

# 電子ビーム溶接を用いて再生した衝撃試験片の監視試験 への適用性評価

Applicability Evaluation of Reconstituted impact test specimen by electron  
beam welding for RPV Surveillance Test

東芝エネルギーシステムズ 株式会社	森島 康雄	Yasuo MORISHIMA
東芝エネルギーシステムズ 株式会社	小川 琢矢	Takuya OGAWA
日立 GE ニュークリア・エナジー 株式会社	豊田 哲也	Tetsuya TOYOTA
株式会社 日立製作所	石寄 貴大	Takahiro ISHIZAKI
日本核燃料開発 株式会社	櫻谷 誠司	Seiji SAKURAYA
東京電力ホールディングス 株式会社	神長 貴幸	Takayuki KAMINAGA

## Abstract

Additional RPV surveillance test are required to extend the operation license of nuclear power plants. Since the number of surveillance test specimens is limited, it is important to establish a reconstitution technique of the surveillance test specimen. Applicability evaluation of reconstituted impact test specimen by electron beam welding for RPV surveillance test were conducted, and it was confirmed that reconstituted impact test specimen was applicable to RPV surveillance test.

**Keywords:** Reactor pressure vessel, Low alloy steel, Surveillance test, Charpy impact test, Reconstitution method of test specimen, Electron beam welding

## 1. はじめに

原子炉圧力容器（以下、RPV という。）材における供用期間中の中性子照射による機械的性質の変化を確認するため、炉内には監視試験片が備えられている。監視試験片を用いた監視試験を行うに当たっては、「原子炉構造材の監視試験方法」[1]（以下、JEAC4201 という。）に基づき実施するよう定められている [2]。一方で、発電用原子炉の運転期間の延長認可申請を行う場合には、追加の監視試験の実施が求められているが、監視試験片の数は限られているため、試験後の試験片残材を有効活用することが重要となっており、残材を用いた試験片の再生が考えられている。

JEAC4201 には監視試験片の補充等を目的として、照射履歴のある試験後試験片の未変形部分を用いた監視試験片の再生方法について定められている。図1にシャルピー衝撃試験片の再生方法の手順の模式図を示す。（以下、原子力発電プラント建設時に製作され炉内に装荷されている再生していない監視試験片をオリジナル試験片、再

生後の監視試験片を再生試験片という。）再生方法の手順としては、まず試験後のオリジナル試験片から採取した未変形部分を炉内へ再装荷し、追加照射を行い、取り出し後に再生試験片の試験部位となるインサート材に加工する。その後、インサート材の両側に補完材であるタブ材を溶接等で接合することにより再生試験片を製作する。

試験片再生時の接合方法として、熱影響部幅を小さくできることが見込まれる電子ビーム溶接の適用が検討されている。

実際の監視試験片の再生接合への電子ビーム溶接の適用にあたって、以下の課題があり、これらについて評価した結果について報告する。

課題1：電子ビーム溶接の接合技術確認

電子ビーム溶接法により再生した試験片を用いて、JEAC4201 附属書CのC-2200項「接合方法の確認試験方法」をにおける確認項目を実施し、当該溶接法が監視試験片を再生する接合方法として適用できることを確認する必要がある。

課題2：熱影響部の板厚方向採取位置の影響確認

監視試験片はJEAC4201 では供試材の種類で母材試験片、熱影響部（以下、HAZ という）試験片、溶接金属試験片に分類され、各試験片で供試材からの板厚方向の採

取位置が定められているが、HAZの再生試験片に用いるインサート材は定められた位置から採取できない。

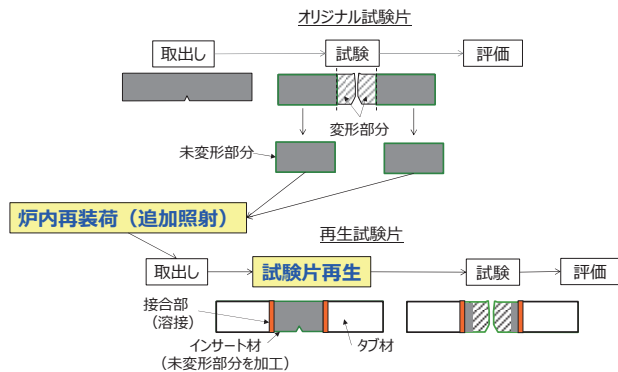


図1 シャルピー衝撃試験片の再生手順の模式図

## 2. 電子ビーム溶接の接合技術確認

電子ビーム溶接法の監視試験片再生の接合への適用にあたっては、下に示す JEAC4201 附属書CのC-2200 項「接合方法の確認試験方法」における(1)および(2)を満足するとともに(3)および(4)を実施する必要がある。そのため、電子ビーム溶接により接合した再生試験片を用いて以下(1)~(4)を実施した。

- (1) 接合後、目視試験および断面観察により、接合部に有害な割れまたは融合不良のないことを確認する。
- (2) 接合部の強度が十分であることを確認するため、再生試験片を用いて、上部棚吸収エネルギー領域の温度で衝撃試験または破壊じん性試験を実施し、接合部から破壊しないことを確認する。
- (3) 熱影響部幅（エッチングによる着色で確認できる接合による熱影響部の幅）を測定する。
- (4) インサート部の温度履歴を計測または解析により求め、熱回復幅（接合した際の熱履歴によりインサート材の照射脆化が回復する幅）を求める。

