

# ボックスカルバートにグリッドメタルを用いた 接着剤塗布型低弾性PCM補強技術

Reinforcement technology for box culverts using  
adhesive-applied low-elasticity type PCM and grid metal

新田 裕之 阿部 忠 吉岡 泰邦 塩田 啓介

## 1. はじめに

近年、シェッドやボックスカルバート等の老朽化が進み、その補修・補強対策が課題となっている。そこで、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グリッドメタルを配置し、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した。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した。この実験済み無補強カルバート供試体を2年間暴露したのちにひ

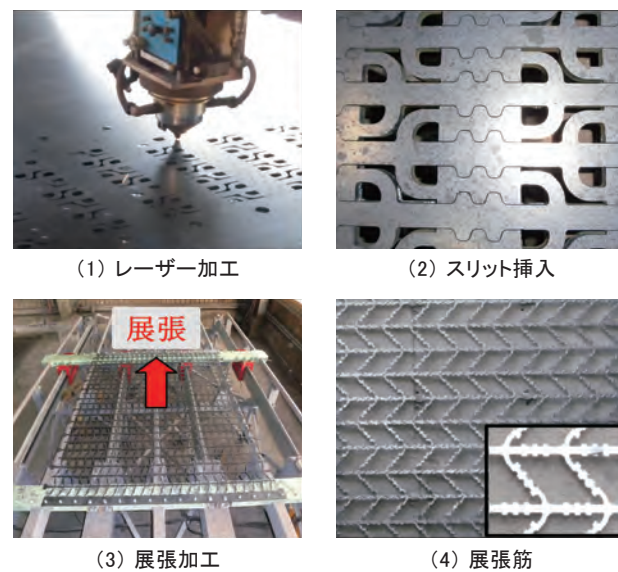


写真1 グリッドメタル(展張筋)の製作方法

び割れ補修を行い、グリッドメタルを用いて接着剤塗布型低弾性PCM吹付け増厚補強を施し、静荷重実験により補強効果の検証を行った。また、本提案の補強法による施工例を施工フローと共に示す。

## 2. グリッドメタルの製作方法

グリッドメタル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、板厚は16mmまで適用可能である<sup>1)</sup>。グリッドメタルの製作方法は写真1に示すように鋼板の軸方向にレーザー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

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 <sup>2</sup> ) |      | 使用鉄筋       | 降伏強度(N/mm <sup>2</sup> ) | 引張強度(N/mm <sup>2</sup> ) | ヤング係数(kN/mm <sup>2</sup> ) |
| Aタイプ                     | Bタイプ |            |                          |                          |                            |
| 52.8                     | 47.1 | D13        | 360                      | 496                      | 200                        |
|                          |      | D10        | 363                      | 494                      |                            |

表2 グリッドメタルの材料特性値

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

表3 低弾性PCMの配合条件

| 項目     | 単位量(kg/m <sup>3</sup> ) |      |     | 水結合比(%) |
|--------|-------------------------|------|-----|---------|
|        | プレミックス粉体                | 繊維   | 水   |         |
| 低弾性PCM | 750                     | 1125 | 300 | 40.0    |

表4 付着用接着剤および浸透性接着剤の特性値

| 項目         | 付着用接着剤                             | 浸透性接着剤                 | 備考         |
|------------|------------------------------------|------------------------|------------|
| 外観         | 主剤                                 | 白色ペースト状                | 無色液状       |
|            | 硬化剤                                | 青色液状                   | 無色液状       |
| 混合比        | 5:1                                | 10:3                   | 重量比        |
| 硬化物比重      | 1.42                               | 1.2                    | JIS K 7112 |
| 粘度         | 500~1,000mPa·s                     | 100~200MPa·s           | JIS K 7233 |
| 圧縮強度       | 102.9N/mm <sup>2</sup>             | 104.4N/mm <sup>2</sup> | JIS K 7181 |
| 圧縮弾性係数     | 3,976N/mm <sup>2</sup>             | 3,172N/mm <sup>2</sup> | JIS K 7181 |
| 曲げ強さ       | 41.6N/mm <sup>2</sup>              | 92.8N/mm <sup>2</sup>  | JIS K 7171 |
| 引張せん断強さ    | 14.9N/mm <sup>2</sup>              | 58.2N/mm <sup>2</sup>  | JIS K 6850 |
| コンクリート付着強さ | 3.7N/mm <sup>2</sup> 以上<br>または母材破壊 | 2.6N/mm <sup>2</sup>   | JIS A 6909 |

