

オクトパス工法の開発（その5）

現場溶接接合の適用性

新日本製鐵(株) 正会員 後藤 憲一 谷中 幸司
 鹿島建設(株) 正会員 吉川 正 田中 利春

1. はじめに

シールドトンネル内における鋼製フルウェブ構造セグメントの現場溶接接合技術を確立するために、溶接実験で継手形状、溶接方法、溶接材料などの基本的な溶接施工条件を決めるとともに溶接作業性、施工能率、組立精度など実用上の問題の有無を見極めた。また、シールドトンネル内の湿潤環境が溶接に与える影響の有無を確認するために湿潤環境をつくり溶接実験を実施した。

2. 実験方法

実際のセグメントの部材厚に近い板厚 23~25mm の鋼板(SM490A)で寸法 L500mm×W400mm の試験体を作り下向、立向、上向の各姿勢で溶接実験を行った。溶接方法は、汎用性が高く比較的高能率でコスト的に優位な細径(1.2mm)フラックス入りワイヤ(JIS Z3313 YFW)を用いた炭酸ガス(CO₂)アーク溶接とし、自動溶接機の適用をベースに考えた。溶接実験で最適な継手形状と溶接材料の検討および、溶接時の変形量、ヒューム発生量 施工能率 許容される組立精度の調査を行った。

湿潤環境溶接実験は、シールドトンネル内の環境を模した湿度 80~85%、気温 30 の湿潤環境を恒温恒湿室内につくり、その中で継手試験体の溶接および JIS Z3158「y 形溶接割れ試験方法」、JIS Z3157「U 形溶接割れ試験方法」の溶接割れ試験(板厚 25mm、32mm)を実施し、割れやブローホールなどの溶接欠陥が発生しないかを調べた。

それぞれの溶接実験で健全な溶接継手が得られたかの確認は、継手の放射線透過検査ならびに引張試験、曲げ試験およびシャルピー衝撃試験の機械試験で行った。

3. 実験結果

最適な継手形状は、溶接品質、溶接施工性および施工能率から決定した。それぞれの部材毎の溶接姿勢と開先形状を表-1 に、このときの溶接電流、電圧などの溶接条件を表-2 に示す。

溶接変形(長さの収縮)は、V 開先で最大 2.5mm 程度であった。この値はセグメント間継手の止水性に影響を及ぼす可能性があるため、この収縮量を見込んで設計する必要がある。

作業環境の溶接ヒューム量の管理基準は、日本溶接協会規格 WES 9007 に許容粉塵濃度 3mg/m³ 以下との規定がある。この管理基準を満たすには、発生ヒューム量(mg/分)を換気量(m³/分)で割った値がこの許容粉塵濃度以下となるように必要換気量を定めればよい。必要換気量は、実測した発生ヒューム量 480~840 mg/分から 160~280 m³/分以上との結果が得られた。ただし、実際の施工では換気で発生する風を溶

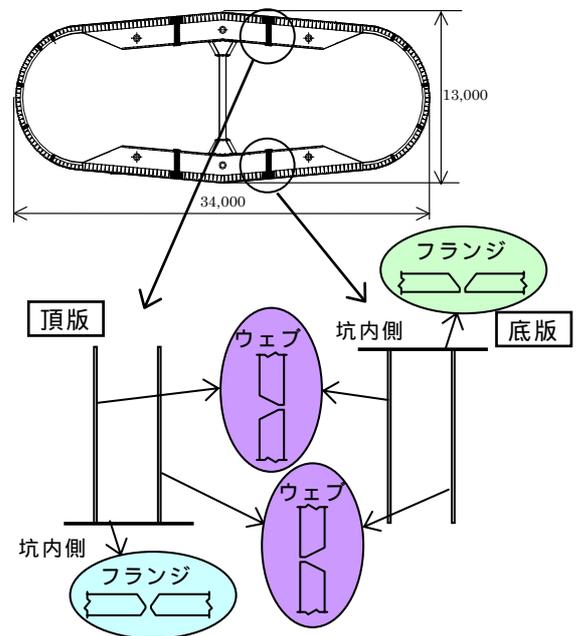


図-1 セグメント構造と継手形状

表-1 部材ごとの溶接姿勢と開先形状

部材	溶接姿勢	開先形状
ウェブ	立向	30°V 開先
フランジ	頂版	下向+上向
	底板	下向
		50°+30°X 開先
		30°V 開先

表-2 溶接条件

姿勢	電流 (A)	電圧 (V)	溶接速度 (mm/min)	溶接入熱 (kJ/mm)
下向	230~350	24~35	120~240	2.0~6.0
立向	200~250	21~25	80~110	2.5~3.7
上向	210~250	24~32	120~200	1.6~3.0

キーワード シールドトンネル、鋼製セグメント、溶接接合、作業環境、施工能率
 連絡先 新日本製鐵(株) エン本 相模原技術開発部 神奈川県相模原市西橋本 5-9-1 TEL 042-774-5411

接に影響しない風速 2 m/秒以下にする対処が必要である。

施工能率は、実測値から積算して、溶接機を 2 台投入した場合に 1 継手の施工が約 4 時間となり、4 継手 / 1 リングを完成させるには、2 継手同時作業(溶接機 4 台投入)で約 8 時間となる。これから目標進捗の 2 リング / 日が実現可能であると言える。

