

[6] GRCの曲げ試験方法に関する研究

正会員 ○友沢史紀 (建設省建築研究所第2研究部)

正会員 菅原進一 (東京大学工学部)

正会員 三島清敬 (旭硝子研究開発部)

正会員 一家惟俊 (小野田セメント関連製品事業本部)

1. 緒言

GRC (Glass Fibre Reinforced Cement) は、従来の材料に見られない特性を持った、新しい不燃性の建築材料であるが、これらのGRC製品の物性を把握したり、品質を管理するための試験方法は、いまだ標準化されていない。筆者らは研究委員会を組織して¹⁾ GRCの特性の把握および各種物性の試験方法作成のための研究を進めているが、ここではGRCの力学的特性を最も良く代表すると考えられる曲げ特性の標準的な試験方法についての研究結果を報告し、GRCの曲げ試験方法を提案する。

まず、曲げ試験の目的を設定し、次にGRCの曲げ特性を考慮して、曲げ試験結果に影響を及ぼす要因について、実験的検討を加えた。すなわち、曲げ試験の目的としては、①GRCの曲げ特性の決定、②GRC製造時の品質管理、③製品検査、が設定され、また、実験の項目としては、①載荷方法および載荷速度の影響、②試験体の形状寸法の影響、③試験体の乾湿状態の影響、④試験体に対する載荷方向の影響、⑤所要の試験体数などをとりあげた。

GRCは荷重を受けた場合、比例限界を越えた後の変形能力が大きい事が特徴となっている。図-1に平板試験体に中央集中荷重を加えた場合の曲げ変形特性を示す。この図から明らかなように、GRCは、ある応力度までは応力度に比例してたわみが増大し(弾性域)、その後はたわみの増加が大きくなっていく塑性域に入るが、耐力も引続き増加して最大耐力に達し、最大耐力以後は耐力の低下が起るが直ちには破断に到らないきわめて粘りのある挙動を示す。この比例限界応力度を曲げ比例限界強度(LOP)、最大耐力時の応力度を曲げ強度(MOR)と呼ぶ。また、弾性域におけるたわみ量から完全弾性体として求めた弾性係数を曲げヤング係数(E_b)と呼ぶ。このようにGRCの曲げ特性は、LOP、MORおよび E_b によって決定されるため、これらの3つの値を求められる試験法が必要である。

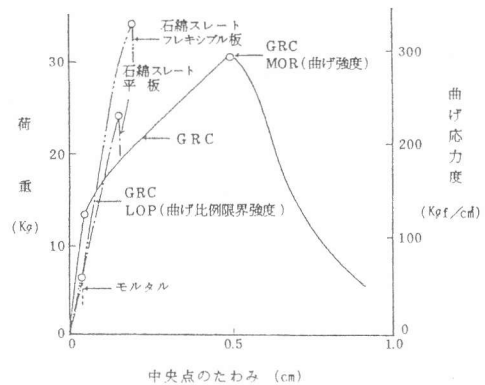


図-1 GRCの曲げ特性

2. 曲げ試験に影響する各種要因の効果に関する実験的検討

2.1 試験体

実験に用いた試験体は、砂セメント比 1/2、水セメント比 34%のモルタルに、ガラス繊維(3.7mm)を5%含有するようにダイレクトスプレー法で成形した試験板より切り出したものである。試験板は成形直後より20℃、80%RHの雰囲気中で28日まで養生し、切り出しは養生中に行い、吹付け面は研磨仕上げした。

2.2 載荷方法および載荷速度の影響

a) 載荷方法

載荷方法については、中央集中載荷と、3等分点載荷の比較試験を行い両者による差について検討した。用いた試験体の寸法は、15×5×0.8cm、スパン13.5cmとした。また載荷速度は、2mm/minとし、夫々12個

の試験体を用いて曲げ試験を行った。その結果を表-1に示す。

その結果は、表-1からも明らかなように、載荷方式による影響は見られず、両載荷方式ともほとんど同じ結果が得られた。

この結果より、両方式いずれの方式を採用しても得られる特性値は大差ない事が確認されたが、試験方法の難易性あるいは汎用性という面から考えれば、中央集中載荷方式を採用する事が妥当であると考えられる。

b) 載荷速度

載荷速度については、実用的と考えられる載荷速度の範囲内(2~10 mm/min)で比較を行った。

この場合、中央集中載荷方式を用い、各載荷速度で、試験体数を10個として曲げ試験を行った。その結果を図-2に示すが、この載荷速度の範囲内では、試験結果に載荷速度の影響は殆んど現われない事が確認された。

