

# 構造用材としての鋼の今後の役割り

石 井 靖 丸\*

## 1. はしがき

戦争とともに起こり戦争とともに盛衰の道をたどってきたわが国の鉄鋼業は第2次世界大戦の打撃により再起不能と考えられるまでの致命的な傷手を受けた。しかしその後不死身の生命力によって平和的基幹産業として奇跡的な復興・発展ぶりを示し、現在では西ドイツ・イギリスなどの鉄鋼先進諸国を追い抜いてアメリカ・ソ連につぐ世界第3位の鉄鋼生産量を有するまでに至っている。

鉄鋼の用途も戦前とは性格が大きく変化し、軍需主体であったものが、建設・機械・自動車・造船などの平和産業部門に使用されるようになってきている。このうち建設部門の占める比重の大きさは特に注目し値するが、昭和37年度の用途別受注統計による国内消費量全体の50%にまでも達し、建設用材料としての鋼材の重要性がはっきりと示されており、今後ますます膨張する建設事業に対応しつつ建設用鋼材の需要量が増大するものと考えられる。第2次世界大戦前および戦後の鋼材の極端な不足を経験した建設技術者にとっては貴重品扱いとされていた鋼材が鉄鋼業の発達による十分な供給のために建設用材料として一般に広く普及し“鋼なくしての国土建設は考えられない”までに至り、他面鋼材の自由な使用は土木建築技術そのものの性格にきわめて多大の影響を与え、その進歩・発達をうながしている。すなわち土木建築技術の進歩が鋼材に対する新しい要求を生み、新鋼材製品の開発が新しい建設技術の発達の糧となり、量的需要の増大とともに建設技術用鋼材の重要性を確立しつつあるということができる。

## 2. 鉄鋼生産技術の進歩と構造物の進歩

鉄鋼生産技術の発達の歴史は、鉄器時代の原始的な武器としての使用に始まり、長年月の苦心と努力の時代を経て、その成果の蓄積のうえに、今日の力強い“鋼の時代”が成り立っている。鉄鋼構造物の発達の歴史は、その鉄鋼構造用材の発達に直接影響を受けているが、これ

を代表的鉄鋼構造物としての橋梁に例をとって通観してみよう。

金属で橋梁を建造する考え方はすでに中世末期からあり、1600年頃にはヨーロッパで鑄鉄用地金を用いたつり橋や、アーチ橋の計画が行なわれていたといわれている。最初の鉄橋で記録に残されているものは1779年 A. Darby により架設された英国の鑄鉄製アーチ、Coalbrookdale 橋である（これは今日でも使用に供されている）。鑄鉄のつぎに使用されたのは、錬鉄で1801年の Finley のつり橋、1826年の Terford の Menai つり橋にこれを見ることができる。また錬鉄を使用したプレート ガーダーの着想も生れ、1850年に架設された R. Stevenson の Britania 函橋は、内部を汽車がはしるようになっている錬鉄製函橋である。1855年ベッセマーの溶鋼製造法の発明により優良な鋼が供給されるようになったが、近代橋梁として部分的にはあるが初めて鋼が使用されたのは1874年の Eads 橋である。1890年に架設された英国の Forth 橋には51000 t の鋼材が使用され20世紀に入ると Köln 橋(Ni-Cr 鋼使用)、Quebec 橋(Ni 鋼使用)、Bayonne 橋(Killvan Kull)、金門橋などの著名な鋼橋が続々と架設されるに至る。なお溶接技術が最初に採り入れられたのは1927年の全溶接プレート ガーダー鉄道橋 Turtle Greek 橋(米)で、翌年には最初の溶接トラス橋 Chicopee Falls 橋(米)が架設されており、やがて今日のごとき溶接鋼橋の全盛時代を迎えるのである。

このように鉄鋼技術の進歩が橋梁技術の進歩を生み、橋梁技術の進歩が鉄鋼技術の進歩を促しつつ互いの要求を満たして行くのであるが、船舶・鉄道・建築技術などについても同様のことがいえる。今後ますます急速な勢いで進歩発展する種々の工学技術は、さらに性能のすぐれた鋼材を要求し続けるであろうが、鋼も新しい時代の要求に即応しながら新しい役割を担いつつ、進歩発展を続けるものと考えられる。

