

# 鋼橋の發達 (二)

青木楠男

## 特殊鋼橋

ニッケル鋼橋 ニッケル鋼の最初の應用は1907年の Queensboro 橋であつて、其 Eye-bar に使用されてゐる。當時の材料強度は抗張強度毎平方吋 85,000 封度 (6976 疋/種) 彈性限度 48,000 封度 (3,375 疋/種) と仕様され、現今の構造用、中鋼<sup>ニ</sup>度の約 55% 及 75% 増となつてゐる。續いて 1909 年には Manhattan 橋に使用され、其仕様強度は Queensboro 橋のものよりも稍強く降伏點強度に於て約 15% 増されてゐる。更に 1912 年には St. Louis に all nickel steel 橋たる Municipal 橋が出来た、此時迄のニッケル鋼應用の諸橋は勿論、其後現今に至るまでも其應用はすべて部分的のものであつて、この橋が全部ニッケル鋼であると云ふことは特に注目し値するものである。

この時分になつて獨乙に於てもニッケル鋼 (又はニッケル・クロム鋼) の應用が見らるゝに至り、1915 年 Köln の吊

橋、續いて伯林の Hindenburg 橋、其他 Kiel, Lahr 地方の諸橋に應用を見た。

米國に於ては 1915年に至つて Mayari 鋼が現はれてをる、Cuba 島から出る特殊原鐵から製鋼されたニツクル鋼であつて先づ Memphis 橋に用ひられた、これが強度は抗張強度 90,000 封/吋<sup>2</sup> (6830 坩/噸) 彈性限度 56,000 封度/吋<sup>2</sup> (3940 坩/噸) で現今の構造用中鋼の約 64% 及 100 % 増となつてをる、比較的安價に得らるゝ點にて普通のニツクル鋼に勝つてをるが、製品強度に均一性を缺くことがこれが應用の敷符を妨げた。

更に 1916 年には新 Quebec 橋の中央徑間にニツクル鋼が利用せられ、これに對する Hodge 氏の仕様書は抗張強度 95000 乃至 110,000 封度/吋<sup>2</sup> (6680~7730 坩/噸) 彈性限度 55,000 封度/吋<sup>2</sup> (3870 坩/噸) を要求してをり Memphis 橋の Mayari 鋼の仕様と大差が抗張強度に於て約 10% の増加となり、現今に於けるニツクル鋼強度の最高標準に近いものである。

1923 年の Tamana 橋、1926 年の Delaware 橋、目下建設中の Hudson River 橋等に用ひられたニツクル鋼の仕様も上記のものと同差なく A. S. T. M の仕様 (抗張強度 85,000~100,000 封度/吋<sup>2</sup>、降伏點 50,000 封度/吋<sup>2</sup>) に比べて稍高いものとなつてをる。

然らばこれ等ニツクル鋼が如何なる化学成分を有してをるか、今二三の仕様書についてこれを調べて見ると

ニツケル鋼仕様

	C	S	Ph		Cr	Mn	Ni	T. S.	E. L.	Elong.
			acid	basic						
A. S. T. M	最大 0.45	最大 0.05	最大 0.05	最大 0.04	—	0.70	3.25	85,000~100,000	50,000	17.6~14%
Hudson 橋	0.4	0.05	—	0.04	—	1.00	3.25	90,000	55,000	17.8
Kohn 橋	0.3	—	—	—	—	—	1.0	78,200~92,500	49,800	18
Moyari 鋼 (A.S.T.M)	0.4	0.05	0.06	0.01	—	0.3	1.20	85,000~100,000	50,000	18.8~16

であつて、概して米國のものとは獨乙のものにしてニツケルの含有量が多く、獨乙のものはニツケル外にクロム含有を仕様してをる。

著明ニツケル鋼橋

橋名	年代	國名	橋種	橋型	徑間(呎)	使用部分	抗張強度 (封度/吋 <sup>2</sup> )	彈性限度 (封度/吋 <sup>2</sup> )	伸長 %	摘 要
Queensboro	1907	米	鐵 公 電 公	控 架 吊	1182	眼 攀	85,000	48,000	9.18'	
Manhattan	1909	同	鐵 公 電 公	吊 橋	1470	扶 構	85,000~95,000	55,000	18.9~16.8	
Municipal	1912	同	鐵 公 電 公	吊 橋	668	全 眼 攀 及 桁	90,000~105,000	52,000	20	
Cologne	1915	獨	公	吊	605	眼 攀 及 桁	79,630~92,500	49,800	18	Nickel-chrome

