

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10 有限要素解析 (その2) -

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

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

本報では材料特性および応力・ひずみ状態とき裂先端の破壊条件の関係を有限要素解析により検討する。脆性破壊発生条件にはその8で算出した破壊限界応力 $\sigma_c$ を用いる。

2. 解析概要

解析では進展する延性き裂を想定した予き裂を挿入し、き裂深さ $d$ を4mmずつ増加させる。き裂先端の形状は切り欠き付き丸棒引張試験片と同様の曲率を有する。解析対象は母材がBCP325のNo.2とBCP325TのNo.3である。

図1に解析モデル形状および要素分割状況を示す。3Dソリッド要素にき裂を挿入する場合、解析モデル形状が非常に複雑になることに加え、節点数が過度に大規模となることから、本解析ではコラム角部断面を平面ひずみ状態と仮定して2Dソリッド要素により作成している。

加力方法は前報の3Dモデルより抽出される図2に示すような節点変位をモデル端部の該当する節点に強制変位として作用させている。

解析仮定および材料特性については前報と同様である。

3. モデル化の妥当性の検証

図1(a)に示したNo.2のき裂がないモデルについて、3Dモデルと2Dモデルの対応を確認し、2Dモデルの妥当性を検証する。要素分割は両モデルで統一している。

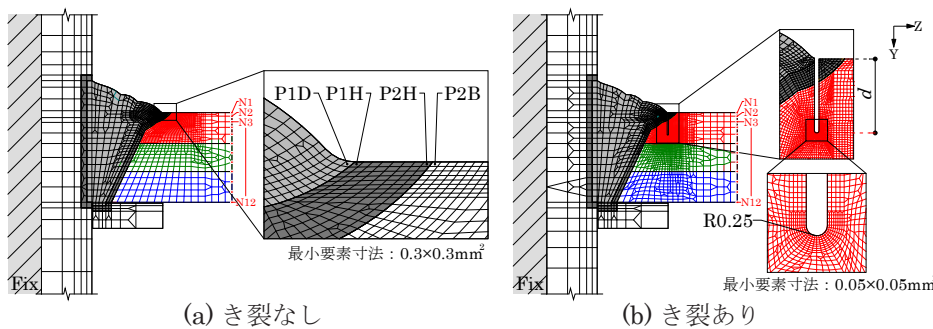
図3に検証結果を示す。図3より、相当塑性ひずみ $\epsilon_{eq}$ に関しては2Dモデルの方が3Dモデルより若干高い値を示しているが、ミーゼス応力 $\sigma_e$ 、最大主応力 $\sigma_1$ に関しては両モデルの結果が極めて良好に対応しており、モデル化については問題ないと判断できる。

4. き裂先端からの破壊条件に関する検討

まず、延性き裂の進展について検討する。図4に延性き裂発生駆動力 $D$ とコラム部材角 $R$ の関係を示し、図5に $D=1$ となるときの部材角 $R_{dc}$ と $d$ の関係を示す。図5中には実験において試験体No.2が脆性破壊に至るまで進展した延性き裂深さ(=18mm)<sup>1)</sup>を併記している。 $D$ は文献2)の延性き裂発生条件式より次式で与えられる。

