

## RC カルバート構造物の配筋設計合理化に関する一考察

大成建設(株) 技術センター 社会基盤技術研究部 材工研究室 正会員 ○村田 裕志 畑 明仁

## 1. はじめに

土木分野において、開削トンネルとなる RC ボックスカルバート構造物やそのアプローチ部となる U 形カルバート構造物では、図-1 に示すように隅角部およびその付近の配筋が複雑になりやすい。特に、耐震設計の際には、塑性化を考慮する領域（版部材と壁部材の各端部）においてはせん断補強鉄筋量が増加し、鉄筋継手の配置に苦労している状況である。そこで、塑性ヒンジ位置を制御することによる配筋設計の合理化を検討した。

## 2. RC カルバート構造物の配筋設計における課題

RC カルバート構造物において、現状の設計指針類では隅角部から一定の範囲を、塑性化を考慮する領域と設定しなければならない。例えば、ボックスカルバート構造では、図-2 に示すように、底版・頂版・側壁を問わず、それぞれの隅角部付近が塑性化を考慮する領域となる。これは、多様な荷重条件を想定した場合は塑性ヒンジの形成位置が不確定であること、ならびに隅角部は設計上剛域と仮定されること、が理由である。この領域では、部材が降伏した場合の靱性確保のために、せん断補強鉄筋を多量に配筋しなければならない。コンクリート標準示方書<sup>1)</sup>では、変形性能の確保のため、部材が塑性化する範囲において曲げせん断耐力比  $V_{yd}/V_{mu} \geq 2.0$  を満足するようなせん断補強鉄筋を配置することとなっている。

軸方向鉄筋に関しては、やむを得ず塑性ヒンジ領域内に鉄筋を直接接合する継手を用いる場合は、SA 級の継手を用いるとともに、実物大部材を用いた載荷実験等の特別な検討が必要とされ、継手の不良が生じないように全数検査をすることとなっている<sup>1)</sup>。これは、塑性ヒンジ部での鉄筋継手の不良は部材の力学的性能に深刻な影響を与えるためである。さらに、一般的にはカルバート隅角部内での鉄筋継手は認められておらず、部材厚が大きい場合、図-2 右下部のような外側の軸方向鉄筋が最大定尺長を超えてしまい、原則として鉄筋継手が禁止されている領域で鉄筋継手を設けざるを得ない。

このように、せん断補強鉄筋量の低減と、鉄筋継手の配置の自由度の向上が課題である。

## 3. 他の構造物での塑性ヒンジ部の制御事例

建築分野においては、鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針(案)では、図-3 に示すように、原則として降伏ヒンジは各層はり端部および 1 階柱脚以外では想定しないこととなっており<sup>2)</sup>、塑性化させる部材と弾性部材が明確に区別されている。ただし、最上階のはりを柱より先行させて塑性化させることが現実的に困難であることから、例外的に最上階柱の柱頭については塑性化を許容している。鉄筋コンクリート構造保有水平耐力計算基準(案)<sup>3)</sup>では、最上階のはりは塑性化させず、最上階柱の柱頭部で塑性化させる崩壊機構を推奨している。

土木分野では、鉄道構造物に事例の多い RC ラーメン高架橋において次のような検討がされている<sup>4)</sup>。中層ばりのある RC2 層ラーメン高架橋において、中層ばり塑性化→柱下端塑性化→柱上端塑性化のように塑性化の過程を制御することで、高架橋の天端位置の応答

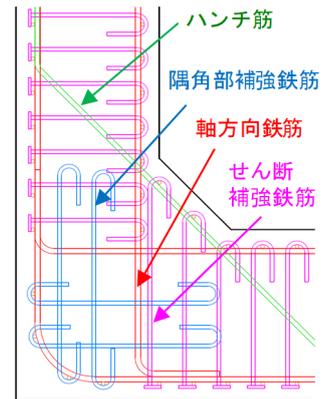
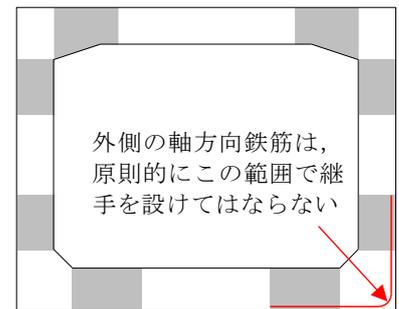
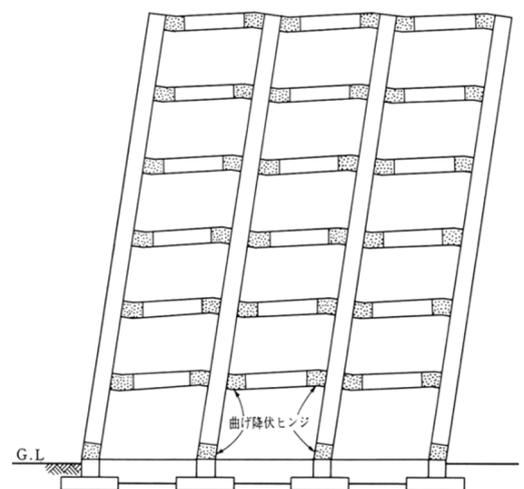


図-1 隅角部付近の配筋例



※ ■ : 塑性化を考慮する領域

図-2 ボックスカルバートでの塑性化を考慮する領域の例

図-3 RC 建物の全体降伏機構<sup>2)</sup>

キーワード カルバート、隅角部、配筋合理化、塑性ヒンジ

連絡先 〒245-0051 横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設(株) 技術センター TEL 045-814-7231

