

展張格子筋を用いて接着剤塗布型 PCM 補強したボックスカルバートの 補強効果および施工管理

日大生産工(院) ○新田裕之 日大生産工 阿部忠 日大生産工 水口和彦
JFE シビル(株) 塩田啓介 JFE シビル(株) 吉岡泰邦

1. はじめに

近年、シェッドやボックスカルバートの老朽化が進み、その補修・補強対策が課題となっている¹⁾。そこで本研究は、道路橋カルバートの補強技術として、カルバートの内側に展張筋を配置し、カルバート表面と補強面との付着性を高めるために付着用接着剤を塗布した PCM 吹付け補強法を提案し、静荷重実験における耐荷力性能を評価する。実験供試体には 3/5 モデルとしたカルバートを用いて静荷重実験を行い、同一寸法の無補強カルバートの最大耐荷力を基準に、補強したカルバートの最大耐荷力から補強効果を検証する。また、本提案の補強法によるカルバートの施工事例をもとに施工フローを示し、地方公共団体が管理する道路橋カルバートの補強技術および維持管理の一助としたい。

2. 展張筋の製作方法

展張筋の鋼材には縞鋼板および一般鋼板が用いられ、鋼種は SS400 および SM490A の使用が可能である。また、板厚については 16mm まで適用可能である²⁾。展張筋の製作方法は写真-1 に示すように鋼板の軸方向にレーザでスリットを挿入し、軸直角方向にジャッキで展張して格子状に一面加工する。展張後は必要に応じて曲げ加工し、防錆処理としてエポキシ系の防錆材あるいは溶融亜鉛メッキを行う。

以上のように、展張筋は一面加工され、実構造の形状・寸法に合わせて加工できることから施工精度の確保が簡単で、施工の合理化が図れる材料である

3. カルバートの使用材料および供試体寸法

(1) カルバートの使用材料 カルバートのコンクリートには、普通ポルトランドセメントを用い、骨材には 5mm ～ 20mm の砕石および 5mm 以下の砕砂を用いた。次に、使用鉄筋は SD295A、D13 および D10 を用いた。ここで、コンクリートおよび鉄筋の材料特性値を表-1に示す。

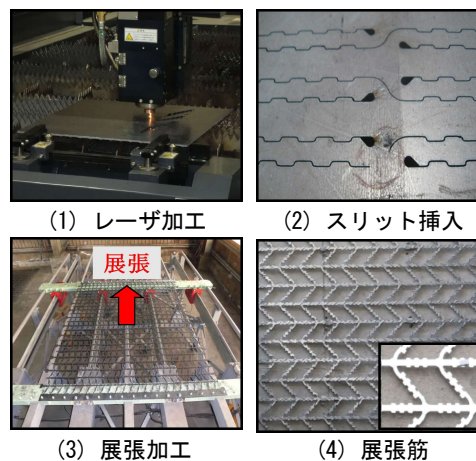


写真-1 展張筋の製作方法

表-1 コンクリートおよび鉄筋の材料特性値

コンクリート		鉄筋 (SD295A)			
圧縮強度 (N/mm ²)		使用 鉄筋	降伏強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)
Aタイプ	Bタイプ				
52.8	47.1	D13	360	496	200
		D10	363	494	

表-2 展張筋の材料特性値

断面	格子間寸法 (mm)	降伏強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)
主筋	100×100	299	461	200
配力筋				

(2) 展張筋 カルバートの補強に用いる展張筋には、材質 SS400 材、厚さ 9mm の一般鋼板を用いた。引張試験による材料特性値を表-2に示す。展張筋の材料特性値はミルシートの結果より、軸方向筋（主筋）および軸直角方向筋（配力筋）の降伏強度は 299N/mm²、引張強度は 461N/mm²である。

(3) 展張筋の寸法 展張筋は、引張試験および付着試験に用いた材片に比べて、展張時の塑性応力を小さくする形状とした。ここで、カルバートに用いる展張筋の寸法および形状を図-1に示す。展張筋の格子間寸法を 100×100mm とし、主筋の寸法は 9.0×8.0mm（断面積 72.0mm²）、配力筋の寸法は 9.0×7.0mm（断面積 63.0mm²）

Strengthen Effect and Construction Management of Adhesive-Applied PCM Reinforce
Box Culvert Using Metal-Grid Expanded Type

Hiroyuki NITTA, Tadashi ABE, Kazuhiko MINAKUCHI, Keisuke SHIOTA and Yasukuni YOSHIOKA

