

橋梁製作における溶接継手部の引張強度特性

横河ブリッジ 正会員 金澤宏明
鉄道・運輸機構 正会員 南 邦明
大阪市立大学大学院 正会員 山口隆司

1. はじめに

橋梁製作において、SM材やSMA材以外にTMCP鋼およびBHS鋼など、様々な種類の鋼材が使用されるようになり、さらに、その板厚も50mmを超えることも少なくなく、これまでにない溶接施工環境下にあると言える。

本報告は、橋梁製作における溶接継手部の引張強度を明らかにすることを目的とし、SM490Y,SMA490W,SM570 およびSMA570W等を対象に橋梁製作会社の溶接施工試験報告書から溶接後の引張強度を調査し、これらの結果から、橋梁で使用する鋼材および溶接材料を用いた場合の溶接継手の引張強度についてまとめたものである。

2. 調査概要

溶接施工試験は、土木学会鋼構造委員会「鋼構造物の連結に関する検討小委員会」に参加の橋梁製作会社、および鉄道・運輸機構で2003年以降に行われた試験を対象とした。対象とした溶接法は、炭酸ガス溶接およびサブマージーク溶接(以下、SAW)である。炭酸ガス溶接では、ソリッドワイヤ(以下、ソリッド)およびフラックス入りワイヤ(以下、フラックス)が使用され、その際の開先形状は、V形、X形、K形およびレ形等様々であり、また、溶接姿勢は下向き姿勢以外にも現場溶接を考慮し、立向き姿勢および横向き姿勢で行ったデータも含まれていた。

試験体の一例を図-1に示す。溶接施工試験では、図-1に示すように、曲げ試験片およびマクロ試験片(硬さ試験も含む)も採取しているが、本報告では引張試験を対象とし、シャルピー衝撃試験については別報1)に示す。なお、曲げ試験、マクロ試験については、調査対象外とした。

3. 継手引張試験

溶接継手の引張試験は、JIS Z3121の「突合せ溶接継手の引張試験方法」に従って、各試験で、溶接部位毎に2本の引張試験を行っていた。引張試験片にはJIS Z 3121 1号を用いている。試験体数量の詳細は、表-1に示すが、合わせて390体の試験データを分析した。

4. 引張強度試験結果

(1) 引張試験結果

引張試験結果の一例として、図-2にはSM570の引張強度と板厚の関係を示した。また、表-2には引張強度の集計結果を示した。

SM490Y、SM570およびSMA570Wの引張強度は、基準強度に対し13%程度、さらに、SMA490Wでは18%程度強度が高く、十分な引張強度特性を有していた。なお、図-2に示すように、板厚と引張強度とのはっきりとした相関は見られず、その他の鋼種においても同様であった。

表-2に示すように、SMA490Wを除けば、Depo(溶接金属部)で破断した試験体は、HAZ(鋼材熱影響部)で破断した試験体より引張強度は低くなる結果であった。この場合の溶接継手は、母材に対してアンダーマッチであったと言える。一方、SMA490W (Ni鋼を除く)は、Depoで破断した試験体の方が、HAZで破断した試験体より強度は高く、また、多くがHAZ破断であり、SMA490Wはオーバーマッチであったと考えられる。SM490YとSMA490WのHAZで破断した引張強度を比較しても、強度の違いはない。SMA490Wの引張強度が高くなった理由は、SMA490WはDepo破断が少なく、オーバーマッチ継手となったことで継手強度が高くなったためであり、鋼材の強度が高かったからではないと考えられる。

SM570とSMA570Wを比較しても、引張強度の違いほとんどなく、BHS500のみ約10N/mm²強度は高かった。ただし、570N/mm²級鋼材におけるHAZ破断では、Ni鋼がその他の鋼材より強度が高かった。

表-1に示すように、全継手において、Depo破断は193体、HAZ破断は197体のほぼ同数であり、現状の溶接材料の選定を行えば、イーブンマッチであると考えられる。ただし、490N/mm²級鋼材では、一般鋼であるSM490Y材はDepo破断が多く、逆に耐候性鋼材であるSMA490WはHAZ破断が多くなる結果であった。さらに、同じ鋼種で

