

第5章 接合金物の品質に関する検討

5. 1 はじめに

木造住宅の耐震性を確保するためには、建築基準法で定められた量もしくはそれ以上の耐力壁を釣り合いよく配置することが重要であり、耐力壁にあわせた適切な接合金物を選択する必要がある。接合金物の性能は、「接合金物試験法規格」¹⁾などに基づいた短期許容引張耐力など、定量的な数値によって評価されてはいるが、これらの値は静的実験より得られたものである。振動台実験や地震後の被災調査から、接合金物には溶接部の脆性的な破壊が報告されているが、静的実験ではこれを再現できていない。また、実際の建物で接合金物には、接合部の回転によるモーメント抵抗が生じるが、文献1)では考慮されていない。

そこで、本年度は接合金物に短期許容引張耐力以上の力が生じた場合の金物の損傷状況、接合部の挙動の確認、および接合部に大きな回転が生じた場合の引張力の計測を目的とした振動台実験を実施し、接合金物の検討を行った。

5. 2 振動台実験

5. 2. 1 試験体概要

軸組構法住宅で一般的に用いられる構造用合板を耐力壁とした試験体を作成した。加振方向の試験体立面図を図5. 2. 1-1に示す。試験体は、2.73×2.73mの構面を2.73mの間隔で2面設置した箱形形状である。軸組材はスギとし、柱の断面寸法は105mm角、構造用合板は厚さ9mmの特類2級を用いた。構造用合板には、CN50釘を釘間隔150mmで留め付け、壁倍率2.5としたが、土台部分の釘は受け材に留め付け、受け材は土台と接合しない。これは、構造用合板がCN50釘を介して土台と柱を接合することを防ぐためであり、接合金物が無い状態では、試験体は剛体回転挙動が卓越する仕様とした。試験体の屋根面には、24mm厚の構造用合板を貼り付け、約39.23kN(4.0ton)の鋼製錘を配置した。試験体の主な仕様を以下にまとめる。

- ・ **軸組** : 柱 スギ 断面寸法105×105mm
 土台 スギ 断面寸法105×105mm
 梁 スギ 断面寸法105×270mm
- ・ **耐力要素** : 構造用合板9mm 特類2級
 CN50釘を用い、外周のみ150mm間隔で留め付け（壁倍率2.5）
 土台部分のCN50釘は受け材に留め付ける。受け材と土台は接合しない
- ・ **接合部** : 長ほぞ 釘なし
- ・ **鋼製錘** : 39.23kN(4.0ton)
 1.6×1.6m×0.1mの鋼製錘を2枚設置

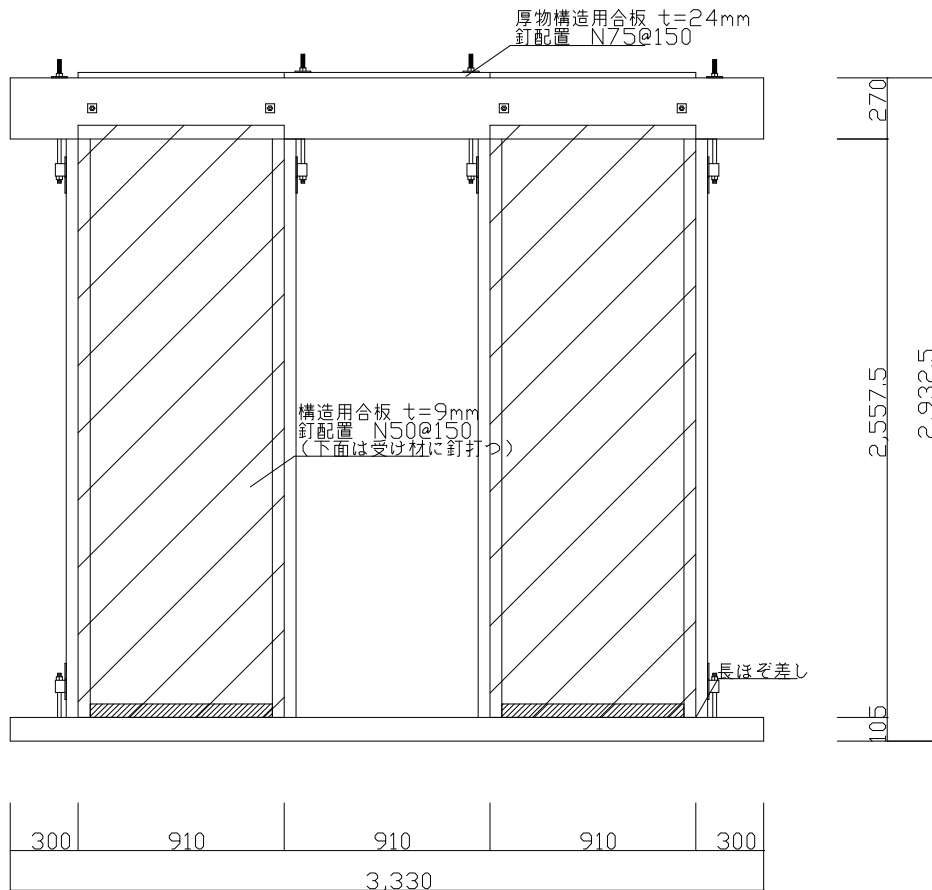


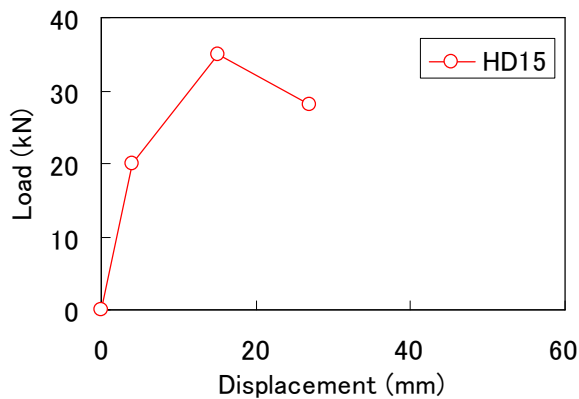
図5. 2. 1-1 加振方向立面図 (HD試験体)

