

討11 高強度薄鋼板成形品の強度および耐久性

新日本製鐵製品技術研究所

坂本 徹

1. 緒言

高強度薄鋼板を使用する場合、強度部材として用いられるか、あるいは、板厚を薄くし重量を軽減させる目的で使用される場合がほとんどなので、ユーザーの立場からは、成形品となった場合の強度および耐久性の保証が要求される。この場合、強度としては、静的のみならず衝撃に対する変形抵抗が重視され、また、安全面からは、衝撃エネルギーの吸収能および低温での靱性も必要な要素の一つである。更に、材料継手として薄鋼板では最も一般に利用されるスポット溶接部の強度が要求され、耐久性能としては、母材および継手部の疲労強度、耐食性、ならびに塗装耐食性などが要求される。一方、材料メーカーの立場からは、これらの特性が、材料強度だけに依存するものか、あるいは、強化機構の相違にも依存するものなのかを知ることが必要となってくる。

以上の観点から、現在までに得られた諸特性に関する知見と問題点を略述することとする。

2. 成形品の強度特性

成形品の強度特性は、部品設計に利用されるので、強度特性として、 σ_y 、 σ_B のいずれが実際と合致するか、また、強度の増加によって、どの程度までの板厚の減少が可能であるかが大きな問題である。

これらを解明するために、エネルギー吸収バンパーなどを想定した角筒、および補強材を想定したハット型断面部材について、実際の衝突を想定した圧壊試験を行ない、座屈強度、衝撃変形量、エネルギー吸収量などと、材料強度、板厚の関係を求めた。その結果、次のような知見が得られた。¹⁾

- (1) 座屈強度、変形量、吸収エネルギー量などは、

$$\sigma^m t^n \quad (\sigma \cdots \text{材料強度}, \quad t \cdots \text{板厚})$$

の形で表わせる。

- (2) その場合 $n \geq 2m$ であり、板厚の寄与が大きい。(表1に結果をまとめる)
- (3) 材料強度ファクターとしての σ は、座屈強度など変形量が小さい時は σ_y が、衝撃変形量など変形量が大きい時は σ_B が効く。
- (4) 上記特性は、材料強度と板厚のみに依存し、鋼種、化学成分による差はない。

低温衝撃特性については、

ハット型断面部材での低温衝撃試験においては、 -40°C 程度までの温度では脆性破壊の心配はないと云う結果が出ているが、松藤らの深絞り加工後、2次加工をした結果では脆性割れが生じるとの報告³⁾があり、加工度が大きくなれば問題になるであろう。この性質は成分元素によって、著しい変化があることが考えられる。

表1 成形品強度特性と母材強度、板厚との関係

変形モード	強度ファクター	m	n	$\frac{m}{n}$
薄板角柱の軸方向圧縮				
静的最大変形荷重	$P \propto \sigma_{2\%}^{0.62} t^{2.0}$	0.62	2.0	0.31
静的吸収エネルギー	$Ea \propto \sigma_{5\%}^{0.84} t^{1.9}$	0.84	1.9	0.44
動的吸収エネルギー	$Ea \propto \sigma_B^{0.6} t^{2.0}$	0.6	2.0	0.3
ハット型ビームの曲げ				
静的座屈荷重	$P \propto \sigma_y t^{2.0}$	1.0	2.0	0.5
静的最大変形荷重	$P \propto \sigma_B t^{2.0}$	1.0	2.0	0.5
静的吸収エネルギー	$Ea \propto \sigma_B t^{2.0}$	1.0	2.0	0.5
動的変形量	$h \propto \sigma_B^{0.5} t$	0.5	1.0	0.5

3. スポット溶接部の強度特性

スポット溶接部の強度特性は、ナゲットの硬度、剪断引張試験、十字引張試験などで評価され、ナゲット硬度は小さいほど、また剪断、十字引張強度は大なほど好ましいとされている。これらの特性と、母材強度、化学成分との関係を求めるために、約70種の鋼塊を溶製し、1.6mm板厚の冷延鋼板として各特性値を求めた。その結果、下記のような知見が得られた。⁴⁾

