

JCI 規準

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 JCI-S-003-2007

Method of test for bending moment – curvature curve of fiber reinforced cementitious composites

1. 適用範囲 この規準は、曲げ応力下で独立した複数ひび割れ⁽¹⁾が発生する繊維補強セメント複合材料⁽²⁾に適用し、3等分点載荷法による曲げ試験によって、曲げモーメント - 曲率曲線を計測する方法を規定するものである。

注(1) 曲げ応力下で独立した複数ひび割れの発生とは、最大荷重に達する以前に供試体の純曲げ区間内に、図1の左の2図に示すように、目視で確認できる2本以上の独立したひび割れが発生する場合を指す。

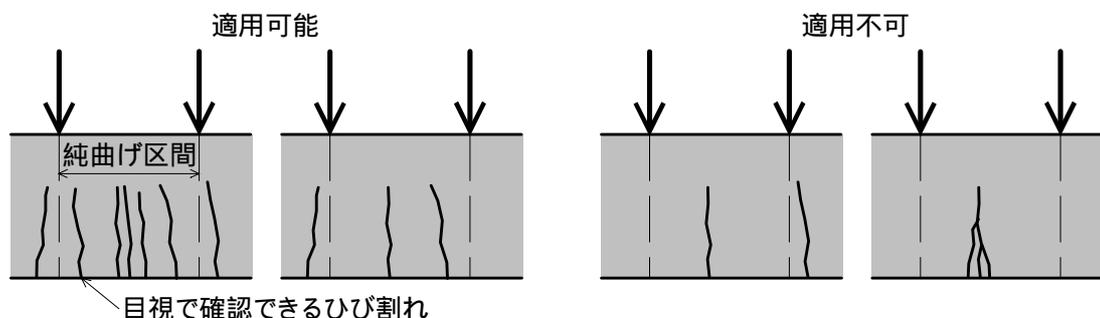


図1 本規準の適用可能なひび割れ性状

注(2) 本規準で対象とする繊維補強セメント複合材料に用いる繊維の長さは40mm以下とする。

備考 JCI-S-003-2007の付属書(参考)にしたがえば、本試験から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、引張特性の基準値となる引張強度、引張終局歪を算定することができる。

2. 引用規準 次に掲げる規準は、この規準に引用されることによって、この規準の規定の一部を構成する。この引用規準は、その最新版を適用する。

JIS A 1132 コンクリートの強度試験用供試体の作り方

JIS A 1106 コンクリートの曲げ強度試験方法

3. 供試体 供試体は、次のとおりとする。

3.1 供試体の寸法 供試体は、断面の高さ(D)を100mm、幅(B)を100mm、全長(L)を400mmとした、正方形断面の角柱体とする。

3.2 供試体の製作 供試体の製作は、次のとおりとする。

a) 供試体の型枠は、JIS A 1132「コンクリートの強度試験用供試体の作り方」(5.曲げ強度試験のための供試体)に規定される型枠を使用する。

b) 供試体の製作時には、繊維の配向に留意し、打分けや打継ぎを設けてはならない。突き棒を用いて締固めを行ってはならない。また、棒形振動機を材料中に挿入して内部振動

による締固めを行ってはならない。

3.3 硬化した供試体の準備 硬化した供試体の準備は、次による。

- a) 供試体の高さ，幅，全長および質量を測定する。
- b) 供試体の見掛けの密度は，測定した質量を測定した寸法から計算によって求めた体積で除して算出する。

4. 装置 装置は，次のとおりとする。

4.1 3等分点载荷装置 3等分点载荷をするための装置は，JIS A 1106「コンクリートの曲げ強度試験方法」に規定される装置とする。スパンは300mmとする。

