

欠陥を有する柱梁溶接接合部の破壊に関する研究

- その3 等価貫通欠陥評価 -

柱梁溶接接合部 溶接欠陥 ローカルクライテリア  
破壊限界応力 有限要素法解析

正会員 新井 聡\*1 同 中込忠男\*2  
同 見波 進\*3 同 服部和徳\*4

1. はじめに

鋼構造建築物の脆性破壊は、破壊起点となる亀裂の存在が重要な因子となる。この亀裂には溶接施工時に生じる欠陥等が挙げられる。これまでに脆性破壊を定量的に捉えるために、破壊力学的手法を用いた欠陥や亀裂を有する部材の破壊靱性を評価する研究がされており、亀裂先端の応力評価に基づくローカルクライテリアによる破壊評価手法などが提案されている。

前報<sup>1)</sup>までに、溶接欠陥を有した実大実験を対象とした、破壊力学的手法の一つであるローカルクライテリアを用いた評価を行い、破壊限界応力による評価が可能であることを確認した。本報では、3次元解析でのみ破壊力学的評価が可能となる部分欠陥を、比較的簡便な2次元解析で評価可能となるよう破壊力学的に等価な貫通欠陥に評価することを目的に、欠陥を有する柱梁溶接接合部の試験体<sup>2)</sup>および溶接接合部の部分モデルを対象とした有限要素法解析を行う。

2. 解析概要

図1に溶接接合部の部分モデル解析対象を、図2に解析モデル例を、表1に部分モデル解析対象一覧を示す。解析対象は、柱梁溶接接合部の梁フランジとダイアフラム接合部の2種類であり、形状Aは既往の検討<sup>3)</sup>と同形状、形状Bは図3の試験体の部分である。なお、解析モデルは、形状の対照性を考慮し、3次元固体要素を用いた1/2とする。対象の検討パラメータは欠陥部の板幅方向長さaおよび板厚方向高さbとする。

図3に実大モデル解析対象である欠陥を有する柱梁溶接接合部の試験体形状を、図4に解析モデル例を、表2に解析対象一覧を示す。解析対象とする欠陥サイズの設定は、実験終了後測定した実欠陥寸法とする。解析モデルは、試験体の形状、荷重方法の対称性を考慮し、3次元固体要素を用いた1/4モデルとする。欠陥部は矩形とし、梁フランジ幅方向外縁、板厚方向内側位置に設定する。

部分モデルおよび試験体を対象としたいずれも、モデルの溶接欠陥部の周辺の要素は破壊限界応力算出のため最小要素サイズを0.05mm × 0.05mm × 1.0mmとする。境界条件は、モデルの対称面において対称性を考慮した移動拘束とし、部分モデルはダイアフラム側下部を、実大モデルは柱部対象面を荷重方向を考慮した移動拘束とする。

解析入力材料モデルは、部分モデル形状Aでは既往の検討と同様に1材料、形状Bでは、実大試験体モデルの溶着

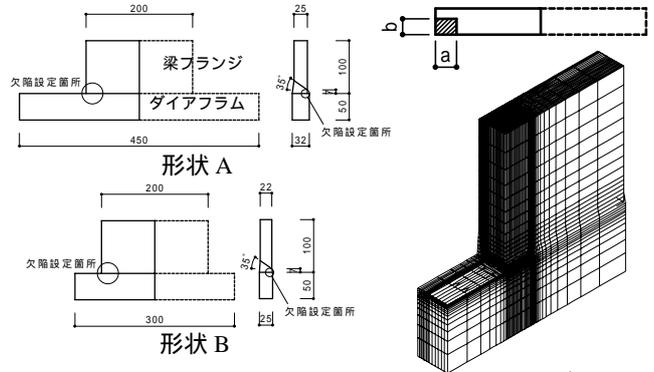


図1 解析対象(部分モデル) 図2 解析モデル例(部分モデル:形状B)

表1 解析対象一覧(部分モデル)

a(mm)	1	2.5	5	7.5	10	15	20	30	40	45	50	60
b(mm)	5	A-2.5-5	A-5-5	A-7.5-5	A-10-5	B-15-5	A-20-5	A-30-5	B-40-5	A-45-5	B-50-5	A-60-5
10	-	A-2.5-10	A-5-10	A-7.5-10	A-10-10	-	A-20-10	A-30-10	B-40-10	A-45-10	B-50-10	A-60-10
15	-	A-2.5-15	A-5-15	A-7.5-15	A-10-15	B-15-15	A-20-15	A-30-15	B-40-15	-	B-50-15	A-60-15
20	-	A-2.5-20	A-5-20	A-7.5-20	A-10-20	B-15-20	A-20-20	A-30-20	B-40-20	-	-	-
貫通	A-1	A-2.5	A-5	A-7.5	A-10	A-15	A-20	A-30	-	-	-	-
	B-1	B-2.5	B-5	-	B-10	B-15	B-20	B-30	-	-	-	-

