

I - 86

鋼板接着後27年経過したRC床版への鋼合成サンドウィッチ工法の適用

ショーボンド建設㈱ ○正会員 近藤 悦郎
北海道開発局開発土木研究所 正会員 池田 憲二
北海道開発局開発土木研究所 正会員 三田村 浩
北海道開発局留萌開発建設部 正会員 谷本 俊充

1. はじめに

既設RC床版の補修・補強工法として、鋼板接着工法が適用され約30年が経過した現在、補強鋼板の発錆、浮き等の損傷が顕在化している場合があるようである。

鋼板接着工法により補強されたRC床版の再補修方法としては、エポキシ樹脂の再注入や鋼板の再接着、あるいは全面的な床版の打換えが一般的である。しかしながら、再注入や再接着工法は、経年後の効果や施工性に対して、また、打換え工法については、工期の長期化や経済性に劣る等の懸念事項がある。

そこで、鋼板接着により補修されたRC床版の再補修方法として、近年開発された「鋼合成サンドウィッチ工法」の適用を検討し、実橋への適用を試みた。本工法は、床版打換え工法と比較して、補修効果および経済性に優れ、工期短縮および建設廃棄物の低減を図ることが可能であるなどの特徴を有しており、非常に有効であるものと考えられる。

本報告は、実橋において既設鋼板接着を利用した「鋼合成サンドウィッチ工法」を採用するに至った経緯、設計手法および施工概要について述べるものである。

2. 実橋における適用の経緯

2. 1 橋梁概要

既設鋼板を利用したサンドウィッチによる補強を適用した橋梁は、一般国道に架設された図-1に示すような断面を有するゲルバー形式の1等橋である。

本橋は、昭和32年に架設され、その後昭和47年に車道および歩道添架のため拡幅、昭和48年に側径間部が伸長されている。

鋼板接着工法は、昭和32年竣工時のRC床版下面にひび割れの拘束を目的として、昭和47年に拡幅が実施された際に施工され、現在まで27年が経過している。

鋼板接着工法が、わが国に導入され30年であることから、鋼板接着工法の適用事例としては、初期のものであると推察される。また、現在では橋軸方向に添接板により連続化されて施工される鋼板が、本橋では各鋼板で縁切れされており、配筋筋方向の補強はなされていない。

平成7年に実施された橋梁点検において、鋼板接着部の損傷（発錆、浮き）が確認され、平成10年に再調査を実施したところ、鋼板接着部の損傷が著しいことが判明した。

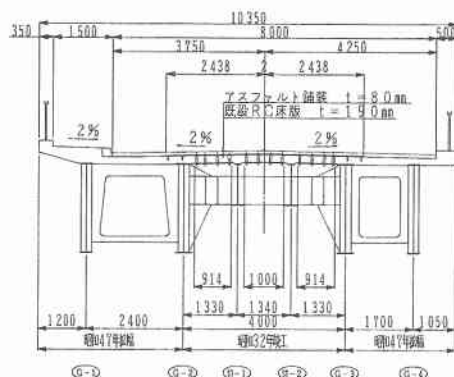


図-1 対象橋梁の断面（単位：mm）

2. 2 損傷状況および損傷原因の推定

鋼ゲルバー桁部における鋼板接着がなされた部分（以降、対策区間と称す）の損傷は、写真－1に示すとおりであり、鋼板端部の腐食、仮止めボルトの欠損および鋼板の浮きを生じていた。鋼板の浮きは、全貼付面積の80%以上であり、鋼板接着による補強効果をほとんど期待できない状況にあった。

対策区間以外のRC床版の損傷は軽微であり、高欄、地覆についても顕著な損傷が認められなかった。

なお、腐食による鋼板の断面減少について、超音波による測定を行った結果、著しい断面欠損は生じていないことを確認している。



写真－1 損傷状況の一例

ここで、鋼板接着工法は、RC床版下面に4.5mmの鋼板を仮止めボルトで固定し、鋼板周辺をシールした後、エポキシ樹脂を注入することによって接着合成させ、輪荷重による外力に対して合成断面で抵抗させるものである。本工法は、交通解放下での施工が可能であり、死荷重の増加が少ない等の特徴を有していることから、1960年代の後半に技術導入されて以来、損傷を受けたRC床版の補修・補強工法として一般に実施されるようになった。わが国での大規模な採用例としては、1968年に首都高速道路1号線でRC床版の補強に採用されたのが最初とされている¹⁾。

本橋の損傷原因としては、橋面水の存在下において長期間にわたり過酷な環境下で供用されたことによるものと考えている。これは、本橋の対策が実施された昭和47年当時、橋面防水に対する重要性が問題視されていなかったものと推察されることによる。なお、RC床版の損傷に対する橋面水の影響を排除する目的に、現在の鋼板接着等下面からの床版補修対策では、橋面防水の併用が一般化されている。

