

鉄筋溶接技術資料-012-A

SD490のCB工法溶接継ぎ手の課題と対策

愛知工業大学教授 尾形素臣

1. 鉄筋溶接継ぎ手の引張試験結果

引張試験の判定基準は母材破断とすることが最も適当である。しかし、現在使用されている鉄筋はほとんど電炉鋼であり、鉄筋のJIS規格値を大幅に上回る引張強度を持っているものが多い。たとえばSD345の引張強度の下限値 490 N/mm^2 であるが、市販されている鉄筋の引張強度は $560\sim 600\text{ N/mm}^2$ のものが多い。

またSD390では 700 N/mm^2 近い引張強度を示す場合さえある。このため、鉄筋規格値強度を上回る溶接ワイヤを使用しても、相対的にみて溶接部強度が低いことになり、溶接欠陥がほとんど無くても、引張試験で溶接部破断となってしまう例が多い。また、より高強度の溶接ワイヤを使用しても、鉄筋が脆くボンド部破断となってしまうことも多い。このような傾向は高炉材にほとんど無く、CuやクロムCr等の不純物の多い電炉材のやむえない性質である。電炉材で、 $600\text{ N/mm}^2\sim 650\text{ N/mm}^2$ の引張強度を持つ鉄筋の溶接継ぎ手は溶接欠陥が無くても約20%はボンド部破断となる場合が多い。ボンド部破断は溶着部破断とは異なるが一般的には溶接部破断と見なされる場合がほとんどである。

鉄筋溶接部の引張試験には2つの異なった目的がある。

溶接工の技量確認

溶接工の技量確認であれば、鉄筋の材質によるボンド部破断は溶接工側の責任ではない。ボンド部の金属組織は母材鉄筋であり、溶接技術でカバーできないからである。

継ぎ手工法採否の確認

A級継ぎ手としての性能を確認することになる。この場合、鉄筋溶接継ぎ手はSA級より劣るA級継ぎ手と規定されている。建設省の通達「特殊な鉄筋継ぎ手の取扱いについて」によるA級継ぎ手の条件は「強度は母材と同等であるが、延性は劣る」と規定されている。このため大地震等で大変形が想定される部分には使用を禁止されている。SA級には使用禁止部分はない。それゆえSA級は完全な母材破断が必須条件である。ただし、平成21年までに完全なSA級の継ぎ手は存在していない。

鉄筋溶接継ぎ手の詳細は図-1に示したとおりである。一般的には溶接部は溶接による影響を受けた母材部を含んでいる。「熱影響部+ボンド部+溶着鉄部」であり、金属組織では母材鉄は「熱影響部+ボンド部」であり、溶着鉄は「溶着鉄部」のみである。ボンド部破断面を金属顕微鏡で観察すると、母材組織である。破面は脆性破面で銀色をしている。溶着鉄部は延性破面でネズミ色である。現在の溶接ワイヤは極めて延性に富む材料であり、脆性破面となることはない。溶接工の技量確認であれば、「熱影響部+ボンド部」を母材部と判断することが適当といえる。この場合、溶着鉄部に溶接欠陥がないことは当然な判断となる。

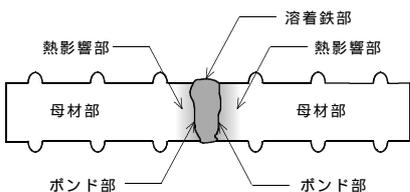


図-1 鉄筋溶接部の詳細

2. 鉄筋の溶接性試験

鉄筋の溶接継ぎ手は多用途に使用されている。しかし、

その溶接性は問題になることが多い。適切な溶接性の判定試験方法が求められている。鉄筋の溶接は昭和42年に社団法人鋼材倶楽部が「鉄筋のアーク溶接設計施工指針・同解説」を公表し、その中に溶接性試験方法が定められている。しかし、この資料は絶版となり、現在は手に入れることができない。筆者はこの案をまとめる立場にあったので、それをもとに、その後の研究結果をふまえ、溶接性の試験方法を紹介する。

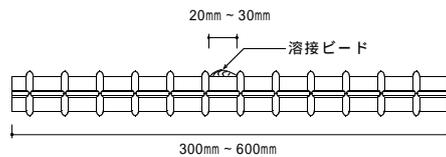


図-2 鉄筋の溶接性試験

図-2に示すように、鉄筋に溶接ビードをおく。溶接ワイヤまたは溶接棒は実工事に使用するものと同一のものを使わなければならないことは当然である。溶接前に300の予熱をすることは、多くの実験の結果300の予熱をすることは、突き合わせ継ぎ手の溶接とほぼ同様な条件になることが確かめられている。予熱をしない場合、ほとんどの鉄筋は図-2に示した曲げ試験で折れてしまう。予熱温度が300を下回ってくると、折れる確率が高くなる。

