

自然災害に備える 都市と社会の安全確保と機能維持

名古屋大学減災連携研究センター
飛田 潤



名古屋大学
減災館(免震)

自然災害に備える 都市と社会の安全確保と機能維持

自然災害の脅威

- ・ 繰り返す大災害の歴史、地震、津波、台風、豪雨、水害、土砂災害、噴火・・・
- ・ 将来の南海トラフ地震、首都直下地震、気象災害の激甚化、複合災害

都市・社会の発展と新たなリスク

- ・ 災害＝自然現象×人間・生活・社会活動
- ・ 社会の相互依存と波及連鎖による多様な被害。非常事態の想定困難
- ・ 人口減少、少子高齢化、地方縮小と一極集中、エネルギー危機・・・
- ・ 社会や技術の本質的課題が大災害で顕在化

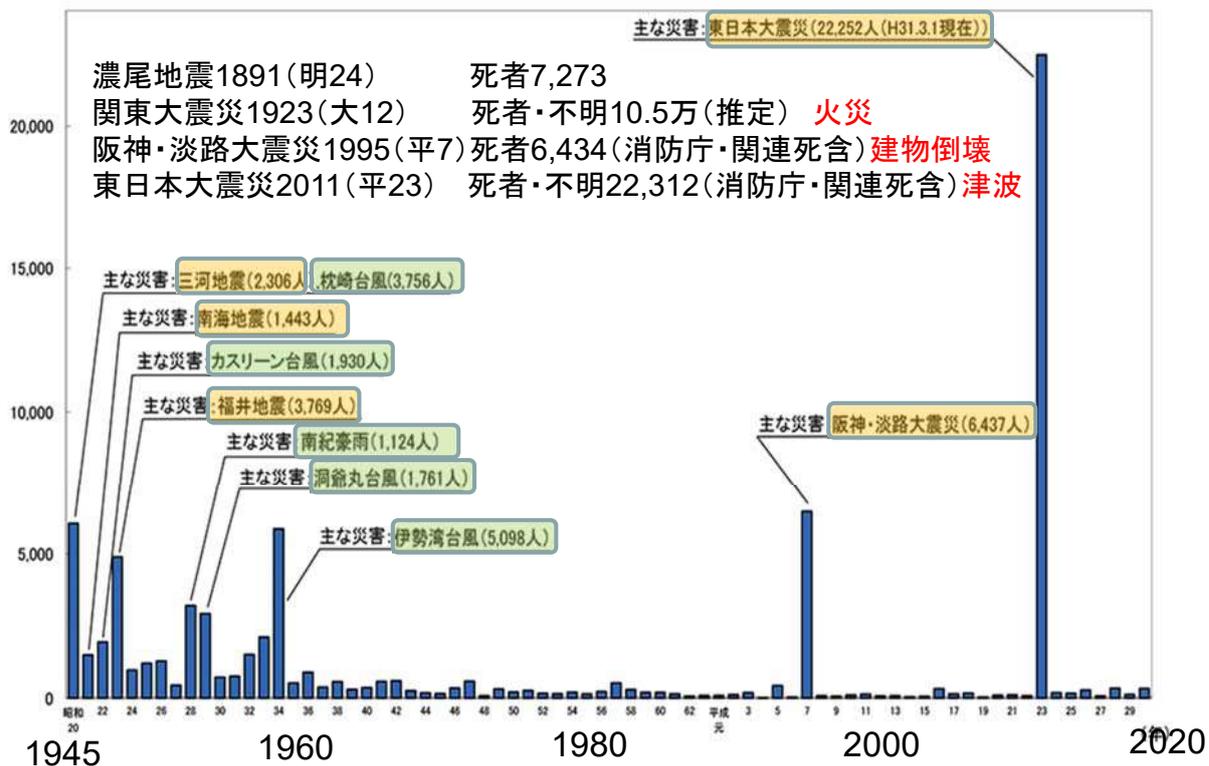
施設・都市・社会の安全確保と機能維持

- ・ 安全確保は必須、そのうえで生活や社会の継続の重要性が高まる
- ・ 被災後の対応 ⇒ 設備・機材・情報・組織連携などの高度化、効率化
平常時と異なるリソース、専門性の高い人材確保や代替要員の重要性
- ・ 被災前の対応 ⇒ ハードとソフトの基盤整備
安全性確保と機能維持の性能レベルの相違、耐震設計など
- ・ 機能維持に向けた技術と人材、将来を担う世代に伝え、受け継ぐこと