注1) 3.7N/mm<sup>2</sup>以下の場合には母材コンクリートで破壊

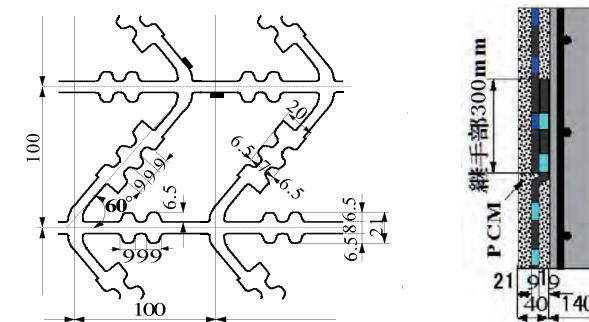


図1 グリッドメタルの寸法

図2 継手部

に応じて、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。

## 3. 使用材料およびカルバート供試体寸法

### (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、骨材には碎石と砕砂を用いた。次に、使用鉄筋はSD295、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。

### (2) グリッドメタル

カルバートの補強に用いるグリッドメタルには、材質SS400材、厚さ9mmの一般鋼板を用いた。ミルシートより材料特性値を表2に示す。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/mm<sup>2</sup>、引張強度は461N/mm<sup>2</sup>である。

### (3) グリッドメタルの寸法

カルバートに用いるグリッドメタルの寸法および形状を図1に示す。格子間寸法は100×100mmとし、主筋の

寸法は9.0×8.0mm(断面積72.0mm<sup>2</sup>)、配力筋の寸法は9.0×7.0mm(断面積63.0mm<sup>2</sup>)とした。また、グリッドメタルには一般鋼板を用い、突起を設けて、付着力を高める形状としている。よって、主筋には幅9.0mm、突起高6.5mmを2カ所、配力筋には幅9.0mm、突起高6.5mmを3カ所設けた。また、継手部構造は図2に示すように重ね継手構造とした。

### (4) 低弾性PCM

カルバートの増厚補強には、市販の普通コンクリートの静弾性係数と同等の低弾性ポリマーセメントモルタル(以下、低弾性PCMと称す(リフレモルセットSP))を用いる。この低弾性PCMにはひび割れ抑制のためビニロン繊維が配合されている。配合条件を表3に示す。

### (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、付着用接着剤と称す)を用いる。コンクリートとの付着強度は表4に示すように3.7N/mm<sup>2</sup>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。

にった ひろゆき / NITTA Hiroyuki  
東栄コンクリート工業(株)  
代表取締役 博士(工学)

あべ ただし / ABE Tadashi  
日本大学名誉教授 博士(工学)

よしおか やすくに / YOSHIOKA Yasukuni  
JFEシビル(株)  
社会基盤事業部 博士(工学)

しおた けいすけ / SHIOTA Keisuke  
同上  
技術開発研究センター 技術士

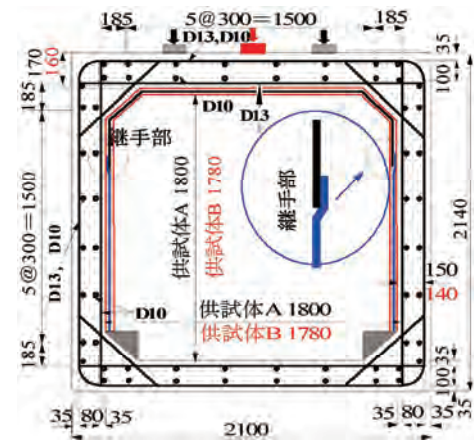


図3 供試体寸法およびグリッドメタルの配置

#### 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、図3に示すように、幅2100mm、高さ2140mm、奥行き2000mm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D10を300mm間隔で配置した。主鉄筋中心までの位置は35mmである。次に、頂版鉄筋の配置は、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。配力筋は側壁同様にD10を300mm間隔で配置した。なお、主鉄筋位置は側壁同様35mmである。

