

令和3年度

修士論文

地震時の家具転倒防止のための
固定効果の定量的評価に関する研究
～施工条件を考慮した検討～

指導教員 川口 淳 准教授

三重大学大学院工学研究科建築学専攻

伊藤 広祐

地震時の家具転倒防止のための固定効果の定量的評価に関する研究
～施工条件を考慮した検討～

目次

第1章 序

- 1.1 研究背景……………1
- 1.2 既往の研究……………2
- 1.3 研究目的……………4
- 1.4 研究方法……………4

第2章 L型金具を取り付けた単調引抜き実験

- 2.1 L型金具の力学モデル化による引抜き耐力の計算……………5
- 2.2 実験方法……………8
 - 2.2.1 実験項目
 - 2.2.2 試験体
 - 2.2.3 載荷方法
 - 2.2.4 実験装置
- 2.3 実験結果……………19

第3章 施工条件を考慮した単調引抜き実験

- 3.1 実験方法……………23
 - 3.1.1 実験項目
 - 3.1.2 試験体
 - 3.1.3 載荷方法
 - 3.1.4 実験装置
- 3.2 実験結果……………34

第4章 施工条件を考慮した繰り返し載荷実験

- 4.1 実験方法……………40
 - 4.1.1 実験項目
 - 4.1.2 試験体
 - 4.1.3 載荷方法
 - 4.1.4 実験装置
- 4.2 実験結果……………46

第5章 施工条件の評価と考察

5.1	破壊形式の分類	48
5.2	剛性評価の方法	50
5.3	施工条件ごとの考察	51
5.4	固定方法の比較	95

第6章 結

6.1	まとめ	99
6.2	今後の課題	100

参考文献

第1章 序

- 1.1 研究背景
- 1.2 既往の研究
- 1.3 研究目的
- 1.4 研究方法

第1章 序

1.1 研究背景

日本はこれまでに多くの巨大地震を経験し、その度に建築基準法を改正して建物の耐震化を進めてきた。しかしながら、東京消防庁が発行している資料¹⁾では、近年発生した地震での負傷の原因は、家具の転倒・落下・移動によるものが、全体の30%~50%を占めており、建物の室内で発生する被害が多いことが報告されている。また、家具の転倒による被害は、転倒や落下による負傷だけではなく、避難障害や火災の発生等の2次的な被害も起こり得る。また、壁面に固定して使用する器具には、「家具、壁面や器具に十分な強度が必要」であるとされており、家庭用家具の場合、胴縁や間柱のような下地に固定する方法が推奨されている。しかし実際は、家具を置く位置に下地がないことや、寸法により留めることができても十分な固定力が得られないことが考えられるため、中空壁に留める検討も行わなければならない。

家具の転倒防止対策は、地震の被害を減らすための有効な手段であるが、都民を対象にした防災の認識・実態調査²⁾では、家具類の転倒・落下・移動防止対策を「すべての家具類に実施している」又は「一部の家具類に実施している」という家庭は、合わせて57.3%となっており、未だ対策への意識が浸透していないのが現状である。

転倒防止対策の効果や方法が普及していないため、対策を行った場合でも、家具固定のための固定金具やアンカーの取り付けに慣れていない可能性が高く、施工者によってばらつきが発生し、所定の耐力が得られないことが考えられる。近い将来の発生が予想されている南海トラフ地震や首都直下地震に備え、早急に対処する必要がある。

1.2 既往の研究

家具の転倒やロッキングに関する問題は、これまでに転倒限界式の提案や加振実験、動的解析などによって研究が行われており、多くの知見が得られている。

文献 3)では、各種什器を剛体に置き換え、剛体の動的挙動に関する基礎的な検討が正弦波加振による実験と個別要素法を用いた解析により行われている。また、実験と解析から得られた結果と、この研究が行われるまでの転倒条件式との比較が行われており、厳密な転倒限界を設定することは難しいと述べられている。

文献 4)では、強震観測の整備が進んだことで多くの共振記録が得られたことを受けて、それまでの研究ではあまり進んでいなかった地震波入力を行なった剛体の転倒限界について解析的研究が行われている。また、剛体の転倒限界は、滑りを考慮することにより高くなることが指摘されていることを受けて、剛体と設置面との摩擦係数をパラメータに加えて、剛体の滑りや移動に着目した検討を行なっている。解析では、摩擦係数が剛体の幅高さ比(B/H)より小さい場合には、入力レベルを上げてても剛体はほとんど転倒せず、摩擦係数が幅高さ比よりも大きい場合、摩擦係数の値によらず転倒ケース数は変わらない結果となっている。解析結果から、地震波による剛体の転倒限界は、文献 5)で提案されている転倒限界加速度の式でほとんど抑えられるが、一定以上の振動数では、この式以上の速度による加振でも転倒しないケースが多く見られ、その傾向は幅高さ比が大きい場合に顕著であることが報告されている。移動量に関しては、摩擦係数が幅高さ比よりも小さい場合、剛体は大きく移動する可能性があり、移動量は入力速度と摩擦係数に依存すること、また、摩擦係数が幅高さ比よりも大きい場合、移動量は幅高さ比により大きく異なることが報告されている。

文献 6)では、建物の性能評価や地震リスク評価において、地震時における構造部材の健全性だけでなく、室内空間の安全性や機能性保持に対する評価が求められていることを背景に、地震時における家具類の転倒率推定方法を提案することを目的としている。文献 7)において剛体の転倒率と入力レベルとの関係を表す式を導いているが、これは滑りの影響を考慮しておらず、家具の転倒率の推定には滑りの影響が多いと考えられるので、このまま適用することはできないとし、文献 7)の転倒率を表す式に、滑りを考慮する項を加えることにより家具の転倒率を推定する方法を提案している。またこの提案方法を過去の地震被害調査結果と比較することで、この推定方法に関する検証を行っている。また、提案された転倒率推定方法を用いて、ある想定されたオフィスでの負傷者数の予測を行っている。

これらの研究から家具の固定などが重要とされており、転倒防止対策の効果の検討が多数行われてきた。

文献 8)では、家具を壁に固定する場面において、固定力の高い木材に取り付けることができない状況を考慮し、中空壁にL型金具を取り付け、プラスチック製・鋼製アンカーを用いて固定した場合の耐力を実験によって検証している。固定用金具としてL型金具を選定した理由は、ユーザーが市場にて容易に入手可能で、標準的なものであることを挙げている。L型金具に取り付けるアンカーの本数による引抜き耐力の検討では、石膏ボードに

プラスチック製アンカーを取り付けた場合、アンカー1本の場合に対してアンカー3本の最大荷重は1.15倍、鋼製アンカーの場合1.08倍という結果になっており、アンカーの本数増による引抜き耐力の増加は期待できないと述べられている。また、せん断試験ではプラスチック製アンカーの場合2.06倍、鋼製アンカーの場合1.43倍と、なっており、せん断方向に対しては一定の耐力の上昇があることが確認できる。また、1つのパラメータごとに2～5体の試験を行なっているが、ばらつきが大きく施工の熟練度や施工性などの問題も挙げている。

文献9)では、市販の転倒防止器具の特徴と効果を振動台実験により確認することを目的としている。3種類の家具上面固定器具と2種類の家具底面設置型の器具を対象に、震度5強、6弱、6強レベルの加振を行い危険性評価を行なっている。L型金具やベルト式を取り付けた場合は、震度6強でも概ね安定した状態であり、ポール式の場合は、震度6強で家具が移動したり器具が外れたりして家具が転倒することがある結果となっている。また、家具底面に設置するストッパー式、マット式は固定していない家具より摩擦係数が大きくなり、転倒しやすくなる場合があると報告されている。

文献10),11)では、市販の転倒防止対策器具に加えて、市民のアイデアによって独自に行われている転倒防止対策を調査し、これらの効果を加振実験と文献によって検討している。また、実験結果と過去の研究の結果から、地震時の家具の挙動をまとめている。大きく影響する要因は家具の幅高さ比、壁との距離、重量、床材と、転倒防止対策での壁や天井、床との固定度であることが報告されている。

文献12)では、12種類の石膏ボード用接合具(アンカー)の耐震安全性を調べるため、単調・繰り返し載荷試験を行い、接合具の種類による引抜き耐力への影響について調べ、接合具の選定の判断基準とすることを目的としている。繰り返し載荷の方法は、接合金物試験法規格¹⁵⁾の試験方法であり、繰り返し変位と荷重0の間で繰り返しを行なっている。繰り返し載荷を行なった単調載荷と比較して若干低下するという結果が示されている。この試験方法は文献13)でも用いられており、文献13)では、商業施設の天井に用いられる建築用鋼製天井に石膏ボードを軽天ビスで留めた場合について、単調及び繰り返し載荷試験を行い、荷重変位関係の把握と要素の破壊要因を明らかにすることを目的としている。繰り返し方法については、接合金物試験法規格¹⁵⁾の試験方法からサイクル数を追加することで、ピーク付近の破壊要因が分かりやすくなるように変更している。

文献14)では、市販品からアイデア品、専門製品まで様々な固定器具を用いた場合の家具の振動台実験を行っており、その効果の分析・評価を行っている。転倒防止器具に関して耐震性のみの評価ではなく、経済性、意匠性、家具の損傷リスク、下地対応性、設置難易度など実用的な評価を行っており、また、実験の映像などを具体的な家具転倒防止手順とともにWEB上に公開している。

これらの研究のように、実験によって市販のアンカーや固定器具に対して種類による耐力への影響を調べたものはあるが、家具の固定における施工条件(施工者の熟練度、確認・知識不足による施工状態のばらつき)を考慮した研究は少ない。

1.3 研究目的

本研究では、地震時の家具の転倒防止対策における、固定効果の定量的評価を最終的な目標とし、以下の検討を目的として行った。

- ・固定金具がビスやアンカーの引抜き耐力に与える影響の検討。
- ・以下の3点による、ビスやアンカー単体の引抜き耐力に影響を与える要因の検討。
 - 1) 単調载荷
 - 2) 繰り返し载荷
 - 3) 施工条件を変化させた場合

1.4 研究方法

本研究では、2章で家具の固定金具が引抜き耐力に及ぼす影響を調べるために、固定効果が高いとされており、形状的に耐力の低下が考えられるL型金具を取り付けた単調引抜き実験、3章で施工に慣れていないことや転倒防止対策の認識・知識不足が理由で起こり得る施工条件を考慮した単調载荷実験、4章で繰り返し载荷実験を行った。5章では、プラスチック製アンカーや鋼製アンカーは最大荷重に達した後、変形が進んでもある程度の耐力が維持されるように設計されており、それぞれの施工条件の最大荷重のみによる耐力評価では不十分であると考えたため、試験体ごとの施工後の状態や破壊形式による評価と、繰り返し载荷実験のサイクルごとの剛性による評価で考察を行った。

第2章 L型金具を取り付けた単調引抜き実験

2.1 L型金具の力学モデル化による引抜き耐力の計算

2.2 実験方法

2.2.1 実験項目

2.2.2 試験体

2.2.3 載荷方法

2.2.4 実験装置

2.3 実験結果

第2章 L型金具を取り付けた単調引抜き実験

家具の転倒防止対策において、家具の上部を固定金具等によって壁面に固定する方法が推奨されている。多くの種類がある転倒防止器具の中でもL型金具は、文献9), 10), 14)等で固定効果が高い器具と報告されており、安価で、設置が複雑でない器具とされている。また、L型金具は形状的な特徴から、地震時に家具から伝わった力がL型金具を介して壁に固定しているビスやアンカーに作用するとき、その荷重は増大することが考えられる。このことから、本章ではL型金具を対象として、力学モデルによる引抜き耐力の予測を行い、単調載荷実験によって金具を取り付けることによる引抜き耐力の低下を確認する。

2.1 L型金具の力学モデル化による引抜き耐力の計算

L型金具がビスやアンカーの引抜き耐力に与える影響を予測するために、力学モデルによる計算を行った。力学モデルを図2.1に示す。

点A, B, Cが壁側、点C, D, Eが家具側に固定する辺である。壁側の辺の長さを l_w (mm)、家具側の辺の長さを l_f (mm)とする。壁側には直角部から αl_w (mm)、家具側には直角部から βl_f (mm)の位置でビスによる固定をする($0 < \alpha < 1$, $0 < \beta < 1$)。金具の曲げ剛性EI (E: ヤング係数, I: 断面2次モーメント) は一様として考えた。

家具に作用した水平方向の地震力が家具側ビスにFだけ伝わるとし、点Dに水平荷重Fが作用する。L型金具の点Bにビスへの引抜き力 H_B が作用すると考える。

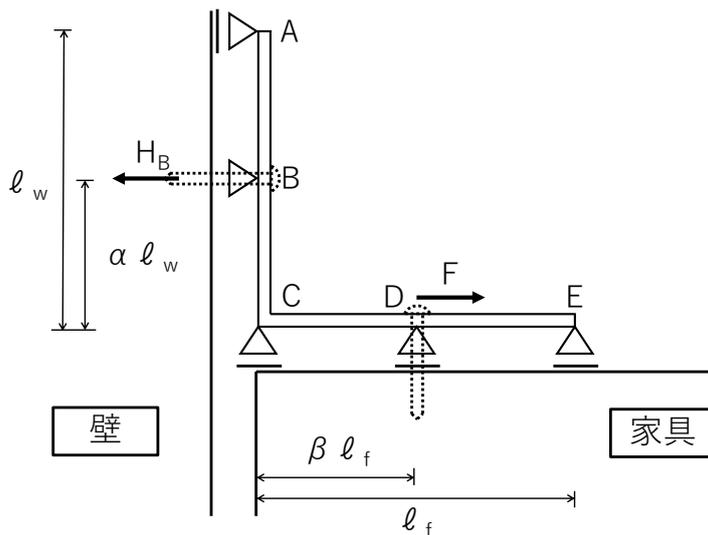


図 2.1 L型金具の力学モデル

文献9)で、1つのL型金具に取り付けるビスの本数の影響を検討しているが、石膏ボードにプラスチック製アンカーを取り付けた場合、1本アンカーに対する3本アンカーの引抜き最大耐力は1.15であり、本数増による耐力の増加は期待できないと述べられている。この結果とL型金具の形状的な特徴から、L型金具を取り付けた場合の引抜き耐力は

直角部に一番近いアンカーの影響が大きいと考え、本章ではアンカー(ビス)1本による検討のみとした。

図 2.1 に示す力学モデルをたわみ角法により計算し、各ビスに作用する応力、各点に作用する曲げ応力を式(2.1)～(2.6)のように求めた。また、条件を仮定してこれらの変化を図 2.2, 2.3 に示す。図 2.2 の応力は F で割ることで無次元化して比較している。

$$H_B = \frac{F \left\{ 4\alpha(1-\alpha)(7\alpha^2 - 5\alpha + 4)l_w^2 + 2\alpha\beta(5\alpha^2\beta - 17\alpha\beta + 12\beta + 4\alpha^2 - 7\alpha + 12)l_w l_f \right.}{(1-\alpha)(4-\alpha) \left\{ 4\alpha(1-\alpha)l_w^2 + 6\alpha\beta(1+\beta)l_w l_f + \beta^2(4-\beta)l_f^2 \right\}} \left. + \beta^2(4-\beta)(4\alpha^2 - 5\alpha + 4)l_f^2 \right\} \quad (2.1)$$

$$V_D = \frac{F\alpha^2(2-\beta)l_w^2 \{2(1-\alpha)l_w + 3\beta l_f\}}{\beta(1-\beta)l_f \left\{ 4\alpha(1-\alpha)l_w^2 + 6\alpha\beta(1+\beta)l_w l_f + \beta^2(4-\beta)l_f^2 \right\}} \quad (2.2)$$

$$H_D = F \text{ (家具から伝わった地震力)} \quad (2.3)$$

$$M_B = \frac{F\alpha^2 l_w \{4(1-\alpha)l_w + 3\beta l_f\} \{6\alpha l_w + \beta(4-\beta)l_f\}}{(4-\alpha) \left\{ 4\alpha(1-\alpha)l_w^2 + 6\alpha\beta(1+\beta)l_w l_f + \beta^2(4-\beta)l_f^2 \right\}} \quad (2.4)$$

$$M_C = \frac{2F\alpha^2 l_w^2 \{2(1-\alpha)l_w + 3\beta l_f\}}{4\alpha(1-\alpha)l_w^2 + 6\alpha\beta(1+\beta)l_w l_f + \beta^2(4-\beta)l_f^2} \quad (2.5)$$

$$M_D = \frac{F\alpha^2 \beta l_w^2 \{2(1-\alpha)l_w + 3\beta l_f\}}{4\alpha(1-\alpha)l_w^2 + 6\alpha\beta(1+\beta)l_w l_f + \beta^2(4-\beta)l_f^2} \quad (2.6)$$

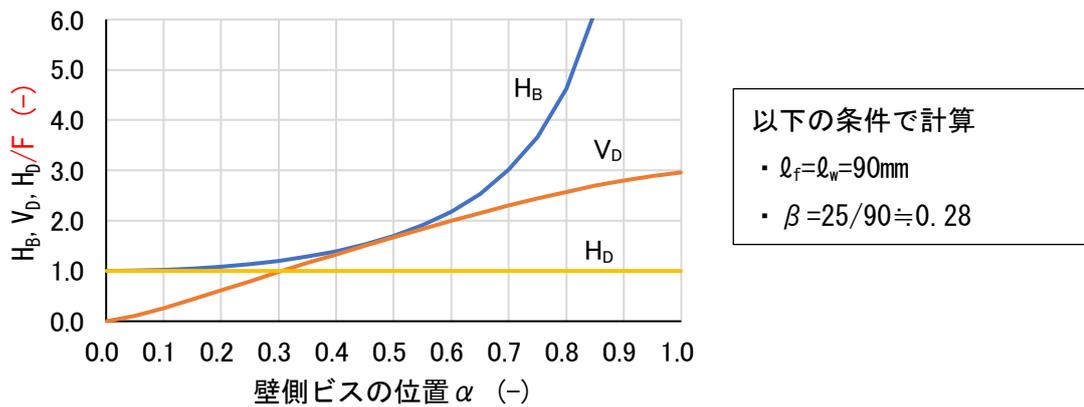


図 2.2 力学モデルの計算による α を変化させた時の各点の応力

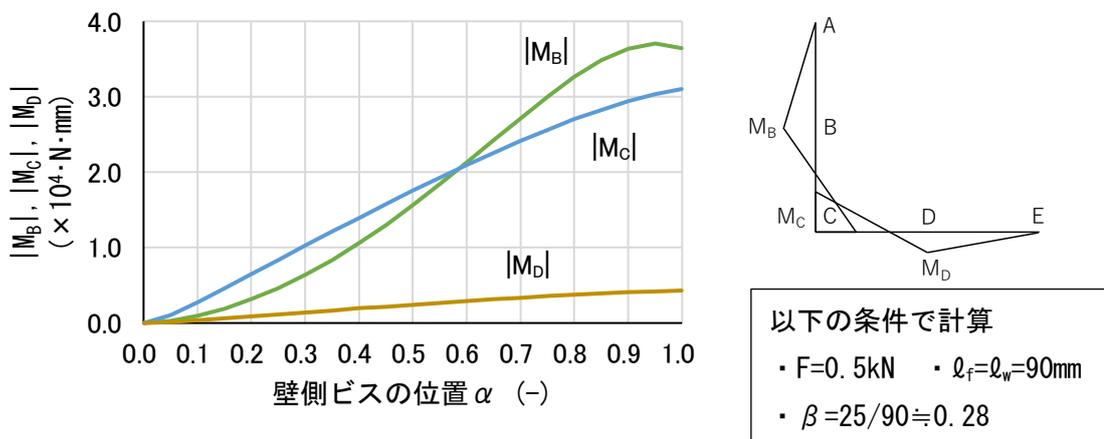


図 2.3 力学モデルの計算による α を変化させた時の各点の曲げ応力

計算値では、 H_B/F は α の値によらず常に 1.0 を上回っていることから、L型金具を取り付けた場合、壁側ビスの耐力は必ず低下し、 α が大きくなるほど応力は大きくなるのが分かる。また、各点に作用する曲げモーメントも α が大きくなるほど大きくなるのが分かる。

2.2 実験方法

2.2.1 実験項目

実験項目を表 2.1 に示す。固定方法として文献でも用いられたプラスチック製アンカーと、高い耐力が期待され推奨されている木材下地にビス固定する方法を採用した。基準としてL型金具を用いないビス・アンカー単体、L型金具の壁側ビスの位置として3箇所を実験変数とした。各項目3体ずつ実験を行った。

表 2.1 実験項目

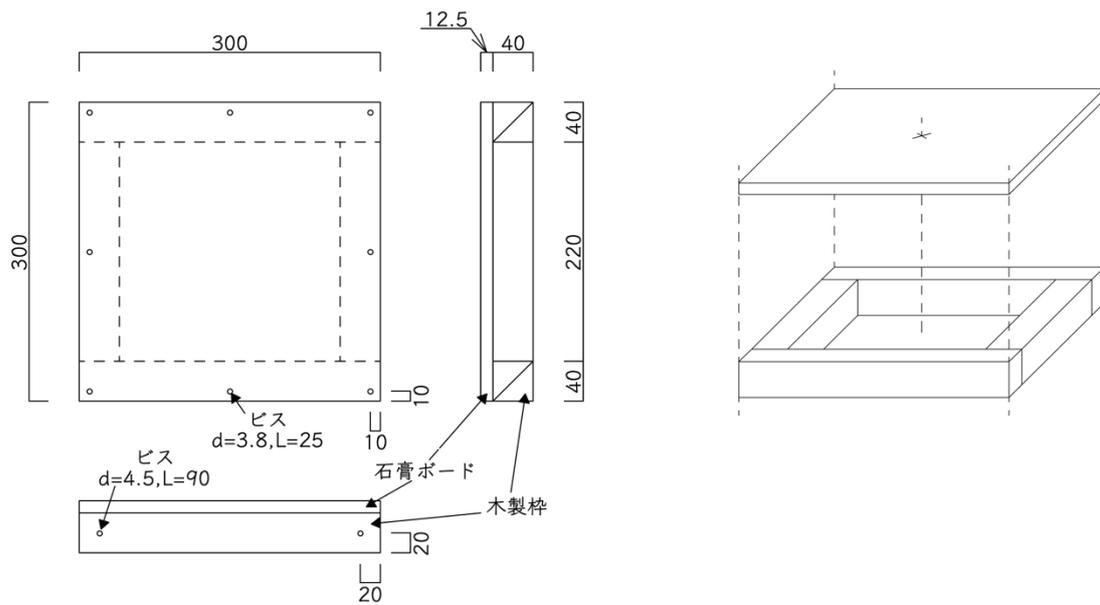
試験体名	固定方法	α (壁側ビスの位置)
N00PA	プラスチック製アンカー	(L型金具なし)
L25PA		25/90
L45PA		45/90
L65PA		65/90
N00PW	木材下地にビス固定	(L型金具なし)
L25PW		25/90
L45PW		45/90
L65PW		65/90

2.2.2 試験体

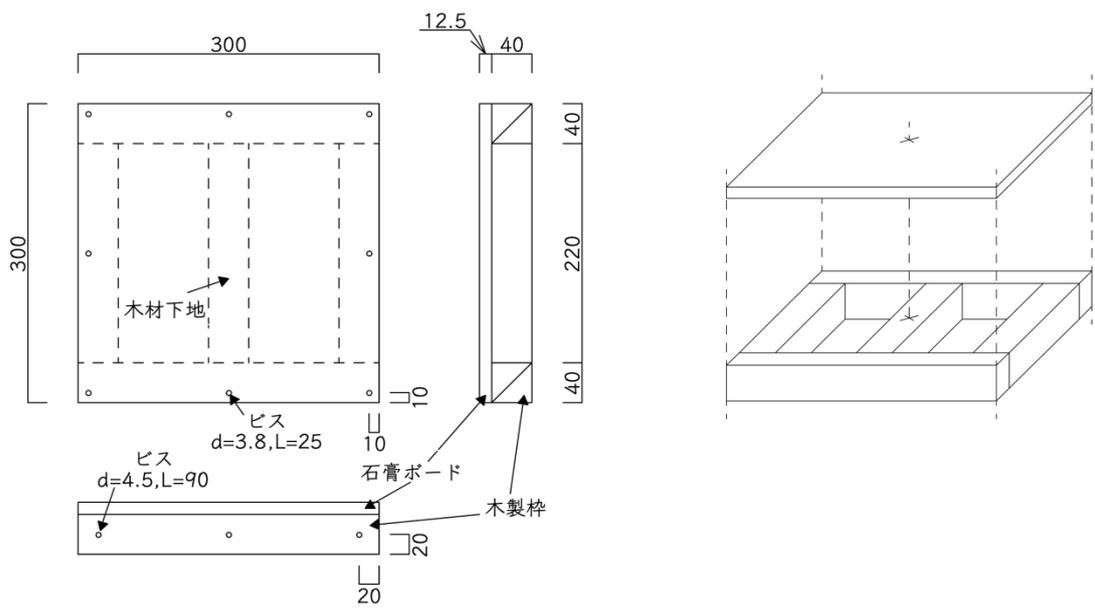
1) 壁試験体

壁試験体を図 2.4 に示す。プラスチック製アンカーの実験では、石膏ボードの中空壁を想定した壁試験体(図(a))、木材下地固定では、石膏ボードの裏側に木材の下地を取り付けた試験体(図(b))を使用した。石膏ボードは厚さ 12.5mm、木材は赤松を使用した。

中空壁試験体は文献 8) で用いられており、既往の研究で用いられている試験体の中で比較的再現しやすかったため採用した。また、使用した万能試験機に収まる寸法であり、一般の住宅であれば約 300mm か 450mm の間隔で胴縁が入っていることから、300mm に変更した。この間隔の差によりボードのたわみ量に差が生じるため、治具の変位からボードの浮き上がり量を引くことで、引抜け変位を計測した。治具の変位からボードの浮き上がり量を引く計算方法は文献 8) でも行われている。



(a) 中空壁試験体



(b) 木材下地壁試験体

図 2.4 壁試験体

2) L 型金具

使用した L 型金具を図 2.5 に示す。L 型金具は市販の金具に穴あけ加工を図 2.5 のように行った。

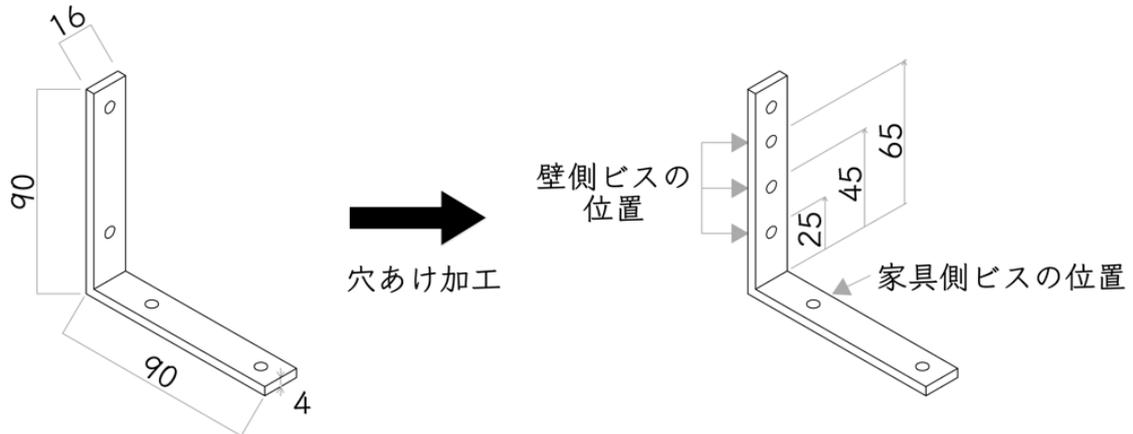


図 2.5 L 型金具(左 : 市販の状態、右 : 加工後の状態)

3) アンカー・ビス

使用したプラスチック製アンカーとビスを図 2.6 に示す。プラスチック製アンカーはトグラ®TB(12.5mm 石膏ボード用、TOGLER® ANCHOR SEYSTEM)、ビスはタッピング皿頭(鉄・ユニクロメッキ、株式会社大里)を使用した。

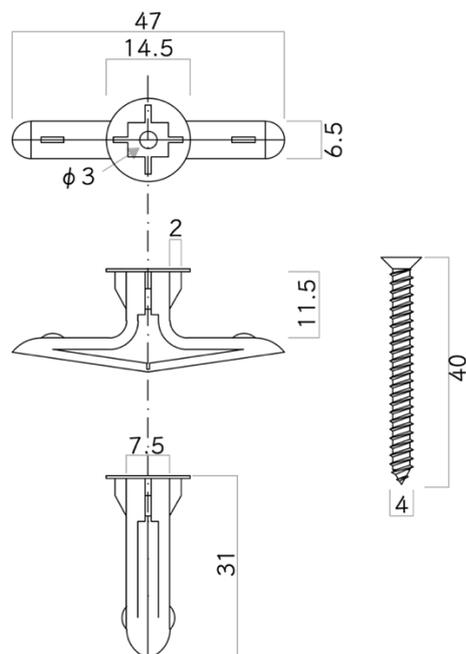


図 2.6 プラスチック製アンカーとタッピングビス

4) 施工手順

各固定方法の施工方法を以下に示す。

・プラスチック製アンカー (TOGGLER® ANCHOR SEYSTEM の web サイト¹⁶⁾ を参考に行った。)

- ①中空壁試験体到下穴(φ8mm)をドリルによって開ける。
- ②アンカーを折りたたんで、手で少し挿入した後、軽くハンマーで打ち込む。
- ③写真 2.1 のような付属のピンで押込み、石膏ボードの裏側でアンカーの羽を開く。
- ④金具を取り付け、電動ドライバーによりビスを締める。締め付けトルクは約 3.3N・m の設定 (使用した電動ドライバーの取扱説明書より。所定のトルクに達するとクラッチが作動し、回転が停止する仕様) で行った。



写真 2.1 付属のピン

・木材下地にビス固定

- ①木材下地壁試験体到下穴(φ3mm)をドリルによって開ける。
- ②金具を取り付け、ビスを締める。プラスチック製アンカーと同様に、電動ドライバーにより、締め付けトルク約 3.3N・m で行った。

※実際の施工では下穴を開けずに施工する場合が考えられるため、下穴(φ3mm)の有無の影響を調べる予備実験を行った。表 2.2 の通り、耐力に影響はないと判断し、安定した施工を行うために、下穴有りて本実験を行った。

表 2.2 下穴の有無の予備実験結果

	最大荷重 (kN)			
	試験体 1	試験体 2	試験体 3	平均
下穴有り	1.471	1.899	1.567	1.646
下穴無し	1.580	1.506	1.848	1.645

2.2.3 載荷方法

載荷速度は、試験機の都合上、一定速度とすることはできないが、手動操作により約 1mm/min になるように調整しながら行った。荷重が 0.05kN 以下まで低下し、それ以降に耐力が再上昇しないと予想される場合又は、変位計の容量の都合上、変位が 20mm に達した場合に試験を終了した。

2.2.4 実験装置

実験装置を図 2.7～2.11、変位計測位置を図 2.12、2.13 に示す。L 型金具を取り付けた実験では家具側の変形が含まれると結果の考察が複雑になるため、鋼製ブロックを変形しない家具として用い、直角部から 25mm の点 1 箇所を L 型金具とボルトによって固定した。図のように α の値によって壁試験体をスライドし、壁試験体の中心にビス・アンカーで固定できるようにした

変位は壁側固定点の L 型金具に取り付けたアクリル板上 2 箇所 (δ_1, δ_2)、石膏ボード上 2 箇所 (δ_3, δ_4) の計 4 箇所を測定し、 δ_1, δ_2 には石膏ボードのたわみも含まれるため、ビス・アンカー変位 δ は式(2.7)で計算した。L 型金具なしの実験では、引抜き治具に取り付けたアクリル板上 2 箇所を δ_1, δ_2 として同様に計算した。

$$\delta = \frac{\delta_1 + \delta_2}{2} - \frac{\delta_3 + \delta_4}{2} \quad (2.7)$$

使用した試験機、ロードセル、変位計を表 2.3 に示す。

表 2.3 使用機器

使用機器	製品名・型名(会社名)
試験機	1MN 級アムスラー型万能試験機 UEH-1000kNIR(島津製作所)
ロードセル	引張・圧縮型高精度荷重計 TCLZ-5KNA(東京測器研究所)
変位計	小径高感度変位計 CDP-25M(東京測器研究所)

