

鉄筋と CFRP 矩形ロッド材との重ね継手を有するコンクリートはり部材の曲げ載荷実験

西松建設株式会社技術研究所 正会員 椎名 貴快 西松建設株式会社技術研究所 正会員 伊藤 忠彦
西松建設株式会社技術研究所 正会員 西 保

1. はじめに

シールド発進・到達立坑における土留壁開口部コンクリート補強材として炭素繊維補強材(以下,CFRP)を用いて直接切削する工法に適用可能な CFRP 矩形ロッド材を開発した。本研究では、部材引張側に CFRP と鉄筋との重ね継手を有する CFRP コンクリートはり部材の曲げ載荷実験を実施し、シールド直接発進・到達工法の補強材への適用性について検討した。

2. 実験概要

(1)使用材料

開発した CFRP は、PAN 系炭素繊維を用いて、熱硬化性樹脂をマトリックスとし、表面被覆樹脂層に熱可塑性ポリサルフォン樹脂を用いた引抜成形法によって製造される矩形複合材である(写真-1 参照)。特徴として、表面被覆樹脂のエンボス加工により、コンクリートとの高い付着性能が期待できる。実験で使用した CFRP および鉄筋の諸元を表-1 に、コンクリート(30 - 18 - 20 N)の配合を表-2 に示す。なお FTC30 は FTC15 の 2 倍の引張耐力を有し、その保証値は鉄筋 D32(SD345)の降伏耐力に相当する。

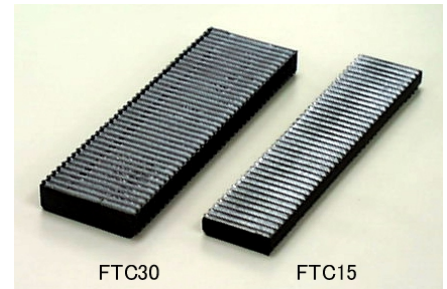


写真-1 CFRP 補強材

(2)供試体諸元

供試体形状は、全長 5.5m、スパン長 4.5m、幅 35cm×高さ 50cm の長方形断面であり、有効高さは全て 43cm とした。作製した供試体は全 3 体であり、配筋図は図-1 に示すとおりである。供試体 NO.1 は、CFRP(FTC30)を部材引張側全長に配置した基準供試体である。供試体 NO.2 は、部材引張側純曲げ区間で CFRP(FTC30)と鉄筋 D32(SD345)とを 1 対 1 で重ね継いだ供試体である。供試体 NO.3 は、供試体 NO.2 の CFRP(FTC30)を同等耐力となる 2 本の CFRP(FTC15)に置き換えて重ね継いだ供試体であり、これは太径鉄筋に対して細径 CFRP を複数本継ぐような場合を想定したものである。なお重ね継手長は、対象が仮設構造物のため、許容応力度設計法の短期割増 1.5 を考慮して算出した。

表-1 補強材の諸元

呼称	断面寸法 (mm)	公称断面積 (mm ²)	引張耐力*1 (kN)	ヤング係数 (kN/mm ²)	伸び率 (%)
FTC15	5.5×20.5	112.8	147	127	1.90
FTC30	7.3×29.3	213.9	294	127	1.90
D13(SD345)	φ12.7	126.7	48.1	186	18.4
D32(SD345)	φ31.8	794.2	291	191	25.6

*1 CFRP：メーカー保証値、鉄筋：降伏耐力(引張試験結果)

表-2 コンクリート配合

スランブ (mm)	空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)				
				W	C	S	G	A*
18±2.5	4.5±1.5	48.0	44.6	184	383	745	972	C×0.25 ⁹⁶

* ポリス No.70

(3)実験方法

実験載荷方法は、一方向繰返し中央 2 点曲げ載荷とし、いずれの供試体も保証曲げ耐力の 50%および 75%の荷重で一旦除荷し繰返し載荷した後、破壊に至るまで静的載荷した。なお保証曲げ耐力とは、供試体 NO.1 の終局曲げ耐力の計算値であり、この時の CFRP 破断荷重はメーカー保証値を用いて算出した。

