

第 3 編 橋梁での高性能化の事例

1. まえがき

高性能鋼材は、汎用的に使用されている鋼材に比べ、強度やじん性、溶接性、加工性、耐腐食性に対して優れた性能を有する鋼材であり、これまで多種にわたる高性能鋼材が橋梁の分野に適用されてきた。本章においては、高性能鋼材の適用実績と今後の橋梁に求められる鋼材の性能に関してまとめた。

2. これまでに橋梁分野で適用実績のある主な高性能鋼材

2.1 一般的な鋼材

一般的な鋼材は、通常の橋梁に汎用的に使用される鋼材を示している。汎用的に用いられる鋼材としては、一般構造用鋼材（SS 材：JIS G 3101）および溶接構造用圧延鋼材（SM 材：JIS G 3106）などが考えられ、これらは、JIS において規格が定められている。表 2-1 に各鋼材が JIS において規定している内容を示す。なお、SM 材は、熱処理が規定されている。熱処理には、熱加工制御圧延（TMCP：Thermo mechanical Control Process）があり、TMCP を施した鋼材は低炭素化や高じん性化が図れるため製作性が良く、高性能鋼材として評価している基準もある。

高性能鋼材は、これらの鋼材の規格を基に各種の調整（特に化学成分の含有量）や製造方法の調整を実施し、高強度化、高耐久性化、溶接性能向上などを図っている。

表 2-1 一般的な鋼材の規格

鋼材名	規定されている規格
一般構造用鋼材 (SS 材：JIS G 3101)	適用寸法、化学成分、機械的性質（降伏点、引張強度、伸び、曲げ性）、形状・寸法・質量およびその許容差、外観
溶接構造用圧延鋼材 (SM 材：JIS G 3106)	適用厚さ、化学成分、熱処理、炭素当量(ceq)及び溶接割れ感受性塑性(pcm)、機械的性質（降伏点、引張強度、伸び、曲げ性、シャルピー吸収エネルギー）、形状・寸法・質量およびその許容差、外観

2.2 JIS 化されている高性能鋼材

多くの高性能鋼材は、単一的な性能向上に特化した材料であるため、JIS 化していない材料が多いが、汎用性が高い材料は高性能鋼材であっても JIS 化されているものもある（表 2-2）。

溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材（JIS G 3114、以下「SMA 材」と呼ぶ）は、耐久性が高い合金元素を含有することで、鋼材表面に緻密で密着性の高いさびを形成する鋼材である。そのため SAM 材は、塗装が不要であることから、一般的な鋼材に比べライフサイクルコストを抑えることが可能であり、適用実績も多いが、海岸線からの離岸距離が短い飛来塩分量の多い地域や、凍結防止剤の散布が多い地区などでは設計耐用期間における板厚減少予測を実施したうえで、その適用を検討しなければならない。

橋梁用高降伏点鋼板（JIS G 3140、以下「BHS 材」と呼ぶ）は、鋼橋の建設コスト削減のため産学連携研究プロジェクトの成果に基づき開発された新しい鋼材であり、金元素の調整かつ TMCP の適用により高強度化、高じん性化を図った鋼材である。そのため BHS 材は、一般鋼材に比べ溶接性、加工性に優れることから今後の適用の拡大が期待されている。

ステンレス鋼（JIS G 4305、以下「SUS 材」と呼ぶ）は、Cr を 12%以上添加し、鋼材表面に安定した不導体被膜を生成した耐食性の高い鋼材である。SUS 材は、高耐久性の他に高強度、加工の容易性などを持っており、幅広く使用される鋼材であるが、費用が高く橋梁本体への適用は少ない。なお、SUS 材は、化学成分の含有量の違いにより、62 種の種類が存在する。

表 2-2 JIS に示される高性能鋼材

鋼材	一般的な鋼材との違い	規定されている規格
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 (SMA 材：JIS G 3114)	耐久性が高い合金元素を含有し、鋼材表面に緻密で密着性の高いさびを形成する鋼材。塗装を施さなくても一般鋼材に比べ耐久性向上が図れる。	適用厚さ、化学成分、熱処理、炭素当量 (ceq) 及び溶接割れ感受性塑性 (pcm)、機械的性質 (降伏点、引張強度、伸び、シャルピー吸収エネルギー)、形状・寸法・質量およびその許容差、外観
橋梁用高降伏点鋼板 (BHS 材：JIS G 3140)	合金元素の調整かつ TMCP の適用により高強度化、高じん性を図った鋼材。一般鋼材に比べ溶接性、加工性に優れる。シャルピー吸収エネルギーは、圧延直角方向に対して規定しているため、板取方向に規定がない (一般鋼材は応力方向と圧延方向を合わせるのが基本)。	適用厚さ、化学成分、熱処理、溶接割れ感受性塑性 (pcm)、機械的性質 (降伏点、引張強度、伸び、シャルピー吸収エネルギー)、形状・寸法・質量およびその許容差、外観
ステンレス鋼 (SUS 材：JIS G 4305)	Cr を 12%以上添加し、鋼材表面に安定した不導体被膜を生成した耐食性の高い鋼材	製造方法、化学成分、機械的性質、耐食性、表面仕上げ、形状・寸法・質量およびその許容差、外観

2.3 その他の高性能鋼材

橋梁の設計に用いる示方書や設計標準には、JIS 化はされていないが、比較的適用実績の多い高性能鋼材が示されている (表 2-3)。本表の作成は、鋼・合成構造標準示方書¹⁾ (2016 土木学会、「土」で表記する)、道路橋示方書²⁾ (2018 日本道路協会、「道」で表記する)、鉄道構造物等設計標準・同解説³⁾ (2016 鉄道総合技術研究所、「鉄」で表記する) から抜粋している。なお、示方書等に記載は無いものの、適用実績のある高性能鋼材を表 2-4 に示す。これらの適用にあたっては、各事業社において建設した橋梁等に必要 (要求) される性能についての高性能化を図り、材料性能および要求性能の確保や製作 (溶接) 性等を検証したうえで適用されている。

表 2-3 基準に示される高性能鋼材 ^{1), 2), 3)} を参考に編集作成

[出典：土木学会（2016）：鋼・合成構造標準示方書]

[出典：日本道路協会（2017）：道路橋示方書・同解説 II 鋼橋・鋼部材編]

[出典：鉄道総合技術研究所編（2009）：鉄道構造物等設計標準・同解説（鋼・合成構造物）]

鋼材	一般的な鋼材との違い	掲載基準
高じん性鋼	鋼材内の窒素量を抑えることにより、高じん性を図った鋼材。一般的な鋼材に比べ冷間曲げ半径の低減や寒冷地（低温域）での使用が可能である。	土，道，鉄
耐ラメラテア鋼	鋼材内の硫黄量を抑えることで、板厚方向の強度特性を改善し、ラメラテア（板厚方向に引張応力を受ける溶接継手で鋼板表面に平行な割れが発生する現象）に対応した鋼材。	土，道，鉄
LP 鋼板	圧延技術（圧延ローラの配置間隔等）により長手（圧延）方向に板厚を変化させた鋼材。一般的な鋼材に比べ、断面変化部の継手箇所の軽減や鋼重軽減が図れる。	土，道，
予熱低減鋼	溶接割れ感受性塑性（pcm）を低減することで、溶接時の予熱を低減した鋼材。一般的な鋼材に比べ、溶接性に富む。	土，道，鉄
大入熱溶接対策鋼	鋼材内に窒化チタンの形成かつ TMCP により、高じん性を図り、溶接後の熱影響範囲（HAZ）のじん性低下値を軽減した鋼材。一般的な鋼材に比べ、入熱量が多くても対応可能であり、1 回当たりの溶接を増やし、パス数を軽減できるため、溶接性が向上できる。	土，道，鉄
降伏点一定鋼	40mm 以上の板厚に対しても 16mm～40mm までの降伏点と同値を保証した鋼材。一般的な鋼材に比べ、極厚（40mm 以上）使用域での鋼重軽減が図れる	土，道，鉄
低降伏点鋼	降伏点を下げ、伸縮性を向上させた鋼材。一般的な鋼材に比べ伸び（塑性変形量）が良いため、制振ダンパー等に利用されることが多い。	土，
ニッケル系高耐候性鋼	耐候性鋼材に Ni 等の耐久性の高い合金の比率を上げることで、JIS 耐候性鋼の適用が難しい、飛来塩分の多い地区への適用が可能な耐候性鋼材	土，鉄

表 2-4 基準等に示されていないが適用実績のある高性能鋼材

鋼材	一般的な鋼材との違い	備考
高強度鋼材	強度を向上させた鋼材。板厚を薄くすることで軽量化が可能であるが、降伏比が大きく伸縮性が低い鋼材であり、薄肉化による剛性低下等が生じるため留意が必要である。	港大橋，本四架橋などの長大橋梁
クラッド鋼	異種金属を層状に接合した鋼板。強度は母材の強度により確保し，耐食性は表面に接合した鋼材により確保する。	アクアライン，羽田空港ジャケット等
低降伏比鋼	降伏点および強度の上下限值や降伏比の制限を設けることで，塑性変形能力に期待できる鋼材。建築構造用圧延鋼材（SN 材）がそれにあたり，JIS 化されている。	
亜鉛めっき用鋼板	亜鉛めっきによる焼けや割れに対応するためケイ素（Si）量を調整した鋼材	
極厚鋼板	JIS で規定する厚さの範囲を超えても強度，じん性を保証した鋼板。	本四架橋等
制振鋼板	2 枚の鋼板の間に粘弾性樹脂を挟んだ鋼板。鋼板の曲げ振動に伴う樹脂のせん断変形によって振動エネルギーを熱エネルギーに変換することで減衰効果を得る。	鉄道橋等

3. 高性能鋼の適用実績（例）

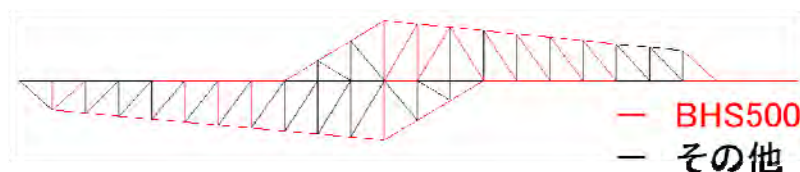
高性能鋼の適用実績の一部を次項より示す。本実績は，論文，雑誌，技報等にて報告されたものをまとめたが，適用実績があっても論文等で報告されていない高性能鋼も多く存在する（一例：鉄道・運輸機構の実績においては，厚板（40mm 以上）になった場合，降伏点一定鋼を適用しているが，一般的に用いているため特段報告されていない。）。

適用高性能鋼材	橋梁用高降伏点鋼板(SBHS)
適用理由	高強度化, 高じん性化による鋼重軽減および溶接性の向上によるコスト削減
適用時の状況	新設道路橋, 新設鉄道橋

主な適用事例

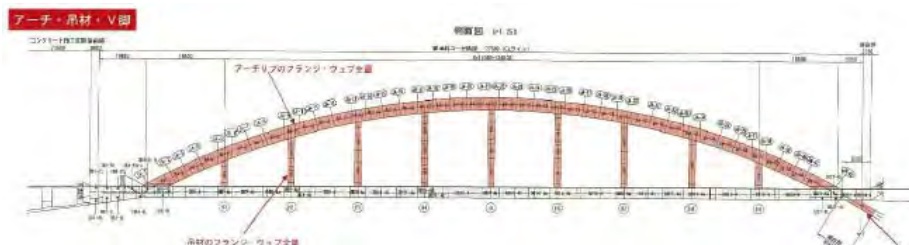
東京ゲートブリッジ

本橋は、海上に架設されるため自然環境が厳しく、トラス・ボックス複合橋を採用したため狭隘部の溶接が多い構造である。本橋は、構造特性上死荷重が大部分を占めるため、高強度で溶接性および加工性に富む(S)BHS500をSM490Yの22mm以上およびSM570に代えて適用している。これにより、上部工鋼重の低減が図れ下部工が縮小し建設コストが縮減し、外面塗装面積の縮小も図れ、維持管理時の塗り替えコストの縮減が図られている。



新名神高速道路 朝明川橋

本橋は、鋼・PC混合アーチ補剛箱桁形式を採用している。アーチ部は鋼部材となっており、現場溶接にて接合している。アーチ部の耐ラメラテア性向上および現場溶接部の溶接性向上を目的として、アーチおよび吊材に溶接性に富むSBHS500を適用している。



北陸新幹線 武生架道橋

本橋は、鋼4径間連続合成桁および鋼製門型橋脚を有している。本橋は交差道路と鋭角で交差する関係で支間長が長くなり、その影響でSM570では極厚化した(上部工および門型橋脚)。そのため、高強度であるSBHS500を適用することで板厚軽減を図り、施工性の確保およびコスト削減を図った。



○がSBHS500適用箇所

適用高性能鋼材 橋梁用高降伏点鋼板 (SBHS)

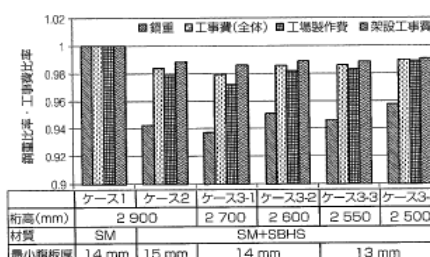
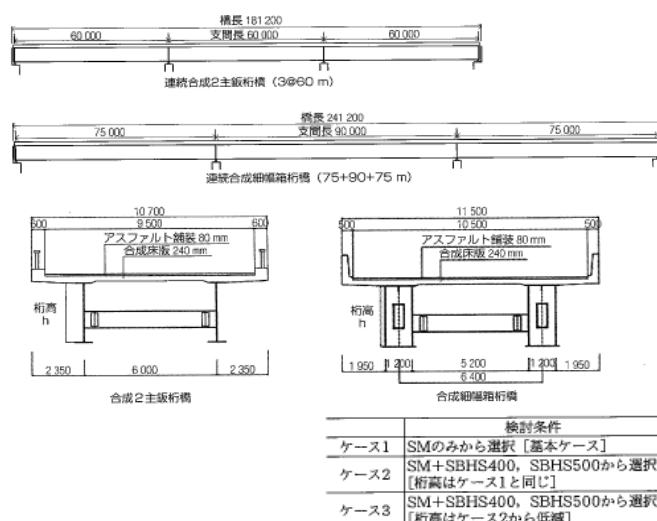
永田橋