従って載荷速度としては、2~10 mm/minの範囲で、最も試験条件に適した速度を選べば良い。

2.3 試験体の形状・寸法の影響

a) 巾の影響

試験体のスパン(20 cm)、厚さ(0.8 cm)を一定とし、巾を5~12.5 cmまで変化させて、GRCの曲げ特性を測定した。試験条件は中央集中方式を用い、載荷速度2 mm/minで実験した。

その結果を図-3に示すが、実験を行った試験体の巾5~12.5 cmの範囲内では、試験体の巾が曲げ試験結果に及ぼす影響は非常に少ないといえる。従ってこの程度の試験体寸法の場合は、試験体の巾は5 cm以上として試験の経済性を考えて決定することができよう。

b) スパンの影響

試験体の巾(5 cm)、厚さ(0.8 cm)を一定とし、スパン/厚さ比(l/d)を5~31と変化させて、曲げ特性を測定した。

結果を図-4に、横軸をスパン/厚さ比として図示した。MORおよびLOPは l/d の増加とともに減少するが、 l/d が10をこえるとその影響は少なくなる。また、 E_b は、逆に l/d の増加とともに増加し、 l/d が20をこえると、その増加は少なくなる。従って、 $20 < l/d < 30$ の範囲では、 l/d がMOR、LOPおよび E_b に与える影響は少なく、 l/d をこの範囲内に定めて曲げ試験を行えば試験体のスパンが試験結果におよぼす影響を小さくすることができる。

表-1 載荷方式の比較

特性	LOP (Kgf/cm ²)		MOR (Kgf/cm ²)		$E_b (\times 10^4 \text{Kgf/cm}^2)$	
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
中央集中載荷	87.0	6.9	322	33	18.7	1.3
3等分点載荷	88.9	6.3	327	30	18.0	0.7

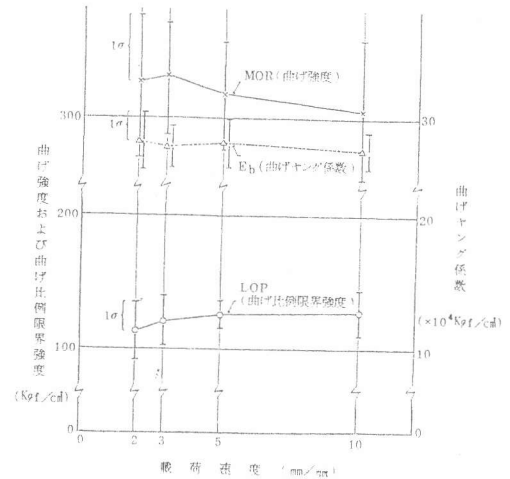


図-2 載荷速度と曲げ特性

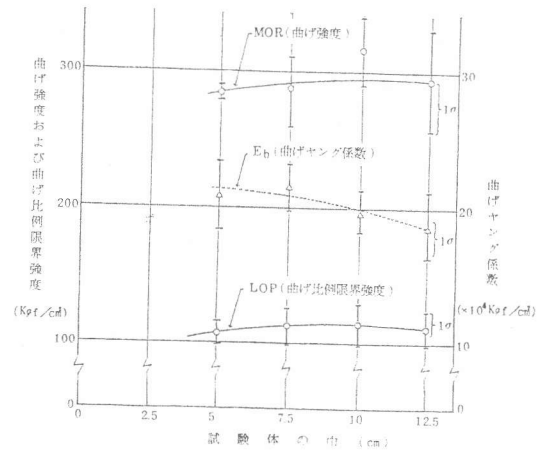


図-3 試験体の巾と曲げ特性

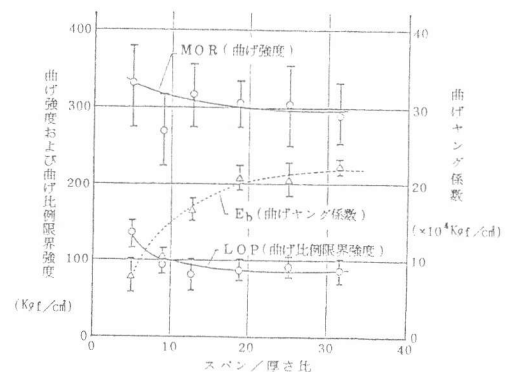


図-4 試験のスパン/厚さ比と曲げ特性

e) 厚さの影響

試験体の巾 (5 cm)、および l/d (2.0) を一定にし、厚さを 0.4 ~ 2.0 cm と変化させて、曲げ特性を測定した。その結果を図 - 5 に示すが、この場合、試験体の厚さが増加するに従って、MOR、LOP、および E_b は共に減少するが、厚さが 1 cm 以上ではほぼ安定する。従って、 l/d が 2.0 の場合、試験結果におよぼす厚さの影響を小さくするためには、厚さを 1 cm 以上にすることが必要である。

d) 寸法の影響

スパン：巾：厚さの比を 2.0 : 5 : 1 と一定にして、厚さを 0.4 ~ 2.0 cm と変化させて、試験体寸法の影響を見たが、試験体が大きくなるに従って、MOR、LOP、および E_b は共に小さくなり、 $2.0 \times 5 \times 1$ cm 以上になると試験体の大きさの影響は少なくなる。従って、寸法比は一定であっても、試験体が小さい場合には、曲げ強度がやや高目に出る傾向を示すので、試験体の寸法はある程度大きくする必要がある。

