

25度狭開先ロボット溶接を適用した柱端接合部の性能評価  
- その8 破壊限界応力の算出 -

狭開先溶接 冷間成形角形鋼管 ロボット溶接  
NBFW法 破壊限界応力 有限要素解析

準会員 ○ 徳尾 将宏 \*1 正会員 宗川 陽祐 \*2  
正会員 見波 進 \*3 同 服部 和徳 \*4  
同 中野 達也 \*5

1. 序

本研究ではその10で行う有限要素解析において脆性破壊条件として、ローカルクライテリアとして提案されている破壊限界応力 $\sigma_c$  (例えば<sup>1)</sup>)を使用する。本報では $\sigma_c$ を算出することを目的として切欠き付き丸棒引張試験および有限要素解析結果を示す。検討対象は実大実験で延性き裂の進展経路となったコラム母材である。

2. 切欠き付き丸棒引張試験

本試験では脆性破壊（へき開破壊）が生じる際の破断荷重 $P_c$ を明らかにすることを目的としている。

図1に試験片形状を示す。試験片は円周状の切欠きを有する丸棒試験片であり、採取位置は平板部板厚中央、角部板厚外側、中央、内側（その6の図2参照）である。

試験温度は極力延性き裂が生じずに脆性破壊しやすくなるように配慮して目標温度を $-196^{\circ}\text{C}$ としている。冷却は試験片の芯部まで目標温度で十分冷却した後、同温度で加力中も一定となるように冷却し続けている。

荷重はハイドロパルス疲労試験機により変位制御で単調引張とし、変位は標点間距離を22mmとして低温用クリップゲージにより計測している。

試験片本数は破断荷重のばらつきを想定して各採取位置に対して8本としている。

置に対して8本としている。

表1に試験温度 $-196^{\circ}\text{C}$ の素材引張試験結果を示す。当該試験は切欠き付き丸棒引張試験と同様の位置から採取しており、各部3本の平均値である。

表2に試験結果を示す。表中の試験結果は試験片8本

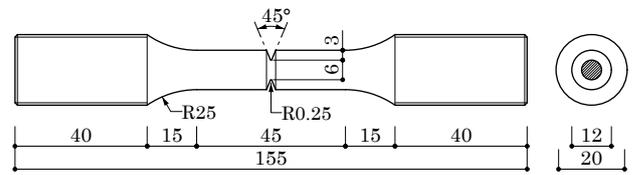


図1 試験片形状

表1 素材引張試験結果 ( $-196^{\circ}\text{C}$ )

鋼種	採取位置	$\sigma_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\epsilon_u$	Y.R. (%)	
BCP325	平板部 中央	812.7	898.8	0.148	90.4	
	角部	外側	966.6	1041.7	0.099	92.8
		中央	897.6	955.0	0.086	94.0
		内側	977.6	1053.9	0.112	92.8
BCP325T	平板部 中央	845.5	931.9	0.201	90.7	
	角部	外側	952.1	1035.9	0.079	91.9
		中央	880.0	956.0	0.198	92.1
		内側	958.6	1034.5	0.073	92.7

