

V-13

AFRP ロッド製スターラップの二次応力問題に関する研究

北海道大学工学部

平 賀 則 勇

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

上 田 多 門

北海道大学工学部

正 員

角 田 與史雄

1. はじめに

FRP ロッドは、鉄筋と異なり塑性域を持たない一方向材であるため、その破壊は非常にぜい性的である。従って、コンクリート構造物の補強材として用いる場合、その限界状態をどのように設定するかが非常に重要な検討課題となっている。

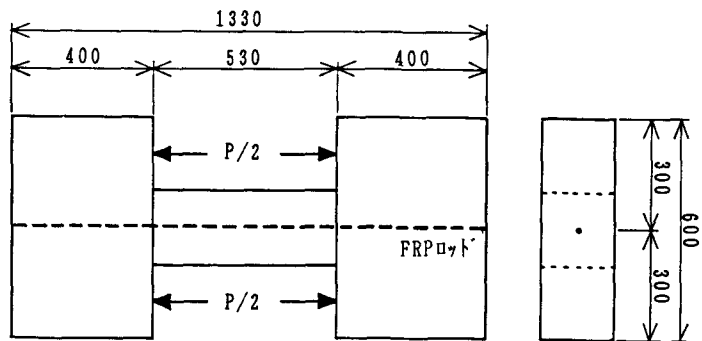
FRP ロッドを、はり部材のせん断補強材として用いた場合、その補強効果は、トラス理論値をかなり下回り、ばらつきが大きい事が報告されている。この原因として、曲げ成形部の強度低下、および、ひびわれとの交差部において、FRP ロッドに引張力とせん断力が作用するために、一軸引張試験から求められる破断強度よりも小さくなることが考えられている¹⁾。

これらが原因となるスターラップの強度低下による破断は、はり部材に存在するひびわれが、どの位置でスターラップと交差しているかに支配されている。このひびわれ位置と破断箇所との相関関係は、補強材の付着性状およびひび割れ位置と曲げ成形部との距離と密接に関係していると考えられるが、実際には、ひびわれ位置を正確に予測することは不可能であり、設計時にこの問題を考慮するためには、今後、詳細な検討が必要である。

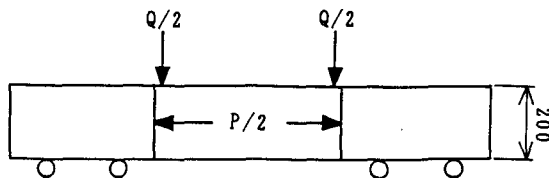
そこで我々は、スターラップにおける破断を、曲げ成形部の強度低下問題と、2 次応力作用による強度低下問題として別個にとらえ、それぞれの破壊基準を見だし、付着特性を考慮することによりそれらを総合的に評価することを考えている。本論文は、引張力とせん断力を同時にうける FRP ロッド 2 次応力作用下の破壊基準を実験的に検討した結果について報告するものである。

2. 実験概要

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、ロッドの表面に



< 上面図 >



< 側面図 >

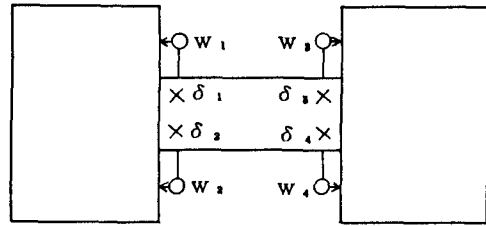
図 1 供試体図

A Study on Secondary Stress of AFRP Stirrup

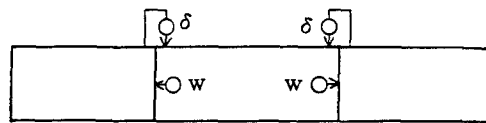
by Noriyu Hiraga, Yasuhiko Sato, Tamon Ueda and Yoshio kakuta

珪砂が接着されたものである。

実験供試体は、FRP ロッドを3つに分けたコンクリートブロックに埋め(図1)、両端のコンクリートブロックを油圧式シリンダーにより押し出すことでロッドに引張力(P)を加える。その引張力作用下で、中央のコンクリートブロックにアムスラー試験機を用い垂直方向力(Q)を加えることにより、FRP ロッドにせん断力を作用させる²⁾。両端のブロックの下には、摩擦を無くしスムーズにひびわれ変位が与えられるようにローラーを二本ずつ置くこととした。また、 Q を加えた時に両端のブロックの浮き上がりを防ぐために、任意のひびわれ幅を与えた後、ブロックの支持台として用いたH鋼とを固定した。その上で両端のブロックの浮き上がり変位を測定した結果、その値は無視できるものであった。また、ブロック間の滑り面は0.3mmのステンレス板により仕切り、骨材の噛み合わせの影響を無くしている。



