

グリッドメタルを用いて補強したボックスカルバートの補強効果の検証と実施工例

JFE シビル(株) ○吉岡　泰邦 塩田　啓介 内籐　仁志
 目大生産工 阿部　忠

1. はじめに

近年、道路橋のボックスカルバート（以下、カルバート）は、老朽化が進み、この補修・補強技術および維持管理手法の構築が課題となっている¹⁾²⁾。老朽化したカルバートの耐荷力性能の向上を図るための補強法は、ひびわれ補修後、鉄筋を配置してポリマーセメントモルタル（以下、PCM）で増厚する補強法が一般的であり、60mm 程度の増厚が必要となる³⁾。

一方、著者らは、鉄筋に代わる引張補強材として、鋼板をレーザで格子状に一面加工したグリッドメタル（以下、格子筋）を用いて、PCMで増厚補強する方法（以下、本工法）を開発⁴⁾し、RCはりの耐荷力の向上や、道路橋 RC 床版の疲労耐久性の向上に有効であることを明らかにしている⁵⁾。⁶⁾ また、防錆処理をした格子筋を用いることにより、塩害対策にも効果がある。本工法をカルバートの補強に適用した場合には、鉄筋を格子状に重ねて組立てる場合に比べて、配筋が一面にあり増厚断面を薄くできるため、死荷重の軽減や内空間減少の影響を低減できるほか、パネル状の配筋材であるため、狭小な内部空間での配筋作業の省力化、施工性の向上、工期短縮にメリットがある。

そこで本研究では、本工法をカルバートの補強に適用した場合の補強効果について実大供試体を用いた静的載荷実験によって検証した。また、道路橋として使用されているカルバートの補強に本工法が適用された事例を紹介する。

2. 検証実験

2.1 供試体および材料

図-1 に格子筋の形状を、写真-1 に曲げ加工した格子筋の状態を示す。実験に使用した格子筋は、材質 SS400、板厚 9mm の鋼板にレーザでスリットを入れ、専用のジャッキによって展張して格子状に加工したものである。カルバートのハンチ形状に曲げ加工した後、溶融亜鉛めっき処理した。

供試体は、縮尺 1/1.5 を想定しており、無補強

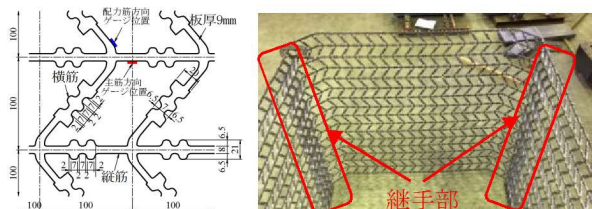


図-1 格子筋の形状 写真-1 曲げ加工した格子筋

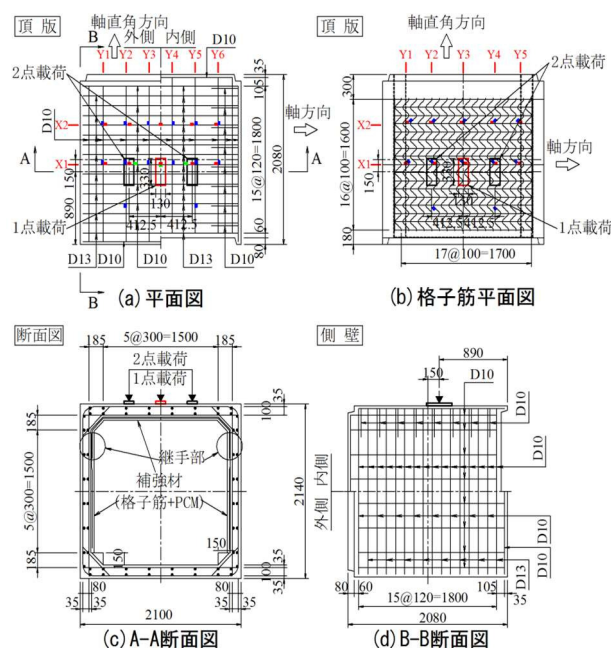


図-2 供試体の形状（供試体 B）

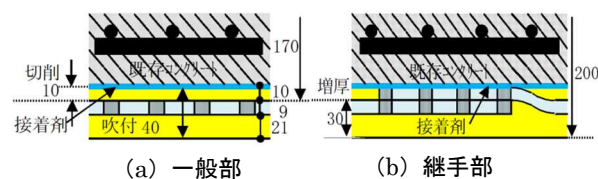


図-3 補強部の断面

表-1 ボックスカルバートの材料特性

コンクリート圧縮強度 (N/mm ²)		鉄筋 (SD295A)				
供試体A (無補強)	供試体B (補強)	径	降伏強度 (N/mm ²)	降伏ひずみ (× 10 ⁻⁶)	引張強度 (N/mm ²)	ヤング率 (kN/mm ²)
52.8	47.1	D13	360	1800	496	200
		D10	363 ~ 398	1815 ~ 1990	494 ~ 515	(告示)