$\sigma_y$ : 降伏応力度,  $\sigma_u$ : 引張強さ,  $\epsilon_u$ : 一様伸び, Y.R.: 降伏比

表2 切欠き付き丸棒引張試験および $\sigma_c$ の算出結果

鋼種	採取位置	試験結果		解析結果				鋼種	採取位置	試験結果		解析結果			
		$P_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	ave. $P_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	ave. $\sigma_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_f$ (N/mm <sup>2</sup> )	ave. $\sigma_c/\sigma_f$			$P_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	ave. $P_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	ave. $\sigma_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_f$ (N/mm <sup>2</sup> )	ave. $\sigma_c/\sigma_f$
BCP325	平板部 中央	23.9	23.6	1606	1514	431.0	3.51	BCP325T	平板部 中央	25.9	31.8	1595	1708	442.2	3.86
		27.2		1612						1685					
		21.9		1470						1660					
		24.2		1543						1725					
		17.2		1307						1796					
		24.3		1545						1728					
	26.1	1592	1667												
	20.7	1434	1805												
	24.4	1722	1890												
	36.9	2040	1983												
	32.4	1950	1860												
	35.3	2018	1908												
39.4	2075	1876													
16.7	1427	1900													
34.6	2003	1842													
35.1	2015	1948													
22.0	1536	1753													
14.5	1256	1633													
24.4	1615	1720													
20.0	1472	1710													
26.7	1665	1660													
21.9	1532	1792													
23.5	1588	1798													
22.7	1558	1667													
33.6	1945	1880													
28.3	1815	1973													
27.5	1795	1902													
34.4	1965	1822													
37.1	2020	1988													
41.1	2070	1747													
39.8	2049	1645													
32.2	1922	1760													

$P_c$ : 破断荷重実験値,  $\sigma_c$ :  $P_c$ 時における材軸方向応力度 $\sigma_y$ 解析値,  $\sigma_f$ : 流動応力 (=ave. ( $\sigma_y, \sigma_u$ ))

Evaluation for structural performance of column-end robotic welded connection using 25 degrees narrow groove  
- Part 8 Calculation of cleavage fracture stress -

TOKUO Masahiro, SOKAWA Yosuke, MINAMI Susumu, HATTORI Kazunori, NAKANO Tatsuya

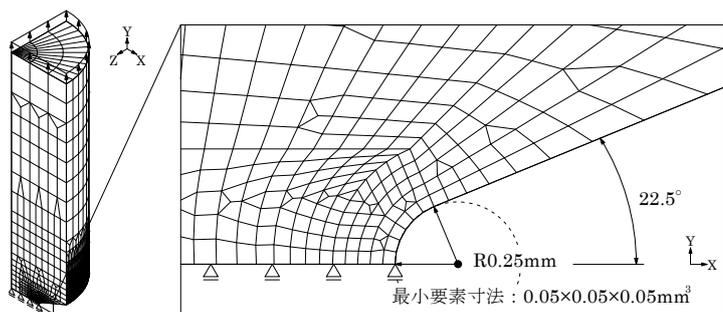


図2 解析モデル形状および要素分割状況

の結果の平均値であり、極端に低い荷重で破断したものは除外している。

### 3. 有限要素解析による破壊限界応力の算出

#### 3.1 解析概要

##### 3.1.1 解析モデル

試験結果に基づき、有限要素解析により破壊限界応力の算出を行う。

図2に解析モデル形状および要素分割状況を示す。解析モデルは対称性を考慮する1/8モデルである。切欠き底をローラー支持とし、モデル端部に強制変位を与えており、標点間のみをモデル化している。最小要素寸法は切欠き底近傍で $0.05 \times 0.05 \times 0.05 \text{mm}^3$ である。

##### 3.1.2 材料特性

図3に解析モデルに反映する真応力 $\sigma$ -真ひずみ $\varepsilon$ 関係を示す。 $\sigma$ - $\varepsilon$ 関係は前章で示した低温状態における引張試験結果を多直線近似したものである。

##### 3.1.3 解析仮定

解析は、汎用弾塑性有限要素解析ソフト「ADINA ver.9.1」による三次元立体要素を用いる弾塑性解析である。ヤング係数 $205000 \text{N/mm}^2$ 、von Misesの降伏条件、塑性域における構成則は等方硬化則、ポアソン比を0.3とする。

#### 3.2 解析結果

表2には $\sigma_c$ の算出結果を併記しており、図4に $\sigma_c$ の算出方法、図5に $\sigma_c$ の比較を示す。 $\sigma_c$ は $P_c$ 時における材軸方向応力度 $\sigma_{yy}$ であり、切欠き底近傍で最大値を示す要素から抽出している。

図5より、 $\sigma_c$ は平板部から角部板厚中央、外側・内側にかけて上昇しており、前報で示した常温での引張特性と同様の傾向がみられる。

供試材の比較として、角部板厚外側・内側でBCP325の $\sigma_c$ がBCP325Tを上回っており、平板部および角部の板厚中央ではBCP325Tの方が高い値を示している。

