

# 論文 曲げ降伏先行型 RC 柱・梁部材の損傷量に基づいた修復性能評価法の構築に関する研究

五十嵐 さやか<sup>\*1</sup>・前田 匡樹<sup>\*2</sup>

**要旨：**地震時に建物に損傷が生じたとしても、経済的に許容できる範囲での修復により建物の継続使用ができることが重要視されており、建築物の耐震性能として、「修復性能」を適切に評価可能にする必要性が高まっている。筆者らは、建物全体における定量的な修復性能の評価法として、建物に生じる損傷量（ひび割れ量、コンクリート剥落量）を解析的に評価する損傷量評価モデルを提案し、それらの損傷量の修復費用から建物全体の修復性能を評価する手法について検討を行っている。本論文では、耐震性能の異なる 4 層 4 スパンの RC 骨組に損傷量評価モデル及び修復性能評価法を適用し、建物全体の修復性能について検討した。

**キーワード：**修復性能評価, 損傷量, ひび割れ長さ, ひび割れ幅, コンクリート剥落面積

## 1. はじめに

建築物に必要とされる耐震性能のうち、「安全性」は人命保護の観点から最も重要視されるべき性能であるが、近年の地震被害では建物の倒壊は免れても躯体の甚大な損傷により最終的に建て替えを余儀なくされた事例や、建物を復旧するまでに事業継続が不可能となり多額の経済損失が生じた事例が報告されている。これより、災害時における建物の「安全性」を満足するだけでなく、災害時の建物損傷を抑え、経済的に許容できる範囲での修復ができる「修復性」も重要な耐震性能の一つとして考えられるようになってきた。しかしながら、建物全体の修復性能を定量的に評価する方法は十分には確立していないのが現状である。筆者らはこれまで RC 柱梁部材に生じるひび割れ長さやひび割れ幅を評価するモデル式を構築し、構造設計で一般的に用いられている荷重増分解析に適用することで解析的に部材に生じる損傷量を評価する手法について検討を行っている<sup>1),2)</sup>。本論文ではこれらの手法を RC 造フレームの解析に適用し、建物全体の損傷量評価を行い、修復費用や復旧日数に伴う経済損失より建物の修復性能を評価する手法について検討した結果を示す。

## 2. 損傷量に基づいた RC 造建築物の修復性能評価

図-1 に本研究で想定する RC 柱梁部材の損傷量評価方法及び建築物全体の修復性能評価のフローチャートを示す。性能評価を行うにあたり現在の構造設計の実務で一般的に行われるフレームモデルの荷重増分解析に適用することを念頭に、部材を材端曲げバネとせん断バネを有する線材に置換し、各バネモデルの変形成分に対応した損傷量の推移をモデル化することとした。これに

より、荷重増分解析によって算出される各部材の各バネの応答に損傷量評価モデル（ひび割れ長さやコンクリート剥落面積など）を適用し、建物全体で集計することで建物全体に生じる損傷量が推定可能となる。建物に生じる残留ひび割れ幅や長さ、コンクリート圧壊など構造部材の損傷量の定量的評価が可能となれば、構造部材の修復費用や修復に要する時間などを見積もることができるようになり、建物新築設計段階における修復性能及び被災時の復旧可能性や機能継続性の検討のための重要な資料となる。本研究では、建物の修復性が「経済的に許容しうる範囲で修復可能である状態」で評価されることを考慮し、建物全体の地震時における損害程度を、建物の修復費用及び復旧期間に対して生じる経済損失の、新築時に対する比として評価する。これを本論文では式(1)で示す「建物損害割合  $R_r$ 」と定義し、建物全体の修復性能の良し悪しを指標化する。

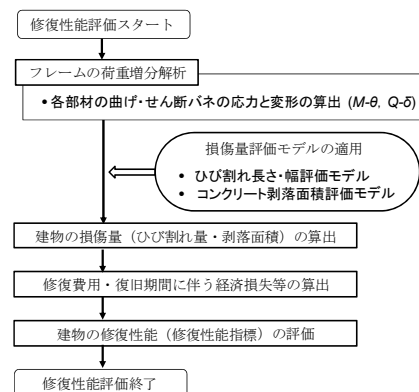


図-1 修復性能評価フローチャート

$$\text{建物損害割合 } R_r = \frac{C_r + L_r}{C_n + L_n} \quad (1)$$

\*1 東北大学大学院 工学研究科 都市・建築学専攻 大学院生 (正会員)

\*2 東北大学大学院 工学研究科 都市・建築学専攻 准教授 博士(工学) (正会員)