Verification on Experiment and Construction Example of Box Culvert strengthening with PCM Thickness Increase Method Using Expanded Metal-Grid

Yasukuni YOSHIOKA, Keisuke SHIOTA, Hitoshi NAITOU and Tadashi ABE

表-2 格子筋の材料特性

降伏強度 (N/mm ²)	降伏ひずみ ($\times 10^{-6}$)	引張強度 (N/mm ²)	ヤング率 (kN/mm ²)
299 ※1)	1495	461	200(道示)

※1) ミルシート値

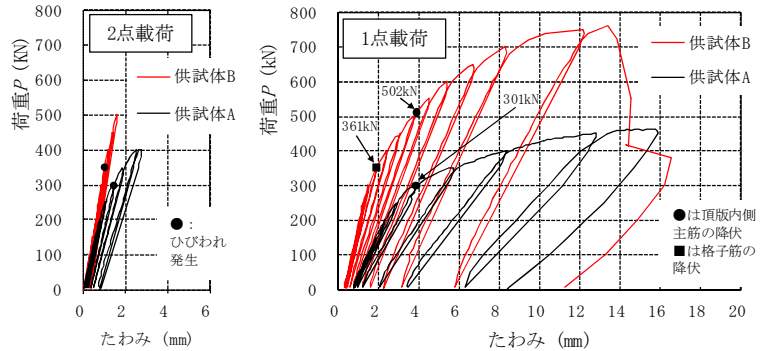


写真-2 荷重試験状況

表-3 荷重順序と最大荷重

荷重 順序	荷重 方法	最大荷重 P_m (kN)	
		供試体A (無補強)	供試体B (補強)
1	2点荷重	400 ※2)	500 ※3)
2	1点荷重	464	762

※2) T-20 後輪設計
荷重 80kN の 5 倍
※3) T-25 後輪設計
荷重 100kN の 5 倍



(a) 2点荷重

(b) 1点荷重

図-4 荷重 P と頂版載荷中心点たわみの関係

(供試体 A) と補強 (供試体 B) の 2 種類とした。図-2 (a) ~ (d) に供試体 B の形状、配筋および荷重位置を示す。格子筋を頂版と側面の内面に配置し、PCM にて吹付け充填して増厚補強した。供試体に使用したカルバートは、幅 2100mm、奥行 2080mm、高さ 2140mm であり、供試体 A は頂版の厚さを 170mm、側壁の厚さを 150mm とした。

図-3 (a), (b) に供試体 B の補強部の断面を示す。供試体 B は、補強部表面の切削を模擬して予め内面を 10mm 薄くして製作したものに格子筋を配置し、PCM を厚さ 40mm に吹付けしたもので、頂版の厚さを 200mm、側壁の厚さを 180mm とした。表-1 および 2 に材料の特性を示す。補強に用いる PCM は、一般の吹付け工法に用いられるビニロン繊維を配合した市販のセメント材料を用いた。PCM の実験時の圧縮強度は 34.8N/mm² である。また、既設コンクリートの切削面と PCM 吹付けによる増厚補強材との付着性を高めるために、増厚界面に高耐久型エポキシ系樹脂接着材(以下、接着材)を用いた⁷⁾。コンクリートとの付着強度は 3.7N/mm² 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。

2.2 補強方法

本工法の補強手順は、「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)⁸⁾」に準拠する。供試体 B の補強手順は次のとおりである。まず、既設コンクリートの表面をブラスト研掃した後、格子筋をコンクリート表面から 10mm を確保する磁石スぺーサを挟んで、固定金具とネジ式アンカーを用いて、両側壁部、頂版部の順に設置する。

次に、接着材を塗布し、仕上げ面の高に合わせて端面の型枠を設置した後、格子筋外面まで 1 層目の PCM を充填し、一次養生を 2 時間程度行い、被り部の 2 層目の PCM を吹付ける。最後に、型枠高さに合わせて表面仕上げを行い、養生後、型枠を撤去し補強完了となる。

2.3 荷重方法と実験ケース

荷重は、最大出力 5MN の構造物試験機を用いて、道路橋示方書⁹⁾に示す T 荷重を想定し、頂版上部に支圧版を介して鉛直下方に一方向繰返し漸増荷重した。支圧版は、T 荷重の荷重形状を 1/1.5 の縮尺にした、平面形状 330mm $\times$ 130mm の鋼板を用いた。荷重パターンは 2 種類で、まず、タンデム式の中軸・後軸間を想定した 2 点荷重を行い、次に、中央のみの 1 点荷重を行った(表-3)。写真-2 に荷重状況を示す。

