

展張格子鋼板筋を用いた RC ボックスカルバートの増厚補強に関する実大載荷実験

JFE シビル(株) ○吉岡泰邦 塩田啓介

日大生産工 阿部忠 師橋憲貴 水口和彦 日大生産工(院) 野口博之

1. はじめに

展張格子鋼板筋(以下,格子筋)は,鋼板にレーザーによってスリットを入れ,ジャッキで展張することにより格子状に加工したもので(図-1),縦筋と横筋が1面に

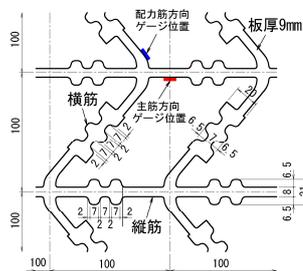


図-1 格子筋形状

あることから,鉄筋を交差配置した場合に比べて,配筋の厚さを薄くできることや,面加工されているため,施工の合理化・省力化が図れる利点がある.著者らは,格子筋とポリマーセメントモルタル(以下,PCM)を用いた増厚補強工法(以下,本工法)の適用性について実験的研究を行い,RCはりの増厚補強による耐荷性能の向上,道路橋RC床版の下面増厚補強による耐久性の向上に有効であることを明らかにした¹⁾²⁾.

一方,近年,RC構造物の延命化を図るための補修補強対策,維持管理の構築が重要な課題となっているなかで,水路や道路構造物として構築されたRCボックスカルバートについても,車両荷重の増大や大規模地震への対策,経年劣化部の修復を目的とした,合理的な補強方法の開発が急務となっている³⁾⁴⁾.そこで,本研究では,本工法をRCボックスカルバートの補強に適用した場合の効果について,実大供試体を用いた静的載荷実験によって検証した.

2. 実験方法

2.1 供試体および使用材料

供試体は,無補強と本工法による補強を行った2種類とした.供試体には,プレキャスト製ボックスカルバートを使用し,縮尺は1/1.5を想定した.図-2(a)~(d)に補強供試体の形状と配筋を示す.外形は,軸方向2100mm,軸直角方向2080mm,高さ2140mmである.頂版内側の鉄筋は,主筋がD13-120mmピッチ,配力筋がD10-300mmピッチであり,断面方向の主筋間隔は100mmである.無補強供試体の版厚は170mmであり,有効高さは135mmである.補強供試体は,頂版と側壁の内面

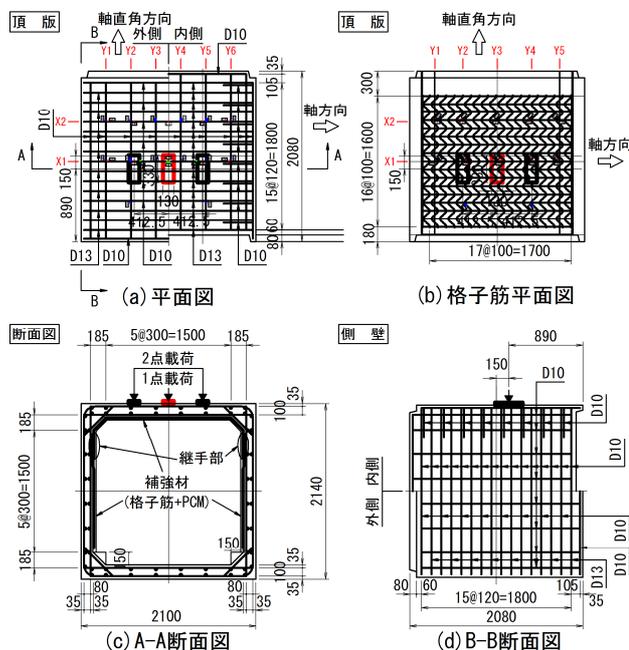


図-2 供試体の形状(供試体B)

