

3D プリンティングで構築した外殻を有するデモ橋脚の交番載荷試験

大成建設(株) 技術センター 正会員 ○木ノ村 幸士 張 文博
川端 康平 河村 圭亮

1. はじめに

筆者らは、これまで3Dプリンティング(3DP)技術を用いたPCデモ橋の設計・施工実証プロジェクトに取り組んできた。しかしながら、本技術が今後広く普及するためには、従来工法と比較し大幅な生産性向上や同等以上の性能を達成する必要があると考えられる。そこで、本研究では、デモ橋を支える橋脚を3Dプリンティングにより省人化施工し、さらに交番載荷試験を実施して、従来工法で製作したものと比較により構造性能評価を行った。本稿ではその成果を報告する。

2. デモ橋脚の概要

デモ橋脚の概要を図-1に示す。形状は基部が外径530mmの円形で、上部にかけ橋軸直角方向が700mmに広がる3次元形状とした。デモ橋脚の全高は、保有する3Dプリンタの高さ限界を勘案し1400mmとした。3DPで積層構築する外周部分(外殻)の厚さは、内部コンクリート打込み時の側圧に支保なしで耐えられるよう50mmとし、幅25mm×2列のプリント層とした。PCデモ橋設置後の外観を写真-1に示す。

デモ橋脚の外殻は、図-1に示す通り、あらかじめ製作した縦横700mm、高さ200mmの小型フーチング上に、基部から600mmの位置で打継ぎを行い、2ロットでプリント製作した。軸方向にD16を10本配置し、帯鉄筋はD10を100mm間隔で配置した。また交番載荷試験を行う際にフーチングおよび加力スタブ(図-1の青線部)を増設するため、軸方向鉄筋の上下端にはトルク固定方式の機械式継手を設けた。なお、図中に示すこれら全ての鉄筋は、外殻を3DPで積層構築した後、地組みしてユニット化し小型フーチングの中空円筒部の底部まで一体で建て込んだ。

外殻に使用した3DP用の計画配合および使用材料を表-1に示す。内部コンクリート打込み時に発生する曲げに抵抗するため、配合は短繊維補強モルタルとした。なお、配合選定過程において、既往のプレキャスト埋設型枠の強度物性を参考に設定した目標強度(材齢7日、圧縮50N/mm²、曲げ10.0N/mm²)を満足することを事前に確認している²⁾。

内部コンクリートは、3Dプリンタの圧送システムを用いて高流動コンクリート(W/C60%、自己充填性ランク1

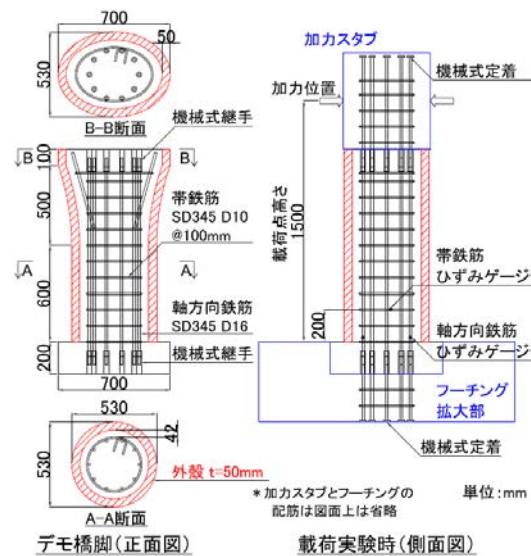


図-1 デモ橋脚の概要



写真-1 完成後のデモ橋脚とPCデモ橋

表-1 3DP用短繊維補強モルタルの計画配合および使用材料

W/P (%)	単体量 (kg/m ³)					外割添加量 (P%)			短繊維混入率 (Vol.%)
	W	P	S1	S2	V	SP	De	Re	
31	322	1038	623	259	21	0.20	0.20	1.50	2.5

P: 速硬性セメント (密度: 3.08g/cm³, 比表面積 3,970cm²/g), S1: 砕砂 (密度 2.71g/cm³, 最大粒径 2mm, 粗粒率 2.86)
S2: 微粉末 (密度 2.71g/cm³, 比表面積 8000cm²/g 程度), V: 分離低減剤, SP: 高性能減水剤, De: 消泡剤
Re: 凝結遅延剤, 短繊維: ビニロン繊維 (呼び長さ 15mm, 呼び径 0.3mm, 密度 1.3g/cm³)

キーワード 3Dプリンティング, 短繊維, 外殻, 高流動コンクリート, 交番載荷試験, 配向性

連絡先 〒245-0051 横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設(株) 技術センター 社会基盤技術研究部 TEL 070-2653-0183

相当)を橋脚頂部まで一括で打ち込んだ。セパレータや支保を設置する必要がなく、3Dプリンタの圧送システムを打込みにも活用することで施工の省人化を図った。

3. 交番载荷試験および解体調査結果

交番载荷試験結果を図-2に示す。(a)は従来の施工法である鉄筋・型枠・コンクリート工で製作した比較試験体、(b)は3DPで外殻構築したデモ橋脚の結果である。柱鉛直方向には、デモ橋の自重と群集荷重を想定した50kNの軸圧縮力を作用させている。なお、図-2は、柱基部で生じる軸力による偏心モーメントを水平荷重に換算した分を加えた補正水平荷重で表している。