## 3. 鋼の特性

鋼の役割を知るためには、鋼のもつ種々の特性を知ら

\* 正員 工博 八幡製鉄KK市場部

表-1 各種材料の強さ

特 性 材 料	(A) 強 度 kg/mm <sup>2</sup>	(B) 比 重	(C)=(A)/(B) 重量当り強さ
鋼	40~100 (引張, 圧縮)	7.85	5~13
アルミニウム	11~15 (引張, 圧縮)	2.7	4~6
コンクリート	2~5 (圧 縮)	2.3	1~2
木 材	0.3~1.8 (引 張)	0.4~1	1~3

ておくことが必要であると思われるので、以下簡単にふれてみよう。

### (1) 機能的特長

**a) 強度が高いこと** 構造用鋼としての特性として第一にあげるべきものは、その強度の高いことであろう。表-1 は各種材料の強度を比較したものである。鋼は単位面積当りの強度が高いばかりでなく、C欄にみるように、重量当りの強度もきわめて高い。一般に構造物は外力をささえるほかに自重をもささえなければならない。構造物が大きくなればなるほど自重が増大し、極端な場合には構造材はほとんどそれ自体をささえるためのみ使われているといったような結果となる。大規模構造物においては自重をできるだけ減少することが大切であり、このために単重当りの強度の高い鋼材が有利になってくることはよく知られていることである。

**b) 粘り強いこと** 鋼は一般に知られているように、降伏点から破断に至るまでの伸びがかなり大きい(約 20%)。一般に鋼を構造材料として用いるときは、降伏点を基準に(一定の安全率は見込むとしても)設計をするのであるが、たとえ降伏点を越えるような外力が加わったとしても、この伸びのおかげでエネルギーの吸収しないしは応力の他の部分への転移が行なわれて最終耐力に至るまでの幅がきわめて大きい。したがって一般の弾性設計の場合、鋼構造は見込んだ安全率に加えて、さらに塑性領域の剛性による安全率が存在するのである。最近流行のプラスチック・デザインは、この鋼の粘り強さを利用したものである。

**c) 加工性が高いこと** 鋼はガスや機械による切断、プレスによる曲げ加工や絞り加工、溶接による強力な接合などが容易に行なえるので、かなり複雑な構造物を作ることが可能である。この点からも、最近の構造物の高度化、複雑化に十分適応してゆける材料であるといえよう。

**d) 材料形状の自由度が高いこと** 鋼は圧延という比較的単純な工程により、板、H形、I形、L形、□形、○形、T形、そのほか種々の断面形状をしたものをつくることができる。また熱間押し出し法によればさらに複雑な形状のものも製作可能である。そのため、構造物の設計に当っては使用部位に応じて最も適した形状の鋼材を使い分けることができる。

**e) 材料としての信頼性の高いこと** 鋼は厳密な品

質管理の下に工場生産されるため(市中に一部出まわっている屑鉄からの再生品を除き)強度のバラツキが少ないので、所要性能の保証付きの材料をメーカーから入手することもできるし、また、使用に先立って材料試験をすることにより使用材料そのものの強度、そのほかの性質を知ることでもできる。このことは、成育条件や切出しの部位によって強度の変わる木材や、施工条件によって強度のバラツキが大きく、使用材料そのものの強度を事後にしか知り得ないコンクリートなどと異なる点である。

**f) 鋼種が多様であること** 構造用鋼は、引張強さ 34 kg/mm<sup>2</sup> 程度のものから最近に至っては 100 kg/mm<sup>2</sup> を越えるものまで、種々のものが作られるようになった。そのため鋼のメリットは以前にも増して高まっており、また使用目的に適した強度のものを選ぶことによって、より経済的な設計を行なうことも可能となった。例えば、米国の Carquinez 橋、Benitia Martinenz 橋、The United of America Building, Pittsburg の IBM ビルなどでは、抵張力 40 kg/mm<sup>2</sup> から 80 kg/mm<sup>2</sup> に至る 3 種の鋼を使い分けることによって工費を大幅に節減することができたといわれている。また、最近の鋼の使用範囲の広汎化により種々の性能が鋼に要求されるようになり、多くの鋼種が開発されつつある。たとえば、溶接工法の普遍化に応じて溶接性に重きをおいた溶接性高張力鋼が開発され、LPG タンクには低温韌性の高い低温用鋼板、鉄塔、車両などに対しては耐候性高張力鋼、シート パイルには耐食性の高い鋼などが続々開発されている。

**g) そのほかの特長** そのほか、不燃性であること、方向による強度差の少ないこと、強度の高い割に剛性が小さく弾性範囲が広いため可撓性が大きいこと(最近超高層ビルが鉄骨造で設計されているのは、この性質を利用して地震力を軽減するためである)などが鋼の特長としてあげられよう。

