

柱およびはり部のせん断変形と隅角部の変形を考慮した鋼製ラーメン橋脚の耐震解析

岐阜工業高等専門学校 正会員 ○奥村 徹
名古屋工業大学 正会員 後藤 芳顕

1. はじめに

鋼製橋脚の Pushover 解析などの実務における耐震解析ではせん断変形を無視した Bernoulli-Euler はり要素を用いた複合非線形解析が実施される場合が多い。しかしながら、細長比の小さな単柱式橋脚やラーメン橋脚の面内挙動においては曲げせん断変形の影響が大きくなり、無視できないことを著者らは明らかにしている^{1),2)}。さらにラーメン橋脚の面内挙動では柱やはり部のせん断変形のみならず隅角部の変形を考慮する必要があるが、一般的には剛域を仮定して設計する場合が多い。本研究では通常の設計よりも精度の高いラーメン橋脚の耐震解析手法として、隅角部の変形挙動を簡単なはりモデルを用いて表現し、はりおよび柱部には著者らが開発した曲げせん断変形を考慮する Timoshenko はり要素^{1),2)}を用いる解析法を提示し、精度の検討を行う。

2. はりモデルを用いた隅角部のモデル化

図-1 に示す隅角部のモデル化については基本的に図-1 a) に示すようにトラス要素を用いて純せん断変形を仮定したモデルを考える。純せん断変形を考慮することによりトラス要素の断面積 A_p が解析的に以下のように求まる³⁾。

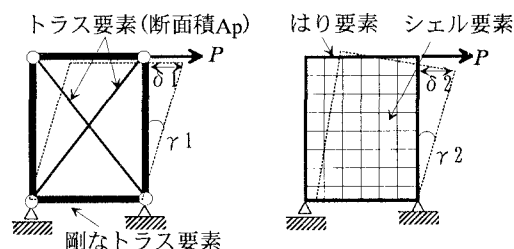
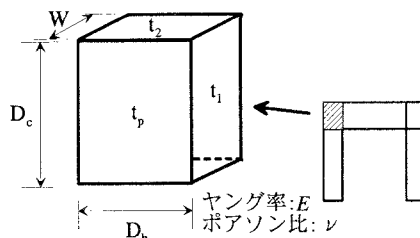
$$A_p = t_p (D_c^2 + D_b^2)^{3/2} / \{2(1 + \nu) D_c D_b\} \quad (1)$$

しかしながら、実構造ではパネルゾーンを拘束する4辺のフランジの剛性が有限であるため、図-1 b) に示すモデルがより精度の高い隅角部モデルであると考えられる。そこで、図-1 a), b) に示す2つの隅角部のモデルにおける P - γ 関係より剛性の比 $k = \gamma_1 / \gamma_2$ を弾性微小変位理論の範囲で求め、図-1 a) のモデルのせん断剛性を補正、すなわち式(1)の A_p に k を乗ずることを考える。実橋脚の範囲内でパラメトリック解析を行った結果、図-1 a) と b) のモデルの剛性の比 $k = \gamma_1 / \gamma_2$ が支配パラメータを $x = W t_p / D_c t_1$ として次式で表されることが判明した。

$$k = 0.687 - 0.208 \ln(x) \quad (2)$$

3. 解析対象および解析方法

ここで用いるラーメン橋脚モデルとしては、首都高速



a) 純せん断変形を仮定した場合 (純せん断変形) b) パネルゾーンの4辺の変形を考慮した場合 (純せん断変形しない)
図-1 隅角部のモデル化

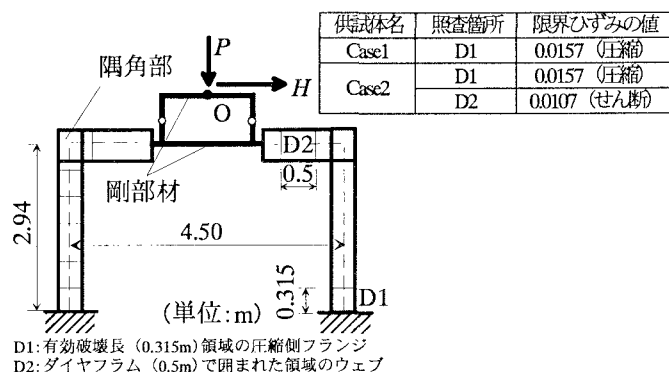


図-2 Pushover 解析における橋脚モデルと損傷度の照査箇所

道路公団で実施された載荷実験の供試体モデル⁴⁾を用いる。図-2 に橋脚モデルと Pushover 解析における損傷度の照査箇所を示す。これら2種類の供試体はラーメン橋脚の代表的な損傷ケースとして柱基部と頂部の損傷が生ずる場合 (Case1) と柱基部の損傷とはり部のせん断座屈による損傷が生ずる場合 (Case2) を想定して設計されたものである。これらの橋脚について Pushover 解析を行い、本研究で提案する解析手法として ① 柱およびはり部にせん断変形を考慮した Timoshenko はり要素を用い、さらに隅角部には2. で述べたモデルを適用した場合 (解析手法①) と実務設計で一般的に用いられている解析方法である ② Bernoulli-Euler はり要素を柱およびはり部に

