

非構造部材の構造安全性確保

— 間仕切壁や昇降機を対象として —

国立研究開発法人 建築研究所建築生産研究グループ主任研究員 沖 佑典

1. はじめに

(1) 背景

安全・快適に住まい、または事業を営むために、建物を構成する「非構造部材」と呼ばれる部材が所定の機能を担うこととなる。非構造部材は、建物自体が受ける外力を負担する部分（構造躯体）と区別されており、内外壁や天井などが該当するほか、建築設備やそれらの支持部分も含まれる場合がある。構造躯体において荷重・外力に対する構造安全性の検討を要することと同様に、非構造部材においては、それ自体が安定的に自立するまたは構造躯体に支持されるために、想定される外力に対し、非構造部材や支持部材の強度や変形追従性によって対応できるかといった“構造的な”検討が必要不可欠である。

一方で、2016年に発生した熊本地震において、構造躯体に倒壊・崩壊等に至る被害がなくても、非構造部材の損傷¹⁾等により、被災時に機能の継続が期待される防災拠点や避難所等において、当該機能の継続が阻害される事例が見られた。このような事例を教訓として、地震後における建物の機能継続もBCP（業務継続計画）等において重要な観点と捉えられ、国土交通省から『防災拠点等となる建築物に係る機能継続ガイドライン』²⁾が発

出されたほか、官庁施設が有すべき基本的な性能として非構造部材の耐震に関わる項目の明確化³⁾などの動きも追隨した。また、重要拠点等建物の設計・計画に資する留意事項等資料の整備も進められつつある⁴⁾ほか、後述するLGS壁においては、建築研究開発コンソーシアムの研究会を通じた耐震性能把握等に関する検討・意見交換等が行われている。

(2) 研究の目的と検討対象

上記のように非構造部材の耐震性確保は喫緊の課題であるが、構造躯体に比べて耐震設計の枠組が未整備の部分が多い。また、構造安全性の評価等に資するだけの損傷メカニズムの知見等が整理されているとは言えない。本稿では、非構造部材の構造安全性を把握することを目的に、「LGS壁（図-1（a））」および「エレベーター（図-1（b））」を取り上げ、研究事例を紹介するとともに、最近の地震被害により確認された課題について概説する。

ここで、LGS壁とは、軽量鉄骨下地（LGS）とせっこうボード等で壁面を構成する間仕切壁を指す。空間を仕切る目的のほか、防耐火や遮音等の性能が期待される場合もある。エレベーターは建物の上下階の移動に用いられるものであり、建築基準法の「建築設備」に該当する。この2つ

の非構造部材は使用目的、構工法とも異なるが、いずれも多数の部材・部品により構成され建物に支持されており、地震時等の外力に対する応力伝達メカニズムが複雑であると想定される。また、近年の大規模な地震において多くの被害が覚知されている。また、建物の上下床または階をまたいで多点で支持されるため、非構造部材自体の慣性力のみならず層間変形角による強制変形的作用が想定されるという共通点もある。

2. LGS壁の構造安全性

(1) 面内変形と面外力を受けるLGS壁の実験^{5~7)}

LGS壁に生じる応力として想定される慣性力相当の面外力（以下「面外力」という。）と躯体の層間変形に起因する強制変形（以下「面内変形」という。）のそれぞれに対する耐力や損傷メカニズムの実験的知見は多く存在する。一方で、地震時にはさまざまな方向からの外力が生じ、脱落した被害からはどのような原因かが明確でなかったこともあり、両者が同時に加わる場合の力学挙動に関する知見がほとんど存在しなかった。そこで、実験的に面内と面外の力がLGS壁に生じるような、より地震動による実際の応力状態に近い状況を模擬し、力学挙動を静的載荷実験の範囲で確認している（図-2）。

