

wallstat カンファレンス 2022
World Wide Wallstat Users Conference 2022
(W3UC 2022)
講演要旨集

2022 年 9 月

主催：一般社団法人耐震性能見える化協会

wallstatカンファレンス2022 プログラム

9月12日 14:00~17:00

時間

14:00	主催者挨拶	京都大学生存圏研究所 耐震性能見える化協会 代表理事	中川貴文
-------	-------	-------------------------------	------

一般講演 司会：中川貴文

時間	所属	部署	発表者氏名	連名者氏名	発表テーマ名	発表部門
14:10	広島大学大学院	先進理工系科学研究科	井上涼	森拓郎、中川貴文	生物劣化を受けた木造住宅のwallstatを用いた耐震性能評価	研究部門
16:10	椋山女子学園大学	生活科学部	清水秀丸		傾斜地に建設された土蔵の耐震性能評価に関する研究	研究部門
14:30	椋山女子学園大学	生活科学部	高橋佑菜	清水秀丸	高壁倍率を有するCLT耐力壁に関する解析的研究	研究部門
14:50	島根大学	自然科学研究科 建築デザイン学 コース	影山結	中村豊	大断面集成材ラーメン構造の地震時応答を考慮した接合部設計法に関する研究	研究部門
15:10	金沢工業大学	建築学部・建築学科	宮澤美緒	大屋咲歩、紙谷美嬉、村 上和穂、	喜多家の耐震調査	研究部門
15:30	金沢工業大学	建築学部・建築学科	大野綾子	芝口ほのか	大念佛寺の耐震性能評価	研究部門
15:50	京都大学	生存圏研究所	難波宗功		品質工学を用いた木造住宅の実大振動台実験の再現解析	研究部門
16:30	奈良女子大学		角田功太郎		在来軸組工法における ロッキング挙動の動的解析	研究部門

16:50	講評	広島大学大学院 耐震性能見える化協会 顧問	森拓郎
-------	----	--------------------------	-----

9月13日 10:00~12:00

基調講演 司会：中川貴文

時間	所属	部署	発表者氏名	連名者氏名	発表テーマ名	発表部門
10:00	宇宙航空研究開発 機構	安全・信頼性推進部	角有司	飯山洋一	wallstatとの出会いとロバストデータ同化に向けた取り組み	実務部門

一般講演

時間	所属	部署	発表者氏名	連名者氏名	発表テーマ名	発表部門
10:45	株式会社コシイブ レザービング	品質開発部	宇佐美佳那	川田達郎、前田恵史、久保 友治	耐震等級3の木造住宅の構造安全性に対する腐朽・蟻害による劣化の影響	実務部門
11:15	アウェア株式会社		椿田竜也		wallstatによる住宅設計者育成	実務部門

11:45	閉会の挨拶		
-------	-------	--	--

生物劣化を受けた木造住宅の wallstat を用いた耐震性能評価

(広大院理工) ○井上涼、森拓郎
(京大生存研) 中川貴文

【緒言】

木造住宅をより長期的に使用するためには、残存耐震性能を適切に把握し、状況に応じて耐震補強をおこなうなどの適切な更新・修繕が重要である。木造住宅は使用期間内に蟻害や腐朽といった生物劣化の影響を受け、耐震性能が低下している可能性がある。実際に大地震の際に倒壊した住宅においても、生物劣化が見られた事例が報告されており[1]、その耐震性能への影響が懸念される。これを受け、生物劣化度合いと接合部や耐力壁の残存性能の関係を把握するために様々な検討が進められており、生物劣化した釘接合部や耐力壁のせん断実験を実施し、劣化度と残存耐力の関係を検証している[例えば2]。さらにそれらはデータベースとして取りまとめられ[3]、これを用いた残存耐震性能の評価が可能となることが望まれる。

本研究では、実際の住宅についての劣化調査によって、劣化しやすい箇所の分析とデータの蓄積を進めるとともに、調査結果に基づいて住宅の解析モデルを作成し、wallstat を用いた振動解析をおこなうことで、生物劣化が建物の応答変形に与える影響の検討を進めている。本発表では、その概要について発表する。

【住宅の劣化調査】

解体予定の住宅を対象に、劣化状況についての現地調査を進めている。主な調査項目は、耐力要素の配置及び寸法、柱の寸法、柱頭柱脚接合部の仕様、生物劣化の有無である。目立った劣化がみられた際には、ピロディンを用いた打ち込み深さを測定し、劣化度[3]を把握することや含水率の計測を併せておこなうこととした。現状、著しい生物劣化がみられた住宅のサンプルは少ないが、劣化がよく見られる箇所として、風呂場やキッチンなどといった水回り付近、仕上げにクラックがみられた開口部隅付近の部材、また隅柱が挙げられる。いずれも劣化条件の一つである水分が供給されやすい場所である。

【生物劣化を考慮した住宅の応答解析】

調査結果を基に、生物劣化を受けた住宅の地震時の応答について、wallstat438[4]を用いた振動解析によって検証する。wallstat の設定パラメータの内、劣化を反映する箇所として、接合部の圧縮・引張ばね、接合部回転ばね、壁構面のばねの3つを選択した。なお、劣化時の各構造要素のモデル化は、大分大学と本学でデータベースの構築を進めている劣化部材の実験データ[3]を用いている。実験結果が存在するものについては、直接実験で得られた荷重変位関係から復元力特性を得た。全種類の実験結果が揃っていない

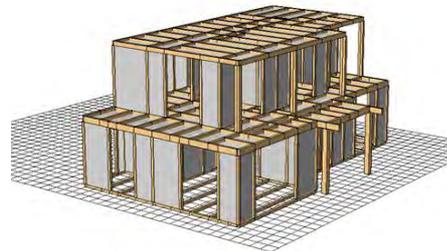


図1 解析モデル

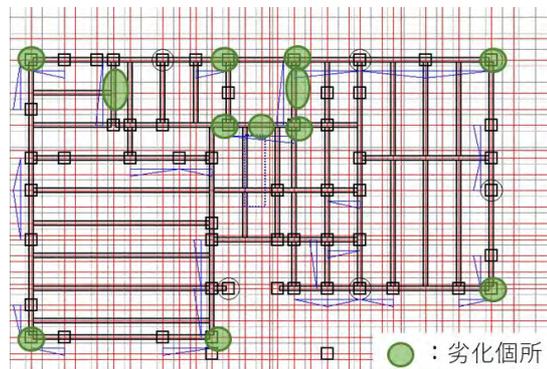


図2 解析モデルの劣化想定箇所

ため、実験結果が存在しない場合には釘やねじ 1 本あたりの実験結果から算出した耐力低減率[2] を掛け合わせることで劣化を表現した。

ここでは、1 階の水回りと隅柱の柱脚部付近が劣化したと仮定して、地震時の応答に与える影響を検討した。図 1 に示す面積 132.5m²、壁量充足率 1.3 (X 方向) の戸建住宅を対象とし、耐力要素を 2 つ割り筋かいのみとして解析した。1 階平面図と劣化想定個所を図 2 に示す。一律に健全 (劣化なし) の場合、ピロディンの打ち込み深さで劣化度 1 から 3 の場合の 4 パターンについて検討した。図 3 に筋かい耐力壁の復元力特性を示す。圧縮筋かいにおいて劣化した場合の方がループ面積が大きくなっている点は今後の課題である。

プッシュオーバー解析によって得られた荷重変形関係を図 4 に示す。劣化度が高いほど健全の場合と比較して荷重低下がみられることを確認したが、その程度はわずかであった。筋かいがバランスよく配置されているためであると考えられるが、筋かいの向きに偏りがある場合には、生物劣化による耐力劣化の大きい引張筋かいが住宅の耐震性能に大きく影響すると考える。また、BSL 波 (第二種地盤) の 85% を X 方向に入力した場合の 1 層の最大応答変形を表 1 に示す。今回の解析条件においては、劣化度が高い方が最大応答変形は大きくなることを確認した。最大応答変形については入力地震波の影響が大きいものの、健全の場合と比較して応答増加の可能性があることがわかった。

【結言】

現状生物劣化が著しい住宅の事例は少ないものの、劣化建物の実地調査により、水回りや隅柱の柱脚部・土台付近、開口部隅付近の部材に生物劣化が生じやすいことを確認した。生物劣化を想定した解析により、生物劣化による耐震性能の低下を確認し、入力地震波に影響を受けると考えられるものの応答変形の増加を確認した。

(参考文献)

- 1) 吉村剛: 阪神大震災における破損木造住宅の腐朽及びシロアリ被害に関する一考察, 木材保存 21, 189-19, 1995.
- 2) 永見瞳子, 鶴寛之, 田中圭, 森拓郎: 生物劣化を受けた木質構造物の残存性能評価に資するデータベースの提案(その 2)接合具の骨格曲線導出法の提案, 日本建築学会大会学術講演便概集(北陸), pp. 511-512, 2019.
- 3) 西野進, 芝尾真紀, 永見瞳子, 瀧裕, 森拓郎, 田中圭: 生物劣化を受けた木質構造物の残存性能評価に資するデータベースの提案, 日本建築学会大会学術講演便概集(東北), pp. 609-610, 2018.
- 4) 中川貴文: 大地震時における木造軸組構法住宅の倒壊解析手法の開発, 建築研究資料, 第 128 号, 2010.

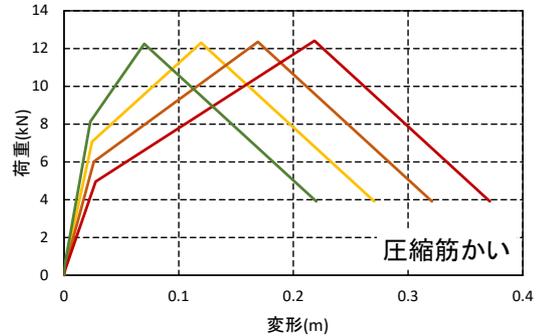
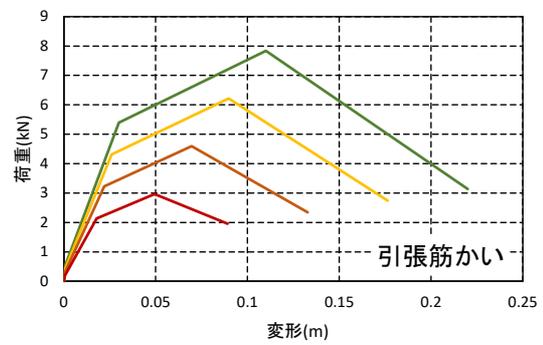


図 3 2 つ割り筋かいの復元力特性

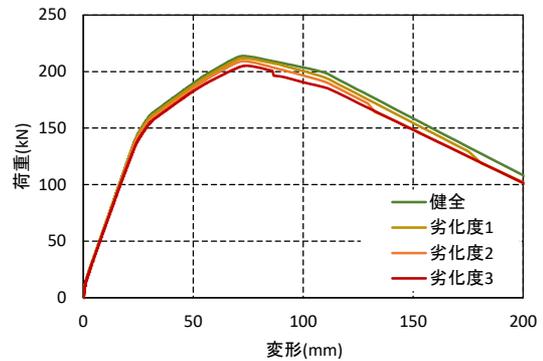


図 4 プッシュオーバーの解析結果

表 1 最大応答変形 (BSL2 (85%) X 方向)

	mm	rad
健全	74.7	1/37
劣化度 1	83.7	1/33
劣化度 2	89.0	1/31
劣化度 3	96.2	1/29



傾斜地に建設された土蔵の耐震性能評価に関する研究



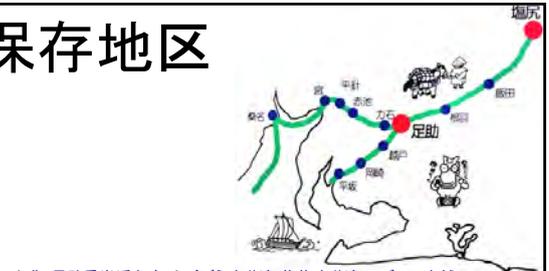
梶山女学園大学
清水 秀丸

豊田市足助伝統的建造物群保存地区

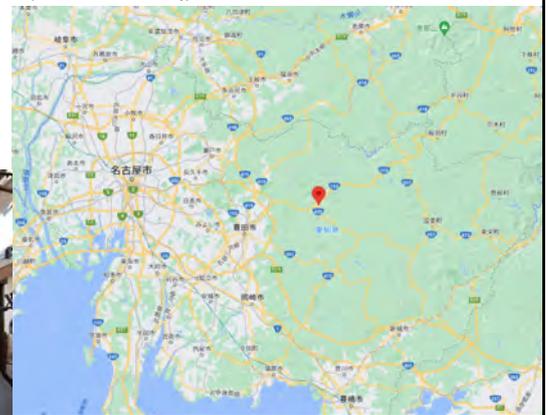
安永4年(1775)に起きた大火以降に再建されたと考えられ、尾張・三河から信州を結ぶ伊那街道(中馬街道)の中継地であり、物資運搬や庶民通行の要所として栄えた

