

I - 323

有限要素法による鉄筋コンクリート構造物の破壊挙動解析

九州大学 学生員 韓 相昊

九州大学 正会員 John Bolander Jr.

九州大学 正会員 彦坂 熙

1. 緒言

鉄筋コンクリート構造物を合理的かつ経済的に設計するためには、常時（使用時）および終局時における構造物の変形および応力状態を正しく把握することが必要である。大きなコンクリート構造物を対象とした実験は載荷装置、経費、時間の何れについても限界があり、最終破壊に至るその挙動を精度良くシミュレートできる解析法の開発が望まれる。本研究は、比較的単純な材料モデルに基づく二次元非線形有限要素法の有用性を検証するため、鉄筋コンクリート張出式橋脚の偏載荷重による破壊挙動の解析結果を模型実験結果と比較したものである。

2. コンクリートおよび鉄筋の材料モデル

圧縮応力下のコンクリートは初期降伏まで線形弾性材料と仮定し、その後は弾塑性理論を用いる。材料は限界曲面まで等方的に硬化し、そこで等方的に軟化を開始して、ひずみで定義される破壊曲面を越えると耐荷力を失うものと仮定する。平面応力状態の主応力を σ_1, σ_2 で表し、Kupferらの2軸圧縮試験結果¹⁾に基づいて図-1の限界曲面を定めた。最大主応力に直交するひびわれが発生した後、ひびわれと直角方向の要素剛性を低下させることにより、その要素を直交異方性連続体として扱う分散ひびわれモデルを採用した。コンクリートの引張に対する応力-ひずみ関係は図-2を仮定する。 ω はコンクリートの引張ひずみ軟化特性をモデル化するために導入した損傷度パラメーターで、 $\omega = 0$ （無損傷）から $\omega = 1$ （完全損傷）までの値を取る。鉄筋

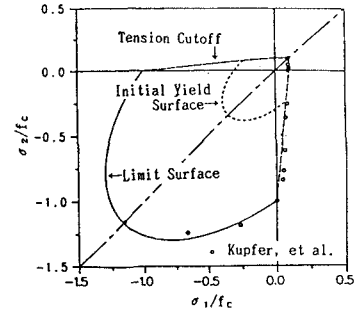


図-1 2軸応力下のコンクリートの限界曲面

は一次元トラス型棒要素でモデル化し、コンクリートと鉄筋間の付着すべり特性は、図-3の付着リンク要素でモデル化した²⁾。

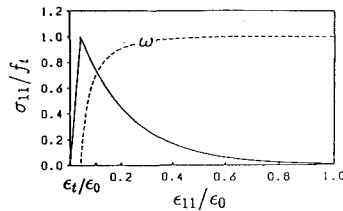


図-2 損傷度関数 ω と引張軟化曲線

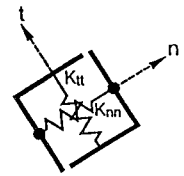


図-3 付着リンク要素

3. 解析対象構造物の寸法、配筋および材料特性

模型実験では実橋脚寸法を約1/10に縮尺した9体の鉄筋コンクリートT形および逆L形橋脚を製作し、2点支持載荷梁に鉛直荷重 P を加えて、供試体には0.2 P および0.8 P の2点載荷となるようにした。供試体は、表-1のように節点部のアスペクト比（柱幅/梁高）を変えて通常配筋した供試体B, D, E, Fと節点部に斜補強鉄筋を配置した供試体CおよびT形橋脚の片側張出梁を取り去った供試体Lに分けられる（図-4）。9体の供試体(D, E, Lはa, b2体)の梁部は全て同一の寸法・配筋を有し、その主鉄筋は $P=4.8\text{tf}$ を設計荷重として道路橋示方書に基づいて決定した。

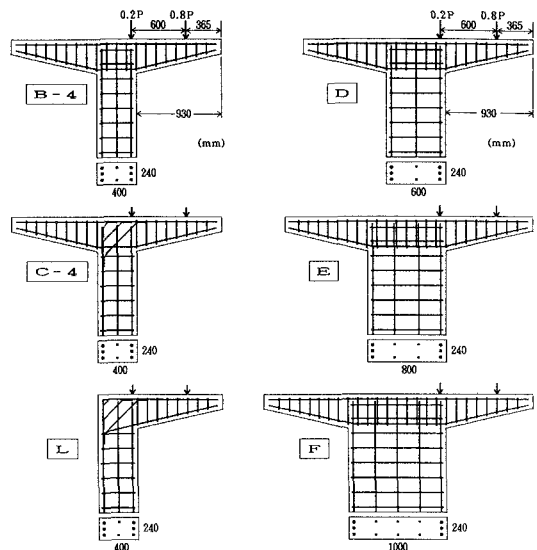


図-4 T形および逆L形橋脚供試体の配筋形式

コンクリート要素分割の違いと、鉄筋とコンクリート間の付着すべり考慮の有無によって3つの方法で解析を行った。NT=1は四辺形要素で付着すべり無し、NT=3は三角形要素で付着すべり無し、NT=3(SLIP)は三角形要素で付着すべりを考慮したものである。図-5に供試体タイプBの三角形有限要素分割を示す。実測に基づき、コンクリートの圧縮強度 240kgf/cm^2 、引張強度 21.4kgf/cm^2 、また鉄筋の降伏点 $\sigma_y=3600\text{kgf/cm}^2$ を用いた。

