

V-25

連続繊維補強材の曲げ成形部における引張耐力に関する研究

北海道大学大学院 学生員 兼 松 秀 行
 北海道大学工学部 正 員 上 田 多 門
 北海道大学大学院 学生員 佐 藤 靖 彦
 北海道大学工学部 正 員 角 田 與史雄
 ドービー建設工業 正 員 今 村 晃 久

1. はじめに

耐腐食性に優れ、軽量、高強度である連続繊維補強材（FRP ロッド）は、コンクリート補強材としての利用が期待されている。しかしながら、FRP ロッドは一方性強化材、かつ異方性材料であるため、その材料性質は、鉄筋とは大きく異なる。それゆえ、コンクリート構造物のせん断補強筋として用いた場合に、曲げ成形部における強度低下が問題となっている。コンクリート構造物におけるFRP ロッドの実用化を考える上で、この問題を正確に捉えることは非常に重要である。一般に既往の研究^{1,2,3)}では、FRP ロッドの曲げ成形部における強度低下は、曲げ成形にともなう繊維配列の乱れ、偏平などの曲げ成形部特有の形状、FRP ロッドに作用するせん断応力による影響であると考えられている。しかしながら、いまだ正確に把握されていないようである。本研究では、FRP ロッドとコンクリートの間における付着長さ、FRP ロッドのひずみ分布に着目し、実験を行い、その結果について検討を行った。

2. 実験概要

2. 1. 使用材料

使用したFRP ロッドは、アラミド繊維を組紐状に編み、樹脂を含浸させたものである。その公称直径は6mmであり、破断強度および弾性係数は、それぞれ1280MPa、66GPaである。コンクリートは早強ポルトランドセメントを用いて、単位水量を179kg/cm³、細骨材比を45%とした。また、各供試体のコンクリート強度は、表1に示す。

2. 2. 実験供試体

実験供試体は、図1に示されるように、FRP ロッドのせん断補強筋がはりに用いられた場合をモデル化したものである。鋼板、鋼棒を経た引張荷重が、支圧板に伝わることによって、人工ひび割れが拡がり、引張荷重がFRP ロッドの曲げ成形部に伝達するようになっている。供試体の両端には、偏心を防ぐ

表1. 供試体諸元

	f_c' (MPa)	L (cm)	Q (kN)	λ (%)
実験1	36.0	11.0	71.4	111
実験2	32.2	1.0	26.0	41

f_c' : コンクリート圧縮強度
 L : 直線部付着長さ
 Q : 耐力 λ : 強度保持率

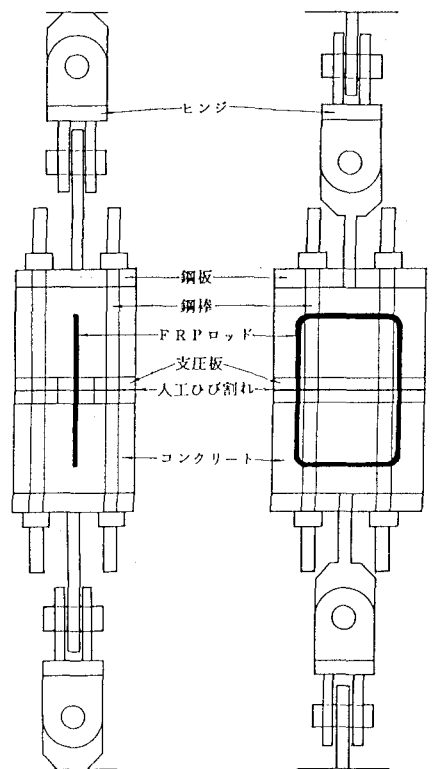


図1. 供試体図

ためにヒンジを用い、また人工ひび割れ部は、0.5mmのプラスチック板によって、完全に仕切っている。本実験では、100ton万能試験機を用いて、200kgfづつ引張荷重を加えた。供試体は、付着長さの異なるものを2体作製した。供試体寸法、人工ひび割れの位置、ひずみゲージの測定位置を図2に示す。ひずみゲージは、1つの測定点においてFRPロッドの内側、外側の2箇所に貼っている。また、すべり変位測定方法は、島ら⁴⁾によって行われたものを参考に図3のように行った。

