

壁部材の型枠工の省力化を目的とした吹付け可能な繊維補強モルタルと鋼材による外殻構造

鹿島建設(株) 正会員 ○松田有加 Devin GUNAWAN 曾我部直樹 小林 聖 中村真人

1. はじめに

鉄筋、型枠の組立てやコンクリート打込みの多くを人力で施工する RC 躯体構築現場では、少子高齢化に伴う担い手不足が強く懸念されている。特に、型枠工は、様々な形状の型枠を現場の状況に応じて加工、組み立てる必要があり、歩掛や品質が建設技能者の経験や能力に影響されやすい。これに対して、筆者らは、RC 躯体の型枠工を省力化できる構造・施工技術として、吹付け可能な高強度繊維補強モルタル（以下、FRM）¹⁾による外殻構造について検討を行っている²⁾。既往の検討は柱部材を対象としたものであるが、ここでは、広い面積を有する壁部材を想定した外殻構造の施工性と型枠としての性能について検証した事例を報告する。

2. 壁部材の型枠工を省力化する外殻構造

外殻構造を適用した RC 躯体構築では、鉄筋などの補強材を組み立てた後、FRM の吹付けにより、躯体のかぶりに相当する外殻構造を構築する。吹付け時は、FRM を付着させるための芯材として、例えば設置・撤去が容易で、繰返しての使用も可能なエアチューブ等を設置する。FRM が硬化した後、外殻構造の内部にコンクリートを打ち込み、RC 躯体が完成する。これにより、型枠工の大部分を FRM の吹付け作業で代替することができ、形状が複雑な型枠や広い面積の型枠の組立・解体作業の省力化が期待できる。

本構造を RC 壁部材へ適用した場合、面的に作用するコンクリート打込み時の側圧に対して、外殻構造にひび割れが生じず、変形が通常の型枠と同程度以下であることが求められるが、それをかぶり程度の厚さの FRM のみで実現することは困難である。

そこで、図-1 に示す、FRM と H 鋼などの鋼材を組み合わせた外殻構造を考案した。内部に打ち込むコンクリートの側圧に対して、FRM と H 鋼が一体となって抵抗するため、型枠を代替し得る高い剛性と曲げ強度が期待できる。なお、H 鋼はフランジにスタッド等を設置することで、FRM と一体化させる。また、H 鋼は、RC 壁部材の軸方向鉄筋と代替することで、本設材としても活用できる。

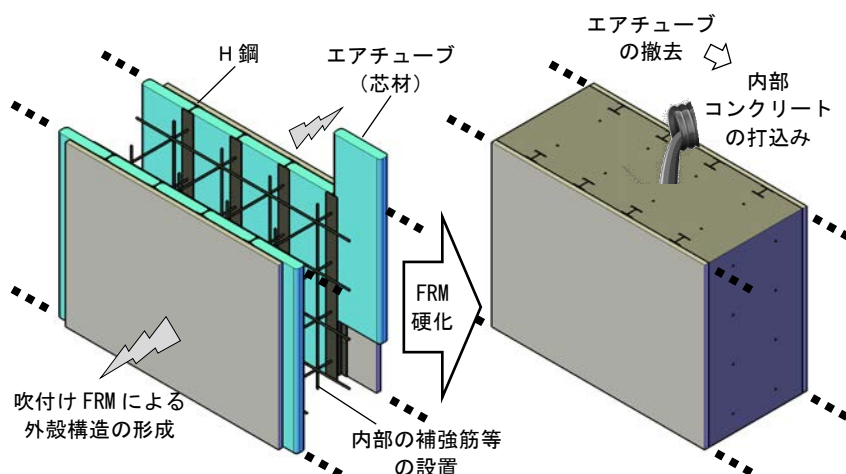


図-1 吹付け FRM と鋼材からなる壁部材の外殻構造のイメージ

3. 外殻構造の施工性の検証

吹付け FRM と鋼材からなる外殻構造が、施工できることを確認するために、施工実験を行った。試験体の吹付け時の断面を図-2 に示す。H 鋼は、鋼種 SS400、呼び 100×100、長さ 1,500mm のものを 2 本、290mm の間隔でフランジの表面が吹付け面となるよう設置した。FRM の吹付け厚さは 40mm とし、一層で吹き付けた。H 鋼のフランジ表面には、吹付け直後の FRM のダレを防止するため、また FRM と一体化させるため、M10 ボルトを溶接した。なお、H 鋼の諸元と FRM の吹付け厚さは、両者が一体となってコンクリート打込み時の側圧に対して抵抗することを想定した断面解析によって、打込み高さ 5m の高流動コンクリートの側圧に対して、FRM に発生する引張応力が 5N/mm² 以下となるように決定した。

