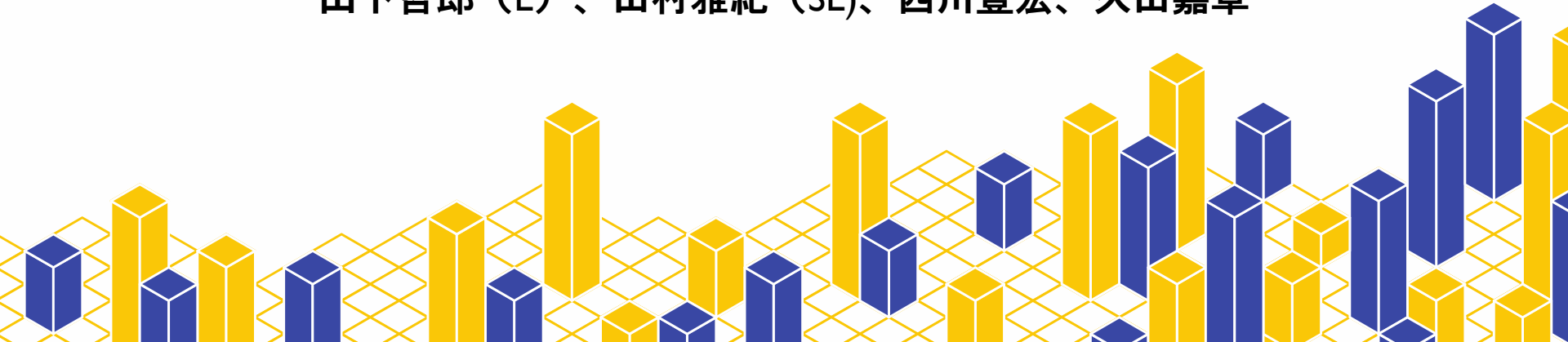


テーマ2 機能継続・早期復旧 を可能とする大地震対策建築モ デルの開発

工学院大学建築学部

山下哲郎（L）、田村雅紀（SL）、西川豊宏、久田嘉章





背景と目的 簡単に



背景：機能維持＋早期復旧が必要



帰宅困難者受入状況(2011/3/11)

- 大地震後の建物の機能維持＋早期復旧が必要な時代に
- オフィスビル・・・地震後数日間ビル内に滞留可能にし、業務は早期に再開
- 体育館・・・避難所・防災拠点として活用

要求性能レベルの向上

想定地震動		新耐震設計法 (1981)	東京都構造設計指針 (2016)
L1(稀な地震動)	50年	機能維持	無損傷
L2(極稀な地震動)	500年	人命保護	軽微な補修で事業継続可
L3(?)	1500年	-	人命保護
対象		構造骨組のみ	非構造材も考慮

地震後3日間はビル内に留まれる
事業再開に要する時間、費用軽減

テーマ 2 の目的

- ・膨大な人数が勤務する大都市の**高層オフィスビル**と、



- ・ **建築の耐震化、強靱化にかかわる専門家**に対する提言 し、



- ・ **大地震後の機能継続・早期復旧**を目的とした建築モデルを、
構造・非構造・設備の3つの側面から検討、開発する

テーマ 2 の体制

地震動の想定
久田

都市部の高層ビルの被害低減・リスク評価

構造体	: 山下、久田
建築設備	: 西川
外装材	: 田村
天井、吊設備	: 山下、西川
確率論的評価	: 久田、山下

体育館の被害低減
山下

テーマ1

2019年度 研究概要

耐震関係



2-1 地表地震断層の断層変位による建物被害の事例【地震動p.27】

- ・断層変位による建物被害調査（台湾、長野、福島、熊本）
- ・断層変位は予測困難 対策はある程度可能
- ・特に都市部では→対策しておいて修復が望ましい



熊本地震横ずれ断層上木造住宅 べた基礎で現存

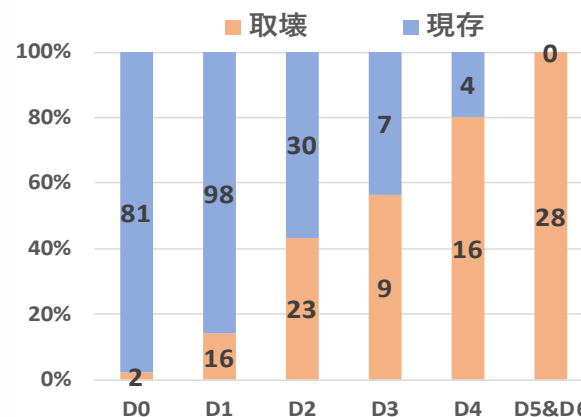
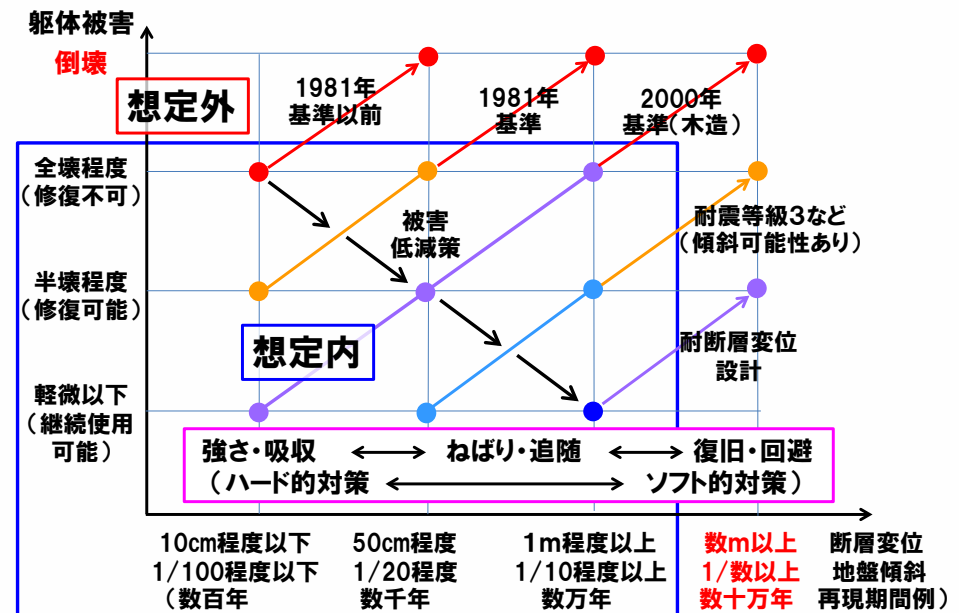
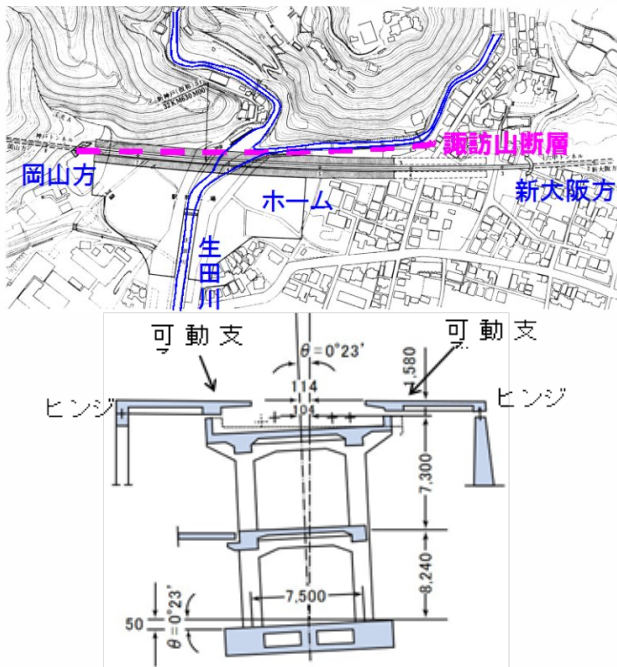


