

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 23 日現在

機関番号：12701

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560666

研究課題名(和文) 制振構造用鋼材ダンパーの残余性能推定方法に関する研究

研究課題名(英文) Study on the estimation method of residual ductility of damper in damage tolerant structure

研究代表者

松本 由香 (MATSUMOTO, Yuka)

横浜国立大学・都市イノベーション研究院・准教授

研究者番号：70313476

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円、(間接経費) 1,200,000円

研究成果の概要(和文)：巨大地震に対して被災した建物の修復性や継続使用を考慮し、地震入力エネルギーを交換可能なダンパーに集中させ、柱梁などの主要フレームの損傷を緩和する構造形式が一般的になりつつある。ここで、被災後のダンパーの損傷度を推定し、ダンパー交換の要・不要を適切に判定する技術の開発が求められる。

本研究は、被災後の現地調査から得られる情報に基づき、工業化住宅の低降伏点鋼ダンパーの損傷度推定手法を構築することを狙いとする。実験の結果、硬さの変化量およびダンパーの断面寸法の変化量が、ダンパーの損傷度と相関があることを見出し、硬さ計測または断面寸法計測によってダンパーの損傷度を推定するための近似式を導いた。

研究成果の概要(英文)：The damage tolerant structure, in which seismic energy is exclusively dissipated by dampers in order to mitigate the damage of columns and beams, is adopted in a good number of buildings, because the occupancy of the building after a severe earthquake or the reparability is highly demanded. The technique to diagnose the damage of dampers due to plastic loading is also demanded in order to plan the repair rehabilitation appropriately.

The aim of this study is to derive the estimation method of the damper's damage from the on-site inspection. The target is low-yielding-point steel dampers used in industrialized houses. A series of experiments was carried out, and it was confirmed the residual ductility of damaged damper was proportional to both the difference of hardness from the initial value and the transformation of the section-shape. Therefore, it is conceivable that the damage of damper can be estimated by hardness test or measuring the section shape.

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：鋼構造 制振構造 鋼材ダンパー 損傷 残余性能

1. 研究開始当初の背景

現行の建築法制では、極稀に発生する巨大地震に対して建物の倒壊を防ぐことを狙いとしており、建物の継続使用や修復性は担保されていない。しかし、被災後の継続使用に対するニーズの高まりや地球環境問題への配慮から、柱梁などの主フレームの損傷を緩和し、建築構造物の長寿命化を図る機運が高まっている。これに応える手段の一つとして、地震入力エネルギーをダンパーに集中させる構造形式が一般的になりつつある。ここで課題となるのが、被災後のダンパーの残余性能を適切に評価し、ダンパー交換の要・不要を判定する技術の開発である。

塑性ひずみを受けることは、鋼材の構造性能、特に破断に至るまでの塑性変形性能およびエネルギー吸収能力を低下させる因子である。鋼素材についての塑性ひずみ損傷度や破断寿命の推定については、Manson-Coffin 則や Miner 則など、古くから研究がなされている。しかし、これらの手法を活用できるのは、過去に受けた塑性ひずみ履歴が既知である場合に限り、建物に作用した地震動をモニタリングしていない限り、ダンパーの残余性能の推定に用いるのは困難である。ここで、被災後の現地調査結果に基づいて損傷度を推定する手法が開発されれば、より多くの建物に適用できるため、合理的な補修計画を立案する上で有用である。

2. 研究の目的

実務者へのヒアリングによると、住宅は建築棟数が多いことから、被災後に塑性化した可能性のあるダンパーをすべて交換するのは困難であり、ダンパー交換の要・不要を適切に判定する技術を望む声は多い。本研究では、鉄鋼系工業化住宅に用いられる低降伏点鋼ダンパーを対象とし、ダンパーの損傷度や残余性能を現地調査から得られる情報に基づいて推定する方法について検討を行った。推定手法に応じて以下の2点を研究目標とした。

1) 硬さ計測に基づく推定方法

小型で携帯可能な硬さ計が開発されたことにより、近年では建設現場における鋼構造物の硬さ計測が可能になった。塑性歪を受けたダンパーの残余変形性能と硬さ変化量の相関を調査し、後者から前者を推定できるように定式化する。

2) 断面寸法計測に基づく推定方法

1)の検討を進める過程で、特定の形状のダンパーについては、断面形状の変化量と損傷度の間に相関があることが分かった。断面形状の測定は硬さ計測より更に簡便に実施できるため、断面寸法の測定値からダンパーの損傷度を推定するための近似式を導く。

3. 研究の方法

1) 硬さ計測に基づく推定方法

建築構造用低降伏点鋼として、SSHD50K を 3

ロット、LYP225 を 1 ロット入手した。SSHD50K は降伏強さが約 120N/mm^2 、引張強さが約 270N/mm^2 であり、ランドハウス型の応力歪曲線を示した。一方、LYP225 は降伏強さが 235N/mm^2 、引張強さが 311N/mm^2 であり、建築構造用鋼材として一般的な SN400 材などと同様に、応力歪曲線には降伏棚が見られた。

