

橋梁防護柵の設計に関する実験的・解析的検討

西日本旅客鉄道株式会社 正会員 ○北 健志

株式会社 レールテック 正会員 松本 健太郎

1. はじめに

鉄道橋が道路と交差し、桁下空頭に余裕のないケースでは、鉄道橋の防護を目的として橋桁防護工が設置される場合がある。橋桁防護工の設計では、道路構造令の改正等により設計応答値に関わる自動車重量(14tf→25tf)が増加しているため、安全でより合理的な設計法の確立が求められている。そこで、防護柵の最大変形角(以下、「折れ角」と記す)等の耐荷性能に着目した載荷試験や解析的検討を行い、防護柵の断面形状や設計限界値について検討した。

本報告では、実験・解析的検討により明らかになった防護柵(矩形断面)の耐荷性能の検討結果について示す。

2. 防護柵の設計に関わる検討項目

1)最大変形角の検討

現行の橋桁防護工の設計では、衝突する自動車の運動エネルギーに対して防護柵の可能吸収エネルギーが上回るように断面設計を行い、防護柵の全塑性モーメントに相当する荷重を支柱や基礎の設計に用いている¹⁾。一方、防護柵の折れ角の安全限度はH鋼支柱の試験結果をもとに15°としており、限界値は一定で応答値のみ増加するため、橋桁防護工が大型化する傾向にある。このため、可能吸収エネルギー(荷重と変位の積)に関わる防護柵の折れ角を実験等により検証するとともに、これらの結果に基づく合理的な設計方法について検討した。

2)断面形状の検討

既往の研究²⁾によれば防護柵の断面形状については、幅厚比パラメータと耐荷性能等の力学特性を明らかにし、最適な幅厚比パラメータ $R=0.41$ が提案されている。一方、折れ角15°以上の変形域における検討がなされていない。このため、静的載荷試験と再現解析により折れ角を検証し、実物大の防護柵に対する解析的検討を行った。

3. 静的載荷実験

1) 試験体の概要

試験体に使用した角型鋼管は、実物モデルの約1/5縮小サイズのSTKR400-JISG3466(□100mm×100mm t=4.2mm)とし、スパン中央(載荷点)に載荷リブを取り付けている(図-1)。載荷リブは、板厚22mmの鋼板(SS400材)に機械加工で角型鋼管と同形状の開口部を設けて設置した。

2) 試験概要(3体同様)

試験は、スパン2mとし両端支持の中央一点載荷で3体実施した。支点は、変形に伴う回転および軸方向の移動が可能で、鉛直方向のみ拘束したピン・スライド支点を用いた。また、荷重は、試験体の折れ角が30°以上まで載荷することとした。

計測項目は、載荷荷重や載荷点直下(スパン中央)の鉛直変位とし、スパンと変位量との関係から変位角を算定した。なお、載荷試験の結果(荷重-変形角)は、次頁の解析結果と併記して示す(図-2)。

紙面の制約上、再現解析用として実施した試験体の引張試験の結果や、試験後の座屈形状等については記述を割愛している。

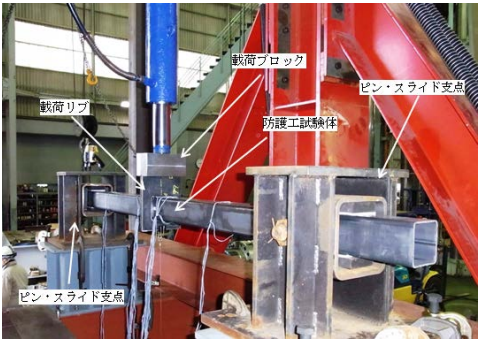
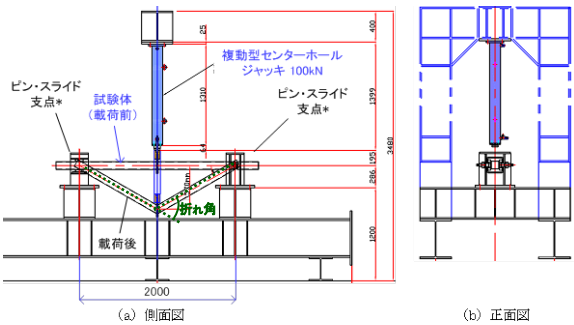


表-1 解析実施ケース

図-1 静的載荷試験の概要

Case	モデル名	桁断面と寸法 (mm)			幅厚比 パラメータ R	鋼材	付記
		A x B	厚さ	支間			
1	実験モデル	100 x 100	4.2	2,000	0.36	STKR400	幅厚比パラメータに着目
2	実物モデル R=0.31	500 x 500	30.0	10,000	0.31	SM490	
3	実物モデル R=0.36	520 x 520	27.3	10,000	0.36	SM490	
4	実物モデル R=0.41	540 x 540	25.0	10,000	0.41	SM490	

キーワード 橋桁防護工, 防護柵の安全限度, 静的載荷試験, 解析的検討

連絡先 〒532-0011 大阪市淀川区西中島 5-4-20 中央ビル 2F TEL: 06-6305-6958

4. 解析的検討

1) 解析概要

表-1 に、解析ケースを示す。解析ケース数は、载荷試験で用いた防護工試験体の実験再現モデルを 1 ケース、スパン 10m の実物大防護工の解析モデルを 3 ケースとした。今回の解析で検討した幅厚比パラメータ (R) は、既往の研究で提案されている 0.41 を基本とし、これより肉厚断面となる $R=0.36$, $R=0.31$ を設定した。

