

CFRP を活用した RC 梁の支保工早期解体に関する実験的研究

Experimental Study on Early Dismantling of RC Beam Support Using CFRP

折田 現太^{*1}
Genta Orita

阿部 隆英^{*2}
Takahide Abe

石田 雄太郎^{*2}
Yutaro Ishida

【要旨】

建設就業者が減少傾向となっている昨今、建設産業においては省人化や工期短縮等の生産性向上に関する技術の向上が求められている。鉄筋コンクリート造の工事においては、型枠の建込作業や鉄筋の組立作業、コンクリートの養生に期間を要し、他の構造種別に比べて工期が長くなる。特にコンクリートの養生期間が工期長期化の要因となっているため、CFRP を補強材とすることで、設計基準強度に達していない梁やスラブのたわみを抑制し、次工程までの期間を短縮することによる工期短縮を実現するための技術開発に着手した。梁の曲げ載荷実験の結果、施工期間中のたわみ管理として望ましいとされている有効スパンの 1/1000 時点において、CFRP を一般的なパイプサポートで梁下に押し付けた条件で約 15kN、CFRP を一般的なパイプサポートで梁下に押し付け、かつボルトで梁下に固定した条件で約 30kN の耐荷重の向上がみられた。また、後者の条件では、曲げひび割れ発生前における梁の曲げ剛性 EI が約 2.0 倍向上していることから、本補強方法の有効性が確認された。

【キーワード】 鉄筋コンクリート造 支保工 工期短縮 CFRP 曲げ剛性

1. はじめに

建設就業者の高齢化や若手層の減少により、建設就業者が減少傾向となっている昨今、建設産業においては省人化や工期短縮等の生産性向上に関する技術の向上が求められている。

鉄筋コンクリート造の工事においては、型枠の建込作業や鉄筋の組立作業、コンクリートの養生に期間を要し、鉄骨造や木造など、他の構造種別に比べて工期が長くなる。特にコンクリートの養生期間が工期長期化の要因となっており、これは、現場打コンクリートにおいて、梁下およびスラブ下のパイプサポートを原則として設計基準強度の 100% で取り外すためである。

ただし、コンクリートの圧縮強度が 12N/mm^2 以上であり、かつ、施工中の荷重および外力によって著しい変形又は亀裂が生じないことが構造計算により確かめられた場合においてはこの限りではないとされている。そこで、曲げ剛性向上のために、CFRP (炭素繊維強化プラスチック) 補強材を設計基準強度に満たない梁やスラブに適用することで、たわみ抑制および曲げひび割れ発生前の耐力向上を図り、支保工の早期解体によって、次工程の期間を短縮することによる工期短縮に関する技術の開発に着手した。

本研究では、支保工を早期に解体するための構想と、CFRP で補強した梁部材の曲げ載荷実験について報告する。

2. CFRP を活用した支保工早期解体の構想

CFRP (Carbon Fiber Reinforced Plastics) は、プラスチックを母材とし、そこに炭素繊維を強化材として加えたものであり、「軽量・高強度・高剛性・耐腐食性に優れる」等の特徴を有する。土木建築分野では、この「軽量・高強度」の特徴を活かし、耐震補強材として用いられている。一方、本研究では、コンクリートの若材齢時における曲げ剛性の補強と人力による解体や搬出が必要なことから、「軽量・高剛性」の特徴に着眼してCFRPを採用した。

