

論文 機能維持性能の観点からのRC構造部材の耐損傷性能評価

衣笠 秀行*1・向井 智久*2

要旨：機能維持性能の観点から部材の耐損傷性能の評価ならびに比較を行うことを目的に、修復性の面からの損傷評価指標である「時間損傷度」を提案し、破壊モードの異なる柱及び梁部材について試算を行った。時間損傷度は修復時間の大きさを定義され、次の特徴を持つ。1. 種類の異なる損傷（ひび割れや剥落等）の深刻度を統一的に評価する指標であり種々の損傷が同時発生した部材の機能維持性能の観点からの損傷度比較が可能である、2. 損傷が引き起こす、機能阻害の結果生まれる損失との関係が明確になっている、3. 構造知識のない一般人でも比較的容易に損傷が引き起こす機能阻害の程度を理解できる。

キーワード：機能維持、耐損傷性能、時間損傷度、修復時間、ひび割れ率、剥落率

1. はじめに

近年の地震被害によって建物の機能維持性能の評価及びその確保を目標とした設計法の必要性が認識されるようになってきた。建築研究所と日本建築構造技術者協会は、東日本大震災で顕在化した庁舎等の被災状況や課題を踏まえ、地震後の継続使用性の確保を目的として、1) 建築物の用途ごとに活動上重要なエリアを設定し、2) 目標とする性能ランクを各部位の損傷状態をもとに3段階で定義する、耐震性能評価法を示している¹⁾。

このような背景をもとに本研究は、機能維持性能評価のための部材損傷度の提案を試みたものである。本論文で論じる損傷度は、被災度区分判定基準²⁾で使用されているような安全性評価のための損傷度とは異なるものであることに注意が必要である。この評価法で算出される損傷度は、部材変形との関係をもとに部材性能の定義と評価に用いられるとともに、建物の機能維持性能を目標とした設計を行う上での基本情報となるべきものである。

本研究ではまず機能維持性能の観点からの損傷度の定義ならびに損傷度指標はどのようなものであるべきかについて論じる。そして、それを満足する方法として、修復性に着目した損傷度指標の提案を行い、これに基づき、破壊モードの異なる柱及び梁部材を対象とした機能維持性能の観点からの耐損傷性能比較を試みる。

2. 機能維持性能の観点からの部材の耐損傷性能評価

2.1 損傷量・損傷度・損失の関係性

損傷度と損傷量の関係を次式のように定義する。

$$\text{損傷量} = \text{損傷度} \times \text{部材規模} \quad (1)$$

損傷量は損傷が引き起こす損失(円)と次式の関係にある工学量である。

$$\text{損失} = \text{損傷量} \times \text{単価} \quad (2)$$

ここで、単価は単位損傷量あたりの損失である。式(1)の

「部材規模」は部材の大きさを表す工学量であり、例えば部材の表面積や体積などがそれである。すなわち、損傷度が与えられれば、部材規模を乗じることにより損傷量が計算され、これに単価を乗じると損失(円)が求められる。損傷度とは単位部材規模あたりの損傷量であり損失の発生の大きさを表す設計上重要な工学量である。

最近の部材実験では、損傷発生メカニズム検証やその損傷と修復性との関係性評価を目的に、ひび割れ長さやコンクリート剥落面積の計測が行われている。これらは、修復費用(損失(円))とそれぞれ次の式(3)及び式(5)に示す形で関係づけることのできる工学量である。

$$\begin{aligned} \text{ひび割れ修復費用(円)} &= \text{ひび割れ長さ(m)} \\ &\quad \times \text{修復単価(円/ m)} \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \text{ひび割れ長さ(m)} &= \text{ひび割れ率} \\ &\quad \times (\text{部材表面積(m}^2\text{)})^{0.5} \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \text{剥落修復費用(円)} &= \text{コンクリート剥落面積(m}^2\text{)} \\ &\quad \times \text{修復単価(円/ m}^2\text{)} \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \text{コンクリート剥落面積(m}^2\text{)} &= \text{剥落率} \\ &\quad \times \text{部材表面積(m}^2\text{)} \end{aligned} \quad (6)$$