これらの鋼材について、無損傷の状態でのビッカース硬さ試験を行った後、さまざまなレベルの塑性ひずみを与える(以降、この段階の載荷を予ひずみ試験と表記する)。予ひずみ試験は、各鋼材の加工しやすさに応じて以下の3パターンを実施する。

SSHD50K のうちの 2 ロットおよび LYP225 について、所定の歪が生じるまで単調引張載荷を行う。

SSHD50K の 1 ロットについて、図 1 に示す形状のダンパーに加工し、繰返しせん断力を作用させる。

LYP225 圧延鋼板を用いて溶接組立梁を製作し、梁の繰返し載荷試験を行うことにより、梁フランジに引張・圧縮の繰返し塑性歪を与える。

予ひずみ試験の後、再度硬さ試験を行い、予ひずみによって生じた硬さ変化量 H_v を調査する。更に、予ひずみ試験後の試験体から素材引張試験片を製作し、引張破断試験を行う。鋼材の変形性能として一様伸び ϵ_u (鋼材の引張耐力が低下し始める時点での引張歪)に着目し、予ひずみ試験によって損傷を与えた後の ϵ_u と、無損傷材の ϵ_u との差 $\Delta\epsilon_u$ によって変形性能の低下の度合いを表す。

$\Delta\epsilon_u$ と H_v の関係を近似することにより、損傷を受けた鋼材の一様伸びの推定式を導く。

2) 断面寸法計測に基づく推定方法

図 1 に示すダンパーに繰返しせん断力を作用させたとき、a-a 断面における形状変化を図 2 に模式的に示す。繰返し載荷によってダンパーのウェブ部分が塑性化し、ウェブの剛性が低下して初期の形状を保持できなくなると、フランジが内側に倒れるように変形し、両フランジの内法(図 2 中に矢印で示す寸法)が狭くなる現象が生じる。このとき、フランジ内法とダンパーの損傷度に相関が認められれば、現地調査によってフランジ内法 d を計測することによってダンパーの損傷度を推定することができる。

SSHD50K の 2 ロットについて、図 1 に示すダンパーを製作し、図 3 に示す実大耐力パネルにダンパーを組み込み、耐力パネルの繰返しせん断載荷実験を行う。主なパラメータは載荷パターンである。載荷パターンは一定振幅両側載荷及び漸増振幅両側載荷を主とするが、載荷方向による変形の偏りの影響を確認するため、多段振幅両側載荷と多段振幅片側載荷を比較するための載荷シリーズも設ける。図 4 に載荷パターンを例示する。

過去に受けた載荷パターンが既知の場合、当該ダンパーの累積損傷度 D は(1)(2)式から

得られ、累積損傷度 $D=1$ になった時点でダンパーが破断すると仮定することにより、破断時期が推定できる。

$$N_f = 1278a_p^{-1.65} \quad (1)$$

a_p : ダンパーの塑性振幅
 N_f : a_p で载荷したときの破断サイクル数

$$D = (n_i / N_{fi}) \quad (2)$$

n_i : 塑性振幅 a_{pi} で载荷したサイクル数
 N_{fi} : (1)式に a_{pi} を代入して得られる破断サイクル数

現地調査を行った時点の累積損傷度 D が推定できれば、その時点からダンパーが破断するまでのサイクル数を推定することができる。そこで、耐力パネルの载荷試験の途中でフランジ内法 d を計測し、その時点までの累積損傷度 D との比較を行う。

ダンパーの断面形状は、耐力パネルの残留変形角によって変化するため、残留変形の有無がフランジ内法 d に及ぼす影響を調査する必要がある。そこで、図 4 中に示すように、累積損傷度 D が概ね等しく、残留変形のみが異なる時点でフランジ内法計測を行い、これらのデータについても累積損傷度 D との比較を行う。

