

第 6 章 試験結果の評価

第6章 まとめ

6.1 実験結果のまとめ

1) 試験体1及び2の90%加振結果

試験体1では層間変形の各通りの最大値が26.6 mm (1/105 rad)、試験体2では24.5 mm (1/114 rad)であり、共に、建築基準法で求めている地震動に対して健全な挙動を示した。なお、柱頭・柱脚の接合部性能が不十分な試験体2よりも、接合部性能を十分とした試験体1の層間変形が大きくなった点は、今後、詳細に検討すべき事項である。

2) 試験体1及び2の160%加振結果

試験体2は加振開始後約6秒で、柱脚がほぼ全て引き抜けて、建物全体のロッキング挙動、及び耐力壁が鉄骨架台上を最大で330mm程度滑る挙動を見せた。倒壊には至らなかったが、通常の住宅基礎上に建つ建物の場合を想定すると、住宅の基礎から落下し実質倒壊に至ったものと考えられる。

試験体1は柱脚・柱頭接合部が最後まで健全に機能し引き抜けは生じなかったが、加振開始後約20秒（加振終了間際）において耐力壁がせん断破壊に至り、倒壊した。

3) 試験体3及び4の112.5%加振結果

試験体3では層間変形の中央通りの最大値が33.2 mm (1/84 rad)であり、建築基準法で求めている地震動の1.25倍に対して倒壊などを生じなかった。建築基準法の最低基準に適合するものとして建設された試験体4についても層間変形が55.5 mm(1/50 rad)であり、同様に倒壊などを生じなかった。

建築基準法による最低基準の1.25倍に適合（長期優良住宅の認定基準に適合）させた試験体3の層間変形が建築基準法の最低基準に適合させた試験体4の層間変形より小さくなっていることより、耐力壁量の多い効果が見られる。ただし、層間変形の最大値について比べると、試験体3では94.8 mm (1/29.5 rad)となっており試験体4の64.0mm(1/44 rad)よりも大きく、水平構面の剛性が不十分なために特定の構面が大きく変形する影響が見られたものと考えられる。

4) 試験体3及び4の150%加振結果

試験体3では層間変形の中央通りの最大値が242.3 mm(1/11.6 rad)であり、試験体4では層間変形の中央通りの最大値が378 mm(1/7.4 rad)となったが、共に、建築基準法で求めている地震動の1.65倍に対して倒壊などを生じなかった。

6.2 実験結果の評価

1) 試験体1の評価

試験体1は、許容応力度計算上、建築基準法の求める耐震性能の146%の性能を有する設計となっていた。これは、震動台実験に先立って行なわれた耐力壁単体についての静的水平載荷試験による終局耐力や靱性を考慮して、許容応力度計算に用いる耐力壁の許容耐力を用いて算定したものである。

これに対して2回目の加振では入力した地震動は建築基準法が要求するスペクトルの180%相当であり、計算上は倒壊する可能性が十分にある加振であった。これは、試験体1の倒壊直前での終局状態を確認することを企図し、先行して行われた試験体3、4の2回目の加振実験結果から許容応力度計算では考慮されない試験体の実耐力が当初予測と多少異なったこと、この情報を用いた事前の数値シミュレーションなどから、試験体1は倒壊を免れるとの予想があったため、

当該加振を行った。実際には倒壊した原因を、現段階では未だ断言はできないが、次のようなことが関与したためと考えている。

- ・試験体 1 の最大耐力及びその後の下り勾配領域での耐力が予想（静的水平載荷試験を行なった耐力壁単体、及び試験体 3，4 の加振結果）よりも小さかった。
- ・安全限界変形（1/30 rad）をはるかに超える大変形に至った場合、倒壊現象そのものがもともと偶然に左右されやすく、つまり、倒壊過程において復元力がほぼ無くなった時点で変形を増大させる方向に地震入力加わった。

なお、試験体 1 の 1 階は 270 kN の最大耐力を示しており、これはベースシア係数で約 1.00 に相当する。基準法の 1.8 倍の地震動に対しては倒壊したが、基準法で要求する耐震性能の 146 % で設計された建物が保持すべき所定の耐力は十分に保有していたと言える。

2) 試験体 2 の評価

試験体 2 の 1 階柱脚接合部は、加振後の早い時点（地震動が入力されてから約 3.5～4 秒）で完全に破壊し、試験体全体が滑る挙動を示した。実験では、試験体を 400 mm 幅の H 形鋼による架台の上に設置してあり、滑った後も柱脚の脱落を免れたが、通常の布基礎上であれば、柱脚が基礎を踏み外して倒壊に至ったものと考えられる。従って、建物としては実質的に倒壊と同等と見なすことができ、試験体 1 に比べて耐震性能としては劣る結果となっている。

3) 試験体 3 の評価

水平構面の剛性が不十分であると特定の構面に層間変形が集中するので注意が必要であるが、建築基準法で想定する耐震性能は保有していた。

4) 試験体 4 の評価

接合部性能が十分であり、かつ、水平構面の剛性も十分であれば、建築基準法の最低基準に適合するように建築された試験体では、1.65 倍程度の耐力を保有していることが示された。

5) 入力波の評価

震動台実験における加振と実際の地震の差異は、加振計測震度が地表面において観測した地震動から算定されるものであるのに対して、建築基準法で求める地震動は建物直下に直接作用するものであるという点において違いがある。一般に、後者は前者に比べて小さく、地表面における地震動は大きい建物に実際に作用する実効入力はそれほどでもないなどと言われる。両者の関係は、地震の特性、地盤条件、敷地に建設されている建物の規模等によって変わるものとされているが、既往の知見では低層小規模建築物については地表面観測波に対して実効入力はさほど低減されないという説もある。