3. 工法選定の経緯

3. 1 在来工法の問題点

鋼板接着工法により補強されたRC床版の再補修において、一般に考えられる工法および問題点を列挙すれば、以下のとおりである。

(1) 再注入工法

既設鋼板とRC床版とは離面にエポキシ樹脂を再度注入し、躯体との合成効果の回復を図る工法である。交通規制を必要としないこと、経済性に優れる特徴を有するため、鋼板接着施工直後における対処法としては有効と考えられるものの、経年後の施工に際しては、以下のように施工性、補修効果に懸念事項が多い。

- ①再注入時に鋼板のはく離が拡大（くさび作用）する可能性があり、注入厚さの増加による合成効果への悪影響に懸念がある。
- ②浮き部の状況（水分、錆、塵等）によっては、接着効果に疑問が残る。

(2) 再接着工法

浮きを生じた鋼板を撤去し、躯体に付着したエポキシ樹脂を除去した後、再度鋼板接着を実施する工法である。交通規制を必要としないこと、上案の懸念事項が払拭されるため、部分的な損傷における対処法としては有効と考えられるものの、ほぼ全面にわたる再接着では、次のような懸念事項が挙げられる。

- ①鋼板撤去に労力を要するだけでなく、躯体に残留した注入材の撤去が非常に困難である。
- ②既設RC床版の損傷が著しい場合、本工法の適用は補強効果が得られない。

- ③既設ＲＣ床版の損傷が著しい可能性が高く十分な補修効果を得るためには、部分打換え工法等を併用する必要が生じる。

（３）床版打換え工法（プレキャスト床版）

既設ＲＣ床版を全面的に撤去し、プレキャスト床版に打換える工法である。打ち換え工法は、長期間の交通規制が必要であるものの、抜本的な対策工として有効である。しかしながら、本橋の対策工としては、以下のような懸念がある。

- ①損傷が認められない拡幅部床版の撤去や地覆高欄等の更新が避けられないため経済性に劣る。
- ②既設床版の撤去にともなって、建設廃棄物が大量に生じる。

３．２ 鋼合成サンドウィッチ工法の特徴

本工法は、既設ＲＣ床版を上下に配した鋼板および貫通ボルトにより連結し、サンドウィッチ構造とするものである。損傷が著しい床版に適用した場合でも、大幅な耐荷力の向上、断面剛性の増加が得られることが、実験により確認されている²⁾。

また、補強材自体が自立した構造であることから、既設ＲＣ断面に期待しないで補強効果が得られる。本橋の場合は、下面に鋼板が配置されていることから、上面のみに新たに配置することとなる。

鋼合成サンドウィッチ工法の特徴を以下に列挙する。

- ①既設下面鋼板の接着を期待しなくても補強効果が得られる。
- ②アクセサリーの更新を必要とせず部分的な施工が可能である。
- ③建設廃棄物の発生が少なく、交通規制日数も少ない。
- ④施工部は、打ち換え工法と同等以上の補強効果を有しつつ、経済性に優る。

３．３ 対策工法の選定

本橋の対策工法の選定は、上述の損傷の状況および損傷原因に基づき、本橋の供用状況、補修効果および経済性等を考慮して、鋼合成サンドウィッチ工法を選定した。具体的には、以下の事由による。

- ①本橋の対策は、鋼板に浮きを生じた部分の補修である。
- ②在来工法のうち、再注入および再接着は、補修効果、耐久性に対する懸念が多い。
- ③床版打ち換え工法は、経済性に劣り、損傷が顕在化していない床版の撤去をとまなう等、必ずしも合理的でない。
- ④鋼合成サンドウィッチ工法は、交通規制をとまなうものの、既設鋼板の有効利用が図られる上に、部分的な施工が可能であり、補修効果も十分に得られる。

４．既設鋼板削孔実験

鋼合成サンドウィッチ工法は、損傷の著しいＲＣ床版の補修工法として開発された工法である。既往の施工では、下面の鋼板は新たに設置される。したがって、既設鋼板への削孔が可能かどうかについての基礎的な資料を得る目的に、供試体による確認実験を実施した。削孔の手順は、以下に示す方法で行った。

- ①床版上面よりダイヤモンドコアカッターを用いてφ 65mmのコアを削孔する。
- ②専用ドリルによりエポキシ樹脂を撤去する。
- ③専用キリによって、鋼板にφ 26mmの孔をあける。

実験の結果、上記手順で孔明けが可能であり、反力もあまり大きくないことから、浮きを生じた鋼板でも、仮止めアンカーのみで削孔できることが確認された。また、一箇所あたりの施工時間も床版削孔に要する時間の1/5程度であることから、施工性には影響ないことも確認できた。

