

3.3 材料特性と品質の確保

3.3.1 材料特性

高靱性セメント複合材料の特性は、その使用目的に応じて必要な特性が適切に定められ、それらが適切な試験もしくは仕様により確認されなければならない。

【解説】

高靱性セメント複合材料の特性（力学特性、ひび割れ特性、耐久性など）を適切に利用した適用方法を見だし、それを実構造物として供するためには、材料としての高靱性セメント複合材料の特性を適切に評価する必要がある。高靱性セメント複合材料では圧縮性状、引張性状、変形能力、ひび割れ特性など、多様な性能が期待されるはずである。また、これらの性能は互いに強い関連を持ちながらも必ずしも同時に要求されるわけではなく、その適用方法によって変化するものであると考えられる。現在、高靱性セメント複合材料に関する種々の適用のアイデアが考えられており、必要とされる材料特性別に見た場合の代表的な適用方法を、表 3.2 に示す。

高靱性セメント複合材料に要求される材料特性が変化すれば、評価すべき項目も変わる。また、特性の評価方法も適用方法に見合った方法とすべきである。さらにこれらの材料特性は、適用方法に見合った適切な試験や、もしくは使用材料、調合、製造・施工などの仕様により確認される必要がある。

表 3.2 高靱性セメント複合材料の適用方法と必要な材料特性の例

適用方法	利用方法	必要な材料特性
表面保護	外壁，床，屋根など	ひび割れ幅，耐久性など
高応力部材 (強度期待)	境界梁，耐力壁，降伏柱など	圧縮強度，せん断強度，引張強度，耐火性能など
高応力部材 (損傷制御)	境界梁，耐力壁，降伏柱など	引張強度，変形能，ひび割れ幅，耐火性能など
制振部材	制振ブレース，ピロティ柱など	引張強度，変形能など

(1) 力学特性

高靱性セメント複合材料の力学特性は、その使用目的に応じて必要な項目が適切に定められ、適切な試験もしくは仕様により確認されなければならない。高靱性セメント複合材料の力学特性としては、以下の項目があげられる。

- (1) 圧縮強度
- (2) 引張強度
- (3) ヤング係数
- (4) ポアソン比
- (5) 応力-ひずみ曲線
- (6) 終局ひずみ

- | | |
|------|------------|
| (7) | 二軸応力下の強度 |
| (8) | クリープ |
| (9) | 疲労強度 |
| (10) | 補強筋との付着・定着 |
| (11) | その他 |

【解説】

高靱性セメント複合材料の力学特性の評価に関しても、その適用方法によって必要な材料特性が変化すれば、特性の評価方法も変わるべきであり、また、試験方法自体も特性評価方法に見合った試験法であるべきである。適用方法に必要とされる力学特性は、適切な試験もしくは使用材料、調合、製造・施工などの仕様により確認される必要がある。

以下に、高靱性セメント複合材料の力学特性の評価において、必要項目として考えられる事項を列記し、解説する。具体的には、これらの項目から適用方法に必要とされる幾つかの項目が選択され、その特性について適切な方法で評価される必要がある。

1) 圧縮強度

【定義】

一軸圧縮力を受けたときに耐え得る最大圧縮応力度。設計基準強度（圧縮）の考え方は、コンクリートの場合に準ずる。

【解説】

高靱性セメント複合材料の圧縮強度を試験により確認する場合、圧縮試験はプレーンコンクリートの試験方法を準用して JIS A 1108「コンクリートの圧縮強度試験方法」に従って試験を行うことが望ましい。この試験は、直径 100 mm、高さ 200 mm の円柱供試体により行うことを標準とする。

【試験方法・参考となる情報】

- 1) JIS A 1108「コンクリートの圧縮強度試験方法」
- 2) 繊維補強コンクリートの試験方法に関する規準 JCI-SF5, 繊維補強コンクリートの圧縮強度及び圧縮タフネス試験方法, 日本コンクリート工学協会, pp.19-23, 1984.2

2) 引張強度

【定義】

一軸引張力を受けたときに耐え得る最大引張応力度。解説に記する曲げ試験の方法により換算される値もある。また、初期ひび割れ強度（引張ひずみ軟化型の高靱性セメント複合材料の場合は、最大引張応力度と同値）を設計用の引張強度とする場合もある。

【解説】

高靱性セメント複合材料が一軸引張力を受ける場合、初期の挙動は線形弾性の仮定が成り立つが、荷重が大きくなると初期ひび割れが発生して、線形弾性の仮定が成り立たなくなる。そのため、引張応力-ひずみ関係において、線形弾性の仮定が成り立たなくなる際の応力を初期ひび割

れ強度，最大引張応力を引張強度と定める。

コンクリートに関してもっとも一般的に行われる割裂引張強度試験は，円柱供試体を横にして上下方向から圧縮力を作用させ，供試体を割裂破壊させて弾性理論による引張応力の分布をもとに引張強度を算出する試験方法である。実際には引張応力の3倍の圧縮応力が作用する二軸応力下の試験ではあるが，コンクリートの場合では割裂試験により求めた引張強度は直接引張試験により得られた引張強度とほぼ一致するとされている。

しかし，高靱性セメント複合材料を対象とした場合，コンクリートと異なり初期ひび割れ発生以降も供試体が分断されないため，明確な荷重低下を伴わず圧縮場が卓越した状態となり，供試体は最終的に載荷端面で圧縮破壊する。そのため，供試体端面に変位計を設置して変形を計測し，荷重－変形関係から引張強度点を特定するなどの工夫もされている¹⁾が，この方法では初期ひび割れ強度のみしか求まらず，それ以降の性状を得ることはできない。

高靱性セメント複合材料の引張強度は，本来直接引張試験により求められることが望ましい。直接引張試験を行う場合には，供試体への加力方法に工夫を要する。直接引張試験用供試体の端部の形状と加力方法の例を図3.11に示す²⁾。着目要因は，主として力の伝達機構（応力集中）と境界条件（モーメントの伝達）である。

供試体を一様な断面の形状にすると端部もしくは掴み部で破壊が生じやすく，また，破壊部位が特定されないため，変形（ひび割れ幅）を得るための測定箇所の設定が難しい。供試体端部に拡大部を設ける場合には，変断面位置で応力集中が生じ，その箇所に破壊が集中する。供試体端部に定着材を埋め込む場合も同様で，剛性が急変する箇所で破壊しやすく，定着材の先端を鋭角に加工するなどの工夫がなされる。

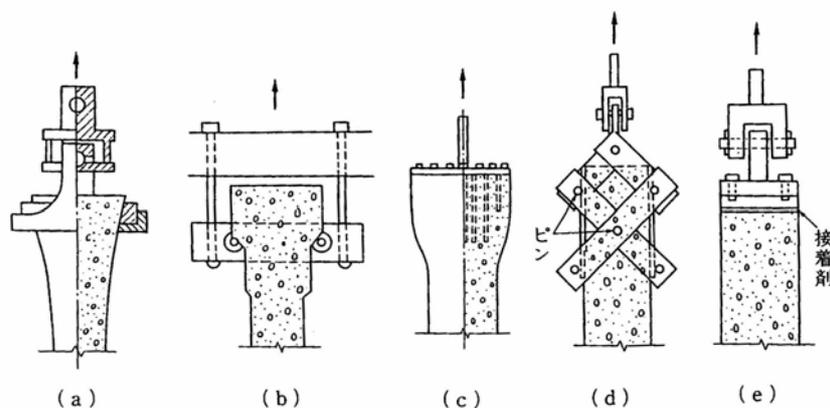


図 3.11 直接引張試験用供試体の端部形状の例

境界条件に関しては，両端ピン，両端固定およびピン－固定の支持方法が考えられる。理想的には境界条件に関係なく純引張状態が考えられるが，実際には供試体の精度，材料の不均一性，加力装置の剛性，加力装置への設置状況などによって，多少なりとも供試体には曲げモーメントが作用する。端部支持条件を両端ピンとすることで初期不整を少なくできるが，通常ひび割れ発生は供試体の一側面から起こり，断面内の剛性の不均一性から2次的な曲げモーメントが作用することになる。曲げモーメントが作用すると供試体の断面内に一様な引張応力は生じず，大きな試験誤差の原因となるため，曲げモーメントが作用しないよう試験を行う必要がある。

高靱性セメント複合材料における直接引張試験方法として，平板状のダンベル型供試体を使用

する方法³⁾，矩形のくびれ型供試体を使用する方法⁴⁾，円形のくびれ型供試体を使用する方法⁵⁾，シリンダー供試体を使用する方法⁶⁾などが行われている（図 3.12）。前三者の支持方法はピン固定であり，後一者は両端固定である。ダンベル型平板を使用した引張試験は，供試体端部を直接掴む方法であるため載荷準備が容易であるが，薄肉であるため繊維の配向の影響を考慮して試験方法を採択する必要がある。矩形くびれ型，円形くびれ型，シリンダー型では供試体断面がダンベル型平板に比べて大きいいため，比較的長い繊維を使用した場合でも採択することができる。シリンダー型の引張試験では，円柱供試体を使用しており境界条件が両端固定であるため圧縮－引張繰り返し試験も行える試験方法だが，載荷盤の遊びによる回転に注意する必要がある。いずれの試験方法においても，供試体の精度，材料の不均一性，加力装置の剛性，加力装置への設置状況などを考慮して，適切な方法にて行う必要がある。また，繊維長と供試体断面寸法の比率が引張性状に与える影響が大きいことが指摘されているため，適切な供試体寸法にて実験を行う必要がある。

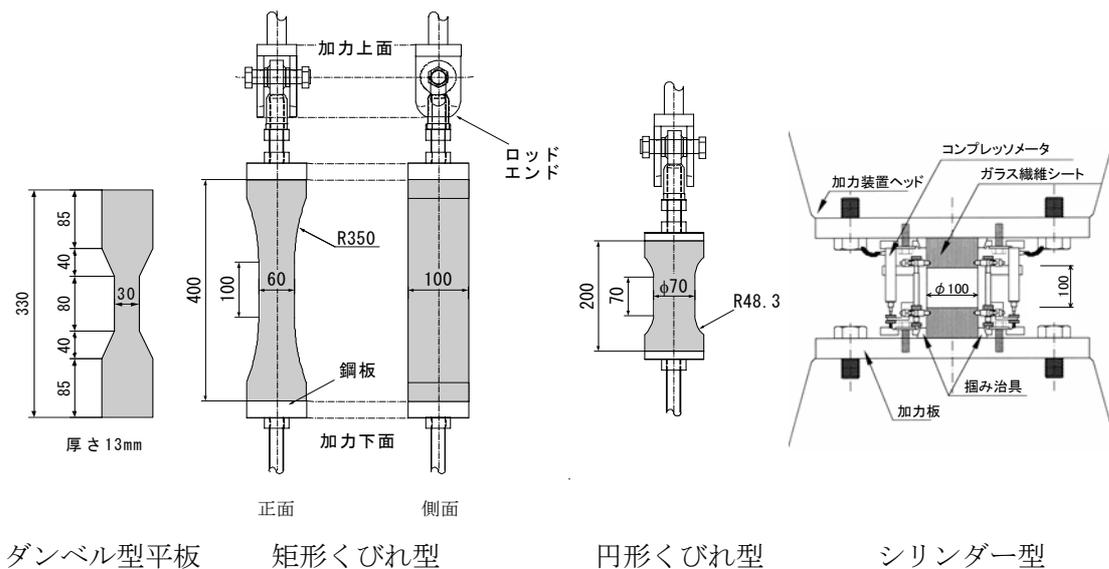


図 3.12 引張試験方法の例

また、JCI-S-003-2005「繊維補強セメント複合材料の曲げモーメントー曲率曲線試験方法」⁷⁾に従って得られる最大荷重時の曲げモーメントおよび曲率を用いて、引張強度および引張終局ひずみ（引張終局ひずみについては 6）に記載する）を算定することができる。この試験方法は、図 3.13 に示すように、高さおよび幅が 100 mm の正方形断面の角柱体を使用した 3 等分点載荷であり、曲率を計測するために変位計の回転を拘束しないように曲率計測機器を取り付けなければならない。

