

特集：建築鉄骨

建築鉄骨溶接部の機械的性質の標準試験 (日本鋼構造協会 JSS IV13-2016)

JFE テクノリサーチ株式会社
石井 匠

1. はじめに

わが国は世界有数の地震国であり、多くの建築物で高い耐震性能が要求されている。鉄骨造建築物の場合は溶接接合が多用されるため、その耐震性能を左右する溶接部の健全性が重要である。しかしながら、鉄骨造建築物の溶接部における部位毎の必要な性能と保有する性能(ディテール、使用材料、溶接施工条件等の影響)が不明確・未整理であるのが現状である。このため、構造設計者は過度に安全側の性能設計を行っている場合があると考えられる。

そこで、一般社団法人日本鉄鋼連盟(以下、鉄連)と一般社団法人鉄骨建設業協会(以下、鉄建協)は、一般社団法人日本溶接協会、普通鋼電炉工業会の協力の下、鋼材利用の促進、鉄骨加工業のコスト競争力の向上、ひいては、鉄骨構造建築全体の競争力強化を図るため、関連する指針・技術資料の改訂などを目的とした「鉄骨溶接部の性能標準と施工標準検討委員会」(会期：2012年4月～2014年3月)を立ち上げた。図1に組織図を示すが、委員会傘下には、以下の3つのワーキンググループ(WG)を設置し、成果目標を達成するため、活動を行った。

- ①性能標準検討WG (成果目標：溶接部位毎の性能確認方法の標準化)
- ②裏当金材質検討WG (成果目標：裏当て金の窒素上限規定等仕様明確化)
- ③角溶接SAW検討WG (成果目標：SA440角溶接SAW(サブマージアーク溶接)入熱制限見直し)

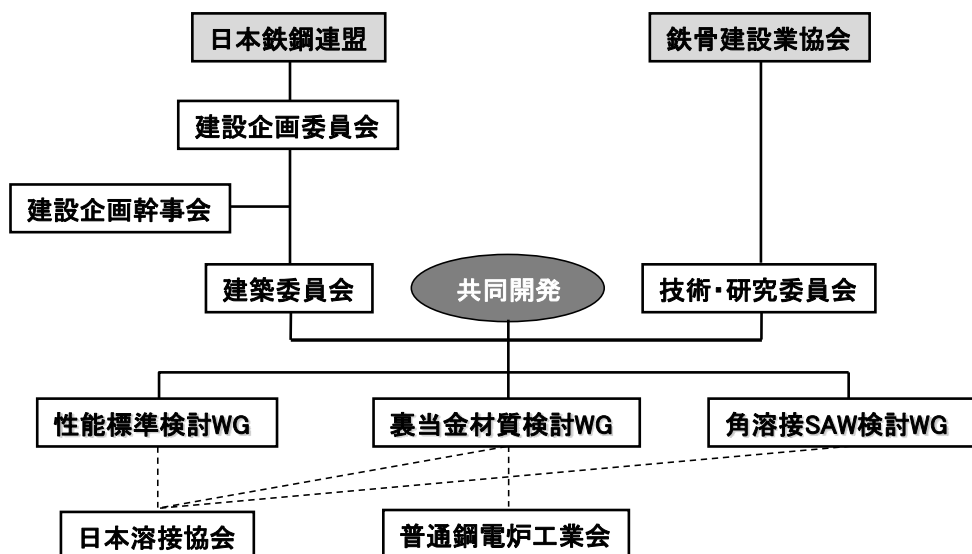


図1 「鉄骨溶接部の性能標準と施工標準検討委員会」組織図

この特集では、①性能標準検討 WG の活動としての成果、『鉄骨溶接部の性能標準（案）』の内容について紹介する。なお、『鉄骨溶接部の性能標準（案）』は、鉄連から委託された日本鋼構造協会が「建築鉄骨溶接部の性能標準作成小委員会」（会期：2014年12月～2016年3月）（図2）を設置し、かつ各関係団体に委員参加を依頼することにより、設計者、監理者、施工者、鉄骨生産者、材料メーカーの建築鉄骨に関わる幅広い立場からの検討を経て『建築鉄骨溶接部の機械的性質の標準試験』¹⁾（日本鋼構造協会 JSS IV13-2016）となっている。

