

新たな変形特性による 鋼製橋梁用車両防護柵の開発

Development of Aesthetic Steel Barriers(Bridge Rail Type) by a New Deformation Characteristic

伊藤 登¹・横山 公一²・高堂 治³

¹正会員 工修 (株) プランニングネットワーク (〒114-0012 東京都北区田端新町3丁目14-6)
E-mail: itoh@pn-planet.co.jp

²正会員 工修 日本大学理工学部社会交通工学科 (〒274-8501 千葉県船橋市習志野台7-24-1)
E-mail: yokoyama@trpt.cst.nihon-u.ac.jp

³非会員 工修 住軽日軽エンジニアリング(株) (〒136-0071 東京都江東区亀戸2-35-13 新永ビル)
E-mail: osamu-takado@sne.co.jp

本稿は、国土交通省監修の「景観に配慮した防護柵の整備ガイドライン(2003 年 3 月)」を受けて実施した新たな鋼製橋梁用防護柵の開発経緯を記述したものである。本防護柵の開発の要旨は以下の3点にまとめられる。1) これまでにない新たな変形特性を有する橋梁用車両防護柵を開発したこと。2) 軽快でスリムな印象を有する防護柵を、軽重量で低廉な価格の標準製品として開発したこと。3) 一般鋼材に適した加工性を有する防護柵として開発したこと。

景観に優れた本防護柵が全国各所に設置され得る標準品として開発されたことの意義は、我が国の道路景観の質の向上を図る上で、小さくないものと考えられる。

Key Words : *landscape, barrier, design*

1. はじめに

現在、道路橋に設置されている橋梁用車両防護柵の6割程度が、鋳鉄並びに一般鋼材を素材とする防護柵である。このような中、平成16年3月に国土交通省から出された「景観に配慮した防護柵の整備ガイドライン」¹⁾(以下、ガイドラインという。)では、より低コストで美しい車両用防護柵の必要性がうたわれ、設計的に質の高い標準品の防護柵の開発が求められることとなった。これを受けて、既に日本アルミニウム協会や全国高欄協会などの複数の団体やメーカーが、ガイドラインに基づいた鋼製の橋梁用防護柵の開発と製品化を実施している。

筆者らも以前に、ガイドラインに基づいて、一般鋼材製、鋳鉄製で共通デザインの鋼製橋梁用車両防護柵の開発²⁾を行っている(図-1 左写真)。この防護柵は軽快でスリムな印象を有するものであったが形状が複雑なため、一般鋼材製の場合、部材の加工、溶接等の製作が難しいという課題を残していた。本稿は、ガイドラインに示された理念等を踏まえつつ、用いる素材を一般鋼材に絞り、

その加工性や製作に適した新たな橋梁用車両防護柵の開発経緯について示したものである。なお、本開発は、開発主体である住軽日軽エンジニアリング(株)が内部の構造エンジニアに加え、社外の専門家を入れたデザインチームを組織して検討を行ったものであり、筆者らはそのデザインチームのメンバーである。

2. 景観に配慮した既存橋梁用防護柵の特徴

ガイドラインの策定後に標準品として開発された景観に配慮した橋梁用防護柵は、機能を第一に考えた従来型防護柵の問題点であった「H断面型支柱」の見直し、「支柱背面の座屈部」の見直し、「ボルト・ナット類の露出」の低減、「道路外部への透過性」の向上などを中心とした改良がなされ、全体として軽快でスリムな支柱、横梁形状としていることが特徴である。また、景観に配慮しながらも、標準品としてコストを下げる努力がなされていることも特徴である。

部材別にみると、アルミニウム合金製、鋼製、鋳鉄製、

これらの金属とコンクリートウォールとの複合型など、さまざまな製品が開発されている。

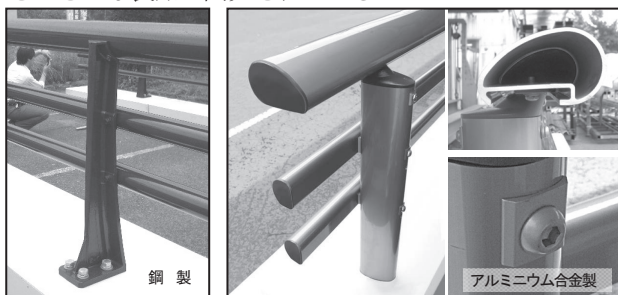


図-1 景観に配慮した既往の橋梁用防護柵の例

3. 開発における機能的条件

開発対象とした防護柵は、B種及びA種の橋梁用ビーム型防護柵であり、本稿ではそのうち3本ビームタイプ（H=850mm）を取り上げた。橋梁用車両用防護柵については、「防護柵の設置基準・同解説，2004」において、必要な強度，寸法等についての規定があり，強度に関しては静荷重試験により実証することが求められている。表-1 は，今回開発対象とする防護柵に対して求められる機能的条件をとりまとめたものである。

表-1 求められる機能的条件

種別	ブロック アウト量 (mm) *1		横梁の極限曲げ モーメント(kN・m) *2				支柱 間隔 (m)	各部高さ(cm)	
	主要 横梁	下段 横梁	横梁 合計	主要 横梁	下段横梁			主要横梁 上端高さ (路面から)	下段横梁 中心高さ (地覆面から)
					1本使 用時の 単体	複数本 使用時 の単体			
A種	55 以上	45 以上	50 以上	36 以上	14 以上	7.0 以上	2.0 以下	90以上、 100以下	25以上、 60以下
B種	45 以上	30 以上	26 以上	17 以上	9 以上	4.5 以上			