図 29 建物被害程度と現存・取壊しの関係（D0:無被害、D1:軽微、D2:一部損壊、D3:半壊、D4:全壊、D5:一部倒壊、D6:完全倒壊の6段階で分類¹）

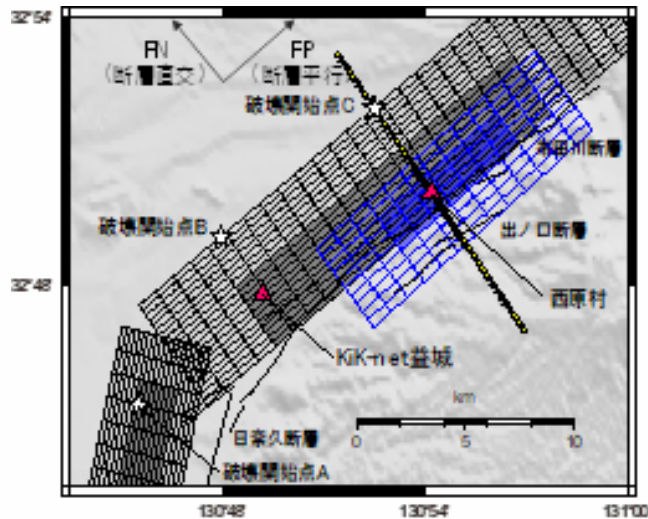
2-2地表地震断層の断層変位と建物の耐震対策【地震動p.37】

- ・ 活断層直上の建物の断層変位対策を調査、レビュー
- ・ 断層変位対策は可能。地盤から構造まで様々な方法あり

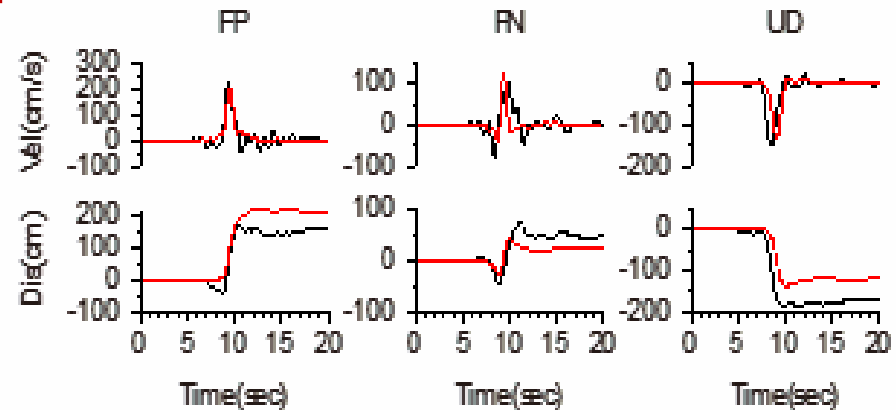


新幹線新神戸駅の例

2-3 地表地震断層近傍の強震動評価と建物被害【地震動p.47】



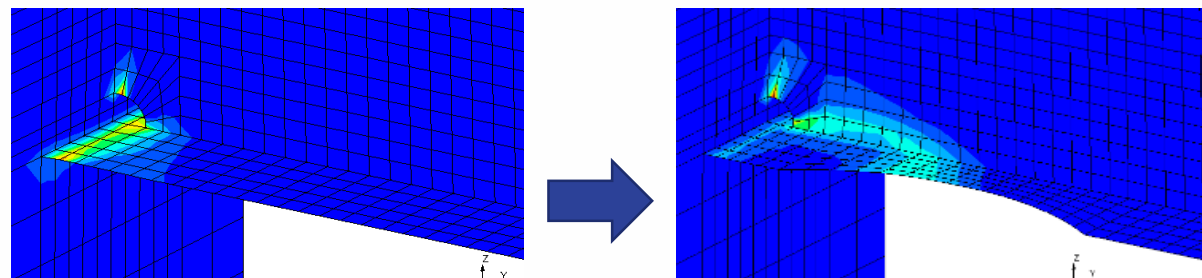
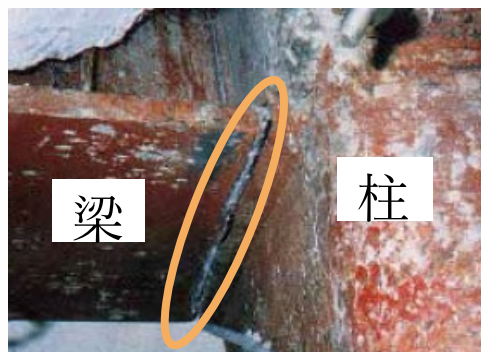
2016年熊本地震の断層モデルと強震観測点（西原村）



西原村の観測記録（黒線）とシミュレーション波形（赤線）上：速度波形、下：変位波形

- 2016熊本地震における、KiK-net益城周辺と益城町下陳地区周辺の建物被害程度の差の原因を解析により分析。表層地盤と断層との位置関係が原因。

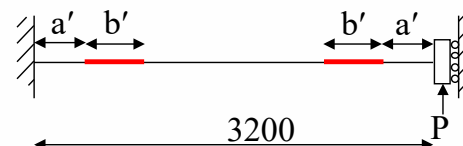
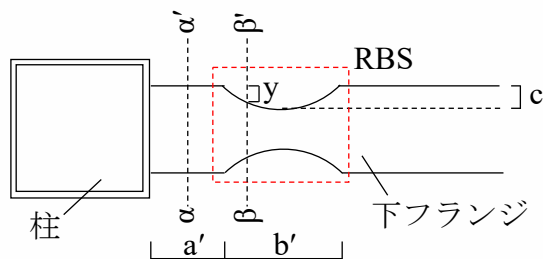
2-4,2-5 骨組の溶接部破断防止対策 【超高層 p.53,55】



