

FRP 筋コンクリート造 設計施工マニュアル

2018 年

ITBS 研究会

目次

第1章 総則	
1.1 適用範囲	1
1.2 用語の定義	1
第2章 使用材料	
2.1 FRP筋	3
2.2 コンクリート	7
第3章 材料強度および許容応力度	
3.1 材料強度	8
3.2 許容応力度	9
第4章 荷重および応力・変形の算定	
4.1 荷重および外力とその組合せ	10
4.2 構造解析の基本事項	10
4.3 長方形スラブ	11
4.4 梁、柱および耐震壁	12
第5章 部材の算定	
5.1 曲げ材の断面算定における基本仮定	14
5.2 梁の曲げに対する断面算定	15
5.3 柱の軸方向力と曲げに対する断面算定	16
5.4 梁、柱および柱梁接合部のせん断補強	17
5.5 付着および継手	21
5.6 定着	23
5.7 床スラブ	26
5.8 耐震壁	27
5.9 基礎	29
第6章 ひび割れ幅および長期たわみ	
6.1 ひび割れ幅	31
6.2 長期たわみ	35
第7章 構造細目	
7.1 かぶり厚さ	38
7.2 配筋標準	39
7.3 耐久性、耐火性	50
第8章 施工	
8.1 施工の留意点	52
8.2 温度変化に対する留意点	54
第9章 適用例	55
参考文献	59
付録-1 アラミドFRP ロッド技術資料	61
付録-2 カーボンFRP ロッド技術資料	71

第1章 総則

1.1 適用範囲

本マニュアルは、アラミド繊維および炭素繊維を用いた棒状連続繊維補強筋（以下、FRP筋と呼ぶ）をコンクリートの補強材として用いた構造物に適用する。

FRP筋は、異形鉄筋と同等以上の付着性状を有するものを対象とする。

本マニュアルが対象とする構造は、従来使用している鉄筋の一部もしくは全てを軽量で耐久性に優れたFRP筋に替えて適用するFRP筋コンクリート構造である。マニュアルでは主にFRP筋の適用に関して記述しているが、部材設計にあたっては日本建築学会「連続繊維補強コンクリート系構造設計施工指針案」（以下、連続繊維設計施工指針案と略記）、「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」（以下、RC規準と略記）、「鉄筋コンクリート造建物の終局強度型耐震設計指針・同解説」（以下、終局強度型耐震設計指針と略記）、「鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針・同解説」（以下、靱性保証型耐震設計指針と略記）等を参考とする。

なお、本マニュアルはITビルシステム研究会（以下、ITBS研究会と呼ぶ）における「FRP筋技術指針SWG」の活動の一環として取り纏めたものである。

1.2 用語の定義

本マニュアルの用語は、特記なき限り連続繊維設計施工指針案、RC規準、終局強度型耐震設計指針、靱性保証型耐震設計指針などの定めるところによる。

本マニュアルで一般的に用いられる用語とその定義を以下に列記する。

- ・ **アラミド繊維** : ナイロンと同じアミド結合—CONH—を有する全芳香族ポリアミドからなる合成繊維である。アラミド繊維には1種類のアミン成分から構成される単独重合系と、2種類のアミン成分から構成される共重合系がある。直径は何れも12 μ m程度で、他の有機合成繊維と比較して引張強度、剛性、耐熱性が格段に大きい。
- ・ **炭素繊維** : 不完全な黒鉛微結晶の集合体であり、原料や製造方法の違いによりPAN系とピッチ系の炭素繊維に分類される。PAN系はポリアクリロニトリル繊維を加熱し炭化させた繊維であり、ピッチ系は石油または石炭ピッチを焼結して得られる繊維である。直径はPAN系が5~8 μ m、ピッチ系が9~18 μ m程度であり、物理的性質は結晶の配向により異なる。
- ・ **連続繊維** : メートル単位以上で表せる程度の非常に長い繊維で、コンクリート補強用の連続した繊維の総称。
- ・ **棒状連続繊維補強筋 (FRP筋)** : 連続繊維に繊維結合材を含浸・硬化させて鉄筋やPC鋼材のような棒状に成型し、コンクリートを補強する目的で使用する一方方向強化材
- ・ **組紐状FRP筋** : 繊維を組み合わせて作った紐状の連続繊維棒材

¥

- **砂付 FRP 筋** : コンクリートとの付着性を確保する目的で連続繊維棒材の表面に細目の砂を付着させた連続繊維棒材
- **FRP 筋の公称断面積** : FRP 筋の体積をその長さで除した値
- **FRP 筋の公称径** : 断面を円と仮定した場合の直径で、公称断面積を円周率で除し、その値の平方根を 2 倍した値
- **FRP 筋の公称周長** : 断面を円と仮定した場合の直径で、公称径に円周率を乗じた値
- **FRP 筋の耐力** : FRP 筋が耐えうる荷重の最大値
- **FRP 筋の強度** : FRP 筋の耐力を公称断面積で除した値
- **FRP 筋の引張剛性** : FRP 筋の引張力・ひずみ関係を直線とみなしたときの傾き
- **FRP 筋のヤング係数** : FRP 筋の引張剛性を公称断面積で除した値

第2章 使用材料

2.1 FRP 筋

FRP 筋は、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ければならない。

表 2.1.1 に示す FRP 筋は、その引張特性については JIS A 1192 (コンクリート用連続繊維補強材の引張試験方法) 等により性能が確認されており、温度特性および耐久性等については JIS A 1193 (コンクリート用連続繊維補強材の耐アルカリ試験方法) 等によりその性能が確認されているものである (ITBS 研究会編：アラミド FRP ロッド技術資料、カーボン FRP ロッド技術資料参照)。

ITBS 研究会会員会社で取り扱う FRP 筋の種類と基本性能を表 2.1.1 に、諸元を本章 1 項～3 項に示す。

表 2.1.1 FRP 筋の種類と基本性能

種類 (商品名)		ケブラー®ロッド	テクノーラ®ロッド	カーボンロッド
素 材		パラ系アラミド繊維 (単独重合系)	パラ系アラミド繊維 (共重合系)	PAN 系炭素繊維
素材メーカー		東レ・デュポン(株)	帝人テクノロダック(株)	—————
引 張 特 性	引張強度 (N/mm ²)	1,100～1,250	1,510～1,750	2,260～2,700
	ヤング係数 (N/mm ²)	68.6×10 ³	46.0×10 ³	150×10 ³
	伸び (%)	1.6～2.0	3.3～3.8	1.6

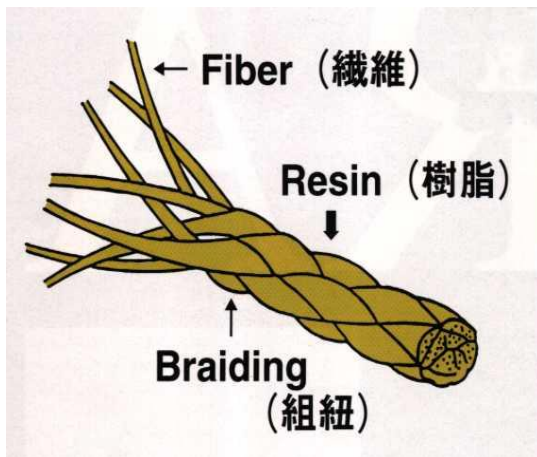
¥

1. ケブラー®ロッド (アラミド繊維)

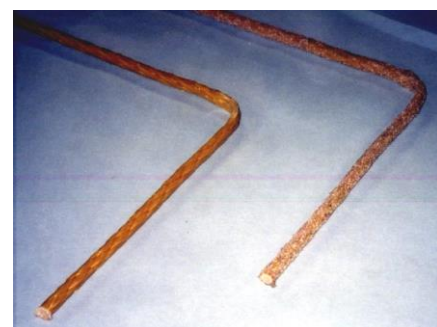
a) 諸 元

呼び名	公称直径 (mm)	公称断面積 (mm ²)	単位重量 (g/m)	保証耐力 (kN)	ヤング係数 (N/mm ²)	破断伸び (%)
5mm	5.7	25.5	32	32	68.6×10 ³	1.6
7mm	7.8	47.8	58	60		
9mm	9.3	67.9	84	85		
11mm	11.0	95.0	115	112		
13mm	13.7	147	173	172		
15mm	15.7	193	226	225		
18mm	18.2	260	304	300		
21mm	21.3	356	416	410		
24mm	24.0	452	529	520		

b) 外 観



直線材



曲げ材

¥

2. テクノローラ®ロッド (アラミド繊維)

a) 諸 元

呼び名	公称直径 (mm)	公称断面積 (mm ²)	単位重量 (g/m)	保証耐力 (kN)	ヤング係数 (N/mm ²)	破断伸び (%)
異形ロッド φ 3mm	3.23	8.2	10.1	14.3	46.0×10 ³	3.3
異形ロッド φ 6mm	6.43	32.5	41.6	56.9		
異形ロッド φ 7.4mm	7.88	48.8	64.0	81.4		
異形ロッド φ 13mm	13.1	135.0	171.0	205.0		

b) 外 観



¥

3. カーボンロッド (炭素繊維)

a) 諸 元

呼び名	公称直径 (mm)	公称断面積 (mm ²)	単位重量 (g/m)	保証耐力 (kN)	ヤング係数 (N/mm ²)	破断伸び (%)
φ 8mm	7.9	46.1	77	104	150×10 ³	1.6
φ 10mm	9.8	71.8	118	162		
φ 12mm	11.8	108.6	177	245		

b) 外 観



2.2 コンクリート

1. コンクリートの種類・品質

- (1) コンクリートの種類および品質は、日本建築学会『建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5 鉄筋コンクリート工事』（以下 JASS 5 と略記）を参照とする。
- (2) コンクリートの調合・製造・運搬・打込み・養生・型枠および品質管理は、JASS 5 を参照とする。
- (3) コンクリートの設計基準強度（材料強度） F_c は、コンクリートの種類に応じ表 2.2.1 に示す値以上とする。
- (4) コンクリートに使用する材料は、JASS 5 に規定する材料とする。
- (5) 上記に記入なき項目は日本建築学会『鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説』を参照とする。

表 2.2.1 コンクリートの種類と設計基準強度（材料強度）の下限値

コンクリートの種類	F_c の下限値 (N/mm ²)	使用する骨材	
		粗骨材	細骨材
普通コンクリート	21	砂利、碎石、 高炉スラグ碎石	砂、砕砂、スラグ砂
軽量コンクリート	1 種	人工軽量骨材	砂、砕砂、スラグ砂
	2 種	人工軽量骨材	人工軽量骨材またはこの 一部の砂、砕砂、スラグ 砂で置き換えたもの

注 1) 砂利・碎石・高炉スラグ碎石は、これらを混合して用いる場合も含む。

注 2) 砂・砕砂・スラグ砂は、これらを混合して用いる場合も含む。

2. コンクリートの材料定数

コンクリートの材料定数は、通常の場合表 2.2.2 による。

表 2.2.2 材料の定数

材料	ヤング係数 (N/mm ²)	ポアソン比	線膨張係数 (1/°C)
コンクリート	$3.35 \times 10^4 \times \left(\frac{r}{24}\right)^2 \times \left(\frac{F_c}{60}\right)^{\frac{1}{3}}$	0.2	1×10^{-5}

r : コンクリートの気乾単位体積重量 (kN/m³) で、特に調査しない場合は表 3.1.1 の数値を採用することができる。

F_c : コンクリートの設計基準強度 (N/m²)

第3章 材料強度および許容応力度

3.1 材料強度

1. コンクリート

- (1) コンクリートは設計基準強度 21N/mm^2 以上のものを使用することを原則とする。
- (2) FRP 筋コンクリートの単位体積重量は実状による。特に調査しない場合は、表 3.1.1 によってもよい。

表 3.1.1 FRP 筋コンクリートの単位体積重量

コンクリートの種類	設計基準強度の範囲 (N/mm^2)	FRP 筋コンクリートの 単位体積重量(kN/m^3)
普通コンクリート	$21 \leq Fc \leq 36$	23.0
	$36 < Fc \leq 48$	23.5
	$48 < Fc \leq 60$	24.0
軽量コンクリート 1 種	$21 \leq Fc \leq 27$	19.0
	$27 < Fc \leq 36$	21.0
軽量コンクリート 1 種	$21 \leq Fc \leq 27$	17.0

2. FRP 筋

FRP 筋の材料強度は、表 3.1.2 による。

表 3.1.2 FRP 筋の材料強度

名 称	材料強度 F 値(N/mm^2)	ヤング係数 (N/mm^2)	破断伸び (%)
ケブラー®ロッド	1,100	68.6×10^3	1.6
テクノーラ®ロッド	1,650($\phi 3.0 \sim \phi 7.4$) 1,500($\phi 13$)	46.0×10^3	3.3
カーボンロッド	2,260	150×10^3	1.6

3.2 許容応力度

1. コンクリート

(1) コンクリートの許容応力度は、表 3.2.1 による。

(2) FRP 筋のコンクリートに対する許容付着応力度は、表 3.2.2 による。

表 3.2.1 コンクリートの許容応力度 (N/mm²)

	長 期			短 期		
	圧縮	引張	せん断	圧縮	引張	せん断
普通コンクリート	1/3F _c	-	1/30F _c かつ (0.5+1/100×F _c)	長期の 2 倍	-	長期の 1.5 倍
軽量コンクリート 1 種および 2 種			普通コンクリートに 対する値の 0.9 倍			

注) F_c はコンクリートの設計基準強度 (N/mm²) を示す。

表 3.2.2 FRP 筋のコンクリートに対する許容付着応力度

	長 期		短 期
	上 端 筋	その他のFRP筋	
普通コンクリート	$0.8 \times \left(\frac{F_c}{60} + 0.6 \right)$	$\frac{F_c}{60} + 0.6$	長期の 1.5 倍

注 1) 上端筋は、曲部材にあつてその FRP 筋の下に 300 mm 以上のコンクリートがある場合の水平 FRP 筋をいう。

注 2) F_c はコンクリートの設計基準強度 (N/mm²) を示す。

注 3) 本表の FRP 筋の許容付着応力度は、「5.5 付着および継手」ならびに「5.6 定着」に規定される配筋による修正係数とあわせて使用される値である。

注 4) 軽量コンクリートでは本表の値に 0.8 を乗じる。

2. FRP 筋

FRP 筋の許容応力度は、表 3.2.3 による。

表 3.2.3 FRP 筋の許容応力度 (N/mm²)

	長 期			短 期
	圧 縮	引 張	せん断	
FRP 筋	-	1/3・F	1/3・F×0.7	長期の 2.0 倍

注 1) F 値は、表 3.1.2 の FRP 筋の材料強度 (N/mm²) を示す。

注 2) スパイラル状に加工した FRP 筋をせん断補強筋として用いる場合は、曲げ加工部における強度低減を考慮して引張に対する F 値の 0.7 倍とする。

第4章 荷重および応力・変形の算定

4.1 荷重および外力とその組合せ

構造計算に採用する荷重および外力とその組合せは、建築基準法施行令および国土交通省告示または日本建築学会「建築物荷重指針・同解説」、「建築基礎構造設計指針」に定めるところによる。

4.2 構造解析の基本事項

1. 建築物全体および各部の応力と変形は、下記の(1)から(4)の仮定に基づき算定する。
- (1) 応力および変形の算定は、一般には弾性剛性に立脚した計算による。ただし、作用する設計荷重や外力の大きさにより発生する応力が大きな部分では、コンクリートのひび割れや部材の塑性変形の影響を考え、必要に応じてその剛性を低下させる。この場合、他の部分に及ぼす影響や建築物全体の变形に及ぼす影響を十分に検討する。
- (2) 材料のヤング係数は、表 2.2.2、表 3.1.2 による。ただし、長期荷重によるクリープの影響を考慮する場合はこの限りではない。
- (3) 曲げ変形、せん断変形および軸方向変形に対する弾性剛性を算定するにあたっては、基本となる断面積および断面 2 次モーメントは全断面について求める。ただし、これらの計算には FRP 筋の影響を無視することができる。
- スラブ付梁、壁付き柱などの T 形断面をもつ材の曲げ変形に対する板部の有効幅 B は、ウェブ幅 b に、その両側または片側の板部の協力幅 ba をそれぞれ加えたものとする。板部の協力幅 ba は、(1)式または(2)式により算定する。

《ラーメン材および連続梁の場合》

$$\left. \begin{array}{ll} \frac{a}{l} < 0.5 & ba = \left(0.5 - 0.6 \frac{a}{l} \right) a \\ \frac{a}{l} \geq 0.5 & ba = 0.1l \end{array} \right\} \quad (1)$$

《単純梁の場合》

$$\left. \begin{array}{ll} \frac{a}{l_0} < 1 & ba = \left(0.5 - 0.3 \frac{a}{l_0} \right) a \\ \frac{a}{l_0} \geq 1 & ba = 0.2l_0 \end{array} \right\} \quad (2)$$

ここに、 a : 並列 T 形断面部材では材の側面から隣の材の側面までの距離 (図 4.2.1 参照)

単独 T 形断面部材ではその片側フランジ幅の 2 倍

l : ラーメン材または連続梁のスパン長さ

l_0 : 単純梁のスパン長さ

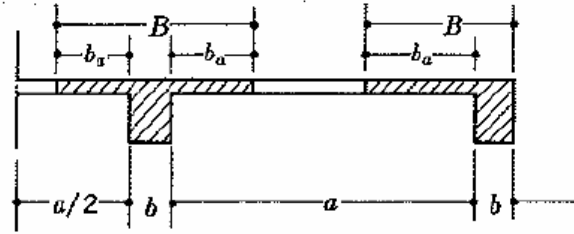


図 4.2.1 T形断面部材の板部の有効幅

(4) 部材の変形は原則として曲げモーメントおよびせん断力による変形を考慮し、必要に応じて軸方向による変形を考慮する。この場合、応力計算を簡略化するために、耐震壁や壁形の部材以外のせいに比べて長さ長い線材では、せん断力による変形を無視することができる。

2. 柱梁接合部などの材の接合部、ハンチの部分、腰壁・垂れ壁が材に接する部分などが応力に及ぼす影響については、部材を適当な剛域または曲げに対して剛でせん断変形のみする領域と変断面材から構成されるものと考えて算定する。ただし、この影響が小さい場合には、これを無視した場合の応力を適当に増大させてよい。

4.3 長方形スラブ

1. 長方形スラブの曲げモーメントおよびせん断力は、周辺の固定度に応じて弾性理論により求める。
2. 周辺固定と見なすことのできる長方形スラブが等分布荷重を受けるときは、(3)式、(4)式により2方向の曲げモーメントを算定する。(図 4.3.1 参照)

