

樹脂接合された鋼-自己充填型鋼繊維補強モルタル合成部材の曲げ性状

Flexural Behavior of Steel - Self Compacting Fiber Reinforced Mortar Composite Member Bonded by Resin

北海道大学大学院工学研究科 ○学生員 山崎大輔 (Daisuke Yamazaki)
 北海道大学大学院工学研究科 正員 佐藤靖彦 (Yasuhiko Sato)
 (株)IHI 基盤技術研究所 正員 塩永亮介 (Ryosuke Shionaga)

1. はじめに

近年、大型車交通量の増加や車両の大型化に伴い、既設鋼床版の溶接部に疲労亀裂を伴う損傷事例が報告がされている¹⁾。その対策として、鋼繊維補強コンクリート(Steel Fiber Reinforced Concrete, 以下 SFRC)を既設の鋼床版上に約 50mm の厚さで打設し、樹脂接合により一体化させ部材剛性を向上させる工法が用いられている²⁾。しかし従来の工法では、全体の舗装厚さ(約 75mm)制限の中で排水性舗装の敷設が困難であり、補強厚の縮小が技術的課題として挙げられている。そこで、著者らは、独自に開発した高性能セメント材料の一つである自己充填型鋼繊維補強モルタル(Self Compacting Fiber Reinforced Mortar, 以下 SCFRM)を既設鋼床版への増厚材として適用させることを提案している。SCFRM を用いることで増厚厚さを 40mm 以下に抑え、従来と同等以上の疲労補強効果を発揮させるとともに、上部へ排水性舗装の敷設も可能となる。しかしながら、SCFRM を用いた合成部材の力学特性については未検討な部分があり、そのひとつとして、合成部材の曲げ性状が挙げられる。そこで本研究では、静的曲げ荷重下における SCFRM 合成部材の曲げ性状の検討を既存の SFRC 合成部材と比較することで行う。なお本研究では接合方法に 2 種類のコンクリート・鋼材用樹脂を用いた。

2. 実験概要

2.1. 使用材料及び配合

(1) SCFRM

SCFRM の目標強度は材齢 28 日で 100N/mm^2 とし、普通ポルトランドセメントにシリカフェーム及び膨張材を添加した。細骨材は最大骨材径 5.0mm で表乾密度 2.64g/cm^3 、吸水率 2.21% のものを使用した。また鋼繊維は長さ 13mm を用意し(図-1(a))、混入率を 1.0%-vol. とした。なお、鋼繊維径は 0.16mm で引張強度は 2000N/mm^2 以上である。

(2) SFRC

SFRC の目標強度は材齢 28 日で 40N/mm^2 とし、普通ポルトランドセメントに膨張材を添加した。細骨材は最大骨材径 5.0mm で表乾密度 2.64g/cm^3 、吸水率 2.21% のものを使用し、粗骨材は最大骨材径 20 mm で表乾密度 2.77g/cm^3 吸水率 0.98% のものを使用した。また鋼繊維は長さ 30mm、繊維径 0.62mm でフックエンド形状のものを用意し(図-1(b))、混入率を 1.27%-vol. とした。なお鋼繊維の引張強度は 1000N/mm^2 以上である。

(3) 樹脂及び鋼板

本研究では 2 種類のエポキシ系樹脂を用いた。それぞれ高い粘性・耐水性を有する樹脂(Type1)と、汎用の鋼板接

着工法用樹脂(Type2)を用いた。いずれも引張せん断強度は 10N/mm^2 以上を有する。また、鋼板はサンドブラスト処理を施した板厚 9mm の SS400 鋼材を用いた。

2.2. 試験体

図-2 に示す本試験体は、毎熊ら³⁾によって実施された SFRC 合成構造の試験体寸法を参照して作製された。SCFRM 合成部材は $1500\text{X}200\text{X}49\text{mm}$ の薄板試験体とし、9mm 厚の鋼板に 40mm 厚の SCFRM を打設した。打設は、鋼製型枠に予め鋼板を設置し樹脂を均一に塗布した後、SCFRM を片側よりミキサーから直接型枠に流し込んだ(図-3)。一方 SFRC 合成部材は $1500\text{X}200\text{X}59\text{mm}$ の薄板試験体とし、9mm 厚の鋼板に 50mm 厚の SFRC を打設した。

