

橋梁用途の新鋼材および新建材

New Steel-Materials for Bridge-Construction

坂田 豊 ^{*(1)} Yutaka SAKATA	藤井 康盛 ^{*(1)} Yasumori FUJII	鈴木 昭信 ^{*(1)} Akinobu SUZUKI	高木 優任 ^{*(2)} Masahide TAKAGI
西海 健二 ^{*(3)} Kenji NISHIUMI	楠 隆 ^{*(4)} Takashi KUSUNOKI	都築 岳史 ^{*(5)} Takeshi TSUZUKI	宇佐見 明 ^{*(6)} Akira USAMI

抄録

橋梁建設は高規格幹線道路網の整備などにおいて今後も推進されていく分野である。近年の財政事情から公共工事コストの縮減が重要な課題となっており、建設コストのみならず、将来のメンテナンスコストも含めたトータルとしてのコスト縮減対策が求められている。また、高齢化社会の到来による生産人口の減少などもあり、施工の省力化、合理化も求められている。こうした社会的ニーズに応えるべく、新日本製鐵では橋梁分野の材料、設計、施工に関する様々な新技術の開発に取り組んでいる。この中で特に鋼材、建材に関して、メンテナンスコストの低減に寄与する新耐候性鋼、製作コストの低減に寄与するLP鋼板、高じん性鋼を用いた角形鋼管、および建設工事の省力化に寄与する長スパン対応型グレーティング床版、鋼製エレメント工法について、その特長と効果を示し、新日本製鐵における橋梁技術への取り組みの一部を報告した。

Abstract

In connection with the need to provide more high standard arterial highway, bridge construction is expected to grow continuously in the future. However, current public financial conditions make it essential to reduce bridge construction cost. Thus, not only the initial construction cost, but also the increasing maintenance cost necessitated by the growing stock of bridges pose a problem. Also, with a decline in the productive population with the arrival of an aging society, labor saving has become increasingly necessary. To meet these requirements, Nippon Steel endeavors to develop new technology relating to bridge materials, designs and construction. Of these, focusing on bridge materials and structural steels, some aspects of the comprehensive approaches of Nippon Steel to bridge construction is introduced in this paper by showing the characteristics and applications of new weathering steel which serves to reduce maintenance cost, longitudinally profiled steel plate which contributes to manufacturing cost reduction, box columns made from high fracture toughness steel, and the large-span GRATING slab, Steel element for composite pier which helps reduce the labor required for bridge construction.

1. はじめに

わが国における道路整備は欧米と比較してまだ十分とは言えない状況にある。たとえば高速道路の供用延長は1997年度末で約6,400kmであるが、これは予定路線約11,500kmの56%にしか過ぎず、今後のさらなる建設が計画されている。従来の高速道路は、臨海部の平野地域での建設が比較的多かったが、今後は内陸部の山間地域が増えてくるため、土工部に比べて橋梁やトンネル等の構造物比率が増加してくる。例えば、現在の東名・名神高速道路(延長約540km)の橋梁比率は約16%であるのに対し、第二東名・名神高速道路(延長約500km)は約40%と2.5倍にも達する。建設費縮減の社会的ニーズの高まりの中で、この橋梁建設費の縮減も当然重要な

課題であり、鋼橋において最近活発に適用され始めた少数主桁橋梁もコストの縮減を目的としたものである。また単に初期コストの低減だけではなく、将来のメンテナンスまでを含めたコストの最小化、すなわちトータルコストミニマムも求められている。

新日本製鐵は、橋梁に対するこれらの社会的ニーズを踏まえ、材料から設計、製作、施工までを含め総合的に取り組んでいる。新しい技術項目を鋼材と上部工、下部工に分類して表1に示す。この中で、特に鋼材と建材に着目し、鋼材として海浜耐候性鋼、LP鋼板、高じん性鋼を用いた角形鋼管、建材として長スパン対応型グレーティング床版、鋼製エレメント工法について以下にその概要を述べる。

*⁽¹⁾ 建材開発技術部 マネジャー
東京都千代田区大手町2-6-3 ☎100-8071 ☎(03)3275-7766

*⁽²⁾ 建材開発技術部

*⁽³⁾ 鉄鋼研究所 鋼構造研究開発センター 主任研究員

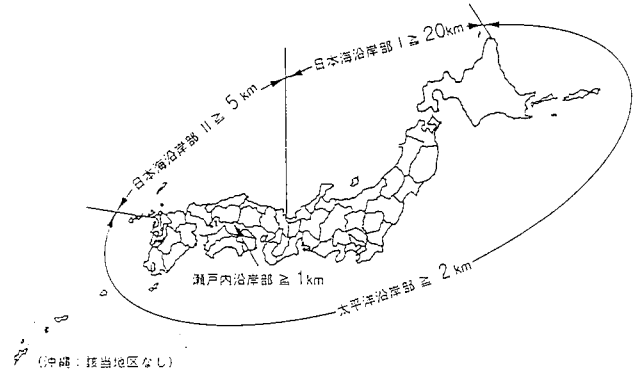
*⁽⁴⁾ 厚板営業部 マネジャー

*⁽⁵⁾ 名古屋製鉄所 厚板工場 マネジャー

*⁽⁶⁾ 鉄鋼研究所 鋼材第二研究部 主任研究員

表1 新日本製鐵の橋梁関連新技術

分類	新技術
鋼材	海浜耐候性鋼、LP鋼板、高じん性鋼を用いた角形鋼管、高強度鋼、予熱低減鋼、大入熱溶接鋼、降伏点一定鋼、狭降伏点レンジ鋼、制振鋼板、高強度ワイヤ等
上部工	長スパン対応型グレーティング床版(少数主桁橋梁用) 各種合成・複合橋梁 鋼管桁橋梁 山岳橋梁のジャッキアップ回転架設工法
下部工 (橋脚)	鋼製橋脚の耐震技術 鋼製エレメント工法による橋脚、深礎工 高橋脚向けの高強度鉄筋(SD685)



- 1) 飛来塩分量 $\leq 0.052\text{mdd}$ ($\text{mg}/\text{dm}^2/\text{day}$)
- 2) 上図の離岸距離を超える地域については飛来塩分量の測定を省略してもよい

