

橋梁用鋼材の化学成分の現状調査

(株)サクラダ 正会員 南 邦明
 (株)サクラダ 正会員 ○田村 潤
 東京工業大学 フェロー 三木千壽

1. はじめに 著者らは、昨年、橋梁で使用されている鋼材の機械的性質の調査結果を報告し、高品質な鋼材が提供されていることを示した¹⁾。これに続き、本報告は化学成分の現状を明確にするため、前報¹⁾と同様の鋼種(表-2)を対象とし1412枚のミルシートから、主要5元素(C,Mn,Si,P,S), P_{CM} , C_{eq} を調べた。

2. 化学成分 I (C, Mn, Si) の調査結果 C, Si, Mnは、強度や衝撃特性などの制御に重要な役割を果たすので、これらはバランスを見ながら必要に応じて配合される。一般に、C量を増加させることにより、降伏強度、引張強度、硬さなどは増加するが、伸び、絞りなどの延性特性や衝撃特性は減少する。このため、C量は低いのが望ましい。一方、Siは脱酸剤として添加され、0.4%位までは強度や延性が上昇する。また、Mnは強度、衝撃特性の向上、さらに脱酸や脱硫の効果もある。次に、溶接性の指標である P_{CM} や C_{eq} は、Cの影響が大きい、SiやMnを増加させても影響は少ない。

表-1は道路橋示方書で示されている化学成分に関する基準を示し、表-2は調査した化学成分集計結果を示した。C量は、同じ強度レベルであれば、耐候性鋼(SMA材)より一般鋼(SM材)の方が高かった。すなわち、一般鋼ではCで強度を高め、耐候性鋼ではその他の元素で強度を高めている。強度別に比較すると、490材>400材>570材の順にC量が低かった。これは、400材ではCで強度を高め、490材ではCと後に示すSi, Mnで、さらに570材では焼入れ・焼戻し効果で強度を高めているからである。また、TMCP鋼は、いずれの鋼材もC量は低かった。次に、一般鋼ではA規格>B規格>C規格となっているが、耐候性鋼では違いが生じていなかった。以上、C量は最大値で基準の上限値より0.02%~0.03%程度低く、平均値では0.06~0.08%程度基準値より低くなっていた。

Si量は、耐候性鋼より一般鋼の方が低かった。これはCとは逆のことを示しており、一般鋼ではCで強度を高め、耐候性鋼ではSiで強度を高めていることが判る。また、強度別に比較すると、490材>570材>400材の順にSi量が小さくなった。次に、一般鋼、耐候性鋼ともにA規格<B規格<C規格となっており、これもCと逆の結果となった。高靱性が要求されるC規格ではC量を低く抑え、Si量を高くして強度を確保しているものと考えられる。Si量はSM490YBでは最大値で基準の上限値(0.55%)となった鋼材が1鋼材存在したが、その他の鋼材では、最大値は基準の上限値より約0.06%程度低く、平均値では0.20%~0.25%程度基準値より低くなっていた。

Mn量は、同じ強度レベルであれば、耐候性鋼より一般鋼の方が大きかった。これはSiとは逆のことを示しており、Cと同様の傾向を示していた。すなわち、一般鋼ではC, Mnで強度を高め、耐候性鋼ではSiとその他の合金元素で強度を高めているものと考えられる。また、強度別に比較すると、490材>570材>400材の順にMn量が小さくなった。すなわち、490材は、SiとMnで強度を高めていることが判る。以上、Mn量は490材および570材では、最大値で基準の上限値(1.60%or1.40%)の鋼材も存在したが、平均値では0.2%程度基準値より低くなっていた。

3. 化学成分 II (P, S) の調査結果 P, Sは不純物元素であり意図的に配合される訳ではなく、製鋼時にこれらを取り除いている。強度別に比較すると、400材>490材>570材の順にP, S量が低かった。また、A規格>B規格>C規格となっており、高強度・高品質な鋼材であれば、P, Sの含有量が低減されていた。これらは、衝撃特性や板厚方向の強度特性を考慮したものである。P量は最大値が0.032%と高い鋼材も存在したが、それ以外では0.030%を下回る結果となった。また、平均値は、400材, 490材で上限値(0.035%)の約1/2程度、570材では1/3程度と低くなっていた。次に、S量は各鋼材で最大値は0.013%前後であり、基準の上限値に対し1/2以下と非常に低い値となった。また、平均値でも、400材では基準値の約1/7程度、490材で約1/8程度、570材では1/10程度と非常に低いS量であった。

