

コンクリートの損傷による 鋼板接着補強効果の低下に関する検討

(国研) 土木研究所 寒地土木研究所 寒地構造チーム ○佐々木 優太
角間 恒
西村 敦史

鋼板接着工法により補強されたコンクリート構造物において、寒冷地特有のコンクリートの損傷が確認されている。しかしながら、その損傷が補強効果に与える影響は明らかにされていない。本稿では、損傷を与えた鉄筋コンクリート試験体を用いて載荷試験を実施し、コンクリートの損傷が補強効果の低下に及ぼす影響を検討した。

キーワード：鋼板接着工法、コンクリート損傷、補強効果低下、載荷試験

1. はじめに

昭和39年以前の鋼道路橋設計示方書（以下、示方書）に準じて設計された鉄筋コンクリート床版（以下、床版）では、それ以降の示方書により設計された床版と比較して床版厚や鉄筋量が不足している。これを受け、昭和50年頃～平成10年頃にかけて、床版下面への鋼板接着による補強が行われてきた（写真-1）。これらの床版（以下、鋼板接着補強床版）では、供用年数の経過に伴う床版の更なる劣化・損傷が進行しており、床版の抜け落ちに至る事例¹⁾も複数報告されている（写真-2）。

これらを背景に、北海道開発局が管理する鋼板接着補強床版の損傷状況を調査したところ、床版下面側の鋼板とコンクリートを一体化させているアンカー部にて、寒冷地特有のコンクリートの層状ひび割れによる脆弱化が確認された²⁾（写真-3）。しかしながら、アンカー部コンクリートの層状ひび割れが、補強効果に与える影響については不明点も多い。

そこで当チームでは、鋼板接着補強床版の補強効果低下に関する基礎的研究として、健全なコンクリート及び層状ひび割れを有するコンクリートにアンカーを打込み、引抜試験を実施した⁴⁾。その結果、層状ひび割れを有する場合には、アンカー引抜耐力が健全時と比較して低下することが確認され、アンカー部コンクリートの層状ひび割れが鋼板接着による補強効果低下に影響を与えている可能性が高いことが示された。

これらを踏まえ本研究では、鋼板接着補強床版の補強効果低下について更なる検討を行うため、健全及び層状ひび割れを導入したコンクリート試験体に対して、鋼板接着補強を施したうえで耐荷力試験を行い、アンカー部コンクリートの層状ひび割れが補強効果に与える影響について調査した。



写真-1 鋼板接着補強の例



写真-2 床版抜け落ち事例¹⁾



写真-3 アンカー部コンクリートの損傷事例³⁾

2. 試験方法

(1) 試験体

図-1に試験体の概要を示す。本試験では、幅500 mm×高さ200 mmの矩形断面を有する、長さ2,000 mmの鉄筋コンクリートはりを作成し、補強用鋼板を接着したうえで耐荷力試験を実施した。コンクリートは、JIS A5308に準ずるレディミクストコンクリート（早強24-12-20 N）を使用し、試験実施時（材齢133日）のコンクリート圧縮強度は35.2 N/mm²、静弾性係数は23.8 kN/mm²であった。

試験体は表-1に示すとおり、試験体1～3の全3体製作した。試験体1は健全なコンクリート、試験体2、3は鋼板接着補強床版におけるアンカー部コンクリートの層状ひび割れを再現するため、試験体下面側に層状ひび割れを与えた。試験体の層状ひび割れは、フレッシュ状態のコンクリートに静的破碎剤を添加し、コンクリート中の