変位を効果的に低減できることが確認されている。これは、中層ばりりと柱の最下端および最上端で塑性化させるという意味において、建築分野の RC 建物と概念は同一である。また文献 5)では、塑性化する箇所が特定できる場合、機械式継手を同一断面に集めてはならない範囲としてその箇所を指針や設計仕様書に示すことを提案している。これは、建築分野と同様に塑性化する領域以外の箇所では同一断面に機械式継手を集めることを提案するものである。

また、ラーメン高架橋や RC 建物の上部の L 形隅角部では、図-4 のように柱の軸方向鉄筋とはりの上側軸方向鉄筋（負鉄筋）とを重ね継手で接続することが一般的である<sup>6)</sup>。隅角部内に重ね継手を配置していても、地震時に隅角部が大きく損傷したという事例は報告されていない<sup>7)</sup>。

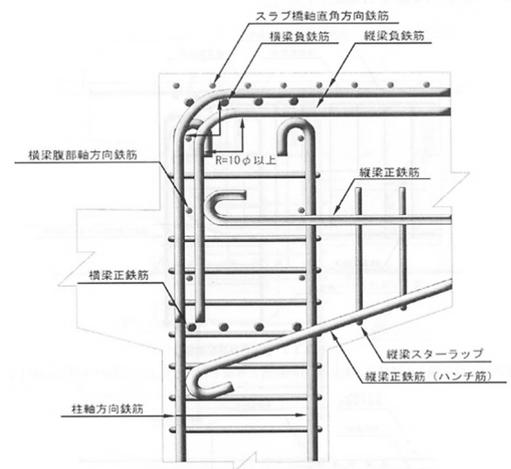


図-4 ラーメン高架橋隅角部の配筋例<sup>6)</sup>

#### 4. カルバート構造物での塑性ヒンジ部の制御と配筋設計合理化

前章に示した項目をカルバート構造物に取り込むことを考える。まず、カルバート構造物で塑性化させる部位を選定することとなるが、これはボックスカルバートの場合は側壁の上端と下端、U形カルバートの場合は側壁（擁壁）の下端が適当であると考えられる。ボックスカルバートでの例を図-5 に示す。底版に関しては、道路構造物や鉄道構造物の場合は自動車や列車が走行をし、それ以外の構造物においても点検などで人が歩行することを考慮すると、塑性化させることは適当ではない。頂版に関しては、トンネル構造物の場合地下水位以下に構造物が位置することが多いため、塑性化を許容すると防水工が損傷し、頂版から底版へ向けて土砂を含んだ水が直接落下するため、利用者の安全性の観点から望ましくない。側壁が塑性化した場合には、補修作業も比較的容易であることから、復旧性の観点からも側壁の端部のみを塑性化させることが適当である。2連ボックスカルバートの場合は、側壁に加えて中壁（または中柱）の上下端も塑性化させることが適当となる。

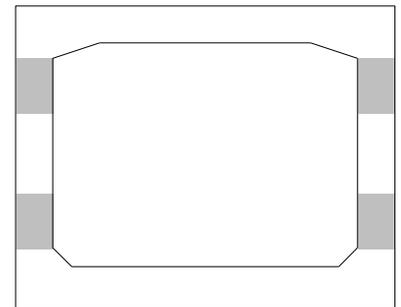


図-5 ボックスカルバートで推奨される塑性化領域

このようにすれば、底版と頂版は塑性化しないため靱性を確保する必要がなくなる。よって、隅角部付近においても  $V_{yd}/V_{mu} \geq 1.0$  を満足すればよく、従来よりもせん断補強鉄筋量を減じることができる。また、底版と頂版の端部に A 級の鉄筋継手を用いることができ、品質を確保した上で隅角部付近の同一断面に鉄筋継手を配置することが可能となる。また、施工時の切ばりの配置などで側壁下端の塑性ヒンジ部に鉄筋継手を設けざるを得ない場合には、ラーメン高架橋での事例から隅角部内部の底版上面位置で鉄筋継手を設けられる可能性がある。なお、側壁上下端のみを塑性化させる具体的な方法としては、底版および頂版の端部の曲げ耐力を側壁上端または下端の曲げ耐力よりも 1.2~1.3 倍程度以上高くなるように設計すればよいと考える。

#### 5. 結論

カルバート構造物の塑性ヒンジ形成位置を側壁のみとする場合を想定し、せん断補強鉄筋量の低減や鉄筋継手の配置の自由度の向上につながる配筋の考え方を示した。

#### 参考文献

- 1) 土木学会：2017年制定コンクリート標準示方書 [設計編]，2018。
- 2) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針（案）・同解説，1997。
- 3) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造保有水平耐力計算基準（案）・同解説，2016。
- 4) 鈴木基行ほか：降伏過程を考慮した RC2 層ラーメン高架橋の合理的耐震設計法の提案，土木学会論文集，No.634/V-45，pp.269-278，1999。
- 5) 土木学会：コンクリート構造物における品質を確保した生産性向上に関する提案，コンクリートライブラリー 第 148 号，2016。
- 6) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説 コンクリート構造物 配筋の手引き，2005
- 7) 仁平達也：地震により損傷を受け修復した鉄道 RC 構造物の性能評価に関する研究，長岡技術科学大学博士論文，2014。