

**PROCEEDINGS
OF
Development on New Structural Performance
Evaluation System
for Disaster Resilient Buildings**

**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
成果報告書**



Tomohisa MUKAI, Hiroshi FUKUYAMA, Koichi MORITA, Taiki SAITO, Hiroto KATO
向井智久, 福山洋, 森田高市, 齊藤大樹, 加藤博人

January 28, 2011
Tokyo

Building Research Institute (BRI)

建築研究所

Published in January 2011 by the Building Research Institute, Incorporated Administrative Agency
1, Tachihara, Tsukuba, Ibaraki, Japan 305-0802

Phone: +81-29-864-2151 Fax: +81-29-864-2989

Copyright ©2010 by the Building Research Institute, Incorporated Administrative Agency, Japan
All rights reserved; no part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or
transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording,
scanning, or otherwise, without the prior written permission of the publisher or the author(s).

**PROCEEDINGS
OF
Development on New Structural Performance
Evaluation System
for Disaster Resilient Buildings**

**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
成果報告書**



Tomohisa MUKAI, Hiroshi FUKUYAMA, Koichi MORITA, Taiki SAITO, Hiroto KATO
向井智久, 福山洋, 森田高市, 齊藤大樹, 加藤博人

January 28, 2011
Tokyo

Building Research Institute (BRI)
建築研究所

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

目次

第1編 機能継続性を考慮した構造性能評価システム -背景と概要-

第1章 はじめに

第2章 近年における地震被害の特徴

第3章 研究プロジェクトの概要と検討体制

3.1 研究プロジェクトの概要

3.2 機能継続性を考慮した構造設計の考え方

3.3 検討体制

第2編 機能継続性を考慮した構造性能評価システムに資するデータベースの構築

第1章 データベースの特性

1.1 データベースの構成

1.1.1 データベースの属性と本検討における対象部位

1.1.2 データベースフォーマット（評価項目）

1.1.3 データベースの利用

第2章 損傷評価データベースとワークシート

2.1 構造部材

2.1.1 損傷評価データベース

2.1.2 損傷評価ワークシート

2.2 非構造部材

2.2.1 損傷評価データベース

2.2.2 損傷評価ワークシート

2.3 設備機器

2.3.1 損傷評価データベース

2.4 什器

2.4.1 損傷評価データベース

第3章 修復性評価データベースとワークシート

3.1 基本事項

3.1.1 使用目的

3.1.2 基本仮定

3.2 修復性評価データベースの基本構成と修復費用と修復時間の算出

3.2.1 基本構成及び修復性評価ワークシートとの関係

3.2.2 修復費用の算出式

3.2.3 修復時間の算出式

3.3 修復人工や費用係数に基づく算出法の特徴

3.4 構造部材

- 3.4.1 修復性評価データベース
- 3.4.2 修復性評価ワークシート
- 3.5 非構造部材
 - 3.5.1 修復性評価データベース
 - 3.5.2 修復性評価ワークシート
- 3.6 設備機器
 - 3.6.1 修復性評価データベース
 - 3.6.2 修復性評価ワークシート
- 第4章 機能性評価データベースとワークシート
 - 4.1 構造部材
 - 4.1.1 機能性評価データベース
 - 4.1.2 機能性評価ワークシート
- 第5章 データベース整備のための実大実験概要
 - 5.1 実験背景
 - 5.2 実験概要
 - 5.2.1 RC 外壁
 - 5.2.2 内壁・天井
 - 5.2.3 設備機器
 - 5.3 加力計画
 - 5.4 計測計画
 - 5.5 実験結果
 - 5.5.1 構造部材
 - 5.5.2 非構造部材
 - 5.5.3 設備機器
- 第6章 まとめと今後の課題

第3編 機能継続性を考慮した構造性能評価システムを用いた評価事例

- 第1章 はじめに
- 第2章 対象建築物と検討方法
- 第3章 8階建てSRC造病院
 - 3.1 建築物概要
 - 3.2 地震応答解析結果概要
 - 3.3 層間変形角に基づく部材角の推定
 - 3.4 建築物の損傷状態評価と修復費用・修復期間の評価
 - 3.4.1 建築構造部材、建築非構造部材の修復費用
 - 3.4.2 建築設備の修復費用
 - 3.4.3 修復費用・期間のまとめ
- 第4章 12階建てS造事務所
 - 4.1 建築物概要

- 4.2 地震応答解析結果概要
- 4.3 層間変形角に基づく部材角の推定
- 4.4 建築物の損傷状態評価と修復費用・修復期間の評価
 - 4.4.1 各部位の損傷評価基準と修復費用・修復期間の算定基準
 - 4.4.2 工期の算定方針
 - 4.4.3 修復費用・期間の算定結果

第5章 13階建てRC造集合住宅

- 5.1 建築物概要
- 5.2 地震応答解析結果概要
- 5.3 層間変形角に基づく部材角の推定
 - 5.3.1 材料の定数
 - 5.3.2 計算方法
 - 5.3.3 梁の部材角
 - 5.3.4 柱の部材角
 - 5.3.5 地震時の柱・梁部材角一覧（X方向）
- 5.4 建築物の損傷状態評価と修復費用・修復期間の評価
 - 5.4.1 建築物の損傷状態評価
 - 5.4.2 修復費用の算定
 - 5.4.3 修復期間の評価
- 5.5 インフラ停止と建物機能への影響評価について

第6章 まとめと今後の課題

第4編 機能継続性を考慮した構造性能評価システムを用いた構造性能表示手法に関する検討

第1章 はじめに

- 1.1 研究の目的
- 1.2 対象建築物

第2章 集合住宅

- 2.1 はじめに
- 2.2 地震時に確保すべき機能
 - 2.2.1 生活状況と生活に対する要求
- 2.3 地震時に想定される建物各部位の損傷と機能低下の関係
- 2.4 構造性能表示事例
 - 2.4.1 早期回復のための普及促進のあり方
 - 2.4.2 普及促進ツールの検討

第3章 病院

- 3.1 はじめに
- 3.2 地震時の機能回復・早期回復
- 3.3 構造性能表示事例

第4章 事務所

- 4.1 はじめに
 - 4.2 地震時の機能維持・早期回復
 - 4.2.1 地震時に確保すべき機能
 - 4.3 構造性能表示事例
 - 4.3.1 はじめに
 - 4.3.2 シナリオ作成の基本条件と作成事例
- 第5章 まとめと今後の展望

第5編 全体のまとめ

第1編

機能継続性を考慮した 構造性能評価システム -背景と概要-

2011/01/28

BRI 研究成果報告会

第1編 機能継続性を考慮した構造性能評価システムの開発 —背景と概要—

1. はじめに

建築物の構造設計においては、災害時における人命の安全は最も重要な目標であり、最低基準である建築基準法にもそのために遵守すべき規定が設けられている。建築基準法では、地震に対しては、希に発生する地震に対する機能確保と極希に発生する地震に対する安全性の確保が要求されている。ここでは、極希に発生する地震後の建築物の機能確保や損傷制御については要求されていないが、それは憲法で定める「財産の自由の精神に則り所有者が（法律の要求を下回らない範囲で）適切に設定する」こととなっている。

しかしながら、一般に所有者は建築物の地震後の機能性を判断するに十分な情報を持ち合わせていないため、そのような観点からの建築物の性能に対する要求はこれまではあまり見られなかった。すなわち、建築物の発注者が、このような観点で建築物の性能を要求することは極めて少なかった。その結果、過去の地震被害において倒壊は免れ人命は確保されたが、建築物の損傷が大きいため、長期間にわたって経済活動への支障や莫大な損失が生じるケースや、生活困窮（住に関する不便や精神的な苦痛）を強いられるような事態が問題視された。そのため、構造設計において、「建築物の機能を如何に維持するか」、もしくは、「低下した機能を如何に迅速に回復させるか」に関する検討の必要性が認識されるようになってきた。

本編は、上記のような問題の解決を最終的な目標とし、そのために必要な研究の第一歩として（独）建築研究所が実施した研究プロジェクト「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（平成 19-21 年度）」の背景と概要について取り纏めたものである。

2. 近年における地震被害の特徴

1995年兵庫県南部地震¹⁾では、多数の建築物が倒壊して多くの人命が失われただけでなく、さまざまな都市機能が麻痺するとともに避難所など自宅外での生活が長期間強いられる結果となった。これは、住宅建築物の多くが構造部材や非構造部材、設備機器等に大きな損傷を受け、また、電気・ガス・水道などのインフラが損傷を受けた結果として、倒壊を免れた多くの建築物においても「すまい」としての機能が失われたためである。さらに、新耐震設計基準に基づいて設計された建築物において、法律の要求通りに倒壊を免れ人命は守ったが、構造躯体の損傷が激しくその修復費用が極めて高額であったことから、結局は取り壊され新しく建て直されるというケースも少なからず見られた（例えば写真2.1）。このような事例は、設計の時点で損傷制御や機能回復という観点を持つことの重要性を示している。

また、2001年芸予地震、2003年十勝沖地震、2005年宮城県南部の地震、2007年新潟県中越沖地震などの最近の地震では大規模空間天井の落下被害（写真2.2²⁾）、2005年の福岡県西方沖地震³⁾などでは事務所建築物の窓ガラスの被害がそれぞれ顕在化しており、これらの非構造部材の被害によっても人命への危険性が生じる上に被災後の建築物の使用も制限されるような事例が散見されている。さらに、福岡県西方沖地震では、集合住宅の柱・梁などの構造耐力上主要な部材は無被害であるが、非構造壁に大きなひび割れが発生し、また、ドアが変形して開閉不能となるような建具の被害等が生じ、住宅としての機能の喪失によって被災後の継続的な供用が困難になることが問題として指摘された（写真2.3）。このような被災後の機能喪失については、1978年宮城県沖地震や1995年兵庫県南部地震の際にも指摘されていたことではあるが、残念ながら適切な対応はなされてこなかった。



写真 2.1 1995 年兵庫県南部地震により損傷を受けた共同住宅



写真 2.2 2007 年新潟県中越沖地震
による大規模天井の落下



写真 2.3 2005 年福岡県西方沖
地震による共同住宅廊下側
非構造壁およびドアの損傷

さらに、2004年新潟県中越地震では、半導体工場などの生産設備の多くが被害を受け、設備等の物理的損失だけでなくサプライチェーンにより製品を供給している他企業への影響が甚大となる事態も見られた。この地震の経験から、2005年に内閣府中央防災会議が「事業継続ガイドライン第1版」⁴⁾を公表し、大地震による事業停止などの影響を最小限に留めるために、被災した建築物の復旧見通し等を考慮した事業継続計画（BCP：Business Continuity Plan（図2.1））の策定を各企業に求めることとなった。BCPは、災害時においても企業の重要な業務を中断させず、もしくは、万が一事業活動が中断しても目標とする復旧時間内に重要な機能を回復させることにより、重大な損益や企業評価の低下等を避けるための戦略である。このBCPに加え建築物の耐震化率を向上させることにより、想定される東海地震、東南海・南海地震、および首都直下地震などによる死者数と被害額をほぼ半減させることが期待されている。

なお、この後の2007年に発生した新潟県中越沖地震においても、自動車エンジンの精密機械工場が被災し、その部品を供給されている国内の自動車生産ライン全てがストップするという事態が見られたことから、BCPの必要性がさらに認識されることとなった。

これらのような、近年発生した地震による建築物の被害事例を見ると、建築物の所有者や使用者が災害時に生じる状況を想定できておらず、そのため災害後の対策も立てられていない実態が浮き彫りとなってきた。

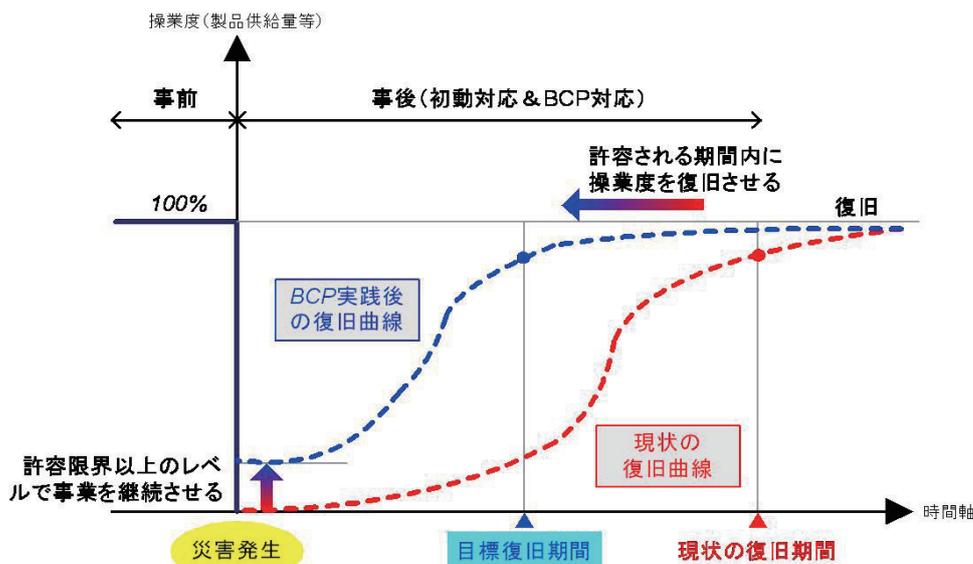


図2.1 事業継続計画の概念図

3. 研究プロジェクトの概要と検討体制

3.1 研究プロジェクトの概要

今後の構造設計においては、従来の構造躯体の耐震余裕度の評価だけでなく、地震発生後の機能維持や早期回復に関係する非構造部材や設備機器を含めた総合的な評価が必要になると考え、(独) 建築研究所は、(社) 日本建築構造技術者協会や NPO 法人耐震総合安全機構などと共に、地震災害発生後の機能維持や早期回復が可能となるような建築構造物の設計・評価体系（以降、「新たな構造的評価システム」と呼ぶ）の構築を目的とする研究課題「建築構造物の災害後の機能維持／早期回復を目指した構造的評価システムの開発」に 2007 年から 3 年間取り組んだ。特にこの研究プロジェクトにおいては、図 3.1 下図の評価システムに示す、「新たな耐震設計の枠組み (3.2 参照)」、「データベース (第 2 編参照)」、及び「性能表示資料の作成 (第 4 編参照)」に着目した検討を行った。これらの検討に当たっては、構造部材だけでなく、非構造部材や設備機器、什器を評価対象として地震災害後におけるそれらの状況を予測し、そこから、建築物の機能がどの程度阻害され、業務や生活の困窮度がどの程度になるか（機能喪失のシナリオ）にも着目した。また、建築物のオーナーやユーザーが重視する諸観点（企業の事業継続性や社会的責任、住宅の機能維持等）を積極的に耐震性能の評価尺度に導入できるよう、地震後の建築物の修復費用や時間（機能回復のシナリオ）も考慮した。さらに、評価者である構造設計者・技術者にとって実施可能な評価システムである（第 3 編参照）ことに加え、一般の方々が被災後の状態を理解できる構造的な明快かつリアリティのある表示手段を提供することを念頭に置いて、工学的な検討ができるような共通の考え方や工学情報の整理を行い、また、建築物のオーナーやユーザーに提供すべき有用な情報の伝達ツールやコンテンツについて検討を行った。



図 3.1 本研究課題において検討した新たな構造的評価システムの全体像

中長期的には、建設省総合技術開発プロジェクト「新建築構造体系の開発（平成 7-9 年）」で構築された「性能指向型構造設計体系⁵⁾」の考え方をベースとして構造設計制度・指針類の構築等をめざす必要があるが、本研究課題での検討内容はその一環となる耐震性能評価システムの開発に位置づけられる。

3.2 機能継続性を考慮した構造設計の考え方

図 3.2 に、本研究課題で構築された「構造的評価システムのフロー」を示す。これは、機能の継続性や早期回復性評価の考え方に関する共通認識を得るために構築されたフローで、下記に示す(1)～(7)の項目からなる。

(1) 応答値の推定

機能継続性の評価に用いる構造計算方法は、図 3.2 に示すように、時刻歴応答解析や限界耐力計算などの比較的精緻な方法に因ることとし、変位や加速度といった各層の応答値が工学量として得られるものとする。また、応答値が設計目標である限界値を上回らないことも既に検証済みであるものとする。ここまでは従来の構造設計の範囲である。

(2) 損傷状態の推定

次に、層の応答値から、構造部材、非構造部材、設備、什器等の応答値を求め、さらにそれらの損

傷状態を推定する。これを行うためには、各要素の応答値と損傷状態の関係に関するデータベースを構築（第2編参照）しておく必要がある。

(3) 機能喪失の推定

また、(2)の損傷状態から、建築物が当初から保有している機能のうち、どの機能にどの程度の支障を来すかの推定を行う。これを行うためには、各要素の損傷状態と建築物の機能との関係に関するデータベースを構築しておく必要がある。

ここまでの「機能喪失のシナリオ」であり、当該建築物にどのような損傷が生じ、それによってどの機能がどの程度喪失されるかが評価される。

(4) 修復方法の設定

次に、災害によって喪失すると推定された建築物の機能について、それを被災後にどのような修復方法によって回復させるかの検討を行う。このためには、損傷の程度に応じた修復方法に関するデータベース（第2編参照）が必要である。

(5) 修復費用・修復期間の推定

また、喪失した機能を回復させるための修復に要する期間と費用の推定を行う。このためには、各修復方法について、損傷の程度に応じた期間と費用に関するデータベース（第2編参照）が必要である。

以上の(4)~(5)の段階が、「機能回復のシナリオ」であり、機能回復のために必要な修復方法、修復費用、修復期間が評価される。

なお、(2)~(5)のデータベースの情報が揃うことにより、設計者は、所有者・使用者が望まない事態が生じないように、予め応答値を低減させる等の対処方法を考え、機能継続のための方策を提案できるようになる。

(6) ライフラインの情報

ライフラインについては、構造設計者が直接コントロールできる範疇ではないが、被災後の生活や事業に大きな影響を及ぼすことから、それらがどのような状況になるかについての情報を蓄積しておく必要がある。

(7) 生活困窮度や事業困難度の評価

(3)の建築物機能への影響度の情報、(5)の修復費用や修復期間の情報、(7)のライフラインへの影響の情報などを考え合わせ、生活がどの程度困窮するか、また、事業の継続がどの程度困難となるかについての推定を行い、これを一般市民が理解できるような言語で説明する。この段階が、「生活困窮度・事業困難度の評価」である。

本プロジェクトと同様な目的で性能に基づく耐震設計指針の作成を目指して検討を行っているATC-58⁶⁾では、人的損失、建築物の損傷による直接的な経済損失、および、建築物の機能が止まることによる間接的な経済損失を評価するために、低下した建築物の機能が回復するまでに要する時間と費用を評価する方法について検討が行われている。ちなみにATC-58では、これらの評価指標を3D (=Death (人的安全性)、Dollar (修復費用)、Downtime (修復期間)) と称している。

しかしながら、図3.2に示すように、機能回復に要する時間とコストは生活困窮や事業困難を考えるために必要な一部の情報ではあるが、必ずしも十分な情報とは言えず、これのみでは人々が具体的な対策を施す動機付けになるとは考え難い。重要なことは、一般市民が被害のシナリオを認識し、どのような状況になるかを理解することである。そうしないと、漠然とした要求は漠然としたままで明確な要求とはならず、依然として具現化しない。

このために、図 3.2 のように「機能喪失のシナリオ」、「機能回復のシナリオ」、および、「生活困窮・事業困難のシナリオ」を明らかにする必要がある、それらの状況説明によって初めて生活がどのくらい困窮するか、事業の継続がどのくらい困難となるかの判断ができるものと考えられる。この点が、新たな構造的評価システムの最も大きな特徴であると考えられる。

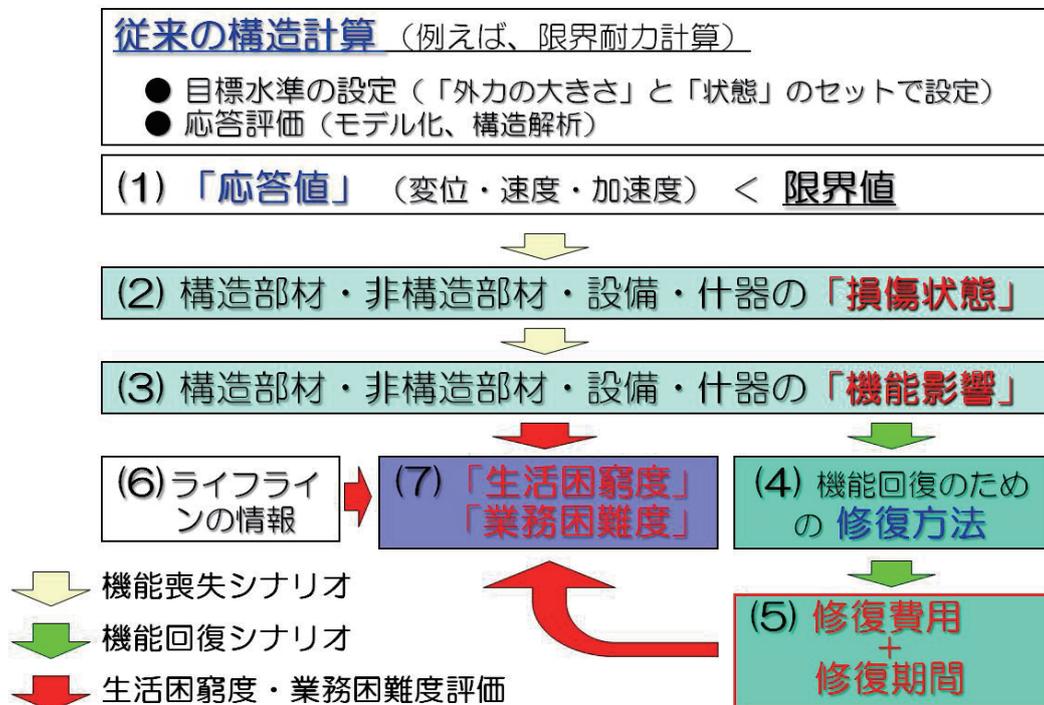


図 3.2 新たな構造的評価システムフロー

図 3.3 に建築物の荷重—変形関係と、安全性および機能継続性が対象とする範囲の関係を示す。安全性は軸力支持能力を喪失するといった復元力特性上における終局のある点として示されるが、機能継続性は、損傷が始まる点（損傷限界点）から安全性を喪失する点（安全限界点）までの極めて広い範囲（図 3.3 中の楕円の範囲）が対象となる。すなわち、機能継続性評価が対象とする範囲は、安全性評価が対象とする範囲よりもはるかに広いが、これまで長年「構造安全性」に関して実施されてきた研究に比べると、「機能継続性」に関して得られている技術的知見の蓄積は少ない。このことから、今後長期間に渡って機能の維持や早期回復性に関する研究や検討を継続し、この分野の技術の向上に努めていく必要がある。

英語では、機能回復性の高い建築物のことを、**Structural Resilient Building** と呼ぶ。**Resilient** とは「立ち直りの早い」という意味であり、災害後の早期回復性を表すには最も適した用語である。この **Resilient** が評価されると、人々が、機能継続性・回復性に関わる個人の要求と建築物の保有性能とが合致しているかどうかを確かめられるようになる。

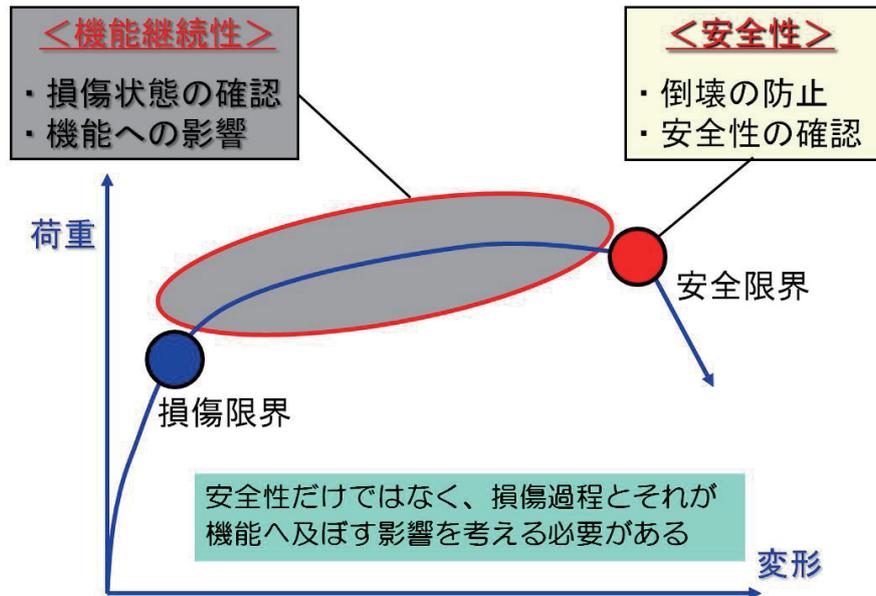


図3.3 安全性と機能継続性の関係

3.3 検討体制

検討体制は全体委員会の下に、サブテーマ1（新たな構造性能評価システムフローの構築と試評価の実施）、サブテーマ2（新たな構造性能評価システムに資するデータベースの構築）、サブテーマ3（新たな構造性能評価システムで用いる構造性能表示手法の検討）および実験WG（データベースに必要なデータの収集のための実大実験の計画・実施）を構成した。以下に委員会構成と委員リストを示す。なお、所属は平成21年3月現在のものである。

全体委員会（建築研究所が設置した委員会）

委員長：東京大学 塩原等

委員：慶應義塾大学 坂本功

委員：東京理科大学 衣笠秀行

委員：日本女子大学 石川孝重

委員：文化女子大学 久木章江

委員：芝浦工業大学 平山昌宏

委員：(株)前川建築設計事務所 中田準一

委員：(株)日建設計 浅野美次

委員：(財)日本建築センター 大越俊男

委員：(株)日本ERI 深田良雄

委員：日本建築設備診断機構 安孫子義彦

委員：国土交通省官庁営繕部設備環境課 伊藤誠恭

委員：(財)日本住宅・木造技術センター 岡田恒

委員：国土交通省国土技術政策総合研究所 西山功

幹事：(独)建築研究所 飯場正紀（構造研究グループ）

幹事：(独)建築研究所 福山洋（構造研究グループ）

幹事 : (独) 建築研究所 森田高市 (構造研究グループ)
 幹事 : (独) 建築研究所 岩田善裕 (構造研究グループ)
 幹事 : (独) 建築研究所 喜々津仁密 (構造研究グループ)
 幹事 : (独) 建築研究所 田尻清太郎 (構造研究グループ)
 幹事 : (独) 建築研究所 斉藤大樹 (国際地震工学センター)
 幹事 : (独) 建築研究所 向井智久 (国際地震工学センター)
 幹事 : (独) 建築研究所 脇山善夫 (建築生産研究グループ)
 幹事 : (独) 建築研究所 山海敏弘 (環境研究グループ)
 オブザーバ : (株)日本設計 安達和男
 オブザーバ : 清水建設(株)技術研究所 金子美香
 オブザーバ : 応用アール・エム・エス(株) 兼森孝
 オブザーバ : 国土館大学 木内俊明
 オブザーバ : 小林構造研究室 小林紳也
 オブザーバ : (有)タナカ建築設備 田中孝
 オブザーバ : NPO 法人耐震総合安全機構 仲田潔
 オブザーバ : (株)日建設計 VM 室 松浦孝
 オブザーバ : (有)共同設計・五月社 三木哲
 オブザーバ : (株)エヌ・ワイ・ケイ 水上邦夫
 オブザーバ : 宮城設計一級建築士事務所 宮城秋治
 オブザーバ : 矢野建築コンサルタンツ 矢野克巳
 オブザーバ : NPO 法人耐震総合安全機構 山田周平

サブテーマ1 機能継続性を考慮した構造性能評価システムフローの構築と試評価の実施
 ((社) 日本建築構造技術者協会 (以降JSCA) に設置された委員会)

主査 : JSCA 深田良雄
 委員 : JSCA 大越俊男
 委員 : JSCA 稲田達夫
 委員 : JSCA 溜正俊
 委員 : JSCA 森伸之
 委員 : JSCA 田村和夫
 委員 : JSCA 服部敦志
 委員 : JSCA 後閑章吉
 オブザーバ : (独) 建築研究所 森田高市
 オブザーバ : (独) 建築研究所 福山洋
 オブザーバ : (独) 建築研究所 向井智久
 オブザーバ : (独) 建築研究所 岩田善裕
 オブザーバ : (独) 建築研究所 田尻清太郎

サブテーマ2 機能継続性を考慮した構造性能評価システムに資するデータベースの構築
 (NPO法人耐震総合安全機構 (以降、JASO) に設置された委員会)

主査 : 東京大学 塩原等
委員 : 東京理科大学 衣笠秀行
委員 : JASO 中田準一
委員 : JASO 浅野美次
委員 : JASO 安達和男
委員 : JASO 岡部則之
委員 : JASO 瀧川公策
委員 : JASO 平山昌宏
委員 : JASO 田中孝
委員 : JASO 金子美香
委員 : JASO 兼森孝
委員 : JASO 矢野克巳
委員 : JASO 木内俊明
委員 : JASO 小林紳也
委員 : JASO 松浦孝
オブザーバー : (独) 建築研究所 向井智久
オブザーバー : (独) 建築研究所 福山洋
オブザーバー : (独) 建築研究所 森田高市
オブザーバー : (独) 建築研究所 岩田善裕
オブザーバー : (独) 建築研究所 田尻清太郎
オブザーバー : (独) 建築研究所 脇山善夫

サブテーマ3 機能継続性を考慮した構造性能評価システムで用いる構造性能表示手法の検討 (建築研究所が設置した委員会)

主査 : 日本女子大学 石川孝重
委員 : 文化女子大学 久木章江
委員 : 日本女子大学 平田京子
委員 : 武蔵野大学 伊村則子
委員 : (株)日建設計 (医療施設近代化センター) 岩堀幸司
主幹事 : (独) 建築研究所 斉藤大樹
幹事 : (独) 建築研究所 福山洋
幹事 : (独) 建築研究所 森田高市
幹事 : (独) 建築研究所 喜々津仁密
幹事 : (独) 建築研究所 向井智久
幹事 : (独) 建築研究所 岩田善裕
幹事 : (独) 建築研究所 田尻清太郎
幹事 : (独) 建築研究所 中川貴文
オブザーバー : 矢野建築コンサルタンツ 矢野克巳
オブザーバー : JASO 山田周平
オブザーバー : JASO 仲田潔

アドバイザー : (有)共同設計・五月社 三木哲
アドバイザー : (株)エヌ・ワイ・ケイ 水上邦夫
アドバイザー : 宮城設計一級建築士事務所 宮城秋治

実験WG データベースに必要なデータの収集のための実大実験の計画・実施（建築研究所が設置した委員会）

主査 : 東北大学 前田匡樹
委員 : 東京理科大学 衣笠秀行
委員 : 芝浦工業大学 隈澤文俊
委員 : 芝浦工業大学 平山昌宏
委員 : 東京大学 高橋典之
委員 : (株) 日建ハウジングシステム 浅野美次
委員 : (株) 日本設計 安達和男
主幹事 : (独) 建築研究所 加藤博人
幹事 : (独) 建築研究所 福山洋
幹事 : (独) 建築研究所 森田高市
幹事 : (独) 建築研究所 向井智久
幹事 : (独) 建築研究所 岩田善裕
幹事 : (独) 建築研究所 田尻清太郎
幹事 : (独) 建築研究所 脇山善夫
幹事 : (独) 建築研究所 斉藤大樹
幹事 : (独) 建築研究所 山海敏弘

参考文献

- 1) 建築研究所：兵庫県南部地震被害調査，1995.1
- 2) 建築研究所：平成 19 年（2007 年）新潟県中越沖地震建築物被害調査報告，2007.10
- 3) 日本建築学会：2005 年福岡県西方沖地震災害調査報告，2005.9
- 4) 内閣府防災担当 企業評価・業務継続ワーキンググループ：事業継続ガイドライン第一版－わが国企業の減災と災害対応の向上のために－，2005.8
- 5) 建築研究振興協会：鉄筋コンクリート構造建築物の性能評価ガイドライン，2000.7
- 6) ATC-58, Guidelines for Seismic Performance Assessment of Buildings, 50% Complete Draft, (<http://www.atcouncil.org/pdfs/ATC-58-50percentDraft.pdf>), ATC, 2009.4

第 2 編

機能継続性を考慮した

構造性能評価システムに

資するデータベースの構築

2011/01/28

BRI 研究成果報告会

第2編 機能継続性を考慮した構造性能評価システムに資するデータベースの構築

1. データベースの特性

本編における検討の目的は、第1編で示された新たな構造性能評価システムフローに資するデータベース（以降DB）を構築することで、地震後の建築物のシナリオを作成するための必要な情報を評価者に提供し、ここでの各性能評価を円滑に行うことである。具体的には、地震後の応答に基づく損傷状態の根拠となるDB（損傷評価DB）、各部位の機能性の低下による地震後発生する不具合事象の根拠となるDB（機能性評価DB）、そしてその機能性低下を回復させるために必要な修復にかかる費用および時間（それらに対応する指標）算定の根拠となるDB（修復性評価DB）をそれぞれ構築する必要がある。ここでは、これらのDBの汎用性を考慮し、建築物の各部位ごとに表示することとした。

部位毎にDBを構築するためこれらの整備には膨大なデータ数を必要とする。現時点で全てのデータを網羅的に収集することは不可能であるが、本手法の精度の向上を目指す場合は、今後もデータ収集は不可欠であり長期的な課題である。一方、本課題においては、DBに必要な項目を明らかにし、かつそのデータの根拠を明確にしたDBの構築を目下の目標とする。具体的には、DBのフォーマット（評価項目）を定め、そのフォーマットに従ったデータ収集を試みることでDBの整備方法を示すことである。

1.1 データベースの構成

1.1.1 データベースの属性と本検討における対象部位

ここではDBを構成するにあたって、まず建築物を構成する部位の分類を行い、DB対象部位の属性を決定する。部位はまず、構造部材、非構造部材、設備、什器に分類し、以下の①から③の手順で行った。

分類①：建築物の各部位を、構造部材、非構造部材、設備（配管も含む）、什器の4つに分類する。

（但し、修復性評価DBでは前者3つを扱う）

分類②：①で分類された部位の形状や配置など基本特性を特定できるよう分類する。（構造部材→RC造→柱、非構造部材→外装材→壁、設備機器→機械設備→給水設備→高置水槽、什器→床応答の等価振動数→床面摩擦係数など）

分類③：②で分類された各部位を構工法や仕様など、損傷性状の違いを反映できるよう分類する。（柱→打ち放し仕上げ、壁→RC造壁→タイル仕上げなど）

以下に本検討において対象とした部位を示す。

1) 構造部材

本研究で対象とする建築物の用途は、共同住宅、事務所、病院である。この3つの用途における典型的な構造部材の種別は、鉄筋コンクリート（以降RC）造および鉄骨（以降S）造であり、その構成部位は以下に示すものである。

RC造・・・柱・梁・耐力壁とこれらの接合部

S造・・・柱・梁・ブレースとこれらの接合部

上記以外に、構造種別としては鉄骨鉄筋コンクリート（以降SRC）造も想定されるが、現状はRC造の範疇として取り扱うものとする。なお杭・基礎は、本研究においては言及しないものとする。

2) 非構造部材

上記で挙げた3つの建築物で用いられている非構造部材は下記の表のものである。

表 1.1 対象建築物を構成する非構造部材

	部位	部材-1	部材-2
1、事務所	外壁	カーテンウォール	
	開口部	アルミ製内開き打ち倒し窓	透明フロートガラス
	内壁	軽鉄下地+石膏ボード張仕上げ(ピン工法)	
		鋼製フラッシュ扉	
	天井	耐水石膏ボード下地+外部用岩綿吸音板貼	
2、病院 3、集合住宅	外壁	コンクリート打放下地+タイル圧着貼仕上げ	
	内壁	軽鉄下地+石膏ボード貼仕上げ(GL工法)	
	天井	システム天井	

3) 設備機器

対象とする建築物用途と規模とから、採用される可能性が高い建築設備システムの概要を示す。

a) 給排水衛生消火設備

(1) 給排水衛生設備

水道本管から引き込み受水槽に一旦貯水し、揚水ポンプで高置水槽に揚水し、高置水槽から重力式で各所に給水する。

(2) 給湯設備

給湯専用ボイラや空気調和設備との兼用ボイラ、又は熱交換器などで加熱した給湯水を一旦給湯用貯湯槽に貯湯し、給湯循環ポンプで各所に給湯する。

(3) 消火設備

必要に応じてスプリンクラー設備や屋内消火栓設備を設ける。

b) 空気調和換気設備

(1) 熱源設備

水冷式や空冷式冷凍機、ヒートポンプ、冷却塔、ボイラなどを設けて、冷水や温水、蒸気を造り、各所に設けられた空気調和機や放熱器に送る。

(2) 空気調和機設備など

各所に床置形や天井吊り形の空気調和機や放熱器などを設けて、送られてきた冷水や温水、蒸気により室内循環空気を加熱、冷却し、さらに必要量の外気を取り入れて室内の空調を行う。

(3) 換気及び排煙設備

給気や排気が必要な箇所の換気を行う。

c) 電気設備

(1) 受変電設備

電力会社の配電網から分岐して建築物に引き込み、所定の電圧に降圧して各所に電力を供給する。受変電設備としては遮断器から変圧器、低圧電灯盤や低圧動力盤などが含まれるが、それらが一体とな

ったキュービクル形としてもよい。

4) 什器

什器では、対象建築物内に設置されている什器の仕様(高さと幅)と、什器設置階の床応答等価振動数、及び床の摩擦係数の度合いによって、対象什器の転倒や滑り移動の可能性を一律に評価する。ここで、文献 1)より示されている家具什器の転倒・滑り評価式を示す。

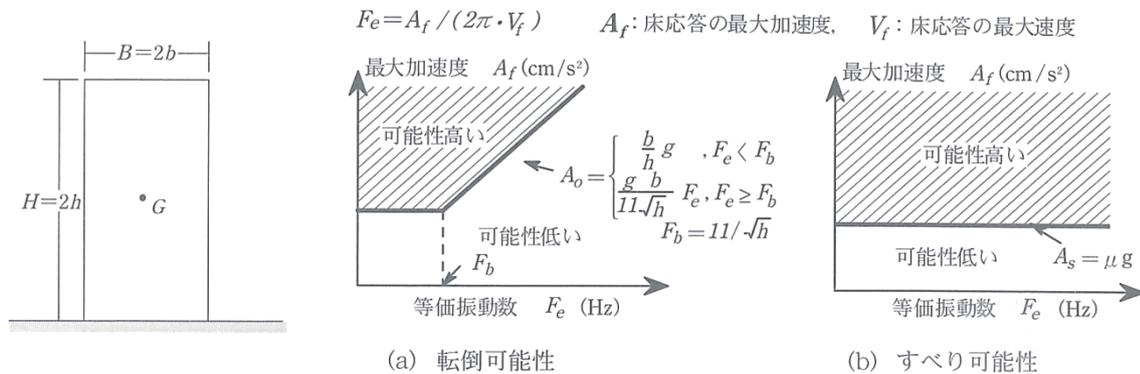


図 1.1 什器の転倒・滑り条件(図は文献¹⁾より引用)

滑り移動量については以下の式で評価がなされる。

$$\delta_s = 0.035\mu^{-0.3}F_e^{-0.5}(V_f - V_{s0})^{1.56} \quad (1.1)式$$

ここで、 μ : 床と什器との摩擦係数、 F_e : 床応答の卓越振動数(Hz)

$$V_f : \text{床応答絶対速度(cm/s)}, \quad V_s : \text{什器が滑り始める速度(cm/s)} \quad (= \mu g / 2\pi F_e)$$

1.1.2 データベースフォーマット (評価項目)

それぞれの DB の関係を図 1.2 に示す。図より、損傷評価 DB の出力情報が、修復性評価や機能性評価の入力情報の一部となる構成である。

1) 損傷評価項目

損傷評価項目として「損傷を支配する工学量」「損傷状態」「損傷量」の 3 項目を扱う (図 1.2 (A))。「損傷を支配する工学量」とは、ある部位に発生する損傷の主たる原因となる工学量のことであり、地震時に作用する層間変位によって損傷する構造部材や非構造部材などは「変形」、地震の慣性力の影響を受けて損傷する設備機器や什器などの場合は、「加速度 (または速度)」と表記する。一方、「変形」及び「加速度」の両方の工学量に損傷が支配される場合は併記する。「損傷状態」とは、ある応答値に対して発生する損傷事象を表記する。「損傷量」には、「損傷状態」に示された損傷事象の発生量を表記する。また、その損傷状態の視覚情報が明らかになればシナリオ作成に有用であると考えられる。上記の損傷情報を精緻に示すことができれば、その後に検討する修復性評価や機能性評価において、より正確な修復費用と修復時間の算定や、リアリティのあるシナリオの構築に寄与できる。

2) 修復性評価項目

修復性評価項目として「損傷状態」「修復工法」「修復時間係数」「修復費用係数」の 4 つを扱う (図 1.2 (B))。「修復工法」は「損傷状態」毎に分類される。また「修復時間係数」は各部位毎の修復に対する労務の手間の程度を、「修復費用係数」は各部位毎の修復行為に用いる材料や労務価格の大きさの

程度を表す。「修復時間係数」と「修復費用係数」は、「修復工法」に応じて定まり、両係数を用いて建築物全体（または層毎、部位別毎）の修復時間や費用を表す指標を算定することに用いられる。

但し、修復性評価 DB に記載される「損傷状態」の内容と損傷評価 DB に記載される「損傷状態」の内容はそれぞれ独立しており、完全に一致しているわけではないため、評価者がそれぞれの損傷状態を工学的に関連づけ修復工法を適切に選択する必要がある。

3) 機能性評価項目

機能性評価項目として「損傷状態」「不具合事象」「不具合事象によって低下する性能」「人的損失」の 4 つを扱う（図 1.2 (C)）。「不具合事象」や「人的損失」はある「損傷状態」によって起こり得るユーザにとって負の事象が記載される。また、「不具合事象によって低下する性能」は、各部位が保有している性能が損傷によって喪失し、その後の復旧活動でボトルネックとなる重要な性能を抽出するために設けている。なお、修復性評価 DB と同様、機能性評価 DB と損傷評価 DB に記載される「損傷状態」の内容は、評価者がそれぞれを関連づける必要がある。

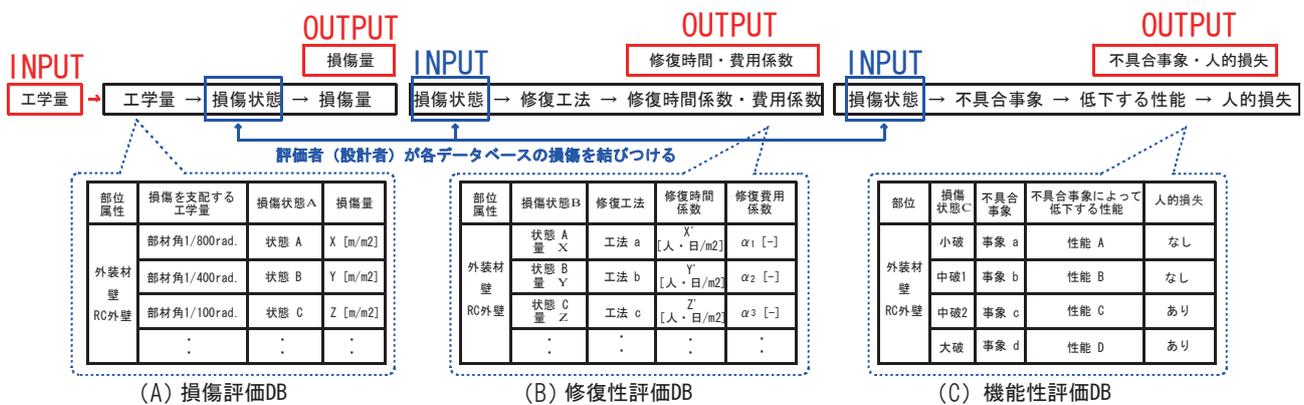


図 1.2 各 DB の関係

1.1.3 データベースの利用

図 1.3 に、各データベースを利用した場合の評価過程を例示する。損傷評価データベースを用いて部位レベルの損傷程度を評価する。その値に基づき、修復性データベース（図中上部）を用いて、各部位の修復費用と時間算定に必要な係数を算定し、建築物全体の修復費用や時間についての算定を行う一方で、各層毎または各部位毎の集計による分析を可能とする。また損傷評価された値に基づき、機能性評価データベース（図中下部）を用いて、各部位の損傷による不具合事象を評価する。修復性評価に得られた情報と機能性評価によって得られた情報を総合して、建築物の地震後のシナリオ（図中 (f)）を示し、ユーザが理解できる形で耐震性能を表示するなどして利用されることを想定している。