*1：支柱の最前面から横梁最前面までの距離 *2：支点間隔2mの静荷重試験値

4. 従来型防護柵の変形特性とその力学的特性

新しい変形特性を有する防護柵の開発にあたり，従来型防護柵の変形特性についての調査を実施した。その結果，従来型防護柵の変形特性は，大きく2つのタイプに分類されることがわかった。

ひとつは，前板と後板を同幅とし，側面形状において狭く，くびれた部分を車道側からみて背面側に設けることにより，その部分に応力集中を起こさせ，後板とウェブの局部座屈にて支柱を変形させるものである。このタイプは，前板に下段横梁受け部をウェブに食い込ませるように設けており，その部分に生ずる応力集中に耐え得る強度が必要なため，側面幅を大きくする必要がある。このタイプを本稿では，局部座屈タイプと呼ぶ。

もうひとつは，側面形状の狭く，くびれた部分を無くしウェブの局部座屈ではなく，後板幅を狭くすることに

より，横倒れ座屈を起こさせ，支柱全体でしなるように変形させるものである。このタイプは，前板には引張力が加わり，下段横梁取付穴の断面欠損により強度が低下するため，前板の板厚はそれを考慮した板厚を必要としている。このタイプを本稿では，全体変形タイプと呼ぶ。

図-2 は，同じ高さを有する局部座屈タイプと全体変形タイプの形態と変形状況の相違を示したものである。このように変形特性と形態・寸法とには強い関係があることがわかる。

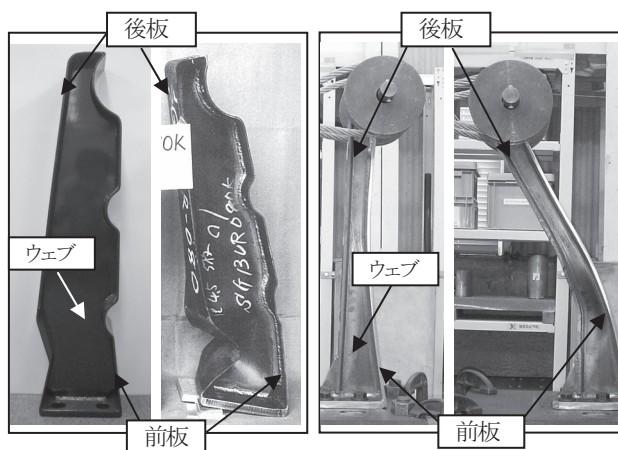


図-2 従来型防護柵の変形例

(左 局部座屈タイプ，右 全体変形タイプ)

5. 開発方針とデザイン方針

4. に示したように，従来型防護柵の内，局部座屈タイプの場合には，ウェブ側面幅を大きくする必要があるため景観・デザイン面での課題があった。また全体変形タイプの場合には，前板の板厚を厚くする必要があるためコスト面において不利であった。

開発主体である住軽日軽エンジニアリング（株）は，前述したガイドライン，過去に開発した防護柵の課題，上述した従来型防護柵の課題およびその特徴を踏まえて，デザインチームに対して以下の4つの開発方針を示した。

- どのような場所でも無難に設置可能な景観的に優れた標準品とすること
- 従来品と同程度の価格帯で提供できること
- 一般鋼材に適した加工性を有すること
- 局部座屈タイプ，全体変形タイプの何れとも異なる，新たな変形特性を有すること

これらの開発方針を踏まえ，以下の設計方針を定めた。

【主として景観的に優れた標準品のために】

- 現状の重く無骨な印象を和らげ，“スリムな印象”の形状とする。

- b. 歩行者の視点に立ち、歩道側から見た場合にも裏面と感じさせない形状とする。
- c. 局部座屈タイプ、全体変形タイプの何れとも異なる新たな変形特性を有する防護柵を、支柱形状を工夫することにより実現する。
- d. 横梁について、一般鋼材の中から可能な限り細い形状を選択する。

[主として低コスト化のために]

- e. 横梁については、3. に示した静荷重試験による強度の検証が既に済んでいる一般鋼材の丸鋼管の中からなるべく細い形状のものを採用する(表-2)。
- f. 支柱は加工手間が少ない、シンプルな形態とする。
- g. 部材点数を極力減らすとともに構造上必要最小限の寸法とすることなどで、コストを低く抑えられる形状とする。

表-2 本防護柵で採用した横梁

種別	横梁のサイズ(mm)		極限曲げモーメントの合計(kN・m)
	主要横梁	下段横梁	
A種	φ 139.8、t=6.0	φ 89.1、t=2.8	61.0
B種	φ 114.3、t=4.5	φ 76.3、t=2.8	34.7

6. 基本デザイン案の比較検討と選定

5. に示した方針を踏まえ、支柱の基本デザイン案を検討した。図-3 に基本デザイン案を検討する際に用いた防護柵の各部位の名称を示した。

基本デザイン案の検討にあたっては、図-4 に示したようなスタディ模型を作成し、検討を重ねた。基本デザイン案が有する形態の特徴は、以下のとおりである。この支柱の基本デザイン案は、軽快な印象を持つこと、前面にくびれを導入することにより、くびれ部分が無理なく伸張する変形特性を目指したものである。

