建築構造用高性能 590N/mm² 鋼材 (SA440) 設計・溶接施工指針

第3版

国立研究開発法人 建築研究所 監修

2016年3月



一般社団法人 日本鉄鋼連盟

監修のことば

建築構造用高性能 590N/mm²鋼材(SA440)(以下、SA440 と略す)は、1988 年から 5 ケ年間、当時の建設省総合技術開発プロジェクト「建設事業への新素材・新材料利用技術 の開発」(以下、総プロと略す)でステンレス鋼、アルミニウム合金とともに検討材料とし て取り上げられ、設計及び溶接施工法の利用技術とともに開発された鋼材である。

昨今の建築物の大規模化、高層化に伴い、建築構造部材は、極厚大断面化が進んでおり、 より高強度の建築用鋼材の開発が必要とされていた。一方、鋼材は高強度となるほど降伏比 が高くなり、部材の塑性変形能が小さくなる。そのため、従来の高張力鋼を建築物に適用す る際には、他の部材に塑性変形能を負担させる等、建築物ごとに特別な工夫や検討が必要と なり、より一般的に建築物に使用するためには、塑性変形能や靭性に富む高張力鋼の開発が 望まれていた。

SA440は、そのニーズに応えるため最新の製造技術を駆使して新たに開発された鋼材で、 高強度にありながら低降伏比(80%以下)で、かつ、機械的性質のばらつきの小さい素材で ある。また、化学成分も溶接感受性をできるだけ抑えた組成となっており、溶接性も従来の 600N/mm²級鋼材に比べ大きく改善されており、設計・施工の両面で使いやすい鋼材となっ ている。

総プロでは、この新しい鋼材の試作材を用い設計に必要な接合、部材及び架構の構造的実 験研究並びに溶接施工に関する一連の実験を系統的に行い、「高性能鋼利用技術指針」にま とめることが出来た。

以来、1994 年 2 月着工の「クイーンズスクエア横浜・タワーB」に採用されたのを初め に個別認定による実績を重ね、1996 年 9 月その設計・溶接施工指針とともに旧建築基準法 38 条の一般認定を得た。今日、大型建築物においては、その採用の適否が必ずといってよ いほど検討されており、毎年数万¹,が採用されるまで普及が進んでいる。

本「建築構造用高性能 590N/mm² 鋼材(SA440)設計・溶接施工指針」は、前記の一般 認定を機に旧鋼材倶楽部から 1996 年 10 月に初版が発行され、その後 2004 年 8 月に改定が 行われている。この時の改定では、2000 年 6 月の建築基準法改正や溶接材料の JIS 規格改 正への対応に加え、矯正技術やスタッド溶接等の新しい情報が盛り込まれた。今回の改定は、 2000 年以降の法令等の制定・改正や溶接材料の JIS 規格改正を反映するとともに、溶接組 立箱形断面柱角継手への大入熱溶接の適用をはじめとする最新の技術知見やこれまでの施 工実績等の蓄積状況を踏まえて、必要な修正・追記が行われたものである。

本改定に際し、関係各位の弛まぬ努力に敬意を表するとともに、本指針が設計・施工及び その管理・監理の各段階の構造技術者に広く利用され、今後の鋼構造建築の発展に大きく寄 与することを期待したい。

> 2016年 3月 国立研究開発法人 建築研究所 理事長 坂本 雄三

国立研究開発法人 建築研究所 監修委員会 (2016年3月現在)

委員長	坂 本 雄	<u> </u>	理事長
委員	西山	功	理事
	向 井 昭	義	研究専門役
	長谷川	隆	構造研究グループ主任研究員
	石 原	直	建築生産研究グループ主任研究員

SA440設計・溶接施工指針改定委員会 名簿

(2016年3月現在)

(敬称略、所属毎に50音順)

委員会	氏	名	所属
委員長	一戸	康生	一般社団法人 日本鉄鋼連盟 (新日鐵住金(株))
幹 事	杉本	真 隆	一般社団法人 日本鉄鋼連盟 ((株)神戸製鋼所)
委 員	鈴木	孝 彦	一般社団法人 日本鉄鋼連盟 (新日鐵住金(株))
	廣 田	実	一般社団法人 日本鉄鋼連盟 (JFE スチール(株))
	大 竹	章 夫	ー般社団法人 鉄骨建設業協会 ((株)駒井ハルテック)
	波 川	智 明	一般社団法人 鉄骨建設業協会 (川岸工業(株))
	松下	眞 治	一般社団法人 鉄骨建設業協会
	村 井	好 範	一般社団法人 鉄骨建設業協会 (川田工業(株))
	湯 田	誠	一般社団法人 鉄骨建設業協会 (川田工業(株))
	水本	学	一般社団法人 日本溶接協会 (日鐵住金溶接工業(株))
オブザーバー	稻岡	真 也	一般社団法人 日本鉄鋼連盟 (JFE スチール(株))
	横山	幸夫	一般社団法人 鉄骨建設業協会 ((株)駒井ハルテック)
事務局	西戸	俊 彦	一般社団法人 日本鉄鋼連盟
	白鳥	研二	一般社団法人 日本鉄鋼連盟

1章	総	; 則	• 1
1.	1	適用範囲	• 1
1.	2	建築構造用高性能 590N/mm ² 鋼材の材料規格	• 1
っ音	槵	ːːːːːːːːːːːːːːːːːːːːːːːːːːːːːːːːːːːːː	· 1
2루 2	ୀ∺ 1	→	- • д
2	1	1 構造計算の適用	· 4
2.	1.	2 荷重•外力	· 4
2.	2	許容応力度、材料強度等	· 5
2.	2.	1 鋼材の許容応力度	• 5
2.	2.	2 鋼材の材料強度	• 6
2.	2.	3 支圧に関する許容応力度及び材料強度	• 7
2.	2.	4 溶接の許容応力度	• 8
2.	2.	5 溶接の材料強度	10
2.	2.	6 高力ボルト摩擦接合の許容応力度	10
2.	2.	7 高力ボルト引張接合の許容応力度	·12
2.	2.	8 破断応力度	·12
2.	3	許容応力度設計	·13
2.	З.	1 圧縮材の座屈に対する設計 	·13
2.	3.	2 曲げ材の座屈に対する設計 	·14
2.	3.	3 軸力と曲げを受ける材の設計	·15
2.	3.	4 柱ーはり接合部パネル、柱・はり等の継手の設計	·15
2.	4	ルート3の規定と保有水平耐力の計算	·16
2.	4.	1 部材の終局耐力	·16
2.	4.		16
2.	4.	1.2 囲け材のMp 0. 仮ちゃ 亚 封ちの 計算すけ	10
2.	4. 4	2 保有水平町刀の計算方法	10
2.	4. 1	3 特迫特性保致DS 2 1 様本のニンク	'18 .10
2.	4. 1	3. 1 構造の <i>) 2 9</i> 2. 2	'10 .10
2.	4. 1	3.2 肋がいの種別 3.3 柱・けりの様告ランク(坂亜麦の幅厚比)	·10
2.	ч. Л	3.4 注合部仕口部の保有耐力注合	·21
د . (-т. D 1		·21
Ć		#1.2 ~ 1111111111111111111111111111111111	·21
(3) 7	柱 - 柱継手、はりーはり継手	 -22
2.	4.	(2) 5 はりの横補剛	·22
2.	4.	 3 溶接による継手・仕口の構造方法 	·23
2.	5	ルート2の変形能力確保に関する規定	·24
2.	5.	1 筋かい架構の応力割増し	·24
2.	5.	 筋かい端部接合部 	·24
2.	5.	3 幅厚比	·24
2.	5.	4 柱-はり接合部仕口部	·24
2.	5.	5 柱-柱継手、はり-はり継手	·24
2.	5.	6 はりの横補剛	·24
2.	5.	7 溶接による継手・仕口の構造方法	·25

3章	溶	接施工	
З.	1	適用範囲	26
З.	2	溶接材料	26
З.	3	組立て溶拮	妾
З.	4	予熱 …	30
З.	4.	1 初層溶	·接時の予熱 ····································
З.	4.	2 組立て	溶接,補修溶接の予熱
З.	4.	3 溶接組	立箱形断面柱角継手サブマージアーク溶接の予熱
З.	5	溶接入熱	及びパス間温度
З.	6	歪み矯正	43
З.	7	はりの現場	易仕口溶接
З.	8	付属金物の	の溶接 ····································
З.	9	スタッド溶	接
З.	10	溶融亜鉜	ひめっき

付録(一社)日本鉄鋼連盟製品規定 MDCR 0013-2004「建築構造用高性能 590N/mm²鋼材(SA440)」

1章 総 則

1.1 適用範囲

本指針は、建築構造用高性能 590N/mm²鋼材(建築基準法第 37 条に基づく国土交通大臣認定 品)の鋼板・平鋼及びこれを溶接により組立てた部材を構造骨組或いは構造骨組の一部とする建 築物の構造設計及び溶接施工に適用する。ただし、特別の調査・研究に基づいて設計・施工を行 う場合はこの限りでない。

[解説]

本指針は、1996 年 10 月に旧(社)鋼材倶楽部から初版が発行され、その後、2004 年 8 月に改定 されたものの改定版である。

1988 年度から 5 ヵ年間に亘り旧建設省の総合技術開発プロジェクトにおいて「建設事業への新 素材・新材料利用技術の開発(委員長:白山和久 当時、工学院大学教授)」が行われた。建築構 造用高性能 590N/mm²鋼材は、本総プロで対象とされた材料の一つであり、そのプロジェクトの 中の建築部会(部会長:加藤勉 当時、東洋大学教授)・金属系分科会(分科会長:高梨晃一 当 時、東京大学教授)に設けられた高性能鋼 WG(WG長:高梨晃一 前掲)で開発が進められた。 初版は、これらの技術開発成果 ^{1,1~1,3)}の設計・溶接施工に関する部分を抽出・編集し作成された ものである。その後、建築基準法の改正や溶接材料の JIS の改正や制定もあり、それらとの整合を 図るとともに、これまでに蓄積された技術的知見を基に、内容の見直しと追加を行うこととした。

本総プロに関連した実験的研究では、建築構造用高性能 590N/mm² 鋼材の鋼板及びこれらを溶 接により組立てたH形断面材と4隅を溶接した箱形断面部材に関して所要の実験を実施したが、プ レスやロール等によって冷間加工された部材(円形鋼管を含む)については行われていない。した がって、本指針では、冷間加工された部材をその適用範囲外とし、建築構造用高性能 590N/mm² 鋼材の鋼板・平鋼、溶接組立てH形断面材及び4隅を溶接した箱形断面部材を対象としている。圧 延形鋼については、素材の化学成分と機械的性質が建築構造用高性能 590N/mm² 鋼材の規格が満 足されれば、溶接施工性、部材性能とも問題はないと考えられるので、本指針を準用してもよい。

なお、溶接時の予熱温度の緩和に対する要求の高まりや、制御圧延と制御冷却による製造プロセス(TMCP: Thermo-mechanical Control Process)の改善・改良により、溶接割れ感受性組成が低く抑えられた 590N/mm²TMCP 鋼材が開発されている。化学成分と機械的性質は規格を満足していることから、本指針を準用することができる。

1.2	建築構造用高性能 59	0N/mm²鋼材の材料規格
-----	-------------	---------------

建築構造用高性能 590N/mm²鋼材(SA440B, SA440C)は、表 1.2.1 の機械的性質及び表 1.2.2 の化学成分の規格を満足するものとする。

表 1.2.1 建築構造用高性能 590N/mm²鋼材 (SA440B, SA440C)の機械的性質に関する規格

	板 厚	引	張 討	€ 験	1)	シャルピー	厚さ方向
括 粘	t	降伏耐力1)	引張強さ	降伏比	伸び	吸収エネル	絞り ³⁾
俚积					(試験片)	ギー2)	
	mm	N/mm ²	N/mm ²	%	%	\mathbf{J}	%
S A 440 B	19 以上	440 以上	590 以上	80 N T	20 以上 (4号)	47 DI L	
S A 440 C	100 以下	540 以下	740 以下	00 K F	26 以上 (5号)	41 以上	25 以上

注記 1) 降伏耐力は、降伏点又は 0.2%耐力とする。

2) 衝撃試験は、0℃, L 方向-t/4 とする。

3) 厚さ方向の絞り特性試験は、3 個行い、個々の試験値が 15%以上、かつ、3 個の 試験値の平均値が 25%以上を合格とする。

備考 1) C 材は、JIS G 0901 による超音波探傷試験を実施し等級 Y に合格するものとする。

表 1.2.2 建築構造用高性能 590N/mm²鋼材 (SA440B, SA440C)の化学成分に関する規格 (単位: 重量%)

種 類	板厚 t(mm)	С	Si	Mn	Р	S	$\operatorname{Ceq}^{1)}$	Pcm ²⁾
S A 440B	$19 \leq t \leq 40$				0.030		0.44 以下	0.28 以下
5 A 440D	$40 \le t \le 100$	0.18	0.55	1.60	以下	0.008	0.47 以下	0.30 以下
S A 4400	$19 \leq t \leq 40$	以下	以下	以下	0.020	以下	0.44 以下	0.28 以下
5 A 440C	$40 \le t \le 100$				以下		0.47 以下	0.30 以下

注記 1) 炭素当量: Ceq = C +
$$\frac{Si}{24}$$
 + $\frac{Mn}{6}$ + $\frac{Ni}{40}$ + $\frac{Cr}{5}$ + $\frac{Mo}{4}$ + $\frac{V}{14}$ (%)

2) 溶接割れ感受性組成:

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

備考 1) 炭素当量、溶接割れ感受性組成に関しては、いずれかの項目を適用する ものとする。

2) 必要に応じて、上表以外の合金元素を添加することができる。

[解説]

建築構造用高性能 590N/mm² 鋼材には、SA440B と SA440C の 2 つの種類がある。SA440 は建築構造用高性能 590N/mm² 鋼材の総称を表す記号で、記号の数字には構造設計で基準となる降伏耐力の下限値 440N/mm² を採用している。B、C 材の区分仕様は、1993 年 3 月 の総プロ完了時にはなかったが、その後 1994 年 6 月に公示された JIS G 3136「建築構造用圧延鋼材 (SN 材)」に合わせ設けられたものである。したがって、B、C の使用区分は SN 材のそれに準ずることを意図している。

