

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4 解析概要および結果 -

狭開先溶接 冷間成形角形鋼管 ロボット溶接  
溶接止端 NBFW法 有限要素解析

正会員 ○ 宗川 陽祐 \*1 同 中野 達也 \*2  
同 見波 進 \*3 同 服部 和徳 \*4  
同 増田 浩志 \*5

1. 序

本報では有限要素解析（以下、FEM解析）により、その1~3で示した実大曲げ実験における試験体の溶接部形状を再現する解析モデルの局所的な応力・ひずみ状態の比較を行う。

2. 解析概要

2.1 解析モデル

比較対象は試験体 No.1~3 の脆性破壊の起点となったコラム角部の溶接部形状を再現する解析モデル A-1~A-3 の計3体である。

表1に解析モデルリストを示す。母材側溶接止端部における形状不連続を評価する一つの指標として、止端部形状により算定される応力集中係数  $K_t$ <sup>1)</sup> が挙げられる。コラム角部の応力状態を単純引張状態の十字溶接継手と仮定して、 $K_t$  は文献1) より次式で求められる。

$$K_t = 1 + \left( 1.348 + 0.397 \ln \frac{t_d + 2S'}{t_c} \right) \left( \frac{1}{2.8 \frac{t_c + h}{t_c} - 2\rho} \frac{h}{\rho} \right)^{0.467} \cdot \frac{1 - \exp\left(-0.90 \sqrt{\frac{t_c + h}{2h}} f\right)}{1 - \exp\left(-0.90 \sqrt{\frac{t_c + h}{2h}} \frac{\pi}{2}\right)} \quad (1)$$

ここで、 $t_d$  はダイアフラム板厚、 $t_c$  はコラム板厚、 $S'$  はビード幅、 $h$  は余盛高さ、 $\rho$  は止端部曲率半径、 $f$  はフランク角（図1参照）である。 $K_t$  の感度解析を行っている

既往の知見<sup>2)</sup>によると、 $\rho$  および  $f$  が  $K_t$  に対して最も影響が大きい形状パラメーターであり、特に  $\rho$  の影響が大きい結果が示されている。 $K_t$  の算定結果については、表1に併記したとおり、最小のモデルはグラインダー仕上げを施した試験体 No.1 を想定する A-1 で 1.79 である。 $K_t$  が最大のモデルは通常の溶接積層方法である試験体 No.2 を想定する A-2 で 3.60 であり、NBFW 法による溶接積層方法である試験体 No.3 を想定する A-3 の  $K_t$  は、A-1 と A-2 の中間に位置する 2.89 である。

図2に解析モデル形状およびコラム角部溶接部近傍の要素分割状況を示す。解析モデルは対称性を考慮する 1/4

表1 解析モデルリスト

No.	止端部近傍の主要な形状寸法				$K_t$
	$\rho$ (mm)	$f$ (度)	$h$ (mm)	$S'$ (mm)	
A-1	19.90	142.0	11.6	25.8	1.79
A-2	1.45	132.9	11.4	25.5	3.60
A-3	2.47	138.3	10.1	28.7	2.89

