

ASR による曲げ加工部での鉄筋損傷メカニズム

九州工業大学
阪神高速道路公団学生会員 眞野裕子
正会員 松本茂九州工業大学 正会員 幸左賢二
オリエンタルコンサルタンツ 正会員 橋場盛

1. はじめに

ASR による帯鉄筋の曲げ加工部における損傷の原因およびメカニズムを解明するために実施した FEM 解析の結果について述べる。

2. 解析手法

本解析には 2 次元弾塑性有限要素解析法を用いた。検討対象橋脚として、実際に ASR による損傷および曲げ加工部における鉄筋破断が確認された PC 梁の単柱式橋脚を抽出した。図-1 に着目断面を、図-2 に解析モデル図を示す。鉄筋径は実橋と同様のものを用いた。全コンクリート要素に 1500μ まで膨張量を与えている。また、支持条件は図-2 に示す通りとした。本解析は張り出し梁断面をモデル化しているため、奥行き方向の変形が拘束されると考えられることから、要素特性はコンクリートおよび鉄筋には平面ひずみ要素を使用した。実構造物では、部分的にのみクラックが発生していたことから、コンクリートと鉄筋は完全付着とした。コンクリートの応力-ひずみ曲線は、圧縮域では圧縮強度までを 2 次放物線とし、その後は応力一定のもとひずみのみが増加するモデルを用いた。鉄筋は、鉄筋降伏強度に達した後のひずみ硬化を考慮したトリリニアモデルを用いた。材料物性値を表-1 に示す。解析パラメータとしては曲げ加工半径に着目し、Case1 (JIS 規格による最小曲げ加工半径で、実橋においても使用されている 2.00ϕ)、Case2 (1.50ϕ と小さくしたもの) の 2 種類を選定した。

3. 考察

図-3 に 500μ と 1500μ の膨張量を与えた際の変形図およびコンクリートのひずみ量を示す。矩形の帯鉄筋は、帯鉄筋の加工部近傍のみ拘束されることから、帯鉄筋辺部が外側に押し出されるような挙動を示すため、曲げ加工部内側では斜め方向にひずみが生じたと考えられる¹⁾。曲げ加工部内側のひずみ量は、膨張量 500μ 時には辺部にかかっているひずみ量の 1.29 倍程度であるが、 1500μ 時には 1.51 倍程度に増加している。帯鉄筋の拘束により、はじめはあまり大きなひずみは発生しないが、鉄筋の曲げ変形が進むにつれて、徐々に曲げ加工部内側コンクリートのひずみが進展したと考えられる。構造物内部のひずみが斜め方向に発生する割に小さい値 (603μ , 2018μ) となったのは、モデルの左側および下側が固定であること、および帯鉄筋による拘束の影響と考えられる。曲げ加工部外側においてひずみ量が小さい (653μ , 2201μ) が、これは曲げ加工部を中心とする曲げ変形が生じることにより、曲げ加工部付近の変形量が周辺に比べ小さいことが原因であると考えられる。図-4 に帯鉄筋のひずみ経過図を示す。曲げ加工部を中心とした曲げ変形が起こって

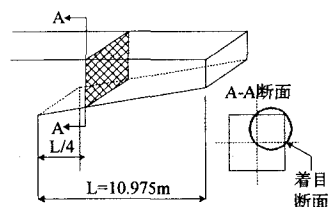


図-1 着目断面

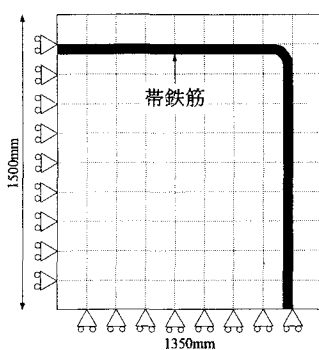


図-2 解析モデル図

表-1 材料特性

	引張強度	圧縮強度	弾性係数
コンクリート	2.7	27	$2.80\text{E}+04$
鉄筋	440	440	$2.10\text{E}+05$

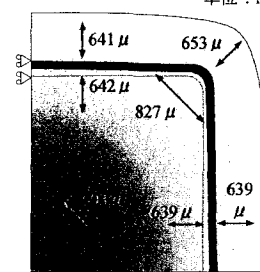
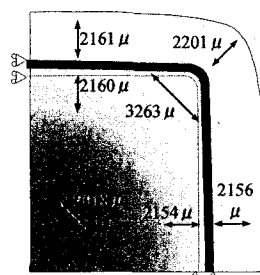
単位: N/mm^2 膨張量 500μ 時膨張量 1500μ 時

図-3 変形図 (Case1)