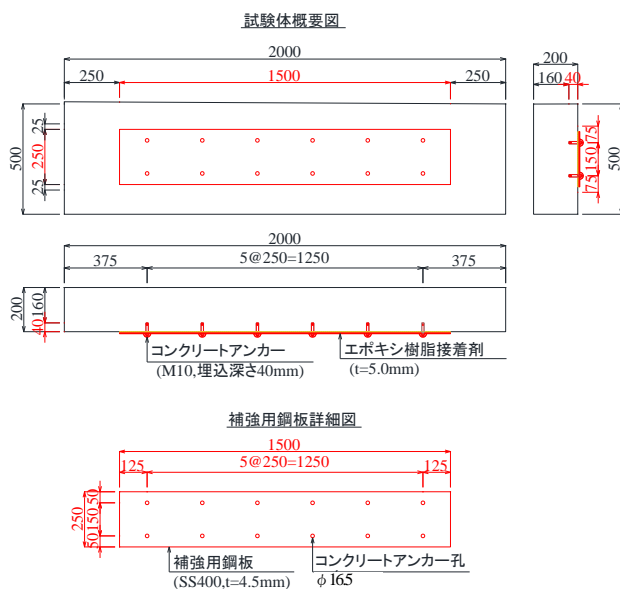


図-1 試験体概要

表-1 試験体一覧

	コンクリート損傷	鋼板接着方法
試験体 1	健全	全面接着
試験体 2	損傷あり	全面接着
試験体 3	損傷あり	端部剥離

水分との反応により生じる膨張圧を利用することで導入した⁹⁾。

補強用鋼板の接着については、試験体1、2の2体は補強用鋼板とコンクリートを全面接着させた。一方、既往研究⁹⁾において、既存の鋼板接着補強床版では注入樹脂による接着部にて、接着用樹脂と床版コンクリートとの剥離損傷が確認されている。このことから試験体3については、補強用鋼板端部とコンクリートが剥離した状態を模擬した。

(2) 試験手順

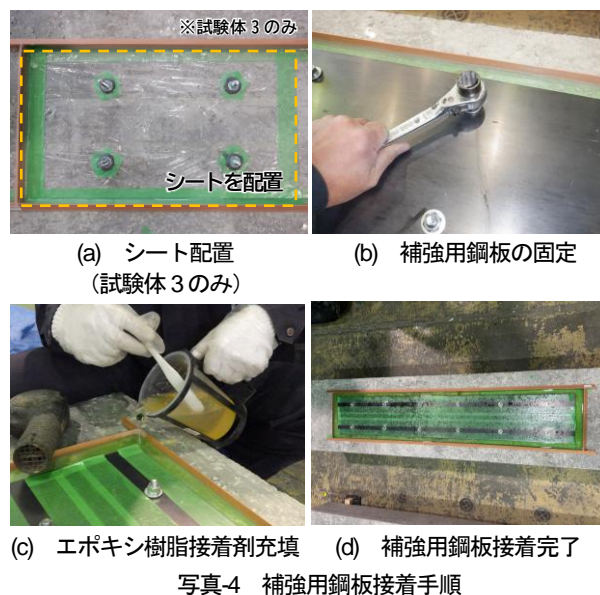
本試験は、次のa)～c)の手順により実施した。

a) 予備載荷

鋼板接着による補強効果を評価するため、本試験では試験体のたわみ量を評価基準とすることとし、コンクリート試験体へ鋼板を接着する前の無補強状態にて、予備載荷を実施した。予備載荷は、油圧ジャッキを用いて、中央点載荷により実施し、支点間隔は1,740 mmとした。載荷時の荷重は、道路橋示方書で規定されている設計曲げモーメントを参考に、50 kN及び75 kNとし、除荷・再載荷を複数回繰り返した。

b) 鋼板接着補強

各試験体に対して、補強用鋼板 (SS400、厚さ4.5 mm) をコンクリートアンカー (M10、埋込長40 mm) により固定したのち、エポキシ樹脂接着剤 (厚さ5.0 mm) を用いて、試験体下面へ接着させた (写真-4 (b)~(d))。なお、



試験体3については、試験体左側端部の約500 mmの範囲において、補強用鋼板とコンクリートとの間にシートを配置したうえで、エポキシ樹脂接着剤を充填することにより、補強用鋼板端部とコンクリートが剥離した状態を模擬している (写真-4 (a))。