4.2 荷重計測機器 荷重は最大荷重の1%以内の精度を有するロードセルによって計測する。また，ロードセルは試験機に取り付けるものとする。

4.3 曲率計測機器 曲率の計測のために使用する計測機器は次のとおりとする。

- a) 曲率測定装置は，電気的な変位計およびそれを固定する治具からなり，供試体の軸方向の変形を，1/500mm以上の精度を有する変位計により計測する。
- b) 変位計を，純曲げ区間両端位置において，供試体下面から15mmおよび85mmの位置に設置する（図2参照）。変位計の回転を拘束するおそれがある場合は，図3に示すような回転を拘束しない治具を介して変位計を設置しなければならない（図4参照）。

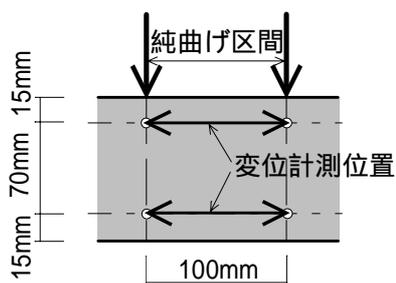
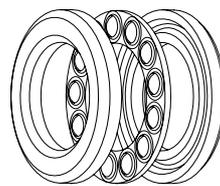
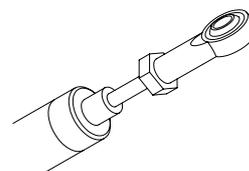


図2 変位計測位置



回転ベアリング



ロッドエンド

図3 変位計設置治具の例

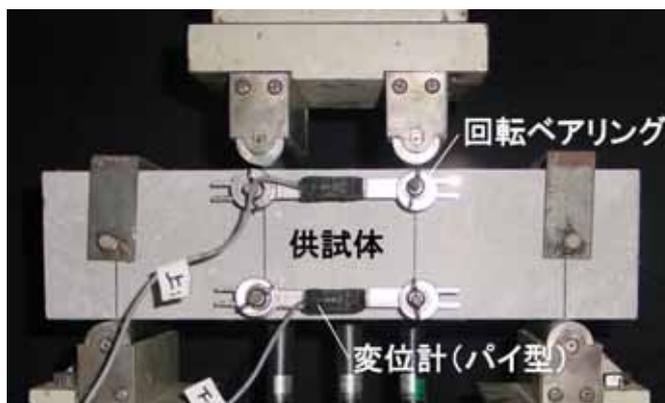


図4 変位計の取付け例

5. 試験方法 試験方法は，次のとおりとする。

- a) 供試体は，型枠の両側面が上下面となる方向に载荷する。
- b) 供試体に衝撃を与えないで，試験機のヘッドスピードを 0.3 ± 0.2 mm/分として，一様

な速度で荷重を加える。供試体が破壊するまでに試験機が示す最大荷重を有効数字 3 桁まで読み取る。

- c) デジタル計測の計測時間間隔は、5 秒毎以下とする。
- d) 供試体が純曲げ区間の外側で破壊した場合には、その試験結果を無効とする。

6. 計算 曲げモーメントおよび曲率を次の式によって算出し、曲げモーメント - 曲率曲線を得る。

$$M = \frac{P \cdot l}{2 \cdot 3}$$

$$\phi = \frac{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}{d_0}$$

- M : 曲げモーメント (N・mm)
- P : ロードセルの示す荷重 (N)
- l : スパン (= 300mm)
- ϕ : 曲率 (1/mm)
- $\varepsilon_1, \varepsilon_2$: 供試体の上側および下側に設置した変位計の値を検長 (100mm) で除した歪 (引張を正とする)
- d_0 : 2 つの変位計間の距離 (= 70mm)

7. 報告 報告は、次の事項のうち、必要なものを記載する。

- a) 試験年月日および試験温度
- b) 供試体の名称および番号
- c) 材齢
- d) 養生方法および養生温度
- e) 供試体の長さ (mm)
- f) 供試体の幅 (mm)
- g) 供試体の高さ (mm)
- h) スパン (mm)
- i) 供試体の質量 (kg)
- j) 供試体の見掛けの密度 (kg/m^3)
- k) 最大荷重 (N)
- l) 最大荷重時の曲げモーメント (N・mm)
- m) 最大荷重時の曲率 (1/mm)
- n) 曲げモーメント - 曲率曲線
- o) 供試体の破壊状況 (複数ひび割れの発生状況)

