切欠き先端近傍における構造用鋼材の延性破壊発生条件

(その4) AE 計測および FEM 解析

正会員	○見波	進 ^{*1}
同	服部	和徳 ^{*2}

建築構造用鋼材	延性き裂	有限要素法
応力三軸度	相当ひずみ	AE 計測

1. はじめに

前報の人工欠陥を有する鋼板の引張試験において,AE (Acoustic Emission)計測によりき裂発生観測を試みたの でこれを報告する.続いて,引張試験体を対象として, 有限要素法(FEM)解析を行い,延性き裂発生の条件につ いて検討を行った.

2. AE 計測

AE アナライザ (㈱株式会社エヌエフ回路設計ブロック 社製 AE9702, プリアンプ 9917) を用いて, AE センサ

(AE-900S-WB)を試験体試験部(平行部)とつかみ部の 間の拡幅部に取り付け,データを連続的に収録した.計 測波形の一例を図1に示す.上からAE計測より得られた 振幅,エネルギー,周波数重心,周波数分布の時刻歴で ある.



図1AE計測(N-3: SN490B0°a=11mm)

トリガおよび破断時を除いた実験の最大荷重までにおいて、得られた振幅の最大値あるいは明瞭な振幅が生じた点をき裂点と見なした.図4中に一例を白抜き丸印で示す.なお図(b)試験体 4-4 は AE 計測は実施していない.図より目視観察箇所より早期に別の箇所で、き裂が発生していた可能性が示唆される.

3. FEM 解析

3.1 解析方法

図2に素材試験より得られた真応力真ひずみ関係を示す.

A ductile fracture criterion in structural steels near notch tip – Part 4: AE measurement and FEM analysis – 解析に用いる応力-ひずみ関係はこれらを多直線に近似した. 図中に丸プロットで示す.



試験体の長さ方向を変位測定位置の 240mm までの範囲 とし、対称性を考慮し短辺を板幅 56 mmの 1/2 のモデルと した.四面体ソリッド要素を用い、最小要素サイズは切 欠き底で一辺の大きさを 0.1 mmとした.欠陥角度 0°,欠 陥サイズ 11mm について解析モデルと境界条件を図 3 に示 す.図の X 方向が欠陥長さ(a)方向、Y 方向が欠陥高さ(d) 方向、Z 方向が欠陥幅(W)方向に対応する.載荷条件は変 位制御とし図の左端に強制変位を単調に載荷した.

3.2 解析結果

試験体 SN400B, SN490B の欠陥角度 0°, 高さ・長さ 11mm と 16mm について解析結果を示す. 図4に実験値と 解析値の荷重変位関係を比較したものと,き裂発生点を 示す.最大荷重付近までは,実験値と解析値は概ね対応 していることがわかる.





写真1 試験体表面き裂性状

3.3 延性き裂発生パラメータ

前節の試験体について、実験でのき裂発生時の応力三 軸度の分布,相当ひずみの分布について,図5,図6に示 す. 応力三軸度τは以下で得られる.

ここで, s_h: 平均垂直応力(静水圧), s_{eg}: Mises の相当応力 である.

欠陥底の両端で大きい値となり、実験での目視による き裂発生位置(写真1)と対応がみられた.

既報 6-8)で用いた次式の指標 D を用い、延性き裂発生の 評価について検討する.

ここで、 e_{ea} 、 τ はFEMの各要素の相当歪と応力三軸度、 e_{u} は 素材の一様伸びの真ひずみであり、指標Dの値が概ね1に達 すると延性き裂が生じると考える.図7にき裂発生時の指標 D の分布を示す. 欠陥幅 の両端で大きい値となり, 中央 にいくにつれて小さい値となっている.

4. まとめ

SN400B, SN490B, BCP325, BCP325T の 4 種類の鋼材 を対象に実大試験体として切欠きを有する鋼板の引張試 験と FEM 解析を実施し、き裂発生条件について検討し、 以下が得られた.

- 1) AE 計測によりき裂発生の検出を試みた. エネルギー や周波数特性など他のパラメータの検討が望まれる.
- 2) 延性き裂発生指標 D は欠陥幅の両端で大きい値とな り、き裂発生位置に対応した.
- 3) 試験体表面以外のき裂発生状況や応力ひずみ状態, また他の指標の検討をするなどが今後の課題である.

【謝辞】本報の実験・解析は当時東京電機大学学生後藤拓紀君・ 深野翔希君の尽力によるものである.ここに記して謝意を表す.

【参考文献】

- 1) 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,No.477, pp.129-135, 1995.11
- 2) 小野徹郎, 佐藤篤司, 横川貴之, 相川直子: 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, No.565, pp.127-134, 2003.3
- 3) 見波進,服部和徳,宗川陽祐:板厚が開先面に融合不良欠陥を有 する鋼板の継手性能に及ぼす影響 その 1 実験計画および試験方 法, 日本建築学会大会講演梗概集, A-1, pp. 1079-1080, 2019.9
- 4) 見波進,服部和徳,宗川陽祐:板厚が開先面に融合不良欠陥を有 する鋼板の継手性能に及ぼす影響 その2 実験結果および考察, 日本建築学会大会講演梗概集, A-1, pp. 1081-1082, 2019.9
- 5) 服部和徳, 宗川陽祐, 山田宗範, 見波進: 板厚が開先面に融合不 良欠陥を有する鋼板の継手性能に及ぼす影響 その 3 標点距離の 影響, 日本建築学会大会講演梗概集, A-1, pp. 587-588, 2020.9
- 6) 見波進, 服部和徳, 宗川陽祐: 切欠き先端近傍の延性き裂発生に おける構造用鋼材の破壊条件,日本建築学会大会講演梗概集,C-1, pp.1019-1020, 2022.9
- 見波進, 宗川陽祐: 切欠き先端近傍におけ 7) 服部和徳, 後藤拓紀, る構造用鋼材の延性破壊発生条件(その1)実験計画及び素材特 性,日本建築学会大会講演梗概集,C-1,pp. 837-838,2023.9
- 8) 後藤拓紀, 見波進, 服部和徳, 宗川陽祐: 切欠き先端近傍におけ る構造用鋼材の延性破壊発生条件(その2)切欠き付き丸棒試験結 果と FEM 解析結果, 日本建築学会大会講演梗概集, C-1, pp.839-840, 2023.9



東京電機大学 理工学部 教授・博士(工学)

* Prof., School of Science and Eng., Tokyo Denki Univ., Dr. Eng. ** (一財)ベターリビングつくば建築試験研究センター・博士(工学) ** Tsukuba Building Test Laboratory of Center for Better Living, Dr. Eng.