

橋脚として使用する電気抵抗溶接鋼管の材料特性

尾添 仁志¹・北爪 大貴²・川井 健吾³・小野 潔⁴

¹正会員 JFEシビル株式会社 社会基盤事業部（〒111-0051 東京都台東区蔵前2-17-4）
²学生員 早稲田大学大学院 創造理工学研究科（〒169-8555 東京都新宿区大久保3-4-1）
³学生員 早稲田大学大学院 創造理工学研究科（〒169-8555 東京都新宿区大久保3-4-1）
⁴正会員 博(工) 早稲田大学教授 創造理工学部（〒169-8555 東京都新宿区大久保3-4-1）

1. はじめに

山岳地での道路建設工事では狭隘地や地形の改変が困難な傾斜地など施工条件の制約が大きいことがある。このような場合、図-1に示すコンパクトな部材で構成した栈道形式の道路構造物が採用されることがある。橋軸方向および橋軸直角方向それぞれ複数に配置した橋脚にはJIS A 5525のSKK400及びSKK490の鋼管杭が用いられている。外径は $\phi 500$ 程度と一般の円形鋼製橋脚と比べて小さく、工場での大量生産が可能で製作鋼管より安価な電気抵抗溶接鋼管（以下、「電縫鋼管」と称す）が適用されている。

ここで、一般の円形鋼製橋脚に用いられる製作鋼管の場合は、道路橋示方書・同解説（以下、「道示」という）II鋼橋編¹⁾において素材の材質と板厚に応じてシャルピー吸収エネルギーが規定されるとともに、溶接部についても溶接施工法に応じて素材鋼板と同等のシャルピー吸収エネルギーが規定されている。一方、当該橋脚に用いられるSKKの鋼管杭には、JIS規格としてシャルピー吸収エネルギーは規定されていない。また、本構造物の適用条件のうち、橋脚の径厚比パラメータは道示V耐震設計編²⁾を満足させることとしており、鋼管杭の板厚は最も厚いものでも20mm程度である。この板厚はSM400及びSM490の鋼製橋脚の素材鋼板におけるシャルピー吸収エネルギーが規定される最小板厚より薄い。しかしながら、橋脚という重要な部材として使用するため、大規模地震時に脆性的な破壊が生じないことをより確実にすることが望ましい。

ところで、一般に電縫鋼管の電気抵抗溶接部は硬度が高いと言われている。文献3)には後熱処理を行

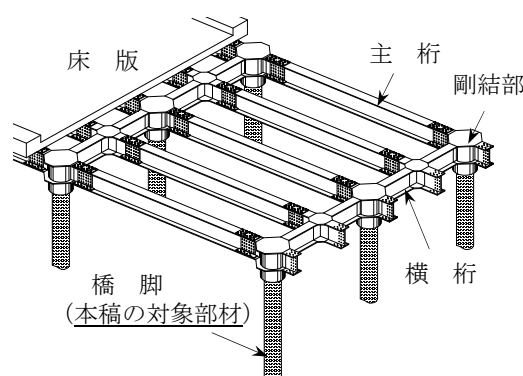


図-1 構造概念図

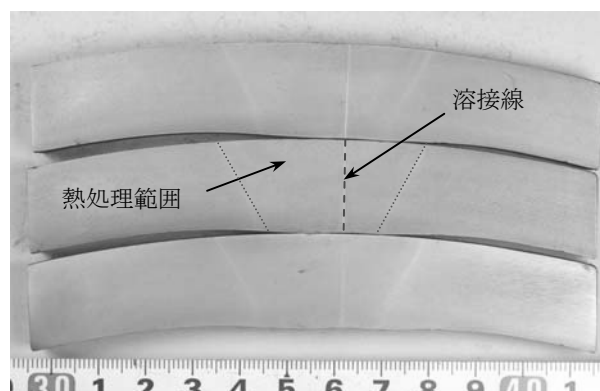


図-2 電気抵抗溶接部の外観

う機械構造用の小径電縫鋼管の硬さ試験結果のうち、参考として後熱処理をしない場合の電気抵抗溶接部の硬度測定値が示されている。当該構造物で使用する鋼管は溶接部を後熱処理をしたものを適用することを検討しているが、溶接部の硬度は吸収エネルギーにも影響するものと考えられる。

