

令和6年7月19日

安価なセンサーを用いた建物の 地震時被災度判定システムの開発

その現状と未来

東京大学地震研究所

楠 浩一



建物は壊れないように設計するのか？



建物も、壊れることによって、地震の
エネルギーを消費できる

→特にねばり強い建物で地震力を低減できる！

建物の地震時の挙動

- 現行の耐震設計に合致していても、地震時に全く被害を受けないわけではない.
- 建物の粘り強さに期待して、強度を下げる設計もある.
- 想定以上の地震が来ることもある.
- 地震後に建物が使えるかは被害を確認する必要がある.

応急危険度判定

- 本震直後には

建物の残余耐震性能を早急に判断

- 必要な耐震性能を有しない建物
 - 余震による被害を軽減する
- 必要な耐震性能を有する建物
 - 避難者の数を減らす

応急危険度判定とは

文教施設応急危険度判定調査表（鉄筋コンクリート造）

調査番号 _____ 調査日時 _____ 月 _____ 日 _____ 時 _____ 分 _____ 秒 _____ 調査回数 _____ 回目 _____

調査者 氏名 _____ 姓 _____ 名 _____ 姓 _____ 名 _____

建物概要

1 施設名称 _____ 1.1 建築物名称 _____

2 施設所在地 _____ 2.1 施設台帳等照会番号 _____

3 建築物用途 _____ 1. 校舎 2. 体育館 3. その他（ ） _____

4 構造種別 _____ 1. 鉄筋コンクリート造 2. プレキャストコンクリート造 3. ブロック造

5 階数 _____ 4. 鉄骨鉄筋コンクリート造 5. 混合構造（ ）と（ ） _____

6 建築物規模 _____ 6.1 延床面積 _____ m² 6.2 延床面積 _____ m²

7 調査年（西暦） _____ 年 _____ 月 _____ 日

調査方法（1. 外観調査のみ実施 2. 内観調査も併せて実施）

1 一見して危険と判定される（該当する場合は○をつけ危険と判定し調査を終了し総合判定へ）

1 建築物全体または一部の崩壊・高層 _____ 2 基礎の著しい破壊、上部構造との著しいずれ _____

3 建築物全体または一部の著しい傾倒 _____ 4 その他（ ） _____

2 隣接建築物・周辺地盤等および構造躯体に関する危険度

判定 (1) ① 隣接建築物以上の損傷部材の有無 _____ Aランク _____ Bランク _____ Cランク _____

② 隣接建築物・周辺地盤の破壊による危険 _____ 1. 危険無し 2. 不明確 3. 危険有り _____

③ 地盤破壊による建築物全体の沈下 _____ 1. 0.2m以下 2. 0.2m~1.0m 3. 1.0m超 _____

④ 不同沈下による建築物全体の傾斜 _____ 1. 1/60以下 2. 1/60~1/30 3. 1/30超 _____

柱の被害 (下部 (5) (6) の被害 (被害最大の場合) _____ (被害最大の場合に柱を壁の長さと同じとみなす)

⑤ 損傷度Ⅲの柱本数・調査柱本数 _____ 損傷度Ⅲの柱本数 _____ 本 _____ 調査柱 _____ 本 _____ (調査率 _____ %)

⑥ 損傷度Ⅳの柱本数・調査柱本数 _____ 損傷度Ⅳの柱本数 _____ 本 _____ 調査柱 _____ 本 _____ (調査率 _____ %)

判定 (2) _____ 1. 調査済 _____ 2. 要注意 _____ 3. 危険 _____

危険度の判定 _____ 1. 調査済 (要内観調査) _____ 2. 要注意 _____ 3. 危険 _____

3 落下危険物・転倒危険物に関する危険度 (⑤~⑥は内観調査時に実施する)

判定 (3) _____ 1. 調査済 _____ 2. 要注意 _____ 3. 危険 _____

総合判定 (調査の1で危険と判定された場合は危険、それ以外は調査の2と3の大きい方の危険度で判定する)

1. 調査済 (要内観調査) _____ 2. 要注意 _____ 3. 危険 _____

コメント (調査結果が危険、落下物等が危険などを記入する)

(参考) 設備の被災状況 (総合判定で 1. 調査済 と判定された場合でも、避難所としての使用が不適当な場合があるため、下記の設備の被災状況も記入し、総合判定の参考にする。被災の有無の確認できない場合は、2. 未確認とする。)