SA440B、C 材の規格は最新の製鉄工業技術をフルに活用し建築構造用鋼材として望まれる性能 を最大限に盛り込んだ形となっている。機械的性質では、降伏比の上限、降伏点の上下限、シャル ピー吸収エネルギーの規定が設けられている。調質鋼となる 590N/mm² クラスの鋼材では、従来、 降伏比が 85%以上と高くなるのが一般的であったが SA440 の降伏比は二相域での熱処理を行う ことにより 80%以下の規定を満足するようにした。製造実績での降伏比の平均的な値は約 75%と なっている。降伏点の上下限レンジは 100N/mm² と SN 材 120N/mm² より小さい。このため、 降伏点のバラツキも少なく、実績では標準偏差 σ = 20.0N/mm² の値を示している。シャルピー吸 収エネルギーは、普通鋼材より強度が大きいことを考慮して 47J 以上としている。化学成分では P, Sの不純物元素をできるだけ少なくするとともに、炭素当量(Ceq)、溶接割れ感受性組成(P см) を抑え溶接施工性を重視したものとなっている。

<1章の参考文献>

- 1.1)「建設省総合技術開発プロジェクト;建設事業への新素材新材料利用技術の開発報告書金属 系分科会」、国土開発技術研究センター、1989年3月
- 1.2)「高性能鋼利用技術指針」、建設省建築研究所、(社)鋼材俱楽部、1994年1月
- 1.3)「60キロ高性能鋼溶接施工指針」、(社)鋼材倶楽部、1993年3月

2章 構造設計

2.1 一般事項

2.1.1 構造計算の適用

建築基準法(以下、法と略す)第20条(構造耐力)第1項第一号、第二号に該当する建築 物において、建築基準法施行令(以下、令と略す)で定める技術的基準にしたがった構造計 算によって安全性の確認を行う。

「解説]

本章の構造設計では、建築基準法施行令に示されている普通鋼材の設計法に準拠して行うことを 前提として、その際必要な建築構造用高性能 590N/mm²鋼(以下 SA440 と略す)部材の設計に関 わる事項が主に記述されている。普通鋼材の設計法との整合性がとれており、その相違点は許容応 力度、材料強度と、それに関連する保有耐力接合の場合の安全率のみである。したがって、普通鋼 材との混合構造の場合も、SA440 部材に関わる事項は本章に基づき、普通鋼材に関わる事項は現 行法に基づき設計することにすれば通常の設計と同様に行うことができる。

なお、対象は高い設計強度が使用される可能性がある建築物として、法第20条第1項第一号、 第二号に該当するものである。また、その安全性の確認は、許容応力度等計算、保有水平耐力計算、 限界耐力計算、もしくは時刻歴応答解析によって行う。

2.1.2 荷重·外力

荷重・外力の種類と組合せは、令第82条から第88条、ならびに令第81条第1項第四号 に従う。

[解説]

固定荷重、積載荷重、積雪荷重、風圧力、地震力等の荷重・外力の種類、構造計算に当たっての これらの荷重・外力の組合せは、基準法施行令に従う。

2.2 許容応力度、材料強度等

2.2.1 鋼材の許容応力度

SA440の長期に生ずる力に対する許容応力度は、令第90条にしたがい、表2.2.1の数値によらなければならない。又、短期に生ずる力に対する許容応力度は、表2.2.1の数値の1.5倍とする。

許容応力度							
圧縮	引張	曲げ	せん断				
F/1.5	F/1.5	F/1.5	F∕1.5√3				

表 2.2.1 SA440 の許容応力度(長期)

表 2.2.1 において、Fは許容応力度の基準強度を表すものとし、表 2.2.2 の値とする。

表 2.2.2 SA440 の許容応力度の基準強度

品質	F
SA440B、SA440C	440N/mm ²

[解説]

SA440の機械的性質の規格は表 1.2.1 となっている。上記F値は規格の降伏耐力の下限値としたものである。図 C2.2.1 に総プロで行われた SA440の機械的性質に関する統計評価による実引張結果を示す^{2.1)}。YPは降伏耐力、TSは引張強さ、YRは降伏耐力を引張強さで除した降伏比、mは各値の平均値、s は標準偏差を表す。引張試験の標本数は 61 である。F値は、この降伏耐力に関する統計値の下限となっている。

なお、鋼材メーカー毎に国土交通省の法第 37 条に基づく大臣認定を取得しており、その際、このF値の指定を受けている。当該鋼材を使用する際には、その指定書にて、F値が 440N/mm² であることの確認が必要である。





2.2.2 鋼材の材料強度

SA440の材料強度は、令第96条にしたがい、表2.2.3の数値によらなければならない。

表 2.2.3 SA440 の材料強度

材 料 強 度						
圧 縮	引張	曲げ	せん断			
F	F	F	$F/\sqrt{3}$			

表 2.2.3 においてFは材料強度の基準強度を表すものとし、表 2.2.4 の値とする。ただし、 同表の数値の 1.05 倍以下の数値とすることができる。

表 2.2.4 SA440 の材料強度の基準強度

р П	質	F
SA440B、	SA440C	440N/mm ²

[解説]

SA440 の材料強度は、2.2.1 項と同様の形式で当該材の降伏耐力の数値となるように規定されている。

SS400 等の普通鋼材にあっては、実降伏耐力の規格値からのばらつきを考慮して、保有水平耐力を求める際にF値を 1.1 倍している。日本建築学会「鋼構造限界状態設計規準(案)・同解説」 ^{2.2}によれば、「メーカー間の生産比率を考慮し、板厚も均等に分布するとした時の分布形に修正して統計的数値をまとめ(同文献より抜粋)」たものは、 SS400 と SM400 の場合、板厚が 6mm から 40mm のもので降伏耐力の平均値は 274N/mm²、標準偏差は 35.6N/mm²、SM490 の場合、 板厚 40mm 以下のもので降伏耐力の平均値は 362N/mm²、標準偏差は 34.4N/mm²である。

保有水平耐力を求める際の材料の降伏強度として、普通鋼材で1.1F を用いることと同程度の信 頼性をSA440 を用いる場合にも付与させるものとして、上記普通鋼材の降伏強度に関する統計値 と前項の図 C2.2.1 に示した SA440 に関する統計値とから、保有水平耐力を求める際の材料強度を 求めると、その値の範囲は1.05F~1.07Fと得られる。規定の材料強度の基準強度(保有水平耐力 を求める際の鋼材の材料強度)は、以上に基づいて定めた。

なお、2.2.1 項の許容応力度と同様に、大臣認定の際、指定書にて材料強度の基準強度が指定されているので、その確認が必要である。

支圧の許容応力度

支圧の許容応力度は、平成 13 年国土交通省告示(以下、平 13 国交告のように略す)第1024 号第1にしたがい、表 2.2.5 の数値((1)項及び(3)項において異種の鋼材等が接触する場合に おいては、小さい値となる数値)とする。

表 2.2.5 支圧の許容応力度

支圧の形式		長期に生じる力に対する 支圧の許容応力度	短期に生ずる力に対する 支圧の許容応力度				
(1)	すべり支承又はローラー支 承の支承部に支圧が生ずる 場合その他これに類する場 合	1.9F	目地にたみてもにやけて				
(2)	ボルトによって接合される 鋼材等のボルトの軸部に接 触する面に支圧が生ずる場 合その他これに類する場合	$1.25\mathrm{F}$	長期に生する力に対する 支圧の許容応力度の数値 の1.5倍とする。				
(3)	(1)及び(2)に掲げる場合以 外の場合	F/1.1					
この表	この表においてFは許容応力度の基準強度の数値を表すものとし、2.2.1項による。						

支圧の材料強度

支圧の材料強度は、平13 国交告第1024 号第2 にしたがい、表2.2.6 の数値((1)項及び(3) 項において異種の鋼材等が接触する場合においては、小さい値となる数値)とする。

表 2.2.6 支圧の材料強度

	支圧の形式	支圧の材料強度			
(1)	すべり支承又はローラー支承の支承 部に支圧が生ずる場合その他これに 類する場合	2.9 F			
(2)	ボルトによって接合される鋼材等の ボルトの軸部に接触する面に支圧が 生ずる場合その他これに類する場合	1.9F			
(3)	(1)及び(2)に掲げる場合以外の場合	1.4 F			
この表においてFは材料強度の基準強度の数値を表すものとし、2.2.2項による。					

[解説]

支圧に関する許容応力度及び材料強度を定めたもので、普通鋼材に関する規定を準用している。

2.2.4 溶接の許容応力度

溶接継目ののど断面の長期に生ずる力に対する許容応力度は、令第92条にしたがい、表2.2.7 の数値によらなればならない。又、短期応力に対する許容応力度は、表2.2.7の数値の1.5 倍 とする。

表 2.2.7	溶接継目ののど断面積に対する許容応力度(長期)
12/	

継目の形式	圧縮 引張り 曲げ			せん断
突合せ		F∕1.5√3		
突合せ以外のもの	F ∕1.5√3			F∕1.5√3

表 2.2.7 において、Fは溶接部の許容応力度の基準強度を表すものとし、表 2.2.8 の値とする。

表 2.2.8 SA440 の溶接部の許容応力度の基準強度

鋼材の品質	F
SA440B、SA440C	440N/mm ²

[解説]

溶接継目の許容応力度を規定したものである。ただし普通鋼材等異なる種類又は品質の鋼材と SA440 を溶接する場合においては、接合される鋼材のF値のうち小さい値となる数値とする。

①突合せ溶接

突合せ溶接に関する研究 ^{2.3}によれば、大部分の試験体が母材で破断しており、母材以外で破断 した試験体の最大耐力も SA440 の規格引張強さを超えていたことから、SA440 の突合せ溶接で は、母材と同等程度の強度が確保できるとみなし、溶接部の許容応力度の基準強度として鋼材の規 格降伏強度を採用した。

②すみ肉溶接

すみ肉溶接に関する研究^{2.4}によれば、前面すみ肉溶接、側面すみ肉溶接、斜方すみ肉溶接の各 継手は異なる耐力を有し、それらの最大耐力 cPu は次式で与えられることが明らかにされている。

cPu=C・(のど断面積)・(溶接金属の強度) /√3・・・・・・・ (C2.2.1)

ここで、C=溶接の形状による係数 (= $\sqrt{\{\frac{2}{(1+cOS^2 \ \theta)}\}}$)、 θ =加力軸と溶接線の方向のなす角であり、側面すみ肉の場合 θ =0°、斜方すみ肉の場合 θ =30,45,60°、前面すみ肉の場合 θ =90°となっている。

図 C2.2.2 に、両面当金継手と十字継手について、上記研究における実験で得られた最大耐力 ePuと、計算による最大耐力 cPuとの比 β (=ePu/cPu)を示す。なお、図中の〇は3つの実 験値の平均を表す。同図より、両面当金継手の場合、 β は 1.0 以上となっていて、計算値 cPu が 安全側の値を与えることが分かる。十字継手の場合には、両面当金継手に比べかなり低い値を示す ものの β は 1.0 以上で安全側となる。併用継手の場合も図は省略したが、両面当金継手・十字継手 の場合と同様に β は安全側の評価となっていた。

この実験結果から、すみ肉溶接継手の短期に生ずる力に対する許容応力度は、(溶接金属の強度) の代わりに(母材のF値)とし(C2.2.1)式で与えることが可能であり、溶接の形状による係数 C(= $\sqrt{\{\frac{2}{(1+\cos^2 \theta)}\}}$)として、図C.2.2.2の両面当金継手で示すように前面すみ肉溶接の場合に1.4 を採っても安全側の評価となるが、同様なことが言える普通鋼材に対して現行の設計法で1.0 としていることから、ここでは側面と斜方すみ肉溶接の場合と同様に従来どおり1.0 のままとした。



③部分溶込み溶接

溶接組立断面材に用いられることのある部分溶込み溶接継目には、主としてせん断力が作用する。 この場合、継目の降伏耐力(Pcy)は次式で安全側に評価できることが明らかにされている^{2.5)}。

Pcy = (のど断面積)・(母材の降伏耐力) $/\sqrt{3}$ ・・・・・・・・・・・・・・(C2.2.2) 図 C2.2.3 に示すように実験の降伏耐力を計算値 (Pcy) で除した値 (α y) は安全側である1以 上の値となっている。図中、

α y=(実験の降伏耐力)/(上式による計算値で2試験体の平均)

α u= (実験の最大耐力) / (上式中、母材の降伏耐力の代わりに母材の引張 強度を代入して得た計算値で、2試験体の平均)

試験体1と2の板厚は25mm、その他の試験体の板厚は50mm である。試験体5のパス間温度は300℃、これ以外では150℃である。



図 C2.2.3 部分溶込み溶接継目のせん断降伏耐力とせん断最大耐力

2.2.5 溶接の材料強度

溶接継目ののど断面に対する材料強度は、令第 98 条にしたがい、表 2.2.9 の数値によら なければならない。

衣 2.2.9 浴传杯日ののと町山に刈りる材料油	表 2.2.9	溶接継目のの	りど断面に対する	材料強度
--------------------------	---------	--------	----------	------

総日の形式				材	料 強 度		
下止 日	<u></u> 0) Л	ク 氏	圧	縮	引張り	曲げ	せん断
穾	合	せ			F		$F/\sqrt{3}$
突合われ	±以外のもの F∕√3			$F/\sqrt{3}$			

表 2.2.9 においてFは溶接部の材料強度の基準強度を表すものとし、表 2.2.10 の値と する。ただし、同表の数値の 1.05 倍以下の数値とすることができる。

表 2.2.10 溶接部の材料強度の基準強度

鋼材の品質	F
SA440B、SA440C	440N/mm ²

[解説]

これらの値と実験値との対応は 2.2.4 項の解説を参照のこと。

2.2.6 高力ボルト摩擦接合の許容応力度

① 高力ボルト摩擦接合部の高力ボルト軸断面の長期に生ずる力に対する許容せん断応 力度は、令第92条の2にしたがい、表2.2.11の数値によらなければならない。又、その 短期に生ずる力に対する許容せん断応力度は表2.2.11の数値の1.5倍の数値とする。

種類	長期に生ずる力に対する許容せん断応力度
一面せん断	0.3 T o
二面せん断	0.6 Т о

表 2.2.11 において、To は高力ボルトの品質に応じて国土交通大臣が定める基準張力を 表すものとする。

② 高力ボルトが引張力とせん断力とを同時に受けるときの高力ボルト摩擦接合部にあっては、令第92条の2にしたがい、高力ボルト軸断面に対する許容せん断応力度は①項にかかわらず、(2.2.1)式より計算したものとしなければならない。

 $f st = f so (1 - \sigma t / To)$ (2.2.1)

ここで f st はこの項の規定による許容せん断応力度、 f so は①項内規定による許容せん断応力度、 σt は高力ボルトに加わる外力により生ずる引張応力度、 To は①項に 規定する基準張力である。