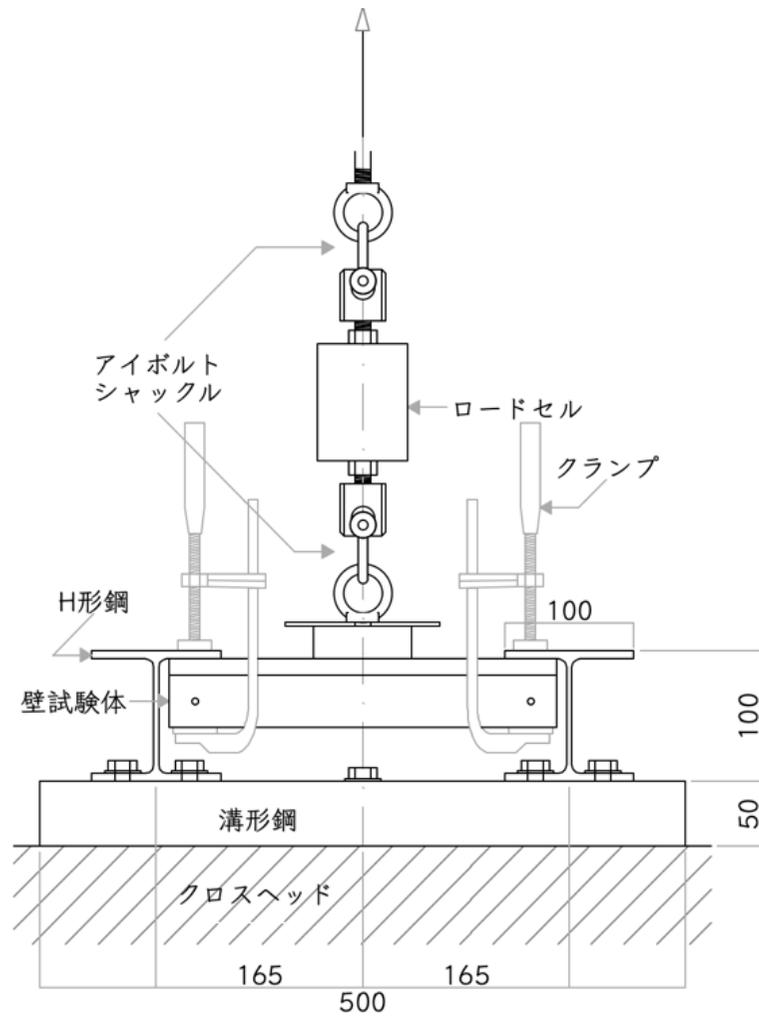


図 2.7 L型金具なし実験装置

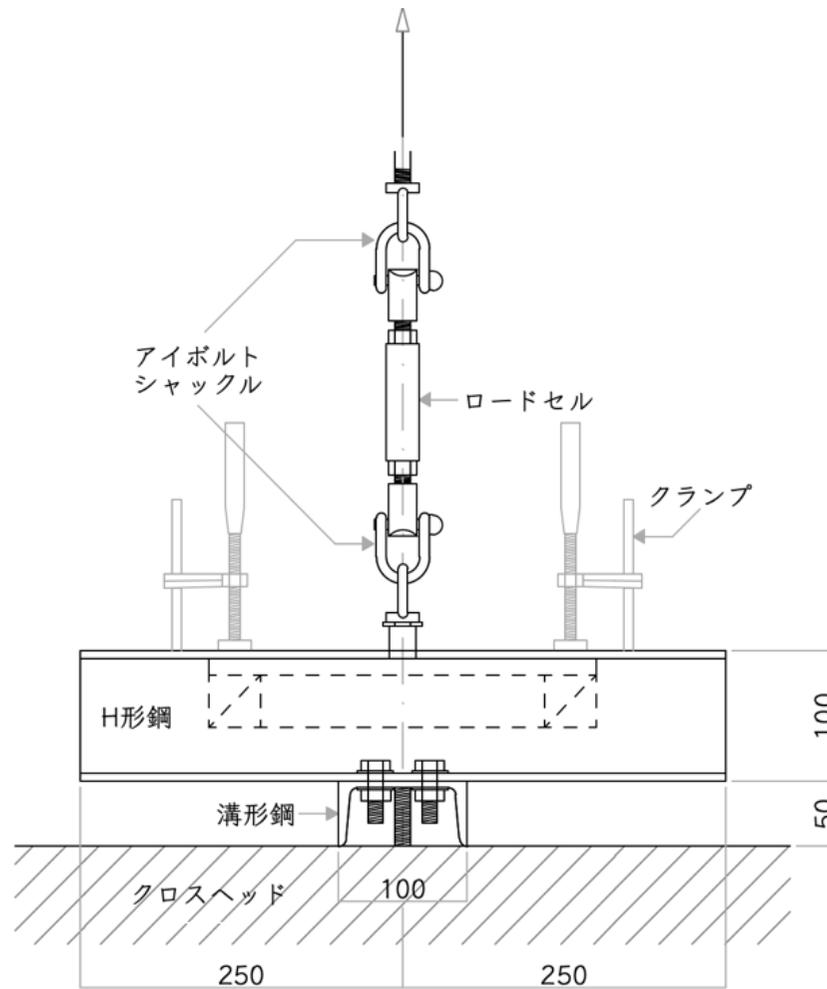


図 2.8 L型金具なし実験装置 側面

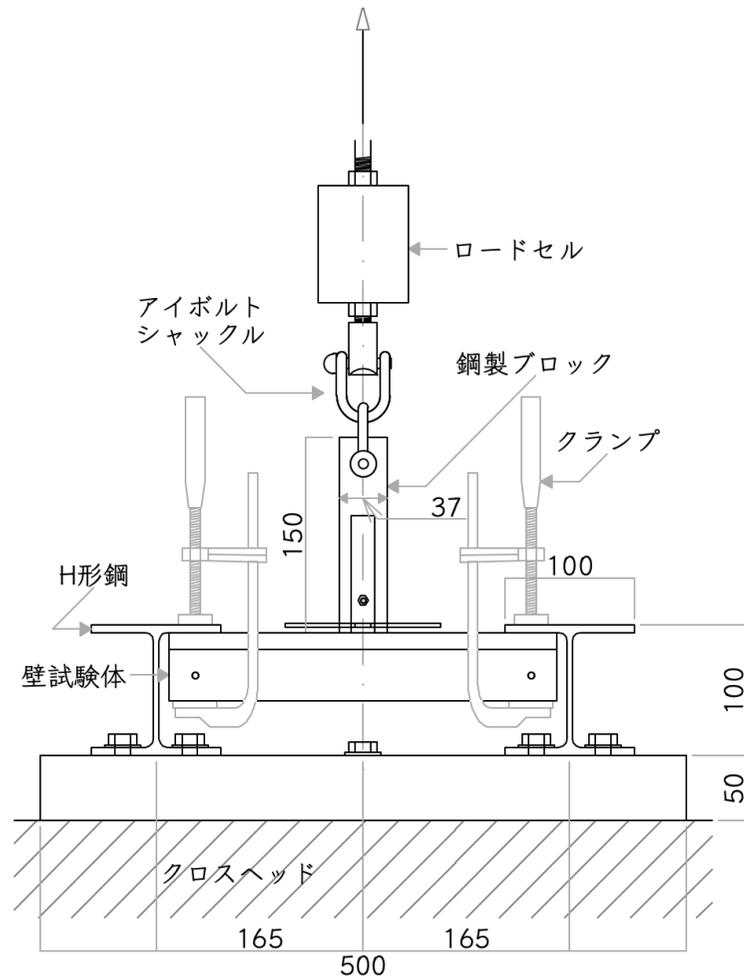


図 2.10 L型金具を取り付けた実験装置 正面

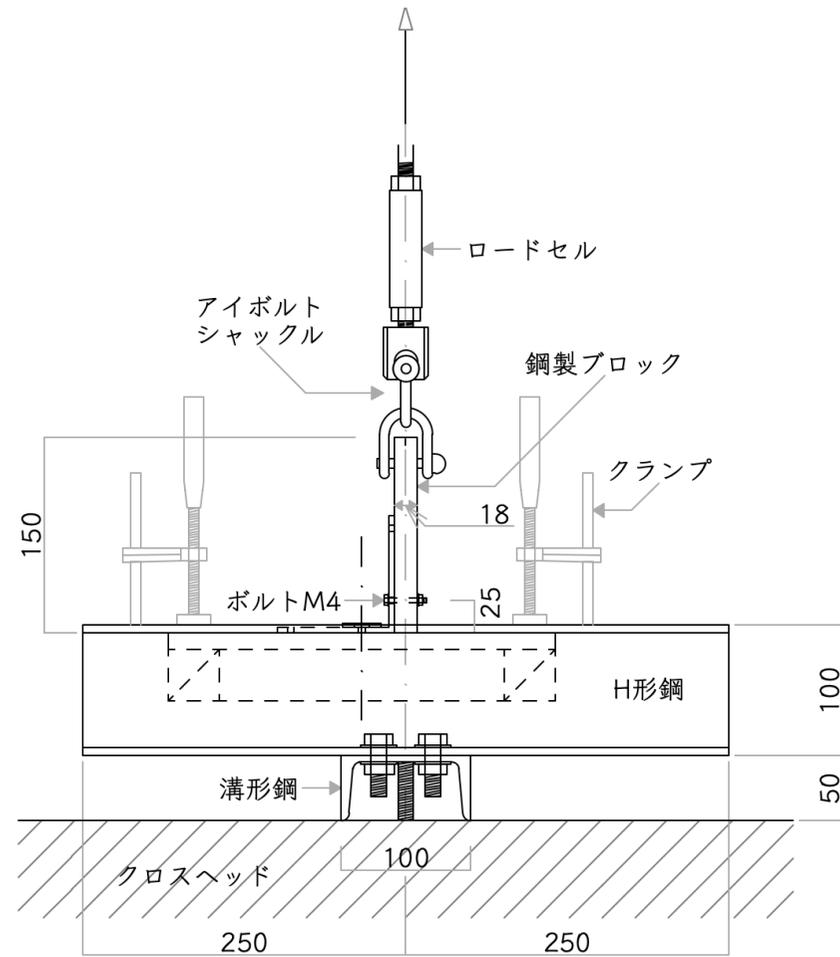


図 2.9 L型金具を取り付けた実験装置 側面 ($\alpha=25/90$)

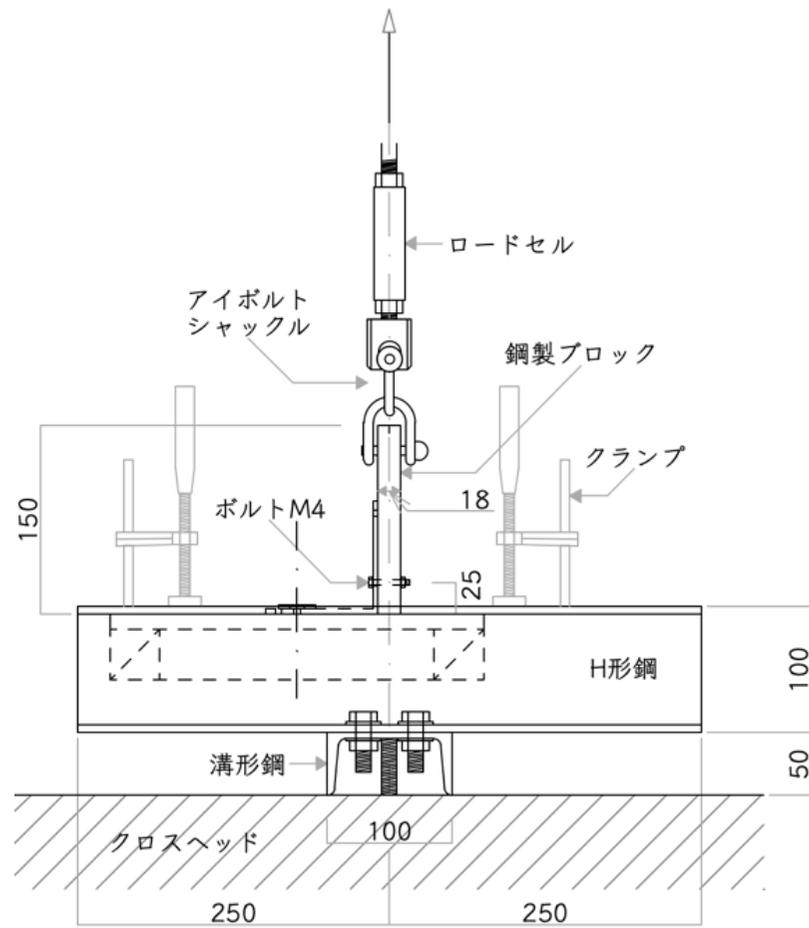


図 2.11 L 型金具を取り付けた実験装置 側面 ($\alpha=65/90$)

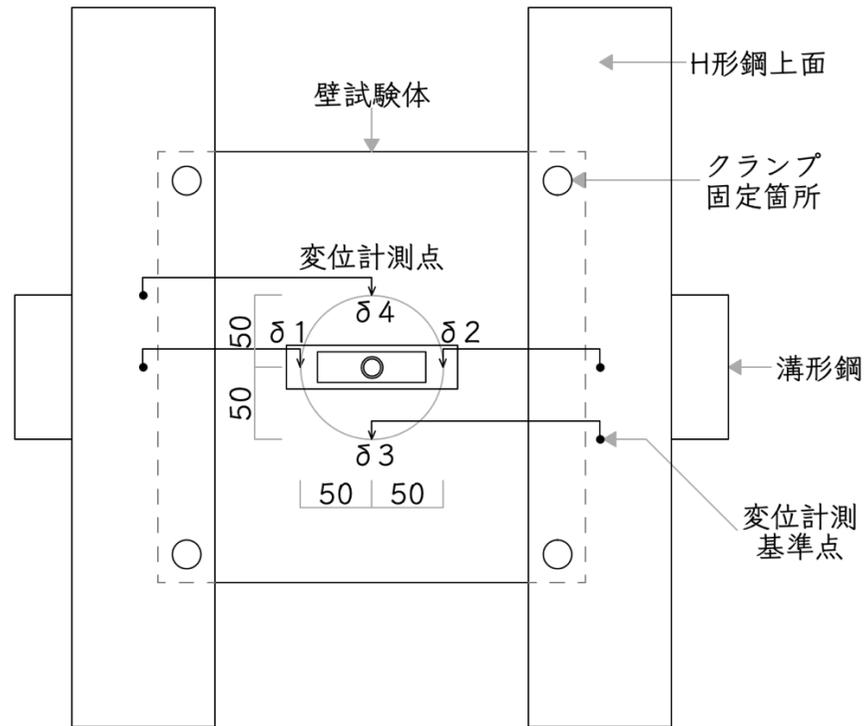


図 2.12 L型金具なし実験 変位計測点

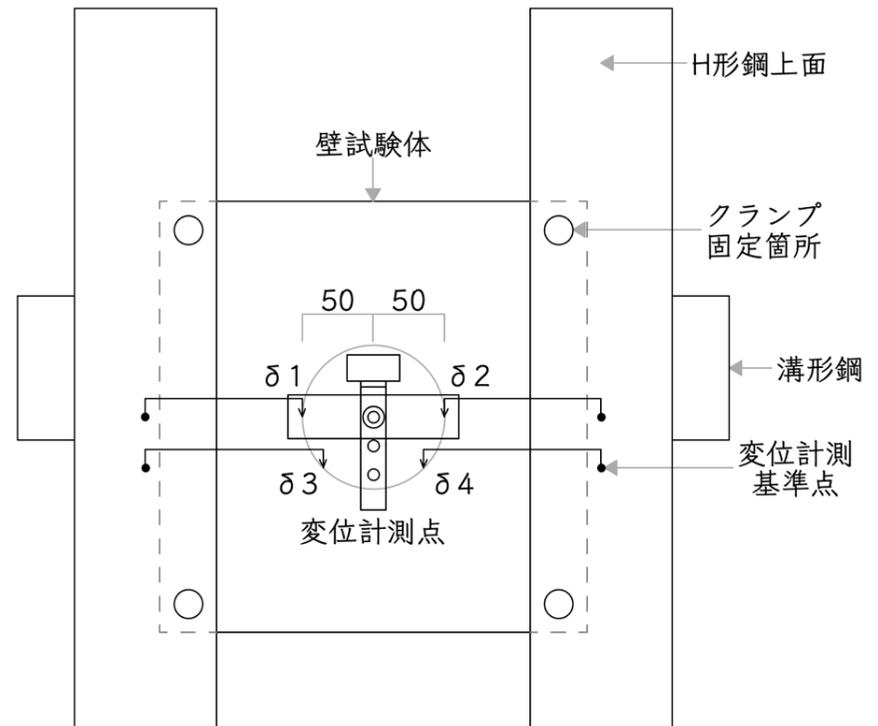


図 2.13 L型金具を取り付けた実験 変位計測点



写真 2.2 L型金具なし実験 装置全体



写真 2.3 L型金具を取り付けた実験 装置全体

2.3 実験結果

実験結果を表 2.4 に示す。耐力比は L 型金具なしの最大荷重の平均値に対する各試験体の最大荷重の平均値の比を表す。L25PA-2 は、1 回目より 2 回目のピークの方が大きな値となったが、表には 1 回目のピークの値を示した。

図 2.14 には、耐力比を縦軸、壁側ビスの位置 α を横軸として、力学モデルによる計算値を青線、実験から得られた耐力比を橙色の点で示す。青線は式に示す H_B を無次元化した値の逆数 (F/H_B) から計算した。

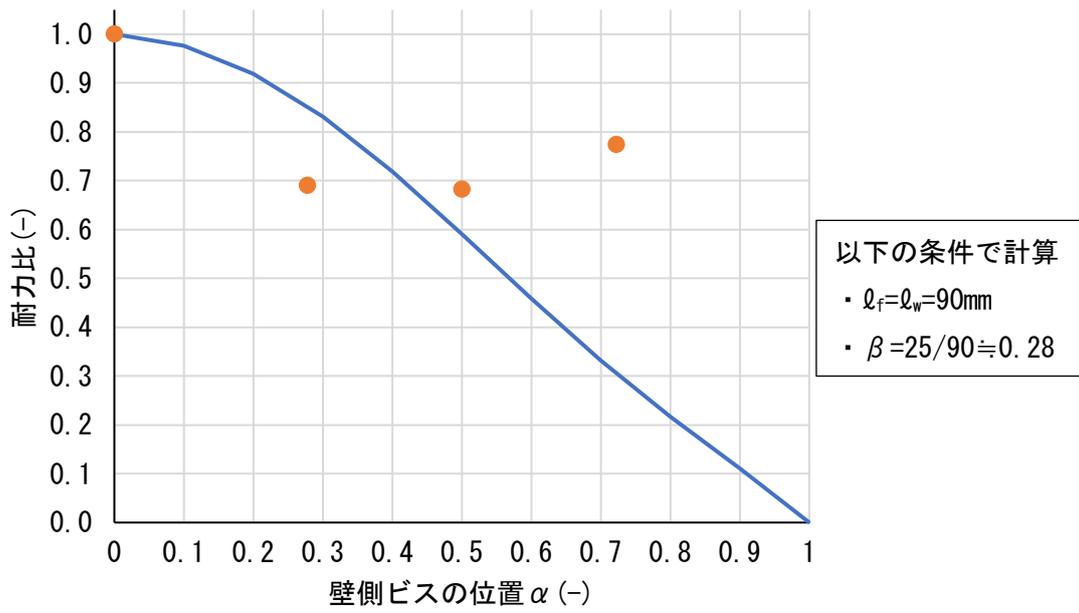
実験から得られた各試験体の荷重変位関係を図 2.15, 2.17 に示す。

表 2.4 最大荷重 (L 型金具の影響を考慮した単調引抜き実験)

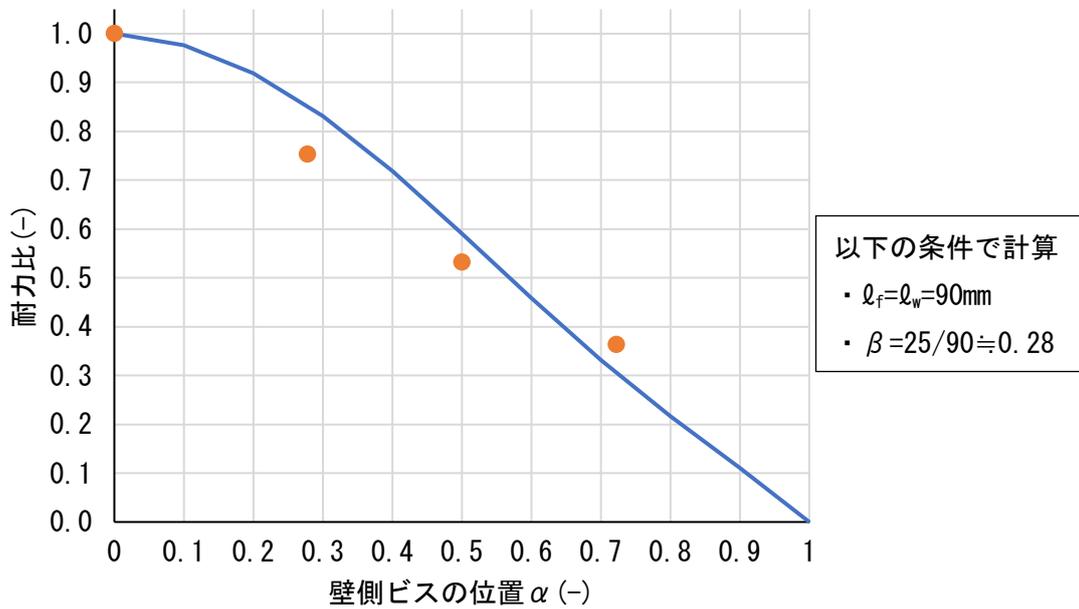
試験体名	最大荷重 (kN)					耐力比
	試験体 1	試験体 2	試験体 3	試験体 4	平均	
N00PA	0.519	0.538	0.610		0.556	(1.00)
L25PA	0.412	0.376	0.362		0.383	0.690
L45PA	0.456	0.443	0.238		0.379	0.682
L65PA	0.235	0.430	0.362	0.498	0.430	0.774
N00PW	0.853	1.940	1.602	2.116	1.886	(1.00)
L25PW	1.099	1.279	1.296		1.225	0.649
L45PW	1.048	1.217	0.891	1.068	1.002	0.531
L65PW	0.481	0.633	0.657		0.590	0.313

※L65PA-1,N00PW-1:施工不良のため除外

L45PW-2:実験中に治具が動いたため除外



(a) プラスチック製アンカー



(b) 木材下地にビス固定

図 2.14 力学モデルによる計算値と耐力比の比較

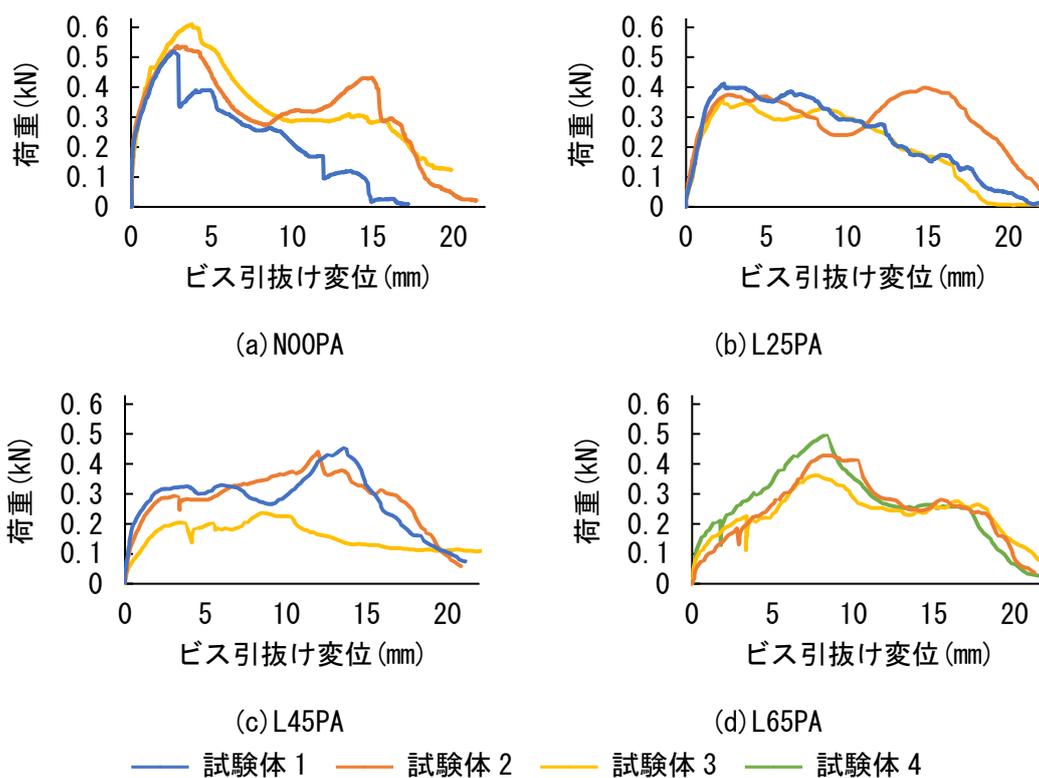


図 2.15 プラスチック製アンカー実験の荷重変位関係

プラスチック製アンカーはL型金具を取り付けた場合、 α の値に関わらず耐力比は約0.7となった。L型金具を取り付けると、図2.16のようにL型金具とプラスチック製アンカーが傾きながら引抜けていく。傾くほど羽が閉じづらくなり、抵抗が生じることで、同程度の耐力が保持されると考えられる。

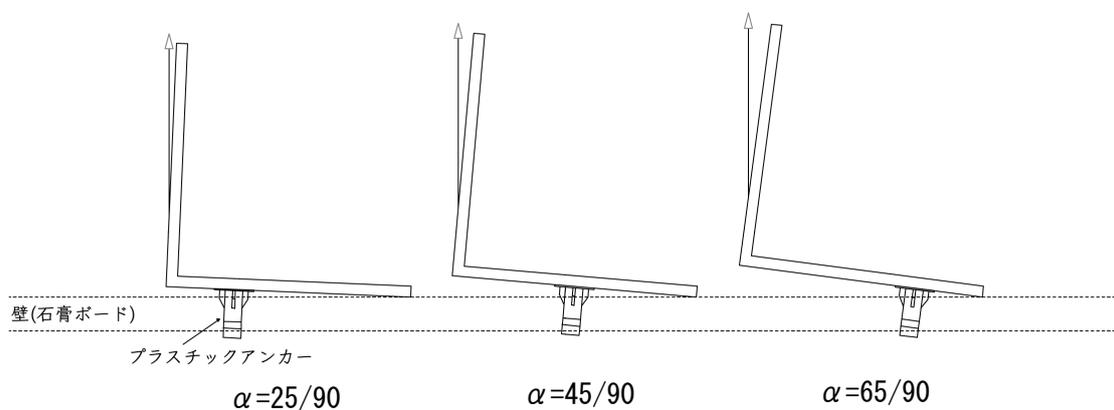


図 2.16 壁側ビスの位置 α を変化させた時の最大荷重時の傾きのイメージ
(プラスチック製アンカー)

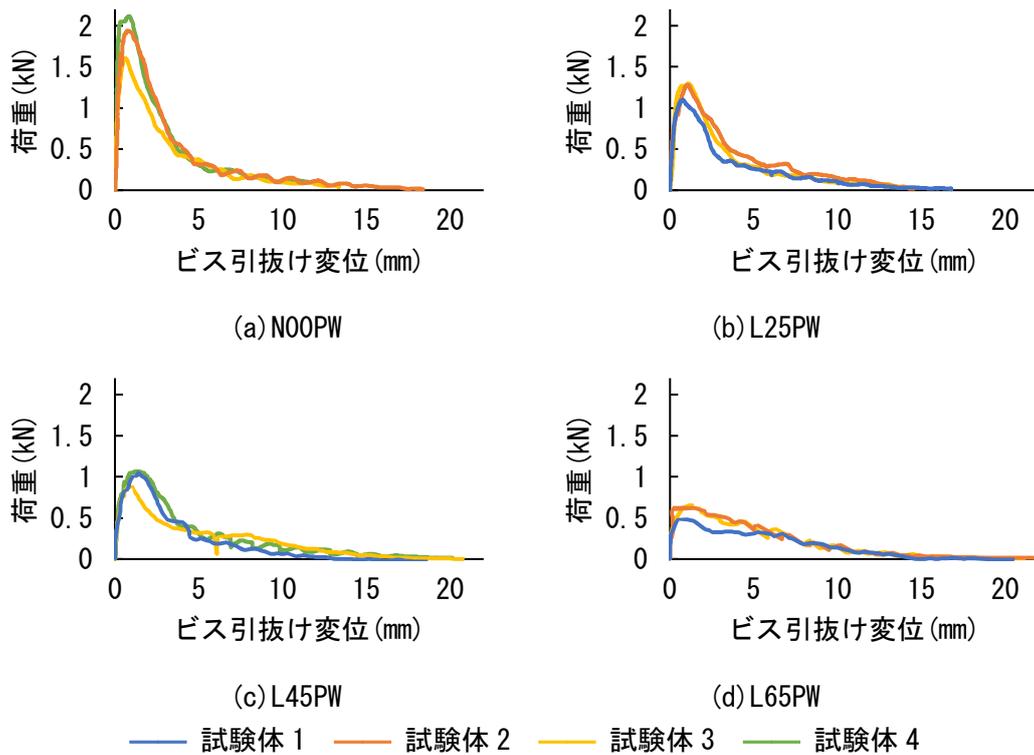


図 2.17 木材下地固定実験の荷重変位関係

木材下地に固定した場合、 α の値が大きくなるほど、耐力比は低下し、力学モデルによる計算値と近い値を示した。また、L45PW では写真 2.2 のように壁側固定点で金具の曲げ変形が起こり、L65PW では写真 2.3 のように曲げ変形は起きず、石膏ボードが徐々に陥没する結果となった。曲げ変形の発生には壁の材質、強度も影響することが分かる。



写真 2.2 未使用の金具(左)と L45PW に使用した金具(右)



写真 2.3 L65PW のめり込み

第3章 施工条件を考慮した単調引抜き実験

3.1 実験方法

3.1.1 実験項目

3.1.2 試験体

3.1.3 載荷方法

3.1.4 実験装置

3.2 実験結果

第3章 施工条件を考慮した単調引抜き実験

3.1 実験方法

3.1.1 実験項目

家具の固定に施工条件が及ぼす影響を調べるために、アンカーの大きさ、下穴径、傾き(向き)、アンカーの差込み後の処理を変数とした実験を行った。実験項目を表3.1～3.3に示す。固定方法はプラスチック製アンカー、鋼製アンカー、木材下地にビス固定の3種類で行った。

プラスチック製アンカーでは、アンカーの大きさは、標準(壁厚さ12.5mm用)、過大(15mm用)、過小(9.5mm用)、下穴径は標準(ϕ 8mm)、過大(ϕ 10mm)、過小(ϕ 6mm)、傾きは 0° 、 5.0° 、傾きに対する羽の向きとして直交方向と平行方向、アンカー差込みの後のピンの押し込みの有無を用意した。

PNは2章で行ったL型金具なしの実験3体に加えて新たに3体、PNC、P5.0-V・Hは3体、ばらつきが見られたPH-L、PA-L・Sは4体、特にばらつきの大きかったPH-Sは5体実験を行った。

表3.1 プラスチックアンカーの実験項目

試験体名	アンカーの大きさ	下穴径	傾き	傾きに対する羽の向き	ピン押し込み
PN	標準	標準	0°	/	有
PNC					無
P5.0-V			5.0°	直交	有
P5.0-H				平行	
PH-L	過大	0°	/		
PH-S	過小				
PA-L	過大	標準			
PA-S	過小				

鋼製アンカーでは、アンカーの大きさは、標準(壁厚さ 10～16mm 用)、過大(17～23mm 用)、過小(3～10mm 用)、下穴径は標準(ϕ 9mm)、過大(ϕ 11mm)、過小(ϕ 7mm)、傾きは 0° 、 5.0° を用意した。

表 3.2 鋼製アンカーの実験項目

試験体名	アンカーの 大きさ	下穴径	傾き
SN	標準	標準	0°
S5.0			5.0°
SH-L		過大	0°
SH-S		過小	
SA-L		過大	
SA-S		過小	
		標準	

木材下地固定では、傾き 0° 、 5.0° を用意した。

表 3.3 木材下地固定の実験項目

試験体名	傾き
WN	0°
W5.0	5.0°

施工条件の選定において、表のように各施工段階で起こり得る人為的ミスを表 3.4 のように挙げた。この中で、耐力に影響を与え得るものを選び、実験の変数とした。ビス径の影響は、製品の開発実験や既往の研究等で行われているため本実験では除いた。表 3.4 中で実験の施工条件として選定したものを赤字で示す。

表 3.4 固定器具の取り付けで起こり得る人為的ミス

施工段階	人為的ミス		
	プラスチック製 アンカー	鋼製アンカー	木材下地固定
ビス、アンカーを選定する	サイズ違い (ボード厚さに対するアンカーの サイズ、ビス径)		サイズ違い (ビス径)
下穴を開ける	下穴径 傾き		下穴径 傾き
下穴にアンカーを 差し込む	向き		
ハンマーで軽く叩き、 壁と同一平面にする (鋼製アンカーは締付け、 一度ねじを外す)	手順を省く 不足	手順を省く トルク不足 トルク過多 共回り	
ピンで押し込む	手順を省く		
金具等を設置し、 ビスで締め付ける	トルク不足	トルク不足 トルク過多	トルク不足

3.1.2 試験体

1) 壁試験体

プラスチック製アンカーと鋼製アンカーでは、図 2.4(a) で示した中空壁試験体を使用した。木材下地にビス固定する方法において、図 2.4(b) に示した木材下地壁試験体では、後述する繰り返し载荷実験で繰り返しの影響により下地が動いてしまったため、表 3.5 の通り引抜き耐力に影響がないことを確認し、図 3.1 のように変更した。

表 3.5 木材下地壁試験体の変更前後の最大荷重

	最大荷重 (kN)			
	試験体 1	試験体 2	試験体 3	平均
変更前	1.940	1.602	2.116	1.886
変更後	1.993	1.996	1.842	1.944

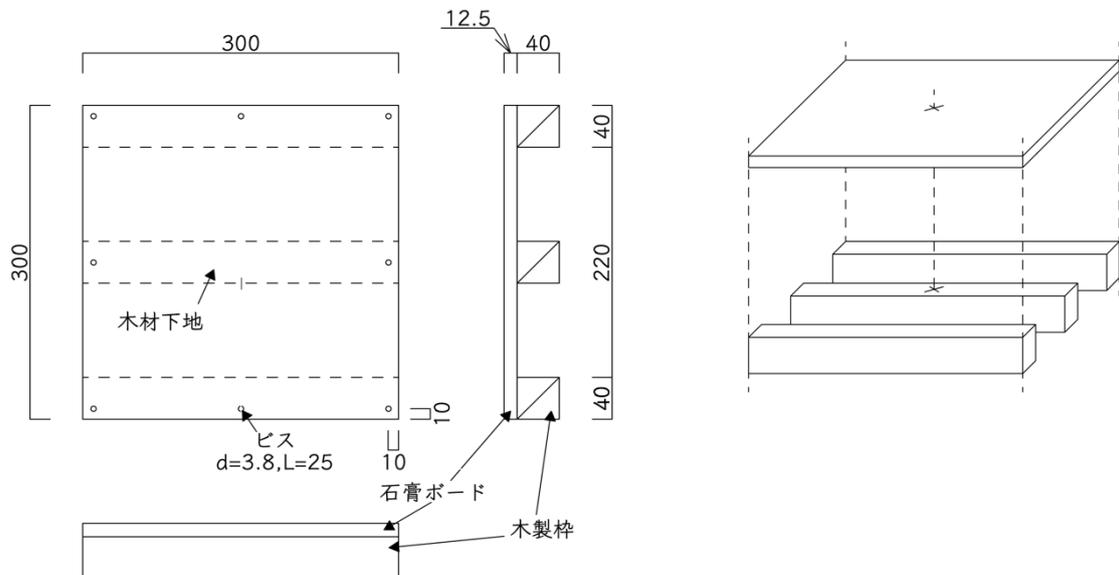


図 3.1 変更した木材下地壁試験体

2) アンカー・ビス

各アンカーの過小、標準、過大で用いた製品を表 3.6、図 3.2、3.3 に示す。

ビスは、プラスチック製アンカーの過小、標準、過大、木材下地固定で 2.2.2 の 3) と同じものを用いた。

表 3.6 使用したアンカー

アンカー種類	アンカーの 大きさ	製品名
プラスチック製アンカー	過小	トグラ-®T9.5 (TOGGLER® ANCHOR SEYSTEM)
	標準	トグラ-®TB (TOGGLER® ANCHOR SEYSTEM)
	過大	トグラ-®TC (TOGGLER® ANCHOR SEYSTEM)
鋼製アンカー	過小	ウォールアンカーW-409 (株式会社大里)
	標準	ウォールアンカーW-416 (株式会社大里)
	過大	ウォールアンカーW-423 (株式会社大里)

