

鋼橋技術研究会

設計部会W/G (Dグループ)

調査研究報告書

高機能鋼板を利用した橋梁

平成15年3月

もくじ

1. はじめに	3
2. 橋梁用高機能鋼板	4
2. 1 強度に関する高機能鋼	4
2. 2 じん性・溶接性に関する高機能鋼	4
2. 3 耐腐食性・その他に関する高機能鋼	5
3. 制振鋼板	7
3. 1 鋼板概要	7
3. 2 鋼橋への適用	8
3. 3 制振鋼板の施工実績	9
3. 4 橋梁適用上の問題点	15
3. 5 道路橋への適用提案	23
3. 6 まとめ	24
4. クラッド鋼	25
4. 1 クラッド鋼の概要	25
4. 2 鋼橋への適用	26
4. 3 ステンレスクラッド鋼	27
4. 4 ステンレスクラッド鋼の鋼橋適用に関する研究	27
4. 5 ステンレスクラッド鋼を使用した橋梁のシミュレーション	32
4. 6 まとめ	37
5. 調査文献一覧表	38

1. はじめに

近年、わが国の社会資本の建設におけるコスト節減、合理化に対する要求は一層高まっている。鋼橋の分野においても、建設初期コストの節減を目指した少数主桁構造や厚肉無補剛構造に代表される合理化橋および維持管理コストの節減を目指したミニマムメンテナンス橋など、これまでは必要とされなかった特性、品質が要求されるようになった。

このような鋼橋に対する厳しい環境は米国においても同様であり、1990年頃から従来の橋梁用鋼材より優れた性能を持つ High Performance Steel (HPS) とそれを活用した新たな橋梁設計をセットで開発するプロジェクトが発足し、最近になって実橋への適用成果が報告されつつある。わが国においても、合理化の動きに合わせて、従来の橋梁用鋼材より優れた性能を持つ鋼材を積極的に活用しようという取り組みが始まっており、その一部の鋼材が道路橋示方書の平成8年度改訂版の中に取り入れられた。

当ワーキンググループ名にもある「高機能鋼板」とは、世間では「高性能鋼」とも呼ばれ、米国で HPS の開発を手掛けた Navel Surface Warfare Center の報告書ではその定義を、1)ASTM A709 の Gr.70、或いはそれ以上の Gr.の (降伏) 強度を有し、2)高靱性、3)溶接時の予熱フリー或いは予熱低減が可能であり、4)耐候性を有する鋼としている。わが国における HPS の活用推進を行っている社団法人鋼材倶楽部の橋梁研究会では、単に 60 キロ級以上という高張力鋼に限定せず、「鋼橋に汎用的に使用されている鋼種と比較して、強度、靱性、溶接性、曲げ加工性、耐腐食性において、より優れた性能を有する鋼種、鋼材の総称」と定義している。

わが国における高機能鋼板の採用は年々増加をしており、高強度鋼や耐候性鋼などの実橋への採用数は周知の通りである。当ワーキンググループでは鋼板にこだわらず、広く鋼材全般について検討を行った。本報告書においては、2章で高機能鋼板および鋼材全般を総括し、3章、4章で今後の採用が期待される「制振鋼板」と「クラッド鋼」について詳細な検討を行った。制振鋼板については、騒音が問題視される鉄道橋での採用はあるものの道路橋の新設橋での採用はない。道路橋では、鉄道橋のように列車が通過する際に発生するような構造音は問題とはならないが、昨今では低周波騒音という聞こえない騒音の発生が問題視されている。また、クラッド鋼については、従来、圧力容器、ダム・水門施設やケミカルタンカーなどに適用されてきたが、鋼橋の維持管理コストの節減と言う観点から塗装に頼らない防食性の向上が期待される。

最後に、高機能鋼板および鋼材の採用を検討するにあたり、本報告書が役立てば幸いである。

2. 橋梁用高機能鋼板

橋梁に用いられる高機能鋼板（鋼材）の内、道路橋示方書に取り込まれ既に実橋での採用実績が多数ある、あるいは今後橋梁への採用が期待される高機能鋼板について、以下に概要を述べる。

2. 1 強度に関する高機能鋼

(1) 高強度鋼

構造物の軽量化のために用いられる高強度の鋼材。軽量化にともなう長スパン化、輸送架設重量の軽減といったメリットもある。

(2) 降伏点一定鋼(板厚40mm超)

板厚40mmを超える鋼材について、降伏点または耐力の下限値が板厚により変化しないことを保証した鋼材。

(3) 狭降伏点レンジ鋼・低降伏比鋼

降伏点の上下限範囲が狭い範囲に入る、降伏比が80%以下になることが保証された鋼材。塑性変形能力に優れる。

(4) 極軟鋼

降伏点が低く、優れた延性能力を有した鋼材。地震力のエネルギー吸収などの用途に用いられる。

(5) 極厚鋼板

道路橋示方書の規格を超える板厚範囲（100mm超）において、優れた強度、じん性を有する鋼材。構造物の大型化への寄与が期待される。

2. 2 じん性・溶接性に関する高性能鋼

(1) 高じん性鋼

鋼材に含まれる窒素量を低く抑えることにより、じん性を高めた鋼材。冷間加工における曲げ半径を小さくできる、寒冷地での鋼材の適用範囲の拡大などのメリットがある。

(2) 予熱低減鋼

低温割れ感受性組成（PCM）を低く抑えた鋼材。特に高張力鋼の溶接時における予熱温度の低減が可能となる。

(3) 大入熱溶接対策鋼

溶接入熱の増大にともなう溶接部の品質劣化を防ぐための、大入熱に適応した鋼材。

(4) 耐ラメラテア鋼

溶接部で板厚方向に大きな引張応力を受ける部材のラメラテア防止のために、板厚方向絞り値を保証した鋼材。

2. 3 耐腐食性・その他に関する高性能鋼

(1) 耐候性鋼

安定さびの形成により、時間の経過とともにさびの進展が次第に抑制されていく特性を有する鋼材。鋼材表面に塗装などの防食が不要となるが、初期さびの流出防止、安定さび生成促進などの観点から、さび安定化処理を施すこともある。

(2) 亜鉛めっき用鋼

亜鉛めっき施工時のめっき焼け、めっき割れに対する対策を施した鋼材。

(3) ステンレス鋼

Crの添加により、表面に不動態皮膜が形成され、耐食性に優れた鋼材。

(4) クラッド鋼

鋼に異種金属を層状に接合したものの総称。合わせ材にステンレス、チタンなどの耐腐食性に優れた材料を用い、母材に溶接構造用鋼板などを用いることにより、優れた防食性を有する構造部材を形成できる。

(5) LP鋼板

長手方向に直線的に板厚を変化させた鋼板。1部材等断面の設計に比べ、構造物の曲げモーメント形状に沿った形での経済的な設計が可能となる。また、ボルト接合部での板厚差がなくなるため、フィラープレートの省略による小型材片数の低減が可能となる。

(6) 制振鋼板

鋼板に伝わった外部振動エネルギーを、磁歪エネルギーや熱エネルギーに変換することにより、振動減衰効果を発揮する鋼板。2枚の鋼板の間に粘弾性樹脂をサンドイッチした構造の樹脂積層型制振鋼板や、振動特性の異なる金属同士をスポット溶接で重ね合わせるタイプの非樹脂積層型制振鋼板、あるいは鋼板の組織を調整することにより、鋼板に伝わった外部振動エネルギーを磁歪エネルギーに変換する合金系強磁性型制振鋼板などがある。

(7) 橋梁用高強度ワイヤ

吊り橋などのメインケーブルに用いる場合に、ケーブルの長スパン化にともない、ケーブル断面が大きくなり自重も増加する。ケーブル自重の増加を少しでも軽減するために従来型に比べ強度をアップさせたワイヤ。

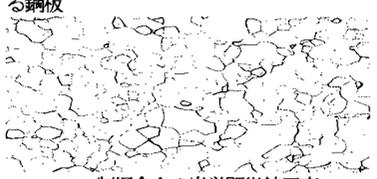
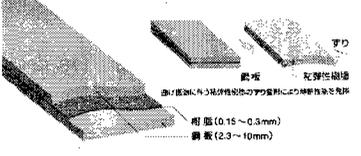
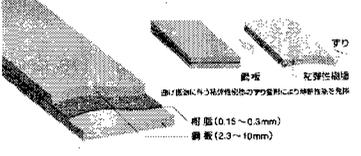
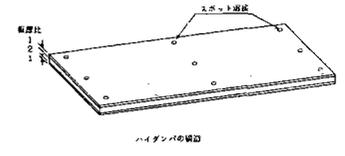
表-2.1 高機能鋼板の主な用途

鋼材名	主な用途
高強度鋼	長大橋（吊橋、斜張橋、トラス橋など）の主部材
降伏点一定鋼	橋梁の主部材に多数使用
狭降伏点レンジ鋼・低降伏比鋼	建築鉄骨構造物
極軟鋼	制震ダンパー
極厚鋼板	長スパン2主桁橋の主桁部材他
高じん性鋼	寒冷地に架設される鋼橋の部材他
予熱低減鋼	溶接前の予熱作業を必要とする部材
大入熱溶接対策鋼	溶接時の入熱量が大きい部材
耐ラメラテア鋼	ラメラテア発生の危険性がある鋼製橋脚隅角部などの部材
耐候性鋼	橋梁の主部材に多数使用
亜鉛めっき用鋼	橋梁の主部材に多数使用
ステンレス鋼	建築構造部材に多数使用
クラッド鋼	鋼製橋脚の飛沫・干満帯部など
LP鋼板	2主桁橋のフランジ部材に適用実績あり
制振鋼板	鉄道橋の主桁・横桁ウェブに適用実績あり
橋梁用高強度ワイヤ	長大吊橋のメインケーブルなど

3. 制振鋼板

3.1 鋼板概要

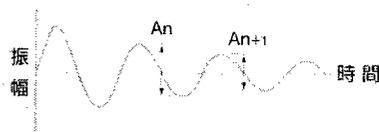
制振鋼板の種類と概要

	合金系制振鋼板		複合型制振鋼板	
	強磁性合金型	樹脂積層型	樹脂積層型	非樹脂積層型
損失係数 ^{*1}	0.01~0.02	0.02~0.5	0.02~0.5	0.02~0.2
制振性能に関する特徴	他と比較して性能が若干劣るが、振動周波数依存性少ない	他と比較して高いレベルの性能	他と比較して高いレベルの性能	樹脂積層型に匹敵する高いレベルの性能
	温度依存性少ない	温度依存性を有するが、常温用、高温用の製品も開発されており、用途に応じた対応は可能	温度依存性を有するが、常温用、高温用の製品も開発されており、用途に応じた対応は可能	温度依存性少ない
	厚板（25mm程度）、棒、パイプなどの構造剛性の高い形状での制振性能に優れる	薄板（ただし一枚あたり6mm以上が望ましい）などの剛性の低い構造での制振性能に優れる	薄板（ただし一枚あたり6mm以上が望ましい）などの剛性の低い構造での制振性能に優れる	薄板（中板一枚あたり6mm程度まで）などの剛性の低い構造での制振性能に優れる
	溶接（突合せ、隅肉）による性能低下小さいが、塑性加工・切断加工・切削加工に対しては加工部の制振性能消失（ただし加工部の900℃以上の加熱処理により制振性能の回復可能）	樹脂をサンドイッチしているため溶接等の熱加工の際には、注意を要するが、塑性加工による加工部の制振性能の低下が少ない。	樹脂をサンドイッチしているため溶接等の熱加工の際には、注意を要するが、塑性加工による加工部の制振性能の低下が少ない。	樹脂等を間に挟まないため、樹脂積層型と比較して、溶接等の熱加工性に優れるが、強度の塑性加工による加工部の制振性能の低下がある。
	経年変化なし	経年変化あり	経年変化あり	経年変化なし
強度	引張特性および曲げ特性において、降伏点、引張強さがやや低いものの伸び、曲げ、疲労特性は炭素鋼と同等もしくはそれ以上の性能を有する	鋼板部に厚板を用いることができない。強度部材（特に圧縮方向）には不向き。建築構造物の屋根、床等の部材への適用が良い	鋼板部に厚板を用いることができない。強度部材（特に圧縮方向）には不向き。建築構造物の屋根、床等の部材への適用が良い	面内強度は普通鋼と同等であり、重量は増加するが、ある程度強度部材としての適用の可能性あり。曲げ強度、剛性は積層板同士のスポット溶接密度に依存する。
加工性	炭素鋼と同等の加工性・溶接性を有する。ただし、塑性・切断・切削加工箇所の制振性能の低下に注意	溶接等熱加工には不向きであるが、あらかじめ溶接箇所の樹脂を除去後溶接するなどの対策により加工可能	溶接等熱加工には不向きであるが、あらかじめ溶接箇所の樹脂を除去後溶接するなどの対策により加工可能	突合せ溶接時には開先内で仮付を行うことにより可能。
耐食性	高耐海水腐食性を有する	鋼板部に亜鉛メッキ鋼板を用いる等により、高い防食性を付与させることが可能。ただし板コバの防錆上の配慮は必要	鋼板部に亜鉛メッキ鋼板を用いる等により、高い防食性を付与させることが可能。ただし板コバの防錆上の配慮は必要	普通鋼材と同等の耐食性を有するが、板コバの防錆上の配慮は必要
橋梁への適用可能性と実績	実橋レベルの橋梁での実績はないが、適用部材によっては適用の可能性大	鉄道橋にて適用の実績あり。適用部材によっては今後道路橋への適用の可能性大	鉄道橋にて適用の実績あり。適用部材によっては今後道路橋への適用の可能性大	実橋レベルの橋梁での実績はないが、適用部材によっては適用の可能性大
構造概要	鋼板に伝わった外部振動エネルギーを磁歪エネルギーに変換することにより制振性能を発揮する鋼板  制振合金の光学顕微鏡写真 日本鋼管株式会社カタログ「NKK SERENA」 ¹⁾ より引用	2枚の鋼板の間にサンドイッチした粘弾性樹脂のずり変形により制振性能を発揮する鋼板  樹脂積層型の構造イメージ (社)鋼材倶楽部カタログ「高性能鋼の概要（橋梁向け）」 ²⁾ より引用	2枚の鋼板の間にサンドイッチした粘弾性樹脂のずり変形により制振性能を発揮する鋼板  樹脂積層型の構造イメージ (社)鋼材倶楽部カタログ「高性能鋼の概要（橋梁向け）」 ²⁾ より引用	スポット溶接で重ね合わされた振動特性の異なる金属同士のずり変形を摩擦エネルギーに変換することにより制振性能を発揮する鋼板  非樹脂積層型の構造イメージ 住友金属工業株式会社技術資料「複合制振厚鋼板（Hダンパー）」 ³⁾ より引用

※ 1 上記の損失係数の定義は以下の通り

損失係数の定義

$$\eta = 1/\pi \cdot \ln (A_n/A_{n+1})$$



(社)鋼材倶楽部カタログ「高性能鋼の概要（橋梁向け）」²⁾より引用

上記の内、既に鉄道橋で実績のある樹脂積層型御振鋼板について、次章で詳細に検討する。

3. 2 鋼橋への適用

鋼橋の騒音・振動問題は橋桁全体が振動することによる低周波振動（騒音）と床版の一部および端横桁や端対傾構等が振動する高次振動とに大別される。このうち低周波振動については可聴域でない周波数領域の空気振動であるため、人体に与える影響はいまだ明らかになっておらず客観的な評価も難しい。ただし振動（騒音）は環境問題であり、社会資本である橋梁において対策を施しておくことは重要である。これらの振動対策として、ノージョイント化、制振装置の設置、桁端部コンクリート巻立て、構造変更（剛性確保）、制振材、制振鋼板等がある。このうち制振鋼板は従来洗濯機のボディ、自動車のオイルパンや各種建築材料に用いられてきたものであるが、土木構造物においては鋼鉄道橋などに採用されたケースがある。

以下に鋼鉄道橋における制振鋼板の施工実績を紹介し、問題点を整理した上で道路橋への適用を検討する。

3. 3 制振鋼板の施工実績

鉄道橋において騒音は大きな社会問題となる場合があるため、特に東海道新幹線が開業してから種々の騒音対策について検討を行ってきた。中でも開床式（軌道が橋マクラギで構成され、下面がオープン状態）の鋼鉄道橋は道床式と比較して騒音が大きいため、既設橋（主に新幹線）においては一般的に防音工などの二次音源対策が行われるが、新設橋においては一次音源対策として、制振鋼板を鋼橋に使用する研究を20数年前から行ってきた。実橋で最初に制振鋼板（当時は消音鋼板と呼んでいた）を橋梁本体に使用したのは、福知山線の黒井駅・市島駅間に位置するA橋梁で、昭和51年10月の架け替えに際して、その床組の縦桁および横桁の腹板に使用した。以下にその橋梁の概要について示す。

3. 3. 1 A橋梁の概要

A橋梁は、設計荷重はKS16で、スパンが27.5m、開床式の単線下路プレートガーダーである。現在の運行本数は上下合わせて約45本程度である。

A橋梁の一般図を図-3.3.1に示す。また、図-3.3.2には制振鋼板を使用した縦桁と横桁の詳細を示す。

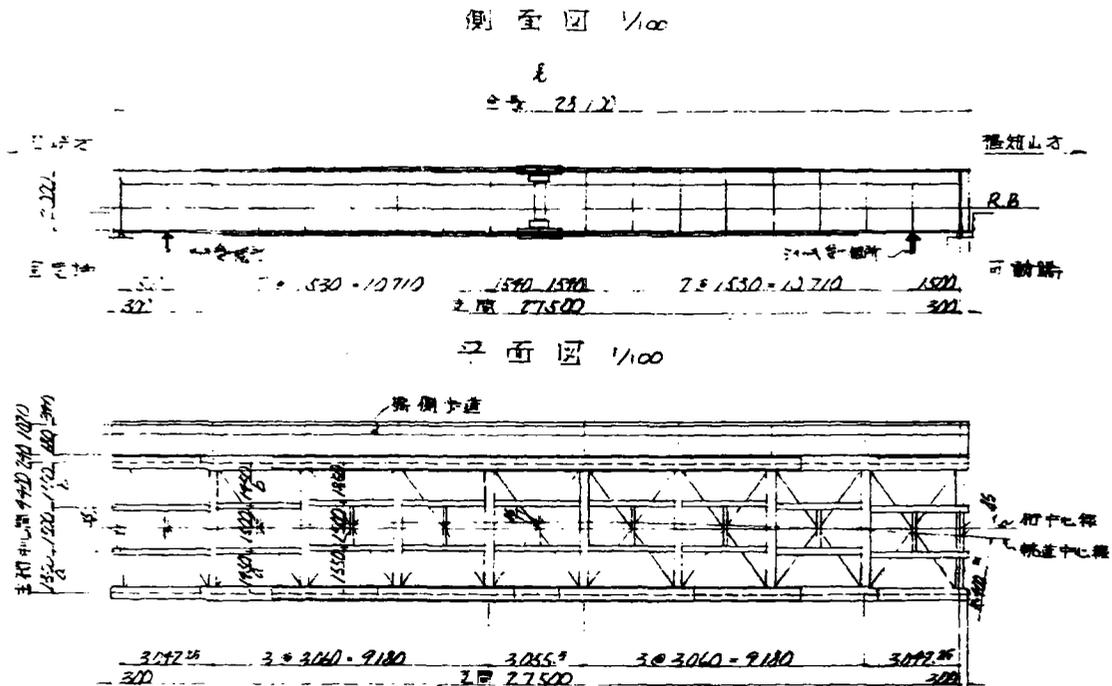


図-3.3.1 A橋梁一般図
制振鋼板(縦桁ウェブ、横桁ウェブ)

