繊維補強材の諸元を 3.1.1 から 3.1.7 に示す。

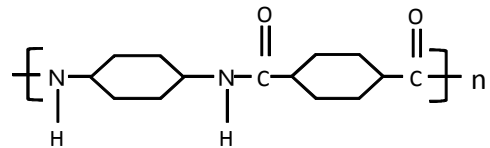
なお、連続繊維補強材の構成内容を以下の共通表示により表示する。



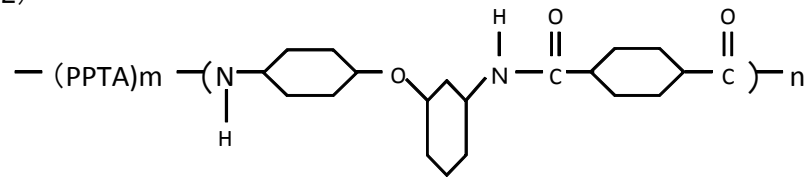
表－3.1.1 連続繊維補強材の種類と基本特性

分類		緊張材および補強筋					補強筋
種類		CFCC	リードライン	NACC ストランド	FiBRA	テクノーラ	ネフマック
素材		PAN系炭素繊維	ピッチ系炭素繊維	PAN系炭素繊維	パラ系アラミド繊維 ¹⁾	パラ系アラミド繊維 ²⁾	PAN系炭素繊維
素材メーカー		東レ(株)、他	三菱樹脂インフラテック(株)	東レ(株)	東レ・デュポン(株)	帝人テクノプロダクツ(株)	－
加工メーカー		東京製綱(株)	三菱樹脂インフラテック(株)	新日鉄住金マテリアルズ(株)	ファイベックス(株)	前田工繊(株)	新日鉄住金マテリアルズ(株)
引張 特性	引張強さ ³⁾ (N/mm ²)	1,420～2,500	1,200	1,400～2,230	1,162～1,255	1,540～1,920	1,400(1,200)
	有効ヤング係数 ³⁾ (×10 ³ N/mm ²)	127～167	442	127～147	68.6	53.0	100(165)
	伸び ³⁾ (%)	1.0～1.6	0.27	2.0	1.6	2.9～3.6	1.4(0.73)
	純リラクセーション (%)	1.3 ⁴⁾ (1,000時間後)	2～3 ⁵⁾ (10,000時間前後)	3 ⁶⁾ (1,000時間後)	12 ⁷⁾ (1,000時間後)	10 ⁵⁾ (1,000時間前後)	－
温度 特性	線膨張係数 (×10 ⁻⁶ /℃)	0.6	0.7	0.6	-6	-3	0

1)



2)



3) 引張強さおよび有効ヤング係数は有効断面積を用いて算出している。

4) 0.7Pu、土木学会連続繊維補強材の試験方法(案)による。

5) 0.5Pu～0.8Pu、20℃、40℃

6) 0.7Pu、20℃

7) 0.4Pu、20℃

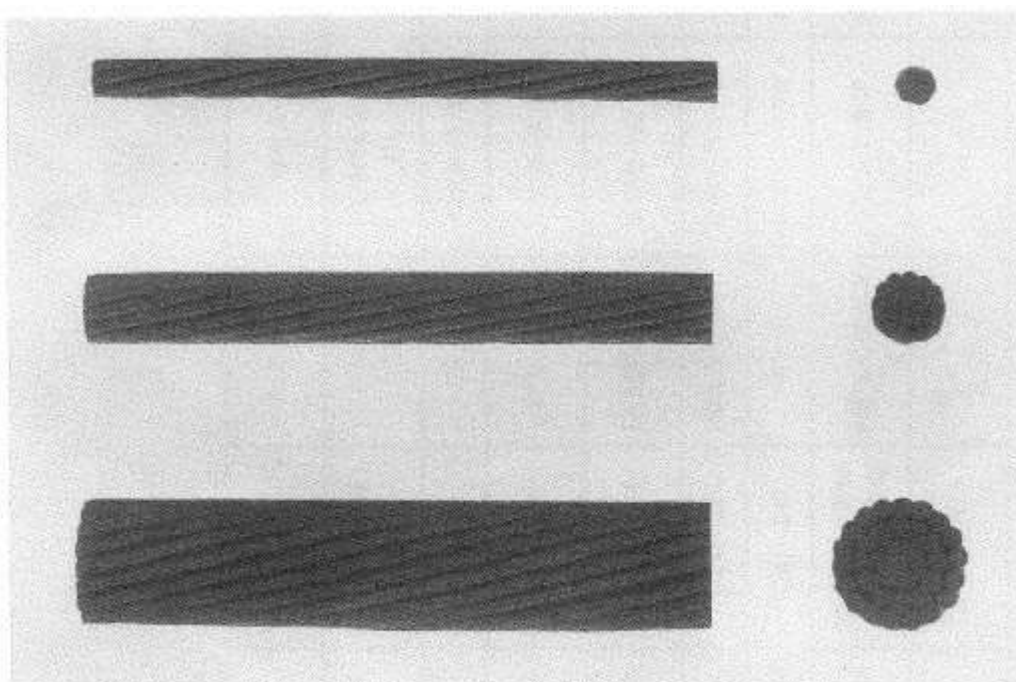
3.1.1 CFCC 工法

a) 諸元

連続繊維補強材	呼 称	公称径 (mm)	公称断面積 (cm ²)	直径 (mm)	有効断面積 (cm ²)	引張荷重 (kN)	有効ヤング係数 ($\times 10^3$ N/mm ²)	伸び (%)	単位質量 (g/m)
CR-38KN	U ϕ 5.0	4.8	0.196	5.0	0.152	38	167	1.5	30
CS-76KN	1 $\times$ 7 ϕ 7.5	7.6	0.453	7.5	0.311	76	155	1.6	60
CS-141KN	1 $\times$ 7 ϕ 10.5	10.0	0.791	10.5	0.578	141	155	1.6	111
CS-184KN	1 $\times$ 7 ϕ 12.5	11.4	1.028	12.5	0.760	184	155	1.6	145
CS-270KN	1 $\times$ 7 ϕ 15.2	14.2	1.575	15.2	1.156	270	155	1.5	221
CS-350KN	1 $\times$ 7 ϕ 17.2	15.7	1.947	17.2	1.511	350	155	1.5	289
CS-316KN	1 $\times$ 19 ϕ 20.5	18.5	2.687	20.5	2.062	316	137	1.1	410
CS-467KN	1 $\times$ 19 ϕ 25.5	22.6	4.023	25.5	3.047	467	137	1.1	606
CS-594KN	1 $\times$ 19 ϕ 28.5	25.1	4.949	28.5	4.010	594	137	1.1	777
CS-841KN	1 $\times$ 37 ϕ 35.5	30.8	7.472	35.5	5.912	841	127	1.1	1,185
CS-1200KN	1 $\times$ 37 ϕ 40.0	34.5	9.359	40.0	7.987	1,200	145	1.0	1,529

注) CFCCの引張強度、弾性係数の算出には、有効断面積をご使用下さい。

b) 外観および断面



上段：CS-184KN、中段：CS-467KN、下段：CS-1200KN

3.1.2 リードライン工法

a) 諸元

連続繊維 補強材	呼 称	公称径 (mm)	公称断面積 (cm ²)	有効断面積 (cm ²)	引張荷重 (kN)	有効ヤング係数 ($\times 10^3$ N/mm ²)	伸び (%)	単位質量 (g/m)
CD-55KN	HM8 ϕ	8.0	0.461	0.461	55	442	0.27	62
CD-86KN	HM10 ϕ	10.0	0.718	0.718	86	442	0.27	145
CR-130KN	HM12 ϕ	12.0	1.086	1.086	130	442	0.27	219

b) 外観および断面



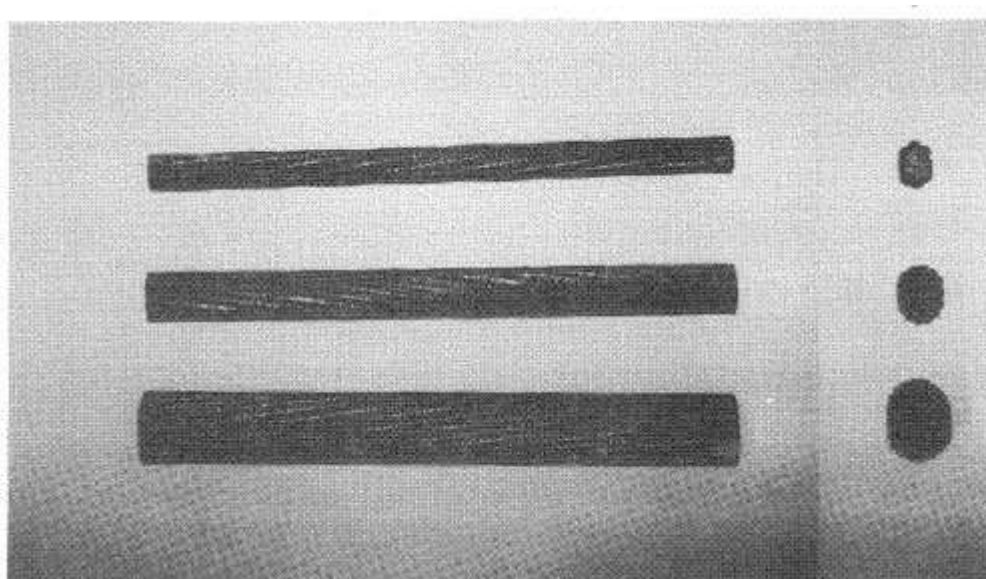
写真は上段：CD-86KN、下段：CR-130KN

3.1.3 NACC スtrand工法

a) 諸元

連続繊維 補強材	呼 称	公称径 (mm)	公称断面積 (cm ²)	有効断面積 (cm ²)	引張荷重 (kN)	有効ヤング係数 ($\times 10^3$ N/mm ²)	伸び (%)	単位質量 (g/m)
CS-196KN	1×7 ϕ 12.5	11.2	0.970	0.879	196	147	2.0	166
CS-274KN	1×7 ϕ 15	13.4	1.374	1.266	274	147	2.0	235
CS-412KN	1×19 ϕ 21	18.5	2.632	2.386	412	137	2.0	449
CS-588KN	1×19 ϕ 25	22.0	3.731	3.436	588	137	2.0	637
CS-686KN	1×37 ϕ 30	26.4	5.383	4.892	686	127	2.0	863
CS-980KN	1×37 ϕ 35	30.1	6.988	6.426	980	127	2.0	1,120

b) 外観および断面



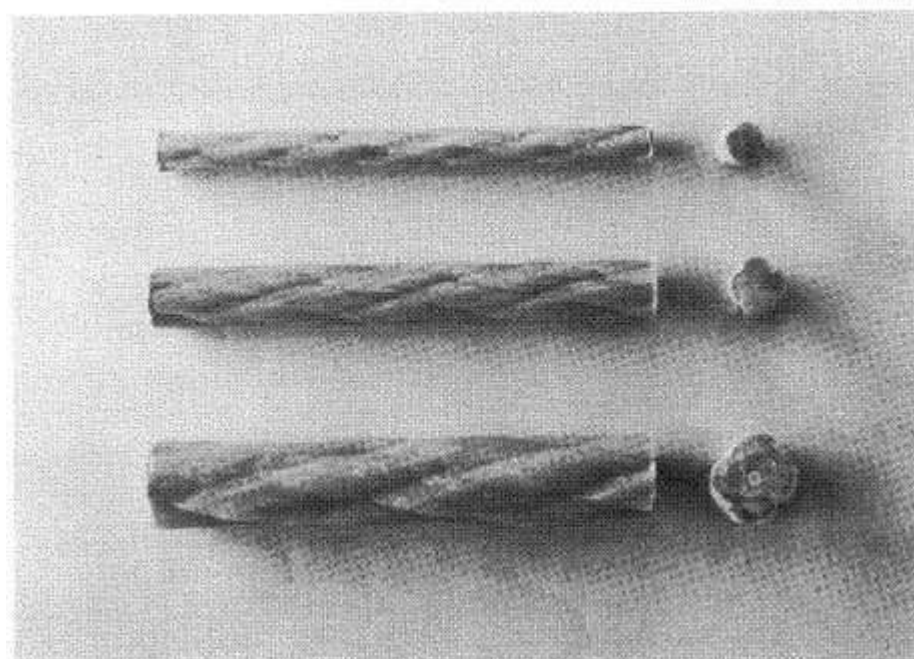
上段 : CS-274KN、中段 : CS-588KN、下段 : CS-980KN

3.1.4 FiBRA 工法

a) 諸元

連続繊維 補強材	呼 称	公称径 (mm)	公称断面積 (cm ²)	有効断面積 (cm ²)	引張荷重 (kN)	有効ヤング係数 ($\times 10^3$ N/mm ²)	伸び (%)	単位質量 (g/m)
AB-60KN	FA7	7.8	0.48	0.48	60	68.6	1.6	58
AB-85KN	FA9	9.3	0.68	0.68	85	68.6	1.6	84
AB-112KN	FA11	11.0	0.95	0.95	112	68.6	1.6	115
AB-172KN	FA13	13.7	1.47	1.47	172	68.6	1.6	173
AB-225KN	FA15	15.7	1.94	1.94	225	68.6	1.6	226

b) 外観および断面



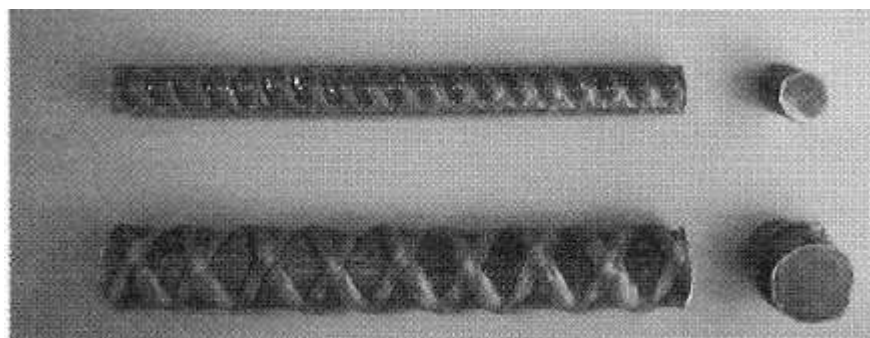
上段：AB-60KN、中段：AB-112KN、下段：AB-225KN

3.1.5 テクノラ工法

a) 諸元

連続繊維 補強材	呼 称	公称径 (mm)	公称断面積 (cm ²)	有効断面積 (cm ²)	引張荷重 (kN)	有効ヤング係数 ($\times 10^3$ N/mm ²)	伸び (%)	単位質量 (g/m)
AD-81KN	D7.4	7.88	0.488	0.424	81.4	53	3.6	64.0
AD-205KN	D13	13.1	1.350	1.330	205.0	53	2.9	171.0

b) 外観および断面



上段：AD-81KN、下段：AD-205KN

3.1.6 ネフマック工法

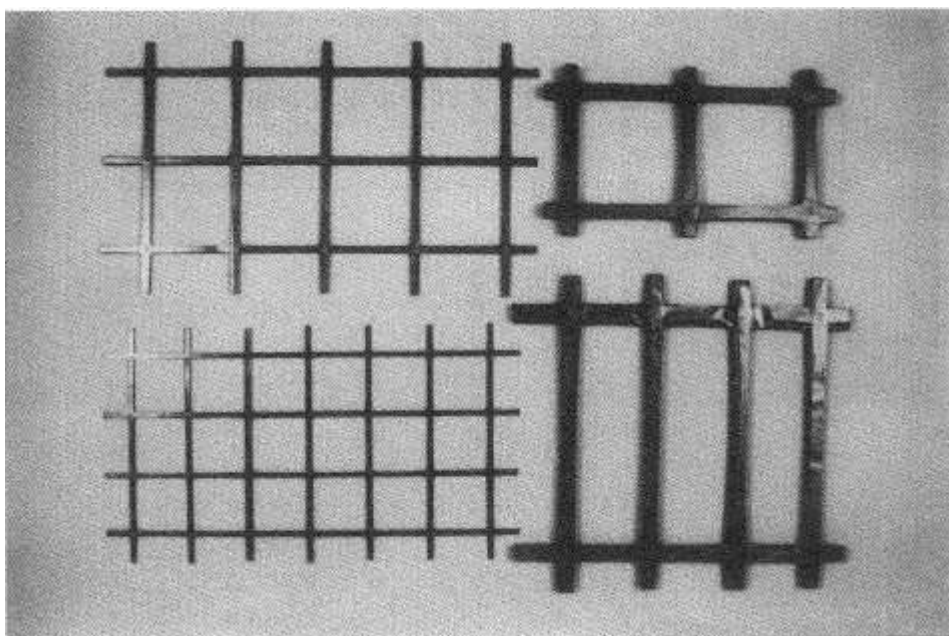
a) 諸元

連続繊維補強材	呼称	公称径 (mm)	公称断面積 (cm ²)	有効断面積 (cm ²)	引張荷重 (kN)	有効ヤング係数 ($\times 10^3$ N/mm ²)	伸び (%)	単位質量 (g/m)	格子間隔
CL-54KN	C10	7.1	0.392	0.392	54	100	1.4	56	a
CL-91KN	C13	9.1	0.650	0.650	91	100	1.4	92	
CL-140KN	C16	11.3	1.000	1.000	140	100	1.4	142	
CL-207KN	C19	13.7	1.480	1.480	207	100	1.4	210	
CL-273KN	C22	15.8	1.950	1.950	273	100	1.4	277	
CL-798KN	C38	26.9	5.700	5.700	798	100	1.4	809	
CLM-47KN	CM10	7.1	0.392	0.392	47	165	0.73	56	
CLM-78KN	CM13	9.1	0.650	0.650	78	165	0.73	92	
CLM-120KN	CM16	11.3	1.000	1.000	120	165	0.73	142	
CLM-177KN	CM19	13.7	1.480	1.480	177	165	0.73	210	
CLM-234KN	CM22	15.8	1.950	1.950	234	165	0.73	277	
CLM-684KN	CM38	26.9	5.700	5.700	684	165	0.73	809	

※ 1) 上表には代表的な製品のみ記載した。

2) 格子間隔aは、50mm、100mm、150mmが標準である。

b) 外観および断面



左上：CL-54KN
(75mm×75mm)

右上：CL-273KN
(100mm×100mm)

左下：CL-24KN
(50mm×50mm)

右下：CL-273KN
(200mm×75mm)

()は格子間隔

3.2 定着具

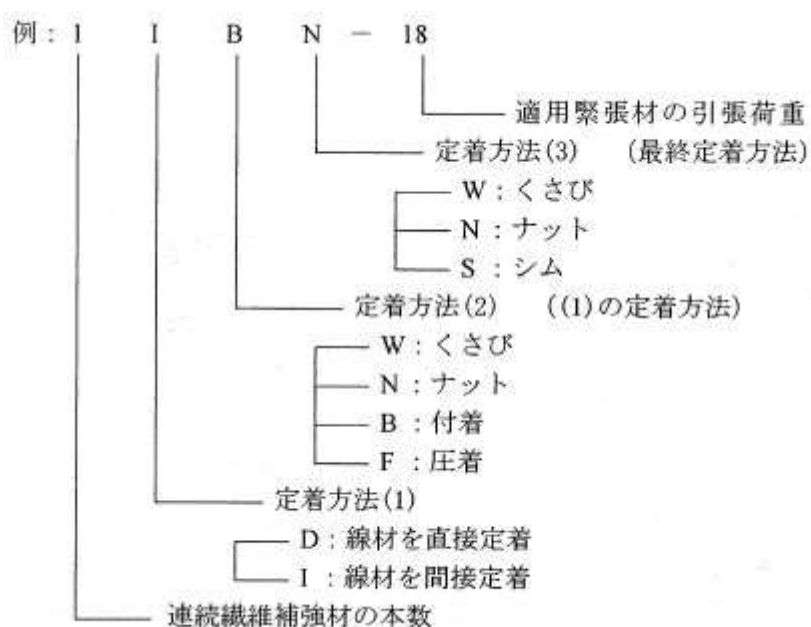
定着具は、定着された連続繊維補強材が設計引張荷重値に達する前に破壊したり、著しい変形を生じることのないような構造および強さを有するものでなければならない。

「土木学会 FRP 指針案」施工編 2.6 参照

定着具の性能が確認されていない場合は、土木学会規準「JSCE-E-537 連続繊維補強材を用いた PC 工法の定着具および接続具の性能試験方法（案）」に基づいて、それらの性能を確かめることを原則とする。

3.2.1 から 3.2.6 に、寝室が保証されている定着具の例をしめす。

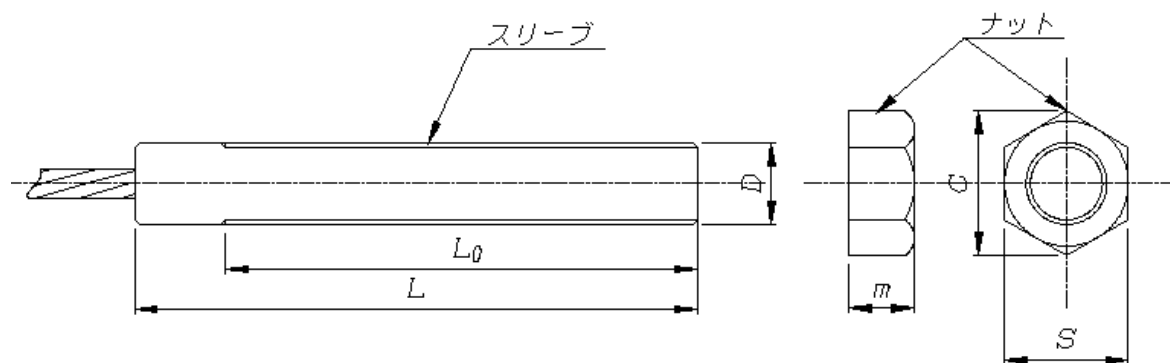
なお、定着具の構成内容を以下の共通表示により表示する。



3.2.1 CFCC 工法

(1) 付着方式

a) 形状

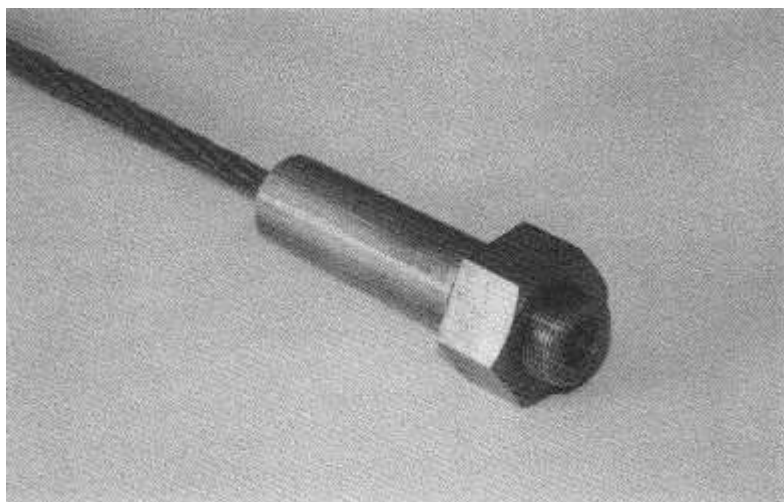


b) 寸法

定着具の 共通表示	連続繊維 補強材	使用本数 (本)	引張荷重 (kN)	スリーブ (mm)			ナット (mm)		
				L	L_0	D	S	C	m
1IBN-76	CS-76kN	1	76	230	200	M24×3	36	41.6	19
1IBN-141	CS-141kN	1	141	270	230	M33×3.5	50	57.7	26
1IBN-184	CS-184kN	1	184	300	260	M36×4	55	63.5	29
1IBN-270	CS-270kN	1	270	340	290	M42×4.5	65	75.0	34
1IBN-350	CS-350kN	1	350	370	320	M48×5	75	86.5	38
1IBN-316	CS-316kN	1	316	350	240	M52×5	80	92.4	42
1IBN-467	CS-467kN	1	467	400	290	M60×5.5	90	104	48
1IBN-594	CS-594kN	1	594	450	330	M68×6	100	115	54
1IBN-841	CS-841kN	1	841	480	340	M85×6	120	139	68
1IBN-1200	CS-1200kN	1	1200	500	400	M95×6	135	156	76