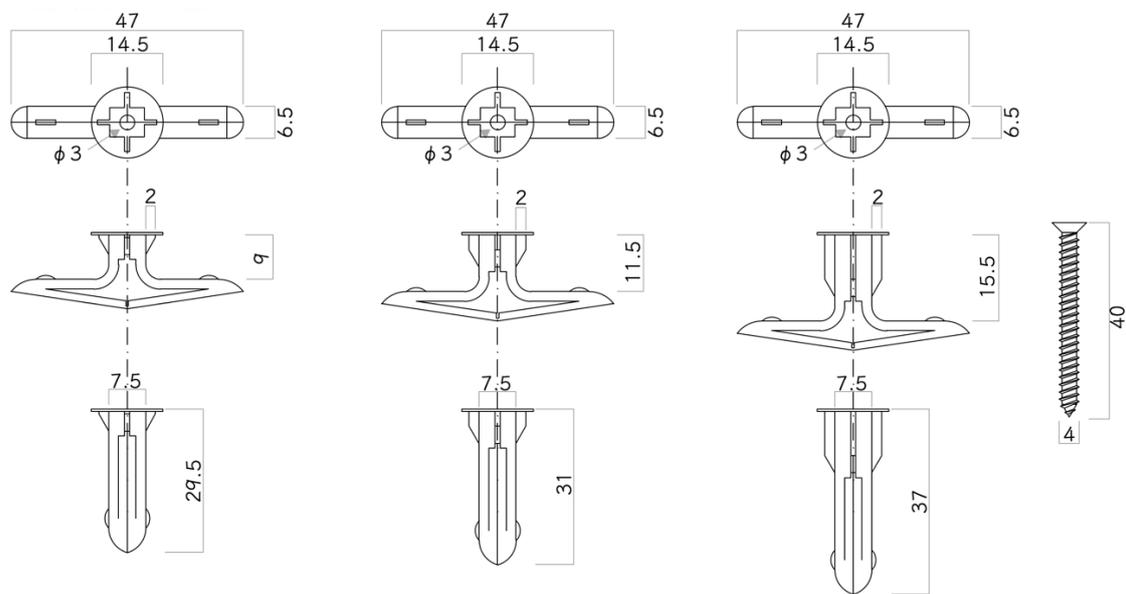


図 3.2 プラスチック製アンカー(左から過小、標準、過大)とタッピングビス

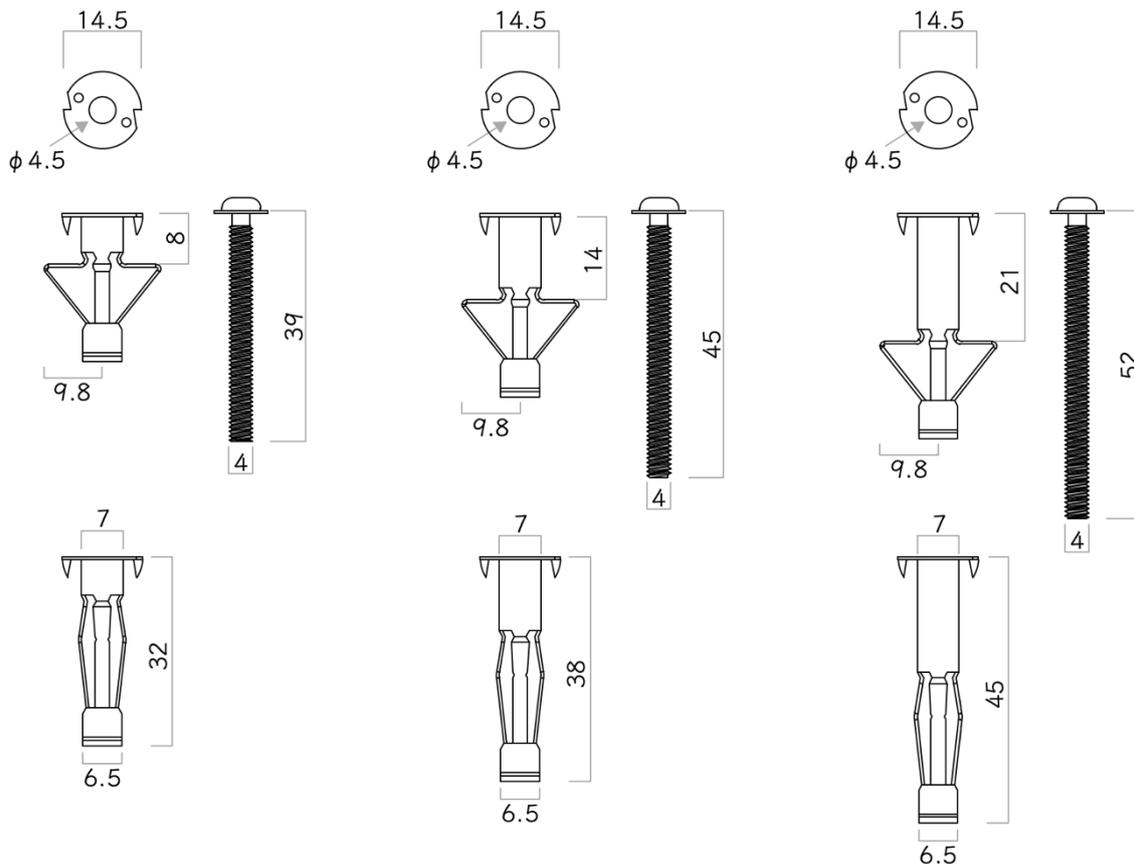


図 3.3 鋼製アンカー(左から過小、標準、過大)と付属ねじ

3) 施工手順

各固定方法の施工手順を以下に記す。

- ・プラスチック製アンカー(TOGLER® ANCHOR SEYSTEM の web サイト¹⁶⁾を参考に行った。)
- ①中空壁試験体に、傾きの影響を及ぼさないために下穴(過小：φ6mm、標準：φ8mm、過大：φ10mm)をボール盤によって開ける。傾きをつける試験体は、写真 3.1 の傾き調整治具をボール盤に取り付けて下穴を開ける。
 - ②アンカーを折りたたんで、手で少し挿入した後、軽くハンマーで打ち込む。
 - ③付属のピンで押込み、石膏ボードの裏側でアンカーの羽を開く。
 - ④金具を取り付け、電動ドライバーによりビスを締める。締め付けトルクは約 3.3N・m の設定(使用した電動ドライバーの取扱説明書より。所定のトルクに達するとクラッチが作動し、回転が停止する仕様)で行う。
-
- ・鋼製アンカー(株式会社大里, ねじのハンドブック¹⁷⁾を参考に行った。)
- ①中空壁試験体に、傾きの影響を及ぼさないために下穴(過小：φ7mm、標準：φ9mm、過大：φ11mm)をボール盤によって開ける。傾きをつける試験体は、写真 3.1 の傾き調整治具をボール盤に取り付けて下穴を開ける。
 - ②アンカーを手で差し込み、共回り防止治具をセットし、ねじを電動ドライバーにより締

め付ける。締め付けトルクは約 $3.3\text{N}\cdot\text{m}$ の設定で行う。

③一度ねじを緩めて抜き取る。

④金具を取り付け、電動ドライバーによりビスを締める。電動ドライバーにより、締め付けトルク約 $3.3\text{N}\cdot\text{m}$ で行う。

・木材下地にビス固定

①木材下地壁試験体に、傾きの影響を及ぼさないために下穴($\phi 3\text{mm}$)をボール盤によって開ける。傾きをつける試験体は、写真 3.1 の傾き調整治具をボール盤に取り付けて下穴を開ける。

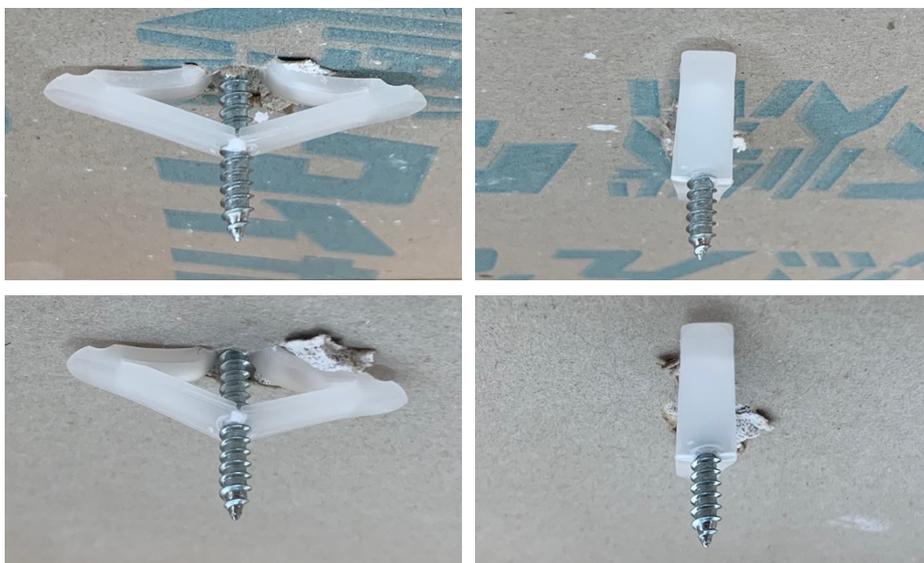
②金具を取り付け、ビスを締める。電動ドライバーにより、締め付けトルク約 $3.3\text{N}\cdot\text{m}$ で行う。



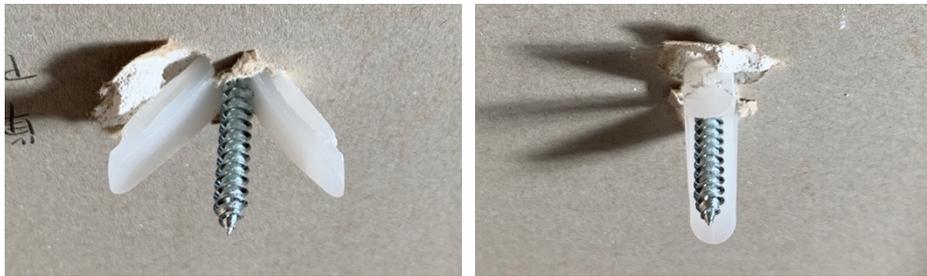
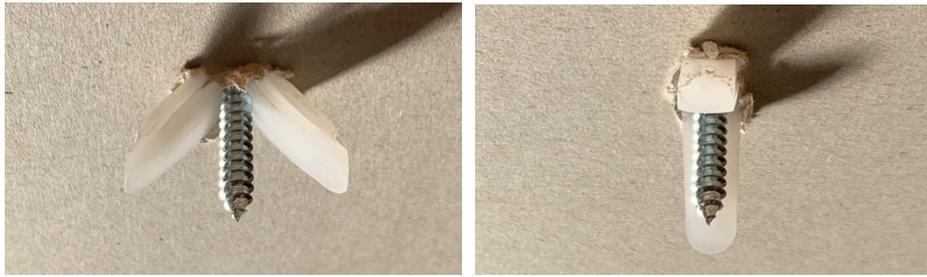
写真 3.1 傾き調整治具(板の枚数と位置によって傾きを調節できる)

4) 施工後の状態

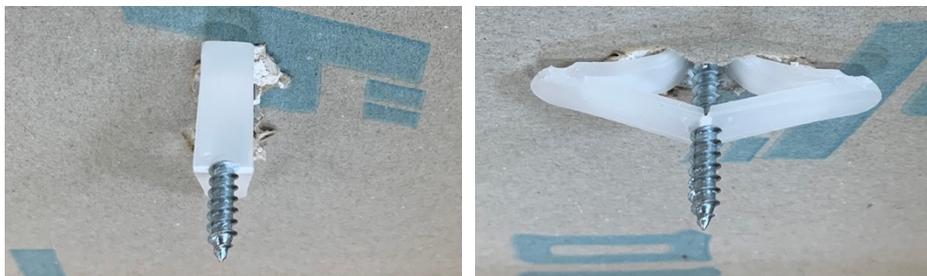
プラスチック製アンカーの施工後の状態の例を写真 3.2 に示す。



(a)PN(上：剥離なし、下：剥離あり)



(b) PNC (上 : 剥離なし、下 : 剥離あり)



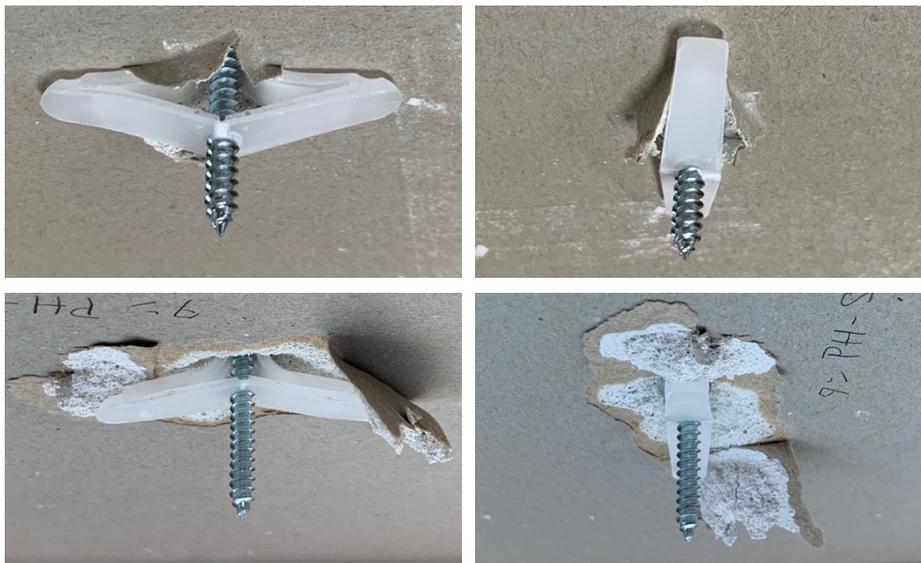
(c) P5.0-V (下穴は左の写真の左上-右下方向に傾いている)



(d) P5.0-H (下穴は左の写真の左上-右下方向に傾いている)



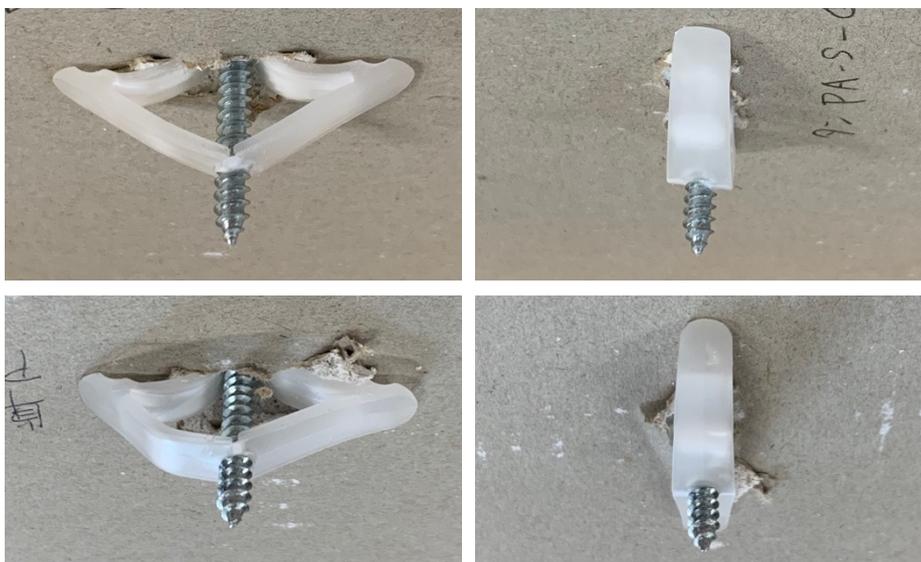
(e) PH-L



(f) PH-S(上 : 剥離小、下 : 剥離大)



(g) PA-L



(h) PA-S(上 : ピン押込み時にひし形になったもの
下 : ピン押込み時に片方の羽が折れたもの)

写真 3.2 プラスチック製アンカーの施工後の状態

- PN どの施工条件でもアンカー挿入時に剥離が起こることがあった。
- PNC 羽が石膏ボードの裏で開いていないことが分かる。
- P5.0-V,H 施工後の状態では、傾きの影響はないように見える。
- PH-L 下穴が大きいため剥離が起こりづらかった。
- PH-S 下穴が小さいため大きな剥離が起きやすかった。全ての試験体で剥離が起きた。
- PA-L 石膏ボードに対してアンカーのサイズが大きいため、裏側でアンカーとボードの間に 1mm 程度の間隙が生じた。
- PA-S 石膏ボードに対してアンカーのサイズが小さいため、ボードの裏側まで羽が届いておらず、羽を強制的に開かせる必要があり、アンカーに変形が生じた。ピンでの押込みに相当な力を要し、その力で羽の先端が割れてしまうこともあった。実際に壁の裏が見えない状態で施工するのは危険であると考えられる。



(a) SN



(b) S5.0



(c) SH-L



(d) SH-S



(e) SA-L



(f) SA-S

写真 3.3 鋼製アンカーの施工後の状態

- SN プラスチック製アンカーと違い、アンカーの太さに対して下穴の大きさに余裕があるため剥離などは起きず、施工性は安定していた。

- ・S5.0 5.0° の傾きでは、下穴がアンカーに干渉することはない、SN と変わらなかった。
- ・SH-L アンカーに施工時の共周りを防止するための爪がついているが、下穴が大きいため固定が甘く、回転してしまうことがあった。
- ・SH-S 下穴が小さいため、アンカー挿入時に下穴と触れる感覚があったが、触れることでボードが崩れたりほしない程度であった。
- ・SA-L 石膏ボードに対してアンカーのサイズが大きいため、アンカーとボードの間に隙間があり、羽が 90° まで開く時点で電動ドライバーのクラッチが作動しなかったため、羽が閉じてしまった。手締めドライバーで行った際も、羽が 90° になる時点で締める感覚に変化はなく、実際の施工でも同様の状態になることが考えられるため、この状態で実験を行った。
- ・SA-S 石膏ボードに対してアンカーのサイズが小さいため、ボードの裏側まで羽が届いておらず、ボードの内部で羽が開き、アンカーも開ききっていなかった。

3.1.3 載荷方法

載荷速度は、試験機の都合上、一定速度とすることはできないが、手動操作により約 1mm/min になるように調整しながら行った。荷重が 0.1kN 以下まで低下し、それ以降に耐力が再上昇しないと予想される場合又は、変位計の容量の都合上変位が 20mm に達した場合、試験を終了した。

3.1.4 実験装置

実験装置と変位計測位置は 2 章に示した L 型金具なしの実験装置(図 2.7, 2.8)、変位計測位置(図 2.12, 2.13)で行った。試験機、ロードセル、変位計は表 2.3 と同じものを使用した。

3.2 実験結果

1) プラスチック製アンカー

プラスチック製アンカーの実験結果を表 3.7 に、荷重変位関係を図 3.4 に示す。PN-1, 2, 3 は 2 章で行った L 型金具の実験結果を用いている。

表 3.7 プラスチック製アンカーの単調載荷実験の最大荷重

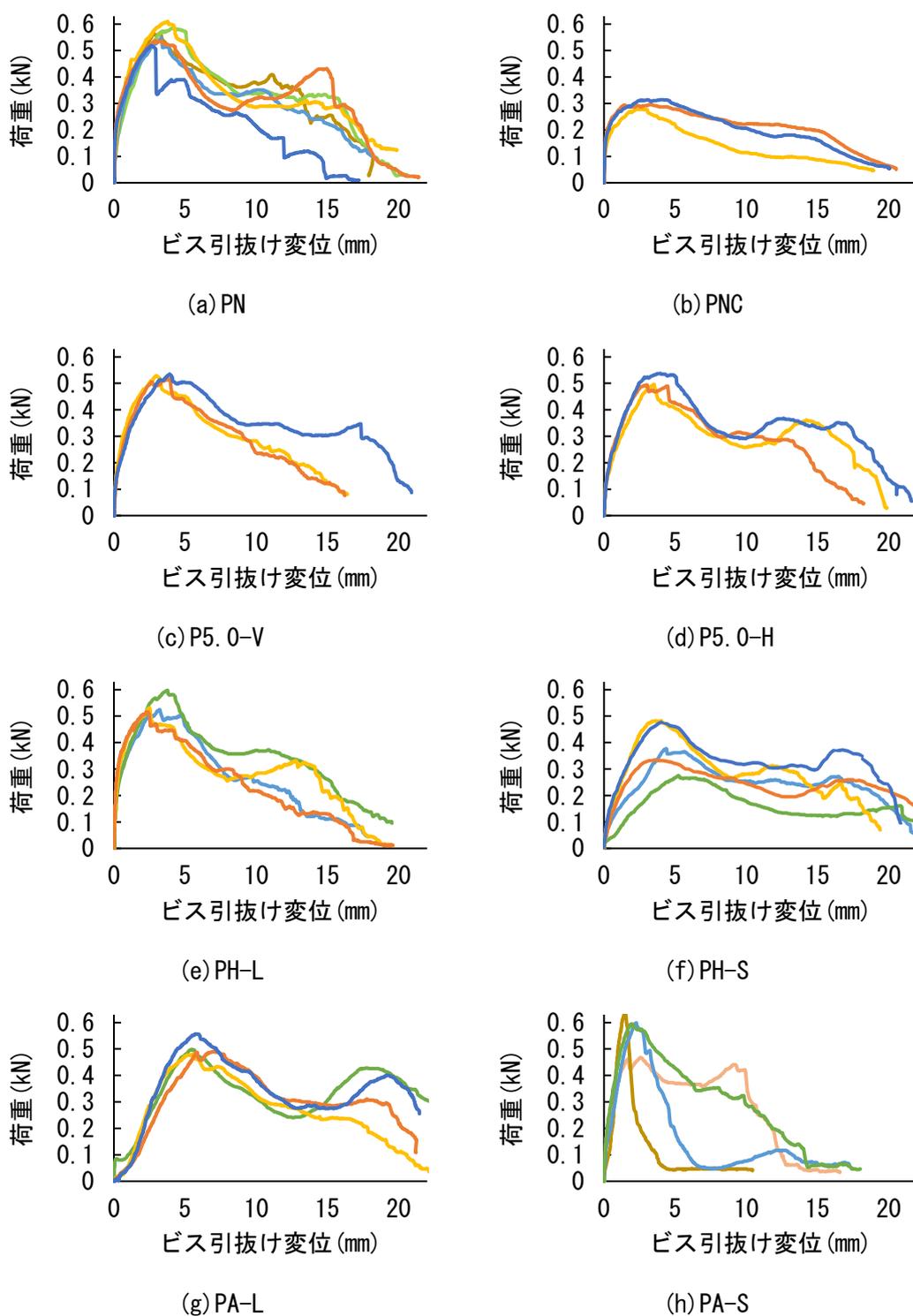
	最大荷重 (kN)							耐力比 (標準)	
	試験体 1	試験体 2	試験体 3	試験体 4	試験体 5	試験体 6	試験体 7		平均
PN	0.519	0.538	0.610	0.548	0.585	0.568		0.561	(1.00)
PNC	0.240	0.216	0.200	0.314	0.295	0.280		0.296	0.53
P5.0-V	0.535	0.517	0.529					0.527	0.94
P5.0-H	0.538	0.494	0.497					0.510	0.91
PH-L	0.309	0.516	0.532	0.598	0.525			0.543	0.97
PH-S	0.481	0.335	0.483	0.276	0.377			0.390	0.70
PA-L	0.557	0.490	0.482	0.499				0.507	0.90
PA-S	0.289	0.234	0.256	0.595	0.599	0.640	0.468	0.576	1.03

※PNC-1, 2, 3, PA-S-1, 2, 3 : 計測開始前から引抜き力が作用していたため除外

※PH-L-1 : 施工に不備があったため除外

- ・PN アンカー1 つで平均最大荷重は 0.561kN(≒57.2kgf) で、荷重変位関係において、試験体 1 を除き、15mm 付近まで最大荷重の 5~7 割程度の耐力が確認できる。最大荷重時に、アンカーの羽はトラス構造で荷重に抵抗しており、羽の中央で変形が始まると、荷重が徐々に低下していく。最大荷重に達した後、変形が進むと、後述する破壊形式の違いによって、荷重変位関係にばらつきが生じた。
- ・PNC PN と比較すると、最大荷重は半分程度までしか上がらず、後半も荷重が落ちていくのみで、固定効果は小さい。
- ・P5.0-V, P5.0-H P5.0-V では、最大荷重は PN とほぼ変わらないが、変形が進むと荷重も比例して低下する試験体が見られた。P5.0-H では、PN とほぼ同じような荷重変位関係を描き、変形時にも耐力が残っていることが分かる。これは後述する破壊形式の違いであり、羽に対して垂直方向に傾いていることで、変形が進んだ後の耐力が下がることが分かった。
- ・PH-L 最大荷重は PN とほぼ同じであるが、P5.0-V と同様に、変形が進むと荷重も比例して低下する試験体が見られた。これは下穴が大きいことで、石膏ボードの抵抗する面積が小さく、ボード破壊が生じやすいためと考えられる。
- ・PH-S 施工後の状態からも分かるように、施工時に剥離によってばらつきが起きやすく、PNC のように最大荷重が PN の半分程度しかない試験体も見られた。

- PA-L 最大荷重はPNと変わらないが、施工後にボード裏側に隙間があることから、最大荷重時の変形が他の条件より約1～2mm大きい。
- PA-S 最大荷重の平均値はPNより大きくなったが、施工後にアンカーに変形が生じることで挙動にばらつきがあり、変形が進むと耐力が大きく低下していることが分かる。



— 試験体 1 — 試験体 2 — 試験体 3 — 試験体 4
 — 試験体 5 — 試験体 6 — 試験体 7

図 3.4 プラスチック製アンカー実験の荷重変位関係

2) 鋼製アンカー

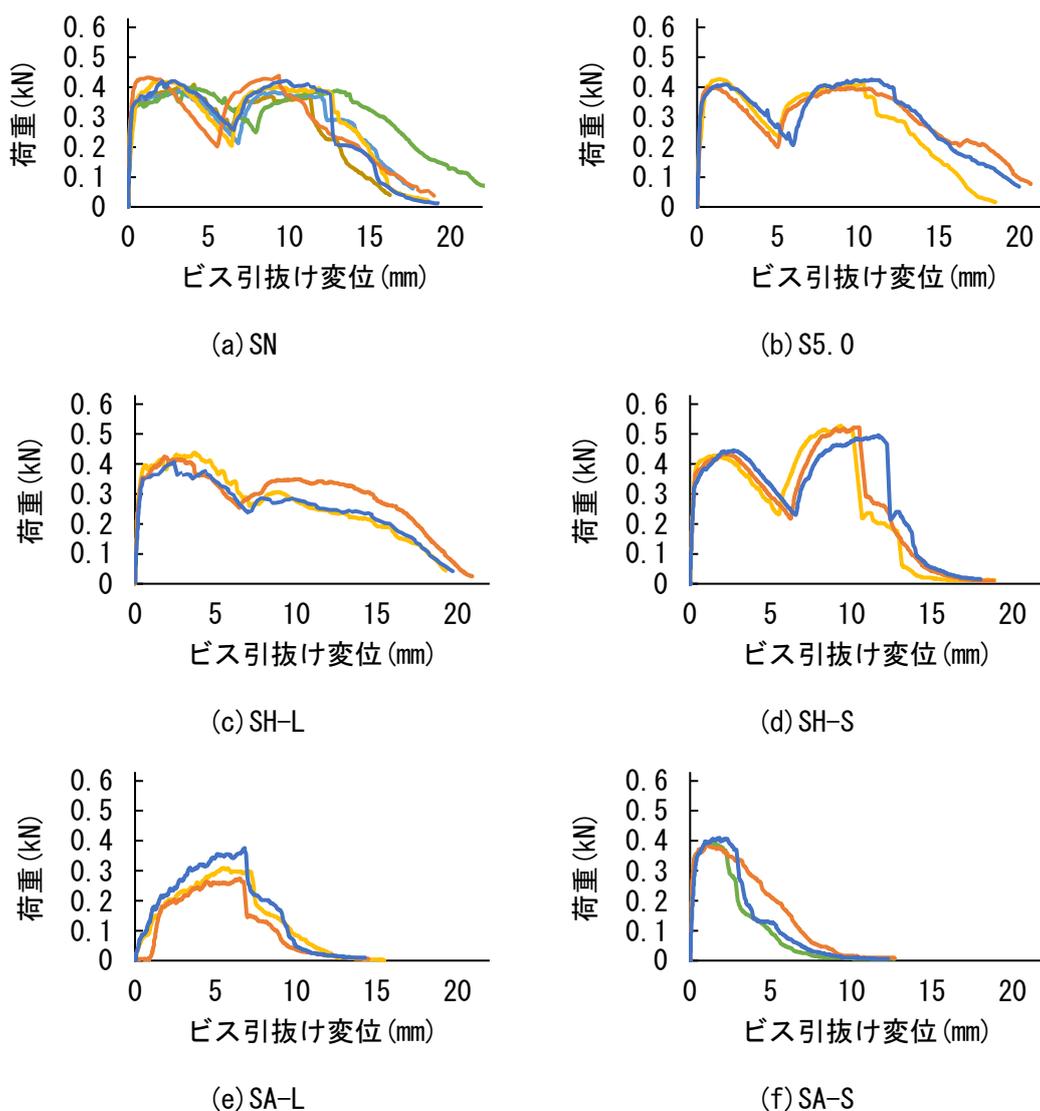
鋼製アンカーの実験結果を表 3.8、荷重変位関係を図 3.5 に示す。最大荷重は 2 回目のピークの方が高い値を示した場合でも、1 回目のピークを最大値とした。

表 3.8 鋼製アンカーの単調載荷実験の最大荷重

	最大荷重 (kN)						平均	耐力比 (標準)
	試験体 1	試験体 2	試験体 3	試験体 4	試験体 5	試験体 6		
SN	0.422	0.432	0.421	0.399	0.389	0.409	0.412	(1.00)
S5.0	0.409	0.398	0.427				0.411	1.00
SH-L	0.407	0.425	0.438				0.423	1.03
SH-S	0.445	0.435	0.428				0.436	1.06
SA-L	0.376	0.274	0.309				0.320	0.78
SA-S	0.410	0.024	0.390	0.396			0.399	0.97

※SA-S-2：計測ミスのため除外

- SN アンカー1つで平均最大荷重は0.412kN(≒42.0kgf)で、プラスチックアンカーと比較すると、約0.150kN低い結果となった。しかし、鋼製アンカーには施工の安定性もあり、荷重変位関係からも分かるように試験体によってばらつきが少ない。荷重変位関係において2回のピークが確認できる。1回目はアンカーの羽が石膏ボードに抵抗することで潰れていき最大荷重に達し、2回目も同じく石膏ボードに抵抗し羽が折れていくことで1回目と同程度の荷重が確認できた。
- S5.0 5.0°の傾きでは、最大荷重や変形にも影響がないことが確認できた。
- SH-L、SH-S SH-Lは1回目のピークが終わるまでは、SNとほぼ同じ挙動をしているが、下穴が大きいことで2回目のピーク時に羽との間で抵抗する面積が小さくなり、ボードが負けることで荷重が上がらなかった。一方、SH-Sでは2回目のピーク時に抵抗する面積が大きいことで、羽の折れ変形が生じづらく、1回目のピークより荷重が大きくなった。
- SA-L、SA-S SA-Lは施工後に変形が生じていることで、ボード破壊が起きやすい形状になっていることが分かる。最初からボード破壊が生じることで、SNに比べて最大荷重が小さく、10mm程度で耐力がなくなることが分かる。SA-Sも同じく、最初から石膏ボード内に埋まっていることで、ボード破壊で引抜けが進み、10mm程度で耐力がなくなる。



— 試験体 1 — 試験体 2 — 試験体 3
 — 試験体 4 — 試験体 5 — 試験体 6

図 3.5 鋼製アンカー実験の荷重変位関係

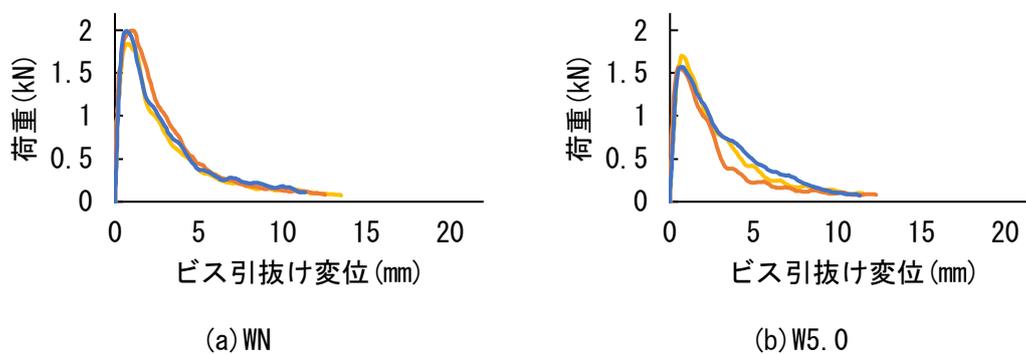
3) 木材下地固定

木材下地固定の実験結果を表 3.9、荷重変位関係を図 3.6 に示す。

表 3.9 木材下地固定の単調載荷実験の最大荷重

	最大荷重 (kN)				耐力比 (標準)
	試験体 1	試験体 2	試験体 3	平均	
WN	1.993	1.996	1.842	1.944	(1.00)
W5.0	1.572	1.569	1.704	1.615	0.83

- WN ビス一本で平均最大荷重は 1.944kN(≒198.2kgf) で、小さい変形から高い荷重を示しており、アンカーと比較すると固定効果は非常に大きいことが分かる。
- W5.0 5.0° 傾きがあることで、耐力は約 0.8 倍となり、傾きの影響は大きいことが分かる。



— 試験体 1 — 試験体 2 — 試験体 3

図 3.6 木材下地固定実験の荷重変位関係

第4章 施工条件を考慮した繰り返し載荷実験

4.1 実験方法

4.1.1 実験項目

4.1.2 試験体

4.1.3 載荷方法

4.1.4 実験装置

4.2 実験結果

第4章 施工条件を考慮した繰り返し載荷実験

4.1 実験方法

石膏ボードのような崩れやすい材料や、プラスチック製アンカー、鋼製アンカーのような弾塑性材料は、地震動のような繰り返し載荷を受けることで、単調載荷とは異なる挙動をすることが考えられ、単調載荷のみによる固定効果の評価では不十分である。本章では、3章で行った実験項目について行った繰り返し載荷実験の実験方法を示す。

4.1.1 実験項目

実験項目を表4.1～4.3に示す。実験項目は単調載荷と同じであるが、単調載荷実験の結果、鋼製アンカーでは傾きの影響はないと考え、S5.0は繰り返し載荷実験では行わなかった。

表4.1 プラスチックアンカーの実験項目

試験体名	アンカーの 大きさ	下穴径	傾き	傾きに対する 羽の向き	ピン押込み
PN	標準	標準	0°	/	有
PNC					無
P5.0-V			5.0°	直交	有
P5.0-H				平行	
PH-L		過大	/		
PH-S		過小			
PA-L		過大	標準	0°	
PA-S		過小			

表4.2 鋼製アンカーの実験項目

試験体名	アンカーの 大きさ	下穴径
SN	標準	標準
SH-L		過大
SH-S		過小
SA-L	過大	標準
SA-S	過小	

表 4.3 木材下地固定の実験項目

試験体名	傾き
WN	0°
W5.0	5.0°

4.1.2 試験体

- 1) 壁試験体
- 2) アンカー・ビス
- 3) 施工手順

以上の項目は、第3章と同様のため、省略する。

4.1.3 載荷方法

載荷方法は、日本住宅・木材技術センターの接合金物試験法規格¹⁵⁾の繰り返し載荷方法を参考にして行った。

これまでに家具と壁の固定部に着目した繰り返し載荷を行なった研究は少なく、文献12)の石膏ボード用接合具に関する繰り返し載荷で、接合金物試験法規格の方法が用いられている。この方法では1サイクルごとに変位が徐々に進み、アンカーの変形や破壊要因などの特徴が分かりやすいという利点がある。その他の繰り返し載荷方法として、文献8)でも繰り返し載荷が行われているが、サイクル数が少なく、地震時の検討としては不十分であると考えられる。鋼材等では降伏点を基準に繰り返し荷重、繰り返し変位が設定されることが多いが、本研究で使用したアンカーや木材下地固定では、降伏点が現れないことから用いることができなかった。

以上のことから、既往の研究の中では比較的地震時の挙動に近く、アンカーの変形や破壊要因などの特徴が分かりやすい接合金物試験法規格の方法を採用した。また、文献13)のようにサイクル数を追加することで、さらにピーク付近の性状が分かりやすくなると考え、以下のように変更した。

接合金物試験法規格では、単調載荷試験の最大荷重時の平均変位 δ_{max} に対して0.1, 0.2, …, 0.6, 0.7, 1, 2, 3, …倍の順で載荷するが、最大荷重付近を詳しく確認するため、 δ_{max} に対して0.1, 0.2, …, 0.8, 0.9, 1, 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, 2, 3, 4, …倍のように変更した。載荷のイメージを図4.1に示す。

PA-Sの実験項目のみ、単調載荷時の最大荷重時変位のばらつきが大きく、 $\delta_{max} \times 1.5$ の範囲に収まらない試験体があったため、 δ_{max} に対して1.6, 1.7, 1.8, 1.9倍のサイクルを追加して繰り返し載荷を行った。