平成23年(2011)6月20日
重要伝統的建造物群保存地区に選定

出典:豊田市足助伝統的建造物群保存地区にかかる制度について | 豊田市
<https://www.city.toyota.aichi.jp/jigyousha/tetsuzuki/bunkazai/1004222.html>



出典:足助香嵐渓名産 山ごぼ味噌漬 菊芋味噌漬 スズマン本舗
https://www.suzuman.jp/solt_road.html



対象建物(主屋)

出典:旧田口家住宅 | 豊田市足助観光協会
<http://asuke.info/view/rekishi/entry-2981.html#group=nogroup&photo=9>

- ・ 足助の中心、街道沿いに建つ平入りの主屋のほか、後ろに連なる土蔵3棟もほぼ建築当時のまま残る
- ・ 傾斜地に建設された土蔵4の耐震性能評価をWallstatにより実施

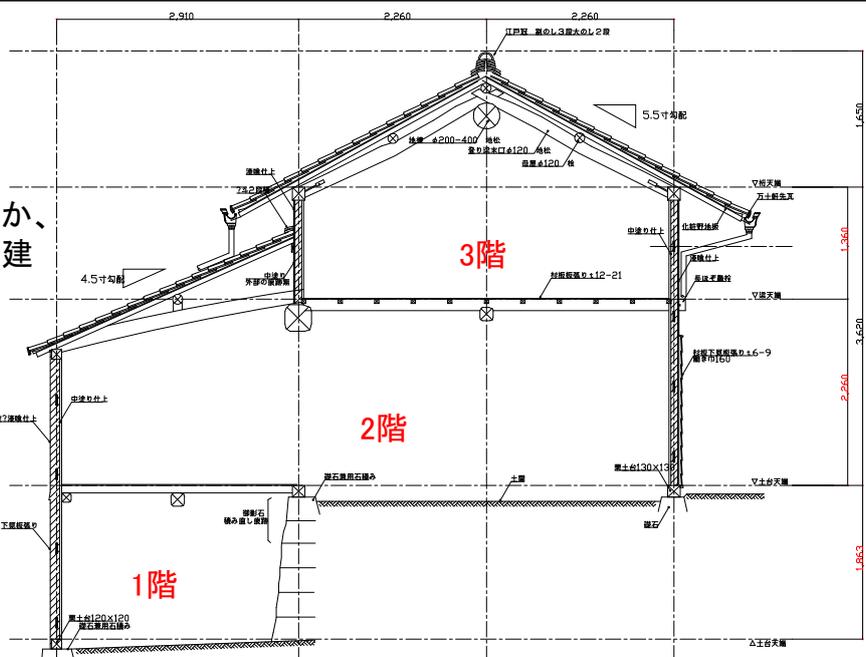
出典:豊田市足助伝統的建造物群保存地区にかかる制度について | 豊田市
<https://www.city.toyota.aichi.jp/jigyousha/tetsuzuki/bunkazai/1004222.html>



矩計図

一般的な耐震診断手法の適応が難しいと判断

- ・ 下屋部分が増築されたためか、1階部分が加わり現状は3階建
- ・ 伝統的木造建物
- ・ RC基礎無し
- ・ 傾斜地に建設



出典:『耐震シミュレーションwallstatガイド』鈴木強 著・中川貴文 監修 | 学芸出版社
<https://book.gakugei-pub.co.jp/gakugei-book/9784761532574/>

対象建物(土蔵4)

耐震補強の必要性が認められる

現地調査: 2022年7月11日

壁: 土壁

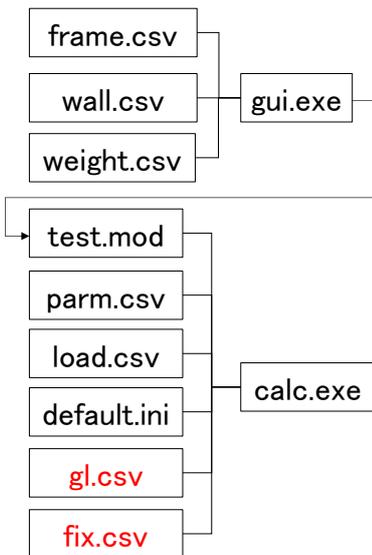
屋根材: 瓦

その他: 腐朽箇所、土壁の剥落が見られる

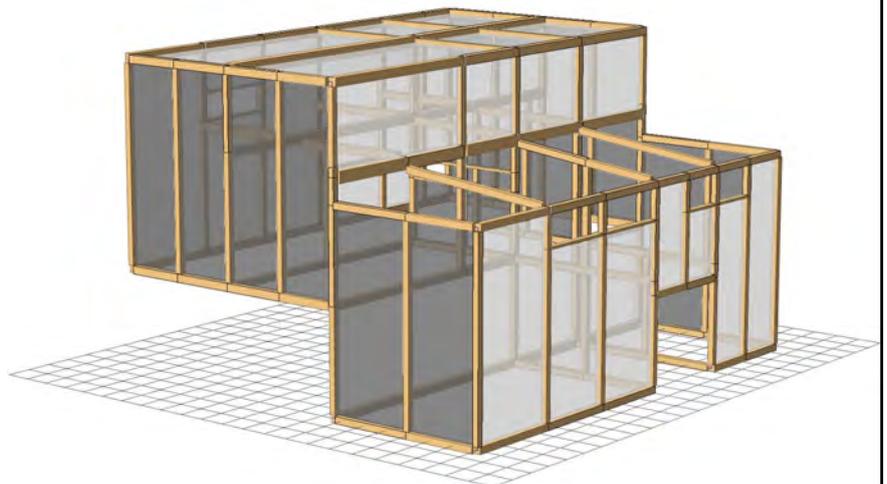


解析モデル

wallstat proを用いて傾斜地に建設された伝統的木造建物をモデル化



gl.csv: 傾斜地の情報を設定
fix.csv: Z方向の変形を固定



高壁倍率を有するCLT耐力壁に関する解析的研究

梶山女学園大学 高橋佑菜

既往研究・目的

解析モデル

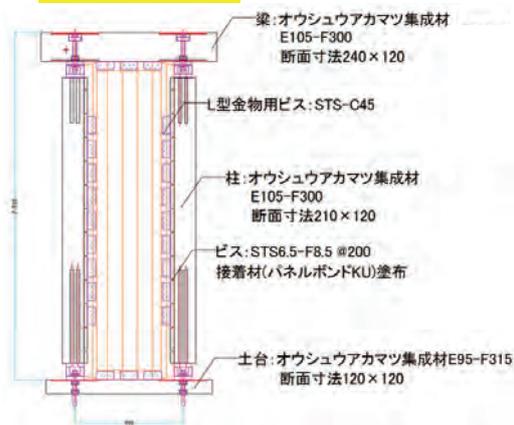
解析結果

まとめ

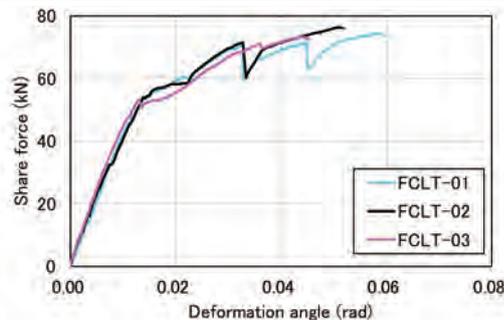
今度の予定

清水秀丸他 6名：プレファブリックな高耐力耐力壁の開発に関する研究

既往研究



試験体名	降伏耐力 P_y (kN)	終局耐力 $0.2P_u/D_u$ (kN)	最大耐力 $2/3P_{u,max}$ (kN)	特定変形時耐力 $P_{1/120}$ (kN)	短期基準せん断耐力 P_o (kN)	最大耐力 P_{max} (kN)	特定変形時耐力 $P_{1/150}$ (kN)	降伏変位 δ_y (mm)	降伏変位 δ_u (mm)	終局変位 $\delta_{u,}$ (mm)	塑性率 μ	構造特性係数 D_u
FCLT-01	49.47	33.08	49.42	35.86	30.00	74.13	28.71	33.34	45.34	159.72	3.52	0.41
FCLT-02	50.45	30.47	50.86	34.13		76.29	29.59	34.31	46.50	138.74	2.98	0.45
FCLT-03	49.00	28.89	48.74	38.88		73.11	32.12	30.91	41.20	121.33	2.94	0.45

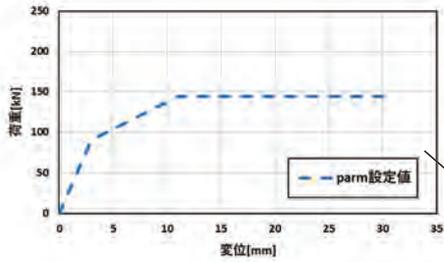


短期基準せん断耐力: 30.00kN
壁倍率: 16.82

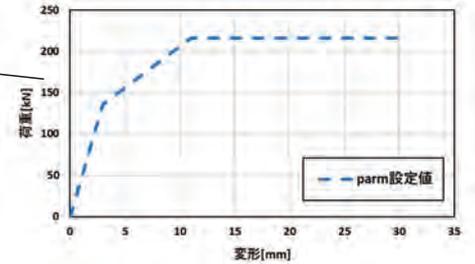
目的

CLT耐力壁の壁倍率を向上させるため耐震シミュレーションソフトwallstatを用いて解析を行う

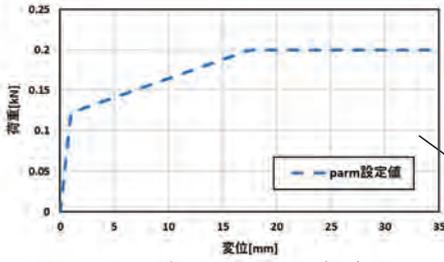
佐藤他 4名：接合金物と接着剤を併用した木材接合法における強度について（その14）靱性型コネクタを用いた GIR 接合部の引張試験、日本建築学会大会学術講演梗概集（中国）2017年8月



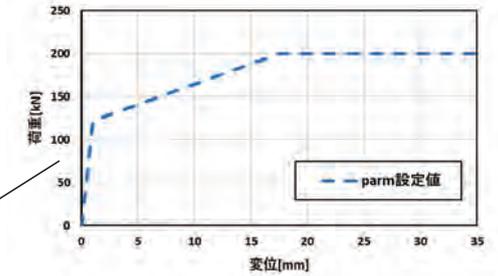
せん断バネ (CLT-柱)



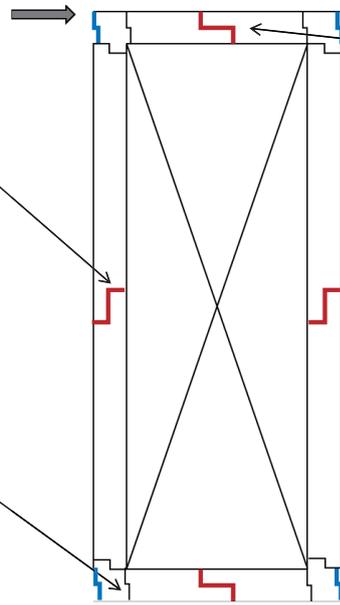
せん断バネ (CLT-横架材)



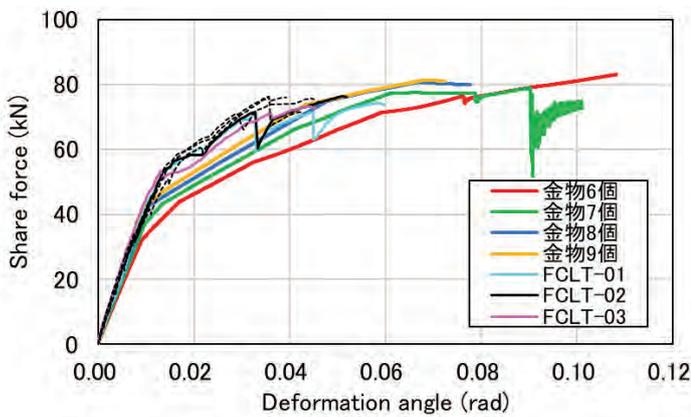
ダミーのバネ (縦)