5. 2. 2 試験体仕様

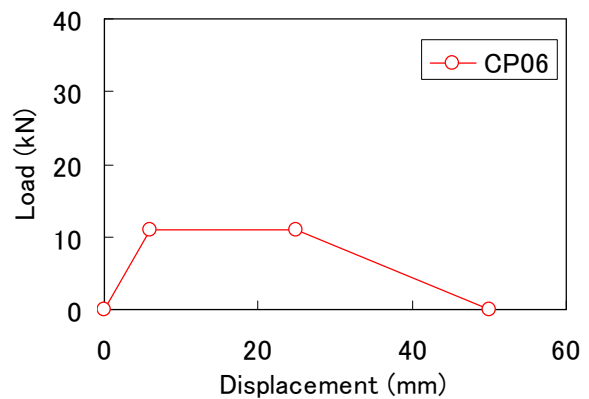
耐力壁の土台-柱脚接合部に生じる引張力より小さい、もしくは同程度の引張耐力の接合金物を配置した試験体2体とし、損傷状況、接合部の挙動を検証した。接合金物は、N値計算から国土交通省告示第1460号第2号(と)および(は)に該当する短期許容引張耐力15.6kNのビス留めホールダウン金物と短期基準接合引張耐力6.2kNのコーナープレートとした。文献2)より、使用した構造用金物の引張力に対するモデル化された骨格曲線を図5. 2. 2-1に示す。ホールダウン金物の最大引張耐力は35.0kN、コーナープレートでは11.0kNである。ホールダウン金物を用いた試験体1では、引張力を計測するためのセンターホール型荷重計をホールダウン金物の土台下に設置した。土台-柱脚接合部には、70mmまでの浮き上がり変位を計測できる変位計を2台取り付けた。

表5. 2. 2-1 試験体仕様一覧

| 名称 | 構造用金物 | 引張耐力 | 備考 |
|------|--------------|--------|------------|
| 試験体1 | ビス留めホールダウン金物 | 15.6kN | 短期許容引張耐力 |
| 試験体2 | コーナープレート | 6.2kN | 短期基準接合引張耐力 |



a) ビス留めホールダウン金物



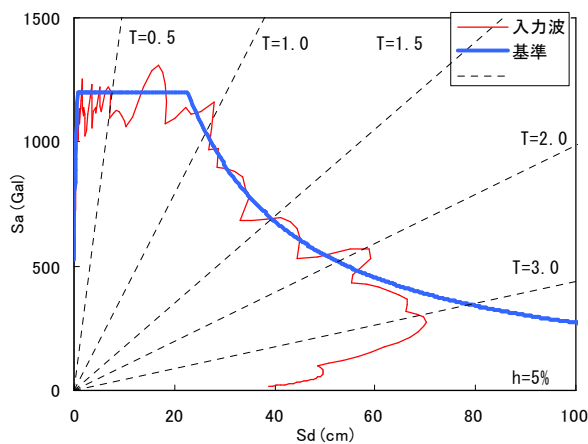
b) コーナープレート

図5. 2. 2-1 構造用金物の引張力に対する骨格曲線

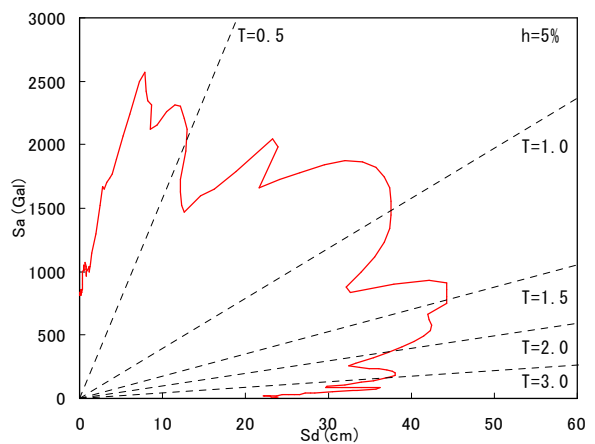
5. 2. 3 入力地震動

入力地震動には、主にBSL波³⁾とJMA神戸NS波⁴⁾を一方向加振の加速度制御で用いた。BSL波とは、建築基準法施行令第82条の5第五号、および平12建告第1457号第10第1項に基づく第二種地盤の加速度応答スペクトルと合致した人工地震動である。振動台の最大変位が30cmのため、加速度波形の長周期成分を0.45Hzからハイカットフィルタによる波形処理を行い、変位振幅を小さくした。JMA神戸NS波とは、1995年兵庫県南部地震において神戸海洋気象台で得られた強震観測記録である。それぞれのSa-Sd曲線を図5.2.3-1に示す。BSL波のハイカットフィルタされた領域以外では、概ね基準Sa-Sd曲線と同程度である。

加振は加速度振幅を変化させることで入力地震動のレベルを調整した。振幅は主にBSL波で50%と100%、JMA神戸NS波で70%と100%とし、この順番で加振を行う。なお、BSL波100%は建築基準法の大地震相当、JMA神戸NS波は想定外地震相当とした。



a) BSL波100%



b) JMA神戸NS波

図5. 2. 3-1 Sa-Sd曲線

5. 2. 4 振動台実験結果

5. 2. 4. 1 BSL100%

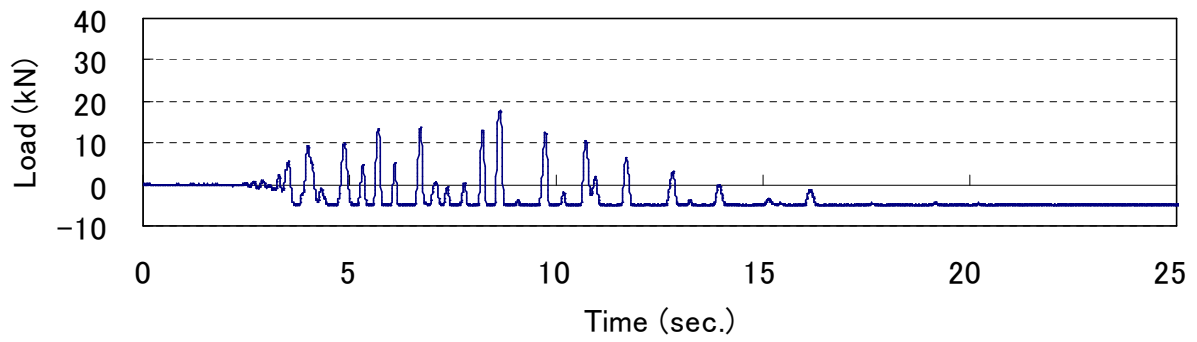
試験体1（ビス留めホールダウン金物）

試験体の最大層せん断力は40.0kN、最大層間変位は真の変位で35.2mmを記録したが、試験体および金物に目立った損傷は確認できなかった。各ホールダウン金物に生じた引張力時刻歴を図5.2.4-1に、柱脚の浮き上がり変位と引張力の関係を図5.2.4-2に、柱脚回転角と引張力の関係を図5.2.4-3に示す。HD-1、HD-3は図5.2.1-1で左隅の柱脚、HD-2、HD-4とは右隅柱の柱脚のホールダウン金物であり、若い番号が手前の構面を表している。センターホール型荷重計から得られたホールダウン金物の最大引張力と、土台柱接合部の変位計から求めた最大浮き上がり変位、最大回転角を、それぞれが生じた時間の変位と引張力をあわせて表5.2.4-1に示す。