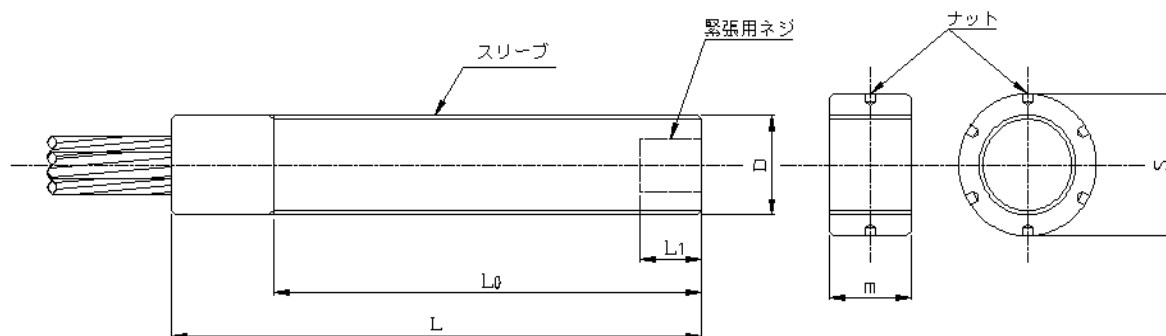
※上記は材質はS45Cです。その他の材質でも検討可能ですが、寸法が異なる可能性があります。

c) 外観 (1IBN-184)



(2) 付着方式 (マルチストランド方式)

a) 形状

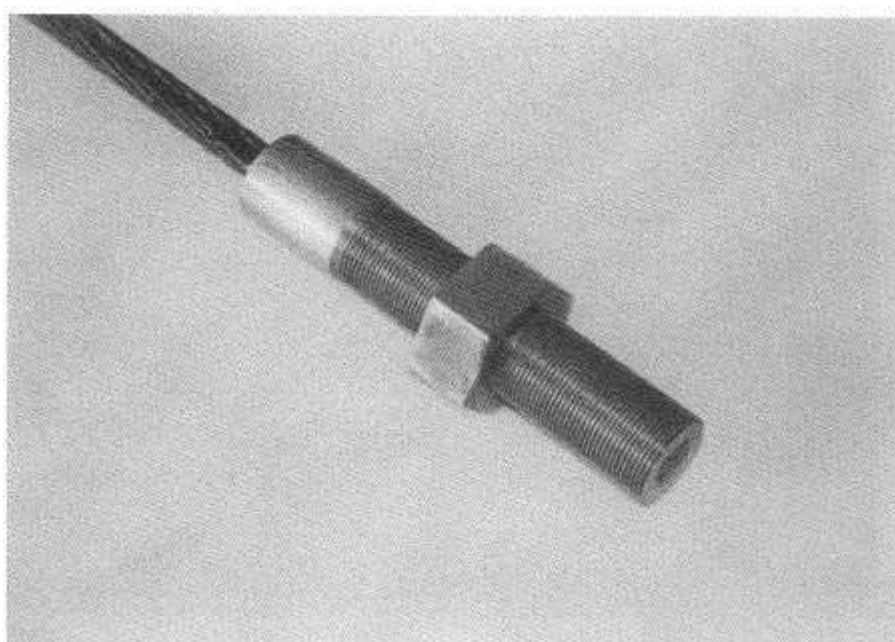


b) 寸法

定着具の 共通表示	連続繊維 補強材	使用本数 (本)	引張荷重 (kN)	スリーブ (mm)				ナット (mm)	
				L	L ₀	L ₁	D	S	m
3IBN-460	CS-184kN	3	460	400	340	50	Tr55×3	85	40
3IBN-680	CS-270kN	3	680	470	400	50	Tr65×4	105	45
6IBN-920	CS-184kN	6	920	500	410	80	Tr90×4	140	60
7IBN-1570	CS-270kN	7	1570	600	500	100	Tr100×4	160	70
12IBN-1830	CS-184kN	12	1830	650	520	130	Tr115×4	165	80

※上記は材質はSCM435です。その他の材質でも検討可能ですが、寸法が異なる可能性があります。

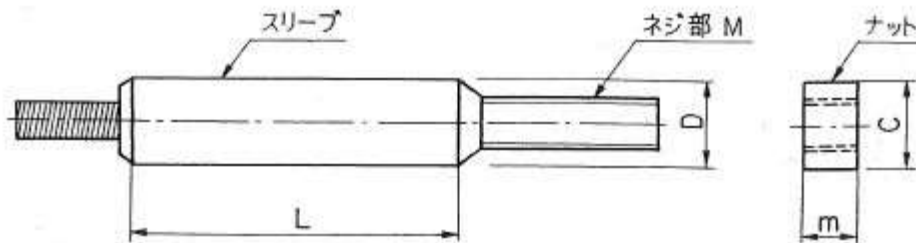
c) 外観 (3IBN-460)



3.2.2 NACC ストランド工法

(1) 付着方式

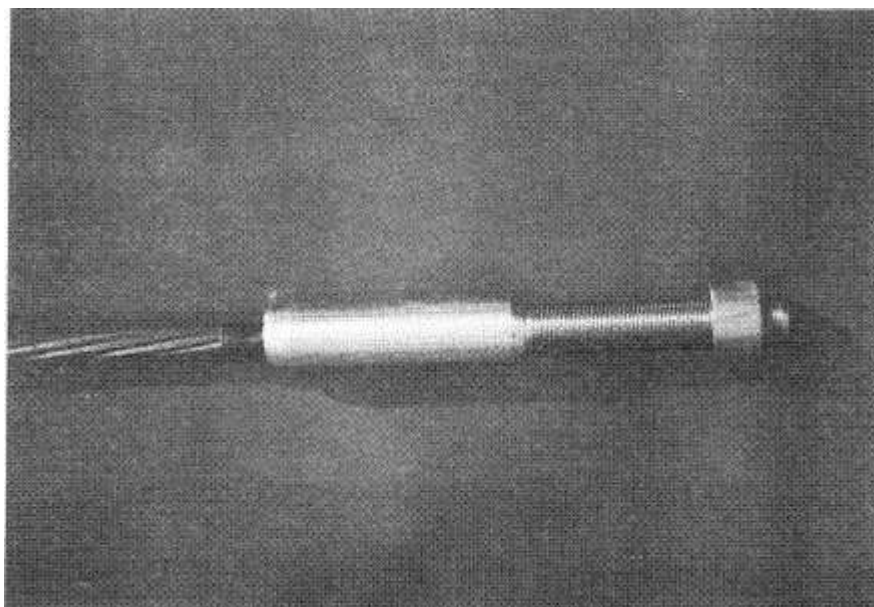
a) 形状



b) 寸法

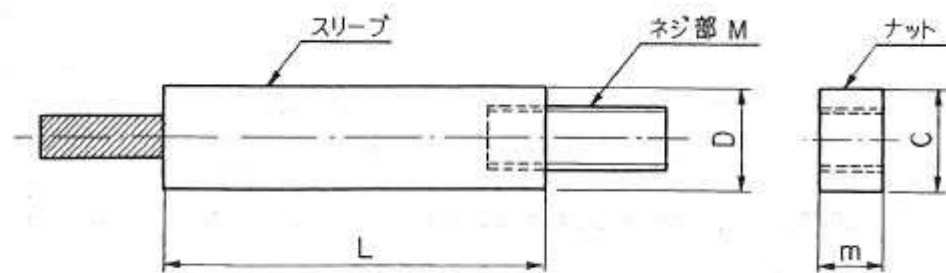
定着具の 共通表示	連続繊維 補強材	使用本数	引張荷重	スリーブ			ナット	
		(本)	(kN)	L (mm)	D (mm)	M	S (mm)	m (mm)
1IFN-196	CS-196KN	1	196	107.5	30	M22×1.0	34	20
1IFN-274	CS-274kKN	1	274	140.0	35	M24×1.5	36	20

c) 外観 (1IFN-274)



(2) 樹脂充填方式 (シングル)

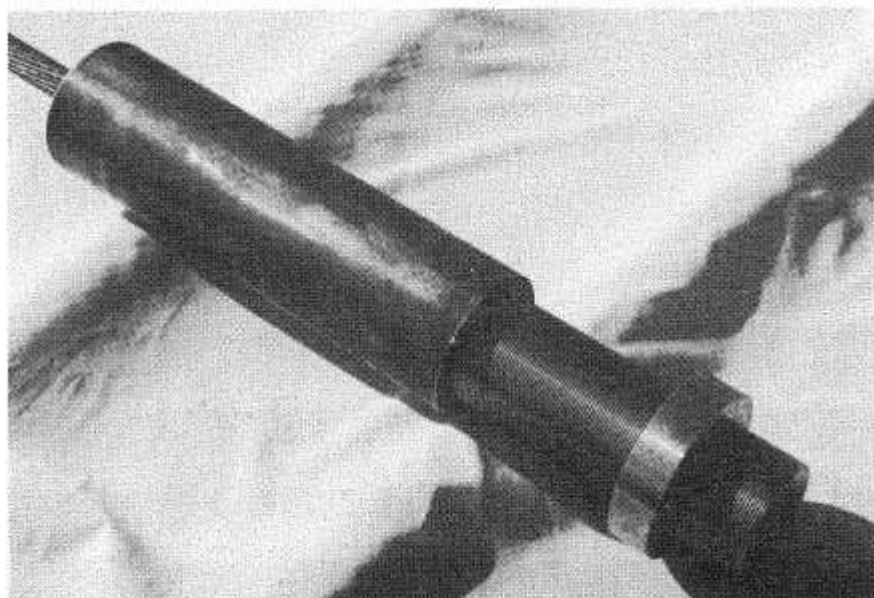
a) 形状



b) 寸法

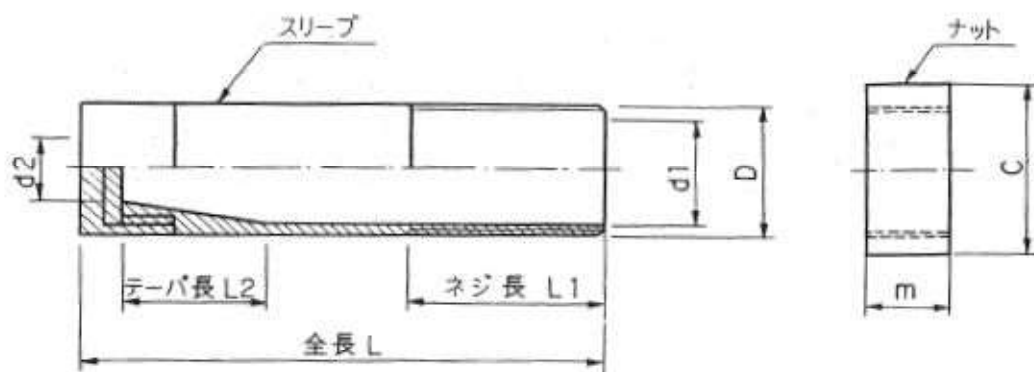
定着具の 共通表示	連続繊維 補強材	使用本数	引張荷重	スリーブ			ナット	
		(本)	(kN)	L (mm)	D (mm)	M	S (mm)	m (mm)
1IBN-412	CS-412KN	1	412	400	110	M82×3	120	30
1IBN-588	CS-588KN	1	588	400	110	M82×3	120	30
1IBN-686	CS-686KN	1	686	400	143	M110×3	160	40
1IBN-980	CS-980KN	1	980	400	143	M110×3	160	40

c) 外観 (1IBN-980)



(3) 樹脂充填方式（マルチ）

a) 形状

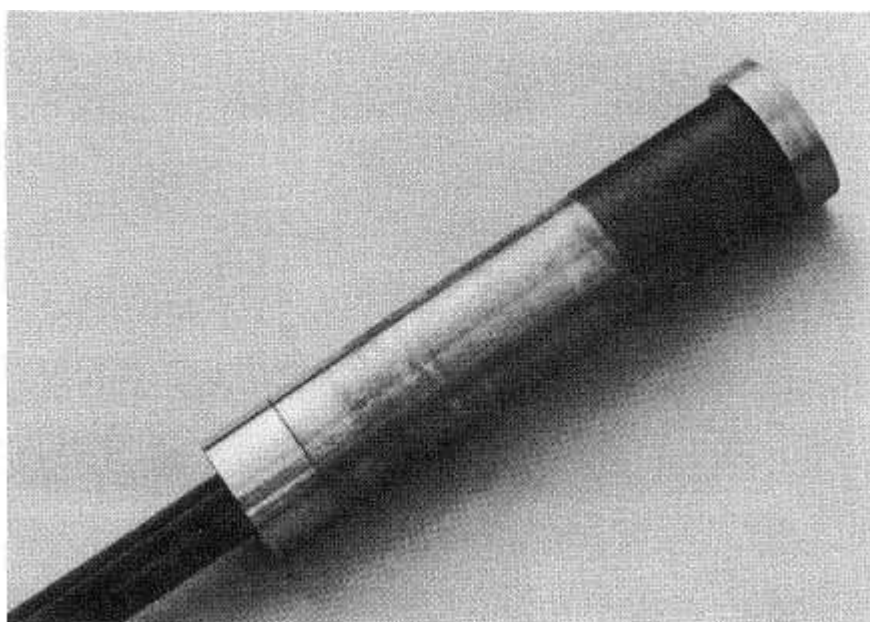


b) 寸法

定着具の 共通表示	連続繊維 補強材	使用本数	引張荷重	スリーブ						ナット	
		(本)	(kN)	D (mm)	d1 (mm)	d2 (mm)	L (mm)	L1 ¹⁾ (mm)	L2 (mm)	C (mm)	m (mm)
3IBN-823	CS-274KN	3	823	94	78.6	50	635	200	220	128	30
5BN-1372	CS-274KN	5	1372	108	87.5	68	635	200	150	153	40
7IBN-1920	CS-274KN	7	1920	120	87.5	68	635	200	150	173	50
91IBN-2469	CS-274KN	9	2469	138	104	84	635	200	150	195	55

1): ネジ長L1は任意に設定可能

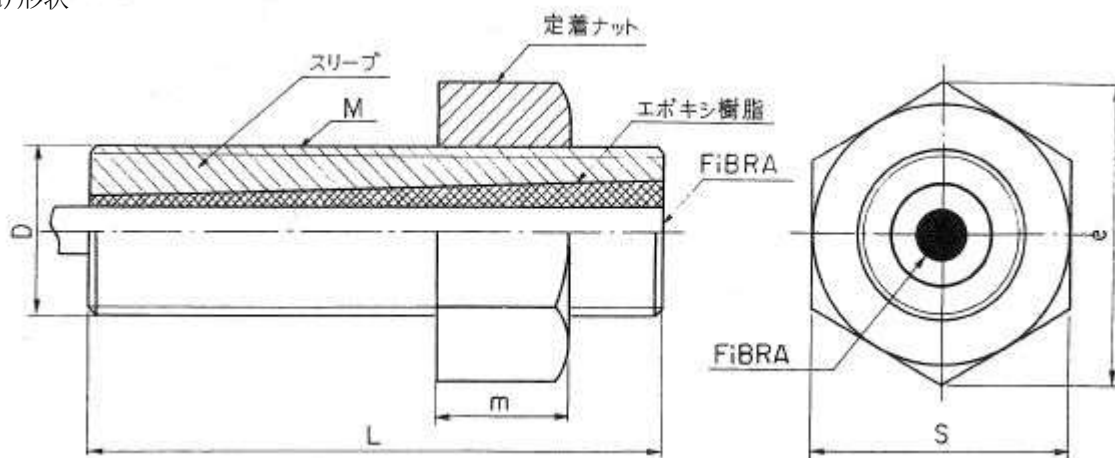
c) 外観（91IBN-2469）



3.2.3 FiBRA 工法

(1) 樹脂定着 (シングル)

a) 形状

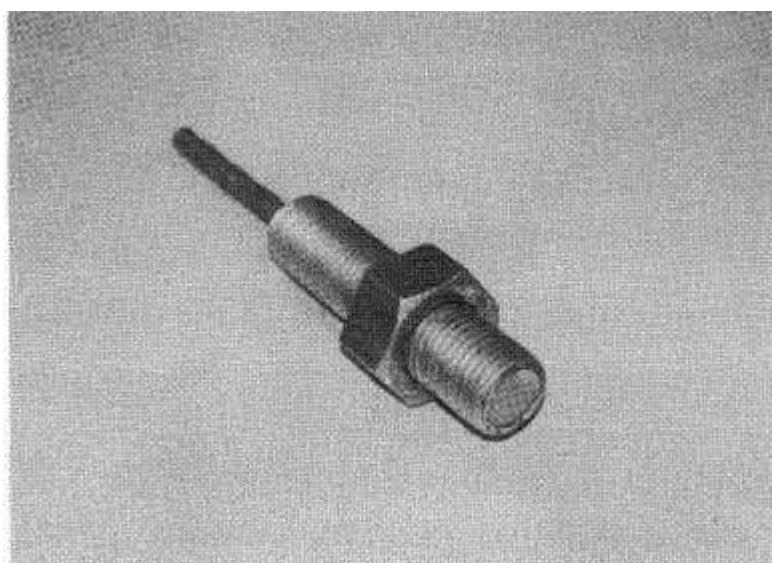


b) 寸法

定着具の 共通表示	呼称	連続繊維 補強材	使用本数 (本)	引張荷重 (KN)	スリーブ				ナット	
					D (mm)	L (mm)	M (mm)	m (mm)	S (mm)	E (mm)
1IBN-112	1R11	AB-112KN	1	112	36	180	M36	29	55	63.5
1IBN-172	1R13	AB-172KN	1	172	52	180	M52	42	80	92.4
1IBN-225	1R15	AB-225KN	1	225	64	180	M64	51	95	110

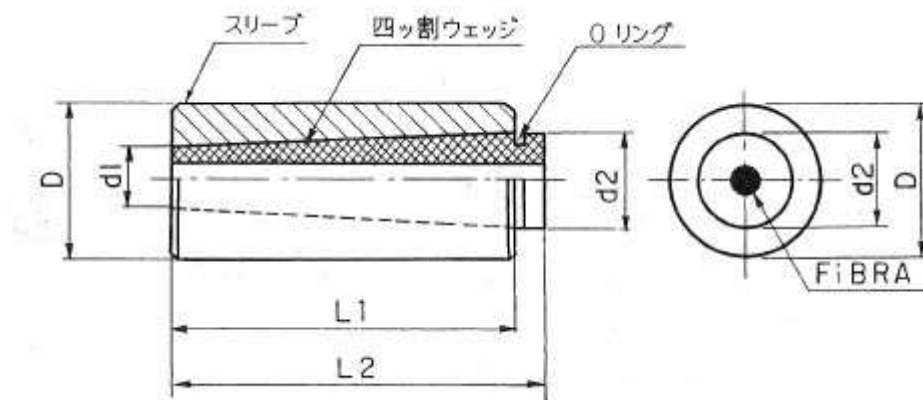
L(ネジ部)は適宜設定可能

c) 外観 (1IFN-112)



(2) くさび定着方式 (シングルタイプ)

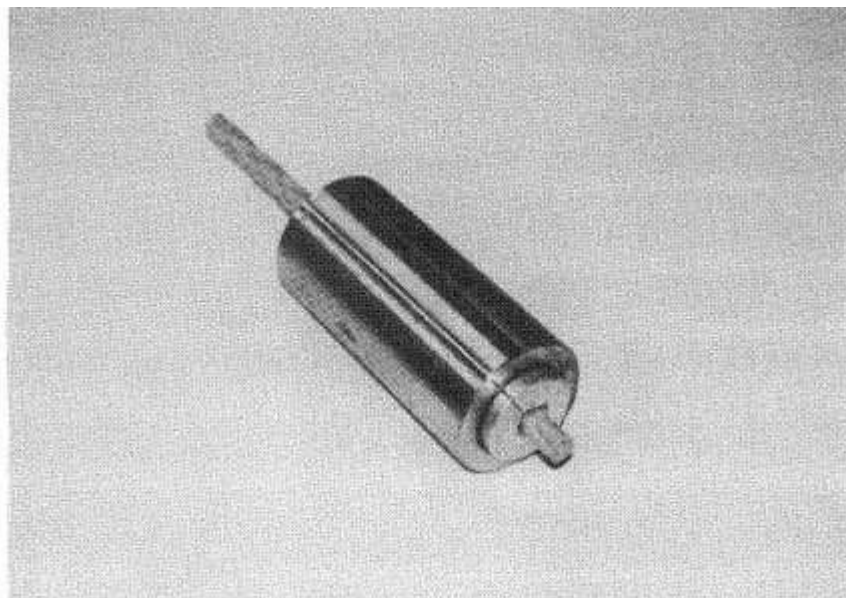
a) 形状



b) 寸法

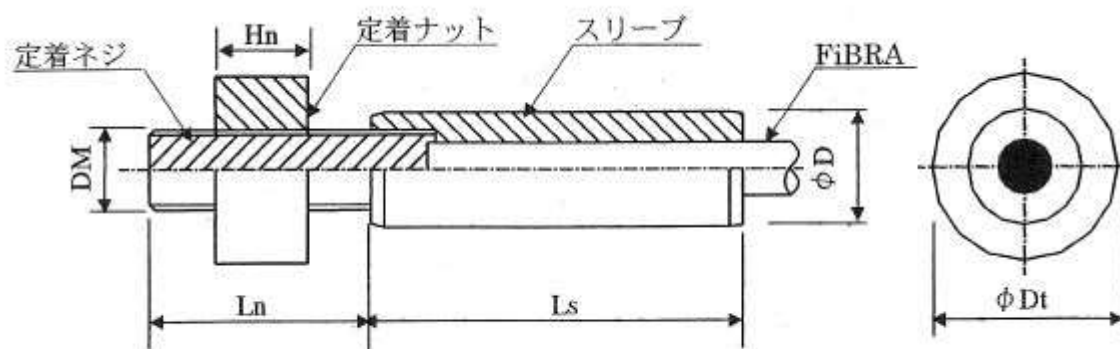
定着具の 共通表示	呼称	連続繊維 補強材	使用本数 (本)	引張荷重 (KN)	D (mm)	d1 (mm)	d2 (mm)	L1 (mm)	L2 (mm)
1DWN-112	1W11	AB-112KN	1	112	42	16	29	90	100
1DWN-172	1W13	AB-172KN	1	172	50	20	36	110	120
1DWN-225	1W15	AB-225KN	1	225	60	22	41	130	135

c) 外観 (1DWN-172)



(3) 圧着式定着方式

a) 形状

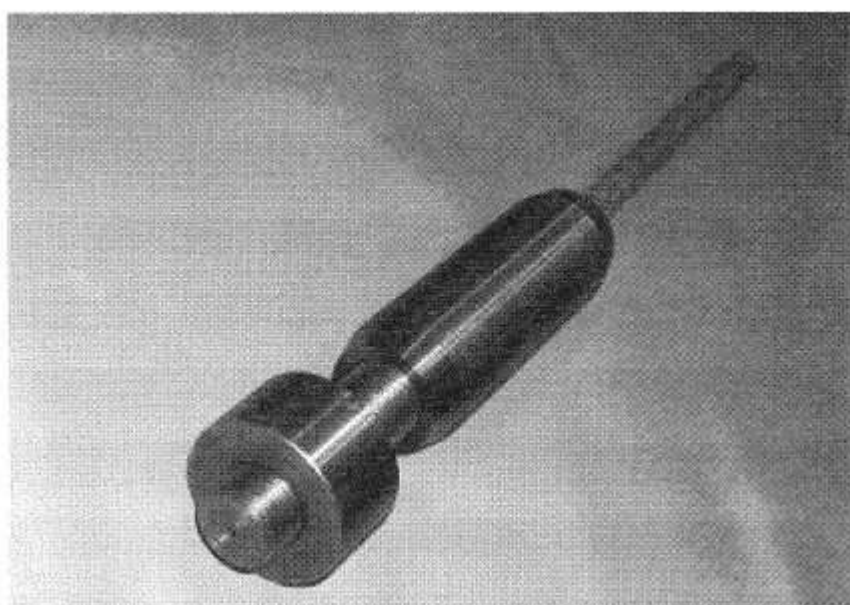


b) 寸法

定着具の 共通表示	呼称	連続繊維 補強材	使用本数 (本)	引張荷重 (KN)	φ D (mm)	DM (mm)	Ls (mm)	φ Dt (mm)	Hn (mm)
1IFN-112	1-FA11	AB-112KN	1	112	35	M24	108	55	25
1IFN-172	1-FA13	AB-172KN	1	172	38	M27	180	60	30
1IFN-225	1-FA15	AB-225KN	1	225	43	M30	180	65	35
3IFN-675	3-FA15	AB-225KN	3	675	70	M42	250	100	60

