

3D プリンタ外殻と鋼製の内殻を用いた吹付けコンクリート構造物の検討

(株)大林組 技術研究所 正会員 石関 嘉一, 正会員 武田 篤史, 坂上 肇, 中村 允哉
デンカ(株)セメント・特混研究部 正会員 荒木 昭俊, 正会員 岩崎 昌浩

1. はじめに

現在、コンクリート構造物を施工する場合、熟練技術者が型枠を設置しフレッシュコンクリートを打ち込む工法が一般的である。しかし、少子高齢化や働き方改革等の影響により熟練技術者の減少が予想され、自動化による施工が考えられている。そこで、自動化が可能で型枠を省略でき、早期共用が可能な吹付コンクリートによる構造物の施工法を検討している。これまで、構造物構築用の急結剤の検討¹⁾を行っており、硬化時間を調整することにより数時間後に支保を受け持つ圧縮強度の発現性能、吹付コンクリートの表面をコテによる均しが行える急結剤性能、吐出量や粉塵跳返り等の施工性能の確認を行った。

今回、吹付コンクリートで構造物を施工するにあたり、内殻構造（柱）および外殻構造（梁）の2種類の吹付ける対象物（以下内殻、外殻）を構築し、工法検討を行った。内殻構造は図-1、写真-1 に示す中空鋼製の内殻（以下鋼製内殻）の外周に鉄筋を配置し、コンクリートを吹付ける工法である。外殻構造は写真-2 に示す建設用 3D プリンタ²⁾を用いて写真-3 に示す外殻（以下 3D プリンタ外殻）を製作し、その内側に鉄筋を配置し、コンクリートを吹付ける工法である。

本報告は吹付け工法による構造物を構築するにあたり、2種類の工法に関して施工性と外殻構造の構造性能試験の結果を記載する。

2. 使用材料及び配合

内殻、外殻構造に吹付けたコンクリートは表-1 に示す材料を使用した。また、配合を表-2 に示す。急結剤は実験結果から硬化時間を調整した液体急結剤を使用した。

3. 鋼製内殻構造（柱）

(1) 施工方法

吹付けは市中のプラントから購入したコンクリー

トを用いて、空気搬送式吹付機を使用して施工した。なお、急結剤はノズルの手前で配管に添加した。

(2) 吹付け性状

表-3 に吹付け試験結果を示す。跳ね返りおよび粉

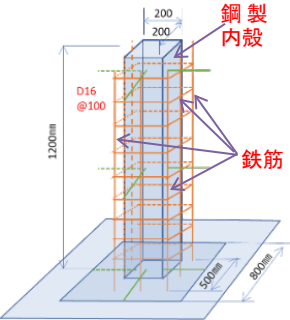


図-1 鋼製内殻形状



写真-1 吹付け状況

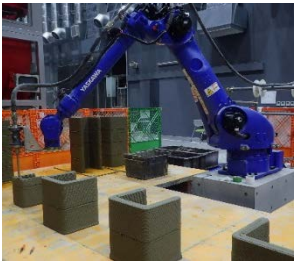


写真-2 3D プリンタによる外殻製造状況

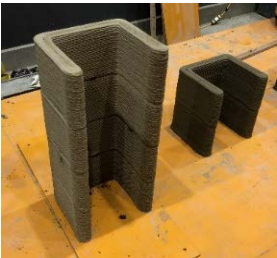


写真-3 外殻構造（梁）

表-1 使用材料

名称	記号	諸元
普通ポルトランドセメント	C	密度 3.15 g/cm ³
細骨材	S	川砂 密度 2.61 g/cm ³
粗骨材	G	6号砕石 密度 2.68 g/cm ³
水	W	水道水
液体急結剤	L	水溶アルミニウム塩 密度 1.35

表-2 配合

W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)				L C× (%)
		W	C	S	G	
50	60	200	400	1054	721	8

表-3 鋼製内殻吹付け試験結果

項目	圧縮強度	吐出量	跳返り	粉塵
試験基準	JISA1107	--	JSCE-F563	粉塵 カイトライン
単位	N/mm ²	m ³ /h	%	mg/m ³
測定値	27.0	2.05	13.8	0.54

キーワード 吹付けコンクリート、液体急結剤、内殻、3D プリンタ、外殻

連絡先 〒204-8558 東京都清瀬市下清戸 4-640 (株)大林組 技術研究所生産技術研究部 TEL042-495-1012

塵は一般的な吹付けコンクリートと比較して、少ない結果となった。また、適切な量の急結剤を添加したため、写真-4 に示す通り、平滑に均すことができ、表面成型が可能となった。さらに、写真-5 に示すように鉄筋裏までコンクリートが充填していることを確認した。よって、吹付コンクリートにより鋼製内殻の柱部材の構築が可能であることを確認できた。