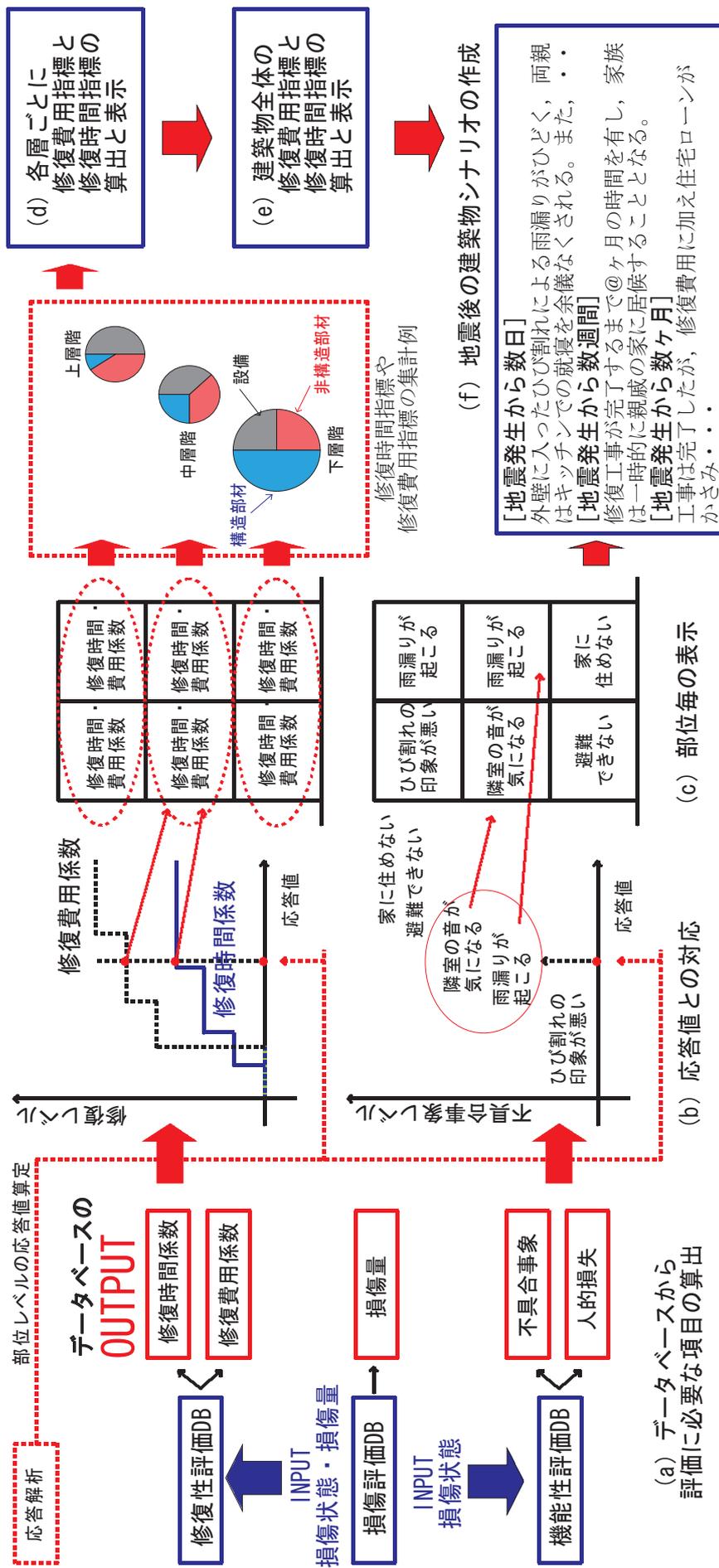


図 1.3 本 DB を用いた評価過程の例示

2. 損傷評価データベースとワークシート

2.1 構造部材

本研究において必要とされるデータは、各構造部材の各段階（応答量）での残留損傷の定量値である。そのため、これまで大学・研究機関・民間等での各種部材実験に基づいた研究を調査し、本目的に沿うものの抽出を試みた。その結果、RC 造の柱・梁について、一定の条件下において応答値と損傷が評価されているデータが存在していたため、そのデータを採用することとした。またそれ以外に構造実験によっても収集する（5章参照）こととした。

なお RC 造の壁は、開口のある非耐力壁のデータは若干存在するが、耐震壁や有開口耐震壁のデータは、本目的に沿うものとしては十分ではなく、今後データ蓄積が必要である。また S 造の部材については、現行の設計がなされていれば機能性に影響を及ぼす損傷は生じないと判断したため、データベースの整備は行わなかった。

2.1.1 損傷評価データベース

ここでは、特に RC 造柱部材のデータベースを示す。データベースは、2.1.2 に示されるワークシートを根拠としており、それらのワークシートを基に実際の部材の損傷評価に使用できるように構築する必要がある。例えば RC 造柱部材の場合、試験体が縮小されたものから得られたワークシートの損傷量の値を、実大規模に換算することなどがその一例である。

1) RC 造柱の場合

損傷評価に必要な事象としては、残留ひび割れ幅・長さ・剥離面積がある。その際、汎用性の高い損傷評価の指標として、以下に注目する。

ひび割れ率：部材表面積に対する総ひび割れ長さの比（単位： m/m^2 ：有次元量）

剥落率：部材表面積に対する剥落面積の比（単位： m^2/m^2 ：無次元量）

しかしながら、縮小試験体での損傷を実部材での損傷に換算して評価しておく必要がある。すなわち、スケール効果が損傷に及ぼす影響についてである。本研究においては、スケール効果に対しては、1/2 スケール程度までに対して以下の知見などを参考に評価する。

a 東京大学での損傷量評価の検討（建研での実大 7 層試験体の仮動的実験を対象）文献 2）

「実大試験体のひび割れ率は、1/2 スケール試験体のひび割れ率の 0.5 倍以下」とある。

すなわち、この場合、実大は面積が 4 倍になり、ひび割れ率が 1/2 になることから、実大のひび割れ長さは 1/2 スケールの 2 倍と考えることが出来る。

b 東北大学での残余耐震性能の評価の検討（スケールの違う試験体での損傷評価）文献 3）

「1/2 スケールの試験体の残留最大ひび割れ幅は、実大スケールに比べ 0.6～0.7 倍、ひび割れ幅の合計で 0.5 倍程度であった」とある。すなわち、この場合、実大のひび割れ幅は 1/2 スケールの 2 倍と考えることが出来る。

ここでは、上記を基に、以下のように損傷指標を定義する。

ひび割れ欠損率：部材表面積に対する総ひび割れ面積（長さ×幅）の比（単位： m^2/m^2 無次元量）

これは剥落率のように無次元量となり、スケールに依存しない値となる。

上記に基づき、採用した実験（2/3 スケール）の結果を実大スケールに評価する場合（柱表面積は 2.25 倍）、残留ひび割れ幅を 1.5 倍、ひび割れ長さも 1.5 倍（剥落量及びひび割れ欠損量は 2.25 倍）として損傷データベースを作成した。曲げ柱の例を表 2.1 に示す。

表 2.1 損傷評価データベースの例 (曲げ柱)

大分類	中分類	小分類	属性		最大応答量			残留応答量			コンクリート					鉄筋		その他(ひび割れ図・写真)	
			損傷を支配する工学量	最大変形角(rad)	最大材角(rad)	残留変形角(rad)	残留材角(rad)	ピーク時最大ひび割れ幅(mm)	除荷時最大ひび割れ幅(mm)	仕上げ面残留ひび割れ幅区分	残留ひび割れ長さ(mm)	残留ひび割れ率(m/m ²)	剥離率(m ² /m ²)	主筋	補強筋				
構造部材	RC	柱(外装仕上げ材含む)	細分類1	破断モード せん断余裕度 0.8-0.9	-	1/400	-	0	0.30	0.00	0.00 ~ 0.30 未満 0.30 ~ 1.50 未満 1.50 ~ 7.50 未満 7.50 ~ ひび割れ総和	8613	1.50	0.00	-	-	-	使用可能	
					細分類2	仕上げ種類 打ち放し	-	1/200	-	1/1000	1.10	0.15	0.00 ~ 0.30 未満 0.30 ~ 1.50 未満 1.50 ~ 7.50 未満 7.50 ~ ひび割れ総和	14448	2.50	0.00	-		-
			その他	引張鉄筋比p t 0.5%程度 横筋鉄筋比p w 0.1%程度	-	1/100	-	1/667	2.40	0.45	0.00 ~ 0.30 未満 0.30 ~ 1.50 未満 1.50 ~ 7.50 未満 7.50 ~ ひび割れ総和	15744 9120	2.73 1.58	0.00	2.50	2.73 1.58	0.00	引張 降伏	使用可能 最大耐力 端部圧壊、他の部位や建物 に与える影響はない
					-	1/67	-	1/400	6.00	0.60	0.00 ~ 0.30 未満 0.30 ~ 1.50 未満 1.50 ~ 7.50 未満 7.50 ~ ひび割れ総和	12408 9552	2.15 1.66	0.02	0.02	2.15 1.66	-	-	最大耐力 (R=1.35%) 圧壊、かぶり一部剥離、他 の部位や建物への影響あり
			-	1/50	-	1/222	6.00	1.70	0.00 ~ 0.30 未満 0.30 ~ 1.50 未満 1.50 ~ 7.50 未満 7.50 ~ ひび割れ総和	11559 9816 732	2.01 1.70 0.127	0.04	0.04	2.01 1.70 0.127	-	-	-	かぶりの剥離大(かぶり浮 き上がり2mm程度、進展 進む) せん断破壊発生 軸力を持っていないため影響あ り	

2.1.2 損傷評価ワークシート

ここでは損傷評価データベースの根拠となるデータをワークシートと称する。ワークシートは、文献 4) に示された実験結果から得られた詳細な損傷に関する情報を書き込んだものであり、以下の表 2.2 にその一部を例示する。

表 2.2 損傷評価ワークショップの例 (曲げ柱, 一部抜粋)

大分類	中分類	小分類	属性		損傷を支配する工 学量	部材				コンクリート					鉄筋				
			細分類	損傷モード: 曲げ 総延性率3~4		最大応 周長形 角(rad)	最大応 周長形 角(rad)	最大部材 角(rad)	残留部材 角(rad)	残留部材 角(rad)	ピーク時最 大ひび割れ 幅(mm)	除荷時 最大ひび 割れ幅	仕上げ面 残留ひび割れ幅区分	残留ひび割れ 長さ (mm)	残留ひび割れ 本数(本)	残留ひび 割れ率 (m/m ²)	剥落率 (m ² /m ²)	主筋 補強筋	
構造部 材	RC	柱 (外装仕 上げ含む)	細分類1	破壊モード: 曲げ 総延性率3~4	-	1/400	-	0	0.1 (曲げ)	-	0.00 ~ 0.20 未滿 0.20 ~ 1.00 未滿 1.00 ~ 5.00 未滿 5.00 ~	-	-	-	0.00	-	-		
			細分類2	仕上げ種類 打ち直し	-	-1/400	-	-	0.2 (曲げ)	-	0.00 ~ 0.20 未滿 0.20 ~ 1.00 未滿 1.00 ~ 5.00 未滿 5.00 ~	5472	0	-	-	-	-		
			その他	スケール 2/3	-	1/200 ①	-	1/1000	-	0.4 (曲げ) 0.2 (せん断)	-	0.00 ~ 0.20 未滿 0.20 ~ 1.00 未滿 1.00 ~ 5.00 未滿 5.00 ~	5472	-	-	0.00	-	-	
				断面 b×D 400mm× 400mm 肉法高さ 1600mm	-	-1/200 ①	-	-	-	0.7 (曲げ) 0.3 (せん断)	-	0.00 ~ 0.20 未滿 0.20 ~ 1.00 未滿 1.00 ~ 5.00 未滿 5.00 ~	-	-	-	-	-	-	
				引張鉄筋比 p _t (%) 0.5%	-	1/200 ②	-	-	-	0.5 (曲げ) 0.3 (せん断)	-	0.00 ~ 0.20 未滿 0.20 ~ 1.00 未滿 1.00 ~ 5.00 未滿 5.00 ~	-	-	-	-	-	-	
				縦補強比 p _w (%) 0.1%	変形	-1/200 ②	-	-	-	0.7 (曲げ) 0.4 (せん断)	-	0.00 ~ 0.20 未滿 0.20 ~ 1.00 未滿 1.00 ~ 5.00 未滿 5.00 ~	9632	0	-	-	-	-	-
				軸力比 0.2程度	-	1/100 ①	-	1/667	-	1.4 (曲げ) 0.5 (せん断)	-	0.00 ~ 0.20 未滿 0.20 ~ 1.00 未滿 1.00 ~ 5.00 未滿 5.00 ~	9632	-	-	0.004	降伏 (F _y - 剥離面積 (89G4mm ²) 0.63 (%)	-	-
				反曲点高さ比 0.5	-	-1/100 ①	-	-	-	1.5 (曲げ) 0.8 (せん断)	-	0.00 ~ 0.20 未滿 0.20 ~ 1.00 未滿 1.00 ~ 5.00 未滿 5.00 ~	-	-	-	-	圧壊	降伏	-
				載荷方法 静的漸増載荷	-	1/100 ②	-	-	-	1.6 (曲げ) 0.6 (せん断)	-	0.00 ~ 0.20 未滿 0.20 ~ 1.00 未滿 1.00 ~ 5.00 未滿 5.00 ~	-	-	-	-	圧壊	-	-
					-	-1/100 ②	-	-	-	1.4 (曲げ) 0.8 (せん断)	-	0.00 ~ 0.20 未滿 0.20 ~ 1.00 未滿 1.00 ~ 5.00 未滿 5.00 ~	10496	0	-	-	圧壊	-	-

2.2 非構造部材

2.2.1 損傷評価データベース

以下に、対象建築物における非構造部材（外装材 ALC 壁）の損傷評価データベースの作成例を示す。各変形角で観察される損傷を示している。

表 2.3 非構造部材の損傷評価データベースの例 (外装材 ALC 壁)

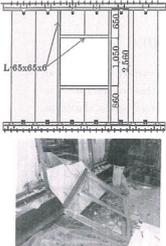
大分類	中分類	小分類	属性		損傷を支配する工学量	最大応答量 最大側間 変形角 (rad)	目地部の損傷	ALCパネルの損傷		取付金具・溶接接合部の損傷	その他(ひび割れ図・写真)			
			細分類	細分類				パネルコーナー部、開口部周辺、目地部周辺、取付け金物周辺のひび割れ・圧壊・剥落	パネルの面外方向へのずれまたは脱落					
非構造部材	外装材	壁(外装材含む)	取付主体構造	細分類1	取付主体構造 S造	変形	1/300	水平目地、縦目地の損傷	パネルコーナー部、開口部周辺、目地部周辺、取付け金物周辺のひび割れ・圧壊・剥落	パネルの面外方向へのずれまたは脱落	取付金具・溶接接合部の損傷	その他(ひび割れ図・写真)		
				細分類2	壁材料種類 ALC壁		1/250	パネル間に隙間	損傷無し	損傷無し	損傷無し	取付金具・溶接接合部の損傷	データなし	
				細分類3	壁取付け構 造工法 縦壁ロッキ ング構法		1/150	ALCまわりのシーリングが一部切れる	ALCまわりのシーリングが一部切れる	開口部まわりのパネルのひび割れ	損傷無し	損傷無し	取付金具・溶接接合部の損傷	データなし
				細分類4	開口の有無 開口有		1/100	ALCまわりのシーリングが切れる	ALCまわりのシーリングが切れる	開口部まわりのパネルひび割れ	損傷無し	損傷無し	取付金具・溶接接合部の損傷	データなし
				細分類5	仕上げ種類 仕上げ無		1/67	ALCまわりのシーリングが切れる	ALCまわりのシーリングが切れる	開口部まわりのパネルひび割れ	損傷無し	損傷無し	取付金具・溶接接合部の損傷	データなし
				細分類6	その他		1/50	ALCまわりのシーリングが切れる	ALCパネル下端角部にひび割れ	ALCパネル下端角部にひび割れ	損傷無し	損傷無し	取付金具・溶接接合部の損傷	データなし
									1/25	ALCまわりのシーリングが切れる	ALCパネル取付金物まわりにひび割れ	ALCパネル取付金物まわりにひび割れ	水平開口補強材端部の溶接破断	水平開口補強材端部の溶接破断
									1/17	ALCまわりのシーリングが切れる	ALCパネル取付金物まわりにひび割れ	ALCパネル取付金物まわりにひび割れ	損傷無し	鉛直開口補強材端部の溶接破断
									1/13	ALCまわりのシーリングが切れる	ALCパネル取付金物まわりにひび割れ	ALCパネル取付金物まわりにひび割れ	損傷無し	鉛直開口補強材端部の溶接破断
									1/10	ALCまわりのシーリングが切れる	破片剥落多数	破片剥落多数	損傷無し	アンカー鋼棒露出
									1/7	ALCまわりのシーリングが切れる	破片剥落多数	開口部下のALCパネルが開口補強材とともに面外へ脱落	損傷無し	アンカー鋼棒露出
									1/5	ALCまわりのシーリングが切れる	破片剥落多数	ハネル宙吊り状態	取付け金物と通しアングルの溶接部破断 持ち出しフラケットとピースアングルの溶接部破断 Oナット破断・Oナット周辺の押し筋が露出	開口補強鉛直材上端では数か所で溶接部破断

2.2.2 損傷評価ワークシート

以下に文献 5) に基づき、対象建築物における非構造部材（外装材 ALC 壁）の損傷評価ワークシートの例を示す。構造部材同様、これまでに実施された構造実験などに基づき以下のワークシートが作成されることを想定している。

表 2.4 非構造部材の損傷評価ワークシートの例 (外装材 ALC 壁)

大分類	中分類	小分類	属性 総分類	損傷を支配する工学量	最大応答量	目地部の損傷	ALCパネルの損傷		その他(ひび割れ図・写真)	
					最大部材角 (rad)	水平目地、縦目地の損傷	パネルコーナー部、開口部周辺、目地部周辺、取付け金物周辺のひび割れ・圧壊・剥落	パネルの面外方向へのずれまたは脱落		
非構造部材	外装材	壁 (外装仕上げ材含む)	細分類1 取付主体構造 S造	変形	1/100	目立つ損傷なし	開口部上部のALCパネルにひび割れ	目立つ損傷なし		
			細分類2 壁材料種類 ALC壁		1/67	目立つ損傷なし	開口部下部のALCパネルにひび割れ	目立つ損傷なし	-	
			細分類3 壁取付け構工法 縦壁ロッキング構法		1/50	目立つ損傷なし	ALCパネル下端角部にひび割れ	目立つ損傷なし	-	
			細分類4 開口の有無 開口有		1/25	目立つ損傷なし	ALCパネル下部取付金物まわりにひび割れ	目立つ損傷なし	水平開口補強材端部の溶接破断	
			細分類5 仕上げ種類 仕上げ無		1/17	目立つ損傷なし	ALCパネル下部取付金物まわりにひび割れ	目立つ損傷なし	鉛直開口補強材端部の溶接破断	
			細分類6 その他 -		1/13	目立つ損傷なし	ALCパネル上部取付金物まわりにひび割れ	目立つ損傷なし	鉛直開口補強材端部の溶接破断	
			その他 スケール 1/1		1/10	目立つ損傷なし	剥落多数	目立つ損傷なし	アンカー鋼棒露出	
			壁情報 幅3.6m×高さ2.56m		1/7	目立つ損傷なし	剥落多数	開口部および開口部下部のALCパネルが開口補強材とともに面外へ脱落	アンカー鋼棒露出	
			ALCパネル情報 幅600mm 高さ2560mm 厚							
			取付金物 Oボルト12φ@パネル毎 通しアングルL-50×50×6 アンカー鋼棒φ L=400@パネル							
取付け位置 1階										
載荷方法 鋼製フレームに試験体を取付け、準静的繰返し載荷										



振幅	基本試験体	開口付試験体
0.0025, 0.005		損傷なし
0.01	損傷なし	開口部上部の ALC パネルにひび割れ ⑤
0.015		開口部下部の ALC パネルにひび割れ ⑥
0.02	ALC パネル下端角部にひび割れ ①	ALC パネル下端角部にひび割れ ⑦
0.04	ALC パネル下部取付金物周りにひび割れ ②	ALC パネル下部取付金物周りにひび割れ ⑧ 水平開口補強材端部の溶接破断 ③
0.06		鉛直開口補強材端部の溶接破断 ④
0.08	ALC パネル上部取付金物周りにひび割れ ③	ALC パネル上部取付金物周りにひび割れ ⑩
0.1	剥落多数, アンカー鋼棒露出 ④	剥落多数, アンカー鋼棒露出 ⑪
0.15		開口部及び開口部下部の ALC パネルが, 開口補強材とともに面外へ脱落 ⑫

2.3 設備機器

2.3.1 損傷評価データベース

対象建築物における設備機器（給水設備）の損傷評価データベースの例を示す。設備機器については、現時点で公開されているデータが少ないことから、ここでは基規準類やアンケートに基づき以下に示す損傷評価データベースを構築することとした。従って、現時点において損傷評価ワークシートは存在しない。

表 2.5 設備機器の損傷評価データベース(給水設備)

用途	属			性		損傷を支配する工学量 機器の耐震強度	損傷しやすい機器の構造や部位、材料特性など 部品	損傷に影響する据え付け方法や接続配管の構造的特徴 部品	接続配管の変位吸収性能など	
	大分類	中分類	小分類	細分類	性質					
事務所 集合住宅 病院	設備機器	機械設備	給水設備	受水槽		加速度 損傷 実質強度 1.5G 機能維持 実質強度 1.5G	パネル水槽の場合に 天板でマンホールとなっ ているパネル。 内部間仕切り板がある 場合にはそのパネル 強度や支持強度。 天井パネルや壁上部の パネル強度に注意。	水位感知器などの内部 配管。	水槽内部にポンプなどを設けている場合にはその取り付け部の強度、水槽強度の再確認	水槽の変位量に応じた変位継ぎ手の吸収性能。配管支持位置と接続配管の変位吸収位置
				機能維持を図る重要度の分類 既存機器のオプションを含む耐震性能 防振装置の有無 設置階による設計用標準震度(耐震クラスS) 接続配管の変位吸収管継ぎ手の有無	特になし 特になし 無 地階及び1階 有(ぜい性材料)	1. 地震後の損傷状態の調査 用途や重要度から既存当該設備の耐震安全性が一般より 高く設定されている場合、当該機器や配管類も特別注文さ れたものである可能性がある。 従って損傷状態の調査では機器や付属部品やその取り 付け方、重要度に応じた接続配管方法などに注意する。				

2.4 什器

2.4.1 損傷評価データベース

対象建築物における什器の損傷評価データベースの例を示す。什器については、地震時の挙動に対する評価式が文献 1) で示されていることから、それに基づき構成した。従って、現時点において損傷評価ワークシートは存在しない。

表 2.6 家具什器の損傷評価データベース(転倒・滑り評価)

属性				損傷評価関連
大分類	中分類	小分類	細分類	
家具什器	床応答の 等価振動数 2 Hz	滑りやすい床 (フローリング) $\mu=0.15\sim0.4$	たんす (h=90, B=30)	転倒可能性低い $A_f > 147 \text{ cm/s}^2$ で 滑り可能性高い
			食器棚 (h=112, b=22.5)	$V_f > 30 \text{ cm/s}$ で 転倒可能性高い $A_f > 147 \text{ cm/s}^2$ で 滑り可能性高い
			本棚 (h=90, b=16)	$V_f > 24 \text{ cm/s}$ で 転倒可能性高い $A_f > 147 \text{ cm/s}^2$ で 滑り可能性高い
			小さい置物 (h=15, b=5)	$A_f > 327 \text{ cm/s}^2$ で 転倒可能性高い $A_f > 147 \text{ cm/s}^2$ で 滑り可能性高い
			上記を含む 家具・什器	$V_f=45 \text{ cm/s}$ ($A_f=565 \text{ cm/s}^2$) で 移動量10cm $V_f=103 \text{ cm/s}$ ($A_f=1294 \text{ cm/s}^2$) で 移動量50cm $V_f=154 \text{ cm/s}$ ($A_f=1935 \text{ cm/s}^2$) で 移動量100cm
		普通の床 (畳、毛足の 短い絨毯) $\mu=0.2\sim0.7$	たんす (h=90, B=30)	$V_f > 45 \text{ cm/s}$ で 転倒可能性高い $A_f > 196 \text{ cm/s}^2$ で 滑り可能性高い
			食器棚 (h=112, b=22.5)	$V_f > 30 \text{ cm/s}$ で 転倒可能性高い $A_f > 196 \text{ cm/s}^2$ で 滑り可能性高い
			本棚 (h=90, b=16)	$V_f > 24 \text{ cm/s}$ で 転倒可能性高い $A_f > 196 \text{ cm/s}^2$ で 滑り可能性高い
			小さい置物 (h=15, b=5)	$A_f > 327 \text{ cm/s}^2$ で 転倒可能性高い $A_f > 196 \text{ cm/s}^2$ で 滑り可能性高い
			上記を含む 家具・什器	$V_f=50 \text{ cm/s}$ ($A_f=628 \text{ cm/s}^2$) で 移動量10cm $V_f=112 \text{ cm/s}$ ($A_f=1407 \text{ cm/s}^2$) で 移動量50cm $V_f=166 \text{ cm/s}$ ($A_f=2086 \text{ cm/s}^2$) で 移動量100cm
		滑りにくい床 (毛足の長い 絨毯) $\mu=0.6\sim1.0$	たんす (h=90, B=30)	$V_f > 45 \text{ cm/s}$ で 転倒可能性高い 滑り可能性低い
			食器棚 (h=112, b=22.5)	$V_f > 30 \text{ cm/s}$ で 転倒可能性高い 滑り可能性低い
			本棚 (h=90, b=16)	$V_f > 24 \text{ cm/s}$ で 転倒可能性高い 滑り可能性低い
			小さい置物 (h=15, b=5)	$A_f > 327 \text{ cm/s}^2$ で 転倒可能性高い 滑り可能性低い
		—	テレビ台 (h=23, b=30) (キャスター付)	転倒可能性低い $A_f > 49 \text{ cm/s}^2$ で 滑り可能性高い
				$V_f=30 \text{ cm/s}$ ($A_f=377 \text{ cm/s}^2$) で 移動量10cm $V_f=78 \text{ cm/s}$ ($A_f=980 \text{ cm/s}^2$) で 移動量50cm
				$V_f=120 \text{ cm/s}$ ($A_f=1508 \text{ cm/s}^2$) で 移動量100cm

A_f : 床応答最大加速度、 V_f : 床応答最大速度、キャスター付はどの床上でも $\mu=0.05\sim0.2$ として評価

3. 修復性評価データベースとワークシート

3.1 基本事項

3.1.1 使用目的

1995年の兵庫県南部地震を契機に、地震によって引き起こされる経済損失が社会に及ぼす影響の重大性が指摘されるようになった。建築物の性能を安全性だけでなく修復性の面から適切に評価することが今後益々重要になると考えられる。本修復性評価データベースは、設計対象建築物に予想される修復費用・修復時間の大きさを、仮定した修復シナリオのもと評価し、これを指標として建築物の修復性能評価を行うことを目的に作成されたものである。

一般工事の積算における修復費用の算出では、損傷量および、単位損傷量あたりの修復費用（単価）の評価に重点が置かれる。一方、工学的な修復性能の評価を目的とした本修復性評価データベースに基づく算出では、損傷量および修復効率の観点から損傷の深刻度を評価することに重点が置かれる。また、次項で述べる基本仮定（修復シナリオ）に基づく算出であることから、本修復性評価データベースを、多様な状況が予想される地震後の実際の修復費用・修復時間の積算に直接適用することはできないことに注意が必要である。

3.1.2 基本仮定

修復性評価データベース作成にあたり仮定した事項を以下に挙げる。

- ①修復は地震発生前の状態への回復を目標として行う。修復工法は、機能性・耐震性・耐久性・美観性の観点から地震前と同等の性能への回復が見込まれるものを選択する。
- ②修復には、撤去新設と補修の2つの方法が考えられ、損傷状況に応じてこれの選択が必要となる。ここでは、必要となる費用と時間の観点から一般的に有利と考えられる方法を選定する。
- ③労務費・材料費に平常時の単価を用い、災害時における物価上昇や材料入手の困難さによる効果は無視する。
- ④損傷状況に応じた修復に必要な損傷量は実験などを参考に仮定する。
- ⑤修復費用算出は直接工事費についてのみ行ない、直接仮設費や共通仮設費は考慮していない。また、修復の必要量や修復箇所の特定のための調査費用は考慮されていない。
- ⑥地震後の周辺インフラに発生している損傷が修復作業に及ぼす影響を無視する。また、修復のための資材の収集や搬入、資材置き場の確保など、地震後の周辺状況が修復作業に及ぼす影響を無視する。

3.2 修復性評価データベースの基本構成と修復費用と修復時間の算出

3.2.1 基本構成及び修復性評価ワークシートとの関係

修復性評価データベースは次の項目からなっている。

- ①分類 : 当該データベースの適用部位。(例)大分類-構造部材,中分類-RC造,小分類-柱,細分類-破壊モード等
- ②損傷状態 : 適用される修復方法種類の観点から整理した損傷度合のクラス分け。
- ③修復工法 : 損傷状態に対応して仮定した修復工法。(例)シール工法+手動式エポキシ樹脂注入工法など
- ④単位損傷量あたりの人工 : 対象部位に対する単位損傷量あたりに必要となる人工。
(例)修復対象柱の表面積あたりの修復人工
- ⑤費用係数 α : 人工の量から修復費用を求めるために使用される係数。

修復性評価データベースは、適用部位の属性と発生している損傷状態から、修復に必要な「単位損傷量あたりの人工」と「費用係数 α 」を求めることができる。なお、修復費用および総修復時間の算出法は「(b) 修復費用の算出式」「(c) 修復時間の算出式」にて解説する。

修復性評価データベースの項目④⑤は下に示す3つの手順で算出される。

- ①表 3.1 は、損傷評価データベースを基に応答値とそのときに必要となる修復工法の種類と損傷量との関係が示される。表 3.1 の例では、対象としている部位に6つの工法があり、損傷度Ⅲまでに5つの工法を組み合わせて修復が行われることが分かる。
- ②表 3.2 は、工法の修復効率や経済性に関する情報である、工法の「単位損傷量あたりの人工」と「費用係数 α' 」との関係が示される。
- ③表 3.1、3.2 を基に表 3.3 では、損傷状態に対応するその部位に必要な修復人工と費用係数 α を算出する。この値が修復性評価データベースの項目④⑤となる。

修復性評価ワークシートはこれら作業過程及び算出仮定を収録したものである。ここで作成した修復性評価データベースは、表 3.2 に示した修復工法の「単位損傷量あたりの人工」と「費用係数 α 」および、表 3.1 に示した損傷状態に対応した修復工法の適用量をインプットとし作成されている。新しい修復工法が開発された場合や3.1.2に基づき、さらに精度の高いデータが収集された場合、修復性評価ワークシートの表 3.2 に対応する情報を追加することで修復性評価データベースの値が書き換えられる仕組みとなるよう配慮している。

表 3.1 応答値に対応する修復工法・損傷量の設定（(例) 柱+仕上げ）

損傷状態	工法A	工法B	工法C	工法D	工法E	工法F
損傷度Ⅰ	A ₁ m	B ₁ m ²	—	—	—	—
損傷度Ⅱ	A ₂ m	—	C ₂ m ²	—	—	—
損傷度Ⅲ	—	—	C ₃ m ²	D ₃ m ³	E ₃ m ³	—
.			.			
.			.			

表 3.2 工法の単位損傷量あたりの人工と費用係数 α'

	単位損傷量 あたりの人工	単位損傷量 あたりの費用	各工法の費用係数 α'
工法A	XA (人・日/m)	YA (円/m)	$\alpha A' =$ YA / (XA × 普通作業員労務単価)
工法B	XB (人・日/m ²)	YB (円/m ²)	$\alpha B' =$ 同上
工法C	XC (人・日/m ²)	YC (円/m ²)	$\alpha C' =$ 同上
工法D	XD (人・日/m ³)	YD (円/m ³)	$\alpha D' =$ 同上
工法E	XE (人・日/m ³)	YE (円/m ³)	$\alpha E' =$ 同上

表 3.3 部位の損傷状態に対応すると修復人工と費用係数 α

部位名 ((例) 柱+仕上げ)

損傷状態	部位の単位損傷量 あたりの人工	部位の損傷状態に応じた費用係数 α
損傷度 I	$XA \times A_1 + XB \times B_1$	$(XA \times A_1 \times \alpha A' + XB \times B_1 \times \alpha B') / (XA \times A_1 + XB \times B_1)$
損傷度 II	$XA \times A_2 + XC \times C_2$	$(XA \times A_2 \times \alpha A' + XC \times C_2 \times \alpha C') / (XA \times A_2 + XC \times C_2)$
損傷度 III	$XC \times C_3 + XD \times D_3$ $+ XE \times E_3$	$(XC \times C_3 \times \alpha C' + XD \times D_3 \times \alpha D' + XE \times E_3 \times \alpha E') / (XC \times C_3 + XD \times D_3 + XE \times E_3)$
•	•	•
•	•	•

3.2.2 修復費用の算出式

修復費用は修復性評価データベースに記載されている「④単位損傷量あたり人工」と「⑤費用係数 α 」を用いて式(3.1)で計算する。損傷量の単位は属性毎に定められており、例えば柱・梁では表面積、壁の場合には見つけ面積である。

なお、普通作業員労務単価は 14000 円と仮定して DB を作成したが、この値は共通しており、修復性能の物件間相対比較を目的とする場合とくに重要な意味を持たない。このことから、これを 1 とし計算し表示することも一つの方法である。

$$\text{修復費用} = \text{単位損傷量あたり人工 (④)} \times \text{損傷量} \times \text{費用係数 } \alpha \text{ (⑤)} \times \text{普通作業員労務単価} \quad \text{式(3.1)}$$

3.2.3 修復時間の算出式

修復時間を明らかにするには、同時投入できる修復作業員の数や、同時進行できる工事の数など、復旧体制や施工計画を仮定する必要がある。しかしながら、これらを一概に仮定することは困難である。そこでここでは一人の修復作業員が全ての工事を行った場合の工事日数である「総修復人工」で修復時間を表現することとした。この修復時間をここでは「総修復時間」と呼び、データベースに記載されている「④単位損傷量あたりの人工」を用いて式(3.2)で計算する。

$$\text{総修復時間} = \text{単位損傷量あたりの人工 (④)} \times \text{損傷量} \quad \text{式(3.2)}$$

3.3 修復人工や費用係数 α に基づく算出法の特徴

前述の式を用いた算出法の特徴は、積算で一般に用いられる市場単価を用いる方法と比べ、修復効率に重点を置いた評価方法となっていることである。修復費用の評価は、「修復効率」「損傷量」「単価」の三つを評価することであるが、建築物の修復性能評価の観点からは特に、「修復効率」「損傷量」の評価が重要となる。一般の積算で用いられている市場単価は式 (3.3) で示すように「修復効率」と「単価」をまとめて扱っており、修復効率が明確となっていない。修復効率の評価に重点を置いた修復費

用と修復時間の算出法の特徴をまとめると以下のようになる。

- ① 損傷回復の難易度に関するイメージをつかむことができる
- ② 総修復時間を修復費用との関係で算出することができる
- ③ 地震時の被害との関係でキャリブレーションが可能

$$\text{修復費用} = \text{市場単価} \times \text{損傷量} = (\text{修復効率} \times \text{単価}) \times \text{損傷量} \quad \text{式(3.3)}$$

3.4 構造部材

3.4.1 修復性評価データベース

前項に示された手法に基づき、構造部材に関する修復性評価データベースの柱部材の例を以下の図 3.1 に示す。図中のデータベースとして表示されている⑤（ひび割れ幅 0.2～1.0mm 程度のひび割れが入る損傷状態）を算出するためにワークシートの①～④の情報が必要となる。それらをデータベースの根拠となる修復性評価ワークシートの値を基に算定する。ワークシートの種類は 2 種類で、各損傷状態における必要人工や費用係数（図 3.2）と、それを求めるための各工法における必要人工や費用係数（図 3.3）がある。後者の算定については、同図よりある工法で必要な修復材料と労務についての単価と数量に関する情報が必要となる。各ワークシートの関係を図 3.4 と 3.5 に示す。そして各損傷状態における必要人工や費用係数と修復性評価データベースとの関係を図 3.6 に示す。

大分類	中分類	小分類	細分類	損傷分類	損傷状態	修復工法	柱の単位表面積当たりの人の総和		各損傷状態における費用係数	
							人・日/m ²	人・日/m ²	α	
RC造 RC造 RC造 RC造 RC造		(タテマシ工法)	RC造 RC造 RC造 RC造 RC造	0	損傷無 軽微	修復不要	0.00	1.00		
				1	近寄らないと見えにくい程度のひび割れ (ひび割れ幅0.2mm未満)	シーリング工法	0.10	2.07		
				2	肉眼ではつきり見える程度のひび割れ (ひび割れ幅0.2~1.0mm程度) コンクリートがぼろぼろ剥落	シーリング工法 手動式エポキシ樹脂注入工法	0.34	2.22		
				3	比較のおおきなひび割れ (ひび割れ幅1.0~2.0mm程度) コンクリートがぼろぼろ剥落	シーリング工法 手動式エポキシ樹脂注入工法 RCパッチング	0.64	2.35		
				4	大きなひび割れ (ひび割れ幅2.0~5.0mm程度) コンクリートの剥落も多い	シーリング工法 手動式エポキシ樹脂注入工法 Uカット可とう性エポキシ樹脂 充填工法+自動式低圧樹脂注入 工法 RCパッチング	1.01	2.55		

⑤

修復工法		修復単位当たりの人工 rMi [人・日 /m ² (m)]
工法名	修復単位	
シーリング工法	m	0.03
手動式エポキシ樹脂注入工法	m	0.20
Uカット可とう性エポキシ樹脂充填工法 +自動式低圧樹脂注入工法	m	0.30
RCパッチング	m ²	7.10

④

損傷量割合 D/FI				
損傷分類				
0	1	2	3	4
0.00 m/m ²	3.61 m/m ²	4.37 m/m ²	3.66 m/m ²	3.55 m/m ²
0.00 m/m ²	0.00 m/m ²	1.05 m/m ²	2.00 m/m ²	1.66 m/m ²
0.00 m/m ²	0.00 m/m ²	0.00 m/m ²	0.00 m/m ²	0.95 m/m ²
0.00 m ² /m ²	0.00 m ² /m ²	0.00 m ² /m ²	0.019 m ² /m ²	0.04 m ² /m ²

③

図 3.1 構造部材(RC造・柱部材)の修復性評価データベースの例

損傷分類	工程	修復単位	修復単位当たりの費用 (円/修復単位)	損傷量 Di (修復単位)	修復単位あたりの人工 rMi (人・日/修復単位)	各工法の費用係数 α'	各損傷状態における人工の総和 dsMi (人・日)	各損傷状態における修復費用 (円)	全工程を普通作業員が作業した場合にかかる費用 (円)	各損傷状態における費用係数 α
S-C-F-NF 0 損傷無 軽微	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
						計	0.00	0	0	1.00
S-C-F-NF 1 近寄らないと見えにくい程度のひび割れ (ひび割れ幅0.2mm未満)	1	既存コンクリートの除去 (剥離部分や小塊)	-	-	-	-	-	-	-	-
	2	シーリング工法	840	20.72	0.03	2.07	0.60	17406	8413	2.07
						計	0.60	17406	8413	2.07
S-C-F-NF 2 肉眼ではっきり見える程度のひび割れ (ひび割れ幅0.2~1.0mm程度)	1	シーリング工法	840	25.08	0.03	2.07	0.73	21070	10184	2.07
	2	手動式エポキシ樹脂注入工法	6454	6.03	0.20	2.31	1.21	38898	16876	2.31
						計	1.93	59969	27060	2.22
S-C-F-NF 3 比較のおおきなひび割れ (ひび割れ幅1.0~2.0mm程度) コンクリートが癒わず剥落	1	既存コンクリートの除去 (剥離部分や小塊)	-	-	-	-	-	-	-	-
	2	シーリング工法	840	21.01	0.03	2.07	0.61	17647	8529	2.07
	3	手動式エポキシ樹脂注入工法	6454	11.48	0.20	2.31	2.30	74092	32144	2.31
	4	RCパッチング	268500	0.11	7.10	2.70	0.77	29283	10841	2.70
						計	3.68	121022	51514	2.35
S-C-F-NF 4 大きなひび割れ (ひび割れ幅2.0~5.0mm程度) コンクリートの剥落も多い	1	既存コンクリートの除去 (剥離部分や小塊)	-	-	-	-	-	-	-	-
	2	シーリング工法	840	20.38	0.03	2.07	0.59	17117	8273	2.07
	3	手動式エポキシ樹脂注入工法	6454	9.53	0.20	2.31	1.91	61496	26680	2.31
	4	Uカットシーリング材充填工法 + 自動式低圧樹脂注入工法	12031	5.45	0.30	2.85	1.65	65605	23055	2.85
	5	RCパッチング	268500	0.23	7.10	2.70	1.63	61648	22822	2.70
						計	5.77	205866	80830	2.55

図 3.2 構造部材(RC 造・柱部材) 各損傷状態における修復費用・必要人工・費用係数ワークシートの例

S-C-F-NF 1-2 シール工法

内訳	名称	単位	単価 UPI	数量 Ai	金額 (円)	備考
材料費	エポキシ樹脂プライマー	kg	2600	0.003	7.8	
	シール材	kg	2400	0.040	96.0	
人工	墨出し工	人・日	20000	0.005	100.0	
	清掃工	人・日	20000	0.005	100.0	
	プライマー工	人・日	20000	0.005	100.0	
	シール工	人・日	20000	0.010	200.0	
	雑工	人・日	20000	0.004	80.0	
消耗品		式		1	15.0	
工具損料		式		1	23.0	
現場管理費		式		1	37.0	
諸経費		式		1	82.0	
計				合計	840.8	合計
修復単位当たりの費用					840	円/m
修復単位当たりの人工 rMi					0.03	人・日/m
各工法の費用係数 α'					2.07	-

①

S-C-F-NF 2-3 手動式エポキシ樹脂注入工法

内訳	名称	単位	単価 UPI	数量 Ai	金額 (円)	備考
材料費	エポキシ樹脂注入剤	kg	3000	0.200	600.0	
	エポキシ樹脂プライマー	kg	2400	0.150	360.0	
	アルミパイプ 3φ	本	60	6.000	360.0	
人工	墨出し工	人・日	20000	0.005	100.0	
	穿孔工	人・日	20000	0.025	500.0	
	清掃工	人・日	20000	0.010	200.0	
	パイプセット及びシール工	人・日	20000	0.060	1200.0	
	注入工	人・日	20000	0.040	800.0	
	仕上げ工	人・日	20000	0.030	600.0	
	雑工	人・日	20000	0.030	600.0	
消耗品		式		1	106.0	
工具損料		式		1	163.0	
現場管理費		式		1	279.0	
諸経費		式		1	586.0	
計				合計	6454.0	合計
修復単位当たりの費用					6454	円/m
修復単位当たりの人工 rMi					0.20	人・日/m
各工法の費用係数 α'					2.31	-

図 3.3 構造部材 (RC 造・柱部材) の各工法における

①'

修復費用・必要人工・費用係数を算出する方法

ここで、図 3.3 で取り上げた各工法は専門的な修復工法のため一般に公開されている書籍が入手できなかったため、各工法の単価や数量については専門業者へヒアリングを行って算出している。

・各工法における修復単位当たりの費用：各工法に必要な材料費や労務費、その他機械設備費等を合計した金額を修復単位で除した値

・各工法における修復単位当たりの人工 rMi：各工法で必要とされる作業工の歩掛りの総和。

・各工法における費用係数 α'：修復単位当たりの人工 rMi と普通作業員の労務単価 14000 円を乗じて、修復単位当たりの費用との比をとった係数である。上図中のシール工法の場合、rMi=0.03、修復単位当たりの費用が 840 円/m なので各工法の費用係数 α' は以下のように算定される。

$$\alpha' = (840 / (0.03 \times 14000)) = 2.07$$

同様に手動式エポキシ樹脂注入工法では、rMi=0.20、修復単位当たりの費用が 6454 円/m より費用係数 α' は、以下のように算定される。

$$\alpha' = (6454 / (0.20 \times 14000)) = 2.31$$

S-C-F-NF 1-2 シール工法

内訳	名称	単位	単価 UPI	数量 AI	金額 (円)	備考
材料費	エポキシ樹脂プライマー	kg	2600	0.003	7.8	
	シール材	kg	2400	0.040	960	
人	搬出し工	人・日	20000	0.005	1000	
	清掃工	人・日	20000	0.005	1000	
	プライマー工	人・日	20000	0.005	1000	
	シール工	人・日	20000	0.010	2000	
	雑工	人・日	20000	0.004	800	
消耗品		式		1	150	
工具損料		式		1	230	
現場管理費		式		1	370	
諸経費		式		1	820	
計					840.8	
修復単位当たりの費用					840	円/m
修復単位当たりの人工 rMI					0.03	人・日/m
各工法の費用係数 α'					2.07	-

