

RC張出式橋脚の偏載荷重による破壊挙動の二次元有限要素法解析

九州大学大学院 学生員 韓 相昊 九州大学工学部 正会員 John Bolander Jr.
九州大学工学部 正会員 彦坂 熙 九州大学大学院 学生員 城 洋之

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、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¹⁾と比較したものである。

2. コンクリートの材料モデル

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²⁾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で、 $\omega=0$ (無損傷)から $\omega=1$ (完全損傷)までの値を取る。

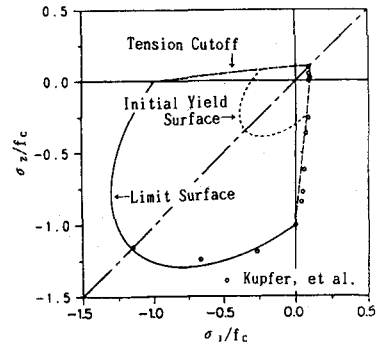
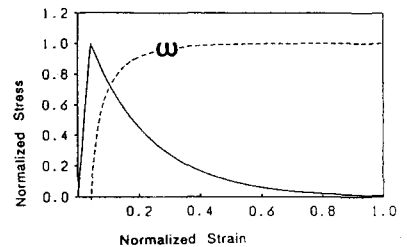


図-1 2軸応力下のコンクリートの限界曲面

図-2 損傷度関数 ω と引張軟化曲線

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1/10に縮尺した9体の鉄筋コンクリートT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0.2Pおよび0.8Pの2点載荷となるようにした。供試体は、図-3のように節点部補強鉄筋の違いによりタイプA、B、C各3体ずつに分けられる。タイプAは、梁部および柱部の主鉄筋と圧縮鉄筋を節点部にも通してあるが、節点部補強鉄筋は配置されていない。タイプBはスターラップと帯鉄筋を節点部にも配置したもの、タイプCは節点部に斜補強鉄筋を配置したものである。供試体はまた、梁部および柱部の主鉄筋径と載荷方法の違いにより、表-1に示すシリーズ①、②、③に分けられる。シリーズ①の供試体の梁部および柱部の主鉄筋は、 $P=8\text{ tf}$ を設計荷重として道路橋示方書に基づいて決定した。シリーズ②および③の6体の供試体については、節点部補強鉄筋はシリーズ①と同じであるが、主鉄筋径をシリーズ①より1ランク(3 mm)上げている。

表-1 供試体の主鉄筋と載荷法

供試体	主鉄筋	載荷方法
シリーズ①	A-1 D16 B-1 C-1 5本	繰返漸増
シリーズ②	A-2 D19 B-2 C-2 5本	単調漸増
シリーズ③	A-3 D19 B-3 C-3 5本	繰返漸増

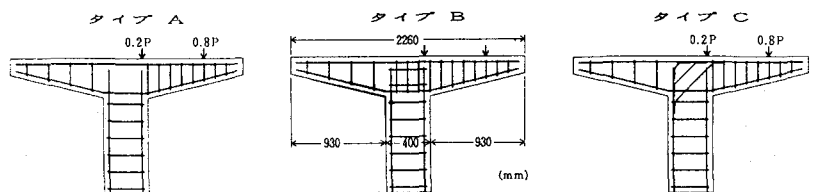


図-3

T形橋脚供試体の節点部配筋形式

図-4にタイプAの橋脚の有限要素分割を示す。コンクリートは4節点アイソパラメトリック要素を用いて497節点、430要素に分割し、鉄筋には一次元棒要素を用いた。実測に基づき、コンクリートは圧縮強度230 kgf/cm²、引張強度16 kgf/cm²、また鉄筋の降伏点は $\sigma_y=3,600$ kgf/cm²とした。

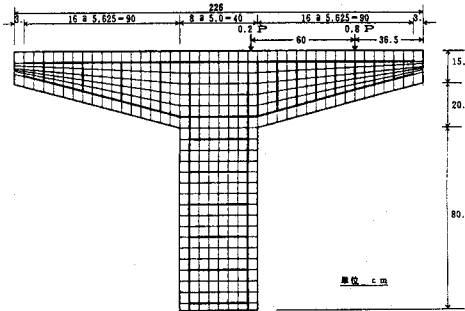


図-4 有限要素分割 (タイプA)