(参考) 設備の被災状況

① 電気 _____ 1. 使用可能を確認済み _____ 2. 未確認または一部に支障あり _____ 3. 使用不可能 _____

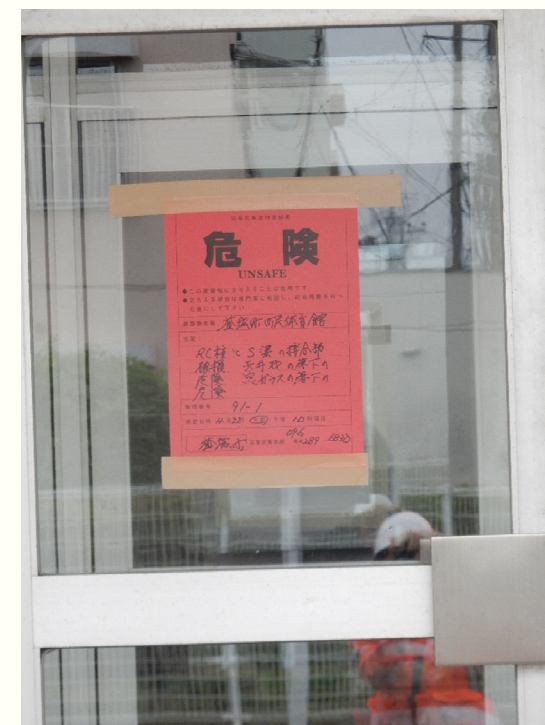
② 給排水 _____ 1. 使用可能を確認済み _____ 2. 未確認または一部に支障あり _____ 3. 使用不可能 _____

③ ガス _____ 1. 使用可能を確認済み _____ 2. 未確認または一部に支障あり _____ 3. 使用不可能 _____

④ 通風 _____ 1. 使用可能を確認済み _____ 2. 未確認または一部に支障あり _____ 3. 使用不可能 _____

⑤ 使用 _____ 1. 使用可能を確認済み _____ 2. 未確認または一部に支障あり _____ 3. 使用不可能 _____

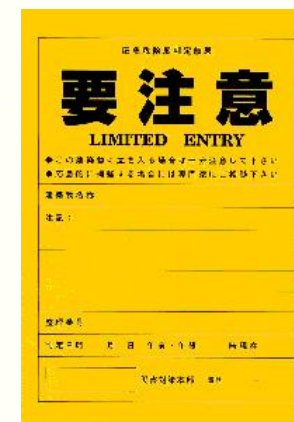
⑥ 空調 (暖房) _____ 1. 使用可能を確認済み _____ 2. 未確認または一部に支障あり _____ 3. 使用不可能 _____



調査シートを用いた目視による判断

応急危険度判定の現状

- 技術者の目視による
 - 日数がかかりすぎる
 - 兵庫県南部地震では5,068人で46,000棟調査するのに19日
 - 非常に多くの「要注意」の判定
 - 技術者により判定結果がばらつく



災害危険度判定結果
要注意
LIMITED ENTRY
この建物は、地震による被害が大きいと見込まれており、
地震発生時の避難・応急処置に注意する必要があります。
建築物名称
住居
建物用途
所有者
〒 市 区 町 丁目 番 号
電話番号

過去の応急危険度判定実績

日付	地震名	期間	判定者数	棟数	調査済	要注意	危険
H7.1.7	兵庫県南部地震	23日	6,466	46,610	30,832	9,302	6,476
H12.12.6	鳥取県西部地震	24日	332	4,080	2,138	1,499	443
H13.3.25	芸予地震	19日	636	1,763	674	921	168
H15.7.26	宮城県北部地震	8日	743	7,245	3,804	2,181	1,260
H16.10.23	新潟県中越地震	18日	3,821	36,143	19,778	11,122	5,243
H17.3.20	福岡県西方沖地震	19日	444	3,148	1,500	1,131	517
H19.3.25	能登半島地震	6日	391	7,600	4,800	1,571	1,229
H19.7.16	新潟県中越地震	8日	約2,800	34,048	20,150	8,943	4,995
H20.6.15	岩手宮城内陸地震	10日	475	2,978	2,197	564	217
H23.3.11	東北地方太平洋沖地震						
	宮城県	2 か月	2,955	50,721	37,968	7,553	5,200
	福島県	2.5か月	2,053	15,807	5,775	6,718	3,314