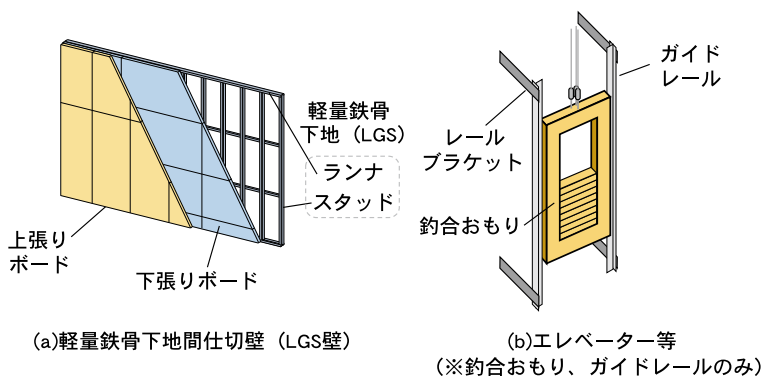


図-1 本稿で対象とする非構造部材

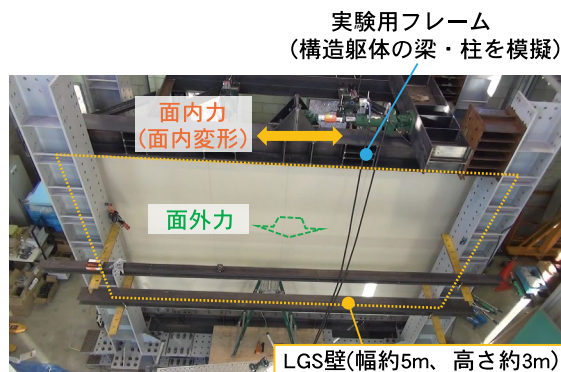


図-2 LGS壁試験体および載荷実験用フレーム

実験では、高さ3m、幅5mのLGS壁を試験体としている。構造躯体を模擬する実験装置（鉄骨ピンフレーム）の上下の梁に直接支持され、左右の端部は柱に隣接するものとする。スタッドと呼ばれるLGSの部材は、上下の床にボルト留めされたLGS（ランナ）に緊結されず、スライド可能な機構である。

LGS壁に面外力を作用させながら、同時に面内変形を与える载荷を実施する（実験の様子は図-3）。最終的にボードが剥離し、面外力を維持することが不可となった。このような損傷でもLGS壁が自立できなくなる状況は、面内・面外どちらかの载荷によるこれまでの実験研究では確認されなかったことから、同時に加わるにより異なる力学挙動が生じるおそれがあることが示唆される。

LGS壁に与える面外力（面外たわみ）の程度を変えて同様に試験すると、面外たわみが小さい場合はボード隅角部のつぶれにとどまり、面外たわみが大きい場合、損傷はボードの面外変形や剥離まで発生していた。このことから、最終的な損傷が隅角部のつぶれまでであれば構造安全上許容されると仮定し、その兆候となる損傷（ここでは、図-4に示す目地部での水平ズレの急増）に着目し、このときの面内力（層間変形角）について整理する。損傷の兆候が見られた時の層間変形角と生じていた面外たわみ角について整理した一例を図-5に示している。プロットの種類は損傷の種類を表している。詳細な説明は割愛するが、破線の左側まで（0.16%以内）の面外たわみ角では実験装置の限界である面内2.5%の層間変形角までボード隅のつぶれに留まっている一方で、破線を超える面外たわみ角では最終的にボードの面外への損傷が生じる。このような分析を踏まえ、面外たわみ角が抑制されることで、LGS壁が面内・面外の挙動が同時に生じたと

しても、隅角部のつぶれに留めることが可能となる条件が明らかとなってきた。

（2）能登半島地震における地震被害から見た課題

2024年に能登半島地震が発生し、非構造部材の被害が多く見られた。国土技術政策総合研究所・（国研）建築研究所では、非構造部材の建物被害があったとの情報を受けて現地にて内観・外観調査を行った非構造部材の被害について分析している⁸⁾。非構造部材のうちLGS壁の被害の中には、前節の実験で得られているようなボードの損傷・脱落、スタッドの変形（図-6（a））も見られているが、この他に、天井や扉などの取合い部を有する壁における天井面高さでのスタッドの損傷、支

