

アルカリ骨材反応による鉄筋損傷メカニズム分析

九州工業大学 正会員 ○幸左 賢二 九州工業大学 学生員 眞野 裕子
 阪神高速道路公団 正会員 堀江 佳平 オリエンタルコンサルタンツ 正会員 橋場 盛

1. はじめに

近年、アルカリ骨材反応等による構造的耐久性の早期劣化が問題となっている。アルカリ骨材反応が起きると、コンクリートの体積膨張に伴う膨張圧の発生とその圧力によるひび割れの発生、曲げ加工部での鉄筋破断などが起こり、その結果耐力が低下する。そこで、これらの破壊メカニズムを解明することが急務とされていることから、本研究では2次元FEM解析を用いて、耐力低下の要因分析を行った。

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、建設後20年程度経過しており、アルカリ骨材反応による損傷および鉄筋加工部分の破断が確認されたPC T型橋を用いた。図-2に解析モデルのイメージ図を示す。帯鉄筋破断が確認された位置の張出し梁断面1/4部分をモデル化した。対象とする荷重は、コンクリートの膨張量であるため、解析において全コンクリート要素に温度変化を与えて、一様に 1500μ 膨張させた。支持条件は、側面を水平方向に固定、下面を鉛直方向に固定とした。解析で適用した要素特性としては、コンクリートおよび鉄筋を平面応力要素とし、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、引張域では引張強度に達した後、直線的に応力が減少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。材料物性値は表-1に示す値を用いた。

3. 解析結果および考察

図-3にコンクリートに 1500μ の膨張を与えた時の変形図と、コンクリートと鉄筋のひずみ状態を示す。コンクリートに一様に 1500μ の膨張を与えたが、帯鉄筋の変形量に差異が見られた。矩形の帯鉄筋では、帯鉄筋の加工部近傍のみ拘束されることから、コンクリートの膨張圧による帯鉄筋辺部の外側への変形量が大きくなると考えられる。このような変形をすることから、鉄筋加工部周辺のコンクリートには、内部コンクリートに対して相対的に大きなひずみが斜め方向に発生する結果となった。

次に鉄筋加工部のひずみ状況について検討する。図-4にキーワード：アルカリ骨材反応，膨張圧，鉄筋破断，FEM解析

連絡先：九州工業大学 〒804-8550 福岡県北九州市戸畑区仙水町 1-1 TEL, FAX(093)884-3123

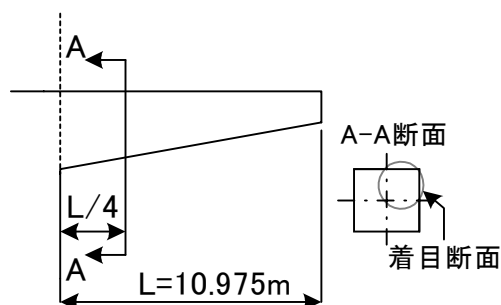


図-1 着目断面

表-1 材料物性

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

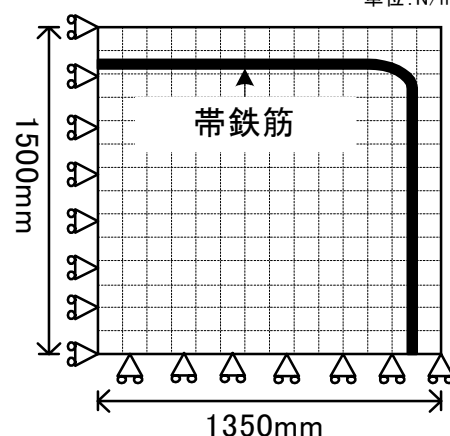
単位：N/mm²

図-2 解析モデル（イメージ図）

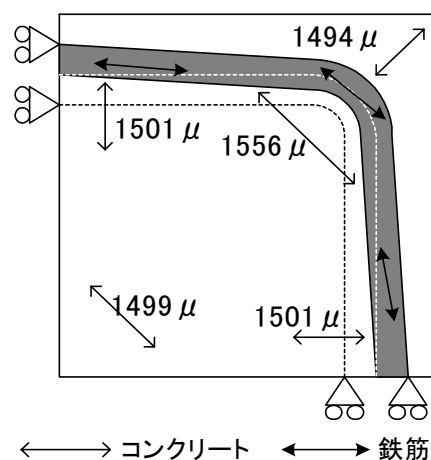


図-3 変形図

クリートの膨張量に対する鉄筋のひずみ量の経過を示す。鉄筋の直線部および加工部内側は、コンクリートの膨張量と同量のひずみが発生している。これに対し、加工部外側ではコンクリートに 1500μ の膨張量を与えた場合において、発生ひずみがおおよそ半分である。これは、前述したような変形をするために、比較的外側のひずみ量が小さくなるものと考えられる。また、加工部外側において 1000μ 時に若干ひずみが減少し、また増加している。これは曲げ加工部外側のコンクリートの圧縮ひずみが 2000μ を超えて圧縮破壊を起こした影響を受け、コンクリートによる拘束力が減少したことが要因と考えられる。

