

令和元年6月4日現在

機関番号：22604

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06582

研究課題名(和文) コンクリートを下地とする建築物仕上材接合部の安全性に関する研究

研究課題名(英文) Study on safety of building finishing material joints on concrete

研究代表者

橘高 義典 (Kitsutaka, Yoshinori)

首都大学東京・都市環境科学研究科・教授

研究者番号：20177877

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：地震時における仕上材の落下安全性を確保するためには、地震荷重に対する仕上接合部の破壊挙動を把握することが重要である。本研究では、コンクリート下地に取り付けられる、各種あと施工アンカー、天井下地材、タイル仕上げ等について、単調載荷試験および繰返し載荷試験を行ない、静的荷重時での接合部の破壊性状を明らかにした。また地震時を想定した動的荷重について落下衝撃試験による評価方法を確立し接合部の破壊性状を明らかにした。以上より各種仕上材の地震時の耐力評価の推定方法を提案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、仕上接合部を、下地材、接合材、仕上材の要素に分割一般化し既存の様々な仕上材料の剥落等破壊挙動の統一的な評価の枠組みを提案した。実験解析結果から、個々要素の影響、材料特性に応じた合理的な仕上接合部のあり方などを明らかにした点、仕上接合部の評価試験方法の確立により今後の材料工法開発に役立てることができる点などに学術的な価値がある。今後発生が想定されている大型地震に対する仕上材料の落下安全性の確保に本研究は貢献でき社会的な意義がある。

研究成果の概要(英文)：To ensure the seismic drop safety of a building finishing materials, it is crucial to grasp the fracture behavior of its joints on concrete and various finishing materials during an earthquake. The monotonic and cyclic loading tests on mechanical anchor bolts, Ceiling Hanging Bolts and tile finishing were conducted to investigate the fracture properties of joints between concrete and building finishing materials. Dynamic loading tests developed in this study by using a drop impact machine were performed for the various joints. A method of evaluating the load-bearing capacity under cyclic seismic loads was proposed.

研究分野：建築材料

キーワード：耐震性 建築仕上材料 天井 アンカーボルト タイル 動的試験 衝撃試験 剥落

様式C-19, F-19-1, Z-19, CK-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

東日本大震災では、天井や外装材料などの非構造部材に損傷が発生し、特に天井の被害により人的な被害も発生した。また、タイル、モルタル等の外壁材料の剥落事故も数多く報告されており、今後発生が想定されている大型地震に対する仕上材料の落下安全性の確保が急務である。仕上材料が地震等の荷重を受けた場合での挙動は、下地材(G:ground)、接合材(B:binder)、仕上材(F:finishing)各要素の挙動が複合されたものである。これらは仕上材料の種類、工法によって様々なものがあり、現在までに個別に安全性が評価されてきた。例えば、石膏ボードビス止め、タイルピンアンカー工法、重量仕上のアンカー工法等である。また、個別要素の強度実験はなされているが、全体としての変形挙動の把握、それに及ぼす要素の影響、その解析的な検討は国内外ではほとんどなされていない。従って、その安全性の確保は、個々の要素の最大強度に頼っているのが実情である。その場合は、荷重条件によっては要素の脆性的な破壊により全体が危険な崩壊を起こす場合もある。たとえば、接合材を延性的な摩擦破壊とすることで剥落の危険性は大きく減る。また、標準的な評価試験方法も定まっていないため、多くの工法に対して安全性の評価および検証が十分なされていない。

2. 研究の目的

本研究は、建築物の仕上接合部の耐震安全性に関するものであり、各種建築仕上の地震時の落下防止に資することを目的とする。仕上接合部とは、コンクリート下地材、インターフェースとなる接合材、仕上材の要素からなる部分である。地震時に生じる荷重に対する仕上接合部の変形挙動を、個別要素および複合要素について、静的および振動などの加力実験より明らかにし、相互の関係を明らかにする。対象とする仕上接合部は、接合材は天井金属系接合部、タイルおよびコンクリートアンカーとし、実際に使用されている仕上工法の数種類とする。以上の結果より、仕上接合部の評価試験方法を確立するとともに仕上材料の耐震安全性の向上方法を提案する。