持部分からの脱落に伴う壁全体の転倒（図-6（b））が確認された。現時点で得られた実験の結果は、LGS壁が構造躯体に直接的に支持された（理想的な）条件を模擬したものであり、得られている耐力等の結果も“理想的”な支持条件下のものであるが、現地調査で見られた壁の被害の一部は、必ずしも理想的な支持条件とはなっていないとみられるものであった。これらの支持方法は構造安全性の面では避けるべきであると考えられるが、現実的にはやむを得ず採用する場合もあると推察される。このような現実的な支持条件等を考慮しつつ、被害の起点にならないよう、耐震性にも配慮したLGS壁の設計・計画上の留意事項を確認していくことが今後の研究において課題となる。

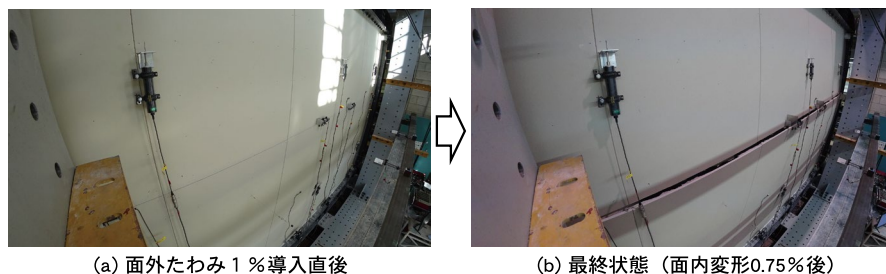


図-3 面内・面外同時载荷実験の様子（面外たわみ1%到達時の面外力を維持して面内载荷）

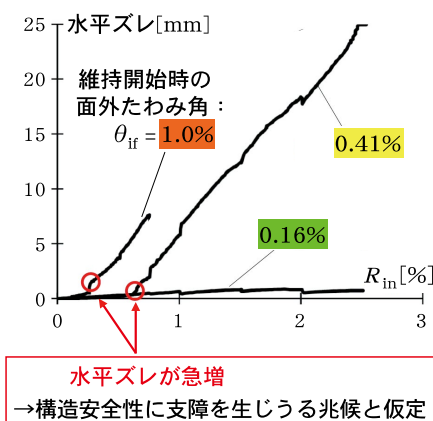


図-4 上張り目地の水平ズレと面内変形の関係

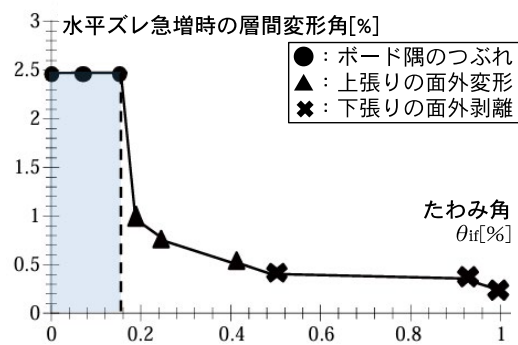


図-5 水平ズレ急増時の層間変形角とたわみ角の関係の例（GB-F12.5mm両面2枚張り）



図-6 能登半島地震（2024年）におけるLGS壁の被害

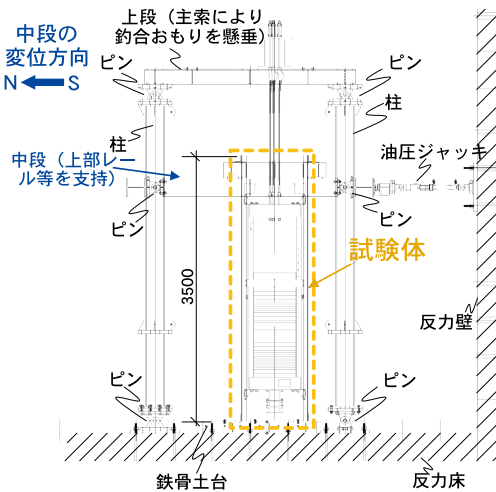
3. エレベーターの構造安全性

(1) 既往の基規準とエレベーターの耐震

昇降機特にエレベーターは、非構造部材の耐震について示されている日本建築学会の指針⁹⁾、建築設備のうち設備機器・配管等の耐震に関する(一助)日本建築センター刊行の指針¹⁰⁾においては対象外とされている一方、「昇降機技術基準の解説¹¹⁾」が建築基準法令の逐条解説書として示されており、その中の「昇降機耐震設計・施工指針」に各部品の強度検証の方法等が示されている。一方で、高層な防災拠点の機能継続やマンションでの生活継続の可否を判断する場合、上下の移動に利用されるエレベーターの継続使用可否が重要性を増しつつある。すなわち、建物を構成する部分としてエレベーターが重要性を増しつつある。

