

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 (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: yokoyama@pn-planet. co. 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

本報告は、「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。本開発は、一般鋼材の加工性を考慮しつつ、これまでにない新たな変形特性を有する車両用防護柵を、軽快で美しい印象を有する低廉な価格の標準製品として生み出すことを目指したものである。本製品が標準品として各所に整備されることの道路景観に対する好影響は小さくはないと考える。

キーワード : 景観, 防護柵, デザイン.

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案」(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、デザイン的に質の高い標準品の防護柵の開発が求めらることとなった。

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。以前筆者らが関わった開発においては、鋳物製と一般鋼材製を同一の形状としたために、細い形状ゆえの溶接における製作上の課題を若干残した。本報告は、ガイドラインに沿った新たな鋼製橋梁用車両防護柵の開発の経緯についてとりまとめたものであり、一般鋼材の特徴を活かした改良型のデザインに位置づけられる。

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

2. 景観に配慮した既存橋梁用防護柵の特徴

3. 従来型防護柵の変形特性とその力学的特性

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。ひとつは、前板フランジと後板フランジを同幅とし、側面形状において狭い部分を設け、その部分に応力集中を起こさせ、後板フランジ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、下段横梁受け部を前面フランジに設けウェブに食い込ませており、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、側面幅が大きく必要となっている。このタイプを本稿では、局部座屈タイプと呼ぶ。



図-2 局部座屈タイプの防護柵の変形例

もうひとつは、側面形状の狭い部分を無くしウェブの局部座屈ではなく、後板フランジ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てものである。このタイプは、前板フランジ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、前板フランジ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。

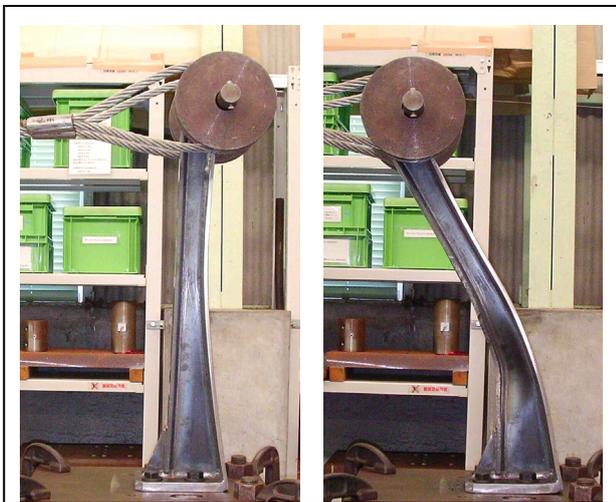


図-3 全体変形タイプの防護柵の変形例

4. 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をとりと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	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	以下		

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

5. 開発方針とデザイン方針

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を受けて、以下の3つの開発方針を筆者らに示した。

- 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
- 従来に無い変形特性を有すること

この4つの開発方針を受け、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]

- ①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。
- ②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。
- ③従来に無い変形特性を支柱の形態が有する表情の豊かさで具現化する。
- ④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]

- ⑤横梁は標準品(一般鋼材の丸鋼管で、防護柵部材としての検証は既に済んでいるもの)を使用し、支柱形状により他製品との差別化を図る。

主要横梁(最上段のビーム)：

A種：φ139.8mm, t=6.0mm B種：φ114.3mm, t=4.5mm

下段横梁(中・下段のビーム)：

A種：φ89.1mm, t=2.8mm B種：φ76.3mm, t2.8mm

- ⑥支柱は加工手間が少ない，シンプルな形態とする。
- ⑦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。

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，スタディ模型を作成した。基本デザイン案が有する形態的特徴は，以下のとおりである。