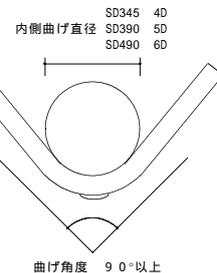


図-3 鉄筋の溶接性判定曲げ試験方法

図-3の内側曲げ直径はJIS G 3112「鉄筋コンクリート用棒鋼」の母材曲げ試験と同一である。この試験で折れるか、割れが生じた鉄筋は溶接性が悪いと判断される。そのような鉄筋の溶接継ぎ手は引張試験でボンド部破断になりやすい。このような継ぎ手はSA級には適合しないが、A級継ぎ手としては使用可能である。

3. 高強度鉄筋の現状

現在のSD490は溶接が可能とされているが、メカは溶接性を意識して生産しているわけではない。このため溶接を採用するに当たっては、その化学成分、機械的性質を十分検討しなければならない。JIS規格値の許容する範囲では溶接性は確保できない。鉄筋の溶接継ぎ手は溶着部と熱影響部の境界線のボンド部より破断することが多い。とくにSD490はこの傾向が大きい。この場合、多くは溶接欠陥はなく、硬くもろい鉄筋の材質によるものである。鉄筋の化学成分と、ボンド部破断の関係を実験的に明らかにしようと試みた結果を述べる。

3.1 鉄筋の材質

化学成分

化学成分分析と継ぎ手引張試験の結果を【表-1 C B溶接用試験鉄筋の化学成分チェック分析結果】および【図-1 C B溶接用試験鉄筋の炭素当量と継ぎ手引張試験ボンド部破断比率の関係】に示す。この結果、

$$Ceq1(\%) = C + Si/24 + Mn/6$$

が0.48%以下であると溶接性が良い。ただし、その他の元素の影響も大きい。とくに、Crが悪影響をおよぼす。このため、

$$Ceq2(\%) = C + Si/24 + Mn/6 + Ni/40 + Cr/5 + Mo/4 + V/14$$

が0.54%以下であることが好ましい。
3元素による炭素当量Ceq1は図に示したように0.48%以下はポイント部破断が少なくなっている。しかし、0.50%以上でもポイント部破断が少なくなっているものもある。7元素による炭素当量Ceq2では0.54%以下が良好な結果をもたらしている。溶接構造用圧延鋼材(SM490、SM570等)は

$$Ceq2(\%) = C + Si/24 + Mn/6 + Ni/40 + Cr/5 + Mo/4 + V/14$$

が0.44%以下と規定されている。これから見ても炭素当量の管理は重要である。この値はW E S (社団法人 日本溶接協会規格) に規定されている。電炉鋼材は銅Cuが多い。Cuも溶接には悪影響を及ぼす。I I W (International Institute of Welding) ではCuを加えた7元素を推奨している。

$$Ceq3(\%) = C + Mn/6 + (Cu+Ni)/15 + (Cr+Mo+V)/5$$

この値についてどのような判断をするかは議論が分かれる。実験の結果では0.56以上は溶接に注意が必要である。また、Ceqの他の溶接性を表す数値として溶接割れ感受性組成Pcmがあげられる。

$$Pcm(\%) = C + Si/30 + Mn/20 + Cu/20 + Ni/60 + Cr/20 + Mo/15 + V/10 + 5B$$

炭素等量とはやや異なるが、溶接性を表す数値として使用されている。

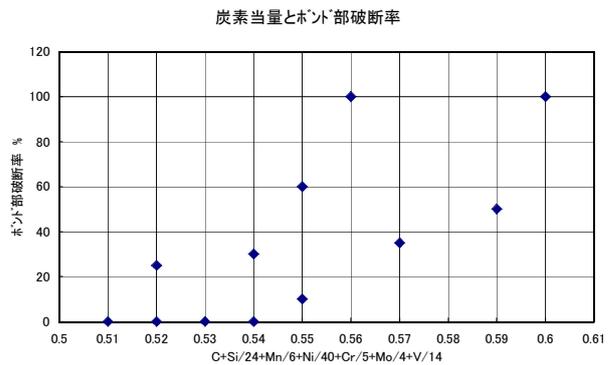
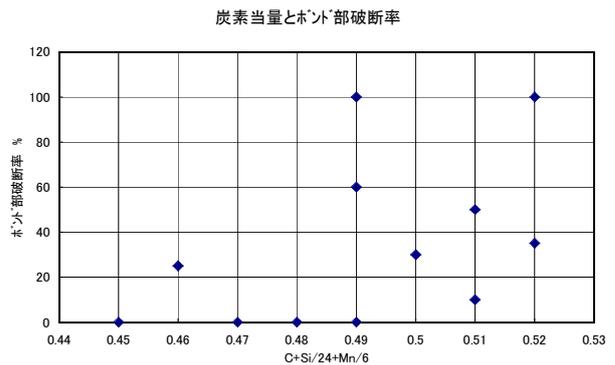
PcmおよびCeqに関するJ W E S (社団法人 日本溶接協会) の見解