ひび割れ長さや剥落面積の発生の激しさはそれぞれ、式(4)(6)で定義されるひび割れ率や剥落率で表現される。式(1)(2)と、式(4)(3)および式(6)(5)との比較から、ひび割れ率、剥落率はともに上で定義した損傷度にあたるものであることが分かる。

2.2 部材の耐損傷性能評価のための損傷度

このように損傷の種類（ひび割れ・剥落など）によって損傷度の定義は異なってくる。ひび割れのみあるいは剥落のみの発生した部材間の損傷度の比較は、これら損傷度（ひび割れ率・剥落率）によって可能であるが、二種類以上の損傷が混在する一般的な部材の損傷度の比較は困難である。部材性能の評価や比較を行うためにはこれら種々の損傷度を統一した「部材損傷度」を開発する

*1 東京理科大学 理工学部建築学科教授 工博（正会員）

*2 国立研究開発法人 建築研究所 構造研究グループ 博(工)（正会員）

必要がある。

式(3)～(6)からひび割れ率、剥落率をもとに計算される損傷量（ひび割れ長さ・剥落面積）や損失（修復費用）は機能維持性能との関係が明確となっておらず、これらの値から損傷が引き起こす機能阻害の程度を把握することは困難である。損傷度は機能阻害の程度との関係が、また、損傷量は機能阻害の結果生まれる損失との関係が明確である必要がある。

また、許容される安全性レベルは法的に定められるものであるのに対し、大地震時に許容される建物の機能維持性能レベルに法的な縛りはなく、必要レベルを建物所有者が判断することになる。機能維持を目標とした耐震性能評価で用いる損傷度・損傷量は、特別な構造知識のない一般人が見て損傷の深刻度を実感として理解できるものであることが望まれる。

以上のことを踏まえ、機能維持性能評価のための損傷量（以下、時間損傷量）を次式で定義する。

$$\text{時間損傷量} = \text{修復のために必要となる時間} \times \text{修復作業のために必要となる床面積} \quad (7)$$

時間損傷量は、機能阻害により発生する損傷の量であり、上式ではこれを、損傷によって機能停止する床面積と機能停止時間の積で表現している。

式(7)中の「修復作業のために必要となる床面積」は部材が大きくなるほど大きくなることからこれを、部材規模を表す一つの指標と考えると上式は式(1)と同じ形になっていることが分かる。すなわち、「修復のために必要となる時間」は一種の損傷度であり、本研究ではこれを「時間損傷度」と呼ぶことにする。

単位床面積の単位時間当たりの価値を示す「床単価(円/㎡/日)」を用いて、時間損傷量は機能停止が生む損失（機会損失）と次式で関係づけられる。

$$\text{損失} = \text{時間損傷量} \times \text{床単価} \quad (8)$$

時間損傷度、時間損傷量はともに損傷が引き起こす機能阻害の結果生まれる損失との関係が明確な、建物の機能維持性能を考える上での基本的な情報であり、かつ一般人にも比較的容易に理解できる工学量となっていることが分かる。

3. 部材の損傷度評価

3.1 時間損傷度 at

一般工事の工程計画表を作成する際に基となるものが工事毎の実働日数³⁾である。実働日数は与えられた施工数量の工事のために必要な日数 d であり一般に次式で算出される。

$$d = \frac{\text{施工数量} Q}{\text{作業部隊数} S \times \text{能率定数} E} \quad (9)$$

施工数量は工事毎に適切な単位で表された工事の量

であり、例えば、コンクリート工事ではコンクリート体積、鉄骨の建て方工事では鉄骨重量が用いられる。また、能率定数は1作業部隊が1日に行える施工数量である。

1作業部隊を1日動かすに必要な労務量を n として、この式を次のように書き換えることができる。

$$d = \frac{Q \times n / E}{n \times S} \quad (10)$$

分子は1部隊で作業を行った場合の所要日数 Q/E に1作業部隊を1日動かすに必要な労務量 n を乗じたものであり、この意味するものは修復に必要な総労務量である。分母 $n \times S$ は上記労務量 n に作業部隊数を乗じたものであり、これは投入作業人数にあたるものである。この式をもとに、部材の時間損傷度 at を次式で定義することにする。