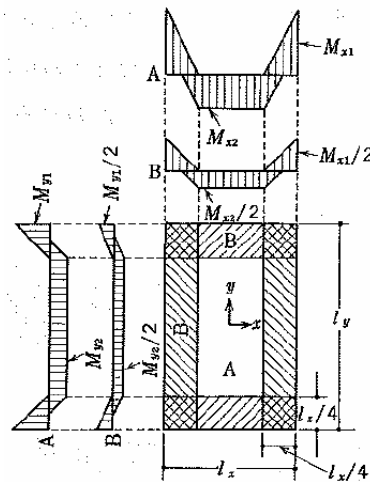


図 4.3.1 周辺固定スラブの設計用曲げモーメント

短辺 x 方向の曲げモーメント (単位幅につき)

両端最大負曲げモーメント

$$M_{x1} = \frac{1}{12} \cdot w_x \cdot l_x^2$$

中央部最大正曲げモーメント

$$M_{x2} = \frac{1}{18} \cdot w_x \cdot l_x^2$$

} (3)

長辺 y 方向の曲げモーメント (単位幅につき)

両端最大負曲げモーメント

$$M_{y1} = \frac{1}{24} \cdot w \cdot l_x^2$$

中央部最大正曲げモーメント

$$M_{y2} = \frac{1}{36} \cdot w \cdot l_x^2$$

} (4)

記号 l_x : 短辺有効スパン l_y : 長辺有効スパン

w : 単位面積についての全荷重

$$w_x = \frac{l_y^4}{l_x^4 + l_y^4} \cdot w$$

ただし、有効スパンとは、支持部材間の内法寸法をいう。周辺より $l_x/4$ 幅の部分 (図 4.3.1 の B 部) については(3)式、(4)式中、周辺に平行な方向の M_x, M_y の値を半減することができる。

4.4 梁、柱および耐震壁

1. 床スラブから梁に加わる鉛直荷重は、床スラブ上の荷重状態および床スラブの周辺条件を考慮して定める。等分布荷重を受ける長方形スラブを支える梁は、梁の交点から描いた2等分線および梁に平行な直線から作られる台形または三角形の部分の荷重を受けるものとみなすことができる。(図 4.4.1 参照)

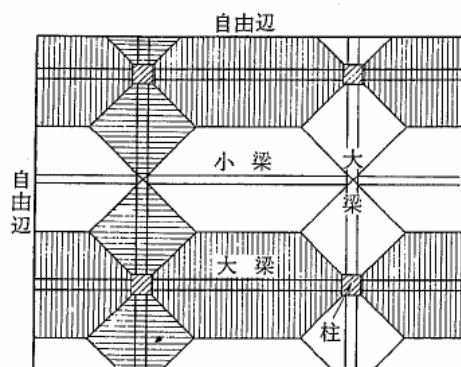


図 4.4.1
等分布荷重を受ける長方形スラブを支える大梁および小梁の荷重範囲

2. ラーメンの面内にある壁体の重量は、直接柱に伝わるものとみなすことができる。ただし、基礎および開口の状況によっては、これによらず適当に考える。
3. 積載荷重については、満載荷重時について算定するほか、必要に応じ部分的荷重による影響を考慮する。
4. 大梁に剛接支持される小梁の曲げモーメントは、大梁のねじれ抵抗による拘束を考慮し、連続梁として算定する。
5. 鉛直荷重を受けるラーメンの計算にあたっては、次の仮定によることができる。
 - (1) ほぼ均等なラーメン材に対しては、柱の節点の移動を無視する。
 - (2) 材の曲げモーメントの算定にあたっては、その材ならびにこれに隣接する材に加わる荷重の影響だけを考える。ただし、ラーメンの形状および荷重の不規則な場合には影響の範囲を拡大する。
 - (3) 梁のせん断力、柱の軸方向力は、特に不規則なラーメンを除き、梁を単純梁として算定した値による。
6. 水平力を受ける有壁ラーメンおよび無壁ラーメンから構成される骨組みの解析にあたっては、次の仮定によることができる。
 - (1) 水平力は、一般にはラーメン方向となる互いに直交する縦横2方向に別々に作用するものとする。ただし、建築物の平面が特殊な形状の場合などでは、必要に応じて、特に不利な方向に作用する場合も考える。
 - (2) 水平力は、床の位置に集中して作用するものとする。層の中間に作用する力の影響が大きいときは、別にその影響を加算する。
 - (3) 一般に、床は水平面内に剛なものと仮定する。特に、剛なものと考えられない場合には、床の変形を考慮するかまたはその影響を考慮した適当な補正を行う。
7. 水平力による各層のせん断力の作用中心と、その層の剛性の中心（剛心）とはなるべく一致させるように計画し、一致しない場合は、ねじれの影響を考慮する。
8. 耐震壁には曲げ変形、せん断変形および必要に応じて軸方向変形、耐震壁に連結する梁の曲げ戻し効果、基礎回転の影響を考慮するものとともに、解析の目的とその応力レベルに基づきこれらの各変形の弾性剛性に対する剛性低下率を適切に導入する。

第5章 部材の算定

5.1 曲げ材の断面算定における基本仮定

FRP 筋コンクリート材の曲げモーメントに対する断面算定は、通常の場合、次の仮定に基づいて行う。

- (1) コンクリートの引張応力は無視する。
- (2) 曲げ材の各平面断面は材のわん曲後も平面を保ち、コンクリートの圧縮応力度は中立軸からの距離に比例する。
- (3) コンクリートに対する FRP 筋のヤング係数比 n は、コンクリートの種類、荷重の長期・短期にかかわらず同一とし、コンクリートの設計基準強度 F_c に応じて、表 5.1.1 に示す値とする。

表 5.1.1 コンクリートに対する FRP 筋のヤング係数比

コンクリート設計基準強度 F_c (N/mm ²)	ヤング係数比 n		
	ケブラー®ロッド	テクノーラ®ロッド	カーボンロッド
$21 \leq F_c \leq 27$	5.0	3.4	11.0
$27 \leq F_c \leq 36$	4.4	2.9	9.5
$36 \leq F_c \leq 48$	3.7	2.5	8.0
$48 \leq F_c \leq 60$	3.0	2.0	6.6

- (4) 算定断面に対して直交しない FRP 筋については、その断面積に $\cos \theta$ を乗じたものを有効断面積と見なす (図 5.1.1 参照)

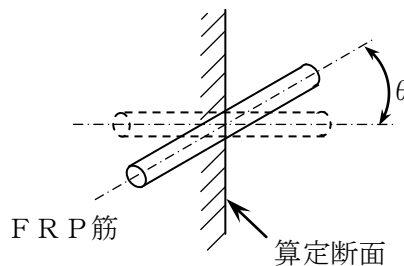


図 5.1.1 算定断面に直交しない FRP 筋

5.2 梁の曲げに対する断面算定

1. 長方形梁の許容曲げモーメントは、前章 5.1 の基本仮定に基づき、圧縮線がコンクリートの許容圧縮応力度 f_c に到達したとき、あるいは引張側 FRP 筋が FRP 筋の許容引張応力度 f_{tf} に到達したときに対して求めた値のうち、小さい方による。
2. 長方形梁とスラブが一体となった構造と見なされる T 形梁において、スラブが圧縮側になる場合には、次の規定に従って算定する。スラブが引張側になる場合は、スラブを無視した長方形梁として本章 1 項の規定に従って算定する。
 - (1) T 形梁の有効幅 B は、通常の場合、前章 4.2 (構造解析の基本事項) の 1 項(3) によることができる。
 - (2) T 形梁の許容曲げモーメントは、a) または b) による。
 - a) 中立軸がスラブ内にある場合
T 形梁の有効幅 B を幅とする長方形梁として本章 1 項による。
 - b) 中立軸がスラブ外にある場合
前章 5.1 の基本仮定に基づいて T 形断面を評価し、圧縮線がコンクリートの許容圧縮応力度 f_c に到達したとき、あるいは引張側 FRP 筋が FRP 筋の許容引張応力度 f_{tf} に到達したときに対して求めた値のうち、小さいほうによる。
3. 梁の引張 FRP 筋比が釣り合い FRP 筋比以下のときは、許容曲げモーメントは(5)式によることができる。

$$M=at \times f_{tf} \times j \quad (5)$$

ただし、 $j = (7/8)d$ とする。

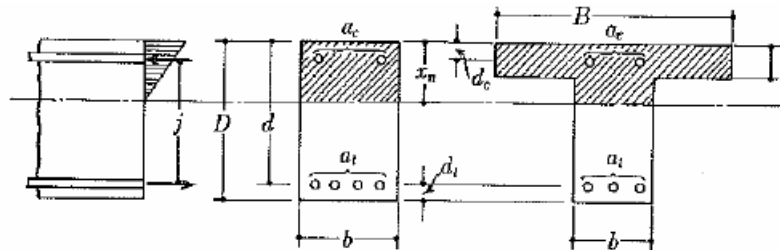


図 5.2.1 梁の断面

4. 前各項の算定のほか、梁は次の限度に従うこと。
 - (1) 長期荷重時に正負最大曲げモーメントを受ける部分の引張 FRP 筋断面積は、 $0.002bd$ または存在応力によって必要とされる量の $4/3$ 倍のうち、小さい方の値以上とする。
 - (2) 主要な梁は、全スパンにわたり複筋梁とする。
 - (3) 主筋は、直径 11mm 以上とする。
 - (4) 主筋のあきは、25mm 以上、かつ、FRP 筋の径 (呼び名の数値 mm) の 1.5 倍以上とする。
 - (5) 主筋の配置は、特別の場合を除き、2 段以下とする。

5.3 柱の軸方向力と曲げに対する断面算定

1. 軸方向力と曲げモーメントを同時に受ける柱においては、前章 5.1 の基本仮定に基づいて断面内の応力度を算定し、ある許容軸方向力 N を受ける状態で圧縮縁がコンクリートの許容圧縮応力度 f_c に到達したとき、引張 FRP 筋が FRP 筋の許容引張応力度 f_{ur} に到達したときに対して求めたそれぞれの曲げモーメントのうち、最小の値をもって許容曲げモーメント M とする。
2. 地震時に曲げモーメントが特に増大するおそれのある柱では、短期軸方向力をコンクリート全断面積で除した値は、 $(1/3)F_c$ 以下とすることが望ましい。
3. 前各項の算定のほか、柱は次の限度に従うこと。
 - (1) 柱の最小径とその主要支点間距離の比は、普通コンクリートを使用する場合は 1/15 以上、軽量コンクリートを使用する場合は 1/10 以上とする。ただし、柱の有効細長比を考慮した構造計算によって、構造耐力上安全であることが確かめられた場合においては、このかぎりではない。
 - (2) コンクリート全断面積に対する主筋全断面積の割合は、0.4% 以上とする。ただし、コンクリートの断面積を必要以上に増大した場合には、この値を適当に減少させることができる。
 - (3) 主筋は、直径 11mm 以上、かつ、4 本以上とし、主筋は帯筋により相互に連結する。
 - (4) 主筋のあきは、25mm 以上、かつ、FRP 筋の径（呼び名の数値 mm）の 1.5 倍以上とする。

5.4 梁・柱および柱梁接合部のせん断補強

1. 長方形ならびにT形断面の梁、柱および柱梁接合部のせん断力に関する算定は、本章による。また、主筋の付着に対する算定は、5.5章による。その他の断面形の場合は、本章に準じて算定する。ただし、実験などでせん断補強効果が十分であることが確かめられた場合には、2項(1)、3項(1)および4項(1)、(2)によらなくてもよい。

2. 梁

(1) 梁の許容せん断力 Q_A は、下記による。

$$Q_A = b \times j \times \{ \alpha \times f_s + 0.35 \times w_{ftf} \times (p_w - 0.002) \} \quad (6)$$

ただし、

$$\alpha = \frac{4}{\frac{M}{Qd} + 1} \quad \text{かつ} \quad 1 \leq \alpha \leq 2$$

p_w の値が 1.2% を超える場合は、1.2% として許容せん断力を計算する。

記号 b : 梁の幅、T形梁の場合はウェブの幅

J : 梁の応力中心距離で $(7/8)d$ とすることができる。

D : 梁の有効せい

p_w : あばら筋比

$$p_w = \frac{a_w}{b \times x}$$

a_w : 1組のあばら筋の断面積

x : あばら筋間隔

f_s : コンクリートの許容せん断応力度

w_{ftf} : あばら筋のせん断補強用許容引張応力度

α : 梁のせん断スパン比 M/Qd による割り増し係数

M : 設計する梁の最大曲げモーメント

Q : 設計する梁の最大せん断力

(2) 梁の短期設計用せん断力 Q_D は、(7)式による。

ただし、前章 4.1 の 1 項により求められた水平荷重時せん断力を 1.5 倍以上に割増して使用する場合には、(7)式によらなくてよい。

$$Q_D = Q_L + \frac{\sum M_y}{l'} \quad (7)$$

記号 Q_L : 長期荷重によるせん断力 (単純梁として算定した値)

$\sum M_y$: せん断力が最大となるような梁両端の降伏曲げモーメントの絶対値の和

l' : 梁の内法スパン長さ

(3) 上記算定のほか、梁のせん断補強筋は次の各項に従うこと。

a) あばら筋は軽微な場合を除き、直径 7mm 以上の FRP 筋を用いる。

b) あばら筋の間隔は、直径 7mm の FRP 筋を用いる場合に、 $(1/2)D$ 以下、かつ、250mm

以下とする。ただし、その他の直径の FRP 筋を用いる場合は $(1/2)D$ あるいは 450mm を超えない範囲で、前記の数値 250mm を適当に増大させることができる。

c) あばら筋比は、 0.2% 以上とする。

d) あばら筋は引張 FRP 筋および圧縮 FRP 筋を包含し、主筋内部のコンクリートを十分に拘束するように配置する。

3. 柱

(1) 柱の長期許容せん断力 Q_{AL} および短期許容せん断力 Q_{AS} は、下記による。

$$Q_{AL} = b \times j \times \alpha \times f_s$$

$$Q_{AS} = b \times j \times \{f_s + 0.35 \times w_{ftf} \times (p_w - 0.002)\}$$

ただし、

$$\alpha = \frac{4}{\frac{M}{Qd} + 1} \quad \text{かつ} \quad 1 \leq \alpha \leq 2$$

} (8)

p_w の値が 1.2% を超える場合は、 1.2% として許容せん断力を計算する。

記号 b : 柱の幅

j : 梁の応力中心距離で $(7/8)d$ とすることができる。

d : 梁の有効せい

p_w : 帯筋比

$$p_w = \frac{a_w}{b \times x}$$

a_w : 1組の帯筋の断面積

x : 帯筋間隔

f_s : コンクリートの許容せん断応力度

w_{ftf} : 帯筋のせん断補強用許容引張応力度

α : 梁のせん断スパン比 M/Qd による割り増し係数

M : 設計する梁の最大曲げモーメント

Q : 設計する梁の最大せん断力

(2) 柱の短期設計用せん断力 Q_D は、その柱を含むラーメンの曲げ降伏荷重に対応する応力とする。精算によらない場合は、(9)式によることができる。ただし、前章 4.1 により求められた水平荷重時せん断力を 1.5 倍以上に割り増しして使用する場合には、(9)式によらなくてよい。

$$Q_D = \frac{\sum M_y}{h'} \quad (9)$$

記号 $\sum M_y$: 柱頭・柱脚の降伏曲げモーメントの絶対値の和。この場合、柱頭の降伏曲げモーメントの絶対値よりも、柱頭に連なる梁の降伏曲げモーメントの

絶対値の和の 1/2 が小さい場合には、小さいほうの値を柱頭の降伏曲げモーメントとしてよい。ただし、最上階の柱では 1/2 を省くものとする。

h' : 柱の内法高さ

(3) 上記算定のほか、柱のせん断補強筋は以下の各項に従うこと。

- a) 帯筋の直径は軽微な場合を除き、直径 7mm 以上の FRP 筋を用いる。
- b) 帯筋の間隔は、直径 7mm の FRP 筋を用いる場合に 100mm 以下とする。ただし、柱の上下端より柱の最大径の 1.5 倍に等しい範囲外では、帯筋間隔を前記数値の 1.5 倍まで増大することができる。また、前記の直径より大きい FRP 筋を用いる場合には 200mm を超えない範囲で前記の数値を適当に増大させることができる。
- c) 帯筋比は 0.2% 以上とする。
- d) 帯筋は主筋を包含し、主筋内部のコンクリートを十分に拘束するように配置する。

4. 柱梁接合部

(1) 純ラーメン部分の柱梁接合部においては、短期許容せん断力が短期設計用せん断力を上回ることを確認する。

(2) 梁接合部の短期許容せん断力 Q_{Aj} は、(10)式による。

$$Q_{Aj} = \kappa_A \times (f_s - 0.5) \times b_j \times D \quad (10)$$

記号 κ_A : 接合部の形状による係数

$\kappa_A = 10$ (十字形接合部)

$\kappa_A = 7$ (T形接合部)

$\kappa_A = 5$ (ト形接合部)

$\kappa_A = 3$ (L形接合部)

f_s : コンクリートの短期許容せん断応力度

b_j : 接合部の有効幅

$$b_j = b_b + b_{a1} + b_{a2}$$

ここに、 b_b は梁幅、 b_{a1} は $b_l/2$ または $D/4$ の小さいほうとし、 b_b は梁両側面からこれに平行する柱側面までの長さとする。

D : 柱せい

(3) 柱梁接合部の短期設計用せん断力 Q_{Dj} は、(11)式による。

ただし、本章 3 項(2)による柱の短期設計用せん断力 Q_D を用いて(12)式によってもよい。

$$Q_{Dj} = \sum \frac{M_y}{j} (1 + \xi) \quad (11)$$

$$Q_{Dj} = Q_D \frac{1 - \xi}{\xi} \quad (12)$$

ただし、 ξ は架構の形状に関する係数で(13)式による。

$$\xi = \frac{j}{H \left(1 - \frac{D}{L} \right)} \quad (13)$$

記号

$\sum \frac{M_y}{j}$: 接合部の左右の梁の降伏曲げモーメントの絶対値をそれぞれの j で除した和。ただし、梁は一方が上端引張、他方が下端引張とする。

Q_D : 本章 3 項(2)による柱の短期設計用せん断力で、一般階の接合部では接合部の上下の柱の平均値。最上階の接合部では接合部直下の値とする。

D : 柱せい

j : 梁の応力中心距離で(13)式では接合部の左右の梁の平均値とする。

H : 接合部の上下の柱の平均高さで、最上階の接合部では最上階の柱の高さの $1/2$ とする。柱の高さは梁の芯々間距離とする。

L : 接合部の左右の梁の平均長さで、外端の接合部では外端の梁の長さとする。梁の長さは柱の芯々間距離とする。

(4) 柱梁接合部内の帯筋は、以下の各項に従うこととする。

- a) 帯筋は、直径 7mm 以上の FRP 筋を用いる。
- b) 帯筋比は 0.2%以上とする。
- c) 帯筋間隔は 150mm以下とし、かつ、隣接する柱の帯筋間隔の 1.5 倍以下とする。