[解説]

規定①は、高力ボルト摩擦接合部のせん断に対する許容応力度を定めたものである。この許容せん断応力度は、基準張力にすべり係数に関する係数を乗じた値として与えられる。普通鋼材の高力ボルト摩擦接合部の表面処理をサンダー掛け後赤錆処理又はブラスト掛けとする場合には、表中の値は現在 0.3,0.6 である。高力ボルト摩擦接合に関する研究 2.6 によれば、図 C2.2.4 に示すように接合部鋼板の表面を、サンダー掛け後赤錆処理又はブラスト掛けした場合、すべり係数は普通鋼材の場合と同様に短期に生ずる力に対する一面せん断で 0.45 以上の値が得られることが分かった。これらに基づいて SA440 にサンダー掛け後赤錆処理又はブラスト掛けした場合にも普通鋼材のそれに準じることにした。

試験		表	面	処	理	方	法	
体名	н		板			添	え	板
1	サンダー掛け後赤錆							
2	サンダ-		ブラ	スト	掛け			
3	ブラスト掛け							



図 C2.2.4 接合部鋼材の表面処理状況とすべり係数

規定②は、高力ボルトに引張力とせん断力が同時に作用する場合の高力ボルト摩擦接合部につい て、高力ボルト軸断面に対する許容せん断応力度を規定したもので、普通鋼材の場合の式と同一で ある。文献 2.6)では、引張力とせん断力をステンレス鋼高力ボルトに同時に作用させた場合のすべ り耐力試験を行い、規定の式の適用性を確認した。この実験に用いた接合板の摩擦面の処理方法は、 中板・添え板ともサンダー掛け後赤錆処理、中板の表面処理はサンダー掛け後に赤錆処理、添え板 ではブラスト掛け後にアルミナのプラズマ溶射処理の2種類である。図 C2.2.5 左の縦軸は作用引 張力(Ts)、横軸はせん断力(Qs)をそれぞれボルト導入張力(Bo)で除した値である。図中実 線は規定の式で、実験値はいずれの表面処理の場合も安全側となっている。右図はそのすべり係数 を示す。

Ts/Bo



図 C2.2.5 引張とせん断を同時に受ける高力ボルト摩擦接合部のすべり耐力

2.2.7 高力ボルト引張接合の許容応力度

高力ボルト引張接合部の高力ボルト軸断面の長期に生ずる力に対する許容引張応力度 は、平12 建告第 2466 号にしたがい、表 2.2.12 の数値とする。又、その短期に生ずる力に 対する許容引張応力度は、表 2.2.12 の数値の 1.5 倍の数値とする。

高力ボ	ルトの品質	<u> </u>
種類	締付ボルト張力	町谷り派心刀皮
1種(F8T)	400N/mm ² 以上	$250 \mathrm{N/mm^2}$
2種(F10T)	500N/mm ² 以上	310N/mm ²

表 2.2.12 高力ボルト引張接合の許容応力度(長期)

表 2.2.12 において、1種及び2種は日本工業規格 B 1186-1995(摩擦接合用高力6角ボルト・6角ナット・平座金のセット)に定める1種及び2種の摩擦接合用高力ボルト、ナット及び座金の組合せを表わすものとする。

[解説]

普通鋼材に関する設計と変わるところはない。

2.2.8 破断応力度

筋かい端部・接合部、柱はり接合部仕口部及び柱・はり継手部を保有耐力接合とする場合の仕口・継手部の破断耐力算定において、鋼材及び溶接の破断(最大)応力度は表 2.2.13 の数値とする。

表 2.2.13	鋼材及び溶接の破断応力度	£
----------	--------------	---

品質	破断応力度	
SA440B	圧縮、引張、曲げ	せん断
SA440C	590N/mm ²	左記の値の 1/√3

[解説]

継手部等の最大耐力を求める場合に用いる鋼材及び溶接の最大応力度(破断応力度)を定めたも のである。

2.2.1 項「鋼材の許容応力度」の図 C2.2.1 に引張強度のヒストグラムを示した。上記規定の引張 に対する破断応力度の値は、このヒストグラムの下限値となっている。

2.2.4 項「溶接の許容応力度」に突合せ溶接・すみ肉溶接・部分溶込み溶接の実験結果を述べているが、いずれの溶接の場合も上記規定の母材の破断応力度以上の耐力があることが確かめられている。

2.3 許容応力度設計

2.3.1 圧縮材の座屈に対する設計

長期に生ずる力により圧縮材に生じる応力度は、平13国交告第1024号第1にしたがい、 次式により与えられる許容応力度を越えてはならない。又、短期に生ずる力に対する設計の場 合の許容応力度は、次式の数値の1.5倍とする。



[解説]

圧縮材の曲げ座屈に対する許容応力度設計を述べたものである。その場合の長期・短期の許容応 力度は上記の式により鋼種と部材の細長比に応じて与えられる。これらの式は普通鋼材に関する許 容応力度の式を準用したものである。文献 2.7) で得られた中心圧縮柱の最大圧縮耐力とこれらの 式の与える許容応力度等を比較して、図 C2.3.1 に示す。



 $[\]lambda$ cは無次元化細長比、Lは材長、rは断面の 2 次半径、 σ yは降伏点 σ maxは最大耐力、Eは弾性係数

図 C2.3.1 SA440 の中心圧縮柱の最大圧縮耐力と許容応力度等

2.3.2 曲げ材の座屈に対する設計

長期に生ずる力により曲げ材に生じる応力度は、平13国交告第1024号第1にしたがい、 次式により与えられる許容応力度を越えてはならない。又、短期に生ずる力に対する設計の 場合の許容応力度は、次式の数値の1.5倍とする。

曲げ材の種類及び曲げの形式	許容応力度(N/mm ²)
荷重面内に対称軸を有する圧延形鋼 及びプレートガーダーその他これに 類する組立材で強軸周りに曲げを受 ける場合	$F\left\{\frac{2}{3}-\frac{4}{15}\frac{\left(lb/i\right)^2}{C\Lambda^2} ight\}$ 又は $rac{89,000}{\left(rac{l_bh}{A_f} ight)}$ のうち大きい数値ただし $rac{F}{15}$ 以下。
鋼管及び箱形断面材の場合、上に掲 げる曲げ材で弱軸周りに曲げを受け る場合並びにガセットプレートで面 内に曲げを受ける場合	$\frac{F}{1.5}$
みぞ形断面材及び荷重面内に対称軸 を有しない材の場合	$rac{89,000}{\left(rac{l_bh}{A_f} ight)}$ ただし $rac{F}{1.5}$ 以下。

表 2.3.1 曲げ材の座屈に対する許容応力度(長期)

ここで、

- F 許容応力度の基準強度(N/mm²)で、2.2.1 項による。
- l_b 圧縮フランジの支点間距離(mm)
- i 圧縮フランジと曲げ材のせいの6分の1とからなるT形断面のウエブ軸周りの断 面二次半径(mm)
- C = 1.75 + 1.05 $(M_2/M_1) + 0.3$ (M_2/M_1) ² , ただし、2.3 以下

 M_2 、 M_1 はそれぞれ座屈区間端部における小さい方及び大きい方の強軸周りの曲 げモーメント。 (M_2/M_1)は複曲率の場合正、単曲率の場合負とする。区間中 間モーメントが M_1 より大きい場合はC = 1とする。

$$\Lambda$$
 限界細長比 $\left(\frac{1,500}{\sqrt{\frac{F}{1.5}}}\right)$

- h 曲げ材のせい (mm)
- A_f 圧縮フランジの断面積 (mm²)

[解説]

曲げ材の横座屈に対する許容応力度設計を述べたものである。これらの式は普通鋼材に関する許容応力度の式を準用したものである。H形断面ばりの強軸回りに曲げを受ける場合、横座屈耐力の 実験値と上記式の与える許容応力度とを比較して図 C2.3.2 に示す^{2.8)}。なお、図中横軸のiyは 弱軸回りの断面二次半径を表す。



図 C2.3.2 H形断面ばりの横座屈耐力と短期曲げ許容応力度

2.3.3 軸力と曲げを受ける材の設計

軸力と曲げを受ける部材の許容応力度設計は、普通鋼材のそれに準じて行う。

[解説]

柱など軸力と曲げを受ける部材の許容応力度設計を述べたもので、普通鋼材に関する設計方法と 変わるところはない。

2.3.4 柱-はり接合部パネル、柱・はり等の継手の設計

柱-はり接合部パネル、柱・はり等の継手の許容応力度設計は、普通鋼材のそれに準じて 行う。

[解説]

柱-はり接合部、柱・はり等の継手の許容応力度設計を述べたもので、普通鋼材に関する設計方 法と変わるところはない。

2.4 ルート3の規定と保有水平耐力の計算

2.4.1 部材の終局耐力

2.4.1.1 圧縮材の座屈耐力

[解説]

圧縮材の曲げ座屈耐力を定めたものである。中心圧縮材の最大耐力と本規定の与える座屈耐力と の比較は、2.3.1項に示す。

2.4.1.2 曲げ材のMp

架構の保有水平耐力を算出する際の全塑性モーメントは、普通鋼材に関する設計式を準 用する。この場合の鋼材のF値は 2.2.2 項の数値を用いる。

[解説]

架構の保有水平耐力を算出する際に部材耐力として用いる全塑性モーメントの計算方法を述べたものである。その数値は、普通鋼材に関する設計式(日本建築学会:鋼構造塑性設計指針2010年版」^{2,9})により算出する。

例えば、軸力と断面の強軸回りに曲げを受けるH形断面の全塑性モーメントは、(C2.4.1)式で与 えられる。

•	$N/Ny \leq Aw/(2A)$	Mpc = Mp	ſ
•	$N/Ny \ge Aw/(2A)$	Mpc = 1.14 ($1 - N/Ny$) Mp	<i>·</i> · · ·
	N: 圧縮軸力	Ny:降伏軸力	
	A:部材断面積	Aw:ウェブ断面積 Aw=(d-2・t _f)	
	Mpc : 圧縮軸力を	考慮した全塑性モーメント	Ţ
	Mp: 全塑性モー	メント	

ー様曲げを受けるはりと片曲げを受けるはりの実験値とこれらの設計 式により求めた全塑性モーメントとを比較して図 C2.4.1 に示す。図中 弱軸回りの細長比が一様曲げで58の場合と片曲げで111 の場合には、 部材の最大曲げ耐力が全塑性モーメントに達していない。これらの部 材には適切な横補剛が必要となる(2.4.3.5 項を参照のこと)。

ー定軸力を受ける柱の端部曲げモーメントの実験値と上記設計式に よる全塑性モーメントとを比較して図 C2.4.2 に示す^{2.8)},^{2.10)}。



 $\cdot \cdot (C2.4.1)$





図 C2.4.2 一定軸力を受ける柱の曲げモーメントと全塑性モーメント

2.4.2 保有水平耐力の計算方法

保有水平耐力の計算方法は、平19国交第594号第4による。

[解説]

本指針では、プレスやロール等によって冷間加工された部材(冷間成形角形鋼管、円形鋼管)を 適用範囲外としており、保有水平耐力の計算は、STKR、BCR、BCPのような固有の計算方法に よらず、普通鋼材と同様の計算方法による。

2.4.3 構造特性係数Ds

2.4.3.1 構造のランク

構造特性係数 Ds は、昭 55 建告第 1792 号第 3 に従い算出する。

[解説]

構造特性係数について述べたもので、普通鋼材に関するものと変わるところはない。

2.4.3.2 筋かいの種別

Ds 値の計算における筋かいの種別の分類は表 2.4.1 による。

表 2.4.1 筋かいの種別

ВА	BB	ВC
$\lambda \leq 495/\sqrt{F}$	$\begin{array}{rcl} 495/\sqrt{\mathrm{F}} &<\lambda &\leq 890/\sqrt{\mathrm{F}} \ & \mathbb{Z}$ は $\lambda &\geq 1980/\sqrt{\mathrm{F}} \end{array}$	$890/\sqrt{F} < \lambda \leq 1980/\sqrt{F}$

λ:有効細長比(=L/i)

 F:鋼材の材料強度の基準強度で440N/mm²
 L:筋かいの有効座屈長さ

 i:筋かいの断面2次半径

「解説]

筋かいの変形能力を細長比と関連つけてランク分けしたものである。文献 2.11) によれば、無次 元化有効細長比が同じ SS400 の筋かいと SA440 のそれとは概ね同等の塑性変形能力を有するこ とが明らかとなった。本指針では、この実験結果に基づいて普通鋼材 SS400 に関する筋かい構造 ランクを有効細長比で表し、SA440 筋かいに適用している。

2.4.3.3 柱・はりの構造ランク(板要素の幅厚比)

① Ds 値の計算におけるはりの種別は表 2.4.2 による。

表 2.4.2 はりの種別

	は	りの種別	中国	i j	厚	比
断	面	部 位	FΑ	FΒ	FC	F D
T	тщζ	フランジ	6.6	8.0	11.3	左記
	1 万乡	ウェブ	43	47	51	以外

② Ds 値の計算における柱の種別は表 2.4.3 による。

|--|

柱 0	り種別		幅	厚 比	
断面	部 位	FΑ	FΒ	FC	F D
T T IIV	フランジ	6.9	8.8	11.3	左記
ПТ	ウェブ	31	32	35	
箱形	—	24	27	35	以外

[解説]

部材の変形能力を、局部座屈の生じ易さを表すパラメータである幅厚比と関連付けてランク分け したものである。最大耐力時の変形を降伏変形で除した値(塑性率)から1を引いたものを塑性変 形倍率Rとすると、普通鋼の部材の構造ランクは、塑性変形倍率Rとおおむね次の関係を持つこと を目安として定められている。FAランクの場合R=6、FBランクではR=4、FCランクでは R=2程度である。SA440の部材の構造ランクも、この目安に従って定める。ただし、柱の場合 には最大耐力から5%減少した時点の変形を降伏変形で除した値を塑性率とした。

文献 2.12)、2.13)、2.14) によれば、普通鋼部材同様に、幅厚比の大きい領域で低い塑性変形能 力を示すものもあるが、概ね SA440 部材の塑性変形能力は、その幅厚比に

を乗じて得られる幅厚比を持つ普通鋼部材の塑性変形能力と、ほぼ等価であることが分かった。そ こで、この係数を SS400 の幅厚比制限値に乗じた数値を基に、降伏点などの材料特性値のばらつ きが普通鋼材のそれに比べて小さいことなどを考慮して、上記構造ランク毎の幅厚比を定めた。こ の制限値と実験で得られた塑性変形倍率とを比較して図 C2.4.3~5 に示す。







