

軽量鉄骨下地による非構造部材の耐震性等 に関する建築研究所の最近の取組み

国立研究開発法人 建築研究所

建築生産研究グループ 研究員

沖 佑典

I はじめに

人々の生活、企業の経済活動、行政機能、等...



これらを実現するために、建築物の各部分には
多様な”機能”が要請される
(例えば...断熱、音、遮光、等)

構造躯体ではない部分 = “**非構造部材**”



構造的検討(※荷重・外力に対する強度
や剛性等の検討)を要さない部材?

大規模な災害(大地震等)の発生



建築物(の部分)の損傷等

構造
躯体

非構造部材

設備
等



非構造部材の損傷等により、
・機能継続の妨げになった例も

I はじめに

軽量鉄骨下地(LGS)とボードによる壁(LGS壁)の損傷、転倒等



写真 熊本地震によるLGS壁の被害

出典:国総研、建研:平成28年(2016年)熊本地震による建築物等被害第十四次調査報告(速報)
(<http://www.kenken.go.jp/japanese/contents/topics/2016/14-kumamoto.pdf>)

I はじめに

人々の生活、企業の経済活動、行政機能、等...



これらを実現するために、建築物の各部分には
多様な”機能”が要請される
(例えば...断熱、音、遮光、等)

構造躯体ではない部分 = “**非構造部材**”



構造的検討(※荷重・外力に対する強度
や剛性等の検討)を要しない部材?



大規模な災害(大地震等)の発生



建築物(の部分)の損傷等

構造
躯体

非構造部材

設備
等



非構造部材の損傷等により、
・機能継続の妨げになった例も



非構造部材に対しても耐震性の確保等の
取組みがなされるようになってきている

目次

I はじめに

II 非構造部材の耐震性確保等へのニーズと取組みについて

III 建築研究所での非構造部材の耐震性に関する研究

1) LGS壁

a. 面内変形と面外慣性力の同時作用に着目したLGS壁の静的実験

b. 鉄骨骨組に支持されたLGS壁の地震時応答性状に関する動的实验

2) 天井(勾配変化部を有する天井の実験)

IV 非構造部材に対する今後の展開

1) LGS壁の課題

2) 天井の課題

3) 非構造部材全体の課題

V おわりに

目次

I はじめに

II 非構造部材の耐震性確保等へのニーズと取組みについて

III 建築研究所での非構造部材の耐震性に関する研究

1) LGS壁

a. 面内変形と面外慣性力の同時作用に着目したLGS壁の静的実験

b. 鉄骨骨組に支持されたLGS壁の地震時応答性状に関する動的实验

2) 天井(勾配変化部を有する天井の実験)

IV 非構造部材に対する今後の展開

1) LGS壁の課題

2) 天井の課題

3) 非構造部材全体の課題

V おわりに

Ⅱ 非構造部材の耐震性確保等へのニーズと取組みについて

非構造部材に対する耐震安全性の確保に関するニーズの高まり

2013～2016年度

国土交通省総合技術開発プロジェクト「災害拠点建築物の機能継続技術の開発」

2016年 熊本地震

* **非構造部材の損傷等**が発生し、機能継続が困難になるような事例

2018年 国交省住宅局

「防災拠点等となる建築物に係る機能継続ガイドライン」

国交省報道発表資料より

https://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/build/jutakukentiku_house_tk_000088.html



国土交通省
Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism

Press Release

平成30年5月18日
住宅局建築指導課

「防災拠点等となる建築物に係る機能継続ガイドライン」をとりまとめました
～ガイドライン及び参考指針集・事例集を作成し、地方公共団体や建築関係団体等に周知～

国土交通省では、庁舎、避難所、病院など、大地震時に防災拠点等となる建築物について、大地震時の安全性確保に加えて機能継続を確保するため、企画・設計・管理の各段階において参考となる事項を記載したガイドラインをとりまとめました。
今後、大地震時に防災拠点建築物の機能継続を図る地方公共団体や建築関係団体等に対し、説明会の開催等により周知してまいります。

Ⅱ 非構造部材の耐震性確保等

非構造部材に対する耐震安全性の確保
2013～2016年度

国土交通省総合技術開発プロジェクト

2016年 熊本地震

* **非構造部材の損傷等**が発生し、機能継続が困難な事例が報告された

2018年 国交省住宅局

「防災拠点等となる建築物に係る機能継続ガイドライン」

「防災拠点等となる建築物に係る機能継続ガイドライン」

(<https://www.mlit.go.jp/common/001292551.pdf>)

目次より抜粋

目次

既存建築物向けの追補版の活用にあたっての考え方	.....
1. 本ガイドラインの目的	.....
2. 活用が想定される建築物	.....
3. 防災拠点等となる建築物の設計等にあたっての関係者の役割	.....
4. 機能継続に係る目標	.....
5. 立地計画	.....
6. 建築計画	.....
7. 構造計画(構造躯体及び非構造部材の耐震設計)	.....
8. 設備計画(耐震設計及びライフライン途絶対策)	.....
9. 大地震時の円滑な機能継続確保のための平時からの準備	.....

Ⅱ 非構造部材の耐震性確保等へのニーズと取組みについて

2019年「建築設計基準」の改定
(国交省大臣官房官庁営繕部)

...熊本地震では、避難所として指定された建築物の機能継続が困難となった事例が発生

国の庁舎及びその附帯施設の建築設計に適用される「建築設計基準」において、**建築非構造部材の耐震設計に関する規定が明確化**

右図: 国交省資料より抜粋
(<https://www.mlit.go.jp/common/001293701.pdf>)

改定のポイント

1 建築非構造部材の耐震設計に関する規定の明確化

(1) 建築非構造部材の耐震設計に関する章の新設

改定前	改定後
第1章 総則	第1章 総則
第2章 設計	第2章 設計
耐震設計の規定が各所に散在	第3章 建築非構造部材その他の耐震設計 3.1 建築非構造部材 3.1.1 共通事項 3.1.2 外壁 3.1.3 扉 3.1.4 ガラス 3.1.5 天井 3.1.6 間仕切り 3.1.7 その他の建築非構造部材(資料のみ) 3.2 家具、門扉・困障その他の工作物
第3章 補則	第4章 補則

耐震設計の規定を第3章に集約

(2) 建築非構造部材の耐震設計の目標、確認方法等を明確化

これまでの施設整備における運用を踏襲しつつ、有識者から意見を聴取し、耐震技術の進展や地震被害から得られた知見等(※)を適切に反映。

- ① 耐震設計の目標の明確化
 - ・大地震動時に脱落等しないようにすることを部材別(外壁、扉、ガラス、天井、間仕切り)に規定。
 - ② 確認方法の明確化
 - ・確認方法を部材別(外壁、扉、ガラス、天井、間仕切り)に規定。
- (※) 特定天井の天井材を緊結する方法を取り入れるなど。

Ⅱ 非構造部材の耐震性確保等へのニーズと取組みについて

建築物の計画、設計段階において、

- ・(最低限)構造安全性の確保
- ・機能継続にどの程度配慮し建築するか、等

被災後に建築物に期待される性能の選択肢がこれまでより用意

→選択された「建築物へ期待する性能」を実現する非構造部材の要素技術が必要

各種非構造部材の要素技術：**従来の構工法**を適用することが多い

- ・建築物の大変形時も想定しつつ、どの程度の耐震性を有するか
- ・構工法がどのような仕組みで建築物の機能継続に寄与するか
が求められる

LGS壁、天井が有する耐震性、機能継続性確保に向けた損傷メカニズム等の整理が必要

目次

I はじめに

II 非構造部材の耐震性確保等へのニーズと取組みについて

III 建築研究所での非構造部材の耐震性に関する研究

1) LGS壁

a. 面内変形と面外慣性力の同時作用に着目したLGS壁の静的実験

b. 鉄骨骨組に支持されたLGS壁の地震時応答性状に関する動的实验

2) 天井(勾配変化部を有する天井の実験)

IV 非構造部材に対する今後の展開

1) LGS壁の課題

2) 天井の課題

3) 非構造部材全体の課題

V おわりに

Ⅲ 建築研究所での非構造部材の耐震性に関する研究

1) LGS壁

2017年～ 建築研究開発コンソーシアム研究会

「軽量鉄骨下地乾式間仕切り壁の地震時損傷抑制に関する研究」(LGS壁研究会)

(代表者:清家剛 東京大学教授)

* 参加団体等

- ・設計事務所、ゼネコン、部材メーカー等 24社
- ・大学教員4名
- ・国総研、独立行政法人等、建研 4団体

* LGS壁の耐震設計規準案策定を目指している

壁高さ
8m



写真 LGS壁研究会での検討の一例
(高さ8mのLGS壁の面外載荷実験)→

a. 面内変形と面外慣性力の同時作用に着目したLGS壁の静的実験

日本建築学会「非構造部材の耐震設計施工指針・同解説」(2003)

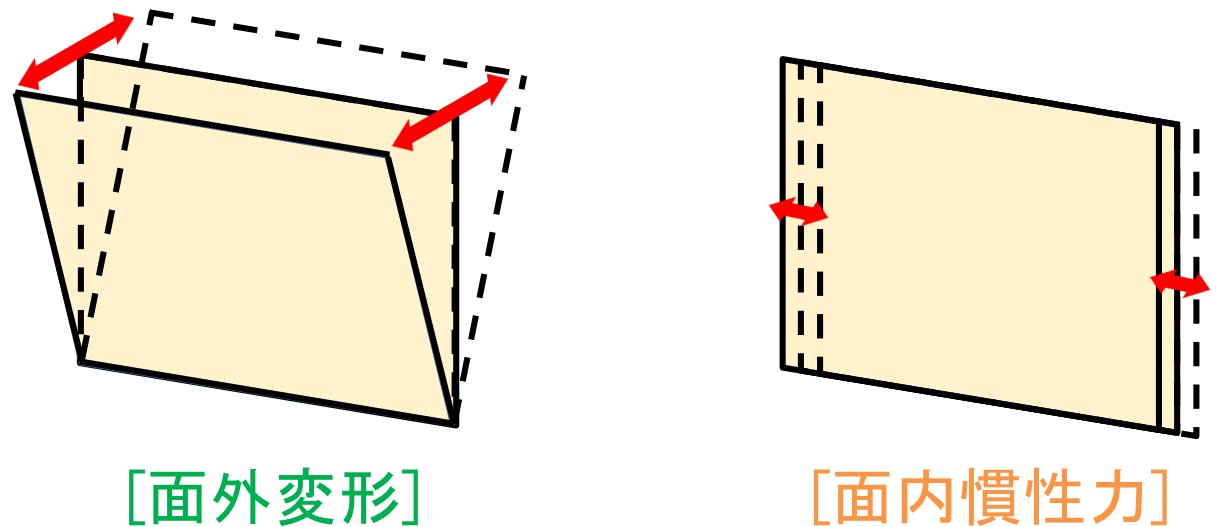
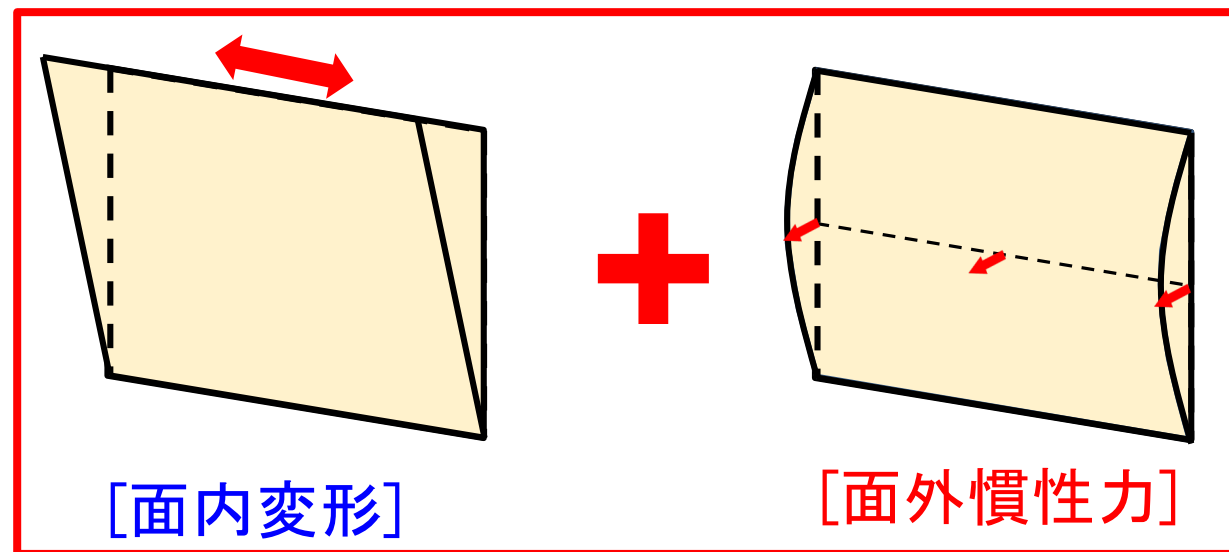
- ・「強制変形(角)」と「慣性力」について検討
- ・両者を「独立な検討」によって確かめる