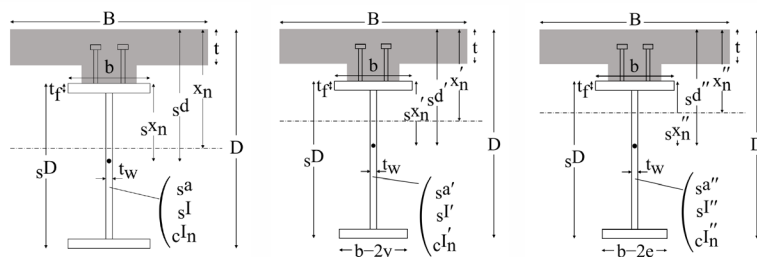
梁端部ドッグボーン（RBS）による溶接部ひずみ低減効果

Northridge(1994)、兵庫県
南部(1995)地震の被害

非線形有限要素解析による効果の検証

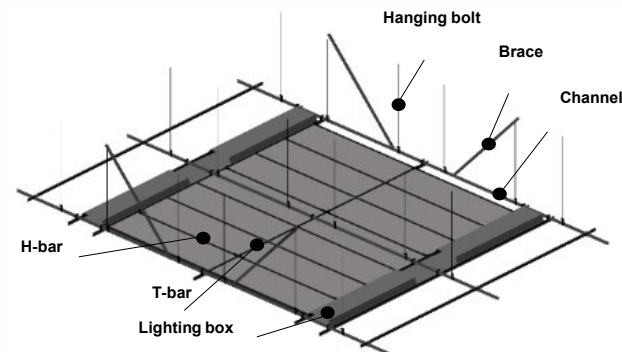


ドッグボーン補強を設けた梁の剛性評価式
の理論的誘導

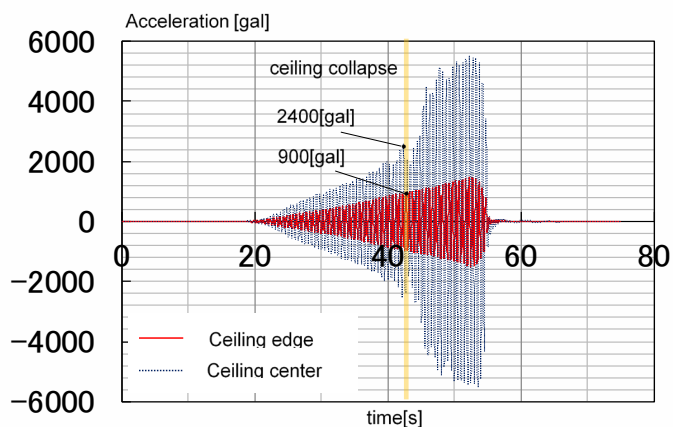


新宿校舎全体の解析モデルに反映

2-6 システムライン天井の耐震性向上 【超高層 p.57】

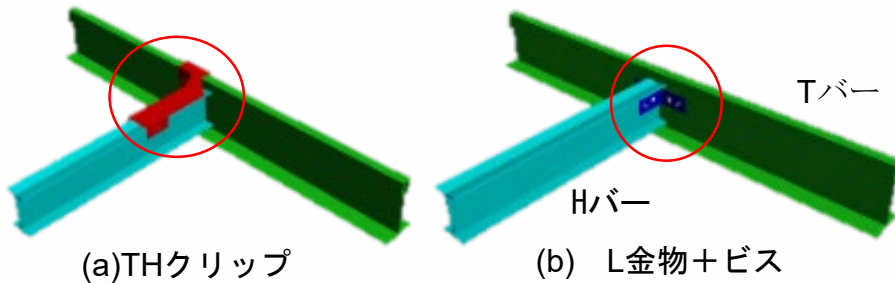


図B6 天井試験体



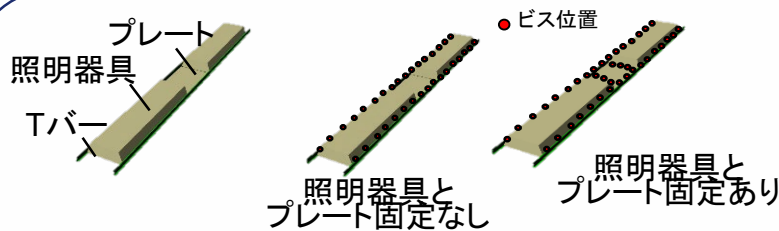
- 天井の面内剛性を上げ、変形を抑える
→ THクリップの数の増加と剛性向上
→ 照明器具（蛍光灯ボックス）の剛性を上げ、梁に用いる
- 解析モデルの構築は不可能？

2-6 システムライン天井の耐震性向上 【超高層 p.57】



対象	試験体A(TH接合部)			
条件	THクリップ(12個)	THクリップ(32個)	L金物(12個)	L金物(32個)
試験体	A-1	A-2	A-3	A-4

THクリップの剛性向上



(a) 固定なし (b) 固定方法1 (c) 固定方法2

対象	試験体B(照明器具)		
条件	固定なし	固定方法1	固定方法2
試験体	B-1	B-2	B-3

照明器具の剛性向上

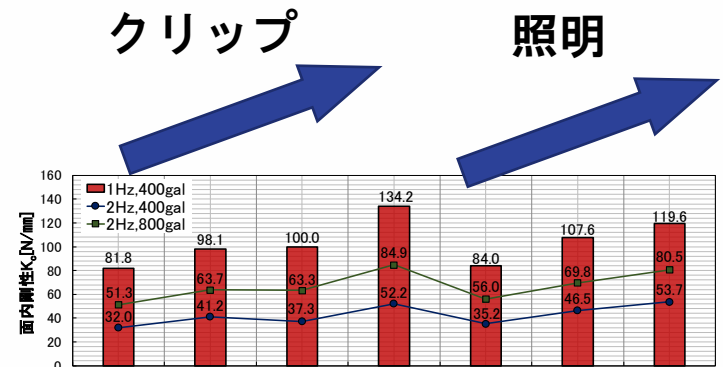


図26 各加振と各試験体の面内剛性

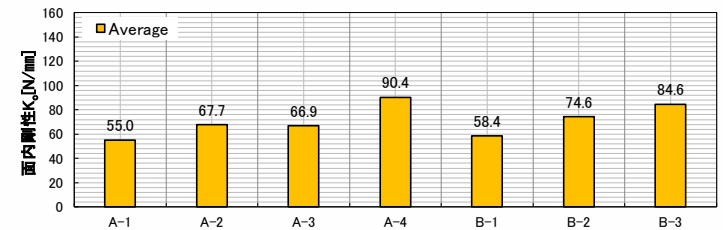
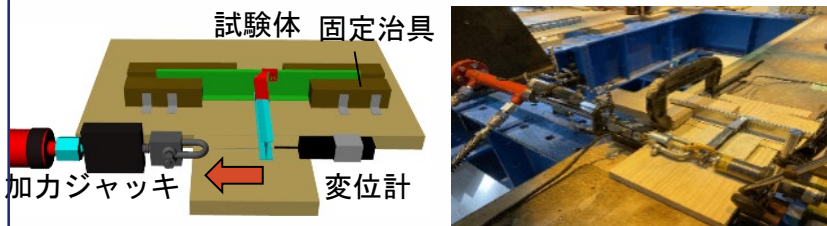


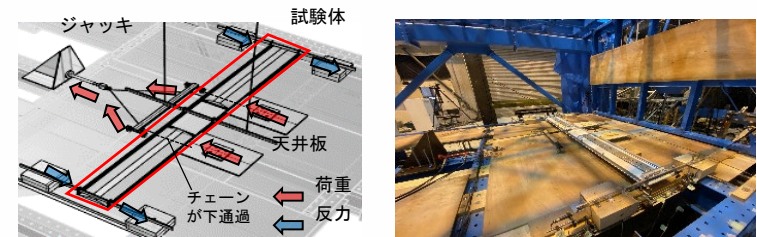
図27 各加振の面内剛性平均値の比較

振動実験より得た天井の面内剛性

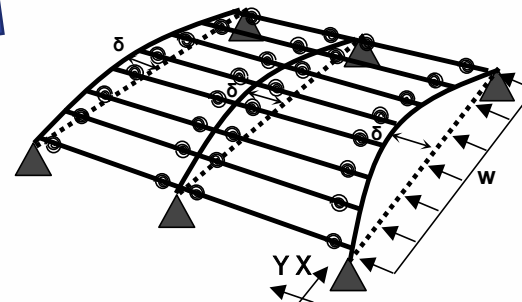
2-6 システムライン天井の耐震性向上 【超高層 p.57】



THクリップの要素実験



照明器具の要素実験



要素実験から解析モデル構築を試みたが剛性は大幅に異なる
→天井板とHバーの摩擦が大きく影響（再現性低い）

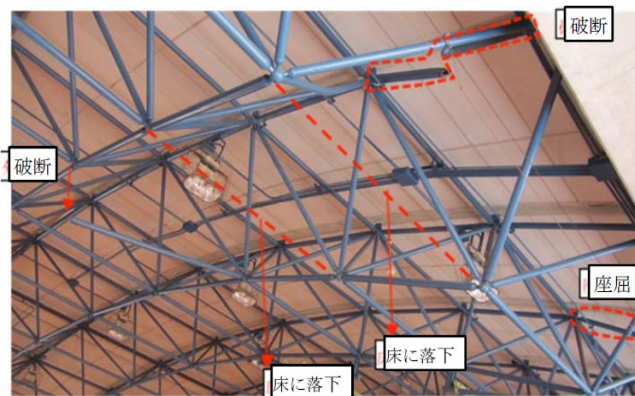
2-7 置屋根体育館支承部の復元力特性

【体育館p.63】

都市部では避難所となる公共施設が少ない → **体育館の被害防止が重要**
大型の体育館（高校、自治体）の多くは**置屋根構造**



支承部の被害(2011)