なお、実橋梁における鋼板接着補強の施工では、桁下から上向きに接着用樹脂を圧入するため、本試験の接着方法は実際の施工方法と異なるが、樹脂充填後に打音検査を行い、接着用樹脂が確実に試験体へ充填されていることを確認している。

c) 本載荷

予備載荷終了後、載荷による曲げひび割れを導入した状態で、(2) b)の手順により鋼板接着補強を行った。その後、鋼板接着による補強効果を検証するため、予備載荷と同様に油圧ジャッキを用いた中央点載荷により本載荷を実施した (写真-5)。はじめに、予備載荷と同じ50 kN及び75 kNを上限とする繰返し載荷をそれぞれ2サイクルずつ実施し、その後、試験体が破壊に至るまで荷重を漸増させた。

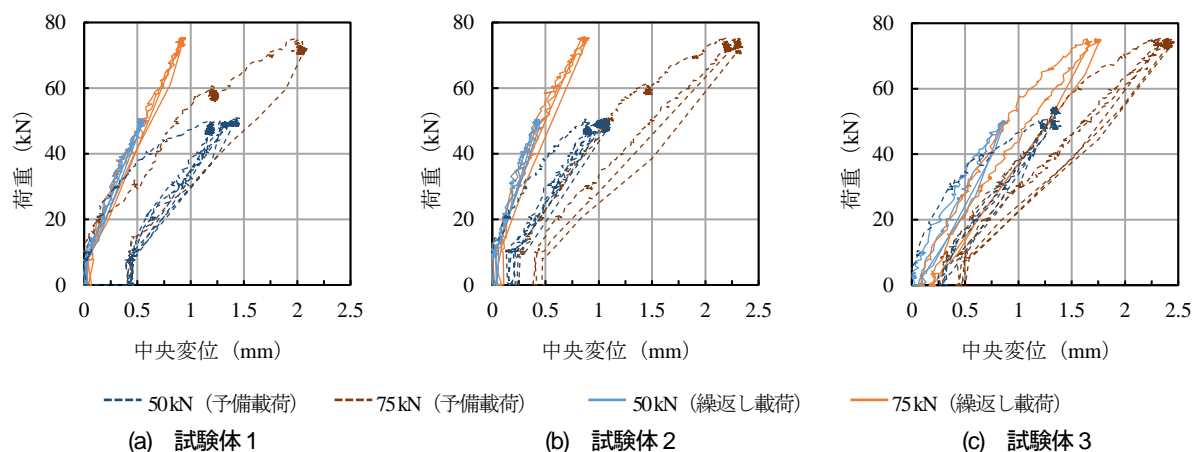


図-2 予備载荷及び繰返し载荷における荷重変位曲線

3. 試験結果

(1) 予備载荷及び繰返し载荷における荷重変位曲線

図-2に、予備载荷及び繰返し载荷における荷重変位曲線を示す。試験体1及び2では、予備载荷・繰返し载荷いずれにおいても、10 kN程度までは载荷による変位の増大は認められないが、その後は荷重の増加により中央変位が増大していることが確認できる。次に、75 kN载荷時の中央変位量に着目すると、無補強状態である予備载荷において、試験体1では約2.1 mm、試験体2では約2.4 mmの変位量となっている。一方、繰返し载荷における変位量は、試験体1では約1.0 mm、試験体2では約0.9 mmとなっている。このことから、無補強状態と比較し、鋼板接着により補強されたコンクリート試験体では、約5～6割変位量を抑制できることが確認された。また、繰返し载荷における試験体1と試験体2の変位量について、両試験体間で大きな差が見られないことから、補強用鋼板がコンクリートへ全面接着されていれば、コンクリートに層状ひび割れがあっても補強効果の低下は見られないことが確認された。