本橋は、旧橋の老朽化および交通量の増大に伴い、ランドマークとしての機能、自然との調和(景観性に配慮)、コスト縮減の積極的採用のコンセプトのもとPC複合トラス橋を採用した。主桁は、SBHS500を用いた鋼管および必要に応じてコンクリートを充填したCFT構造とし、トラス下弦材は鋼管径φ800で統一している。

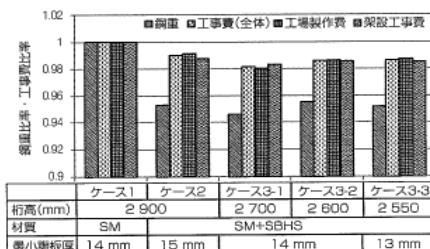


試設計(道路橋(H29道示):日本鉄鋼連盟)

道路橋でのSBHS材の有効利用を考えるため、SM材とSBHSの材料の違いを考慮した試設計を実施した(合成2主鈑桁および合成細幅箱桁)。結果、SBHSを用いた桁は、中間支座位の下フランジ板厚が15~20%低減できた。橋梁全体での鋼重軽減率は、2主鈑桁で5.8%、細幅箱桁で4.8%であった。



(a) 2主鈑桁橋

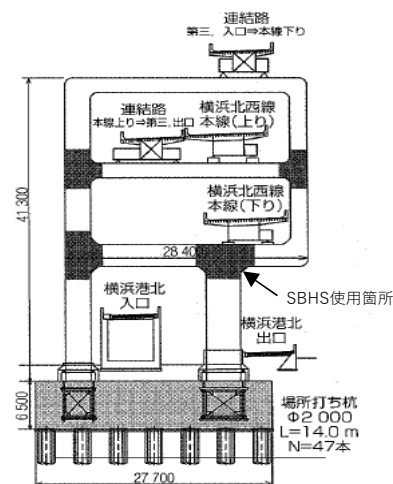


(b) 細幅箱桁橋

橋梁と基礎 (SBHSの有効活用に向けた試設計⁶⁾) より

横浜北西線港北ジャンクション新設橋梁

本ジャンクションは、供用中の第3京浜道路と横浜北線に横浜北西線が接続され、機能が増設される。限られた用地内に配置するため、新設する構造は、極力コンパクト化を図る必要があった。これにより、橋脚は多層立体ラーメンとしている。その隅角部等にSBHS500を適用し、鋼重および製作費の削減を図った。なお、溶接性としては、メリットがあったが本材料はSM570より降伏強度が高いため切断加工に時間を要した。



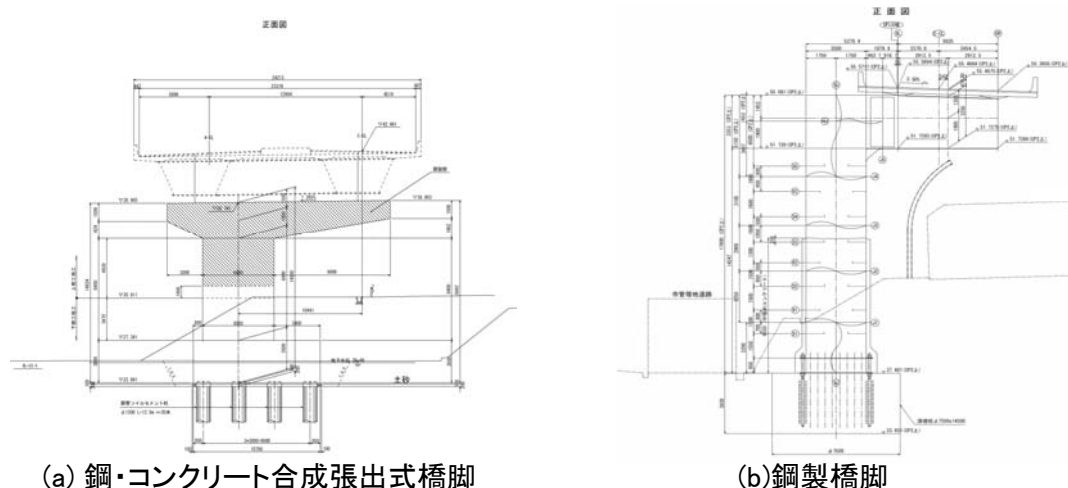
橋梁と基礎 (横浜北西線⁸⁾) より

適用高性能鋼材	橋梁用高降伏点鋼板(SBHS)
---------	-----------------

新設ジャンクション橋における鋼製橋脚への橋梁用高降伏点鋼板(SBHS)の適用

1. 概要

本橋は、新規路線と既設路線を接続するジャンクションに建設された鋼橋である。本橋の橋脚は、設置位置の都合上、図-1に示す鋼・コンクリート合成張出式橋脚または鋼製橋脚を採用した。当初、鋼・コンクリート合成張出式橋脚や鋼製橋脚の隅角部については、SM570材を適用する計画としていた。しかし、受発注者間の協議の中で、橋梁用高降伏点鋼板(SBHS500)を適用する計画に変更し、コスト削減を行った。



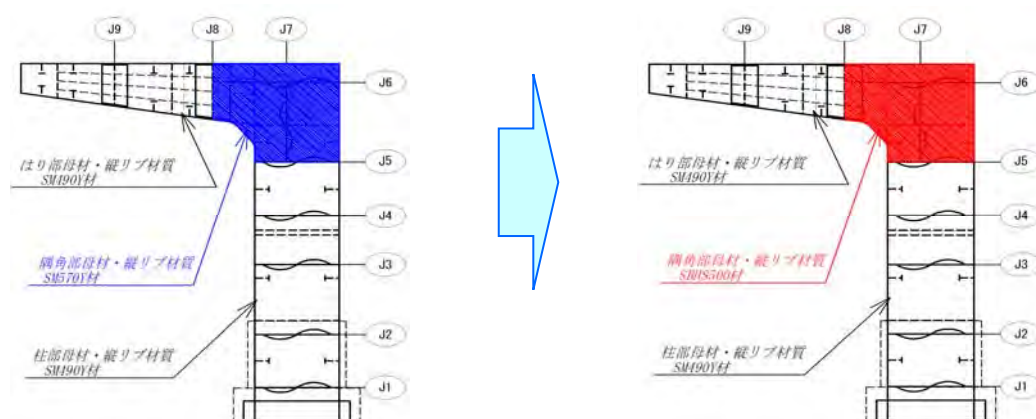
(a) 鋼・コンクリート合成張出式橋脚

(b) 鋼製橋脚

対象橋脚構造一般図(一例)

2. コスト削減効果

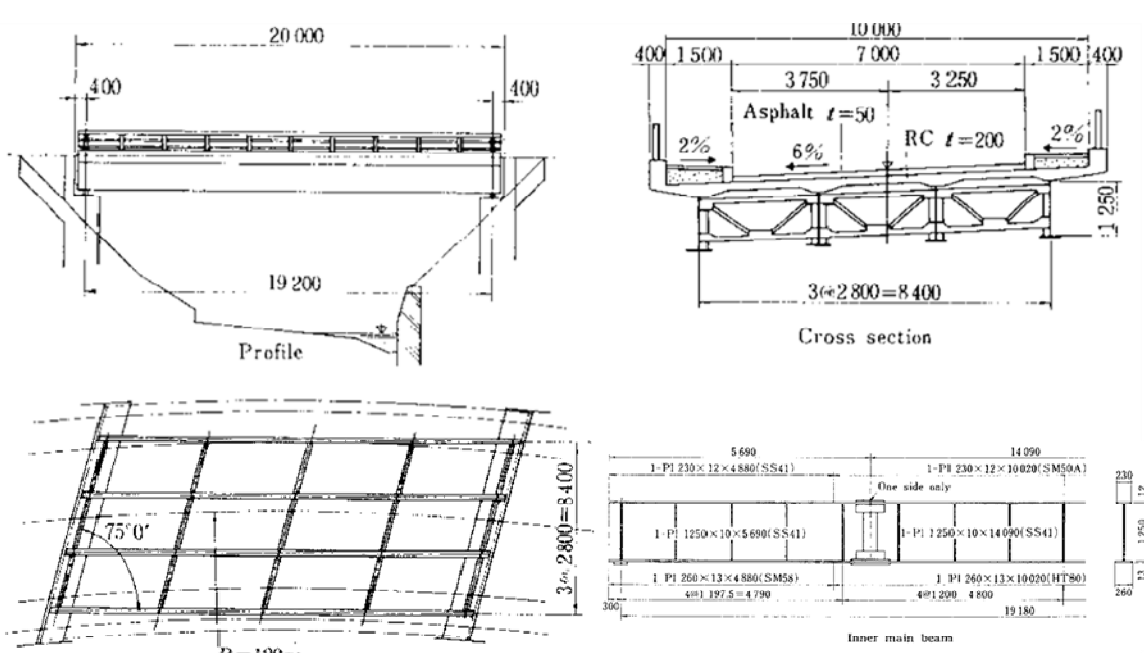
鋼製橋脚でのSM570材から橋梁用高降伏点鋼板(SBHS500)に変更したブロックの概略図を図-2に示す。本橋脚において、SM570材から橋梁用高降伏点鋼板(SBHS500)に変更した鋼・コンクリート合成張出式橋脚と鋼製橋脚は、4基であった。この結果として、鋼重は約30t、コストは約300万円程度削減することができ、鋼重は約10%、コストは約4%削減することができた。

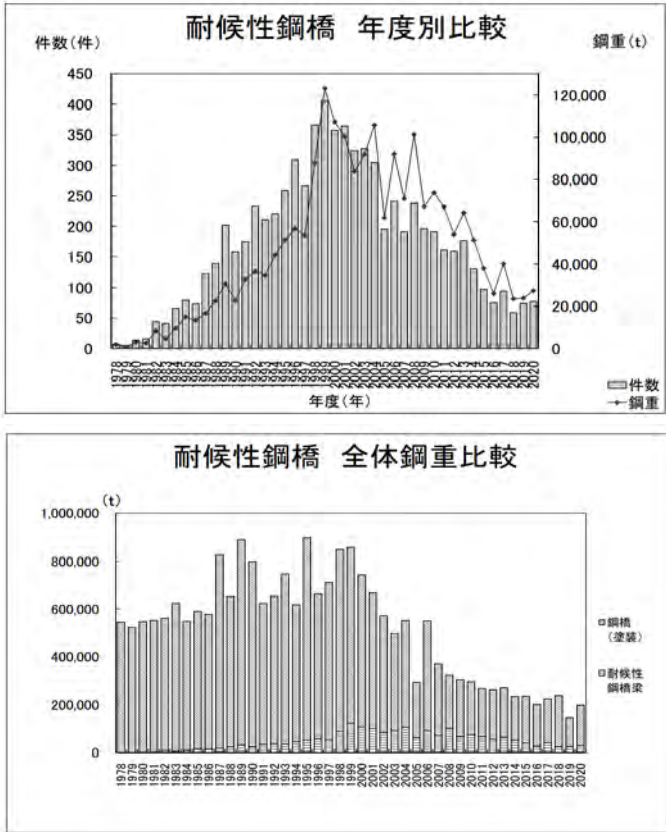


鋼製橋脚の計画変更概略図(一例)

参考文献

- 1)川崎博史,本間宏二(2005):鉄鋼材料の発展と今後の展望,橋梁と基礎,Vol.39,No.8,pp.37-40,2005.3.
- 2)三木千壽:橋梁用高性能鋼材BHS,橋梁と基礎,Vol.39.No.8,pp.41-43,2005.8.
- 3)諸星一信:東京港臨海大橋(仮称)の計画と概要,橋梁と基礎,Vol.41,No.10,pp.19-23,2007.10.
- 4)大谷満,今井平佳,大植健,根津和近,村尾裕二,大久保武夫:永田橋の設計と施工,橋梁と基礎,Vol.45.No.11,pp.17-22,2011.11.
- 5)宮部光貴,内田裕也,廣瀬彰則:朝明川橋(鋼PC3径間連続アーチ補剛箱桁)の設計施工,日本道路会議論文集,論文NO.5033,2013.11.
- 6)高木優任,加藤真志,松下政弘,沓岐浩:道路橋での橋梁用高降伏点鋼板(SBHS)の有効活用に向けた試設計,橋梁と基礎,Vol.54,No.1,pp.35-40,2020.1
- 7)鉄道・運輸機構編:橋梁用高性能鋼材の適用の手引き(鋼鉄道橋),2018.8
- 8)三好孝英,高橋博威,佐々木力,土屋充,永山隼,安田浩章:横浜北西線における横浜港北ジャンクション新設橋梁の設計施工,橋梁と基礎,Vol.54,No.5,pp.12-15,2020.5.

