

V ノッチ引張試験と実大実験の破壊遷移現象の対応性に関する研究  
その 2 実験結果及び実大実験との対応性

Research on correspondence of V-notched tensile test and full scale test

Part2 Result of V-notched tensile test on the transition from ductile fracture to brittle fracture

○清水俊介<sup>5</sup>, 小野泰弘<sup>5</sup>, 新井佑一郎<sup>4</sup>, 半貫敏夫<sup>1</sup>, 千田光<sup>3</sup>, 秋山宏<sup>2</sup>

\*Shunsuke Shimizu<sup>5</sup>, Yasuhiro Ono<sup>5</sup>, Yuichiro Arai<sup>4</sup>, Toshio Hannuki<sup>1</sup>, Hikaru Senda<sup>3</sup>, Hiroshi Akiyama<sup>2</sup>

**Abstract:** Several studies have been made on the brittle fracture of beam-to-column connections. It has been recognized that the brittle fracture of beam-to-column connections is a brittle fracture in high stress level that occurs after the plastic strain advances to some degree. There is a test where the high stress brittle fracture is reproduced by putting V notch in the test piece. The purpose of this study is to compared V-notched tensile test with full scale test.

1. はじめに

本報では, その 1 で概要を示した V ノッチ引張試験の実験結果及び実大実験との対応性を報告する。

2. 実験結果

Table1~3 に V ノッチ引張試験結果を示す。

Table 1. V-notched tensile test result of special steel

T (°C)	P <sub>u</sub> (kN)	P <sub>f</sub> (kN)	W <sub>u</sub> (×10 <sup>3</sup> J)	W <sub>f</sub> (×10 <sup>3</sup> J)	W <sub>u</sub> / W <sub>f</sub>	C <sub>ry</sub> (%)
60	340	363	2.12	3.03	0.70	30
30	245	250	2.21	2.95	0.75	47
13.7	356	356	2.09	2.38	0.88	93
0	364	360	2.44	2.83	0.86	86
-5	363	360	2.57	2.82	0.91	91
-10	368	368	2.45	2.61	0.94	97
-15	368	368	2.40	2.50	0.96	100
-30	374	374	2.42	2.42	1.00	100

Table 2. V-notched tensile test result of SM490 A

T (°C)	P <sub>u</sub> (kN)	P <sub>f</sub> (kN)	W <sub>u</sub> (×10 <sup>3</sup> J)	W <sub>f</sub> (×10 <sup>3</sup> J)	W <sub>u</sub> / W <sub>f</sub>	C <sub>ry</sub> (%)
35	703	555	9.30	13.60	0.69	25
20	710	631	10.00	13.60	0.74	36
10	726	709	10.30	11.70	0.88	86
0	733	731	10.50	10.90	0.96	89
0	729	685	10.10	13.10	0.77	71
-10	736	736	10.10	10.10	1.00	92
-20	754	753	11.00	11.30	0.97	95
-67	754	754	6.50	6.50	1.00	100

Table 3. V-notched tensile test result of SS400

T (°C)	P <sub>u</sub> (kN)	P <sub>f</sub> (kN)	W <sub>u</sub> (×10 <sup>3</sup> J)	W <sub>f</sub> (×10 <sup>3</sup> J)	W <sub>u</sub> / W <sub>f</sub>	C <sub>ry</sub> (%)
20	530	423	8.94	14.44	0.62	14
-5	557	435	9.25	14.61	0.63	50
-15	561	481	10.51	15.82	0.66	66
-20	530	364	12.31	18.43	0.67	57
-33	547	413	13.94	20.36	0.68	68
-45	557	436	13.91	19.87	0.70	91
-50	561	470	14.03	19.48	0.72	90
-60	566	464	13.88	19.03	0.73	87
-75	580	483	14.49	20.15	0.72	91

T: 試験温度 P<sub>u</sub>: 最大荷重 P<sub>f</sub>: 破断荷重 C<sub>ry</sub>: 脆性破面率

本研究では V ノッチ引張試験から得られる靱性評価値として, 吸収エネルギー比<sup>6)</sup> W<sub>u</sub>/W<sub>f</sub>を用いた. W<sub>u</sub>/W<sub>f</sub>は荷重 - 変形関係から得られる無次元化量で, 最大荷重以降のエネルギー吸収能力を評価したものである. 吸収エネルギー W<sub>u</sub> 及び W<sub>f</sub> の概念を Fig.1 に示す.