- 支柱上部を下部よりも細くした軽快な印象の形状。
- 支柱前板と後板に傾斜をつけた軽快な印象の形状。
- 支柱前板よりも後板を細くした軽快な印象の形状。
- 支柱前板の伸張性能を高め、支柱の表情を豊かにする形状(くびれ)の導入。
- 部材点数を極力減らし、構造上、必要最小限の寸法とすることによって、支柱自体をスリム化する。

7. 基本デザイン案に基づく供試体の製作

基本デザイン案をもとに、支柱の供試体を6つ製作し、予備的に簡易な静荷重試験を実施することとした。これは今回の開発が従来に無い変形特性を目指したものであ

り、どのような力学的特性と強度を有するのかについて把握するためである。図-5 には、No. 4 の供試体一般図を、表-3 には各供試体(No. 1~6)の主要寸法を示した。

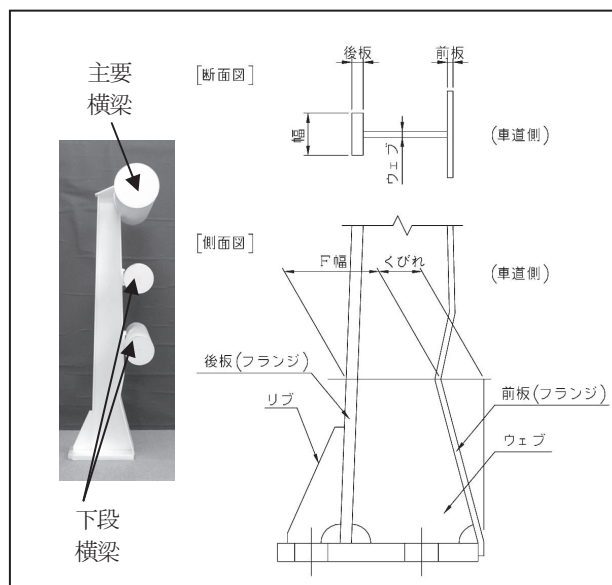


図-3 各部位の名称

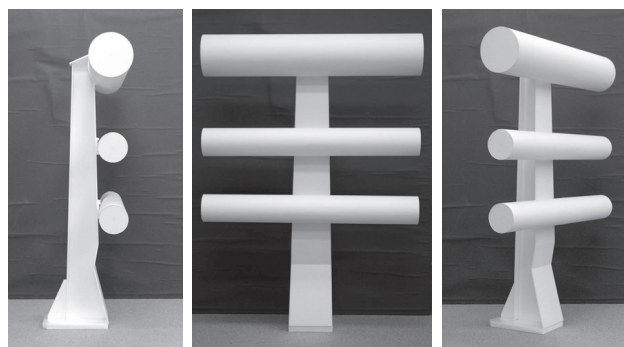


図-4 基本デザイン案

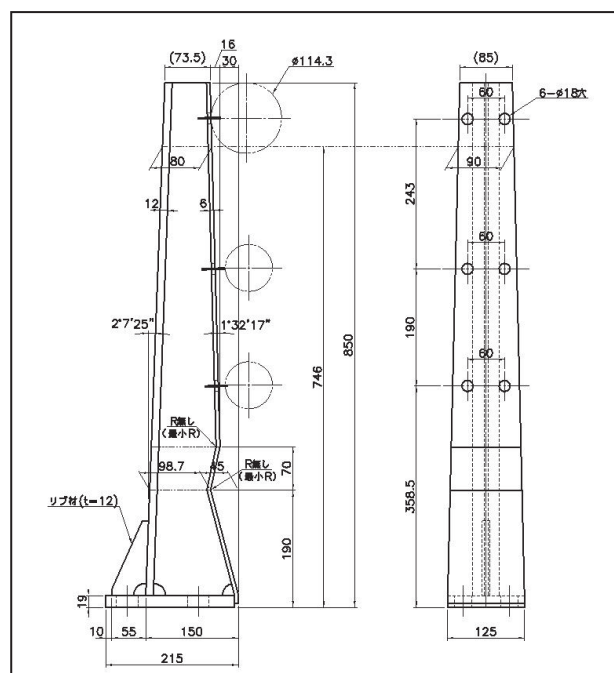


図-5 供試体(No. 4)の寸法

表-3 供試体の主要寸法と簡易試験結果

	重量 (Kg)	F幅 (mm)	前板 (mm)	くびれ (mm)	ウェブ (mm)	後板 (mm)	幅 (mm)	リブ	Pw (kN)	Pmax (kN)	備考
No.1	15.2	98.7	t9	45	t6	t9	38	なし	24.3	27.7	リブ無し
No.2	15.6	98.7	t9	45	t6	t9	38	有	23.7	32.7	リブ付き
No.3	16.8	98.7	t9	45	t6	t12	44	有	32.9	38.7	後部FB大
No.4	15.0	98.7	t6	45	t6	t12	44	有	30.4	37.7	前面t6、後部FB大
No.5	15.0	93.7	t9	40	t6	t9	44	有	23.4	31.7	フランジ幅狭い
No.6	14.8	86.0	t9	40	t6	t9	44	有	23.9	29.7	フランジ幅より狭い

