

溶接部に発生するクレータと割れに関する調査研究 —その1 実態調査—

溶接部 溶接欠陥 クレータ
割れ 蛍光磁粉探傷試験

正会員 ○土屋 芳弘*1 正会員 石川 智也*2
甲田 輝久*3 三瓶 文彦*4
正会員 藤田 哲也*5 安田 正治*6
同 鈴川 衛*7

1. はじめに

一般的に溶接始端と共に溶接終端には欠陥が発生しやすい。その対策として、鋼製エンドタブにより溶接始端や終端を本溶接の外で処理する事は一つの有効な手段である。AW検定協議会の工場溶接下向姿勢溶接（鋼製エンドタブ）はウェブを想定したじやま板があるため、クレータがウェブ位置近傍の本溶接に残る場合がある。また、代替エンドタブでは全てが本溶接となるため、クレータが本溶接内に残ることになる。このクレータには運棒方法や冷却速度等の状況により、割れが内在する可能性がある。

そこで本報告では、AW検定の際、受験事業所に提供して頂いた試験体を用いて、クレータの形状や表面割れの発生状況を調査し、その調査結果について報告する。

2. 調査計画

2.1 手順

今回の調査は、図-2.1に示す手順で行った。

2.2 試験体の収集方法

試験体は、29次～31次までの3年間のAW検定の際に受検工場から無作為に提供して頂いた。詳細を表-2.1に示す。

2.3 クレータの形状調査

形状調査は、主に図-2.2に示す①～⑤までのポイントを設定し、クレータ幅、クレータ長さと高さを測定し、目視によるクレータ割れ発生を観察した。

測定値からクレータ形状を分析するために、下記のパラメータを算出した。深さの算出方法を図-2.3に示す。なお、深さのマイナス値は凸形状を示す。

$$\Delta h : (h①+h②+h③+h④) / 4 - h⑤ : \text{平均深さ}$$

$$\Delta h_1 : (h①+h③) / 2 - h⑤ : \text{溶接線方向の深さ}$$

$$W_1 : ② \text{と} ④ \text{との距離} : \text{クレータ幅}$$

$$W_2 : ① \text{と} ③ \text{との距離} : \text{クレータ長さ}$$

2.4 蛍光磁粉探傷試験

目視で割れは確認できなかったが、クレータ部に割れがないかを蛍光磁粉探傷試験により確認した。

2.5 断面観察

蛍光磁粉探傷試験の結果、割れの長さが比較的長い試験体の中から抽出して断面観察を7体で実施した。割れ方向に対してほぼ直角に試験体を切断して、その断面を観察した。

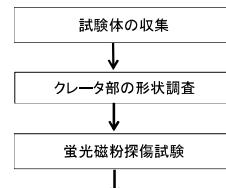


図-2.1 調査の流れ

表-2.1 収集した試験体一覧

| 検定年次 | 工場数(工場) | 試験体数(体) |
|------|---------|---------|
| 29 | 5 | 11 |
| 30 | 15 | 53 |
| 31 | 11 | 48 |
| 合計 | 31 | 112 |