### 2.1 供試材

供試材は未照射の母材（低合金鋼 SQV2A（JIS G 3120（2003）））である。表1に母材の化学成分を示す。JISに規定されている化学成分および機械的性質を満足している。実際の監視試験片の供試材と同様に、母材に対して溶接後熱処理を模擬した熱処理を行った。

表1 母材の化学成分 (wt. %)

		C	Si	Mn	P	S	Ni	Mo
溶質分析	規格値 JIS G 3120 (2003) SQV2A	0.25 以下	0.15 ~ 0.40	1.15 ~ 1.50	0.030 以下	0.030 以下	0.40 ~ 1.00	0.45 ~ 0.60
	実績値	0.18	0.27	1.44	0.003	0.003	0.65	0.51
製品分析	規格値 JIS G 3120 (2003) SQV2A	0.25 以下	0.13 ~ 0.42	1.10 ~ 1.55	0.030 以下	0.030 以下	0.37 ~ 0.73	0.41 ~ 0.64
	実績値	0.17	0.26	1.40	0.003	0.002	0.65	0.50

## 2.2 再生試験片の接合

図2に再生接合の実施状況、図3に接合手順を示す。まず、図2に示すようにインサート材およびタブ材の接合面を接触させ、接合面がずれないように押さえ材で保持した後に、図3に示すようにノッチ面（表面）および裏面から1パスずつ、計2パスで溶接接合する手順とした。溶接条件を表2に示す。本溶接条件は、ノッチ面（表面）および裏面からの溶接部の溶け込みが試験片中央部で十分重なり未溶接部が生じない溶け込み深さが得られる範囲で、熱影響部幅を小さくするため、溶接入熱を抑制するとの考え方にに基づき設定した[3]。

再生試験片形状はオリジナル試験片と同サイズ（10mm×10mm×55mm）のVノッチシャルピー衝撃試験片である。再生試験片の試験部となるインサート材は供試材の板厚tに対して(1/4)tの位置より、JEAC4201の衝撃試験片に準拠し採取した。インサート長さ（W<sub>0</sub>）は10mmおよび14.4mmの2条件とした。

接合後に押さえ材および溶接ビードの盛り上がり部を機械加工により除去し、JEAC4201の再生した衝撃試験片の寸法要求を満足するよう試験片を製作した。

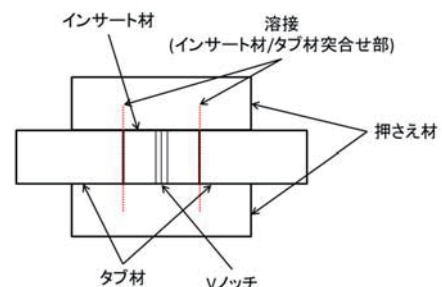


図2 再生接合の実施状況

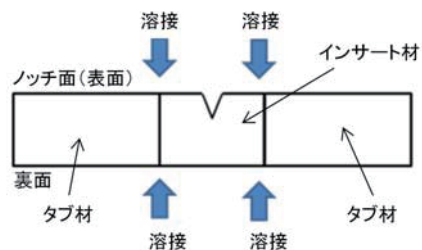


図3 再生試験片の接合手順

表2 電子ビーム溶接条件

項目	条件
真空度	9.9×10 <sup>-3</sup> Pa 以下（溶接前）
接合パス数	2パス ノッチ面（表面）1パス 裏面1パス
加速電圧	58kV（両面）
ビーム電流	28.5mA ノッチ面（表面）、 26.5mA（裏面）
溶接速度	12.5mm/sec（両面）

## 2.3 試験結果

### 2.3.1 目視試験／断面観察

図4に接合後の外観写真、図5に接合部の断面観察写真を示す。いずれも  $W_a$  が 14.4mm の例である。図5は溶接方向に直行する断面であり、硝酸ナイタルによるエッチングを施している。 $W_a$  が 10mm および 14.4mm のインサート材を用いてそれぞれ3本ずつ製作した再生試験片に対し目視試験および断面観察を行った結果、すべての接合部で割れや融合不良は確認されなかった。また、上下からの電子ビーム溶接により試験片内部まで完全に溶込み接合されていることを確認した。