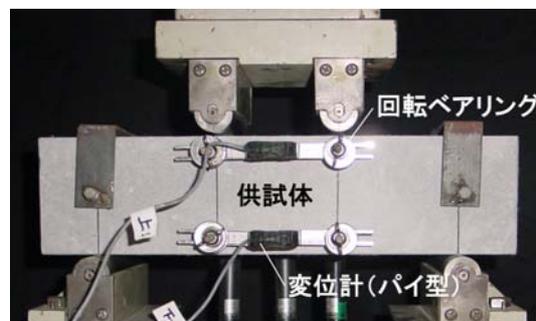


図 3.13 曲げモーメントー曲率曲線試験方法

引張ひずみ硬化型（初期ひび割れ以降，引張応力が増大）の材料では，この試験方法により引張強度および引張終局ひずみは一軸引張における最大点での引張応力および引張ひずみに概ね対応する。しかしながら，引張ひずみ軟化型（初期ひび割れ以降，引張応力が減少）の材料では，引張軟化の程度（負勾配の大きさ）によって引張強度と引張終局ひずみが変わり，この方法で仮定している曲げモーメント下での応力分布と実際の応力分布は大きく異なる点に注意が必要がある（図 3.14）。

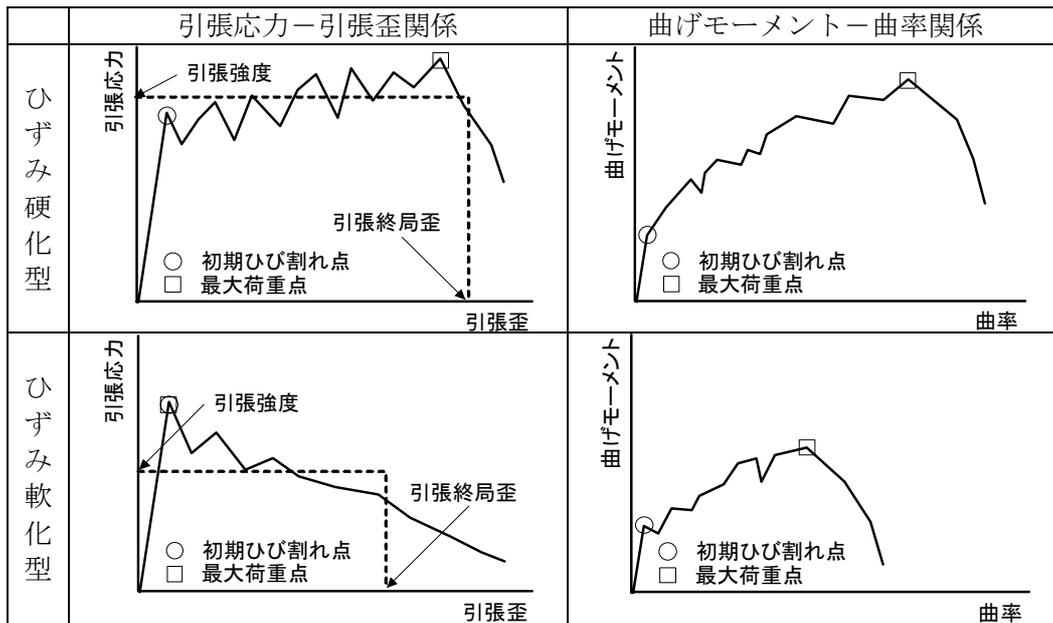


図 3.14 引張強度と引張終局ひずみのイメージ

直接引張試験で得られた引張強度（試験体は図 3.12 の矩形くびれ型を使用）と、曲げ試験により得られた最大曲げモーメントを用いて算出した引張強度を比較した例⁸⁾を、図 3.15 に示す。比較値は材料により異なるものと考えられるが、この例では、曲げ試験により得られた引張強度の 0.7 倍が直接引張試験による引張強度の下限値を与えるものとしている。

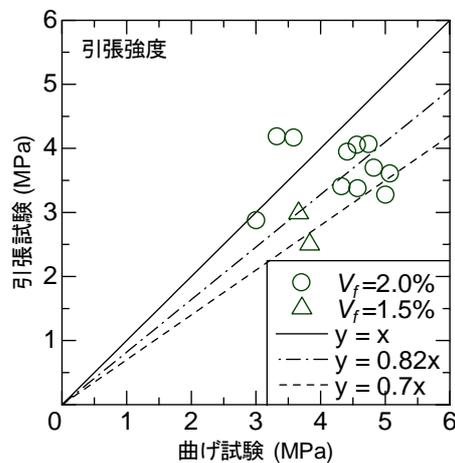


図 3.15 引張試験と曲げ試験による引張強度の比較例（PVA-ECC）

【試験方法・参考となる情報】

- 1) 古田昌弘, 金久保利之, 閑田徹志, 永井 覚: 高靱性セメント系複合材料の一軸引張モデル評価法 (その 1: 初期ひび割れ点の簡易実験評価法), 日本建築学会構造系論文集, 第 568 号, pp. 115-121, 2003.6
- 2) 笠井芳夫, 池田尚治編著: コンクリートの試験方法, 下巻, 技術書院, 1993.6
- 3) 閑田徹志, Li, V.C.: 疑似ひずみ硬化性引張挙動を有する短繊維補強セメント複合材料の設

- 計ガイドライン—その1 マイクロメカニクス理論に基づく初期ひび割れ強度の推定法, 日本建築学会構造系論文集, No.539, pp.13-21, 2001.1
- 4) 清水克将, 金久保利之, 閑田徹志, 永井 覚: HPFRCC の一軸引張および曲げ性状に及ぼす打設方向の影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.25, No.1, pp.281-286, 2003.7
 - 5) 古田昌弘, 金久保利之: セメント系材料の材料試験に用いるくびれ型供試体の提案, 日本建築学会大会学術梗概集, A 材料施工, pp.101-102, 2001.9
 - 6) 佐藤幸博, 福山 洋, 諏訪田晴彦: 高靱性セメント系複合材料の一軸引張—圧縮繰り返し試験法の提案, 日本建築学会構造系論文集, No.539, pp.7-12, 2001.1
 - 7) JCI-S-003-2005 「繊維補強セメント複合材料の曲げモーメント—曲率曲線試験方法」, http://www.jci-web.jp/jci_standard/img/JCI-S-003-2005.pdf
 - 8) 清水克将, 金久保利之, 閑田徹志, 永井 覚: 曲げ試験による PVA-ECC の引張性能評価, 日本建築学会構造系論文集, 2006.6
 - 9) 高靱性セメント複合材料の性能評価と構造利用研究委員会報告書 (II), 日本コンクリート工学協会, pp.59-85, 2004.5
 - 10) コンクリートの破壊特性の試験方法に関する調査研究委員会報告書, 日本コンクリート工学協会, pp.29-38, 2001.5
 - 11) 複数ひび割れ型繊維補強モルタルの評価と利用, 土木学会, コンクリート技術シリーズ No.64, 2005.7
 - 12) 超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針 (案), 土木学会, コンクリートライブラリー113, 2004.9

3) ヤング係数

【定義】

弾性範囲における応力度とひずみ度の関係を表す係数。

【解説】

高靱性セメント複合材料のヤング係数は, JIS A 1149 「コンクリートの静弾性係数試験方法」によって求めてよい。また, 弾性範囲では圧縮と引張のヤング係数は同等と考えてよい。

【試験方法・参考となる情報】

- 1) JIS A 1149 「コンクリートの静弾性係数試験方法」
- 2) 古田昌弘, 金久保利之, 閑田徹志, 永井 覚: 高靱性セメント系複合材料の一軸引張モデル評価法 (その 1: 初期ひび割れ点の簡易実験評価法), 日本建築学会構造系論文集, 第 568 号, pp.115-121, 2003.6

4) ポアソン比

【定義】

縦ひずみ度と横ひずみ度との比。

【試験方法】

JIS A 1149 「コンクリートの静弾性係数試験方法」など。

【解説】

高靱性セメント複合材料のポアソン比は、実験あるいは既往のデータに基づいて定めるものとする。

【試験方法・参考となる情報】

- 1) JIS A 1149 「コンクリートの静弾性係数試験方法」
- 2) 複数ひび割れ型繊維補強モルタルの評価と利用，土木学会，コンクリート技術シリーズ No.64，2005.7
- 3) 超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針（案），土木学会，コンクリートライブラリー113，2004.9

5) 応力-ひずみ曲線

【定義】

圧縮または引張力作用下における応力度を縦軸に，ひずみ度を横軸にとって描いた曲線。

【解説】

高靱性セメント複合材料の場合，補強用繊維の混入により圧縮および引張における初期ひび割れ以降の変形性能が改善されることが報告されている。変形性能は，補強用繊維の種類・形状・混入率などの影響を受けることから，応力-ひずみ曲線を実際の挙動に基づいて適切に定める必要がある。

高靱性セメント複合材料の圧縮応力-ひずみ曲線を試験により求める場合は，ひずみゲージやコンプレッソメータなどの変形測定装置を使用して，一軸圧縮応力に伴う一軸圧縮ひずみを測定する必要がある。確立された試験方法としては，JCI-SF「繊維補強コンクリートの試験方法に関する基準」における「繊維補強コンクリートの圧縮強度および圧縮タフネス試験方法」¹⁾がある。載荷制御に関しては，供試体に衝撃を与えないように，一様な速度で荷重を加えるものとする。圧縮強度以前は圧縮応力の増加速度が一定となるように荷重制御にて載荷を行うことが望ましい。圧縮強度以降の軟化特性を実験により測定する場合には，荷重を加える速度の調節を中止して荷重を加え続けるか，変位制御の可能な試験機を用いて，常に一定の変形速度となるように載荷することが望ましい。

高靱性セメント複合材料の引張応力-ひずみ曲線を確認する直接引張試験方法としては，2)で述べた直接引張試験方法において変形測定装置を使用して，引張ひずみを測定する必要がある^{2),3),4)}。直接引張試験では，供試体にできる限り曲げモーメントが作用しないように，供試体の精度，材料の不均一性，加力装置の剛性，加力装置への設置状況などを考慮して，適切な方法にて行う必要がある。載荷制御に関しては，供試体に衝撃を与えないように，一様な速度で載荷を行うものとする。直接引張試験では初期ひび割れ以降の変形性能を精度良く測定するために，変位制御の可能な試験機を用いて，常に一定の変形速度となるように載荷することが望ましい。