### (2) 経済的特長

**a) 価格の相対的低下** 上に述べたような機能的特長の多くは、鉄鋼のみにいえるのではなく、実は金属材料には大体普遍的に当てはまるものである。しかし、構造用金属材料の中で鋼材が圧倒的にその主体となっているのは、鋼の持つ高強度性と経済性によるのである。

鋼は原料が比較的身近にあり、しかも精練しやすい金属であるということは、今から 5000 年も前から鉄器が広く使用されていたことから明らかであろう。実際、鉄鋼の原料たる鉄鉱石は世界中に広く分布しており、その埋蔵量は、現時点でわかっているものだけでも 2000 億 t を越えるといわれるほどである。また、鉄はその使用の歴史が長いだけに、種々の改良が加えられ、最近特に生産設備の大規模化と高能率化によって品質と生産性

が高められた。その結果、鋼材の価格はほかの金属材料にくらべてきわめて低廉なものとなっている。しかも、最近の諸物価、人件費などの上昇の中にあつて、鋼材価格は相対的に低下しており、材質の改良と相まって、今後鋼の経済性はさらに高まると考えられる。

**b) 工期短縮の効果** 鋼構造物は、一般に工場において加工されるので、自然条件に左右されやすい施工現場での仕事が減少し、工期を短縮することができる。特に、構造そのものを簡略化することにより、加工、架設両面を単純化し、工期をいちじるしく短縮するようになった。

#### 4. 構造用材としての鋼の今後の役割

最近のわが国における建設部門に対する鋼材使用分野の拡大は実にめざましいものがあるが使用量の拡大にともなつて鋼材の利用面における新たな開発、またこれに対応する鋼材の形状および品質の両面からの新品種の開発が進められている。形状面での合理化から見た場合、まず第一にあげられるのはH形鋼の出現であろう。

H形鋼がはじめてわが国で圧延されたのは昭和 34 年のことであるが、その後数年間のH形鋼使用量の増大は非常な急ピッチですすみ、今年間使用量 23 万 t にまでも達している。H形鋼は従来から使用されている I 形鋼のフランジ幅を広くしたような形の圧延材で、断面性能・美観にすぐれ、ウェブ高 100 ミリのものから 600 ミリのものまで 120 種類にわたるサイズの豊富さを誇っている。このH形鋼の出現の土木建築技術に与えた影響は画期的なものであるといつてよい。すなわちH形鋼はまず基礎杭（Hパイプ）として使用されはじめたが、以前には貴重な鋼材を地中に埋め込んでしまうことなどとても考えられなかったものを、Hパイプの普及により長年のわが国技術者の夢がはじめてかなえられ、日本の土木建築技術の水準も欧米諸国のそれに一步近づけることができたのである。Hパイプの使用は基礎構造物の安全度を高め、施工速度の増進により急増する工事量をさばくために威力を発揮し、基礎工事について新設計法・新工法などの新技術を生み出しその発展に大きく貢献した。たとえば埋立軟弱地盤上の堰製鉄所の建設などは、長尺Hパイプのふんだんの使用によつてはじめて実現可能となつたといつことができる。また東海道新幹線の新丹那トンネル工事は、旧丹那トンネルの工事とくらべて、比較にならぬほどの短期間でしかも安全に完工することができたが、ここにトンネル支保工として埋殺し使用されたH型鋼の果たした大きな役割を見逃すことはできない。さらに一般構造用材としては、最近の話題となっている超高層建築、ホテル オータニの柱のはり部の鉄骨にH型鋼が約 3 500 t（全使用鉄骨量の約 35%）使用さ

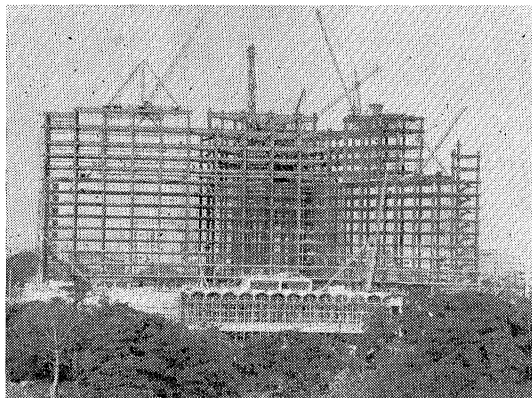
れており、これは将来の高層建築に対してH形鋼の演ずる役割りの大きいことを示唆している。