- (1) ナゲットの硬度は、炭素量に大きく依存し、他の元素の影響は小さい。ナゲット硬度に寄与する炭素当量としては、

$$C_{eq} = C + \frac{1}{40} Si + \frac{1}{20} Cr$$

が成立つ、(図1) 従来のWESの炭素当量 ($C_{eq} = C + \frac{1}{6} Mn + \frac{1}{24} Si + \frac{1}{5} Cr$) と比較して、炭素の寄与率が大きいこと、Mn量に依らないことなどが特長である。

- (2) 剪断引張強度は、母材強度とはほぼ比例して増加し、化学成分、強化機構による差異は認められない。

- (3) 十字引張強度は、図2に示すように、母材強度とほとんど相関関係を示さず、母材強度を増すとかえって低くなるものが多く、高強度鋼板のメリットは無くなる。

十字引張強度は、強化機構、化学成分に影響され、固溶体強化型の材料が析出硬化型の材料に比べて良い値を示し、成分元素としては、Siの添加が好影響を与える。

- (4) 十字引張強度は、引張後の破断形態にも関係があり、図3に示すように、母材強度が増加するにしたがい、母材破断が減少し、プラグ破断、剥離破断が増加する傾向にある。

- (5) 延性比(剪断引張強度/十字引張強度)は、(2)、(3)の結果より、当然、母材強度が大になると減少する。

その他、スポット溶接条件としては、母材強度が大になるほど適正条件が狭くなること、また、加圧力を増加しなければならないことなどがわかった。

以上の結果を総合すると、炭素量を0.1%以下に抑え、固溶体強化により強度を増加させた、60キロクラスまでの高強度薄鋼板ならば、スポット溶接性についての不安は、あまりないと