損傷分類	工程	修復単位	修復単位当たりの費用 (円/修復単位)	修復量 α' (修復単位)	修復単位あたりの人工 rMI (人・日/修復単位)	各工法の費用係数 α'	各損傷状態における人工の総和 dsMI (人・日)	各損傷状態における修復費用 (円)	全工程を普通作業員が作業した場合にかかる費用 (円)	各損傷状態における費用係数 α
S-C-F-NF 2 肉眼ではっきり見える程度のひび割れ (ひび割れ幅0.2~1.0mm程度)	1 シール工法	m	840	25.08	0.03	2.07	0.73	21070	10184	2.07
	2 手動式エポキシ樹脂注入工法	m	6454	6.03	0.20	2.31	1.21	38898	16876	2.31
						計	1.93	59969	27060	2.22

S-C-F-NF 2-3 手動式エポキシ樹脂注入工法

内訳	名称	単位	単価 UPI	数量 AI	金額 (円)	備考
材料費	エポキシ樹脂注入剤	kg	3000	0.200	6000	
	エポキシ樹脂プライマー	kg	2400	0.150	3600	
人	アルミパイプ3φ	本	60	6000	3600	
	搬出し工	人・日	20000	0.005	1000	
	清掃工	人・日	20000	0.025	5000	
	打設工	人・日	20000	0.010	2000	
	ハイブセット及びシール工	人・日	20000	0.060	12000	
	注入工	人・日	20000	0.040	8000	
	仕上げ工	人・日	20000	0.030	6000	
	雑工	人・日	20000	0.030	6000	
消耗品		式		1	1060	
工具損料		式		1	1630	
現場管理費		式		1	2790	
諸経費		式		1	5860	
計					64540	
修復単位当たりの費用					6454	円/m
修復単位当たりの人工 rMI					0.20	人・日/m
各工法の費用係数 α'					2.31	-

5.74 × 4.37 (柱表面積を 5.74m² の場合)

5.74 × 1.05

損傷量割合 D/FI			
損傷分類			
0	1	2	3
0.00 m ²	3.61 m ²	4.37 m ²	3.66 m ²
0.00 m ²	0.00 m ²	1.05 m ²	2.00 m ²
0.00 m ²	0.00 m ²	0.00 m ²	0.00 m ²
0.00 m ² /m ²	0.00 m ² /m ²	0.00 m ² /m ²	0.019 m ² /m ²
0.00 m ² /m ²	0.00 m ² /m ²	0.00 m ² /m ²	0.04 m ² /m ²

図 3.4 各工法の修復単位当たり及びある損傷状態における修復費用・必要人工・費用係数ワークシートとの関係

修復単位当たりの費用 × 損傷量 D_i

修復単位当たりの人工 rMi × 損傷量 D_i

損傷分類	工程	修復単位	修復単位当たりの費用 (円/修復単位)	損傷量 D_i (修復単位)	修復単位当たりの人工 rMi (人・日/修復単位)	各工法の費用係数 α'	各損傷状態における人工の総和 $dsMi$ (人・日)	各損傷状態における修復費用 (円)	全工程を普通作業員が作業した場合にかかる費用 (円)	各損傷状態における費用係数 α
S-C-F-NF 2 肉眼ではっきり見える程度のひび割れ (ひび割れ幅0.2~1.0mm程度)	1 シール工法	m	840	25.08	0.03	2.07	0.73	(21070)	10184	2.07
	2 手動式エポキシ樹脂注入工法	m	6454	6.03	0.20	2.31	1.21	(38898)	16876	2.31
						計	1.93	(59969)	27060	2.22

各損傷状態における人工の総和 $dsMi$
× 普通作業員労務単価 14000 円

図 3.5 ある損傷状態における修復費用・必要人工・費用係数の算出過程
(図中の単価や数量について、壁面全クロス撤去は文献6)、壁面新クロス張りは文献7) 参照)

- ・各損傷状態における人工の総和 $dsMi$: 修復単位当たりの人工 rMi に損傷量 D_i を乗じたものの総和
- ・各損傷状態における修復費用 : 修復単位当たりの費用に損傷量 D_i を乗じたものの総和
- ・各損傷状態における費用係数 α : 各損傷状態における人工の総和 $dsMi$ に普通作業員労務単価 14000 円を乗じたものと、ある損傷状態における修復費用との比。図 3.5 の場合、ある損傷状態における修復費用が 59969 円で、当該損傷状態における人工の総和 $dsMi$ が 1.93 より、この損傷状態における修復費用係数 α の値は、以下のように算定される。

$$\alpha = 59969 / (1.93 \times 14000) = 2.22$$

損傷分類	工程	修復単位	修復単位当たりの費用 (円/修復単位)	修復単位当たりの人工 rMi (人・日/修復単位)	各工法の費用係数 α'	各損傷状態における人工の総和 dsMi (人・日)	各損傷状態における修復費用 (円)	全工程を普通作業員が作業した場合にかかる費用 (円)	各損傷状態における費用係数 α
S-C-F-NF 2 肉眼ではっきり見える程度のひび割れ (ひび割れ幅0.2~1.0mm程度)	1	シーリング工法	840	0.03	2.07	0.73	21070	10184	2.07
	2	手動式エポキシ樹脂注入工法	6454	0.20	2.31	1.21	38898	16876	2.31
					計	1.93	59969	27060	2.22

各損傷状態における人工の総和 dsMi
÷ 柱表面積 5.74 m²

大分類	中分類	小分類	細分類	損傷分類	損傷状態	修復工法	柱の単位表面積当たりの人工の総和		各損傷状態における費用係数 α
							人・日/m ²	人・日/m ²	
柱の割傷	RC	(タテ)	曲り割れ 幅0.2程度 深さ1.0 長さ0.5	0	損傷無 軽微	修復不要	0.00	0.00	1.00
				1	近寄らないと見えにくい程度のひび割れ (ひび割れ幅0.2mm未満)	シーリング工法	0.10	2.07	
				2	肉眼ではっきり見える程度のひび割れ (ひび割れ幅0.2~1.0mm程度) コンクリートが極わずが剥落	シーリング工法 手動式エポキシ樹脂注入工法	0.34	2.22	
				3	比較のおおきなひび割れ (ひび割れ幅1.0~2.0mm程度) コンクリートが極わずが剥落	シーリング工法 手動式エポキシ樹脂注入工法 RCパッチング	0.64	2.35	
				4	大きなひび割れ (ひび割れ幅2.0~5.0mm程度) コンクリートの剥落も多い	シーリング工法 手動式エポキシ樹脂注入工法 Uカット可とう性エポキシ樹脂 充填工法+自動式低圧樹脂注入工法 RCパッチング	1.01	2.55	

図 3.6 ある損傷状態における修復単位当たりの必要人工・費用係数 (ワークシート) と修復性評価データベースの関係

3.4.2 修復性評価ワークシート

修復性ワークシートは、損傷評価 DB 同様、修復性評価 DB の根拠となるデータである。3.4.1 に示した。

3.5 非構造部材

3.5.1 修復性評価データベース

非構造部材に関する修復性評価データベースの例を表 3.4 に示す。

表 3.4 修復性評価データベースの例 (内装材間仕切壁の場合)

大分類	中分類	小分類	細分類	損傷分類	損傷状態	修復工法	壁の単位表面積当たりの人工の総和	各損傷状態における費用係数
							人・日/m ²	α
非構造部材	内装材	間仕切壁 12m ² (内装仕上げ材含む)	本体壁 軽鋼骨組下地 (LGS) 開口 (扉) 無し 石膏ボード 2 枚貼り	NS+P-PB-LGS-W- NO-B2 (12) 0	損傷無し	修復不要	0.00	1.00
				NS+P-PB-LGS-W- NO-B2 (12) 1	クロス表面にしわ波・切れ	全面塗装	0.08	2.30
				NS+P-PB-LGS-W- NO-B2 (12) 2	壁面4隅のボード端部の損傷 (ふくれやはらみ)	壁面4隅の上貼りボード取替 全面塗装	0.14	1.95
				NS+P-PB-LGS-W- NO-B2 (12) 3	縦目地にひび割れなどの 損傷が壁全体へ拡大	全上貼りボード取替 全面塗装	0.19	1.83
				NS+P-PB-LGS-W- NO-B2 (12) 4	ボードが極端に面外方向へ 変形	全ボード取替 壁下地材修正 全面塗装	0.22	1.88
				NS+P-PB-LGS-W- NO-B2 (12) 5	ボードが一部落下 壁下地材の損傷	全ボード・壁下地材の取替 全面塗装	0.29	1.94

3.5.2 修復性評価ワークシート

非構造部材に関する修復性評価ワークシートの例を図 3.7 に示す。ここでは表 3.4 で示した内装材間仕切壁用の修復性評価データベースの根拠となるワークシートを示す。損傷状態の仮定は、表 3.4 における「クロス表面にしわ波、切れ」時のワークシートを取り上げた。また、各係数の算定方法は構造部材と同様であるため、ここでは算定方法は省略し、必要となる情報のみを示す。

NS-I-P-PB-LGS-W-NO-B2 (12) 1-1 壁面全クロス撤去

名称	規格	壁クロス			備考
		単価 UPI	数量 Ai	金額 (円)	
普通作業員	(労) × 0.16	14000	0.03	420.0	
その他			1	67.0	
計				487.0	
		修復単位当たりの費用			487 円/m ²
		修復単位当たりの人工 rMi			0.030 人・日/m ²
		各工法の費用係数 α'			1.16
					-

NS-I-P-PB-LGS-W-NO-B2 (12) 1-2 壁面新クロス張り

名称	規格	単位	単価 UPI	数量 Ai	金額 (円)	備考
クロス		m ²	880	1.05	924.0	クロスの種類により金額が変わる 315円×0.8
接着剤		kg	252	0.18	45.4	
内装工		人・日	17600	0.05	880.0	
その他	(材+労) × 0.13		一式		240.0	
計					2089.4	
		修復単位当たりの費用			2089 円/m ²	
		修復単位当たりの人工 rMi			0.050 人・日/m ²	
		各工法の費用係数 α'			2.98	
					-	

図 3.7 壁面全クロス除去・壁面新クロス張り工法による修復単位当たりの修復費用・必要人工・費用係数ワークシート

損傷分類	工程	修復単位	修復単位当たりの費用 (円/修復単位)	損傷量 Di (修復単位)	修復単位あたりの人工 rMi (人・日/修復単位)	各工法の費用係数 α' (c)	各損傷状態における人工の総和 cαMi (人・日)	各損傷状態における修復費用 (円)	全工程を普通作業員が作業した場合にかかる費用 (円)	各損傷状態における費用係数 α (-)
NS-I-P-PB-LGS-W-NO-B2 (12) 1 クロス表面にしわ波・切れ	壁面全クロス撤去	m ²	487	12.0	0.03	1.16	0.36	5844	5040	1.16
	壁面新クロス張り	m ²	2089	12.0	0.05	2.98	0.60	25068	8400	2.98
						計	0.96	30912	13440	2.30

図 3.8 ある損傷状態時における修復費用・必要人工・費用係数ワークシート

3.6 設備機器

3.6.1 修復性評価データベース

設備機器に関する修復性評価データベースの水槽（受水槽・高置水槽）周りの例を図 3.9 に示す。図中のデータベースとして明記されている③（破損が生じる損傷状態で全取替え補修を必要とする）を算出するためにワークシート（図 3.10）の②の情報が必要となる。それらをデータベースの根拠となる修復性評価ワークシートの値（図 3.11～図 3.12 の①）を基に算定する。また、各損傷状態における修復性評価ワークシートと修復性評価データベースとの関係を図 3.13 に示す。

小分類	仕様	修復分類	損傷状態	箇所当たりの人工の総和（人・日/箇所）	各損傷状態における費用係数 α	
水 槽 （ 受 水 槽 ・ 水 槽 ） り	水槽類	A	接続部 しみ	3	2.38	
	配管類	軽 修 微 補				
	防露工事					
	水槽	B	変形・ 漏水	19	受水槽	
	水槽回り配管	部 分 補 修			4.51	
	防露工事				高置水槽	
	電気工事					
	試験					
	試運転調整				3.76	
	水槽	C	破 損	81	受水槽	
	基礎工事	全 取 替			3.53	
水槽回り配管	高置水槽					
試験						
防露工事						
電気工事						
試運転調整	3.09					

図 3.9 設備機器（水槽周り）における修復性評価データベース

小分類	仕様	修復分類	損傷程度	工法	修復単位	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	計	特記事項				
水 槽（受水槽・高置水槽）周 り	水槽類	A	接続部	目	準備工	準備工	ホル ト・ ナット	目視・ 触診検 査	取り外 し	ホル ト・ ナット 類増 強	目視・ 触診検 査	事後工														
	配管類	軽 微 補 修	み			取り外 し		取り付 け																		
	防露工事					工事人・日 円/箇所	1	0	0	0.5	1	0	0.5										3/1	人・日/日 円	10万円	
	水槽	B		変 形 水	準備工	準備工	水抜き					変形・ 損傷部 材撤 去	交換部 材撤 入・組 み立					水張 (配管 内各 む)								
	水槽回りの配管	部 分 補 修				取り外 し					取り外 し				補修・ 取り付 け											
	防露工事					取り外 し																				
	電気工事																									
	試験 試運転調整																									
					工事人・日 円/箇所	2/1	1/1	1/1	1/1	2/1	2/1	2/1	3/1	2/1	1/0.5	1/1	1/1	2/1	1/0.5			19/11	人・日/日 円	120万円 高置水槽 100万円		
	水槽	C		破 損	目	準備工 (部材 発注)	水抜き					撤去 撤去	撤去 撤去	撤去 組立					水張(配管 内各む)							
	基礎工事	全 取 替												解体 発造												
	水槽回りの配管												撤去 撤去													
	試験																									
	防露工事																									
	電気工事																									
				工事人・日 円/箇所	2/1	1/1	1/1	1/1	1/1	6/2	9/3	12/4	28/7	12/4	1/0.5	4/2	2/1	2/1			81/28	人・日/日 円	受水槽 400万円 高置水槽 350万円			

図 3.10 設備機器（水槽周り）における修復性評価ワークシートの例

NO.	名 称	摘 要	数量	単位	単 価	金 額
1	受水槽更新					
	受水槽	FRP複合板ハネルタンク 5.0×3.0×2.5 耐震1.0G、平架台	1.00	基		2,684,000
	機器基礎工事					
	機器搬入費		1.00	式		218,400
	硬質塩化ビニルライニング鋼管	機械室便所 20A	4.00	m	3,720	14,880
	硬質塩化ビニルライニング鋼管	機械室便所 50A	1.00	m	8,700	8,700
	硬質塩化ビニルライニング鋼管	機械室便所 80A	6.00	m	13,300	79,800
	硬質塩化ビニルライニング鋼管	機械室便所 100A	3.00	m	17,700	53,100
	硬質塩化ビニルライニング鋼管	機械室便所 150A	2.00	m	27,000	54,000
	硬質塩化ビニル管	機械室便所 100A	3.00	m	7,990	23,970
	ゲート弁	JIS10K(コア) 20A	2.00	個	4,900	9,800
	ゲート弁	JIS10K(ライニング) 80A	3.00	個	40,700	122,100
	ゲート弁	JIS10K(ライニング) 100A	2.00	個	59,800	119,600
	定水位弁	80A	2.00	個	92,000	184,000
	ボールタップ	20A	2.00	個	7,080	14,160
	フレキシブルジョイント	20A	2.00	個	5,660	11,320
NO.	名 称	摘 要	数量	単位	単 価	金 額
	防振継手	80A	2.00	個	19,400	38,800
	防振継手	100A	2.00	個	24,200	48,400
	保温工事					
	GW保温筒アルミガラスクロス	20A	4.00	m	1,800	7,200
	GW保温筒アルミガラスクロス	80A	6.00	m	2,980	17,880
	GW保温筒アルミガラスクロス	100A	3.00	m	4,060	12,180
	GW保温筒アルミガラスクロス	150A	2.00	m	5,640	11,280
	弁保温(屋内露出)	80A	3.00	個	27,500	82,500
	弁保温(屋内露出)	100A	2.00	個	37,700	75,400
	撤去工事					
	重量機器		1.00	式		98,600
	配管、弁類		1.00	式		60,000
	計					4,050,070
破損の損傷状態における修復費用						
400万円						

合計

図 3.12 各損傷状態における修復費用の算出 (水槽全取替の場合)

図 3.13 を参考に修復性評価 DB 中に必要な各係数の算出方法を以下に示す。

- ・ 箇所当たりの人工の総和 (人・日/箇所)

修復性評価 WS 中に表記している各損傷状態における人工の総和の分子の数を箇所当たりの人工の総和とする。

- ・ 各損傷状態における費用係数 α

構造部材と同様に、各損傷状態における人工の総和に普通作業員労務単価 14000 円を乗じたものと、各損傷状態における修復費用との比で表わされる。

ここで、修復性評価 WS 中の各工法における必要工事人工はヒアリングなどに基づく値を採用しているため、根拠となるワークシートは存在しないことに留意する。また、図 3.12 中の各部位における数量や単価は文献 6) や文献 7) に基づいて決定される。例として、図 3.12 中の機械室便所に設ける口径 20A の硬質塩化ビニルライニング鋼管 (同図の点線で囲われた部分) の単価 3720 円/m の情報の基となるシートを以下に示す。

表 3.5 鋼管の資材価格 (文献 8) に基づく)

水 用		管 価		
(単位		(4m		
		(m	価	
B	15A	1.40	2010	→ 558 円/m
	20	1.82	2230	
	25	2.61	3110	
	32	3.61	4180	
	40	4.16	4790	
	50	5.66	6550	
A 116	65	7.92	9220	
	80	9.50	10800	
	100	13.10	15000	
	125	16.21	18500	
	150	21.50	24700	

ここで、表 3.5 は文献 8) に記載されている数値を採用している。よって同文献を参照することで鋼管の資材価格を得ることができる。但し、この状態での資材価格は同表より鋼管 4m 当たりの価格表示であるため、図 3.14 に示す資材単位に揃えるためには 1m 当たりの資材価格に換算する必要がある。

これにより同図に示す鋼管の複合単価表の単価が決定する。また、この単価に比率 1.1 を掛けることにより鋼管材料 1m 当たりの金額が算出される(比率は各機関の判断に基づく)。その他、労務費や機械設備等の各項目にかかる費用は、鋼管材料 1m 当たりの金額に基づき、各比率を掛けることによって算出される。

また、同図より複合単価は各項目の金額の総和となる。その複合単価の端数を切ったものが採用単価として決定され、これに等しいものが図 3.12 の単価となる。

図 3.12 による鋼管以外の各名称における単価の算出も、以上と同様の過程を踏み算出される。但し、この算出過程による単価には、材料費や機械経費のほかに労務費(人工)が含まれていることに留意する。

鋼管を取り付けるために必要な資材価格(材料費)、労務費、機械設備費等の項目 (管材単価の比率で表わされる)

管径	施工場所:機械室・便所配管		管材料 (円/m)		継手		接合材等		支持金物		配管工 (円/人)		はつり補修		その他		複合単価		採用単価	
	管単価	管単×1.10	管単×0.75	管単×0.05	管単×0.10	人工	金額	金額	金額	金額	金額	金額	金額	金額	金額	金額	金額	金額	金額	金額
A	503	552	376	25	50	0.107	1,958	156	156	18,300	1,958	156	156	211	3,328	3,328	3,328	3,328	3,328	3,320
15	558	613	418	27	55	0.120	2,196	175	175	18,300	2,196	175	175	237	3,721	3,721	3,721	3,721	3,721	3,720
20	776	855	583	38	77	0.148	2,708	216	216	18,300	2,708	216	216	292	4,760	4,760	4,760	4,760	4,760	4,760
25	1,045	1,149	783	52	104	0.181	3,312	264	264	18,300	3,312	264	264	357	6,021	6,021	6,021	6,021	6,021	6,020
32	1,198	1,317	898	59	119	0.199	3,641	291	291	18,300	3,641	291	291	393	6,718	6,718	6,718	6,718	6,718	6,710
40	1,638	1,801	1,228	81	163	0.250	4,575	366	366	18,300	4,575	366	366	494	8,708	8,708	8,708	8,708	8,708	8,700
50	2,305	2,535	1,728	115	230	0.325	5,947	475	475	18,300	5,947	475	475	642	11,672	11,672	11,672	11,672	11,672	11,600
65	2,700	2,970	2,025	135	270	0.368	6,734	538	538	18,300	6,734	538	538	777	13,399	13,399	13,399	13,399	13,399	13,300
80																				
	補給率:	管単×1.05																		
100	3,750	3,937	2,812	187	375	0.481	8,802	704	704	18,300	8,802	704	704	950	17,767	17,767	17,767	17,767	17,767	17,700
125	4,625	4,856	3,468	231	462	0.569	10,412	832	832	18,300	10,412	832	832	1,124	21,385	21,385	21,385	21,385	21,385	21,300
150	6,175	6,483	4,631	308	617	0.692	12,663	1,013	1,013	18,300	12,663	1,013	1,013	1,367	27,082	27,082	27,082	27,082	27,082	27,000

図 3.14 鋼管の複合単価表、及び工事費算出(文献9)に基づく)

資材価格

各項目の金額の総和=複合単価

$$613+418+27+55+2196+175+237=3721$$

採用単価 3720 円

||

図 3.12 の単価 3720 円

3.6.2 修復性評価ワークシート

3.6.1 の図中に示した。

4. 機能性評価データベースとワークシート

4.1 構造部材

4.1.1 機能性評価データベース

以下に、集合住宅や病院等を例にした場合のそれぞれについて、構造部材の損傷が機能性に及ぼす影響を整理した。

表 4.1 機能性評価データベース 1 (集合住宅)

損傷と機能性の関係								
属性				損傷評価関連		機能性関連		
大分類	中分類	小分類	細分類	損傷を支配する工学量	損傷状態	不具合事象	不具合事象によって低下する性能	損傷による人的損失
構造部材	RC造	耐力壁	曲げ破壊 開口有 打ち放し	変形	小破	・ひび割れの印象が悪い	・美観性	なし
					中破1	・雨漏りが起こる ・隣室の音が気になる	・遮音性 ・防水性A	なし
					中破2	・水が出ない ・火災時、延焼を防止できない。 ・ひどい雨漏り（応急対応困難な雨漏り）が起こる	・設備機能性 ・耐火性 ・防水性B	あり
					大破	・避難できない ・家に住めない（避難生活となる） ・家を失う（建て替えや大規模補修）	・避難安全性 ・構造安全性 ・経済性	あり
		梁・柱	曲げ破壊 開口有 打ち放し	変形	小破	・ひび割れの印象が悪い	・美観性	なし
					中破1	・雨漏りが起こる ・鉄筋のさび	・耐久性 ・防水性A	なし
					中破2	・ひび割れ、あるいは一部の剥落 ・たわみ ・ひどい雨漏り（応急対応困難な雨漏り）が起こる	・設備機能性 ・耐火性 ・防水性 ・居住性	あり
					大破	・鉄筋露出、コンクリートの剥落 ・家に住めない（避難生活となる） ・家を失う（建て替えや大規模補修）	・避難安全性 ・構造安全性 ・経済性	あり
	柱	せん断破壊 タイル仕上げ	変形	小破	・ひび割れの印象が悪い	・美観性A	なし	
				中破1	・雨漏りが起こる ・鉄筋のさび ・タイルの剥落	・耐久性 ・防水性 ・美観性B	なし	
				中破2	・ひび割れ、あるいは一部の剥落 ・たわみ ・タイル落下 ・ひどい雨漏り（応急対応困難な雨漏り）が起こる	・設備機能性 ・耐火性 ・防水性 ・居住性 ・人的安全性A	あり	
				大破	・鉄筋露出、コンクリートの剥落 ・短柱のせん断破壊 ・避難できない ・家に住めない（避難生活となる） ・家を失う	・構造安全性 ・避難安全性 ・人的安全性B ・経済性	あり	

表 4.2 機能性評価データベース 2 (病院等)

損傷と機能性の関係								
属性				損傷評価関連		機能性関連		
大分類	中分類	小分類	細分類	損傷を支配する工 学量	損傷状態	不具合事象	不具合事象によって 低下する性能	損傷による人 的損失
構造部材	SRC造 RC造	柱	曲げ破壊 モルタル仕上 げ	変形	小破	・よく見ると軽微なクラックが生じている	・美観性	なし
					中破1	・軽微なクラックが生じ、雨漏りが発生し、鉄筋がさびる。	・美観性 ・防水性 ・材料の安全性	なし
					中破2	・軽微なクラックが生じ、雨漏りが発生し、鉄筋がさびる。 ・モルタル仕上げが剥落。	・美観性 ・防水性 ・材料の安全性	なし
					大破	・離れても肉眼で確認できるクラックが発生している。 ・雨漏りが発生し、鉄筋が錆び、仕上げの補修が必要。 ・柱取付け器具等が損傷し治療に影響がでる。	・美観性 ・防水性 ・材料の安全性 ・耐火性 ・構造安全性	あり
	SRC造 RC造	柱	せん断破壊 モルタル仕上 げ	変形	小破	・よく見ると軽微なクラックが生じている	・美観性	なし
					中破1	・軽微なクラックが生じ、雨漏りが発生し、鉄筋がさびる。	・美観性 ・防水性 ・材料の安全性	なし
					中破2	・軽微なクラックが生じ、雨漏りが発生し、鉄筋がさびる。 ・モルタル仕上げが剥落。	・美観性 ・防水性 ・材料の安全性	なし
					大破	・離れても肉眼で確認できるクラックが発生している。 ・雨漏りが発生し、鉄筋が錆び、仕上げの補修が必要。 ・柱取付け器具等が損傷し治療に影響がでる。	・美観性 ・防水性 ・材料の安全性 ・耐火性 ・構造安全性	あり
	SRC造 RC造	大梁	曲げ破壊	変形	小破	・よく見ると軽微なクラックが生じている	・美観性	なし
					中破1	・軽微なクラックが生じている。	・美観性 ・構造安全性	なし
					中破2	・大きなクラックが発生し、一部にコンクリートの剥離。	・美観性 ・構造安全性 ・耐火性	なし
					大破	・全体に大きなクラックが生じ、コンクリートの剥離が多い。 ・病室からの非難が必要。医療機器の損傷。	・美観性 ・構造安全性 ・耐火性 ・避難安全性	コンクリートの剥離で軽傷者
	RC造 (SRC造)	耐力壁	曲げ破壊 開口有	変形	小破	・よく見ると軽微なクラックが生じている	・美観性	なし
					中破1	・軽微なクラックが生じている。 ・0.3mm幅のひび割れが、0.5m/m ² 発生、壁面の補修が必要。	・防水性 ・美観性 ・遮音性	なし
					中破2	・大きなクラックが生じ、一部コンクリートの剥離がある。壁面の5%のコンクリートが剥離。	・構造安全性 ・防水性 ・耐火性 ・遮音性	コンクリートの剥離で軽傷者
					大破	・大きなクラックが生じ、コンクリートの剥離が多い。 ・火災時延焼防止できない。	・構造安全性 ・防水性 ・耐火性 ・遮音性	コンクリートの落下で怪我人

4.1.2 機能性評価ワークシート

過去の地震災害調査報告などから構造部材（RC造部材）の損傷写真を調査し、被害状況としてシートに纏め、これを機能性評価ワークシートとした。

調査した地震報告書は、以下に示す通りである。

1978年宮城県沖地震

1995年兵庫県南部地震

2004年新潟県中越地震

以下に、2004年新潟県中越地震が発生した時の、4階建て建築物の1階RC造柱の脚部の被害状況を纏めたワークシートの例を示す。どの部位がどのように損傷しているかは地震後のシナリオを示す上で貴重な情報である。地震被害調査は専門家によって実施されており、これらの情報を設計に反映させることの意義は大きい。また一方で、実際にユーザが被災後どのような不具合を経験したかについては、地震後行われるアンケート調査やマスコミ等の取材による時系列の情報が極めて貴重である。

このように大規模な地震が発生した後に得られる上記の情報が、機能性評価DBに反映され、建築物ユーザなどの一般市民にとって建築物の構造設計に活かされることが今後さらに重要となるだろう。

被害状況	
階	1階
部位	柱
破壊性状	柱脚における曲げ圧縮破壊。 かぶりコンクリートが剥落し、主筋の座屈が見られた。
損傷レベル	中破2-大破
修復情報	主筋の座屈部分とかぶりコンクリートの修復が必要。
部位の属性	
仕上げ種類	モルタル仕上げ
破壊モード	曲げ破壊
建物情報	
建物名	不明
建物構造	RC造
建物用途	薬局
建築地	新潟県
建物高さ	4階建て
竣工年	不明
地震動情報	
地震名	新潟県中越地震(2004年)
マグニチュード	6.8
震度	
加速度	近隣施設の基礎部分で約800ガルを観測
機能性評価	
不具合事象	ひどく損傷しており、地震後に通常業務を行うことは不可能。修復を行うことが必要。余震に対する建物の耐震性が不安
不具合事象によって低下する性能	美観性、耐久性、構造安全性
損傷による人的損失	外部に面する柱であり、損傷箇所も柱脚部であるため人的損失のおそれはない。



写真 4.1 機能性評価ワークシート（構造部材¹⁰⁾）

5 データベース整備のための実大実験概要

5.1 実験背景

第1編で提案する新たな構造性能評価システムにおいて必要となるデータベース整備を目的として、非構造部材や設備を取り付けた実大 RC 造架構に対する正負繰返し静的載荷実験を行い、試験体の各部位の変形角ごとの損傷状態に関するデータ収集を行った。構造部材の損傷低減を目的とした実験は数多く見られるが、一方で損傷計測を目的とした実験はほとんど行われておらず、今回の実験の重要性は高いといえる。

5.2 実験概要

試験体は開口付き非耐力壁を有する実大 RC 造架構であり、これは一般的な共同住宅をモデルにして設計している。実大としている理由は、部材に発生するひび割れ幅や本数などの損傷は寸法効果の影響を受け、建築物の修復性能を評価するためには、それらの損傷に対して正確な情報を得ることが重要であるためである。試験体諸元を表 5.1 に、試験体平面図を図 5.1 に、立断面を図 5.2、配筋図を図 5.3 に示す。また、試験体概観を写真 5.1、試験体形状を写真 5.2 に示す。

本試験体では、表 5.1 に示す RC 造構造体のみならず、建築物全体の損傷評価を行うことを目的としているため、一般によく用いられている非構造部材と設備機器を取り付けて、それらに関するデータも併せて収集した。

表 5.1 試験体諸元

構造	鉄筋コンクリート(RC)造
柱	700×700mm
壁	厚さ120mm (3方完全スリット、25mm)
梁	500×700mm
小梁	300×600mm
スラブ	厚さ200mm

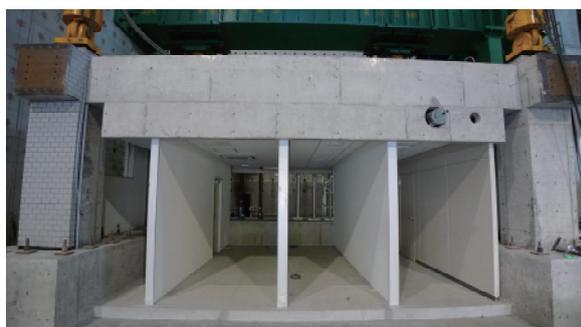


写真 5.1 試験体概観

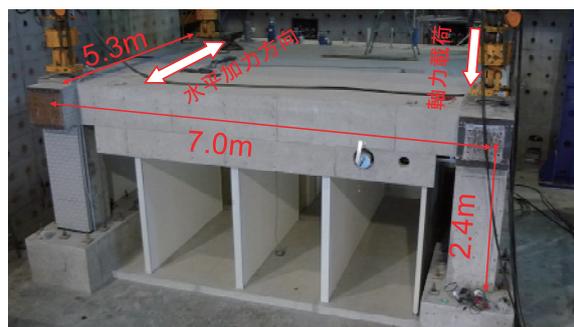
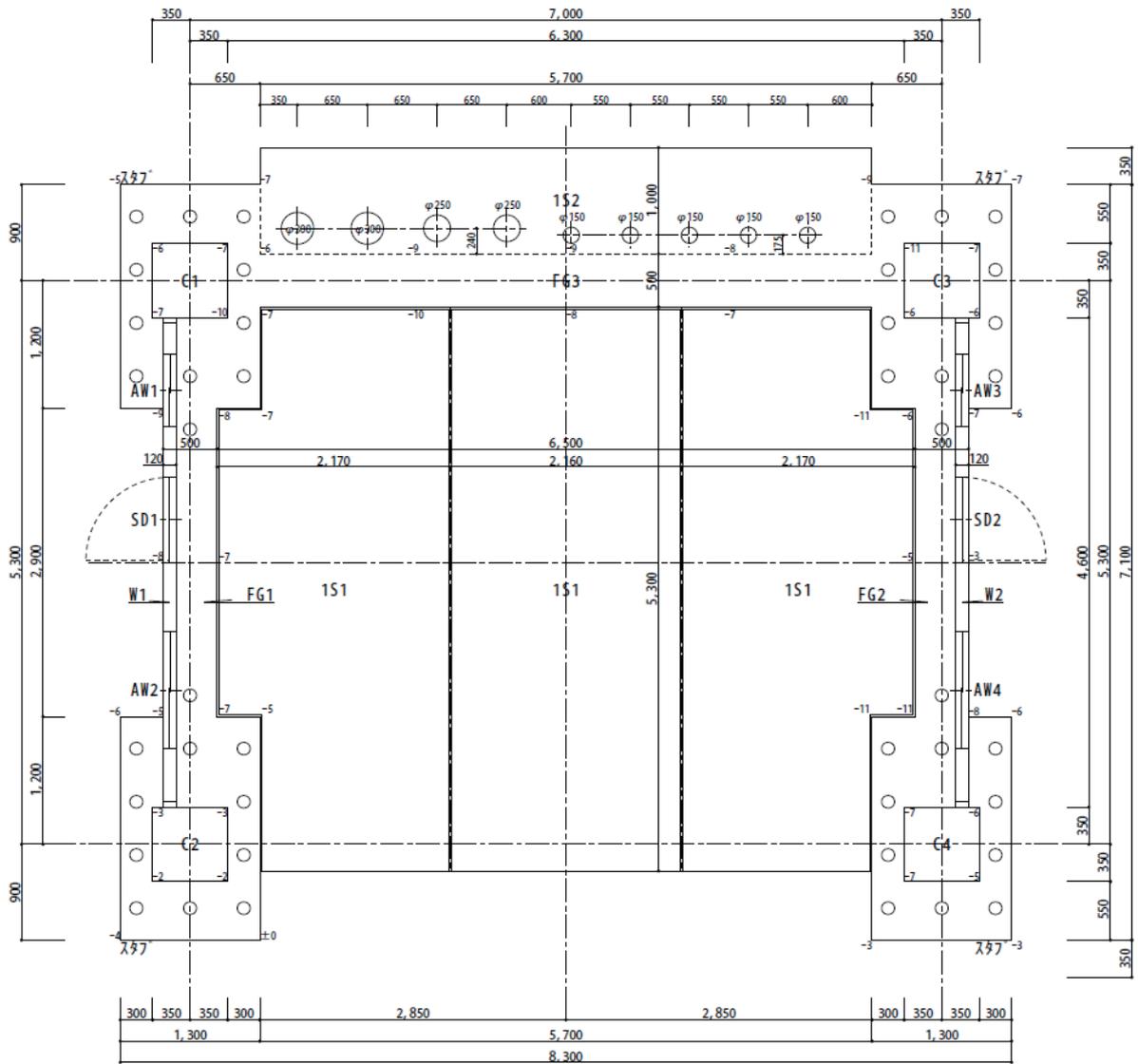


写真 5.2 試験体形状



1階平面図（下方向が北）

図 5.1 試験体平面図

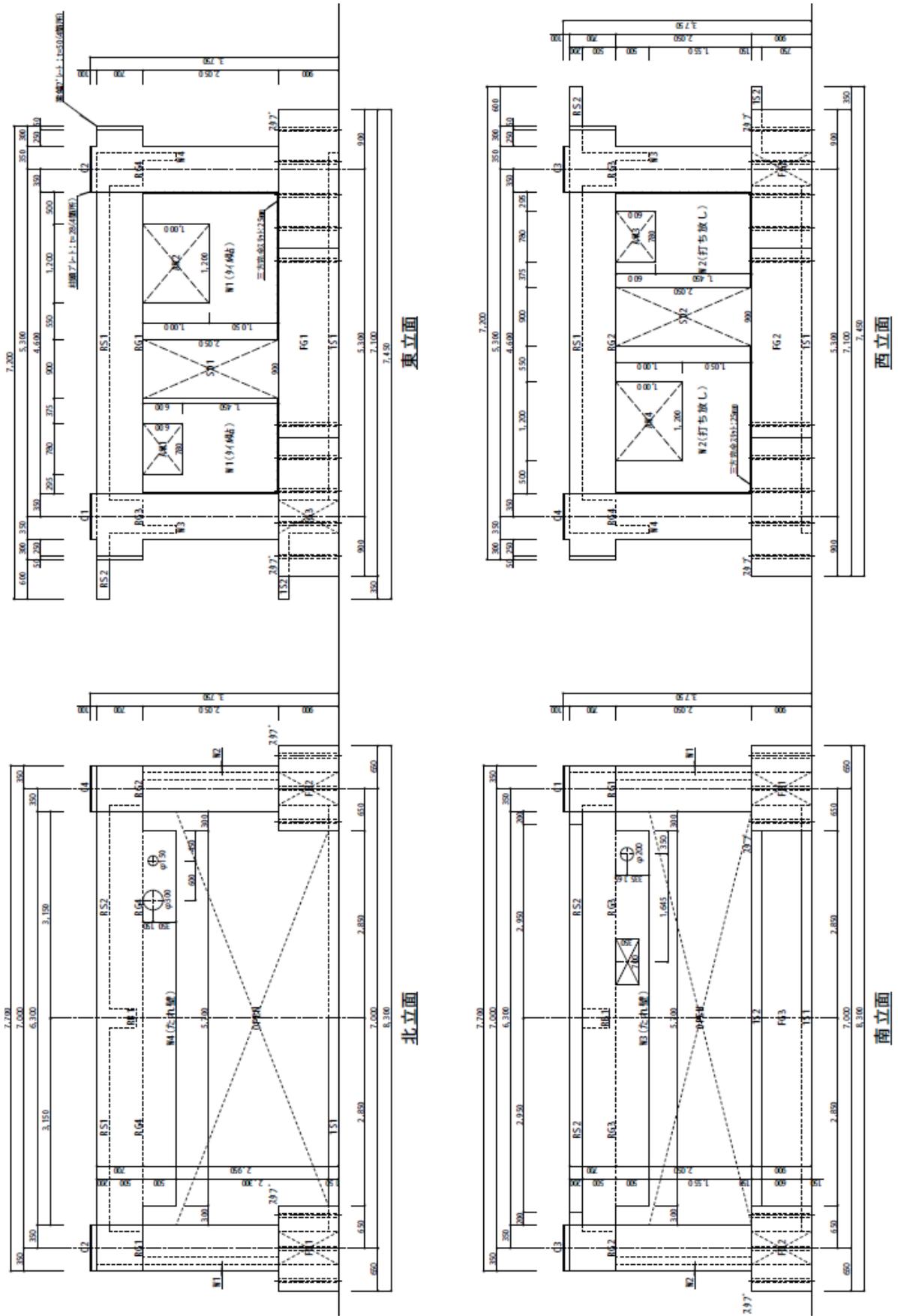


图 5.2 立面图

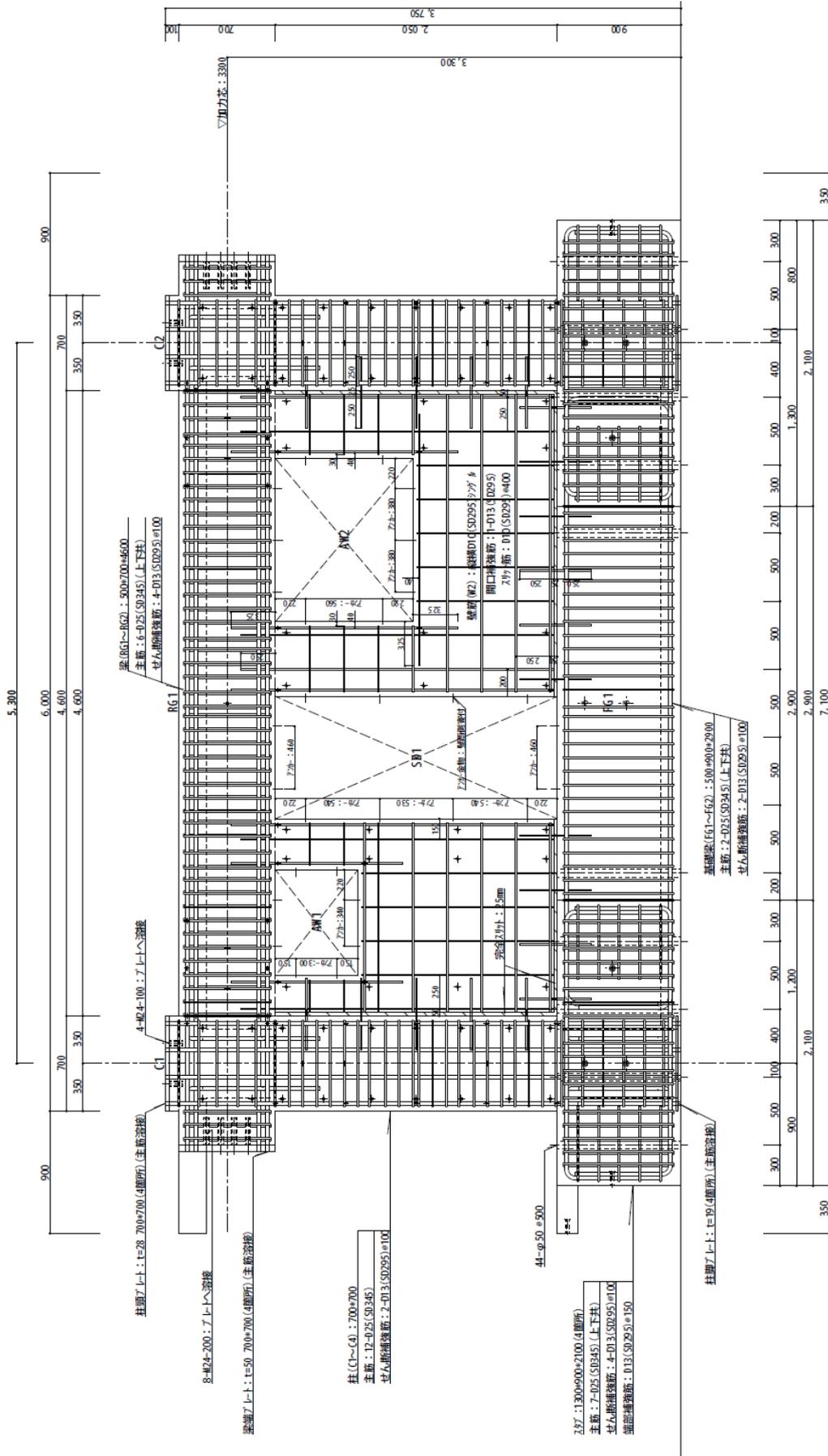


図 5.3 東立面配筋図

5.2.1 RC造外壁

東側外壁は、小口タイル張り（改良圧着張り工法（壁下地上の張付けモルタルに、張付けモルタルのついたタイルを圧着張付ける工法）、柱と梁の半分は接着剤張り（壁下地に接着剤を介してタイルを貼り付ける工法））仕上げで、外壁内側は石膏ボード EP（厚 12.5+9.5mm）を直張り（GL工法）している。また、開口部には写真 5.3 に示すように、軽量スチールフラッシュ戸（非耐震型）、FIX窓（アルミサッシ 開口の大きさによる違い）を取り付けている。

西側外壁は、コンクリート打放しで、外壁内側は石膏ボード EP（厚 12.5+9.5mm）を軽量鉄骨軸組下地（ピン打工法）としている。また、開口部には写真 5.4 に示すように、軽量スチールフラッシュ戸（耐震型）、引き違い窓（アルミサッシ）、内倒し窓（アルミサッシ）を取り付けている。