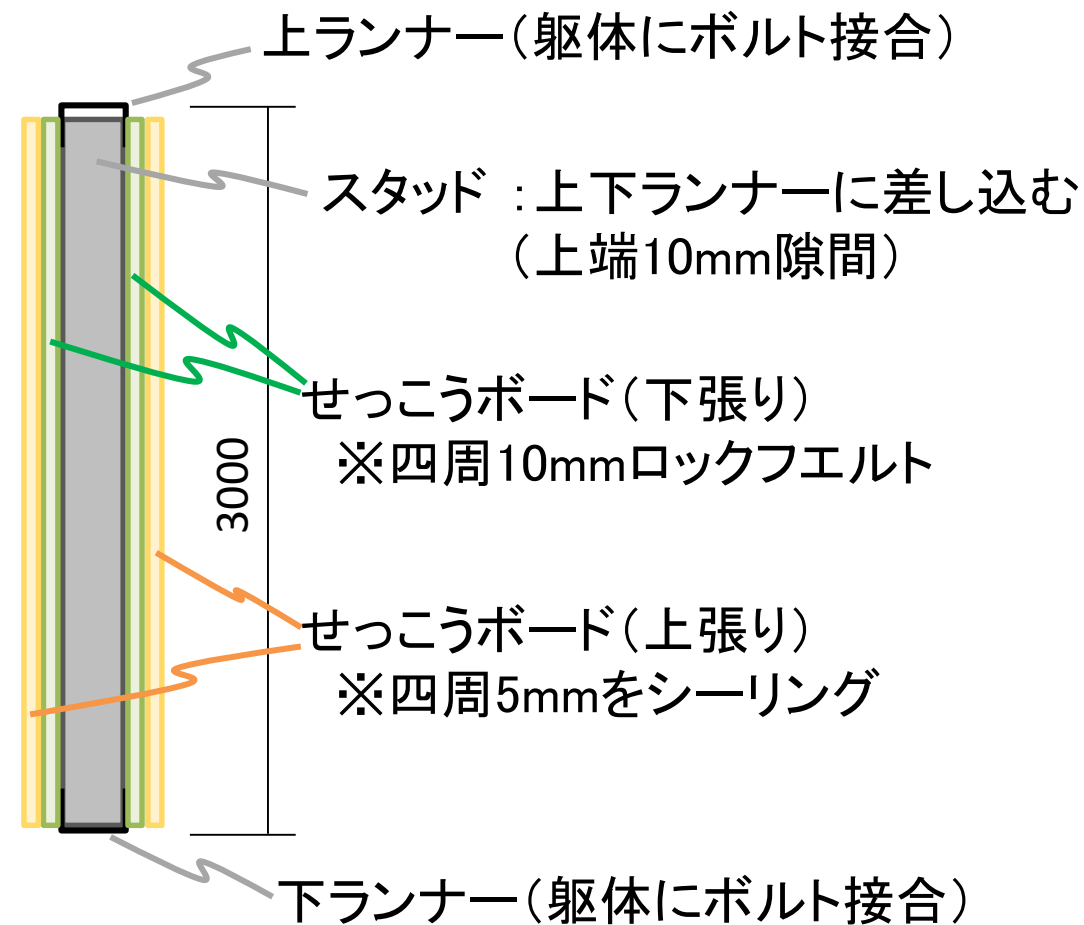
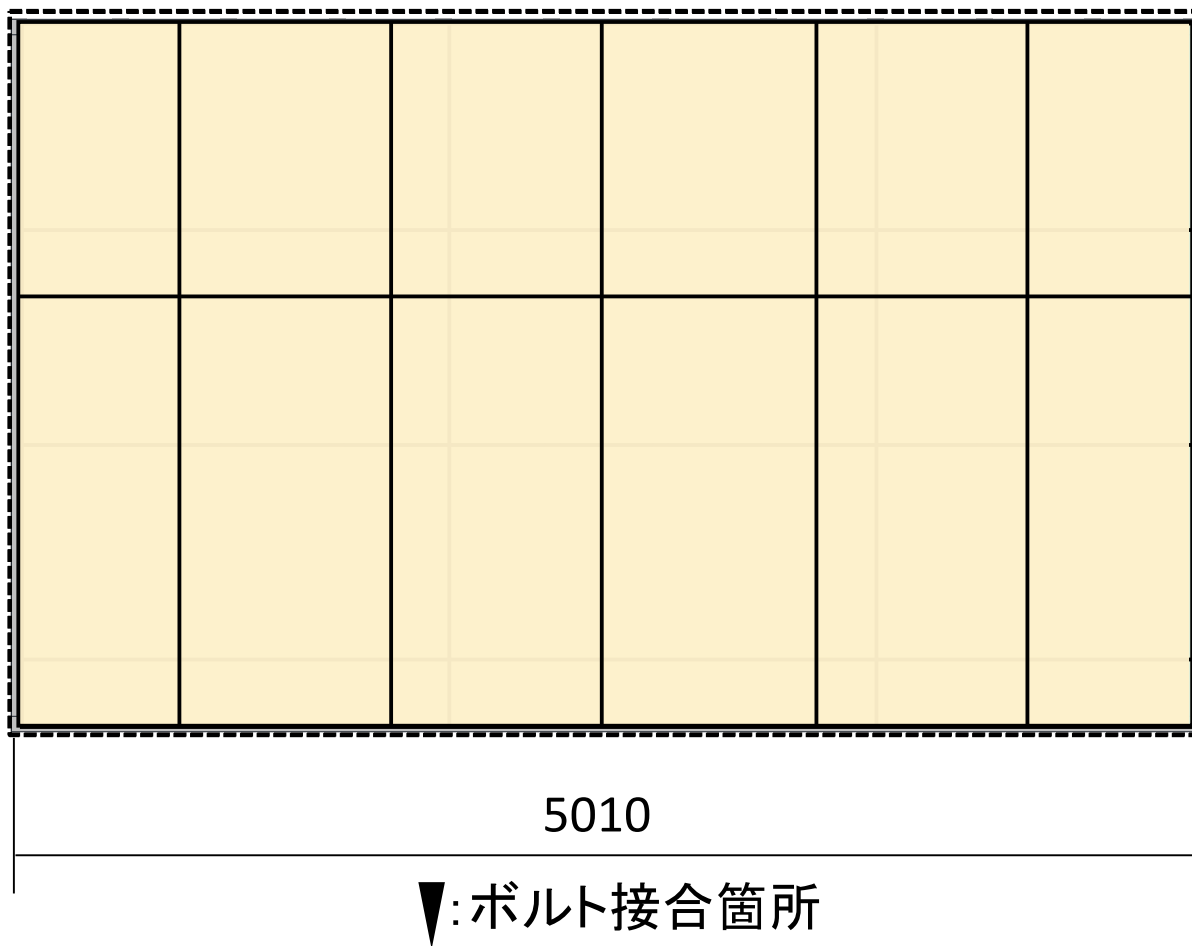
LGS壁の耐力等について強制変形と慣性力の影響が独立とみなせるか、明確にはなっていない。



- ・面内変形と慣性力(相当の中央面外荷重)を同時に受けたときに、どのような壊れ方をするか
- ・「独立に検討」によって予測できる損傷メカニズムかを確認する。



LGS壁試験体



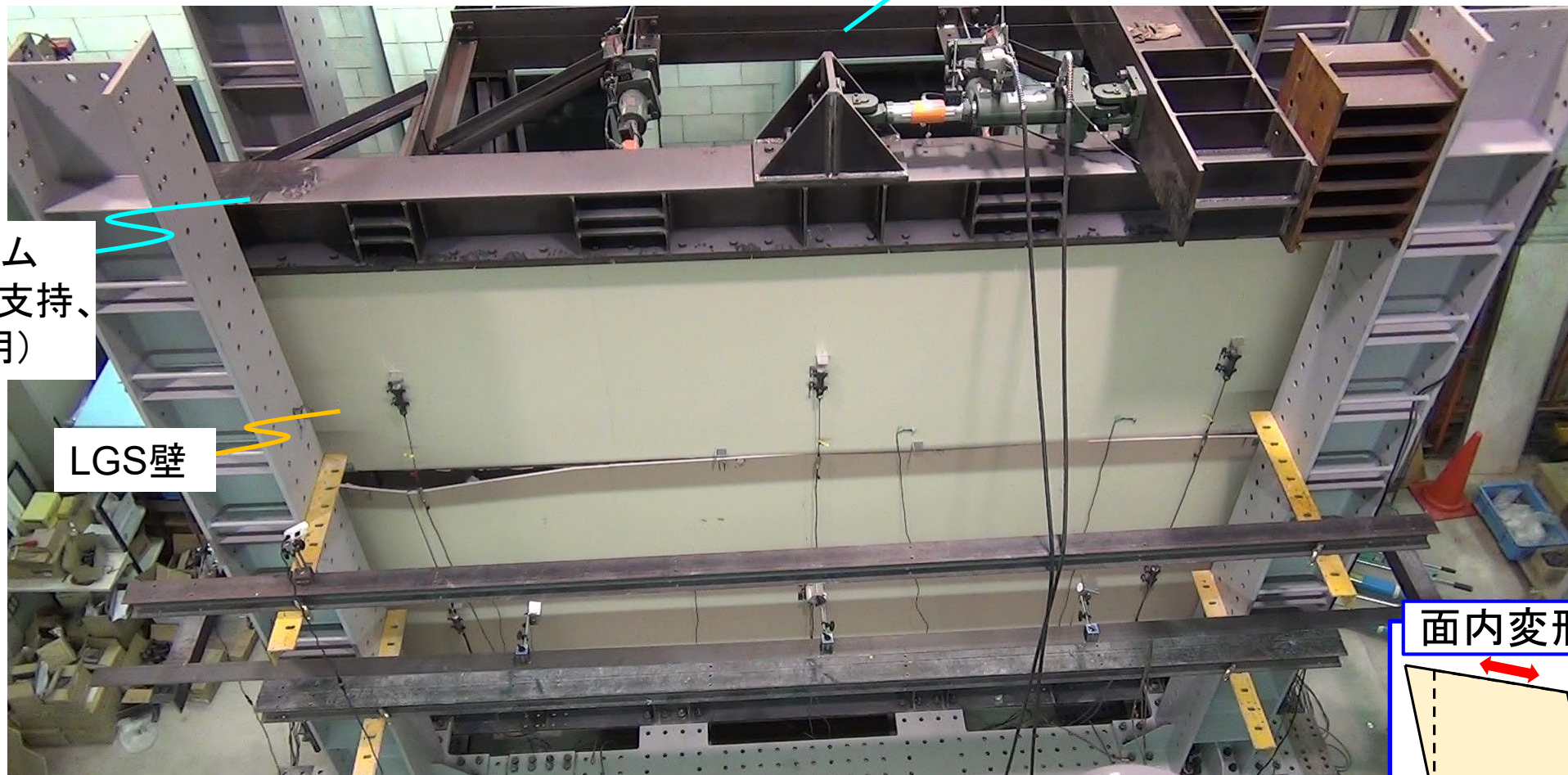
実験の様子(面内変形)

面内-2.5%到達時

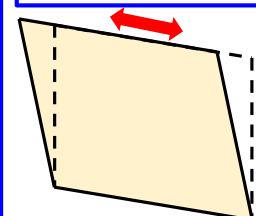
载荷フレーム
(慣性力相当の中央面外荷重加力用)

载荷フレーム
(LGS壁の支持、
面内変形用)

