鉄筋溶接継手の施工方法の検討 —現場溶接継手のV形開先の提案—

STEEL BARS WELDING JOINT FROM OF CONSTRUCTION WORK OF EXAMINATION

—A proposal of execution single V groove
method of the site weld joint—

吉津利洋 —*1 尾形素臣 —*2
犬島英治 —*3

Toshihiro YOSHIZU —*1 Motoomi OGATA —*2
Hideharu INUJIMA —*3

キーワード：
異形鉄筋, 溶接継手, V形開先, 炭素当量

Keywords:
Reinforcing steel bar, Welding joint, Single V groove, Carbon equivalent

In this report, I did a survey of transition of carbon equivalent in welding joint of a reinforcing rod. As a result it became clear that heat-affected crack occurred by decrease of carbon equivalent as execution a large amount progressed.

Therefore, in the point of the site weld management, it is thought that the defect can correct it by making much of single V groove.

1.はじめに

21世紀を迎える我が国にとって、高齢化・少子化の社会構造が近年、色濃くなってきた。この状況を背景に建設業界でも一般的となったPCa(プレキャストコンクリート)部材を用いた建築マンションRC構造物等が数多く見られる。同部材の接合方法に関しては、技術性と経済性を考慮すると、建設現場にて鉄筋溶接継手を使用する場合が適当である。しかし、現場溶接である以上、鉄骨躯体溶接と同様に現場環境や溶接技量に左右され易い。また、溶接品質管理においては、工場製作と同等レベルの施工管理が要求される。このため、品質検査性に優れた工法として、溶接終了後に他(裏当て材に銅製や鉄製を使用した)工法に比べて目視検査が可能なる「CB(セラミックス製裏当て材を使用した)工法^{[1]~[3]}」の施工運用^[4]が数多く見受けられるようになって来た。

2.炭素当量と破断位置の関係

前述したCB工法溶接継手によるテストピースを製作し、そのテストピースに引張載荷を加えると母材ではなく、ボンド部の位置で破断する場合が存在する。その原因は主に鉄筋の炭素当量に帰着されると報告した^[5]。尚、開先形状は全てI形開先として製作を行った。で同結果を図-1に示す。また、図中の炭素当量CeqはIIWの式(1)の方法で算出した。

$$Ceq = C + Mn/6 + (Cu + Ni)/15 + (Cr + Mo + V)/5 \quad \text{-----(1)}$$

同図より、炭素当量が0.55(%)以上で引張強度が700(N/mm²)以上で破断位置が母材部からボンド部に移行することが示された。このため、炭素当量が0.55(%)以下であれば溶接可能な鉄筋材料と言える。

但し、ボンド部破断とは引張試験後、破断断面に溶接欠陥が無く、シェブロンパターンが現れた伸び率が素材に比べて少なく、くびれの少ない破断状況を言う。

図-1 炭素当量と破断位置の関係

図-1に示した結果は開先条件をI形として制作した試験体であった。通常、I形の場合、アークスタート時にはV形よりもアークに対する鉄筋容積が大きいので、外周部にクラックが発生し易い。すなわち、クラックの発生は熔融金属の凝結速度が速いほど発生が顕著になり、その現象は炭素当量が多い鉄筋材料ほど多く見受けられると考えられる。

そこで、鉄筋をI形およびV形とし、開先形状が炭素当量の関係に及ぼす影響を調査し、その結果を本論にまとめた。

*1 佐藤工業(株)北陸支店 工修
(〒930-8515 富山県富山市桜木町1-11)

*2 愛知工業大学建築学科 教授・工博

*3 愛知工業大学建築学科 大学院生

*1 Sato Kogyo Corp., Hokuriku Branch, M. Eng.

*2 Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Engineering, Aichi Institute of Technology, Dr. Eng.