PcmおよびCeqは鋼の硬化性を示す指標であり、対象としている溶接割れは溶接低温割れです。溶接低温割れは水素割れの一種であり、溶接時に導入される拡散性水素による脆化と残留応力の重畳により発生します。拡散性水素による脆化の程度と残留応力の大きさに硬さが大きく影響します。このため、鋼の硬化性を示すPcmやCeqが溶接低温割れ感受性を示す指標として有効となります。
S、Pも溶接性に悪影響を及ぼすとされる元素です。S、Pの増加は溶接金属での凝固割れを助長することが知られています。凝固時に液相中に濃縮して、液相の融点を下げることが凝固割れを助長する原因です。以上のように、PcmやCeqが指標として用いられる溶接割れ(溶接低温割れ)とP、Sが影響する溶接割れ(溶接低温割れ)では、種類(発生する原因)が異なります。このため、PcmやCeqにはP、Sが考慮されていません。施工面では溶接熱応力の影響を受けやすいピード形状(幅に比べて深さの大きい断面形状)を避ける対策が採

ることが有効です。

- 1) Sは、凝固時の高温割れの発生に関係します。Mn S等の不純物が、凝固時の結晶粒界に発生し、高温割れが発生します。
- 2) 一方、Pcmは低温割れ発生の感受性指数で、一般に硬化性(焼き入れ性)を表す指数です。Sは硬化性を増す成分では無いため、指数の成分に入っていないものと考えられます。
- 3) ただし、ラメラ・テアの発生(剥離割れ)には、Sが関係します。(この種の欠陥は、硬化度と関係せず、水素とSの量に関係します。)

機械的性質
このような7元素による分析結果が得られない場合、引張試験結果からも、ある程度溶接性の良否の判断が可能である。引張強さは670N/mm²以下が望ましい。また伸びが25%以上あれば、H.A.Z部破断がかなり避けられる可能性があることが明らかになっている。



グラフ - 1 C B 溶接用試験鉄筋 の炭素当量と継ぎ手引張試験ポイント部破断比率の関係

表-2 C B 溶接用試験鉄筋 の化学成分チェック分析結果】

種類	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Ceq1 %	Ni %	Cu %	Cr %	Mo %	V %	Ceq2 %	Ceq3 %	Pcm %
SD490-D32-A	0.25	0.23	1.36	0.031	0.015	0.49	0.07	0.31	0.24	0.02	0.051	0.54	0.56	0.36
SD490-D32-B	0.23	0.23	1.37	0.031	0.015	0.47	0.07	0.28	0.20	0.02	0.055	0.52	0.54	0.34
SD490-D35-A	0.22	0.23	1.41	0.028	0.015	0.46	0.07	0.28	0.20	0.02	0.058	0.52	0.53	0.33
SD490-D35-B	0.21	0.23	1.39	0.032	0.012	0.45	0.07	0.22	0.19	0.04	0.059	0.51	0.52	0.32
SD490-D35-C	0.25	0.24	1.38	0.025	0.022	0.49	0.06	0.25	0.30	0.02	0.051	0.56	0.57	0.36
SD490-D38-A	0.27	0.25	1.42	0.028	0.015	0.52	0.07	0.24	0.38	0.02	0.055	0.60	0.62	0.39
SD490-D41-A	0.26	0.22	1.47	0.032	0.034	0.51	0.08	0.25	0.34	0.02	0.053	0.59	0.61	0.38
SD490-D41-B	0.26	0.24	1.41	0.025	0.022	0.51	0.06	0.26	0.19	0.02	0.056	0.55	0.57	0.37
SD490-D41-C	0.25	0.24	1.42	0.028	0.018	0.50	0.06	0.24	0.18	0.02	0.052	0.54	0.56	0.36
SD490-D41-D	0.24	0.22	1.41	0.025	0.022	0.48	0.06	0.28	0.16	0.02	0.059	0.53	0.55	0.35
SD490-D41-E	0.27	0.24	1.43	0.027	0.033	0.52	0.07	0.30	0.22	0.02	0.055	0.57	0.59	0.38
SD490-D41-F	0.26	0.22	1.35	0.022	0.020	0.49	0.07	0.31	0.25	0.02	0.055	0.55	0.58	0.37