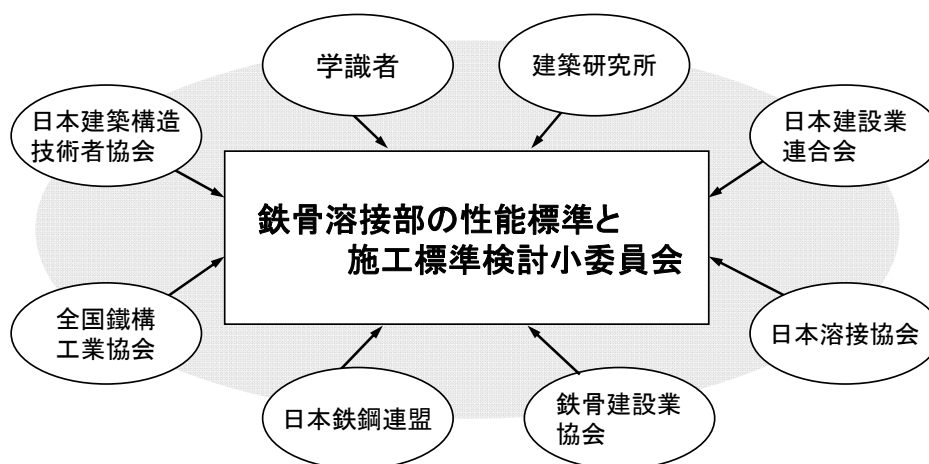


図2 「建築鉄骨溶接部の性能標準作成小委員会」組織図

2. 鉄骨溶接部の性能標準（案）について

2.1 背景と目的

溶接部の検査・試験の対象には、強度、靱性、寸法、外観、内部の有害欠陥の有無などがあるが、1995年1月の兵庫県南部地震では鉄骨造建築物の梁端溶接接合部での破断被害が多く観察され、特に溶接部の強度・靱性が注視されるようになった²⁾。そのようなことから性能標準検討WGでは、溶接部の機械的性質（強度・靱性）の試験方法とその性能を取上げることとしている。

一方、接合部の健全性を担保する観点から接合部の性能を確認することは好ましいことではあるが、その試験方法と判定基準は設計者によってまちまちであり、共通の考え方に基いているとは言えない。また、設計者は過度に安全側の性能設計を行っている場合もあると考えられ、一般には、より高い要求値（強度・靱性）を求めがちである。しかし、現有の鋼材と溶接材料を使用し、経済的に要求値を満足することには限界があり、継手などの板厚範囲・板厚組合せ、溶接方法（入熱上限値など）および試験部位などによっては、その要求値を確保できない場合が多々ある。

これらの状況に鑑み、鉄骨造建築物の溶接接合部の試験方法とその性能に関する標準を定めることとしている。

2.2 性能区分

構造物あるいはその一部を構成する溶接部などの部位の性能には、設計上あるいは社会通念上必要とする要求性能と、構造物あるいはその部位が実際に保有する保有性能とがあり、一般には保有性能が要求性能を上回る必要がある。しかしながら、前述したように現有の鋼材と溶接材料には限界があり、継手などの板厚範囲・板厚組合せ、溶接方法（入熱上限値など）および試験部位などによって、溶接部の性能（保有性能）は左右される。一方で、要求性能にも、一般的に必要とされる性能、特別に必要とされる性能など用途や考え方によっていろいろなレベルがある。そこで、性能を考えるにあたって、「標準性能」と「特別性能」のふたつの性能区分を設定している（図3）。