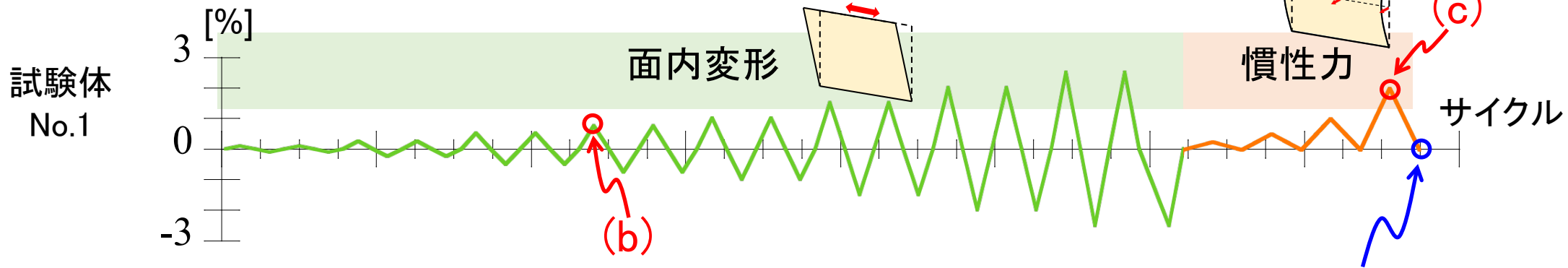
LGS壁



面内変形



実験結果：試験体No.1（面内変形→慣性力）



(b) ボードとフレームの接触（面内+0.75%）

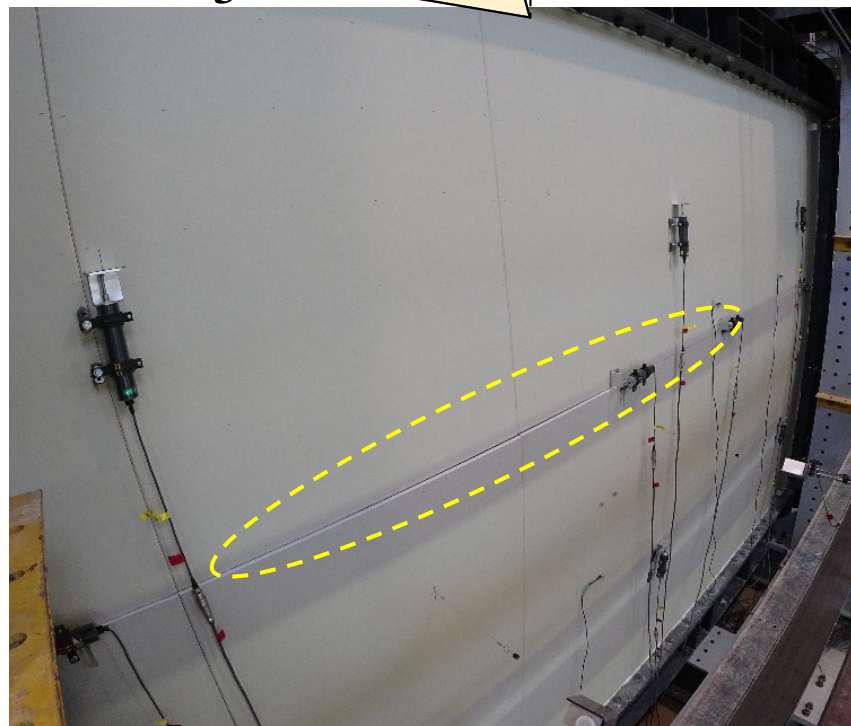
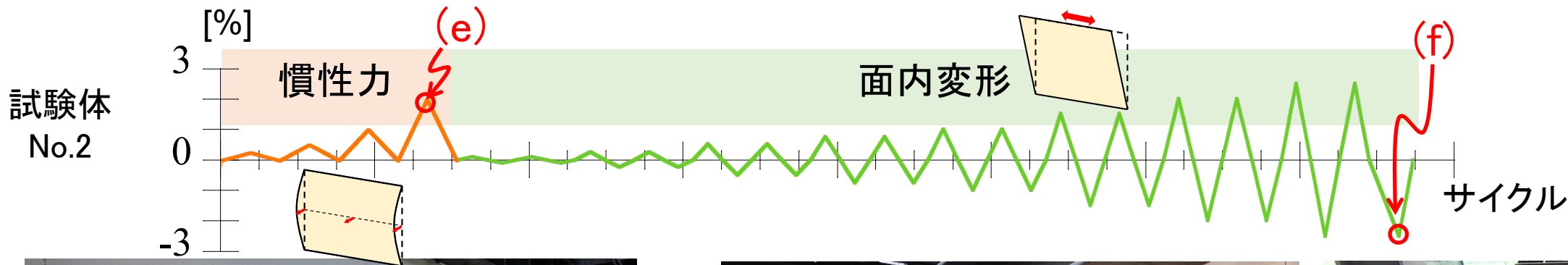


(c) 目地部分でのボードの剥がれ（面外2.0%後）

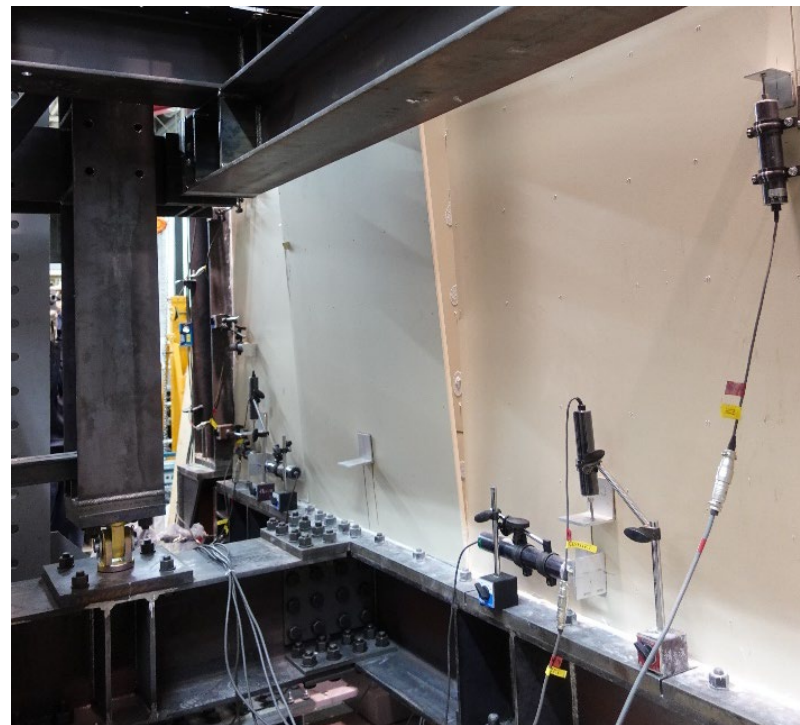


高さ1.5m部分でのスタッドの変形

実験結果：試験体No.2 (慣性力→面内変形)



(e) ボードの剥がれ

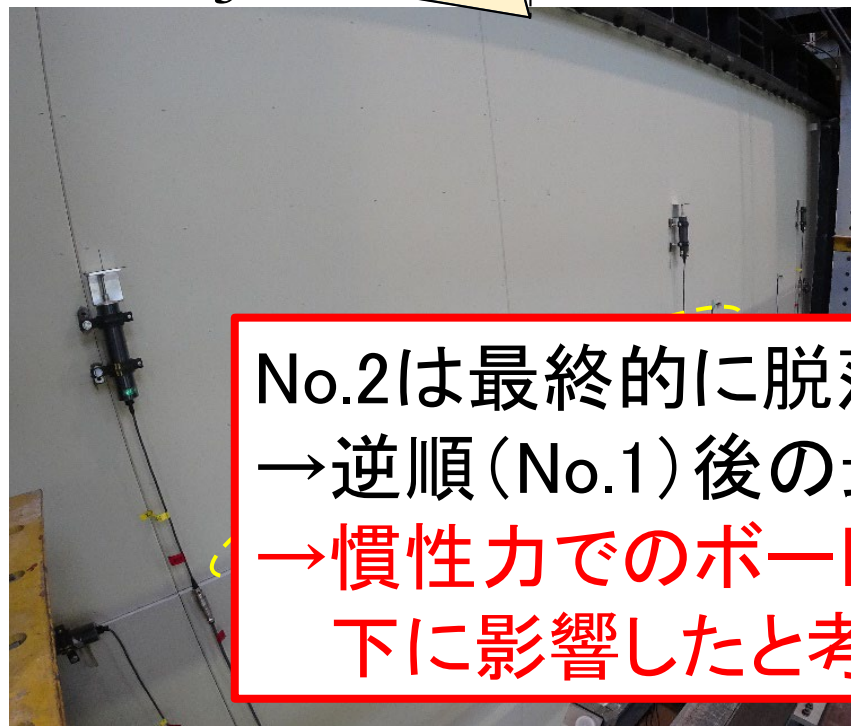
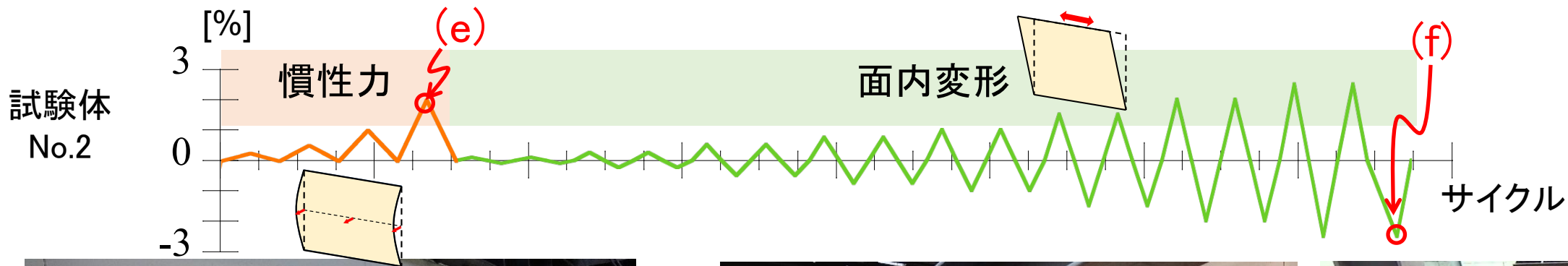