こうした背景のもとに、本稿では当該構造物に適用する電縫鋼管の母材部および溶接部を対象とした硬さおよびシャルピー吸収エネルギーについて報告する。

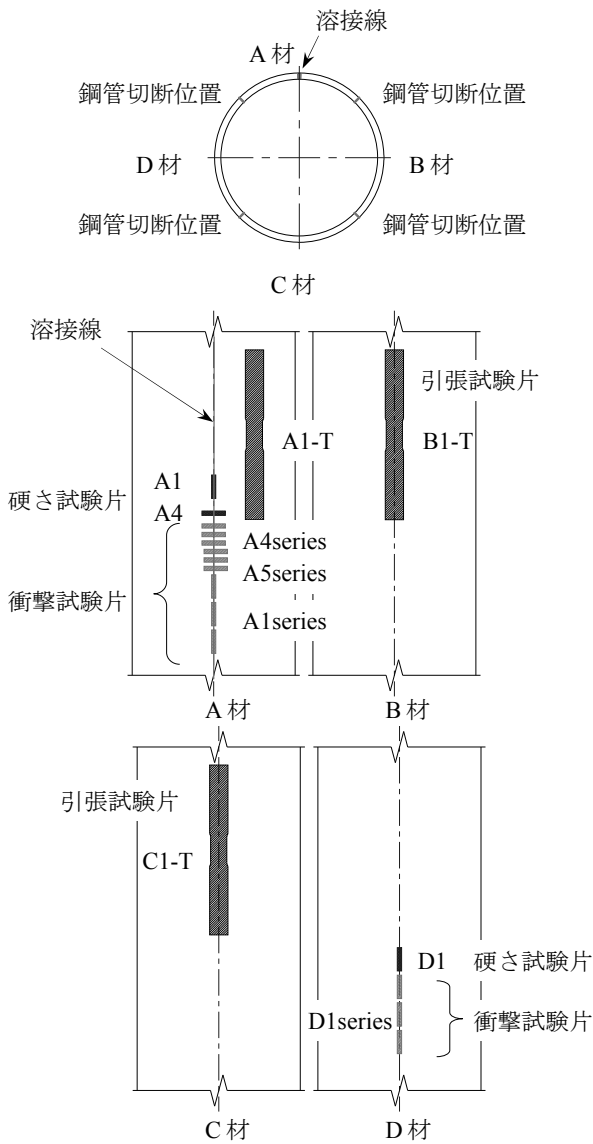


図-3 供試体の採取概要

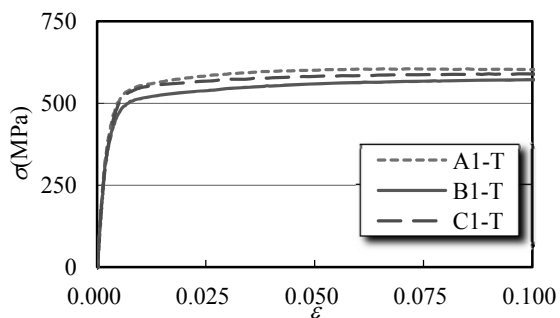


図-4 公称応力-公称ひずみ結果

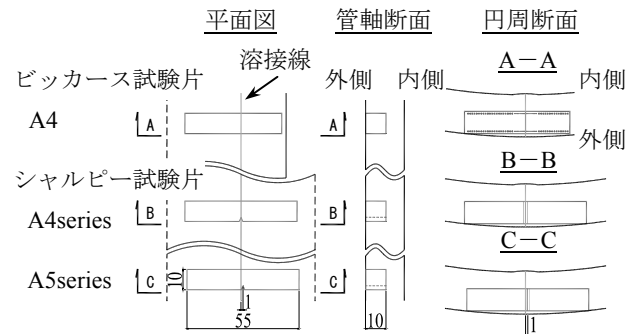
2. 試験概要

(1) 試験鋼管

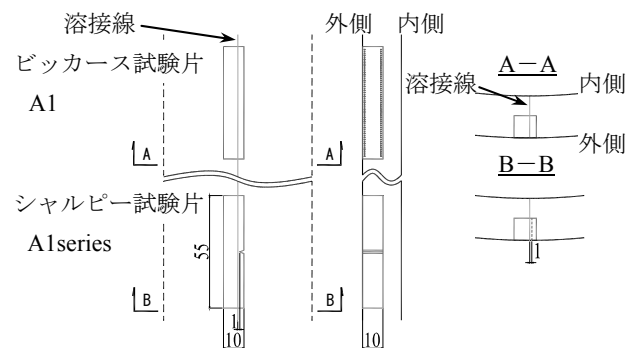
試験片を採取する電縫鋼管は外径φ508，肉厚19mmのSKK490であり，図-2に示すとおり電気抵抗溶接部には製造ラインで後熱処理（ポストアニール）を行ったものである．なお，当該構造物で使用する鋼管の降伏比は85%以下のものを適用することとし