ここに、 $R_r$ ：建物損害割合、 $C_r$ ：建物の修復費用、 $C_n$ ：建物の新築費用、 $L_r$ ：復旧日数に伴う経済損失、 $L_n$ ：新築日数に伴う経済損失、である。建物損害割合  $R_r$  は躯体の修復費用や復旧日数に伴う経済損失が大きい程大きい値をとるため、修復性の良い建物ほど  $R_r$  は小さい値をとる。

### 3. RC 柱梁部材の損傷量評価モデルの提案

損傷量のモデル化にあたり、本研究では損傷量として部材表面に生じるひび割れ長さ、ひび割れ幅及びコンクリート圧壊による剥落面積について検討する。

#### 3.1 部材表面に生じるひび割れ長さ評価モデル

筆者らが提案している部材表面に生じるひび割れ長さの評価モデルの概要を以下に示す。ひび割れ長さ評価モデルでは、部材が正負交番荷を受けた場合の図-2に示すようなひび割れ発生状況を考慮している。図において濃い線で示したひび割れは、時計回り方向のせん断力で生じるひび割れを表している。このひび割れ長さ評価モデルは、骨組解析における材端曲げバネ及びせん断バネの変形を、それぞれ部材端付近のヒンジ領域及びそれ以外の領域（以下、非ヒンジ領域と呼ぶ。）の変形に対応させており、ヒンジ領域長さには曲げせん断ひび割れが、非ヒンジ領域には曲げひび割れとせん断ひび割れが生じるものと仮定している。曲げバネとせん断バネそれぞれに対応するひび割れ長さ  $\Sigma L_f$  および  $\Sigma L_s$  の推移の概念図を図-3に示す。筆者らが行った柱部材実験のひび割れ長さの進展に関する検討の傾向<sup>1)</sup>より、曲げひび割れが卓越するヒンジ領域の総ひび割れ長さ  $\Sigma L_f$  は、曲げひび割れモーメント  $M_{cr}$  でひび割れが発生し、曲げ降伏モーメント  $M_y$ （この時の回転角  $\theta_y$ ）時及び曲げ終局時を想定した  $2\theta_y$  時に折点を有する曲線とし（図-3 a））、せん断ひび割れが卓越する非ヒンジ領域の総ひび割れ長さ  $\Sigma L_s$  は、せん断ひび割れ強度  $Q_{scr}$  でひび割れが発生し、せん断終局強度  $Q_{su}$  時に折点を有する曲線とした。ひび割れ長さ評価モデルの詳細については、紙面の関係上省略するが、一例としてヒンジ領域のひび割れ長さ上限値  $L_{max,f}$  及び、非ヒンジ領域のひび割れ長さ上限値  $L_{max,s}$  のモデル式をそれぞれ式(2)、式(3)に示す。それぞれの式はひび割れ本数、ひび割れ1本当たり平均ひび割れ長さ及び正負交番荷時を考慮した係数を掛け合わせた構成となっている。

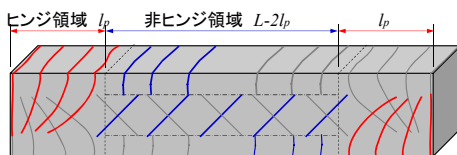


図-2 ひび割れ状況の概念図

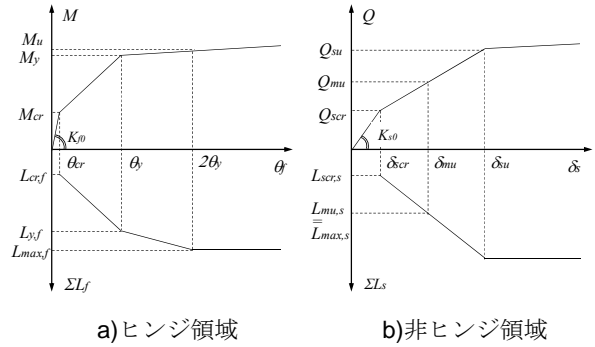


図-3 曲げバネ及びせん断バネに対応したひび割れ長さの推移

$$L_{max,f} = \frac{l_p}{S_{av,f}} \{2\alpha(D - x_n) + \beta b\} \times 2 \quad (2)$$

$$L_{max,s} = \left[ \frac{l_{cr} - l_p}{S_{av,s,b}} \{2(2c + \phi) + b\} \times 2 + \frac{\{D - 2(2c + \phi)\} \cos \theta + (L - l_p) \sin \theta}{S_{av,s,D}} \cdot \frac{D - 2(2c + \phi)}{\sin \theta} \times 2 \right] \times 2 \quad (3)$$