図1 無塗装耐候性鋼の適用指針

2. 橋梁用鋼材

2.1 海浜耐候性鋼

2.1.1 耐候性鋼の状況

橋梁ストックの増加と共に、塗装などのメンテナンスに多額の費用が必要になってきている。鋼橋における再塗装などのメンテナンスを低減する鋼材として、耐候性鋼が目ざされている。耐候性鋼は、鋼板表面に安定さびと呼ばれる緻密なさびの層が形成され、この緻密なさびの層が鋼板表面を保護し、それ以降の腐食の進行を抑制するものである。しかしながら、飛来海塩粒子、融雪剤などに含まれる塩化物イオン(Cl-)の影響により、安定さびが生成せず層状の剥離さびを生じることがある。

このため、適用地域に注意する必要があり、建設省土木研究所、日本橋梁建設協会、鋼材倶楽部の三者共同研究により適用指針¹⁾がまとめられており、耐候性鋼の無塗装での適用範囲としては、飛来塩分量が 0.05mdd ($\text{mg}/\text{dm}^2/\text{day}$)以下であることが推奨されている(図1参照)。ところが、日本の都市の多くは海岸沿いの平野部に位置し、都市間を結ぶ道路網も海岸線に近い所を通ることが多い。また、寒冷地においては、スパイクタイヤの使用が禁止されて以来、冬期の融雪剤散布量が増大しており、このような地域でも飛来塩分の影響を受けず、無塗装使用が可能な耐候性鋼材の開発が強く望まれていた。

2.1.2 添加元素の効果²⁾

図2は、耐候性向上に効果があると推定されるりん(P)、銅(Cu)、クロム(Cr)、ニッケル(Ni)の各合金元素をそれぞれ鋼材に単独に添加し、模擬的な海浜大気環境において実施した暴露試験(5%NaCl塩水散布暴露試験:1年)の結果を示したものである。図は横軸に各元素の添加量、縦軸に板厚の減少量を取ったものであるが、P、Cu、Niでは元素の添加量が増えるにしたがって腐食量が減少しており、特にNiにおいてその効果が大きいことがわかる。一方、従来の耐候性鋼で耐候性の向上に有効であるとされているCrは、模擬海浜環境においては添加量が10%を超える範囲で効果的であるが、2~3%程度の添加量では逆に腐食量が増える結果が得られた。

2.1.3 Niの効果^{3,4)}

暴露試験結果をもとに、従来の耐候性鋼をベースにNiの添加量を増やし、Crを無添加としたのが海浜耐候性鋼である。図3に沖縄における暴露試験の結果を示す。飛来塩分量が 0.78mdd の海浜環境のため、通常の鋼材では経年とともに腐食量が増大しているが、Niを5%添加した海浜耐候性鋼では3年目あたりから腐食速度が低減しており、さびの安定化が進んでいるものと推定される。また、図4

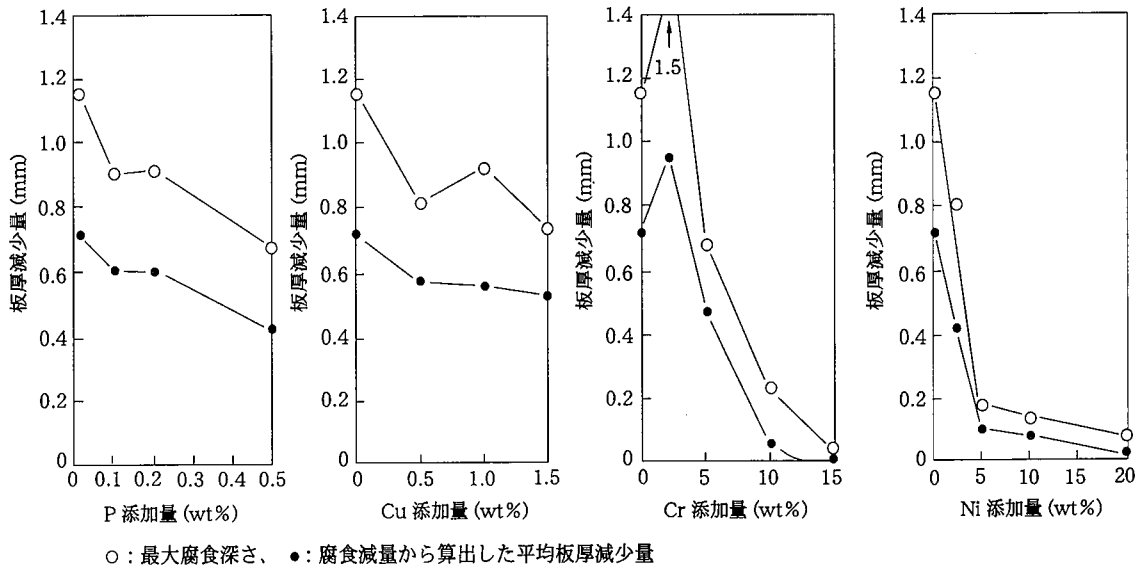


図2 模擬海浜大気環境(塩水散布暴露試験1年)における各種合金元素添加の影響(供試鋼の基本成分:0.05C-0.25Si-1.5Mn)

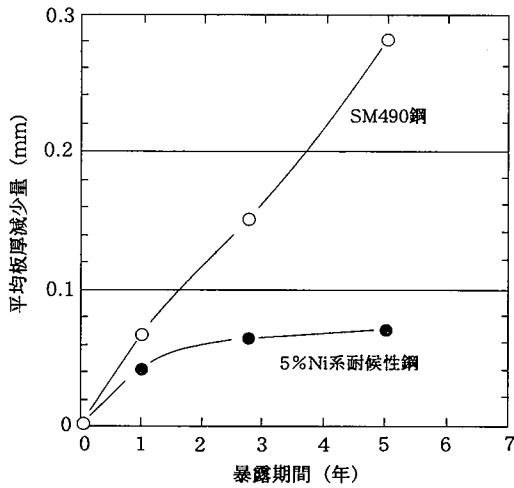


図3 沖縄での海浜大気暴露試験(飛来塩分量0.78mdd)

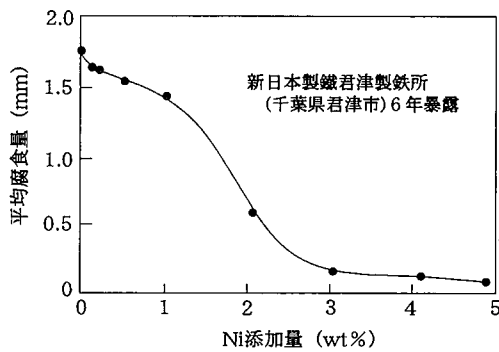


図4 Ni添加量が海浜耐候性に及ぼす影響(飛来塩分量1.3mdd)