付属書(参考) 繊維補強セメント複合材料の引張強度および引張終局歪の算定法

この付属書(参考)は、本体の規定に関連する事項を補足するもので、規定の一部ではない。

1. 適用範囲 この付属書(参考)は、JCI-S-003-2007「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」により得られた、最大荷重時の曲げモーメントおよび曲率を用いて、引張特性の基準値となる引張強度、引張終局歪を算定するものである。

2. 計算 引張強度および引張終局歪を次の式によって算出し、有効数字3桁に丸める。なお、引張強度および引張終局歪は、有効な試験結果3個以上の供試体の平均値で示す。

$$\varepsilon_{u,b} = \phi_u \cdot D \cdot (1 - x_{nl})$$

$$f_{t,b} = \frac{E \cdot \phi_u \cdot D \cdot x_{nl}^2}{2 \cdot (1 - x_{nl})}$$

ここに、

$$x_{nl} = -1 + 2 \cos \frac{\theta}{3} \quad (x_{nl}^3 + 3x_{nl}^2 - 12m^* = 0 \text{ の解})$$

$$\theta = \arccos(-1 + 6m^*)$$

$$m^* = \frac{M_{max}}{E \cdot \phi_u \cdot B \cdot D^3}$$

$$x_{nl} \quad : = x_n / D$$

x_n : 中立軸から圧縮縁までの距離 (mm)

D : 供試体高さ (= 100mm)

M_{max} : 最大モーメント = $P_{max} / 2 \times l / 3$ (N・mm)

P_{max} : ロードセルの示す最大荷重 (N)

l : スパン (= 300mm)

E : 静弾性係数で、JIS A 1149「コンクリートの静弾性係数試験方法」による値としてよい (N/mm²)

ϕ_u : 最大荷重時の曲率 = $(\varepsilon_{2u} - \varepsilon_{1u}) / d_0$ (1/mm)

$\varepsilon_{1u}, \varepsilon_{2u}$: 最大荷重時の、供試体上側および下側に設置した変位計の値を検長 (100mm) で除した歪 (引張を正とする)

d_0 : 2つの変位計間の距離 (= 70mm)

B : 供試体幅 (= 100mm)

$\varepsilon_{u,b}$: 引張終局歪

$f_{t,b}$: 引張強度 (N/mm²)

3. 報告 報告は、次の事項のうち、必要なものを記載する。

a) 最大荷重時の曲げモーメント (N・mm)

b) 最大荷重時の曲率 (1/mm)

c) 引張強度 (N/mm²)

- d) 引張終局歪
- e) 計算に用いた静弾性係数 (N/mm²)

解説

「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」

1. 適用範囲 本規準は、繊維補強セメント材料のうち、曲げ応力下において複数ひび割れ特性を示し、曲げ、引張や圧縮破壊時の靱性が向上した高靱性セメント複合材料（DFRCC）[1]への適用を主に想定している。具体的な適用可能性の判断として、純曲げ区間における複数ひび割れの発生を条件とした。