##### (2) 補強用カルバート

補強用のBタイプ供試体は、内側コンクリートを10mm程度切削することを考慮し、図2に示すように供試体製作時にかぶりを21mmとした。よって、図3に示すように頂版の厚さは160mm、側壁の厚さは140mmとした。補強部のグリッドメタルの厚さは9.0mmであり、継手部は重ね継手とするため厚さ18.0mmとなる。グリッドメタルは界面から10mm離して設置した。したがって、補強部の厚みは10mm厚の切削を考慮すれば、スラブ厚は30mm増となる。

##### (3) カルバートのPCM補強法

低弾性PCMの吹付け補強法は、「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)<sup>2)</sup>」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、切削面をブラスト研掃する。表面処理後、10mmの隙間を取り、グリッドメタルを設置する。次に、低弾性PCMとの付着性を高めるために高耐久型エポキシ系接着剤(以下、付着用接着剤と称す(KSボンド))を0.9kg/m<sup>2</sup>で全面に吹付けする。1層目のPCM吹付けは20mm程度とし、8時間養生終了後、2層目のPCMを吹付けする。2層目のPCM吹付け終了後、表面仕上げを行い養生した。この補強法はグリッドメタルを用いた接着剤塗布型低弾性PCM補強法とする。

#### 5. 静荷重実験方法

最大荷重能力5,000kNの構造物試験機を用いて静荷重実験を行った。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)<sup>3)</sup>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。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点載荷は、荷重500kNまで載荷した。その後、1点載荷に移行した荷重載荷の最大耐荷力は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

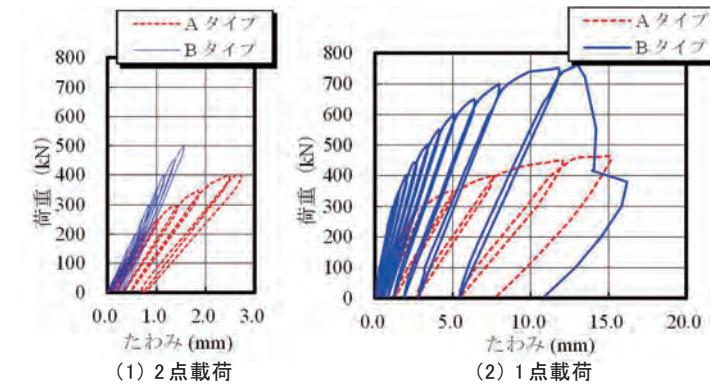


図4 荷重とたわみの関係

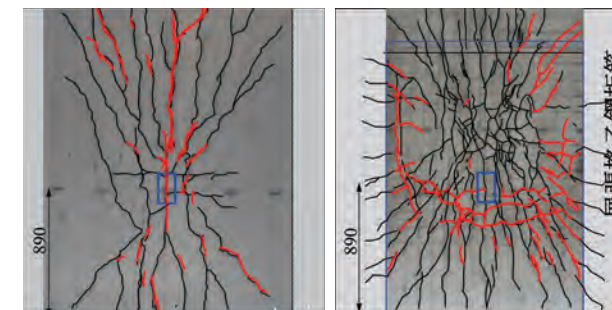


図5 破壊時のひび割れ状況

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より、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タイプ供試体の最大荷重760.7kN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、破壊時のひび割れ状況を図5に示す。無補強のAタイプ供試体カルバートは、荷重456.6kNで曲げ破壊となった。

一方、グリッドメタルを配置し、40mm厚のPCM吹付け補強したBタイプ供試体カルバートは、最大荷重760.7kN載荷後、押抜きせん断破壊となった。増厚層はグリッドメタルを配置したことからダウエルの影響を受ける荷重載荷位置から45度下面の範囲ではく離が発生している。