3. 研究の方法

(1)2016年度は仕上接合部全体および要素について静的引張試験を行う。引張試験は単調荷重および片振り繰返し荷重とする。変位制御型のクローズドループ型の試験装置を用い(MTS社製)安定した破壊が得られるようにする。接合材の種類は、実際の仕上材(F)の重量および強度に着目し、ボード取付けビス・アンカー、仕上げ層のピンアンカー、コンクリートあと施工アンカーなどとする。仕上げ材は石膏ボード、タイル仕上げなどとする。要素試験は、G-B(下地材-接合材)要素、B(接合材)要素、F-B(仕上材-接合材)要素とし、それぞれの引張特性を把握する。仕上接合部の材料の種類は、接合材(B)、仕上材(F)とも数条件設定する。コンクリート下地材(G)に関しては、その強度によって接合材の定着部のズレ破壊か母材破壊が想定されるため、母材強度および埋め込み深さを変化させる。接合材(B)に関しては、母材の強度が影響すると想定されるため種類を変化させる。仕上材(F)に関しては、材料の強度によって接合材の押抜きせん断破壊となることが想定されるためその強度を変化させる。

(2)2017年度は、各種仕上接合部の静的引張単調荷重ならびに繰返し荷重での破壊特性を、接合要素および接合部複合体について把握するとともに、接合部の動的破壊性状の試験方法について検討する。まず、鋼製天井下地の耐力におよぼす接合部性状の影響に関して、前年度行なった各要素実験の実験条件に加えて、ビスの頭径および埋込み長さ、クリップの根本長さ、野

縁角度および受け幅などの要素寸法を広範囲に変化させた実験を行う。次に、各種仕上接合部の地震荷重時の挙動を模擬する動的試験方法として、接合部試験体を自由落下させる衝撃試験機を応用し、落下着床時の反発係数と落下高さの制御から地震時の加速度応答を再現する動的試験方法を確立する。さらに、コンクリート下地と仕上材との接合部である、あと施工アンカーの引抜き性状に関して、単調引抜き試験および繰返し引抜き試験について静的および動的な試験を行う。

(3)2018 年度は、各種仕上接合部の地震時での衝撃的な鉛直荷重に対する接合要素および接合部複合体の引張挙動について検討する。まず、鋼製天井下地の耐力におよぼす接合部性状の影響に関して、前年度行なった静的実験条件に加えて、ビスの頭径および埋込み長さ、クリップの根本長さ、野縁角度および受け幅などの要素寸法を広範囲に変化させた動的実験を行う。動的試験は、台座に取り付けたフレームに天井下地を石膏ボードに施工した試験体を吊下げ、台座と一体となったフレームごと自由落下させ系全体が緩衝材及び受衝撃板に衝突した際の衝撃力を天井下地システムに生じる動的な引張力として作用させる。さらに、アンカーボルトの引抜き試験を静的荷重ならびに動的荷重により実施し、破壊性状と強度との関係などを検討する。その際、くさび割裂試験による動的破壊靱性試験も実施し引抜き試験結果との比較を行なう。また、外壁タイル剥落に及ぼす接合目地の影響を動的試験により検討する。さらに、接合部の動的なせん断破壊性状の試験方法について検討し、鉛直衝撃試験に使用するフレーム治具を横転設置し衝撃試験を実施することで動的なせん断荷重を得る試験方法を確立する。以上の成果を総括し実外壁面仕上げ材料に生じる地震力に対し動的な荷重に対する安全性の評価手法を提案する。

4. 研究成果

(1)2016 年度は仕上接合部の試験方法を確立し、各種仕上接合部の静的引張単調載荷ならびに繰返し載荷での破壊特性を全体および要素について把握し、材料構成則の評価方法を考察した結果、以下の成果が得られた。