5.5 付着および継手

1. 付着

- (1) 曲げ材の引張 FRP 筋ではスパン内において(14)式により、付着検定断面から付着長さ l_d が必要付着長さ l_{db} に部材有効せい d を加えた長さ以上となることを確かめる。

$$l_d \geq l_{db} + d \quad (14)$$

ただし、付着長さ領域で斜めひび割れが生じないことが確かめられた場合には部材有効せい d を加えなくともよい。

- (2) 付着検定断面は以下の断面とする。

- a) スパン内で最大曲げモーメントとなる断面。
- b) スパン内で減じられる FRP 筋が計算上不要となる断面。

- (3) 付着長さ l_d は以下による。

- a) 付着検定断面から鉄筋端までの長さ
- b) FEP 筋端部に標準フック (次章 5.6 に規定) を設ける場合は付着検定断面からフック開始点までの長さ。

- (4) 必要付着長さ l_{db} は(15)式による。

$$l_{db} = \frac{\sigma_t \times A_s}{K \times f_b \times \phi} \quad (15)$$

ここで、 σ_t : 付着検定断面位置における短期、長期荷重時の FRP 筋存在応力度とし、FRP 筋端に標準フック (次章 5.6 に規定) を設ける場合にはその値の 2/3 倍とすることができる。

A_s : 当該 FEP 筋の断面積

ϕ : 当該 FRP 筋の周長

f_b : 許容付着応力度で表 3.2.2 による。多段配筋の一段目 (断面外側) 以外の鉄筋に対しては、さらに 0.6 を乗ずる。

K : FRP 筋配置と横補強筋による以下の修正係数で 2.5 以下とする。

$$\text{長期荷重時} \quad K = 0.3 \frac{C}{d_b} + 0.4 \quad (16)$$

$$\text{短期荷重時} \quad K = 0.3 \left(\frac{C+W}{d_b} \right) + 0.4 \quad (17)$$

ここで、 C : FRP 筋間のあき、もしくは最小かぶり厚さの 3 倍のうち小さいほうで、FRP 筋径で 5 倍を超える値としてはならない。

W : 付着割裂面を横切る横補強筋効果を表す換算長さで、(18)式により与えられる。FRP 筋径の 2.5 倍を超える値としてはならない。

$$W = 80 \frac{A_{st}}{s N} \quad (18)$$

ここで、 A_{st} : 当該 FRP 筋列の想定される付着割裂面を横切る 1 組の横補強筋全断面積

s : 1 組の横補強筋 (断面積 A_{st}) の間隔

N : 当該 FRP 筋列の想定される付着割裂面における FRP 筋本数

d_b : 曲げ補強 FRP 筋径

(5) 付着に関する構造規定

- a) カットオフ FRP 筋は、計算上不要となる断面を超えて部材有効せい d 以上延長する。
- b) 負曲げモーメント引張 FRP 筋（上端筋）の 1/3 以上は反曲点を超えてさらに梁有効せい d 以上延長する。ただし、短期応力の存在する部材では 1/3 以上の FRP 筋は部材全長に連続して、あるいは継手をもって配する。
- c) 正曲げモーメント引張 FRP 筋（下端筋）の 1/3 以上は部材全長に連続して、あるいは継手をもって配する。
- d) 引張 FRP 筋の付着長さは 300mm を下回ってはならない。
- e) 束ね筋は断面の等価な 1 本の FRP 筋として取り扱う。
- f) 柱および梁（基礎梁を除く）の出隅部分および煙突においては FRP 筋の末端に必ず標準フックを設ける。

2. 継 手

- (1) FRP 筋は原則として重ね継手とする。
- (2) FRP 筋継手は部材応力ならびに FRP 筋応力の小さい箇所に設けることを原則とする。
- (3) 重ね継手長さは FRP 筋の短期許容応力度に対する(15)式による必要付着長さ以上とする。ここで FRP 筋間のあきの最小値は相互の FRP 筋が密着しない場合でも密着して継手と考えて C を求め、FRP 筋本数 N は想定される付着割裂面における全 FRP 筋本数から継手組数を引いた値とする。
- (4) 同一断面で全引張 FRP 筋の継手（全数継手）としないことを原則とする。
- (5) 重ね継手は曲げひび割れが継手筋に沿って生じるような部位に設けてはならない。

5.6 定着

1. 定着

- (1) 曲げ補強 FRP 筋の仕口への定着では(19)式により必要定着長 l_{db} 以上の定着長さ l_d を確保する。

$$l_d \geq l_{db} \quad (19)$$

- (2) 定着長さ l_d

定着長さ l_d は仕口面から当該 FRP 筋端までの直線長さとする。FRP 筋端に本章 2 項に規定する標準フックまたは、信頼できる機械式定着具を設ける場合には図 5.6.1 に示す仕口面からの投影定着長さ l_{db} を定着長さ l_d とする。

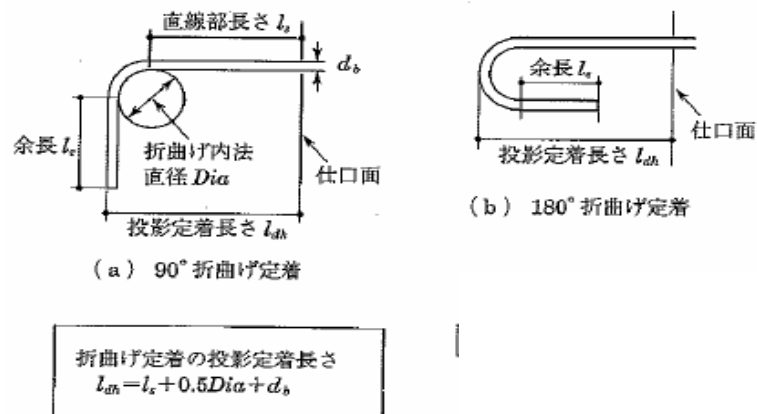


図 5.6.1 投影定着長さ l_{db}

- (3) 必要定着長さ l_{db}

- a) 引張 FRP 筋の必要直線定着長さ l_{db} は前章 5.5 の(15)式によって算定する。割裂のおそれのない仕口（周囲から圧縮応力を受ける領域）へ直接定着する場合には前章 5.5 の(15)式において $K=2.5$ とする。なお f_b には表 3.2.2 の短期許容付着応力度を用いる。
- b) 柱梁接合部において柱筋、梁筋端を標準フックまたは信頼できる機械式定着とする場合の必要投影定着長さ l_{db} は(20)式による。横補強筋で拘束されたコア内に定着する場合は 0.8 を乗じてよい。

$$l_{db} = \frac{S \times \sigma_t \times d_b}{8 \times f_b} \quad (20)$$

ここで、 f_b : 許容付着応力度で、3.2 章の表 3.2.2 その他の FRP 筋に対する短期許

容付着応力度値 $\left(\frac{F_c}{40} + 0.9\right)$ を用いる。

S : 側面かぶり厚さによる必要投影定着長さの修正係数で、標準フックに対する側面かぶり厚さが FRP 筋径の 2.5 倍以上の時 $S = 0.9$ 、3.5 倍以上の時 0.8、4.5 倍以上の時 0.7、5.5 倍以上の時 0.6 とする。これこれら以外の時には $S = 1.0$ とする。

σ_t : 仕口面における FRP 筋存在応力度、長期、短期にかかわらず当該 FRP 筋の短期許容応力度を用いることを原則とする。

d_b : FRP 筋の呼び名に用いた数値(mm)

c) 柱梁接合部以外の仕口一般で FRP 筋端を標準フックまたは、信頼できる機械式定着とする場合の必要投影定着長さ l_{db} は(20)式において $S = \frac{4 \times d_b}{B_s}$ として計算する。こ

こで、 B_s は定着筋 1 本当たりの仕口部の幅で、FRP 筋径の 5 倍を超える場合は $5d_b$ とする。横補強筋で拘束されたコア内に定着する場合はさらに 0.8 を乗じてよい。

(4) 純ラーメン部分の柱梁接合部内を連続して配される梁および柱主筋径は(21)式を満たすことを基本とする。

$$\frac{d_b}{D} \leq 3.6 \frac{1.5 + 0.1 \times F_c}{f_s} \quad (21)$$

ここで、 D : 当該 FRP 筋が通し配筋される部材の全せい

F_c : コンクリート設計基準強度

f_s : 当該 FRP 筋の短期許容応力度

(5) 定着に関する構造規定

a) 投影定着長さは、 $8d_b$ かつ 150mm 以上とする。直線定着の場合は 300mm 以上とする。

b) 梁主筋の柱への定着、柱主筋の梁への定着にあつては、投影定着長さは仕口部材断面全せいの 0.75 倍以上を基本とし、接合部パネルゾーン側へ折り曲げることを基本とする。

c) 出隅部の柱梁接合部への梁上端筋の定着では 90° 折曲げ定着とし、折曲げ終点からの余長部直線定着長さを前章 5.5 の(15)式によって与えられる必要付着長さ以上とする。

d) FRP 筋端を標準フックとする折曲げ定着ではフック面までの最小側面かぶり厚さは表 5.6.1 による。

表 5.6.1 標準フックの折曲げ面までの最小側面かぶり厚さ

F_c	FRP 筋種別			
	ケブラー®ロッド	テクノーラ®ロッド	カーボンロッド	
21 以上	$4.5(2.5)d_b$	$5.5(4)d_b$	—	
24 以上	$3.5(1.5)d_b$	$4.5(3)d_b$	$5.5(4)d_b$	
27 以上				
30 以上	$2.5(1.5)d_b$	$4.0(2)d_b$	$5.0(3.5)d_b$	
36 以上	$2.0(1.5)d_b$	$3.5(1.5)d_b$	$4.0(2.5)d_b$	
42 以上		$2.5(1.5)d_b$	$3.5(1.5)d_b$	
48 以上		$2.0(1.5)d_b$	$2.0(1.5)d_b$	$3.0(1.5)d_b$
54 以上				$2.5(1.5)d_b$
60 以上				

※ () 内は折曲げ部が横補強筋で拘束された接合部内に定着される時

- e) 一般の床スラブ、屋根スラブの下端筋の仕口への定着長さは、FRP 筋の種類、コンクリートの設計基準強度および種類にかかわらず $10d_b$ かつ 150mm 以上の直線定着としてよく、小梁、片持ちスラブの下端筋の仕口への定着長さは FRP 筋の種類、コンクリートの設計基準強度および種類にかかわらず $25d_b$ 以上の直線定着または、投影定着長さ $10d_b$ 以上の折曲げ定着としてよい。

2. 標準フック

本章によって定着の検定を行う折曲げ定着端の標準フックは、 90° 折曲げで余長を FRP 筋径の 15 倍以上、 135° 折曲げで余長を FRP 筋径の 12 倍以上、もしくは 180° 折曲げで余長を FRP 筋径の 10 倍以上のいずれかとし、折曲げ内径直径は表 5.6.2 による。

表 5.6.2 標準フックの内法直径

FRP 筋種類 (径)	内法直径の標準値 ^{1),2),3),4)}
アラミド筋 (全ての径)	$5d_b$ 以上
カーボン筋 (全ての径)	$10d_b$ 以上

※ d_b : FRP 筋の呼び名に用いた数値 (mm)

- [注] 1) 直交部材のとりつく柱梁接合部の定着筋では表中の値より $2d_b$ 小さい内法直径以上としてよい。
- 2) 柱梁接合部コア内に定着され、折曲げ内側に当該 FRP 筋と同径以上の直交筋が折曲げ起点から 45° の範囲で接して配されている場合、もしくは折曲げ直径内に接合部横補強筋 2 本以上付加的に配される場合には標準値より $2d_b$ 小さい内法直径以上としてよい。
- 3) 上記 1)、2)によらず標準値よりも $1d_b$ または $2d_b$ 小さい内法直径とする場合には、側面かぶり厚さを表 5.6.1 の値のそれぞれ $1d_b$ または $2d_b$ 加えた大きさ以上とし、必要投影定着長さ l_{db} を(20)式による長さそれぞれ 1.1 または 1.2 を乗じた長さ以上とする。

5.7 床スラブ

1. 床スラブの厚さは通常の場合、表 5.7.1 に示す値以上、かつ 80mm 以上とする。ただし、FRP 筋軽量コンクリート床スラブでは表 5.7.1 に示す値の 1.1 倍以上、かつ 100mm 以上とする。

表 5.7.1 床スラブの厚さの最小値

支持条件	スラブ厚さ t (mm)
周辺固定	$t = 0.02 \left(\frac{\lambda - 0.7}{\lambda - 0.6} \right) \left(1 + \frac{w_p}{10} + \frac{l_x}{10\,000} \right) l_x$
片持ち	$t = \frac{l_x}{10}$

[注] 1) $\lambda = l_y/l_x$

l_x : 短辺有効スパン長さ (mm)

l_y : 長辺有効スパン長さ (mm)

ただし、有効スパン長さとは、梁、その他支持部材間の内法寸法をいう。

2) w_p : 積載荷重と仕上荷重との和 (kN/m²)

3) 片持スラブの厚さは支持端について制限する。
その他の部分の厚さは適当に低減してよい。

2. 小梁付き床スラブにあつては、小梁の過大なたわみおよび大梁に沿った床スラブの過大ひび割れを防止するため、小梁に十分な曲げ剛性を確保するものとする。
3. 曲げモーメントに対する断面の算定は、5.2 章 3 項によって算定してよい。
4. せん断力および付着・定着に対する算定は、5.4 章、5.5 章および 5.6 章に準ずる。
5. 前各項の算定のほか、スラブの配筋は次の制限に従うこと。ただし、軽微なスラブまたは特殊なスラブはこの制限を受けなくともよい。
- (1) スラブの引張 FRP 筋は、直径 7mm 以上の FRP 筋を用い、正負最大曲げモーメントを受ける部分にあつては、その間隔を表 5.7.2 に示す値とする。
- (2) スラブ各方向の全幅について、FRP 筋全断面積に対する割合は 0.2% 以上とする。

表 5.7.2 床スラブの配筋

	FRP 筋普通コンクリート	FRP 筋軽量コンクリート
短辺方向	200mm 以下	200mm 以下
長辺方向	300mm 以下 かつスラブ厚さの 3 倍以下	250mm 以下

5.8 耐震壁

1. 水平荷重を受ける耐震壁の許容水平せん断力 Q_A は、(22)式のうち、いずれか大きい方をとることができる。

$$\left. \begin{aligned} Q_1 &= r \times t \times l \times f_s \\ Q_2 &= r(Q_w + \sum Q_c) \end{aligned} \right\} \quad (22)$$

ただし、 r : 開口に対する低減率で、(23)式の r_1 と r_2 のうち、いずれか小さいほうによる。

$$\left. \begin{aligned} r_1 &= 1 - \frac{l_0}{l} \\ r_2 &= 1 - \sqrt{\frac{h_0 \times l_0}{h \times l}} \end{aligned} \right\} \quad (23)$$

適用範囲 $\sqrt{\frac{h_0 \times l_0}{h \times l}} \leq 0.4$

Q_w : 無開口壁板の壁筋が負担できる許容水平せん断力で、(24)式による。

$$Q_w = p_s \times t \times l' \times f_t \quad (24)$$

ただし、 p_s の値が1.2%以上の場合は、 p_s を1.2%として計算する。

Q_c : 壁板周辺の柱（1本）が負担できる許容水平せん断力で、(25)式による。

$$Q_c = b \times j \times \{1.5 \times f_s + 0.35 \times w \times f_t \times (p_w - 0.002)\} \quad (25)$$

ただし、 p_c の値が1.2%以上の場合は、 p_c を1.2%として計算する。

記号 t : 壁板の厚さ

l : 壁板周辺の柱中心間距離

h : 壁板周辺の梁中心間距離

l_0 : 開口部の長さ

h_0 : 開口部の高さ

l' : 壁板の内法長さ

h' : 壁板の内法高さ

p_s : 壁板の直交する各方向のせん断補強筋比のうち小さいほうの値

f_s : コンクリートの短期せん断応力度

f_t : 壁筋のせん断補強用短期許容引張応力度

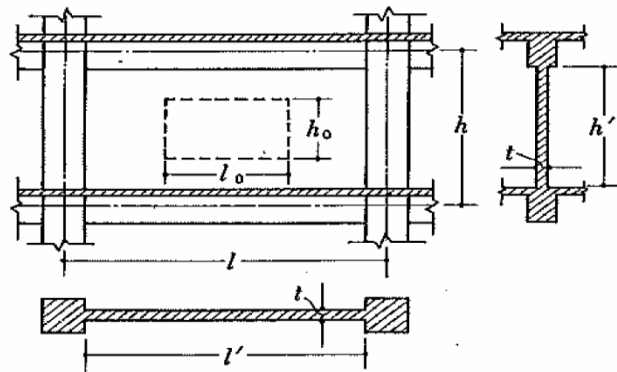


図 5.8.1

2. 壁板の開口周囲は、(26)～(28)式で算定される開口隅角部の付加斜張力および縁応力に対してそれぞれ安全であるように設計する。ただし、 Q は耐震壁の設計用水平せん断力をとるが、その値が(22)式で与えられる Q_i の値を超過する場合は、 Q_i または rQ_w のうち、大きい値をとるものとする。 Q として rQ_w をとる場合は、(26)～(28)式において h 、 l をそれぞれ h' 、 l' に置き換える。

(1) 開口隅角部付加斜張力

$$T_d = \frac{h_0 + l_0}{2\sqrt{2} \times l} Q \quad (26)$$

(2) 開口隅角部の鉛直縁張力

$$T_v = \frac{h_0}{2 \times (l - l_0)} Q \quad (27)$$

(3) 開口隅角部の水平縁張力

$$T_h = \frac{l_0}{2 \times (h - h_0)} \times \frac{h}{l} \times Q \quad (28)$$

3. 付帯ラーメンの断面は、軸方向力および曲げモーメントに対して十分安全であるよう算定する。

4. 前各項の算定のほか、耐震壁は次の各項に従うこと。

- (1) 壁板の厚さは 120mm 以上、かつ壁板の内法高さの 1/30 以上とする。
- (2) 壁板のせん断補強筋比は、直交する各方向に関し、それぞれ 0.25% 以上とする。
- (3) 壁板の厚さが 200mm 以上ある場合は、壁筋を複筋配置とする。
- (4) 壁筋は、直径 7mm 以上の FRP 筋を用い、壁の見付け面に関する間隔は 300mm 以下とする。ただし、千鳥状に複配筋する場合は、片面の壁筋間隔は 450mm 以下とする。
- (5) 開口周囲の補強筋は、直径 7mm 以上、かつ壁筋と同径以上の FRP 筋を用いる。
- (6) 付帯ラーメンの主筋は、5.2 章 4 項(2)～(5)および 5.3 章 3 項(2)～(4)の規定に従うほか、スラブ部分を除く梁のコンクリート全断面積に対する主筋全断面積の割合を 0.8% 以上とする。
- (7) 付帯ラーメンのせん断補強筋は、5.4.章 2 項(3)および 3 項(3)の規定に従う。
- (8) 壁板に開口がある場合、壁板周辺の梁および柱の設計にあたっては、適切な靱性が確保できるよう、特に配慮する。

