

エレクトロスラグ溶接の欠陥に関する研究

正会員 ○藤田 哲也*1 正会員 護 雅典*2 正会員 甲田 輝久*3
横田 和伸*4 同 喜多村英司*5 同 石原 完爾*6

溶接欠陥 接合部 エレクトロスラグ溶接
マクロ試験 超音波探傷試験

1. はじめに

今日の超高層鉄骨建築物において、溶接組立箱型断面柱が多用されている。その柱梁接合部は力学上及び施工性の関係から柱通しの内ダイアフラム補剛形式となる。その内ダイアフラムと柱スキンプレートの接合には、図-1に示すエレクトロスラグ(以後、エレスラ)溶接方法が採用されている。柱が閉鎖断面となる接合部であるため、エレスラ溶接時にトラブルが発生して溶接が中断した場合、そのまま再スタートして溶接を継続している。しかし、エレスラ溶接中断後の再スタート部はスラグが発生することが避けられないため、欠陥が残っていることが推測されるが、どの程度の欠陥であるかの研究成果があまり公表されていない。

そこで、本研究では、エレスラ溶接の中断時間と内部性状の関係を、超音波探傷検査により非破壊的に調査するとともに、マクロ組織試験により溶込状況や溶接割れ等の状況を実断面で確認した。

2. エレスラ溶接試験体概要

試験体は図-2に示す通り、スキンプレートは PL-500×25、ダイアフラムは PL-300×25、裏当て金は FB-25×50 で、エレスラ部分は 25×25 となる T 断面で、長さ 500mm とした。使用した鋼材は SN490B とした。鋼材の力学的性質を表-1に、エレスラ溶接の条件を表-2に示す。なお、ワイヤは YES62 (JIS Z 3353) の 1.6mm φ、フラックスは FS-FG3 (JIS Z 3353)、カットワイヤは 1.0mm サイズを使用し、スタート時の添加量は溶接用カットワイヤが 50g、フラックスが 60g とした。

本実験に先立つ事前実験の結果から、中断時間 1 分では、カットワイヤの添加無しで溶接の再スタートができ溶接が継続できること、2 分ではカットワイヤの添加が必要との知見を得ていたため、実験パラメーターとしては中断時間 1 分(NO.1)、2 分(NO.2)、比較的な意味で 15 分(NO.3)を採用し、試験体は 3 体とした。なお、試験体 NO.1 はカットワイヤとフラックス添加なしで、試験体 NO.2 と NO.3 はカットワイヤとフラックス添加して再スタートした。なお、中断位置は試験体長さ中央の 250mm 付近とし、スタートタブは深さ 30mm の水冷銅製タブを使用した。

3. 超音波探傷試験結果

NO.1,2,3 の溶接後の試験体について、建築学会規準に従い垂直探傷法(パルス反射式)によりスタート端面より 50mm ピッチで溶込み幅を測定し、溶接欠陥の有無を超音波探傷試験した。その結果を表-3

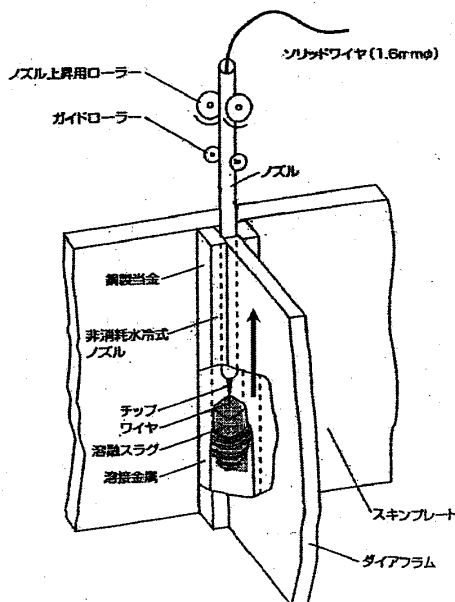


図-1 エレクトロスラグ溶接方法

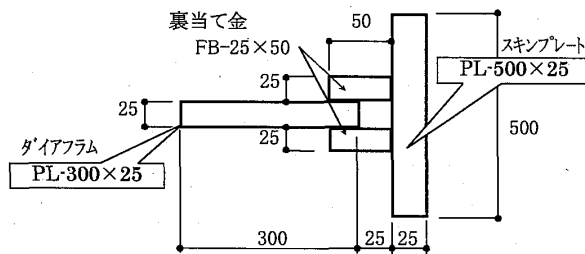


図-2 試験体断面形状

表-1 使用鋼材の力学的性質

降伏点	引張強さ	伸び	降伏比	0°Cの吸収エネルギー						
351N/mm ²	542 N/mm ²	24%	65%	209J						
C	Si	Mn	P	S	NB	NI	Mo	V	Cr	Ceq
×100%					×1000%					×100%
16	29	152	13	4	1	2	1	0	2	43

表-2 エレスラ溶接条件

試験体	中断時間 (min)	電流 (A)	電圧 (V)	速度 (cm/min)	入熱 (kJ/cm)
NO.1	1	370-390	44-48	3.3	318
NO.2	2	370-390	44-48	3.3	318
NO.3	15	370-390	44-48	3.3	318

