

橋桁防護工(防護桁)の設計に関する実験的・解析的検討

1. はじめに

橋桁防護工は、道路上空を鉄道橋が交差する箇所(架道橋)において、鉄道橋の防護を目的として設置されます(写真1)。

近年の橋桁防護工の設計では、道路構造令等の改正により自動車重量等の設計の荷重が大きくなる一方で、設計限界値は従来のままのため、防護桁や基礎寸法が大きくなり施工等が困難となる場合があります。そこで、橋桁防護工の防護桁の耐荷性に関する各種実験や解析的検討¹⁾を行い、防護桁の設計限界値(折れ角)等を見直しました。このうち本稿では、防護桁の静的載荷実験と解析的検討を行った内容を紹介します。



写真1：橋桁防護工

防護工試験体の断面諸元等を用い、材料構成則は、試験体の引張試験(JIS Z2241)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ました。

本稿では割愛しましたが、本解析により静的載荷実験の荷重-変位(折れ角)の関係等を精度よく再現できることが分かりました。なお、解析条件や再現解析結果の詳細は、参考文献1を参照いただければと思います。

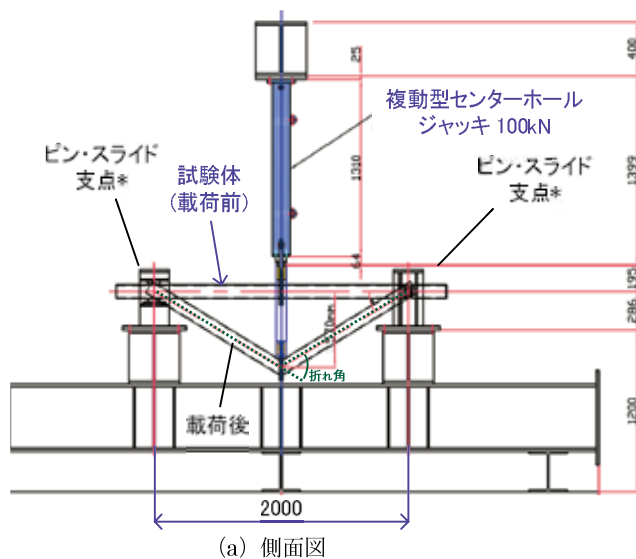


図1：静的載荷実験装置の概要

2. 防護桁の静的載荷実験と再現解析

従来(S53.3 国鉄)より防護桁の設計限界値は、落石止柵のH鋼支柱(H形断面)の試験結果から、折れ角 15° が用いられていましたが、防護桁には矩形断面の鋼部材が用いられることが多いため、静的載荷実験や解析により、防護桁の折れ角や耐荷性の確認を行いました。

(1) 静的載荷実験

静的載荷実験の試験体は、相似則を用いて1/5縮小サイズの一般角型鋼管部材 STKR400 とし、図1や写真2に示す実験装置を用いて、試験体の最大荷重や、塑性化した後の荷重-変位(折れ角)の関係等の把握を行いました。

ここで、試験体の接合構造は、大変形時に試験体を拘束せずに、支点部の回転や軸方向へのスライド(引込み)に追従できるピン・スライド構造としています。

(2) 実験結果の再現解析

実物大モデルの解析に先立ち、縮小サイズで実施した静的載荷実験の再現解析を行い、解析条件やモデル等の妥当性を検証しました。再現解析は、「LS-DYNA Version 1s971d R5.0」を使用し、弾塑性解析としました。解析条件には、

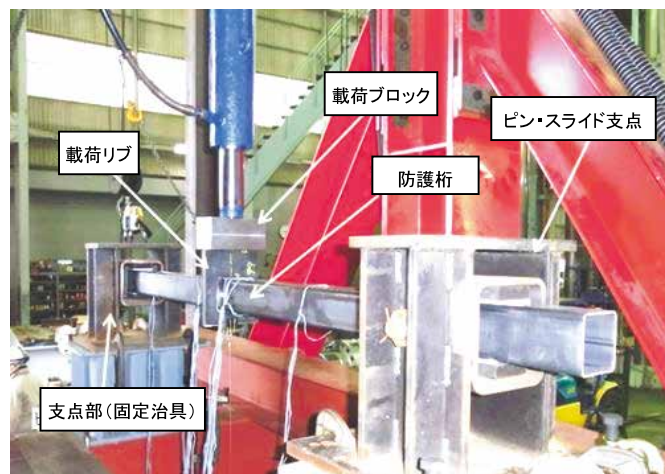


写真2：防護桁の静的載荷実験

3. 防護桁の実物大モデルの解析

(1) 解析概要

実物大の解析モデルは、標準的な防護桁スパン10mを対象とし、表1に示す3ケースについて解析を実施しました。今回の解析では、局部座屈に関わる幅厚比パラメータ(Rr)と塑性化した後の耐荷性能の関係を明らかにするため、Rr=0.36を