また，繰返し応力下の構成則を評価する手段として，円柱供試体やドッグボーン型供試体による引張-圧縮繰返し試験が行われている³⁾。

【試験方法・参考となる情報】

- 1) 繊維補強コンクリートの試験方法に関する規準 JCI-SF5，繊維補強コンクリートの圧縮強度及び圧縮タフネス試験方法，日本コンクリート工学協会，pp.19-23，1984.2
- 2) 閑田徹志，Li, V. C.：疑似ひずみ硬化性引張挙動を有する短繊維補強セメント複合材料の設

- 計ガイドライン—その1 マイクロメカニクス理論に基づく初期ひび割れ強度の推定法, 日本建築学会構造系論文集, No.539, pp.13-21, 2001.1
- 3) 佐藤幸博, 福山 洋, 諏訪田晴彦: 高靱性セメント系複合材料の一軸引張—圧縮繰り返し試験法の提案, 日本建築学会構造系論文集, No.539, pp.7-12, 2001.1
 - 4) 清水克将, 金久保利之, 閑田徹志, 永井 覚: HPRCC の一軸引張および曲げ性状に及ぼす打設方向の影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.25, No.1, pp.281-286, 2003.7
 - 5) 古田昌弘, 金久保利之: セメント系材料の材料試験に用いるくびれ型供試体の提案, 日本建築学会大会学術梗概集, A 材料施工, pp.101-102, 2001.9
 - 6) 高靱性セメント複合材料の性能評価と構造利用研究委員会報告書 (II), 日本コンクリート工学協会, pp.59-85, 2004.5
 - 7) コンクリートの破壊特性の試験方法に関する調査研究委員会報告書, 日本コンクリート工学協会, pp.29-38, 2001.5
 - 8) 複数ひび割れ型繊維補強モルタルの評価と利用, 土木学会, コンクリート技術シリーズ No.64, 2005.7
 - 9) 超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針 (案), 土木学会, コンクリートライブラリー113, 2004.9

6) 終局ひずみ

【定義】

圧縮終局ひずみに関しては, コンクリートの場合に準ずる。引張終局ひずみに関しては, 次のような値が用いられている。また, 解説に記する曲げ試験の方法により換算される値もある。

- ・引張強度時の引張ひずみ
- ・引張応力が連続的に減少するようになる時点の引張ひずみ¹⁾
- ・引張応力—ひずみ曲線において, 引張強度時以降, 初期ひび割れ強度まで引張応力が低下した時点のひずみ²⁾
- ・引張応力—ひずみ曲線において, 引張強度時以降, 引張強度の 80%まで引張応力が低下した時点のひずみ
- ・引張応力—ひずみ曲線において, 引張強度時以降, 引張強度の 50%まで引張応力が低下した時点のひずみ³⁾

【解説】

高靱性セメント複合材料の場合, 補強用繊維の混入により, 圧縮および引張における初期ひび割れ以降の変形性能が改善されることが報告されている。変形性能は, 補強用繊維の種類・形状・混入率などの影響を受けることから, 高靱性セメント複合材料の終局ひずみは 5)で得られた応力—ひずみ曲線の試験結果に基づいて, 設計に応じて適切に定める必要がある。

引張終局ひずみに関しては, JCI-S-003-2005「繊維補強セメント複合材料の曲げモーメント—曲率曲線試験方法」⁴⁾に従って得られる最大荷重時の曲げモーメントおよび曲率を用いて, 引張強度および引張終局ひずみを算定することができる。直接引張試験で得られた引張終局ひずみ(試験体は図 3.12 の矩形くびれ型を使用)と, 曲げ試験により得られた最大曲げモーメントを用いて算出した引張終局ひずみを比較した例⁵⁾を, 図 3.16 に示す。比較値は材料により異なるものと考

えられるが、この例では、曲げ試験により得られた引張終局ひずみの 0.7 倍が直接引張試験による引張終局ひずみの下限値を与えるものとしている。なお、この場合の直接引張試験による引張終局ひずみは、「引張応力が連続的に減少するようになる時点の引張ひずみ」と定義している。

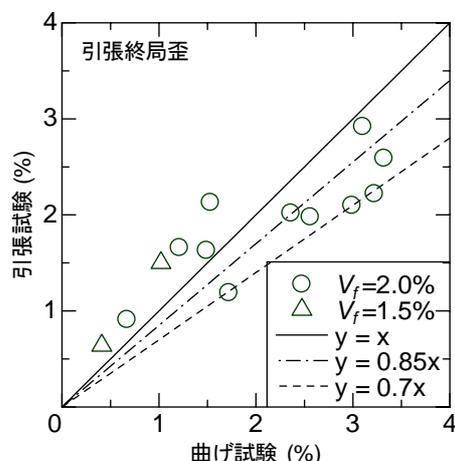


図 3.16 引張試験と曲げ試験による引張終局ひずみの比較例 (PVA-ECC)

【試験方法・参考となる情報】

- 1) 閑田徹志, Li, V.C.: 疑似ひずみ硬化性引張挙動を有する短繊維補強セメント複合材料の設計ガイドライン—その1—マイクロメカニクス理論に基づく初期ひび割れ強度の推定法, 日本建築学会構造系論文集, No.539, pp.13-21, 2001.1
- 2) 複数ひび割れ型繊維補強モルタルの評価と利用, 土木学会, コンクリート技術シリーズ No.64, 2005.7
- 3) 古田昌弘, 金久保利之, 松崎育弘, 閑田徹志: HPRCC の動的引張特性, コンクリート工学年次論文集, Vol.24, No.1, pp.225-230, 2002.6
- 4) JCI-S-003-2005 「繊維補強セメント複合材料の曲げモーメント—曲率曲線試験方法」, http://www.jci-web.jp/jci_standard/img/JCI-S-003-2005.pdf
- 5) 清水克将, 金久保利之, 閑田徹志, 永井 覚: 曲げ試験による PVA-ECC の引張性能評価, 日本建築学会構造系論文集, 2006.6
- 6) 繊維補強コンクリートの試験方法に関する規準 JCI-SF5, 繊維補強コンクリートの圧縮強度及び圧縮タフネス試験方法, 日本コンクリート工学協会, pp.19-23, 1984.2
- 7) 清水克将, 金久保利之, 閑田徹志, 永井 覚: HPRCC の一軸引張および曲げ性状に及ぼす打設方向の影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.25, No.1, pp.281-286, 2003.7
- 8) 高靱性セメント複合材料の性能評価と構造利用研究委員会報告書 (II), 日本コンクリート工学協会, pp.59-85, 2004.5
- 9) 超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針 (案), 土木学会, コンクリートライブラリー113, 2004.9

7) 二軸応力下の強度

【定義】

二軸組合せ応力下における引張, 圧縮, またはせん断強度。

【解説】

主応力の角度が途中変化しない場合、引張応力によって生じるひび割れの存在により、コンクリートの場合、圧縮強度は一般的に低下するものとされている。高靱性セメント複合材料の場合の実験結果によれば、その低下の程度はコンクリートの場合と同程度であるとの報告がある¹⁾。

主応力の角度が途中変化する場合、高靱性セメント複合材料のひび割れ面でのせん断応力伝達性能は、その材料の引張強度と同等であるとの報告がある^{2),3),4)}。

【試験方法・参考となる情報】

- 1) 諏訪田晴彦, 福山 洋: 高靱性セメント複合材料の圧縮特性に関する基礎実験 (その 2) 平板の二軸載荷実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-2 構造IV, pp. 421-422, 2003.9
- 2) Kabele, P., "New Developments in Analytical Modeling of Mechanical Behavior of ECC", Journal of Advanced Concrete Technology, Japan Concrete Institute, Vol. 1, No. 3, pp. 253-264, 2003.11
- 3) Kabele, P., "Fracture Behavior of Shear-Critical Reinforced HPRCC Members", International Workshop on High Performance Fiber Reinforced Cementitious Composites in Structural Applications, Preliminary Workshop Proceedings CD-ROM, 2005.5
- 4) 清水克将, 金久保利之: PVA-ECC の一軸引張挙動とひび割れ面におけるせん断挙動の関係, 日本建築学会大会学術講演梗概集, A-1 材料施工, pp. 65-66, 2005.9
- 5) 金久保利之, 諏訪田晴彦, 福山 洋: 高靱性セメント複合材料を用いたパネルの純せん断性状, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-2 構造IV, pp. 425-426, 2003.9

8) クリープ

【定義】

持続荷重の作用下でひずみが荷重時間とともに増加する現象。

【解説】

高靱性セメント複合材料のクリープひずみは、作用する応力に比例するとして一般に式(3.1)により求めてよいものとする。

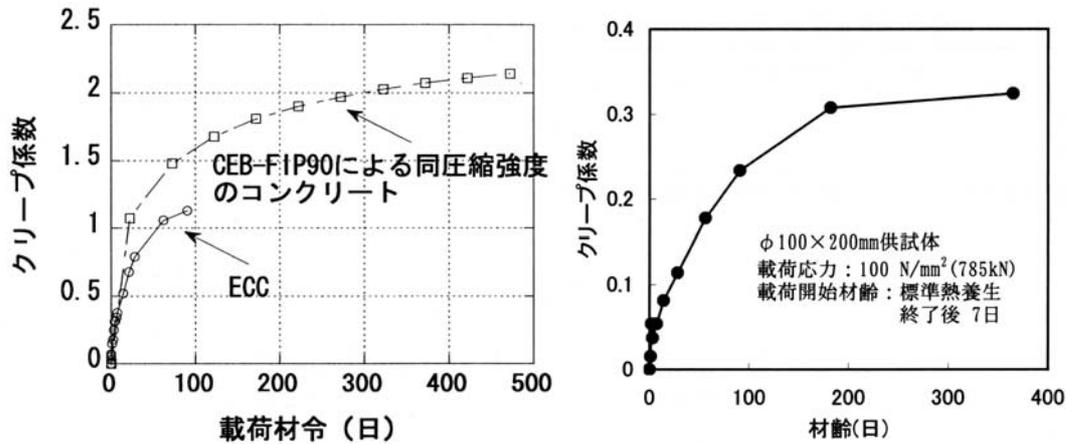
$$\varepsilon'_{cc} = \varphi \sigma'_{cp} / E_{ct} \quad (3.1)$$

ここに、 ε'_{cc} : 高靱性セメント複合材料のクリープひずみ
 φ : クリープ係数
 σ'_{cp} : 作用する応力
 E_{ct} : 荷重材齢時のヤング係数

高靱性セメント複合材料のクリープ係数は、マトリックスの配合、材料の性質、断面の形状寸法、養生条件、周囲の温度および湿度、応力作用時の材齢などの影響を受ける。従って、クリープ係数の値は、試験結果、既往の実験あるいは実際の構造物についての測定結果などを参考に定める必要がある。コンクリートにおけるクリープ試験としては、建材試験センターにより提案されている方法¹⁾がある。