適用高性能鋼材	HT780(引張強さ780N/mm ² 級の高張力鋼)
適用理由	フランジに高強度鋼, ウェブに低強度の鋼材を適用することによるコスト削減
適用時の状況	新設橋
主な適用事例 新井橋(千葉県) 本橋は、下フランジにHT780(引張強さ800N/mm²級)およびSM570, 上フランジにSM490YおよびSS400を採用し、ウェブをSS400としたハイブリッド桁を適用した支間19.2mの鋼4主単純合成桁橋である。高強度鋼の活用による経済性向上のため、フランジとウェブに異なった鋼種を用いるハイブリッド桁について、強度特性(許容応力度の設定など)と疲労強度に対する検討が行われ、様々な鋼種の組合せに対してコスト検討が行われた結果、HT780が支間中央部の下フランジに適用された。同鋼種で構成される桁(ホモジニアス桁)に比べ、7%程度のコスト縮減が可能であったと報告されている。	
 川崎製鉄技報(ハイブリッドビームの実橋への適用¹⁾より) 	
参考文献	1)久保源三,石渡正夫,大方茂:ハイブリッドビームの実橋への適用—その経済性と新井橋の架設—,川崎製鉄技報,Vol.7,No.2,pp.269-284,1975

適用高性能鋼材	(JIS) 耐候性鋼材
適用理由	塗替え不要による維持管理費の軽減
適用時の状況	新設道路橋, 新設鉄道橋
主な適用事例 耐候性鋼は, 耐久性の向上に有効な合金元素を含有することで, 鋼材表面に緻密で密着性の高いさびを形成する鋼材であり, 一般的な鋼材に比べライフサイクルコストを抑えることが可能なことから, 多数の実績がある。  耐候性鋼橋 年度別比較 耐候性鋼橋 全体鋼重比較 日本橋梁建設協会（耐候性鋼橋実績資料集¹¹⁾）より	
参考文献	1) 鉄道総合技術研究所編:無塗装鋼鉄道橋設計施工の手引き,1994.3 2) 鈴木巖,水谷治弘,南莊淳,岩崎嘉明,徳林宗孝: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,pp.21-28,1999.6. 3) 紀平寛:エコ・コンシャスな未来への耐候性鋼橋梁技術,橋梁と基礎,Vol.39,No.8,pp.44-48,2005.8. 4) 米谷作記子,楢岡衛,岩橋圭介,角和夫:「耐候性橋梁の維持管理マニュアル(案)」の策定,阪神高速グループ技報,第25号,論文12,2010.1 5) 南邦明,横山秀喜:東北新幹線,九州新幹線の鉄道橋,橋梁と基礎,Vol.45.No.4,pp.35-40,2011.4 6) 茂呂拓実,篠原聖二,楢岡衛:三宝ジャンクション建設に伴う鋼上部構造の改造概要について,阪神高速道路第44回技術研究発表会論文集,2012. 7) 橋本国太郎,高田佳彦,米谷作記子,杉浦邦征:阪神高速道路7号北神戸線における耐候性鋼橋の防食機能に関する詳細調査の分析,土木学会論文集,Vol.68,No.1,pp.124-135,2012. 8) 宇都宮光治,徳増健,青木康素,高村義行,岡本亮二:耐候性橋梁におけるさび状態の推移と付着塩分量の評価,鋼構造年次論文報告集,第20巻,2012.11. 9) 岡本亮二,青木康素,高井由喜,塚本成昭,大田典裕:耐候性橋梁の追跡調査結果によるさび安定化評価手法の一考察,鋼構造年次論文報告集,第22巻,pp.517-523,2014.11. 10) 日本橋梁建設協会編:デザインデータブック,2021.5 11) 日本橋梁建設協会編:耐候性鋼橋実績資料集 第27版(2022年度受注まで),2022.3.

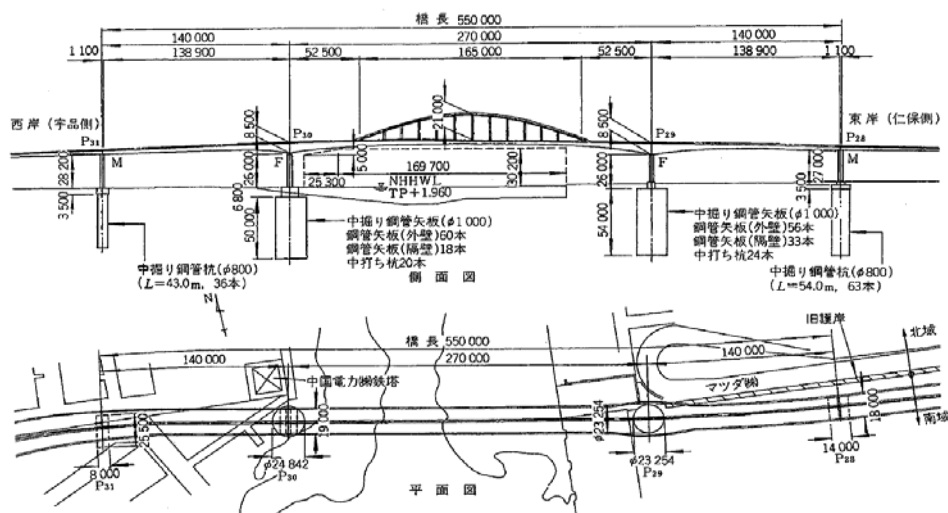
適用高性能鋼材	ニッケル系高耐候性鋼材
適用理由	強塩害地域におけるライフサイクルコストの低減
適用時の状況	新設鉄道橋
主な適用事例 北陸新幹線 北陸道架道橋 本橋は、日本海の親不知海岸から約600mの離岸距離に位置し、飛来塩分量が多く、(JIS)耐候性鋼材の適用が不可能な地区である。本架橋位置において、ミニマムメンテナンスを目標としてニッケル系耐候性鋼材が適用された。本材料は15年以上にわたる基礎的研究等を踏まえた耐食性に優れる材料であり、今後、(JIS)耐候性鋼材が適用できない地区においての採用が期待される。  ※3%Ni高耐候性鋼材+さび安定化処理仕様(架橋後約15年後) 整備新幹線(東北新幹線, 九州新幹線, 北陸新幹線:19橋)の事例 ニッケル系高耐候性鋼材は、JIS耐候性鋼材が適用できない飛来塩分が多い地区に適用する極めて耐腐食性の高い鋼材である。整備新幹線においては、ミニマムメンテナンス化を図るため、架橋地点の状況に応じてニッケル等の含有量を変えた(1%~3%)鋼材を適用している。橋梁とは別に暴露試験を実施し、さびの状況等に関して調査しすることでニッケル系高耐候性鋼材の性能解明を進めている。	
参考文献	1)道下恭博,櫻井信彰,本間宏二,渡辺弘明,平田尚:インテグラル複合ラーメン橋(西浜陸橋)の設計と施工,橋梁と基礎,Vol.35,No.2,pp.11-18,2001.2. 2)保坂鐵矢,楠隆,加藤順:高耐候性鋼の開発と無塗橋梁への適用,橋梁と基礎,Vol.36,No.6,pp.31-38,2002.6. 3)紀平寛,田中睦人,安波博道,竹澤博,楠隆,松岡和己,原田佳幸,田辺康児:3%ニッケル高耐候性鋼の適用可能性検討方法,新日鉄技報,第380号,pp.28-32,2004. 4)南邦明,玉井真一,鈴木隆,乙守幸之助,小早川豊:3%Ni系高耐候性鋼を用いた併用継手の現場溶接施工試験,土木学会論文集,Vol.63,No.4,pp.586-598,2007.10. 5)南邦明,三木千壽,横山秀喜:1%Ni系高耐候性鋼の機械的性質の現状,鋼構造論文集,第16巻,第64号,pp.81-91,2009.12. 6)南邦明,横山秀喜:東北新幹線,九州新幹線の鉄道橋,橋梁と基礎,Vol.45,No.4,pp.35-40,2011.4. 7)南邦明,三木千壽,横山秀喜:3%Ni系高耐候性鋼の機械的性質の現状,鋼構造論文集,第19巻,第75号,pp.67-77,2012.9. 8)南邦明,三木千壽,徳富恭彦:Ni系高耐候性鋼の化学成分の現状,鋼構造論文集,第20巻,第77号,pp.75-90,2013.3. 9)南邦明,徳富恭彦,田中睦人,鹿毛勇,松下政弘:整備新幹線の鋼鉄道橋におけるニッケル系高耐候性鋼の適用,橋梁と基礎,Vol.47,No.9,pp.12-17,2013.9.

適用高性能鋼材	耐ラメラテア鋼
適用理由	板厚方向力への対応
適用時の状況	新設道路橋(アーチ橋)

主な適用事例

宇品大橋

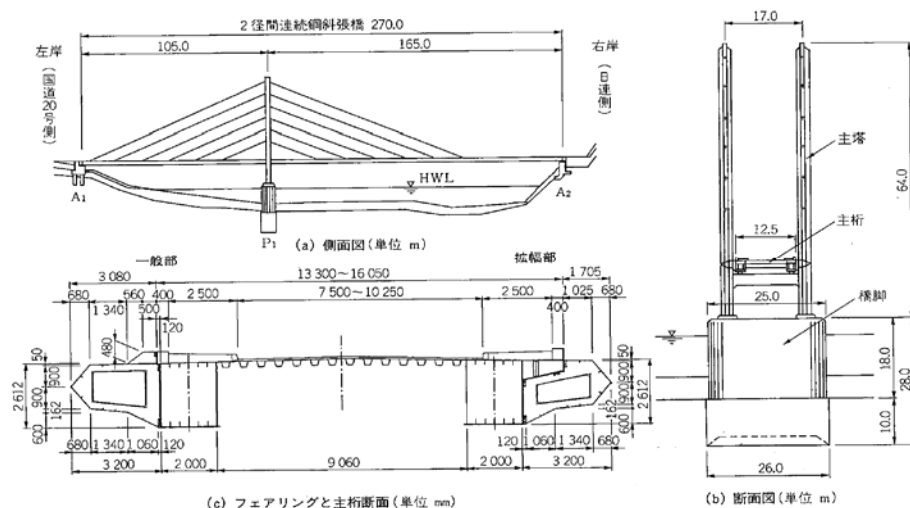
本橋は、幅195mの内港を1スパンで横断する必要があったため、単弦アーチで補剛した中央径間270mを有する鋼3径間連続鋼床版箱桁を採用した。本橋のアーチ起拱部は、アーチの力をスムーズに主桁に伝える必要があることからアーチ腹板と主桁腹板は鋼床版を貫通させ一体構造としている。これにより腹板を板厚方向に引っ張る力が必要となり、ラメラテア対策として耐ラメラテア鋼材(Z25相当)を採用した。



橋梁と基礎（宇品大橋¹⁾）より

新勝瀬橋

本橋は、相模湖上に架かる2径間2面吊斜張橋である。ケーブルの定着は、主桁からブラケットを張り出して定着する構造となっている。ブラケット付け根部の主桁ウェブは、溶接時に生じる引張応力に対応するため耐ラメラテア鋼を使用した。



橋梁と基礎（新勝瀬橋²⁾）より

参考文献

- 1) 栗原廣行, 徳山岩男, 田邊喜久夫, 山本信哉, 宮脇嵩泰: 宇品大橋上部工の施工, 橋梁と基礎, Vol.34, No.2, pp.8-10, 2000.2.
- 2) 田丸頭一, 香山孝司: 新勝瀬橋の設計・施工, 橋梁と基礎, Vol.40, No.7, pp.25-34, 2006.7.

適用高性能鋼材	LP鋼板
適用理由	断面変化を連続的に実施することでコスト削減を図る
適用時の状況	新設道路橋、新設鉄道橋

主な適用事例

LP鋼板の紹介と適用実績の紹介

合理化橋は、工場での板継を軽減できる反面、鋼重増となるため、LP鋼板を適用することにより板継の軽減が図れる。さらに、現場接合部でフィラプレートの削減や同厚で溶接実施などの改善が図れる。LP鋼板の製造は、圧延時のローラの圧力や間隔を制御することにより行うため、概ね6種類の形状に分けられる。なお、報告時点での適用実績は19橋である。

橋 梁 名	発 注 者	橋梁形式	適 用 個 所	製 作 会 社	重 量(t)	鋼材発注時期
深 沢 川 橋	J H	5 径間 I 桁	上下フランジ	高 田 機 工	53	H 6 . 12
名 港 西 大 橋	J H	A 形主塔	主塔腹板	栗本鉄工、三井造船	32	H 7 . 02
所 沢 川 橋	J H	3 径間箱桁	上下フランジ	高 田 機 工	32	H 7 . 02
大 高 跨 道 橋	建設省	単純箱桁	上下フランジ	宮 地 鐵 工	217	H 7 . 06
豊 泉 川 橋	J H	4 径間 I 桁	上下フランジ	古河機械金属	90	H 7 . 11
BY523&BY524工区	首都高	5 径間箱桁	上下フランジ	高田機工、IHI	215	H 8 . 03
朝 来 高 架 橋	兵庫県	4 径間 I 桁	上下フランジ	川 崎 製 鉄	124	H 8 . 04
栄 村 橋	長野県	2 径間 I 桁	上下フランジ	川 崎 製 鉄	74	H 8 . 05
東 海 高 架 橋	J H	11 径間 I 桁	腹 板	高田機工、駒井鉄工	180	H 8 . 08
キウス第1橋	J H	2 径間 I 桁	上下フランジ	橋 崎 製 作 所	83	H 8 . 11
千歳JCT：Cランプ線	J H	4 径間箱桁	下フランジ、腹板	横河ブリッジ	65	H 9 . 02
千 島 の 沢 川 橋	J H	4 径間 I 桁	上下フランジ	川 崎 重 工 業	93	H 9 . 07
千 歳 高 架 橋	J H	2 径間 I 桁	上下フランジ、腹板	日 本 製 鋼 所	71	H10 . 04
利 別 川 橋	J H	5 径間 I 桁	上下フランジ	川田工業、トビー工業	340	H10 . 04
千歳東IC橋	J H	2 径間 I 桁	上下フランジ	桜 井 鉄 工	104	H10 . 05
春 日 川 橋	J H	鋼床版箱桁	鋼床版、下フランジ	高 田 機 工	355	H10 . 09
唐 戸 川 橋	J H	7 径間 I 桁	上下フランジ	片山ストラテック	112	H10 . 11
宿 茂 高 架 橋	J H	4 径間 I 桁	上下フランジ	巴コーポレーション	104	H10 . 12
高 島 川 橋	J H	4 径間 I 桁	上下フランジ	豊 平 製 鋼	124	H11 . 02

橋梁と基礎（鋼橋へのLP鋼板の適用³⁾）より

LP鋼板を適用した鋼製橋脚の試設計(耐震)

LP鋼板の適用効果は、テーパ勾配を最適化すれば等厚鋼材の場合より鋼重軽減が図れ、変形性能が向上することで耐震性評価、修復可能性が向上することが確認された。なお、鋼重低減が評価できるが、製造エキストラ、製作費等の増加が考えられ、コスト削減効果はあまり期待できないことが確認されている。

参考文献

- 緒方辰男,林辰一,上高原正弘,板橋壮吉:テーパプレート橋の適用 上信越道深沢川橋,第50回土木学会年次学術講演会概要集,I-306,1995.9.
- 日本道路公団:名港西大橋パンフレット
- 堀田毅,谷俊寛,工藤純一,西村宣男:鋼橋へのLP鋼板の適用,橋梁と基礎,Vol.34,No.4,pp.11-14,2000.4.
- 望月秀次,雨森慶一,築山侑二,中嶋浩之,成瀬隆弘:宿毛高架橋の計画・設計,橋梁と基礎 Vol.34,No.4,pp.25-32,2000.4.
- 坂本徹夫,吉川恭仁,安里俊則:9-48鋼橋におけるLP鋼材の採用について,NEXCO西日本内部報告会
- 高久達将,青木徹彦,福本湧士,K.A.S.Susantha:LP鋼材を用いた鋼製橋脚の耐震性能と耐震設計法,橋梁と基礎,Vol.39,No.2,pp.56-62,2005.2

適用高性能鋼材	電炉鋼
適用理由	限りある資源の有効活用とコスト削減
適用時の状況	新設鉄道橋, 新設道路橋
主な適用事例 首都高での適用に向けた試験等 限りある資源を有効活用する社会情勢より, 経済性の向上と省資源化を目的として, 電炉鋼(平鋼)の各種試験を実施した。電炉鋼と高炉鋼の異なる点として, 鋼材表面のミルスケールやコバ形状や化学成分があげられる。これらを管理した材料であれば, 有害な溶接欠陥は認められず, 強度も満足することが確認できた。 井原線 高梁川橋梁他 限りある資源を有効活用する社会情勢より造船や建築分野での適用事例のある電炉鋼を鉄道橋で初めて採用した。高炉鋼と比べ差異はないが, 板厚方向の靱性やコバ形状のデータ不足, 製品寸法品質管理などに各社に差があり(1998年時点)統一した品質管理づくりが可能となればそれらの品質が安定し適用の拡大が図れると思われる。	
 鉄道・運輸機構機関紙⁴⁾より	
参考文献	1)保坂鐵矢,根本弘,玉木史郎,酒井吉永:電気炉平鋼を用いた溶接継手の性能と疲労強度,橋梁と基礎,Vol.32,No.3,pp.37-44,1998.3. 2)保坂鐵矢,津澤稔,津金昭一,酒井吉永:電気炉平鋼の鋼鉄道橋への適用と試験桁による疲労試験,橋梁と基礎,Vol.32,No.4,pp.21-26,1998.4. 3)吉川博,船本浩二,野村和嗣,酒井吉永:電炉平鋼の道路橋への適用,橋梁と基礎,Vol.35,No.4,pp.23-31,2001.4. 4)(独)鉄道建設・運輸施設整備支援機構:地域鉄道を訪ねて 井原鉄道, 鉄道・運輸機構だより, No.74,2022夏季号,pp.22-23,2022.