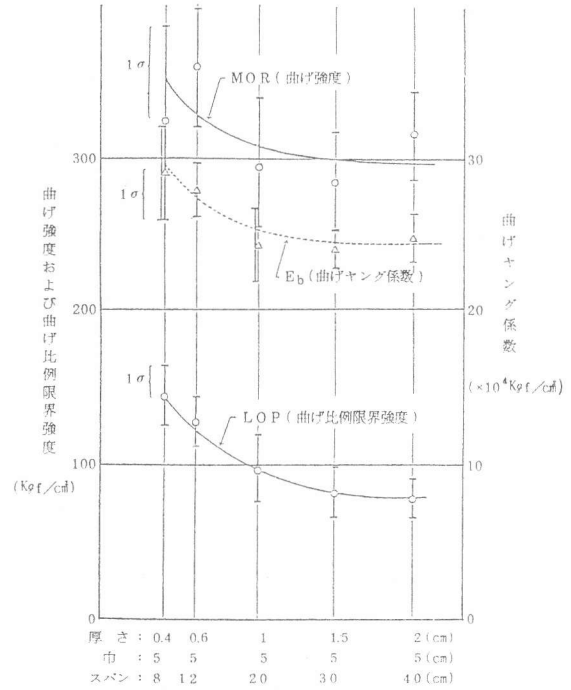


図 - 5 試験体の厚さと曲げ特性

以上の試験結果を取りまとめると、①試験体の巾は曲げ強度に影響しない。② l/d は 2.0 をこえるとその影響は少なくなる。③ l/d が 2.0 の場合、試験体の厚さは 1 cm 以上が必要、④スパン：巾：厚さの比が一定であっても、寸法が変れば、曲げ試験結果は影響を受ける。しかし $2.0 \times 5 \times 1$ cm 以上であれば、結果は安定する。

これらの実験結果と、試験体作製ならびに取扱い易さ、試験操作の容易性等を考えると、試験体の形状及び寸法は、 $2.5 \times 5 \times 1$ cm の板状 (スパン 20 cm) を標準とするのが適当である。

2.4 試験体の乾湿状態の影響

一般に材料のある種の物は、含水率が異なると強度が変化することがあるが、GRC の場合でも曲げ試験時には含水率の調整、規制が必要と推定される。この点について検討するため試験体の含水率が曲げ強度におよぼす影響を明らかにするための実験を行った。

含水率を飽水状態の 11.8 % より乾燥させながら、その乾燥途中の種々の含水率の状態で行った。その結果を図 - 6 に示す。MOR については、含水率 2 ~ 10 % の範囲ではほとんど変化せず、飽水時には若干小さくなる。LOP、 E_b については、含水率の影響は小さいといえる。