$\rho$  : 止端部曲率半径,  $f$  : フランク角,  $h$  : 余盛高さ,  $S'$  : ビード幅,  $K_t$  : 応力集中係数

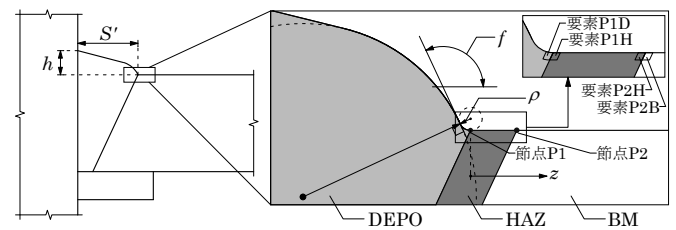


図1 溶接部形状

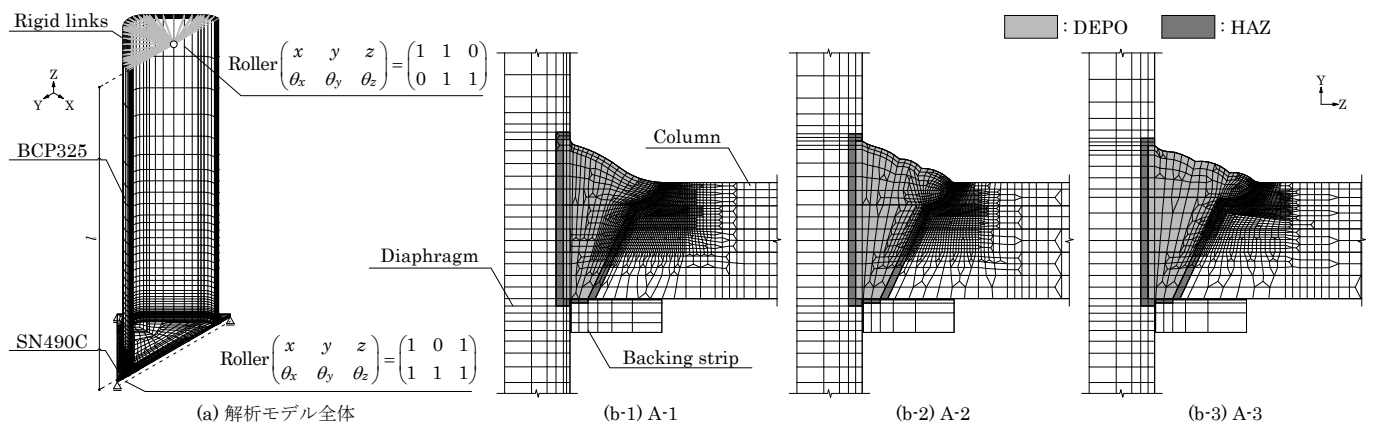


図2 解析モデル形状および要素分割状況

Evaluation for structural performance of column-end robotic welded connection using 25 degrees narrow groove  
- Part 4 Outline of analysis and results -

SOKAWA Yosuke, NAKANO Tatsuya, MINAMI Susumu, HATTORI Kazunori, MASUDA Hiroshi

モデルであり、加力方向は実験と同様に45度方向である。コラム材□-550×550×32 (BCP325)、せん断スパン2000mm、ダイアフラム材PL-36 (SN490C)を共通条件とし、柱上部およびダイアフラム端面を図芯位置で剛体リンクを行いローラー支持としたうえで強制変位を与える3点曲げ実験を再現している。溶接金属部(以下、DEPO)の溶込みについて、最終溶接ビードによるコラム母材(以下、BM)への溶込み寸法を外観寸法と同等と仮定し、実測結果に基づき10mmに設定している。その他の部位については、文献3)と同様にBM側の溶込みを開先面から1mm、ダイアフラム材側の溶込みをダイアフラム面から1.8mm、熱影響部(以下、HAZ)をBOND部から2mmと設定している。裏当て金とBM間、裏当て金とダイアフラムの間のスリット幅は0.3mmとしている。

応力・ひずみ状態を確認する評価点は材料特性の境界に該当する節点P1, P2周りの要素P1D, P1H, P2H, P2Bであり(図1参照)、最小要素寸法は評価点近傍で $0.3 \times 0.3 \times 0.3\text{mm}^3$ に統一している。

## 2.2 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。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。材料特性には文献3)と同じ応力-ひずみ関係を使用する。これは、本実験の材料特性とは異なるものの、コラムの冷間加工および溶接入熱による高強度化を詳細に反映したものとなっている。

## 3. 解析結果

### 3.1 荷重変形関係

図3に材端作用モーメント $M$ とコラム部材角 $R$ の関係を示す。全モデルで明瞭な差はみられない。

### 3.2 溶接止端部近傍の応力・ひずみ分布

図4にコラム角部外側の溶接止端部近傍要素の応力・ひずみ分布を示す。横軸の $z$ は図1に示した節点P1か

らの距離であり、 $R=0.01\text{rad}$ 時の結果である。図4より、最大主応力 $\sigma_1$ 、相当塑性ひずみ $\varepsilon_{eq}$ はDEPO-HAZ境界のボンド部である節点P1付近で最も大きいものの、 $\rho$ が最大のA-1においては、 $\sigma_1$ および $\varepsilon_{eq}$ が大幅に緩和されていることがわかる。応力三軸度 $\tau$ は形状・材料不連続となる節点P1付近で最大となるものの、材料不連続部となる節点P2付近においても若干上昇する傾向を示している。