以上より、グリッドメタルを配置し、接着剤塗布型低弾性PCM補強法は耐荷力性能の向上を図ると同時

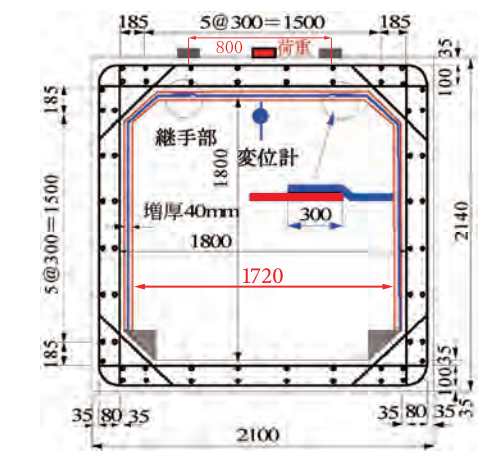


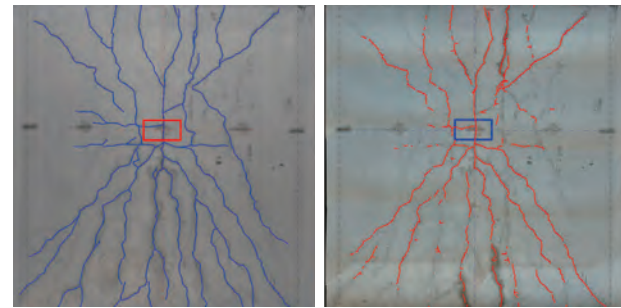
図6 供試体寸法およびグリッドメタルの配置

に、破壊時で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. 破壊後の補強カルバート供試体の概要

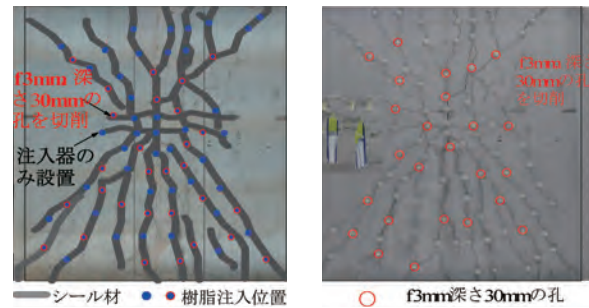
無補強カルバートの静荷重実験を行った結果は、最大耐荷力が456.6kNであった。この実験済みの無補強カルバートA供試体にひび割れ補修を行い、グリッドメタルを用いて接着剤塗布型PCM吹付け増厚補強を施し、静荷重実験により補強効果の検証を行った。

補強厚寸法は図6に示すように、コンクリート表面から40mmのPCM吹付け増厚補強を施す。なお、グリッドメタルの継手部について、本補強法では頂版部に継手部を設ける方法とした。また、グリッドメタルの格子間寸法は補強カルバートB供試体と同様に100×100mmとし、主筋寸法は9.0×8.0mm(断面積72.0mm<sup>2</sup>)、配力筋寸法は9.0×7.0mm(断面積63.0mm<sup>2</sup>)を用い、防錆として溶融亜鉛メッキを施した。



(1) ひび割れ発生状況 (2) 0.1mm以上のひび割れ

図7 カルバートのひび割れ状況



(1) 注入器具取り付け位置 (2) φ3mm深さ30mmの孔

図8 ひび割れ樹脂注入器具取り付け位置

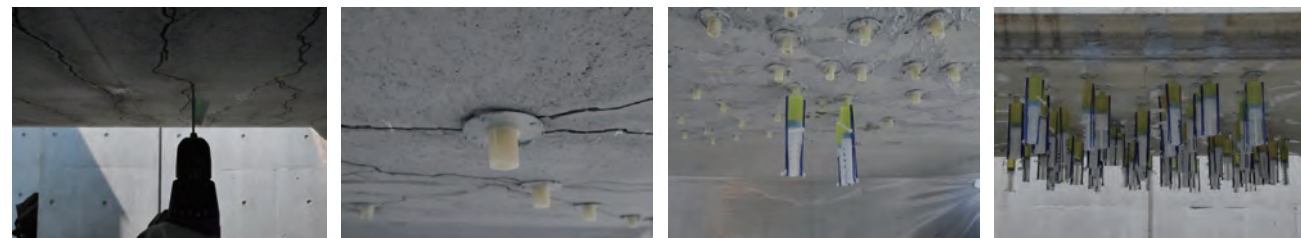
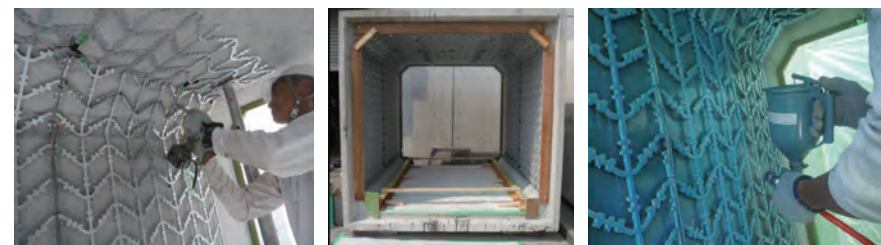