3.2 溶接作業上の課題

適切な作業によるSD490の溶接継ぎ手のボンド部破断の主原因は鉄筋の材質のよるものである。しかし、溶接作業の工夫により、ある程度の改善は可能である。

溶接ワザの交換

SD490の溶接には80kg級のワザを使用することが推奨されている。これはどのような強度のSD490であっても溶着部破断を起こさないためである。しかし、強度が高いことはボンド部の脆性的な破断を起こしやすくなる。このため、70kg級のワザに交換することによって、わずかな可能性であるが改善が期待できる。すなわち柔らかい溶着部によって微小なワザ底部の応力の緩和が期待できるからである。

適切な余盛りの形成

ボンド部破断は鉄筋軸に直角に発生するので、ボンド部をなるべく鉄筋軸に直角にならないように余盛りを形成する。例えば写真下左のようボンド部が応力軸に直角な平面を形成しているものより、写真下右のようにやや開先を広くとり余盛りを広く取ることによってボンド部を曲面とする。これによって破断面をボンド部から離すことが可能となる。ややオーバーラップぎみの方が良い結果が得られる。

異形鉄筋の場合、鉄筋のワザと余盛りの谷間が深くなると、そこから破断しやすくなる。余盛りはワザの山部と滑らかに連続するようにする。写真下では左側が好ましく、右側が好ましくない。当然のことながら右側から破断している。余盛りの幅は25mm以上が必要である。なお余盛りは鉄筋のワザの高さ程度で良いのであまり盛り上げないことが注意点である。すなわち薄く、広くである。



写真-1 C B溶接用試験鉄筋のボンド部破断例

予熱等の熱処理

鉄筋の溶接部は急熱急冷せず。熱処理の効果はない。予熱による溶接部の急冷の緩和は試験の結果認められなかった。なお、後熱は750程度が必要であることと、効果が判然としないので実用性はない。

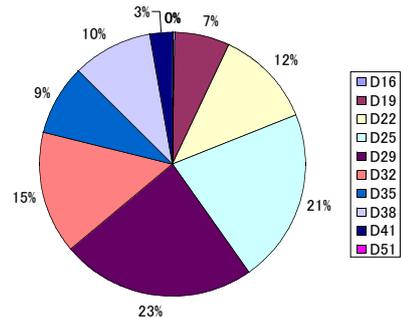
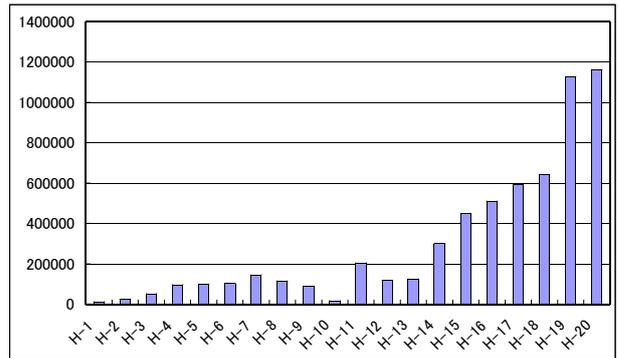
3 まとめ

以上、SD490の溶接についてまとめてみた。

まず、使用に当たっては材質の検討が急務であり、溶接工の技量でカバーできる範囲は限られている。

ただし、梁中央部や仕口部中央に継ぎ手を設ける場合は、鉄筋には長期応力が支配的であり、完全な母材破断を要求することは過剰品質になるともいえる。総合的な構造設計上の判断が重要である。

以上の見解は各種工法で溶接共通のものであり、鉄筋メーカーの溶接性の良い鉄筋の開発に期待するものは大きい。



補足資料 C B工法協会のC BニュースH22/3/20より

C B工法は鉄筋溶接継ぎ手工法の標準的工法として使用数量が増大しています。上のグラフは平成元年から平成20年までの数量の変化です。ここ数年間は急激な伸びです。下のグラフは平成20年度の鉄筋径別の使用量です。D25とD29が多いことが分かります。D38も10%でかなりの数量です。太径の鉄筋継ぎ手工法として使用されていることがこのグラフから分かります。

鉄筋溶接継ぎ手協会 会長 尾形素臣

愛知工業大学総合技術研究所
〒470-0356 愛知県豊田市八草町八千草 1 2 4 7
TEL 0565-48-8121 FAX 0565-48-0030