部材の厚みや幅の組み合わせは、これまでの開発経験から求めたものである。なお、簡易静荷重試験では、本試験と同様の試験を行うものの、数値の読み取りを人間が目視で行うものであり、本試験よりは一般に精度が劣る。

8. 簡易試験を踏まえた改良検討

支柱の簡易静荷重試験では、まず 300mm の変形に破断無く耐えることが求められる。また Pw(支柱の極限支持力)値は 2 回の試験値の小さい方を採用するとされている。ただし、今回は予備的試験であることから 1 回の試験とした。

さらに、部材重量との関係(コストに関係)からは、必要以上に強すぎないことが求められ、これまでの開発経験から、A 種の場合で Pw が 30~36kN、B 種の場合で Pw が 25~30kN 程度となることが求められる。

簡易静荷重試験の結果は表-3 に示したとおりであり、すべてのケースにおいて支柱は破断無く変形した。また、変形形状についても前面のくびれ部分が伸張するという予想したとおりの変形特性を見せた。また、試験結果から、後板厚 12mm の No. 3 と No. 4 は A 種の強度を有すること、後板厚 9mm の No. 1 等は B 種強度を有していることを確認することができた。

さらに、試験結果を詳細にみると、前板厚の 6mm と 9mm では Pmax 値に大きな差がみられなかった(No. 3 と No. 4)。また、リブ有とリブ無しの比較(No. 1 と No. 2)、F 幅の広狭(No. 5 と No. 6)においても両者の差は小さかった。

これらの試験結果を総合的に考慮し、A 種と B 種について、本静荷重試験に向けた最終的な寸法の詰めを行い、本試験用供試体の製作を行った。本試験用供試体の図面を図-6(A 種)及び図-7(B 種)に、各部位の諸元を表-4 に示す。

前板厚の比較及びリブ有とリブ無しの比較結果から、A 種 B 種ともに前板厚は 6mm、リブ無しとした。また部材の共通化を図る観点から、後板幅をともに 44mm とした。その他の寸法については、図面化を図る段階でバランスを考慮して決定した。

なお、後板幅は従来の製品よりも小さくなっているが、ベースプレートについては従来のものと B 種で同一の大

きさ、A 種では従来のものより大きくし、また板厚については同じ厚さとしている。後板が受ける圧縮荷重はベースプレートが受け持つことから、地覆コンクリートへの影響は従来のものと同様である。

表-4 本試験用の供試体の主要寸法

種別	NO.	重量 (Kg)	F幅 (mm)	前板厚 (mm)	くびれ (mm)	ウェブ厚 (mm)	後板厚 (mm)	後板幅 (mm)	リブ
A 種	No.1	14.02	93.0	t6	43.0	t6	t12	44.0	無
	No.2	14.00							
B 種	No.1	13.14	83.0	t6	43.0	t6	t9	44.0	無
	No.2	13.14							

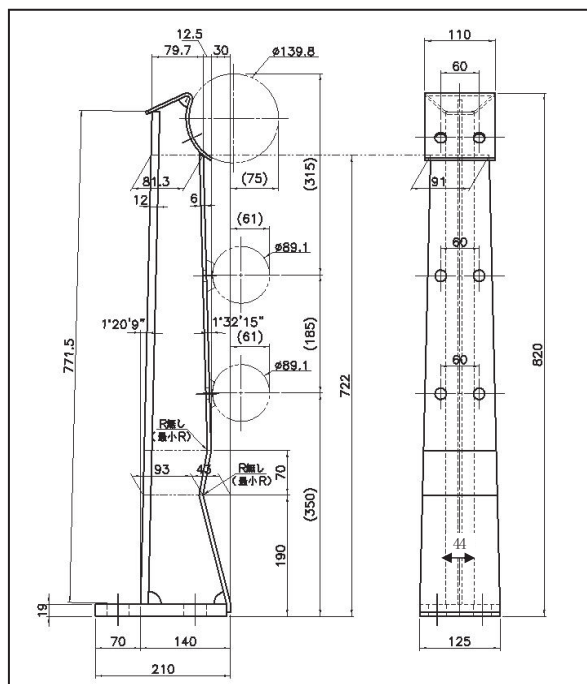


図-6 本試験用の供試体(A種)の寸法

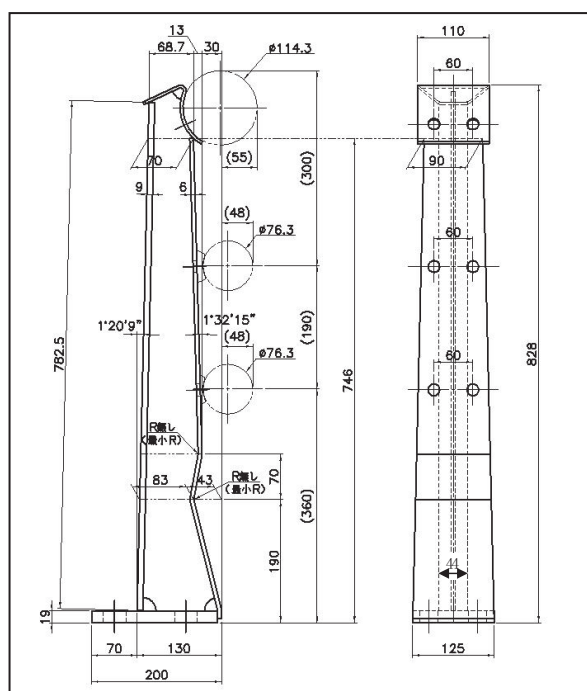


図-7 本試験用の供試体(B種)の寸法

9. 支柱の静荷重試験による機能の確認

静荷重試験の結果は表-5、図-8 に示すとおりであり、性能基準を満足することができた。公式な値は、A種B種で各2回実施した静的試験のうち、値が低いPmax値(支柱の最大支持力)を採用することとなっている。すなわち、A種はPmax33.2kN、B種はPmax28.0kNとなる。