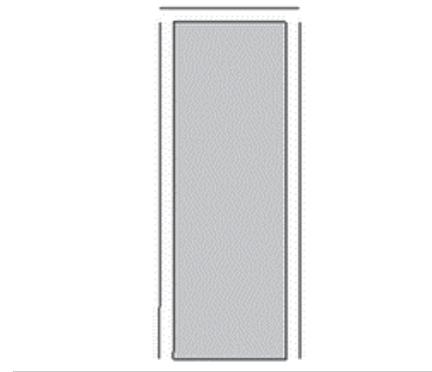
引張・圧縮バネ



全体結果

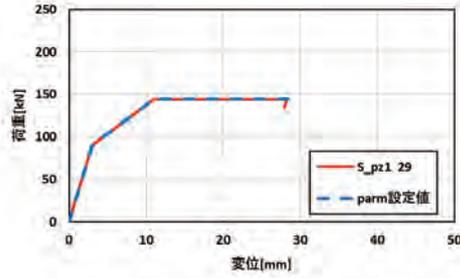
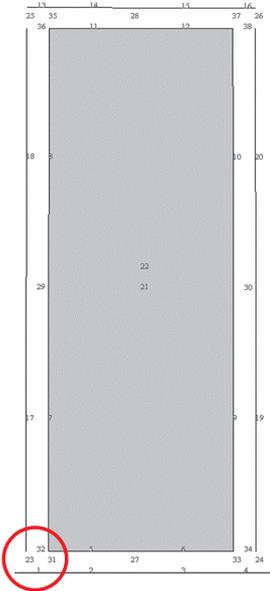


実験と解析値の荷重変形曲線

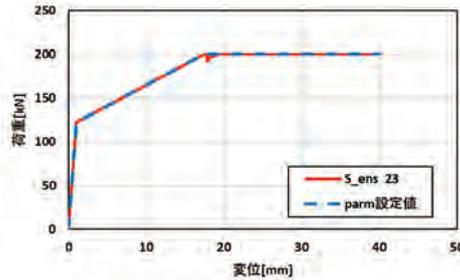


解析結果 動画

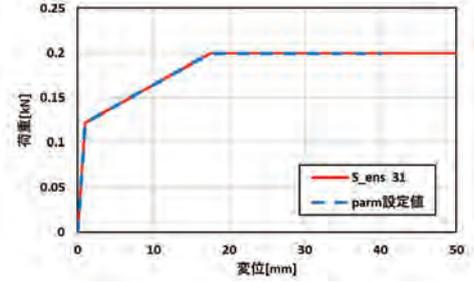
金物6個



せん断バネ(29)



引張・圧縮バネ(23)

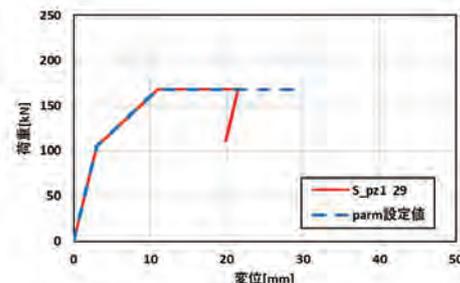
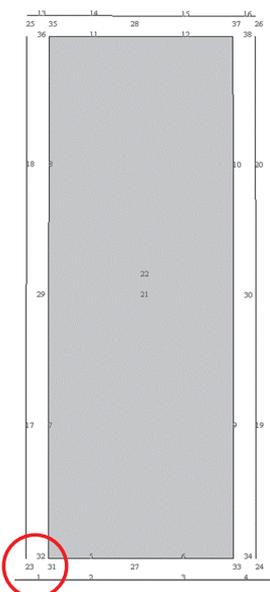


ダミーのバネ(31)

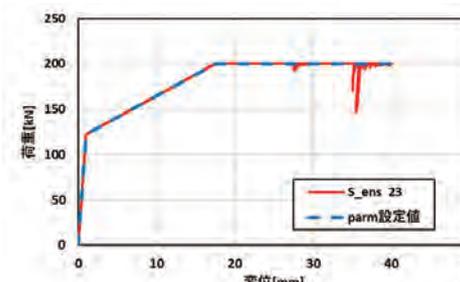
降伏耐力 P_y (kN)	終局耐力 $0.2P_u/D_s$ (kN)	最大耐力 $2/3P_{max}$ (kN)	特定変形時 耐力 $P_{1/120}$ (kN)	短期基準 せん断耐力 P_o (kN)
42.94	37.60	55.35	29.60	29.60

ダミーのバネ(31) → 降伏
引張・圧縮バネ(23) → 降伏
壁倍率：16.60

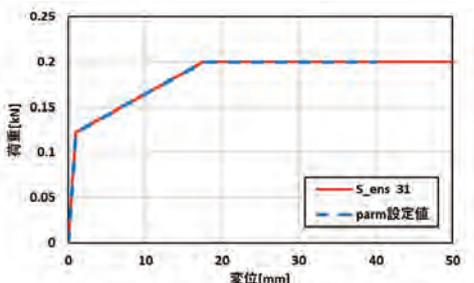
金物7個



せん断バネ(29)



引張・圧縮バネ(23)

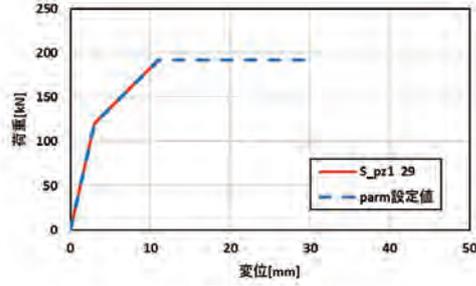
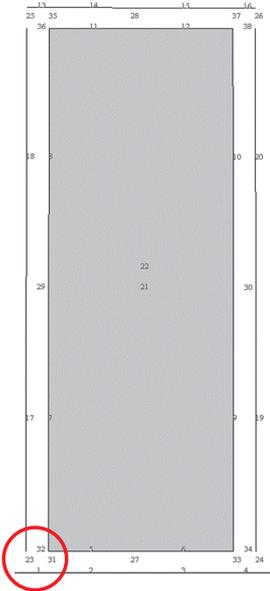


ダミーのバネ(31)

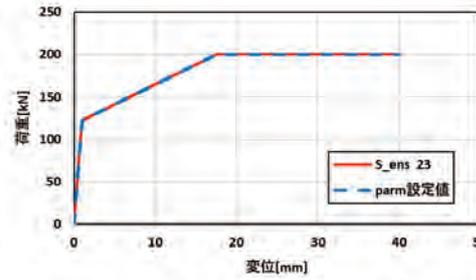
降伏耐力 P_y (kN)	終局耐力 $0.2P_u/D_s$ (kN)	最大耐力 $2/3P_{max}$ (kN)	特定変形時 耐力 $P_{1/120}$ (kN)	短期基準 せん断耐力 P_o (kN)
40.58	41.78	52.58	32.08	32.08

ダミーのバネ(31) → 降伏
引張・圧縮バネ(23) → 降伏
壁倍率：17.99

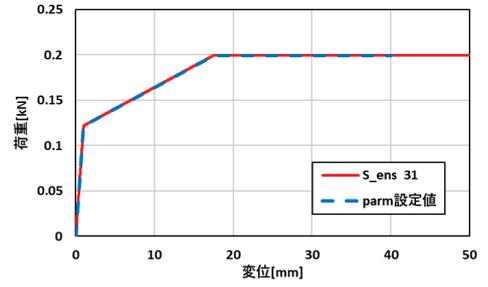
金物8個



せん断バネ(29)



引張・圧縮バネ(23)

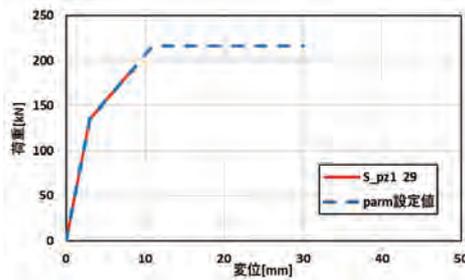
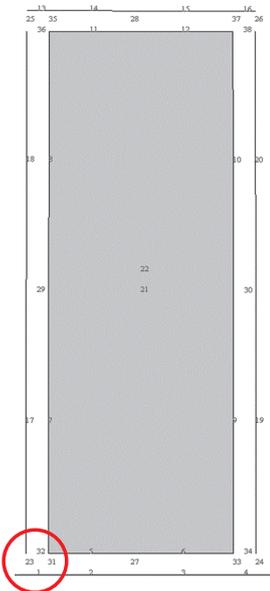


ダミーのバネ(31)

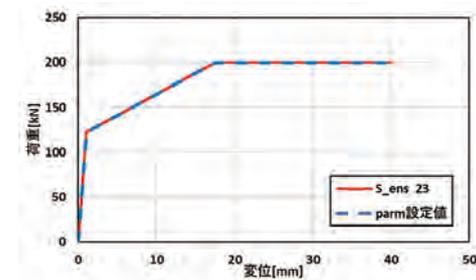
降伏耐力 P_y (kN)	終局耐力 $0.2P_u/D_s$ (kN)	最大耐力 $2/3P_{max}$ (kN)	特定変形時 耐力 $P_{1/120}$ (kN)	短期基準 せん断耐力 P_o (kN)
42.38	39.27	53.75	34.32	34.32

ダミーのバネ(31) → 降伏
引張・圧縮バネ(23) → 降伏
壁倍率：19.24

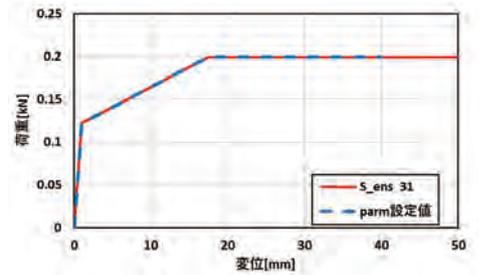
金物9個



せん断バネ(29)



引張・圧縮バネ(23)



ダミーのバネ(31)

降伏耐力 P_y (kN)	終局耐力 $0.2P_u/D_s$ (kN)	最大耐力 $2/3P_{max}$ (kN)	特定変形時 耐力 $P_{1/120}$ (kN)	短期基準 せん断耐力 P_o (kN)
42.70	39.25	54.13	36.33	36.33

ダミーのバネ(31) → 降伏
引張・圧縮バネ(23) → 降伏
壁倍率：20.37

既往研究・目的	解析モデル	解析結果	まとめ	今度の予定
---------	-------	------	-----	-------

金物の数に関係なく全て同じ個所で破壊が生じた
 金物の数が少ないほど荷重変形曲線の変形が大きくなった
 金物の数が多いほど短期基準せん断耐力・壁倍率共に値が大きくなった



金物の数が多いと剛性、金物の数が少ないと靱性が大きくなる

既往研究・目的	解析モデル	解析結果	まとめ	今後の予定
---------	-------	------	-----	-------

CLT耐力壁の靱性・壁倍率がさらに向上するようモデルの作成・解析を行う
 破壊する際の柱の膨らみが無くなるよう改良する

大断面集成材ラーメン構造の接合部性能が地震時応答に与える影響について

大断面集成材 木質ラーメン構造
モーメント抵抗接合 鋼板挿入ドリフトピン

影山 結*
中村 豊**

1. 本研究の背景・目的

近年、森林資源の有効活用のため林業の活性化が促進されている。また、木材は炭素蓄積場所としても有効であり、環境負荷の低減のために建築分野での木材利用の促進が求められている。2010年の公共建築物等木材利用促進法の施行により、中大規模の木造建築の推進もその取り組みの一つとして挙げられる。特に近年の建築業界においては、大断面集成材を用いた中規模木造建築について注目が集まっている。

木質ラーメン構造の柱・梁接合部では、一般的なラーメン構造で用いる剛接合とすることが難しく、半剛節と呼ばれる回転剛性を高めたモーメント抵抗接合を利用する。近年、鋼板挿入ドリフトピンを用いたモーメント抵抗接合が多く使用されている。このモーメント抵抗接合の性能に関しては、加力実験による結果とモデル化による解析との比較検討などが行われている⁸⁾。