- 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。

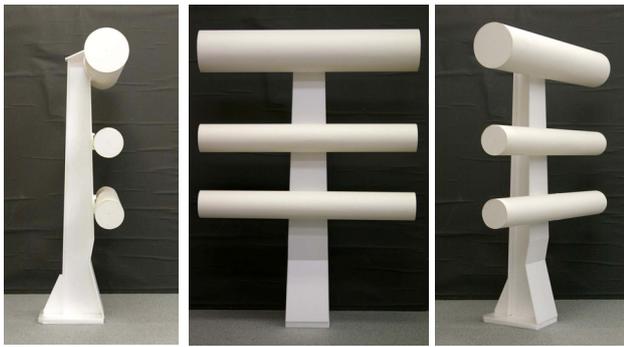


図-4 基本デザイン案

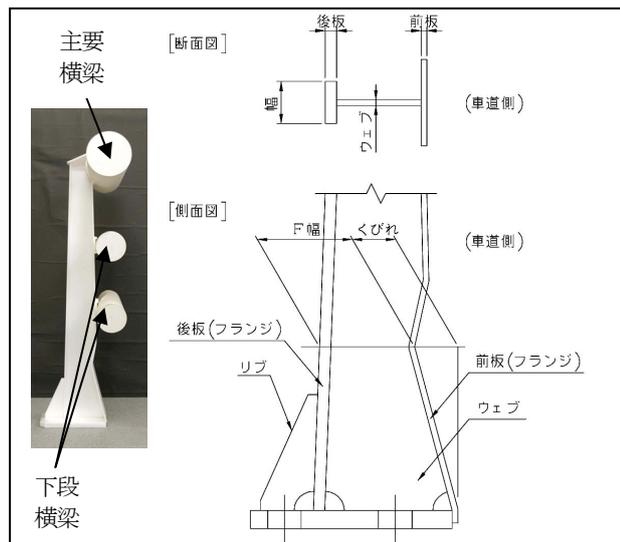


図-5 各部位の名称

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。表-2には各供試体(No.1~6)の主要寸法を，図-6には，No.4の供試体一般図を示した。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。

表-2 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	Pmax	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

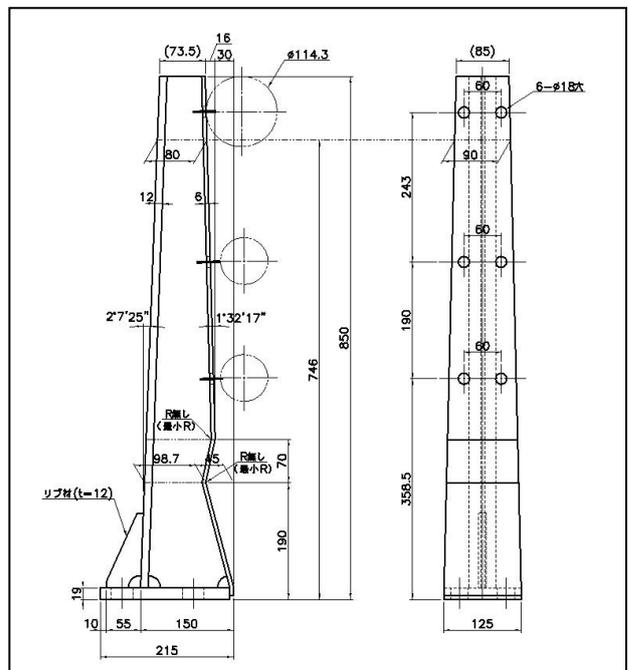


図-6 供試体(No.4)の寸法

8. 簡易試験を踏まえた改良検討

簡易静荷重試験の結果を表-2に示す。支柱の静荷重試験では，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30~36，B種の場合で25~30程度となることが求められる。

表-2に示したように、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、前板厚の6mm、後板厚12mmのNo.3とNo.4強度を有すること、前板厚の6mm、後板厚9mmのNo.1等はB種強度を有していることが確認することができた。

しかし、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)、フランジ幅の広狭(No.1とNo.2)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-7(A種)及び図-8(B種)に、各部位の諸元を表-3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、後ろ板幅をともに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。

