

平成 21年 5月 20日現在

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2007～2008

課題番号：19760384

研究課題名 (和文) 塑性ひずみ履歴を受けた鋼構造部材の残存性能推定方法に関する研究

研究課題名 (英文) Estimation on the residual structural capacity of the steel member subjected to the plastic strain

研究代表者

松本 由香 (MATSUMOTO YUKA)

横浜国立大学・大学院工学研究院・准教授

研究者番号：70313476

研究成果の概要：

鋼構造建築物の長寿命化や鋼部材のリユースを促進するためには、地震によって被災した建物や部材が継続使用可能かどうかを判定する技術が求められる。本研究は、塑性ひずみによる損傷を受けた建築用鋼部材の残存変形性能を、硬さから推定する手法の確立を目標としている。まず、塑性ひずみを受けた鋼材の強度及び変形性能と硬さの関係を調査し、両者の関係を定式化した。さらに、梁部材の硬さ分布を調査したところ、材端の硬さが10%予ひずみ材と同等になると、まもなく破断する危険が高いことが分かった。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,800,000	0	2,800,000
2008年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,300,000	150,000	3,450,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学・建築構造・材料

キーワード：鋼部材 塑性ひずみ 硬さ 残存性能

1. 研究開始当初の背景

近年、地球環境問題への配慮から、建築構造物の長寿命化や部材のリユースに対する社会的関心が高まっており、解体の容易な構造形式やスケルトン・インフィル構造などの開発が盛んに行われている。ここで意図している建築資材の保全・循環を実現するためには、被災後の構造物や一旦解体された鋼部材の残存性能を推定し、構造物や部材が継続使用可能かどうかを判定する技術が求められる。

塑性ひずみを受けることは、鋼部材の構造性能、特に変形性能を低下させる因子である。塑性ひずみ量を外観から推定する際には、現在のところ塗装の剥落を目安としている。しかし、剥落の度合いは仕上げの状態に依存し、また残存性能との定量的な関係は明らかにされていない。

一方、溶接継目の品質管理を目的として、鋼部材の硬さ計測を現場での検査項目として取り入れる動きがある。近年では、小型で携帯可能な計測機器が開発され、建設現場に

おける計測条件に関する指針なども整備されつつある。従来は引張試験を実施しなければ特定できなかった機械的特性が、硬さ試験によって推定できるようになれば、大地震で被災した鋼構造建築物やリユース部材の診断を行う上で有用な情報となる。

2. 研究の目的

本研究は、塑性ひずみによる損傷を受けた鋼部材の残存性能を硬さから推定する手法を考案することを目標としている。特に、破壊によって変形性能が限界付けられる梁部材を検討対象とする。これを目的として、以下のサブテーマを設けて検討を行う。

(1) 材料特性の推定

一般に、鋼材の引張強さと硬さには正の相関があるが、鋼材の変形性能と硬さには負の相関がある。本研究では、部材実験残材などの塑性ひずみを受けた鋼材を収集し、これらの機械的特性を調査することにより、鋼材の強度及び変形性能と硬さとの関係を定式化する。

(2) 実大実験による検証

実大梁部材の繰返し荷重試験を実施し、梁が破壊するまでの硬さ分布を調査する。特に、荷重パターンが硬さ分布に及ぼす影響について考察する。

3. 研究の方法

(1) 材料特性の推定

検討対象とした鋼材は下記の通りである。
 SN490B材圧延H形鋼フランジ1ロット
 SN490B材圧延鋼板1ロット
 SS400材圧延H形鋼フランジ2ロット
 SN400B材圧延H形鋼フランジ1ロット

これらの鋼材には、下記のいずれかによって塑性ひずみを与えられている。図1及び図2にひずみの履歴を例示する。

- ① 単調引張試験において、所定の塑性ひずみを与えた後に除荷する。
- ② 繰返し荷重を行った後の実大部材の塑性化領域から試料を採取する。

これらの試料について、ひずみ時効による硬さの変動を避けるために1ヶ月放置した後、くぼみ直視式ビッカース硬さ計により硬さ試験を行う。硬さ計測にあたり、計測部にグラインダーと紙やすり(#240)で表面処理を行う。各試料について10点計測し、ばらつきが $20H_f$ 以下であることを確認した上で、平均値を当該試料の硬さ H_f とする。この後、引張破断試験を実施し、硬化後の機械的特性を調査する。尚、比較の対象として、塑性ひずみを受けない無損傷材についても、硬さ試験及び引張破断試験を行う。