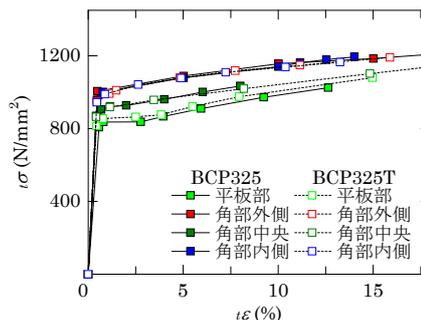


図3 真応力-真ひずみ関係

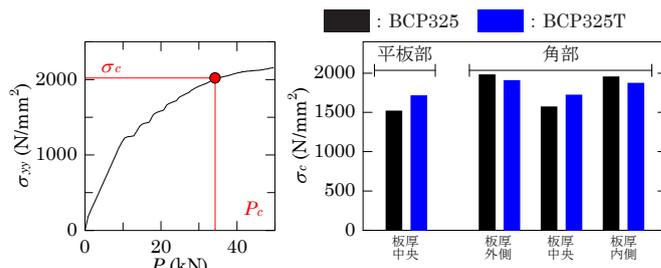


図4  $\sigma_c$ の算出方法

図5  $\sigma_c$ の比較

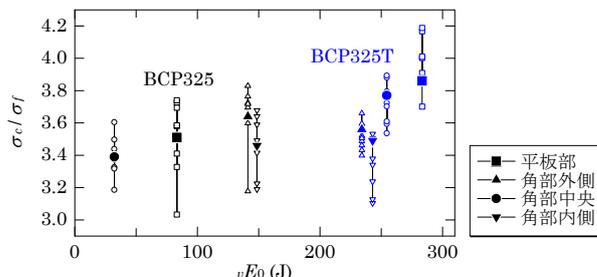


図6  $\sigma_c/\sigma_f - vE_0$ 関係

#### 4. シャルピー吸収エネルギーとの対応

図6に $\sigma_c/\sigma_f - vE_0$ 関係を示す。 $\sigma_f$ は流動応力であり、前報で示した常温での引張試験結果における $\sigma_y$ と $\sigma_u$ の平均値である。図より、 $\sigma_c/\sigma_f$ と $vE_0$ には概ね正の相関がみられ、本研究においても既往の知見<sup>2)</sup>と同様の傾向となっている。したがって、シャルピー吸収エネルギーに代表される材料靱性と破壊限界応力には関連性があるものと考えられる。

#### 5. 結

本報では切欠き付き丸棒引張試験および破壊限界応力度算出結果を示した。

#### 参考文献

- 1) BEREMIN, F.M.: A Local Criterion for Cleavage Fracture of a Nuclear Pressure Vessel Steel, Metallurgical Transactions, Volume 14A, pp.2277-2287, 1983.11
- 2) 九里知宏, 中込忠男, 見波進, 服部和徳, 水落亮輔: 25度狭開先適用した冷間成形角形鋼管一通しダイアフラム溶接部の実大3点曲げ破壊実験(材料の破壊限界応力 $\sigma_c$ ) 鉄骨造建築物の安全性向上に資する新自動溶接技術の開発 その19, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 材料施工, pp.65-66, 2012.9

\* 1 宇都宮大学工学部 学部生, \* 2 宇都宮大学大学院工学研究科 大学院生・修士(工学), \* 3 東京電機大学理工学部 教授・博士(工学), \* 4 一般財団法人ベターリビングつくば建築試験研究センター 博士(工学), \* 5 宇都宮大学地域デザイン科学部 准教授・博士(工学)

\* 1 Undergraduate student, Faculty of Eng., Utsunomiya Univ., \* 2 Graduate student, Graduate school of Eng., Utsunomiya Univ., M. Eng., \* 3 Prof., School of Science and Eng., Tokyo Denki Univ., Dr. Eng., \* 4 Tsukuba Building Test Laboratory of Center for Better Living, Dr. Eng., \* 5 Assoc. Prof., Faculty of regional design, Utsunomiya Univ., Dr. Eng.