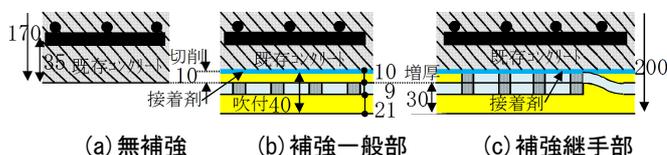


図-3 補強部断面

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)	ヤング係数 (kN/mm ²)
52.8	47.1	D13	360	1800	496	200
		D10	363~398	1815~1990	494~515	(道示)

表-2 格子筋の材料特性

降伏強度 (N/mm ²)	降伏ひずみ (×10 ⁻⁶)	引張強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)
299	1495	461	200(道示)

表-3 ポリマーセメントモルタルの配合と圧縮強度

圧縮強度 (N/mm ²)	単位量(kg/m ³)		水結合比 (%)
	プレックス粉体	水	
34.8 ※1)	1860	595	32

※1)実験時の17日強度値、28日強度は42.0N/mm²

Full Size Loading Test about Increased Thickness Reinforcement of RC Box Culvert using Metal Grid Expanded Type
Yasukuni YOSHIOKA, Keisuke SHIOTA, Tadashi ABE, Noritaka MOROHASHI, Kazuhiko MINAKUCHI and Hiroyuki NOGUCHI

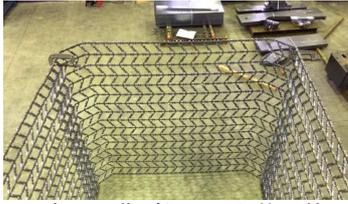


写真-1 曲げ加工した格子筋



写真-2 載荷試験状況

表-4 載荷順序と最大荷重

載荷順序	載荷方法	最大荷重 P_m (kN)	
		供試体A (無補強)	供試体B (補強)
1	2点載荷	400	500
2	1点載荷	464	762

に格子筋とPCMによる増厚補強を行っている。図-3 (a) ~ (c) に補強部の断面を示す。(b) および (c) に示す補強供試体の場合は、劣化部の切削を模擬して、予め表面を10mm薄く製作したものに格子筋を配置し、エポキシ系接着剤を塗布²⁾したうえで、PCMを厚さ40mmで吹付け充填しており、仕上がりの版厚は200mmである。図-1に格子筋の形状を、また、写真-1に格子筋の曲げ加工状態を示す。格子筋は曲げ加工後、防食のための溶融亜鉛めっきを施している。

図-2 (a) および (b) には、頂版の鉄筋および格子筋のひずみゲージ位置を記入している。主筋(軸)方向のひずみ測定ラインをX1, X2とし、配力筋(軸直角)方向のそれをY1~Y6とした。側壁は、X1ラインの延長上に主筋方向にひずみゲージを貼付している。表-1~3に使用した材料の特性を示す。

2.2 載荷方法と実験ケース

載荷は、5MNの構造物試験機を用いて、道路橋示方書⁵⁾に示すT荷重を想定し、頂版上部に支圧版を介して集中荷重を鉛直下方に載荷した。載荷パターンは2種類で、まず、車両の後輪が2軸である場合を想定した2点集中荷重による載荷を行い、その後、後輪1輪を想定した1点集中荷重載荷を行った。図-2 (a) ~ (d) にそれぞれの載荷パターンの載荷位置を示す。載荷の支圧版は、T荷重の荷重形状⁵⁾を1/1.5の縮尺にした、平面形状 330mm×130mm、厚さ 32mm の鋼