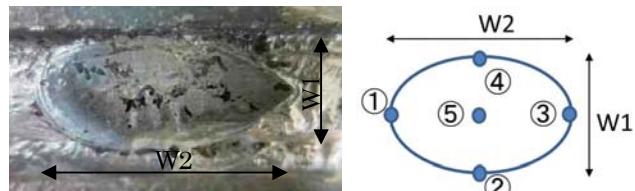


図-2.2 クレータ計測位置

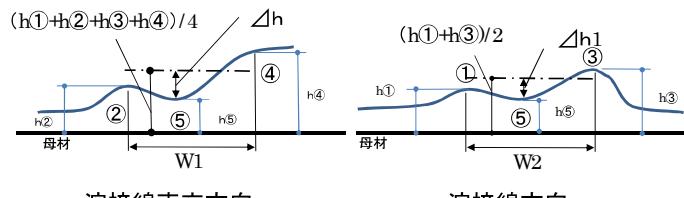


図-2.3 深さ算出方法

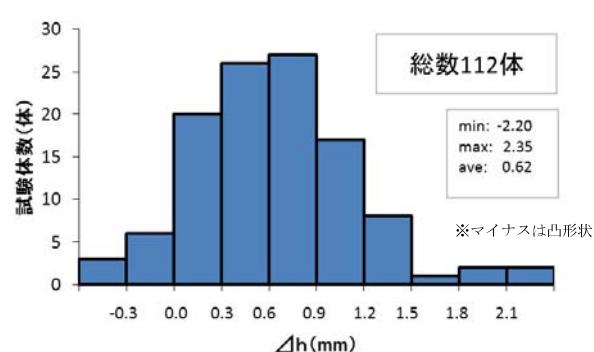


図-3.1 Δh 分布

3. 調査結果

3.1 クレータ形状調査結果

クレータ部の形状を計測した結果を図-3.1～図-3.5に示す。全て試験体でのど厚は確保できていたが、クレータ周辺よりの凹みを示す Δh の平均値は0.62mmで、最大値は2.35mmであった。

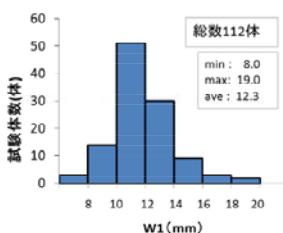


図-3.2 W1 分布

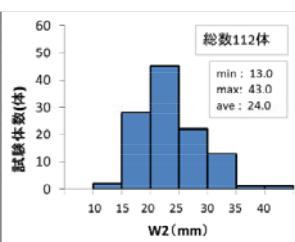


図-3.3 W2 分布

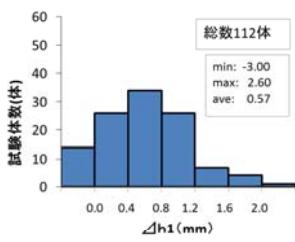


図-3.4 Δh1 分布

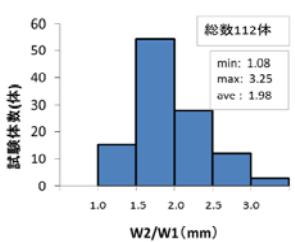
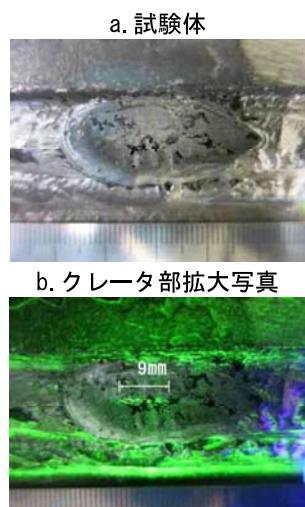
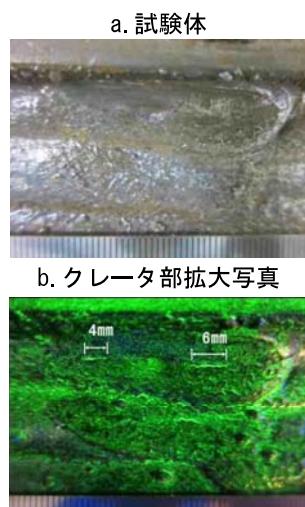
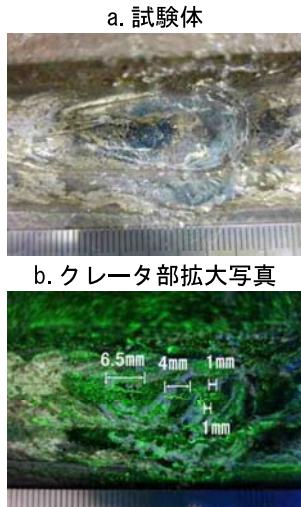
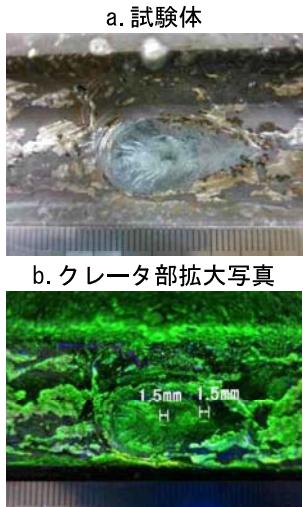
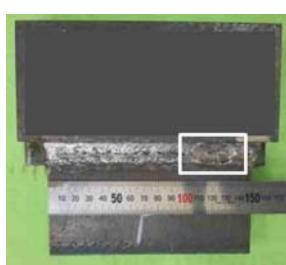