5.9 基礎

1. 独立フーチング基礎

- (1) 長方形基礎スラブの任意鉛直断面に作用する設計用せん断力および設計用曲げモーメントは、その断面の外側に作用するすべての外力について算定する。柱が長方形の場合、柱の辺に平行な鉛直断面について算定してよい。[図 5.9.1(a)参照]
- (2) 柱直下のパンチングシャー算定断面は、柱の表面から基礎スラブ有効せいの 1/2 の点を連ねた曲線を通る鉛直断面 [図 5.9.1(b)参照] とし、その外側に作用するすべての外力について算定する。

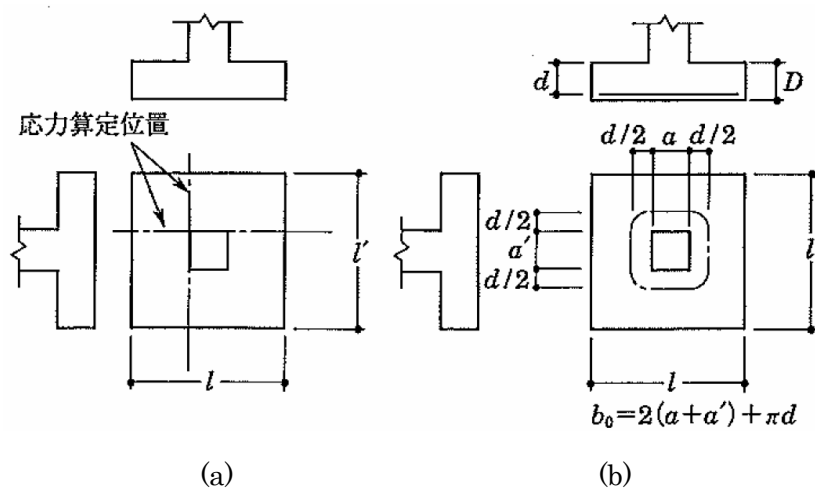


図 5.9.1 応力算定位置およびパンチングシャーの算定断面

- (3) 許容曲げモーメントに対する算定は 5.2 章 1 項および 3 項によって行い、5.5 章 1 項の必要付着長さを満たすものとする。算定断面の幅は基礎スラブの全幅をとってよい。
- (4) 許容せん断力に対する算定は以下による。

- a) 基礎スラブの許容せん断力 Q_A は、(29)式による、算定断面の幅は全幅をとってよい。

$$Q_A = l \times j \times f_c \quad \text{または} \quad l' \times j f_c \quad (29)$$

記号 l または l' : 基礎スラブの全幅

d : 基礎スラブの算定断面有効せい

j : 基礎スラブの応力中心間距離で $(7/8)d$ とすることができる。

f_c : コンクリートの許容せん断応力度

- b) 基礎スラブのパンチングシャーに対する許容せん断力 Q_{PA} は、(30)式による。

$$Q_{PA} = \alpha \times b_0 \times j \times f_c \quad (30)$$

記号 α : 1.5

b_0 : 本章 1 項(2)によるパンチングシャーに対する設計用せん断力算定断面の延べ幅

j : 基礎スラブの応力中心間距離で $(7/8)d$ とすることができる。

d : 基礎スラブの算定断面有効せい

f_c : コンクリートの許容せん断応力度

- (5) 長方形基礎スラブの長辺方向の FRP 筋は、短辺の幅に等間隔に配置し、短辺方向の FRP 筋は、長辺の中央部の短辺長さに相当する幅の中に、(31)式で求められる FRP 筋量を等間隔に、残りをその両側に等間隔に配置する。

$$\frac{\text{短辺長さ相当幅に入れる FRP 筋}}{\text{短辺方向の FRP 筋全所用量}} = \frac{2}{\lambda + 1} \quad (31)$$

記号 λ : 辺長比 (=長辺長さ/短辺長さ)

2. 複合フーチング基礎

基礎スラブの設計用のせん断力と曲げモーメントは、基礎スラブを柱脚において支持または固定され下方より接地圧を受ける梁として算定し、基礎スラブの断面および配筋の算定は、前記の応力に対して独立フーチング基礎に準じて行う。

3. 連続フーチング基礎

- (1) 連続フーチング基礎における基礎スラブ部分の設計用のせん断力と曲げモーメントは、基礎スラブ部分を基礎梁の側面で固定され下方より接地圧を受ける片持梁として算定し、基礎スラブ部分の断面および配筋の算定は、上記の応力に対して独立フーチング基礎に準じて行う。
- (2) 連続フーチング基礎における基礎スラブ部分の設計用のせん断力と曲げモーメントは、基礎梁部分を柱脚で固定または支持された連続梁と見なして算定し、基礎梁部分の断面および配筋の算定は 5.2 章、5.4 章、5.5 章によって行う。

4. ベタ基礎

基礎スラブ部分の設計用のせん断力と曲げモーメントは、下方より一様な接地圧を受ける周辺固定長方形スラブと見なして算定し、断面および配筋の算定は 4.3 章、5.7 章によって行う。

5. 杭基礎

- (1) 杭の反力を基礎底面に作用する集中荷重とし、前各項に準じて算定する。
- (2) 杭基礎を連結する基礎梁の設計用のせん断力と曲げモーメントには、長期荷重のほかに地震時荷重によって生じる柱脚および杭頭の応力を考慮するものとし、断面および配筋の算定は 5.2 章、5.4 章、5.5 章によって行う。

第6章 ひび割れ幅および長期たわみ

長期許容応力度による設計に加えて、ひび割れ幅・長期たわみ等の使用性能について検討するものとする。

6.1 ひび割れ幅

1. ひび割れ幅制御目標値

ひび割れ幅の制御目標値は、建物の用途、重要性、環境条件、荷重条件を考慮し、構造物としての機能や美観などの所要の性能を損なわないよう適切に定めなければならない。また、プレストレストコンクリート部材に適用する場合には、プレストレス導入の目的に応じて適切に定める。

美観上の問題については、ひび割れ幅制御目標値を以下の値としてよい。

ひび割れが近接して目視される部位	0.3mm
ひび割れが近接して目視されない部位	0.5mm
ひび割れが全く目視されない部位	0.75mm

2. ひび割れ幅の算定

ひび割れ幅は、主筋とコンクリートの付着性能および主筋のヤング係数を考慮し、信頼できる方法により算定する。算定に関しては、コンクリートの乾燥収縮を考慮する。

珪砂を接着させた組紐状FRP筋など異形鉄筋と同等の付着性能を有するFRP筋を用いた場合には、日本建築学会「プレストレスト鉄筋コンクリート（Ⅲ種 PC）構造設計・施工指針・同解説」に示されたひび割れ幅算定式の鉄筋のヤング係数の代わりにFRP筋のヤング係数を代入することにより、ひび割れ幅を算定してよい。

1. ひび割れ幅制御目標値

連続繊維補強コンクリート部材の最大ひび割れ幅制御目標値は、建物の用途、重要度、環境条件、荷重条件を考慮し、部材に発生するひび割れが、構造物の機能である耐久性、防水性や美観などの所要の性能を損なわないよう適切に定めなければならない。

鉄筋コンクリート部材のひび割れ幅の制御目標値は、鉄筋の腐食に対する耐久性の低下を考慮して決定されている。これに対し、FRP筋の耐食性は、鉄筋に対して優れているため、耐久性の面から要求されるひび割れ幅の制限値は鉄筋に対するものより緩和できる。美観上の問題に限定すれば、ひび割れ幅制御目標値は以下のように設定してよいものと考えられる。

ひび割れが近接して目視される部位	0.3mm
ひび割れが近接して目視されない部位	0.5mm
ひび割れが全く目視されない部位	0.75mm

ただし、水密性や気密性が要求される部位では、その機能維持に必要なひび割れ幅制御目標値を設定する必要がある。

2. ひび割れ幅の算定

ひび割れ幅の算定は、日本建築学会「プレストレスト鉄筋コンクリート（Ⅲ種 PC）構造設計・施工指針・同解説」（以下、PRC 指針と略記）の付録に示されているひび割れ幅算定式の鉄筋のヤング係数の変わりに FRP 筋のヤング係数を代入することにより、FRP 筋を使用した部材の曲げひび割れ幅を評価することができる。

PRC 指針に示されているひび割れ幅算定式を以下に示す。

平均ひび割れ幅： W_{av}

$$W_{av} = l_{av} \times \varepsilon_{t-av} \quad (\text{解 6.1-1})$$

最大ひび割れ幅： W_{max}

$$W_{max} = 1.5 W_{av} \quad (\text{解 6.1-2})$$

記号 l_{av} ：平均ひび割れ間隔 [(解 2.3.7-2a) 式による]

ε_{t-av} ：主筋の平均ひずみ [(解 2.3.7-2b) 式または (解 2.3.7-2d) 式による]

$$l_{av} = 2(c + s/10) + k\phi/p_e \quad (\text{解 6.1-2a})$$

$k = 0.1$ ：梁の場合

$k = 0.00025 t$ ：スラブの場合 ($k \leq 0.1$)

$$\varepsilon_{t-av} = 1/E_f \cdot (\sigma_t - k_1 k_2 \cdot F_t / p_e) \quad (\text{解 6.1-2b})$$

$$k_1 k_2 = 1 / (2 \times 10^3 \times \varepsilon_t \cdot a_v + 0.8) \quad (\text{解 6.1-2c})$$

$c = (c_s + c_b) / 2$ ，スラブの場合 $c = c_b$

$p_e = a_t / A_{ce}$

$A_{ce} = (2 \cdot c_b + \phi) \cdot b$

t ：スラブの厚さ (mm)

s ：主筋の中心間隔 (mm)

b ：梁幅 (mm)

ϕ ：主筋の直径 (mm)

c_s, c_b ：側面および底面でのコンクリートの被り厚さ (mm)

a_t ：引張側主筋の断面積 (mm^2)

A_{ce} ：コンクリートの有効引張断面積（主筋の重心とその重心が一致する引張り側コンクリートの断面積）(mm^2)

σ_t ：ひび割れ断面における主筋の応力 (N/mm^2)

E_f ：主筋のヤング係数 (N/mm^2)

F_t ：コンクリートの引張強度 (N/mm^2)

(解 6.1-2b) 式に (解 6.1-2c) 式を代入して ε_{t-av} について解くと (解 6.1-2d) 式が得られ

¥

$$\varepsilon_{t\cdot av} = \frac{(2 \times 10^3 \sigma_t - 0.8 E_f) + \sqrt{(2 \times 10^3 \sigma_t - 0.8 E_f)^2 - 8 \times 10^3 E_f \cdot \left(\frac{F_t}{p_e} - 0.8 \sigma_t \right)}}{4 \times 10^3 E_f} \quad (\text{解 6.1-2d})$$

ただし, $\varepsilon_{t\cdot av} \geq 0.4 \sigma_t / E_f$ (解 6.1-2e)

かつ, $\varepsilon_{t\cdot av} \geq (\sigma_t - 103) / E_f$ (解 6.1-2f)

コンクリートの乾燥収縮の影響は、PRC 指針に示されているように、柱および梁に対しては 2×10^{-4} 、スラブに対しては 3×10^{-4} をコンクリートの乾燥収縮ひずみ (ε_{sh}) として、これによるひび割れ幅の増分 (ΔW_{sh}) を下式により考慮する。

$$\Delta W_{sh} = l_{av} \times \varepsilon_{sh} \quad (\text{解 6.1-3})$$

記号 ΔW_{sh} : コンクリートの乾燥収縮ひずみによるひび割れ幅の増分

l_{av} : 平均ひび割れ間隔 [(解 6.1-2a) 式による]

ε_{sh} : コンクリートの乾燥収縮ひずみ

コンクリートのクリープの影響については、ひび割れ断面における主筋応力を RC 基準と同様に FRP 筋とコンクリートのヤング係数比をコンクリートのクリープを考慮した値を用いて算出することで考慮する。

また、鉄筋コンクリート造の梁主筋の長期許容応力度 f_t (SD345 または SD390 の場合、 $f_t = 220 \text{ N/mm}^2$) は、梁の曲げひび割れ幅を間接的に 0.3 mm に抑えるような規定である。これにより、梁の主筋に付着性能が RC と同等以上である FRP 筋を使用する場合は、長期許容応力度を制限することにより、ひび割れ幅を目標値以下に抑えることができる。例えば、目標値を 0.5 mm とすると、ひび割れ幅を抑えるための梁主筋の長期許容応力度を以下の値に設定することができる。ただし、この場合長期たわみなどは別途計算が必要である。

$$f_t = 220 \times 0.5 / 0.3 \times E_f / E_s = 367 \times E_f / E_s \quad (\text{解 6.1-4})$$

記号 E_f : FRP 筋のヤング係数 (N/mm²)

E_s : 鉄筋のヤング係数 (N/mm²)

【ひび割れ幅計算例】

RC 規準の付録に示されている構造計算例 1 を参考に、ひび割れ幅の計算例を以下に示す。検討対象は小梁とし、設計用応力は構造計算例 1 の値をそのまま用いた小梁中央の応力に対してひび割れ幅の検討を行う。

表 6.1.1 小梁の設計用曲げモーメント M (梁中央部)

	B1	B2
R 階	48 kN・m	42 kN・m
2, 3 階	51 kN・m	46 kN・m

¥

梁断面: $b \times D = 300 \times 550 \text{mm}$, $d = 490 \text{mm}$, $j = 429 \text{mm}$

コンクリート強度: $F_c = 24 \text{N/mm}^2$

使用した FRP 筋: アラミド繊維 15mmS (表面に珪砂が接着されているもの)

材料定数: 材料 15mmS, 公称径 15.7mm, 断面積 193mm^2

ヤング率 $6.86 \times 10^5 \text{N/mm}^2$, 引張強度 $1,100 \text{N/mm}^2$

ひび割れ幅の制御目標値: 0.5mm

ひび割れ幅を 0.5mm に抑えるための長期許容応力度 f_t を (解 6.1-4) より求める。

$$f_t = 367 \times 0.7 \times 10^5 / (2.1 \times 10^6) = 122 \text{N/mm}^2$$

梁中央部の配筋設計およびひび割れ幅は表 6.1.2 のようになる。

表 6.1.2 小梁の断面計算およびひび割れ幅

	R _{B1}	R _{B2,3}	_{3,2} B ₁	_{3,2} B _{2,3}
M (kN・m)	48	42	51	46
断面 $b \times D(\text{mm})$	300×550	300×550	300×550	300×550
$d(\text{mm})$	490	490	490	490
$j(\text{mm})$	429	429	429	429
at (mm)	917	802	974	879
配筋	6-15mmS	5-15mmS	6-15mmS	5-15mmS
ひび割れ幅の計算				
p_e	2.34%	2.50%	2.34%	2.50%
$F_t(\text{N/mm}^2)$	2.4	2.4	2.4	2.4
$\sigma_t(\text{N/mm}^2)$	104	109	110	119
$\varepsilon_{t \cdot av}(\times 10^{-6})$	938	1100	1096	1296
$c(\text{mm})$	60	60	60	60
$s(\text{mm})$	45	45	45	45
$l_{av}(\text{mm})$	197	193	197	193
$W_{av}(\text{mm})$	0.19	0.21	0.22	0.25
$W_{max}(\text{mm})$	0.28	0.32	0.32	0.38
乾燥収縮(2×10^{-4})を考慮した場合				
$\varepsilon_{t \cdot av}(\times 10^{-6})$	1138	1300	1296	1496
$W_{av}(\text{mm})$	0.22	0.25	0.26	0.29
$W_{max}(\text{mm})$	0.34	0.38	0.38	0.43

6.2 長期たわみ

1. 長期たわみの制限

長期たわみの制限値は、建物の用途や使用条件を考慮し、構造物の所要の性能および設置機器等の性能を損なわないよう、スパンの $1/180 \sim 1/480$ の範囲で適切に定める。

特に制約条件のない場合には、長期たわみの制限値をスパンの $1/250$ または 20mm の小さい方の値としてよい。

2. 長期たわみの算定

長期たわみは、コンクリートの曲げひび割れ、クリープおよび乾燥収縮を考慮し、信頼できる方法により算定する。

珪砂を接着させた組紐状 FRP 筋など異形鉄筋と同等の付着性能を有する FRP 筋を用いた場合には、日本建築学会「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」に示された長期たわみ算定式の鉄筋のヤング係数の代わりに FRP 筋のヤング係数を代入することにより、長期たわみを算定してよい。

1. 長期たわみの制限

連続繊維補強コンクリート曲げ部材の長期たわみ量の制限値は、建物の用途や使用条件を考慮し、構造性能のほかに設置機器の性能、二次部材の機能等を損なわないように適切に定める必要がある。長期たわみ量の設定にあたっては、日本建築学会「RC 規準」の 18 条および付 7 における考え方、日本建築学会「PC 規準」の 44 条における考え方が参考となる。RC 規準では、各国におけるたわみ制限値の調査結果および国内外における長期たわみ量の実態と苦情の関係の調査結果から、周辺固定場所打ち床スラブのたわみ制限値を短辺有効スパンの $1/250$ と設定している。

2. 長期たわみの算定

長期たわみは、コンクリートの曲げひび割れ、クリープおよび乾燥収縮を考慮して算定する。RC 規準の付 7 に示されている鉄筋コンクリート梁・床スラブ部材の長期たわみの簡便な算定方法の概要を以下に示す。FRP 筋を用いた場合においても、これら計算法の鉄筋のヤング係数の代わりに FRP 筋のヤング係数を代入することにより、長期たわみを算定することができる。

$$\text{予想平均長期たわみ} = K \times \text{弾性たわみ} = (K_1 + K_2 + K_3) \times \text{弾性たわみ} \quad (\text{解 6.2-1})$$

$$\text{予想最大長期たわみ} = \text{予想平均長期たわみ} \times \alpha \quad (\text{解 6.2-2})$$

ここに、

弾性たわみ : 設計荷重作用時の弾性剛性を用いたたわみ

K : コンクリートのひび割れ、クリープ、乾燥収縮による倍率

K_1 : ひび割れによる倍率

K_2 : クリープによる倍率

K_3 : 乾燥収縮による倍率

α : 環境条件、材料・施工のばらつきなどを考慮した係数

固定支持梁の場合の端部、中央部の断面形状について、また、床スラブの場合は短辺方向の端部、中央部について K_1 , K_2 , K_3 を求め、その平均値をたわみ倍率とする。

