

25度狭開先適用した冷間成形角形鋼管—通しダイアフラム溶接接合部の実大3点曲げ破壊実験(破壊限界応力 σ_c による実大試験結果の評価)
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20

正会員 見波 進*1 中込 忠男*2 服部 和徳*3
同 水落 亮輔*4 九里 知宏*5

25度狭開先 溶接接合部 有限要素法解析
塑性変形能力 冷間成形角形鋼管 破壊限界応力 σ_c

1.はじめに

既報で報告された実大実験結果¹⁾²⁾を評価方法の一つであるローカルクライテリアを用いて評価する事を目的とし、その19では、材料の破壊限界応力 σ_c を算出した。その20では、実大三点曲げ試験体を対象とした有限要素法解析(以下FEM解析)を実施し、既報の実験結果¹⁾²⁾について破壊限界応力 σ_c を用いて評価する。

2. 弾塑性有限要素法解析

2.1 実大三点曲げ試験体モデル

その19での円周切欠き付丸棒引張試験片のFEM解析結果より得られた σ_c を実大三点曲げ実験に適用することを目的として、実大三点曲げ試験体についてFEM解析をおこなった。図1に実大三点曲げ試験体モデルの要素分割図を示す。解析モデルは柱母材を \square -550 \times 32、通しダイアフラムを800 \times 800 \times PL-36、エンドプレートを800 \times 800 \times PL-45とし、同実験と同じサイズとした。ルートギャップは8mm、開先角度は25度狭開先とした。

本研究での解析対象は、その18で示されるCP-3試験体とした。図2に、実大3点曲げ破壊実験におけるCP-3試験体の破断面のスケッチを示す。図2より、延性亀裂の深さは、2.72mm+5.03mm=7.75mmであった。破断面のスケッチより、延性き裂の深さは7mmとし、参考としてき裂深さ3mm、5mmの場合も同様に解析をおこない、計3パターンのモデルを作成した。表1に内部欠陥と延性き裂の寸法を示す。図2より、延性き裂は、板厚に対し斜め方向へ進展しているが、有限要素解析ではモデルを簡単にする為に板厚に対して垂直にき裂を挿入している。

また、ダイアフラム側に実験と同様に5mm \times 48mmの溶接欠陥を設けている。

モデルは部分欠陥を表現するため、3次元モデルとし、対称性を考慮して1/4モデルとした。

延性き裂前縁の最小要素は、円周切欠き付丸棒引張試験片モデルと同様に0.05 \times 0.05 \times 0.05mmとした。実験より得られたスケルトン曲線の最大荷重時まで数値解析をおこない、最大荷重時の応力分布を基に破壊限界応力 σ_c を算出した。

解析は三点曲げ破壊実験同様にエンドプレート側をローラー支持とし、ダイアフラムに強制変位を与えるものとした。の応力-ひずみ関係は、実大三点曲げ実験温度と同温度(0℃)でおこなった丸棒引張試験結果から得られた公称応力-公称歪関係を真応力-真歪関係に置き換えたも

表1 内部欠陥及び延性き裂寸法

モデル名	欠陥寸法		延性き裂	
	a mm	b mm	a mm	b mm
CP_3	48	5	80	3
CP_5	48	5	80	5
CP_7	48	5	80	7