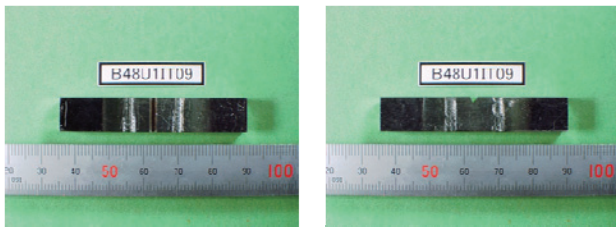


図4 接合後の外観写真

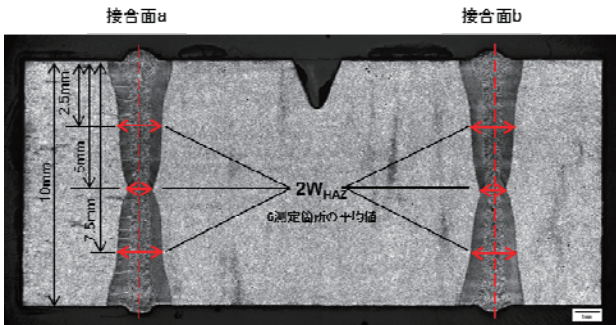


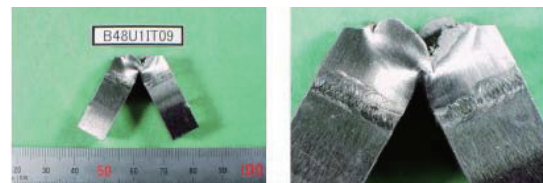
図5 接合部の断面観察写真

### 2.3.2 シャルピー衝撃試験

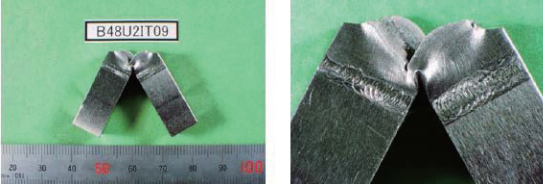
再生試験片を用いて上部棚吸収エネルギー領域の温度でシャルピー衝撃試験を実施した。試験温度は室温、50°C、100°Cとし繰返し数は3とした。表3にシャルピー衝撃試験結果を示す。室温(19°C)は上部棚から遷移領域に入る境界と考えられ、延性破面が100%のものと100%未満のものがあった。一方で、温度50°Cおよび100°Cは、上部棚吸収エネルギー領域の温度と考えられ、全ての試験片で延性破面率は100%であった。図6にシャルピー衝撃試験後の試験片外観を示す。 $W_a$  が 10mm および 14.4mm の全ての再生試験片において、接合部からの破壊は無く、接合部の強度が十分であることを確認した。

表3 接合技術確認試験におけるシャルピー衝撃試験結果

$W_a$ (mm)	試験温度 (°C)	吸収エネルギー (J)	横膨出量 (mm)	延性破面率 (%)
10	19(室温)	151	1.94	90
	19(室温)	141	1.84	85
	19(室温)	185	2.14	100
	50	181	2.14	100
	50	182	2.14	100
	50	191	2.04	100
	100	208	2.30	100
	100	207	2.27	100
	100	206	2.28	100
14.4	19(室温)	189	2.23	100
	19(室温)	179	2.15	100
	19(室温)	161	2.03	75
	50	199	2.28	100
	50	202	2.31	100
	50	185	2.17	100
	100	214	2.31	100
	100	213	2.22	100
	100	218	2.43	100



(a) インサート長さ 14.4mm の試験後の接合部 (試験温度: 100°C)



(b) インサート長さ 10mm の試験後の接合部 (試験温度: 100°C)

図6 シャルピー衝撃試験後の試験片外観

### 2.3.3 熱影響部幅 ( $W_{HAZ}$ ) 計測

断面観察を行った試験片6本に対して、熱影響部幅 ( $W_{HAZ}$ ) を計測した。なお、図5に示したように、エッチングによる着色で確認できる接合面両側の熱影響部の幅が  $2W_{HAZ}$  であり、 $W_{HAZ}$  は片側分の幅と定義される。 $W_{HAZ}$  の計測はシャルピー試験片の高さ 10mm を  $h$  とした場合の  $(1/4)h$ 、 $(1/2)h$ 、 $(3/4)h$  (ノッチ側表面から 2.5mm、5mm、7.5mm の深さ位置) の3位置であり、2か所の接合部に対して計測し、平均値を各試験片の  $W_{HAZ}$  とした。計測の結果、インサート長さによらず全ての試験片で  $W_{HAZ}$  は 0.8mm であった。

断面観察により計測した  $W_{HAZ}$  と溶接接合による硬さ測定から求めた  $W_{HAZ}$  との関係把握するため、接合部のビッカース硬さ測定 (測定荷重: 0.98N) を実施した。硬さ測定は、 $W_{HAZ}$  の断面観察の計測位置で、接合面から ±3mm の範囲を 0.2mm ピッチで実施した。図7に硬さ測定結果を示す。表4に  $W_{HAZ}$  について断面観察からの計測と硬さ測定から求めた結果を比較して示す。接合部近傍では溶接の熱影響により硬化する領域が確認され、硬化領

域の平均値は1.4mm~1.5mmであった。硬化領域を基に想定される  $W_{HAZ}$  は0.7mm~0.75mm となり、断面観察において計測した  $W_{HAZ}$  である0.8mmと概ね一致した。

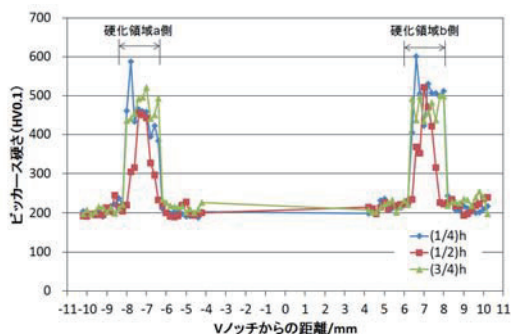


図7  $W_{HAZ}$  計測ライン上の硬さ測定結果

表4 接合部の硬化領域と  $W_{HAZ}$  の比較

試験片番号 (インサート 長さ(mm))	表面から の距離 (mm)	接合部 硬化領域 a側 (mm)	接合部 硬化領域 b側 (mm)	硬化領域 平均値 (mm)	硬化領域 想定 $W_{HAZ}$ (mm)	計測 $W_{HAZ}$ (mm)
B48U1MC01 (14.4)	2.5	1.6	1.6	1.5	0.75	0.8
	5.0	1.2	1.2			
	7.5	1.6	1.6			
B48U1MC02 (14.4)	2.5	1.6	1.8	1.5	0.75	0.8
	5.0	1.4	1.2			
	7.5	1.6	1.6			
B48U1MC03 (14.4)	2.5	1.6	1.6	1.4	0.7	0.8
	5.0	0.8	1			
	7.5	1.6	1.6			
B48U2MC01 (10)	2.5	1.6	1.6	1.4	0.7	0.8
	5.0	1.0	1.0			
	7.5	1.6	1.6			
B48U2MC02 (10)	2.5	1.4	1.6	1.4	0.7	0.8
	5.0	1.0	1.0			
	7.5	1.6	1.6			
B48U2MC03 (10)	2.5	1.6	1.6	1.5	0.75	0.8
	5.0	1.0	1.4			
	7.5	1.6	1.6			

