

鋼材の破壊じん性についての実験的検討

新日鐵住金 ○北市 さゆり
 新日鐵住金 米澤 隆行
 新日鐵住金 高木 優任

1. はじめに

高じん性な鋼材を橋梁に適用するメリットとして、疲労等で発生するき裂に対して、破壊せずに耐えられる限界のき裂長さ(以下、許容き裂長さという)が大きくなり、安全性が向上できる点があげられる。これまでに高じん性材の適用が許容き裂長さに与える影響を調査した例は橋梁分野では少なく、データの蓄積が必要である。既往の研究¹⁾では、溶接時に制限入熱量をこえる大入熱を適用した場合の鋼部材の安全性を評価する指標の1つとして限界CTOD値 δ_c を用いている。そこで、本稿では破壊じん性の指標を δ_c として検討することとした。破壊じん性の簡易指標であるシャルピー吸収エネルギーを得るための試験とともに、母材を対象としたCTOD試験を行った。実験により得られた δ_c を基に、許容き裂長さの推定を一例として行うことにした。

2. 使用鋼材

検討の対象とした鋼材は、高じん性な鋼材 A(板厚12mm)と、それよりもじん性の低い鋼材 B(板厚16mm)である。各鋼材の金属組織は、鋼材 A はベイナイト組織、鋼材 B はフェライトとパーライトの層状組織である。表-1 に各鋼材のミルシートによる降伏点YS、引張強さTS及び化学成分を示す。

3. シャルピー衝撃試験

鋼材の破壊じん性の簡易指標とされるシャルピー吸収エネルギーを得るため、シャルピー衝撃試験を行った。板厚中心からVノッチを有する標準試験片(採取方向はT方向)を採取した。図-1 に試験結果を示す。鋼材 A は、上部棚吸収エネルギー約300Jを示し、鋼材 B よりも高いエネルギー吸収能を示した。

4. CTOD 試験

CTOD 試験を WES1108²⁾に従い行った。図-2 に示す板厚12mmの標準3点曲げ試験片(採取方向はT-L方向)を用いた。先のシャルピー試験の結果、0°C付近の温度域ではぜい性破壊しないと予想されたため、試験温度は低温側を想定して-40°C、-80°C、-95°Cの3水準とした。図-3、表-2 に-40°Cの試験結果と実験から得た $\delta_c(-40°C)$ をそれぞれ示す。図-3 では、荷重を保証降伏強度で除した値とクリップゲージ開口変位(図-2)の関係を示した。鋼材 B はポップイン(降下量10%)を起こしており、本試験片では低値となった可能性はあるものの、鋼材 A は鋼材 B よりも破壊変位が大きく、粘り強いことがわかる。図-4 に各温度における δ_c を示す。国内の橋梁における最低使用温度を考慮すると、実用的には-40°C程度が下限となると考えられるが、-40°Cの δ_c は、鋼材 A が鋼材 B に比べて3倍程度大きくなった。ただし、CTOD 試験は供試材料や採取位置、実験条件等によって結果にばらつきが生じるため、今回の結果は一例であることに注意が必要である。

表-1 機械的性質及び化学成分(ミルシート)

記号	YS N/mm ²	TS N/mm ²	化学成分 単位%				
			C	Si	Mn	P	S
A	575	665	0.10	0.23	1.52	0.008	0.002
B	375	528	0.16	0.44	1.44	0.018	0.003

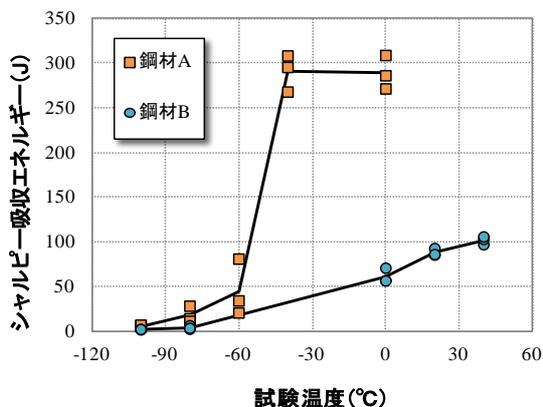


図-1 シャルピー試験結果

キーワード：破壊じん性，CTOD 試験，き裂特性寸法

連絡先：〒100-8071 東京都千代田区丸の内2-6-1 新日鐵住金株式会社 建材開発技術部

TEL:03-6867-6866

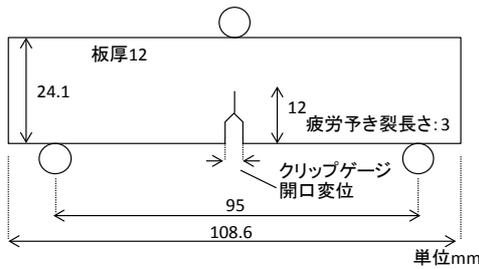


図-2 CTOD 試験片の寸法

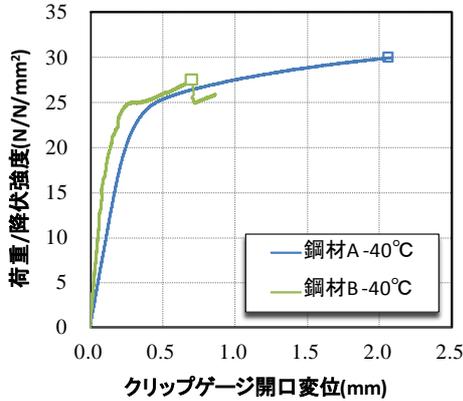


図-3 荷重/保証降伏強度—クリップゲージ開口変位関係(-40°C)