弾性たわみについては、設計荷重作用時に関して、以下の弾性曲率の公式からモールの定理などを用いて算定する。

$$\phi = M / (E \cdot I) \quad (\text{解 6.2-3})$$

ここに、 ϕ : 曲率 M : 曲げモーメント $E \cdot I$: 曲げ剛性

ひび割れによる倍率 K_1 については、全断面剛性 $E \cdot I$ (補強筋無視) 時の曲率に対するひび割れ断面剛性 $E \cdot I_{cr}$ (引張コンクリート部無視、補強筋考慮) 時の曲率の比 (弾性曲率も含む) として求める。このとき、ひび割れモーメント M_c を (解 6.2-4) 式と設定する。なお、ひび割れが生じない場合は、 $K_1 = 1.0$ とする。

$$M_c = 0.50 \sqrt{F_c} (b \cdot D^2 / 6) \quad (\text{解 6.2-4})$$

$$E \cdot I = E \cdot b \cdot D^3 / 12 \quad (\text{解 6.2-5})$$

$$E \cdot I_{cr} = E \{ b \cdot X_n'^3 / 3 + n \cdot a_t (d - X_n')^2 + a_c (n-1) (X_n' - d_c)^2 \} \quad (\text{解 6.2-6})$$

ここに、 X_n' : ひび割れ断面の中立軸

$$X_n' = n(a_t + a_c) / b + \sqrt{\{n(a_t + a_c) / b\}^2 + 2n(a_t \cdot d + a_c \cdot d_c) / b} \quad (\text{解 6.2-7})$$

b : 部材幅 D : 部材せい d : 有効せい E : コンクリートのヤング係数

a_t : 引張補強筋量 a_c : 圧縮補強筋量 n : ヤング係数比 (E_s / E)

d_c : 圧縮端から圧縮補強筋中心までの距離 F_c : コンクリート強度

E_s : 補強筋のヤング係数

クリープによる倍率 K_2 については、全断面剛性 $E \cdot I$ 時の曲率に対するクリープを考慮した場合の弾性剛性時の曲率の比 (短期の弾性曲率分は除く)、あるいは、クリープを考慮した場合のひび割れ断面剛性時の曲率の比 (短期の弾性曲率分およびひび割れ剛性曲率分は除く) として求める。すなわち、(解 6.2-5)、(解 6.2-6) および (解 6.2-7) 式において、 E , n の代わりに、クリープを考慮したヤング係数 E_t 、クリープを考慮したヤング係数比 n_t を用いる。一般に、クリープ係数 $\phi = 3.0$ を採用してよい。

$$E_t = E / (1 + \phi) \quad (\text{解 6.2-8})$$

$$n_t = n (1 + \phi) \quad (\text{解 6.2-9})$$

乾燥収縮による倍率 K_3 については、全断面剛性 $E \cdot I$ 時の曲率に対する乾燥収縮を考慮した場合の弾性剛性時の曲率の比 ϕ_{sh1} 、あるいは、乾燥収縮を考慮した場合のひび割れ断面剛性時の曲率の

比 ϕ_{sh2} として求める。一般に、乾燥収縮 $S_n = 4 \times 10^{-4}$ を採用してよい。

$$\phi_{sh1} = 0.5 E \cdot S_n \cdot b \{ X_n'^2 - (D - X_n')^2 \} / (E \cdot I) \quad (\text{解 6.2-10})$$

$$\phi_{sh2} = 0.5 E \cdot S_n \cdot b \cdot X_n'^2 / (E \cdot I_{cr}) \quad (\text{解 6.2-11})$$

ここに、 X_n' : 弾性断面の中立軸

係数 α については、たわみが正規分布すると仮定した場合の、たわみ実態調査におけるたわみ

¥

【長期たわみの計算例】

RC 規準の 18 条の解説に示されている床スラブの鉄筋を FRP 筋に置き換えた場合のたわみの検討を行う。設計は短スパン方向のみとし、ひび割れ剛性を考慮する。

梁中心間距離 4,000mm×6,000mm, 梁幅 300mm

(長方形スラブの短辺有効スパン長さ 3,700mm)

スラブ厚 150mm

コンクリート強度 24N/mm²

(コンクリートのヤング係数 2.25×10⁴N/mm²)

使用した FRP 筋 : アラミド繊維 13mm

材料定数 : 材料 13mm, 公称径 13.7mm, 断面積 147mm²

ヤング率 6.86×10⁵N/mm², 引張強度 1,100N/mm²

長方形スラブの短辺方向仮想梁の単位面積についての分担荷重 : 9.86 kN/m²

短辺方向両端上端の配筋間隔 : 13mm @150

短辺方向中央部下端の配筋間隔 : 13mm @150

床スラブの弾性たわみ δ

断面二次モーメント : 28,125×10⁴ mm⁴/m

$$\delta = 9.86 \times 3700^4 / (384 \times 2.25 \times 10^4 \times 28125 \times 10^4) = 0.761 \text{mm}$$

ひび割れによる倍率 K1

有効せい : 150-30-(14/2) = 113mm

倍率 : 6.65 (両端), 6.65 (中央部)

$$K1 = (6.65 + 6.65) / 2 = 6.65$$

クリープによる倍率 K2

クリープ係数 : 3.0

倍率 : 2.19 (両端), 2.19 (中央部)

$$K1 = (2.19 + 2.19) / 2 = 2.19$$

乾燥収縮による倍率 K3

乾燥収縮 : 4×10⁻⁴

倍率 : 2.51 (両端), 2.51 (中央部)

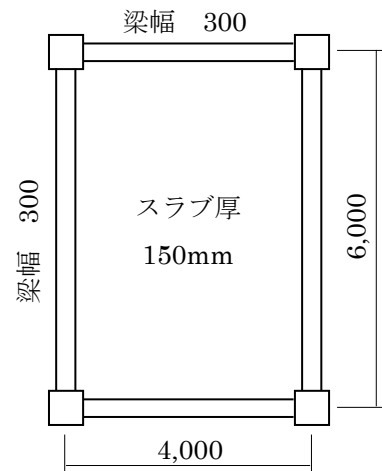
$$K1 = (2.51 + 2.51) / 2 = 2.51$$

予想平均長期たわみ :

$$(K_1 + K_2 + K_3) \times \delta = (6.65 + 2.19 + 2.51) \times 0.761 = 8.64 \text{mm}$$

予想最大長期たわみ :

$$\text{予想平均長期たわみ} \times \alpha = 8.64 \times 1.5 = 13.0 \text{mm} < \min\{3700/250, 20\} = 14.8 \text{mm}$$



したがって、上記の配筋を施した床スラブの予想最大長期たわみは、短辺有効スパンの 1/250 以下かつ 20mm 以下となり、床スラブの剛性は適正であるといえる。

第7章 構造細目

7.1 かぶり厚さ

1. FRP 筋に対するコンクリートのかぶり厚さは、日本建築学会「建築工事標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート工事」に定めるところによる。ただし、梁および柱の主筋にあつては、そのかぶり厚さを主筋の呼び名の数値(mm)の 1.5 倍以上とすることが望ましい。
2. 本指針に使用する FRP 筋は、異形鉄筋と同等の付着性状を有するものを対象とする。

FRP 筋に対するコンクリートのかぶり厚さは、FRP 筋コンクリート部材において FRP 筋を覆うコンクリートの厚さ、つまり FRP 筋表面とそれを覆うコンクリートの表面までの最短距離のことであり、通常「FRP 筋のかぶり厚さ」または単に「かぶり厚さ」という。

かぶり厚さに対する内容は、日本建築学会「建築工事標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート工事」(以下、JASS5 と呼ぶ)による。

以下に、JASS5 の概要を示す。

- (1) かぶり厚さは、鉄筋コンクリートの所要の耐久性、耐火性、構造耐力が得られるように、部材の種類と位置ごとに、計画供用期間、コンクリートの種類と品質、部材の受ける環境作用の種類と強さなどの暴露条件、特殊な劣化作用、要求耐火性能、構造耐力上の要求および施工の精度を考慮して定める。
- (2) 最小かぶり厚さは表 7.2.2 に示す値以上とし、(1) 項の条件を考慮して定める。なお、海水の作用を受けるコンクリートの最小かぶり厚さは別途定める。
- (3) 設計かぶり厚さは、最小かぶり厚さに施工による誤差などを割増した値以上とする。
- (4) コンクリート構造体の表面を打込み装飾仕上げにする場合、および化粧目地・誘発目地・施工目地などを設ける場合は、最小断面となる部分のかぶり厚さに(2) 項を適用する。
- (5) 断面の設計においては、部材の接合部における鉄筋の配置、加工形状を考慮して、(3) 項の設計かぶり厚さが確保できるように部材断面寸法および配筋量を定めなければならない。接合部など配筋量が多くなる部分は、配筋詳細を考慮して、所定のかぶり厚さが確保できるように設計しなければならない。
- (6) 完成した構造体における各部材の最外側の鉄筋のかぶり厚さは、(2) 項に定めた値以上でなければならない。

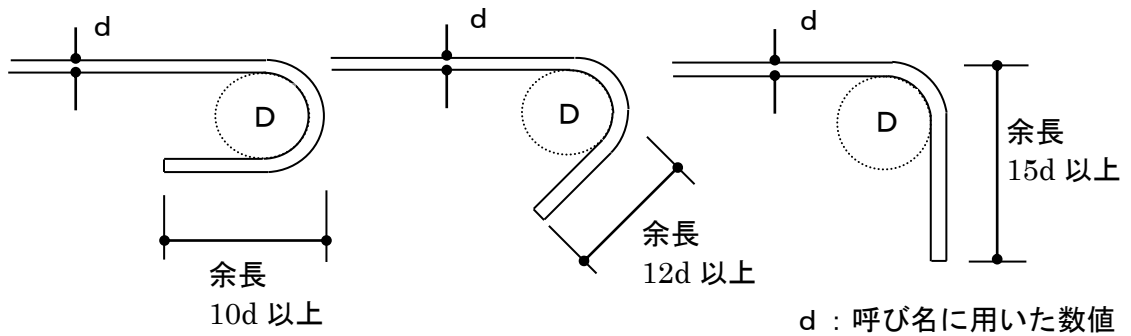
7.2 配筋標準

FRP 筋の配筋標準を以下に示す各部位 (7.2.1~7.2.19) について示す。ここに示されていない配筋詳細については、原則として RC 規準に準拠するものとする。

本文に記載のないものについては、日本建築学会「鉄筋コンクリート造配筋指針」による。

7.2.1 FRP 筋の折り曲げ

(1) FRP 筋末端部



(a) 180° フック

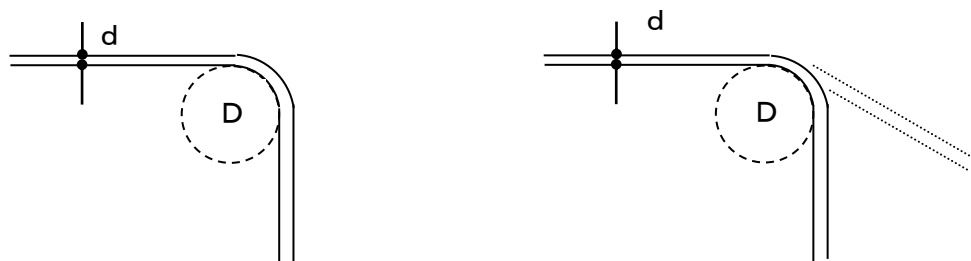
(b) 135° フック

(c) 90° フック

※ 折り曲げ内法直径 (D) は、アラミド系で 5 d 以上
炭素系で 10 d 以上

(2) FRP 筋中間部の折り曲げ形状・寸法

(折り曲げ角度 90° 以下)



(a) スパイラル筋

(b) スパイラル筋以外の FRP 筋

※ 折り曲げ内法直径 (D) は、アラミド系で 5 d 以上
炭素系で 10 d 以上

¥

7.2.2 FRP筋の定着および重ね継手の長さ

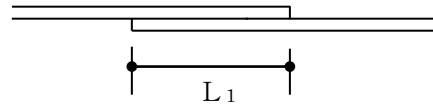
表 7.2.1 定着および重ね継手長さ

種類	コンクリートの設計基準強度 (N/mm ²)	重ね継ぎ手の長さ (L ₁)	定着の長さ		
			一般 (L ₂)	下端筋(L ₃)	
				小梁	床・屋根スラブ
アラミドロッド	21～60	40d	40d	25d	10d
カーボンロッド	21～60	40d	40d	25d	10d

7.2.3 継手

1. 継手位置は、応力の小さい位置に設けることを原則とする。
2. 直径の異なる材の継手は、細いほうの材の継手長さによる。

重ね継手



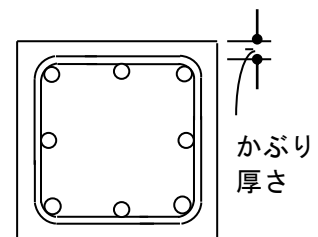
L₁ : 重ね継手の長さ

7.2.4 設計かぶり厚さ

表 7.2.2 設計かぶり厚さ

部 位			設計かぶり厚さ (mm)	最小かぶり厚さ (mm)
土に接しない部分 及 土に接する部分	屋根スラブ	屋内	30	20
		床スラブ	30	20
	非耐力壁	屋内	40	30
		屋外	40	30
	柱	屋内	40	30
		屋外	40	30
耐力壁	擁壁・基礎	50	30	

【注】軽量コンクリートの場合は、10mm増すこと。



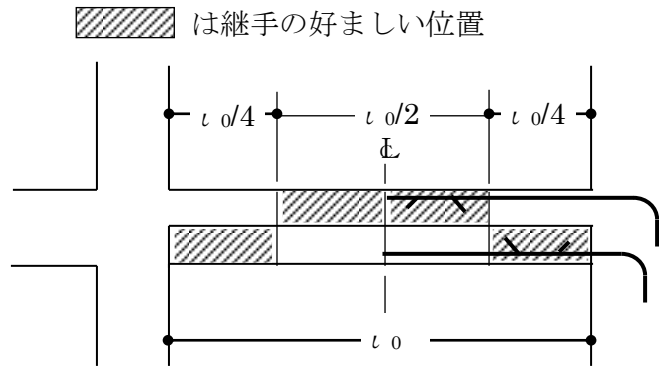
7.2.5 FRP 筋のあき

表 7.2.3 FRP筋の間隔・あきの最小寸法(mm)

	間 隔	あ き
	<ul style="list-style-type: none"> ・呼び名の数値の 1.5 倍 + 呼び名の数値 ・粗骨材最大寸法の 1.25 倍 + 呼び名の数値 ・25mm + 呼び名の数値 のうち大きいほうの数値	<ul style="list-style-type: none"> ・呼び名の数値の 1.5 倍 ・粗骨材最大寸法の 1.25 倍 ・25mm のうち大きいほうの数値

【注】 d : 呼び名に用いた数値

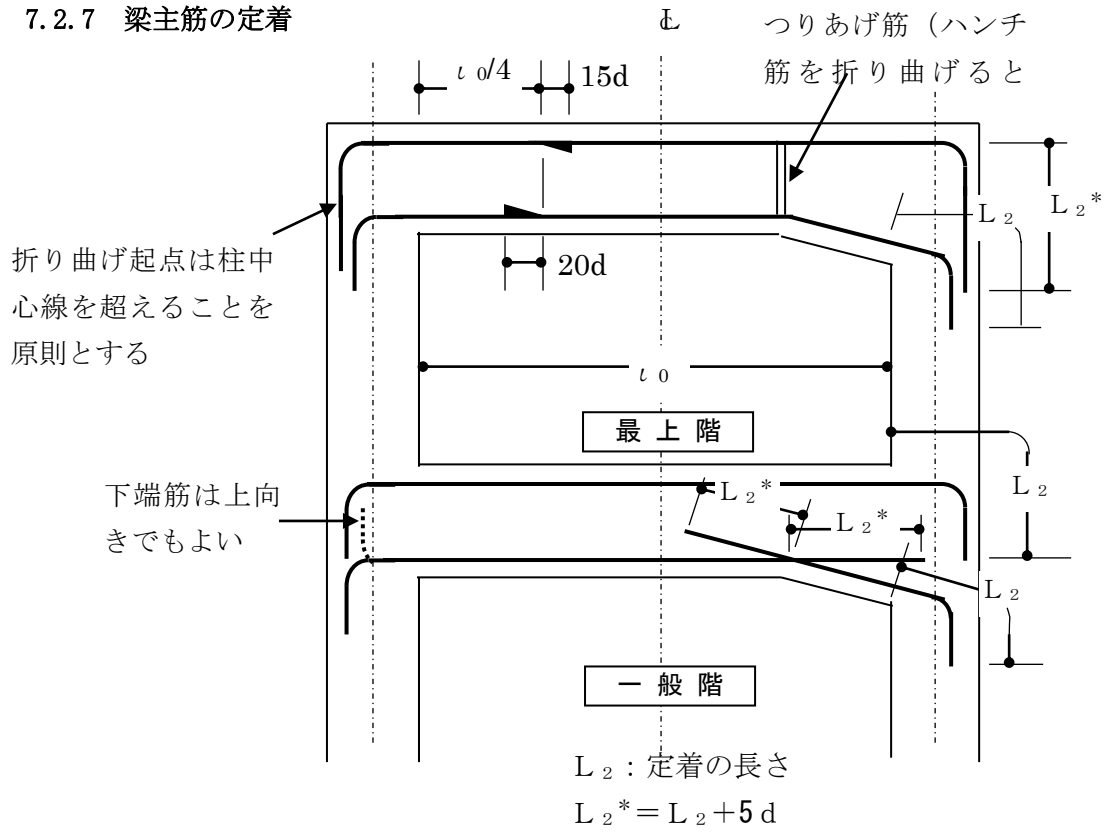
7.2.6 梁主筋の継手



(1) 重ね継手の場合

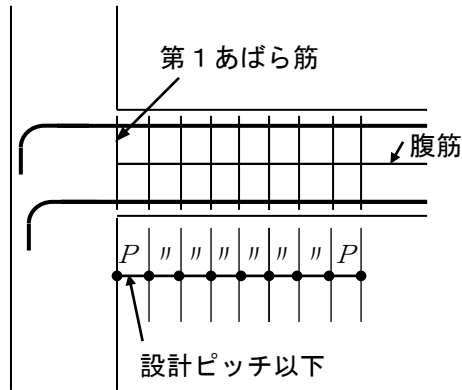
¥

7.2.7 梁主筋の定着



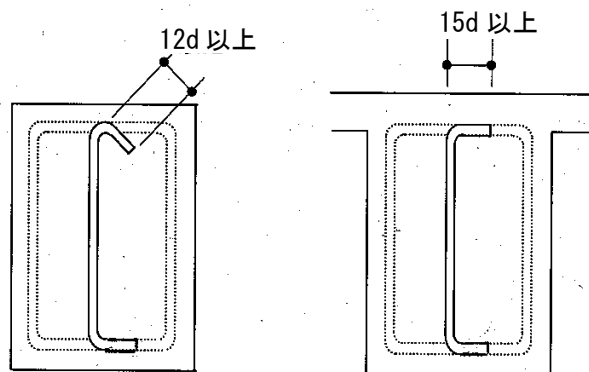
7.2.8 あばら筋

あばら筋は、原則としてスパイラル筋とする。



(始端、終端は2巻き以上する。)