図-3.5 W2/W1 分布



c. 蛍光磁粉探傷試験
写真-3.1 試験体 A

c. 蛍光磁粉探傷試験
写真-3.2 試験体 B

c. 蛍光磁粉探傷試験
写真-3.3 試験体 C

c. 蛍光磁粉探傷試験
写真-3.4 試験体 D

また、周辺高さの平均値より中央部が高くなるマイナス側の試験体も存在した。W1 は 10mm~14mm が多く、W2 は 20mm~25mm を中心に分布していた。

3.2 萤光磁粉探傷試験結果

調査した中で割れの発生した試験体 4 体の、試験体全景、その白線で囲われた四角の部分の拡大部、蛍光磁粉探傷を行った写真を写真-3.1~3.4 に示す。

蛍光磁粉探傷試験の結果、112 体中 73 体の試験体に微細な割れが確認でき、残り 39 体の試験体には割れはなかった。図-3.6 に割れ発生率、図-3.7 に割れ長さを示す。その割れ発生率は約 65% に及んだ。確認された割れ長さは 10mm 以下であり、約 93% が 6mm 以下であった。

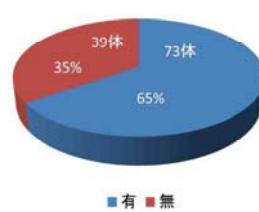


図-3.6 割れ発生率

4. まとめ

調査の結果、下記のことが確認できた。

- 1)すべての試験体で目視では割れが確認できなかったが、蛍光磁粉探傷試験で約 65% に割れが確認された。
- 2)蛍光磁粉探傷試験の結果、割れ長さは約 93% が 6mm 以下であった。

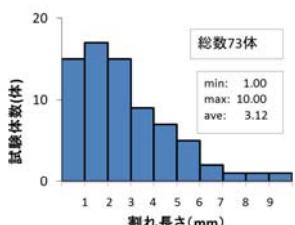


図-3.7 割れ長さ

*1 ジェイアール東海コンサルタンツ *2 石本建築事務所

*1 JR-Central Consultants Co. *2 ISHIMOTO A&E FIRM, INC.

*3 三井住友建設 *4 織本構造設計

*3 Sumitomo Mitsui Construction Co.,Ltd. *4 Oriimoto Structural Engineers &

*5 日本設計 *6 森ビル *7 浅沼組

*5 Nihon Sekkei Inc. *6 Mori Building Co.,Ltd. *7 Asanuma Co.

溶接部に発生するクレータと割れに関する調査研究 — その2 調査結果 —

溶接部 溶接欠陥 クレータ
割れ 蛍光磁粉探傷

正会員 ○石川 智也*1 甲田 輝久*2
三瓶 文彦*3 正会員 藤田 哲也*4
安田 正治*5 同 土屋 労弘*6
正会員 鈴川 衛*7

1. はじめに

クレータには溶接熱の冷却による溶着金属の収縮で高温割れが発生する懸念がある。目視で確認できる割れが発生することは稀であるが、目視確認できない程度の割れが発生していることをその1で報告した。その2では、蛍光磁粉探傷試験で割れが確認された試験体を対象にして、クレータの平面形状やへこみと割れの関係、発生した割れの深さを報告する。