要求値

- ・強度:引張強さ $\geq 00N/mm^2$
- ・靱性:シャルピー吸収エネルギー $\geq \Delta\Delta J$



標準性能

- ・建築基準法およびその関連法規がその使用材料の規定等から最低限保有していると考えられる性能区分
- ※設計図書に必ずしも特記等で示さなくてもよい

特別性能

- ・様々な先進的な研究により、より高い安全性を確保するため推奨している性能区分
- ※設計図書に特記等で指示される必要あり

図3 標準性能と特別性能

ここに、要求性能としての「標準性能」とは建築基準法およびその関連法規がその使用材料の規定等から最低限保有していると考えられる性能区分で、この性能規定は設計図書に特記等で示さなくても確保されるべき性能を言う。この要求性能としての標準性能に対しては、ファブリケーターの一般的な施工方法で得られる保有性能がこれを上回ることを想定している。

一方、要求性能としての「特別性能」とは、様々な先進的な研究により、より高い安全性を確保するため推奨している性能区分で、設計図書に特記等で指示された場合に適用される性能である。例えば、「鉄骨梁端溶接接合部の脆性的破断防止ガイドライン」³⁾は、被害事例の多かった梁端溶接部の脆性的破断を防止するための検討方法を示している。この中では、梁端での脆性的破断の防止に関する多くの知見が示されている。そのひとつとして、材質面での改善が挙げられ、梁端溶接接合部については、熱影響部 (HAZ)、溶接金属部 (Depo) とともに、0°Cでのシャルピー吸収エネルギー $vE_0 \geq 70J$ が脆性的破断防止の観点での要求靱性値としている²⁾⁶⁾。従来の概念と比較して、かなり大きな値となっているが、梁端溶接接合部のシャルピー吸収エネルギーが 70J を下回ると建築基準法が暗に要求している梁の変形能力を満たさない可能性がある⁷⁾と示唆している。これを実現するためには、使用材料等も特別なものを指定する必要が生じる場合もある。また、高い管理水準のファブリケーターなどで製作する必要もある。

要求性能を考える場合に、もうひとつ考慮しなくてはならないことがある。溶接部は建築の様々な部位に使用され、その応力状態も様々であるので、溶接部位によって必要とされる性能は異なるということである。また、靱性は特に破壊の起点となる部位の性能が重要で、溶接全断面部位に一律に要求されるものではない。しかしながら、性能の確認方法は設計会社あるいは設計者・監理者によってまちまちで、上記梁端溶接接合部 $vE_0=70J$ の規定が拡大解釈され、梁以外の部位の溶接部の靱性値に、この 70J の値を指定される物件が増えてきている。具体的には、溶接四面ボックス柱における、角溶接部および内ダイアフラムの溶接部に要求されている。このようなことから、「四面ボックス柱溶接接合部の必要靱性に関する研究」委員会 (鉄連) において梁端溶接接合部以外の溶接接合部 (とくにエレクトロスラグ溶接部 (ESW 部)) の必要靱性を検討する研究が行われ、成果が公表されてきている⁷⁾¹⁰⁾。

上記の状況に鑑み、建築鉄骨の溶接各部に対し要求性能 (標準性能) と評価方法 (試験片採取位置) を示すこととし、建築鉄骨の溶接各部の性能を系統的に並べ整理することとしている。次節に示す『鉄骨溶接部の性能標準 (案)』の検討方法のイメージを図4に示す。

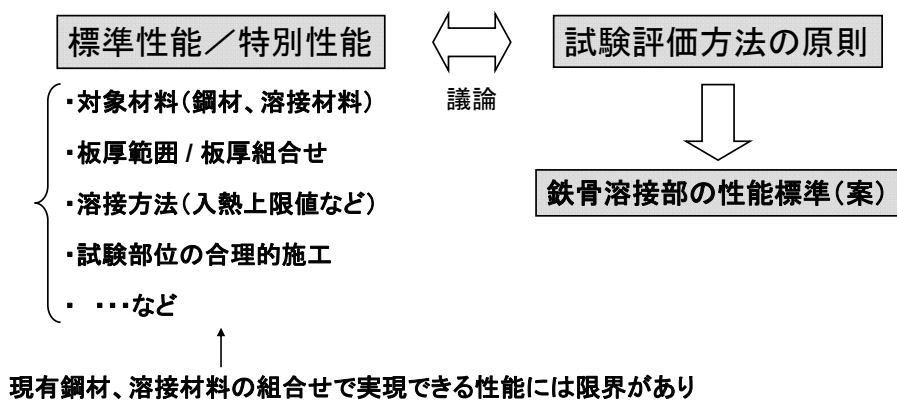


図4 『鉄骨溶接部の性能標準(案)』の検討方法イメージ

2.3 鉄骨溶接部の性能標準(案)