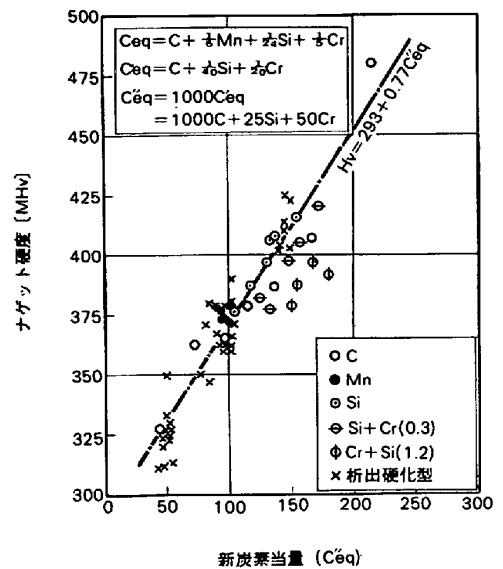


図1 新炭素当量とナゲット硬度

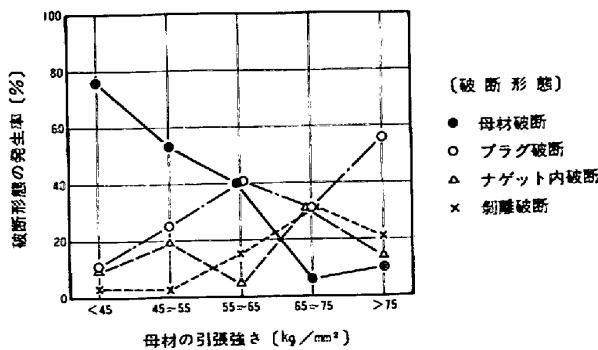


図2 母材強度と破断形態の発生率

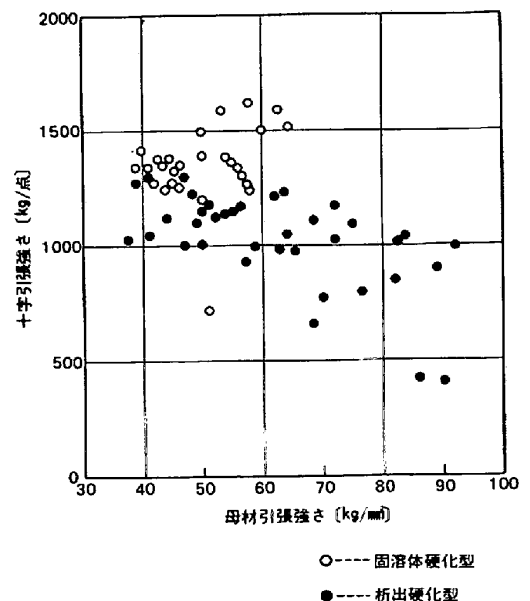


図3 母材強度と十字引張強さ

云えるが、剝離方向に力が加わらないよう設計に留意する必要がある。

4. 母材およびスポット溶接部の疲労強度

高強度薄鋼板母材の疲労限は、平面曲げ疲労試験の結果、素材引張り強さの0.4~0.6で、母材強度のみに依り、鋼種に依る差は認められない。(図4)

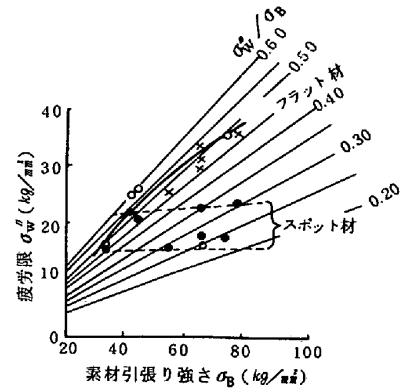


図4 素材引張り強さと疲労限

スポット溶接部の疲労強度については、試験に用いる各応力を加えた状態の、スポット溶接部近傍のひずみ分布を、ひずみゲージで測定し、ひずみがピークになった点の値を、応力に換算することにより、疲労応力を算出した。⁵⁾ そのような方法で、S-N曲線を、描いたものが図5であり、母材に比して、スポット溶接部の疲労強度は、高応力側では強いが、低応力になると逆転し、疲労限は、スポット溶接部の方が小になる。

スポット溶接部の疲労限は、母材の強度が増加しても、ほとんど増加せず(図4)、その結果、母材との疲労限の比は、図6に示すように、母材強度が増加するほど減少する。

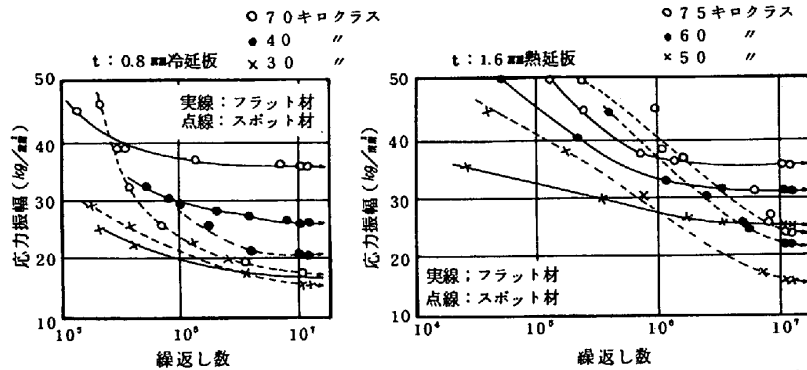


図5 母材とスポット溶接部のS-N曲線

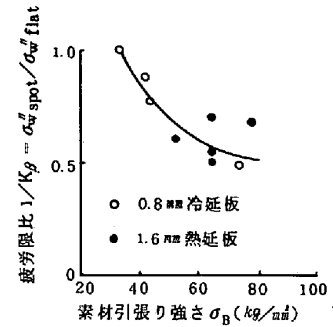


図6 素材引張り強さと疲労限比

5. 母材および塗装後の耐食性

高強度薄鋼板母材の耐食性を調査するため、

- (1) J I Sによる塩水噴霧試験(10日間)
- (2) 塩水浸漬乾燥くりかえし(3%NaCl, 昼夜交替30日間)
- (3) 硫酸浸漬(5%, 室温24時間)

を、強度成分を変化させた11種類の試料について行ない、SPCCと比較した。その結果を表2に示すが、№12のCr添加Si-Mn鋼は、塩水環境にやや良好な傾向が認められる。その他の材料については実験誤差等も見込めば、ほぼ従来の軟鋼板と大差のない腐食特性と云うことができる。