$$D = \epsilon_{eq} \tau^2 / t \epsilon_u \tag{1}$$

ここで、 $\epsilon_u$ は真一様伸び、 $\tau$ は応力三軸度である。



(a) き裂なし (b) き裂あり

図1 解析モデル形状および要素分割状況

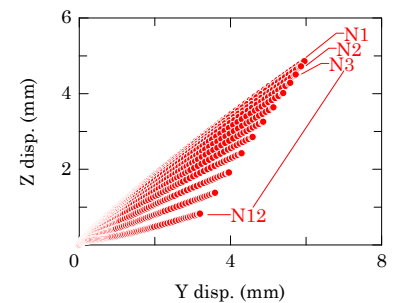


図2 節点変位オービット

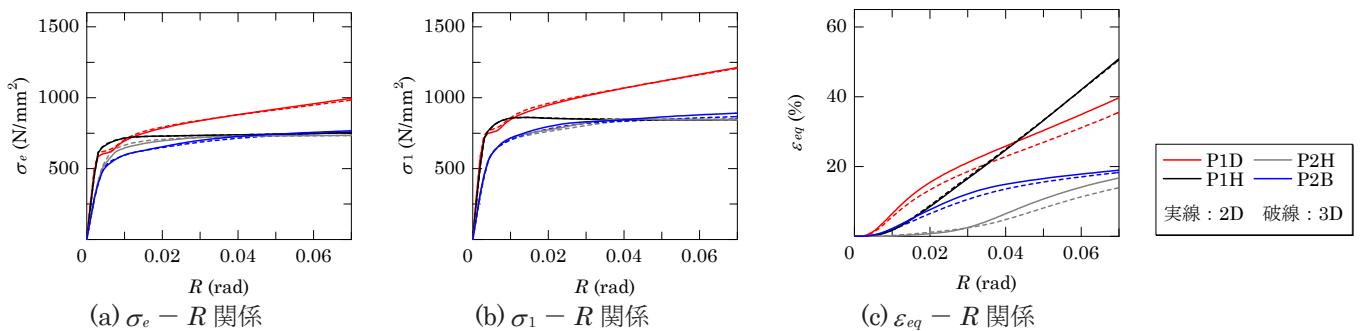


図3 2Dモデルと3Dモデルの比較

Evaluation for structural performance of column-end robotic welded connection using 25 degrees narrow groove  
- Part 10 Finite element analysis (Part 2) -

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

図5より、全体的な傾向としてき裂先端が板厚表面に近いエリアの場合に $R_{dc}$ は最も小さく、板厚中央エリアの場合に高い値を示す。解析の都合上 $d$ によらず加力を初期から開始しているため、 $d$ が大きいほど $R_{dc}$ は大きくなるが、板厚中央エリアで高い値を示すのは一様伸びが外側・内側と比較して優れているためである。

No.2とNo.3の $R_{dc}$ を比較すると、全体的にNo.3の方が大きい。 $d$ が大きくなるほどNo.3とNo.2の $R_{dc}$ の差は開き、特に板厚中央エリアの終盤である $d=20\text{mm}$ では大差が生じる結果となっている。このことから、BCP325Tの方がBCP325よりき裂の進展に対して有利であることが解析結果から判断できる。

次に、脆性破壊の発生について検討する。図6にき裂先端の $\sigma_1$ と $R$ の関係を示し、図7に $\sigma_1=\sigma_c$ となるときに部材角 $R_{bf}$ と $d$ の関係を示す。図6の結果はき裂先端近傍要素群から各ステップにおける最大値を包絡するように抽出しており、図7中には実験において試験体No.2が脆性破壊した時の部材角(=0.0411rad)<sup>1)</sup>を併記している。

図7より、No.2, No.3ともに、材料特性分布の境界近傍の結果は変動する場合もあるが、全体的な傾向としては $d$ の増加に伴い $R_{bf}$ は増加する結果となっており、これは先述した解析上の都合による。

No.2とNo.3の $R_{bf}$ を比較すると、 $d=4\text{mm}$ の段階ではNo.2の方が大きい、 $d=8$ でNo.3と同程度となり、これ以降の板厚中央のエリアにおいてはNo.3の方がNo.2

より大きくなるとともに $R_{bf}$ の差も開き始める。このことから、実験<sup>1)</sup>で脆性破壊が生じた板厚中央エリアについてはBCP325Tの方がBCP325より脆性破壊発生に対して有利であることが解析結果から判断できる。

## 5. 結

本研究では実大実験<sup>1)</sup>に対して種々の材料試験を実施するとともに、材料特性を考慮したうえで、破壊性状を解析的に検討することを目的として破壊力学手法を導入する有限要素解析を実施した。得られた知見を以下に示す。