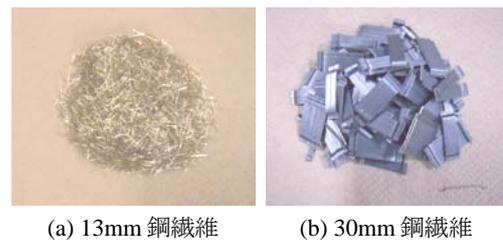


図-1 本研究で用いた鋼繊維

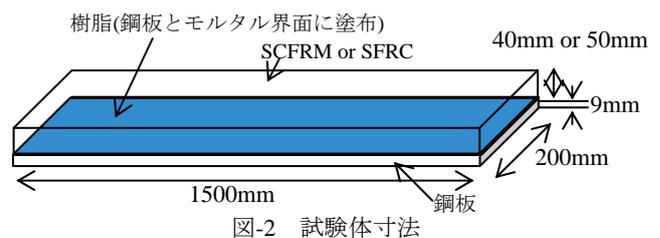


図-2 試験体寸法

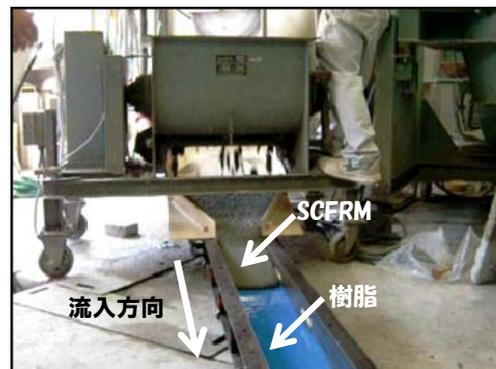


図-3 SCFRM の打設状況

2.3. 実験変数

本研究における実験変数を表-1に示す。Case1, 2, 3は正曲げ試験を、Case4は負曲げ試験を実施した。Case1, 2, 4は増厚材にSCFRM (t=40mm)を用い、接合方法にType1もしくはType2を用いた。Case3は既存のSFRC合成部材とし、増厚材にSFRC (t=50mm)を用い、接合方法にType1を用いた。なお、いずれのケースも1体ずつ実施した。

2.4. 試験方法

本研究では、鋼床版が正曲げまたは負曲げを受ける場合を想定し、図-4に示すように試験体を設置した。荷重は静的3等分曲げとし、大変形を避け³⁾かつ定着長を確保するために試験スパン長さおよび定着長を設定した。また変位計を試験体両サイドの荷重載荷部に4箇所、両支点部に2箇所及び両端部2箇所設置した。荷重載荷部変位計はその平均値をたわみとして算出した。

表-1 試験体の種類

| Case No. | 増厚材 (厚さ:t) | 樹脂 | 荷重形式 |
|----------|-------------------|--------|------|
| Case 1 | SCFRM | Type 1 | 正曲げ |
| Case 2 | (t=40mm) | Type 2 | |
| Case 3 | SFRC (t=50mm) | Type 1 | |
| Case4 | SCFRM (t=40mm) | Type 1 | 負曲げ |

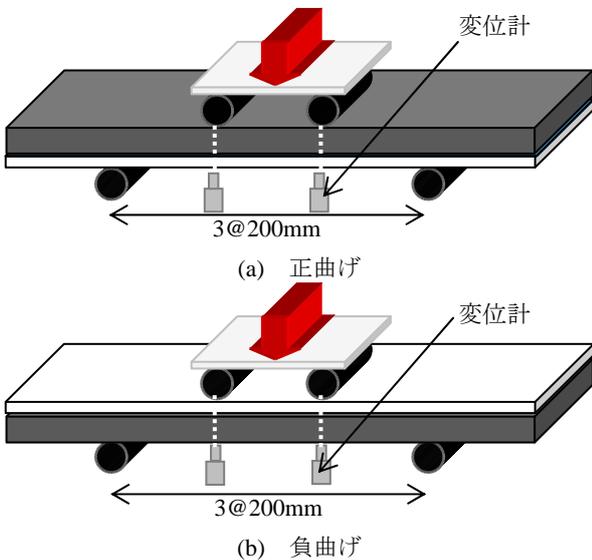


図-4 曲げ試験図

3. 実験結果

(1) 正曲げ試験

図-5に静的正曲げ試験における荷重点位置の荷重-たわみ関係を、図-6に荷重点位置における鋼板の荷重-ひずみ関係を示す。これよりCase1, 2は増厚厚さが40mmとSFRC合成部材 (t=50mm)より薄厚にも関わらず同程度の曲げ剛性、曲げ耐力を有していることが確認された。

Case1は、曲げひび割れ発生後、斜めひび割れが鋼板-樹脂間に伝わり、漸進的に付着破壊が進展した(図-7(a))。

たわみが5.5mmに達した後、部材端部における樹脂-鋼板の完全な剥離により荷重が急減した。

Case2は、曲げひび割れ発生後も最大荷重(100kN)まで線形的な荷重増加がみられる。しかしながら最大荷重到達後は樹脂-鋼板間で脆性的なせん断付着破壊を示し、急激に荷重が低下した(図-7(b))。