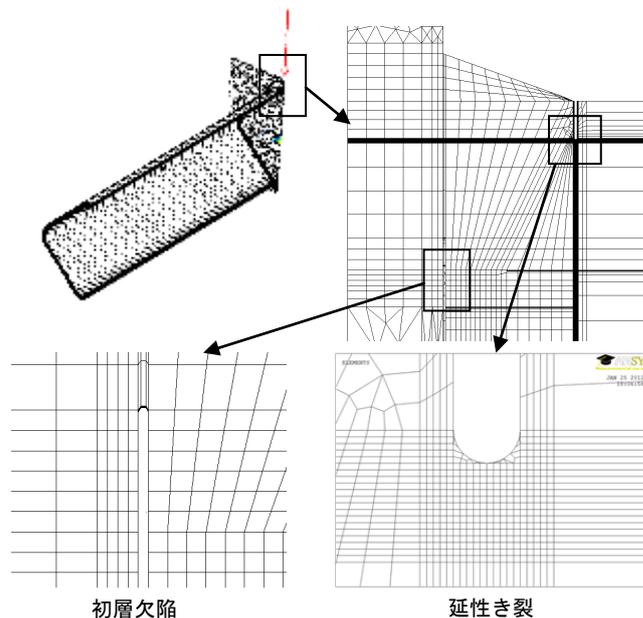


図1 要素分割図

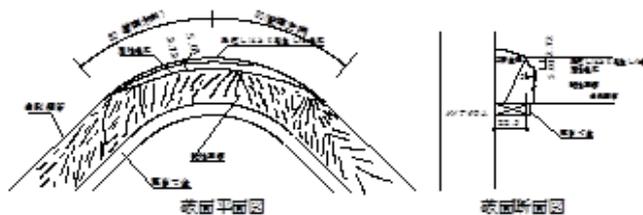


図2 CP-3試験体の破断面スケッチ

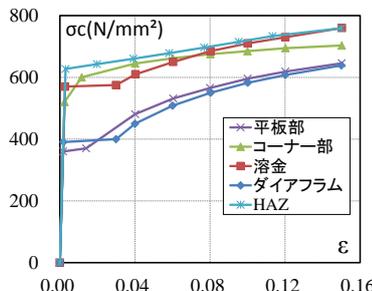


図3 解析入力材料モデル

Full Scale three-point bending Test of Cold-Formed Box- Section Columns to Through diaphragm Welding Connection using 25 degree Acute Bevel Angle
(The Evaluation of Full Scale Experimental Result by Cleavage Fracture Stress)

Technical development of automatic arc welding for advancing structural safety of steel building Part20

MINAMI Susumu, NAKAGOMI Tadao, HATTORI Kazunori, MIZUOCHI Ryosuke, KUNORI Tomohiro

のとした。ヤング係数は $E=2.05 \times 10^5$ (N/mm²)、ポアソン比を $\nu=0.3$ とした。また、降伏棚は一定の直線とした。図2に解析入力材料モデルを示す。

2.2 実大三点曲げモデル解析結果

図3に実験結果のスケルトン曲線と延性き裂 7mm のモデルの解析結果の荷重変形関係との比較、図4にき裂延長線上の応力分布の一例、図5に延性き裂周辺の主応力分布図、表2に解析結果を示す。荷重変形関係は実験結果とほぼ一致していると言える。破壊限界応力 σ_c の算出は、き裂先端からき裂延長線上において、き裂垂直方向の主応力が最も大きくなる要素の値をもって破壊限界応力 σ_c とした。

5. 考察

5.1 延性き裂長さの違いによる σ_c の値

表2に実大三点曲げ試験体モデルの解析における延性き裂先端の主応力と変形量の関係を示す。延性き裂が大きいほど σ_1 は大きく、7mm の結果をみると最大スケルトン変位 96mm でコラム母材角部の σ_c に近い値になっている。脆性破壊のばらつきを考慮すると、延性き裂が 7mm 以上でスケルトン変位が 100mm 程度に達すると脆性破壊に至る可能性が高いと推定することができる。

一方、き裂が小さい場合では、さらに変形が進み荷重が大きくなると σ_c に達しないと考えられる。

また、有限要素法解析では、き裂深さを 7mm としたが、実大曲げ試験の破面においては、板厚鉛直方向に 7.75mm であり、実験値に比べ若干小さいき裂寸法で解析を実施している。また、延性き裂は、2mmまでは板厚鉛直方向に進展しており、その後斜め 45度方向に進展している。従って、延性き裂の実長さは、9.78mm である。図6に破壊限界応力 σ_c —き裂深さ寸法関係を示す。図7を仮に線形近似し、延性き裂の実長さ 9.78mm の場合の破壊限界応力 σ_c は 2026N/mm² となる。その 19 で破壊起点であるコラムコーナー部の破壊限界応力 σ_c は 2057N/mm² であり、ほぼ程度の値である為、実験結果と整合が取れているものだと想定できる。今後、延性き裂深さが 7.75mm および 9.78mm について有限要素法解析を実施し更に検討する必要があると考えられる。

5.2 初層部溶接欠陥による影響

図8に止端部延性き裂先端と初層部溶接欠陥先端の主応力 σ_1 を比較したものを示す。初層部溶接欠陥の主応力 σ_1 は溶着金属(PW)の σ_c に比べはるかに小さく、初層部溶接欠陥から脆性破壊発生の可能性は低いと考えられる。

