アルミニウム合金製橋梁用ビーム型防護柵のデザインと開発

伊藤　登[1]・天野　光一[2]・三上　聰[3]・横山　公一[4]・高堂　治[5]

[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　工博　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: amano@trpt.cst.nihon-u.ac.jp
[3]非会員　工修　（株）住軽日軽エンジニアリング（〒136-0071 東京都江東区亀戸２丁目35-13）
E-mail: satoshi-mikami@sne.co.jp
[4]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
[5]非会員　工修　（株）住軽日軽エンジニアリング（〒136-0071 東京都江東区亀戸２丁目35-13）
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（2004年3月）」を受けて行ったアルミニウム合金製橋梁用ビーム型防護柵の開発経緯を記述したものである．本開発は，アルミニウム合金の特長を活かした軽快な形態を目指すのみならず，当然のことではあるが防護柵としての機能を満足し，かつ低コスト化も強く意識したところに特徴がある．その結果，本開発で出来上がった防護柵は，（社）日本アルミニウム協会の標準品として採用されることとなった．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．

Key Words : *landscape, barrier, design*

１．はじめに

道路整備においては，走行時に眺められる周辺景観への眺望（内部景観）や，道路外から眺めた場合の周辺景観とのおさまり（外部景観）に対しての景観的な配慮が重要となる．このような背景から，国土交通省では，平成 16 年３月に「景観に配慮した防護柵の整備ガイドライン」[1] を発行するとともに，「防護柵の設置基準」[2] (以降，基準と呼ぶ)を改定し，これまで原則「白色」としていた色彩から地域にふさわしい色あるいは推奨色３色と改めた．さらに平成 16 年 12 月には景観法が施行され，平成 17 年４月には道路デザイン指針（案）が出され，道路デザインの方向性が示されるに至った．このような状況の中，（社）日本アルミニウム協会は上記ガイドラインに基づいたアルミニウム合金製の新たな標準品の橋梁用ビーム型防護柵の開発を企画した．開発にあたっては，協会の土木製品開発委員会の構成会社が中心となり，そのデザイン，性能検証メンバーとして筆者らが参画した．本報告は，その経緯についてとりまとめたものである．

２．景観に配慮した既存の防護柵開発研究等との関係

筆者らの一部は交通安全機能を補償しつつも景観として問題無しとはいえない防護柵に着目し一貫して場所特定型の特注品開発ではなく標準品としての開発を行い，開発に関わる研究として世に問うてきている．防護柵の開発と景観に関する論文は口頭発表の道路会議等で若干見られるものの，ほとんど存在していないといってよい．筆者らが取り組んだ開発についてその経緯と関係について解説する．まず第１が建設省東北地方建設局(当事)が主体となって開発した路側型（土中用）の鋼製ビーム型防護柵であり，「景観に配慮した車両用ガードパイプの開発」[3]（構造工学論文集 Vol.50A，2004，（社）土木学会）として発表している．その後「景観に配慮した防護柵の整備ガイドライン」（2004）に関わるが，先行した防護柵の存在とこのガイドラインの影響もあり，鉄を素材とした防護柵開発の研究としては，橋梁用に限定した防護柵として，「鋼製車両用橋梁用防護柵のデザインと開発」[4]（景観・デザイン研究論文集，No.1，2006，（社）土木学会），「新たな変形特性による鋼製橋梁用

車両防護柵の開発」[5]（景観・デザイン研究論文集，No.5，2009，（社）土木学会）として発表している．鉄を素材としている３種の開発は基礎の条件の相違（地盤上と構造物上），鉄素材の変形特性の考慮の相違（鋳鉄鋼鉄を統合した場合と鋼鉄に限定した場合）があるため開発の基本的目標が相似していても結果として異なる形態となっている．本報で報告するアルミニウム合金製橋梁用ビーム型防護柵の開発は，開発時期としては，路側用[3]の開発の後，橋梁用[4),5]の開発に先行して行われた開発であるが，他の３つの開発とは素材がアルミニウム合金であることから，素材の材料特性が大きく相違するため，これまでにないデザイン検討であるといえる．

３．既存アルミニウム製防護柵の景観的課題

既存の標準品のアルミニウム合金製の橋梁用ビーム型防護柵は，丸ビームと角ビームの２つのタイプに大別される(**図-1**)．これらは，いずれも防護柵としての機能を第一に考えた形態であり，**表-1** に示すような多くの景観的課題を有している．

表-1　既存の橋梁用ビーム型防護柵の景観的課題

［丸ビーム(横梁)型・角ビーム(横梁)型共通］
- 歩行者側が防護柵の裏面である印象が強い
- ビーム接合部が煩雑な印象となる
- ボルト・ナット類が露出し，不快感があり，安全上も好ましくない
- 全体に武骨な印象である

［丸ビーム(横梁)型］
- 鋳物製のＨ断面支柱は，その縁辺部が図として浮かびあがり，より煩雑な形に見える
- 鋳物支柱にみられる座屈形状は歩行者に理解しにくい形態である(図-1○箇所)

［角ビーム(横梁)型］
- 角ばった形状の防護柵は，歩行者に馴染みにくい印象を与える
- 上段レールと下段レールとの大きさのバランスが悪い



図-1　既存丸ビーム防護柵（左）と既存角ビーム防護柵（右）

４．開発対象とその設計条件

今回開発対象とした防護柵は，Ｂ種の橋梁用ビーム型防護柵であり，２本ビームタイプ（H=750mm）と３本ビームタイプ（H=850mm）の２つのタイプである．

基準では，橋梁用防護柵の構成と諸元を定め，更に支柱と横梁の強度の関係性を示している．構成については，①防護柵は支柱と横梁を強度部材とすること，②横梁は１本の主要横梁と１本以上の下段横梁で構成すること，③横梁は丸型，角型あるいはこれに類する形状を有し，閉断面であることを求めている(**図-2**)．

諸元については，Ｂ種の防護柵の場合，**表-2** に示す設計諸元を満足させることが求められている．また，支柱と横梁の強度の関係性については，後述の**図-18，19** に示す太線の枠内（部材選定域）に収まることが求められる．