応急危険度判定の現状

- 1 1 階建て以上では方法がない
- 超高層建物ではそもそも目視調査は非現実的
- 一般的には大きな被害が生じるとは考えにくい。
- 仮に，目立った被害が見受けられなくても，被害調査結果がないと，事業再開が出来ない。

→ダウンタイムの増加

安全であることが分かるだけでもニーズがある



熊本地震



- 4月14日 $M_w = 6.2$
- 4月16日 $M_w = 7.0$
- 死者 120名

目視では間に合わない！

地震保険や罹災証明の状況

- 応急危険度判定・被災度区分判定の状況と同じであろう
 - 損傷を把握するのに時間がかかりすぎる
 - 梁の被害や仕上げ，セキュリティーの向上により，現地での調査がそもそも難しい

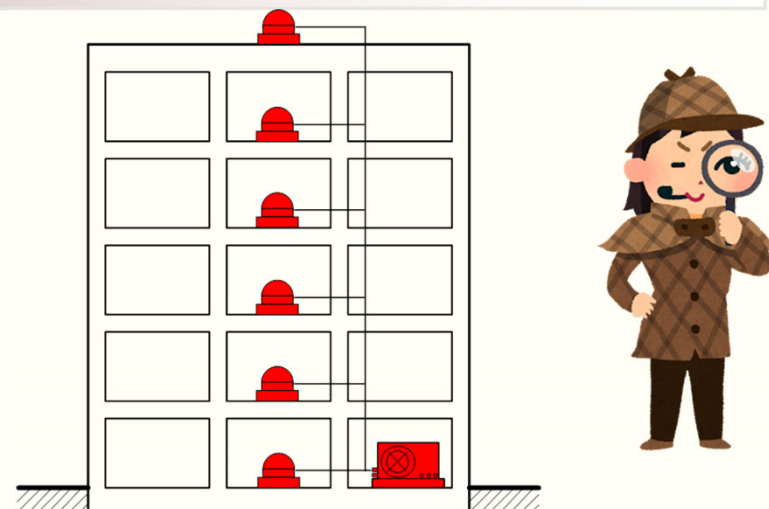
等価線形化法を用いた構造ヘルスマモニタリング

- 限界耐力計算法を援用し・・・

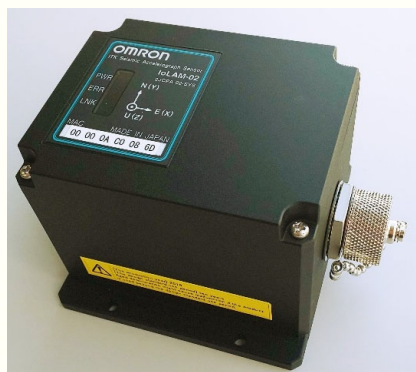
性能曲線と要求曲線を比較 機械で計測

- 数個の安価な加速度計を設置
- 応答変位は計測加速度から
- 限界耐力計算法を援用

構造ヘルスマモニタリング技術



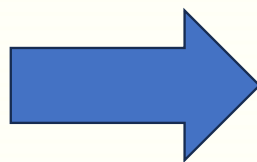
センサおよびサーバ



センサ