※ネジの長さ Ln は100mm以上で適宜設定可能

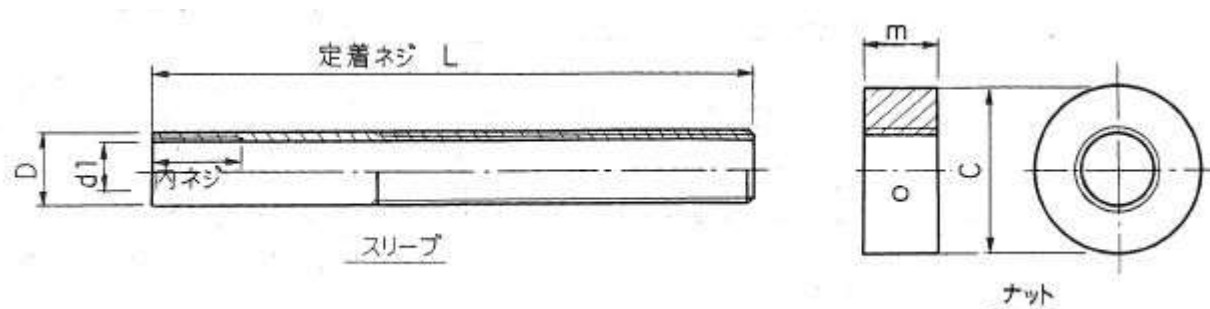
c) 外観 (1IFN-225)



3.2.4 テクノーラ工法

(1) タイプ A

a) 形状

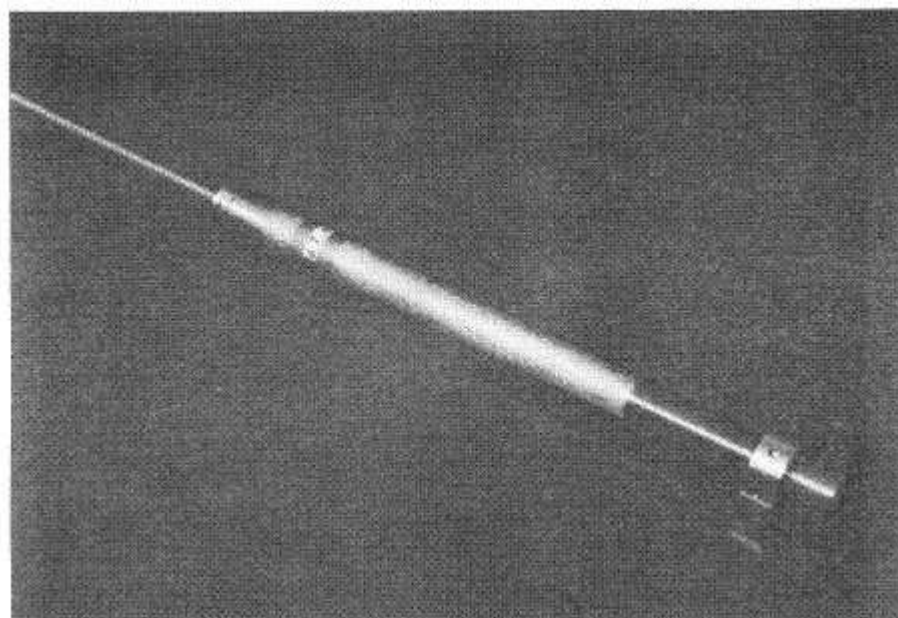


b) 寸法

定着具の 共通表示	呼称	連続繊維 補強材	使用本数 (本)	引張荷重 (kN)	スリーブ (mm)			ナット (mm)		
					D	Ll	L	S ¹⁾	C	m
1IBN-74	1D7.4	AD-81KN	1	74	31.8	19.8	500	-	ϕ 60	25
2IBN-149	2D7.4	AD-81KN	2	149	38.1	24.1	500	-	ϕ 60	30
3IBN-224	3D7.4	AD-81KN	3	224	42.7	16.7	500	-	ϕ 70	30

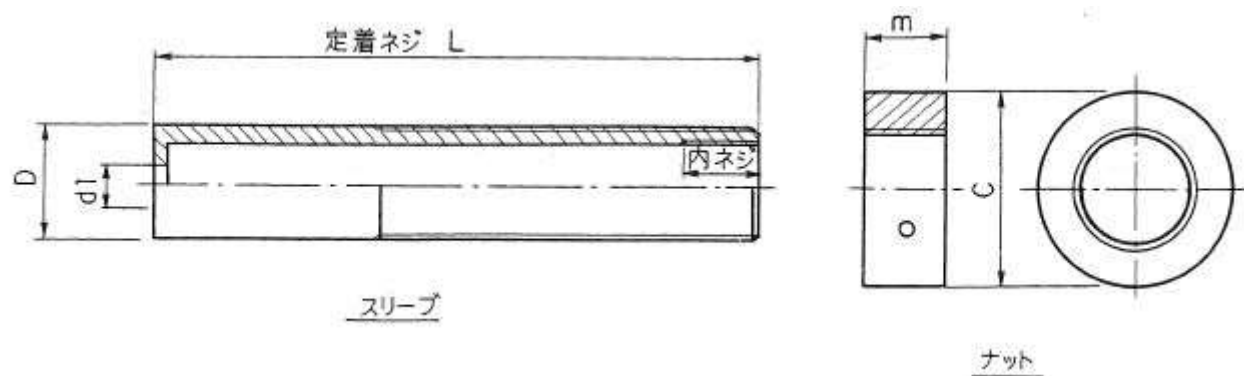
¹⁾: 六角ナットの対辺距離

c) 外観 (1IBN-74)



(2) タイプ B

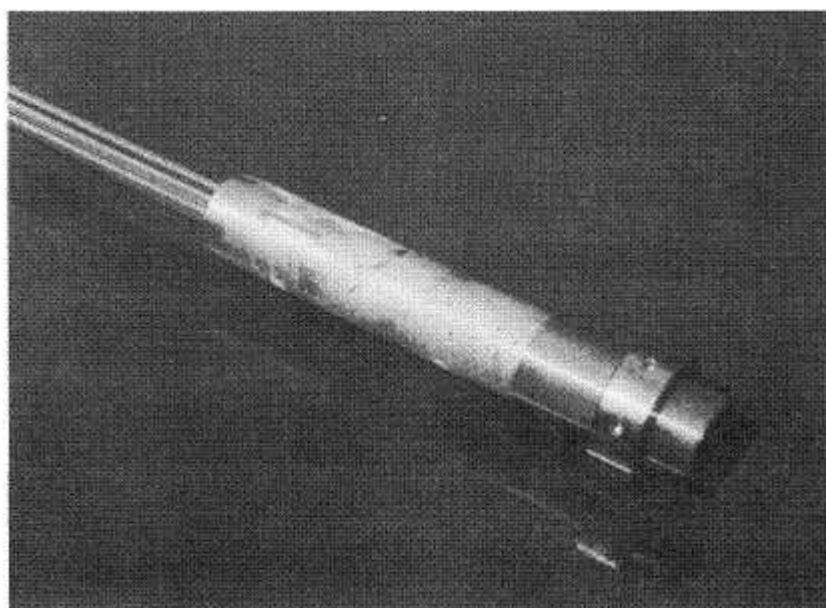
a) 形状



b) 寸法

定着具の 共通表示	呼称	連続繊維 補強材	使用本数 (本)	引張荷重 (kN)	スリーブ (mm)			ナット (mm)	
					D	d	L	C	m
7IBN-525	7D7.4	AD-81KN	7	525	63.5	34	560	φ 100	35
9IBN-675	9D7.4	AD-81KN	9	675	73.0	43	560	φ 100	35
12IBN-900	12D7.4	AD-81KN	12	900	89.1	46	560	φ 130	45
19IBN-1300	19D7.4	AD-81KN	19	1300					

c) 外観 (9IBN-675)



3.3 コンクリート

コンクリートは設計基準強度 30N/mm^2 以上のものを使用することを原則とする。

「土木学会 FRP 指針案」施工編 2.2 参照。

鋼材が使用されておらず、連測繊維補強材の定着部や接続部にも腐食のおそれがない構造物の場合は、コンクリート中の塩化物含有量の制限に関する規定の緩和を検討してもよい。

3.4 連続繊維補強材の設計基準値

(1) 有効断面積、設計引張荷重、有効ヤング係数

連続繊維補強材の有効断面積、設計引張荷重および有効ヤング係数は表-3.4.1の値を用いてよい。

表-3.4.1 連続繊維補強材の有効断面積、設計引張荷重、有効ヤング係数

種類	連続繊維補強材	呼称	外径 (mm)	有効断面積 (cm ²)※	設計 引張荷重 (kN)	設計基準 強度 (N/mm ²)	有効ヤング係数 (N/mm ²)※※
CFCC	CR-38KN	U 5.0 φ	5.0	0.152	38	2500	167×10 ³
	CS-76KN	1×7 7.5 φ	7.5	0.311	76	2440	155×10 ³
	CS-141KN	1×7 10.5 φ	10.5	0.578	141	2440	
	CS-184KN	1×7 12.5 φ	12.5	0.760	184	2420	
	CS-270KN	1×7 15.2 φ	15.2	1.156	270	2340	
	CS-350KN	1×7 17.2 φ	17.2	1.511	350	2320	
	CS-316KN	1×19 20.5 φ	20.5	2.062	316	1530	137×10 ³
	CS-467KN	1×19 25.5 φ	25.5	3.047	467	1530	
	CS-594KN	1×19 28.5 φ	28.5	4.010	594	1480	
	CS-841KN	1×19 35.5 φ	35.5	5.912	841	1420	127×10 ³
リートライン	CS-1200KN	1×37 40.0 φ	40.0	7.987	1200	1500	145×10 ³
	CD-55KN	HM8 φ	8.0	0.461	55	1200	442×10 ³
	CD-86KN	HM10 φ	10.0	0.718	86		
NACC ストランド	CR-130KN	HM12 φ	12.0	1.086	130		
	CS-196KN	1×7 φ 12.5	12.5	0.879	196	2230	147×10 ³
	CS-274KN	1×7 φ 15	15.0	1.266	274	2164	137×10 ³
	CS-412KN	1×19 φ 21	21.0	2.386	412	1727	
	CS-588KN	1×19 φ 25	25.0	3.436	588	1711	
FiBRA	CS-686KN	1×37 φ 30	30.0	4.892	686	1402	127×10 ³
	CS-980KN	1×37 φ 35	35.0	6.426	980	1525	
	AB-60KN	FA7	7.8	0.478	60	1255	68.6×10 ³
	AB-85KN	FA9	9.3	0.679	85	1252	
	AB-112KN	FA11	11.0	0.950	112	1179	
テクノーラ	AB-172KN	FA13	13.7	1.470	172	1167	
	AB-225KN	FA15	15.7	1.940	225	1162	
ネフ マック	AD-81KN	D7.4	7.88	0.424	81	1920	53.0×10 ³
	AD-205KN	D13	13.1	1.330	205	1541	
	高強度 タイプ	CL-54KN	C10	—	0.392	54	100×10 ³
		CL-91KN	C13		0.650	91	
		CL-140KN	C16		1.000	140	
		CL-207KN	C19		1.480	207	
		CL-273KN	C22		1.950	273	
		CL-798KN	C38		5.700	798	
	高弾性 タイプ	CLM-47KN	CM10		0.392	47	165×10 ³
		CLM-78KN	CM13		0.650	78	
		CLM-120KN	CM16		1.000	120	
		CLM-177KN	CM19		1.480	177	
		CLM-234KN	CM22		1.950	234	
		CLM-684KN	CM38		5.700	684	

C：炭素繊維 S：ストランド ※) 有効断面積は、引張耐力や剛性に

A：アラミド繊維 B：組紐 寄与している部分の面積である

L：格子 ※※) 連続繊維補強材の有効ヤング係数は

R：ロッド (丸) 連続繊維補強材の引張剛性を有効断

D：ロッド (異形) 面積で除した値

P：矩形

(2) 線膨張係数

連続繊維補強材の線膨張係数は、一般に表-3.4.2の値としてよい。

表-3.4.2 線膨張係数

種 類	線膨張係数($\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)
CFCC	0
リードライン	0
NACCストランド	0
FiBRA	-6
テクノーラ	-6
ネフマック	0

(3) 連続繊維緊張材の見かけのリラクセーション率

連続繊維緊張材の見かけのリラクセーション率は、表-3.4.3の値を標準とする。

表-3.4.3 連続繊維緊張材の見かけのリラクセーション率

種 類	見かけのリラクセーション率(%)
CFCC	6.0
NACCストランド	6.0
FiBRA	25.0
テクノーラ	25.0

連続繊維補強材の設計引張荷重、有効ヤング係数あるいは見かけのリラクセーション率などの材料特性は温度依存性があるが、60℃程度の温度までは顕著な差異が見られていない。

したがって、特別に高温にさらされる環境条件を除き、ここでは温度依存性を考慮しないこととした。

(1) 連続繊維補強材の設計引張強度は「土木学会規準(JSCE-E131-1995)連続繊維補強材の品質規格(案)」の内、「連続繊維補強材の品質規格(案)」8.6 保証耐力 の項にしたがって、決定するものとする。

また、プレテンション方式において、連続繊維緊張材を数本たばねて使用する場合は、表-3.4.1の設計引張荷重の値をN倍(Nは、連続繊維緊張材の本数)して用いてよい。

(2) 連続繊維補強材の設計に用いる線膨張係数は、「土木学会FRP指針案」の内、[設計編]3.4.4熱膨張係数 の項に準拠し、表-3.3.2に示す値とした。

(3) 見かけのリラクセーション率

1) 連続繊維緊張材のリラクセーション率とは、歪み一定のもとで起こる引張応力度の減少量を最初に与えた引張応力度にたいする百分率で示した値をいう。

2) コンクリート構造物または部材の設計で用いる見かけのリラクセーション率は、連続繊維緊張材のリラクセーション率にコンクリートの乾燥収縮、クリープ等の影響を考慮して求める。

- 3) 見かけのリラクセーション率は、「土木学会FRP指針案」の内、[設計編]3.4.5 リラクセーション率 の項にしたがって決定するものとする。ただし、本マニュアルでは、建設省・総合技術開発プロジェクト「建設事業への新素材・新材料利用技術の開発」で実施された各種連続繊維緊張材の見かけのリラクセーション試験の結果を参考として、見かけのリラクセーション率を定めており、これを使用してもよい。
- 4) 連続繊維緊張材のリラクセーション率は、連続繊維緊張材の緊張応力度により異なるので、導入直後の連続繊維緊張材の緊張力が設計引張荷重の0.5倍以下の場合には、表-3.4.3の値から3を減じてよい。

3.5 シース

シースは耐食性に優れたものでなければならない。また、連続繊維緊張材が傷つかないものでなければならない。

「土木学会 FRP 指針案」施工編 2.7 参照。

シースとの摩擦係数は、原則として試験により定めるものとする。ただし、スパイラルシースを用いる場合には、 $\mu=0.3$ 、 $\lambda=0.004$ を用いてよいこととした。特に(参考 3.1)に示す4種類の連続繊維緊張材については、表中の値を用いてもよいこととする。PE管等をシースとして使用する場合には、別途摩擦試験により確認することが必要である。

また、あらかじめ摩擦を減少させるための措置を施す場合には、従来の実験値などを参考にして摩擦係数を別途定めてよい。

なお、一般に連続繊維緊張材の摩擦係数はPC鋼線・PC鋼より線よりも小さい傾向にあるが、十分なデータが蓄積されていないことから、今後の試験、施工実績の積み上げによって、より実用的な設計値を定めることが望ましい。

(参考 3.1) 建設省・総合技術開発プロジェクト「建設事業への新素材・新材料利用技術の開発」では官民共同研究の結果等を参考に、－FRP 緊張材を用いたプレストレストコンクリート道路橋の設計・施工指針(案)－に下表の値を示している。

FRP*とシースの摩擦係数

	μ (1/rad)	λ (1/m)
CFCC	0.30	0.004
FIBRA	0.25	0.003
テクノーラ	0.25	0.003

*:連続繊維緊張材

3.6 PCグラウト

PCグラウトは、ダクト内を完全に充填して緊張材を包み、部材コンクリートと緊張材とを付着により一体とするものでなければならない。

PCグラウトの品質については、「土木学会FRP指針案」施工編2.9参照。

緊張材に鋼材が使用されておらず、連続繊維緊張材の定着部や接続部にも腐食のおそれがない場合は、PCグラウト中の塩化物含有量の制限に関する規定の緩和を検討してもよい。

第4章 許容応力度

4.1 一般

- (1) 許容応力度は、4.2から4.4までに規定する値とする。
- (2) 4.2から4.4までに規定しない許容応力度は、材料や構造の力学的性質、材料の強度のばらつき等を踏まえ、(1)項に規定する許容応力度と同等以上の安全度を持つように設定しなければならない。
- (3) コンクリート橋の設計に用いる許容応力度は、荷重の組合せに応じて表-4.1.1に示す割増し係数を乗じた値とする。
- (4) プレストレストコンクリート構造のコンクリートの許容引張応力度および許容斜引張応力度は、(3)項の規定にかかわらず、割増してはならない。
- (5) プレストレストコンクリート構造のプレストレッシング直後の許容応力度は、(3)項の規定にかかわらず、割増してはならない。
- (6) PC鋼材または連続繊維緊張材の許容応力度は、(3)項の規定による場合においても、PC鋼材の降伏点の90%、または連続繊維緊張材の設計基準強度の80%以下の値とするものとする
- (7) 施工時荷重として施工時の風荷重又は地震の影響を考慮する場合の割増し係数は、表-4.1.1の値にかかわらず、架橋地点の条件、施工中の構造系等を考慮して、適切に定めなければならない。

表-4.1.1 許容応力度の割増し係数

荷重の組合せ	割増し係数
1)主荷重(P)+主荷重に相当する特殊荷重(PP)	1.00
2)主荷重(P)+主荷重に相当する特殊荷重(PP)+温度変化の影響(T')	1.15
3)主荷重(P)+主荷重に相当する特殊荷重(PP)+風荷重(W)	1.25
4)主荷重(P)+主荷重に相当する特殊荷重(PP)+温度変化の影響(T') +風荷重(W)	1.35
5)主荷重(P)+主荷重に相当する特殊荷重(PP)+制動荷重(BK)	1.25
6)主荷重(P)+主荷重に相当する特殊荷重(PP)+衝突荷重(CO)	1.50
7)活荷重および衝撃以外の主荷重+地震の影響(EQ)	1.50
8)風荷重(W)	1.20
9)施工時荷重(ER)	1.25

原則として、「道路橋示方書Ⅲ コンクリート橋編」に準じるものとする。

- (6) PC鋼材または連続繊維緊張材の許容応力度は、(3)項の規定により割増しすることができるが、設計荷重作用時にPC鋼材または連続繊維緊張材が破断することを防ぐため、許容応力度の上限値としてPC鋼材の降伏点の90%、または連続繊維緊張材の設計基準強度の80%の値を規定した。

4.2 コンクリートの許容応力度

- (1) 鉄筋コンクリート構造に対するコンクリートの許容圧縮応力度は、表-4.2.1の値とする。また、プレストレストコンクリート構造に対するコンクリートの許容圧縮応力度は、表-4.2.2の値とする。

なお、二軸曲げが作用する場合の許容曲げ圧縮応力度は、表-4.2.1および表-4.2.2の値に 1.0N/mm^2 を加えた値とする。

表-4.2.1 鉄筋コンクリート構造に対する許容圧縮応力度 (N/mm^2)

コンクリートの設計基準強度		21	24	27	30
応力度の種類					
1)曲げ圧縮応力度		7.0	8.0	9.0	10.0
2)軸圧縮応力度		5.5	6.5	7.5	8.5

表-4.2.2 プレストレストコンクリート構造に対する許容圧縮応力度 (N/mm^2)

コンクリートの設計基準強度			30	40	50	60
応力度の種類						
プレストレッシング直後	曲げ圧縮応力度	1)長方形断面の場合	15.0	19.0	21.0	23.0
		2)T形および箱形断面の場合	14.0	18.0	20.0	22.0
	3)軸圧縮応力度		11.0	14.5	16.0	17.0
その他	曲げ圧縮応力度	4)長方形断面の場合	12.0	15.0	17.0	19.0
		5)T形および箱形断面の場合	11.0	14.0	16.0	18.0
	6)軸圧縮応力度		8.5	11.0	13.5	15.0

- (2) プレストレストコンクリート構造に対するコンクリートの許容引張応力度は、表-4.2.3の値とする。

また、従荷重および従荷重に相当する特殊荷重を考慮した場合のプレストレストコンクリート構造に対するコンクリートの許容引張応力度は、表-4.2.4の値とする。ただし、施工時荷重に施工中の風荷重又は地震の影響を考慮する場合の許容引張応力度は、表-4.2.4の値にかかわらず、架橋地点の条件、施工中の構造系等を考慮して、適切に定めなければならない。

表-4.2.3 プレストレストコンクリート構造に対する許容引張応力度 (N/mm^2)

コンクリートの設計基準強度			30	40	50	60
応力度の種類						
曲げ引張応力度	1)プレストレッシング直後		1.2	1.5	1.8	2.0
	2)活荷重および衝撃以外の主荷重		0	0	0	0
	主荷重および主荷重に相当する特殊荷重	3)床版	0	0	0	0
		4)プレキャストセグメント橋におけるセグメント継ぎ目	0	0	0	0
		5)その他の場合	1.2	1.5	1.8	2.0
	6)軸引張応力度		0	0	0	0

表-4.2.4 従荷重および従荷重に相当する特殊荷重を考慮した場合の
プレストレストコンクリート構造に対する許容引張応力度 (N/mm²)

応力度の種類	コンクリートの設計基準強度			
	30	40	50	60
1)主荷重(P)+主荷重に相当する特殊荷重(PP) +温度変化の影響(T')	1.7	2.0	2.3	2.5
2)主荷重(P)+主荷重に相当する特殊荷重(PP)+風荷重(W)	2.2	2.5	2.8	23.0
3)主荷重(P)+主荷重に相当する特殊荷重(PP) +温度変化の影響(T')+風荷重(W)	2.2	2.5	2.8	3.0
4)主荷重(P)+主荷重に相当する特殊荷重(PP)+制動荷重(BK)	2.2	2.5	2.8	3.0
5)主荷重(P)+主荷重に相当する特殊荷重(PP)+衝突荷重(CO)	-	-	-	-
6)活荷重および衝撃以外の主荷重+地震の影響(EQ)	-	-	-	-
7)風荷重(W)	2.0	2.3	2.6	2.8
8)施工時荷重(ER)	2.2	2.5	2.8	3.0

(3) せん断力を考慮する場合の、プレストレストコンクリート構造に対するコンクリートの許容斜引張応力度は、表-4.2.5の値とする。

表-4.2.5 プレストレストコンクリート構造に対する許容斜引張応力度 (N/mm²)

応力度の種類		コンクリートの設計基準強度			
		30	40	50	60
活荷重及び衝撃以外の主荷重	1) せん断力のみ又はねじりモーメントのみを考慮する場合	0.8	1.0	1.2	1.3
	2) せん断力とねじりモーメントをともに考慮する場合	1.1	1.3	1.5	1.6
衝突荷重又は地震の影響を考慮しない荷重の組合せ	3) せん断力のみ又はねじりモーメントのみを考慮する場合	1.7	2.0	2.3	2.5
	4) せん断力とねじりモーメントをともに考慮する場合	2.2	2.5	2.8	3.0