$$at = L / m \quad (11)$$

L : 対象部材の修復のために必要な労務量(人日)

m : 対象部材の修復のために投入できる作業員数(人)

m をここでは修復にあたり使用される床面積 a (㎡) (以下、「修復作業面積 a 」) の大きさから定まる最大投入可能人数で定め、これを次式で算出する。

$$m = a \times K \quad (12)$$

K は修復作業面積 1 m^2 あたり最大投入可能な作業員数を定める定数である。この数値を厳密に定めることは困難であるが、 K の数値は時間損傷度を用いた部材性能の相对比较に影響を及ぼさないことからここでは、図-1 示す壁面修復を行う場合を想定し、作業員が両手をひろげた幅 2 m と壁からの距離 1 m を乗じた 2.0 m^2 の床面積に一人を、投入最大人数と仮定し、 $K = 0.5 \text{ 人/}\text{m}^2$ を便宜上、全ての対象物に適用することとした。

時間損傷度は、部材に発生している損傷の激しさを修復に必要な時間の大きさによって表した一種の損傷度指標である。時間損傷度は修復作業面積 a から決まる最大投入可能数の作業員によって、評価対象としている部材に対して修復作業に取り掛かって終了するまでにかかる実働時間である。なお、この時間に準備（例えば、資材調達、仮設設置など）や養生などの時間は含まれないことに注意が必要である。

3.2 修復作業面積 a の設定

修復作業を行うにあたり部材周りに作業エリアを確保する必要がある。公共建築改修工事の積算マニュアル⁴⁾

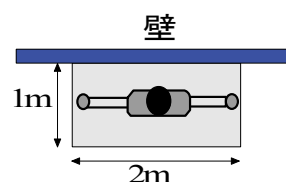
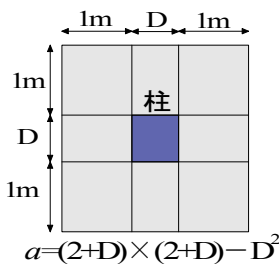
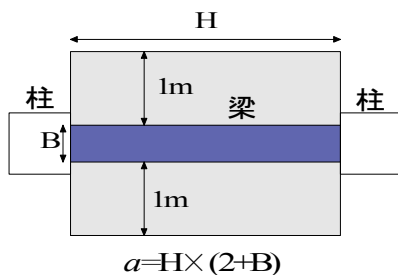


図-1 投入可能最大作業員数の設定

には修復工事を行うにあたり修復対象物から1m離して仮設間仕切りを設け作業エリアを確保することが示されている。ここではこれを参考に基本的に、修復対象物から平行線を1m離してとり交差する線を結び、これによって囲まれる面積から修復対象物の存在する面積を除いた面積を修復作業面積 a とすることとした。柱部材および梁部材における修復作業面積 a の計算例を図-2に示した。なお、梁部材の場合には、両端で柱と接しているため作業面積は4周とならないこと、一方、部材直下の床面積は修復作業面積に含まれること、が柱部材と異なっている。



(1)柱部材の修復作業面積 a (m^2)



(2)梁部材の修復作業面積 a (m^2)

図-2 柱及び梁部材の修復作業面積 a

表-1 ひび割れと剥落補修の修復時間係数

損傷の種類	施工数量	修復時間係数 β
ひび割れ幅 0.2mm未満	ひび割れ長さ L_1 (m)	$\beta_1=0.03$
ひび割れ幅 0.2mm以上	ひび割れ長さ L_2 (m)	$\beta_2=0.24$
コンクリート 剥落	剥落面積 F (m^2)	$\beta_3=7.1$

3.3 必要労務量 L の算出

各種損傷に対する必要労務量 L_i は次式で算出される。

$$L_i = \text{施工数量} Q_i \times \beta_i \quad (13)$$

β は修復時間係数であり、(独法)建築研究所の研究プロジェクト^{5,6)}において、構造・非構造・設備に発生する損傷に対する各種修復工事の β が調査され修復性評価データベースにまとめられている。これら β を用い式(11)の必要労務量 L は各種損傷 i の労務量 L_i を総和して次式で算出できる。

$$L = \sum L_i \quad (14)$$

ここでは、評価対象部材に発生した損傷、すなわち、ひび割れ幅「0.2mm未満」、「0.2mm以上」、及び、コンクリートの「剥落」に対する、表-1に示す β を用いて、具体的に次式のように部材の必要労務量 L を算出した。なお、ひび割れ幅「0.2mm未満」と「0.2mm以上」で β の値が違っているのは、修復工法が前者はシーリング工法、後者はエポキシ樹脂注入工法と異なってくるためである。

$$L = L_1(m) \times \beta_1 + L_2(m) \times \beta_2 + F(m^2) \times \beta_3 \quad (15)$$