性能標準(案)は、以下の方針の下で策定した。また、表1に試験評価方法の原則を示した。

- (1) 鉄骨造建築物の骨組で使われる広範囲の溶接部位を対象とし、系統的にまとめる。
- (2) 溶接部位毎、溶接方法毎に試験方法・性能をまとめたシートを作成する。
- (3) 溶接部の性能として、「引張試験」、「シャルピー衝撃試験」のふたつの性能を取上げる。
- (4) それぞれの試験での試験片採取位置は、以下に示す基本的性能を確認するための必要最小限の位置とし、その採取方法をより明確に規定する。

「引張試験」では、断面がひとつの溶接方法によって施工される場合、その溶接金属の強度を代表する位置一箇所、複数の溶接方法によって施工される場合は、それぞれの溶接金属の強度を代表する位置からそれぞれ一箇所採取する。

「シャルピー衝撃試験」では、破壊の起点となりうる位置近傍のHAZ、ボンド部(Bond)、Depoから採取する。

- (5) 要求性能として、「標準性能」と「特別性能」のふたつの性能を示す。

表1 試験評価方法の原則

項 目		内 容
引張試験	対象接合部	板厚9mm以上の接合部
	試験片	原則JIS Z 3111 A1号試験片とする 上記試験片が採れない場合はA2号試験片とする
	採取位置	溶接方法が同じ場合は1箇所、原則表面から10mmとする 2種の溶接を行う場合は、それぞれの代表位置で1箇所採取する
	試験数	1本
	試験数	1本
シャルピー衝撃試験	対象接合部	板厚12mm以上の接合部
	試験片	JIS Z 3111 Vノッチ試験片とする サイドノッチを原則とする
	採取位置	破断起点の可能性のある位置 板表面又は裏面から7mm offset
	採取方向	板平面に平行(または垂直)を原則とする
	ノッチ位置	Weld Metalは開先幅の中央 Bondに一致させる(クロスボンド(Bond & HAZ)の場合はノッチの中心をBondに合わせる)
		HAZはBondから1mm
	試験数	1組3本(判定は3本平均)