引張破断試験時の応力ひずみ曲線から、以下の変数を求め、硬さとの関係を調査する。

σ_u : 引張強さ

ϵ_u : 一様伸びであり、耐力が最大荷重の98%まで劣化した時点の標点間ひずみとする。

C.E.: 補ひずみエネルギー (図3参照)

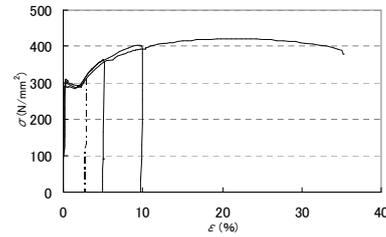


図1 単調引張試験による予ひずみ一例

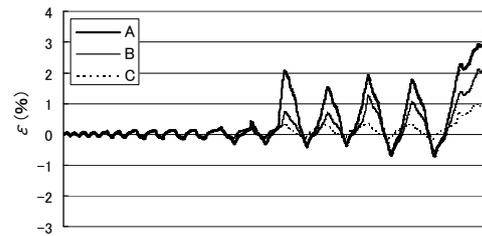


図2 部材実験による予ひずみ一例

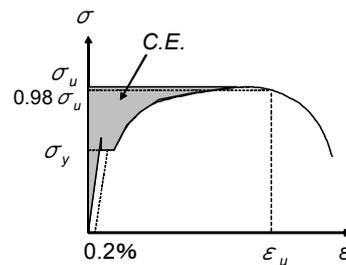


図3 鋼材の機械的特性

(2) 実大実験による検証

検討対象はSN400B材のRH-450×200×9×14である。これにベースプレートを溶接接合し、図4に示す片持ち梁形式の試験体5体を製作する。梁フランジベースプレート突合せ溶接は、CO₂半自動溶接とする。スカラップはウェブ接地面にR=10mmの返りをつけたJASS6型である。エンドタブは鋼製タブとし、溶接後にR状に切断する。

試験体5体のうち4体は梁端が破壊するまで連続して荷重を行う。これらについては荷重パターンをパラメータとし、各々異なる変位振幅で荷重を実施する。梁端が破壊した後のフランジについて、梁端からの距離L=60、120、240、400、600mmの位置における硬さを計測する。硬さの計測条件は(1)に準ずる。

試験体のうち1体は、破断サイクル数の1/3程度のサイクル数を与えた時点で荷重を中断し、他の試験体と同じ要領で硬さ分布を計測する。その後、梁端破壊が生じるまで再荷重を行う。

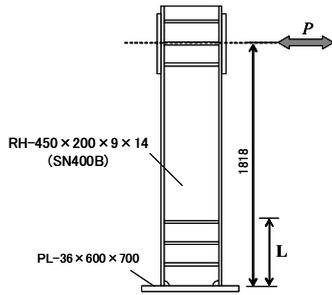


図4 片持ち梁試験体形状

4. 研究成果

(1) 材料特性の推定

溶接学会は、鋼材の引張強さ σ_u とビッカース硬さ H_V の関係を下式によって定式化している。

$$\sigma_u = 2.5 H_V + 100 \quad (1)$$

本研究の予ひずみ材について、 σ_u と H_V の関係を図5に示す。(1)式から推定される引張強さと実験値の誤差は10%程度に収まっており、塑性ひずみを受けた鋼材についても(1)式は適応可能である。また、下式によって塑性ひずみによる硬さ変化量 ΔH_V から引張強さの変化量 $\Delta \sigma_u$ を推定できる。

$$\Delta \sigma_u = 2.5 \Delta H_V \quad (2)$$

引張強さ σ_u 及びび一様伸び ε_u について、無損傷材からの変化量 $\Delta \sigma_u$ および $\Delta \varepsilon_u$ の関係を図6に示す。両者の関係には明瞭な負の相関が見られ、鋼種や载荷パターンによる有意差は認められない。従って、 $\Delta \sigma_u$ と $\Delta \varepsilon_u$ の関係は下式によって近似できる。

