

# 円弧状隅角部を有するプレキャストカルバートの配筋と施工

清水建設(株) 正会員 ○前田英俊 山口雄也  
 清水建設(株) 波多野正邦 吉武謙二  
 中日本高速道路(株) 中村洋丈 蛭沢佑紀  
 清水・岩田地崎特定建設工事共同企業体 藏重幹夫 池田昇平

## 1. はじめに

筆者らはプレキャストボックスカルバートのコスト削減を目的として、コンクリート量や鉄筋量を削減可能な隅角部を円弧状としたプレキャストカルバート（以下、円弧状隅角部と記す）の開発を行ってきた。これまでに正負交番載荷試験や解析により、円弧状隅角部は従来の矩形よりも高い耐荷性能を示し、十分な変形性能も有することが確認された<sup>1)</sup>。本稿では、更なる性能の向上を目的として軸方向鉄筋の定着効果について検証した結果を報告する。加えて、構造が異なることで施工途中に完成時以上の応力度が鉄筋に発生することが懸念されたため、施工過程を踏まえた鉄筋の応力状態に関する考察を行った。

## 2. 性能確認試験の課題

図-1 に今回の試験体配筋図を示す。前回の試験<sup>1)</sup>では、頂版下筋端部のフックを省略していた。図-2 は前回試験<sup>1)</sup>での鉄筋のひずみ計測結果である。頂版下筋について、変形角-0.5%において同位置の側壁内筋とひずみが一致していないことから、抜出しが生じていることが考えられた。そこで、頂版下筋の端部に半円形フックをつけることで、コンクリートへの定着の向上について確認することにした。

## 3. 試験概要

### (1) 試験体概要

表-1 に試験体一覧を、図-1 に試験体の形状・寸法を示す。試験体は前回と同様に、ボックスカルバートの隅角部を含む 1/4 部分をモデル化し、試験体寸法は実大の 1/2 の縮尺とした。コンクリートの設計基準強度は 40N/mm<sup>2</sup>、鉄筋は SD345 を用いた。鉄筋端部の定着方法（半円形フック（フック）あり、なし）と隅角部形状

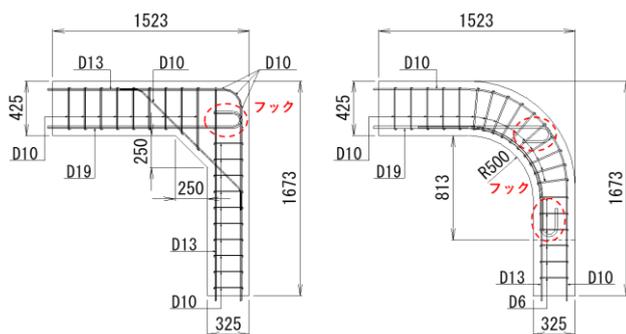


図-1 試験体配筋図（左：R-2，右：A-4）

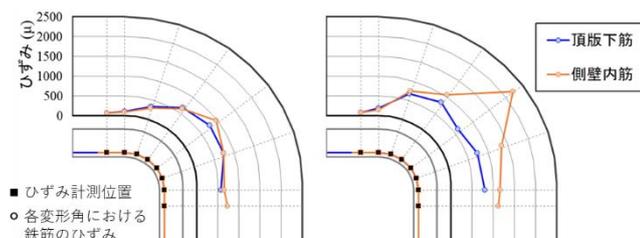


図-2 A-2のひずみ計結果(左:-0.25%, 右:-0.5%)

表-1 試験体一覧

試験体名	隅角部の形状	頂版部材厚	側壁部材厚	フック	配筋の概要
(R-1)	矩形	425mm	325mm	無	矩形として設計
R-2		425mm	325mm	有	
(A-2)	円弧状	425mm	325mm	無	円弧状として設計
A-4		425mm	425mm	有	