写真2 ひび割れ補修用樹脂の注入手順



(1) 展張筋設置 (2) 設置終了 (3) 接着剤塗布

写真3 補強用グリッドメタルの設置状況



(4) PCM吹付け (5) コテ仕上げ (6) 完成

写真4 カルバートのPCM仕上げ状況

## 8. ひび割れ補修方法

### (1) ひび割れ発生状況

無補強カルバートA 供試体の静荷重実験によるひび割れ発生状況を図7に示す。ひび割れ補修における浸透性接着剤(浸透性KSプライマー)の材料特性値を表4に併記した。注入位置を図8に示す。本供試体は静荷重実験により破壊したカルバートであり、ひび

割れが多いため、150mm~200mmの間隔で樹脂を注入した。注入手順を写真2に示す。浸透性接着剤は毛細管現象により0.05mm以上のひび割れに浸透する接着剤である。

## 9. 破壊したカルバートの補強方法

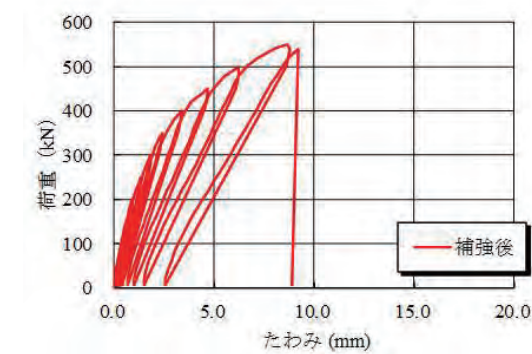
カルバートの補強手順を写真3,4に示す。



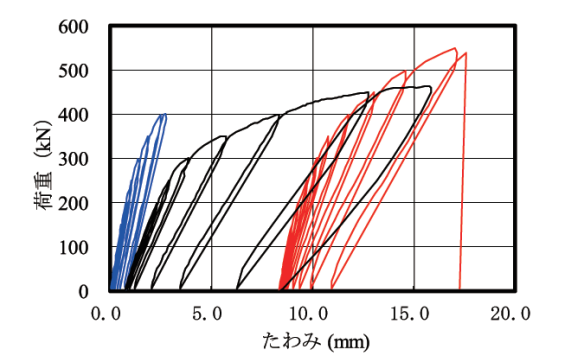
(1) 実験装置

(2) 荷重載荷版

写真5 荷重能力5,000kN試験機



(1) 補強後の荷重とたわみ



(2) 荷重と累積たわみ

図9 荷重とたわみの関係

## 10. 静荷重載荷実験

### (1) 実験方法

静荷重実験における実験状況を写真5に示す。荷重載荷位置およびたわみの計測位置は図6に示す荷重の載荷位置直下とする。載荷版は写真5(2)に示すように道路橋示方書に規定するT荷重の設置面積を3/5モデル化した載荷版寸法とした。

荷重載荷位置は、無補強カルバートA 供試体の1点荷重載荷位置と同様とし、図6に示した。本実験におけるたわみおよび鉄筋、グリッドメタルのひずみの計測は荷重載荷位置とした。たわみの測定位置は、載荷点直下のスパン中央部とした。

### (2) 最大耐荷力

カルバート頂版のひび割れに浸透性接着剤を注入補修した後、グリッドメタルを用いた接着材塗布型低弾性PCM吹付け増厚補強を施したカルバートA 供試体の1点載荷による静荷重実験における最大荷重は550.3kN