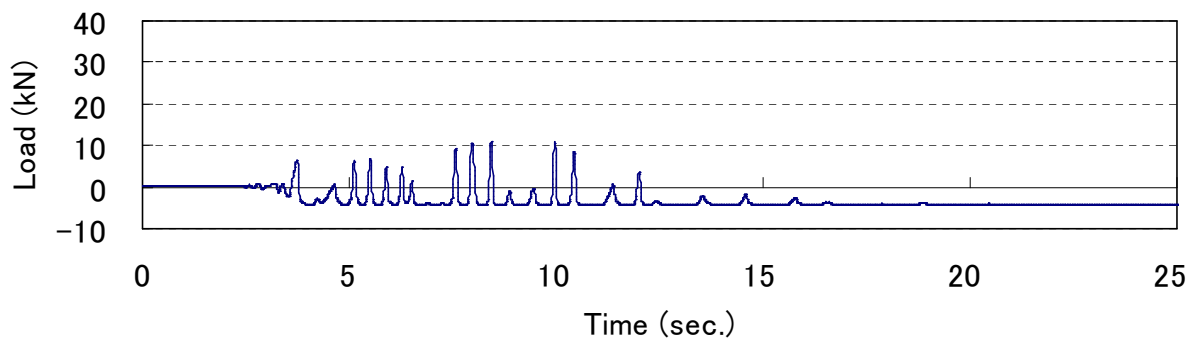
ホールダウン金物に生じた引張力は、表5.2.4-1より短期許容耐力15.6kNを超える数値もあり、短期許容引張耐力近くの力が作用していたことが読み取れる。最大引張時の浮き上がり変位は、最大浮き上がり変位とほぼ同じである。最大回転角時の引張力は、HD1、HD4が最大引張力に近いがHD2、HD3は大きく違う。つまり、最大引張力時には、試験体が浮き上がる挙動であったと考えられる。最大浮き上がり変位は2.4mm程度であり、ホールダウン金物によって柱脚の浮き上がり変位が抑えられていることが読み取れる。

表5.2.4-1 ホールダウン金物の最大引張力と最大浮き上がり変位（BSL100%加振）

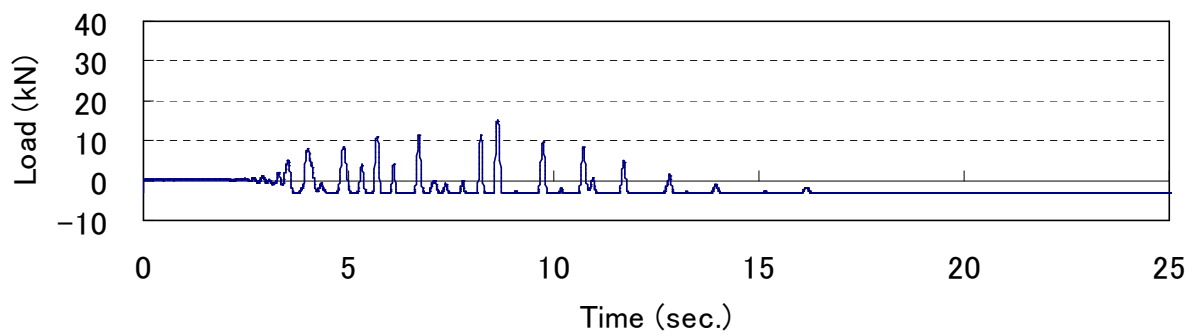
| 名称 | 最大引張力時 | | 最大浮き上がり変位 | | 最大回転角 | |
|-----|----------|---------|-----------|----------|-----------|----------|
| | 引張力 (kN) | 変位 (mm) | 変位 (mm) | 引張力 (kN) | 回転角 (rad) | 引張力 (kN) |
| HD1 | 17.70 | 1.34 | 1.35 | 17.4 | -0.010 | 16.4 |
| HD2 | 10.72 | 2.33 | 2.35 | 10.66 | 0.011 | -2.12 |
| HD3 | 15.03 | 0.90 | 0.93 | 14.65 | -0.011 | 1.93 |
| HD4 | 10.79 | 1.91 | 1.92 | 9.8 | 0.010 | 9.8 |



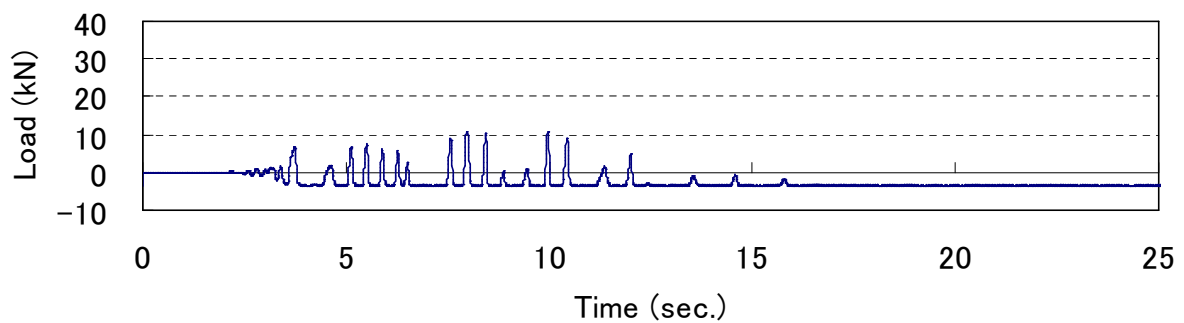
a) HD-1



b) HD-2



c) HD-3



d) HD-4

図5. 2. 4-1 ホールダウン金物の引張力時刻歴 (BSL100%加振)