適用高性能鋼材	Sn添加鋼(塗装周期延長鋼)
適用理由	耐久性向上とコスト削減
適用時の状況	新設道路橋, 更新橋梁
主な適用事例 阪神高速 三宝ジャンクション 耐候性鋼材(JIS)は, 飛来塩分量が多い箇所には適用できないため, そのような場所においては塗装橋梁を使用するが, 塗装欠陥などから腐食が進展する事例が生じている。Sn(スズ)は, 塩化物を含む乾湿繰返し環境においてSnイオンの作用により鋼の溶解反応を抑制する効果が報告されているため, 塗装キズ部の腐食を抑制する効果が期待される。そのため, 一般的な鋼材には含有していないSnを鋼材に添加し, 塗装の寿命を延ばす効果のある鋼材を開発した(右写真ハッチング部へ適用)。	
 橋梁と基礎 (Sn添加耐候性鋼¹⁾) より	
参考文献	1)青木康素,高田佳彦,菅江清信,上村隆之,那須和夫,菅岐浩:Sn添加耐食鋼の塗装寿命延長効果と鋼道路橋での適用事例,橋梁と基礎,Vol.53,No.10,2pp.29-34,2019.10.

適用高性能鋼材	アルミニウム合金																																																																																				
適用理由	軽量性および耐久性の向上																																																																																				
適用時の状況	新設道路橋，新設人道橋																																																																																				
主な適用事例																																																																																					
国内の実績と留意点																																																																																					
鋼材の高騰に伴い，比較的安価であったアルミに着目し，アルミ合金により橋梁が建設された。アルミ合金は軽量（鋼材の1/3であるが，剛性確保をすると鋼橋に比べ1/2程度となる）であるため，施工性が良く，短時間での架設が求められる人道橋への適用が増えている。2005年時点においては，人道橋11橋，道路橋2橋の実績がある。耐食性としては，鋼材表面に緻密な酸化アルミが生成され，耐候性鋼材のようにそれ以上の腐食進行が抑制される。材料費が高価であるため，一般的な適用は難しいが，軽量である利点を生かし，施工性が要求される箇所への適用が考えられる。なお，材料単体での防食性は高いが，異種金属と触れると異種金属接触腐食（ガルバニック腐食）が生じやすいため，異種金属と接触する場合の対応が必要である。溶接性が悪く，押出し型材での成形が主となっている。なお，現場溶接はできない。																																																																																					
<table><tr><th>橋 梁 名</th><th>場 所</th><th>橋梁形式</th><th>種 別</th><th>最大支間長</th><th>完成年</th></tr><tr><td>金慶橋</td><td>兵庫県</td><td>単純合成鋼桁橋</td><td>道路橋</td><td>20.0m</td><td>1961</td></tr><tr><td>応急組立て橋</td><td>北海道</td><td>ポニートラス橋</td><td>道路橋</td><td>30.0m</td><td>1961</td></tr><tr><td>東京大学構内連絡踏道橋</td><td>東京都</td><td>2 ヒンジラーメン橋</td><td>歩道橋</td><td>21.3m</td><td>1963</td></tr><tr><td>神宮前三丁目歩道橋</td><td>東京都</td><td>中路式単純鋼桁橋</td><td>歩道橋</td><td>18.6m</td><td>1967</td></tr><tr><td>初台下歩道橋</td><td>東京都</td><td>中路式単純鋼桁橋</td><td>歩道橋</td><td>18.0m</td><td>1967</td></tr><tr><td>天鼓林橋</td><td>山梨県</td><td>無補剛吊橋</td><td>歩道橋</td><td>24.3m</td><td>1985</td></tr><tr><td>陸橋</td><td>東京都</td><td>4 連中路式単純鋼桁橋</td><td>歩道橋</td><td>7.9m</td><td>1986</td></tr><tr><td>石垣神社歩道橋</td><td>愛媛県</td><td>単純鋼桁橋</td><td>歩道橋</td><td>8.0m</td><td>1994</td></tr><tr><td>川棚駅自由通路</td><td>長崎県</td><td>単純箱桁橋</td><td>歩道橋</td><td>33.0m</td><td>2002</td></tr><tr><td>十番港橋</td><td>熊本県</td><td>ポニートラス橋</td><td>歩道橋</td><td>30.9m</td><td>2002</td></tr><tr><td>西唐津駅自由通路</td><td>佐賀県</td><td>単純箱桁橋</td><td>歩道橋</td><td>39.7m</td><td>2002</td></tr><tr><td>出水駅東西自由通路</td><td>鹿児島県</td><td>2 連単純箱桁橋</td><td>歩道橋</td><td>17.5m</td><td>2003</td></tr><tr><td>ひきの口歩道橋</td><td>福岡県</td><td>単純箱桁橋</td><td>歩道橋</td><td>37.1m</td><td>2004</td></tr></table>		橋 梁 名	場 所	橋梁形式	種 別	最大支間長	完成年	金慶橋	兵庫県	単純合成鋼桁橋	道路橋	20.0m	1961	応急組立て橋	北海道	ポニートラス橋	道路橋	30.0m	1961	東京大学構内連絡踏道橋	東京都	2 ヒンジラーメン橋	歩道橋	21.3m	1963	神宮前三丁目歩道橋	東京都	中路式単純鋼桁橋	歩道橋	18.6m	1967	初台下歩道橋	東京都	中路式単純鋼桁橋	歩道橋	18.0m	1967	天鼓林橋	山梨県	無補剛吊橋	歩道橋	24.3m	1985	陸橋	東京都	4 連中路式単純鋼桁橋	歩道橋	7.9m	1986	石垣神社歩道橋	愛媛県	単純鋼桁橋	歩道橋	8.0m	1994	川棚駅自由通路	長崎県	単純箱桁橋	歩道橋	33.0m	2002	十番港橋	熊本県	ポニートラス橋	歩道橋	30.9m	2002	西唐津駅自由通路	佐賀県	単純箱桁橋	歩道橋	39.7m	2002	出水駅東西自由通路	鹿児島県	2 連単純箱桁橋	歩道橋	17.5m	2003	ひきの口歩道橋	福岡県	単純箱桁橋	歩道橋	37.1m	2004
橋 梁 名	場 所	橋梁形式	種 別	最大支間長	完成年																																																																																
金慶橋	兵庫県	単純合成鋼桁橋	道路橋	20.0m	1961																																																																																
応急組立て橋	北海道	ポニートラス橋	道路橋	30.0m	1961																																																																																
東京大学構内連絡踏道橋	東京都	2 ヒンジラーメン橋	歩道橋	21.3m	1963																																																																																
神宮前三丁目歩道橋	東京都	中路式単純鋼桁橋	歩道橋	18.6m	1967																																																																																
初台下歩道橋	東京都	中路式単純鋼桁橋	歩道橋	18.0m	1967																																																																																
天鼓林橋	山梨県	無補剛吊橋	歩道橋	24.3m	1985																																																																																
陸橋	東京都	4 連中路式単純鋼桁橋	歩道橋	7.9m	1986																																																																																
石垣神社歩道橋	愛媛県	単純鋼桁橋	歩道橋	8.0m	1994																																																																																
川棚駅自由通路	長崎県	単純箱桁橋	歩道橋	33.0m	2002																																																																																
十番港橋	熊本県	ポニートラス橋	歩道橋	30.9m	2002																																																																																
西唐津駅自由通路	佐賀県	単純箱桁橋	歩道橋	39.7m	2002																																																																																
出水駅東西自由通路	鹿児島県	2 連単純箱桁橋	歩道橋	17.5m	2003																																																																																
ひきの口歩道橋	福岡県	単純箱桁橋	歩道橋	37.1m	2004																																																																																
橋梁と基礎（アルミニウム合金を用いた橋梁 ¹⁾ ）より																																																																																					
参考文献	1)齊藤展生,続石孝之,大隅心平,金子正之:アルミニウム合金を用いた橋梁,橋梁と基礎 Vol.39,No.8,pp.59-61,2005.8.																																																																																				

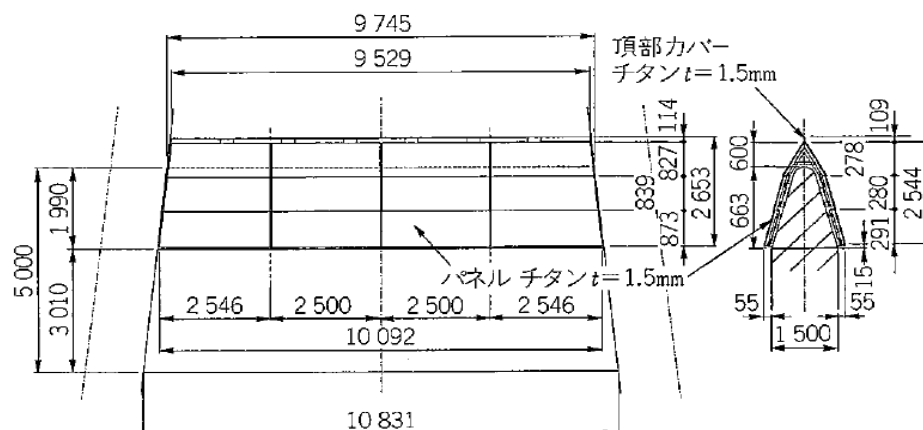
適用高性能鋼材	鋳鋼
適用理由	複雑で任意な形状への対応性
適用時の状況	新設道路橋の複雑な部位、支承（新設、既設）、既設道路橋床版取り替え
主な適用事例 鋳鋼品としての適用事例 鋳鋼は、鋳型を用いて一体成型できるため、肉厚が厚く、複雑な部位で一体化が必要な構造物に適用されている。特に支承に関しては、複雑な形状、強度的に必要なリブが存在するため、鋼板でビルトアップすることが難しく、鋳物を適用していることが多い。また、パイプトラスなどの格点部は複雑な構造が交差するため、製作性の向上を目的として鋳鋼品を採用することもある。耐候性仕様も鋳造可能であり、ミニマムメンテナンス化を図れる。適用に際する留意点等としては、鋳型を用いるため、規模の大きい部材は製造に時間が時間がかかる。なお、比較的じん性が低い材料であり、肉厚が厚いものは寸法効果により強度低下しやすい。	
参考文献	1) 出間進一: 鋳鋼品, 橋梁と基礎, Vol.39, No.8, pp.66-67, 2005.8. 2) 山口栄輝, 飛永浩伸, 梅谷拓郎, 村山稔: 鋳鉄床版の開発, 橋梁と基礎, Vol.51, No.8, pp.38-41, 2017.8. 3) 飛永浩伸, 村山稔, 佐伯英一郎, 玉越隆史, 山口栄輝, 三木千壽: 球状黒鉛鋳鉄の道路橋床版への適用に関する基礎的研究, 鋼構造論文集, 第24巻, 第95号, pp.13-24, 2017.9. 4) 飛永浩伸, 山口栄輝, 村山稔: 球状黒鉛鋳鉄を用いた道路橋床版の塑性変形性能に関する考察, 構造工学論文集, Vol.64A, pp.109-119, 2018.3. 5) 飛永浩伸, 山口栄輝, 村山稔: 鋳鉄床版の疲労特性に関する検討, 平成 29 年度土木学会西部支部 研究発表会, I-30, 2018.3.