既往の研究では、木質ラーメン構造の剛性や耐力は接合部によって決まることが示されている。地震時応答においても、接合部の変形が支配的であることが判明している。しかしながら、鋼板挿入ドリフトピンを用いた際の地震時応答評価に関する検討は見受けられない。また、柱・梁接合部における接合部のモデル化において、柱の回転バネと梁の回転バネが一つの回転バネとしてモデル化されている。実際に使用される鋼板挿入ドリフトピンを用いた梁・柱接合部の場合、梁端部だけでなく、梁と接合する柱端もモーメント抵抗接合となる。

本研究では、大断面集成材ラーメン構造における柱・梁モーメント抵抗接合部の正確なモデル化を行う。柱と梁のモーメント抵抗値とラーメン構造の水平抵抗力、地震時応答の関係性を明らかにすることを目的とする。

2. 研究対象

対象は大断面集成材を用いた3層の中規模木造建築物¹⁾とする(図1)。短辺(X)方向にラーメン構造を用い、長辺方向(Y)には筋交いを入れた構造である。この対象建物は、ラーメン方向の柱・梁接合部に鋼板挿入ドリフトピン(図2)を用いたモーメント抵抗接合としている。

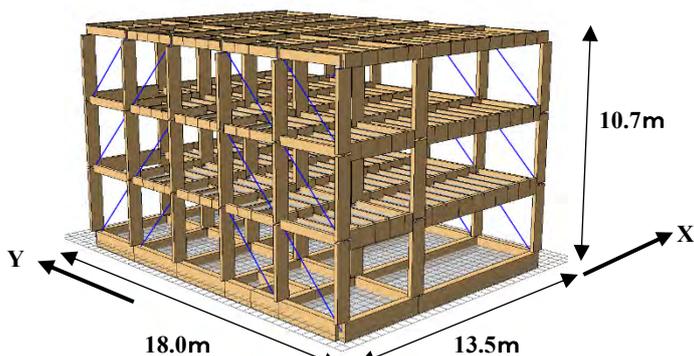


図 1-1 : 大断面集成材ラーメン構造

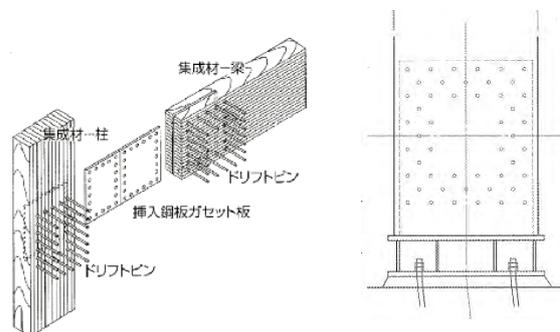


図 2 : 鋼板挿入ドリフトピン接合(左:柱梁, 右:基礎)¹⁾

3. 地震応答解析結果

時刻歴応答解析ソフトウェア wallstat studio⁷⁾を用いて、対象建物の解析モデルを作成した(図1)。この際、柱・梁接合部は鋼板挿入ドリフトピンを想定した接合部とする。接合部性能は鋼板挿入ドリフトピンを用いた既往の研究⁴⁾を基に設定する。鋼板挿入ドリフトピンによる接合部には引張バネと回転バネを設定する。

3.1. 初期接合部仕様時の地震時応答

解析モデルは参考図書¹⁾を基に作成したものを初期仕様とする。この初期仕様を基に、接合部仕様と地震時荷重-建物応答変形の関係性を検討する。

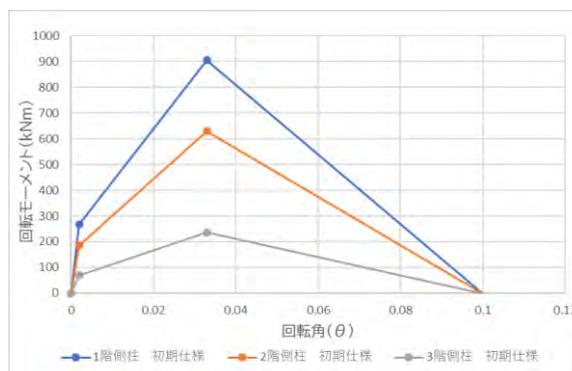


図 3 : 初期仕様の各階柱の接合部の回転バネ特性

図3は初期仕様における鋼板挿入ドリフトピン接合部の回転バネ特性を示したものである。初期勾配は1次回転剛性を基に算出している。

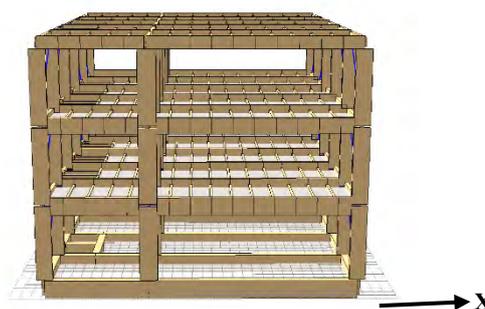


図 1-2 : 大断面集成材ラーメン構造(X方向)

2次剛性以降については、既往の実験結果等を参考に仮定した。解析したところ、接合部の最大回転角が1次剛性内に収まっており、2次剛性以降は結果に影響を及ぼさないことが分かった。この特性を持つ接合部を各階柱端、梁端に設定して地震応答解析を行う。

図4は初期仕様の解析モデルを荷重増分解析した時の第1層の層せん断力 - 層間変形関係を示したものである。また、図5は各地震波を入力した地震時応答解析による第1層の層せん断力 - 層間変形関係を示したものである。図4, 5より、地震波に関わらず第1層の層せん断力 - 層間変形関係はほぼ変わらず、荷重増分解析と地震応答解析は同等の傾向を示している。

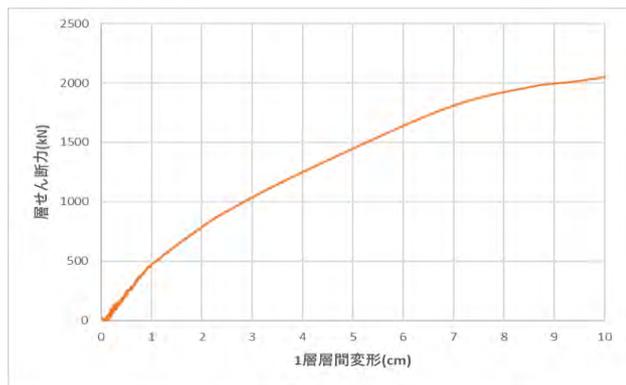


図4：荷重増分解析時の第1層の荷重 - 変形関係

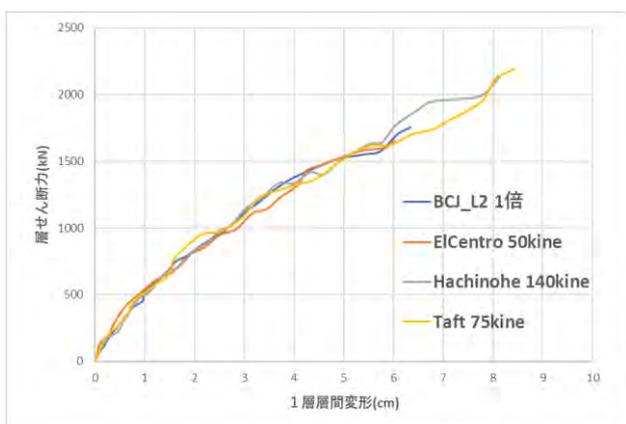


図5：各地震波入力時の第1層の荷重 - 変形関係

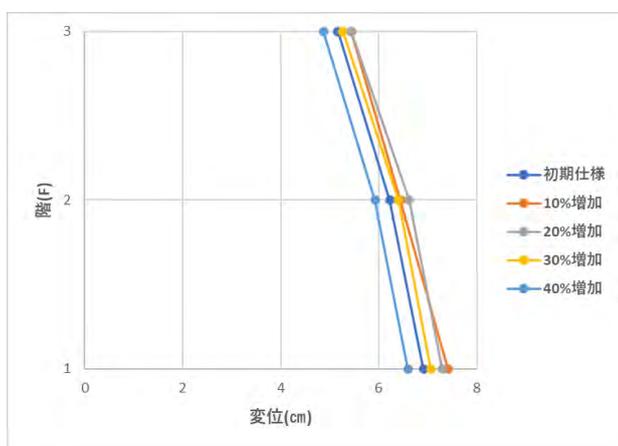


図6：各層の層間変位(1階柱接合部バネ特性の変更)

3.2. 1階柱頭の接合部バネ変化に対する影響

次に、柱端のドリフトピン接合部のバネ特性変化による地震応答に与える影響を検討する。これ以降は BCJ_L2 の

1倍入力した時の結果を示す。

まず、第1層の柱接合部のバネ特性をパラメータとして変動させた。図6は1階柱の接合部バネ特性を10%ずつ増加させた時の各層の層間変位である。層間変位は7cm付近でほぼ変化がない。

3.3. 1階基礎部の接合部バネ変化に対する影響

次に、1階柱脚である基礎部の接合部のバネ特性をパラメータとして変動させた。図7は基礎部の接合部バネ特性を10%ずつ増加させた時の各層の層間変位である。図6と異なり、基礎接合部バネ特性を増加させると層間変位が減少している。なお、1層層せん断力も変位と共に減少していることが分かった(図8)。

この図7の結果から、1階柱脚部の回転剛性が地震時の応答変形に大きく影響を及ぼすことが判明した。

参考図書¹⁾のモデルにおいて、基礎部は1階柱脚の鋼板挿入ドリフトピン接合部とベースプレート部に分かれている(図2右)。図7に示した検討では、ドリフトピン接合部の回転剛性値とベースプレート部の回転剛性値を合成した値を変動させている。

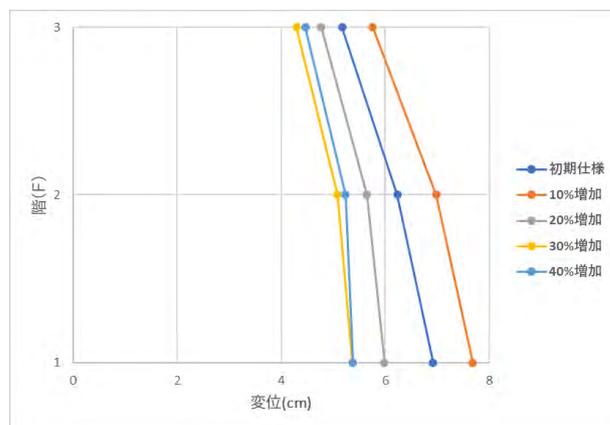


図7：各層の層間変位(基礎部接合部バネ特性の変更)

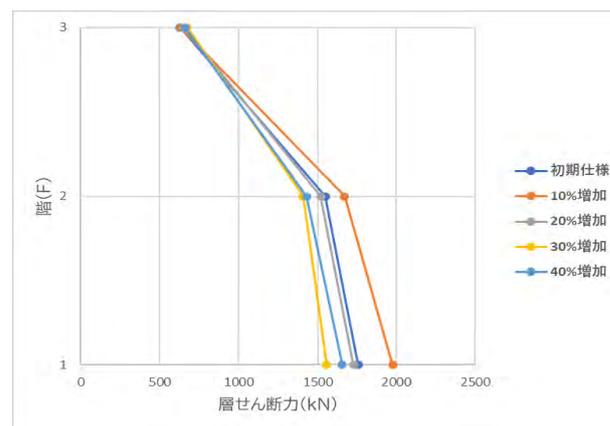


図8：各層層せん断力(基礎部接合部バネ特性の変更)

3.4. 1階柱脚アンカーボルトの設計変更に対する影響

続いて、鋼板挿入ドリフトピン部分とベースプレート部分それぞれの回転剛性値に注目して基礎部の設計仕様の変更を検討していく。

図9は参考図書¹⁾のモデルにおける露出柱脚のベースプレートとアンカーボルトの仕様である。この仕様を基に、ドリフトピン接合部の回転剛性値を固定し、ベースプレート

部の回転剛性のみを変化させ、その時の応答変形を検討した。表1に比較検討した1階柱脚の回転剛性値を示す。

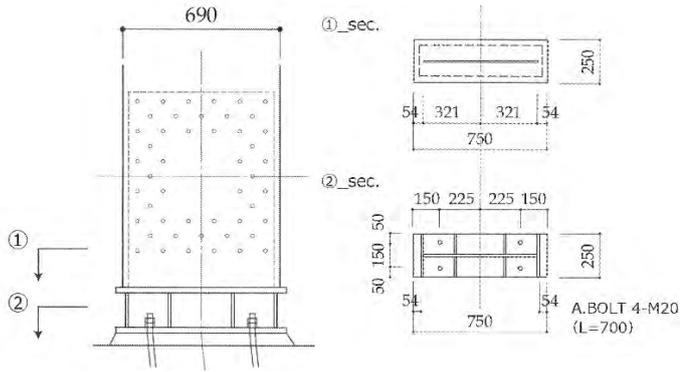


図9：1階柱脚のベースプレートとアンカーボルトの仕様¹⁾

表1：比較検討した1階柱脚の回転剛性値

検討モデル	ベースプレート部の回転剛性 (kNm/rad)	1階柱脚部の回転剛性合成値 (kNm/rad)
初期仕様	27413	22848
ボルト本数増加	54827 (2倍)	39172 (1.7倍)
ボルト間距離増加	109655 (4倍)	60943 (2.7倍)
ボルト本数+ボルト間距離増加	219311 (8倍)	84395 (3.7倍)

