第Ⅰ部門　　ファイバーモデルを用いた鋼製橋脚の耐震性能照査手法に関する一検討

大阪大学大学院工学研究科　学生員　○橋本　亮　　大阪大学大学院工学研究科　正会員　小野　潔
石川島播磨重工業株式会社　正会員　岡田　誠司　　大阪大学大学院工学研究科　正会員　宇井　崇
大阪大学名誉教授　フェロー　西村　宣男　　大阪大学大学院工学研究科　正会員　奈良　敬

1. はじめに

道路橋示方書・同解説Ⅴ耐震設計編において，コンクリートを充填しない鋼製橋脚の塑性化を考慮した耐震性能照査は，基本的に動的照査法により行うこととされている．その照査法の１つにファイバーモデルを用いる方法がある．ファイバーモデルを用いた解析では，変形性能を示す許容値を単調増大荷重のもとでのプッシュオーバー解析により算出し，その際に適用する鋼材の応力-ひずみ関係がいくつか紹介されている[1]．しかし，載荷パターンや鋼材の応力-ひずみ関係が解析結果に大きな影響を与えることが報告されており[2]，これらの事項がファイバーモデルによる解析結果に与える影響について検討を行った．

2. 解析手法

2. 1　許容値の算出

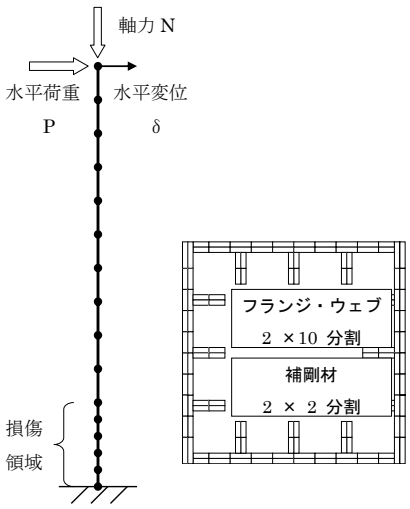
繰り返し荷重を受ける構造物において，許容値は強度劣化が生じる付近としているが，ファイバーモデルははり要素であるため局部座屈による強度の低下はみられない．そのため，許容変位の算出には判定基準として柱基部における圧縮側最外縁の軸方向ひずみを用いる．今回は正負交番載荷実験結果から得られる最大水平荷重作用時の変位を許容変位とし，ファイバーモデルによる解析でこの許容変位に達するときの上述のひずみを許容ひずみ ε_a とした．

2. 2　解析モデル

解析モデルは，土木研究所等の共同研究で行われた正方形断面コンクリート無充填鋼製橋脚の実験供試体[3]のうち，道路橋示方書で規定される M-Φ 関係のほぼ適用範囲である以下の 19 供試体を対象とした．

No.2，No.3，No.18，No.20，T1，M18，M20，M21，M22，KD-1，KD-2，KD-3，KD-5，KD-6，KD-7-1，KD-10，B1，H6，H8

ファイバーモデルは，軸方向のはり要素を**図-1(a)**のように損傷領域を 5 分割とし，断面方向のファイバー要素を**図-1(b)**のようにモデル化した．ここで，損傷領域長は半波の局部座屈モード長に相当する min(a，0.7B)（a：ダイヤフラム間隔，B：フランジ幅）とした[1]．



(a)はり要素　(b)ファイバー要素

図-1　ファイバーモデル

2. 3　鋼材の応力-ひずみ関係（図-2）

① 2 次勾配が E/100 のバイリニアモデル
（以下，「バイリニアモデル」という．）

② 降伏棚があり，ひずみ硬化を曲線で表現したモデル[4]
（以下，「新技術モデル」という．）

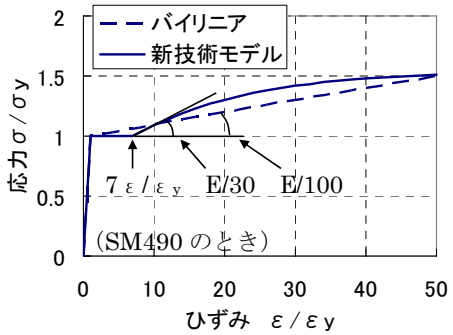


図-2　鋼材の応力-ひずみ関係

2. 4　載荷パターン

① 単調増大荷重のもとでのプッシュオーバー解析

② 正負交番載荷実験での変位履歴に従った繰り返し載荷解析

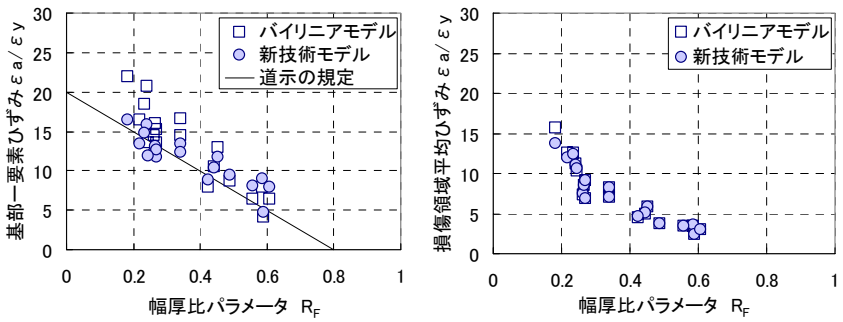
3. 解析結果

Akira HASHIMOTO，Kiyoshi ONO，Seiji OKADA，Takashi UI，Nobuo NISHIMURA and Satoshi NARA

