

屋外暴露による 3D プリンティング埋設型枠の中性化および表層透気性に関する検討

大成建設（株） 技術センター ○正会員 張 文博 木ノ村 幸士 臼井 達哉 田中 俊成

1. はじめに

著者らは、これまでに3DP施工システムならびに積層材料を開発し、PCデモ橋桁の実証プロジェクトを行うことで、大型構造物への展開の可能性を具体的に示した。さらに、この橋桁を支える橋脚の外殻を、短繊維補強モルタルを用いた3Dプリンティングにより構築し、交番載荷試験を実施して、その構造性能を確認した¹⁾。本稿では、3DPで製作した埋設型枠の耐久性を確認するため、前述と同じようにプリント製作した外殻を有する橋脚、および積層したパネルを貼り付けて製作した梁の2種類の部材を対象に屋外暴露試験を行ったので、その結果について考察する。

2. 試験概要

2.1 試験体の製作

プリンティング製作は、ガントリー式 3D プリンター²⁾を用い、積層幅 25mm、積層厚 10mm、ノズル移動速度 60mm/秒と設定した。また、積層材料として水セメント比 31%、ビニロン繊維を外添加体積混入率 2.5% で混合したモルタルを用いた。

橋脚は、図-1 に示すように積層しながら外周部（外殻）を 2 列で構築した。積層は 2 ロットに分けて実施し、時間間隔は 2 時間とした。橋脚の外殻が硬化した後、ユニット鉄筋を建て込み、内部に高流動コンクリート（W/C60%、目標圧縮強度 30N/mm²）を打込んで施工した。

梁については、先に図-2 のように層ごとに積層方向を交互に直交させて厚さ 50mm のパネルを製作し、それを梁の型枠の底面に設置して内部に普通コンクリート（W/C55%、呼び強度 27N/mm²）を打込んで一体化させた。

2.2 試験方法

試験体を製作してから約 1 年間屋内に静置させた後に屋外暴露を開始した。屋外暴露は神奈川県横浜市内で行い、暴露前後に下記の測定を実施した。

(1) 中性化深さ

橋脚の外殻について、図-1 に示す基部、打継部の境上と境下の 3 箇所で、グラインダーによって長さ

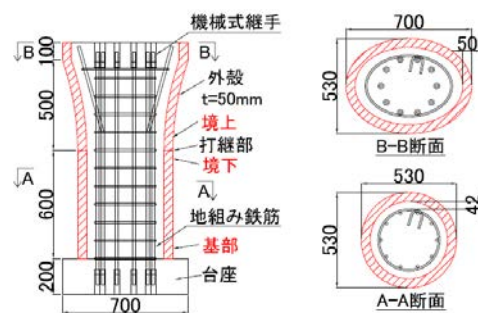


図-1 積層外殻を有する橋脚の製作概要

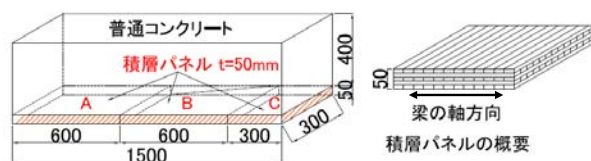


図-2 積層パネルを埋設型枠とした梁の製作概要

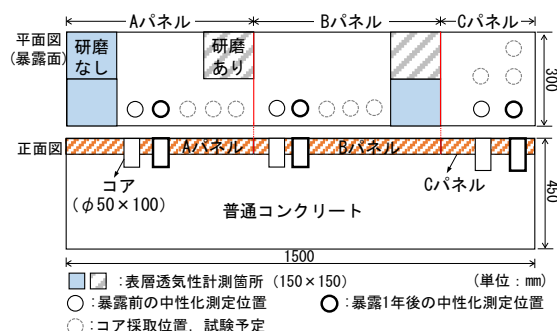


図-3 梁埋設型枠の耐久性試験箇所（平面図）

100mm、幅 100mm、深さ 50mm 程度の範囲を切削し、切削面で中性化深さを測定した。一方、梁のパネルでは、各パネルから φ50 のコアを採取し、割裂して中性化深さを調べた。コアの採取箇所を図-3 に示す。

(2) 表層透気試験

トレント法による積層体の表層透気試験を実施した。橋脚では打継部の上下各 150×150mm 範囲内の不陸を研磨して試験を実施した。梁パネルでは、図-3 に示すように積層体表面の研磨あり・なしの計 5 箇所で試験を実施した。同時に、四電極法によるコンクリートの電気抵抗率試験方法（案）（JSCE-G 581-2018）の B 法を用いて同じ箇所で電気抵抗率を計測した。

(3) 細孔径分布測定

橋脚の中性化深さ測定用の切削面から採取した試料を用いて水銀圧入式ポロシメータにより細孔径分

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、中性化、表層透気係数

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 070-2653-0139

布測定を行った。測定範囲は $300 \sim 0.003 \mu\text{m}$ である。

3. 試験結果

3.1 中性化深さ

積層体断面の幾何中心（以下、積層中央）、および層間や列間（以下、積層境）での中性化深さの結果を図-4 に示す。橋脚の異なる測定箇所あるいは梁のコア間において中性化深さの差異がほとんど見られなかったため、それぞれの平均値を求めて同図に示している。橋脚の外壳は、暴露しても中性化の進行がほぼ観察されなかった。これに対して、梁のパネルでは、屋外暴露 1 年後に中性化が全体的に 4mm 程度進行し、積層中央より積層境のほうが中性化は深い傾向にあった。橋脚と梁の埋設型枠はそれぞれ積層体の側面と底面で計測を行ったため、これらの結果から、積層体の中性化抵抗性の異方性が認められる。すなわち、積層体の鉛直方向の境目は密着度が高いが、水平方向の境目では物質移行が生じやすいためであると考えられる。