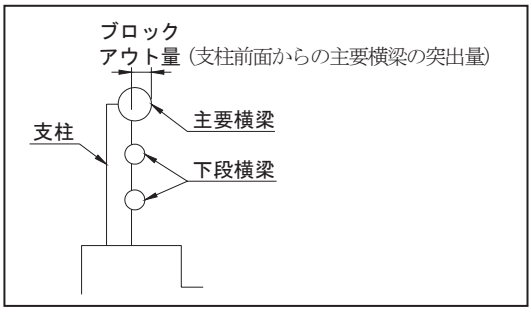


図-2　橋梁用防護柵の主要部材構成

表-2　Ｂ種防護柵に求められる設計諸元

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 1本使用時の単体	下段横梁 複数本使用時の単体		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)
B種	45以上	30以上	26以上	17以上	9以上	4.5以上	2.0以下	90以上、100以下	25以上、60以下

*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

５．開発の流れ

今回の防護柵開発の流れを**図-3** に示す．このうち，開発方針の設定は６.開発方針に，基本形状の検討及び詳細な形状の検討は７.デザイン検討，８．試作品によるデザイン確認に示した．また，部材の必要外形寸法の検討と性能を満足し得る部材厚の検討の経緯については本論では割愛しているが，最終的な性能照査結果については９．静荷重試験による性能確認に示している．

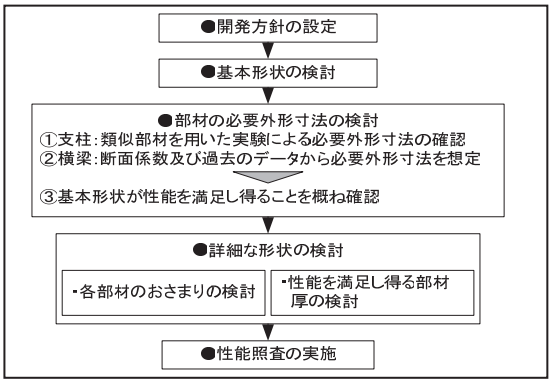


図-3　今回の防護柵開発の流れ

６．開発方針

開発にあたり，上記ガイドラインに示された景観的配慮の基本理念に基づいて，以下の開発方針を定めた．

①アルミニウムの素材特性を活かし，鋼製では実現しがたい構造，形態とする．

②道路縦断方向に連続的に設置される横梁は，車道から見た場合の視覚的連続性・円滑性が保たれると同時に全体的に柔らかな印象を与え，歩行者にも馴染みやすい曲面等で構成される形態とする．

③横梁，支柱とも，強度やコスト面，施工性についても勘案しながら，全体に軽快なバランスとなるように，部材の形状・寸法を検討する．

④歩行者の視点に立ち，歩道側から見たときにも裏面と感じさせない形態とする．

⑤ボルト・ナット類は，数を少なくする工夫をすると同時に位置や色彩などに配慮して目立たないようにし，すっきりとした印象とする．

７．デザイン検討

防護柵の構成要素は，支柱，横梁に大別され，横梁はさらに主要横梁と下段横梁に細分化される．また，橋梁用防護柵については，基準において，ブロックアウト量や横梁の高さについての寸法規定が存在する．アルミニウムの素材特性を活かした構造，形態とすることを考慮すると，可能な限りアルミニウムならではの加工方法である押出成形を採用することが肝要である．デザイン検討にあたっては，基準を遵守し，主要構成部材である支柱と横梁を押出成形部材とすることを念頭に，実物大のスタディ模型で概略検討，実素材での試作確認によって，その形状・寸法の検討を行った．

(1) 支柱

a) デザイン検討にあたっての基本的な考え方

鋼製橋梁用車両防護柵の場合，その支柱は鋳物製もしくは一般鋼材製のＨ型断面のものがほとんどである．

一方，アルミニウム合金製の従来製品は，鋳物製のＨ型断面の支柱がほとんどであり，一部に角パイプ支柱が存在する(**図-1**)．これらアルミニウム合金製の従来製品は，押出成形により自由な断面形状が実現可能というアルミニウム合金のならではの特徴が活かされていなかった．本防護柵の開発においては，押出成形というアルミニウム合金の特徴を活かし，従来の鋼製，アルミニウム合金製の橋梁用車両防護柵にはない断面形状を有する支柱をデザイン・開発することとした．

b) デザイン検討

上記の考えに基づいて，支柱の基本デザイン検討を行った．

前述したように，アルミ合金製防護柵の支柱は，複雑な形状の鋳物製と角パイプがほとんどであったが，前者は複雑な形状であるがゆえに景観的に煩雑な印象が否めない．また後者については，角ばっているがゆえに柔らかな印象を得にくい．そこで支柱の断面形状は，丸などの曲面有する形状とすることとした．

また、歩行者の視点の存在を考慮すると，支柱は細くすっきりと見える方が好ましいことは言うまでもないが，円形は実寸よりも膨張して見えやすい(**図-4**)．そこで，支柱の断面形状は，円形の柔らかな印象を活かしつつ，細くすっきり見える楕円形とすること基本とした．ただし、楕円形は，短径方向を車道に向けて設置した場合，下段横梁との接合部に大きな隙間ができ，その取り合いに難がある(**図-5 a**)．一方，長径方向を車道に向けて設置した場合，車両衝突時の強度確保の面で不利である(**図-5 b**)．そこで，支柱の断面形状としては，短径方向を車道側に向けることで車両衝突時の強度を確保しつつ，下段横梁との取り合いを考慮して，車道側面を扁平な形状とした半楕円形状（135×90mm）を採用することとした(**図-5 c**)．半楕円形状の支柱は，歩道側からはより細く見えるというデザイン上の特徴も有している．

以上を踏まえた詳細な支柱形状の決定にあたっては，さらに支柱の変形特性を考慮して断面各部の部材肉厚を設定し，支柱の重量・コストを低減をはかり，最終の断面形状を決定した(**図-6**)．