表-5 静荷重試験結果

		Pw(kN)	Pmax(kN)	判定結果
A種	試験No.1	29.8	33.2	合格
	試験No.2	30.1	33.7	合格
B種	試験No.1	26.0	28.0	合格
	試験No.2	26.6	28.6	合格

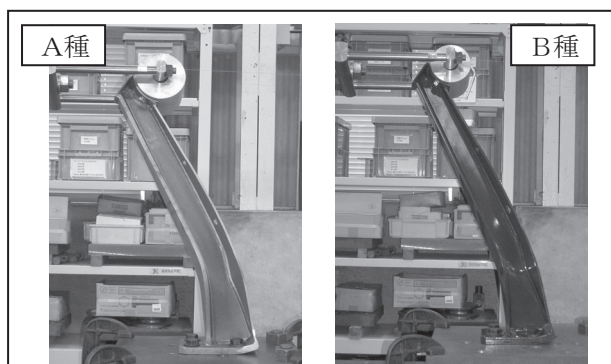


図-8 供試体(A種左側、B種左側)の静荷重試験の状況

10. 防護柵性能の照査

車両用橋梁用防護柵は、支柱と横梁が静荷重試験に合格し、さらに支柱の極限支持力(Pw)と横梁の極限曲げモーメントの合計(Mo)の組み合わせ強度が防護柵の設置基準で定める部材選定域内にあることが求められる。

今回開発したA種防護柵は、Pw29.8kNとMo61.0kN・mの組み合わせであり、部材選定域に存在することが確認されたため、部材性能の照査に合格することができた。またB種防護柵についても、Pw26.0kNとMo34.7kN・mの組み合わせであり、同様に部材選定域内におさまっていることから、部材性能の照査に合格することができた。

(図-9)

11. 下段横梁の高さ調整

主要横梁と2本の下段横梁の高さのバランスは、防護柵の印象を左右する。そこで、スタディ模型を用いて、下段横梁の配置高さの最終的な調整を行った(図-10)。その結果、2本の下段横梁が一つの群として見えることを基本とし、地覆から下段横梁の中心までの高さをそれ