4. 柱および梁部材の損傷度評価

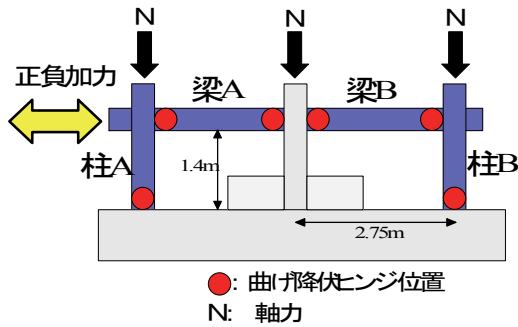
4.1 評価対象部材実験

本研究において評価対象としたのは「曲げ柱部材」・「曲げ梁部材」および「せん断柱部材」の3体である。「曲げ柱部材」・「曲げ梁部材」はそれぞれ図-3(1)に示した架構実験⁷⁾における柱および梁部材であり、後で述べるひび割れ率や剥落率データは、「曲げ柱部材」では図中の柱部材A・Bから、「曲げ梁部材」では図中の梁部材A・Bから算出されている。なお、柱部材AとB並びに、梁部材AとBの損傷に大きな差はない。柱梁部材の変形分離を可能とする変位計を設置し、各部材の部材角の測定を行っている。図-3(2)に部材角の定義を示し、表-2にこれら部材の諸元を示した。

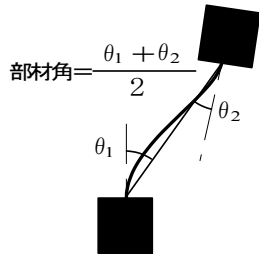
図-4にこの実験から得られた層せん断力-層間変形角関係を示す。R=2/100で最大耐力(1215kN)を迎え、層せん断力は緩やかに低下した。破壊モードは、「曲げ柱部材」は柱脚部に曲げ降伏ヒンジの発生する曲げ破壊、「曲げ梁部材」は両端降伏ヒンジの曲げ破壊である。

表-2 評価対象部材の諸元

	幅×せい (mm×mm)	内法長さ (mm)	軸力(kN) (軸力比)	主筋			せん断補強筋			コンクリート 強度
				径&本数	引張鉄筋比	降伏強度	径&間隔	補強筋比	降伏強度	
曲げ梁部材 ⁷⁾	300×400	2350	0 (0.00)	上端:6-D19 下端:4-D19	1.43% 0.96%	382.0 (N/mm ²)	4-D6 @50	0.83%	343.6 (N/mm ²)	34.7 (N/mm ²)
曲げ柱部材 ⁷⁾	400×400	1400	500 (0.09)	16-D16	1.05%	384.1 (N/mm ²)	4-D10 @50	1.43%	343.6 (N/mm ²)	34.7 (N/mm ²)
せん断柱部材 ⁸⁾	400×400	800	900 (0.19)	10-D16	0.50%	389.5 (N/mm ²)	4-D6 @80	0.40%	420.3 (N/mm ²)	30.4 (N/mm ²)



