

論文

[1194] FRP ロッドの応力-ひずみ性状に関する基礎的研究

牧角龍憲^{*1}・東宏治^{*2}・袴着正隆^{*3}・古賀源象^{*4}

1. まえがき

連続繊維補強材は、鋼材のように延性を示さずほぼ弾性状態のままで急激に破断する。そのため、部材の設計に用いる補強材の引張剛性には精度の高い値を用いることが不可欠で、その測定方法を早急に確立する必要がある。

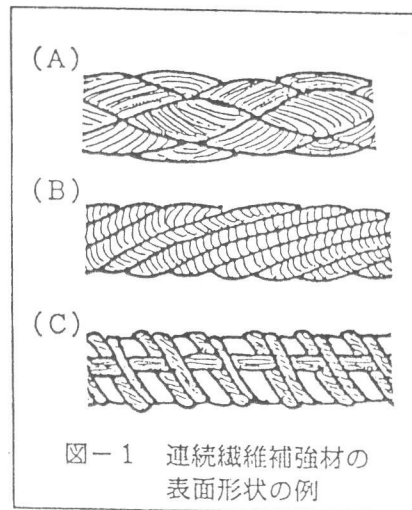
土木学会「連続繊維補強材の引張試験方法(試案)」[1]においては、伸び計またはひずみゲージを用いてひずみ測定を行うことが定めてあるが、コンクリート部材内での挙動の測定や特殊条件下での測定を考慮すればひずみゲージを用いる方がより一般性が高いと考えられる。このとき、連続繊維補強材は、繊維素線を集束して樹脂加工した素材であるとともに付着強度を高めるために表面加工が施されており(以下FRPロッド)、ひずみゲージの取付位置やゲージ長さによって異なる測定値を示すことが十分想定される。しかしながら、このひずみゲージの測定条件の影響については、魚本ら[2]がひずみゲージの種類の影響について報告しているものの体系的に検討された報告は数少ない。そこで本研究では、市販されている種々のFRPロッドの引張試験を行い同一試験体においてひずみゲージの種類、ゲージ長ならびにゲージ取り付け位置を変えた条件でひずみを測定して、測定値のばらつきならびに各要因の影響について検討した。さらに、荷重繰り返しにより引張剛性が変化する場合についても同様の測定を行い、ひずみゲージの変形追随性を調べた。

2. 試験方法

2.1 ひずみゲージの測定条件

(1) FRPロッドの平滑整形

FRPロッドの表面形状は、図-1に模式的に示すように、組紐状(A)やより線状(B)あるいはらせん状の巻き付き(C)などの成形加工により平滑にはなっていない。そのような場合、鉄筋においては材料が均質であるため表面を切削して平滑面を容易に形成できるが、FRPロッドにおいては、切削により集束した素線を破断する可能性があることや樹脂の均等な切削が容易でないことから他の方法で矯正する必要がある。本研究ではエポキシ樹脂を凹部に塗り付けて樹脂硬化後にサンドペーパーで平滑面を形成した。



(2) ひずみゲージの種類

被測定物への拘束効果を小さくした複合材料用ひずみゲージ及び金属などのひずみ測定に用いられる一般用ひずみゲージの2種類を用いた。ひずみゲージ長は取り付け位置の影響も検討できるような長さ

* 1 九州大学助教授 工学部建設都市工学科、工博(正会員)
 * 2 九州大学大学院 工学研究科土木工学専攻
 * 3 九州大学工学部 建設都市工学科
 * 4 九州大学工学部

とし、2~10mmの範囲内で5通りとした。また、試験に供したFRPロッドの径は $\phi 7.5 \sim \phi 11.5$ mmであるため、ひずみゲージのベース幅が4mm以下のものを選定した。ひずみゲージの主な特性を表-1に示す。

表-1 測定に用いたひずみゲージの主な特性

記号	ゲージ長 (mm)	ベース寸法 (mm)	ゲージ種類	ベース材料	抵抗素子	ひずみ限界
BF-2	2	7.6×2.5	複合材料用	ポリイミド	Cu-Ni箔	3%
BF-5	5	12.3×3.3				
FL-2	2	5.5×1.5	一般用	エポキシ	Cu-Ni箔	3%
FL-6	6	11.2×2.2				
FL-10	10	16.2×3.8				