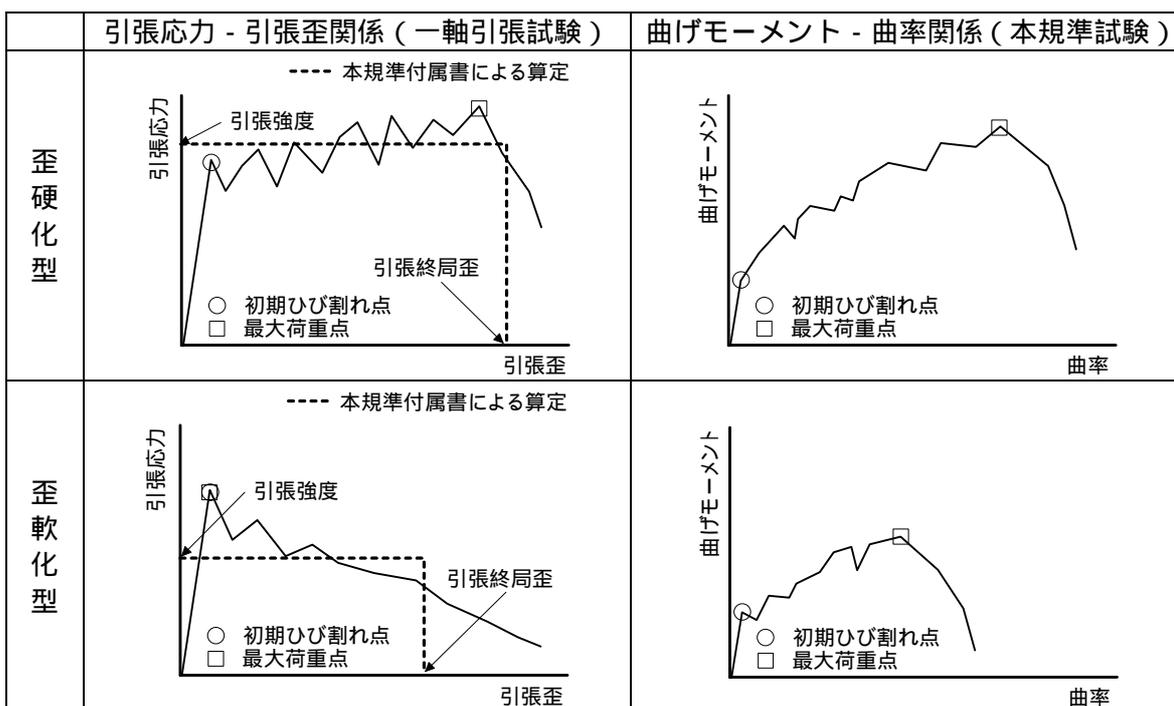
3. 供試体 繊維補強セメント材料の複数ひび割れ特性は、ひび割れ面での繊維の引張応力架橋効果による。供試体の製作時に打分けや打継ぎを設けると、その箇所繊維の分散や配向特性が不連続になり、適正な試験値が得られないことになるので避けなければならない。また同様に、突き棒や棒形振動機を用いて締固めを行うと、繊維の配向が影響を受けるので避けなければならない。なお、型枠振動機は使用しても差し支えない。

本規準では、供試体の養生方法を特に規定していない。近年、研究・開発が進められている繊維補強セメント材料の中には、高温蒸気養生等、特殊な養生のもとで性能を発揮するものもあり、一義的に養生方法を定めることが困難であると考えられるためである。

解説

付属書（参考）「繊維補強セメント複合材料の引張強度および引張終局歪の算定法」

1. 適用範囲 本法で指す引張強度と引張終局歪のイメージは、一軸引張における引張応力 - 引張歪関係に対して、解図1の左図に示すような対応になる。引張歪硬化型の材料では、本法に



解図1 引張強度と引張終局歪のイメージ

よる引張強度および引張終局歪は、一軸引張における最大点での引張応力および引張歪におおむね対応する。歪軟化型の材料では、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歪が変化し、本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する必要がある。なお、それぞれの引張応力 - 引張歪関係に対して、本規準で得られる曲げモーメント - 曲率関係は、解図1の右図に示すような対応になる。