表-1 引張試験結果

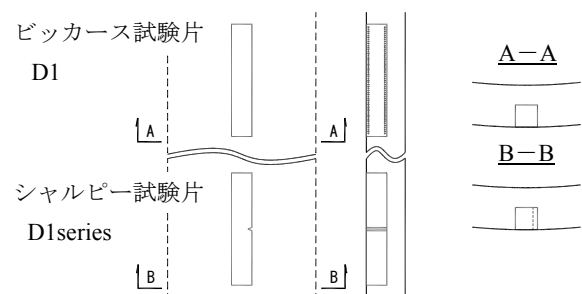
	降伏耐力 σ_y [MPa]	引張強さ σ_u [MPa]	降伏比 YR
A1-T	497	604	0.82
B1-T	464	572	0.81
C1-T	481	589	0.82



(a) 溶接部円周方向試験片



(b) 溶接部管軸方向試験片



(c) 母材部管軸方向試験片

図-5 硬さ試験片と衝撃試験片の採取関係

ている．鋼管からの各試験片の採取位置は図-3に示すとおりである．

(2) 引張試験

電縫鋼管の素材としての機械的性質を調べるため，鋼管を4分割に切断した鋼板のうち，鋼管中心より溶接位置を0°とした場合の22.5°(A1-T)，90°(B1-T)及び180°(C1-T)の3カ所から鋼管軸方向にJIS12C号試験片を切り出した．図-4に全試験片の引張試験における公称応力-公称ひずみ関係を示す．表-1には全供試体の降伏比を示しており，本試験で使用する鋼管の降伏比は85%以下であることを確認した．

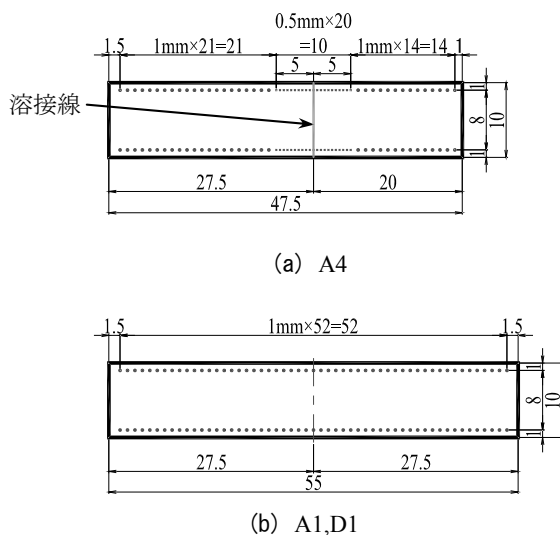


図-6 ビッカース硬さ試験片

(3) シャルピー衝撃試験

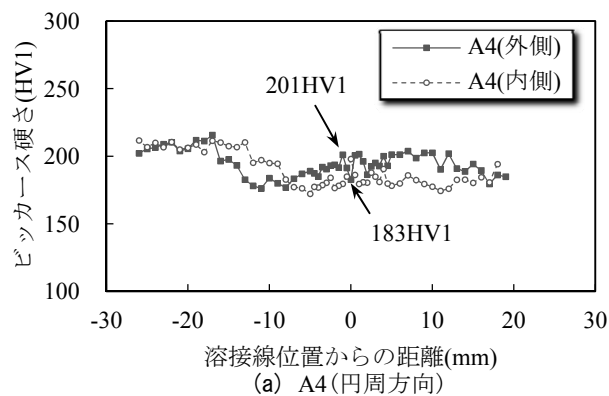
シャルピー試験片は道示IIに規定されるJIS Z 2242のVノッチ試験片とし、鋼管からの採取位置および溶接部の採取方向を図-5に示す。試験片の採取方法について、溶接部円周方向(A4series)は道示IIの溶接施工試験の規定に準じて溶接線に直交するように採取した。母材部管軸方向(D1series)はシャルピー吸収エネルギーが規定されている建築構造用炭素鋼鋼管(JIS G 3475)の規格に従うこととし、溶接部管軸方向(A1series)は構造用鋼管としてJISでは規定されていないが母材部と比較できるように採取した。

試験片のノッチと溶接部の位置関係は、円周方向試験片では溶接線中心と熱影響部である。熱影響部はビッカース硬さ試験結果を基に溶接線位置より硬度が高い1mmずらした位置（以下、「ERW-1mm」と記す）とし、管軸方向試験片ではERW-1mmとした。なおノッチの切り込みは全試験片に共通して鋼管肉厚方向である。

