

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

○ ジェイアール東海コンサルタンツ（株） 正会員 猪股 貴憲
名古屋工業大学 フェロー会員 後藤芳顕, 正会員 奥村徹, 坂本裕紀

1. はじめに

道路上空を鉄道橋が交差する個所において、車両や車両積載物が鉄道橋へ衝突する恐れがある場合、鉄道橋の防護を目的として橋桁防護工が設置されている。橋桁防護工の防護桁設計では、衝突する自動車の運動エネルギーに対して防護桁の吸収エネルギーが上回るように断面設計がなされる。防護桁の吸収エネルギーは、鋼材の応力ひずみ関係を剛塑性モデルと仮定し、全塑性モーメントを用いて算出している。しかしながら、この断面設計においては幅厚比パラメータの制限等による変形性能に対する構造細目がないことから、任意に設定した断面において終局変位として設定される桁折れ角 15° まで設計通りのエネルギーを吸収できるか明らかになっていない。本研究では、防護桁の力学挙動に対する影響が大きいと考えられる幅厚比パラメータ、鋼材の応力ひずみ関係におけるひずみ硬化に着目し、エネルギー吸収量の検討を行う。具体的には、現行の方法に基づき設計した幅厚比パラメータの異なる複数の防護桁モデルに対して有限要素解析を行い、幅厚比パラメータとエネルギー吸収量および最大荷重などの力学特性について考察する。さらに、防護桁の断面形状として最適な幅厚比パラメータの提案を行う。

2. 解析対象とする防護桁

(1) 設計

2車線道路（歩道あり）に設置する一般的な場合を想定し、設計条件として図-1に示す支点間隔 $L=15\text{m}$ 、自動車の衝突位置 $a=5.5\text{m}$ 、および自動車衝突時の運動エネルギー $E=2.095\text{MN}\cdot\text{m}$ （自動車荷重 250kN 、衝突速度 50km/h を想定）を設定する。使用鋼材は SM490（ $\sigma_y=315\text{MPa}$ ）とする。また設計の簡素化を図り、防護桁の断面形状は正方形、ウェブとフランジの板厚は同一とし設計変数を断面幅 B 、板厚 t の2つのみとする。以上の条件のもと、従来の設計法に基づき式(1)を満足する最適断面を設計する。なお、従来の設計において防護桁の吸収エネルギー U は防護桁を両端単純支持の剛塑性はりモデルと仮定し、限界値として設定される折れ角 15° に達した際の吸収エネルギーとして算定する。

$$E \text{ (自動車衝突時の運動エネルギー)} = U \text{ (防護桁の吸収エネルギー)} \tag{1}$$

幅厚比パラメータ R を変化させた5つの比較検討モデルの断面諸元を表-1に示す。設計変数は B 、 t のみであるので、式(1)と幅厚比パラメータ R を条件として与えることで一意的に断面が決定される。これらの比較検討モデルの幅厚比パラメータ R は鉄道構造物等設計標準・同解説に記載される両縁支持板の耐荷力曲線における局部座屈による耐荷力の低減を無視できる範囲（ $R \leq 0.7$ ）から設定した。

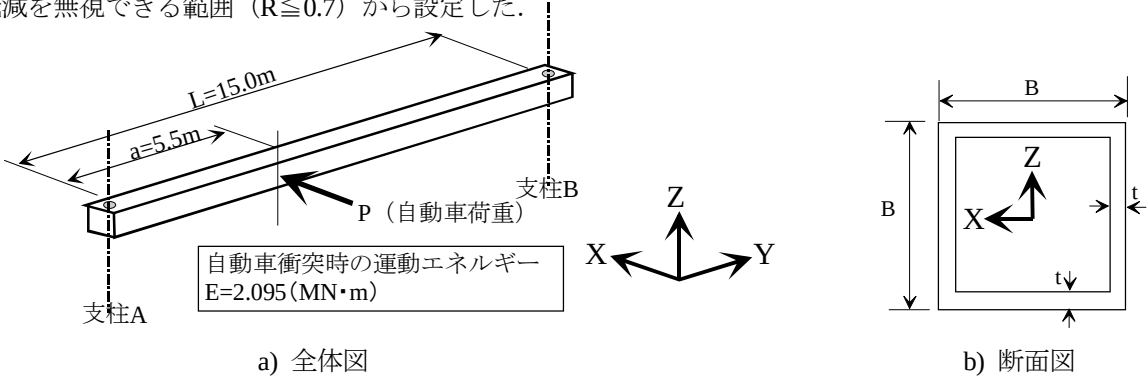


図-1 防護桁の諸元

表-1 比較検討モデルの断面諸元

幅厚比パラメータ R		0.30	0.40	0.50	0.60	0.70
フランジ・ウェブ幅 (m)	B	0.678	0.732	0.779	0.820	0.858
フランジ・ウェブ厚 (m)	t	0.041	0.035	0.030	0.027	0.024

(2) 解析モデル

有限要素解析に用いる解析モデルの概要を図-2に示す。解析の効率化を図り、局部座屈が生ずる自動車荷重載荷点近傍の領域のみをシェル要素、その両端の領域をはり要素でモデル化する。荷重の載荷方法としてトラック上にあるバックホウのアームが衝突するケースを想定して幅0.3mの剛体が防護柵高さ全面に衝突する接触解析を行う。剛体と防護柵との間の摩擦は無視する。また使用する鋼材 SM490の一軸の真応力・相当塑性ひずみ関係を図-3に示す。