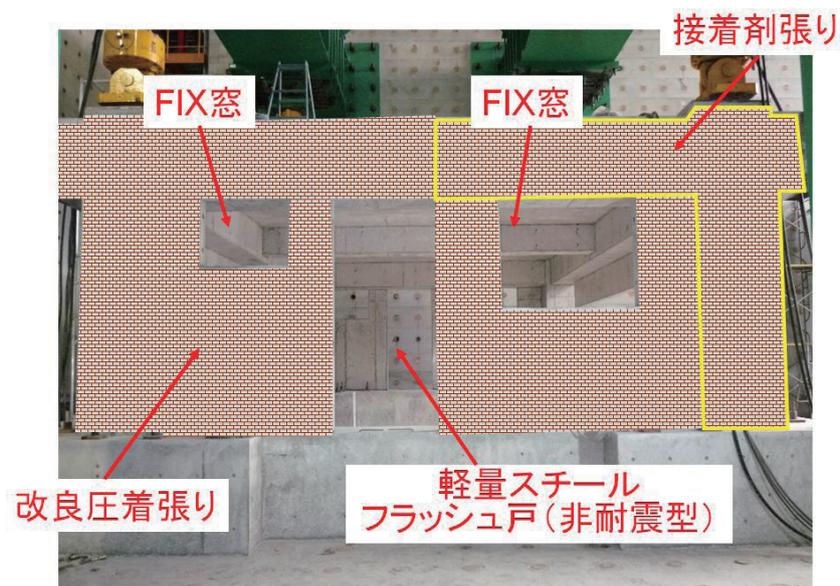


写真 5.3 試験体東面外壁



写真 5.4 試験体西面外壁

5.2.2 内壁・天井

間仕切り壁および天井の仕様は、以下のとおりである。

- 壁 A : 軽量鉄骨軸組下地+石膏ボード EP (厚 12.5+9.5mm、ピン打工法)、
軽量スチールフラッシュ戸 A、壁勝ち
- 壁 B : 軽量鉄骨軸組下地+無機質繊維強化版 EP (厚 12mm、ピン打工法)、
軽量スチールフラッシュ戸 B、壁勝ち
- 壁 C : 軽量間仕切りパネル式 (厚 70mm、両面銅板)、
軽量スチールフラッシュ戸 C、システム天井、天井勝ち
- 壁 D : 軽量鉄骨軸組下地+石膏ボード EP (厚 12.5+9.5mm、ピン打工法)、
扉なし、システム天井、天井勝ち
- 在来天井 : 軽量鉄骨軸組下地+石膏ボード EP (厚 9mm、ピン打工法)、
たれ壁とのクリアランスなし
- システム天井 : 外周部クリアランス 20mm 程度



写真 5.5 試験体内部 (間仕切壁・天井)

5.2.3 設備機器

給排水関係の仕様は、以下の通りである。

	立て管	取出し管
給水管①	100A PE 管 (建築設備用ポリエチレンパイプ)	PE 管
給水管②	50A SUS 管 (ステンレス)	20A SUS 管
給水管③	100A SUS 管 (ステンレス)	50A SUS 管
給水管④	100A SGP 管 (塩ビライニング鋼管)	50A SGP 管

ここで、取出し管は通常の集合住宅で多く用いられている 2 エルボで、床面に U バンドで固定する方法とした。

	立て管	排水管継ぎ手
排水管①	100A VLP 管	単管式
排水管②	100A 鋳鉄管	単管式
排水管③	125A VLP 管	単管式
排水管④	125A SGP 管	通気管式

空調関係は、空調機本体と空調機用配管、排煙口、システム天井用制気口で、その他として天井照明器具（システム天井用、在来天井用）を取り付けている。

5.3 加力計画

加力は正負交番繰返し载荷で行った。アクチュエータにより1本の柱につき920kNの軸力を一定で载荷し（軸力比、 $\eta = N_o / (bDFc) = 0.06$ ）、水平力は4台の油圧ジャッキにより与えた。

载荷履歴は1/1600、1/800、1/400、1/200、1/100、1/67、1/50rad.の順に漸増させ、最終的に1/17rad.まで载荷した。特に1/200から1/50rad.までは同振幅2回の繰返しを行った。図5.4に载荷プログラムを示す。また、図5.5から図5.7に载荷装置概要を示す。

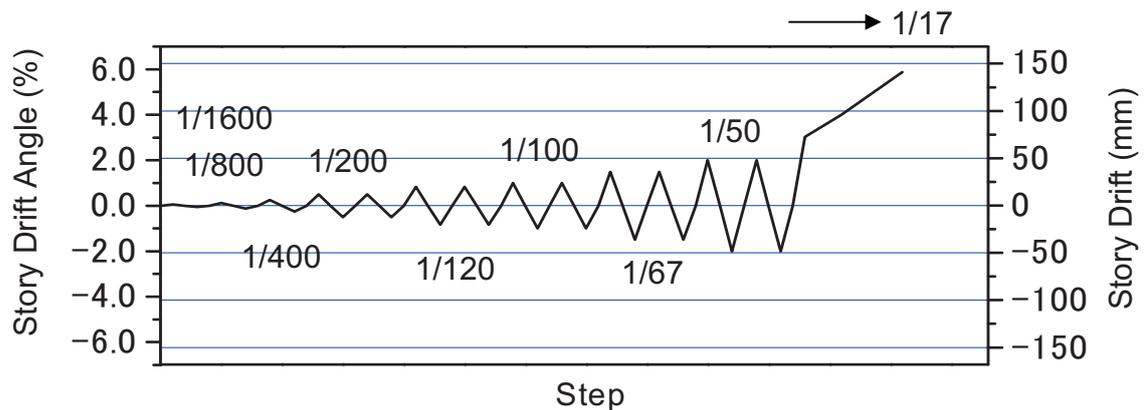


図 5.4 载荷プログラム

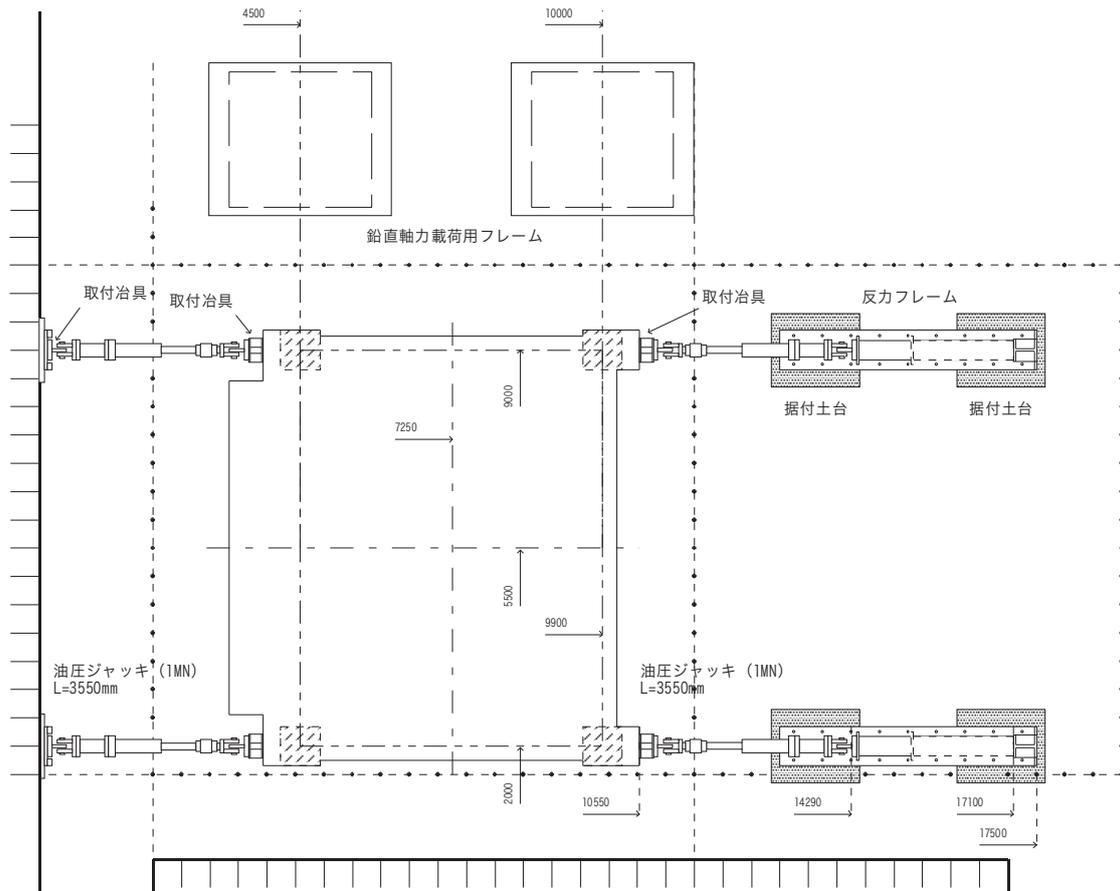


図 5.5 荷装置概要 平面図

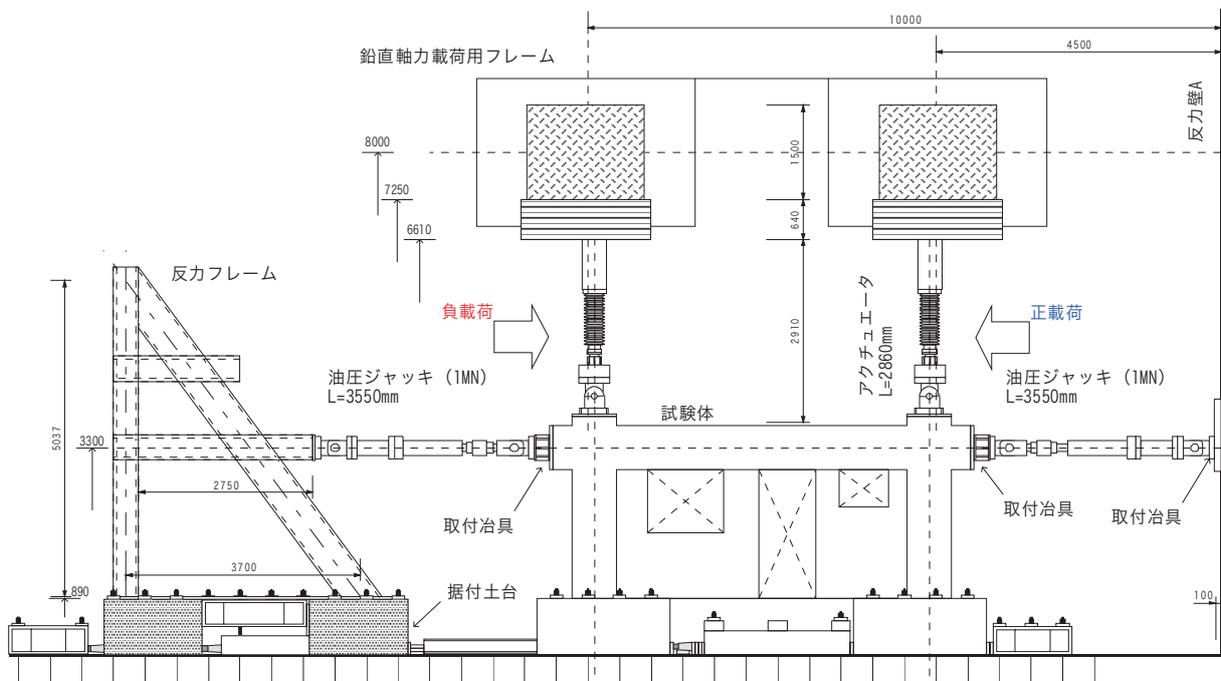


図 5.6 荷装置概要 立面図 (西側)

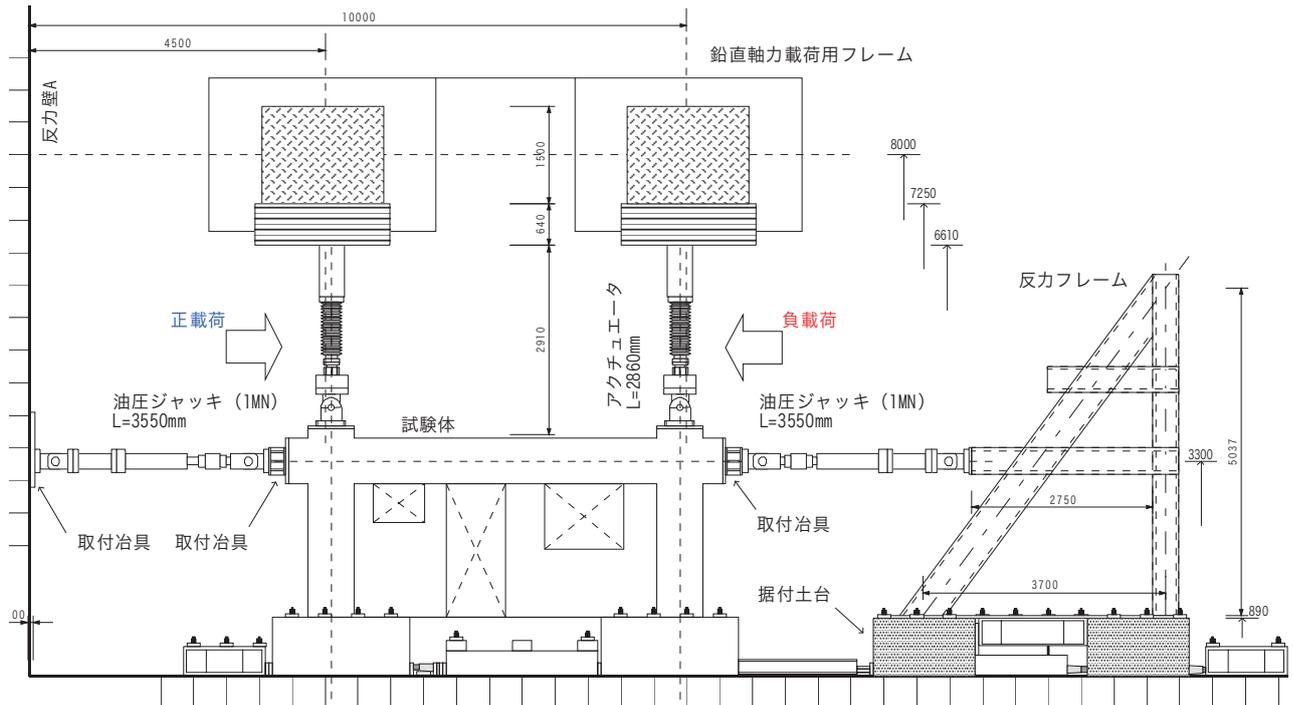


図 5.7 荷装置概要 立面図 (東側)

5.4 計測計画

損傷評価データの収集のため、表 5.2 に挙げる各部位に対して層間変形角に依存したひび割れ長さやひび割れ幅、ひび割れ本数といった損傷量や損傷状況の計測を行った。また、各部位に変位計を取り付けて、荷履歴ごとの部材角や変位量の大きさを計測した。

表 5.2 計測部位一覧

構造部材	RC 造梁・柱
外壁	打ち放し仕上げ
	タイル仕上げ
内壁	無機質繊維強化板 EP (壁勝ち)
	石膏ボード EP (壁勝ち)
	石膏ボード EP (天井勝ち)
	軽量間仕切りパネル式 (天井勝ち)
天井	在来天井
	システム天井
建具	軽量スチールフラッシュ戸 (耐震、非耐震)
	窓 (引き違い、内倒し、FIX)
設備	給排水設備
	空調設備
	天井照明器具

5.5 実験結果

以下に、この実験で得られた計測結果を示す。

5.5.1 構造部材

構造部材の変形角ごとの損傷量測定結果を示す。損傷量として測定した項目は以下の通りである。

① 最大ひび割れ幅

変形角ごとのピーク時と除荷時に、構造部材の計測可能な全ての面について構造部材の計測可能な全ての面（以降、幅面とせい面別）について最大ひび割れ幅を測定する。測定はクラックスケールを用いて目視で行う。

② 残留ひび割れ長さ

除荷時に発生していたひび割れ長さを、ひび割れ幅区分に応じて測定する。

③ 残留ひび割れ本数

除荷時に発生したひび割れの本数をひび割れ幅区分に応じて測定する。なお、ひび割れ本数は、残留ひび割れ長さを試験体の幅とせいを足した長さで除して無次元数として算出する。

④ 残留ひび割れ率

除荷時に発生したひび割れの長さを、躯体表面積で除すことで算出する。また、タイル仕上げ面の場合には、以上に挙げた測定項目に加えてタイルの割れや欠損、剥落等を計測する。

1) 梁部材

梁部材の変形角ごとの損傷量測定結果の一例を表 5.3 に示す。測定箇所は西立面の打ち放し面と東立面のタイル仕上げの梁部材を対象としている。

表 5.3 梁部材の損傷量測定結果 (R=1/50 まで) (西立面)

最大応答量		残留応答量				コンクリート						
最大層間変形角 (rad.)	最大部材角 (rad.)	残留層間変形角 (rad.)	残留部材角 (rad.)	D面ピーク時最大ひび割れ幅 (mm)	b面ピーク時最大ひび割れ幅	D面除荷時最大ひび割れ幅 (mm)	b面除荷時最大ひび割れ幅 (mm)	仕上げ面 残留ひび割れ幅区分	残留ひび割れ長さ (m)	残留ひび割れ本数 (本)	残留ひび割れ率 (m/m ²)	
1/1600①	1/2681	1/7058	1/8872	0.1(開0.3)	0.10	0.05(開0.2)	0.05	0.00~0.20 未満 0.20~1.00 未満 1.00~2.00 未満 2.00~5.00 未満 5.00~ ひび割れ総和	1.92 0.00 0.00 0.00 0.00 1.92	1.37 0.00 0.00 0.00 0.00 1.37	0.67 0.00 0.00 0.00 0.00 0.67	
-1/1600①	1/3254	-1/2448	1/21680	0.1(開0.45)	0.10	0.05(開0.3)	0.05	0.00~0.20 未満 0.20~1.00 未満 1.00~2.00 未満 2.00~5.00 未満 5.00~ ひび割れ総和	3.43 0.14 0.00 0.00 0.00 3.57	2.45 0.10 0.00 0.00 0.00 2.55	1.20 0.05 0.00 0.00 0.00 1.24	
1/800①	1/1370	1/3000	1/4559	0.15(開0.5)	0.20	0.05(開0.3)	0.10	0.00~0.20 未満 0.20~1.00 未満 1.00~2.00 未満 2.00~5.00 未満 5.00~ ひび割れ総和	5.92 0.71 0.00 0.00 0.00 6.63	4.23 0.51 0.00 0.00 0.00 4.74	2.06 0.25 0.00 0.00 0.00 2.31	
-1/800①	-1/1784	-1/2400	-1/11014	0.1(開0.65)	0.20	0.05(開0.4)	0.10	0.00~0.20 未満 0.20~1.00 未満 1.00~2.00 未満 2.00~5.00 未満 5.00~ ひび割れ総和	7.33 0.71 0.00 0.00 0.00 8.04	5.24 0.51 0.00 0.00 0.00 5.74	2.55 0.25 0.00 0.00 0.00 2.80	
1/400①	1/691	1/1578	1/2258	0.2(開1.3)	0.35	0.15(開0.45)	0.15	0.00~0.20 未満 0.20~1.00 未満 1.00~2.00 未満 2.00~5.00 未満 5.00~ ひび割れ総和	10.72 2.09 0.00 0.00 0.00 12.81	7.66 1.49 0.00 0.00 0.00 9.15	3.74 0.73 0.00 0.00 0.00 4.46	
-1/400①	-1/884	-1/1081	-1/6881	0.2(開1.2)	0.30	0.1(開0.5)	0.10	0.00~0.20 未満 0.20~1.00 未満 1.00~2.00 未満 2.00~5.00 未満 5.00~ ひび割れ総和	14.48 1.86 0.00 0.00 0.00 16.34	10.34 1.33 0.00 0.00 0.00 11.67	5.05 0.65 0.00 0.00 0.00 5.69	
1/200②	1/378	1/863	1/1461	0.4(開1.7)	0.40	0.1(開0.7)	0.15	0.00~0.20 未満 0.20~1.00 未満 1.00~2.00 未満 2.00~5.00 未満 5.00~ ひび割れ総和	24.65 3.07 0.00 0.00 0.00 27.72	17.61 2.19 0.00 0.00 0.00 19.80	8.59 1.07 0.00 0.00 0.00 9.66	
-1/200②	-1/499	-1/869	-1/7636	0.4(開1.9)	0.55	0.1(開0.9)	0.20	0.00~0.20 未満 0.20~1.00 未満 1.00~2.00 未満 2.00~5.00 未満 5.00~ ひび割れ総和	25.62 2.79 0.00 0.00 0.00 28.41	18.30 1.99 0.00 0.00 0.00 20.29	8.93 0.97 0.00 0.00 0.00 9.90	
1/100②	1/208	1/352	1/528	1.5(開7.0)	1.00	1.0(開3.0)	0.15	0.00~0.20 未満 0.20~1.00 未満 1.00~2.00 未満 2.00~5.00 未満 5.00~ ひび割れ総和	31.37 4.13 0.26 0.00 0.00 35.76	22.41 2.95 0.19 0.00 0.00 25.54	10.93 1.44 0.09 0.00 0.00 12.46	
-1/100②	-1/283	-1/466	-1/1868	0.8(開5.0)	0.60	0.5(開4.0)	0.25	0.00~0.20 未満 0.20~1.00 未満 1.00~2.00 未満 2.00~5.00 未満 5.00~ ひび割れ総和	33.08 3.21 0.00 0.00 0.00 36.29	23.63 2.29 0.00 0.00 0.00 25.92	11.53 1.12 0.00 0.00 0.00 12.64	
1/67②	1/135	1/158	1/267	4.0(開10.0)	4.00	2.5(開5.0)	0.70	0.00~0.20 未満 0.20~1.00 未満 1.00~2.00 未満 2.00~5.00 未満 5.00~ ひび割れ総和	27.56 8.49 0.87 0.91 0.26 38.09	19.69 6.06 0.62 0.65 0.19 27.21	9.60 2.96 0.30 0.32 0.09 13.27	
-1/67②	-1/147	-1/203	-1/369	1.7(開6.0)	3.00	1.1(開5.5)	0.60	0.00~0.20 未満 0.20~1.00 未満 1.00~2.00 未満 2.00~5.00 未満 5.00~ ひび割れ総和	28.70 8.15 0.83 0.88 0.26 38.82	20.50 5.82 0.59 0.63 0.19 27.73	10.00 2.84 0.29 0.31 0.09 13.53	
1/50②	1/126	1/91	1/268	5.0(開10.0)	5.00	3.5(開8.0)	3.00	0.00~0.20 未満 0.20~1.00 未満 1.00~2.00 未満 2.00~5.00 未満 5.00~ ひび割れ総和	27.21 8.38 3.38 1.64 0.26 40.87	19.44 5.99 2.41 1.17 0.19 29.19	9.48 2.92 1.18 0.57 0.09 14.24	
-1/50②	-1/98	-1/143	-1/168	3.5(開5.0)	4.00	2.0(開3.0)	3.00	0.00~0.20 未満 0.20~1.00 未満 1.00~2.00 未満 2.00~5.00 未満 5.00~ ひび割れ総和	28.09 9.20 2.96 1.18 0.26 41.69	20.06 6.57 2.11 0.84 0.19 29.78	9.79 3.21 1.03 0.41 0.09 14.53	

2) 柱部材

柱部材の変形角ごとの損傷量測定結果の一例を表 5.4 に示す。測定箇所は西立面の打ち放し柱部材 2 本と、東立面のタイル仕上げ柱部材 2 本を対象としている。

表 5.4 柱部材の損傷量測定結果 (R=1/50 まで) (西立面)

最大応答量		残留応答量		コンクリート								
最大層間変形角 (rad)	最大部材角 (rad)	残留層間変形角 (rad)	残留部材角 (rad)	D面ピーク時最大ひび割れ幅 (mm)	b面柱脚ピーク時最大ひび割れ幅 (mm)	D面除荷時最大ひび割れ幅 (mm)	b面柱脚除荷時最大ひび割れ幅 (mm)	仕上げ面残留ひび割れ幅区分	残留ひび割れ長さ(m)	残留ひび割れ本数	残留ひび割れ率(m ² /m ²)	
1/1600①	1/1533	1/7058	1/5171	0.10	0.05	0.05	0.00	0.00 ~ 0.20 未満	1.08	0.77	0.38	
								0.20 ~ 1.00 未満	0.00	0.00	0.00	
								1.00 ~ 2.00 未満	0.00	0.00	0.00	
								2.00 ~ 5.00 未満	0.00	0.00	0.00	
								5.00 ~	0.00	0.00	0.00	
								ひび割れ総和	1.08	0.77	0.38	
-1/1600①	-1/2086	-1/2448	-1/22448	0.00	0.00	0.05	0.05	0.00 ~ 0.20 未満	1.08	0.77	0.38	
								0.20 ~ 1.00 未満	0.00	0.00	0.00	
								1.00 ~ 2.00 未満	0.00	0.00	0.00	
								2.00 ~ 5.00 未満	0.00	0.00	0.00	
								5.00 ~	0.00	0.00	0.00	
								ひび割れ総和	1.08	0.77	0.38	
1/800①	1/868	1/3000	1/2987	0.20	0.25	0.00	0.00	0.00 ~ 0.20 未満	2.66	1.90	0.93	
								0.20 ~ 1.00 未満	0.00	0.00	0.00	
								1.00 ~ 2.00 未満	0.00	0.00	0.00	
								2.00 ~ 5.00 未満	0.00	0.00	0.00	
								5.00 ~	0.00	0.00	0.00	
								ひび割れ総和	2.66	1.90	0.93	
-1/800①	-1/1116	-1/2400	-1/11938	0.15	0.10	0.00	0.00	0.00 ~ 0.20 未満	2.92	2.09	1.02	
								0.20 ~ 1.00 未満	0.00	0.00	0.00	
								1.00 ~ 2.00 未満	0.00	0.00	0.00	
								2.00 ~ 5.00 未満	0.00	0.00	0.00	
								5.00 ~	0.00	0.00	0.00	
								ひび割れ総和	2.92	2.09	1.02	
1/400①	1/454	1/1578	1/2024	0.25	0.30	0.10	0.05	0.00 ~ 0.20 未満	5.47	3.91	1.91	
								0.20 ~ 1.00 未満	0.00	0.00	0.00	
								1.00 ~ 2.00 未満	0.00	0.00	0.00	
								2.00 ~ 5.00 未満	0.00	0.00	0.00	
								5.00 ~	0.00	0.00	0.00	
								ひび割れ総和	5.47	3.91	1.91	
-1/400①	-1/513	-1/1081	-1/2909	0.20	0.15	0.05	0.10	0.00 ~ 0.20 未満	6.39	4.56	2.23	
								0.20 ~ 1.00 未満	0.00	0.00	0.00	
								1.00 ~ 2.00 未満	0.00	0.00	0.00	
								2.00 ~ 5.00 未満	0.00	0.00	0.00	
								5.00 ~	0.00	0.00	0.00	
								ひび割れ総和	6.39	4.56	2.23	
1/200②	1/215	1/863	1/1080	0.80	0.80	0.15	0.20	0.00 ~ 0.20 未満	11.80	8.43	4.11	
								0.20 ~ 1.00 未満	0.00	0.00	0.00	
								1.00 ~ 2.00 未満	0.00	0.00	0.00	
								2.00 ~ 5.00 未満	0.00	0.00	0.00	
								5.00 ~	0.00	0.00	0.00	
								ひび割れ総和	11.80	8.43	4.11	
-1/200②	-1/278	-1/869	-1/2724	0.40	0.00	0.10	0.20	0.00 ~ 0.20 未満	13.56	9.69	4.72	
								0.20 ~ 1.00 未満	0.27	0.19	0.09	
								1.00 ~ 2.00 未満	0.00	0.00	0.00	
								2.00 ~ 5.00 未満	0.00	0.00	0.00	
								5.00 ~	0.00	0.00	0.00	
								ひび割れ総和	13.83	9.88	4.82	
1/100②	1/105	1/352	1/337	0.75	0.45	0.30	0.40	0.00 ~ 0.20 未満	15.41	11.01	5.37	
								0.20 ~ 1.00 未満	1.49	1.06	0.52	
								1.00 ~ 2.00 未満	0.00	0.00	0.00	
								2.00 ~ 5.00 未満	0.00	0.00	0.00	
								5.00 ~	0.00	0.00	0.00	
								ひび割れ総和	16.90	12.07	5.89	
-1/100②	-1/135	-1/466	-1/595	0.20	0.15	0.15	0.20	0.00 ~ 0.20 未満	19.00	13.57	6.62	
								0.20 ~ 1.00 未満	0.56	0.40	0.20	
								1.00 ~ 2.00 未満	0.00	0.00	0.00	
								2.00 ~ 5.00 未満	0.00	0.00	0.00	
								5.00 ~	0.00	0.00	0.00	
								ひび割れ総和	19.56	13.97	6.82	
1/67②	1/73	1/158	1/174	3.00	3.00	0.65	1.00	0.00 ~ 0.20 未満	17.82	12.73	6.21	
								0.20 ~ 1.00 未満	5.17	3.69	1.80	
								1.00 ~ 2.00 未満	0.62	0.44	0.22	
								2.00 ~ 5.00 未満	0.00	0.00	0.00	
								5.00 ~	0.00	0.00	0.00	
								ひび割れ総和	23.61	16.86	8.23	
-1/67②	-1/76	-1/203	203	3.00	1.20	1.10	1.00	0.00 ~ 0.20 未満	22.67	16.19	7.90	
								0.20 ~ 1.00 未満	2.51	1.79	0.87	
								1.00 ~ 2.00 未満	0.92	0.66	0.32	
								2.00 ~ 5.00 未満	0.00	0.00	0.00	
								5.00 ~	0.00	0.00	0.00	
								ひび割れ総和	26.10	18.64	9.09	
1/50②	1/57	1/91	1/121	2.30	2.30	1.30	1.20	0.00 ~ 0.20 未満	21.16	15.11	7.37	
								0.20 ~ 1.00 未満	5.33	3.81	1.86	
								1.00 ~ 2.00 未満	1.74	1.24	0.61	
								2.00 ~ 5.00 未満	0.00	0.00	0.00	
								5.00 ~	0.00	0.00	0.00	
								ひび割れ総和	28.23	20.16	9.84	
-1/50②	-1/53	-1/143	-1/109	2.20	1.80	1.20	0.55	0.00 ~ 0.20 未満	24.00	17.14	8.36	
								0.20 ~ 1.00 未満	3.92	2.80	1.37	
								1.00 ~ 2.00 未満	1.39	0.99	0.48	
								2.00 ~ 5.00 未満	0.00	0.00	0.00	
								5.00 ~	0.00	0.00	0.00	
								ひび割れ総和	29.31	20.94	10.21	

5.5.2 非構造部材

各非構造部材の損傷量測定結果を示す。

1) RC 造外壁

a) 外装仕上げ材

RC造外壁（非耐力壁）の外装仕上げ材の損傷量測定結果を示す。測定項目は構造部材と同様であるが、加えてコンクリートの剥落率、及び外壁に使用した鉄筋（壁横筋、壁縦筋、開口補強筋、スリット筋）の降伏状況も測定する。

①コンクリート剥落率（タイルの剥離率）

コンクリート（タイル）の剥落（剥離）面積を、外壁表面積で除した値とする。RC造外壁の損傷量測定結果の一例を表5.5に示す。

表 5.5 RC造外壁の損傷量測定結果（東側タイル面）

最大応答量	コンクリート						欠損（剥離・剥落）		
	ピーク時 最大ひび割れ幅 (mm)	除荷時 最大ひび割れ幅 (mm)	仕上げ面 残留ひび割れ幅区分	仕上げ面残留ひび割 れ長さ(mm)	仕上げ面残留ひび割 れ本数(本)	仕上げ面残留ひび割 れ率(m/m ²)	タイルの 割れ・欠 け	タイル剥 落率 (%)	タイル剥 離率 (%)
1/1600	0.00	0.00	0.00～0.20未満 0.20～1.00未満 1.00～2.00未満 2.00～5.00未満 5.00～ ひび割れ総和	0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0	0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00	-	-	0.00
-1/1600	0.25	0.05	0.00～0.20未満 0.20～1.00未満 1.00～2.00未満 2.00～5.00未満 5.00～ ひび割れ総和	720 0 0 0 0 720	4 0 0 0 0 4	0.12 0.00 0.00 0.00 0.00 0.12	-	-	0.00
1/800	0.35	0.10	0.00～0.20未満 0.20～1.00未満 1.00～2.00未満 2.00～5.00未満 5.00～ ひび割れ総和	2364 0 0 0 0 2364	9 0 0 0 0 9	0.40 0.00 0.00 0.00 0.00 0.40	-	-	0.78
-1/800	0.50	0.10	0.00～0.20未満 0.20～1.00未満 1.00～2.00未満 2.00～5.00未満 5.00～ ひび割れ総和	2632 0 0 0 0 2632	9 0 0 0 0 9	0.44 0.00 0.00 0.00 0.00 0.44	-	-	1.29
1/400	1.30	0.55	0.00～0.20未満 0.20～1.00未満 1.00～2.00未満 2.00～5.00未満 5.00～ ひび割れ総和	1738 1443 0 0 0 3181	7 4 0 0 0 11	0.29 0.24 0.00 0.00 0.00 0.54	-	-	4.27
-1/400	1.50	0.35	0.00～0.20未満 0.20～1.00未満 1.00～2.00未満 2.00～5.00未満 5.00～ ひび割れ総和	1015 2172 0 0 0 3187	5 6 0 0 0 11	0.17 0.37 0.00 0.00 0.00 0.54	-	-	5.05
1/200①	4.00	1.60	0.00～0.20未満 0.20～1.00未満 1.00～2.00未満 2.00～5.00未満 5.00～ ひび割れ総和	577 1803 800 0 0 3180	4 5 2 0 0 11	0.10 0.30 0.14 0.00 0.00 0.54	あり	-	6.21
-1/200①	4.00	1.30	0.00～0.20未満 0.20～1.00未満 1.00～2.00未満 2.00～5.00未満 5.00～ ひび割れ総和	577 1976 628 0 0 3181	4 6 1 0 0 11	0.10 0.33 0.11 0.00 0.00 0.54	あり	-	6.99
1/200②	4.50	1.70	0.00～0.20未満 0.20～1.00未満 1.00～2.00未満 2.00～5.00未満 5.00～ ひび割れ総和	577 873 1731 0 0 3181	4 3 4 0 0 11	0.10 0.15 0.29 0.00 0.00 0.54	あり	-	7.76
-1/200②	4.50	1.30	0.00～0.20未満 0.20～1.00未満 1.00～2.00未満 2.00～5.00未満 5.00～ ひび割れ総和	884 1536 993 0 0 3413	5 4 2 0 0 11	0.15 0.26 0.17 0.00 0.00 0.58	あり	-	8.54

1/100①	8.00	2.50	0.00～0.20未満 0.20～1.00未満 1.00～2.00未満 2.00～5.00未満 5.00～ ひび割れ総和	888 1021 993 1837 0 4739	4 3 2 3 0 12	0.15 0.17 0.17 0.31 0.00 0.80	あり	-	12.16
-1/100①	5.50	3.00	0.00～0.20未満 0.20～1.00未満 1.00～2.00未満 2.00～5.00未満 5.00～ ひび割れ総和	452 1001 1748 930 0 4131	2 5 3 2 0 12	0.08 0.17 0.30 0.16 0.00 0.70	あり	-	12.29
1/100②	9.00	2.50	0.00～0.20未満 0.20～1.00未満 1.00～2.00未満 2.00～5.00未満 5.00～ ひび割れ総和	339 1569 993 1432 0 4373	2 5 2 3 0 12	0.06 0.27 0.17 0.25 0.00 0.74	あり	-	12.42
-1/100②	7.00	3.50	0.00～0.20未満 0.20～1.00未満 1.00～2.00未満 2.00～5.00未満 5.00～ ひび割れ総和	336 1361 624 2053 0 4374	3 4 1 4 0 12	0.06 0.23 0.11 0.35 0.00 0.74	あり	-	12.55
1/67①	11.00	7.00	0.00～0.20未満 0.20～1.00未満 1.00～2.00未満 2.00～5.00未満 5.00～ ひび割れ総和	336 1089 2440 714 758 5337	3 3 6 2 1 15	0.06 0.18 0.41 0.12 0.13 0.90	あり	-	12.81
-1/67①	10.00	5.00	0.00～0.20未満 0.20～1.00未満 1.00～2.00未満 2.00～5.00未満 5.00～ ひび割れ総和	777 1392 1521 2402 365 6457	3 5 3 4 1 16	0.13 0.24 0.26 0.41 0.06 1.09	あり	-	13.45
1/67②	11.00	7.00	0.00～0.20未満 0.20～1.00未満 1.00～2.00未満 2.00～5.00未満 5.00～ ひび割れ総和	0 1574 1360 2561 758 6253	0 6 3 6 1 16	0.00 0.27 0.23 0.43 0.13 1.06	あり	-	13.58
-1/67②	8.00	4.00	0.00～0.20未満 0.20～1.00未満 1.00～2.00未満 2.00～5.00未満 5.00～ ひび割れ総和	597 736 1854 2352 0 5539	2 4 4 5 0 15	0.10 0.12 0.31 0.40 0.00 0.94	あり	-	14.10
1/50①	12.00	9.00	0.00～0.20未満 0.20～1.00未満 1.00～2.00未満 2.00～5.00未満 5.00～ ひび割れ総和	195 431 0 3215 1885 5726	1 2 0 8 3 14	0.03 0.07 0.00 0.54 0.32 0.97	あり	-	15.39
-1/50①	13.00	11.00	0.00～0.20未満 0.20～1.00未満 1.00～2.00未満 2.00～5.00未満 5.00～ ひび割れ総和	241 597 1771 1667 1378 5654	1 3 3 3 4 14	0.04 0.10 0.30 0.28 0.23 0.96	あり	-	15.65
1/50②	9.00	8.00	0.00～0.20未満 0.20～1.00未満 1.00～2.00未満 2.00～5.00未満 5.00～ ひび割れ総和	195 98 574 2327 916 4110	1 1 2 6 2 12	0.03 0.02 0.10 0.39 0.15 0.69	あり	-	16.43
-1/50②	15.00	13.00	0.00～0.20未満 0.20～1.00未満 1.00～2.00未満 2.00～5.00未満 5.00～ ひび割れ総和	195 741 1464 841 869 4110	1 3 3 3 2 12	0.03 0.13 0.25 0.14 0.15 0.69	あり	-	16.95

b) 内装仕上げ材

RC造外壁の内装仕上げ材の損傷量測定結果の一例を、表5.6に示す。内壁は、以下の2種類から構成されている。

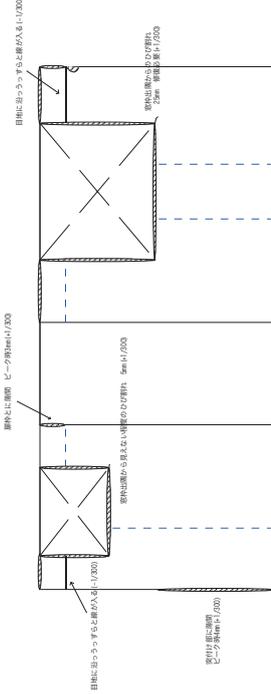
西構面内壁

仕上げ種類：石膏ボード2枚貼り + 塗装
仕上げ取付け工法：ピン工法

東構面内壁

仕上げ種類：石膏ボード2枚貼り + 塗装
仕上げ取付け工法：直張り工法（GL工法）

表 5.6 RC 造外壁（内装仕上げ材）の損傷量測定結果 (a) 西構面（ピン工法）

最大応答量	石膏ボードの損傷			その他(ひび割れ図・写真)
	石膏ボード単体 ボード端部の膨れ・ひび割れ・圧壊	石膏ボード全体 ボード間目地の開き	石膏ボード壁全体 壁全体に跨る膨れ・ひび割れ・圧壊	
1/1600	-	-	-	-
-1/1600	-	-	-	-
1/800	ボード同士の突き付け部で若干の塗装はかれ	-	-	窓枠まわりに若干のずれ 柱突付け部に隙間 ピーク時3mm
-1/800	-	-	-	-
1/400	-	-	-	梁突付け部に隙間
-1/400	-	-	-	梁突付け部に隙間
1/300	窓枠出隅からのひび割れ 25mm	-	-	扉枠とに隙間 ピーク時3mm 柱突付け部に隙間 ピーク時4mm
-1/300	-	横目地の一部にうっすらと線	-	
1/200①	窓下の塗装はぐくれ幅40mm	ひび割れ進展 60mm	-	柱突付け部に隙間 ピーク時5mm
-1/200①	-	-	-	-

1/200②	-	-	-	-	-	梁突付け部に隙間 ピーク時3mm
-1/200②	-	ひび割れ進展 幅も広がる	-	-	-	柱突付け部に隙間 ピーク時5mm
1/100①	窓下の 塗装ふくれ および はがれ進展	ひび割れ進展 340mm	-	-	-	柱突付け部に隙間 ピーク時10mm
-1/100①	-	ひび割れ進展 410mm	-	-	-	柱突付け部に隙間 ピーク時10mm 梁突付け部に隙間 ピーク時5mm 扉枠とに隙間 ピーク時5mm
1/100②	-	-	-	-	-	-
-1/100②	窓下に 新たな 塗装はがれ	ひび割れ進展 440mm	縦目地の一部にうっすらと 線	-	-	柱突付け部に隙間 ピーク時10mm 梁突付け部に隙間 ピーク時5mm 扉枠とに隙間 ピーク時5mm
1/67①	塗装はがれ	ひび割れ進展 640mm ボードえぐれている 開口部横のボードに若干の 変形	-	窓隅部からのひび割れが 柱との突き付け部まで ほぼつながる（扉側も同様）	-	柱突付け部に隙間 ピーク時12mm 梁突付け部に隙間 ピーク時10mm 窓枠まわり隙間 ピーク時3mm
-1/67①	-	ひび割れ進展 710mm 扉枠との突き付け部分と壁 4隅におけるボード端部圧 壊 開口部横のボード面外変形	-	-	-	柱突付け部に隙間 ピーク時12mm 梁突付け部に隙間 ピーク時10mm 窓枠まわり隙間 ピーク時3mm 扉枠とに隙間 ピーク時10mm
1/67②	-	ひび割れ進展 740mm 柱突付け下部の ボード端部圧壊	-	窓隅部からのひび割れが 扉までつながる	-	柱突付け部に隙間 ピーク時12mm 梁突付け部に隙間 ピーク時8mm 扉枠とに隙間 ピーク時12mm

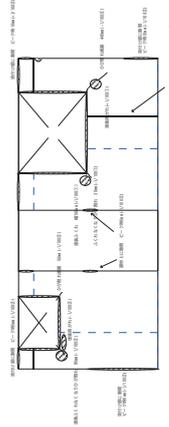
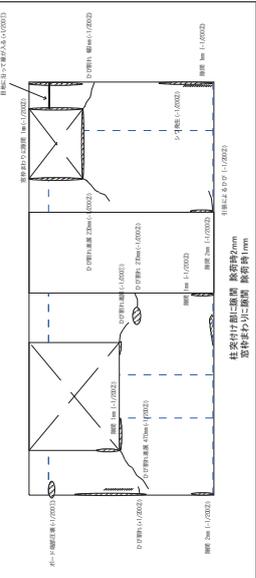
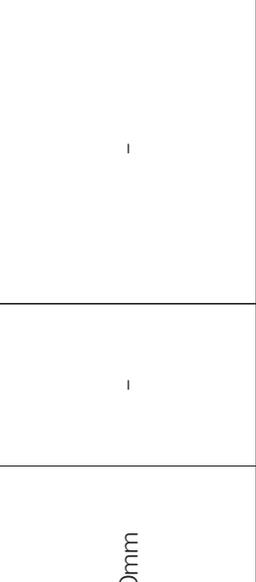
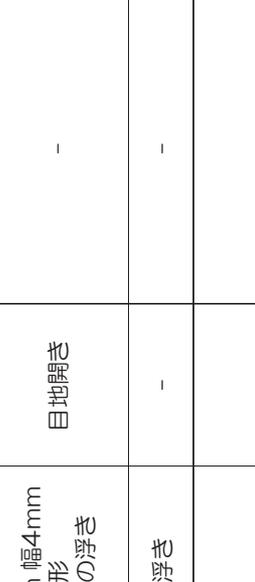
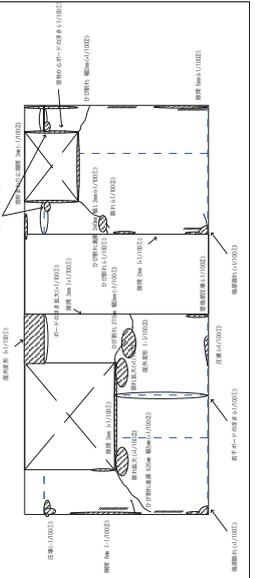


表 5.6 RC 造外壁（内装仕上げ材）の損傷量測定結果 (b) 東構面（直張り工法）

最大応答量	石膏ボードの損傷				その他ひび割れ図・写真
	仕上げの損傷	石膏ボードの損傷		石膏ボード壁全体	
		石膏ボード単体 ボード端部の膨れ・ひび割れ・圧壊	ボード間目地の開き		
1/1600	-	-	-	-	-
-1/1600	-	-	-	-	-
1/800	開口部下に膨れ	窓枠出隅からのひび割れ	-	-	
-1/800	-	窓枠出隅からのひび割れ ボード端部に圧縮によるシワ	-	-	-
1/400	-	ひび割れ進展	-	-	-
-1/400	-	シワ・膨れ・ひび割れ進展	-	-	柱突付け部に隙間 除荷時2mm
1/300	-	ひび割れ進展 350mm 幅 2mm	-	-	-
-1/300	-	ひび割れ進展	-	-	-
1/200①	-	ひび割れ進展 幅4mm	一部の横目地に 沿って線	-	
-1/200①	-	ひび割れ進展 柱突付け部・ ボード同士の突き付け部の ボードの端部圧壊	-	-	