Hindenburg	—	獨	公	—	—	79,600~92,500	49,800	18	Nickel-erome
Memphis	1915	米	控架	790	—	85,000~100,000	55,000	13	M.v.v.a.i
New Quebec	1916	カナダ	控架	1800	中央徑間	85,000~95,000	55,000	18.9~16.8	
Metropolis	1916	米	樑	720	眼	—	—	—	
Tarrant	1923	同	樑	700	眼	95,000~110,000	5,000	14	
Delaware	1926	同	吊	1750	扶牆主材	9,000	55,000	17.8	
Hudson	—	同	吊	3500	床	90,000	75,000	17.8	
Kill van Kull	—	同	拱	1675	—	—	—	—	

以上の如くニツケル鋼の強度は普通中鋼に比して抗張強度にて約60%降伏點にて50~80%優れてをり、比較的 Ductility 大きく、加工も容易で橋梁用材として斷然優れたるものであることを窺ひ知ることが出来るのである。

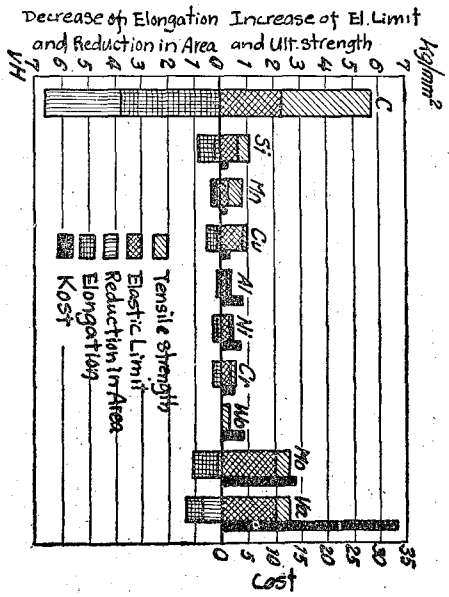
斯くの如き特性を有することのニツケル鋼の應用は既述の如く相當古い歴史を有してをり、一時は長徑間橋の材料として主役を演じたものであるが、經濟との立場から見ても中鋼を壓倒するの域に至らず、殊に大戰によるニツケルの價格の暴騰が今日未だ舊態に復せずニツケル鋼の高價なるを免れざる時に當つて、他により安價なるシリコン鋼等の擡頭はこれが活躍を封じてしまつた傾きがある。最近の長徑間橋 Sydney 橋 (工事中) Carquinez 橋 (1927年) Bear Mountain 橋 (1929年) Kohn-Mulheim 橋 (1929年) 等に於ては其使用を見ず Hudson 河橋に於ては全鋼重量中の僅2.5%がニツケル鋼に對し、シリコン鋼が83%の多きに及んでをること、この邊の事實を物語つてをるものである。

各種の元素が鋼の強度に及ぼす影響については第十五回に示した1929年雑誌 Y. D. I 上に Schulz 及 Buchholz 兩氏の發表したものが、ある炭素含有量 0.1% の鋼へ各種元素 0.1% を加へた時の抗張強度、弾性限度の増加、伸長度、斷面縮小率の減少と價格の増加とを明示したものである。これによつて見るにシリコンが鋼の延性の減少に及ぼす影響がニツケルに比して大ではあるが、強度の増加に對しては遙かに効果多く且つ其價格の點に於て數等優れてをることがわかる。

斯くの如く考へるとき今後のニツケル鋼はニツケルの價格に一大低下を見ざる限り新橋梁用材として立役者たるの資格を持ち得ないものと云はねばならぬ。

**シリコン鋼** ニツケル鋼について現はれたものがこの特殊鋼で、先づ 1915 年、Metropolis 橋に 1917 年 Cincinnati 橋 1924 年 Bear mountain 橋、1926 年 Delaware 橋、1927 年 Carquinez 橋、1927 年 獨乙 Debern の Mulden 橋 Kreuz の Dra-ge橋、1927 年 Mount Hope 橋、獨 Köln-Mulheim 橋、其他目下建設中の Hudson 河橋、Kill van Kull 橋、Sidney 港橋等最近の長徑間橋に於ては殆んど其主要部にこれを應用してをる。