また、実際の地震動は 3 方向の成分があり、計測震度の算出においては本来 3 成分を考慮するところ、実験で用いた入力波の計測震度は 1 方向成分のみで算出しているため、計測震度に換算した値が小さく算出（直交方向成分として 1 方向成分と同程度の地震動を、また、鉛直方向成分として約半分の地震動が作用しているものとする、計測震度を 0.16 程度小さく算出していることとなる）される点も見逃せない。

本実験の 160% 加振に用いた地震動を実際に過去の震度 7 とされる地域で観測された記録と比較してみる。図 6.1 には、160% 加振の波の $S_a - S_d$ 曲線（縦軸に加速度応答スペクトル、横軸に変位応答スペクトルをプロットしたもの）を示す。同図に JR 鷹取（1995 年兵庫県南部地震で）、JMA 川口（2004 年新潟県中越地震）での観測波を併記したが、いずれも震度 7 もしくは震度 7 相当とされる波形である。周期 1 秒以下の領域で、また、減衰 $h = 0.15$ の場合には変位で 28 cm

以下の領域で、今回の入力波（160%）が JR 鷹取、JMA 川口を上回っていることがわかる。また、同じ目標スペクトルに適合する人工地震波でも、位相スペクトル等により、建築物に対する破壊力が異なるが、今回の実験では、事前の解析によって、基準法スペクトルに合う人工地震波の中でも特に木造3階建て住宅に対する破壊力が強い波を選択して使用している。

加えて、地震被害と計測震度の関係は必ずしも相関性が高くないことが知られており、速度と被害の大小の相関性が高い（平成16年(2004年)新潟県中越沖地震被害調査報告書「第4章 被災建築物応急危険度判定を用いた建築物被害のマクロ分析」p.4-44～45／国総研・建研）ことが知られている。今回の入力波は、最大速度156cm/sであり、これは震度7相当とされるJR鷹取の169 cm/s（3成分合成値）に匹敵し、震度7と計測されたJMA川口の148 cm/sを超える速度となっている。

よって、今回の160%入力波の木造住宅に対する破壊力は、JR鷹取やJMA川口のそれに勝るとも劣らないものがあつたと結論づけられる。

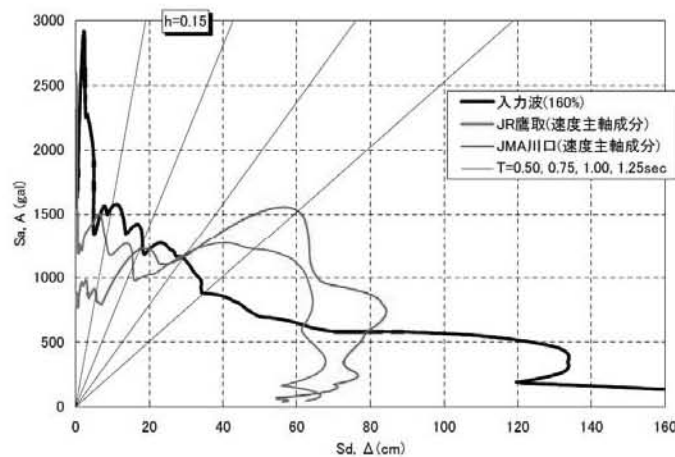


図 6.1 入力波の Sa-Sd 曲線（震度7地域での記録波との比較）

6. 3 結言

耐震性能に関する長期優良住宅の認定基準を満たす性能を有する実大3階建て軸組構法住宅（試験体1）、これと比べて柱頭柱脚の接合性能が不十分な住宅（試験体2）、試験体1と比べて水平構面の剛性を低くし、耐力壁の配置を不均衡にした住宅（試験体3）、及び耐震性能に関する建築基準を過不足無く満たす住宅（試験体4）に対して震動台実験を行った結果をまとめると以下の通りとなる。

- 1) 試験体1と試験体2に対して、建築基準法で規定している大規模の地震を想定した加速度応答スペクトルに合うように人工的に作成した入力波（基準法大地震想定波）による加振を行った結果、層間変形は1/100 rad程度と長期優良住宅で規定している1/40 radを大きく下回り、耐震性能に関する長期優良住宅の認定基準を十分に満たしていることが分かった。
- 2) 基準法大地震想定波による加振に続いて、試験体1、及び試験体2に対して基準法大地震想定波の約1.8倍の入力（再現期間数百年以上）を行った結果、比較的早い時点で試験体2の柱頭柱脚接合部の大多数が破壊し、実験用の架台上でロッキング、又は滑動するような現象がみられた。試験体1は加振のほとんど最後まで、柱頭柱脚接合部が破断しなかったものの、加振波の終了間際に倒壊に至った。
- 3) 試験体3と試験体4に対して、基準法大地震想定波の約1.25倍の入力を行った結果、倒壊は免れたものの各部の損傷はいずれも大きく、試験体3の層間変形は1/30 radを超えた。
- 4) 基準法大地震想定波の約1.25倍の入力に続いて、試験体3及び試験体4に対して基準法大地震想定波の約1.65倍の入力を行ったところ、いずれも層間変形は1/10 radを超え、倒壊防止ワイヤが効いた可能性がある。

6. 4 今後の検討課題

実大3階建て木造軸組構法住宅の長期優良住宅における耐震性能の検証を行ったが、長期優良住宅として修復しやすいことを企図して耐震性能の基準が設けられているが、その変形制限がどの程度修復容易性を向上させているかについて、ライフサイクルコストなどを勘案してその優位性を証明していく必要がある。