

## リーブ硬さ試験による熱履歴付与鋼材の機械的性質推定に関する検討

大阪大学大学院工学研究科 学生員 ○伊藤 隼  
大阪大学大学院工学研究科 正会員 廣畑 幹人

## 1. はじめに

橋梁における火災が報告されており<sup>1)</sup>、火災を受けた橋梁の損傷状況の評価、補修補強の要否および供用再開を判断する上で、鋼材の機械的性質の変化を把握することは重要である。引張試験は鋼材の機械的性質の基本的かつ明確な調査方法であるが、被災部材からの試験体の採取および試験の実施などに労力と時間を要する<sup>2)</sup>。鋼材の機械的性質を簡便かつ迅速に調査する方法として、硬さから引張強度が推定可能<sup>3)</sup>であることに注目し、可搬性、作業性に優れた反発型硬度(リーブ硬さ)試験<sup>4)</sup>の適用性を検証した<sup>5)</sup>。リーブ硬さ試験では、小型のハンマーを鋼材表面に打ち出し反発前後の速度比によってリーブ硬さ  $HL$  を算出するため、角度補正を行えばあらゆる方向から測定できる利点がある。また、既設鋼橋に適用する際に想定される鋼材の板厚や支持条件、表面処理状態の条件が測定精度に及ぼす影響は小さいことを確認している<sup>5)</sup>。本稿では、火災を想定した熱履歴を付与した鋼材の機械的性質の変状がリーブ硬さ試験により推定可能か否かを検討するために実施した一連の試験結果について報告する。

## 2. 供試鋼材

SM400A と撤去された実橋梁から採取した経年鋼材(引張強度 400 MPa 級)を供試鋼材とした。板厚はいずれも 9 mm である。供試鋼材を 150 mm×290 mm に切断し、熱履歴を付与しないものと、鋼橋の火災および消火活動を想定した熱履歴として 600 °Cあるいは 900 °Cまで加熱した後、水冷したものを各種試験に供した。

## 3. 試験方法および結果

## 3.1 リーブ硬さ試験

SM400A および経年鋼材について、測定面をグラインダーで研磨し、定盤と供試体間にグリスを塗り空隙を密にした状態で試験を実施した。供試体の 18 箇所においてリーブ硬さを 5 回ずつ測定した(図-1)。  $HL$  の平均値および標準偏差を評価したところ、加熱温度が高いほど  $HL$  は上昇し、また、標準偏差も大きくなった。

## 3.2 引張試験

供試鋼材から試験片を 3 本ずつ作製し、引張試験を実施した。いずれの供試鋼材においても、加熱冷却により降伏応力、引張強度が上昇し、破断伸びは減少する傾向が確認された。

## 3.3 シャルピー衝撃試験

全ての供試鋼材から V ノッチ試験片(厚さ 7.5 mm)を 3 本ずつ作製し、試験温度 0°C でシャルピー衝撃試験を実施した。SM400A では加熱温度が高くなるほどシャルピー吸収エネルギーが低下したが、経年鋼材では加熱温度と吸収エネルギーの間に明確な関係は確認できなかった。

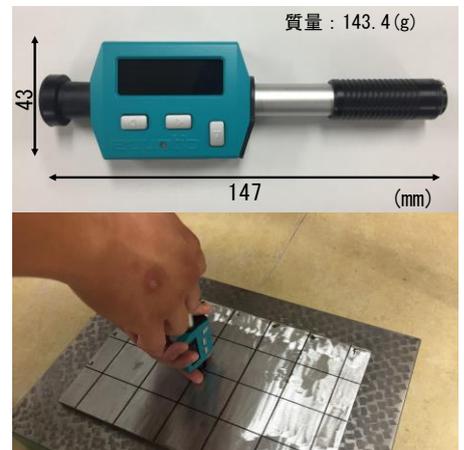


図-1 リーブ硬さ試験機および試験状況

表-1 各種試験結果

	SM400A			経年鋼材		
	加熱なし	600°C	900°C	加熱なし	600°C	900°C
降伏応力 (MPa)	333.1	379.3	429.7	306.0	383.6	359.5
引張強度 (MPa)	460.2	507.2	695.8	429.3	495.3	561.0
破断伸び(%)	41.8	32.2	22.8	36.9	31.6	22.2
シャルピー吸収エネルギー(J)	139.4	71.3	20.0	22.4	11.9	26.8

キーワード 鋼橋, 火災, リーブ硬さ, 機械的性質, ビッカース硬さ, シャルピー吸収エネルギー  
連絡先 〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1 TEL 06-6879-7598

#### 4. リーブ硬さによる鋼材の機械的性質の推定

各条件における  $HL$  と機械的性質の関係を図-2 に示す。(a)(b)より、降伏応力および引張強度については鋼種に関わらず  $HL$  と概ね線形の関係が確認できた。(c)より、破断伸びについては、鋼種により異なるが  $HL$  と概ね線形の関係が確認できた。(d)より、SM400A については吸収エネルギーと  $HL$  が概ね線形の関係を示したが、経年鋼材では吸収エネルギーと  $HL$  に明確な関係は確認できなかった。シャルピー衝撃試験における SM400A の破壊形態は延性破壊が主であったが、経年鋼材の破壊形態は加熱温度によらず脆性破壊が支配的であった。ビッカース硬さと同様、リーブ硬さにおいても打撃時の鋼材表面の塑性変形が測定結果に大きく影響を及ぼす。塑性変形を伴わずに脆性破壊する鋼材では、リーブ硬さからの吸収エネルギーの推定は困難である可能性を結果は示唆している。