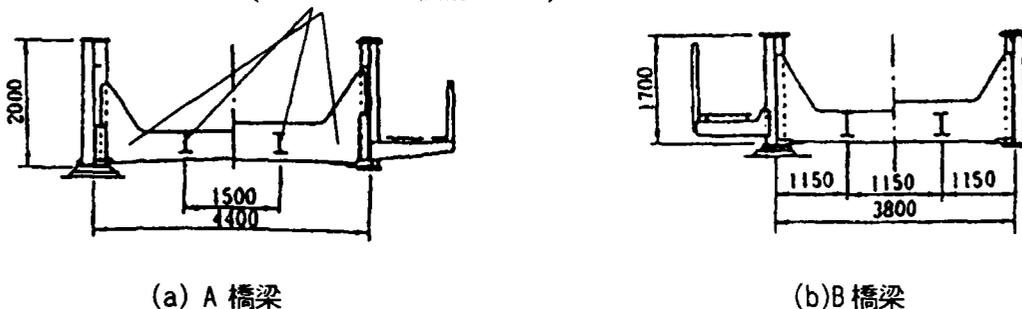


図-3.3.2 制振鋼板の使用箇所

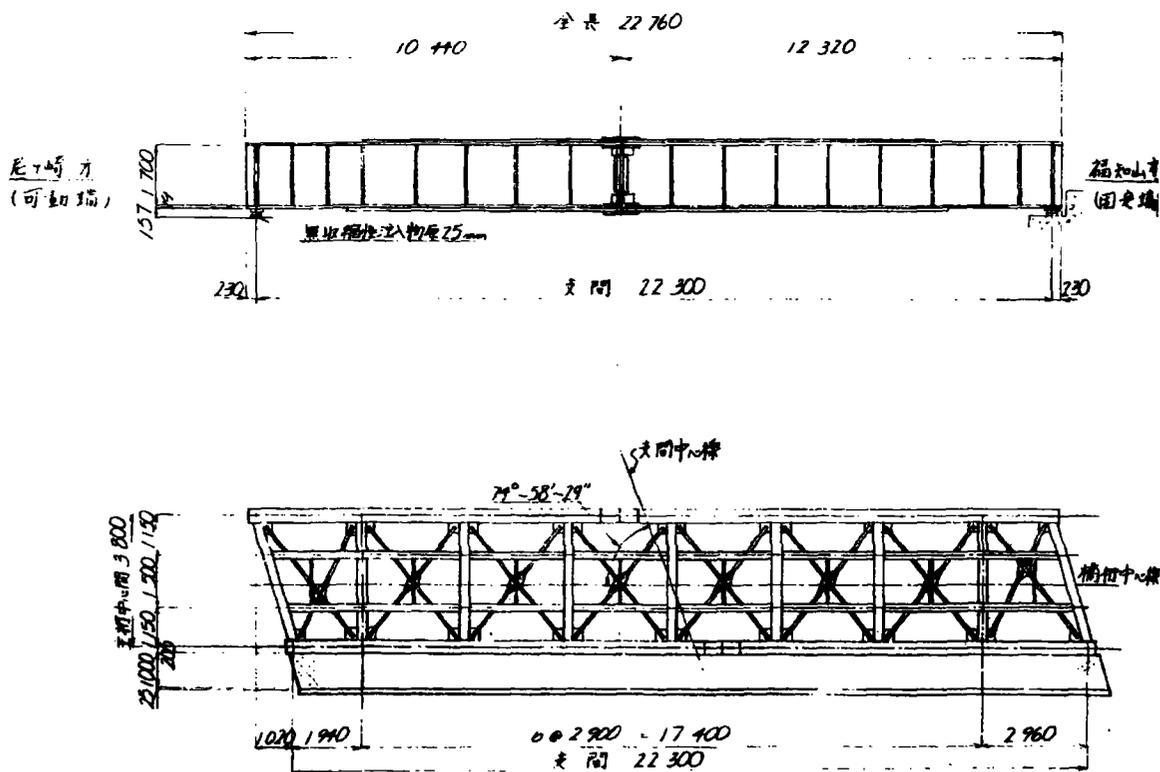


図-3.3.3 B橋梁の一般図

3. 3. 2 騒音・振動測定結果

以下に、文献⁶⁾および文献⁹⁾により、制振鋼板を使用した橋りょうと普通鋼板を使用した橋りょうの騒音・振動の測定結果を示す。

(1) 測定概要

A橋梁では1997年10月に計10本の列車について列車通過時の振動・騒音を測定した。また比較検討対象とした全て普通鋼板で構成されているB橋梁では計18本について測定した。このうち10本はA橋梁と同一走行列車である。なお、B橋梁は昭和49年12月に架設された、スパンが22.3m、A橋梁と同じ開床式の単線下路プレートガーダーである。A橋梁と異なる点は斜角構造であることが上げられる。B橋梁の一般図を図-3.3.3に示す。

図-3.3.4は、両橋梁のイメージと振動、騒音測定位置の概略を示している。騒音計は桁スパンの中央から橋軸直角方向の線上にて、中央点直下および同点から12.5mおよび25mの位置3ヶ所に騒音測定用マイクを設置した。騒音に関する効果を確認するために、A橋梁の近くに通常の鋼板で製作され、同時期に架設されたB橋梁と比較した。

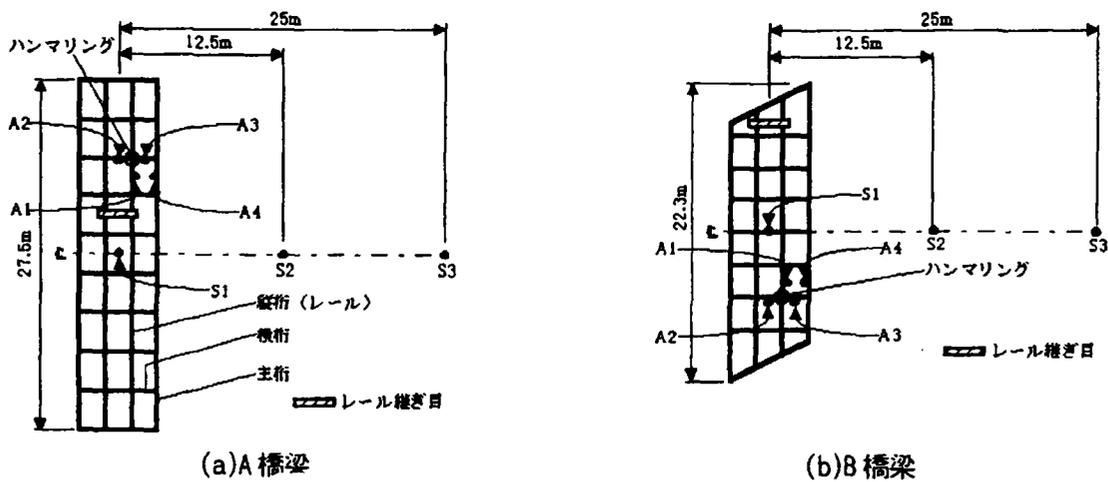
(2) データの整理方法

走行車両、列車速度、レール継目位置について架設当初と条件が異なっているために騒音測定値の絶対値での比較による評価はできないため、以下のような考え方により、これらの条件の変動に対応出来るよ

うに補正した。

まず、走行列車、列車速度が架設当初と今回とでは異なっていることに関して、これら要因の変動の影響を受けにくいと考えられる A 橋梁と B 橋梁の騒音の差に着目し、当初の両橋の騒音差と今回の両橋の騒音差を比較することにより経年変化の有無の判断を行うこととした。実際、当初と今回では速度差が 30km/h ほどある。したがって、騒音測定データの直接比較による制振性能の経年変化の評価はできないと考えられる。A 橋の制振鋼板は樹脂タイプであり、制振鋼板が振動時に面外変形する時に鋼板に挟まれた樹脂がせん断変形する際に生じる粘性減衰力により減衰するタイプであるために、損失係数の速度依存性はほとんどないので、A 橋と B 橋の騒音差は、損失係数と比例関係にあると考えられる。したがって、騒音差を評価することは、損失係数を評価することにもなり、当初と今回の騒音差を比較することにより、損失係数の経年変化を評価することが可能になると考えられる。

また、レール継目位置が架設当初と今回とでは異なっていることに関しては、以下に示すような考え方に従いデータの補正を実施して条件の相違に対応することとした。すなわち、レール継目部の騒音は橋梁で発生する最大の騒音源となっていることが明白なため、騒音測定用マイクとレール継目部の距離は騒音測定値の支配的な要因となる。したがって、測定点とレール継目部の距離が同一になるようにマイクの位置を決定すればよい。しかし、マイクの位置が架設当初と今回で変わる場合、直接音に関しては良いが、堤防や河川敷での反射による二次的な音響環境が変わるために、マイクの位置を変えることは適当でない。実際、架設当初は A 橋梁と B 橋梁では桁端のほぼ同じ位置にレール継目部がありスパン中央部から桁直角方向にマイクを設置していたが、今回の測定の際には A 橋梁に関しては図-3.3.4 に示すようにレール継目部がスパンのほぼ中央に変更されているために距離を同一にするためにはマイクの位置は桁端、すなわ



- A1: 縦桁腹板中央部水平方向振動加速度
- A2: 横桁中央部腹板中央部水平方向振動加速度
- A3: 横桁主桁側腹板中央部水平方向振動加速度
- A4: 主桁腹板中央部水平方向振動加速度
- S1: 橋梁直下 0.6m 位置騒音(地上高 A 橋梁: 2.5m, B 橋梁: 4.0m)
- S2: 橋梁から水平距離 12.5m 位置騒音(地上高 1.2m)
- S3: 橋梁から水平距離 25m 位置騒音(地上高 1.2m)

図-3.3.4 振動・測定位置図

ち河川の堤防に沿って設置することになり二次的な音響環境は大きく変わる。このため、マイクの位置は当初と変更せず測定し、距離減衰を考慮した補正を行うことにより、レール継目部位置が当初と同じ位置にあった場合の騒音を推定した。さらに、ここで距離減衰量は騒音源の音源特性や周囲の音響環境が複雑であるために、理論的に求めることは困難であると考えられるので、今回の橋梁での実際の測定データをもとに距離減衰量を推定し、推定値の信頼度を高めた。

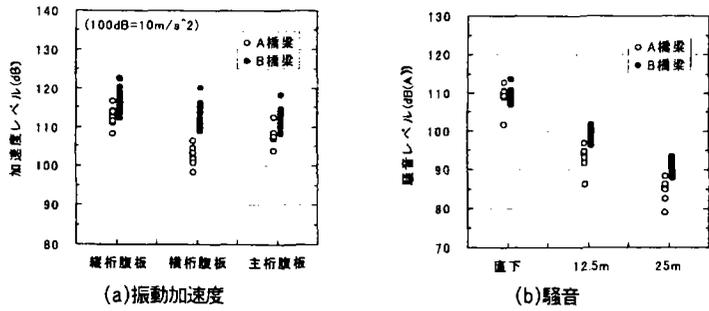


図-3.3.5 振動・加速度の測定

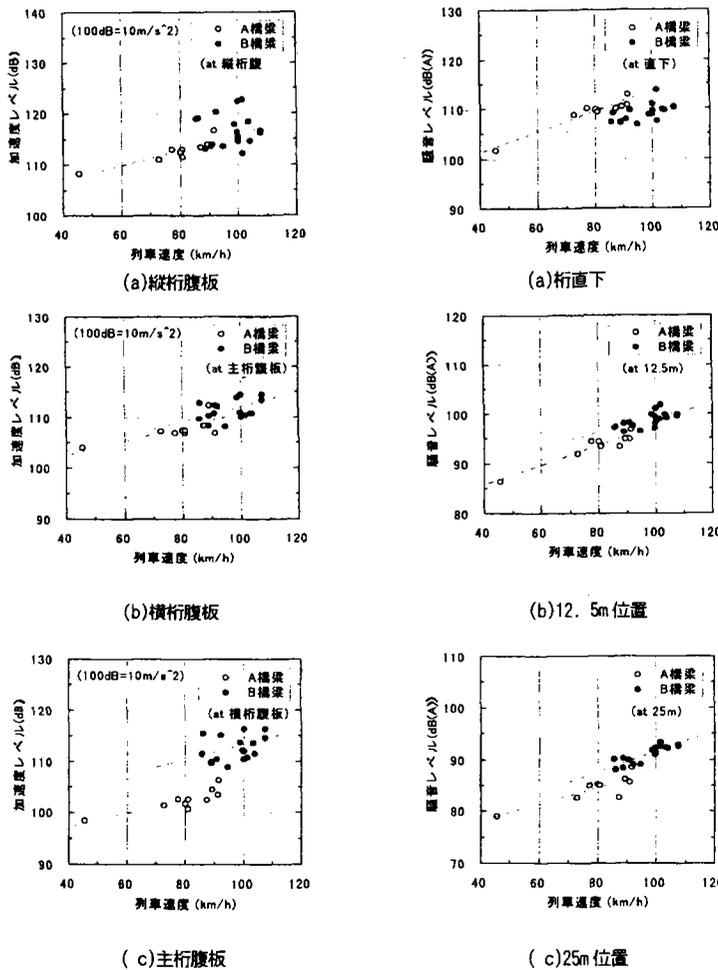


図-3.3.6 列車速度と振動加速度レベル

図-3.3.7 列車速度と騒音レベル

(3) 測定結果

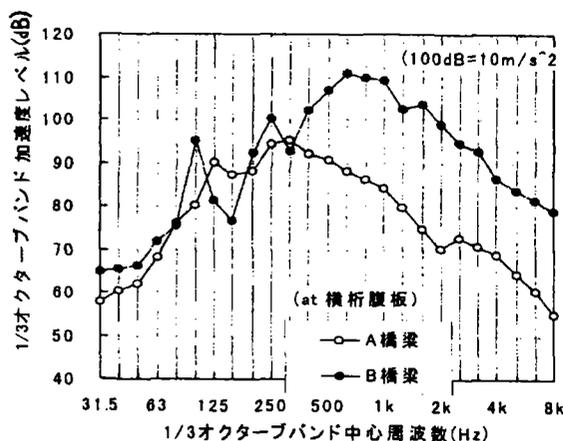
図-3.3.5 は、列車の橋梁通過時における橋梁直下 S1 における最大音圧発生時の前後 0.25 秒間の振動加速度と音圧の 1/3 オクターブバンド分析により得られた加速度レベルと騒音レベルを全列車についてプロットしたものである。振動・騒音とも全体的に A 橋梁の方が B 橋梁よりも小さいことがわかる。

図-3.3.6(a)~(c)に、加速度レベルを縦軸に、列車速度をパラメーターとして横軸にプロットした図を示す。

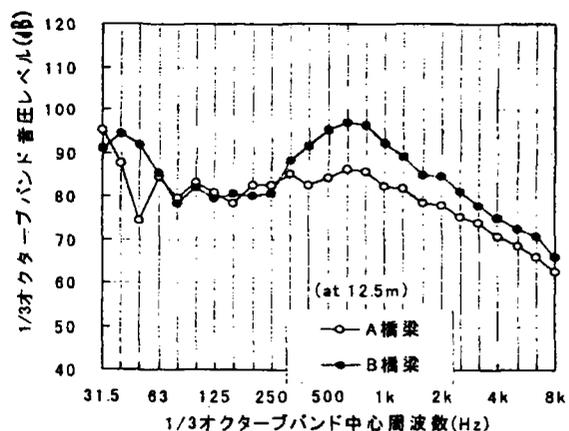
同様に図-3.3.7(a)~(c)には騒音レベルの場合を示す。列車速度は A 橋梁に比べて B 橋梁通過時の方が、B 橋梁の曲線区間での速度制限の関係から、20%程度速いので、このままでは両橋梁の振動・騒音は比較できない。したがって同一速度条件における両橋梁の振動、騒音の比較を行うために、両図中に破線で示した橋梁ごとの回帰直線を用いて、90km/h における振動加速度レベルおよび騒音レベルの推定値を求めた。その結果を表-3.3.1 に示す。A 橋梁は B 橋梁に比べて、振動加速度は制振鋼板を使用している横桁では 8dB、縦桁では 2dB 低く、普通鋼板を使用した主桁でも 1dB 低い。また騒音については桁直下では A 橋梁の方が逆に 3dB 高くなっているが、12.5m 位置および 25m 位置ではそれぞれ約 2dB および約 3dB 低くなっている。なお、桁直下での騒音の大きさが A 橋梁の方が B 橋梁より大きくなっている理由は、レール継目位置と騒音測定位置の間の距離が A 橋梁の方が B 橋梁より短いためと考えられる。

表-3.3.1 振動加速度レベル・騒音レベルの推定値(90Km/h)

	振動加速度レベル(dB)				騒音レベル(dB(A))		
	A橋梁	B橋梁	差		A橋梁	B橋梁	差
縦桁腹板	114.2	116.5	2.3	桁直下	111.4	108.1	-3.3
横桁腹板	103.8	111.9	8.1	12.5m位置	95.4	97.6	2.2
主桁腹板	109.5	110.7	1.2	25m位置	86.1	89.5	3.4



(a) 振動加速度



(b) 音圧

図-3.3.8 1/3 オクターブ分析結果

(4) 結果の比較

今回の測定では、A 橋梁のレール継目部と 12.5m の騒音測定位置との直線距離は約 13m、25m 位置では、25.3m である。当初の測定では、レール継目部と 12.5m 位置の直線距離は約 17.5m である。今回の測定値は、表-3.3.1 に示すように 12.5m 位置では 95.4dB、25m 位置では 86.1dB であった。今回の値を音圧次元で線形補間を行い、17.5m 位置での値を推定した。

その結果は、17.5m 位置での騒音推定値は 93.0dB となる。B 橋梁についてはレール継目部が当初と同じであるために、同位置での騒音測定値 97.6dB を用いると、両者の差は 4.6dB となる。

図-3.3.8(a),(b)に代表列車走行時の横桁腹板の振動加速度 A2 と 12.5m 位置での音圧 S2 の 1/3 オクターブ分析結果を示す。両図から、振動加速度、音圧ともに両橋梁の間には 400Hz 以上の帯域で特性に明確な差があり、A 橋梁の減衰は B 橋梁に比べて大きいことがわかる。

3. 3. 3 樹脂の経年変化に関する考察

A 橋梁架設直後の当初の測定データでは B 橋梁との騒音レベルの差は約 5dB となっている。これは、今回と同じく回帰直線により速度補正されたデータにもとづいて出された A 橋梁と B 橋梁の騒音差である。今回の測定結果から距離補正ならびに速度補正を行って求められた騒音差は、前項の結果から 4.6dB となる。したがって、騒音差は架設当時とあまり変わっていないので、樹脂の経年変化に伴う制音に関する性能の低下はほとんどなく、制振鋼板の効果は架設から 22 年経過した現在でも十分維持されていると考えられる。

3. 4 橋梁適用上の問題点

制振鋼板には3. 1で示した通り粘弾性樹脂を鋼板でサンドイッチした形式や、鋼板自体をサンドイッチしたもの、また鋼板単体の組成調整により制振効果を発揮するものがある。サンドイッチ（樹脂積層）形式のものでは、制振効果に温度依存性が大きいため使用温度に適した鋼板の選定が必要である。また2枚の鋼板間に樹脂材が介在しているため、溶接による樹脂の溶け出しやガスによる溶接欠陥の発生懸念など溶接施工上の配慮が重要となる。