(1)試験体形状及び加力方法



(2)部材角の計測

図-3 架構実験試験体⁷⁾と部材角

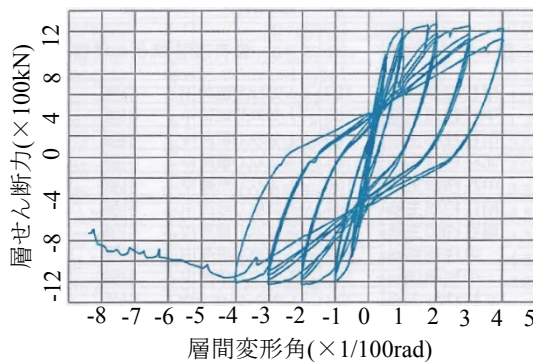


図-4 架構実験の層せん断力ー層間変形角関係⁷⁾

「せん断柱部材」は前田ら⁸⁾によって行われた反曲点を部材内法長さの中央に固定した曲げせん断試験体である。表-2に試験体の諸元を示した。

部材角 1/400 のサイクルにおいて、幅 0.4mm のせん断ひび割れが生じ、部材角 1/200 付近で、せん断補強筋の降伏が発生し 1/100 のサイクルの部材角 0.8/100 付近で最大耐力に達した時点でせん断ひび割れが大きく開き、損傷が急激に進行し耐力が低下⁸⁾している。

これら実験では、ひび割れ幅とひび割れ長さ及び剥落面積が除荷時に計測されており、この計測結果をもとに、式(4)(6)で定義した各試験体のひび割れ率および剥落率の算出を行った⁵⁾。

これら実験で得られたひび割れ幅に試験体縮尺率の逆数を乗じて補正を行い、以下では、このひび割れ幅が 0.2mm 未満のひび割れ率を「ひび割れ率 1」、0.2mm 以上のものを「ひび割れ率 2」と呼ぶことにする。

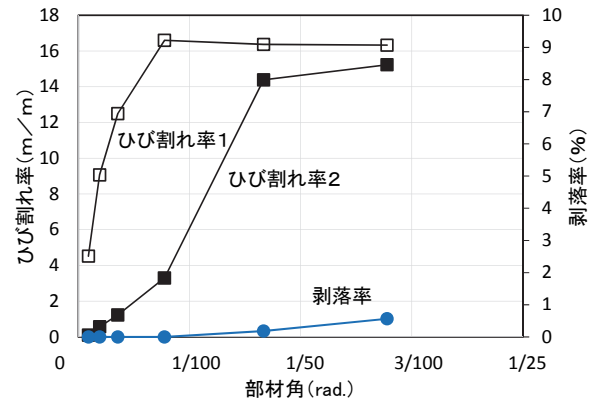


図-5 曲げ梁部材のひび割れ率・剥落率

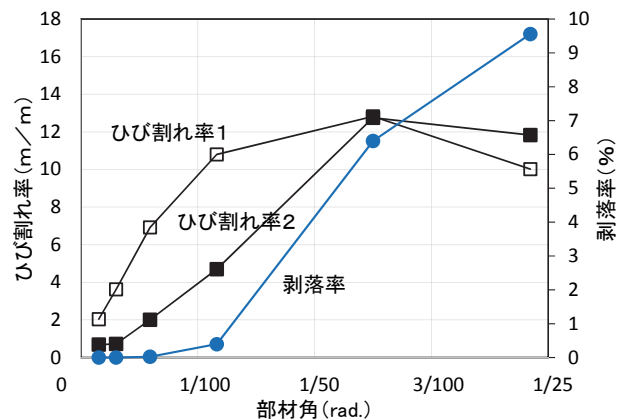


図-6 曲げ柱部材のひび割れ率・剥落率

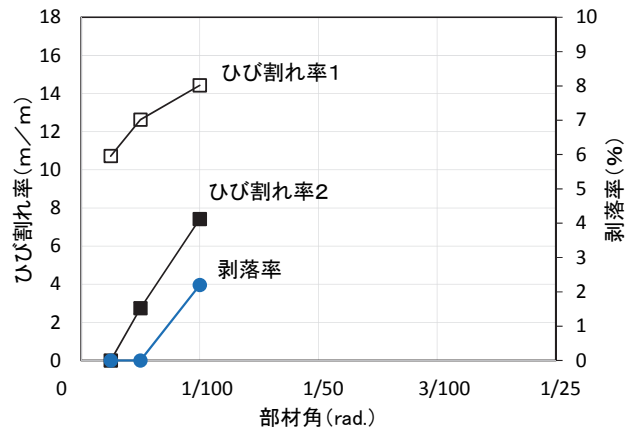


図-7 せん断柱部材のひび割れ率・剥落率

4.2 ひび割れ率・剥落率の増加挙動

図-5,6 にそれぞれ曲げ梁部材および曲げ柱部材の部材角増に伴うひび割れ率 1・2 及び剥落率の増加挙動を示した。なお、縦軸のひび割れ率 1・2 及び剥落率は、横軸の部材角(ピーク)から除荷した時の値である。また、各値は層間変形角 3/100 までのものである。