副あばら筋



7.2.9 梁の補助筋

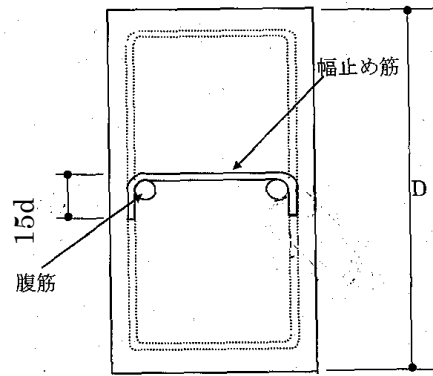
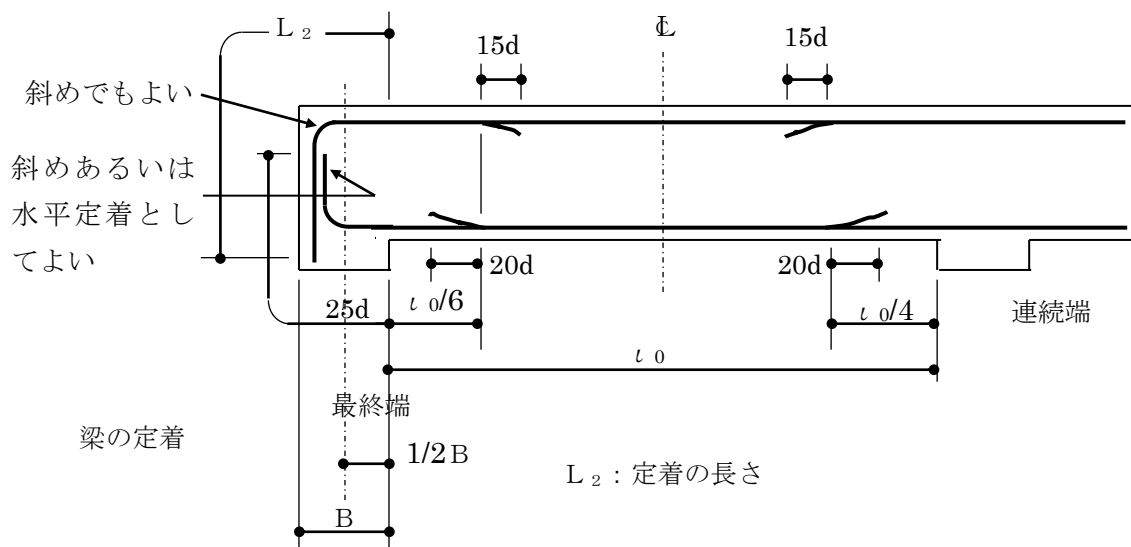


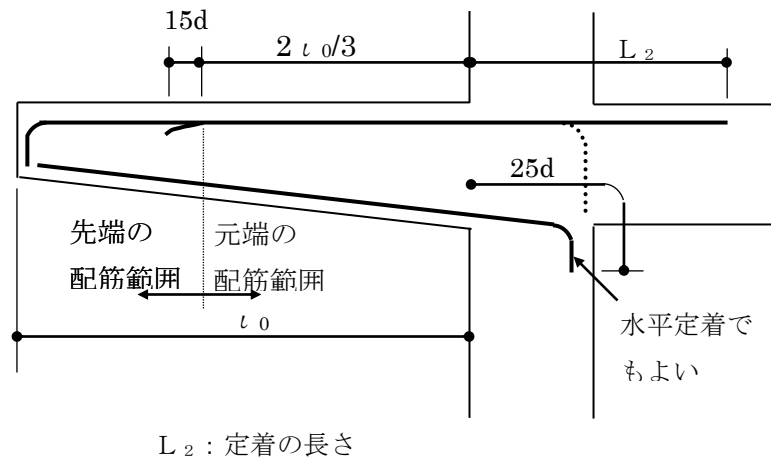
表 7.2.4 補助筋の配置

	D < 600 不要		
腹筋	$600 \leq D < 900$	2-9 ϕ	1段
	$900 \leq D < 1200$	4-9 ϕ	2段
	$1200 \leq D$	9 ϕ	@300 以内
幅止め筋	9mm 以上	@1000 以内で割り付ける	

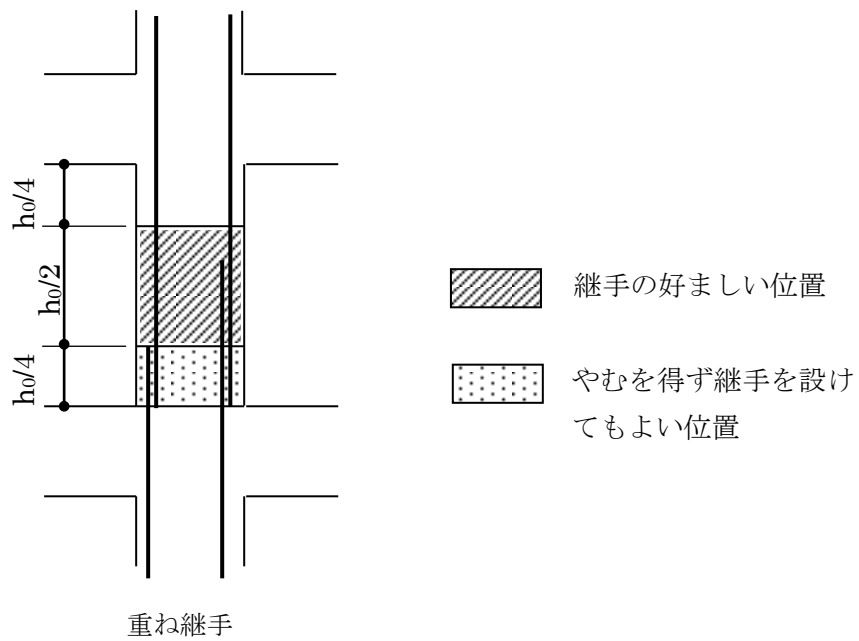
7.2.10 小梁の定着



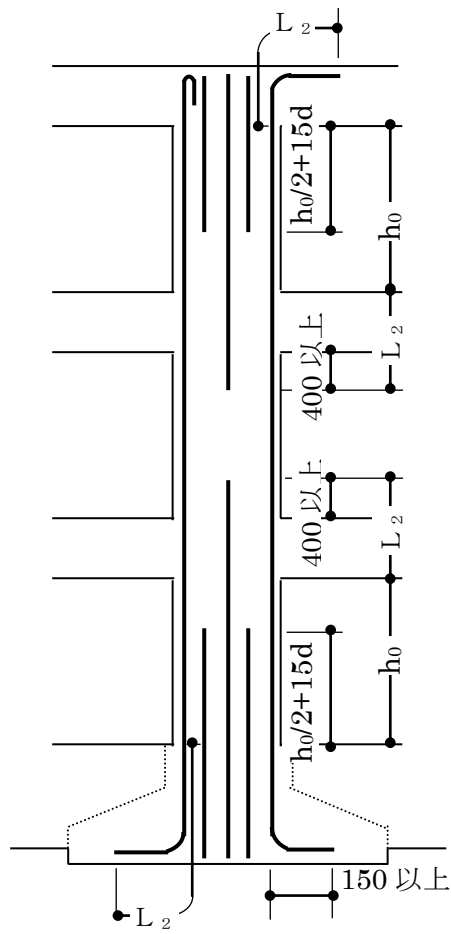
7.2.11 片持梁の定着



7.2.12 柱主筋の継手



7.2.13 柱主筋の定着



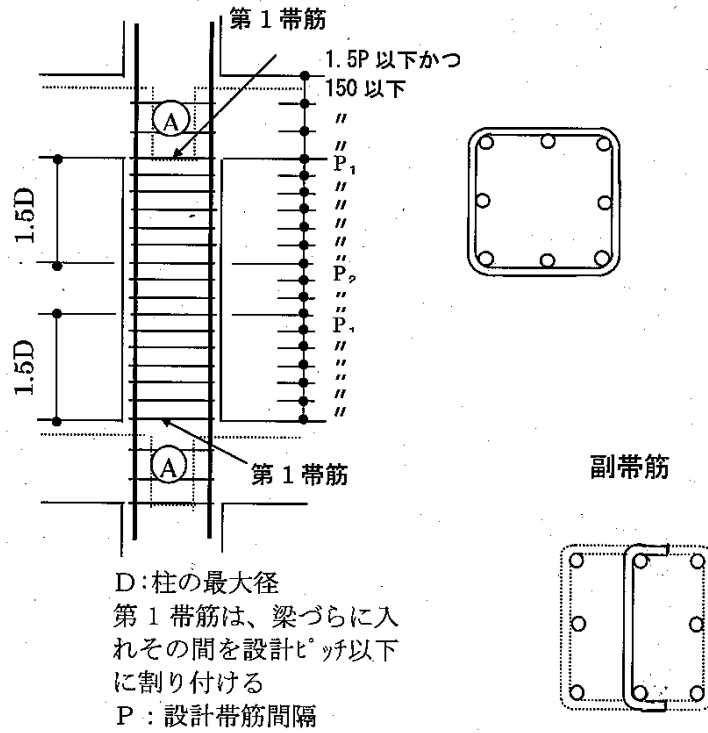
L_2 : 定着の長さ

柱頭の四隅の鉄筋にはフックをつけること。ただし定着長さ L_2 を確保できる場合はこの限りではない。

¥

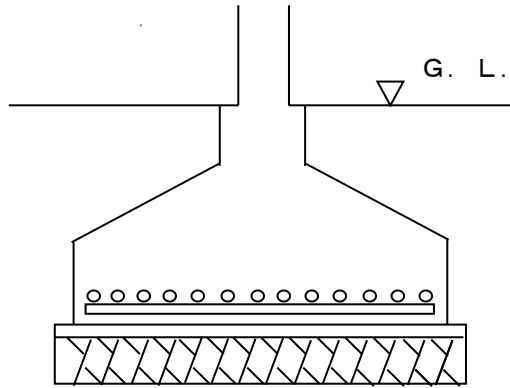
7.2.14 帯筋

帯筋は、原則としてスパイラル筋とする。
スパイラル筋の始端、終端は2巻き以上とする。

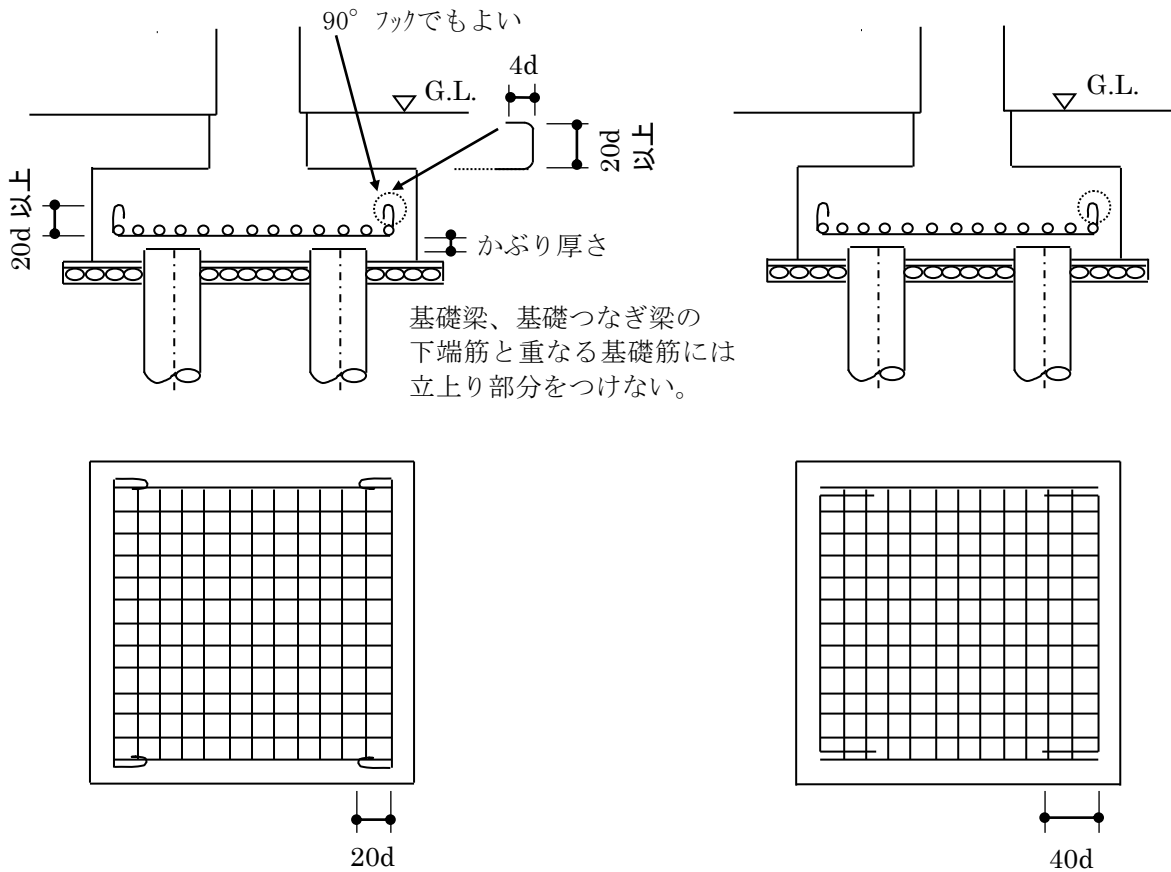


Ⓐ部分：この部分には副帯筋を配筋しなくてもよい。

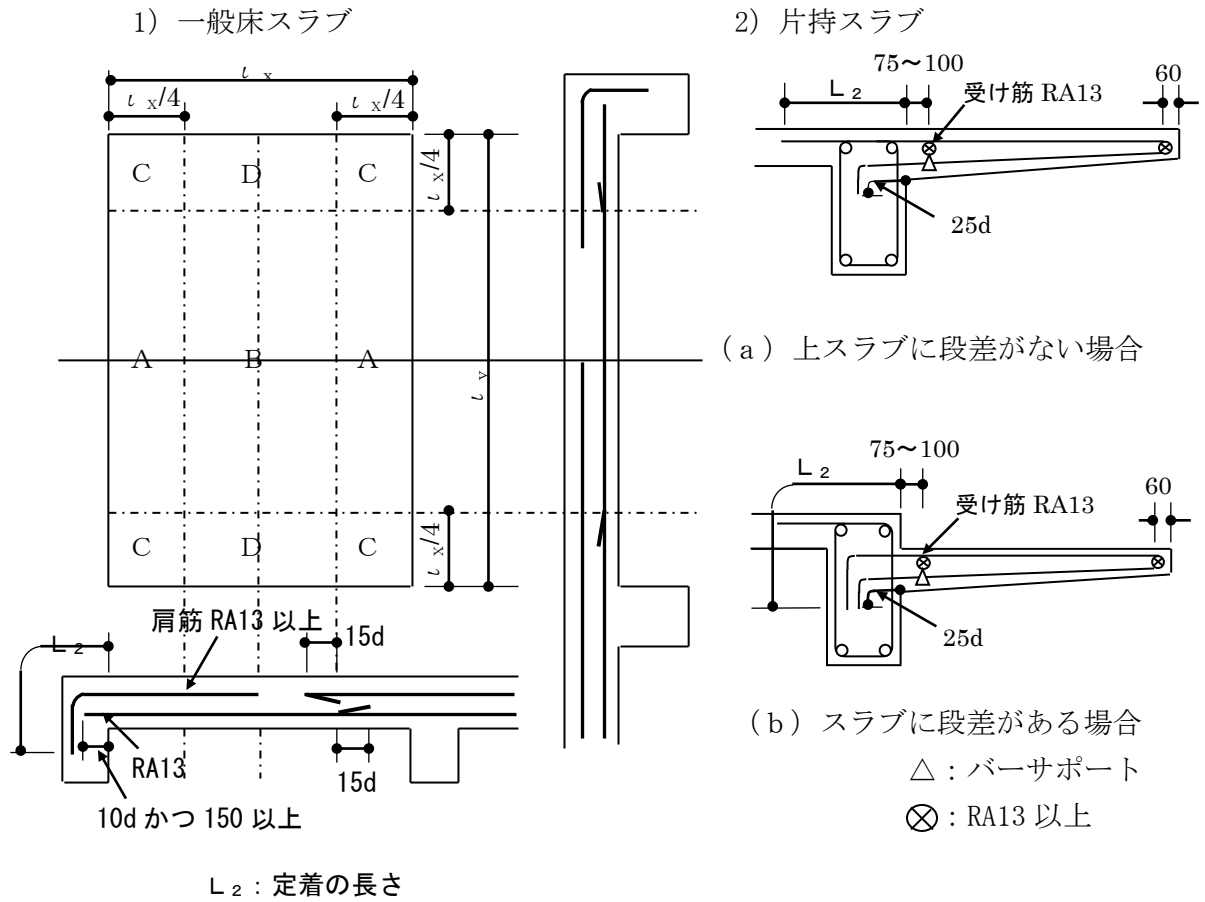
7.2.15 直接基礎



7.2.16 杭基礎



7.2.17 床スラブの定着および継手



継手位置は原則として下表による。

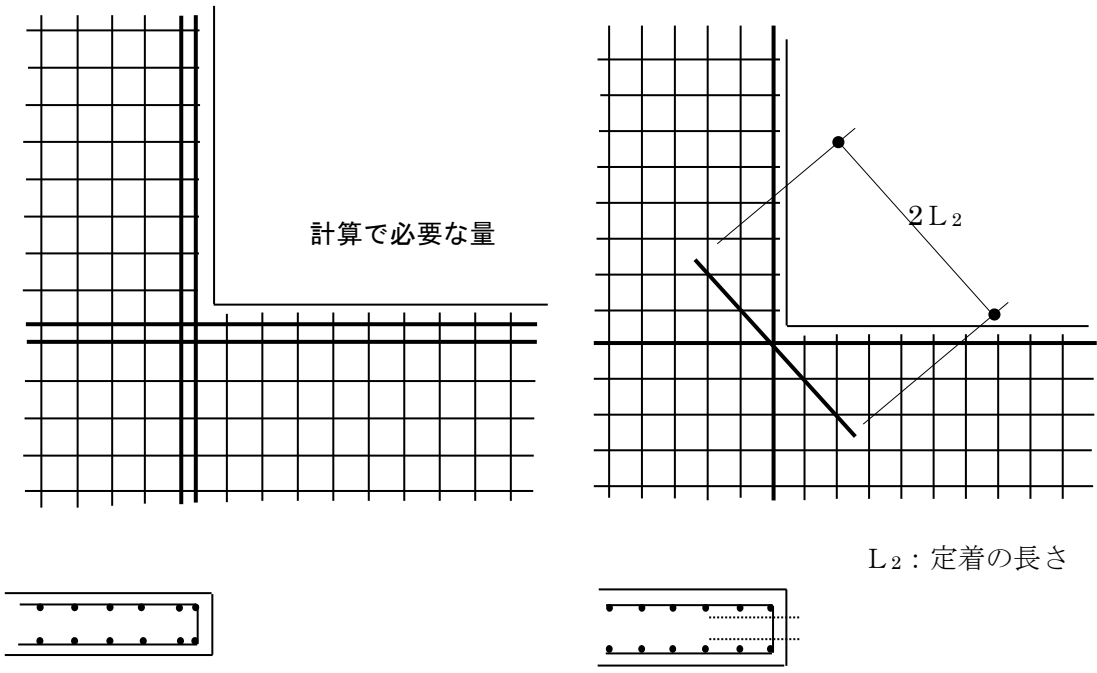
表 7.2.5 標準継手位置

		標準継手位置
上 端 筋	短 辺 方 向	B D
	長 辺 方 向	A B
下 端 筋	短 辺・長 辺 方 向	A C D

〔注〕 スラブ筋の継手は、梁幅内には設けないことが望ましい。

¥

7.2.18 壁・床スラブの開口補強筋



縦・横筋による開口補強

斜め筋による開口補強
(板厚に余裕のある場合)