ここに、 $D$ ：部材せい、 $b$ ：部材幅、 $l_p$ ：ヒンジ領域長さ、 $S_{av,f}$ ：曲げひび割れ間隔、 $\alpha$ 、 $\beta$ ：ひび割れ長さの補正係数で  $\alpha=1.4$ 、 $\beta=1.2$ 、 $x_n$ ：中立軸位置、 $l_{cr}$ ：曲げひび割れ発生領域長さ、 $S_{av,s,b}$ ：非ヒンジ領域に生じる平均ひび割れ間隔、 $S_{av,s,D}$ ：非ヒンジ領域に生じる平均せん断ひび割れ間隔、 $c$ ：コンクリート最外縁から主筋表面までの距離、 $\phi$ ：主筋径、 $\theta$ ：せん断ひび割れと材軸のなす方向、 $L$ ：部材長さ、である。

#### 3.2 ひび割れ幅分布モデル

ひび割れ長さ評価モデルより部材に生じる総ひび割れ長さが算出されるが、ひび割れ長さを修復費用に換算する場合には、総ひび割れ長さがどのようなひび割れ幅のひび割れに区分されるかを評価することが必要である。ひび割れ幅分布の確率密度関数については、対数正規分布に従うことが既往の研究<sup>例え文献<sup>4)</sup></sup>において検証されているが、対数正規分布は確率変数であるひび割れ幅が  $0 \sim +\infty$  まで取りうるため、ひび割れ幅の上限値が考慮できないという問題がある。従って、本研究では、上限値を考慮できる  $\beta$  分布をひび割れ幅分布関数に用いることを考えた。 $\beta$  分布は確率変数の変域に上限値、下限値がある場合に用いられる分布であり、上限値、下限値及び、それらと平均値、標準偏差で表わされる  $q$ 、 $r$  の 4 つのパラメータを含んだべき乗で表わされる関数である。 $\beta$  分布の確率密度関数は上記の 4 つのパラメータにより様々な形状を取るが、本研究で用いる場合は、図-4に示す、東北大学において以前行われた梁曲げ降伏型のト型接合部試験体のひび割れ幅分布の実験分析結果との適合性より、分布形状が逆 J 型になるように、平均値  $\mu$  を最大ひび割れ幅(上限値)の 0.2 倍、変動係数  $v=1.0$

と設定することとする。

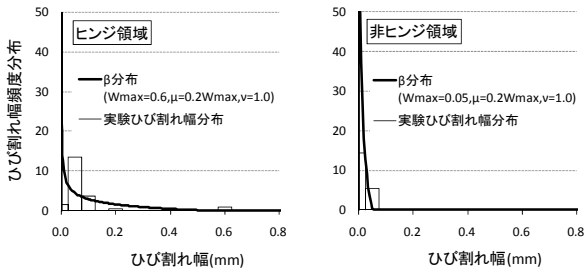


図-4 ひび割れ幅分布

### 3.3 コンクリート剥落面積評価モデル

部材の変形が進み損傷が比較的大きくなると、ひび割れ補修に比べ、高額な補修費用が必要となるコンクリート剥落部分の修復費用が全修復費用に占める割合が大きくなることが考えられ、この剥落面積を評価することも重要である。そこで、コンクリートの応力状態を考慮したコンクリート剥落面積評価モデルを提案する。

評価モデルの提案では、図-5 に示す東北大学にて行われた柱試験体の剥落状況の実験結果<sup>5)</sup>を参考に、部材の剥落面積を評価することにした。

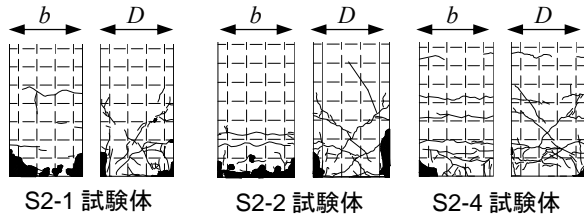


図-5 コンクリート剥落状況<sup>5)</sup>

部材端に変形が集中し、回転変形が生じた場合、図-6のように危険断面ではコンクリート圧縮縁から中立軸位置にかけて圧縮領域となり、圧縮縁のコンクリートの縮み分 $\Delta l_{hc}$ は、中立軸 $x_n$ と回転角 $\theta_f$ を用いて式(4)で表すことができる。

$$\Delta l_{hc} = x_n \cdot \theta_f \quad (4)$$

また圧壊長さを $l_{hc}$ とし、 $l_{hc}$ 区間ではコンクリートの歪が均等であると仮定すると、圧縮縁コンクリート歪 $\varepsilon_c$ は式(5)で表すことができる。実部材では、図-6のような剛体回転変形するわけではないが、これにより $l_{hc}$ が評価できると仮定した。本研究ではこの $l_{hc}$ はヒンジ領域長さ $l_p$ と仮定し、剥落面積を求めた。

$$\varepsilon_c = \frac{\Delta l_{hc}}{l_{hc}} = \frac{x_n \cdot \theta_f}{l_{hc}} \quad (5)$$