1/200②	-	ひび割れ進展 460mm 窓下ひび割れとともに シフトはくくれ	-	-		
-1/200②	-	ひび割れ進展 470mm	-	-		
1/100①	目地開き	ひび割れ進展 625mm 幅4mm ボードの面外変形 窓下のボードに若干の浮き	-	-	柱突付け部に隙間 除荷時4mm 窓枠まわりに隙間 除荷時2mm 扉枠とに隙間 除荷時3mm	
-1/100①	-	窓枠横のボードの浮き	-	-		
1/100②	-	窓まわりのボードの ボードの面外変形 窓まわりのふくれ拡大	-	-	柱突付け部に隙間 除荷時6mm 窓枠まわりに隙間 除荷時2mm 扉枠とに隙間 除荷時3mm	 
-1/100②	-	扉枠との突き付け部分の ボード端部圧壊 窓まわりのボード面外変形	-	-		

2) 内壁

試験体内部に設置した各内壁（以下間仕切壁）の損傷量測定結果について示す。表 5.7 に示すように、本実験で設置した間仕切壁は 4 枚であるが、表面仕上げの違いを考慮すると合わせて 7 種類となる。損傷量については、変形角ごとの仕上げ材の損傷状態（端部の膨れやひび割れ、圧壊、目地部の開き具合等）とする。表 5.8 に壁の損傷量測定結果の一例を示す。

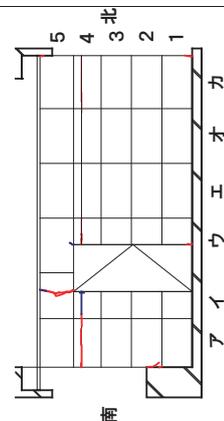
表 5.7 間仕切壁の一覧

	壁材料	取り付け工法	開口の有無	仕上げ	天井との取り合い
壁 A	石膏ボード	軽量鉄骨軸組下地	有	石膏ボード 2 枚貼り +塗装	壁勝ち
	石膏ボード	軽量鉄骨軸組下地	有	石膏ボード 2 枚貼り +クロス	壁勝ち
壁 B	無機質繊維強化板	軽量鉄骨軸組下地	有	無機質繊維強化板 +塗装	壁勝ち
	無機質繊維強化板	軽量鉄骨軸組下地	有	無機質繊維強化板 +クロス	壁勝ち
壁 C	鋼板パネル	—	有	無	天井勝ち
壁 D	石膏ボード	軽量鉄骨軸組下地	無	石膏ボード 2 枚貼り +塗装	天井勝ち
	石膏ボード	軽量鉄骨軸組下地	無	石膏ボード 2 枚貼り +クロス	天井勝ち

表 5.8 各間仕切壁の損傷量測定結果 (壁 A、塗装面)

最大応答量 最大層間変 形角(rad)	残留応答量			石膏ボードの損傷				その他(損傷図・写真)	
	最大部材角 (rad)	残留層間変 形角(rad)	残留部材角 (rad)	仕上げ の損傷	石膏ボード単体		石膏ボード壁全体		
					ボード端部の膨れ・ひび割 れ・圧壊	ボード間目地の開き	壁全体に跨る膨れ ひび割れ圧壊		
1/1600	1/12293	1/5647	1/18378	-	-	-	-	-	
1/1600	-1/3917	-1/5217	-1/6794	-	-	-	-	-	
1/800	1/2784	1/3097	1/6798	-	-	-	-	-	
-1/800	-1/1671	-1/4571	-1/5290	-	-	-	-	-	
1/400	1/898	1/1491	1/2353	-	-	-	-	-	
-1/400	-1/780	-1/2526	-1/3256	-	南扉枠上端部のボードにひび 割れ発生 (イ-5)	-	-	-	
1/200①	1/376	1/660	1/775	-	-	横目地に沿ってボードに ひび割れ発生(オ-4~カ -4)	-	-	
-1/200①	-1/350	-1/678	-1/908	-	南扉枠上端部のボードのひび 割れが進展した (イ-5)	横目地に沿ってボードに ひび割れ発生(ア-4) 横目地に沿ってボードに ひび割れ発生(ウ-4)	北扉枠下端部の ボードにつぶれが 発生(ウ-1)	-	
1/200②	1/386	1/799	1/831	-	-	-	-	-	
-1/200②	-1/336	-1/782	-1/953	-	-	-	-	-	

1/120①	1/280	1/316	1/387	-	南扉枠延長線上の天井部のボードにひび割れ発生(イ-5)北扉枠上端部のボードにひび割れ発生(ウ-5)	横目地に沿ってボードのひび割れ発生(イ-4)	-	-
-1/120①	-1/187	-1/246	-1/410	逆梁部のボードにしわ	逆梁部のボードにしわ発生(ア-2)	横目地に沿ったボードのひび割れが進展した(ア-4)横目地に沿ったボードのひび割れが進展した(ウ-4)	-	-
1/120②	1/207	1/334	1/398	-	南扉枠上端部のボードのひび割れが進展した(イ-5)	横目地に沿ったボードのひび割れが進展した(ア-4)横目地に沿ったボードのひび割れが進展した(ウ-4)	-	-
-1/120②	-1/182	-1/253	-1/410	-	-	-	-	-
1/100①	1/170	1/242	1/320	-	南扉枠延長線上の天井部のボードのひび割れが進展した(イ-5)北扉枠上端部のボードのひび割れが進展した(ウ-5)	横目地に沿ったボードのひび割れが進展した(イ-4)	-	-
-1/100①	-1/150	-1/225	-1/309	-	逆梁部のボードのしわ拡大(ア-2)	横目地に沿ったボードのひび割れが進展した(ア-4)	-	-
1/100②	1/181	1/282	1/394	-	南扉枠延長線上の天井部のボードのひび割れが進展した(イ-5)北扉枠上端部のボードのひび割れが進展した(ウ-5)	-	-	-
-1/100②	-1/151	-1/288	-1/323	-	横目地に沿ったボードのひび割れが進展した(ア-4)横目地に沿ったボードのひび割れが進展した(ウ-4)	逆梁部のボードのしわ拡大(ア-2)南扉枠上端部のボードのひび割れが進展した(イ-5)南扉枠延長線上の天井部のボードにひび割れ発生(イ-5)北扉枠上端部のボードのひび割れが進展した(ウ-5)	-	-



3) 天井

天井の損傷量測定結果を示す。本実験で使用した天井は以下の4種類である（図 5.8 参照）。

- ① 在来天井（壁勝ち A 室）
- ② 在来天井（壁勝ち B 室）
- ③ システム天井（天井勝ち C 室）
- ④ システム天井（天井勝ち D 室）

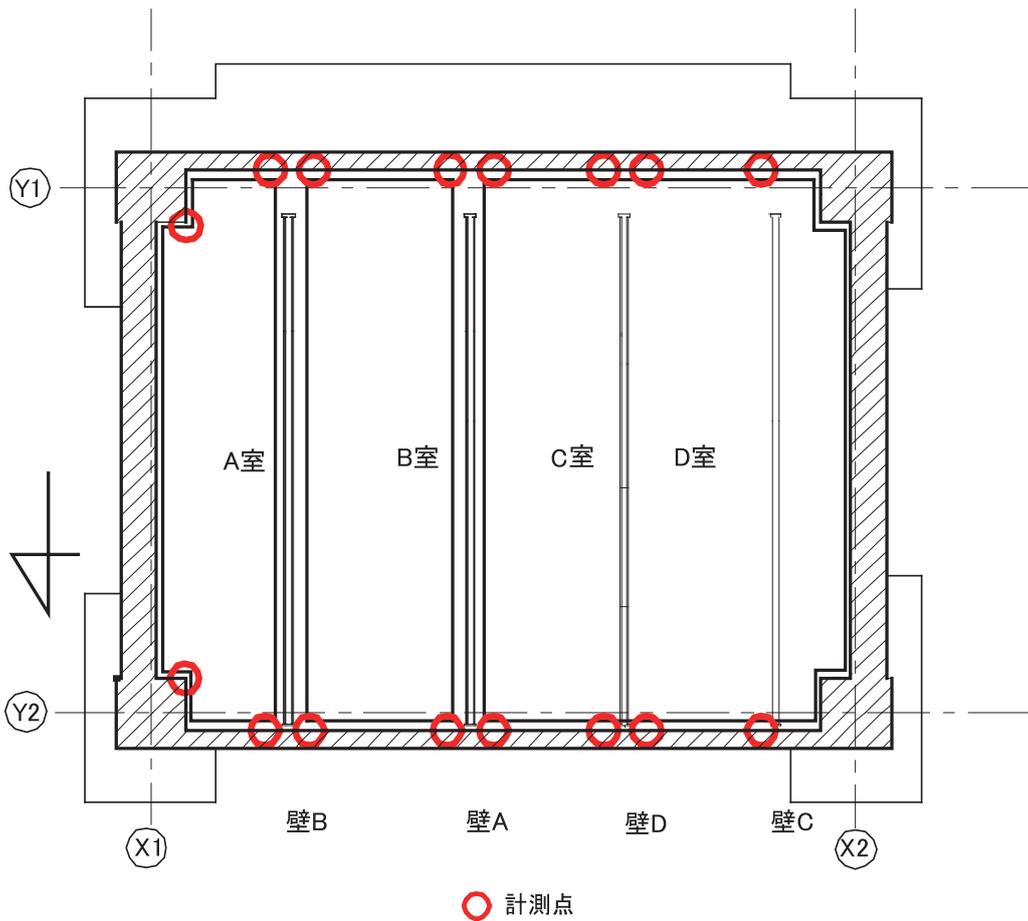


図 5.8 天井平面図

天井の損傷量は、各変形角のピーク時に方位別の天井水平変位と構造部材とのクリアランス、及び除荷時の構造部材のクリアランスを計測している。表 5.9 に天井の損傷量測定結果の一例を示す。また、システム天井においては天井パネルの変位によるめり込み等が発生したので、そのような損傷状況も計測している。

表 5.9 各天井の損傷量測定結果 (A 室)

最大応答量		残留変形		最大応答量		残留変形		最大応答量		残留変形	
最大層間変形角 (rad)	天井水平変位 (mm)	構造部材とのクリアランス (mm)	構造部材とのクリアランス (mm)	最大層間変形角 (rad)	天井水平変位 (mm)	構造部材とのクリアランス (mm)	構造部材とのクリアランス (mm)	最大層間変形角 (rad)	天井水平変位 (mm)	構造部材とのクリアランス (mm)	構造部材とのクリアランス (mm)
0		北東(23) 北西(23) 南東(27) 南西(25.5)	北東(21) 北西(18) 南東(30) 南西(30)	-1/200②	北東(-3) 北西(-3) 南東(3) 南西(3.5)	北東(24) 北西(24.5) 南東(23) 南西(23)	北東(24) 北西(24.5) 南東(23) 南西(23)	-1/67①	北東(-1) 北西(-3.5) 南東(4) 南西(8)	北東(16) 北西(7) 南東(37.5) 南西(37.5)	北東(21.5) 北西(17.5) 南東(31) 南西(28)
1/1600		北東(23.5) 北西(23.5) 南東(26.5) 南西(24.5)	北東(28) 北西(39) 南東(18) 南西(13)	1/120①	北東(4) 北西(8) 南東(-4) 南西(-5.5)	北東(23) 北西(28) 南東(28) 南西(23)	北東(23) 北西(28) 南東(28) 南西(23)	1/67②	北東(0) 北西(54.5) 南東(22.5) 南西(0)	北東(32.5) 北西(54.5) 南東(22.5) 南西(0)	北東(22) 北西(35.5) 南東(32) 南西(14.5)
-1/1600		北東(23) 北西(21) 南東(27.5) 南西(26.5)	北東(19.5) 北西(15.5) 南東(31) 南西(10.5)	-1/120①	北東(-2.5) 北西(-3) 南東(2.5) 南西(4)	北東(24) 北西(23.5) 南東(26) 南西(25)	北東(24) 北西(23.5) 南東(26) 南西(25)	-1/67②	北東(-1.5) 北西(-4) 南東(4) 南西(7.5)	北東(15) 北西(7.5) 南東(39.5) 南西(33.5)	北東(20.5) 北西(18) 南東(33) 南西(25)
1/800		北東(24) 北西(25) 南東(26) 南西(23.5)	北東(28.5) 北西(39) 南東(18) 南西(13.5)	1/120②	北東(4.5) 北西(7.5) 南東(-4) 南西(-5.5)	北東(24.5) 北西(27.5) 南東(27.5) 南西(22.5)	北東(24.5) 北西(27.5) 南東(27.5) 南西(22.5)	1/50①	北東(12.5) 北西(21) 南東(-7) 南西(-12)	北東(30.5) 北西(60) 南東(25.5) 南西(0)	北東(23) 北西(42) 南東(32.5) 南西(13)
-1/800		北東(23) 北西(20.5) 南東(27.5) 南西(27)	北東(19.5) 北西(16) 南東(30.5) 南西(30.5)	-1/120②	北東(-3) 北西(-3.5) 南東(3) 南西(4)	北東(23.5) 北西(24) 南東(27.5) 南西(27)	北東(23.5) 北西(24) 南東(27.5) 南西(27)	-1/50①	北東(1) 北西(8.5) 南東(-14) 南西(-9)	北東(18.5) 北西(8.5) 南東(39.5) 南西(33.5)	北東(21.5) 北西(15.5) 南東(34) 南西(28)
1/400		北東(25) 北西(28) 南東(26.5) 南西(22)	北東(29) 北西(41.5) 南東(20.5) 南西(11.5)	1/100①	北東(4) 北西(8.5) 南東(-3) 南西(-6)	北東(23) 北西(27.5) 南東(25.5) 南西(22)	北東(23) 北西(27.5) 南東(25.5) 南西(22)	1/50②	北東(14) 北西(23) 南東(-8.5) 南西(-13)	北東(33.5) 北西(62) 南東(25) 南西(0)	北東(23.5) 北西(43) 南東(21.5) 南西(13)
-1/400		北東(24) 北西(23) 南東(28) 南西(27.5)	北東(14) 北西(14) 南東(30) 南西(33)	-1/100①	北東(-2) 北西(-3.5) 南東(2.5) 南西(4.5)	北東(23.5) 北西(23.5) 南東(26.5) 南西(25)	北東(23.5) 北西(23.5) 南東(26.5) 南西(25)	-1/50②	北東(-1.5) 北西(-2) 南東(7) 南西(10.5)	北東(19.5) 北西(9) 南東(39) 南西(33.5)	北東(21) 北西(16.5) 南東(34) 南西(27)
1/200①		北東(26.5) 北西(34) 南東(24.5) 南西(16)	北東(30.5) 北西(44.5) 南東(20) 南西(7.5)	1/100②	北東(5.5) 北西(9.5) 南東(-4) 南西(-6.5)	北東(24) 北西(28.5) 南東(19) 南西(19.5)	北東(24) 北西(28.5) 南東(19) 南西(19.5)	1/33	北東(10) 北西(23) 南東(-1.5) 南西(-9)	北東(30.5) 北西(57.5) 南東(30) 南西(0)	北東(25.5) 北西(43.5) 南東(35.5) 南西(13)
-1/200①		北東(21.5) 北西(18) 南東(29.5) 南西(30)	北東(17) 北西(10.5) 南東(34) 南西(33)	-1/100②	北東(-2.5) 北西(-3.5) 南東(2.5) 南西(6)	北東(23) 北西(21.5) 南東(22.5) 南西(25)	北東(23) 北西(21.5) 南東(22.5) 南西(25)	-1/33	北東(-1.5) 北西(-1) 南東(10) 南西(16.5)	北東(26.5) 北西(0) 南東(37.5) 南西(31.5)	北東(27.5) 北西(6.5) 南東(30.5) 南西(27.5)
1/200②		北東(27) 北西(34) 南東(24.5) 南西(18)	北東(33) 北西(54) 南東(19.5) 南西(0)	1/67①	北東(8) 北西(14) 南東(-5) 南西(-9)	北東(24.5) 北西(36.5) 南東(19.5) 南西(13.5)	北東(24.5) 北西(36.5) 南東(19.5) 南西(13.5)				

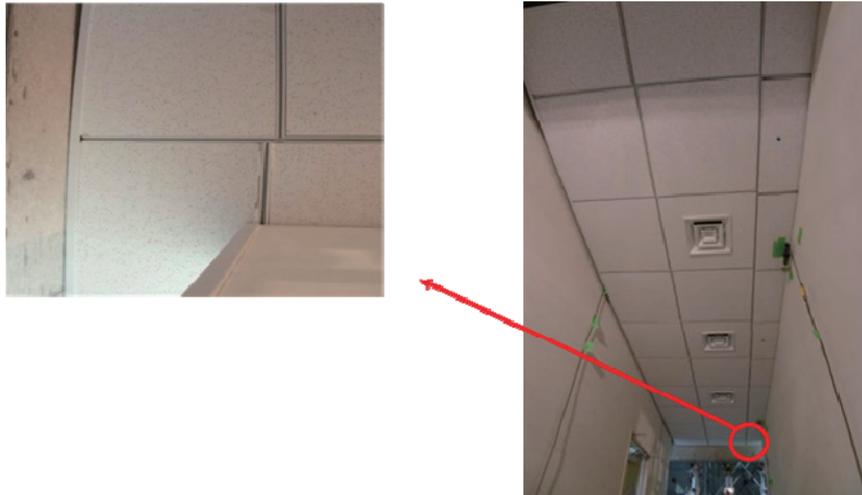


写真 5.6 システム天井面の変位性状

4) 建具

居室内の建具の損傷量測定結果を示す。

a) 内扉

本実験で使用した内扉の種類は、表 5.10 に示す 3 種類である。内扉の損傷計測項目としては、以下の 6 項目である。表 5.11 に扉の損傷量測定結果の一例を示す。また、扉隅角部におけるクリアランス計測位置を図 5.9 に示す。

- ① 開口変形角（ピーク・除荷時）
- ② 扉パネルと扉枠とのクリアランス（ピーク・除荷時）
- ③ 扉枠の損傷状態
- ④ 取付け金具の損傷状態（蝶番・デッドボルトの変形等）
- ⑤ 扉パネルの損傷状態
- ⑥ 扉の開閉状態（開閉に要する力も計測）

表 5.10 内扉種類一覧

	壁材料	耐震性	寸法(mm)	天井との取り合い
壁 A	石膏ボード	耐震型	780×1950	壁勝ち
壁 B	無機質繊維強化板	非耐震型	780×1950	壁勝ち
壁 C	石膏ボード	耐震型	900×2100	天井勝ち

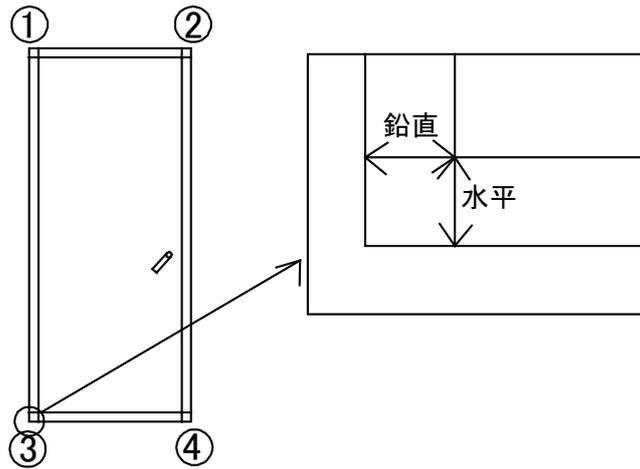


図 5.9 扉隅角部位置番号（表 5.11 の扉パネルと扉枠とのクリアランスの番号に対応）

表 5.11 内扉の損傷量測定結果 (R=1/120 まで) (壁 A 内扉)

最大応答量			残留応答量			扉の開閉性能			
最大層間変形角 (rad.)	開口変形角 (rad.)	扉パネルと扉枠とのクリアランス (mm)	残留層間変形角 (rad.)	残留開口変形角 (rad.)	扉パネルと扉枠とのクリアランス (mm)	ピーク時		除荷時	
						開閉力 (N)	施錠の可否	開閉力 (N)	施錠の可否
0	0	① (水平8.5、鉛直2.5) ② (7.5、7.5) ③ (4.5、3) ④ (6、7)	0	0	① (水平8.5、鉛直2.5) ② (7.5、7.5) ③ (4.5、3) ④ (6、7)	データなし	可能	データなし	可能
1/1600	1/4414	① (8、2.5) ② (8、7.5) ③ (5、2.5) ④ (5.5、7.5)	1/5647	1/12389	① (8、3) ② (7.5、7.5) ③ (5.5、2.5) ④ (5.5、7)	17	可能	18	可能
-1/1600	-1/3444	① (8、2.5) ② (7、7) ③ (5、2) ④ (6、7.5)	-1/5217	-1/20213	① (8、2.5) ② (7、7) ③ (5.5、2) ④ (5.5、7)	19	可能	31	可能
1/800	1/1722	① (8、2.5) ② (7.5、7) ③ (5.5、2) ④ (5.5、7.5)	1/3097	1/4831	① (8、3) ② (7、7) ③ (5、2) ④ (5.5、7.5)	31	可能	31	可能
-1/800	-1/1440	① (8、3) ② (6.5、7.5) ③ (5、2.5) ④ (6、7.5)	-1/4571	-1/9144	① (8、3) ② (7、7.5) ③ (5、2) ④ (5、7.5)	30	可能	19	可能
1/400	1/649	① (8、2.5) ② (8.5、7.5) ③ (5、2) ④ (4、7.5)	1/1491	1/1940	① (8、3) ② (7.5、7.5) ③ (4.5、2) ④ (4.5、7.5)	32	可能	22	可能
-1/400	-1/573	① (8、3) ② (5.5、7) ③ (5、2) ④ (7、7)	-1/2526	-1/2300	① (8、2.5) ② (6、7) ③ (5、2) ④ (6、7.5)	27	可能	43	可能
1/200①	1/268	① (8.5、3) ② (10、7) ③ (5、2) ④ (2.5、7)	1/660	1/682	① (8、2.5) ② (8.5、7.5) ③ (5、2) ④ (4.5、7)	49	可能	45	可能
-1/200①	-1/273	① (8、2.5) ② (4、7) ③ (6、3) ④ (8、7.5)	-1/678	-1/1317	① (8、2.5) ② (7、7) ③ (5.5、2.5) ④ (6.5、7)	84	可能	46	可能
1/200②	1/276	① (8.5、2.5) ② (10.5、7) ③ (4.5、2.5) ④ (6.5、7)	1/799	1/757	① (8.5、3) ② (8、7.5) ③ (5、2) ④ (4.5、7)	30	可能	32	可能
-1/200②	-1/276	① (8、2.5) ② (4、7) ③ (6、2.5) ④ (10.5、7.5)	-1/782	-1/1369	① (8.5、3) ② (7、7) ③ (6、2) ④ (6、7.5)	69	可能	30	可能
1/120①	1/160	① (8、3) ② (12、7.5) ③ (5.5、2.5) ④ (0、7)	1/316	1/383	① (8、2.5) ② (9、7.5) ③ (5、2) ④ (3.5、8)	130	可能	32	可能
-1/120①	-1/216	① (8、2.5) ② (3.5、7) ③ (6、2.5) ④ (9.5、7)	-1/246	1/76821	① (8、2.5) ② (7.5、7.5) ③ (5、2) ④ (5.5、7.5)	56	不可	35	可能
1/120②	1/169	① (8、3) ② (12、7.5) ③ (5、2.5) ④ (0、7.5)	1/334	1/451	① (8、3) ② (9、7) ③ (5.5、2) ④ (4、7)	116	不可	32	可能
-1/120②	-1/230	① (8、2.5) ② (4、7) ③ (6.5、2) ④ (9、7.5)	-1/253	1/13246	① (8、3) ② (7.5、7.5) ③ (5.5、2) ④ (5.5、7)	50	可能	32	可能

b) 窓

本実験で使用した窓の種類を、表 5.12 に示す。

表 5.12 窓の種類一覧

窓種類	壁種類	壁取付け工法	開閉形式	枠材種類	窓ガラス種類	開口寸法	壁寸法に対する窓開口比率
引き違い窓	RC	完全スリット 25mm	引き違い	アルミサッシ	透明ペアガラス (6+6+4)	1200mm×1000mm	高さ 0.49 横 0.53
内倒し窓	RC	完全スリット 25mm	内倒し	アルミサッシ	フロートガラス 5mm	780mm×600mm	高さ 0.29 横 0.54
FIX窓(大)	RC	完全スリット 25mm	FIX	アルミサッシ	透明ペアガラス (6+6+4)	1060mm×860mm	高さ 0.49 横 0.53
FIX窓(小)	RC	完全スリット 25mm	FIX	アルミサッシ	フロートガラス 5mm	780mm×600mm	高さ 0.29 横 0.54

窓の損傷計測項目としては、以下の6項目である。表 5.13 に、窓の損傷量測定結果の一例を示す。

- ① 開口変形角（ピーク・除荷時）
- ② 窓枠や窓枠廻りの躯体損傷状態
- ③ シーリング材の損傷状態
- ④ 取付け金具の損傷
- ⑤ 窓ガラスのひび割れや破損といった損傷状態
- ⑥ 窓の開閉性能

表 5.13 各窓の損傷量測定結果 (引き違い窓)

最大応答量		残留応答量		窓枠の損傷		シーリング材の損傷	窓ガラスの損傷 (ひび割れ・割 れ)	窓の開閉性能			
最大開口角 (rad)	最大開口変形角 (rad)	残留開口角 (rad)	残留開口変形角 (rad)	窓枠の損傷	窓枠まわりの 躯体損傷			ピーク時 開閉の可否	ピーク時 施錠の可否	除荷時 開閉の可否	除荷時 施錠の可否
1/2703	-1/9091	1/1563	-1/25000	-	開口部隅下から 斜め方向にひび割れ発生	-	-	可能	可能	可能	可能
-1/1695	-1/50000	-1/2439	-1/4000	-	-	-	-	可能	可能	可能	可能
1/1053	1/1613	1/2941	1/1136	-	開口部隅下にひび割れ有 り	-	-	可能	可能	可能	可能
-1/926	-1/2500	-1/2273	-1/4000	-	-	-	-	可能	可能	可能	可能
1/498	1/1563	1/1754	1/1042	-		窓枠外まわりのシーリン グに 若干のシワ	-	可能	可能	可能	可能
-1/398	-1/769	-1/1087	-1/1563	-	開口部隅下にひび割れ有 り	窓枠外まわりのシーリン グに 若干のシワ	-	可能	可能	可能	可能
1/232	1/508	1/901	1/813	-		窓枠外まわりのシーリン グにシワ	-	可能	不可能	可能	可能
-1/238	-1/478	-1/885	-1/1064	-	開口部隅下にひび割れ有 り	窓枠外まわりのシーリン グにシワ	-	可能	可能	可能	可能
1/218	1/490	1/1163	1/980	-	開口部隅下にひび割れ有 り	窓枠外まわりのシーリン グにシワ	-	可能	可能	可能	可能
-1/241	-1/515	-1/1053	-1/1613	-	開口部隅下にひび割れ有 り	窓枠外まわりのシーリン グにシワ	-	可能	可能	可能	可能
1/141	1/283	1/510	-1/6667	-	開口部隅下にひび割れ有 り	窓枠外まわりのシーリン グにシワ	障子が枠内で 回転して傾い ている	可能	不可能	可能	可能
-1/195	-1/230	-1/870	-1/541	-	-	-	障子が枠内で 回転して傾い ている	可能	可能	可能	可能
1/150	1/546	1/741	-1/1190	-		-	障子が枠内で 回転して傾い ている	可能	不可能	不可能 (シールから外 れた)	不可能
-1/210	-1/240	-1/1075	-1/592	ピーク時に多少の変形	-	窓枠外まわりのシーリン グにシワ	障子が枠内で 回転して傾い ている	不可能 (2枚中1枚し か動かない)	可能	可能	可能

表 5.13 各窓の損傷量測定結果 (b) (内倒し窓)

最大応答量		残留応答量			窓枠の損傷		シーリング材の損傷	窓ガラスの損傷 (ひび割れ・割れ)	窓の開閉性能			
最大開口変形角 (rad)	最大開口変形角 (rad)	残留開口変形角 (rad)	残留開口変形角 (rad)	残留開口変形角 (rad)	ピーク時 開閉の可否	ピーク時 施錠の可否			開閉の可否	施錠の可否	除荷時 開閉の可否	除荷時 施錠の可否
1/2703	-1/9091	1/1563	-1/25000	-	開口部隅下から 斜め方向にひび割れ発生	-	-	-	可能	可能	可能	可能
-1/1695	-1/50000	-1/2439	-1/4000	-	-	-	-	-	可能	可能	可能	可能
1/1053	1/1613	1/2941	1/1136	-	開口部隅下にひび割れ有り	-	-	-	可能	可能	可能	可能
-1/926	-1/2500	-1/2273	-1/4000	-	-	-	-	-	可能	可能	可能	可能
1/498	1/1563	1/1754	1/1042	-		窓枠外まわりのシーリング 材に若干のシワ	-	-	可能	可能	可能	可能
-1/398	-1/769	-1/1087	-1/1563	-	開口部隅下にひび割れ有り	-	-	-	可能	可能	可能	可能
1/232	1/508	1/901	1/813	-		窓枠外まわりのシーリング 材にシワ	-	-	可能	不可能	可能	可能
-1/238	-1/478	-1/885	-1/1064	-	開口部隅下にひび割れ有り	-	-	-	可能	可能(固い)	可能	可能
1/218	1/490	1/1163	1/980	-	開口部隅下にひび割れ有り	-	-	-	可能	可能	可能	可能
-1/241	-1/515	-1/1053	-1/1613	-	開口部隅下にひび割れ有り	-	-	-	可能	可能	可能	可能
1/141	1/283	1/510	-1/6667	-	開口部隅下にひび割れ有り	障子が枠内で 回転して傾いている	窓枠外まわりのシーリング 材にシワ	障子が枠内で 回転して傾いている	可能(固い)	不可能	可能	可能
-1/195	-1/230	-1/870	-1/541	-	-	-	-	障子が枠内で 回転して傾いている	可能	可能	可能	可能
1/150	1/546	1/741	-1/1190	-		-	-	障子が枠内で 回転して傾いている	可能(固い)	不可能 (面外へ 押し出さ れている)	不可能 (シールから外 れた)	不可能
-1/210	-1/240	-1/1075	-1/592	ピーク時に多少の変形	-	窓枠外まわりのシーリング 材にシワ	-	障子が枠内で 回転して傾いている	不可能 (2枚中1枚し か動かない)	可能	可能	可能

表 5.13 各窓の損傷量測定結果 (c) (FIX 窓大)

1/200①	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	
-1/200①	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-1/200②	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-1/200②	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1/120①	-	-	-	-	窓上枠が若干湾曲 隙間で戻る	-	窓枠内シーリングに 若干のずれ発生	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-1/120①	-	-	-	-	-	-	窓枠外側のシーリングに 残留変形	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1/120②	-	-	-	-	-		窓枠内シーリングの隅部に若干の切 れが発生	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-1/120②	-	-	-	-	-	-	窓枠内シーリングの隅部に若干の切 れが発生	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1/100①	-	-	-	-	ピーク時に 3mmの隙間	-	窓枠内シーリングに 断片的にシワ発生	-	-	-	-	-	-	-	-	-

表 5.13 各窓の損傷量測定結果 (d) (FIX 窓小)

1/200①	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-1/200①	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-1/200②	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-1/200②	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1/120①	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-1/120①	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1/120②	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-1/120②	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1/100①	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-



5.5.3 設備機器

1) 給水管等

加力に伴う管継ぎ手の回転角、及び軸方向伸縮量を変位計によって測定し、各管継ぎ手部分にマジックで実験開始時の位置を描き、管軸方向の伸縮量も計測した。ただし、PE管は柔軟性があり管継ぎ手を使用していないので、変位計は取り付けなかった。また、配管の密閉性能を測定するため各管に0.6MPaの空気圧を掛けた。

a) 立て管

(1) 立て管の床上1.2mでの変位状態

図5.10は、床面と床上1.2mにおける相対変位から求めた変位角の推移である。床上1.2mでの相対変位は約15.2~19.0cm、片振幅の変位角にして約7.2~9.0度となり、躯体の変位量をやや超える値となった。

(2) 立て管の軸方向伸縮状態

図5.11は、管継ぎ手の上部と下部とに取付けた変位計により求めた軸方向伸縮量である。軸方向伸縮量は、躯体変位1/67程度までは躯体の挙動に対応して正負に変動しているが、躯体の層間変形角1/50rad頃からは、いずれも負方向（縮み）にシフトしている。層間変形角1/50radにおいては、SUS管の50Aと100Aでは約0.5mm、SGP管100Aでは0.02mm、躯体変位1/17rad.ではSUS管50Aで2.0mm、100Aで約4.5mm、SGP管100で0.08mm縮んでいる状況であった。

写真5.7に、躯体の層間変形角1/17rad.時の各管の上部床スラブ下面と下部床スラブ上面部分の最大変位状態を示す。

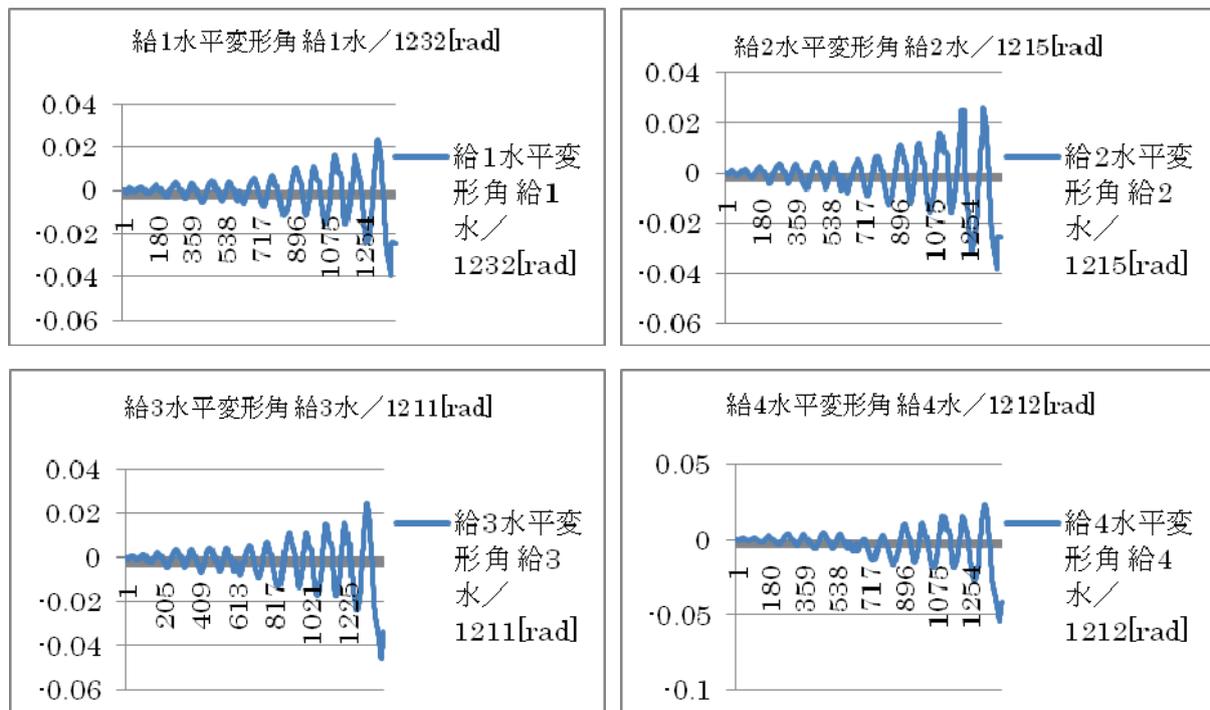


図 5.10 給水管水平変形角

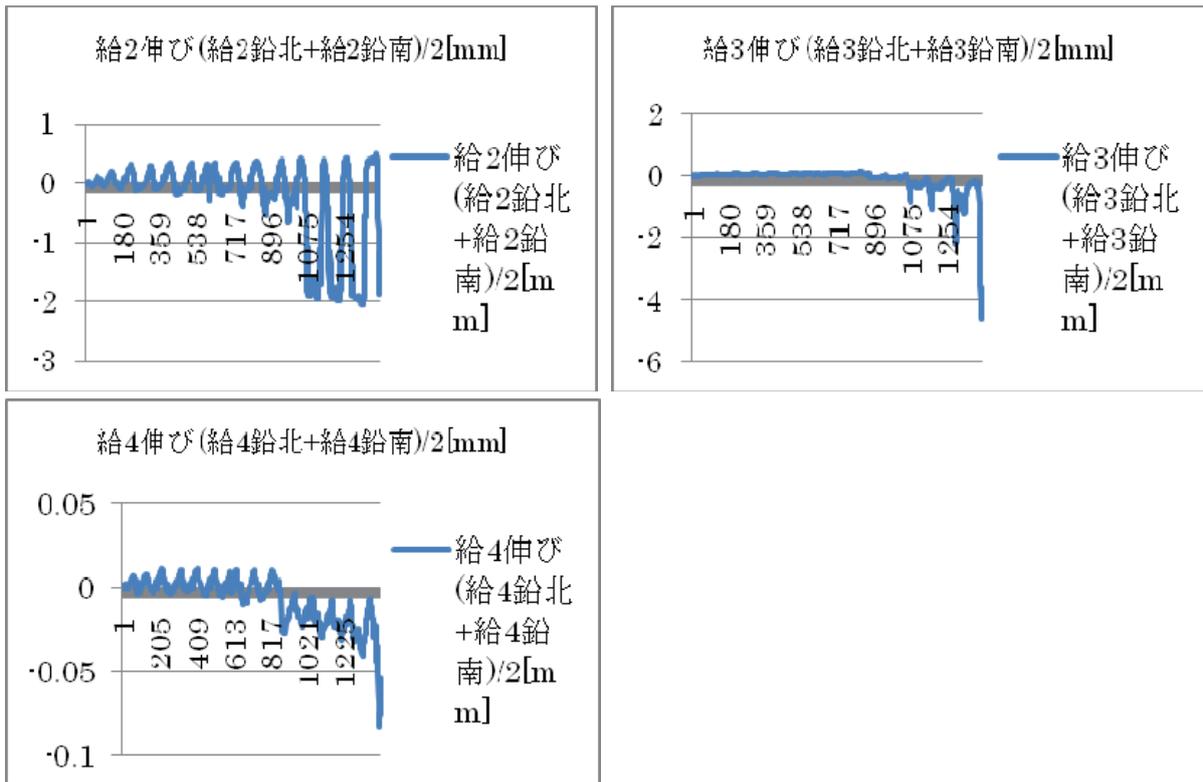


図 5.11 管継ぎ手部での給水管の軸変形



①樹脂製 (PE 管) 給水管

②SUS (50A) 給水管

(上：上部スラブ下、下：下部スラブ上) (上：上部スラブ下、下：下部スラブ上)



③SUS(100A) 給水管

④塩ライニング鋼管製給水管

(上：上部スラブ下、下：下部スラブ上) (上：上部スラブ下、下：下部スラブ上)

写真 5.7 各種給水管の上部スラブ下と下部スラブ上の状況 (躯体変位 1/17 rad.時)

b) 取出し管

写真 5.8 に、取出し管の変位状況を示す。いずれの給水管も、躯体の層間変形角 1/1600 から最終 1/17rad.までの実験中に圧力が降下することはなく、漏気は生じなかった。実験終了後、SUS 取出し管を立て管から取外し、床面に位置する管エルボを管軸直角方向に押したところ、20A 取出し管では約 20cm 程度変形し、50A 取出し管では同様に約 10cm 変形した。

塩化ビニール管 (50A) では、床に取付けた固定部材が躯体の層間変形角 1/50 rad.で破壊し(写真②)、

SUS 管 100A の取出し管 (50A) の床固定部材は、層間変形角 $1/50 \text{ rad}$ 頃から変形が大きくなり $1/17 \text{ rad}$ では損傷が進んでいた。



写真① 取出管の状況 (1/33)



写真② 取出し塩ビライニング (1/50)



写真③ 取出管 (SUS50A) の状況 (1/50)

写真 5.8 取出し管の変位状況

2) 空調設備

空調設備の損傷量測定結果について示す。本実験では、在来天井に取り付けた天井カセット形空調機と天井付き排煙口の変位量を測定した。また、同時に天井カセット形空調機に取り付けた空調機接続配管の変位量も測定した。

a) 天井カセット形空調機

図 5.12 に天井カセット形空調機の変位履歴を、写真 5.9 に躯体の層間変形角 $1/17 \text{ rad}$ 時の状況を示す。空調機の四隅は、吊りボルトを斜めに設置する B 種耐震支持であった。図 5.12 から、天井カセット形空調機の変位量は躯体変位によらず $\pm 1 \text{ mm}$ 程度と安定しており、B 種耐震支持吊りボルトの効果と考えられる。天井とカセット形空調機との「ズレ」は、天井自体の変位量と概ね一致している。

b) 天井カセット形空調機接続配管

図 5.13 に、天井の変位状態、および天井カセット形空調機と同横引き排水管の変位状態を示す。天井カセット形空調機の変位量は小さいが、横引き排水管の変位量は天井変位量の約 50% 程度であった。



全景 (1/17rad.時)



天井面との変位差 (約 20mm 変位)

写真 5.9 在来天井に取り付けた天井カセット形空調機

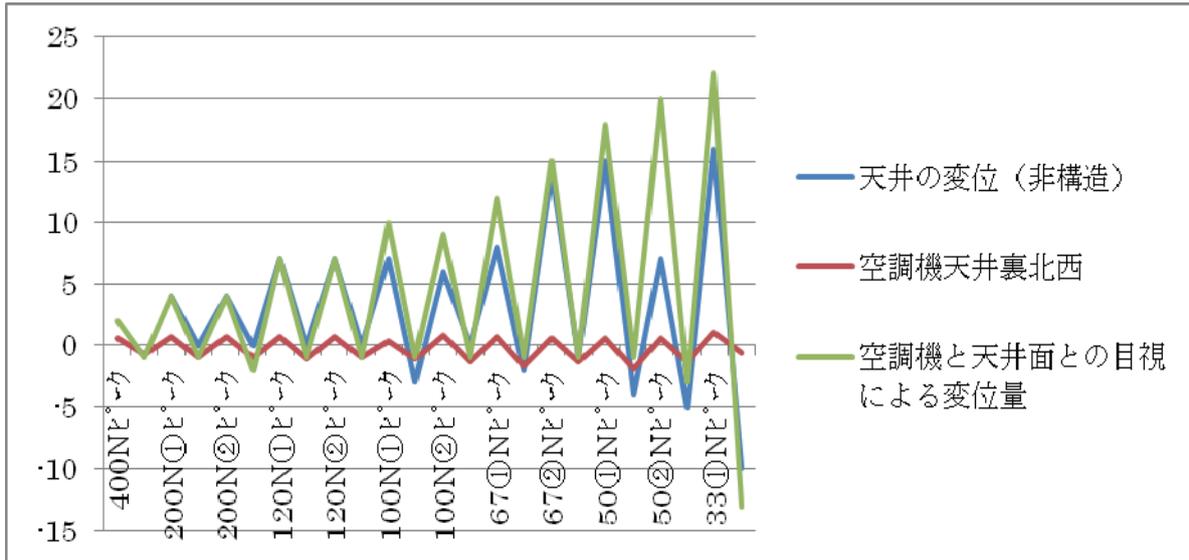


図 5.12 在来天井に取り付けた天井カセット形空調機の変位

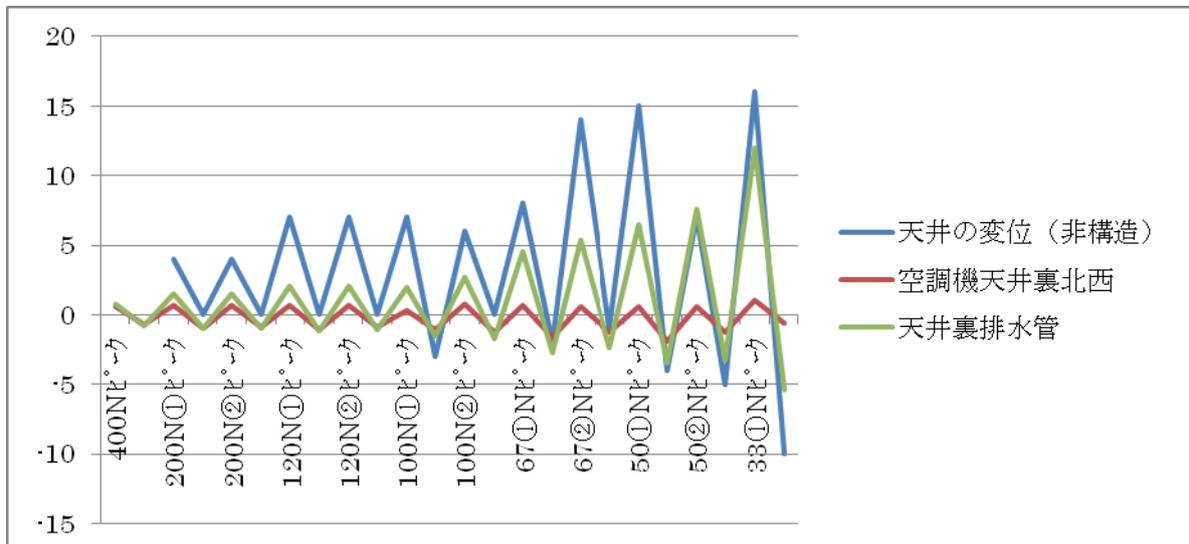


図 5.13 天井カセット形空調機天井裏面と天井裏排水管の変位

3) 照明器具

照明器具の変位量測定結果について示す。照明器具は在来天井に取り付けたもの2台と、システム天井に取り付けたものが3台ある。システム天井に取り付けた照明器具はクリップ（固定金具）止めしたが、層間変形角 $R=1/120\text{rad}$ 以降では、北側と中央の2台については固定金具を取り外して、取り外さない機器との損傷量の違いを調べた。また、システム天井には制気口も設けており、その損傷量（損傷状態）も同時に測定した。

a) 在来天井に取り付けた照明器具—下面開放式照明

写真 5.10 に、躯体の層間変形角 $1/50\text{rad}$ 時の変位状況を示す。下面開放形照明器具の加力方向の変位は、目視では確認できないほど小さかった。一方、加力方向と直交する照明器具でも加力に伴う顕著な変位は生じなかったが、照明器具を支持するボルトは、層間変形が大きくなるに従いやや大きく湾曲する状況が観測された。