屋根トラス架構の被害(2016)

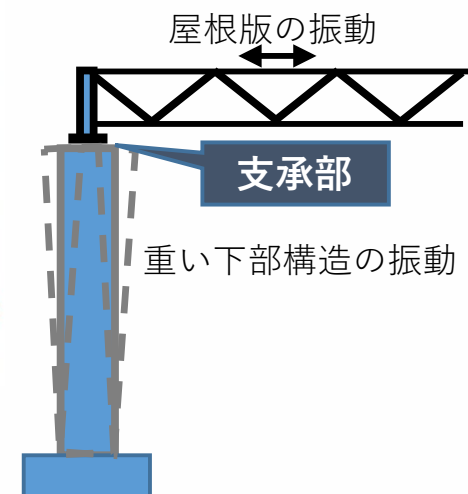
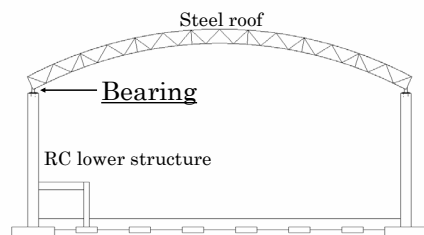


図 C3 屋根と下部構造の相互作用

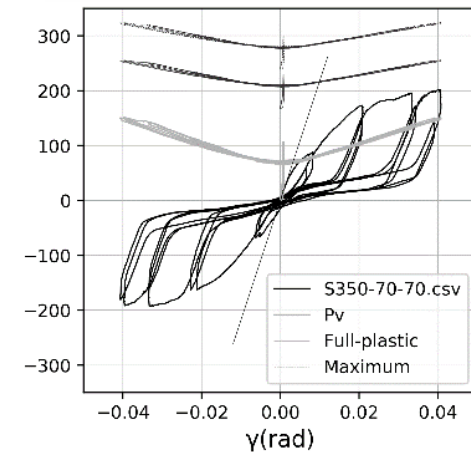
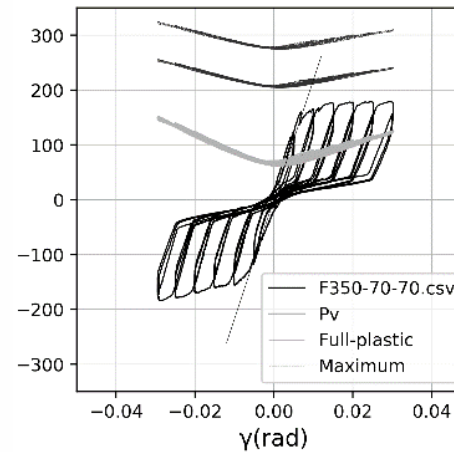
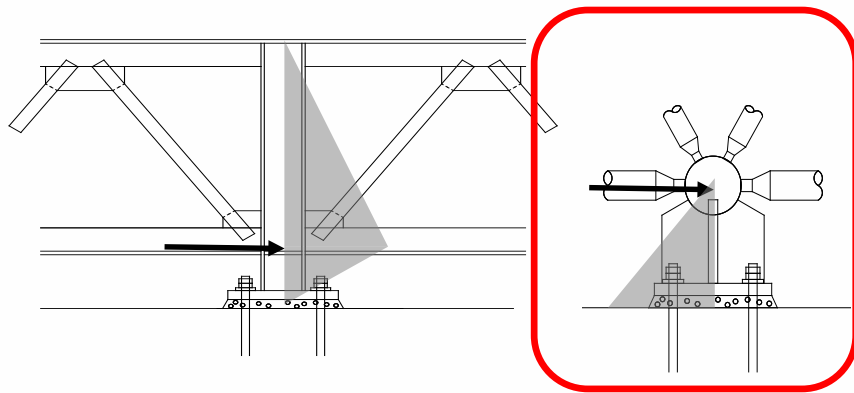


鉄骨屋根

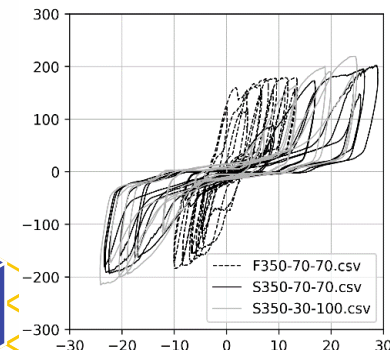
鉄筋コンクリート
下部構造

2-7 置屋根体育館支承部の復元力特性 【体育館p.63】

2019年度：システムトラス型屋根支承部の実験（熊本地震被害）



既往の露出柱脚の設計指針式は大幅に耐力を過大評価



水平力による変形が大きい→屋根を守る効果？→解析で確認

2-8自然災害における給水性能から見た防災拠点の機能継続の予測【設備p.67】

- 都市部のオフィスビルが災害時に何人收容できるか？給水性能から試算

葛飾区の8階建オフィスビルが荒川氾濫で浸水（4m）した場合

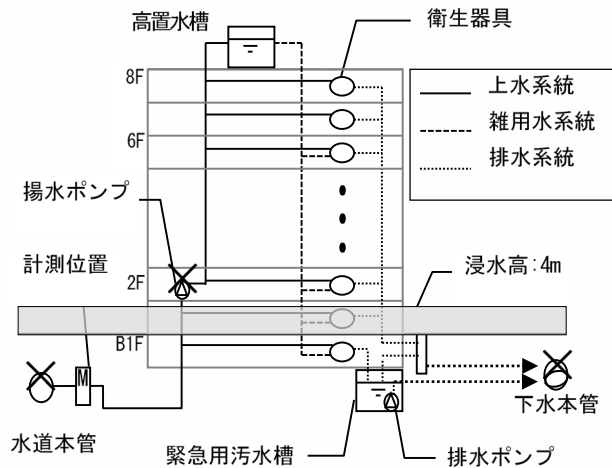


図1 ライフラインの被害と建物利用計画図

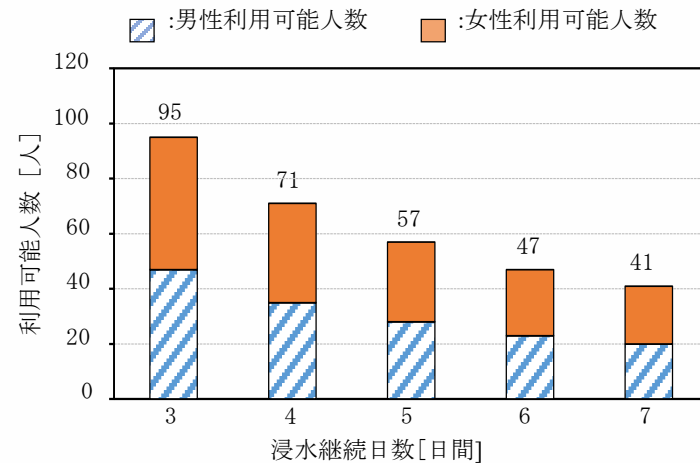


図2 浸水継続日数別利用可能人数

2-8 自然災害における給水性能から見た防災拠点の機能継続の予測【設備p.67】

- 都市部のオフィスビルが災害時に何人収容できるか？給水性能から試算

新宿区の29階建校舎の大地震後（計6ケース）

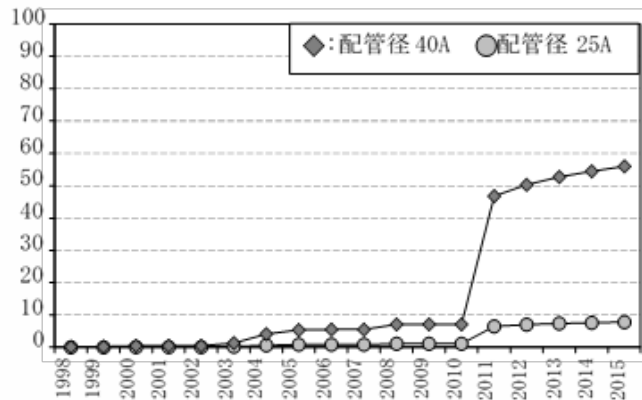
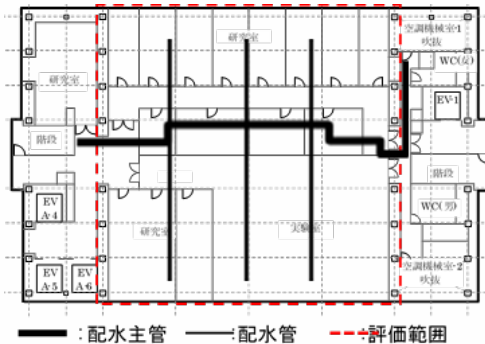
表6 想定ケース