(f) ボードの脱落

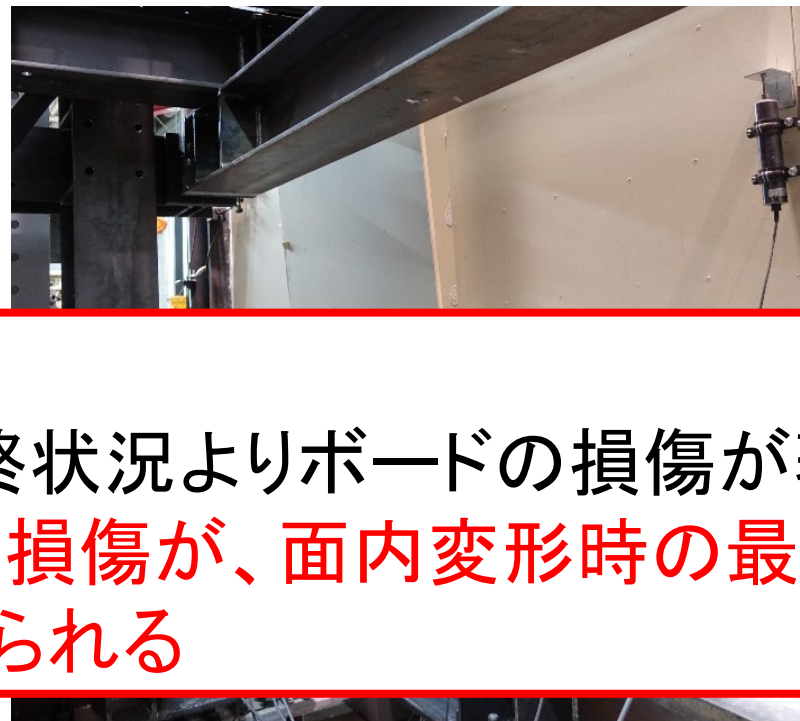


(f) ボードの著しい剥がれ

実験結果：試験体No.2（慣性力→面内変形）



(e) ボードの剥がれ



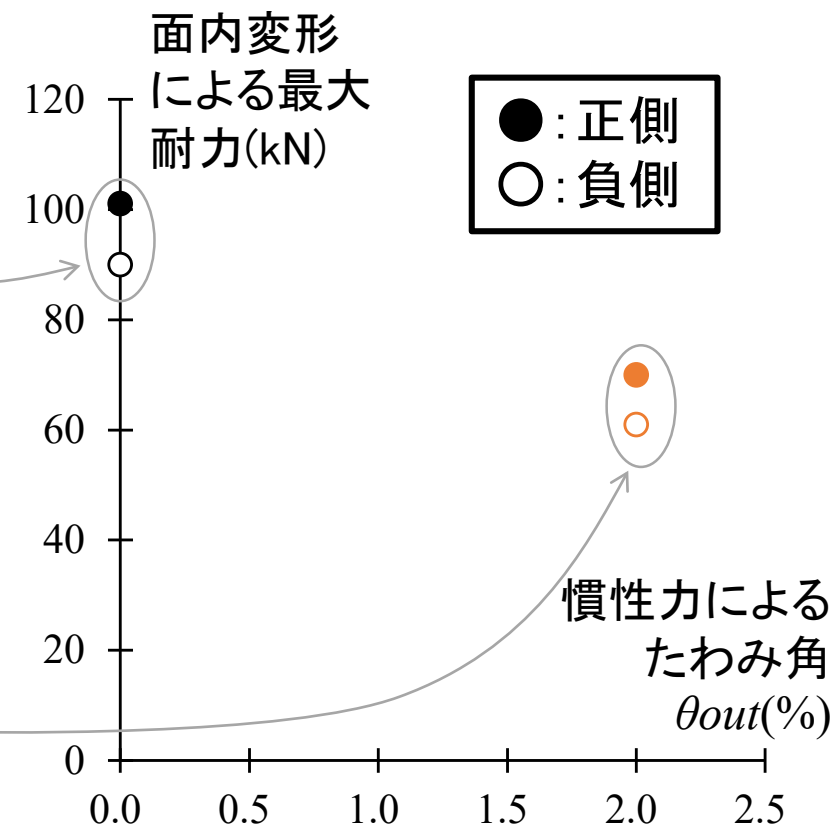
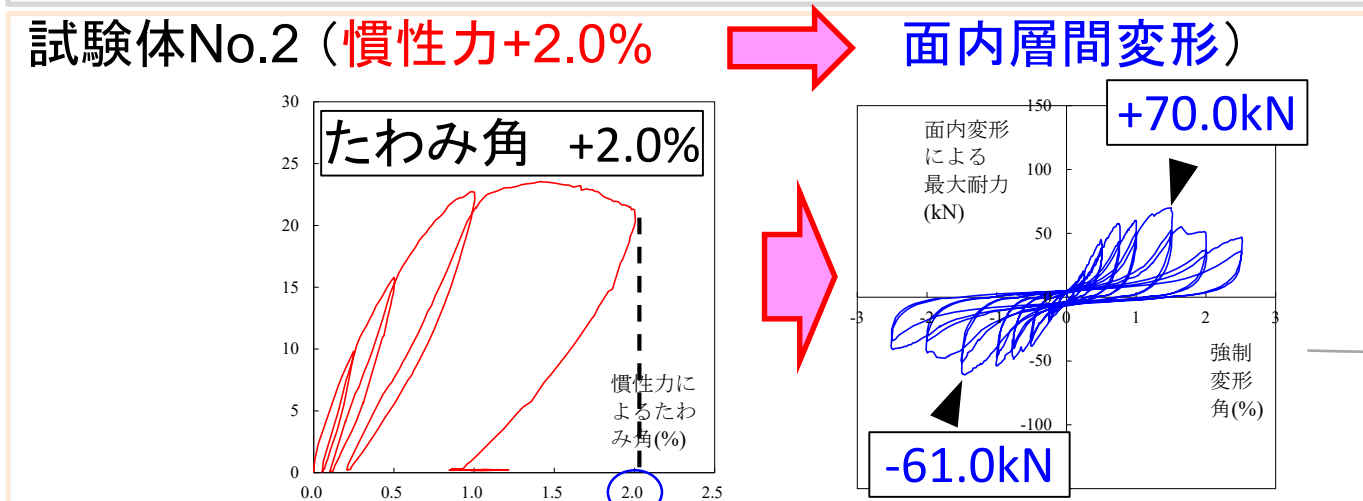
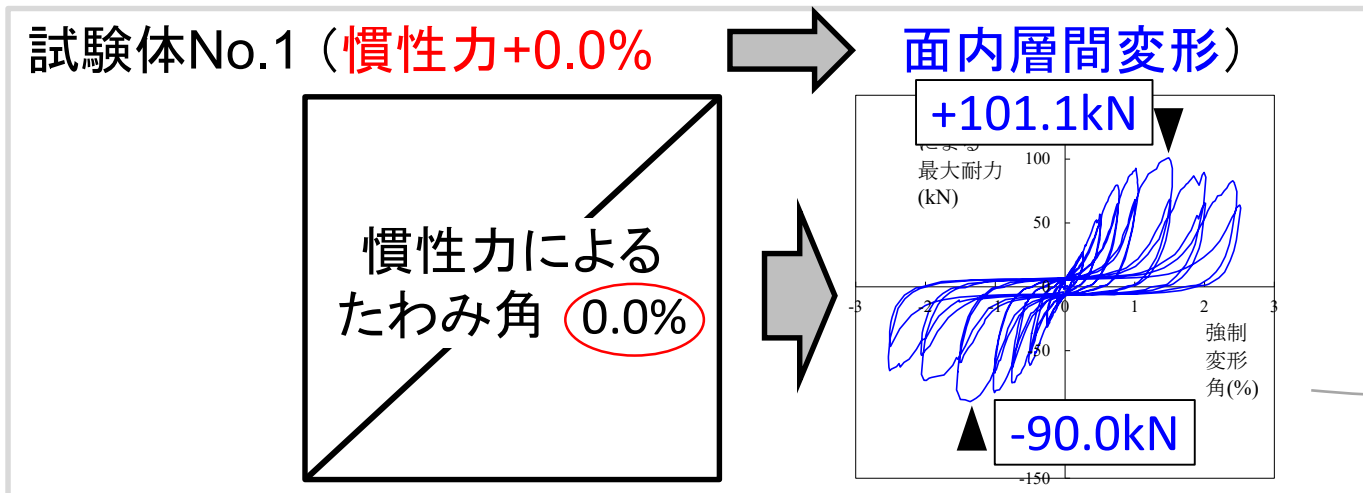
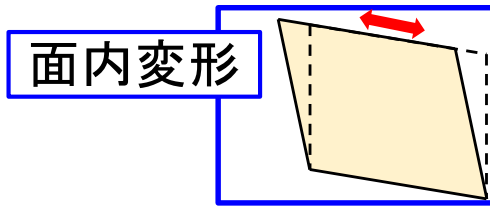
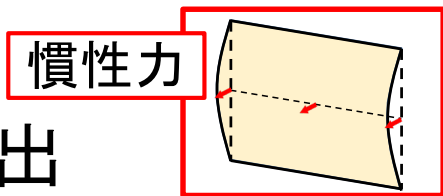
(f) ボードの脱落



(f) ボードの著しい剥がれ

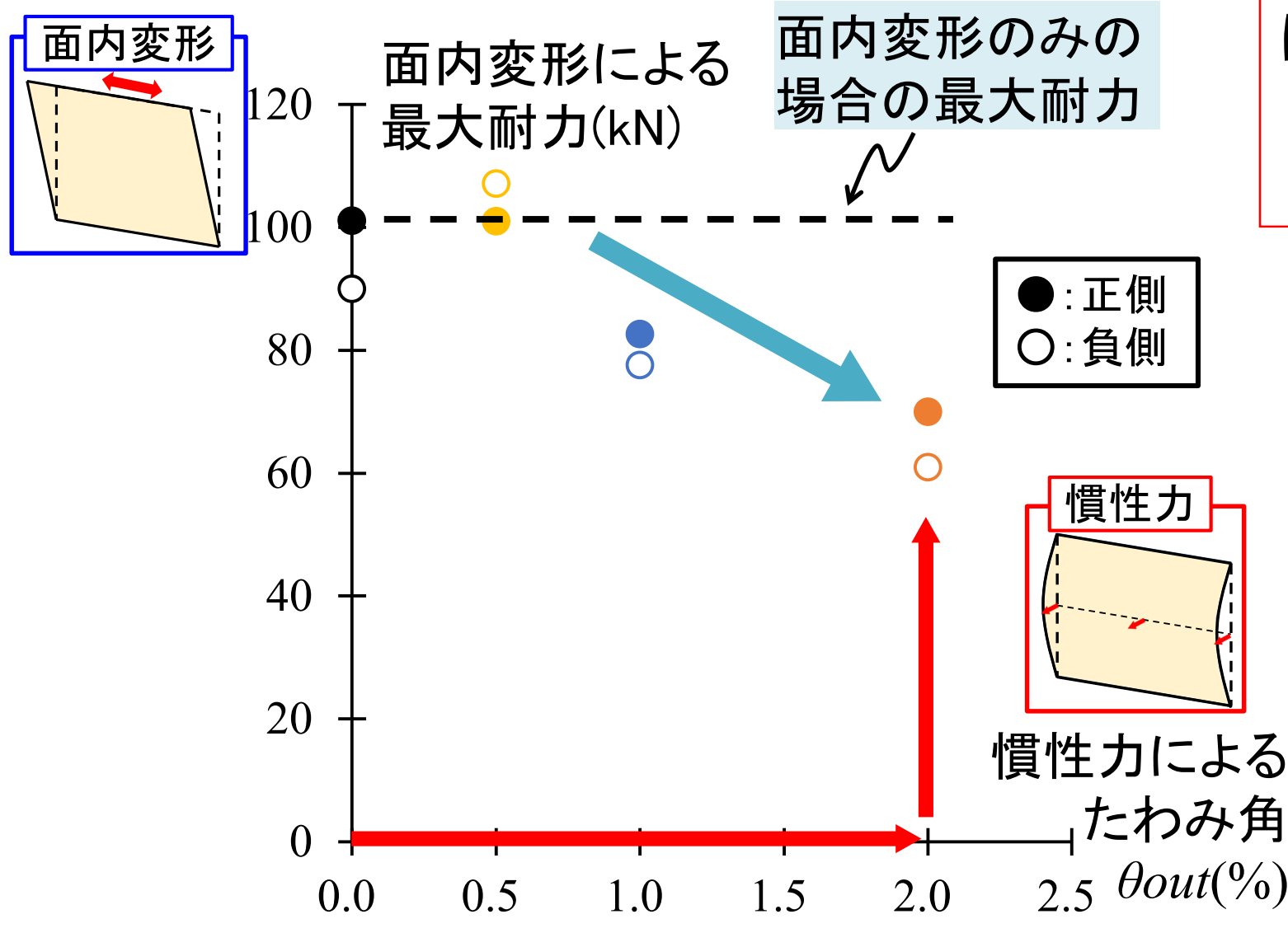
No.2は最終的に脱落
 →逆順 (No.1) 後の最終状況よりボードの損傷が著しい
 →慣性力でのボードの損傷が、面内変形時の最大耐力低下に影響したと考えられる

実験結果： 最大耐力等の抽出



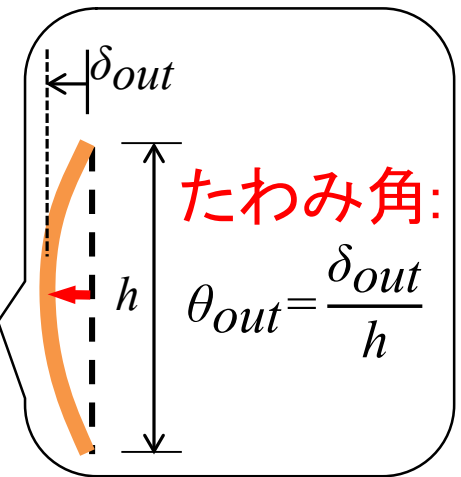
面内荷重 F_{in} -変形角 Δ/H 関係 面外荷重 F_{IF} -たわみ率 δ/h 関係

実験結果：面内変形と慣性力の対応



実際にLGS壁を同一の試験体に「慣性力→面内変形」の順番で加えたときの最大耐力は、**たわみ角が大きいほど低下**

面内変形と慣性力の「独立な検討」で十分か？



目次

I はじめに

II 非構造部材の耐震性確保等へのニーズと取組みについて

III 建築研究所での非構造部材の耐震性に関する研究

1) LGS壁

a. 面内変形と面外慣性力の同時作用に着目したLGS壁の静的実験

b. 鉄骨骨組に支持されたLGS壁の地震時応答性状に関する動の実験

2) 天井(勾配変化部を有する天井の実験)