延性き裂発生条件に関しては後述するが、延性き裂の発生が $\varepsilon_{eq}$ 、 $\tau$ および材料の真一様伸び $l\varepsilon_u$ に依存するものであるとすれば、節点P1において、 $\rho$ が最大であるA-1の延性き裂発生に対する感度は低下することとなり、 $l\varepsilon_u$ 次第では母材側で延性き裂が発生する可能性も考えられる。本研究の実大実験においては、写真1に示すように試験体No.1の溶接止端部近傍のDEPO-HAZ境界に加えてHAZ-BM境界にも生じている様子がわかる。この点について、その5で解析結果と実験結果の比較を行い、考察を述べることとする。

## 4. 結

本報では解析概要および結果の一部を示した。

### 参考文献

その5にまとめて示している。

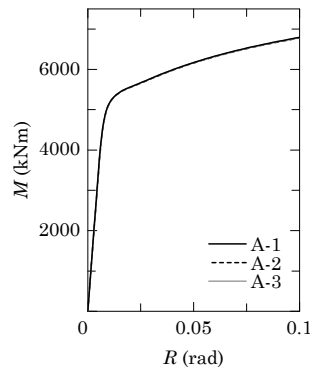


図3 荷重変形関係

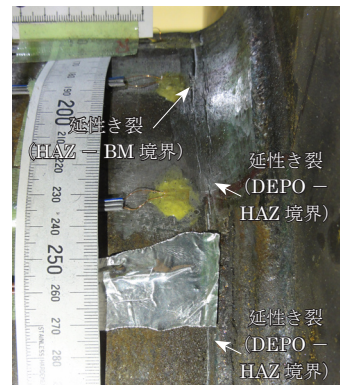
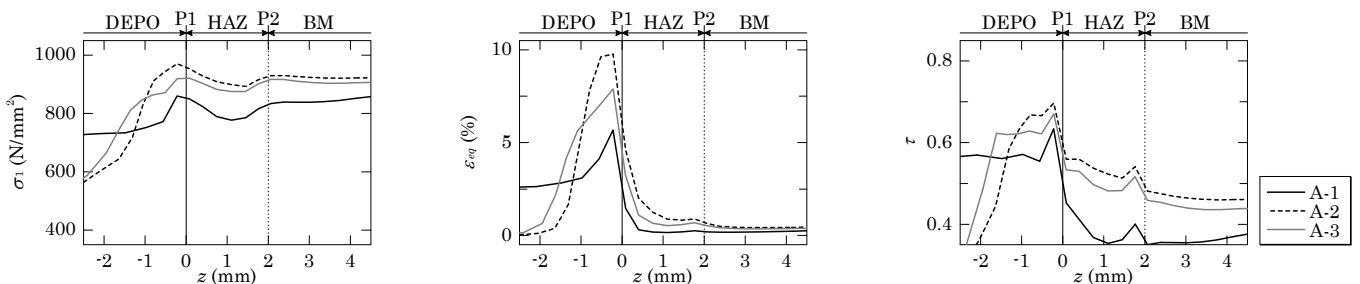


写真1 試験体No.1の延性き裂の発生・進展状況



(a) 最大主応力 $\sigma_1 - z$ 関係

(b) 相当塑性ひずみ $\varepsilon_{eq} - z$ 関係

(c) 応力三軸度 $\tau - z$ 関係

図4 止端部近傍の応力・ひずみ分布

\* 1 宇都宮大学大学院工学研究科 大学院生・修士(工学), \* 2 宇都宮大学大学院工学研究科 准教授・博士(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研究センター, \* 5 宇都宮大学大学院工学研究科 教授・博士(工学)

\* 1 Graduate student, Graduate school of Eng., Utsunomiya Univ., M. Eng. \* 2 Assoc. Prof., Graduate School of Eng., Utsunomiya Univ., Dr. 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 Prof., Graduate School of Eng., Utsunomiya Univ., Dr. Eng.