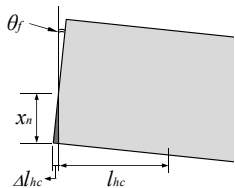


図-6 コンクリート圧縮縁の変形

コンクリートの圧縮部分が圧壊するとき、その歪度は終局歪に達している。図-7に部材危険断面の歪度分布及び圧壊領域のモデルを示す。網掛け部分をコンクリートの歪が終局歪 $\varepsilon_u$ を超えた領域とし、この領域でコンクリートの剥落が生じると仮定した。図-7の歪度分布より、部材せい方向においてコンクリートの歪度が終局歪 $\varepsilon_u$ を超える長さを $l_d$ とし、コンクリート終局歪 $\varepsilon_u=0.003$ とすると、式(6)で表せる。また、部材軸方向においては、コンクリートの歪度が終局歪 $\varepsilon_u$ を超える長さを $l_b$ とし、図-7で示すように、側面の圧壊領域は $l_d$ に比例して $l_b$ が増加する相似形の三角形と仮定し、式(7)のように表した。部材幅方向については、長さ $l_b$ 、幅 $b$ の領域で剥落が生じるものとし、ヒンジ領域に生じるコンクリートの剥落面積 $A_s$ を式(8)で表すこととした。

$$l_d = x_n - \frac{\varepsilon_u \cdot l_{hc}}{\theta_f} = x_n - \frac{0.003 \cdot l_{hc}}{\theta_f} \quad (6)$$

$$l_b = \frac{l_{hc}}{x_n} l_d = \frac{l_{hc}}{x_n} \left( x_n - \frac{0.003 \cdot l_{hc}}{\theta_f} \right) \quad (7)$$

$$A_s = l_d \cdot l_b + l_b \cdot b = \frac{l_{hc}}{x_n} \left( x_n - \frac{0.003 \cdot l_{hc}}{\theta_f} \right)^2 + l_b \cdot b \quad (8)$$

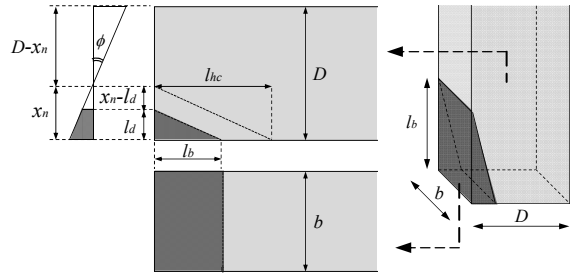


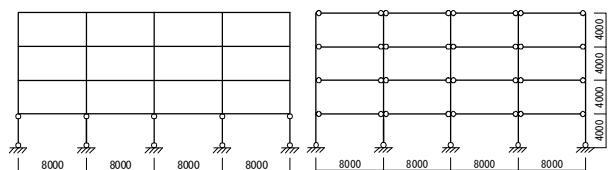
図-7 部材断面の歪度分布及び圧壊領域のモデル

## 4. モデルを用いた RC 造骨組の損傷量評価

前述の損傷量評価モデルを用いて、建物全体の修復性能を把握することを目的として、想定建物について損傷量評価及び建物損害割合 $R_f$ の評価を行った。

### 4.1 解析対象建物概要

解析対象建物は4層4スパンのRC造平面骨組である。建物の各層質量は単位床質量 $1.2t/m^2$ を想定した $307.2t$ である。図-8に解析対象建物を、図-9、表-1に損傷量及び復元力特性算定に関して基準としたT03の部材断面及び配筋、材料強度の詳細を示す。



a) 層崩壊型

b) 全体崩壊型

図-8 解析対象建物(単位 mm)

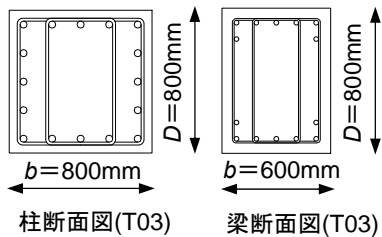


図-9 部材断面

表-1  
T03 断面詳細

T03		
柱	主筋	16-D38 (SD490)
	横補強筋	4-D16@60 (SD590)
	Fc(N/mm <sup>2</sup> )	24
梁	主筋	5+2-D25 (SD390)
	横補強筋	4-D10@80 (SD390)
	Fc(N/mm <sup>2</sup> )	24

解析は崩壊メカニズム（層崩壊：Story collapse, 全体崩壊：Total collapse), 及びメカニズム時ベースシア係数  $C_B$  ( $C_B=0.3, 0.6$ ) をパラメータとした計3パターン(S03, S06, T03) の建物で行った。

