

鐵道車輛用鐵鋼材

(日本鐵鋼協會第 15 回講演大會講演)

吉澤英雄*

STEELS FOR RAILWAY ROLLING STOCKS.

By Hideo Yoshizawa

SYNOPSIS:—Railway rolling stocks have been recently much increased in volume, weight and speed. These result to render severe service to the materials used in this field, and many papers referring to these materials, especially to steels, have been published in and abroad. But it seems to be less progressive, because the railway rolling stocks have the proper object of the safety and economical transferring Steels for this object must be anti-corrosive and anti-abrasive, and have easy workability, weldability, and moreover special properties. In this paper, constructional steels copper-bearing steels, steels for boilers, spring steels and other steels are explained.

1. 緒言

鐵道車輛は時代の要求と共に變化する。最近車體の容量が増加し、構造も次第に複雑となり、従つて重量が増大することとなつたが、更にスピードアップが叫ばれる様になつてからは車輛の構成材料に對する要求が次第に嚴重となつて來た。是等の要求に順應するためには各種の改良が行はれてゐるが、車輛用鐵鋼材に於ても著しい進歩が見られる。元來鐵道車輛は旅客及貨物を安全に且經濟的に輸送することを目標とするために、新規の計畫を立てる場合には充分の考慮を拂ひ、安全確實の確信を得てから始めて採用するので、鐵鋼材使用の場合に於ても其の新味の程度が幾分他の工業に比して遅れてゐる感があるが、鐵道車輛としての立場から相當の研究が行はれてゐる。

鐵道車輛用鐵鋼材としては一般的強度の外に特に耐蝕性耐磨耗性、加工性、銲接性等が要求せられる。その他鐵道車輛特有のものとして種々の要求がある。是等の要求に就いて諸外國の實例及我が國有鐵道の現状を述べ、更に其の將來に就いて考察して見たいと思ふ。

2. 一般構造用鋼

車輛が木製から鋼製となるに及び、重量が非常に増大したので、重量を軽くする車輛の構造に就いては各方面で研究されてゐる。今これを鐵道省の電車に就いて見るに 1 噸の平均牽引電力量は速度にも依るが大體 30 *w.h* であつて 1 輛 1 日の平均走行 *k.m.* を 260 とすると、年 95,000 *km*

となり、電力量は 1 噸に付年 2,850 *kwh* となり、重量の輕減は大きな電力量の節約となる。車輛重量の輕減方式としては種々のことが考へられるが、大體構造設計と使用材料の選擇との二つに分けられる。今材料方面に就いて之を見るに、特殊の機能を有する材料や輕合金の使用は暫く之を措き、一般構造用鋼は各國共に次第に其の進歩の跡が見られる。この種の鋼材は車輛用のみならず、一般構造物や橋梁、造船等とも密接な關係があつて、其の使用條件も類似の點が多い。

合金鋼の優秀なことは其の發達と共に一般世間に認められる様になつたが、價格が高く其上熱處理が困難なので一般構造用としては用ゐられない。この意味から若し合金鋼を用ゐるとすれば、價格が低廉で取扱が簡單なものが必要である。依つてこの方面の合金鋼に就いては各國に於て種々の研究が行はれてゐる。從來我が國に於て車輛の構造用として用ゐられてゐる鋼材の大部分は SR 39 であつて各國に於ても亦これと類似のものが用ゐられた。この強度を増加して嚴重な要求を滿し、且重量輕減に資するには先づ C 量の増加が考へられる。併し添加元素として C を用ゐることは C 0.25% 以上となると靱性及銲接性が著しく減少するから現在では適當でない。Ni 鋼は以前から各國で橋梁の構造用鋼に利用されて効果を擧げてゐるが、惜しいことには Ni の價格が高いのでこの合金の利用範圍が餘り廣まるに至らない。結局新しい構造用鋼を發達せしめるには Mn, Si, Cu, Cr 時に應じて Mo に依らねばならないこととなる。是等の元素を含む構造用鋼は時を経るに従つて澤山に現はれ、各國各製造所は獨特の成分の鋼

* 鐵道省

第1表 各種構造用鋼一覽表

鋼種	出所	成分%					備考
		C	Si	Mn	Cu	Cr	
SR 39	日	0.10~0.20	0.15~0.30	0.50~0.70	—	—	
SR 44	日	0.15~0.30	〃	〃	—	—	
SR 50	日	0.25~0.35	〃	〃	—	—	
Si鋼	米	0.30~0.40	0.28~0.40	0.75~1.20	—	—	
Mn鋼	米	0.20~0.30	0.15~0.30	1.50~1.80	—	—	
Mn鋼	歐	0.10~0.20	0.15~0.30	1.20~1.60	—	—	
船舶構造用鋼D	英	0.30	0.12	1.10~1.40	—	—	
Si鋼	米獨	0.10~0.20	0.80~1.20	0.70~0.90	0.25	—	
Si鋼	英	0.20~0.30	0.90	1.30	—	—	
Unoin 構造用鋼	獨	0.12~0.18	0.25~0.50	0.70~0.90	0.50~0.80	0.4~0.6	
Cr-Cu鋼	英	0.15	0.25	0.50	1.20	0.8	
Durapso Durrombho	佛	0.12~0.18	0.20~0.40	0.70~0.90	0.30~0.50	0.4~0.5	
Chromalox	獨	0.12~0.20	0.30~0.60	1.20~1.60	0.30~0.60	—	
Krupp	獨	<0.20	0.50~0.80	0.60~1.00	0.50~1.00	—	
Maurer, Lauchhammer	獨	0.10~0.20	0.10~0.50	1.00~1.50	>0.35	—	Moを0.1~0.25含有
Gutehoffnungshütte	米	0.2	0.60~0.80	1.10~1.40	—	0.4~0.6	
Cromansil	英	<0.30	<0.20	0.70~1.00	0.25~0.50	0.7~1.1	
Chromador	米	0.10	0.50~1.00	0.10~0.30	0.3~0.5	0.5~1.5	P 0.1~0.2を含む
Cor-Ten	米	0.35	>0.15	1.25~1.70	0.20	—	Cuは指定ある場合に添加
Man-Ten	米	0.40	0.20~0.30	0.70~0.90	0.20	—	同上