基本とし、これより肉厚の断面となる $Rr=0.31$ と、既往文献²⁾で提案している $Rr=0.41$ を設定しました。なお、Case1~3の防護桁断面は塑性断面係数（最大荷重）が概ね等価となるように設定しました。

表 1：実物大の解析モデルと実施ケース

解析 Case	防護桁の形状と寸法		降伏応力度 σ_y (N/mm ²)	幅厚比 パラメータ Rr	塑性断面係数 Z_p (cm ³)	支間 L (mm)
	断面 (mm)	板厚 t (mm)				
1	480×480	33.2	315	0.31	9960	10000
2	500×500	30.0		0.36	9954	
3	520×520	27.3		0.41	9951	

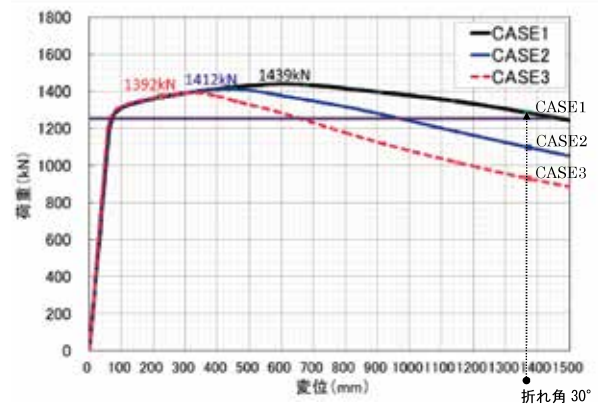


図 3：実物大モデルの解析結果

(2) 解析結果

図3に、実物大モデルの荷重と変位の関係を示します。図中には、設計荷重 (P_y) および Case1 ($Rr=0.31$)、Case2 ($Rr=0.36$)、Case3 ($Rr=0.41$) の解析値を示しています。防護桁の設計限界値に関わる可能吸収エネルギーは、荷重と変位との積から算定されるため、最大荷重以降の荷重低下が小さいほど耐荷性能に優れることになります。

図3より、いずれの解析値も、設計荷重 ($P_y=1260\text{kN}$) に比べて最大荷重は大きいのですが、 $Rr=0.41$ や $Rr=0.36$ では最大荷重後の下降域の折れ角 30° において設計荷重を下回る結果となりました。一方、 $Rr=0.31$ では、最大荷重以降～折れ角 30° までの範囲において、設計荷重を満足しており既設計法を適用しても安全側の評価となることが分かりました。

また、図4に折れ角 30° 時点における、Case1 ($Rr=0.31$) と Case3 ($Rr=0.41$) の荷重載荷点付近における変位の比較図を示します。図4より、Case3と比べると Case1は局部座屈が抑えられており、耐荷性能に優れることが分かりました。

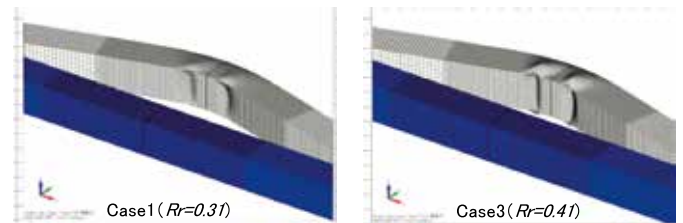


図 4：解析結果（荷重載荷点付近の変位図）

以上のことから、今回実施した載荷試験や解析的検討により、幅厚比パラメータ (Rr) の制限を与えることで、防護桁の折れ角を 30° として既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ました。なお、折れ角 30° を適用すると吸収エネルギーが2倍となり、防護桁断面の小型化（ $\square-700 \times 650$ の場合、 $\square-550 \times 500$ ）が図れることを試算により確認しています。

5. おわりに

橋桁防護工は、自動車等の衝撃から鉄道橋を守り、鉄道の輸送障害を防止する上で重要な構造物です。本稿では、橋桁防護工の防護桁の設計限界値に着目した検討内容について紹介しました。今後は、本成果を社内の技術図書等に反映するとともに、より安全で合理的な設計ができるように、引き続き技術課題への取り組みを進めて参ります。

参考文献

- 1) 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
- 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

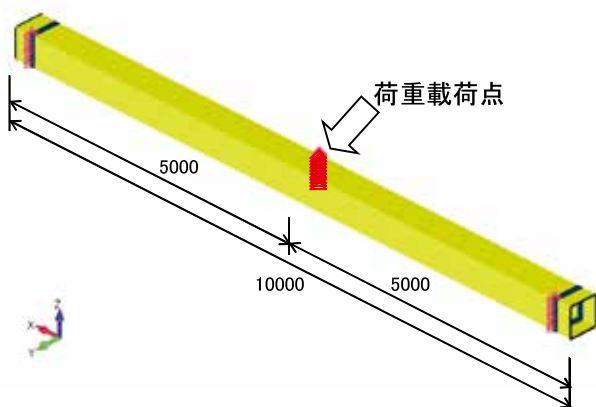


図 2：実物モデルの解析概要