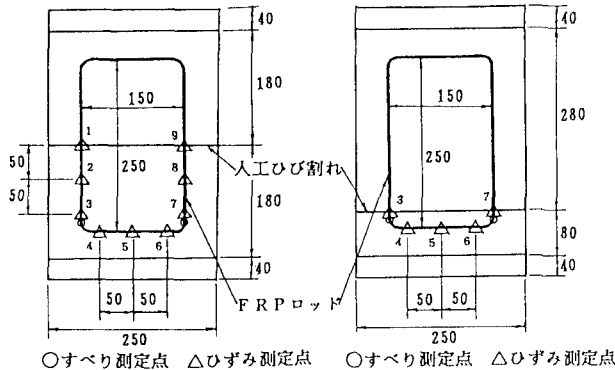


図2. 供試体図

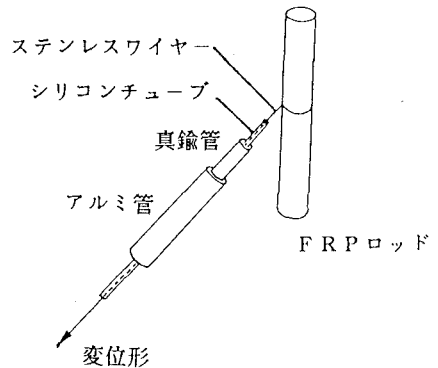


図3. すべり測定方法

3. 実験結果および考察

実験によって得られたFRPロッドの曲げ成形部の耐力および強度保持率(耐力／一軸引張強度)を表1に示す。また、実験におけるFRPロッドの破断箇所を図4に、その破断形状を図5に示す。付着長さの充分である実験1においては、人工ひび割れと交差する部分で一軸引張強度で破断したのに対して、実験2においては、曲げ成形部直後の直線部分で破断し、強度低下も観察された。実験1においては、繊維方向にに対して垂直方向の破断面であったのに対し、実験2では斜め方向の破断面が観察された。以後、FRPロッドの破断側に着目し、その結果を示すものとする。

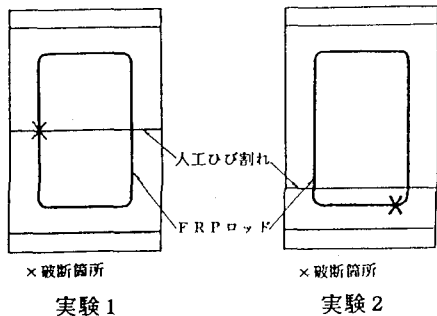


図4. 破断箇所

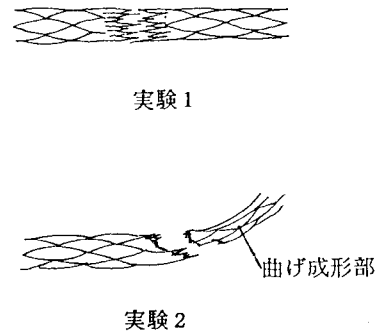


図5. 破断形状

3. 1. FRPロッドのひずみ分布

FRPロッドのひずみ測定点における引張荷重とひずみ(内側測定値と外側測定値の平均値)の関係を図6に示す。人工ひび割れ部分から曲げ成形部を経てFRPロッドにひずみが伝達している様子が観察された。つぎにひずみの伝達ひずみの内側測定値と外側測定値の差は、曲げ成形部直前のひずみ測定点(点3,7)において顕著に観察された。その引張力とひずみの関係を、図7に示す。両実験ともに、FRPロッドの内側ひずみ測定値は、外側ひずみ測定値と比較しておおむね2.5倍～3倍である。その原因は、曲げ成形部の内

側と外側で異なる付着性状を有しているか、もしくは曲げ成形部に作用している支圧応力による影響が考えられる。また他のひずみ測定点では、FRPロッドの内側と外側におけるひずみの顕著な差は観察されなかった。

3. 2. FRPロッドに作用する引張力、付着応力

FRPロッドのひずみ測定値から各測定点における繊維方向引張力および区間平均付着応力の計算結果を、それぞれ、図8および図9に示す。実験2においては、実験結果による耐力（すなわち、点7における繊維方向引張力）よりも、破断位置（点6）における繊維方向引張力で耐力を判断する方がより正しい状況における耐力を評価出来る。この場合であれば、強度保持率はおよそ38%となる。また、付着応力から推測すると曲げ成形部とび割れとの距離を有していても強度低下の可能性がかなりある。実験2の結果から、仮に実験1の点1、2区間の最大付着応力で算出すると曲げ成形部からおおむね8cm以内の区間で一軸引張強度が作用すると曲げ成形部で破断がみられる計算となる。破断の原因であるが、仮に曲げ成形による繊維の乱れが原因であると考えるならば、繊維方向引張力が大きく、