を有してゐる。是等の鋼は何れも壓延のまま使用することを原則とし、熱間又は冷間加工をしても其の物理的性質のあまり變はらないことを必要とし、何れもフェライト中に溶解してゐる程度である。第1表は我が國標準規格SR39 SR 44 及 SR 50 と各國に於て發達した高級構造用鋼)とを比較したものである。但し SR 44 は市場品の關係と鋼種の單純化を圖るために現在使用されてゐない。

是等構造用鋼の發達は各國に依つて各其の事情を異にし例へば獨逸に於ては炭素鋼 St.37 から高價な Ni 鋼、Ni-

Cr 鋼に及び、それから C 鋼 St 48 となり、更に St Si となつた。是等は強度を主として考へたものであつたが、其の後銻接に依る構造が發達して來たために鋼材の銻接性が考慮せられ、遂に Cr と Cu とを含有する Union 構造用鋼の出現となつた。此の獨逸の Union 構造用鋼、英國の Chromador、佛國の Durapso、Durrombho、Chromaro、Chromalox は何れも Cr-Cu 合金鋼で、獨逸の Krupp、Maurer 及 Lauchhammer の Cu-Si 合金鋼、Geuthoffnungshütte の Cu-Mo 鋼、米國の

第2表 主なる構造用鋼の強度²⁾

鋼種	出所	抗張力 kg/mm ²	降伏點 kg/mm ²	伸%	疲勞限界 kg/mm ²	鋼種	出所	抗張力 kg/mm ²	降伏點 kg/mm ²	伸%	疲勞限界 kg/mm ²
SR 39	日	39~47	22	21	18	Union 構造用鋼	獨	51~66	37	18	31
SR 44	日	44~50	35	20	23	Krupp	獨	53~63	〃	〃	〃
SR 50	日	50~60	39	18	25	Maurer	獨	〃	〃	〃	〃
Si鋼	米	40~53	23	〃	—	Lauchhammer	獨	〃	〃	〃	〃
Mn鋼	米	45~55	35	25	—	Gutehoffnungshütte	獨	〃	〃	〃	〃
Mn鋼	歐	50~60	〃	〃	—	Cromansil	米	53~80	〃	20	—
船舶構造用鋼D	英	45~55	〃	〃	—	Chromador	英	58~68	36	17	—
Si鋼	獨、米	50~62	36	20	30	Cor-Ten	米	46~55	35	22	32
Si鋼	英	52~62	32	22	—	Man-Ten	米	56~65	39	20	28
						Sil-Ten	米	56~70	32	18	—

1) St. u. Ei., 4. Juli 1935, S. 736.

2) 金友濤聲：電氣製鋼、昭和6年 第4號、p. 199.

Chromansil と共に今日では他のものに比して優れた高級構造用鋼と考へられてゐる。

更に米國に於て Cor-Ten, Man-Ten, Sil-Ten なる名の下に合金元素の少ない、降伏點の高い構造用鋼が最近現はれて來た。Man-Ten はマンガン鋼と類似のもので Sil-Ten は *Mn-Si-Cu* 合金である。然るに Cor-Ten は新しい種類の *Cr-Cu-Si* 合金であつて、多くの *P* を含み其の含有量 0.10 乃至 0.20% に及び壓延状態に於て抗張力 50 kg/mm^2 以上、降伏點 35 kg/mm^2 以上を示す。抗張力特に降伏點を高めるために鋼に故意に *P* を添加したのは恐らくはこれが始めてであらう。*P* は *Cu* と *Cr* との存在に於ては靱性と衝撃値に對して著しい悪い結果を與へないと云はれてゐる。この鋼は尙ほ大氣に對する耐蝕性が大であるといふ。この Cor-Ten は 1934 年 10 月に米國の The Pressed Steel Co. が積載重量 62 噸の取出口付無蓋貨車³⁾を製造する際に利用してゐる。その他 Man-Ten は Mt. Vernon 車輛製造會社に於て各種の車輛に利用してゐる。最近米國に於ては更に *C* 量の少ない *Cu-Mo* 鋼を R.D.R. なる名の下に使用する様になつたと報告されてゐる。このものは *Cu* 1.5%, *Mo* 0.2 乃至 0.3% を含有してゐる。第 2 表は主なる構造用鋼の強度を示す。これに依ると従來使用の SR 39 に比して其の抗張力が非常に増大し、抗張力と降伏點との比も大となつてゐる。疲勞限界に於ても亦同様の改善が行はれ、例へば Union 構造用鋼に於ては SR 39 よりも 70% 大となつてゐる。従つて Union 構造用鋼を使用するとせば 40% の重量輕減をすることが出来る。然るに車輛製作者は腐蝕を恐れて寸法を過大に取るのでこの利益を充分に利用してゐない。この腐蝕に對する憂慮を出来るだけ少くするために 18-8 の耐蝕性 *Ni-Cr* 鋼を使用して著しい重量輕減を行つてゐる例として 1932 年に米國の Edward G. Budd 會社が製作した Micheline 型ゴムタイヤのディーゼル電氣式軌道車⁴⁾及その後數回に及ぶ同車製作の車輛⁵⁾ 1934 年に米國の Chicago, Burlington & Quincy 鐵道會社で製作した Zephr,⁷⁾ 1935 年に米國の Boston & Maine 鐵道で製作した Flying Yankee⁸⁾を擧げることが出来る。後者