IV 非構造部材に対する今後の展開

1) LGS壁の課題

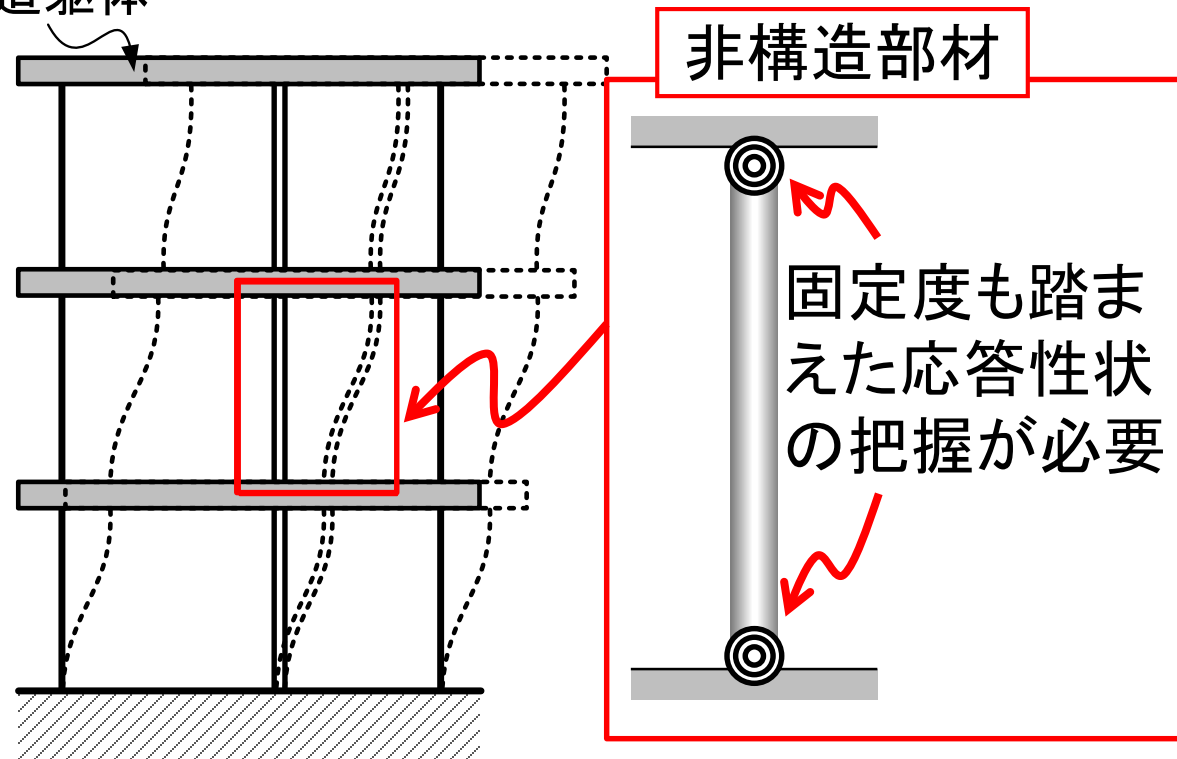
2) 天井の課題

3) 非構造部材全体の課題

V おわりに

Ⅲ 1) b. 鉄骨骨組に支持されたLGS壁の地震時応答性状に関する動の実験

構造躯体



非構造部材

固定度も踏まえた応答性状の把握が必要

非構造部材が構造躯体の影響を受けながら地震時にどのように挙動するか

上下の床に支持

→ 多点入力問題として解析的に解ける？

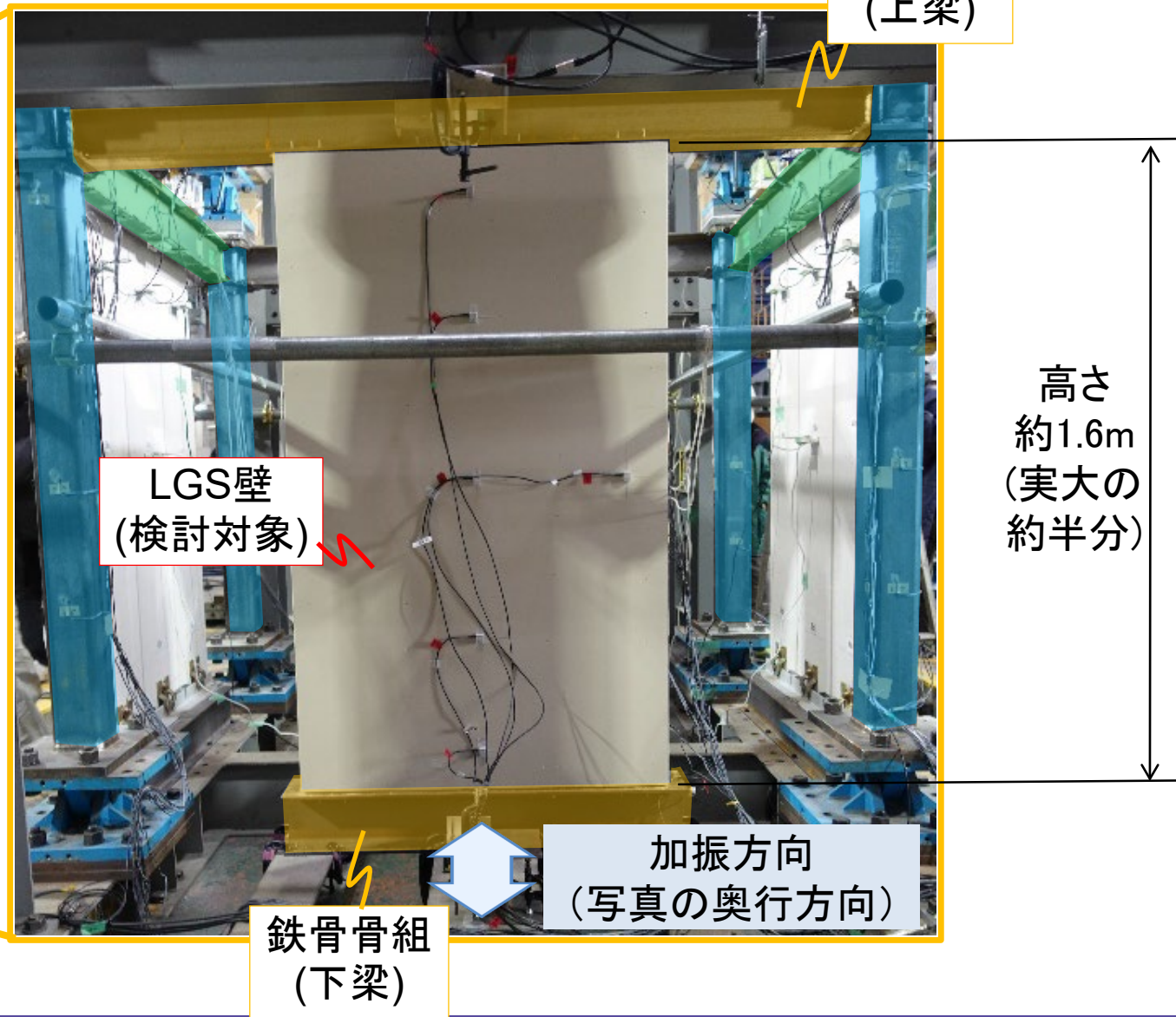
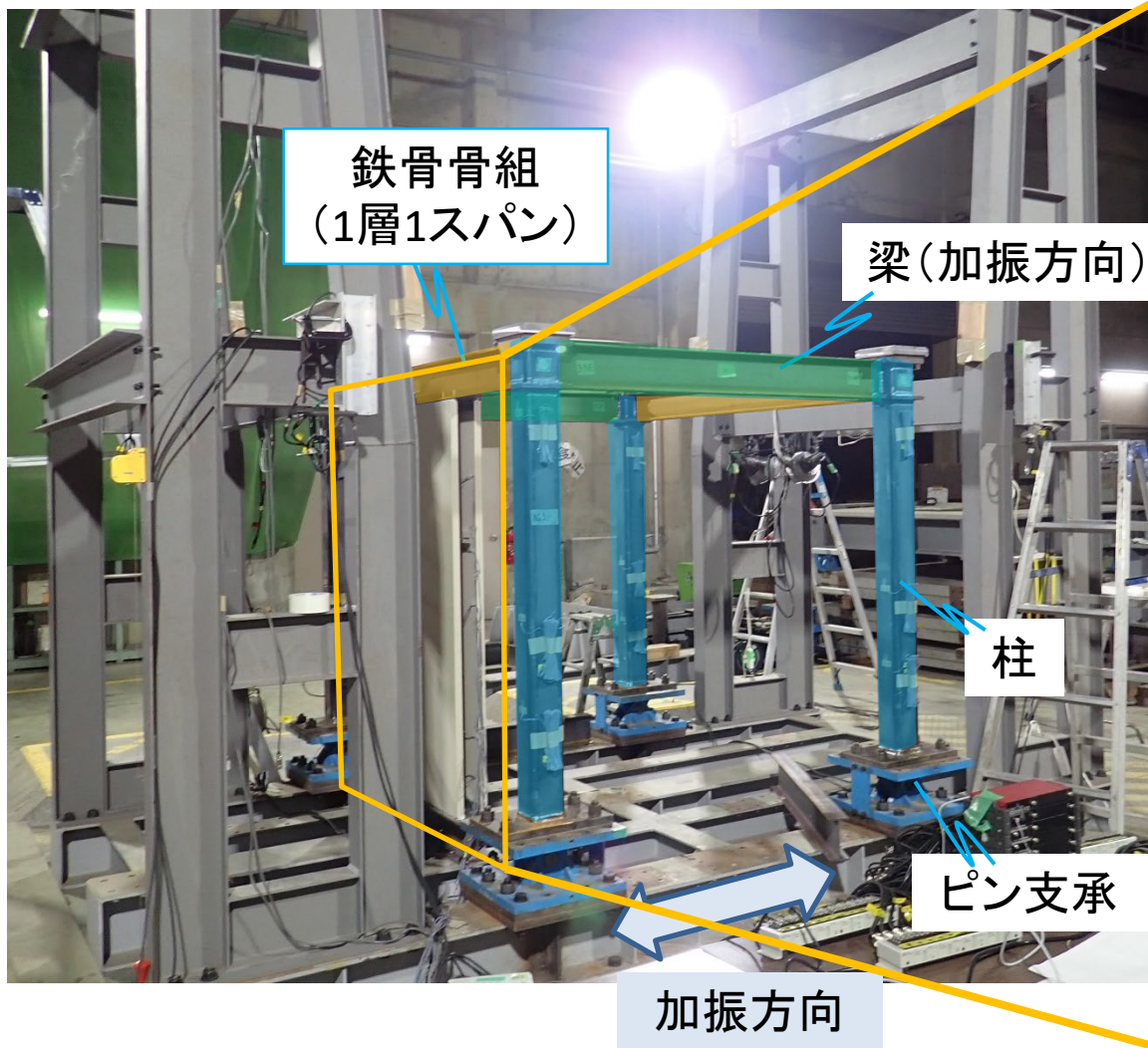
* ピン支持や固定支持を想定したモード解析による方法は石原ら(2020)が提案

