

吹付け可能な高強度繊維補強モルタルと鋼材で構成される外殻構造における収縮の影響

鹿島建設(株) 正会員 ○松田有加 Devin Gunawan 曾我部直樹 小林 聖

1. はじめに

RC 壁部材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（以降、FRM）で外殻構造を構築する手法について検討を行っている。FRM の吹付けで外殻部を構築し、埋設型枠として用いることで、型枠大工による現場作業や支保工の組立、解体作業の省力化が期待できる。外殻構造としては、RC 壁の主鉄筋を H 形鋼などの鋼材に置き換え、同鋼材で FRM を補強した構造（図-1）を考案し、施工性や埋設型枠としての成立性について検証を行っている¹⁾。

一方、同検討では、FRM の曲げひび割れ発生強度よりも小さい曲げ引張応力度でひび割れが発生する事象が確認されており、その要因として FRM の自己収縮の影響が示唆された。本稿では、既往の検討で実施した曲げ実験の試験体を対象とした 3 次元 FEM 解析によって、FRM の収縮に伴う発生応力を評価した結果について報告する。

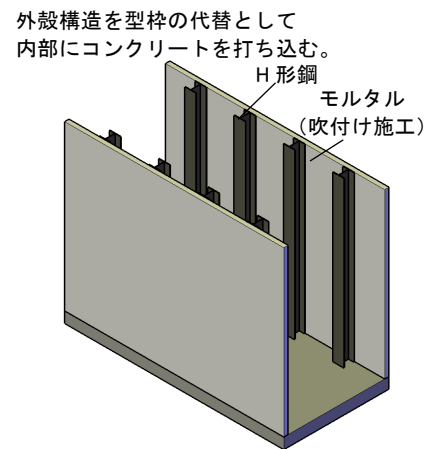


図-1 複合外殻構造の概要

2. 外殻構造の曲げ実験

試験体の概要を図-2 に示す。試験体は吹き付けた FRM を付着させる芯材をパラメータとした 2 体の梁部材である。試験体①は芯材としてエアチューブを使用し¹⁾、試験体②は開口率約 59% のラス網を使用した。H 形鋼 (SS400) は寸法が 100×100 のものを 2 本、290mm 間隔で配置し、フランジの表面が吹付け面となるようにした。FRM は超高強度繊維補強コンクリート（以降、UFC）に準じた配合とし、幅 580mm、厚さ 40mm を吹付けで施工した^{1,2)}。

表-1 に実験時の材料特性を、図-3 に荷重とスパン中央の鉛直変位の関係を示す。両試験体は荷重 50kN までひび割れが生じることなく、概ね線形的な挙動を示した。しかし、荷重 50~80kN でひび割れが発生した後、荷重 80kN 付近で曲げ剛性が低下した。FRM と H 形鋼が一体となって挙動すると仮定した場合、ひび割れ発生荷重 50~80kN における引張縁の発生応力は 4.3~7.3N/mm² であり、FRM の材料試験における曲げひび割れ発生強度 13.7~15.8N/mm²（表-1）に比べて、平均で 9.0N/mm² 小さい応力でひび割れが生じたことになる。

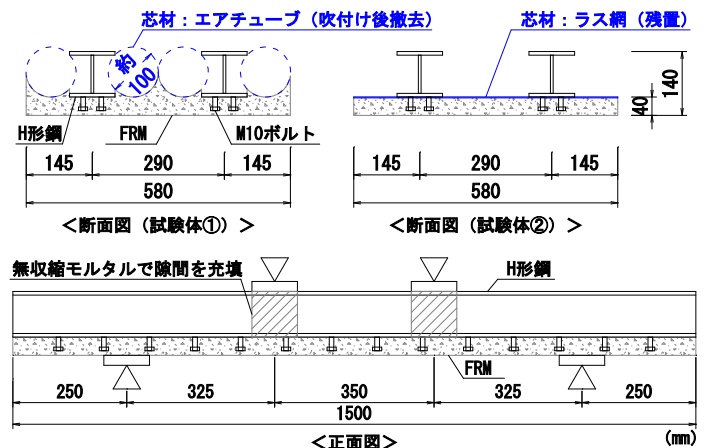


図-2 試験体の概要

3. 収縮による発生応力の解析的検討

前述の曲げ実験によって、想定よりも早い段階で曲げひび割れが生じた要因としては、吹き付けた FRM の自己収縮や乾燥収縮が H 形鋼に拘束されることで引張応力が生じたものと考えられた。そこで、その可能性を検証するために、FRM の収縮に伴う発生応力について、3 次元 FEM 解析による検討を行った。図-4 に解析モデルの概要を示す。解析対象は曲げ実