の二つは何れも三輛關節ディーゼル電氣式流線形車輛である尙ほ Flyingyankee は機關臺、ボルスターに Chromansil を使用してゐる。併し 18-8 合金は溶接が困難なので何れも點溶接が行はれた。

其の他上記の如き高級構造用鋼を鐵道車輛に使用した例は實に多數であるが、我が國に於ては價格が高く容易に手に入らないので未だ使用するに至らないのは遺憾である。

3. 合銅鋼材

現今の高級構造用鋼が例外なしに少量の *Cu* を含有してゐることは第 1 表に於て見られる所である。これは鋼材に對して腐蝕抵抗を増大するためである。鐵鋼の機械的性質に及ぼす *Cu* の影響に就いては 1627 年の古い時代から文獻が多數あるが、腐蝕に對するものは現世紀まで全く無かつたのである。1900 年に米國の Williams 氏が銅を鐵鋼に添加すると其の腐蝕量を減退せしめると云ふことを初めて言ひ出してから、この方面に關する研究が非常に喚起せられ、澤山の人々に依つて研究が進められた。是等の研究は空氣、流水、海水其の他の侵蝕物質から成る腐蝕液に對する腐蝕の程度を *Cu* を含まない鋼と *Cu* を含む鋼とに就いて比較研究したのであるが、殊に大氣中に於ける曝露試験に對しては、含銅鋼は非常に優秀な耐蝕性を示すことが分かつた。其の後 1916 年 10 月に、米國の材料試験協會が米國標準局と共同して含銅鋼板の大氣曝露試験を行ひ其の試験は今日迄繼續されてゐるが、この試験結果に依つて、含銅鋼の大氣に對する耐蝕性の優秀なることが明瞭に立證された。第 3 表は其の試験結果⁹⁾であつて 210 箇月後に於ける状態を示したものである。即ち 16 番(1.59mm)板に於ては未で撤去したものはないが 22 番(0.79mm)板に於て *Cu* の含有量が 0.15% 以上のものは、これ以下に *Cu* を含有するものに比して腐蝕に對する抵抗の大なることが明かである。

含銅鋼の腐蝕速度が何故に此の如く遅いかと云ふことに就いて Buck 氏¹⁰⁾は次の如く説明してゐる。即ち含銅鋼板に出来る錆は緻密で濃色で且つ丈夫な硬い錆皮となつて出来るが、普通鋼に出来る錆はガサガサで多孔質で剝離し易い。含銅鋼は先づ酸化銅を主成分とする錆が出来、時間と共に破れて粉狀となり、剝離されるものは取れて剝離さ

³⁾ Railway Age, Nov. 10, 1934, p. 573.

⁴⁾ Railway Mechanical Engineer, April, 1932.

⁵⁾ Railway Mechanical Engineer, March, 1935; Jan. 1935.

⁶⁾ Railway Mechanical Engineer, Jan., 1933.

⁷⁾ Transit Journal, April, 1934.

⁸⁾ Railway Age, Dec. 8, 1934.

⁹⁾ A. S. T. M. Proc., Part. I, 1934, p. 156.

¹⁰⁾ 遠藤彦造: 電氣製鋼, 昭和 6 年第 4 號, p. 187. p. 昭和 6 年第 6 號 p. 232.

第3表 A.S.T.M.に於ける合銅鋼板の大氣曝露試験 (1916年10月17日曝露)