自然災害による死者・行方不明者 (戦後～現在)

(人)



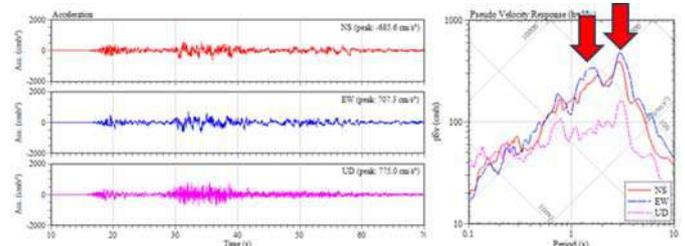
3
内閣府: 令和元年版 防災白書より引用・加筆

令和6年能登半島地震

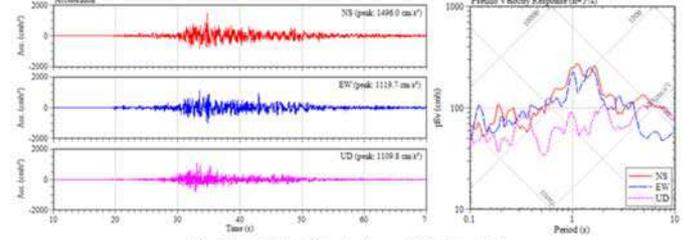
- 内陸直下地震で最大級
 今回はM7.6。2007 M6.9、2023 M6.5などM6地震は繰り返し発生。海域の活断層の評価の課題。大規模な地殻変動、能登半島北西で最大4m隆起、南側沈降。津波被害の大小に影響。
- 広い範囲で震度6強～7の揺れ
 建物被害につながる地震動特性、地点による震度・揺れの差。長周期地震動階級4。新潟などでも震度大
- 津波
 大津波警報、観測80cm程度、現地調査遡上高5m程度。被害には地盤隆起の影響が大きい
- 液状化、土砂災害
 広範囲で液状化被害や土砂災害。人的被害、災害対応に影響大。復旧困難。豪雨被害にも影響
- 建物(主に木造住宅)の被害
 地震動特性、低い耐震化率。繰り返す地震の影響。地盤・基礎構造の被害。液状化、地滑りなどの影響。
- ライフライン(特に水道)の被害
 断水は長期、浄水場・水道管の被害。下水道、電力の被害も大。復旧困難。
- 土木構造物(特に道路)の被害
 道路の陥没、土砂崩れなど。半島のため経路が限定、渋滞による支障。空港・港湾は使用困難。
- 火災
 輪島市街地で延焼、津波警報で消火困難も影響。津波火災も発生
- 発生時期(元旦)、発生場所(能登半島)の影響
 平常時より人口多く、休日で初動対応への影響。支援が届きにくい地理条件。
- 避難、医療、福祉、地域活動、観光など
 避難受け入れ先の不足、地域外避難、高い高齢化率、医療・福祉施設の被災、地域活動の限界
- 豪雨・水害(9月)
 地震による地盤災害の影響



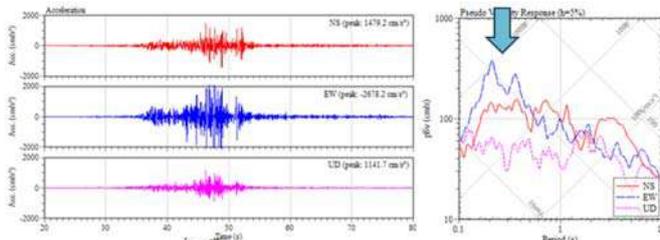
能登半島地震の震度分布(気象庁)



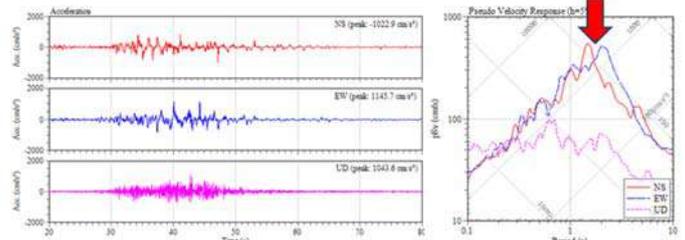
ISK002 正院(珠洲市) 震度6強
沖積地盤。計測震度6.2。周期1~2秒と3秒が特に大。