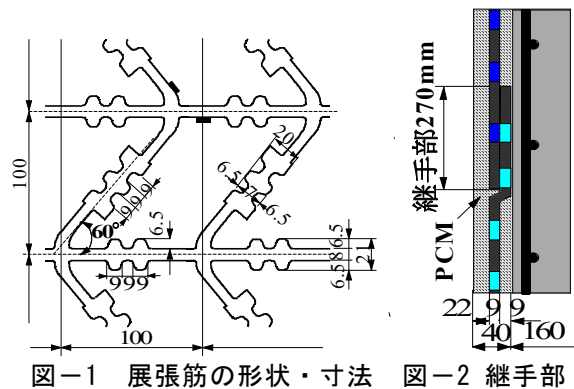


図-1 展張筋の形状・寸法 図-2 継手部

とした。また、展張筋には一般鋼板を用いたことから付着試験に用いた突起高さを 0.5mm 大きくし、付着力を高める形状とした。よって、主筋には幅 9mm, 突起高 6.5mm を 2 カ所、配力筋には幅 9mm, 突起高 6.5mm を 3 カ所設けた。突起の形状および寸法より、付着試験で用いた展張筋の材片以上の付着強度が得られるものと判断できる。次に、継手部構造は図-2に示すように重ね継手構造とした。

(4) ポリマーセメントモルタル(PCM) カルバートの増厚補強に用いる PCM は、一般的に吹き付け工法に用いられているビニロン繊維を配合した市販の PCM 材料を用いた。

(5) 付着用接着剤 既設コンクリート面と PCM との付着性を高めるために付着用のエポキシ系樹脂接着剤（以下、付着用接着剤とする）を用いる。コンクリートとの付着強度は 3.7N/mm^2 が確保されており、引張試験では母材コンクリート側で破壊することを確認している。

4. 供試体寸法および補強法

(1) 無補強カルバート 無補強の A タイプ供試体の寸法は、幅 2,100mm, 奥行き 2,080mm, 高さ 2,140mm とし、頂版の厚さを 170mm, 側壁の厚さを 150mm とした。側壁の鉄筋配置は内側には D10 を 120mm 間隔、外側には D13 と D10 を 120mm 間隔で交互に配置した。配力筋は頂版同様に D10 を 300mm 間隔で配置した。主鉄筋のかぶりは 35mm である。次に、頂版の鉄筋の配置は、内側の主鉄筋には D13 を 120mm 間隔で配置した。外側の主鉄筋には D13 と D10 を交互に 120mm 間隔で配置した。配力筋には D10 を 300mm 間隔で配置した。なお、主鉄筋のかぶりは 35mm である。ここで、供試体寸法を図-3に示す。

(2) 補強用カルバート 補強用の B タイプ供試体は、内側のかぶりを 10mm 程度切削するこ

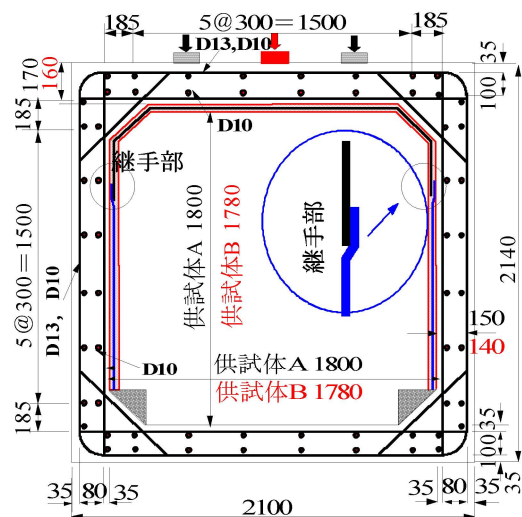


図-3 供試体断面寸法および展張筋の配置位置

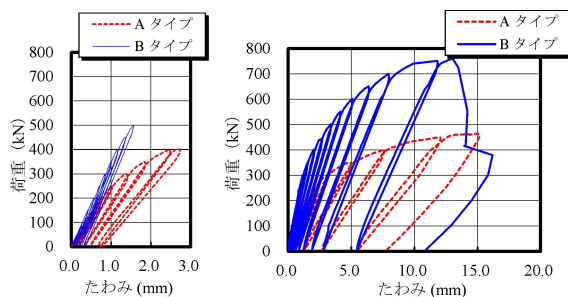
とを考慮して供試体製作時にかぶりを 22mm とした（図-2）。よって、頂版の厚さは 160mm, 側壁の厚さは 140mm とした。補強部の展張筋の厚さは 9.0mm であり、継手部は重ね継手として厚さ 18mm となる。展張筋は界面から 10.0mm 離して設置した。補強厚さはカルバート界面から 40mm とし、展張筋のかぶりは 21mm である。

(3) カルバートの PCM 補強法 PCM の吹き付け補強法は、「ポリマーセメントモルタル吹き付け工法によるコンクリート構造物の補修補強設計・施工マニュアル（案）³⁾」に準拠する。