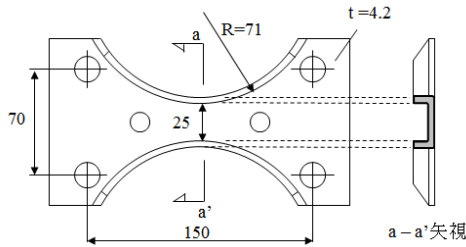


図 1 ダンパー形状

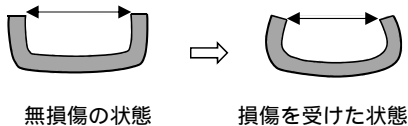


図 2 損傷による断面形状の変化

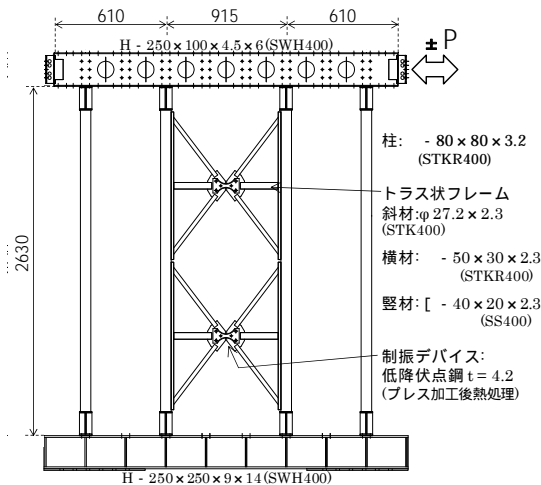


図 3 耐力パネルの载荷試験

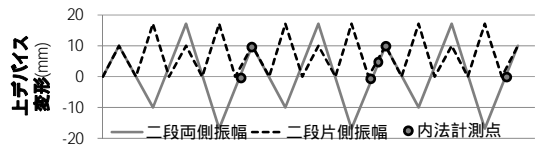


図 4 载荷パターン一例

4. 研究成果

1) 硬さ計測に基づく推定方法

SSHD50K について、一様伸びの差 u と硬さ変化量 Hv の関係を図 5 に示す。図中の凡例 () () は「3. 研究の方法」に記述した予ひずみ試験のうち、ロットの異なるものを区別して示したものであり、凡例 () は予ひずみ試験によって損傷を与えた試験片のデータである。また、図中には既往の研究による普通鋼 (引張強さ 400N/mm^2 級鋼, 490N/mm^2 級鋼) のデータ¹⁾を併せて示している。SSHD50K についても u と Hv の間には負の相関が見られるが、文献 1) の普通鋼と比べると大きなばらつきがみられる。これは、低降伏点鋼の硬さ自体が低いため、同じ予ひずみ量を与えても硬さの変化量が普通鋼に比べて小さいことにより、計測誤差の影響が現れやすいためと思われる。

LYP225 について、 u と Hv の関係を図 6 に示す。図中、予ひずみ試験によるデータを、予ひずみ試験によるデータを示す。LYP225 のデータは、SSHD50K に比べるとばらつきが小さく、文献 1) による普通鋼のデータと同じ領域に分布している。LYP225 については、普通鋼に比べて強度が低いものの、降伏後は普通鋼と類似した歪硬化特性を示すため、硬さ変化量とひずみ量の関係についても類似性が期待できるとと思われる。従って、普通鋼と同様に、下式によって硬さ変化量から一様伸び u が推定できる。

$$u = u_0 - 0.184 \times 2.06 Hv \quad (3)$$

u_0 : 無損傷材の一様伸び

u_0 は比較的ばらつきが少ないことから、余裕を見て 20%程度と仮定すればよいであろう。

2) 断面寸法計測に基づく推定方法

フランジ内法 d 計測時の累積損傷度 D を (1)(2)式より推定し、両者の関係を図 7 及び図 8 に示す。図 7 及び図 8 は同一のデータであるが、载荷パターンによる影響や残留変形による影響を比較できるよう、凡例を変えて示したものである。ダンパーの損傷度はフランジ内法と強い相関を示し、载荷パターンや残留変形の有無に関わらず、データは同一直線状に位置している。図 7 及び図 8 中の d と D の関係を近似することにより、(4)式が得られる。

$$d = -11.9D + 25.5 \quad (4)$$

被災後の現地調査によってフランジ内法を実測し、(4)式によって累積損傷度を推定し、

(1)(2)式を適用すれば、調査時点からダンパーが破断するまでの载荷サイクル数を推定することができる。「4. 研究成果」に記述したように、SSHD50 材については硬さ変化量と損傷度の間に比較的大きなばらつきが見られ、硬さ計測のみでは十分な精度で損傷度を推定できない恐れがある。しかし、図1に示すようなダンパーの場合、フランジ内法と損傷度の相関は高く、断面寸法計測による損傷度推定は実用に耐えうる精度が期待できる。

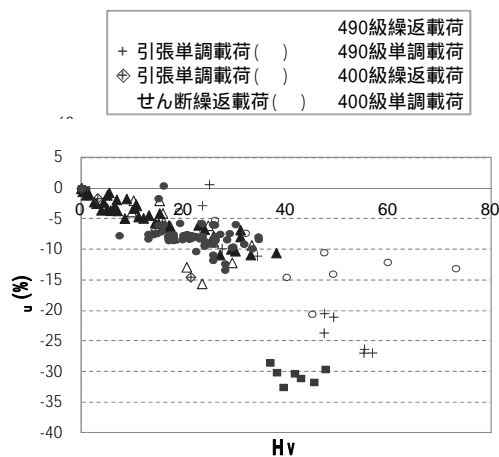


図5 一樣伸びと硬さ変化量(SSHD50K)