### 2.3.4 熱回復幅 ( $W_{ANL}$ ) 計測

熱回復幅 ( $W_{ANL}$ ) は、接合した際の熱履歴によりインサート材の照射脆化が熱回復する幅と定義されている。本研究では熱回復パラメータから求める  $W_{ANL}$  算出方法に準拠し  $W_{ANL}$  を評価しており、熱回復パラメータは”Abaqus”の3次元熱伝導解析を用いた試験片内の過渡温度履歴評価を基に算出した。なお、接合時の試験片の実温度の確認および熱伝導解析の妥当性確認のため、接合中のインサート材の過渡温度履歴を測定しており、長手方向と直交する10mm角の正方形面の中央部(試験片表面から5mmの深さ)に穴をあけ、K型シース熱電対(常用限度:500°C)を設置しインサート材内部の温度を測定した。図8は溶接接合時の過渡温度履歴の測定および解析結果を示しており、凡例( )内は接合面からの距離を表している。測定値と解析値を比較すると、接合面から1.5mmの位置において良く一致している。接合面からの距離がほぼ等しい測定値(1.9mm)と解析値(2mm)では、過渡温度の時間応答に違いがみられるものの、最高到達温度はほぼ等しい結果であった。以上より、解析

結果は測定結果と概ね同様であり、インサート材の過渡温度履歴を解析によりよく再現できていると考えられる。図9に熱伝導解析結果を基にした熱回復パラメータと接合面からの距離の関係を示す。ここで、熱回復が無視できるとみなされる熱回復パラメータ最大値は42とされており[1]、その際の接合面からの距離が熱回復幅とされている。図9より、熱回復幅は0.81mmと評価された。ここで、解析における熱影響部の幅(Ac1変態点(700°C)以上に到達した領域と定義)は接合面から0.5mmの範囲であった。すなわち、熱影響部の端部からさらに母材側に0.31mm離れた領域まで熱回復しているとみなされ、この領域を熱回復領域の幅とする。一方、2.3.3項で断面観察により計測した熱影響部幅( $W_{HAZ}$ )は0.8mmであり、解析上の熱影響部の幅0.5mmより広い領域であった。そのため、本研究では計測した  $W_{HAZ}$  である0.8mmに熱回復領域の幅0.31mmを加えたものを熱回復幅 ( $W_{ANL}$ ) とし、 $W_{ANL}$  は1.1mmと評価した。

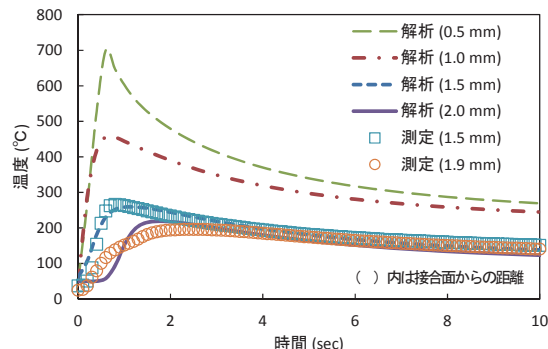


図8 溶接接合時の温度履歴の測定および解析結果

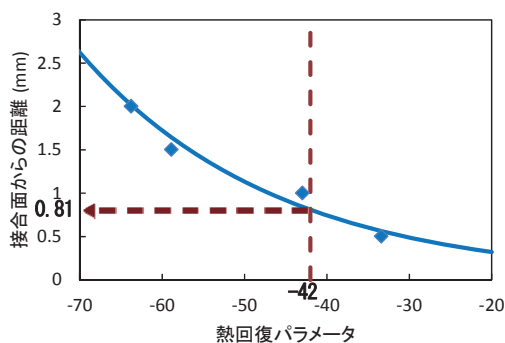


図9 熱回復パラメータと接合面からの距離の関係

### 2.3.5 接合技術確認まとめ

電子ビーム溶接を用いた試験片の接合部で有害な割れや融合不良は認められず、また、衝撃試験において十分な強度を有しており、JEAC4201の接合方法の確認試験の要求を満足することを確認した。また、熱影響部幅( $W_{HAZ}$ )は0.8mm、熱回復幅( $W_{ANL}$ )は1.1mmと評価した。

### 3. HAZ における板厚方向採取位置の影響確認

JEAC4201 では監視試験片は供試材の種類で母材試験片、HAZ 試験片、溶接金属試験片に分類され、各試験片で供試材からの板厚方向採取位置が定められている。図 10 に監視試験片の採取位置の模式図を示す。供試材の板厚を  $t$  として、母材試験片と HAZ 試験片は  $(1/4)t$  位置、溶接金属試験片はルート部および表面より 13mm 以上離れた位置から採取するよう定められているが、HAZ 再生試験片のインサート材は、各試験片に含まれる溶接金属や HAZ の位置関係からオリジナルの HAZ 試験片からは採取できず、 $(1/4)t$  位置以外から採取された溶接金属試験片の HAZ から採取するため、オリジナルの HAZ 試験片とは異なる位置からの採取となる。そのため、 $(1/4)t$  以外から採取された HAZ をインサート材とした HAZ 試験片の再生を想定し、HAZ の板厚方向採取位置の違いによる衝撃特性等への影響確認試験を行った。