継手の組立精度は、道路橋示方書を参考にルートギャップ 6mm ±2mm、目違い 2mm 以下を基準範囲とした。現場接合での組立余裕度(ルートギャップ、目違いによる開先変動の許容値)を調べるため、1 パス目の溶接を種々のルートギャップ、目違いの組合せで行った。調査結果を図-2 に示す。溶接が可能な組立精度範囲は、上向姿勢(X 開先)で余裕度が少ないが、実施工では余裕度の多い下向姿勢の側を先に溶接すれば問題がなくなる。よって溶接可能な組立精度は、設定した基準範囲を十分にカバーし、かつ公差を十分に吸収できる範囲であることが明らかとなった。

湿潤環境溶接実験で作成した溶接継手試験体について放射線透過検査と機械試験を実施した結果、通常の室内環境で溶接した継手と変わらない良好な品質であった。放射線透過検査結果および機械試験結果を表-3 と写真-1 に示す。JIS の溶接割れ試験での割れ発生有無の確認は、溶接金属中の水素原子に起因する遅れ割れの発生を考慮し、溶接完了後 48 時間以上を経過してから実施した。その結果、割れの発生は認められずすべて良好であった。溶接割れ試験の断面マクロ調査の一例を写真-2 に示す。割れやブローホールの欠陥発生を防げた要因は、溶接シールドガス(CO₂)で湿った空気を排除しながら溶接する炭酸ガスアーク溶接であったからと考えられる。これらの結果より湿潤環境のシールドトンネル内でも特に問題なく溶接施工が可能であることが明らかとなった。

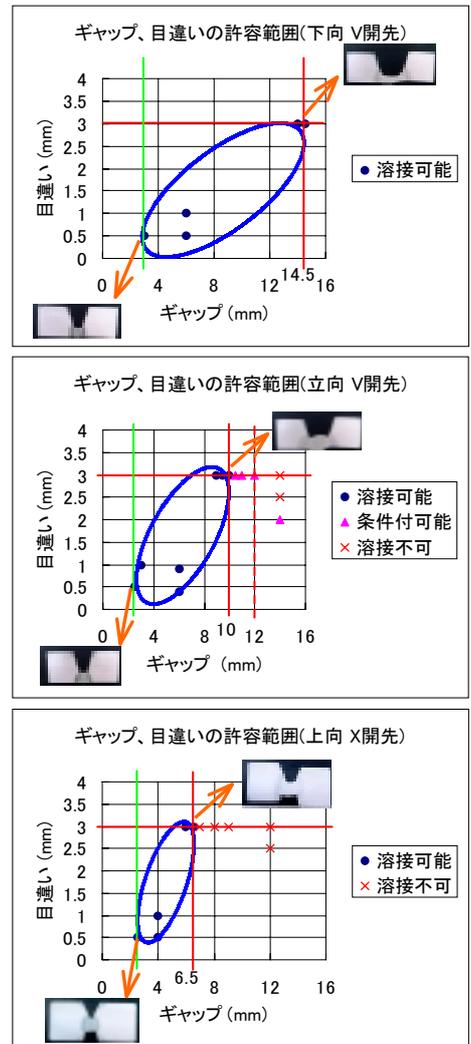


図-2 現場接合での組立余裕度

表-3 放射線透過検査および機械試験結果

	放射線透過検査	機械試験結果		
		引張強さ (N/mm ²)	曲げ試験	衝撃値 (J) at 0
下向	1 類	559	割れなし	53
		558	割れなし	
立向	1 類	574	割れなし	80
		576	割れなし	
上向 + 下向	1 類	589	割れなし	81
		592	割れなし	
下向(湿潤)	1 類	545	割れなし	81
		539	割れなし	

判定基準

- 放射線透過検査：JIS Z3104 の 2 類以上
- 引張強さ：母材規格引張強さ 490N/mm² 以上
- 曲げ試験：原則として亀裂(割れ)が生じないこと
- 衝撃値：参考値(SM490A：規定なし、SM490B： 27J)

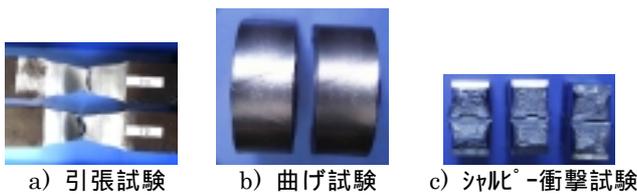


写真-1 機械試験片 (試験後)

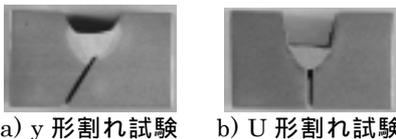


写真-2 割れ試験断面マクロ

4. おわりに

この溶接実験により、溶接接合の十分な施工能率と良好な溶接品質が確認できたことで、その実現の見通しが得られた。また、溶接接合は、組立寸法公差を吸収しやすいため大断面シールドトンネルの鋼製セグメント製作に有利であると言える。今後、実物大実験による施工環境、施工能率の確証および自動溶接機のハンドリングなどの作業性を含めた総合評価を行い実用化を推進したいと考えている。