注) ( )は前回試験の試験体<sup>1)</sup>

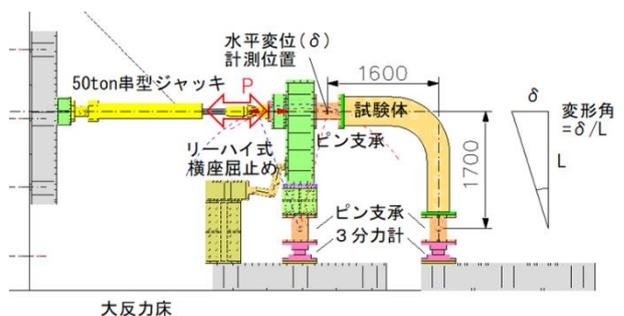


図-3 荷装置

キーワード プレキャスト, ボックスカルバート, 隅角部, モーメント, 鉄筋量合理化

連絡先 〒104-8370 東京都中央区京橋2丁目16-1 清水建設株式会社 TEL03-3561-3897

(矩形, 円弧状) をパラメータとし, 前回<sup>1)</sup>と合わせて計4ケースとなるようにして, 今回はフックあり (矩形, 円弧状) の効果について新たに確認した.

**(2) 載荷方法**

図-3 に載荷装置を示す. 前回の試験と同様に, 正負交番載荷とし, 載荷荷重, 試験体変位, 鉄筋ひずみおよびひび割れ状況を計測した<sup>1)</sup>.

**4. 試験結果**

図-4, 図-5 に各試験体の荷重 - 変位関係を, 図-6 に破壊状況の写真を示す. 荷重は側壁部に作用するせん断力で, 試験体下部に設置した3分力計の水平成分の値である. 試験体の水平変位は試験体上部側のピン支承において測定した (図-3). 各試験体ともフックなしの試験体と同様に変形角±0.1%のサイクルで微小なひび割れが内外両側に発生した. ±0.5%のサイクルでR-2の内側鉄筋とA-4の外側鉄筋が, ±1%のサイクルでR-2の外側鉄筋とA-4の内側鉄筋が降伏した. ±4%のサイクルでR-2の内側鉄筋が破断して, 外側かぶりコンクリートが剥離, A-4の内側鉄筋が破断して, 外側かぶりコンクリートが大きく剥離した. ±5%のサイクルでR-2とA-4の内外両側のかぶりコンクリートの剥落が多く発生し, A-4の外側鉄筋が座屈した. ±6%のサイクルでA-4の内側鉄筋が座屈した. 各試験体の荷重-変位包絡線を図-7に示す. R-1とR-2を比較すると, ±5%以下の範囲では概ね一致しており, ±6%以上の範囲においてR-2はR-1よりも高い耐荷性能を示すことが確認できた. A-2とA-4