多くのエレベーターに採用されているトラクション式エレベーターは、建物に昇降路が設けられ、昇降路内にて、一端を人の乗るかごに、他端を釣合おりに緊結した主索を昇降路上部にある巻上機にかけ、巻上機の動力によりかごを昇降させる方式である。かごと釣合おりそれぞれの両側には、昇降動作を案内するガイドレール（以下「レール」という。）が設置されている。レールはかご・釣合おりの荷重を基本負担しないが、地震時に生じる水平方向の力に対しては変位を抑制し、かご・釣合おりの慣性力等に起因する力はレール等を介して構造躯体に伝達される。一方で、レールを鉄骨造の構造躯体にレールを支持させるとき、支持部品であるレールブラケット（以下「ブラケット」という。）およびレールクリップは構造躯体の梁等がある各階でのみ設置が可能である。

2016～2021年に発生した中規模以上の地震によるエレベーターの停止事象の発生要因について、令和3年度建築基準整備促進事業（基整促）P14¹²⁾において実施した調査結果より、地震の瞬間に人が乗っていれば閉じ込めとなり得た事例が1203台報告され、このうち、かごまたは釣合おりの脱レールの事例が128台あった。また、上記基整促の検討結果を踏まえつつ、国土技術政策総合研究所の総合技術開発プロジェクトでも、エレベーターの地震後の継続使用性に着目した評価のあり方について検討が行わ



(a) 実験セットアップ (立面)

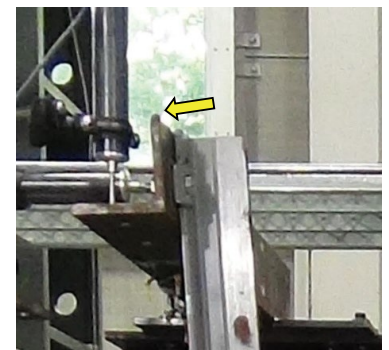


(b) 試験体

図-7 釣合おりおよびレールの実験



(a) レールと中間ストッパーの接触・離間 (前後方向載荷時)



(b) レール・ブラケット接合部の挙動 (左右方向載荷時)

図-8 実験によりみられた釣合おり・レール等の挙動

れているところである¹³⁾。

上記のような各種基準や進行中の検討等があり、エレベーター自体の耐震については昇降機耐震設計・施工指針に解説されているものの、建物（構造躯体）の耐震に関する規定と上記耐震指針が必ずしも連携するようにはなっていない。特に、上下階に貫通するレール等は、かご・釣合おりからの慣性力に起因する水平力に加え、建物の層間変形の影響を受ける可能性がある。建物の層間変形の考慮については建物の高層の場合に限定して検討方法が示されているのみであり、一般的には層間変形の影響が抑制されていることを前提としていると思われる。