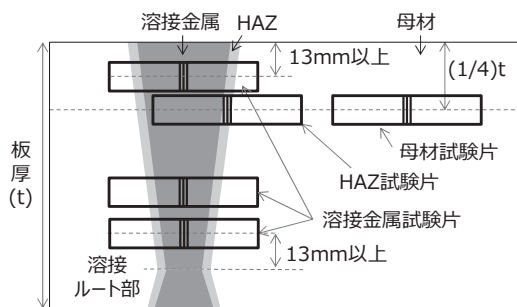


図 10 監視試験片の採取位置の模式図

#### 3.1 供試材

供試材は未照射の溶接継手であり、板材と鍛造材の 2 鋼種を用いた。板材溶接継手における母材、溶接材料の化学成分、鍛造材溶接継手の母材、溶接材料の化学成分を表 5～8 に示す。母材、溶接材料とも、実際の RPV に用いられている材料と同等である。溶接継手は実施工と同様に溶接後に溶接後熱処理を実施した。

表 5 母材 (板材) の化学成分 (wt. %)

		C	Si	Mn	P	S	Ni	Mo
溶鋼分析	規格値 JIS G 3120 (2003) SQV2A	0.25 以下	0.15 ~ 0.40	1.15 ~ 1.50	0.030 以下	0.030 以下	0.40 ~ 1.00	0.45 ~ 0.60
	実績値	0.18	0.27	1.44	0.003	0.003	0.65	0.51
製品分析	規格値 JIS G 3120 (2003) SQV2A	0.25 以下	0.13 ~ 0.42	1.10 ~ 1.55	0.030 以下	0.030 以下	0.37 ~ 0.73	0.41 ~ 0.64
	実績値	0.17	0.26	1.40	0.003	0.002	0.65	0.50

表 6 溶接材料 (板材用) の化学成分 (wt. %)

	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Mo
規格値 JIS Z 3351(2012) YS-NM1	0.15 以下	0.60 以下	1.30~ 2.30	0.018 以下	0.018 以下	0.20 以下	0.40~ 1.75	0.30~ 0.70
実績値	0.09	0.15	2.10	0.005	0.001	0.11	0.77	0.45

表 7 母材 (鍛造材) の化学成分 (wt. %)

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Mo	
溶鋼分析	規格値 JIS G 3204 (1998) SFVQ1A	0.25 以下	0.40 以下	1.20 ~ 1.50	0.025 以下	0.025 以下	0.40 ~ 1.00	0.45 ~ 0.60
	実績値	0.18	0.19	1.48	0.003	0.001	0.90	0.52
製品分析	規格値 JIS G 3204 (1998) SFVQ1A	0.29 以下	0.47 以下	1.13 ~ 1.57	0.035 以下	0.035 以下	0.37 ~ 1.03	0.39 ~ 0.66
	実績値	0.17	0.20 ~ 0.21	1.41 ~ 1.43	0.003	0.001	0.87 ~ 0.91	0.48 ~ 0.52

表 8 溶接材料 (鍛造材用) の化学成分 (wt. %)

	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Mo
規格値 ASME SFA-5.28 ERSOS-G	0.10 以下	0.30 ~ 0.60	1.25 ~ 1.65	0.010 以下	0.010 以下	0.08 以下	0.80 ~ 1.20	0.20 ~ 0.50
実績値	0.04	0.40	1.49	0.004	0.008	0.02	0.98	0.34

#### 3.2 HAZ 試験片

図 11 に HAZ 試験片の板厚方向採取位置の影響確認試験におけるシャルピー衝撃試験片の採取位置を示す。オリジナルの溶接金属試験片の JEAC4201 における採取位置を考慮して表面から 13 mm の位置と板厚を  $t$  (板材: 167mm、鍛造材: 178 mm) とし、オリジナルの HAZ 試験片の採取位置の基準である  $(1/4)t$  の他、表面から 13 mm、 $(1/8)t$ 、 $(3/8)t$  ならびに  $(1/2)t$  の位置から試験片を採取した。また、比較のために母材についても衝撃試験を行うこととし、図 12 に示す通り、HAZ 試験片と同等の位置で試験片を採取した。

