

破壊靱性評価におけるシャルピー吸収エネルギー値 47J が有する力学的意義

大阪大学 接合科学研究所	正会員	金 裕哲	土木研究所 寒地土木研究所	正会員	三田村 浩
〃	正会員	廣畑 幹人	〃	正会員	〇表 真也
大阪大学大学院	学生員	玉川 新悟	パブリックコンサルタント(株)	正会員	松縄 秀範

1. はじめに

英国船級協会ロイドは第二次世界大戦後、溶接船の脆性破壊事故の調査を実施すると共にシャルピー衝撃試験を行い、その結果を基本として、鋼材の簡便な脆性破壊防止指標としてシャルピー吸収エネルギー値 47J を提示した。その後、鋼材の製法など大きく異なるにもかかわらず、何ら議論することなく、今日も簡便な靱性評価指標として用いられているが、その力学的意義については不明な点が多々ある。

本稿では、寒冷地において 50 年以上供用された橋梁に用いられていた鋼材を対象に一連の実験を行い、得られた結果から、脆性破壊発生評価におけるシャルピー吸収エネルギー値 47J が有する力学的意義を検証する。

2. シャルピー吸収エネルギー値 47J 設定の背景

脆性破壊が発生した船舶に使用されていた鋼板のシャルピー衝撃試験結果を図-1 に再掲する¹⁾。横軸は吸収エネルギー、縦軸は延性破面率である。図中のシンボルは破壊様式を示しており、●印は延性破壊、あるいは、き裂が停止した鋼板、○印は脆性破壊した鋼板、×印は両者の中間的な破壊様式を呈したことを表す。なお、試験温度は、対象鋼板が損傷した時の温度であり、0-20℃が大半、0℃以下は極めて少ない。

シャルピー吸収エネルギー値 47J 以下および延性破面率 30%以下の場合、脆性破壊が発生する可能性が高いと英国船級協会ロイドは判定した。この実験結果を基本として、0℃においてシャルピー吸収エネルギー値 47J 以上を有することが脆性破壊しない靱性保証の簡便な指標として提示された。

3. 実験

ここでは、一連のシャルピー衝撃試験および CTOD 試験を行う。

3. 1 供試鋼材

供試鋼材は、北海道芦別市において 50 年以上供用された旭橋に用いられていた鋼材（降伏応力 267MPa、板厚 10mm）である。これは、ロイド協会による調査が実施された時期（約 50 年前）から現在に至るまで、寒冷地の過酷な環境下で供用されていた鋼材である。