ISK003 輪島(輪島市) 震度6強
岩盤。計測震度6.2。被害の大きい市街地は沖積地盤で、揺れがさらに大きかった可能性がある。



ISK006 富来(志賀町) 震度7
岩盤+薄い表層地盤。計測震度6.6。短い周期の成分がとて大きく、最大加速度は2Gを越えている。



ISK005 穴水(穴水町) 震度6強
沖積地盤。計測震度6.5。気象庁発表震度は6強だが7に近い揺れ。周期1~2秒の揺れが特に大きい。

防災科学技術研究所・K-NETの記録を使用

阪神・淡路大震災(1995)



東日本大震災(2011)

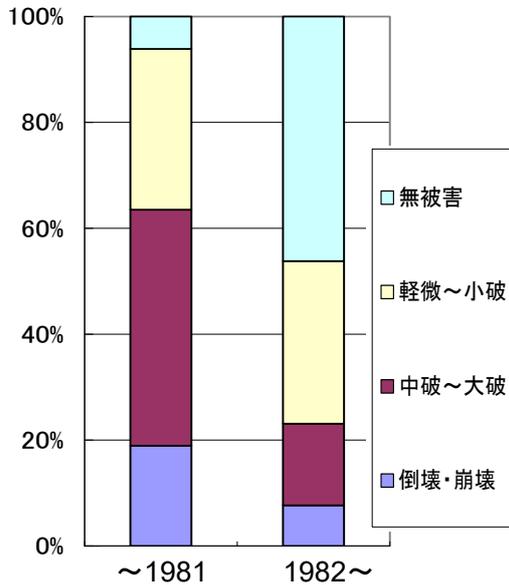


熊本地震(2016)

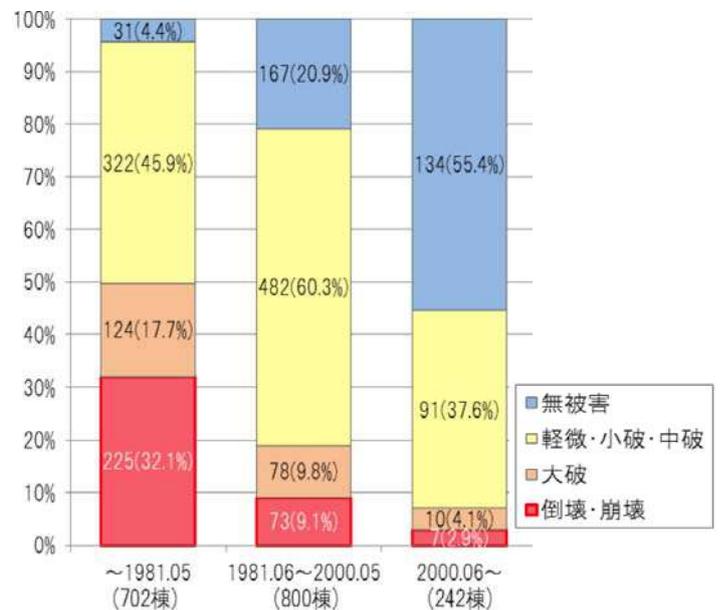


木造住宅の被害率

- 木造は2000年の基準改正の影響もある。
- より新しい耐震基準の被害率は低いが、全く壊れないわけではない。
- 築年による劣化の影響や、地震動・地盤の影響もありうる。



1995 阪神・淡路大震災(神戸市)



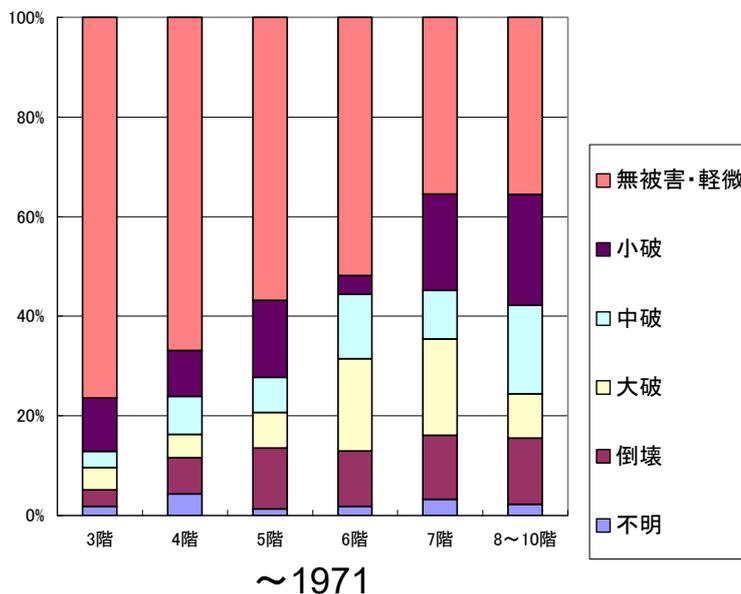
2016 熊本地震(熊本県益城町)