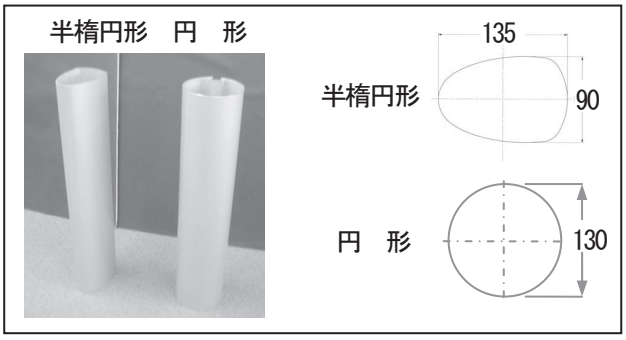


図-4　支柱形状の比較（半楕円形と円形）

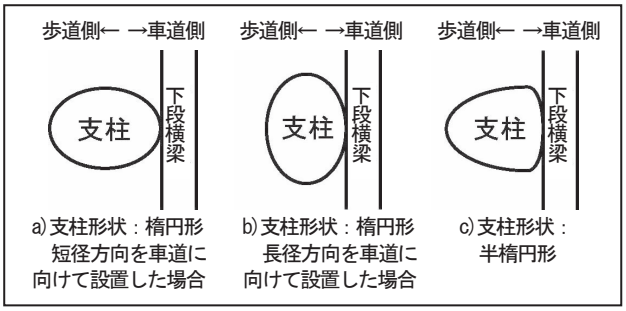


図-5　楕円形を基本とした支柱断面形状の比較検討

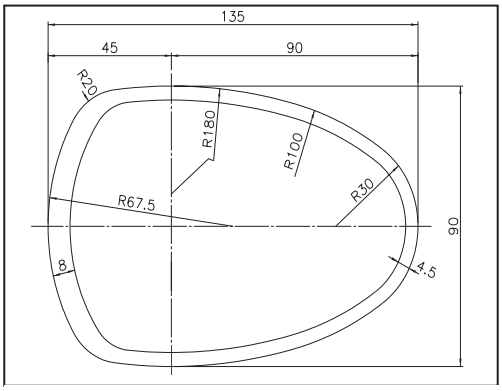


図-6　支柱のデザイン検討結果(断面図　単位はmm)

⑵ 主要横梁

a) デザイン検討にあたっての基本的な考え方

前出の開発方針の②に示した，車道から見た場合の視覚的連続性・円滑性の確保の観点から，主要横梁は支柱の車道側に横付けするのではなく，支柱頂部に上から覆いかぶさるように取り付けることを基本とした．

また同様に開発方針②を踏まえて，全体的に柔らかな印象を与え，歩行者にも馴染みやすい形状とするために，曲面形状とすることを基本とした．

また，従来のアルミニウム合金製の橋梁用車両防護柵の主要横梁は，角型形状あるいは丸型形状の場合がほとんどであり，そのサイズは丸型(B種従来製品)でΦ130mm，角型(同)では幅 165×高さ 120mmと，支柱に比べてかなり大きく感じられ，アンバランスな印象であった．このため，上記開発方針②に基づく事項に加えて，主要横梁のデザイン検討にあたっては，なるべく主要横梁が視覚的に小さく，すっきりと見えるような形状を目指すこととした．

b) デザイン検討

前述したように，主要横梁についても曲面形状を基本としたが，丸パイプは実寸よりも膨張して見えやすいことから，支柱と同様に楕円形状を基本として，スタディ模型を作製しつつデザイン検討を行った．

楕円形状は，支柱のデザイン検討においても述べたように，丸パイプよりも細くすっきりとした印象を有しており，また支柱と形状が類似しているために，支柱との視覚的な馴染みがよい．また主要横梁の機能的側面を考慮すると，主要横梁は車両衝突時に車両の衝撃を受け止め，円滑な誘導を図る機能を有する部材であることから，車両側曲面についてはなるべく曲率が大きいことが望ましい．またその一方で，歩道側については車両の直接の衝突は考えにくいことから，歩行者側からの見た際に，細くすっきりとした印象とすることが望ましい．

以上，デザイン的側面と機能的側面の両面を勘案して，主要横梁の断面形状は，楕円形を基本としつつも，車道側の曲率が大きく，歩道側の曲率がより小さい卵形（幅140×高さ85mm）を採用することとした(**図-7**)．

また横梁と後述のブラケットとを締結するボルトについては，歩行者の存在を考慮し，可能な限り目立たないほうが好ましい．そこで，押出成形加工の利点を活用し，ボルト類を収納できるスペースをその断面形状の中に取り込み，煩雑感を一掃しかつ全体としてスリムに見えるようにした(**図-7**)．