番 號	板厚 mm	Cu の有 無	化 學 成 分 %						1934年4 月26日 (210箇月) 迄の腐蝕 除去數	試験 板數	番 號	板厚 mm	Cu の有 無	化 學 成 分 %						1934年4 月26日 (210箇月) 迄の腐蝕 除去數	試験 板數
			C	Mn	P	S	Si	Cu						C	Mn	P	S	Si	Cu		
1	1.59	含	0.035	0.030	0.119	0.018	0.125	0.319	12	なし	1	0.79	含	0.06	0.27	0.014	0.053	0.006	0.187	9	なし
2	"	"	0.074	0.373	0.011	0.026	0.004	0.237	16	"	2	"	"	0.015	0.028	0.006	0.036	0.003	0.194	9	なし
3	"	"	0.059	0.371	0.095	0.066	0.006	0.247	16	"	3	"	"	0.033	0.034	0.114	0.021	0.134	0.283	11	なし
4	"	"	0.108	0.433	0.085	0.043	0.005	0.234	18	"	4	"	"	0.069	0.387	0.016	0.027	0.004	0.244	16	"
5	"	"	0.023	0.026	0.005	0.028	0.005	0.236	12	"	5	"	"	0.041	0.365	0.097	0.068	0.008	0.252	16	"
6	"	"	0.080	0.313	0.009	0.020	0.006	0.223	14	"	6	"	"	0.707	0.447	0.091	0.046	0.004	0.237	16	"
7	"	"	0.018	0.066	0.008	0.028	0.005	0.239	14	"	7	"	"	0.093	0.419	0.013	0.041	0.011	0.185	14	"
8	"	"	0.018	0.046	0.007	0.019	0.004	0.299	14	"	8	"	"	0.083	0.313	0.009	0.020	0.005	0.227	14	"
9	"	"	0.113	0.413	0.109	0.045	—	0.167	2	"	9	"	"	0.017	0.074	0.008	0.037	0.005	0.260	14	2
10	"	"	0.080	0.340	0.091	0.036	—	0.293	3	"	10	"	"	0.018	0.051	0.007	0.021	0.005	0.304	14	3
11	"	"	0.073	0.305	0.089	0.045	なし	0.532	2	"	11	"	"	0.058	0.37	0.093	0.043	0.009	0.269	3	なし
12	"	"	0.074	0.039	0.069	0.072	—	0.255	3	"	12	"	"	0.055	0.38	0.110	0.046	—	0.527	3	"
13	"	"	0.077	0.363	0.057	0.080	0.002	0.652	2	"	13	"	"	0.067	0.351	0.045	0.052	0.003	0.187	3	"
14	"	"	0.06	0.42	0.050	0.048	痕跡	0.363	2	"	14	"	"	0.065	0.35	0.050	0.059	0.003	0.264	3	"
15	"	無	0.043	0.419	0.083	0.042	0.004	0.012	18	"	15	"	"	0.073	0.42	0.052	0.054	痕跡	0.641	3	"
16	"	"	0.056	0.349	0.022	0.048	0.037	0.113	17	"	16	"	無	0.038	0.386	0.089	0.040	0.007	0.014	14	6
17	"	"	0.019	0.029	0.004	0.032	0.003	0.067	12	"	17	"	"	0.09	0.38	0.017	0.062	0.036	0.084	3	なし
18	"	"	0.019	0.028	0.004	0.027	0.004	0.028	19	"	18	"	"	0.01	0.028	0.002	0.027	0.002	0.141	3	1
19	"	"	0.108	0.371	0.009	0.029	0.007	0.029	12	"	19	"	"	0.02	0.026	0.004	0.022	0.002	0.024	7	3
20	"	"	0.017	0.414	0.010	0.029	0.007	0.057	14	"	20	"	"	0.121	0.536	0.008	0.030	0.249	0.020	12	12
21	"	"	0.017	0.021	0.006	0.021	0.006	0.025	14	"	21	"	"	0.02	0.023	0.006	0.022	0.004	0.022	14	14(全)
22	"	"	0.021	0.062	0.008	0.030	0.005	0.028	14	"	22	"	"	0.021	0.055	0.007	0.031	0.004	0.027	14	12
23	"	"	0.03	0.051	0.123	0.019	0.203	0.023	3	"	23	"	"	0.03	0.055	0.139	0.021	0.218	0.020	3	なし
24	"	"	0.08	0.43	0.080	0.031	0.008	0.014	3	"	24	"	"	0.063	0.41	0.102	0.044	0.009	0.013	3	3(全)
25	"	"	0.047	0.389	0.040	0.027	0.007	0.033	3	"	25	"	"	0.077	0.44	0.095	0.036	0.003	0.140	3	なし
26	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	26	"	"	0.032	0.32	0.063	0.042	—	0.019	3	2

れないものはそのまま残る。此くてこれが繰返されて鋼の面は一面に硬い酸化銅の皮膜で蔽はれ、これがために耐蝕性となるのだといふ。鐵道車輛に於て風雨に曝される外羽目を出来るだけ耐蝕性としなければならぬことは論を俟たないことである。1862年に Baltimore & Ohio 鐵道は Mount Clare 工場で木製臺枠鐵製車體の有蓋貨車¹⁰⁾を作つたが 1917年に至るも殆んで原態のままを保つてゐたので、其の側板の一片を分析して見たところ次の如き結果を得た。

C	S	P	Mn	Cu
極めて少量	0.020%	0.034%	無	0.54%

即ち Cu の含有量 0.54% に及び其の腐蝕に抵抗することの出来たのも、他の實驗結果と對照して Cu の含有に依ることが明かとなつた。又 Bessemer & Lake Erie 鐵道に於ては早くも 1914年に含銅鋼の使用を決し 50 噸積の底開石炭車及無蓋貨車各 100 輛宛に之を使用し Carnegie 製鋼會社と共にこれを調査することとなつた。即ち普通鋼板は C 0.18% の鹽基性平爐鋼を用ゐ、含銅鋼板はこれに 0.40% の Cu を含有したのものを用ゐ、この兩者が腐蝕に依つて生ずる厚さの減少に就いて或る期間毎に比較したのであるが、1927年に於ける厚さの平均減少率は普通鋼板の 57% に對して含銅鋼板は 32% であつた。尙ほ各

部の重量の減少に就いて調査した結果は第4表の如くであるこの試験は尙ほ Pennsylvania 鐵道其他に於ても行はれ、結局含銅鋼の優秀なことが認められて 1923年の A.R.A. 設計の 40 噸及 50 噸の基本有蓋貨車仕様書には 1/4 吋以下の厚さの鋼材に對して銅 0.20% 以上を含むことを規定することとなつた。