4. P_{CM} , C_{eq} の調査結果 鋼材別に比較すれば、 P_{CM} , C_{eq} は、490材>570材>400材の順に低くなり、何れの鋼材においてもTMCP鋼の P_{CM} , C_{eq} は低かった。また、両者ともに各板厚との相関は、明確な違いは見られなかった。

P_{CM} は(表-3, 図-1)、一般鋼と耐候性鋼を比較しても大きな違いはなかった。400材の耐候性鋼のみC規格>B規格>A規格となったが、その他の鋼材ではA, B, C規格による P_{CM} の差はなかった。各鋼材の上限値は、400材では0.25、490材では0.27、570材では0.26であった。また、570材のTMCP鋼では従来鋼(QT鋼)より約0.04 P_{CM} が低くなった。耐候性鋼でも従来鋼の方が P_{CM} が高く、0.24を超えるデータは多くがSMA570Wであった。道路橋示方書では、予熱温度は溶接法や P_{CM} で設定され、 P_{CM} は0.21~0.29の範囲で規定されており、調査結果では規定範囲より低かった。

C_{eq} では(表-4, 図-2)、400材では、一般鋼と耐候性鋼を比較すると耐候性鋼の方が C_{eq} は高く、両鋼材ともにA規格<B規格<C規格の順に C_{eq} が大きくなった。490材では、一般鋼と耐候性鋼を比較しても大きな違いはなく、ま

表-1 化学成分の基準値(道路橋示方書)

鋼種	化学成分(%)				
	C	Si	Mn	P	S
SM400A	0.23以下	—	0.25xC以上	0.035 以下	0.035 以下
SM400B	0.20以下	0.35以下	0.60~1.40		
SM400C	0.18以下	0.35以下	1.40以下		
SMA400(AW, BW, CW)	0.18以下	0.15~0.65	1.25以下		
SM490Y(A, B)	0.20以下	0.55以下	1.60以下		
SM520C					
SMA490(AW, BW, CW)	0.18以下	0.15~0.65	1.40以下		
SM570	0.18以下	0.55以下	1.60以下		
SMA570W					