7.3 耐久性、耐火性

7.3.1 FRP 筋を用いたコンクリート構造体の総合的耐久性

1. FRP 筋を用いたコンクリート部材および構造体に要求される総合的耐久性は、計画供用期間中に FRP 筋およびコンクリートに重大な劣化が生じないレベルのものとする。
2. FRP 筋および FRP 筋コンクリート部材の耐久性能は、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」第 1 編第 3 章第 1 節に規定する性能評価試験方法もしくは信頼できる試験方法による。
3. FRP 筋については、コンクリート部材および構造体に要求される総合的耐久性のレベルに応じて日本建築学会「連続繊維補強コンクリート系構造設計施工指針案」第 1 編第 2 章に定める設計用特性値を適用する。
4. 特に、FRP 筋を用いたコンクリート部材の耐久性能について、FRP 筋の選定、鉄筋の選定およびコンクリート調合の選定の方法について条件を定める場合には、特記による。

2. 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」第 1 編第 3 章第 1 節に規定する性能評価試験方法には、以下の試験方法が記載されている。

- ・連続繊維補強材の寸法の測定方法（案）
- ・連続繊維補強材の引張試験方法（案）
- ・連続繊維補強材の曲げ引張試験方法（案）
- ・連続繊維補強材の曲げ成形部の引張試験方法（案）
- ・連続繊維補強材のクリープ試験方法（案）
- ・連続繊維補強材の長時間リラクゼーション試験方法（案）
- ・連続繊維補強材の高サイクル引張疲労試験方法（案）
- ・連続繊維補強材の熱機械分析による熱膨張係数の試験方法（案）
- ・連続繊維補強材の耐アルカリ試験方法（案）
- ・引抜き試験による連続繊維補強材とコンクリートとの付着強度試験方法（案）
- ・連続繊維補強材の高温引張試験方法（案）

3. 耐久性能に影響を与える要因としては、耐候性、耐アルカリ性、耐酸性、耐塩分性、耐化学薬品性、クリープ、リラクゼーション、低温特性、高温特性、燃焼特性、有害物質が考えられる。

上記の記載内容は、FRP 筋を用いたコンクリート部材および構造体の総合的耐久性について、各種劣化外力によって FRP 筋やコンクリートが劣化・損傷し始める危険性や、中性化によって鉄筋が腐食し始める危険性などが生じる確率をもとに、劣化のレベルを設定し、構造物の機能的な寿命や構造体の大規模修繕や維持管理をほとんど行わなくてもよいと推定される期間を計画供用期間として、建築主あるいは設計者がこの水準を選定できるようにしたものである。

7.3.2 特殊な劣化作用に対する耐久性

1. 海水の作用を受ける FRP 筋を用いたコンクリート部材および凍結融解作用を受ける FRP 筋を用いたコンクリート部材については、上記 7.3.1 (1)、(2) の他、それぞれ JASS5 の 24 節および 26 節の規定を適用する。同書 24 節および 26 節を適用する部位・部材の範囲は、特記による。
2. 上記 1. 以外の特殊な劣化作用を受ける部材および構造体についての、期待できる供用期間の設定、使用材料の選定、コンクリートの耐久設計基準強度、許容ひび割れ幅、仕上げ材・被覆材料などの保護の方法、施工に関する規定などは、特記による。

JASS5 の 24 節および 26 節は、それぞれ、海水の作用を受けるコンクリート、凍結融解作用を受けるコンクリートについての規定が示されている。

海水の作用は、鉄筋の腐食を生じさせ、凍結融解作用はコンクリートの膨張ひび割れや組織破壊をもたらし、その性能を著しく損なう。一方、FRP 筋として一般的に使用されている繊維としては炭素繊維、アラミド繊維であり、化学的な耐久性については、FRP 筋は鉄筋のような腐食形態をとらないので、コンクリート部材の補強材として使用する場合、耐久性に優れ、特にコンクリート中のアルカリ環境下での耐食性は一般の鋼材より優れていると考えられている。しかし、上記 (1) 以外の劣化要因によっては鋼材に比べて非常に緩やかではあるが、劣化・損傷が進行・発生することが実験的にも明らかにされている。

以上の点から、本指針においても、従来の鉄筋コンクリート構造体と同様、JASS5 の各節で設けられている特別の仕様を取り入れた。

7.3.3 FRP 筋を用いた部材の耐火性

1. FRP 筋を用いたコンクリート部材の要求耐火性能は、建築基準法・同施行令による。
2. FRP 筋を用いたコンクリート部材の耐火性能は、旧・建設省告示「耐火構造の指定の方法」により定めるものとする。なお、部材の最小径または最小厚さおよび FRP 筋かぶり厚さは、建築基準法施行令および本マニュアル配筋標準による。かぶり部分のコンクリートの品質は、JASS5 の標準の規定に準拠する。
3. 特に FRP 筋を用いたコンクリート部材の耐火性能について、FRP 筋の選定、耐火被覆の選定、骨材の選定、およびコンクリート調合の選定の方法について条件を定める場合は、特記による。

FRP 筋は、軽量、高強度、耐食性、非磁性など、鋼材にない優れた特性を有している。こうした特長を活かして、土木分野では PC コンクリート用緊張材ならびに塩害を受けやすい海岸周辺の構造物への適用例が多くみられる。しかし、建築分野では鉄筋や PC 鋼の代替材として耐力部材へ使用することはいまだ認められていない。これは、

- 1) 繊維素材や結合材に可燃性材料を使用している FRP 筋の許容温度がまだ明らかにされておらず、現行の耐火試験方法での評価が困難である。
- 2) FRP 筋の設計基準強度を定める際に必要な使用部位や耐久性に起因する安全係数（部位・施工係数）が不明、など性能評価方法が未整備である。

などが大きな原因としてあげられる。

FRP 筋の評価試験方法については日本建築学会や土木学会などからすでに 10 種類程提案されているが、耐火性についての研究報告は極めて少ない。

第8章 施工

8.1 施工の留意点

8.1.1 FRP 筋の取り扱い

1. 一般的な注意事項

取り扱いにおいては、有害な外傷、有害な変形、材料の変質を起こさないように注意する。

2. 運搬、移動

運搬、移動においては、損傷の防止に留意する。

3. 保管

保管時に外傷や材質の変化が生じないように、保管場所の選定および保管方法に留意する。

1. 一般的な注意事項

FRP 筋は、太さがミクロン単位の多本数連続繊維と結合材である高分子系樹脂からなる複合材料であり、鋼材とはその特性が大幅に異なるため材料ごとの特性を十分に考慮する必要がある。FRP 筋の注意事項として下記の項目がある。

(1) 有害な外傷発生を防止

FRP 筋は鋼材と比較して柔らかい材料であり、側圧や摩擦により FRP 筋が損傷を受けやすく、その程度によっては強度、品質を著しく低下させる危険性がある。したがって、重量物や硬い材質のものを FRP 筋の上に落下させたり、治工具・金物類の角や粗い面等で FRP 筋を傷付けてはならない。

(2) 有害な変形発生を防止

FRP 筋はブリットル（脆性的）な材質であるため、曲げた場合は内側に過度の圧縮応力が作用して座屈損傷を招く恐れがある。このような曲げ特性は、材料や製造法で異なるので、使用する FRP 筋ごとの特性を十分調査して対処する必要がある。

(3) 材料の変質を防止

FRP 筋は、鋼材と比較してとくに耐熱・耐候性能が異なり、使用環境条件によっては材質が劣化する場合があるので、FRP 筋ごとの特性を十分調査して対処する必要がある。

2. 運搬、移動

FRP 筋は軽量、高耐食性であるため安易に取り扱いがちであるが、鋼材と比較して特殊な特性をもった材料であるため下記の項目に留意しなければならない。

(1) 損傷の防止

輸送中の振動や衝撃により FRP 筋どうし、および他のものとの直接接触を防止するために、リール巻きまたはパレット箱詰等の梱包を施すとともに、荷積み、荷下ろしの際に、投げ出し、転倒、他の梱包との衝突等の動作を禁止する。

3. 保管

FRP 筋は、保管時に有害な衝撃を受けて外傷を生じたり、材質の変化が生じないように、以下の項目に留意しなければならない。

(1) 保管場所の選定

屋内で保管するのが望ましいが、屋外で保管する場合でも原則として長期間にわたり直射日光に暴露される場所は避ける。屋外の場合は、大きな岩石、傾斜、くぼみ等を避けて、なるべく平坦で排水性のよい場所を選定する。

(2) 保管方法

使用するまでは開梱せず納入された状態で保管する。

残材を保管する場合は納入時の荷姿に復元するのが望ましいが、困難な場合は凹凸の少ない床面上に防水シートを敷き、納入時に近い状態で保管する。この場合には、FRP 筋が踏まれたり外圧が作用して有害な損傷や変形が生じないように対策を施す。

屋外保管の場合は直接接地させず、風通しをよくし、直射日光に暴露されないように防水シート等で覆う。

FRP 筋は屋内外を問わず長期間高温下で保管した場合に品質劣化のおそれがある。また、種類によっては直射日光に暴露することによって品質が劣化するものもあるので、使用する FRP 筋の特性を十分調査して適宜な処置をする必要がある。

8.1.2 施工中の取り扱い

1. 引き出し作業

開梱、展開作業においては、衝撃、巻乱れ等の防止に留意する。

2. 施工

施工時においては、FRP 筋に有害な外傷、有害な変形、材料の変質を起こさないように注意する。鉄筋と炭素系 FRP 筋とを併用する場合には電食にも注意する。

FRP 筋が損傷した場合の処理や廃材の処理は適切に行う。

施工時においては、FRP 筋の特性を十分周知徹底のうえで下記の項目に留意しなければならない。

- (1) 鋭利なガイド、治工具類で FRP 筋に曲げまたはしごきを与えない。
- (2) コンクリート打設時は、FRP 筋にバイブレータを接触させない。
- (3) 溶接、溶断、グラインダ等の火花が飛散する作業は、FRP 筋の近傍では行わない。
- (4) FRP 筋の切断には高速カッターを使用し、クリップまたはガス切断は禁止する。
- (5) FRP 筋をクレーン等で吊り上げるときは、損傷防止のためにナイロンスリング等を使用する。
- (6) FRP 筋の結束には、損傷を与えないようにポリエチレン、塩ビ等の適宜な材料を選定する。
- (7) 炭素系の FRP 筋と鉄筋を併用する場合には電食が発生する可能性があるため、防止対策として交点部分の鉄筋に非金属パイプ等をかぶせて非接触とする。
- (8) FRP 筋が損傷した場合は専門家に相談し指示を仰ぐ。
- (9) 使用後の FRP 筋の処分は、環境汚染とならないよう注意する。

8.2 温度変化に対する留意点

FRP 筋を用いる場合は、使用環境温度の影響について、次の各項に留意しなければならない。

1. FRP 筋の温度特性
2. FRP 筋とコンクリートとの付着強度への影響

FRP 筋は、結合材としてエポキシ樹脂等の高分子材料を用いているため、鋼材に比べて温度依存性が大きい。そのため、FRP 筋を利用するにあたっては、その温度特性（熱膨張係数、引張強度、弾性係数など）やコンクリートとの付着性状に留意する必要がある。

¥

第9章 適用例

適用例① 「理化学研究所ゲノム科学総合研究センター NMR棟他建築工事」

使用部位 : NMR棟NMR基礎
使用ロッド : 13mmS (ケブラー®ロッド) 直線材、曲げ加工材 延べ 30,000m
納入時期 : 1999年3月



NMR 基礎配筋



900MHzNMR 基礎配筋

¥

適用例② 「地球シミュレータ施設 シミュレータ棟および動力棟建築工事」

使用部位 : 免震基礎、基礎底盤

使用ロッド : 9mmS, 15mmS (ケブラー®ロッド) 直線材、曲げ加工材 延べ 30,100m

納入時期 : 2000年1月



免震基礎配筋 (15mmS)



基礎底盤配筋 (9mmS)

¥

適用例③「電波障害対策用外装コンクリートパネル」

使用部位 : コンクリート製薄肉外装パネル
使用ロッド : 9mm (ケブラー®ロッド) 曲げ加工材 延べ 30,000m
納入時期 : 1997年3月



配筋状況



コンクリート製薄肉 PC パネル

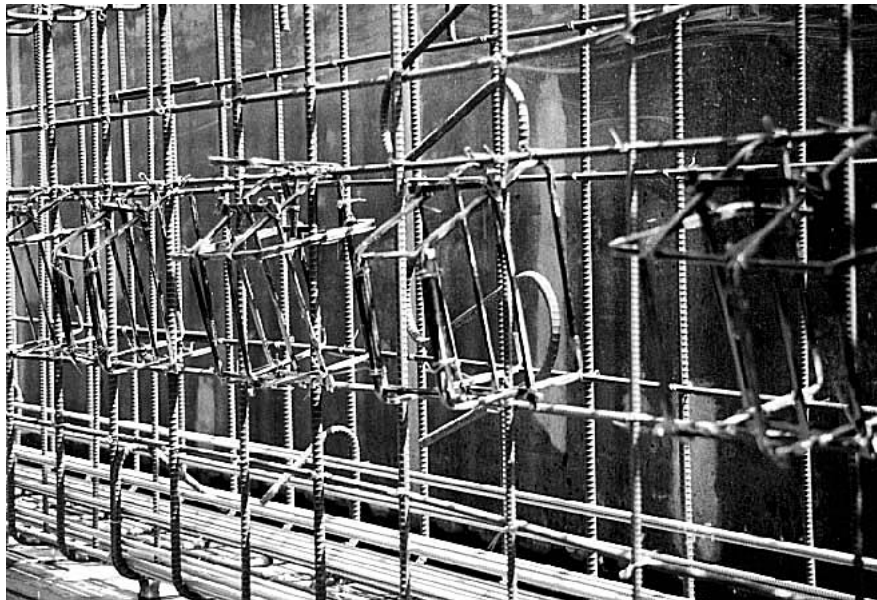
¥

適用例④「山梨リニア実験線」

使用部位 : 軌道桁
使用ロッド : $\phi 7.4\text{mm}$ (テクノーラ®ロッド) 直線材 延べ 4,100m
納入時期 : 1996年5月



軌道全体



ロッド配置状況

参考文献

- 1)日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 許容応力設計法、1999.11
- 2)日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 鉄筋コンクリート工事(JASS5)、1997.11
- 3)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、2002.3
- 4)連続繊維補強コンクリート編集委員会編：建設省大臣官房技術調査室監修 連続繊維補強コンクリート【諸性質と設計法】、技報堂出版 1995.7
- 5)ACC 倶楽部技術委員会：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）（5訂版）、ACC 倶楽部 2003.10（非売品）

¥

連続繊維補強材によるコンクリート構造物の補強

アラミドFRPロッド

技術資料

ITBS研究会

1. はじめに

アラミド FRP ロッドとは、高機能繊維であるアラミド繊維（商品名：ケブラー®、テクノーラ®）に樹脂を含浸し硬化させた棒状の材料（AFRP：Aramid Fiber Reinforced Plastic）であり、コンクリート補強用の鉄筋やプレストレス緊張材の代替材料として開発されたものである。高引張強度・軽い・錆びない等従来の鉄筋にない優れた特性を持っている。また、非電導性・非帯磁性・電波透過性等、電気・磁気特性をコントロールすることも可能である。このため、AFRP ロッドを補強筋として用いることによりコンクリート構造物の耐久性や電気・磁気特性を改善することができる。

棒状の AFRP ロッドには写真 1.1 に示すようにケブラー®を組紐状に編み、エポキシ樹脂を含浸、硬化させた製品（以下、ケブラー®ロッドと呼ぶ。）と写真 1.2 に示すテクノーラ®にビニルエステル樹脂を含浸させ、引抜成形した製品（以下、テクノーラ®ロッドと呼ぶ。）の 2 種類がある。

