

FRP ロッドの破壊シミュレーションモデルにおける破壊判定に関する考察

鹿児島大学大学院 学生会員 ○末満 直幸
 鹿児島大学工学部 正会員 山口 明伸

鹿児島大学大学院 学生会員 用皆 大輔
 鹿児島大学工学部 正会員 松本 進

1. はじめに

これまでに著者らは、構成材料の特性及びロッド内部の応力状態を考慮したシミュレーションモデルを提案し、その妥当性について検討を行った。¹⁾ このモデルではロッドの破壊形態の相違を詳細に分けて解析が出来ていなかった。この破壊形態については、既往の研究から縦割れ破壊、剥離破壊、抜け落ち破壊、定着破壊および引張破壊の 5 種類ほどの破壊形態が確認されている。そこで本研究では、これらの破壊形態を考慮できる FRP ロッドの破壊シミュレーションモデルの構築を試み、破壊判定に関する考察を行った。

2. 破壊シミュレーションモデルにおける仮定

前述のシミュレーションモデルは、数十万本程度の個々の繊維の破壊状況を判定し、その破壊割合でロッド全体の破壊判定を行っているため、ロッドの破壊形態の判定を行うには適してはいない。¹⁾ そこで、破壊形態を簡易的に判定するために、ロッド断面を分割して、以下のような仮定を行った。

- ① ロッド断面を分割し、各領域の面積は全て等しくした (図-1)。
- ② 各領域が受け持つ引張耐力は、ロッドに含まれる繊維単体の引張耐力を代表値として用いた。また、各領域への引張耐力は乱数を用いてランダムに割振った。なお、各領域間はマトリックス樹脂でつながっているとした。
- ③ ある領域が破壊した場合、破壊した領域が受け持っていた力は、隣接する領域へと分配され、その伝達範囲は一層のみとした (図-2)。
- ④ 縦割れ破壊の判定は、破壊した領域の連なりがロッド外周部からロッド中心部を通して、再び外周部に到達した場合とした (図-3)。
- ⑤ 本解析においては、繊維混入率 55% の AFRP ロッドを対象とした。

3. 破壊判定における考察

3.1. FRP ロッドの応力 - 歪み解析結果

FRP ロッドの応力 - 歪みの解析結果の一例を、繊維単体の試験結果と併せて図-4 に示す。繊維単体の試験結果では、直線的に応力が増加し、最大応力時に破壊するのに対して、ロッドの解析結果では、最大応力に到達するまでは繊維単体の場合と同様であるが、最大応力に到達後は、歪みを増加させながら応力を低下させ破壊に至る。この非線形の応力 - 歪み関係は、各領域が樹脂によって拘束されているため、1 つの領域が破壊したとしてもロッド全体としての破壊には至らないことによると考えられる。また、破壊した領域の受け持っていた応力は、繊維とマトリックス樹脂の界面におけるせん断力を介して、

表-1 ロッドの最大応力及び破壊時の歪み

No.	最大応力(MPa)	破壊時の歪み
1	2088	0.0565
2	2110	0.0548
3	2054	0.0550
4	2052	0.0552
5	2073	0.0547
6	2067	0.0541

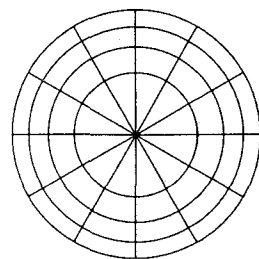


図-1 領域分け概要図

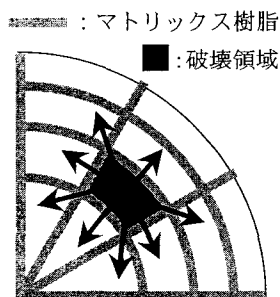


図-2 応力の分配方向

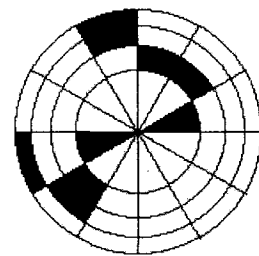


図-3 縦割れ破壊概要図

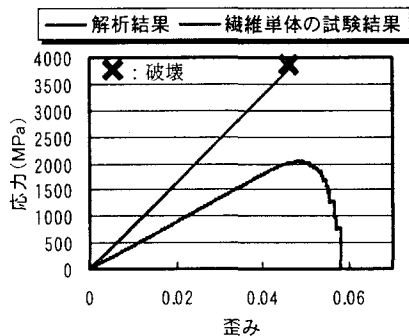


図-4 FRP ロッドの解析結果一例

周囲の領域にその応力が伝達されるため、最大応力に到達後も応力は減少するが、結果として歪みは増加することになる。

また、解析結果の最大応力が繊維単体におけるその約 1/2 となっている原因としては、マトリックス樹脂の引張強度は、繊維のそれに比べ極めて小さく、また繊維混入率 55%のため、ロッド全体の強度が約 1/2 程度に低下したことによると考えられる。なお、表-1 に解析結果 6 パターンの最大応力及び破壊時の歪みを示す。