(3) ひずみゲージの貼付位置

FRPロッドの表面は図-1に見られるように様々な凹凸形状を呈しているが、ここでは比較的平面な面（腹部と呼ぶ）、集束線が軸線に対して斜めに接している面（斜め部と呼ぶ）ならびに組紐状で繊維が織り込まれている面（交差部と呼ぶ）に大別できるとした。それらの各位置の両側面に前述の各ひずみゲージをすべて貼付した。また、取り付け位置の範囲は試験片の中央部30cm区間とした。表面形状のパターン別に図-2およびその例を写真-1に示す。

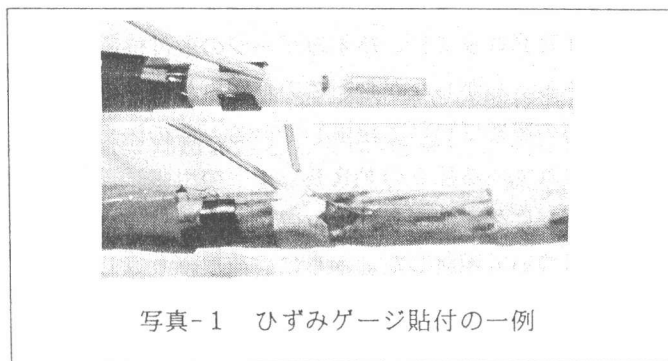


写真-1 ひずみゲージ貼付の一例

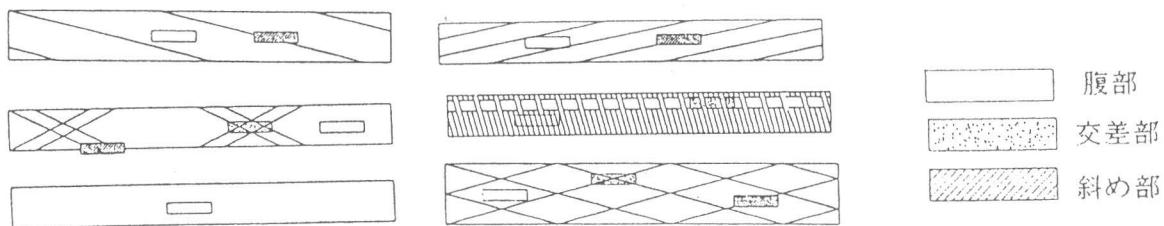


図-2 ひずみゲージ貼付位置の概要

(4) 伸び計

丸棒用のホルダを有するひずみゲージ式変換方式の伸び計で、標点距離50mm、感度 $1000 \times 10^{-6}/\text{mm}$ のものを用いた。2つのホルダの取り付け位置はできるだけ同じ表面形状の所を選定したが、標点距離の制約から互いに異なる形状点に取り付ける場合もあった。また、互いに直交する方向に2つの伸び計を取り付けた。

2.2 FRPロッド

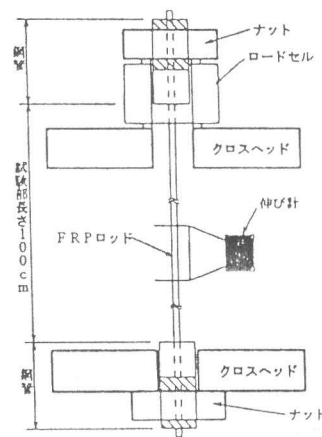
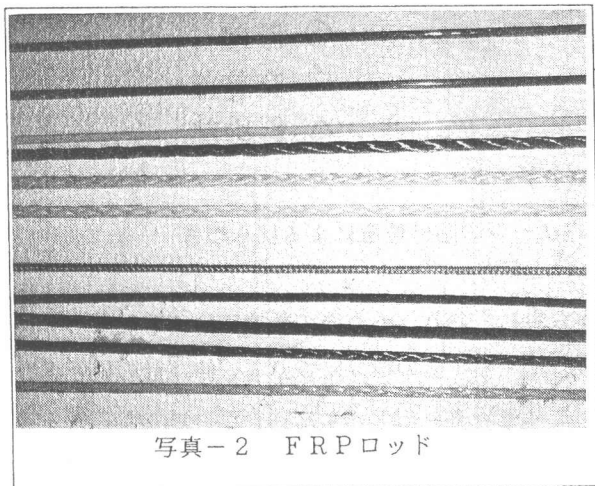
試験に供したFRPロッドの一覧を表-2に示す。試験片の長さは、試験部の長さを1000mmとれるように1600~1700mmとした。また、同一条件の試験片の数は2本である。（写真-2参照）