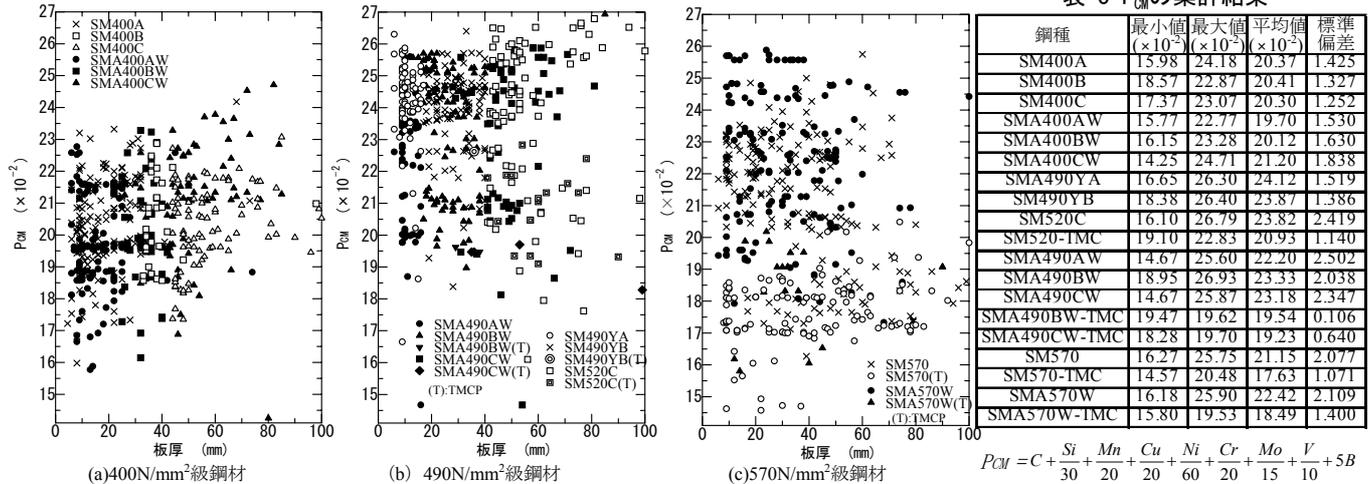
キーワード：鋼材，化学成分， P_{CM} ， C_{eq}

連絡先：〒272-0002 千葉県市川市二俣新町21 TEL 047-328-3148 FAX 047-328-3156

表-2 C (Carbon), Si (Silicon), Mn (Manganese), P (Phosphorus), S (Sulfur)の調査結果

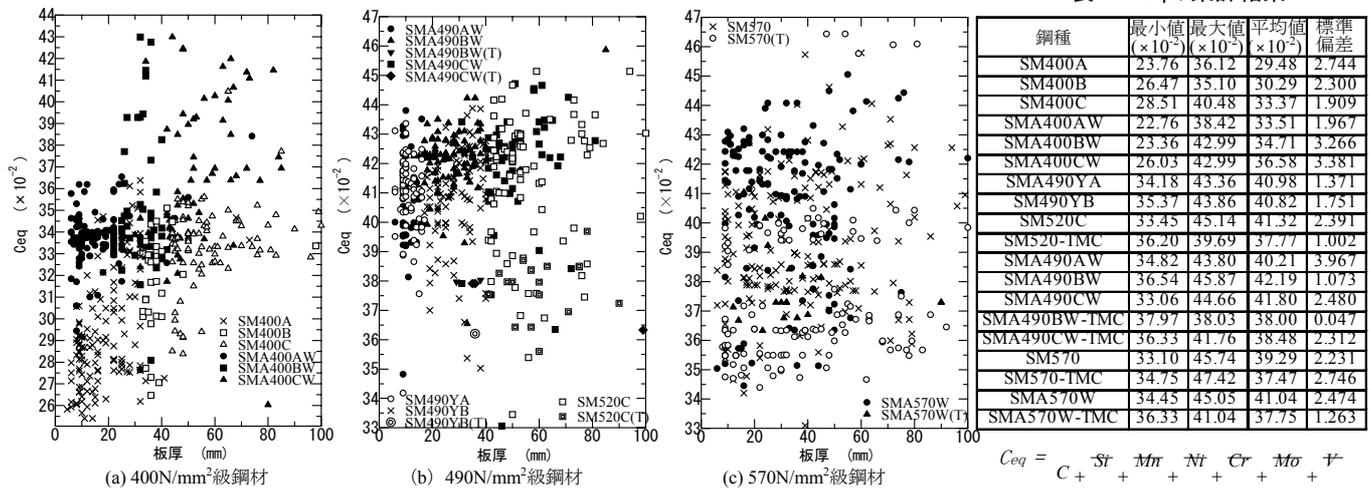
鋼種	数量	C			Si			Mn			P			S		
		最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	平均値
SM400A	141	0.10	0.20	0.159	0.05	0.25	0.161	0.48	1.29	0.730	0.008	0.032	0.0170	0.001	0.014	0.0060
SM400B	30	0.13	0.18	0.150	0.14	0.21	0.176	0.61	1.23	0.901	0.009	0.028	0.0162	0.002	0.010	0.0047
SM400C	84	0.10	0.17	0.139	0.14	0.29	0.202	0.69	1.29	1.062	0.008	0.025	0.0153	0.002	0.010	0.0045
SMA400AW	112	0.06	0.16	0.112	0.16	0.34	0.225	0.45	1.07	0.676	0.004	0.029	0.0139	0.001	0.015	0.0055
SMA400BW	49	0.06	0.17	0.113	0.16	0.37	0.228	0.46	1.07	0.750	0.003	0.024	0.0149	0.001	0.013	0.0053
SMA400CW	71	0.02	0.15	0.118	0.16	0.40	0.248	0.45	1.20	0.797	0.006	0.023	0.0138	0.001	0.013	0.0049
SM490YA	69	0.08	0.18	0.156	0.19	0.41	0.301	1.22	1.58	1.393	0.007	0.027	0.0173	0.001	0.009	0.0043
SM490YB	96	0.08	0.18	0.152	0.20	0.55	0.319	1.17	1.56	1.404	0.010	0.025	0.0166	0.002	0.008	0.0042
SM490YB-TMC	1	-	-	0.160	-	-	0.220	-	-	1.130	-	-	0.0170	-	-	0.0030
SM520C	80	0.07	0.17	0.144	0.18	0.49	0.368	0.96	1.60	1.447	0.004	0.025	0.0137	0.002	0.007	0.0027
SM520C-TMC	17	0.09	0.15	0.124	0.19	0.31	0.269	1.28	1.51	1.417	0.006	0.015	0.0101	0.001	0.003	0.0018
SMA490AW	58	0.02	0.15	0.113	0.21	0.47	0.305	0.32	1.32	1.018	0.008	0.028	0.0152	0.002	0.013	0.0055
SMA490BW	94	0.07	0.15	0.119	0.17	0.47	0.351	0.92	1.35	1.083	0.007	0.020	0.0141	0.001	0.009	0.0044
SMA490BW-TMC	2	0.09	0.09	0.090	0.19	0.21	0.200	1.00	1.00	1.000	0.004	0.007	0.0055	0.000	0.002	0.0010
SMA490CW	63	0.02	0.15	0.117	0.16	0.50	0.324	0.81	1.39	1.071	0.007	0.022	0.0149	0.001	0.016	0.0041
SMA490CW-TMC	4	0.07	0.09	0.080	0.18	0.41	0.243	0.95	1.28	0.800	0.007	0.019	0.0103	0.001	0.005	0.0025
SM570	170	0.07	0.16	0.120	0.17	0.37	0.270	1.11	1.60	1.387	0.005	0.023	0.0127	0.001	0.007	0.0030
SM570-TMC	112	0.02	0.10	0.068	0.17	0.34	0.276	1.34	1.60	1.528	0.006	0.018	0.0106	0.001	0.008	0.0023
SMA570W	141	0.05	0.15	0.108	0.16	0.47	0.312	0.84	1.40	1.055	0.004	0.021	0.0122	0.000	0.013	0.0036
SMA570W-TMC	18	0.02	0.09	0.066	0.17	0.29	0.207	0.95	1.40	1.078	0.008	0.017	0.0123	0.002	0.003	0.0024