表-1 使用材料の特性

項目	試験体①	試験体②	単位	
FRM	f'_c	192.9	175.4	N/mm ²
	f_t	15.8	13.7	N/mm ²
	f_b	16.7	16.9	N/mm ²
	E_c	39.5	34.9	kN/mm ²
H 形鋼	f_y	320.0		N/mm ²
	E_s	200.0		kN/mm ²

f'_c : 圧縮強度, f_t : 曲げひび割れ発生強度, f_b : 曲げ強度, f_y : 降伏強度, E_c, E_s : 弾性係数

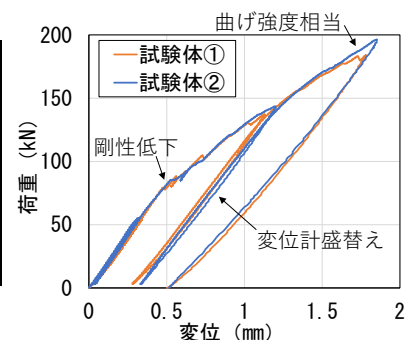


図-3 荷重-変位関係

キーワード 吹付け FRM, 外殻構造, 収縮, ひび割れ発生強度, 型枠, 生産性向上

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 042-485-1111

験の試験体の1/4とし、DIANA 10.5を用いて行った。FRMとH形鋼はソリッド要素によりモデル化し、両要素が完全付着している状態を仮定した。材料特性は、いずれも表-1の弾性係数を有する弾性モデルを適用した。FRMはUFCの収縮に関する既往の検討結果²⁾を参考に、材齢7日で 700μ 、230日で 800μ の収縮が発生すると仮定した。

試験体①の曲げ実験を行った材齢(吹付けからの日数)94日におけるひずみと応力の断面内分布の解析結果を図-5に示す。ひずみ分布から分かるように、FRMは最下縁(外面)の収縮ひずみが最大となり、H形鋼と接する位置(内面)まで徐々に収縮ひずみが低下した。また、FRMの収縮による偏心力を受け、H形鋼の下縁に圧縮応力(最下縁 100N/mm^2 以上)、上縁に引張応力(最上縁 25N/mm^2 以上)が発生したことを確認した。

曲げ実験の材齢時における試験体①、②のA-A、B-B断面の応力分布を図-6に示す。収縮に伴い、H形鋼直下のA-A断面で $2.0\sim 16.7\text{N/mm}^2$ の応力が発生し、特にH形鋼との接触面となるFRM高さ位置 40mm で引張応力が最大となる分布を示すことが分かる。また、H形鋼から離れたB-B断面においても、断面内に $1.3\sim 10.8\text{N/mm}^2$ の引張応力が生じている。曲げ実験における曲げひび割れ発生強度の低下分の平均値 9.0N/mm^2 は、解析結果におけるA-A断面の引張応力分布の平均値 7.4N/mm^2 に近似する結果となった。本解析はFRMの硬化に伴う弾性係数と付着の変化やH形鋼フランジに配置したボルトの影響を考慮していないが、この結果から、曲げ実験で確認された曲げひび割れ発生強度の低下が、FRMの収縮をH形鋼が拘束することで生じることが示された。

4. まとめ

本稿では、吹付け可能な高強度FRMと鋼材からなる外殻構造について、曲げ実験で確認された曲げひび割れ発生強度の低下の原因を把握するために、3次元FEM解析による検討を行った。その結果、FRMの収縮がH形鋼に拘束されることで、実験で確認された曲げひび割れ発生強度の低下分に相当する引張応力が、FRM断面内に生じることを確認した。今後、外殻構造の設計方法の確立に向けて、収縮の影響を考慮した曲げひび割れに対する照査方法について検討を行う予定である。