LGS壁固有の接合状態等を踏まえた応答性状は、実験で把握する必要がある

一例として、鉄骨骨組に設置されるLGS壁の応答性状を確認する動の実験を実施

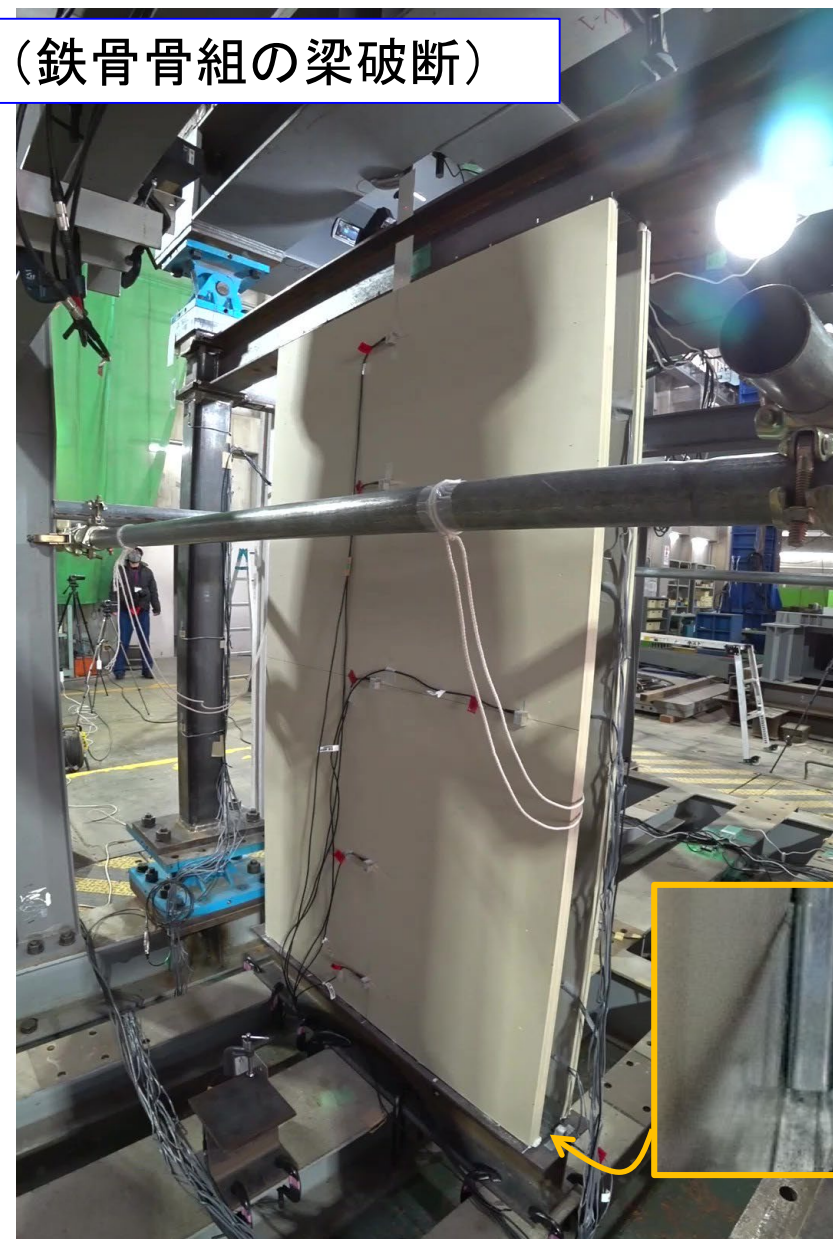
壁が受ける地震時の応答
(面外変形+慣性力)の検討

試験体の構成

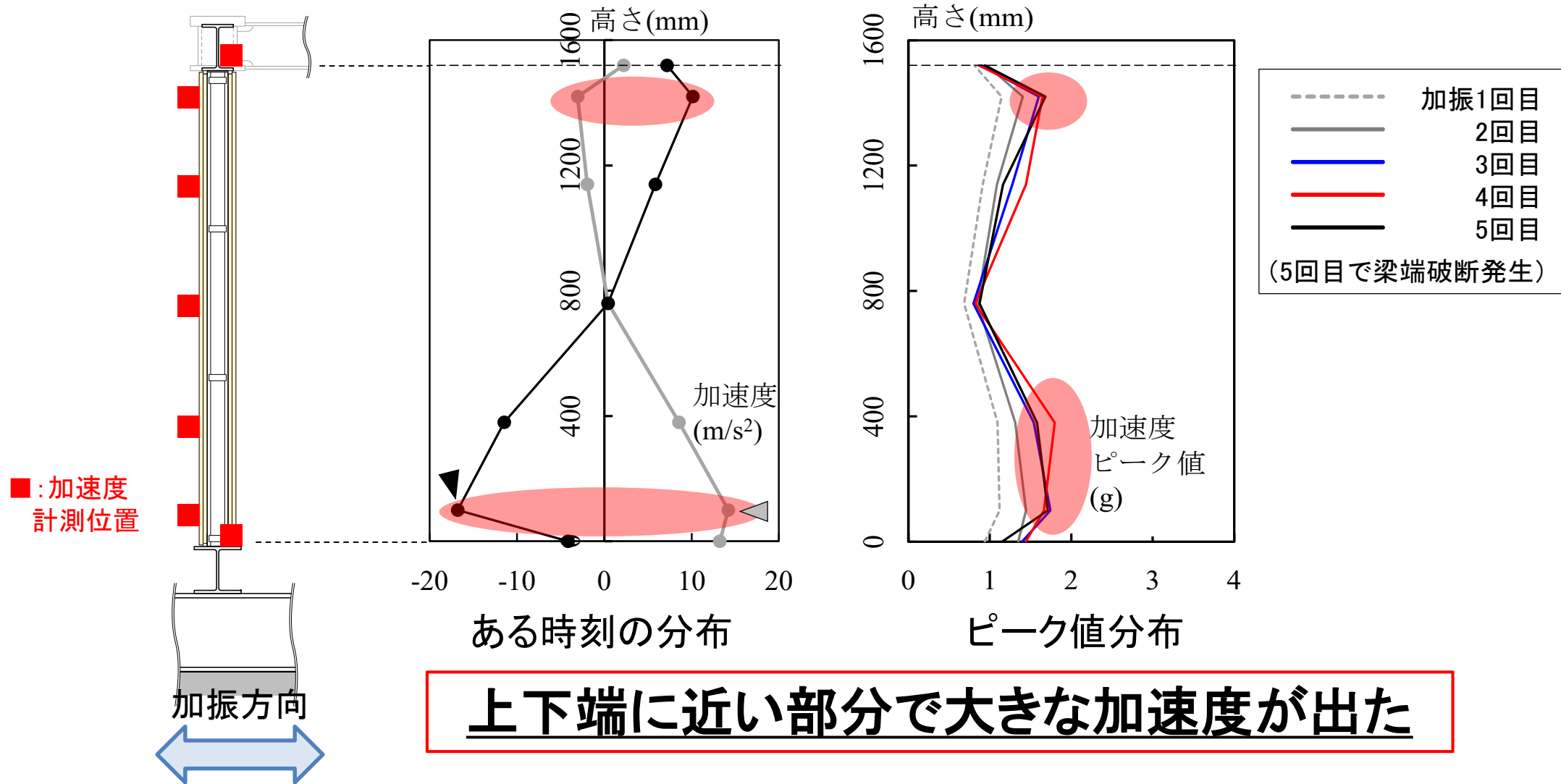


鉄骨骨組とLGS壁の挙動

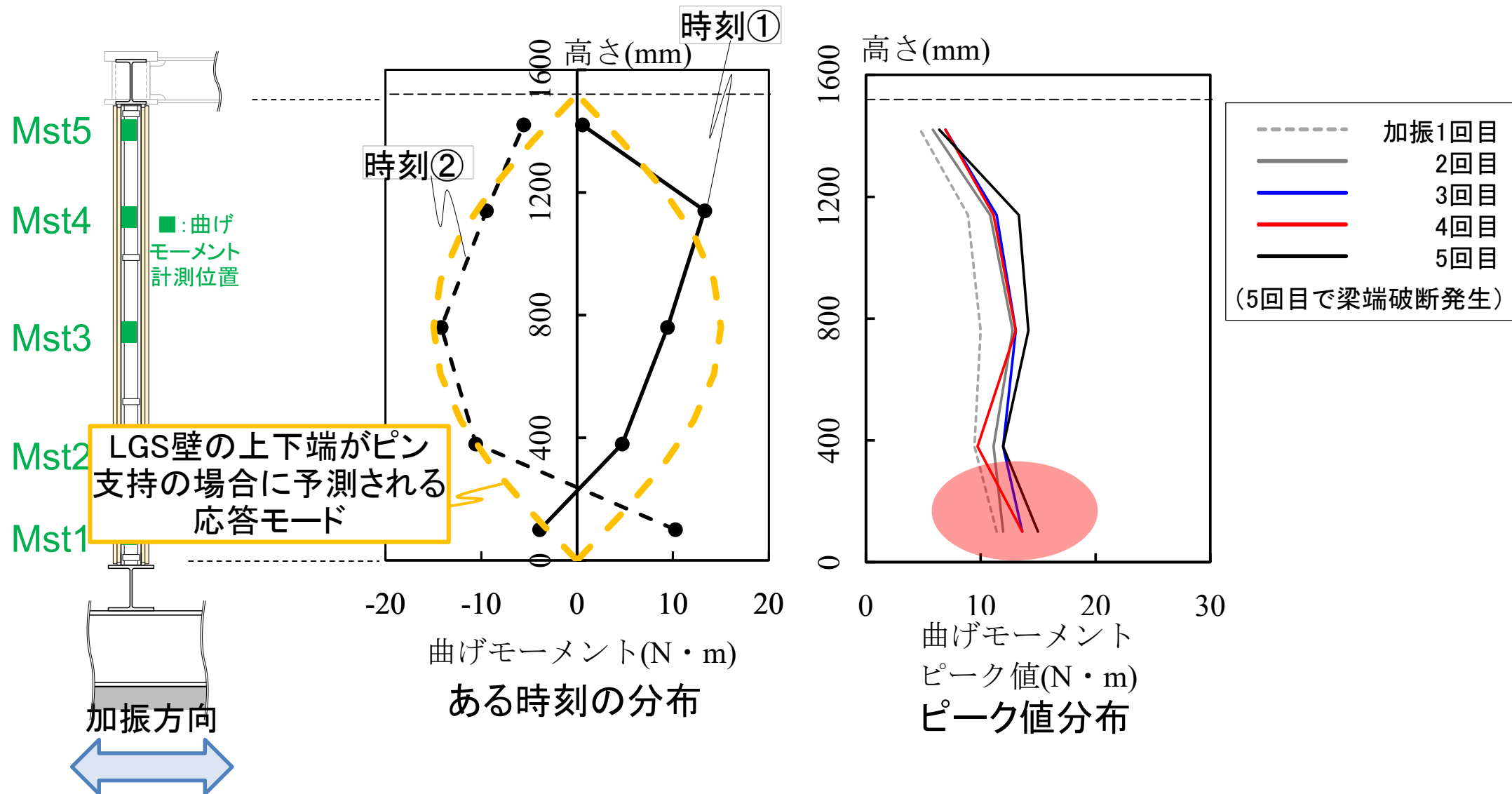
加振5回目(鉄骨骨組の梁破断)



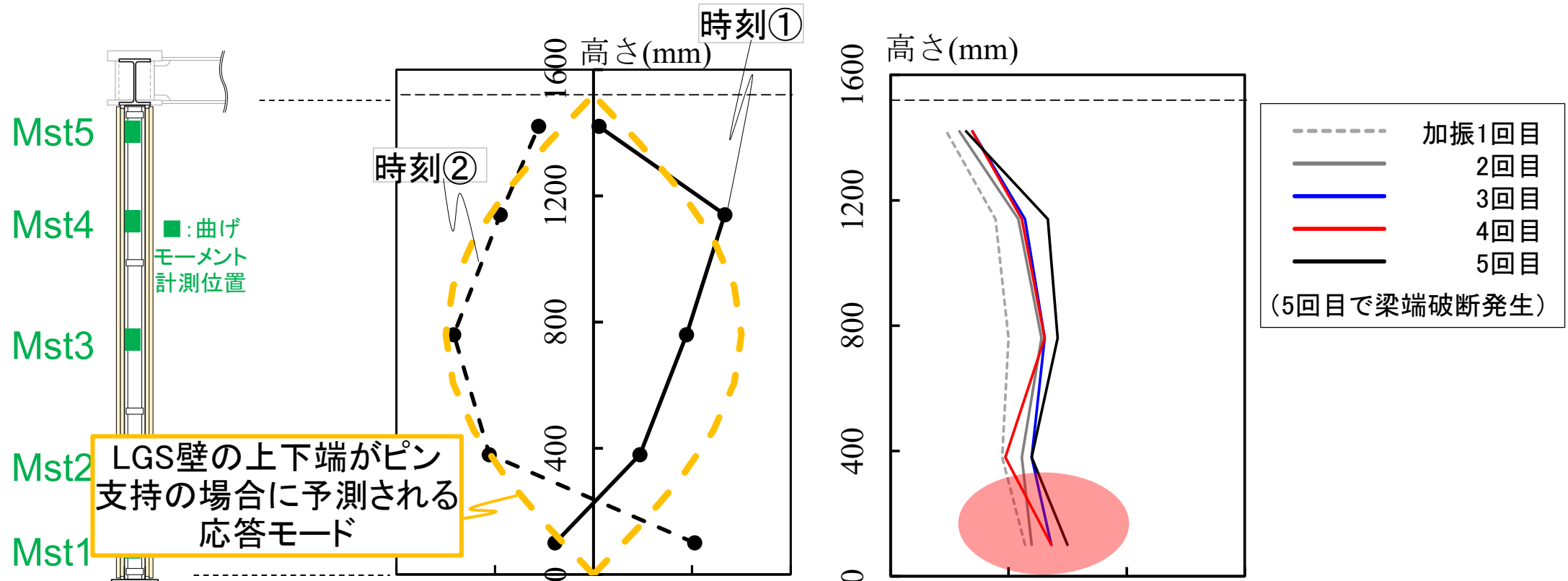
LGS壁の応答(面外加速度応答分布)



LGS壁の応答(スタッドの曲げモーメント分布)



LGS壁の応答(スタッドの曲げモーメント分布)



下端に近い部分で曲げモーメントが大きくなっている
→ 既往文献で確認されたピン-ピンの支持条件とは、
分布の傾向が若干異なっていた。

目次

I はじめに

II 非構造部材の耐震性確保等へのニーズと取組みについて

III 建築研究所での非構造部材の耐震性に関する研究

1) LGS壁

a. 面内変形と面外慣性力の同時作用に着目したLGS壁の静的実験

b. 鉄骨骨組に支持されたLGS壁の地震時応答性状に関する動的实验

2) 天井(勾配変化部を有する天井の実験)