2. クレータ形状と割れの関係

2.1 平面形状と割れの関係

クレータの平面形状と割れの発生状況を知るために、クレータ辺長比 (W_1/W_2) と割れ発生の関係を図-2.1に示す。クレータ辺長比は1/2付近で多く、1/1～1/2で62%を占めた。

クレータ長さ (W_2) と割れ長さの関係を図-2.2に示す。クレータ長さが大きくなるほど割れ長さが大きくなる傾向であった。

試験体数に対する割れがある割合を割れ発生率として、クレータ辺長比 (W_1/W_2) との関係を図-2.3に、クレータ平面積 ($W_1 \times W_2$) との関係を図-2.4に示す。辺長比が小さくなり、かつ平面積が大きくなるほど、割れ発生率が高くなつた。

2.2 断面形状と割れの関係

クレータの断面形状と割れの発生状況を知るために、割れ発生率とクレータへこみ深さ (Δh) の関係を図-2.5に、クレータ断面積 ($\Delta h \times W_2$) との関係を図-2.6に、クレータ体積 ($\Delta h \times W_1 \times W_2$) との関係を図-2.7に示す。

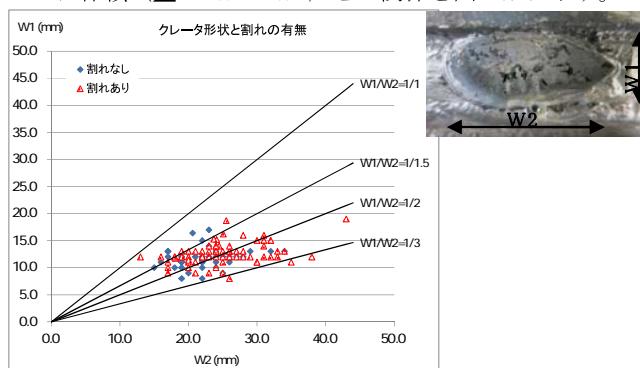


図-2.1 クレータ辺長比 (W_1/W_2) と割れ有無

クレータのへこみ深さが大きくなるほど、また、クレータの（へこみ深さ×長さ）と、（へこみ深さ×長さ×幅）が大きくなるほど、割れ発生率が高くなっている。

発生した割れの方向と溶接線方向との関係を図-2.7に示す。割れが発生した試験体は73体であったが、71体(97%)が溶接線方向の割れであった。

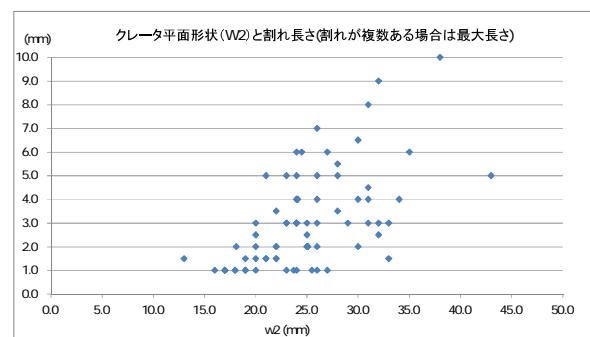


図-2.2 クレータ長さ (W_2) と割れ長さ



図-2.3 辺長比と割れ発生率

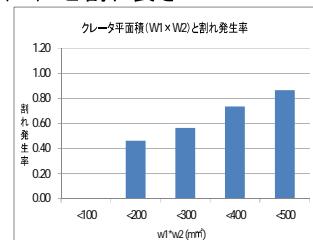


図-2.4 平面積と割れ発生率

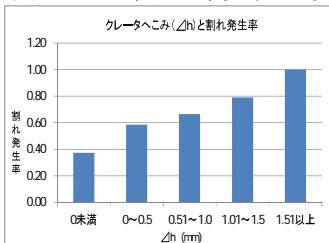


図-2.5 へこみと割れ発生率

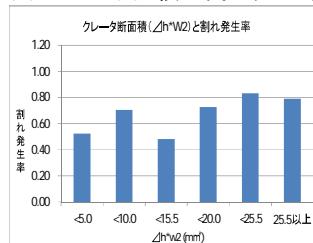


図-2.6 断面積と割れ発生率

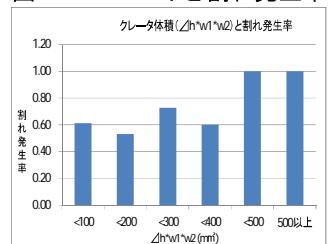


図-2.7 体積と割れ発生率



図-2.8 クレータ割れの方向

表-3.1 推定割れ深さ

| 断面観察試験体番号 | 割れ長さ(mm) | 推定される最大割れ深さ(mm) | 推定される割れ幅(mm) | 切削位置 |
|-----------|----------|-----------------|--------------|----------------|
| 1 | 3.0 | 0.4 | 0~0.4 | 始点、1/2 |
| 2a | 4.0 | 0.3 | 0~0.2 | 始点、1/2 |
| 2b | 6.0 | 0.7 | 0~0.7 | 始点、1/2 |
| 3 | 2.0 | 0.2 | 0~0.5 | 始点、1/2 |
| 4 | 10.0 | 0.7 | 0~1.0 | -1mmから1mm毎に切削 |
| 5a | 1.5 | 0.3 | 0.4~0.5 | 始点、1/2 |
| 5b | 3.5 | 0.7 | 0.6~0.7 | 始点、1/2 |
| 6 | 9.0 | 0.7 | 0~1.0 | 始点、1/4、2/4、3/4 |
| 7 | 5.0 | 0.5 | 0~1.0 | 始点、1/2 |