曲げ梁部材のひび割れ率 1・2 はともに曲げ柱部材のものより上昇が急であり最大値もそれぞれ 1.37 倍、1.13 倍と大きな値となっている。ひび割れ率は除荷時の残留ひび割れを対象にしたものであり、この差は軸力のために柱部材のひび割れ残留が梁部材と比べ起こりにくかつ

たことによると思われる。

一方、曲げ梁部材の剥落率は部材角 $1/36$ に至るまで小さく抑えられているのに対し、曲げ柱部材の剥落率は部材角 $1/100$ を超えたあたりから急増し部材角 $1/40$ の比較では 10 倍程度曲げ梁部材より大きな値に達している。曲げ柱部材の剥落は部材端部の曲げ圧壊が原因で発生しており、軸力の作用している柱部材で大きいのはこのためと考えられる。

なお、部材角 $1/40$ を境に曲げ柱部材のひび割れ率が低下しているのは、剥落の発生によってひび割れの発生している部分のコンクリートが脱落し、その部分の損傷がひび割れ率に代わって剥落率としてカウントされるようになるためである。

曲げ梁部材の損傷が部材角 $1/36$ に至るまで終始ひび割れを中心としたものであるのに対して曲げ柱部材の損傷は $1/100$ 程度を境にひび割れに加えて剥落が急増する損傷形態となっていることが分かる。

図-7 にせん断柱部材の部材角増に伴うひび割れ率 $1 \cdot 2$ 及び剥落率の増加挙動を示した。なお、縦軸のひび割れ率 $1 \cdot 2$ 及び剥落率は図-5,6 と同様、横軸の部材角(ピーク)から除荷した時の値である。

せん断柱部材のひび割れ率の増加(図-7)は曲げ柱部材(図-6)と比べて急であり曲げ梁部材とほぼ同等の急激な増加となっていることが分かる。せん断柱部材のひび割れは主にせん断ひび割れであり、曲げひび割れが主体の曲げ柱部材と比べて除荷時にひび割れが残留しやすかったことがこの原因の一つと考えられる。

また、せん断柱部材の剥落率は曲げ柱部材と比べて初期($1/200 \sim 1/100$ の部材角)から増加していることが見て取れる。先に述べたように、せん断柱部材では部材角 $0.8/100$ でせん断破壊による耐力低下が始まっており、部材角 $1/200$ からの剥落率の増加はせん断破壊の進行によるものと考えられる。

以上、曲げ柱部材、曲げ梁部材およびせん断柱部材の、ひび割れ率 $1 \cdot 2$ 並びに剥落率の増加挙動を比較したが、それぞれの部材においてこれら損傷度(ひび割れ率 $1 \cdot 2$ 並びに剥落率)の増加傾向は異なっており、ひび割れ率 $1 \cdot 2$ あるいは剥落率のどちらかを単独で部材の損傷度として用いることは困難であることが分かる。次節ではこれら損傷度(ひび割れ率 $1 \cdot 2$ 及び剥落率)を統合した時間損傷度と部材角の関係に基づき、機能維持性能の観点からの部材性能比較を試みることにする。

4.3 時間損傷度による部材性能比較

ひび割れ率・剥落率は無次元であり、部材スケールの影響を受けないが、時間損傷度・時間損傷量はスケールの影響を受ける。より現実的な性能比較とするため以下の検討に用いる時間損傷度・時間損傷量は各部材の寸法