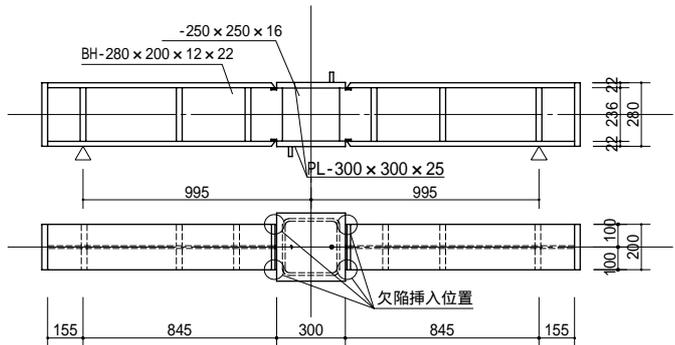


図3 解析対象試験体

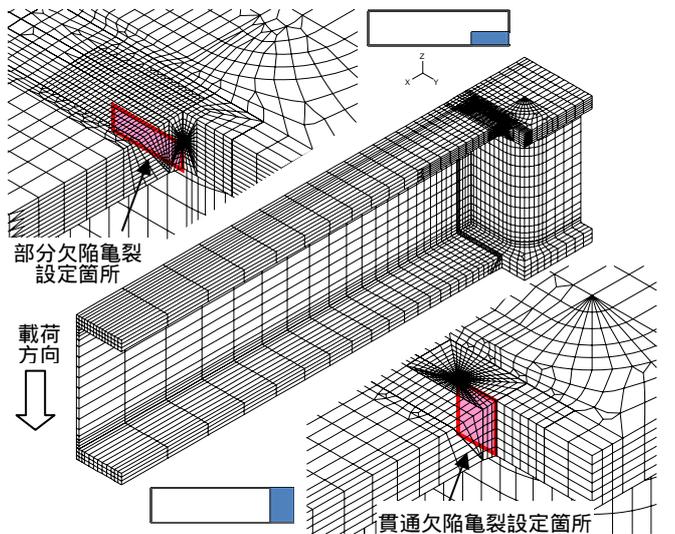


図4 解析モデル例(試験体)

金属1材料，実大モデルでは構成材料それぞれの材料引張試験結果の応力 - ひずみ関係を使用する。なお，ヤング係数  $E=2.06 \times 10^5 \text{N/mm}^2$ ，ポアソン比  $\nu=0.3$  とする。

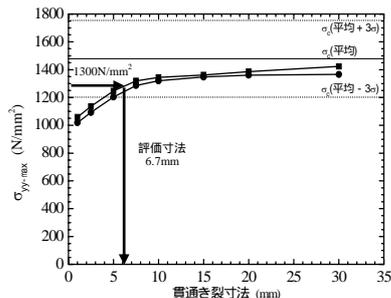


図5 等価貫通欠陥長さ評価（部分モデル）

荷重条件は，部分モデルでは梁フランジ側上部に，実大モデルでは梁端部に各解析対象の試験結果スケルトン曲線の最大変位まで，き裂設定箇所に引張応力が作用する方向に強制変位を与えることとする。

### 3. 等価貫通欠陥評価

図5に部分欠陥を等価な貫通欠陥に評価する方法を示す。等価貫通欠陥長さ評価は，破壊限界応力  $\sigma_c$  を用いて，部分欠陥の破壊限界応力  $\sigma_c$  と同値となる貫通欠陥に置換する方法とする。なお，破壊限界応力  $\sigma_c$  は部分モデルで

は既往の検討<sup>3)</sup>と同様に，梁フランジの降伏耐力の1.1倍 (1.1Py)時の値を，実大モデルでは試験結果最大スケルトン変位時の値とした。

図6に等価貫通欠陥長さ評価寸法 - 板厚方向欠陥高さ と板厚の比  $b/t$  関係を示す。これより， $a = 7.5\text{mm}$  の範囲では  $b/t$  影響を受けず，概ね評価寸法と  $a$  寸法が同様の値となることが確認できる。図7に等価貫通欠陥長さ評価寸法 - 板幅方向欠陥長さ  $a$  関係を示す。これより， $b/t = 0.2$  の範囲において， $a$  寸法に関わらず評価寸法は  $b/t$  ごとにほぼ同値となることが確認できる。

図8に等価貫通欠陥長さ評価寸法 -  $ab/t$  関係を示す。なお，図8では図6, 7より  $a$  もしくは  $b/t$  の影響を受けない  $a = 7.5\text{mm}$ ， $b/t = 0.2$  および評価寸法が  $30\text{mm}$  を超える結果を除いている。これより， $ab/t$  と等価貫通欠陥長さ評価寸法は概ね相関があり，平均的な線形近似式として，等価貫通欠陥長さ評価寸法  $= 1.6 \cdot ab/t$  が提案できる。