IV 非構造部材に対する今後の展開

1) LGS壁の課題

2) 天井の課題

3) 非構造部材全体の課題

V おわりに

Ⅲ 2) 天井(勾配変化部を有する天井の実験)

(特定)天井の耐震化方法:「建築物における天井脱落対策に係る技術基準の解説」(2013)

- ・有害な応力集中が生ずるおそれのある部分を設けないこと
...段差部で**分離**する仕様が例示されている
- ・天井面が十分な面内剛性を有し、一体的に挙動することが前提 (※平らな場合は面内剛性を有する)

山下、石原ほか(2017)の段差部を有する天井の検討:
:それぞれの天井の耐震性を確保すれば、段差部で一体化しても耐震性は一定程度確保される

↓

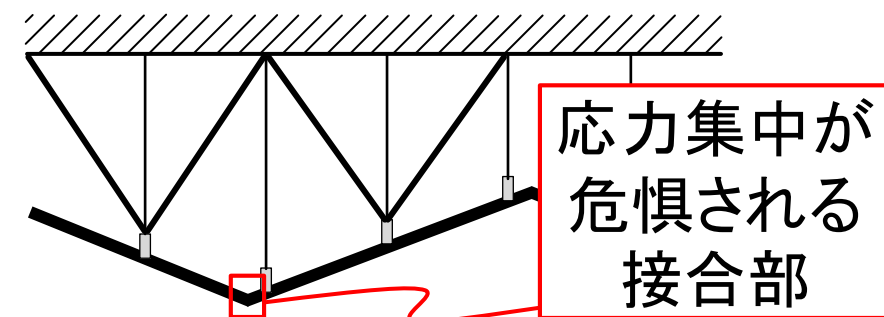
段差部の一般的な考え方として、複数の勾配からなる天井の勾配変化部

- ・勾配変化部の曲げ実験
- ・勾配変化部を有する天井の耐力等に関する実験



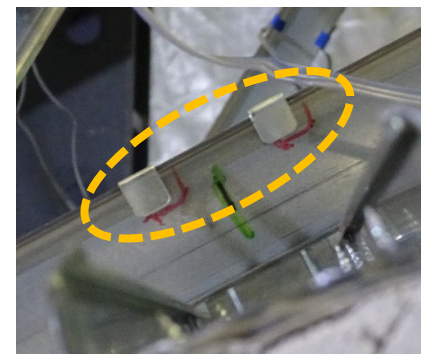
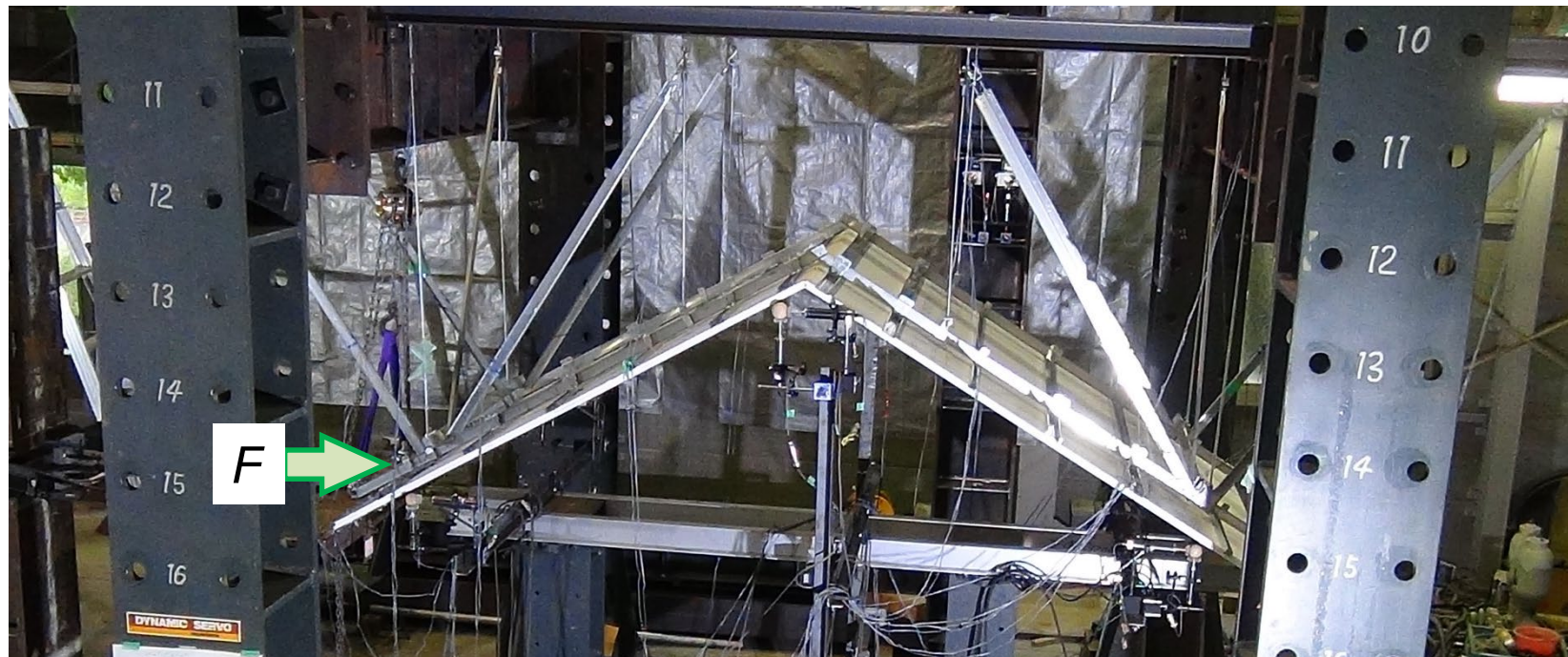
複数の勾配から成る天井の地震被害の例

平成 28 年(2016 年)熊本地震による建築物等被害第十一次調査報告 (<https://www.kenken.go.jp/japanese/contents/topics/2016/11-kumamoto.pdf>) より



Ⅲ 2) 天井 (勾配変化部を有する天井の実験)

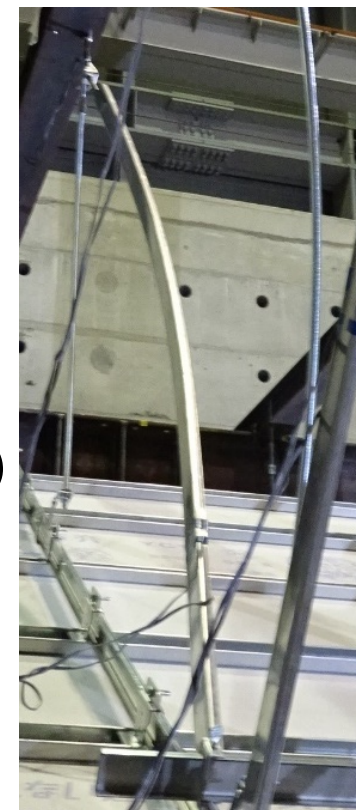
勾配変化部を有する天井の耐力等に関する実験



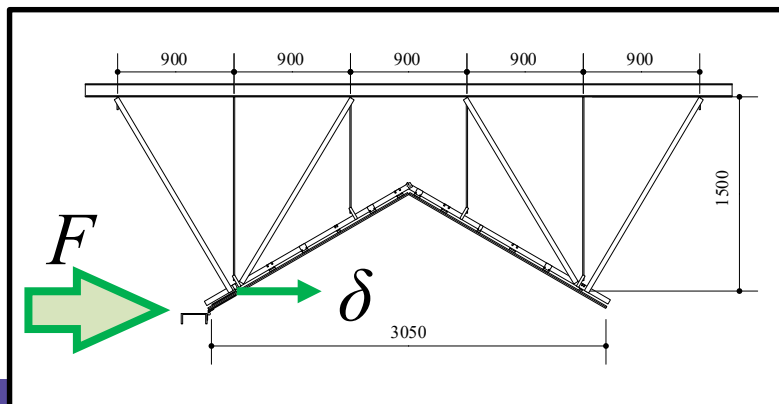
クリップのずれ
(赤線が初期位置)



単調載荷終了時
ボードの持ち上がり

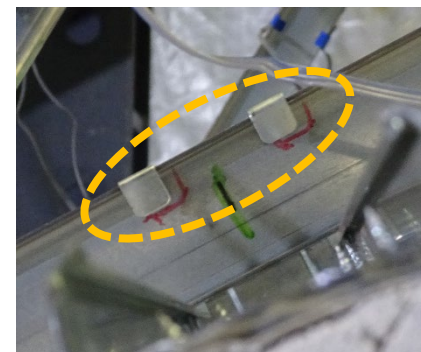
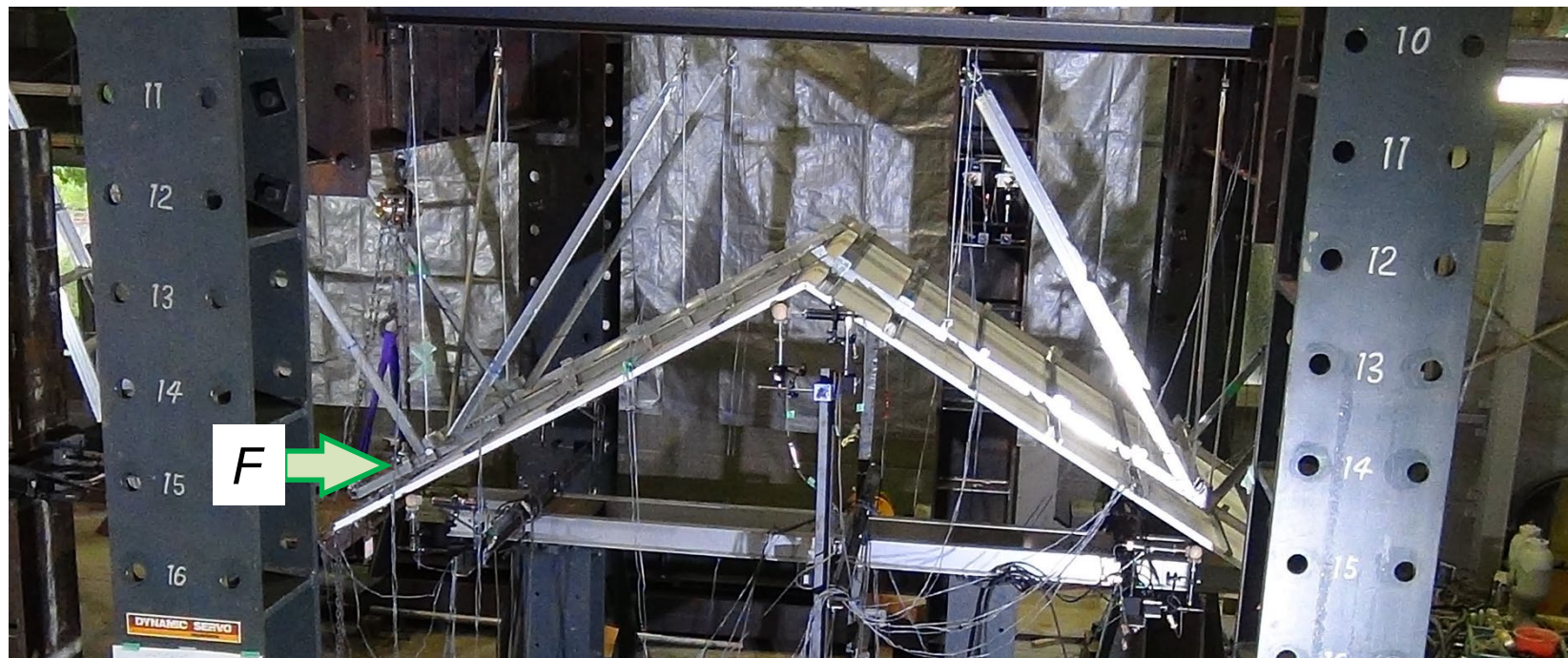


ブレースの
屈曲

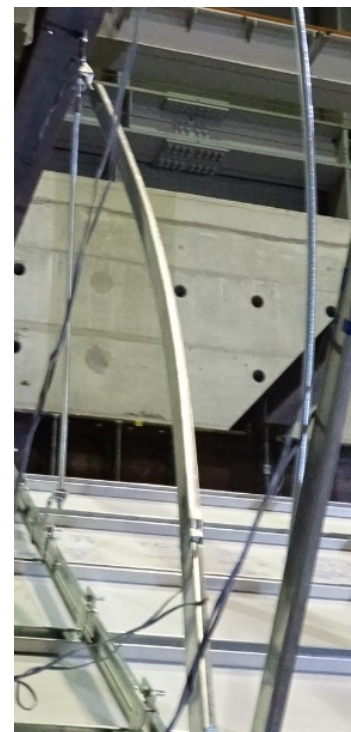


Ⅲ 2) 天井 (勾配変化部を有する天井の実験)