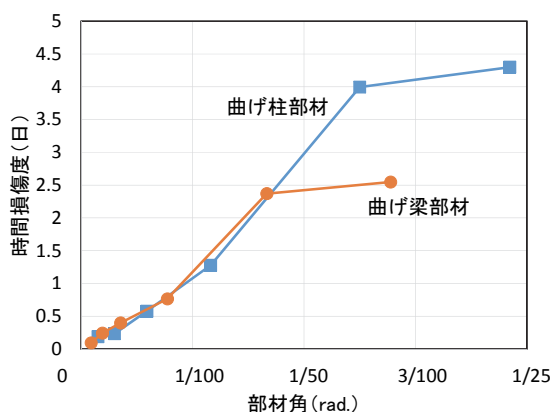


図-8 梁部材と柱部材の時間損傷度

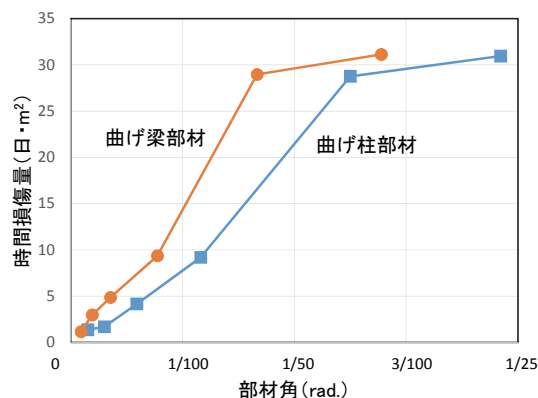


図-9 梁部材と柱部材の時間損傷量

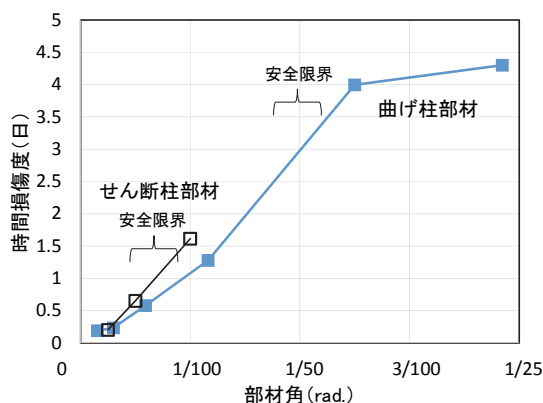


図-10 せん断部材と曲げ部材の時間損傷度

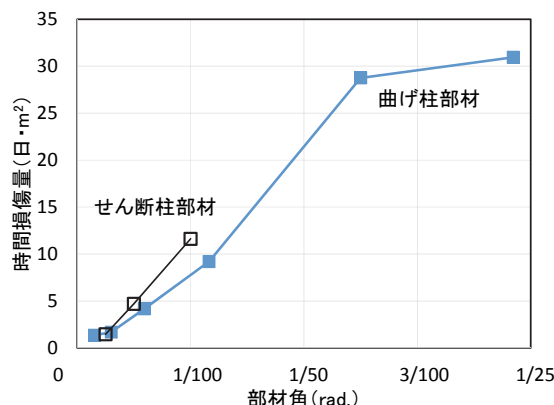


図-11 せん断部材と曲げ部材の時間損傷量

を2倍とした実大規模の時の値とした。

図-8に曲げ柱部材と曲げ梁部材の時間損傷度を比較して示す。両者のひび割れ率及び剥落率の増加挙動は大きく異なっていたが、時間損傷度は部材角1/50程度までであれば差がないことが分かる。しかしながら、その後の変形角で曲げ柱部材の時間損傷度が曲げ梁部材と比べて大きな値に達している。この差は先に述べた曲げ柱部材に発生する剥落の影響と考えられる。

一方、両者の時間損傷量を比較したのが図-9である。この図から、曲げ梁部材の方が曲げ柱部材より時間損傷量の増加が急となっていることが見て取れる。また、曲げ梁部材の最終的な損傷量の値は曲げ柱部材と同程度にまで達している。時間損傷度(図-8)と異なり、時間損傷量(図-9)では柱部材より梁部材の方が増加傾向が顕著となるのは、修復のために必要となる床面積が柱部材と比べ梁部材は大きく、同じ損傷度でも機能阻害に対する影響は梁部材の方が大きくなるためである。

図-10にせん断柱部材と曲げ柱部材の時間損傷度を比較して示す。せん断柱部材は曲げ柱部材と比較し時間損傷度の増加が急であることが分かる。せん断柱部材はひび割れ率及び剥落率の増加が曲げ柱部材と比べ急であることがこの原因であると考えられる。

