

非局所損傷評価に基づく付着モデルについて

九州大学 学生員 海老原 俊広
九州大学 正 員 John Bolander Jr.
九州大学 正 員 彦坂 熙

1. 緒言

鉄筋とコンクリートの間に生じる付着すべりはひびわれ形成や構造物全体の破壊に大いに影響を与える。そのため鉄筋コンクリート構造物の非線形挙動解析を行う場合、鉄筋とコンクリートの付着特性のモデル化が重要となる。鉄筋近傍のコンクリートにひびわれが発生すると、その周りに損傷 (damage) 領域が形成されるため、そのひびわれ面の近くの付着作用は低下する。ひびわれ近傍での付着劣化を考慮したモデル¹⁾を用いて偏載荷重を受けるT型橋脚の挙動解析を行い、損傷領域の設定についての検討を行った。

2. 2次元有限要素解析

図-1に供試体の有限要素分割及び载荷条件を示す。但し、四辺形に対角線を加えたものを実際には用いた。コンクリートは平面応力定ひずみ三角形要素、鉄筋は棒要素を用いた。コンクリートの引張破壊を表すために分布ひびわれモデルを用い、損傷パラメータ ω を0から1まで変化させることにより、ひびわれと垂直方向の剛度を調整する。 ω は損傷の度合いを表しており、 $\omega=0$ はまったく損傷がない状態、 $\omega=1$ は完全な損傷を受けた状態を表している(図-2)。コンクリートと鉄筋の境界面には、一般によく用いられているリンク要素を用いた(図-3)。リンク要素は互いに直交するバネ(K_{tt} , K_{nn})で鉄筋とコンクリートを結合する。鉄筋に垂直方向のバネ剛度 K_{nn} は鉄筋とコンクリートの相対変位が無視できる程度の大きさとし、鉄筋方向のバネ剛度 K_{tt} は次節3で述べる付着応力とすべりの関係によって調整する。

3. 付着すべりのモデル化¹⁾

鉄筋の付着作用は鉄筋表面に設けられたふしによる機械的な噛み合い作用によるところが大きい。この作用により鉄筋近傍のコンクリートには、鉄筋のふしから発生したコーン状の斜めひびわれが生じる。すべりの大半はこの内部ひびわれの進展と開口に起因する。この内部ひびわれによって損傷領域が形成される。付着劣化と損傷領域については以下のようにシュミレートする。

付着特性について2つの限界状態を設定する。1つはひびわれから十分離れている場所の付着状態($\omega^*=0$)、他の1つはひびわれに面している状態($\omega^*=1$)である(図-4)。この2つの限界状態の間を損傷の度合いにより変化させ、付着性能の低下をシュミレートする。 $\omega^*=0$ の曲線はコンファインド状態での引き抜き試験から得られた結果によるものである。損傷領域内の各リンクの損傷度 ω^* はひびわれバンドにある積分点の ω とそのバンドからの距離に応じて定め、リンク要素の付着応力-すべり曲線を決定する。すなわち、付着応力とすべりの関係は ω^* をパラメータとして連続的に変化する。リンク要素の鉄筋方向のバネ剛度 K_{tt}

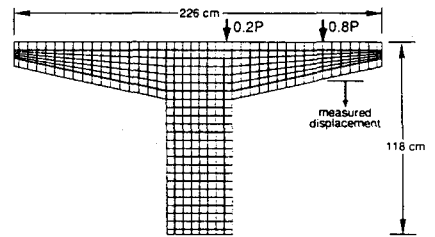


図-1 有限要素分割

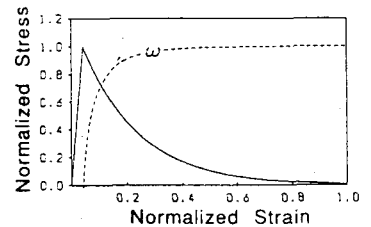


図-2 Exponential softening model

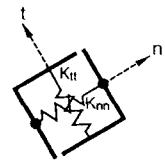


図-3 リンク要素

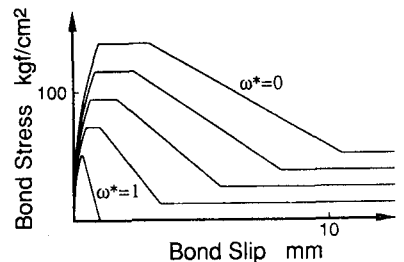


図-4 Variable stress-slip model

は付着応力-すべり曲線の傾きである。また損傷領域は図-5に示すパラメーター α を用いて設定する。

4. 解析結果及び考察

これまでの研究¹⁾では $\alpha = 5$ を用いて解析を行い、大変良い結果が得られたが、各リンクの損傷度 ω^* についてはかなり大きくなる傾向があることがわかった。本研究ではコンクリートのかぶりなどを考慮して、損傷領域の幅を $\alpha = 2$ に設定し直して解析を行った。図-6に解析のひびわれパターン、柱部に沿った損傷度 ω^* の分布及び実験の破壊時のひびわれ図を示す。但し、 $P=4.8\text{tf}$ の解析のひびわれパターンについてはほとんど同じであったので、 $\alpha = 2$ についてのみ示した。