再現解析の材料構成則は、STKR400 の引張試験により得られた応力-ひずみ曲線に沿うようにテトラリニア型とし、第一勾配を E (鋼材の弾性係数: 200GPa)、第二勾配を E/100、第三勾配を E/1798、第四勾配を E/20000 とした。また、第四勾配は、下降勾配や勾配 0 が設定できないため、限りなく緩やかな勾配を設定した。

解析には「LS-DYNA Version ls971d R5.0」を使用し、弾塑性解析とした。

2) 再現解析の結果

図-2 に、スパン 2m 防護工の荷重と変位、そして対比用に Case1 の解析値も示している。横軸にはスパン中央(载荷点直下)の変位(破線: 折れ角)を、縦軸には载荷荷重を示す。また、現行の設計との比較として、STKR400 の引張試験から得られた降伏応力 $\sigma_y=407\text{MPa}$ ($\epsilon_0=0.2\%$) から算出した設計荷重 ($P_y=47.1\text{kN}$) も示した。

2m 防護工試験体の静的载荷試験の荷重-変位の関係は、試験体 3 体ともほぼ同様な傾向であり、47.3~52.1kN 程度で最大荷重となり、それ以降は緩やかに荷重が低下する。実験の設計荷重と最大荷重は近い値となった。

解析結果については、弾性域では実測とよく一致し、最大荷重時は実験値よりもやや高い結果となる。しかし、最大荷重以降は実験値と解析値が逆転しており、解析値の方の耐力が低く実験値と比べて荷重の低下傾向がみられた。なお、試験後の座屈形状は示していないが、解析で载荷点付近の局部座屈の形状を再現できていたため、最大荷重以降の解析と実験値の差異は、载荷リブとの接触面やこの剛性の評価の違いによるものと考えられる。

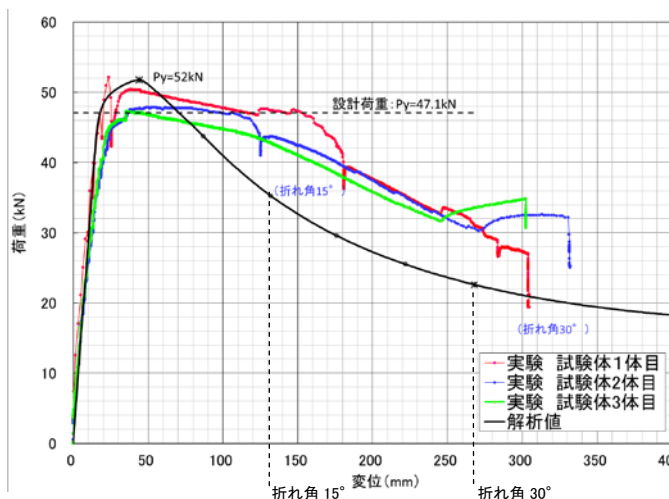


図-2 スパン 2m 防護工の荷重と変位の関係

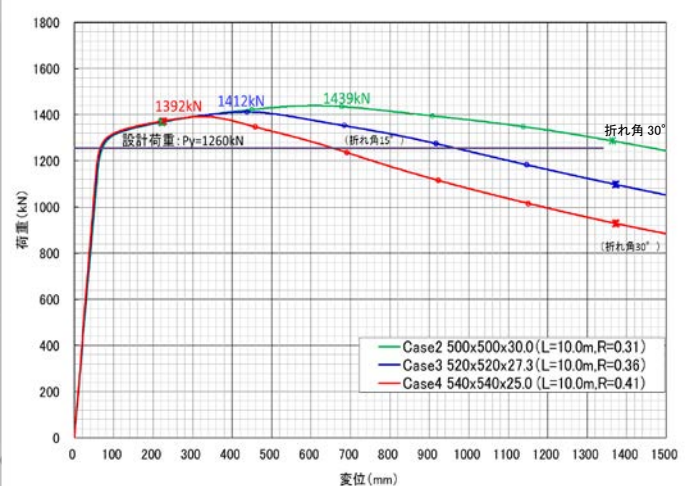


図-3 スパン 10m 防護工の荷重と変位の関係

3) 実物モデルの解析結果

図-3 に、実物モデル (スパン 10m 防護工) の荷重と変位の関係を示す。図中には、設計値および Case2~4 の解析値を示している。また、設計荷重 (1260kN) は、SM490 の JIS 規格値 ($\sigma_y=315\text{MPa}$) と全塑性モーメントから算定している。いずれの解析値も、設計荷重に比べて最大荷重は大きい。しかし、 $R=0.41$ や $R=0.36$ では最大荷重後の下降勾配で設計荷重を下回る結果となった。しかし、 $R=0.31$ では、最大荷重後から折れ角 30° 以下の範囲において、設計荷重を満足しており、現行の設計法を適用しても安全側評価が可能となる結果となった。

5. まとめ

今回実施した静的载荷試験や解析的検討により、 $R=0.31$ 程度の幅厚比パラメータの制限を加えることにより、防護桁の折れ角は 30° 程度まで期待でき、現行の設計法を適用しても安全側評価が可能であることを確認した。

今後は、橋桁防護工の柱と防護桁や、柱と基礎との接合部の構造詳細等を検討する。

参考文献

- 1) 橋桁防護工設計の手引き, 鉄道総合技術研究所, 1987
- 2) 猪股貴憲^他: エネルギー吸収能に着目した橋桁防護工の合理的な設計法に関する研究, 土木学会年講, I-022, 2012