表1において、ボルト本数増加とは図9の②の柱断面図心からの距離をそのままに、ボルト本数を2倍したモデルである。また、ボルト間距離増加とは図9の②のボルト本数をそのままに、柱断面図心からのボルト距離を2倍したモデルである。ボルト本数+ボルト間距離増加は、ボルト本数、柱断面図心からのボルト距離を共に初期仕様から2倍したモデルである。

また、1階柱脚部の回転剛性合成値は、表1に示すベースプレート部の回転剛性と1階柱脚部のドリフトピン接合部の回転剛性を合成した値とする。

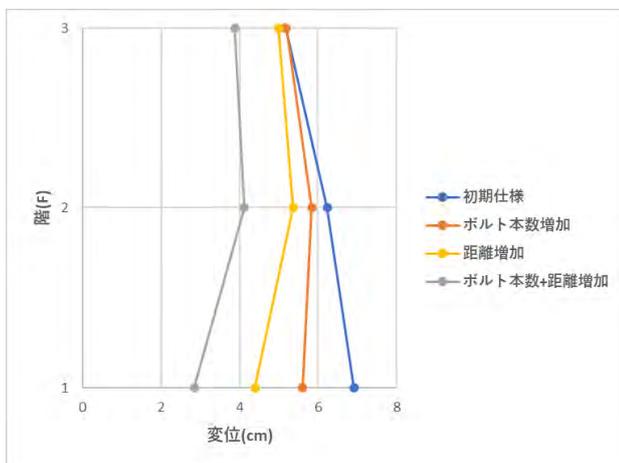


図10：各層の層間変位(表1の検討モデル)

図10に表1の検討モデルごとの地震時応答変位を示す。表1と図10の結果を合わせてみると、ベースプレート部の回転剛性値が2, 4, 8倍になると、最大応答変位が20, 40, 60%減少することがわかった。

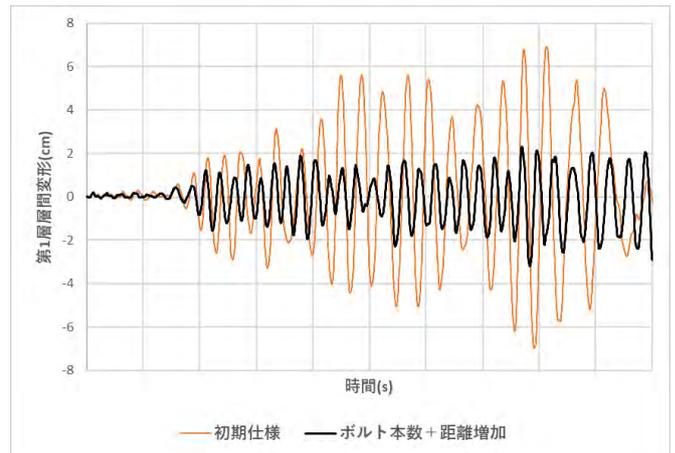


図11：初期仕様に対する時刻歴応答の変化

ボルト本数とボルト間距離を共に増加した場合、ベースプレート部の回転剛性は8倍になる。図11に初期仕様に対する時刻歴応答の変化を示す。この時、層間変形は初期仕様の1/2以下になっている。

4. まとめ

- ・荷重増分解析と地震応答解析の層せん断力と層間変位の関係はほぼ等しい傾向を示す。
- ・1階柱脚接合部のバネ特性が構造物全体の地震応答に大きな影響を与える。
- ・1階柱脚のベースプレート部の回転剛性が1階柱脚部全体の回転剛性に大きな影響を与える。その回転剛性は、アンカーボルトの設計により変化し、地震時応答を減少させることが可能である。

参考文献

- 1) 大橋好光ほか：「中規模木造（ラーメン構造等）の構造設計演習帳」日本建築センター，2020年
- 2) 「JSCA版 木造建築構造の設計 第2版」日本建築構造技術者協会編
- 3) 山根光ほか：中低層木質ラーメンの必要性能に関する研究その1, その2，日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿)，2014年9月
- 4) 2013年木造長期優良住宅の総合的検証事業「材料・構造分科会」報告書(第13章) 集成材等建築物の設計・施工指針の検討，p345-391
- 5) 「木造ラーメンの評価方法・構造設計の手引き 2016年版」日本住宅・木材技術センター，参考資料1-11～参考資料1-14
- 6) 「木質構造接合部設計マニュアル」日本建築学会，2009年，p196-207
- 7) 鈴木強・中川貴文：「耐震シミュレーション wallstat ガイド」学芸出版社，2020年
- 8) 安田保二郎ほか：モーメント抵抗接合部の実験と解析の比較-鋼板挿入式ドリフトピン接合部における荷重-すべり特性の梁線材モデルによる近似解の検証 その2-，日本建築学会構造系論文集，第83巻，第744号，275-283，2018年2月

* 島根大学自然科学研究科
環境システム科学専攻 建築デザイン学コース

** 島根大学環境システム科学系
建築デザイン学コース・教授・博士(工学)

喜多家の耐震調査

耐震シミュレーション(wallstat)によるデモンストレーションについて

Meq

対象物の概要

所在地
石川県野々市市本町3丁目8番11号

歴史
江戸時代中期頃、越前の武士が野々市に移り、幕末から酒造業を行ったのが始まり。明治24年(1891)の野々市の大火により主要な建物を失ったため、金沢市内の商家を購入し、主屋として移築。併せて酒造業の一連の施設を整備し、昭和50年頃まで営業。

対象物選定の理由

本学研究室で土壁の実験中（金沢の土壁について）
➡ それらの実験結果を、喜多家の土壁に適用できる

メンバーの考え
➡ 本格的な木組みのデータを取り込み、調査したい

喜多家の特徴

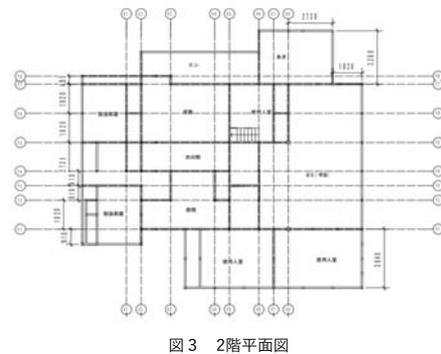
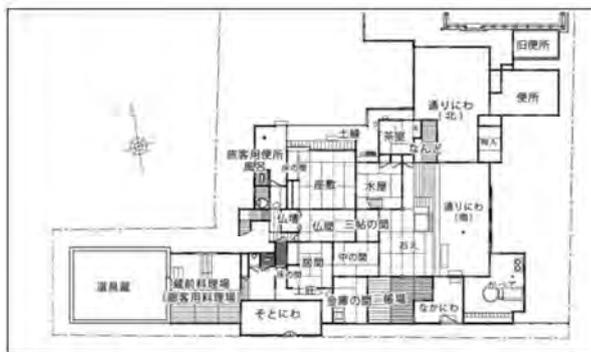
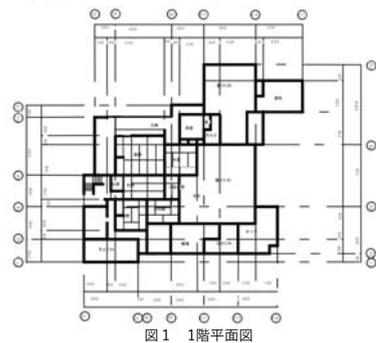




図4 2階平面図



図5 配置図兼1階平面図

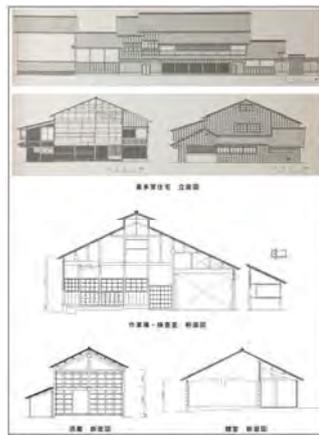


図6 平面上の重要文化財建物範囲

- ・土間沿いは前面に板敷の「みせ」
- ・奥に5間通しの広い「おえ」
- ・土間境は上がり框である
→広い空間を演出
- ・間口の大きな入り口・権入作業の足場
→酒蔵としての特徴を残す

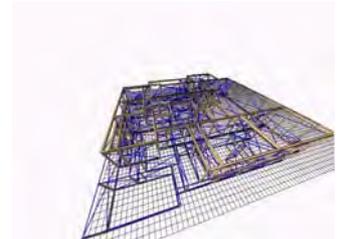
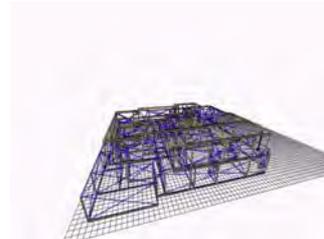


明治期の地方の小規模酒造業の原型を良く残している建物



本調査の現段階

対象物2階における梁から下の建物をモデル化(鉛直後面のみ考慮)



今後の課題

- ・吹き抜け部分の調査を行い正確なデータを入力
- ・より精密なデータの取得
- ・床構面を入力するため、正確な床伏図を作図する
→鉛直後面のみを考慮した調査を行ったため

参考文献

参照：石川県野々市市重要文化財喜多家住宅保存活用報告書
[<4D6963726F736F667420576F7264202D2030305F8AEC91BD89C68F5A91EE95DB91B68A8897708C7689E6208179955C8E86814596DA8E9F817A5F3231313032322E646F6378>](https://www.nonoichi.lg.jp/)
[\(nonoichi.lg.jp\)](https://www.nonoichi.lg.jp/)

大念佛寺の耐震性能評価

大野 綾子 柴口ほのか

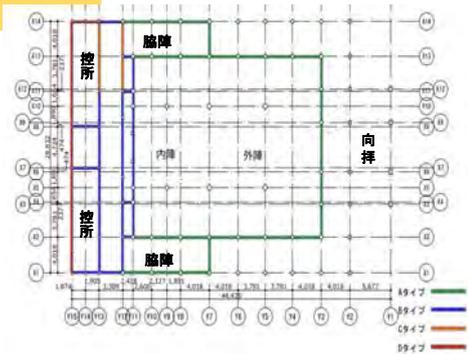
研究背景

近年東日本大震災に続き、熊本地震などの大きな地震が多発している。今後も大きな被害をもたらす地震が発生することが予想される。

命を守る ➡ 建物の耐震性

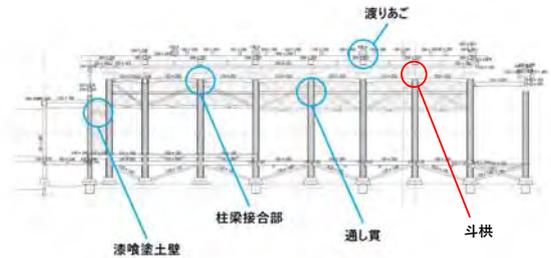
研究対象

大念佛寺本堂(大阪府)



主要な構造要素

- 渡りあご、通し貫、柱梁接合部、漆喰塗土壁がある
- 漆喰塗土壁は、内部構造の違いからA～Dタイプの4種類に分けられる



修正前



極稀地震 第2種地盤
X方向



品質工学を用いた木造住宅の実大振動台実験の再現解析 — 接合部設計法が異なる 2 棟の 3 階建て木造住宅 —

品質工学 データ同化 木造住宅
実大振動台実験 時刻歴応答解析

京都大学大学院 農学研究科
森林科学専攻 木質構造科学分野
博士課程 1 回生 難波宗功

1. はじめに

本研究では、実大振動台実験時の挙動を数値解析により再現する際に、品質工学を用いてパラメータを探索するデータ同化手法の開発を行っている。3 階建て木造住宅実大振動台実験を対象に倒壊挙動までの再現を試みた。本報では、データ同化の概要・結果について述べる。