(1-1)鋼製天井下地に関する既往文献を整理し部分要素の引張試験方法について検討した結果、石膏ボード、石膏ボード取り付け用ビス、シングルバー、クリップ、チャンネルからなる建築用鋼製天井下地の部分要素試験体を作成し、変位制御型の引張り試験装置により引張り荷重を負荷させる試験方法を提案した。本試験方法により実際の鋼製天井下地の条件に近似する複合体の引張性状を把握できることが明らかとなり試験方法の有効性を確認した。

(1-2)石膏ボード3種類、ビス2種類、建築用鋼製天井下地2種類の部分要素試験体について、鉛直方向の引張試験を単調および繰返し載荷条件で行なった結果、石膏ボードとビスのみの引張試験の結果と比較して鋼製天井部分の性質が合成されることで荷重変位曲線や最大強度に違いが見られるものがあること、繰返し載荷試験にり得られる荷重変形曲線の包絡線は単調載荷試験と概ね同じ形状を示すが繰返しにより部分的に金物の塑性変形が生じる場合は破壊モードに差が見られること、組み合わせる石膏ボードと鋼製天井下地の条件によって破壊性状や破壊までの変形能が異なることなどが明らかになった。

(1-3)コンクリート下地と仕上材との接合部である、あと施工アンカーに着目し、5種類のあと施工アンカーについて、単調引抜き試験および繰返し引抜き試験を行い接合部の破壊性状と引抜き耐力について考察した結果、単調引抜き試験の最大荷重と繰返し引抜き試験の最大荷重との間に大きな差は見られないこと、繰返し引抜き試験による荷重変位曲線の包絡線と単調引抜き試験

による荷重変位曲線の形は概ね一致すること、繰返し試験による除荷線の勾配は、試験中ほぼ変わらず垂直に近い傾きを示すことなどが明らかとなった。

(2)2017年度は、各種仕上接合部の静的引張単調載荷ならびに繰返し載荷での破壊特性を、接合要素および接合部複合体について把握するとともに、接合部の動的破壊性状の試験方法について検討し、以下の成果が得られた。

(2-1)鋼製天井下地の耐力におよぼす接合部性状の影響に関して、前年度行なった各要素実験の実験条件に加えて、ビスの頭径および埋込み長さ、クリップの根本長さ、野縁角度および受け幅などの要素寸法を広範囲に変化させた実験を行った結果、接合部単体試験においては、単調載荷試験と繰返し試験では荷重変形曲線の概形はほぼ同じ概形を示した。複合体の試験結果については、単体試験結果に基づき推定した荷重変位曲線よりも変形が小さくなるものがあり、この原因として接合部の偏心が考察され、要素寸法の重要性を指摘した。また、接合部の要素寸法が各接合部の破壊性状の特徴や強度要因に及ぼす影響が明らかになるとともに、組み合わせる接合部の条件によって全体の靱性が期待できるものがあることが分かった。

(2-2)各種仕上接合部の地震荷重時の挙動を模擬する動的試験方法として、接合部試験体を自由落下させる衝撃試験機を応用し、落下着床時の反発係数と落下高さの制御から地震時の加速度応答を再現する動的試験方法を確立した。

(2-3)コンクリート下地と仕上材との接合部である、あと施工アンカーの引抜き性状に関して、単調引抜試験および繰返し引抜試験について静的および動的な試験を行なった結果、衝撃試験機での加速度計、変位計の計測により、あと施工アンカーの動的荷重変位関係を把握するとともに、アンカーの種類による変形性状の特長が把握出来た。静的試験と動的試験の荷重変位曲線を同変位時と比較すると、動的試験時の荷重の方が多少大きいと同程度の値を示すことが明らかとなった。