であった。補強前の最大荷重は456.6kNであり、補強することで最大耐荷力が1.21倍に向上した。よって、荷重100kNを考慮したB活荷重にも対応可能な補強法であり、損傷を受け健全度の判定区分IVのカルバートにおいても、グリッドメタルを用いた接着剤塗布型低弾性PCM補強法を適用することで、内部空間および建築限界を確保しながらの補修・補強が可能であると考えられる。

### (3) 荷重とたわみの関係

補強後のカルバート供試体の荷重とたわみの関係を図9(1)に示す。また、無補強カルバートA 供試体の2点載荷、1点載荷による静荷重実験の残留たわみを考慮した荷重とたわみの関係を図9(2)に示す。補強前の最大荷重456.6kN時のたわみは5.1mmである。その後の荷重増加でたわみの増加も大きくなり、最大耐荷力550.3kN時のたわみは8.7mmで押抜きせん断破壊であった。

### (4) 荷重とグリッドメタルひずみの関係

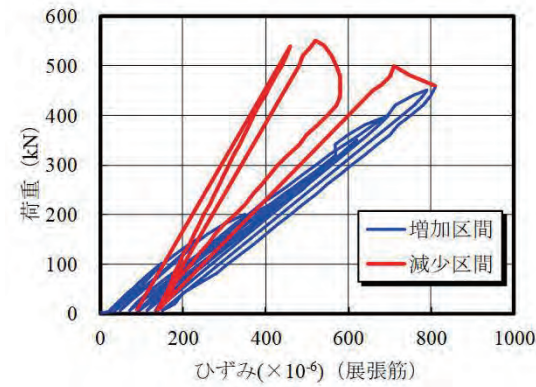


図10 荷重とグリッドメタルひずみの関係

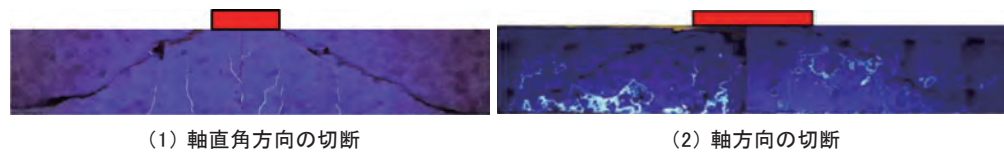


写真6 ひび割れ補修による接着剤の浸透状況

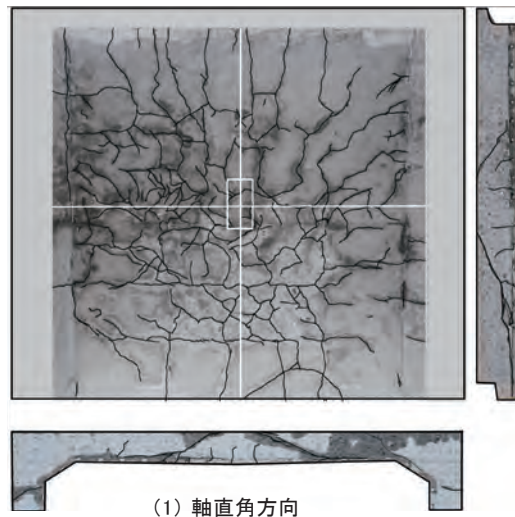


写真7 破壊時のひび割れ状況

荷重とグリッドメタルひずみの関係を図10に示す。なお、ひずみが増加している部分を青線、減少している部分を赤線として示した。荷重454kN付近までは線形的に増加している。その後の荷重増加、すなわち補強前の破壊荷重付近からひずみの増加は見られず徐々に減少し始めている。この付近から荷重載荷位置付近のコンクリートが押抜きせん断破壊へと移行したものと考えられる。また、カルバートを2方向に切断し蛍光塗料を混入した浸透性接着剤の浸透状況の確認を写真6に示す。カルバート頂版下面のひび割れ状況は写真7に示す。