鋼矢板の使用量は年間約 27 万 t であるが、直線鋼矢板によるセル型岸壁工法、Z型またはU形鋼矢板による岸壁工法などは、港湾工事の技術向上を促し、また鋼矢板の普及は仮設工法の進歩にも大きく貢献している。最近では、鋼矢板工法の発展にしたがい、新型鋼矢板によるサイズ系列の整備・強化や、Z型・U型による永久構造物用・仮設構造物用の仕分け、さらに箱型鋼矢板（ボックス パイル）などの新製品の開発など、鋼矢板自身についての研究も着々と進められている。

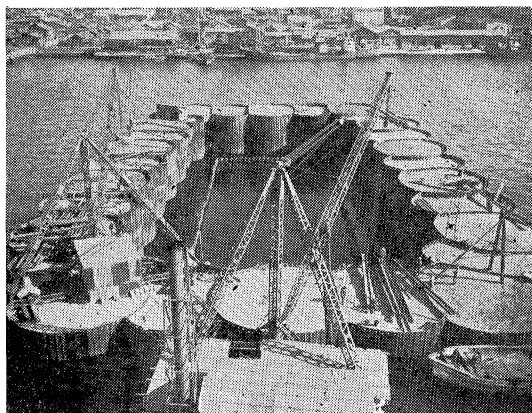
つぎに鋼管構造について考えてみることにしよう。鋼管はパイプ パイルとして早くから H パイルと同様に広く使用されてきたが、最近では一般構造用材としての使用分野も拡まりつつある。もともとパイプ断面は座屈に対して、最も理想的な断面で、トラス部材に使用することができれば非常に有効であると考えられていたが、パ

写真—1 現在建設中のホテル・オータニ

わが国初の超高層ビル（17階建）で、鉄骨には高張力鋼 SM-50 が使用されている。また、はり材としてはH形鋼が使用され工期短縮に一役かっている。



写真—2 直線型鋼矢板によるセルラー コッファードーム  
直線型鋼矢板によって大型岸壁を容易に築造し得るようになった（セル型岸壁）が、これは仮設締切り用いた例。



イブ切断技術・溶接技術などの進歩により、これが可能となった。パイプ構造の使用例としては、鉄骨建築のトラス鉄塔などがあり、さらに橋梁用構造材として広く利用され始めた。鉄筋コンクリート構造物の発展は、鉄筋材の高強度化の要求を生み、高強度異形鉄筋が生産されるに至った。高強度のコンクリートと高強度異形鉄筋の組み合わせによる鉄筋コンクリート構造物は、従来の構造物よりも断面形状が縮小化し軽量化するために、構造物の長大化をもたらしている。

一方鋼材の品質面については、その高強度化と溶接性の向上が時代の要求・焦点となっている。以前から炭素含有量の調節のみによる高張力鋼（SS 50 など）は存在していたが、それらは溶接に不向きで、溶接構造全盛の現在では鉄塔用山形鋼や橋梁用大型H形鋼など一部の限られた形鋼のみにしか使用されていない。溶接性高張力鋼としては SM 50 材がすでに JIS 規格に取り入れられ普通に用いられているのをはじめとして、60 キロ級から100 キロ級までのものが各鉄鋼メーカーにより研究開発されつつあり、それを使用した利用研究も並行的に進められている。高張力鋼を構造物に使用した場合は普通鋼

の場合よりも大きな荷重に耐え、死荷重軽減の効果ももたせて大構造物の経済的な建設が可能となる。また構造物が次第に高度化し複雑化してくると、構造物の各部分における応力の分布状態も複雑化してきて、一種類の鋼材で一構造物全体を造り上げることは不合理・不経済となることが多いので、この場合には数種類の鋼材を使いわけた設計も現われてきている。同じ高張力鋼でも特殊の条件の下に使用されるべきものについては、それに応じた性能を有するものが研究開発されつつある。低温用高張力鋼や耐候性高張力鋼がその例である。

このように見てくると使用目的に応じた新形状、新品質の開発は、今後の鋼の用途を拡張役割りを高める上にきわめて重要であることがわかり、中でも高張力鋼開発の意義は特に大きいといわねばならない。鋼材の特質はわずかな金属元素の添加や熱処理によって様々な強度・その他の性質を得ることができることで、各種の品種の鋼材開発の可能性は、今後まだ無限に残されていると考えてよい。またつぎに鋼材の利用面において、単に素材としての形で供給するだけにとどまらず、加工製品としての開発も進んで来て、最近における構造物のプレファブ