震度7相当地域の建物全数調査

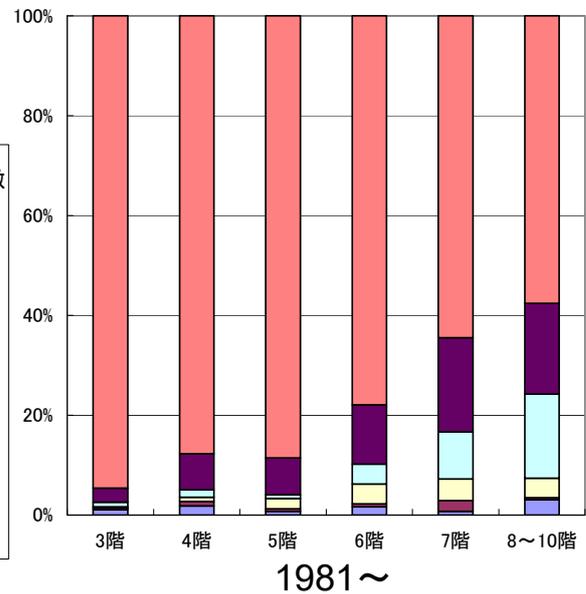
出典: 日本建築学会報告書

鉄筋コンクリート造建物の被害率

- 古い建物ほど被害率大 → 新しい耐震設計基準の効果
- 震度7: 建築基準法で想定した2~3倍の揺れでも、約半数は軽微な被害
- 階数の多い建物ほど被害率大 → 設計法との関係?



～1971



1981～

灘・東灘・中央区の震度7相当地域の建物全数調査

出典: 建築学会報告書

構造特性による被害の特徴



壁が多い建物(ルート1)
→変形が少なく、構造被害少

揺れに対する設備対策や家具固定などは必須。



壁が少ない建物(ルート2・3)
→変形が大きく、一定の損傷が発生

損傷しても倒壊しない特性(靱性)をめざす。
二次部材の被害などで機能維持は難しい。
中層建物では揺れも増幅。

建築基準法の耐震規定

耐震基準の経緯

- 地震被害の教訓、技術の向上、社会状況や要求により発展。経験的な面や不明点もある。
- 現状では新耐震設計法(1981～)が多い。安全確保が基本。機能維持の検討は不明確。
- 限界耐力計算法(2000～)、時刻歴応答解析など、高度な耐震性能評価法も使用できる。

新耐震設計法

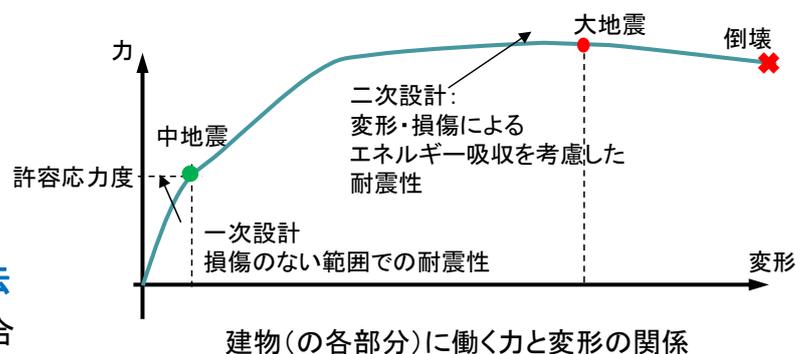
- 一次設計:使用期間に1回以上可能性がある中地震に対して損傷を抑える(震度5強程度)。
- 二次設計:使用期間に発生する可能性のある大地震に対して安全を確保する(震度6強程度)。
→強さ+粘り(変形能力)。変形・損傷によるエネルギー吸収を想定(ルート2・3)
→複数回の地震による損傷や安全性は考慮していない。倒壊までの余裕度は不明確。
- 地震力は、地盤の揺れではなく、建物の揺れで定義 →建物高さにより差
- 耐震診断・改修:基準法と同レベル

