

地震地域係数の違いが山口県のRC造学校の躯体費および補修費に及ぼす影響に関する研究
(その5 等価線形化法に基づく地震応答値による検討)

RC造校舎 静的解析 動的解析
応答スペクトル 損傷度 補修費用

準会員○木村 彦*1 正会員 岡村直樹*2
正会員 秋田知芳*3 正会員 稲井栄一*4

1 はじめに

RC造建物において地震地域係数の割り増しに応じて建物の強度を上げるために、コンクリートおよび鉄筋の使用量を増加させると、躯体費が増加する一方で、地震による被害が軽減され補修費は減少すると考えられる。既往の研究¹⁾では、既往波3波(EL Centro、Hachinohe、Taft)を用いて動的解析(時刻歴応答解析)を行い、得られた層間変形角に基づいて補修費の算定を行っていた。動的解析は、通常超高層建物に使用され、低層建物にはあまり用いられてない。そこで、本研究では動的解析を使わず、静的解析と応答スペクトルを用いて応答値を求める方法²⁾で変形角を算出し補修費を求め、動的解析によって求めた補修費と比較し、両者の対応関係を示した。

また、短辺方向の耐震壁量を変えたモデルを複数作成して、短辺方向に加力をして静的解析を行い、トータルコストを算出し、壁量とトータルコストの関係を示した。

2 検討建物

杭基礎のRC造3階建ての学校建物を使用した。2階伏図を図1に、B通り軸組図を図2に、2通り軸組図を図3に、建物概要を表1に示す。長辺方向に8m、8m、8m、8mの4スパン、短辺方向に8.1m、5m、3.7mの3スパンを有し、基礎上面からの高さは11.35mである。

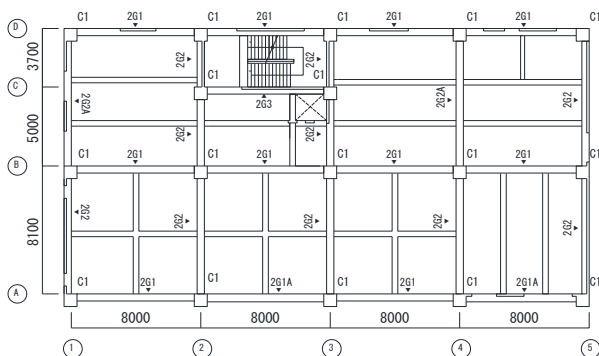


図1 2階伏図

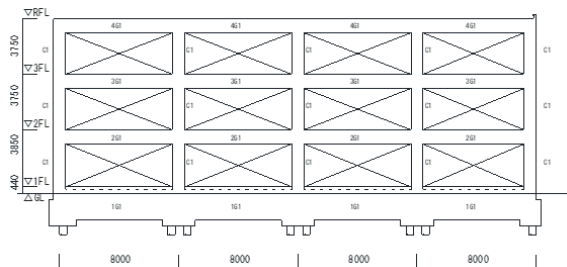


図2 B通り軸組図

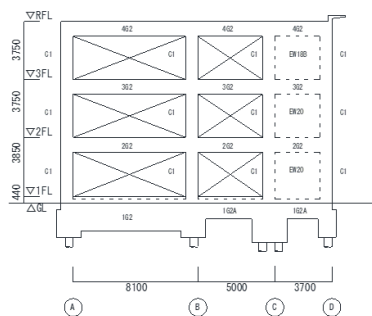


図3 2通り軸組図

表1 建物概要

| | |
|-------|---------|
| 所在地 | 山口県内 |
| 用途 | 学校 |
| 構造種別 | RC造 |
| 建築面積 | 587.6㎡ |
| 延べ床面積 | 1612.8㎡ |
| 階数 | 地上3階 |
| 軒高さ | 11.79m |
| 建築物高さ | 14.09m |
| 基礎地業 | 杭基礎 |

3 壁量変更モデル

2章で示した検討建物を原設計とし、本研究ではこのモデルに耐震壁を変化させたらトータルコストにどの程度の差が生じるのかの比較を行うため、短辺方向に耐震壁を配置して、5つのモデルを作成した。Y方向に加力をして静的非線形荷重増分解析を行い、補修費を比較した。図4に5つの耐震壁配置図を示す。