CFRPを活用した支保工早期解体の構想を図-1に示

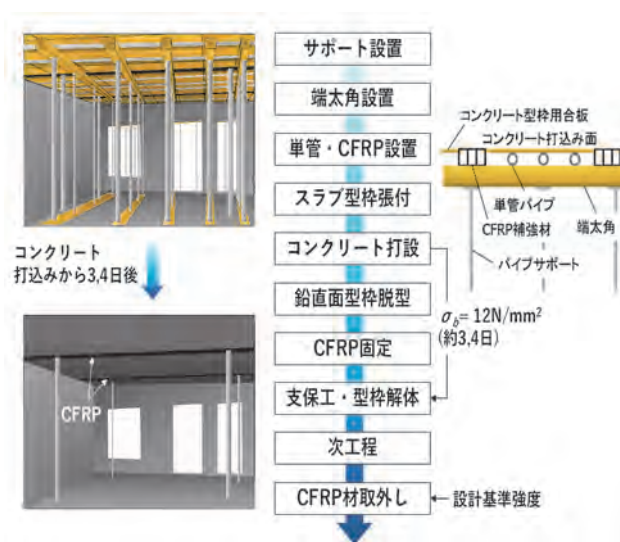


図-1 CFRPを活用した支保工早期解体の構想

1. 技術研究所 研究開発 G 第三研究室 2. 技術研究所 研究開発 G 第四研究室

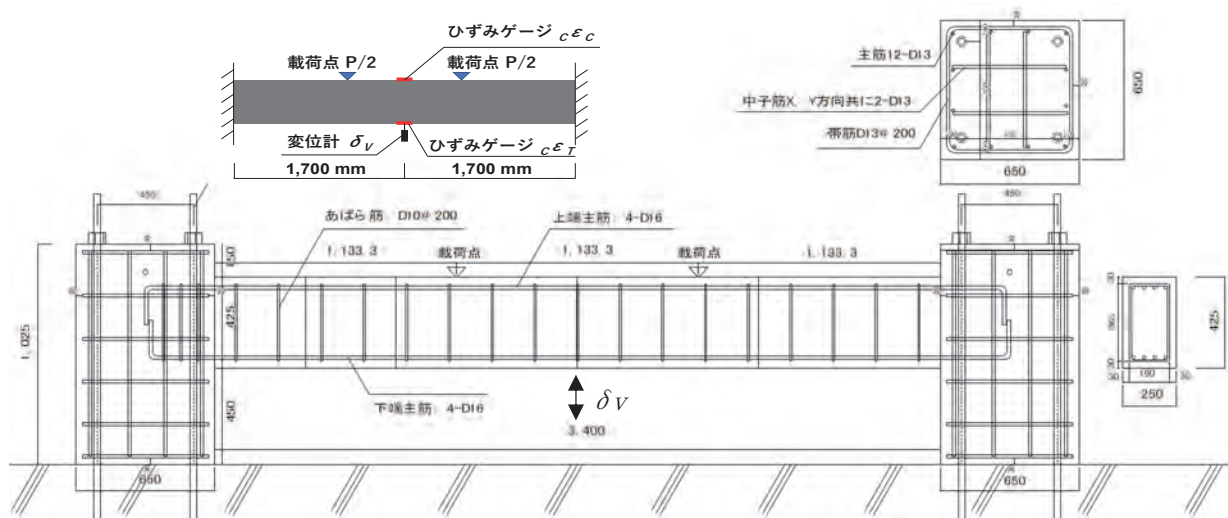


図-2 試験体の詳細および計測位置

す。CFRPは端角の上面に必要な数設置し、その後スラブ型枠を張り付ける。なお、支保工解体後、梁下およびスラブ下を隙間なく支えられるようにCFRPの上面がコンクリートの打込み面となるように設定する。

コンクリートの打込み完了後は養生期間を経て、コンクリートの圧縮強度が 12N/mm^2 以上となったことを確認し、CFRPを少数のパイプサポートおよびボルトで梁下およびスラブ下に固定後、支保工を早期に解体することで次工程に移るまでの工期を短縮することが可能となる。なお、若材齢コンクリートの補強材として設置するCFRPは、コンクリートの圧縮強度が設計基準強度以上となったことを確認した後、取り外して上階等に再利用する構想とした。

3. RC 梁の曲げ載荷実験

3.1 試験体概要

CFRP補強前試験体の詳細および計測位置を図-2に示す。実験は補強方法をパラメータとして、次節で述べる3ケースで行ったが、そのうちケース1が補強前の試験体である。試験体は柱を模擬したスタブ（以降、スタブ柱と称す）とCFRPによる補強効果を検証する両端固定の梁部材で構成されており、梁の部材長は $3,400\text{mm}$ （以降、有効スパンと称す）、梁幅は 250mm 、梁せいは 425mm とした。また、主筋の材質はSD345を用い、上端主筋を4-D16、下端主筋を4-D-16とした。あばら筋の材質についてはSD295を用い、D10で 200mm ピッチとした。なお、スタブ柱の断面は $650\text{mm} \times 650\text{mm}$ とし、PC鋼棒によって反力床に固定した。

