

## I - 4 建築構造物の災害後の機能維持／早期回復を目指した 新構造システムの開発

### Development of New Structural System for Disaster Resilient Buildings

(研究期間 平成 18 年度)

構造研究グループ  
Dept. of Structural Engineering

国際地震工学センター  
International Institute of Seismology and Earthquake Engineering

福山 洋 Hiroshi Fukuyama  
岩田善裕 Yoshihiro Iwata  
喜々津仁密 Hitomitsu Kikitsu  
田尻清太郎 Seitaro Tajiri  
向井智久 Tomohisa Mukai  
齊藤大樹 Taiki Saito

The authors focused on “functional resiliency” for evaluating the structural performance of disaster resilient buildings and carried out feasibility study on the effectiveness of framework for the evaluation. The examples of procedure to evaluate the functional resiliency for several types of buildings such as office, factory and hospitals are presented in this study. Since there are still unknown factors to be made clear in the proposed framework, it is necessary to develop database on cost and period of time for the restoration based on the damage states of structural and non-structural elements.

#### [研究目的及び経過]

平成 17 年度の研究課題「次世代型構造性能評価体系の実用化モデルに関するフィージビリティスタディ」において、筆者らは地震直後の建築物が有する事業継続性能の把握、現行の構造設計体系に関する構造技術者の認識の抽出を行い、構造設計体系において機能性や修復性の評価を位置づけるための基礎的な諸知見を得た<sup>1)</sup>。この成果を踏まえて本課題では、地震直後の機能回復の程度を評価する構造性能として「機能回復性」に着目し、筆者らが提示する「機能回復性」評価のための枠組<sup>2)</sup>を実務的な観点から検討した。そして、その検討された枠組に基づく試評価による技術的な検討を行い、そこで必要となる修復期間／修復費用等に関する調査を実施した。

#### [研究内容]

建築構造物の地震後の機能維持／早期回復を目指した構造システムを構築する上で現状不足していると考えられる技術的な項目や今後実施すべき課題を明らかにするために、以下の検討を行った<sup>3)</sup>。

#### (1) 「機能回復性」評価のための枠組の実用化の検討

既往の構造性能評価体系(新構造総プロ等)における位置づけや事業継続性との関係の検討も含めた「機能回復性」評価のための枠組の検討を行った。

#### (2) 代表的な用途の建築物を対象とした試評価

修復方法、修復期間及び修復費用に関する知見やデータを既往の資料等から収集し、平成 17 年度に検討した 5 つの用途(事務所、工場・倉庫、病院、公共建築、集合住宅)のうち可能なものについて、収集された修復に関する既往の知見やデータを用いて、「機能回復性評価のための枠組」に基づいた試評価を行う。

#### [研究結果]

(1) 「機能回復性」の評価方法 「機能回復性」を評価するための修復費用と修復期間を算出する方法として、2通りの考え方を以下に示す。

① 方法 1 対象とする部位ごと(構造躯体、内外装、設備機器)の建設工事費率と被害の状況に応じた修復工事費比率を用いて、初期建設費用に対する修復工事比率を算出する。また、各部位の修復期間のうち最も長期間のものを当該建築物の修復期間とする((1)、(2)式参照)。

$$R_t = \sum_i R_i \cdot \beta_i(D_i) \quad (1)$$

$$T_t = \max[T_1(D_1), \dots, T_i(D_i), \dots, T_n(D_n)] \quad (2)$$

ここで、 $R_t$ : 修復工事費比率、 $R_i$ : 各部位の建設時工事比率、 $D_i$ : 各部位の被害状態(大破、中破、小破、軽微な被害、無被害)、 $\beta_i$ : 各部位の被害状態に応じた修復工事費比率、 $T_t$ : 修復期間、 $T_i$ : 各部位の被害状態に応じた修復期間である。

② 方法 2 部位ごとの再調達価格、標準修復期間にそれぞれ損傷度を乗じて当該部位の修復費用と修復期間を求める。そして、それらの値にそれぞれ仮設費用等を考慮した補正係数、各部位の修復が並行して実施されることを考慮した低減係数を乗ずることによって、当該建築物全体の修復費用と修復期間を求める((3)、(4)式参照)。

$$C_t = c_d \sum_i d_i \cdot C_{0i} \quad (3)$$

$$T_t = c_r \sum_i d_i \cdot T_{0i} \quad (4)$$

ここで、 $C_t$ ：当該建築物全体の修復費用、 $d_i$ ：各部位の損傷度(0~1.0)、 $C_{0i}$ ：各部位の再調達価格、 $c_d$ ：各部位の修復に要する仮設費等を考慮した補正係数、 $T_t$ ：当該建築物全体の修復期間、 $T_{0i}$ ：各部位の標準修復期間、 $c_r$ ：各部位の修復が並行して行われることを考慮した低減係数である。なお、(3),(4)式では簡単のため、修復費用と修復期間は各部位の損傷度  $d_i$  の線形形で表されると仮定した。