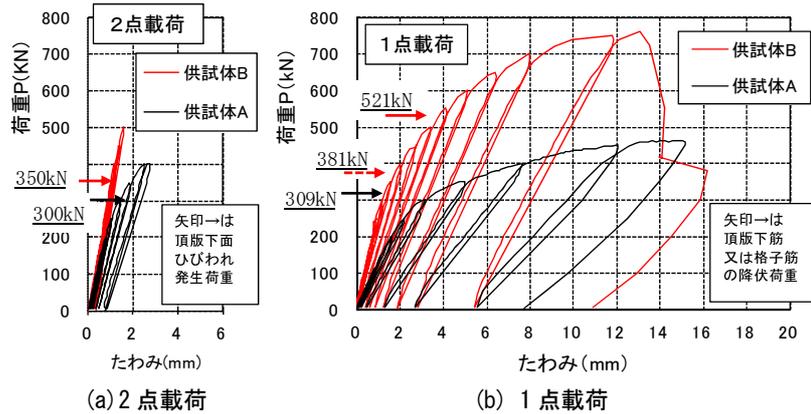


図-4 荷重と頂版載荷中心点たわみ

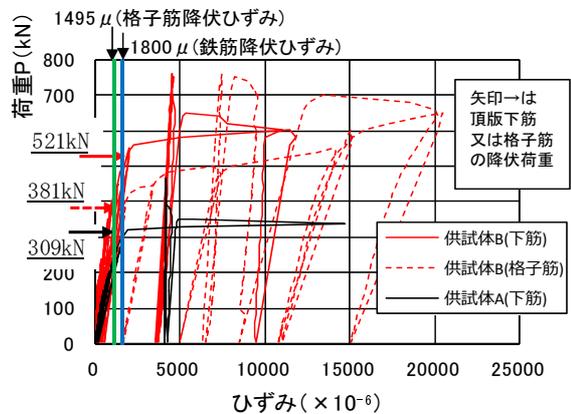


図-5 荷重と載荷点付近の主筋および格子筋ひずみの関係

板を用いた。

表-4に、実験ケースと各載荷パターンにおける最大荷重 P_m を示す。無補強供試体を供試体A、補強供試体を供試体Bと称する。また、写真-2に載荷実験の状況を示す。

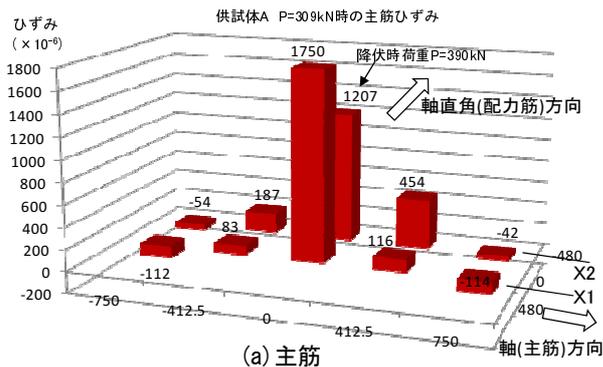
3. 実験結果

3.1 荷重とたわみの関係

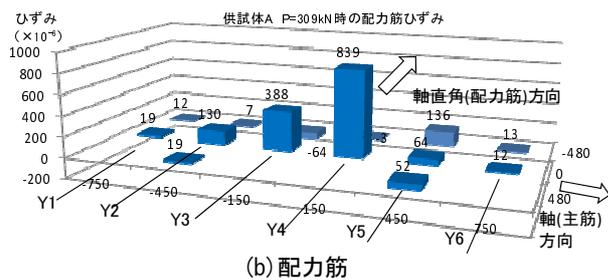
図-4 (a) および (b) に、それぞれ、2点載荷および1点載荷の場合の荷重 P と頂版下面載荷中心点のたわみを示す。

(a) の2点載荷の場合、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、非線形な挙動が現れて剛性が低下している。供試体Bの場合は、 $P=350$ kNで床版下面にひび割れが生じたが、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。

次に、(b) の1点載荷の場合であるが、2点載荷の除荷後の残留たわみを無視し、載荷開始時



(a) 主筋



(b) 配力筋

図-6 頂版の鉄筋ひずみ分布 (供試体 A)