図 C2.4.4 H形断面柱の幅厚比と塑性変形能力





2.4.3.4 接合部仕口部の保有耐力接合

① 筋かい端部接合部

筋かい端部条件において、筋かい端部・接合部を保有耐力接合とする場合の安全率αは 表 2.4.4 の値とする。 表 2.4.4 筋かい端部・接合部を保有耐力接合とするための安全率α

作用応力	α
引張り	1.1

[解説]

筋かい端部接合部の安全率αは、材料強度のばらつき、設計用耐力式の精度及び接合部の施工信 頼性を考慮して、接合部の破断以前に筋かい軸部が降伏することを設計時に期待する係数として定 められるものである。接合部の設計用耐力式として普通鋼材に関する式を準用し、施工については 普通鋼材の場合と同程度以上の信頼性が得られるものと仮定すれば、普通鋼材と比較の上で安全率 αを決める際には、材料強度のばらつきが主たる要因となる。この場合、筋かい軸部の降伏と接合 部の破断を問題にするので、材料強度のパラメータとして、降伏比(降伏強度/引張強度)を考え ればよい。

普通鋼材 SM490 の信頼性 90%での降伏比の統計値は 0.77(日本建築学会「鋼構造限界状態設計規準(案)・同解説」^{2.2)})、降伏比の規格値は 0.66 である。これら両者の比が設計上の安全率 α に相当する。一方、SA440 の本総プロの試験体用に製造した鋼板の信頼性 90%での降伏比の統計値(件体数=61)は 0.78、降伏比の規格値は 0.75 である。

SM490 の安全率αは 1.2 であり、これとの相対値として SA440 の安全率αを定めることとす れば、1.1 (0.78/0.75=1.04 から、限られた実験結果であることと種々の不確定要因を勘案して、 1.1 と安全側に考えて) と得られる。

② 柱-はり接合部仕口部

柱・はり仕口条件において、柱-はり接合部の仕口部を保有耐力接合とする場合の安全率 αは、表 2.4.5 の値とする。

表 2.4.5 柱-はり接合部仕口部を保有耐力接合とするための安全率α

作用応力	α
曲げ	1.15

[解説]

柱-はり接合部仕口部の場合には、筋かい端部接合部の安全率を考える上での要因の他にはり端 モーメントの上昇要因が加わる。材料強度のばらつき要因は筋かい端部接合部の場合と同様であり、 その他の耐力評価式の精度・施工信頼性要因は普通鋼材の場合と同様であると考えられる。したが って、柱-はり接合部仕口部の安全率αは、歪硬化の影響によるはり端モーメントの上昇率を研究 課題「低YR-HT60を用いた柱梁溶接接合部の力学的性状」で実施した実験結果を踏まえて 1.1 程度と考え、筋かい端部接合部の安全率を前記①で丸めて定める前の数値 1.04 を用いること とすれば、1.15(1.04x1.1=1.15 から)と得られる。

③ 柱ー柱継手、はりーはり継手

柱継手部及びはり継手部を保有水平耐力接合する場合の安全率 a は、表 2.4.6 の値とする。

表 2.4.6 柱及びはり継手部を保有耐力接合とするための安全率α

作用応力	α
曲げ・せん断	1.15

[解説]

柱ーはり接合部仕口部の条件の解説に準じる。

2.4.3.5 はりの横補剛

はり条件において、はりの横補剛間隔は下記により設定する。 <主としてはり端部に近い部分に横補剛を設ける方法> 降伏モーメントが作用する領域においては、次式で示す間隔で横補剛を配置する。 この場合の曲げモーメント分布は普通鋼材に関する規定を準用する。ただし、安全率 α は 1.1 としてよい。 1b・h/Af \leq 150 かつ 1b/iy \leq 40 ・・・・・・・ (2.4.2) ここに 1b:横補剛間隔 (mm) h:はりせい (mm) Af:はりの圧縮フランジの断面積 (mm²) iy:はりの弱軸回りの断面2次半径 (mm)

[解説]

Ds 算出におけるはりの条件として、はりの横補剛が十分で急激な耐力低下のおそれをなくする ための、横補剛材を設置する間隔を定めたものである。SS400 級及び SM490 級の普通鋼材のは りに関して主としてはり端部に近い部分に横補剛材を設ける方法によれば、弱軸回り細長比(1b/ iy)の制限値 65 (SS400 級)或いは 50 (SM490 級)を満足するはりには、図 C2.4.6 (日本建 築学会「鋼構造塑性設計指針」^{2,9})に示すように、概ね塑性変形倍率R(塑性率-1)で2程度の 変形能力がある。SA440 のはりの場合にも、これらの普通鋼材のはりと同程度の変形能力を確保 することを条件とする。同図に文献 2.8) で得られた実験値をプロットする。この図から、弱軸回 り細長比(1b/iy)に関する横補剛間隔の条件を抽出したものが、規定の1b/iyの式である。断 面形を考慮する変数(1b・h/Af)では、日本建築学会「鋼構造塑性設計指針」に倣って、

(1b・h/A_f)・σy を鋼種に関係しない等価細長比として SS400 材の制限値 250 を基に、150 (250x235/440=133 から) と定めている。

はりの横補剛を検討するための曲げモーメント分布に乗じる安全率αは、はり端部での応力上昇の要因を考えなければならない。柱はり接合部仕口部の安全率αの決定に際して、接合部での応力上昇要因は安全率α=1.10に相当するとした。はりの横補剛についてもこれを準用し、安全率α=1.1とする。



日本建築学会「鋼構造塑性設計指針」 より引用。ただし、図中の■印は研究 課題「H形断面はりの横座屈耐力」の 実験結果を示す。

図 C2.4.6 はりの塑性変形倍率と弱軸回り細長比

はりの横補剛材の強度と剛性

横補剛材は適当な強度と剛性を持っている必要がある。具体的には、はり断面に生ず る曲げ応力による圧縮側合力の2%の集中横力を圧縮側フランジ位置に作用させた場合 に対して十分な強度及び、この圧縮側合力の5倍の力を横補剛区間長さで除して求めた 剛性以上の剛性を目安にすればよい。

[解説]

普通鋼材に関する設計方法と変わるところはない。

2.4.4 溶接による継手・仕口の構造方法

溶接される鋼材の種類に応じ、表 2.4.7 に示す溶接金属の性能を満足する溶接材料を 使用する。

溶接される鋼 材の種類	引張強さ (N/mm²)	降伏点又は 0.2%耐力 (N/mm ²)
SA440B SA440C	≥ 590	≧440
520N/mm ² 級	≥ 520	≥ 355
490N/mm ² 級	≥ 490	≥ 325
400N/mm ² 級	≥ 400	≥ 235

表 2.4.7 溶接金属の性能

[解説]

鋼材を溶接する場合、その部分の存在応力を伝える必要があることから、溶接される鋼材のうち、 低強度側の鋼材に要求される性能を満足する溶接材料を使用しなければならない。溶接材料はJIS でその溶着金属としての性能を規定されているが、その性能は溶接施工条件の影響を大きく受ける。 そのため、本指針では実際の溶接施工条件によって得られる溶接金属が、所定の性能を満足するよ うな溶接材料を使用することとした。

2.5 ルート2の変形能力確保に関する設計

2.5.1 筋かい架構の応力割増し

筋かい架構の応力割増は、昭55建告第1791号第2第一号による。

[解説]

本指針では、プレスやロール等によって冷間加工された部材(冷間成形角形鋼管、円形鋼管)を 適用範囲外としており、2.5.1 項から 2.5.6 項において、STKR、BCR、BCP のような固有の設計 によらず、普通鋼材に関するものと同様の設計方法による。

2.5.2 筋かい端部接合部

保有耐力接合とする。その場合の安全率αは2.4.3項による。

2.5.3 幅厚比

ルート2において柱及びはり材の局部座屈防止のために満足すべき幅厚比は表 2.5.1 に よる。

	衣 2.5.	「剄竹ワ門」	الل
部材	断面	部 位	幅 厚 比
	тт та	フランジ	6.9
柱	п л>	ウエブ	31
	箱	形	24
はり H 形	uж	フランジ	6.6
	н те	ウェブ	43

表 2.5.1 鋼材の幅厚比

2.5.4 柱-はり接合部仕口部

柱-はり仕口の接合部は保有耐力接合とする。その際、安全率αは2.4.3項による。

2.5.5 柱-柱継手、はり-はり継手

柱-柱継手、はりーはり継手は保有耐力接合とする。その際、安全率αは2.4.3 項による。

2.5.6 はりの横補剛

はりは十分な変形能力を発揮するまで横座屈を防止すること。横補剛により、はりの横 座屈を制御する場合は、保有耐力横補剛とする。その際、安全率αは2.4.3 項による。

2.5.7 溶接による継手・仕口の構造方法

溶接される鋼材の種類に応じ、表 2.5.2 に示す溶接金属の性能を満足する溶接材料を 使用する。

溶接される鋼 材の種類	引張強さ (N/mm²)	降伏点又は 0.2%耐力 (N/mm ²)
SA440B SA440C	≥ 590	≥ 440
520N/mm ² 級	≥ 520	≥ 355
490N/mm ² 級	≥ 490	≥ 325
400N/mm ² 級	≥ 400	≥ 235

表 2.5.2 溶接金属の性能

<2章の参考文献>

- 2.1) 岡田忠義 他「建築構造用 590N/mm²級高性能鋼の機械的性質に関する確率統計的評価」、構造工学論文集 Vol.40B、1994 年 3 月
- 2.2)(一社)日本建築学会「鋼構造限界状態設計規準(案)·同解説」、1990年2月
- 2.3) 森田耕次 他「高性能 60kgf/mm² 高張力鋼の完全溶込み溶接継手に関する実験」、構造工学 論文集 Vol.40B、1994 年 3 月
- 2.4)橋本健一他「60キロ級高性能鋼を用いたすみ肉溶接継手の耐力」、構造工学論文集 Vol.40B、 1994年3月
- 2.5) 森田耕次 他「部分溶込溶接継目の静的挙動に関する実験的研究 -鋼種の影響-」、構造工 学論文集 Vol.40B、1994 年 3 月
- 2.6) 井上智晶 他「建築構造用 590N/mm² 級高張力鋼の高力ボルト摩擦接合部におけるすべり耐力」、構造工学論文集 Vol.40B、1994 年 3 月
- 2.7) 高梨晃一 他「高張力鋼中心圧縮材の曲げ座屈耐力」、構造工学論文集、Vol.37B、1991 年 3 月
- 2.8) 宇田川邦明「60 キロ級高性能鋼はりの横座屈実験」、日本建築学会構造系論文集 第459 号、 1994 年 5 月
- 2.9)(一社)日本建築学会「鋼構造塑性設計指針」、2010年2月
- 2.10) 鈴木弘之 他「終局時における鋼 H 型断面柱部材の挙動及びその評価法」、構造工学論文集 Vol.39B、1993 年 3 月
- 2.11) 中島正愛 他「高性能 60 キロ鋼を用いた筋違材の復元力特性」、日本建築学会構造系論文集 第 437 号、1992 年 7 月
- 2.12) 加藤 勉 他「局部座屈に支配される H 形断面鋼部材の耐力と変形性能」、日本建築学会構造系論文集 第458号、1994年4月
- 2.13) 加藤 勉 他「高張力鋼箱形断面部材の局部座屈と変形能力」、日本建築学会構造系論文集 第 444 号、1993 年 2 月
- 2.14) 井上哲郎 他「低降伏比高張力鋼箱型断面梁およびビームコラムの終局耐力と変形能力」、 構造工学論文集 Vol.38B、1992 年 3 月

3章 溶接施工

3.1 適用範囲

- ① 本指針は、建築物及び工作物の構造上主要な部材に建築構造用高性能590N/mm² 鋼材 (SA440B,SA440C)を使用する溶接工事に適用する。ただし、特別の調査研究に基づいて 定められた施工方法を適用する場合には、この指針によらないことができる。
- ② 本指針に記載していない建築鉄骨工事に共通な事項及び標準仕様書については以下の 指針または仕様書によるものとする。
 - 日本建築学会:建築工事標準仕様書、JASS6、鉄骨工事、最新版
 - 同上 : 鉄骨工事技術指針·工場製作編、最新版
 - 同上 : 鉄骨工事技術指針·工事現場施工編、最新版
- ③ 工場製作及び現場施工は、設計図書に示された要求品質が確保されるよう管理して行う。 必要に応じ、実施工に先立ち、溶接施工試験を行う。

〔解説〕

本指針は、建築構造用高性能 590N/mm² 鋼材(以下 SA440 と称す)を鉄骨工事に使用する場合の溶接施工について、特に必要と思われる事項に関して規定したものである。

SA440 は、Ceq、P_{CM}を抑え溶接性を配慮した鋼材であるが、建築で一般的に使用される 400N/mm²、490N/mm²鋼材に比べ強度が高く、その品質確保に十分な配慮が必要である。そのた め、設計者は、設計図書の作成に際し、確保すべき品質を仕様書として明記するとともに製作工場 及び現場施工業者の管理能力・技術能力のレベルを指定する。工事監理者は、その仕様を十分に理 解し、施工業者の作成する工場製作及び現場施工要領書の承認を行う。その際、施工業者の経験の ない加工組立方法や特殊な部位に対しては、予め施工試験を実施し、本章に示される性能を満足す ることを確認しておくこととする。

3.2 溶接材料

\bigcirc	溶接材料は、	表 3.2.1 に示す液	容接金属の要求性	生能を満足するものを使用~	する。			
表 3.2.1 溶接金属の要求性能								
引張性能								
		溶接部位	引張強さ (N/mm²)	降伏点又は 0.2%耐力 (N/mm ²)				
		溶接組立箱形 断面柱角継手						
		ダイアフラム 仕 ロ	≥590	≥ 440				
		突合せ隅肉	_					
(注)1 思毎継手の提合の引進歴史は一任強度側の坦定値を適用する								

(注) 1.異種継手の場合の引張性能は、低強度側の規定値を適用する。 2.衝撃性能は、3.5項「溶接入熱」表 C3.5.1 を参照。 ② 溶接材料は、原則として、溶接施工条件などに応じ表 3.2.2 に示す JIS 規格品から選定する。