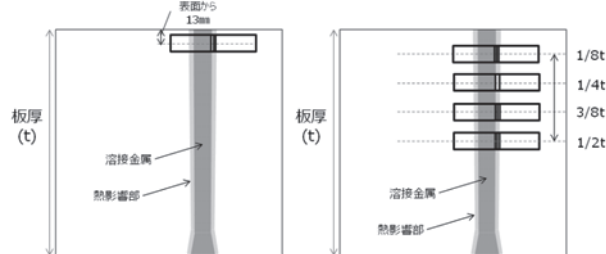


図 11 HAZ 試験片の板厚方向採取位置の影響確認試験における試験片採取位置

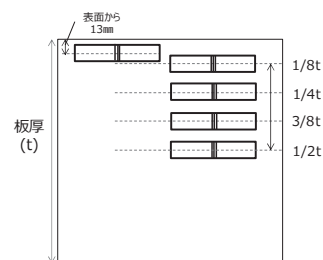


図 12 母材試験片の板厚方向採取位置の影響確認試験における試験片採取位置

#### 3.3 試験結果

##### 3.3.1 シャルピー衝撃試験

板材および鍛造材の各板厚より採取した HAZ 試験片を用いてシャルピー衝撃試験を実施し、遷移曲線を 3 セ

ット取得した。なお、板材の表面から 13 mm 位置については 1 セット取得した。図 13 および図 14 に板材および鍛造材の HAZ 試験片の採取位置と吸収エネルギー 41J、68J に対応する温度 ( $Tr_{30}$ 、 $Tr_{50}$ )、および上部棚吸収エネルギー ( $E_{max}$ ) の関係を示す。また、比較のために図 15 および図 16 に板材および鍛造材の母材試験片の採取位置と ( $Tr_{30}$ 、 $Tr_{50}$ ) および ( $E_{max}$ ) の関係を示す。

板材および鍛造材の HAZ 試験片について、採取位置により  $Tr_{30}$ 、 $Tr_{50}$ 、 $E_{max}$  に有意な差があるかを評価するため、分散分析による統計解析を行った結果、各採取位置 (板材の熱影響部試験片に関しては表面から 13 mm 位置は 1 点データのため評価外) に関し、板材および鍛造材の熱影響部についてはデータ群の平均値の間に統計的な有意差は無く、いずれの値においても採取位置の依存性は認められなかった。一方、母材試験片については、分散分析による統計解析を行った結果、板材、鍛造材ともに表面から 13 mm、(1/8)t を含めた場合、平均値の間に有意な差が有る結果となり、両者とも (1/4)t から内部で採取位置の依存性は認められない結果となった。母材で認められた表面近傍で関連温度が低くなり、(1/4)t より内部では様な衝撃特性を示す結果については薄田による報告例 [4] があり、これと一致している。一方、熱影響部では、表面近傍含めて板厚採取位置の影響が認められなかった。これは、溶接による入熱で熱影響部においては  $A_{c3}$  変態点以上まで加熱されることで一旦オーステナイト化し母材に存在した上記の傾向がなくなったことに加え、溶接による入熱の履歴は、パス間温度管理が行われていること等から、板厚方向で大きな違いが無く、様な熱履歴となったことにより、熱影響部の金属組織において板厚方向で大きな違いが生じなかったためと推察される。

### 3.3.2 断面金相観察

表 9 に板材および鍛造材の HAZ の断面マイクロ組織観察結果を示す。例として表面から 13 mm、(1/4)t、(1/2)t 位置について示す。断面金相観察の結果、採取位置による金属組織の違いは認められなかった。

### 3.3.3 硬さ測定

図 17 および図 18 に板材および鍛造材の HAZ 試験片の硬さ測定 (測定荷重: 9.8N) 結果を示す。測定は板材の表面から 13 mm で 1 ライン、その他は 3 ライン実施した。例として表面から 13 mm、(1/4)t、(1/2)t 位置について示す。いずれも HAZ 部と推定される領域では溶融境界から母