表-2 国産溶接性高張力鋼抜粋

級別	鋼種名	製造会社	機械的性質			衝撃値		適用板厚 (mm)	備考
			降伏点 (kg/mm <sup>2</sup> )	引張り強さ (kg/mm <sup>2</sup> )	伸び (%)	試験温度 (C°)	2mm Vノッチ (kg-m/cm <sup>2</sup> )		
50キロ級	WEL-TEN 50	八幡製鉄	≥33	50~50	≥20	0	A ≥3.5 B ≥6.0	3~50	
	WEL-TEN 55	八幡製鉄	≥36	55~63	≥18	0	≥3.5	3~30	
	HTP-52 W	川崎製鉄	≥33	≥52	≥22	—	B ≥3.5 C ≥6.0		
	NK-HITEN (HS-1)	日本鋼管	≥33	50~60	≥20	0	B ≥3.5 C ≥6.0	4.5~100	
	WEL-CON 50	日本製鋼所	≥33	50~58	≥22	0	>6.0	3.2~50	
	FTW-52	富士製鉄	≥36	62~62	≥22	0	—	3~50	
	YAW-TEN 50	八幡製鉄	Hot ≥40 Cold ≥35	≥50 ≥47	≥22	—	—	2.0~6.4 0.8~2.0	耐 候 性
	Zir-ten	日本製鋼所	≥32	≥45	≥26	—	—	3.2~50	〃
	Cup-Ten	日本鋼管	≥35	≥50	≥20	—	—	≥4.5	〃
	COR-TEN	富士製鉄	≥35	≥49	≥19	—	—	0.8~75	〃
	YND	八幡製鉄	≥33	≥45	≥22	—	—	6~40	低 温 用
	Teyon	日本製鋼所	≥33	≥45	≥22	—	—	4.5~38	〃
60キロ級	WEL-TEN 60	八幡製鉄	≥46	60~70	≥20	0	≥8.0	6~50	
	River Ace 60	川崎製鉄	≥46	60~72	≥20	0	≥8.0	≤50	
	NK-HITEN 60	日本鋼管	≥46	≥60	≥20	0	≥6.0	6~50	
	WEL-CON 2 H	日本製鋼所	≥50	60~72	≥20	0	≥8.0	5~35	
	FTW-60	富士製鉄	≥50	60~70	≥17	0	≥8.0	4.5~38	合金元素は必要に応じ添加 非 調 質
	Her-ten	三菱製鋼	≥38	60~70	≥17	—	—	—	
70キロ級	River Ace 70	川崎製鉄	≥63	70~82	≥19	0	≥8.0	≤50	
	NK-HITEN 70	日本鋼管	≥58	≥70	≥20	0	≥6.0	6~50	
	WEL-CON 2 H Super	日本製鋼所	≥63	70~80	≥18	0	≥8.0	5~35	
	FTW-70	富士製鉄	≥58	≥70	≥19	-45	≥2.1	5~38	
80キロ級	WEL-TEN 80	八幡製鉄	≥70	80~95	≥18	-10	≥6.0	6~50	
	WEL-TEN 80 C	八幡製鉄	≥70	80~95	≥18	-10	≥6.0	6~40	
	River Ace K-0	川崎製鉄	≥70	80~95	≥18	0	≥6.0	≤50	
	NK-HITEN 80	日本鋼管	≥70	≥80	≥18	-10	≥6.0	5~35	
	WEL-CON 2 H Ultra	日本製鋼所	≥70	80~95	≥18	0	≥6.0	5~35	
	HI-Z	富士製鉄	≥70	80~95	≥18	—	—	5~50	
100キロ級	WEL-TEN 100 N	八幡製鉄	≥90	97~115	≥15	-45	kg-m 5 mm U ≥2.1	6~32	

化は、構造物の標準化、加工・架設の簡略化を基として大きく発展する傾向にある。昨年から現われた H-Beam Bridge は大形 H 形鋼を主桁に用いた高張力ボルトによる組立式橋梁で、標準設計の完備した加工製品であるためきわめて経済的であり、発注から架設まで短時日でできた手間も要することなく工事を進めることができる。今度新しくあらわれる Z フレームもこれと同様の性格を有する建築用の部材である。このような構造物の加工を大いに簡略化したプレファブ構造物によれば在来の工法よりも大幅に工期を短縮することができるので投資効率が上がり、仮りに工費が多少増大するにしても利点のあることが多く、この点から工法そのものが見直されようとしている。