$\alpha = 2$ の場合も $\alpha = 5$ の場合も、ひびわれ発生箇所での損傷度の分布が凸となる予想通りの分布形状が得られる。 $\alpha = 2$ の場合は損傷領域そのものが狭くなり、 $\alpha = 5$ の場合より複数のひびわれによる損傷領域が重なり合いが少なくなるため、損傷度 ω^* は $1/3 \sim 1/4$ になった。1つのひびわれにより損傷を受けて、すべりの生じる範囲が狭くなるため、ひびわれの数は増えてしまう。この結果、 $\alpha = 2$ の解析で得られるひびわれパターンは実験のひびわれ図とはほぼ一致した。ひびわれ幅についても $\alpha = 2$ のほうが小さくなり、より現実に近い結果が得られる²⁾。

今回、 $\alpha = 2$ で解析を行うことによって実験と良く一致したが、他のケースについても解析と実験を比較を行い、モデルについての検討をしていきたい。

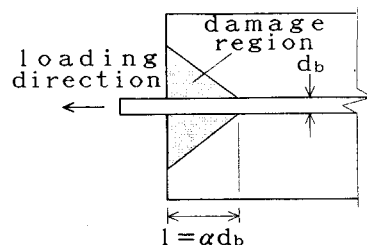


図-5 損傷領域のモデル化

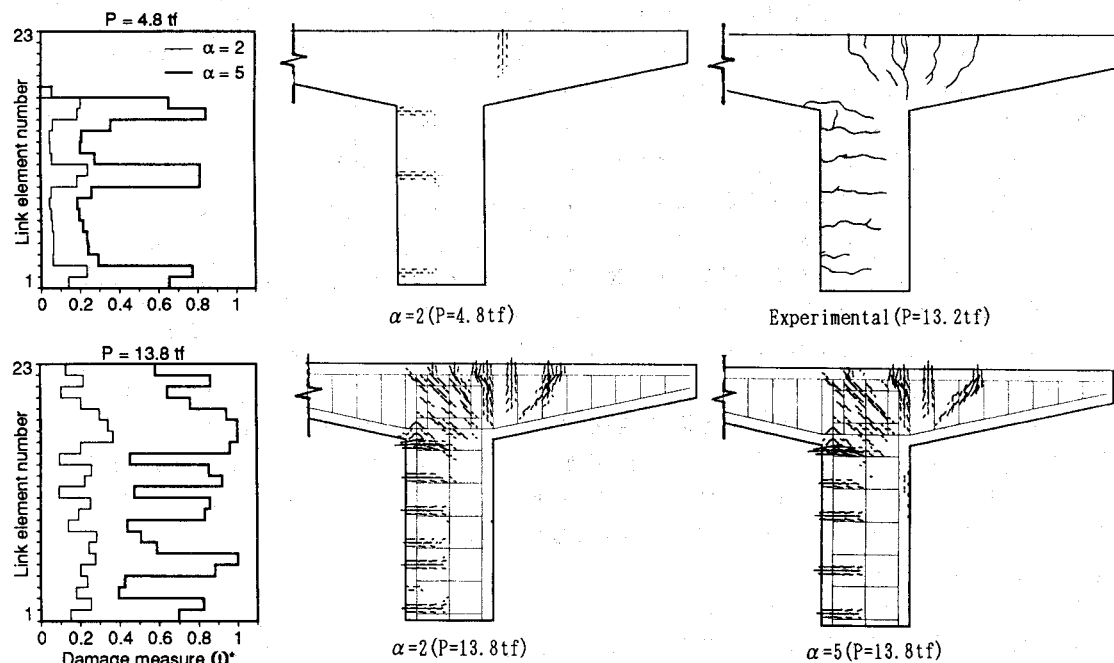


図-6 ひびわれパターン及び損傷度分布

〈参考文献〉

- 1) J. Bolander Jr., M. Satake and H. Hikosaka: Bond Degradation Near Developing Cracks in Reinforced Concrete Structures, Memoirs of the Faculty of Engrg., Kyushu Univ., Vol. 52, No. 4, Dec. 1992
- 2) 村田一, John Bolander Jr., 彦坂 熙: 鉄筋コンクリート構造物におけるひびわれ近傍の付着性能低下のシミュレーション, 平成4年度土木学会西部支部研究発表会論文集, 平成5年3月