Case3は、Case1, 2と異なり、斜めひび割れ進展後、コンクリート圧縮部の圧壊により荷重が急減した(図-7(c))。すなわち、せん断圧縮破壊を起こした。

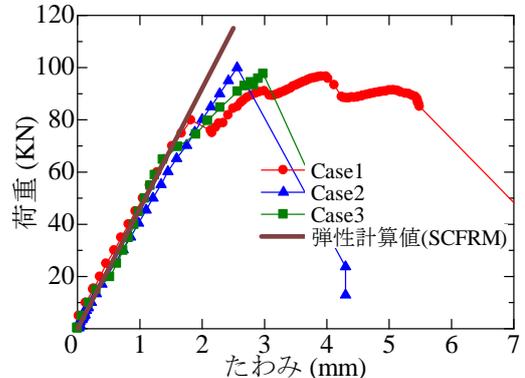


図-5 荷重-たわみ関係

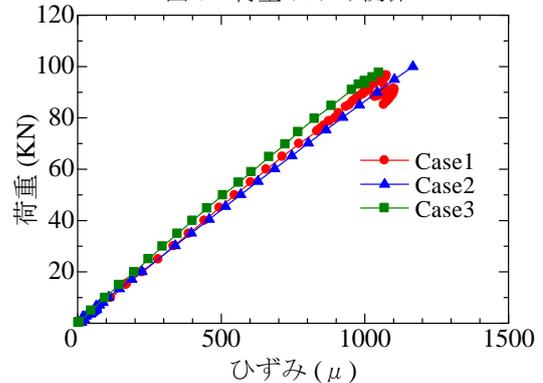


図-6 荷重点位置(鋼板)の荷重-ひずみ関係

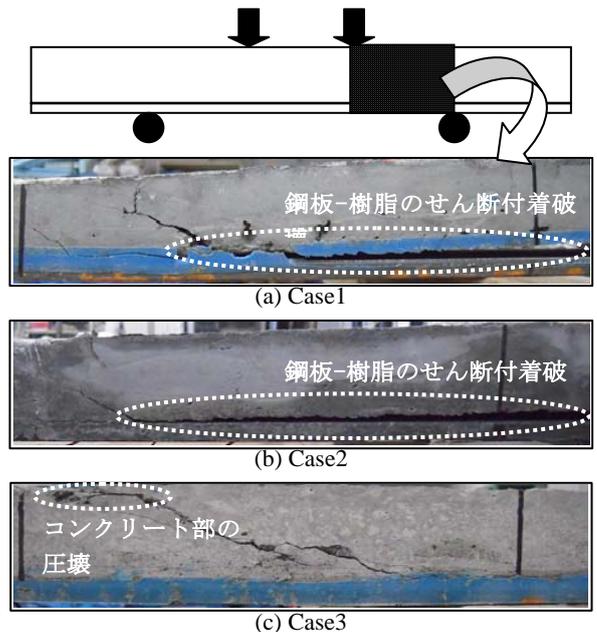


図-7 ひび割れ図

(2) 負曲げ試験

図-8 に静的負曲げ試験における載荷点位置での荷重-たわみ関係を示す。比較として SCFRM 合成部材の弾性計算値と毎熊ら³⁾によって実施された SFRC 合成部材の負曲げ試験結果を併載する。また図-9 に載荷点位置における鋼板の荷重-ひずみ関係を示す。

SCFRM を用いた場合、増厚厚さが 40mm と薄厚にも関わらず SFRC を用いた場合と同等の曲げ剛性を有し、さらに 2 倍以上の曲げ耐力を有していることが確認された。また、曲げひび割れ発生後も 15KN 付近までは弾性計算値とほぼ一致するが確認された。これは、曲げひび割れ発生後においても、混入された鋼繊維の架橋効果により断面内の引張力を分担し、部材の剛性低下を抑制しているためだと考えられる。その後はひび割れの進展とともにたわみも増大し、圧縮側に設置した鋼板が降伏した。

また、曲げ破壊性状の評価としてひび割れ状況を観察した(図-10)。SCFRM を用いた場合、曲げ区間において微細なひび割れが分散して発生していることが確認された。これより SCFRM を用いた場合、混入された繊維の架橋効果により、局所的なひび割れの進行を防ぎ、ひび割れを分散させることで個々のひび割れ幅を低減する効果があると考えられる。これらの効果により、曲げひび割れ発生後も部材剛性の低下を抑制し、荷重増加が認められたと考えられる。