載荷方法は、同図に示すように両端固定の2点集中載荷とし、支持点と載荷点の距離および載荷点間の距離は均等とした。また、載荷は試験体中央の鉛直変位 δ_v で制御し、図-3に示すように梁の有効スパンに対する δ_v の比

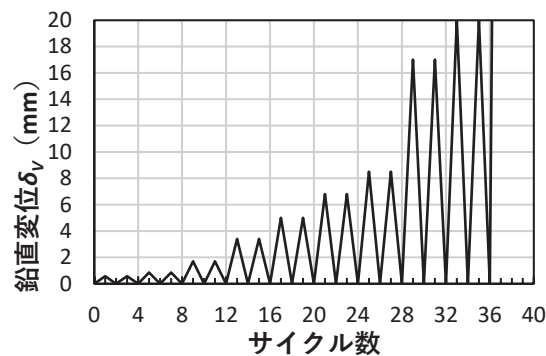


図-3 載荷サイクル

表-1 コンクリートの材料試験結果

部材	σ_B N/mm ²	σ_T N/mm ²	E_c N/mm ²
梁	13.1	1.34	23,377
スタブ柱	64.1	—	39,351

が、 $1/6000$ 、 $1/4000$ 、 $1/2000$ 、 $1/1000$ 、 $1/680$ 、 $1/500$ 、 $1/400$ 、 $1/200$ 、 $1/170$ となる変位で各2回載荷した。

曲げ載荷実験時におけるコンクリートの材料試験結果を表-1に示す。梁のコンクリート圧縮強度は、パイプサポートを取り外せる必要最低条件である 12N/mm^2 程度と計画したものに対して 13.1N/mm^2 となった。

3.2 補強材の概要および実験パラメータ

コンクリートの補強材として用いるCFRPは図-4に示すように、幅 100mm 、高さ 60.6mm 、板厚 3mm の目型の断面形状とし、部材長は $3,000\text{mm}$ とした。CFRPの材料試験結果を表-2に示す。引張強さはJIS K 7165に、曲げ強さはJIS K 7074に準じて求めた。なお、各試験結果は試験片5体の平均値としている。

次に、実験パラメータを図-5に示す。ケース1は補強

なし、ケース2は柱際から600mmの位置に配置された一般的なパイプサポートで梁底にCFRPを押しあてたもの、ケース3はケース2の条件に加えCFRPを梁底に900mmピッチでボルト固定したものの計3ケースとした。なお、固定ボルトはコンクリート打込み前に設置した。

3.3 実験結果

各実験ケースにおける荷重-鉛直変位関係を図-6に示す。パイプサポートとCFRPで補強されたケース2およびケース3では、耐力および剛性の増大が確認された。文献2)では、施工期間中のたわみ管理として、有効スパンの1/1000または5mm以内に制限することが望ましいとされている。ここで、有効スパンの1/1000に相当する鉛直変位 $\delta_r=3.4\text{mm}$ 時における最大荷重の比較を図-7に示す。ケース1に比べて、ケース2で約15kN、ケース3で約30kN荷重を負担できることが確認された。

荷重はパイプサポートを設置した状態で行ったため、CFRP補強材の効果のみの効果を分析することを目的として、図-8に示すパイプサポート単体の荷重-鉛直変位関係を事前に検証した。その結果、パイプサポートに作用する荷重は、サポートの変位が6mm付近までほとんど発生しなかった。パイプサポートのプレート部は写真-1のようにお椀型の形状で、一般的な使用対象である木材に対しては、四隅が食い込むことで滑動防止としての機能を持たせるために隙間が空いており、このことが6mm付近まで荷重が発生しなかった要因であると考えられる。従って、梁の曲げ載荷実験における曲げひび割れ発生前の耐荷重に対しては、一般のパイプサポートは

