

反発式硬度計による鋼材の引張強さ推定方法に関する研究

正会員 服部 和徳*
同 中込 忠男**

反発式硬度計 引張強さ リーブ硬さ
強度推定

1. はじめに

鋼材において、硬さと引張強さは相関がある事が知られている。リーブ硬さ(HL)と引張強さの相関関係を利用する事で鋼材の強度を推定する方法が提案されているが、既往の研究成果は、回帰式(実験式)のみの提案に留まっている¹⁾。本研究では、硬さと引張強さの理論式を提案する事を目的とする。

2. 理論式の構築

リーブ硬さHLは、動的なブリネル硬度測定方法として捉える事ができる。ブリネル硬さ H_B は、図1に示す様に、直径Rの球形の金属球を圧子として、圧子を試験面に静的な力Fで一定時間押し当てた後、荷重を除いたあとに残った永久くぼみの面積を測定する。試験荷重Fを表面積Sで除した値(荷重÷表面積)がブリネル硬さであり、式(1)で求められる。

ブリネル硬さ H_B と、鋼材の引張強さ σ_u とは、式(2)に示す様に比例関係にある。硬さ換算表²⁾(2010年度版JISハンドブック熱処理P.2142)より、式(2)を式(3)の様に仮定する。

$$H_B = \frac{F}{S} = \frac{F}{2 R x} \quad \dots(1) \quad H_B = c \sigma_u \quad \dots(2)$$

$$H_B = 0.3056 \times \sigma_u \quad \dots(3)$$

ここで、 H_B :ブリネル硬さ、F:荷重、S:表面積、R:圧子の半径、c:比例定数、 σ_u :引張強さ

変形によって消費されるエネルギーEは式(4)で与えられる(図2)。

$$E = \frac{1}{2} F x \quad \dots(4)$$

ここで、E:変形によって消費されるエネルギー、x:埋込み深さ

式(3)を式(1)に代入して、xについて解くと式(5)が得られる。

$$x = \frac{F}{0.3056 \times 2 R \sigma_u} \quad \dots(5)$$

式(5)を式(4)に代入すると、式(6)が得られる。

$$E = \frac{F^2}{2 \times 0.3056 \times 2 R \sigma_u} \quad \dots(6)$$

反発式硬度測定は、動的な荷重による試験方法である為、引張強さとリーブ硬さについて、エネルギー保存の法則を用いて検討する。ここで、反発式硬度計と供

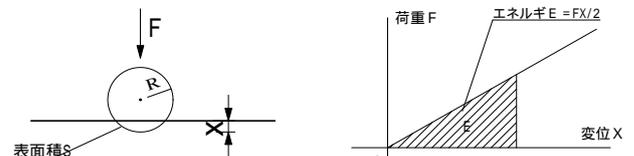


図1 ブリネル硬さの模式図

図2 変形によって消費されるエネルギーE

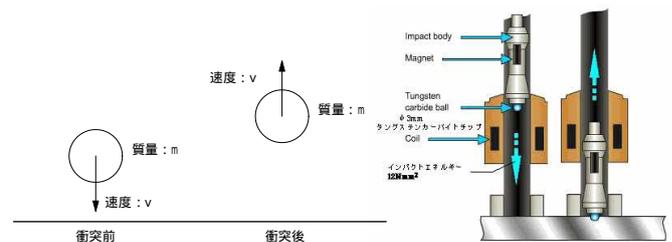


図3 反発式硬度計の模式図

試材を図3の様に図化する。

エネルギー保存の法則により、式(7)とおく。

$$\frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} m v'^2 + E \quad \dots(7)$$

式(7)に式(6)を代入すると、式(8)が得られる。

$$\frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} m v'^2 + \frac{F^2}{2 \times 0.3056 \times 2 R \sigma_u} \quad \dots(8)$$

一方、変形エネルギーは、球体が反発する時の運動エネルギーに変換されるとすると、式(9)が得られる。

$$\frac{1}{2} m v'^2 = \frac{1}{2} \frac{F^2}{K} \quad \dots(9)$$

ここで、K:鋼材のばね定数

式(9)をFについて解き、式(8)に代入すると、式(10)が得られる。

$$\frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} m v'^2 \left(1 + \frac{K}{0.3056 \times 2 R \sigma_u} \right) \quad \dots(10)$$

リーブ硬さは、反発係数と等価であり、 σ_u との関係は式(10)より式(11)の様に変換できる。

$$\sigma_u = \frac{v'}{v} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{K}{0.3056 \times 2 R \sigma_u}}} \quad \dots(11)$$

$$= HL/1000 \quad \dots(12)$$

式(11)を σ_u について解き、式(12)を代入すると、式(13)が得られる。

$$u = \frac{K}{0.3056 \times 2 R \times \left(\frac{l}{(HL/1000)^2} - 1 \right)} \dots(13)$$

3. 鋼材のばね定数算出の実験

式(13)のK(鋼材のばね定数)が未知の為、実験によってKを算出する事を試みる。

3.1 供試体

供試体は、機械的性質(降伏点、引張強さ、HL)が異なる鋼板であり、全5種類とした。N数は2体である。供試体の一覧を表1に実験結果と併せて示す。

3.2 実験方法

実験は、100kN電気機械式万能試験機(インストロン社製)を用いて実施した。実験方法の模式図を図4に示す。実験状況を写真1に示す。実験は、図4および写真1に示す様に、供試体にタングステンカーバイトチップ(3)を用いて、単調圧縮荷重を実施した。荷重は試験機の荷重計により計測し、変位は試験機の盤間について高感度変位計(CDP10)を用いて計測を実施した。タングステンカーバイトチップを使用した理由としては、反発式硬度計の圧子にそれが用いられているからである。