規 格	名称及び種別
JIS Z 3211	軟鋼、高張力鋼及び低温用鋼用被覆アーク溶接棒
$\rm JIS~Z~3312$	軟鋼,高張力鋼及び低温用鋼用のマグ溶接及びミグ溶接ソリッドワイヤ
JIS Z 3313	軟鋼、高張力鋼用及び低温鋼用アーク溶接フラックス入りワイヤ
JIS Z 3183	炭素鋼及び低合金鋼用サブマージアーク溶着金属の品質区分
JIS Z 3351	炭素鋼及び低合金鋼用サブマージアーク溶接ソリッドワイヤ
JIS Z 3352	サブマージアーク溶接用フラックス
$\rm JIS~Z~3353$	軟鋼及び高張力鋼用のエレクトロスラグ溶接ワイヤ及びフラックス
③ 表3.2.2以	外の溶接材料を用いる場合は、原則として施工試験を実施しなければならない

表 3.2.2 溶接材料規格及び関連規格

〔解説〕

① 溶接金属の要求性能は、母材及び溶接継手部の要求性能を考慮して決定した。

② SA440 用の溶接材料は、表 3.2.2 の中から表 C3.2.1 に示す品質区分のものを選定する。それ らの溶着金属の機械的性能規格を、表 C3.2.2 に示す。

また、低強度の 400N/mm² 及び 490N/mm² 級鋼材などとの異種継手においては、低強度側の規格値を満足する溶接材料を使用することができる。

溶接方法	溶接材料規格及び関連規格	品質区分及び種類 *1
被覆アーク 溶接	IIC 7 2211	E5916-XXX, E5918-XXX E5916-XXXU, E5918-XXXU
		E59J16-XXX, E59J18-XXX E59J16-XXXU, E59J18-XXXU
	溶接棒	E6216-XXX, E6218-XXX
	JIS Z 3312	G59A1CXX ^{*2} , G59A1MXX ^{*3} G59A1UCXX ^{*2} , G59A1UMXX ^{*3}
ガスシールド アーク溶接	軟鋼,高張力鋼及び低温用鋼用のマグ溶接 及びミグ溶接ソリッドワイヤ	G59JA1CXX* ² , G59JA1MXX* ³ G59JA1UCXX* ² , G59JA1UMXX* ³
	JIS Z 3313	T591Tx-yCA-XXX ^{*2} T591Tx-yMA-XXX ^{*3}
	軟鋼、高張力鋼及び低温用鋼用アーク溶接	T591Tx-yCA-XXX-U [*] 2 T591Tx-yMA-XXX-U [*] 3
		T59J1Tx-yCA-XXX ^{*2} T59J1Tx-yMA-XXX ^{*3}
		T59J1Tx-yCA-XXX-U ^{*2} T59J1Tx-yMA-XXX-U ^{*3}
サブマージ アーク溶接	JIS Z 3183 炭素鋼及び低合金鋼用サブマージアーク 溶着金属の品質区分	S621-HX, S622-HX S623-HX, S624-HX
エレクトロ スラグ溶接	JIS Z 3353 軟鋼及び高張力鋼用のエレクトロスラグ 溶接ワイヤ及びフラックス	YES601, YES602, YES600

表 C3.2.1 溶接材料規格と品質区分及び種類

- *1 X は溶着金属の化学成分を示す。
- *2 炭酸ガス用ワイヤ
- *3 アルゴンー炭酸ガスの混合ガス用ワイヤ
- *4 フラックス入りワイヤの品質区分について、「Tx」は、シールドガスの有無,電流の種類及び フラックスタイプの使用特性の記号を示す。(例:「T1」:シールドガスあり,DC(+),ルチー ル系)また「y」は、適用溶接姿勢の記号を示す。(「0」:下向及び水平すみ肉,「1」:全姿勢)

			引張性能		衝擊性能		
溶接方法	品質区分 *1	引張強さ	降伏点 又は	伸び	温度	シャルビー	
		(N/mm²)	0.2%耐力 (N/mm²)	(%)	(°C)	(J)	
	E5916-XXX					97 D. F	
	E5918-XXX	590 以上	490 以上	16以上	-20		
	E5916-XXXU	000001	100001	10.011	_ •	47 以上	
	E5918-XXXU					-	
	E39510-AAA E59.118-XXX					27 以上	
被復アーク浴接	E59J16-XXXII	590 以上	500 以上	16 以上	-5		
	E59J18-XXXU					47 以上	
	E6216-XXX						
	E6218-XXX				-20	27以上	
	E6216-XXXU	620以上	530以上	15 以上			
	E6218-XXXU					47 以上	
	G59A1CXX *2		490以上	16 D F		97 PL L	
	G59A1MXX *3	500~700			E	21 以上	
	G59A1UCXX *2	590,~790		10 以上	-0		
	G59A1UMXX *3					47 以上	
	G59JA1CXX *2	$590 \sim 790$	500 以上	16 以上	-5	27 D/ F	
	G59JA1MXX *3						
ガスシールド	G59JA1UCXX *2	000 100				47 D. F	
アーク溶接 *4	G59JA1UMXX *2					47 め上	
	T591Tx-yCA-XXX $*^2$			16 以上	-5	27 以上	
	T591Tx-yMA-XXX ^{*3}	$590 \sim 790$	490 以上			-	
	T591Tx-vMA-XXX-U *3				-5	47 以上	
	T59J1Tx-yCA-XXX *2				-5	97 D. F	
	T59J1Tx-yMA-XXX *3	$590 \sim 790$	500以上	16 以上	0	21 次上	
	T59J1Tx-yCA-XXX-U		· · · · · · · ·		-5	47 以上	
	S621-HX					27 じょト	
サブマージ	S622-HX				-5	47以上	
アーク溶接	S623-HX	610以上	500以上	17 以上		27 以上	
	S624-HX				-20	47 以上	
	YES601				_	27 以上	
エレクトロ フラガぶ埣	YES602	590 以上	450 以上	20 以上	-5	40 以上	
人フク浴接	YES600				—	_	

表 C3.2.2 溶着金属の機械的性能の JIS 規定値

*1 Xは溶着金属の化学成分を示す。

*2 炭酸ガス用ワイヤ

*3 アルゴンー炭酸ガスの混合ガス用ワイヤ

*4 フラックス入りワイヤの品質区分について、「Tx」は、シールドガスの有無,電流の種類及び フラックスタイプの使用特性の記号を示す。(例:「T1」:シールドガスあり,DC(+),ルチー ル系)また「y」は、適用溶接姿勢の記号を示す。(「0」:下向及び水平すみ肉,「1」:全姿勢)

3.3 組立て溶接

- 組立て溶接はガスシールドアーク溶接か、低水素系溶接棒による被覆アーク溶接に よって行う。
- ② 組立て溶接のビード長さ、脚長及びピッチは表 3.3.1 の通りとする。

表 3.3.1 組立て溶接のビード長さ、脚長及びピッチ

ビー	ド長さ	50mm 以上
脚	長	6mm 以上
ビード	ピッチ	400mm 程度を標準とする

③ 組立て溶接の溶接位置は工作上問題となる箇所は避ける。

④ 組立て溶接は必要に応じ適正な予熱管理を行う。

⑤ 溶接材料は 490N/mm² 級を使用することができる。

⑥ 組立て溶接工は本溶接と同様に有資格者であることが必要である。

〔解説〕

組立て溶接は組立部材の形状を正しく保ち、構造物の精度を確保するために部材の適切な箇所を 固定する断続溶接である。

比較的短い溶接を行うために溶接部が急熱急冷されて硬化し、溶接割れが発生し易く、溶接材料の選定、予熱管理及びビード長さ・脚長・ピッチ管理が重要となる。組立て溶接が終わったら 必ずスラグを除去し、欠陥の有無を確認する必要がある。組立て溶接のビード長さは、従来の鋼 材については板厚 6mm 以下は 30mm、6mm を超える場合は 40mm としている(JASS6) が、 SA440 の場合は対象部材厚が厚くなることが多いため 50mm 以上とした。

また、本溶接が大入熱の場合はビード長さもできるだけ長くし、脚長も大きくしないと溶接割 れが生ずる恐れがある。一方、溶接ピッチは従来同様 400mm 程度を標準とするが、組立上問題が ある場合は更に密にする必要がある。

組立て溶接の溶接位置は工作上問題となる箇所は避けなければならない。特に、開先内での組立 て溶接は避けなければならないが、避けられない場合は本溶接で再溶融し欠陥が残らないようにす るか、あるいは本溶接前にグラインダーやアークエアガウジングで組立て溶接のビードを除去して おくことが重要である。

組立て溶接の予熱は、3.4 項「予熱」の解説を参照し、適正な管理を行わなければならない。

3.4 予熱

3.4.1 初層溶接時の予熱

- ① SA440の溶接施工では、溶接割れ防止が重要な課題であり、鋼材の化学成分組成、板厚、 継手形状、溶接方法、使用する溶接材料の種類及び気温、天候等に応じて、必要とする 予熱を行わなければならない。
- ② SA440の一般的予熱温度の目安は、表3.4.1による。ただし、予熱温度の確認試験等を行った場合はこの限りではない。

板厚 t(mm) 溶接法	$19 \leq t \leq 50$	$50 < t \leq 75$	$75 < t \leq 100$
被覆アーク溶接(低水素系)	100°C以上	100°C以上	125℃以上
炭酸ガスシールドアーク溶接 *	60°C以上	80°C以上	100℃以上
サブマージアーク溶接	60°C以上	80°C以上	100℃以上
エレクトロスラグ溶接	_	_	_

表 3.4.1 本溶接における一般的予熱温度

- (*) フラックス入りワイヤによる炭酸ガスシールドアーク溶接の予熱温度は被覆アーク溶接に準じる。
- ③ 気温が5℃以下になる恐れがある場合、被覆アーク溶接、炭酸ガスシールドアーク溶接では、表3.4.1の値よりも25℃高い予熱温度を適用する。気温が-5℃未満となる場合は溶接を行わない。
- ④ 予熱方法は、電気抵抗加熱法、赤外線電気ヒーター、固定バーナー、手動バーナーなどによる。また、バーナーで予熱する場合は、開先部を直接加熱してはいけない。予熱範囲は、溶接線の両側10cmを最小範囲とし、予熱温度の測定は、表面温度計または温度チョークを用いて、溶接線から5cm離れた位置で行う。

〔解説〕

溶接割れを防止する方法として予熱は非常に有効な手段である。溶接割れの発生は、鋼材の化学 成分組成、溶着金属の水素量、継手の拘束度に大きく影響を受ける。従って、割れ防止のための適 切な予熱温度は、鋼材の化学成分組成、板厚、継手形状、継手長さ、溶接方法、使用する溶接材料 の種類及び気温、天候等に応じて、種々の組合せ条件毎に決定すべきである。しかし、それらを全 て網羅するのは並大抵のことではないので、ある程度の安全代を見込んで、SA440の一般的予熱 条件の目安を設定したのが、表 3.4.1 である。

板厚が大きく継手の拘束度が高いほど、低温割れを引き起こす拡散性水素が多いほど、低温割れ が発生しやすい。そのため、各溶接法で、板厚が大きいほど予熱温度が高くなるように設定されて いる。ソリッドワイヤを用いる炭酸ガスシールドアーク溶接に対し、被覆アーク溶接やフラックス 入りワイヤでは侵入水素量が多くなる傾向にあり、割れの危険性は高い。一方、サブマージアーク 溶接では、侵入水素量は多くなるが、溶接入熱量が大きく、低温割れが生じる温度域までの冷却時 間が長くなって拡散性水素が放出されることから、割れの危険性は炭酸ガスシールドアーク溶接と 同等とみなせる。さらに入熱の大きなエレクトロスラグ溶接では、十分な放出時間が得られること から、予熱は不要と考えられる。これら各溶接法の特徴を踏まえて表 3.4.1 は設定された。ただし、 開先内の油や水分の除去、フラックスの乾燥やワイヤの錆発生防止等が適切に行われていることが 前提である。

表 3.4.1 によらず、適切な予熱温度を確認する方法として、最も一般的に行われているのが、y

形溶接割れ試験(JIS Z 3158)である。これは、図 C3.4.1 に示す試験体を実施工に使用する鋼材 を用いて製作し、予熱温度をパラメータにして実施工での溶接材料及び施工条件で溶接を行い、溶 接後の割れの有無を確認するものである。割れは溶接の熱収縮に対する拘束が大きいほど生じやす い。鉄骨製作時とy形溶接割れ試験とを比較すれば、前者の方が拘束は小さいことから、割れが生 じない試験温度を予熱温度として設定することができる。なお、前述と同様に、サブマージアーク 溶接の必要予熱温度は、フラックスの乾燥等の適切な施工管理の下で、炭酸ガスシールドアーク溶 接と同じとしてよい。



図 C3.4.1 JIS Z 3158 y形溶接割れ試験方法

図 C3.4.2 は、鉄骨製作時に行われた SA440C での y 形溶接割れ試験の結果で、試験温度を縦軸 に、鋼材の溶接割れ感受性組成 Pcmを横軸にとり、割れが生じた結果を▲で、生じなかった結果を ○で示している。いずれも、ソリッドワイヤを用いた炭酸ガスシールドアーク溶接、溶接入熱量≒ 17kJ/cm、雰囲気温度 0℃で溶接を行っている。図から、温度が低く Pcm が高い範囲において割れ が生じているが、Pcm が低い材料を用いることで、表 3.4.1 に示された予熱温度を低減できること がわかる。



図 C3.4.2 SA440C y形溶接割れ試験結果(Pcm)

(一般社団法人鉄骨建設業協会提供:調査期間 2001~2013 年、調査鋼材 24、板厚:22~100mm)

у形溶接割れ試験によらず、使用する鋼材や溶接材料、溶接施工条件から、低温割れ防止予熱温度を推定する方法も提案されている。一つは鋼材の溶接割れ感受性組成 Рсм を用いた方法で、Рсм に溶着金属の拡散性水素量と継手の拘束度の影響を考慮したパラメータ Рw から、必要予熱温度を 推定するもの(Pw による方法^{3.2)})である。もう一つは、この化学組成、水素量、拘束度に加え て、さらに溶接入熱量と溶接金属の強度の影響を考慮した方法(CEN による方法³⁴⁾)である。 いずれも、初層溶接時の鋼材の溶接熱影響部(以下、HAZ と略す)の低温割れを対象とし、y形 溶接割れ試験の結果に基づいて構築されたものである。溶接金属での割れは、Pw による方法、な らびに CEN による方法では、いずれも適用範囲外であるが、SA440以下の強度クラスでは HAZ 割れが支配的になると考えてよい。また、y 形溶接割れ試験の時に行われる開先内の油や水分の除 去、フラックスの乾燥やワイヤの錆発生防止等の施工管理が、実施工においても行われることが前 提となる。以下に例をあげて各々の推定方法を紹介する。

