

補強した RC 梁の新旧材料界面での付着破壊の評価における非破壊試験の適用

岐阜大学 学生会員 ○桑原常晃 浅野雅則 非会員 應江虹
岐阜大学 正会員 国枝稔 鎌田敏郎 六郷恵哲

1. はじめに

コンクリート構造物の補強工法の設計・施工においては、母材としての旧コンクリートと補強材との界面での付着破壊性状を把握しておくことが極めて重要である。この新旧材料の界面での付着破壊を評価するためには、非破壊試験を用いることが有効と考えられるが、補強に用いる材料や工法の違いによって適用可能な試験法の種類が異なり、その適用性については未だ不明な点が多いのが現状である。

そこで本研究では、鋼繊維補強モルタル（SFRM）吹付け及び鋼板接着により補強した 2 本の RC 梁において曲げ載荷試験を実施し、非破壊試験法としてそれぞれ超音波法及びサーモグラフィ法を用いて新旧材料界面の付着破壊状況を評価し、それらの適用性を検討した。

2. 実験概要

(1) 試験体概要

試験には、SFRM 吹付け RC 梁（試験体 No.1）及び鋼板接着補強 RC 梁（試験体 No.2）を用いた。試験体の載荷スパン部分の寸法は、試験体 No.1 が L:3400mm × W:600mm × H:1000mm、No.2 が L:3400mm × W:600mm × H:900mm である（図-1）。試験体 No.1 では、ウォータージェットにより梁下面コンクリートを 10mm 程度除去した後、SFRM を 100mm 厚で吹付けた。試験体 No.2 は、板厚 6mm の鋼板を梁下面に隙間 5mm で仮止めし、隙間にエポキシ系樹脂を充填して母材と接着させた。

(2) 載荷試験方法

本実験では、試験体 No.1、No.2 とともに曲げ載荷試験を行った。載荷はまず、それぞれの梁の主鉄筋の許容応力レベルまで行い（以下、許容応力レベル載荷とする）、一旦除荷した。また、試験中は、スパン中央点の鉛直変位を計測した。その後の載荷では、主鉄筋降伏程度まで載荷後に一回除荷し、続いて試験体が破壊するまで載荷した。試験中は梁中央の鉄筋ひずみ等を計測し、試験体 No.1 では梁中央の添え鉄筋ひずみを、また No.2 では梁中央鋼板ひずみを計測した。

(3) 超音波計測およびサーモグラフィ計測

本実験では、試験体 No.1 に対しては超音波計測、No.2 に対してはサーモグラフィ計測を行い（図-2）、それぞれ載荷前、許容応力レベル載荷後、さらに主鉄筋降伏程度まで載荷後および破壊後の計 4 回測定を行った。

超音波計測には超音波探傷器を用い、探触子には広帯域垂直探触子（直径 56mm、0.5MHz）を用いた。測定は、1 探触子法により反射波を受振して、最大となる振幅値を読み取った。測定点は梁の吹付け面においてほぼ等間隔で計 18 箇所設定した（図-1(a)）。サーモグラフィ計測には、サーマルビデオシステムを用いた。測定面は鋼板の全面を 600 × 400mm ごとに 8 分割（図-1(b)）し、計測は、赤外線カメラを試験体底面より 2.23m の位置に設置した後、鋼板表面を液体窒素により強制冷却し、冷却終了直後から 10 秒間隔で 180 秒間行った。