以下に参考文献¹⁰⁾より抽出した橋梁における設計施工上のいくつかの問題点について示す。

3. 4. 1 材料上の問題

ここでは2枚の鋼板の間に粘性樹脂をサンドイッチした材料で、スポット溶接をしないタイプのものを対象とする。

制振鋼板に用いる鋼材の材料強度については普通鋼板と同様とする。ただし最小板厚については、制振鋼板は2枚板であること、また溶接性を考慮して1枚あたりの最小板厚は6 mm とする。

制振鋼板に用いる粘弾性樹脂は、JIS K 6850 せん断接着強さ試験（図-3.4.1 参照）の引張せん断接着強さが 5.0N/mm^2 以上あるものを用いるものとし、部材製作時にずれ、はがれ等が生じないものとしなければならない。

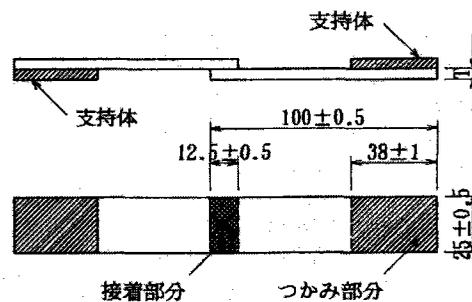


図-3.4.1 接着材の引張せん断接着強さ試験

制振鋼板は熱老化後に外観上異常が無く、温度 25~40℃、周波数 500Hz における損失係数が 0.07 以上を満足することを確認するものとする。制振鋼板の性能は2枚の鋼板の間にはさまれる樹脂の特性に依存するため、制振効果を示す指標としては損失係数を用いる。熱老化試験は「JIS K 6301 加硫ゴム物理試験方法」により行い、試験時間は試験温度 70℃で 96 時間とする。

損失係数は温度により大きく影響を受け（図-3.4.2 参照）、また試験方法や試験片の大きさにも影響を受ける。

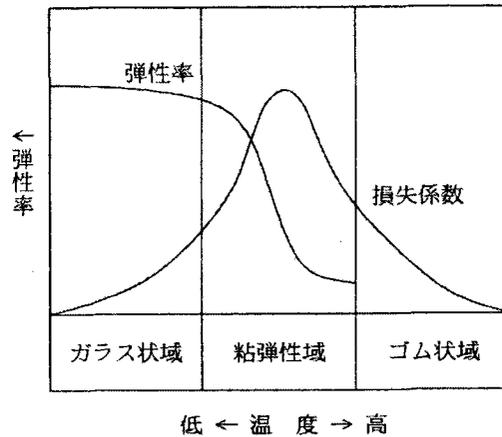


図-3.4.2 温度と弾性率と損失係数の関係

接着剤の厚さは 0.3mm 以下とするのを標準とする。樹脂厚と制振性能および高力ボルトの締付け力には密接な関係があり、制振性能は樹脂厚により変化するが、一概に樹脂厚が厚ければ制振性能が増すとはいえず、逆に薄い方が制振性能が優れているという結果もある。一方、高力ボルトの締付け力は、樹脂厚が薄いほど低下率低い。このようなことから、実用的な接着剤の厚さとして 0.3mm 以下とすることを標準とする。

3. 4. 2 設計上の問題

(1) 設計一般

制振鋼板を用いた部材の設計は、制振鋼板の特性を考慮し適切に行わなければならない。制振鋼板を用いた部材を設計する上で、普通鋼板を用いて設計する場合とは異なり、特に考慮しなければならない点は以下の通りである。

- ① 曲げ剛性が、制振鋼板と同じ板厚を持つ普通鋼板に比べて小さい。
- ② せん断耐力が、制振鋼板と同じ板厚を持つ普通鋼板に比べて小さい。
- ③ 高力ボルトにより締付けた場合、経時変化により締付け力が低下する。
- ④ 下路桁の場合、腹板の面外方向の応力は同じ板厚を持つ普通鋼板に比べて大きくなる。

上記の項目について、制振鋼板の特性として、これまでの実験・研究により以下のような結果が得られている。

- ① 制振鋼板と同じ板厚をもつ単一の普通鋼板と同等の面外の曲げ剛性を得るには約 1.4 倍の板厚が必要である。
- ② 制振鋼板のせん断耐力は、同じ板厚をもつ単一の普通鋼板に比べて 10% 程度低い。
- ③ 高力ボルトにより締め付けた場合、樹脂厚が 0.3mm 以下であれば、増し締めや 2 度締めを行なうことにより、普通鋼板と同等の設計が可能である。
- ④ 下路桁の場合、横桁の取り付け部の垂直補剛材を山形鋼ボルトにより取り付けて、2 枚の鋼板を

一体としてみなすことにより特別な配慮は不要である。

(2) 疲労強度

溶接により制振鋼板を使用して製作される部材の継手の強度等級は、疲労強度を適切に低減して設計するものとする。ただし溶接部の樹脂を確実に取り除くことができる場合、あるいはそれを確認できる場合には普通鋼板と同等としてよい。樹脂を溶接部からあらかじめ除去した場合には、欠陥の発生は認められず、また疲労強度は普通鋼板と同等であることが確認されている。したがって、この場合には「鉄道構造物等設計標準・同解説（鋼・合成構造物）」（以下、鋼標準）に定める継手の強度等級に準じてよいが、溶接部に樹脂を残したまま溶接を行う場合には、普通鋼板に比べ疲労強度が多少劣ることが確認されており、継手の強度等級を1ランク下げて用いるものとする。

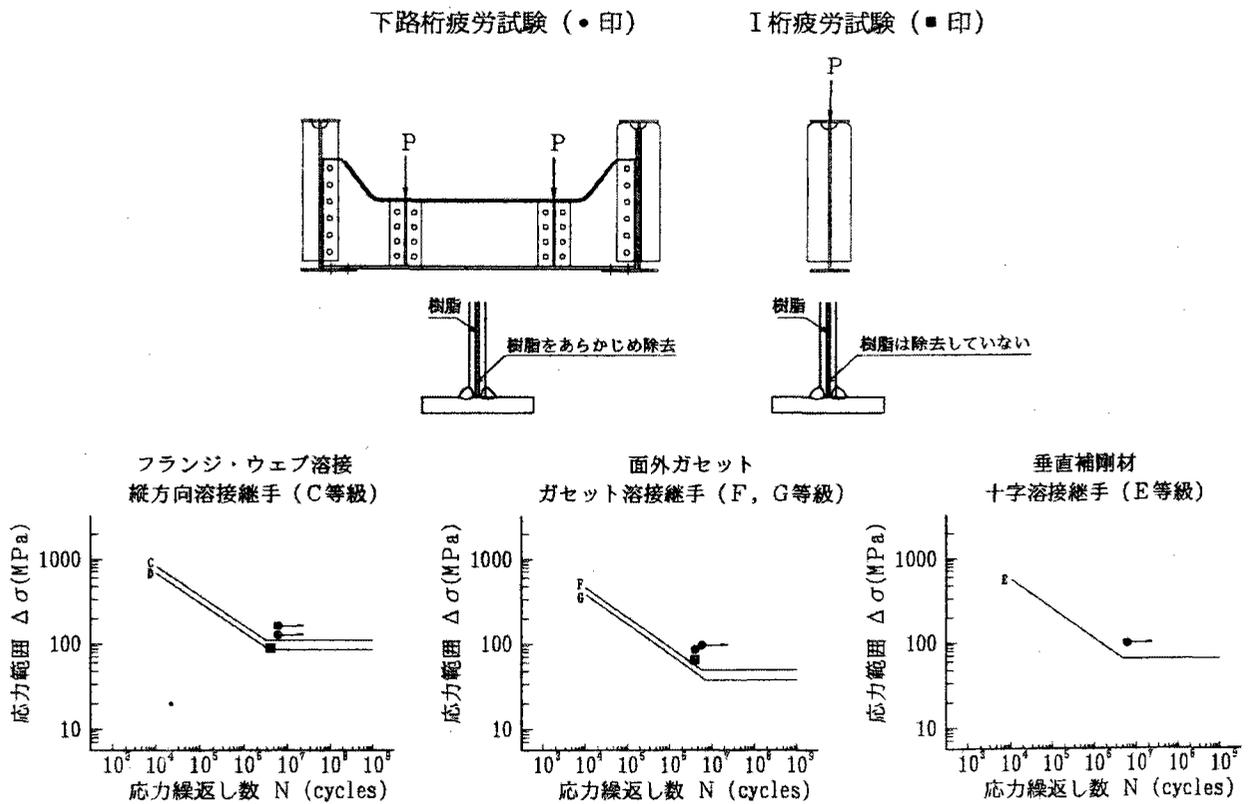


図-3.4.3 既往の実験による溶接継手の強度等級

(3) 構造細目

制振鋼板により構成される部材の構造細目は、部材および構造物に制振性能を発揮でき、また耐久性を損なわないようなものとする。これ以外については、「鋼標準」によるほか、適切な構造細目を検討するのがよい。

プレートガーダーの腹板に取り付ける垂直補剛材は、高力ボルトにより取り付けることを標準とする。制振鋼板を腹板に使用して溶接により補剛材を取り付けると、樹脂が溶け2枚の鋼板に剥離が生じ面外変形を生じ、制振性能が低下することも考えられる。そこで制振鋼板を腹板に使用する際には図-3.4.4のように垂直補剛材は形鋼を使用し、高力ボルトで取り付けることを標準とする。

ただし比較的桁高の低い小規模な橋梁の場合には、製作ひずみが小さくなるような施工方法を検討し、垂直補剛材を普通鋼板と同じように溶接により補剛材を取り付けてもよい。

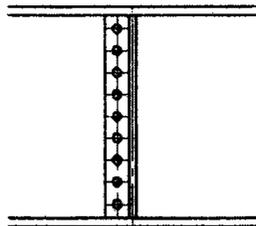


図-3.4.4 垂直補剛材の取付け方法の一例（山形鋼使用）

制振鋼板の樹脂が露出する端面に対しては防錆処理を行うものとする。制振鋼板の端面は樹脂を露出させないように塗装またはシーリングを行うのがよい。（図-3.4.5）

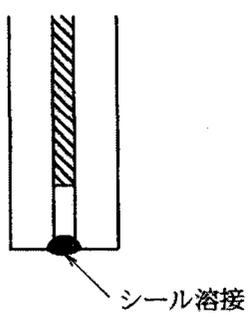
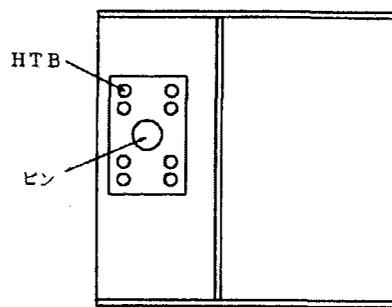
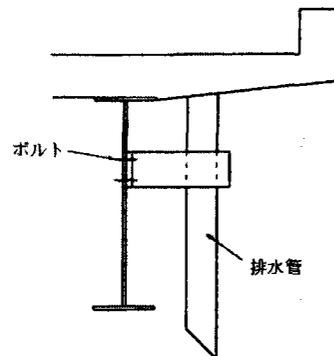


図-3.4.5 端面および添接部の防錆の一例

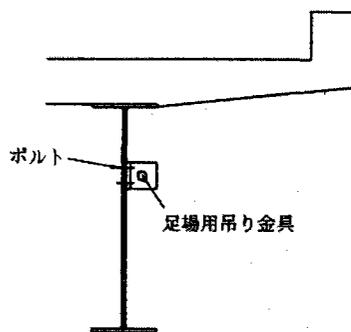
落橋防止装置の補強板、排水設備等のリブおよびその他の付属設備を制振鋼板に取り付ける場合には、制振性能、強度等を損ねることのないよう、適切な方法を検討しなければならない。制振鋼板に付属物等の小部材を取り付ける場合には、ボルトにより取り付けるのを標準とする。図-3.4.6に部材の取付け例を示す。



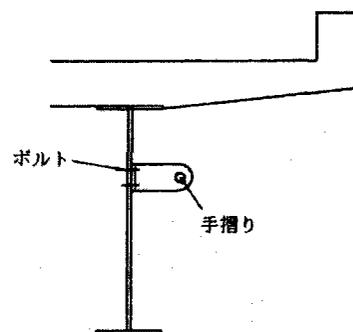
(a) 落橋防止装置の補強板



(b) 排水設備のリブ



(c) 足場用吊金具



(d) 手摺り

図-3.4.6 部材の取付け例

(4) 接合強度

制振鋼板を締付け部材とする摩擦接合による高力ボルト継手部の設計は、締付け力の低下を考慮して行うものとする。制振鋼板の連結を摩擦接合用高力ボルトで行った場合、一般にボルトの締付け力は時間の経過とともに低下する。しかし樹脂厚が 0.3mm 以下であれば、締付け力の低下はあるものの普通鋼板と同等の強度として設計して問題無いことが実験により確認されている。したがって慎重な施工を行うことを条件に普通鋼板を用いる場合と同等の設計をしてよい。

樹脂樹脂厚が 0.3mm 以上の制振鋼板を用いる場合には、締付け力の低下を無視することはできないが、ボルトの増し締めや2度締めを行えば、普通鋼板と同等の強度をもつ継手として設計して問題無いことが実験により確認されており、このような施工を行うことを前提とするならば普通鋼板と同等の設計を差し支えない。また締め付け力の低下が、特に懸念される場合には、低下分を適切に差し引いて設計してもよいこととする。なお現場継手は高力ボルト継手を原則とする。これは、現場溶接では、制振鋼板を溶接する場合、樹脂の影響による溶接品質の低下が懸念されるためである。

3. 4. 3 施工上の問題

(1) 溶接

制振鋼板の溶接施工は、「鋼標準」鋼構造物の製作標準 5 章に準じてよい。ただし、制振鋼板の溶接施工は入熱量が低くなるよう留意するものとする。なお溶接箇所は樹脂は 30～50mm 程度の範囲で除去することを基本とする。ただし施工性等により樹脂の除去が困難な場合は、疲労強度が小さくなることに留意する必要がある。(図-3.4.7)

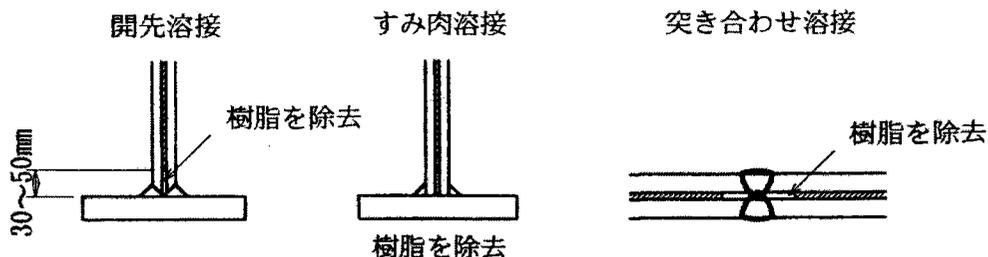
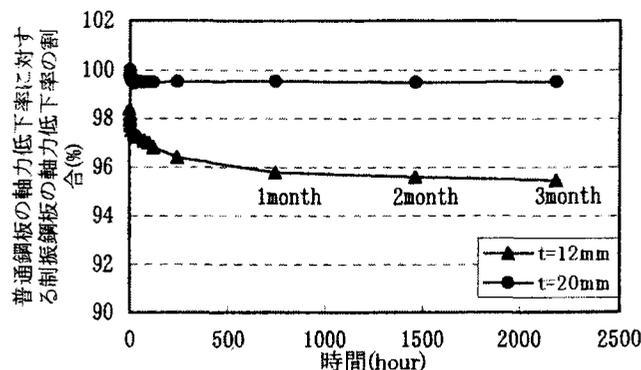


図-3.4.7 制振鋼板の溶接施工

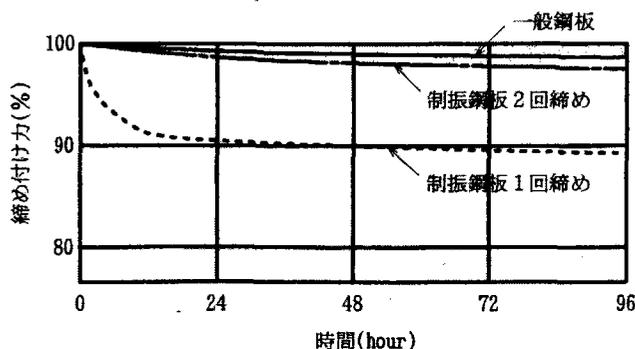
(2) 高力ボルト摩擦接合

制振鋼板を摩擦接合により添接する場合には、設計ボルト軸力の 20% 増しで締付けることを原則とする。制振鋼板を高力ボルトにより接合した場合には、時間が経過するにつれボルトの締め付け力が低下するか、現行の設計基準の設計ボルト軸力を 20% 増しして締付けることにより、普通鋼板と同等の締め付け力を得ることができ、「鋼標準」と同等の値をとることが可能である。また、2 度締めを行う方法もあり、施工条件により検討するのがよい (図-3.4.8 参照)。



(a) 設計軸力の20%増しで締付けた場合 (樹脂厚0.3mm)

(普通鋼板, 制振鋼板で $t=12\text{mm}$ と $t=20\text{mm}$ の試験体を3体ずつ製作し, 普通鋼板の低下率の平均値に対する制振鋼板の低下率の平均値の割合を示している.)