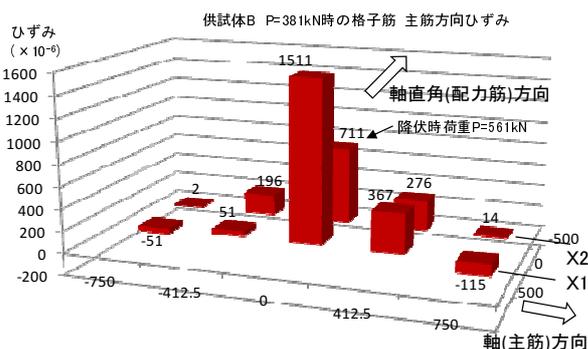


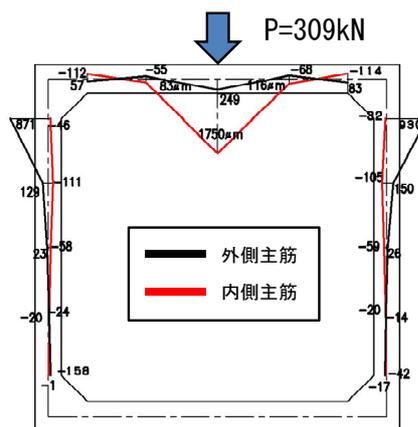
図-7 頂版の格子筋ひずみ分布 (供試体 B)

点での変位をゼロとして表している。供試体 A の場合、 $P=290\text{kN}$ 、たわみ 2.7mm まで線形挙動を示し、その後、急速に剛性が低下して、 $P_m=464\text{kN}$ 、たわみ 15.0mm で荷重を終了した。一方、供試体 B の場合は、 $P=440\text{kN}$ 付近まで線形的な挙動を示し、その後、徐々に剛性が低下して、 $P_m=762\text{kN}$ 、たわみ 13.0mm に達した時点で、荷重点周辺に押抜きせん断破壊が生じて、急激に荷重が低下し、荷重を終了した。この結果から、補強によって、耐力が 1.64 倍に向上し、降伏荷重や剛性が大きく増大することが分かる。

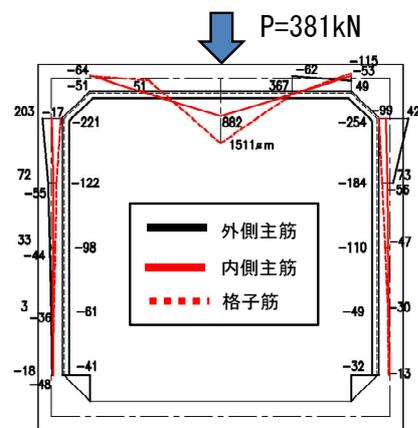
以下、1点荷重の場合の実験結果について述べる。

3.2 荷重と鉄筋および格子筋のひずみの関係

図-5は、荷重 P と頂版荷重点付近の主筋および格子筋（縦筋）のひずみの関係を示す。供試体



(a) 供試体 A



(b) 供試体 B

図-8 ボックスカルバート断面の主筋および格子筋のひずみ分布

A の場合、 $P=309\text{kN}$ で主筋が降伏した後急速にひずみが増大している。供試体 B の場合、まず、 $P=381\text{kN}$ で格子筋が降伏してひずみが増大し、その後、 $P=521\text{kN}$ で頂版の主筋が降伏している。供試体 A および B とともに、ひずみ $1\sim 2\%$ の領域において、ひずみ量が反転し減少する現象が見られるが、これは、頂版の変形状態が曲げから押抜きせん断のモードに移行した影響と思われる。

供試体 B の場合、格子筋が頂版の主鉄筋を補強する効果を示し、耐力を向上していることが分かる。

3.3 頂版配筋のひずみ分布

図-6 (a) および (b) は、供試体 A について、 $P=309\text{kN}$ のときの頂版の主筋および配力筋のひずみ分布である。主筋および配力筋とも、荷重点付近に局所的に大きなひずみが生じている。また、配力筋の最大ひずみは主筋の半分程度である。