$$\Delta \varepsilon_u = -0.184 \Delta \sigma_u \quad (3)$$

更に、既往の実験データを参照すると、無損傷材の一様伸び ε_{u0} (以降、無損傷材であることを示す場合には添字0を付与する)は、引張強さ 400N/mm^2 級材で約25%、 490N/mm^2 級材で約21%である。これらの値を用いて、予ひずみ材の ε_u は下式により推定できる。

$$\varepsilon_u = \varepsilon_{u0} - 0.184 \Delta \sigma_u \quad (4)$$

図7に ε_u 実験値と(4)式による推定値を比較して示す。推定精度は良好である。

補ひずみエネルギー $C.E.$ は梁などの曲げを受ける部材の材軸方向のひずみに分布に影響を与える因子である。無損傷材からの $C.E.$ の変化量 $\Delta C.E.$ と $\Delta \sigma_u$ の関係を図8に示す。 $\Delta \sigma_u$ が上昇するに従い、 $\Delta C.E.$ は低下する傾向が見られるが、両者の関係には载荷パターンの影響が現れており、 $\Delta \sigma_u - \Delta \varepsilon_u$ に比べてばらつきが大きい。また、鋼種によって分布範囲が異なっている。単調载荷のデータを除外し、 $\Delta \sigma_u$ と $\Delta C.E.$ の関係を鋼種別に近似する。

400N/mm^2 級材 : $\Delta C.E. = -0.091 \Delta \sigma_u \quad (5)$

490N/mm^2 級材 : $\Delta C.E. = -0.141 \Delta \sigma_u \quad (6)$

既往の実験データを参照すると、 400N/mm^2 級材の $C.E._0$ は約 9.66N/mm^2 、 490N/mm^2 級材の $C.E._0$ は約 9.59N/mm^2 である。これらの値を用いて、予ひずみ材の $C.E.$ は下式によって推定できる。

$$C.E. = C.E._0 + \Delta C.E. \quad (7)$$

図9に $C.E.$ 実験値と(7)式による推定値を比較して示す。 400N/mm^2 級材では誤差が大きくなるが、 490N/mm^2 級材については概ね推定可能である。