に示す。50mm ピッチの溶込み幅は、NO.1,2 は片側 4~8mm の溶込みが得られていた。NO.3 は 250mm の位置で、A側で-2mm、B側で-3mm と溶込み幅不足が見られた。これは不合格欠陥が 245~275mm にあるためである。NO.2 は、欠陥部が 255~280mm の位置にあり、計測位置から外れたため正常な溶込みとなっている。内部欠陥については、表-4 に示す通りで、建築学会基準で判定すると NO.1 は合格で、NO.2,3 は不合格であった。

4. マクロ試験結果

NO.1,2,3 について、溶接中断前後の溶込み状態の確認として長さ 20cm の縦断面マクロ観察試料を採取した。採取した断面マクロ組織写真を写真-1、その再スタート先端の拡大写真を写真-2 に示す。

NO.1 は、再スタート前のビードと再スタート後のビードが融合しており、割れは多少あるが、スラグ巻込みの欠陥は見られなかった。NO.2 は、溶接停止した際のクレータ割れと再スタート部のスラグ巻込みの欠陥が見られ、再スタート後の開先未溶融となった溶込み不足約 30mm が確認された。NO.3 は、NO.2 とほぼ同様の形態であるが、溶接停止した際のクレータ割れが見られ、再スタート部のスラグ巻込みは NO.2 よりも広範囲となっている。これは完全に凝固した状態から再スタートしたことにより、停止前のスラグ溶融が少なくスラグ巻込みの範囲が大きくなっていると思われる。さらに、浮上しかかった丸形のスラグ巻込みが確認された。

5. まとめ

板厚 25mm の鋼材を用いたモデル試験で、エレスラ溶接時に中断した場合の、再スタート部の溶接状況を確認する実験を行い、以下のことが確認された。

- ① 溶接を途中停止した場合、溶接中断時間 1 分以内であれば停止したままの状態でも再スタート可能であった。溶接中断時間が 2 分以上となると停止したままの状態では再スタート出来ず、カットワイヤとフラックスの添加が必要であった。
- ② 溶接中断時間 1 分以内の条件で再スタートした場合は、超音波探傷検査では欠陥は検出されず、断面マクロでもキズは見られなかった。一方、溶接中断時間 2 分以上の場合は、溶接停止した際のクレータ割れと巨大な凝固したスラグ巻込みが存在し、再スタート後 20~30mm の溶込み不足が見られた。

①②の結果から、中断時間 1 分ではカットワイヤ無しで再スタートができほとんど内部欠陥も見られないが、2 分ではスラグ巻き込みやクレータ割れ発生することから、1 分と 2 分の間に限界点があるように推察される。また、試験体用の板厚が 25mm と比較的薄く冷却能の低い材料であることから、板厚が厚くなれば冷却効果も大きくなるため中断時間の管理はさらに厳しくする必要があると思われる。

表-3 超音波探傷試験結果 (溶込み幅) (単位:mm)

スタート端面からの距離 (mm)	試験体					
	NO.1		NO.2		NO.3	
	A側	B側	A側	B側	A側	B側
50	4	6	7	6	4	7
100	5	6	6	5	8	6
150	6	7	7	7	7	5
200	8	7	6	6	7	5
250	6	6	7	6	-2	-3
300	7	4	7	6	7	3
350	7	4	6	6	8	4
400	7	4	6	7	9	5
450	7	7	7	8	9	5

表-4 超音波探傷試験結果 (内部欠陥)

試験体	検査結果
NO.1	検出キズ無し→OK
NO.2	255mm 位置に長さ 25mm のキズ検出→NG
NO.3	245mm 位置に長さ 30mm のキズ検出→NG

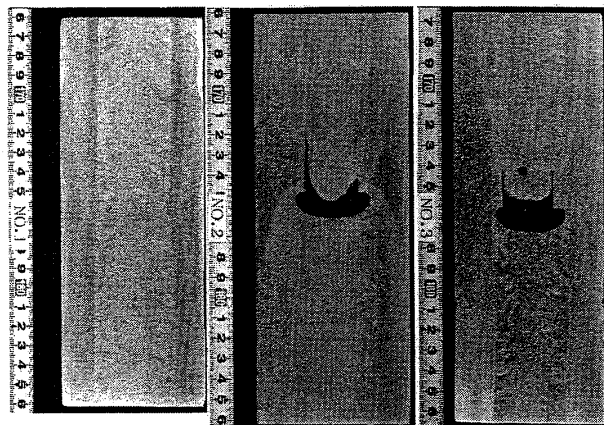


写真-1 縦断面マクロ試験結果

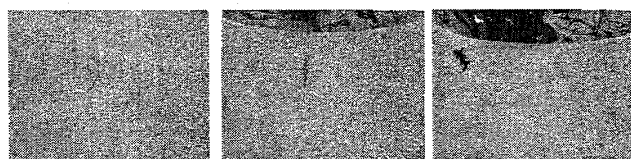


写真-2 欠陥部拡大マクロ

謝辞：この実験は AW 検定協議会研究評価委員会 WG6 において実施された研究である。実験においては、川鉄テクノロジーの協力をいただきました。関係各位に改めて謝意を表します。

*1 ㈱日本設計 博士(工学)

*4 NIT フシリティーズ 工修

*1 Nihonsekkei Inc., Dr. Eng.

*4 NTT Facilities Inc.

*2 ㈱竹中工務店 工修

*5 鹿島建設㈱

*2 Takenaka Corp. Inc.

*5 Kajima Corp.

*3 三井住友建設

*6 大手町ファーストスクエア

*3 Sumitomo Mitsui Construction

*6 Otemachi First Square Inc.