

3Dプリンタと吹付けにより製造したRC梁の基本性状に関する研究

(株)大林組 正会員 ○武田篤史 正会員 石関嘉一
 (株)大林組 非会員 坂上 肇 非会員 中村允哉
 デンカ(株) 正会員 荒木昭俊 正会員 岩崎昌浩

1. はじめに

生産性向上および多彩な意匠の実現を目的として、3Dプリンタで製造したモルタル造埋設型枠を用いた吹付コンクリートによるRC構造を考案した。本研究では、本構造の基本的な構造特性の調査を目的として、2種類の梁の単調曲げせん断載荷実験およびFEM解析により通常のRC部材との違いを考察した。

2. 実験方法

2.1 試験体の構造 試験体は、曲げ破壊型試験体とせん断破壊型の2種類とし、軸方向鉄筋の強度、せん断補強筋量、およびせん断スパンを変えた。試験体の構造諸元を図-1に示す。

2.2 3Dプリンタによるモルタル造埋設型枠 埋設型枠は、文献¹⁾の方法により、断面が層となる方向に積層して作製した。各埋設型枠の長さは800mmであり、各試験体にそれぞれ3体ずつ使用した。モルタル材料には、ポルトランドセメント、細骨材、硬化促進剤、チキソ性調整剤、有機繊維を混合したプレミックス材料を用いた。

2.3 吹付コンクリート 埋設型枠に鉄筋を固定したのち、開口側を下側に設置し、上向きに吹付を行った。埋設型枠同士の接合は行ってない。吹付方法は乾式とし、生コンクリートプラントで空練りしたコンクリートを用いた。

2.4 材料特性 鉄筋の引張試験結果を表-1に、3Dプリンタ用モルタルおよび吹付コンクリートの圧縮強度試験結果を表-2に示す。

2.5 載荷方法 単純梁の2点載荷とし、支点および載荷点は図-1に示すとおり、試験体によって変えた。それぞれのせん断スパン比(a/d)は、曲げ破壊型試験体で3.0、せん断破壊型試験体で2.5とした。等曲げスパンはいずれも300mmとした。載荷履歴は、いずれの試験体も単調一方向載荷とした。

3. 実験結果

3.1 曲げ破壊型試験体 荷重-変位関係を図-2に、載荷終了時のひび割れ状況を図-3に示す。図-2の解析値は、FEM解析によるもので、普通コンクリートに対して用いられる構成側を用い、2.4に示す材料特性の試験値を用いて計算した。再解析値については4章に示す。載荷初期より、解析値に比して小さな剛性を示しており、明確なひび割れ発生点は見られなかった。これは、3体の埋設型枠間や200mm間隔である打重ね部のひび割れが主要因とみられる(図-3の①)。軸方向鉄筋の降伏は、解析値に比して、荷重は小さく変位は大きいこと

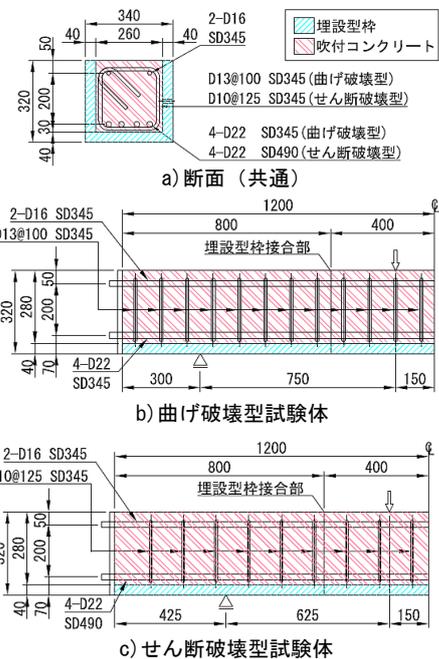


図-1 試験体構造諸元

表-1 鉄筋引張試験結果

試験体	部位	径	規格	降伏強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)
曲げ破壊型	軸方向鉄筋(引張)	D22	SD345	379	590	190
	軸方向鉄筋(圧縮)	D16	SD345	373	591	197
	せん断補強筋	D13	SD345	393*	564*	-*
せん断破壊型	軸方向鉄筋(引張)	D22	SD490	531	700	197
	軸方向鉄筋(圧縮)	D16	SD345	373	591	197
	せん断補強筋	D10	SD345	337	560	193

*曲げ破壊型試験体のせん断補強筋はミルシート値

表-2 セメント系材料圧縮試験結果

試験体	部位	圧縮強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)
共通	埋設型枠	68.6	23.9
曲げ破壊型	吹付コンクリート	45.0	23.9
せん断破壊型		41.8	21.6

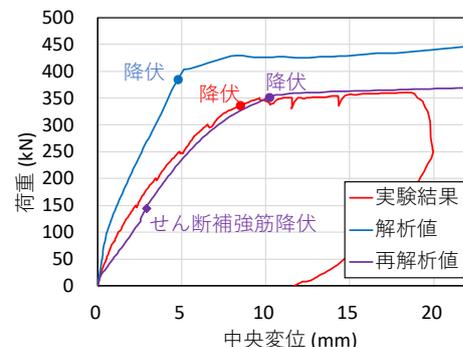


図-2 荷重-変位関係(曲げ破壊型試験体)