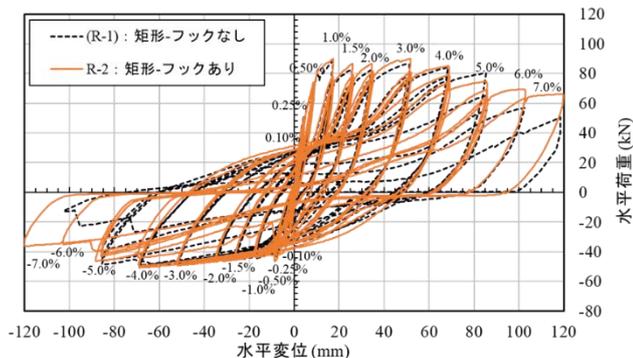


図-4 R-1とR-2の荷重 - 変位関係

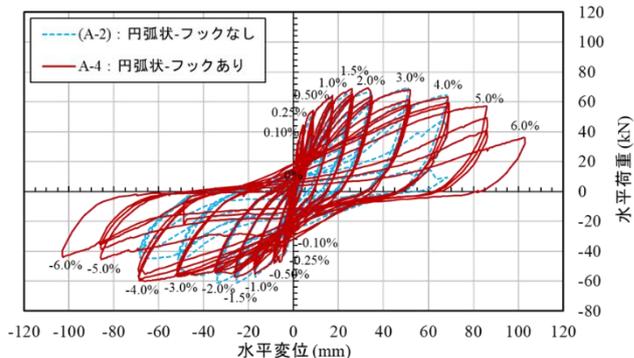


図-5 A-2とA-4の荷重 - 変位関係



図-6 破壊状況写真

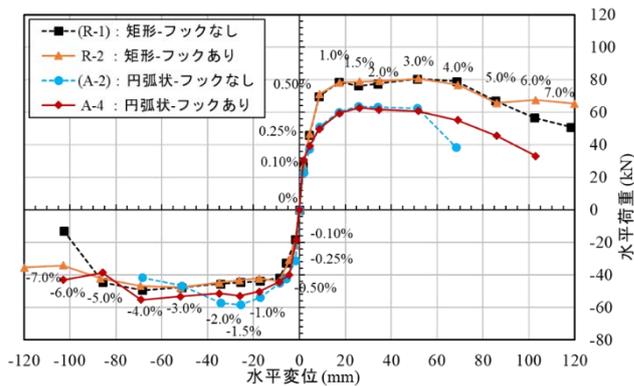


図-7 荷重 - 変位包絡線の比較図

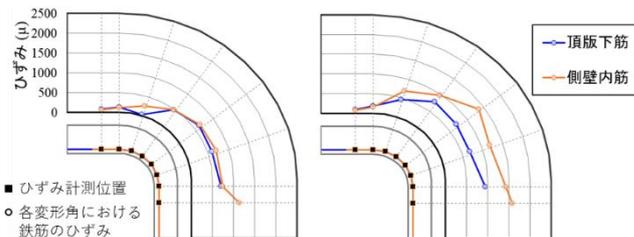


図-8 A-4のひずみ計結果(左:-0.25%, 右:-0.5%)

を比較すると、±3%以下の範囲においては大きな差はないものの、A-4は4%以降も破壊することなく、A-2よりも高い変形性能を有していることが確認できた。

## 5. 性能確認試験の考察

図-8に示すA-4の鉄筋のひずみ計測結果より、A-2同様に変形角-0.25%から-0.5%の間で鉄筋の抜出しが生じたが、A-2よりひずみの差が小さかった。以上より、端部をフックとしたことによる効果があり、変形角3%を超える範囲における水平耐力および変形性能がフックなしに比べて向上したと考えられる。

## 6. 設置上の課題

現場での設置に伴う課題の抽出を行うために、実際の製品を試作し(図-9)、試験施工を行った。この際、鉄筋のひずみ計測を行い、施工過程を踏まえた鉄筋の応力状態に関する考察を行った。円弧状隅角部の設置は図-10に示す手順で行う。据付と上下仮連結において、底版・側壁・頂版を設置した時点では部材同士は、機械式継手にモルタルを充填せずプレートで仮止めするだけであり、軸方向鉄筋はつながっていない状態である。モルタル充填は一定数のリングを設置してから一度に行うため、各部材を据え付けた時点では部材同士が一体化しておらず、完成時と異なる構造となる。このため、底版・側壁・頂版を設置した状態で完成時よりも大きい曲げモーメントが底版支間中央に発生することで残留する鉄筋のひずみを低減することが課題となった。

## 7. 試験施工概要

試験施工においては、底版の鉄筋にひずみゲージを設置し鉄筋の応力状態を測定することとした。底版・側壁・頂版の各部材を据え付け、縦断方向の引き寄せと緊張を行うために各部材を3リング製作した。1リング目の倒れ防止および緊張作業の反力を取るために鋼材による架台を設置し、その上に敷き鉄板と砂材を準備して実施工に近い状況で底版を設置できるようにした。また、底版が側壁と頂版の荷重が作用した際に片持ち状態になることを考慮して円弧状の外側に増打ちした構造とした(図-11)。これにより底版下部に狭隘な隙間が無くなり、埋め戻しの作業が容易になることも考慮した。

## 8. 鉄筋の引張応力度の算定

試験施工に先立ち、底版に作用する断面力の算定を行った。図-3に示す通り、地盤ばねで支えられた底版として増打ち部も含めてモデル化し、両端に側壁と頂版の自重を作用させてFEM弾性解析を行った(図-12)。得られた断面力を図-13に示す。支間中央で251kNmの、底版の端部で158kNmの曲げモーメントが発生する結果となり、鉄筋に発生する引張応力度は各々85N/mm<sup>2</sup>、53N/mm<sup>2</sup>となった。