#### 4.2 荷重増分解析

解析対象建物に対して、フレーム弾塑性解析プログラム SNAP を用いて、外力を  $A_i$  分布とした静的荷重増分解析を行った。解析は剛床を仮定し、柱部材及び梁部材はせん断バネが挿入された曲げ回転バネを有する線材に置換した。また、各部材の復元力特性は T03 を基準に設定した。T03 は図-9, 表-1 に示す部材断面及び材料強度より算出した強度を折点としたトリリニア型の曲線とし、柱部材は、S06 は T03 と同様の復元力特性とし、S03 については降伏強度のみを  $C_B$  に基づき低減した。S06 の梁部材は各強度時の変形成分が T03 と等しくなるように強度比倍し、剛性を設定した。層崩壊型の2層以上の柱については降伏しないよう降伏強度を十分大きく設定した。全体崩壊型の柱部材の復元力特性は、1層の柱部材の復元力特性を他層の柱部材にも適用し、軸力が柱強度に及ぼす影響は考慮せずに解析した。図-10 に曲げバネの復元力特性の一例を示す。また、各バネのひび割れ後及び降伏後の剛性低下率は、曲げバネは各々 0.300, 0.001, せん断バネは各々 0.500, 0.001 と仮定した。

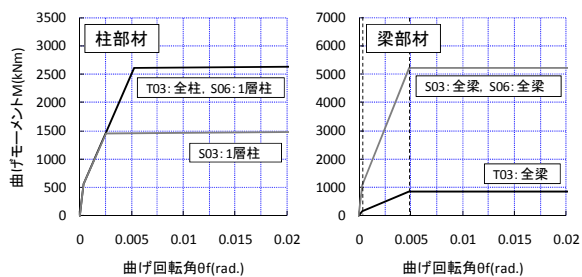


図-10 復元力特性の設定例

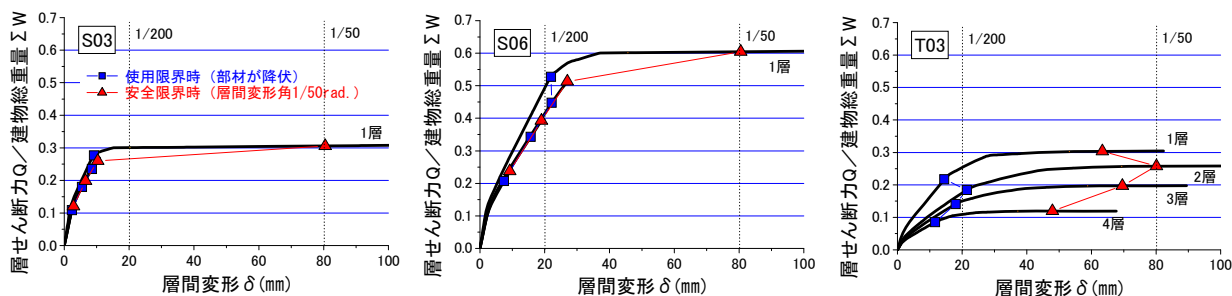


図-11 層せん断力係数—層間変形関係

#### 4.3 解析建物の耐震性能

図-11 に各骨組の層せん断力係数—層間変形関係を示す。層崩壊型の S03, S06 は1層の柱頭柱脚の降伏により層崩壊メカニズムに至り、図に示すように1層に変形が集中した。一方、全体崩壊型の T03 は全層の梁に降伏ヒンジが発生し、各層で変形が生じた。日本建築学会の「鉄筋コンクリート造建物の耐震性能評価指針(案)・同解説」<sup>4)</sup>に基づいて算出した第2種地盤の告示の応答スペクトルに対する保有耐震性能指標は S03, S06, T03 の順に、使用限界時においては 0.25, 0.48, 0.22, 安全限界時においては 0.59, 0.74, 0.86 であり、使用限界時においては S03 と T03 が、安全限界時においては S06 と T03 がほぼ同等の耐震性能を有する骨組である。

#### 4.4 損傷量・修復費用解析結果

##### (1) 総ひび割れ長さの推移

図-12 に限界耐力計算により各建物を等価一質点系に縮約したときの代表変位—荷重増分解析の各部材バネの変形から3章のモデルで求めた建物総ひび割れ長さの推移を示す。代表変位が同じ場合、使用限界以前のごく変形の小さい範囲を除いて、全体的に総ひび割れ長さは層崩壊型の建物よりも全体崩壊型の T03 のほうが大きい傾向が見られた。これは、全体崩壊型の建物のほうが部材の損傷個所が多いことが理由として挙げられる。また、代表変位が比較的大きくなると、変形が1層に集中する層崩壊型の S03, S06 にはひび割れ幅が 5.0mm 以上の大きいひび割れが生じる傾向が見られた。なお、解析でのひび割れ幅は最大変形を Takeda モデルの除荷剛性を用いて低減することにより残留変形に換算し、残留ひび割れ幅に換算している。