第4表 Bessemer & Lake Erie 鐵道に於ける含銅鋼板比較試験

使用箇所	鋼種	重量(lb)		重量の減少%	
		1934年 ~10月	1927年 ~10月	lb	%
横渡桁及隔壁板	普通鋼	796.6	422.5	374.1	46.9
	含銅鋼	796.6	506.5	690.1	36.4
内側底戸板	普通鋼	256.9	139.5	117.4	45.7
	含銅鋼	256.9	161.5	95.4	37.1
外側底戸板	普通鋼	324.8	163.0	161.8	49.8
	含銅鋼	324.8	231.5	93.3	28.7
中央床板	普通鋼	144.7	80.5	54.2	44.4
	含銅鋼	144.7	108.0	36.7	25.4
中間側板	普通鋼	516.8	263.5	253.3	49.1
	含銅鋼	516.8	468.5	48.3	9.3
側床板	普通鋼	1330.9	795.5	535.4	40.2
	含銅鋼	1330.9	973.5	357.4	26.8
計	普通鋼	3370.6	1864.5	1506.1	44.7
	含銅鋼	3370.6	2449.5	921.1	27.3

一方、鐵道省大臣官房研究所に於ても試験片に依る大氣曝露試験を行ふこととなり、6種の鋼板を約 21 箇月間曝露した結果第5表の通りとなつた。この試験は曝露期間が短かく、且試験片數も少なかつたので、正確な結論を與へることは出来ないが、含銅鋼板の耐蝕性は其の發生する銹

第5表 國產含銅鋼板の曝露試験

鋼板種類	化學成分%						21箇月後の重量減少率g/m ²	順位
	C	Si	Mn	P	S	Cu		
A社製含銅鋼板	0.04	0.03	0.25	0.027	0.081	0.222	132	3
A社製低炭素鋼板	0.09	0.09	0.28	0.066	0.061	0.008	189	4
B社製 "	0.07	0.02	0.39	0.020	0.020	0.029	132	3
C社製 "	0.12	0.02	0.35	0.016	0.042	0.060	116	1
アームコ製 "	0.08	0.03	0.35	0.007	0.029	痕跡	379	5
イーグル印 "	0.14	0.10	0.39	0.034	0.029	0.021	121	2

に依ると言はれてゐるから、曝露期間が長くなるに従つて其の腐蝕速度は次第に減少して良好な成績を示すかも知れない。併しこの試験で面白いことは、従來耐蝕性の大なるものと考へられてゐたアームコ製低炭素鋼板の腐蝕が一番大きなことである。これは其の錆の色に於ても考へられる所で、このものの錆は他のものに比して少しく赤味を帯び甚だ粗大であつた。試験に供した含銅鋼板は僅かに一種に過ぎなかつたが、同一會社で製造した銅を含まないものに比して良好な成績を示してゐることも注意すべきである。

4. 罐用鋼材

最近機關車の原動機として蒸氣往復機關の外電動機、ディーゼル機關、蒸氣タービン等各種の型式が現はれて、各其の特徴を發揮してゐるが、従來の蒸氣機關車の汽罐壓力及蒸氣溫度を上げて効率を良くすることも亦種々研究されてゐる。今、汽罐壓力及蒸氣溫度を上げるとすると管類や罐板類の強度を増すために厚さを増さねばならなくなるが厚さを増すと各部の溫度差が大となり、且溫度が一般に高くなつて高溫度に於ける金屬の匍匐が問題となる。罐用鋼材の所要條件¹¹⁾としては次の如きものが擧げられる。

1. 高溫度に於ける強度が大で、尙ほ比較的高い内應力に對して匍匐現象が少ないこと。
2. 使用狀態に於て各種の腐蝕に對する抵抗性の大なること。
3. 使用溫度及内應力の下で長い間經過しても原材料と

しての性質を保持し、且各種の加熱冷却を繰返へしても變化を起さないこと。

4. 製造上の困難が少ないこと。
5. 各種の銲接が可能で、銲接後は熱處理の必要の無いこと。
6. 價格が高くないこと。

是等の條件を總て満足するものは今の所未だ發見されないが、或る使用條件に對して比較的満足の出来るものは色々發表されてゐる。

高溫度に於ける金屬の強度に關しては、我が國に於ては既に菊田氏¹²⁾ 佐々川氏¹³⁾ 等が研究してゐるが R. W. Bailey, J. H. S. Dickenson, N. P. Inglis 及 J. L. Pearson は英國に於て行はれた試験として第6表¹¹⁾の如き例を擧げてゐる。これに依ると、一般に使用される合金鋼の中で Ni 3~3.5%, Cr 1% を含有する Ni-Cr 鋼は匍匐に對する抵抗があまり大でなく 400°C~500°C の溫度では軟鋼に比して優れてゐる所がない様である。Cr 1% V 0.25% の Cr-V 鋼は 400°C までの溫度に對して満足の結果を得るが、この溫度を越えると強度が急激に低下する。平均成分 Ni 2.5%, Cr 0.7%, Mo 0.30% の Ni-Cr-Mo 鋼は 500°C まで優秀な性質を示すが、この種の

