

## 3D プリンティングで製作した埋設型枠を有する RC 梁部材の曲げ挙動に関する実験的検討

大成建設(株) 正会員 ○河村 圭亮, 正会員 川端 康平, 正会員 臼井 達哉  
正会員 木ノ村 幸士, 正会員 山本 悠人

### 1. はじめに

セメント系材料を用いた 3D プリンティング技術 (以下, 3DCP) は, 省人化によるコンクリート工の生産性向上に繋がることが期待され, 国内外で活発な研究開発や実適用が進められている<sup>1)</sup>。鈴木ら<sup>2)</sup>は, 3DCP の積層材料に短繊維補強モルタルを用い, 炭素繊維強化プラスチック (以下, CFRP) の格子筋を層間に配置して製作した埋設型枠の力学特性を確認した。その結果, 埋設型枠として十分な曲げ強度およびコンクリートとの付着強度を有することが示された。本研究では, この埋設型枠を引張側となる底面に有する RC 梁試験体の載荷実験を実施し, 特にコンクリートとの一体性に着目して部材レベルでの曲げ挙動に関する基礎的な検討を行った。

### 2. 実験概要

3DCP で製作した埋設型枠は図-1 に示すように厚さ 50mm で, 厚さ 10mm の 1 層ごとに積層方向を変え, 1 層目と 2 層目の間に CFRP の格子筋を配置した。ただし, この格子筋は曲げ耐力の増加に寄与するものではなく, コンクリート打込み時の型枠強度を確保するためのものである。使用材料は 3DCP に適したフレッシュ性状 (流動保持性, 圧送性, 積層性) を有する短繊維補強モルタルである。呼び長さ 15mm, 呼び径 0.3mm のビニロン繊維を 2.5vol% 混入しており, 圧縮強度は約 60N/mm<sup>2</sup>, 曲げ強度は 10N/mm<sup>2</sup> 以上である。なお, 配合や基礎物性データの詳細は文献 2) を参照されたい。

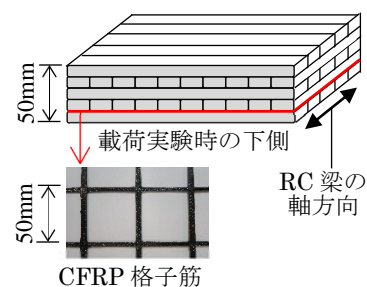


図-1 埋設型枠の概要

RC 梁試験体は図-2 に示す幅 300mm×高さ 400mm×長さ 3,000mm のもので, 曲げ破壊先行型の諸元とした。試験体は埋設型枠の有無が異なる 2 体で, Case-1 は木製型枠のみで製作した比較用の試験体, Case-2 は底面に埋設型枠を用いた試験体で, この部分を含めると高さ 450mm である。本研究では部材軸方向に分割した埋設型枠どうしの目地部は突き合わせの状態とし, 曲げ変形する際の影響を確認するため, 長さ 300mm と 600mm の埋設型枠を組み合わせて配置することで複数の目地部を設けた。なお, 主鉄筋 D16 (SD345) の降伏強度は 387N/mm<sup>2</sup>, 載荷実験時のコンクリート圧縮強度は, Case-1 は 33.4N/mm<sup>2</sup>, Case-2 は 33.6N/mm<sup>2</sup> であった。

載荷方法は等曲げ区間 600mm の中央 2 点での静的単調載荷とし, 荷重とスパン中央の鉛直変位および引張主鉄筋ひずみを計測した。さらに, 試験体の一側面ではデジタル画像相関法 (以下, DIC) による変位計測<sup>3)</sup>を行った。

### 3. 実験結果

荷重とスパン中央の鉛直変位の関係を図-3 に示す。いずれのケースも 45~50kN で等曲げ区間内に曲げひび割れ

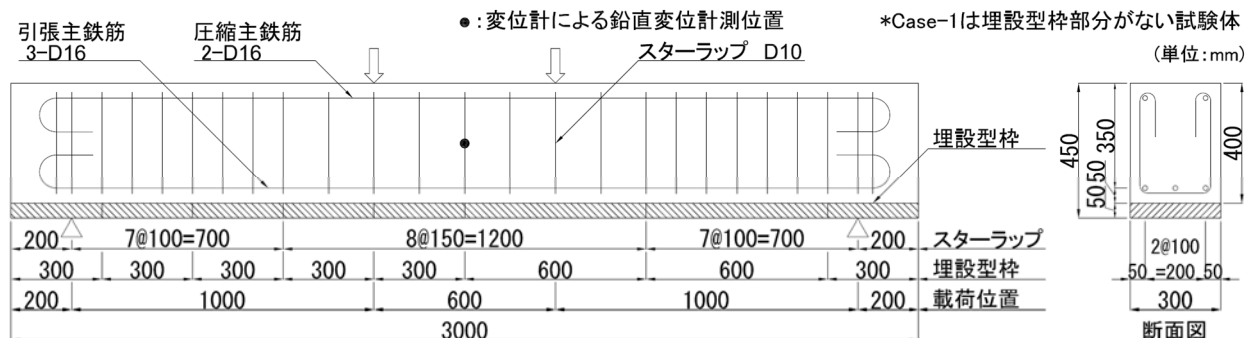


図-2 RC 梁試験体の概要

キーワード 3D プリンティング, 短繊維補強モルタル, 埋設型枠, 曲げ, 付着

連絡先 〒245-0051 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設(株)技術センター TEL 045-814-7221