*3 Graduate Student, Aichi Institute of Technology

3.実験概要

(1)試験体の形状寸法

鉄筋の炭素当量が0.55(%)近傍の試験体に対してI形およびV形の開先加工を施した後、溶接継手を行い、引張载荷により破断位置を確認した。また、V形開先の開先角度を5°とした。

図-2 開先加工形状

また、PCa部材製作工場の製作過程において、機械式継手の場合はあらかじめ、接合状態で打設し、その後、分離して現場サイトに搬入する。また、溶接継手の場合はフシの向きを横向きにする事も当然であるため、鉄筋開先加工した鉄筋を用いる事も可能と考えられる。

(2)鉄筋材料

鉄筋材料は全てD32とし、その化学成分および機械的性質を表-1.1～表-1.8に示す。

試験体①(D32(SD390))

表-1.1 素材の化学成分

化学成分(%)									
C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	V	Ceq(IIW)
0.27	0.23	1.19	0.036	0.040	0.09	0.17	0.02	0.020	0.52

表-1.2 素材の機械的性質

番号	降伏点 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	伸び (%)
T-01	426	626	26
T-02	431	629	25
T-03	428	622	24
Avg	428	626	25

試験体②(D32(SD390))

表-1.3 素材の化学成分

化学成分(%)									
C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	V	Ceq(IIW)
0.31	0.19	1.15	0.027	0.027	0.08	0.26	0.02	0.018	0.56

表-1.4 素材の機械的性質

番号	降伏点 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	伸び (%)
T-01	442	640	23
T-02	440	639	25
T-03	440	638	25
Avg	441	639	24

試験体③(D32(SD490))

表-1.5 素材の化学成分

化学成分(%)									
C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	V	Ceq(IIW)
0.25	0.23	1.36	0.031	0.015	0.07	0.24	0.02	0.051	0.54

表-1.6 素材の機械的性質

番号	降伏点 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	伸び (%)
T-01	509	666	27
T-02	506	665	27
T-03	508	667	26
Avg	507	666	27

試験体④(D32(SD490))

表-1.7 素材の化学成分

化学成分(%)									
C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	V	Ceq(IIW)
0.32	0.42	1.29	0.028	0.043	0.07	0.11	0.03	0.035	0.58

表-1.8 素材の機械的性質

番号	降伏点 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	伸び (%)
T-01	521	706	20
T-02	519	703	18
T-03	518	702	19
Avg	519	704	19

(2)溶接材料

溶接材料は、SD390(試験体①および②)が溶接材料①を、SD490(試験体③および④)が溶接材料②を用いて溶接を行った。その化学成分と機械的性質を表-2.1および表-2.2に示す。

表-2.1 溶接材料① 化学成分および機械的性質

化学成分							機械的性質		
C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	Mo (%)	Cu (%)	降伏点 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	伸び (%)
0.08	0.85	1.93	0.008	0.009	0.36	0.15	628	691	27

表-2.2 溶接材料② 化学成分および機械的性質

化学成分							機械的性質		
C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	Ni (%)	Mo (%)	降伏点 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	伸び (%)
0.08	0.36	1.23	0.009	0.011	2.10	0.59	647	804	20

(3)実験方法

4種類の炭素当量を持つ試験体に対して、I形およびV形の2種類の開先加工を施した試験体を各10体製作し、それぞれについて引張試験を行った。また、引張試験を行う前に溶接性を確認するために、超音波探傷試験^[6]も併せて実施した。この溶接時の溶接条件を表-3に示す。

表-3 溶接条件

	溶接電流(A)	アーク電圧(V)
高条件	250～220	35～30
低条件	200～180	25～20

注)高条件及び低条件とは、通常の本溶接とクレータ溶接の事である。

(4)実験結果

実験結果を表-4.1～表-4.4に示す。また、試験体②についてはビッカース硬さ試験と縦断面マクロ試験も併せて行った。その結果を図-4.1～図-4.3および写真-1に示す。

①引張試験結果

表-4.1 溶接継手の試験結果(試験体①)

超音波探傷検査結果			引張試験結果			
試験体番号	基準エコー(dB)	エコー高さ(%)	降伏点(N/mm ²)	引張強さ(N/mm ²)	伸び(%)	破断位置
I32-01	45.0	5	422	624	26	母材部
I32-02	45.0	5	426	625	26	母材部
I32-03	45.0	5	421	627	25	母材部
I32-04	45.0	5	428	629	25	母材部
I32-05	45.0	10	429	622	26	母材部
I32-06	45.0	10	428	637	21	母材部
I32-07	45.0	5	428	621	27	母材部
I32-08	45.0	5	428	625	25	母材部
I32-09	45.0	5	429	624	25	母材部
I32-10	45.0	5	427	627	25	母材部
V32-11	45.0	5	427	631	23	母材部
V32-12	45.0	5	422	630	25	母材部
V32-13	45.0	5	433	625	25	母材部
V32-14	45.0	5	431	626	25	母材部
V32-15	45.0	5	424	632	21	母材部
V32-16	45.0	5	429	629	25	母材部
V32-17	45.0	5	437	625	25	母材部
V32-18	45.0	5	434	627	24	母材部
V32-19	45.0	5	420	624	25	母材部
V32-20	45.0	5	457	627	25	母材部