本研究では連層耐震壁の枚数によって0W、1W、2W、4W、7Wモデルと呼称する。各モデルの1次固有周期は0Wモデル0.294s、1Wモデルが0.198s、2Wモデルが0.164s、4Wモデルが0.112s、7Wモデルが0.0941sである。

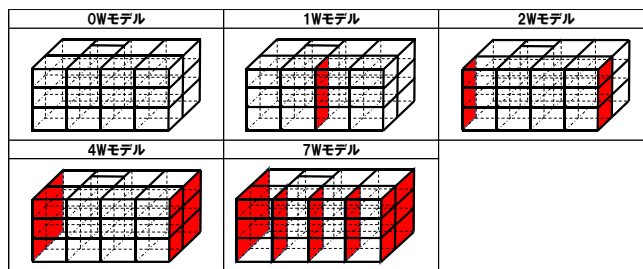


図4 耐震壁配置図

4 等価線形化法に基づく応答値の算定

4.1 算定方法

静的非線形荷重増分解析を用いた等価線形化法による地震応答評価法では、多層建物の地震時における各層の最大応答値を、当該建物の構造特性を代表する等価1自由度系における最大応答値に基づいて評価する。最大応答代表値は、静的非線形荷重増分解析から得られた等価1自由度系における等価荷重(代表荷重)-等価変位(代表変位)関係と設計用地震動に対する(疑似)加速度応答スペクトル-変位応答スペクトル関係(要求曲線)との交点により算定する。この際、応答スペクトルには最大応答時における

建物の塑性化に伴う履歴吸収エネルギーによる減衰効果を適切に考慮する²⁾。本研究では、この求めた最大応答値から最大層間変形角を算出し補修費の算定を行った。

4.2 解析計画

本研究では、等価一質点系に縮約するために MAP 解析³⁾を行った。解析モデルには、部材を線材置換し剛床を仮定した立体骨組モデルを用いた。立体骨組モデルの梁は単軸バネで曲げとせん断をモデル化し、軸方向に関して剛床仮定により変形しないものとしている。柱、壁のモデルについては MS モデルで軸方向と曲げのモデル化を行い、単軸せん断バネでせん断のモデル化を行った。

4.3 層せん断力-層間変形角関係

壁量変更モデルの層せん断力-層間変形角関係を図 5 に示す。1F の層間変形角 1/100rad の層せん断力は、0W モデルは 10000kN、1W モデルは 16433kN、2W モデルは 20364kN、4W モデルは 30953kN、7W モデルは 45803kN であり、4W モデルと 7W モデルの間で層せん断力は大幅に増加した。