さらに主要横梁の変形特性を考慮して断面各部の部材肉厚を設定し，重量・コストを低減をはかり，最終の断面形状を決定した(**図-8**)．

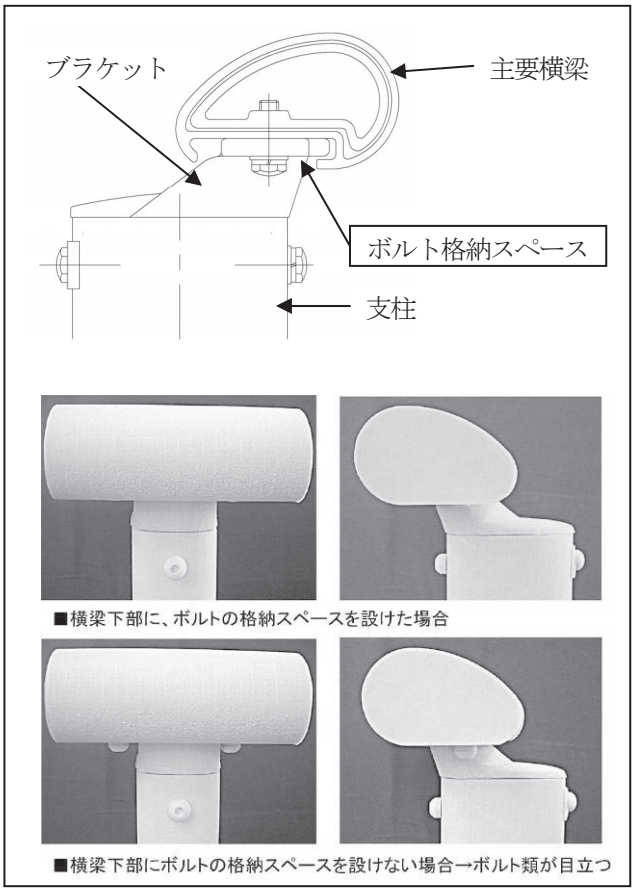


図-7　主要横梁の形状検討

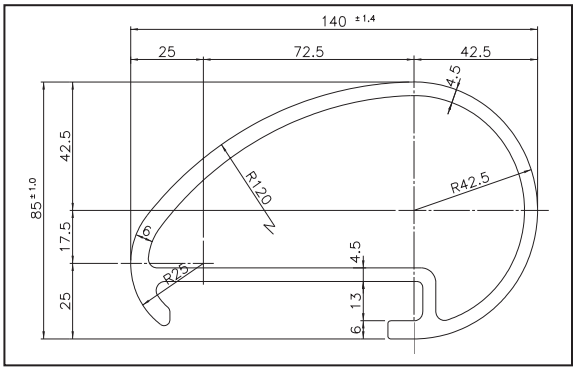


図-8　主要横梁のデザイン検討結果(断面図　単位はmm)

⑶ 下段横梁

a) デザイン検討にあたっての基本的な考え方

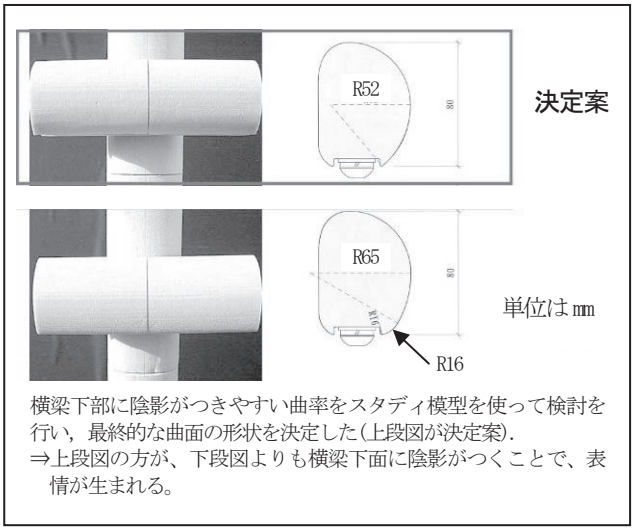
下段横梁の形状については，前述の開発方針に加えて，直接締結することとなる支柱とのデザイン的な統一性，支柱との締結のしやすさの 2 点を十分に考慮してデザイン検討を行うこととした．

b) デザイン検討

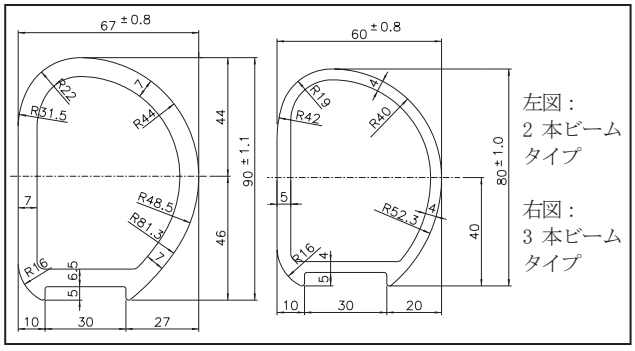
下段横梁についても，支柱，主要横梁の場合と同様に，楕円形を基本として，スタディ模型を製作しながらデザイン検討を行った．その結果，支柱との取り合いを考慮して，車道側面を直線形状とした 80×60mm（2 本ビームタイプでは，90×67mm）の半楕円形状とした（**図–10**）．

さらに，横梁自体に適度な立体感と表情を付与するために，横梁下部に陰影がつきやすい曲率をスタディ模型を使って検討を行い，最終的な曲面の形状を決定した（**図–9**）．また，主要横梁と同様に支柱との締結用のボルト類を収納できるスペースを下段横梁の断面形状の中に取り込み，煩雑感を一掃しかつ全体としてスリムに見えるようにした（**図–9**）．

さらに下段横梁の変形特性を考慮して断面各部の部材肉厚を設定し，重量・コストを低減をはかり，最終の断面形状を決定した（**図–10**）



図–9　下段横梁の形状検討（3 本ビームタイプの場合）

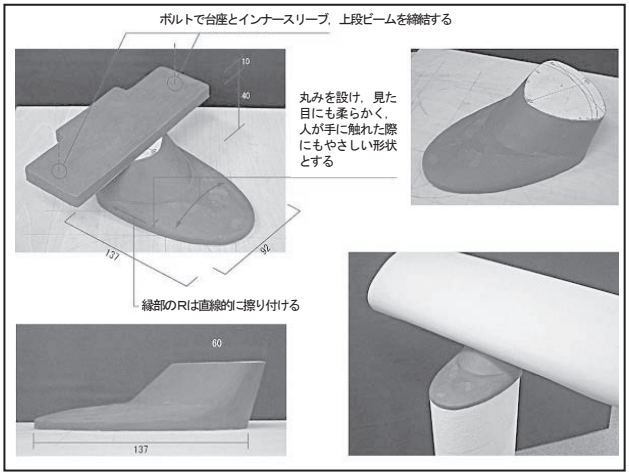


図–10　下段横梁のデザイン検討結果（断面図　単位は mm）

⑷ ブラケット

開発方針を受けて，本防護柵においては，横梁の視覚的連続性・円滑性が確保されるように主要横梁が支柱の上端部を覆う形状とした．このため主要横梁を防護柵上端部に設置するためのブラケット設置することを基本とし，そのデザイン検討を行った．

具体的には，支柱上に軽快に浮いて見える形態をスタディ模型を用いて検討し，**図–11** に示すような形状とすることとした．なおブラケットは，その形態からアルミニウム合金製鋳物を採用した．