ケース	受水槽	高置水槽(H)	高置水槽(M)	高置水槽(L)	上水代替利用
1	×	×	○	○	×
2	×	○	○	○	×
3	×	○	○	○	○
4	○	×	○	○	×
5	○	○	○	○	×
6	○	○	○	○	○

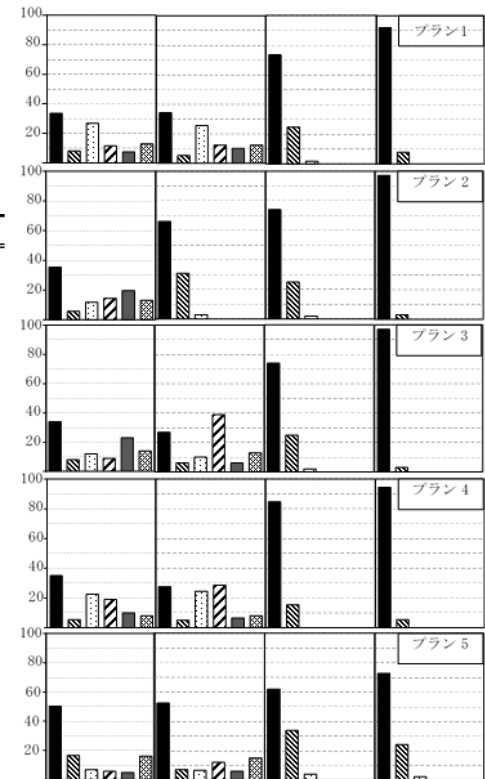
ケース	発災時刻[時]	平日			休日			長期休暇			入試
		8	12	18	8	12	18	8	12	18	
1	外部受け入れ可能人数[人]	最大-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		最小-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	"	-	-	-	13	-	-	31	-	-	-
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	"	110	-	-	172	-	-	212	-	-	-
		-	-	-	23	-	-	63	-	-	-
4	"	405	-	-	447	166	326	465	225	287	232
		320	-	-	363	82	241	381	141	203	148
5	"	444	-	-	487	206	365	505	264	327	272
		354	-	-	396	115	275	415	174	236	181
6	"	2729	1245	1778	2822	2209	2557	2862	2337	2473	2353
		1559	205	693	1622	1009	1357	1662	1139	1273	1153

2-9 超高層建物におけるスプリンクラー設備の耐震性能【設備p.71】

- ・新宿校舎の配管の吊り材はあと何回の地震に耐えられるのか？
- ・間仕切り区画と耐震補強パターン別に許容応力度比を試算



プラン	概要	補強パターン
1	間仕切りのない空間	①主管
2	窓際 1~15 室利用	②主管・配水管
3	窓際 16 室利用	③主管・枝管
4	窓際&中央部 28 室利用	④主管・配水管・枝管
5	構造体による敷水障害	



$0 \leq \sigma_r < 0.2$ $0.2 \leq \sigma_r < 0.4$ $0.4 \leq \sigma_r < 0.6$
 $0.6 \leq \sigma_r < 0.8$ $0.8 \leq \sigma_r < 1.0$ $1.0 \leq \sigma_r$

2019年度 研究概要

非構造（内外装材）関係



熊本大地震2016のあと

国土交通省、耐震化を巡る最近の動向 2017

防災拠点となる建築物の機能継続に係るガイド

項目(案)	主な記載内容(案)
機能継続の目標	・地震後の機能継続について、 建築主 ・建築基準法で想定する大地震(震度
立地計画・建築計画に関する事項	○立地計画 例)地盤や敷地を踏まえた 敷地の選 ○建築計画 例)災害時に機能を確保すべき室の
耐震性能に関する事項	○構造躯体の耐震性能 例)地震により 構造躯体が損傷しないよう、変形を一定以下に抑える設計とする 等 ○非構造部材の耐震性能 例)地震により生じる 構造躯体の変形や慣性力に対して、脱落等しない外装材 を選択する 等 ○建築設備の耐震性能 例)地震により生じる 構造躯体の変形や慣性力に対して、脱落・転倒を防止するとともに、設備の機能維持や修復容易性を確保する。

公立小中、建物より2割超低い71%

学校耐震窓や照明後手

文科省が促す学校の非構造部材の耐震化

種類	耐震化の例
窓ガラス	サッシごと割れにくいものに交換 ワレ散防止フィルムを貼る
照明器具	地震で揺れるのを防ぐため、ワイヤなどの揺れ止めで補強する
扉	揺れにも揺えられる新しい工法で張り替える
ロッカー・本棚	壁や床に固定し、取っ手が飛び出さないよう扉などにも対策を講ずる

文科省によると、公立中学校の建物(計約11万千棟)の耐震化率は昨年、月時点で98.1%これに比し、非構造部材の耐震化率は、都道府県によってもばらつきはあるが、平均で71%となっている。表左の私立の幼稚園・高校(約1万1千校)は58%、国立大学の付属の幼稚園・高校(264校)は56%だった。

建築物本体も非構造部材の耐震化率(%)

都道府県	耐震化率(%)
北海道	92.5
青森県	98.2
岩手県	78.7
宮城県	72.8
秋田県	84.3
山形県	85.7
福島県	57.8
茨城県	92.2
栃木県	87.6
群馬県	68.0
埼玉県	47.0
千葉県	77.3
東京都	79.3
新潟県	80.9
富山県	99.0
石川県	50.9
福井県	72.5
山梨県	80.0
長野県	89.1
岐阜県	45.7
静岡県	62.7
愛知県	90.8
三重県	83.6

全国の公立小中学校全体の耐震化率が10.0%近くまで進んでいる中、窓や照明など「非構造部材」の耐震化率は平均で70%にとどまっている。東日本大震災や熊本地震の際に非構造部材が破損して子どもがけがをしたり、避難所として使えなくなったりしており、文部科学省の有識者会議は対応を急ぐよう求めている。

文科省調査

2016. 2朝日新聞

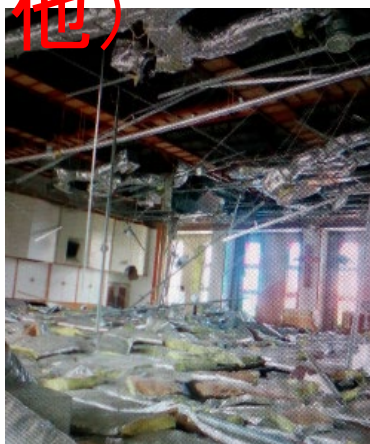


構造の耐震性 > RC造、S造、木造、SRC造



非構造の耐震性 > RC造、S造、木造、SRC造

- × 部位 (屋根, 天井, 外壁, 内壁, 床)
- × 部位用途 (構造材, 下地材, 仕上材, 機能材)
- × 材料 (コン, タイル, ALC, ECP, ガラス, 壁紙, 石膏B他)