3. 2 シャルピー衝撃試験

吸収エネルギーの遷移曲線を図-2 に示す。

図中の実線は、WES2805 に提示される吸収エネルギーの近似曲線²⁾ (式(1)) である。

$$vE(T) = \frac{vE_{shelf}}{\exp[k_a(T - vT_E)] + 1} \quad (1)$$

ここに、

vE_{shelf} (=213J) : 上部棚吸収エネルギー

vT_E (= -7.7℃) : エネルギー遷移温度

k_a (= -0.0571) : 定数（最小自乗法により決定）

旭橋鋼材のシャルピー吸収エネルギー値が 47J と
なるのは、-30℃である。

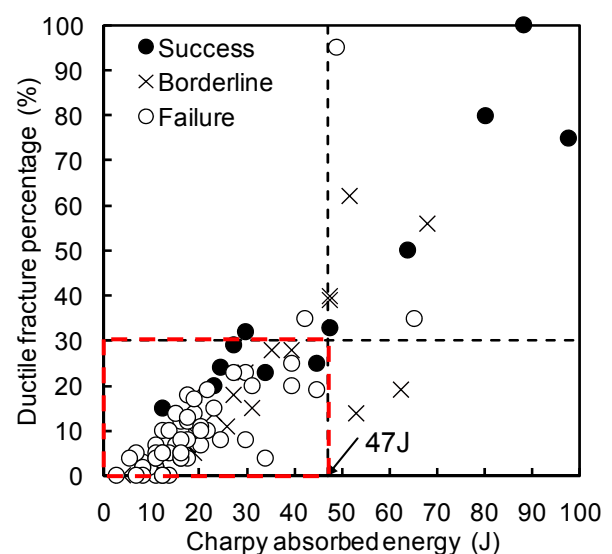


図-1 ロイド協会によるシャルピー衝撃試験結果¹⁾

キーワード 破壊靱性、脆性破壊、シャルピー吸収エネルギー、47J、限界 CTOD 値

連絡先 〒567-0047 大阪府茨木市美穂ヶ丘 11-1 大阪大学 接合科学研究所 TEL 06-6879-8647

3. 3 CTOD 試験

旭橋鋼材の破壊靱性を明らかにするため、3点曲げ CTOD 試験を実施した。実験結果を図-3 に示す。

白抜きシンのシンボルは延性破壊、黒塗りのシンボルは脆性破壊したことを表している。旭橋鋼材は-45℃以下において脆性破壊することを確認した。

一方、シャルピー吸収エネルギーの遷移曲線に基づく限界 CTOD 値の推定遷移曲線²⁾(式(2))を図中に点線で示す。

$$\delta_{cr}(T) = \frac{1}{250} \nu E(T + \Delta T) \quad (2)$$

$$\Delta T = 87 - 0.10\sigma_{y0} - 6\sqrt{t} \quad (3)$$

ここに、

σ_{y0} (=267MPa) : 常温における降伏応力

t (=10mm) : 板厚

シャルピー吸収エネルギーの遷移曲線に基づく限界 CTOD 値の推定遷移曲線は実験結果と良く一致しており、限界 CTOD 値とシャルピー吸収エネルギーとの間に相関関係があることが確認できた。

鋼材の破壊靱性評価指標は限界 CTOD 値であるが、上述の相関関係が、シャルピー衝撃試験結果が靱性評価の簡便な指標として用いられている所以である。

4. シャルピー吸収エネルギー値 47J の力学的意義

CTOD 試験によれば、旭橋鋼材が脆性破壊する温度は-45℃以下となる。ところが、シャルピー衝撃試験によれば、-45℃における吸収エネルギー値は 23J であり、47J を大きく下回っている。すなわち、シャルピー吸収エネルギーの大きさは破壊靱性評価指標として力学的な意味を持たないことになる。

以上より、ロイド協会がキルド鋼に対し行った結果を基に、0℃においてシャルピー吸収エネルギー値 47J 以上を要求することは図-1 から理解できるが、更に低温下で、47J を要求することは意味がなく、まして現在の鋼材に対し、0℃以下で 47J 要求することは、過剰要求となることを一連の実験結果は示唆している。

5. まとめ

- (1) 英国船級協会ロイドによる調査が実施された時期(約 50 年前)から現在に至るまで、寒冷地の過酷環境下で供用された旭橋に使用されていた鋼材のシャルピー吸収エネルギー値が 47J となるのは、-30℃であった。
- (2) 旭橋に使用されていた鋼材を CTOD 試験に供した結果、-45℃以下で脆性破壊することを確認した。
- (3) 脆性破壊発生評価指標としてシャルピー吸収エネルギーの大きさは何ら力学的意味を持たず、0℃以下においても吸収エネルギー値 47J 以上を求めることは、過剰要求となる可能性を実験結果は示唆している。

参考文献

- 1) J. HODGSON and G. M. BOYD : BRITTLE FRACTURE IN WELDED SHIPS, THE INSTITUTION OF NAVAL ARCHITECTS, Quarterly Transactions, 100-3, pp. 141-180, 1958.6.
- 2) 日本溶接協会 : 溶接継手のぜい性破壊発生及び疲労き裂進展に対する欠陥の評価方法(解) WES2805, 2007.11.

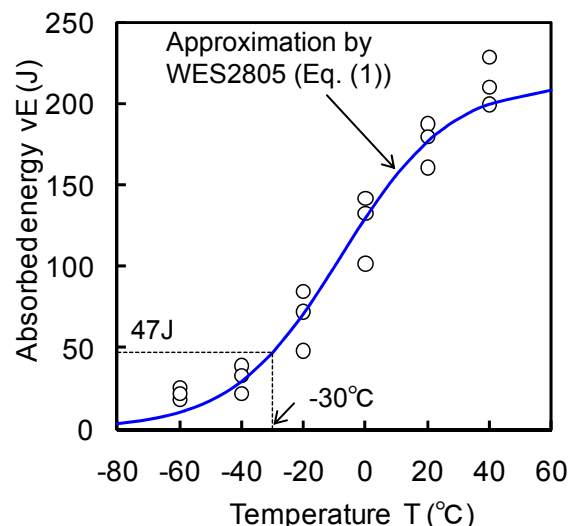


図-2 シャルピー衝撃試験結果

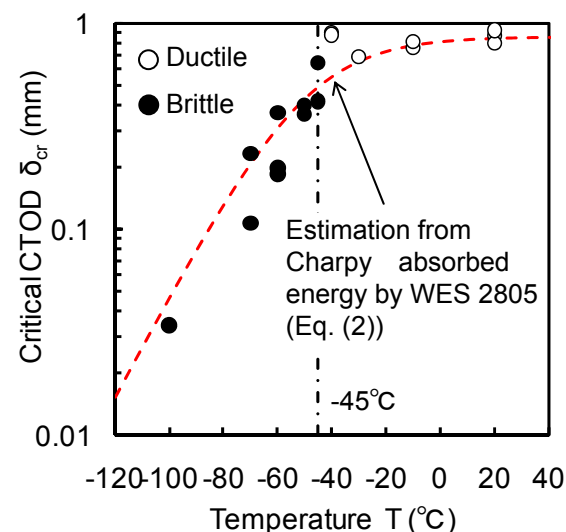


図-3 3点曲げ CTOD 試験結果