鉄筋溶接継手の技量推移 —現場溶接継手の施工管理方法の提案—

A TRANSITION OF ABILITIES OF REINFORCING ROD WELD JOINT —A proposal of execution management method of the site weld joint—

吉津利洋 —*1 尾形素臣 —*2
永田 昇 —*3 犬島英治 —*4

Toshihiro YOSHIZU —*1 Motoomi OGATA —*2
Noboru NAGATA —*3 Hideharu INUJIMA —*4

キーワード：
異形鉄筋, 溶接継手, 熱影響部破断

Keywords:
Reinforcing steel bar, Welding joint, Heat-affected zone fracture

In this report, I did a follow-up survey of transition of welding abilities in welding joint of a reinforcing rod. As a result it became clear that heel crack and toe crack occurred by decrease of route gap and bead as execution amount progressed. Therefore, in the point of the site weld management, it is thought that the defect can correct it by making much of test after weld before weld.

1.はじめに

近年の高齢化・少子化の社会構造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で同品質が要求される。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「CB(セラミックス製裏当て材を使用した)工法^{[1]~[3]}}」の施工運用が数多く見受けられるようになって来た。

2.実施工の溶接技量

前述したCB工法を用いて、ある建設現場のPCa梁の下向き溶接接合に適用を行った。その時の2名の溶接工の施工実績と不具合率の追跡調査を行った。その結果を図-1に示す。但し、施工数量は50(箇所/日人)程度であった。

また、同図中の不具合率とは次式①より求めた数値とした。

不具合率(%)=[(外見検査+UT検査)不合格数]/施工数量×100(%)---①

同図より、両者の溶接工とも、CB工法溶接継手は初めての経験であったため、施工当初は溶接技量が不安定であり、ある程度高い不具合が生じたものの、施工数量を経ていくうち(施工日数を重ねていくうちに)に不具合が

低減し、すなわち右下がりの傾向に至った。しかし、図中の中央部分(5日~8日)で両者共、不具合率が上昇し、その後、再び減少している。このような不具合率が上昇する原因としては、作業環境と溶接技量の両方が考えられる。作業環境については現場サイトでの溶接条件の設定等によりハード面(鉄筋工事の作業手順の確保等)で改善されるものの、溶接技量に関してはソフト面すなわちメンタルな面があると考えられる。そこで、本報では後者について定量的に分析する事により、図-1に示した施工途中での不具合率の上昇を低減し、より早期に技量を安定する方法を提案するものである。

【図-1 溶接作業者の溶接技量の追跡結果】

*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 研究員

*4 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 Researcher, Aichi Institute of Technology

*4 Graduate Student, Aichi Institute of Technology

3. 不具合率が上昇する原因

前項に示した溶接技量のメンタル面とは、溶接工自身がある程度技量が向上したと思える段階になると、更なる技量向上めざし、溶接数量の増加する場合が多い。この場合に次に示す(1)と(2)の開先条件の溶接部では溶接欠陥の発生が多く示されている。

(1) 溶接始端部が鉄筋内部にある場合

鉄骨の柱梁接合部部分のフランジ溶接の場合、溶接終始端が母材の内部より外にするエンドタブが設けられている。しかし、鉄筋溶接はI形狭開先であると共に、このようなタブが存在しないため、鉄筋内部に溶接始端で発生するトウクラックが発生しやすい。この様な影響を鉄筋のフシの無い部分で受けた試験体の引張試験を行うと母材破断以外の位置で破断する。これは、引張強度は最小断面積であるフシの無い谷側の部分で決まるからである。

ここで、トウクラックが発生する鉄筋端面状況の模式図を図-2に示す。

【図-2 トウクラックの発生模式図】

(2) ルートギャップが狭い事による影響

一般にルートギャップが狭い(図-3中の α° の場合)と鉄筋端面をねらうのにトーチ角度を大きく傾ける必要がなく溶接が短時間で完了する。しかし、その反面、鉄筋端面が溶融するまでの時間に溶接プールが上昇するので、アークスタート時点での十分な溶け込みの確保が難しい。そのため、アークスタート部分のトウクラックの発生し易くなる。