また、実際の家具と壁の間の地震下における挙動を考慮して、各繰り返し変位に達した後、 δ が0になるまで除荷し再載荷した。 δ の計算式は単調載荷と同じく、式(2.7)に示す。載荷速度は、試験機の都合上、一定速度とすることはできないが、手動操作により約1mm/minで行った。載荷中に荷重が0.1kNまで低下し、かつ、それ以降に耐力が再上昇しないと予想される場合、試験を終了した。

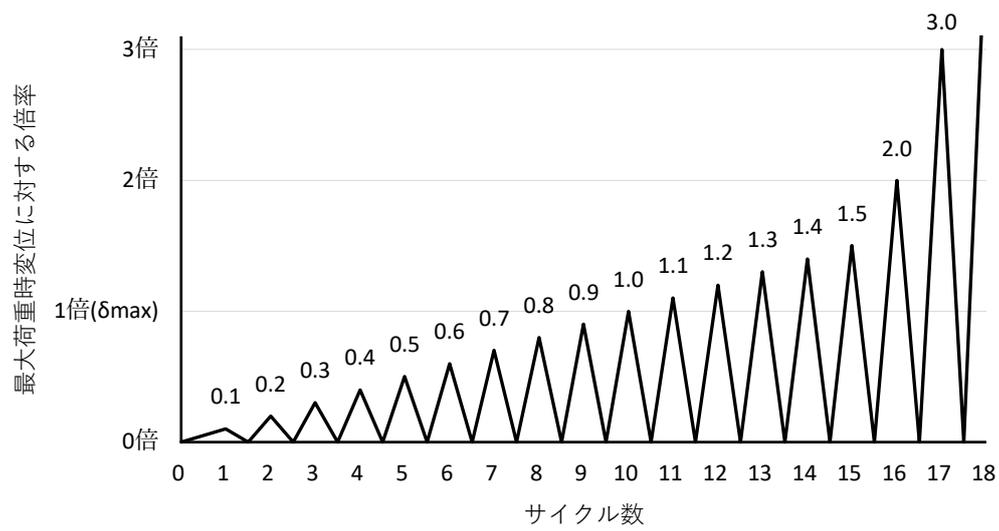


図 4.1 繰り返し载荷のイメージ

4.1.4 実験装置

実験装置を図 4.2、4.3、変位計測位置を図 4.4 に示す。

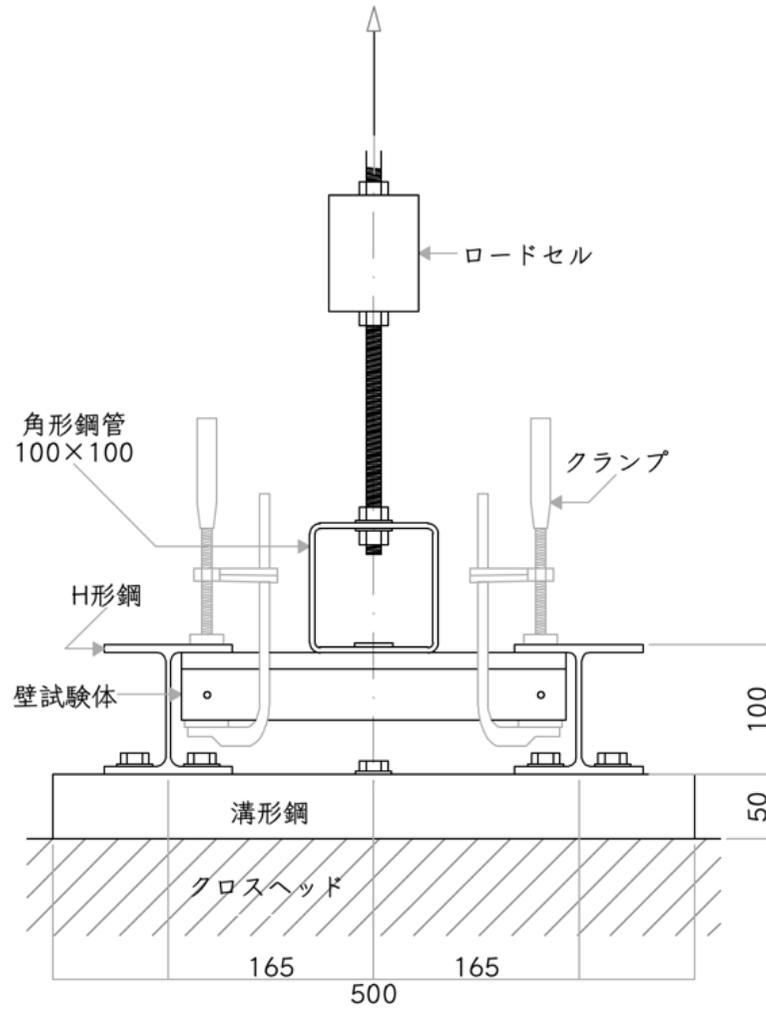


図 4.3 実験装置 正面

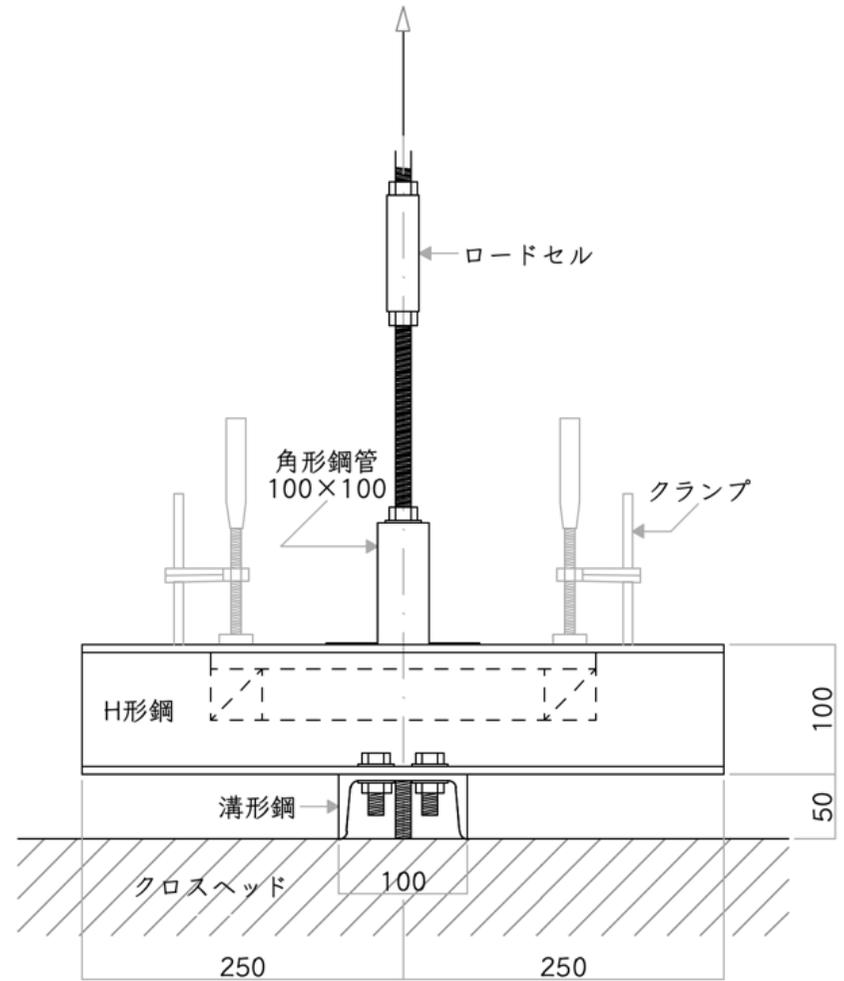


図 4.2 実験装置 側面

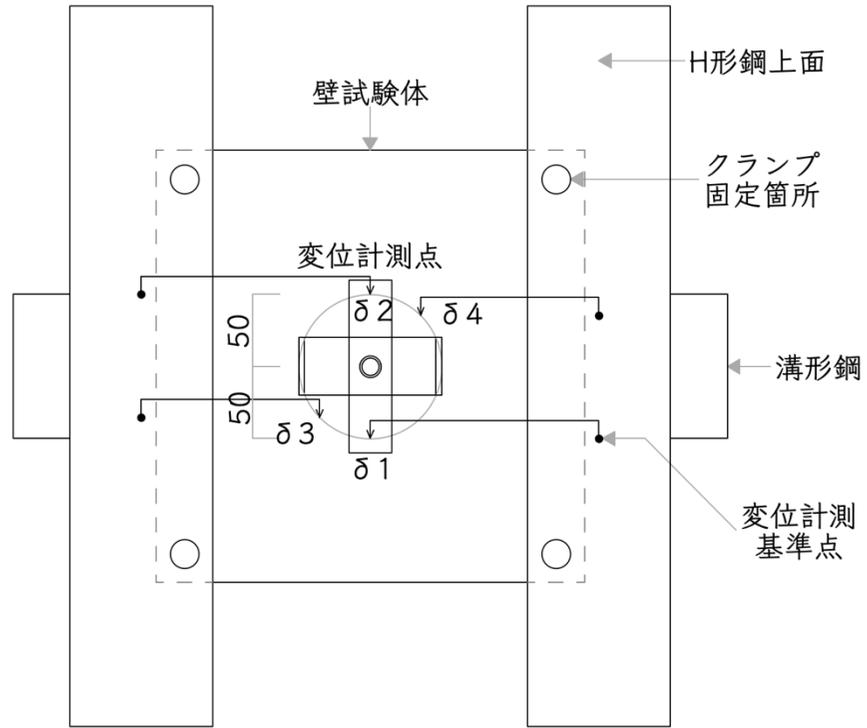


図 4.4 変位計測位置

4.2 実験結果

繰り返し載荷実験の最大荷重を表 4. ～4. に示す。荷重変位関係については、5 章の施行条件ごとの考察で示す。耐力比(標準)は、各固定方法の標準の最大荷重の平均値に対する、各施工条件の最大荷重の平均値の比を表す。耐力比(単調)は、同じ施工条件の単調載荷実験の最大荷重の平均値に対する、繰り返し載荷の最大荷重の平均値の比を表す。単調載荷と同じく、2 回目のピークの方が高い値を示した場合でも、1 回目のピークを最大値とした。

表 4.4 プラスチック製アンカーの繰り返し載荷実験の最大荷重

	最大荷重 (kN)				耐力比 (標準)	耐力比 (単調)
	1	2	3	平均		
PN	0.519	0.583	0.525	0.542	(1.00)	0.97
PNC	0.278	0.235	0.341	0.285	0.52	0.96
P5.0-V	0.563	0.605	0.628	0.599	1.10	1.14
P5.0-H	0.579	0.542	0.550	0.557	1.03	1.09
PH-L	0.539	0.562	0.517	0.539	0.99	0.99
PH-S	0.508	0.495	0.599	0.534	0.98	1.37
PA-L	0.504	0.524	0.492	0.507	0.93	1.00
PA-S	0.483	0.555	0.500	0.513	0.95	0.89

表 4.5 鋼製アンカーの繰り返し載荷実験の最大荷重

	最大荷重 (kN)				耐力比 (標準)	耐力比 (単調)
	1	2	3	平均		
SN	0.402	0.397	0.412	0.404	(1.00)	0.98
SH-L	0.401	0.406	0.401	0.403	1.00	0.95
SH-S	0.411	0.428	0.404	0.414	1.03	0.95
SA-L	0.347	0.372	0.343	0.354	0.88	1.11
SA-S	0.482	0.454	0.514	0.483	1.20	1.21

表 4.6 木材下地固定の繰り返し載荷実験の最大荷重

	最大荷重 (kN)				耐力比 (標準)	耐力比 (単調)
	1	2	3	平均		
WN	1.655	1.836	1.893	1.795	(1.00)	0.92
W5.0	1.848	1.327	1.675	1.617	0.90	1.00

標準に対する耐力比が、大きく低下しているのはPNCのみで、羽が開いていないため最大荷重が大きく低下した。PNC以外は、施工条件による耐力の低下は見られないが、荷重変位関係、破壊形式、剛性評価に特徴が表れ、実際の地震下では悪影響となることも考えられる。

単調荷重との耐力比を見ると、繰り返し荷重による最大荷重への影響は小さいことが分かる。PH-SとSA-Sのみ耐力が大きく増加したが、破壊形式の影響で平均が上がっており、単調荷重と繰り返し荷重による挙動の違いは見られなかった。

木材下地固定については、平均値のみで評価すると傾きによる影響は小さいように見えるが、W5.0のばらつきが大きく、最大で1.848kNで標準と同程度の値も出ているが、最小で1.327kNまで低下した。

これらの考察は5章で行う。

第5章 施工条件の評価と考察

- 5.1 破壊形式の分類
- 5.2 剛性評価の方法
- 5.3 施工条件ごとの考察
- 5.4 固定方法の比較

第5章 施工条件の評価と考察

5.1 破壊形式の分類

各試験体の破壊形式を実験時に石膏ボード裏側から撮影した動画から読み取り、表 5.1, 5.2 に分類名と特徴を示す。表 5.3 の試験体ごとの分類では()内の文字で表す。荷重変位関係で変形が進んでも比較的耐力が高い破壊形式から青→緑→黄→橙→赤と色付けしたが、同じ破壊形式でも、施工条件や施工性によって最大荷重や変形時の荷重が大きく違うため、必ずしも破壊形式で耐力が決まる訳ではない。

表 5.1 プラスチック製アンカーの破壊形式

分類名	特徴
両抵抗型 (両)	両方の羽の折れがほぼ対称に進行し、両方の羽で抵抗し、最後に両方の羽でボード破壊し、耐力が低下する。最大荷重は高く、変位が進んだ後も耐力は特に大きい。
片抵抗型 (片)	片方の羽の折れが進行し、折れた側の羽で主に抵抗し、最後にボード破壊して耐力が低下する。最大荷重は高く、変位が進んだ後の耐力は大きい。
ボード破壊型 (ボ)	羽が両方折れない又は片方が折れながら、最大荷重に達した後、徐々にボード破壊し、変位が進むにつれて耐力が低下する。
羽閉じ型 (閉)	PNC や大きな剥離があり、壁裏でうまく羽が開いていない場合に起きる。最大荷重は標準に比べて半分ほど低い。

表 5.2 鋼製アンカーの破壊形式

分類名	特徴
標準型 (標)	羽が潰れる(1回目のピーク)→羽が折れる(2回目のピーク) →徐々にボード破壊
コーン破壊型 (コ)	羽が潰れる→羽が折れる→コーン破壊 2回目のピークのコーン破壊手前で最大荷重となる
変形型 (変)	変形した形のままボード破壊のみ進行していく(SA-L, S) 2回目のピークがなく、粘りはない。

試験体ごとに分類した結果を表 5.3 に示す。表中の(剥)は施工後に石膏ボード裏に剥離があったもの、(変)は施工後にプラスチック製アンカーに変形が起きていたものを表す。

表 5.3 試験体ごとの破壊形式の分類

	試験体番号									
	繰り返し載荷			単調載荷						
	1	2	3	1	2	3	4	5	6	7
PN	片	両	ボ(剥)	ボ※	両	両	両	片(剥)	片(剥)	
PNC	閉	閉(剥)	閉				閉	閉	閉(剥)	
P5.0-V	ボ	片	ボ	両(剥)	ボ(剥)	ボ				
P5.0-H	ボ	ボ(剥)	ボ(剥)	両	片(剥)	片(剥)				
PH-L	ボ	両	ボ		片	片	両	片		
PH-S	ボ(剥)	ボ(剥)	ボ(変)	両(剥)	閉(剥)	両(剥)	閉(剥)	両(剥)		
PA-L	両	両	両	両	両(剥)	両	両			
PA-S	ボ(変)	ボ(変)	ボ(変)				片(変)	ボ(変)	ボ(変)	片(変)
SN	標	標	標	標	標	標	標	標	標	標
S5.0				標	標	標				
SH-L	標	標	標	標	標	標				
SH-S	コ	コ	コ	コ	コ	コ				
SA-L	変	変	変	変	変	変				
SA-S	変	変	変	変		変	変			

※動画が撮れていなかったため、荷重変位関係から推測した。

表 5.3 のように、プラスチック製アンカーの単調載荷ではばらつきはあるが、施工条件によって破壊形式に若干の傾向が見られた。プラスチック製アンカーの繰り返し載荷では、ボード破壊型が明らかに多くなることが分かる。これは、プラスチック製アンカーの変位はアンカーの変形によって進むため、ビスの引抜けはほとんど起こらず、除荷時もアンカーごと移動する。そのためアンカーの引抜け・変形が繰り返されると、アンカーと接する石膏ボードが削れていくことで、アンカーの変形による抵抗が生じづらくなり、ボード破壊が進んでいくためと考えられる。

鋼製アンカーは、試験体ごとに見ても破壊形式のばらつきが見られず、繰り返し荷重下においても単調載荷と同じ挙動をしており、非常に安定した固定方法であることが分かる。これは、鋼製アンカーの構造上、変形に伴いアンカー本体とビスの隙間(固定金具を挟む部分)が広がっていくことで、載荷中と除荷中のほとんどの時間で固定金具とアンカーが触れていない(荷重が0)ためである。そのため、鋼製アンカーは実際の地震下で変形が少しでも進むと家具のロッキングが起きやすくなると考えられる。

各施工条件の考察については後述する。

5.2 剛性評価の方法

地震時の家具の挙動として転倒だけでなく、ロッキング現象が考えられる。家具を固定した場合でも、ビスやアンカーの引抜け・変形が少し進行するだけで、ロッキング現象は起こり得る。ロッキングで振動する家具の固定部には、衝撃によって非常に大きな力が作用することが考えられる。よって、家具の固定部において、変位の進みにくさは重要な要素であると考え、サイクルごとの剛性による評価を行う。

剛性の計算手順を以下に示す。

①サイクルの最大荷重(F_{max})の0.1倍($F_{0.1}$), 0.9倍($F_{0.9}$)を計算する。

② $F_{0.1}$, $F_{0.9}$ に一番近い値のデータを探す。※そのサイクルの最大荷重より前の変位

③ $k = \frac{F_{0.9} - F_{0.1}}{\delta_{0.9} - \delta_{0.1}}$ よりサイクルの剛性を計算する。 $\delta_{0.1}$: $F_{0.1}$ のときの変位

※SN のように 1 サイクルの中で、2 回ピークがあるようなものは、1 回目のピークを最大値として剛性をとった。

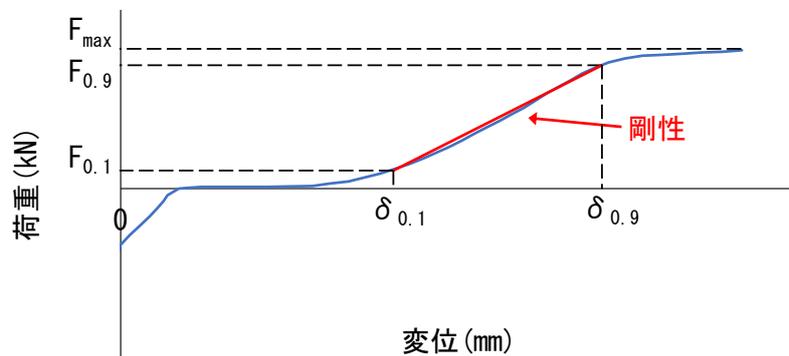
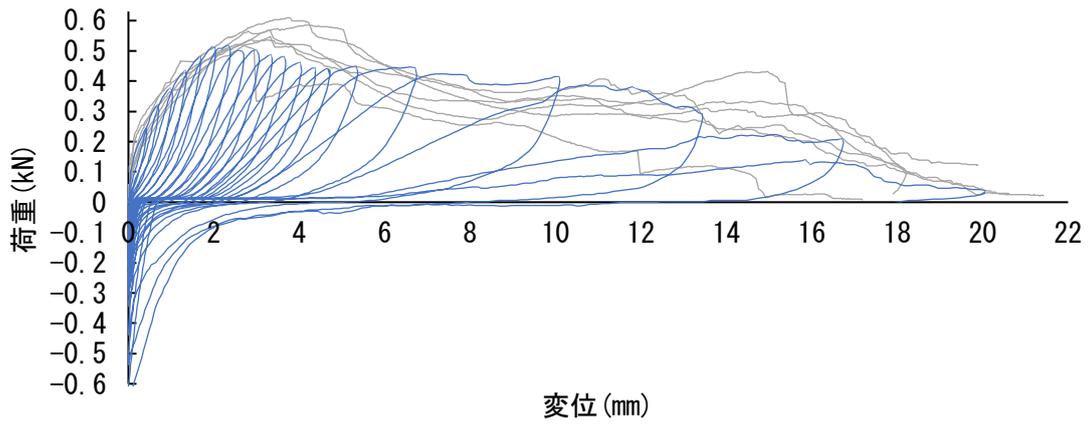


図 5.1 剛性の計算方法

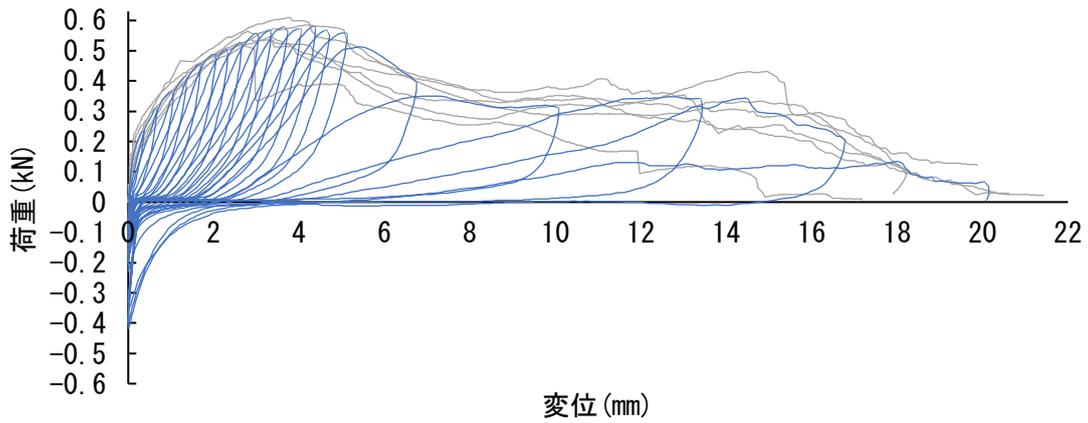
5.3 施工条件ごとの考察

各施工条件の影響を考察する。荷重変位関係(最大荷重)、破壊形式、剛性評価の3点による考察を行うため、各試験体の荷重変位関係、サイクル毎の最大荷重、サイクル毎の剛性、破壊形式を図5.2～5.29に示す。(a)～(c)で単調載荷実験との比較のため、青線で繰り返し載荷実験、灰色線で単調載荷実験の荷重変位関係を示す。(d)で各固定方法の標準との比較のため、青線で各施工条件、灰色線で標準のサイクル毎の最大荷重を示す。縦軸はサイクル毎の最大荷重、横軸はその時の変位を表している。(e)で剛性の標準との比較のため、青線で繰り返し載荷実験、灰色線で標準のサイクル毎の剛性を示す。縦軸は5.3の方法で求めたサイクル毎の剛性、横軸はそのサイクルの1つ前のサイクルの除荷変位を表している。

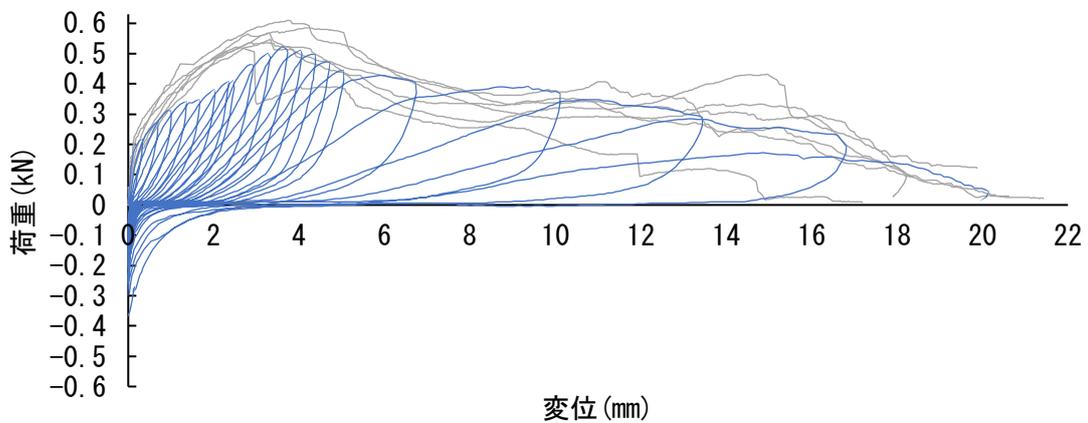
1) PN (プラスチック・標準)



(a) PN-1 (破壊形式 : 片抵抗型)

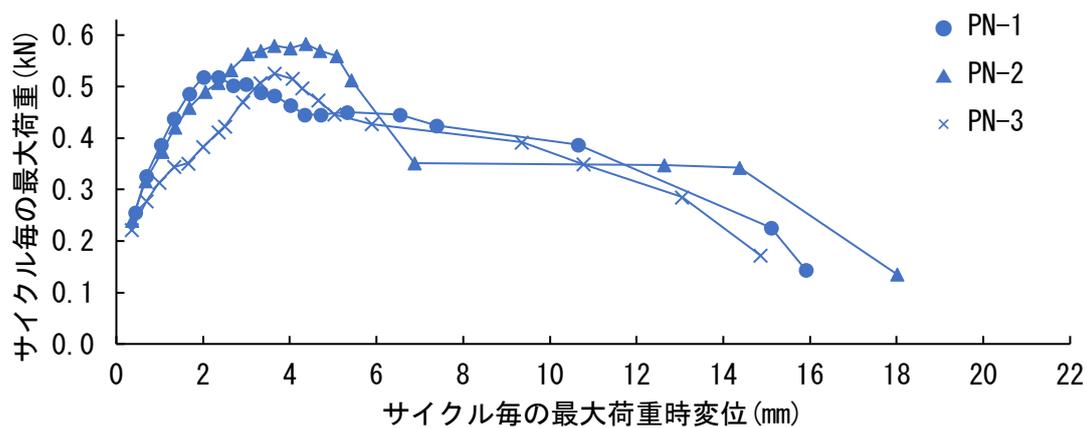


(b) PN-2 (破壊形式 : 両抵抗型)

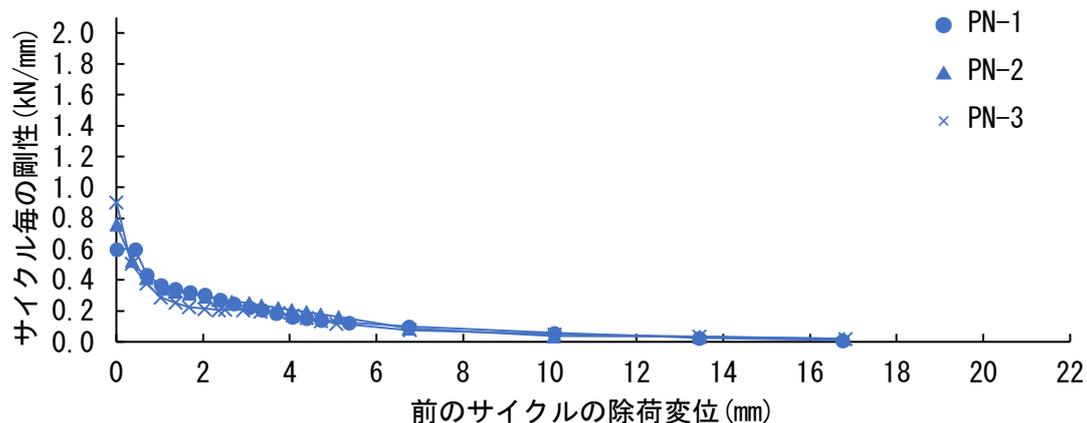


(c) PN-3 (破壊形式 : ボード破壊型、剥離あり)

— 繰り返し載荷 — 単調載荷



(d) サイクル毎の最大荷重



(e) サイクル毎の剛性

図 5.2 PN

1. 1) 荷重変位関係、最大荷重

平均最大荷重は 0.542kN(≒55.3kgf)で、単調載荷に対して 0.97 倍であり、単調載荷と概ね同じ挙動で引き抜ける。繰り返しによる耐力の低下は見られなかった。最初に大きく荷重が上がり、緩やかに落ちていくことで変位が進んでも耐力がある。

実際の家具固定時を考えると、破壊形式の考察でも後述するが、最大荷重に達した後にも耐力があることで、荷重を吸収するような働きがあると考えられる。

また、試験体 3 は施工後にボード裏の剥離が見られ、最大荷重への影響は無いが、最大荷重に達するまでの過程で、他の試験体に比べて荷重が低下した。これは、引抜け変位は、アンカーの変形と、それに伴いアンカーが石膏ボードを徐々に破壊することで生じているが、剥離によってアンカーの片方の羽が石膏ボードと接触せず抵抗しない、又は、接触する面積が小さく抵抗が弱いためだと考えられる。

1.2) 破壊形式

PNは3つの試験体が全て異なる破壊形式で破壊した。しかし、どの破壊形式でも最大荷重時までは同様に進み、最大荷重時にはトラスによる抵抗が限界になり羽の端部で変形が起き始めていることが分かる。剥離がある場合でも挙動は同様である。(d)のグラフより、12mm付近からの荷重は両抵抗>片抵抗>ボード破壊型となっていることが分かる。プラスチック製アンカーはアンカー自体の変形で抵抗し、塑性化した部分(白くなった部分)も除荷時には少し変形が戻るため、荷重を変形するエネルギーに変換し吸収するような挙動となった。

試験体1 片抵抗型



試験体2 両抵抗型



試験体3 ボード破壊型(剥離あり)



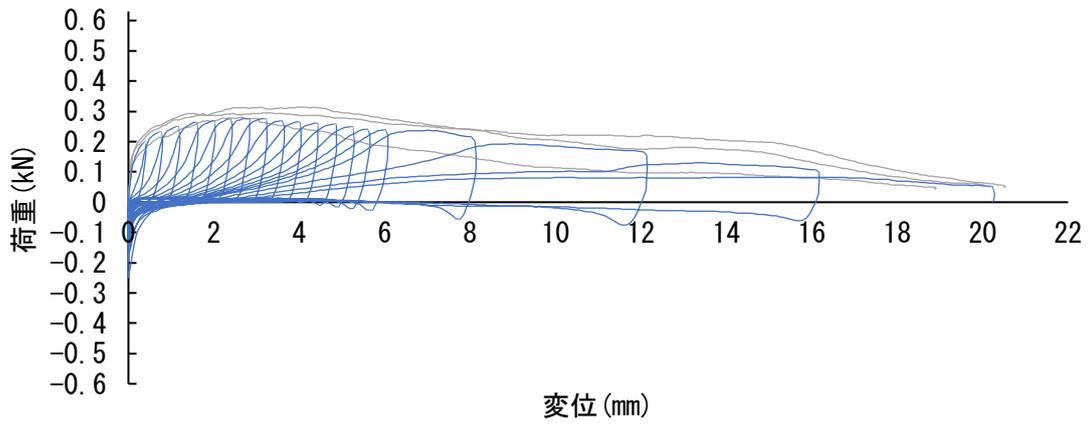
図 5.3 破壊形式

1.3) 剛性評価

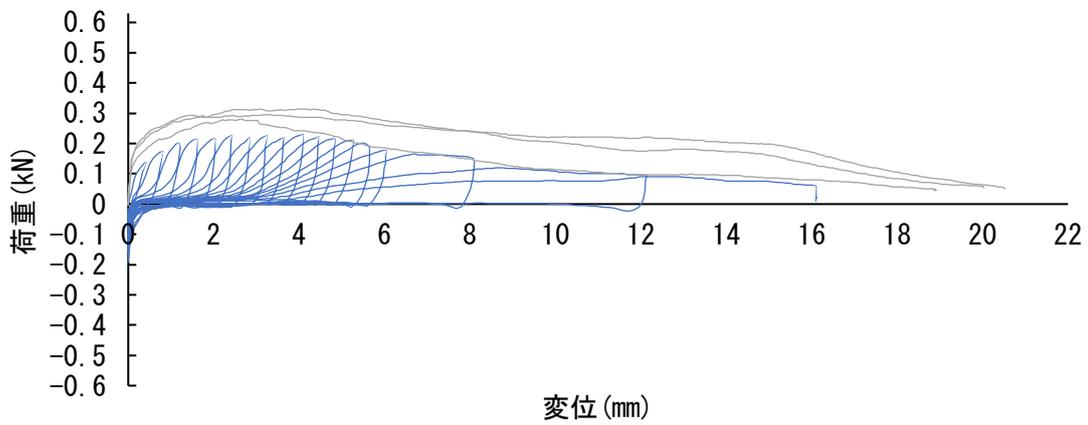
剛性はサイクルを重ねるたびに低下していくことから、取り付け後に小規模の地震により1mm程度引抜けただけでも、固定効果は小さくなると考えられる。

また、試験体3は剥離があることで変位1~3mmで剛性が低下している。

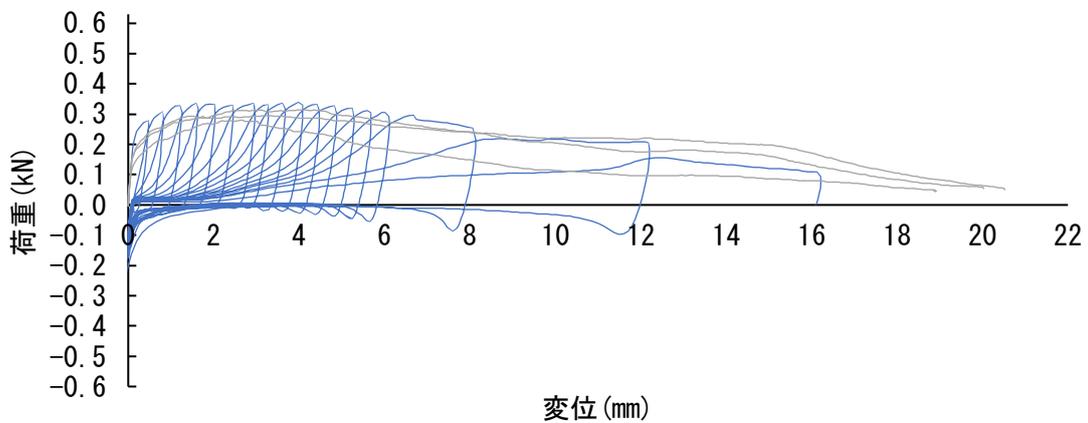
2)PNC (プラスチック・ピンで押し込まず羽が開いていない)



(a)PNC-1(破壊形式：羽閉じ型)

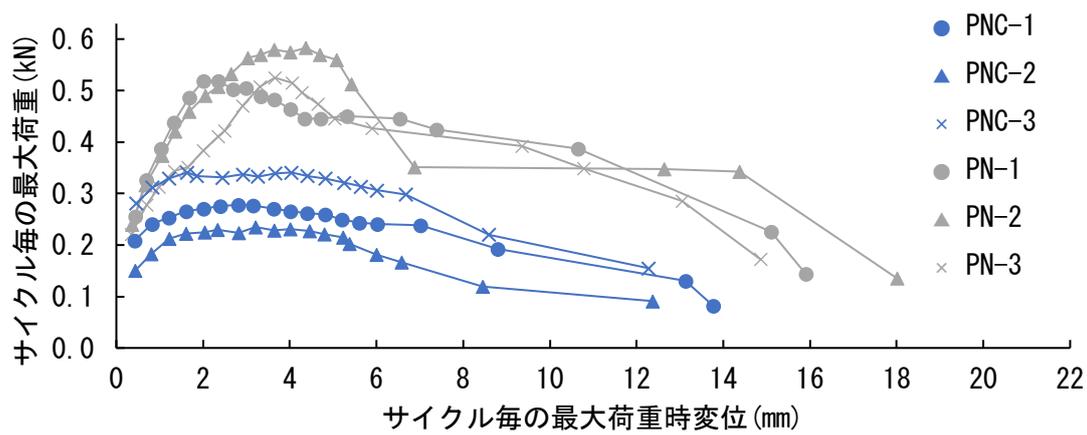


(b)PNC-2(破壊形式：羽閉じ型、剥離あり)