< 上面図 >



< 側面図 >

図2 変位測定箇所

実験は、供試体を3体構成し、ブロック間の引張方向のひびわれ幅(w)、せん断方向のずれの変位(δ)をパラメーターとし、1/1000の精度の変位計を用いて行った。載荷方法は、まず引張力(P)を単調に加えて w を増加させ所定の w を与えた後、そのひびわれ幅を一定に保ちながら垂直力(Q)を、100kgfごとに加えて δ を増加させてFRP ロッドを破断に至らしめた。

3体の供試体は、NO.1, NO.2, NO.3, とし、NO.1は $\delta=0$ ($Q=0$)とした時の w を測定し、NO.2, NO.3, は、順に $w=3\text{mm}$, $w=4\text{mm}$ の時の δ を得た。この時、ひびわれ幅 w の測定値には図2の w_1 と w_2 , w_3 と w_4 のそれぞれの平均値を用いた。 δ においても同様に、 δ_1 と δ_2 , δ_3 と δ_4 の平均値を用いている。

3. 実験結果と考察

3-1 破断性状

3体すべての供試体において、片側の滑り面において破断した。引張力 P のみにより破断に至らしめたNO.1において、その破断性状は、一軸引張試験における破断性状と同様のものではあった。しかし、せん断力 Q を作用させたNO.2およびNO.3においては、その破断性状は異なっていた。

ロッドの破断性状は、図3に示すように、せん断力により与えられた δ の影響が観察された。また、ひび割れ面におけるロッド周辺のコンクリートの破壊がみられた。これは、ロッド周辺のコンクリートが、ロッドの伸びに対応して、円錐状に剥離したためと思われる。その剥離深さ($\Delta 1$)を測定したところ、両ブロックにおいて、約1cmであった。この部分の破壊によりひび割れ近傍でFRP ロッドが自由に変形できる領域の長さは、与えられたひび割れ幅 w の値

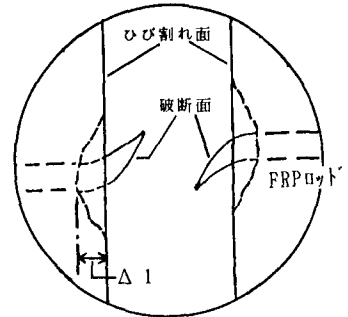


図3 FRP ロッドの破断性状

より図3に示す $\Delta 1$ だけ大きくなっている。

本実験方法のように、ロッドにせん断力を加えたとき、ひびわれ間でFRPロッドは図4に示すごとく変形する。このとき、外側のB点およびC点の繊維は最も大きなひずみを生ずるものと考えられる。よって破断時には、まずB点およびC点の繊維が限界ひずみに達し、ロッドの中心方向に破断が進行していくと考えられる。ただし、このときの限界ひずみが、一軸引張試験時の破断ひずみに達しているかどうかは確認できなかった。

3-2 ひびわれ幅とせん断変位関係

図5は w を与えた後、 Q を加えたときの δ の増加を示している。NO.2およびNO.3の引張力 P はそれぞれ3.1t, 5.2tであった。この図においてNO.2に対し大きな引張力を与えているNO.3の方が、同じ Q に対してNO.2より大きな δ が生じていることを示している。

先に、破断性状について説明した通り、FRPロッドは剥離部分と、ひび割れ幅内で曲げ変形しているものと予想される。そこで、ここでは単純な比較を行うため、ひび割れ内のロッドを片持ちばりと仮定し、式(1)により $Q-\delta$ を求めてみる。このとき、剛性 $E I$ にはFRPロッドの曲げ試験により計算で得られたものを用いている³⁾。

$$\delta = \frac{2 Q (w / 2 + \Delta 1)^3}{3 E I} \quad \text{式(1)}$$

$$E I = 457908 \text{ (kgcm}^2\text{)}$$

図4の実線は、 $\Delta 1=2\text{cm}$ としたものであるが、実験値と概ね一致する傾向がみられる。しかし、実際に観測された $\Delta 1$ は1cm程度であり、この結果からはひび割れ内のFRPロッドを片持ちばりとモデル化し、剥離深さとひび割れ幅を用いてその変形量を評価することはできないようである。

また、この図から破断時の δ は、NO.3の方がNO.2よりも小さな値を示しているが、これについては、NO.3の方が大きな引張力が作用しているため、NO.2よりも早期に限界ひずみに達しているものと考えられる。しかし、ひびわれ幅 w が破断時の δ 変位にどの様に支配的であるかは、本実験の設定条件では明らかにすることは難しいと思われ、更なる検討が必要である。