3. 実験結果

各供試体のひび割れ図を図-2 に、荷重 P と中央変位 δ の関係を図-3 に示す。なお同図中には、保証曲げ耐力(計算値)と設計耐力

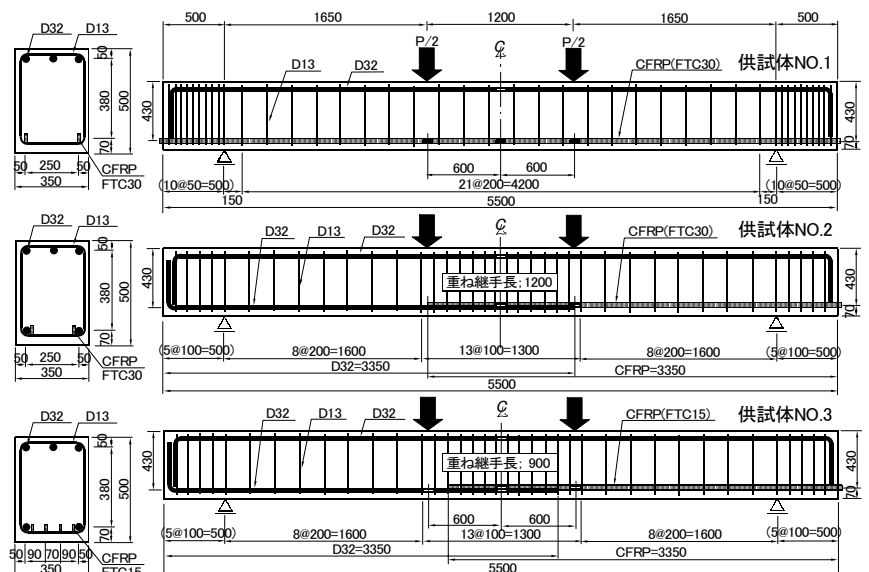


図-1 各供試体の配筋図

Key Words：重ね継手，CFRP，CFRP コンクリートはり，曲げ

連絡先：〒242-8520 神奈川県大和市下鶴間 2570-4 TEL. 046-275-0286，FAX. 046-275-6796

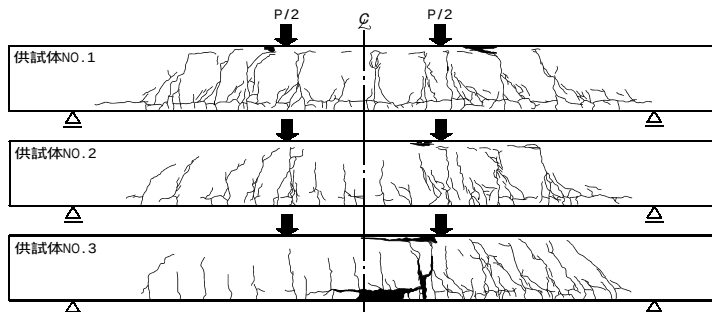


図 - 2 ひび割れ図

が示されているが、設計耐力は、直接発進・到達立坑の開口部が仮設構造物となることを考慮し、保証曲げ耐力の75%としている。

供試体NO.1は、主な曲げひび割れ発生後、比較的荷重初期から曲げ区間のCFRPに沿って水平方向に連続的な付着ひび割れが発生し、最終的にはCFRP破断前に荷重点外側(せん断区間)のコンクリートが圧壊した。これは付着ひび割れの影響により、タイドアーチ的機構が卓越したためと思われる。

供試体NO.2は、曲げひび割れ発生後の剛性が供試体NO.1の約2.3倍であり、鉄筋降伏後も比較的粘りのある挙動を示した。最終破壊形態はコンクリートの圧壊であり、CFRPの破断には至らなかった。重ね継手部は鉄筋の降伏まで耐力を保持し、降伏後も脆性的な破壊とならないことが示された。

供試体NO.3は、曲げひび割れ発生後の剛性が供試体NO.1の約1.8倍であった。また、CFRPに沿った水平方向の付着ひび割れがせん断区間に多く発生し、斜めひび割れも発生した。その後、付着ひび割れは曲げ区間にも連続し、荷重が264kNに達した時、大きな爆裂音と共に継手上部のコンクリートが圧壊した。この時、継手部の被りコンクリートは剥落し、極めて脆性的な破壊となった。

図 - 4に、供試体NO.2の鉄筋降伏荷重近傍における各供試体の変位分布を示す。供試体NO.1は、大きな局部的変形のない左右対称の分布形状を示しており、曲げ変形モードとして好ましい性状を示している。鉄筋との重ね継手を有する供試体NO.2およびNO.3は、鉄筋の継手端部(荷重点近傍)のひび割れが卓越して角折れに近い変形状態となった。但し供試体NO.2は、鉄筋降伏後、徐々に変位分布が左右対称に近づく傾向がみられた。