(b) 2度締めを行った場合 (樹脂厚0.5mm)

図-3.4.8 ボルト締め付け力の経時変化の例

(3) 切断

制振鋼板を切断する際には, 適切な方法により行うこととする。制振鋼板の切断にあたっては, 板厚により最適な方法を見出す必要がある。したがって, 施工前にあらかじめ試験切断等を行い, ひずみ, 鋼板の剥離等を起こさないような切断方法を採用するのがよい。

通常のカス切断では良好な切断面が得られない恐れがあるため, その他の方法を選択するのがよい。実施工への適正性を考えると切断能力の高いプラズマ切断の使用が考えられる。プラズマ切断機では, 普通鋼板を切断する条件ではアークが樹脂層で止まって完全に切断しきれないが, 電流を上げ, 速度を落とした切断条件にすると良好な切断性が得られることを確認している。プラズマ切断は, レーザー, ガス切断に比べて入熱量が高くなるため樹脂への熱影響が懸念されるが, 熱影響部については, 切断時に樹脂が液化しても, 再硬化した場合に付着力がかなり回復することを確認している。

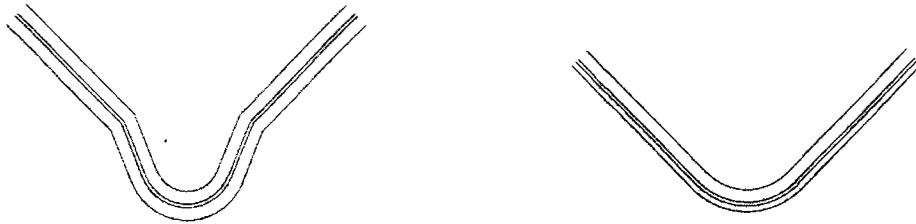
なお, 様々な板厚の加工性, 施工機械の検討, 樹脂が熱影響によって液化し再硬化した際の樹脂の物性等については未解明な点もあるため, 切断にあたっては十分な注意が必要である。

また, 孔明け等の機械加工については特に問題はなく施工できることを確認している。

(4) 曲げ加工

制振鋼板に曲げ加工を行う場合は、冷間曲げ加工を原則とする。制振鋼板に曲げ加工を行う場合は、冷間曲げ加工をすることを原則とする。熱間曲げ加工を行うと、温度が高いと樹脂が溶け、鋼板の剥離の恐れがある。

制振鋼板が比較的薄い場合、曲げ加工を行うとカモメ状の変形を生じる例がある。これを防ぐためには上下の板厚を不等厚にすることで改善ができるが、上下等厚の場合に比べて制振性能が劣ることになる。構造物および部材の要求性能および目的に応じて検討するのがよい。(図-3.4.9)



(a) カモメ状の変形(上下等厚の場合) (b) 上下不等厚の使用により変形しない例

図-3.4.9 制振鋼板の曲げ加工

(5) ひずみ矯正

制振鋼板を使用した部材のひずみ矯正は冷間矯正を原則とする。制振鋼板は加熱矯正を行うと樹脂が溶ける恐れがあるため、冷間矯正を原則とした。

制振鋼板は、溶接、切断等により普通鋼板に比べてひずみが生じやすいので、溶接、切断等の施工にあたっては使用機械、施工順序、拘束治具等の検討を行い、ひずみが最小となるようにする必要がある。

3.5 道路橋への適用提案

道路橋の振動・騒音は、車両が土工部から橋梁部へ進入する時の急激な载荷による衝撃と、その後の走行車両の加振によって橋桁や床版がたわみ振動することによって誘起される。したがって振動の発生源は伸縮装置部と桁端部ということになる。

ここでは部材の制振効果を期待して、下図のように桁端部から1ブロック目の腹板と伸縮装置の腹板に制振鋼板の使用を考える。

主桁腹板の使用では、樹脂積層タイプでは3.4で示した通り溶接施工上の留意が必要であるが、フランジと腹板の首溶接部において樹脂の除去や疲労強度等級を考慮した設計を実施すれば問題なく適用が可能であると考えられる。

また伸縮装置の腹板への使用では、部材強度的な問題がなく、振動発生源に直接関係することから適用が有効であると考えた。

図-3.5.1に橋梁への鋼道路橋への制振鋼板適用例を示す。

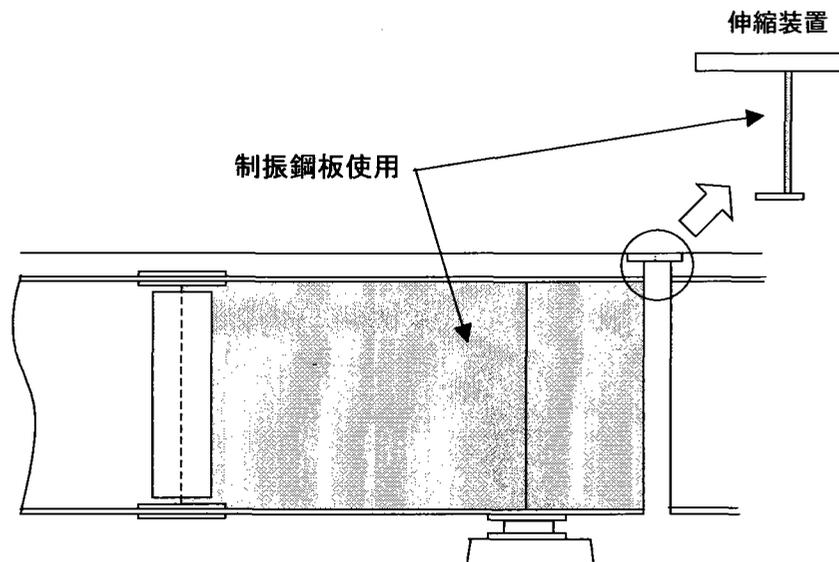


図-3.5.1 鋼道路橋への制振鋼板適用例

3. 6 まとめ

制振鋼板の鋼橋本体への適用状況を見てみると、20数年前に3.3章で述べたA橋梁（鉄道橋）において樹脂積層タイプの鋼板を縦桁・横桁の腹板に使用された1橋だけの使用実績があるが、A橋梁とは別のグループの調査・研究が行われ実橋への適用を待っている状況にある。しかし騒音問題は制振鋼板を使用しただけでは解決にはならないということと、事前に使用した際の効果確認が的確に予測できないために、発注者側で高価な材料を使用する価値があるのか判断がしかねている状況にあると思われ、積極的に使用される雰囲気がないのが現状のようである。

従って今後多くの橋梁に安心して制振鋼板が使用されるようになるためには、更に溶接性等に関する施工上の問題点の解決を図ることは勿論であるが、供用開始後の騒音予測を的確に行う技術の発展も重要な要件になると思われる。そのためには試験施工を含めた施工実績を積み重ねることが必要で、施工のたびに騒音・振動測定を実施し、普通鋼材を用いた橋梁との比較を行うことによって予測技術を向上させ、橋梁の計画段階で説得力のある騒音予測を行うことが出来るようにすることも重要であると考えられる。

ここでは鋼道路橋への適用に関する一つの提案を行ったが、今後さらに制振鋼板に関する研究やデータの蓄積が進められ、より良い社会資本の構築に本検討が役立てば幸いである。

【参考文献】

- 1) 日本鋼管（株）：カタログ「NKK SERENA」
- 2) （社）鋼材倶楽部：橋梁研究会カタログ「高性能鋼の概要（橋梁向け）」
- 3) 住友金属工業（株）：技術資料「複合制振厚鋼板 -ハイダンパー-」
- 4) 阿部，稲葉，森脇：腹板に消音鋼板を使用したけたの諸特性，構造物設計資料，NO.48，1976.12
- 5) 阿部，稲葉，森脇：消音鋼板を主部材に使用した橋梁の研究，構造物設計資料，NO.53，1978.3
- 6) 斉藤，西山：防音材ダンプレーをもちいた鋼鉄道橋の振動および音響特性，R&D/神戸製鋼技報 Vol.29,NO.1，1979
- 7) 小芝，阪本，内藤，志村：制振鋼板を用いた低騒音鋼橋の研究，鉄道総研報告，Vol.7,No2,1993.2
- 8) 市川，池田，河原田：制振鋼板を用いた鋼橋の騒音低減効果および設計施工法，鉄道総研報告，Vol-12,No9,1998.9
- 9) 佐々木，中島，市川，池田：制振鋼板製鋼鉄道橋の経年変化について，第6回鋼構造シンポジウム，日本鋼構造協会，1998.11
- 10) 制振鋼板の利用に関する設計施工の手引き，鉄道総研，2001

4. クラッド鋼

4. 1 クラッド鋼の概要

クラッド鋼は、鋼と異種金属を組織的に接合させ、鋼と組み合わせた金属の特長を生かそうとするもので、単一の金属では得られない高い機能に期待するものである。

クラッド鋼には、鋼（母材）と被覆する金属（“合わせ材”という）の種類により、ステンレスクラッド鋼、チタンクラッド鋼、ニッケル合金クラッド鋼や銅合金クラッド鋼などがある。<図-4.1.1>

現在、主として使用されているクラッド鋼の機能としては、強度と耐食性に期待するものであり、合わせ材に耐食性を分担させて、強度は母材の鋼のみでもたせる考えが一般的である。

また、橋梁の分野では、東京湾横断道路における鋼製橋脚の飛沫・干満帯に防錆を目的として、チタンクラッド鋼を使用したのが知られている。<写真-4.1.1>

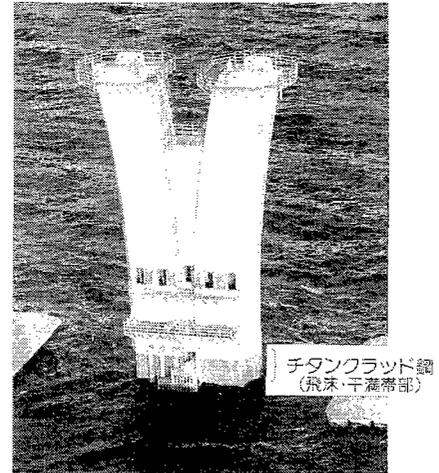


写真-4. 1. 1
東京湾横断道路の鋼製橋脚
に使用したチタンクラッド鋼¹⁾

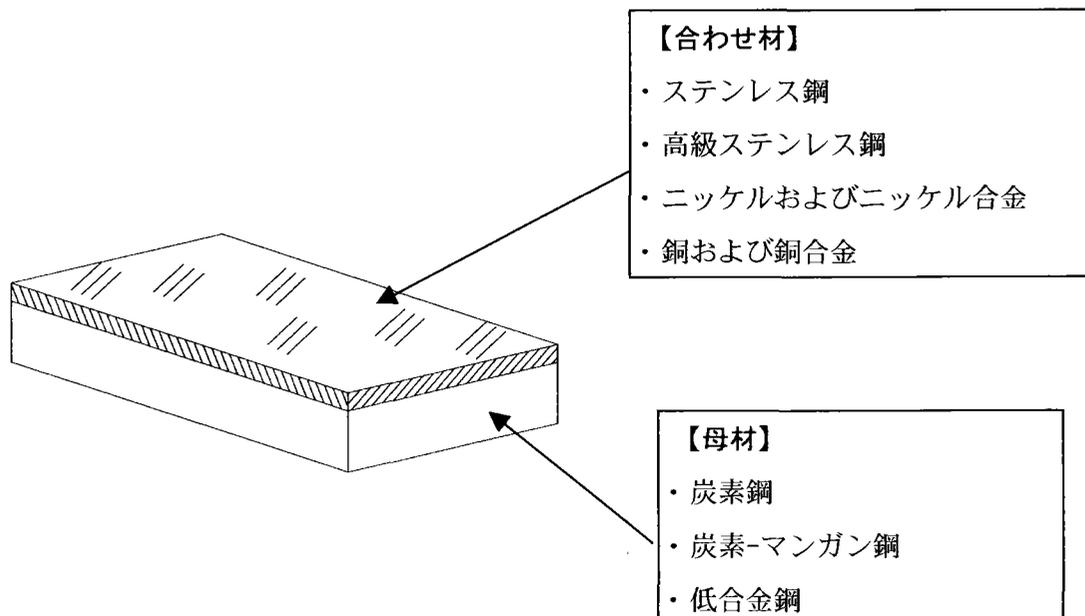


図-4. 1. 1 クラッド鋼の概念図

クラッド鋼の主な特徴をあげると、以下のとおりである。

1) 優れた経済性

高価な耐食合金の使用量を最小にできる。

母材鋼種を選定することで板厚を薄くでき、機器重量を軽減できる。

- 2) 優れた機能性 機械的性質・物理的性質・耐食性を自在に組合せ、最適の複合機能を持たせることができる。
- 3) 優れた作業性 切断・溶接・加工・塗装等が容易に行える。
- 4) 優れた安全性 応力腐食割れに対して感受性が低く、腐食割れが発生した場合でも母材側でその進展が止まることで安全性が非常に高い。

クラッド鋼の製造方法としては、表-4.1.1にステンレスクラッド鋼の例を示すように、軟鋼と金属を組合せ再加熱し圧延接合させる圧延クラッド鋼、爆発圧接を利用した爆着クラッド鋼やサブマージアーク溶接を利用した肉盛りクラッド鋼があるが、近年では圧延クラッド鋼が主流になっている。

表-4.1.1 ステンレスクラッド鋼の種類²⁾

種類	適用範囲	長所	短所
圧延クラッド鋼	ステンレス鋼の板厚2mm以上、母材の板厚6～150mm。中・厚板では爆着クラッド鋼に、極厚板では肉盛りクラッド鋼に代わりつつあるが、大板にはよい。	1.大板でも製造可能 2.高温においてステンレス・母材境界層において炭素の移動が少ない(境界部にニッケルなどがインサートされているため)。	1.母材厚さが150mmぐらいまでが限度である 2.小板や極厚肉では不経済である。 3.製造工数が多く、コストダウンが困難である。
爆着クラッド鋼	ステンレス鋼の板厚1.4mm以上、母材の板厚6mm以上でステンレス板厚の3倍以上の板厚が好ましい。	1.母材が厚板でも製作できる。 2.接合強さが強いので、曲げ絞り加工などに耐える。 3.他の方法に比較し、コストダウンになりうる。 4.小板でも製作できる。	1.極大板の製作ができない。 2.高温において境界層に炭素の移動が多い。 3.専門メーカーのみ製造可能。
肉盛りクラッド鋼	ステンレス鋼の板厚2mm以上、母材の板厚6mm以上、200～300mmでも可能。 帯状電極サブマージアーク溶接法が多用されており、極厚肉・圧力容器に適用されている。	1.母材板厚や形状、寸法大小にかかわらずクラッドできる。 2.母材を成形および加工後クラッドすることができる。 3.溶接装置を持つ加工メーカーで作業できる。	1.溶接熱によって母材に変質およびひずみを生ずる。 2.溶接のままではクラッド表面の平滑度が劣る。 3.母材希釈により、成分保証厚さをうるためのクラッド厚さを他のクラッド鋼よりも厚くする必要がある。

4.2 鋼橋への適用

鋼橋は、コンクリート橋と比較してつねに防錆という課題を抱え、維持管理の面で大きな弱点となっており、防食に対する関心は高く、塗装とともに耐候性鋼材の使用、溶融亜鉛めっきや亜鉛溶射などいろいろな方策がとられてきた。しかしながら、わが国の鋼橋では、近年、耐候性鋼材の使用橋梁が急増しているものの、従来からその多くが塗装により処理されており、塗装の塗り替え作業は鋼橋管理者にとって大きな負担となっているのが現状である。

一方、わが国の公共事業では、ここ数年の間に、従来のイニシャルコスト重視の考えから将来のメンテナンスコストを含めたライフサイクルコストの考え方への移行が急激に進んできており、平成14年版の道路橋示方書においても橋梁の寿命を100年と設定し、耐久性の具体的な目標が示されるなかで、鋼橋の防錆は非常に重要な課題となっている。

このようなことから、ここではクラッド鋼の中からステンレスクラッド鋼に着目し、鋼橋への適用性について調査した。

4. 3 ステンレスクラッド鋼

ステンレスクラッド鋼は、鋼とステンレスを接合させたもので、強度面で優れた炭素鋼と耐食性、景観性に優れたステンレスの長所を生かそうとするもので、パイプライン、圧力容器やダム、水門などで採用され実績も多く、鋼橋の主構造への適用の実績はないものの、ミニマムメンテナンスの方策として可能性をもった鋼材といえる。また、ステンレスクラッド鋼は、合わせ材のステンレス鋼が母材の鋼と同等以上の降伏点を有するため、従来鋼と同じ基準での設計が可能と考えられており、設計上有利といえる。

橋梁に使用するステンレスクラッド鋼の母材に使用する鋼材としては、材質でSS400,SM400,SM490材、板厚で6mm~200mm、ロール幅も最大4.800m（製造メーカー1社調べ）が製造可能となっており、中小橋梁の使用材料の寸法を満足している。また、鋼橋に使用するステンレスクラッド鋼の合わせ材には、厚さ2mm程度のステンレス鋼の使用が予想される。

使用するステンレス鋼の物理的性質を表-4.3.1に示す。

表-4.3.1 ステンレス鋼の物理的性質³⁾

鋼種	物理的性質						
	比重 g/cm ³	比電気抵抗 μΩ·cm	磁性	比熱 cal/g/°C (0~100°C)	平均膨張係数 10 ⁻⁶ /°C (0~100°C)	熱伝導率 10 ² cal/cm/sec°C (100°C)	溶融温度域 (°C)
炭素鋼	7.86	15	有	0.12	11.4	11.2	1490 ~1520
SUS410	7.75	57	有	0.11	9.9	5.95	1480 ~1530
SUS430	7.70	60	有	0.11	10.4	6.24	1480 ~1510
SUS304	7.93	72	無	0.12	17.3	3.89	1400 ~1450
SUS316	7.98	74	無	0.12	16.0	3.89	1370 ~1400

4. 4 ステンレスクラッド鋼の鋼橋適用に関する研究⁴⁾

ステンレスクラッド鋼を鋼橋に使用する研究は、土木学会鋼構造新技術小委員会の耐久性研究WGによって、製作施工上の問題点、材料特性、製作時の残留応力とその影響、疲労特性や腐食特性にいたる幅広い範囲で、実物大製作施工試験を含めて検討されており、平成8年に以下の報告がされている。

4. 4. 1 応力-ひずみ関係

ステンレス鋼の降伏棚は明確でなく、この影響はステンレス鋼材厚：軟鋼の比（クラッド比）が大きいほど強く現れ、厚さが大きくなるにつれて軟鋼の挙動が支配的になる。

しかしながら、両者の応力ひずみ曲線は概ね一致しており、両者の材量を完全弾塑性体と仮定しての解析は可能である。図-4.4.1に板厚20mm（SUS316L：2mm+SS400:18mm）のステンレスクラッド鋼

およびクラッド鋼から切削加工した母材 (18mm), 合わせ材 (2mm) 単体での引張試験結果を示す。

4. 4. 2 クラッド鋼の材料特性の評価

熱間圧延により製造されたステンレスクラッド鋼の力学的挙動は、母材と合わせ材個々の材料特性および板厚構成に律則するとし、降伏点 (σ_y), 引張強さ (σ_B), 弾性係数 (E_0) はそれぞれ以下の式で近似できる。

$$\sigma_y = \frac{(t_b \sigma_{yb} + t_c \sigma_{yc})}{t_b + t_c}$$

$$\sigma_B = \frac{(t_b \sigma_{Bb} + t_c \sigma_{Bc})}{t_b + t_c}$$

$$E_0 = \frac{(t_b E_{0b} + t_c E_{0c})}{t_b + t_c}$$

4. 4. 3 残留応力

圧延クラッド鋼は、単一鋼板と比較して大きな残留応力が発生する。これは、ステンレスと軟鋼の熱伝導率, 線膨張係数の違いによるもので、圧延, 冷却過程における物理的性質の違いから発生する変形とこの変形を矯正する過程で導入されることが予想される。

4. 4. 4 座屈特性

図-4.4.2 に圧縮耐荷力試験の実験結果と解析によるクラッド鋼板の座屈耐荷力曲線を示すが、圧延クラッド鋼は、単一鋼板と比較して大きな差はないものの、若干低めの結果となっており、残留応力を考慮した解析では考慮しない場合と比較して約 15%程度低くなる結果となっている。報告ではこれまでに得られた結果だけでは不十分で今後のデータ蓄積が必要と述べられる一方、ステンレス (合わせ材) も強度部材とみなしての設計を前提として、橋梁部材への適用は可能との考えが示されている。