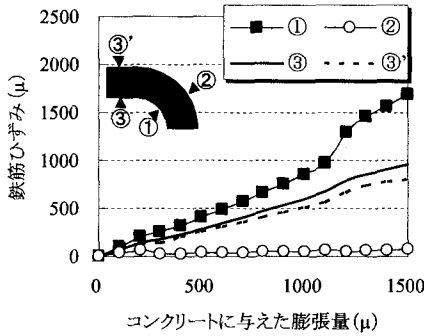


図-4 鉄筋のひずみ経過 (Case1)

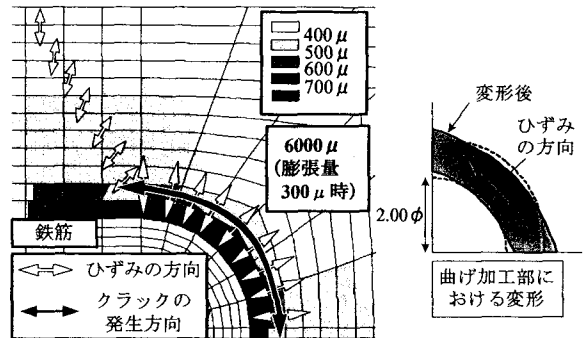


図-5 クラック発生箇所

いるため、曲げ加工部内側において大きな値が算出されている。また、膨張量 1100 μ を境に傾きが急激に上昇しているが、これは膨張量 1200 μ 時に着目している鉄筋要素に接しているコンクリートのひずみが 2000 μ に達し、コンクリートが応力を負担しなくなったため、鉄筋に応力が移行し、鉄筋のひずみ量が増加したと考えられる。図-5 にクラック図を示す。曲げ加工部外側のコンクリートにおいて、ひずみは鉄筋形状に対して直角方向に発生しており、また曲げ加工部において鉄筋が若干内側に入るような変形を起こしていることから、帯鉄筋曲げ加工部外側のコンクリートに大きな最大主ひずみが発生したと考えられる。また、曲げ変形の影響を受け、鉄筋の曲げ加工部と直線部の境目付近は周囲に比べ大きなひずみ量が算出されている。図-6 に膨張量 500 μ 時の曲げ加工部の最大主応力分布図を示す。曲げ加工部内側において 100N/mm² を超える応力が算出されており、曲げ加工部中心において引張応力が集中していることがわかる。鉄筋ひずみは鉄筋形状に沿って発生しているため、応力は図-6 に示すように、曲げ加工部中心から 45° 方向に進展すると考えられる。図-7 に Case2 の膨張量 500 μ 時の変形図およびコンクリートのひずみ量を、図-8 に帯鉄筋のひずみ経過図を示す。Case1 とほぼ同じ挙動を示しているが、曲げ加工部内側では Case1 に比べ大きな値を示しており、ASR による膨張の影響は曲げ加工部内側に集中すると考えられる。

4. まとめ

- (1) ASR による膨張が曲げ加工部に集中し、曲げ加工部を支点とした曲げ変形が起きるため、鉄筋曲げ加工部内側で大きな引張応力が発生すると考えられる。
- (2) 曲げ加工半径が小さい程、曲げ加工部内側に引張応力が集中しやすい。
- (3) 曲げ加工した際に曲げ加工部において塑性変形が起こっている可能性があり、残留応力と ASR 膨張により、曲げ加工部には大きな引張応力が集中し、ひずみ時効等の経年劣化を加味することにより、曲げ加工部における鉄筋破断は起こると考えられる。

参考文献：1) M.J.N.Priestley 他：橋梁の耐震設計と耐震補強，技報堂出版株式会社，pp.139-140，1998.4

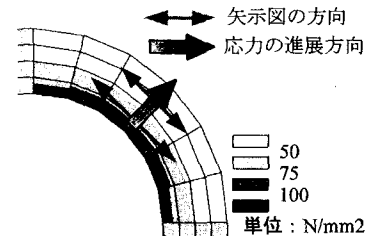


図-6 最大主応力分布図 (Case1, 膨張量 500 μ 時)

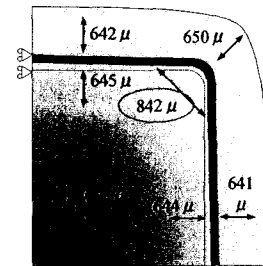


図-7 変形図 (Case2)

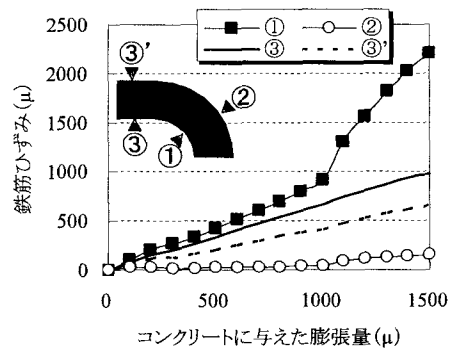


図-8 鉄筋ひずみ経過 (Case2)