

冷間成形角形鋼管の溶接・加工品質の向上と施工合理化に関する研究  
その4 角部溶接部における溶接金属の強度分布の影響

正会員 ○ 小原 保隆 \*1

冷間成形角形鋼管 ロボット溶接 軟質継手  
強度 要求性能 有限要素解析

同 中野達也 \*1  
同 宗川 陽祐 \*2

1. 序

冷間成形角形鋼管（以下，コラム）と通しダイアフラムの接合部は溶接ロボットによる施工が一般化している。

本報その1で示唆されたように入熱の上限値を緩和した場合に施工合理化が見込まれる。一方で，入熱が増加すると溶接金属の強度や靱性が低下することから，柱材としての性能を十分に発揮できないことが懸念される。特にコラム角部は平板部に比べ材料強度が増大している。ただし，角部溶接部の初層側はポアソン効果の影響により歪集中が緩和されるため，部分軟質継手が許容される可能性がある。

そこで本報その4では，主に初層側の部分軟質継手を対象とし，溶接金属内の強度分布に着目したFEM解析を行い，角部溶接部において溶接金属に要求される強度分布について検討する。

2. 解析概要

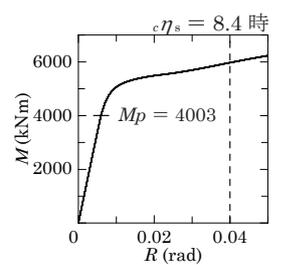
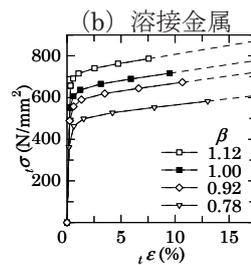
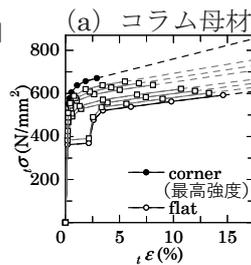
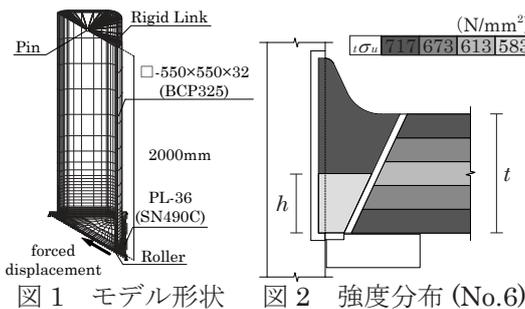
図1にモデル形状を示す。本解析はコラム45度方向の3点曲げ実験を再現している。施工合理化の観点から溶接面積の削減を考慮して，開先角度25度，ルートギャップ5mmの溶接部を対象とする。

表1に解析モデルリストを示す。主な解析パラメータは次式により得られる強度比 $\beta$ および溶接金属の強度分布である。

表1 解析モデルリスト

No.	h/t	強度比 $\beta$		材料特性		
		上層	下層	$t\sigma_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	$t\sigma_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	$t\epsilon_u$ (%)
1	1.00		1.12	657	787	7.6
2			1.00	551	717	9.5
3			0.92	488	673	10.9
4			0.78	362	583	13.0
5	0.875	1.00	0.78	362	583	13.0
6	0.5					
7	0.125					

h/t: コラム板厚に対する下層高さの割合



$$\beta = w\sigma_u / c\sigma_u \quad (1)$$

ここで， $w\sigma_u$ は溶接金属の引張強さ， $c\sigma_u$ はコラム角部最外縁の引張強さである。 $\beta$ は0.78～1.12で変化させており， $\beta = 0.78$ は $w\sigma_u$ がコラム平板部の引張強さに相当する。強度分布は図2に示すようにコラム板厚 $t$ に対する下層高さ $h$ の比 $h/t$ を変化させている。 $h/t$ は0.125～1.00で変化させており， $h/t = 1.00$ は溶接金属全層が同強度になる。図3に解析で用いた材料特性を示す。コラム断面には文献1)で得られた図2に示すような材料特性分布を反映している。