表-2 最終破壊荷重

シリーズ	供 試 体		載 荷 試 験			F E M 解 析		
	タイ プ	梁・柱 主鉄筋	載荷方法	破壊荷重 P _{u1} (tf)	破 壊 安全率	載荷方法	破壊荷重 P _{u2} (tf)	解析/実測 P _{u2} /P _{u1}
①	A-1	5-D16	繰返漸増	22.1	2.76	単調漸増	24.0	1.09
	B-1			23.1	2.89		24.4	1.06
	C-1			24.0	3.00		26.0	1.08
②	A-2	5-D19	単調漸増	28.0		単調漸増	29.5	1.06
	B-2			30.6			30.8	1.01
	C-2			33.1			34.0	1.03
③	A-3	5-D19	繰返漸増	26.0		単調漸増	29.6	1.14
	B-3			28.0			30.8	1.10
	C-3			31.5			34.0	1.08

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 P_{u1} とFEM解析値 P_{u2} を表-2に示す。道路橋示方書に基づいて設計したシリーズ①の3供試体については、実測破壊荷重 P_{u1} と設計荷重 $P=8$ tfの比を破壊安全率として併記した。実験と解析をともに単調漸増載荷で行ったシリーズ②の破壊荷重については、実測値とFEM解析値が良く合っている。全9体の供試体について、梁部主鉄筋の荷重-ひずみ曲線の実測値とFEM解とを比較すれば図-5の通りである。主鉄筋のひずみについては、初期ひびわれ発生時から最終破壊に至る全領域にわたる非線形挙動を本FEM解析により十分な精度で把握できる。図-6は、節点部補強法の異なるタイプBとタイプCの補強鉄筋ひずみの実測値と解析値を比較したものである。

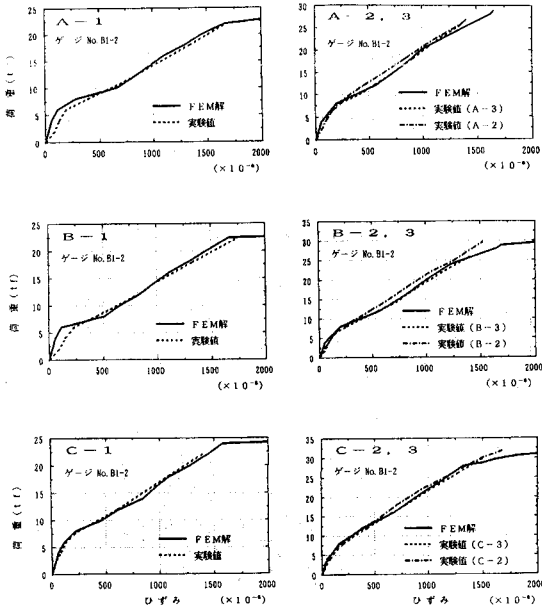


図-5 梁部主鉄筋ひずみ

わたる非線形挙動を本FEM解析により十分な精度で把握できる。図-6は、節点部補強法の異なるタイプBとタイプCの補強鉄筋ひずみの実測値と解析値を比較したものである。

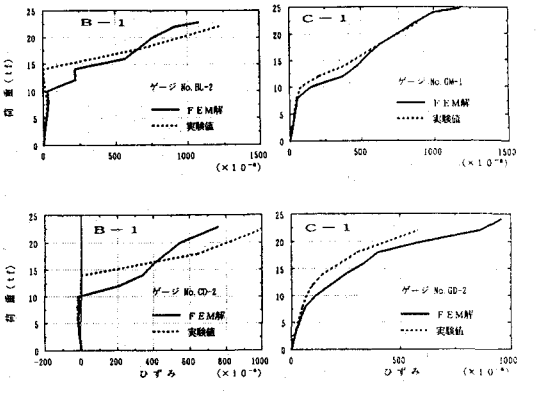


図-6 タイプB、Cの節点部補強鉄筋ひずみ

〔参考文献〕1)彦坂照他：偏載荷重を受ける鉄筋コンクリート張出式橋脚の節点部補強に関する模型実験，土木構造・材料論文集 第7号，平成4年1月。2)H.R. Kupfer et al: Behavior of Concrete under Bi-axial Stresses, ACI Journal, Vol.66, No.8, Aug. 1969. 3)J. Bolander Jr. and J.K. Wight: Towards Realistic FE Models for Reinforced Concrete Shear Wall Dominant Buildings Subjected to Lateral Loading, University of Michigan CE Report, No.89-2, Jan. 1989.