適用高性能鋼材	チタン
適用理由	熱伝導率の良さによる堆雪回避, 耐久性の向上
適用時の状況	新設道路橋の落雪対策(既設橋へも適用可), 新設デッキのカバーPL

主な適用事例

星の降る里大橋

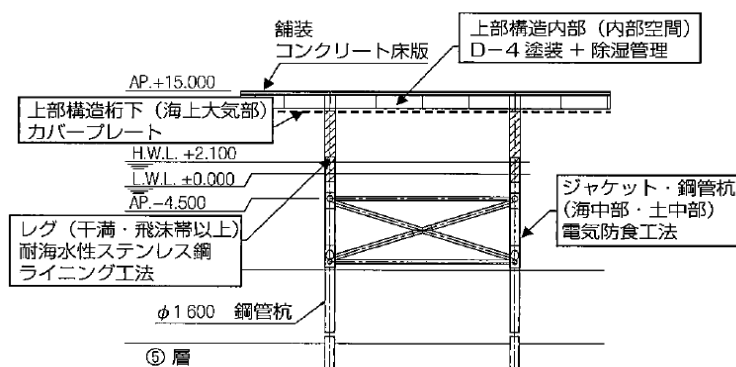
降雪地域における斜張橋や下路形式構造は、橋梁の部材に積もった雪が落雪することによって利用者の安全に影響を及ぼす可能性がある。そのため、堆雪を防ぐため、落雪対策が重要となる。電気を用いた設備の場合、ランニングコストがかかることから、チタンの熱伝導率および高い防食性に着目し、ライフサイクルコストを抑えた落雪対策を施した。



橋梁と基礎（星の降る里大橋¹⁾）より

羽田空港栈橋部ジャケット鋼橋のカバーPL

海上に設置する鋼材は、飛沫の影響により腐食進行が早い。そのため、チタンを外面に用いた(芯材はポリイソシアヌレートフォーム)のカバーPLを配置し、上部工を覆うことで、耐久性向上を図った、なお、カバーPLを設置することにより点検用足場としても活用している。



橋梁と基礎（栈橋ジャケット²⁾）より

参考文献

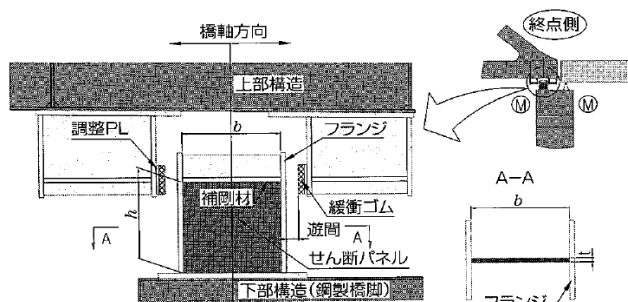
- 1) 蛸子恭好, 松久忠功, 大熊郁夫: 星の降る里大橋におけるチタン材を用いた落雪対策, 橋梁と基礎, Vol.39, No.12, pp.25-29, 2005.12.
- 2) 風野裕明, 片山能輔, 辻岡和男, 石田雅巳, 藤川敬人, 岩廣真悟: 栈橋部ジャケット構造の設計, 橋梁と基礎, Vol.43, No.1, pp.16-21, 2009.1.

適用高性能鋼材	低降伏点鋼
適用理由	制震ダンパーとして適用し地震時応答の軽減等，耐震性を向上させる
適用時の状況	耐震補強，新設時の耐震設計

主な適用事例

阪神高速5号湾岸線中島川橋梁

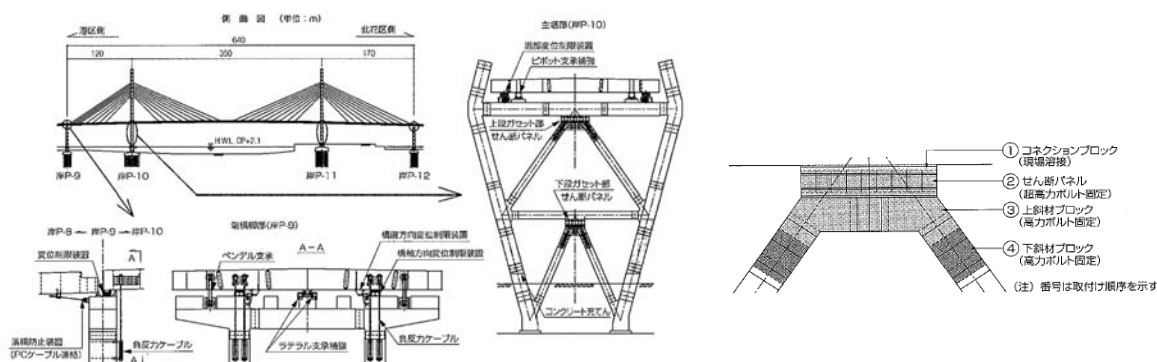
本橋の耐震補強設計において，可動支承側に設計時に想定した以上の水平変位が生じることとなり，可動側に変位制限構造を新たに設けた。そのため，可動側の橋脚において損傷の増加が懸念されたため，地震時のエネルギー吸収に効果により応答値の軽減が図れる低降伏点鋼（LY225材）をせん断パネルとして用いた履歴減衰型せん断降伏型ダンパーを制震デバイスとして設置した。製作時の留意点として，材質を損なわないために700℃を超える加熱作業を実施しない計画とする必要があり，施工前に取り付け部材の溶接施工試験を実施し，溶接ひずみ量や予変形の良否を把握したうえで，製作後の加熱矯正作業などを発生させない配慮を実施した。



橋梁と基礎（中島川橋¹⁰⁾）より

阪神高速天保山大橋

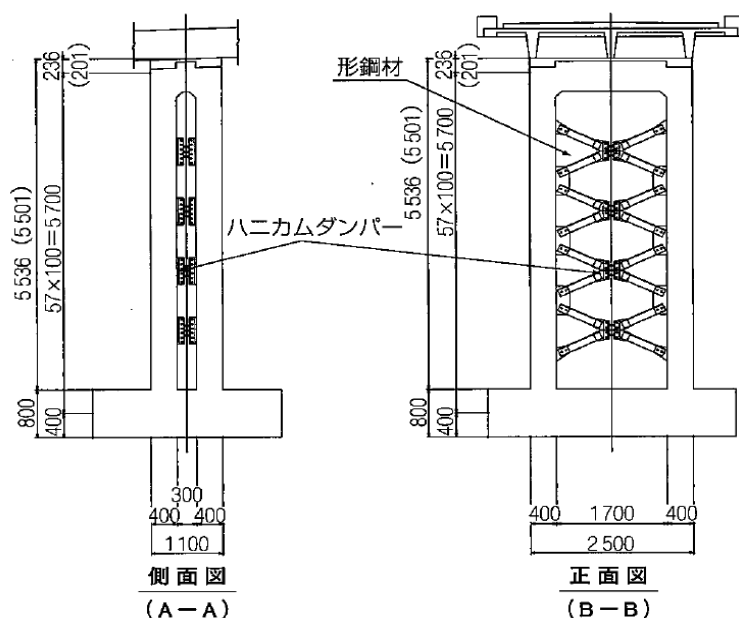
本橋の耐震補強においては，主塔の水平材と斜材を接合するガセット部に低降伏点鋼材（LY255）を用いたガセット部せん断パネルを採用し，レベル2地震動作用時に塑性変形させ，その履歴減衰によって地震エネルギーを吸収させることで地震力の低減を図った。低降伏点鋼は，一般的な鋼材に比べ軟らかくキズがつきやすいこと，溶接による入熱を引く抑えること，加熱矯正温度を700℃以下に抑え水冷却は行わないなど材質を変えない対応が必要である。



橋梁と基礎（天保山大橋¹¹⁾）より 橋梁と基礎（天保山大橋¹¹⁾）より

リバーサイド千秋連絡橋(仮称)

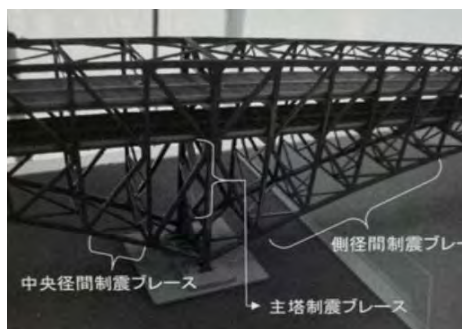
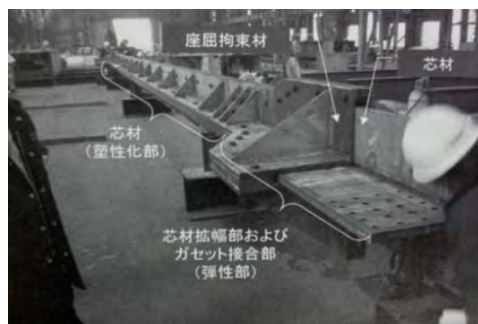
本橋は、市道を挟む建物をつなぐ3径間の歩道橋であり、立地条件の関係で橋脚および基礎工の合理化をしたうえで耐震性向上が求められた、そのため、鉄筋コンクリート橋脚を柱組構造とし、低降伏点鋼を用いた制振ダンパーを組み込む制振橋脚構造を使用した。



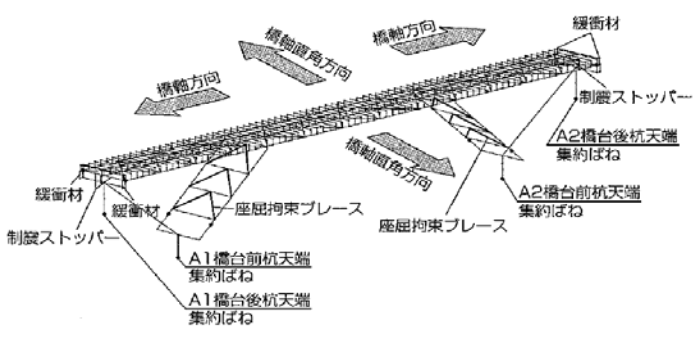
橋梁と基礎（リバーサイド千秋連絡橋⁵⁾）より

港大橋耐震補強

本橋の耐震補強にあたっては、従来の耐震補強構造による耐震補強では要求性能を満足する現実的な構造が成立せず、免震・制震技術を活用した損傷制御構造による耐震性能向上を図った。その制震ブレースは、低降伏点鋼(LY225)を芯材として採用し、局部崩壊が軽減され圧縮、引張の特性が同等となる十字形状とした。



橋梁と基礎（港大橋耐震補強⁴⁾）より

適用高性能鋼材	低降伏点鋼
能見橋 本橋は、鋼法杖ラーメン橋であり、その耐震補強に低降伏点鋼を用いた座屈拘束ブレースおよびせん断パネル型制震ストッパを採用した。	 橋梁と基礎（能見橋⁹⁾）より
参考文献	1) 金治英貞, 浜田信彦, 石橋照久, 尼子元久, 渡邊英一: 長大橋レトロフィット用座屈拘束ブレースの構造提案と弾塑性挙動, 構造工学論文集, Vol.51A, pp.859-870, 2005.3. 2) 井上一郎, 金治英貞: 低降伏点鋼, 橋梁と基礎, Vol.39, No.8, pp.104-107, 2005.8. 3) 道菅裕一, 鈴木政直, 岩本司: 「港大橋」耐震補強工事(14-1-湾-大建)の設計, 石川島播磨技報, Vol.46, No.2, pp.70-78, 2006.6 4) 金治英貞, 石橋照久, 宮本義広, 桐間幸啓, 西岡勉, 林訓弘, 高田佳彦, 徳増健: 長大トラス橋・港大橋の損傷制御設計による対震性能向上, 橋梁と基礎, Vol.40, No.10, 2006.10. 5) 南雲広幸, 一宮利通, 安宅之夫, 石井精一: リバーサイド千秋連絡橋(仮称)の設計と施工～超高強度繊維補強コンクリートおよび制振橋脚構造を用いた歩道橋～, 橋梁と基礎, Vol.41, No.12, pp.5-12, 2007.12. 6) 尾立圭巳, 聲高裕治, 井上一郎, 金治英貞: 細長比の大きい座屈高速ブレースの性能確認実験とその設計法, 鋼構造論文集, 第16巻, 第61号, pp.1-10, 2009.3. 7) 尾立圭巳, 尼子元久, 金治英貞, 井上一郎: 長大座屈拘束ブレースの製作と施工, 鋼構造論文集, 第16巻, 第61号, pp.75-84, 2009.3. 8) 金治英貞: 港大橋の構造再生－耐震から対震へ－, 第12回鋼構造と橋に関するシンポジウム論文報告集, 土木学会鋼構造委員会, pp.39-50, 2009.8 9) 宮腰恒秀, 山浦武彦, 小林敏宏: 能見橋の耐震補強の設計と施工－鋼方杖ラーメン橋の耐震補強－, 橋梁と基礎, Vol.45, No.3, pp.25-29, 2011.3. 10) 青木康素, 杉岡弘一, 林訓裕, 松下裕明, 村本宏: せん断降伏型ダンパーを用いたニールセンアーチ橋(中島川橋梁)の耐震補強設計と施工, 橋梁と基礎, Vol.47, No.4, pp.13-20, 2013.4. 11) 小林寛, 安藤高士, 林訓裕, 榎本修二, 岡村敬: 主塔部にせん断降伏型パネルを用いた天保山大橋の耐震補強設計と施工, 橋梁と基礎, Vol.47, No.8, pp.85-91, 2013.8. 12) 篠原聖二, 金治英貞, 小坂崇, 杉山裕樹, 津丸徳宏, 鳥越卓志: 鋼管集成橋脚の技術コンセプトと構造設計, 橋梁と基礎, Vol.48, No.2, pp.31-36, 2014.2. 13) 榎本修二, 岡村敬: 天保山大橋の耐震補強の概要－長大な鋼斜張橋の耐震補強工事－, 土木施工, Vol.55, No.7, pp.80-83, 2014.7. 14) 篠原聖二, 杉山裕樹, 金治英貞, 橋本国太郎, 杉浦邦征: 鋼管集成橋脚における実大せん断パネルの損傷過程と終局モードの実験的評価, 土木学会論文集, Vol.71, No.3, pp.402-415, 2015. 15) 田中将登, 堀岡良則, 小坂崇, 丹羽信弘, 仲村賢一: 西船場ジャンクション上下部構造の実施設計, 橋梁と基礎, Vol.53, No.2, pp.16-21, 2019.2. 16) 志村敦, 田畑晶子: 鋼管集成橋脚を活用した既設橋梁の耐震性能向上-西船場ジャンクション改築事業, JSSC会報, No.38, 2019, SUMMER 17) 伊藤堅生, 松本綾佳, 吉良浩二, 江角和之, 伯川眞司: 上信越自動車道 太田切川橋(II期線)の耐震設計と施工時の安全対策, 橋梁と基礎, Vol.53, No.12, pp.5-11, 2019.12.