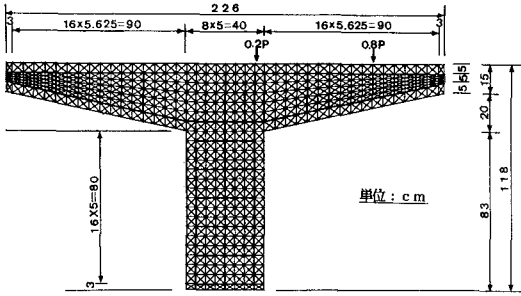


図-5 有限要素分割（タイプB）

4. 解析結果および考察

全供試体の最終破壊荷重の実測値とFEM解析値を表-1に示し、実測破壊荷重と設計荷重との比を破壊安全率として併記した。各供試体について、梁部主鉄筋の荷重-ひずみ曲線の実測値とFEM解とを比較すると図-6の通りである。主鉄筋のひずみについては、破壊に至るまでの非線形挙動を本FEM解析により精度良く把握できる。図-7は、タイプBについて荷重が7.2tfおよび13.2tfにおける3つの解析方法によるコンクリートの破壊ひずみ分布と実測されたひびわれ分布を比較したものである。

最終破壊荷重、荷重-変位曲線など、構造全体のマクロな力学特性については、3つの解析結果はほとんど変わらないが、ひびわれパターンについては付着すべりを考慮することにより良好な結果が得られた。

表-1 最終破壊荷重の実測値とFEM解析値

供試体 タイプ	諸元 柱幅 (cm)	載荷試験 (繰返漸増)			FEM解析（単調載荷）		
		破壊 荷重	破壊 安全率	破壊 形式	NT=1 破壊 荷重	NT=3 破壊 荷重	NT=3(SLIP) 破壊 荷重
B	40	13.2	2.75	梁	14.4	14.1	14.4
C		15.0	3.13	梁・柱	16.1	15.6	15.3
L a		15.6	3.25	梁・柱	16.2	14.7	15.6
L b		14.7	3.06	梁・柱			
D a	60	13.2	2.75	梁	14.7	13.6	14.4
D b		14.0	2.92	梁			
E a	80	14.1	2.94	梁	14.7	13.5	13.5
E b		14.4	3.00	梁			
F	100	12.9	2.69	梁	14.7	13.8	14.4

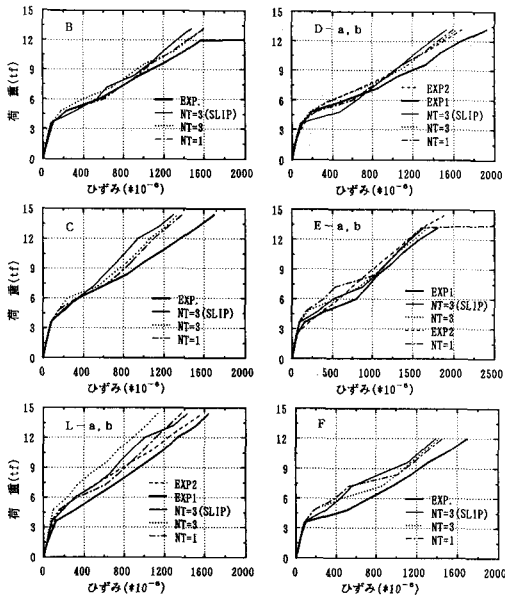


図-6 梁部主鉄筋ひずみ

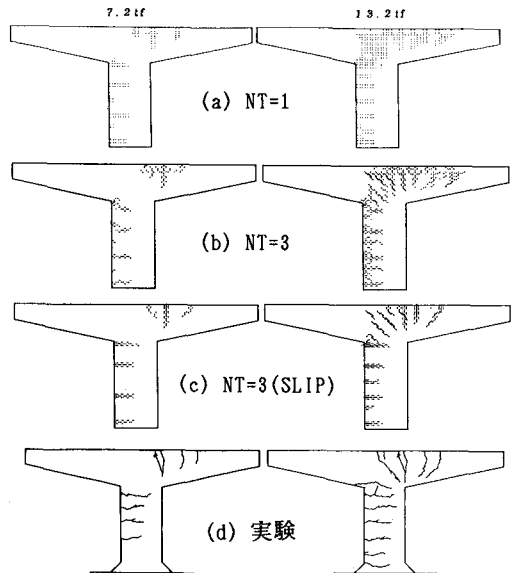


図-7 タイプBのひびわれパターン

【参考文献】1) H.R. Kupfer et al: Behavior of Concrete under Biaxial Stresses, ACI Journal, Vol. 66, No. 8, Aug. 1969. 2) 彦坂照他: 鉄筋コンクリート構造物の非線形FEM解析における付着すべりモデルの精密化、土木学会構造工学論文集 Vol. 40A(1994年3月)。