図5は試験の対象とした部位の分類である。

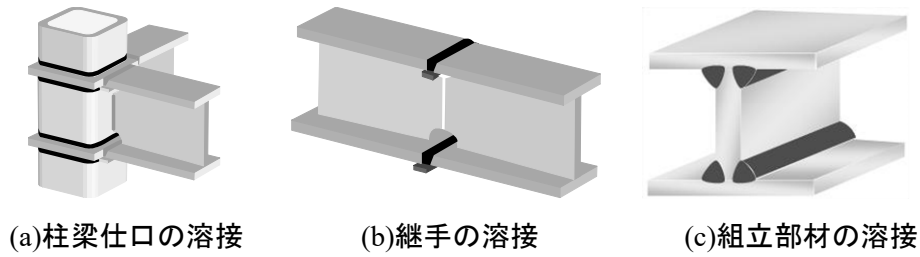


図5 試験対象部位の分類

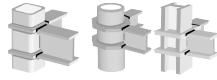
また、図6は上記をもとに作成された性能シートの構成例である。

溶接方法、 板厚範囲	溶接法	炭酸ガスアーク溶接	梁フランジ 板厚範囲	9~100mm												
	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">溶接方法、 板厚範囲</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">溶接部位</div> </div>															
引張試験 試験片 採取位置	試験片採取位置	【断面での試験片採取位置】														
	試験条件	試験片数：各部1本	試験温度：常温	<div style="display: flex;"> <div style="flex: 1;"> <p>【溶接線上での試験片採取位置】 (mm)</p> </div> <div style="flex: 1;"> <p>【梁フランジ板厚と試験片採取位置の組合せ】 (mm)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>梁フランジ板厚 t</th> <th>試験片 (JIS Z 3111)</th> <th>採取位置</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>$20 \leq t \leq 100$</td> <td>A1号</td> <td>y=10</td> </tr> <tr> <td>$9 \leq t < 20$</td> <td>A2号</td> <td>y= t / 2</td> </tr> </tbody> </table> </div> </div>				梁フランジ板厚 t	試験片 (JIS Z 3111)	採取位置	$20 \leq t \leq 100$	A1号	y=10	$9 \leq t < 20$	A2号	y= t / 2
	梁フランジ板厚 t	試験片 (JIS Z 3111)	採取位置													
	$20 \leq t \leq 100$	A1号	y=10													
$9 \leq t < 20$	A2号	y= t / 2														
標準性能	<ul style="list-style-type: none"> 降伏点もしくは0.2%オフセット耐力：梁フランジの鋼材規格の降伏点もしくは0.2%オフセット耐力下限値以上 引張強さ：梁フランジの鋼材規格の引張強さの下限値以上 															
シャルピー 衝撃試験 試験片 採取位置	試験片採取位置	【断面での試験片採取位置】														
	試験条件	試験変数：各部3本一組	試験温度：0℃	<div style="display: flex;"> <div style="flex: 1;"> <p>【溶接線上での試験片採取位置】 (mm)</p> </div> <div style="flex: 1;"> <p>【梁フランジ板厚と試験片採取位置の組合せ】 (mm)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>梁フランジ板厚 t</th> <th>採取位置</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>$14 \leq t \leq 100$</td> <td>y=7</td> </tr> <tr> <td>$12 \leq t < 14$</td> <td>y= t / 2</td> </tr> </tbody> </table> </div> </div>				梁フランジ板厚 t	採取位置	$14 \leq t \leq 100$	y=7	$12 \leq t < 14$	y= t / 2			
	梁フランジ板厚 t	採取位置														
	$14 \leq t \leq 100$	y=7														
$12 \leq t < 14$	y= t / 2															
標準性能 or 特別性能	<p>標準性能 or 特別性能</p>															
標準性能	<p>吸収エネルギー：3本平均で27J以上</p>															

図6 性能シートの構成 (1ページを基本としている)

図 7 に性能シートのその他の例として、「通しダイアフラム-梁フランジ」、「内ダイアフラム-柱スキンプレート」および「四面ボックス柱の角継手」の各溶接部位について示す。

溶接部位	板厚範囲
溶接法	通しダイアフラム-梁フランジ
溶接法	炭酸ガスアーク溶接
梁フランジ板厚	12~100mm



溶接法	スキンプレートの板厚範囲 (ts)	ダイアフラムの板厚 (tn)	
エレクトロスラッグ溶接	ts : 22~100mm	tn の 4 サイズ(*)アップ以下、且つ 70mm 以下	