【図-3 ルートギャップとトーチ角度の相関($\alpha < \beta$)】

しかし、ある程度、施工数量を経っていくと、溶接工の溶接技量が向上すれば、この影響は少なくなる。しかし、実際には苦渋作業である溶接作業であるため、悪条件下では鉄筋外周部までトウクラックを完全に消すに至っていないのが現状である。

このため、ルートギャップは図-3の右図のように、溶接トーチ角度を十分に保てる様に、ルートギャップを10mm以上にする方が良いと考えられる。

4. 実験目的

前項より、模擬的に不具合率が上昇する原因(1)及び(2)の影響を施した模擬試験体を製作し、その比較として同原因を改善した試験体との比較を行った。

4.2 実験種類

試験体種類として以下に示す3種類(①～③)の試験体を各20体作製した。

(1) 不具合率が上昇する原因の模擬試験体-①

鉄筋のフシなしで、ルートギャップが7mmの試験体(改善前)

(2) 改善案1-②(3(1)の改善案)

トーチ角度を十分に広げるために、手ぶれを押さえるために両手で溶接トーチを用い、鉄筋端面を十分に溶かした事を考慮した鉄筋フシなしのルートギャップが7mmの試験体

(3) 改善案2-③(3(2)の改善案)

鉄筋フシなしで、ルートギャップが10mmの試験体

4.3 材料の機械的及び化学成分

使用材料の機械的性質および化学成分を表-1～表-3に示す。

表-1 素材試験結果および溶接条件(D32(SD345))

番号	機械的性質			溶接条件	
	降伏点 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	伸び (%)	溶接電流 (A)	アーク電圧 (V)
T-01	380.1	579.7	22.5	180～ 220	25～30
T-02	375.1	581.7	22.0		
T-03	380.1	580.7	23.0		
Avg	378.1	580.7	22.5		

注) 溶接条件は、本溶接条件時。

表-2 素材の化学成分

化学成分(%)										
C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Sr	Nb	V	Ni
0.25	0.30	1.08	0.024	0.024	0.25	0.17	0.011	0.002	0.02	0.05

表-3 溶接ワイヤの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	627.6	691.4	27

4.3 実験方法

各試験体に対して、引張検査及び超音波探傷検査を行い、破断位置の特定を行った。また、3種類の試験体に1体ずつの試験体のビッカース硬さ試験(計測位置は図-4を参照)及びマクロ試験を行い、溶接性の観察を行った。

【図-4 ビッカース硬さ試験の計測位置図】

4.4 実験結果

引張試験及び超音波探傷試験結果を表-4①～③に示す。

同試験体のビッカース硬さ試験の結果を各計測位置(上部①、中央②及び下部③(図-4参照))ごとに表-5①～③及び図-5①～②に、示す。また、

同試験体のマクロ試験を写真-1①～③に示す。

表-4(1) 溶接継手の試験結果(改善前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
132-01	44.5	10	382.8	549.5	7.5	ボンド部
132-02	44.5	10	379.1	550.7	7.8	ボンド部
132-03	44.5	10	380.3	581.6	20.5	母材部
132-04	44.5	10	380.3	581.6	19.7	母材部
132-05	44.5	15	379.1	581.6	19.7	母材部
132-06	44.5	5	385.3	577.9	20.7	母材部
132-07	44.5	20	380.3	551.9	9.5	ボンド部
132-08	44.5	10	380.3	582.8	19.5	母材部
132-09	44.5	10	385.3	580.3	20.0	母材部
132-10	44.5	10	382.8	579.1	20.7	母材部
132-11	44.5	10	382.8	584.1	19.0	母材部
132-12	44.5	5	382.8	581.6	19.5	母材部
132-13	44.5	20	380.3	551.9	5.1	ボンド部
132-14	44.5	15	380.3	577.9	20.0	母材部
132-15	44.5	20	377.8	551.9	9.5	ボンド部
132-16	44.5	5	380.3	580.3	19.7	母材部
132-17	44.5	20	380.3	580.3	19.5	母材部
132-18	44.5	10	377.8	549.5	7.7	ボンド部
132-19	44.5	10	379.1	550.7	7.0	ボンド部
132-20	44.5	5	379.1	549.5	8.5	ボンド部