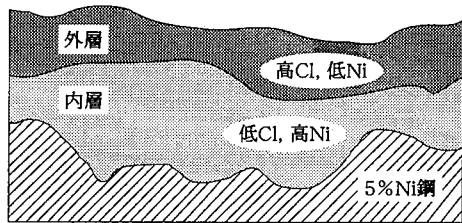


図5 5%Ni系鋼さび層断面におけるNi,Cl分布状態の模式図

はNiの添加量を変化させ、新日本製鐵君津製鐵所の岸壁(飛来塩分量1.3mdd)で6年間の暴露試験を行った結果で、添加量が3%で腐食量は大幅に減少しており、Niを3%程度添加すれば、十分に耐飛来塩分性を確保できると考えられる。

図5に、暴露試験片をE P M A分析した結果得られた海浜耐候性鋼における安定さびの構造を模式的に示す。安定さびの内側の層にNiの濃縮した部分があり、この部分が塩化物イオンの侵入を抑制していると考えられる。

2.1.4 まとめ

以上の結果等に基づき、海浜耐候性鋼^{5, 6)}は表2に示す成分系とし、実鋼板を試作して引張試験、シャルピー衝撃試験等の機械的性質に関する試験を行い、規格値を十分満足すること、また、構造物の製作に不可欠な溶接材料を同時に開発し、溶接性も問題のないことを確認している。

表2 海浜耐候性鋼の化学成分

種類の記号	板厚t (mm)	化学成分 (mass%)							
		C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr
SMA490W-MOD	9 ≤ t ≤ 50	0.18	0.15	1.40	0.035	0.035	0.30	2.50	0.08
SMA570WQ-MOD		以下	~	以下	以下	以下	~	~	以下
			0.65				0.50	3.50	

(参考: JIS耐候性鋼)

SMA400W		0.18	0.15	1.40	0.035	0.035	0.30	0.05	0.45
SMA490W	9 ≤ t ≤ 50	以下	~	以下	以下	以下	~	~	~
SMA570WQ			0.65				0.50	0.30	0.75

海浜耐候性鋼は、従来の耐候性鋼が適用困難であった海岸地域、あるいは融雪剤を大量に散布する地域などでの鋼橋のメンテナンスコスト低減に貢献できる鋼材であると考えており、今後、これらの地域での利用が期待される。なお、海浜耐候性鋼(5%Ni鋼)を新日本製鐵名古屋製鐵所の臨海部に位置する“しんにつつ南大橋”の内桁の一部に試験適用し、経年変化を追跡している。

2.2 L P 鋼板(Longitudinally Profiled Steel Plate)

2.2.1 L P 鋼板の製造

L P 鋼板は、一般にテーバプレートとも呼ばれ、製鐵所での鋼板圧延中に圧延機のロールギャップを変化させることにより圧延方向に連続的に板厚を変化させた鋼板である。形状は図6のようなものが製造可能である。新日本製鐵におけるL P 鋼板の製造可能範囲の例を表3に示す。L P 鋼板の製造は自動板厚制御(A G C)装置の能力、圧延材の硬さ、板幅、長さなどにより制約を受けるが、一般にはテーバ率で4mm/m、板厚の変化量で30~40mm程度のもので製造可能である。

2.2.2 L P 鋼板の効果

近年、建設コスト縮減の観点から、鋼橋では部材内での断面変化をなくした、いわゆる“一部材一断面”桁⁷⁾が指向されている。このような構造にL P 鋼板を用いれば、図7に示すように、板継ぎ溶接

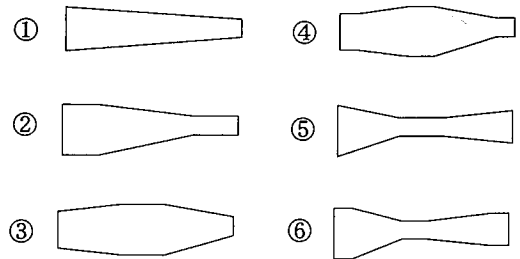


図6 L P 鋼板の形状種類

表3 L P 鋼板の製造可能寸法

項目	製造可能寸法
最大板厚差	30~40mm
最大勾配	4mm/m
最小薄部板厚	10~15mm
最大厚部板厚	100mm
鋼板全長	6~25m
鋼板幅	1.5m以上

なお、鋼板の幅、長さにより製造可能寸法は変化する。

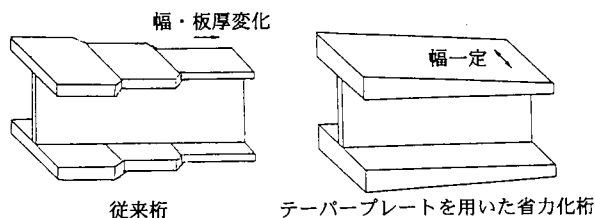


図7 L P鋼板の適用例

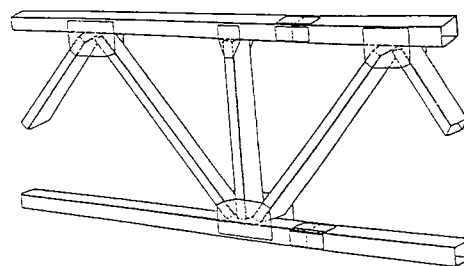


図9 高じん性鋼を用いた角形鋼管のトラス橋への適用イメージ

	等厚鋼板	L P鋼板
高力ボルト継手	フィラープレートの使用	フィラープレート不要
現場溶接継手	1:5のテーパ加工	テーパ加工不要

図8 現場継手部でのL P鋼板の効果

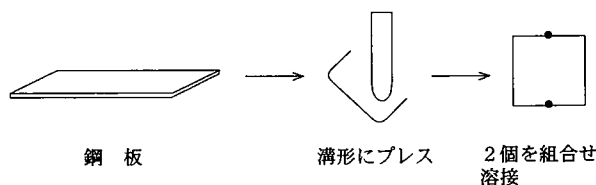


図10 プレス成形角形鋼管の製造方法

を行うことなしに鋼重を低減することが可能になる。また、一部材一断面桁では現場継手位置で断面変化を行うため、継手位置で図8に示すようにテーパ加工やフィラープレートが必要になるが、L P鋼板を用いることによりこれらの加工が不要になるメリットも得られる。