以上より、予ひずみを受けた鋼材の変形性能について、概ね妥当な推定式が得られた。

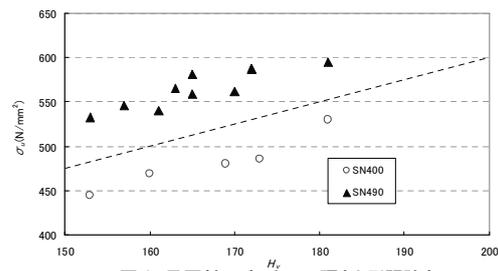


図5 引張強さとビッカース硬さの関係

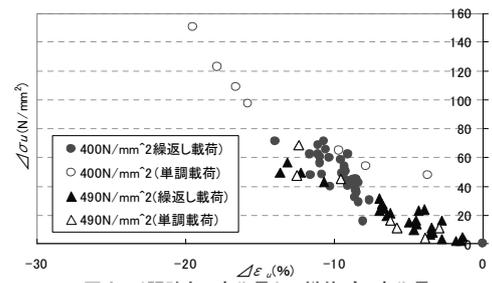


図6 引張強さ変化量と一様伸び変化量

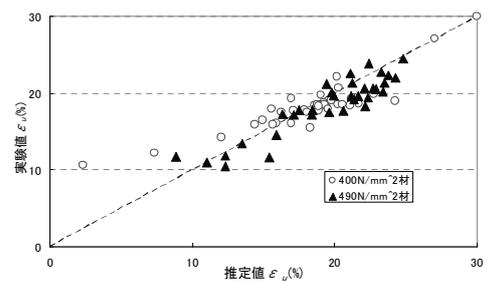


図7 一様伸び実験値と推定値の比較

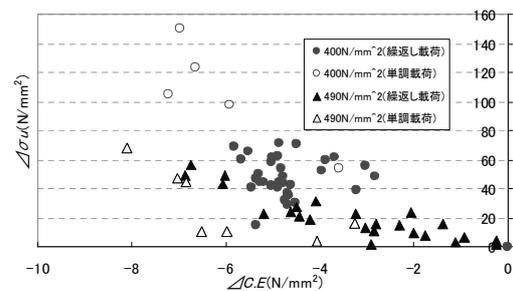


図8 引張強さ変化量と $C.E.$ 変化量

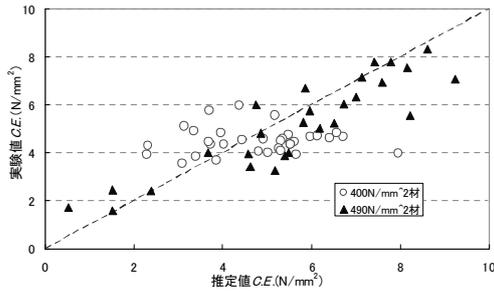


図9 C.E. 実験値と推定値の比較

建築用鋼部材の中でも、制振構造のダンパーなどは素材に近い応力状態で使用されるため、ここで得られた残存変形性能の推定式が適用できる見込みが高い。

(2) 実大実験による検証

片持ち梁試験体フランジの H_v 分布を図 10 に示す。図の横軸 L は梁端からの距離を示している。また、図中の○は、破断させずに途中で荷重を中断した時点での硬さ分布を示す。梁端を破壊させた後の硬さ分布によると、 $L=120\sim 400\text{mm}$ では荷重パターンによって若干の相違が見られるが、 $L=60\text{mm}$ 付近では荷重パターンによる有意差は認められない。

一方、荷重を中断した時点で計測した硬さ分布によると、 $L=60\text{mm}$ における H_v の値が他の試験体より低くなっている。

図 11 に、 $L=60\text{mm}$ における H_v とマイナー則による累積疲労損傷度 D の関係を示す。梁が破断した時点は $D=1$ に相当する。また、 $D=0$ に対応する H_v として、無損傷材の値を図中に示す。 $D=0\sim 0.3$ で H_v が大きく上昇し、 $D=0.3\sim 1$ では H_v の変化が緩やかになっている。 $D=1$ における H_v は、単調引張による予ひずみを 10% 与えた材の H_v と同等である。一方、 $D=0.3$ の H_v は 5% 予ひずみ材の H_v と同等である。

以上より、梁部材の残存変形性能を推定するには、梁端から数 10mm の位置における硬さに注目するのがよいと考えられる。この位置での硬さが 10% 予ひずみ材の値と同等に達していれば、まもなく破断する危険が高いと判断すべきであろう。

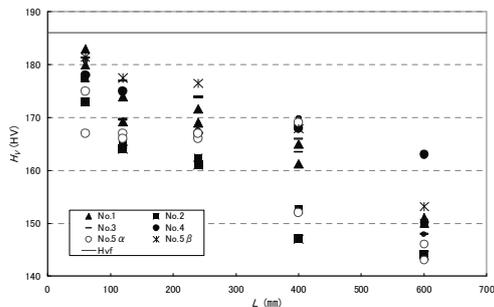


図10 片持ち梁試験体の硬さ分布

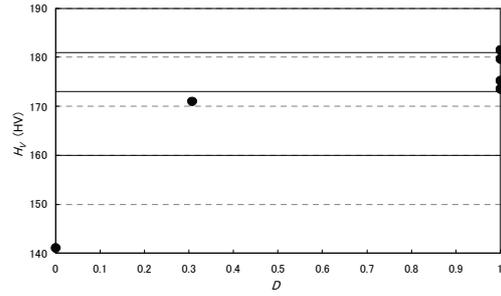


図11 梁端の硬さと損傷度

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計2件)

- ① 片山浩一, 田中真弥, 松本由香: 繰返し荷重による鉄骨梁の損傷度に関する実験的研究 (その1), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 査読無, c-1, 2008年, pp. 565-566
- ② 田中真弥, 片山浩一, 松本由香: 繰返し荷重による鉄骨梁の損傷度に関する実験的研究 (その2), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 査読無, c-1, 2008年, pp. 567-568

[学会発表] (計2件)

- ① 片山浩一, 松本由香: 既往の実験データに基づく鉄骨梁の破断履歴に関する検討, 2008年度日本建築学会関東支部研究発表会, 2009年3月6日, 日本建築学会
- ② 片山浩一, 田中真弥, 松本由香: 繰返し荷重による鉄骨梁の損傷度に関する実験的研究, 2008年9月18日, 広島大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松本 由香 (MATSUMOTO YUKA)
 横浜国立大学・大学院工学研究院・准教授
 研究者番号: 70313476

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者