2.4 実験結果

図-4 (a), (b) は、2 点荷重と 1 点荷重の場合の荷重 P と頂版載荷中心点のたわみの関係である。

まず、(a) の 2 点荷重の場合、供試体 A では $P=300$ kN で頂版下面にひび割れが発生し、その後、剛性が低下している。供試体 B の場合は、 $P=350$ kN で頂版下面にひび割れが発生したが、500kN までほぼ弾性的な挙動をしている。残留たわみは、供試体 A は 0.7mm、供試体 B は 0.3mm であった。なお、両供試体とも鉄筋は降伏していない。

(b) の 1 点荷重の場合についてみると、供試体 A では、主筋が $P=301$ kN で降伏した後にたわみが大きく増加し、最大荷重 $P_m=464$ kN、たわみ 15.7mm で荷重を終了した。供試体 B では、 $P=361$ kN で格子筋が降伏し、続いて $P=502$ kN で主筋が降伏した

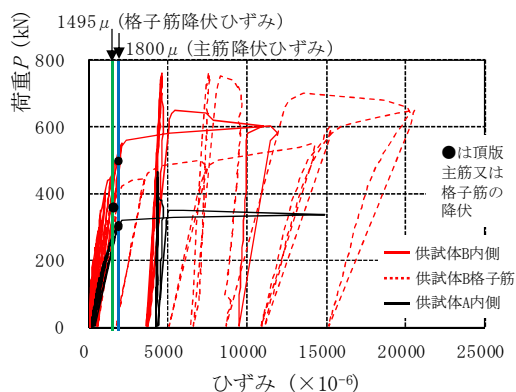


図-5 荷重 P と載荷点付近の主筋および格子筋ひずみの関係 (1 点載荷)

後に、たわみが大きく増加し、 $P_m=762\text{kN}$ で載荷点周辺に押抜きせん断破壊が生じて載荷を終了した。補強によって最大荷重 P_m は 1.64 倍に増大している。

以下、1 点載荷時の実験結果について述べる。

図-5 は、荷重 P と頂版載荷点付近の主筋および格子筋のひずみの関係を示す。供試体 A の場合、 $P=301\text{kN}$ で主筋が降伏した後に急激にひずみが増大している。供試体 B の場合、まず、 $P=361\text{kN}$ で格子筋が降伏してひずみが増大し、その後、 $P=502\text{kN}$ で頂版の主筋が降伏している。格子筋と増厚による補強によって、主筋のひずみの増加が大幅に抑制されている。

図-6 は、供試体 B のカルバート断面の主筋および格子筋のひずみ分布である。頂版下面中央部に主筋と格子筋のひずみのピークが現れている。また、側壁上部のハンチ基部に外側主筋のひずみのピークがある。

2.5 実験値と計算値の比較

図-7 および 8 は、それぞれ、頂版および側壁ハンチ基部のひずみピーク断面について、主筋と格子筋のひずみ分布の実験値と計算値を示す。計算値は 2 次元骨組みモデルによって曲げモーメントと軸力を求め、既存部材と補強材が一体となった RC 合成構造として算出した。図-7 の頂版では、格子筋が引張鉄筋の増量効果を發揮している。また、図-8 の側壁では、増厚に伴う外側鉄筋の有効高さの増加の効果が表れている。計算値は、実験値の傾向をよく表しており、補強の効果を既設と補強材を一体とした RC 合成断面として算定できることがわかる。

図-9 は、最大荷重 P_m とコンクリート標準示方書¹⁰⁾による設計押抜きせん断耐力の計算値を示したものである。計算値は、補強後の押抜きせん断耐力の増加傾向を安全側に表している。