設計面では、現行の設計基準が等厚鋼板を想定した設計体系となっているため、板厚が連続的に変化するL P鋼板の強度特性を十分に反映したものとなっておらず、これまでは薄い方の板厚を用いた安全側の設計が行われているようである。これに対しては、L P鋼板の強度特性を反映した、合理的な設計法についての研究が現在進められており⁸⁾、近い将来に、その成果が設計マニュアルなどに反映され、より一層の経済化を図ることが期待される。

2.2.3 まとめ

L P鋼板の橋梁への適用はヨーロッパにおいて多くの例を見ることができ、国内でも既に十数橋の適用実績がある。L P鋼板は一部材内での板厚差が大きい場合に鋼重低減に効果的である。しかしながら、L P鋼板は形状エクストラが付加されるため、鋼重減のメリットがL P鋼板のエクストラを上回るように設計する必要がある。このため、小さな勾配のL P鋼板を組み合わせると小刻みに断面変化をつけるよりも、大きな勾配のL P鋼板と等厚の鋼板を組み合わせ、鋼重減のメリットを最大限利用しなければならないといえる。この点については、厚肉断面を用いる2主桁橋では部材内における板厚差が大きくなるため、L P鋼板利用の効果が大きくなるものと考えられる。今後、2主桁橋の普及とともに、L P鋼板の使用量も拡大していくものと予想される。

2.3 高じん性鋼を用いた角形鋼管

2.3.1 角形鋼管の橋梁への適用

従来、トラス橋の弦材などに使用される箱形断面部材は、鋼板を溶接により集成している。このため、材片数、溶接延長が増加し、結果として高価な構造となっている。このような断面に、二次製品である角形鋼管を用いることで、材片数、溶接延長が低減でき、建設コストの縮減が図れる。角形鋼管を用いたトラス橋のイメージを図9に示す。

プレス成形により製造される角形鋼管(プレスカラム)は、図10に示す方法で製造される。すなわち、厚板をプレスにより溝型に成形し、溝型の二つの部材を溶接により接合するものである。一般に、鋼材に冷間加工を行うと、じん性が低下したり、時間の経過によって塑性加工した部分が脆くなる性質(ひずみ時効)のあることが知られている。このため、道路橋示方書⁹⁾においては曲げ加工後のじん性を適切に確保できることを条件として、たとえばNの含有量が0.006%以下でなおかつ $\sqrt{E_0} \geq 200\text{J}$ の場合には、冷間曲げ加工の許容曲げ半径を最小で $5t$ (t :板厚)と設定している。

角形鋼管は、建築部材として一般に用いられているが、断面を有効に利用するため、内側の曲げ半径が $2.5t$ の非常に厳しい曲げ加工が行われている。橋梁部材へ角形鋼管を適用しようとする場合、活荷重による変形や応力の変動が大きいため疲労を考慮する必要がある。曲げ加工後においても適切なじん性が確保できる材料を用いなければならない。このため、最近に至るまで角形鋼管を橋梁部材として使用した例はほとんど見られなかったが、近年では、優れたじん性を有する鋼板の製造が可能となったことと、形鋼利用による加工工数減を狙い、適用が検討される例が出てきている。“北海道横断自動車道 滝下橋”¹⁰⁾では、角形鋼管を主部材として利用し、トラス橋の合理化、経済化を図っている。

2.3.2 角形鋼管の性能試験

角形鋼管を、より使用条件の厳しい寒冷地での橋梁へ適用することを想定し、性能試験を行った。橋梁部材への適用に際しては、

(1)2.5tの厳しい冷間曲げ加工を受けるコーナー部

(2)入熱量約150kJ/cmの大入熱溶接を行うシーム溶接部

が設計基準の適用範囲を超えており、問題となることが考えられたため、図11に示すような鋼材の確性試験を実施し、造管後も橋梁部材として十分な性能を有していることを確認した。試験結果の一例を表4ならびに図12、図13に示す。表4は、2.5tの曲げ加工ならびに時効処理(250℃で60分保持)を施した鋼材の引張試験、ならびにシャルピー衝撃試験の結果を示したものである。

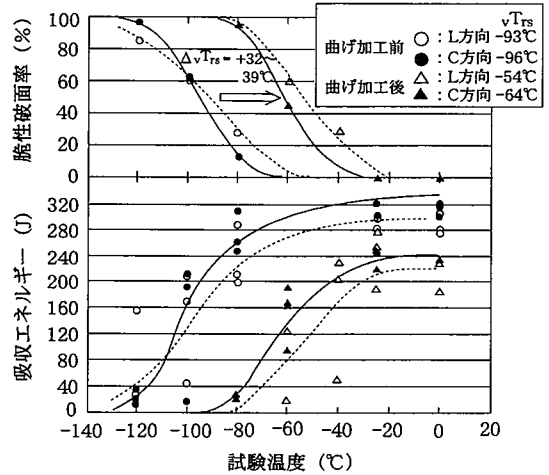
母材のじん性が良好なT M C P耐候性鋼材を使用したため、曲げ加工した部分は強度上昇が大きいにも関わらず、 $\sqrt{V_{TS}}$ は -90°C

角形鋼管の特性評価試験

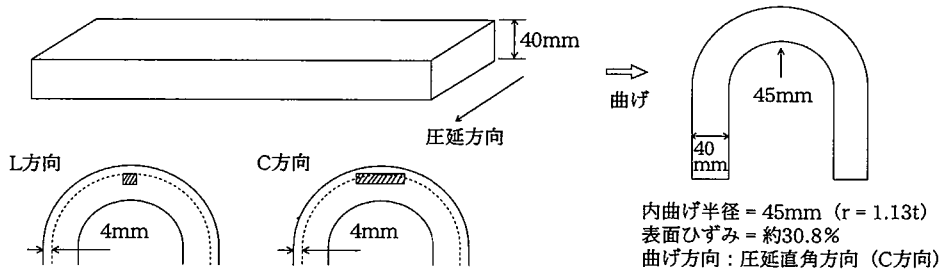
- 母材部、曲げ部評価試験(供試鋼材：SMA490BW-TMC)
- 引張試験(母材部、曲げ部：曲げ半径2.5t)
- シャルピー衝撃試験(母材部、曲げ部：曲げ半径2.5t)
- ひずみ時効試験(予ひずみ量5%、10%)
- 表面ひずみ評価試験(予ひずみ量17%、シャルピー衝撃試験)
- シーム溶接部継手試験(CO₂半自動溶接：入熱量31kJ/cm, 潜弧溶接(SAW)：入熱量147kJ/cm)
- 継手シャルピー試験
- 継手引張試験
- 継手側曲げ試験
- 継手硬さ試験