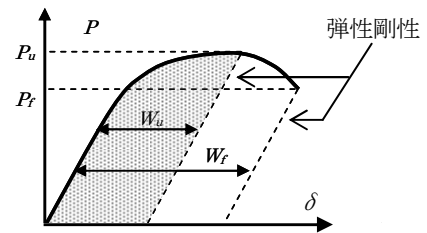


Figure1. Image of W<sub>u</sub> & W<sub>f</sub>

Table1~3 より, 特殊鋼材及び SM490 A では W<sub>u</sub> / W<sub>f</sub> は概ね 0.7 ~1.0 で変化したが, SS400 では 0.62~0.73 で変化した. W<sub>u</sub> / W<sub>f</sub> の上限値と下限値が異なる鋼材を同列に比較するため, 式(1)を用いて値が 0~1 となるよう吸収エネルギー比を基準化した.

$$(W_u / W_f)' = (W_u / W_f - d) / (c - d) \quad (1)$$

(W<sub>u</sub> / W<sub>f</sub>)' : 基準化吸収エネルギー比  
c : 吸収エネルギー比 W<sub>u</sub> / W<sub>f</sub> の最大値  
d : 吸収エネルギー比 W<sub>u</sub> / W<sub>f</sub> の最小値

基準化吸収エネルギー比 (W<sub>u</sub> / W<sub>f</sub>)' - 試験温度 T 関係を Fig.2 に示す. Fig.2 中の基準化吸収エネルギー比遷移曲線は式 (2) を用いて算出した.

$$(W_u / W_f)' = \frac{1}{\exp\{-e(T - {}_w T_r)\} + 1} \quad (2)$$

T : 試験温度(°C)  
{}\_w T\_r : 基準化吸収エネルギー比遷移温度(°C)  
e : 最小二乗法によって求めた定数 (1/°C)

1 : 日本理工・教員・建築 Prof., College of Science and Technology, Nihon Univ. 2 : 東京大学名誉教授 Prof. Emeritus, Univ. of Tokyo, Dr. Eng. 3 : 住友金属工業 (株) Sumitomo Metal Industries Ltd., Dr. Eng. 4 : 日本理工・教員・建築 Assistant, College of Science and Technology, Nihon Univ, Dr. Eng. 5 : 日本理工・院・建築 Student, Graduate school of Science and Technology, Nihon Univ.

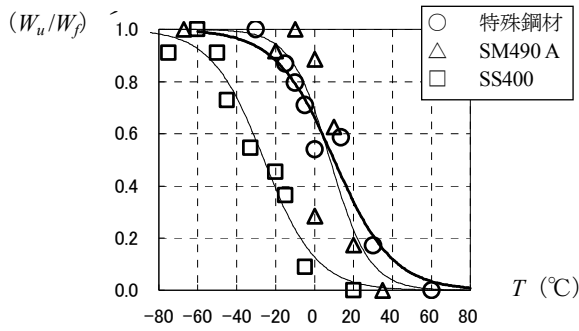


Figure2. Relation between  $(W_u/W_f)$  and  $T$

### 3. 延性破壊保証条件の提案

鋼構造に使用されるような低強度の体心立方金属では、靱性が急減する温度（脆性遷移温度）が存在する。破壊力学等の分野では、設計の要件として使用温度が脆性遷移温度以下にならぬよう配慮している。脆性遷移温度として、Charpy 衝撃試験の 50%脆性破面率に対応する温度（破面遷移温度  $T_{tr}$ ）がよく用いられる。

本研究では基準化吸収エネルギー比  $(W_u/W_f) = 0.5$  に対応する温度  $T_w$  を鋼構造建築物の脆性遷移温度と仮定し、実大実験との対応性を検討した。

### 4. 実大実験との対応性

材料特性の異なる実験結果を同列に比較するため、試験温度  $T$  と  $T_w$  の差をとり、脆性遷移温度を基準とした相対温度になるよう設定した。 $(W_u/W_f) - (T - T_w)$  関係及び最大耐力比  $M_u / M_u - (T - T_w)$  関係を Fig.3 に示す。

Fig.3 より、 $(W_u/W_f)$  は  $(T - T_w) < -40^\circ\text{C}$  の領域で概ね 1.0 へ収束し、 $-40^\circ\text{C} < (T - T_w) < 0^\circ\text{C}$  の領域では 0.3 ~ 1.0 の範囲で値がばらつき、 $0^\circ\text{C} < (T - T_w)$  の領域では  $(T - T_w) > 20^\circ\text{C}$  で 0 へ収束する傾向を示した。 $M_u / M_u$  は  $(T - T_w) < -40^\circ\text{C}$  の領域で全ての試験体が 1.0 を下回り、 $-40^\circ\text{C} < (T - T_w) < 0^\circ\text{C}$  の領域では 0.9 ~ 1.2 の範囲で値がばらつき、 $0^\circ\text{C} < (T - T_w)$  の領域では 1.0 以上になり、破壊挙動が延性的となった。