ぞれ、A種 350mm、535(350+185)mm、B種 360mm、550(360+190)mmとした(図-11)。

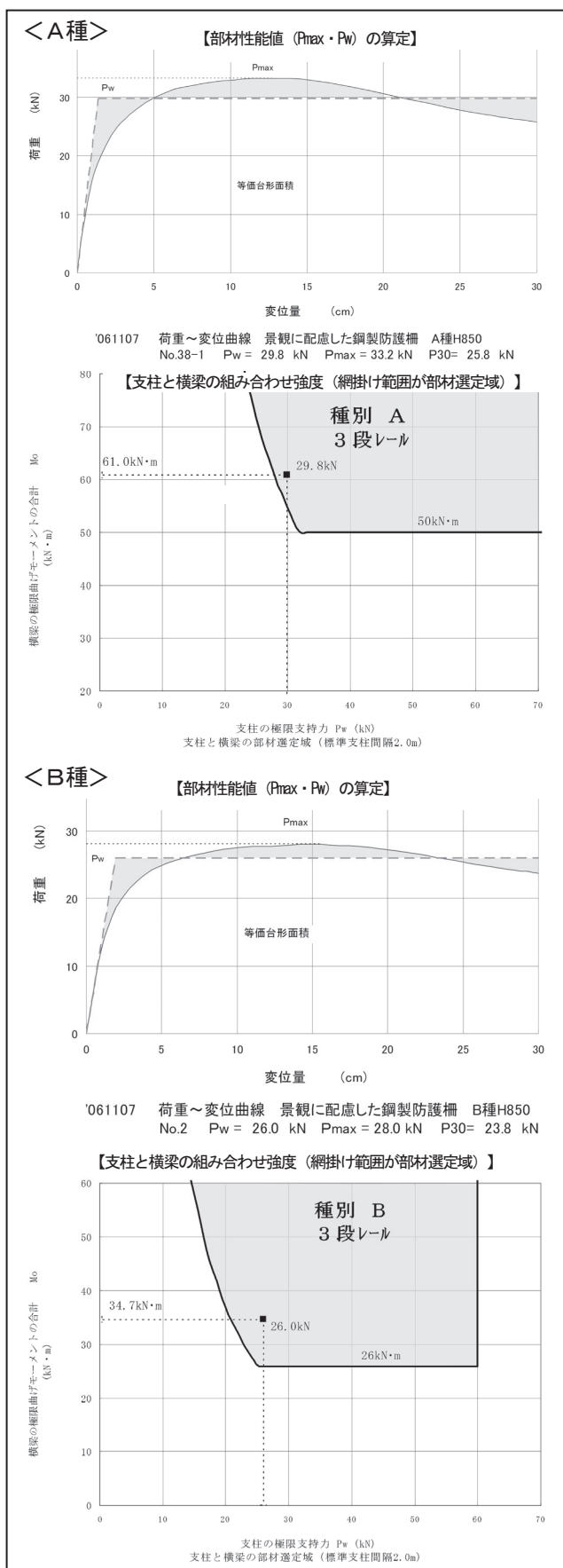


図-9 防護柵性能の照査

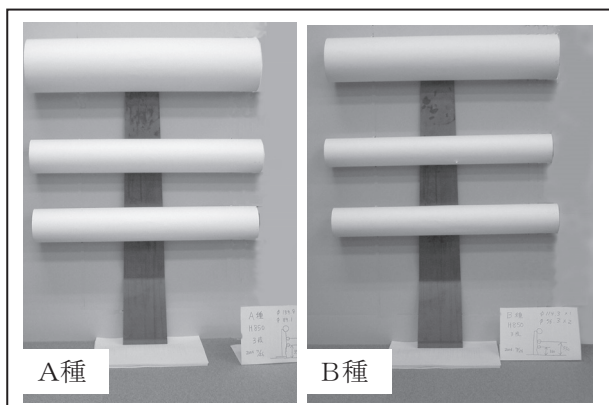


図-10 模型を用いた下段横梁高さの検討

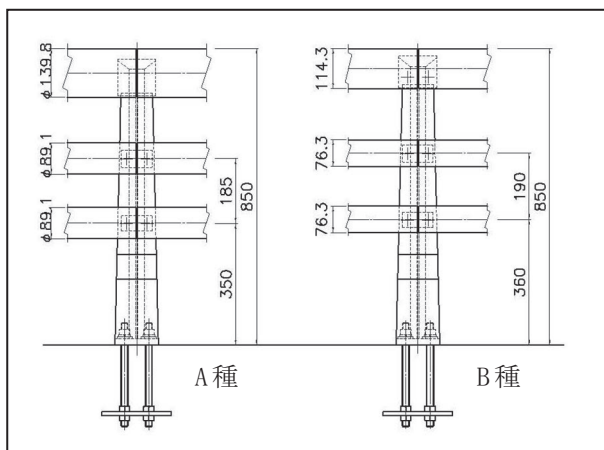


図-11 下段横梁の高さ(最終決定案)

1 2. 色彩およびディテールの検討

(1) 色彩について

支柱・横梁の色彩は、前述のガイドラインにおいて、「鋼製防護柵において基本とする色彩」として示された、ダークブラウン、グレーベージュ、ダークグレーの3色を標準色とした。但しガイドラインにあるように、景観計画等に基づいて発注者がこれ以外の色彩を求めてきた場合にはそれを拒むものではない。また、支柱と横梁を締結するためのボルト、支柱とアンカーを締結するためのボルトについては、ボルトが目立たないように、設置する支柱・横梁と同色の塗装を行うこととした。

(2) 支柱と横梁の締結について

下段レールを2本使用する場合は下段横梁前面を車道面に対し揃えなければならないが、支柱の前面が傾斜しているため、アルミニウム押出形材で上用と下用の2種の台座を製作し、下段横梁締結部に挿入することにより解決した(図-12)。

また、支柱と横梁とを締結するためのボルトについては、歩行者の安全性等を考慮し、丸頭の六角ボルト(図-13)を使用することとした。



図-12 支柱と横梁の締結のための台座



図-13 歩行者の安全性に配慮した丸頭の六角ボルト

(3) 支柱の上部デザインについて

支柱の上部は主要横梁との納まりを整えるため、台形のパーツを取付、歩道から見ても裏面であることを強調させないようにした。(図-14)。

(4) 支柱とアンカーの締結方法について

支柱とアンカーの締結方法については、歩行者の安全性の確保等の観点から、高ナット(長ナット)を地覆に埋め込み、ベースプレートの上からボルト締め(六角ボルト)を行う方法を採用することとした(図-15)。

(5) ベースプレートについて

歩車道境界に設置する防護柵のベースプレートは、歩行者の安全性を考慮して角部の面取り(15mm×15mm)を行うこととした(図-15)。



図-14 支柱上部デザイン

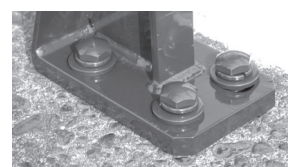


図-15 支柱とアンカーの締結方法と、ベースプレート角部の面取り

1 3. 開発製品の評価と技術的考察

今回開発を行った製品と従来製品との側面比較を図-16に示す。4つの開発方針と照らし合わせれば、a. 景観的に優れ、b. 従来品と同程度の価格の、c. 一般鋼材に適した加工性を持つ標準品を実現化することができた(部材重量の低減、プレス工数の削減)(表-6)。

そして、d. 従来に無い変形特性という点においても、当初目標としたことが実現できた。この点を詳述とすると、防護柵の強度は支柱の極限支持力(Pw)と横梁の極限曲げモーメント合計(Mb)の組み合わせにより決定される

が、定着部や床版への荷重は支柱静荷重試験の最大支持力(P_{max})が作用する。このため、 P_w が同じ支柱においても、 P_{max} が大きいと定着部や床版への負担が大きくなる。また、支柱静荷重試験の30cm変形時の荷重 P_{30} (30cm変形時の支柱支持力)は P_w に比べ差が大きいと強度低下が大きいと判断できる。従って、支柱の性能としては、 P_w に比較して P_{max} と P_{30} の差が小さいことが望ましい。