図 - 5, 6に、供試体NO.2, 3における各荷重段階での継手部のCFRPと鉄筋のひずみ分布を表す。同図よりCFRPは凹形、鉄筋は凸形の傾向があり、これは鉄筋の引張剛性がCFRPよりも大きいためCFRPの変形が拘束され、継手中央部で鉄筋の張力分担率がCFRPを大きく上回るためと思われる。供試体NO.3の継手中央部で、破壊直前に鉄筋ひずみが低下しCFRPひずみが増加したのは、鉄筋の付着力が次第に低下し引張力がその分CFRPで負担されていったためと思われる。この時付着ひび割れは曲げ区間にまで発現し、付着破壊に至る一要因になったと推測される。

4. まとめ

太径鉄筋に細径CFRPを複数本継ぐ場合、継手性能を十分に発揮できるように許容応力度設計法による継手長計算値よりもさらに長くするか、あるいは継手部の横補強筋量を多くするなどの必要性があると思われる。しかしCFRPを引張耐力が同等な鉄筋と1対1で重ね継ぐ場合は、保証曲げ耐力を十分満足することが確認でき、直接発進・到達工法補強材への適用が可能であることが示された。

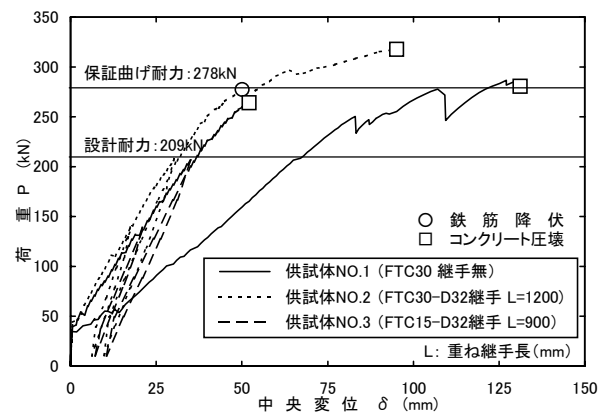


図 - 3 荷重 - 中央変位の関係

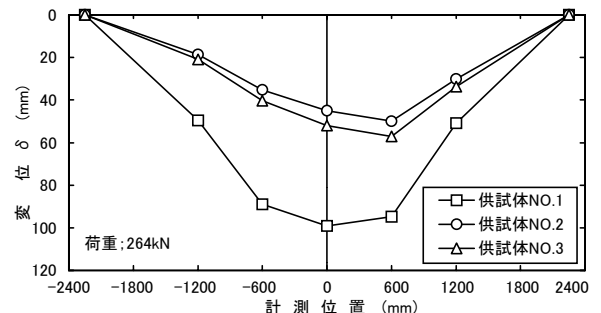


図 - 4 変位分布の比較

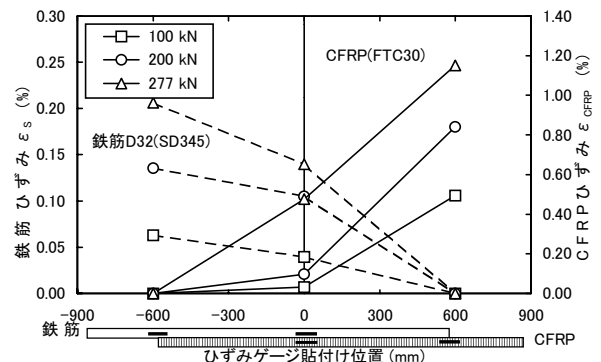


図 - 5 ひずみ分布 (供試体 NO.2)

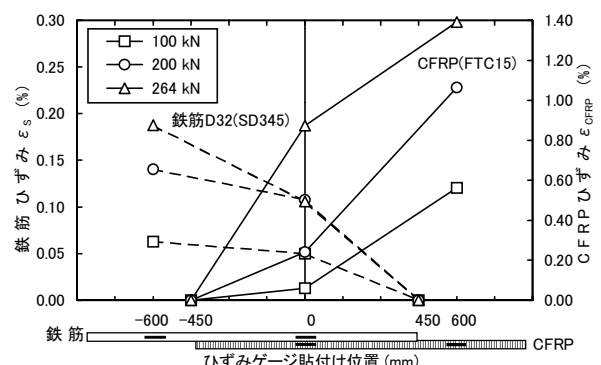


図 - 6 ひずみ分布 (供試体 NO.3)