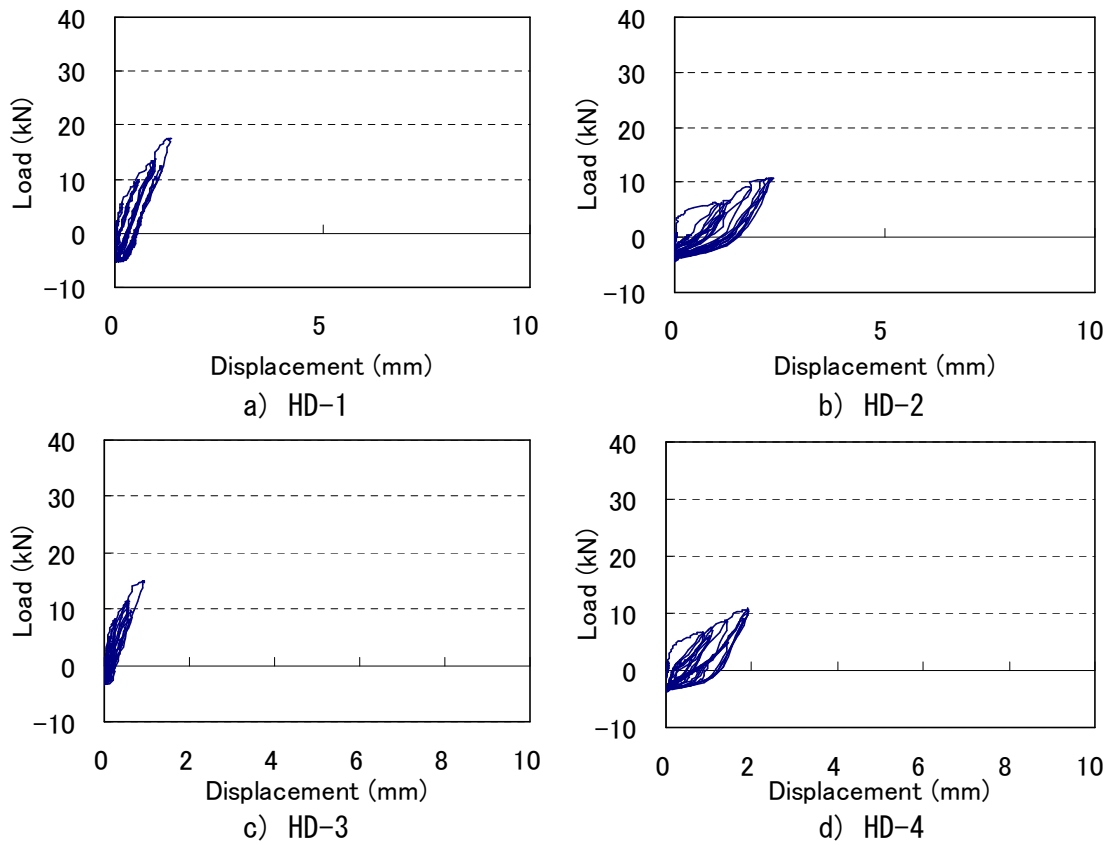


図5. 2. 4-2 ホールダウン金物と柱脚浮き上がり変位の関係 (BSL100%加振)

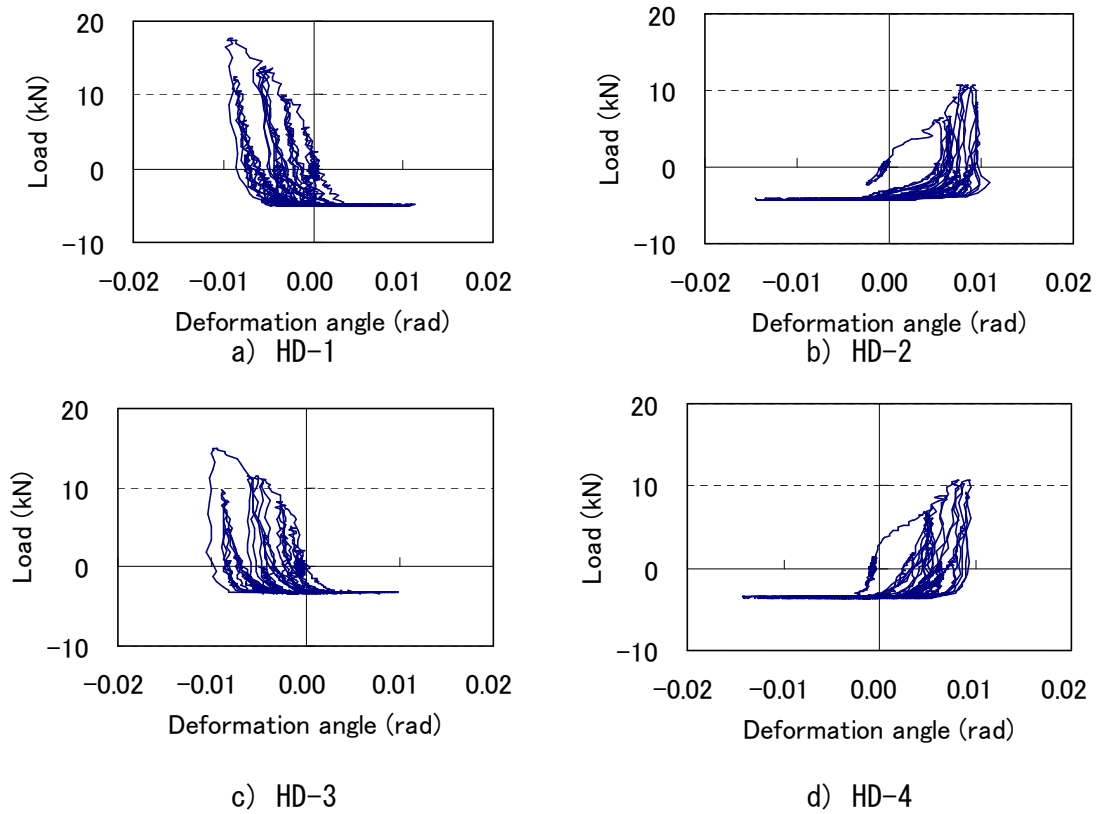


図5. 2. 4-3 ホールダウン金物と柱脚回転角の関係 (BSL100%加振)

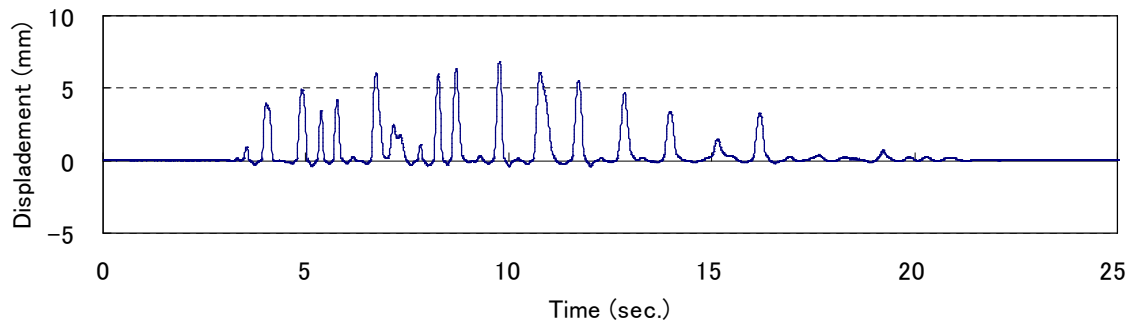
試験体2(コーナープレート)

コーナープレートを用いた試験体2の最大層せん断力は34.4kN、最大層間変位は真の変位で30.6mmを記録したが試験体および金物に目立った損傷は見られなかった。各柱脚接合部で生じた浮き上がり変位時刻歴を図5.2.4-4に示す。接合部1、接合部3は図5.2.1-1で左隅の柱脚、接合部2、接合部4とは右隅柱の柱脚-土台接合部であり、若い番号が手前の構面を表している。土台柱接合部の変位計から求めた最大浮き上がり変位と最大回転角を表5.2.4-2に示す。