比較試験体は、軸方向鉄筋の降伏後、 $+3\delta_y$ で最大荷重(+124kN)となった。写真-2に示す通り、試験体には複数の曲げひび割れが発生し、側面では一部の曲げひび割れが進展して斜めひび割れが生じた。 $\pm 20\delta_y$ で基部から約300mmの範囲でかぶりが大きく剥落し、水平荷重の低下が大きくなったため、試験を終了した。

一方、デモ橋脚では、水平変位の増加に伴って徐々に荷重が増加した。最終载荷ステップの $\delta=212\text{mm}$ (約 $+42\delta_y$)で最大荷重(+142kN)となり、その後も大きな荷重低下を生じなかったが、 $47\delta_y$ 時点で試験体のねじれが大きくなったため試験を終了した。最大荷重は比較試験体比で15%増であった。試験体には外殻の層の界面から複数の曲げひび割れが発生したが、側面で斜めひび割れは生じなかった。写真-3は、デモ橋脚の試験終了後に基部から高さ約300mm範囲のかぶりを研って観察した断面である。外殻に含まれる短繊維の多くが周方向に配向されていることが確認できる。一様な配向により外殻は周方向の引張抵抗力が高く、せん断補強効果やかぶりコンクリートの拘束効果が発揮された結果、非常に高い変形性能を有すると考えられた。

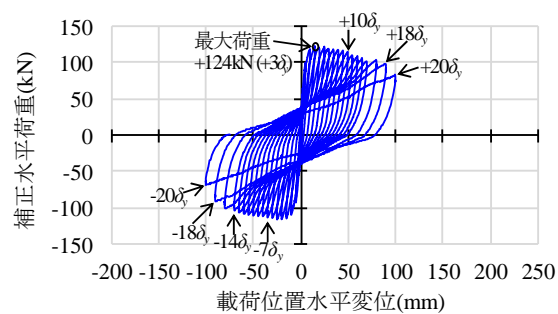
なお、外殻と内部コンクリートが一体的に挙動していることは、载荷試験中に計測したひび割れ深さや試験後の解体調査において別途確認している²⁾。

4. まとめ

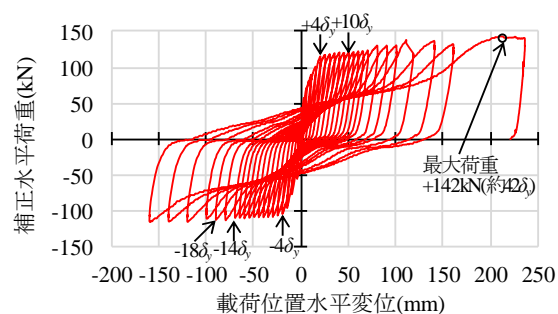
3DPを用いた橋脚の省人化施工を試行し、短繊維補強モルタルを用いて外殻を3DPで積層構築することにより、変形性能が高い柱を実現できることを確認した。

謝辞

本研究に使用した3DP用材料は太平洋セメント(株)と共同開発しご提供いただきました。ここに記して、深謝いたします。

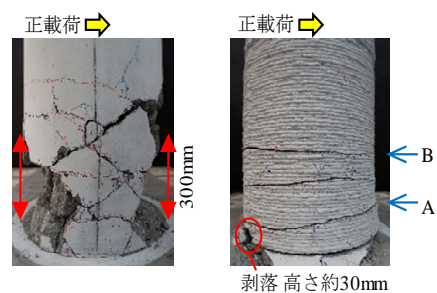


(a) 比較試験体



(b) デモ橋脚

図-2 交番载荷試験の荷重-変位関係



(a) 比較試験体

(b) デモ橋脚

写真-2 試験体基部付近の側面状況(試験終了後)

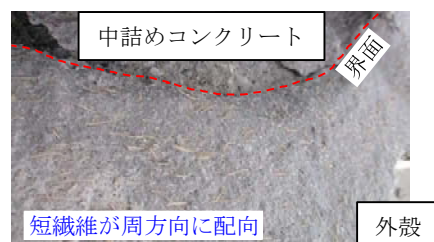


写真-3 外殻の断面状況(高さ300mm位置)

参考文献

- 1) K.Kinomura et al.: Application of 3D printed segments designed by topology optimization analysis to a practical scale prestressed pedestrian bridge, Proc. of 2nd Int. Conf. on Concrete and Digital Fabrication -Digital Concrete 2020-, RILEM book series vol.28, pp.658-668, 2020.7
- 2) 木ノ村幸士ら:3D プリンティングで外殻を構築したデモ橋脚の交番载荷試験による性能評価, コンクリート工学年次論文集, Vol.44, 2022.(投稿中)