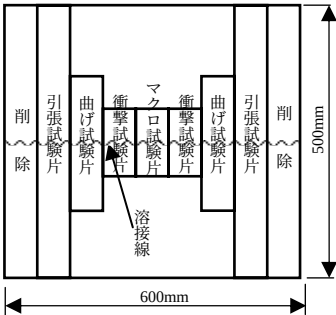


図-1 試験体形状の一例

表-1 引張試験の破断位置の集計

種別	鋼材規格	破断位置			
		Depo		HAZ	
		数量	小計	数量	小計
一般鋼材	SM490YA	14	58	0	24
	SM490YB	32		20	
	SM520C	12		4	
	SM570Q	44	88	26	96
	SM570-TMC	26		38	
	BHS500	18		32	
耐候性鋼材	SMA490AW	0	8	6	42
	SMA490BW	2		16	
	SMA490CW	4		8	
	Ni鋼(490)	2	47	12	77
	SMA570W	17		24	
	SMA570W-TMC	4		5	
合計		193		197	

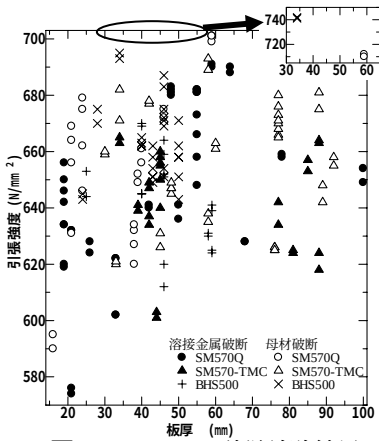


図-2 SM570の引張試験結果

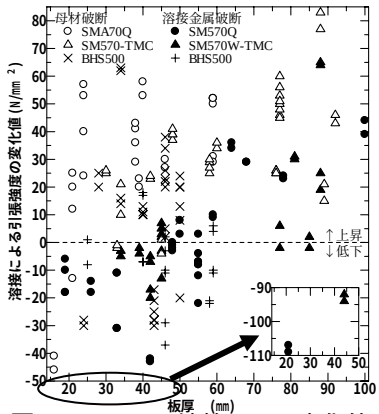


図-3 SM570の溶接による変化値

表-2 引張試験データの集計

鋼材規格	破断位置	試験数量	引張強度(N/mm ²)			標準偏差	変動係数
			最小値	最大値	平均値		
SM490YA	Depo	14	519	572	551.4	14.44	0.026
	HAZ	0	-	-	-	-	-
SM490YB	Depo	32	512	596	560.5	25.22	0.045
	HAZ	20	504	610	577.8	28.40	0.049
SM520C	Depo	12	559	608	585.2	16.87	0.029
	HAZ	4	583	597	589.5	6.61	0.011
SMA490AW	HAZ	6	580	587	582.7	2.50	0.004
	Depo	2	606	608	607.0	1.41	0.002
SMA490BW	HAZ	16	553	600	579.0	12.55	0.022
	Depo	4	575	583	579.5	3.42	0.006
SMA490CW	HAZ	8	564	590	578.3	9.78	0.017
	Ni系	2	511	513	512.0	1.41	0.003
高耐候性鋼	HAZ	12	559	589	575.2	9.49	0.016
SM570Q	Depo	44	574	691	647.8	29.82	0.046
	HAZ	26	590	712	660.3	33.08	0.050
SM570-TMC	Depo	26	601	665	642.4	18.11	0.028
	HAZ	38	620	693	655.8	21.12	0.032
BHS500	Depo	18	612	670	643.0	16.92	0.026
	HAZ	32	643	742	668.3	23.45	0.035
SMA570WQ	Depo	17	613	647	634.1	11.61	0.018
	HAZ	24	617	675	649.0	15.98	0.025
SMA570W-TMC	Depo	4	638	681	658.5	22.16	0.034
	HAZ	5	609	661	640.0	27.40	0.043
Ni系	Depo	18	603	673	635.3	21.73	0.034
	HAZ	6	673	701	683.5	13.62	0.020