表-4.2 溶接継手の試験結果(試験体②)

超音波探傷検査結果			引張試験結果			
試験体番号	基準エコー(dB)	エコー高さ(%)	降伏点(N/mm ²)	引張強さ(N/mm ²)	伸び(%)	破断位置
I32-01	46.0	5	445	648	19	ボンド部
I32-02	46.0	5	450	645	25	母材部
I32-03	46.0	5	449	640	24	母材部
I32-04	46.0	5	448	648	18	ボンド部
I32-05	46.0	5	441	644	17	ボンド部
I32-06	46.0	5	451	644	25	母材部
I32-07	46.0	5	448	644	25	母材部
I32-08	46.0	5	448	641	25	母材部
I32-09	46.0	5	440	646	24	母材部
I32-10	46.0	5	440	645	17	ボンド部
V32-11	46.0	5	446	645	26	母材部
V32-12	46.0	5	442	648	25	母材部
V32-13	46.0	5	445	648	26	母材部
V32-14	46.0	5	442	648	26	母材部
V32-15	46.0	5	447	651	24	母材部
V32-16	46.0	5	454	652	23	母材部
V32-17	46.0	5	441	652	23	母材部
V32-18	46.0	5	456	645	27	母材部
V32-19	46.0	5	425	649	25	母材部
V32-20	46.0	10	441	650	26	母材部

表-4.3 溶接継手の試験結果(試験体③)

超音波探傷検査結果			引張試験結果			
試験体番号	基準エコー(dB)	エコー高さ(%)	降伏点(N/mm ²)	引張強さ(N/mm ²)	伸び(%)	破断位置
I32-01	45.0	5	497	655	25	母材部
I32-02	45.0	5	499	652	25	母材部
I32-03	45.0	5	501	657	24	母材部
I32-04	45.0	5	498	651	25	母材部
I32-05	45.0	5	499	650	25	母材部
I32-06	45.0	5	503	659	21	母材部
I32-07	45.0	5	496	649	25	母材部
I32-08	45.0	5	496	649	26	母材部
I32-09	45.0	5	498	658	22	母材部
I32-10	45.0	5	498	658	22	母材部
V32-11	45.0	5	498	658	23	母材部
V32-12	45.0	5	497	655	24	母材部
V32-13	45.0	5	497	655	24	母材部
V32-14	45.0	5	493	651	24	母材部
V32-15	45.0	5	497	660	20	母材部
V32-16	45.0	5	501	657	21	母材部
V32-17	45.0	5	498	652	23	母材部
V32-18	45.0	5	491	655	21	母材部
V32-19	45.0	5	497	652	24	母材部
V32-20	45.0	5	501	652	24	母材部

表-4.4 溶接継手の試験結果(試験体④)

超音波探傷検査結果			引張試験結果			
試験体番号	基準エコー(dB)	エコー高さ(%)	降伏点(N/mm ²)	引張強さ(N/mm ²)	伸び(%)	破断位置
I32-01	45.5	10	511	700	20	母材部
I32-02	45.5	10	515	705	9	ボンド部
I32-03	45.5	5	514	705	8	ボンド部
I32-04	45.5	10	512	707	10	ボンド部
I32-05	45.5	5	516	701	18	母材部
I32-06	45.5	5	515	705	10	ボンド部
I32-07	45.5	5	516	704	19	母材部
I32-08	45.5	5	518	706	8	ボンド部
I32-09	45.5	5	515	707	9	ボンド部
I32-10	45.5	5	519	703	18	母材部
V32-11	45.5	5	511	700	12	ボンド部
V32-12	45.5	5	518	705	18	母材部
V32-13	45.5	5	517	705	9	ボンド部
V32-14	45.5	5	515	705	9	ボンド部
V32-15	45.5	5	514	701	19	母材部
V32-16	45.5	10	518	701	10	ボンド部
V32-17	45.5	5	515	705	11	ボンド部
V32-18	45.5	5	516	702	19	母材部
V32-19	45.5	5	518	702	7	ボンド部
V32-20	45.5	5	518	701	19	母材部