(*) 22mm 以上の鋼板の一般板厚 (mm) : 22, 25, 28, 32, 36, 40, 以降+5mm ビッチ

特別性能指定事由	<p><参考文献> 日本建築センター：鉄骨梁端溶接接合部の脆性的破断防止ガイドライン・同解説，2003 <効果>継手破断耐力係数 γ_f (梁フランジの設計破断耐力 $\sigma_w \cdot A_f$ に対する梁端の破断耐力の比，σ_w：梁母材の引張強さ，A_f：梁端の片側のフランジ断面積) を $\gamma_f = 1.0$ として設計できる。</p>									
特別性能指定のための特記仕様指定要件	梁母材	<p>0℃シャルピー吸収エネルギー $\geq 70J$，かつ $f_{HAZ} \leq 0.58\%$ これを満足する材料として，耐震建築溶接構造用圧延鋼材 (日本鉄鋼連盟製品規定 MDCR011 SN400B70, SN400C70, SN490B70, SN490C70) がある。</p>								
	梁フランジが溶接される鋼板	<p>梁母材と同じ。ただし，梁が 400N/mm² 鋼、当該材が 490N/mm² 鋼で、溶接金属を 490N/mm² 級とする場合は，溶接部の性能は標準性能 (27J) で $\gamma_f = 1.0$ とすることができる。この場合でも，梁母材の性能は上記条件を満足する必要がある。</p>								
引張試験	標準性能と同じ (4.1.1~4)									
シャルピー衝撃試験	【断面での試験片採取位置】									
	工場上下・現場上フランジ側 (上段)，現場下フランジ側 (下段) (mm)									
	Weld Metal	ダイアフラム側 Bond ダイアフラム側 HAZ 梁フランジ側 Bond & HAZ								
	【溶接線上での試験片採取位置】 (mm)	【梁フランジ板厚と試験片採取位置の組合せ】 (mm)								
		<table border="1"> <tr> <th>フランジ板厚 t</th> <th>採取位置</th> </tr> <tr> <td>工場上下・現場上フランジ</td> <td>現場下フランジ</td> </tr> <tr> <td>$20 \leq t$</td> <td>y=10</td> </tr> <tr> <td>$12 \leq t < 20$</td> <td>y=t/2</td> </tr> </table>	フランジ板厚 t	採取位置	工場上下・現場上フランジ	現場下フランジ	$20 \leq t$	y=10	$12 \leq t < 20$	y=t/2
フランジ板厚 t	採取位置									
工場上下・現場上フランジ	現場下フランジ									
$20 \leq t$	y=10									
$12 \leq t < 20$	y=t/2									
試験条件	試験片数：各部 3 本 1 組 試験温度：0℃									
特別性能	シャルピー吸収エネルギー：3 本平均で 70J 以上									

図 7(a) 通しダイアフラム-梁フランジ

引張試験	【断面での試験片採取位置】		
	試験片採取位置		
	【柱板厚と試験片採取位置の組合せ】 (mm)		
	柱スキンプレート板厚 ts	試験片 (JIS Z 3111)	採取位置
	$22 \leq ts \leq 100$	A1 号	溶接金属中央
試験条件	試験片数：各部 1 本 試験温度：常温		
標準性能	<ul style="list-style-type: none"> 降伏点もしくは 0.2% オフセット耐力：ダイアフラムの鋼材規格の降伏点もしくは 0.2% オフセット耐力下限値以上 引張強さ：ダイアフラムの鋼材規格の引張強さの下限値以上 		
シャルピー衝撃試験	【断面での試験片採取位置】		
	Weld Metal	スキンプレート側 Bond スキンプレート側 HAZ	
	【溶接線上での試験片採取位置】 (mm)		
試験条件	試験変数：各部 3 本一組 試験温度：0℃		
標準性能	吸収エネルギー：3 本平均で 27J 以上		

図 7(b) 内ダイアフラム-柱スキンプレート

溶接法	板厚範囲	
下盛：炭酸ガスアーク溶接 上盛：サブマージアーク溶接の混用	50~100mm	

引張試験	【断面での試験片採取位置】			
	試験片採取位置	【柱板厚と試験片採取位置の組合せ】 (mm)		
	【溶接線上での試験片採取位置】	柱板厚 t	試験片 (JIS Z 3111)	採取位置
	溶接始終端部 300mm を除く	$50 \leq t \leq 100$	A1 号	y _Y =10 y _R =20
試験条件	試験片数：各部 1 本 試験温度：常温			
標準性能	<ul style="list-style-type: none"> 降伏点もしくは 0.2% オフセット耐力：鋼材規格の降伏点もしくは 0.2% オフセット耐力下限値以上 引張強さ：鋼材規格の引張強さの下限値以上 			
シャルピー衝撃試験	【断面での試験片採取位置】			
	レ形開先 (上段) / V 開先 (下段)	フランジ側 Bond ダイアフラム側 HAZ		
	Weld Metal	フランジ側 Bond & HAZ		
	【溶接線上での試験片採取位置】	【柱板厚と試験片採取位置の組合せ】 (mm)		
	溶接始終端部 300mm を除く	柱板厚 t	採取位置	
		$50 \leq t \leq 100$	y _Y =7, y _R =7	
試験条件	試験変数：各部 3 本一組 試験温度：0℃			
標準性能	吸収エネルギー：3 本平均で 27J 以上			