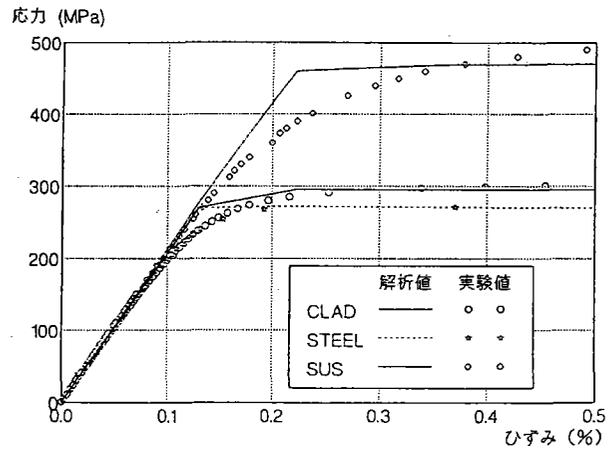


図-4.4.1 ステンスクラッド鋼 (2+18mm) の応力ひずみ曲線

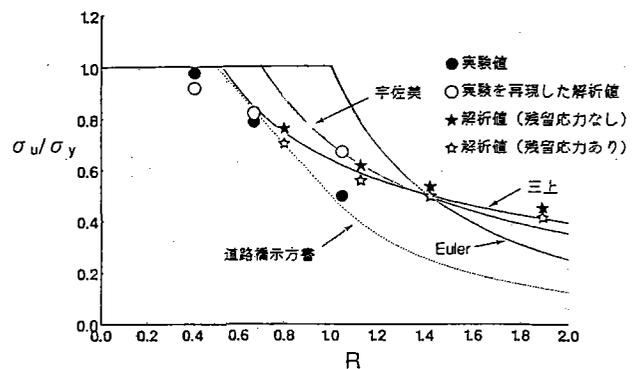


図-4.4.2 ステンスクラッド鋼の座屈耐荷力曲線

4. 4. 5 疲労強度

研究では、ステンレスクラッド鋼の疲労亀裂進展速度に着目し、応力拡大係数範囲で整理した場合、軟鋼と比較して低いヤング係数のステンレス鋼はひずみの変動幅が大きくなり、疲労亀裂進展速度は軟鋼よりも高くなるため、「鋼構造物の疲労設計指針・同解説」（日本鋼構造協会編、以下「JSSC指針」と呼ぶ）に示される疲労進展速度は、ひずみ拡大係数範囲で整理した、以下の式を提案している。

$$da/dN = 6.15 \times 10^3 [(\Delta K/E)^{2.75} - (\Delta K/E)_{th}^{2.75}]$$
$$\Delta K_{th}/E = 1.41 \times 10^{-5}$$

ステンレスクラッド鋼のヤング率Eは次式より求める。

$$E = (t_1 \cdot E_1 + t_2 \cdot E_2) / (t_1 + t_2)$$

t_1, E_1 : ステンレス鋼の板厚とヤング率

また、別途に行った小型試験体による箱桁曲げ試験による繰り返し载荷試験では、「JSSC指針」に示される強度等級を1ランク下回る結果となっているが、試験体が小型試験体であったことなどをその理由としてあげている。

4. 4. 6 溶接性

研究では、工場、現場において想定されるV開先、X開先などの溶接継手形状、ステンレスクラッド鋼の溶接する面、溶接姿勢や溶接材料について溶接施工試験を行っており、溶接部の引張、曲げ等の強度試験結果や面分析結果、腐食試験結果は溶接品質上に問題はないとしている。

また、溶接施工上の注意点として、機械的性質の低下、低温割れや高温割れの発生を防ぐため、継手形状、溶接材料の選定、溶け込み率などの施工方法は十分検討したうえで決定することをあげている。

4. 4. 7 製作試験施工（パイロットメンバーの試作）

研究では、ステンレスクラッド鋼を使用した実物大の箱桁部材を製作したうえで、以下の注意事項を示している。写真-4.4.1、図-4.4.3にステンレスクラッド鋼を使用して試作された箱桁を示す。

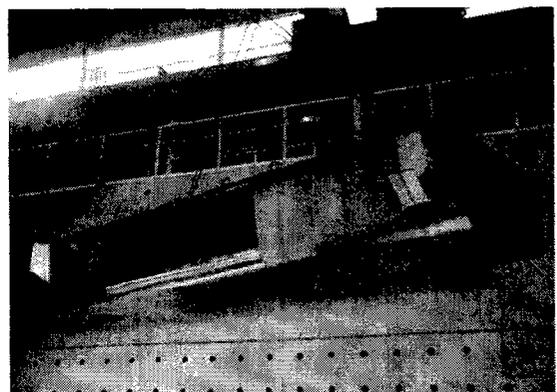


写真-4.4.1 ステンレスクラッド鋼を使用し、
試作された箱桁

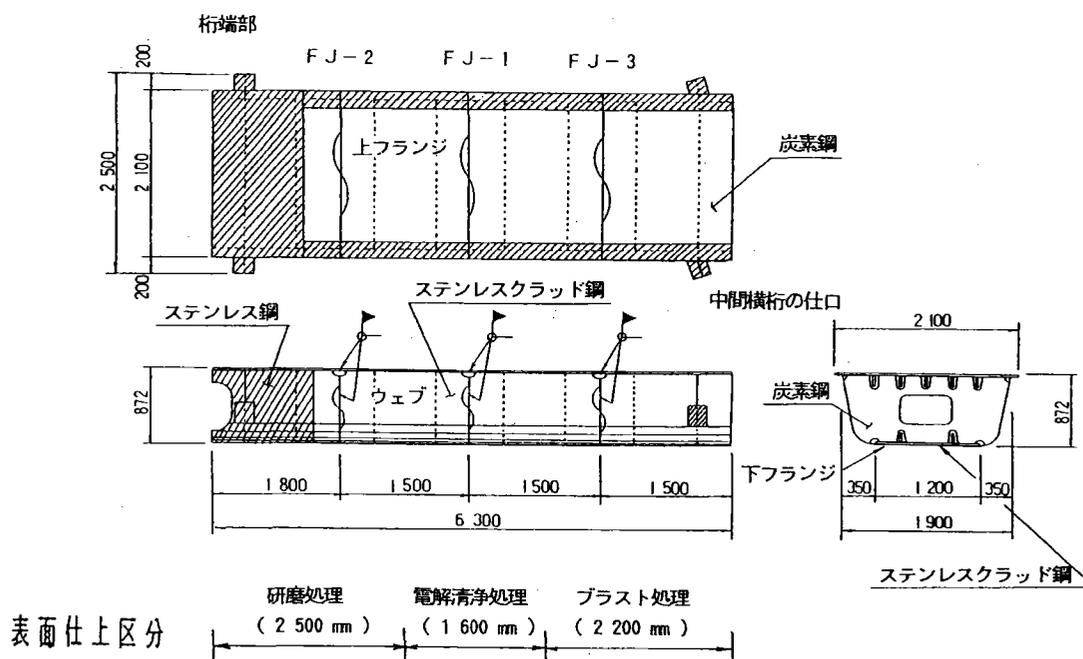


図-4.4.3 ステンレスクラッド鋼使用の箱桁パイロットメンバー概略図

(1) 罨書、切断

加工精度の確保と罨書の塗料による合わせ材（ステンレス）の腐食を避けるため、母材側から罨書およびプラズマ切断を行った結果、切断後の板厚方向の変形は1～2 mm/m程度で、製作に支障のない範囲であった。しかしながら、切断後には、切断ヒュームの付着により合わせ材の耐食性を低下させる懸念があるため、水洗いとエアブローによりヒュームを完全に除去する必要がある。

(2) 曲げ、組立、横持ち等

合わせ材のステンレス鋼は、鉄粉、ゴミ、水分や油分の付着により、耐食性が劣化する可能性があり、ステンレス専用の治具や炭素鋼とステンレス鋼で専用のワイヤブラシ、グラインダを使い分けるなどして、合わせ材への表面傷や鉄粉の付着を避ける必要がある。

(3) 溶接施工

ステンレスクラッド鋼は、線膨張係数が大きく熱伝導率も低いため、炭素鋼使用した部材の製作と比較して、溶接時の変形、歪が大きくなる。溶接施工では、変形、歪量を極力抑えるため、予歪、拘束治具、入熱量などの溶接条件、矯正方法や溶接順序について十分な検討を行ったうえで決定する必要がある。

(4) 現場溶接を想定した施工性

ステンレスクラッド鋼を使用した鋼橋は、使用する高力ボルトとの異種金属接触による腐食の問題や

継手部への雨水などの進入による腐食の問題があるため、現場溶接継手を採用する必要がある。

研究では、開先形状（V、X）、溶接方向（箱桁内面、外面）について表-4.4.1に示す3タイプの継手方法について施工試験を行い、作業性、溶接品質や耐食性について比較検討した結果、箱桁内面からのV開先施工が優れているとしている。しかしながら、この溶接施工方法は、初層溶接がステンレス部となるため、TIGドレッシング溶接処理を推奨している。

表-4.4.1 現場溶接継手の施工性比較

継手 NO.		FJ-2	FJ-1	FJ-3
溶接区分	上フランジ	箱外V開先		
	ウェブ	箱内V開先	箱外V開先	
	下フランジ		箱内外X開先	箱外V開先
コスト(能率比)		◎(1.0)	△(1.7)	△(1.9)
作業性		△	△	○
溶接欠陥発生率		○	○	○
耐食性		○	○	○

(5) 表面処理

ステンレスクラッド鋼の優れている点に表面の美しさがあるが、この点を生かすためには適切な表面仕上げが必要となる。研究では、以下に示す3タイプの表面仕上げを行い、作業性や溶接焼けの除去程度を比較している。

電解洗浄処理 --- 廃液の処理を考慮して、中性の電解液を使用

研磨処理 --- 作業コストおよび光沢を生かすため最低表面粗さ仕上げ#80程度とした。

ブラスト処理 --- 鉄粉等の付着を避けるため、研掃材にはガラスビーズを使用した。

表-4.4.2に、表面外観、能率、耐食性について比較した結果を示すとおり、電解処理や研磨処理は、一般部の溶接焼けや汚れの除去には効果があるが、溶接止端部の汚れに対してはワイヤブラシによる入念な手入れが必要になった。一方、ブラスト処理は能率面、溶接止端部の処理に優れている反面、研掃材が高価なためコスト的には研磨処理と同程度といえる。また、外観はガラスビーズの研削能力が劣るため溶接焼けが僅かに残る結果となったが、美観的には全体に均一な灰色の仕上がりとなった。

表-4.4.2 表面仕上げの比較

項目 処理方法	表面外観				全体評価	能率	耐食性
	溶接焼け	溶接止端	さび除去	汚れ・疵			
電解洗浄処理	○	×	○	△	△	△	○
研磨処理	○	×	○	○	△	×	○
ブラスト処理	△	○	○	△	○	○	○

4. 5 ステンレスクラッド鋼を使用した橋梁のシミュレーション

わが国におけるこれからの鋼橋の計画では、従来の画一的なものではなく、ライフサイクルコストを睨んだうえで、計画される橋梁各々の条件にあった仕様を選定するオーダーメイド的なものになると考えられる。

このようななか、ステンレスクラッド鋼を鋼橋に使用することは、4. 4で示されたように、解決されていない課題はあるものの十分な可能性を持っているといえる。

ここでは、ステンレスクラッド鋼が使用されるとしたら、どのような条件になるのかを想定したうえで、実際に施工した場合のライフサイクルコストが一般の橋梁と比較してどの程度のものなのかを概略検討する。

4. 5. 1 モデルケースの想定

(1) 発注者の想定

当面、大規模なプロジェクトにステンレスクラッド鋼使用橋梁が採用されるケースは考えられないため、将来のメンテナンス費用に不安がある、地方の市町村レベルと想定する。

(2) 周辺環境の想定と道路区分等

ステンレスクラッド鋼使用橋梁は、腐食環境の厳しくない地域での採用が予想され、耐候性と競合が考えられるため、架橋地点は一般環境（山間部）で景観性を考慮しなければならない路線と考える。

このため、近隣に集落は存在しないが、比較的用户の多い環境と考える。例えば、郊外の緑地公園等へ繋がる道路等である。これらから、地域区分と道路区分は、以下と想定する。また、(3)に示す理由から鋼床版の採用を前提とするため、寒冷地以外の地区と考えるのが妥当と考える。

<地域区分> 表-4.5.1に示す、D地域と考える。

表-4.5.1 地域区分

地域区分		沿道土地利用状況
都市部	A地域	都市部にあつて良好な住居環境を保全すべき地域
	B地域	A地域以外の都心部の地域
地方部	C地域	地方部にあつて沿道に集落等があるか、又は将来その形成が見込まれる地域
	D地域	C地域以外の地方部の地域

<道路区分> 表-4.5.2に示す、地方部の幹線道路と考える。

表-4.5.2 道路区分

地域区分 道路区分	都市部		地方部	
	A地域	B地域	C地域	D地域
主要幹線道路	6又は4車線		4又は2車線	
幹線道路	4又は2車線		2車線	
補助幹線道路	2車線			

<道路幅員> 以下の幅員とする。（「01' デザイナーブック」参照）

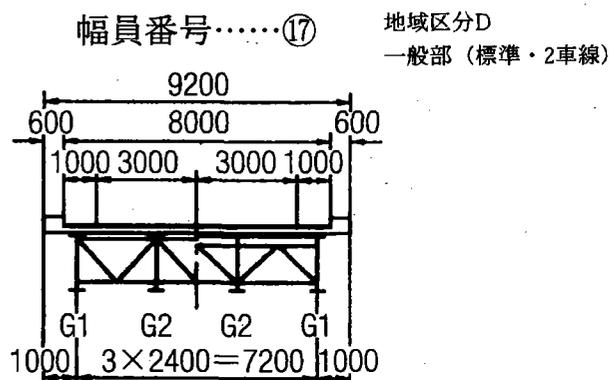


図-4.5.1 幅員構成

(3) 橋梁形式

<桁形式>

ステンレスクラッド鋼を鋼桁に利用する場合の問題点として、鋼板のコバ面の量を減らすことが重要となるため、橋梁断面形式としてはI桁と比較して箱桁形式のものが有利と考えられる。また、本検討では、問題点が少ないと考えられる単純桁を採用する。

<床版形式>

床版形式はコンクリート打設時の汚れ等による腐食や吊金具等の細かいディテールを避けるため鋼床版形式を採用する。

<現場継手形式>

現場継手は4.4.7の(4)に示すとおり、高力ボルト継手を使用した場合の問題が多いため、現場溶接継手とする。

<橋長、支間等>

鋼床版桁橋の適用範囲から橋長、支間は以下のとおりとする。

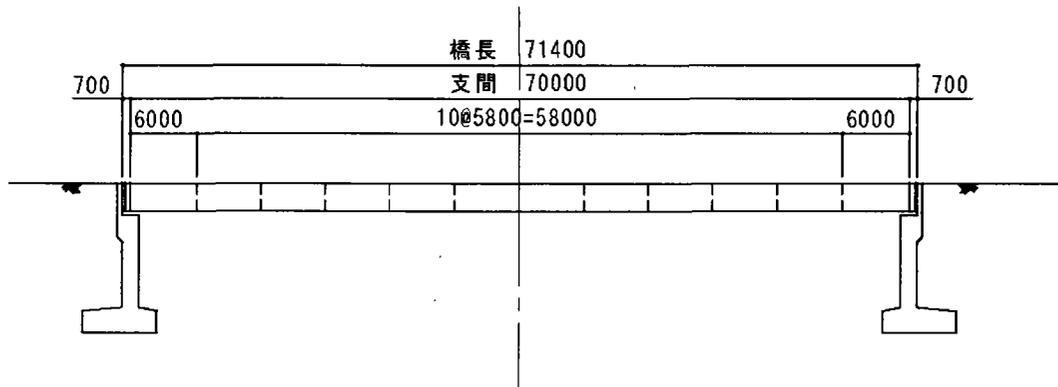


図-4.5.2 橋長、支間

<使用鋼材>

鋼材は、コストを抑えるため、耐候性鋼材裸仕様を原則として使用し、側面からの景観上に必要な箇所のみへステンレスクラッド鋼を使用する。

(4) 桁断面形状の検討

ステンレスクラッド鋼使用橋梁では、桁断面形状を決定するにあたり、以下の点について考慮する必要がある。

- ・ ステンレスクラッド鋼のコバ面を外気と接触しないようにする。
- ・ 桁端のフランジ、腹板等のコバ面には、ステンレスによる肉盛溶接で外気との接触を避ける。
- ・ ステンレスクラッド鋼部材の継手を極力少なくする
- ・ ステンレスクラッド鋼とのT継手を避ける
- ・ 高価なステンレスクラッド鋼の使用量を出来る限り少なくする。

本検討では、上記の点を考慮したうえで断面形状3案の比較を行った。

<第1案> 一般タイプ

従来の鋼床版箱桁橋をイメージとしたものであるが、材片数、鋼重が大きく、張出部の構造的なディテールにおいてもステンレスクラッド鋼の仕様には不相当と考えられる。

<第2案> 1箱桁タイプ

外面の複雑な構造ディテールに対して、箱桁全面をステンレスクラッド鋼で覆うことにより景観性を向上させるものであるが、下フランジに現場縦継手が必要になる点やステンレスクラッド鋼の使用範囲が大きくなるなど建設コストが高くなる。

<第3案> 張出なしタイプ

張出部を省略することで、複雑な構造ディテールが大幅に削減される。また、ステンレスクラッド鋼の使用範囲が主桁腹板と下フランジに限定されるため、コストを抑えることが出来る。

上記3案の比較結果を表-4.5.3に示す。

表-4.5.3 断面形状案の比較

△はステンレスクラッド鋼使用範囲

タイプ	断面	参考鋼重	クラッド鋼使用橋への課題
クラッド橋1 (一般タイプ)		310t (550kgf/m ²)	<ul style="list-style-type: none"> 以下の理由により、ステンレスクラッド鋼使用橋梁には適当でない。 ・ブラケット腹板は両面にステンレスが必要になる。 ・ブラケットフランジ、縦桁などでコバ面が外気と接触するため、防食処理が非常に多くなる。 ・他の案と比較して、材片数、部材数が多い。 <p>張出部を設ける場合には、コンクリート床版のほうが適していると考えられる。</p>
クラッド橋2 (1Boxタイプ)		325t (580kgf/m ²)	<ul style="list-style-type: none"> ・タイプ3他の案と比較して材片数、部材数が少ない。 ・ブラケット、側縦桁が無いためクラッド鋼の使用が可能な構造となる。 ・ステンレスクラッド鋼の使用量が、第3案と比較して多い。 ・箱桁下フランジにも、現場継手が多くなるため、架設費が高くなる。 ・最低断面で決定される範囲が広くなり、断面の効率が悪い。
クラッド橋3 (張出なしタイプ)		305t (545kgf/m ²)	<ul style="list-style-type: none"> ・他の案と比較して材片数、部材数が少ない。 ・ブラケット、側縦桁が無いためクラッド鋼の使用が可能な構造となる。 ・桁間には耐候性鋼材を使用することで、景観を損なわずコストを抑えることが出来る。 ・ステンレスクラッド鋼の使用量が、第2案と比較して少ないため、コスト的に有利である。

4. 5. 2 コストの検討

4. 5. 1に示すとおり、ステンレスクラッド鋼使用橋梁の橋梁断面は、第3案の張出なしタイプの2箱桁橋が製作、施工上およびコストの面から適していると考えられる。

ここでは、概略コスト算出用ソフトを使用して、従来型のRC床版箱桁橋と従来型鋼床版箱桁橋を一部補正したステンレスクラッド鋼使用橋梁（第3案）のライフサイクルコストを算出し、ステンレスクラッド鋼使用橋梁の可能性を検討する。

(1) 検討の条件

検討は以下の条件により行った。

- ① 景観を考慮する意味から、RC床版箱桁橋の塗装は、C-2塗装系とした。
- ② ステンレスクラッド鋼の材料費は、250～300千円/tを想定し上限を使用した。

