

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。本研究では、このひびわれ近傍での付着性能低下を考慮したモデルを用いて偏載荷重を受けるT型橋脚の2次元非線形有限要素解析を行い、その妥当性を検討した。

2. 2次元有限要素解析

図-1に供試体（実物の1/10のスケール）の有限要素分割及び載荷条件を示す。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、損傷パラメーター 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。（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）。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し、また、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ミュレートする。

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ミュレートする。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 の空間重み付き平均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^* をパラメーターとして連続的に変化する。また、損傷領域のモデル化については図-5に示す。

4. 解析結果及び考察

解析は付着モデルのみが異なる2つのモデルについて行った。1つは、鉄筋とコンクリートが完全付着しているモデル(PB)、他の1つは、ひびわれ近傍の付着劣化を考慮したモデル(VB)である。

設計荷重 $P=4.8\text{tf}$ と破壊荷重に近い $P=13.44\text{tf}$ における解析の

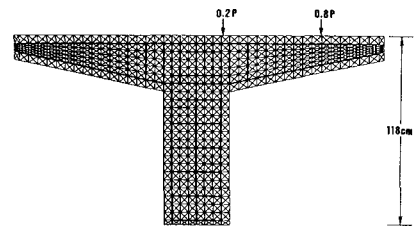


図-1 有限要素分割

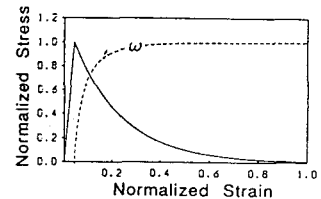


図-2 Exponential softening model



図-3 リンク要素

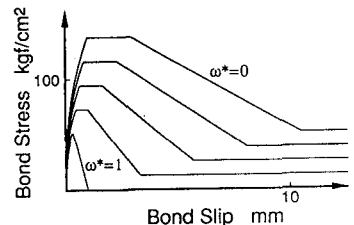


図-4 Variable stress-slip model

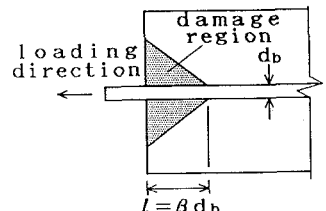


図-5 損傷領域のモデル化

鉄筋のひずみ分布及びひびわれパターンを図-6に示す。また、実験結果の鉄筋のひずみ分布及びひびわれ図を図-7に示す。両モデルとも、低い荷重段階ではひびわれ発生箇所で凸となるひずみ分布を示す。しかし荷重が増大すると、PBモデルでは鉄筋部でひびわれが一様に広がるため、ひずみ分布も一様となる。VBモデルではそのような問題が起こらず、図-7と比較してもわかるようにひびわれパターン、ひずみ分布ともに現実に近い結果が得られる。

柱部に生じた主ひびわれの平均ひびわれ幅の分布を図-8に示す。解析では分布ひびわれモデルを用いているため、破壊ひずみからひびわれ幅を算定した。PBモデルではすべりが生じないため、鉄筋部でのひびわれ幅が極端に小さくなる。VBモデルでは現実的なひびわれパターンが得られるだけでなく、ひびわれ幅の分布についても良い結果が得られる。

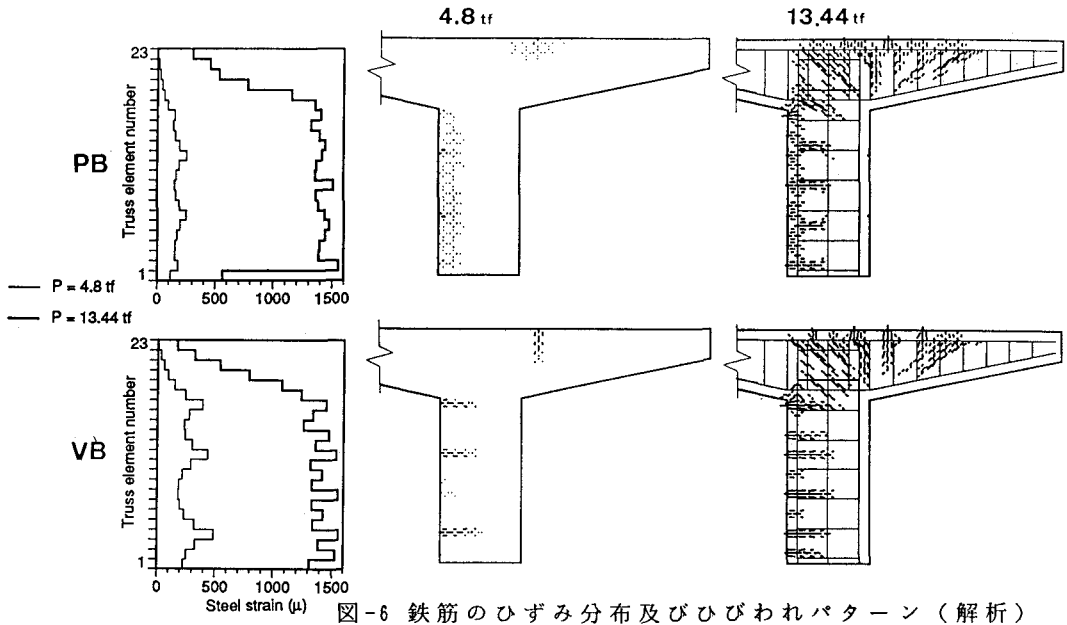


図-6 鉄筋のひずみ分布及びひびわれパターン（解析）

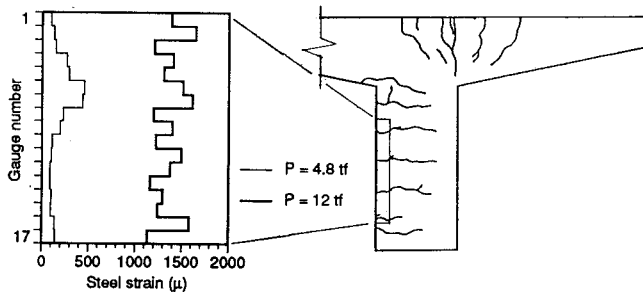


図-7 鉄筋のひずみ分布及びひびわれ図（実験）

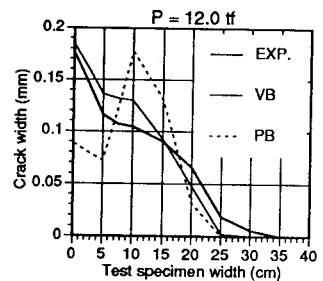


図-8 ひびわれ幅分布

〈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