加力方向

加力に対して直交方向

写真 5.10 在来天井に取付けた照明器具 (いずれも $R=1/50\text{rad.}$)

b) システム天井に取付けた制気口

吹出し口は、天井フレームの取り付け枠にビス止めされていることもあり、躯体変位によらず全く変位がみられなかった。

c) システム天井に取付けた照明器具

写真 5.11 に、システム天井の照明器具の変位状況を示す。照明器具は、躯体の層間変形角 $1/800$ から変位を生じ始め、層間変形角 $1/400$ では固定クリップがある状態で $\pm 2\text{mm}$ 程度の変位量がみられた。躯体の層間変形角 $1/120$ 以降では、クリップを外した中央と北側の照明器具の方が変位量はやや大きくなったが、天井フレームなどで押さえられ極端には大きくならなかった。



写真①固定クリップありの状態

写真② 固定クリップなしの状態

写真 5.11 $R=1/120\text{rad.}$ 時における照明器具の変位状態

6. まとめと今後の課題

本編では、第1編に示された新たな構造性能評価システムに資するデータベースの構築に関する検討を行い、以下の知見を得た。

1. 損傷・修復性・機能性評価で必要とされる項目およびそれらの項目の関係性を纏めた。具体的に、データベースを構築する際の根拠となるデータ集を「ワークシート」、それらワークシートを取り纏めたものがデータベースである。
2. 各部位（構造部材、非構造部材、設備機器、什器）を対象として、各評価（損傷・修復性・機能性評価）用DBのフォーマット（評価項目）を示した。またそれらに既往の研究やアンケート等に基づき、特に3編で必要とされる建築物の部位を優先してデータの収集を行った。ただし、各DBの値は現時点での収集したデータの結果から得られる値であり、今後実施される研究等によって高精度のデータに更新されることが期待される。
3. ここで構築した損傷評価DBフォーマットに基づき、実大実験を計画・実施し、主に構造部材、非構造部材、設備機器（配管類を含む）の損傷評価に必要なデータの収集を行い、データ収集の過程を明らかにした。
4. 修復性評価DBを用いた修復費用・時間の算定の基本方針を纏めた。本DBを用いて算定される値は、多様な状況が予想される地震後の実際の修復費用・修復時間の積算に直接適用することはできないことに注意が必要である。
5. 地震後における建築物のシナリオ構築までの評価過程を図1.3で例示した。このように本DBから得られる各部位のデータを統合して、建築物の地震後のシナリオの表示に役立てることが重要である。

また、今後の課題として、本評価手法が広く利用されるために、各部位のデータ（特にワークシート）を広範に収集する仕組み（データの維持体制を含む）が必要である。

参考文献：

- 文献 1) 日本建築学会：非構造部材の耐震設計施工指針・同解説および耐震設計施工指針要領，2003 第 2 版
- 文献 2) キムキョンミン・高橋典之・塩原等：実大 7 層建物を用いた鉄筋コンクリート部材の損傷量推定モデルの検証，日本建築学会大会学術講演梗概集，C-2，構造 IV，pp. 445-446., 2006.9
- 文献 3) 文野正裕・永山憲二・前田匡樹・田才晃：RC 柱の損傷状態に基づく残余耐震性能の評価，コンクリート工学年次論文報告集，第 23 巻第 3 号，pp259-264，2001.6
- 文献 4) 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評価，コンクリート工学年次論文集，第 25 巻第 2 号，pp1225-1230，2003.7
- 文献 5) 松岡祐一・吹田啓一郎・山田哲・島田侑子・赤澤資貴・松宮智央：実大 4 層鉄骨造建物の震動台実験における外装材の耐震性能評価，日本建築学会構造系論文集，NO.641，P.1353，2009.7
- 文献 6) 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編集発行：公共建築改修工事の積算マニュアル，2006
- 文献 7) 経済調査会・経済調査会積算研究会編：建築工事の積算 [改訂 9 版] 2009.1
- 文献 8) 建設物価調査会：建設物価 2009.10
- 文献 9) 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：公共建築工事積算基準，平成 21 年
- 文献 10) (独) 建築研究所ほか：平成 16 年新潟県中越地震建築物被害調査報告，pp.243

第 3 編

機能継続性を考慮した 構造性能評価システムを用いた 評価事例

2011/01/28

BRI 研究成果報告会

第3編 機能性を考慮した構造性能評価システムを用いた評価事例

1. はじめに

第1編に示した通り、機能性を考慮した構造性能評価システムフローの構築とそのフローを用いた評価をサブテーマ1において実施した。

平成19年度には、実施設計された建築物（事務所、共用住宅、病院）の実施図面に基づき「機能回復性」評価の一連のプロセス（損傷状態の把握－修復方法の特定－修復コスト・修復期間の推定）を実施し、そこで明らかにされる具体的な問題点の抽出を行った。この検討の中では、損傷状態や修復費用、修復期間が算出できるように損傷や修復に関する表を作成した。この表を用いると簡略的に損傷状態や修復費用が定まる一方で、この表は構造設計者の経験に基づく値を用いており、はっきりとした根拠を示せないものも含まれる。

平成20年度には、「積算手法に基づく評価」を実施した。各層の部材毎に、損傷状態と損傷量を推定し、修復方法を決め、積算に関する文献（日本建築積算協会「建築改修工事の積算」）に基づき、各修復作業の費用を算出した。積算の手法に基づいているので、実際の修復費用に近いものが示されていると考えられ、また、部材ひとつひとつについて積み上げで算出しているため、より現実的な値を与えていると考えられる。しかし、部材ひとつひとつについて、損傷状態と損傷量を推定し、修復方法を決めているので、作業量が膨大になる。この方法は、構造設計の一環として実施するには、やや複雑な面がある。

平成21年度には、実験等から得られたデータベースに基づき、比較的簡易な方法で修復費用・修復期間の試評価を行った。具体的には、建築研究所が構築したデータベース（第2編参照）に基づき、費用係数 α （第2編参照）を用いた評価を行った。

ここでは平成21年度に実施した評価事例について示す。

2. 対象建築物と検討方法

「8階建てSRC造病院」「12階建てS造事務所」「13階建てRC造集合住宅」を対象に、表2.1に示す地震動を用いて弾塑性地震応答解析を行い、求めた応答値を用いて建築物の損傷状態を推定した。

表2.1 入力地震動一覧

地震波名	最大加速度 度 (gal)	継続時 間 (s)	備 考
EL-NS-50	510.80	53.76	1940年 EL CENTRO NS (BCJ標準波) 50kine相当
TA-EW-50	496.80	54.40	1952年 TAFT EW (BCJ標準波) 50kine相当
HA-EW-50	273.00	51.00	1968年 HACHINOHE EW (BCJ標準波) 50kine相当
JMA-KOBE-NS	822.05	50.00	1995年 JMA KOBE NS (兵庫県南部地震) 原波
JSL2-E-NS	559.99	60.00	JSCA波(極稀)表層 $V_s=200$ 、厚=20m 1940年 EL CENTRO NS 位相
JSL2-T-EW	616.09	60.00	JSCA波(極稀)表層 $V_s=200$ 、厚=20m 1952年 TAFT EW 位相
JSL2-H-EW	533.60	60.00	JSCA波(極稀)表層 $V_s=200$ 、厚=20m 1968年

			HACHINOHE EW 位相
JSL2-J-NS	632.05	60.00	JSCA 波(極稀) 表層 Vs=200、厚=20m 1995 年 JMA KOBE NS 位相

各建築物の損傷状態と修復費用・修復期間の推定は応答値（主に層間変形）の大きいもの（被害の大きいもの）、中位のもの（被害が中位のもの）、小さいもの（被害が小さいもの）を3波選定して行なっている。

修復費用は損傷評価 DB、修復性評価 DB を用いて、以下に示す方法により求めた。

柱・梁については、応答最大部材角から損傷評価 DB を用いて損傷状態を推定した。耐力壁、内・外装材については応答最大層間変形角から、天井・設備機器については応答最大加速度から、それぞれ損傷状態を推定した。これらの各部材の損傷状態から、修復性評価 DB を用いて補修人工（人日/m²）及び費用係数を求めた。求めた補修人工に各部材の該当面積、費用係数及び労務単価（14000 円/人日）を乗じ、各部材の総補修費用を算定した。これらの合計を直接工事費とし、専用仮設工事比率（0.5）、共通仮設工事比率（0.1）、管理費比率（0.2）を考慮して、総工事費を求めた。

修復期間については、前記で求めた各部材の修復人工に、一日当たりの投入人工を仮定し、部位別の工事期間を推定し、全体工事工程を勘案して総修復期間を求めた。

3. 8 階建て SRC 造病院

3.1 建築物概要

対象とした建築物は、新潟県内に現存する病院（SRC 造病院と記す）である。本病院は、建設年代、構造種別の異なる5棟（東棟、西棟、本館、検査棟、医局棟）で構成されており、それぞれエキスパンション・ジョイントで連結しているが、構造的には各棟が独立している。今回はこの中から西棟を選択して検討を行った。以下に建築概要（表 3.1）を示す。基本的には、地下階が機械室、1～2 階が診療部門、3 階が手術室、4 階以上が病室という構成である。

表 3.1 建築概要

建築物名称	SRC 造病院 西棟
建設地	新潟県内
竣工年月	昭和 55 年（1980 年）9 月
規模	地下 2 階 地上 8 階 塔屋 1 階
延べ面積	7,974 m ²
構造種別	SRC 造（B2～3 階） RC 造（4～P1 階）
基礎構造	直接基礎

3.2 地震応答解析結果概要

以下の3波を選定した。表 3.2 に各最大応答値を示す。

- ・ JMA-KOBE-NS：1995 年兵庫県南部地震 JMA KOBE NS 原波（応答最大）
- ・ JSL2-T-EW：JSCA 波 告示波 L2 相当 TAFT EW 位相（応答中位）
- ・ HA-EW-50：1968 年 HACHINOHE EW 50cm/s 相当（応答最小）

表 3.2 最大応答値一覧

階	JMA-KOBE-NS			JSL2-T-EW			HA-EW-50		
	加速度 (cm/sec ²)	速度 (cm/s)	層間変形角 (/1000)	加速度 (cm/sec ²)	速度 (cm/s)	層間変形角 (/1000)	加速度 (cm/sec ²)	速度 (cm/s)	層間変形角 (/1000)
7	861.5	107.2	4.41	791.4	70.6	2.56	570.6	29.9	0.92
6	804.8	94.2	5.49	705.9	63.2	2.51	552.1	27.0	1.14
5	886.9	88.1	14.49	735.3	61.1	8.20	530.8	23.8	1.97
4	794.4	69.2	15.38	619.6	43.0	6.80	418.5	15.7	1.89
3	745.0	49.7	10.10	617.5	27.2	3.98	411.6	9.0	1.46
2	765.9	32.4	8.00	677.0	15.9	2.17	435.8	4.5	0.43
1	825.9	15.8	4.81	564.1	7.7	1.30	358.7	1.9	0.21
階	JMA-KOBE-NS			JSL2-T-EW			HA-EW-50		
	加速度 (cm/sec ²)	速度 (cm/s)	層間変形角 (/1000)	加速度 (cm/sec ²)	速度 (cm/s)	層間変形角 (/1000)	加速度 (cm/sec ²)	速度 (cm/s)	層間変形角 (/1000)
7	882.9	114.2	2.61	783.7	81.5	2.05	570.4	38.0	0.85
6	829.3	105.1	2.28	735.5	74.4	1.70	548.0	34.3	0.75
5	843.6	98.4	5.21	689.9	70.2	2.78	525.5	30.8	1.40
4	828.9	84.0	3.50	643.4	63.0	2.60	471.1	25.7	1.16
3	777.0	74.3	5.18	594.9	57.0	2.29	515.4	22.3	0.76
2	855.5	67.8	18.87	766.1	50.7	9.17	430.8	18.8	2.89
1	812.5	32.4	10.99	628.7	17.5	3.38	339.3	6.8	1.12

3.3 層間変形角に基づく部材角の推定

損傷評価データでは、構造部材（柱、大梁、耐力壁）の損傷状態を既往の実験データより推定し、最大部材角との関係で評価している。一方、振動解析は等価せん断型質点系モデルであるため、直接部材角を計算することができない。そこで、本項では、立体増分解析（使用プログラム：RESP-F3）により、最大層間変形角が応答結果と概ね一致する増分ステップの節点変位および節点回転角を用いて代表的な部材の部材角を計算し、損傷を評価する。

3.4 建築物の損傷状態評価と修復費用・修復期間の評価

損傷評価の対象は、建築構造部材、建築非構造部材、主要設備機器および配管とする。損傷評価 DB と修復性評価 DB を一つにまとめると、表 3.3 に示すような損傷－修復性評価データが得られる。これを使って修復費用・期間などは表 3.4 のように算定できる。

表 3.3 損傷－修復性評価データの例（耐力壁）

耐力壁（=RC耐力壁 曲げ破壊 開口無 打ち放し）				
損傷分類	最大層間変形角	損傷状態	補修人工 (人日/m ²)	費用係数 α
0	1.25/1000 以下	無損傷～軽微	0.00	1.00
1	1.25/1000 ～ 2.5/1000	残留ひび割れ幅0.2mm未満	0.01	2.07
2	2.5/1000 ～ 5/1000	残留ひび割れ幅0.2～1.0mm程度	0.28	2.24
3	5/1000 ～ 15/1000	残留ひび割れ幅1.0～2.0mm コンクリートが僅かに剥落	0.44	2.38
4	15/1000 ～ 20/1000	残留ひび割れ幅2.0～5.0mm コンクリートの剥落多い	0.82	2.49
5	20/1000 以上	ひび割れ幅5.0mm以上 内部コンクリートも崩れ落ちている	2.52	1.63

表 3.4 修復費用・期間の算定の例 (JMA-KOBE-NS、耐力壁)

■ 耐力壁 労務単価 14,000 円/人日

階	階高 (m)	スパン		X方向							Y方向								
		X方向 (m)	Y方向 (m)	壁 (枚)	損傷 分類	補修面積 (m ²)	補修人工 (人日/m ²)	費用係数	修復期間 (人日)	修復費用 (千円)	壁 (枚)	損傷 分類	補修面積 (m ²)	補修人工 (人日/m ²)	費用係数	修復期間 (人日)	修復費用 (千円)		
7	3.00	5.60	5.00	1	2	16.8	0.28	2.24	4.70	148	6	2	90.0	0.28	2.24	25.20	790		
6	3.00	5.60	5.00	5	2	84.0	0.28	2.24	23.52	738	8	0	120.0	0.00	1.00	0.00	0		
5	3.00	5.60	5.00	4	3	67.2	0.44	2.38	29.57	985	11	2	165.0	0.28	2.24	46.20	1,449		
4	3.00	5.60	5.00	6	3	100.8	0.44	2.38	44.35	1,478	13	1	195.0	0.01	2.07	1.95	57		
3	3.00	5.60	5.00	12	3	201.6	0.44	2.38	88.70	2,956	15	2	225.0	0.28	2.24	63.00	1,976		
2	3.40	5.60	5.00	14	3	266.6	0.44	2.38	117.29	3,908	3	4	51.0	0.82	2.49	41.82	1,458		
1	3.50	5.60	5.00	19	2	372.4	0.28	2.24	104.27	3,270	10	3	175.0	0.44	2.38	77.00	2,566		
X合計									412	13,482	Y合計							255	8,295
											総計							668	21,776

3.4.1 建築構造部材、建築非構造部材の修復費用

修復性を検討する部位の仕様および数量算出条件を表 3.5 に示す。

表 3.5 対象部位

区分	部材	仕 様	数量算出条件
構造部材	柱	SRC 造 (1~3 階) RC 造 (4~7 階)	X 方向、Y 方向ごとの独立柱の本数で、構造図による。
	大梁	SRC 造 (1~4 階) RC 造 (5~R 階)	上下とも耐力壁の取り付けかない大梁の本数で、構造図による。
	耐力壁	RC 造 開口無	両側の柱、上下の大梁を壁の一部と見なし、構造図による。
非構造部材	外壁	RC 造、スリット無 吹き付けタイル仕上げ	外周横連窓部で、壁高さは階高の 1/2 とする。
	窓	引き違い窓 (外壁部)	外壁横連窓部で、1 スパンあたり 3 枚とする。
	扉	スチール枠片開き	内部 1 スパンあたり 2 枚と仮定する。
	間仕切り壁	LGS 下地石膏ボード貼り	壁重量を見付面積あたり 50kg/m ² とし、X 方向、Y 方向それぞれに積載荷重換算で 10kg/m ² あると仮定する。
	天井	在来天井 1 室 30 m ² 程度	天井面積は、当該階床面積の 80% と仮定する。

各地震時の費用、人工を比較する。修復費用の合計(表 3.6)は、JMA-KOBE-NS が約 1 億 2000 万円、JSL2-T-EW が約 6200 万円、HA-EW-50 が約 3000 万円となり、地震動の大中小に伴い、1/2 ずつ減少している。労務単価を部材にかかわらず 14,000 円としているため、人工も同様な傾向である。

部材別修復費用(図 3.1)も地震動が小さいほど小さくなる傾向があり、HA-EW-50 では、外壁を含む躯体の補修は非常に少ない。

表 3.6 修復費用、人工の集計

修復費用(千円)				修復人工(人日)			
部位	JMA-KOBE-NS	JSL2-T-EW	HA-EW-50	部位	JMA-KOBE-NS	JSL2-T-EW	HA-EW-50
柱	17,486	8,872	2,093	柱	528	279	68
大梁	2,317	223	0	大梁	74	8	0
耐力壁	21,776	7,070	122	耐力壁	668	220	4
外壁	24,368	9,501	193	外壁	1042	399	8
窓	15,098	8,547	3,544	窓	521	347	144
扉	19,036	9,131	9,131	扉	568	252	252
間仕切り壁	8,881	7,344	3,722	間仕切り壁	309	246	117
天井	11,349	11,349	11,349	天井	488	488	488
合計	120,311	62,037	30,154	合計	4198	2239	1081

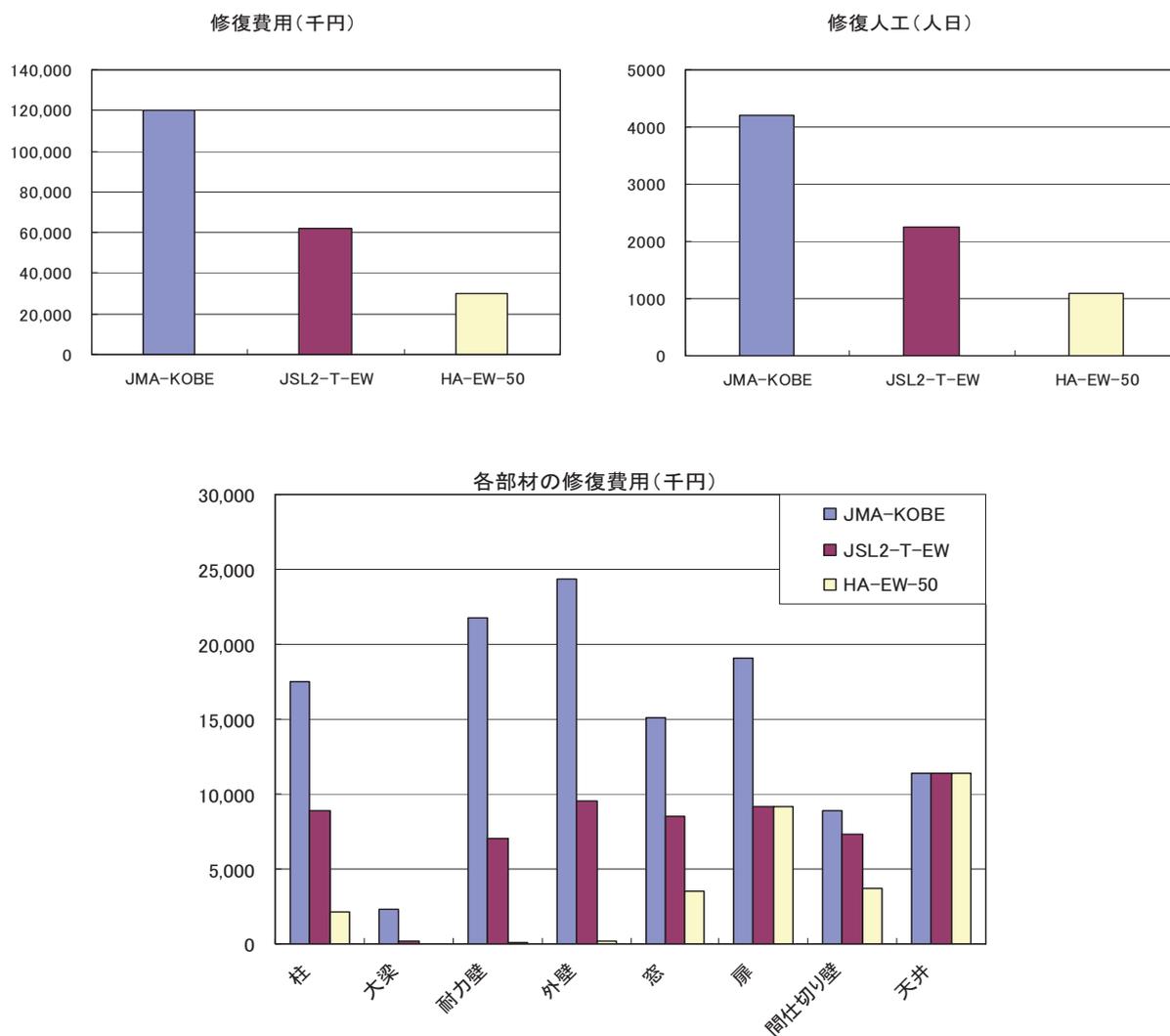


図 3.1 部材別修復費用

3.4.2 建築設備の修復費用

建築設備の修復費用・人工は、設備機器、配管類、昇降機の3つに分けて算出する。修復費用の合計（表 2.7）は、JMA-KOBE が約 2 億 5000 万円、JSL2-T-EW が約 7100 万円、HA-EW-50 が約 930 万円となり、地震動の大中小に伴い減少している。労務単価を部位にかかわらず 14,000 円としているため、人工も同様な傾向である。

表 3.7 修復費用、人工の集計

修復費用(千円)				修復人工(人日)			
部位	JMA-KOBE	JSL2-T-EW	HA-EW-50	部位	JMA-KOBE	JSL2-T-EW	HA-EW-50
設備機器、配管	214,015	70,914	8,858	設備機器、配管	3114	1101	262
昇降機	38,984	450	450	昇降機	78	6	6
合計	252,999	71,364	9,308	合計	3192	1107	268

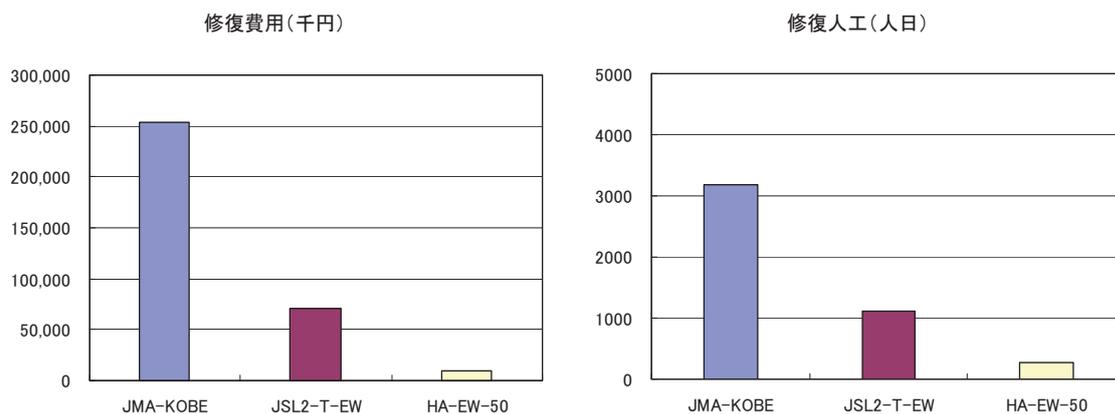


図 3.2 修復費用、人工の集計

3.4.3 修復費用・期間のまとめ

本章で計算した修復費用、人工をまとめる。表 3.8 は、地震ごとの各工事費、人工を示している。修復費用には新築工事費（約 21 億 1400 万円、専用仮設、共通仮設、管理費込み）との比も示した。新築工事費は、建設時からの物価上昇率 30%（建設工業経営研究所の資料などによる）を見込んだ金額である。図 3.3 は表 3.8 をグラフ化したものである。

表 3.8 修復費用、人工の集計

修復費用(千円)			修復人工(人日)				
建築工事			部位				
項目	内 訳	JMA-KOBE	JSL2-T-EW	HA-EW-50	JMA-KOBE	JSL2-T-EW	HA-EW-50
①躯体関連		65,947	25,666	2,408	2312	906	80
②非構造部材		54,364	36,371	27,746	1886	1333	1001
③直接工事費	①+②	120,311	62,037	30,154	4198	2239	1081
④専用仮設工事費	直接工事費×0.5	60,156	31,019	15,077	3192	1107	268
⑤工事費合計	③+④	180,467	93,056	45,231	7390	3346	1349
⑥共通仮設費	工事費合計×0.1	18,047	9,306	4,523	56.8	66.9	80.1
⑦管理費	工事費合計×0.2	36,093	18,611	9,046			
建築合計	⑤+⑥+⑦	234,606	120,972	58,800			
設備工事			設備の割合(%)				
③直接工事費	設備、昇降機	252,999	71,364	9,308			
④専用仮設工事費	直接工事費×0.5	126,500	35,682	4,654			
⑤工事費合計	③+④	379,499	107,046	13,962			
⑥共通仮設費	工事費合計×0.1	37,950	10,705	1,396			
⑦管理費	工事費合計×0.2	75,900	21,409	2,792			
設備合計	⑤+⑥+⑦	493,348	139,160	18,151			
総工事費	建築+設備	727,955	260,132	76,951			
建築工事の割合(%)		32.2	46.5	76.4			
新築工事の比(%)		34.4	12.3	3.6			

総復旧工事費は、JMA-KOBE が約 7 億 2800 万円、JSL2-T-EW が約 2 億 6000 万円、HA-EW-50 が約 7700 万円となった。そのうちの建築工事の割合は、JMA-KOBE が約 30%、JSL2-T-EW が約 50%、HA-EW-50 が約 80%と、地震が大きくなるに連れ、設備の割合が増える傾向にある。新築工事費との比では、最大の JMA-KOBE で 34.4%であった。修復人工は、どの地震も建築工事のほうが多く、工事期間は建築工事期間で決まると考えられる。仮に、建築 6 工種（躯体、外壁、窓、扉、間仕切り、天井）各 4 人、1 日あたり 6×4=24 人とする、工事期間は、JMA-KOBE が約 6 ヶ月、JSL2-T-EW が約 3 ヶ月、HA-EW-50 が約 1.5 ヶ月となる。

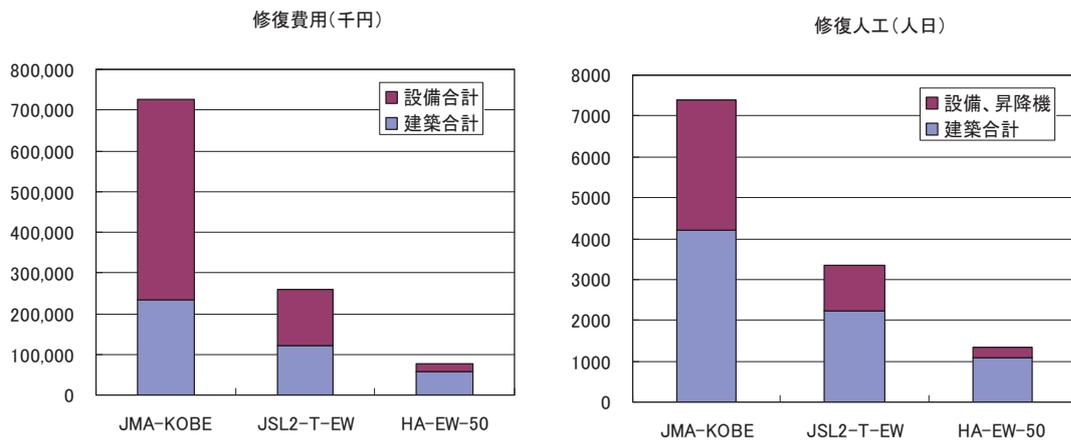


図 3.3 修復費用、人工の集計

4. 12階建てS造事務所

4.1 建築物概要

本建築物は、地上12階建ての鉄骨造によるセンターコア形式の事務所ビルである。基準階の平面形状は整形であるが、11階と12階がセットバックしている。規模などを表4.1に構造概要を表4.2に示す。また、図4.1に平面図、立面図を示す。

表4.1 建築物概要

建築物名称	S-12 オフィスビル
所在地	東京23区内
用途	事務所
構造種別	鉄骨造
建築面積	832 m ²
延床面積	9360 m ²
階数	地上12階、塔屋1階
高さ	軒高48.7m、最高高さ54.3m
標準階高	4.0m

表4.2 構造概要

構造種別	鉄骨造
架構形式	X方向：ブレース付きラーメン構造 Y方向：純ラーメン構造
柱、はり、ブレース	柱：冷間成形角形鋼管 大はり：ロール成形H形鋼 ブレース：ロール成形H形鋼(座屈拘束型ブレース)
柱・はり接合部	仕口：はり通し方式 柱継手：現場溶接 はり継手：高力ボルト摩擦接合 F10T
床形式	デッキプレート捨て型枠鉄筋コンクリートスラブ
非耐力壁	外壁：ALCパネル、サッシュ 内壁：軽鉄下地ボード張り、ALC
天井	在来天井

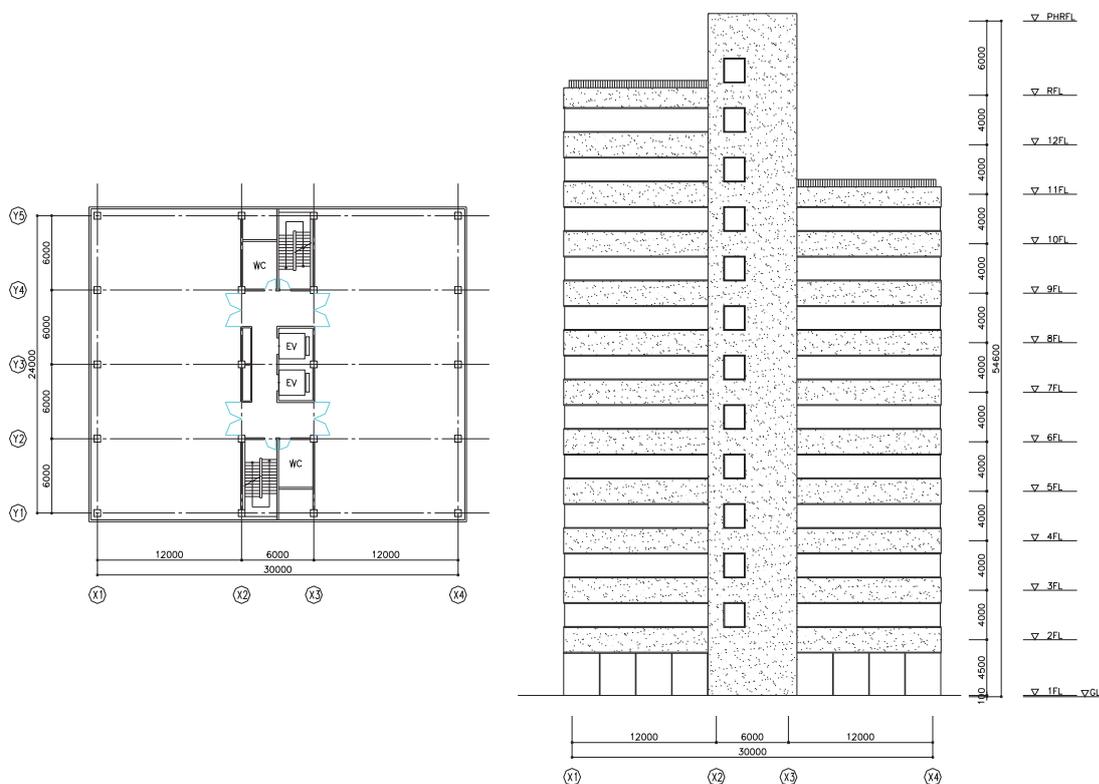


図4.1 平面図、立面図

4.2 地震応答解析結果概要

図 4.2 に示す地震応答解析結果より最大応答、中間的な応答、最小の応答を示す波を下記のように決める。

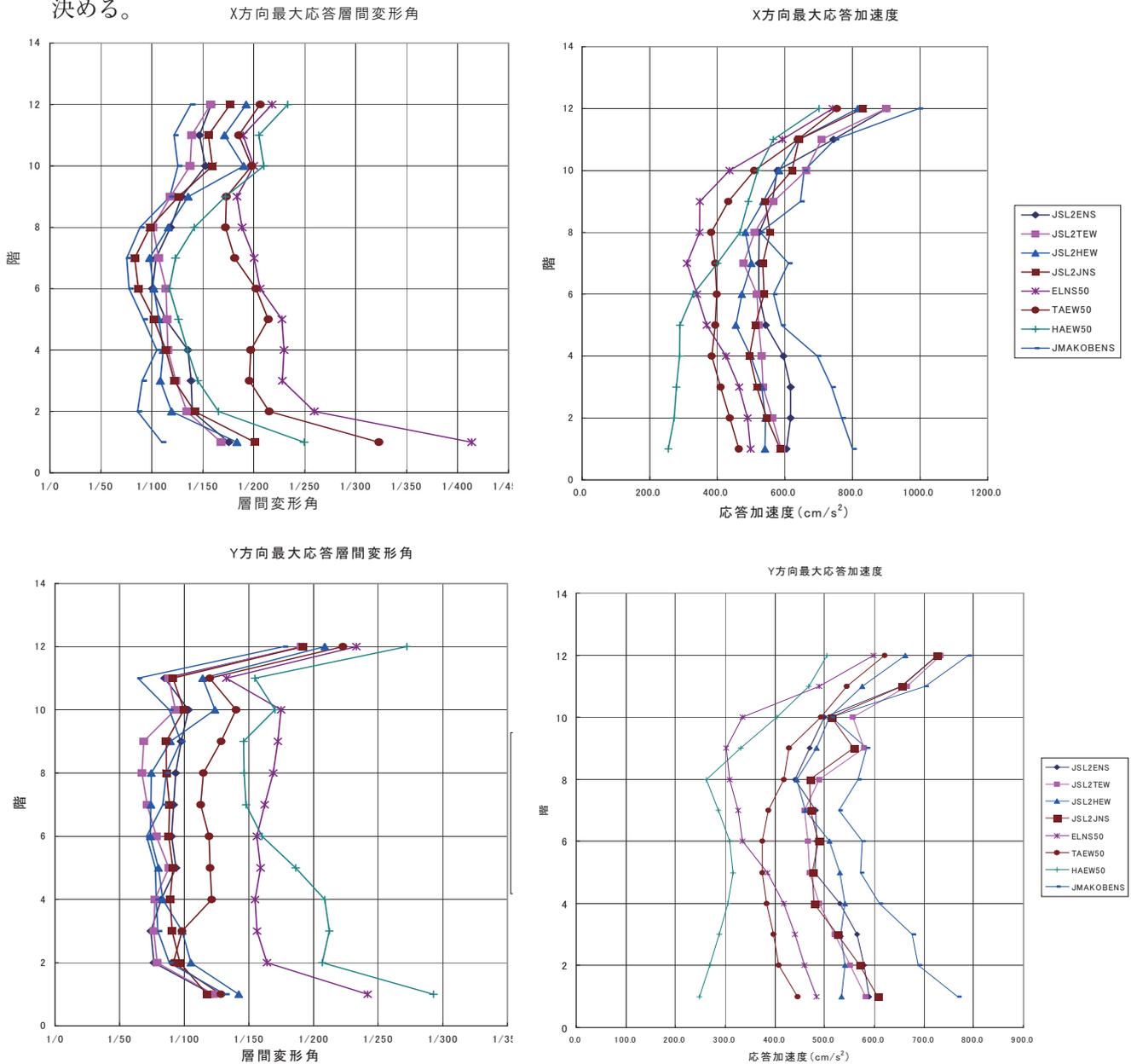


図 4.2 地震応答解析結果

1) 応答層間変形角

最大応答層間変形角を示す波
 中間的な応答層間変形角を示す波
 最小応答層間変形角を示す波

X,Y 共に JMAKOBENS
 X HACHINOHEEW Y TAFT EW
 X,Y 共に ECTL NS

2) 応答加速度

最大応答層間変形角を示す波
 中間的な応答層間変形角を示す波
 最小応答層間変形角を示す波

X,Y 共に JMAKOBENS
 X,Y 共に JSNHEW
 X,Y 共に HAEW50

4.3 層間変形角に基づく部材角の推定

本建築物は、鉄骨造で増分解析結果により、梁崩壊先行の架構であることが確認されている。ここでは、応答解析結果の最大層間変形レベルでは、梁端部の損傷は生じないものとして、架構部材の損傷評価は行わないものとする。よって、層間変形角からの部材角の推定は行わない。

4.4 建築物の損傷状態評価と修復費用・修復期間の評価

4.4.1 各部位の損傷評価基準と修復費用・修復期間の算定基準

1) 架構、内外装材

損傷評価に対しては、損傷評価データベースによる。修復工事費の算定に対しては、修復性評価データベースにまとめられた各損傷レベルに対応した費用係数と人工によることとする。作業員単価は、1.4万円/人日とする。

ただし、鉄骨造に対するデータベースが少ないので、下記の仮定をすることとする。

a) 架構

応答解析結果の最大層間変形レベルでは、梁端部の損傷は生じないものとして、架構部材の損傷評価は行わないものとする。また、架構の損傷調査のための費用は、今回の修復費には含まないものとする。

b) 外装 ALC 縦張壁

変形追従性のディテール採用として、地震時の損傷はないものとする。(今回のデータベースには、このデータが含まれていない。)

c) 横連窓のサッシュ

RC 壁に取りつくサッシュのデータベースを用いる。

d) 外装腰壁 ALC

変形追従性のディテール採用として、地震時の損傷はないものとする。(今回のデータベースには、このデータが含まれていない。)

e) 内装壁 (軽鉄下地)

石膏ボード、軽量鉄骨下地、開口有りのデータベースを用いる。

f) 内装壁 (ALC 縦張壁)

変形追従性のディテール採用として、地震時の損傷はないものとする。(今回のデータベースには、このデータが含まれていない。)

g) 扉

外装 ALC 取付きスチール扉のデータを用いる。内装の扉も同様とする。

修復期間については、修復性データベースの人工の総和による。それぞれの損傷率は考慮されているものとする。

2) 什器、備品などの損傷状態評価

事務所ビルであるので、家具としては、本棚 ($h=150$ 、 $b=50$) と同等のものを想定する。

床は、普通の床 (毛足の短い絨毯) として、摩擦係数 $\mu_{\min}=0.2$ 、 $\mu_{\max}=0.7$ として、図 4.3 の算定式により、転倒の可能性と滑りの可能性について算定する。

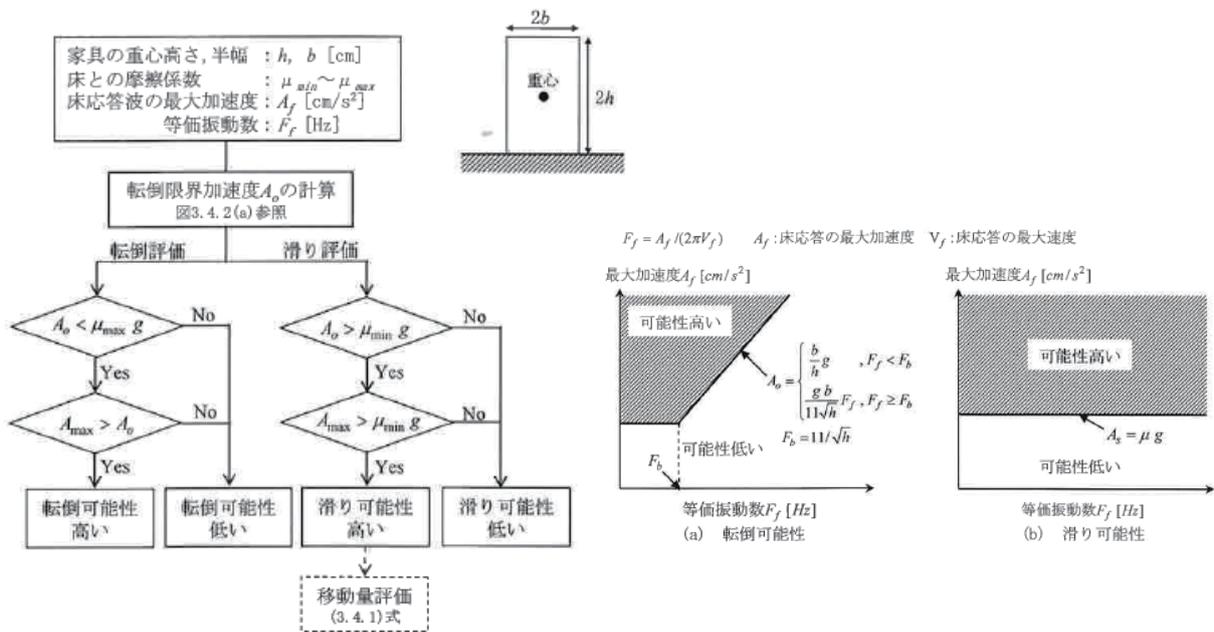


図 4.3 家具の転倒・滑り評価

3) 設備機器類

設備機器の損傷基準と修復費の算定は、設備機器類の修復費用時間の算定方法のワークシートによることとする。建築物機器類やその箇所の想定は、同規模の実建築物から想定した。

4) 全体修復工事費の算定基準

各部位の修復工事費は、「工事細目別見積単価票」の単価に基づいて算定する。

見積内訳シートより、求めた数値を基本として以下の計算に基づいて総工事費を算定することとする。

表 4.3 総工事費算定の仮定

項目	計算式	コメント
直接工事費	= Σ 修復工事費	
専用仮設工事費	=直接工事費×仮設比率	専用仮設工事、仮設比率は一律 0.5 とした
工事費計	=直接工事費+専用仮設工事費	
共通仮設	=工事費計×0.1	
管理費	=工事費計×0.2	
総工事費	工事費計+共通仮設費+管理費	

4.4.2 工期の算定方針

修復性評価データベースより、各部位の必要修復人日数を算定して、投入人数を仮定することで、各部位の修復日数を算定する。仮設工時、各部位の修復工事の同時性を考慮して、総合的な工期を算定することとする。

4.4.3 修復費用・期間の算定結果

1) 修復工事費について

新築の建築物の工事費については、80万円/坪として算定して修復工事費のその比率も算定した。(建築物の坪数 9360m² 2836坪、新築工事費 226880万円)

被害の大きさ	修復工事費 (万円)		新築工事費に対する比率 (%)
最大波	建築工事	42072	18.5
	設備工事	78876	34.8
	総工事費	120948	53.3
中位波	建築工事	25228	11.1
	設備工事	69305	30.5
	総工事費	94533	41.7
最小波	建築工事	19893	8.8
	設備工事	745	0.3
	総工事費	20638	9.1