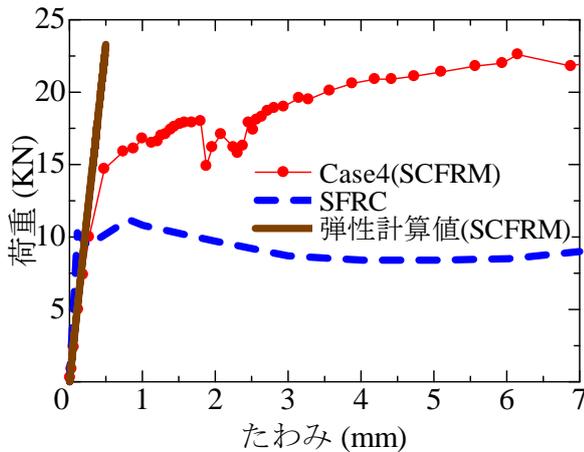


図-8 荷重-たわみ関係

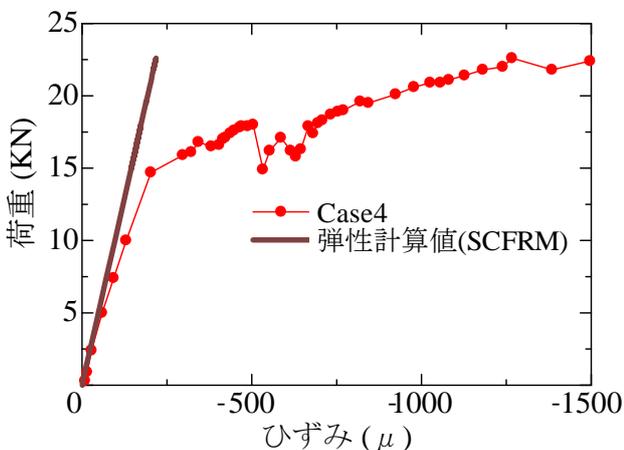


図-9 載荷点位置(鋼板)の荷重-ひずみ関係

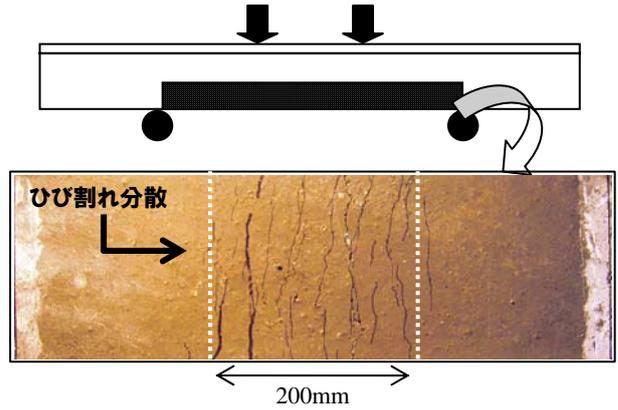


図-10 ひび割れ状況

4. まとめ

本研究では樹脂接合された自己充填型鋼繊維補強モルタル合成部材の曲げ性状を検討した。正曲げ及び、負曲げ試験において以下の結論が得られた。

正曲げ試験

- (1) SCFRM を用いた場合、増厚厚さを 40mm としても既存の SFRC 合成構造(増厚厚さ=50mm)と同程度の曲げ剛性、曲げ耐力を有した。
- (2) SCFRM を用いた場合、樹脂の種類に関わらずせん断付着破壊が先行した。

負曲げ試験

- (1) SCFRM を用いた場合、増厚厚さを 40mm としても既存の SFRC 合成構造(増厚厚さ=50mm)と同程度の曲げ剛性ならびに、2 倍以上の曲げ耐力を有した。
- (2) SCFRM を用いた場合、不曲げ作用下においてひび割れ分散効果ならびにひび割れ幅低減効果を有した。

今後は、機械的なずれ止めとの併用を視野に入れた研究を行う予定である。

5. 参考文献

- 1) 三木千壽ら: 鋼床版箱桁橋のデッキプレート近傍に発生した疲労損傷の原因, 土木学会論文集, No.780, pp.57-69, 2005.1
- 2) 牛越裕幸, 弓削太郎: 実橋における既設鋼床版への SFRC 補強効果確認計測, 第 62 回年次学術講演会講演概要集, CS2-019, pp.59-60, 2007.9
- 3) 毎熊宏則, 三浦真司ら: FRP グリッド材で補強した鋼床版上 SFRC 版の曲げ補強効果に関する一検討, 第 60 回年次学術講演会講演概要集, 1-496, pp.989-990, 2005.9