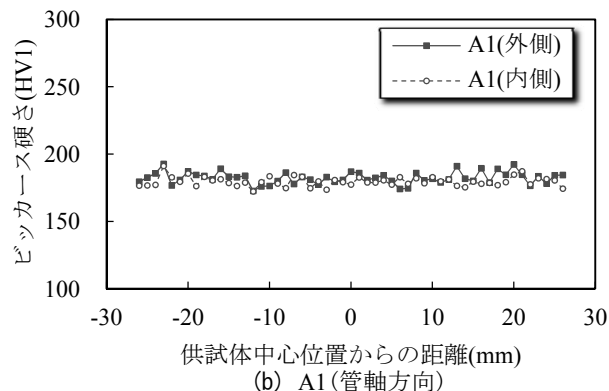
シャルピー衝撃試験はJIS Z 2242の規定に従い実施することとし、試験温度は道示IIに規定される0℃とした。試験片は0℃に到達した後、5分間以上温度を維持し、定常状態として試験を行った。

(4) ビッカース硬さ試験

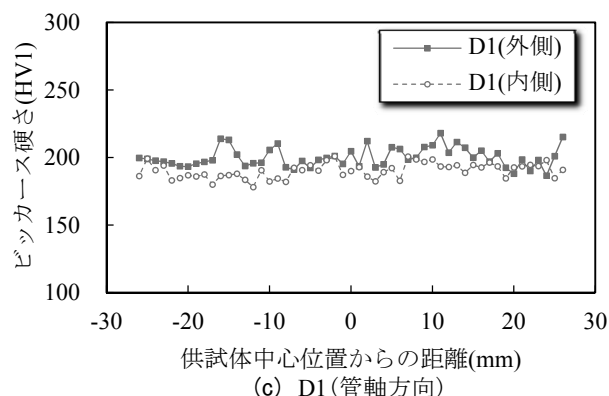
硬度測定はシャルピー試験片に対応するように母材部および溶接部についてビッカース硬さ試験(試験力9.8N)により測定した。硬さ試験片の採取位置は図-5に示すとおりである。溶接部円周方向(A4)、溶接部管軸方向(A1)、母材部管軸方向(D1)の3本とし、シャルピー試験片の採取条件と同等とした。但し、A4試験片の幅について、引張試験片製作の関係で溶接線から片側は20mmである。鋼管に対する測



(a) A4(円周方向)



(b) A1(管軸方向)



(c) D1(管軸方向)

図-7 ビッカース硬さ試験結果

定面はシャルピー衝撃試験片のノッチ面と同一方向である。測定間隔は図-6に示しており、A4は溶接線から左右5mmの範囲は測定間隔を0.5mm刻みと短くし、それ以降は1mm刻みとした。管軸方向試験片A1およびD1は全て1mm刻みである。

3. 硬度測定およびシャルピー衝撃試験結果

図-7に硬度測定結果を示す。溶接部円周方向(A4)の硬さは後熱処理により溶接部が軟化している。後熱処理しない電縫鋼管では最も硬度が高い可能性がある溶接線位置でのビッカース硬さは183HV1であり、溶接線位置から1mmずれた位置のほうが溶接線位置と比べて10%程高い201HV1であった。溶接部管軸方向(A1)は母材部管軸方向(D1)と比べて、ばら