キーワード 吹付コンクリート, 3Dプリンタ, 埋設型枠, 梁曲げせん断実験, FEM解析
 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 TEL042-495-1013

から、普通コンクリートと同様に評価することが困難であることがわかる。降伏後は、わずかな耐力上昇を伴って変形が進んだが、計算²⁾においては曲げ破壊型になるにもかかわらず、斜めひび割れ(図-3の②)が大きく開いてせん断破壊した。なお、図-3からは、通常のRCに比してひび割れ本数が少ないことがわかるが、これは、外部の埋設型枠部分と内部の吹付コンクリート部分の間でせん断滑りが生じたためと考えると説明がつく。

3.2 せん断破壊型試験体 荷重—変位関係を図-4に、載荷終了時のひび割れ状況を図-5に示す。解析値は、3.1節と同様である。

曲げ破壊型試験体と同様に、載荷初期より解析値に比して小さな剛性を示しており、埋設型枠の引張負担が小さいとの仮定は、本試験体においても整合する。最大耐力に達したのちは、せん断補強筋の降伏を伴って荷重が急落した。載荷終了時のひび割れ性状は、a)正面とb)裏面で異なっており、埋設型枠が吹付コンクリートから剥離しているという打音検査からも、埋設型枠が吹付コンクリートが一体化して挙動していないことが推測される。

せん断補強筋以外が分担するせん断力(V_c)と変位の関係を、図-6に示す。 V_c は全せん断力(V)から、ひび割れを横切るせん断補強筋の計測ひずみより計算したせん断補強筋が分担するせん断力(V_s)を減ずることにより算定した。 V_c^{cal} は、 V_c の計算値²⁾である。 V_c は V_c^{cal} に達していないが、 V_c^{cal} の算定においては埋設型枠を含む断面で計算していることが理由の一つに挙げられる。また、 V_c 値は、梁のせん断破壊時までは維持されていないが、吹付コンクリートの粗骨材には6号砕石(最大粒径5~13mm)が用いられ、さらに量も少ないことから、普通コンクリートに比して、骨材のかみ合わせ作用が劣っていたものと推測される。

4. 解析による検討

3章に示した実験結果は、普通コンクリートを対象とした解析値と整合しなかった。そこで、実験で得られた考察を反映して再解析を行った。修正したのは、1)埋設型枠を考慮しない、2)ひび割れ面のせん断伝達を考慮しない、3)吹付コンクリートの引張強度を 3.23N/mm^2 から 0.500N/mm^2 に低減する、という3点である。3)については、曲げ破壊型試験体でせん断破壊したこと及び既往の研究³⁾からである。

図-2、4に示す再解析値が修正した結果である。修正により、実験を概ねシミュレートできている。

5. まとめ

実験および解析により、本構造が構造物として成立するということが明らかとなるとともに、通常のRC構造物と同様に設計することができないという課題も明らかになった。

参考文献 1)平田ら：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回土木学会年次学術講演会講演概要集、V-286、pp.571-572、2018。2)土木学会：2017年制定コンクリート標準示方書 設計編、丸善出版、2017。3)井上ら：覆工としての吹付けコンクリートの強度特性と耐久性に関する研究、土木学会論文集、第391号/VI-8、pp.46-55、1988.3

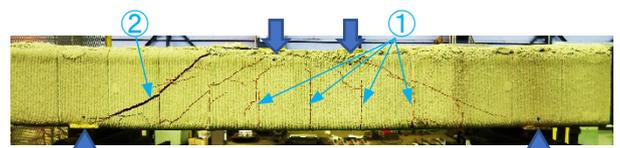


図-3 ひび割れ状況(曲げ破壊型試験体)

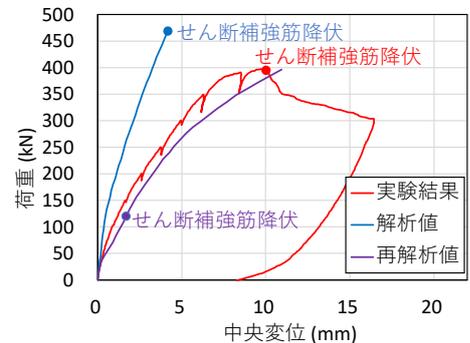


図-4 荷重—変位関係(せん断破壊型試験体)



a) 正面



b) 裏面

図-5 ひび割れ状況
(せん断破壊型試験体)

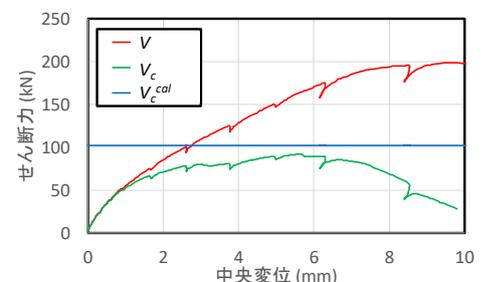


図-6 せん断補強筋以外が分担するせん断力