3

×

5

×

4

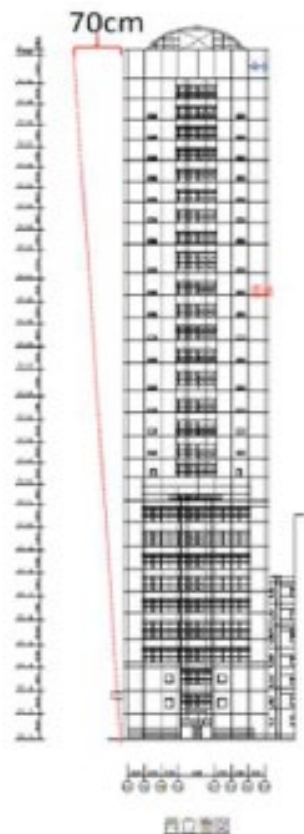
×

7

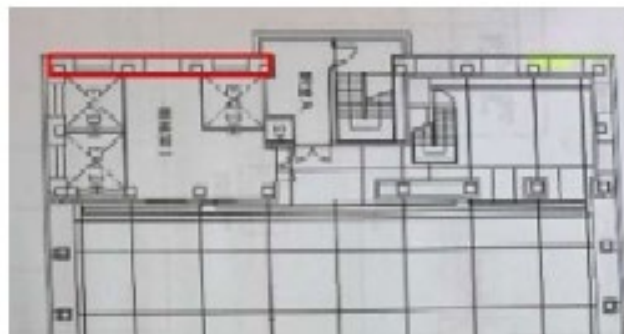
↓

420

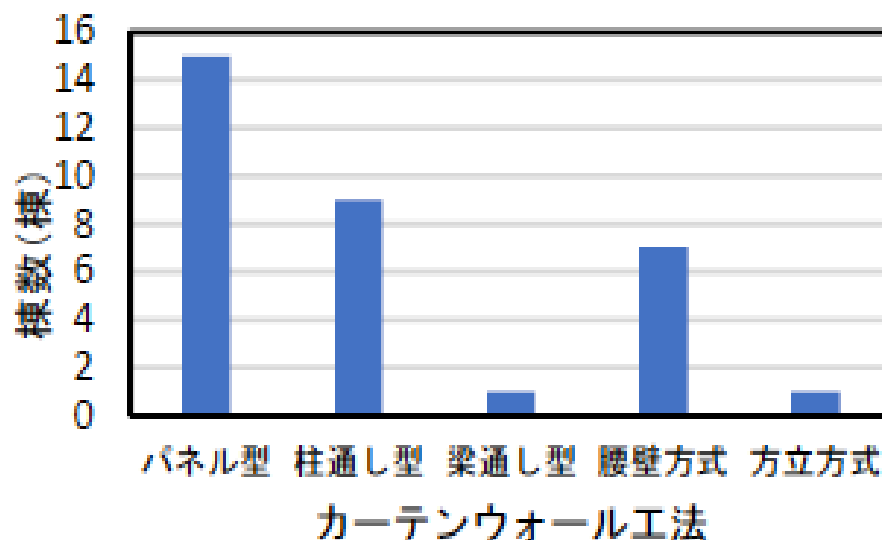
【1 外壁耐震】 高層ビル外壁CWの ファスナーの健全度評価に向けた状態分析



a) 工学院大学立面



> 各階ごとの耐火被覆
ひび割れ・剥離部
発生率の評価

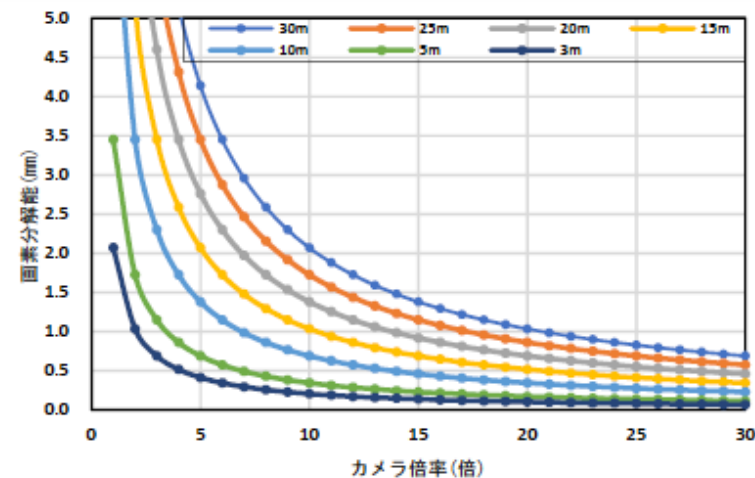
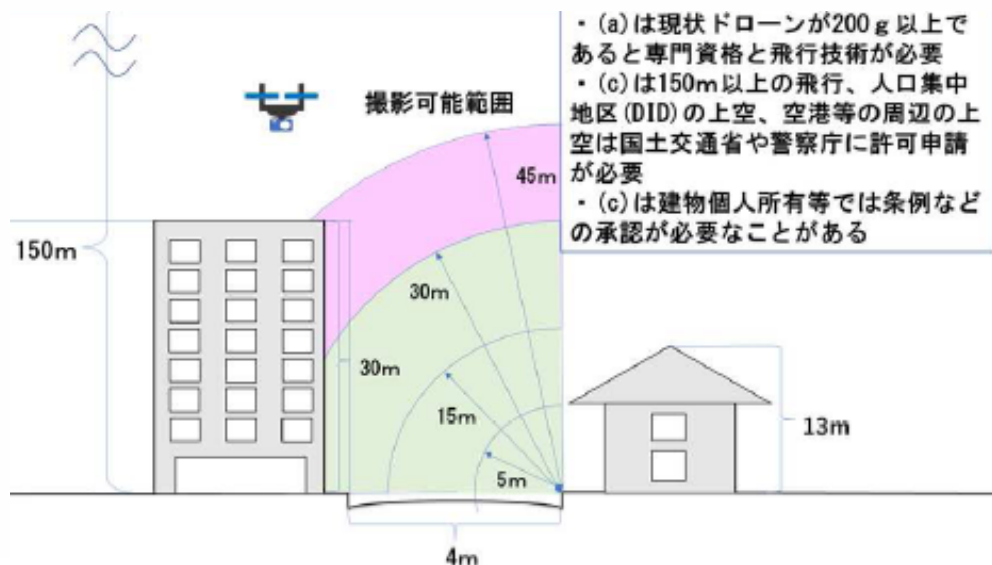