図11 高じん性鋼を用いた角形鋼管の特性評価試験項目

(2) 試験結果



(1) 試験条件



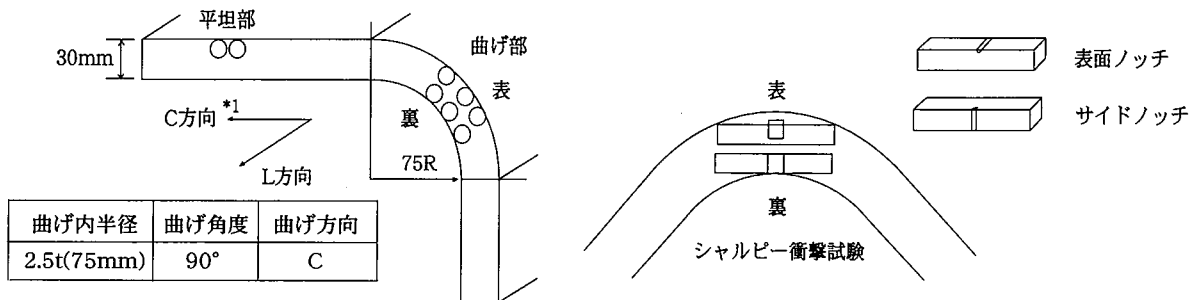
シャルピー衝撃試験片採取位置 (曲げ外側表面からの厚み位置)		時効	試験方向	試験温度
曲げ外側表面下4mm	表面下 4mm (ひずみ24.6%)	250℃ × 1h	L, C	0, -25, -40, -60, -80℃
試験片厚み中心部 (曲げ外側表面下9mm) のひずみ量=17%	表面下 9mm (ひずみ16.9%)			
	表面下 14mm (ひずみ 9.2%)			

図12 曲げコーナー部の表面ひずみ評価試験

表4 平坦部、曲げ部の機械的性質

熱処理	位置	引張試験						シャルピー衝撃試験					
		厚位置	方向*1	試験片	降伏強さ (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	伸び (%)	厚位置	方向	試験片	ノッチ位置	vE ₀ (J)	vT _{RS} (°C)
時効 (250℃ × 60分)	平坦部	1/4t	L	4号10mmφ	425	528	42	1/4t	L	4号	サイド	303	<-100
					426	529	39					C	4号
	曲げ部	1/4t	L	4号10mmφ	605	634	26	0.5mm 表面下 4.5mm	L	4号	表面	295	-90
					593	641	26					C	4号
		3/4t	L	4号mm10φ	547	603	25	裏面下 0.5mm	L	4号	裏面	285	<-100
					544	601	27					C	4号
ミルシート値	全厚	C	1A号	451	544	25	1/4t	L	4号	サイド	311	—	
母材規格値 (SMA490BW-TMC)	全厚	L又はC	1A号 最小最大	355	490	610	19	1/4t	L	4号	サイド	≥27	—

*1 L：圧延方向， C：圧延直角方向



(1) 溶接条件

開先形状	方法	電流	電圧	速度	入熱	
	CO ₂	500A	45V	43cm/min	31kJ/cm	
	SAW	L	1250A	40V	55cm/min	147kJ/cm
		T1	900A	42V		
		T2	850A	55V		
溶接材料						
	BP側 (CO ₂)	YM-55W 1.6mm φ				
	FP側 (SAW)	Y-CNCW 4.8mm φ NF-310				

(2) 継手シャルピー衝撃試験結果(1/4t)

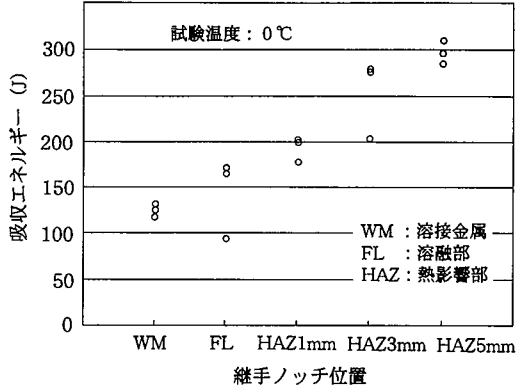


図13 シーム部継手試験結果

と非常に低く、 $\sqrt{E_0}$ も280J前後を保持している。ただし、この試験では試験片採取にある長さを必要とするため、厳密にはひずみが最大となる最表面位置でのシャルピー値は試験することができない。このため、図12に示すようにより大きな曲げ加工を加えた鋼材より当該ひずみ(曲げ半径2.5tで約17%)に相当する部分を切出し、試験を行った。その結果、本試験を行った材料の曲げ加工による破面遷移温度の変化量は32~39°Cであった。寒冷地などでの橋梁への適用に際しては、これらの破面遷移温度の変化も考慮に入れてじん性を保証することが考えられる。また、図13はシーム部の継手シャルピー衝撃試験結果を示したものであるが、本TMC P耐候性鋼は大入熱溶接においても良好なじん性を有している。

2.3.3 まとめ

この確認試験においては、寒冷地での適用も考慮し、高いじん性を有する鋼材を用いて試験を行ったため、曲げ加工後も要求される性能を大幅に上回った。橋梁部材としての角形鋼管に要求される性能について議論の余地はあるが、本試験により、角形鋼管の橋梁への適用の基礎データを示すことができたと考えている。

3. 橋梁用建材

建設コスト縮減に加え、高齢化社会の進展に伴う労働力不足に対応した施工の省力化などのニーズに対応すべく、新日本製鐵は形鋼を利用した工場製作化、省力化に貢献する商品、工法を開発してきた。以下にその例として、I形鋼を利用した少数主桁橋用のグレーティング床版、ならびに直線形鋼矢板を利用した鋼製エレメント工法を紹介する。