##### (2) コンクリート剥落面積の推移

図-13 に各建物のコンクリート剥落面積の推移を示す。評価モデルの性質上、軸力が作用しない梁部材には剥落が生じないため、柱に変形が集中する層崩壊型の骨組が全体崩壊型よりも剥落面積が大きく評価された。

##### (3) 建物の躯体修復費用の推移

図-14 に各建物の躯体修復費用の推移を示す。修復費用算出に必要な各損傷量に対する修復工法及び修復費用単価には、本多らの研究<sup>4)</sup>を参考に、表-2 に示す RC 造学校建築の修復工法及び修復費用単価の値を用いた。

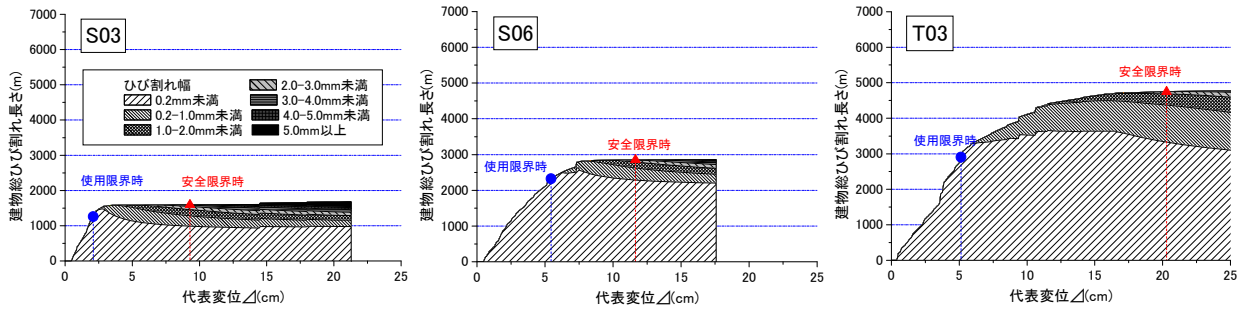


図-12 建物総ひび割れ長さ—代表変位Δ関係

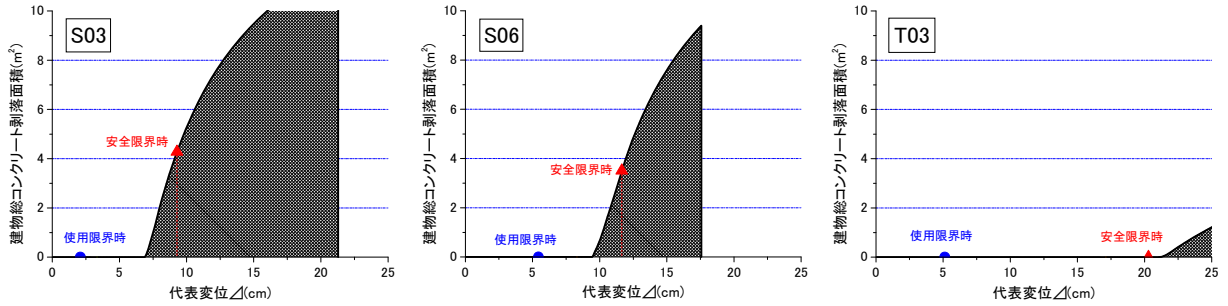


図-13 建物総コンクリート剥落面積—代表変位Δ関係

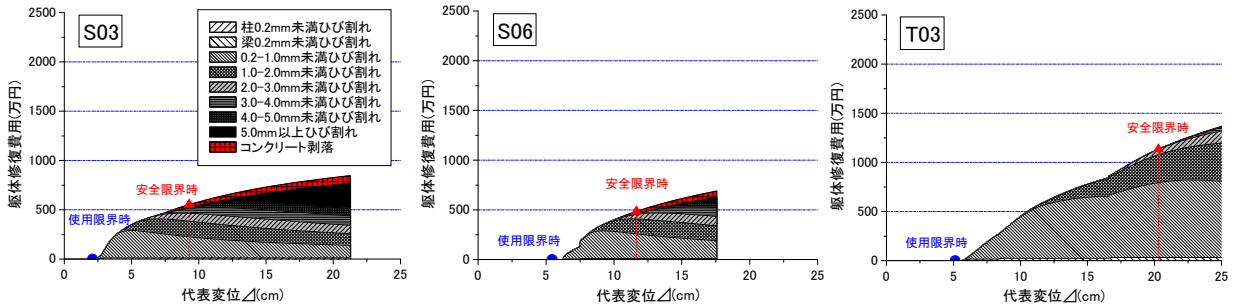


図-14 躯体修復費用—代表変位Δ関係

また、一般的なひび割れ補修工事においてはひび割れ幅が0.2mm未満であれば、特に補修を必要としない場合も多いことを考慮し、0.2mm以上のひび割れが部材せい以上生じた時点をはひび割れ補修開始時点として修復費用を算出した。図-14より、躯体の修復費用は、特に安全限界時程度まで変形が進むと、個々の部材の損傷程度が小さく損傷個所の多い全体崩壊型の建物のほうが、特定数の部材の損傷程度が大きく損傷個所の少ない層崩壊型の建物よりも修復費用が2倍以上となることもあり、修復費用としては高額になる可能性がある。