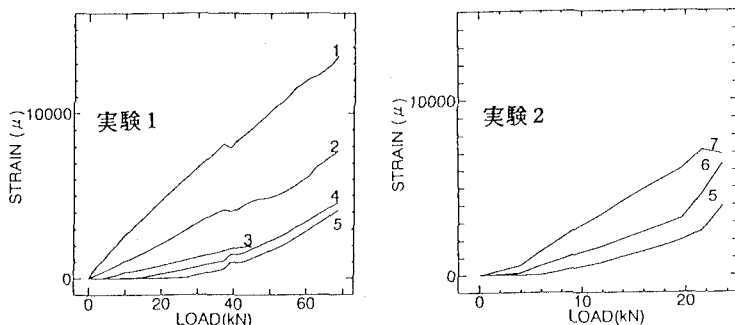


図6. 引張荷重-ひずみ関係

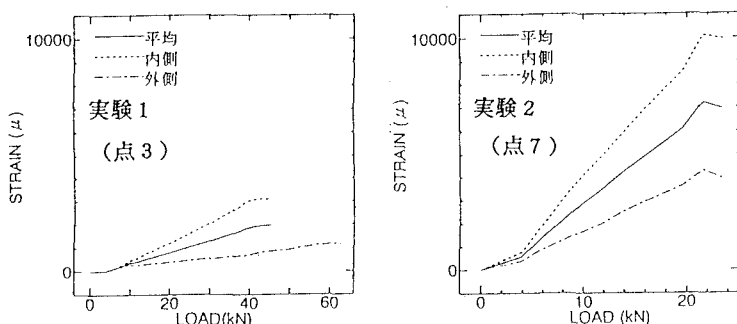


図7. 引張荷重-ひずみ関係

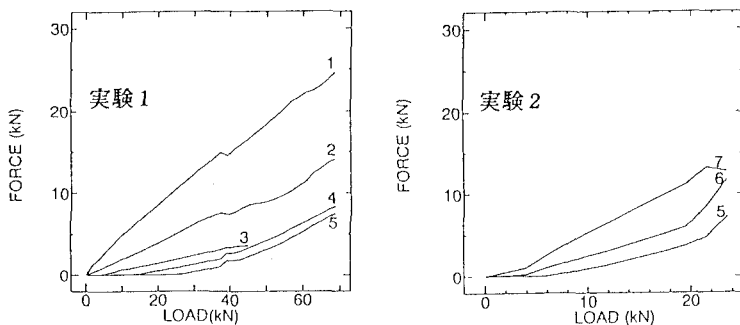


図8. 引張荷重-引張力関係

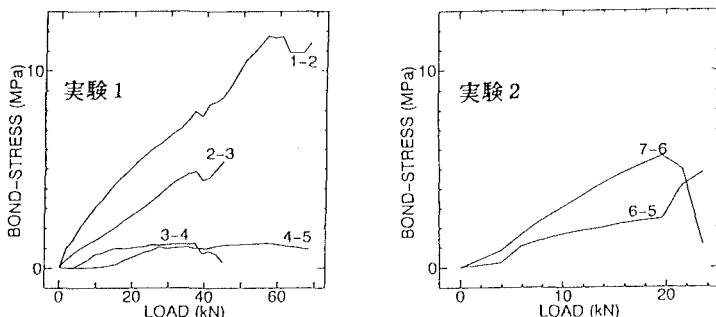


図9. 引張荷重-付着応力関係

内側と外側のひずみの差の大きい曲げ成形部直前で破断が生じるはずである。本実験からは判断できないが、曲げ成形部直後のFRPロッドにせん断応力が作用し、破壊している可能性は考えられる。

3. 3. FRPロッドの曲げ成形部におけるすべり量

FRPロッドの曲げ成形部においてすべり量が観察された。曲げ成形部にひずみの伝達が起こると共にすべりが現れはじめ、破断直前にはその値が急激に増加することが観察された。これは、曲げ成形部の一部が直線部にすべり出し、さらに曲げ成形部直後の直線部が曲げ部にすべり出していることが考えられる。

FRPロッドの付着長さ、すべり量、内側および外側のひずみ量等、既往の研究にはない新しいパラメータを用いて実験を行ったが、FRPロッドの曲げ成形部の引張耐力機構の部分的なものは、得ることができたとと思われる。しかしながら、本質的にこの問題を捉える場合、実験によって現象を詳細に把握するだけでなく、FRPロッドとコンクリート間の付着すべり関係、FRPロッドの異方性材料特性を考慮し、有限要素解析等による解析的アプローチを行い、FRPロッドの曲げ成形部における内部応力、すべり変位等、機構を正確に把握する必要がある。

4. まとめ

本実験によって得られた結果を整理すると以下ようになる。

- 1) FRPロッドの曲げ成形部において、強度低下が明らかに観察され、その破断箇所は曲げ成形部直後であり、その破壊形状は直線部のものとは異なっていた。
- 2) FRPロッドの曲げ成形部直前の内側のひずみの値と外側のひずみの値の差は大きいことが観察された。その比はおよそ2.5倍～3倍であった。しかしながら、他の測定点ではその差は観察されなかった。
- 3) FRPロッドの曲げ成形部においてすべりが生じていることが確認できた。そのすべりはひずみの伝達と共に現れ、破断直前には急激に大きくなる。

謝辞

本実験を行うにあたり、徳島大学島弘助教授、北海道大学木村勉技官には多大な助言、助力を得た。ここに深く謝意を表す。

参考文献

- 1) 大原英史・本田勉：FRPスターラップの曲げ加工部の引張強度に関する研究、土木学会第45回年次学術講演会、pp. 320-321、平成2年9月
- 2) 村山八州雄・天野玲子・奥村一正・ブシャムブシャ：新素材によるせん断補強効果について、第14回コンクリート工学年次論文報告集、pp. 209-214、1992
- 3) 丸山武彦・本間雅人・岡村甫：FRPロッドの曲げ加工部の引張耐力に関する実験的研究、第12回コンクリート工学年次論文報告集、pp. 771-776、1990
- 4) H. Shima, L.L. Chou, and H. Okamura : Micro and Macro Models for Bond in Reinforced Concrete, Journal of the Faculty of Engineering, the University of the Tokyo(B) Vol. XXXIX. No. 2, 1987, pp. 133-194.