第6表 高溫度に於ける鋼の強度

材 料	化學成分%							1日1時に付0.0001吋の匍匐を生ずる内應力kg/mm ²			
	C	Ni	Cr	Mo	V	Si	W	350°C	450°C	550°C	600°C
軟鋼	0.20	—	—	—	—	—	—	15.8	10.2	3.2	—
Ni-Cr 鋼	0.30	3.8	0.95	—	—	—	—	21.8	6.3	0.7	—
Ni-Cr-Mo 鋼	0.28	3.5	0.87	0.24	—	—	—	39.4	23.6	1.4	—
Cr-V 鋼	0.35	—	1.13	—	0.15	—	—	59.8	15.8	1.4	—
Cr-Si 鋼	0.61	—	8.32	—	—	2.62	—	37.3	17.9	3.2	—
マルチンサイト耐錆鋼	0.27	—	14.00	—	—	—	—	34.5	19.0	3.2	—
オースラナイト耐錆鋼	0.16	8.0	18.00	—	—	—	0.6	—	10.2	4.6	3.2

鋼は總て 550°C で 2kg/mm² 臺の内應力を受けると急激に匍匐する。併し Mo を添加すると、400°C~500°C 程度の高溫度に於ける匍匐抵抗が非常に改善されると云ふことは一般に認められる所で C 0.10~0.20% Mo 0.10~0.20% のもの¹⁴⁾ が最近相當に用ゐられる様になつた。この鋼は製造に特別の困難が無く、各種の銲接が可能であると云

¹²⁾ 菊田多利男：鐵と鋼、大正 11 年 1 月號、p. 1.

¹³⁾ 佐々川清：鐵と鋼、昭和 2 年 4 月號、p. 274; 鐵と鋼、昭和 3 年 7 月號、p. 568; 鐵と鋼、昭和 3 年 8 月號、p. 637

¹⁴⁾ Dr. Ernst Pohl: Engineering Progress, Vol. XII, No. 1, Jan. 1931, p. 1.

¹¹⁾ A. S. T. M., Symposium on Effect of Temperature on the Properties of Metals, June 23, 1931.

ふ。

機關車の蒸氣壓力は英國に於ては 12~13 氣壓、獨逸に於ては 16 氣壓、我が國に於ては 14~16 氣壓であるから罐用鋼材の匍匐に對してはあまり考慮が拂はれてゐなかつたが、米國に於ては 20 氣壓の高壓であるから、早くから匍匐に對して注意が向けられてゐた。併し機關車の蒸氣壓力を増大して効率を増すことに就いては、各國共種々研究を行ひ、獨逸に於ては罐板に *Cr-Mo* 鋼を使用¹⁵⁾して罐壓力を 25 氣壓とすることに成功してゐる。我が國に於ては未だ罐板に合金鋼を使用した例がないが、最近滿鐵の特急列車「あじあ」號に使用されてゐる機關車の罐板は *Ni* 2~2.5% を含有する *Ni* 鋼である。

5. バネ用鋼材

1910 年頃までは一般のバネ用鋼材は普通の *C* 鋼材に限られ、其の熱處理方法に依つて之を油焼入用と水焼入用との二種類に分けてゐた。即ち油焼入用に於ては *C* 含有量 0.80% 乃至 1.00% 水焼入用に於ては *C* 含有量 0.40% 乃至 0.70% を標準としたが、水焼入は焼割を生じ易く、従つて相當の技術を必要とするので油焼入を採用する方が望ましい。近年各方面の技術が非常な發達を遂げ、交通機關に於ても車輛の重量が次第に増加し、スピードアップが叫ばれる様になり、従つてバネに要求せられる條件も次第に嚴重となり、強い内應力に耐えるもの、重量の軽いもの等に對して種々考慮を拂はれる様になつた。バネ用鋼材として合金鋼に注意を向けられる様になつたことも當然のことである。

バネ用鋼材として用られる合金鋼としては *Si-Mn* 鋼 *Mn* 鋼、*Si-Cr* 鋼、*Cr-V* 鋼等があるが、鐵道車輛に對

しては製造が比較的容易であり、且取扱ひが容易で廉價のものでなければならぬので、主として *Si-Mn* 鋼及び *Mn* 鋼が利用される。獨逸國有鐵道に於ては早くから *Mn* の高い *Si-Mn* 鋼が使用せられたが、世界大戦中(1914年~1918年)、マンガン鑛石の缺乏を來したのでこれに代るべき元素の研究が行はれ、遂に *Si* を見出すことが出來た然し最初はあまり成績が良くなかつたが *Si* と共に少量の *Mn* を加へることに依り、優良な成績を得ることとなつた即ち獨逸國有鐵道の現行規格に於ては *Si* の高い *Si-Mn* 鋼を指定してゐる。

我が國鐵道車輛のバネ用鋼材は、第7表の如く時代と共に種々の變遷を経てゐる。即ち *C* 鋼材に於て之を見るに最初は成分を指定しない甚だ粗雑なものであつたが、其の後成分を指定し、更に強度を高めるために *C* 含有量を増加せしめた。*Si-Mn* をバネ用鋼材として我が國鐵道車輛に始めて使用したのは大正 14 年であつて 9,600 形機關車用動輪擔バネを作つて之を現車に取付けて試験した結果、大正 14 年から昭和 6 年に至る約 6 箇年間に於て、比較に供せられた從來の材料に依るバネが悉く折損又は彈性減退に依つて取換へられたにも拘はらず *Si-Mn* 鋼製バネの大部分は依然使用に耐え、而かも荷重を加へた場合のキャンバーの變化も殆んど認められない程度であつた。其の後 *C* 鋼材に於て第7表の如く規格の改定が行はれたが、更にバネに對する嚴重な要求を滿すために *Si-Mn* 鋼に對して種々の試験を行ひ、遂に昭和 7 年度以降に製作する 15 噸有蓋貨車の基本第5種擔バネ及昭和 8 年度以降に製作する自動連結器用引張バネに *Si-Mn* 鋼を採用することとなつた *Si-Mn* 鋼の規格としては第8表の如きものがある。最