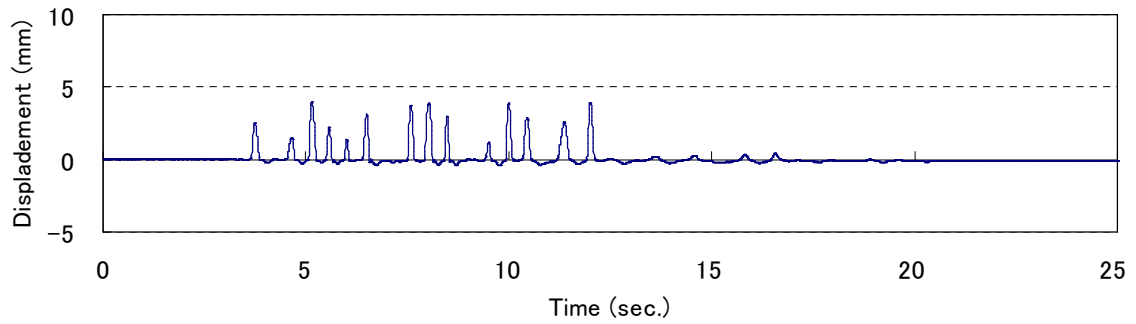
表5.2.4-2より、最大浮き上がり変位が8.7mm程度、最大回転角が0.02rad程度であったことが確認できる。試験体2では、センターホール型の荷重計を取り付けることができないため、金物に作用する引張力を直接計測することができていない。そこで、試験体1と同程度の引張力が生じたと考えられることや、表5.2.4-2の最大浮き上がり変位から図5.2.2-1の引張力を求めると、コーナープレートの短期基準接合引張耐力6.2kN以上もしくは最大引張耐力程度が発生していたと考えられる。

表5.2.4-2 コーナープレート接合部の最大浮き上がり変位 (BSL100%加振)

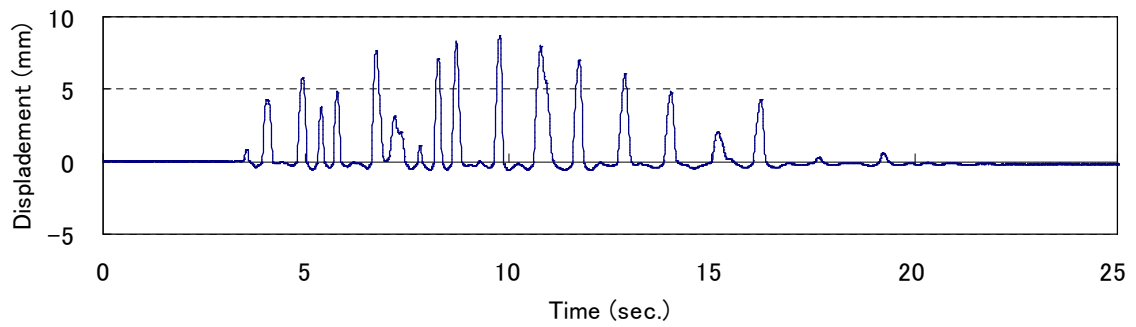
| 名称 | 最大浮き上がり変位 | | 最大回転角 | |
|----|-----------|----------|-----------|----------|
| | 変位 (mm) | 引張力 (kN) | 回転角 (rad) | 引張力 (kN) |
| 柱1 | 6.83 | - | -0.019 | - |
| 柱2 | 3.99 | - | 0.014 | - |
| 柱3 | 8.71 | - | -0.018 | - |
| 柱4 | 5.41 | - | 0.012 | - |



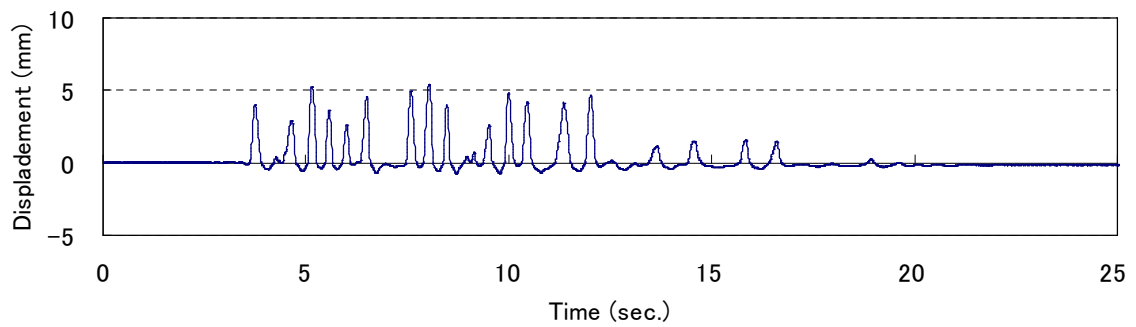
a) 接合部1



b) 接合部2



c) 接合部3



d) 接合部4

図5.2.4-4 コーナープレート接合部の柱脚浮き上がり変位時刻歴 (BSL100%加振)

5. 2. 4. 2 JMA神戸100%加振

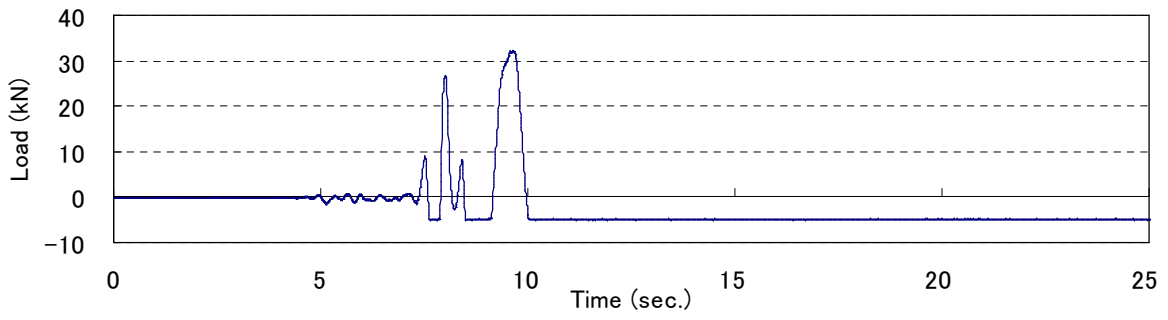
試験体1（ビス留めホールダウン金物）

試験体の最大層せん断力は47.1kN、最大層間変位は変位計の計測範囲より大きな値となってしまうため正確な数値は不明であるが300mm以上であった。ホールダウン金物は木ネジ部分の木材の破壊が発生し、構造用合板の剥がれも見られた。また、実験後の試験体は大きく残留変形した。各ホールダウン金物に生じた引張力時刻歴を図5.2.4-5に、柱脚の浮き上がり変位と引張力の関係を図5.2.4-6に、柱脚の回転角と引張力の関係を図5.2.4-7に示す。センターホール型荷重計から得られたホールダウン金物の最大引張力と、土台柱接合部の変位計から求めた最大浮き上がり変位および最大回転角を、それぞれが生じた時間の変位と引張力をあわせて表5.2.4-3に示す。

