

橋桁防護工の応答性状に対する構造形式の影響とエネルギー吸収性能向上策の効果

鉄道総合技術研究所 正会員 ○増田 雄輔

鉄道総合技術研究所 正会員 斉藤 雅充

1. はじめに

橋桁防護工（図1）は、桁下を走る自動車等の衝突から橋桁を守る役割があり、鉄道橋では「橋桁防護工設計の手引き」¹⁾により梁の塑性変形によって自動車の運動エネルギーを吸収させる設計を行っている。しかし、法令改正による車両重量の増加等により、手引きの想定を超える作用が働くことが懸念される。一方で、敷地の制約から柱や基礎を大型化できない場合など、設計上の制約がある場合が多い。以上のことから、梁のエネルギー吸収量を増加させることができれば柱や基礎の負担を軽減することができる。図2に示すように梁を2重に設けることで、柱に働く力を増加させることなく吸収エネルギーを高めることが期待されるが、その効果を検証する必要がある。

本検討では、2重梁構造によるエネルギー吸収性能の向上効果を検証することを目的に、静的非線形FEM解析により、従来の橋桁防護工と2重梁構造の比較を行った。

2. 解析の概要

解析対象は、2車線道路に設置する標準的な橋桁防護工とし、単純梁形式、門形ラーメン形式、および、2重梁形式とした。2重梁形式は、門形ラーメン形式の梁前方に追加の梁（以下、補強梁）を設置し、接続梁で連結した構造（図2）とした。補強梁で塑性変形が進展しても、後方の梁に接触することで荷重を負担することができ、従来よりもエネルギー吸収性能が向上することが期待される。

解析モデルはシェル要素で構築し、幅厚比パラメータ $\bar{\lambda}_p$ は、柱で先行して塑性化が進まないよう柱の板厚は梁の2倍程度とした（図2）。载荷方法は、载荷位置の影響を単純化するため梁中央に強制変位を与えることとした。強制変位は、梁中央の500mm四方の範囲の節点に与えている。鋼材の材料特性は、規格下限値より大きな値となっているのが一般的であることから、SM400材の引張試験結果²⁾を参考に応力ひずみ関係を設定した。降伏応力 σ_Y は407MPaで図3に示す、ひずみ硬化領域まで考慮した関係を用いた。塑性ひずみが0.4に達すると鋼材が破断することとし、該当する要素を消去する設定とした。なお、解析モデルには初期不整を考慮していない。

3. 従来構造の橋桁防護工の応答性状

従来構造の橋桁防護工のP- δ 関係を図4に示す。なお、門形ラーメン形式については収束解を得られなくなった変位まで記載している。単純梁形式では、梁降伏後に剛性が低下し、降伏後の耐力増加は降伏耐力の1.2倍であった。一方で、門形ラーメン形式では、降伏耐力は単純梁の1.3倍、梁降伏後に耐力が2.3倍増加した。