試験体3では、図-2より、繰返し载荷において、载荷直後から中央変位が緩やかに増加していることが確認できる。これに伴い、75 kN载荷時における繰返し载荷の中央変位は約1.8 mmとなっており、試験体1及び試験体2と比較し、約2倍の変位量となっている。しかしながら、75 kN载荷時の中央変位量に着目すると、無補強状態である予備载荷では約2.5 mmの変位量となっていることから、補強用鋼板の端部がコンクリートから剥離された状態であっても、無補強状態と比較し、約3割変位量を抑制できることが確認された。ただし、補強用鋼板とコンクリートが全面接着された試験体と比較すると、その変位抑制量は約4～5割低下している。よって、鋼板接着補強による剛性向上効果を確実に発現させるためには、接着剤樹脂により補強部材の付着性や一体性を十分に確保する必要があるといえる。

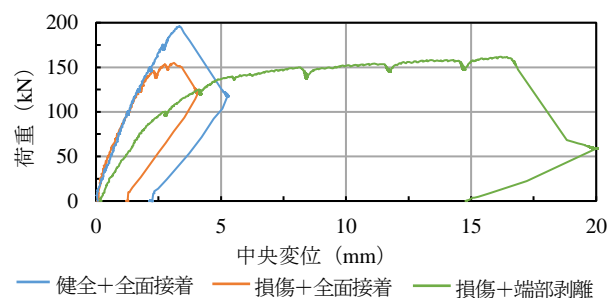


図-3 耐力力における荷重変位曲線

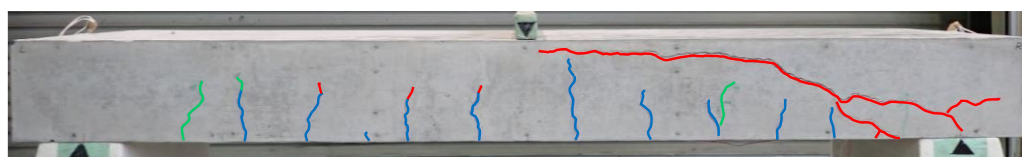
(2) 破壊に至るまでの荷重変位曲線

図-3に、試験体が破壊に至るまで载荷した際の、荷重変位曲線を示す。試験体1及び試験体2については、150 kN程度までは荷重の増加に伴って線形的に変位量が増大した。試験体1においては、その後も線形的に変位及び荷重が増大し、196 kNのところで荷重の最大値を取り、破壊に至った。

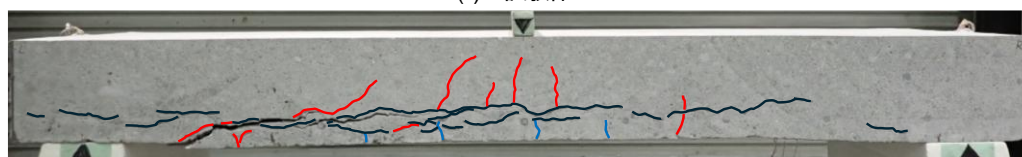
一方、試験体2においては、149 kNのところで変位が増大し始め、155 kN程度のところで荷重の最大値となり、破壊に至った。

試験体3については、75 kN程度までは荷重の増加に伴い、線形的に変位量が増大しているが、それ以降は変位量が他の2体の試験体と比較して急激に増大し、変位量が17 mm程度に到達した時点で破壊に至った。なお破壊時の荷重は161 kNであった。

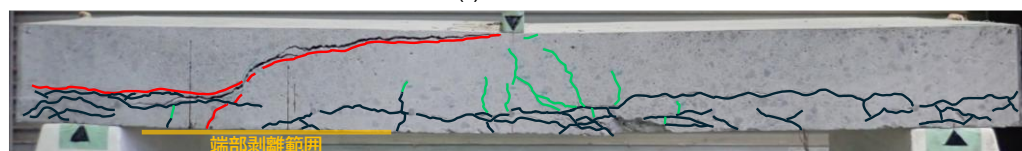
これらのことから、アンカー部コンクリートに層状ひび割れのある鋼板接着補強はりでは、健全な鋼板接着補強はりと比較して、耐力力は約2割低下していることが確認された。また、補強用鋼板が接着用樹脂と床版コンクリートとの間で剥離損傷している場合は、耐力力の低下に加えて、破壊時の変位量が健全時と比較して約5割増大することも確認された。ただし、破壊に至る荷重はいずれも150 kN以上となっており、設計上の耐力性能は満足していることも確認された。



