

鋼鉄道橋に用いられた古材の溶接性の検証

東日本旅客鉄道株式会社 正会員    〇平野 雄大    法政大学 正会員    内田 大介  
宮地エンジニアリング株式会社 正会員    村上 貴紀

1. はじめに

鉄道橋において、明治7年に架設された東海道線大阪～神戸間の鍊鉄製の武庫川橋りょう以降、多くの鋼橋が架設され、現在も数多くの高経年の鋼橋が供用されている。高経年の鋼橋を維持管理するうえで、補修や補強が必要となっている。補修が必要な対象の一つが高経年の鋼橋支点近傍の腹板に発生した橋軸方向に伸びる板厚貫通き裂であり、著者らは溶接による補修を考えている<sup>1)</sup>。高経年の鋼橋への溶接について、鋼橋の製作年代によって溶接に適さないことや溶接が可能なものは方法に検討の余地があるとされている<sup>2)</sup>が具体的方法は示されていない。ここでは複数の古材を対象に、化学成分分析や断面組織観察を行ったうえで実施した、対象とする溶接補修を想定した窓形拘束溶接割れ試験の結果を報告する。なお、本稿では鋼以外に、鍊鉄やベッセマー鋼などを含めて鋼と示す。

2. 古材の分析

2.1 分析対象、分析方法

対象は表1に示す製作年の異なる5種の撤去された鋼桁（A, B, C, D, E）とし、試験体はいずれも腹板から採取した。撤去された鋼桁の例を図1に示す。鋼桁の鉄鋼メーカーがわかっていたのは、鋼桁C（官営八幡製鐵所）と鋼桁D（Consett Iron Company）であった。鋼桁Aでは腐食による若干の凹凸が確認されたが、他は平滑であった。分析方法は、鋼材の溶鋼分析方法（JIS G 0320）に基づいた化学成分分析と断面組織観察とした。また、参考までに引張試験（JIS Z 2241）およびシャルピー衝撃試験（JIS Z 2242）により機械的性質を確認した。機械的性質は、想定する補修溶接の直角方向（ウェブ高さ方向）に着目し、引張試験では5号引張試験片（評点距離50mm、幅25mm）1体を用いた。シャルピー衝撃試験では、Vノッチで7.5mmのサブサイズ試験片3体を用いて、試験温度0℃のシャルピー吸収エネルギーを求めた。

表1 試験体一覧

| 鋼桁 | 製作年  | 構造形式※ | 板厚(mm) |
|----|------|-------|--------|
| A  | 1932 | I     | 15     |
| B  | 1931 | I     | 13     |
| C  | 1921 | DG    | 10     |
| D  | 1913 | DG    | 10     |
| E  | 1889 | I     | 10     |

※DG：上路プレートガーダー、I：Iビーム橋



図1 撤去後の鋼桁の例（鋼桁C）

2.2 分析結果

化学成分の分析結果を表2に示す。表2より鋼桁B, Eは、炭素が他の鋼桁より低いことがわかる。リンは鋼桁B, Eが高く、他は鋼桁D, C, Aの順になった。窒素は鋼桁Cが他に比べて高かった。各鋼桁の断面組織を図2に示す。図2の鋼桁A, C, Dでは、フェライト・パーライトが観察

表2 各鋼材の化学成分分析結果

| 鋼桁(製作年) | C     | Si   | Mn   | P     | S     | Cu   | Ni    | Cr    | Mo    | V     | B       | N     |
|---------|-------|------|------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|---------|-------|
| A(1932) | 0.126 | 0.03 | 0.63 | 0.01  | 0.029 | 0.16 | 0.03  | 0.04  | <0.01 | <0.01 | <0.0002 | 0.004 |
| B(1931) | 0.036 | 0.18 | 0.13 | 0.25  | 0.014 | 0.03 | 0.01  | <0.01 | <0.01 | <0.01 | <0.0002 | 0.005 |
| C(1921) | 0.208 | 0.03 | 0.58 | 0.028 | 0.055 | 0.05 | <0.01 | <0.01 | <0.01 | <0.01 | <0.0002 | 0.012 |
| D(1913) | 0.184 | 0.02 | 0.57 | 0.061 | 0.045 | 0.09 | 0.02  | <0.01 | <0.01 | <0.01 | <0.0002 | 0.002 |
| E(1889) | 0.008 | 0.2  | 0.12 | 0.3   | 0.008 | 0.03 | 0.01  | <0.01 | <0.01 | <0.01 | <0.0002 | 0.004 |

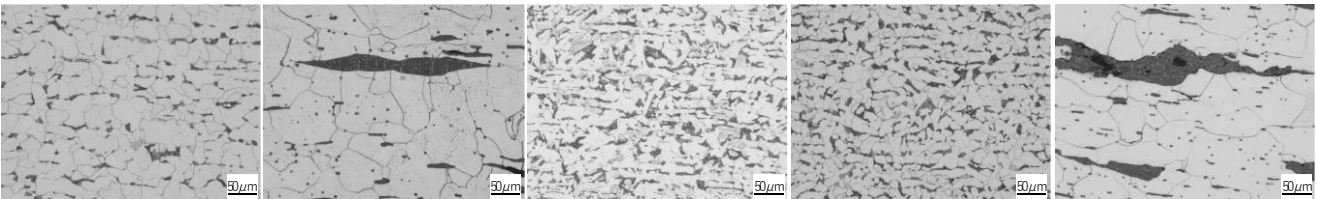


図2 断面組織（左から鋼材A, B, C, D, E）

キーワード 古材, 化学成分, 窓形拘束溶接割れ試験

連絡先 〒331-8513 埼玉県さいたま市北区日進町2丁目479番地 JR 東日本研究開発センター TEL 048-651-2349

され、鋼桁 B, E ではフェライト組織と多数の介在物が確認された。以上より鋼桁 A, D は平炉鋼、鋼桁 B, E は錬鉄と考えられた。鋼桁 C は化学成分、および鉄鋼メーカーと製作時期からベッセマー鋼と考えられた。各鋼桁の機械的性質を表 3 に示す。表 3 により、鋼桁 B, E は他に比べて引張強さや伸びが低いことがわかる。この理由として、錬鉄の特徴である炭素量が低く、不純物が多いことが考えられる。鋼桁 A, C, D の降伏点や引張強さは、SS400 の JIS の規格値を満足していた。シャルピー吸収エネルギーは鋼桁 A, D を除いて SM400B の規格値 27J 以下であり、現行の鋼に比べて脆い材料であった。