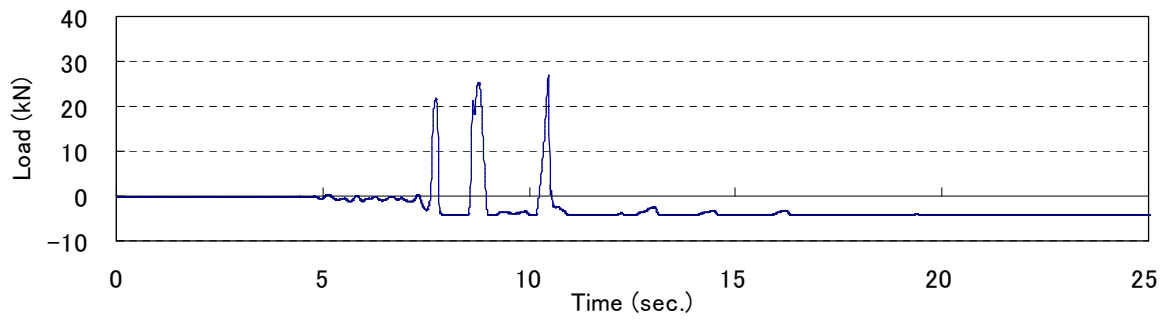
ホールダウン金物に生じた引張力は、表5.2.4-3より30.0kNを超える数値もあり、最大引張力35.0kN近くの力が作用していたことが読み取れる。最大引張時の浮き上がり変位は、最大浮き上がり変位よりかなり小さいが、最大回転角時の引張力とHD-2以外はほぼ同程度である。つまり、本加振における最大引張力は、試験体がせん断変形した後に生じたと考えられる。この場合、柱の回転によるモーメント抵抗がホールダウン金物に生じることが考えられる。柱の回転によるモーメント抵抗は、ホールダウン金物など、柱から偏心して取り付ける金物で大きくなり、結果、ホールダウン金物に生じる見かけの引き抜き力が大きくなる可能性がある。

表5.2.4-3 ホールダウン金物の最大引張力と最大浮き上がり変位（JMA神戸100%加振）

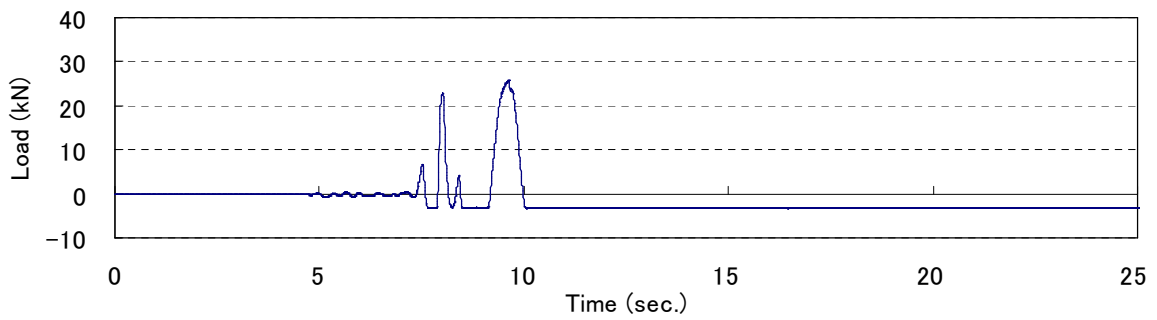
| 名称 | 最大引張力時 | | 最大浮き上がり変位 | | 最大回転角 | |
|-----|----------|---------|-----------|----------|-----------|----------|
| | 引張力 (kN) | 変位 (mm) | 変位 (mm) | 引張力 (kN) | 回転角 (rad) | 引張力 (kN) |
| HD1 | 32.23 | 0.16 | 5.19 | -5.04 | -0.068 | 31.23 |
| HD2 | 26.82 | 0.23 | 7.84 | -2.44 | 0.183 | -2.42 |
| HD3 | 25.77 | -1.16 | 5.51 | -3.16 | -0.066 | 23.88 |
| HD4 | 27.70 | -1.44 | 2.81 | 19.08 | 0.129 | 26.56 |