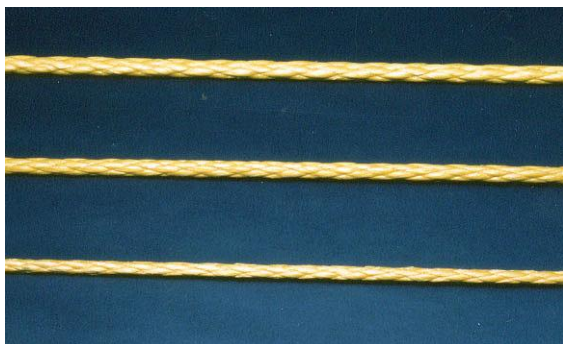


写真 1.1 ケブラー®ロッド



写真 1.2 テクノーラ®ロッド

アラミド繊維は分子構造的には衣料用ナイロンと同じ仲間に属し、正式にはパラ系全芳香族ポリアミド繊維と呼ばれている。アラミド繊維は高強度・高弾性率で優れた寸法安定性を有している。また、耐衝撃性や耐切創性にも優れ、かつ高い耐熱性・耐炎性・耐薬品性を有している。しかも、有機繊維特有のしなやかさを有しているため、繊維そのものとしてのみならず、コンジット補強用繊維としても広く使用されている。繊維の状態で使用される用途としてタイヤなどのゴム資材の補強、ロープ・コード、手袋や消防服などの防護衣料などがある。また、複合材料として使用される用途として、光ファイバーケーブルのテンションメンバー、航空機部材などがある。さらに、短繊維の用途として電子基板材料、ブレーキ材料やフェルトなどがある。このように、各種産業用素材として、実に広く用いられてきた。この結果として、アラミド繊維はいわゆる高機能繊維として全世界で最も多く生産され、使用されている。

¥

2. AFRP ロッドの種類と規格

2.1 ケブラー®ロッド

表 2.1 ケブラー®ロッドの標準仕様

呼び名	3mm	5mm	7mm	9mm	11mm	13mm	15mm
公称直径 (mm)	2.7	5.7	7.8	9.3	11.0	13.7	15.7
公称断面積 (mm ²)	5.7	25.5	47.8	67.9	95	147	193
単位重量 (g/m)	6.4	32	58	84	115	173	226
保証耐力 (kN)	7.8	32	60	85	112	172	225
ヤング係数 (GPa)	68.6						
破断伸び (%)	1.6						

表 2.2 ケブラー®繊維の材料特性

密度 (g/m ³)	引張強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (GPa)	破断伸び (%)
1.45	3,000	112.4	2.4

2.2 テクノラー®ロッド

表 2.3 テクノラー®ロッドの標準仕様

呼び名	3mm	6mm	7.4mm	10mm	13mm
公称直径 (mm)	3.23	6.43	7.88	10.7	13.1
公称断面積 (mm ²)	8.2	32.5	48.8	90.1	135
単位重量 (g/m)	10.1	41.6	64.0	112.0	171.0
保証耐力 (kN)	14.3	56.9	81.4	136.0	205.0
ヤング係数 (GPa)	53				
破断伸び (%)	3.6				

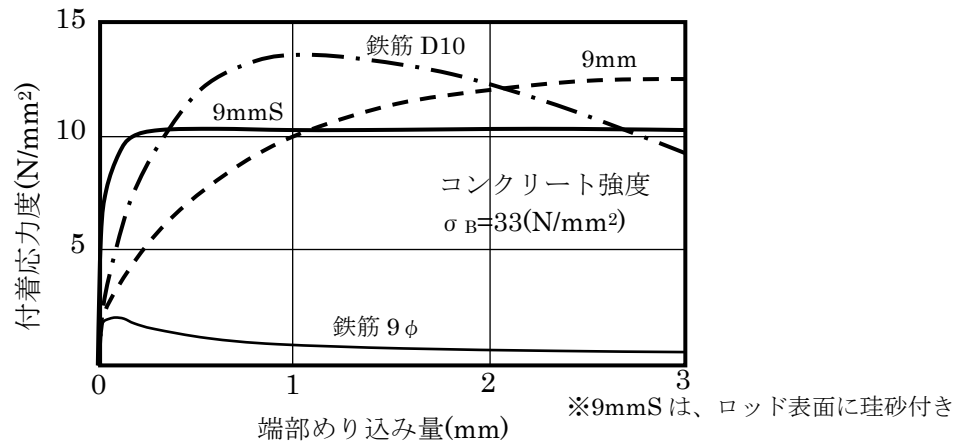
表 2.4 テクノラー®繊維の材料特性

密度 (g/m ³)	引張強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (GPa)	破断伸び (%)
1.39	3,430	73.0	3.7

¥

3. 付着特性

3.1 ケブラー®ロッド



3.2 テクノラー®ロッド

表3.1 「テクノラー®ロッド」のコンクリート付着力

	AFRPロッド (1本)	AFRPロッド (3本分散)	AFRPロッド (3本収束)	PC鋼より線 (1×7)
自由端すべり量	応力 N/cm ²			
0.05mm	1176	1372	1411	402
0.10mm	1323	1411	1460	421
0.25mm	1431	1529	1539	431
最大付着応力	1499	1558	1646	578
形 状				
試験体規格	1 φ 6 mm	3 φ 6 mm	3 φ 6 mm	1 φ 12.4mm
表面積 cm ²	28	85	71	154
供試体長 cm	15	15	15	30

¥

4. 曲げ加工部の引張強度

4.1 ケブラー®ロッド

表 4.1 供試体の種類

No.	径	種類	曲げ内直径 D(mm)
1	8mm	アラミド	32
2	6mm	アラミド	24
3	8mm	アラミド	24
4	10mm	アラミド	24
5	6mm	アラミド	24
6	8mm	炭素	32

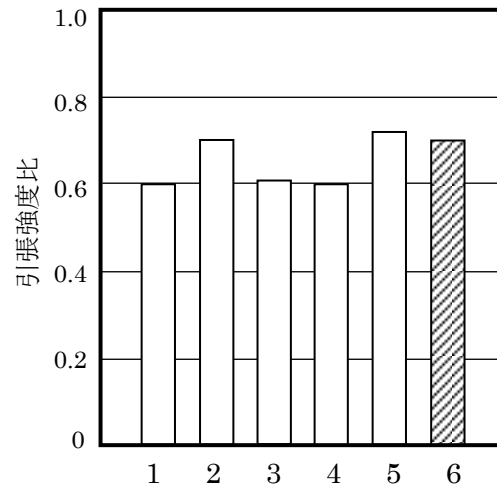


図 4.1 曲げ加工部の引張強度の平均

¥

5. 耐熱性

5.1 ケブラー®ロッド

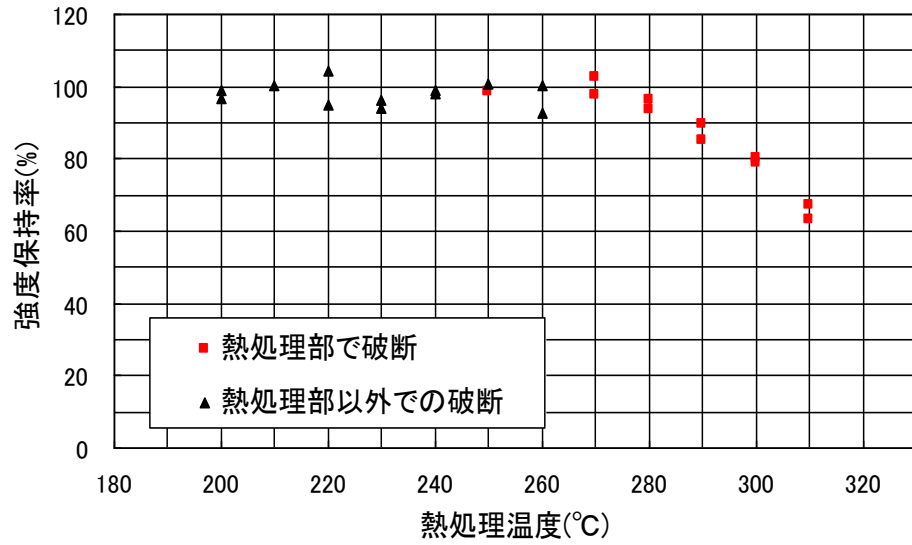


図 5.1 耐熱特性

5.2 テクノラ®ロッド

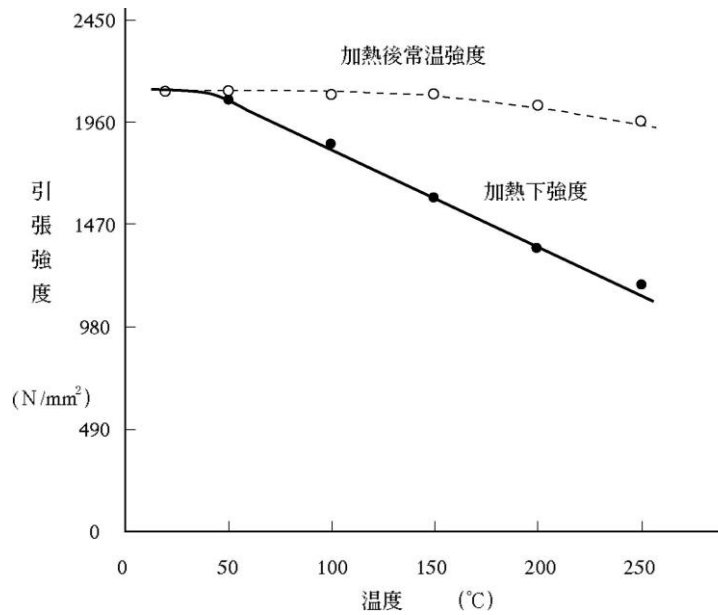


図 5.2 耐熱特性

¥

6. 耐アルカリ性

6.1 ケブラー®ロッド

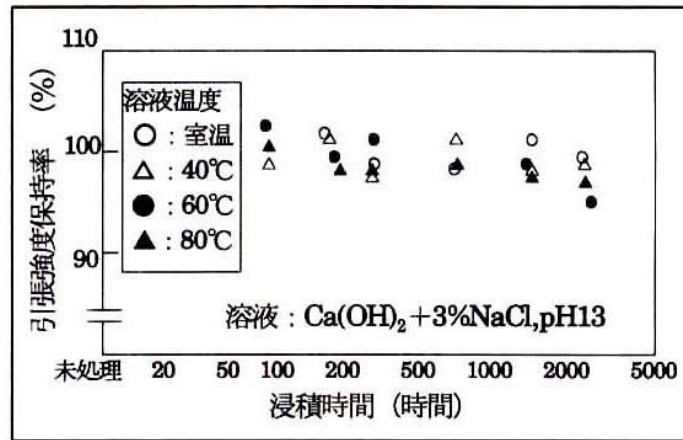


図 6.1 耐アルカリ

6.2 テクノラー®ロッド

表6.1 「テクノラー®ロッド」の耐水、耐アルカリ性

浸漬液	緊張力 (N/mm ²)	経時後の強力保持率(%)			
		40日	90日	200日	400日
水	0	92	102	100	100
海水	0	100	103	100	100
2g/l NaOH aq.	0	100	98	100	98
1g/l Ca(OH) ₂ "	938	100	99	101	—

ロッド : φ 6 mm

浸漬温度 : 60°C

引張強度 : 鋼製楔、試験長300mm、常温

¥

7. 耐候性

7.1 ケブラー®ロッド

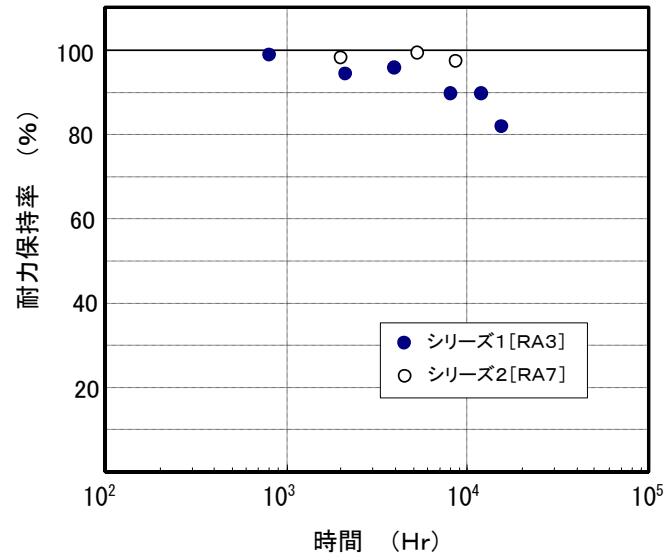


図 7.1 暴露時間と引張耐力保持率の関係

7.2 テクノラー®ロッド

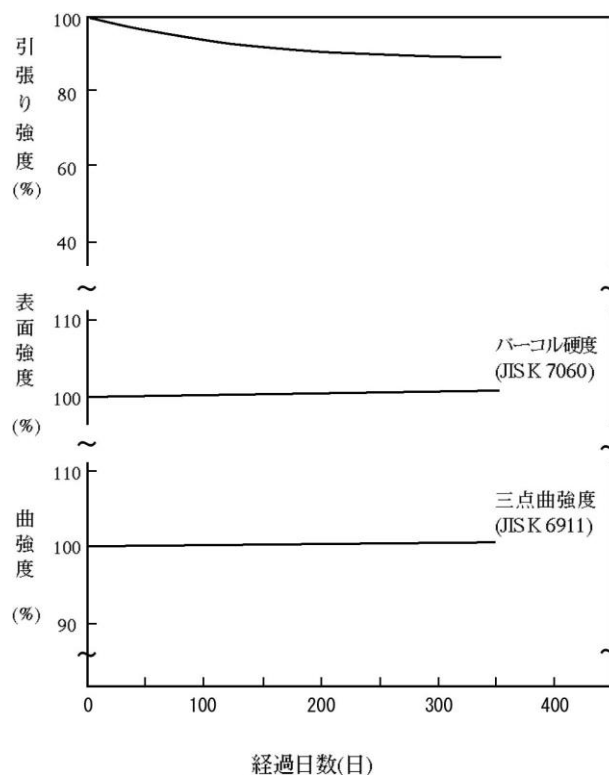


図 7.2 耐候性

¥

8. その他の耐薬品性

表 8.1 耐薬品性試験結果

薬品名	重量変化率 (%)	引張強度保持率 (%)	薬品名	重量変化率 (%)	引張強度保持率 (%)
NaClO (5%)	-0.73	95	H ₂ SO ₄ (30%)	1.46	80
Ca(OH) ₂ (飽和)	-0.26	96	H ₂ SO ₄ (10%)	1.38	85
人工海水 (全体浸漬)	-0.10	100	トルエン	-0.36	96
			トリクレン	0.61	93
人工海水 (半分浸漬)	-0.20	93	ジメチルホルムアミド	1.53	99
灯油	-0.09	93			

9. 電気抵抗

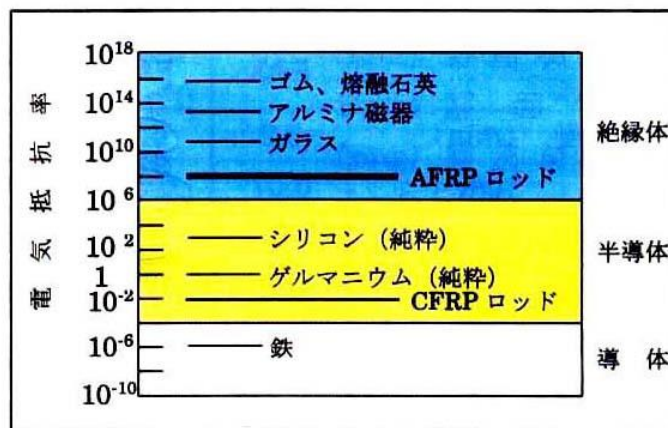


図 9.1 電気抵抗

表 9-1 電磁気特性

補強繊維	単位	アラミド	カーボン	ガラス	ビニロン
体積抵抗率	Log[Ω-cm]	>15.0	5.7	>15.0	14.2
絶縁破壊電圧	kV/mm	20.9	*	17.6	15.3
誘電率	—	3.9	*	5.1	5.0
電磁遮へい性	dB	0	45	0	0

Vf=50±5%

樹脂：エポキシ系

*) 電導性のため測定不可

¥

連続繊維補強材によるコンクリート構造物の補強

カーボンFRPロッド

技術資料

ITBS研究会

カーボン FRP (CFRP) 土木・建築資材



1. 特徴

- ・炭素繊維とエポキシ樹脂を用いて引抜成形法によりロッド状に製作したカーボンFRPはPC鋼棒の代替材料としてPCコンクリートの緊張材やグラウンドアンカー部材としてご使用頂いております。
- ・ロッド表面の溝は引抜成形過程で繊維を切断することなく連続的に形成しておりコンクリートとの付着性能に優れています。
- ・繊維が直線状に配向しているため炭素繊維のもつ高強度を効率良く発現でき、切断、切削が容易であるとともに、軽量化など自由な設計が可能です。
- ・腐食に対する抵抗に優れ、非磁性であるため構造物の耐久性や電磁環境を改善することができます。

2. CFRPロッドの種類と物性

呼び名	単位	PC-D8	PC-D10	PC-D12
呼称径(mm) ϕ	—	8	10	12
直径(外径)	mm	7.9	9.8	11.8
断面積	mm ²	46.1	71.8	108.6
単位重量	g/m	77	118	177
保証荷重	KN	104	162	245
引張弾性率	GPa	147		
破断伸び	%	1.6 %		
比重	—	1.6		
熱膨張率	/°C	$0.7 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$		

¥

3. 付着特性

表 3 コンクリート付着力

供試体No	平均付着応力度 (N/cm ²)	最大付着応力度 (N/cm ²)	破壊状況
1	244	627	ロット引抜け
2	245	606	ロット引抜け
3	251	672	ロット引抜け
4	268	689	ロット引抜け
5	253	625	ロット引抜け
平均	252	644	
試験体	PC-D12		
付着長さ	6.4 cm		
試験方法	コンクリートライブラリー 72 “連続繊維補強材のコンクリート構造物への適用” 連続繊維補強材の付着試験方法に準ずる		

4. 耐寒・耐熱性

表4 耐寒・耐熱性試験結果

試験温度 (°C)	-54	23	82
引張強度保持率 (%)	107	100	93
弾性率保持率 (%)	101	100	99
試験体	PC-D8		

5. 耐アルカリ性

表5 耐アルカリ性試験結果

	浸漬日数 (日)						
	0	13	21	28	35	42	49
重量変化率 (%)	0	0.08	0.10	0.05	0.10	0.14	0.13
直径変化率 (%)	0	0	0.4	0.4	0.9	0.9	1.3
試験体	PC-D8						
試験溶液	水酸化カルシウム飽和3%食塩水 (pH= 13~14)						

6. 耐候性

表6 耐候性試験結果

	経過時間 (Hr)						
	0	400	1,000	1,600	3,000	4,500	6,000
引張強度保持率 (%)	100	104	99	101	100	102	99
表面状態	光沢有	光沢無	←	←	←	←	←
試験体	PC-D8						
試験方法	JIS A 1415 プラスチック建築材料の促進暴露試験方法による (300時間が屋外暴露 1年に相当)						