3.1 長スパン対応型グレーティング床版

3.1.1 少数主桁橋の床版

鋼橋の経済化、省力化を推し進める方策として、主桁の本数を減らし、構造を合理化した少数主桁橋梁が注目されている。しかしながら、道路橋の床版は輪荷重を直接支持する部材であるため、疲労

損傷しやすく、過去における鉄筋コンクリート(RC)床版の疲労損傷事例への反省から、床版厚を厚くして桁本数を増やす(床版支間を小さくする)設計によって床版の損傷が抑えられてきた経緯がある。このため、少数主桁橋の実現には耐久性に優れた床版が不可欠である。

3.1.2 グレーティング床版の構造

グレーティング床版は、図14に示す小型のI形鋼を使用した一種の合成床版で、主部材となるウェブにパンチ孔を有するI形鋼とそれに直角方向に配置された異形鉄筋、コンクリート打設時の型枠となる亜鉛鉄板から構成されるプレハブ製品である。工場で作成したパネルを現地に輸送して桁上に設置した後、コンクリートを打設する。グレーティングパネル自体が型枠の役目をするので、現場での型枠、支保工、配筋作業が不要であり工期の短縮が可能であること、底に鋼板を有するため、安全な施工ができることなどの特徴がある。

3.1.3 長スパン対応型グレーティングの開発

グレーティング床版の開発は1960年代の後半から行われており、すでに1,000橋以上の施工実績を有する。設計法についても、鋼道路橋設計便覧¹²⁾に規定されているが、その適用範囲はRC床版と同じく床版支間4m以下とされている。このため、床版支間が4m以上となる少数主桁橋には、グレーティング床版をそのまま適用することは不可能であった。少数主桁橋に適用する長スパン対応型グレーティング床版の開発にあたっては、従来の適用範囲を超えるための構造検討、設計法の確立、疲労耐久性の確認が主な課題であった。

構造面では、床版支間が大きくなると床版に発生する断面力が大きくなり、従来使用しているI形鋼では剛性が不足すること、また、疲労耐久性の面からある程度の床版厚を確保する必要もあることから、新たに高さ200mmのI形鋼(I-200)を製造することとした。I形鋼の形状、寸法を図15に示す。

設計面では、道路橋床版の設計において煩雑さを避けるため、考え得る限りの大きな自動車荷重を想定して設計曲げモーメントが与えられている。長支間のグレーティング床版の設計法検討に際してもこの考え方に従い、設計自動車荷重を大きくとった状態のグレーティング床版を直交異方性板にモデル化してFEM解析を実施し、その結果をもとに床版支間8mにまで適用できる設計曲げモーメント式を提案した。検討の詳細は文献¹³⁾を参照されたい。

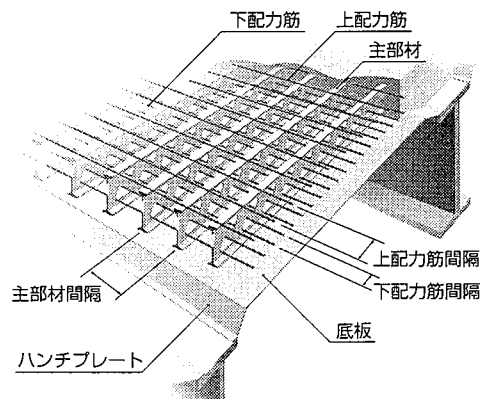


図14 グレーティング床版

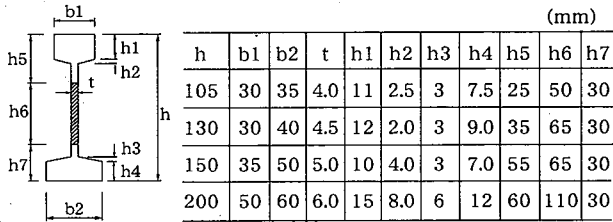


図15 I形鋼の寸法

3.1.4 疲労耐久性の確認

疲労耐久性の評価に関しては最近の研究により、道路橋床版の耐久性評価、損傷メカニズムは輪荷重の走行をシミュレートできる輪荷重走行試験により明らかにされている。グレーティング床版についても図16に示す条件で輪荷重走行試験を実施し、その疲労破壊メカニズムの解明を行っている¹⁴⁾。その結果、疲労破壊性状に対して、

(1)グレーティング床版の疲労耐久性はI形鋼の疲労耐久性に支配される

(2)I形鋼のウェブにあけたパンチ孔の隅角部に応力集中が生じ、この部分が疲労強度上の弱点となる

との知見を得た。

グレーティング床版の長支間化にあたっては、FEM解析によりI形鋼のパンチ孔部の応力集中を確認し、所定の疲労強度が確保できるパンチ孔形状を決定した。そして、実際のI形鋼の疲労破壊性状を確認するため、写真1に示すようにコンクリートを打設しないI形鋼(I-200)の定点載荷疲労試験を実施し、図17に示すI形鋼のS-N線図を得た。図17には、JSSC疲労設計指針¹⁵⁾の強度等級曲線も示している。この図より、I形鋼の応力集中部の疲労強度等級はB等級以上であることがわかる。

コンクリート中に埋め込まれたI形鋼のパンチ孔隅角部に発生する応力の算定式は、松井¹⁶⁾により提案されている。疲労耐久性を評価するため、床版支間6m、床版厚26cmのグレーティング床版についてFEM解析を実施し、床版断面に作用する曲げモーメントならびにせん断力の最大値を算出した。この断面力を用い、松井の評

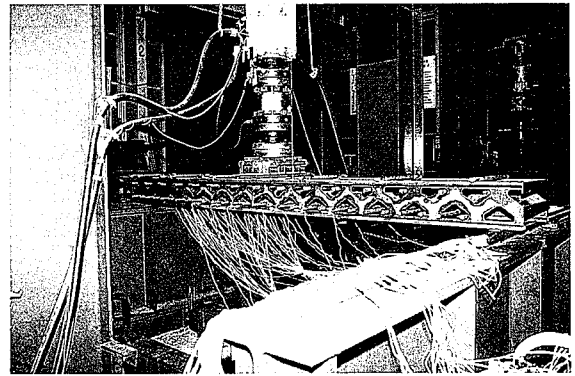


写真1 I形鋼の疲労試験(I-200)