3. 実験結果および考察

(1) 荷重 - ひずみ関係による評価

許容応力レベル載荷後の時点では、試験体 No.1、No.2 とともに梁の鉛直変位量は極めて小さく、この段階では試験体が弾性的

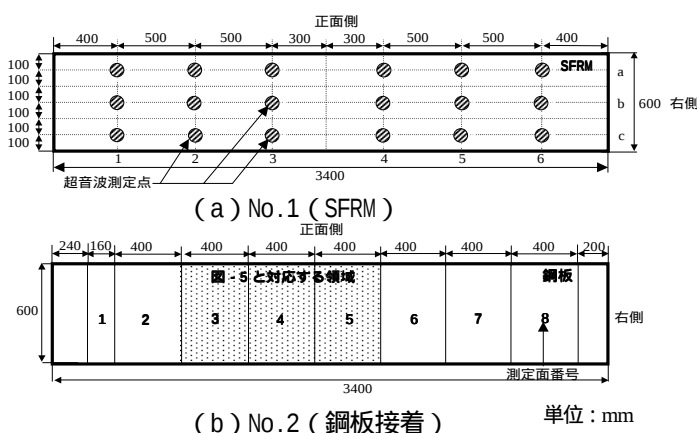


図-1 試験体概要（梁底面を見上げた図）

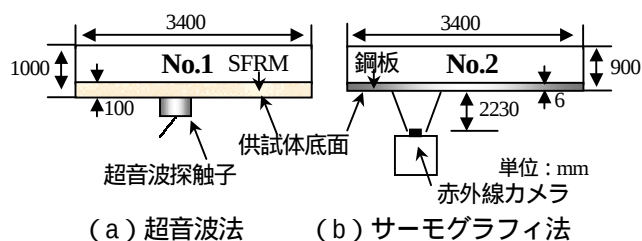


図-2 非破壊試験計測方法

キーワード：補強，非破壊試験，付着破壊，超音波法，サーモグラフィ法

連絡先：〒501-1193 岐阜市柳戸 1-1 岐阜大学工学部社会基盤工学科 TEL/FAX 058-293-2470

な挙動を示しており、試験体に生じた損傷は極めて小さいと考えられる。

次に、試験体 No.1 における主鉄筋ひずみ及び添え鉄筋ひずみと荷重との関係を、また試験体 No.2 における主鉄筋ひずみ及び鋼板ひずみと荷重との関係を図-3に示す。試験体 No.1 では、主鉄筋降伏の前の時点においては主鉄筋ひずみと添え鉄筋ひずみがほぼ同じ値となっており、この範囲では補強材は母材との一体性は保たれていたものと考えられる。これに対して主鉄筋降伏後は、ゲージの値からは判断が難しいが、側面からの目視観察によっても界面に一部水平ひび割れが認められた。したがって、補強材と母材との間に付着破壊が生じている可能性は高いと考えられる。一方試験体 No.2 では、主鉄筋降伏程度の荷重までは鉄筋と鋼板のひずみはほぼ同じ傾向を示しているが、再載荷後 1700kN 以降では、鋼板ひずみが減少し、鉄筋ひずみは増加していることがわかる。これは、この時点で既に鋼板が剥離しており、構造的に荷重を分担していない状態にあったものと考えられる。

(2) 超音波法およびサーモグラフィ法による評価

超音波法では、評価指標として最大振幅値比（入射波の最大振幅値に対する反射波の最大振幅値）を求めた。図-4に載荷前、許容応力レベル載荷後、載荷終了後（破壊後）における最大振幅値比の分布を示す。載荷前では、測定点 b-4 において、最大振幅値比は大きい値を示しているが、それ以外では値は非常に小さいことがわかる。測定点 b-4 については、調査の結果、吹付け後に補修を施した部分であることが分かった。またこの傾向は許容応力レベル載荷後も同様であり、載荷終了後においても、吹付け界面には剥離、ひび割れなどはほとんど生じていない¹⁾と考えられる。これに対して破壊後では、ほぼ全域で最大振幅値比が大きくなっており、これは界面における付着破壊の進展によるものであると考えられる。

サーモグラフィ計測では、計測開始後 120 秒の熱画像を検討した。図-5に測定面 3, 4 および 5 における載荷前、許容応力レベル載荷後および主鉄筋降伏程度まで載荷後の熱画像を示す。測定面 3, 4 では、載荷前の熱画像において、領域の左半分に、また測定面 5 では右半分にわずかに低温部が現れており、軽微な初期欠陥（充填不良等）の可能性²⁾が考えられる。これらの低温領域の面積は許容応力レベル載荷後ではわずかな増加にとどまっているにもかかわらず、主鉄筋降伏後においては、非常に広い範囲にわたって進展しており、鋼板の付着破壊が載荷の段階で急激に発生したものと考えられる。