表-2 各損傷量に対する修復工法及び費用単価

損傷レベル	修復工法	修復費用比率	修復費用単価
(1) 0.2mm未満	エポキシ樹脂摺込	0.22	¥2,000 (円/m <sup>2</sup> )
(2) 0.2~1.0mm	エポキシ樹脂注入	0.81	¥7,300 (円/m)
(3) 1.0~3.0mm	エポキシ樹脂注入	1.00	¥9,000 (円/m)
(4) 3.0~5.0mm	エポキシ樹脂注入	1.44	¥13,000 (円/m)
(5) 5.0mm以上	エポキシ樹脂注入	1.67	¥15,000 (円/m)
(6) コンクリート剥落	コンクリート剥離補修	7.44	¥67,000 (円/m <sup>2</sup> )

#### 4.5 解析建物の修復性能評価の条件設定

建物用途として「集合住宅」及び「事務所」を想定し、各解析建物について、建物損害割合  $R_r$  を比較する。以下に  $R_r$  の算出に必要な条件の設定方法について説明する。

#### (1) 建物の修復費用 $C_r$ の設定

4.4(3)で躯体修復費用が算出されるが、これを仕上げや設備等の修復費用を含んだ建物全体の修復費用に換算する。ここでは、建物全体に占める躯体の資産割合(建物建設費用に占める躯体建設費用)の値を用いて、式(9)によって建物の修復費用に換算した。設備等の修復費用を含めた建物修復費用と躯体価値に対する躯体修復費用の比との関係は、必ずしも式(9)に示すような比例関係になるとは言えないが、現段階ではこれらの関係を明確に定義する十分な資料が得られておらず、仮に今回は比例関係が成り立つと仮定して建物の修復費用を算出した。図-15に各建物用途の資産割合の値を示す。

$$\text{建物の修復費用} = \frac{\text{躯体の修復費用}}{\text{躯体の資産割合}} \quad (9)$$

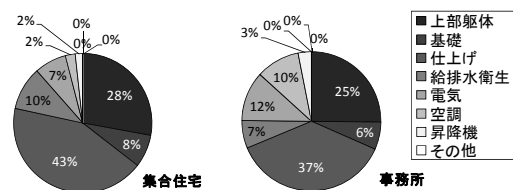


図-15 各建物用途の資産割合



(2) 建物の新築費用  $C_n$  の設定

建物の新築費用は、建物の地震リスク評価において一般的に用いられている建物の新築費用単価を参考に、集合住宅は 30 万円/m<sup>2</sup>、事務所は 24 万円/m<sup>2</sup> として設定した。これらの値から、解析建物の新築費用は集合住宅で、38,400 万円、事務所で、30,720 万円と算出された。

(2) 建物の新築日数の設定

新築日数は、加藤らが提案した<sup>6)</sup>回帰式、式(10)、式(11)より算出した新築時工期及び設計・申請日数 3 か月の合計値として算出した。これより算出された集合住宅、事務所の新築日数はそれぞれ 323 日、368 日である。

$$\text{集合住宅 } Z = 39.764 X^{0.2160} (Y_1 + 2)^{0.0684} (Y_2 + 1)^{0.1392} \quad (10)$$

$$\text{事務所 } Z = 77.035 X^{0.1504} (Y_1 + 2)^{0.1365} (Y_2 + 1)^{0.0909} \quad (11)$$

ここに、Z：建設工期(日)、X：延床面積(m<sup>2</sup>)、Y<sub>1</sub>：地下階数、Y<sub>2</sub>：地上階数、である。

(3) 建物の復旧日数の設定

建物の復旧日数は、新築日数を低減させることで算出する。新築日数に対する復旧日数の割合を  $w$  とし、 $w$  を部材の各損傷度  $i$  ( $i=O \sim V$ ) の復旧日数への影響係数  $D_i$  及び各損傷度の部材が全部材数に占める割合  $r_i$  を掛け合わせた係数として式(12)で表すと、復旧日数は式(13)で表すことができる。被災建物の復旧日数については実験データが乏しく、損傷度ごとの影響係数を精度よく決めることは難しいが、表-3 のように  $D_i$  を設定し試算を行った。表-4 に安全限界時を例に復旧日数を示す。復旧日数は損傷個所の多い全体崩壊型の建物のほうが、層崩壊型の建物より復旧日数が長くなる傾向が見られた。