適用高性能鋼材	高強度鋼(鋼管): YP400, YP500, YP630
適用理由	高強度化, 高じん性, 高溶接性, 極厚・太径鋼管による構造物の高層化と経済性の向上
適用時の状況	新設鉄塔

主な適用事例

東京スカイツリー

本構造のアスペクト比(塔の高さ／幅比)は、約9と大きな値となっており、構造物が高いだけでなく、高アスペクト比により、地震・暴風時に鉄骨に作用する断面力が大きくなるため、高強度で大断面の鋼材が必要である。また、工場製作および現場溶接による現場接手を前提としたため、溶接性(高じん性, 低 P_{CM} 化等)に優れる鋼材が必要であった。そのため、それらに対応できる鋼材として高強度鋼管を開発し、大臣認定を取得した。

降伏強度レベル	設計強度 N/mm ²	機械的性質					化学成分		
		YS N/mm ²	TS N/mm ²	YR (YS/TS)	EI %	vE *1 0°C J	板厚範囲	Ceq *2 (%)	P_{CM} *3 (%)
630N/mm ² 以上	630	630~880	780~930	≤95%	≥16	≥47	—	≤0.60	≤0.30
		630≤		≤90%		≥47(-20°C)			
		700~900		≤95%					
500N/mm ² 以上	500	500~700	570~740	≤95%	≥20	≥70	19≤t≤40	≤0.47	≤0.28
			590~740				40<t≤100	≤0.50	≤0.30
400N/mm ² 以上	400	400~600	490~640	≤95%	≥23	≥70	19≤t≤50	≤0.40	≤0.26
							50<t≤95	≤0.42	≤0.27
STKN490B JIS鋼管(参考)	325	325~475	490~640	≤85%	≥23	≥27	—	≤0.44	≤0.29

*1 1/4t from surface

*2 Ceq : C+Si/24+Mn/6+Ni/40+Cr/5+Mo/4+V/14

*3 P_{CM} : C+Si/30+Mn/20+Cu/20+Ni/60+Cr/20+Mo/15+V/10+5B

溶接学会誌 (東京スカイツリーを支える極厚高強度鋼材²⁾) より

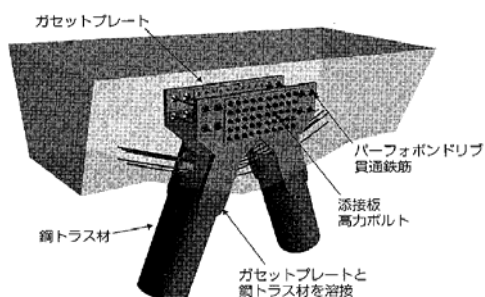
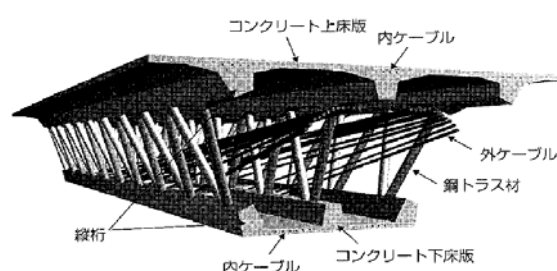
参考文献	1) 志村健, 小西厚夫, 田辺潔: 東京スカイツリー—構造設計と施工技術—, 橋梁と基礎, Vol.46, No.4, pp.6-13, 2012.4. 2) 廣田実, 山口徹雄, 鈴木孝彦: 2.1鋼材 東京スカイツリーを支える極厚高強度鋼材, 溶接学会誌, 第82巻, 第4号, pp.21-24, 2013.6. 3) 川辺壮一: 2.2プレスバンド管の製造 東京スカイツリーのプレスバンド管の製造, 溶接学会誌, 第82巻, 第4号, pp.25-29, 2013.6 4) 村田義明, 豊田剛正: 2.3溶接材料 東京スカイツリー工事に使われた溶接材料, 溶接学会誌, 第82巻, 第4号, pp.30-35, 2013.6
------	--

適用高性能鋼材	鋼管
適用理由	製作工数の軽減, (コンクリートウェブに比べ)軽量化, 施工性, 景観性の向上
適用時の状況	新設鉄道橋, 新設道路橋

主な適用事例

新東名高速道路 猿田川橋, 巴川橋(上り線)

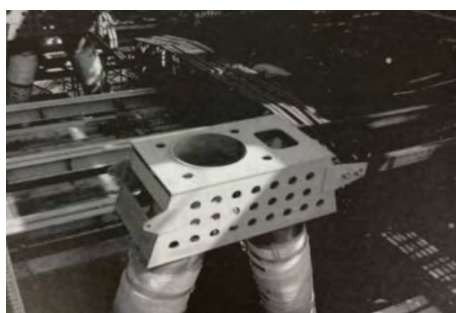
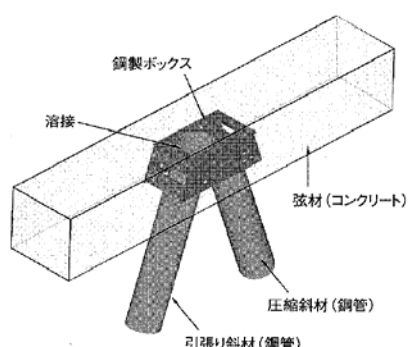
本橋は急峻な山岳地形に架かるため, 上部工の軽量化が図れ下部工および基礎工を含めた橋梁全体での合理化が可能な構造であること, かつ周辺地帯の眺望に溶け込む(透明感のある)橋梁形式が望まれた。このことから, UOE鋼管を用いたPC複合トラス橋を採用した。UOE鋼管は, 径および厚さに製作限界(Max: $\phi=457.2\text{mm}$, $t=30\text{mm}$)があるため, それを超える高軸力が作用する部位は, CFT(コンクリート充填鋼管)構造とすることで対応した。



橋梁と基礎 (猿田川橋梁⁹⁾) より

那智勝浦道 木ノ川高架橋

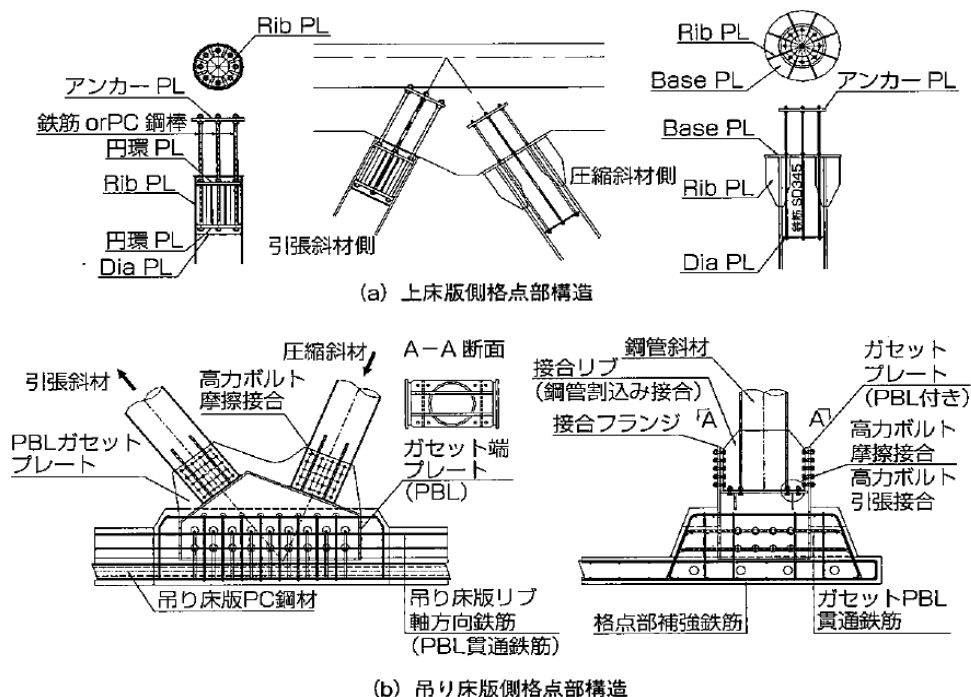
本橋に採用した鋼管トラスウェブPC橋は, 一般的なPC箱桁橋に比べ, 主桁自重の軽減およびその影響による下部工・基礎工の軽減, ウェブ部のコンクリート打設不要による施工性の向上(工期短縮含む), トラス構造のため透明感が増し周囲の環境に溶け込みやすくなる。本構造の重要な部位として, 鋼トラス斜材とコンクリート床版+B58が交わる格点部があげられる。格点部は力を伝達する部位であるため, 本橋では要求性能を満足させるため, 鋼製ボックスを用いた格点構造を考案し, 実験等をへて採用した。



橋梁と基礎 (木ノ川高架橋³⁾) より

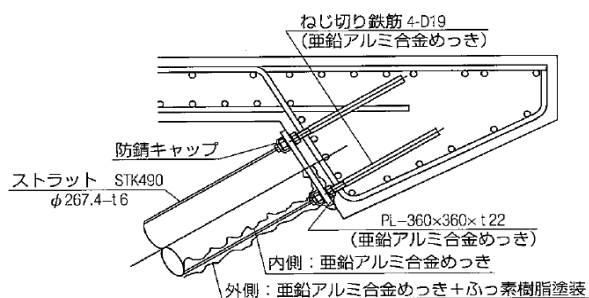
大簾川(おおすみがわ)橋

本橋は、大簾川の両側が発達した急峻地形・景観に富む立地条件を考慮し、経済性、施工性、工期短縮に有利となるPC複合トラス橋を採用した。トラスに用いた鋼管は $\phi 400$ のSTK490を採用し、9mmもしくは12mmの鋼管厚としている。なお、最端部斜材は圧縮力が大きいため22mm厚のSM材を鋼管状に製作している。格点部の構造は、架設時の施工性を考慮し吊床版セグメントにガセット鋼殻を埋め込みプレファブ化した構造を採用した。

橋梁と基礎（大簾川橋⁸⁾）より

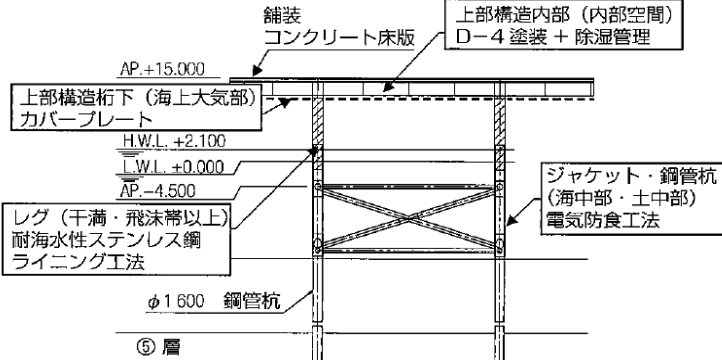
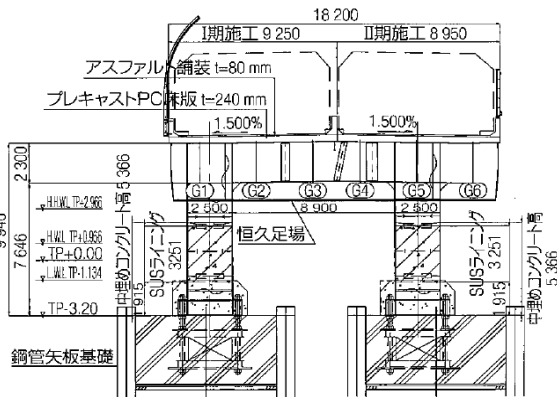
新東名高速道路 芝川高架橋

本橋の架設位置は、急峻な山岳地形であることから、下部工や基礎工を極力小さくする必要があった。そのため、張り出し床版を長くし、鋼管によるストラットを設けることで、PC箱桁の断面を小さくした。鋼管はSTK490の $\phi 267.4$ mm($t=6$ mm)を採用し、@3.5mで配置している。

橋梁と基礎（芝川高架橋¹¹⁾）より

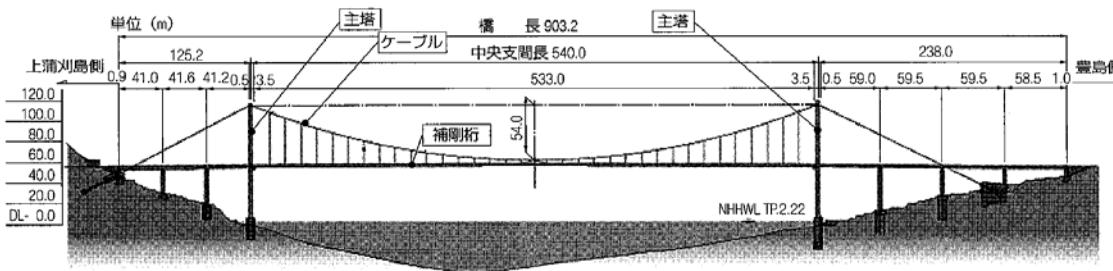
適用高性能鋼材	鋼管
星雲橋 本橋は、急峻な山岳地形に架かるため、100m程度の径間を1スパンで支保工を用いずに架設できる形式であること、橋台部付近に架設用スペースは確保できないことなどからウェブに鋼管でトラス構造としたPC複合トラス橋を採用した。結果、建設前の環境を維持した架設工法を適用しながら経済的にも有効となることが可能であった。	橋梁と基礎（星雲橋⁴⁾）より 志津見大橋 本橋は、国立公園の一部をなす地点のダムの上を渡る橋梁であり、地域の魅力づくりに貢献するシンボルとして、透明感がありながら、かつコストを意識した形式が望まれた。そのため、ウェブを鋼管でトラス化したPC複合トラス橋とした。 橋梁と基礎（志津見大橋⁶⁾）より
参考文献	1)高山茂,中田武,向井博之,小野泰明,永川広雅,齊藤隆幸:宇品橋G4桁の設計と施工.橋梁と基礎,Vol.35,No.3,pp.2-10,2001.3. 2)木村是一,山村正人,本田明,山口統央,南浩郎:那智勝浦道路木ノ川高架橋の設計-鋼・コンクリート複合トラス橋-,橋梁と基礎,Vol.36,No.10,pp.31-36,2002.10. 3)南浩郎,瀬戸清,小野武,尾鍋卓巳:那智勝浦道路木ノ川高架橋の施工-鋼管トラスウェブPC橋-,橋梁と基礎,Vol.38,No.1,pp.13-19,2004.1. 4)乗常晃男,齋藤謙一,山崎和彦,桑野昌晴,石原光浩:星雲橋の設計と施工-吊構造を利用した架設工法による単径間PC複合トラス構造-,橋梁と基礎,Vol.39,No.4,pp.5-11,2005.4. 5)青木圭一,高德裕平,能登谷英樹,上平康裕,加藤敏明,山口貴志:第二東名高速道路猿田川橋・巴川橋の設計・施工-世界初のPC複合トラスラーメン橋-,橋梁と基礎,Vol.39,No.5,pp.5-11,2005.5. 6)藤原浩幸,正司明夫,坂田寛司,後小路祥一,椛木洋子,野呂直以:志津見大橋の設計・施工-変断面PC複合トラス橋-,橋梁と基礎,Vol.39,No.11,pp.5-11,2005.11. 7)青木圭一,野村敏雄,長田光司,山口貴志,加藤敏明,高德裕平:PC複合トラスラーメン橋の振動特性-第二東名高速道路猿田川橋の振動実験-,橋梁と基礎,Vol.40,No.6,pp.20-25,2006.6. 8)林龍夫,杉谷和弘,平野淳治,西澤寿洋,諸橋明,桑野昌晴:大簾川橋の設計と施工-吊床版架設工法を用いたPC複合トラス橋-,橋梁と基礎,Vol.45,No.7,pp.5-11,2011.7. 9)岩立次郎,宇佐美惣,伊藤祐一,諸山勝雄,鈴木宣政,安田慎:猿田川橋・巴川橋(上り線)の設計および施工.橋梁と基礎,Vol.45,No.12,pp.5-10,2009.12. 10)寺田典生:新東名における橋梁技術の開発,橋梁と基礎,Vol.45,No.8,pp.28-31,2011.8. 11)中島豊茂:全断面一体架設するストラット付き床版の開発-芝川高架橋-,橋梁と基礎,Vol.45,No.8,pp.44-45,2011.8. 12)山口貴志:複合トラスの橋の開発-猿田川橋・巴川橋-,橋梁と基礎,Vol.45,No.8,pp.58-59,2011.8.