限界耐力計算法

- 変形を直接計算→性能評価
- 地盤と建物の周期を考慮

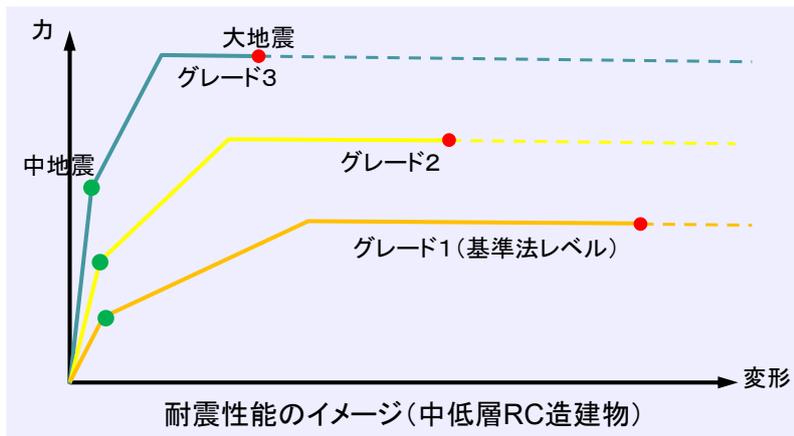
時刻歴応答計算など高度な計算法

- 超高層、免震など特殊な構造の場合



地震動と耐震性能のレベル

	震度5強 (一次設計)	震度6弱	震度6強 (二次設計)	震度7
無被害 使用継続	グレード1 (一次設計レベル)	グレード2	グレード3	—
軽微な被害 機能維持		グレード1	グレード2	グレード3 ← 最重要建物
安全確保 継続使用不可	(基準法以下)		グレード1 (二次設計レベル)	グレード2 ← 重要建物
大破・倒壊 修復不能	(基準法以下)		(基準法以下)	グレード1 ← 通常建物



- ・ 機能維持を考慮して耐震性能を向上させる場合は、変形(損傷)を抑える必要がある。
- ・ 耐力(強さ)と初期剛性(硬さ)が必要になる。
- ・ 修復の容易さ(短時間で修復など)が重要になる。

日本建築構造技術者協会の資料等から作成

非構造部材・設備機器の被害

非構造部材・設備機器・室内什器等の被害

- ・ 非構造部材(安全性を守る主構造以外の部分)や、設備機器の損傷は機能維持に影響大。
- ・ 例:外装材、天井、室内壁面等。配管、ダクト、配線、吊設備、什器、重要機器等。
- ・ 状況によっては中地震でも被害を生じること。耐震安全性以前の問題もありうる。

吊り天井

- ・ 地震の揺れで、天井板を吊る部材の破損、天井板同士や壁との衝突で破損・落下する。
- ・ **特定天井**: 広い部屋の高い吊り天井、重量が大きい場合(6m、200m²、2kg/m²超)
- ・ 補強の場合は、金具の補強、ブレース、壁との間隔など。破損しても落ちない対策も可

内外装

- ・ 外壁タイル、ガラス、間仕切壁、エクспанションジョイントなど。構造の揺れと変形

設備

- ・ 特に吊り設備(天井エアコン、ダクト、配管・配線、スプリンクラーなど): 落下防止、揺れ止め
- ・ 床置設備(空調室外機・配管、情報機器・サーバ等、一般什器等): 固定、機器免震など