GRC の気乾状態の含水率の範囲は、5 ~ 8 % 程度であるが、この範囲内では、含水率が GRC の曲げ特性に及ぼす影響はほとんどないと考えてよい。

以上より、気乾状態における曲げ試験においては、試験体の含水率を特に調整する必要はないといえる。

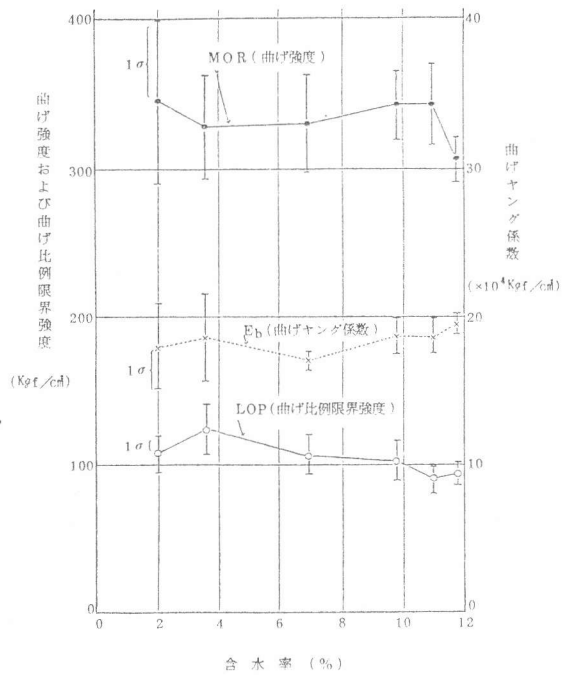


図 - 6 試験体の含水率と曲げ特性

2.5 載荷方向の影響

GRCは、その成形方法から、型枠に接した面（型枠面）と、こてで仕上げた面（吹付け面）とで性質が異なる可能性がある。この点を検討するため、載荷方向を型枠面及び吹付け面にしたときの曲げ特性を測定した。その結果を表-2に示すが、両面ともほとんど差がない。従って、載荷方向を考慮する必要は特にないと見えるが、標準試験方法としては、型枠面載荷と吹付け面載荷を同数とり、結果を平均するのがよいと思われる。

表-2 試験体の載荷面と曲げ特性

載荷面	試験体数 (個)	LOP (Kgf/cm)		MOR (Kgf/cm)	
		平均値(\bar{x})	標準偏差(σ)	平均値(\bar{x})	標準偏差(σ)
型枠面載荷	45	120	12.3	290	27.7
吹付け面載荷	45	118	13.7	286	27.5

2.6 試験体数の検討

品質管理、検査等においては、試験結果のばらつきに応じて信頼性のある結果を得るための試験体数を定める必要がある。そのための試験を行った。90試験体を用いて、型枠面および吹付け面載荷で、それぞれ45試験体について、LOPおよびMORを測定した。その結果を表-3に示すが、LOP、MOR共ほぼ正規分布を示す。これらの結果をもとに信頼度95%で試験体数を算出すると必要試験体数は5個となる。しかし載荷面を考慮して標準試験法としては、型枠面3個、吹付け面3個の計6個とするのがよいと考えられる。

表-3 各強度の平均値、標準偏差、変動係数

強度	平均値 (Kgf/cm)	標準偏差 (σ)	変動係数 (%)
LOP	119	13.0	10.9
MOR	288	28.0	9.7

3. 結論

GRCの曲げ特性を考慮して、曲げ試験結果に影響を及ぼす要因として載荷方法および載荷速度、試験体の寸法形状、試験体の乾湿状態、載荷方向、試験体数等について、実験的検討を加えた結果、GRCの標準的な曲げ試験方法を提案した²⁾。その概要を表-4にまとめて示す。

表-4 GRCの曲げ試験方法

載荷方式	中央集中載荷
載荷速度	2~10 mm/min
載荷方向	表・裏同数
試験体の形状寸法	
巾	b = 5 cm
スパン	20 ≤ l/d ≤ 30
厚さ	d ≥ 1 cm
標準試験体寸法	25 × 5 × 1 cm
乾湿状態	気乾
試験体数	6個

この試験方法を用いて測定したGRCの曲げ特性の一例を示す。

図-7は、曲げ荷重-たわみ曲線である。試験方法では、曲線から読み取った荷重、たわみ量より、LOP、MORおよびE_bを次式で計算することとしている。

$$LOP = \frac{3W_1 \ell}{2bd^2} \quad (Kgf/cm)$$

$$MOR = \frac{3W_2 \ell}{2bd^2} \quad (Kgf/cm)$$

$$E_b = \frac{W_3 \ell^3}{48\delta I} \quad (Kgf/cm^2)$$

ここに、

W₁ : 曲げ比例限界荷重 (Kgf)

W₂ : 曲げ最大荷重 (Kgf)

W₃ : 曲げ比例限界の $\frac{2}{3}$ の荷重

ℓ : スパン (cm)

b : 試験体の巾 (cm)

d : 試験体の厚さ (cm)

δ : W₃におけるたわみ量 (cm)

I : 断面2次モーメント (cm⁴)

$$(I = \frac{bd^3}{12})$$

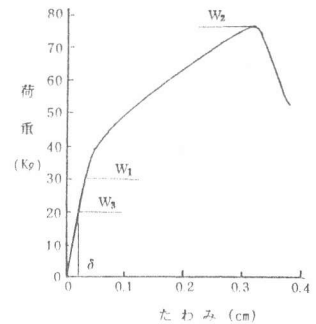


図-7 GRCの曲げ荷重-たわみ曲線

1) GRC研究委員会(昭和54年度)・委員長 岸谷孝一、委員 友沢史紀

菅原進一、菅沼武彦、巽昭夫、渡辺嘉香

同ワーキンググループ・主査 友沢史紀、委員 菅原進一・三島清敬

田原正夫・入江正教・石井義朗・松崎安宏・一家惟俊・中野昌之・萩原宏・富沢彬

2) 日本建築学会大会学術講演梗概集 昭和54年9月