参考文献

- 1)松田ら：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，土木学会第76回年次学術講演会 講演概要集，V-480，2021。
- 2)サクセム研究会，サクセム 設計・施工マニュアル(案)，pp.3-12，2008。

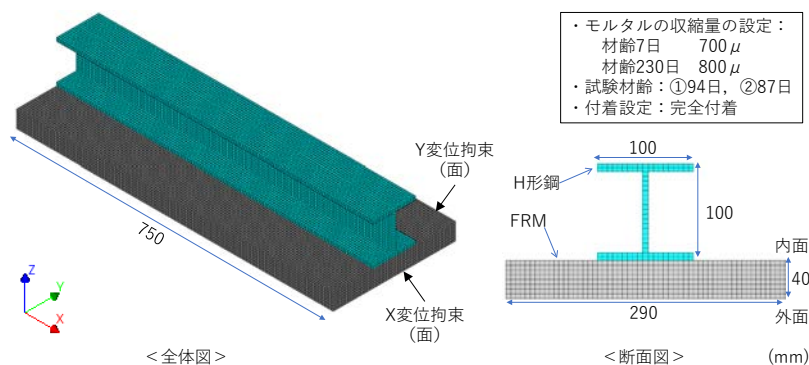


図-4 解析モデル(1/4モデル)の概要

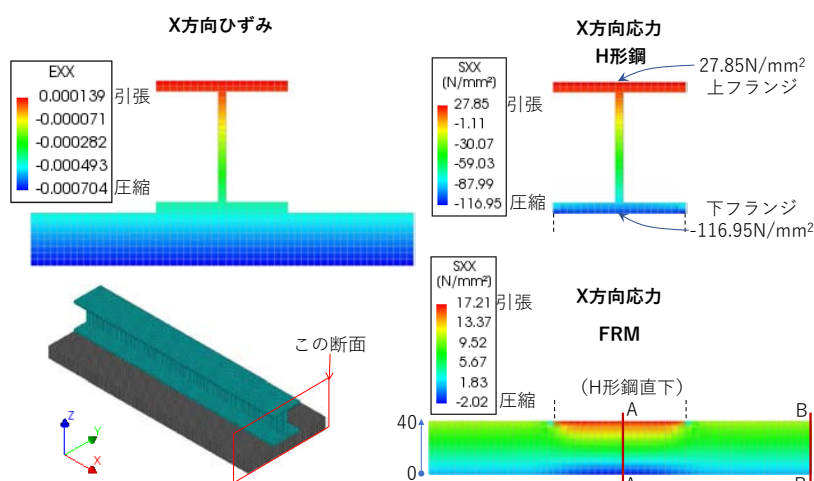


図-5 収縮によるひずみと応力の断面分布(試験体①)

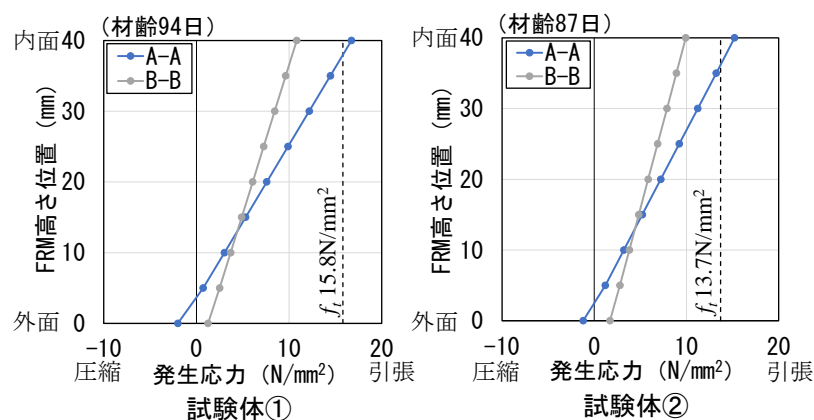


図-6 収縮によるFRMの発生応力