2.3 載荷方法

試験片のつかみ装置は、定着用膨張材により鋼管内に試験片を固定し、その鋼管をナットを介して引張する方法を用いた[3]。その状況を図-3に示す。

表-2 連続繊維補強材の一覧 ()内は参考値

記号	繊維種類	形状	径 (mm)	メーカー保証値		
				破断荷重 $\times 10^3$ (kgf)	弾性係数 $\times 10^3$ (kgf/mm ²)	伸び (%)
CF1	炭素繊維	組紐状	8.93	10.9		(1.3)
CF2	炭素繊維	より線状	7.50	5.81	14.0	(1.3)
CF3	炭素繊維	より線状	10.5	10.6	14.0	(1.3)
CF4	炭素繊維	より線状	10.2	8.00	11.9	(1.3)
CF5	炭素繊維	加工丸棒	8.00	9.30	15.0	1.3
CF6	炭素繊維	丸棒	8.00	9.30	15.0	1.3
AF1	アラミド繊維	組紐状	9.12	9.60		(2.3)
AF2	アラミド繊維	らせん巻き	7.40	7.63	5.40	(2.3)
VF1	ビニロン繊維	組紐状	10.5	3.63		(7.0)
VF2	ビニロン繊維	組紐状	9.93	2.66		(7.0)



載荷速度は0.5~1.4tf/minとした。また、メーカー保証破断荷重の50%を上限として処女載荷をした後、破断荷重の10%~50%の間で載除荷を繰り返した。これは荷重履歴の影響によりFRPロッドの引張剛性が変化する性状を調べるため、荷重-ひずみ関係がほぼ一定になるまで5~10回の繰り返し載荷を行った。

2.4 ひずみ測定方法

1試験片におけるひずみ測定点数は30数点になるため、連続的な計測は行わずに破断荷重の10%毎に静的ひずみ測定器(切り換え速度 0.08秒/点)によりひずみを測定した。

載荷重はロードセルにより測定し、載荷時および除荷時のいずれにおいても測定した。

3. 試験結果および考察

3.1 ひずみ測定値のばらつき

図-4に各試験片における処女載荷時の荷重-ひずみ関係を示す。図は各測点の測定値をそのまま示しているがいずれの場合もかなり大きくばらついていること、ならびにひずみゲージによる値は図中の実線で示す伸び計の平均ひずみより小さくなる傾向が認められる。両側面のひずみを平均した場合においてもばらつきは大きく、これらのことからFRPロッドのひずみ測定には十分な注意が必要であると