なお、既設鋼板への孔明けについては、芯ずれを生じないようにφ 65mmのコア内面を利用して、ガイド管を挿入した状態で孔明けができる治具を用いている。

5. 設計方法

5. 1 設計概要

本橋におけるサンドウィッチ工法の適用は、既設鋼板接着工法の浮きに対する補修との考えに基づいている。また、文献3)に述べられているとおり、補強後の鋼板に生じる応力度は、RC床版を無視し上下鋼板のみで抵抗するものと考えても、ごく僅かである。したがって、基本的には応力度の照査を必要としないものと考えている。なお、本橋における上下鋼板の発生応力度（主鉄筋方向）は、内部RC断面を無視し上下鋼板のみを有効とした計算値では、 $200\text{kgf}/\text{cm}^2$ 程度である。

また、本橋の鋼板接着は添接板を有さず、橋軸方向が縁切れしているため、本工法を適用する際に添接板を設け、下面鋼板の連続性を付与することによって、配力筋方向に対する補強を実施することとした。

したがって、本橋の設計に際しては、既設鋼板の配置状況を考慮した貫通ボルトおよび添接板の配置に留意した。以下に、設計の概要を詳述する。

5. 2 一般部の設計

既設アンカーボルトおよび貫通ボルトの配置の詳細を図-2に示す。図に示すように既設アンカーボルトを避け300mm間隔を標準として貫通ボルトを配置するものとした。ここで、貫通ボルトの配置に関しては、次の点に留意している。

- ①ハンチ部に鋼板がないため、端部から進行するひび割れに対して貫通ボルトがせん断を負担できるようにする。
- ②実験結果⁴⁾によれば、完成後の有効高さの2倍程度（本橋の場合400mm）の間隔でも合成効果が得られると思われるが、付着が期待できないこと、橋軸方向と橋軸直角方向とのバランスを考慮し、ボルト間隔は300mmを標準とした。

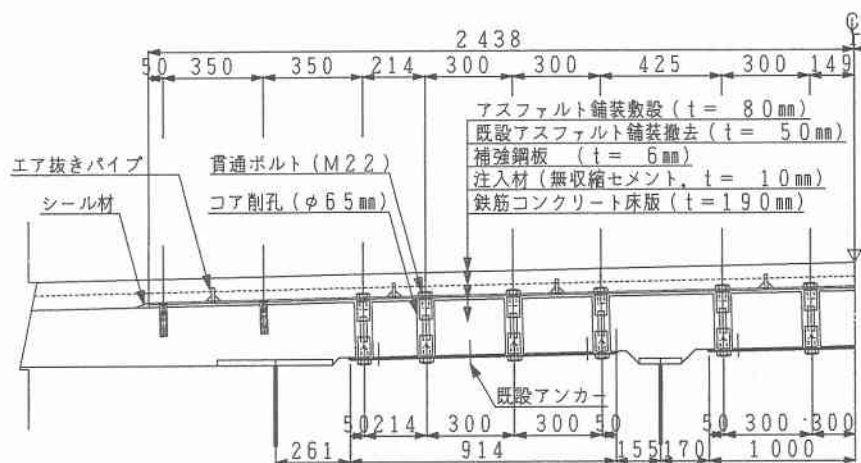


図-2 貫通ボルト配置詳細図 (単位: mm)

5. 3 添接部の設計

添接部の設計方法は、上面添接板と下面添接板とで異なる設計思想に基づいている。具体的には、上面添接板の添接ボルト間隔は、道示の規定を考慮し、150 mm 間隔を標準としているのに対し、下面添接板は、従来の鋼板接着の添接板の設計思想によっている。これは、下面添接板の設置は構造上貫通ボルトによるため、以下のような問題が考えられたことによる。

- ①添接板設置位置で貫通ボルトの本数が増加するため、コア削孔の施工性が低下する。
- ②既設鋼板の位置がずれた場合、上面鋼板および下面添接板の加工が煩雑になる。
- ③既設鋼板の不陸が大きい場合、ボルト締め付け時に鋼板が変形する可能性がある。

したがって、図-3 に示すように既設アンカーボルトの切断および添接板を大きくすることによって、既設鋼板の設置誤差を吸収するとともに、エポキシ樹脂を添接面に塗布することによって、不陸の調整および応力の伝達を期待することとした。

以上のような設計上の配慮によって、既設鋼板の有効利用を図りつつ、施工性の向上および配力筋方向の補強を円滑に実施することが可能となった。

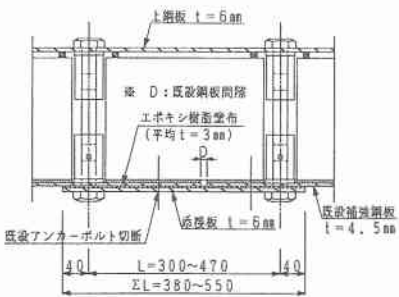


図-3 添接部詳細 (単位: mm)