## 5. 鋼の競合製品

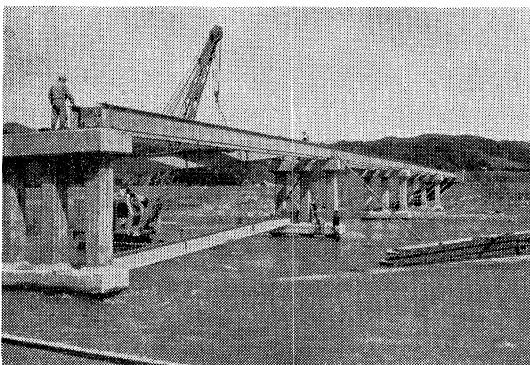
鋼がこのように重要な構造用材として広く使用されているのはそのすぐれた機械的特性と経済性によるものであるが、このすぐれた諸性能を備えさらに経済的である別の製品が現われうるとすれば、これは画期的な事柄である。したがって鋼に代り得る競合製品の研究も日々に進められているが、その中で比較的将来性を有すると考えられるものについて触れてみよう。

### (1) アルミニウム

アルミニウムの原料たる ボーキサイト資源は、熱帯・亜熱帯の地域に限られており、アルミニウムの大量生産を想定することは現実的でない。ただし現在研究されつつあるラテライトからの鉄鋼生産が経済的に実現可能となればその副産物としてのアルミニウムも大量生産されるようになることも考えうる。アルミニウムは鋼にくらべて軽量で耐食性にもすぐれているので、橋

写真-3 わが国で最初に架設された H-Beam Bridge (幸来寺橋)

梁延 H 形鋼を主桁に使用し、補剛材もなくわずかに横桁取付用の取付板が溶接されている程度のものである。写真のように簡単な機械で容易に架設することができ、組立は高張力ボルトによるので現場施工は人手を要さずきわめて迅速に行なうことができる。



梁・建築などに試験的に用いられ、特に応急橋などには効用があるともいわれているが、反面ヤング率や引張強度は低く、総合的に見て鋼に比肩しうるすぐれたメリットを有する構造材ではない。アルミニウムが特別に安い価格で生産される時期までは、その利用面は特殊の限られた部分を占めるにすぎないであろう。

### (2) プラスチック

化学工業の進歩によりプラスチックの性能の向上・コストダウンについて将来に対する希望は十分にもてるが、石炭・石油・天然ガスなどの原料資源の問題、鋼の有する機械的諸性能との総合的比較などを考えると、部分的進出はあるにしても全面的に鋼の存在をくつがえすほどの威力を備えるものとなることは考えられない。

### (3) コンクリート

コンクリートの最近の発達は目ざましいものがあり、構造用材としての地位は高まりつつある。しかしながらコンクリート構造物は鉄筋コンクリートやプレストレストコンクリートに見られるごとく、鋼材との協同作用によってはじめてその優秀な機能を発揮しうるのであって、今後のコンクリート構造物の発展方向も、鋼との協同作用の面に向けられるべきものである。そのほか耐熱的で高強度で軽量なセラミックスやチタン、マグネシウムなども一応鋼の競合製品として考えることは考えられるが、生産量、経済性、総合的機能のすべての面において鋼を凌駕するほどのものの出現は予想できず、鋼の使用分野に部分的にくい込むことはあるにしても鋼の代替品とまではなり得ないであろう。結局今後とも鋼は構造用材としての主導的地位を占めて行くと考えられる。

## 6. 今後の課題

新製品の開発・新工法の開発は、構造用材としての鋼の重要度をいっそう高め、その役割りをますます広範囲なものとして行くに違いないが、残された問題としては防食法の研究・接合法の研究などがあげられる。鉄のさびについては、構造物に期待される寿命に応じたさび代をあらかじめ見込んでおくとか、塗装・メッキあるいは電気防食法などの手段により一応解決済みとされているが、この問題は重要であるから、なおいっそうの研究が進められることを期待したい。また次第に高強度の鋼が現われ構造物が複雑化して行く現場における接合法はだんだんむずかしくなり新技術を要求するようになるが、現場溶接法の研究・ハイテンションボルトなどの新接合法の開発により新しい道が開かれつつある。

なお技術的問題とは離れるが、使用すべき鋼材が、より入手しやすい形で供給されるような鋼材販売組織上の仕組みについての研究も今後に残された大きな課題の一つといえるだろう。

(1964.3.5・受付)