許容ひずみを降伏ひずみで除した値 $\varepsilon_a/\varepsilon_y$ を道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋編で定義される幅厚比パラメータ R_F との関係で整理し，比較を行った．

プッシュオーバー解析において，柱基部一要素の許容ひずみ ε_a は，鋼材の応力-ひずみ関係（**図-2**）からもわかるように，$\varepsilon_a/\varepsilon_y<10$ のときは降伏棚がある新技術モデルのほうが小さくなり，$\varepsilon_a/\varepsilon_y>10$ のときはその逆となっている（**図-3(a)**）．しかしその差は小さく，損傷領域の平均ひずみでみると，鋼材の応力-ひずみ関係の影響はほぼないといえる（**図-3(b)**）．

載荷パターンによる許容ひずみの影響については，バイリニアモデルの場合は繰り返し載荷によるひずみの増加量は少なかったが（**図-4**），新技術モデルの場合はその影響が顕著にみられた（**図-6(a)**）．これは，新技術モデルではひずみが大きい領域で塑性域の剛性が小さくなるため，繰り返し載荷の過程でひずみが大きい柱基部の要素にだけ変形が集中するからである（**図-5**）．しかし，損傷領域の平均ひずみでみるとその差は小さなものとなっている（**図-6(b)**）．ここで，許容ひずみが大きいモデルにおいて，許容ひずみの平均値があまり一致していないのは，塑性ひずみが損傷領域を超えて生じたためであり（**図-5**），適切な領域でひずみの平均をとれば，それらのモデルでの繰り返し載荷の影響はより小さくなると思われる．



(a) 基部一要素の許容ひずみ　(b) 損傷領域の平均ひずみ

図-3　Pushover 解析における鋼材の応力-ひずみ関係の影響

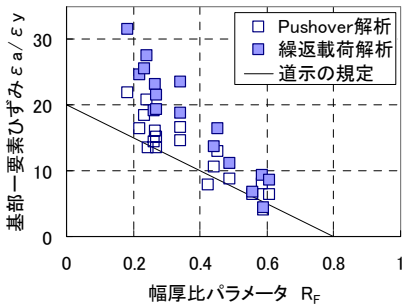


図-4　繰り返し載荷の影響（バイリニアモデル）

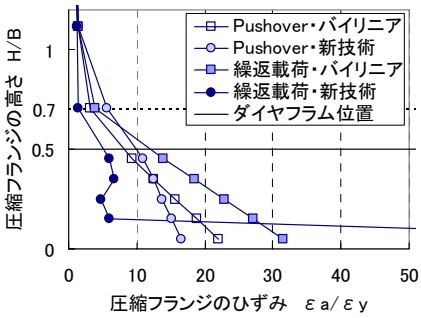
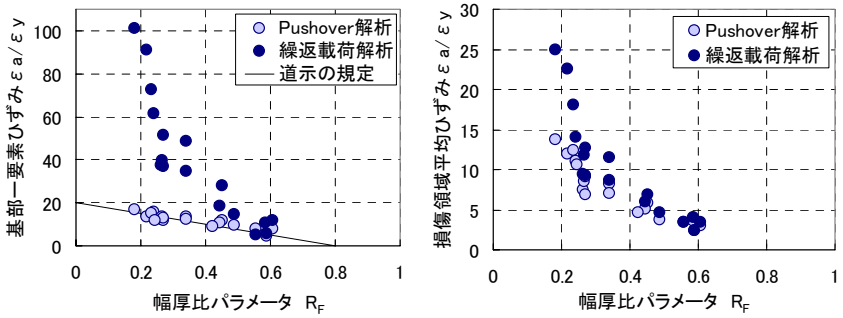


図-5　許容ひずみが大きいモデルのひずみ分布



(a) 基部一要素の許容ひずみ　(b) 損傷領域の平均ひずみ

図-6　繰り返し載荷の影響（新技術モデル）

4. まとめ

ファイバーモデルを用いた解析において許容ひずみで評価する際，損傷領域内の平均ひずみは鋼材の応力-ひずみ関係や載荷パターンの影響をあまり受けないが，柱基部一要素で評価する場合は注意が必要である．また，許容ひずみが大きい場合に損傷領域を超えてひずみが増大することがあり，今後検討する必要がある．

【参考文献】

1) 土木学会：座屈設計ガイドライン改訂第 2 版，2005 年 10 月．
2) 中洲ら：実験結果に基づく矩形断面鋼製橋脚のファイバーモデルを用いた復元モデル設定手法に関する一検討，土木学会第 55 回年次学術講演会，2000 年 9 月．
3) 建設省土木研究所他：道路橋橋脚の地震時限界状態設計法に関する共同研究報告書（総括編），共同研究報告書第 219 号，1999 年 3 月．
4) 土木学会鋼構造委員会・鋼構造新技術小委員会・耐震設計研究 WG：鋼橋の耐震設計指針案と耐震設計のための新技術，土木学会，1996 年 7 月．