表-3 引張強度変化値データの集計

鋼材規格	破断位置	試験数量	引張強度変化値(N/mm ²)			標準偏差	変動係数
			上昇の最大値	低下の最大値	平均値		
SM490YA	Depo	14	29	-40	7.0	20.27	2.895
	HAZ	0	-	-	-	-	-
SM490YB	Depo	32	43	-46	8.4	22.55	2.684
	HAZ	20	75	-34	27.3	30.09	1.102
SM520C	Depo	12	41	-20	21.5	19.15	0.891
	HAZ	4	50	-	35.5	14.55	0.410
SM570Q	Depo	44	44	-109	-14.5	36.54	2.520
	HAZ	26	58	-46	29.1	26.94	0.926
SM570-TMC	Depo	26	65	-94	-0.4	34.41	86.02
	HAZ	38	83	-4	33.1	19.62	0.593
BHS500	Depo	18	18	-37	-7.1	14.37	2.023
	HAZ	32	63	-30	8.5	25.21	2.966
SMA490AW	HAZ	6	65	-	38.7	18.22	0.471
	Depo	2	27	-	26.0	1.41	0.054
SMA490BW	HAZ	16	58	-31	19.1	28.78	1.507
	Depo	4	41	-	34.0	5.48	0.161
SMA490CW	HAZ	8	55	-	32.8	17.14	0.523
	Ni系	2	-	-8	-7.0	1.41	0.202
高耐候性鋼	HAZ	12	43	-	29.3	11.80	0.403
SMA570WQ	Depo	17	31	-37	-3.9	23.48	6.020
	HAZ	24	49	-19	22.0	21.80	0.991
SMA570W-TMC	Depo	4	-	-20	-15.0	3.56	0.237
	HAZ	5	35	-	21.6	13.76	0.637
Ni系	Depo	18	20	-35	-5.7	16.78	2.944
	HAZ	6	32	-12	15.8	21.60	1.367

あっても、例えば、SM570QとSM570-TMCを比較すると、破断位置の割合が逆であり、鋼材種別により破断位置が異なる結果であった。

(2) 引張強度の変化値の集計結果

図-3は、母材の引張強度と溶接後の引張強度を差し引いて求めた溶接による引張強度の変化値（－は低下値，＋は上昇値）の一例を示したものである。また、表-3には引張強度の変化値の集計結果を示した。

SM490YやSMA490Wでは、Depo破断およびHAZ破断いずれのケースにおいても、平均値で見れば溶接によって引張強度は上昇し、特に、HAZ破断の上昇値は大きかった。また、全鋼材の中で、SMA490Wが最も強度上昇値の平均値が高かった。一方、SM570やSMA570Wにおいて、Depo破断では、溶接によって逆に強度は低下するケースが多いが、HAZ破断では強度は上昇するケースが多く見られた。これは、Depo破断は、アンダーマッチであることを示す結果と言える。低下の最大値は109N/mm²であり、これは、母材強度が683 N/mm²と高かったにも関わらず、継手引張強度が基準値レベルでDepo破断したからである。逆に最も上昇値が高かった（83N/mm²）のは、母材強度が600N/mm²を下回っていたが、溶接後の引張強度が681 N/mm²と高かったからである。

以上のように、多くのケースで母材より溶接継手の強度が高かった。この理由として、490 N/mm²を超える高張力鋼ではC量が高く、その場合、鋼材熱影響部はマルテンサイトなどの硬い組織となりやすく、これらの部分が母材を拘束して継手強度が上昇したものと考えられる。

5. まとめ

- 橋梁製作で使用する鋼材および溶接材料を用いた場合の引張強度特性をまとめると、以下の通りである。
- ・溶接継手部の引張強度は、母材の基準強度に対し概ね13%程度 (SMA490Wでは18%程度)高い強度を有していた。
 - ・引張試験による破断位置は、鋼種により傾向は異なるが、全継手で言及すると、Depo破断およびHAZ破断はほぼ同数であり、現状の溶接材料の選定によると橋梁の溶接継手はほぼイーブンマッチである。
 - ・溶接を行えば、母材強度より高くなるケースが多く、特にHAZ破断した場合は、そのほとんどが母材強度より高くなった。

なお、本報告は、土木学会鋼構造委員会「鋼構造物の連結に関する検討小委員会：(委員長：山口隆司)」の活動の一環で行ったものである。

[参考文献]

1) 松野正見, 南 邦明, 山口隆司：橋梁製作における溶接継手部のシャルピー衝撃値特性, 土木学会第67回年次講演会I, 2012.9.