(a) 試験体 1



(b) 試験体 2



(c) 試験体 3

— 層状ひび割れ — 予備荷重によるひび割れ — 繰返し荷重によるひび割れ — 破壊時のひび割れ

写真-6 試験体側面破壊状況

(3) 破壊状況

写真-6に実験終了時における各試験体側面の破壊状況を示す。試験体1では、荷重の増大とともにコンクリート下面側の曲げひび割れが進展していたが、試験体下面右側から中央部上面に向かって、せん断ひび割れが急激に進展し、せん断破壊に至った。

試験体2では、試験体製作時にコンクリート試験体下面側に導入した層状ひび割れの影響により、曲げひび割れの進展はそれほど見られなかったが、荷重の増加とともに、層状ひび割れのひび割れ幅が増大した。その結果、部材としての破壊には至らなかったものの、層状ひび割れの部分からかぶり部分が剥離したことにより、鋼板接着による補強効果が失われている。

試験体3では、「健全+全面接着」と同様、荷重の増加とともに、はり中央部の曲げひび割れが進展したが、はり中央部の変位量が17 mm程度に達したところで、試験体中央から下面左側に向かって、せん断ひび割れが進展し、せん断破壊に至った。

4. おわりに

本稿では、鋼板接着補強床版におけるアンカー部コンクリートの層状ひび割れに伴う補強効果への影響を検証するため、鋼板接着した鉄筋コンクリート試験体にて耐荷力試験を実施した。その結果、アンカー部コンクリートに層状ひび割れが存在していても、設計上の耐荷性能は満足していることが確認された。また、載荷荷重が75 kNまでの範囲では、補強用鋼板とコンクリートが全面接着されていれば、コンクリートの層状ひび割れの有無による補強効果の低下は見られないことが確認された。ただし、鋼板がコンクリートへ全面接着された試験体と

比較すると、鋼板端部がコンクリートから剥離した試験体では、補強効果は約4～5割低下するとともに、破壊時の変位量が健全時と比較して約5割増大することも確認された。よって、鋼板接着補強工法において、補強効果を確実に発現させるためには、コンクリートと補強部材の一体性を十分に確保する必要があると考えられる。

今回の試験では、はり形状の試験体を用いることで、鋼板接着補強床版の耐荷力に関する基礎的検討を行ったが、実橋梁における補強効果をさらに的確に評価するため、今後は床版形状の試験体にて検証を実施したい。また今回の試験では、中央点荷重による耐荷力試験を行ったが、交通荷重による補強効果への影響を明らかにするため、今後は輪荷重走行試験機を用いた耐久性評価についても進めていきたい。

参考文献

- 1) 國松博一、山谷直孝、澤松俊寿：一般国道275号志寸川橋の床版陥没について一陥没の発生から復旧まで一、第56回（2012年度）北海道開発技術研究発表会、2013。
- 2) 田中良樹、石田雅博、村越潤：道路橋における凍結融解とASRの影響を受けたコンクリートの劣化調査、土木学会論文集E2、Vol.72、No.3、pp.214-233、2016。
- 3) 角間恒、仁平陽一郎、石原寛也：積雪寒冷地における鋼板接着補強床版の損傷調査、第66回（2022年度）北海道開発技術研究発表会発表会、2023。
- 4) 丸藤大樹、角間恒、蛸子恭好：鋼板接着により補強した鉄筋コンクリート床版の健全性低下に関する基礎的試験、第68回（2024年度）北海道開発技術研究発表会、2025。
- 5) 角間恒、仁平陽一郎、畠山乃：模擬損傷部材による寒冷地特有の損傷が進行した実橋床版の損傷性状に関する再現実験、コンクリート構造物の補修、補強、アップグレード論文報告集、第23巻、pp.479-484、2023。