

ボックスカルバート隅角部の要素実験とシミュレーション解析

九州大学 学生会員 神戸祥太 九州大学大学院 正会員 梶田幸秀
株式会社ヤマウ 坂井義彰 九州大学大学院 正会員 山崎智彦

1. はじめに

従来、ボックスカルバートは地盤内を横断する断面寸法が小さく、構造も単純な構造物であり、断面が小さかったため、地震時に周辺地盤との相互影響が小さいと考えられてきた。しかし、近年はボックスカルバートの大型化にともない、分割式プレキャスト部材と現場打ちコンクリートを併用したボックスカルバートが増えている。本研究で対象としたボックスカルバートにおいて、プレキャスト部材と現場打ちコンクリートはループ継手構造によって接合されている。本研究では、提案する継手構造が、現行の耐震基準を満足していることを実験で明らかにし、さらに、数値解析を実施することで実験の妥当性（再現可能性）を示すことを目的とする。

2. 実験概要

実物大ボックスカルバートの隅角部（図-1）を実験供試体とし、油圧ジャッキの押引による変位制御で正負交番載荷実験を行った。コンクリート及び鉄筋の強度試験による材料物性値を反映させた非線形 FEM 解析により 1δ を決め、 1δ の変位を基準に整数倍を順次交番載荷する。開方向を正、閉方向を負として、正負の1回ずつの載荷を1サイクルとし、各載荷ステップ（目標変位）で3サイクルを繰り返す。1サイクル目の載荷で正負両側共に、正負それぞれの最大荷重の80%以下に低下するまで載荷を繰り返した。得られた荷重-変位関係は後述する解析結果と合わせて、後ほど示す。鉄筋の降伏状況として、実験では、押す方向の 1δ の1回目でハンチと頂版をつなぐ鉄筋が降伏した。頂版外側においては、ひずみはあまり変化することなく、鉄筋は降伏しなかった。頂版内側の主鉄筋も載荷段階 2δ で隅角部付近の主鉄筋が降伏したが、載荷段階が上がってもほとんどひずみは変化しなかった。側壁については、外側では載荷段階 1δ で、内側では載荷段階 2δ で鉄筋が降伏し、 4δ 目までに、ハンチ付近の内外両主鉄筋が降伏していた。コンクリートのひび割れもこの地点に集中した。その後、開向では 2δ (=152kN)、閉方向

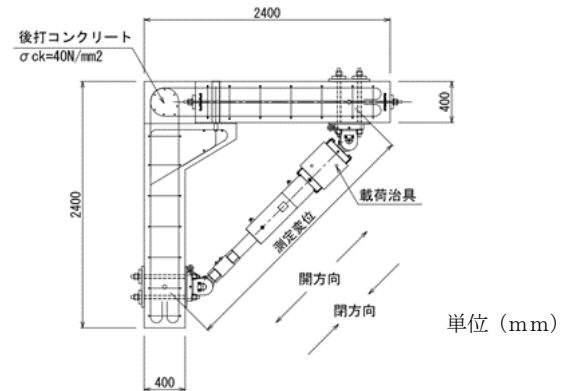


図-1 実物大ボックスカルバートの隅角部



写真-1 供試体の最終状況

では 1δ (=183kN) で到達した最大荷重の80%以下になった 9δ で実験終了となった。写真-1 に供試体の最終状況を示す。ハンチ下の側壁の曲げひび割れが柱全体に拡がり、貫通したことが分かる。また、隅角部においてはほとんどひび割れも発生せず、載荷中に剛な状態とみなしてよいことが分かる。

3. 解析概要

非線形時刻歴応答解析プログラム「汎用コード：TDAP III」により正負交番載荷解析を行った。図-2 に解析モデルを示し、後述する断面の情報を入力する要素特性番号を示す。実際の供試体の各部材を非線形はり要素でモデル化し、コンクリートと鉄筋それぞれ