図 3.17 に高靱性セメント複合材料の一種である複数微細ひび割れ型繊維補強モルタル²⁾と超高強度繊維補強コンクリート³⁾のクリープ性状を例示する。複数微細ひび割れ型繊維補強モルタルのクリープ性状は、直径 100×高さ 200 mm の円柱供試体について、材齢 28 日で圧縮強度の 1/4

に相当する荷重を載荷した場合のもので、環境条件は 20℃、60%RH である。また、超高強度繊維補強コンクリートのクリープ性状は、直径 100×高さ 200 mm の円柱供試体について、標準熱養生終了後において載荷応力 100 N/mm² を作用した場合のものである。



微細ひび割れ型繊維補強モルタル²⁾

超高強度繊維補強コンクリート³⁾

図 3.17 高靱性セメント複合材料のクリープ性状の一例

【試験方法・参考となる情報】

- 1) JSTM C 7102-1999 「コンクリートの圧縮クリープ試験方法」
- 2) 複数ひび割れ型繊維補強モルタルの評価と利用, 土木学会, コンクリート技術シリーズ No.64, 2005.7
- 3) 超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針 (案), 土木学会, コンクリートライブラリー113, 2004.9

9) 疲労強度

【定義】

ある繰返し回数において破壊したときの応力度。

【解説】

高靱性セメント複合材料の疲労強度は、構造物の露出条件などを考慮して行った試験に基づいて求めるものとする。コンクリートでは繰返し回数が 1000 万回の範囲内では明確な疲労限が確認されていない。従って、通常のコンクリートの疲労強度は、予め定めた繰返し回数（一般的には 200 万回）における強度で表される。コンクリートの疲労試験としては、建材試験センターにより提案されている方法¹⁾がある。

複数微細ひび割れ型繊維補強モルタル²⁾ および超高強度繊維補強コンクリート³⁾ では、圧縮および曲げ圧縮の疲労強度 f_{rd} は、一般に、疲労寿命 N と永久荷重による応力 σ_p の関数として、式(3.2)により求めてよいとしている。

$$f_{rd} = 0.85 f_d \cdot \left(1 - \frac{\sigma_p}{f_d}\right) \cdot \left(1 - \frac{\log N}{17}\right) \quad (\text{N/mm}^2) \quad (3.2)$$

ただし、 $N \leq 2 \times 106$
ここに、 f_d : 圧縮強度

【試験方法・参考となる情報】

- 1) JSTM C 7104-1999 「繰返し圧縮応力によるコンクリートの疲労試験方法」
- 2) 複数ひび割れ型繊維補強モルタルの評価と利用, 土木学会, コンクリート技術シリーズ No.64, 2005.7
- 3) 超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針 (案), 土木学会, コンクリートライブラリー113, 2004.9

10) 補強筋との付着・定着

【定義】

補強筋と高靱性セメント複合材料の表面間で伝達されるせん断応力, もしくは支圧版や補強筋曲げ加工部で伝達される支圧応力。

【解説】

高靱性セメント複合材料と鉄筋の付着は, 繊維の混入による補強効果により割裂ひび割れの拡大が抑制されるため, コンクリートと同程度以上の性能を有するとの報告がある^{1),2)}。その場合の付着の破壊形態は, 鉄筋の抜け出しによる。高靱性セメント複合材料の付着試験としては, 古田らによる方法³⁾がある。

【試験方法・参考となる情報】

- 1) Kim, V.A., 勝亦一成, 前田匡樹, 永井 覚, 閑田徹志: 高靱性セメント系複合材料を用いた梁部材の主筋の付着割裂性状, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-2 構造IV, pp.47-50, 2002.8
- 2) 笠原美幸, 松崎育弘, 中野克彦: 高靱性セメント系複合材料を用いた梁, 柱部材の構造性能に関する実験的研究, 日本建築学会構造系論文集, 第 553 号, pp. 89-95, 2002.3
- 3) 古田昌弘, 金久保利之: 高靱性セメント系複合材料の局所付着割裂性状に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-2 構造IV, pp. 43-44, 2002.8

11) その他

【解説】

その他の力学特性値としてタフネス, 破壊エネルギー, 支圧強度などがあげられる。タフネス, 破壊エネルギーは 1 つの破壊面に基づく評価指標であり, 複数ひび割れが発生する材料および使用法においては, 一般的には適用できない。

破壊エネルギーとは, 1 つのひび割れにおける開口幅の拡大に伴う引張応力の変化を表した引張軟化曲線の, 曲線下の面積で評価される。試験により引張軟化曲線を直接求めるには, 2)に示すような直接引張供試体に特定のひび割れを発生させるために切り欠きを設ける方法が採用されるのが一般的である。この場合も供試体にできる限り曲げモーメントが作用しないように, 供試体の精度, 材料の不均一性, 加力装置の剛性, 加力装置への設置状況などを考慮して試験を行う必要がある。日本コンクリート工学協会では, 直接引張試験を標準試験法として採用するには難

があり、それぞれ専用の載荷治具や供試体作製のための型枠が必要となることから、既存の試験機や載荷治具でも工夫することによって試験が可能な曲げ試験による評価法¹⁾を提案している。この試験法では、図 3.18 に示すような切欠きを設けた供試体を使用して、図 3.19 に示すような 3 点曲げ試験を行い、荷重-ひび割れ肩口開口変位 **CMOD** (あるいは荷重点変位) 曲線を測定する。**CMOD** によりタフネスおよび破壊エネルギーを評価する場合は、式 (3.3) ~ 式 (3.5) により算出する。算出方法は図 3.20 の通りである。

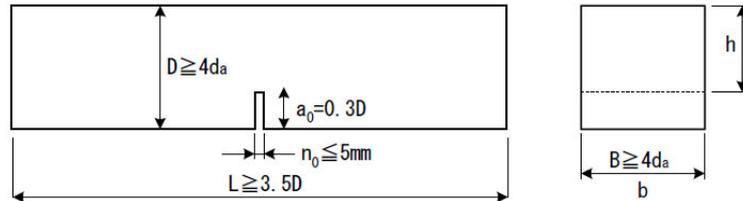


図 3.18 切欠きはり寸法

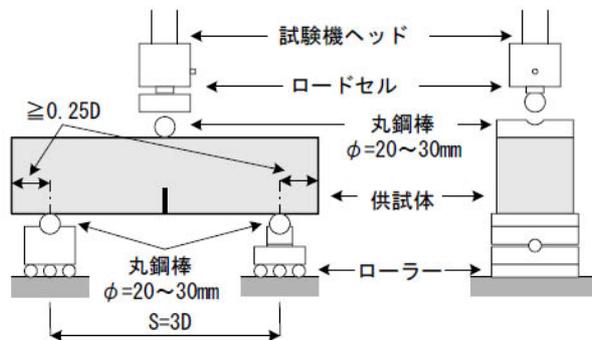


図 3.19 3点曲げ試験装置

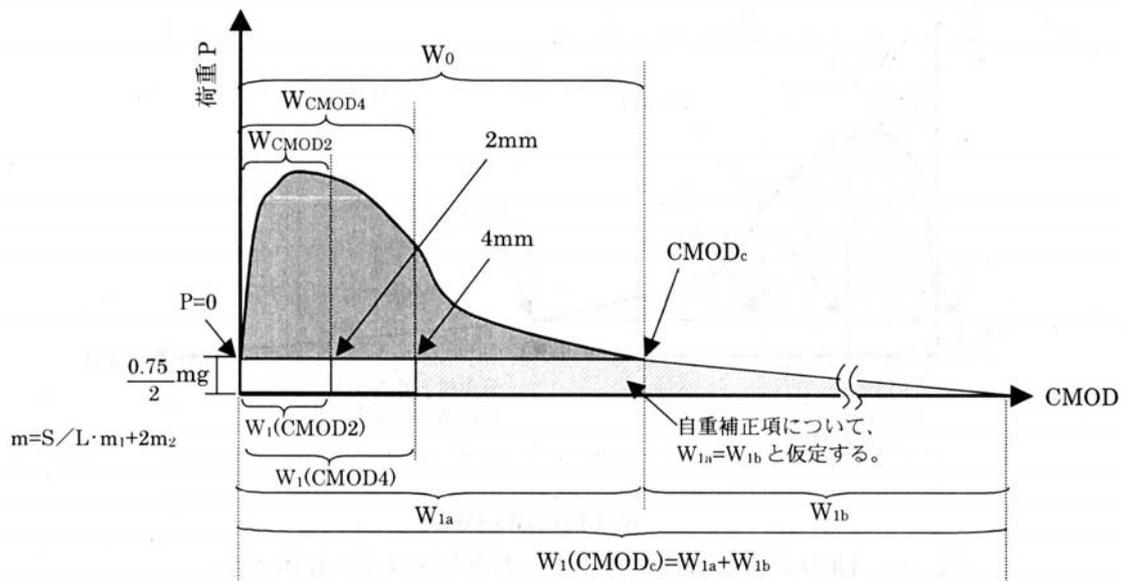


図 3.20 CMOD による破壊エネルギーおよびタフネス算出方法

$$G_F^{CMOD} = \frac{0.75W_0 + W_1}{A_{lig}}, \quad W_1 = 0.75 \left(\frac{S}{L} m_1 + 2m_2 \right) g \cdot CMOD_c \quad (3.3)$$

$$T^{CMOD2} = \frac{0.75W_{CMOD2} + W_1}{A_{lig}}, \quad W_1 = \frac{0.75}{2} \left(\frac{S}{L} m_1 + 2m_2 \right) g \cdot CMOD2 \quad (3.4)$$

$$T^{CMOD4} = \frac{0.75W_{CMOD4} + W_1}{A_{lig}}, \quad W_1 = \frac{0.75}{2} \left(\frac{S}{L} m_1 + 2m_2 \right) g \cdot CMOD4 \quad (3.5)$$

ここに、

- G_F^{CMOD} : 破壊エネルギー (N/mm)
- T^{CMOD2} : CMOD2 までのタフネス (N/mm)
- T^{CMOD4} : CMOD4 までのタフネス(N/mm)
- W_0 : 供試体が破断するまでの荷重-CMOD 曲線下の面積 (N・mm)
- W_{CMOD2} : CMOD2 までの荷重-CMOD 曲線下の面積 (N・mm)
- W_{CMOD4} : CMOD4 までの荷重-CMOD 曲線下の面積 (N・mm)
- W_1 : 供試体の自重および載荷治具がなす仕事 (N・mm)
- A_{lig} : リガメント面積 ($b \times h$) (mm^2)
- m_1 : 供試体の質量 (kg)
- S : 載荷スパン (mm)
- L : 供試体の全長 (mm)
- m_2 : 試験機に取り付けられておらず、供試体に載っている治具の質量 (kg)
- g : 重力加速度 9.807 (m/s^2)
- $CMOD_c$: 破断時のひび割れ開口変位 (mm)
- $CMOD2$: 2 mm
- $CMOD4$: 4 mm

また、荷重-ひび割れ開口変位 CMOD (あるいは荷重点変位) 曲線を使用して逆解析により引張軟化曲線も推定できるとしている。ただし、上記したように切欠きを設けた供試体による試験法は一つの破壊面に基づく破壊エネルギーおよびタフネスの評価であり、最大荷重に達する以前に複数ひび割れが発生する硬化型の材料においては適用できない。