(4) コンクリートの許容付着応力度は、直径32mm以下の鉄筋および本マニュアルで取り扱う連続繊維補強材に対して表-4.2.6および表-4.2.7の値とする。

表-4.2.6 許容付着応力度 (N/mm²)

応力度の種類	コンクリートの設計基準強度						
	21	24	27	30	40	50	60
1)丸鋼	0.70	0.80	0.85	0.90	1.00	1.00	1.00
2)異形棒鋼	1.40	1.60	1.70	1.80	2.00	2.00	2.00

表-4.2.7 許容付着応力度 (N/mm²)

応力度の種類	コンクリートの設計基準強度	
	21	30
1)CFCC (CS-)	1.20	1.50
2)NACCストランド (CS-)	0.40	0.50
3)FiBRA (AB-)	0.75	0.95
4)テクノーラ (AD-)	1.15	1.45
5)ネフマック (CL-)	-	-

(5) コンクリートの許容押抜きせん断応力度は、表-4.2.8の値とする。

表-4.2.8 許容押抜きせん断応力度 (N/mm²)

コンクリートの設計基準強度	21	24	27	30	40	50	60
1)鉄筋コンクリートの場合	0.85	0.90	0.95	1.00	1.20	1.40	1.50
2)炭素繊維製補強筋を用いた場合	0.70	0.75	0.80	0.85	－	－	－
3)アラミド繊維製補強筋を用いた場合	0.55	0.60	0.65	0.70	－	－	－

(6) コンクリートの許容支圧応力度は、式(4.2.1)により算出する値とする。

$$\sigma_{ba} = \left(0.25 + 0.05 \frac{A_c}{A_b} \right) \sigma_{ck} \quad \dots \dots \dots (4.2.1)$$

ただし、 $\sigma_{ba} \leq 0.5\sigma_{ck}$

ここに、 σ_{ba} ：コンクリートの許容支圧応力度 (N/mm²)

A_c ：局部載荷の場合のコンクリート面の有効支圧面の面積 (mm²)

A_b ：局部載荷の場合の支圧を受けるコンクリート面の面積 (mm²)

σ_{ck} ：コンクリートの設計基準強度 (N/mm²)

原則として、「道路橋示方書Ⅲコンクリート橋編」に準じるものとする。

(1) 設計基準強度80N/mm²までの高強度コンクリートを用いたプレキャストはり部材に適用される許容曲げ圧縮応力度を表-解4.2.1に示す。

表-解4.2.1 高強度プレキャストコンクリートはり部材の許容曲げ圧縮応力度 (N/mm²)

コンクリートの設計基準強度		70	80
応力度の種類			
プレストressing直後	1)長方形断面の場合	26.5	30.0
	2)T形および箱形断面の場合	25.5	29.0
その他	1)長方形断面の場合	23.0	27.0
	2)T形および箱形断面の場合	22.0	26.0

(3) せん断力を考慮する場合の、プレストレストコンクリート構造の許容斜引張応力度を示した。なお、ねじりについては連続繊維補強材を用いた部材においてねじりを考慮しないことから、ここでは取り扱わないものとする。

(4) 連続繊維補強材の付着特性に関する研究は、各補強材ごとに個別に行われており、同一条件下で各種の補強材の付着特性を比較検討した例は比較的少ない。特に、コンクリート強度の影響は、個別に行われた研究結果によると、補強材によって影響度の高いものと比較的影響度の少ないものがあり、補強材の多様な形状、形態に関連して統一的に定義することが困難なようである。また、同一条件下での各種の補強材の付着特性の比較検討はコンクリート強度が30N/mm²以上の状態で行われており、コンクリート強度の影響には着目していない。

そこで、コンクリート強度が30N/mm²以上の状態で各種の連続繊維補強材の付着特性を比較した結果に基づき、すべり量が0.05mmにおける付着応力度を安全率6で除した値を30N/mm²における許

容付着応力度とした。また、より安全を考慮して 30N/mm^2 以下における許容付着応力度は、コンクリート強度の影響を $2/3$ 乗で補正して求めたものとした。ただし、このようにして求めた許容付着応力度は、異形鉄筋の許容付着応力度を上回らないものとする。

ここで、ネフマック (CL-) については、付着機構が異なるため許容付着応力度の考えはない。

- (5) 連続繊維補強材を用いた面部材の押抜きせん断耐力は鉄筋を使用した面部材の耐力にくらべて低いことが既往の実験で確認されている。また、この低下の度合いは補強材の剛性に影響されると考えられるので、炭素繊維製とアラミド繊維製の補強材を用いた場合で分けて記述した。なお、許容応力度は炭素繊維製の補強材を使用した場合で鉄筋を使用した場合の $82\sim 85\%$ 、アラミド繊維製の補強材を使用した場合で $65\sim 70\%$ に相当する。

ここで、設計基準強度 30N/mm^2 を超えるコンクリートに連続繊維補強材を用いた場合の許容押抜きせん断応力度は、面部材としての採用例が少ないことから、今回は規定していない。今後の採用にあたっては、押抜きせん断に関する実験などを行い、その性能をあらかじめ確かめておく必要がある。

4.3 補強筋の許容応力度

4.3.1 連続繊維補強筋の許容応力度

(1) 連続繊維補強材を補強筋として用いる場合の許容応力度は、本マニュアルで取り扱う連続繊維補強材に対して表-4.3.1の値とする。

表-4.3.1 連続繊維補強筋の許容応力度(N/mm²)

連続繊維補強筋の種類 応力度、部材の種類			CFCC	リードライン	NACC ストラント*	FiBRA	テクノラ D7.4 (D13)	ネフマック CLタイプ* (CLMタイプ)
引張 応力 度	荷重の組合せに衝突荷重あるいは地震の影響を含まない場合の基本値	1) 一般の部材	930	480	535	465～502	720(600)	560(480)
		2) 床版および支間 10m以下の床版橋	700	360	401	349～377	540(450)	420(360)
		3) 水中あるいは地下水位以下に設ける部材	930	480	535	465～502	720(600)	560(480)
		4) 荷重の組合せに衝突荷重あるいは地震の影響を含む場合の許容応力度の基本値	930	480	535	465～502	720(600)	560(480)
		5) 連続繊維補強筋の重ね継手長あるいは定着長を算出する場合の基本値	930	480	535	465～502	720(600)	560(480)
	6) 圧縮応力度		0	0	0	0	0	0

(2) 曲げに対する設計を行う場合は、(1)によるほか、5.2.4および5.2.5の規定に従うものとする。

(1) 1)一般の部材における連続繊維補強筋の許容引張応力値は、各種連続繊維補強筋の長期耐久性を考慮して定めたもので、設計基準強度の40%程度とし、表-4.3.1の応力度、部材の種類のうち、2)、3)、4)および5)以外の場合の一般の鉄筋コンクリート部材の設計に用いられるものである。

なお、死荷重のみが作用するときの連続繊維補強筋の応力度は1)の55%以下とするのが望ましい。

2)床版および支間10m以下の床版橋は活荷重による応力変動幅が大きく、しかも繰返し荷重が載荷され非常に苛酷な荷重状態にさらされており、有害なひびわれ発生が生じる割合が高い。

一般に床版および床版端の破損は引張鉄筋の破断による場合は少なく、コンクリートに生じたひびわれが繰返し荷重によって大きくなり、最終的にコンクリートの剥離や脱落に至る場合が多い。そのため、一般の鉄筋の許容応力度を基にして定められた値よりも小さな値を採用している。したがって、鉄筋よりも弾性係数が小さく引張強度の高い連続繊維補強筋で補強した場合は、鉄筋使用時よりもさらに一般の連続繊維補強筋の許容応力度を基にして定められた値よりも小さな値とし、1)の75%程度とした。

3)水中および地下水位以下に設ける部材に関しては、連続繊維補強筋が腐食する環境にはないことを考慮して、一般の場合と同様とした。

4)荷重の組合せに衝突荷重あるいは地震の影響を含む場合は4.1(2)項の規定により許容応力度を割増すが、その時の基本となる値を示したものである。表-4.3.1の応力度、部材の種類の1)、2)および3)の部材についても荷重の組合せに衝突荷重あるいは地震の影響を含む場合には4)の値が適用される。これらの荷重は作用する時間が短く、コンクリートのひびわれなどの影響を

考慮する必要が少ないので、基本となる連続繊維補強筋の許容応力度は設計基準強度に対し、約2.5の安全率を考慮して定めたものである。なお、二軸曲げが作用する場合には、円形状の断面を除いて、表-4.3.1 4)に示す許容応力度の基本値を10%割増してよい。ただし、従荷重および従荷重に相当する特殊荷重を考慮する場合の割増し係数を乗じたときの連続繊維補強筋の許容応力度は設計基準強度の65%以下とする。

5) 鉄筋の重ね継手長あるいは定着長を計算する場合は、鉄筋の降伏点を考慮して定めていたが、連続繊維補強筋には降伏点がなく、また付着強度も異形鉄筋に比べて低いのでこの場合の許容応力度は低めに設定するべきであるが、その場合には7.6で規定する継手長が短くなるため安全側を考慮して1)と同様とした。なお、ネフマックについては、重ね継手長あるいは定着長の算出方法が異なるので、これらを算出する場合の基本値についてはこれを削除した。

6) 連続繊維補強筋の圧縮補強筋としての補強効果は極めて少なく、場合によっては著しく部材の耐力を低下させることにもなるため、原則として圧縮に対する許容応力度は考慮しないことにした。

(2) 連続繊維補強筋を用いた鉄筋コンクリート部材の、曲げに対する設計を行う場合は、連続繊維補強筋自体の応力度を許容値以下とするだけでなく、5.2.4および5.2.5においてコンクリートに発生するひび割れ幅に制限を設けることにより、過大なひび割れの発生による部材性能の低下を防止することとした。

4.3.2 鉄筋の許容応力度

補強筋を鉄筋のみ、または連続繊維補強筋と同時に使用する場合の、鉄筋コンクリート構造およびプレストレストコンクリート構造に対する許容応力度は、直径32mm以下の鉄筋に対して表-4.3.2の値とする。

表-4.3.2 鉄筋の許容応力度 (N/mm²)

応力度、部材の種類等		鉄筋の種類		
		SD345	SD390	SD490
引張 応 力 度	1) 活荷重及び衝撃以外の主荷重	100	100	100
	2) 荷重の組合せに衝突荷重又は地震の影響を考慮しない場合の許容応力度の基本値	一般の部材	180	180
		床版及び支間長10m以下の床版橋	140	140
	3) 荷重の組合せに衝突荷重又は地震の影響を考慮する場合の許容応力度の基本値	桁の軸方向への配置	200	230
		その他	200	200
	4) 鉄筋の重ね継手長又は定着長を算出する場合の許容応力度の基本値	200	230	290
5) 圧縮応力度		200	200	200

「道路橋示方書Ⅲコンクリート編」では、活荷重および衝撃以外の主荷重に対する許容応力度が新たに規定された。その目的は、ひび割れによる鋼材の腐食に対する耐久性の向上であり、連続繊維補強材を用いたコンクリート構造物であっても、補強筋の一部または全部に鉄筋が使用されている場合は、本条文に従うものとした。

4.4 緊張材の許容応力度

4.4.1 連続繊維緊張材の許容応力度

プレストレストコンクリート構造に対する連続繊維緊張材の許容引張応力度は、表-4.4.1の値とする。

表-4.4.1 連続繊維緊張材の許容応力度

応力度の状態	許容引張応力度	備考
1)プレストressing中	$0.80 \sigma_{pu}$	σ_{pu} :連続繊維緊張材の 設計基準強度(N/mm ²)
2)プレストressing直後	$0.70 \sigma_{pu}$	
3)設計荷重作用時	$0.60 \sigma_{pu}$	

連続繊維補強材は大きな持続荷重を長時間作用させた場合に、静的耐力以下でクリープ破壊することがあり、この時のクリープ破壊耐力は繊維の種類によって異なる。そこで、本マニュアルで扱う連続繊維緊張材の許容引張応力度を規定するため、各種試験を行った。ここで、クリープ破壊耐力は、設計耐用年数100年を想定したクリープ破壊限界荷重である。

連続繊維緊張材の設計荷重作用時の許容引張応力度は、上記実験結果を参考にしてクリープ破壊耐力時の応力度(全緊張材で $0.6P_u$ 以上)に比べて安全側に小さく設定した($0.6P_u$)。したがって、本許容引張応力度は、本マニュアルで扱う連続繊維緊張材のクリープ破壊に対しても安全側の規定となっている。

4.4.2 PC鋼材の許容応力度

プレストレストコンクリート構造に対するPC鋼材の許容引張応力度は、表-4.4.2の値とする。

表-4.4.2 PC鋼材の許容応力度

応力度の状態	許容引張応力度	備考
1)プレストressing中	$0.80 \sigma_{pu}$ 又は $0.90 \sigma_{py}$ のうち小さい方の値	σ_{pu} :PC鋼材の 引張強さ(N/mm ²) σ_{py} :PC鋼材の 降伏点(N/mm ²)
2)プレストressing直後	$0.70 \sigma_{pu}$ 又は $0.85 \sigma_{py}$ のうち小さい方の値	
3)設計荷重作用時	$0.60 \sigma_{pu}$ 又は $0.75 \sigma_{py}$ のうち小さい方の値	

原則として、「道路橋示方書Ⅲコンクリート橋編」に準じるものとする。

第5章 部材の照査

5.1 総 則

- (1) 部材の照査は、(2)項の規定にしたがって断面力を算出し、5.2から5.6の規定にしたがって行うものとする。
- (2) 設計荷重作用時および終局荷重作用時の構造部材の照査に用いる断面力の算定は、棒部材を用いた線形解析に基づくものとする。この場合、部材の曲げ剛性、せん断剛性およびねじり剛性は、コンクリートの全断面を有効とし、補強材を無視して算出した値を用いてよい。

(2) コンクリートは、応力度とひずみが直線状に比例せず、完全な弾性体ではない。しかしながら、これを弾性体と見なすことで断面力の算出が容易になり、またその断面力によって設計される部材は、材料非線形性を考慮して算出される部材と比較して、その安全度を一般に損なうものではない。このような理由により、設計荷重作用時および終局荷重作用時の構造部材の照査に用いる断面力は、コンクリートを完全な弾性体と見なして線形解析により算出することとした。

また、構造部材に生じる断面力は、構造物を構成する部材相互の剛性の比により定まり、剛性の大きさそのものの影響は少ない。したがって、断面力の算出にあたっては、簡略化のためコンクリートの全断面を有効として算出した断面の剛性を用いてよいものとした。同時に、部材の剛比に及ぼす補強材の影響は一般に小さいので、これを無視してよいものとした。

5.2 曲げモーメント又は軸方向力が作用する部材の照査

5.2.1 一般

- (1) 曲げモーメント又は軸方向力が作用する部材の設計荷重作用時の照査は、5.2.3の規定により行うものとする。
- (2) 曲げモーメント又は軸方向力が作用する部材の終局荷重作用時の照査は、5.2.6の規定により行うものとする。

(1)(2) 曲げモーメント又は軸方向力が作用する部材については、設計荷重作用時および終局荷重作用時の照査を行わなければならない。

終局荷重作用時の照査としては、部材に曲げ破壊が生じないことを照査するものとする。なお、不静定構造物の終局荷重作用時の照査としては、その崩壊機構まで想定して破壊に至らないことを照査する方法もあるが、ここでは個々の部材が曲げ破壊を生じないことを照査するものとした。

部材が曲げ破壊する場合、コンクリートが終局ひずみに達する場合と、緊張材が終局ひずみに達する場合とがあるが、そのいずれであるのかは問わないこととする。

5.2.2 有効断面

- (1) 曲げモーメント又は軸方向力に対する部材の有効断面は、せん断遅れ現象やダクトの配置等を考慮して定めるものとする。
- (2) 部材の有効断面の算出を、(3)から(5)項による場合は、(1)項を満足するとみなしてよい。
- (3) 曲げモーメントに対する圧縮フランジの片側有効幅は、式(5.2.1)により算出するものとする。

1) 主げた、支点横げた(直接支持されたけた)

$$\lambda = \frac{l}{8} + b_s$$

ただし、連続版および単純版の場合 $\lambda \leq l_b/2$

片持版の場合 $\lambda \leq l_c$

2) 中間横げた(間接支持されたけた)

$$\lambda = \frac{n-1}{6}(l_b + b_w) + b_s$$

ただし、連続版および単純版の場合 $\lambda \leq l_t/2$

片持版の場合 $\lambda \leq l_c$

ここに、 λ : 圧縮フランジの片側有効幅(mm)

l : 有効幅算出のための支間長(mm) (図-5.2.1の値)

b_s : ハンチ部の有効幅(mm)

l_b : 主げたの純間隔(mm)

l_c : 片持版の張出し長(mm)

l_t : 横げたの純間隔(mm)

n : 主げたの本数(本)

b_w : 主げたのウェブ厚(mm)

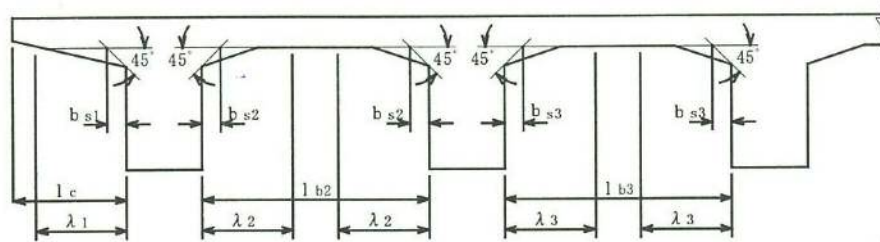


図-5.2.1 圧縮フランジの片側有効幅（主げたの場合）

(4) 軸方向力に対する圧縮フランジの片側有効幅は、式(5.2.2)により算出するものとする。

1) 主げた、支点横げた(直接支持されたけた)

連続版および単純版の場合 $\lambda = l_b / 2$

片持版の場合 $\lambda = l_c$

2) 中間横げた(間接支持されたけた) (5.2.2)

連続版および単純版の場合 $\lambda = l_t / 2$

片持版の場合 $\lambda = l_c$

ここに、 λ : 圧縮フランジの片側有効幅(mm)

l_b : 主げたの純間隔(mm)

l_c : 片持版の張出し長(mm)

l_t : 横げたの純間隔(mm)

(5) プレストレストコンクリート構造のダクトは、有効断面に含めないものとする。

有効断面の考え方は、「道路橋示方書Ⅲコンクリート橋編」の規定に準じている。

5.2.3 設計荷重作用時の照査

- (1) 設計荷重作用時には、5.1により算出した断面力で(2)から(4)項の規定により算出したコンクリートと連続繊維補強材の応力度が、4章に規定する許容応力度以下であることを照査するものとする。
- (2) 連続繊維補強筋によって補強されたコンクリート構造
 - 1) 維ひずみは中立軸からの距離に比例する。
 - 2) コンクリートの引張強度は無視する。
 - 3) 連続繊維補強筋とコンクリートのヤング係数比は、コンクリートのヤング係数を $1.33 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ 、連続繊維補強筋の有効ヤング係数を表-3.4.1の値として算定する。
- (3) プレストレストコンクリート構造
 - 1) 維ひずみは中立軸からの距離に比例する。
 - 2) コンクリートの引張強度は考慮する。
 - 3) 連続繊維緊張材とコンクリートのヤング係数比は、表-3.4.1および道路橋示方書のヤング係数より算出する。
- (4) 直交する2方向の曲げモーメントを受ける部材断面は、2方向の曲げモーメントの影響を考慮して照査するものとする。
- (5) 設計荷重作用時には、コンクリートに発生するひび割れが、構造物の機能、耐久性および美観等その使用目的を損なわないことを、適切な方法によって検討しなければならない。

原則として、「土木学会FRP指針案」の考え方に準ずるものとする。

- (2) 3) 鉄筋コンクリート構造では、鉄筋とコンクリートのヤング係数比(n)は従来から15として応力度を算出しており、この値の妥当性は多くの実験により確かめられている。したがって、ここでは、従来の鉄筋のヤング係数 $E_s=2.0 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ に対して $n=15$ となる、コンクリートのヤング係数 $E_c=1.33 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ をコンクリートの強度に関係なく採用することとし、連続繊維補強筋の有効ヤング係数は使用材の実験値を用いることとした。

5.2.4 許容ひび割れ幅

- (1) 許容曲げひび割れ幅 w_a は、構造物の使用目的、環境条件、部材の条件等を考慮して定めることを原則とする。
- (2) 美観上の問題から定まる許容ひび割れ幅は、一般に、構造物が置かれる環境に応じて0.5mm以下の値に定めてよい。
- (3) 水密性に対するひび割れ制御もしくは許容ひび割れ幅は、コンクリート標準示方書[構造性能照査編]7.4.2(3)によるものとする。

原則として、「土木学会FRP指針案」の考え方に準ずるものとする。

5.2.5 曲げひび割れの検討

(1) 曲げひび割れの検討は、一般に、式(5.2.3)によって求めたひび割れ幅 w が、許容ひび割れ幅 w_a 以下であることを確かめることとする。

$$w = k \{ 4c + 0.7(c_f - \phi) \} \left(\sigma_{fe} / E_f \text{ (または } \sigma_{pe} / E_{fp}) + \varepsilon'_{csd} \right) \quad (5.2.3)$$

ここに、 k : 付着性状や多段配筋の影響を示す定数で、一般に1.0～1.3とする。

c : かぶり (mm)

c_f : 補強材の中心間隔 (mm)

ϕ : 補強材直径 (mm)

ε'_{csd} : コンクリートの収縮およびクリープによるひび割れ幅の増加を考慮するための数値

σ_{fe} : 補強筋応力度の増加量

E_f : 補強筋のヤング係数

σ_{pe} : 緊張材応力度の増加量

E_{fp} : 緊張材のヤング係数

(2) 曲げひび割れの検討で対象とする補強筋および緊張材は、原則としてコンクリートの表面に最も近い位置にある引張補強材とし、応力度およびひずみは、5.2.3に従って求めるものとする。

原則として、「土木学会FRP指針案」の考え方に準ずるものとする。

ネフマックの場合の曲げひび割れ幅は、以下を参考に求めることができる。

「土木学会FRP指針案」解説では「格子状の連続繊維補強材を用いた場合には、ひび割れ間隔は格子間隔にも影響されるので、それを考慮してひび割れ間隔 l_k を算定し、(解7.4.1)式によりひび割れ幅を求めることができる」としている。

$$w = l_k \left(\sigma_{fe} / E_f + \varepsilon'_{csd} \right) \quad (\text{解7.4.1})$$

上式で l_k は最大ひび割れ間隔を示していると考えられる。格子状の連続繊維補強材を用いた場合に、最大ひび割れ間隔 l_{max} は実験により、荷重軸と直角方向の格子筋間隔 S を用いた下式が成り立つことが報告されている。

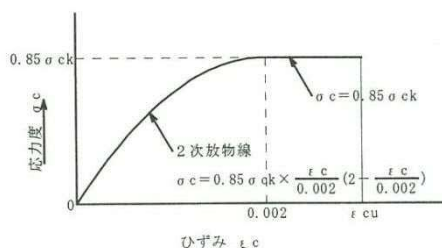
$$l_{max} < 2S$$

格子状の連続繊維補強材を用いた場合には、 $l_k = 2S$ として計算しても良い。

*趙、丸山、山本、清水：「FRPロッドを主筋に用いたコンクリートはりの曲げひび割れ性状」コンクリート技術シリーズ1連続繊維補強材のコンクリート構造物への適用に関するシンポジウム講演論文報告集、P123-128、土木学会、1994年4月。

5.2.6 終局荷重作用時の照査

- (1) 終局荷重作用時には、5.1により算出した断面力が(2)から(4)項の規定により算出した部材の破壊抵抗曲げモーメント以下であることを照査するものとする。
- (2) 部材断面の破壊抵抗曲げモーメントは、次の規定により算出するものとする。
 - 1) 維ひずみは中立軸からの距離に比例する。
 - 2) コンクリートの引張強度は無視する。
 - 3) コンクリートの応力度－ひずみ曲線は、図-5.2.3に示したものをを用いるものとする。このときコンクリートの終局ひずみは、表-5.2.2の値を用いるものとする。
 - 4) 連続繊維補強材の応力度－ひずみ曲線は、図-5.2.4に示したものをを用いるものとする。