3.2. 最大応力時の破壊領域の割合とそのパターン

最大応力時の領域破壊状況の一例を図-5 に示す。全ての解析結果において、破壊した領域の分布はロッド断面にほぼ均等に分布しており、最大応力に到達するまでで、縦割れ破壊に該当する破壊領域の分布は認められなかった。次に、最大応力時の破壊領域の割合及び破壊した領域同士が互いに隣接する割合を表-2、表-3 に示す。最大応力に到達する時の破壊領域の割合は、全領域数のおよそ 1/10～1/20 程度となっている。また、破壊した領域同士が互いに隣接する割合は、若干のばらつきは見られるが平均で 0.50 となっており、1 つの領域が破壊したことにより、周囲の領域がより破壊しやすくなるとは言いがたい結果となった。

3.3. 縦割れ発生時の領域破壊割合について

縦割れ破壊発生時の破壊領域の割合及び応力 - 歪みの解析結果の一例を表-4、図-7 に示す。縦割れ破壊を生じる時の破壊領域の割合は、全ての解析結果において、全領域数のおよそ 1/2～1/3 程度となっており、図-7 中の×印の時点で縦割れ破壊を生じている。つまり、縦割れ破壊を生じるのは、応力がピークを過ぎてから縦割れ破壊を生じていて、この時点でもロッド全体の破壊には至っていない。なお、解析結果からでは、縦割れ破壊によって最大耐力が低下することが無いことが判明した。

4. おわりに

今回行った解析結果から、FRP ロッドの破壊形態は、引張破壊及び縦割れ破壊を除いた他の破壊形態は殆ど認められなかった。結論的には、FRP ロッドの破壊形式は単純引張破壊が殆どであるといえる。なお、今回の解析では解析値と実験値を比較すると、実験値のほうが小さく、このことはある領域の破壊が起こった場合に応力の分配方法に問題を残していることが判明した。今後、この問題を解決して、更に精度の良い破壊シミュレーションモデルを構築する予定である。

(参考文献)
1) 山口明伸,西村次男,魚本健人:
繊維の破壊確率理論に基づく FRP
ロッドのクリープ破壊モデル,土木
学会 論 文 集 ,No.669 /
V- 50,pp.39- 49, 2001.2

No.	破壊要素数	全要素数	要素破壊率
1	231	432	0.53
2	186		0.43
3	159		0.37
4	182		0.42
5	154		0.36
6	150		0.35

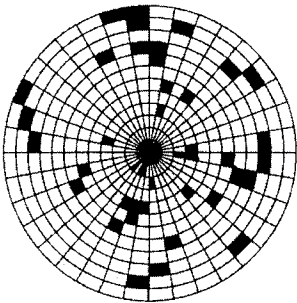


図-5 最大応力時の断面破壊状況

No.	破壊要素数	全要素数	要素破壊率
1	34	432	0.08
2	19		0.04
3	48		0.11
4	28		0.06
5	24		0.06
6	42		0.10

No.	隣接した要素数	破壊した要素数	要素が隣接して破壊する割合
1	17	34	0.50
2	8	19	0.42
3	35	48	0.73
4	9	28	0.32
5	7	24	0.29
6	30	42	0.71
平均			0.50

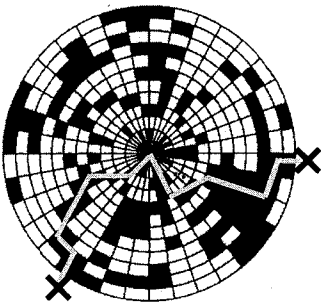


図-6 縦割れ発生時の断面破壊状況

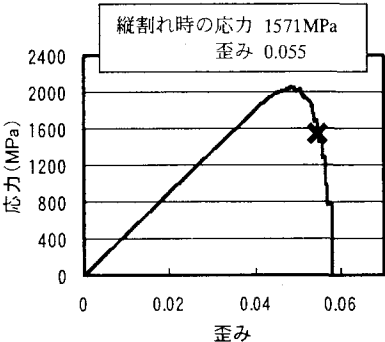


図-7 縦割れ発生時の応力及び歪み