図–11　模型によるブラケットの形状検討

⑸ バネ台座

支柱と横梁との締結はボルトを用いて行うこととなるが，ボルトの締め付けを確実にするために，スプリングワッシャー（厚み 3mm程度）が一般に用いられる．また，スプリングワッシャーを用いる際には，スプリングワッシャーが支柱表面を傷つけることを防ぐために，ワッシャー（厚み 2mm程度）も同時に使用することとなる．このため，ボルトが支柱からかなり突き出た印象（支柱表面からの突出量 12mm）となる上に，曲面の支柱と平面のワッシャーの間に隙間が生じ，雑な印象の仕上がりとなる（**図–12**）．

そこで，アルミの押出成形によって，支柱の曲率よりも若干きつい曲率の曲面を持ったバネ台座を製作することとした．これによりスプリングワッシャーを省略して，ボルトが支柱からかなり突き出た印象を低減し（突出量 9mm），さらに締結によって支柱とバネ台座をフィットさせることができるようにした（**図–12**）．

⑹ 色彩

色彩については，アルミニウム独自の陽極酸化複合塗装皮膜処理によって，先のガイドラインで示されているダークブラウン，グレーベージュ，ダークグレーの 3 色の近似色を出せるようにしたことで，アルミニウムなら

ではの高級感が感じられるようにした.

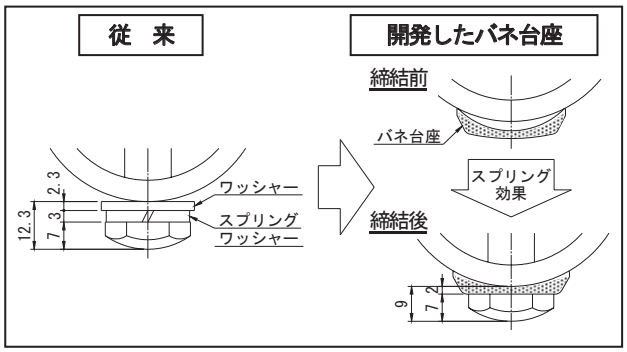


図-12　バネ台座検討図

８．試作品によるデザイン確認

実寸のスタディモデルによる検討の後，アルミニウムを用いた試作品を製作し，形状，細部のおさまり，色彩についての検証を実施し，当初のデザインコンセプトが実現できていることを確認した(**図-13,14**)．また，この段階で通常の塗装となるアルミニウム合金鋳物の色彩検討を行い，陽極酸化複合塗装皮膜処理による色彩との色の違いを確認し，同色を追求するのではなく，ブラケット部がアクセントとなる色彩を決定した(**図-14**)．

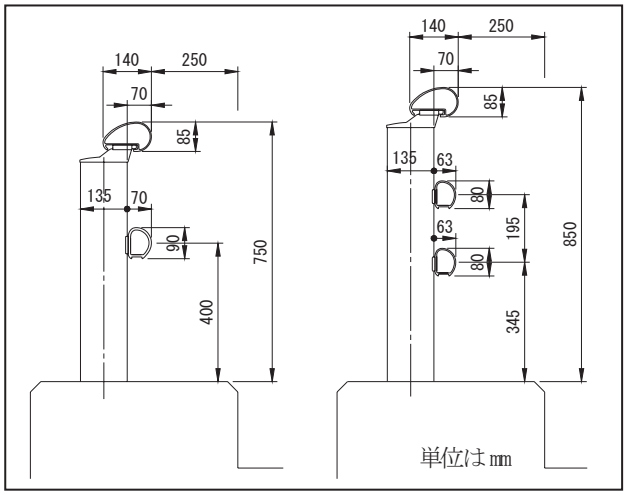


図-13　本防護柵の一般図
（左：2本ビームタイプ，右：3本ビームタイプ）

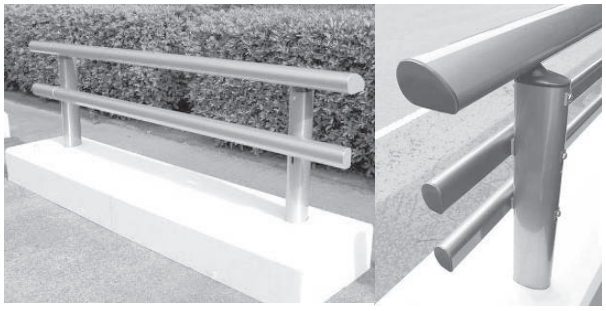


図-14　防護柵の試作品

９．静荷重試験による性能確認

橋梁用ビーム型防護柵については，「防護柵の設置基準」において，静荷重試験を行い所定の性能を満足することが求められており，そのデザインは性能照査を包含するものである.

そこで，支柱，主要横梁，下段横梁について静荷重試験を行ったところ，Ｂ種の橋梁用ビーム型防護柵に求められる性能を，全て満足する結果を得た.

試験内容，およびその結果の詳細を以降に示す.

(1)支柱

支柱(**図-6**)の静荷重試験をブラケットを取り付けた状態で２回実施した(**図-15**).

支柱の極限支持力 Pw は 2 回の実験のうち小さい値である試験結果を採用することが基準において規定されている．静荷重試験の結果，支柱の極限支持力は Pw＝24.4kN となった(**表-3**，**図-16**).

なお，使用した材質は，アルミニウム合金押出形材 A6061S-T6 である.

(2)主要横梁

横梁は，主要横梁と下段横梁について，基準によって，**表-2** に示す必要な極限曲げモーメント(Mo)が定められている．**図-6** が主要横梁の供試体断面図である.

主要横梁については，静荷重試験を２回実施し，200ｍｍの変形に耐え，Mo の小さい値を与える試験結果を採用することが基準において規定されている.

静荷重試験の結果，2 回とも主要横梁は 200mmの変形に耐え，また横梁の極限曲げモーメントは Mo＝26.3（kN・m）となったことから，基準を満足した(**表-4**, **図-17**)．なお，使用した材質は，支柱と同じである.