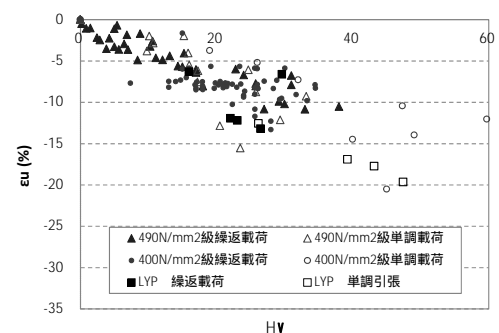


図6 一樣伸びと硬さ変化量(LYP225)

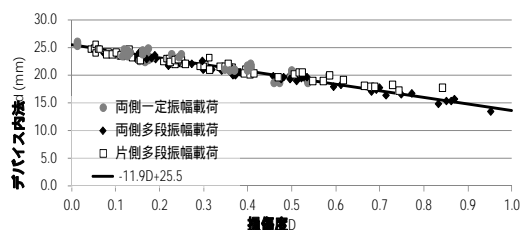


図7 フランジ内法と累積損傷度の関係 (载荷パターンによる比較)

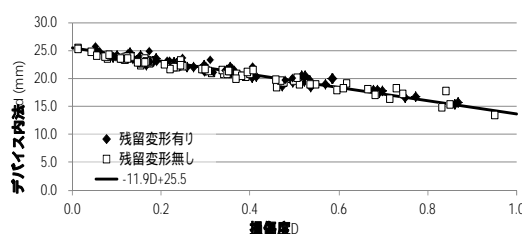


図8 フランジ内法と損傷度の関係 (残留変形の有無による比較)

本研究で提案する断面寸法測定による損傷度推定方法は、特定のダンパーに関する限定的な知見であるが、同様な形状や载荷状況が生じる部材には適用できる可能性がある。特に作業環境によって硬さ計測が困難な場合には、断面形状も参照して補完することにより、損傷度の推定精度を高めることが期待できる。

参考文献：

- 1) 田中真弥, 村田光, 松本由香: 塑性歪を受けた SN490 材の残存性能と硬さの関係, 鋼構造年次論文報告集, Vol.14, 2006.11

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 4 件)

- 1) 梅津佳奈子・松本由香・小山雅人・本郷康子・池田勝利: 繰り返し塑性歪を受けた制振デバイスの断面形状による損傷度推定方法に関する研究 その1 実験計画, 日本建築学会大会学術講演梗概集, c-1, pp.881-882, 2013, 査読無
- 2) 本郷康子・松本由香・小山雅人・梅津佳奈子・池田勝利: 繰り返し塑性歪を受けた制振デバイスの断面形状による損傷度推定方法に関する研究 その2 実験結果, 日本建築学会大会学術講演梗概集, c-1, pp.883-884, 2013, 査読無
- 3) 本郷康子・徐男一・小沼美香子・松本由香・小山雅人・池田勝利: 塑性歪を受けた制振デバイスの損傷度推定方法に関する研究 その1. 制振パネル加力実験概要, 日本建築学会大会学術講演梗概集, c-1, pp. 877-878, 2012, 査読無
- 4) 徐男一・本郷康子・小沼美香子・松本由香・小山雅人・池田勝利: 塑性歪を受けた制振デバイスの損傷度推定方法に関する研究 その2. 加力後の断面形状による損傷度推定, 日本建築学会大会学術講演梗概集, c-1, pp. 879-880, 2012, 査読無

〔学会発表〕(計 4 件)

- 1) 梅津佳奈子: 繰り返し塑性歪を受けた制振デバイスの断面形状による損傷度推定方法に関する研究 その1 実験計画, 日本建築学会大会, 2013年8月30日~2012年9月1日, 北海道大学
- 2) 本郷康子: 繰り返し塑性歪を受けた制振デバイスの断面形状による損傷度推定方法に関する研究 その2 実験結果, 日本建築学会大会, 2013年8月30日~2012年9月1日, 北海道大学
- 3) 本郷康子: 塑性歪を受けた制振デバイスの損傷度推定方法に関する研究 その1. 制振パネル加力実験概要, 日本建築学会大会, 2012年9月12日~2012年9月14日, 名古屋大学

- 4) 徐男一: 塑性歪を受けた制振デバイスの損傷度推定方法に関する研究 その 2. 加力後の断面形状による損傷度推定, 日本建築学会大会, 2012 年 9 月 12 日 ~ 2012 年 9 月 14 日, 名古屋大学

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松本 由香 (MATSUMOTO, Yuka)

横浜国立大学・都市イノベーション研究院・

准教授

研究者番号：70313476

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：