$$w = \sum (D_i \times r_i) \quad (12)$$

$$\text{復旧日数} = w \times \text{新築日数} \quad (13)$$

表-3 損傷度ごとの復旧日数への影響係数  $D_i$

各損傷度の復旧日数への影響係数 $D_i$	部材の損傷度					
	O	I	II	III	IV	V
	0.0	0.0	0.1	0.2	0.8	1.0

表-4 各建物用途の復旧日数

安全限界	全部材数		O	I	II	III	IV	V	w	復旧日数 (住宅)	復旧日数 (事務所)
S03	36	部材数	8	23	0	0	5	0	0.11	36	41
		割合	22.2	63.9	0.0	0.0	13.9	0.0			
S06	36	部材数	4	27	0	0	5	0	0.11	36	41
		割合	11.1	75.0	0.0	0.0	13.9	0.0			
T03	36	部材数	0	20	4	0	12	0	0.28	90	102
		割合	0.0	55.6	11.1	0.0	33.3	0.0			

(4) 復旧日数・新築日数に伴う経済損失  $L_r$ 、 $L_n$  の設定

集合住宅は賃貸とし、月・平米当たりの賃料を 3,500 円/m<sup>2</sup>・月、事務所は年間利益を 1,500 万円と仮定し復旧日数及び新築日数との掛合せより経済損失を求めた。

4.6 解析建物の修復性能指標

以上の設定より、解析建物について建物損害割合  $R_r$  を算出し、基準地震動と設計入力地震動の比との関係を

求めた。結果を図-16 に示す。建物損害割合  $R_r$  は、強度が低い S03 は  $R_r$  の値も大きい傾向があり、安全限界時で同等の性能を持つ S06 と T03 を比較すると、集合住宅、事務所共に全体崩壊型の建物が層崩壊型の建物よりも大きい値となった。これより、基準地震動と設計入力地震動の比が同じ建物でも、崩壊型の違いにより修復性能には大きな差が現れ、現在の構造設計で奨励されている全体崩壊型の建物は層崩壊型の建物よりも修復性能の点では低く評価される可能性があることが判った。

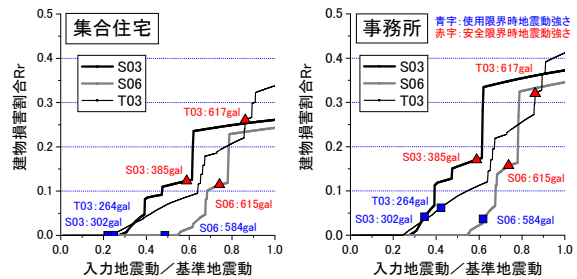


図-16 各建物の建物損害割合  $R_r$  の関係

5. まとめ

損傷量に基づいた RC 造建築物の修復性能評価法及び柱梁部材の損傷量評価モデルを提案し、骨組解析に適用した。その結果、特定層に変形が集中する層崩壊型には幅の大きなひび割れや剥落が多く生じるが、修復費用や復旧日数は損傷個所の多い全体崩壊型の建物が大きくなる傾向が見られた。また、同等の耐震性能を持つ建物でも、崩壊型の違いで修復性能には大きな差が現れた。

謝辞

本研究で用いた各建物用途の新築費用、復旧日数等の検討に際しては、東京海上日動リスクコンサルティング㈱の武田啓志氏のご示唆及びご協力をいただきました。ここに、深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 五十嵐さやか, 曹炳玫, 前田匡樹: 曲げ降伏先行型 RC 柱部材の損傷量に基づく修復性能評価モデルの構築, コンクリート工学年次論文集 第 32 巻第 2 号, pp.901-906, 2009.7
- 2) 滝本和志ほか: ひび割れデータを用いた RC 部材の損傷度評価に関する実験的研究, 土木学会論文集, No.760/V-63, pp.135-145, 2004.5
- 3) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート造建物の耐震性能評価指針(案)・同解説, 2004
- 4) 前田匡樹, 本多祐子ほか: 地震被害を受けた鉄筋コンクリート造学校建物の被災度と修復コスト, 第 11 回日本地震工学シンポジウム, CD-ROM, No.388, 2002.11
- 5) 田中康介, 前田匡樹ほか: 震災鉄筋コンクリート造建築物の残存耐震性能評価, コンクリート工学年次論文集, 第 25 巻第 2 号, pp.1225-1230, 2003
- 6) 加藤辰彦ほか: 単位工期概算式の定式化 建設工期の算定法に関する研究 (その 3), 日本建築学会計画系論文集 第 584 号, pp.115-120, 2004.10