いえる。

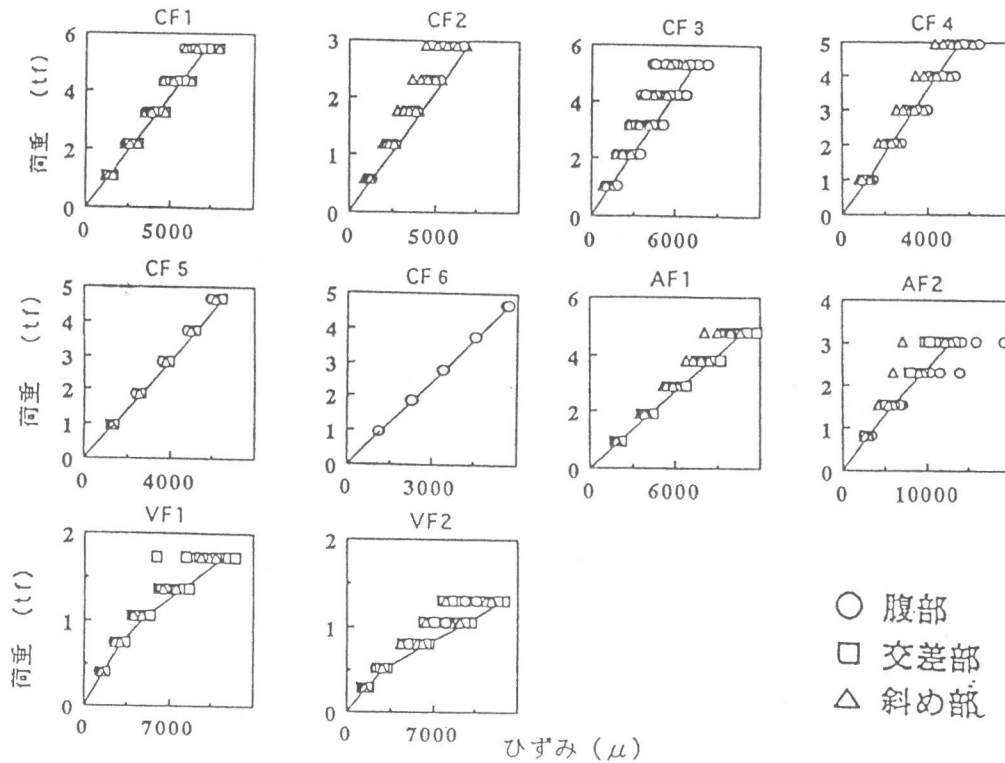


図-4 伸び計の値を基準にしたひずみゲージの貼付位置によるばらつき

しかしながら、このばらつきは、低い荷重の段階から生じており、その後の荷重増によるばらつきの増加は顕著ではない。そこで、保証荷重の10%荷重時のひずみからの増分について、伸び計の値と各ひずみゲージによる値を比較した結果を図-5および図-6に示す。

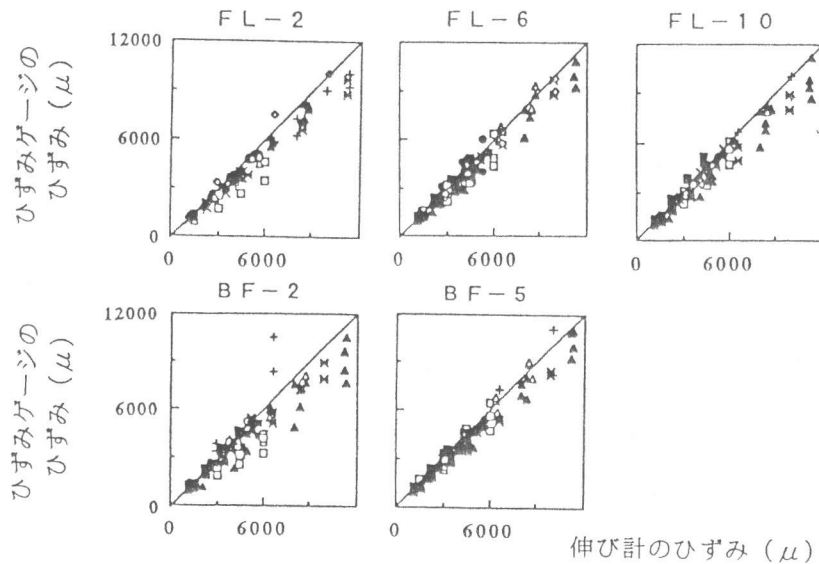


図-5 腹部の伸び計を基準とした各ひずみゲージの増分傾向

図-5はゲージ取り付け位置が腹部のひずみ関係であるが、図-4の性状とは対照的に伸び計ひずみに近似したばらつきの小さい性状が認められる。一方、図-6は交差部におけるひずみ関係であるが、ひ

ひずみゲージFL-2、BF-2およびFL-6では、伸び計ひずみよりかなり小さな値にばらつくことが認められる。これに対して、ひずみゲージFL-10、BF-5においては腹部の場合と同様に伸び計ひずみにほぼ一致していることが分かる。これらのことから、表面が不均一な形状であるFRPロッドのひずみ測定において、ゲージ長が短いゲージを用いた場合には表面の凹凸の影響を受けやすいといえ、ゲージ長が10mm以上の一般用ひずみゲージもしくは5mm以上の複合材料用ひずみゲージを用いることが適切であるといえる。

