腐食鉄筋とコンクリートの付着特性に関する実験・解析 (その2)

(財)鉄道総合技術研究所 正会員 新井 泰 小野 隆利

北武コンサルタント(株) 正会員 渡辺 忠朋

東京開華総合産業(株) 杜 世開

1.はじめに

RC 構造主体の地下鉄道トンネルには鉄筋が密に入っており、一般的な使用状態下で山岳トンネル覆工同様の剥落が発生することは考えにくい。しかし、地下構造物であるがゆえに、さまざまな要因で発生したクラックに地下水が浸透し、季節変動による乾湿の繰り返しを経て鉄筋が腐食すると、かぶりコンクリートの剥落を誘発したり、構造物としての耐力の低下をもたらす可能性がある。本研究では、鉄筋とコンクリートの十分な定着が前提となっている RC 地下構造物に、著しい鉄筋腐食が見られる場合の合理的な補強・補修対策工設計法を検討するために、前項の実験に関する数値シミュレーションを実施した。 75cm CT

2.解析概要とモデル化手法*1)

モデル端部 コンクリート

- 非線形汎用プログラム MSC.Marc2003 とした。
- (2) 要素分割と要素概要

(1) 使用プログラム

図1は要素分割図である。鉄筋、コンクリートともに、要素種類:軸対称四辺形アイソパラメトリック、積分点数:2×2 ガウス積分点、応力及び剛性評価点:各積分点、とした。

(3) コンクリートの構成則

構成則の概念を図 2 に示す。クラックは、最大主応力が引張強度よ り大きくなる箇所で、最大主応力直角方向に発生するものとした。ま た、クラックが発生した積分点で第 2 のクラックが最初のクラックに 垂直に発生する可能性も考慮しているが、これは第 3 のクラックの発 生にも適用できる。引張軟化は、最大主応力方向の応力をすぐにゼロ にせず、クラックに垂直な応力がなくなるまで考慮するものとした。 クラック発生後、荷重の方向が反転すると、クラックが閉じる可能性

もあるが、本研究では、クラックの開口幅(クラックひずみ)を考慮し、クラックが閉じると剛性を回復させ て圧縮力の伝達機能を再生させるものとし、せん断力保持率を指定すると、クラック面を介したせん断力の伝 達も考慮できるようにした。また、圧縮力が大きくなると材料は圧壊とよばれる状態となり、完全に剛性を失 うが、多軸状態での圧壊状態は多くの場合、降伏曲面と同じ形状の曲面で表現することができる。

(4) 鉄筋とコンクリートとの付着モデル

鉄筋とコンクリートとの間には非線形ばねを設けた。 図3に法線・接線ばねのモデル化の概要を示す。

法線ばねは、引張強度以上の力を負担しないようにして、引張強度に達したら応力開放を行うようにした。

接線ばねは、まず法線ばねが切れると接線ばねも切れ るようにし、せん断強度以上の力を負担しないようにし た。但し、鉄筋とコンクリートの付着効果で、法線ばね が有効である限りは、応力開放を行わないようにした。



キーワード RC 地下構造物,腐食鉄筋,FEM,付着モデル,シミュレーション 連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (財)鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部(トンネル) TEL042-573-7266







図2 コンクリートの構成則

(5) 数值解析手法

ニュートン・ラプソン法を用いて、残差力は次の ステップへ繰越すようにした。

3.解析結果

(1) クラック発生位置と発生順序

実験結果と解析結果を表1に示す。本研究では、 腐食供試体の結果として電食供試体の結果を用いた。 なお、クラック発生位置は、図1のモデル端部からの 長さ(cm)で示すこととした。

電食供試体については、クラック発生位置、発生順 序ともに実験結果と解析結果が概ね一致している。

(2) 荷重-変位関係が示す供試体全体の挙動

実験結果と解析結果を図4に示す。実験結果同様、 解析結果においても荷重変位曲線の大小関係は、健全 供試体>電食供試体となっている。

(3) 解析におけるクラック発生断面・無発生断面のコンクリート応力-供試体平均ひずみ関係

解析結果を図5に示す。第2のクラック発生による コンクリート応力の減少量は、クラック発生断面・無 発生断面とも、健全供試体で0.5~1.0N/mm²程度、電食 供試体で1.2~1.5N/mm²程度減少する。また、クラック が発生する供試体ひずみレベルは、前者で150~180µ 程度、後者で90~120µ程度となっている。

4.考察

(1)について、実験で確認されたクラックは、鉄筋に 作用する引張応力がコンクリートに伝わることにより









発生したものである。健全、電食両供試体に共通する挙動として、第1のクラックが発生した後は、当該クラ ックによって供試体はあたかも2分割されたように振舞い、第2のクラックは、2分割された供試体のうち、 引張ひずみの累積量が大きい長い方のブロックの端部に発生している。以降のクラックもほぼ同様のメカニズ ムで発生しているものと考えられる。

(2)について、実験結果と解析結果の間には、第1のクラックが発生する迄の挙動に若干の相違が見られる が、保有耐力やクラックが発生後の非線形挙動については概ね適切に表現されていると考えられる。

(3)について、実験結果から詳細なコンクリートの応力状態を確認することはできないが、解析結果による と、鉄筋の腐食による付着低下の影響は、クラックが発生した場合とほぼ同様であると考えられる。

5.おわりに

2 で説明したモデル化手法を一軸引張試験に関する数値シミュレーションに適用し、当該供試体が有する耐力と載荷試験におけるクラック発生位置および発生時期の推定が概ね可能であることを確認した。

今後は、実構造物のクラック発生状況や設計時の作用荷重形態を想定した実験や数値シミュレーションを実施し、合理的な補強・補修対策工の設計の確立に役立てていきたい。

なお、本研究は、国土交通省の鉄道技術開発補助金を得て実施したものである。

参考文献

*1)破壊力学の応用研究委員会:破壊力学の応用研究委員会報告書,(社)日本コンクリート工学協会,1993.10