# GFRP 積層板を用いた切削可能壁体の開発

鹿島建設(株) 正会員○吉田健太郎,正会員 鶴田 浩一,正会員 吉川 正芦森工業(株) 正会員 柴田 健一,正会員 糸久 智, 八木伊三郎

# 1. はじめに

近年、シールド掘削機が通過する立坑の壁体部に切削可能な新 素材を設置して直接発進・到達する工法を採用する例が増えてい る.新素材としては、炭素繊維に樹脂含浸させた CFRP(炭素繊 維強化プラスチック)補強材や硬質ウレタン樹脂を長繊維で強化 した部材等が多く用いられているが、コスト高や切削時の大割れ による配管等の閉塞等が課題となっていた.筆者らはこれらの課 題を解決するために、切削性が良好であり、コスト面でもメリッ トのある GFRP(ガラス繊維強化プラスチック)積層板を新たに 用いることを考案した.GFRP積層板は簡易に任意の形状に成形 可能であり、立坑の壁体ばかりでなく、シールドセグメントのよ うな曲率を持った部材への適用も可能である.本報告では、新し い切削可能壁体の適用性を確認するために実施した、部材性能試 験と切削実験結果について報告する.

# 2. 切削可能壁体の概要

新しい切削可能壁体は、ガラス短繊維含有の熱硬化樹脂シート とガラス長繊維の一方向ロービング材を図-1のように、交互に 積層して強度を高めた GFRP 積層板を中温・低圧で金型成形する ことにより中空矩形形状の部材としたものである.熱硬化樹脂シ ートにより、任意方向の基本強度を確保し、設計支間方向を長繊 維の一方向ロービング材で補強することで、経済的に部材の構造 性能を確保することができる.また、熱硬化樹脂シートはガラス 短繊維に不飽和ポリエステル樹脂を含浸させたもので切削性に優 れている.成形した部材の中空部には、モルタルやコンクリート 等を充填することで、形状保持効果を期待することも可能である. **表-1**に熱硬化樹脂シートの原料の基本物性を示す.

### 3. 性能確認試験

**表-2**に GFRP 積層版の圧縮試験の結果を示す. 試験体は, 厚さ 3.0mm の熱硬化樹脂シート 3 層と厚さ 0.75mm の一方向ロ ービング層 2 層を積層して成形した厚さ約 9mm (熱硬化成形後) の GFRP 積層板である. 実験から得られた圧縮 強さは,熱硬化樹脂シートと一方向ロービング 材といった異種材料を積層した FRP の理論上の 強度算定値とほぼ同等であることが確認できた.

次に中空矩形形状(360×360×3,800)に成 形した部材の曲げ試験の結果を示す. 熱硬化樹脂シート (ガラス短繊維含有)ー方向ロービング材 (ガラス長繊維)

#### 図ー1 GFRP 板の積層構成図

表一1 材料物性

不飽和ポリエステル樹脂			
比重		$1.19 \sim 1.23$	
曲げ強さ	(N/mm <sup>2</sup> )	$100 \sim 150$	
曲げ弾性率	(N/mm <sup>2</sup> )	$3500 \sim 4900$	
引張強さ	(N/mm <sup>2</sup> )	$65 \sim 75$	
圧縮強さ	(N/mm <sup>2</sup> )	$1450 \sim 150$	
熱膨張率	(/°C)	$5.5 \sim 10 \times 10^{-6}$	
ガラス短繊維			
比重		2.54	
硬度	(Mohs)	6.5	
引張強さ	(N/mm <sup>2</sup> )	$1000 \sim 2000$	
ヤング率	(N/mm <sup>2</sup> )	73000	
最大伸度	(%)	$3\sim 4$	
熱膨張率	(/°C)	$5.0  imes 10^{-6}$	

#### 表-2 GFRP 積層板の圧縮試験結果

試験体名	圧縮強さ (N/mm²)	压縮弹性率 (N/mm <sup>2</sup> )
A1	197	16,635
A2	193	10,884
A3	179	12,405
平均值	190	13,308
理論値(計算値)	193	11,123
規格値	160	10,000



キーワード:シールド,発進到達,GFRP,熱硬化樹脂,静的載荷実験 連絡先 〒107-8502 東京都港区赤坂 6-5-30 鹿島建設㈱土木設計本部 TEL03-6229-6752 載荷は図-2に示す装置で行い,一度計算上の許容耐力ま で載荷後除荷し,その後破壊まで静的漸増載荷を実施した.

図-3に荷重と中央鉛直変位の関係を,図-4に荷重と圧縮ひずみの関係を示す.部材は,最大荷重775kNm(曲げモーメント484kNm)で支間中央鉛直変位70.2mmの時に,上側フランジの圧縮破壊により終局状態となった.

この時の部材の曲げモーメントから計算すると、上フラン ジの圧縮応力度は 166N/mm<sup>2</sup>、変位量より求まる弾性係数は E=16,000N/mm<sup>2</sup>となる.この値は、表-2に示す材料試験値 よりも若干低いが、これは中空矩形の部材形状による影響等 であると考えられるが、安全率等を考慮した規格値を確保し ていることから、平面保持を仮定して部材設計が可能である ことを確認した.

# 4. 切削実験

前述のように切削性能も非常に重要な要素であるため,実 大規模の部材の切削実験を実施して切削性を確認した.

切削実験は、掘削外径 $\phi$ 845mmの推進工事(泥水)の到 達部で行った.**写真-1**に実験状況を示す.切削試験体は、 載荷実験と同寸法の部材を3列横並びに合わせたものであり、 中空部には $\sigma_{28}$ =18 N/mm<sup>2</sup>相当のモルタルを充填した.

切削時の推進速度は平均 3mm/min で,カッタートルクは 15~20kNm 程度と切削抵抗も上昇することなく切削できた

(写真-2). 切削片は,全断面掘削の先行ビットを配置す ることによって写真-3に示すとおり細かく切断され,掘進 機の面盤や排泥管・排泥ポンプ等を閉塞させるような大きな 切削片は確認されなかった.また,切削時の異常な騒音や振 動も認められなかった.

### 5. まとめ

シールド機の発進・到達部の壁体として、切削性が良好で あり、簡易に任意の形状に成形可能で、かつコスト面でもメ リットのある GFRP 積層板を用いた新たな部材の開発,検討 及びその効果の検証を行い以下のことを確認した.

①平面保持を仮定した部材性能の評価が可能である.②切削性能が良好である.

今後,矩形以外の断面形状や 任意の部材形状に成形できる特 徴を生かし,さらに充填モルタ ルを強度部材として評価できる ような合理的な構造・評価手法 の検討を進めていく予定である.

# 参考文献

1) (社) 強化プラスチック協会: FRP 構造設計便覧, 1994.9

2) (社) 強化プラスチック協会: FRP 構造強度設計の実際, 1984.10





図-4 荷重-圧縮ひずみ(上フランジ)



写真—1 切削実験状況



写真一3 部材切削片

切削完了後の部材

写直-2