- [1] 引張試験およびシャルピー衝撃試験結果より、BCP325よりBCP325Tの方が伸び能力および材料靱性が優れていることを明らかにした。
- [2] 有限要素解析より、伸び能力および材料靱性に関する材料特性に起因して、BCP325Tの方がBCP325より特に板厚中央エリアで延性き裂の進展および脆性破壊の発生に対して有利であることを明らかにした。
- [3] [1] および [2] の知見から、実大実験<sup>1)</sup>で最終的に脆性破壊に転化したNo.2に対してNo.3は母材の材料特性が優れていたことが要因となり脆性破壊に転化することなく終局状態を迎えたことが考えられる。

## 参考文献

- 1) 見波進, 服部和徳, 宗川陽祐, 中野達也, 早坂和美, 増田浩志, 本宮弘大: 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1~5, 日本建築学会大会学術講演会梗概集, 材料施工, pp.1155-1164, 2016.9
- 2) 桑村仁, 山本恵市: 三軸応力状態における構造用鋼材の延性き裂発生条件, 日本建築学会構造系論文集, 第477号, pp.129-135, 1995.11

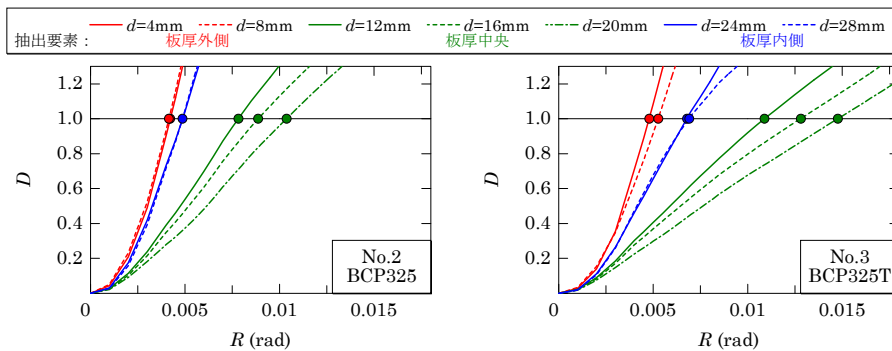


図4  $D - R$  関係

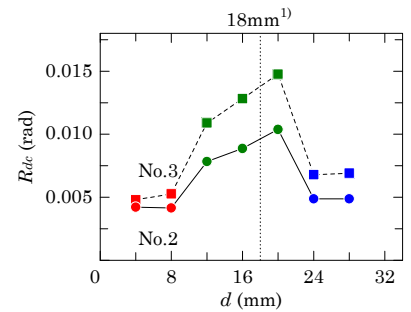


図5  $R_{dc} - d$  関係

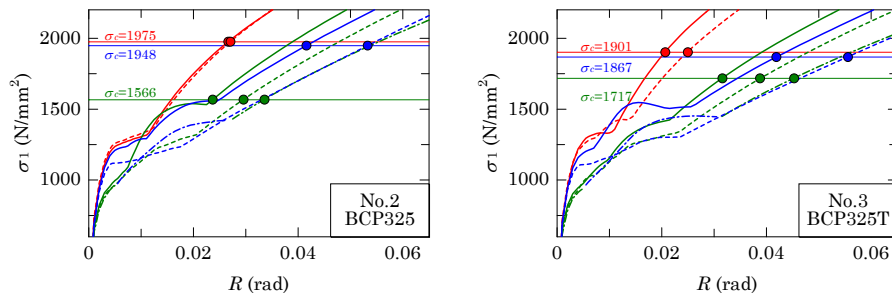


図6  $\sigma_1 - R$  関係

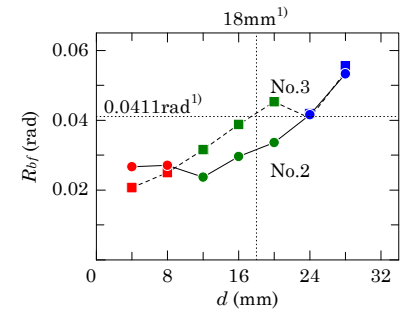


図7  $R_{bf} - d$  関係

\* 1 宇都宮大学大学院工学研究科 大学院生・修士 (工学), \* 2 宇都宮大学地域デザイン科学部 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 教授・博士 (工学)

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