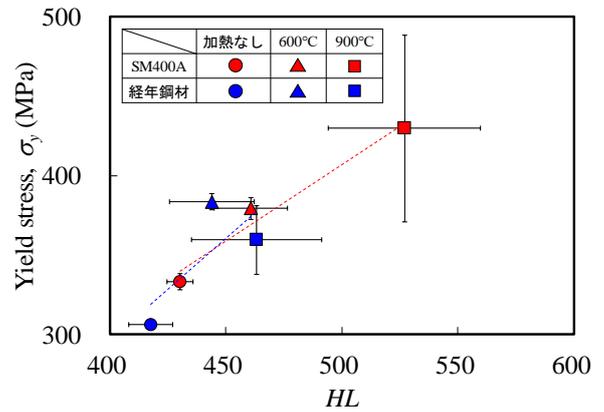
#### 5. まとめ

熱履歴を付与した鋼材の機械的性質の変状がリーブ硬さにより推定可能か否かを検討するため、一連の試験を実施した。本研究で使用した熱履歴付与材の機械的性質とリーブ硬さには、それぞれ概ね線形の関係があることを確認した。このことから、火災による熱履歴を受けた場合の鋼材の降伏応力、引張強度および破断伸びの変化がリーブ硬さから推定可能と考えられる。一方、シャルピー吸収エネルギーについては、破壊形態が延性破壊の場合はリーブ硬さから吸収エネルギーの変化が推定できる可能性を結果は示唆していた。

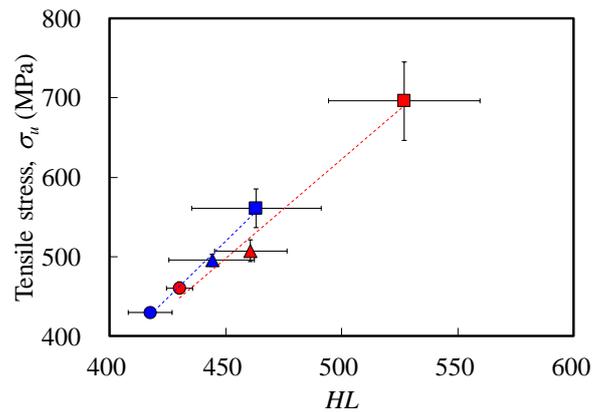
#### 謝辞

本研究の一部は日本鉄鋼連盟 2018 年度「鋼構造研究・教育助成事業」を受けて行った。記して謝意を表す。

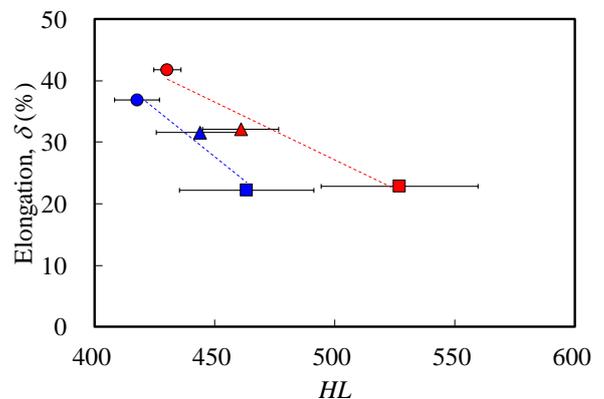
**参考文献:** 1)大山理, 今川雄亮, 栗田章光: 火災による橋梁の損傷事例, 橋梁と基礎, Vol42, pp35-39, 2008.10. 2) 土木学会 鋼構造委員会: 鋼構造シリーズ 24 火災を受けた鋼橋の診断補修ガイドライン, 土木学会, 2015. 3) P.Zhang, S.X. Li, Z.F. Zhang: General relationship between strength and hardness, Materials Science and Engineering A 529(2011) 62-73 4) ASTM A956 / A956M-17a: 1996. Standard Test Method for Leeb Hardness Testing of Steel Products. 5) 伊藤隼, 廣畑幹人: 鋼橋部材の機械的性質推定におけるリーブ硬さ試験の適用性検証, 土木学会関西支部技術研究発表会講演概要集 (投稿中).



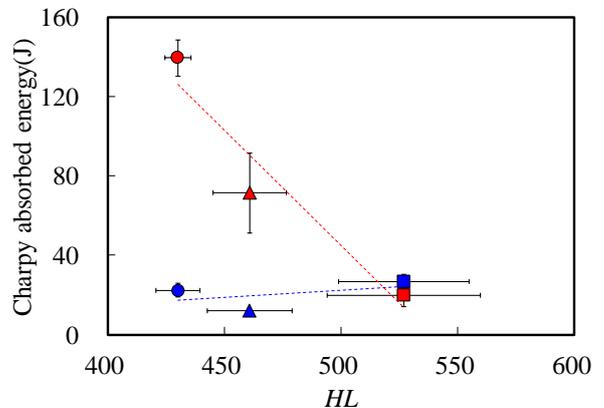
(a)  $HL$ -降伏応力



(b)  $HL$ -引張強度



(c)  $HL$ -破断伸び



(d)  $HL$ -シャルピー吸収エネルギー

図-2  $HL$  と機械的性質の関係