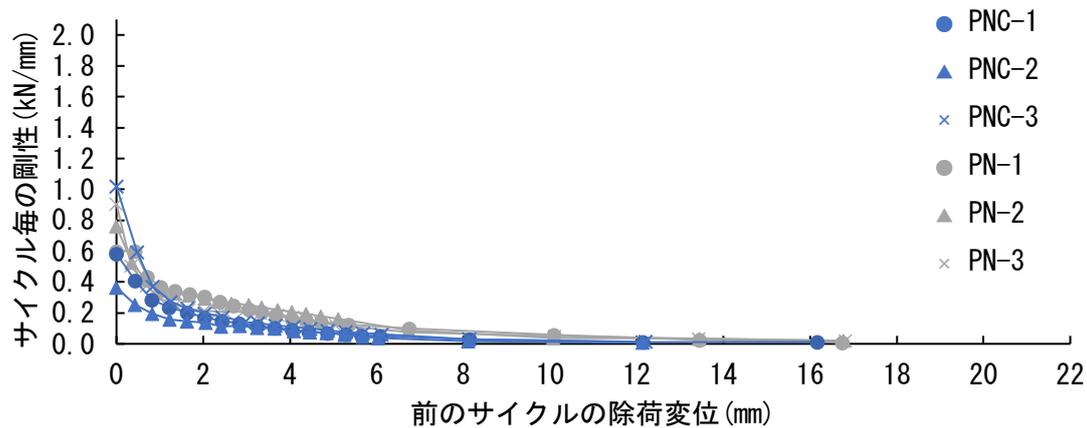


(c)PNC-3(破壊形式：羽閉じ型)

— 繰り返し載荷 — 単調載荷



(d) サイクル毎の最大荷重



(e) サイクル毎の剛性

図 5.4 PNC

2.1) 荷重変位関係、最大荷重

平均最大荷重は標準に対して 0.52 倍と約半分となった。単調荷重に対しては 0.96 倍で荷重変位関係からも単調と繰り返して違いは見られなかった。剥離があることで全体的に耐力が低下することが分かる。

プラスチック製アンカーにおいては羽が開いていないことは、耐力が大きく低下する要因であり、施工時には付属のピンを使用するようにしなければならない。

2.2) 破壊形式

図のようにほぼ羽で抵抗することなく、羽が閉じながら引抜けていくことが分かる。剥離があることでボード破壊が起きやすく、さらに抵抗がなくなると考えられる。

試験体 1 羽閉じ型



試験体 2 羽閉じ型(剥離あり)



試験体 3 羽閉じ型



載荷前

最大荷重時

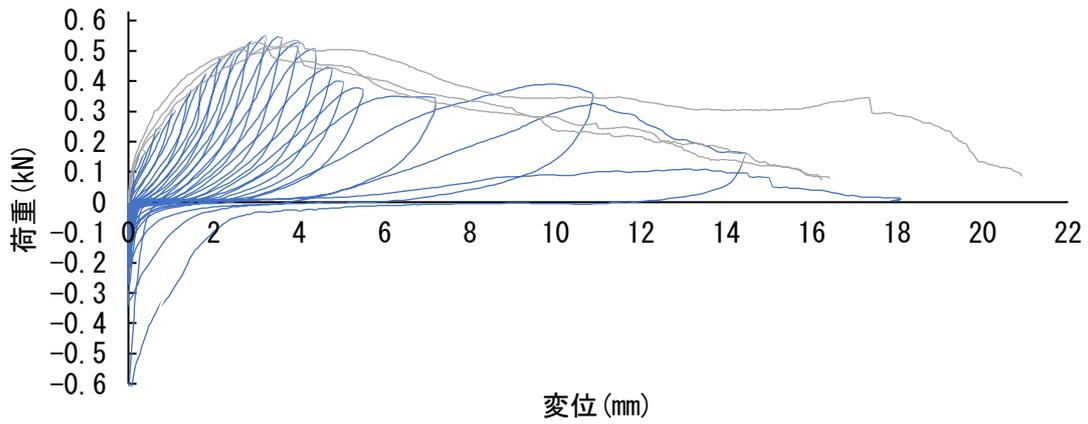
破壊前

図 5.5 破壊形式

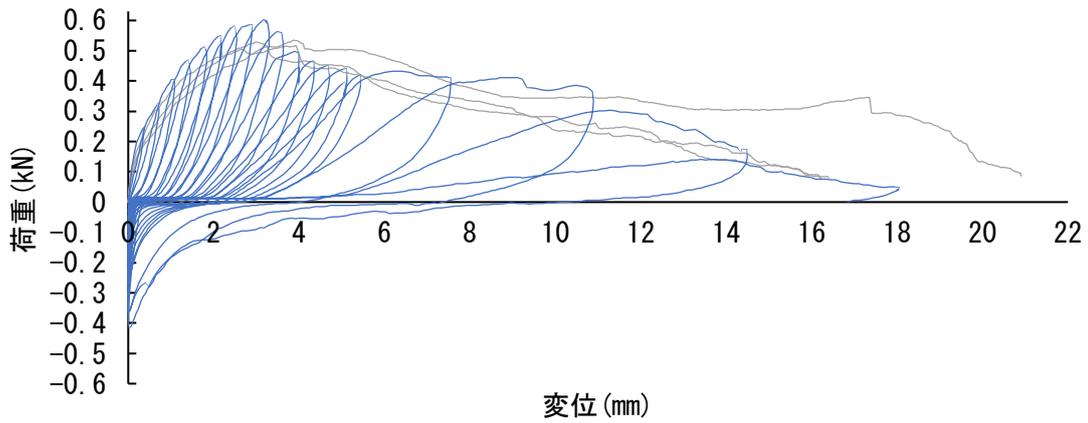
2.3) 剛性評価

剥離のない試験体は、標準と比較して約 1mm までは剛性は変わらないが、それ以降は標準より低く、変形が進むにつれて低下していく。剥離がある試験体は載荷初期から剛性が低い。

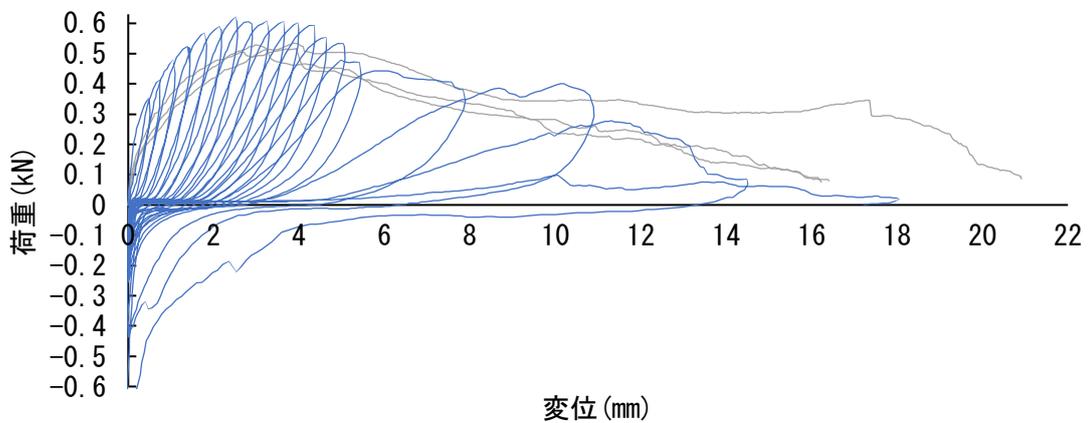
3) P5.0-V (プラスチック・羽の向きに対して直交方向 5.0° 傾き)



(a) P5.0-V-1 (破壊形式 : ボード破壊型)

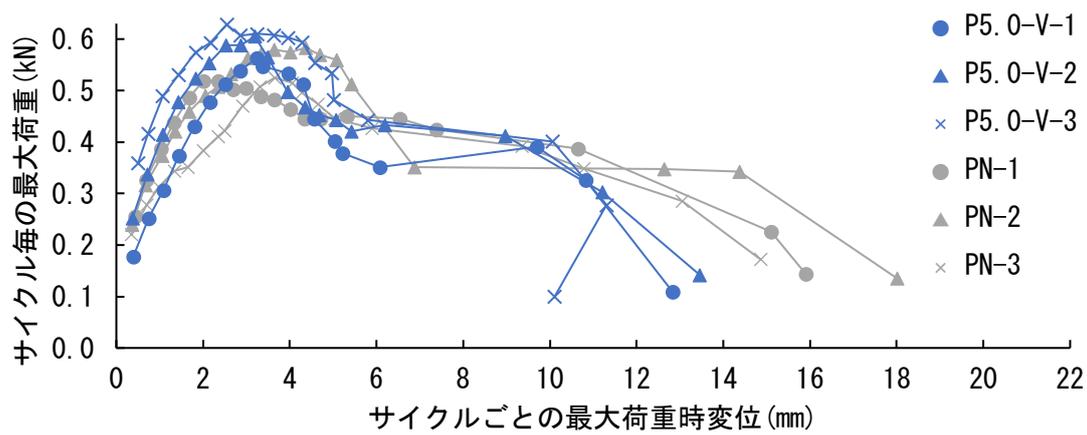


(b) P5.0-V-2 (破壊形式 : 片抵抗型)

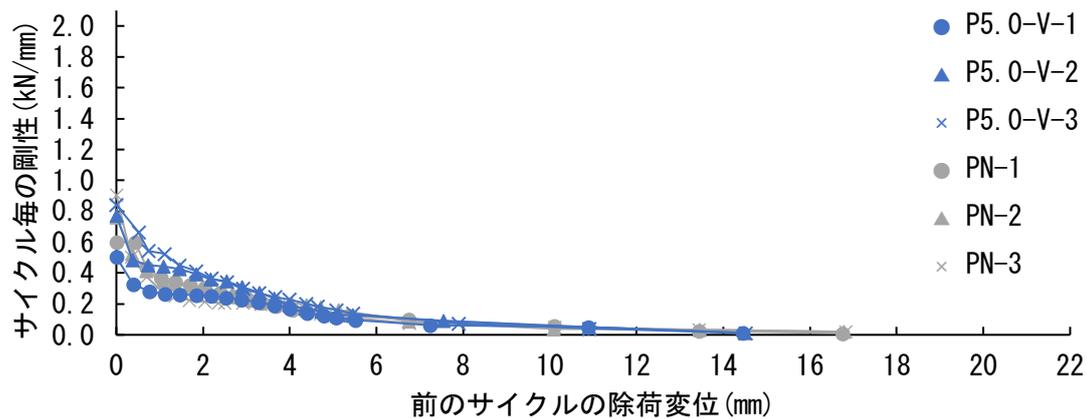


(c) P5.0-V-3 (破壊形式 : ボード破壊型)

— 繰り返し載荷 — 単調載荷



(d) サイクル毎の最大荷重



(e) サイクル毎の剛性

図 5.6 P5.0-V

3.1) 荷重変位関係、最大荷重

平均最大荷重は単調載荷に対して 1.14 倍、標準に対して 1.10 倍で少し高い値となった。10mm 程度に達すると耐力が低下し、PN よりは変形後の耐力が劣ることが分かる。

破壊形式と合わせて考えると、羽の変形が小さいうちに、ボードと接触し抵抗することで、最大荷重が標準より大きくなったと考えられる。しかし、ボード破壊することで、変位が進んだ後の耐力が小さくなる。

3.2) 破壊形式

プラスチック製アンカーでボード破壊する場合は、最大荷重に達した後、徐々にボード破壊が進行していくため耐力が再度上昇することは少ないが、試験体1と3では、8～10mm付近で上昇していることが確認できる。これは、引抜け時に傾きを直そうとすることで、ボード破壊を促すが、同時に羽の変形も少し進行しており、ボード破壊後にボード内部で羽の変形による抵抗が生じていると考えられる。

試験体1 ボード破壊型



試験体2 片抵抗型



試験体3 ボード破壊型



载荷前

最大荷重時

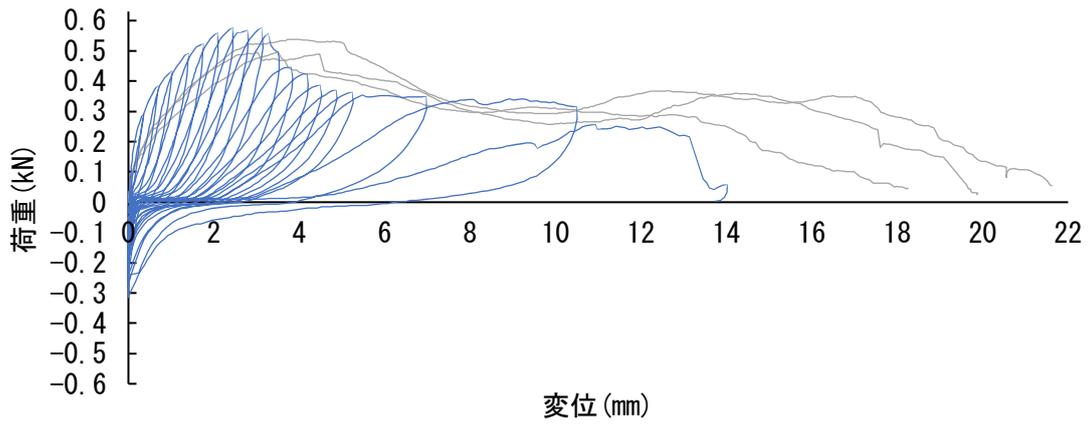
破壊前

図 5.7 破壊形式

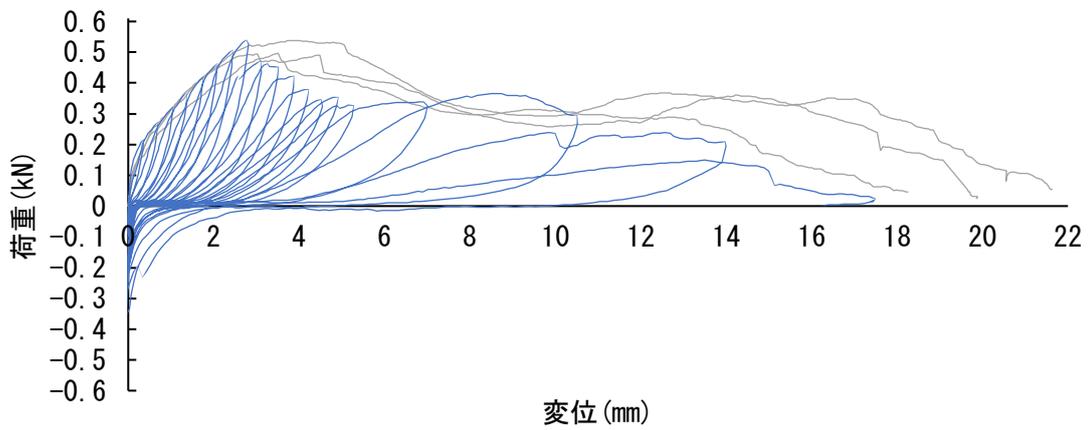
3.3) 剛性評価

剛性はPNと同様に、変形が進むにつれ低下していく。

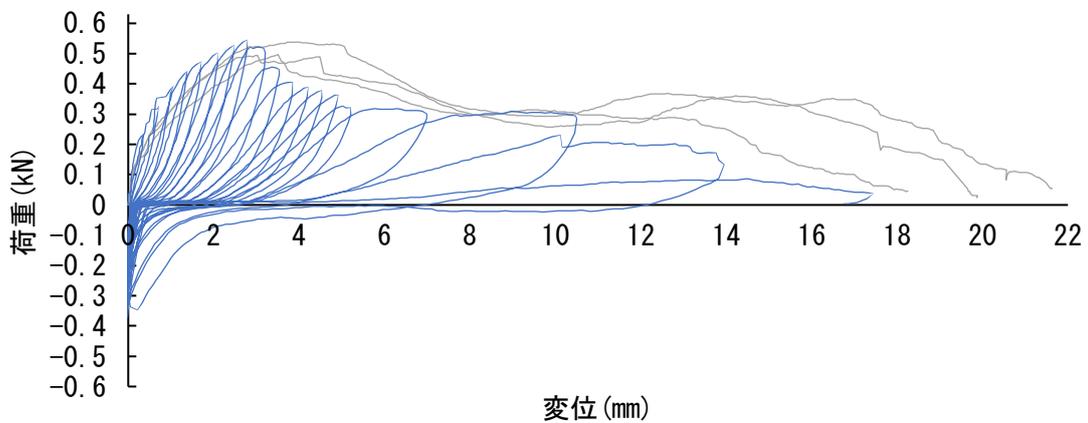
4) P5.0-H (プラスチック・羽の向きに対して平行方向 5.0° 傾き)



(a) P5.0-H-1 (破壊形式 : ボード破壊型)

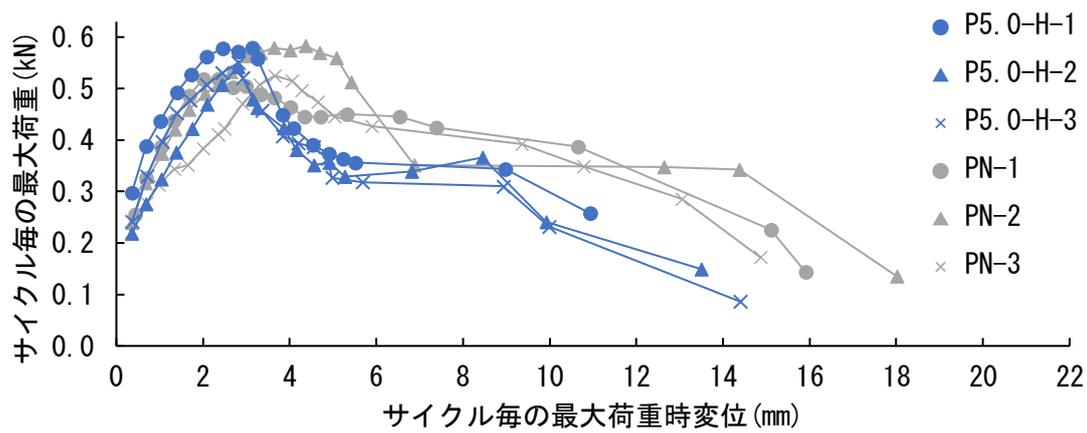


(b) P5.0-H-2 (破壊形式 : ボード破壊型、剥離あり)

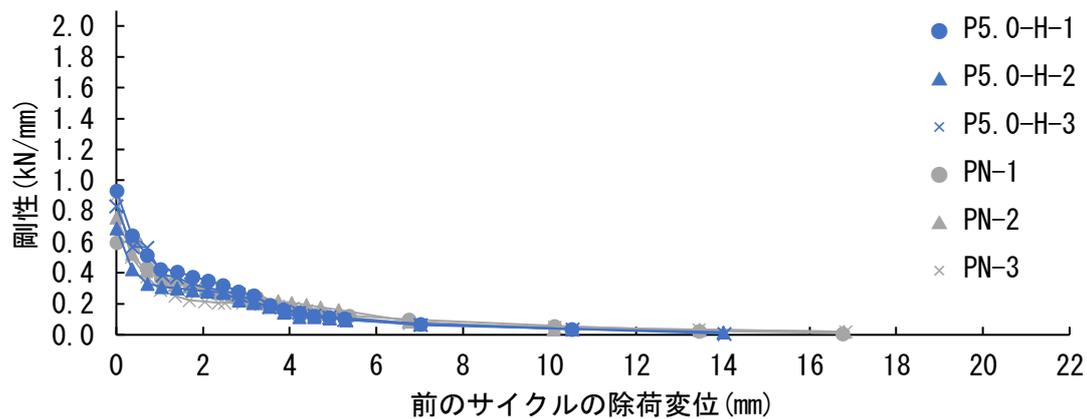


(c) P5.0-H-3 (破壊形式 : ボード破壊型、剥離あり)

— 繰り返し荷重 — 単調荷重



(d) サイクル毎の最大荷重



(e) サイクル毎の剛性

図 5.8 P5.0-H

4.1) 荷重変位関係、最大荷重

平均最大荷重は単調荷重に対して 1.09 倍、標準に対して 1.03 倍でほぼ同じであった。繰り返しによる耐力の低下は見られなかった。繰り返し荷重では全てのボード破壊したため、単調荷重と比較して約 3~8mm の耐力が低いことが分かる。また、10mm 以降の耐力も低い。

P5.0-H と同様に、羽の変形が小さいうちに、ボードと接触し抵抗することで、最大荷重が標準より大きくなったと考えられる。しかし、ボード破壊することで、変位が進んだ後の耐力が小さくなる。

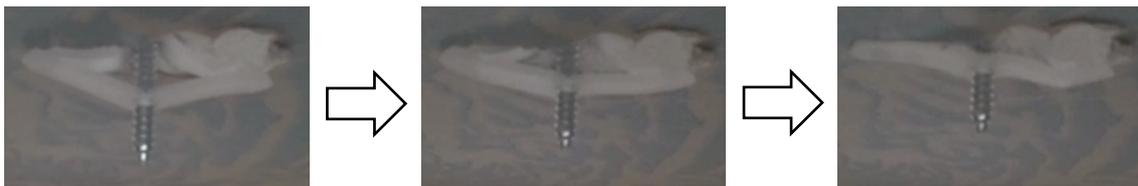
4.2) 破壊形式

最大荷重に達した後、片方の羽のボード破壊が進行し、もう片方の羽はあまり変形せずに抵抗していた。ボード破壊型のため変形時に耐力がなく、標準と比べても約 14mm の小さい変位で耐力はなくなっていた。

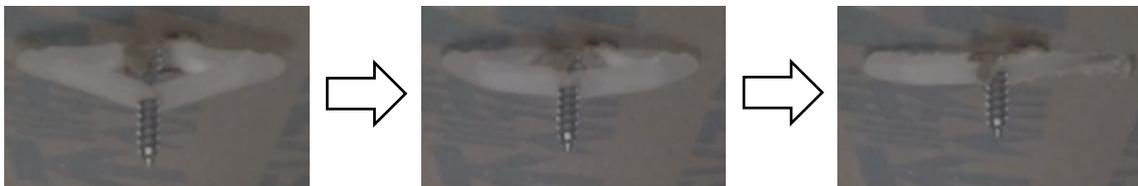
試験体 1 ボード破壊型



試験体 2 ボード破壊型(剥離あり)



試験体 3 ボード破壊型(剥離あり)



载荷前

最大荷重時

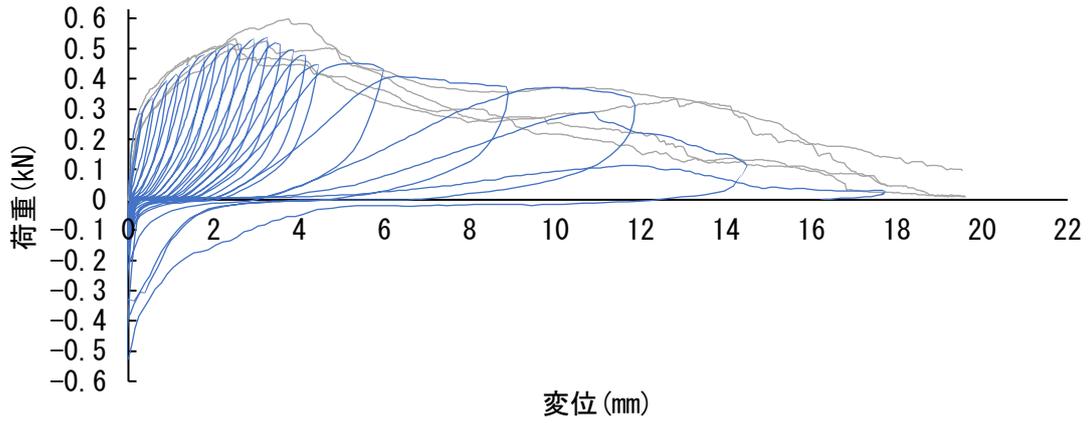
破壊前

図 5.9 破壊形式

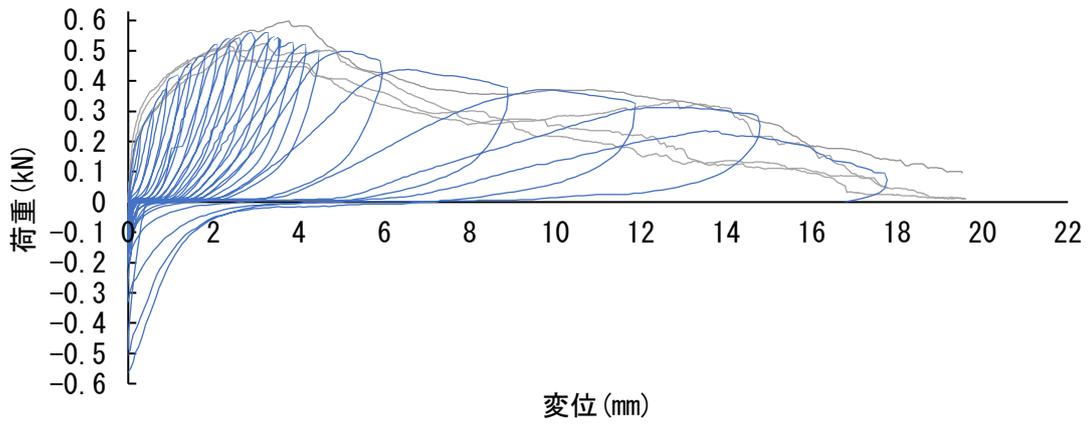
4.3) 剛性評価

剛性は最大荷重に達する 3mm 付近までは平均すると PN より少し高く、3mm 以降は、PN を下回る。3mm 付近ではボード破壊が起こっており、剛性には石膏ボードの強度が関係すると考えられる。

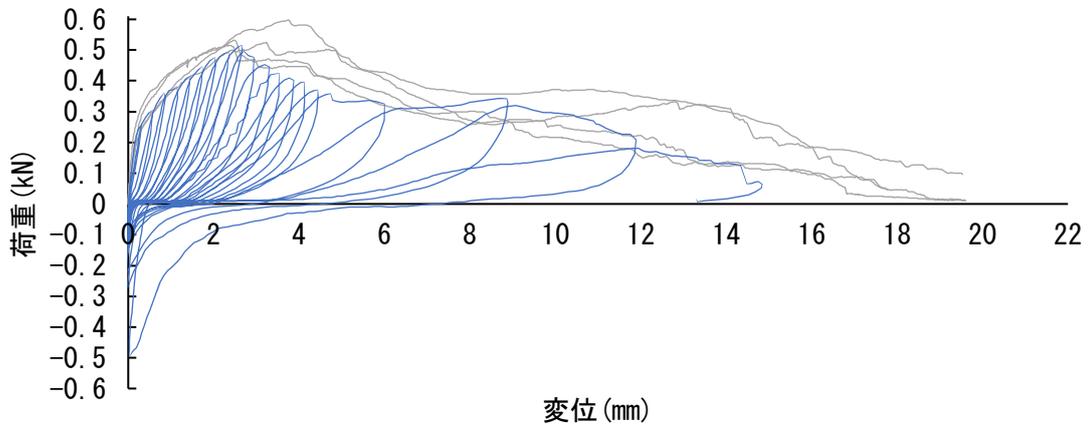
5) PH-L (プラスチック・下穴大)



(a) PH-L-1 (破壊形式 : ボード破壊型)

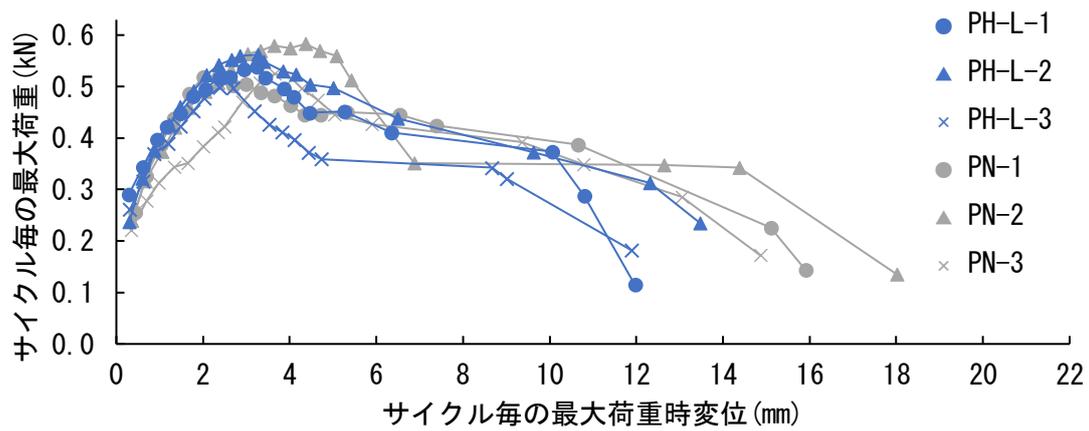


(b) PH-L-2 (破壊形式 : 両抵抗型)

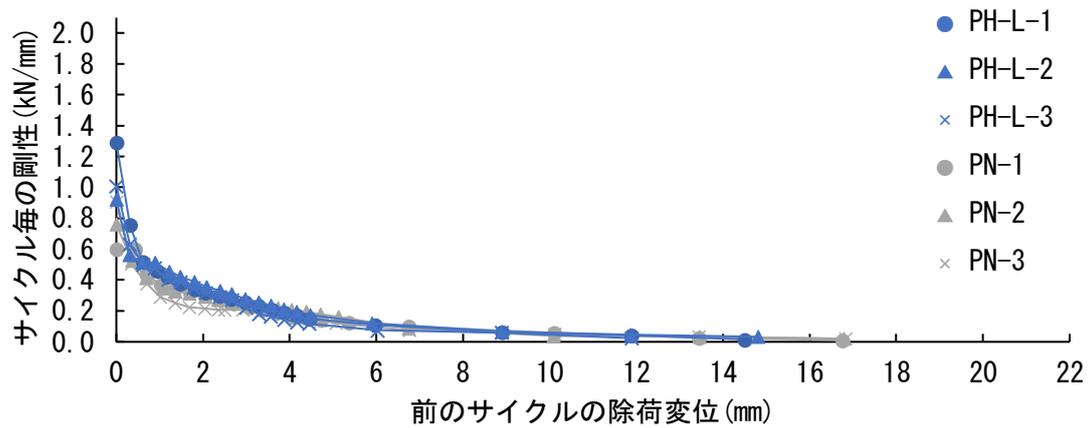


(c) PH-L-3 (破壊形式 : ボード破壊型)

— 繰り返し載荷 — 単調載荷



(d) サイクル毎の最大荷重



(e) サイクル毎の剛性

図 5.10 PH-L

5.1) 荷重変位関係、最大荷重

平均最大荷重は標準に対して 0.99 倍、単調载荷に対して 0.99 倍でほぼ同じであった。両抵抗型の場合、ボード破壊型に比べて、最大荷重後の耐力が常に大きいことが分かる。ボード破壊型では、約 12mm 以降の耐力が大きく低下した。

5.2) 破壊形式

試験体 1 はボード破壊型、試験体 2 は両抵抗型であるが、破壊前の微妙な抵抗の違いで、約 12mm 以降の耐力が大きく変わったと考えられる。

試験体 1 ボード破壊型



試験体 2 両抵抗型



試験体 3 ボード破壊型



載荷前

最大荷重時

破壊前

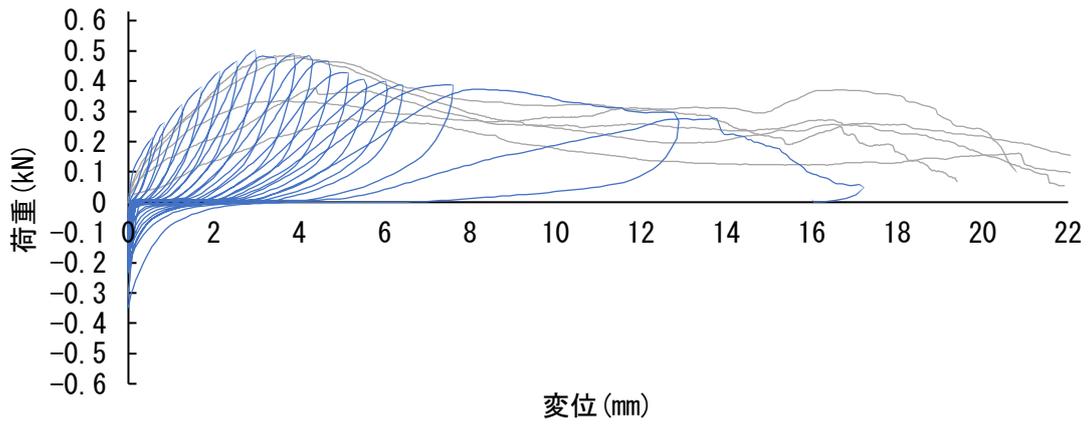
図 5.11 破壊形式

5.3) 剛性評価

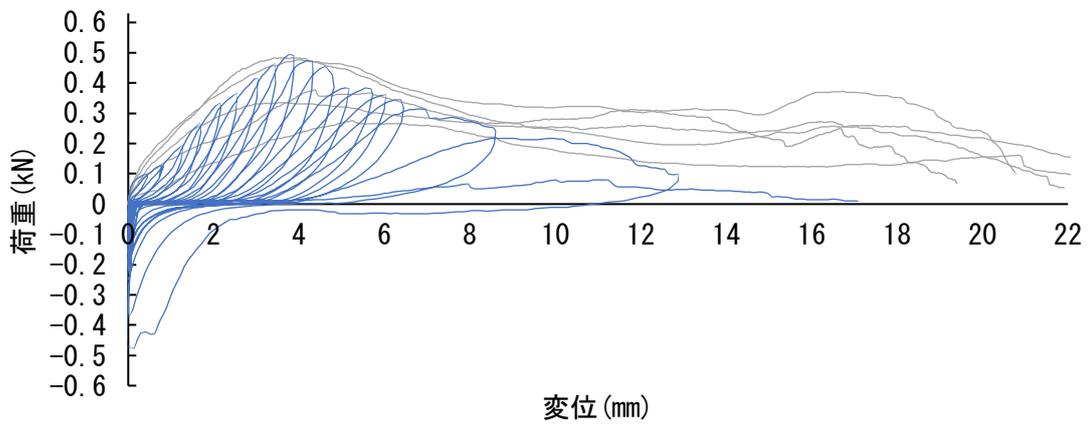
ボード破壊が生じる前までは、標準より高い剛性となっているが、3mm を過ぎると剛性は標準と同程度又はそれ以下となることが分かる。