Pwによる方法^{3.2)}

日本鋼構造協会工作基準小委員会溶接割れ研究班の「鋼構造物におけ溶接割れ防止のための予熱 温度の選定」に関する共同研究により確立された方法で、溶接割れ防止予熱温度(T_o)と、鋼材の 化学組成(P_{CM})、溶着金属の水素量(H)、継手の拘束度(K)の定量的関係式を実験的に求め、 下式のように与えている。

$$T_{\circ} = 1440 Pw - 392 (°C)$$

$$Pw = P_{CM} + H/60 + K/40000 (%)$$

$$P_{CM} = C + Si/30 + Mn/20 + Cu/20 + Ni/60 + Cr/20 + Mo/15 + V/10 + 5B (%)$$

$$H : 溶着金属の拡散性水素量 (グリセリン法) (ml/100g)$$

$$K : 継手の拘束度 (kg/mm \cdot mm)$$

$$\int K = 40 \times t (t : 板厚 \le 50 mm)$$

$$K = 2000 (板厚 > 50 mm)$$

図 C3.4.2 に示される実測例のように、実構造物における溶接継手の拘束度Kは板厚 t の 40 倍より小さいものと考えられ、建築鉄骨では K=40×t (板厚の 40 倍)とすれば十分安全側の設定になる。





次に予熱温度の推定手順を紹介する。

- 1) 例として取り上げる前提条件は次の通りとする。
 - a) 対象板厚(t):50mm
 - b) 化学成分:

(単位:%) С Сr V Si Сu Νi Мo Мn 0.210.13 0.24 1.450.20 0.06 0.180.04

c) 溶接方法:ソリッドワイヤを使用した炭酸ガスシールドアーク溶接

d) 溶着金属の拡散性水素量H:0.6ml/100g(グリセリン法による数値で、ガスクロマトグ ラフ法では約3.0ml/100gに相当する。JIS Z3118:2007、附属書JB参照。)

e) 継手の拘束度K: 2000kg/mm·mm (K=40×板厚50mm)

2) 鋼材の化学成分値からPcMを計算し、PcM、H、Kを用いてPwを計算する。 $P_{CM} = C + Si/30 + Mn/20 + Cu/20 + Ni/60 + Cr/20 + Mo/15 + V/10 + 5B$ (%) (%) $P_{W} = P_{CM} + H/60 + K/40000$

なお、Pw値を計算するときはPw式の各項について小数点以下4桁目を4捨5入し、 少数点以下3桁として、その合計を求めればよい。

- 1)の前提条件からPcm及びPwを計算すると、
 - Р см=0.243 %
 - Pw = 0.303 %となる。
- 3) Pw=0.303 %から溶接割れ防止予熱温度T。を推定すると、44℃と与えられる。

割れ防止予熱温度と板厚の関係については、日本鋼構造協会工作基準委員会極厚高張力鋼溶接研 究班の研究結果として、y形溶接割れ試験で同一鋼板を減厚により板厚 20~150mm まで変化さ せた場合の割れ防止予熱温度と板厚の関係が報告されている^{3.3)}。その結果によれば、SM490、 HT780 のいずれも、板厚が 50mm を超えると割れ防止予熱温度はほぼ一定になっている。また、 日本溶接協会の WES 3001 規格にも、種々の成分での厚肉材の y 形溶接割れ試験の結果が示され ており、板厚 75mm 以上の厚肉材の割れ防止予熱温度は、板厚 40mm として計算した結果とほぼ 一致している。このことからPwの方法では、板厚が 50mm を超える場合には板厚 50mm の拘束 度としているが、いずれもy形溶接割れ試験の拘束度での結果である。建築鉄骨の場合、板厚が 50mm を超える時の拘束度は、板厚 50mm での拘束度と等価ではなく、板厚増大に伴いやや上昇 傾向にあると言われており、溶接割れに対する安全性を重視する必要のある場合には、さらに高い 予熱温度とすることが望ましい。

(2) CENによる方法^{3.4)}

百合岡等により提案されている炭素当量(CEN)をベースにした割れ防止予熱温度の決定方法 で、その手順は図 C3.4.4 に示す通りである。予熱温度の推定は基本的には多くの実験から求めら れた y 形溶接割れ試験結果とCEN値の関係を利用して行っている。



図 C3.4.4 割れ防止予熱温度の決定手順

なお、以下の説明では、文献 3.4)にしたがい「溶接金属の拡散性水素量」としている。それを、 前述のPwによる方法のように、溶着金属の拡散性水素量とすれば、予熱温度を高めに評価する結 果となる。