図-17 に従来型と新型(開発製品)の荷重変位曲線を示す。従来の局部座屈タイプの例では、荷重が P_{max} を超えた後、局部座屈をおこし急激に支持力が低下するため、 P_w の値を必要量確保するには P_{max} の値を上げる必要がある。そのため、定着部への付加が大きくアンカーを大きくする必要が生じる。また、全体変形タイプの例では、その点が改善されているが、まだ P_{max} と P_w の差が大きい

これに対して、今回の開発製品は前板各部の引張変形に加えて、くびれ上部が直線状に伸ばされることで、支柱本体の傾倒に必要な前板の変形量が確保され、その結果、十分な量の衝突エネルギーを吸収できるため、前板厚を薄肉にしても、前板が破断させずに、支柱本体を従来のものと同等以上傾倒させることが可能となった(図-18)。

なお、橋梁用防護柵は地覆上部に設置されること、下段横梁でも車両誘導を保証することから、このような変形形状においても安全性には問題ないものと判断した。

表-6 重量比較

		局部座屈 タイプ	全体変形 タイプ	開発製品
種別	製品 kg/m	49.6	47.4	46.8
A	支柱 kg/本	18.4	15.0	13.6
種別	製品 kg/m	36.9	36.3	35.8
B	支柱 kg/本	15.4	14.2	12.5

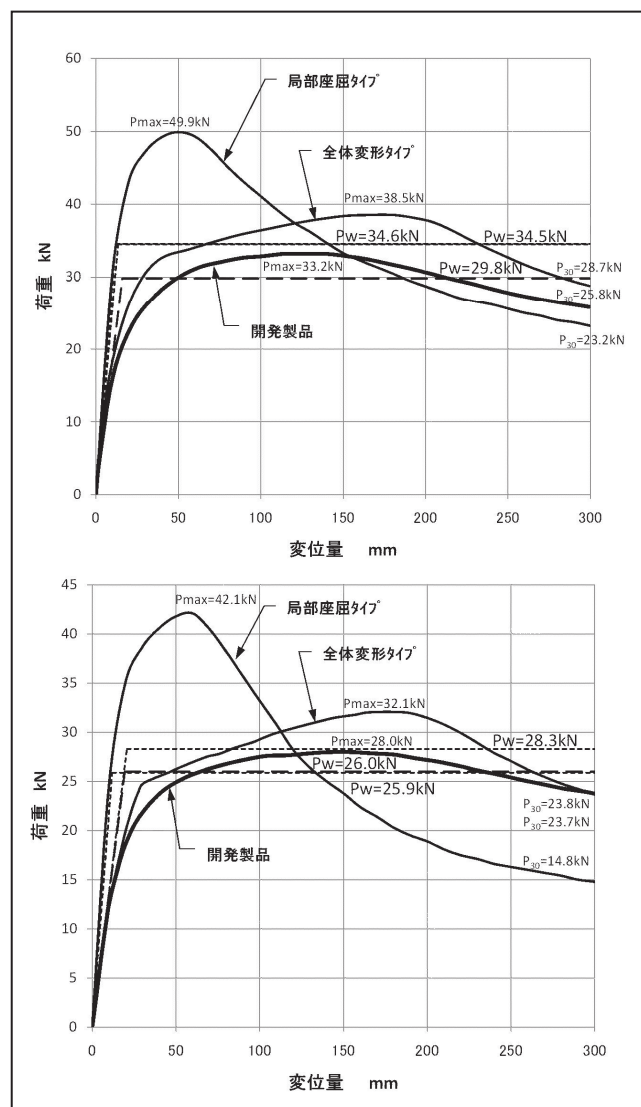


図-17 変形特性比較(上段A種, 下段B種)