- ③ ステンレスクラッド鋼の製作費は、従来鋼床版桁の2.0倍を想定し、クラッド鋼に関わる製作鋼重は全体の1/2とした。
- ④ ステンレスクラッド鋼の製品ショットは通常の約2倍とした。
- ⑤ ステンレスクラッド鋼使用橋梁における、耐候性鋼材使用範囲は裸使用とし、製品ショットを考慮しないものとした。
- ⑥ 塗装面積は、外面、内面とも各々10m²/tを想定した。
- ⑦ 塗装、支承、伸縮継手、RC床版、舗装等の補修、更新の間隔は表-4.5.4を想定した。

表-4.5.4 各工種の補修間隔の想定

		補修間隔
塗装	新設初期	40年
	塗り替え	40年
支承取り替え		100年
伸縮装置取り替え		30年
床版	更新	50年
	部分補修	25年
舗装	更新	20年
高欄取り替え		30年
排水装置取り替え		50年
定期点検		10年

(2) 検討結果

検討の結果を表-4.5.5にステンレスクラッド鋼使用橋梁と従来型のRC床版箱桁橋の年数経過による累積費用を、図-4.5.3にライフサイクルコストのグラフを示す。尚、何れもコスト比率は従来型RC床版箱桁橋の当初建設費を1.0としたものとする。

結果では、ステンレスクラッド鋼使用橋梁は、当初建設費は高いものの、約100年経過で従来型RC床版箱桁橋のコストを下廻ることになる。これは、従来型RC床版箱桁橋の塗装およびRC床版の更新費用が大きな負担となっていることからといえる。

表-4.5.5 ステンレスクラッド鋼使用橋梁と従来型RC床版箱桁橋のライフサイクルコスト (千円)

年数	クラッド鋼使用の鋼床版箱桁橋		従来型のRC床版箱桁橋	
	累計	コスト比率	累計	コスト比率
0	382,384	1.67	229,079	1.00
10	383,384	1.67	230,079	1.00
20	391,581	1.71	238,276	1.04
30	409,003	1.79	269,952	1.18
40	417,200	1.82	302,317	1.32
50	420,656	1.84	400,992	1.75
60	445,275	1.94	401,992	1.75
70	446,275	1.95	410,189	1.79
80	454,472	1.98	466,033	2.03
90	471,894	2.06	474,230	2.07
100	507,337	2.21	597,695	2.61
110	508,337	2.22	598,695	2.61
120	532,956	2.33	631,060	2.75
130	533,956	2.33	662,736	2.89
140	542,153	2.37	670,933	2.93
150	562,031	2.45	769,608	3.36
160	570,228	2.49	794,776	3.47
170	571,228	2.49	802,973	3.51
180	595,847	2.60	817,227	3.57
190	596,847	2.61	842,846	3.68

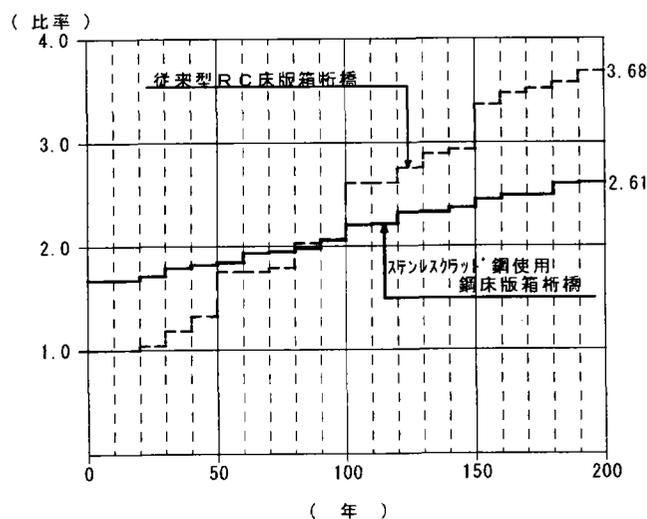


図-4.5.3 ライフサイクルコストの比較

4. 6 まとめ

鋼橋を取り巻く環境は、ライフサイクルコストの考え方が定着する一方でますます厳しい状況となっている。その要因のひとつは防錆、防食の問題であり、これをいかに効率良く行うかが今後の課題という。

わが国における鋼橋の防錆、防食では、塗装に変わる仕様として近年増加しているのが耐候性鋼材使用橋梁である。しかしながら、その年間実績は鋼重比率で15%にとどまっており、これは耐候性鋼材使用橋梁の景観性が劣っている点であると考えられる。

このようなことから、鋼材単体としては耐食性に優れたステンレスクラッド鋼を耐候性鋼材との併用により上手に使用できれば、景観的、ライフサイクルコスト的に有効と考えられる。

ステンレスクラッド鋼を鋼橋に使用するためには、設計、製作、施工上にまだまだ多くの問題を抱えており、コストを抑えたうえで耐久性を保證できるかは未知数である。

しかしながら、4. 5章の検討では、多くの部分を超概略で想定したものはあるものの、ライフサイクルコストにおいては、他の形式と比較しても高いものではなく、架橋地点の条件によっては候補として十分な可能性を持っていると考える。

今回の検討では、製作や架設（現場溶接等）の費用を単純に2倍して算出しているが、この点についてももう少し根拠のある費用を算出すべきだと考える。

【参考文献】

- 1) 新しい鋼橋, (社)日本橋梁建設協会, 1999. 8
- 2) 吉武ほか: ステンレス鋼の溶接, 産報出版社, 1980
- 3) 溶接・接合技術概論, (社)溶接学会
- 4) 土木学会鋼構造新技術小委員会耐久性研究WG: 最終報告書, 1996. 8

5. 調査文献一覧表

次項より、当ワーキンググループで調査を行った文献の一覧表を掲載する。尚、調査を行った文献は下記の通りである。

- ・土木学会年次学術講演会（土木学会）
- ・土木学会論文集（土木学会）
- ・構造工学論文集（土木学会）
- ・JSSCレポート（日本鋼構造協会）
- ・鋼構造論文集（日本鋼構造協会）
- ・鋼構造年次論文報告集（日本鋼構造協会）
- ・橋梁メーカー技報
- ・ミルメーカー技報
- ・橋梁と基礎（建設図書）
- ・鉄道技術研究報告（国鉄技研）
- ・鉄道技術研究所速報（国鉄技研）
- ・鉄道総研報告（鉄道総研）

土木学会年次学術講演会(土木学会)

分類	著者	論文名	雑誌名(書名)	巻号	ページ	発行所	発行年
耐候性鋼板	近藤明雄 他	耐候性鋼無塗装溶接継手の10年大気暴露後の疲労挙動	土木学会年次学術講演会	第44回	438-439	(社)土木学会	1989.10
耐候性鋼板	勝俣征也 他	耐候性鋼橋梁の箱桁内面裸使用について	土木学会年次学術講演会	第44回	562-563	(社)土木学会	1989.10
耐候性鋼板	加賀山泰一 他	耐候性鋼材の腐食量経年変化の調査研究	土木学会年次学術講演会	第44回	564-565	(社)土木学会	1989.10
低降伏点鋼	安藤 良典 他	低降伏比高張力鋼を用いた溶接H形ばりの曲げ耐荷力実験	土木学会年次学術講演会	第45回	62-63	(社)土木学会	1990.9
低降伏点鋼	淵先 弘一 他	低降伏比高張力鋼の機械的性質に関するデータベース	土木学会年次学術講演会	第46回	232-233	(社)土木学会	1991.9
制振鋼板	片山 大助 他	腹板に制振鋼板を用いた桁のせん断耐荷力	土木学会年次学術講演会	第46回	248-249	(社)土木学会	1991.9
耐候性鋼	佐々木 靖雄 他	8年間大気暴露した耐候性鋼溶接継手試験体の疲労強度について	土木学会年次学術講演会	第46回	410-411	(社)土木学会	1991.9
制振鋼板	森野 真之 他	制振鋼板の高力ボルト継手の引張強度	土木学会年次学術講演会	第46回	592-593	(社)土木学会	1991.9
制振鋼板	内藤 繁 他	制振鋼板の溶接施工性の検討	土木学会年次学術講演会	第47回	460-461	(社)土木学会	1992.9
制振鋼板	森野 真之 他	サンドイッチ制振鋼板溶接継手の疲労特性	土木学会年次学術講演会	第48回	628-629	(社)土木学会	1993.9
制振鋼板	安波 博道 他	腹板に制振鋼板を用いた桁の疲労試験	土木学会年次学術講演会	第48回	630-631	(社)土木学会	1993.9
低降伏点鋼	山尾 敏考 他	低降伏比鋼短柱の強度と変形能に関する実験	土木学会年次学術講演会	第49回	64-65	(社)土木学会	1994.9
低降伏点鋼	日野 雅夫 他	低降伏比高張力鋼を用いた薄肉短柱の強度と変形能について	土木学会年次学術講演会	第49回	72-73	(社)土木学会	1994.9
低降伏点鋼	石丸 淳也 他	低降伏比鋼箱形短柱の耐荷力及び変形挙動について	土木学会年次学術講演会	第50回	122-123	(社)土木学会	1995.9
クラッド鋼	牟田 圭造 他	ステンレスクラッド鋼の材料特性を考慮した箱げた解析	土木学会年次学術講演会	第50回	550-551	(社)土木学会	1995.9
テーパプレート	中村 聖三 他	テーパプレートフランジに用いた桁の力学特性に関する実験的研究	土木学会年次学術講演会	第50回	586-587	(社)土木学会	1995.9
テーパプレート	緒方 辰男 他	テーパプレートの橋梁への適用 - 上信越道深沢川橋一	土木学会年次学術講演会	第50回	612-613	(社)土木学会	1995.9
低降伏点鋼	市村 賢太郎 他	極低降伏点鋼を用いた吸振装置の開発	土木学会年次学術講演会	第50回	1554-1555	(社)土木学会	1995.9
低降伏点鋼	平井 卓 他	超低降伏点鋼を用いた方持梁の橋梁ダンパーへの適用可能性	土木学会年次学術講演会	第50回	1586-1587	(社)土木学会	1995.9
クラッド鋼	羽田 幸寿 他	ステンレスクラッド鋼界面に存在するクラック長の推定	土木学会年次学術講演会	第51回	952-953	(社)土木学会	1996.9
テーパプレート	益子 直人 他	テーパプレートの鋼箱桁橋への適用	土木学会年次学術講演会	第51回	584-585	(社)土木学会	1996.9
テーパプレート	村上 茂之 他	テーパフランジの圧縮強度に対する板厚比と応力比の影響	土木学会年次学術講演会	第51回	80-81	(社)土木学会	1996.9
クラッド鋼	西川 貴志 他	ステンレスクラッド鋼板の座屈耐荷力	土木学会年次学術講演会	第51回	84-85	(社)土木学会	1996.9
低降伏点鋼	元田 智也 他	低降伏比鋼H形断面部材の曲げ挙動実験	土木学会年次学術講演会	第51回	102-103	(社)土木学会	1996.9
低降伏点鋼	小金丸 卓哉 他	低降伏比鋼H形断面部材の曲げ強度と変形	土木学会年次学術講演会	第51回	104-105	(社)土木学会	1996.9
クラッド鋼	公門 和樹 他	ステンレスクラッド鋼の疲労亀裂進展速度	土木学会年次学術講演会	第51回	776-777	(社)土木学会	1996.9
低降伏点鋼	鈴木 一彦 他	超低降伏比鋼材を用いた方持梁式ダンパーの開発に関する研究	土木学会年次学術講演会	第51回	108-109	(社)土木学会	1996.9
低降伏点鋼	岩坪 要 他	低降伏比鋼を用いたH形部材の曲げ強度と挙動特性	土木学会年次学術講演会	第52回	108-109	(社)土木学会	1997.9
テーパプレート	養島 茂樹 他	変厚鋼板を腹板に用いた鋼桁断面の極限曲げ強度	土木学会年次学術講演会	第52回	176-177	(社)土木学会	1997.9
クラッド鋼	寺田 宏行 他	クラッド鋼板の残留応力と発生メカニズム	土木学会年次学術講演会	第52回	190-191	(社)土木学会	1997.9
	三河 克己 他	アルミニウム床版の開発	土木学会年次学術講演会	第52回	376-377	(社)土木学会	1997.9
クラッド鋼	羽田 幸寿 他	クラッド鋼界面クラック長の推定に関する研究	土木学会年次学術講演会	第52回	466-467	(社)土木学会	1997.9
耐候性鋼	山下 正人 他	安定さび生成促進処理技術の耐候性鋼橋への適用に関する研究(その1) - 安定さびの構造と生成促進法およびさび安定化度評価指標について	土木学会年次学術講演会	第52回	630-631	(社)土木学会	1997.9
耐候性鋼	幸 英昭 他	安定さび生成促進処理技術の耐候性鋼橋への適用に関する研究(その2) - 全国暴露試験による耐海塩粒子性評価試験結果一	土木学会年次学術講演会	第52回	632-633	(社)土木学会	1997.9
耐候性鋼	神谷 光昭 他	安定さび生成促進処理技術の耐候性鋼橋への適用に関する研究(その3)	土木学会年次学術講演会	第52回	634-635	(社)土木学会	1997.9
制振鋼板	宮崎 晴之 他	制振鋼板を用いた鋼橋の設計施工に関する検討	土木学会年次学術講演会	第52回	654-655	(社)土木学会	1997.9

分類	著者	論文名	雑誌名(書名)	巻号	ページ	発行所	発行年
制振鋼板	佐々木 道夫 他	鋼鉄道橋の走行模型実験による騒音測定	土木学会年次学術講演会	第52回	664-665	(社)土木学会	1997.9
低降伏点鋼	栗原 位充 他	低降伏点鋼のスリット型耐震連結装置への適用	土木学会年次学術講演会	第52回	238-239	(社)土木学会	1997.9
極軟鋼	長町 賢 他	極軟鋼利用すべり式免震システムの動的挙動	土木学会年次学術講演会	第52回	666-667	(社)土木学会	1997.9
低降伏点鋼	鄭	極低降伏点鋼材を用いたダンパーのエネルギー吸収性能に関する数値的検討	土木学会年次学術講演会	第52回	674-675	(社)土木学会	1997.9
低降伏点鋼	森本 靖人 他	低降伏点鋼曲げダンパーの開発	土木学会年次学術講演会	第52回	692-693	(社)土木学会	1997.9
高強度鋼	高橋 和也 他	高強度鋼材適用による鋼橋構造の合理化の可能性	土木学会年次学術講演会	第53回	2-3	(社)土木学会	1998.10
耐候性鋼	田辺 康児 他	橋梁用高海浜耐候性鋼の研究(その1) -海浜耐候性を向上する最適成分系の基礎検討-	土木学会年次学術講演会	第53回	100-101	(社)土木学会	1998.10
耐候性鋼	都築 岳史 他	橋梁用高海浜耐候性鋼の研究(その2) -橋梁用3%Ni系海浜耐候性鋼の使用性能-	土木学会年次学術講演会	第53回	102-103	(社)土木学会	1998.10
耐候性鋼	伊藤 陽一 他	りん酸-酸化鉄-PVB系長暴型さび安定化処理した耐候性鋼の腐食挙動	土木学会年次学術講演会	第53回	104-105	(社)土木学会	1998.10
耐候性鋼	岸川 浩史 他	安定さび生成促進処理技術の耐候性鋼橋への適用に関する研究(その4) -ウェザーアクト処理による安定さび生成促進効果の評価-	土木学会年次学術講演会	第53回	106-107	(社)土木学会	1998.10
耐候性鋼	長谷 俊彦 他	耐候性鋼材橋梁の安定錆追跡調査と評価について	土木学会年次学術講演会	第53回	126-127	(社)土木学会	1998.10
耐候性鋼	藤原 博 他	耐候性鋼使用橋梁の安定さび簡易判別法の一考察	土木学会年次学術講演会	第53回	128-129	(社)土木学会	1998.10
低降伏点鋼	森下 泰光 他	低降伏点鋼を用いたマルチセル構造を有する鋼製橋脚の載荷実験	土木学会年次学術講演会	第53回	232-233	(社)土木学会	1998.10
極軟鋼	大野 隆平 他	極軟鋼板を用いた鋼製橋脚の損傷制御	土木学会年次学術講演会	第53回	234-235	(社)土木学会	1998.10
クラッド鋼	藤井 崇文 他	ステンレスクラッド鋼板の圧縮耐力解析	土木学会年次学術講演会	第53回	240-241	(社)土木学会	1998.10
	近藤 敦也 他	周辺単純支持圧延変形鋼板の極限圧縮強度	土木学会年次学術講演会	第53回	244-245	(社)土木学会	1998.10
高強度鋼	穴見 健吾 他	900MPa級高強度鋼を用いた溶接継手部の疲労強度向上法	土木学会年次学術講演会	第53回	386-387	(社)土木学会	1998.10
極軟鋼	鄭	極軟鋼を用いたエネルギー吸収装置の低サイクル疲労特性	土木学会年次学術講演会	第53回	698-699	(社)土木学会	1998.10
ステンレス鋼	酒井 理哉 他	ステンレス鋼の極低サイクル疲労強度	土木学会年次学術講演会	第54回	56-57	(社)土木学会	1999.9
低降伏点鋼	木村 充 他	極低降伏点鋼鋼管の塑性ねじりを利用した高架橋の地震応答	土木学会年次学術講演会	第54回	330-331	(社)土木学会	1999.9
低降伏点鋼	賀川 義昭 他	履歴吸収エネルギーを基準とした低降伏点鋼の低サイクル疲労における損傷指標の提案	土木学会年次学術講演会	第54回	372-373	(社)土木学会	1999.9
耐候性鋼	高木 優任 他	海浜環境で高耐候性を有する高力ボルトの性能試験	土木学会年次学術講演会	第54回	406-407	(社)土木学会	1999.9
低降伏点鋼	森下 泰光 他	低降伏点鋼を用いた鋼製落橋防止壁の衝突実験	土木学会年次学術講演会	第54回	600-601	(社)土木学会	1999.9
高強度鋼	越智 内士 他	高張力鋼からなる自由突出板、および周辺支持板の設計法に関する研究	土木学会年次学術講演会	第54回	472-473	(社)土木学会	1999.9
低降伏点鋼	中村 雅樹 他	繰返しせん断荷重を受ける低降伏点鋼プレートガーターの変形能に関する実験的研究	土木学会年次学術講演会	第54回	492-493	(社)土木学会	1999.9
高強度鋼	濱野 涼子 他	高強度鋼ケーブルの長大吊橋への適用	土木学会年次学術講演会	第54回	604-605	(社)土木学会	1999.9
耐候性鋼	幸 英昭 他	耐候性鋼さび層の安定化評価法とその実橋梁への適用	土木学会年次学術講演会	第54回	678-679	(社)土木学会	1999.9
耐候性鋼	神谷 光昭 他	安定さび生成促進処理技術の耐候性鋼橋への適用に関する研究(その6)	土木学会年次学術講演会	第54回	710-711	(社)土木学会	1999.9
耐候性鋼	岸川 浩史 他	安定さび生成促進処理技術の耐候性鋼橋への適用に関する研究(その5) -ウェザーアクト処理による安定さび生成促進効果の評価-	土木学会年次学術講演会	第54回	716-717	(社)土木学会	1999.9
耐候性鋼	石崎 嘉明 他	耐候性鋼材の橋梁への適用性に関する追跡調査	土木学会年次学術講演会	第54回	738-739	(社)土木学会	1999.9
耐候性鋼	水谷 治弘 他	耐候性鋼材の橋梁への適用性に関する調査研究概要	土木学会年次学術講演会	第54回	740-741	(社)土木学会	1999.9

土木学会論文集(土木学会)