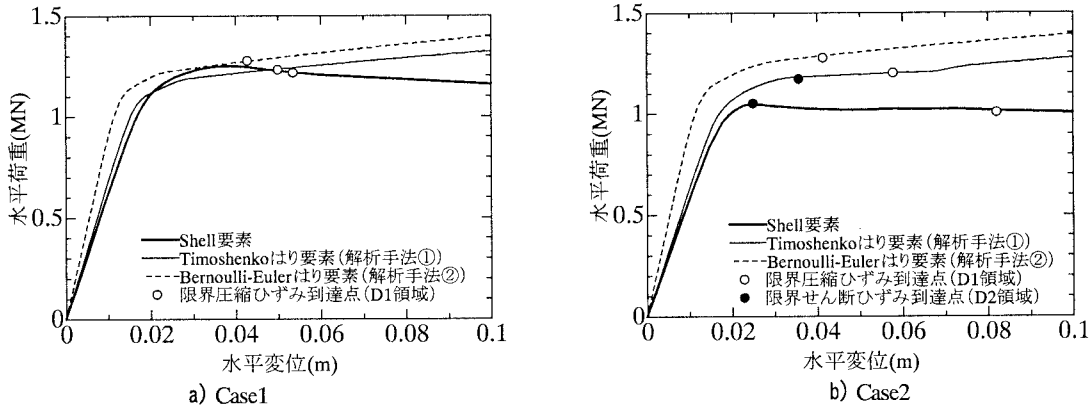


図-3 水平荷重-水平変位曲線 (Case1, Case2)

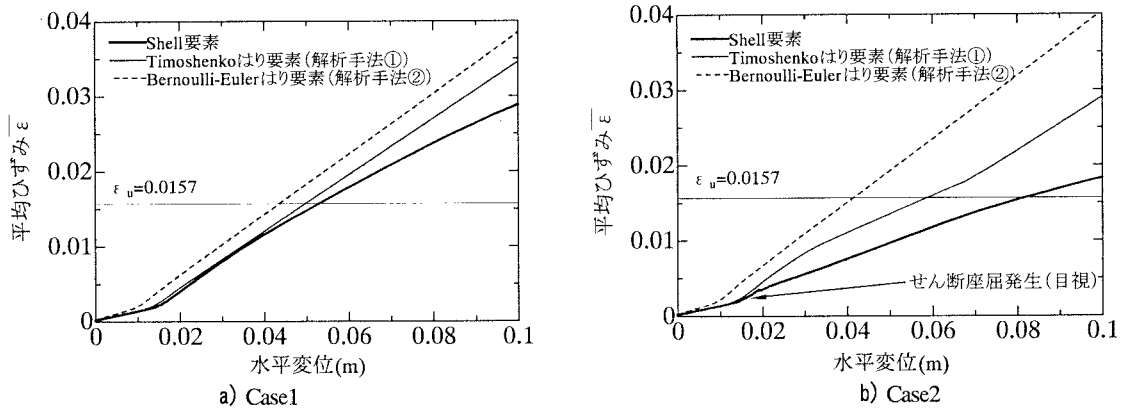


図-4 平均圧縮ひずみ-水平変位曲線 (Case1, Case2)

用い、隅角部は剛域と仮定した場合 (解析手法②) の両解析結果をシェル要素による解析結果と比較する。

4. 提案する解析手法の精度

ラーメン橋脚モデル Case1, Case2 の Pushover 解析結果として解析手法①と解析手法②により得られる荷重載荷点の水平荷重-水平変位関係をシェル要素による結果として図-3 に比較している。これより、解析手法①では弾性剛性を精度よく評価し、ほぼ全領域においてシェル要素による解析結果と一致していることがわかる。さらに、図-4 に各橋脚モデルの損傷度の照査箇所の平均ひずみと水平変位の関係を示す。柱の基部と頂部が損傷する Case1 では解析手法①は解析手法②と較べるとかなり精度が良い。一方、はり部がせん断座屈により損傷する Case2 においても、解析手法①の精度は解析手法②より優れているが、D1 部分の平均圧縮ひずみが限界ひずみに到達する以前に解析手法①の結果はシェル要素による結果とやや差が生じる。この差が生じる位置 (水平変位≒0.018m) ははりの D2 部分のせん断座屈変形が顕著になる位置 (図-5) に対応しており、せん断座屈が考慮できない Timoshenko はり要素の解析精度が低下するものと考えられる。

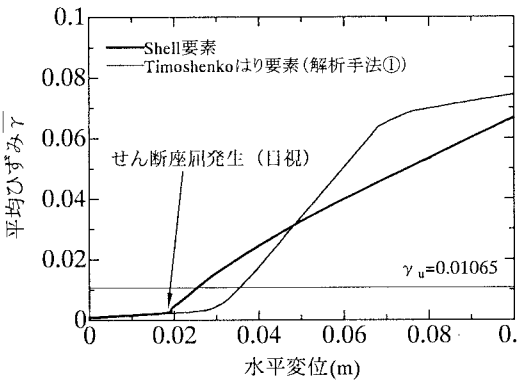


図-5 平均せん断ひずみ-水平変位曲線 (Case2)

謝辞：貴重な鋼製ラーメン橋脚の実験データを御提供いただいた首都高速道路公団に謝意を表します。

参考文献

- 1) 後藤芳顕, 奥村徹, 鈴木昌哉: 非線形はりモデルを用いた鋼製橋脚の耐震解析における幾何学的非線形性とせん断変形の影響, 土木学会論文集, No.696/I-58, 2002
- 2) 奥村徹, 後藤芳顕: せん断変形が卓越する鋼製ラーメン橋脚の Pushover 解析への Timoshenko はり要素の適用性, 第4回鋼構造物の非線形数値解析と耐震設計への応用に関する論文集, pp.135-143, 2002.
- 3) 小澤一誠, 王慶雲, 後藤芳顕: 局部座屈と隅角部のせん断変形を考慮したはり要素による鋼製橋脚の Pushover 解析, 第4回鋼構造物の非線形数値解析と耐震設計への応用に関する論文集, pp.153-162, 2002.
- 4) 首都高速道路公団, 財団法人首都高速道路技術センター: 首都高速道路の橋梁に関する調査研究 (平成11年度), 2000.