ここに、

σ_{ck} : コンクリートの設計基準強度 (N/mm^2)

σ_c : コンクリートの応力度 (N/mm^2)

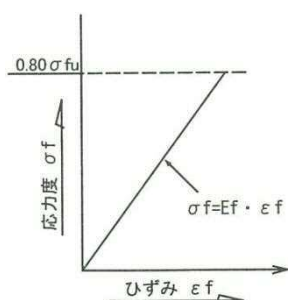
ε_c : コンクリートのひずみ

ε_{cu} : コンクリートの終局ひずみ

図-5.2.3 破壊抵抗曲げモーメントを算出する場合の
コンクリートの応力度－ひずみ曲線

表-5.2.2 コンクリートの終局ひずみ

コンクリートの設計基準強度 σ_{ck} (N/mm^2)	$\sigma_{ck} \geq 50$	$50 < \sigma_{ck} < 60$	$60 \leq \sigma_{ck}$
終局ひずみ	0.0035	0.0035から0.0025の間を 直線補完	0.0025



ここに、

σ_{fu} : 連続繊維補強材の設計基準強度 (N/mm^2)

σ_f : 連続繊維補強材の応力度 (N/mm^2)

E_f : 連続繊維補強材の有効ヤング係数 (N/mm^2)

ε_{fu} : 連続繊維補強材のひずみ

図-5.2.4 破壊抵抗曲げモーメントを算出する場合の
連続繊維補強材の応力度－ひずみ曲線

- (3) 部材断面に曲げモーメントと軸方向力が同時に作用する場合の破壊抵抗曲げモーメントは、終局荷重作用時の軸方向力が作用しているものとして(2)項の規定により算出するものとする。
- (4) プレストレストコンクリート構造において、連続繊維緊張材とコンクリートとの付着がない場合の破壊抵抗曲げモーメントは、(2)又は(3)項の規定により算出する値の70%とする。

原則として、「道路橋示方書Ⅲコンクリート橋編」の考え方に準じるものとする。

- (2)4) 破壊抵抗曲げモーメント計算時の連続繊維補強材の応力度－ひずみ曲線は、使用する連続繊維補強材各々の特性に応じたものをを用いることとし、更にこの曲線は一般にやや下に凸な曲線となる

ことが知られているが、ここではその誤差が小さいことから、全連続繊維補強材について直線を設定した。なお、この応力度－ひずみ曲線は、連続繊維緊張材および連続繊維補強筋の両者に適用する。また、連続繊維補強材の終局限界応力度は表-3.4.1に定める設計基準強度の80%とする。破壊抵抗曲げモーメントの算出において破壊形式の推定を誤まるとぜい性的な破壊性状を示しやすいので留意する必要がある。

- (4) PC部材において連続繊維緊張材とコンクリートの付着がない場合は、曲げひび割れが1ヶ所に集中することによるひび割れ幅の拡大と部材の角折れ発生等を制御するとともに、定着部に作用する緊張力変動に対する定着具定着能力の信頼性を高めることを目的として、「道路橋示方書Ⅲコンクリート橋編」の規定と同様、破壊抵抗曲げモーメントを算定値の70%へ低減することとした。

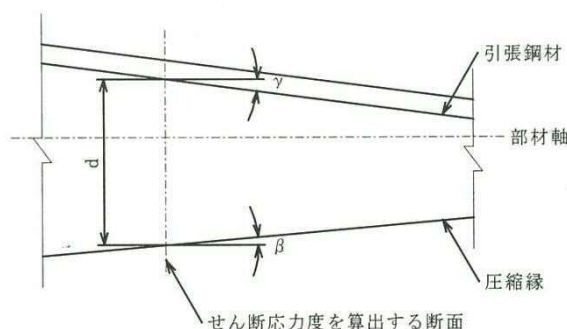
5.3 せん断力が作用する部材の照査

5.3.1 一般

- (1) せん断力が作用する部材の設計荷重作用時の照査は、5.3.3の規定により行うものとする。
- (2) せん断力が作用する部材の終局荷重作用時の照査は、5.3.4の規定により行うものとする。
- (3) 照査に用いる設計せん断力は、5.1により算出したせん断力に、式(5.3.1)にしたがって部材の有効高の変化の影響を考慮するものとする。ただし、プレストレストコンクリート構造の設計荷重作用時の照査に用いるせん断力は、部材の有効高の変化の影響は考慮しないものとする。

$$S_h = S - \frac{M}{d} (\tan \beta + \tan \gamma) \quad \dots \dots \dots (5.3.1)$$

ここに、
 S_h : 部材の有効高の変化の影響を考慮した設計せん断力 (N)
 S : 部材断面に作用するせん断力 (N)
 M : 部材断面に作用する曲げモーメント (N・mm)
 d : 部材断面の有効高 (mm) (図-5.3.1参照)
 β : 部材圧縮縁が部材軸となす角度 (図-5.3.1参照)
 γ : 引張補強筋が部材軸となす角度 (図-5.3.1参照)



(注) β および γ は、曲げモーメントの絶対値が増すにしたがって有効高が増す場合には正、減じる場合には負とする。

図-5.3.1 β 、 γ および d のとり方

- (4) けたの支点付近およびラーメンの節点部付近におけるコンクリートのせん断力に対する照査は、支点反力によりウェブに作用する圧縮応力を考慮して行うものとする。ここで、せん断力に対する照査を図-5.3.2に示す部材断面に対して行った場合は、この影響を考慮したものとしてよい。
- (5) けたの支点付近およびラーメンの節点部付近(図-5.3.2の斜線部)の斜引補強筋は、(4)項に規定する部材断面について必要となる補強筋量以上を配置するものとする。

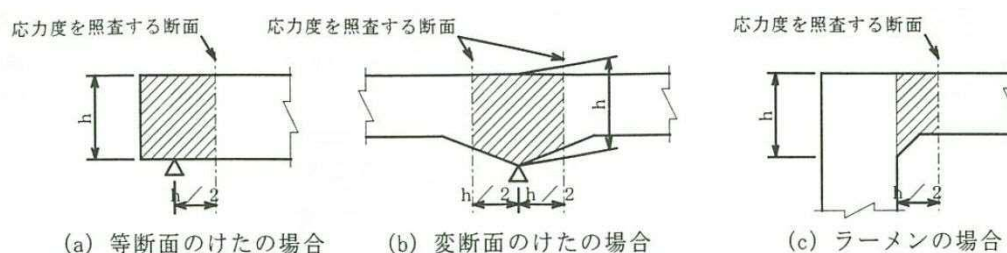


図-5.3.2 せん断力に対する照査断面

(6) せん断力が作用する方向の厚さが薄い部材を除いて、6.4(6)項に規定する最小補強筋量以上の斜引張補強筋を配置するものとする。

せん断力に照査に関する基本的考え方、証左方法および照査の基準とするせん断力と等は、「道路橋示方書Ⅲコンクリート橋編」の規定とおりとする。

なお、せん断力が作用する部材の安全度照査には、使用限界、せん断ひび割れ限界、終局限界などの各種限界状態の照査があるが、ここではこれらの照査にかわるものとして、それぞれの状態を代表するせん断応力度がそれぞれの許容せん断応力度を満足することを照査する方法を採用している。

5.3.2 有効断面

- (1) せん断力に対する部材の有効断面は、その耐荷機構のモデルに応じて定めるものとする。
- (2) 部材の有効断面の算出を、(3)および(4)項による場合は、(1)項を満足するとみなしてよい。
- (3) 設計荷重作用時に対する照査においては、補強されたコンクリート構造についてはトラス理論に基づき有効高を定めるものとする。また、プレストレストコンクリート構造については全断面有効とするものとする。
- (4) 終局荷重作用時に対する照査においては、トラス理論に基づき有効高を定めるものとする。

5.3.3 設計荷重作用時の照査

- (1) 設計荷重作用時には、5.3.1(3)項により算出した設計せん断力を用いて(3)又は(4)項の規定により算出した応力度が、3章に規定する許容応力度以下であることを照査するものとする。なお、式(5.3.2)により算出した部材断面に生じるコンクリートの平均せん断応力度が表-5.3.1の値以下の場合には、(3)項に規定する鉄筋コンクリート構造における斜引補強筋の応力度は照査しなくてよい。

$$\tau_m = \frac{S_h - S_p}{b_w \cdot d} \quad \dots \dots \dots (5.3.2)$$

ここに、 τ_m ：部材断面に生じるコンクリートの平均せん断応力度(N/mm²)

S_h ：部材の有効高の変化の影響を考慮した設計せん断力(N)

S_p ：緊張材の引張力のせん断力作用方向の分力(N)

$$S_p = A_p \cdot \sigma_{pe} \cdot \sin \alpha$$

ただし、せん断力の作用する方向の厚さが薄い部材では、 $S_p=0$ とする。

b_w ：部材断面のウェブ厚(mm)

d ：部材断面の有効高(mm)

A_p ：部材断面における緊張材の断面積(mm²)

σ_{pe} ：部材断面における緊張材の有効引張応力度(N/mm²)

α ：緊張材が部材軸となす角度

表-5.3.1 コンクリートが負担できる平均せん断応力度(N/mm²)

設計基準強度	21	24	27	30	40	50	60
コンクリートが負担できる平均せん断応力度	0.36	0.39	0.42	0.45	0.55	0.65	0.70

(2) せん断力が作用する方向の厚さが薄い鉄筋コンクリート構造の部材については、式(5.3.2)により算出した部材断面に生じるコンクリートの平均せん断応力度が表-5.3.1の値以下とするものとする。

(3) 連続繊維補強筋で補強されたコンクリート構造における斜引張連続繊維補強筋の応力度

$$\sigma_f = \frac{1.15 S_{fs} \cdot a}{\Sigma A_{fw} \cdot d (\sin \theta + \cos \theta)} \quad \dots \dots \dots (5.3.3)$$

ここに、

σ_f : 斜引張連続繊維補強筋の応力度 (N/mm²)

S_{fs} : 斜引張連続繊維補強筋が負担するせん断力の合計 (N)

$$S_{fs} = S_h - S_c$$

S_h : 部材の有効高の変化の影響を考慮した設計せん断力 (N)

S_c : コンクリートが負担できるせん断力 (N)

$$S_c = k \cdot \tau_c \cdot b_w \cdot d$$

$$\text{ただし、} k = 1 + \frac{M_o}{M_d}$$

A_{fw} : 間隔 a および角度 θ で配筋される斜引張連続繊維補強筋の断面積 (mm²)

a : 斜引張連続繊維補強筋の部材軸方向の間隔 (mm)

θ : 斜引張連続繊維補強筋が部材軸となす角度

b_w : 部材断面のウェブ厚 (mm)

d : 部材断面の有効高 (mm)

τ_c : コンクリートが負担できる平均せん断応力度 (N/mm²) (表-5.3.1の値)。

ただし、荷重の組合せによる応力度の割増しを行ってはならない。

M_d : 部材断面に作用する曲げモーメント (N・mm)

M_o : 軸方向力によるコンクリートの応力度が部材引張縁で0となる曲げモーメント (N・mm)

(4) プレストレストコンクリート構造におけるコンクリートの斜引張応力度

$$\sigma_I = \frac{1}{2} \left\{ (\sigma_x + \sigma_y) - \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau^2} \right\} \quad \dots \dots \dots (5.3.4)$$

$$\tau = \frac{(S - S_h) \cdot Q}{b_w \cdot I}$$

ここに、

σ_I : 部材断面に生じるコンクリートの斜引張応力度 (N/mm²)

τ : 部材断面に生じるコンクリートのせん断応力度 (N/mm²)

σ_x : 部材軸方向圧縮応力度 (N/mm²)

σ_y : 部材軸直角方向圧縮応力度 (N/mm²)

S : 部材断面に作用するせん断力 (N)

S_p : 緊張材の引張力のせん断力作用方向の分力 (N)

$$S_p = A_p \cdot \sigma_{pe} \cdot \sin \alpha$$

ただし、せん断力の作用する方向の厚さが薄い部材では、 $S_p=0$ とする。

Q : せん断応力度を算出する位置より外側部分の、図心軸に関する断面一次モーメント (mm^3)

b_w : 部材断面のウェブ厚 (mm)

I : 部材断面の図心軸に関する断面二次モーメント (mm^4)

A_p : 部材断面における緊張材の断面積 (mm^2)

σ_{pe} : 部材断面における緊張材の有効引張応力度 (N/mm^2)

α : 緊張材が部材軸となす角度

諸値の算出方法等は、「道路橋示方書Ⅲコンクリート橋編」の規定通りとする。

5.3.4 終局荷重作用時の照査

- (1) 終局荷重作用時には、5.3.1(3)項により算出した設計せん断力が、(2)および(3)項の規定により算出した耐力以下であることを照査するものとする。なお、5.3.3に規定する設計荷重作用時の照査において、部材断面に生じるコンクリートの平均せん断応力度が表-5.3.1の値以下の場合には、せん断力が作用する方向の厚さが薄いプレストレストコンクリート構造の部材を除いて(3)項に規定する斜引張破壊に対する耐力は照査しなくてよい。
- (2) 部材のウェブコンクリートの圧壊に対する耐力は、式(5.3.5)により算出するものとする。

$$S_{uc} = \tau_{\max} \cdot b_w \cdot d + S_p \quad \dots \dots \dots (5.3.5)$$

ここに、
 S_{uc} : ウェブコンクリートの圧壊に対する耐力 (N)
 $\tau_{\max}$: コンクリートの平均せん断応力度の最大値で、表-5.3.2の値を用いてよい。
 b_w : 部材断面のウェブ厚 (mm)
 d : 部材断面の有効高 (mm) (図-5.3.1参照)
 S_p : 緊張材の引張力のせん断力作用方向の分力 (N)

$$S_p = A_p \cdot \sigma_{pe} \cdot \sin \alpha$$

ただし、せん断力の作用する方向の厚さが薄い部材では、 $S_p=0$ とする。

A_p : 部材断面における緊張材の断面積 (mm^2)

σ_{pe} : 部材断面における緊張材の有効引張応力度 (N/mm^2)

α : 緊張材が部材軸となす角度

表-5.3.2 コンクリートの平均せん断応力度の最大値 (N/mm^2)

設計基準強度	21	24	27	30	40	50	60
コンクリートが負担できる平均せん断応力度の最大値	2.8	3.2	3.6	4.0	5.3	6.0	6.0

- (3) 部材の斜引張破壊に対する耐力は、式(5.3.6)により算出するものとする。

$$S_{us} = S_c + S_s + S_f + S_p \quad \dots \dots \dots (5.3.6)$$

ここに、
 S_{us} : 斜引張破壊に対する耐力
 S_c : コンクリートが負担できるせん断力 (N)

$$S_c = \alpha_c \cdot k \cdot \tau_c \cdot b_w \cdot d$$

$$\text{ただし、} k = 1 + \frac{M_o}{M_d} \leq 2$$

S_s : 主方向の設計におけるせん断力に対して配置したとみなせる斜引張鉄筋が負担できるせん断力(N)

$$S_s = \frac{A_w \cdot \sigma_{sy} \cdot d(\sin \theta + \cos \theta)}{1.15a}$$

S_f : 主方向の設計におけるせん断力に対して配置したとみなせる斜引張連続繊維補強筋が負担できるせん断力(N)

$$S_f = \alpha_w \cdot \frac{A_{fw} \cdot \sigma_{fy} \cdot d(\sin \theta + \cos \theta)}{1.15a}$$

S_p : 緊張材の引張力のせん断力作用方向の分力(N)

$$S_p = A_p \cdot \sigma_{pe} \cdot \sin \alpha$$

ただし、せん断力の作用する方向の厚さが薄い部材では、S_p=0とする。

α_c : コンタリートの負担できるせん断力の補正係数

τ_c : コンクリートが負担できる平均せん断応力度(N/mm²) (表-5.3.1の値)。

b_w : 部材断面のウェブ厚(mm)

d : 部材断面の有効高(mm) (図-5.3.1参照)

M_d : 材断面に作用する曲げモーメント(N・mm)

M_o : プレストレス力及び軸方向力によるコンクリートの応力度が部材引張縁で0となる曲げモーメント(N・mm)

A_w : 間隔a及び角度 θ で配筋される斜引張鉄筋の断面積(mm²)

σ_{sy} : 斜引張鉄筋の降伏点(N/mm²)

a : 斜引張鉄筋の部材軸方向の間隔(mm)

θ : 斜引張鉄筋が部材軸となす角度

α_c : 斜引張連続繊維補強筋の有効断面積算出用補正係数

A_{fw} : 間隔a及び角度 θ で配筋される斜引張連続繊維補強筋の断面積(mm²)

σ_{fy} : 斜引張連続繊維補強筋の終局時に許される応力度(N/mm²)

a_f : 斜引張連続繊維補強筋の部材軸方向の間隔(mm)

θ_f : 斜引張連続繊維補強筋が部材軸となす角度

A_p : 部材断面における緊張材の断面積(mm²)

σ_{pe} : 部材断面における緊張材の有効引張応力度(N/mm²)

α : 緊張材が部材軸となす角度

α_w : 補正係数

(3) 部材の斜引張破壊に対する考え方

①RC部材およびPC部材について

斜引張補強筋量算出の基本とする考え方と算出方法および検討対象とする荷重作用条件等については、「道路橋示方書Ⅲコンクリート橋編」の規定に準ずるものとした。しかし、従来の鋼材に代

って連続繊維補強筋を斜引張補強筋として使用する場合、一般に、下記の特性があり、部材のせん断耐力を大きく左右する。

- 1) 曲げ加工した斜引張連続繊維補強筋は、曲げ加工部分において、連続繊維補強筋の保証強度以下で破断する場合がある、
- 2) 一般に、連続繊維補強筋は高強度でかつヤング率が小さいために、鉄筋に比較して引張剛性が小さい。

したがって、連続繊維補強筋を斜引張補強筋として使用する場合に、これらの特性を考慮した式(5.3.6)に示す補正係数 α_w 、 α_c を導入することとした。

②斜引張連続繊維補強筋の有効断面積算出用の補正係数 α_w について

部材断面にせん断力を負担する斜引張連続繊維補強筋を配置するとき、その効率を良くするためには、部材のウェブ部分断面形状に合わせて補強筋を曲げ加工する必要がある。しかし、曲げ加工した連続繊維補強筋は、引張力が作用すると、曲げ加工部分において連続繊維補強筋の保証強度以下で破断することがある。したがって、斜引張連続繊維補強筋量を算出するに当っては、算出の基準とする連続繊維補強筋の許容応力度を改めて規定した。

斜引張連続繊維補強筋の破断強度は、連続繊維補強筋の素材材質、斜引張補強筋としての製造方法と曲げ加工方法、および、曲げ半径等により異なり、現時点でこれを一義的に定めるのは困難である。したがって、連続繊維補強筋ごとに定めた。

設計荷重作用時においては表-4.3.1に示す許容応力度をもちいる。終局荷重作用時においては表-3.4.1から求める設計基準強度の80%に対して補正係数 α_w で修正することとした。

補正係数 α_w は以下により求めることができる。

(参考5.1)「土木学会FRP指針案 6.3 せん断力に対する安全性の検討」によれば、設計せん断耐力 V_{ud} は、 V_{cd} 、 V_{sd} 、 V_{ped} 各々の算定式を規定している。

$$V_{ud} = V_{cd} + V_{sd} + V_{ped}$$

ここに、 V_{cd} ：せん断補強筋を用いない棒部材の設計せん断耐力

V_{sd} ：せん断補強筋により受け持たれる設計せん断耐力

V_{ped} ：軸方向緊張材の有効引張力のせん断力に平行な成分

これらの算定式のうち、せん断補強筋により受け持たれる設計せん断耐力 V_{sd} の算定式である式(6.3.4)において、せん断補強筋の効果を示している第1項を対象として $Z=d/1.15$ を代入し A_w を求める式へ書き換えると次式を得る。

$$A_w = \frac{1.15 \cdot V_{sd} \cdot s_s}{d \cdot E_w \cdot \varepsilon_{fwd} (\sin \alpha_s + \cos \alpha_s)} \cdot \gamma_b$$

上記と本文中の式(5.3.6)とを対比することにより、補正係数 α 、算定式は次の通りとなる。

$$\alpha_w = \frac{E_w \cdot \varepsilon_{fwd}}{\sigma_{fy}} \cdot \frac{1}{\gamma_b}$$

ここで、 α_w の算定式は ε_{fwd} のを含み取り扱いが煩雑であるので、以下に算定式の簡略化を試みる。

(参考5.1)において、部材高さを $h=0.5\sim 1.0\text{m}$ と仮定すると、寸法効果を考慮したコンクリートの設計圧縮強度 f'_{mcd} は、次のようになる。

$$f'_{mcd} = \left(\frac{h}{0.3} \right)^{-1/10} \cdot f'_{cd} = (0.950 \approx 0.887) \cdot f'_{cd}$$

$$\therefore f'_{mcd}{}^{1/2} \cong 0.958 \cdot f'_{cd}{}^{1/2}$$

であり、平均軸圧縮力を $\sigma'_N = (1/6 \approx 1/4) \cdot f'_{mcd}$ と仮定すると、次式を得る。

$$\left(1 + 2 \cdot \frac{\sigma'_N}{f'_{mcd}} \right) = \left(1 + 2 \cdot \frac{(1/6 - 1/4) \cdot f'_{mcd}}{f'_{mcd}} \right) \cong 1.42$$

式(6.3,5)は、 $E_c f = E_w$ とすると、次式を得る。

$$\varepsilon_{fwd} = 0.958 \cdot \left(\frac{p_w}{p_{web}} \cdot f'_{cd} \right)^{1/2} \cdot 1.42 \times 10^{-4} = 1.36 \left(\frac{p_w}{p_{web}} \cdot f'_{cd} \right)^{1/2} \cdot 10^{-4}$$

すると補正係数 α_w の簡略式を得ることができる。

$$\begin{aligned} \alpha_w &= \frac{E_w}{\sigma_{fy}} \cdot 1.36 \cdot \left(\frac{p_w}{p_{web}} \cdot f'_{cd} \right)^{1/2} \cdot 10^{-4} \cdot \frac{1}{1.15} \\ &\cong 1.18 \cdot \frac{E_w}{\sigma_{fy}} \cdot \left(\frac{p_w}{p_{web}} \cdot f'_{cd} \right)^{1/2} \cdot 10^{-4} \end{aligned}$$

本簡略式による補正係数 α_w の目安は、 $f'_{cd} = 50 \text{ N/mm}^2$ とし、 $p_w/p_{web} = 0.05 \sim 20.0$ 、 $E_w/\sigma_f = 50 \sim 200$ のとき、表-解5.3.1、表-解5.3.2に示す値程度となる。

表-解5.3.1 補強筋比 p_w (引張補強筋比) / p_{web} (せん断補強筋比) 表

$\begin{matrix} \text{ } & p_w \\ p_{web} & \end{matrix}$	0.25	0.50	1.00	2.50	5.00
0.25	1.00	2.00	4.00	10.00	20.00
0.50	0.50	1.00	2.00	5.00	10.00
1.00	0.25	0.50	1.00	2.50	5.00
2.50	0.10	0.20	0.40	1.00	2.00
5.00	0.05	0.10	0.20	0.50	1.00

表-解5.3.2 α_w の目安 ($f'_{cd} = 50 \text{ N/mm}^2 = 500 \text{ kgf/cm}^2$)

E_w / σ_{fy}	p_w (引張補強筋比) / p_{web} (せん断補強筋比)						
	0.05	0.1	0.5	1	5	10	20
50	0.01	0.01	0.03	0.04	0.09	0.13	0.19
100	0.02	0.03	0.06	0.08	0.19	0.26	0.37
150	0.03	0.04	0.09	0.12	0.28	0.39	0.56
200	0.04	0.05	0.12	0.17	0.37	0.52	0.74