エレベータ

- ・ 運転停止と閉じ込めは、地震時管制運転の設定にも依存。機器(ケーブル等)の損傷も。

屋外の危険

大阪府北部の地震(2018)
ブロック塀



熊本地震(2016)ガラス破損 引用:板ガラス協会



新潟県中越地震(2004)鳥居



自販機



居室・実験室の被害





化学実験室の地震時火災。消し止められなければ建物全体の火災の可能性。

エレベータの地震時運転停止と閉じ込め

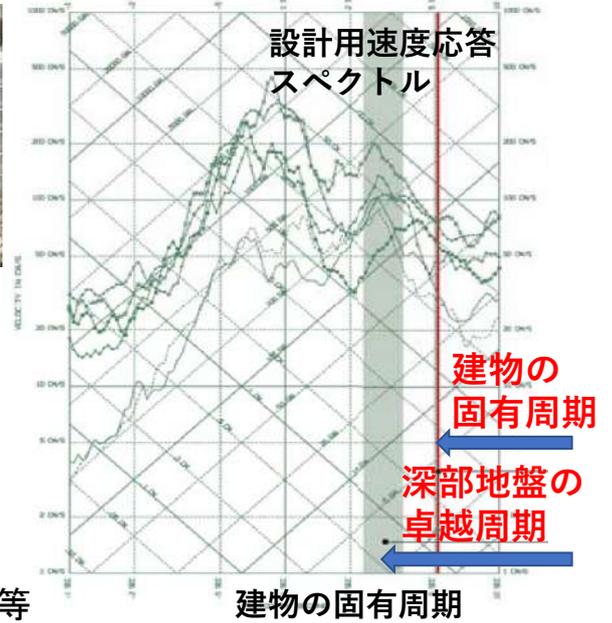
被害事例と被害予測

- 2004年10月23日新潟県中越地震: 東京都庁、六本木ヒルズなどで停止、閉じ込め
- 2005年7月23日千葉県北西部地震: 停止6.4万、閉じ込め78
 - 千葉、東京、埼玉、神奈川で、地震時管制ありエレベータ総数の44%が停止。
→エレベータの地震防災対策見直し、建築基準法施行令の一部改正(2009)
- 2015年5月30日小笠原諸島西方沖地震: 首都圏で停止1.9万、閉じ込め14
- 2016年4月14日・16日熊本地震: 停止1000、閉じ込め54
- 2018年大阪府北部の地震: 停止6.3万(総数の35%)、閉じ込め346
- 2021年10月7日千葉県北西部地震: 停止7.5万、閉じ込め28
- 南海トラフ地震: 閉じ込め最大22,000、首都直下: 17,000(いずれも対象台数の1/4)

エレベータの現状

- 台数: 全国で約62万台(2018)、うち23%が首都圏。新規・改修は約2.1万台/年
- 大手5社、共通規格少、寿命長(約30年)、復旧作業には各社保守員が必要
- 地震時管制運転: 09基準。戸開事故も反映。適合3割、旧基準4.5割、管制なし2.5割
- 閉じ込めの原因: 地震時管制の加速度検知、停電、戸開防止センサの動作など
- 復旧戦略も重要。閉じ込め救出優先、重要建物優先、1建物で1台復旧。非常用優先。

免震建物



建物の固有周期を地震動の周期より長く
地盤は揺れても建物は振動しにくくなる
さらに減衰装置で振動エネルギーを低減

安全確保に加えて機能継続に有利
加速度の低減 建物や室内の被害低減
変位の増大 ジョイントやクリアランスの設計等



免震改修

- ・文化財→建物の外観等の変更は最小限
- ・重要建物→建物機能への影響を最小限



免震装置
設置位置

被災後の建物の点検

- 被災後の建物を使用する際に、危険の有無をできるだけ速やかに判断する必要がある。
- 有資格者による「**応急危険度判定**」の制度がある。ただし大規模災害で被災建物が膨大な場合は間に合わない。
- 特に都市域では「**退避施設**」の確保が重要となる。この場合は、建物使用者による建物点検を行う必要がある。
- 建物の安全性に大きな影響を及ぼす損傷を適切に評価するために、事前に専門家によるチェックリストを作成する。