表-4(2) 溶接継手の試験結果(改善案1 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
232-01	44.0	10	380.3	582.8	20.7	母材部
232-02	44.0	5	382.8	580.3	20.8	母材部
232-03	44.0	10	379.1	581.6	19.5	母材部
232-04	44.0	5	380.3	582.8	20.1	母材部
232-05	44.0	5	379.1	581.6	19.0	母材部
232-06	44.0	5	381.5	580.3	20.7	母材部
232-07	44.0	5	382.8	582.8	20.7	母材部
232-08	44.0	5	384.0	584.1	19.0	母材部
232-09	44.0	5	380.3	580.3	20.5	母材部
232-10	44.0	5	379.1	581.6	20.1	母材部
232-11	44.0	5	377.8	582.8	20.7	母材部
232-12	44.0	10	379.1	581.6	19.5	母材部
232-13	44.0	5	385.3	581.6	19.5	母材部
232-14	44.0	5	382.8	580.3	19.5	母材部
232-15	44.0	5	380.3	577.9	20.5	母材部
232-16	44.0	5	379.1	580.3	20.3	母材部
232-17	44.0	5	381.5	577.9	20.8	母材部
232-18	44.0	5	382.8	580.3	20.8	母材部
232-19	44.0	5	384.0	584.1	19.5	母材部
232-20	44.0	10	385.3	581.6	19.5	母材部

表-4(3) 溶接継手の試験結果(改善案2 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
332-01	44.0	10	382.8	582.8	20.7	母材部
332-02	44.0	5	382.8	577.9	20.7	母材部
332-03	44.0	5	379.1	581.6	19.5	母材部
332-04	44.0	10	382.8	581.6	20.0	母材部
332-05	44.0	5	377.8	581.6	19.5	母材部
332-06	44.0	5	382.8	582.3	20.5	母材部
332-07	44.0	5	379.1	580.3	19.7	母材部
332-08	44.0	5	385.3	579.1	20.6	母材部
332-09	44.0	10	382.8	582.8	20.5	母材部
332-10	44.0	10	380.3	581.6	21.0	母材部
332-11	44.0	5	381.5	581.6	20.5	母材部
332-12	44.0	5	382.8	580.3	20.9	母材部
332-13	44.0	5	382.8	581.6	20.9	母材部
332-14	44.0	5	379.1	577.9	21.0	母材部
332-15	44.0	20	379.1	580.3	21.0	母材部
332-16	44.0	5	380.3	582.8	19.5	母材部
332-17	44.0	5	382.8	580.3	19.7	母材部
332-18	44.0	5	382.8	580.3	20.4	母材部
332-19	44.0	5	382.8	582.8	20.2	母材部
332-20	44.0	5	379.1	580.3	20.4	母材部

表-5(1) 測定位置①の結果

試験体種類	改善前(HV)	改善1(HV)	改善2(HV)	平均(HV)
ビッカース硬さ最大値	251	245	240	245
" 最小値	198	205	195	199
最大値-最小値	54	41	45	47

表-5(2) 測定位置②の結果

試験体種類	改善前(HV)	改善1(HV)	改善2(HV)	平均(HV)
ビッカース硬さ最大値	254	243	232	243
" 最小値	199	197	202	199
最大値-最小値	55	46	30	131