表-3 本試験用の供試体の主要寸法

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

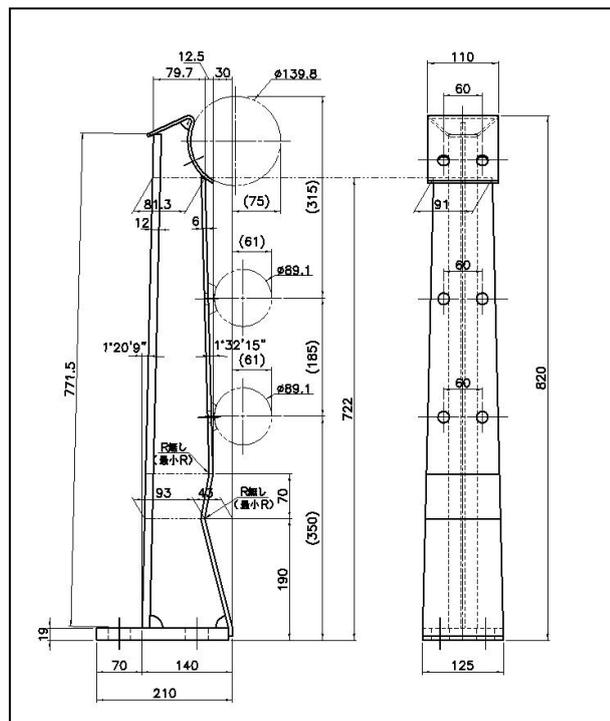


図-7 本試験用の供試体(A種)の寸法

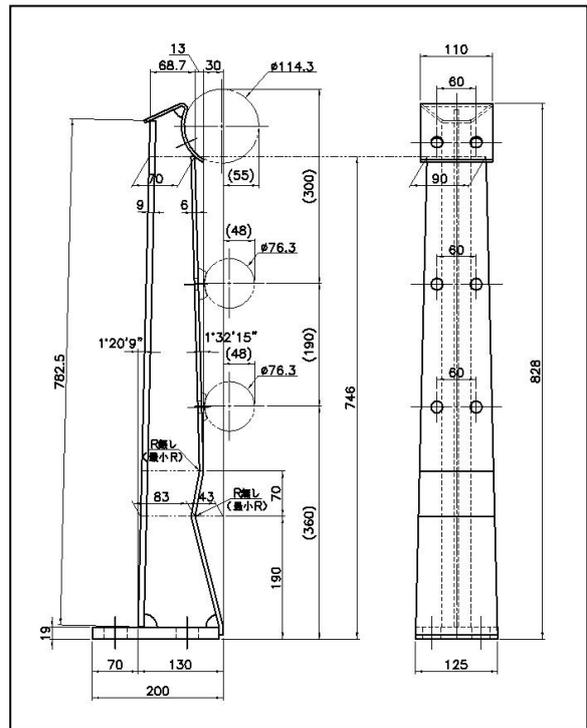


図-8 本試験用の供試体(B種)の寸法

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-4、図-9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Pw値を採用することとなっている。すなわち、A種はPw33.2、B種はPw28.0となる。

表-4 静荷重試験結果

		Pmax(kN)	Pw(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-9 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、支柱と横梁が静的試験に合格し、さらに支柱の極限支持力(P_w)と横梁の極限曲げモーメント合計(M_o)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、 P_w 29.8kNと M_o 61.0kN・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、 P_w 26.0kNと M_o 34.7kN・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-10 参照)

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-11)。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-12 参照)。

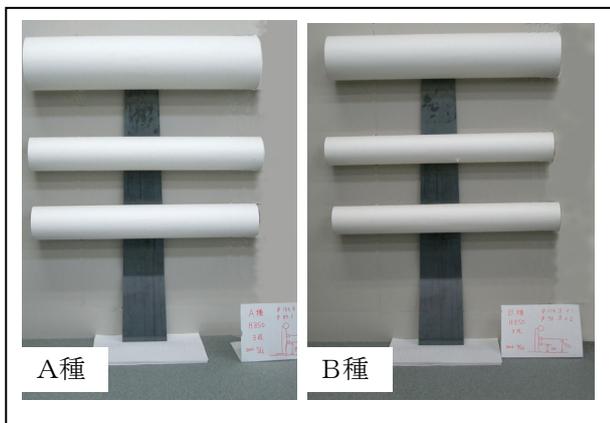


図-11 模型を用いた下段横梁高さの検討

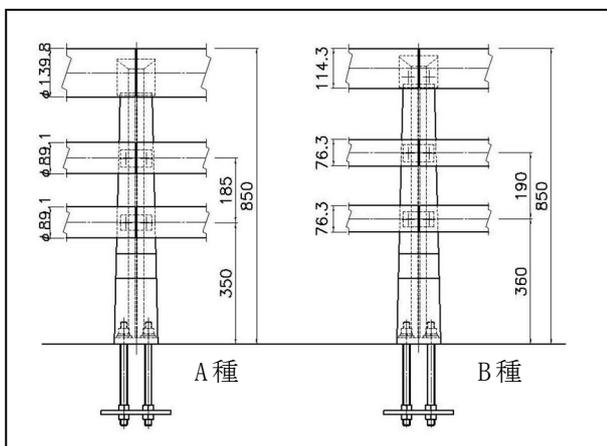


図-12 下段横梁の高さ(最終決定案)