試験体2及び5は二本の割れが確認されたため、それぞれa,bの記号を添えた。

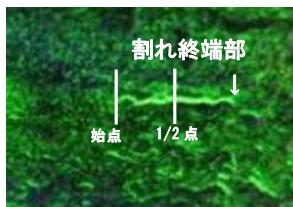


図-3.1 切断観察位置

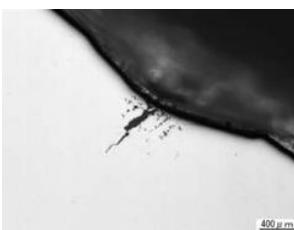


写真-3.1 試験体 2b 3/6*



写真-3.2 試験体 4 6/10*

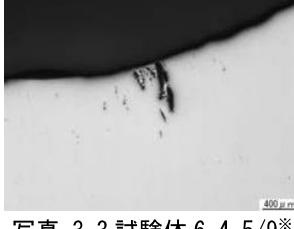


写真-3.3 試験体 6 4.5/9*

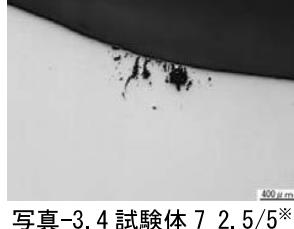


写真-3.4 試験体 7 2.5/5*

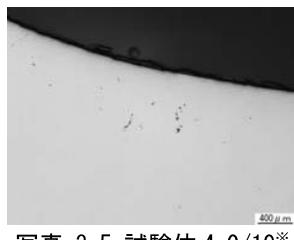


写真-3.5 試験体 4 0/10*



写真-3.6 試験体 4 3/10*

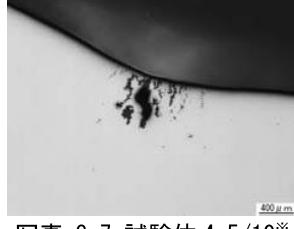


写真-3.7 試験体 4 5/10*

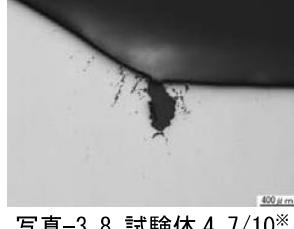


写真-3.8 試験体 4 7/10*

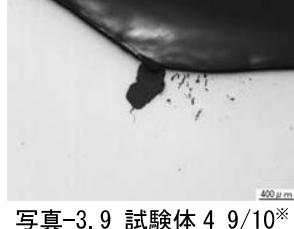


写真-3.9 試験体 4 9/10*

※：“切断面の始点からの位置(mm)／割れ長さ(mm)”を示す。

3. 断面観察

3.1 断面観察概要

割れが確認できた試験体のうち、割れ長さが比較的大きい試験体を抽出して割れ方向と直角に切断して断面観察を行った。観察位置は図-3.1に示す通り、割れのクレータ中心側を始点と定め、始点と割れ長さ中心位置の切断面を光学顕微鏡で切断面観察した。割れ長さが比較的長く観察された試験体6(割れ長さ9.0mm)及び試験体4(割れ長さ10.0mm)の試験体については切断位置を増やした。試験体6は始点、割れ長さ1/4の始点から2.25mm、1/2の始点から4.5mm、3/4の始点から6.75mmで、試験体4は始点から-1mmの位置から1mm毎に切断した。割れ断面観察を行った試験体一覧及び観察された割れ深さ(試験体7体、割れ9ヶ所)を表-3.1に示す。

3.2 断面観察結果