(3)2018年度は、各種仕上接合部の地震時での衝撃的な鉛直荷重に対する接合要素および接合部複合体の引張挙動について検討した結果、以下の成果が得られた。

(3-1)鋼製天井下地の耐力におよぼす接合部性状の影響に関して、前年度行なった静的実験条件に加えて、ビスの頭径および埋込み長さ、クリップの根本長さ、野縁角度および受け幅などの要素寸法を広範囲に変化させた動的実験を行った結果、鋼製天井の静的試験と動的試験では同一の複合体でも破壊性状及び破壊部分が異なること、静的試験と動的試験の破壊性状の違いから動的試験での最大荷重は小さく、地震等の加速度による破壊は静的試験より想定される荷重より安全側に推定する必要があることなどを指摘した

(3-2)アンカーボルトの引抜き試験を静的荷重ならびに動的荷重により実施し、破壊性状と強度との関係などを検討した結果、アンカーボルトの動的引抜き強度は静的引抜き強度よりも大きくなる傾向があること、コンクリートの動的引張破壊では衝撃荷重が大きくなるほど最大強度が大きくなるとともに破面の平均粗さが大きくなる傾向があること、アンカーボルトの動的引抜き強度が大きいほど破面の平均粗さが大きくなる傾向があることなどが明らかになった。

(3-3) タイルの目地強度が外壁タイル剥落に及ぼす影響を動的試験により検討した結果、タイルの付着強度に関する静的引張試験と動的衝撃試験との間で相関が得られることを明らかにした。

(3-4)接合部の動的なせん断破壊性状の試験方法について検討し、鉛直衝撃試験に使用するフレーム治具を横転設置し衝撃試験を実施することで動的なせん断荷重を得る試験方法を確立

し、アンカーボルトの試験体について衝撃試験を実施し基礎的なデータを得た。

(3-5) 実外壁面仕上げ材料に生じる地震力に対し動的な荷重に対する安全性の評価手法を提案した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計 10 件）

- 1) 田中幹朗, 橘高義典, 國枝陽一郎, 中里愛莉奈: 鋼製天井下地の部分試験体に対する静的鉛直載荷試験及び動的載荷試験が及ぼす挙動に関する研究, 日本建築工学会大会学術講演会研究発表論文集, 査読無, pp.89-92, 2018.10
- 2) 久須美真悟, 橘高義典, 松沢晃一, 國枝陽一郎, 八木沢康衛: 鉛直衝撃荷重を受けるコンクリート用あと施工アンカーボルトの動的引抜特性に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 査読無, 材料施工, pp. 555-556, 2018. 9.
- 3) 児玉文悟, 橘高義典, 國枝陽一郎: 目地強度がタイル剥落に及ぼす影響に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 査読無, 材料施工, pp.1167-1168, 2018.9.
- 4) Yoshinori Kitsutaka and Fumiya Ikedo : Mechanical Model of Gypsum Board Anchors Subjected Cyclic Shear Loading, ICGCME 2017, 19th Int. Conf. on Geotechnique, Construction Materials and Environment, 査読有, 19(6), PartIII, 2017
- 5) Yoshinori Kitsutaka, Shingo Kusumi, Koichi Matsuzawa and Yoichiro Kunieda : Pull-out Behavior of Mechanical Anchor Bolts by Cyclic Loading, ICRCDC 2017, 19th International Conference on Reinforced Concrete Design and Construction, 査読有, 19 (8), Part XVI, 2017
- 6) 中里愛莉奈, 橘高義典, 國枝陽一郎, 小野夏実: 鋼製天井下地の部分試験体に対する静的鉛直載荷時の挙動に関する研究 (その 1) 試験方法, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 査読無, 材料施工, pp.13-914, 2017.8.
- 7) 小野夏実, 橘高義典, 國枝陽一郎, 中里愛莉奈: 鋼製天井下地の部分試験体に対する静的鉛直載荷時の挙動に関する研究 (その 2) 複合体の単調・繰返し載荷試験, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 査読無, 材料施工, pp.915-916, 2017.8.
- 8) 久須美真悟, 橘高義典, 松沢晃一, 國枝陽一郎, 八木沢康衛: 繰返し引張荷重を受けるコンクリート用あと施工アンカーボルトの引抜耐力に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 査読無, 材料施工, pp.757-758, 2017.8.
- 9) Yoshinori Kitsutaka and Fumiya Ikedo, Pull-Out Properties of Gypsum Board Anchors, Third Australasia and South-East Asia Structural Engineering and Construction Conference, 査読有, ASEASEC3, M4-v4-122, 2016.11.
- 10) 橘高義典, 池戸歩弥, 松沢晃一, 繰返し荷重を受ける石膏ボード用アンカーの引抜き性状の推定に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 査読無, A-1, pp.1463-1464, 2016.8