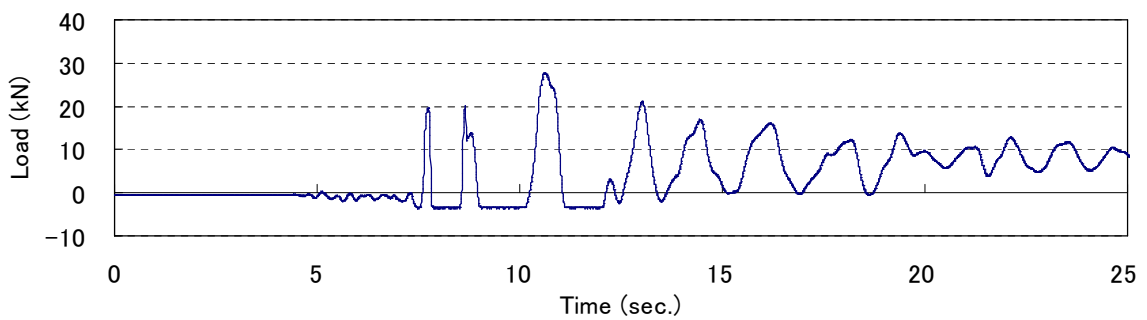
a) HD-1



b) HD-2

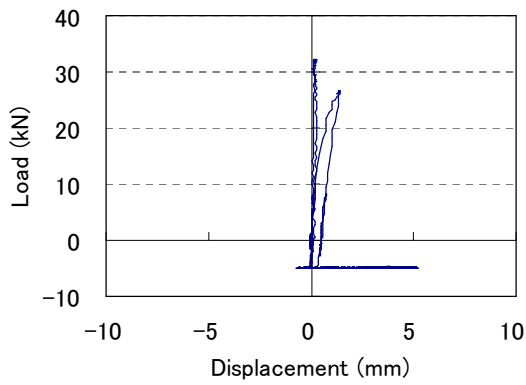


c) HD-3

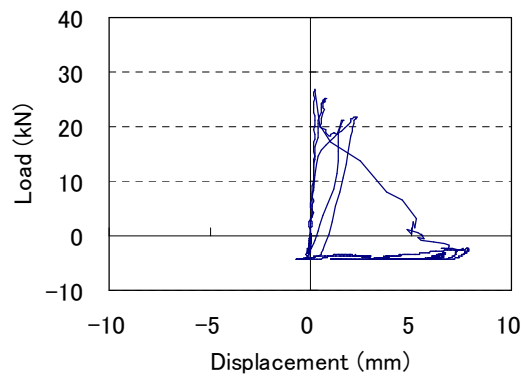


d) HD-4

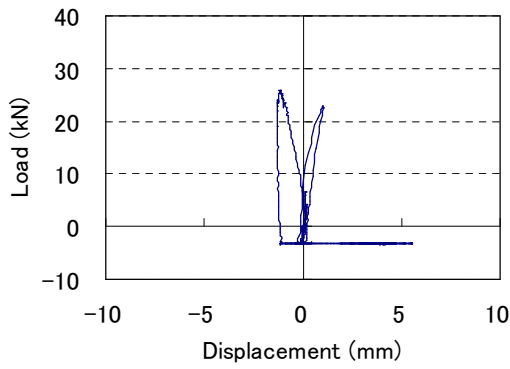
図5. 2. 4-5 ホールドダウン金物に作用した軸力 (JMA神戸100%加振)



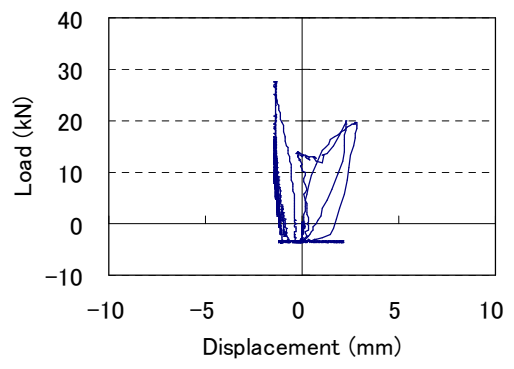
a) HD-1



b) HD-2

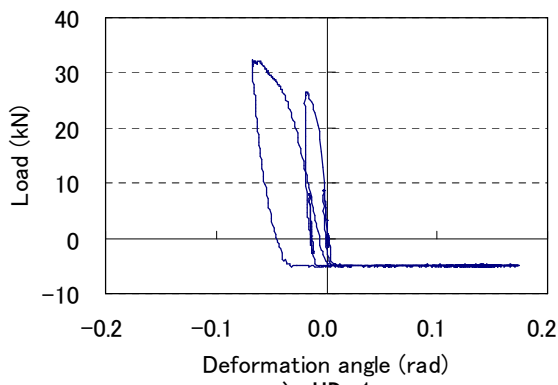


c) HD-3

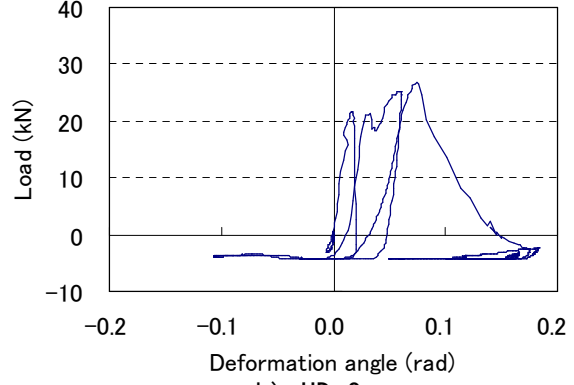


d) HD-4

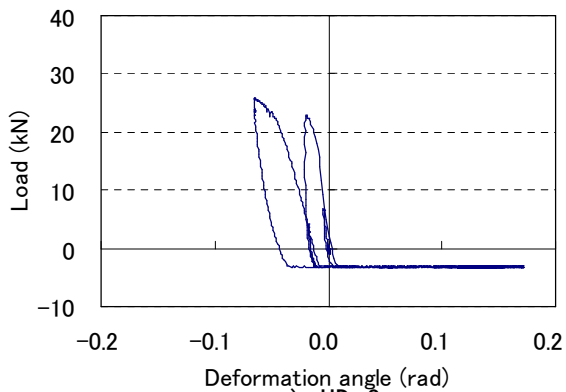
図5. 2. 4-6 ホールダウン金物と柱脚浮き上がり変位の関係 (JMA神戸100%加振)



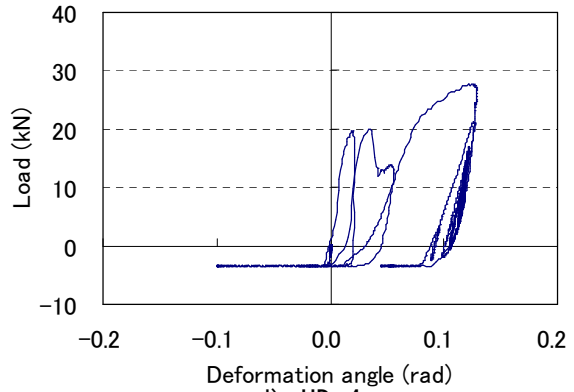
a) HD-1



b) HD-2



c) HD-3



d) HD-4

図5. 2. 4-7 ホールダウン金物と柱脚浮き上がり回転角の関係 (JMA神戸100%加振)

5. 2. 4. 3 JMA神戸70%加振

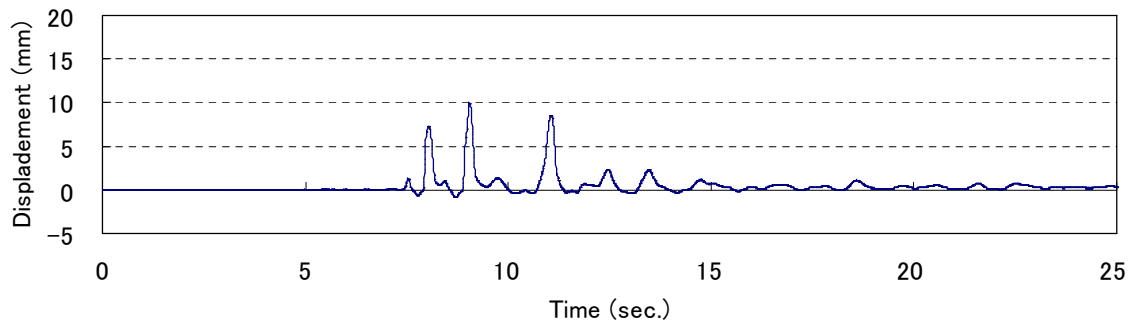
試験体2(コーナープレート)