分類	著者	論文名	雑誌名(書名)	巻号	ページ	発行所	発行年
制振鋼板	山田健太郎 他	サンドイッチ制振鋼板溶接継手の疲労特性	土木学会論文集	No.489/I-27	147-156	(社)土木学会	1994.04
高強度鋼	慶 甲秀 他	高強度鋼溶接継手部の溶接材料軟質化による疲労強度向上の試み	土木学会論文集	No.570/I-40	97-106	(社)土木学会	1997.07
クラッド鋼	藤井 堅 他	ステンレスクラッド鋼板の圧縮耐荷力と残留応力	土木学会論文集	No.633/I-49	1818-192	(社)土木学会	1999.10
高強度鋼	小西 拓洋 他	高強度鋼の摘要による鋼橋の合理化設計の可能性	土木学会論文集	No.654/I-52	91-103	(社)土木学会	2000.07
高強度鋼	穴見 健吾 他	高強度鋼溶接継手部の疲労強度と疲労郷土向上法	土木学会論文集	No.675/I-55	251-260	(社)土木学会	2001.04

構造工学論文集(土木学会)

分類	著者	論文名	雑誌名(書名)	巻号	ページ	発行所	発行年
高強度鋼	森脇 良一	降伏比の異なる60キロ級高張力鋼による溶接組立梁の極限強度と変形性能について	構造工学論文集	Vol.37A	155-166	(社)土木学会	1991.03
クラッド鋼	後藤 信弘 他	ステンレスクラッド鋼を用いた実寸断面橋梁部材の試作について	構造工学論文集	Vol.42A	965-974	(社)土木学会	1996.03
テーパプレート	村上 茂之 他	自由突出テーパプレートの圧縮強度	構造工学論文集	Vol.43A	107-116	(社)土木学会	1997.03
高強度鋼	山尾 敏孝 他	降伏比が異なる高張力鋼を用いた短柱の耐荷力と変形能力に関する実験的研究	構造工学論文集	Vol.43A	147-154	(社)土木学会	1997.03
高強度鋼	岩坪 要 他	低降伏比高張力鋼を用いたH形断面部材の曲げ強度と塑性変形能力について	構造工学論文集	Vol.43A	167-176	(社)土木学会	1997.03
クラッド鋼	藤井 堅 他	ステンレスクラッド鋼を用いた箱桁の曲げ疲労実験	構造工学論文集	Vol.43A	1041-1050	(社)土木学会	1997.03
クラッド鋼	藤井 堅 他	ステンレスクラッド鋼の材料特性および残留応力とその発生メカニズム	構造工学論文集	Vol.44A	103-114	(社)土木学会	1998.03
低降伏比鋼	岩坪 要 他	低降伏比鋼H形断面部材の曲げ変形能力について	構造工学論文集	Vol.44A	127-134	(社)土木学会	1998.03

JSSCLレポート(日本鋼構造協会)

分類	著者	論文名	雑誌名(書名)	巻号	ページ	発行所	発行年
一般	山田健太郎 他	特集:鉄鋼新材料	JSSCLレポート	No.6	2-23	(社)日本鋼構造協会	1992
制振鋼板	金子昇 他	制振鋼板の建材への利用	JSSCLレポート	No.10	31-32	(社)日本鋼構造協会	1993
制振鋼板	山田隆夫	制振鋼	JSSCLレポート	No.12	46-47	(社)日本鋼構造協会	1994
低降伏点鋼	泉満	極低降伏点鋼を用いた制振システム	JSSCLレポート	No.16	46-47	(社)日本鋼構造協会	1995
低降伏点鋼	高橋泰彦 他	低降伏点鋼を用いた履歴減衰ダンパー	JSSCLレポート	No.25	44-46	(社)日本鋼構造協会	1997
高強度鋼	高張力鋼の適用性調査委員会	高張力鋼の適用性に関する調査研究	JSSCLレポート	No.29	29	(社)日本鋼構造協会	1998
高強度鋼	青木博文	鋼構造用高張力鋼(780N/mm ² 級)の製造・利用技術の現状と展望	JSSCLレポート	No.33	24-29	(社)日本鋼構造協会	1999

鋼構造論文集(日本鋼構造協会)

分類	著者	論文名	雑誌名(書名)	巻号	ページ	発行所	発行年
一般	高梨 晃一 他	60キロ級高性能鋼の利用技術開発	鋼構造論文集	VOL.1 NO.1	1-12	(社)日本鋼構造協会	1994.03
高強度鋼	坂井 藤一	土木鋼構造物における高張力鋼利用の現状	鋼構造論文集	VOL.1 NO.1	13-24	(社)日本鋼構造協会	1994.03
耐火鋼	作本 好文 他	建築構造用耐火鋼(FR鋼)の開発と実用化	鋼構造論文集	VOL.1 NO.1	25-40	(社)日本鋼構造協会	1994.03
極軟鋼	玉井 宏章 他	低降伏応力度鋼のK型制振ブレースへの適用について	鋼構造論文集	VOL.1 NO.1	41-52	(社)日本鋼構造協会	1994.03
高強度鋼	岡村 義弘 他	Cu析出強化型予熱低減HT780鋼の開発	鋼構造論文集	VOL.1 NO.1	53-62	(社)日本鋼構造協会	1994.03
高マンガン鋼	市川 篤司 他	高マンガン鋼の浮上式鉄道構造物への利用に関する研究	鋼構造論文集	VOL.1 NO.1	63-72	(社)日本鋼構造協会	1994.03
高強度鋼	山崎 真司 他	建築構造用60キロ(570N/mm ²)級鋼の超高層建築への適用	鋼構造論文集	VOL.1 NO.1	95-109	(社)日本鋼構造協会	1994.03
高強度鋼	内田 直樹 他	60キロ高性能鋼を用いた高層建築の設計	鋼構造論文集	VOL.1 NO.1	111-118	(社)日本鋼構造協会	1994.03
高強度鋼	山田 隆夫 他	軟質溶接継手を適用した80キロ鋼柱梁接合部の力学的特性	鋼構造論文集	VOL.1 NO.1	119-126	(社)日本鋼構造協会	1994.03
一般	上田 修三	最近の建築・土木用高機能鋼材	鋼構造論文集	VOL.1 NO.1	127-141	(社)日本鋼構造協会	1994.03
高強度鋼	福田 浩司 他	コンクリート充填高性能590N鋼鋼管の終局曲げ耐力に関する実験的研究	鋼構造論文集	VOL.1 NO.1	165-172	(社)日本鋼構造協会	1994.03
低降伏比鋼	西村 宣男 他	各種鋼材の繰返し塑性履歴特性に関する実験的研究	鋼構造論文集	VOL.1 NO.1	173-182	(社)日本鋼構造協会	1994.03
高強度ワイヤ	高橋 稔彦 他	橋梁ケーブル用180kgf/mm ² ワイヤの開発	鋼構造論文集	VOL.1 NO.4	119-126	(社)日本鋼構造協会	1994.12
極軟鋼	高橋 泰彦 他	偏心ブレースを利用した履歴減衰型制震ダンパーの実用化	鋼構造論文集	VOL.4 NO.14	39-52	(社)日本鋼構造協会	1997.06
高強度鋼、極厚鋼板	梅国 章 他	アンダーマッチングジョイントの高張力鋼および極厚鋼への適用	鋼構造論文集	VOL.5 NO.18	41-48	(社)日本鋼構造協会	1998.06
極軟鋼	加村 久哉 他	座屈補剛の違いに着目した極低降伏点鋼制震壁の研究	鋼構造論文集	VOL.5 NO.20	9-16	(社)日本鋼構造協会	1998.12
高強度鋼	藤本 盛久 他	鉄塔用690N/mm ² 高張力山形鋼の開発	鋼構造論文集	VOL.6 NO.24	1-20	(社)日本鋼構造協会	1999.12
高強度鋼、極厚鋼板	梅国 章 他	アンダーマッチングの490N/mm ² 級鋼材への適用に関する研究(その1:TIG溶接適用の場合)	鋼構造論文集	VOL.6 NO.24	123-132	(社)日本鋼構造協会	1999.12
耐候性鋼	加藤 真志 他	飛来塩分の数値解析的評価技術の橋梁への適用～耐候性鋼材適用地域拡大への試み～	鋼構造論文集	VOL.7 NO.28	45-54	(社)日本鋼構造協会	2000.12

鋼構造年次論文報告集(日本鋼構造協会)

分類	著者	論文名	雑誌名(書名)	巻号	ページ	発行所	発行年
高強度鋼	森田 耕二他	高張力鋼を用いたコンクリート充填角形鋼管柱・鉄骨梁接合部の力学的挙動	鋼構造年次論文報告集	第1巻	85-92	(社)日本鋼構造協会	1993年7月
低降伏点鋼	玉井 宏章他	低降伏応力度鋼を用いたK型ブレース制振装置付架構の力学特性	鋼構造年次論文報告集	第1巻	209-216	(社)日本鋼構造協会	1993年7月
高強度鋼	井元 泉他	HT780高張力鋼の予熱条件に関する研究	鋼構造年次論文報告集	第2巻		(社)日本鋼構造協会	
制振鋼板	高久 達將他	制振合金による橋梁の騒音低減効果	鋼構造年次論文報告集	第2巻		(社)日本鋼構造協会	
低降伏点鋼	三ツ木 幸子他	低降伏点鋼リベットによる円孔切り欠きのある板の疲労強度の改善	鋼構造年次論文報告集	第6巻		(社)日本鋼構造協会	1998年11月
低降伏点鋼	原山 浩一	低降伏点鋼の疲労特性に関する実験的研究	鋼構造年次論文報告集	第6巻		(社)日本鋼構造協会	1998年11月
低降伏点鋼	阿部 雅人他	低降伏点鋼の履歴吸収エネルギーを基準とした損傷指標	鋼構造年次論文報告集	第7巻		(社)日本鋼構造協会	1999年11月
高摩擦鋼板	竹内 一郎他	高摩擦鋼板を用いた高力ボルト摩擦接合部の疲労特性	鋼構造年次論文報告集	第7巻		(社)日本鋼構造協会	1999年11月
高強度鋼	北田 俊行他	鋼張力鋼からなる箱型断面柱の弾塑性有限変位解析と終局強度特性	鋼構造年次論文報告集	第7巻		(社)日本鋼構造協会	1999年11月
軟鋼	杉本 博之他	軟鋼部材で補強する鋼製門型ラーメン橋脚の耐震設計の一試み	鋼構造年次論文報告集	第8巻	285-292	(社)日本鋼構造協会	2000年11月
高性能鋼	三上 市蔵他	一方向圧縮を受ける高性能鋼板のダクティリティと機械的性質	鋼構造年次論文報告集	第9巻	105-110	(社)日本鋼構造協会	2001年11月
高強度鋼	坂野 昌弘他	高張力鋼を用いた鋼桁の加熱ポストテンション補強	鋼構造年次論文報告集	第9巻	271-278	(社)日本鋼構造協会	2001年11月

橋梁メーカー技報

分類	著者	論文名	雑誌名(書名)	巻号	ページ	発行所	発行年
極厚鋼板	守政 弘安 他	建築・橋梁用極厚鋼張力鋼の研究	住重技報	NO.17	17-26	住友重機械工業(株)	1964.12
高強度鋼	村田 安房 他	HT80を使用した大型橋梁の製作に関する問題点	川重技報		79-85	川崎重工業(株)	1972
高強度鋼	高野倉正三	80キロ高張力鋼の溶接性能試験(第1報)	東骨技報		8-14	(株)東京鐵骨橋梁製作所	1976.03
高強度鋼	加藤 裕	80キロ高張力鋼の加工	東骨技報		29-31	(株)東京鐵骨橋梁製作所	1976.09
高強度鋼	中村 春雄 他	80キロ級高張力鋼加工法の考察	住重技報	NO.27	46-51	住友重機械工業(株)	1979.08
高マンガング	岩崎 雅紀 他	高マンガング非磁性鋼の溶接性、加工性に関する研究	横河技報	NO.14	19-28	(株)横河ブリッジ	1984
極厚鋼板	田中 一男 他	極厚TMCP鋼の母材特性および溶接性の研究	宮地技報		33-40	(株)宮地鐵工所	1989.02
低降伏比鋼	大熊/山川 他	低降伏比HT80鋼の性能評価に関する研究	川重技報		91-99	川崎重工業(株)	1990.04
極厚鋼板	田中 一男 他	極厚TMCP鋼の母材特性および溶接性の研究(その2)	宮地技報		27-33	(株)宮地鐵工所	1990.03
極厚鋼板	田中 一男 他	極厚SM58Q鋼を用いたボックス柱の溶接施工試験	宮地技報		55-61	(株)宮地鐵工所	1990.03
クラッド鋼	井上 寛 他	東京湾横断道路P7橋脚工事報告	東骨技報		31-38	(株)東京鐵骨橋梁製作所	1991.12
高強度鋼	岸川 寛治 他	HT80鋼の低温われ感受性について	日塔技報	NO.1	24-35	日本鉄塔工業(株)	1991
高強度鋼	岸川 寛治 他	HT80鋼を使用したトラス部材の施工方法について	日塔技報	NO.1	45-70	日本鉄塔工業(株)	1991
高強度鋼	伊藤 裕彦 他	HT80材を用いたトラス主構弦材の施工試験	駒井技報	NO.11	29-43	駒井鉄工(株)	1992.03
高強度鋼	江端 未春 他	780N/mm ² 高張力鋼補剛トラスの製作技術確認試験	日橋技報		13-25	日本橋梁(株)	1992
高強度鋼	武田 武 他	HT80鋼を使用したトラス部材の製作に関する実験計画	春本技報		5-7	(株)ハルテック	1992.06
クラッド鋼	前川 英治 他	東京湾横断道路P2橋脚の設計と施工	片山技報		35-43	片山ストラテック(株)	1993.11
高強度鋼	越智 敏朗 他	780N/mm ² 高張力鋼板を用いた補剛トラス部材の製作技術	住重技報	NO.41	27-30	住友重機械工業(株)	1993.08
高強度鋼	小澤 克郎 他	HT780材を用いたトラス主構弦材施工試験(第1報)~(第3報)	高田技報	NO.9	43-74	高田機工(株)	1993.04
高強度鋼	柳沼 安俊 他	780N/mm ² 級高張力鋼の溶接施工試験(第2報)	東骨技報		5-15	(株)東京鐵骨橋梁製作所	1993
高強度鋼	二木 憲男 他	HT70鋼を用いた吊橋補剛トラスの施工試験(その1)	トピー技報	NO.9	1-15	日本橋梁(株)	1993
高強度鋼	二木 憲男 他	HT70鋼を用いた吊橋補剛トラスの施工試験(その2)	トピー技報	NO.9	16-27	トピー工業(株)	1993
ステンレス鋼	千葉 弘美 他	ステンレス高欄のレーザ溶接	トピー技報	NO.9	46-50	トピー工業(株)	1993
高強度鋼	江端 未春 他	780N/mm ² 高張力鋼補剛トラスの製作技術確認試験(第2報)	日橋技報		06-11	日本橋梁(株)	1993
高強度鋼	江端 未春 他	780N/mm ² 高張力鋼補剛トラスの製作技術確認試験(第3報)	日橋技報		12-23	日本橋梁(株)	1993
制振鋼板	雅楽川秀樹 他	腹板に制振鋼板を用いたI桁の疲労試験	新日鉄技報		45-50	新日本製鐵(株)	1993.07
極厚鋼板	安田 修 他	極厚HT690材を用いた橋脚の全姿勢・全断面現場裏波自動溶接施工方法の研究	高田技報	NO.10	30-37	高田機工(株)	1994.01
高強度鋼	田中 雅人	780N/mm ² 級高張力鋼の溶接性試験(第3報) -1%Cu系予熱低減型HT780鋼の検討-	東骨技報		11-18	(株)東京鐵骨橋梁製作所	1994
高強度鋼	藤枝 幸二 他	HT780のトラス弦材の疲労試験	トピー技報	NO.10	4-10	トピー工業(株)	1994
高強度鋼	慶羽 新二 他	HT780鋼のトラス主構弦材製作に関する施工試験(その1)	松尾技報	NO.27	50-61	松尾橋梁(株)	1994.04
高強度鋼	森下 統一 他	予熱低減型HT780用いたトラス弦材の製作	宮地技報		92-105	(株)宮地鐵工所	1994.12
テーパプレート	成宮 隆雄 他	橋梁製作の省力化対策 -テーパプレートおよび差厚鋼板の橋梁への適用(その1)-	宮地技報		170-173	(株)宮地鐵工所	1994.12
クラッド鋼	左合 玄一 他	東京湾横断道路P1橋脚の製作	瀧上技報	NO.12	60-65	瀧上工業(株)	1994
高強度鋼	中西 保正 他	HT780高張力鋼の溶接	石播技報	特集	51-57	石川島播磨重工業(株)	1995.04
高強度鋼	米山 徹 他	橋梁用予熱低減型HT780の適用について	川田技報	特集	106-110	川田工業(株)	1995.01
テーパプレート	谷 俊寛 他	テーパプレートをフランジ材に用いたI桁の施工試験	高田技報	NO.11	16-21	高田機工(株)	1995.06
高強度鋼	酒井 吉永 他	HT780トラス弦材の疲労強度に関する研究	トピー技報	NO.11	4-11	トピー工業(株)	1995

分類	著者	論文名	雑誌名(書名)	巻号	ページ	発行所	発行年
高強度鋼	花本 和文 他	予熱低減型HT780の施工試験について	瀧上技報	NO.13	84-90	瀧上工業(株)	1995.04
テーパプレート	高橋 亘 他	橋梁製作の省力化対策-テーパ鋼板および差厚鋼板の橋梁への適用(その2)	宮地技報		118-125	(株)宮地鐵工所	1997.01
テーパプレート	鳴沢 明雄 他	橋梁製作の省力化対策-テーパ鋼板および差厚鋼板の橋梁への適用(その3)	宮地技報		126-131	(株)宮地鐵工所	1997.01
低降伏比鋼	森下 泰光 他	低降伏点鋼を用いた落橋防止壁の衝突実験	高田技報	NO.15	126-133	高田機工(株)	1999
高強度鋼	慶羽 新二 他	780N/mm ² 級鋼の溶接施工および塑性加工に関する基礎試験	松尾技報	特集号	29-42	松尾橋梁(株)	1999.04