4. 3D プリンタ外殻構造（梁）

（1）施工方法

図-2 に示す断面 340mm×320mm、長さ 2700mm の 3D プリンタ外殻の内側に鉄筋を設置し、写真-6 に示す通り下面よりコンクリートを吹付けて写真-7 に示す梁部材を構築した。

（2）吹付け性状

吹付け試験結果を表-4 に示す。コンクリートの吹付けは下面より上向きに施工するため、通常の跳ね返りは 30%程度と多くなる。そこで、跳ね返り低減の目的で吐出量を 50%程度低減し吹付を行った。そのため、圧送空気量が低下し、粉塵量は少量となった。しかし、跳ね返りは通常の上向き施工より減少したものの、水平施工と比較して 50%程度増加する結果となった。また、急結剤量を調整したことで、表面成型は可能となり、吹付コンクリートで外殻構造物の構築が可能であることを確認した。

（3）載荷試験

3D プリンタ外殻に吹付けた梁について載荷試験を実施した。実際の荷重方向を考慮して梁の吹付方向と天地反転した向きで設置し、単調載荷とした。

試験結果を図-3、試験状況を図-4 に示す。3D プリンタ外殻を用いた吹付コンクリート部材は通常の構造物と同様な挙動を示すため、静弾性係数や引張強度等入力条件の検討は多少あるが、構造物として成立することが確認できた。

5. まとめ

今回の検討の結果、以下の知見が得られた。

- ① 吹付コンクリートにより内殻構造部材の構築が可能であることを確認した。
- ② 3D プリンタ外殻にコンクリートを吹付けることで、構造物を構築できることを確認した。
- ③ 載荷試験結果から 3D プリンタ外殻を用いた梁部材は構造物として設計できることを確認した。

参考文献



写真-4 内殻構造柱



写真-5 鉄筋充填状況

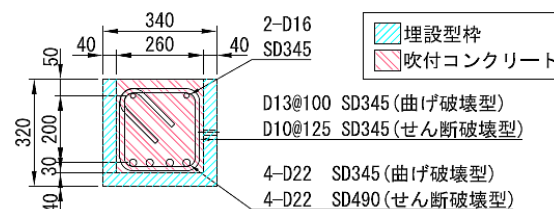


図-2 3D プリンタ外殻の形状および背筋

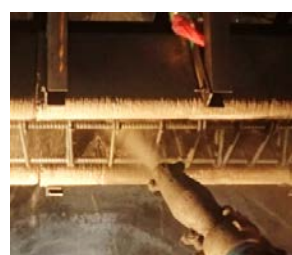


写真-6 吹付状況



写真-7 梁部材の構築

表-4 3D プリンタ外殻構造吹付け試験結果

項目	圧縮強度	吐出量	跳ね返り	粉塵
試験基準	JISA1107	--	JSCE-F563	目視
単位	N/mm ²	m ³ /h	%	
測定値	40.4	1.0	23.0	少

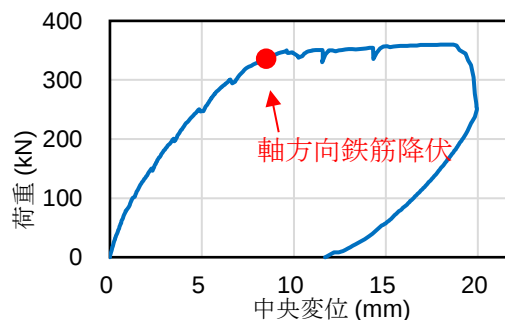


図-3 載荷試験結果（曲げ破壊型試験体）

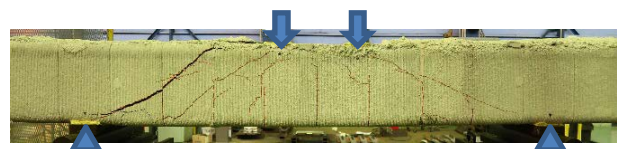


図-4 試験状況（載荷終了時）
（曲げ断破壊型試験体）

- 1) 石関嘉一：吹付けコンクリートの急結作用の検討，令和元年度土木学会全国大会第 74 回年次学術講演会，2019 年 9 月，V-384
- 2) 平田隆祥ほか：モルタル積層による 3D プリンター（AM法）を用いた建設部材の製造について，第 73 回年次学術講演会，2019 年 9 月，V-286