2. 対象とする振動台実験及び解析モデル概要

対象とした実大振動台実験は国土交通省補助事業「三階建て木造軸組構法の設計法検証事業」の一環として実施したものである。試験体は 4 体あり、解析対象とする試験体 (図 1 (a)) はそのうち、試験体 1、2 であり、同じ平面・立面プランを有するが、接合部の設計が異なる。実大振動台実験においては、2 棟を並べて BSL90% → BSL160% の順で地震動が入力した。時刻歴応答解析には、京大生存圏研究所が公開している木造軸組構法住宅の耐震シミュレータの wallstat²⁾ を用いた。解析モデルを図 1 (b) に示す。軸材は梁要素とし、試験体に用いられた集成材の物性値を考慮してそれぞれ設定した。接合部は引張バネと回転バネを組み合わせ、壁はブレース置換によるバネ、筋かいには圧縮バネ及び引張バネによってモデル化した。各バネの骨格曲線は、同仕様の要素実験結果を元に作成し、解析モデルの重量は試験体と同一とした。

3. データ同化概要

JAXA の品質工学ツール JIANT³⁾ を用いて、解析モデルにおける入力パラメータを網羅的に組み合わせることにより、データ同化を試みた。まず、要素実験を模擬したパラメータを基準に補正係数を乗じ、様々な骨格曲線を作成する (1. 入力パラメータの作成)。それらのパラメータを解析モデルのバネの骨格曲線として設定し、複数の解析を実行する (2. 解析の実行)。複数の解析結果と実験を比較し、乗じた補正係数について分析することで (3. 解析結果と実験結果の比較)、補正係数の範囲を絞りこむ (4. 補正係数絞り込み)。このフローを複数回繰り返すことでデータ同化を試みた。なお、今回の検討では 3 回繰り返すことにより精度の良い結果を得ることができた。

3.1 入力パラメータの作成

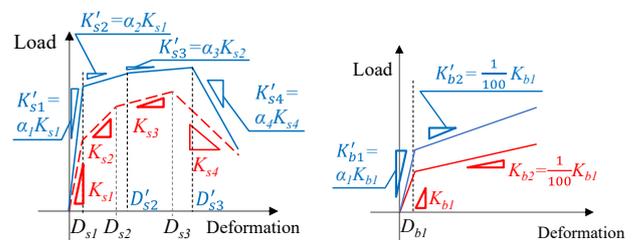
振動台実験結果を再現するパラメータ探索には JIANT を用いた。JIANT で骨格曲線のパラメータの特性値に変動を与え、複数の解析ケースを作成した。鉛直構面 (壁・

筋かい)、接合部 (引張・曲げ性能) についてのバネの入力パラメータに着目し、補正係数を乗じる。図 2 に示すように、補正係数を乗じて様々な鉛直構面のバイリニア+スリップ骨格曲線を設定した。スリップ型骨格曲線について、 K_{s1} K_{s2} K_{s3} とし、 K'_{s1} は要素実験を近似した骨格曲線の初期剛性 K_{s1} に 0.5 から 2.5 倍の補正係数 α_1 を乗じて定義し、 K'_{s2} 及び K'_{s3} については、それぞれその前の剛性に対する比として 0 より大きく 1 未満の補正係数 α_2 、 α_3 を前の剛性に乗じた。 D_{s3} にも補正係数を乗じたが、 D_{s1} は固定し、 D_{s2} は D_{s1} と D_{s3} の中央値とした。バイリニア型骨格曲線については、初期剛性 K'_{b1} は要素実験を模した骨格曲線の初期剛性 K_{b1} に補正係数を乗じ、 K'_{b2} はその 1/100 の値とした。

より多くのパラメータの組み合わせを探索するため JIANT を用いて 2 つの直交表を用いた。パラメータの組み合わせ作成には直交表 L121 を採用した。すべての組み合わせを検証するためには、 9.85×10^{24} ケースの解析を実行する必要があるが、2 つの直交表を用いることで、 $14641 (=121^2)$ ケースに集約される。試験体 1 は、実験で鉛直構面せん断変形が主体的であったため、鉛直構面のパラメータを主に変動させた。試験体 2 は、実験時に接合部の変形が主体的であったことから、接合部仕様ごとに引張バネの骨格曲線 (スリップ型) を変動させた。



(a) 試験体 (b) 解析モデル
図 1 試験体及び解析モデル



(a) スリップ (b) バイリニア

図 2 入力パラメータの作成

3.2 解析の実行

JIANT と wallstat を組み合わせた計算を実施した。JAXA のスーパーコンピュータ「JSS3」⁴⁾を使用して計算を実施することにより、計算の高速化を図った。本論の計算は一般的なパソコンを使うと 1 ケース 20 分程度かかる計算であり、各試験体で 14641 ケースの計算には約 600 日かかるが、JSS3 を用いた並列計算により 15 時間で計算が終了した。

3.3 解析結果と実験結果の比較

実大振動台実験で測定された層間変形、層せん断力、柱脚部の浮き上がりに注目し、下記に示す解析と実験結果の差に関する 4 種類の誤差指標を解析 1 ケース毎に算定した。

- ① 各層荷重変形関係グラフ上の点の距離の合計値
- ② 各層の層間変形
- ③ 各層の層せん断力
- ④ 1 層壁脚部の浮き上がり(14 か所)

以上、4 つの指標を BSL90%加振時、BSL160%加振時、別々に集計し、解析と実験結果の差を評価し、要因効果図を作成する。全ての指標は、絶対値が小さいほど解析結果と実験結果の差が小さいケースといえる。BSL90%加振時に層間変形の差が小さくなったケースは、1 層壁脚部の浮き上がり量、層せん断力の差も小さくなるという結果となった。一方で、BSL160 加振時には、壁のせん断変形、壁脚部の浮き上がりに加え、壁脚部が滑るケースがあり、層間変形としては実験結果に合っているが破壊過程が異なる場合があることが確認された。

3.4 補正係数絞り込み

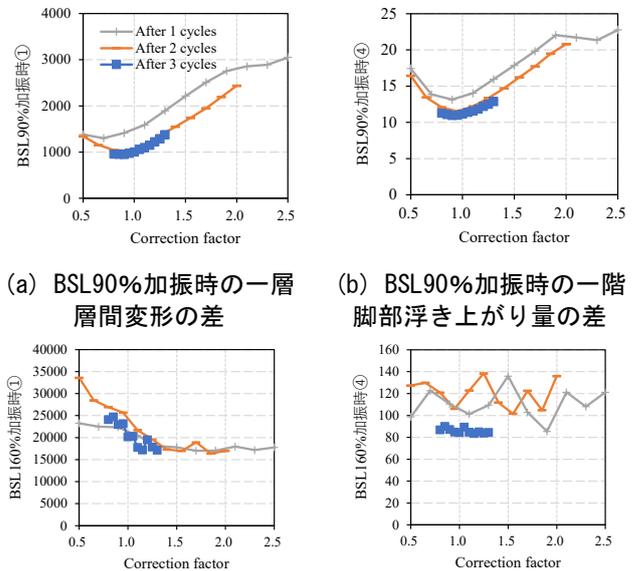
14641 ケースにおける誤差指標を算定し、品質工学の要因効果図（実験結果と解析結果の差を縦軸とし、補正係数を横軸とした図）を用いて解析結果の分析を行った。要因効果図の一例を図 3 に示す。縦軸はそれぞれの指標、横軸は Wall_{Ks1} に乗じた補正係数である。作成したパラメータの組み合わせにおいて、同じ補正係数を乗じたケースは複数存在するため、縦軸の値はその平均値とした（品質工学においては平均値を感度と呼称するため、本論においても感度と呼ぶこととする）。要因効果図の分析により、それぞれのパラメータにおいて実験結果と解析結果の差が小さくなる補正係数の範囲が明らかとなる。

1 巡目では網羅的にパラメータを探索するために、乗じる補正係数の範囲を広く設定し、パラメータを変動させていたが、2 巡目以降に補正係数を絞り込むことで、より実験結果に近いパラメータの組み合わせを探索することができた。例えば、図 3 (a)では補正係数 2.0~2.5 では 1 巡目の誤差指標の値が高いため、2 巡目では 0.5~2.0 の範囲に補正係数を絞ることとした。他のパラメータも同様に少しずつ補正係数の範囲を絞っていくことで、BSL90%及び BSL160%加振時どちらにおいても層間変形、壁脚部の浮き上がり量等の特性値で実験結果と解析結果の差が小さくなるパラメータを探索した。この手順を 3 回（絞り込みは 2 回）繰り返した。

込みは 2 回）繰り返した。

図 3 (a)~(b)に示す試験体 1 の BSL90%加振時の要因効果図はどちらも下に凸となる傾向があり、BSL90%加振時には、1S1 と 1UD については補正係数の絞り込む範囲が明確であった。筋かいや接合部等に関するパラメータについても同様の傾向であった。

BSL160%加振時には、図 3 (c)~(d)では下に凸となる傾向はみられなかった。BSL160%加振時には、解析で倒壊するケースが含まれるなど非線形性が高いため、範囲の絞り込みが困難であった。そこで、2 巡目、3 巡目においては、BSL160%加振時の Wall_{Ks1} の要因効果図については無視し、BSL90%時の要因効果図を基に補正係数範囲の絞り込みを行ったが、結果として、BSL90%及び BSL160%加振どちらにおいても接合部の浮き上がり量は実験結果に近づく結果となったことがわかる。



(a) BSL90%加振時の一層層間変形の差 (b) BSL90%加振時の一階脚部浮き上がり量の差
(c) BSL160%加振時の一層層間変形の差 (d) BSL160%加振時の一階脚部浮き上がり量の差
図 3 壁スリップ型骨格曲線初期剛性に関する誤差指標の要因効果図（試験体 1）

2. 再現解析結果

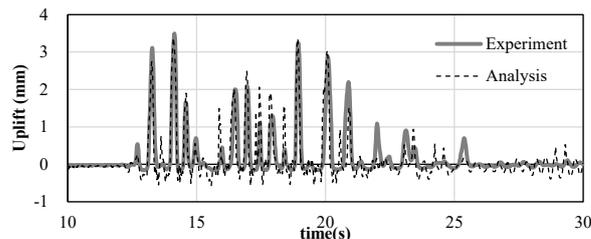
試験体 1 について、データ同化前後の解析結果を図 4 にそれぞれ示す。データ同化前においては、剛性がやや低く、最大耐力経過後の挙動が大きく異なる結果であったが、データ同化後には高い精度で実験結果を再現できる結果が得られた。図 5 には、試験体 2 についてのデータ同化前後の解析結果を示す。実験、解析ともに、一階脚部が引き抜けるが、それ以降は解析結果の変形が大きくなった。試験体の解析モデルの入力パラメータのみに着目してデータ同化を試みたが、試験体 2 については引き抜け後の挙動について、摩擦係数といった外部条件が大きく関与していると考えられ、より精度よく挙動を再現するためには、外部条件のパラメータについても変動させ

る必要があると考えられる。

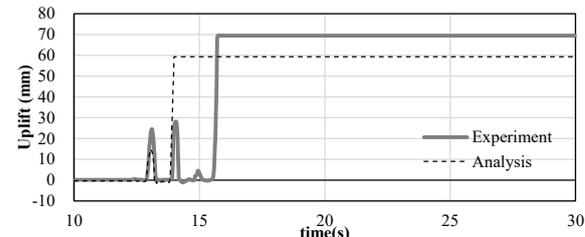
図6には、試験体2について、1階柱脚側面に設置した変位計により計測した鉛直方向の変位時刻歴を示す。BSL90%加振時において、要素実験を元に設定したパラメータを用いた解析では接合部引き抜け量は5.61mmであったが、実験時には最大3.49mm、再現解析では最大3.38mmの浮き上がり量であった。BSL160%加振時に生じる柱脚部の引き抜けは13秒付近までは再現できているが、柱脚の引張ばねが喪失した15秒以降は前述の通り再現できていない。

図7には、BSL160%加振時の実大振動台実験時の映像とデータ同化前後の画像を示す。実大振動台実験では、試験体1では柱脚が抜けない代わりに壁に損傷が集中して1層の層崩壊により建物が倒壊し、試験体2において柱脚接合部がほぼ全て引き抜けて、建物全体が横に滑る結果となった。一方で、データ同化前の解析においては、試験体1と2の両試験体が倒壊したが、データ同化後には実験時と同様の倒壊挙動を示した。