補強材として有効に機能せず、曲げひび割れ発生前の荷重増大はCFRP補強材によるものと推察される。

次に、曲げひび割れ発生前における梁中央断面部の曲げモーメント M と曲率 ϕ の関係を図-9に示す。なお、梁中央断面部の曲げモーメント M は式(1)より、曲率 ϕ は式(2)より求めた。

$$M = PL/18 \quad (1)$$

$$\phi = \frac{c\varepsilon_c - c\varepsilon_T}{D} \quad (2)$$

ここに、 M は梁中央断面に生じる曲げモーメント (kNm)、 P は2点の載荷荷重の合計 (kN)、 L は梁の有効スパン(m)、 ϕ は梁中央断面部における曲率 (1/mm)、 $c\varepsilon_c$ は梁中央部上端のコンクリートひずみ、 $c\varepsilon_T$ は梁中央部下端のコンクリートひずみ、 D は梁せい (mm) である。

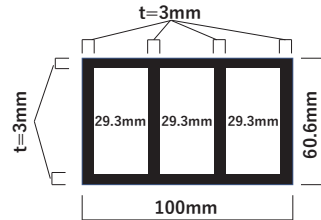


図-4 CFRP補強材の断面図

表-2 CFRPの材料試験結果

引張強さ N/mm ²	曲げ強さ N/mm ²	曲げヤング率 N/mm ²
870	506	356,400

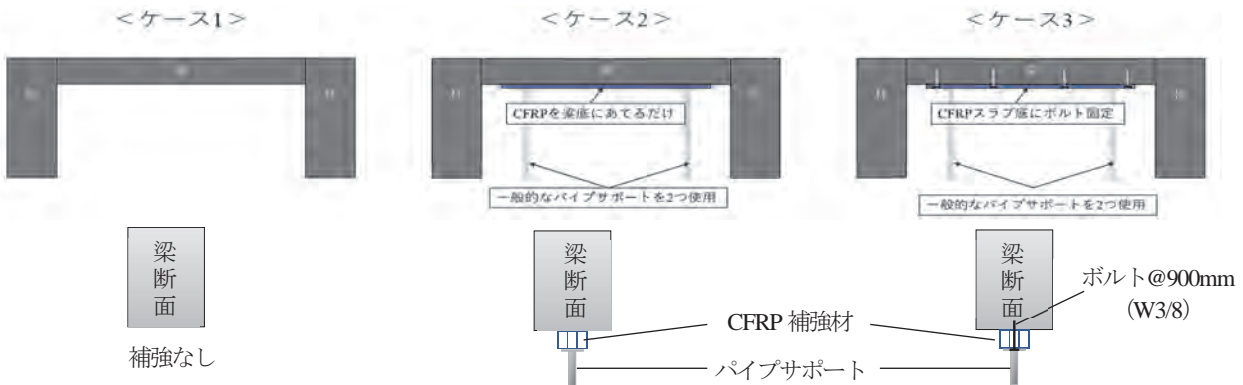


図-5 実験パラメータ

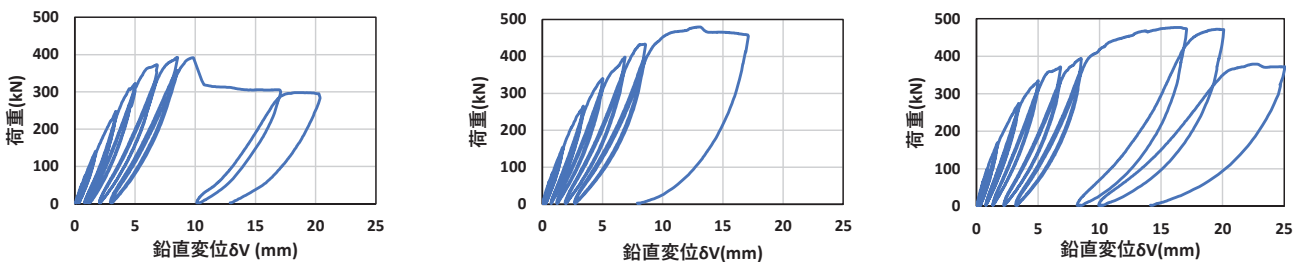


図-6 荷重-鉛直変位の関係

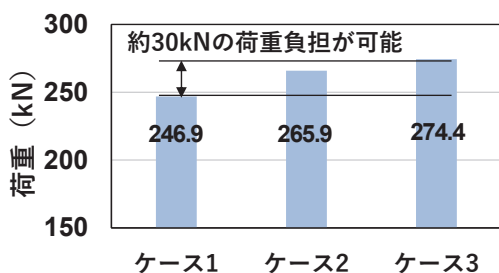


図-7 許容たわみ時における耐荷重の比較

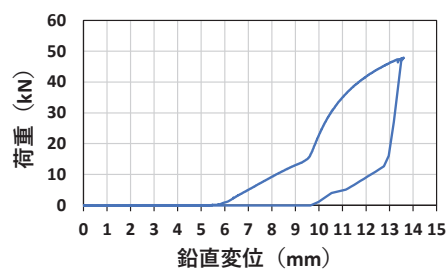


図-8 パイプサポートの荷重-変位関係



写真-1 パイプサポートの隙間

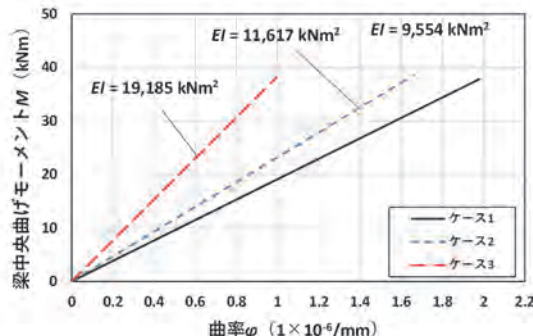


図-9 梁中央断面の曲げモーメントと曲率の関係

図-9より、CFRP補強材を施したケース2と3の曲げ剛性 EI を補強無しの場合1と比較すると、ケース2では約1.2倍、ケース3では約2.0倍の曲げ剛性が増加した。従って、若材齢コンクリートにCFRP補強材を施すことで、支保工を早期に解体することによるたわみの増大および曲げひび割れの発生を抑制できると考えられる。

4. まとめ

本検討より以下の知見を得た。

- ① 実験で使用したパイプサポートの仕様ではCFRPとの接地面に隙間ができるため、パイプサポートによる補強効果は得られない。
- ② CFRP補強材をボルトで梁底に固定することにより、パイプサポートで押し当てるのみの条件よりも高い補強効果が得られる。

- ③ CFRP補強材をボルトで梁底に固定する条件では、曲げひび割れ発生前の曲げ剛性 EI が補強をしない場合に比べて約2.0倍に増加する。

本研究ではCFRPを活用し、コンクリートが若材齢の鉄筋コンクリート梁における補強効果を検証した。今後は、補強効果をより定量的に評価するため、断面応力状態などを実験および解析による評価の両面から検証する。また、スラブにおける補強効果の検証も同様に実施することで、支保工の早期解体技術を確立し、生産性向上の一助となるように進めていきたい。

【参考文献】

- 1) 日本建築学会 建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5 鉄筋コンクリート工事, 2022.11
- 2) 日本建築学会 型枠の設計・施工指針, 2011.2

Summary As the number of construction workers has been decreasing in recent years, the construction industry is required to improve its technology for productivity improvement, such as manpower savings and shortening of construction periods. Reinforced concrete construction requires more time for the erection of the formwork, assembly of reinforcement, and curing of concrete, resulting in a longer construction period compared to the other structure types. In particular, the curing period for concrete is a factor that lengthens the construction period. Therefore, we have started to develop a technology to realize the shortening of the construction period by suppressing the deflection of beams and slabs that have not reached the design standard strength and by shortening the period until the next process by using CFRP as a reinforcement material. The results of the bending load experiments showed that at 1/1000 of the effective span, which is considered desirable for controlling deflection during the construction period, the load capacity was improved by approximately 15 kN when CFRP was pressed under the beam with general pipe supports and by approximately 30 kN when CFRP was pressed under the beam with general pipe supports and secured under the beam with bolts. In the latter condition, since the bending stiffness EI of the beam before bending cracks occurred increased by approximately 2.0 times, the effectiveness of this reinforcement method was verified.

Key Words : Reinforced Concrete, Support Structure, Shortening of Construction Period, CFRP, Bending Stiffness