1) 例として取り上げる前提条件は、次の通りとする。

a)対象厚板:50mm

b)化学成分:

~~~···································						× I I-	· /0/
С	Si	Mn	Cu	Ni	Cr	Mo	V
0.13	0.24	1.45	0.21	0.20	0.06	0.18	0.04

(単位・%)

c)溶接方法:ソリッドワイヤを使用した炭酸ガスシールドアーク溶接

d)溶接入熱: 30kJ/cm

e)溶接金属拡散性水素量: 3.0ml/100g(ガスクロマトグラフ法による)
 f)溶接金属の公称降伏応力: 550N/mm²

2) 鋼材の化学成分値から、次式によりCEIIW及びCENを計算する。

 $C E_{IIW} = C + Mn/6 + (Cu + Ni) /15 + (Cr + Mo + V) /5$ 

 $C \in N = C + A(C) \{Si/24 + Mn/6 + Cu/15 + Ni/20 + (Cr + Mo + Nb + V)/5 + 5B\}$ 

ただし、A(C)=0.75+0.25·tanh {20(C-0.12)}

係数A(C)の計算が煩わしい場合は、表 C3.4.1 を利用すればよい。

本例では、CEIIW 及びCENを計算すると、CEIIW=0.46%、CEN=0.39%となる。

3) 継手の溶接条件から溶接入熱量を計算して、図 C3.4.5 によりCEN値を補正する。本例で は、溶接入熱量 30kJ/cm だから、△CEN_{H1}=-0.05%となる。 4) 溶接材料や開先等から入ってくる溶接金属拡散性水素量により、図 C3.4.6 を用いてCEN を補正する。本例では、溶接金属の拡散性水素量を 3.0ml/100g としたから、△CEN_{HDM} = -0.05%となる。

Carbon				1				·	1	1
Contents	0	0.001	0.002	0.003	0.004	0.005	0.006	0.007	0.008	0.009
(%)										1
0.00	0.504	0.504	0.504	0.505	0.505	0.505	0.505	0.505	0.506	0.506
0.01	0.506	0.505	0.507	0.507	0.507	0.507	0.507	0.508	0.508	0.509
0.02	0.509	0.509	0.509	0.510	0.510	0.511	0.511	0.512	0.512	0.513
0.03	0.513	0.514	0.514	0.515	0.516	0.516	0.517	0.517	0.518	0.519
0.04	0.519	0.520	0.521	0.522	0.523	0.524	0.525	0.526	0.527	0.528
0.05	0.529	0.530	0.531	0.532	0.533	0.535	0.536	0.537	0.539	0.540
0.06	0.542	0.543	0.545	0.546	0.548	0.550	0.552	0.554	0.556	0.558
0.07	0.560	0.562	0.564	0.566	0.569	0.571	0.573	0.576	0.579	0.581
0.08	0.584	0.587	0.590	0.593	0.596	0.599	0.602	0.605	0.609	0.612
0.09	0.615	0.619	0.623	0.627	0.631	0.634	0.638	0.642	0.647	0.651
0.10	0.655	0.659	0.664	0.668	0.673	0.677	0.682	0.686	0.691	0.696
0.11	0.701	L.705	0.710	0.715	0.720	0.725	0.730	0.735	0.740	0.745
0.12	0.750	0.755	0.760	0.765	0.770	0.775	0.780	0.785	0.790	0.795
0.13	0.799	0.804	0.809	0.814	0.818	0.823	0.827	0.832	0.838	0.841
0.14	0.845	0.849	0.853	0.858	0.862	0.866	0.869	0.873	0.877	0.881
0.15	0.884	0.888	0.891	0.895	0.898	0.901	0.904	0.907	0.910	0.913
0.16	0.916	0.919	0.921	0.924	0.927	0.929	0.932	0.934	0.936	0.938
0.17	0.940	0.942	0.944	0.946	0.948	0.950	0.952	0.954	0.955	0.957
0.18	0.958	0.960	0.961	0.963	0.964	0.965	0.967	0.968	0.969	0.970
0.19	0.971	0.972	0.973	0.974	0.975	0.976	0.977	0.978	0.979	0.980
0.20	0.980	0.981	0.982	0.983	0.983	0.984	0.984	0.985	0.986	0.986
0.21	0.987	0.987	0.988	0.988	0.989	0.989	0.989	0.990	0.990	0.991
0.22	0.991	0.991	0.991	0.992	0.992	0.992	0.993	0.993	0.993	0.994
0.23	0.994	0.994	0.994	0.994	0.995	0.995	0.995	0.995	0.996	0.996
0.24	0.996	0.996	0.996	0.996	0.997	0.997	0.997	0.997	0.997	0.997
0.25	0.997	0.997	0.997	0.997	0.998	0.998	0.998	0.998	0.998	0.998
0.26	0.998	0.998	0.998	0.998	0.998	0.998	0.998	0.999	0.999	0.999
0.27	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999
0.28	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999
0.29	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.30	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

表 C3.4.1 A(C)=0.75+0.25・tanh {20(C-0.12)}の計算値



図 C3.4.5 溶接入熱量によるCENの補正

図 C3.4.6 溶接金属拡散性水素量によるCENの補正

- 5) 以上の結果より、補正後のCEN=元々のCEN+CEN_{HI}+△CEN_{HDM}となる。補正後のCENを用いて、図 C3.4.7 により y 形溶接割れ試験での割れ防止予熱温度を求める。本例では、補正後のCEN=0.39-0.05-0.05=0.29%となるから、 y 形溶接割れ試験での割れ防止予熱温度は 44℃となる。
- 6) 最後に、y形溶接割れ試験での割れ防止予熱温度をベースに、実際の溶接施工に必要な予熱温度、あるいは補修溶接に必要な予熱温度を、溶接金属の公称降伏応力レベルに応じ、図C3.4.8 により補正して求める。本例では、溶接金属の公称降伏応力が 550N/mm² であるから、y形溶接割れ試験での割れ防止予熱温度より、通常溶接で 37℃、補修溶接で 12℃低減できることになり、最終的な必要予熱温度は、通常溶接で 7℃、補修溶接で 32℃となる。



図 C3.4.7 CENとy形溶接割れ限界予熱温度

図 C3.4.8 溶接金属の公称降伏応力による 予熱温度の補正

#### 3.4.2 組立て溶接,補修溶接の予熱

組立て溶接、補修溶接での予熱温度は、3.4.1 項で与えられる数値より25℃高い温度と する。ただし、予熱温度の確認試験等の検討を行った場合はこの限りではない。

「解説]

組立て溶接、補修溶接は、溶接ビード長が短い場合が多いなど、一般に入熱量が少なく、急熱、 急冷されやすい。このため、予熱を行う場合は本溶接よりも1段階高い温度で行うこととし、その 温度差は、y形溶接割れ試験における温度差を参考に25℃とした。

#### 3.4.3 溶接組立箱形断面柱角継手サブマージアーク溶接の予熱

大入熱角継手サブマージアーク溶接の施工においては、鋼材や溶接材料の種類、積層方法 に応じて、溶接部からの拡散性水素の放出を促進させるために予熱等の処置を行う。ただし、 溶接部に侵入する水素源を極力除去する施工管理を行う場合は、その処置を省略できる。

〔解説〕

溶接組立箱形断面柱の角継手溶接は、焼成型フラックスを用い比較的入熱量の大きいサブマージ アーク溶接で施工されることが多い。この場合、使用するフラックスに含まれる水素量に起因して、 ごく希ではあるが溶接部の近傍に割れ等の微小欠陥が発生することがある。490N/mm²級鋼材と鉄 粉入りフラックスを使用した角継手で、母材熱影響部、場合によっては母材部にかけて水素の関与 による微小欠陥が発生した事例^{3.5)}や、最近の研究で大入熱サブマージアーク溶接材料を多層盛り 溶接した際に溶接金属内の水素脆化により、その部位の引張強度が不足した事例^{3.6)}がある。いず れも冷却過程で母材熱影響部や、鋼中の介在物近傍、あるいは多層盛り溶接金属に水素が集積した ことにより発生したものと考えられる。

これらを防止するためには、100~150℃の予熱や、直後熱などの処置^{3.6)}を行って、溶接部及び その近傍の母材を含めた部位で、拡散性水素の放出を促進させる必要がある。しかしながら、溶接 組立箱形断面柱の角継手では、溶接線が長く、ライン化された溶接装置が用いられることから、予 熱等を行うには大掛かりな設備と多大な時間を要する。そこで、このような場合には、下記の項目 の溶接施工管理を徹底し、溶接部に浸入する水素源を極力除去することにより、予熱等の処置を省 略できることとした。その際には、使用する母材や溶接材料の実態に合わせた確認試験を実施する 必要がある。

<溶接施工管理項目>

(1) 開封後の未使用フラックスの再乾燥

再乾燥条件としては、基本的には 200~ 350℃、1時間以上、フラックスの温度むらを生じないこととするが、実施に際しては、溶材メーカー技術資料を参考にする。

(2) 開封後、大気中に放置したフラックスの再乾燥

その条件は(1) に準拠するが、放置時間等についても溶材メーカー技術資料を参考とする。 (3) 開先及び周辺の水分、錆等、水分源の除去

- (4) 水冷治具等の結露防止対策の徹底

溶接部位	溶接方法	入熱 (kJ/cm)	パス間温度 (℃)
	サブマージアーク溶接	$\leq 650$	$\leq 250$
俗按祖立相形	ガフシールドアーカ波埣	$\leq$ 30	$\leq 350$
例面性角胚于		$\leq$ 40	$\leq 250$
ダイアフラム	ガスシールドアーク溶接	$\leq$ 30	$\leq 350$
		$\leq$ 40	$\leq 250$
	エレクトロスラグ溶接	$\leq 1000$	_
	ガスシールドアーク溶接	$\leq$ 30	$\leq 350$
11. H		$\leq$ 40	$\leq 250$
	サブマージアーク溶接	$\leq 200$	$\leq 250$
突合せ	ガスシールドアーク溶接	$\leq$ 30	$\leq 350$
		$\leq$ 40	$\leq 250$
	サブマージアーク溶接	$\leq 200$	$\leq 250$
隅肉	ガフシュールドマーク次位	$\leq$ 30	$\leq 350$
		$\leq$ 40	$\leq 250$

最大溶接入熱及び最大パス間温度は溶接部位、溶接方法に応じて表3.5.1の通りとする。

〔解説〕

溶接部の機械的性能は溶接条件に大きく左右される。特に入熱とパス間温度は重要で、それらが 高過ぎると、溶接部の強度や衝撃値が低下することから、予めそれらの最大値を定め、管理する必 要がある。また、溶接部の目標性能とともにそれらの最大値を定めておくことは、各溶接材料の成 分設計等に有効である。

表 3.5.1 の最大溶接入熱及び最大パス間温度は、各々の溶接工法に対して、ファブリケーターでの設備、適用溶接材料の溶接条件及び施工実績を勘案して定めた。なお、今回の改定では、溶接 組立箱形断面柱角溶接継手の入熱制限を従来の 400kJ/cm から 650kJ/cm に緩和した。後述する 補足1の研究結果を反映させたもので、これにより従来板厚 50mm 程度が限界であった1パスの サブマージアーク溶接による角溶接が板厚 60mm 程度(狭開先等の工夫をすれば 70mm 程度)ま で1パスで可能となる。

なお、1 パスあるいは多層盛りサブマージアーク溶接部での拡散性水素に起因する HAZ 割れ防止のため、溶接材料(溶接棒、フラックス)の保管・乾燥及び開先面の水分付着防止・汚れ除去に特に注意する必要がある。

また、溶接入熱量が極端に小さい場合は溶接部が急冷され割れが発生しやすくなるため予熱管理 等が重要となることがある。パス間温度が低い場合も同様である。ガスシールドアーク溶接法では 入熱とパス間温度の組合せとして「≦30kJ/cm・≦350℃」もしくは「≦40kJ/cm・≦250℃」の2条 件を選定可能としている。溶接部位や構造物の大きさなどにより施工能率面で優位な条件を選定し てよい。

しかし、溶接部性能に影響を及ぼすのは入熱やパス間温度だけでなく、溶接方法、鋼種、板厚、 溶接構造物の寸法などによる冷却時間の違いも影響を及ぼすことがよく知られている。ここでは、 パス間温度について上限のみを目安として示したが、予熱が必要な場合には、下限温度は、3.4 項 「予熱」で規定される予熱温度をキープしなければならないことは言うまでもない。ケースバイケ ースで、実態に合わせた性能確認試験を実施して、入熱・パス間温度条件を見直すことも可能であ る。 表 C3.5.1 に溶接部の強度及び溶接熱影響部衝撃値の目標性能を示す。溶接部の目標性能に関し ては十分な研究がなく今後の検討に負うところが多いが、基本的に鋼材の要求性能と同等とした上 で、せん断応力が支配的である溶接組立箱形断面柱角継手及び通常過大な応力が作用しないダイア フラム取付け部のシャルピー衝撃値に対して 27 J と小さ目の値を与えている。図 C3.5.1、図 C3.5.2 に、SA440 のサブマージアーク溶接による溶接組立箱形断面柱角継手溶接部及びエレクトロスラ グ溶接によるダイアフラム溶接部のシャルピー衝撃値の実績値(1組3個の平均値)を示す。27 Jを下回るものがあるが概ね 27 J を満足している。27 J を下回る値を示したのはいずれもエレク トロスラグ溶接での溶接部直下のスキンプレート側からスキンプレート板厚方向に採取した Bond 部の試験片の値である。板厚方向の衝撃値は特に採取位置が板厚中心近傍で不安定となること、ま た、この位置が破壊の起点となることは考えにくいことから、近年、スキンプレート内側表面近く から斜めに試験片を採取してこの継手の衝撃特性を評価しようとする試みがなされている^{3.6)}。

	性能目標値			
溶接部位	TS *	vEo **		
	$(N/mm^2)$	$(\mathbf{J})$		
溶接組立箱形断		> 97		
面柱角継手	$\leq 590$	$\leq 27$		
ダイアフラム	$\geq 590$	$\geq 27$		
仕 口	$\geq 590$	$\geq 47$		
突合せ	$\geq 590$	$\geq 47$		
隅肉	$\geq 590$	_		

表 C3.5.1 溶接部性能目標值

(注) [*] TS 目標値は継手としての性能であり、溶接熱影 響部等の局部引張試験には適用しない。異種継手 の場合の TS は低強度側の既定値を適用する。

〔**〕 vEo 目標値は3個の試験片の平均値とする。



図 C3.5.1 SA440 のサブマージアーク溶接による角継手溶接部のシャルピー衝撃値の実績値 (3個の平均値)



(3個の平均値)

補足1. SA440のサブマージアーク溶接の入熱制限の緩和

厚肉 SA440 の溶接組立箱形断面柱での角継手サブマージアーク溶接の効率化を目的に、一般社団法人日本鉄鋼連盟,一般社団法人鉄骨建設業協会,一般社団法人日本溶接協会が共同して行った研究で、1パス目に 550~650kJ/cm の大入熱を与える高能率多層盛りサブマージアーク溶接法の施工実験が行われた^{3.7)}。表 C3.5.2 のように、鋼材メーカー3社で製造された 80mm 厚の SA440C 材を用い、ファブリケーター4社が実施した。図 C3.5.3 に溶接金属の引張試験結果,図 C3.5.4 に溶接部の衝撃試験結果を示す。表層部,中央部,底部のいずれの部位においても、引張試験では母材規格値を十分に満足する性能が得られること、衝撃試験では目標 27 J に対して 50 J 以上の良好な値が得られることを確認した。

また、至近の研究では、70mm 厚の1パスサブマージ溶接(634kJ/cm)の施工実績もある^{3.8)}。

試験体名	は田綱せ	パス毎の実入熱(kJ/cm)					
(製作ファ	使用動材	1 パス	2 パス	3 パス	4 パス		
ブ)	メールー	目	目	田	目		
A社	X社	574	188	221	203		
B社	Y社	645	128	232	179	80	
C社	Z社	616	118	218	203	*ブァージアーカ液按積層図	
D社	X社	589	125	231	227		

表 C3.5.2 試験体の使用鋼材と溶接条件



図 C3.5.3 溶接金属の引張試験結果



補足2. 炭酸ガスシールドアーク溶接での入熱とパス間温度の影響

入熱とパス間温度が炭酸ガスシールドアーク溶接金属の機械的性質に及ぼす影響を調査した実験結果を紹介する。

板厚 25mm の SA440B 鋼と 590N/mm² 級炭酸ガスシールドアーク溶接用ソリッドワイヤを供試材とし、仕口を想定した継手溶接において、入熱を 10~40kJ/cm、パス間温度を 100~350℃の範囲で組合せて性能を確認した。得られた溶接金属の引張強さ、0.2%耐力及び 0℃のシャルピー吸収 エネルギーを図 C3.5.5 に示す ^{3.9}。

入熱やパス間温度が上昇するに従い、特に引張強さや0.2%耐力が低下することがわかる。

SA440 鋼の強度規定値である引張強さ≧590N/mm²、0.2%耐力≧440N/mm²を得るためには、 入熱を 30kJ/cm 以下、パス間温度を 350℃以下とするか、または入熱を 40kJ/cm 以下、パス間温 度を 250℃以下とする必要があることがわかる。



溶接法	ガスシールドアーク溶接
シールト゛カ゛ス	炭酸ガス
溶接ワイヤ	JIS Z3312 YGW21(現:G59JA1UC3M1T) (590N/mm ² 級ソリッドワイヤ) 径1.4mmφ
母材	SA440B 板厚 25mm
開先形状	35° レ型 ルートギ ャップ 8mm

入熱(kJ/cm)

10 [310A-33V-60cm/min]

15 [340A-33V-45cm/min]

30 [380A-36V-27cm/min]

40 [400A-38V-23cm/min]

IJ

Γ

]:条件目安

No

1

2

3

4

5

6

パス間温度

(°C)

100

150

250

350

250

350

図 C3.5.5 炭酸ガスシールドアーク溶接部の機械的性質に及ぼす入熱・パス間温度の影響

#### 3.6 歪み矯正

 冷間矯正 部材形状によりプレスまたはローラーにより矯正する。
 2 熱間矯正 加熱による熱変形または加熱後の収縮を利用して矯正する。

 加熱矯正は出来るだけ溶接部から離れた位置で行う。
 加熱温度管理に注意し、材料の焼戻し温度を超える加熱は避ける。 焼戻し温度が不明の場合は、600 ℃とする。
 加熱温度が 600 ℃以下であれば、加熱後ただちに水冷してもよい。

〔解説〕

鉄骨部材を溶接で組み立てる場合、溶接変形が生ずる。変形が鉄骨精度検査基準を超えた場合は、 材質を損なわないように歪み矯正を行う必要がある。