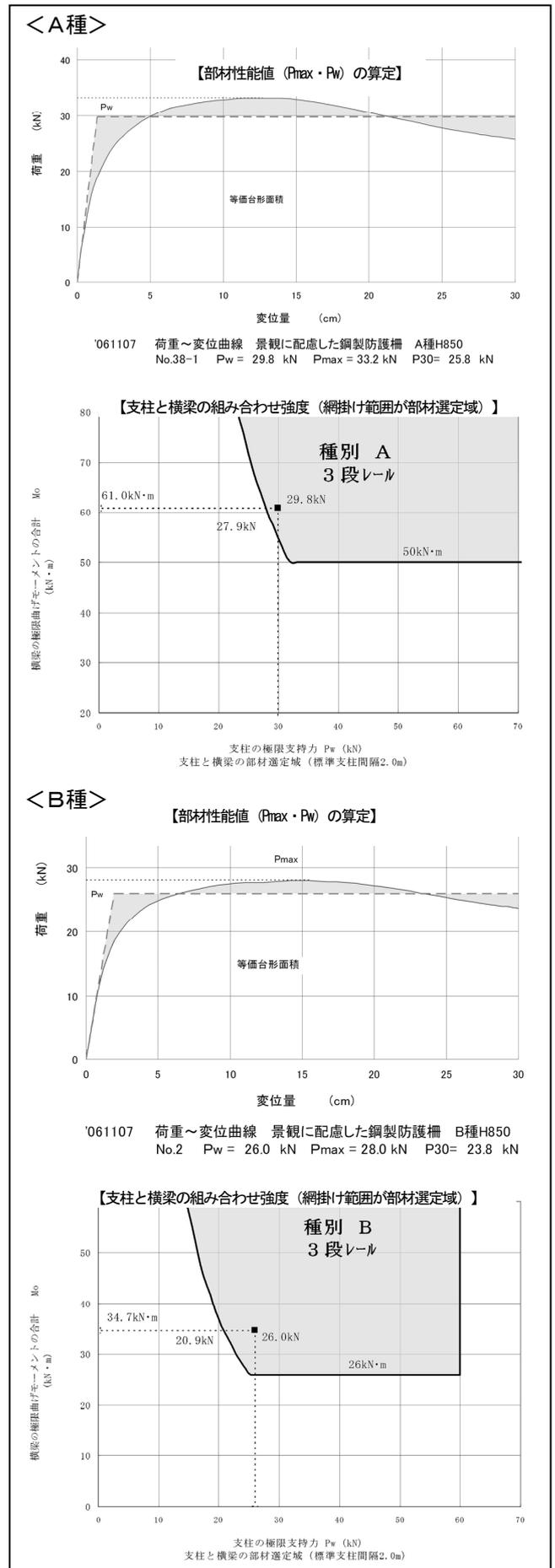


図-10 防護柵性能の照査

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、支柱の前面フランジ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-13 参照)。

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-14 参照)を使用することとした。



図-14 歩行者の安全性に配慮した丸頭の六角ボルト



図-13 支柱と横梁の締結ための台座

(3) 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 参照)。



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

(4) 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 参照)。

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、1. 景観的に優れ、2. 従来品と同程度の価格の、3. 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, 加工工数の削減)(表-5 参照)。