(2) 事務所を対象とした「機能回復性」の試評価 ここでは、例題として 5 階建て事務所(減衰定数 0.03、一次固有周期 0.5s、降伏せん断力係数 0.3)を取り上げて、上記の方法 1 による「機能回復性」試評価の概要を示す。想定する地震レベルは震度 6 強~7 程度(総入力エネルギーの速度換算値を 150kine と仮定)である。修復期間レベルは T1(3 日以内)、T2(3 週間以内)、T3(3 ヶ月以内)、T4(3 ヶ月以上)と設定し、各部位の建設時工事費比率、修復工事費比率はそれぞれ表 1,2 の通り仮定する。最大応答加速度と最大応答層間変形を略算して、その応答結果から表 3 のように各部位の被害状況と修復期間を想定した。

以上の結果をもとに得た各部位の評価結果を表 4 に示す。(1),(2)式に従えば、初期建設費に対する修復工事費比率  $R_i$  は 0.36、修復期間は T4(3 ヶ月以上)となる。

(3) 「機能回復性」を考慮した新構造システム構築への今後の課題 今後、建築構造物の地震後の機能維持/早期回復を目指した構造システムを構築するためには、既往の災害復旧等に関するデータの収集を行うほか、構造部材/非構造部材を対象とした実大の構造実験による損傷状態の把握を通して、上記の試評価を通して明らかになった現状不足している技術的な項目(表 1~3 で仮定した諸比率や応答に応じた損傷状態の評価等)を明らかにしていく必要がある。

[参考文献]

- (社)日本建築構造技術者協会：構造物の地震後の事業継続性および現行設計法の改良点に関する調査 報告書、2006年2月。
- 福山、喜々津、向井、岩田、斉藤：震災後における建築物の迅速な機能回復に向けて、独立行政法人建築研究所講演会テキスト「建築・住宅・都市を巡る先導研究の現状と展望」、pp.83-94、2007年3月。
- (社)日本建築構造技術者協会：建築構造物の地震後の機能回復性評価のための課題調査・検討 報告書、2007年2月。

表 1 各部位の建設時工事費比率

| 部位   |        | 建設時工事費比率 |
|------|--------|----------|
| 構造躯体 |        | 0.25     |
| 外装材  | 窓ガラス   | 0.10     |
|      | 壁面     | 0.15     |
| 内装材  | 天井     | 0.05     |
|      | 内壁     | 0.05     |
|      | その他    | 0.05     |
| 設備機器 | 空調衛生機器 | 0.15     |
|      | 配線・配管  | 0.10     |
|      | 昇降機    | 0.10     |

表 2 被害状況に応じた復旧工事費比率

| 部位   |        | 大破   | 中破   | 小破   | 軽微   |
|------|--------|------|------|------|------|
| 構造躯体 |        | 0.50 | 0.20 | 0.05 | 0    |
| 外装材  | 窓ガラス   | 0.50 | 0.20 | 0.05 | 0.01 |
|      | 壁面     | 0.50 | 0.20 | 0.05 | 0    |
| 内装材  | 天井     | 0.50 | 0.20 | 0.05 | 0.01 |
|      | 内壁     | 0.50 | 0.20 | 0.05 | 0    |
|      | その他    | 0.50 | 0.20 | 0.05 | 0    |
| 設備機器 | 空調衛生機器 | 0.50 | 0.20 | 0.05 | 0.01 |
|      | 配線・配管  | 0.50 | 0.20 | 0.05 | 0.01 |
|      | 昇降機    | 0.50 | 0.20 | 0.05 | 0.01 |

表 3 応答に応じた被害状況と修復期間の想定 (窓ガラス、壁面、天井の例)

| 部位  |      | 応答       |         | 被害状況 | 修復期間 |
|-----|------|----------|---------|------|------|
|     |      | 層間変形角    | 応答加速度   |      |      |
| 外装材 | 窓ガラス | 1/400 以上 |         | 小破   | T1   |
|     |      | 1/200 以上 |         | 中破   | T2   |
|     |      | 1/100 以上 |         | 大破   | T3   |
|     | 壁面   | 1/400 以上 |         | 小破   | T1   |
|     |      | 1/200 以上 |         | 中破   | T2   |
|     |      | 1/100 以上 |         | 大破   | T3   |
| 内装材 | 天井   |          | 0.6G 以上 | 小破   | T1   |
|     |      |          | 1.0G 以上 | 中破   | T2   |
|     |      |          | 1.5G 以上 | 大破   | T4   |

表 4 各部位ごとの評価結果

| 部位   |        | $R_i$ | $D_i$ | $\beta_i$ | $T_i$ |
|------|--------|-------|-------|-----------|-------|
| 構造躯体 |        | 0.25  | 大破    | 0.50      | T4    |
| 外装材  | 窓ガラス   | 0.10  | 大破    | 0.50      | T3    |
|      | 壁面     | 0.15  | 大破    | 0.50      | T3    |
| 内装材  | 天井     | 0.05  | 中破    | 0.20      | T2    |
|      | 内壁     | 0.05  | 大破    | 0.50      | T3    |
| 設備機器 | 空調衛生機器 | 0.15  | 中破    | 0.20      | T2    |
|      | 配線・配管  | 0.10  | 中破    | 0.20      | T2    |
|      | 昇降機    | 0.10  | 中破    | 0.20      | T2    |