IoLAM
20万円
PoE



サーバ
Mac Mini
20万円
25 ch



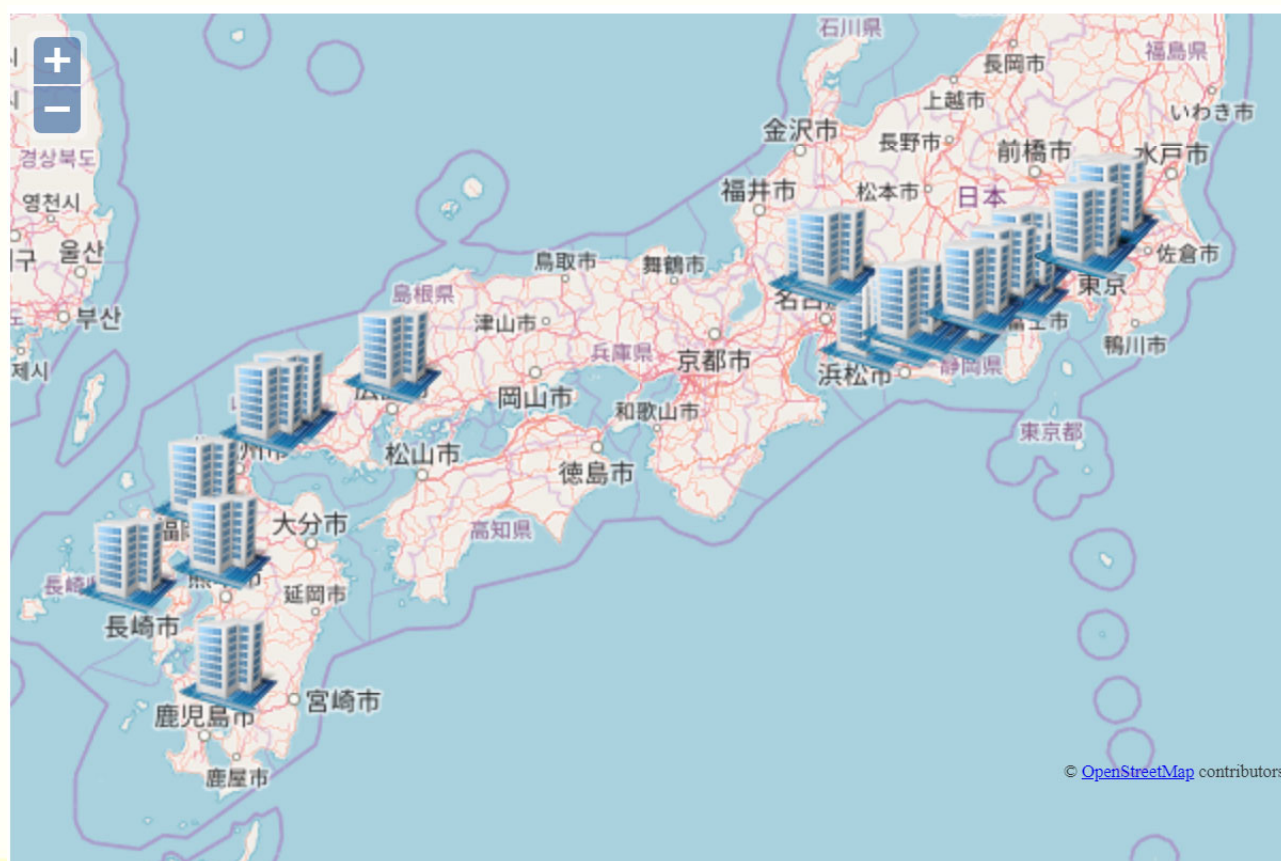
センサ
Tinker
8万円
AC 5V



サーバ
ラズベリーパイ
10万円
AC 5V



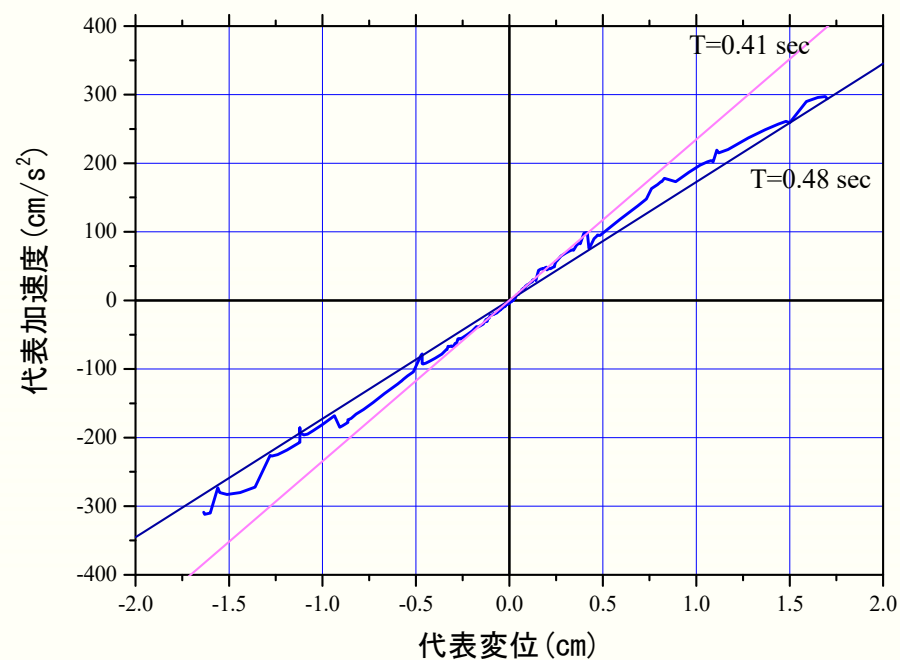
国内外設置状況



トルコ・ペルー・ニュージーランド

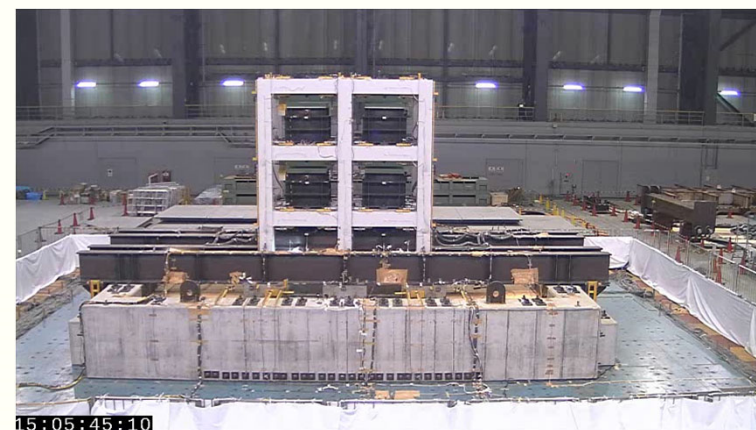
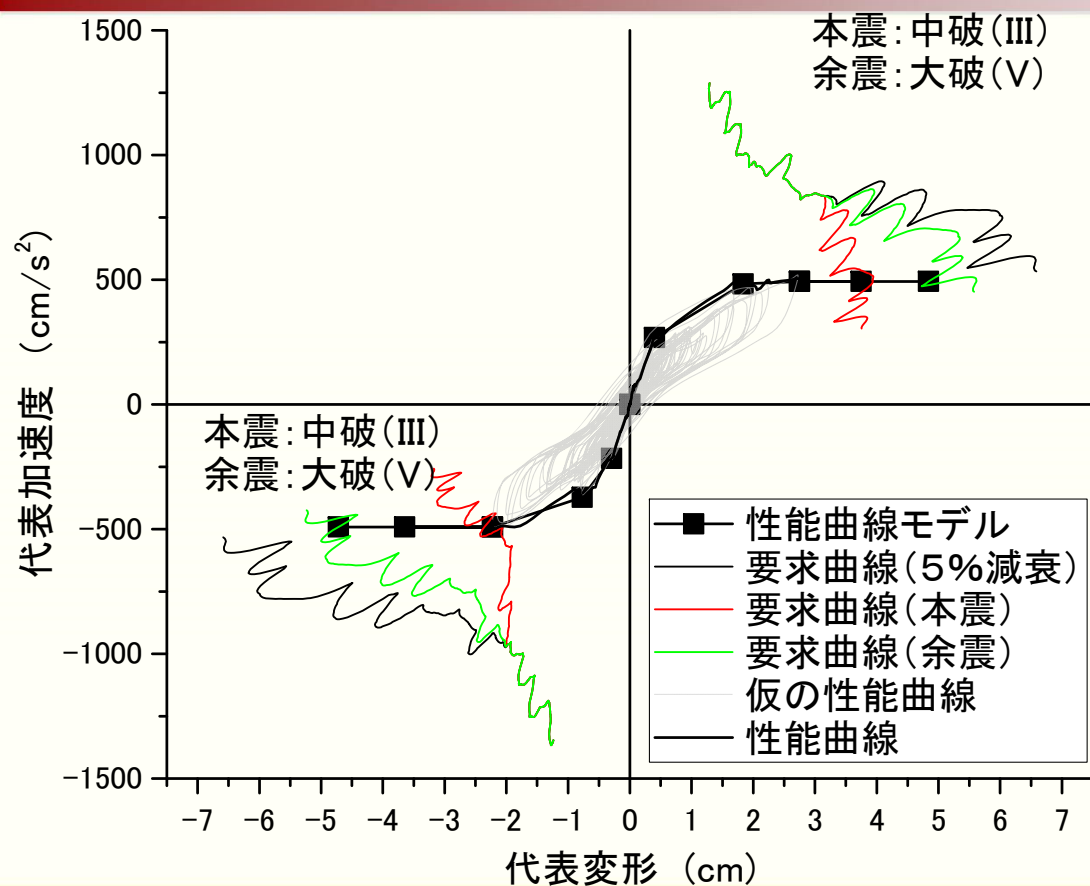
計測例 1 横浜国立大学