これは下穴が大きいことで、施工時に剥離などの影響が小さくなることで、ボード破壊が起きづらくなると考えられる。

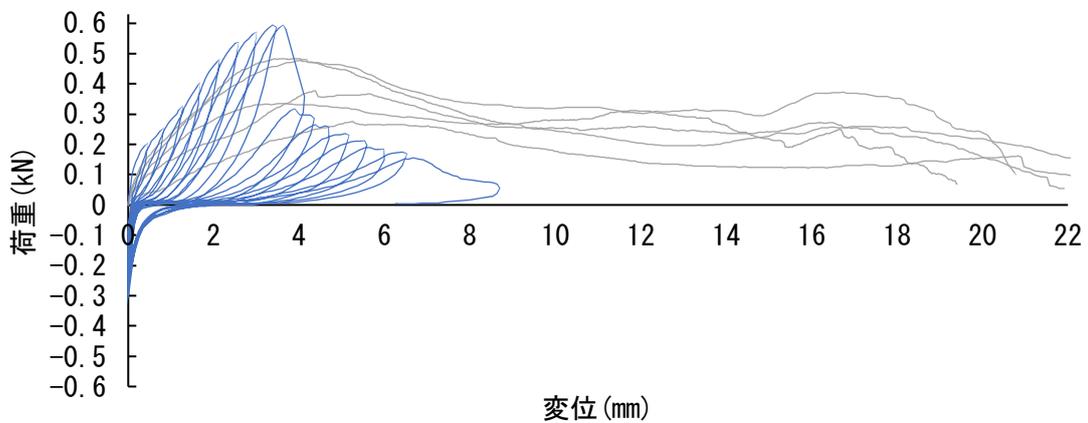
6) PH-S (プラスチック・下穴小)



(a) PH-S-1 (破壊形式 : ボード破壊型、剥離あり)

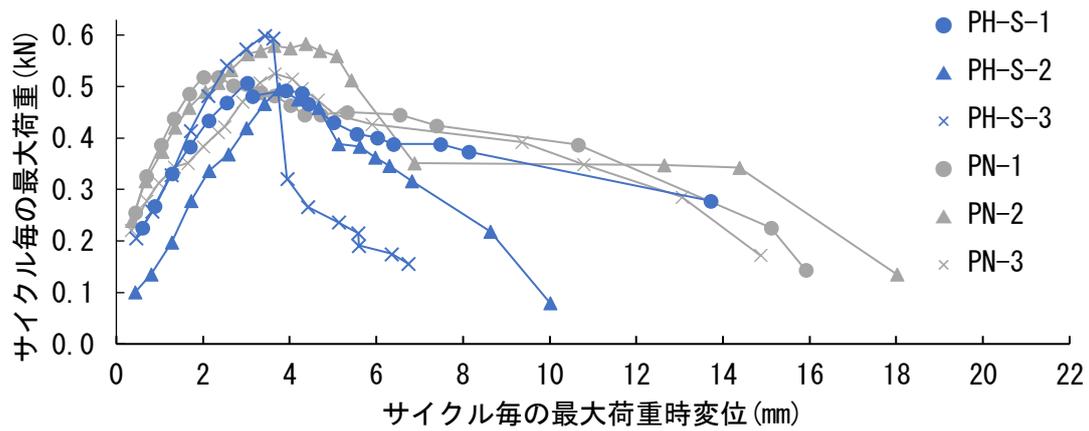


(b) PH-S-2 (破壊形式 : ボード破壊型、剥離あり)

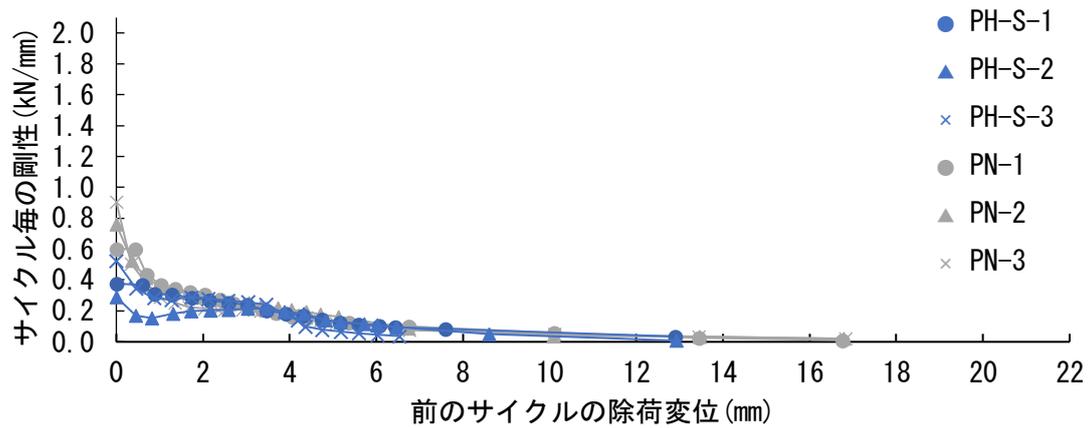


(c) PH-S-3 (破壊形式 : ボード破壊型、変形あり)

— 繰り返し荷重 — 単調荷重



(d) サイクル毎の最大荷重



(e) サイクル毎の剛性

図 5.12 PH-S

6. 1) 荷重変位関係、最大荷重

平均最大荷重は標準に対しては 0.98 倍でほぼ同じで、単調荷重に対しては 1.37 倍となった。しかし、一番最大荷重が大きい試験体 3 は、施工後の状態の影響もあり、変形が進んでからの耐力が小さい。標準と比較しても、変形が進んでからの耐力は小さいことが分かる。

これは下穴が小さいことによる剥離の影響で、荷重初期からボード破壊が起きやすいためだと考えられる。

6.2) 破壊形式

施工後から大きな剥離がある影響で、ボード破壊が進行しやすく、アンカーの変形はほぼなく、抜けていくことが分かる。試験体3では施工後に、トラスではなく、ひし形+ピスによる変形抑制による抵抗になっており、PA-Sで見られるような形になっているため、最大荷重が大きくなったと考えられる。

試験体1 ボード破壊型(剥離あり)



試験体2 ボード破壊型(剥離あり)



試験体3 ボード破壊型(剥離あり)

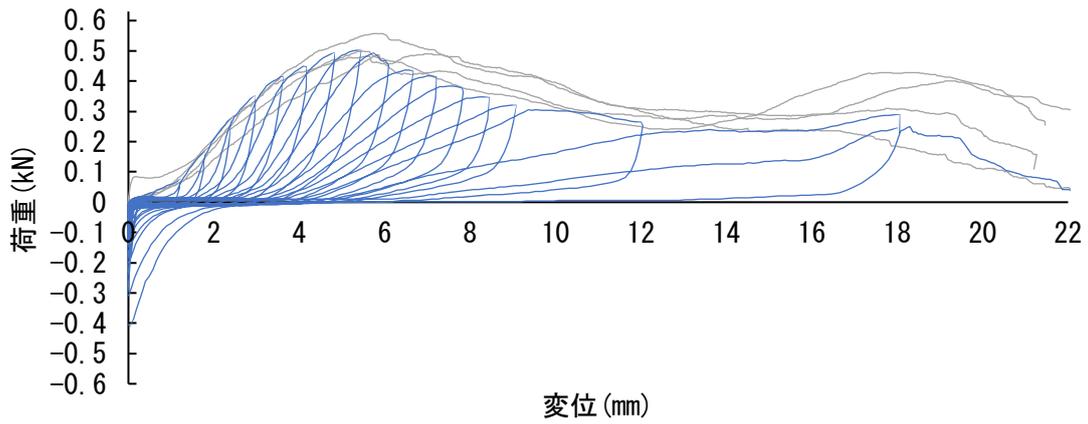


図 5.13 破壊形式

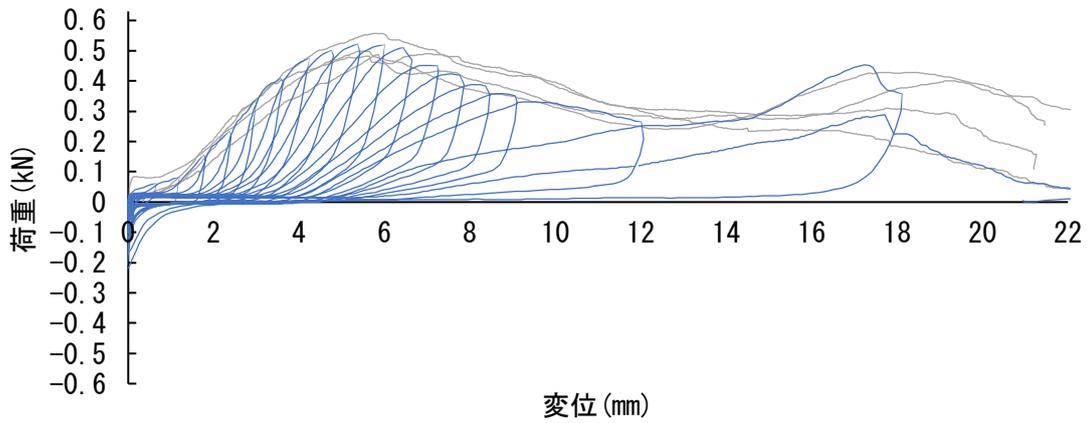
6.3) 剛性評価

剥離の影響で 1 サイクル目から低い傾向があり、その後も標準よりは低いことが確認できる。このことから、剛性とボードの破壊状況は大きく関係していると考えられる。

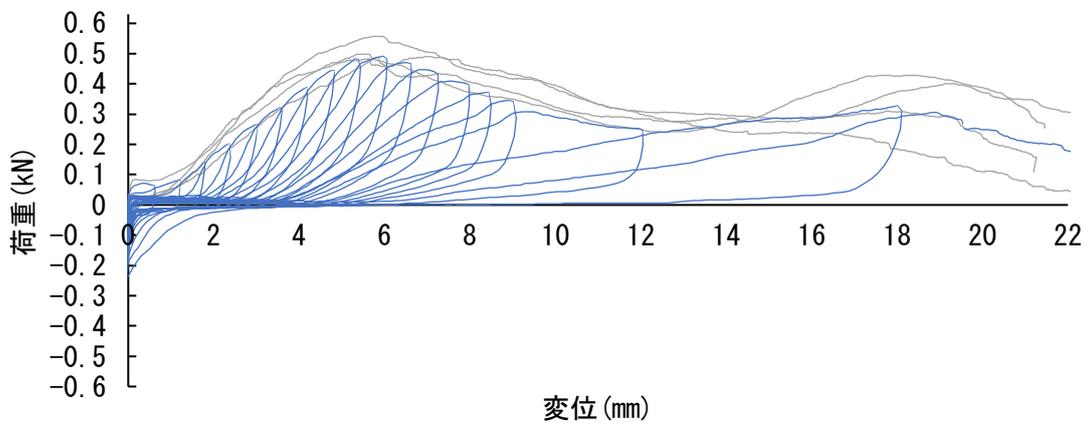
7) PA-L (プラスチック・アンカー大)



(a) PA-L-1 (破壊形式 : 両抵抗型)

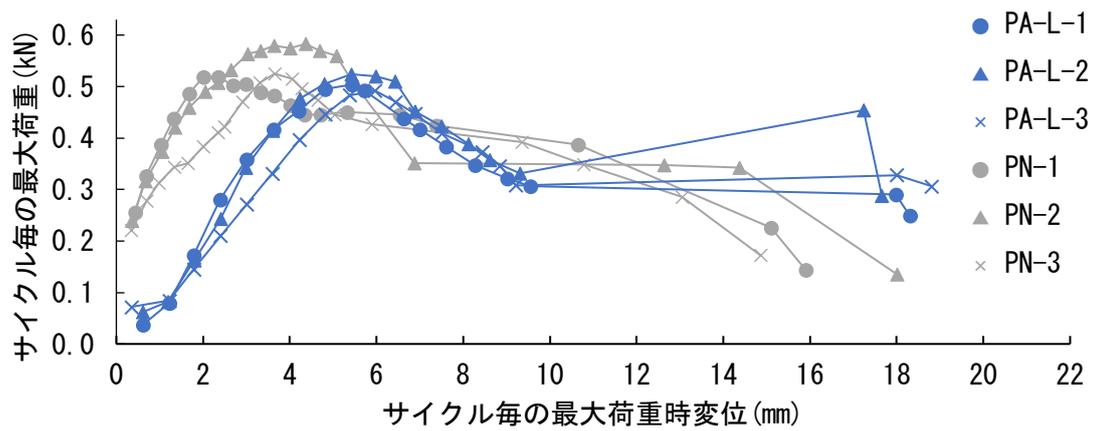


(b) PA-L-2 (破壊形式 : 両抵抗型)

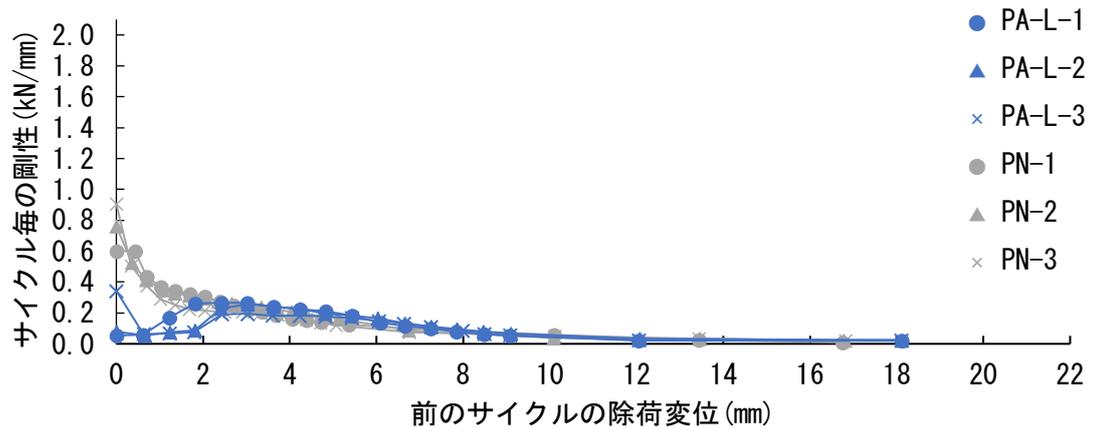


(c) PA-L-3 (破壊形式 : 両抵抗型)

— 繰り返し載荷 — 単調載荷



(d) サイクル毎の最大荷重



(e) サイクル毎の剛性

図 5.14 PA-L

7.1) 荷重変位関係、最大荷重

平均最大荷重は単調荷重に対して 1.00 倍、標準に対して 0.93 倍でほぼ同じであった。しかし、施工後に隙間があることで、最初の 1mm はサイクル毎の最大荷重が 0.05kN 程度であった。標準と比較すると、約 2mm 変位が遅れているような荷重変位関係であり、変位が進んだ後の耐力は大きい。

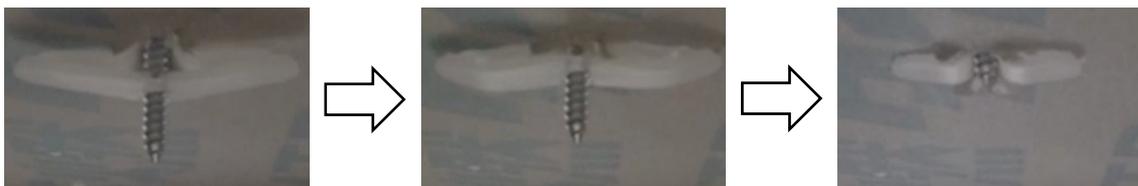
7.2) 破壊形式

アンカーと石膏ボード裏に隙間があることから、引抜け時にアンカーの変形とボードが干渉しづらく、全ての試験体で安定して両抵抗型となった。

両抵抗型



両抵抗型



両抵抗型



載荷前

最大荷重時

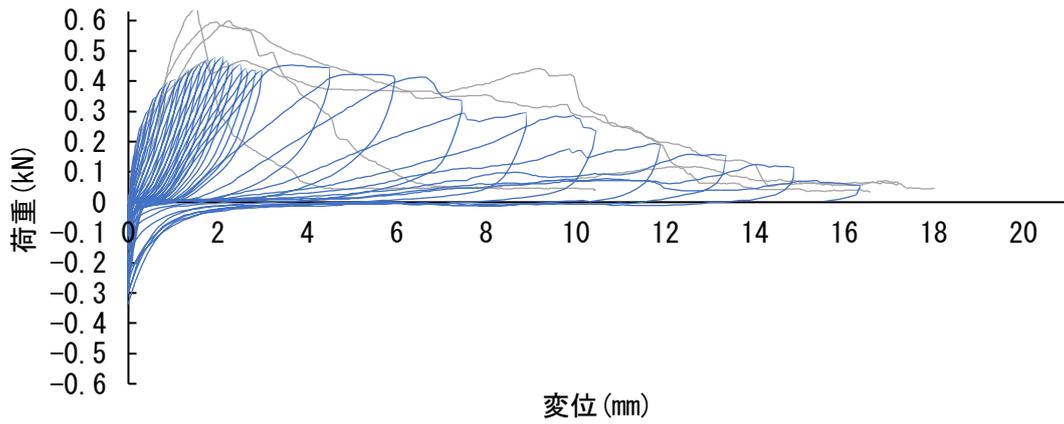
破壊前

図 5.15 破壊形式

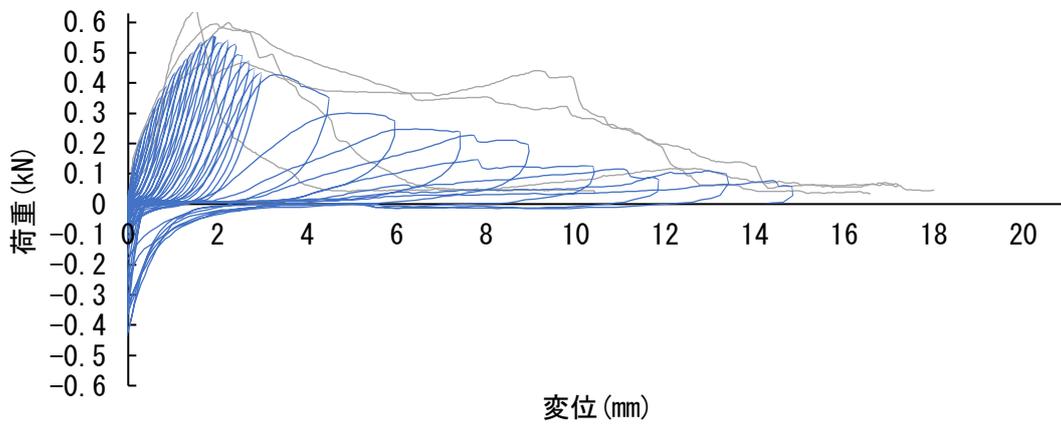
7.3) 剛性評価

載荷初期の剛性が低く、実際の固定時にはロッキングによる衝撃力が作用する恐れがあり危険と考えられる。

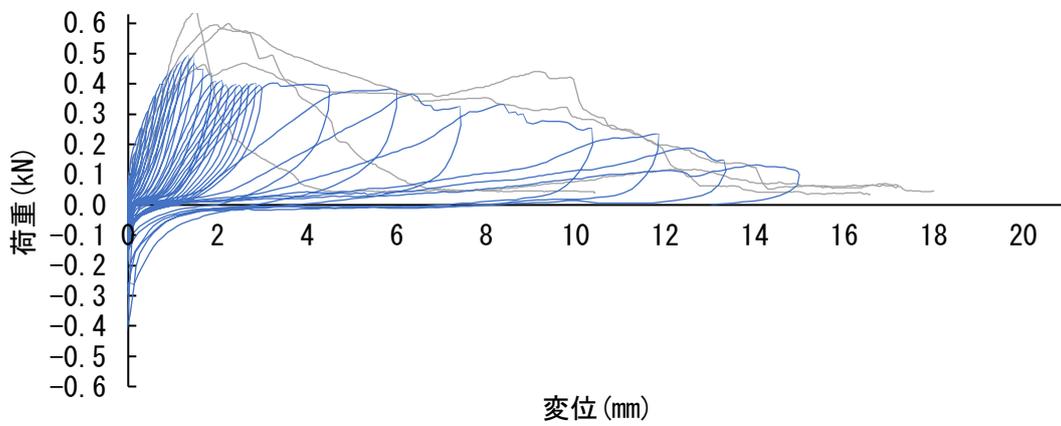
8) PA-S (プラスチック・アンカー小)



(a) PA-S-1 (破壊形式 : ボード破壊型、変形あり)

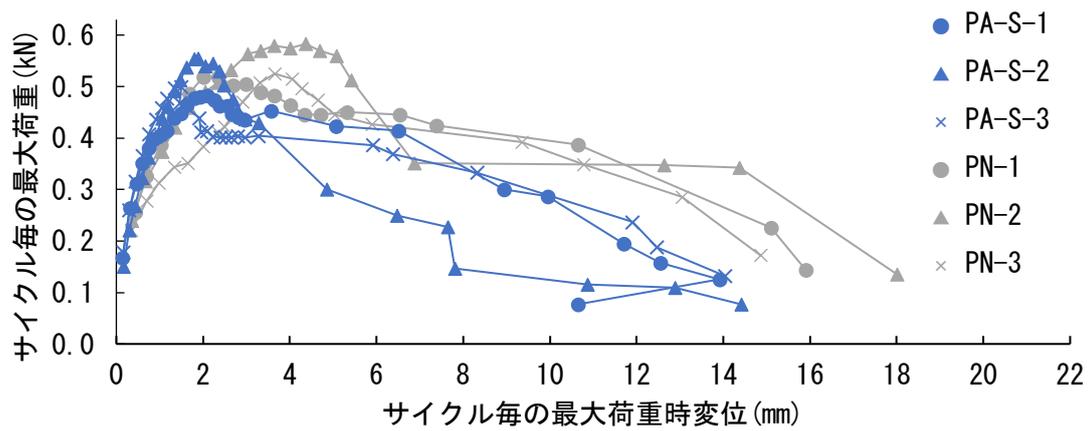


(b) PA-S-2 (破壊形式 : ボード破壊型、変形あり)

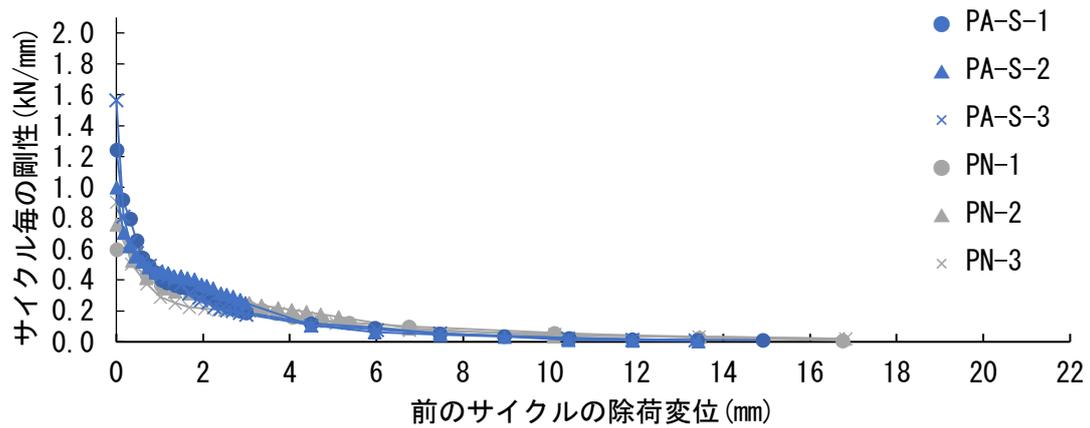


(c) PA-S-3 (破壊形式 : ボード破壊型、変形あり)

— 繰り返し載荷 — 単調載荷



(d) サイクル毎の最大荷重



(e) サイクル毎の剛性

図 5.16 PA-S

8. 1) 荷重変位関係、最大荷重

平均最大荷重は単調載荷に対して 0.89 倍で少し低く、標準に対しては 0.95 倍でほぼ同じであった。ボード破壊型であるため、変形が進んだ後の耐力が低い。標準より最大荷重が出る変位が小さい傾向があった。

8.2) 破壊形式

施工後からすでに塑性変形しており、通常の変形ではないことが分かる。破壊前は片抵抗型のように見えるが、最初から変形している点と荷重変位関係にボード破壊型の特徴がある点からボード破壊型と判断した。

ピン押し込み時に変形するほどの力を要し、アンカーの先が割れてしまうこともあったため、施工ができない場合も考えられる。

試験体 1 ボード破壊型(変形あり)



試験体 2 ボード破壊型(変形あり)



試験体 3 ボード破壊型(変形あり)

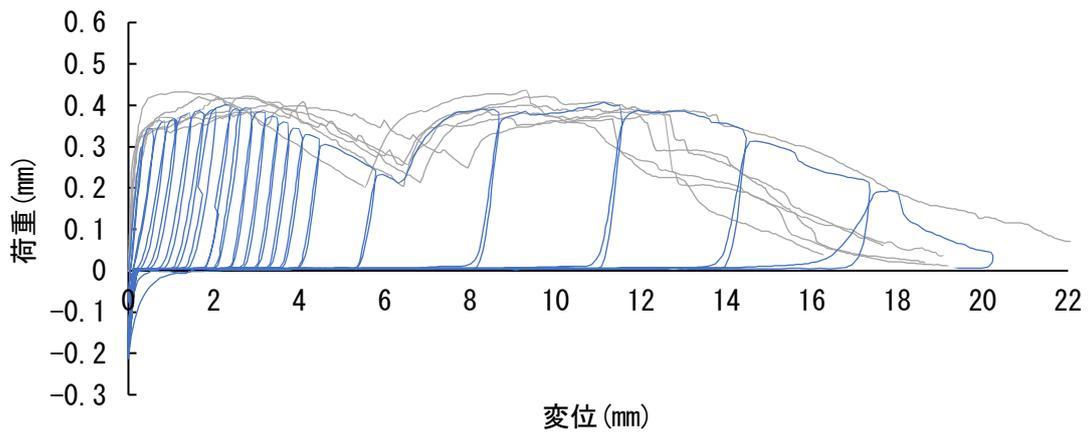


図 5.17 破壊形式

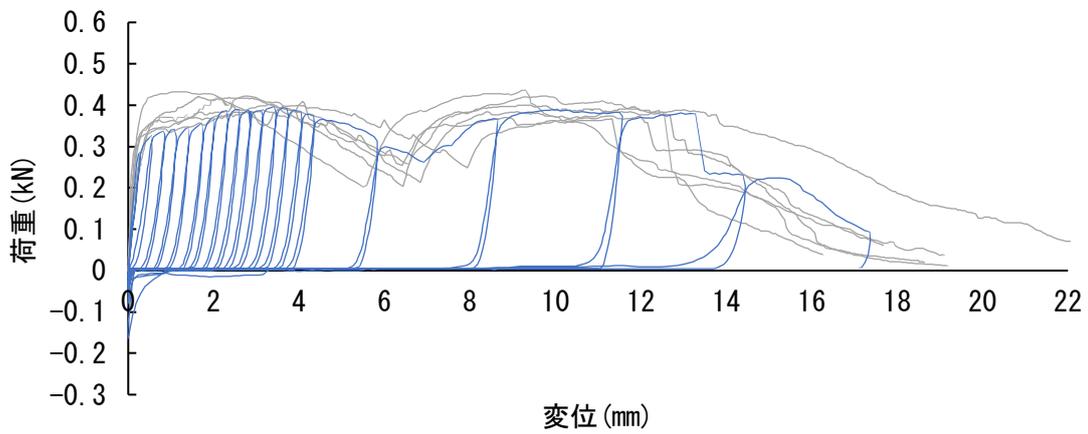
8.3) 剛性評価

変形の影響でトラスではなく、ひし形+ビスによる変形抑制のような形で抵抗しており、载荷初期の剛性が標準と比較しても非常に高くなっている。

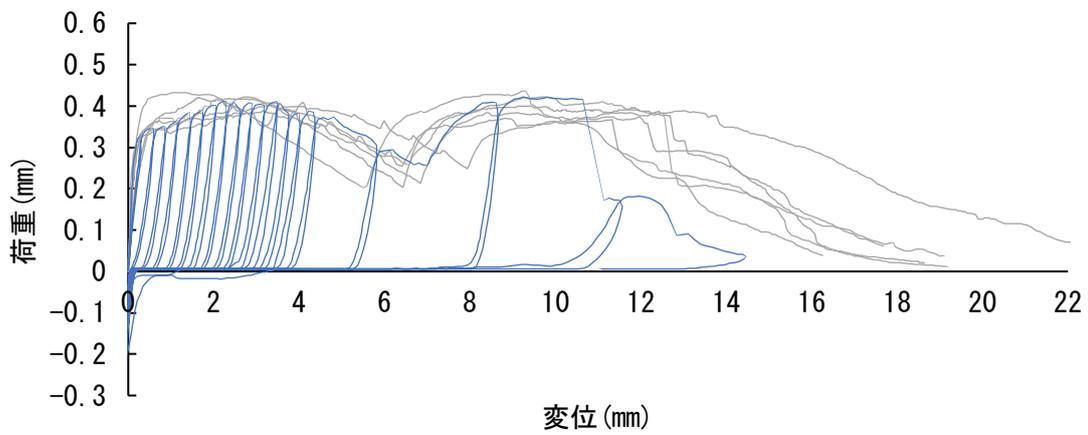
9) SN (鋼製・標準)



(a) SN-1 (破壊形式 : 標準型)

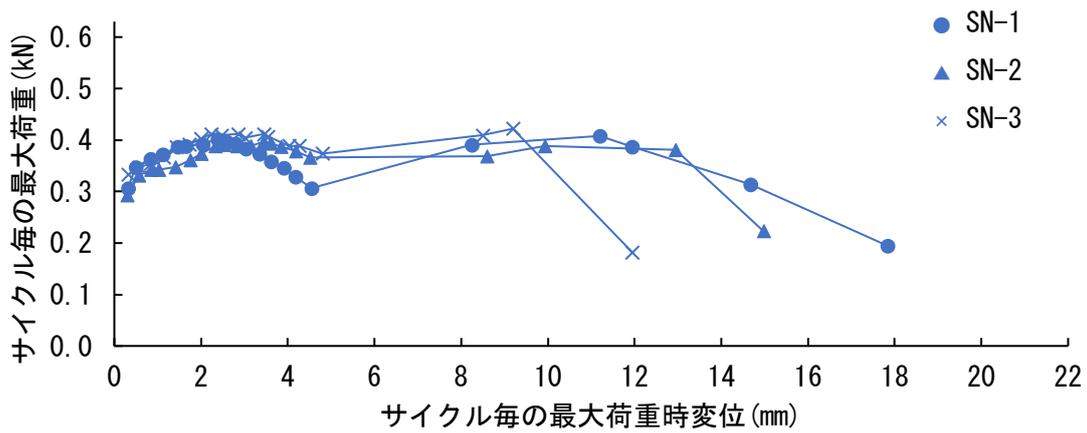


(b) SN-2 (破壊形式 : 標準型)

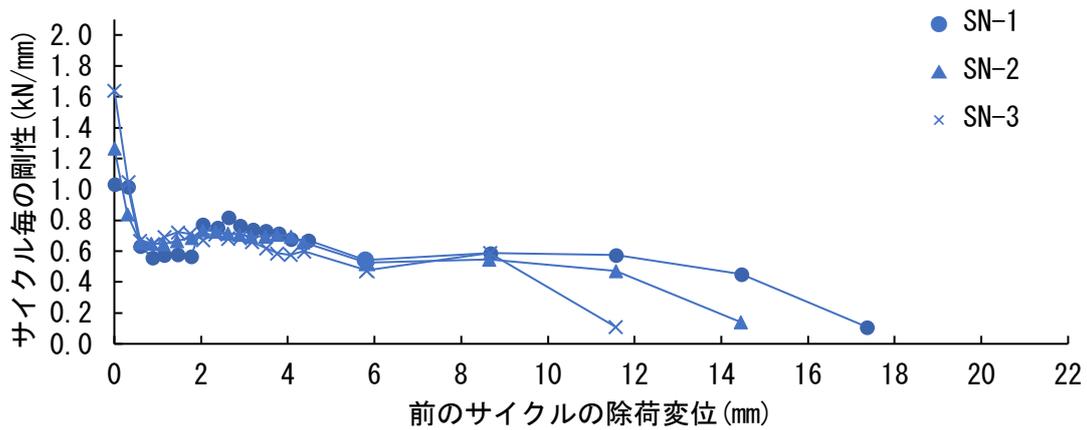


(c) SN-3 (破壊形式 : 標準型)

— 繰り返し载荷 — 単調载荷



(d) サイクル毎の最大荷重



(e) サイクル毎の剛性

図 5.18 SN

9. 1) 荷重変位関係、最大荷重

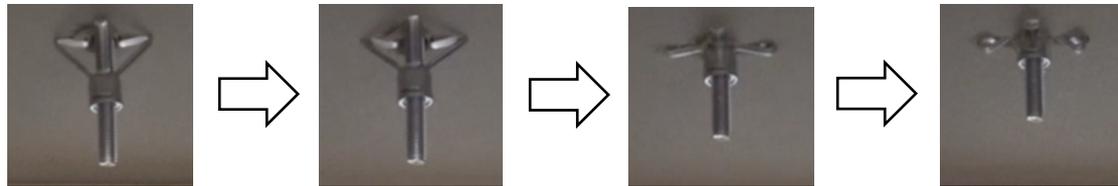
平均最大荷重は 0.404kN(≒41.2kgf)で単調载荷に対して 0.98 倍でほぼ同じであった。プラスチック製アンカーと同じく、繰り返し载荷による最大荷重の低下は見られなかった。単調载荷時と同じく、ピークが 2 回出るという特徴があり、試験体 3 のみ、約 11mm で耐力が大きく低下し、比較的変形後の耐力は小さかった。

実際の家具固定時を考えると、プラスチック製アンカーと同様に、最大荷重に達した後にも耐力があることで、荷重を吸収するような働きがあると考えられる。

9.2) 破壊形式

施工後の状態もばらつきが小さかったが、破壊の過程に少し傾きが生じることもある程度で、破壊形式にもばらつきは見られなかった。試験体 2,3 は 2 回目ピーク時にボード破壊するため、4 枚目の写真は省略した。

標準型



標準型



標準型



載荷前

1 回目ピーク時

2 回目ピーク時

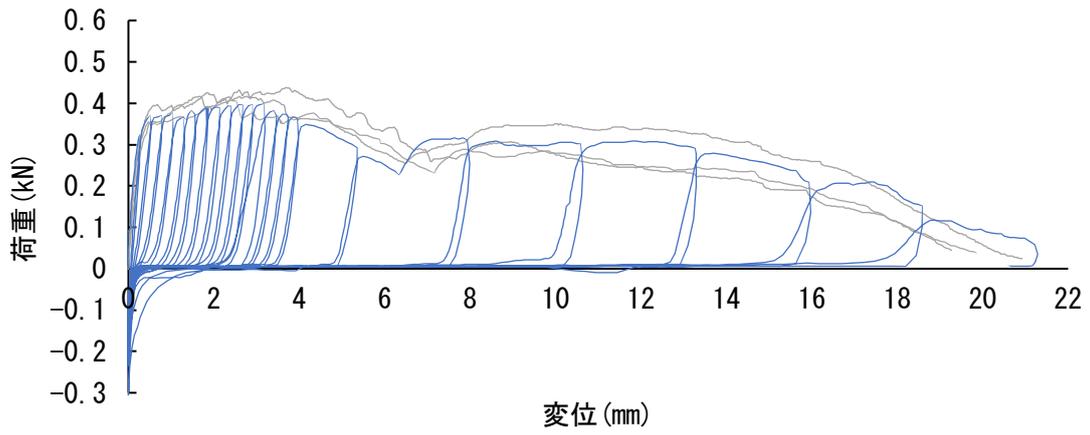
破壊前

図 5.19 破壊形式

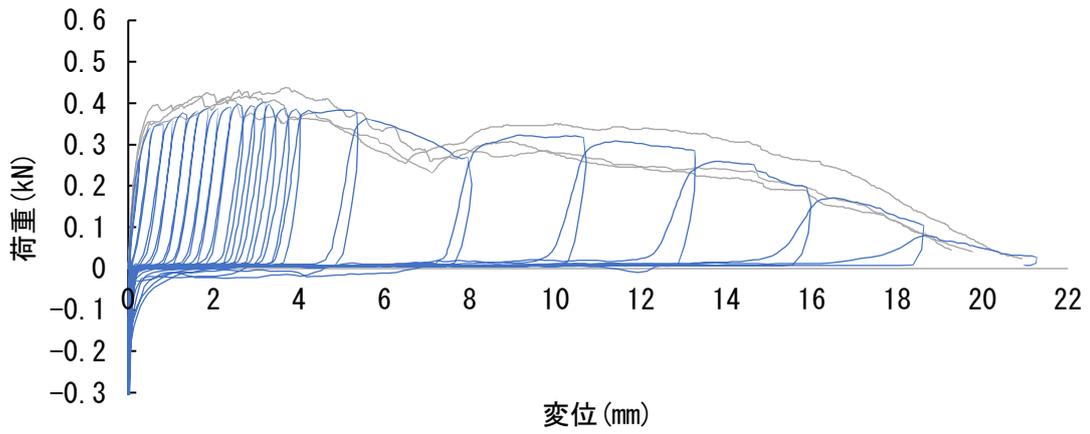
9.3) 剛性評価

プラスチック製アンカーと同様に最初の方のサイクルが高い傾向はあるが、1mm～8mmの間では剛性の維持が見られた。これは鋼製アンカーの特徴でもある、終局状態までボード破壊が生じにくく、鋼製の羽部分の塑性変形のみで変位が進むためであると考えられる。