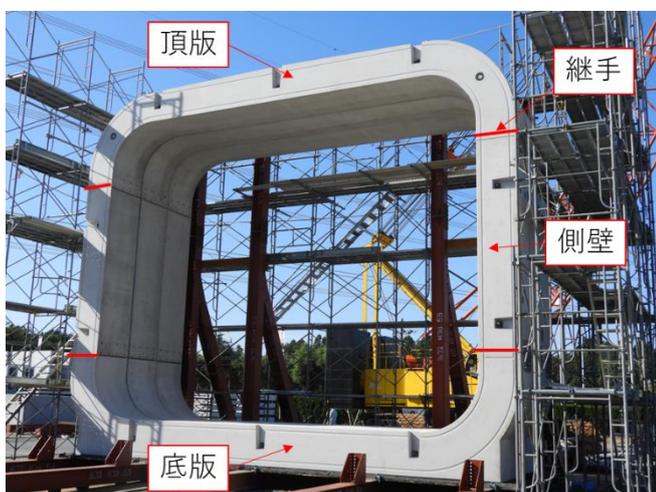


図-9 円弧状隅角部のカルバート

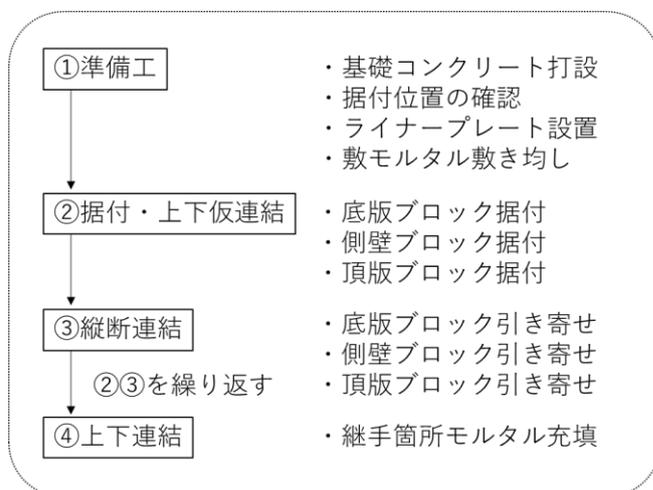


図-10 プレキャストカルバートの設置手順

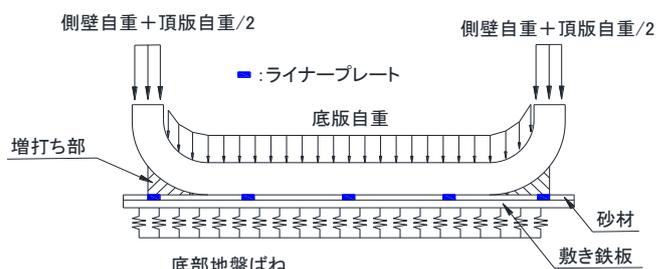


図-11 底版に作用する荷重

## 9. ひずみ計測

ひずみ計は、**図-14**に示す位置で軸方向鉄筋の側面に取り付け、奥行方向に4列設置し合計 $4 \times 6 = 24$ カ所設置した。計測は連続的に行うこととし、底版部材の自重によるひずみも計測できるように、部材を立て起こす前の値を初期値とした。**図-14**に示す(A)、(B)のひずみ計の計測結果を**図-15**、**図-16**に示す。(A)では4列のひずみ計は側壁や頂版の設置に伴ってほぼ同様の変化を示したが、(B)ではばらつきが見られた(**図-16**)。これは部材の縦断方向の変形やねじれによるものであると推察される。ひずみ計の値はおおよそ $60 \mu$ 以下に収まり、材料試験から得られたヤング係数を用いると鉄筋の引張応力度としては $11 \text{N/mm}^2$ に相当し、FEM解析での算定値を大きく下回った。これは、設置の際に高さ調整を目的として底版の下に敷いたライナープレートで底版が支持され、実際には両端支持梁に近い支持条件になっていたためと考えられる。

