

ピン型変位制限装置の耐荷力特性に関する解析的研究

九州大学大学院 学生会員 ○山崎 航希
九州大学大学院 フェロー会員 園田 佳巨
九州大学大学院 正会員 玉井 宏樹

1. 緒言

地震時に落橋の可能性がある橋梁に落橋防止システムが設けられているが、本研究では、写真-1に示すようなピン型鋼材を橋桁もしくは橋台・橋脚に定着させ、連結板で変位を拘束するタイプ(以下、ピン型変位制限装置と呼称)について着目した。現行のピン型変位制限装置の設計は、ピンを片持ち梁と仮定した上で静的曲げ変形のみを考慮して耐荷力を算出している。しかし、実際のピン型変位制限装置には、地震による動的荷重の作用とピンのせん断変形を想定する必要があるが、現行の設計にはこれらの影響が適切に考慮されているとは言い難い。ここでは、FEMでピン型変位制限装置の力学的挙動を評価し、現行の設計法で仮定する耐荷力の妥当性について検討を試みた。



写真-1 ピン型変位制限装置

2. 解析手法について

2.1 概要

定着部であるピンの耐荷力に関する解析であるため、ピン、連結板、ナット、ワッシャーの最小限の部材のみをモデル化した。汎用有限要素解析ソフト MSC.Marc を用いて、静的解析と動的解析の両方を行った。静的解析については連結板の上部に等分布荷重を与え、連結板を介してピンに荷重を作用させた。また、ピン径による挙動の違いを把握するためピン径の異なる3種類のモデル(ピン径 32mm 型, 125mm 型, 170mm 型)に対して解析を行った。動的解析については密度を大きくした要素を連結板上端に作成し、それぞれのモデルの設計荷重を重量として与えた連結板に初速度を設定して、落下させることにより、ピンとの衝突状態を再現した。既往の研究より、大規模な地震時に想定される上部構造と下部構造の衝突速度は 1.0m/s~2.0m/s とされているため、これらの想定される衝突速度に加えて静的解析との結果を比較するために 0.5m/s と 0.1m/s の低速での衝突についても解析を行った。

2.2 解析に用いた材料特性および力学モデル

鋼材の弾性係数については 205GPa, ポアソン比については 0.3 と規格値等で用いられる一般的な値を設定した。鋼材は全て von Mises の降伏条件に従う弾塑性体とし、降伏強度に関しては表-1に従うものとした。単軸換算した応力-ひずみ関係を図-1に示す。なお、ひずみ速度効果については考慮していない。

2.3 境界条件および結果の出力

図-2に解析モデルを示す。各部材の接触面では接触計算が行われるように設定している。ピンとナットについては固定して一体化させている。摩擦に関しては摩擦係数を 0.1 と 0.3 で解析

表-1 降伏強度 (単位は N/mm²)

ピン	連結板	ナット	ワッシャー
345	295	235	245

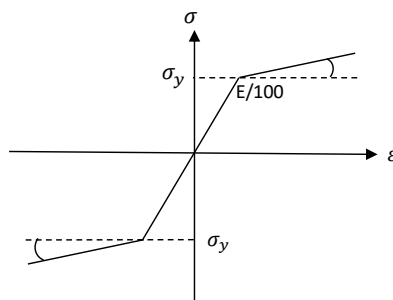
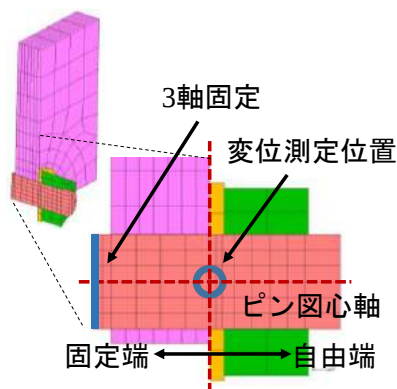
図-1 応力-ひずみ関係
(単軸換算)

図-2 解析モデル図(32mm 型)

キーワード：落橋防止システム, 変位制限装置, FEM, 耐力, 変形性能

連絡先：〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744 番地ウエスト 2 号館 11 階 1102 号室 TEL:092-802-3370

を行ったものの、大きな差異が見られなかったので摩擦係数を 0.3 として解析を行っている。解析結果において荷重として出力する値は連結板とピンの接触部分における鉛直方向の接触力の和としている。また、静的解析では連結板の回転を防ぐために最小限の固定を行っている。一方で動的解析については連結板の固定は行っていない。

3 解析結果について

3.1 変位およびひずみ分布の理論値との比較

初等梁理論より算出した理論値および、せん断の影響を考慮したチモシェンコ梁理論より算出した理論値と静的解析におけるピンの変位を比較した。図-3 に示すようにチモシェンコ梁理論より算出した理論値の方が解析結果に近いので、せん断の影響を無視することができず、チモシェンコ梁理論を用いる必要があると言える。