今これ等の諸橋に用ひられたシリコン鋼の強度と化学成分の一例を示すならば



第十五圖 各種元素の鋼の性質に及ぼす影響と其價格

シリコン鋼仕様

	C	S	Ph		Si	Mn	T. S.	E. L.	Elong.
			Acid	Basic					
A. S. T. M	最大 0.4	最大 0.06	最大 0.06	最大 0.04	0.2~0.45	1.03	80,000~95,000	45,000	20—16.8
Hudson 橋	0.4	0.04	—	0.04	0.2~0.45	—	80,000~95,900	45,000	20—16.8
St. Si	0.12~0.20		0.05	0.05	0.8~1.2	0.8~1.10	71,000~91,000	51,200	20

これによつて見ると米國の仕様ではシリコン鋼の抗張強度及降伏點は普通鋼の約 45% 及 40—60% 増に當つてをり、ニツタル鋼の夫れに比しては約 10% 低い、又降伏點は最小抗張強度の 56% にしか當つてをらぬ、然るに獨乙鐵道 1928 年の規定の st. si は米國のものに比べて其抗張強度は 11—5% 低きにかゝはらず其降伏點は 11% 高く抗張強度の 72% に當つてをる、かくの如き特性上の相異は si の含有量が米國のものに比して遙かに多く其 4~2.7 倍に達してをる點を見るとき當然のことであると考へられる。而して獨乙に於けるシリコン鋼の實用期に入つたのは 1927 年であつて米國に於ける應用に比べると遙かに遅れてをる。

一體シリコン鋼は其強度に於てニツタル鋼に及ばないことは上述の如くであるが、其ほかにシリコン鋼については其應用の初期に於て特性上に種々の懸念がもたれた。即ち米國の例を見ると其炭素含有量が 0.4% で中鋼の 0.2% 程度に比して遙かに high carbon であつて、これに Mn. Si を加へたものであるから其實が brittle であることを免れなかつた、併し其價格の安いと云ふことは其材性の改良に製鋼業者の非常な努力を擲はしめた結果、今日に於てはこれ等の困難は全然

征伏せられたものと考へて差し支へなからう、因みに Delaware 橋に用ひたシリコン鋼の價格は普通中鋼に比して頗當 40 圓弱高なるに對しニツケル鋼は更に 40 圓高であつた。獨乙に於ける高シリコン鋼では當初壓延の際 Sealing, crack の發

著名シリコン鋼橋

橋名	年代	國名	橋種	橋型	徑間(呎)	使用部分	抗張強度 (對度/吋 <sup>2</sup> )	彈性限度 (對度/吋 <sup>2</sup> )	伸長(%)	備
Metropolis	1915	米	鐵	橋	720	主材	80,000~95,000	45,000	17%	
Cincinnati	1917	米	鐵	連橋	450 675 450	主材	80,000~95,000	45,000	17	
Tanana	1923	米	鐵	橋	707	主構床構	80,000~90,000	45,000	20~17.8	
Bear Mountain	1921	米	公	吊	1632	扶構	80,000~90,000	45,000	20~17.8	
Delaware	1926	米	公	吊	1750	主塔	80,000~90,000	45,000	20~17.8	
Carguinez	1927	米	公	控架	1160	主抗張材	80,000~90,000	45,000	20~17.8	
Malden	1927	獨	—	—	—	—	63,000~11,000	51,000	22	
Louisville	1929	米	鐵	橋	547	主材	—	—	—	
Mount Hope	1929	米	公	吊	1200	扶構	—	—	—	
Köln Mulheim	1929	獨	公	吊	1084	扶構	71,000~91,000	51,200	2)	st. si
Hudson	—	米	公	吊	3500	主塔床構	80,000~95,000	45,000	—	
Kill van kull	—	米	公	拱	1675	—	—	—	—	
Sydney	—	英	電	拱	1670	主材	82,100~94,000	—	—	