ミルメーカー技報

分類	著者	論文名	雑誌名(書名)	巻号	ページ	発行所	発行年
一般	川端 文丸	土木建築構造用新高機能鋼材	川崎製鉄技報	第27巻第4号	P.221~P.228	川崎製鉄株	平成7年
ステンレス	木村 光男	耐食性に優れる油井用高強度マルテンサイトステンレス鋼管の開発	川崎製鉄技報	第29巻第2号	P.84~P.89	川崎製鉄株	平成9年
極軟鋼	藤澤 一善	制震用極軟鋼管	川崎製鉄技報	第29巻第2号	P.123~P.125	川崎製鉄株	平成9年
極軟鋼	藤澤 一善	極軟鋼を用いた制震ダンパーの構造性能	川崎製鉄技報	第30巻第1号	P.1~P.6	川崎製鉄株	平成10年
一般	石井 匠	TMCP極厚H型鋼「RIVER-TOUGH355」の柱材としての靱性特性	川崎製鉄技報	第30巻第1号	P.21~P.26	川崎製鉄株	平成10年
極軟鋼	長町 賢	極軟鋼利用すべり式免震装置の動的応答特性	川崎製鉄技報	第30巻第1号	P.49~P.53	川崎製鉄株	平成10年
高強度鋼	岡津 光浩	極低炭素ベイナイトを利用した非調質570MPa級厚肉高張力鋼板とその溶接部特性	川崎製鉄技報	第30巻第3号	P.131~P.136	川崎製鉄株	平成10年
LP鋼板	弓削 佳徳	LP鋼板(テーパプレート)の製造技術と船舶、橋梁への適用	川崎製鉄技報	第30巻第3号	P.137~P.141	川崎製鉄株	平成10年
一般	久田 光夫	水海域での仕様を満足する高靱性海洋構造用厚鋼板	川崎製鉄技報	第30巻第3号	P.142~P.147	川崎製鉄株	平成10年
一般	板倉 教次	予熱低減型HT980鋼板および溶接材料の特性と水圧鉄管への適用性	川崎製鉄技報	第30巻第3号	P.174~P.180	川崎製鉄株	平成10年
一般	荒木 清己	建築用低降伏点鋼板の特性	川崎製鉄技報	第30巻第3号	P.186~P.187	川崎製鉄株	平成10年
高強度鋼	中川 一郎	予熱低減型HT780調質高張力厚鋼板	川崎製鉄技報	第30巻第3号	P.188~	川崎製鉄株	平成10年
一般	木村 達己	建築構造用新TMCP製極厚H型鋼「RIVER-TOUGH」	川崎製鉄技報	第30巻第4号	P.215~P.221	川崎製鉄株	平成10年
一般	田端 裕司	溶接性に優れた極厚570N/mm ² 級TMCP鋼の鋼製橋脚への適用	川崎製鉄技報	第32巻第2号	P.119~P.124	川崎製鉄株	平成12年
ケーブル	熊野 拓志	セプレアP型高強度ケーブル「PAC-H」の鋼斜張橋への適用	川崎製鉄技報	第32巻第2号	P.125~P.132	川崎製鉄株	平成12年
極軟鋼	佐藤 勝則	耐震性に優れた極軟鋼二重鋼管プレスの設計と施工	川崎製鉄技報	第32巻第2号	P.133~P.138	川崎製鉄株	平成12年
高強度鋼	泉 祐司	高強度・高靱性590MPa鋼(SA440)を使用した建築鉄骨の加工条件の究明	川崎製鉄技報	第32巻第2号	P.139~P.143	川崎製鉄株	平成12年
一般	谷川 治	鋼構造物の信頼性向上と経済性追求に貢献する高性能鋼板	川崎製鉄技報	第32巻第3号	P.198~P.204	川崎製鉄株	平成12年
一般	川崎 博章	地球環境保全に貢献する高機能鋼管	川崎製鉄技報	第32巻第3号	P.222~P.229	川崎製鉄株	平成12年
耐候性鋼	塩谷 和彦	溶接性に優れた極低炭素ベイナイト型新耐候性鋼	川崎製鉄技報	第33巻第2号	P.97~	川崎製鉄株	平成13年
高強度鋼	神戸製鋼所	建設技術 2300N/mm ² 級高強度PC鋼より線	F0164A(0373-8868) R&D/神戸製鋼技報	Vol.46. No.3	P.13~P.15	神戸製鋼所	1996
一般	神戸製鋼所	建設技術 大入熱溶接継手靱性の優れた建築構造用TMCP型590N/mm ² 級鋼板	F0164A(0373-8868) R&D/神戸製鋼技報	Vol.46. No.3	P.9~P.12	神戸製鋼所	1996
一般	神戸製鋼所	橋梁用予熱軽減型570N/mm ² 級厚肉高降伏点保証鋼板	神戸製鋼技報	Vol.48. No.3	P.87	神戸製鋼所	1998
高強度鋼	隠岐 保博	200kgf/mm ² 級高強度亜鉛めっき鋼線の開発	神戸製鋼技報	Vol.49. No.2	P.8~P.11	神戸製鋼所	1999
一般	菅 俊明	新開発の橋梁用高性能鋼板	神戸製鋼技報	Vol.49. No.2	P.31~P.35	神戸製鋼所	1999
一般	宮脇 淳	寒冷地仕様予熱軽減・大入熱溶接型橋梁用鋼板	神戸製鋼技報	Vol.49. No.2	P.83	神戸製鋼所	1999
一般	山内 学	(解説)大入熱溶接用厚鋼板の進歩	神戸製鋼技報	Vol.50. No.3	P.16~P.19	神戸製鋼所	2000
ケーブル	杉井 謙一	(解説)吊橋ケーブルの製作架設技術	神戸製鋼技報	Vol.50. No.3	P.82~P.85	神戸製鋼所	2000
耐候性鋼	中山 武典	(技術資料)海浜・海岸耐候性鋼板および長曝型塗装用鋼板の開発	神戸製鋼技報	Vol.51. No.1	P.29~P.33	神戸製鋼所	2001
高強度鋼	森 啓之	(技術資料)構造物用高強度高靱性鋳鋼	神戸製鋼技報	Vol.51. No.1	P.38~P.40	神戸製鋼所	2001
耐候性鋼	川野 晴弥	海浜・海岸耐候性鋼板「スーパータイコールW」	神戸製鋼技報	Vol.51. No.1	P.78	神戸製鋼所	2001
一般	嘉村 学	衝突部材用780MPa級合金化熔融亜鉛めっき鋼板	神戸製鋼技報	Vol.51. No.2	P.79	神戸製鋼所	2001
一般	岡野 重雄	(解説)大型コンテナ船用大入熱溶接型YP355~460MPa級鋼板及び溶接材料	神戸製鋼技報	Vol.52. No.1	P.2~P.5	神戸製鋼所	2002
一般	谷 徳孝	(論文)残留応力制御型TMCP鋼板の開発と有効性検証	神戸製鋼技報	Vol.52. No.1	P.6~P.10	神戸製鋼所	2002
一般	岡野 重雄	(解説)溶接性に優れたTMCP型HT570鋼板	神戸製鋼技報	Vol.52. No.1	P.20~P.24	神戸製鋼所	2002
耐候性鋼	川野 晴弥	(解説)海浜・海岸耐候性鋼板と溶接材料	神戸製鋼技報	Vol.52. No.1	P.25~P.28	神戸製鋼所	2002
耐候性鋼	並村 裕一	(解説)海浜・海岸耐候性鋼板専用高力ボルトの開発	神戸製鋼技報	Vol.52. No.1	P.29~P.33	神戸製鋼所	2002

分類	著者	論文名	雑誌名(書名)	巻号	ページ	発行所	発行年
一般	畑野 等	(論文)超大入熱溶接対応型厚肉SA440鋼板の開発	神戸製鋼技報	Vol.52. No.1	P.49~P.53	神戸製鋼所	2002
一般	井上 尚志	電子ビーム溶接性の優れた極厚鋼板の開発	新日鉄技報	第348号	P.32~P.38	新日本製鐵(株)	1993
高強度鋼	井上 尚志	溶融亜鉛めっき橋梁用高張力鋼の開発	新日鉄技報	第348号	P.63~P.70	新日本製鐵(株)	1993
制振鋼板	雅楽川 英樹	腹板に制振鋼板を用いた1桁橋の疲労試験	新日鉄技報	第350号	P.45~P.50	新日本製鐵(株)	1993
チタン	高橋 康雄	建築・土木用部材へのチタン材の適用開発と今後の展望	新日鉄技報	第352号	P.2	新日本製鐵(株)	1994
クラッド鋼	山本 章夫	液相を利用したチタンクラッド鋼連続熱間圧延コイル製造技術の開発	新日鉄技報	第352号	P.30~P.34	新日本製鐵(株)	1994
一般	堀井 行彦	高機能・高性能構造用厚板と鋼管への高性能溶接技術の開発	新日鉄技報	第355号	P.13~P.19	新日本製鐵(株)	1995
一般	新日本製鐵	亜鉛めっき鋼板のアーク溶接技術	新日鉄技報	第355号	P.58~P.59	新日本製鐵(株)	1995
クラッド鋼	新日本製鐵	チタンクラッド鋼の溶接技術	新日鉄技報	第355号	P.60	新日本製鐵(株)	1995
高強度鋼	徳納 一成	建築用大入熱溶接型予熱低減780N/mm ² 級高張力鋼板	新日鉄技報	第365号	P.37~P.43	新日本製鐵(株)	1997
一般	坂田 豊	橋梁用途の新鋼材および新建材	新日鉄技報	第368号	P.44~P.52	新日本製鐵(株)	1998
一般	新日本製鐵	極低降伏点鋼, 低降伏点鋼を使用した制震技術の開発	新日鉄技報	第368号	P.61~P.67	新日本製鐵(株)	1998
一般	長谷川 博行	建築構造用TMCP極厚H形鋼(NSGH)の開発	新日鉄技報	第368号	P.77~P.82	新日本製鐵(株)	1998
耐候性鋼	伊藤 実	無塗装使用可能な海浜耐候性鋼	新日鉄技報	第371号	P.78~P.83	新日本製鐵(株)	1999
高強度鋼	志岐 浩	溶接性に優れた建築用高性能HT590鋼板の開発	技術誌住友金属	Vol.50. No.1	P.43~P.47	住友金属工業(株)	1998
耐候性鋼	岸川 浩史	新耐候性処理鋼板の開発	技術誌住友金属	Vol.50. No.1	P.48~P.53	住友金属工業(株)	1998
一般	鈴木 秀一	海洋構造物用厚肉TMCP鋼板の開発	技術誌住友金属	Vol.50. No.1	P.54~P.61	住友金属工業(株)	1998
一般	長谷川 登	高機能化と合理化に貢献する高性能鋼板の開発—鋼板事業部	技術誌住友金属	Vol.49. No.2	P.91~P.119	住友金属工業(株)	1997
高強度鋼	古沢 達	大入熱溶接用高張力鋼板の開発	技術誌住友金属	Vol.40. No.1	P.39~P.48	住友金属工業(株)	1988
クラッド鋼	松岡 孝	厚板クラッド鋼板	技術誌住友金属	Vol.35. No.1	P.35~P.43	住友金属工業(株)	1983
極軟鋼	岡本 晴仁	極軟鋼を用いた制震ダンパ	NKK技報	No.158	P.22~P.29	日本鋼管(株)	1997
制振鋼板	児玉 悟史	制振鋼板の加工はく離に及ぼす絞り成形条件の影響	NKK技報	No.161	P.84~P.88	日本鋼管(株)	1998
一般	山本 定弘	建築用TMCP型高靱性極厚H形鋼—HIBUIL-H—	NKK技報	No.162	P.11~P.14	日本鋼管(株)	1998
一般	松井 和幸	橋梁用高機能鋼材	NKK技報	No.165	P.11~P.16	日本鋼管(株)	1999
一般	山下 正明	高耐食55%Al-Zn合金めっき鋼板「NKKガルバリウム鋼板」(ジニアス コート)	NKK技報	No.167	P.20~P.23	日本鋼管(株)	1999
ステンレス	大谷 泰彦	ステンレス製立体トラス	NKK技報	No.168	P.37~P.42	日本鋼管(株)	1999
極軟鋼	伊藤 茂樹	ダンパー用極軟鋼を用いた履歴型制震デバイス	NKK技報	No.170	P.67~P.74	日本鋼管(株)	2000
耐候性鋼	竹村 誠洋	海岸耐候性鋼	NKK技報	No.171	P.9~P.13	日本鋼管(株)	2000
耐候性鋼	宮田 志郎	耐候性鋼のさび安定化処理剤「カブテンコートM」	NKK技報	No.171	P.14~P.20	日本鋼管(株)	2000
耐候性鋼	竹村 誠洋	従来型耐候性鋼のさびの保護性	NKK技報	No.171	P.27~P.32	日本鋼管(株)	2000
耐候性鋼	竹村 誠洋	耐候性鋼橋梁の部位別耐食性寿命予測技術	NKK技報	No.171	P.40~P.44	日本鋼管(株)	2000
耐候性鋼	日本鋼管	はじめての海岸耐候性鋼を使用した橋梁	NKK技報	No.171	P.45	日本鋼管(株)	2000

橋梁と基礎(建設図書)

分類	著者	論文名	雑誌名(書名)	巻号	ページ	発行所	発行年
防食	村越 潤	亜鉛めっきとその他の防錆防食技術	橋梁と基礎	Vol.28. No.2	P.45~P.52	㈱建設図書	1994.02
PC鋼材	鈴木 素彦	新しいPC鋼材	橋梁と基礎	Vol.31. No.8	P.135~P.138	㈱建設図書	1997.08
一般	楠 隆	新しい鋼材	橋梁と基礎	Vol.31. No.8	P.117~P.129	㈱建設図書	1997.08
制振鋼板	山本 明	開床式鋼製鉄道橋の騒音低減	橋梁と基礎	Vol.33. No.3	P.29~P.36	㈱建設図書	1999.03
一般	深沢 誠	機能鋼材	橋梁と基礎	Vol.29. No.12	P.39~P.46	㈱建設図書	1995.12
高じん性鋼	西川 和廣	橋梁用鋼材の冷間曲げ加工と要求じん性に関する検討	橋梁と基礎	Vol.30. No.11	P.31~P.36	㈱建設図書	1996.11
テーパプレート	堀田 毅	鋼橋へのLP鋼板の適用	橋梁と基礎	Vol.34. No.4	P.11~P.14	㈱建設図書	2000.04
一般	深沢 誠	鋼材の種類(その1)	橋梁と基礎	Vol.29. No.5	P.36~P.42	㈱建設図書	1995.05
一般	大田 孝二	鋼材の種類(その2)	橋梁と基礎	Vol.29. No.6	P.39~P.43	㈱建設図書	1995.06
一般	大田 孝二	鋼材の種類(その3)	橋梁と基礎	Vol.29. No.7	P.35~P.43	㈱建設図書	1995.07
耐候性鋼	縦山 好幸	高知自動車道における無塗装耐候性橋梁の現状と課題	橋梁と基礎	Vol.34. No.5	P.19~P.24	㈱建設図書	2000.05
一般	大田 孝二	これからの鋼材	橋梁と基礎	Vol.30. No.9	P.45~P.48	㈱建設図書	1996.09
耐候性鋼	深沢 誠	錆びない鋼(その1)／耐候性鋼材	橋梁と基礎	Vol.29. No.10	P.33~P.39	㈱建設図書	1995.10
	深沢 誠	錆びない鋼(その2)／耐食性金属材料	橋梁と基礎	Vol.29. No.11	P.35~P.42	㈱建設図書	1995.11
制振鋼板	庄 俊明	騒音対策を施した鋼製鉄道高架橋	橋梁と基礎	Vol.30. No.3	P.9~P.14	㈱建設図書	1996.03
耐候性鋼	村越 潤	耐候性鋼材	橋梁と基礎	Vol.28. No.1	P.51~P.56	㈱建設図書	1994.01
耐候性鋼	田村 勝司	耐候性鋼材裸使用のトラス橋—第三大川橋梁—	橋梁と基礎	Vol.27. No.8	P.132~P.134	㈱建設図書	1993.08
耐候性鋼	鈴木 巖	阪神高速道路における無塗装耐候性橋梁の調査と適用	橋梁と基礎	Vol.33. No.6	P.21~P.28	㈱建設図書	1999.06
亜鉛メッキ	岸 憲之	非分割断面箱桁への溶融亜鉛めっきの適用—秋田自動車道北上JCT Aランプ橋—	橋梁と基礎	Vol.28. No.2	P.25~P.31	㈱建設図書	1994.02
	飯野 宗蔵	ブロック分割による複線トラス旧橋の解体と使用鋼材の健全度調査—東急東横線多摩川橋梁架換え・増設工事—	橋梁と基礎	Vol.31. No.6	P.21~P.29	㈱建設図書	1997.06
耐候性鋼	(社)鋼材倶楽部	米国における無塗装耐候性橋梁の実態に関する調査報告(上)	橋梁と基礎	Vol.32. No.10	P.41~P.49	㈱建設図書	1998.10
耐候性鋼	(社)鋼材倶楽部	米国における無塗装耐候性橋梁の実態に関する調査報告(下)	橋梁と基礎	Vol.32. No.11	P.41~P.47	㈱建設図書	1998.11
亜鉛メッキ	高木 芳光	溶融亜鉛めっき鋼床版鉄道橋の設計・施工—越後第一新町架道橋—	橋梁と基礎	Vol.30. No.5	P.9~P.15	㈱建設図書	1996.05
亜鉛メッキ	瀬下 次郎	溶融亜鉛めっきトラス橋	橋梁と基礎	Vol.27. No.8	P.139~P.140	㈱建設図書	1993.08
亜鉛メッキ	西川 和廣	ライフサイクルコストの最小化を実現する溶融亜鉛めっき—溶融亜鉛めっき橋の設計・施工指針—	橋梁と基礎	Vol.30. No.1	P.35~P.40	㈱建設図書	1996.01

鉄道技術研究報告(国鉄技研)

分類	著者	論文名	雑誌名(書名)	巻号	ページ	発行所	発行年
高強度鋼	田島 二郎	補剛材をもった高張力鋼板による溶接角型短柱の圧縮試験	鉄道技術研究報告	施設編132		国鉄技研	1966年1月
高強度鋼	伊藤 文人他	高張力鋼を用いた溶接角柱の圧縮強さ	鉄道技術研究報告	施設編225		国鉄技研	1962年10月
高強度鋼	太田省三郎	80kg/mm ² 高張力鋼リブ十字形前面すみ肉溶接継手の疲れ強さ	鉄道技術研究報告	施設編322		国鉄技研	1971年1月
高強度鋼	伊藤 正人	調質80キロ鋼の溶接I形組立梁による曲げ疲労試験	鉄道技術研究報告	施設編337		国鉄技研	1971年7月
高強度鋼	竹名 興英	調質高張力鋼を用いた橋梁の疲労設計に関する研究	鉄道技術研究報告	施設編587		国鉄技研	1987年2月

鉄道技術研究所速報(国鉄技研)

分類	著者	論文名	雑誌名(書名)	巻号	ページ	発行所	発行年
耐候性鋼	太田省三郎	耐候性鋼溶接継手の機械的性質	鉄道技術研究所速報	64-37		国鉄技研	1964年2月
高強度鋼	村本徹五郎	80kg/mm ² 級高張力鋼のサブマージーク溶接	鉄道技術研究所速報	65-150		国鉄技研	1965年9月
高強度鋼	伊藤 文人	調質80キロ鋼の大型試験片による縦ヒート突合せ溶接継手疲労試験	鉄道技術研究所速報	67-88		国鉄技研	1967年4月
高強度鋼	村本徹五郎	橋梁用80キロ高張力鋼のサブマージーク溶接	鉄道技術研究所速報	68-63		国鉄技研	1968年4月
高強度鋼	太田省三郎	リブ十字前面すみ肉溶接継手の疲れ強さ(その1) -SM41,SM50およびSM58鋼材	鉄道技術研究所速報	76- 8		国鉄技研	1976年1月
高強度鋼	太田省三郎	リブ十字形前面すみ肉溶接継手の疲れ強さ(その2) -高張力鋼溶接継手の疲れ強さ向上法-	鉄道技術研究所速報	76-43		国鉄技研	1976年3月

鉄道総研報告(鉄道総研)

分類	著者	論文名	雑誌名(書名)	巻号	ページ	発行所	発行年
高強度鋼	杉館 政雄他	高強度鋼の鋼鉄道橋への適用性に関する検討	鉄道総研報告	14-8	43-48	鉄道総研	2000年8月