建築工事費の部位別の工事費を以下にまとめた。

	最大波		中位波		最小波	
	費用 (万円)	比率 (%)	費用 (万円)	比率 (%)	費用 (万円)	比率 (%)
・体	-	-	-	-	-	-
外壁ALC縦梁	-	-	-	-	-	-
外壁サッシ	18365	85	9780	76	7484	73
内壁ALC	-	-	-	-	-	-
内壁ボード	1142	5	1137	9	1091	11
天井	1874	9	1874	14	1537	15
扉	195	1	147	1	90	1
合計	21575	100	12937	100	10201	100

2) 修復期間について

準備工事、検査期間も含めた修復期間を下記に示す。

被害の大きさ	修復工事期間(日)	期間決定工事種
最大波	292	外部工事
中位波	213	設備工事
最小波	172	外部工事

3) 総合評価

工事費、工期共に被害レベルにより、それぞれ増大している。ただし、今回は、最大応答の波と中位応答の波の応答変形の差が顕著ではなく、結果として修復工事費も大きな差がでていない。

新築工事費に対する修復工事費は、最大応答の波で、53.3%に対して、中位波で、41.7%最小波で9.1%と一けた台となった。設備機器の修復費用は、最小応答波を除いて、建築の修復費用の2倍近くあるいはそれ以上となった。

建築工事費の部位別工事費を見ると、どのレベルでも外壁の被害に対する修復工事費が70%以上を占める結果となった。これは、対象建築物の基準階面積がそれほど大きくなく外壁率も大きいことも上げられると思われる。

什器、備品などの損傷状態については、事務所に置かれる本棚(高さ1500、幅500)に対して、転倒、滑りの可能性の検討を、被害が一番大きい地震波と一番小さな地震波について行った。その結果、被害が一番大きな地震波では、1階、最上階で床加速度が800ガル近くになり、どちらの方向においても、1、2階、上層階で転倒の可能性が高い結果となった。滑りの可能性は全階が高いという結果となった。被害の一番小さな地震波では、床加速度は300ガル程度となった。両方向ともほぼ全層で、転倒の可能性が低いという結果となった。事務所のその他の備品においても被害の大きな地震波程度の揺れでは、室内の損傷は大きなものになると思われる。

5. 13階建てRC造集合住宅

5.1 建築物概要

対象とした建築物は、東京都内の集合住宅である。建築物概要を以下に示す。

規模：地上13階

面積：建築面積 380m²、延べ面積 4100m²

高さ：軒高 37.7m 建築物の高さ 38.3m 最高部高さ 38.3m 基礎底深さ G.L.-3.1m

基準階階高 2.85m

構造種別：鉄筋コンクリート造（桁方向 ラーメン構造、張間方向 連層耐震壁構造）

構造計画：両方向ともに保有水平耐力計算にて耐震性能を評価

5.2 地震応答解析結果概要

2章で示した入力地震波8波について振動解析を行う。振動解析モデルは構造計算書に示される保有水平耐力計算の荷重—変形関係に基づき設定した。

振動解析モデル

- ・ 13質点系の等価せん断モデル。
- ・ 初期剛性は、構造計算書に示される剛性率の計算（雑壁を除く）における層間変形角と、構造計算書に示される $C_0=0.2$ の地震時外力より設定。
- ・ 復元力特性は構造計算書の保有水平耐力の検討に示されている復元力特性をトリリニアに置換。
- ・ 履歴特性：武田モデル Degrading Tri-Liner 型。
- ・ 粘性減衰は1次の固有振動数に対して3%の瞬間剛性比例型。

また表5.1に応答結果の一覧を方向別に示す。

表 5.1 応答結果一覧

X 方向

	応答変位 (cm)	応答加速度 (cm/sec ²)	応答速度 (cm/sec)	応答せん断力 (kN)	応答層間変形角 (rad)
EL-NS-50	22.12	760	116	21,425	1/56
TA-EW-50	18.60	824	105	21,706	1/81
HA-EW-50	26.83	621	139	22,062	1/72
JMA-KOBE-NS	39.63	897	180	22,384	1/40
JSL2-E-NS	33.77	797	156	22,182	1/32
JSL2-T-EW	35.74	782	196	22,122	1/37
JSL2-H-EW	29.49	784	149	22,099	1/54
JSL2-J-NS	46.68	807	188	22,320	1/29
最大値	46.68	897	196	22,384	1/29

Y 方向

	応答変位 (cm)	応答加速度 (cm/sec ²)	応答速度 (cm/sec)	応答せん断力 (kN)	応答層間変形角 (rad)
EL-NS-50	13.62	818	100	30,445	1/141
TA-EW-50	6.42	873	79	25,730	1/345
HA-EW-50	6.95	684	65	28,152	1/399
JMA-KOBE-NS	26.39	842	173	31,020	1/37
JSL2-E-NS	17.25	873	127	30,641	1/72
JSL2-T-EW	22.00	749	117	31,001	1/38
JSL2-H-EW	15.69	872	137	30,411	1/115
JSL2-J-NS	17.88	813	101	30,647	1/71
最大値	26.39	873	173	31,020	1/37

5.3 層間変形角に基づく部材角の推定

損傷評価 DB による評価方法では、構造体の柱と大梁に関して地震時の最大部材角ごとの損傷状態を規定し、部材面積に補修人工 (人日/m²) および費用係数 α を乗じて、補修費用を算出する。しかしながら、今回対象としている 13 階建て RC 造集合住宅は、一般的な保有水平耐力計算に基づく設計となっており、荷重増分解析は行われているものの、各部材個別の最大部材角は算定できていない。そこで、地震応答解析結果による最大層間変形角より柱・大梁の部材角を推定し、費用算出に用いることとした。

具体的な部材角算定方法は以下による。

5.3.1 材料の定数

$$\text{ヤング係数 (N/mm}^2\text{)} \quad E = 3.35 \times 10^4 \times \left(\frac{\gamma}{24}\right)^2 \times \left(\frac{F_c}{60}\right)^{\frac{1}{3}}$$

$$\gamma = 23 \text{ とし、} \quad E = 3.08 \times 10^4 \times \left(\frac{F_c}{60}\right)^{\frac{1}{3}}$$

$$\text{せん断弾性係数 } G = \frac{E}{2.4}$$

5.3.2 計算方法

- ・ 層間変位 (δ) は、柱、梁の変形により生じる層間変位の和とする。(接合部は剛域としてその変形は考慮しない)

$$\delta = \delta_c + \delta_g$$

- ・ 梁の塑性率と層の塑性率を同じと仮定して梁の変形による層間変位を求め、全体の層間変位からの差分を柱の変形による層間変位とする。
- ・ これらから、柱、梁部材の部材角を計算する。

5.3.3 梁の部材角

$$\text{梁の回転角} \quad \theta_g = \eta \times \theta_y \quad \eta = \text{層の塑性率と同じ} = 1.0$$

$$\theta_y = \left(\frac{M_y \times a^2}{3EI} \right) \times \frac{1}{a} \times \frac{1}{\alpha_y} \quad a = \frac{l}{2} \quad l = \text{梁の可撓長さ}$$

$$\alpha_y = (0.043 + 1.64np_t + 0.043 \frac{a}{D}) \times \left(\frac{d}{D} \right)^2$$

$n = 15$ (ヤング係数比), 引張鉄筋比 p_t , シアスパン比 a/D , 有効せい d , 梁せい D

$$\text{梁の部材角} \quad R_g = \theta_g$$

$$\text{梁による層間変位} \quad \delta_g = \frac{l \times H}{L} \times \theta_g \quad H = \text{階高} \quad L = \text{梁のスパン長さ}$$

5.3.4 柱の部材角

$$\text{柱による層間変位} \quad \delta_c = \delta - \delta_g$$

$$\text{柱の部材角} \quad R_c = \frac{\delta_c}{H}$$

5.3.5 地震時の柱・梁部材角一覧 (X方向)

前述の方法により算定した梁および柱の部材角を以下に示す。

表 5.2 部材角の算定結果一覧

(1) JSL2-E-NS 波

階	階高	大梁の塑性率	梁の部材角		柱の部材角	
			θ_y	$R_g (= \theta_g)$	δ_c (mm)	R_c
	H (mm)	DF				
13	2900	0.61	0.0036	0.0022	3.8	0.0013
12	2850	1.23	0.0042	0.0052	6.2	0.0022
11	2850	2.55	0.0044	0.0111	15.1	0.0053
10	2850	5.21	0.0045	0.0232	35.8	0.0126
9	2850	4.60	0.0047	0.0215	34.5	0.0121
8	2850	1.84	0.0049	0.0090	15.1	0.0053
7	2850	1.26	0.0050	0.0063	9.7	0.0034
6	2850	1.45	0.0048	0.0070	11.2	0.0039
5	2850	1.15	0.0048	0.0056	8.5	0.0030
4	2850	1.07	0.0049	0.0052	8.1	0.0029
3	2850	1.48	0.0049	0.0072	11.2	0.0039
2	2850	1.09	0.0047	0.0051	8.7	0.0030
1	4325	1.06	0.0043	0.0046	3.5	0.0008

(2) HA-EW-50 波

階	階高	大梁の塑性率	梁の部材角		柱の部材角	
			θ_y	$R_g (= \theta_g)$	δ_c (mm)	R_c
	H (mm)	DF				
13	2900	0.39	0.0036	0.0014	2.4	0.0008
12	2850	0.78	0.0042	0.0033	3.9	0.0014
11	2850	0.92	0.0044	0.0040	5.4	0.0019
10	2850	1.13	0.0045	0.0050	7.7	0.0027
9	2850	1.58	0.0047	0.0074	11.8	0.0041
8	2850	1.39	0.0049	0.0068	11.4	0.0040
7	2850	2.12	0.0050	0.0105	16.2	0.0057
6	2850	1.78	0.0048	0.0086	13.8	0.0048
5	2850	1.64	0.0048	0.0079	12.0	0.0042
4	2850	1.60	0.0049	0.0078	12.1	0.0043
3	2850	1.77	0.0049	0.0087	13.4	0.0047
2	2850	1.09	0.0047	0.0052	8.7	0.0031
1	4325	0.73	0.0043	0.0031	2.4	0.0006

5.4 建築物の損傷状態評価と修復費用・修復期間の評価

5.4.1 建築物の損傷状態評価

1) 評価方針概要

前記の地震応答解析結果に基づき、地震波別の損傷状態評価と修復費用・修復期間の算定を行う。この際、最も損傷の大きい JMA-KOBE については建築物が崩壊状態と考えられるので、詳細な被害事例の検討は行わず、損傷状態が大破および中破と想定される 2 波 (JSL2-E-NS 波、HA-EW-50 波) の応答結果を用いて評価する。

2) 建築物の損傷状態と補修人工、費用係数

建築物の損傷状態は、今回の建築物の該当する (または最も近い) DB に基づき算定する。

RC 柱 (構造部材 C 3)

RC 梁 (構造部材 B 3)

RC 耐震壁 (曲げ破壊、開口無、打ち放し)

外装材壁 (RC 壁 部分スリット 開口有 タイル モルタル)

窓 (RC 壁 完全スリット 引き違い窓)

扉 (RC 壁 片開き スチール枠)

間仕切壁 (石膏ボード壁 LGS 下地 開口なし)

天井 (30m² つり天井 在来工法)

給水設備 (受水槽)

給水設備 (ポンプ廻り)

給水設備 (立て配管: 2 フロア辺り)

排水設備 (立て配管: 2 フロア辺り)

給水設備 (横引き配管: 5~6m 辺り)

電気設備 (受変電キュービクル)

電気設備 (盤類廻り)

電気設備 (動力幹線 立て引き 横引き)

電気設備 (避雷針設備)

電気設備 (ロープ式エレベーター)

間仕切壁 (石膏ボード壁 LGS 下地 開口なし) の例を表 5.3 に示す。

表 5.3 間仕切壁 (石膏ボード壁 LGS 下地 開口なし)

損傷分類	最大層間変形角	損傷状態	補修人工(人日 / m ²)	費用係数 α
0	1/1000 以下	無損傷	0.00	1.00
1	1/1000~ 2.5/1000	クロス表面にしわ波、切れ	0.08	2.30
2	2.5/1000~ 7/1000	開口部まわりのボードに亀裂	0.14	1.95
3	7/1000~ 15/1000	開口部まわりのボード浮きによる面外方向への変形	0.19	1.83
4	15/1000~	開口部まわりのボードが落下, 壁下地材のずれ, 壁四隅のボ	0.22	1.88

	30/1000	一ドが圧縮による破損		
5	30/1000 以上	壁全体に損傷が拡大 壁下地の損傷によるボード落下	0.29	1.94

5.4.2 修復費用の算定

修復費用は JSL2-E-NS 波（大破）での間仕切壁（石膏ボード壁 LGS下地 開口なし）の場合、表 5.3 を使って表 5.4 のように算定される。

表 5.4 修復費用の算定

階	階高 H (mm)	Rmax×1000	非構造部材（間仕切り壁：12m2 あたり）					
			面積(枚) 12m2 換算	人・日/個	人・日	費用係数 α	労務単価 円	修復コスト 円
13	2900	3.0	6.0	0.14	0.84	1.95	14,000	22,932
12	2850	6.3	6.0	0.14	0.84	1.95	14,000	22,932
11	2850	14.0	6.0	0.19	1.14	1.83	14,000	29,207
10	2850	30.9	6.0	0.29	1.74	1.94	14,000	47,258
9	2850	29.1	6.0	0.19	1.14	1.83	14,000	29,207
8	2850	12.4	6.0	0.19	1.14	1.83	14,000	29,207
7	2850	8.3	6.0	0.19	1.14	1.83	14,000	29,207
6	2850	9.5	6.0	0.19	1.14	1.83	14,000	29,207
5	2850	7.4	6.0	0.19	1.14	1.83	14,000	29,207
4	2850	7.0	6.0	0.19	1.14	1.83	14,000	29,207
3	2850	9.6	6.0	0.19	1.14	1.83	14,000	29,207
2	2850	7.1	6.0	0.19	1.14	1.83	14,000	29,207
1	4325	4.4	4.8	0.14	0.68	1.95	14,000	18,473
合計								374,457

修復に関わる直接工事費の一覧を以下に示す。

表 5.5 修復に関わる直接工事算定結果一覧

	JSL2-E-NS 波（大破）	HA-EW-50 波（中破）
柱	261,853,233	114,761,497
大梁	22,046,590	15,284,771
耐震壁	17,921,354	3,904,858
構造部材合計	301,821,177	133,951,127
外壁	10,367,507	10,741,055
窓	10,346,039	10,796,251
扉	2,609,799	2,750,538
間仕切り	1,660,878	1,234,643
天井	244,485	235,127
設備・電気	37,088,730	21,447,510
総合計	364,138,615	181,156,251

5.4.3 修復期間の評価

1) 工事工程に関する仮定条件

工事工程に関しては、以下の方法にて算出する。

- ・ 居ながら補修は行わない
- ・ 各工事に投入される人工は、それぞれの工事について4チームと仮定する

2) 補修工期の推定

上記の仮定条件に基づき、補修工期を算定すると以下となる。総人工はDBからの算出による。

表 5.6 各部位毎の修復期間の算定結果一覧

JSL2-E-NS 波 (大破)

補修項目	躯体ひび割れ	窓・扉	間仕切壁	天井	設備・電気
総人工	9581	456	61	11	825
1日辺り面積	28	20	40	40	20
班	4	4	4	4	4
日数	86	6	0	0	10

HA-EW-50 波 (中破)

補修項目	躯体ひび割れ	窓・扉	間仕切壁	天井	設備・電気
総人工	4728	472	42	10	517
1日辺り面積	28	20	40	40	20
班	4	4	4	4	4
日数	42	6	0	0	6

したがって、いずれの場合も躯体のひび割れ補修に最も期間を要し、大破時においては86日(約3ヶ月)、中破においては42日(約1.5ヶ月)と想定される。

窓や扉の損傷状態はランク1(シーリング損傷)であるため、躯体のひび割れ補修と同時に工事が可能とした。

5.5 インフラ停止と建築物機能への影響評価について

1) 損傷状態から考えられる機能影響

本建築物は集合住宅であるため当然ながら地震後の機能維持は重要であり、また、実際には居ながら補修は不可能に近く、かつ、長期間に渡る修復工事は居住者に与える精神的な負担も大きいものと考えられる。今回のDBによる試算では、震度7クラスの大破による修復期間は約3ヶ月、震度6クラスの中破による修復期間は1.5ヶ月と判断されているが、これは地震被害度を考慮すると概ね妥当な期間であると考えられる。

2) インフラ停止による機能影響(機能損失)

1章に供給系ライフライン停止および復旧所要時間の推定が示されているが、復旧確率を0.5と考えた場合、地震直後に想定されるインフラ(電気、ガス、水道など)の停止による機能損失は以下と考えられる。

① 電気および水道

電気および水道に関しては、住居の観点から、完全に復旧しない限り機能回復は不可能であると考えられるが、電気の復旧期間に関しては震度7クラスで4日程度、震度6クラスで1日程度である。

また、水道の復旧期間に関しては震度7クラスで40日程度、震度6クラスで10日程度であり、いずれの場合も建築物本体の修復期間に比べ短期間で復旧することから、機能損失としての影響は少ないものと考えられる。

② ガスおよび電話回線

ガスに関しては、主に食事や風呂などの熱源として使用されるが、電気や水道に比べて重要度は低いものと考えられる。また、復旧期間は震度7クラスで70日程度、震度6クラスで40日程度であり、いずれの場合も建築物本体の修復期間に比べ短期間で復旧することから、機能損失としての影響は少ないものと考えられる。

また、電話などの通信回線に関しては、携帯電話の普及（伝言ダイヤルなど）により、比較的重要度は低いものと考えられる。

3) インフラ復旧と修復工事に関する総合所見

大規模災害を考えた場合、インフラの復旧は電気、通信設備、水道、ガスの順で行われるが、今回の算定では、いずれのインフラ復旧も建築物の機能維持回復に要する復旧期間よりも短いことから、建築物機能の回復に関して阻害要因とはならないものと判断できる。

6. まとめと今後の課題

1) 修復費用・修復期間

ここで示した手法（第2編で構築されたDBを利用した手法）による場合は、既往実験の残留ひび割れ量そのものをデータベースの値から算定を行った。平成20年度および今年度共に、全修復費用に対する躯体のひび割れ補修費の占める割合が80%~90%と高く、地震後に補修対象となる残留ひび割れの量の評価により、全体修復費が大きく左右されることを示している。

2) 損傷状態の総合評価

地震被害（大破）および（中破）の2波の地震応答解析により得られた躯体および内装関連、設備関連の被害度を推測し、修復費用・修復期間の算定を行った。

いずれの場合も、検討対象建築物に準用できるDBを利用した結果、概ね妥当な費用と期間が得られていることから、今後もこのようなDBの活用による判断が有効な予測手段として機能することが期待できる。

ただし、今回も住宅の住人が個別に持ち込んだ什器などは考慮しておらず、実際の被害とは若干異なることを留意すべきである。また、DBが全ての部位に完全に適合する状況ではないため、今後、DBの充実によりこれまで以上に高い精度でBCPに関する修復費用・修復期間が算出できるものと考えられる。

第4編

機能継続性を考慮した 構造性能評価システムを用いた 構造性能表示手法に関する検討

2011/01/28

BRI 研究成果報告会

第4編 機能継続性を考慮した構造性能評価システムを用いた 構造性能表示手法に関する検討

1. はじめに

1.1 研究の目的

災害後に機能維持／早期回復される優れた建築物が世の中に広まっていくためには、「機能継続性・回復性」の重要性ならびにその評価の具体内容が、専門家や一般市民に広く十分に理解される必要がある。

そこで第1編で示したように、ここでは新たな構造性能評価システムで用いる構造性能表示手法の検討を行った。具体的には、地震による建築物の機能性への影響に関する検討を表に整理するとともに、それらを一般市民に理解される説明方法／表現方法の検討を行った。方法としては、被災シナリオをストーリー性のある文章にする方法や、図や写真・ポンチ絵などを多く入れた冊子とする方法、インターネット上でインタラクティブに操作できるWeb教材にする方法など、様々な試みを行った。

1.2 対象建築物

サブテーマ3では、「集合住宅」、「病院」、「事務所」の3つの異なる用途の建築物について、サブテーマ1にて実施された地震応答解析結果と物理的被害を参考に、地震時の建築物の物理的被害が建築物の機能性に及ぼす影響を分かりやすく説明する方法を検討した。

集合住宅では、建築物の機能として生活の維持が重要であることから、地震直後の居室の状況や避難の様子、生活困窮などについて、Web上でマウスを操作しながら部屋の被害状況を見ることができる教材を作成した。部屋ごとに、被災状況をポンチ絵で示し、同時に写真や文章などの関連資料にアクセスできるような仕組みを構築した。

病院では、建築物の機能として医療活動が重要であることから、被災状況とそれが医療活動に与える影響について、ポンチ絵や説明文章・実際の被害写真などを盛り込んだ冊子を作成した。

事務所では、「学会事務局」「会議室」「ホール」「貸事務所」「店舗」「エレベータ」「トイレ」など、様々なシチュエーションで起こると考えられる被災状況と、それが人・物・情報・機能に与える影響をシナリオ形式にまとめた。

いずれの説明方法も、サブテーマ1および2の検討結果を踏まえ、建築物の物理的被害とその機能性への影響が分かるように工夫したものであり、他に類を見ないものになっている。

2. 集合住宅

2.1 はじめに

住宅の機能を早期回復させるためには、発生した地震の条件をふまえて被災直後にどのような被害が生じ、生活困窮がどのような状態に陥るのか、またそれが時間とともにどう復旧されていくのかという「復旧シナリオ」の想定が必要である。

シナリオのストーリーは時系列で検討し、建築主が比較的自分と同化して考えられる内容にした。また被害を大きくして恐怖心だけを大きくすることのないよう、シナリオに使用した条件は比較的被害の少ないものとし、ページの中で「・・・のような条件の場合は、このような被害になることもある」といった情報を盛り込むこととした。

なお、分かりやすさをある程度強調するために基本的にはイラストで被害を表現し、大きな躯体の

被害などは色を付けて強調するようにした。さらにこれまでの被害例や実験結果における写真類を添付し、情報の正確性を高めるように工夫した。

2.2 地震時に確保すべき機能

地震時に確保すべき住宅の機能を、実際の被害地震を例に考えることにし、兵庫県南部地震を取り上げた。

兵庫県南部地震では、これまで当り前に安全であった住居が、想像を絶するほどの大きなダメージを受け、日常生活に支障をきたした。被災者がおかれた状況について、発災後約6カ月間の被災者の生活空間と生活の状況および要求、行政と社会の動向に着目した社会的対処について把握し、その結果は表2.1、2.2のようにまとめられた。これらは、1995年1月20日～1996年7月6日の間に行った8回の現地調査と、公表された各種の資料に基づいて、被災者が語ったコメントを中心に、被災者の生活空間と生活の状況および要求、それらをふまえた行政と社会の動向に着目した社会的対処に関する内容の抽出によっている。

2.2.1 生活状況と生活に対する要求

表2.1、表2.2に示すように、時間経過で生活状況と生活要求を対応して考察すると、それらの内容的な差は余りなく、特に混乱期や混乱収束期の初期段階ではほとんど同じ内容である。一方、生活状況・生活要求と現実の対応が最後までうまくリンクできなかったのは住居関係の内容についてであり、復興中期以降もその要求は続き、住民にとって重要な問題の一つである。本震災では、生活を営む住居が壊れ、住む処に不自由したが、その代替えとなる避難所も不足し、避難所に入れなかった被災者が多く発生した。混乱期にはピーク時で避難民31万人、避難所約1000ヶ所といわれ、これゆえ避難所の質の確保が難しく、かなりの人数の住民が劣悪な空間で過ごすことになった。

混乱期（1月17日～21日）では、飲み水、食料品、衣服、毛布、住居、情報、お金など生活上のあらゆるものが不足し、要求が出される。スーパーなどでは買物客の欲しいものが毎日変化した。また、住まいに対する要求も大きい。

被災市民の生活状況は、ライフラインは停止し、飲み水や食料は不足し、トイレの水にも困る状況であり、風呂に入りたいという要求も出され、ライフラインの復旧が切望された。必要とする情報は口コミで伝達しているが、障害者には生活情報が届かず、必要な情報が被災市民に公平に伝わった状況ではなかった。また、被災市民の感情としては余震が怖くて眠れず、家族一つの部屋で服を着て寝るような状況が続き、肉体的にも疲れが出始める。人によっては被災地を脱出する人もいる。避難場所には公園や校庭での野宿、テント、車、公団の集会場など様々な空間が使われ、屋外ではたき火で暖をとり寒さをしのいだ。生活空間についての被災市民の要求は、避難場所へ入れない、寒い、プライバシーが欲しい、昼が欲しい、ついたてが欲しい、避難所では懐中電灯が欲しい、避難所に行きたくない、住み慣れた家を離れたくないなどが出された。

混乱収束期（1月21日～28日）になると、食料関係は除々に足りるようになるが、混乱期同様さまざまなもの・精神的なものを欲する。ものに関する要求は変化するが、精神的なものは混乱期に続いての要求となり、その改善が余りなされなかったため、状況がさらに悪くなった。特に住居関係の要求は大きい。

被災市民の生活状況は、混乱期に引き続き厳しい状況が続き、風呂に入りたい、雨が降ると辛い、風邪がはやるという状況にあり、被災地を脱出する人もいた。また、混乱期同様に買い物客が買うものが毎日変化し、被災市民は下着、医者・薬、トラック、めがね、爪切り、軍手、お酒など多くの種類のものを要求するようになる。

表 2.1 復旧期までの生活空間と生活に関する状況

日付段階	被災地住民の生活状況 (<u> </u> は生活空間に関する内容)	被災地住民の生活要求 (<u> </u> は同左)	生活空間に関する		その他生活に関する	
			行政の動向	社会の動向	行政の動向	社会の動向
それ以前	・土地に対する愛着心あり ・地震がないと信じて生活する		・神戸市の地域防災計画地震対策編では震度5強を想定 ・神戸は国土調査法による地積図がほとんどない		・神戸市等食料・水・毛布等の備えが少ない ・神戸市障害者対策不備	・前兆現象 ・火災保険世帯普及率全国7.19%、兵庫県2.99%だった
1/17 ～ 泥 舌 其 期	・ライフラインの停止 ・飲み水・食料不足、トイレ使用不能 ・飲み水・食料の確保に奔走 ・必要とする情報は口コミで伝達 ・余震が恐く眠れない、疲れ始める ・被災地を脱出(疎開) ・避難場所は公園や校庭での野宿、テント、車、公団の集会所等様々 ・避難所不足 ・焚火で暖をとる ・着のみのまままで逃げる ・家族一つの部屋で服を着て寝る ・震災泥棒に対し自警団組織 ・障害者に生活情報届かず ・商売再開の決意 ・トイレ事情悲惨 ・安い家賃の大学生の下宿先の多くが崩壊 ・避難民ピーク時で31万人、避難所約1000ヶ所	・水(飲水、トイレ、洗面)、食料品、衣服、毛布、情報、お金が欲しい ・寒い ・アラゲシャツが欲しい ・不法滞在を秘密でいたい ・水道ガスの復旧 ・避難所に行きたくない ・住み慣れた家を離れたくない ・風呂に入りたい ・畳が欲しい ・ついたてが欲しい ・避難所では懐中電灯が欲しい ・買物客の欲しいものが毎日変わる	・神戸市の地域防災計画以上に被災者が避難所に集まる ・北淡町約700の全壊に対し仮設住宅300戸建設予定 ・政府は仮設住宅の建設を含む86項目の緊急対策を決定 ・神戸市で応急危険度判定活動開始 ・大阪府の公共宿泊施設等大量受け入れ決定 ・神戸市仮設住宅建設現地調査 ・県知事は災害に強いまちづくり構想を発表 ・県対策本部は仮設住宅4800戸、公営住宅の空き家7200戸の供給を発表 ・仮設トイレ建設着工	・企業による賃貸マンション大型契約が相次ぐ ・企業の社員に対する援助は好む、寮等多岐にわたる ・各種詐欺、悪徳商法発生(ビニール、瓦工事、建物修繕等) ・神戸市で仮設住宅応募受付開始デマ流れる ・プレハブ住宅・2×4工法住宅の全半壊被害無し	・地方自治体から救援 ・物資避難所へ配布できず ・兵庫県は食糧庁、厚生省、自衛隊へ要請 ・自衛隊による炊出し開始 ・在宅障害者へ手が回らず ・インターネットより避難所の要望の情報入手 ・神戸市で7万7千人募集 ・郵便集配業務再開 ・政府市県金100億円以上	・一部地域で電気復旧 ・盗難発生 ・関連企業より救援物資 ・食料日用品品薄、値上がり ・ボランティアで販売 ・KissFMは外国語放送、サテライトはCM抜き の放送、NHKは安否情報流す ・神戸市内小中高校344校休校(1/18)
1/21 ～ 泥 舌 収 束 其 期	・震災泥棒発生し自警団組織 ・雨が降るとつらい ・1/22以後生存者の発見途絶える ・車で寒さをしのぐ、生活する ・屋外生活者、7割生活者多い ・食料は徐々に足りる ・被災地脱出(疎開) ・風邪が流行る ・仕事をするのが一番落ち着く ・就職・進学に影響 ・集団生活のストレスから壊れかけの自宅に避難する住民がでる ・避難民29万人	・下着、医者・薬、トック、眼鏡、爪切・軍手、お酒が欲しい ・寒い ・疲れた ・狭い ・風呂に入りたい	・自衛隊によるトイレ設置 ・郵政省所有未使用国有地を被災者住居用に無償貸与すると発表 ・神戸市で仮設住宅建設開始 ・県知事会見「30万人の被災者に対し5万戸の仮設住宅が必要」 ・大阪府が住宅相談の電話設置 ・県等が3月末迄に3万戸の住宅建設をプレハブ業界に要請 ・自治省は被災者受け入れ先として近隣8県県庁施設、公営住宅等合計32000人分確保と発表	・住宅ローンが心配 ・在日外国人は仮設住宅に入れないというデマ流れる ・大阪で賃貸住宅値上げ ・仮設住宅申込に関するデマ流れる ・学校施設が避難所として重要であることが再認識される	・保健所に精神保健相談室を開室 ・救援物資が運べない ・神戸市「物価110番」設置 ・政府が現地対策本部を県庁内に設置	・震災泥棒 ・降雨により復旧作業遅れ ・電気復旧 ・地震発生や水を巡るデマ ・地元メディア頼り生活情報流す ・阪神地区で休校の公立校のうち約4割が登校再開
1/24 ～ 救 援 其 期	・プレハブのトイレを含む小生活 ・地震を苦にした自殺発生 ・焼跡の捜索開始 ・水道事情が悪い ・川で洗濯 ・震災泥棒に対し自警団組織 ・ストレス、精神障害が目立つ ・体育館の人が多く狭い ・ファミリーの出動開始多数 ・子供がゲーム機で遊ぶ ・避難所でイノセンスの流行が表面化 ・県内1100ヶ所29万人以上の避難民	・テントが欲しい ・狭い ・避難所を出たい ・住む所が欲しい ・他府県の公営住宅不評 ・マンションの安全性の説明を公団側に求めるが説明されず	・仮設住宅建設用国有地を確保 ・神戸、芦屋市仮設住宅と公営住宅入居募集受付開始 ・芦屋市で危険度判定開始 ・東京都は受験生に宿泊施設開放 ・住宅や中小企業の建物解体・撤去作業費用は政府と自治体が負担 ・区画整理促進区域制度の導入 ・西宮市の仮設住宅や公団住宅等入居申込締切 ・伊丹市で仮設住宅等入居の抽選	・予備校が受験生のために自習室を無料開放 ・賃貸物件品薄 ・瓦工事の標準価格を工業会が決定	・西宮・神戸市被災者向けに広報紙発行 ・政府は激甚災害に指定 ・政府は中央防災会議開催 ・神戸市は広報にFAX通信サービス導入	・街頭自転車売りが登場 ・温泉浴場がオープン、おき水無料提供 ・バイク増加 ・炊出し増加 ・ゴミ処理場手が回らず ・震災泥棒 ・西宮市立幼小中登校再開
1/31 ～ 復 旧 其 期	・自宅片付けそろそろ精を出す ・秩序を取るのが難しい避難所あり ・テント暮らしの人多数 ・物は充足、7割が避難所に出る ・ストレスがたまる ・肉体的疲労 ・被災した自宅に戻る ・物資配給に行列ができる ・避難所から病院へ搬送され死亡した老人は24名に達する ・避難所で自殺者 ・被災転校生2万人を越える	・テントが欲しい ・避難所はいやだ ・とにかく早く自宅に戻りたい ・地震保険のお金が思った程おらず不満	・「1応急仮設住宅は原則として希望者全員に提供」と県知事 ・芦屋市で避難所に大型フェリ導入 ・仮設住宅建設用地不足 ・神戸市宅地の早期販売を決定 ・神戸市の仮設住宅・公営住宅入居募集締切 ・神戸市は路上の倒壊家屋撤去に約3か月かかる見通しを発表 ・福災都市借地借家臨時処理法施行 ・6地区に対し建築制限発表 ・全避難所の仮設トイレの設置終了	・神戸市内マンション3割が使用禁止 ・マンションの建替え、住宅ローンの問題 ・関西学院大学仮設住宅建設用地でトラブル ・兵庫県、宝塚、伊丹市仮設住宅の入居開始	・生活福祉資金特別貸付開始 ・政府は阪神との住み分けと協力が進む ・学校仮設テントで授業再開 ・神戸市は復興計画発表 ・神戸市は罹災証明の発行も開始	・西宮市ではボランティアネットワークが充足、行政との住み分けと協力が進む ・学校仮設テントで授業再開 ・避難者等の携帯電話契約ケースが増える ・長河区105人の合同葬、職能ボランティア活躍
2/7 ～	・ガスが使えない ・精神的疲労も限界 ・サラリーマンの通勤 ・自転車は重要な交通手段 ・テント生活 ・避難生活限界 ・一家離散で生活 ・水・食料は行渡るようになる ・プライバシーがない ・不安 ・仕事がない ・風邪が流行る	・被災地から離れた ・商売を再開したい ・家財道具を出したい ・行政に対する不満 ・安心して住みたい ・西須磨住民緊急住宅集会開催、2計画案発表 ・復興計画に対し各地区で住民反対運動 ・被災者約7割は近くの仮設住宅を希望 ・避難生活は疲れた ・暖かいものが欲しい	・神戸市の仮設住宅の抽選発表 ・政府500戸の仮設住宅輸入決定 ・芦屋市が仮設住宅入居者募集 ・仮設住宅用地に校庭利用の考えを厚生省が示し、1年間の期限付で利用決定 ・芦屋市は用地問題から市内に希望者全員の建設は無理と発表 ・神戸市は大阪府内に建設中の仮設住宅、大阪周辺の公営住宅の入居募集開始 ・西宮市は仮設住宅、大阪府営住宅、公団住宅の2次募集開始	・壊れた一般住宅商店はほとんど手つかず ・賃貸契約の不安や経済問題発生 ・修繕費用の不安 ・応急危険度判定調査でも神戸市中心部の全壊・全焼建物を除くマンションの49%が危険な状態 ・賃貸住宅値上げ	・神戸市は自衛隊による炊出し中止	

【引用文献】伊村則子、石川孝宣：兵庫県南部地震の生活・復興過程からみた住居の位置づけ、都市住宅学 第3回学術講演会研究発表論文・要覧集、都市住宅学会、第11号、85、pp.162～165、1995年9月30日。

表 2.2 復興初期からの生活空間と生活に関する状況

日付段階	被災地住民の生活状況 (は生活空間に関する内容)	被災地住民の生活要求 (は同左)	生活空間に関する		その他生活に関する	
			行政の動向	社会の動向	行政の動向	社会の動向
2/14 ～ 復興 初期	<ul style="list-style-type: none"> 急性期パニック障害になる 配布食料は粗末なまま テント生活続く 避難所で21万人過ごす 仮設住居の意味等行政の情報が高齢者には理解できない場合が多い 避難所で現金収入の有無で格差 離職休業証明証発行人は2/10現在約700人、2/25現在は1万人以上 新しく住居を借りるには家賃が高く、借りれない 空き家の仮設住宅も多く、一度もこない人、倉庫にしている人等がいる 	<ul style="list-style-type: none"> 商売を再開したい 安心して住める場所が欲しい 行政復興計画に対し各地区で住民反対運動 家から離れたくない 避難生活は疲れた 自分が仮設住宅に入居可能なら動いてもよい 仮設住宅は住みにくく立地場所も不評 高齢者に理解しやすい行政の情報不足 	<ul style="list-style-type: none"> 阪神・淡路復興委員会開催 神戸市「防災に強いまちづくり案」を新聞折込で広報 仮設住宅2546戸建設した。応急住宅必要見込数は7万戸、うち仮設住宅で4万戸まかなう予定 被災市街地復興特別措置法公布 神戸市議会で神戸市震災復興緊急整備条例議決 市は区画整理に対し説明会を避け個別相談に応じるだけ 都市計画道路の事業着手発表 	<ul style="list-style-type: none"> 賃貸住宅値上げ 神戸市で仮設住宅入居開始 企業が受験生に東京宿泊施設開放 住宅の補償金をだまし取る詐欺 	<ul style="list-style-type: none"> 神戸市の配布食料予算は1日当¥850/人 企業に寄せられたボランティア希望者は4万4000人を超える 神戸市休校中の学校再開 M7.0ニックスが救済情報中心に被災地で放送開始 住宅便の荷受け回復 	<ul style="list-style-type: none"> 報道されている復興はうわべだけ 義援金700億円を越える 神戸市休校中の学校再開 M7.0ニックスが救済情報中心に被災地で放送開始 住宅便の荷受け回復
3/1 ～ 復興 中期	<ul style="list-style-type: none"> 被災店舗等ほかの形で営業開始 生活に追われ仕事再開 テント生活・パニック生活続き、生活限界 仮設住宅絶対数不足 外国人未登録者には義援金支払われず、外国人就労生は援助なく帰国 ボランティアとトラブル 兵庫県内で損壊家屋15万戸以上 住まだけでなく心のケアも必要 被災した住宅を補修・解体する 新しい住まいで生活を始める マシヨン再建に様々な建築規制が初め マシヨン建て替えの決議なされる ゲートボールをする 県全体で避難所暮らしは731ヶ所、63398人となる(3/31現在) 	<ul style="list-style-type: none"> アパートが欲しい 住宅の切望 神戸市のまちづくり案に反対 マシヨン再建にあたり建築規制の緩和求める 早く商売がしたい 行政の都市計画原案作成時になぜ住民の意見を聞かないのか 記念撮影をして帰る人々に不愉快 仮設住宅入居の高齢者は2年後に仮設住宅を出ることが不安、家を建て直すお金もない 高齢者にとって仮設住宅の平面計画は住みにくい 	<ul style="list-style-type: none"> 家屋解体で自治体は被災者から財産放棄の同意書をとる 神戸、尼崎市は解体時に隣家の同意書をとるよう義務づけた 西宮市では仮設住宅当選者の中に家屋が壊れていない人多数 神戸市は3月末迄に仮設住宅3万戸の建設方針をかためる 被災市街地復興特別措置法に基づく復興推進地域に13地域指定 建築制限6地区の都市計画の建設大臣の許可が下り、正式決定(3/17) 兵庫県よりひょうご住宅復興3年計画(案)が発表、必要とされる合計12万5000戸を3年で建設しようとするもの 北淡町では4/10頃までに仮設住宅600戸完成予定で、避難住民全員が入居できるようにする 兵庫県と神戸市は公園等の公共敷地でのテントやコッパテ生活者に対し、立ち退き請求を決定、7月末期限 県復興本部によると、仮設住宅は39241戸建設済み、7月末迄に48300戸建設予定(5/20現在) 	<ul style="list-style-type: none"> 大学生下宿不足 賃貸契約の経済問題、トラブル発生 修繕費用の不安 家屋被害判定の抗議電話1万件余 視覚障害者仮設住宅の情報知らず 各種テントの導入を検討し、コミュニティの形成に役立てる 避難所となつて いる学校では教育と避難所運営に教師が悩む 区画整理が思うように進まない 自力建設する住民が出る 宅地の絶対量不足等により県の復興計画を危ぶむ 	<ul style="list-style-type: none"> 震災に便乗した解雇増加 野島断層見学者増える 被災地の小学生対象に「ラブビースト」開催 ボランティア撤退 仮設住宅を狙った窃盗犯増加 長田区に大型テントの市場ができる 	
4/1 ～	<ul style="list-style-type: none"> 新たな住居へ引っ越し 住居を自力建設する住民でてる テント・パニック生活者相変わらず多い 仮設住宅での死亡者の発見遅れる 仮設住宅では音が筒抜け アライオンアイト等のテントが建設 テント村に無許可のコンテナやプレハブ等が並ぶ、住民自ら改変する 震災後関連死の死者増加、避難所での劣悪な環境が原因 神戸市内避難所は318ヶ所、避難住民は22947人(6/12現在) 					

【引用文献】伊村則子、石川幸重：兵庫県南部地震の生活・復興過程からみた住居の位置づけ、都市住宅学 第3回学術講演会研究発表論文・梗概集、都市住宅学会、第11号、85、pp.162～165、1995年9月30日。

被災市民の生活空間の状況は、車で生活する人、屋外生活者・テント生活者が多く、またせっかく避難所に入れても集団生活のストレスから壊れかけの自宅に逆避難する住民が出るという状況であった。生活空間に対しては、避難所では懐中電灯が欲しいなど混乱期に引き続き要求が出され、寒い、狭い、などの不満が特に多かった。

また、この段階では、就職先が減る、進学を取りやめる、仕事ができないなど社会的問題点も指摘されるようになる。

救援期（1月24日～1月31日）では、住居に関する要求が引き続き出され、テント生活者も多く、体育館などの避難所は人が多く相変わらず狭い状況にあった。被災市民からは、テントが欲しい、避難所を出たい、住む処が欲しいなどの要求が出された。被災市民の生活状況を見ると、地震を苦しめた自殺が発生したり、ストレスや精神障害も目立つようになり、心のケアの必要性が顕著になる。また一方で、多くのサラリーマンが出勤を始める状況も出てきた。

復旧期（1月31日～2月14日）も、引き続き住居に関する要求が出され、テント生活者も多く、避難所から自宅に帰りたい希望が多く出されている。水や食料はようやく行き渡るようになる。被災市民の要求は住居関係や仕事に関する内容に変化していく。

復興初期（2月14日～3月1日）では住居に関する要求が高まり、生活行為は住居の場を中心になされていることを再認識する。また、今回の地震では住居に対する人間の思い入れが改めて問題となり、仮設住宅に入居しない状況が起きた。これは、被災者が最終的に住居とそれを取り巻く条件を考えた上で住居を取捨選択していることを示している。また、復興初期あたりからわかりやすい情報を欲したり、義援金に関する内容や建築規制の緩和を求めるなど、災害後の具体的な対処に伴う状況が示されたり要求が出されるようになり、災害に翻弄される時期から具体的に生きるための行動を起こしていることがうかがえる。特に、仮設住宅など行政の情報が高齢者には理解できていない場合が多く、高齢者に理解しやすい情報が求められた。

復興初期の段階より、ようやく水に関する要求が少なくなりこの段階から水まわり関係の問題は一段落したことになる。

復興中期（3月1日～6月末）になると、住宅に関する要望、不満にほぼ焦点が絞られる。例えば、仮設住宅については、入居可能かどうかの問題、音やプライバシーや使い勝手などの住環境の問題、入居期間の問題、入居資格の問題に対し要求が出された。その他、テント生活者、バラック生活者、避難所生活者からは避難生活が限界にきていることに対する要求や、都市計画案に対する要求やマンション再建の問題、被災度判定に対する抗議など、住宅に対し多岐にわたる要求が出されている。一方で、自力で住宅を建設して新しい生活を始めた人もいる。住宅以外の話題としては、心のケアが必要であることに対し要望が出されている。また、視覚障害者は仮設住宅の情報を知らないなど、公平に情報が伝達されなかった。

2.3 地震時に想定される建物各部位の損傷と機能低下の関係

次に、確保すべき機能について、建物部位ごとの損傷と機能低下の関係について整理した。部材毎に被害レベルと被害項目を分類し、それぞれの被害に対する生活維持への影響と、被害レベル（建物被害、人的被害、生活被害、経済的損失、その他）についてまとめ、さらにこれらの被害レベルについて、被害の程度によるランク分けを実施した。これらの表を参照し、何の被害（建物、コスト、生活困窮、等）に対して、どの程度の被害レベルが許容できないのかを建築主や使用者と話し合い、機能維持を期待する性能について明らかにし、その結果を設計に反映していくことが望ましい。

また、被害レベルはその生活の困窮度合を鑑みてA～Dとグレード分けを試みたが、代替品などの対応で軽減できるものもあるため、これらについても設計時に建築主と合意を得ておく必要がある。なお、今回の被害項目等は検討段階のものであり、ランクの分類等もイメージ的なものであるため、今後は実状に沿って再度整理する必要がある。