②ビッカース硬さ試験結果

硬さ試験の測定位置を図-3に示す。また、測定位置①～③に対して各開先条件の相違についての結果を図-4.1～図-4.3に示す。

図-3 ビッカース硬さ試験の計測位置図

図-4.1 ビッカース硬さ試験(測定位置① 上部)

図-4.2 ビッカース硬さ試験(測定位置② 中央部)

図-4.3 ビッカース硬さ試験(測定位置③ 下部)

③縦断面マクロ試験結果

写真-1 溶接部マクロ写真(V形開先)

5. 考 察

(1)引張試験の結果および炭素当量の関係

試験体①(表-4.1参照)および試験体③(表-4.3参照)については、全て母材部破断であると共に、炭素当量も冒頭の表-1の0.55(%)を下回っているため、当然の結果であると言える。しかし、試験体②(表-4.2参照)については、I形開先がボンド部破断が見られるものの、V形開先の場合は全て母材破断となる。この母材の炭素当量は0.56(%)であり、開先形状により0.01(%)のみではあるが、溶接施工範囲が向上することが示されたと考えられる。

しかし、試験体④についてはI形およびV形ともボンド部破断が出現しており、開先角度が5°程度では開先の効果が現れ無かったと言える。

尚、本試験で使用した試験体の炭素当量と素材の引張強さの関係を図-5に示す。但し、先の引張試験でボンド部破断が1体でも発生した試験体はボンド部破断として表記した。

図-5 炭素当量と破断位置の関係

(2)ビッカース硬さ試験結果

図-4.1～図-4.3に示した硬さ試験結果は350Hv以下であり、良好な溶接であったと言える。しかし、開先条件がI形およびV形の差について、全体的にI形開先の場合のビッカース最大硬さが同V形開先に比べて高い事が示された。すなわち、I形開先はV形開先に比べて、鉄筋への入熱量が少なく、冷却速度が速いためと考えられる。すなわち、割れ感受性がI形開先よりもV形開先の方が低い事が示された。

(3)縦断面マクロ写真

試験体②についての縦断面マクロ試験については、溶接欠陥もなく良好な溶接と言える。

6. おわりに

本実験では開先角度を0°と5°に限定して実験を行って来た。その結果、わずかではあるが、開先角度を施す事により、より炭素当量が多い素材においても溶接可能(ボンド部破断が発生しなし)であることが示された。

今後は、この調査結果を基礎として、炭素当量が0.55(%)近傍の鉄筋材料に対して、更に開先角度を大きくし、更なる調査を行う必要があると考えられる。

また、このような方法による開先加工は実現場においても可能であり、実用性は高いと思われる。

謝辞

本報をまとめるに当たり、愛知工業大学大学院 宮本氏に多くの実験データを提供して頂いた。ここに記して感謝の意を表す。

【参考文献】

- [1]佐藤和宏,尾形素臣,鈴木英次,郭正興:セラミックス製パッキング材を用いた鉄筋の狭開先CO₂溶接継手に関する研究,1990年度大会(中国)学術講演梗概集,C-2,日本建築学会,pp693～694,1990年10月
- [2]永田 昇,矢野和博,尾形素臣,長瀬直行:セラミックス製パッキング材を用いた鉄筋の狭開先セルフシールド溶接に関する研究(その1),1991年度大会(東北)学術講演梗概集,C-2,日本建築学会,pp807～808,1991年9月
- [3]永田 昇,矢野和博,長瀬直行,高木章好,尾形素臣:セラミックス製パッキング材を用いた鉄筋の狭開先セルフシールド溶接に関する研究(その2),1992年度大会(北陸)学術講演梗概集,C-2,日本建築学会,pp521～522,1992年8月
- [4]吉津利洋,尾形素臣,和田将敏:鉄筋溶接継手の施工方法の検討—現場溶接継手の施工方法の提案—日本建築学会技術報告集 NO.9 P. 89 1999年12月
- [5]吉津利洋,尾形素臣,白頭浩之:鉄筋の自動溶接に関する研究—水平鉄筋の溶接技術の確立—日本建築学会技術報告集 NO.8 P.47 1999年6月
- [6]鉄筋コンクリート用異形棒鋼ガス圧接部の超音波探傷試験方法および判定基準(JIS Z 3062),1988年

[2000年10月19日原稿受理 2001年2月22日採用決定]