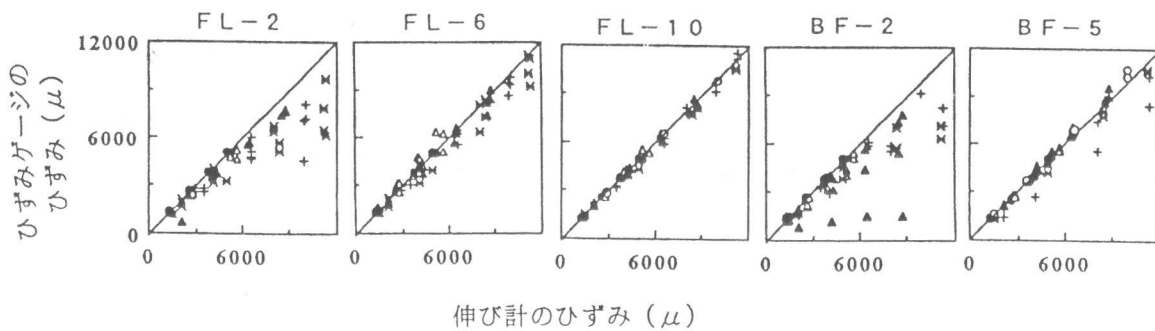


図-6 交差部の伸び計を基準とした各ひずみゲージの増分傾向

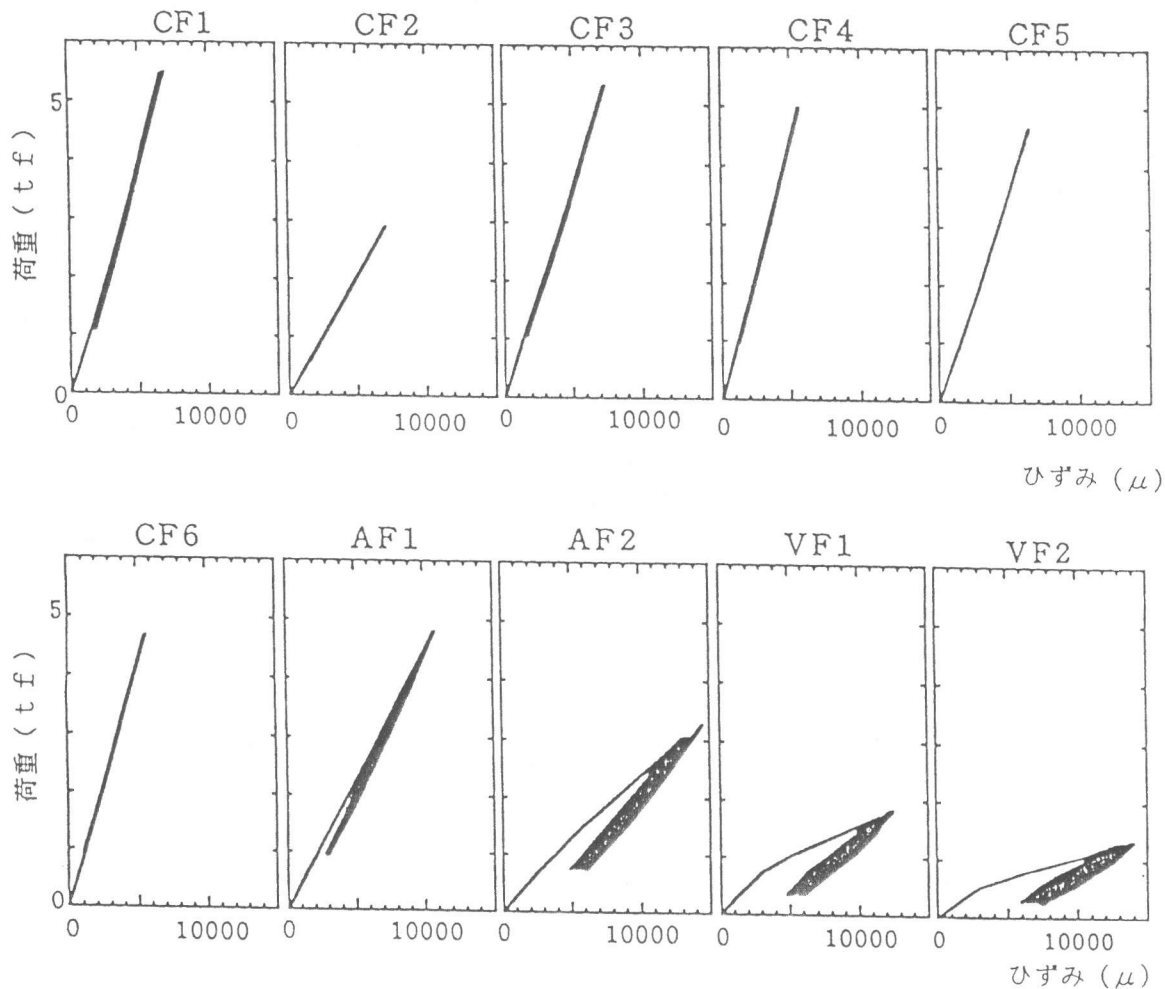


図-7 荷重繰り返しによる荷重-ひずみ関係の変化

3.2 荷重履歴の影響

FRPロッドにおいては、その加工成形方法や樹脂含浸の影響により荷重履歴により引張剛性が変化する場合があります [2]。図-7に各試験片における繰り返し荷重による荷重-ひずみの変化を示す。図に見られるように、繊維の種類よりも補強材の加工方法により異なる傾向が認められ、組紐状の場合がもっとも大きく

変化している。これは、荷重履歴により成形時に生じたひずみが除去されたためと考えられ、したがって設計に用いる引張剛性測定には、処女試験片ではなく荷重履歴を受けた試験片を用いる必要があるといえる。

また、繰り返し荷重後のひずみゲージBF-5によるひずみと伸び計ひずみの関係を図-8に示すが、処女荷重時と同様ほぼ一致した関係が認められた。

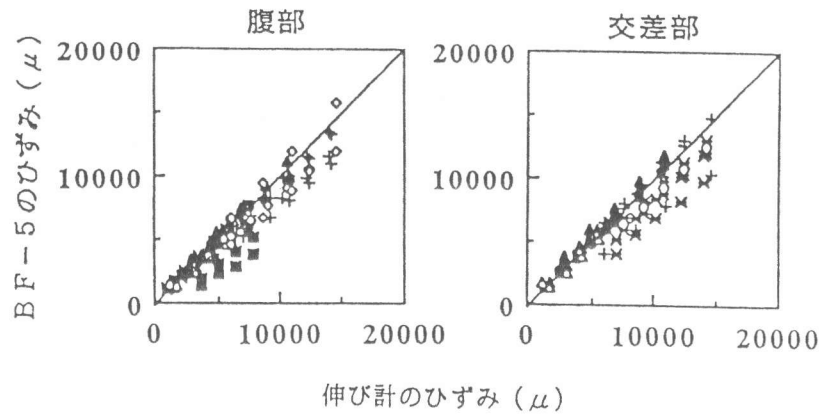


図-8 荷重繰り返しによる荷重-ひずみ関係の変化

4. 結論

(1) FRPロッドのひずみ測定には、ゲージ長が短いひずみゲージではひずみのばらつきが大きくなるため、ゲージ長が10mm以上の一般用ひずみゲージもしくは5mm以上の複合材料用ひずみゲージを用いるのが適切である。

(2) FRPロッドの成形加工によるひずみの影響を考慮すれば、保証荷重の10%程度の荷重以降の荷重-ひずみ関係を測定するのが妥当である。

(3) 数回の荷重繰り返しにより、荷重-ひずみ関係が変化する場合があるため、荷重履歴を受けた後の試験片でひずみ測定を行うことが必要である。

最後に本研究は科学研究費補助金総合研究(A)(研究代表者:角田與史雄、課程番号04302040)の分担研究として行ったものである。

謝辞:本実験に供した材料は、三菱化成(株)、ファイベックス(株)、東京製綱(株)、帝人(株)、住友化学(株)、ユニチカ(株)から提供いただいた。また、実験に際しては研究室の学生諸君に手伝っていただいた。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 土木学会:連続繊維補強材のコンクリート構造物への適用,コンクリートライブラリー72,1992
- 2) 魚本ほか:F R Pロッドの静的強度と弾性係数,土木学会論文集、V-20、No.472、pp.77-86、1993
- 3) 出光ほか:定着用膨張材を用いた連続繊維緊張材の引張試験に関する研究、連続繊維補強材のコンクリート構造物への適用に関するシンポジウム講演論文集、pp.59~64、1992