③コンクリートが負担できるせん断力算出用補正係数 α_c について

コンクリートが負担できるせん断力は、ひび割れ発生後のせん断面におけるコンクリートの噛み合い効果、補強筋のダウエル効果とひび割れ幅拡大抑制効果等に大きく左右されることが明らかにされている。このことから、式本文中(5,3.6)で適用されているコンクリートが負担できる平均せん断応力

度は、斜引張補強筋として従来から使用されている鋼材を用いた場合、上記諸要因の効果を勘案して実験的に定められた値と考えられる。

一方、現在一般的に製造されている連続繊維補強筋を斜引張補強筋として用いた場合に、コンクリートが負担できるせん断力は、鋼材製補強材の場合より小さいことが実験的に知られている。したがって、斜引張連続繊維補強筋の使用時にコンクリートが負担できるせん断力を求めるにあたっては、ここで改めて平均せん断応力度の許容値を一義的に定めるのが妥当であるが、従来から一般的に用いられている値と異なることとなり煩雑であること、決定に大きな影響を与えるヤング係数 E_f が連続繊維補強筋の種類により異なること、等の理由により、ここでは、補正係数 α_c を適用することとした。しかし、この補正係数 α_c の適用にあたっては、例えば、斜引張補強筋専用に、鋼材と同等のヤング係数 E_f および付着性状を持つ連続繊維補強筋の開発・適用を研究するなど、各連続繊維補強筋特有の事情があることから、補正係数 α_w と同様、その適用条件等には十分留意する必要がある。

補正係数 α_c は以下により求めることができる。(参考5.1「土木学会FRP指針案 6.3 せん断力に対する安全性の検討」に定めるせん断補強筋を用いない棒部材の設計せん断耐力 V_{cd} の算定式である式(6.3.2)において、当式と本文中の式(5.3.6)とを対比することにより、補正係数 α_c 算定式は次の通りとなる。

$$\alpha_c = (\beta_d \cdot \beta_p \cdot f_{vcd} / \gamma_b) \frac{1}{\tau_c}$$

ここでは、道路橋示方書Ⅲコンクリート橋編が扱っていない寸法効果を見捨てる。許容コンクリートの負担できる平均せん断応力度は、参考資料とほぼ同等であるので、ここではコンクリート橋編に従うものとする。すると、影響するパラメーターは β_p のみとなる。

$$\alpha_c \cong \sqrt[3]{100 \cdot p_w \cdot E_{fu} / E_o}$$

本簡略式による補正係数 α_c の目安は、表-解5.3.3に示す程度となる。

表-解 5.3.3 α_c の目安

E_{fu} (kN/mm ²)	E_{fu}/E_o	p_w (引張補強筋比 %)				
		0.25	0.50	1.00	2.50	5.00
50	0.25	0.40	0.50	0.63	0.85	10.8
100	0.50	0.50	0.63	0.79	1.08	1.36
150	0.75	0.57	0.72	0.91	1.23	1.50

– 54 –

い。ただし、 $E_w \varepsilon_{fwd}$ が曲げ成形部強度の設計用値 f_{fbd} より小さい場合は、 $E_w \varepsilon_{fwd}$ を f_{fbd} に置換する。なお、 f_{fbd} は式(3.4.1)によ求めてよい。

$$\varepsilon_{fwd} = \sqrt{f'_{mcd} \frac{p_w E_{fu}}{p_{web} E_w} \left[1 + 2 \left(\frac{\sigma'_N}{f'_{mcd}} \right) \right]} \times 10^{-4} \quad \dots \dots (6.3.5)$$

α_s ：せん断補強筋が部材軸となす角度

s_s ：せん断補強筋の配置間隔

$$p_{web} = A_w / (b_w \cdot s_s)$$

A_w ：区間 s_s におけるせん断補強筋用緊張材の総断面積

σ_{pw} ：終局限界状態におけるせん断補強用緊張材の引張応力度

$$\sigma_{pw} = \sigma_{wpe} + E_{fpd} \varepsilon_{fwd} \leq f_{fpud}$$

σ_{pw} ：せん断補強用緊張材の有効引張応力度

E_{fpd} ：せん断補強用緊張材のヤング係数

f_{fpud} ：せん断補強用緊張材の設計引張強度

α_p ：せん断補強用緊張材が部材軸となす角度

s_p ：せん断補強用緊張材の配置間隔

Z ：圧縮応力の合力の作用位置から引張補強材図心までの距離で、一般に $d/1.15$ としてよい。

σ'_N ：平均軸圧縮応力

$$\sigma'_N = (N'_d + P_{ed}) / A_g$$

ただし、 $\sigma'_N > 0.4f'_{mcd}$ となる場合には $\sigma'_N = 0.4f'_{mcd}$ とする。

P_{ed} ：軸方向緊張材の有効引張力

A_g ：全断面の断面積

f'_{mcd} ：寸法効果を考慮したコンクリートの設計圧縮強度(N/mm²)

$$f'_{mcd} = \left(\frac{h}{0.3} \right)^{-1/10} \cdot f'_{cd}$$

f'_{cd} ：コンクリートの設計圧縮強度(N/mm²)

h ：部材の高さ(m)

γ_b ：一般に、1.5としてよい。

V_{ped} ：軸方向緊張力の有効引張力のせん断力に平行な成分で、式(6.3.6)による。

$$V_{ped} = P_{ed} \sin \alpha_p / \lambda_b \quad \dots \dots \dots (6.3.6)$$

α_p ：軸方向緊張材が部材軸となす角度

γ_b ：一般に1.15としてよい。

5.4 ねじりモーメントが作用する部材の照査

ねじりモーメントに対する照査は、ねじりモーメントの影響が大きい部材について行うことを原則とする。

5.5 鉄筋とコンクリートとの付着に関する照査

- (1) 鉄筋とコンクリートとが一体として挙動することを前提としている部材については、鉄筋とコンクリートとの適切な付着を確保するものとする。
- (2) (3)および(4)項により付着に関する照査を行う場合は、(1)項を満足するとみなしてよい。
- (3) 設計荷重作用時の軸方向主鉄筋とコンクリートの付着応力度は、表-3.2.6に規定する許容付着応力度以下であることを照査するものとする。
- (4) 軸方向主鉄筋とコンクリートの付着応力度は、式(5.5.1)により算出するものとする。

$$\tau_o = \frac{1.15S_h}{U \cdot d} \quad \dots \dots \dots (5.5.1)$$

ここに、 τ_o ：鉄筋とコンクリートの付着応力度(N/mm²)

S_h ：部材の有効高の変化の影響を考慮したせん断力(N) (5.3.1参照)

U ：鉄筋の周長の総和(mm)

d ：部材の有効高(mm)

「道路橋示方書Ⅲコンクリート橋編」の規定に準ずるものとする。

5.6 押抜きせん断に関する照査

- (1) 厚さの薄い部材に面外から集中荷重が作用する場合は、コンクリートの押抜きせん断破壊についての安全を確保するものとする。
- (2) (3)および(4)項により押抜きせん断に関する照査を行う場合は、(1)項を満足するとみなしてよい。
- (3) 設計荷重作用時のコンクリートの押抜きせん断応力度は、表-3.2.7に規定する許容押抜きせん断応力度以下であることを照査するものとする。
- (4) コンクリートの押抜きせん断応力度は、式(5.6.1)により算出するものとする。

$$\tau_p = \frac{P}{b_p \cdot d} \quad \dots \dots \dots (5.6.1)$$

ここに、 τ_p ：押抜きせん断応力度(N/mm²)

P：荷重(N)

b_p ：断面の分布形状を、部材の有効高の1/2の距離だけ離れた面へ45°の角度で投影した形状の外周の長さ(mm) (図-5.6.1参照)

d：部材断面の有効高(mm)

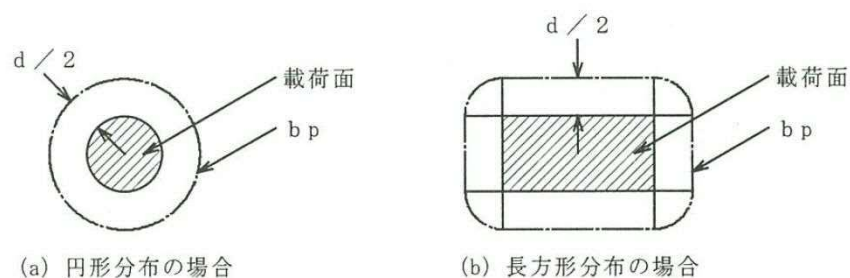


図-5.6.1 式(5.6.1)における b_p のとり方

「道路橋示方書Ⅲコンクリート橋編」の規定に準ずるものとする。

第6章 耐久性の検討

6.1 一般

コンクリート部材の設計にあたっては、経年的な劣化による影響を考慮するものとする。

「道路橋示方書Ⅲ コンクリート橋編」の規定どおりとする。

6.2 塩害に対する検討

- (1) コンクリート構造物は、塩害により所要の耐久性が損なわれないようにするものとする。
- (2) 連続繊維補強材は、塩化物イオンの侵入により腐食することがないので、(1)の検討は行わなくてよい。
- (3) 連続繊維補強材以外の鋼材を使用する場合、表-6.2.2に示す地域においては、かぶりの最小値を表-6.2.1に示す値以上とする等の対策を行うことにより(1)を満足するとみなしてよい。
- (4) 連続繊維緊張材の定着具や接続具は、(3)と同様の取扱いとする。特に対策区分Sにおいては、防せいに十分配慮する必要がある。

表-6.2.1 塩害の影響による最小かぶり (mm)

塩害 の影響 の度合い	部材・部位 対策区分	(1)工場で製作される プレストレスト コンクリート 構造	(2)(1)以外のプレス トレストコンク リート構造	(3)鉄筋コンクリ ート構造
影響が激しい	S	70 ^{※1}		
影響を受ける	I	50	70	
	II	35	50	70
	III			50
影響を受けない		7.6.1「連続繊維補強材のかぶり」による		

※1) 塗装鉄筋の使用又はコンクリート塗装を併用

表-6.2.2 塩害の影響地域

地域区分	地域	海岸線からの距離	塩害の影響度合いと対策区分	
			対策区分	影響度合い
A	沖縄県	海上部および海岸線から100mまで	S	影響が激しい
		100mをこえて300mまで	I	影響を受ける
		上記以外の範囲	II	
B	図-6.2.1および表-6.2.3に示す地域	海上部および海岸線から100mまで	S	影響が激しい
		100mをこえて300mまで	I	影響を受ける
		300mをこえて500mまで	II	
		上記以外の範囲	III	
C	上記以外の地域	海上部および海岸線から20mまで	S	影響が激しい
		20mをこえて50mまで	I	影響を受ける
		50mをこえて100mまで	II	
		100mをこえて200mまで	III	

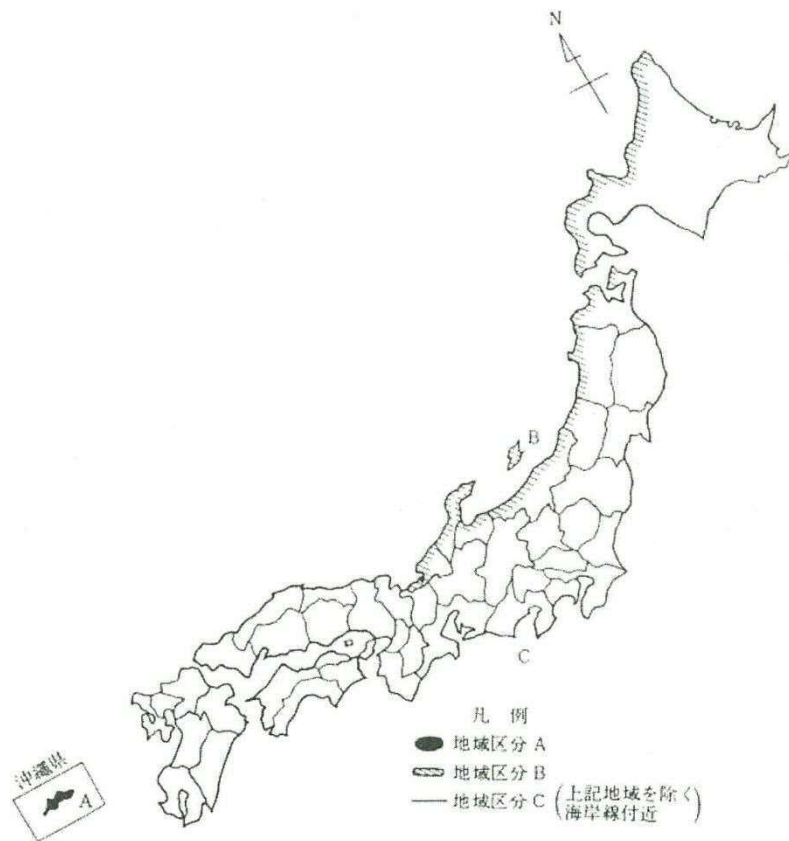


図-6.2.1 塩害の影響の度合いの地域区分

表-6.2.3 地域区分Bとする地域

北海道のうち、宗谷支庁の礼文町・利尻富士町・利尻町・稚内市・猿払村・豊富町、
留萌支庁、石狩支庁、後志支庁、檜山支庁、渡島支庁の松前町
青森県のうち、蟹田町、今別町、平館村、三厩村(東津軽郡)、北津軽郡、西津軽郡、
大間町、佐井村、脇野沢村(下北郡)
秋田県、山形県、新潟県、富山県、石川県、福井県

連続繊維緊張材の定着具や接続具が、塩化物イオンの侵入により腐食し破断した場合、連続繊維緊張材の引張力が減少する可能性がある。塩分環境下では特に部材の耐荷性能が低下すること無いよう、塩分による腐食に対して十分な配慮をしなければならない。

第7章 構造細目

7.1 適用の範囲

この章は、連続繊維補強材を用いたコンクリート橋の設計における構造細目に適用する。

ここでは連続繊維補強材を使用した場合に特に考慮すべき構造上の細目について記述したもので、特に触れていない部材形状・寸法をはじめコンクリート橋として必要となる細目は道路橋示方書の6章以下各章を遵守することとする。

7.2 一般

連続繊維補強材を用いたコンクリート橋の設計にあたっては、構造物に損傷が生じないための措置、構造上の弱点を作らない配慮、弱点と考えられる部分の補強方法、施工方法等を考慮し、設計に反映させるものとする。

7.3 形状および部材寸法

- (1) ウェブ、横桁および隔壁の厚さは、連続繊維補強材、鉄筋、PC鋼材(シーすを含む)および緊張材の定着具が無理なく配置でき、所定のかぶりが十分にとれるものとする。また、コンクリートの打込みが困難とならないようにするものとする。
- (2) 部材の接合部等応力が集中しやすい部位は、応力の伝達が円滑に行われる形状とするものとする。
- (3) (4)および(5)項による場合は(1)項を、(6)および(7)項による場合は(2)項を満足するとみなしてよい。
- (4) ウェブの厚さは表-7.3.1の値以上とするものとする。

表-7.3.1 ウェブの最小厚さ(mm)

けたの種類	ウェブの最小厚さ
場所打ち鉄筋コンクリートげた	250
場所打ちプレストレストコンクリートげた	140
プレキャストげた	130

- (5) 横げたおよび隔壁の最小厚さは200mmとするものとする。
- (6) ウェブ又はフランジの厚さを変化させる場合には、1/5よりゆるい傾斜とすることが望ましい。
- (7) 部材の接合部等応力が集中しやすい部位には、ハンチを設けるものとする。

7.4 最小補強鉄筋量

- (1) 部材には、所要のじん性を確保する補強筋を配置するものとする。
- (2) 部材には、乾燥収縮や温度勾配等により、有害なひび割れが発生しないように補強筋を配置するものとする。

7.5 プレストレストコンクリート構造の引張補強筋

- (1) プレストレストコンクリート構造では、計算上想定しないひび割れが生じた場合でも、その幅の拡大や集中を防ぐとともに、所要のじん性を確保するものとする。
- (2) 補強筋を(3)項により配置した場合は、(1)項を満足するとみなしてよい。
- (3) 設計荷重作用時に部材断面のコンクリートに引張応力が生じる場合は、引張応力が生じるコンクリート部分に(4)および(5)項に規定する引張補強筋を配置するものとする。ただし、緊張材とコンクリートの付着がない部材については、設計荷重作用時のほか、次の荷重の組合せを考慮するものとする。

死荷重+1.35×(活荷重+衝撃)+有効プレストレス

- (4) 引張応力が生じる部材断面に配置する引張補強筋の断面積は、次の値以上とするものとする。

$$1) A_s = T_c / \sigma_{sa} \quad \dots \dots \dots (7.5.1)$$

ここに、 A_s ：引張補強筋の断面積(mm²)

T_c ：コンクリートに生じる引張応力の合力(N)

σ_{sa} ：引張補強筋の許容引張応力度(N/mm²)で、表-4.3.1の値とする。

- 2) 引張応力が生じる部分のコンクリート断面積の0.5%

なお、コンクリートの全断面を有効として算出したコンクリートの引張応力度が3N/mm²をこえる場合は、鉄筋コンクリート構造と同様にコンクリートの引張応力を受ける部分を無視して引張補強筋量を算出するのがよい。

- (5) 次に示す2つの条件をともに満足する場合は、連続繊維緊張材を引張補強筋とみなすことができる。この場合の許容引張応力度は、(6)項によるものとする。

- 1) 連続繊維緊張材とコンクリート付着がある場合

- 2) コンクリートに生じる引張応力の合力をその部分に配置する連続繊維緊張材の断面積で除した応力度と連続繊維緊張材の引張応力度との和が、連続繊維緊張材の許容引張応力度以下の場合。

- (6) (5)項の規定により、連続繊維緊張材を引張補強筋とみなせる場合には、式(7.5.1)の許容引張応力度 σ_{sa} は、主荷重および主荷重に相当する特殊荷重に対して、表-4.3.1の値とし、その他の荷重の場合に対しては3.1の規定により割増しするものとする。

- (3) ここでは、連続繊維緊張材使用のPC部材の使用実績が増大し、これらの考え方に関する実験的裏付けが充実するまでは、「道路橋示方書Ⅲコンクリート橋編」を踏襲することとした。また、引張補強筋として用いる連続繊維補強材は、その目的の意図する所から、コンクリートとの付着の良い材料とするのがよい。

7.6 連続繊維補強材の配置

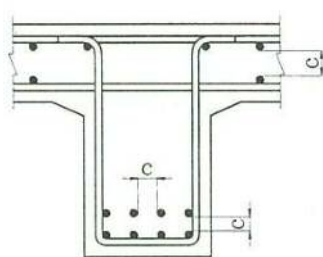
7.6.1 連続繊維補強材のかぶり

- (1) コンクリートと連続繊維補強材との付着を確保するために必要なかぶりを確保するものとする。
- (2) かぶりは、連続繊維補強材および粗骨材の最大寸法の4/3倍以上とする。
- (3) 特に耐火性を必要とする構造物におけるかぶりは、連続繊維補強材の耐熱特性、加熱の温度や継続時間等を考慮して、これを定めることとする。

- (3) ここで耐火性を必要とする構造物とは、火災にあってもほとんど損傷や弱点を生じさせないようにした構造物を指す。既往の実験によると連続繊維補強材の耐熱特性は種類によって大きく異なるので、かぶりの決定にあたっては耐火性能を確認しておく必要がある。また必要に応じて耐火被覆等も考慮しなければならない。

7.6.2 連続繊維補強材のあき

- (1) 連続繊維補強筋や緊張材(シースを含む)の周囲にコンクリートが十分に行きわたり、かつ、確実にコンクリートを締固められるように連続繊維補強材のあきを設けるものとする。
- (2) コンクリートと連続繊維補強材とが十分に付着し、両者が一体となって働くために必要な連続繊維補強材のあきを確保するものとする。
- (3) (4)および(5)項による場合は、(1)および(2)項を満足するとみなしてよい。
- (4) 主連続繊維補強筋および緊張材(シースを含む)のそれぞれのあき、ならびに主連続繊維補強筋と緊張材(シースを含む)のあきは、それぞれ40mm以上かつ粗骨材の最大寸法の4/3倍以上とするものとする。ただし、プレキャスト部材においては、それぞれ20mm以上かつ粗骨材の最大寸法の4/3倍以上とするものとする。
- (5) 主連続繊維補強筋のあきは、(4)項の規定によるほか、連続繊維補強材の直径の1.5倍以上とするものとする。



ここに、c：連続繊維補強材のあき

図-7.6.2 連続繊維補強材のあき

7.6.3 連続繊維補強材の定着

- (1) 連続繊維補強筋の端部は、連続繊維補強筋とコンクリートが一体となって働くように、確実に定着するものとする。
- (2) (3)から(7)項による場合は、(1)項を満足するとみなしてよい。
- (3) 連続繊維補強筋の端部は、次の規定のいずれかの方法によりコンクリートに定着するものとする。
 - 1) コンクリート中に埋込み、連続繊維補強筋とコンクリートとの付着により定着する。
 - 2) 定着板等を取り付けて機械的に定着する。
- (4) 連続繊維補強筋とコンクリートの付着により定着する場合の定着長は、7.6.5(4)に規定する連続繊維補強筋の重ね継手長に等しい長さ以上とするものとする。
- (5) フックをつけて引張補強筋を定着する場合の定着長は、(4)項に規定する定着長の2/3以上とするものとする。
- (6) スターラップは、引張補強筋を取り囲み、圧縮部のコンクリートに定着するものとする。
- (7) はり、柱等の接合部では、はりの主鉄筋は、はりの断面力が柱に十分に伝達される長さだけのばし、定着するものとする。

7.6.4 フックおよび曲げ形状

- (1) 補強筋の曲げ形状は、加工が容易にでき、かつ、補強筋の材質が傷まないような形状とするものとする。
- (2) 補強筋の曲げ形状は、コンクリートに大きな支圧応力を発生させないような形状とするものとする。
- (3) 連続繊維補強材のフックおよび曲げ形状は、大幅な強度低下が生じないように、各連続繊維補強材の材料特性を考慮して成形したものとし、曲げ成形部の強度を試験などで確認しなければならない。

- (3) 曲げ成形された連続繊維補強材を用いるときは、曲げ成形による強度の低下を考慮しなければならない。曲げ成形の影響を考慮した連続繊維補強材の許容応力度は、(解7.6.4)によって算出した低減係数 α_1 を、表-4.3.1に示す許容応力度に乗じて求めてもよい。

$$\alpha_1 = 0.05 \cdot r/\phi + 0.3 \quad \dots \dots \dots \text{(解7.6.4)}$$

ただし、 $\alpha_1 \leq 1.0$ とする

ここに、 r ：曲げ内半径

ϕ ：連続繊維補強材の公称径

ただし、矩形断面の連続繊維補強材は曲げ成形面内の断面厚を適用する。

上記の低減係数 α_1 は、「土木学会FRP指針案」に基づき安全側の値を示したもので、別途の試験等によって曲げ成形の性能が確認されている場合は、その結果を用いてもよい。

表-解7.6.4に既往の実験結果の一例を示す。

表-解 7.6.4 連続繊維補強筋の曲げ加工部の引張特性試験結果

種類	連続繊維補強材	曲げ加工内径	強度保持率※)
CFCC ¹⁾	CS-270kN	2.0 ϕ (30mm)	50%
		3.3 ϕ (51mm)	60%
FiBRA	直径5～6mm	5～6 ϕ (30mm)	76～80%
	AB-96kN	3 ϕ (30mm)	70%
ネフマック ²⁾ (H10)※※)	— — —	1.0 ϕ	60%
		1.5 ϕ	70%
		2.0 ϕ	77%
		2.5 ϕ	75%
		3.0 ϕ	86%