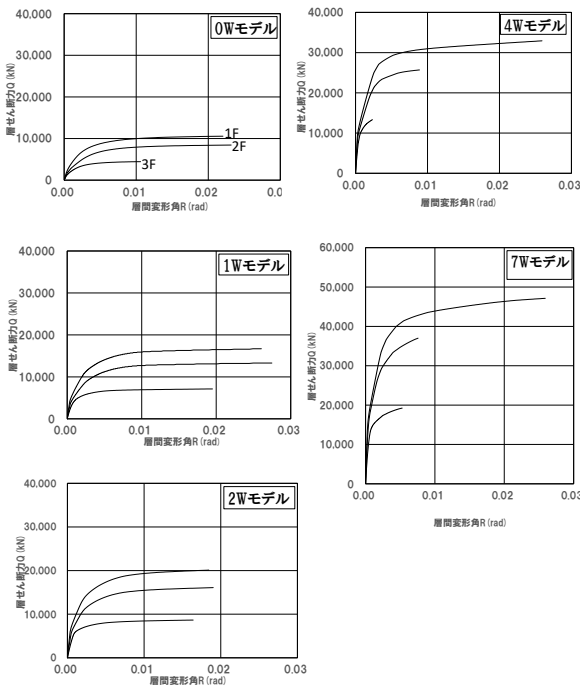


図 5 層せん断力-層間変形角関係

4.4 一質点系縮約結果

一質点系に縮約した代表加速度-代表変位曲線($iSa-iSd$ 曲線)を図 6 に示す。5つのモデルの中で 1W モデルだけ代表変位が 20cm を超えた。

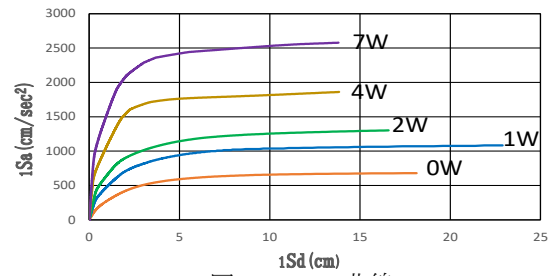


図 6 $iSa-iSd$ 曲線

4.5 最大応答値

文献 2) に従って求めた応答点を図 7 に示す。壁量が多くなるにつれて、応答値の応答変位は小さくなった。

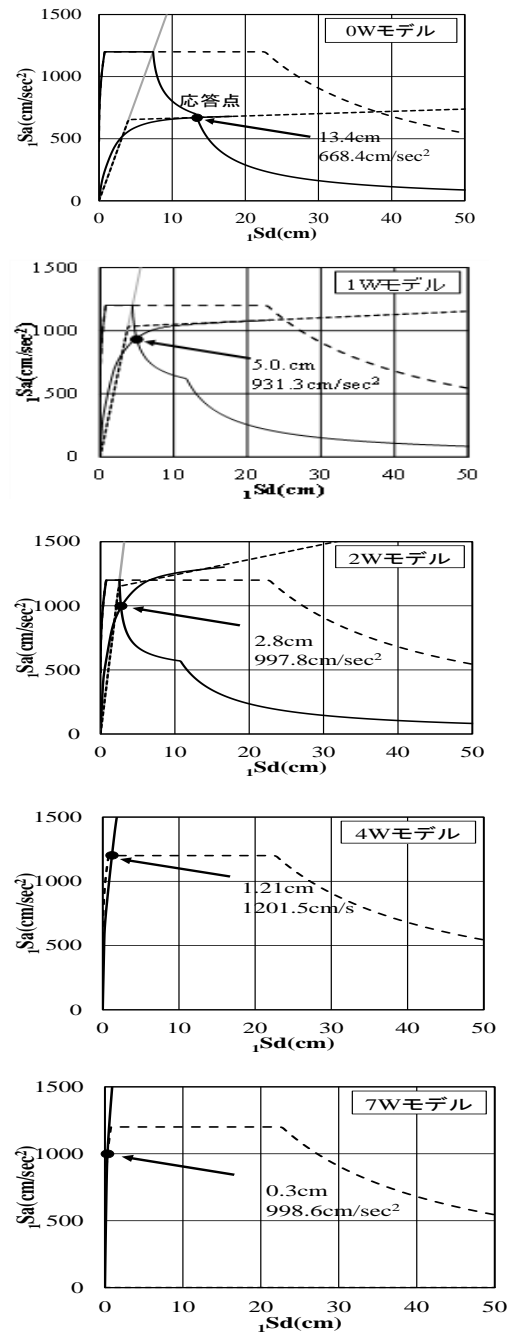


図 7 応答点

4.6 最大層間変形角

図8は最大層間変形角と損傷度を表した図である。最大層間変形角は0W、1W、2W、4W、7Wモデルの順に小さくなっている。各モデルにおいて1階と2階の層間変形角はほぼ同じであり、3階だけ小さくなっている。