適用高性能鋼材	角形鋼管
適用理由	軽量，低桁高および材数軽減による製作性の向上と工期短縮
適用時の状況	新設道路橋（架け替えなど含む）
主な適用事例 小沢田橋 橋梁の架け替え時は，既存下部工が利用できれば経済的になるが，重量や高さなどに制約が生じ，通行止め期間の短縮などが要求されることが多い。支間15m以下に適用する橋梁として軽量，低桁高，短工期のなどの特徴を有する角形鋼管を主部材とする床版橋を開発した。 橋梁と基礎（小沢田橋¹⁾）より 滝下橋 トラス橋は，剛性が高く，軸力で応力伝達するため構造上優れた構造であるが，部材数や材片数が多く，製作性が劣ることから適用事例が減っている。最近の構造は極力部材数を減らした合理化構造を採用することが多い。本橋においては，主構に角形鋼管を利用した。鋼管は，45度傾けて配置することで，斜材からの直応力の伝達がスムーズになり，応力集中を緩和することが可能であることが確認できた。また，鋼管に直接溶接することでガセット部材の軽減も図れることが確認できた。なお，形状が複雑であることから，現場溶接の採用は難しい。斜材仕口部の取り付け（完全溶け込み溶接）は，立体取り付けとなるので，精度管理が難しい。 橋梁と基礎（滝下橋²⁾）より	
参考文献	1)高木優任,古木善直,上醉尾義明,川村修,篠原義則,萩野謙一:小沢田橋の設計・施工ー角形鋼管を用いた新形式床版橋ー,橋梁と基礎,Vol.39,No.9,pp.14-22,2005.9. 2)川尻克利,梅津靖男,至田利夫:滝下橋の計画・設計ー角形鋼管によるデッキトラス橋ー,橋梁と基礎,Vol.32,No.3,pp.2-8,1998.3. 3)福岡一幸,香川紳一郎,川尻克利,近藤秀雄,杉村潤一:滝下橋の工場製作・現地施行,橋梁と基礎,Vol.32,No.6,pp.17-23,1998.6.

適用高性能鋼材	ステンレス鋼ライニング
適用理由	干満、飛沫帯での長期耐久性の確保
適用時の状況	新設で海上に設置された人工地盤の橋脚
主な適用事例 羽田D滑走路ジャケット式栈橋 羽田空港のD滑走路は、多摩川の河口域内にあるため、河川への配慮が必要であることから、通水性が確保できるジャケット式栈橋を採用している。栈橋部は広大な床版に覆われることから、飛来して付着した塩分が洗浄されない厳しい腐食環境である。特に、干満・飛沫帯に位置する柱は補修が難しいことから長期耐久性が確認された耐海水性ステンレス鋼(SUS312L)による金属被覆を講じた。一般部の適用板厚は0.4mmであり、一般のTIG溶接では施工が困難であるためインダイレクト・シーム溶接とプラズマ溶接を組み合わせた溶接方法により施工した。なお、補修の確実性も求められるため溶接補修試験も実施している。  橋梁と基礎（羽田D滑走路¹⁾）より	
首都高1号羽田線東品川栈橋部(更新Ⅰ期線) 本栈橋部は、京浜運河上に建設されており、栈橋と水面との空間が極めて狭く、点検・補修が非常に困難なうえ、海水による厳しい腐食環境に位置する。今回の大規模更新の際、今後100年間の耐久性を確保するため、橋脚部にSUSライニングを配置した。ライニングに使用したステンレス鋼はSUS312Lである(t=1.2mm)。SUSライニングは現場施工が非常に困難であったため、施工は全て工場にて行い、橋脚にはこの範囲に現場継手を設けない部材割とした。  橋梁と基礎（羽田線²⁾）より	
参考文献	1)風野裕明,片山能輔,辻岡和男,石田雅巳,藤川敬人,岩廣真悟:栈橋部ジャケット構造の設計,橋梁と基礎,Vol.43,No.1,pp.16-21,2009.1 2)小島直之,大西達也,野木裕輔,堀田尚史,江野本学,石川誠:高耐久性,維持管理性に配慮した更新橋梁の設計施工—首都高速1号羽田線東品川栈橋部(更新Ⅰ期線)—,橋梁と基礎,Vol.54,No.7,pp.22-28,2020.7.

適用高性能鋼材	溶融亜鉛めっき																																																																					
適用理由	ライフサイクルコストの低減																																																																					
適用時の状況	新設道路橋																																																																					
主な適用事例																																																																						
北陸自動車道および近畿自動車道での追跡調査																																																																						
ミニマムメンテナンス化を図るため溶融亜鉛めっき鋼板を用いた橋梁は、1996年時に726橋がある。今後の維持管理や設計施工に活用するため、状況調査を実施した。供用後10年程度での調査においては、外観、耐久性とも問題が生じていないが、飛来塩分量が多い箇所においては、長期にわたる耐久性を有しているとは言えない状態となる。検査路等は、本体に比べめっき付着量が少ないため、その影響が顕著であるため、取り換えも考慮した維持管理が必要である。																																																																						
<table><tr><th rowspan="2">橋梁名</th><th colspan="2">主 桁</th><th rowspan="2">対傾構、 横構、横桁</th><th colspan="2">添接部</th><th rowspan="2">支 承</th><th colspan="2">検査路</th></tr><tr><th>外側</th><th>内側</th><th>添接板</th><th>ボルト</th><th>手摺り</th><th>橋板</th></tr><tr><td>立部第二高架橋</td><td>良好</td><td>良好</td><td>良好</td><td colspan="2">良好</td><td>良好</td><td>良好</td><td>良好</td></tr><tr><td>赤崎川橋</td><td>良好</td><td>腐食生成物が目立ち嵩高い箇所も存在する</td><td rowspan="4">腐食生成物が嵩高くなっている</td><td colspan="2">良好</td><td>腐食生成物が嵩高くなっている</td><td>腐食生成物が嵩高くなっている</td><td>良好</td></tr><tr><td>駒谷川橋</td><td colspan="2">腐食生成物が目立つ</td><td>腐食生成物が目立つ</td><td rowspan="3">めっき皮膜が消失し、素地の赤錆が進行している</td><td>腐食生成物が嵩高くなっている</td><td>素地からの赤錆が点在、剥離箇所もある</td><td rowspan="4">腐食生成物が嵩高く、素地からの赤錆が点在している</td></tr><tr><td>徳合川橋</td><td>—</td><td>—</td><td>腐食生成物が嵩高くなっている</td><td>腐食生成物が嵩高くなっている</td><td>海側から剥離が生じており、赤錆が広範囲に発生している</td></tr><tr><td>境 橋</td><td>—</td><td>—</td><td>腐食生成物が嵩高くなっている（塗装品は良好）</td><td>腐食生成物が嵩高くなっている</td><td>ボルトに赤錆が発生している</td></tr><tr><td>五郎太谷川橋</td><td colspan="2">腐食生成物が嵩高くなっている</td><td>腐食生成物が嵩高くなっている</td><td>腐食生成物が嵩高くなっている</td><td>腐食生成物が嵩高くなっている</td><td></td></tr></table>											橋梁名	主 桁		対傾構、 横構、横桁	添接部		支 承	検査路		外側	内側	添接板	ボルト	手摺り	橋板	立部第二高架橋	良好	良好	良好	良好		良好	良好	良好	赤崎川橋	良好	腐食生成物が目立ち嵩高い箇所も存在する	腐食生成物が嵩高くなっている	良好		腐食生成物が嵩高くなっている	腐食生成物が嵩高くなっている	良好	駒谷川橋	腐食生成物が目立つ		腐食生成物が目立つ	めっき皮膜が消失し、素地の赤錆が進行している	腐食生成物が嵩高くなっている	素地からの赤錆が点在、剥離箇所もある	腐食生成物が嵩高く、素地からの赤錆が点在している	徳合川橋	—	—	腐食生成物が嵩高くなっている	腐食生成物が嵩高くなっている	海側から剥離が生じており、赤錆が広範囲に発生している	境 橋	—	—	腐食生成物が嵩高くなっている（塗装品は良好）	腐食生成物が嵩高くなっている	ボルトに赤錆が発生している	五郎太谷川橋	腐食生成物が嵩高くなっている		腐食生成物が嵩高くなっている	腐食生成物が嵩高くなっている	腐食生成物が嵩高くなっている	
橋梁名	主 桁		対傾構、 横構、横桁	添接部		支 承	検査路																																																															
	外側	内側		添接板	ボルト		手摺り	橋板																																																														
立部第二高架橋	良好	良好	良好	良好		良好	良好	良好																																																														
赤崎川橋	良好	腐食生成物が目立ち嵩高い箇所も存在する	腐食生成物が嵩高くなっている	良好		腐食生成物が嵩高くなっている	腐食生成物が嵩高くなっている	良好																																																														
駒谷川橋	腐食生成物が目立つ			腐食生成物が目立つ	めっき皮膜が消失し、素地の赤錆が進行している	腐食生成物が嵩高くなっている	素地からの赤錆が点在、剥離箇所もある	腐食生成物が嵩高く、素地からの赤錆が点在している																																																														
徳合川橋	—	—		腐食生成物が嵩高くなっている		腐食生成物が嵩高くなっている	海側から剥離が生じており、赤錆が広範囲に発生している																																																															
境 橋	—	—		腐食生成物が嵩高くなっている（塗装品は良好）		腐食生成物が嵩高くなっている	ボルトに赤錆が発生している																																																															
五郎太谷川橋	腐食生成物が嵩高くなっている		腐食生成物が嵩高くなっている	腐食生成物が嵩高くなっている	腐食生成物が嵩高くなっている																																																																	
注）嵩高い：腐食生成物が、粗にかつ厚く積層した状態を言う。																																																																						
橋梁と基礎（溶融亜鉛めっき橋梁 ¹⁾ ）より																																																																						
参考文献	1)和泉聡,大杉隆洋,藤原繁郎,高野嘉彦,原田廣美,多田恭大:北陸自動車道および近畿自動車道における溶融亜鉛めっき橋梁の追跡調査,橋梁と基礎,Vol.34,No.6,pp.13-19,2000.6.																																																																					

適用高性能鋼材	チタンクラッド鋼
適用理由	干満、飛沫帯での長期耐久性の確保
適用時の状況	新設道路橋（橋脚）
主な適用事例	
東京湾アクアライン橋梁部	
本橋は、海上架橋であり、飛沫干満部は、海水の飛沫により最も腐食環境が厳しい箇所である。塗装等の被膜では、長期耐久性に乏しいため、耐腐食性の高いチタンを鋼板にライニングすることで、耐久性向上を図った。なお、水密性を確保した溶接方法が難しいため留意が必要である。	
	
高性能鋼の概要(橋梁向け) ⁵⁾ より	
参考文献	1)岡田実,新成夫:チタンクラッド鋼の溶接に関する研究,溶接学会誌,第35巻,第4号,pp.375-388,1966.4. 2)香川佑次,中村俊一,長谷泰治,山本章夫:鋼製橋脚飛沫干満部防食用チタンクラッド鋼板の基本特性と溶接加工法について,土木学会論文集,No.435,VI-15,pp.69-77,1991.9. 3)村井康生,斉藤賢司:チタンの鋼板への直接ライニング技術,神戸製鋼技報,Vol.49,No.3, pp.57-60,1999.10 4)新日本製鐵(株):チタンクラッド鋼の溶接技術,新日鉄技報, No.355, p.60, 1995.2 5)(一社)日本鉄鋼連盟:高性能鋼の概要(橋梁向け), p.31 クラッド鋼,2019.10.

適用高性能鋼材	太径垂鉛めっき鋼線
適用理由	コスト縮減と工期短縮
適用時の状況	新設道路橋
主な適用事例 豊島大橋(仮称) 本橋は、離島間をつなぐ海上架橋の吊り橋であり、経済性向上と工期短縮を図るため、通常5mmの素線径を有する主ケーブルを用いるところを太径(φ7mm級)溶融垂鉛めっき鋼線を用いた。これにより、ケーブル架設(AS工法)は、これまで適用されてきたPWS工法に比べ、ストランド数を軽減できるため、ストランド定着部のコンパクト化が図れる。また、使用鋼線径が大きくなることによりケーブル断面積が2倍となり、ケーブル配線工事の短縮が図れる。適用に際しては、従来のケーブルに比べ剛性が高いためワイヤの供給設備を含めた配置作業の作業性に留意が必要である。  橋梁と基礎(太径(φ7mm級)垂鉛めっき鋼線を用いたケーブル架設²⁾)より	
参考文献	1)荻原勝也,寺尾直樹,高森真司,深谷茂広:豊島大橋(仮称)の設計(下)ー上部構造・耐風設計ー,橋梁と基礎,Vol.38,No.6,pp.33-40,2004.6. 2)森下尊久,馬久地延幸,久保賢二,的場武文,奥本武司,峰地慎一:太径(φ7mm級)垂鉛めっき鋼線を用いたケーブル架設,橋梁と基礎,Vol.41,No.11,pp.37-44,2007.11.