最大層せん断力は40.9kN、最大層間変位は真の変位で90.5mmを記録し、構造用合板の剥がれたが、金物に目立った損傷は見られなかった。各柱脚接合部で生じた浮き上がり変位時刻歴を図5.2.4-8に示す。土台柱接合部の変位計から求めた最大浮き上がり変位と最大回転角を表5.2.4-4に示す。

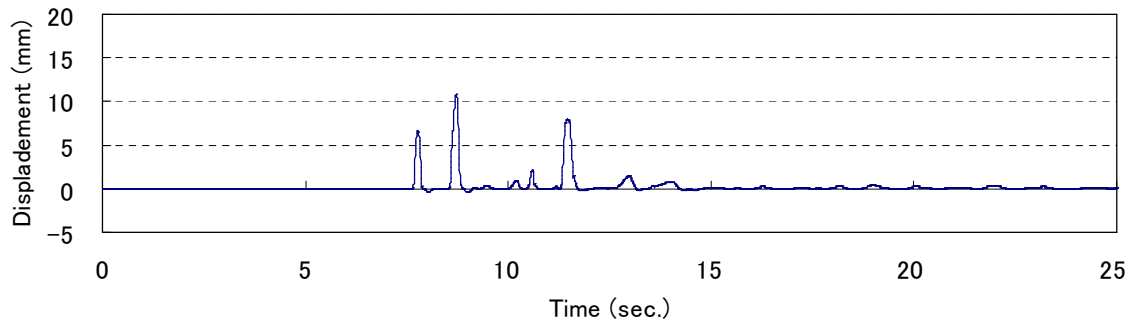
表5.2.4-4より、最大浮き上がり変位が15.5mm程度、最大回転角が0.05rad程度であったことが確認できる。コーナープレートに作用した最大引張力は、図5.2.2-1と最大浮き上がり変位から推測すると、最大引張耐力の11.0kN程度であったと考えられる。

表5.2.4-4 コーナープレート接合部の最大浮き上がり変位 (JMA70%加振)

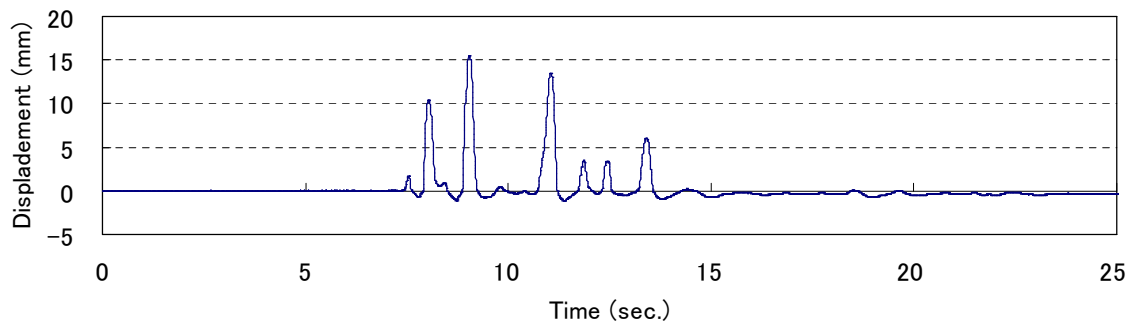
| 名称 | 最大浮き上がり変位 | | 最大回転角 | |
|----|-----------|----------|-----------|----------|
| | 変位 (mm) | 引張力 (kN) | 回転角 (rad) | 引張力 (kN) |
| 柱1 | 10.01 | - | -0.047 | - |
| 柱2 | 10.85 | - | 0.044 | - |
| 柱3 | 15.48 | - | -0.041 | - |
| 柱4 | 11.81 | - | 0.033 | - |



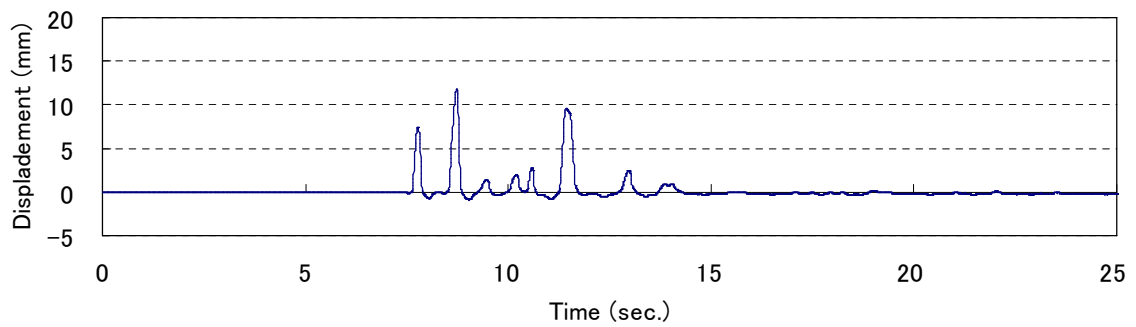
a) 接合部1



b) 接合部2



c) 接合部3



d) 接合部4

図5.2.4-8 コーナープレート接合部の柱脚浮き上がり変位時刻歴 (JMA70%加振)

5. 3 まとめ

振動台実験によって接合金物に短期許容引張耐力以上の力が生じた場合の金物の損傷状況、接合部の挙動を確認した。木造住宅の耐力壁などに使用する構造用接合金物の品質に関する検討結果をまとめる。

- (1) ホールドダウン金物に短期許容引張耐力や最大引張耐力程度の引抜力が作用しても、接合部の浮き上がり変位が小さく金物に目立った損傷は見られなかった。これは、コーナープレート金物でも同様であった。
- (2) ホールドダウン金物の最大引張力は、BSL波加振で柱脚の最大浮き上がり変位時に、JM A神戸波加振では柱脚接合部の最大回転角時近くで生じた。
- (3) 接合金物の強度性能評価に用いられる接合金物試験法規格では、柱の回転によるモーメント抵抗が考慮されていない。柱の回転によるモーメント抵抗は、ホールドダウン金物など、柱から偏心して取り付ける金物で大きくなり、結果、ホールドダウン金物に生じる見かけの引き抜き力が大きくなる可能性がある。

参考文献

- 1) (財)日本住宅・木材技術センター：木造建築物用接合金物認定事業における接合金物試験法規格、pp1-32, 2004. 6.
- 2) (社)木を活かす建築推進協議会：長期優良住宅等実現のための技術基盤強化を行う事業報告書 3 階建て木造軸組構法の設計法検証、p399, 2010. 3.
- 3) 清水秀丸、三宅辰哉、西沼裕介、羽田竜介、五十田博、槌本敬大、河合直人：木造3階建て軸組構法住宅の設計法と震動台実験 その3 建物重量と入力波、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp. 233-234, 2010. 9.
- 4) 気象庁：強震波形ホームページ、(オンライン)、
<<http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/seismo.html>>.