第 7 表 車 輛 バネ用鋼材の規格變遷

制定又は改訂年月	成 分 %					抗張力 kg/mm ²	伸 %	備 考
	<i>C</i>	<i>Si</i>	<i>Mn</i>	<i>P</i>	<i>S</i>			
大正 3 年 2 月 制定	—	—	—	—	—	70 以上	10 以上	壓延のまゝ試験成分は指定せず
昭和 3 年 3 月 改訂	0.65~0.85	—	—	0.045 以下	0.045 以下	70 以上	10 以上	燒準のまゝ試験板バネ用
昭和 7 年 7 月 改訂(現行)	0.75~0.95	—	0.5 以下	〃	〃	75 以上	8 以上	
昭和 3 年 3 月 改訂	0.80~1.00	—	—	〃	〃	80 以上	8 以上	燒準のまゝ試験蔓卷バネ用
昭和 7 年 4 月 改訂(現行)	0.90~1.10	—	0.5 以下	〃	〃	82 以上	7 以上	
昭和 7 年 2 月 制定	0.50~0.65	1.50~1.80	0.50~0.70	〃	〃	85 以上	12 以上	燒準のまゝ試験各種バネ用
昭和 9 年 10 月 改訂(現行)	0.60~0.70	〃	0.70~0.90	〃	〃	85 以上	12 以上	

¹⁵⁾ Railway Age, Jan. 13, 1934.

初我が鐵道省に於て規格を制定するに當り、油焼入を前提とし、斷面の大きなものの焼入を考慮して獨逸國有鐵道の

第8表 各種バネ用 Si-Mn 鋼

規格名	名稱	化學成分 %				
		C	Si	Mn	P	S
A.S.T.M	A59-27	0.55-0.65	1.80-2.20	0.60-0.90	0.045以下	0.045以下
S. A. E	9250	0.45-0.55	"	"	"	0.05以下
"	9260	0.55-0.65	"	"	"	"
獨逸國有鐵道	—	0.50-0.55	1.50-1.80	0.55-0.70	0.05以下	0.05以下

ものをそのまま採用する意向であつたが、製造者に於て成分の範圍が僅少過ぎて製造困難とのことで、之に幾分變更を加へて第7表の昭和7年2月制定の通りとした。併し其の後更に昭和9年10月に改訂することとなつた。即ち最初制定した規格に依つて購入した自動連結器用引張バネが約6箇月後に於て弾力減退のために高さを減少したものが購入量に對して約2.5%を生じたので、これが原因を調査して見ると、其の高さ減少を來したものはブリネル硬度255乃至350を示し、其の組織に遊離フェライトの存在を示し、焼入不完全なことが分かつた。而かも是等の成分は何れも指定成分の下限に近いものであつた。要するに自動連結器用引張バネの如く直径32mm程度のものとなると油焼入する場合規定の成分の下限のものでは焼入が不完全ではないかと考へられる。第9表は指定成分の下限に近いもの即ちC 0.46%, Si 1.44%, Mn 0.58%のものに就いて質量に依る焼入効果と焼入温度との關係を調査した

第9表 質量に依る焼入効果と焼入温度との關係

試験片の直径 mm	820°Cより油焼入した硬度 B. H. N.	950°Cより油焼入した硬度 B. H. N.	950°Cより水焼入した硬度 B. H. N.
32	262	262	461
25	269	277	578
22	285	302	601
19	285	285	601
16	277	285	555
13	277	415	627

備考 油焼入のものは何れもフェライト残留す。

ものである。一般に Si は變態點を上昇すると言はれ R. R. Abott¹⁶⁾ は各元素が鋼の A_{c_3} 變態點に及ぼす影響として次の實驗式を與へてゐるが、第9表に依ると Si 含有量が最小限度のもので、而かも焼入温度を 950°C としても C の少ないものは硬度が低く、其の組織中にフェライトを残留して焼入の不完全なことを立證してゐる。

$$A_{c_3} = 908 - 2.237C + 0.4385P + 0.3049Si + 0.3792V - 0.3049Mn - 0.23Ni + 2(C - 54 + 0.06Ni)$$

(各元素は%の1/100單位、但Pのみは1/1000單位とする。最後の括弧内が負となつた場合はこの項を省略する。)

尚ほ直径 32mm のものは 950°C より水焼入しても未だ焼入が完全だとは云はれない。併し焼入温度を高くすることは爐の構造や操業方法に色々の障害を生ずることとなつて面白くないので、成分を幾分變更して是等の困難を除くこととした。先づ Si に就いて考へると、この元素は鋼の弾性限界を増し、衝撃を吸収する性質があると云はれてゐるので、これを減ずることはバネ用材料として面白くない又 C 及 Mn は焼入効果を増すが靱性を減じて脆くなる性質があるので、若しこれを増加するとしても其の増加量に對しては充分に注意しなければならない。結局 C 及 Mn を増加することとし、其の適當量を決定するために第10表の如き試験を行つた。焼入試験は 830°C に加熱して 34°C