3. 防護柵の力学挙動の検討と最適な幅厚比パラメータの提案

解析結果として、各比較検討モデルの最大荷重と吸収エネルギーを表-2、荷重変位関係を図-4に示す。これらの結果より、幅厚比パラメータ R が大きな $R=0.5, 0.6, 0.7$ においては早期に局部座屈が生じ、エネルギー吸収量が設計値を満足しないことがわかる。一方、幅厚比パラメータが小さい場合には設計値以上のエネルギー吸収量を確保できるものの、最大荷重に関しては、全塑性モーメントから算定される設計値 ($P_u=2.281\text{MN}$) を上回る ($R=0.3$ で 1.3 倍)。支柱や基礎の作用力は最大荷重から算定される。したがって、現行の枠組みで設計を行った各比較検討モデルのうち、設計条件として与えられるエネルギー吸収量を確保し、かつ最大荷重が最も小さくなる $R=0.4$ が最適な断面となる。より詳細に幅厚比パラメータを変化させて検討した結果、 $R=0.41$ が最適断面となった。このときの最大荷重は設計値 P_u に対して 1.16 倍であるので、支柱の作用力の算定においては全塑性モーメントより算定される P_u に対して 1.16 倍の割増を考慮する必要がある。

4. まとめ

現行の方法に基づき防護柵を設計し、幅厚比パラメータ R の差異、鋼材の応力ひずみ関係におけるひずみ硬化がエネルギー吸収量および最大荷重などの力学特性に与える影響について検討を行った。その結果、幅厚比パラメータが 0.7 以下の範囲であっても設計値である吸収エネルギーを確保できないことがあること、また幅厚比パラメータが小さな断面では最大荷重が増加し、支柱や基礎への作用力が設計値の 1.3 倍程度大きくなることを明らかとなった。設計値以上のエネルギー吸収を満足し、かつ支柱と基礎への作用力が最小となる最適な幅厚比パラメータとして $R=0.41$ を提案した。

(謝辞) 本研究は、平成 23 年度に「橋柵防護工の合理的な設計・構造に関する研究」としてジェイアール東海コンサルタンツ株式会社と名古屋工業大学大学院工学研究科社会工学専攻において共同研究を行った成果をまとめたものである。ここに記して謝意を表する。

【参考文献】

- 1) 橋柵防護工設計の手引き、鉄道総合技術研究所、1987。
- 2) 国土交通省鉄道局 監修、鉄道総合技術研究所 編：鉄道構造物等設計標準・同解説 鋼・合成構造物、丸善、1993。

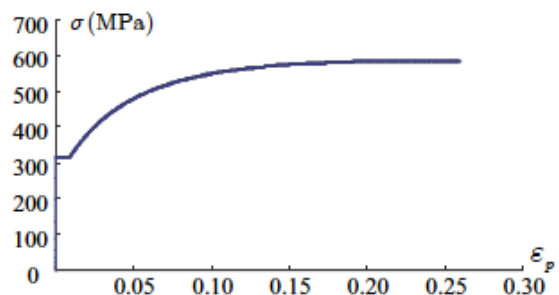
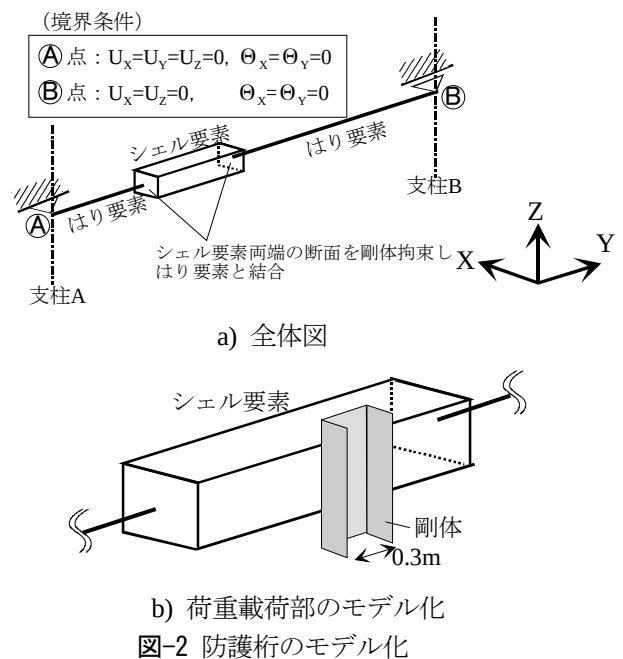


図-3 真応力・対数塑性ひずみ関係

表-2 最大荷重と吸収エネルギー

R	最大荷重 (MN)	吸収エネルギー (MN・m)
0.30	2.922 (1.281)	2.312 (1.103)
0.40	2.660 (1.166)	2.147 (1.025)
0.50	2.399 (1.052)	1.730 (0.826)
0.60	2.310 (1.013)	-
0.70	2.267 (0.994)	-

※) カッコ内の値は設計値に対する比をあらわす。

$R=0.60, 0.70$ については δu の前で解析が止まったため吸収エネルギーは記載していない

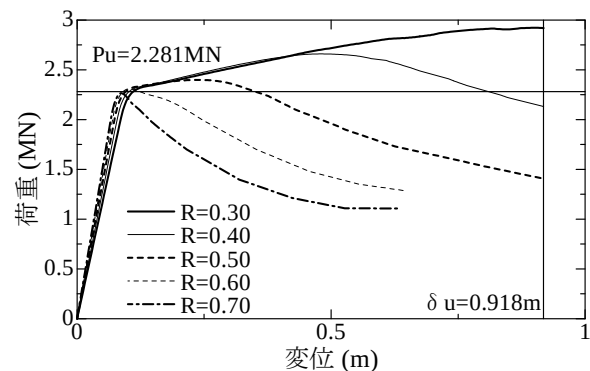


図-4 荷重・変位関係