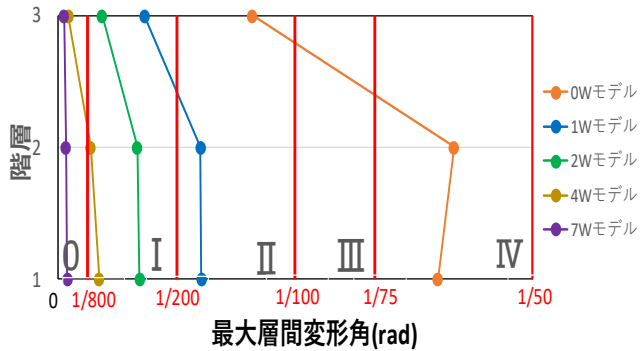


図8 最大層間変形角

5 動的解析(時刻歴応答解析)に基づく応答値の算定

5.1 解析計画

解析モデルに関しては、4.2節で示した方法と同様とし、履歴モデルは通常RC造に用いられるものを使用した。解析モデルに告示波3波(告示波ELCentro、告示波Hachinohe、告示波JMA)を入力して時刻歴応答解析を行う。地盤は開放工学的基盤におけるきわめてまれに発生する地震動に第二種地盤の増幅率をかけたものである。減衰定数は瞬間剛性比例で5%としている。

5.2 最大層間変形角

図9は告示波ELCentro、告示波Hachinohe、告示波JMA、告示波3波平均の最大層間変形角と損傷度を表した図である。告示波3波平均の最大層間変形角は静的解析の結果と同様に壁量が増えるにつれて小さくなる。各モデルにおいて1階2階3階の順に最大層間変形角は小さくなる。最大層間変形角は4章で求めたの最大層間変形角と比較すると小さかった。

6 躯体費と補修費のトータルコスト

6.1 損傷度と補修費

文献4)を参考に、4章及び5章で得られた層間変形角に基づいて層の損傷度を判定した後、層の損傷度に応じて被災度を決定し、被災度に応じた補修費用を算定する。設定した層間変形角、層の損傷度、被災度、補修費用の対応関係を表5に示す。層間変形角と層の損傷度の対応関係、損傷度と被災度の対応関係は「鉄筋コンクリート造建物の耐震性能評価型指針(案)・同解説」⁹⁾を、被災度と補修費の対応関係は文献5)をそれぞれ参考に設定している。損傷度と層化変形角の対応関係を図8、9に示す。床面積あたりの補修費用(円/m²)に床面積を乗じて補修費用を算定する。層間変形角が1/800rad以上1/200rad未満の場合

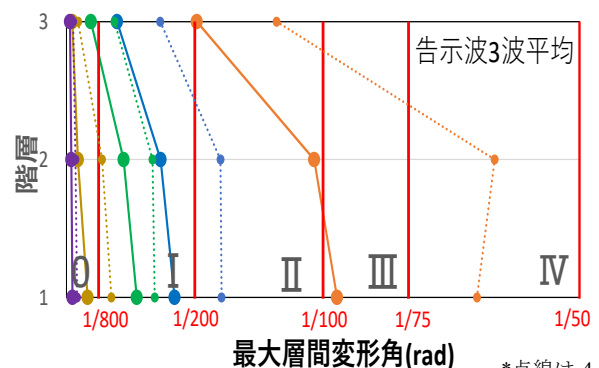
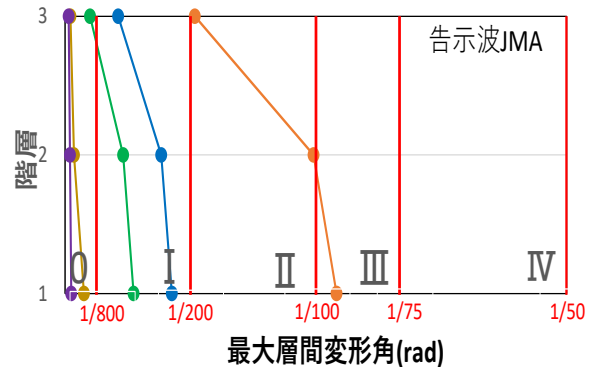
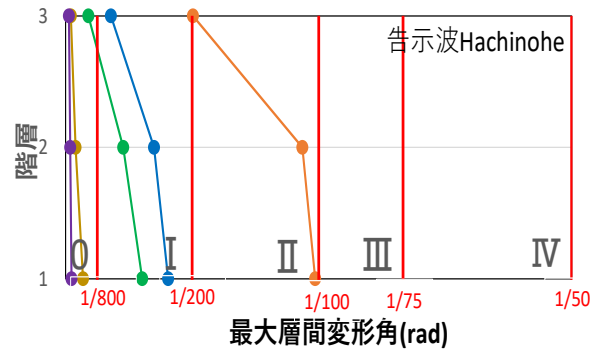
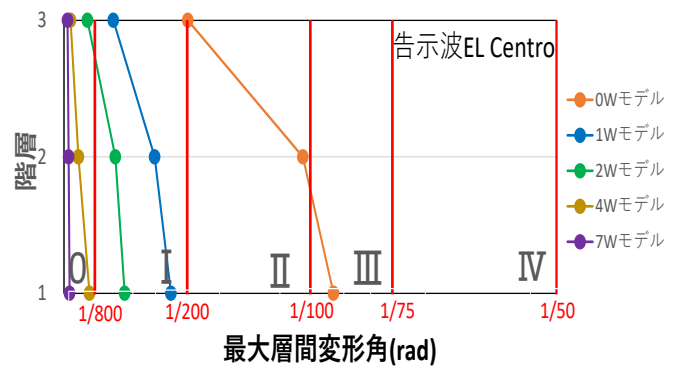