が発生し、135kN～140kNで引張主鉄筋が降伏した。その後は、部材の降伏によって変形が大きく増加する一般的なRC梁の曲げ挙動となり、鉛直変位20mm時点で実験を終了した。埋設型枠を有するCase-2の方が降伏までの部材剛性が大きい、これは埋設型枠部分を含めると引張主鉄筋のかぶり厚が50mm大きいことによる影響だと考えられる。なお、Case-2の埋設型枠中にはCFRPの格子筋を配置しているが、これは目地部で不連続になっているため、Case-1と最大荷重に違いは見られない結果となった。

実験終了時点の試験体側面のひび割れ状況を図-4に示し、Case-2の同じ側面の底面付近の状況を写真-1に示す。DICによる変位計測はもう一方の側面で行った。図-4および写真-1中のA点、B点と同じ位置での埋設型枠目地部を跨ぐ2点間の相対変位と、C点、D点と同じ位置での界面を跨ぐ2点間の相対変位の変化を表-1に示す。Case-1は、等曲げ区間を中心に複数の曲げひび割れが分散して生じた。Case-2は、曲げ変形が大きくなるにつれて埋設型枠目地部の開きが拡大しており、この目地位置からコンクリートに曲げひび割れが発生した。特にスパン中央の目地位置直上(写真-1中の赤矢印位置)でのひび割れ幅が大きくなり、Case-1と比較すると曲げひび割れの本数は少なくなった。その他に、埋設型枠部分で曲げひび割れが生じてコンクリート部分に進展した箇所があるが、これは両者が一体的に挙動しているものと考えられる。一方で、埋設型枠にはひび割れが生じていないがコンクリート部分にはひび割れが生じた箇所もある。しかし、表-1の界面の結果を見ても大きな曲げ変形が生じた実験終了時点まで界面を跨ぐ2点間が広がる相対変位は生じておらず、界面でのずれや開きは生じなかったことが確認された。これらの結果より、埋設型枠部分が引張となる曲げ変形が生じた場合でもコンクリートとの付着は良好であり、両者が一体的に挙動することが実験的に明らかになった。なお、引張主鉄筋に沿った水平ひび割れも発生したが、今回の試験体諸元では埋設型枠部分をかぶりの一部として考えると、底面に対して側方かぶり厚が半分以下となることが影響したと考えられる。

#### 4. まとめ

本研究では、短繊維補強モルタルを使用して3DCPで製作した埋設型枠を引張側に用いたRC梁試験体の静的載荷実験を行い、部材としての曲げ挙動について検討した。その結果、埋設型枠の目地位置に曲げひび割れが集中しやすくなったものの、曲げ降伏後の変形量が大きい段階でもコンクリートとの付着は良好であり、両者が一体的に挙動することが明らかになった。

なお、曲げを受ける部材の圧縮側に埋設型枠を適用した場合の挙動確認や、実用化に向けた埋設型枠どうしの接合方法の確立などは今後の検討課題としたい。

**参考文献** 1) 日本コンクリート工学会：3Dプリンティングによるコンクリート構造物構築に関する研究委員会報告書，2021。  
2) 鈴木三馨ほか：3Dプリンティングで製作した埋設型枠の強度特性，コンクリート工学年次論文集，Vol.43，No.1，pp.1385-1390，2021。  
3) 山本悠人ほか：部材損傷評価における画像解析システムの適用，大成建設技術センター報，Vol.52，25，2019。

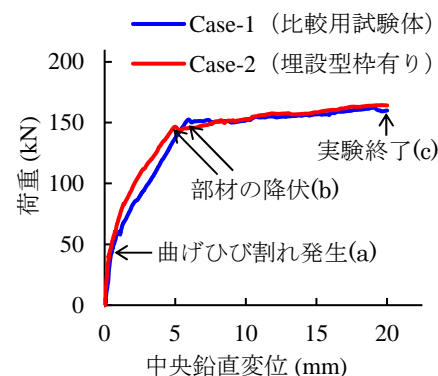


図-3 荷重-変位関係

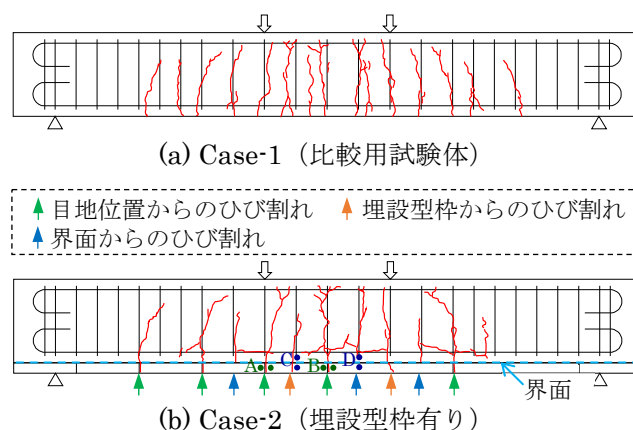


図-4 実験終了時のひび割れ状況

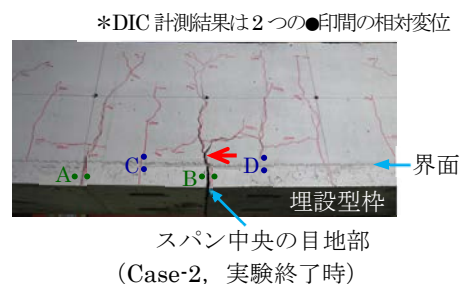


写真-1 底面付近のひび割れ状況

表-1 DIC計測結果

|    | 目地部  |      | 界面   |       |
|----|------|------|------|-------|
|    | A点   | B点   | C点   | D点    |
| a点 | 0.05 | 0.11 | 0.00 | -0.01 |
| b点 | 0.70 | 1.02 | 0.00 | -0.01 |
| c点 | 3.09 | 8.38 | 0.00 | -0.02 |

a点：曲げひび割れ発生時

b点：部材の降伏時 c点：実験終了時

\*開く方向の変位が正，単位：mm