また、日本コンクリート工学協会では、繊維補強コンクリートのエネルギー吸収能を評価する指標として、図 3.21 に示すような 3 等分点荷重による曲げタフネスの試験方法²⁾ を提案している。載荷点または中央変位点たわみを図 3.22 に示す方法で測定し、図 3.23 のようにスパンの 1/150 となるまでの荷重-たわみ曲線下の面積を曲げタフネスとして定義している。

支圧強度に関しては資料が少なく、不明である。

【試験方法・参考となる情報】

- 1) JCI-S-002-2003 「切欠きはりをを用いた繊維補強コンクリートの荷重-変位曲線試験方法」
- 2) 繊維補強コンクリートの試験方法に関する規準 JCI-SF4, 繊維補強コンクリートの曲げ強度及び曲げタフネス試験方法, 日本コンクリート工学協会, pp.11-17, 1984.2
- 3) コンクリートの破壊特性の試験方法に関する調査研究委員会報告書, 日本コンクリート工学協会, 2001.5

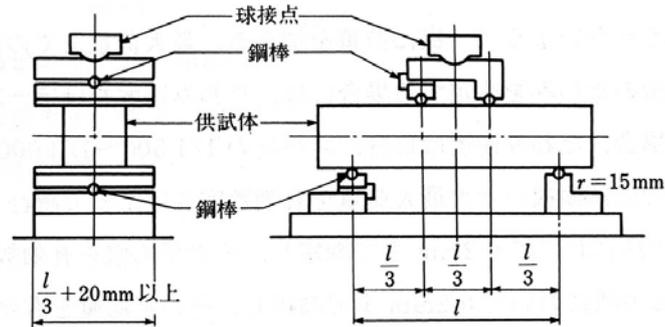


図 3.21 3等分点曲げ試験装置

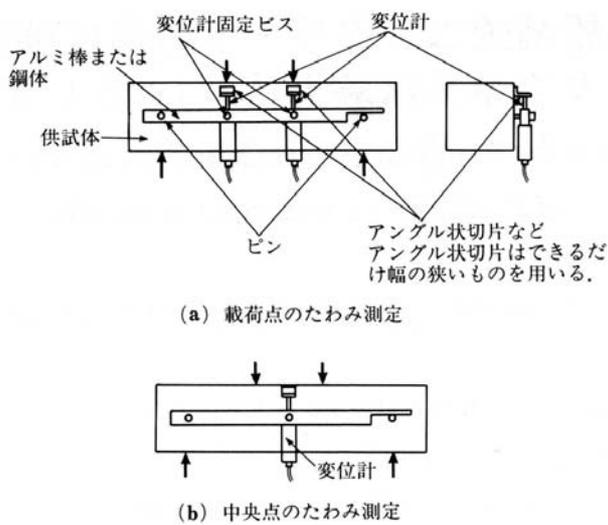


図 3.22 たわみ測定装置

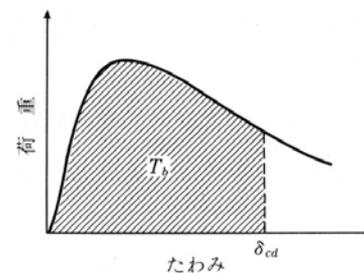


図 3.23 曲げタフネス算出方法

(2) ひび割れ特性

高靱性セメント複合材料のひび割れ幅は、適切な試験あるいは既往のデータにより確認されなければならない。

【定義】

- ・初期ひび割れ (first crack) : 弾性変形後、最初に発生したひび割れ。
- ・複数ひび割れ/マルチプルクラック (multiple crack) / プルーラルクラック (plural crack) : 一軸引張応力下において、初期ひび割れ発生後も複数のひび割れが継続的に形成され、最終的にはほぼ平行なひび割れが間隔を置いて形成されること。複数ひび割れが高密度・微細に形成されると、変形は擬似的に均一な変形場へと近づき、変形はひび割れ開口変位ではなく、ひずみで表現されるようになる。
- ・局所化ひび割れ/ローカライズドクラック (localized crack) : 一軸引張応力下において、変形が均一な変形場 (弾性挙動もしくは複数ひび割れ挙動) から単一のひび割れによる開

口変位へと局所化すること。

【解説】

高靱性セメント複合材料の中には複数ひび割れ型繊維補強モルタル¹⁾のように、引張伸びが生じた場合に複数の微細ひび割れは生じるが、個々のひび割れが機能性を保持する上で有害なレベルまで幅を拡大させないことが特徴となっている材料もある。一方で、局所化ひび割れが早い段階から発生する高靱性セメント複合材料も存在するため、発生するひび割れが、構造物の機能、耐久性および美観など、その使用目的を損なわないように、ひび割れ幅を制限する必要がある。

日本コンクリート工学協会では、補修の要否を判定するためのひび割れ幅の限度を表 3.3 のように示している²⁾。

日本建築学会「鉄筋コンクリート造建築物の収縮ひび割れ制御設計・施工指針（案）・同解説」³⁾の中では、一般環境下において劣化抵抗性を確保するために、ひび割れ幅の設計値を屋内では 0.2 mm、屋外では 0.3 mm 以下としている。ここで、ひび割れ幅の設計値は、設計上その値以下に制御することを目標とする各ひび割れの最大幅の平均値を指しており、性能を確保する上でのひび割れ幅の許容値を安全係数で除した値を意味する。

表 3.3 補修の要否に関するひび割れ幅の限度

環境 ²⁾ その他の要因 ¹⁾		耐久性からみた場合			防水性からみた場合
		きびしい	中間	ゆるやか	—
(A) 補修を必要とするひび割れ幅 (mm)	大	0.4 以上	0.4 以上	0.6 以上	0.2 以上
	中	0.4 以上	0.6 以上	0.8 以上	0.2 以上
	小	0.6 以上	0.8 以上	1.0 以上	0.2 以上
(B) 補修を必要としないひび割れ幅 (mm)	大	0.1 以下	0.2 以下	0.2 以下	0.05 以下
	中	0.1 以下	0.2 以下	0.3 以下	0.05 以下
	小	0.2 以下	0.3 以下	0.3 以下	0.05 以下

注：1) その他の要因(大, 中, 小)とは、コンクリート構造物の耐久性および防水性に及ぼす有害性の程度を示し、下記の要因の影響を総合して定める。

ひび割れの深さ・パターン、かぶり(厚さ)、コンクリート表面の塗膜の有無、材料・配(調)合、打継ぎなど。

2) 主として鋼材のさびの発生条件からみた環境条件。

また、鉄筋を使用するか否かによってひび割れ幅の設計値の考え方は大きく変化する。鉄筋が存在しなければ、ひび割れから侵入する空気や水分といった劣化因子による耐久性への影響は大幅に軽減されるため、ひび割れ幅の設計値が 0.3 mm 以上に定めることが可能となる。ただし、漏水などを考慮する必要のある場合のひび割れ幅の設計値は、信頼のおける資料に基づいて定めることとする。日本建築学会「鉄筋コンクリート造建築物の収縮ひび割れ制御設計・施工指針（案）・同解説」³⁾の中では、漏水抵抗性を確保するために、ひび割れ幅の設計値を 0.1 mm 以下としている。

高靱性セメント複合材料のひび割れ幅は、鉄筋応力、かぶり厚さ、鉄筋とコンクリートの付着などの要因のほか、クリープ・乾燥収縮、載荷荷重や温度の変動、振動荷重の作用、さらには周辺構造体による拘束条件すなわち架構の中でのその部位の位置など数多くの要因の影響を受けて

いる。しなしながら、これら全ての影響量を的確にひび割れ幅算定に算入できるとは限らず、また、ひび割れ幅の算定値と実際のひび割れ幅との関係も満足のゆく対応を示さない場合も起こりうる。そのため、何らかの形でひび割れを制御する設計が行われる場合には、適切な実験あるいは既往のデータに基づいてひび割れ幅が確認されることが望ましい。

例えば、複数微細ひび割れ型繊維補強モルタルでは、一軸直接引張試験において2%程度の引張ひずみを生じた後に、供試体表面で残留ひび割れ幅を計測している。ひび割れ幅は0.01~0.08 mmの範囲に分布しており、0.02 mm以下の微細ひび割れが多数分散するという結果が得られている⁴⁾。

【試験方法・参考となる情報】

- 1) 複数ひび割れ型繊維補強モルタルの評価と利用，土木学会，コンクリート技術シリーズ No.64，2005.7
- 2) コンクリートのひび割れ調査，補修，補強指針-2003-，日本コンクリート工学協会，2003.6
- 3) 鉄筋コンクリート造建築物の収縮ひび割れ制御設計・施工指針（案）・同解説，日本建築学会，2006.2
- 4) 複数ひび割れ型繊維補強モルタルの評価と利用，土木学会，コンクリート技術シリーズ No. 64，付属資料 2，pp. 7-10，2005.7

（3） 収縮性状

自己収縮および乾燥収縮による収縮ひずみの性状が確認されなければならない。

【定義】

自己収縮および乾燥収縮の定義は，コンクリートに準ずる。

【試験方法】

乾燥収縮・自己収縮の試験方法は，JIS A 1129（モルタルおよびコンクリートの長さ変化試験方法）-2001，JIS A 1151（拘束されたコンクリートの乾燥収縮ひび割れ試験方法）-2002 など規格化されている方法とともに，既往の研究により提案されている方法もある^{例えば¹⁾}。使用目的，使用部位，使用環境に応じた試験方法によることが必要と考えられる。

【解説】

自己収縮・乾燥収縮は，収縮ひび割れの原因となり，構造物の機能，耐久性，美観上の支障となるおそれがあるため，使用目的，使用部位，使用環境によっては，高靱性セメント複合材料の収縮ひずみの性状が明らかとされていることが必要となる。一般に，防水性，耐久性，美装性が要求されるような条件で使用する場合，必要となると考えられる。

ひずみ硬化型高靱性セメント複合材料（ECC）の例では，モルタルベースであるため，単位水量を大きくする必要があり，乾燥収縮が懸念されることが閑田らによって指摘されている²⁾。高靱性セメント複合材料の種類によって，それぞれ性状が異なることが想定されることから，評価される高靱性セメント複合材料がどのような収縮ひずみの性状をもっているかを明らかとし，それに応じた設計を行うことが必要である。

前述の閑田らの研究²⁾によれば，ECCについて，膨張剤と収縮低減剤を組み合わせることで，

通常のコンクリートと同等以上に収縮ひび割れ抵抗性を高めることが可能であることを示しており、このような対策を講じることより、対応できると考えられる。

【試験方法・参考となる情報】

- 1) 自己収縮研究委員会報告書，コンクリート工学協会，1996.11
- 2) 閑田徹志，永井覚，丸田誠：高靱性繊維補強セメント複合材料の施工性および耐久性に関する実験的検討，コンクリート工学年次論文集，Vol. 25，No. 1，2003.7

(4) 耐久性

高靱性セメント複合材料は，その使用目的に応じた経年変化を想定し，それらに対し，適切な試験による確認もしくは仕様により，性能の著しい変化が生じないものとしなければならない。耐久性に関する評価項目として以下があげられる。