都市部のカーテンウォール工法別棟数

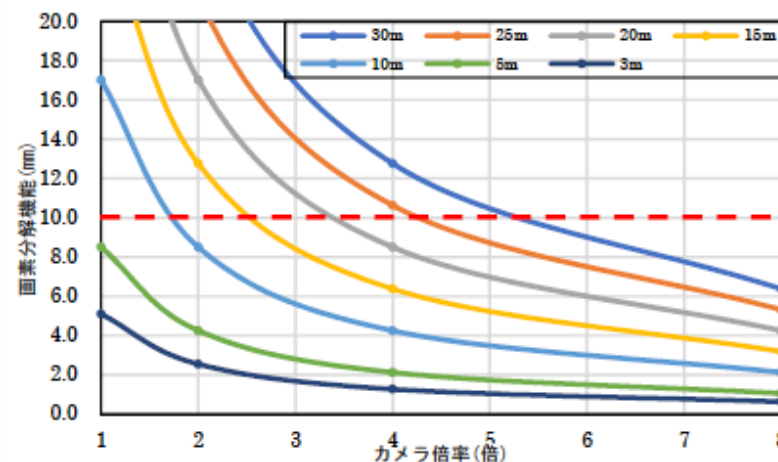
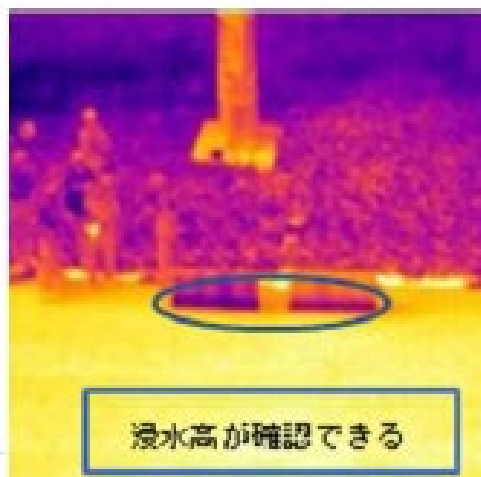
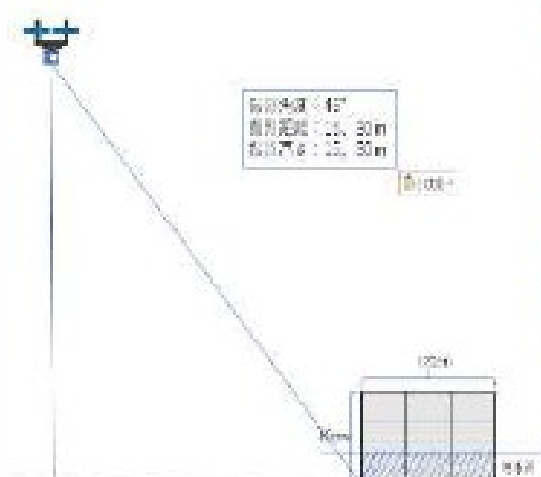


【②外壁浸水】

都市部の外壁浸水高さの非破壊評価システムの構築



a) 光学カメラ



b) 赤外線カメラ

【③外壁剥落】 打音診断によるタイル剥離剥落性評価

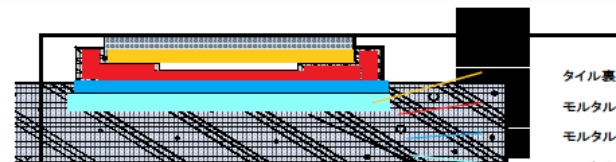
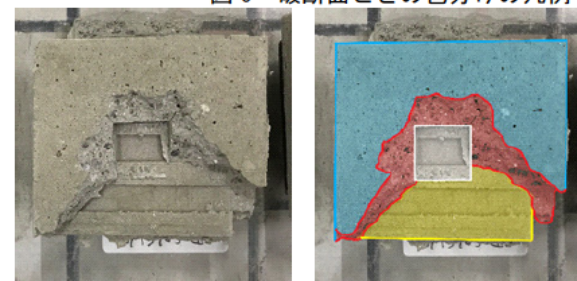


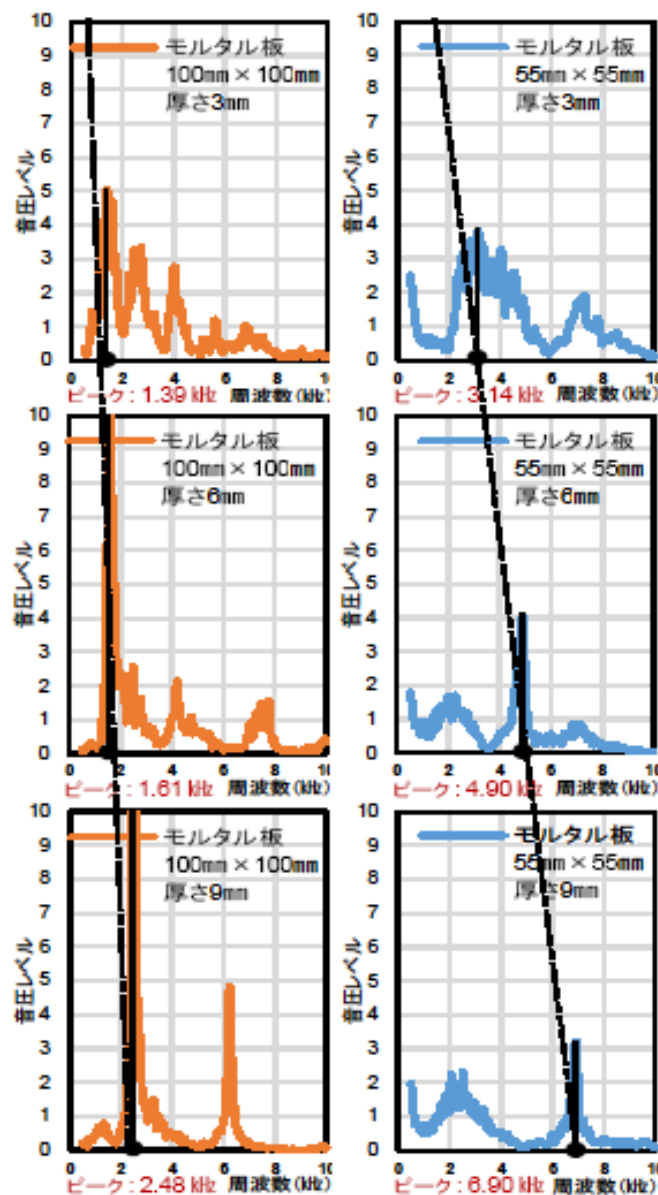
図6 破断面ごとの色分けの凡例



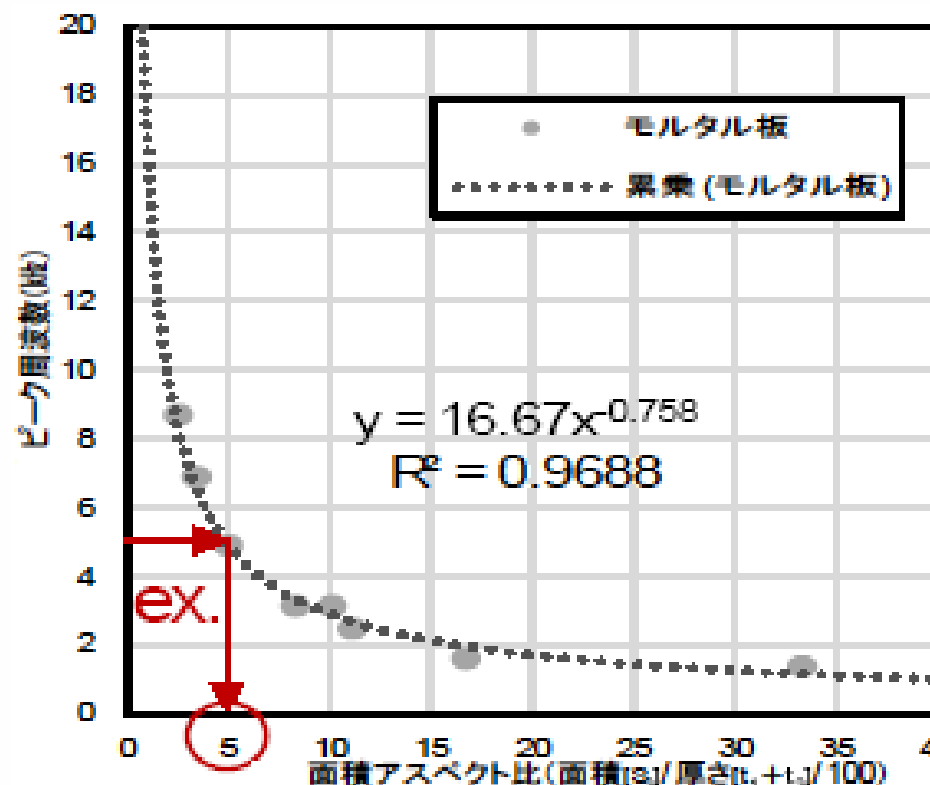
a) 試験体タイル裏面 b) 破断面ごとの色分け

タイル種類	モルタルの張付け状態 (断面図)			
面積: S_1 45×45 mm 厚さ: t_1 表 11 参照	①モルタル面積: S_2 (mm ²)	②タイル下からの モルタル厚さ: t_2 (mm)	③空隙率: v (%)	④目地高さ: h (mm)
外装用 タイル				
内装用 タイル				
押出成形 セメント板				
MDF 板				