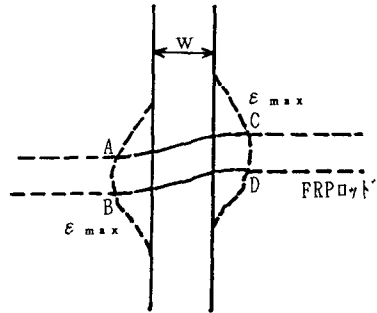


図4 ひび割れ間におけるFRPロッドの変形

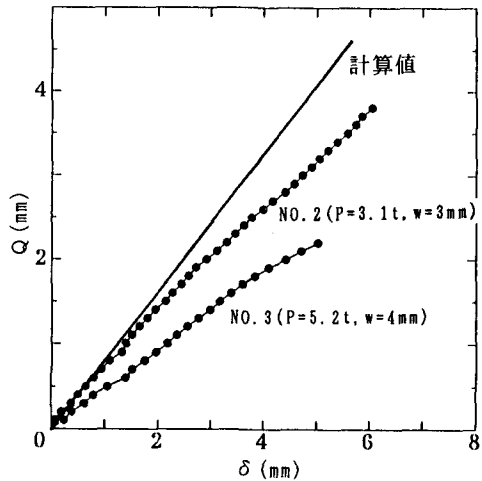


図5 垂直方向力(Q) - せん断変位(δ)関係

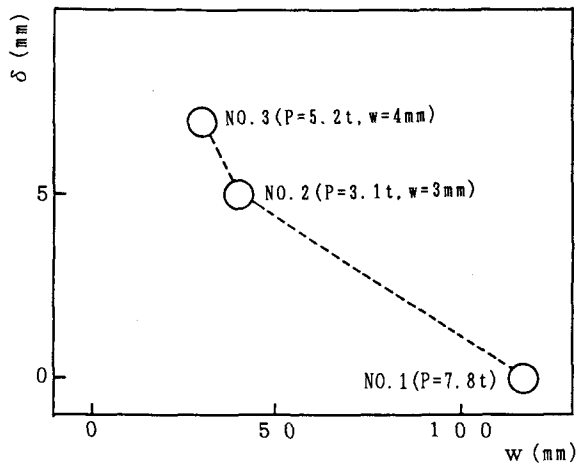


図6 破断時のひび割れ幅(w) - せん断変位(δ)関係

図6は、3体の供試体の実験結果から、破断時の $w-\delta$ の関係を示したものである。この図からもわかるように、ひびわれ幅 w が大きく与えられる程、 δ に対する耐力が減少するという結果が得られている。このことから逆に、ひびわれ幅を抑えることが、FRPにかかる2次応力に対する一つの対策であるということができよう。

4. まとめ

本実験は、FRPロッド破断時の $w-\delta$ の関係のグラフ化を1つの目的としたものであり、その結果である図6は、われわれの予想したものと一致する事がわかった。つまり与えられた w が大きければせん断耐力は低下するというものである。しかし、本実験の設定条件では破断時の δ が引張力 P と、ひび割れ幅 w のどちらに主な支配を受けるのかを明らかにする事ができない。これは、ひび割れ幅 w とともに引張力 P も増加させているためである。

丸山の実験⁴⁾では、FRPロッドに、軸方向の力(P)と垂直方向の力(Q)をかけ、せん断耐力の低下を評価している。これにより、破断時の P と Q の関係を図にすると、 P の増加とともに Q の減少がみられ、本実験と一致している。本論文は、 $w-\delta$ の関係から、せん断耐力の低下を求めようとしているものであるが、 $Q-\delta$ 関係においては、剥離が生じない状況下で図4の様な変形をするならば、 w の値がFRPロッドの局部的変形に与える影響がより重要となってくることが予想される。今後この点についての研究が、更に必要であろう。

謝辞

三井建設(株)から、FRPロッドを御提供頂きましたことをここに厚くお礼申し上げます。また、実験を行うにあたり、北海道大学の木村 勉技官には多大な助力を得た。ここに深く謝意を表します。

参考文献

- 1) 土木学会コンクリート委員会・連続繊維研究小委員会：連続繊維を利用したコンクリート系複合材料の土木構造分野への適用に関する技術の現状(中間報告)、1990.6
- 2) 鈴木 基行・中村 泰介・堀内 信・尾坂 芳夫：軸方向鉄筋のダウエル作用に及ぼす引張力の影響に関する実験的研究、土木学会論文集、第426号、pp.159-166、1991.2
- 3) 今野克幸：コンクリート補強FRPロッドのダウエル作用による変形状、北海道大学工学部卒業論文、1990.3
- 4) 丸山 武彦：炭素繊維を中心とする繊維強化プラスチック(FRP)ロッドのコンクリート補強材としての利用に関する実験的研究、1991.3