次に、自動車に高強度薄鋼板を使用することを想定して、平均的な自動車用前処理法と塗装条件に合わせ、6種類の試料について、塗装後の耐食性を調

表2 高強度薄鋼板母材の耐食性

試料番号	成分系	σ _B Kg/mm ²	塩水噴霧 10日 [mdd]	3%NaCl 30日 dip and dry [mdd]	5%H ₂ SO ₄ 24時間 g/dm ² /day
1	SPCC-比較材	30	305	156	5.0
2	Si - Mn	40	287	160	5.0
3	Si - Mn	45	314	145	7.1
4	Si-Mn (high C)	55	280	219	10.7
5	Si - Mn	50	238	139	6.1
6	Si - Mn	55	288	131	5.6
7	Si-Mn-Ti	60	280	179	6.1
8	Si-Mn-Ti	55	328	169	8.3
9	Si-Mn-Ti (high C)	60	366	192	5.7
10	Si-Mn-Nb	50	290	170	13.1
11	Si-Mn-Nb	60	282	193	8.0
12	Si-Mn-Cr	60	251	117	8.0

査した。その結果を表3に示す。

表3 高強度薄鋼板の塗装耐食性

番号	成分系	σ_B kg/cm ²	電着塗装のみ(塩水噴霧10日)				電着塗装+中塗+上塗		
			平板試料 (クロスカット)	プレス 試料 底部	スポット 溶接部	異材 接合部 (TIG)	膜厚	塩水噴霧 10日 (平板試料)	チップングテスト +塩水噴霧
1	SPPC-比較材	30	7点	8点	5点	6点	86 μ	10点	6点
2	Si-Mn-Ti	55	8	9	9	6	85	9	4
3	Si-Mn-Ti	60	5	—	—	—	78	—	4
4	Si-Mn	50	8	9	9	5	84	9	8
5	Si-Mn	55	3(プリスター多)	4	3	2	86	7	6
6	Si-Mn	45	5	—	—	—	80	—	8
7	Si-Mn	60	4(プリスター多)	—	—	—	85	—	4

備考1. 塩水噴霧試験後の評価は、発錆情況と塗膜フクレの状態から10点満点法で行なう。

2. チップングテストは一定サイズの御影石500gを2.0kg/cm²の圧力で30cm離して吹付後塩水噴霧(120時間)を行うもの。(GM方式) 10点満点法で評価。

塗装後の耐食性は、下地処理のリン酸塩皮膜の付着量に左右されることが多く、今回、耐食性が劣る結果となったものは、リン酸塩皮膜の付着量が少ないことが原因なものが多い。しかし、今回の試験結果からは、塗装耐食性が決定的に劣るものは見られない。

スポット溶接部は、加熱による酸化皮膜の影響により、リン酸塩結晶が針状で皮膜がやや薄くなるが塗装の耐食性には問題がなく、プレス成形後の試料も概して耐食性は良好である。

以上の試験結果から、通常の化学成分を有する高強度薄鋼板では、素材耐食性、塗装後の耐食性共に一般軟鋼板と比較して、ほとんど問題がないことがわかった。

6. まとめ

高強度鋼板を使用して成形構造物を製造する場合に、強度および耐久性の観点から最も留意すべきものとして次の二点が挙げられる。

1. スポット溶接部の十字引張強度および疲労強度は、母材の強度の増加に関係なく、せいぜい一般鋼なみの強度しか得られない。
2. 強度特性は、素材の強度と板厚について $\sigma^m t^n$ の形で表わすことが可能であるが、その場合の指数の比、 $\frac{m}{n}$ が、変形モードにより異なるので、成形構造物の必要とする強度特性に応じ、最も適した強度と板厚の選択を行なうことが必要である。

文献

1. T. Sakamoto, M. Kamoshida et al. Proc. of the 1974 Symposium on Mechanical behavior of Materials. (1975), Vol. 1, P.137
2. 坂本, 鴨志田, 高橋 鉄と鋼 Vol. 61 № 4 S147 (1975)
3. 松藤, 大沢, 酒匂 鉄と鋼 Vol. 61 № 12 S573 (1975)
4. 高橋, 戸来, 坂本 鉄と鋼 Vol. 60 № 11 S548 (1974)
5. 田海, 戸来, 坂本 鉄と鋼 Vol. 60 № 11 S546, S547, (1974)