以上の現象は梁の荷重-ひずみ関係における考察結果とよく対応しており、非破壊的に界面の付着破壊を評価できる可能性が示されたものと考えられる。

4. まとめ

RC 梁の補強で問題となる新旧材料界面の付着性状の変化を把握するためには、超音波法やサーモグラフィ法の適用が可能であることを示した。付着破壊の評価においては、超音波最大振幅値比や表面温度分布を指標として用いることが有効であることがわかった。

【参考文献】

- 1) 若槻晃右, 鎌田敏郎ら: 供用中の鉄筋コンクリート桁における鋼繊維補強モルタル吹付け界面性状の超音波計測, 土木学会第 56 回年次学術講演会講演概要集, V389, 2001.
- 2) 鎌田敏郎, 川瀬貴行ら: サーモグラフィによる鋼 - コンクリート間空隙の平面寸法および厚さの推定, 土木学会論文集, No.665/V-48, pp.75 - 82, 2000.8.

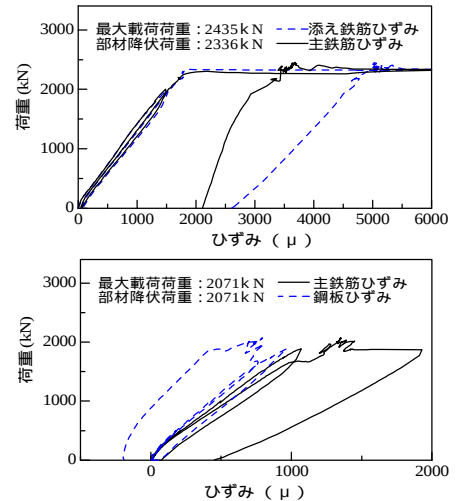


図-3 荷重-ひずみ関係

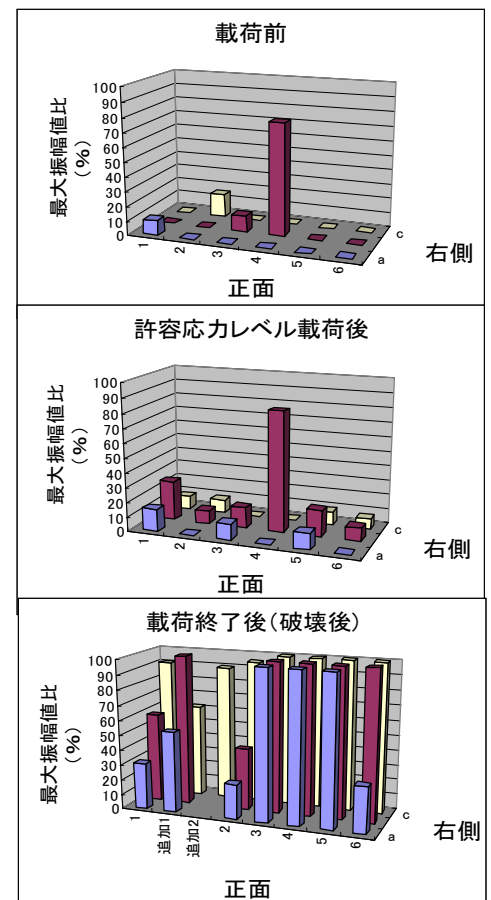


図-4 最大振幅値比

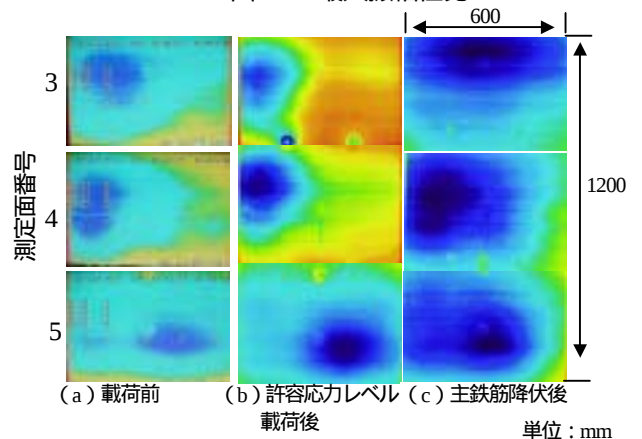


図-5 120 秒後の熱画像