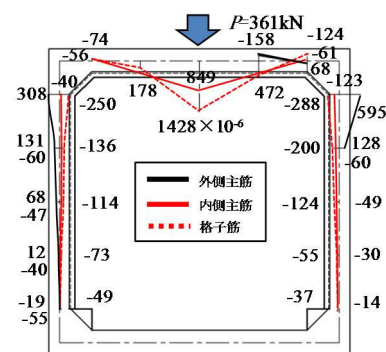


図-6 供試体 B 断面の主筋および格子筋のひずみ分布

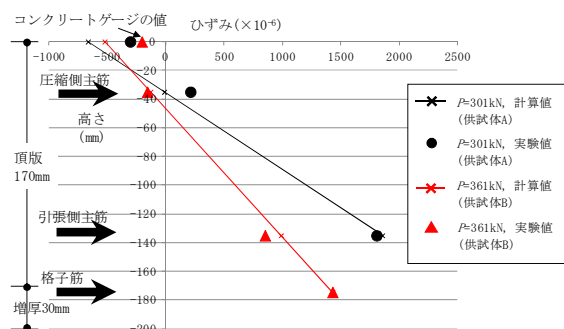


図-7 頂版中央断面の主筋および格子筋のひずみ

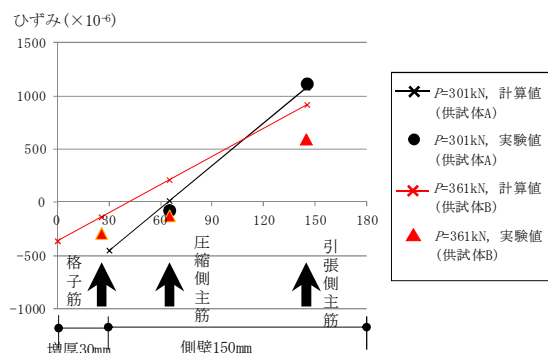


図-8 側壁断面の主筋および格子筋のひずみ

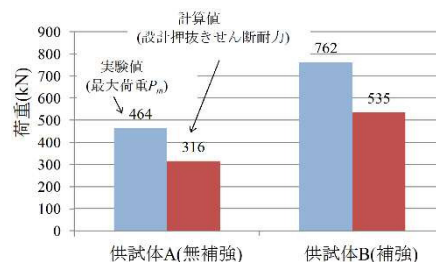


図-9 最大荷重 P_m と押抜きせん断耐力の計算値

3. 実施工例

道路の盛土中を交差する通路として構築されたボックスカルバートについて、目地からの漏水による劣化部の補修および耐荷力向上を目的として本工法が採用された。補強対象カルバートの内面寸法は、高さ 3215mm、幅 3510mm、奥行



(a) 補強前



(b) ネジ式アンカーによる格子筋の固定



(c) 格子筋の設置状態



(d) PCMの吹付け作業



(e) PCM吹付け途中の格子筋



(f) 補強完了

写真-3 本工法による道路ボックスカルバート補強の施工状況

9571mmである。補強に用いた格子筋は、板厚6mmの縞鋼板にスリットを入れて展張し格子状にしたもので、配筋幅は主筋方向12mm、配力筋方向7mm、配筋のピッチは縦100mm×横100mmである。1枚の格子筋パネルは幅2920mm×長さ2200mmで、ハンチ部に合わせて曲げ加工した後に、溶融亜鉛めっきまたはエポキシ樹脂塗装によって防食処理している。カルバート断面方向にハンチ部、頂版部、側壁部の5分割にした格子筋パネルを使用している。PCMの増厚は30mmである。施工は、まず、漏水部のシーリング補修を行い、その後、2.2に述べた手順によって本工法による補強が行われた。

写真-3 (a)～(f)に施工状況を示す。施工後1年経過した時点で健全である。

4. まとめ

- (1)1点载荷による静的载荷実験の結果、本工法によって補強した供試体の耐荷力は無補強のものに比べて1.64倍に向上した。
- (2)1点载荷実験において、補強供試体では、補強材の格子筋が先行して降伏してひずみが増大し、その後、既設主筋が降伏しており、主筋の降伏時荷重は、無補強が301kN、補強が502kNで補強により1.67倍に増大した。
- (3)補強した断面のひずみ分布の実験値は、既設と補強部を合成構造としたRC理論式による計算値で近似された。
- (4)補強後の頂版の押抜きせん断耐力は、コンクリート標準示方書の計算式によって安全側に算定された。

(5)本工法が適用された道路ボックスカルバート補強の施工事例を紹介した。狭小なカルバート内で効率よく施工できることが確認された。

参考文献

- 1) 国土交通省道路局：道路橋定期点検要領，2014.6
- 2) 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
- 3) 土木学会：鋼構造シリーズ 27，道路橋床版の維持管理マニュアル 2016，2016.10
- 4) 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
- 5) 高木智子，阿部忠，師橋憲貴，塩田啓介：展張格子鋼板筋を用いたRCはりのPCM増厚補強における耐荷力性能，セメント・コンクリート論文集，Vol.69，No.1，pp.626-633，2015
- 6) 水口和彦，阿部忠，野口博之，塩田啓介：鋼板格子筋を用いた下面増厚補強RC床版における耐疲労性の評価，構造工学論文集，Vol.62A，pp.1250-1260，2016.3
- 7) 伊藤清志，阿部忠：2タイプの接着材を塗布したRC床版の上面補修法の耐疲労性の評価および施工技術，コンクリート工学年次論文集，Vol.39，No.1，pp.2131-2136，2017.7
- 8) 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
- 9) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I 共通編，2012
- 10) 土木学会：コンクリート標準示方書-2012年制定（設計編），pp.187-188，2012