吹付け時には、H 鋼の間に径が約 100mm のエアチューブを芯材として 4 本

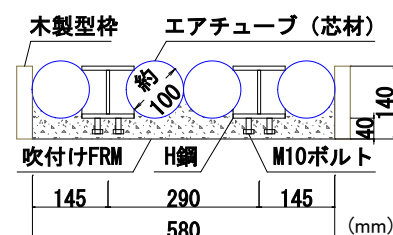


図-2 吹付け時の試験体断面

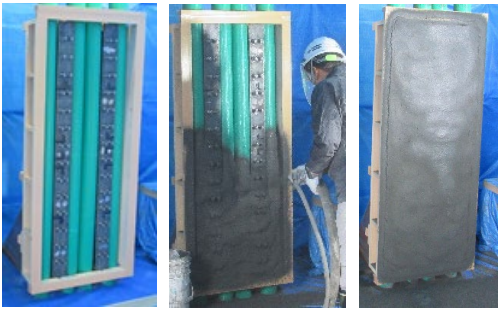
キーワード：型枠、生産性向上、鋼繊維補強モルタル、吹付け、外殻構造

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株)技術研究所 TEL 042-489-6249

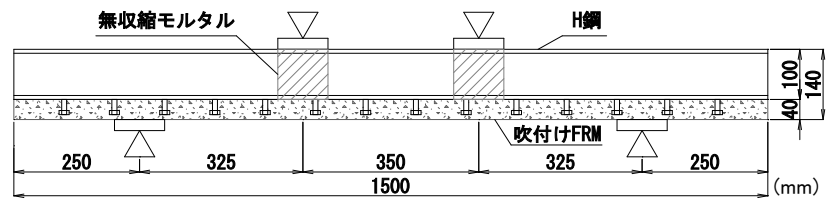
設置し、FRM の硬化後に、空気を抜くことでエアチューブを撤去した。
FRM の吹付け状況を写真－1 に示す。本施工実験では、吹付け直後の FRM の剥がれやダレが確認されず、表面のこて仕上げも良好に実施することができた。以上のことから、FRM の吹付けによって考案した外殻構造を施工できることが確認できた。

4. 外殻構造の曲げ性能の検証

鋼材と FRM からなる外殻構造が、型枠として機能できる曲げ性能を有していることを確認するために、施工実験で製作した試験体に対して、図－3 に示すような曲げ载荷実験を行った。実験では、等曲げ区間に作用する断面力が、打込み高さ 5m で高流動コンクリートを打ち込んだ際と同等となる荷重 55.0kN を上限に、载荷と除荷（下限荷重は 3kN）を 3 回繰り返した後、等曲げ区間の引張縁応力が FRM の曲げ強度相当となる荷重 184.2kN まで载荷を行った。これらの荷重値は、表－1 の材料特性を用いて、H 鋼と FRM の一体化を仮定した断面解析により設定した。



写真－1 FRM の吹付け状況



図－3 载荷実験の概要（正面図）

表－1 使用材料の特性

吹付けFRM	圧縮強度	192.9 N/mm ²
	ひび割れ発生強度	15.8 N/mm ²
	曲げ強度	16.7 N/mm ²
	弾性係数	39.5 kN/mm ²
H 鋼	降伏強度	320.0 N/mm ²
	弾性係数	200.0 kN/mm ²

図－4 に荷重とスパン中央の鉛直変位の関係を示す。図から分かるように、内部に打ち込むコンクリートの側圧に相当する荷重 55kN 時まで試験体は線形的な挙動を示し、3 回の繰り返し载荷に対しても剛性の低下などの変化は確認されなかった。このことから、想定した内部コンクリートの側圧に対して、外殻構造にひび割れが生じることなく型枠として機能できることが示された。

一方、繰り返し载荷の後、荷重が 80kN 程度に到達した時点で曲げ剛性が低下した。ひずみゲージの計測値や目視による観察から、この時点で FRM の表面にひび割れが発生したことが確認されている。吹付け FRM と鋼材からなる外殻構造の全断面を有効とした場合、この時点における引張縁の発生応力は 7.3N/mm² であり、FRM のひび割れ発生強度の材料試験結果（表－1）よりも低い値となる。

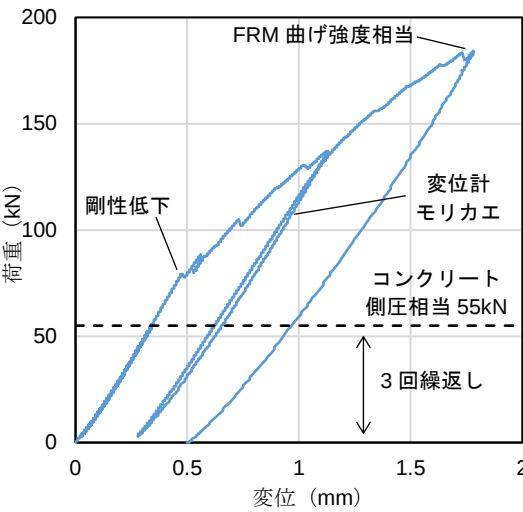
ひび割れが想定よりも低い引張応力で生じた要因としては、FRM の自己収縮を H 鋼が拘束することで、FRM に引張応力が生じていたことなどが考えられる。

5. まとめ

本稿では、吹付け可能な FRM と鋼材による壁部材を想定した外殻構造を考案し、その施工性と型枠としての性能について検証を行った。その結果、FRM を吹付けることで外殻構造の構築が可能であること、および内部コンクリートの打込み時の側圧に対して外殻構造が型枠として機能できることを確認した。今後、ひび割れが想定よりも早い段階で生じた原因の解明を進めるとともに、内部コンクリートの硬化後におけるかぶりとしての性能評価について検討を進めていく予定である。

参考文献

1)小林ら：構造物の外殻形成を目的とした吹付け用繊維補強モルタルの検討，土木学会第 76 回年次学術講演会講演概要集，2021.（投稿中）
2)横田ら：吹付け可能な鋼繊維補強コンクリートによる外殻を有する RC 梁部材の曲げ実験，土木学会第 74 回年次学術講演会講演概要集，V-388，2019.



図－4 荷重－変位関係