矯正法には冷間矯正法と熱間矯正法とがある。冷間矯正法は部材の変形部を加圧し降伏させて矯 正する方法であり、熱間矯正法は加熱による熱変形または加熱後の収縮を利用した方法である。熱 間矯正法には大別して下記の方法がある。

- ・線状加熱法:ガスバーナーを用いて矯正部を線状に加熱し、加熱部の板厚方向の温度差を 利用して角変形を生じさせ歪みを矯正する。
- ・点加熱法 : 湾曲状歪みを加熱後の収縮を利用して矯正する。
- ・楔型加熱法:局部的に変形した部材や長尺材の曲がり矯正に利用される。

冷間矯正はプレスまたはローラーで行われ、この場合には著しい材質劣化を招くことは稀である。 熱間矯正については、調質鋼の場合加熱によりその調質効果が失われることがある。したがって、 調質鋼で加熱矯正を行う場合は加熱温度管理に注意し、材料の焼戻し温度を超える加熱を避けるこ とが重要である。材料の焼戻し温度は600 ℃前後である。

加熱温度が焼戻し温度(600 ℃)を超え、その後空冷あるいは水冷する場合は、確認試験を実施 し、引張特性、衝撃特性に問題がなければ、確認した条件で歪み矯正を行うことができる。

参考として、板厚 19mm の SA440 鋼板表面を、ガスバーナーにより線状加熱した後の機械的性 質の一例を示す [参考1]。なお、鋼板温度は鋼板表面から板厚内 1mm の位置に設けた熱電対に より測定したものである。ここで調査した鋼板厚さは 19mm と規格最小板厚であり、鋼板厚さの 増加により加熱による影響が軽減されるものと推測される。

また、[参考2]に日本建築学会;鉄骨工事技術指針・工場製作編で示される加熱矯正基準を示す。

[参考1]SA440B(板厚 19mm ×幅 800mm ×長さ 350mm)加熱・冷却後の機械的性質





	表 C3.6.	1 加熱冷却条	件	
力に	刺熱・冷却温度履	加劫上二千		
最高加熱温度	水冷開始温度	必却層麻	加索下一	冷却面
(°C)	(°C)	们却腹腔	進行刀門	
600	600	WC	鋼板圧延方向	加麹毒し
700	600	AC→WC	に対し直角方	加索面と
800	600	AC→WC	向	山

注 1) WC: Water Cooling. (水冷), AC: Air Cooling (空冷)

注 2) 水冷終了温度 = 50℃



写真 C3.6.1 加熱・冷却部のマクロ



写真 C3.6.2 引張試験片最終状況



図 C3.6.2 加熱・冷却後の引張試験結果その1(JIS Z 2201 5 号)



図 C3.6.3 加熱・冷却後の引張試験結果その2(JIS Z 22015号)



図 C3.6.4 シャルピー衝撃試験片採取要領(JIS Z 2202 V ノッチ)



図 C3.6.5 シャルピー衝撃試験結果

[参考2]日本建築学会;鉄骨工事技術指針·工場製作編4章工作 加熱矯正基準

及 00.0.2 加款淘工委中						
	SN400,SS400					
加熱矯正の分類	SM400,SN490	TMCP 鋼	耐火鋼	SM570Q		
	SM490,SM520					
850~900℃まで加熱、その後空冷	$\bigcirc$	0	$\bigcirc$	×		
850~900℃まで加熱、直後水冷	×	×	×	$\times$		
850~900℃まで加熱、	0	6	$\bigcirc$	$\bigcirc$		
空冷後 650℃以下から水冷	0	0	$\bigcirc$	$\bigcirc$		
600~650℃まで加熱して直後水冷	0	$\bigcirc$	$\bigcirc$	$\bigcirc$		

表 C3.6.2 加熱矯正基準

注1) ◎ 実施可

○厳密な温度管理と加熱時間、加熱範囲を最小限とすることを前提に実施してもよい。 × 実施不可

注2) 上表の温度は加熱表面での温度である。

#### 3.7 はりの現場仕口溶接

SA440 のはりの現場仕口溶接は、実験により構造安全性を確認後、実施するものとする。

〔解説〕

SA440 のはりの現場仕口溶接は、実験データが少なく実施例もないため、当面、実験により安 全性を確認することとした。

#### 3.8 付属金物の溶接

SA440 への付属金物の溶接は、3.3項「組立て溶接」、及び3.4.2項「組立て溶接、補修溶接の予熱」の規定を満足する状態で入念な施工を行う。付属金物の現場溶接は、原則行わない。

〔解説〕

付属金物の溶接は、一般にビード長さが短く、溶接部が急熱急冷され硬化する可能性があるため、 3.3 項(組立て溶接)及び 3.4.2 項(組立て溶接、補修溶接の予熱)の規定を満足する状態で入念 な施工を行う。付属金物の現場溶接は、原則行わないものとした。ただし、やむを得ず溶接を行う 必要が生じた場合は、施工試験等により溶接部の品質を確保できることを確認し、工事監理者の承 認を得た上で施工することができる。

#### 3.9 スタッド溶接

スタッド溶接については、溶接施工試験を行い、母材部が健全であることを確認した後、 施工する。ただし、スタッド径が 19mm あるいは 22mm の場合は溶接施工試験を省略する ことができる。

「解説]

SA440 鋼へのスタッド溶接については、以下の調査試験を行い母材に対する影響が少ないこと を確認した^{3.10)}ので、その範囲については施工試験を省略することができることとした。

<調査試験の概要>

試験体の種類

試験体の種類は、SA440C 材を対象素材とし、スタッド溶接の種類は鋼板に直打する場合と、デッキプレート(D.PL)を貫通して施工する場合の2種類を想定し、表 C3.9.1 に示す通りとした。なお、D.PL 板厚は 1.2mm とし、メッキ厚は Z12 と Z27 の2 水準のものを対象とした。また、試験体製作時のスタッド溶接条件を表 C3.9.2 に示す。

	スタッド	スタッド	スタッド	
<b>括</b> 括 / 久 / 上	$\phi 22$	$\phi$ 19	$\phi$ 19	
<b></b> 種類/ 余忤	鋼板直打	D.PL-1.2 (Z12)	D.PL-1.2 (Z27)	
引張試験 (全厚)	0	_	—	
引張試験(20mm 厚)	0	$\bigcirc$	Ô	
マクロ組織	0	0	0	
ビッカース硬さ	0	$\bigcirc$	0	
シャルピー試験	0	$\bigcirc$	O	
スタッド曲げ試験	0	0	0	

#### 表 C3.9.1 試験実施項目一覧

#### 表 C3.9.2 スタッド溶接条件

	使用溶接機	溶接電流(A)	r-pgala (sec)
スタッド溶接(1)	直流溶接機	1800	1.6
スタッド溶接(2)	シリコン CC-2400	1600	1

#### 2) 試験結果

#### (a) 引張試驗結果

引張試験片は図 C3.9.1 に示す形状で、スタッド溶接部は平行部の中央である。各種条件による引張試験結果を表 C3.9.3 に示す。



図 C3.9.1 引張試験片

種類	試験片	降伏耐力	引張強さ	伸び	降伏比
	記号	N/mm ²	N/mm ²	%	%
規格値		$440{\sim}540$	$590{\sim}740$	20以上	80以下
ミルシート値		481	640	31	75
素材(50t)	440-1	484	642	28	75.4
素材(20t 減厚)	440-2	492	645	23	76.3
スタッド打設 (50t)	S5-1	483	643	27	75.1
	S5-2	484	642	26	75.4
スタッド打設 (20t)	S2-1	477	640	20	74.5
	S2-2	488	637	21	76.6
D.PL (Z27) +スタット	D27	479	639	21	75.0
D.PL (Z12) +スタット	D12	489	639	21	76.6
焼抜栓溶接	W12	485	642	22	75.5

表 C3.9.3 継手引張試験結果

いずれの引張試験結果も、耐力、引張強さに関して、ミルシート値と同等の値が得られており、ス タッド溶接の影響は僅少である。

#### (b) シャルピー衝撃試験

シャルピー衝撃試験片は JIS Z 2202 の V ノッチ試験片とし、図 C3.9.2 に示すように表面ノッチ と側面ノッチの試験片を切り出した。シャルピー吸収エネルギーは鋼板にφ22mmのスタッドを直 打した場合が最も低下しており、その時の0℃における値は 125J となっている。その他、デッキ プレートを貫通したスタッドでは、250J 程度確保されており、素材とほぼ同等の性能を有してい る。



図 C3.9.2 シャルピー衝撃試験片採取位置

種 類	条件	ノッチ	シャルヒ。-	-吸収ェ	礼卡"一	(0°C)
		位置	1	2	3	Ave.
スタット゛	(鋼板に直打)	表面	125	125	111	120
$\phi 22$		側面	175	143	105	141
スタット゛	D.PL-1.2 (Z27)	表面	246	208	261	238
$\phi$ 19	D.PL-1.2 (Z12)	表面	246	242	194	227
焼抜栓	D.PL-1.2 (Z12)	表面	261	279	275	272
溶接		側面	189	263	270	241

#### 表 C3.9.4 シャルピー衝撃試験結果

#### (c) 硬さ試験結果

ビッカース硬さ試験結果を図 C3.9.3 に示す。 φ 22mm のスタッドを直打した場合とφ 19mm の スタッドをデッキプレートを貫通させて打設した場合ともに、溶接金属部分の硬度が上昇している が、最大でもおよそ 350 程度に留まっている。





以上の結果を踏まえ、SA440 鋼材に φ 19 あるいは φ 22mm のスタッドについては、母材への影響が小さいことが確認できたため、施工試験を行う範囲から除外した。

#### 3.10 溶融亜鉛めっき

溶融亜鉛めっきは、事前に十分な検討を行った上で施工する。

〔解説〕

SA440 は溶融亜鉛めっきの実績が乏しく、また、他の建築構造用鋼材と同様に亜鉛めっきの施 工性を考慮した鋼材ではない。SA440 を使用した構造部材に溶融亜鉛めっきする場合、亜鉛めっ き割れやめっき焼け、部材変形などを伴うことがある。日本建築学会:建築工事標準仕様書、JASS6、 鉄骨工事では、鉄骨構造部材全般を対象とし、部材の板厚・形状・寸法に関する留意事項などが示 されており、SA440 を使用した構造部材に関しても同様な管理が必要である。ただし、JASS6 や 日本建築学会:鉄骨工事技術指針・工場製作編では、亜鉛めっき割れやめっき焼けに対する具体的 な対処方案は示されておらず、個別に工学的・経験的な検討が必要である。

亜鉛めっき割れに着目すると、JISG 3129(鉄塔用高張力鋼鋼材)、JISG 3474(鉄塔用高張力 鋼管)では次式に示す溶融亜鉛めっき割れ感受性当量(CEZ)という耐亜鉛めっき割れ性に関す る指標がある。

溶融亜鉛めっき割れ感受性当量CEZ (%)

= C + Si/17 + Mn/7.5 + Cu/13 + Ni/17 + Cr/4.5 + Mo/3 + V/1.5 + Nb/2 + Ti/4.5 + 420B $\leq 0.44 \qquad \text{i} \pm 1)$ 

注*1) JIS G 3129; SH590P(鋼板)は板厚 6mm 以上 25mm 以下。 JIS G 3474; STKT590(鋼管)は板厚 22mm 以下。22mm 超えは受渡当事者間の協定 による。

JIS G 3129、JIS G 3474 は、主として送電鉄塔用に使用する高張力鋼に関する規格であり、C E Z は亜鉛めっき割れの防止を目的として、SH590P、STKT590 に適用されている。一般的に亜 鉛めっき割れの発生は、残留応力、めっきによる熱応力、塑性歪み、鋼材強度、化学成分に影響さ れる。SA440 と SH590P、STKT590 は部材断面形状や寸法、溶接方法などの利用形態が異なるが、 共に 590N/mm² 級の強度レベルであり、化学成分等の鋼材仕様の検討において参考となる。ただ し、SH590P、STKT590 は適用板厚が SA440 よりも比較的薄く、厚さ 25mm を超える SA440 鋼 板では CEZ  $\leq 0.44$  を満足しない可能性もある。

また、JSSC テクニカルレポート「溶融亜鉛めっき橋の設計・施工指針」^{3.11)}には、橋梁用では あるが SM570 鋼のめっき割れ性に関する知見が記載されており、参照されたい。

SA440 に溶融亜鉛めっきを施す場合には、以上のことを勘案し、部材寸法や溶接部等のディテ ールを考慮するとともに、鋼材仕様に関してメーカーと十分な事前協議を行う必要がある。 <3章の参考文献>

- 3.1)「60キロ高性能鋼溶接施工指針」、(社)鋼材倶楽部、1993年3月
- 3.2)「鋼構造物における溶接割れ防止のための予熱条件の選定について」、日本鋼構造協会技術委員会生産性分科会工作基準小委員会溶接割れ研究班、JSSC Vol.8 No.80、1972 年 8 月
- 3.3)「大型溶接構造物の溶接割れに関する研究 その2 斜めy開先拘束割れ試験片の極厚板への 適用に関する検討」、日本鋼構造協会技術委員会生産性分科会工作基準委員会極厚高張力鋼溶 接研究班、JSSC Vol.11 No.114、1975 年 6 月
- 3.4) 百合岡 信孝 他「鋼の溶接硬化性及び低温割れを評価する炭素当量」、製鉄研究、第 307 号 1982 年 3 月
- 3.5) 田中 一男 他「二電極サブマージアーク溶接を用いた厚板ボックス柱角継手熱影響部の超音 波探傷欠陥について(その1)」、日本建築学会関東支部研究報告集、1991年1月
- 3.6) 横山 幸夫 他「490N/mm²級鋼材のエレクトロスラグ溶接部の衝撃特性」、日本建築学会大会 学術講演梗概集(北海道)、2013 年 8 月
- 3.7)湯田 誠 他「極厚ボックス角継手(SA440)への多層盛りサブマージアーク溶接の検討」、日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿)、2014年9月
- 3.8) 吉村 鉄也 他「板厚 70mm 角継手の 2 電極サブマージアーク溶接法に関する研究」、日本建築学会関東支部研究報告集、2015 年 3 月
- 3.9)「平成 13 年度 共研第 4 分科会報告 (第 4 編 建築構造用溶接材料の検討)」、溶接の研究、2001 年
- 3.10) 志村 保美 他「建築構造用 590N/mm²鋼スタッド溶接部の素材特性」、日本建築学会大会学 術講演梗概集(中国)、1999 年 9 月
- 3.11)「溶融亜鉛めっき橋の設計・施工指針」、JSSC テクニカルレポート NO.33、1996年1月

(1996年 制定) 2004年5月改正)

日本鉄鋼連盟製品規定

MDCR 0013-2004

# 建築構造用高性能 590N/mm² 鋼材

(SA440)

一般社団法人 日 本 鉄 鋼 連 盟

## 建築構造用高性能 590N/mm²鋼材

# (SA440)

1. 適用範囲 この規格は、建築構造物に用いる熱間圧延鋼材(鋼板、平鋼)について規定する。

2. 種類及び記号 鋼材の種類は2種類とし、その記号及び適用厚さは、表1による。

表1 種類の	記号及び適用厚さ 単位 mm
種類の記号	適用厚さ
SA440B	10 만 는 100 만
SA440C	15以上100以下

3. 化学成分 鋼材の溶鋼分析値は、表2による。

表2 化学成分

単位%

種類の記号	С	Si	Mn	Р	$\mathbf{S}$
SA440B	0.10		1.00	0.030以下	0.000
SA440C	0.18以下	0.55 以下	1.60 以下	0.020以下	0.008以下

備考1. 必要に応じて、表2以外の合金元素を添加できる。

2. 表2以外の化学成分のうち、4. で定められた炭素当量又は溶接割れ感受性組成の計算式に含まれる成分についても溶鋼分析試験を行う。

#### 4. 炭素当量又は溶接割れ感受性組成

鋼材の炭素当量又は溶接割れ感受性組成は、次による。

- (1) 炭素当量は、表3による。炭素当量の計算には溶鋼分析値を用い、次の式による。
   なお、計算式に規定された元素は、添加の有無にかかわらず、計算に用いる。
   炭素当量(%)=C+Mn/6+Si/24+Ni/40+Cr/5+Mo/4+V/14
- (2) 受渡当事者間の協定によって、炭素当量の代わりに溶接割れ感受性組成を適用することができる。この場合の溶接割れ感受性組成は表3による。溶接割れ感受性組成の計算には溶鋼分析値を用い、次の式による。

なお、計算式に規定された元素は、添加の有無にかかわらず、計算に用いる。 溶接割れ感受性組成(%)=C+Si/30+Mn/20+Cu/20+Ni/60+Cr/20+Mo/15+V/10+5B

種類の記号	厚さ	炭素当量	溶接割れ感受性組成		
	mm	%	%		
SA440B	40以下	0.44 以下	0.28以下		
SA440C	40 超え	0.47 以下	0.30 以下		

表3 炭素当量又は溶接割れ感受性組成

#### 5. 機械的性質

#### 5.1 降伏点又は耐力、引張強さ、降伏比及び伸び

鋼材の降伏点又は耐力、引張強さ、降伏比及び伸びは、表4による。

毎海の封旦	降伏点又は耐力	引張強さ	降伏比	伸	び
/重與♥J記方	$N/mm^2$	N/mm ²	%	試験片	%
SA440B	440 - 540	500 a .740	90 N.F	5号の場合	26 以上
SA440C	440, ~340	590 [°] ~ 740	<b>60</b> 以下	4号の場合	20 以上

表4 降伏点又は耐力、引張強さ、降伏比及び伸び

備考 降伏比=(降伏点又は耐力/引張強さ)×100

#### 5.2 シャルピー吸収エネルギー

鋼材のシャルピー吸収エネルギーは、表5による。この場合、シャルピー吸収エネルギーは、 3個の試験片の平均値とする。

種類の記号	試験温度 ℃	シャルピー吸収エネルギー J	試験片
SA440B SA440C	0	47以上	4号 圧延方向

表5 シャルピー吸収エネルギー

#### 5.3 厚さ方向特性

鋼材の厚さ方向特性は、表6による。

表6 厚さ方向特性

種類の記号	絞り%		
	3個の試験の平均値	個々の試験値	
SA440C	25 以上	15 以上	

#### 6. 超音波探傷試験

鋼材の超音波探傷試験の適用及び判定は、表7による。

表7 超音波探傷試験

種類の記号	適用	判定	
SA440B	受渡当事者間の協定によって JISG 0901 を適用する。	JIS G 0901 の判定基準の等級Yに	
SA440C	JIS G 0901 による。	40.	

#### 7. 形状、寸法、質量及びその許容差

鋼材の形状、寸法、質量及びその許容差は、JIS G 3136(建築構造用圧延鋼材)の7.(形状、寸 法、質量及びその許容差)による。

#### 8. 外観

鋼材の外観は、JISG 3193 (熱間圧延鋼板及び鋼帯の形状、寸法、重量及びその許容差)の6.(外 観)、またはJISG 3194 (熱間圧延平鋼の形状、寸法及び重量並びにその許容差)の6.(外観)によ る。

#### 9. 熱処理

鋼材には、要求品質を確保するために二相域熱処理を行う。

#### 10. 試験、検査

鋼材の試験、検査は、国土交通大臣による認定に際して定めた規定によるものとする。

#### 11. 表示

検査に合格した鋼材は、鋼材ごとに、次の項目を適当な方法で表示する。ただし、受渡当事者 間の協定によって、項目の一部を省略することができる。

- (1) 種類の記号
- (2) 溶鋼番号又は検査番号
- (3) 寸法
- (4) 結束ごとの数量又は質量
- (5) 製造業者名またはその略号

#### 12. 報告

報告は、国土交通大臣による認定に際して定めた規定によるものとする。

#### 付表1 引用規格

- JISG 0901 建築用鋼板及び平鋼の超音波探傷試験による等級分類と判定基準
- JISG 3136 建築構造用圧延鋼材
- JISG 3193 熱間圧延鋼板及び鋼帯の形状、寸法、重量及びその許容差
- JISG 3194 熱間圧延平鋼の形状、寸法、重量並びにその許容差

© 日本鉄鋼連盟

一般社団法人 日本鉄鋼連盟
〒103-0025 東京都中央区日本橋茅場町3−2−10
TEL(03)3669-4815 FAX(03)3667-0245

国立研究開発法人 建築研究所 監修

2016年3月 発行

建築構造用高性能590N/mm²鋼材(SA440)設計・溶接施工指針 第3版