6. 施工方法

6. 1 施工手順

本工法の施工方法の概要について、以下に述べる。施工の手順は、図-4 に示すとおりであり、貫通ボルトによる既設鉄筋の切断をとまなうことから、終日片側交互通行による施工を実施した。実施工における施工状況の一例を、写真-2,3 に示す。

写真-2 は、既設 RC 床版のコア削孔を行っている状況であり、幅員方向に複数箇所の同時施工ができるように工夫されている。また、橋軸方向の削孔についても、コア機械がレール上を移動することにより正確な位置で迅速に施工できるように配慮されている。

写真-3 は、上面鋼板の取付状況である。上鋼板の重量は 700kg 程度と軽量であるため、小型クレーン付の車両での施工となる。床版上にはガイドピン付の貫通ボルトが設置されており、鋼板設置の作業性は良好である。

6. 2 施工上の留意点

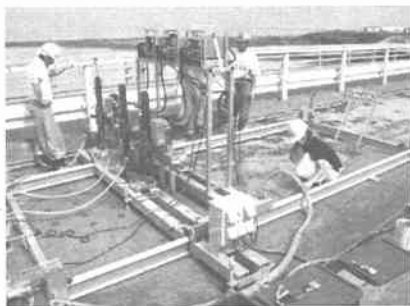
サンドウィッチ工法における施工上の留意点としては、貫通ボルト施工および床版厚の確認が挙げられる。既設鋼板を利用する場合では、鋼板端部の位置を正確に把握した上でコア削孔を実施する必要があるため高い施工性度を要求される。

また、サンドウィッチ補強用の特殊ボルトは、現況の床版厚さのバラツキを考慮して若干の調整ができるように配慮されているものの、既設鋼板を利用する場合には樹脂厚の変化も加わることに留意する必要がある。

以上のように、本工法の施工に際しては、事前の調査が非常に重要であり、コア削孔に際してはより精度の高い施工が要求される。



図-4 施工手順



写真－２ 貫通コア削孔状況



写真－３ 上鋼板取付状況

7. 今後の課題

既設鋼板を利用した鋼合成サンドウィッチ工法の今後の課題を列挙すれば、以下のとおりである。

①既設鋼板接着工法の効果を評価する手法の確立。

既往の研究⁵⁾によれば、鋼板接着工法は、鋼板のはく離が床版面積の約2/3程度進行した場合でも、補強効果が得られるとの知見が得られているが、定量的な評価手法の検討が必要である。

②既設鋼板の損傷状態を評価する手法の確立。

本橋では、超音波による腐食状況の確認を実施し、鋼材断面の減少が少ないことを確認しているが、より簡易な手法が必要である。

③施工性の向上

鋼板接着工法は床版下面からの対策工であり、交通解放下での施工が望まれるような橋梁での施工が多い。したがって、本工法の更なる施工性の向上や即日解放下での施工技術の開発が望まれる。

④鋼合成サンドウィッチ工法適用後の効果の確認。

本橋でのひずみ測定による補強効果の確認を実施する予定である。

8. おわりに

鋼板接着工法が既設RC床版の補強方法として適用されて30年が経過した現在、鋼板接着がなされた床版の再損傷が顕在化するものと思われる。また、本橋のように全面的な床版打ち換え工法の適用が合理的でない場合も少なからずあるものと思われる。

また、建設廃棄物の減量および維持管理費用の縮減が望まれていることから、種々の補修工法および構造物における合理的な再補修技術の確立が急務である。

本報告が、今後の再補修技術確立への何らかのご参考になれば幸いであると考えます。

参考文献

- 1) 飯野：パリ南高速道路におけるRC橋の鋼板接着補強,コンクリート工学,Vol.13, No. 2, 1975
- 2) 近藤,佐々木,小林,温泉：損傷の著しいRC床版の鋼合成サンドイッチによる補強実験,土木学会北海道支部論文報告集,第54(A), pp.394-397, 1998.2
- 3) 近藤,温泉,佐藤,三田村：鋼合成サンドイッチ化による既設床版の補強設計および施工,土木学会北海道支部論文報告集,第55(A), pp.176-179, 1999.2
- 4) 古内,上田,温泉,佐藤：タイバーを用いたフルサンドイッチ合成床版の終局耐力について,コンクリート工学年次論文報告集,Vol.21, No. 3, pp.1063-1068, 1999.7
- 5) 松井,栗田,中井,黒山：鋼板接着工法により補強したRC床版の疲労性状,合成構造の活用に関するシンポジウム講演論文集, No. 37, pp.247-254, 1986.9