- 建築学棟
- SRC構造
- H= 30.8 m
- 8-story + 1 BF
- 2008年計測開始
- 東北地震前に補強



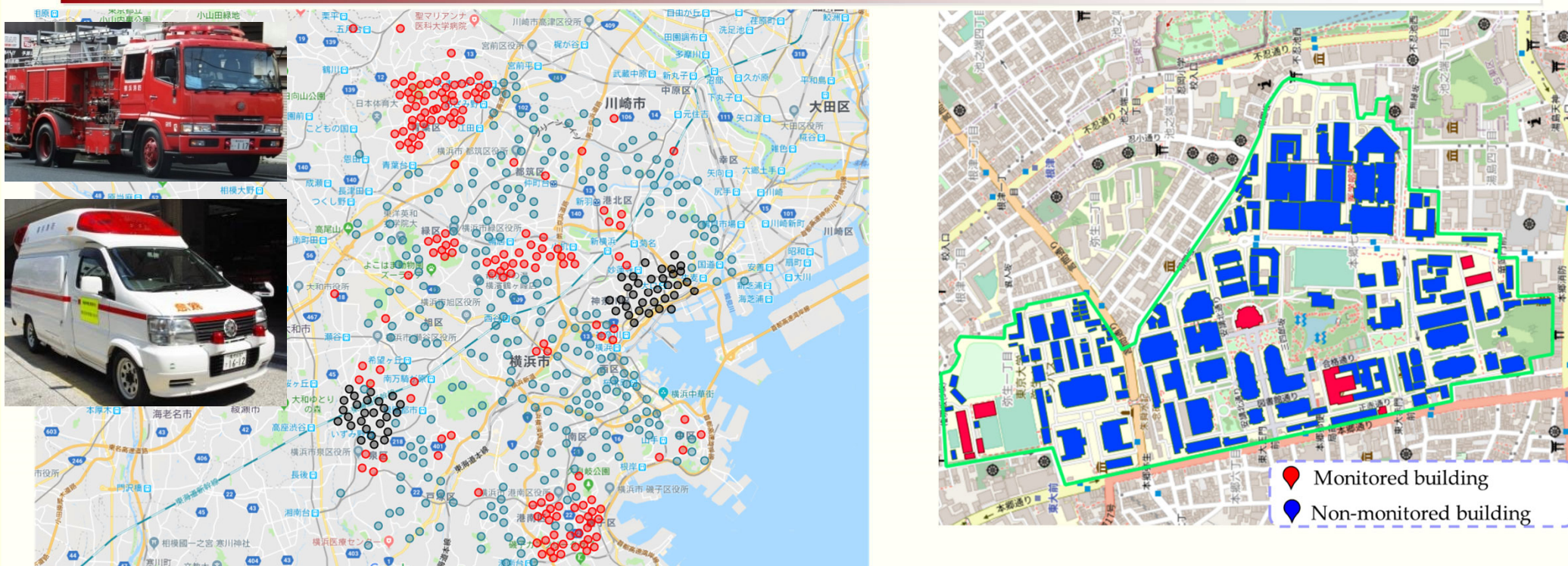
被害程度は軽微と判定。実被害との合致

計測例 2 E-Defenseを用いた倒壊実験



棄権と判断した次の入力で
倒壊した

地域の被害把握



- 地域の被災状況を面的にリアルタイムで把握

日本建築防災協会の認定

応急危険度判定基準に基づく構造モニタリングシステム技術評価

技術評価について

近年、建物の地震による揺れを建物に設置したセンサで測定することにより、建物の健全性を判断する構造モニタリングシステムによる判定手法が普及し始めています。

これによる、瞬時にわかる地震の建物被害の判定結果は、建物の所有者・利用者の安全確保と、被災地の防災活動に活用できるものと期待されています。

そこで、「応急危険度判定基準に基づく構造モニタリングシステム技術評価委員会」を設け、応急危険度判定基準に基づく構造モニタリングシステムの技術評価を行い、システムに対する信頼性を確保します。