表-2 実験から得た限界 CTOD 値(-40°C)

	温度(°C)	δ_c 実験値(mm)
鋼材A	-40	0.46
鋼材B	-40	0.15

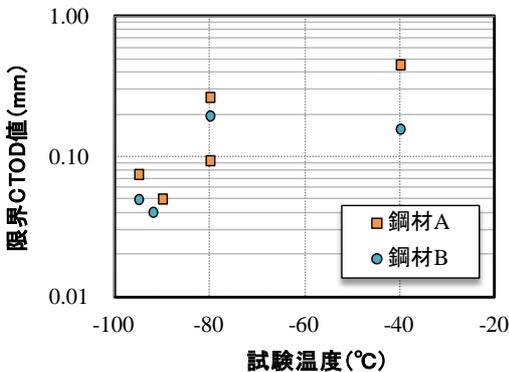


図-4 各試験温度における限界 CTOD 値

5. 許容されるき裂長さの推定

実験で得られた限界 CTOD 値 δ_c から許容欠陥に該当するき裂特性寸法 a を推定した。き裂特性寸法 a とは、各種形状のき裂を応力拡大係数 K を介して無限板中の応力方向に垂直な板厚貫通き裂に換算した場合のき裂の半長である。 a の推定には、評価対象構造要素における K の弾性解を用いて、ぜい性破壊から塑性破壊までの破壊安全性評価を包括的に行う

FAD 法 (Fatigue Assessment Diagram : 破壊評価線図) を用いた³⁾。なお、破壊評価曲線には、英国規格 BS-7910 を踏襲し、式(1)を用いた。

$$\sqrt{\delta_r} = (1 - 0.14L_r^2) [0.3 + 0.7 \exp(-0.65L_r^6)] \quad (1)$$

ここに、

- L_r : 負荷応力比 $L_r = \sigma / \sigma_y$
- δ_r : CTOD の弾性成分と弾塑性成分の比 $\delta_r = \delta_{WP}^e / \delta_c$
- σ_y : 降伏応力(ミルシート値)
- σ : 作用応力
- δ_{WP}^e : CTOD の弾性成分 $\delta_{WP}^e = K^2(1 - \nu^2) / 2E\sigma_y$
- K : 応力拡大係数 $K = \sigma \sqrt{\pi a}$

ここでは、許容き裂長さを $2a$ で代表させることとし、一例として-40°Cの δ_c の実験値(表-2)から許容き裂長さを算出した。作用応力は保証降伏強度、き裂の先端は母材にある(残留応力及び応力集中を考慮しない)と仮定した。その結果、鋼材 A で $2a=167\text{mm}$ 、鋼材 B で $2a=84\text{mm}$ が算出され、鋼材 A が鋼材 B の約 2 倍となった。

6. おわりに

本稿では、高じん性な鋼材 A とそれよりもじん性の低い鋼材 B を対象として、破壊じん性を評価し、許容き裂長さの推定を試みた。シャルピー衝撃試験では、鋼材 A は、鋼材 B よりも高いエネルギー吸収能を示した。CTOD 試験では、-40°Cにおいて鋼材 A の限界 CTOD 値 δ_c が鋼材 B の約 3 倍となった。実験から得た δ_c からき裂特性寸法 a を算出し、本稿の仮定条件の基では、鋼材 A は鋼材 B の約 2 倍のき裂に対して、破壊せずに耐えられることを示した。

なお本稿では、一例として母材を対象とし、き裂特性寸法の算出過程では保証降伏強度が作用することを仮定した。実構造物のき裂欠陥評価では、き裂の位置や形状、作用応力に溶接を考慮する等の配慮が必要である。今後多様な条件による基礎データを収集し、破壊じん性が許容されるき裂長さに与える影響について検討する予定である。

【参考文献】 1)南邦明, 三木千壽, 糟谷正, 鶴田敏也, 渡辺義之: 橋梁用高性能鋼 BHS500 の衝撃特性および破壊靱性の評価, 土木学会論文集 A, vol63 No.1, pp.142. 2) 日本溶接協会: WES1108, き裂先端開口変位(CTOD)試験方法, 1995. 3)溶接学会: 溶接構造の健全性評価, 溶接学会誌 vol.79 No.7 pp.40-50.