そこで、地震後の建物機能の維持にエレベーターも指向するため、それを阻害する閉じ込めの要因のうち「釣合おりの脱レール」に着目し、地震時に建物から受ける層間変形と釣合おりの慣性力等に対するレール等への影響を調査することを目的として、図-1 (b) に示す

部分を対象に解析および実験の両面での検討を試みた。

(2) 釣合おりとレールの層間変形角に対する挙動（1階分）^{14, 15)}

初期段階として、1階床分の釣合おりやレール部分を抽出し、層間変形角による強制変形を与える試験を実施した(図-7)。実験は、釣合おりに対する左右方向・前後方向・45度方向の3方向それぞれに単調に強制変形を与えることとし、釣合おりやレール等の挙動を観察した。

結果として、強制変形が比較的大きい領域までレールを作用させたが、目視で確認できる範囲での損傷や脱落事象は確認されなかった。一方で、試験体の挙動として、レールとブラケットの接合部における回転とみられる挙動、レールから釣合おりが接触・離間する挙動が確認された(図-8)。エレベーターは複数階をまたいで設置されるため、複数階で

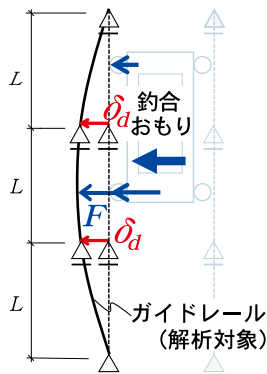


図-9 レールの解析モデル

※「昇降機技術基準の解説」における3スパンモデルを参考に作成。
 F ：錘から受ける水平力。ここでは、 $9800\text{N} \times 0.6$ を水平震度1とする。
 δ_d ：層間変位相当の強制変位。
 $R = \delta_d/L$ ，本例では $L=3500\text{mm}$ とする

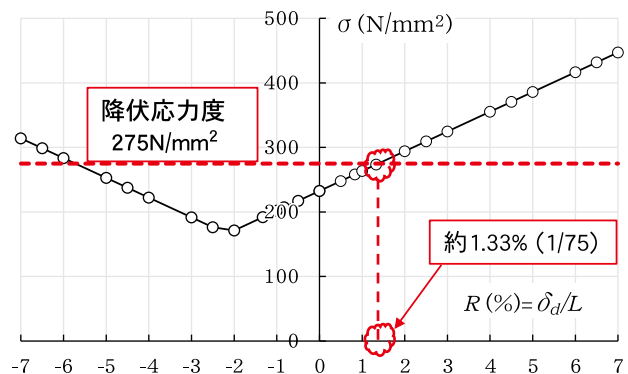


図-10 水平力と層間変形角を受けたレールの解析結果の例

も今回の各部分の挙動が同様に得られるが、今後確認すべき事項として挙げられる。

(3) レールの解析的検討¹⁶⁾

複数階をまたいで設置されるレールが釣合おもりに受ける水平力に加えて層間変形による影響を同時に受ける場合のレールに生じる応力とたわみについて、昇降機耐震設計・施工指針に記載されている3スパンモデルを基に計算を試みる。解析モデルを図-9に示す。

検討の一例として、1トンの釣合おもりに水平震度0.6に相当する水平力を受ける場合の、層間変位（層間変形角）とレールに生じる応力の最大値の関係を図-10に示す。約1.33%を同時に受けると降伏応力度に到達すると推察される。この例より、おもりに受ける水平力についてレールの構造安全性を確保したとしても、建物からの層間変位に起因する強制変形の有無が、許容できるレールの応力度の余力に影響することが推察される。