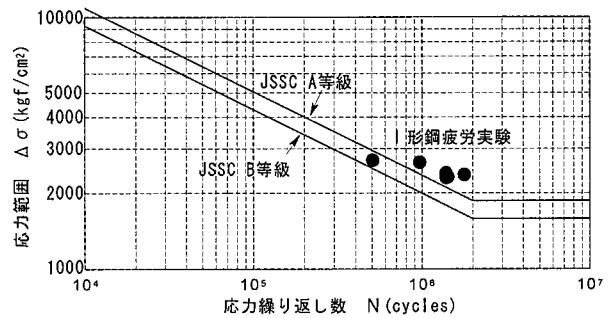


図17 I-200単体疲労試験結果

価式によってI形鋼に発生する応力の最大値を評価したところ、発生する応力の値は許容される応力振幅(JSSCのB等級)以下であり、十分な疲労耐久性を有することを確認した。

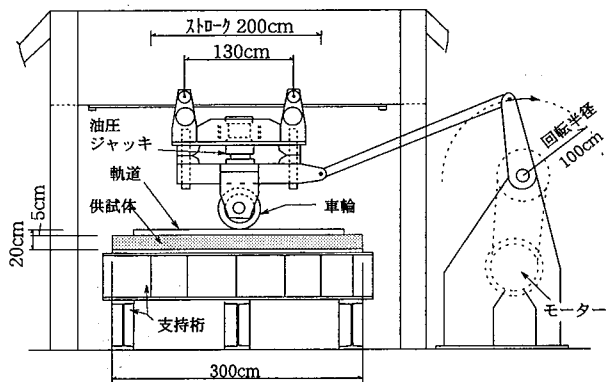
3.1.5 まとめ

少数主桁橋用の床版として、長スパン対応型グレーティング床版を開発し、提案した構造、設計法に基づいた床版について各種の疲労耐久性を検討し、十分な疲労耐久性を有することを確認した。本床版はグレーティング床版のもつ省力化、急速施工、安全施工などの特徴をそのまま活かしたものであり、現在までの豊富な施工実績による床版構造としての信頼性により、少数主桁橋梁用の床版として橋梁建設のより一層の経済化、省力化に役立つものと確信している。

3.2 鋼製エレメント工法

3.2.1 鋼製エレメント工法の概要

山岳道路における高橋脚工法として、鋼製エレメント工法¹⁷⁾を開発した(図18参照)。鋼製エレメントは、嵌合継手を有する直線形鋼



試験条件

- 床版支間 : 2.2m
- 床版厚 : 20cm
- I形鋼 : I-150@25cm (SS400)
- 配筋筋 : D16@12.5cm (下側) @25cm (上側)
- コンクリート : $\sigma_{ck} = 300\text{kgf/cm}^2$
- 載荷荷重 : 15tf 50万往復+18tf 破壊まで

図16 輪荷重走行疲労試験

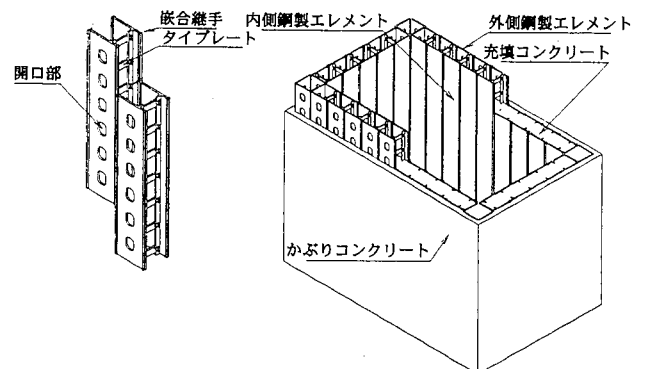


図18 鋼製エレメント工法

矢板を基本として、必要に応じて平鋼や形鋼などの鋼材を組み合わせて工場製作した部材である。鋼製エレメント工法は、これを現場でセル状に連結し、コンクリートを打設して橋脚を構築する工法である。鋼製エレメント工法の特長を以下に示す。

(1)鋼とコンクリートの合成構造

鋼製エレメント橋脚は、開口部のずれ止め機能により、鋼製エレメントとコンクリートが一体として機能する合成構造である。従来の鉄筋コンクリート(RC)構造と比較して、橋脚断面のコンパクト化が可能であり、耐震性能にも優れている。

(2)現場での省力化が可能

鋼製エレメントは工場製作した部材を、鉛直方向は高力ボルト接合、横方向には嵌合継手で連結する構造であるため、従来のRC構造に比べ、現場作業の省力化とともに工期の短縮が図れる。

(3)型枠や足場の施工が容易

鋼製エレメントは剛性が大きく自立するため、これを利用して型枠や足場の設置が容易となる。また中空断面の場合、内側型枠が省略できる。

3.2.2 耐震性能の向上

鋼製エレメント工法は、鋼製エレメントとコンクリートからなる合成構造であるが、鉄骨とコンクリートが一体として外力に抵抗することを確認しているため、いわゆるRC構造の設計法に準拠して設計を行っている。阪神大震災以後、橋脚の耐震設計基準が改訂され、RC橋脚では横拘束筋の配置が規定された。従来のRC橋脚ではコンクリートの終局ひずみが0.35%に規定されていたが、横拘束筋を配置したコンクリートはその拘束効果により終局ひずみが改善され、結果として橋脚構造のじん性が高まることとなる。

一方、鋼製エレメント工法では、鋼製エレメントの座屈抑制を目的として内側と外側の鋼矢板をタイププレートにより連結している。このため鋼製エレメント内部のコンクリートは鋼製エレメントで拘束されており、この拘束効果によりコンクリートの終局ひずみの改善が期待できる。鋼製エレメントのコンクリート拘束効果を評価するため、タイププレートの拘束鋼材比(ρ_s)をパラメータとした短柱圧縮試験の結果を図19に示す。

ρ_s の増加に伴いコンクリートの最大応力度が高くなるとともに、最大応力度以降の応力度低下が緩やかになり、終局ひずみも増大することが確認できた。さらに、中空断面橋脚を対象とした交番載荷試験を実施した結果¹⁸⁾、鋼製エレメント橋脚は最大荷重以降の劣化勾配が緩やかであり、RC橋脚より変形性能に優れることを実証している(図20参照)。タイププレートの拘束効果を導入した設計法により、タイプIIの地震動に対する高さ(H)25mと65mの橋脚の保有水平耐力法による許容塑性率を算定した結果を図21に示す。 ρ_s の増大にともない許容塑性率が向上し、拘束鋼材比を2%配置すれば許容塑性率が4.0を上回る結果となった。