生、Slag の混入、器械的性質の不均一等多くの製鋼上の困難を示してをつた、併し今日ではこれ等の缺點はすべて改良せられ、1923 年の Dussendorf に於ける集會の打ち合せ後には材質上の懸念なきものとされ、獨乙のみならず、瑞西ソビエツト共和國、等に於ても獨乙製の st. si の使用を見るに至り、製作加工上にも何等の不便を感じない域に達したと云はれてをるが未だ製品に對して多少の不信は免れないものゝ様である。殊に st. si が多少錆易い傾きがあることが、高強度を有するがため比較的薄板材を用ひ勝ちであることと相俟つて多少の脅威を與へてをる、従つて獨乙では st. si に對抗して後述する様な他の特殊鋼が現はれ橋梁用材果はまだ渾沌たる傾向が見える。

高炭素鋼橋 上記の特殊鋼と相前後して現はれたものに高炭素鋼がある、抑も炭素含有量が鋼強度に及ぼす影響は Waddel 氏によれば次表の如くである。

炭素含有量と鋼の抗張強度

炭 素 含 有 量 (%)	抗 張 強 度 (kg/cm <sup>2</sup> )
0.25~0.30	50,000
0.30~0.35	60,000
0.35~0.40	70,000
0.40~0.45	80,000
0.45~0.50	90,000



従つて抗張強度を増す點からのみ考ふるとき高價なニッケル等の混入を俟つまでもなく、炭素含有量を少量に増せば其目的は達せらるゝのであるが、これ同時に鋼の硬度がまし Ductility が減じ、加工困難となることが著しい、第十五圖によつても其伸長度及斷面縮小率に及ぼす影響の甚しいことを窺はれる。従つて米國に於ては 1916 年はじめて Hell gate 橋の Built section 部材にこれを用ひ、其後數橋にこれの應用を見たとは云へ、今日では其利用が眼鋼にのみ限られてある様に見える、殊に最近では高炭素鋼眼鋼の熱處理が著しく目立つて來てをる。

著 名 高 炭 素 鋼 橋

橋 名	年 代	國 名	橋 種	橋 型	徑間(呎)	使用部分	抗張強度 (對度/吋 <sup>2</sup> )	彈性限度 (對度/吋 <sup>2</sup> )	伸 長	摘 要
Hell gate	1916	米	歩	拱	977	主材	66,000~76,000	—	—	—
Louisville	1919	米	鐵	構	644	—	—	—	—	—
Florianopolis	1924	ブラジル	電	吊	1114	扶構	105,000	75,000	5	熱處理材
Wittenburg	1924	獨	鐵	構	152	主材	st.	48	—	—
Hamburg	1927	獨	鐵	拱	—	主材	st.	48	—	—
Hamerton	1926	獨	鐵	構	—	主材	st.	48	—	—
Köln Mulheim	1929	獨	鐵	吊	1200	床桁床版	st.	52	—	—
Carquinez	1927	米	公	控	1100	眼	80,000	50,000	S	熱處理材
Hudson	工事中	米	公	吊	3500	眼	105,000	75,000	5	proposed

一方獨逸に於ける高炭素鋼應用の實用化は 1924 年後であつて、st. 48 が先づ Wittenburg 橋に用ひられ 1927 年までには更に 10 餘橋に使用されてゐるが、st, si の出現に出會して st. 48 の製鋼は中止せらるゝに至つたものゝ様である、これが後繼として st. 52 が 19.9 年に規定された様であるが、この程度まで實用化されたものが明かになし得ない。僅かに Köln Mulheim 橋の尺牘の一部と床牘に用ひらるゝ計畫であつたことを記憶するのみである。

然らばこれ高炭素鋼がこの程度の炭素含有量を有し、抗張強度が如何なる値まで達しうるかを示して見ると下表の如くである。

中 鋼 並 高 炭 素 鋼 仕 様

	C	S	P	Mn	T. S.	E. L.	Elong.	Remark	
日 本	中 鋼	最大 0.06	最大 0.06		(T. S. 耗 <sup>2</sup> ) 37~45	(E. L. 耗 <sup>2</sup> ) 22~28	% 21	標準規格	
		st. 37 0.1~0.16	0.05	0.05	0.45~0.6	37~45		20	獨乙鐵道
獨 乙	中 鋼	0.05	0.05	0.5~0.8	48~58	29	18	"	
		st. 48 0.25~0.30	0.05	0.05	52~64 (#4)	36 (#4)	20	獨乙鐵道	
		st. 52	0.05	0.05	55,000~65,000	27,500	27~23	A. S. T. M	
米 國	中 鋼	0.05	0.04		63,000~70,000	37,000	24~21	Delaware	
		中 鋼	0.05	0.04		80,000	50,000	8	熱處理材 Carquiner
		高炭素	0.05	0.04		105,000	75,000	5	熱處理材 Hudson