- (1) 中性化
- (2) 塩害
- (3) 凍害
- (4) アルカリ骨材反応
- (5) 耐薬品性
- (6) その他

【定義】

ここにいう「耐久性」とは，材料レベルでは材料の変化（劣化）に対する抵抗性を指しており，部材以上のレベルでは所定の性能・機能を持続させる性能を指している。

耐久性の評価項目としてあげられる（1）～（6）の定義については基本的にコンクリートに準じるが，特に用語として以下の現象を想定している。

- (1) 中性化：大気中の二酸化炭素により高靱性セメント複合材料のアルカリ性が失われる現象。炭酸化とは区別している。
- (2) 塩害：海砂などによる内在塩分または海洋環境などにおける飛来塩分によってセメント系材料中に塩化物イオンが存在することにより，鉄筋腐食が発生する現象
- (3) 凍害：セメント系材料中の水分が凍結膨張し，その膨張圧による組織中の未凍結水の移動が元で，組織が破壊に至る現象

【解説】

高靱性セメント複合材料は，様々な用途，部位，環境条件で用いられることが想定される。その条件に基づいて，目的とする性能・機能を有するか否かだけでなく，その性能・機能が著しい低下のない状態で，どの位の期間持続させるのかを検討し，それらを満たすような材料とする必要がある。評価にあたっては，使用される用途，部位，環境条件に応じて，どのような経年変化が生じるのかを想定し，それに対して，それらの経年変化を適切に評価できる試験で所定の性能を有することを確認するか，その変化への有効な対策となる仕様を採用することにより所定の性能が確保できることを確認する。

以下，代表的な劣化ごとに解説する。

- (1) 中性化：中性化が生じることにより、鉄筋腐食の要因となるおそれがあり、使用用途、使用環境、使用部位などによっては、その性状が明らかにされる必要がある。中性化は、一般に耐久性が要求されるような条件で、鉄筋を使用する場合に評価が必要となると考えられる。
- (2) 塩害：使用用途、使用環境、使用部位などによっては——特に海洋地域に建設する場合などでは、高靱性セメント複合材料中の内在塩分とともに外部からの塩分の浸透に関する性状が明らかにされる必要がある。主として耐久性が要求されるような条件で、鉄筋を使用する場合、鋼繊維を使用する場合などに評価が必要となると考えられる。ひび割れを生じた場合塩分の浸透が早くなることや塩化物イオンは凍害を促進させる作用があることなど、複合劣化に配慮する場合も評価が必要と考えられる。
- (3) 凍害：使用用途、使用環境、使用部位などによっては——特に寒冷地に建設する場合などでは、高靱性セメント複合材料の凍結融解作用に対する性状が明らかにされる必要がある。
 巴らによる PVA 繊維を使用した高靱性セメント複合材料の実験結果²⁾によれば、空気量が 7% 以上であれば良好な耐凍結融解抵抗性を有していることが示されており、通常のコンクリートと同様、空気量の確保が耐凍結融解抵抗性の向上に有効であると考えられる。
- (4) アルカリ骨材反応：アルカリ骨材反応を生じるおそれがある骨材を使用する場合——とりわけセメント量が多い場合などは、対策を講ずる必要がある。
- (5) 耐薬品性：温泉地、工業地域への建設、地下構造物、酸性雨に曝されるおそれのある場合など、薬品による劣化が想定される場合については、想定される薬品に対する性状を明らかにする必要がある。繊維によっては、酸に弱いものがあるので、その点に留意が必要である。
- (6) その他：使用用途、使用環境、使用部位などによって想定されるその他の経年変化がある場合、これに対する性状を明らかとする必要がある。

【試験方法その他参考となる情報】

試験方法は各項目ごとに以下が考えられる。

- (1) 中性化：試験方法は、JIS A 1153（コンクリートの促進中性化試験方法）-2003 が一般的であるが、養生条件などにより進行が異なる場合もあるので、実際の施工条件に準じて試験が行われることが望ましい。また、表面被覆などに用いる場合での評価では、下地部材と複合させた状態で試験を行うことが必要である。
- (2) 塩害：試験方法は、塩分量の測定については、JIS A 1144（フレッシュコンクリート中の水の塩化物イオン濃度試験方法）-2001、JIS A 1154（硬化コンクリート中に含まれる塩化物イオンの試験方法-2003 など、塩分の浸透については既往の研究¹⁾を参考に適切な方法を採用する。
- (3) 凍害：試験方法は、JIS A 1148（コンクリートの凍結融解試験方法）-2001 の A 法、B 法が代表的な方法としてあげられるが、評価の際には必要に応じて複合劣化（乾燥の影響、塩化物イオンの影響など）の影響も考慮に入れ、適切な試験方法を選択する必要がある。
- (4) アルカリ骨材反応：試験方法は、JIS A 5308（レディーミクストコンクリート）-2003 附属書 1 があげられる。対策としては、通常のコンクリートと同様に、危険性のある骨材を使用しない、アルカリ量を低くするなど有効であると考えられる。
- (5) 耐薬品性・(6) その他：試験方法については、既往の研究などを参考とし、適切にその性状を評価できる方法による。

【参考文献】

- 1) B. Mobasher, T. M. Mitchell : "Laboratory Experience with the Rapid Chloride Permeability Test", ACI SP-108, Permeability of Concrete
- 2) 巴史郎, 閑田徹志, 平石剛紀, 坂田昇 : 高靱性セメント複合材料 (PVA-ECC) の基礎的耐久性実験, コンクリート工学年次論文集, Vol. 26, No. 1, 2004.7

(5) 耐熱性・耐火性

高靱性セメント複合材料は、その使用目的に応じ、想定した火災に対し、適切な試験による確認もしくは仕様により、要求される性能を保持するものとしなければならない。

【定義】

耐熱性・耐火性の定義は、コンクリートに準ずる。

【試験方法】

試験方法については、法令に基づく場合は、それぞれ規定された方法による。火災により懸念される有毒ガスなどについては、既往の研究を参考に適切な方法による。

【解説】

建築物に使用される場合、その建築物の建設地域、用途、高靱性セメント複合材料の使用用途、使用部位に応じて、火災に対する性能が必要な場合がある。

例えば、建築基準法（以下「法」）第2条第七号に規定された耐火構造の一部として使用する場合、同法施行令（以下「令」）第107条に規定された技術的基準に適合する必要がある。また、法第2条第九号に規定された不燃材料とする場合、令第108条の2に規定された技術的基準に適合する必要がある。法第22条に規定される特定行政庁が指定する区域における屋根に使用する場合、令第109条の5に規定された技術的基準に適合する必要があるなどが代表例としてあげられる。

また、火災時において、高靱性セメント複合材料が緻密な組織を有する場合などは、爆裂のおそれがあるとともに、使用する繊維によっては有毒ガスの発生なども懸念される。法令に適合するとともに、これらに対して安全上支障がないか必要に応じて試験を行うことが必要である。

評価の例として、巴らにより、PVA 繊維を使用した高靱性セメント複合材料の耐火性能試験、不燃材料の性能試験が報告されている¹⁾。これによれば、非耐力壁の1時間耐火構造について、令第107条および平成12年建設省告示第1432号の規定に適合するものであること、不燃材料の性能について令第108条の2の規定に適合するものであることが示されている。

【参考文献】

- 1) 巴史郎, 閑田徹志, 平石剛紀, 坂田昇, 「高靱性セメント複合材料 (PVA-ECC) の基礎的耐久性実験」, コンクリート工学年次論文集, Vol. 26, No. 1, 2004.7

3.3.2 品質の確保

高靱性セメント複合材料の使用材料の選定、調合、製造、施工は、本材料の使用目的に応じて適切に定められ、品質を確保しなければならない。

【解説】

高靱性セメント複合材料の基本的な構成材料は、補強用繊維、セメント、骨材、水、混和材料である。これらの材料は、高靱性セメント複合材料に要求された引張性能などの品質を確保することができる材料構成にする必要がある。従って、これらの材料の適切な選定および構成比は非常に重要であるため、材料選定は試験により判断することを原則とする。

混合する材料が多種であるため、主に実績により判断する場合でも実際に試し練りを行い、最終的に判断することが重要である。また、新材料や JIS などに規格がない材料については、高靱性セメント複合材料として有効な実績があるものであっても、思わぬ有害な影響を与える場合も在るので事前に確認しておく必要がある。

製造する上では、施工条件により、プレミックス材料を使用することも可能だが、製造量、粉体の品質、施工条件などを考慮し、予め性能や製造の確認をしておく。施工については、施工計画に基づき、適切に行わなければならない。

(1) 使用材料

高靱性セメント複合材料に使用する材料は、高靱性セメント複合材料に要求される性能を満足するものを選定しなければならない。使用される材料としては以下のものがある。

- (1) 補強用繊維
- (2) セメント
- (3) 骨材
- (4) 練混ぜ水
- (5) 混和材料

【解説】

1) 補強用繊維

高靱性セメント複合材料に用いる補強繊維の選定は高靱性セメント複合材料の性能に大きな影響を与えるために非常に重要である。補強用繊維には高強力鋼繊維、高強力ポリエチレン繊維、ポリビニルアルコール繊維などを使用することが一般的であるが、構造物の耐用期間において十分に安定的で耐久性に優れたものを使用する。

素材の性状や品質については、補強用繊維の製造会社が作成する試験成績表などにより確認しなければならない。検査項目および検査方法については以下の規格を参考にする。

- ・コンクリート用鋼繊維品質規格 (JSCE-E 101)
- ・金属材料引張試験方法(JIS Z 2241)
- ・スチールタイヤコード試験方法 (JIS G 3510)
- ・化学繊維フィラメント糸試験方法 (JIS L 1013)
- ・化学繊維ステーブル試験方法 (JIS L 1015)

その他の補強用繊維を使用する場合には、その品質を確認し、高靱性セメント複合材料に要求される性能を満足することを確認しなければならない。

2) セメント

セメントは、一般には普通ポルトランドセメントを用いる。流動性、発熱などの観点からは中庸熱ポルトランドセメントや低熱ポルトランドセメントなどの使用が好ましい。プレキャストコンクリート製品として製造するには早強ポルトランドセメントが適している。

使用するポルトランドセメントの種類によって高靱性セメント複合材料の性質が異なるので、製造・施工前に予め確認しておく。

3) 骨材

使用する骨材の種類、品質によって強度や引張性能などの品質に大きく影響を与える場合があるため、骨材の選定は極めて重要である。補強用繊維の径、長さ、アスペクト比などに対し、適度な粒径を持った骨材を使用しないと、高靱性セメント複合材料に要求される引張性能を得られない。

骨材粒子の強度が小さいと所定の強度が得られないばかりでなく、耐久性を損なう原因となるおそれもある。また、単位セメント量の多い富調合となるので、使用する骨材のアルカリ反応性の評価は的確に行わなければならない。

4) 練り混ぜ水

練り混ぜ水は、不純物が含まれていると、高靱性セメント複合材料のワーカビリティ、凝結硬化、強度の発現、収縮膨張などの体積変化などに悪影響を及ぼすことがある。このため、練り混ぜ水は、JSCE-B 101-1999「コンクリート用練り混ぜ水の品質規格」の規定に適合する回収水以外の水を用いることを標準とし、有害な影響を与えないことを確認の上使用する。