表-3 P_{CM}の集計結果



$$P_{CM} = C + \frac{Si}{30} + \frac{Mn}{20} + \frac{Cu}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Cr}{20} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5B$$

図-1 P_{CM} (溶接割れ感受性組成)と板厚の関係



$$C_{eq} = C + \frac{Si}{30} + \frac{Mn}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Cr}{20} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5B$$

図-2 Ceq (炭素当量)と板厚の関係

た、A,B,Cの規格による違いも見られなかった。570材では、一般鋼において、従来鋼(QT鋼)は0.38近傍のデータが多く見られるが、広範囲にばらつきが生じていた。TMCP鋼では0.36近傍と0.40近傍の2つの分布グループに分けられた。次に、耐候性鋼では、従来鋼は0.42、TMCP鋼は0.37近傍のデータが多く、明確な違いが生じていた。

5. まとめ 主要5元素のうち、強度や衝撃値を考慮して配合されるC, Si, Mnは、基準の上限値付近のデータも存在したが、平均値では基準値に対し、大きな余裕が見られた。特に、溶接性を阻害させるC量は低く、平均値では基準の上限値より0.06~0.08%低かった。次に、P, Sなどの不純元素については、基準の上限値より遙かに低い値であり、特にSについては、例えば570材では、平均値で基準値の約1/10程度しか混入しておらず、高品質な鋼材であった。また、P_{CM}は、道路橋示方書で想定している範囲より低かった。TMCP鋼では従来鋼より化学成分(C, Si, Mn, P, S), Ceq, P_{CM}ともに含有量は低く、TMCP鋼の品質は格段に高いと言える。

[参考文献] 1)南 邦明, 堀川秀信, 三木千壽: 橋梁用鋼材の機械的性質の現状調査, 土木学会第59回年次学術講演会1-519, 2004.9.