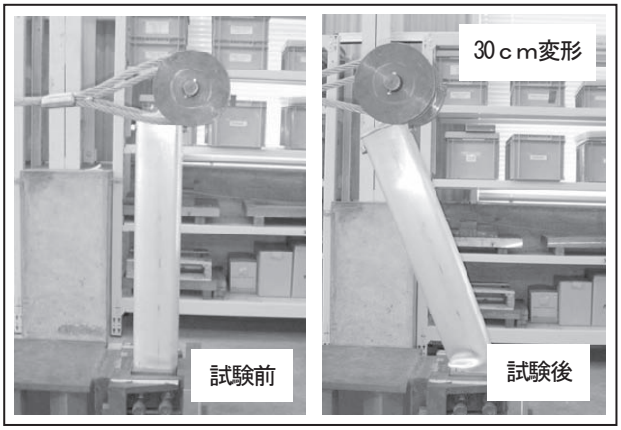
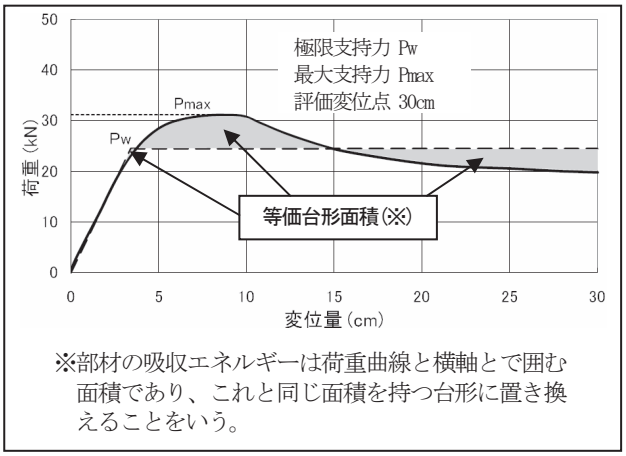


図-15　静荷重試験の状況

表-3 支柱の静荷重試験結果

供試体 No.	極限支持力Pw(kN)	最大支持力Pmax(kN)
No.1	24.4	31.1
No.2	25.6	31.6

※値が小さい供試体No.1の結果を採用



※部材の吸収エネルギーは荷重曲線と横軸とで囲む面積であり、これと同じ面積を持つ台形に置き換えることをいう。

図-16 支柱の荷重～変位曲線(供試体 No.1 Pw=24.4kN Pmax=31.1)

表-4 主要横梁の静荷重試験結果と判定結果

供試体 No.	極限支持力Mo (kN･m)		判定結果
	試験結果	基準	
No.1	26.3	17以上	ＯＫ
No.2	26.3		ＯＫ

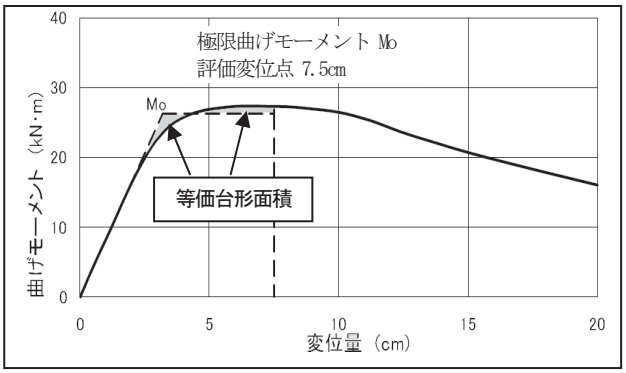


図-17 主要横梁の曲げモーメント変位曲線(供試体 No.1 Mo=26.3kN･m)

(3) 下段横梁

下段横梁(2 本ビームタイプ用，3 本ビームタイプ用)についても，主要横梁と同等の静荷重試験を実施した．使用した材質は，支柱と同じである．

下段横梁については，静荷重試験を２回実施し，200ｍｍの変形に耐え，Mo の小さい値を与える試験結果を採用することが基準において規定されている．

静荷重試験の結果，2 回とも下段横梁は 200ｍｍの変形に耐え，また下段横梁の極限曲げモーメントは，2 本ビームタイプで Mo＝11.0 kN・ｍ(**表-5**)，3 本ビームタイプで Mo＝5.7 kN・ｍ(**表-6**)であり，基準を満足した．

表-5 ２本ビームタイプの下段横梁の静荷重試験結果

供試体 No.	極限支持力Mo (kN･m)		判定結果
	試験結果	基準	
No.1	11.0	9.0以上	ＯＫ
No.2	11.0		ＯＫ

表-6 ３本ビームタイプの下段横梁の静荷重試験結果

供試体 No.	極限支持力Mo (kN･m)		判定結果
	試験結果	基準	
No.1	5.8	4.5以上	ＯＫ
No.2	5.7		ＯＫ

※値が小さい供試体No.2の結果を採用

(4) 静荷重試験のまとめ

横梁については，主要横梁が 17 kN・ｍ以上，下段横梁については横梁合計で 26kN・ｍ以上の極限曲げモーメントが必要とされる．実施した静荷重試験の結果は**表-7** に示すとおりであり，B 種の橋梁用ビーム型防護柵としての必要な強度を満足することができた．

また，橋梁用ビーム型防護柵の性能規定では，**図-18**, **図-19** に示すように，横梁と支柱の静荷重試験値の交点（Pw 値と Mo 値の交点）が，各種別の部材選定域にプロットされていることが必要となる．図に示すとおり，今回開発して防護柵は，種別Ｂ種の強度を有していることが確認された．

表-7 静荷重試験結果のまとめ

種類		2本ビームタイプ	3本ビームタイプ
横梁	主要横梁	Mo=26.3 kN･m	
	下段横梁	Mo=11.0 kN･m	Mo=11.4 kN･m (5.7 kN･m×2本)
	合計	ΣMo=37.3 kN･m	ΣMo=37.7 kN･m
支柱		Pw=24.4kN	