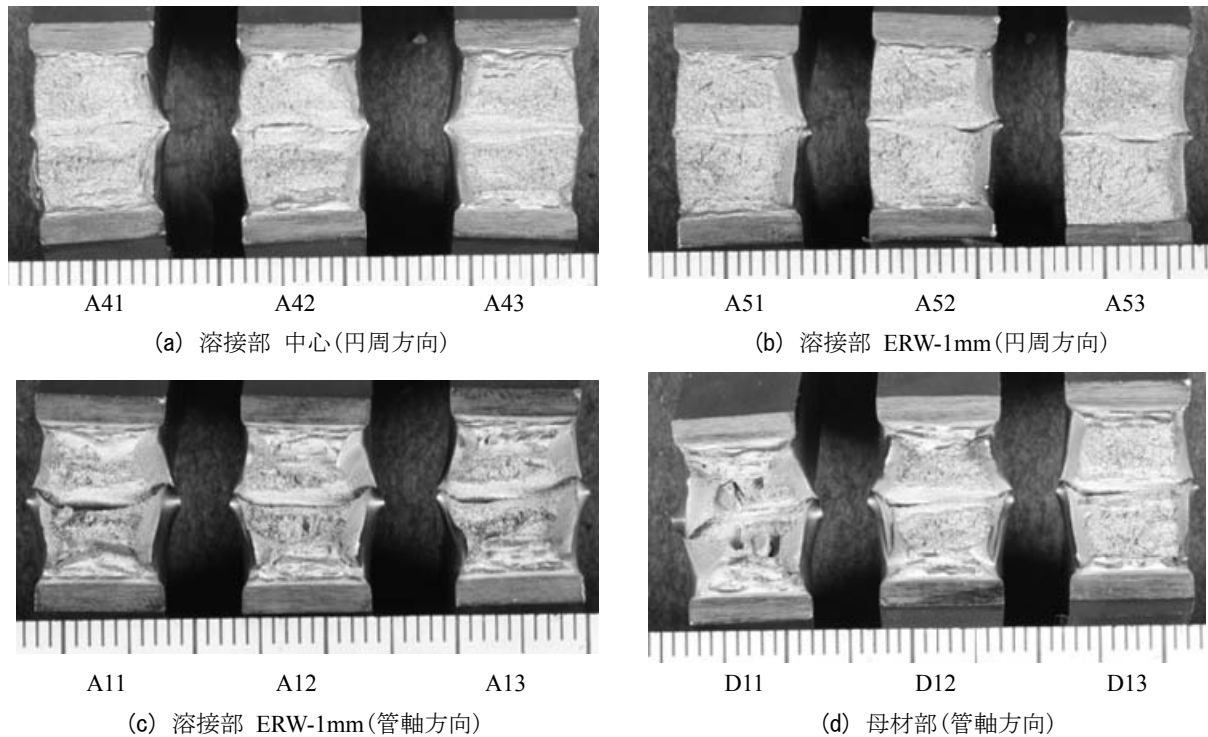


図-8 シャルピー衝撃試験後の破面

表-2 シャルピー衝撃試験結果

対象部	series	ノッチ位置	採取方向	νE_0 (J)
溶接部	A4	中心	円周	83.37
	A5	ERW-1mm	円周	57.81
	A1	ERW-1mm	管軸	159.04
母材部	D1		管軸	135.28

つきは小さく、試験値もほとんどの測定位置で下回っており、溶接部の後熱処理は製造ラインで安定的に行われていると考えられる。

各シリーズ3本のシャルピー吸収エネルギー νE_0 の平均値および各試験鋼材の破面写真を表-2および図-8に示す。表-2より母材部および溶接部の全シリーズにおいて、 νE_0 の平均値は道示IIのC材における規定値である試験温度0℃における47J以上を満足することを確認した。溶接部管軸方向A1の νE_0 は母材部管軸方向D1と比べて18%ほど大きく、溶接による νE_0 の低下は見られなかった。これは後熱処理による溶接部のじん性が向上したことによるものと考えられる。また溶接部円周方向の νE_0 は溶接線中心(A4)と比べてERW-1mm(A5)の方が30%低下しているが、これは硬さ試験結果と同様にシャルピー試験片についても溶接線中心よりERW-1mmのほうが硬度が高かった可能性が考えられる。既往の研究⁴⁾で示される後熱処理した電縫鋼管のシャルピー衝撃試験結果では、溶接線から母材側に向かいシャルピー吸収エネルギーは向上しており、A4と比べてA5が小さい

かったのは後熱処理により硬さが低下した範囲におけるばらつきであると考えられる。これらの結果より、溶接部のじん性は道示IIに示される溶接施工試験の規定を満たすことができると考えられる。

4. 結論

電縫鋼管は溶接部を後熱処理することにより、母材部および溶接部ともに橋脚としての所要のじん性を確保できる可能性があることが明らかとなった。電縫鋼管の材料特性について下記の知見が得られた。

- ・後熱処理により電気抵抗溶接部のじん性は改善する。
- ・シャルピー吸収エネルギーは母材部および溶接部とも、試験片の採取方向によらず、道示IIに規定される試験温度0℃における27Jを満足する。
- ・溶接部のじん性は道示IIに示される溶接施工試験の規定を満たすことができる。

参考文献

- 1) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説II鋼橋編，2012.3.
- 2) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説V耐震設計編，2012.3.
- 3) J F E スチール(株)：機械構造用鋼管商品カタログ，pp.16.
- 4) 松尾登，上杉斉，柴田富士雄：川崎製鉄技報，Vo.6，No.4，pp.637-654. 1974.10.