5) 混和材料

混和材料は、有害な影響を及ぼさないように、試験によって所要の性能が得られることを確認したものを使用する。高靱性セメント複合材料は粉体材料を多く含み、また水粉体比も低く設定されるため、所要の流動性能が得られるように高性能 AE 減水剤を使用することを標準とする。

また、強度に悪影響を与えない範囲であれば、適度な連行空気量は存在した方が、凍結融解抵抗性に有利であるので、要求される性能、品質に応じて適切な混和剤を選択する。

(2) 調合

高靱性セメント複合材料の調合は、要求される材料の力学性能、耐久性、およびワーカビリティを満足するよう定められなければならない。

【解説】

高靱性セメント複合材料の調合は、対象とする構造物の製造、施工条件、および環境条件などの諸条件を検討し、要求される材料の力学性能、耐久性、およびワーカビリティを把握した上で、これを満足するよう試練りを実施して決定する。

1) ワーカビリティ

高靱性セメント複合材料のワーカビリティは、部材の形状、寸法、成形方法、表面美観性などを考慮して定める。高靱性セメント複合材料は、高流動コンクリートや高強度コンクリートに近いフレッシュ特性を有することから、そのワーカビリティの評価をスランプフロー試験（JIS A 1150）により行うことが通常である。設計指標値は、製造する部材の形状、寸法、製造条件などを考慮して行うが、スランプフロー値を過度に大きくすると、材料分離や凝結硬化を生じるなど、成形した部材に所要の品質が得られない場合がある。部材を成形する場合には、スランプフロー45～65 cm 程度が適当であり、材料分離を生じていないことをスランプフロー試験から判断するものとした。

2) 空気量

空気量は、力学性能、耐久性、およびワーカビリティに影響を与えることから、これらの所要性能を確保できる範囲にて適切な値を定め、混和剤量により調整するものとする。高靱性セメント複合材料の空気量は、繊維を混入したことにより一般のコンクリートよりも大きくなる傾向が見られる。空気量が多くなり過ぎると圧縮強度の低下を引き起こし、反対に少ない場合には、凍結融解抵抗性の低下などの懸念がある。従って、空気量は使用する構造物や施工の条件によって適切に定め、実際の製造においては空気量調整剤などの混和材料を使用して、安定した空気量を連行するように留意することが必要である。

3) 繊維混入率

繊維混入率は、力学性能、耐久性、およびワーカビリティに影響を与えることから、これらの所要性能を確保できる範囲にて適切な値を定めるものとする。高靱性セメント複合材料の繊維混入率は、材料性能を支配する重要な要因のひとつである。繊維混入率が多いほど、ワーカビリティが低下するが、一方で引張強度や引張ひずみ能力などの力学性能は向上する。さらに、繊維混入率により、ひび割れが生じた場合の幅が異なるため、耐久性にも影響を与える。従って、繊維混入率は、使用する構造物や施工の条件によって、ワーカビリティ、力学性能、および耐久性に関する所要の性能を満足するように適切に定めることを原則とする。

4) 計画調合

計画調合は、表 3.4 によって表し、補強用繊維の種類、仕様、および使用する全材料の単位量を明記する。

表 3.4 計画調合の表し方

スランプフロー (mm)	空気量	補強用繊維				単位量 (kg/m ³)											
		繊維の種類	繊維径 (mm)	繊維長 (mm)	繊維混入率 (Vol%)	セメント	水	骨材	混和材 (1)	混和材 (2)	混和材 (3)	繊維	混和剤 (1)	混和剤 (2)	混和剤 (3)		

(3) 製造・施工

高靱性セメント複合材料の製造・施工は、要求性能が満足されるような適切な製造・施工方法によらなければならない。製造・施工に関する評価項目として以下があげられる。

- (1) 貯蔵
- (2) 練混ぜ
- (3) 受入れ
- (4) 運搬
- (5) 打込みおよび締固め
- (6) 吹付け
- (7) 表面仕上げ
- (8) 養生
- (9) かぶり厚さ
- (10) 補強筋の加工および組立て
- (11) 型枠

【解説】

1) 貯蔵

高靱性セメント複合材料に使用する補強用繊維は、雨水などに曝されないように注意する。直射日光や雨水を避けて、湿気の少ない場所を選び、折れ曲がりなどが生じないように保管しなければならない。

その他の事項に関しては、JIS A 5308（レディーミクストコンクリート）の8.1.1材料貯蔵設備によるものとする。

2) 練混ぜ

ミキサは、原則として過去の実績あるいは試し練りによって、高靱性セメント複合材料の製造に関する要求性能を満たしていることが確認されているミキサを用いる。

高靱性セメント複合材料は通常のコンクリートに比べ粘性が高い傾向にあるため、製造に使用

するミキサは、原則として過去の実績あるいは試し練りによって、高靱性セメント複合材料の製造に関する要求性能を満たしていることが確認されたミキサを選定する必要がある。例えば、練混ぜ性能の高いバッチ式の強制ミキサ、あるいはオムニミキサなどを用いる。なお、高靱性セメント複合材料の性能評価と構造利用研究委員会報告書（Ⅱ）¹⁾に、各種の高靱性セメント複合材料の練混ぜについて報告が記載されているので参照されたい。

高靱性セメント複合材料の練混ぜは、材料が均等質になるまで十分に行い、特に補強用繊維が均一に分散するように行う。練混ぜ方法および練混ぜ時間は、過去の実績あるいは試し練りにより適切に定める。

高靱性セメント複合材料の1バッチあたりの最大練混ぜ量は、ミキサの種類、容量、練混ぜ効率などを考慮し、過去の実績あるいは試し練りによって確認し、適切に定めるものとする。

高靱性セメント複合材料は、通常コンクリートに比較して、練混ぜ時のミキサの負荷が大きくなる可能性があるため、1バッチあたりの最大練混ぜ量は、ミキサの種類、容量、練混ぜ効率などを考慮し、過去の実績あるいは試し練りによって確認し、決定することが望ましい。事例によれば、ミキサの負荷を低減させるために練混ぜ量をミキサの公称容量に対して50～75%程度としている場合が多い。

他のコンクリートやセメント系材料を練り混ぜた後に、高靱性セメント複合材料を練り混ぜる場合にはミキサを洗浄しなければならない。

通常のコンクリートを練り混ぜた後に高靱性セメント複合材料を練り混ぜた場合、通常のコンクリートに使用している混和剤と高靱性セメント複合材料に使用している混和剤との相性が悪いために所定の品質が得られない場合がある。さらに、通常のコンクリートが高靱性セメント複合材料に混入した場合、その部分の引張性能が弱点となるおそれもある。そのため、通常のコンクリートに引き続いて高靱性セメント複合材料を練り混ぜる時には、ミキサを水洗いする必要がある。なお、水洗いに際しては、ミキサ内の残留水が高靱性セメント複合材料の性能に影響を与えるおそれがあるため、ミキサ内に洗浄水が残留しないように注意する必要がある。

製造された高靱性セメント複合材料が、設定したフレッシュ時の要求性能を満足していることを確認しなければならない。

製造された高靱性セメント複合材料については、目視および触診により補強用繊維の分散状態や、材料の分離がないかなどを確認するとともに、フロー、空気量、温度などのフレッシュ時の所定の性能（本文3.3.2（2）1）および2）を参照）を満足していることを確認する必要がある。

3) 受入れ

高靱性セメント複合材料の打込みを円滑に行うため、打込み前に納入日時、高靱性セメント複合材料の種類、1日の納入量、荷卸し場所、時間あたりの納入量などの必要事項を生産者と十分に打合せる必要がある。

荷卸し場所は、運搬車が安全かつ円滑に出入りできて、荷卸し作業が容易に行える場所でなければならない。

4) 運搬

高靱性セメント複合材料の運搬は、フレッシュ性状、部材の種類と形状、打込み場所の条件、

打込み時の気候、打込み量、打込み速度、作業の安全性などを考慮して、適切な方法によらなければならない。

高靱性セメント複合材料は、練混ぜ後の所定のフレッシュ性状を保持した状態を出来るだけ変化させないで施工することが重要である。このため、運搬には、運搬の施工条件、気候条件などを考慮して、運搬による材料の分離やフレッシュ性状などの品質変化が少ない機器および方法を適切に選定しなければならない。なお、高靱性セメント複合材料の種類によっては、運搬中に高靱性セメント複合材料の表面が乾燥する可能性があるため、乾燥を防ぐように適切な処置をして運搬を行う必要がある。

5) 打込みおよび締固め

高靱性セメント複合材料では、補強用繊維の分散と配向に打込み方法が影響することを考慮して打込み計画を立てなければならない。

高靱性セメント複合材料の打込みは、補強用繊維が均一に分散し、できるだけランダムな配向が得られるように、適切な方法を用い、施工にあたっては事前に十分な検討と準備を行うことが必要である。

高靱性セメント複合材料の打込みは、トレミー管やバケットなどによる流込みを基本とし、予め計画した区画内の打込みを完了するまで連続して打込む。

高靱性セメント複合材料の施工過程で長時間の中断が生じた場合には、表面が乾燥して皮膜が形成された界面となり、この部分で補強用繊維が架橋せず、構造上の弱点となるおそれがある。そのため、一区画内の施工が完了するまでに、連続して施工が行えるように施工位置や方法などについて事前に綿密な計画を立てる必要がある。

打込み速度は、部材形状、鋼材の配置状況などに応じて、試験結果や実績に基づいて適切に定めなければならない。

打込みに際しては、構造条件、施工条件を考慮して、予め許容できる落下高さや流動距離を設定しておかななければならない。

高靱性セメント複合材料の打重ね部や合流部は、補強用繊維が架橋せず弱点となる可能性があるため、極力これを避けるのが原則である。やむを得ずこれを設ける場合には、突き棒などによりかき乱して、補強用繊維の配向を分散させなければならない。

高靱性セメント複合材料の打込みおよび締固めは、高靱性セメント複合材料が均一にかつ密実に充填され、補強用繊維の分散、配向に支障のないよう十分に配慮して行う。

高靱性セメント複合材料の締固めは、型枠振動機・木づちなどを用いる。締固めにコンクリート棒形振動機を使用する場合、補強用繊維の分散が不均一にならないように、使用する内部振動機の形状や振動時間などを試験や実績などに基づき適切に設定する必要がある。

高靱性セメント複合材料の種類によっては、フレッシュ時の粘性が高いために、打込みにともないエントラップな空気を巻き込みやすい場合がある。振動機・木づちなどを用いて締固めても所定の空気量にならない時には、消泡剤などの空気量調整剤を用いて所定の空気量に調整する。

工場製品の製造においては、製品の寸法・形状、その用途に応じて品質の良い製品を効率よく製造するために、遠心力成形、押出し成形、振動加圧成形、その他特殊な成形方法によって製造を行う場合がある。その場合、要求される性能も流込み成形と大きく異なるので、要求される性

能に応じた適切な打込みおよび締固め方法を用いる必要がある。なお、押出し成形の製造方法については、高靱性セメント複合材料の性能評価と構造利用研究委員会報告書（Ⅱ）¹⁾に、詳細な報告が記載されているので参照されたい。