図9 最大層間変形角 *点線は4章の結果を表す

を層の損傷度Iとして補修費用は0~10,000円/m²、層間変形角が1/200rad以上1/100rad未満の場合を層の損傷度IIとし補修費用は10,000~29,000円/m²、層間変形角が1/100rad以上1/75rad未満の場合を層の損傷度IIIとし補修費用は10,000~29,000円/m²、層間変形角が1/75rad以上1/50rad未

満の場合を層の損傷度Ⅳとし補修費用は 29,000~60,000 円/m²、層間変形角が 1/50rad 以上の場合を層の損傷度Ⅴとし、この場合は建て替えを必要とする設定にした。補修費の算定はそれぞれの平均値に対して行った。本研究ではこの設定に加えて層間変形角 800rad 未満である損傷度 0 加え、この場合の補修費用 0 円/m²とした。表 2 は文献 5)を参考に得た損傷度・被災度・補修費用に関する表である。

表 2 損傷度・被災度・補修費用の設定

| 損傷度 | 状態 | 被災度 | 層間変形角 | 補修費用(円/m ²) |
|-----|-----|----------|-------|-------------------------|
| I | 使用 | 無被害または軽微 | 1/200 | 0~10000 |
| II | 修復1 | 小破 | 1/100 | 10000~29000 |
| III | 修復2 | 中破 | 1/75 | 29000~60000 |
| IV | 安全 | 大破 | 1/50 | 建て替え |
| V | - | 崩壊 | - | |

6.2 補修費概要

静的解析による補修費を表 3 に、動的解析による補修費を表 4 に示す。補修費の概算は表 2 の値に対してそれぞれ行った。静的解析、動的解析共に、耐震壁が多くなるほど補修費が抑えられている。静的解析の 0W モデルは建て替えとなった。静的解析と動的解析を比較した結果、同じモデルでは静的解析の方が補修費は高くなった。これは最大層間変形角の値が静的解析の方が大きくなったためである。

表 3 静的解析による補修費

| | 1階 | 2階 | 3階 | 合計 |
|-------|---------|---------|---------|------|
| 0Wモデル | 建て替え(Ⅳ) | 建て替え(Ⅳ) | 2392(Ⅲ) | 建て替え |
| 1Wモデル | 269(Ⅰ) | 1048(Ⅱ) | 1048(Ⅱ) | 2365 |
| 2Wモデル | 269(Ⅰ) | 269(Ⅰ) | 269(Ⅰ) | 807 |
| 4Wモデル | 0(0) | 269(Ⅰ) | 269(Ⅰ) | 538 |
| 7Wモデル | 0(0) | 0(0) | 0(0) | 0 |

表 4 動的解析による補修費

| | 1階 | 2階 | 3階 | 合計 |
|-------|---------|---------|---------|------|
| 0Wモデル | 2392(Ⅲ) | 1048(Ⅱ) | 1048(Ⅱ) | 4488 |
| 1Wモデル | 269(Ⅰ) | 269(Ⅰ) | 269(Ⅰ) | 807 |
| 2Wモデル | 269(Ⅰ) | 269(Ⅰ) | 0(0) | 538 |
| 4Wモデル | 0(0) | 0(0) | 0(0) | 0 |
| 7Wモデル | 0(0) | 0(0) | 0(0) | 0 |