しかしながら、設計上の安全限界時(せん断柱部材で1/200~1/100の部材角、曲げ柱部材で1/50程度の部材角)の時間損傷度を比較するとせん断柱部材は曲げ柱部材の1/2~1/3程度と小さく、実際の設計では安全限界以下となるように部材設計を行うことを考えれば、機能維持性能に対する配慮が必要となるのはせん断柱部材ではなく曲げ柱部材の方であると言える。以上の傾向は図-11に示す時間損傷量の場合でも同じである。

5. まとめ

機能維持性能の観点から部材の耐損傷性能の評価ならびに比較を行うことを目的に、部材の損傷度を測る一つの指標として「時間損傷度」の提案を行った。

時間損傷度は部材に発生した損傷を修復するために必要な時間で定義される。但し、この修復時間は、修復工事のための準備や仮設工事等の時間が考慮されておらず、また、投入作業員数は理想化されており、実際の修復時間とは異なる。しかしながら、「時間損傷度」は、実際の修復工期計画を行う際の最重要情報であると同時に、発生した損傷の激しさの相対比較を可能とする一種の工学指標としての意味を持つ。

この時間損傷度に修復作業のために機能停止する床面積を乗じることにより、機能阻害により発生する損傷の量である「時間損傷量」が算出される。

破壊モードの異なる柱及び梁部材を対象とした機能

維持性能の観点からの部材性能比較を試み、次のことを論じた。

- (1) 時間損傷度は、種類のことなる損傷(ひび割れや剥落)の深刻度を統一的に評価する指標であり、これを用いて種々の損傷が同時発生した部材の機能維持性能の観点からの損傷度比較が可能となる。
- (2) 時間損傷量は、損傷が引き起こす、機能阻害の結果生まれる損失と近い関係にある工學量であり、これによってその損傷部材が引き起こす機能阻害の程度を把握することができる。
- (3) 時間損傷度・時間損傷量から、構造知識のない一般人でも比較的容易に、発生した損傷の機能維持性能に対する影響度を理解することができる。

なお、部材の時間損傷度をもとにした建物の機能維持レベル(修復時間)の評価方法については別の早い機会に報告の予定である。

参考文献

- 1) 喜々津仁密, 向井智久, 加藤博人, 平出務, 長谷川隆, 谷昌典, 柏尚稔, 飯場正紀: 地震後の継続使用性を確保した新築建築物の設計・耐震性能評価 その1 継続使用性に関する要求性能, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.45-46, 2015.9
- 2) 国土交通省住宅局建築指導課監修・(財団法人)日本建築防災協会: 震災建築物の被災区分判定基準および復旧技術指針, 2001.9
- 3) 工程計画研究会: 建築工程表の作成実務(第二版), 彰国社, 2003
- 4) 国土交通省大臣官房官庁営繕部監修・建築コスト管理システム研究所: 公共建築改修工事の積算マニュアル, 大成出版社, 2006.2
- 5) 向井智久, 福山洋, 森田高市, 齊藤大樹, 加藤博人: 災害後の建築物の機能維持・早期回復を目指した構造性能評価システムの開発, BRI Proceedings No.20, 2011.1
- 6) 衣笠秀行, 向井智久, 森田高市, 田尻清太郎, 福山洋, 塩原等: 修復費用の工学的増加要因に基づく修復性評価指標の提案, 日本建築学会技術報告集, Vol.17, No.36, pp.531-536, 2011.6
- 7) 福山洋, 向井智久, 壁谷澤寿一, 前田匡樹, 諏訪田晴彦, 衣笠秀行, 高橋典之, 中埜良昭, 関松太郎, 太田勤ほか: 脆性部材を有するRC造架構の構造性能評価に関する実験(その1)~(その8), 日本建築学会学術講演梗概集(関東), pp.807-822, 2011.8
- 8) 田中康介, 康大彦, 西川和明, 前田匡樹: 震災鉄筋コンクリート造建築物の残存耐震性能, コンクリート工学年次論文集, Vol.25, No.2, pp.1225-1230, 2003.7