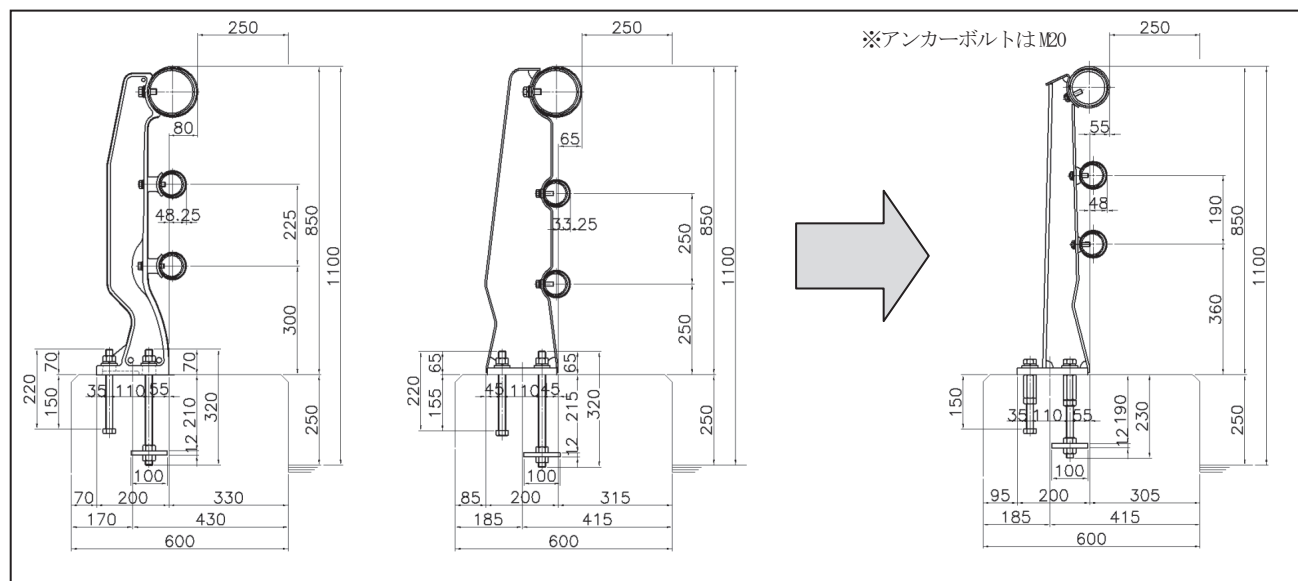


図-16 従来型防護柵(左側2点)と新型防護柵(右)との側面比較(種別:B種)

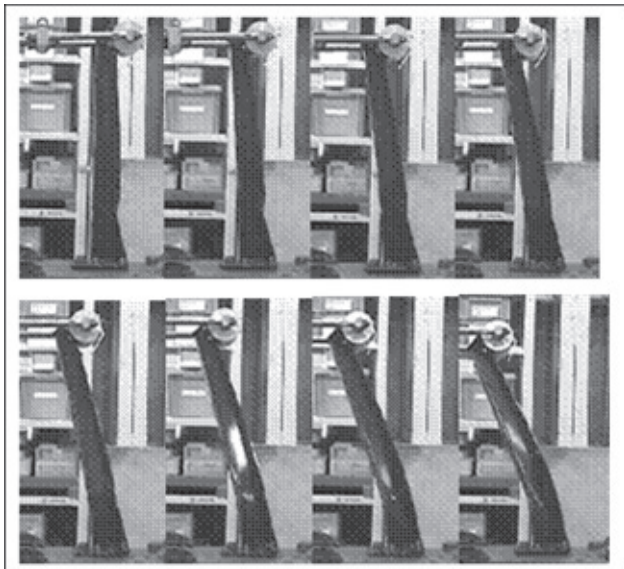


図-18 荷重試験における支柱の変形状態

表-7 に従来型と新型（開発製品）の強度比較を示す。定着部への負担の大きさを示す P_{max}/P_w は種別 A においては、144.2%→111.4%，種別 B においては、162.5%→107.7%と新型（開発製品）は大幅に改善されている。また、30cm 変形時の支持力の低下を示す P_{30}/P_w は種別 A においては、67.1%→86.6%，種別 B においては、57.1%→91.5%と新型（開発製品）は向上している。

表-7 強度比較

		局部座屈タイプ		全体変形タイプ		開発製品	
種別 A	P_w	34.6		34.5		29.8	
	P_{max}	49.9	144.2%	38.5	111.6%	33.2	111.4%
	P_{30}	23.2	67.1%	28.7	83.2%	25.8	86.6%
種別 B	P_w	25.9		28.3		26	
	P_{max}	42.1	162.5%	32.1	113.4%	28	107.7%
	P_{30}	14.8	57.1%	23.7	83.7%	23.8	91.5%

デザイン方針との照合においても、景観的に優れた標準品のために a. 支柱形状を細くすることでスリムな印

象を実現し、b. 支柱上部のデザインにより、歩道側から見た場合にも裏面と感ぜさせない形状とした。そして、c. 支柱の表情を豊かにする形状（くびれ）の導入することで、支柱前板の伸張性能を高め、新たな変形特性を持たせることができた。また、d. 横梁は市販品から流通性のある可能な限り細い材料を選定した。

低コスト化のために、e. 部材性能の検証された一般鋼材の丸鋼管を採用し、f. 支柱は下段横梁の受け部の加工を無くし、シンプルな形態とし、g. 構造上必要な最小限の支柱寸法を静荷重試験にて確認した。

デザイン的にも技術的にも諸機能を満足できたことは、橋梁用車両防護柵設計における技術的なブレークスルーとなった(図-19)。



図-19 製品プロトタイプ

参考文献

- 1) 国土交通省道路局地方道・環境課監修：景観に配慮した防護柵の整備ガイドライン案，2004
- 2) 伊藤登，天野光一，横山公一，山口智，柴田康博：鋼製車両用橋梁用防護柵のデザインと開発，土木学会 景観・デザイン研究論文集，NO.1，pp.7-13，2006
- 3) （社）日本道路協会：防護柵の設置基準・同解説，2004

(2008.4.11 受付)

Development of Aesthetic Steel Barriers(Bridge Rail Type) by a New Deformation Characteristic

Noboru Itoh, Kimikazu Yokoyama and Osamu Takado

The ministry of Land, Infrastructure and Transport drew up “The guideline for aesthetic barriers” in March 2004. Scope of this paper is the development of the aesthetic steel barriers (Bridge Rail Type) based on the guideline. The main features of this development is summarized as follows; 1) developed barriers which have new deformation characteristic, 2) developed standardized aesthetic barriers which are light weight and low price, 3) developed barriers which is suitable for steel and easy to make it.