4. おわりに

本稿では、非構造部材としてLGS壁やエレベーターの要素を対象に、それらの構造安全性確保に向けた基本的な力学挙動や損傷メカニズムの検討について紹介した。

一方で、最近の地震による損傷や故障の原因などが調査・分析されている。これらの調査結果をみると、現状実施している実験や解析検討の結果推測される損傷メカニズムのみでは、未だ地震被害を説明できていない部分が多い。実験検討では、各種非構造部材が本来持つ構造性能について明らかにできつつあると思われるが、今後は、現実により得る支持条件による影響の検討も、非構造部材の機

能継続性について検討するには必要となる。

以上のように、非構造部材を“構造的に”捉えた研究は道半ばであるが、構造安全性の向上に向けて地道に知見が積み上げられつつある。今後も詳細な解明をしていくとともに、現実的な条件を踏まえた知見を集積していくことで、ひいては非構造部材の耐震性の向上とともに、建物の機能継続に寄与するよう、取り組んでいきたい。

謝辞

LGS壁の実験研究は、(一社)日本鉄鋼連盟「鋼構造研究・教育助成事業」の研究分野指定助成課題に関連し、東京科学大学吉敷研究室との共同研究により実施したものである。ここに記して謝意を示す。

【参考文献】

- 1) 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）
<https://www.kenken.go.jp/japanese/contents/topics/2016/14-kumamoto.pdf>
- 2) 国土交通省住宅局：防災拠点等となる建築物に係る機能継続ガイドライン，平成30年 新築版，2018
- 3) 国土交通省大臣官房官庁営繕部：建築設計基準，2019（最終改定：2025.8）
- 4) <CBRD・STEM共同研究会>巨大地震等対応防災拠点建築物集積エリア計画研究会：巨大地震等対応防災拠点施設設計仕様ガイドライン，2025.9
- 5) 磯田ほか：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 その32面内-面外載荷実験(4) 面外慣性力が破壊モードに与える影響，日本建築学会大会学術講演梗概集（北海道），材料施工，pp. 841-842，2022.9
- 6) 本田ほか：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 その51 面内-面外載荷実験(7)，日本建築学会大会学術講演梗概集（九州），材料施工，pp. 747-748，2025.9
- 7) 釘本ほか：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 その52 面内-面外載荷実験(8)，日本建築学会大会学術講演梗概集（九州），材料施工，pp. 749-750，2025.9
- 8) 国総研・建研：令和6年能登半島地震建築物被害調査等報告（速報）
<https://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/tnn/tnn1296.htm>，
<https://www.kenken.go.jp/japanese/contents/publications/data/212/index.html>
- 9) (一社)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要領，2003
- 10) (一財)日本建築センター：建築設備耐震設計・施工指針 2014年版，2014
- 11) (一財)日本建築設備・昇降機センター，(一社)日本エレベーター協会 編集：昇降機技術基準の解説 2016年版，2016

- 12) 令和3年度建築基準整備促進事業P14「大地震時におけるエレベーターの閉じ込め防止に関する検討」成果概要資料
<https://www.ml.it.go.jp/jutakukentiku/build/content/001480577.pdf>
- 13) 国土交通省総合技術開発プロジェクト 社会環境の変化に対応した住宅・建築物の性能評価技術の開発概要資料
https://www.nilim.go.jp/lab/hbg/seinou_hp/sample.html
- 14) 沖佑典，山海敏弘，小沼裕一：地震時の層間変形角がエレベーター要素に与える影響の一検討，日本建築学会大会学術講演梗概集，構造Ⅲ，pp. 1249-1250，2024.8
- 15) 沖佑典，小沼裕一，山海敏弘：水平力と層間変位の作用によるエレベーターガイドレールの挙動 その2 静的載荷実験，日本建築学会大会学術講演梗概集（九州），耐震防災，pp. 161-162，2025.9
- 16) 小沼裕一，藤田聡，古屋治，沖佑典，山海敏弘：水平力と層間変位の作用によるエレベーターガイドレールの挙動 その1 解析的検討，日本建築学会大会学術講演梗概集（九州），耐震防災，pp. 159-160，2025.9