【③外壁剥落】 打音診断によるタイル剥離剥落性評価



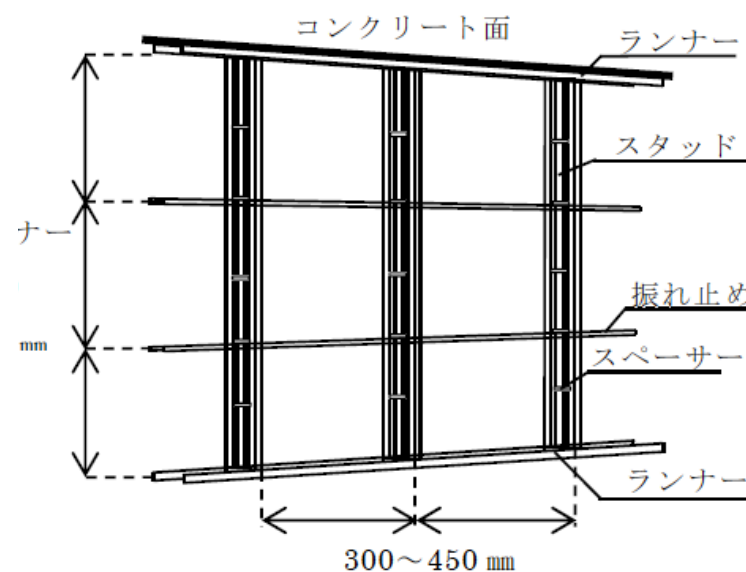
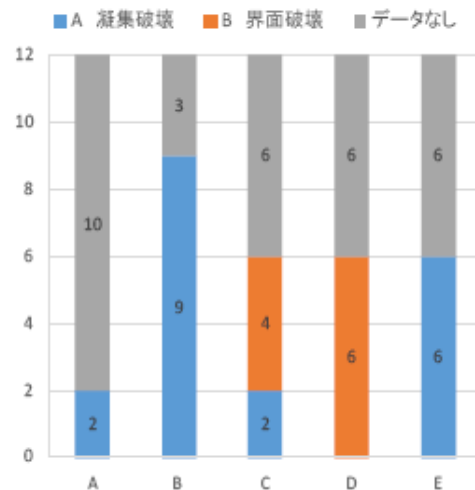
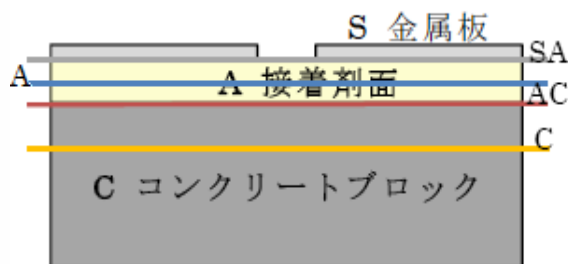
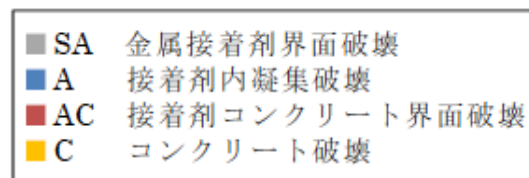
a) モルタル板



a) モルタル板

【4界壁改修】 持続型一界壁改修システム

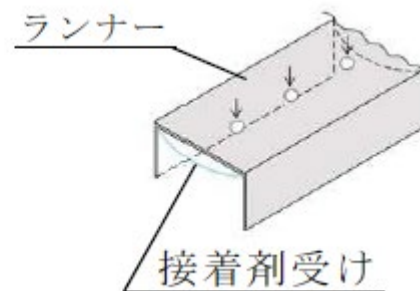
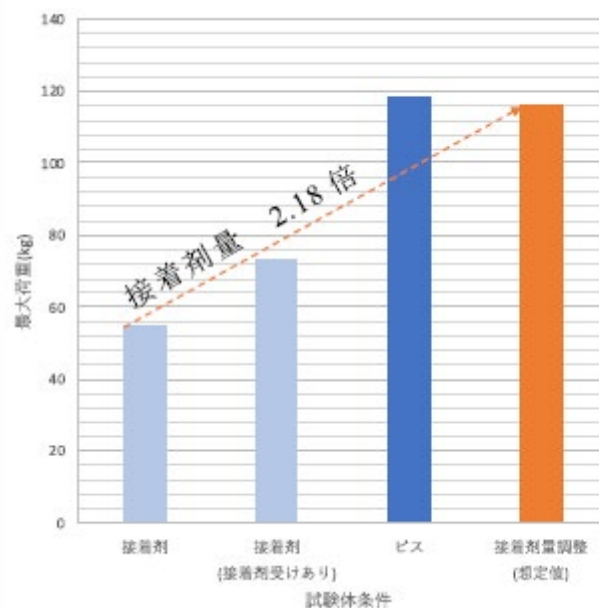
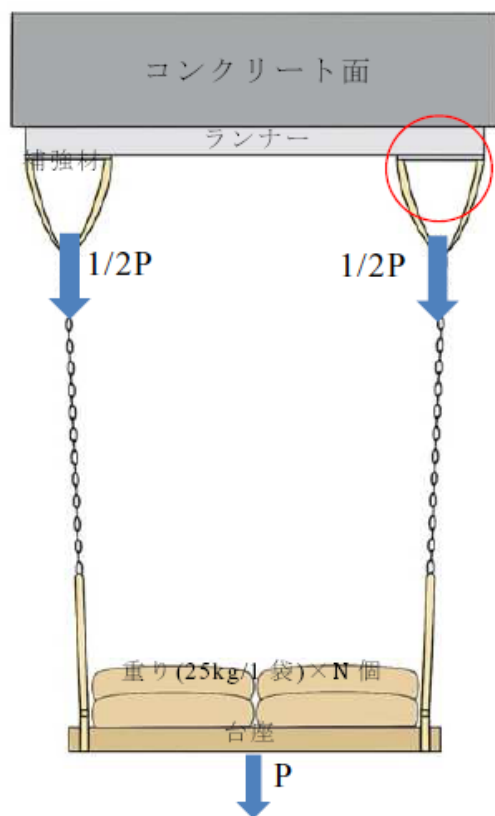
	接着剤	主成分
A	急速硬セメント	アルミナ、セメント
B	2液性無機質接着剤	アルミナ、シリカ
C	1液性無機系接着剤	酸化アルミニウム 70-75% アルカリ金属珪酸塩 20-25%
D	粉液分離型接着剤	〈粉体〉 SiO_2 5-10, MgO 55-60%, ZrO_2 10-20%, 合成雲母 10-15% 〈液体〉 ほう酸ナトリウム 90-100%
E	モルタル系接着剤	Al_2O_3 69%, SiO_2 21%, Fe_2O_3 1.6%



【4界壁改修】 持続型一界壁改修システム



*プレートはずれが見られるものがある
b) 600℃加熱後



テーマ2 まとめと次年度

2019年度

- 地震動：地表付近の断層の地震動への影響、ならびに建物被害への直接的影響の評価、調査
 - 超高層：梁端部破断防止対策（構造）、ライン天井の崩壊防止（非構造）、給水からみた滞留可能日数推定（設備）
 - 体育館：システムトラス屋根（熊本で被害）の支承部の実験
 - 内外装材：ドローンを用いた高層ビルCWの劣化調査、打撃による外壁タイル診断、など
- 総合的な耐震性能を有する建築モデルの開発

2020年度（最終年度）

研究のまとめ、社会実装のための研究発表