3. 解析結果

3.1 M-R関係

図5に全モデルのM-R関係を示す。Mは材端作用モーメント，Rは柱の部材角である。モデル間で差異はみられないため，局所的な応力・歪状態について検討する。

3.2 溶接部の応力・歪性状

図5に溶接部形状と応力・歪の評価点を示す。最小メッシュ寸法は評価点近傍で $0.1 \times 0.1 \times 0.1 \text{mm}^3$ に統一している。初層側に厳しい条件を与えるため，溶接部は余盛を高くしている<sup>1)</sup>。溶接止端部を半径10mmの円弧にすることでOC点の応力・歪集中は緩和される形状としている。

図6に基準となるNo.2モデルの解析結果を示す。図6(a)は最大主応力 $\sigma_1$ ，相当塑性ひずみ $\epsilon_{eq}$ ，応力三軸度 $\tau$ ，延性き裂発生駆動力D（4章参照）とRの関係である。図6(b)は $R = 0.04 \text{rad}$ 時の応力・歪コンターである。解析から文献1)と同様の傾向を示す結果が得られている。

OC点に関しては図6(a)から $\epsilon_{eq}$ が他の3点と比べ非常に大きくなっており，図6(b)から応力・歪集中が発生していることが分かる。ID点に関しては図6(a)から $\sigma_1$ が他の3点に比べ早期に最大値に到達しており，図6(b)から $\sigma_1$ および $\tau$ がID点周辺で局所的に集中している。

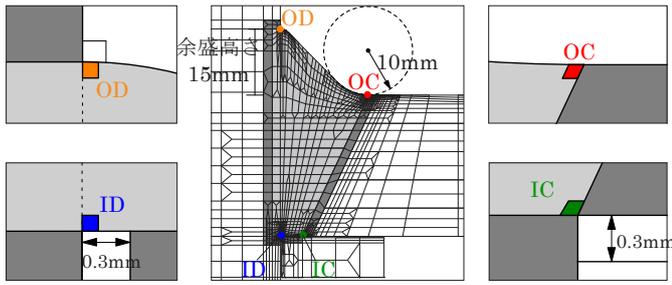
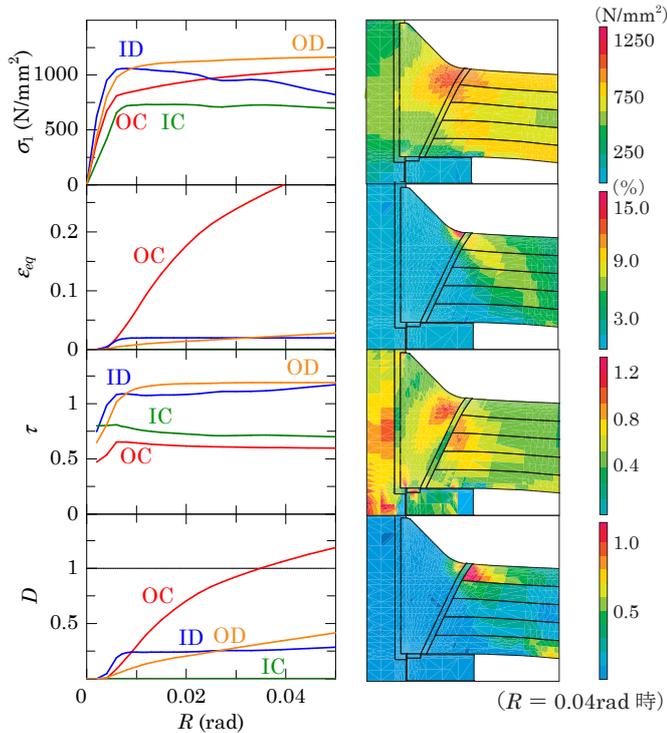


図5 溶接部形状および評価点



(a) 応力・歪性状 (b) 応力・歪コンター  
図6 解析結果の一例 (No.2 モデル)

#### 4. 考察

延性破壊を表す指標として、コラムの要求性能に対する部材角  $R^{req} = 0.04\text{rad}$  に対応する延性き裂発生駆動力  $D_R$  を用いる。延性き裂発生駆動力  $D$  は次式に示す延性き裂発生条件式<sup>2)</sup>により得られる。