2. 計算 本法に示す引張強度および引張終局歪の算定法は、最大曲げモーメントが作用する断面の応力分布を次のように仮定して得られる。

- ・ 圧縮側応力は三角形分布
- ・ 引張側応力は一様分布

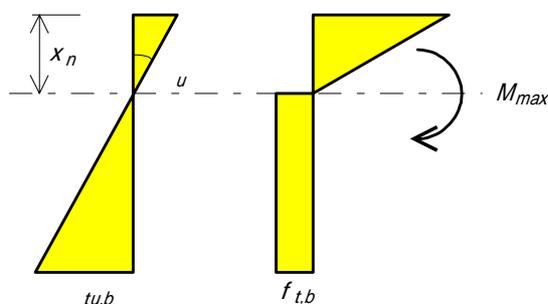
すなわち、解図2に示すように、平面保持を仮定し、最大曲げモーメント時に引張縁の歪が終局歪に達し、圧縮縁では材料の圧縮強度に至っていない場合を仮定している。この仮定は、一軸引張において十分な歪硬化性状が確認されている材料においては、曲げモーメント下での応力分布と概ね対応していると考えられる。一方、一軸引張において歪軟化性状を示す材料では、曲げモーメント下での実際の応力分布と大きく異なる。最大曲げモーメント時の引張側の応力を引張強度で代表させ、引張縁の歪が増大していく過程で軟化領域のある歪値を引張終局歪で代表させたイメージである。なお、弾性係数については、圧縮試験により得られた静弾性係数を用いてよいこととした[2]。

また、断面の釣合力をモーメントに対して等価になるように算定しているため、引張縁に近い、すなわち引張歪の大きい領域の引張応力に重みが置かれる。解図3に示すように、歪硬化型の材料では、一軸引張下における初期ひび割れ以降の平均的な応力より引張強度は大きめに、歪軟化型の材料では初期ひび割れ以降の平均的な応力より引張強度は小さめに評価される。

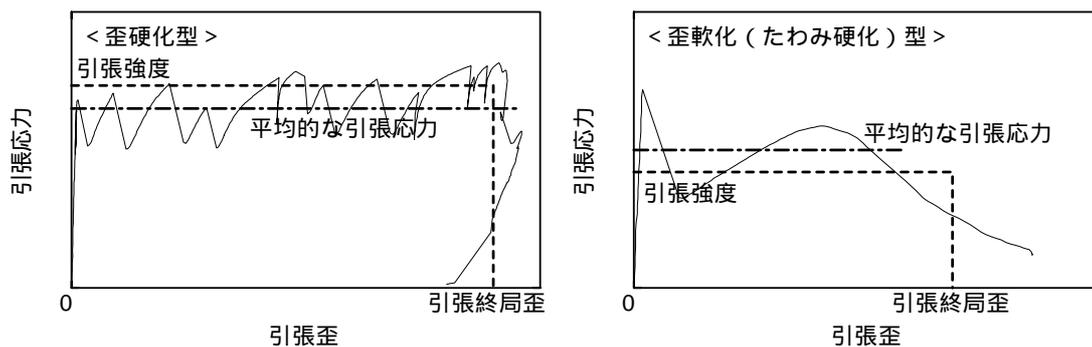
なお、このとき圧縮縁の圧縮歪 ε_c は次の式で求められる。

$$\varepsilon_c = \phi_u \cdot D \cdot x_n$$

圧縮歪が材料の圧縮強度時の歪程度に大きくなる場合は、圧縮側応力を三角形分布と仮定することは好ましくないため、この場合は、適宜非線形性を考慮した応力分布（例えば二次曲線）やストレスブロックを用いて算出してもよい。しかしながら、圧縮側応力分布をどのように仮定しても中立軸位置の変化の程度はあまり小さくなく、圧縮側応力分布の仮定が引張強度および引張終局歪の算定値に及ぼす影響は小さい。



解図2 応力分布の仮定



解図3 引張強度と平均的な引張応力の差異

<参考文献>

- [1] 日本コンクリート工学協会: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, pp.5~6, 2004.5
- [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

JCI 規準小委員会 高靱性繊維補強セメント複合材料 (DFRCC) 規準作成 WG

主査	金久保 利之	筑波大学機能工学系
委員	内田 祐市	岐阜大学工学部土木工学科
	閑田 徹志	鹿島建設(株)技術研究所
	橘高 義典	東京都立大学大学院工学研究科建築学専攻
	国枝 稔	名古屋大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻
	清水 克将	筑波大学大学院博士課程システム情報工学研究科
	杉山 隆文	群馬大学工学部建設工学科
	福山 洋	独立行政法人建築研究所
事務局	井上和久	(社)日本コンクリート工学協会