アラツル 高炭素				105,000	75,000	5	熱處理材 Floriantopolis
----------	--	--	--	---------	--------	---	------------------------

米國に於ては Carquinez 級の熱處理炭素鋼を 2nd grade, Floriantopolis 級のものを st grade と區別してをる。獨逸の st. 45 の強度は米國の中鋼と 2nd grade の熱處理材との中間に位し、st. 52 は 2nd grade に比較してをる、一方が熱處理をうけての強度である點に等しい趣きの異相がある。

熱處理材の強度を普通中鋼に比べると 2nd grade のもの抗張強度に於て 45~24%増、彈性限度に於て 80—50%増、1st grade のものとなると 90~80% 及び 170~ 80% 増となり特殊鋼中の最大強度を示してをるが、熱處理をなす關係上其利用が限壁に限られ集積面部分には適用出来ないことが遺憾である。因に Carquinez 橋に於ける價格は中鋼、シリコン鋼、熱處理鋼の比が 10:11.3:11.6 程度である。

**其他の特殊鋼橋** 上記の3種のほかに今日特殊鋼として橋梁技術界に利用されてをるのが尙數種ある。

先づ其第一としてマンガン鋼を擧げねばならぬが、今日其應用範圍は極めて狭まい、橋梁用として使用さるゝものは低マンガン鋼であつて、1926年 Ducol 鋼と稱して永代橋滿洲橋等に用ひられたものが其嚆矢であらう。目下工事中の Kill van Kull 橋にもマンガン鋼使用の噂をきいて居るが詳細を知る機會がない。永代橋に用いたものゝ化學成分及び強度は

Ducol 鋼仕様

	C	S	P	Si	Mn	T. S.	E. I	Elong
永代橋	0.2-0.3	0.03	0.035	0.1-0.2	1.4-1.6	$\frac{\#}{d}$ 89,630	$\frac{\#}{d}$ 55,500	% 18

Ducol 鋼の抗張強度、弾性限度は中鋼の 60~40%及び100~70%増で、Hudson 河橋に示様せられたニツクル鋼と同等であるに對し、價格は遙かに低廉であると云はれてをる、本邦海軍側で amour plate として應用を見てをるのもこの理由によるものであらう。

マンガニース鋼のほかに獨逸では st. si の缺點を補はんがために考案された Union Stahl がある、Dortmundes Union で工夫されたもので銅とクロムとを含む低炭素鋼である、st. si の有する製鋼上の困難、特性上の缺點は補ひ得たと云はれてをる、其耐錆性の大なる點も特筆に値するものであらう、最近南滿鐵道太子河の鐵道橋にユニオン鋼を使用することが傳へられてをるが、吾人に大きな興味を興へるものである。

この他獨逸市橋に於て Cu, Mn, Si 鋼, Cr. Cu 鋼, Cu, Mo, Mn 鋼等と稱するものがあるが孰れも未だ實用期に入つたものとは云はれない。

吊橋用鋼索 以上述べて來たことは主として型钢又は眼鋼についてであるが、更に考へねばならないのは吊橋用の鋼索である、抑も drawn wire が吊橋の cable として用ひられたのは、記録によると

米國 1816年 White and Hazard

佛國 1826年 Seguin Freres

と云はれてをる、この Cable の強度の進歩に於ても構造用中鋼の進歩と同様に目醒しいものがある、今こゝに所謂初期長徑間吊橋の代表として認められてをる Brooklyn 橋以後の橋について強度發達の模様を示して見ると、

吊橋鋼索強度表

橋名	設計年代	抗張強(噸)	徑間(呎)
Brooklyn	1880	160,000	1,535
Williamsburg	1900	200,000	1,630
Manhattan	1906	210,000	1,470
Delaware	1923	215,000	1,750
Hudson	1927	220,000	3,500
Liberty	1930	240,000	4,500