本評価のお申し込みに当たっては、事前に事務局にご相談ください。

評価実績

以下から、評価を取得した技術の概要が閲覧できます。各技術により適用範囲、判定方法等が決められておりますので、詳細等につきましては、各連絡先にお問い合わせ下さい。

No.	評価書番号	評書の取得日 (有効期限)	評価技術名 (下記をクリックすると技術概要 及びお問合せ先等が閲覧できま す。)	依頼者
1	建防災発 第30176号	2022.3.3 (2027.3.2)	建物地震被災度即時推定システム	(株)大林組
2	建防災発 第22067号	2022.5.27 (2027.5.26)	大成式SHMシステム(測震ナビ®)	大成建設(株)
3	建防災発 第22160号	2023.3.28 (2028.3.27)	建物健全度判定支援システム 揺れモニ®	(株)NTTファシリティーズ
4	建防災発 第23133号	2023.10.30 (2028.10.29)	FEMO システム	(株)フジタ
5	建防災発 第23154号	2024.1.15 (2029.1.14)	大成式1点のセンサによる SHMシステム	大成建設(株)

<https://www.kenchiku-bosai.or.jp/evaluation/monitoring/>

首都直下地震対策検討ワーキンググループ (第3回)

まとめにかえて

- 構造物ヘルスマニタリングは、今後さらに普及が望まれる。
 - 2022年度日本建築学会大会の構造研究協議会やPDでも構造物ヘルスマニタリングの必要性が指摘されている。
- 国家レベルでも、デジタル化の大きな波がある。
 - モニタリング・BIM・CIM
- 新しいビジネス フィールドである。
 - 適正な市場の醸成が必要

今後の課題

- オーナーへの働きかけ
 - どう設置を促進するか？
 - どうデータを提供してもらうか？
- 法的な問題
 - 個人情報保護法
 - 被害情報・・・
- 普及と管理
 - データセンター
- よく似た制度を統一できるか？
 - 応急危険度判定・被災度区分判定・損害算定・罹災証明



ご清聴ありがとうございました・・・

参考資料

国土交通省大臣官房官庁営繕部の状況

大臣官房官庁営繕部

- 東日本大震災→答申「大津波等を想定した官庁施設の機能確保の在り方について」（平成25年2月）
- 長周期対策
 - 地震後速やかに被害を把握すること。
 - ただし、現行の目視に依る被災度区分判定は適用範囲外

大臣官房官庁営繕部

- 官庁施設の総合耐震・対津波計画基準(H25.3)
 - 2.2.6 (4) 高層建築物のうち、地震による外力を受けた構造体の損傷状況の目視が困難な建築物については、大地震動後に速やかに被害状況を把握し、安全性を確認するため、建物の応答を定量的に把握できるよう配慮する。
- 建築構造設計基準(H25.5)
 - 2.1 (9) 高層建築物のように、大地震動後の構造体の損傷状況の目視確認が困難である場合には、建築物の地震応答の計測及び記録をする装置等を必要に応じ設置する。

大臣官房官庁営繕部

- 建築構造設計基準の資料(H27.3)

2.1 一般事項

2.1.8 地震応答の計測及び記録をする装置等の設置

高さ**45m**を超える建築物、免震構造の建築物及び制振構造の建築物で時刻歴応答解析を行う場合は、以下の地震応答を計測する加速度計、計測結果を表示及び記録する装置を設置する。

- ① 加速度計は、最上階、最下階及び中間階の**3**カ所に設置することを標準とする。ただし、免震構造の建築物の場合は、最上階、免震層の直上及び直下の**3**カ所とする。
- ② 震度及び応答加速度の計測結果を表示及び記録する装置を中央管理室等に設置する。
- ③ 加速度計、計測結果を表示及び記録する装置は、商用電源途絶時も機能を維持できるようにすること。

大臣官房官庁営繕部

- まだ日が浅いこと、
- 超高層建物や免震構造建物など、時刻歴応答解析を要する建物がそもそも官庁営繕部の設計する建物では少ないこと、

等からまだその実績は限定的。

今後の普及が望まれる。