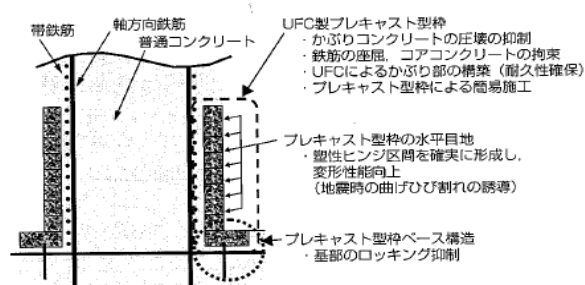
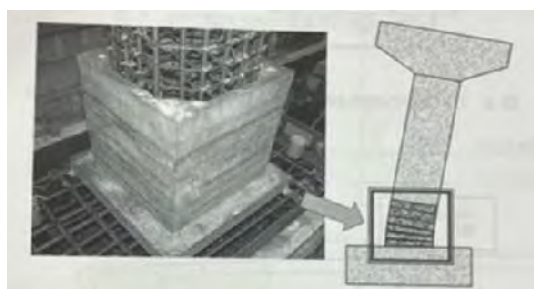
適用高性能鋼材	S字形の異形鋼線を用いたラッピングワイヤ
適用理由	ケーブル内部への水侵入防止など防食性の向上
適用時の状況	新設道路橋
主な適用事例 白鳥大橋 吊り橋のケーブルは、亜鉛めっき鋼線の集合体であり、その表面に巻きつけるワイヤラッピングと塗装で防食性を確保してきた。しかし、一般的なワイヤラッピングでは形状が丸いため、隙間が生じやすく、ケーブルは腐食環境にさらされることが問題となっている。そのため、本橋においては、より腐食しにくい構造への改良のため、S字形のワイヤラッピングを開発し、ケーブルの外部環境と遮断性の向上を図った。S字ワイヤは、SWRM6～12の軟鋼線材を用い、冷間加工、熱処理を施したのち溶融亜鉛めっきを行った。なお、ケーブルラッピングの施工時期については、裁荷重量、ケーブル張力、伸びなどの影響を考慮して定める必要がある。 橋梁と基礎（白鳥大橋¹⁾）より	
来島海峡大橋 これまでの吊り橋に用いてきた主ケーブルの防錆仕様では、ケーブル素線に発錆が見られた。原因としては工事中や完成後に侵入した水がケーブル内で蒸気化と結露化を繰り返すことが考えられた。そのため、ケーブル被覆の遮水性の向上させるとともに腐食環境の改善が求められた。その際、乾燥したケーブル内を外気から遮断し、ケーブル内を乾燥に保つためにS形鋼線を用いたラッピングシステムを採用した。	
参考文献	1) 渋谷元, 前川務, 山地健次, 菅原登志也, 高田敦: 白鳥大橋のケーブル防食工事, 橋梁と基礎, Vol.32, No.1, pp.15-21, 1998.1. 2) 平野信一: ケーブル一般部の新防食工法—来島海峡大橋—, 橋梁と基礎, Vol.33, No.5, pp.35-36, 1999.5.

適用高性能鋼材	高強度鋼繊維
適用理由	PC部材の高耐久性化および景観性および経済性の向上
適用時の状況	新設鉄塔や新設PC橋梁（道路橋、鉄道橋）への添加, PCa

主な適用事例

阪神高速大和川線三宝ジャンクション

本橋の橋脚基部には、設計基準強度 180N/mm^2 を有するエトリンサイト生成系超高強度繊維補強コンクリートの埋設型枠(UFC製Pca型枠)を用いることで、地震時の変形性能を大幅に向上させた。塑性ヒンジ部の役割としては、かぶり部に配置した埋設型枠が、地震時に生じる大きな曲げ圧縮力に抵抗することにより、かぶりコンクリートの圧壊を抑制できる。その結果、主筋の座屈を抑制できる。

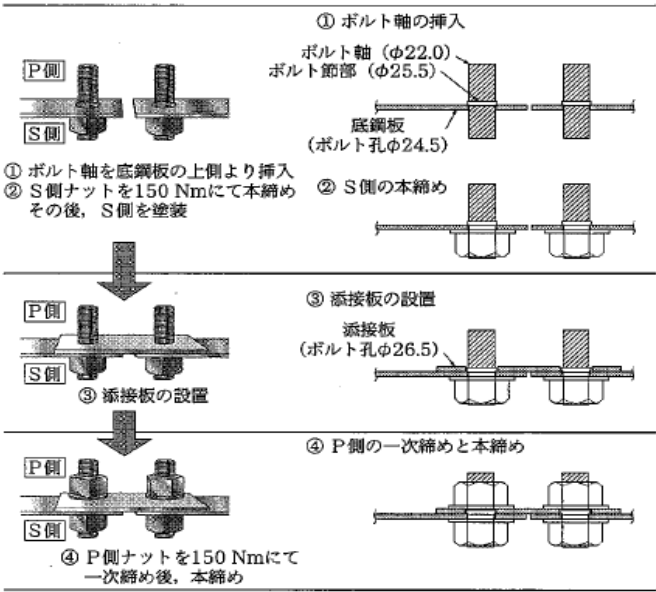


橋梁と基礎（超高強度補強繊維コンクリート製型枠を用いた高耐震性能橋脚の適用⁹⁾）より

高強度鋼繊維を適用した事例は多く、詳細は参考資料を参照されたい。

参考文献

- 1) 細谷学, 安部吉広, 今井義明, 信夫榮: 超高強度繊維補強コンクリートを使用した橋梁-赤倉温泉ゆけむり橋の施工-, 橋梁と基礎, Vol.38, No.12, pp.5-10, 2004.12.
- 2) 東田典雅, 吉田敦, 安里俊則, 白谷宏司, 稲原英彦, 大島邦裕: 北海道縦貫自動車道鳥崎川橋の計画と設計, 橋梁と基礎, Vol.39, No.11, pp.13-20, 2005.11.
- 3) 持田淳一, 堀口政一, 武田勇光, 塚本敦之, 大川渉, 神田隆司: 北海道縦貫自動車道鳥崎川橋上部工の施工-波形鋼板手延べ桁を用いた押出し架設-, 橋梁と基礎, Vol.40, No.6, pp.5-12, 2006.6.
- 4) 黒岩正, 西川孝一, 岩崎郁夫, 大熊光: 超高強度繊維補強コンクリートを用いた道路橋~北九州JCT堀越Cランプ橋~, 橋梁と基礎, Vol.41, No.4, pp.23-29, 2007.4.
- 5) 南雲広幸, 一宮利通, 安宅之夫, 石井精一: リバーサイド千秋連絡橋(仮称)の設計と施工~超高強度繊維補強コンクリートおよび制振橋脚構造を用いた歩道橋~, 橋梁と基礎, Vol.41, No.12, pp.5-12, 2007.12.
- 6) 渡辺典男, 武者浩透, 大竹明朗, 横井謙二, 相河清実, 南郷健太郎: UFC床版の設計および実物大実験, 橋梁と基礎, Vol.43, No.1, pp.27-29, 2009.1.
- 7) 渡辺典男, 武者浩透, 福原哲, 柿崎勉: 超高強度繊維補強コンクリートを使用した3室箱桁橋の設計と施工-東京国際空港エプロン等整備等事業 GSE橋梁-, 橋梁と基礎, Vol.43, No.4, pp.19-25, 2009.4.
- 8) 桜田道博, 香田真生, 山本博輝: 高強度繊維補強モルタルを用いた通信塔, 橋梁と基礎, Vol.46, No.4, 2012.4.
- 9) 山野辺慎一, 河野哲也, 齋藤公生, 樹本恵太, 茂呂拓実, 楯岡衛: 超高強度補強繊維コンクリート製型枠を用いた高耐震性能橋脚の適用-阪神高速大和川線三宝ジャンクション-, 橋梁と基礎, Vol.46, No.5, pp.19-24, 2012.5.
- 10) 辻野博史, 藤林健二, 谷口祥基, 一宮利通, 村岸聖介, 齋藤公生: ワッフル型UFC床版の実適用, 橋梁と基礎, Vol.54, No.2, pp.5-11, 2020.2.
- 11) 小坂崇, 福岡純一, 杉山貴教, 藤原理絵, 一宮利通, 齋藤公生: 都市高速道路のUFC床版による長寿命化, 橋梁と基礎, Vol.54, No.8, pp.93-96, 2020.8.

適用高性能鋼材	片面施工ボルト
適用理由	締め付け後の塗装不要および施行性の向上(足場不要)によるコスト削減
適用時の状況	新設道路橋, 改良
主な適用事例 上信越自動車道北千曲川橋, 国道17号バイパス亀泉高架橋の合成床版 本接合は, 底鋼板を有する鋼・コンクリート合成床版出荷前に, 底鋼板面上より両ねじのボルト軸押し通した後, 底鋼板下面からS(Start)側ナットを締め付け, その鋼製パネルを主桁上に架設した後に, 添接板を上から設置して上側のP(Post)側ナットを締め付けることで, 摩擦接合とする。これにより, 合成床版施工後の継手部下面の塗装作業が不要(塗装足場も設置不要)となとなることで, コスト削減と施工性向上を図った。	
  ① ボルト軸の挿入 ボルト軸 (φ22.0) ボルト節部 (φ25.5) 底鋼板 (ボルト孔φ24.5) ① ボルト軸を底鋼板の上側より挿入 ② S側ナットを150 Nmにて本締め その後, S側を塗装 ② S側の本締め ③ 添接板の設置 添接板 (ボルト孔φ26.5) ④ P側の一次締めと本締め ④ P側ナットを150 Nmにて一次締め後, 本締め 橋梁と基礎 (片面施工高力ボルトによる合成床版継手部の締め付け施工²⁾) より	
参考文献	1) 鎌形由伸, 寺門三郎, 山田岳史: 合成床版の一面施工用高力ボルトの開発, 第四回道路橋床版シンポジウム講演論文集, pp.253-256, 2004.11. 2) 三田村浩, 山田岳史, 水野浩, 的場栄孝, 船谷智浩, 松井繁之: 片面施工高力ボルトによる合成床版継手部の締め付け施工, 橋梁と基礎, Vol.46, No.3, pp.31-36, 2012.3.

適用高性能鋼材	SHTB(F14T級 超高力ボルト)
適用理由	狭隘部における継手耐力の確保
適用時の状況	耐震補強
主な適用事例 阪神高速 天保山大橋 本橋の耐震補強において、主塔の水平材と斜材を連結するガセット部に低降伏点鋼を用いたせん断パネルを採用した。その取り換え作業において、接合部が構造上狭く、通常の高力ボルト(S10T等)では、必要本数が確保できないため、限定的にSHTBを採用した。 橋梁と基礎（天保山大橋¹⁾）より	
参考文献	1)小林寛,安藤高士,林訓裕,樫本修二,岡村敬:主塔部にせん断降伏型パネルを用いた天保山大橋の耐震補強設計と施工,橋梁と基礎,Vol.47,No.8,pp.85-91,2013.8.

適用高性能鋼材	皿型高力ボルト
適用理由	狭隘部における継手耐力の確保
適用時の状況	ボルト接合
主な適用事例 阪神高速での適用検討 一般的な高力ボルトは、添接板よりボルト頭やナットが飛び出る。この影響により塗装劣化の進行が早まったり、鋼床版部の舗装が薄くなるなど品質に影響が生じる。そこで、ボルト頭を皿型とし、突起が生じない形状の高力ボルトでの適用性検討を進め、鋼床版橋梁等において適用している。 橋梁と基礎（皿ボルト¹⁾）より	
参考文献	1)青木康素,田畑晶子,金治英貞,山口隆司:皿型高力ボルトを用いた摩擦接合継手の鋼道路橋での適用,橋梁と基礎,Vol.52,No.10,pp.37-40,2018.10. 2)青木康素,田畑晶子,金治英貞:皿型高力ボルトを用いた摩擦接合継手の鋼道路橋での適用,阪神高速グループ技報,第29号,pp.17-23,2018.

4. 求められる高性能鋼

高性能鋼は対象となる構造物（鋼橋）が求める要求性能に対し、一般鋼材では対応できない、もしくは経済的合理性（IC（Initial Cost）かつLCC（Life Cycle Cost））に欠ける場合や製作性が極端に劣る場合に、それを用いることで要求性能を満足させることができる鋼材である。これまで適用されてきた高性能鋼材の内容や実績を踏まえ、高性能鋼材を用いてきた理由とその事例を以下に示す。

①橋梁の長大化・巨大化への対応

強度の高い鋼材を用いた軽量化やラメラテアや脆性破壊を防ぐ機能が付加

②製作性の向上によるコスト削減

予熱の低減や曲げ加工性の良い金属成分の配合や圧延技術の向上による鋼材性能の向上

③ライフサイクルコストを抑えた長寿命化

塗装を不要としても耐久性を向上させる金属成分や異種金属の接合

④塑性域（降伏点以降引張強度まで）を評価した構造物崩壊の防止

低降伏点化および伸縮性向上、塑性域のレンジ確保によるエネルギー吸収効果

これからの鋼橋が求められている性能は、安全性（構造安全性および公衆安全性）、使用性、復旧性、耐久性、社会環境適合性、施工性が要求性能として求められていると共に、経済的合理性が確保できる必要がある。そのため、今後の高性能鋼材には、上記①～④の更なる高性能化が求められている。③は更なる高耐久性化が求められる中で、製作性や維持管理性もよい鋼材であることが望まれる。④に関しては、ハイブリット合成桁やこれからの構造物に求められるリダンダンシーやロバスト性向上には必要な機能であると考えられる。なお、さまざまな高性能を単体で有するだけではなく、複数の高性能を有する鋼材であることが、経済的合理性を踏まえたうえで、今後の鋼材が求められる性能であると考ええる。

また、鋼材性能の向上に同調して継手性能の向上も求められる。これは、鋼材性能だけでなく接合部の性能が劣れば構造物としての弱点が存在してしまうためである。そのため、溶接後に鋼材と同程度成分（強度、伸び、シャルピー吸収エネルギーなど）を有する溶接材料や、遅れ破壊が生じない高強度のボルトなどの開発が望まれる。

これからの社会は、SDGs（Sustainable Development Goals：持続可能な開発目標）が求められる時代である。鋼材においてもSDGsに沿った製品であることが望ましいと考える。一例として、鋼材をリサイクルしながら使用することは、資源の循環や炭素排出量の削減に貢献できていると考えられる。電炉鋼は、リサイクルした鋼材であるが、不純物や成分等のばらつきも多いため、一般鋼材（高炉により製造した鋼）と同程度の品質となることも高性能鋼の一つとして評価できるのではないかと思う。

参考文献

- 1) 土木学会（2016）：鋼・合成構造標準示方書
- 2) 日本道路協会（2017）：道路橋示方書・同解説 II 鋼橋・鋼部材編
- 3) 鉄道総合技術研究所編（2009）：鉄道構造物等設計標準・同解説（鋼・合成構造物）