勾配変化部を有する天井の耐力等に関する実験



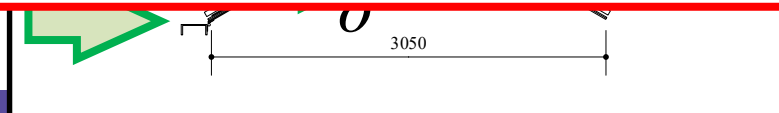
クリップのずれ
(赤線が初期位置)



- ・各接合部の接合状態が十分確保されれば、複数の勾配から成る場合でも耐震性の向上にはなりうる。
- ・天井面の持ち上がりの発生→ハンガー等への強制変形等が見られた。

の

ボードの持ち上がり



目次

I はじめに

II 非構造部材の耐震性確保等へのニーズと取組みについて

III 建築研究所での非構造部材の耐震性に関する研究

1) LGS壁

a. 面内変形と面外慣性力の同時作用に着目したLGS壁の静的実験

b. 鉄骨骨組に支持されたLGS壁の地震時応答性状に関する動的实验

2) 天井(勾配変化部を有する天井の実験)

IV 非構造部材に対する今後の展開

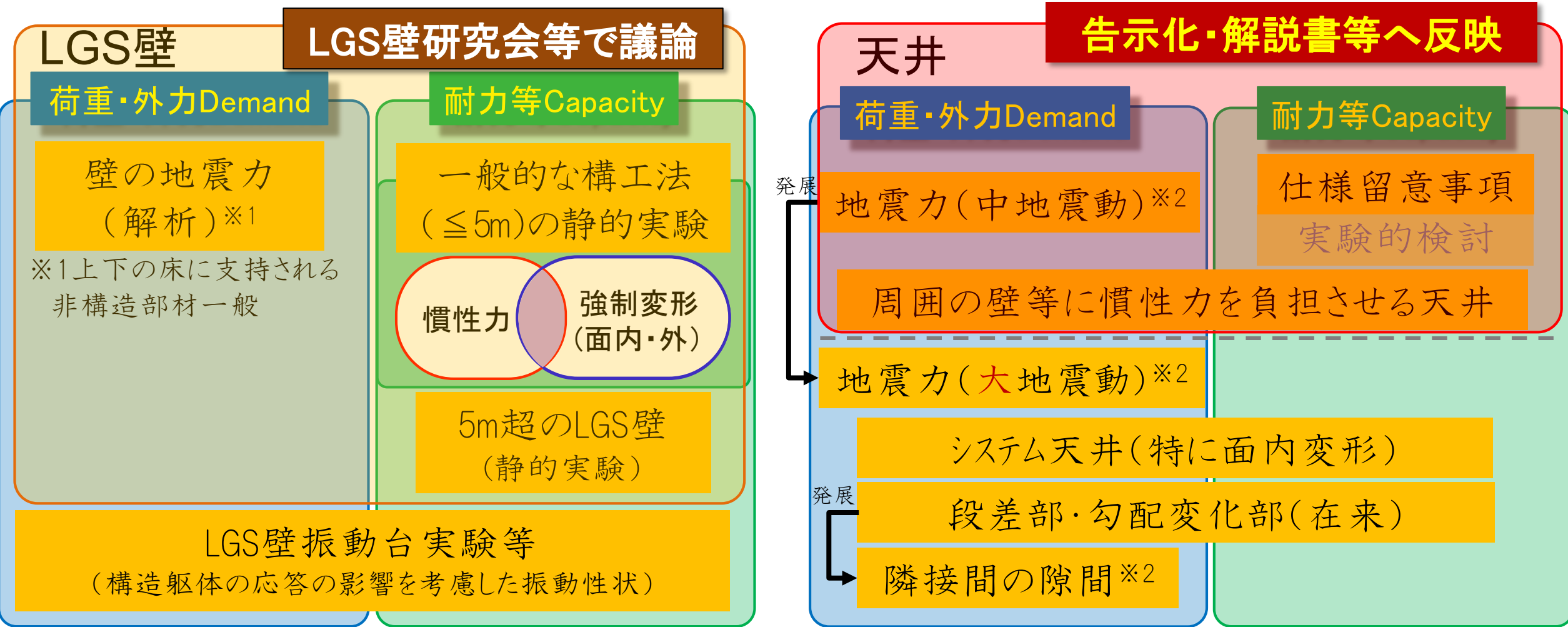
1) LGS壁の課題

2) 天井の課題

3) 非構造部材全体の課題

V おわりに

IV 非構造部材に対する今後の展開



※2天井に限定されない一般的な事項

IV 非構造部材に対する今後の展開

1) LGS壁

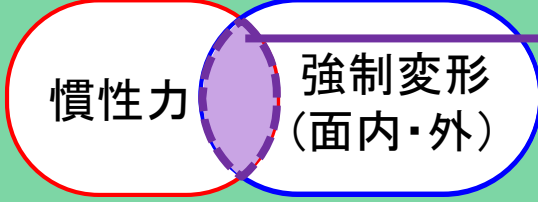
荷重・外力Demand

壁の地震力
(解析)※1

※1上下の床に支持される
非構造部材一般

耐力等Capacity

一般的な構工法
($\leq 5m$)の静的実験



5m超のLGS壁
(静的実験)

LGS壁振動台実験等

(構造躯体の応答の影響を考慮した振動性状)

LGS壁の耐震性について、外力等(慣性力や強制変形)の組み合わせによる影響に関する検討の一例を示した。

「独立の検討」は、必ずしも実際に生じる状態を予測して検討できているわけではない

【今後の展開】

- ・この他の外力等の組み合わせについて検討
→性能に応じた補強方法等について検討することが可能になると考えている
 - ・構造躯体に直接支持された状態に関する検討の
 - ・実際の形状等(開口部、出隅、入隅、等)
 - ・はね出し材を介する場合
- 等への展開

IV 非構造部材に対する今後の展開

1) LGS壁

荷重・外力Demand

壁の地震力
(解析)^{※1}

※1上下の床に支持される
非構造部材一般

耐力等Capacity

一般的な構工法
($\leq 5m$)の静的実験

慣性力 強制変形
(面内・外)

5m超のLGS壁
(静的実験)

LGS壁振動台実験等

(構造躯体の応答の影響を考慮した振動性状)

【今後の展開】

壁の地震力に関する解析的検討と実験の
対応関係を整理する

→ 動的実験の補完的な検討

高さをパラメータとした検討

への展開が可能になると考えている

IV 非構造部材に対する今後の展開

告示化・解説書等へ反映

2) 天井

荷重・外力Demand

耐力等Capacity

地震力(中地震動)※2

仕様留意事項
実験的検討

周囲の壁等に慣性力を負担させる天井

地震力(大地震動)※2

システム天井(特に面内変形)

段差部・勾配変化部(在来)

隣接間の隙間※2

- ・特定天井の告示制定等
- ・各社の技術開発の提案
- 耐震性の底上げがなされつつある

【今後の展開】

- ・告示制定以降の新たな知見も踏まえて、現行告示の合理化等が可能な部分に関する議論



平らな天井では想定し得なかった挙動が誘発されるおそれがあることも踏まえて、注意深く議論していく必要がある

※2 天井に限定されない一般的な事項

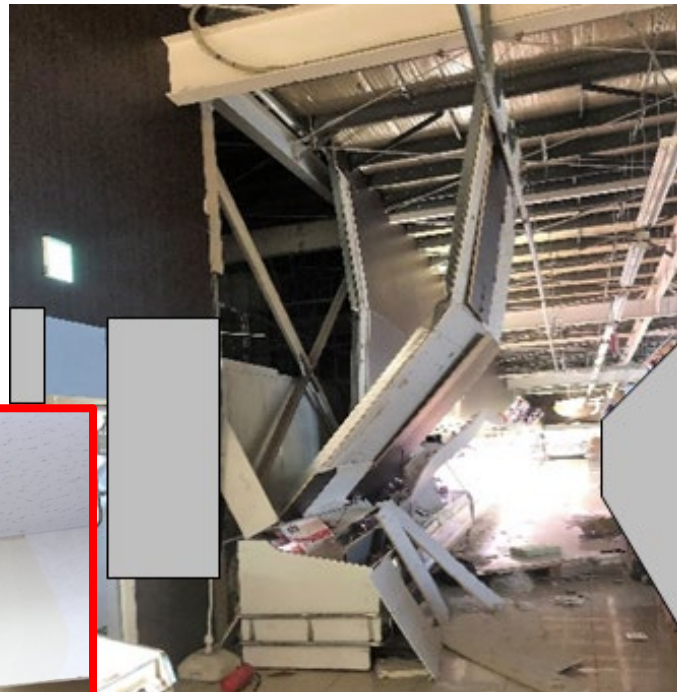
3) 非構造部材全般の課題 風水害による建築物への被害等を踏まえた展開



屋外に面する建具の被害

国土交通省国土技術政策総合研究所、ほか「平成30年台風21号に伴う強風による建築物等被害現地調査報告(速報)」

(<http://www.kenken.go.jp/japanese/contents/topics/2018/typhoone21.pdf>)より



店舗南西側の間仕切



店舗の軒天井の損傷

被害の実態やニーズも踏まえ、耐震性のみならず耐風圧性の観点も含めた検討が必要になってくると思われる。

3) 非構造部材全般の課題

大規模な災害(大地震等)の発生



非構造部材の耐震性等の確保



大規模な災害の発生後も機能継続
が可能となる

構造安全性以外の要求性能に関する
評価軸も踏まえながら整理する必要がある

人々の生活、
経済活動、
行政機能、
等...

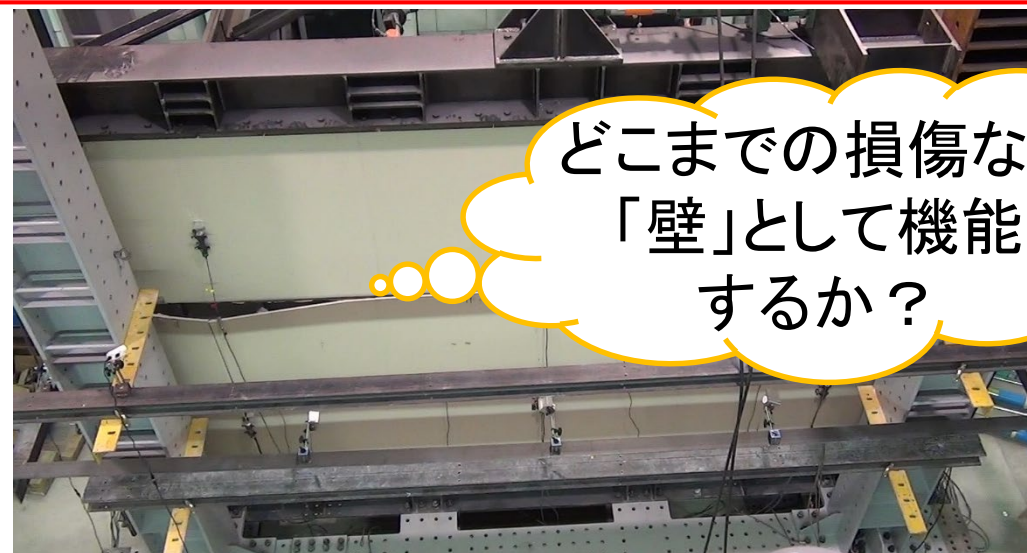


これらを実現するために
建築物の各部分に要請
される多様な”機能”
(例えば...断熱、音、遮光、等)



求められる“機能”に応じた選択肢が必要となる

非構造部材の損傷は、単に耐震性を損なうのみならず、本来的な性能の損失にもつながる可能性



どこまでの損傷なら
「壁」として機能
するか？

目次

I はじめに

II 非構造部材の耐震性確保等へのニーズと取組みについて

III 建築研究所での非構造部材の耐震性に関する研究

1) LGS壁

a. 面内変形と面外慣性力の同時作用に着目したLGS壁の静的実験

b. 鉄骨骨組に支持されたLGS壁の地震時応答性状に関する動的实验

2) 天井(勾配変化部を有する天井の実験)

IV 非構造部材に対する今後の展開

1) LGS壁の課題

2) 天井の課題

3) 非構造部材全体の課題

V おわりに

V おわりに

非構造部材の種類・工法等は多種多様であり、それらの各々で配慮すべきことが異なる。

そのため、一朝一夕の解決は難しいが、更に検討を重ねて、社会全体の安全・安心の向上に資するように、これからも取り組んでいきたい。

ご清聴ありがとうございました。