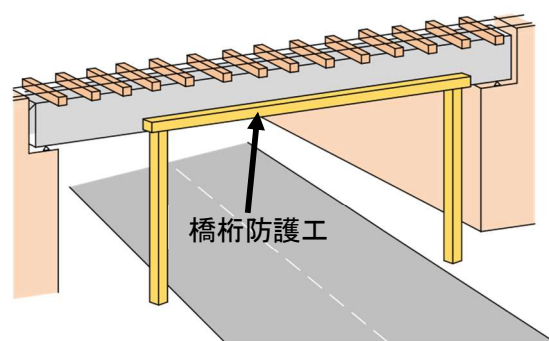


図1 橋桁防護工

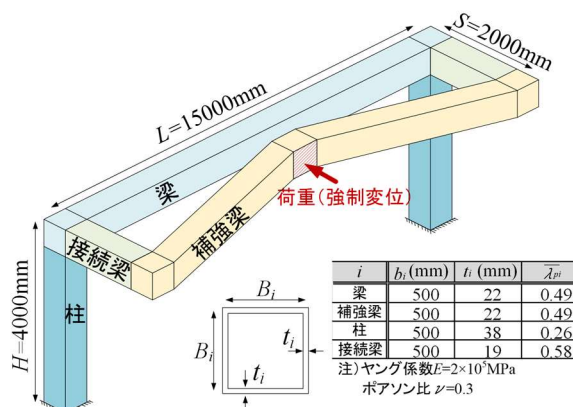


図2 橋桁防護工の解析モデル（2重梁形式）

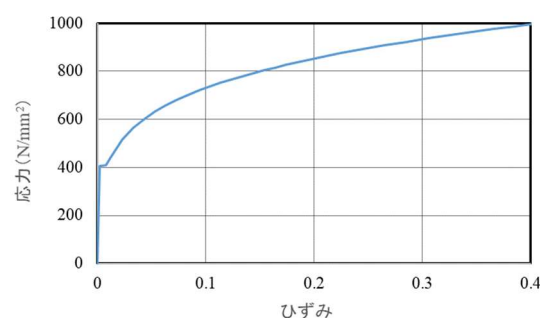


図3 応力-ひずみ曲線

キーワード 橋桁防護工、エネルギー吸収性能、静的非線形解析

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町2-8-38 (公財) 鉄道総合技術研究所 TEL 042-573-7280

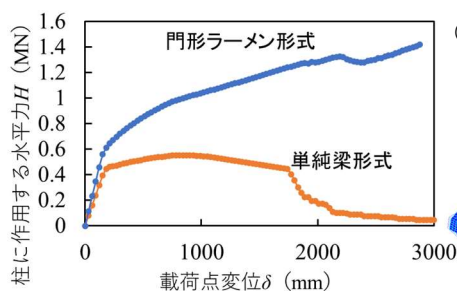
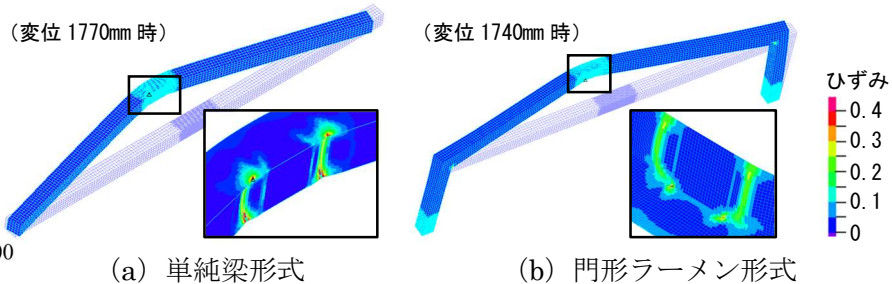
図4 P- δ 曲線と吸収エネルギー

図5 従来構造の橋桁防護工の変形

これは、梁が柱によって拘束されることで梁の境界条件が変化し、梁の耐荷力が増加したことが原因と考えられる。塑性ひずみ 0.4 到達時の変形図と塑性ひずみコンターを図 5 に示す。単純梁形式では、梁全体が载荷部で塑性ヒンジ化するような変形を示すとともに、载荷部近傍の腹板に梁断面外側方向の面外変形が生じており、腹板の上下端で塑性ひずみが集中している。門形ラーメン形式では、梁の全体変形とともに柱に载荷方向への曲げ、内側への曲げ、およびねじり変形が生じている。