ここで，破壊限界応力を用いた部分欠陥の等価貫通欠陥長さ評価寸法と日本溶接協会 WES-2805<sup>4)</sup>を用いて換算したき裂特性寸法の比較を試みる。図9に両者の比較図を示す。今回の評価方法の値が WES 2805の評価を上回ることから，破壊限界応力による評価を用いることで脆性破壊に対する安全性をより確保できるものと考えられる。

部分モデルでの評価を，試験結果と併せて評価可能な実大モデルを用いて妥当性の検証を行う。表2に実大モデルの等価貫通欠陥長さ評価寸法を併記し，図10に実大モデルでの等価貫通欠陥長さ評価寸法 -  $ab/t$  関係を示す。これより，検討ケースの約半数が提示近似式に概ね沿っ

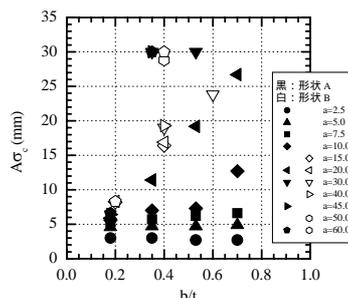


図6 等価貫通欠陥長さ -  $b/t$  関係

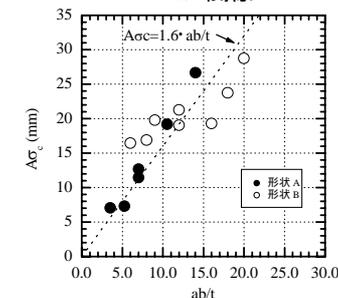


図8 等価貫通欠陥長さ -  $ab/t$  関係

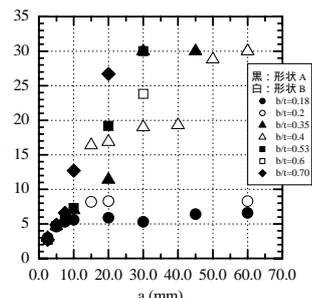


図7 等価貫通欠陥長さ -  $a$  関係

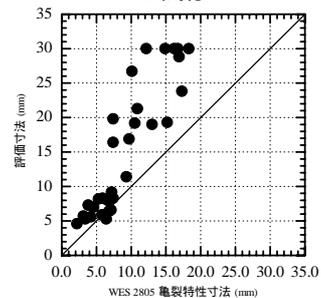


図9 等価貫通欠陥長さ - き裂特性寸法関係

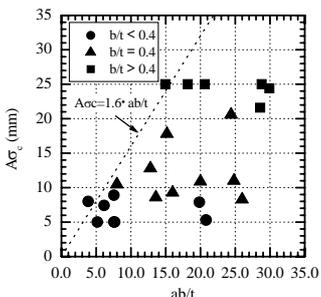


図10 等価貫通欠陥長さ -  $ab/t$  関係 (実大モデル)

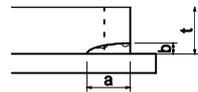


図11 欠陥長さ計測位置

ていることが確認できる。一方で小さい側に乖離している結果もある。これは，図11のように欠陥部の計測は最外縁であることから実有効寸法より大きな評価となり，等価貫通欠陥長さ評価が過小評価となったと考えられる。

### 4. まとめ

以上より，破壊限界応力を用いた部分欠陥の等価貫通欠陥長さ評価が可能であり，WES-2805によるき裂特性寸法より安全側評価となることが確認できた。

#### 参考文献

- 1) 石田，中込他：欠陥を有する柱梁溶接接合部の破壊に関する研究 その1・その2，日本建築学会大会(九州)学術講演梗概集，2007.9
- 2) 小澤，中込他：欠陥を有する柱梁接合部モデルの変形能力に関する実験的研究 その1・その2，日本建築学会大会(北海道)学術講演梗概集，2004.8
- 3) 新井，中込他：溶接欠陥を有する柱梁溶接接合部の欠陥評価に関する研究 その1・その2，日本建築学会大会(中国)学術講演梗概集，2008.9
- 4) 日本溶接協会 WES-2805「溶接継手の脆性破壊発生及び疲労亀裂進展に関する欠陥の評価方法」

\*1 (株)バコーポレーション 博士(工学)

\*2 信州大学工学部社会開発工学科 教授・工博

\*3 首都大学東京 都市環境学部 助教・博士(工学)

\*4 (財)ベターリビング 博士(工学)

Tomoe Corporation, Dr. Eng.

Prof., Dept. of Architecture and Civil Engineering, Faculty of Engineering, Shinshu Univ., Dr. Eng.

Assistant Prof., Faculty of Urban Environmental Sciences, Tokyo Metropolitan Univ., Dr. Eng.

BETTER LIVING, Dr. Eng.