

3Dプリント埋設型枠を用いた PCa ケーソン基礎の構造的な性能に関する実験的検討

(株)大林組 正会員 ○高橋拓馬 高橋敏樹 西村俊亮 堀内康平 石関嘉一 北村勇斗
日本ヒューム(株) 正会員 田口拓望 非会員 郷 富雄

1. はじめに

コンクリート工事における省人化、省力化を目的とし 3D プリントを用いた構造物の製作に関わる研究を行ってきた。これまでの研究¹⁾では、モルタル 3D プリントにより製作した埋設型枠(以下、3DP 型枠)を用いた半円筒状の RC ブロックの曲げ載荷試験を実施し、断面方向の荷重に対し 3DP 型枠が内部コンクリートと一体となり抵抗することを確認した。本稿では、実用化に向けて、3DP 型枠を有した円筒状の RC ブロックを連結して、PCa ケーソン基礎を模擬した試験体を製作し、曲げ試験を実施して、その構造的な性能を確認した。

2. 試験体の概要

試験体は 3DP 型枠を用いて製作した円筒状 RC ブロック(図-1)を軸方向に 8 体連結した。試験体の長さは、曲げ破壊となる載荷スパンを確保でき、かつ試験装置で載荷可能な長さとした。RC ブロックは、ブロック端面を研磨してエポキシ樹脂接着剤により隣接するブロック同士を接合した後、試験体内に設置したシース管に異形鉄筋(D22)を挿入してグラウト充填することで連結した。試験体に用いた材料の特性値を表-1 に示す。

3. 曲げ試験概要

(1)載荷方法

写真-1、図-2 に示すとおり、2 点支持、2 点載荷の単純梁方式として載荷試験を実施した。載荷点はスパンの中央部とし、上下方向に正負交番載荷を行った。

(2)載荷サイクル

載荷サイクルは、載荷中央点の曲げモーメントが設計降伏曲げモーメント(M_y)となる荷重を降伏荷重(P_y)とし、この荷重に達するまでは(1/3) P_y 、(2/3) P_y の荷重段階で正負方向に各 1 サイクル載荷した(下向きが正方向)。 P_y に達してからは、 P_y 作用時の載荷中央点における変位を $1\delta_y$ とし、以後 $1\delta_y$ ずつ変位を増加させて各 3 サイ

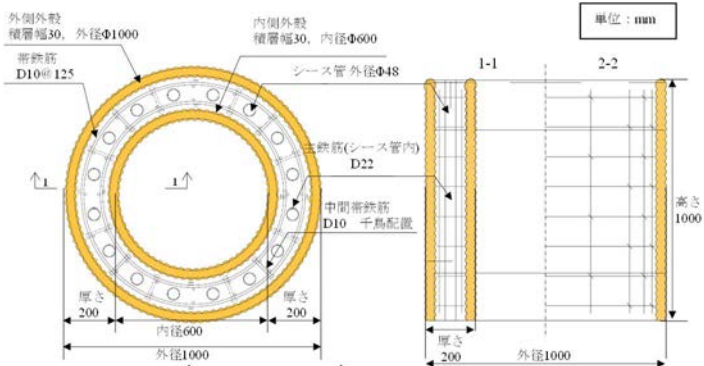


図-1 RC ブロック 平面図・断面図

表-1 材料特性値

項目		試験値	
		コンクリートの圧縮強度 鉄筋の引張強度 (N/mm ²)	弾性係数 (kN/mm ²)
コンクリート	3Dプリンタモルタル	67.3	22.3
	高流動コンクリート	76.5	34.4
	無収縮モルタル	72.3	23.4
主鉄筋 D22/SD345	降伏強度	414	200（設計値）
	引張強度	579	

※無収縮モルタルの弾性係数、主鉄筋の試験値はミルシートの値



写真-1 載荷試験体

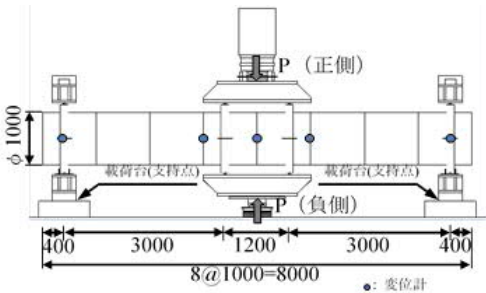


図-2 載荷条件

クル載荷することとした。

本試験では、 $\pm 4\delta_y$ の載荷サイクルまで実施した後、正側と負側の最大荷重(負側は載荷装置能力の限界で終了)まで載荷し、最後に正方向の片押しで引張鉄筋の破断が確認(破断音により確認)されるまで載荷した。

キーワード 3D プリント 埋設型枠 正負交番載荷試験 ケーソン基礎

連絡先 〒108-8502 東京都港区港南 2-15-2 品川インターシティ B 棟 TEL03-5769-1322

(3)事前計算

道路橋示方書・同解説IV下部構造編（平成 29 年）³⁾に記載の方法にて，設計曲げモーメントを求めた．載荷荷重は，試験体自重の影響を考慮し，正側と負側にてそれぞれ算出した．この時，3DP 型枠を内部コンクリートと一体化した構造部材として見込み設計曲げモーメントを算出している．なお計算では 3DP 型枠にも内部コンクリートの物性値を使用した．