右写真は、鉄筋コンクリート造建物で、余震による危険性の高いタイプの損傷（ひび割れ）の例。同様の損傷であっても、建物内の位置によって危険性・重大性は異なる。



鉄骨造の構造被害把握の困難



建物の地震による損傷モニタリング

モニタリングの種類

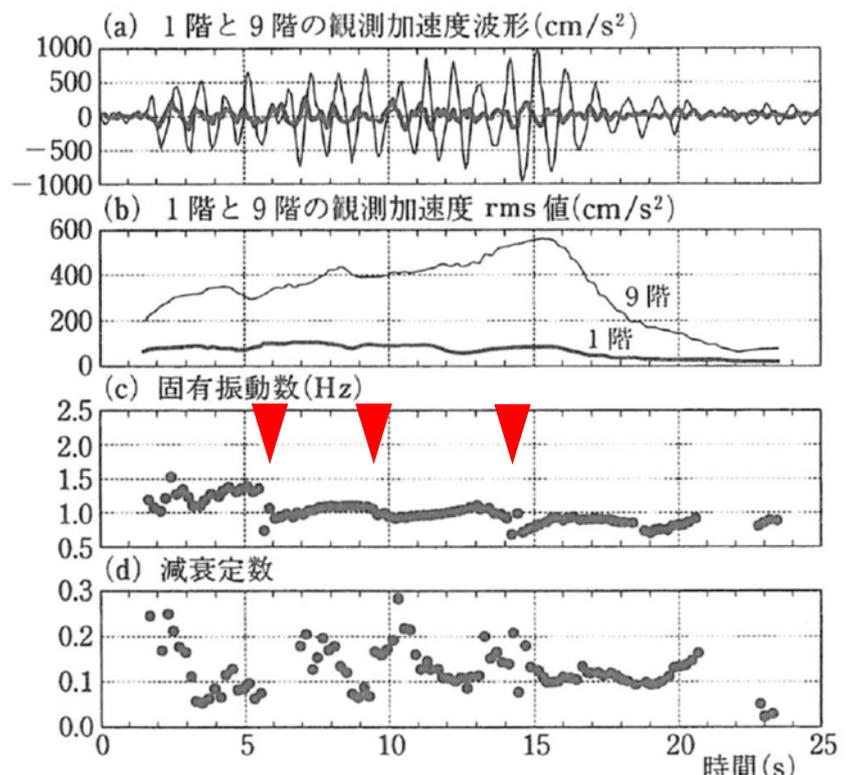
- 特性モニタリング:地震前後の変化 →システム同定
 - 振動特性(固有振動数、減衰定数、モード形など)
 - 構造特性(層剛性など)
- 応答モニタリング:地震時の最大値 →応答推定
 - 応答(最大加速度、最大速度など) →室内の被害状況推定
 - 変形・歪(層間変形角、累積塑性変形など) →二次部材の被害推定

損傷(健全性)モニタリングの動向

- 技術の進展
 - センサ、リアルタイム処理、表示、ネットワーク等の技術の進展
 - 構造物の動的挙動と、損傷に至るプロセスの情報の蓄積
- 技術、運用の課題
 - 長期にわたる安定運用 →他の設備(消防設備等)との共通化など
 - 災害時の判断の幅(ばらつき) →ブラックボックス? 安全側の判断
 - 構造クライテリアに不明点 →判断結果への影響大

特性モニタリングの例

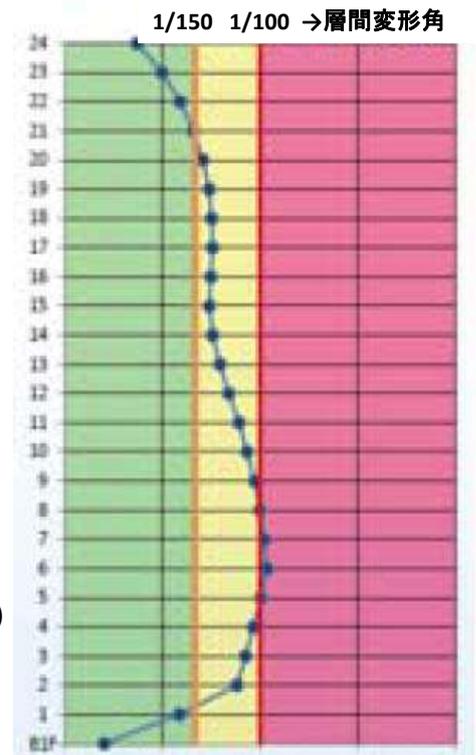
- 強震観測とシステム同定技術の応用
→観測点数は少数可
- 地震による固有振動数変化
→平均的な剛性の低下
→損傷発生検知
- 振動特性変化(剛性低下)と損傷(被災度)の定量的関係が不明
- 損傷に起因する特性変化の検出精度の問題



全体的な損傷程度の間接的な検出→損傷位置・程度の判定?