カルバート供試体の内側をディスクサンダーで切削し、その後、付着性を高めるために切削面をブラスト研掃する。表面処理が終了した後、10mm の隙間を取り、展張筋を設置する。次に、PCM との付着性を高めるために接着剤を平均厚 1.0mm 程度で全面に吹き付けする。この接着剤は 120 分で強度が発揮することから、接着剤塗布と同時に PCM の練り混ぜを開始する。接着剤を全面に吹き付け後、PCM を吹き付けする。1 層目の PCM 吹き付けは 20mm 程度とし、8 時間養生終了した後、2 層目の PCM を吹き付けする。2 層目の PCM 吹き付け終了後、表面仕上げを行い、養生した。

5. 静荷重実験方法

最大載荷能力 5,000kN の構造物試験機を用いて静荷重実験を行う。ここで、荷重載荷位置を図-3に示す。本供試体は 3/5 モデルとした試験体であることから、荷重載荷板は道路橋示方書・同解説（道示）⁴⁾の基準に準拠した荷重状態とし、これをモデル化して載荷板を 300×120mm



(1) 2点載荷 (2) 1点載荷

図-4 荷重とたわみの関係

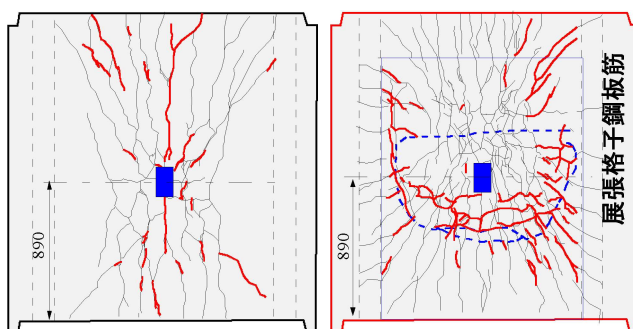


図-5 破壊時のひび割れ状況

とした。実験はタンデム式の中軸・後軸間を想定した2点載荷と中央のみの1点載荷による実験を行った。

6. 結果および考察

(1) 最大耐荷力 Aタイプの供試体の2点載荷実験は、荷重400kNまで載荷した。その後、1点載荷による荷重載荷を行った。その後、1点載荷による最大耐荷力は456.6kNであり、破壊は軸方向に発生したひび割れが進展し、曲げ破壊となった。一方、補強したBタイプ供試体の2点載荷で荷重500kNまで載荷した。その後の1点載荷による最大耐荷力は760.7kNであり、破壊は押抜きせん断破壊となった。無補強のAタイプの供試体に比して1.66倍の耐荷力が向上する結果となった。

(2) 荷重とたわみの関係 Aタイプ供試体の2点載荷による荷重とたわみの関係は、図-4(1)より、荷重400kNまで線形的に増加し、最大たわみは2.72mm、荷重除荷時の残留たわみは0.72mmである。1点荷重載荷による荷重とたわみの関係は、荷重300kNまでは線形的に増加している。この時点のたわみは3.8mmである。その後の荷重増加ではたわみの増加がやや大きくなり、荷重400kN時のたわみは8.3mmである。最大荷重456.6kN時のたわみは15.8mm、荷重除荷時の残留たわみは8.5mmである。一方、補強したBタイプの供試体の2点載荷におけるたわみは、荷重400kNまで線形的に増加し、この時点のたわみは1.15mmで、Aタイプ供試体の42%である。その後も荷重500kNまで線形的に増加し、たわみは1.57mm、荷重除荷時のたわみは0.37mmである。次に、1点載荷による荷重とたわみの関係図-4(2)より、荷重400kNまで線形的に増加し、この時点のたわみは2.4mmであり、無補強供試体の30%程度までたわみが低減している。最大荷重760.6kN時のたわみは13.4mm

である。

(3) 破壊状況 カルバートの破壊はAタイプ、Bタイプの供試体ともに荷重載荷直下で破壊に至っている。ここで、破壊時ひび割れ状況を図-5に示す。

無補強のカルバートの荷重直下の頂版下面に軸方向にひび割れが発生している。破壊は支間中央に発生した軸方向のひび割れが進展し、荷重456.6kNで曲げ破壊となった。

一方、展張筋を配置し、40mmPCM吹付け補強した供試体は、荷重載荷位置付近に多くのひび割れ発生している。ひび割れは曲げの影響を受け、軸方向にひび割れが発生するものの最大荷重760.7kN載荷後、押抜きせん断破壊となった。増厚層は展張筋を配置したことからダウエルの影響を受ける範囲で円形状にひび割れが発生している。

以上より、展張筋を配置し、接着剤塗布型PCM吹付け補強法は耐荷力性能の向上を図ると同時に、破壊時においても補強部が完全に押し抜かれることなく、形状を維持している。