表-5(3) 測定位置③の結果

試験体種類	改善前(HV)	改善1(HV)	改善2(HV)	平均(HV)
ビッカース硬さ最大値	241	223	232	232
" 最小値	195	198	196	196
最大値-最小値	46	25	36	36

【図-5(1) ビッカース硬さ試験結果①】

【図-5(2) ビッカース硬さ試験結果②】

【図-5(3) ビッカース硬さ試験結果③】

【写真-1① 溶接部マクロ写真(改善前①)】

【写真-1② 溶接部マクロ写真(改善案1 ②)】

【写真-1③ 溶接部マクロ写真(改善案2 ③)】

5. 考 察

(1) 引張試験及び超音波探傷検査結果

引張結果により鉄筋形状を考慮せずに溶接を実施した(改善前①)では、バンド部破断を伴う場合が多く見られた。すなわち、ルートギャップが10mmの溶接施工では鉄筋形状を考慮するした影響は出現しないものの、運棒動作が難しくなるルートギャップが7mmでは運棒動作の考慮が必要であると考えられる。また、超音波探傷検査においてはガス圧接基準を準用して

いるため、溶接部のごく表面近傍のクラック等については検出されなかった。

(2) ビッカース硬さ試験結果

硬さ試験結果においても試験体(改善前①)では、最高硬さ値が他の試験体より高く、表5(1)～(3)からも示されたように、同硬さの差(最大値－最小値)も大きいと、割れ感受性が他の試験体より高いことが示された。すなわち、このような試験体の発生原因としては溶接入熱不足により硬さ値が他の試験体より上昇したと考えられると共に、こうした試験体に引張試験を施すと母材以外の溶接部や熱影響部で破断する可能性も懸念される。

(3) 溶接部マクロ写真

写真-1(改善案1②)は写真-1(改善前①)に比べて鉄筋端面からの溶け込みが深く、運棒動作を考慮することにより、確実に溶け込み程度が異なることが示された。また、写真-1(改善案2③)については、写真-1(改善前①)よりもルートギャップの部分が広いことが示された。

6. 対応策

以上に述べてきたように、ルートギャップが狭い(7mm)の場合の溶接性を確保するには、改善策が必要である。しかし、溶接管理者としては、ルートギャップが狭い場合には溶接技量が必要とされる改善案1を言及するよりも10mm以上に広げて溶接するように溶接工に励行する方法が施工管理が容易になると考えられる。

そこで、このような状況が発生しない対応策として、溶接管理を行う上で以下事項を行い、実施工で低減を図った。

(1) ルートギャップの縮小の防止

施工現場でどうしてもルートギャップを縮小する場合はともかくとして、基本的には、同ギャップを10mm以上を確保の励行を行い、溶接管理は溶接前検査に行うルートギャップの確認の徹底をする。

(2) 施工数量の適正化

溶接工自身が向上心からなる更なる技量の向上として施工数量を増加させることは、溶接品質上、不具合率が上昇するため、溶接作業においては適正施工数量を工事当初から設定する必要がある。一つ例に挙げると、D32でPCAA部材:50ヶ所、先組鉄筋:100ヶ所、在来工法:100ヶ所程度が望ましと考えられる。

7. 終わりに

ガス圧接継ぎ手に比べて施工シェアの少ない鉄筋溶接継手を現場溶接施工の品質管理をする上においては、鉄筋接合であるから、ガス圧接継手のような意識で管理することは避けて、躯体鉄骨溶接の管理と同程度を念頭に置き、前項に示してきた事項に留意して品質管理を実施すると良い結果が期待できると考える事ができる。

【参考文献】

- [1] 佐藤和宏, 尾形素臣, 鈴木英次, 郭正興: セラミックス製バックリング材を用いた鉄筋の狭間先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: セラミックス製バックリング材を用いた鉄筋の狭間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: セラミックス製バックリング材を用いた鉄筋の狭間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] 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4月20日原稿受理 2000年7月26日採用決定】