第10表 焼入効果に及ぼす成分と斷面積との關係

番號	成分 %			試験片直径 mm								シャルピ-衝撃値 kg/cm^2
	C	Si	Mn	34	32	28	25	21	19	16	13	
				硬 度 B.H.N.								
1	0.51	1.41	0.64	—	285	—	302	331	352	363	415	4.92
2	0.55	1.78	0.67	—	—	388	477	534	555	601	601	2.50
3	0.68	1.68	0.89	477	—	—	601	627	653	682	712	1.87
4	0.73	1.60	0.79	—	—	—	495	627	627	653	712	1.92

の魚油中で行つた。この結果に依ると番號1のみは硬度低く、焼入不完全で組織にフェライトを残留してゐたが、其の他は全部焼入効果が充分であつた。又衝撃値は C 及 Mn の量を増すと共に増加してゐる。是等の點を考慮すると C 及 Mn の下限を少しく増す必要があるが、あまり多くすることの出來ないことが分かる。結局第7表最後の通り改訂して現在に及んでゐる。

其の後の Si-Mn 鋼の使用状態を見るに故障も甚だ少なく、良好な成績を示してゐるが、最近バネ用鋼材の熱處理を繰返へすと表面の脱炭が次第に大となり、これが疲勞の原因となるとのことで各方面で研究せられてゐるので、當省に於ても目下この方面に就いて研究を進めてゐる。

6. 其 の 他

鐵道車輛の部分品は實に多種多様である。従つてこれ等

¹⁶⁾ R. R. Abott: The Iron Age, No. 26, Vol. 132, 1933.

に用ゐられる鋼材が充分に其の機能を發揮するためには各部分の各目的に應じて之に適合するものを考へねばならぬ。併し各種動力機關の部分品は一般のものと同条件と考へることが出来るから、是等の鋼材に對しては一般の知識がそのまま適用される。

鑄鋼品も相當量使用されてゐるが、一般に鐵道車輛用鑄鋼は振動の多い部分に使用されるので、諸外國に於ては一般品に比して抗張力か同一でも伸の大なるものを使用してゐる。鐵道車輛の鑄鋼として最も多く使用されてゐるものは車輪輪心と自動連結器とである。この中連結器は絶えず

第 11 表 SC47 と自連用鑄鋼との比較

	SC 47	自連用鑄鋼	SC 41
抗張力 kg/mm^2	47~61	47 以上	41~55
伸 %	12以上	22 以上	20 以上
收 縮 率%	—	30 以上	—

衝動を受けるので、磨耗の少ない靱性の大なる材質が必要である。従つて連結器の體及肘は始め JES の SC41 を指定してゐたが、昭和7年度以降製作のものは強度は SC47 に準じ、伸及断面收縮率は第 11 表の如く特に大なるものを指定することとなつた。車輪輪心用鑄鋼に對しても其の使用中の歪を防ぐために其の材質に就いて目下種々研究中である。

最近、車輛の臺枠の剛性を増すために諸外國に於ては一體の鑄鋼を盛に使用し、我が國に於ても滿鐵に於て之を使用してゐるが、當省に於ては未だ經驗が無い。

合金鑄鋼及熱處理を施した鑄鋼が優良な成績を表はすことは既に認められてゐるので、若し製造上經濟的に且つ信頼し得るものが出来れば、次第に使用される様になることは疑の無い所である。

鑄 物 砂 の 探 査 要 件

(鑄物砂の研究第5報)

(第三回工學大會日本鐵鋼協會部會に於て講演)

松 塚 清 人*

DESIDERATA IN PROSPECTING FOR MOLDING SANDS.

By Kiyoto Matuduka.

SYNOPSIS:—The best molding sands available have usually been found only by a lengthy process of trial and error, but rarely by any scientific, especially geological basis.

Of course, the desiderata in prospecting for molding sands available is firstly to investigate the properties of them, i. e., the granularity of sands and the properties of bonding part as well as sand part which the writer has already looked into in the previous reports.

In this report, the geological origin and mode of occurrence of molding sands of Japan were investigated by the mineral composition and the geological literature of the region of the product.

Then, an attempt was made to acquire the following desiderata in prospecting for molding sands in Japan by the collected data in this time:

(1) The most part of molding sand deposits in Japan are terrace deposits in the lower reaches of river (along present or abandoned lines of drainage) or marine deposits.

(2) They are, also, of diluvial or older alluvial age.

(3) The original rocks which are deemed to have furnished the best molding sands are: (a) quartz diorite, (b) plagioliparite, (c) granite (in this case the acidic feldspar is required to be almost kaolinized), (d) sandstone (its mineral composition must be special and suitable for molding sands.)

目 次

緒 言

緒 言

第1章 優良鑄物砂の具備すべき要素

第2章 鑄物分析並びに地質的成因 第1節 鑄物分析

第2節 地質的成因

第3章 鑄物砂の探査に必要な地質的要件

既に鑄物砂の性質に關する數回の研究¹⁾(第1報~第4報)により優良鑄物砂の具備要件として、鑄物砂の粒狀度粘結部分の性質並びに砂粒部分の性質に一定の必須要件あるを知れり、然るに一般砂層の地質的成因を考察する時は

¹⁾ 著者、九州帝國大學工學彙報第1卷第1號、第2卷第5號、第6號 鐵と鋼第20年2號及び5號 旅順工科大学彙報第20號

* 旅順工科大学