さらに生活困窮と構造設計の関係を図 2.1 に示す。

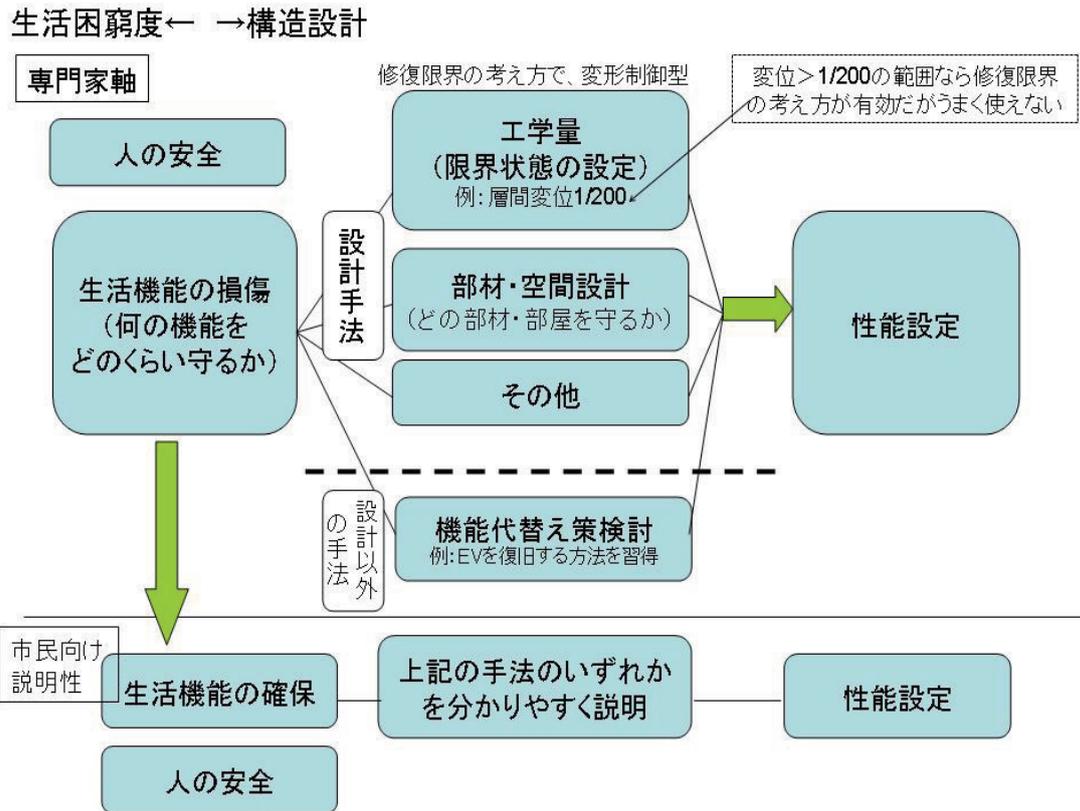


図 2.1 生活困窮と構造設計の関係

生活困窮を軸としてみた場合の目標性能として、2 つが考えられる。1 つは人の安全を守ることであり、もう 1 つが生活機能の損傷の制御である。人命損失や負傷を防ぎ、生活機能をどのくらい守るかということである。このうち、生活機能の損傷についての目標性能に対応する構造設計指標は、工学量として「変位」が適切な指標になるだろう。そのため、変位の限界状態を定めることが求められる。もう 1 つの設計指標は、部材・空間の設計が主たるものである。これらはどれも性能設計手法の範疇になるが、設計手法以外の復旧策として、機能代替策の検討がある。これは、設計等には関係なく人間の力で被害を受けた箇所を復旧していくような事例である。しかしながら構造設計では、こうした人的な対応に頼ることを想定するわけにはいかない。

また、これらを市民・社会に向けて説明していくことが必要になり、上記の専門家向けの説明を市民に分かりやすくかみ砕いて説明することが求められる。

2.4 構造性能表示事例

2.4.1 早期回復のための普及促進のあり方

住宅の機能を早期回復させるためには、発生した地震の条件をふまえて被災直後にどのような被害が生じ、生活困窮がどのような状態に陥るのか、またそれが時間とともにどう復旧されていくのかという「復旧シナリオ」の想定が必要である。前項で示した通り、時系列で生活上での困難度や支障をみた復旧上の問題点を表形式でまとめた。しかし、機能維持・早期回復を検討するためには、こうした専門家向けの資料を作成するだけでは不十分である。

現在建築主は地震後の復旧についてほとんど想定していないが、その意識を変えてもらうための普

及活動も併せて行い、社会の理解を深化させていく活動が必要である。そのために、市民啓発資料と設計時に使える説明資料の2種類を用意することにした。

また機能維持／早期回復について市民にも分かる普及促進を検討する上で、機能維持の考え方および復旧シナリオを伝えるための資料作成、それとともにその普及促進方法に関しても検討を行った。

特に、大地震発生後の状態を分かりやすく伝えること、また建築基準法には機能維持の考え方が示されていないこと、大地震後には機能が守られない場合があることや、機能維持の重要性を伝えることが必要である。その説明は、建築主だけでなく、広く社会や市民を対象にして行われることが求められる。また発災後の人的対応もあり得るが、構造設計ではそれを期待することは許されない。したがって説明性の向上や普及活動が必要である。

以下は、その普及促進対象を立場ごとに分けて列挙したものであり、それぞれの対象に応じて伝える内容を表2.3に示す。

表2.3 普及促進資料の対象別目的および今回資料の位置づけ

普及促進の目的 普及対象	説明性（啓発資料）	設計レベルの設定（合意形成）
専門家	<ul style="list-style-type: none"> ・建築主への説明責任の理解 ・建築主に説明するノウハウを学習 	<ul style="list-style-type: none"> ・機能回復の内容を本質的理解
建築主（オーナー）	<ul style="list-style-type: none"> ・機能回復の目的・内容の概要理解 ・エンドユーザーに対する説明方法と説明責任を理解 ・一般的な地震災害に対する知識 	<ul style="list-style-type: none"> ・機能回復の検討項目の意味を理解 ・機能回復の検討項目を選択できるレベルまで理解
ユーザー（集合住宅購入者）	<ul style="list-style-type: none"> ・一般的な地震災害に対する知識 ・耐震要素の必要性に対する知識 ・機能回復の目的や必要性の認識 ・自己責任の認識 	
社会全体（啓発）	<ul style="list-style-type: none"> ・一般的な地震災害に対する知識 ・耐震要素の必要性に対する知識 ・自己責任の認識 	

■建設・購入時の説明・啓発資料

■一般・社会に向けた意識向上のための啓発資料

■性能設計における目標設定のための資料

伝える内容については、説明性（啓発資料）および設計レベルの設定（合意形成）の2項目に分けて表している。また大地震後の機能の状態を建築主や市民に分かりやすく伝えるための啓発・説明資料の案としては、次のようなイメージで考えている。

◇普及促進対象

・専門家

集合住宅、病院、オフィスの設計・計画を依頼され、機能回復を考慮した設計に関わる専門家。建築主とコミュニケーションをとりながら、建築主の機能レベルの決定を補助し、設計として実現させる人（各種設計者、他）を主対象とする。

・建築主

- 賃貸集合住宅のオーナー
- 分譲集合住宅のデベロッパー
- 自社ビルの経営者（企業）
- 貸ビルのオーナー
- 病院の経営者、など

・市民（専門知識レベルは建築主と同じ位置づけだが、動機付けのないユーザー）

機能回復の概念や必要性については、エンドユーザーになりうる一般市民に広く認知されないと、本当の意味での普及促進はできない。
 そういう意味では、一般市民への働きかけは最重要課題でもあり、取り組む必要がある。

2.4.2 普及促進ツールの検討

具体的にHTML形式にして作成した説明ツールの画面を図2.2に示す。

地震の被害をわかりやすく説明するようなツールは、マンガやアニメ等による表現で類似のものも存在しているが、一つの建築物を対象に、地震前から地震後数週間の様子を示し、このような被害を小さくするためにも機能維持や早期回復を事前に検討しておくことが重要であるということを伝える目的の資料は少ない。また解析結果等に基づく正確な調査結果と整合させた資料にすることで本研究のテーマ統一をはかった。

なお、ここでは画像として提示しているが、実際には実例写真は別ウィンドウでポップアップし、地震時には画面が多少揺れるといった工夫も行っている。図で示した生活被害等は解析結果に基づく建築物の被害を鑑みて過去の被災事例と併せて検討した結果である。



図2.2 試作した普及促進 web ツール画面

3. 病院

3.1 はじめに

地震など自然災害時に病院として果たす役割は、院内の患者・スタッフの安全確保や医療の維持継続、被災者の救助・収容・治療であり、そのためには、BCPならぬMCP(Medical Continuity Plan)を策定し、いつまでどこまで医療機能を回復するかを明確にしておくことが重要である。

本章の病院ではサブテーマ1で検討された、実際に被災したモデル病院(8階建てSRC造)における地震時の機能維持・早期回復に関して、いくつかの資料にまとめた。作成に当たっては、阪神・淡路大震災や新潟県中越地震の調査資料、被災した小千谷総合病院へのヒアリングや災害医療の中核である災害医療センター(立川)での災害対応などを現地調査し、実際の現場の声を反映し作成している。これらの資料は、病院関係者や設計者を想定し啓発することをイメージしており、特に3.3に示す「地震から患者を守る」は小冊子としても使えるよう編集している。

3.2 地震時の機能回復・早期回復

震災時における病院建築の役割について次の2点が考えられる。

- 1) 院内の患者・スタッフ・医療機能の安全、耐震
- 2) 災害対応、被災者の救助

これらの役割を果たすためには、まず病院建築の特殊性を理解しなければならない。その上で、建築物の耐震性の確保とともに地震時の被害状況の把握、それを踏まえどのように建築物及び医療機能を復帰させるか予め考えておく必要がある。

度重なる震災を踏まえて地震災害対応マニュアルの見直し、病院版BCPの構築、など新たな取り組みがされている。神戸の震災以来、特に病院の建設に当たって免震構造の採用が多くなっているが一方で長周期振動の影響がクローズアップされている。地震災害について考えるに当たってあらためて実態を把握しておく必要があると考える。

①病院建築の特殊性

院内には①入院患者②患者も含めた外来者③医療機器④危険物質など一般の建築物と異なる人・物が存在し、特別な配慮が必要となる。例えば避難する際、避難に要する時間・人手を考え速やかに移動可能な患者を先に、重症・要介助者は別途に対応することを考えておかなければならない。

さらに、臓器移植・白血病・手術後など感染しやすい「易感染患者」と、ウイルス性疾患など「感染源患者」が同時に存在する。いずれも空気を遮断する環境が大事で、壁の亀裂から空気が漏れる、空気の流れを保つ空調システムがとまる、ということがあってはならない。

地震による振動によって、手術・処置・点滴などの医療行為が中断するほか家具・什器・医療機器の移動・転倒、注射針・メスなど鋭利で汚染された可能性のあるもの、細菌・化学物質・劇薬・麻薬が散乱する可能性がある。また建築物の振動によって、手術・処置・点滴などの医療行為が継続不能となる。

②家具・医療機器(ベッド・重量機器・鋭利なもの)

地震時に建築物が振動するのに伴い、家具や機器が移動・転倒し、ベッド・車椅子から放り出される、移動した家具・機器に当たって怪我する、モニタリングが途絶える、ということが発生する。また院内には注射針、ナイフ・メスなど鋭利なものが数多く存在し、怪我をするばかりでなく、針刺しにより感染被害が発生する。

③危険物質(細菌・化学物質)

そのほか危険物質である細菌やラジオアイソトープ、劇薬・麻薬の類が保管されており、容器・保管庫が破壊された場合危険な状況が生じる。

これら病院特有の問題を踏まえて、地震時に建築物、設備機器、家具什器などがどのような状態になるかを把握し、そうなることによって生じる問題を軽減又は回避するために必要な、事前の準備・備え、地震時・直後の対応、地震が収まって後の復起・復興についてあらかじめ考えておく必要がある。

①被災者救助について

地震発生時において、患者の生命も大事だが、医療活動を継続するためには、第一に医療スタッフが無事であることが大事だ。救助・治療活動に携わる主役は医療スタッフだからである。次に、地震が収まったらまず、建築物・機器の状況を把握する。これはあらかじめ用意したチェックリストなどを使って速やかに行われなければならない。医療機能が確保されていること、患者の受け入れ態勢が整っていることを確認した上で、医療活動を開始する。

やみくもに活動を開始することは混乱を生じ、救助どころか収拾が付かないことになる。病院管理者の中には地震発生時はまず病院の玄関を閉ざす必要があるといわれている。大量のけが人が押しかければ病院機能が麻痺しかねないからである。特に震災の真っ只中の病院では病院の機能ダウンとあわせて、医療材料の在庫、スタッフのキャパシティー不足が免れない。これらのことを踏まえてどのくらいの時間でどこまで医療機能を回復させるかBCP (Business Continuity Planning) ならぬMCP (Medical Continuity Planning) が必要であるといえる。

更に病院の能力には限界がある。災害拠点病院においては災害時通常の入院受け入れ可能ベッドに比べ2倍の収容が可能のように準備されている。それでも限度があるわけで、個々の負傷者ごとに入院を受け入れるか、別の病院に送るか、回復の見込みがないか、速やかにトリアージ (Triage: 識別救急) し、必要な患者は速やかに移送する。いわゆるDMAT など医療スタッフの応援体制、ヘリコプターでの患者移送態勢、病院連携などのシステム構築が大事だ。

入院受け入れ態勢としては、外来ホールや会議室などに医療ガス電気などのアウトレットを用意して備えるという考え方が一般化してきている。

トリアージ空間については日ごろから大空間を用意しておくのはコストの面で困難で、各種仮設テントが考案されており、装備する病院が増えている。

震災時に病院がどのように対応するかソフト面ばかりでなくハード面でも、いわば大災害対応のためにどのように変身するか、あらかじめハード面での準備と共に、災害時の状況を具体的にイメージし、訓練しておく必要がある。

②インフラ被害の影響

もとより一般的に建築物は電気・ガス・水及び排水など、その日常的活動は都市的設備に支えられている。阪神大震災の折にも道路が破壊されたことによる救助・復興に対する影響、それに下水排水機能が麻痺したことでインフラの重要性が改めて認識された。

病院特有の問題としては医療材料の確保・供給はもちろんだが、清潔保持・感染防止、のためには水の確保が重要となる。急性期病院では一ベッドあたり1 m³前後の清潔な水が必要とされる。もちろん水ばかりでなく、本来医療は災害時にこそ必要とされるわけであるから、日常的にインフラになるべく頼らないでエネルギーや水を自給可能な「自立する病院建築」を目指さなければならない。

3.3 構造性能表示事例

病院では、建築物の機能として医療活動が重要であることから、被災状況とそれが医療活動に与える影響について、ポンチ絵や説明文章・実際の被害写真などを盛り込んだ冊子「地震から患者を守る」を作成した（図3.1～3.3）。

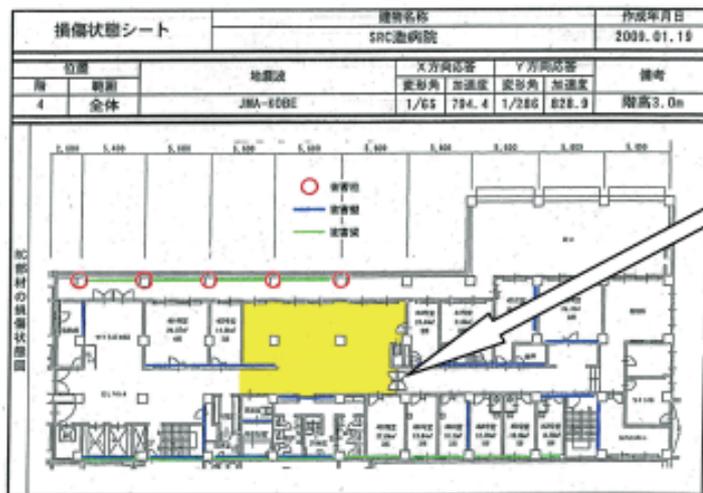


図3.1 「地震から患者を守る」表紙

③ 4階病棟

a) モデル西棟振動解析結果と直後の状況と復興状況

写真：新潟中越地震の被害



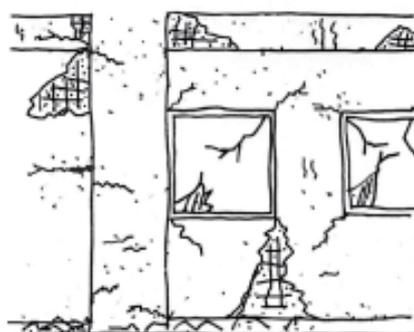
地震発生直後の病棟



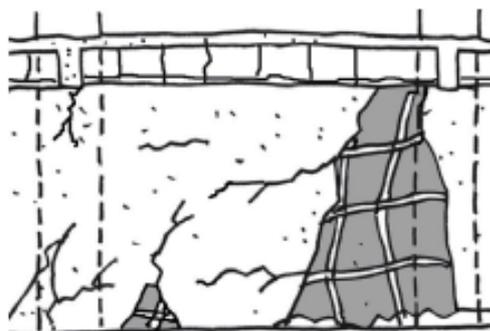
復興後の病棟

b) 建物部位ごとの被害レベル

部位	被害レベル	損傷状況の説明	補修方法
柱	R2	軽微なクラックが生じている	補修不要
大梁 X	R4	大きなクラック、一部にコンクリートの剥落がある	ひび割れ部リカット、エポキシ注入 剥落部モルタルパッチング
大梁 Y	R2	軽微なクラックが生じている	補修不要
RC壁 X	W4	大きなクラック、一部にコンクリートの剥落がある	ひび割れ部リカット、エポキシ注入 剥落部モルタルパッチング
RC壁 Y	W2	軽微なクラックが生じている	ひび割れ部リカット、エポキシ注入
外壁 X	F4	外壁面に30%にクラック、一部モルタル剥離	クラック部モルタルはつり取り ポリマーセメント塗り リシン吹付け
外壁 Y	F2	外壁面の5%にクラック	クラック部モルタルはつり取り ポリマーセメント塗り リシン吹付け
乾式壁 X	B4	PB等に大きなクラック、下地鉄骨の一部が座屈	下地鉄骨取り替え PB取り替え、塗装
乾式壁 Y	B2	クラック等は殆ど生じてない	補修不要
天井	C1	周辺部等、一部脱落が見える	ボード取り替え



(a) 梁と壁に大きなクラックと剥離



(b) PBに大きなクラック下地鉄骨座屈

図 3.2 病院の地震後シナリオ作成事例 (その 1)

c) 設備に関する被害

項目	被害状況
空調	: 熱源配管の外れ・漏水: 空調不能
換気	: ダクト外れ・換気不能
給水	: 断水による給水不能
排水	: 排水管外れによる排水不能
消火	: スプリンクラー設備散水による漏水・消火不能: 消火器転倒
電気	: 停電: 照明器具外れ・落下
医療	: 医療機能不能



(e) 医療機器移動による重症患者への被害



(f) 感染症患者等の隔離不能



(e) 空調機停止による環境維持不能

図 3.3 病院の地震後シナリオ作成事例 (その 2)

4. 事務所

4.1 はじめに

企業においては、地震災害を含む自然災害に遭遇した場合に、事業資産の損害を最小限にとどめ、中核となる事業の継続あるいは早期の復旧を可能にすることが重要である。そのための平常時の活動や緊急時の事業継続の方法や手段を計画することは、一般にBCP（事業継続計画）といい、多くの企業でBCPの策定が進められている。とくに、2005年の新潟県中越地震では、某電子部品メーカーが大きな被害を受け、事業の縮小を余儀なくされる事態が発生するなど、地震に備えたBCP策定の重要性が指摘されている。ここでは、企業がテナントとして入居している事務所建築物における地震時の機能維持・早期回復に関して、いくつかの分類方法で被害と機能損失の関係を表にまとめる。次にサブテーマ1で検討された7階建てSRC 事務所建築物を例に、地震被災時のシナリオを示すことにより、被害と機能損失の関係を分かりやすく一般市民に伝達する方法を検討する。

4.2 地震時の機能維持・早期回復

4.2.1 地震時に確保すべき機能

表4.1は、人、物、金、情報に関して、被害の様相と事前、事後対策についてまとめたものである。とくに、事業継続に必要な資源が失われた場合に備えて、以下の項目について代替策の検討が重要であることが分かる。

- (ア) 情報連絡の拠点となる場所
- (イ) 被災した重要施設・設備
- (ウ) 臨時従業員（「被災生活支援」と「事業復旧」との2通り）
- (エ) 資金
- (オ) 通信手段・各種インフラ（電力、ガス、水道等）
- (カ) 情報類（バックアップの方針）

表4.1 地震後の事務所建築物（企業）の被害の様相と対策

	被害の様相	事前対策	事後対策
人	従業員の安全や健康が 損なわれる	緊急連絡リストの作成 初期救急、心配蘇生法の訓練 避難訓練	安否確認 初期救急、心配蘇生法の実施 避難の実施 臨時従業員の雇用
物	建物の倒壊、半壊、一部 壊 機器の損傷	建物の耐震診断・補強 代替施設の確保 地震からの保護対策、移動・転倒防 止	被災箇所の補修・補強 代替施設への移転
金	事業中断による損失額 の発生	事業中断による損失額の把握 損害補償保険への加入 災害対策目的の融資制度の利用 中断に備えた事業運転資金の確保	保険による損失の補填
情報	情報の喪失 コンピュータシステムの ダウン	情報のコピー、バックアップ 別の建物への情報のバックアップ IT機器損傷の場合の代替方法の確 保	情報のコピー、バックアップの利 用 代替方法による操業継続
事業	事業中断 指揮体制の混乱	復旧計画の策定 取引業者、同業者との協力関係の 構築 災害対応計画の策定	優先順位に従い復旧 取引業者、同業者による支援・連 携

4.3 構造性能表示事例

4.3.1 はじめに

サブテーマ1において、想定地震に対する7階建てSRC造事務所の構造被害が分析された。ここでは、その結果をもとに、事務所内において想定される機能損失をシナリオの形で表現することを試みる。

想定建築物の特徴は、所在地：東京都港区、

規模：地上7階、地下1階、塔屋1階、

構造種別：鉄骨鉄筋コンクリート造

である。サブテーマ1の報告書から、もっとも被害の大きかった想定地震は、JMA-KOBE（1995年兵庫県南部地震、神戸海洋気象台NS波）であった。

4.3.2 シナリオ作成の基本条件と作成事例

本建築物（学会会館）の持つ機能としては、以下の4つが上げられる。

- ①学会の事務局機能
- ②学会の研究集会・委員会等の場所としての機能
- ③貸し事務所としての機能（上層階）
- ④貸し店舗としての機能（地下階等）

本建築物に対する想定地震による機能影響としては、地震直後に想定されるインフラ（電力・ガス・

水道等)の停止による影響が主となると思われる。以下にインフラの停止による機能影響(機能損失)について、サブテーマ1の報告書から抜粋する。

a)電力の停止による影響

本建築物には、電力が停止した場合を想定して、非常用発電機が装備されており、燃料および冷却水の供給が途絶えるまで、約1日程度の電力の供給は可能である。但し、その供給できる電力の能力としては、非常時の最小限の機能に限定される。具体的には、非常用照明および防災センター等で最低限必要な電源程度である。従って、電力が停止した場合、本建築物で維持可能な機能としては、①の学会事務局機能のみであり、②から④の機能は停止せざるを得ないと思われる。

b)水道の停止による影響

水道(および電力)が停止した場合、屋上に設置された水槽に新しい水を供給することが困難となることから、大きな制約が生じることになる。具体的には、この場合にも②から④の機能の維持は困難であり、かろうじて①のみが、設備機器等の使用を制限する中で、機能維持が可能と思われる。

c)その他

本建築物では、その他のインフラ(ガス等)が停止した場合については、それらに依存する設備機器等が殆ど無いことから、大きな影響は生じないものと判断する。但し、道路の寸断は、非常用発電機への燃料・冷却水の提供を遮断することから、電力・水道の停止が長期化した場合には、①の機能に対しても致命的影響を与える可能性があるので注意を要する。その他、通信ネットワークの停止等も想定されるが、本建築物は遠隔地に2重化されたサーバー等を準備していることから、それによる機能の損失は比較的小さいと判断できる。

そこで、以下の場所、シチュエーションで、被害のシナリオを作成する。

地震発生：平日の午後2時

地震の規模：阪神淡路大震災級

以下に一例として「7階、貸し事務所」のシナリオを示す。

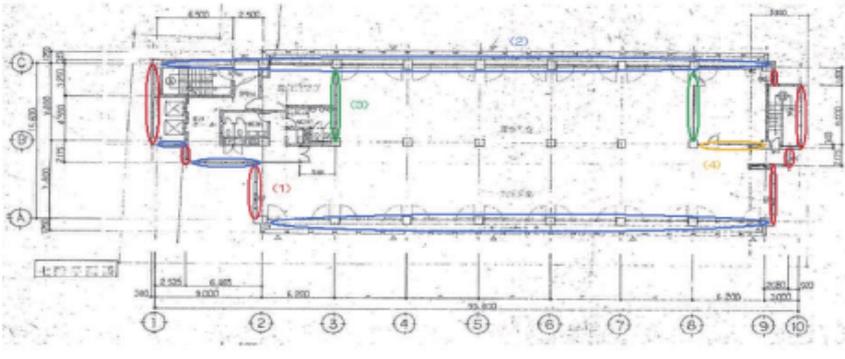
1. 応答値	
層間変形角 1/112 (X)、 1/127 (Y)	最大絶対加速度 0.82G (X)、 0.97G (Y)
2. 被害想定	
	
3. 構造的被害	
非構造部材	天井のパネルがずれる。 ガラスが数枚破損する。
設備・仕器	スプリンクラーの誤動作、配管の破損。仕器が激しく動く。
4. 被災シナリオ	
①地震発生時	
<p>オフィスで働いている多くの従業員のほとんどが机の下に隠れる。パソコンの前で仕事をしていると、がたがたと机が揺れ始め、その後、パソコンが後ろにひっくり返る。またコピー機が激しく動き出し、その周辺においてあった多くの資料をはじき飛ばされ勢いよく散乱する。</p>	
人への影響	けが人が出る。
物への影響	天井パネルの一部脱落
情報への影響	
事業への影響	
②地震直後	
<p>ようやく揺れが収まった。おそろおそろ机の下から出てくる。安否の確認を行ったところ、全員が無事であることが分かった。また部屋の角の天井に接地されているスプリンクラーが誤動作し、そこから水が噴き出している。資料が濡れてしまうので作業していた資料をとりあえず水の出ないところへ移動させる。また、部屋の中が仕器や散乱した資料が著しく散らかっており、何名かでそれらを整理し始める。パソコンは元に戻したが電源を入れても起</p>	
<p>動しないことが分かる。テレビのスイッチを入れても電源が入らない。どうやら停電したらしい。防災センターに連絡をとったところ、電気・水道、ガスとも停止しており、復旧の見込みはないとのこと。</p>	
人への影響	安否を確認。
物への影響	スプリンクラーが誤動作し、資料が破損する。また仕器が散乱する。
情報への影響	
事業への影響	当面、オフィス内の片付けやパソコンなどの機器の現状復帰に躍起になる。
③地震から3日以内	
<p>所長の判断で、被害の少ない都内の別の建物で事業を再開する。必要な書類を運ぶが、エレベーターが1基しか動いていないため、時間がかかる。株価が暴落し、会社の先行きに不安感が広がる。</p>	
人への影響	職を失うことへの不安が広がる。
物への影響	エレベーターが1基しか動かない。
情報への影響	
事業への影響	代替事務所で事業を再開する。株価が暴落する。

図4.1 事務所を対象とした場合のシナリオ作成事例

5. まとめと今後の展望

特に近年になって建築に求められるのは、BCPはじめ、発災後の生活や執務の機能がどう維持され、どの程度早く回復できるかである。しかし現在の構造設計では、建築物内で営まれる人々の生活や執務機能に着目した場合、その空間や機能をどのくらい守れるかについて明確には説明できない。構造性能として設定される部材の強度・剛性からだけでは、人々の生活や執務空間の状態とを直接結び付けることができないからである。人々の生活や執務の遂行は、空間（部屋）の状況によって大きく影響を受ける。

これらを重視した構造設計を実現するには、以下の図に示すロードマップのように、何段階ものステップがある。まずは損傷状態と生活支障・機能支障を結びつけるデータベース資料の作成（図5.1中の資料1）、さらにそれらを生活・機能支障に置き換え、分かりやすく書き下していく膨大なデータベースの作成（図5.1中の資料2、3、…）、最後にそれらは建築主にとって分かりやすい被害状況、機能回復の説明となって部屋や空間ごとに説明されることが可能になる。発災直後の避難支障や生活・執務復興などもその中で説明できることが求められる。しかしながら被害状況と生活・機能支障とを結びつける資料、たとえば「層間変位がある値になると、空間がどのような被害状況となるか」というデータベースはこれまで部位別に存在したとしても、「それが生活にどの程度影響を及ぼし、避難生活が必要か、コストがいくらかかるか」まで明らかにした資料は皆無である。また、設計者にもこれらに対する理解が得られていないのが実情であろう。

サブテーマ3では、これらの膨大な全体像のなかで、まず短期的な目標を定めた。すなわち、サブテーマ1から得られた解析結果を、既往の地震被害や文献による知見に基づき評価し資料化した。さらには、分かりやすく建築主に情報伝達すること、一般の建築主の意識啓発をめざしたプログラムを開発、試作した。

今後の展望としては、図5.1の長期課題を順次解明していくことが必要である。それらは各所で行われる実験の結果とそこから得られる知見をデータベース化し、総合化して評価していくといった膨大な作業をとともうが、構造性能から生活・機能支障に至る各フェーズを解明していくことにより、建築主にとって最も分かりやすい形で生活・執務をどのくらい守ることができるのかなど、明確に資料化することができる。当然のことながらこれらの資料は、建築主や市民ばかりに有益ではなく、何よりも設計者が性能設定時にこれらの点について客観的な根拠に基づき判断できるようになることに大きな意義がある。その結果、アカウントビリティ（説明責任）を果すことができるなどのメリットにもつながる。

これら膨大な研究は、地震大国である日本において明らかにすべき重要なテーマであり、従来のように専門家や行政だけが建築物の安全性を考えるのではなく、建築主も建設時点で生活や執務の面から性能を理解し、性能設定に参画することが可能になるという点において、画期的なシステムとなりうる可能性を秘めている。

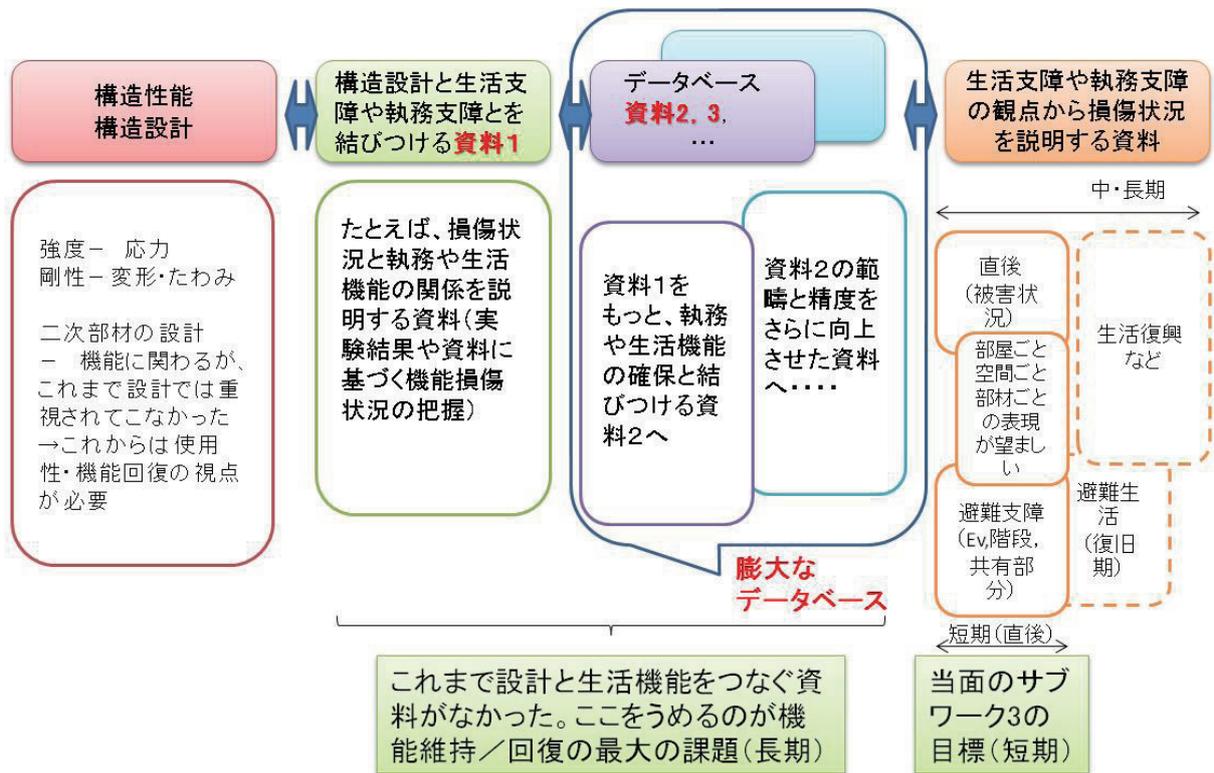


図5.1 機能維持・早期回復を重視した構造設計へのロードマップ

第 5 編

全体のまとめ

2011/01/28

BRI 研究成果報告会

第5編 全体のまとめ

本報告書は、(独)建築研究所が実施した研究プロジェクト「災害後の建築物の機能維持・早期回復を目指した構造的評価システムの開発 (平成 19-21 年度)」において得られた成果を各編にて取り纏めた。各編の概要を以下に示す。

第1編 機能継続性を考慮した構造的評価システム -背景と概要-

本研究プロジェクトの背景と実施した検討項目の概要について示した。この研究プロジェクトにおいては、図1下図の評価システムに示す、「新たな耐震設計の枠組み」、「データベース」、及び「性能表示資料の作成」に着目した検討を行った。これらの検討に当たっては、構造部材だけでなく、非構造部材や設備機器、什器を評価対象として地震災害後におけるそれらの状況を予測し、そこから、建築物の機能がどの程度阻害され、業務や生活の困窮度がどの程度になるか（機能喪失のシナリオ）にも着目した。また、建築物のオーナーやユーザーが重視する諸観点（企業の事業継続性や社会的責任、住宅の機能維持等）を積極的に耐震性能の評価尺度に導入できるように、地震後の建築物の修復費用や時間（機能回復のシナリオ）も考慮した。さらに、評価者である構造設計者・技術者にとって実施可能な評価システムであることに加え、一般の方々が被災後の状態を理解できる構造的評価の明快かつリアリティのある表示手段を提供することを念頭に置いて、工学的な検討ができるような共通の考え方や工学情報の整理を行い、また、建築物のオーナーやユーザーに提供すべき有用な情報の伝達ツールやコンテンツについて検討を行った。



図1 本研究課題において検討した新たな構造的評価システムの全体像

第2編 機能継続性を考慮した構造性能評価システムに資するデータベースの構築

本編では、第1編に示された新たな構造性能評価システムに資するデータベースの構築に関する検討を行った。本編における検討の目的は、第1編で示された新たな構造性能評価システムフローに資するデータベース（以降DB）構築することで、地震後の建築物のシナリオを作成するための必要な情報を評価者に提供し、ここでの各性能評価を円滑に行うことである。具体的には、地震後の応答に基づく損傷状態の根拠となるDB（損傷評価DB）、各部位の機能性の低下による地震後発生する不具合事象の根拠となるDB（機能性評価DB）、そしてその機能性低下を回復させるために必要な修復にかかる費用および時間（それらに対応する指標）算定の根拠となるDB（修復性評価DB）をそれぞれ構築する必要がある。ここでは、これらのDBの汎用性を考慮し、建築物の各部位ごとに表示することとした。

部位毎にDBを構築するためこれらの整備には膨大なデータ数を必要とする。現時点で全てのデータを網羅的に収集することは不可能であるが、本手法精度の向上を目指す場合は、今後もデータ収集は不可欠であり長期的な課題である。一方、本課題においてはDBに必要な項目を明らかにし、かつそのデータの根拠を明確にしたDBの構築を目下の目標とする。具体的には、DBのフォーマット(評価項目)を定め、そのフォーマットに従ったデータ収集を試みることでDBの整備方法を示すことである。

上記の特性を有するDB構築に関して以下に得られた知見を示す。

1. 損傷・修復性・機能性評価で必要とされる項目およびそれらの項目の関係性を纏めた。具体的に、データベースを構築する際の根拠となるデータ集を「ワークシート」、それらワークシートを取り纏めたものがデータベースである。
2. 各部位（構造部材、非構造部材、設備機器、什器）を対象として、各評価（損傷・修復性・機能性評価）用DBのフォーマット（評価項目）を示した。またそれらに既往の研究やアンケート等に基づき、特に3編で必要とされる建築物の部位を優先してデータの収集を行った。ただし、各DBの値は現時点での収集したデータの結果から得られる値であり、今後実施される研究等によって高精度のデータに更新されることが期待される。
3. ここで構築した損傷評価DBフォーマットに基づき、実大実験を計画・実施し、主に構造部材、非構造部材、設備機器（配管類を含む）の損傷評価に必要なデータの収集を行い、データ収集の過程を明らかにした。
4. 修復性評価DBを用いた修復費用・時間の算定の基本方針を纏めた。本DBを用いて算定される値は、多様な状況が予想される地震後の実際の修復費用・修復時間の積算に直接適用することはできないことに注意が必要である。
5. 地震後における建築物のシナリオ構築までの評価過程を例示した。このように本DBから得られる各部位のデータを統合することで、建築物の地震後のシナリオを表示することに資することが期待される。

また、今後の課題として、本評価手法が広く利用されるために、各部位のデータ（特にワークシート）を広範に収集する仕組み（データの維持体制を含む）が必要である。

第3編 機能継続性を考慮した構造性能評価システムを用いた評価事例

本編では、第1編に示した通り、機能性を考慮した構造性能評価システムフローの構築とそのフローを用いた評価を実施した。具体的には、「8階建てSRC造病院」「12階建てS造事務所」「13階建てRC造集合住宅」を対象に、大地震を想定して弾塑性地震応答解析を行い、求めた応答値を用いて、第2編で得られたデータベースに基づき、建築物の損傷状態を推定した。さらには各部材の損傷状態を基に、比較的簡易な方法で修復費用・修復期間の試評価を行った。以下に得られた知見と今後の課題を示す。

1) 修復費用・修復期間

ここで示した手法（第2編で構築されたDBを利用した手法）による場合は、既往実験の残留ひび割れ量そのものをデータベースの値から算定を行った。全修復費用に対する躯体のひび割れ補修費の占める割合が80%~90%と高く、地震後に補修対象となる残留ひび割れの量の評価により、全体修復費が大きく左右されることを示している。

2) 損傷状態の総合評価

地震被害（大破）および（中破）の2波の地震応答解析により得られた躯体および内装関連、設備関連の被害度を推測し、修復費用・修復期間の算定を行った。

いずれの場合も、検討対象建築物に準用できるDBを利用した結果、概ね妥当な費用と期間が得られていることから、今後もこのようなDBの活用による判断が有効な予測手段として機能することが期待できる。

ただし、今回も住宅の住人が個別に持ち込んだ什器などは考慮しておらず、実際の被害とは若干異なることを留意すべきである。また、DBが全ての部位に完全に適合する状況ではないため、今後、DBの充実によりこれまで以上に高い精度でBCPに関する修復費用・修復期間が算出できるものと考えられる。

第4編 機能継続性を考慮した構造性能評価システムを用いた構造性能表示手法に関する検討

本編では、第1編に示した通り、新たな構造性能評価システムで用いる構造性能表示手法の検討を行った。具体的には、地震による建築物の機能性への影響に関する検討を表に整理するとともに、それらを一般市民に理解される説明方法・表現方法の検討を行った。方法としては、被災シナリオをストーリー性のある文章にする方法や、図や写真・ポンチ絵などを多く入れた冊子とする方法、インターネット上でインタラクティブに操作できるWeb教材にする方法など、様々な試みを行った。

具体的には、「集合住宅」、「病院」、「事務所」の3つの異なる用途の建築物について、第3編にて実施された地震応答解析結果と物理的被害を参考に、地震時の建築物の物理的被害が建築物の機能性に及ぼす影響を分かりやすく説明する方法を検討した。

集合住宅では、建築物の機能として生活の維持が重要であることから、地震直後の居室の状況や避難の様子、生活困窮などについて、Web上でマウスを操作しながら部屋の被害状況を見ることができ教材を作成した。部屋ごとに、被災状況をポンチ絵で示し、同時に写真や文章などの関連資料にアクセスできるような仕組みを構築した。

病院では、建築物の機能として医療活動が重要であることから、被災状況とそれが医療活動に与える影響について、ポンチ絵や説明文章・実際の被害写真などを盛り込んだ冊子を作成した。

事務所では、「学会事務局」「会議室」「ホール」「貸事務所」「店舗」「エレベータ」「トイレ」

など、様々なシチュエーションで起こると考えられる被災状況と、それが人・物・情報・機能に与える影響をシナリオ形式にまとめた。

今後の展望としては、図2に示す長期課題を順次解明していくことが必要である。それらは各所で行われる実験の結果とそこから得られる知見をデータベース化し、総合化して評価していくといった膨大な作業をとまなうが、構造性能から生活・機能支障に至る各フェーズを解明していくことにより、建築主にとって最も分かりやすい形で生活・執務をどのくらい守ることができるのかなど、明確に資料化することができる。当然のことながらこれらの資料は、建築主や市民ばかりに有益ではなく、何よりも設計者が性能設定時にこれらの点について客観的な根拠に基づき判断できるようになることに大きな意義がある。その結果、アカウントビリティ（説明責任）を果すことができるなどのメリットにもつながる。

これら膨大な研究は、地震大国である日本において明らかにすべき重要なテーマであり、従来のように専門家や行政だけが建築物の安全性を考えるのではなく、建築主も建設時点で生活や執務の面から性能を理解し、性能設定に参画することが可能になるという点において、画期的なシステムとなりうる可能性を秘めている。

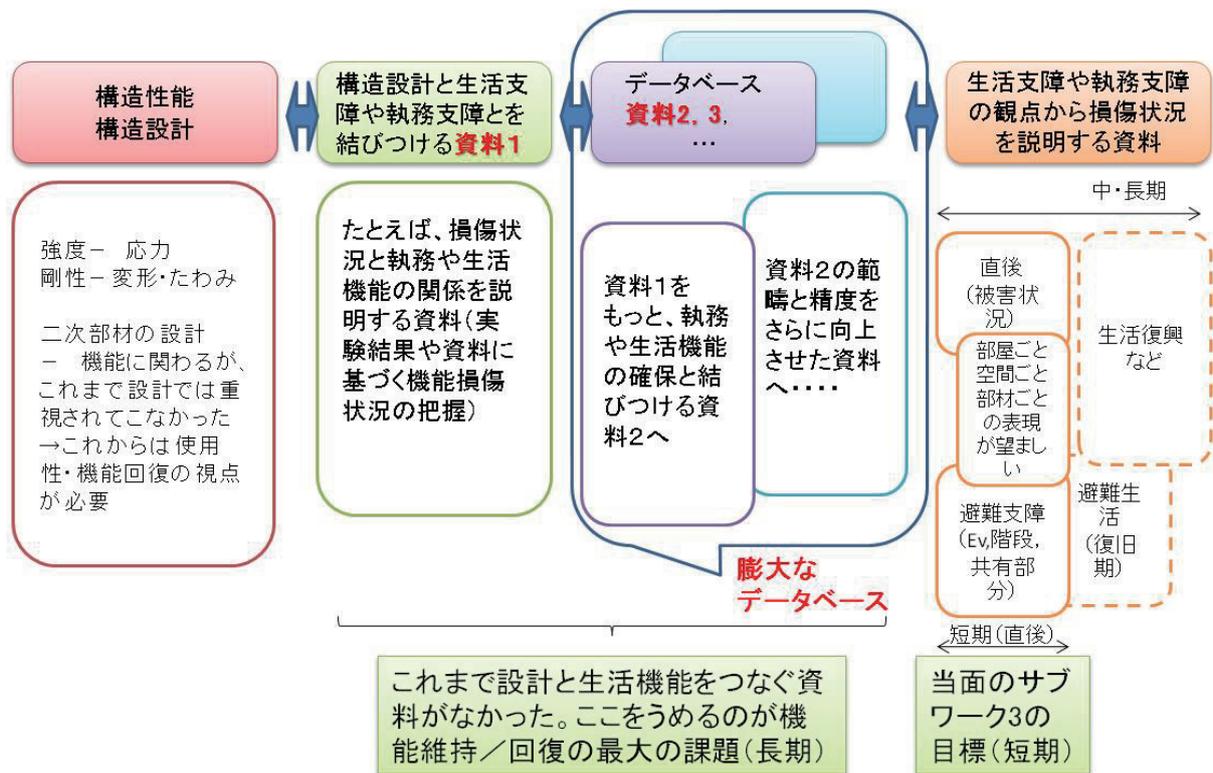


図2 機能維持・早期回復を重視した構造設計へのロードマップ