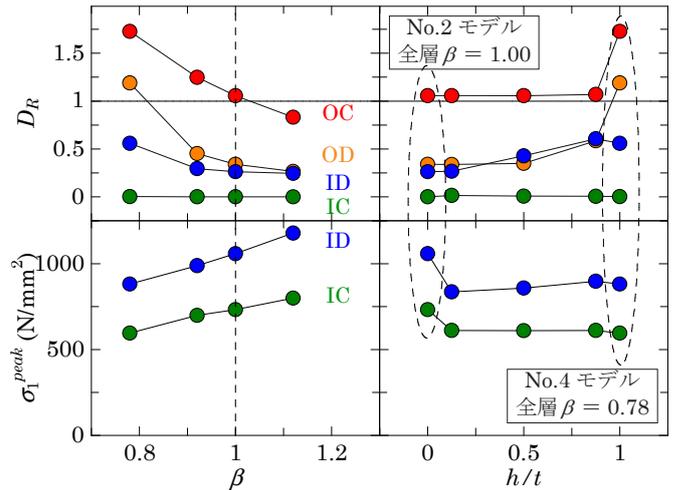
$$D = \varepsilon_{eq} / \varepsilon_u \cdot \tau^2 \quad (2)$$

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

脆性破壊を示す指標として、 $\sigma_1^{peak}$  を用いる。 $\sigma_1^{peak}$  はコラムの塑性化付近における  $\sigma_1$  のピーク値である。最終層側は  $R$  の増加に伴い  $\sigma_1$  が増大し続けるため、 $\sigma_1^{peak}$  をとる初層側に関して比較を行う。

##### 4.1 溶接金属全層同強度モデルにおける強度比の影響

図7(a)に溶接金属全層の  $\beta$  を変化させたモデルの結果を示す。最終層側 (OD・OC点) は  $\beta$  の低下に伴う  $D_R$  の増大が著しいが、初層側 (ID・IC点) の変化は最終層側に比べて小さい。 $\beta$  の増加に伴い  $D_R$  は減少する一方で  $\sigma_1$  は増大していることから靱性に関する検討が必要である。



(a) 全層強度比 (b) 軟化層高さ

図7 パラメータの影響

##### 4.2 下層（初層側）における強度低下の影響

図7(b)に上層、下層それぞれの  $\beta$  を一定とし、 $h/t$  をパラメータとしたモデルの結果を示す。 $h/t = 0, 1$  は全層同強度であり、その他のプロットが初層側の部分軟質継手である。 $D_R$  に関しては、OC・IC点では変化がみられない。ID・OD点では  $h/t$  が  $0.1 \sim 0.9$  程度の範囲では増加していくが、延性き裂発生条件には至っていない。 $\sigma_1^{peak}$  に関しては、溶接金属全層の  $\beta$  を変化させた場合に比べ、 $h/t$  の変化が初層側の  $\sigma_1^{peak}$  に及ぼす影響は少ないことが分かる。

#### 5. 結

FEM 解析を行い、溶接金属内の強度分布の変化がコラム角部溶接部の応力・歪性状に及ぼす影響について検討を行い、以下の知見を得た。

- [1] 溶接金属内の強度分布の変化は溶接部の局所的な応力・歪性状に対して影響を与える。
- [2] 角部溶接部の溶接金属は、最終層の強度がコラム角部最外縁の強度と同等であれば、最終層以外の強度がコラム平板部と同等であっても初層側は延性き裂発生条件には至らない結果が得られた。また大変形時には、初層側に比べ、最終層側の方が応力・歪ともに大きくなる結果が得られた。

#### 謝辞

その1にまとめて示している。

#### 参考文献

- 1) 高木峻一, 中野達也, 岡本晴仁, 見波進, 中込忠男: 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5~10, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1063-1074, 2011.8,
- 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

\* 1 宇都宮大学  
\* 2 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 (元 宇都宮大学大学院生)

\* 1 Utsunomiya Univ.,  
\* 2 Tsukuba Building Test Laboratory of Center for Better Living