7. 施工計画および施工事例

ひび割れ補修および漏水対策として、ひび割れ箇所へエポキシ系樹脂の注入による補修と断面修復を実施した。その後、本提案の補強対策を実施した。ここで、カルバートの補強における施工フローを図-6に示す。また、施工手順を写真-2に示す。

カルバートの補強材である展張筋および接着剤、PCMは、3.(4)、(5)項に示す材料を用いた。

補修後の施工手順は、カルバート延長は奥行1.5mが6連で構成され、補強は2連を1ブロックとし、順次、補強を行った。まず、1ブロック毎にカルバートの内面コンクリートをデスクサンダー等で表面処理(写真-2(1))を行いバキュームブラストで研掃する(写真-2(2)、(3))。1ブロックの研掃終了後は順次、2、3ブロックの

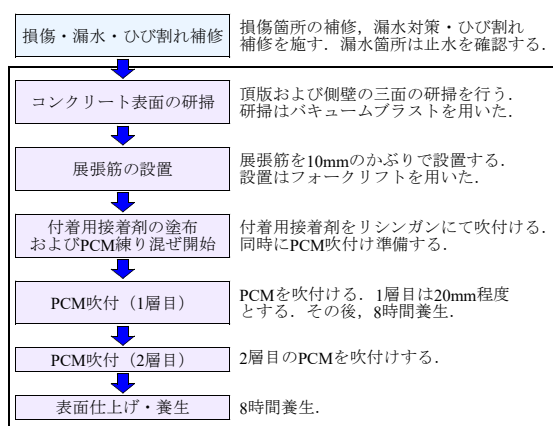


図-6 施工フロー



写真-2 カルバートの施工事例

表面処理・研掃を行う。1ブロックの研掃終了後、本提案する展張筋を設置する。側面は人力で設置し、頂版はフォークリフトで設置した。設置の隙間は切削面から10mmとし、継手部はコンクリート表面に直接設置した。1ブロックの設置が終了した後は目地を跨いで、2、3ブロックに順次設置する。展張筋の設置に要する時間は1ブロック150分程度である。1ブロックの設置状況を写真-2(5)に示す。その後、付着用接着剤をリシンガンで1ブロック全面に吹付ける。この接着剤は120分程度で硬化することから、1ブロックが限界である(写真-2(6))。50%以上の塗布が終了した後はPCMを練り混ぜの準備を行う(写真-2(7))。その後、1層目をPCMで20mm程吹付け増厚補強する。ここで、重要なのは展張筋とカルバートの隙間内に完全にPCMを吹付けし(写真-2(8))、こて等で密着させる必要がある。順次、2、3ブロックの施工を実施する。その後、8時間程の養生が必要で

ある。1層目のPCM吹付けは夕方までに終了し、8時間程度の養生が必要であるが、一般的には翌朝から2層目のPCM吹付けすることから8時間以上の養生が確保された。最後に2層目のPCMを吹き付け、表面仕上げを行い養生する。

以上、施工計画および施工手順において補強面積94.5m²のカルバートを3日間で終了した。よって、鉄筋を配置した場合に比べて時間の短縮が図られるとともに40mm厚でPCM補強が可能となった。

8. まとめ

- (1) 無補強カルバートの最大耐力は456.6kN、展張筋を配置し、接着剤塗布型PCM補強したカルバートは760.7kNであり、補強を施すことで最大耐力が1.66倍向上した。よって、展張筋を配置し、接着剤塗布型PCM吹付け補強法は十分な補強効果が得られ、実用的である。
- (2) 1点载荷における展張筋の主筋のひずみは、荷重370kN载荷後に降伏している。その後の荷重増加で600kN付近までは荷重を分担してひずみが増加している。よって、本補強法は荷重600kN付近までは既存部と増厚層との一体性が確保され鉄筋と展張筋が耐力を分担している。
- (3) 展張筋を用いたカルバートの補強法においては、加工された展張筋を直接アンカーボルト等で設置が可能であり、鉄筋の組立施工に対して大幅な時間の短縮が図られる。また、一面加工のため40mm厚の薄層補強が可能であり、内空断面の確保にも貢献できる補強法である。

参考文献

- 1) 国土交通省道路局：シェッド、大型カルバート等定期点検要領，2014.6
- 2) 阿部忠，塩田啓介，吉岡泰邦，今野雄介：2タイプの鋼板格子筋を用いたRCはりのPCM増厚補強における補強効果の検証，セメントコンクリート論文集 Vol.69，pp.634-641，2016
- 3) RC構造物のポリマーセメントモルタル吹付け補修・補強工法協会：ポリマーセメントモルタル吹付け工法によるコンクリート構造物の補修補強設計・施工マニュアル（案），2011.7
- 4) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I，II，1994.2