※) 強度保持率とは、曲げ加工部の引張耐力の母材引張荷重に対する割合を百分率で表したものの。

※※) H10とは、炭素繊維とガラス繊維を組み合わせた連続繊維補強材であり、本マニュアルには記載されていない。

1) 丸山、本間、岡村：「FRPロッドの曲げ加工部の引張耐力に関する実験的研究」コンクリート工学年次論文報告集12、1990

2) 宮田、鳥取、寺田、関島：「曲げ加工した「FRP筋の引張耐力に関する実験的研究」コンクリート工学年次論文報告集11、1989

7.6.5 連続繊維補強筋の継手

- (1) 連続繊維補強筋を継ぐ場合は、部材の弱点とならないようにするものとする。
- (2) (3)から(4)項による場合は、(1)項を満足するとみなしてよい。
- (3) 連続繊維補強筋の継手位置は、一断面に集中させないものとする。また、応力が大きい位置では、連続繊維補強筋の継手を設けないのが望ましい。
- (4) 引張補強筋に重ね継手を用いる場合は、式(7.6.1)により算出する重ね継手長 l_a 以上、かつ、連続繊維補強筋の直径の20倍以上重ね合わせるものとする。また、重ね継手部は、継手に直角に配置した2本以上の連続繊維補強筋で補強するものとする。

$$l_a = \frac{1}{\alpha_1} \times \frac{\sigma_{sa}}{4\tau_{oa}} \cdot \phi \quad \dots \dots \dots (7.6.1)$$

ここに、 l_a ：付着応力度より算出する重ね継手長(mm)

σ_{sa} ：連続繊維補強筋の許容引張応力度(N/mm²)

τ_{oa} ：コンクリートの許容付着応力度(N/mm²)で、 γ_c は1.3として(7.6.2)より求めてよい。

$$\tau_{oa} = 0.28\alpha_2\sigma_{ck}^{2/3} / \gamma_c \quad \dots \dots \dots (7.6.2)$$

ただし、 $\tau_{oa} \leq 3.2$ N/mm²とする。

α_2 ：連続繊維補強筋の付着強度に関する係数で、付着強度が異形鉄筋と同等以上のときには $\alpha_2=1.0$ とし、それ以下の場合には試験結果に応じて低減する。

ϕ ：連続繊維補強筋の直径(mm)

σ_{ck} ：コンクリートの設計基準強度(N/mm²)

α_1 ： $\alpha_1=1.0$ ($k_c \leq 1.0$ の場合)

$\alpha_1=0.9$ ($1.0 < k_c \leq 1.5$ の場合)

$\alpha_1=0.8$ ($1.5 < k_c \leq 2.0$ の場合)

$\alpha_1=0.7$ ($2.0 < k_c \leq 2.5$ の場合)

$\alpha_1=0.69$ ($2.5 < k_c$ の場合)

ここに、

$$k_c = C / \phi + 15A_1 / S\phi \cdot E_t / E_0$$

C：主補強材のかぶりの値と定着する補強材のあきの半分のうち小さい方

A_1 ：仮定される割裂破壊面に垂直な横方向補強材の断面積

S：横方向補強材の中心間隔

E_t ：横方向補強材のヤング係数

E_0 ：基準となるヤング係数

- (4) 「土木学会FRP指針案」を参照した。

連続繊維補強筋とコンクリートの付着強度は、連続繊維補強筋の構成、形状、表面性状などによって異なり、付着の破壊形式も異なる。したがって、重ね継手は異形鉄筋と同等の付着特性を有する、連続繊維補強筋に適用するものとする。

ネフマックの重ね継手長は、格子間隔の3倍または呼称の数字(mm)の30倍のうち大きい方の値以上とする。

7.6.6 連続繊維緊張材の配置

- (1) 連続繊維緊張材は、摩擦による損失が少なくなるように配置するとともに、部材全長にわたって連続繊維緊張材の断面積に急激な増減がないように配置するものとする。
- (2) 連続繊維緊張材は、コンクリートに局部的な応力が生じたり、緊張材自体に付加応力が生じないように配置するものとする。
- (3) 連続繊維緊張材は、部材縁において有害なひび割れが生じないように配置するものとする。
- (4) (5)から(8)項による場合は、(1)から(3)項を満足するとみなしてよい。
- (5) 連続繊維緊張材は、定着具の支圧面から所定の区間を直線状に配置するものとする。
- (6) 連続繊維緊張材を曲線状に配置する場合には、曲線部の連続繊維緊張材に損傷を与えないことを試験などによって確認しなければならない。
- (7) 荷重の組合せにより曲げモーメントの符号が異なる断面付近においては、連続繊維緊張材を断面の図心位置に集中させずに、部材断面の上下縁部近くに分散させて配置するのが望ましい。
- (8) けたの端支点においては、連続繊維緊張材の一部は下面に沿ってのぼし、端部下縁近くに定着するのが望ましい。

(6)一般に緊張材は直線と円曲線または放物線を組み合わせた形状で配置される。この時の曲線の曲率半径が小さいと中心方向に大きな分力が発生してコンクリートに過大な局部応力が発生したり、連続繊維緊張材自体にも付加応力が作用し強度低下を起こす可能性がある。

シースを用いたポストテンション方式の場合では、最小の曲げ半径をシース径の100倍以上とすることが望ましい。

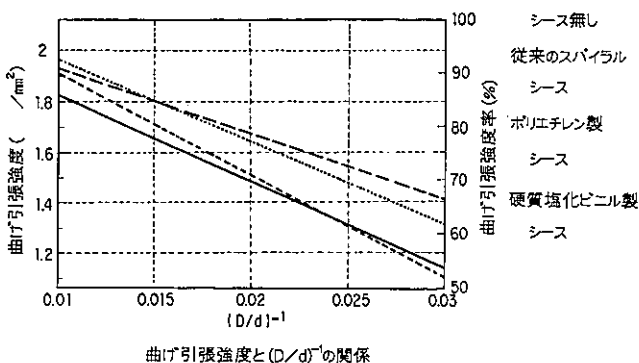
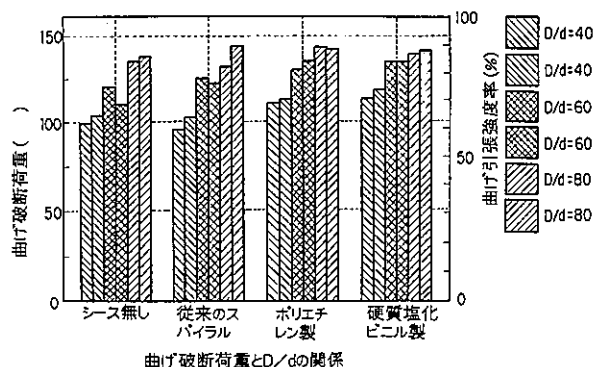
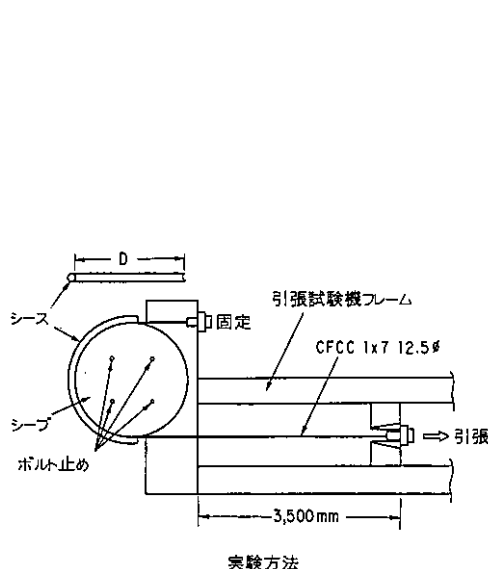
プレテンション方式においてベントアップを行う場合には、曲げ上げ点での支持具の曲線半径・材質・曲げ上げ角度の影響を受け、連続繊維緊張材の強度低下を起こす危険性が高い。したがって実施工に先立ち、試験によって強度などを確認することが必要である。

なお、曲げ上げ配置などに関する既存の実験結果を参考資料として掲載する。

(参考7.1) 鋼製のシーブを介して曲げた状態で緊張して強度を測定し、シーブ径と接触部の材質を変化させ比較した。シーブ径が小さくなるほど引張強度が低下するが接触部にポリエチレンシースや硬質塩化ビニル製シースを介在させると、引張強度の低下を小さくする効果が見られた。

使用緊張材：CFCC(1×7 12.5φ)

曲率内径：40φ、60φ、80φ



実験条件

シーブ径(mm)	D/d	シーブの種類	備考
500	40	① シース無し	シーブ外径 35～40mm 実験数 各条件n=2 溝ゆきシーブ使用
750	60	② 従来のスパイラルシース	
		③ ポリエチレン製シース	
100	80	④ 硬質塩化ビニル製シース	

D:シーブ径 d:緊張材の径=12.5mm

涌井：「曲げ引張強度・曲げ加工部引張強度の試験」(財)鉄道総合技術研究所、1993年12月

(参考7.2) 0～6° のベントアップを行ったプレテンションコンクリート部材の曲げ試験の結果より、梁の最大耐力を比較すると一般に用いられる4° 程度の曲げ上げ角度までは大きな耐力低下は生じないことが確認された。

使用緊張材：アラプリ* (AP-95KN)

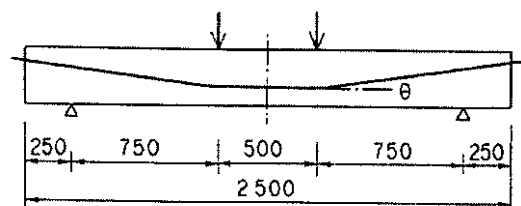
曲率半径 : $r=11\text{mm}$

アラプリ (AP-95KN) の曲げ試験結果

曲げ上げ角度	最大荷重 (tf)	比 較
0°	5.90	100
2°	5.78	98
4°	5.40	92
6°	5.14	87

試験体の種類および実験結果

試験体	AFRPの配置方法	曲げ上げ角度	コンクリート応力(kgf/cm ²)				ひび割れ発生荷重(tf)	最大荷重(tf)	最大たわみ(mm)	破壊モード
			上縁		下縁					
			中央	端部	中央	端部				
No.1	縦置き	0°	-11		46		3.6	5.84	27.15	曲げ引張
No.2	横置き	0°	-11		46		3.5	5.90	32.29	曲げ引張
No.3	横置き	2°	-11	6	46	29	3.5	5.78	29.19	曲げ引張
No.4	横置き	4°	-11	13	46	22	3.3	5.40	28.91	曲げ引張
No.5	横置き	6°	-11	39	46	-4	3.0	5.14	20.92	曲げ引張



緊張材配置状況

村山、天野、奥村：「帯板状AFRPを折線配置したPC梁の載荷試験」

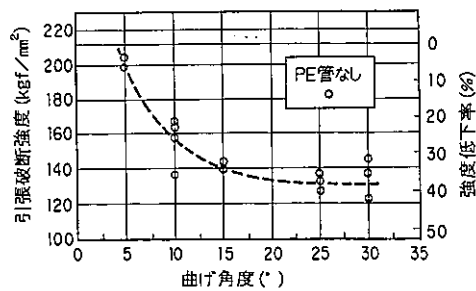
土木学会第47回年次講演会、1992年9月

*：現在アラプリは製造されておりません。

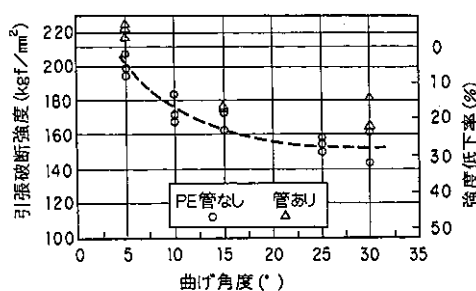
(参考7.3) CFCC(CS-142KN)をサドルによって曲げながら緊張し破断強度を測定した結果、曲げ内径が12φ、16φ、24φのいずれも曲げ角度が5°までは強度低下率は10%に満たないが5°を越えると強度低下が大きくなり曲げ半径の影響も大となる。CFCCとサドルとの間に緩衝材を設けると強度低下の軽減に効果がある。

使用緊張材：CFCC (1×7 12.5φ)

曲率内径：12φ、16φ、24φ

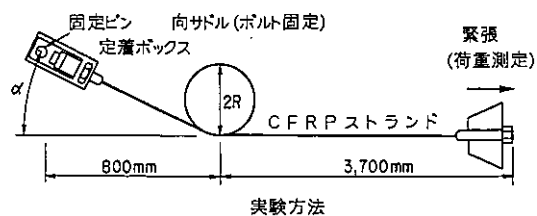


(a)曲げ半径: $R/r=32$ ($R=200\text{mm}$)の場合

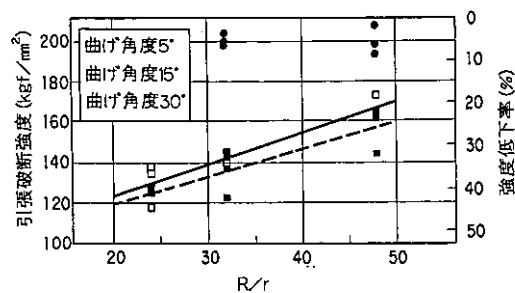


(b)曲げ半径: $R/r=48$ ($R=300\text{mm}$)の場合

曲げ角度と引張破断荷重の関係



実験方法



曲げ半径と引張破断荷重の関係

榎本、山藤：「CFRPストランドの曲げ引張耐力に関する実験的研究」

土木学会第48回年次学術講演会、1991年9月

7.6.7 連続繊維緊張材の定着

- (1) 定着具の位置は、部材に所定のプレストレスを導入できるように、また、部材に有害なひび割れが生じないように選ぶものとする。
- (2) (3)から(4)項による場合は、(1)項を満足するとみなしてよい。
- (3) 部材の中間に定着具を設ける場合は、活荷重による応力変動の大きな点から十分離れた断面の断面図心に近い位置か、圧縮部のコンクリートに定着するのがよい。
- (4) 定着具は、けたのウェブに設けるものとする。ただし、やむを得ず上フランジ下フランジあるいは、ウェブ側面に沿わせて定着する場合は、7.6.8の規定により補強するものとする。
- (5) 数多くの定着具を同一面内に配置する場合は、定着具の数、引張力の大きさ、各定着具の必要最小間隔等を考慮して、定着部のコンクリートの断面形状および寸法を定めるものとする。

(1)、(3) 定着区間内のプレストレスの分布は、部材端で0%となり定着長分だけ入ったところで100%となる二次放物線と考えてよい。

各連続繊維緊張材の定着長は材質、表面形状、導入力などでその長さは各々異なる。ここでは連続繊維緊張材の付着性能は、PC鋼より線と同等もしくは、それ以上と考えた。付着特性の大きく異なるものについては試験などによって定着長を確認することを原則とする。表-解7.6.7 に各連続繊維緊張材の定着長の試験結果をしめす。

また、プレテンション部材においてプレストレスの分布の調整のため、緊張材の一部を中間定着する必要があるが付着をなくす緊張材の量は全緊張材の1/2以下とするのがよい。

表-解 7.6.7 連続繊維緊張材の定着長（試験結果）

種 類	連続繊維緊張材	定 着 長	導 入 応 力 度
CFCC	CS-270KN	45 ϕ	0.80Pu
FiBRA	AB-64KN	30～35 ϕ	0.68Pu
テクノーラ	AD-56KN	30～40 ϕ	0.70Pu
	AD-81KN		

ここに ϕ : 連続繊維緊張材の直径

(5) 緊張材の配置および定着に関する一般的事項は道路橋示方書、「土木学会FRP指針案」などに準拠することとし、ここでは各連続繊維補強緊張材の定着具の配置間隔の資料を以下に添付する。なお、表-解 7.6.8の表示は、図-解 7.6.7によるものである。

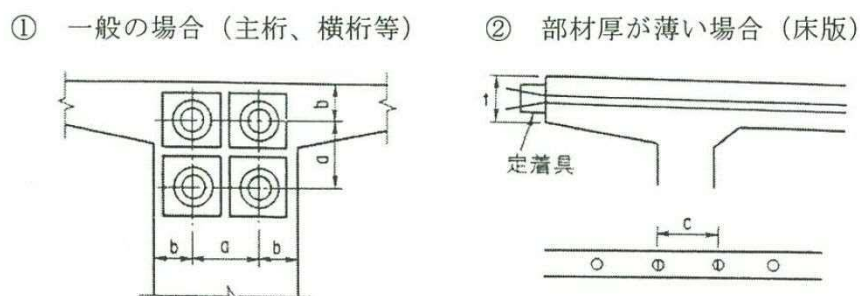


図-解 7.6.7 定着部配置間隔説明図

表-解 7.6.8 連続繊維補強緊張材の定着具の最小配置間隔(mm)

種 類	定着具の共通表示	Pu(kN)	a	b	t	c
CFCC	1IBN — 76	76	120	60	120	150
	1IBN — 141	141	120	60	120	150
	1IBN — 184	184	130	80	160	160
	1IBN — 270	270	170	120	240	200
	1IBN — 350	350	220	135	—	—
	1IBN — 316	316	120	60	120	150
	1IBN — 467	467	120	60	120	150
	1IBN — 594	594	130	80	160	160
	1IBN — 841	841				
	1IBN — 1200	1200				
	3IBN — 460	460	150	100	200	180
	3IBN — 680	680	170	120	240	200
	6IBN — 920	920	225	133	—	—
	7IBN — 1570	1570	240	145	—	—
	12IBN — 1830	1830	270	180	—	—
	12IBN — 2680	2680	270	180	—	—
NACC ストランド	1IBN — 588	588	210	110	240	280
	1IBN — 980	980	270	140	300	360
	5IBN — 1372	1372	330	170	370	430
	9IBN — 2468	2469	430	220	480	560
FiBRA	1IBN — 112	112	90	45	90	120
	1IBN — 172	172	110	55	110	140
	1IBN — 225	225	130	65	130	160
	1DWN — 112	112	90	45	90	120
	1DWN — 172	172	110	55	110	140
	1DWN — 225	225	130	65	130	160
	1IFN — 112	112	90	45	90	120
	1IFN — 172	172	110	55	110	140
	1IFN — 225	225	130	65	130	160
	3IFN — 675	675	—	—	—	—
テクノーラ	3IBN — 225	225	140	90	160	140
	7IBN — 525	525	160	120	160	160
	9IBN — 675	675	180	120	240	200
	12IBN — 900	900	200	150	240	240

7.6.8 定着具付近の補強

- (1) 定着具付近のコンクリートは、定着具背面に生じる引張応力に対して十分抵抗できる構造とするものとする。
- (2) (3)および(4)項による場合は、(1)項を満足するとみなしてよい。
- (3) 連続繊維補強材定着具付近のコンクリートは、連続繊維補強材と直角な方向に生じる引張応力に対してスターラップ、格子状の補強筋、らせん補強筋等で補強するものとする。
- (4) 部材中間に定着具を設ける場合には、定着具付近のコンクリートに対して補強筋で補強するものとする。

(4) 定着部付近の補強は通常のPC鋼材を定着した場合に準ずればよいが、プレテンション部材端部の補強をする場合には、連続繊維補強材の体積変化などを起因とする割裂力の発生に注意する必要がある。なお、これらの端部補強や局部応力に対する補強には十分な剛性を持った補強材もしくは、鉄筋を使用するとよい。

7.6.9 スターラップおよび折曲げ補強筋の配置

- (1) スターラップおよび折り曲げ補強筋は、有効に働くように配置するものとする。
- (2) (3)から(4)項による場合は、(1)項を満足するとみなしてよい。
- (3) 計算上スターラップが必要な場合には、スターラップの間隔は、けたの有効高さの1/2以下で、かつ、300mm以下とするものとする。また、7.4の規定によりスターラップを配置する場合には、スターラップの間隔は、けた高の3/4以下で、かつ、400mm以下とするものとする。
- (4) 折曲げ補強筋を斜引張鉄筋として用いる場合、その間隔は、式(7.6.3)により算出する値以下とするものとする。

$$a = \frac{1 + \cos \theta}{2} \cdot d \quad \dots \dots \dots (7.6.3)$$

ここに、a：斜引張鉄筋の部材軸方向の間隔(mm)

θ：折曲げ鉄筋が部材軸となす角度

d：有効高さ(mm)

連続繊維補強材をスターラップおよび折曲げ補強筋として使用する場合は、その材料特性を十分考慮してその配筋を検討しなければならない。

7.6.10 ねじりモーメントに対する補強筋の配置

- (1) ねじりモーメントに対して配置する補強筋は、有効に働くように配置するものとする。
- (2) (3)から(6)項による場合は、(1)項を満足するとみなしてよい。
- (3) ねじりモーメントに対する補強筋は、計算上必要な区間の両端にそれぞれ部材断面の長辺(けたの場合にはけた高)に等しい長さを加えた区間に配置するものとする。
- (4) 横方向補強筋の間隔は、部材断面の長辺(けたの場合にはけた高)の0.4倍以下で、かつ、300mm以下とするものとする。
- (5) 軸方向補強筋は、少なくとも横方向補強筋の各隅部に各1本配置するものとし、その間隔は300mm以下とするものとする。
- (6) ねじりモーメントに対する軸方向補強筋は、原則として部材断面の上下左右に対称に配置するものとする。

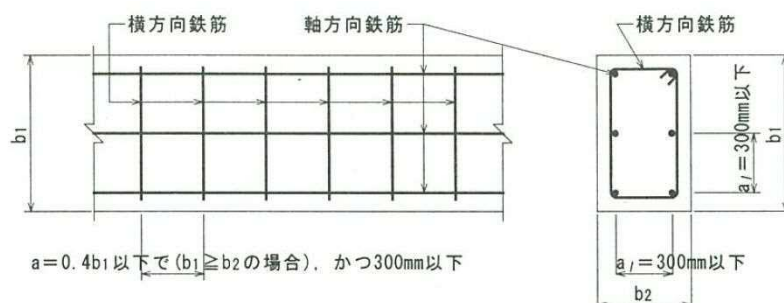


図-7.6.5 ねじりモーメントに対する補強筋の配置

連続繊維補強材をねじりの補強筋として使用する場合は、その材料特性を十分考慮してその配筋を検討しなければならない。

第8章 施工

8.1 適用の範囲

この章は、第7章までの規定に基づいて設計された連続繊維補強材を使用したPCおよびRC構造物について適用する。施工がこの章の規定によりがたいときは、設計における安全度等について別途検討しなければならない。

この章は、第7章までの規定により設計されたプレストレストコンクリート構造物の施工に関する一般的な事項を規定したものである。実際の施工にあたって、この章の規定のみでは必ずしも十分でない場合には、第7章までの規定、例えば許容応力度の低減等について別途検討しなければならない。

8.2 施工一般

- (1) 連続繊維補強材を使用したPCおよびRC構造物の施工は、設計において前提とされた諸条件等が満足されるように行わなければならない。
- (2) 施工が確実になされていることを確認するために、品質管理および検査を適切に行わなければならない。

(1) 使用される材料の品質を確保し、適切な施工を行うことは、構造物の安全性や耐久性を確保するために重要なことである。鋼材と比較して、連続繊維補強材は新しい材料であり、今後の研究成果が待たれる分野も多い。したがって、施工にあたっては構造物の規模や使用材料、建設地点の条件を考慮し、必要に応じて試験などにより事前にその品質を確認し、使用する必要がある。

また、施工条件の変更が生じた場合には、構造物の安全性、耐久性が確保されるように、設計段階に戻って検討を行うことが必要である。なお、施工後は設計において要求される機能を確保できるように適切な維持管理を行わなければならない。

(2) 所定の構造物を施工するためには、適切な品質管理および検査を行うことが肝要である。このためには事前にこれらを含めた施工計画を立てることが必要である。

8.3 施工要領書

施工にあたっては、設計において前提とした諸条件等が満足される施工が行われることを確認できるよう、施工要領書を作成しなければならない。

道路橋示方書Ⅲコンクリート橋編に示されたとおり、施工要領書を作成するものとする。

8.4 材料

8.4.1 一般

- (1) 材料は、設計図等にて指示されたものを使用しなければならない。
- (2) 材料は、所定の特性や品質を確保しているものでなければならない。

「道路橋示方書Ⅲコンクリート橋編」の規定どおりとする。

8.4.2 コンクリート

- (1) コンクリートは、強度、耐久性、水密性、作業に適するワーカビリティ等の所定の特性を有し、かつ、品質 σ)ばらつきの少ないものでなければならない。
- (2) 使用材料は、共通編3.2に示す材料を用いることを原則とし、標準的には、1)から9)の条件を満たした配合とすればよい。
 - 1) コンクリートの配合強度は、供試体のどの試験値も設計基準強度の85%以上、かつ、引き続き採取した供試体の試験値のどの3回の平均値も設計基準強度以上となるよう、品質のばらつきを考慮して定める。なお、試験値は同一バッチからとった供試体3個の圧縮強度の平均値とする。
 - 2) スランプは施工が確実に行える範囲でできるだけ小さく定める。
 - 3) 水セメント比は、1)に規定するコンクリートの配合強度および耐久性を考慮して定めるものとする。
 - 4) コンクリートの配合は、コンクリートが所要の強度、耐久性、水密性および作業に適するワーカビリティを持つ範囲内で、単位水量ができるだけ少なくなるように定めるものとする。
 - 5) 単位セメント量は、単位水量と水セメント比から定めるものとする。ただし、最小単位セメント量は、表-8.4.1の値を標準とする。