3.2 表層透気性

表層透気係数の計測結果を図-5 に示す。暴露前後の電気抵抗率は $100 \text{ k}\Omega\text{cm}$ 程度であり、ほぼ同様な結果となった。屋外暴露前の表層透気係数は「良～一般」の範囲内にあったが、暴露後にすべて「優」の領域に入っており、表層品質が明らかに向上した。このことは、暴露期間中の降水によって水分が補給され、水和反応によって内部の細孔構造が緻密化されたためと推測される。

3.3 細孔容積分布

橋脚の外壳における細孔容積分布の測定結果を図-6 に示す。ここでは、 2000 nm 以下の空隙に着目して分析を行う。屋外暴露前の試料は、供試体採取箇所にかかわらず二つのピークが現れ、それぞれ 100 nm 付近と $10 \sim 30 \text{ nm}$ 範囲内であった。暴露 1 年後では、いずれも小径側へシフトする傾向がみられた。暴露期間中の降水の影響により水和反応が進んだのではないかと考えられる。

4. おわりに

(1) 暴露試験により積層体の中性化抵抗性の異方性が確認され、水平方向の境目で中性化が進行しやすいことがわかった。(2) 橋脚の埋設型枠は、暴露後に表層透気係数が低下し、細孔構造においても 2000 nm 以下の細孔が小径側にシフトする傾向がみられた。

屋外暴露試験については、今後も継続し、定期的に行う予定である。

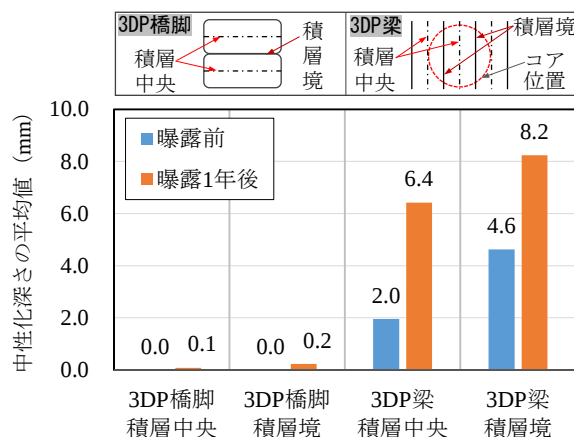


図-4 屋外暴露前後の中性化深さ

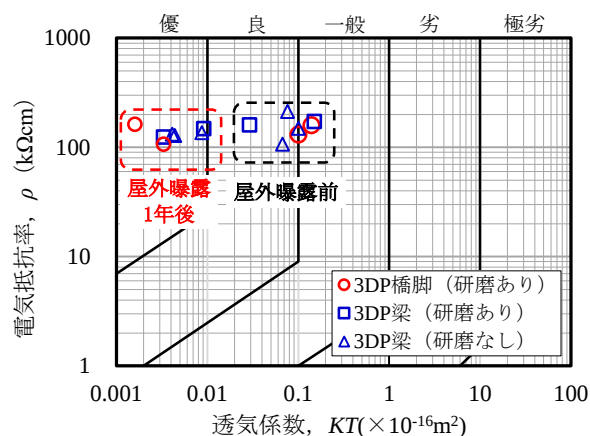


図-5 表層透気係数の測定結果

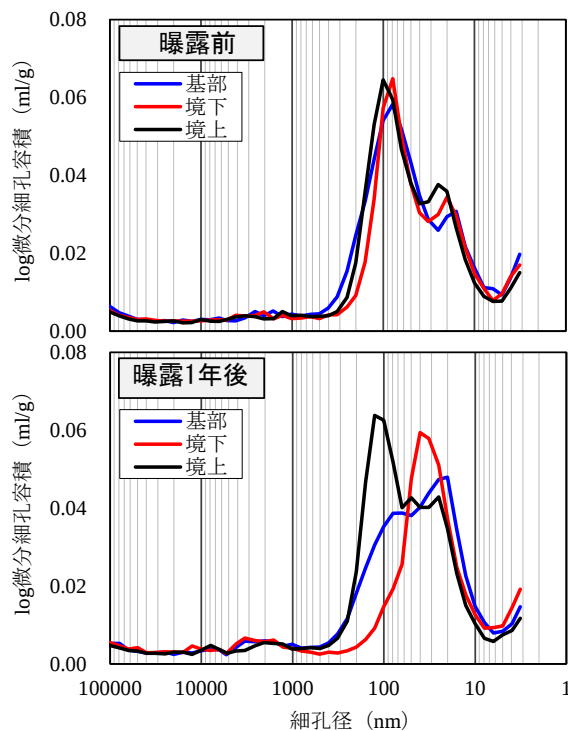


図-6 水銀圧入法による細孔径分布の結果

参考文献

- 1) 木ノ村幸士，他：3D プリンティングで外壳を構築したデモ橋脚の交番載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，No.1，pp.1528-1533，2022。