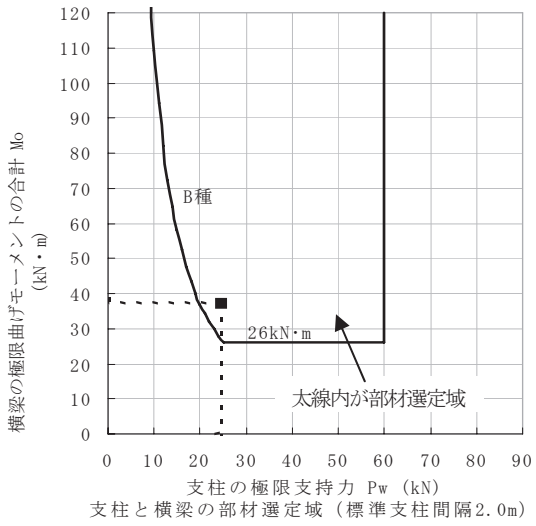


図-18 ２本ビームタイプの部材選定域

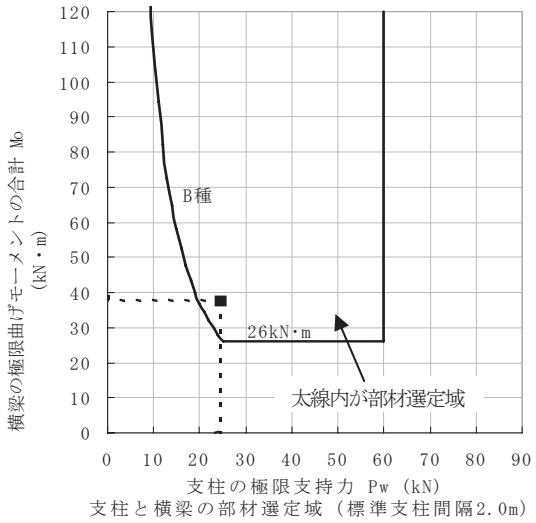


図-19　３本ビームタイプの部材選定域

10. 衝突シミュレーション解析による性能検証

(1)衝突シミュレーション解析の実施

橋梁用ビーム型防護柵の場合は，基準において静荷重試験によりその性能検証を行うことが定められている．本防護柵の静荷重試験結果については本稿 9. に示した通りであり，本防護柵は定められた基準をクリアしている．しかしながら，本防護柵は，従来にない独特の形状であるため，衝突時の車両や防護柵の変動挙動について，その安全性をより詳細に検証することとした．

そこで本防護柵においては，その性能をより詳細に検証するために，独自に車両の衝突シミュレーション解析を行うこととした．

橋梁用ビーム型防護柵を除く車両用防護柵の場合には，実際に実車衝突実験を行い，これによって性能検証を行うことが基準において定められているが，本防護柵の衝突シミュレーションはこの実車衝突実験の方法・基準に準じて，実施することとした．

(2)衝突シミュレーション解析の方法

a)使用するソフトについて

本シミュレーション解析は，他の防護柵開発においても使用実績のある陽解法動的有限要素解析ソフト PAM-CRASH を用いることとした．

b)解析を行う防護柵について

本開発では，３本ビームタイプ（H=850mm）及び２本ビームタイプ（H=750mm）の２タイプの防護柵の開発を行ったが，２本ビームタイプの方が高さが低いため，３本ビームタイプに比べて，車両衝突時における車両の横転が危惧された．このため，本シミュレーションは，２本ビームタイプの防護柵について実施することとした．**図-20** に本シミュレーション解析で用いた防護柵モデルを示す．

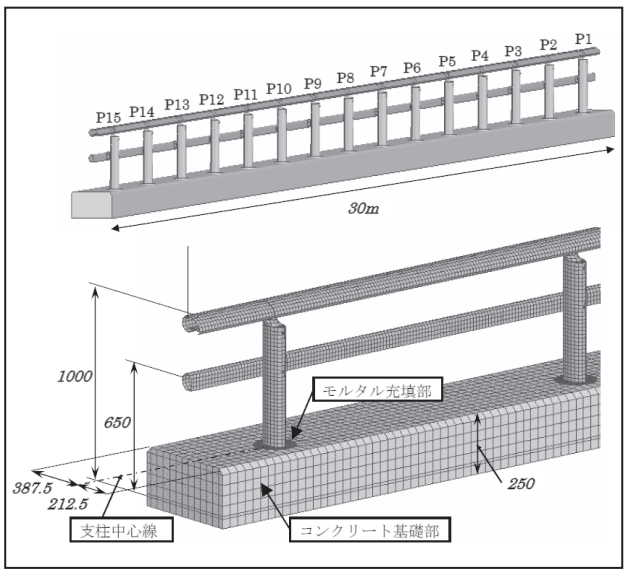


図-20　シミュレーションで用いた防護柵モデル

c)衝突条件と求められる性能について

橋梁用ビーム型防護柵を除く防護柵では，大型貨物車の衝突(衝突条件 A)と，質量 1t の乗用車の衝突(衝突条件 B)の 2 つについてそれぞれ実車衝突実験を行い，防護柵の性能検証を行うことが基準で定められている．本防護柵は橋梁に設置する防護柵であるため，重大事故に結びつく車両の突破及び転落について特にその性能検証を行う必要が高い．

このため，シミュレーションにおいては，車両の突破及び転落が特に危惧される大型車両の衝突時の検証を行うことを目的に，基準に定められた衝突条件 A に準ずる解析・検証のみを行うこととした．

基準に示された衝突条件 A とは，本防護柵が該当する B 種防護柵では，車両総重量時において路面から重心までの高さが 1.4mの大型貨物車により，衝突角度 15 度で 60kJ 以上の衝撃度を与えるものである．これを踏まえて，本シミュレーションでは衝突条件を**表-8** に示すように設定した．また，解析現象時間は，車両が防護柵に衝突して脱出するまでの挙動変化を考慮して 3.0 秒としている．

また，衝突条件 A の場合において B 種防護柵に求められる性能とその判定基準は**表-9** の性能及び判定基準の欄に示すとおりであり，本シミュレーションはこれら性能を満たすかどうかについて検証を行うものである．

(3)衝突シミュレーション解析の結果

車両衝突時，衝突後の防護柵，車両変形状況を**図-21**，車両挙動，防護柵変位の衝突シミュレーション結果を**表－9**に示す．

表-8　本シミュレーションの衝突条件

衝突車両	大型貨物車 （全長11．9m，前幅2.5m，全高2.7m， ホイールベース7.1m，車両重量20t）
衝突速度	34.1km/h （初速度）
衝撃度	60kJ ※
衝突角度	防護柵の横梁に対して15度
現象時間	3.0秒