〔学会発表〕（計 12 件）

- 1) 榎本遼, 橘高義典, 國枝陽一郎: 鋼製天井下地の部分試験体に対する動的荷重が破壊性状に及ぼす影響, 日本建築学会大会, 2019.9.6 発表
- 2) 平林優一, 橘高義典, 國枝陽一郎: コンクリート用あと施工アンカーボルトの繰返し疲労試験方法に関する基礎研究, 日本建築学会大会, 2019.9.3 発表

- 3) 田中幹朗, 橘高義典, 國枝陽一郎, 中里愛莉奈: 鋼製天井下地の部分試験体に対する静的鉛直載荷試験及び動的載荷試験が及ぼす挙動に関する研究, 日本建築仕上学会大会, pp.89-92, 2018.10
- 4) 久須美真悟, 橘高義典, 松沢晃一, 國枝陽一郎, 八木沢康衛: 鉛直衝撃荷重を受けるコンクリート用あと施工アンカーボルトの動的引抜特性に関する研究, 日本建築学会大会, 材料施工, pp. 555-556, 2018. 9.
- 5) 児玉文悟, 橘高義典, 國枝陽一郎: 目地強度がタイル剥落に及ぼす影響に関する研究, 日本建築学会大会, 材料施工, pp.1167-1168, 2018.9.
- 6) Yoshinori Kitsutaka and Fumiya Ikedo : Mechanical Model of Gypsum Board Anchors Subjected Cyclic Shear Loading, ICGCME 2017, 19th Int. Conf. on Geotechnique, Construction Materials and Environment, 19(6), PartIII, 2017
- 7) Yoshinori Kitsutaka, Shingo Kusumi, Koichi Matsuzawa and Yoichiro Kunieda : Pull-out Behavior of Mechanical Anchor Bolts by Cyclic Loading, ICRCDC 2017, 19th International Conference on Reinforced Concrete Design and Construction, 19 (8), Part XVI, 2017
- 8) 中里愛莉奈, 橘高義典, 國枝陽一郎, 小野夏実: 鋼製天井下地の部分試験体に対する静的鉛直載荷時の挙動に関する研究(その 1) 試験方法, 日本建築学会大会, 材料施工, pp.13-914, 2017.8.
- 9) 小野夏実, 橘高義典, 國枝陽一郎, 中里愛莉奈: 鋼製天井下地の部分試験体に対する静的鉛直載荷時の挙動に関する研究(その 2) 複合体の単調・繰返し載荷試験, 日本建築学会大会, 材料施工, pp.915-916, 2017.8.
- 10) 久須美真悟, 橘高義典, 松沢晃一, 國枝陽一郎, 八木沢康衛: 繰返し引張荷重を受けるコンクリート用あと施工アンカーボルトの引抜耐力に関する研究, 日本建築学会大会, 材料施工, pp.757-758, 2017.8.
- 11) Yoshinori Kitsutaka and Fumiya Ikedo, Pull-Out Properties of Gypsum Board Anchors, Third Austral asia and South-East Asia Structural Engineering and Construction Conference, ASEASEC3, M4-v4-122, 2016.11.
- 12) 橘高義典, 池戸歩弥, 松沢晃一, 繰返し荷重を受ける石膏ボード用アンカーの引抜き性状の推定に関する研究, 日本建築学会大会, A-1, pp.1463-1464, 2016.8

6. 研究組織

(1)研究分担者 無し

(2)研究協力者

研究協力者氏名: 國枝陽一郎

ローマ字氏名: (KUNIEDA, Yoichiro)

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者 個人に帰属されます。