図 7(c) 四面ボックス柱の角継手 (混用溶接法)

3. まとめ

『建築鉄骨溶接部の機械的性質の標準試験』は、建築物の耐震性を評価するために行われる継手等の溶接部の性能の評価法を確立することを主の目的とし、その目的に適った試験方法、判定基準を標準化したものである。これまで、鉄骨構造骨組の溶接部の性能およびその確認方法について、このように系統的かつ網羅的にまとめられた資料はない。この資料は、時代の発展とともに繰返し見直すべきものとするが、その時々鉄骨構造の設計や製作・施工に係わる関係者の共通認識を深め、そして鉄骨構造の健全な発展のために必要な基本資料の位置づけである。なお、元来、要求性能は施主との合意のもとで設計者が定めるものであり、『建築鉄骨溶接部の機械的性質の標準試験』は、そのような判断を制約するものではないことを付記しておく。

参考文献

- 1) 建築鉄骨溶接部の機械的性質の標準試験～引張試験・シャルピー衝撃試験～ JSS IV 13 - 2016、日本鋼構造協会、2016年6月
- 2) 護 雅典：耐震設計のコンセプト - 建築鉄骨構造 耐震設計の考え方と鋼材について -、日本溶接協会 WE-COM マガジン、第19号、pp.6-7、2016年1月
- 3) 鉄骨梁端溶接接合部の脆性的破断防止ガイドライン・同解説、日本建築センター、2003年9月
- 4) 例えば、石井匠、菊川春三、森田耕次、高梨晃一：通しダイアフラム形式・柱梁接合部の破断性状に関する実験的研究、日本鋼構造協会鋼構造論文集、Vol.6、No.24、pp.87-102、1999年12月
- 5) 古谷仁志ら：建築用鋼材の HAZ 靱性評価方法の提案と靱性評価結果、日本鋼構造協会鋼構造論文集、Vol. 7、No. 27、pp.23-37、2000年9月
- 6) 古谷仁志ら：建築柱梁接合部を再現した溶接部の HAZ 靱性に及ぼす鋼材化学成分の影響とその定式化、日本鋼構造協会鋼構造論文集、Vol.8、No.32、pp.17-31、2001年12月
- 7) 下川弘海、宋勇勲、鈴木孝彦、一戸康生、藤原一成、田淵基嗣、岡本晴仁、森田耕次：エレクトロスラグ溶接部の破壊性状に関する研究、日本鋼構造協会鋼構造論文集、Vol.12、No.46、pp.7-18、2005年6月
- 8) 宋勇勲、下川弘海、石井匠、鈴木孝彦、萱森陽一、原田幸博、森田耕次：柱梁部分モデルのエレクトロスラグ溶接部の破壊性状に関する研究、日本鋼構造協会論文集、Vol. 16、No. 64、pp.49-63、2009年12月
- 9) 宋勇勲、石井匠、下川弘海、鈴木孝彦、萱森陽一、原田幸博、森田耕次：柱梁部分骨組架構モデルのエレクトロスラグ溶接部の破壊性状に関する研究、鋼構造論文集、Vol. 17、No. 68、pp.85-100、2010年9月
- 10) 内ダイアフラムエレクトロスラグ溶接部の脆性的破断防止ガイドブック、日本鋼構造協会テクニカルレポート 110号、2016年7月

<略歴>

石井 匠 (いしい たくみ)

1991年 千葉大学 大学院 工学研究科 建築工学専攻 修了
1991年 川崎製鉄株式会社 (現 JFE スチール株式会社) 入社
エンジニアリング事業部 鋼構造研究所 配属
2001年 博士(工学) 取得
2003年 JFE 技研株式会社 土木・建築研究部 主任研究員
2009年 JFE スチール株式会社 スチール研究所 土木・建築研究部 主任研究員
2017年 JFE テクノリサーチ株式会社 移籍 構造性能センター センター長
現在に至る