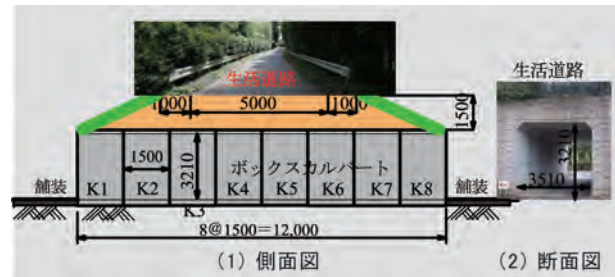


図11 損傷したボックスカルバートの概略

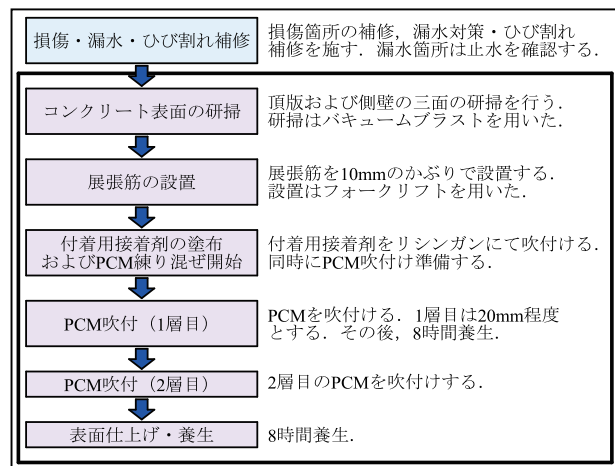


図12 施工フロー

## 11. 施工計画および施工事例

ここで、図11に示す地震動等により損傷した3500×3500×1500mmのプレキャストカルバートを例に、グリッドメタルを用いた接着剤塗布型低弾性PCM補強法に



写真8 カルバートの施工手順

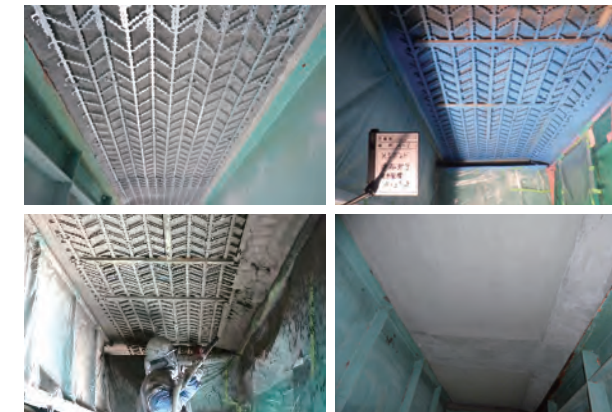


写真9 橋梁下面増厚の施工事例

による施工フローを図12に、施工手順を写真8に示す。また、その他の補強事例として橋梁に用いた下面増厚工法の施工例を写真9に、上面増厚工法を写真10に示す。

## 12. まとめ

グリッドメタルを用いた接着剤塗布型低弾性PCM補強法はカルバートの補修・補強に有効な補強工法であ

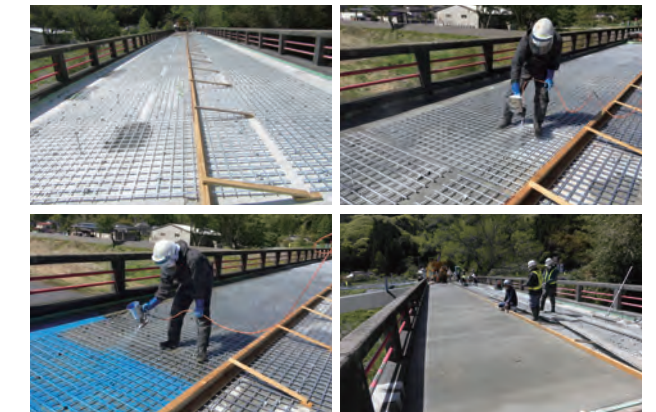


写真10 橋梁上面増厚の施工事例

ると共に、橋梁RC部材にも有効な工法であると考えられる。

### 【参考文献】

- 1) 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
- 2) 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
- 3) 日本道路協会 / 道路橋示方書・同解説I, II, 1994.2