材側に離れるにつれて硬さが低下する傾向であり、硬さの最大値および HAZ と想定される幅等に大きな違いはなく、採取位置による違いは認められなかった。

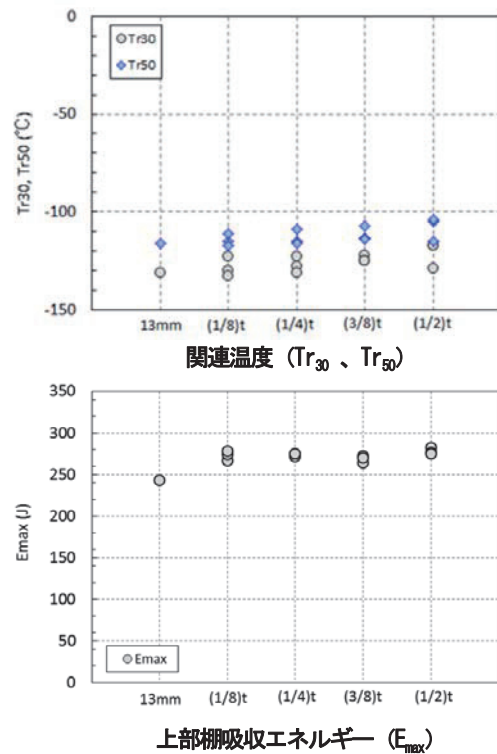


図 13 HAZ 試験片 (板材) の採取位置と衝撃特性の関係

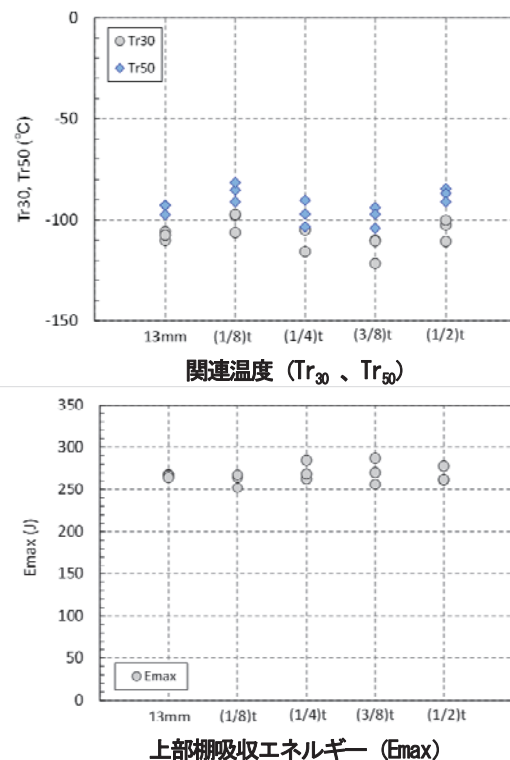
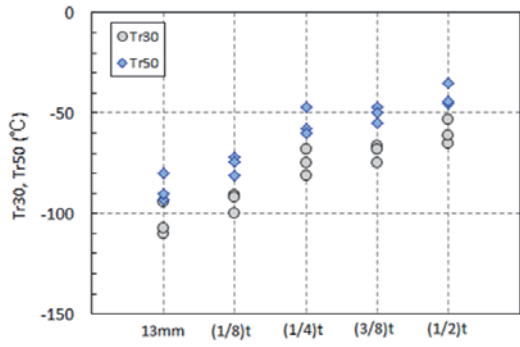
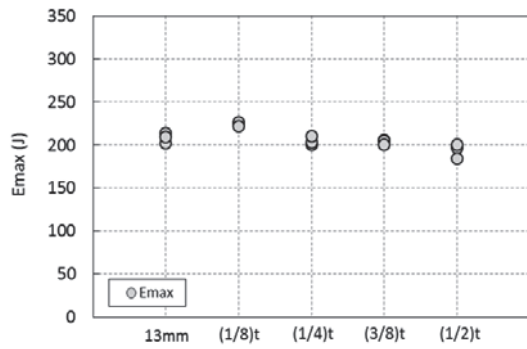


図 14 HAZ 試験片 (鍛造材) の採取位置と衝撃特性の関係

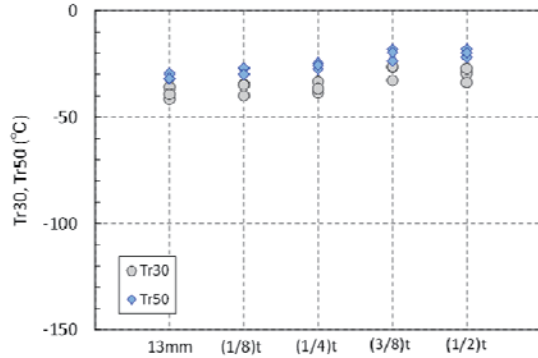


関連温度 ( $Tr_{30}$ 、 $Tr_{50}$ )

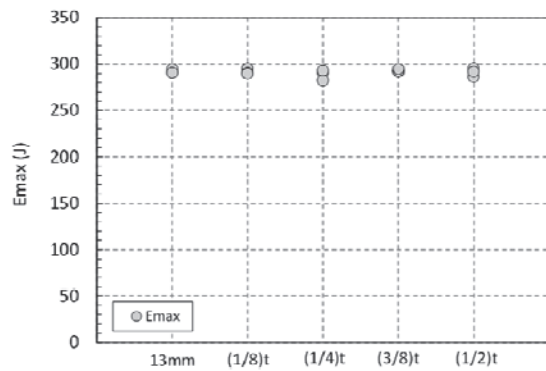


上部棚吸収エネルギー ( $E_{max}$ )

図15 母材試験片 (板材) の採取位置と衝撃特性の関係



関連温度 ( $Tr_{30}$ 、 $Tr_{50}$ )



上部棚吸収エネルギー ( $E_{max}$ )

図16 母材試験片 (鍛造材) の採取位置と衝撃特性の関係

表9 HAZの断面マイクロ組織観察結果 (400倍)

採取位置	板材	鍛造材
表面から13mm		
(1/4)t		
(1/2)t		

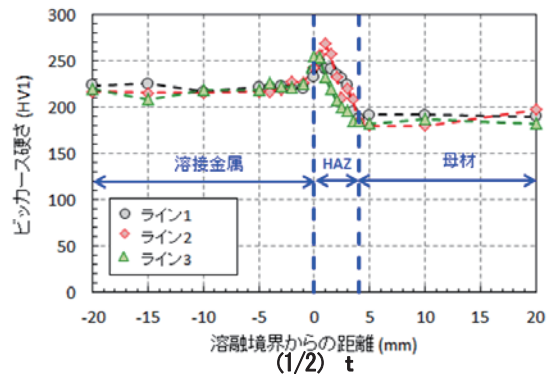
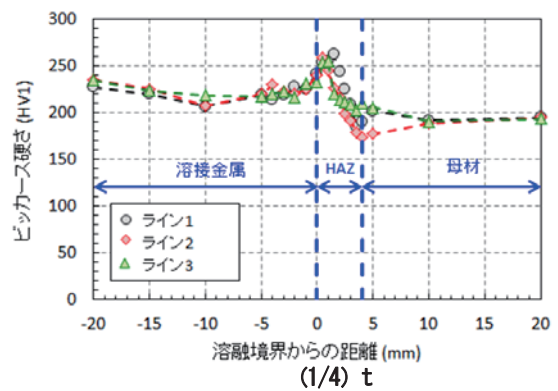
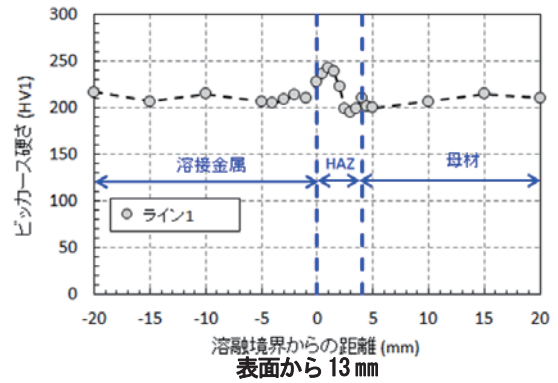