高靱性セメント複合材料を用いる場合には、出来るだけ打継ぎは設けない事が好ましい。打継ぎ部は、完全に一体化することは難しく、打継ぎが不適切な場合にはひび割れが発生し、構造耐力の低下だけでなく、鉄筋の腐食など耐久性の低下を生じるおそれがある。やむを得ず設ける場合には、打継ぎ部はせん断応力の小さいところで、高靱性セメント複合材料が受ける圧縮力と直角に設ける事が好ましい。打継ぎ部の位置、構造については特記あるいは設計図書に明記することを原則とする。

高靱性セメント複合材料の打継ぎ処理方法については、まだ施工例も少なく標準化された方法がないため、予め試験などによって確認することが好ましい。文献 2) には、打継ぎ面の角度を 30 度以下とし、打継ぎ面に微細な凹凸処理をして湿潤状態に保った打継ぎ部のある試験体と打継ぎのない試験体の曲げ試験の比較を行い、新旧マトリックスおよび繊維とマトリックスの付着力により高靱性セメント複合材料の一体打ちに近い曲げ特性を概ね確保できたことが報告されている。

6) 吹付け

高靱性セメント複合材料の吹付けは、高靱性セメント複合材料をポンプ圧送し、吹付けノズル先端より圧搾空気により高靱性セメント複合材料を吹付ける。吹付け作業の開始に先立ち、吹付ける高靱性セメント複合材料に要求されるフレッシュ性状、硬化後の強度、耐久性および施工などを考慮し、具体的な吹付け作業の方法に関する十分な施工計画を策定する必要がある。

高靱性セメント複合材料の吹付けは、適切な施工システムで施工されないと、要求された性能を確保することが出来ない。そのため、過去に実績のある施工システムを採用するか、あるいは吹付け作業を行う前に採用しようとする施工システムが、高靱性セメント複合材料の吹付け施工に適していることを確認してから施工する必要がある。

高靱性セメント複合材料の吹付けは、1 回の吹付け層の厚さが厚い場合、たれ下がりを生じるため、1 回の吹付け層の厚さはたれ下がらない厚さを限度とする。先に吹き付けた高靱性セメント複合材料の層が、次の層を保持できる程度に凝結するまで施工間隔をとって、次層を吹き付けることが望ましい。

高靱性セメント複合材料の吹付けは、夏期においては、高靱性セメント複合材料の凝結時間が短くなるため、吹付け可能な時間が短くなる。一方、冬期においては、凝結時間が長くなるため、凝結するまで施工間隔が長くなり施工効率が低下する。そのため夏期および冬期における吹付け施工では、温度による吹付け材料の性能低下がないように適切に処置する必要がある。

7) 表面仕上げ

高靱性セメント複合材料の種類によっては、粘性が高く、ブリーディングをほとんど生じないため表面仕上げが難しい場合があるため注意が必要である。

表面仕上げを行う時間まで、表面乾燥を防止ししたり、表面仕上げに適切な時間を逸さないように注意することが重要である。また、後工程などを考慮して、仕上げの精度を定めそれに合っ

た適切な方法によって表面仕上げを行う必要がある。

8) 養生

高韌性セメント複合材料は、打込み後に過度の高温または低温の影響、急激な温度変化、急激な乾燥、振動および外力の悪影響を受けないように配慮し、要求された性能を得られるように必要な初期養生を行う。

高韌性セメント複合材料は、養生期間中の温度が過度に低いと強度発現が著しく遅延し、過度に高いと長期材齢における強度増進が小さくなる。まだ固まらない状態で日光の直射や急激な乾燥を受けると表面の正常な凝結を妨げるおそれがある。また、硬化の進んでいない高韌性セメント複合材料に振動や外力が作用すると、高韌性セメント複合材料にひび割れが発生するおそれがある。高韌性セメント複合材料が硬化後に本来の性能を発揮するためには、硬化初期において十分な養生を行い、このような悪影響を受けないように施工しなければならない。

高韌性セメント複合材料を大断面部材に使用する場合には、セメントの水和熱により部材内部で急激な温度上昇を生じるおそれがあるため、内部温度が上昇している期間は表面部の温度が急激に低下することのないように養生を行う。

高韌性セメント複合材料は一般に通常のコンクリートに比べ、単位セメント量が多いため、特に高韌性セメント複合材料を大断面部材に使用する場合、セメントの水和熱により部材内部の急激な温度上昇が生じ、温度ひび割れの発生、長期材齢における強度増進低下などが生じる可能性がある。高韌性セメント複合材料の打設後の内部温度の上昇低減対策としては、打込み時の高韌性セメント複合材料の温度を出来るだけ低く抑えることが必要である。セメントの水和反応開始後、内部温度が上昇している期間は、部材の熱の発散が容易になる対策を講じたり、外気温などによる急激な温度変化により部材の内部と表面の温度差が大きくなるないように、例えばシート、断熱材などにより養生する。なお、このような対策で部材内部の急激な温度上昇や温度ひび割れの発生が抑えられない場合には、使用するセメントを水和熱の発生の少ないタイプに変更するなど、調合上の対策を検討する。

熱養生を行う場合には、熱養生の温度、時間は、高韌性セメント複合材料の使用部位、使用目的に応じて設計上必要とされる材料特性を考慮して決定するものとする。

高韌性セメント複合材料のうち超高強度繊維補強コンクリート³⁾は、要求されている材料特性を確保するために熱養生を必要とするため、材料に適合した適切な養生を行う。

9) かぶり厚さ

本節におけるかぶり厚さは、部材の最も外側に位置する鉄筋と高韌性セメント複合材料の表面までの最短距離をさす。

かぶり厚さは、高韌性セメント複合材料の所要の耐久性、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、高韌性セメント複合材料の種類と品質、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誤差を考慮して定める。

かぶり厚さは、高韌性セメント複合材料を用いた部材の耐久性・耐火性および構造耐力に大きく影響するため、設計かぶり厚さの適切な設定と施工におけるかぶり厚さの精度の確保が重要で

ある。かぶり厚さは、部材の種類と位置ごとに、高靱性セメント複合材料の種類と品質、部材の受ける環境作用の種類と強さなどの暴露条件および特殊な劣化作用などを考慮して計画供用期間に中性化が鉄筋位置までに達しないように定める。

高靱性セメント複合材料が火災を受けると、表面の高靱性セメント複合材料が劣化するだけでなく、内部の鉄筋および高靱性セメント複合材料の温度上昇によって鉄筋および高靱性セメント複合材料の強度が低下する。このため、火災を受けても鉄筋および内部の高靱性セメント複合材料の劣化を生じないように、かぶり厚さを定める。高靱性セメント複合材料の耐火性については、本文 3.3.1 (5) を参照。

鉄筋のかぶり厚さが鉄筋径に対して不釣り合いに小さいと、鉄筋に大きな応力が加わると鉄筋に沿って付着破壊ひび割れが生じて付着強度の急激な低下を起こすおそれがある。複数微細ひび割れ型繊維補強モルタルの評価と利用⁴⁾では、高靱性セメント複合材料の一つである複数微細ひび割れ型繊維補強セメント複合材料は、ひび割れ発生後も補強用繊維の架橋効果によって引張力を負担できるため、普通コンクリートで規定されたかぶり厚さよりも小さいかぶりでも鉄筋の付着強度を確保できることが報告されている。

高靱性セメント複合材料の最小のかぶりは、打込み時の良好な充てん性および構造物としての耐久性および安全性などを考慮して定める。

例えば、超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針(案)³⁾では、かぶりの最小値を原則 20 mm 以上かつ補強鋼材の直径以上としている。複数微細ひび割れ型繊維補強モルタルの評価と利用⁴⁾では、付着強度を確保するための補強鋼材のかぶりの最小値を原則 10 mm 以上としている。

10) 補強筋の加工および組立て

補強筋の加工および組立ては、設計図の特記がなされていない場合、国土交通省大臣官房官庁営繕部監修「建築工事共通仕様書」あるいは日本建築学会「建築工事標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート工事」に準拠する。

補強筋のあきは、高靱性セメント複合材料の打込みおよび締固めを適切に行うことができるように、適切な間隔を確保しなければならない。

補強筋の間隔が小さすぎると、打込み時に高靱性セメント複合材料の補強用繊維が滞留したり、補強用繊維の配向状態を偏らせるおそれがあるため、補強筋のあきを適切に確保する必要がある。例えば、超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針(案)³⁾では、補強鋼材のあきの最小値を 20mm 以上かつ補強鋼材の直径以上とすることを原則としている。複数微細ひび割れ型繊維補強モルタルの評価と利用⁴⁾では、付着強度を確保するための軸方向鉄筋の必要あきを原則 20mm 以上かつ繊維長以上の水平および鉛直のあきを確保するように規定している。

11) 型枠

型枠は、高靱性セメント複合材料の施工時の荷重、側圧、打込み時の振動・衝撃に耐えるように設計しなければならない。

高靱性セメント複合材料の種類によっては、通常のコンクリートに比較して凝結時間が長く、打込み後も長時間にわたって側圧が減少しにくい場合がある。さらに自己充填性を有するタイプ

の高靱性セメント複合材料では、打設時に型枠に作用する側圧は液圧が作用するものとして算定する必要がある。

高靱性セメント複合材料の初期硬化時の収縮特性に応じて、型枠の材質や構造などを決定しなければならない。

高靱性セメント複合材料の初期硬化時の収縮特性は、使用材料および調合により大きな相違がある。高靱性セメント複合材料の種類によっては、初期硬化時の収縮が通常のコンクリートに比べ大きい場合、型枠の材質や構造が適切でない場合には、収縮によるひび割れを生じる可能性があるため、例えば型枠面に緩衝材を貼り付けるなどの対策を講じる。

型枠は、セメントペーストまたモルタルを継目などから漏出させないように緊密に組み立てなければならない。

高靱性セメント複合材料では粒径の小さい骨材を使用する機会が多いため、せき板に隙間があると、ペーストまたはモルタルが流出しやすい場合、型枠の組立ては隙間の生じぬように通常のコンクリート用の型枠以上に注意深く行なわねばならない。

型枠は、設計で要求された表面仕上りの性能を満たすように、型枠の材質やはく離剤の種類を適切に選定しなければならない。

高靱性セメント複合材料の種類によっては、粘性が高く、型枠に接するコンクリート表面に気泡が多く残存する場合がある。コンクリート表面の気泡の残留に悪影響を及ぼす可能性がある種類の型枠やはく離剤を使用しないよう注意する必要がある。

【参考文献】

- 1) 高靱性セメント複合材料の性能評価と構造利用研究委員会報告書（Ⅱ），日本コンクリート工学協会，2004.5
- 2) 坂田 昇，須田久美子，閑田徹志，福田一郎，平石剛紀，巴 史郎：高靱性繊維補強セメント複合材料の利用拡大，鹿島技術研究所年報，pp.233-238，2004
- 3) 超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針（案），土木学会，2004.9
- 4) 複数微細ひび割れ型繊維補強モルタルの評価と利用，土木学会，2005.7
- 5) 鋼材倶楽部：鋼繊維補強コンクリート設計・施工指針案，1990.7