## 10. 試験施工まとめ

円弧状隅角部を設置する施工手順を考慮した鉄筋の応力状態の把握を目的として、試験施工におけるひずみ計測を実施した。結果として、円弧状の外側に増打ちをしたことやライナープレートの設置により鉄筋に発生する応力度はFEM解析から得られた値よりも小さいことが判明し、今回のケースでは施工過程を考慮することによる鉄筋の追加は不要であった。

## 謝辞

試験施工の実施にあたっては、千葉窯業(株)の方々にご協力頂いた。ここに記し、謝意を示す。

## 参考文献

- 1) 中村洋丈ほか：円弧状隅角部を有するプレキャストボックスカルバートの開発（その2）－性能確認試験－，土木学会第75回年次学術講演会，V-224，2020。



図-12 FEMモデル図

158kNm      251kNm      158kNm

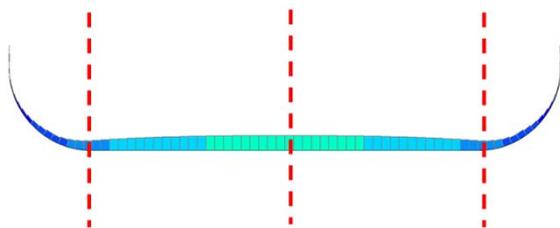


図-13 FEM解析による曲げモーメント図

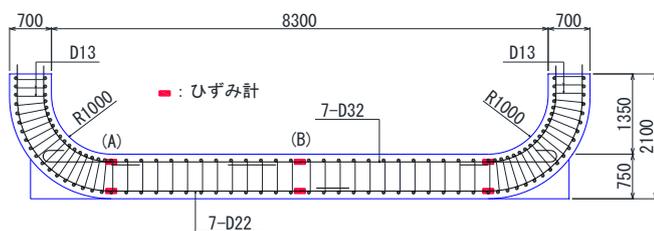


図-14 FEMモデル図

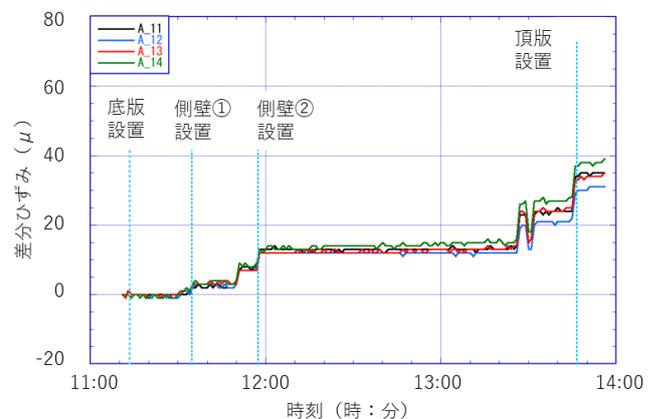


図-15 ひずみ計結果－(A)

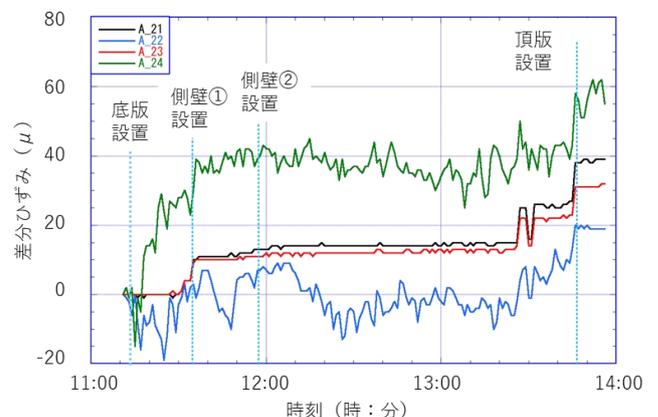


図-16 ひずみ計結果－(B)