3. 溶接性の検証

対象鋼桁は、表 1 から鋼桁 B を除いた 4 種とした。検証方法は窓形拘束溶接割れ試験とした。これは、想定している補修方法りと近い施工条件だと考えたためである。試験体形状を図 3 に示す。試験体は文献 3)を参考に寸法を決定した。溶接は想定する補修溶接と同様に、横向姿勢で裏当て材（セラミック製）を用いて片側からとした。別途実施した、線形弾性解析より算出した試験板厚ごとの拘束係数を表 4 に示す。表 4 より、どちらの板厚も実橋の拘束係数の例に用いられる  $200\text{N/mm}^2 \cdot \text{mm}^4$  に比べて高い拘束であることがわかる。試験状況を図 4 に示す。溶接後には、超音波探傷検査および磁気探傷検査を行い、溶接割れの有無を判定した。

試験後の試験体例を図 5 に示す。結果は、いずれの鋼桁も溶接割れは発生しなかったが、錬鉄である鋼桁 E には図 5 のような介在物による線状指示模様が確認された。また、介在物の影響により溶接部の超音波探傷検査はできなかった。文献 2) では、平炉鋼は溶接方法に検討の余地があるが溶接可能であり、ベッセマー鋼はケイ素が少ないものがあり溶接を避けたほうがよく、錬鉄では避けるべきとされている。提案する溶接方法は、文献 2)と同様に錬鉄の溶接は不可であり、平炉鋼およびベッセマー鋼は化学成分や拘束度によっては溶接が可能と考えられる。

4. まとめ

古材を対象に化学成分分析と断面組織観察などを行ったうえで、窓形拘束溶接割れ試験を行い、溶接性を確認した。試験の結果、提案する溶接方法は化学成分や拘束度によるものの、平炉鋼およびベッセマー鋼へ適用できる可能性がある。

参考文献 1) 平野ら：I ビーム橋の疲労き裂の溶接補修に関する検討，土木学会第 77 回年次学術講演会，I- 57，2022 2) 鉄道総合技術研究所編：鋼構造物補修・補強・改造の手引き，1992 3)Arnold, P.C.：Welding Journal Vol.36, No.8, pp.373-381, 1957 4) 鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・解説 鋼・合成構造物，2009

表 3 各鋼材の機械的性質

| 鋼材 | 降伏点<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 引張強さ<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 伸び<br>(%) | 弾性係数<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | シャルピー<br>吸収<br>エネルギー(J) |
|----|-----------------------------|------------------------------|-----------|------------------------------|-------------------------|
| A  | 270.0                       | 403.0                        | 46.2      | 228.1                        | 30.2                    |
| B  | 205.1                       | 244.9                        | 4.2       | 179.6                        | 13.8                    |
| C  | 301.4                       | 480.0                        | 33.3      | 197.6                        | 20.4                    |
| D  | 348.4                       | 477.0                        | 35.9      | 183.7                        | 37.8                    |
| E  | 232.7                       | 301.2                        | 8.0       | 164.2                        | 16.9                    |

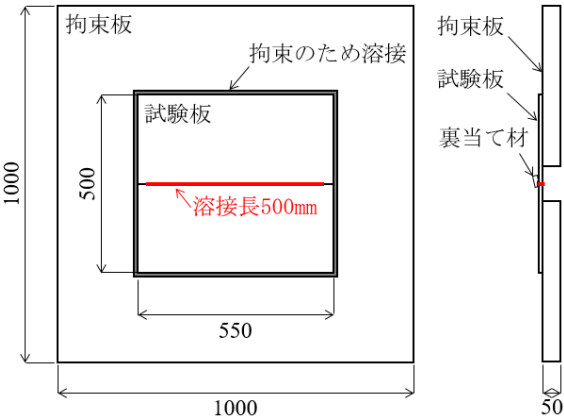


図 3 窓形拘束溶接割れ試験体

表 4 本試験の拘束係数

| 試験板厚<br>(mm) | 拘束係数<br>(N/mm <sup>2</sup> ・mm) | 拘束度<br>(N/mm・mm) |
|--------------|---------------------------------|------------------|
| 10           | 586.1                           | 5861             |
| 15           | 441.9                           | 6629             |



図 4 窓形拘束溶接割れ試験状況

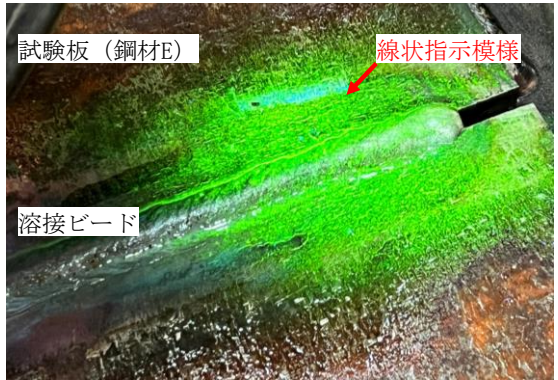


図 5 溶接割れ試験後の試験体例（鋼材 E）