4. 正負交番載荷試験結果

(1)試験体の耐力

図-3，表-2 に示す通り，ひび割れは計算値より早く発生していたが，降伏や破壊は試験値が計算値を上回っていた．鉄筋降伏時(1δ_y)の変位は+5.9mm に対し，終局時の変位は+107.9mm となり十分な変形性能を有することも確認できた．

(2)曲げモーメントと曲率

曲げモーメントと載荷中央点の曲率の関係を図-4 に示す．ひび割れまでの初期剛性は，試験値と計算値でほぼ同等と判断できるが，降伏点に関しては試験値が上回っている．また，0 点から降伏点までの割線剛性も正側は計算値と同等，負側は計算値をやや上回っている．以上の結果より，3DP 型枠と内部コンクリートは一体となって挙動しており，3DP 型枠も構造体の一部として機能していることが推測された．

(3)破壊形態

最大耐力の計測後に正方向に押し切った際に，最初に下縁側(引張側)の 3DP 型枠がそれまでの載荷サイクルで発生したひび割れに沿って剥落し，その後鉄筋破断と思われる音が発生して曲げ破壊に至った．剥落部に着目すると，内部コンクリートにも型枠と同じ位置にひび割れが発生している．型枠の剥落も破壊の直前であったことから，型枠と内部コンクリートが一体となって挙動していたことがわかる．

RC ブロック同士の接合面について接着剤の剥離は見られず，最終破壊時においても接合部のずれは見られることはなかったことから，接合面が弱点になっていないことを確認した．

3D 型枠部について，写真-2 に示すように，初期に発生した曲げひび割れが 3DP 層間(凹部)に沿って直線的に発生する事象を確認した．しかし，降伏荷重の計算値を超えたあたりから凹凸に支配されない斜め方向にひ

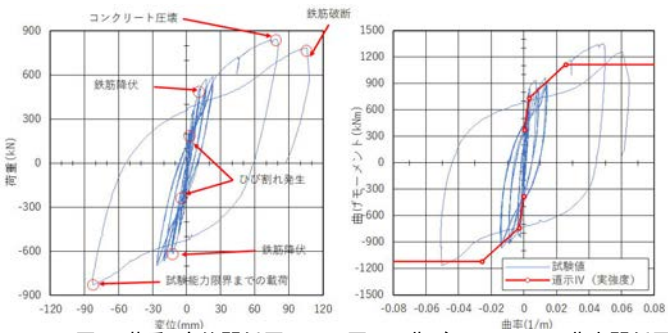


図-3 荷重-変位関係図

図-4 曲げモーメント-曲率関係図

表-2 載荷試験結果

項目	ひび割れ曲げモーメント Mc (kN・m)	降伏曲げモーメント My(kN・m)	引張鉄筋降伏時の変位 δy(mm)	破壊抵抗曲げモーメント Mu(kN・m)
正側	計算値 378.06 (197.9)	736.41 (436.8)	—	1115.84 (689.7)
	試験値 322.03 (160.5)	850.48 (512.8)	5.9 (366.4)	1345.03 (842.5)
負側	計算値 378.06 (306.2)	736.41 (545.1)	—	1115.84 (798.1)
	試験値 326.12 (271.6)	842.42 (615.8)	6.8 (474.8)	1161.02 (828.2)
摘要	最初の曲げひび割れの発生		引張鉄筋降伏	(正側)圧縮側コンクリート圧壊 (負側)試験機能能力の限界で終了のため参考値

※()内は載荷荷重(kN)

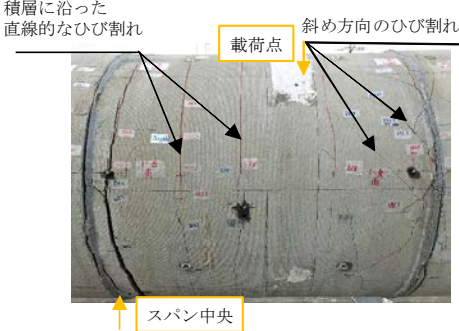


写真-2 曲げ破壊後のひび割れ状況

ひび割れが進展していたことから，3DP による凹凸が耐荷性能に与える影響はほとんどないと考えられる．

5. まとめ

載荷試験の結果より，試験体の降伏荷重・終局荷重が計算値を上回っていることを確認できた．これより，3DP 型枠を用いた PCa ケーソンは道路橋示方書にて期待されている曲げに対する構造性能を有していることを確認した．また，3DP 型枠部も構造体の一部として期待できることを確認した．

参考文献

1) 深澤連莉ほか: 3D プリントにより製作した埋設型枠を用いた PCa ケーソン基礎の性能確認，第 77 回土木学会年次学術講演会公演概要集， V-303， 2022

2) 新杉匡史ほか: 3D プリンターを活用した PCa ケーソン基礎の製作，第 77 回土木学会年次学術講演会講演概要集， V-565， 2022

3) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説IV下部構造編， 2017. 11