単位：万円 ()は損傷度を表す

6.3 躯体費概要

建築数量積算基準⁹⁾に従い、コンクリート、型枠、鉄筋の数量を算出し、2018年10月の建設物価⁷⁾により単価をかけて、躯体費の概算を行った。対象部材は、柱、大梁、小梁、床板、耐震壁とした。各モデルの躯体費の概算結果を表 5 に示す。

表 5 躯体費概要

| | コンクリート | 型枠 | 鉄筋 | 合計 |
|-------|--------|-----|-----|------|
| 0Wモデル | 1369 | 452 | 742 | 2563 |
| 1Wモデル | 1394 | 470 | 756 | 2620 |
| 2Wモデル | 1420 | 489 | 770 | 2679 |
| 4Wモデル | 1474 | 530 | 800 | 2804 |
| 7Wモデル | 1550 | 583 | 841 | 2974 |

単位:万円

6.4 トータルコスト

モデルのトータルコストの概算結果を表 6 に示す。補修費は静的解析によるものを用いている。各モデルを比較した結果、壁量が多いほどトータルコストは低くなる。1Wモデルと2Wモデルのトータルコストは1499万円の差があり、少なくとも2Wモデル程度の壁量があることが望ましい。

表 6 トータルコスト

| | 躯体費 | 補修費 | トータルコスト |
|-------|------|------|---------|
| 0Wモデル | 2563 | - | - |
| 1Wモデル | 2620 | 2365 | 4985 |
| 2Wモデル | 2679 | 807 | 3486 |
| 4Wモデル | 2804 | 538 | 3342 |
| 7Wモデル | 2974 | 0 | 2974 |

単位:万円

7 まとめ

本研究では以下の知見が得られた。

- 1) 静的解析による補修費は動的解析による補修費より高くなった。これは最大層間変形角の値が静的解析の方が大きくなったためである。
- 2) 壁量が多いほどトータルコストは低くなり、少なくとも2Wモデル程度の壁量があることが望ましい。

参考文献

- 1) 岡村直樹、黒瀬哲也、松原大輔、秋田知芳、稲井栄一：地震地域係数の違いが山口県の RC 造学校建物の補修費に及ぼす影響に関する研究（その 2RC 造学校建物モデルの補修費の算定）日本建築学会中国支部研究報告集第 42 巻、pp299-p301、2019.3
- 2) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建物の等価線形化法に基づく耐震性能評価型設計指針(案)・同解説、7 章、2019.3
- 3) 松本和彦、倉本洋：多層 RC 造建物のモード適応型非線形荷重増分解析、コンクリート工学年次論文集、Vol. 24、No. 2、pp. 1111-1116、2002.6
- 4) 岡島浩平、中田慎介、伊藤瑞悦、田部浩史郎：RC 建物の免震化による損傷レベル制御 その 2 免震化と経済性、日本建築学会四国支部研究報告集、pp.11-12、2005.5
- 5) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建物の耐震性能評価型指針(案)・同解説、pp.61-69、2004.1
- 6) 建築コスト管理システム研究所、日本建築積算協会編集:建築数量積算基準・同解説、p.227、2017.7
- 7) 建設物価調査委員会：建設物価 2017 年 12 月号

*1 山口大学工学部感性デザイン工学科 学部生

*2 山口大学大学院創成科学研究科博士 前期課程

*3 山口大学大学院創成科学研究科講師 博士(工学)

*4 山口大学大学院創成科学研究科教授 博士(工学)

Student, Dept. of Perceptual Sciences and Design Eng., Faculty of Eng., Yamaguchi Univ.

Student, Graduate School of Sciences and Technology for Innovation, Yamaguchi Univ.

Lecturer, Graduate School of Sciences and Technology for Innovation, Yamaguchi Univ, Dr. Eng.

Prof, Graduate School of Sciences and Technology for Innovation, Yamaguchi Univ. Dr. Eng.