強度増進の著しいことは第十六圖の圖表を見ても明かに知ることが出来る Delaware 橋の Cable wire は

O P S  
0.85 0.04 0.04

の炭素鋼である。

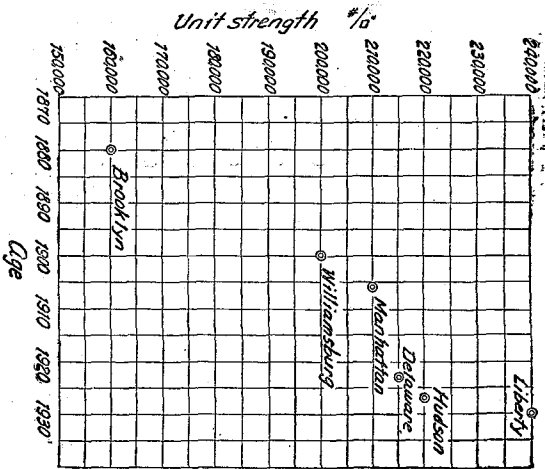
Brooklyn 橋の Cable と Liberty 橋の Cable との間には 50%の強度増加が見られる。

**約説** 構造理論の進歩と、橋梁の製作及架設技術の發達に伴ふて、陸續として現はれる長徑間橋梁の計畫は橋梁用鋼材の上記の如き發達を促して今日に至つたものであるが、この強度増加が橋に及ぼす經濟的効果はどんな程度であるか、この問題については 1928 年 Wien に開催せられた萬國橋梁建築會議に於て M. Bohny 氏の發表された研究がある。

同氏によると獨逸標準鐵道荷重による複線鐵道橋について次表の様な結果が見られる。

st. 48 の使用が st. 37 使用に對して約 25% の重量減少を齎らす、st. si 使用の場合は 40%である、この割合が強度の増加率よりも稍低いものとなつてをることとは偶然の結果であらう、更にこの結果から Holoff 氏が st. si と st 37 に對する工事費の比較を發表してをる、これによると st si の價格が st. 37 より應當り 65—80 R.M 高いとすれば工事費の節約は 26.7—32.7% となり、88 R.M 高いとすれば 23.3—29.8% の節約となる、但し st. 37 の價格を應 430—400 R. M と假定してをる。

以上述べ來つた點を綜合して考へて見ると、此等特殊鋼の將來は要するに其價格の點に存するものであつて、其特性に



第十六圖 著名吊橋と其鋼索強度

構 鋼 の 強 度 と 橋 梁 重 量

徑 間 米	st. 37 を使用の 場合の橋梁重量	st. 48 使用せる場合		st. si. を使用せる場合		
		橋 梁 重 量 噸	st. 37 の場合に 對する重量減 %	橋 梁 重 量 噸	st. 37 場合に對 する重量減 %	st. 48 の場合に 對する重量減 %
50	314 <sup>45</sup>	240	23.5	200	36.3	16.7
75	615	460	25.2	378	38.5	17.9
100	1,006	742	26.2	604	40.0	18.6
125	1,490	1,035	26.5	830	40.3	18.7
150	2,070	1,510	27.1	1,226	40.8	18.8
175	2,740	1,990	27.4	1,610	41.2	19.1
200	3,520	2,540	27.6	2,040	41.9	19.1

至つては今日市場に現はれた該鋼は大體に於て橋梁用材としての所要性質を具備する様に改良工夫せられたものと考えらるれ且つ其強度に於ても著しい甲乙はなく價格の相違によつて覆ひうる程度のもので認めらるゝが故に今後其強度に於て在來のものゝ追従を許さざるものか現はれ、これの利用によつて、他の鋼にては到達し得ない長留間橋の實現を見る様な時到來らざる限り、在來特殊鋼の消長は如何にして安價に供給しうるかの點に存するものと考へる。大數前長足の進歩を示したニツケル鋼がニツケルの價格の暴騰に出會つて、今や其特性に於ては劣つても決して勝れてはをらぬ、安價なるシリコン鋼に其位置を奪はれた事實も又この事情を物語るものである。(未完)