表-5 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

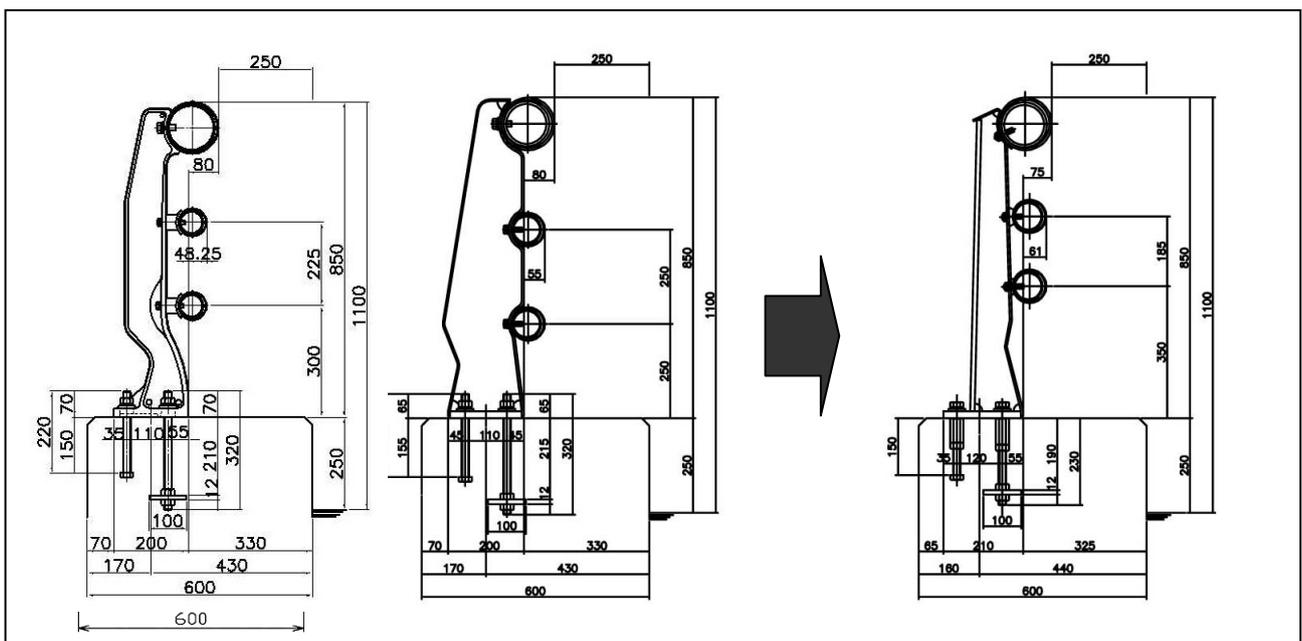


図-16 従来型防護柵(左側2点)と新型防護柵(右)との側面比較(種別:B種)

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(P_w)と横梁の極限曲げモーメント合計(M_0)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。

旧来の局部座屈タイプの例では、座屈後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ためには 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(表-6、図-17参照)。

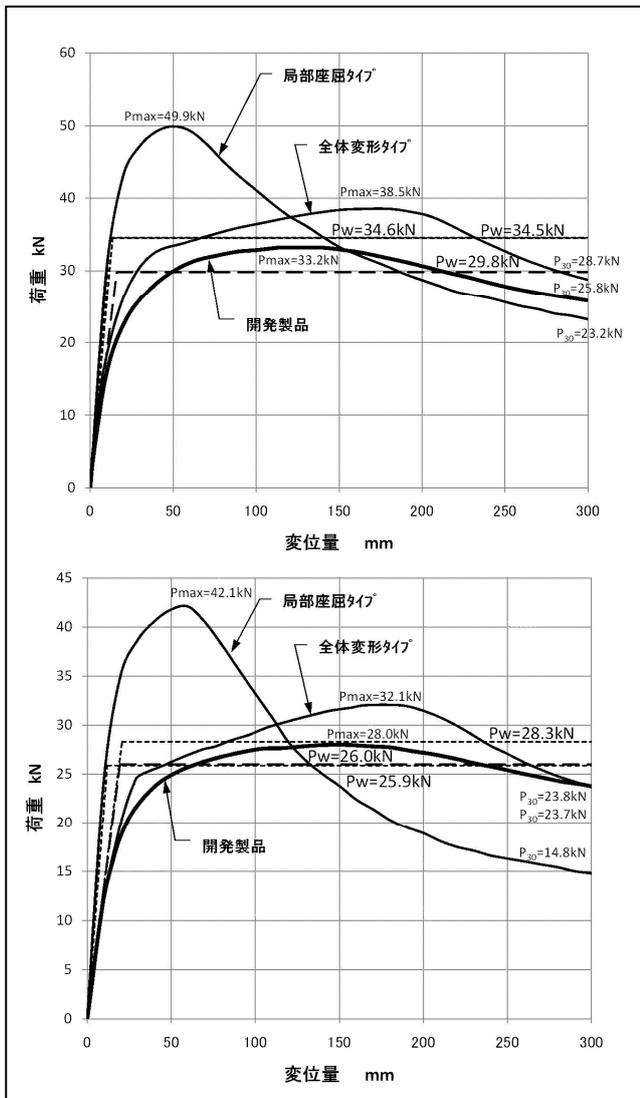


図-17 変形特性比較(上段A種, 下段B種)

表-6 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%
	P_{30}	23.2	67.1%	28.7	83.2%
種別 B	P_w	25.9	28.3	26	
	P_{max}	42.1	162.5%	32.1	113.4%
	P_{30}	14.8	57.1%	23.7	83.7%

これに対して、今回の開発製品は前板フランジ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(図-18参照)、支柱本体の傾倒に必要な前面フランジの変形量が確保され、その結果、充分量の衝突エネルギーを吸収できるため、前板フランジを薄肉にしても、前板フランジが破断させずに、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-17参照)。



図-18 荷重試験における支柱の変形状態

デザイン方針との照合においても、支柱形状を細くすることでスリムな印象を実現し、ボルトをはじめとするディテールに配慮することなどで歩行者が触れても支障のない形状とすることができた。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-19参照)。



図-19 製品プロトタイプ

参考文献

- 1) (社)日本道路協会: 防護柵の設置基準・同解説, 2004
- 2) 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
- 3) 伊藤, 天野他, 鋼製車両用橋梁用防護柵のデザインと開発, 景観・デザイン研究論文集, (社)土木学会, 2006