応答モニタリングの例

- 応答と設計時クライテリアとの関係
 - 構造設計との関連が明快
 - 実際の損傷の有無とは直接関係しない
- 観測・処理体制に依存
 - 全層で応答または変形計測が必要
(間引き観測で補間する方法もある)
 - 加速度記録の場合は積分精度が影響
 - 観測体制の進展で最近の利用例が増加
- 新たな技術
 - 相間変形を直接計測(変位、ひずみなど)
 - 光ファイバ(長い)、非接触(レーザー、カメラ)
 - 回転成分、6軸計測センサ
 - 自己診断、複合機能、パッケージ化
 - 計測情報の蓄積、ビッグデータ、AI



免震建物の振動実験設備：性能把握と長期モニタリング



約400トンの実験室を
最大140cm幅で加振

→長周期地震動の体験
建物全体の振動実験



建物を15cm引いて放す
自由振動実験
常設設備としては初

→免震建物の振動特性
長期の変化の計測

事業継続計画（BCP）と施設

BCPの要点

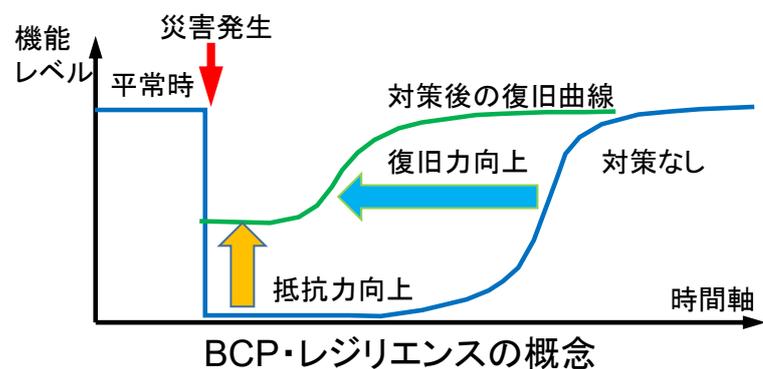
- 重要業務を中断しない、中断しても可能な限り早期に復旧するための戦略
- 機能低下を最小限に抑え（抵抗力）、一定レベルまでなるべく早く戻す（復旧力）

施設のレジリエンス

- 施設の機能：構造安全性＋非構造部材＋設備（電気、空調、衛生等）＋運用
- 抵抗力：耐震性向上、耐震補強、設備等の耐震対策。免震・制振等
- 復旧力：構造モニタリング、専門家による点検、設備機器点検、復旧工事・作業
- 想定外の状況の考慮も重要（ロバストネス）

活動の維持

- 周辺地域の被災状況
- ライフライン（電気・水等）
- 組織内人員の状況
- 関連施設・利用者の状況
- …



名古屋大学 減災館

減災館は3つの役割を持っています。

究：防災・減災の最先端研究
備：防災普及啓発・人材育成
応：大規模災害時の対応拠点

1・2階は公開され、防災・減災の
学びと交流の場になっています。



名古屋大学 減災連携研究センター
名古屋大学 災害対策室
あいち・なごや強靱化共創センター

屋上実験室
部屋全体を1m以上の
振幅で加振可能

長距離無線LAN
三の丸庁舎と接続

給水タンク
ガスヒートポンプ

衛星通信

太陽光
パネル

自家発電
1週間稼働

3~4階
研究室

2階
減災ライブラリー
アーカイブ
災害対策本部室

1階
減災ホール
減災ギャラリー

免震構造
地震による建物の揺れを
低減する免震装置を
間近に見ることができます



2階：多様な資料じっくり調べスペース

1階：体感・実感・納得の学びスペース

減災ライブラリー
書籍・雑誌・新聞・映像
論文・貴重資料
デジタルデータなど

貴重資料の展示

名古屋大学
災害対策本部室

防災ビデオ制作
「みんなをまもろうた」
みんをまもろうた

市町村別、地区の被害情報
今昔まっぷ、土地の状況と変化

ビデオ
アーカイブ

1階床面地図に伊勢湾台風浸水域を投影し、
2階から見下ろす。ワークショップにも有効。

3Dビジュアライズ(地形と災害) 木造耐震化事例

BIGUP! 2次元振動台と映像でリアルな揺れの体感

高層ビル揺れの体感

震災キッズギャラリー
津波などの原理の図説と説明パネル

地震時の室内VR体験

天正地震の
断層地盤資料

キッズ
ぼうさい絵本が読める

減災ホール

名古屋大学 減災館

名古屋大学減災連携研究センター 名古屋大学災害対策室
あいち・なごや強靱化共創センター
464-8601 名古屋市中千代区不老町 TEL:052-789-3468