図-7 は、供試体 B について、 $P=381\text{kN}$ のときの格子筋（縦筋）のひずみ分布である。格子

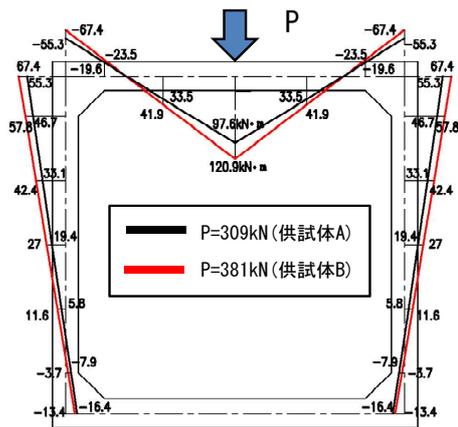


図-9 ボックスカルバート断面の
曲げモーメント計算値

筋のひずみも頂版の主筋と同様に、荷重点付近のひずみが大きい分布となっている。

3.4 ボックスカルバート断面の主筋および格子筋ひずみ分布

図-8(a)および(b)は、供試体 A および B について、ボックスカルバートの断面の主筋および格子筋(縦筋)のひずみ分布である。頂版の中央部の内側主筋および側壁上部の外側主筋に引張りひずみのピークが見られる。供試体 B の格子筋のひずみは、主筋と同様、頂版中央部でピークとなっている。

4. 実験値と計算値の比較検討

図-9 は、ボックスカルバート断面の曲げモーメント分布を計算した結果である。荷重は、軸直角方向に均一な線荷重としている。

図-10 は、頂版の荷重点断面における主筋および格子筋(縦筋)のひずみ分布について、実験値と計算値を比較したものである。計算値は、図-9 に示した曲げモーメント値を基に、頂版および増厚部を合成断面とした RC 理論式によって主筋および格子筋の応力を求め⁹⁾、ヤング率によってひずみ値に換算したものである。供試体 A および B とともに、実験値と計算値はよく一致しており、RC 頂版および増厚部が平面保持の状態であり、一体となって挙動していることがわかる。

5. まとめ

展張格子鋼板筋とポリマーセメントモルタルを用いて、RC ボックスカルバート内面を増厚補強した場合について、輪荷重を想定した静的荷重実験を行い補強効果を検証し、次の知見が得られた。

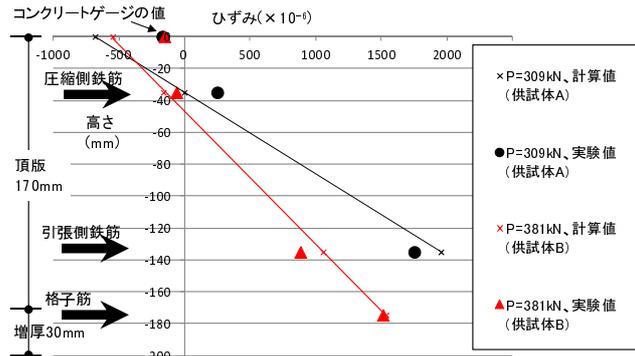


図-10 頂版主筋および格子筋のひずみ分布

- (1)補強した供試体は、無補強供試体に比べて、最大荷重が 1.64 倍に増加し、頂版荷重点たわみの降伏点や剛性が向上し、補強による効果が確認された。
- (2)頂版荷重点の主筋および格子筋のひずみを、RC 頂版と増厚部の合成断面として計算した結果は、実験値とよく一致した。
- (3)側壁では、上部ハンチ基部外側主筋に引張のピークが現れたが、補強供試体の主筋ひずみは無補強供試体に比べて低減し、内面増厚に伴う有効高さの増加による補強効果が確認された。

参考文献

- 1)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, P.626-633, 2015.
- 2)及川裕介, 阿部忠, 水口和彦, 塩田啓介: 展張格子鋼板筋を用いた RC 床版の下面増厚補強法における補強効果および耐疲労性の評価, セメント・コンクリート論文集, Vol. 69 No.1, P.618-625, 2015.
- 3)山川博樹, 小林志伸, 小林克己: 連続繊維シート接着によるボックスカルバートの使用荷重の改善効果に関する実験, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.21.No.3, pp.1537-1542, 1999.
- 4)郭瑞, 日野伸一, BAHSUAN RIFADLI, 谷口碩士: CFRP グリッドを用いた PCM 吹付け工法による RC はりのせん断補強効果の評価手法, コンクリート工学年次論文集, Vol.38, No.2, pp1363-1368, 2016.
- 5)日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 I 共通編, P.19, 2012.
- 6)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)(増厚補強編), 2011.