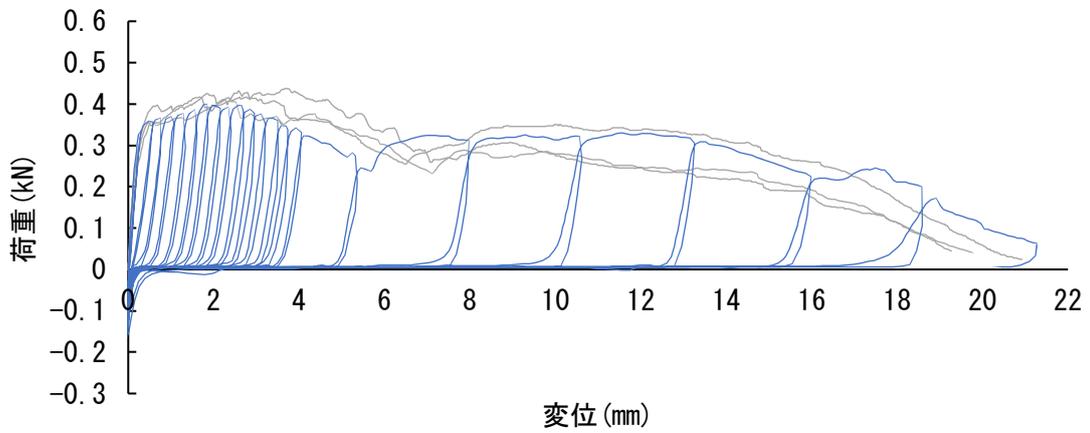
10) SH-L (鋼製・下穴大)



(a) SH-L-1 (破壊形式：標準型)

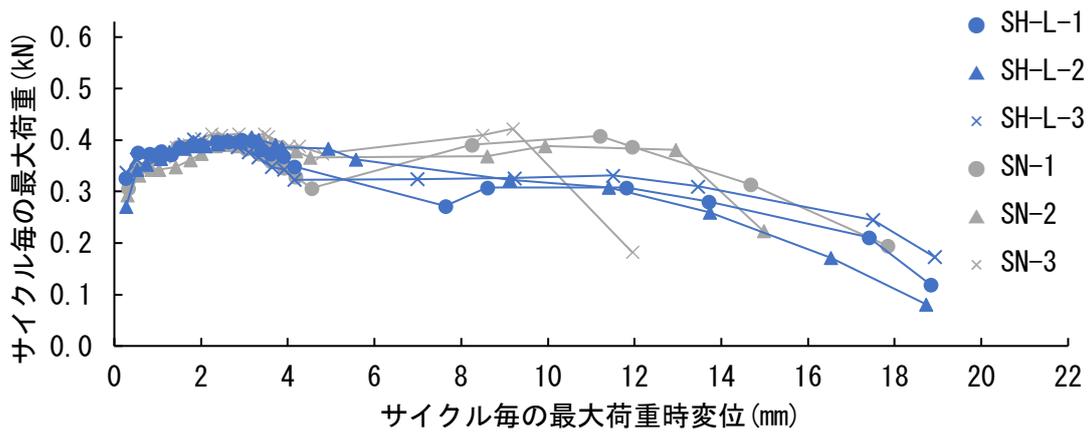


(b) SH-L-2 (破壊形式：標準型)

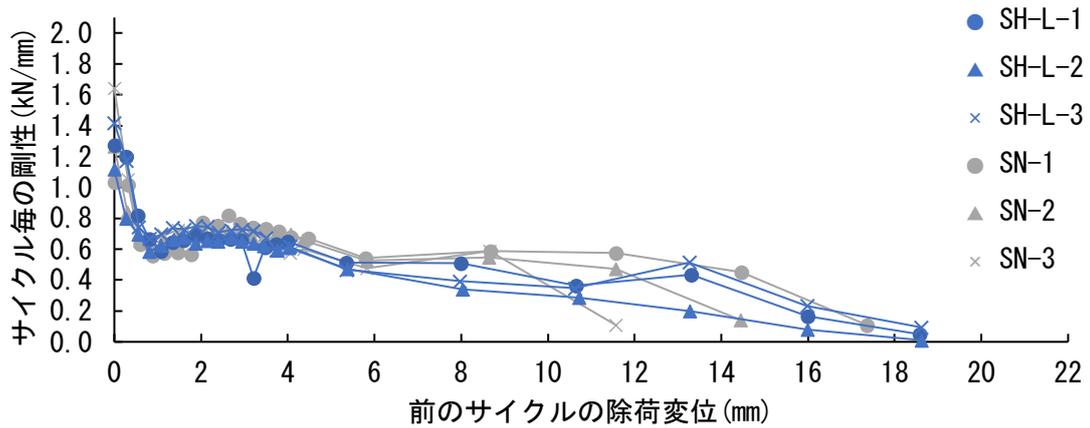


(c) SH-L-3 (破壊形式：標準型)

— 繰り返し载荷 — 単調载荷



(d) サイクル毎の最大荷重



(e) サイクル毎の剛性

図 5.20 SH-L

10.1) 荷重変位関係、最大荷重

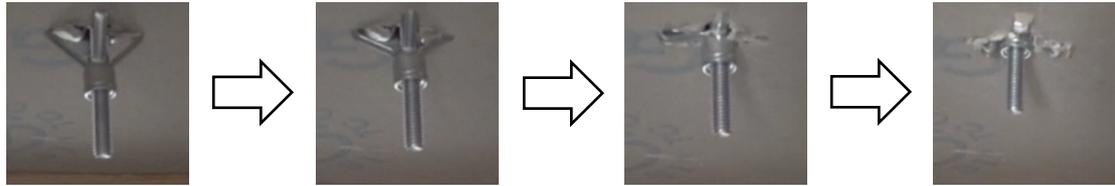
平均最大荷重は標準に対して 1.00 倍、単調荷重に対して 0.95 倍でほぼ同じであり、繰り返し荷重による最大荷重の低下は見られなかった。SN では 2 回目のピークは 1 回目のピークと同程度まで上昇したが、SH-L では 2 回目のピークは 1 回目の約 7 割までしか上がらなかった。

これは下穴が大きいことで 2 回目のピーク時に羽との間で抵抗する面積が小さくなり、ボード破壊が起きやすくなったためであると考えられる。

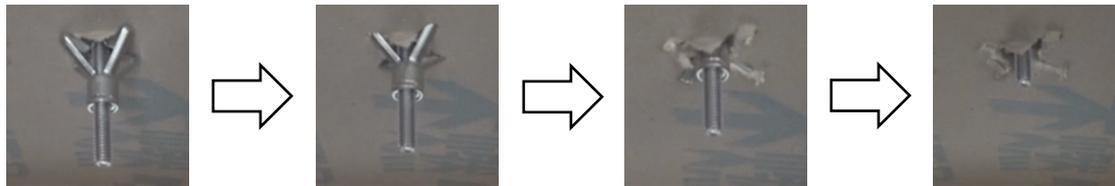
10. 2) 破壊形式

標準と同じ破壊形式であり、ばらつきも少ない。

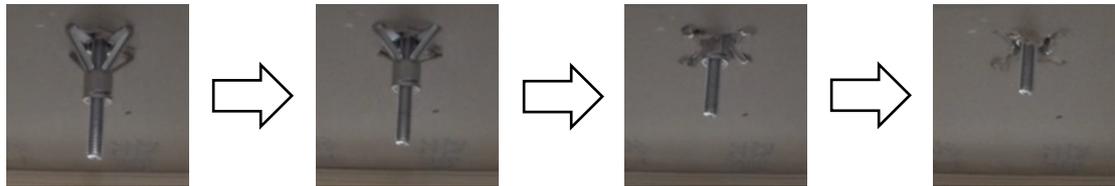
標準型



標準型



標準型



載荷前

1 回目ピーク時

2 回目ピーク時

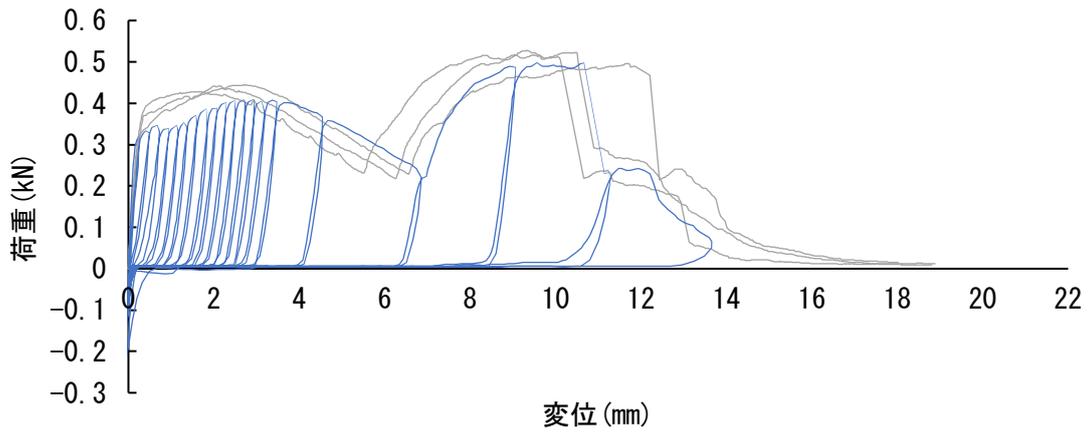
破壊前

図 5. 21 破壊形式

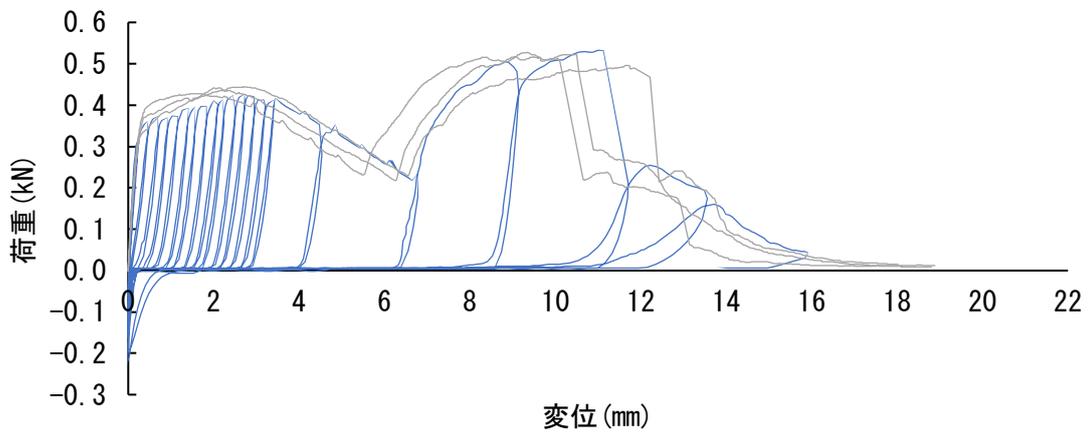
10. 3) 剛性評価

6mm 付近からの剛性が標準に比べて低いことが分かる。ボードが破壊が生じやすい影響で剛性が低いと考えられる。

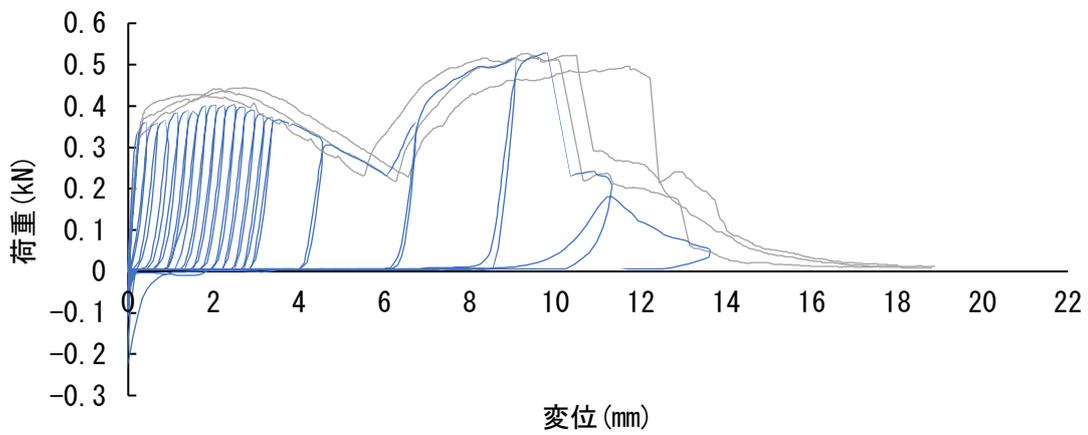
11) SH-S (鋼製・下穴小)



(a) SH-S-1 (破壊形式 : コーン破壊型)

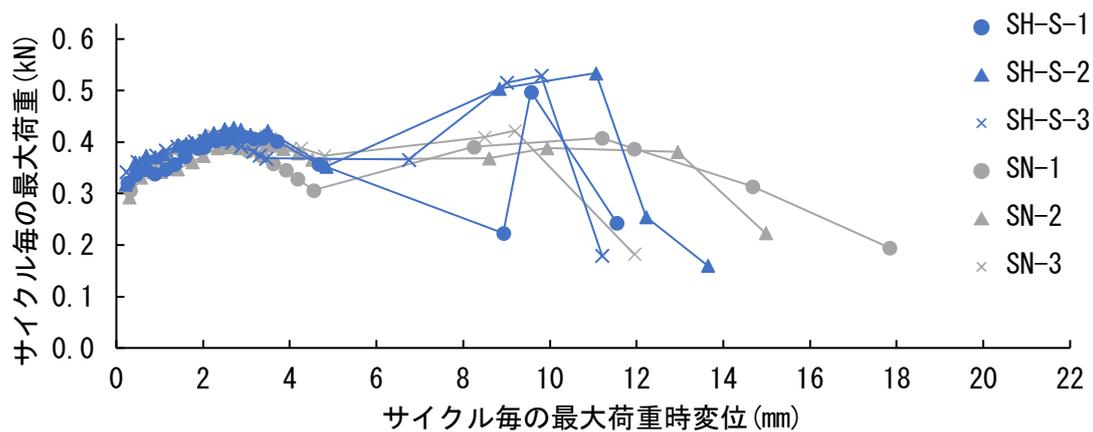


(b) SH-S-2 (破壊形式 : コーン破壊型)

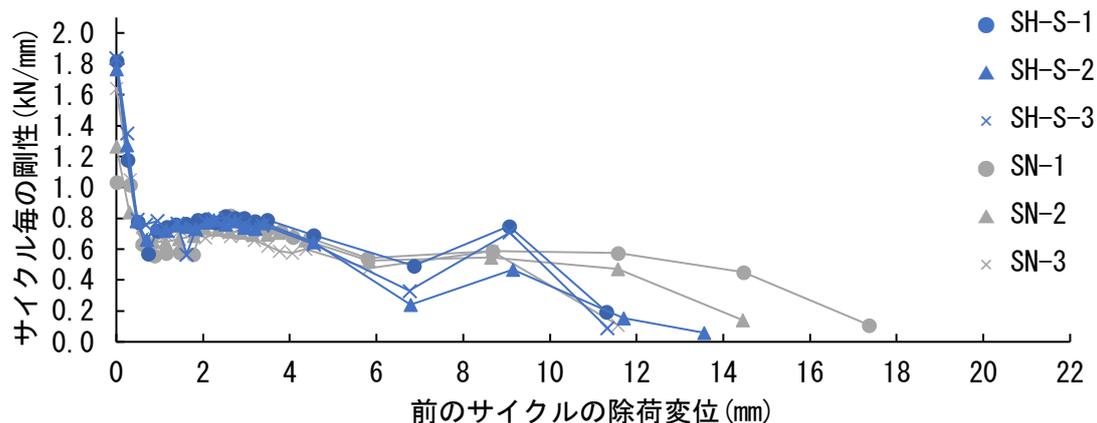


(c) SH-S-3 (破壊形式 : コーン破壊型)

— 繰り返し载荷 — 単調载荷



(d) サイクル毎の最大荷重



(e) サイクル毎の剛性

図 5.22 SH-S

11.1) 荷重変位関係、最大荷重

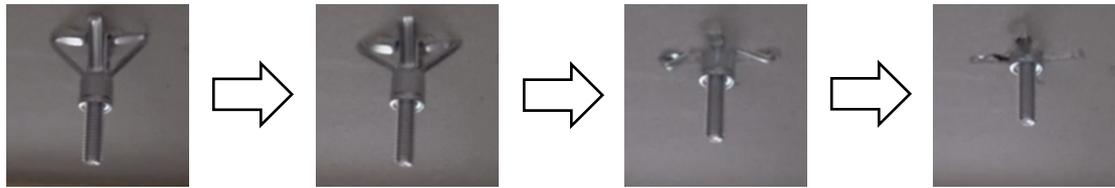
1つ目のピークの平均最大荷重は標準に対して1.03倍、単調荷重に対して0.95倍でほぼ同じで、繰り返し荷重による最大荷重の低下は見られなかった。しかし、2回目のピークで荷重が大きく上昇する傾向があり、どの試験体も10mm付近でコーン破壊した。

これはPH-Lとは反対に、羽と石膏ボードの間で抵抗する面積が大きくなり、ボード破壊が生じにくくなるためと考えられる。

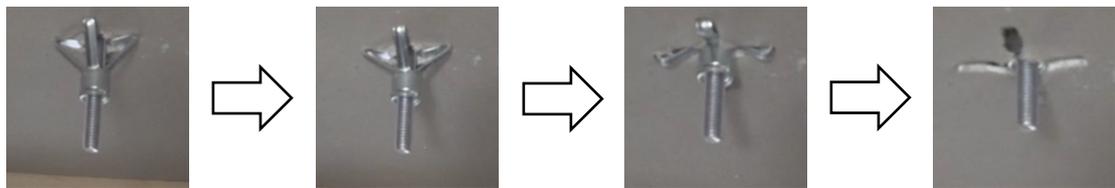
11.2) 破壊形式

2回目ピーク時にあまりボード破壊が進んでいないことが分かる。

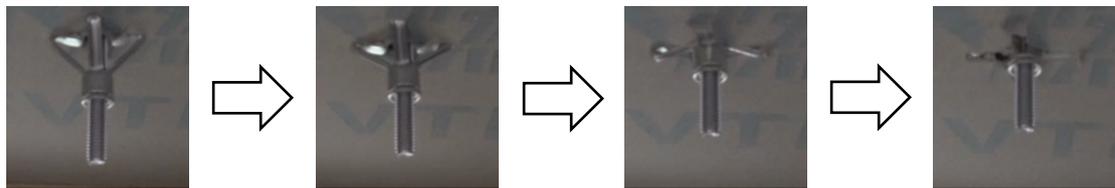
コーン破壊型



コーン破壊型



コーン破壊型



載荷前

1回目ピーク時

2回目ピーク時

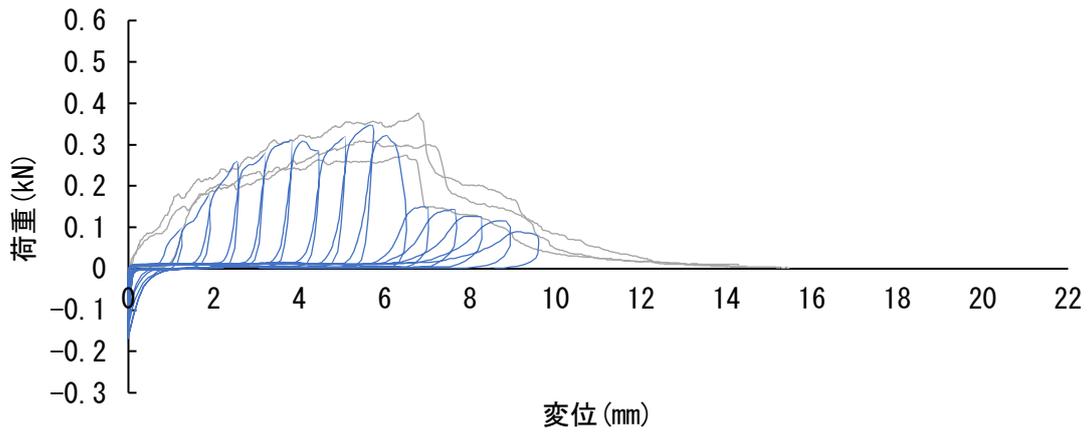
破壊前

図 5.23 破壊形式

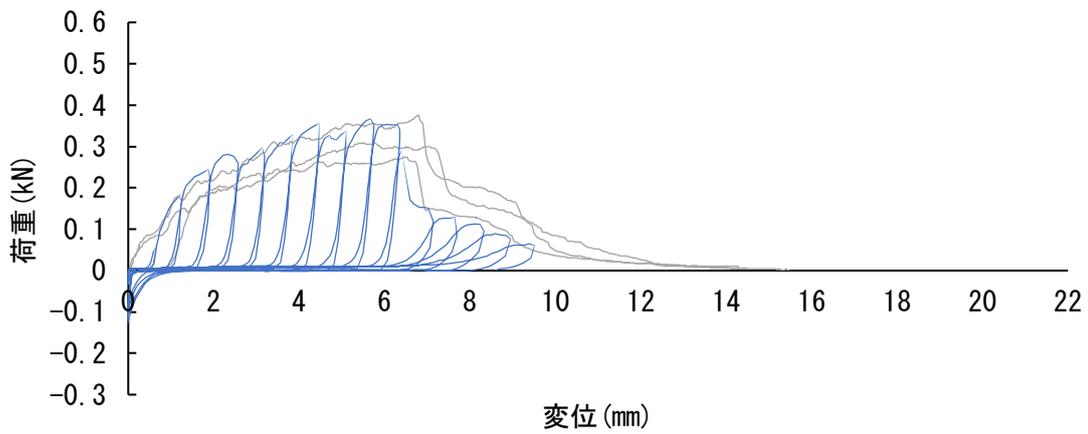
11.3) 剛性評価

2回目のピーク時にコーン破壊するサイクルの剛性は標準と比べて高くなることが分かる。

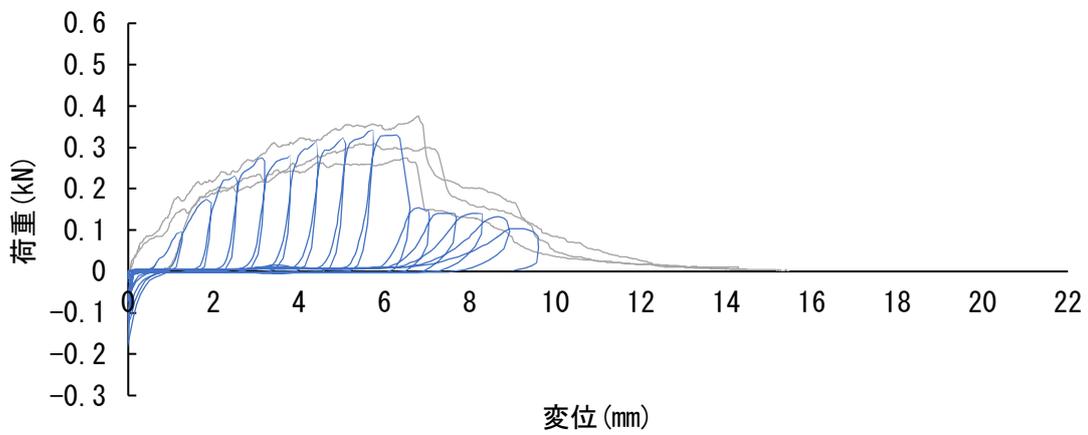
12) SA-L (鋼製・アンカー大)



(a) SA-L-1 (破壊形式 : 変形型)

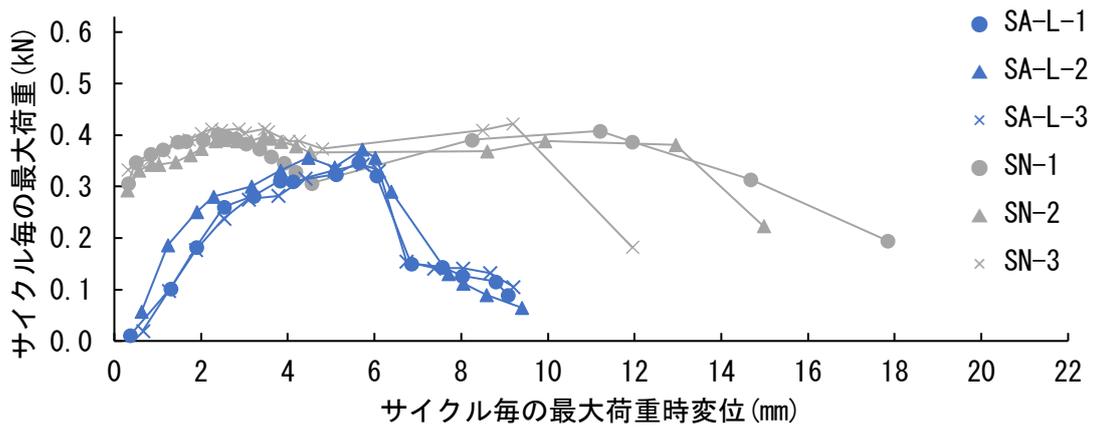


(b) SA-L-2 (破壊形式 : 変形型)

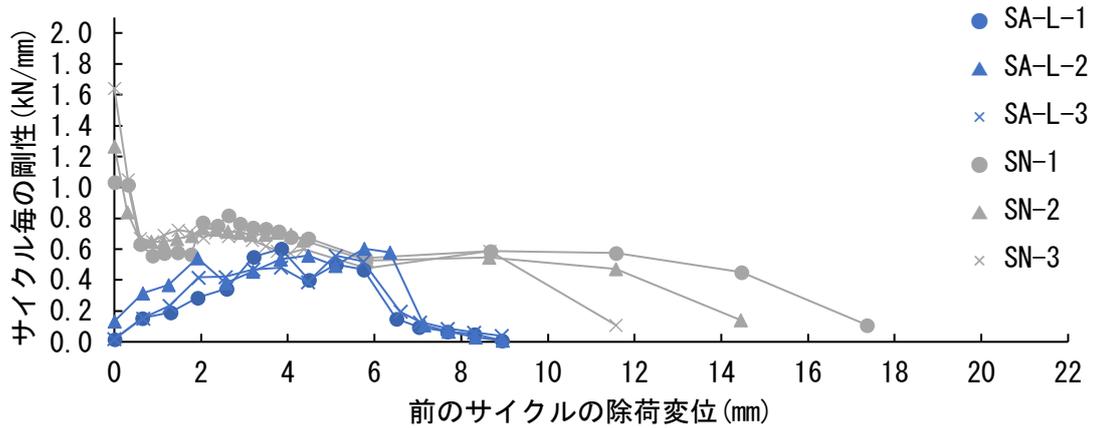


(c) SA-L-3 (破壊形式 : 変形型)

— 繰り返し载荷 — 単調载荷



(d) サイクル毎の最大荷重



(e) サイクル毎の剛性

図 5.24 SA-L

12. 1) 荷重変位関係、最大荷重

1つ目のピークの平均最大荷重は標準に対して0.88倍で少し低く、単調荷重に対して1.11倍で少し高くなった。標準とは荷重変位関係が大きく異なり、荷重初期と変位が進んだ後の耐力が小さく、約10mmでほとんど耐力がなくなった。

これは施工後の状態の影響で、最初からボード破壊が進んでしまうためと考えられる。また、

12. 2) 破壊形式

最初から羽が閉じてしまっていることが確認できる。その影響でアンカー自体は施工後の状態から変形しないまま、ボードに刺さるような形となっている。また、アンカーの大きさの影響で、ボード裏に少し隙間がある場合も確認できた。アンカーの大きさが大きいことで、固定効果は大きく低下すると考えられる。

変形型



変形型



変形型



载荷前

ピーク時

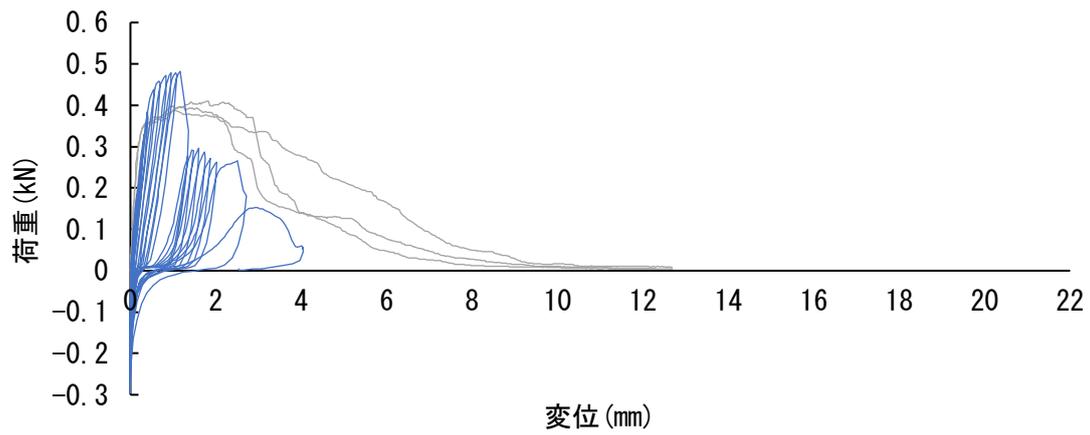
破壊前

図 5. 25 破壊形式

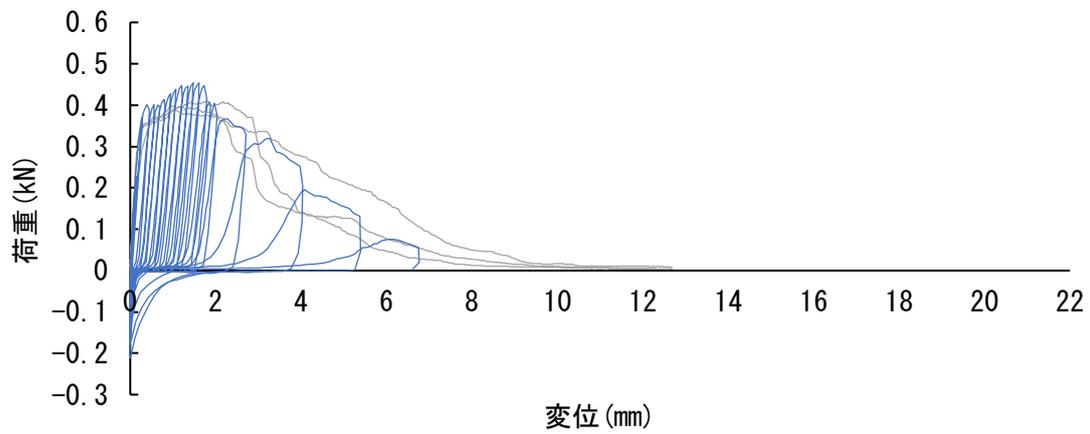
12. 3) 剛性評価

载荷初期から剛性は低く、ボード破壊時に少し高くなるが、同じ変位時の標準と同程度であり、アンカーを締めすぎてしまうことで、固定効果は著しく低下することが分かる。

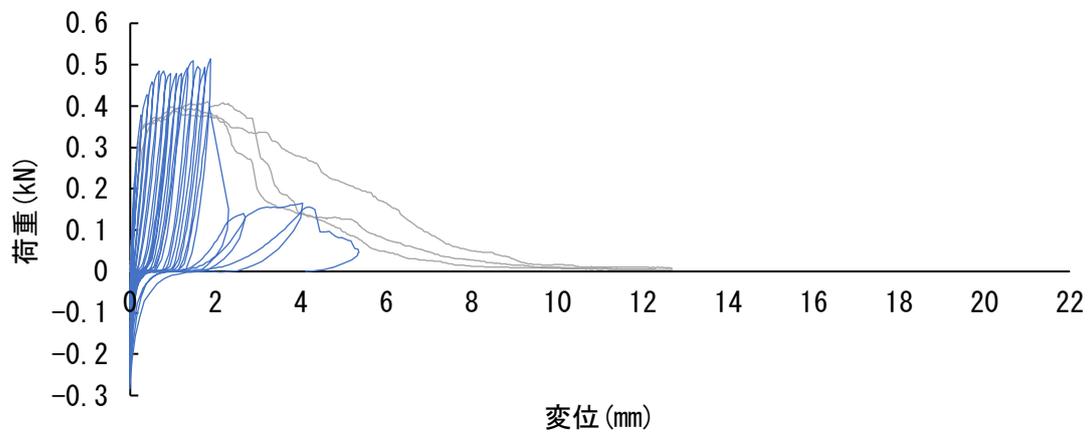
13) SA-S (鋼製・アンカー小)



(a) SA-S-1 (破壊形式：変形型)

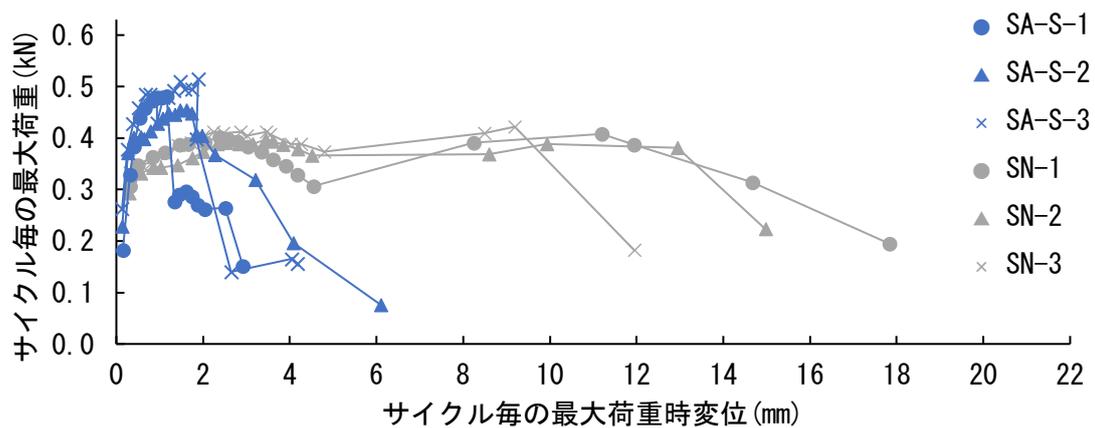


(b) SA-S-2 (破壊形式：変形型)