3.3 実験結果

荷重-変位関係の一例を図5に示す。図6にK-YR関係を示す。Kは、300Nから700Nの割線剛性とした。KはYRと線形関係が見られるが、ここでは平均値の6,637N/mmを採用する。従って、理論式は式(14)の様に示される。

$$u = \frac{6637}{0.3056 \times 2 R \times \left(\frac{l}{(HL/1000)^2} - 1 \right)} \dots(14)$$

4. 理論式と実験結果の比較

理論式と既往の実験結果¹⁾の比較を図7に示す。なお参考値として、K(ばね定数)を実験結果(表1)の最大値(K=7,222N/mm)および最小値(5,831N/mm)の場合についても併せて示す。図7中のプロット点は母材の結果であり、プロット点は溶接金属の結果である。図7より、理論式は、実験値を概ね推定出来ていると考えられる。

5. まとめ

反発式硬度計による鋼材の引張強さ推定において、理論式を提案した。提案した理論式は、試験機圧子の半径(mm)、リーブ硬さ(HL)を用いて、式(14)の様に表わされる。但し、K(鋼材のばね定数)については、試験体数も少ない為、今後、更に検討する必要があると考えられる。

【参考文献】

1) 鈴木至, 中込志男, 護雅典, 笠原基弘, 服部和徳, 北原敏希, 井上朋子: 簡易硬度計による建築鉄骨溶接部の引張強さ推定に関する実験的研究. 構造工学論文集, Vol. 53B 2007年3月

2) JISハンドブック 熱処理(2010) 日本規格協会

表1 供試材一覧

試験片	σy	σu	YR	HL	HL/1000	K(N/mm)	KAVE(N/mm)
No.1-1	427	605	71	467	0.47	3,911	6,705
No.1-2						6,705	
No.2-1	396	605	65	445	0.45	6,898	6,927
No.2-2						6,955	
No.3-1	389	598	65	456	0.46	6,697	6,499
No.3-2						6,301	
No.4-1	288	521	55	422	0.42	5,601	5,831
No.4-2						6,060	
No.5-1	466	643	72	465	0.47	7,430	7,222
No.5-2						7,013	
						平均値: 6,637	

y: 降伏点, u: 引張強さ, YR: 降伏比, HL: リーブ硬さ, K: ばね定数
No.1-1試験片については、異常値だと考え平均値から除いている。

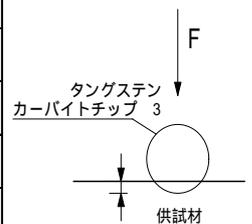


図4 実験方法の模式図



写真1 実験状況

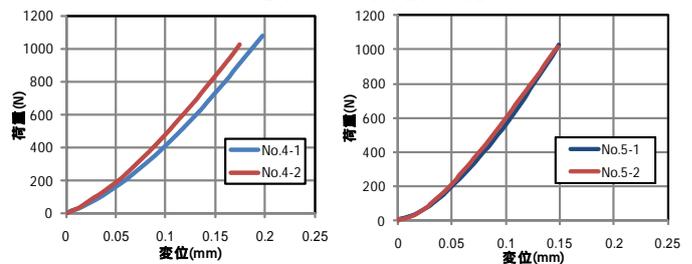


図5 荷重-変位関係の一例

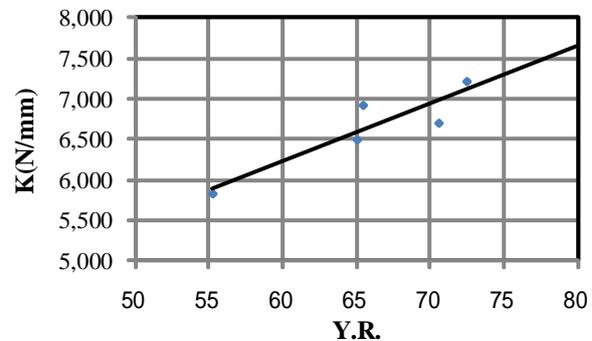


図6 K(ばね定数)-Y.R.(降伏比)関係

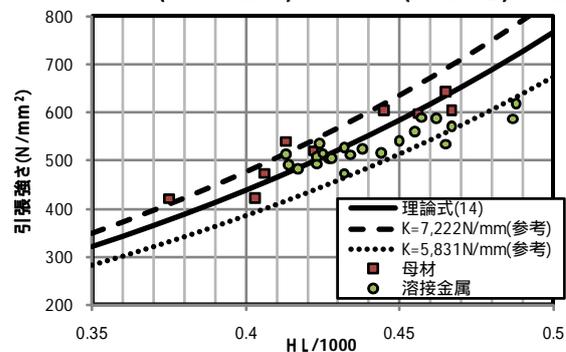


図7 理論式と既往の実験結果の比較

* (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.

**信州大学工学部建築学科教授 工博

**Prof. Department of Architecture, Faculty of Eng. Shinshu Univ., Dr.Eng.