図8には、実験における1層層間変形を縦軸、解析における1層層間変形を横軸に0.01秒ごとにプロットしたものであり、プロットした点の傾きが1.0に近いほど解析結果と実験結果は近い。データ同化前に比べると、データ同化後の再現解析のプロット点の傾きは1.0に近く、解析と実験が近くなったことが分かる。特に、BSL160%加振時には、同化前には倒壊する方向が逆であったため、プロット点が傾き1の直線から大きく外れていたが、同化後には同じ方向に倒れる結果が得られたため、傾き1の直線に近づく結果となった。



(a) BSL90%加振時



(b) BSL160%加振時

図6 柱脚接合部浮き上がり量 (試験体2)



(a) 実大振動台実験



(b) データ同化前

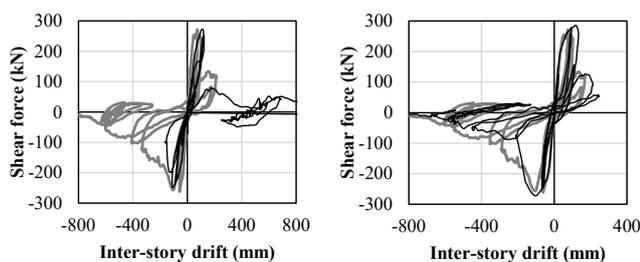


Step 1

Step 2

(c) データ同化後

図7 実験及び解析結果の比較

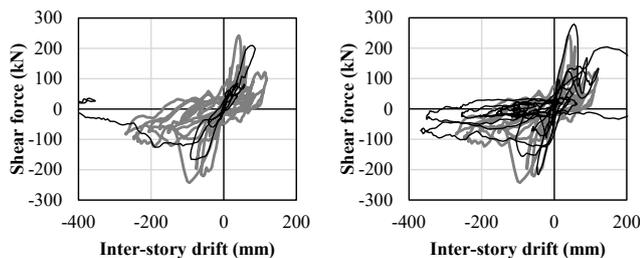


(a) データ同化前

(b) データ同化後

図4 データ同化前後の1層荷重変形関係

(試験体1, BSL160%)

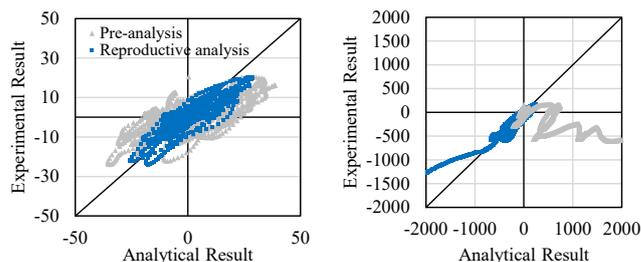


(a) データ同化前

(b) データ同化後

図5 データ同化前後の1層荷重変形関係

(試験体2, BSL160%)



(a) BSL90%

(b) BSL160%

図8 データ同化前後の実験結果との比較 (試験体1)

3. 得られたパラメータ

試験体1の再現解析では主に実験時に大きく変形した鉛直構面（壁・筋かい）のパラメータについて補正係数を乗じて変動させた。試験体1のデータ同化のフロー3 巡目において、14,641 ケース中、BSL160%加振時における1層の層間変形と層せん断力の解析結果と実験結果の差が最も小さい上位5位の壁及び筋かいのパラメータを図9に示す。(a)に示す引張筋かいについては、データ同化後のパラメータは、データ同化前と比較して、耐力・剛性ともにやや高い傾向となった。文献4)では、単体壁試験と実大建物実験において、同じ仕様においても実大建物実験時にせん断耐力が大きくなることを確認しており、今回の傾向と一致している。実大建物では、鉛直荷重が作用し、軸組の仕口部は大きく変形せず耐力壁のせん断抵抗が有効に働くが、要素実験では仕口が大きく変形してしまうことが、こうした性能差の一因として挙げられており、今回の結果も同じ要因が考えられる。(b)に示す外壁の圧縮筋かいについて、耐力・剛性ともにやや高く、変形性能も高いパラメータが得られた。壁については、(c)の石膏ボードについて、剛性はほぼ同等であるが、最大耐力及び最大耐力時の変形量がやや大きく、最大荷重経験後の負勾配はデータ同化前に比べて急な勾配であるパラメータが得られた。最大耐力経験後の負勾配は材料としてのばらつきによるものと考えられるが、最大荷重経験前の特性値と比較するとデータ同化前の性能に近いパラメータとなった。(d)に示すサイディングボードについては、剛性、最大耐力及び最大耐力時の変形量がやや大きく、最大荷重経験後の負勾配はデータ同化前に比べてやや急な勾配となった。

試験体2のデータ同化後の接合部の入力パラメータを図10に示す。要素実験を元に設定したパラメータに比べ剛性はほぼ同じで、耐力がやや高い結果となった。文献5)では、鋼材にかかる荷重によるひずみ速度が大きくなると、その強度が増すことが実験的に確認されている。したがって、要素実験では静的加力であったが、実大振動台実験時には動的加力となることにより、金物にかかるひずみ速度が大きくなり、耐力が増加したことが要因として考えられる。また、短ほぞについては、全体的にデータ同化前よりデータ同化後の特性値が低い結果となった。短ほぞの場合、接合部には金物等はないため、引き抜け挙動時の性能予測が難しいと考えられ、この点は今後の検討課題である。今回の検討では、要素の種別ごとにその入力パラメータに補正係数を乗じて変動させた。文献6)では、同じ仕様の木造壁でもかなり性能がばらつくことが確認されており、塑性後の挙動はとくにばらつきが大きく、今回のような倒壊挙動をさらに精度よく再現するためには、解析モデルにおいて場所ごと、部材ごとの多くのパラメータを変動させる必要性も考えられる。

4. まとめ

本研究では、2棟の3階建て木造住宅の振動台実験を対象に、品質工学を用いたデータ同化手法の妥当性を検証し、再現解析としての有効性が確認された。

謝辞

本研究は京都大学・大阪工業大学・奈良女子大学・JAXAによる共同研究「品質工学を用いた木造住宅倒壊解析シミュレーションのデータ同化手法の検討」の一環として実施しました。また、数値解析の実施においては、宇宙航空研究開発機構スーパーコンピュータシステム「JSS3」を利用しました。本研究で対象とした実大振動台実験は国土交通省補助事業「三階建て木造軸組構法の設計法検証事業」の一環として実施しました。

参考文献

- 河合直人, 榎本敬大他: 木造3階建て軸組構法住宅の設計法と震動台実験 その1~14, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 III, pp.229-254, 2010.7
- 中川貴文: 大地震動時における木造軸組構法住宅の倒壊解析手法の開発, 建築研究資料, 第128号 (2010)
- JAXA: "JIANT", (<https://www.jss.jaxa.jp/>), (参照 2021.01.04)
- JAXA: "JSS3" (<https://www.jss.jaxa.jp/>), (参照 2021.01.04)
- 日本建築学会編: 木質系耐力壁形式構造に関する Q&A, 丸善, pp.63-68, 2011
- 島田侑子, 山田哲: 高速繰返し載荷実験に基づく歪速度による鋼材の応力上昇モデル, 日本建築学会構造系論文集, No.695, pp.153-161, 2014.1
- 松田昌洋, 五十田博, 金子洋文, 角田功太郎, 荒木康弘, 中川貴文: 同一の仕様や壁量で構成される木造耐力壁の地震時応答変位のばらつき, 日本建築学会構造系論文集, No.785, pp.1074-1083, 2021-07

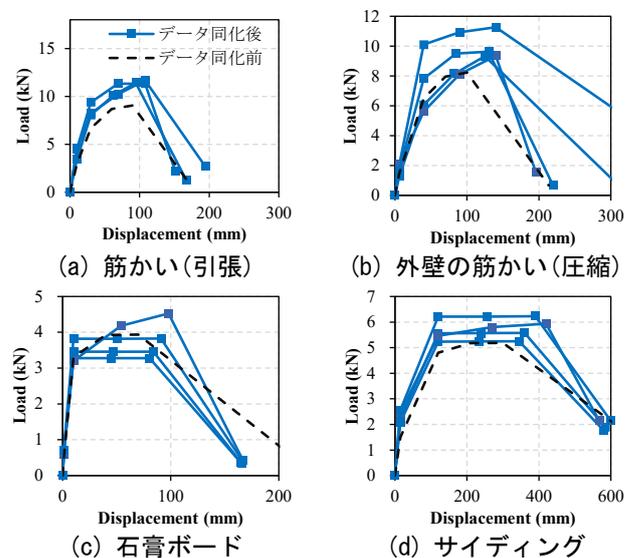


図9 鉛直構面パラメータ

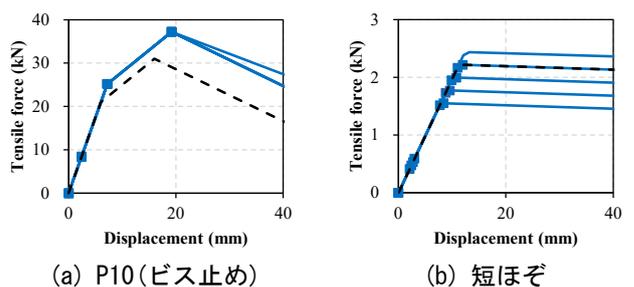


図10 接合部引張性能パラメータ

在来軸組工法における ロッキング挙動の動的解析

○角田 功太郎 奈良女子大
中川 貴文 京都大 生存研
五十田 博 京都大 生存研

ロッキング挙動 地震時の損傷低減に向けた検討

CLTロッキング壁の例

既往研究
S造やCLT構造など、壁や建物全体をロッキングさせて応答低減を図る
→ 軸組工法に関するものではない

本研究
既報：振動台実験による地震時応答の検証
本報：解析モデルの構築、精度の検証

はじめに

振動台実験の概要

柱脚を固定するが固定しないかの違い

試験体		
	1-1	1-2
柱脚接合	金物なし	HD15kN
耐力壁	構造用合板 (X方向:4P)	
重量	43.43 kN (地震力算定用)	
C _g	0.41	

試験体概要

- 在来軸組工法による試験体 (本報では2体を対象)
- X方向: BSL50%→BSL100%→JMA神戸100%を入力

実験結果

- 柱脚の違いによって両者の応答は異なる
- 損傷・破壊の様子も異なる

実験

解析モデルの概要

個別要素法による立体解析モデル

立体解析モデル wallstap

質点系・有限要素法モデルでは浮き上がり・ロッキング挙動が追えない
→ 個別要素法3次元モデルによる挙動追跡

個別要素法: 接触・非接触の追跡

接合部の破壊→柱の浮き上がり→柱の地面への着地を考慮した構造全体の応答予測モデル

解析

解析モデルの概要

個別要素法による立体解析モデル

耐力壁と接合部のモデル化

実験結果によると、せん断抵抗要素 (耐力壁) の性能はほぼ同じ
→ 柱脚接合方法で応答に差が生じる

接合部の性能

引張接合部の性能 (引張バネの荷重変位関係) をパラメータとして時刻歴応答解析を実施
→ 接合部の性能で全体の応答の差が表現可能か?