全体的にコンクリートの膨張量に追従し、鉄筋ひずみが増加する傾向にあるため、降伏ひずみには達していない。そこで、鉄筋加工時に生じる残留応力が破断の一要因であると考えられることから、応力に着目し、検討を行った。ここで、残留応力は曲げ加工後に元の状態に戻ろうとする応力と定義した。

図-5 にコンクリートに 1500μ の膨張量を与えた時の鉄筋曲げ加工部の応力図を、図-6 にその時に発生すると考えられる鉄筋断面の応力状態を示す。残留応力は $\phi 20$ の鉄筋を曲げ半径 2.5ϕ で 90° に加工した際のデータを参考とした。この図より、曲げ加工部の内側で大きな引張応力が生じていることがわかる。よって、鉄筋は十分に破断に至ると考えられるが、他の要因と複合していると推測される。

4. 損傷メカニズムについて

まず、鉄筋を曲げ加工した後、鉄筋内部に元の状態に還元しようとする残留応力が生じる。その後、アルカリ骨材反応が起こり、コンクリートが膨張することによって、鉄筋曲げ加工部内側のコンクリートに引張りひずみが集中し、鉄筋直線部が外側に移動する方向に応力が発生する。以上のことから、鉄筋曲げ加工部内側に引張応力が集中し、鉄筋が破断に至るものと考えられる。その他に、異形鉄筋を曲げ加工した際に、曲げ加工部内側にクラックが発生するという報告がなされていることや、ひずみ時効による鉄筋の引張強さの低下など複合的な要因によって破断すると考えられる。

5. まとめ

曲げ加工部の鉄筋破断は、アルカリ骨材反応によるコンクリート膨張から発生した引張応力と鉄筋内部の残留応力によるものと考えられるが、鉄筋を曲げ加工した際の曲げ加工部内側におけるクラックの発生の有無、ひずみ時効、異形鉄筋の場合は節の影響など複合的な要因によるものと推測される。

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
- 2) 鳥居，池富，久保，川村：ASR膨張によるコンクリート構造物の鉄筋破断の検証，コンクリート工学年次論文集，Vol. 23，No. 2，pp. 595-600，2001. 6

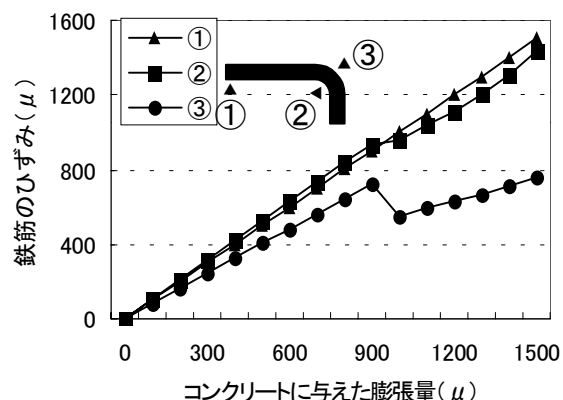


図-4 鉄筋のひずみ経過

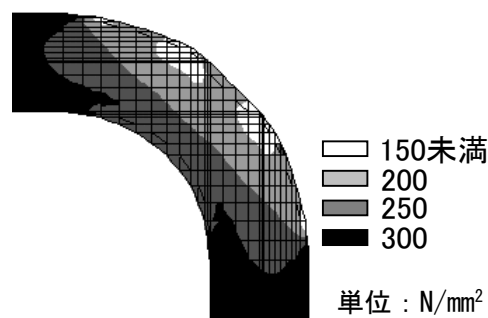


図-5 最大主応力図

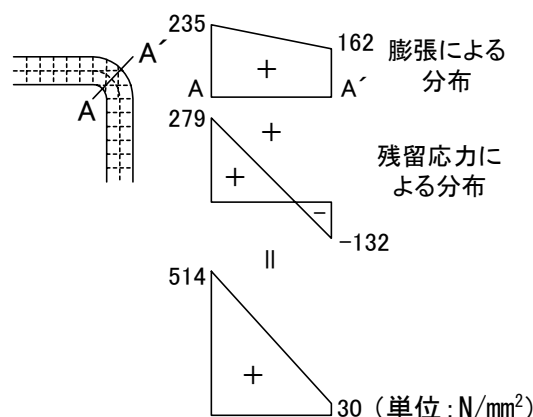


図-6 曲げ加工部の応力状態

	実験結果	解析モデル
鉄筋直径	$\phi 20$	$\phi 16$
曲げ半径	2.5ϕ	2ϕ