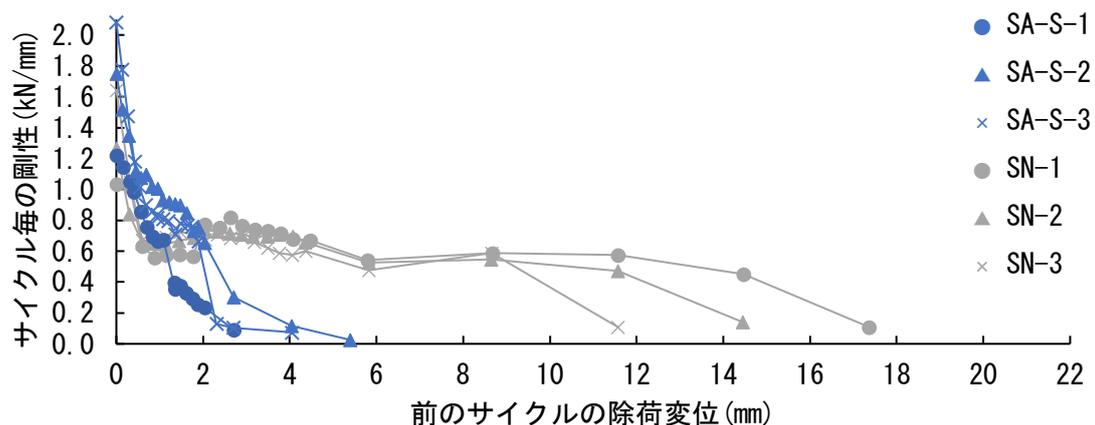


(c) SA-S-3 (破壊形式：変形型)

— 繰り返し載荷 — 単調載荷



(d) サイクル毎の最大荷重



(e) サイクル毎の剛性

図 5.26 SA-S

13. 1) 荷重変位関係、最大荷重

1つ目のピークの平均最大荷重は標準に対して1.20倍、単調荷重に対して1.21倍で高くなった。しかし、最大荷重に達した後は、耐力が大きく低下し、変位4mm~6mmで耐力がなくなった。

標準よりも高くなるのは、施工時に下穴内でアンカーを開き、石膏ボード中に埋まっている様な形になっている影響で、荷重初期からボード破壊の高い耐力と、アンカーの荷重初期の高い剛性で抵抗することができるためと考えられる。

13. 2) 破壊形式

最初からボード内にアンカーが埋まっている様子が確認できる。PA-L と同じく、アンカー自体が変形することはない、ボード破壊のみ進行した。

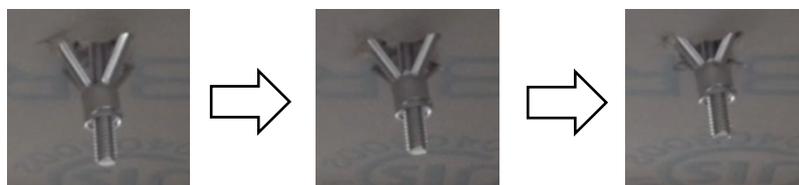
変形型



変形型



変形型



载荷前

ピーク時

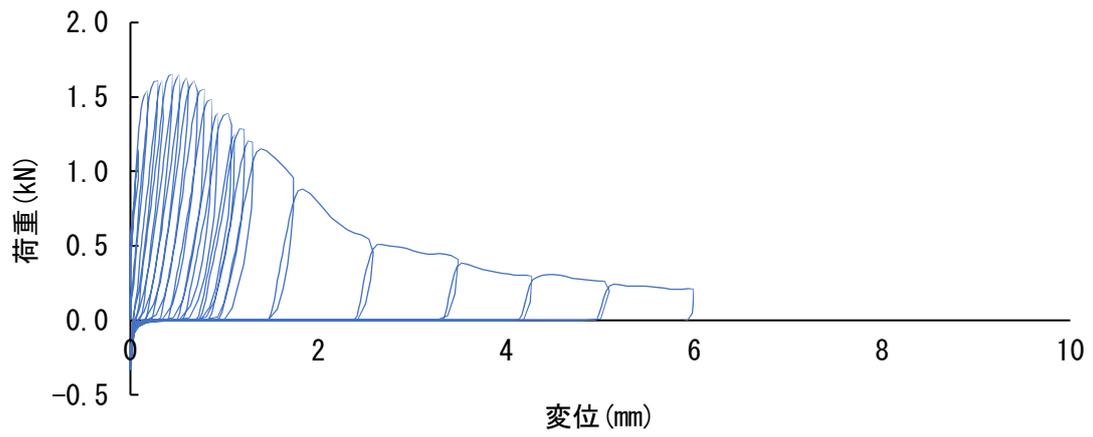
破壊前

図 5. 27 破壊形式

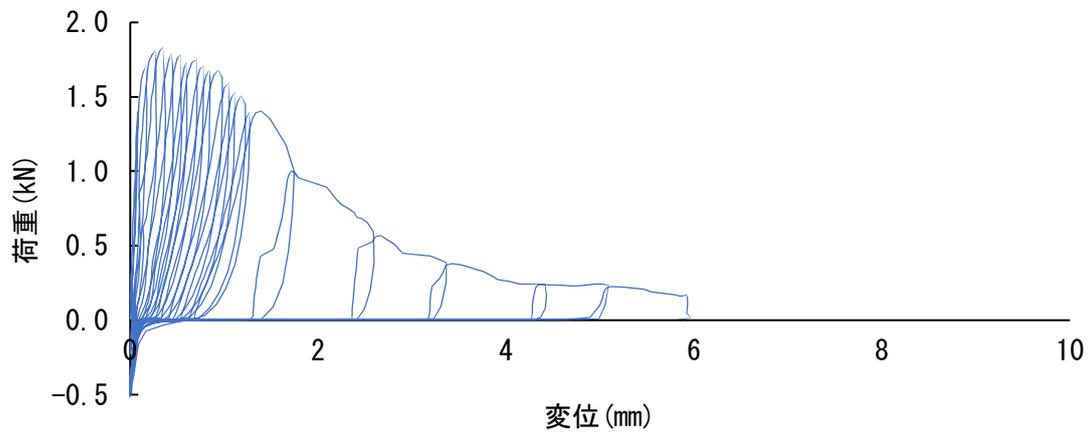
13. 3) 剛性評価

最初の剛性は高く、それ以降は急降下していき、2mm を過ぎると標準よりも小さくなった。

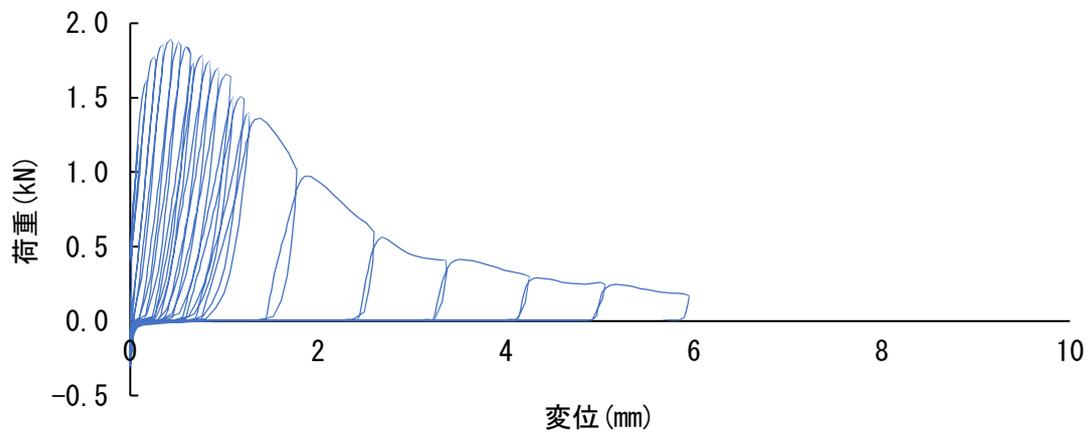
14) WN (木材下地にビス固定・標準)



(a) WN-1

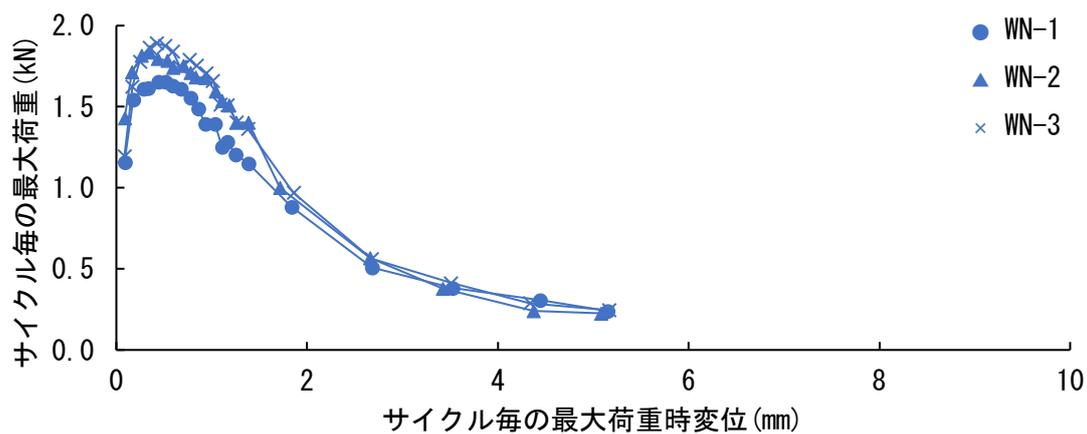


(b) WN-2

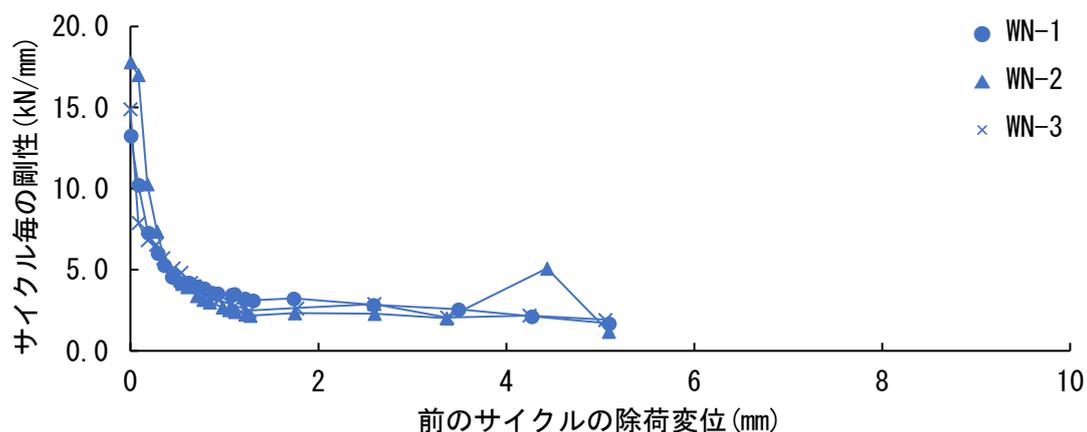


(c) WN-3

— 繰り返し載荷 — 単調載荷



(d) サイクル毎の最大荷重



(e) サイクル毎の剛性

図 5.28 WN

14. 1) 荷重変位関係、最大荷重

平均最大荷重は単調載荷に対して 0.92 倍で少し低くなった。平均最大荷重は 1.795kN(≒183.0kgf)と 2 種類のアンカーによる固定方法に比べると固定効果は非常に大きいことが分かり、木材の下地に固定することは重要だと考えられる。

14. 2) 破壊形式

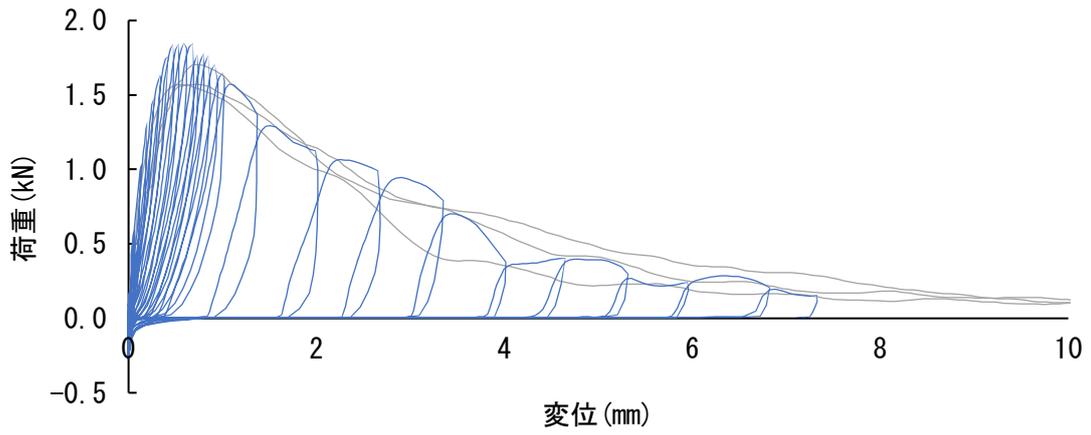
木材下地固定の実験中は破壊過程の確認ができないため省略する。

14. 3) 剛性評価

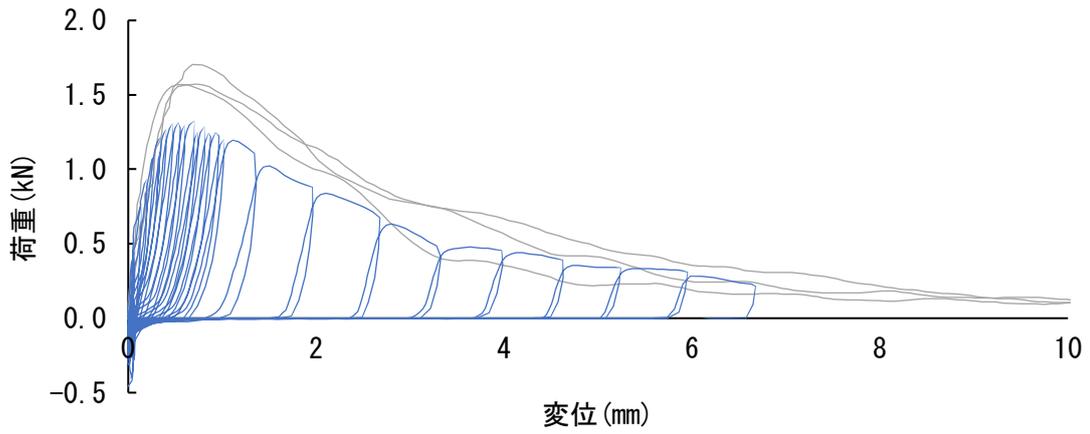
最初の剛性が高く、その後はサイクル毎に低下していくことが確認できる。

剛性の値も 2 種類のアンカーと比較すると、著しく高く、木材の下地に固定することは重要だと考えられる。

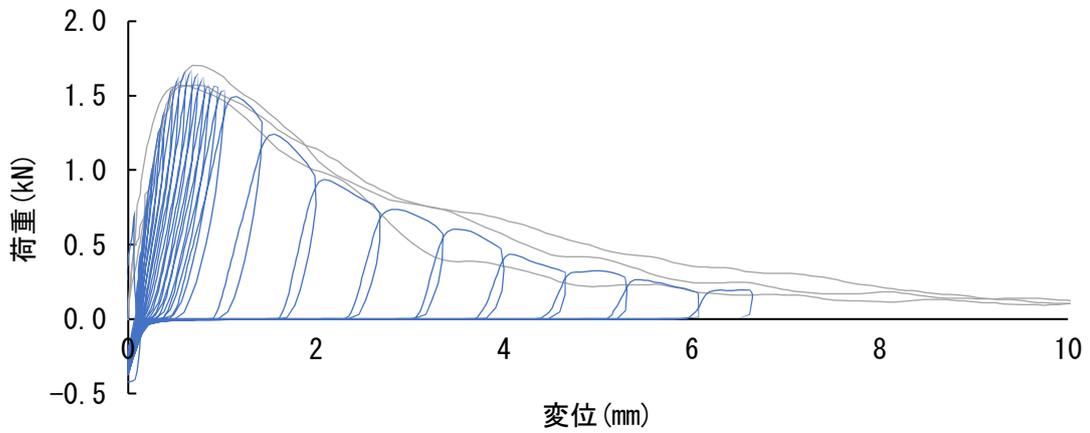
15) W5.0 (木材下地にビス固定・傾き 5.0°)



(a) W5.0-1

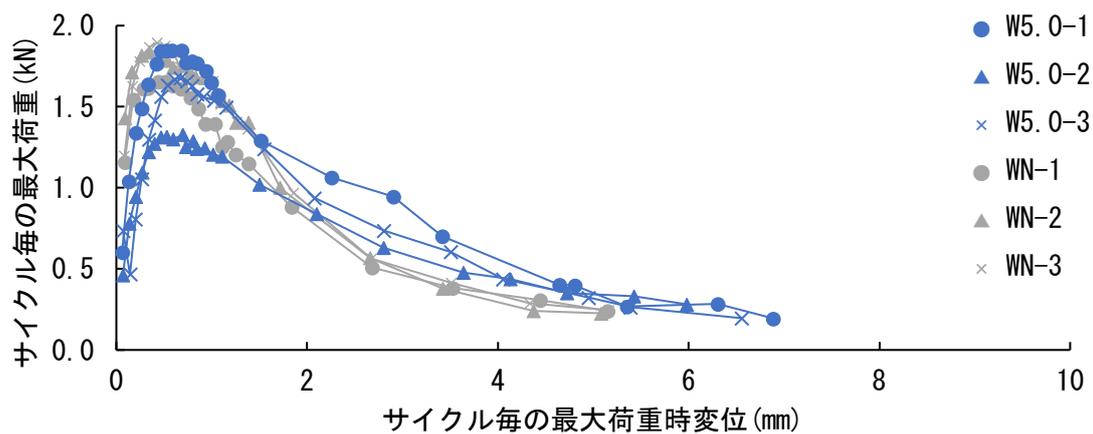


(b) W5.0-2

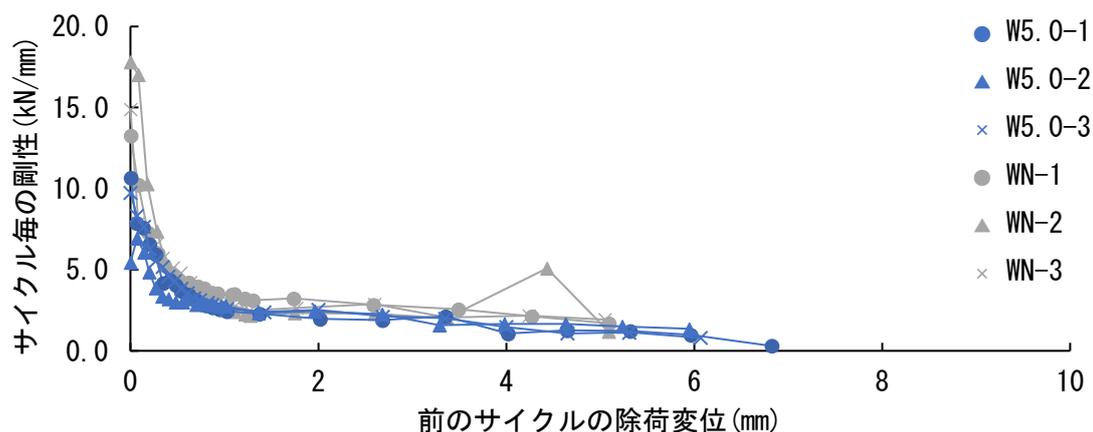


(c) W5.0-3

— 繰り返し載荷 — 単調載荷



(d) サイクル毎の最大荷重



(e) サイクル毎の剛性

図 5.29 W5.0

14.1) 荷重変位関係、最大荷重

平均最大荷重は標準に対して 0.90 倍で少し低く、単調載荷に対しては 1.00 倍で変わらなかった。試験体 1, 3 は傾きなしの試験体と同程度の荷重がでており、試験体 2 のみ低くなっており、傾きの影響か木材の材質のばらつきの影響かは分からなかった。

14.2) 破壊形式

木材下地固定の実験中は破壊過程の確認ができないため省略する。

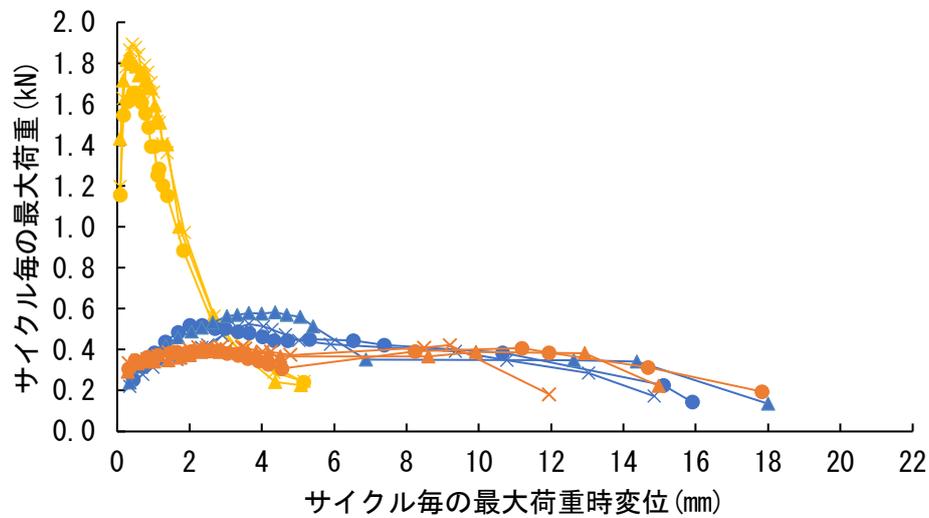
14.3) 剛性評価

傾きなしと同じく最初の剛性が高く、その後はサイクル毎に低下していくことが確認できる。

5.4 固定方法の比較

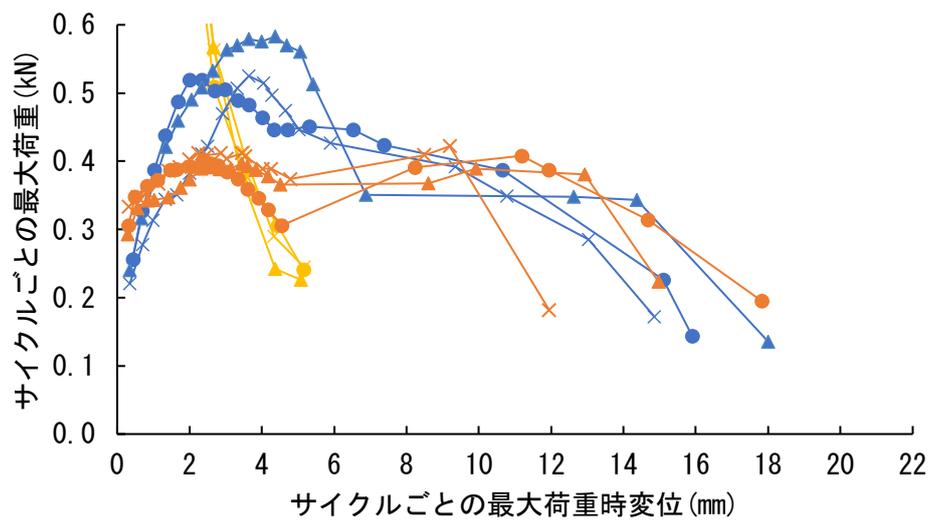
1) 最大荷重

各固定方法標準のサイクル毎の最大荷重の比較を図 5.30 に示す。図(b)は縦軸の最大値を 0.6kN まで拡大させたものである。



— プラスチック製アンカー — 鋼製アンカー — 木材下地固定

(a) 3 種類の固定方法の比較



— プラスチック製アンカー — 鋼製アンカー — 木材下地固定

(b) 2 種類のアンカーの比較

図 5.30 サイクル毎の最大荷重

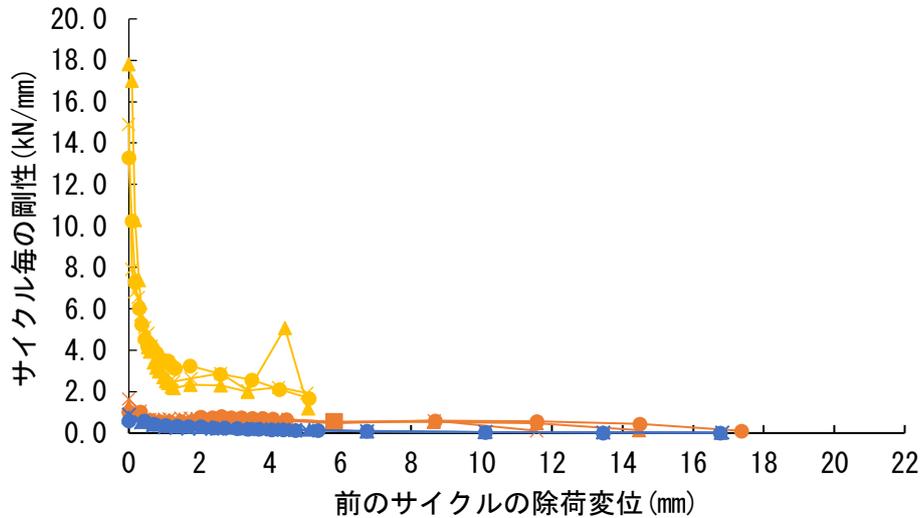
3 種類の固定方法を比較すると、木材下地に固定する方法は、最大荷重が非常に高く、小さい変位で最大荷重がでていることから、最も固定効果のある方法であることが確認できた。

2 種類のアンカーを比較した場合、最大荷重はプラスチック製アンカーの方が最大で約 0.2kN 高いことが分かった。しかし、プラスチック製アンカーは施工時にボード裏に剥離を生じさせてしまったり、同じ施工条件でも施工状態にばらつきが出やすいため、施工の熟練度が影響しやすいと考えられる。一方、鋼製アンカーは比較的 maximum 荷重は低いですが、初めて施工する場合でも安定した施工が可能である。

木材下地に留めることが安全であることは結果からも証明されたが、プラスチック製アンカーや鋼製アンカーにも、ある程度の耐力は確認できた。配置や寸法の問題で木材下地に固定できない家具には、アンカーの併用など、補助的に中空壁に留める方法も効果があると考えられる。

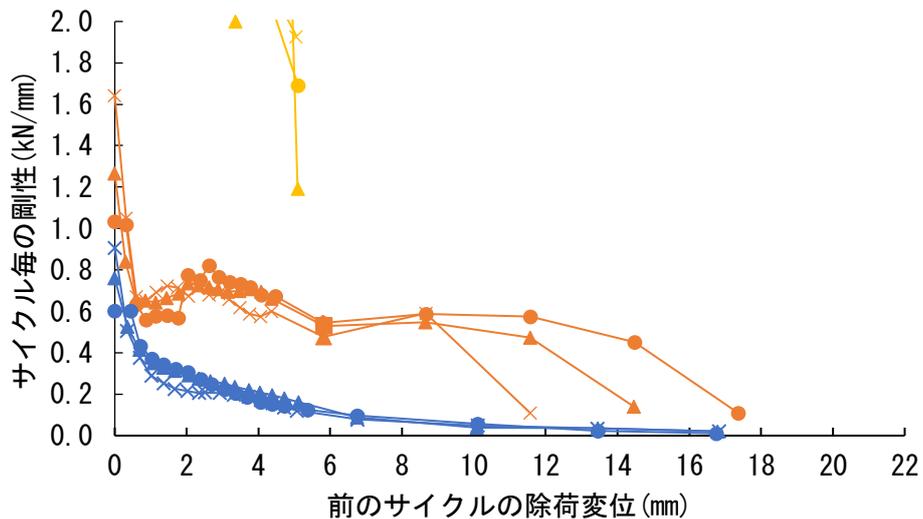
2) 剛性評価

各固定方法標準のサイクル毎の剛性の比較を図 5.31 に示す。図 (b) は縦軸の最大値を 2.0kN/m まで拡大させたものである。



— プラスチック製アンカー — 鋼製アンカー — 木材下地固定

(a) 3種類の固定方法の比較



— プラスチック製アンカー — 鋼製アンカー — 木材下地固定

(b) 2種類のアンカーの比較

図 5.31 サイクル毎の剛性

最大荷重の比較と同じく、木材下地固定は剛性も非常に高いことが分かる。

アンカーを比較した場合、鋼製アンカーの方が、どの変位においても高い傾向が見られた。実験結果から、アンカーの場合の剛性はボード破壊の進行度に比例する傾向があり、プラスチック製アンカーは、アンカーの変形に伴いボードを破壊する形式のため、変位が進

むごとに低下していくことが分かった。一方で鋼製アンカーは、アンカーの変形後にボード破壊が生じるため、ボード破壊が生じるまでは剛性の大きな低下が表れないことが分かった。

第6章 結

6.1 まとめ

6.2 今後の課題

6章 結

6.1 まとめ

本研究では、各章で以下の検討を行った。

- ・固定金具がビスやアンカーの引抜き耐力に与える影響の検討。(2章)
- ・以下の3点による、ビスやアンカー単体の引抜き耐力に影響を与える要因の検討。
 - 1) 単調载荷(3章)
 - 2) 繰り返し载荷(4,5章)
 - 3) 施工条件を変化させた場合(4,5章)

木材下地に留めることが安全であることは本研究の結果からも証明されたが、プラスチック製アンカーや鋼製アンカーにもある程度の固定効果を確認することができた。配置や寸法などの問題で十分な固定力が得られない家具には、木材下地固定とアンカーによる固定の併用など、補助的に中空壁に留める方法も効果があると考えられる。

施工条件については、施工者の人為的ミスによって起こる施工状態のばらつきが、固定効果に影響を及ぼすことが確認できた。固定効果に影響を及ぼすと考えられる固定方法、施工条件を以下に記す。

L型金具

- ・木材下地にL型金具で留める場合、壁側ビスの位置が直角部から離れるほど低下する。
- ・プラスチック製アンカーの場合、壁側ビスの位置に関わらず、0.7倍程度低下する。
- ・L型金具で固定した場合、壁側固定に用いたビス・アンカーの耐力よりも、低い荷重で引き抜けてしまうため、ビス・アンカーの耐力だけで固定力を算出するのは不十分である。これはL型金具の形状的な特徴から、家具より伝わった力がビスに作用する際に増大してしまうためであると考えられる。

プラスチック製アンカー

- ・プラスチック製アンカーは、鋼製アンカーに比べて最大荷重は高いが、石膏ボード裏の剥離など施工状態にばらつきが出やすく、熟練度を要すると考えられる。
- ・施工条件の影響は、特に羽を開かせるピンで押し込むことが重要であり、固定効果が大きく低下する要因となる。
- ・下穴が小さい場合、施工状態を悪化させる要因になりやすいため、適切なサイズの下穴を開けることは重要であると考えられる。
- ・アンカーの大きさが大きい場合、アンカーと石膏ボードの間に隙間が生じてしまい、衝撃力を受ける可能性がある。また、アンカーが小さい場合、アンカーに変形が生じやすくなってしまい、施工時にアンカー自体を破壊させてしまう恐れがあるため、アンカー選定の前に、取り付ける壁の厚さを確認することが重要である。

鋼製アンカー

- ・鋼製アンカーは、プラスチック製アンカーと比較すると、最大荷重は低い、熟練度による施工状態のばらつきが生じにくく、安定した施工が可能である。
- ・アンカーの大きさを間違えてしまった場合、鋼製アンカーの特徴である変形時の耐力の大きさが失われてしまうため、アンカー選定の前に取り付ける壁の厚さを確認することが重要である。
- ・実験では石膏ボードの裏が見える状態で施工を行なったため、適切な締め付けトルクを確認することができたが、鋼製アンカーの場合、締め付け過ぎると SA-L(アンカーのサイズが大きい)のように、アンカーの変形による抵抗が生じなくなってしまう可能性があるため、適切なトルク又は回転量を把握する必要がある。

木材下地固定

- ・木材下地に固定する方法は、中空壁用アンカーで固定する方法より、非常に固定効果が高いため、壁の裏に木材下地がある場合は活用する。

6.2 今後の課題

今後の課題を以下に示す。

- ・家具転倒防止の必要性の世間への浸透も課題であるが、同時に固定方法、施工方法の普及も重要である。
- ・プラスチック製アンカーと鋼製アンカーは、変形が進んだ後でも耐力を保持する特徴があるが、変形が大きい場合、地震時に衝撃力が作用することが考えられる。そのため、実際の家具の固定時にはどのくらいの変位が生じると衝撃力を考慮する必要があるのかを調べる必要がある。
- ・本研究では固定部の引抜き方向に注目しているが、実際の地震動では、壁の面内方向の力による固定部の穴の拡大、アンカーへのせん応力などの影響が考えられる。引抜き実験では下穴の大きさによる耐力への影響は小さかったが、面内方向の力に対しては影響しやすいと考えられるため、考慮が必要である。
- ・プラスチック製アンカーと木材下地固定の実験では固定効果の傾向は得られたが、ばらつきが大きく、最大荷重による耐力比の評価は適切でない可能性があるため、試験体数を増やした検討を行う必要がある。

参考文献

- 1) 東京消防庁, 家具類の転倒・落下・移動防止対策ハンドブック, 令和3年3月
- 2) 東京消防庁, 消防に関する世論調査, 令和2年
- 3) 金子美香ほか, 剛体の転倒限界に関する基礎的検討, 日本建築学会構造系論文集第479号, pp41-49, 1996.1
- 4) 金子美香ほか, 地震時の剛体の転倒限界と移動量に関する検討, 日本建築学会構造工学論文集 Vol. 43B, pp451-458, 1997.3
- 5) 石山祐二ほか, Criteria for Overturning of Bodies by Earthquake Excitations, 日本建築学会構造系論文集第317号, pp1-14, 1982.7
- 6) 金子美香, 地震時における家具の転倒率推定方法, 日本建築学会構造系論文集第551号, pp61-68, 2002.1
- 7) 金子美香ほか, 剛体の転倒率曲線の提案, 日本建築学会構造系論文集第536号, pp55-62, 2000.10
- 8) 中埜良昭ほか, 家具の転倒防止用金具の耐力に関する実験的検討, 日本建築学会技術報告集第7号, pp57-62, 1999.2
- 9) 金子美香ほか, 家具転倒防止器具の振動台実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿), pp437-438, 2005.9
- 10) 小沼瑠美ほか, 転倒防止に関するアイデア対策の効果の検証-地震時の家具の挙動に関する検討 その1-, 日本建築学会大会学術講演梗概集(関東), pp595-596, 2006.9
- 11) 仲谷美咲ほか, 家具の転倒に影響を及ぼす要因の分析-地震時の家具の挙動に関する検討 その2-, 日本建築学会大会学術講演梗概集(関東), pp597-598, 2006.9
- 12) 池戸歩弥ほか, 石膏ボード用接合具の繰り返し载荷による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(関東), pp953-954, 2015.9
- 13) 小野夏実ほか, 鋼製天井下地の部分試験体に対する静的鉛直载荷時の挙動に関する研究(その2)複合体の単調・繰り返し载荷試験, 日本建築学会大会学術講演梗概集(中国), pp915-916, 2017.8
- 14) 酒入行男ほか, 家具転倒防止対策促進のための振動実験・シミュレータウェブの作成, 日本建築学会技術報告集 第13巻 第26号, pp463-468, 2007.12
- 15) (財)日本住宅・木材センター, 接合金物試験法規格, 平成30年7月
- 16) TOGGLER® ANCHOR SEYSTEM “中空壁用中量アンカー トグラール® 中空壁用アンカー 取り付け方”, TOGGLER® ANCHOR SEYSTEM,
https://www.togglер.jp/products_hwm_installation.html, (2022.2.5参照)
- 17) 株式会社大里, ねじのハンドブック, pp205, 2021.7