3.2.3 実施例

“和美沢橋”は、上信越自動車道の群馬県下仁田町に建設された橋長352.0mのPC5径間連続箱桁ラーメン橋であり、脚高25.0~65.0mの橋脚4基に鋼製エレメント工法が採用された(写真2参照)。橋脚の躯体断面は4.0×6.0mの矩形中空断面であり、P4橋脚のみは橋脚高が低く断面力が集中するため6.0×6.0mの矩形中空断面となっている。なお、壁厚は全ての橋脚で1.0mである。鋼製エレメント工法は、この他に東海北陸自動車道でも採用され、高橋脚施工の省力化、工期短縮を図れることが確認されている。

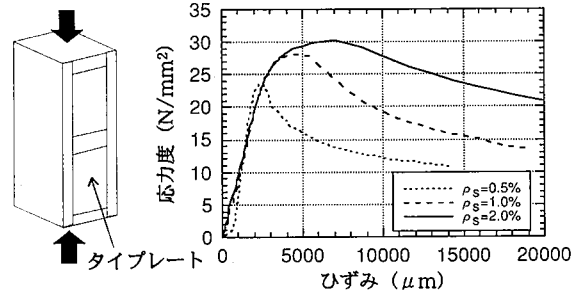


図19 コンクリートの拘束効果

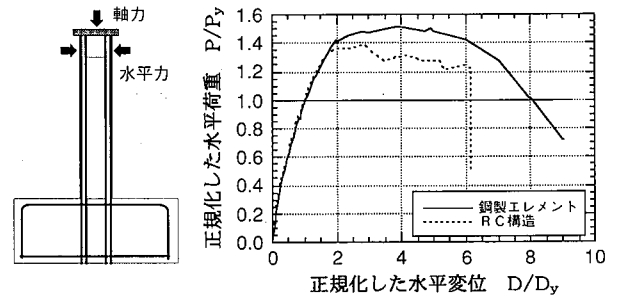


図20 橋脚の交番載荷試験

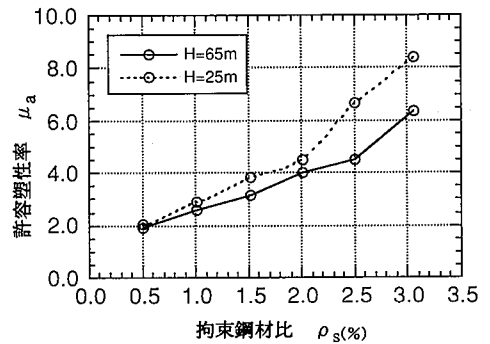


図21 許容塑性率

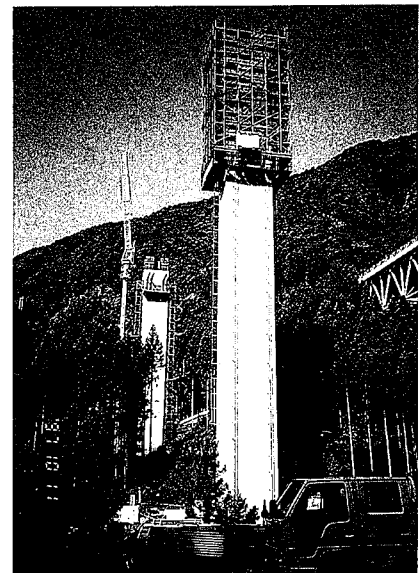


写真2 和美沢橋P2, P3橋脚の施工状況

4. おわりに

以上、鋼材と建材を中心に橋梁分野における取り組みの概要を述べたが、これらは一部であり、他の多くの新技術については紙面の都合で割愛した。

今後は、本報告の新鋼材、新建材に対する需要家の理解を得て普及を図るとともに、需要家からの新しい要求にも的確に応え、さらに技術開発を進めることにより、社会資本整備に貢献していく所存である。

参考文献

- 1) 建設省土木研究所, 鋼材倶楽部, 日本橋梁建設協会: 耐候性鋼材の橋梁への適用に関する共同研究報告書(XX). 1993.3
- 2) 宇佐見明 ほか: 模擬海浜大気環境における鋼の耐候性に及ぼす成分の影響. 第41回腐食防食討論会講演集, 1994.10, p.349-352
- 3) 宇佐見明 ほか: 実海浜大気環境における高Ni系鋼の耐候性. 腐食防食'95講演集, 1995.5, p.393-394
- 4) 宇佐見明 ほか: 超長期耐候性橋梁用鋼材の研究3(海浜耐候性鋼の開発). 材料と環境'98, 1998.5
- 5) 宇佐見明 ほか: 橋梁用高海浜耐候性鋼の研究(その1). 土木学会第53回年次学術講演会講演概要集, 1998.10(掲載予定)
- 6) 都築岳史 ほか: 橋梁用高海浜耐候性鋼の研究(その2). 土木学会第53回年次学術講演会講演概要集, 1998.10(掲載予定)
- 7) 建設省通達: 鋼道路橋設計ガイドライン(案), 1995.10
- 8) たとえば, 村上茂之 ほか: 自由突出テーパプレート の圧縮強度. 構造工学論文集. 43A, (1997)
- 9) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説. 1996.12
- 10) 川尻克利 ほか: 滝下橋の計画・設計. 橋梁と基礎. 2-8(1998)
- 12) 日本道路協会: 鋼道路橋設計便覧. (1979)
- 13) 大田孝二 ほか: 鋼少数主桁橋に適用するI形鋼格子床版の設計法に関する考察. 橋梁と基礎. 35-44(1997)
- 14) 大田孝二 ほか: I形鋼格子床版の耐久性に関する実験的研究. 構造工学論文集. 44A, 1515-1525(1998)
- 15) 日本鋼構造協会: 鋼構造物の疲労設計指針・同解説. 1993.4
- 16) 松井繁之: 道路橋コンクリート系床版の疲労と設計法に関する研究. 大阪大学学位論文
- 17) 片山猛 ほか: 合成構造ハイビアーの開発. 新日鉄技報. (356), 6-13(1995)
- 18) 西海健二 ほか: 鋼製エレメントを用いた合成構造中空断面橋脚における実験的研究. 鋼構造論文集. 3(9), 57-66(1996)