図17 硬さ測定結果 (板材)

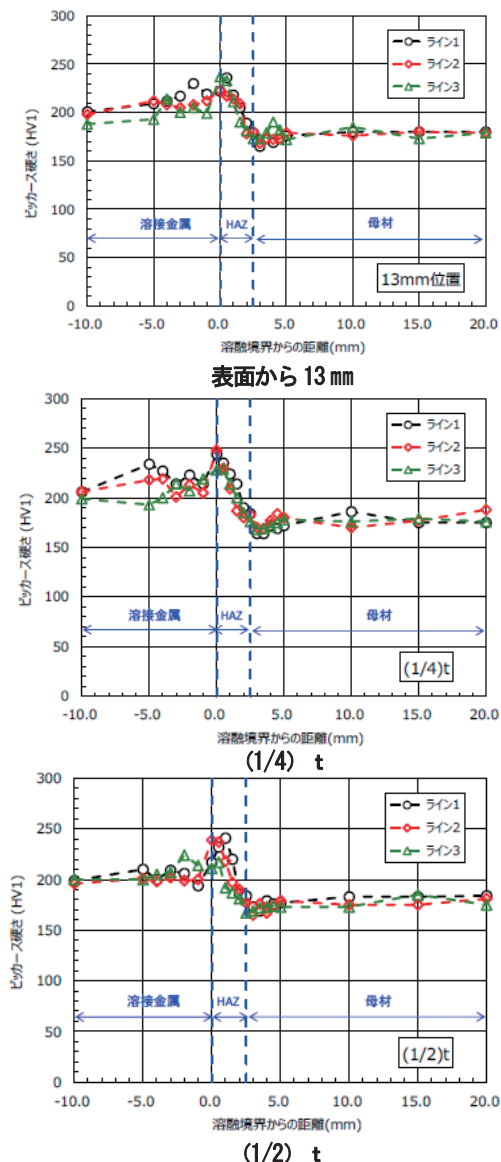


図 18 硬さ測定結果（鍛造材）

### 3.3.4 HAZの板厚方向採取位置の影響確認のまとめ

HAZ部において、板厚方向採取位置の違いが衝撃特性等へ与える影響の有無について確認するための試験を板材および鍛造材で実施した。表面から13mm、 $(1/8)t$ 、 $(1/4)t$ 、 $(3/8)t$ および $(1/2)t$ からHAZ試験片を採取し、シャルピー衝撃試験、金属組織観察および硬さ測定を実施した結果、板材、鍛造材ともにHAZ部における材料特性に板厚方向採取位置の違いは影響しないことを確認した。これにより、 $(1/4)t$ 位置から採取されていない溶接金属試験片のHAZをHAZ再生試験片用のインサート材として用いてもよいことを確認した。

## 4. 結言

RPV構造材の監視試験片に使用されている低合金鋼を用いて、監視試験片の再生方法として電子ビーム溶接の適用性を評価した。また、HAZ試験片の再生を考慮し、HAZ試験片の板厚方向採取位置の違いによる衝撃特性への影響確認試験を実施した。得られた成果を以下に記す。

- 電子ビーム溶接による試験片の接合部は、有害な割れや融合不良は無く、シャルピー衝撃試験において十分な強度を有し、JEAC4201-2007の接合方法の確認試験の要求を満足することを確認した。また、本試験より得られた熱影響部幅( $W_{HAZ}$ )は0.8mm、熱回復幅( $W_{ANL}$ )は1.1mmであった。監視試験片再生の接合方法として電子ビーム溶接が適用可能であることを確認した。
- 表面から13mm、 $(1/8)t$ 、 $(1/4)t$ 、 $(3/8)t$ および $(1/2)t$ 位置において、HAZ試験片の板厚方向採取位置の違いが衝撃特性、金属組織および硬さに影響しないことを確認した。これにより、 $(1/4)t$ 位置から採取されていない溶接金属試験片のHAZをHAZ再生試験片用のインサート材として用いてもよいことを確認した。

本論文に掲載の商品の名称は、それぞれ各社が商標として使用している場合があります。

## 謝辞

本研究は電力共通研究として実施いたしました。東北電力(株)、中部電力(株)、北陸電力(株)、中国電力(株)、日本原子力発電(株)、電源開発(株)、(一財)電力中央研究所、(株)IHIおよび三菱日立パワーシステムズ(株)の関係各位に感謝の意を表します。

## 参考文献

- [1] “原子炉構造材の監視試験方法 (JEAC 4201-2007)”, 社団法人 日本電気協会 原子力規格委員会
- [2] “実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈”, 原子力規制委員会 (平成30年1月24日改正)
- [3] 櫻谷ら, “電子ビーム溶接によるRPV監視試験片の再生技術の開発” 日本原子力学会 2017年秋の大会 予稿集 [I114]
- [4] 薄田 “超厚鋼の破壊靱性の評価について” 圧力技術 第14巻第4号 p20-27 (1976)