の物性値は実験供試体に用いた材料の材料試験から得た値を使用し、断面部はRC断面計算プログラム「汎用コード：UC-win /FRAME (3D)」によって求めた武田モデルの対称トリリニア型モーメント-曲率関係(図-3)を用いた。なお、コンクリート及び鉄筋の応力-ひずみ関係は道路橋示方書 III コンクリート橋・コンクリート部材編²⁾に記載されている図-5.5.1及び図-5.5.2を用いた。実験の結果よりモデルの角から縦540mm、横633mmの範囲を剛域に設定し、モデルの両端より400mmの位置に変位を与えて、解析を実施した。

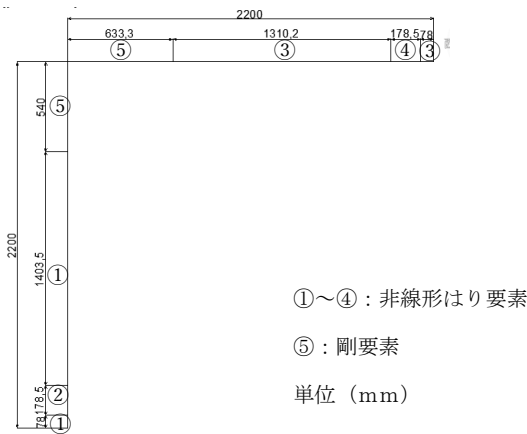


図-2 解析モデル

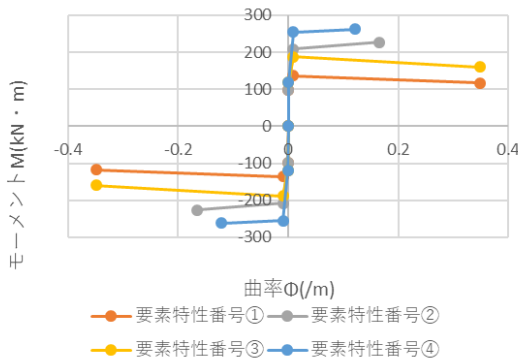


図-3 各要素のモーメント-曲率関係

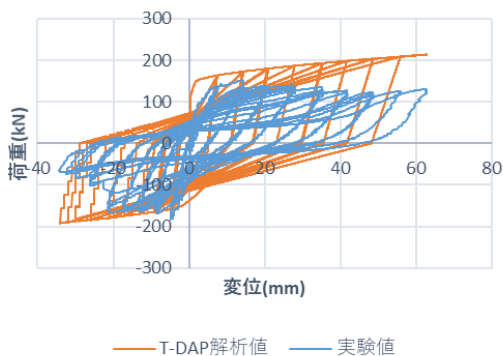


図-4 正負交番載荷解析

4. 解析結果

実験と解析の変位-荷重関係を図-4に示す。正負交番載荷解析では、1δでハンチ付近側壁の鉄筋が初降伏するが、実験のように供試体全体の剛性が落ちることなく、荷重が上がり続ける。解析ではコンクリートの圧壊、側壁部のひび割れの貫通、ハンチ筋の降伏などを再現できないためであると考えられる。鉄筋の降伏位置は側壁隅角部付近に集中しており、妥当な結果が得られた。また、閉じる側では剛域がハンチの役割を果たし、妥当な最大荷重点が得られている。正負交番載荷解析では、断面計算においてコンクリートの軟化など応力低下を考慮していないためか、主鉄筋降伏後の剛性は実験よりも大きくなり、実験の再現性という点では課題が残る結果となった。

5. まとめ

本稿ではループ継手構造によるプレキャストコンクリート製大型ボックスカルバートの正負交番載荷実験を簡易な2次元骨組モデルでどこまで再現できるかを検討したものであるが、現時点では、初期剛性や主鉄筋の降伏位置、降伏荷重であれば概ね推定できるのではないかと考えられることが判った。主鉄筋降伏後の挙動については、まだまだ検討の余地があり、特に道路橋示方書V編耐震設計編³⁾に記載されているコンクリートの軟化(損傷)を考慮した応力-ひずみ曲線を考慮した曲げモーメント-曲率関係での検討が必要であると考えている。

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」, pp. 304-305, pp. 364-366, 2018.
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 III コンクリート橋・コンクリート部材編, pp. 124, 2017.
- 3) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編, pp. 138-141, 20