6. まとめ

25度狭開先を用いた冷間成形形鋼管—通しダイアフラム溶接接合部の実験結果について、破壊限界応力 σ_c を用いて検討した結果、以下の事が明らかとなった。

1) 延性き裂が 7mm 以上でスケルトン変位が 100mm 程

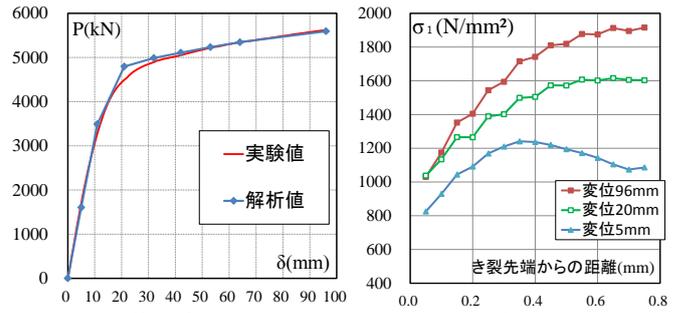


図3 荷重変形関係

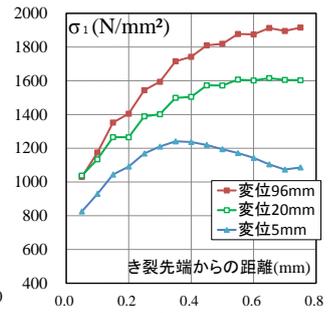


図4 き裂延長線上の応力分布

表2 解析結果

延性き裂長さ	δ_{max} (mm)	P_{max} (kN)	σ_c (N/mm ²)
3mm	96	5627	1753
5mm		5602	1825
7mm		5593	1916

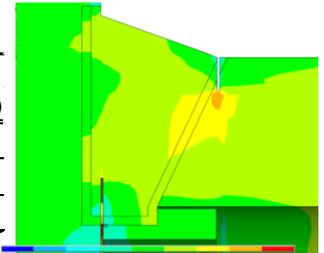


図5 延性き裂周辺の主応力分布

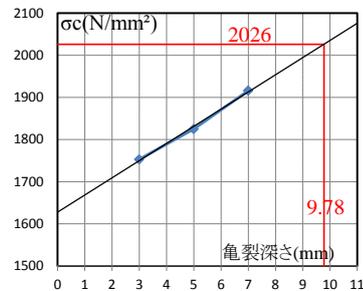


図6 破壊限界応力 σ_c —き裂深さ寸法関係

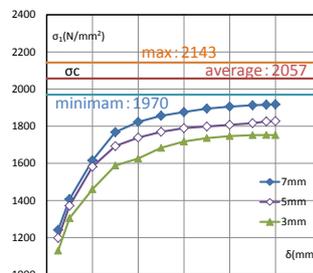


図7 延性き裂先端の主応力と変形量の関係

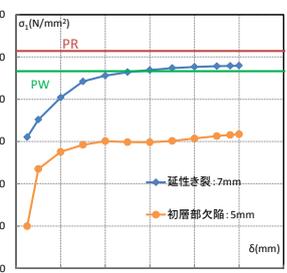


図8 止端部延性き裂と初層部欠陥の比較

度に達すると脆性破壊に至る可能性が高いと推定することができる。一方、き裂が小さい場合では、さらに変形が進み荷重が大きくなると破壊限界応力 σ_c に達しないと考えられる。

2) 初層部溶接欠陥の主応力 σ_1 は溶着金属(PW)の破壊限界応力 σ_c に比べはるかに小さく、初層部溶接欠陥から脆性破壊発生の可能性は低いと考えられる。

【参考文献】

- 1) 水落他, 25度狭開先適用した冷間成形形鋼管—通しダイアフラム溶接接合部の実大3点曲げ破壊実験その17, 日本建築学会大会梗概集, 2012
- 2) 服部他, 25度狭開先適用した冷間成形形鋼管—通しダイアフラム溶接接合部の実大3点曲げ破壊実験その18, 日本建築学会大会梗概集, 2012

*1 東京電機大学理工学部 准教授・博士(工学)

*2 信州大学工学部 教授・工博

*3 一般財団法人ベターリビングつくば建築試験センター・博士(工学)

*4 日鐵住金建材(株)・修士(工学)

*5 信州大学大学院理工学系研究科

*1 Associate Prof., School of Science and Eng., Tokyo Denki Univ., Dr. Eng.

*2 Prof., Faculty of Eng., Shinshu Univ., Dr. Eng.

*3 Tsukuba Building Test Laboratory of Center for Better Living, Dr. Eng.

*4 Nippon Steel & Sumikin Metal Products Co., Ltd, Mr. Eng.

*5 Graduate Student Faculty of Science and Engineering, Shinshu Univ.