代表的な割れ断面の撮影記録を写真-3.1～3.9に示す。写真-3.1は割れ長さ6.0mmの試験体2bで始点から3.0mm位置の断面、写真-3.2は割れ長さ10.0mmの試験体4で始点から6.0mm位置の断面、写真-3.3は割れ長さ9.0mmの試験体6で始点から4.5mm位置の断面、写真-3.4は割れ長さ5.0mmの試験体7で始点から2.5mm位置の断面である。蛍光磁粉探傷試験では一筋に見えた割れは、いずれも複数の微細な割れによって構成されていた。われ形状は、ほとんどが鈍らな切り欠き形状であった。切り欠き深さについては0.7mmが最大であった。

試験体4について割れの長さ方向における深さと幅の推移を写真-3.2、3.5～3.9で観察する。割れ左端側を始点とし、始点位置では殆ど割れは観察されず、始点から5mm(写真-3.5～3.7)まで徐々に割れが拡がっている。始点から6mm(写真-3.2)で、最大幅で1mm程度となり、始点から7mmでは割れ形状に変化が生じている。これらから切断位置によって割れ深さ、幅、割れ形状が変化している様子が確認できた。

4. まとめ

クレータ割れに関して以下のことが確認できた。

- 1) クレータ割れはへこみ寸法、形状に関わらず発生しているが、クレータ平面積が大きく、へこみが大きいと割れ発生率が大きくなる。
- 2) クレータ割れ深さは最大0.7mm程度、割れ幅については微細な割れが集積して、最大1mm程度の幅を構成する傾向が見られた。
- 3) 目視で確認できないクレータ割れの影響について、今後更なる考察が必要と考える。

謝辞：この研究はAW検定協議会研究評価委員会にて実施した。試験体提供に協力頂いた工場、切削および観察の記録に協力頂いたJFEテクノリサーチ株式会社、その他関係各位に謝意を表する。

*1 石本建築事務所 *2 三井住友建設

*1 ISHIMOTO A&E FIRM, INC. *2 Sumitomo Mitsui Construction Co., Ltd.

*3 織本構造設計

*4 日本設計

*5 森ビル

*3 Oriomo Structural Engineers & Associates Co., Ltd.

*4 Nihon Sekkei Inc.

*6 ジェイアール東海コンサルタンツ

*7 浅沼組

*5 Mori Building Co., Ltd.

*6 JR-Central Consultants Co.

*7 Asanuma Co.