※重量20tの車両を速度34.1km/hで衝突させると，衝撃度は60kJとなる．

表-9　シミュレーション結果

性能		判定基準	シミュレーション値	判定
車両の逸脱防止性能	強度性能	突破しないこと	突破なし	OK
	変形性能	最大進入行程 0.3m以下	0.102m	OK
車両の誘導性能	衝突後の状態	横転しないこと	横転なし	OK
	離脱速度	衝突速度の6割以上 34.1x0.6=20.46以上	22.2km/h	OK
	離脱角度	衝突角度の6割以下 15x0.6=9以下	0 deg	OK
構成部材の飛散防止性能		飛散しないこと	飛散なし	OK

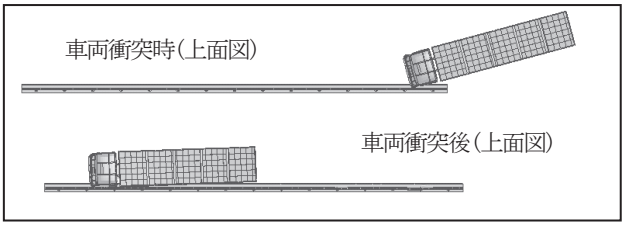


図-21　車両衝突時の誘導状況

a)車両の逸脱防止性能

防護柵は破断に至るような大きな損壊はなく，シミュレーション測定結果(**表－9**)の防護柵変位量も低いレベルである点，また車両の横転や乗り上げ等による防護柵突破が見られない点から本防護柵は大型車衝突に対し十分な強度と車両逸脱防止性能を有すると考える．

b)車両の誘導性能

衝突後の変形挙動から車両は横転や突破することなく防護柵に沿って走る点，シミュレーション測定結果(**表－9**)で示す離脱速度，離脱角度から急激な挙動変化が見られない点を考慮し，本防護柵は大型車の衝突に対して十分な車両誘導性能を有すると考える．

なお，車両が防護柵から完全に離れる現象が見られないものの，車両は防護柵に沿って進行しており防護柵突破あるいは横転により逸脱する可能性は低いと考えられ，ほぼ離脱に相当するといえる．

(4)衝突シミュレーション解析結果の考察

衝突シミュレーション解析を実施した結果，防護柵設置基準の衝突条件Ａによる性能を満足しており，本防護柵は大型車の衝突に対し高い強度と車両逸脱防止性能を有する．また，衝突後，車両が車道方向へ脱出せず防護柵に沿って走行するが，突破や横転の危険性は極めて小さく十分な車両誘導性能を有するといえる．

11. 総括

今回開発したアルミニウム合金製橋梁用Ｂ種防護柵は，2本ビームタイプと3本ビームタイプ(**図-13**)であり，製品化に至った(**図-22**，**図-23**)．

開発方針と照らし合わせてみると，1. 押出成形というアルミニウムならではの加工法に適した形状を追求することで，2. 道路縦断方向における視覚的連続性・円滑性に富み，柔らかですっきりとした印象の歩行者にも馴染みやすい曲面等で構成された形態とし，3. ビーム，支柱ともに強度や施工性も考慮した、全体に軽快なバランスの防護柵とすることができた．また，4.車両用防護柵としては裏面となる歩行者側の視点を考慮した結果，曲面で柔らかな印象を持ち，5. かつボルト，ナット，台座類等の細部についての配慮を行うことにより，これらが目立たず、すっきりとした印象に仕上がった．コスト面では，従来のアルミニウム防護柵が 19.3kg/m（丸ビーム型），15.5kg/m（角ビーム型)であったのに対して、13.8 kg/m と単位重量を下げることができ，これに見合うコストダウンが可能となった．

このようにアルミニウムの素材特性を可能な限り引き出すことで，柔らかですっきりとした形態，防錆性，押出成形を用いた変断面形の採用によるアルミ重量の低減など，従来より低コストで美しい製品の開発に成功した．また，アルミニウムの材料特性に配慮したがゆえにアルミ合金製であるものの鉄製と大差ない物となっていた従来製品に対して特長的な形態を持つ製品が完成しており，材料特性とデザインと形態の間にもっとも特徴的な関連が見られた開発となった考えられる．

本製品が標準品として整備されることによる道路景観に与える好影響は小さいものではないと考える．



図-22　本防護柵の設置事例（2本ビームタイプ）



図-23　本防護柵の設置事例（3本ビームタイプ）

謝辞：本製品の開発は，（社）日本アルミニウム協会が行ったものであり，関係各位には多大なご協力を頂いた．厚く謝意を表する．

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，2004
2) （社）道路協会：防護柵の設置基準・同解説，2004
3) 天野，松田他，景観に配慮した車両用ガードパイプの開発，構造工学論文集Vol.50A，pp.323-328，2004，（社）土木学会
4) 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，No.1，pp.7-13，2006，（社）土木学会
5) 伊藤，横山他，新たな変形特性による鋼製橋梁用車両防護柵のデザインと開発，景観・デザイン研究論文集，No.5，pp.27-34，2009，（社）土木学会

（2008.10.7 受付）

DEVELOPMENT OF AESTHETIC ALUMINUM BARRIERS (BRIDGE RAIL TYPE)

Noboru Ito, Koichi Amano, Satoshi Mikami, Kimikazu Yokoyama and Osamu Takado

The ministry of Land ,Infrastructure and Transport drew up “The guideline for aesthetic barriers” in March 2004.The reason for writing this paper is to introduce the process of the development of an aesthetic aluminum barrier in Japan.
In this development, the fundamental design of barriers to solve the problems in the viewpoint of landscape is examined.
Through the results of the static tests with the trial products, the development of aesthetic aluminum barriers was considered successful. By using the characteristics of aluminum, the development of barriers that has structural rationality, beautiful shape and reasonable price was recognized possible. Furthermore, through the evaluation of the trial manufacture, the effectiveness of these aesthetic barriers that were developed in this study was confirmed.