また、静的解析によって得られた固定端近傍のひずみ分布を載荷初期の弾性応答域で比較した結果を図-4 に示す。図より、32mm 型においては概ね平面保持の仮定が成立するが、170mm 型においては成立しないことが確認できた。

3.2 荷重-変位関係

図-5 に衝突速度ごとの荷重-変位関係を示す。動的解析と静的解析では荷重-変位関係の様子が異なり、衝突速度が大きくなるにともなって、静的解析の荷重-変位関係との差が大きくなるが、静的解析・動的解析いずれの場合もピン型変位制限装置の降伏荷重は、設計耐力を大きく上回ることが確認できた。

3.3 接触力分布

図-6 にピン変位量が同じ時点の接触力分布を各衝突速度で比較した結果を示す。変位量が小さい時点では、衝突速度が大きくなるにしたがって静的載荷時の接触力分布との差が大きいが、ピン変位が大きくなるにつれて衝突速度による接触力分布の差は小さくなり、静的解析の結果に近づくことが分かった。

4. 結論

現行の設計耐力の式は、せん断による影響が考慮されていないので、ピン径が大きくなった場合は適用できないことが認められた。また、静的載荷時と動的載荷時で挙動が異なり、衝突速度が大きくなるにつれて、両者の相違が顕著になることが確認できた。しかし、現行の設計耐力には大きな安全率が見込まれており、ピン型変位制限装置の実降伏荷重の方が上回っていることが今回の動的解析によって確認できた。

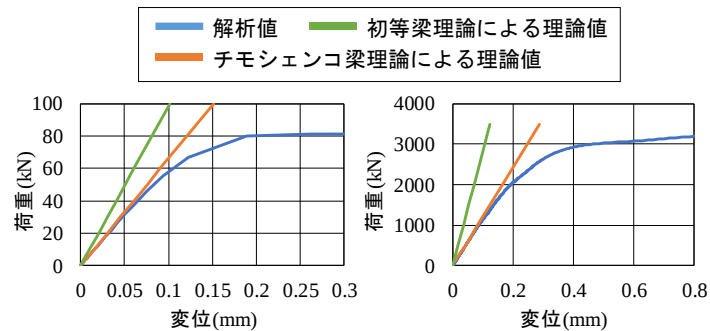


図-3 静的解析における荷重-変位関係の解析値と理論値の比較(左グラフが 32mm 型, 右グラフが 170mm 型)

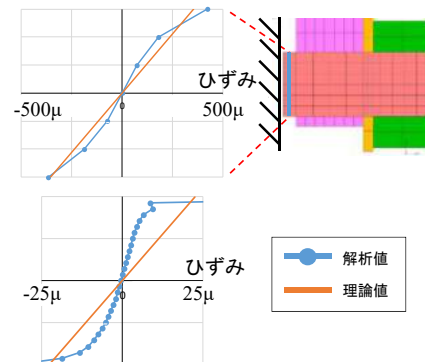


図-4 静的解析における載荷初期のひずみ分布(上グラフが 32mm 型, 下グラフが 170mm 型)

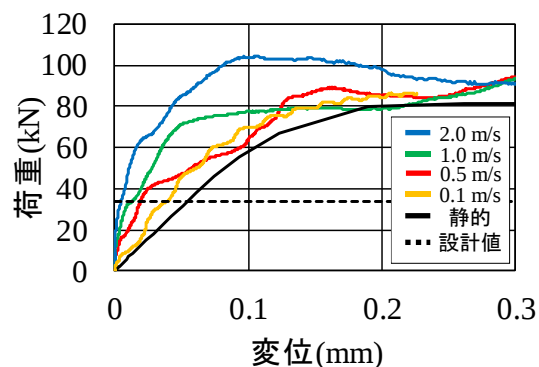


図-5 衝突速度ごとの荷重-変位関係

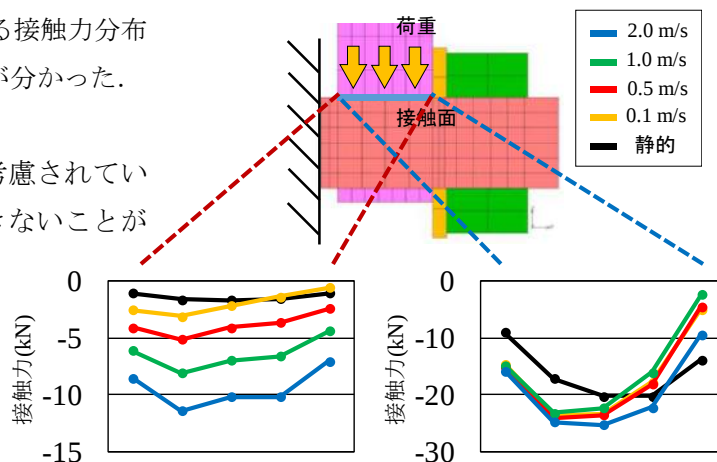


図-6 接触力分布

(左グラフが変位 0.01mm 時, 右グラフが変位 0.2mm 時)