4. 橋桁防護工のエネルギー吸収性能向上策

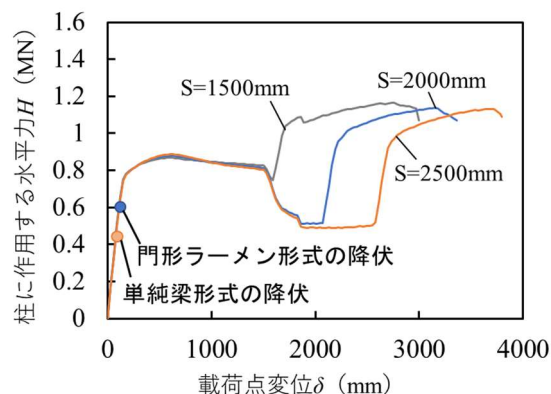
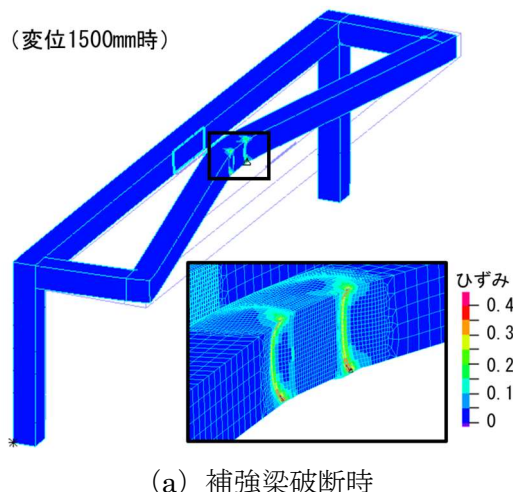
2 重梁形式の橋桁防護工の P- δ 関係を図 6 に示す。補強梁においては、降伏後の耐力の増加は小さい。変形図(図 7 (a))から、接続梁が支間側に曲げを受けて変形しており、補強梁両端部における拘束力は門形ラーメン形式より小さいと考えられる。その後、载荷部近傍が破断することで耐力が低下する。

変形が進んで耐力が低下した後後方の梁と接触することで、橋桁防護工の耐力が再び増加する。後方の梁の降伏後、橋桁防護工の耐力は降伏耐力の 1.2 倍まで増加する。これは、従来構造の門形ラーメン形式と同様、梁の両端部が柱によって拘束されていることが原因と考えられる(図 7 (b))。最終的には後方の梁も破断ひずみに至り、耐力が低下する。提案構造のエネルギー吸収性能について、補強梁降伏後に耐力が増加することから、従来よりも柱に作用する水平力を増加することなく、従来構造を上回るエネルギー吸収量を確保できる見込みであることを確認できた。また、今回設定した梁間の離隔の範囲内では、離隔を大きくするほど最大荷重はわずかに小さくなった。

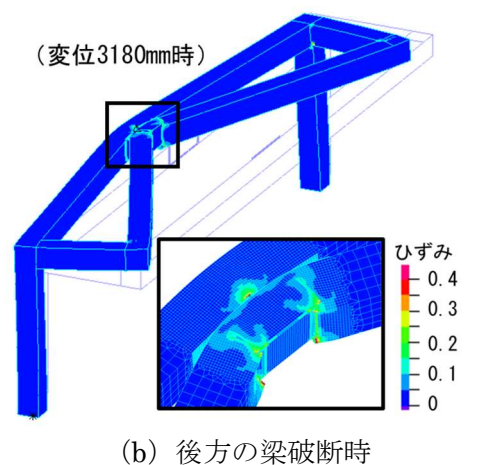
5. おわりに

単純梁形式では、曲げ降伏後に耐力の増加は小さく、門形ラーメン形式では、柱が梁を拘束することで梁の境界条件が変化し、梁の耐力が増加することがわかった。また、2 重梁形式では、梁 2 本分のエネルギー吸収を見込むことができるが、後方は梁の耐力が増加することがわかった。今後、各種パラメータの影響や動的な载荷の影響等を見込んで橋桁防護工の照査方法を検討していく予定である。

参考文献 1)鉄道総合技術研究所：橋桁防護工設計の手引き，1987。2)橋桁防護工の設計手法に関する実験的・解析的検討，構造技術資料 (Vol. 3)，2014. 10。

図6 P- δ 関係と吸収エネルギー

(a) 補強梁破断時



(b) 後方の梁破断時

図7 2 重梁構造の変形図 (S=2000mm)