### 5. まとめ

本研究では、Vノッチ引張試験と実大実験の破壊挙動との対応性を検討した。以下に得られた知見を示す。

- 1) Vノッチ引張試験の  $(W_u/W_f) = 0.5$  に対応する温度  $T_w$  を脆性遷移温度と仮定した結果、実大実験の延性破壊した試験体と脆性破壊した試験体を明確に分けることができた。
- 2)  $(W_u/W_f) - (T - T_w)$  関係と  $M_u / M_u - (T - T_w)$  関係で、破壊形式が脆性的になる領域、延性的になる領域及び値がばらつく領域で相関性が確認された。

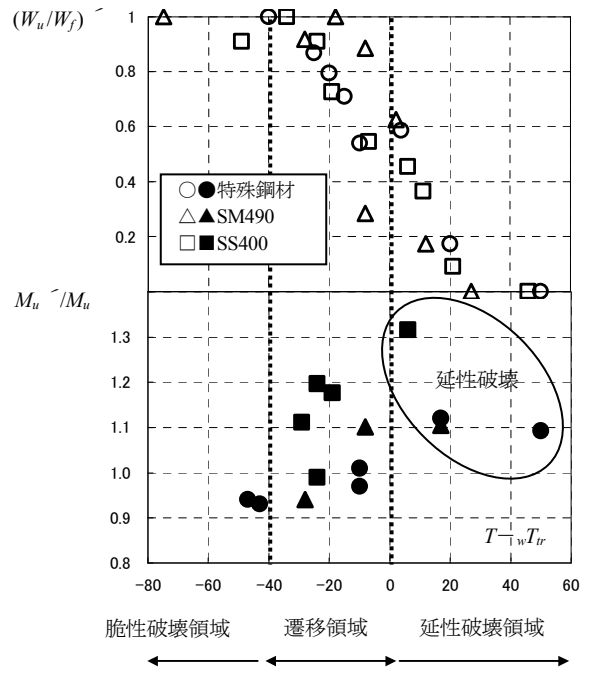


Figure3. Relation between  $(W_u/W_f)$  and  $T - T_w$   
Relation between  $M_u / M_u$  and  $T - T_w$

3)  $(W_u/W_f)$  の値が 0.5 を下回る領域では、 $M_u / M_u$  は概ね 1.1 を上回る結果となった。このことより、 $(W_u/W_f)$  の値が 0.5 を下回る温度を使用温度として設計の条件に加えることで、設計時の延性破壊を保証し、予測耐力を簡便に保証できると考えられる。

### 【謝辞】

本研究は平成 21 年度（社）日本鉄鋼連盟より研究助成を受けて行ないました。関係各位のご協力に感謝いたします。

### 【参考文献】

- 1) 日本建築センター：鉄骨梁端溶接接合部の脆性的破断防止ガイドライン・同解説, 2003. 12
- 2) 鋼構造柱梁接合部の破壊に対する最新の評価法, 日本建築学会, シンポジウム資料, pp3-17, 2005.11
- 3) 新井佑一郎, 半貫敏夫, 秋山宏：従来型スカラップ工法による実大鋼構造柱梁接合部の延性破壊－脆性破壊遷移実験, 日本建築学会構造系論文集, No.631, pp.1649-1657, 2008.9
- 4) 岩佐州紘, 新井佑一郎, 半貫敏夫, 秋山宏：実大鋼構造柱梁接合部の延性破壊－脆性破壊遷移実験, 日本鋼構造協会鋼構造論文集, No.50, pp45-56, 2006.6
- 5) 新井佑一郎, 小中孔明, 半貫敏夫, 秋山宏：Charpy 衝撃試験特性が鋼構造部材の耐力に及ぼす影響, 日本建築学会構造系論文集, No.648, pp.357-365, 2010.2
- 6) 新井佑一郎, 半貫敏夫, 秋山宏：実大鋼構造柱梁接合部の延性破壊－脆性破壊遷移実験 その 4 接合部要素破壊実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集 2006 (九州), C-1, p.767-768, 2007.8