表-8.4.1 最小単位セメント量 (kg/m³)

部材の種類		最小単位セメント量
鉄筋コンクリート部材		230
プレストレスト コンクリート部材	プレテンション方式	350
	ポストテンション方式	300

- 6) コンクリートは、AEコンクリートとすることを原則とし、空気量は4.5%を標準とする。
- 7) 細骨材率は、作業が容易にできる範囲内で単位水量が最小となるように定めるものとする。
- 8) 粗骨材の最大寸法は、40mm以下とし、部材最小寸法の1/5以下、かつ、鉄筋の最小あきの3/4以下とするものとする。
- 9) フレッシュコンクリート中の塩化物イオン量は0.30kg/m³以下とする

「道路橋示方書Ⅲコンクリート橋編」の規定どおりとする。

現状において、連続繊維補強材は鋼材と併用されることが多いと考えられるため、フレッシュコンクリート中の塩化物イオン量は0.30kg/m³以下とする。

8.4.3 連続繊維補強材

- (1) 連続繊維補強材は、強度、じん性等の所定の特性や品質を有するものでなければならない。
- (2) 連続繊維補強材は、耐久性を害する腐食、よごれ、傷、変形等のないものでなければならない。

- (1) 使用する連続繊維補強材は、第3章使用材料に規定する材料を標準とする。それ以外の材料を使用する場合には、設計で期待されている性能の項目全てについて、所定の性能が満足されていることを検証しなければならない。
- (2) 連続繊維補強材が有害な品質変化等を生じた場合、コンクリート橋が所要の性能を発揮できなくなる恐れがあるため、運搬時はもちろんのこと、受け入れ時、保管時、組立時に有害な品質変化を生じさせないように十分に注意することが肝要である。

8.4.4 シース

- (1) シースは、コンクリートの打込みの際に変形しにくくその合せ目や継目等からセメントペーストが流入しないものでなければならない。
- (2) シースは、施工上および耐久性と有害な腐食、よごれ、傷、変形等があってはならない。
- (3) シースに用いる材料は所定の強度、変形性、耐久性を有していなければならない。

- (1) コンクリートの打込みの際にシースがつぶれたり変形したりすると、緊張材の緊張やグラウトの注入に支障をきたすことがある。したがって、シースは、断面方向にはつぶれにくい節付きのものや波付きのものをを用いることが望ましい。また、シースは連続繊維緊張材に有害な傷をつけるものであってはならない。
- (2) シースに有害な品質変化等が生じると、施工に支障をきたしたり、耐久性を損ねる可能性があるため、運搬時はもちろんのこと、受け入れ時、施工時に十分注意する必要がある。
- (3) シースには、一般に薄い鋼製のシースが用いられる。近年、高い耐久性を確保する場合には、ポリエチレン等のプラスチック製シースが用いられることもある。

8.4.5 連続繊維緊張材の定着具および接続具

連続繊維緊張材の定着具および接続具は、連続繊維緊張材が設計図等に記載された引張強度に到達する前に安全性上有害な変形を生じたり破壊することのないものでなければならない。

定着具および接続具は、緊張作業の安全性、定着具のセット量が増大することの防止等を考慮し、連続繊維緊張材の引張強度を発揮できる構造、強度を有するものでなければならない。

8.4.6 グラウト

- (1) グラウトは、ダクト内を完全に充てんし、連続繊維緊張材を保護するものでなければならない。また、部材コンクリートと一体とする場合には、十分な付着を有するものでなければならない。
- (2) 標準的には、1)から7)の規定によればよい。
 - 1) グラウトはノンブリーディング型を使用することを標準とする。
 - 2) グラウトに用いるセメントは、JIS R 5210に適合する普通ポルトランドセメントを用いることを原則とする。
 - 3) グラウトの水セメント比は、45%以下を標準とする。また、グラウトの材令28日における圧縮強度は、30N/mm²以上であることを標準とする。
 - 4) グラウト用混和剤は、連続繊維緊張材等にご悪い影響を与えるようなものをを用いないものとする。
 - 5) グラウトの膨張率は、±0.5%の範囲内とする。
 - 6) グラウトのブリーディング率は、24時間後0.0%とする。
 - 7) グラウト中の塩化物イオン量は、普通ポルトランドセメントのセメント量の0.08%以下とする。

「道路橋示方書Ⅲコンクリート橋編」の規定に従う。

8.4.7 接着剤

- (1) プレキャスト部材の接合に用いる接着剤は、所要の強度、耐久性および水密性をもち、接合部の施工の条件に適合するものでなければならない。
- (2) プレキャスト部材の接合に用いる接着剤の性能は、所定の品質管理項目により確認されたものでなければならない。

「道路橋示方書Ⅲコンクリート橋編」の規定に従う。

8.4.8 貯蔵

連続繊維補強材は柔らかい材料であるため、有害な外傷や変形を生じないように貯蔵する。
連続繊維補強材を貯蔵する場合は、材質の変化を防ぎ、屋外などでの長期保管は避けるものとする。

- (1) 連続繊維補強材に衝撃や踏みつけなどによる有害な外傷が及ばないように、使用するまでは梱包した状態で保管するのが望ましい。開包後、残りの材料を使用するまで保管する場合も、運送時の木枠やドラムなどを利用して保管するのが望ましい。

切断加工後の連続繊維補強材で、木枠やドラムなどを利用して保管することが困難な場合には凹凸の少ない面上にシートを敷き直線状または梱包時の荷姿に近い状態で保管する。その際に連続繊維補強材が踏まれたり、外圧が作用して有害な外傷や変形が生じないような処置をとるものとする。

- (2) 連続繊維補強材を長期間高温下で保管した場合には材料の性質が変化する恐れがあるので、保管場所の風通しを良くするなどして、高温状態にならないようにする。また、連続繊維補強材の種類によっては直射日光に曝露することによって材質が変化するものもあるので、長期間日光に曝露した状態で保管してはならない。

8.5 レディーミクストコンクリート

- (1) レディーミクストコンクリートは、設計および施工計画でコンクリートに要求された性能を満足する品質でなければならない。
- (2) 標準的には、(3)から(6)項に従って選定、指示、品質確認を行うとよい。
- (3) レディーミクストコンクリートを用いる場合は、日本工業規格表示許可を受けた工場又はこれに準じる工場から選定し、かつ、使用材料および配合が適切であることを事前に確認する。なお、品質管理については、十分な知識を有する技術者が常駐して管理を行っていることを確認するものとする。
- (4) レディーミクストコンクリートの品質については、JIS A 5308に規定の事項によることを原則とする。
- (5) レディーミクストコンクリートの受入れにあたっては、日時、コンクリートの種類や数量、荷おろし場所、配車の間隔等を検討し、コンクリートの打込みが円滑に行われるようにするものとする。
- (6) 受入れ時等のコンクリートの品質試験および検査は、JIS A S308に規定する強度、スランプ、空気量、塩化物含有量より行うものとする。また、試験頻度はJIS A 5308によるほか、当事者間で協議して定めるものとする。なお、検査の結果、コンクリートの品質に問題があることが疑われる場合には、適切な処置を行うものとする。

「道路橋示方書Ⅲコンクリート橋編」の規定に従うものとする。

8.6 コンクリート工

- (1) コンクリートの施工に当たっては、所定の品質を確保できるように、コンクリートの運搬方法、運搬路、打込み場所、打込み方法、打込み順序、1回の打込み量、養生方法、打継目の処理方法について、あらかじめ計画を立てておかなければならない。また、所定の品質が得られるように、施工時期の気象条件に応じた適切な処置を行わなければならない。
- (2) 標準的には、(3)から(8)項の方法によって施工するのがよい。
- (3) 運搬
 - 1) コンクリートは、材料の分離が生じないように適切な方法で運搬し、打込むものとする。
 - 2) コンクリートポンプを用いる場合は、コンクリートの打設方法を考慮して、適切なコンクリートポンプの機種を選定するものとする。また、輸送管の配置にあたっては、鉄筋、型わくおよび支保工に有害な振動、変形を与えないようにするものとする。
- (4) 打込み
 - 1) コンクリートの打込みは、雨天又は強風時に行わないことを原則とする。
 - 2) コンクリートの打込み前には、打込み設備および型わく内を清掃して、コンクリート中への雑物の混入を防ぐものとする。コンクリートの水分を吸水する恐れのある部分は、あらかじめ湿潤状態にしておくものとする。
 - 3) 暑中コンクリートを施工する場合は、打込み時のコンクリート温度は、原則として30℃以下とするものとする。
 - 4) 寒中コンクリートを施工する場合は、打込み時のコンクリート温度は、原則として5～20℃の範囲とする。
- (5) 締固め
 - 1) コンクリートの締固めは、内部振動機を用いることを原則とし、薄い壁等内部振動機の使用が困難な部分には、型わく振動機を併用するものとする。
 - 2) コンクリートの締固めにあたっては、コンクリートが鉄筋の周囲および型わくのすみずみに行きわたるようにするものとする。
- (6) 養生
 - 1) コンクリートは、打込み後に、乾燥、低温、急激な温度変化による有害な影響を受けないように養生するものとする。
 - 2) コンクリートの硬化中は、有害な振動、衝撃等の影響を受けないように養生するものとする。
 - 3) 養生方法は、湿潤養生とすることを原則とする。普通セメントを用いる場合は、少なくともコンクリートの打込み後5日間、早強セメントを用いる場合は、少なくともコンクリートの打込み後3日間養生するものとする。なお、養生水に海水を用いないこととする。なお、気温が低い時期に床版のコンクリート等を施工する場合は、コンクリートの圧縮強度が15N/mm²程度に達するまでは適当な保温設備のもとに養生を行うものとする。
 - 4) 寒中コンクリートの場合は、養生中にコンクリートが凍結しないようにするものとする。
 - 5) 蒸気養生を行う場合は、コンクリートの打込み後2時間以上経過してから加熱を始めることを原則とする。養生室の温度上昇は、原則として1時間あたり15℃以下とし、養生中の温度は、65℃以下とするものとする。

(7) 打継目

- 1) 設計で定められた打継目の位置および構造は原則として変更しないものとする。
- 2) 打継目は、せん断力の小さい位置に設け、部材の圧縮力の作用する方向と直角に設けることを原則とする。
- 3) 打継目については、温度応力および乾燥収縮によるひびわれが発生しないように考慮するものとする。
- 4) 打継目は、コンクリート表面のレイタンス、ゆるんだ骨材等を完全に取り除き、十分吸水させて、コンクリートを打継ぐものとする。
- 5) 塩害の影響を受けることが予想される構造物においては、打継目をできるだけ少なくし鉛直打継目はできるだけ避けるものとする。
- 6) コンクリートを多層に分けて打込むときは、打重ね部において上層のコンクリートと下層のコンクリートの一体性を確保し、耐久性に悪影響を及ぼすようなひび割れ、コールドジョイントを生じさせないものとする。

(8) マスコンクリート

セメントの水和熱に起因する温度応力によるひび割れが懸念される場合は、材料、打込み方法、養生方法等について検討を行い、構造物の機能上有害となるひび割れの発生を防止するものとする。

「道路橋示方書Ⅲコンクリート橋編」の規定に従うものとする。

8.7 連続繊維補強材の加工、配筋、および継手

- (1) 連続繊維補強筋は、所定の強度、耐久性を確保しつつ、設計図で示された形状および寸法に材質を害さない方法で加工、配置しなければならない。
- (2) 設計図に連続繊維補強筋の曲げ半径が示されていない場合は、第7章の規定により連続繊維補強筋を曲げ加工しなければ成らない。
- (3) 曲げ加工によって連続繊維補強筋の強度が低下する場合は、試験などによってその低下の程度を確かめて使用しなければならない。
- (4) 連続繊維補強筋の組み立てにあたっては、コンクリートの付着を害するおそれのあるものを除かなければならない。
- (5) 連続繊維補強筋は、道路橋示方書に規定する施工精度を満足するように配筋しなければならない。
- (6) 連続繊維補強筋は、所定の強度を有し連続繊維補強筋自体を傷めない材料で堅固に組み立てなければならない。
- (7) 設計図に示されていない連続繊維補強筋の継手を設ける場合、継手の位置および方法は第7章の規定によらなければならない。
- (8) 重ね継手を用いる場合は、所定の長さを重ね合わせて緊結しなければならない。
- (9) 連続繊維補強筋の継手に重ね継手以外の継手を用いる場合は、連続繊維補強筋の種類、直径、および施工箇所などを考慮し、適切な施工方法を選定しなければならない。
- (10) 継ぎ足しのために構造物から露出しておく補強筋は、損傷を受けないように保護しなければならない。

プレストレストコンクリート構造物の補強筋としては、鉄筋と連続繊維補強筋の使用が考えられる。

鉄筋については「道路橋示方書・同解説Ⅲコンクリート橋編」の規定に従うものとし、ここでは連続繊維補強筋について示す。

- (1) (2) 連続繊維補強筋の曲げ加工は、熱硬化性の樹脂マトリックスを半硬化の状態にしておいてから所定の形状に加工し、その後さらに加熱して硬化させるという方法をとっているのが一般的である。
- (3) 連続繊維補強筋の曲げ加工部の強度低下については定式化されていない。従って、使用にあたっては試験によってその強度低下の程度を確認した上で使用する必要がある。
- (4) コンクリートと連続繊維補強筋の付着を害するものには、泥、油、ペンキなどがある。これらのものは組み立て時に除去するのはもちろん、保管・加工中にこれらのものが付着しないようにする。
- (6) 連続繊維補強筋は軽いため、コンクリートの打ち込み時に移動したり浮き上がったりしやすいので、堅固に組み立てなければならない。また、連続繊維補強筋の腐食しないという特徴を生かすために、緊結材料にはビニール製やビニール被覆した結束線等を用いることが望ましい。
- (8) 重ね継手部の緊結箇所は2箇所以上とするのが望ましい。
- (9) 連続繊維補強筋の継手に重ね継手以外の継手を用いる場合は、試験により継手効果、品質管理方法などについて確認してから用いるものとする。

8.8 連続繊維緊張材の配置および緊張工

- (1) 連続繊維緊張材は、所定のプレストレスが得られるように、適切に加工、配置し、正確にまた安全に緊張しなければならない。
- (2) 標準的には、1)から15)の方法によって施工するのがよい。
 - 1) 連続繊維緊張材は、材質を損なわないように加工し、組立てるものとする。
 - 2) プレテンション方式の場合の連続繊維緊張材ならびにポストテンション方式の場合のシースおよび定着具は、所定の施工精度を満足するように配置し、コンクリートの打込み等によって動かないように堅固に保持するものとする。
 - 3) ポストテンション方式の場合には、連続繊維緊張材は、もつれないようにダクトの中へ配置するものとする。
 - 4) プレストレッシング時のコンクリートの圧縮強度は、プレストレッシング直後にコンクリートに生じる最大圧縮応力度の1.7倍以ヒとする。ただし、プレテンション方式の場合は 30N/mm^2 以上とする。なお、圧縮強度の確認は、構造物と同様な養生条件におかれた供試体を用いて行うものとする。
 - 5) プレストレッシング時の定着部付近のコンクリートは、定着により生じる支圧応力に耐える強度以上とする。
 - 6) 連続繊維緊張材は、緊張後に生じる損失を考慮して初期の引張力を定めるものとする。
 - 7) 連続繊維緊張材を、順次に緊張する場合は、各段階において、コンクリートに設計で想定しない応力が生じないようにするものとする。
 - 8) 型わくおよび支保工は、プレストレッシングにより、設計で想定しない変形、沈下等が生じないものとする。
 - 9) 定着具および部材端面は、プレストレッシング後、破損又は腐食しないように保護することとする。
 - 10) プレストレッシング中の安全対策については、特に留意するものとする。
 - 11) プレストレッシング装置のキャリブレーションは、装置を使用する前および必要に応じて使用

中に行うこととする。

- 12) 連続繊維緊張材のプレストレッシングの管理に用いる摩擦係数および連続繊維緊張材の見かけのヤング係数は、現場において試験緊張により求めることを原則とする。
- 13) プレストレッシングの管理は、所定のプレストレスカが得られるように管理するものとする。
- 14) プレストレッシングの管理は、荷重計の示度および連続繊維緊張材の伸び量により行なうことを原則とする。
- 15) 連続繊維緊張材定着部、施工用金具撤去跡等の後埋め部は、膨張コンクリート又はセメント系無収縮モルタルを用いて行うものとする。

基本的には「道路橋示方書Ⅲコンクリート橋編」の規定に従えばよい。ここでは連続繊維緊張材に特有な事項について示す。

- (2) 6) 連続繊維緊張材の引張力は、緊張時のコンクリートの弾性変形のために減少する。従ってPC鋼材の場合と同様、所定のプレストレスが導入されるよう連続繊維緊張材の初期緊張力を調整する必要がある。ただし、PC鋼材より弾性係数が小さい分引張力の減少量は少ない。また、このため一般にPC鋼材より緊張時の伸び量は大きくなるので、緊張作業時にはこのような特性を考慮して緊張作業に必要な空間を確保し、ジャッキなどの緊張装置の計画を行う必要がある。
- 9) プレストレッシング後の定着具は、常に高い応力が作用している状態にあるので、外部からの衝撃により破損したり、雨水の浸入により腐食したりしないように、十分保護しなければならない。一般に連続繊維緊張材の端は部材端面で切りそろえる。ガス切断を行うと連続繊維緊張材の品質に悪影響を及ぼすため、切断の方法は高速回転砥石切断機など機械的方法により切断する。また、連続繊維緊張材端面の防錆処理は行わなくても良い。
- 12) プレストレッシングの管理に用いる連続繊維緊張材の摩擦係数は、現場において試験により定める必要がある。また、プレストレッシングの管理に用いる連続繊維緊張材の見かけのヤング係数は、プレストレッシング中に測定される連続繊維緊張材の伸び量あるいは抜け出し量から連続繊維緊張材の引張力を算出するために使用するものである。

プレストレッシング中の連続繊維緊張材の伸び量あるいは抜け出し量から算出する見かけのヤング係数は、連続繊維緊張材の試験成績表から算出したヤング係数より小さい値となることが多い。見かけのヤング係数は、現場の条件、連続繊維緊張材の配置形状等により変動するので、施工にあたっては、各種の配置形状の連続繊維緊張材について試験緊張を行って確認する。現場における試験緊張は、連続繊維緊張材の配置形状の異なる代表的なものから、5ケーブル以上行うことを原則とする。

試験緊張を行なうことが困難な場合で、鋼製シースを用いる場合に限り、本マニュアル3.1.3プレストレスカに示した摩擦係数を用いても良い。ただし、この場合には、プレストレッシングの管理において、仮定した値が正しいことを確認しなければならない。もし、仮定値と実測値が異なる場合には、その値を用いてPC鋼材の引張力を再度計算しなければならない。

- 13) プレストレッシングは、プレストレストコンクリート橋の施工において特に大切な作業であり、設計計算書に示されるプレストレスカを、正確に部材に与えなければならない。

しかしながら、与えられるプレストレスカは、連続繊維緊張材の見かけのヤング係数のばらつき、連続繊維緊張材とシースの摩擦係数のばらつき等により、目標値からはずれる傾向にある。プレストレッシングの管理は、これらのばらつきのうち、不注意による誤差を最小限にとどめるとともに、正規にプレストレッシングが行われているかどうかを判断し、異常がみられた場合に、

その原因を早期に発見するためにも行うものである。

- 14) 部材の設計断面に正確なプレストレスが導入されたことを確認するためには、連続繊維緊張材の引張力と伸びからダクト内の連続繊維緊張材引張力の分布を推定する必要がある。また、連続繊維緊張材に与えられる引張力を、荷重計の示度により推定した場合でも、あるいは、連続繊維緊張材の伸びにより推定した場合でも、その推定値に5%程度の差を生じることはまぬがれない。このため、連続繊維緊張材に与えられる引張力の推定精度を高くし、一つの測定方法に予期しない誤差を生じた場合の危険性を少なくするため、プレストレッシングの管理にあたっては、2つの測定方法を併用することを原則としたものである。この管理方法では、荷重計の示度と連続繊維緊張材の伸び量の関係が直線となることを確認しなければならない。この関係が直線にならない場合は、プレストレッシング中の測定点の読み誤りや、荷重計に異常が生じた場合等である。したがって、このような場合には、正確なプレストレス力が導入されていない可能性がある。ので、作業を中止してプレストレッシングをやり直さなければならない。具体的な管理手法は、「コンクリート道路橋施工便覧」(日本道路協会)の8.6 緊張管理の項を参照するとよい。

8.9 グラウトの施工

- (1) グラウトは、シース内にグラウトが完全に充てんされる方法で施工しなければならない。
- (2) 標準的には、1)から11)の方法によって施工するのがよい。
 - 1) 材料は8.4.6に規定するノンブリーディング型のグラウトを使用することとする。
 - 2) グラウトの練り混ぜにあたり、材料の投入順序及び練り混ぜ時間はあらかじめ設定した方法に従う。
 - 3) グラウトの練り混ぜはグラウトミキサで行うものとする。グラウトミキサは、グラウトを十分練り混ぜることができるものを使用する。
 - 4) グラウトは、注入が終了するまでゆるやかに麗搾できるアジテーター等により攪拌するものとする。
 - 5) グラウトの注入に用いるホースは、グラウトの注入に対して所要の材質、断面積のものを使用する。
 - 6) グラウトを確実に充てんするため、ダクト形状、ダクト長さ、グラウトの種類に応じた、注入、排気、排出口を設けるものとする。
 - 7) グラウト注入前には、ダクトの気密性と導通性を確認する。
 - 8) グラウト注入は、練り混ぜ直後に、グラウトポンプを用いて徐々に行うこととする。グラウトポンプは、空気が混入しないように注入できるものを使用する。
 - 9) グラウトは、グラウトポンプに入れる前に、適当なふるいに通すこととする。
 - 10) グラウト注入は、グラウト注入作業が完全に施工されたことを確認するために、注入データが記録できる機能を備えた流量計を使用するとともに、排出口から一様な品質のグラウトが流出するまで中断しない。
 - 11) 寒中における施工の場合は、ダクト周辺の温度を、注入前に5℃以上にしておくものとする。注入時のグラウト温度は、10～25℃を標準とする。グラウト温度は、注入後少なくとも5日間、5℃以上に保つことを原則とする。
 - 12) 暑中における施工の場合は、注入時のグラウトの温度をなるべく低く抑え、グラウトの急激な硬化等が生じないようにする。

13) グラウト硬化後のグラウトホースは、適切にあと処理を行う。

連続繊維緊張材がその定着部も含めて腐食の心配がない材料でできている場合、連続繊維緊張材にグラウトを行う目的は防食ではなく、

①コンクリートと連続繊維緊張材の付着を確保する（ひびわれ抑制）

②定着部への繰り返し応力の緩和

と考えられるが、グラウトの施工は「道路橋示方書Ⅲコンクリート橋編」の規定に従って行えば問題はないと考えられる。

連続繊維補強材を用いたコンクリート構造物
設計・施工マニュアル(案) (6訂版)

平成4年3月 初 版
平成5年12月 2 訂 版
平成7年1月 3 訂 版
平成10年4月 4 訂 版
平成15年10月 5 訂 版
平成27年6月 6 訂 版

発 行 者／建設用先端複合材料協会（ＡＣＣ）

企画・編集／ＡＣＣ技術委員会

〒103-8306

東京都中央区日本橋3-6-2（日本橋フロント）

（東京製綱株式会社内）

TEL 03-6366-7731

FAX 03-3278-6870

URL <http://www.acc-club.jp/>