解析

実験と解析の比較

BSL波100%に対する応答

柱脚の浮き上がり量

結果・まとめ

- 異なる柱脚接合を有する在来軸組工法試験体に対して振動台実験を実施した
- この実験結果に基づき、柱脚の浮き上がりそれに伴うロッキング挙動を再現できる解析モデルについて検討した
- 柱脚の荷重変位関係をパラメータとして各試験体の動的挙動が再現可能であることを確認した

結果・まとめ



wallstatカンファレンス2022

wallstatとの出会いと ロバストデータ同化に向けた取り組み

2022年9月12日
宇宙航空研究開発機構
安全・信頼性推進部
角 有司
飯山 洋一

wallstatとの出会い

壁紙建設
筑波大学
建築研究所
RISH
東北工業大学
筑波大学
土木研究所
防災科Defence
川手樹

アジェンダ

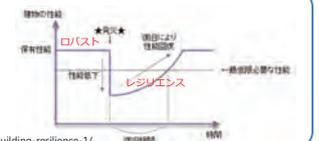
- ロバスト設計（品質工学）とは何か
 - 特に実験計画法(直交表)だけでも、ご理解いただきたい。
- 共同研究の成果のご紹介（2件）
 - ①ロバスト設計
 - ・ 多様な地震波に対するロバストな木造建築の耐震設計手法の研究
 - ②データ同化
 - ・ 品質工学を利用したデータ同化手法の検討と木造住宅倒壊シミュレーションへの適用
 - ③今後の課題：ロバストデータ同化とは

ロバスト設計とは

- 「ロバスト」(robust)とは「強健(きょうけん)な、がっしりした」との意味を持つ形容詞である。
- エンジニアリングの世界において、「ロバスト性」(robustness)という用語は、「頑強性」、「頑健性」という類語と同様に、「ある系がストレスや環境の変化といった外部から系に入ってくるさまざまなノイズや劣化など内部要素の変化などの影響によって出力が変化することを阻止する内的な仕組み、または性質」を指す言葉として用いられる。
- 「ロバスト性」を持たせる設計を「ロバスト設計」といい、「ロバスト性」を最適化することを「ロバスト最適化」という。

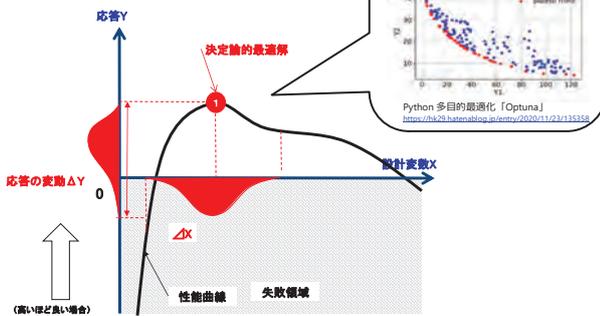
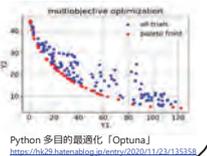
参考:

- 「レジリエンス」(resilience)は、一般的に「復元力、回復力、弾力」などと訳される言葉。
- 近年は特に「困難な状況にもかかわらず、しなやかに適応して生き延びる力」という心理学的な意味で使われるケースが増えています。

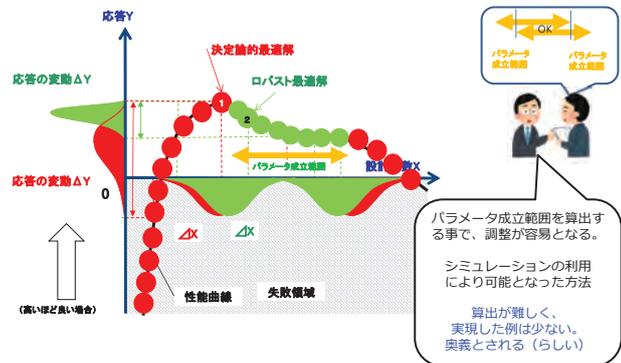


ロバスト最適化の概念

参考:
多目的最適化の(パレート)解は
決定論的最適解の集合なので、
注意が必要です。



ロバスト最適化の概念



品質工学とは

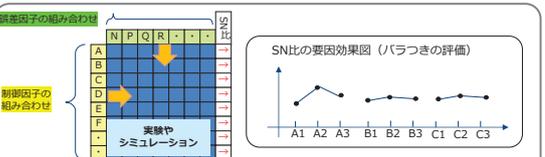
- (1) 製造のばらつき、運用のばらつき、等に対して耐性を持つ製品設計を行う方法論。
- (2) 田口玄一氏によって考案され、1980年代に米国の自動車産業で流行し、日本の自動車・電機業界などが逆輸入して広まった。現在も品質工学会を中心に19の地方研究会で活動中。
- (3) 2つの特徴:



品質工学
田口玄一
(タグチメソッドの創始者)

- ①【制御因子(設計者が制御できるパラメータ)】だけでなく【誤差因子(制御できないパラメータ)】を意識的に定義する点。
 - ② 実験計画法(直交表)により網羅的な計算を少ない回数で行う点。
- (4)課題:
・ 用語や使い方が難解。

直交法の例:
L18(2¹×3³×7)直交表



特徴①：直交表の利用

- 日本の製造業では、3水準系、2、3水準系が広く用いられる

L9(3 ⁴)直交表	L18(2 ¹ ×3 ³ ×7)直交表	L36(2 ¹ ×11×3 ⁴ ×12)直交表																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
<table border="1"> <tr><th></th><th>A</th><th>B</th><th>C</th><th>D</th></tr> <tr><th>実験1</th><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><th>実験2</th><td>1</td><td>2</td><td>2</td><td>2</td></tr> <tr><th>実験3</th><td>1</td><td>3</td><td>3</td><td>3</td></tr> <tr><th>実験4</th><td>2</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr> <tr><th>実験5</th><td>2</td><td>2</td><td>3</td><td>1</td></tr> <tr><th>実験6</th><td>2</td><td>3</td><td>1</td><td>2</td></tr> <tr><th>実験7</th><td>3</td><td>1</td><td>3</td><td>2</td></tr> <tr><th>実験8</th><td>3</td><td>2</td><td>1</td><td>3</td></tr> <tr><th>実験9</th><td>3</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td></tr> </table>		A	B	C	D	実験1	1	1	1	1	実験2	1	2	2	2	実験3	1	3	3	3	実験4	2	1	2	3	実験5	2	2	3	1	実験6	2	3	1	2	実験7	3	1	3	2	実験8	3	2	1	3	実験9	3	3	2	1	<table border="1"> <tr><th></th><th>A</th><th>B</th><th>C</th><th>D</th><th>E</th><th>F</th><th>G</th><th>H</th><th>I</th><th>J</th><th>K</th><th>L</th><th>M</th><th>N</th><th>O</th><th>P</th><th>Q</th><th>R</th><th>S</th><th>T</th><th>U</th><th>V</th><th>W</th><th>X</th><th>Y</th><th>Z</th></tr> <tr><th>実験1</th><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><th>実験2</th><td>1</td><td>2</td><td>2</td><td>2</td><td>2</td><td>2</td><td>2</td><td>2</td><td>2</td><td>2</td><td>2</td><td>2</td><td>2</td><td>2</td><td>2</td><td>2</td><td>2</td><td>2</td><td>2</td><td>2</td><td>2</td><td>2</td><td>2</td><td>2</td><td>2</td><td>2</td></tr> <tr><th>実験3</th><td>1</td><td>3</td><td>3</td><td>3</td><td>3</td><td>3</td><td>3</td><td>3</td><td>3</td><td>3</td><td>3</td><td>3</td><td>3</td><td>3</td><td>3</td><td>3</td><td>3</td><td>3</td><td>3</td><td>3</td><td>3</td><td>3</td><td>3</td><td>3</td><td>3</td><td>3</td></tr> <tr><th>実験4</th><td>2</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>1</td></tr> <tr><th>実験5</th><td>2</td><td>2</td><td>3</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>1</td><td>2</td></tr> <tr><th>実験6</th><td>2</td><td>3</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr> <tr><th>実験7</th><td>3</td><td>1</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td></tr> <tr><th>実験8</th><td>3</td><td>2</td><td>1</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td><td>3</td><td>2</td></tr> <tr><th>実験9</th><td>3</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td><td>3</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td><td>3</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td><td>3</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td><td>3</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td><td>3</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td><td>3</td><td>3</td></tr> </table>		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	実験1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	実験2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	実験3	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	実験4	2	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	実験5	2	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	実験6	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	実験7	3	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	実験8	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	実験9	3	3	2	1	3	3	2	1	3	3	2	1	3	3	2	1	3	3	2	1	3	3	2	1	3	3	<table border="1"> <tr><th></th><th>A</th><th>B</th><th>C</th><th>D</th><th>E</th><th>F</th><th>G</th><th>H</th><th>I</th><th>J</th><th>K</th><th>L</th><th>M</th><th>N</th><th>O</th><th>P</th><th>Q</th><th>R</th><th>S</th><th>T</th><th>U</th><th>V</th><th>W</th><th>X</th><th>Y</th><th>Z</th></tr> <tr><th>実験1</th><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><th>実験2</th><td>1</td><td>2</td><td>2</td><td>2</td><td>2</td><td>2</td><td>2</td><td>2</td><td>2</td><td>2</td><td>2</td><td>2</td><td>2</td><td>2</td><td>2</td><td>2</td><td>2</td><td>2</td><td>2</td><td>2</td><td>2</td><td>2</td><td>2</td><td>2</td><td>2</td><td>2</td></tr> <tr><th>実験3</th><td>1</td><td>3</td><td>3</td><td>3</td><td>3</td><td>3</td><td>3</td><td>3</td><td>3</td><td>3</td><td>3</td><td>3</td><td>3</td><td>3</td><td>3</td><td>3</td><td>3</td><td>3</td><td>3</td><td>3</td><td>3</td><td>3</td><td>3</td><td>3</td><td>3</td><td>3</td></tr> <tr><th>実験4</th><td>2</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>1</td></tr> <tr><th>実験5</th><td>2</td><td>2</td><td>3</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>1</td><td>2</td></tr> <tr><th>実験6</th><td>2</td><td>3</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr> <tr><th>実験7</th><td>3</td><td>1</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td></tr> <tr><th>実験8</th><td>3</td><td>2</td><td>1</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td><td>3</td><td>2</td></tr> <tr><th>実験9</th><td>3</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td><td>3</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td><td>3</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td><td>3</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td><td>3</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td><td>3</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td><td>3</td><td>3</td></tr> </table>		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	実験1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	実験2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	実験3	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	実験4	2	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	実験5	2	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	実験6	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	実験7	3	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	実験8	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	実験9	3	3	2	1	3	3	2	1	3	3	2	1	3	3	2	1	3	3	2	1	3	3	2	1	3	3
	A	B	C	D																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
実験1	1	1	1	1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
実験2	1	2	2	2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
実験3	1	3	3	3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
実験4	2	1	2	3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
実験5	2	2	3	1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
実験6	2	3	1	2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
実験7	3	1	3	2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
実験8	3	2	1	3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
実験9	3	3	2	1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
実験1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
実験2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
実験3	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
実験4	2	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
実験5	2	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
実験6	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
実験7	3	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
実験8	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
実験9	3	3	2	1	3	3	2	1	3	3	2	1	3	3	2	1	3	3	2	1	3	3	2	1	3	3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
実験1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
実験2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
実験3	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
実験4	2	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
実験5	2	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
実験6	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
実験7	3	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
実験8	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
実験9	3	3	2	1	3	3	2	1	3	3	2	1	3	3	2	1	3	3	2	1	3	3	2	1	3	3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						

- 近年では、シミュレーションが広まるにつれて、多水準直交表(5、7、9、11水準)などが利用される場合がある。
- また直交表と同様なものに、ラテン超立方格法(Latin Hypercube Sampling; LHS)がある。

実験計画法の事例



紙ヘリコプタ実験

	パラメータ	最小値	最大値
A	羽長さ(mm)	50	90
B	羽幅(mm)	10	30
C	おもり長さ(mm)	50	90
D	おもり位置(個)	1	3

	A	B	C	D
実験1	50	20	70	1
実験2	60	20	70	1
実験3	90	20	70	1
実験4	80	10	50	1
実験5	80	20	70	1
実験6	50	30	50	1
実験7	10	30	50	1
実験8	90	20	70	1
実験9	90	30	50	1

おもりが軽い方がゆっくり飛ぶのでは？

高速でクルクル回る方が耐久時間が長い

ゆっくりふわっと回る方が耐久時間が長いかもしれない

全部やったら大変だターゲットを絞ろう

羽長さが長いもの(80mm,90mm)、おもりは1個を重点的に攻めよう

wallstatカンファレンス2022

実験計画法の事例



実験計画法 (L9直交表)

	A	B	C	D
実験1	50	10	50	1
実験2	50	20	70	2
実験3	50	30	90	2
実験4	70	10	70	2
実験5	70	20	90	1
実験6	70	30	50	2
実験7	90	10	90	2
実験8	90	20	50	2
実験9	90	30	70	1

wallstatカンファレンス2022

飛行時間が長い

感度とバラつきを評価

実験計画法の「すべての組み合わせが回数回られる」が効果を発揮

バラつきが少ない安定する

正解は⇒

パラメータ	最適値	
A	羽長さ(mm)	50
B	羽幅(mm)	20
C	おもり長さ(mm)	70
D	おもり位置(個)	1

NO.5, NO.9が成績が良かったが

最適解はこれ(実験していないものが見つかる)

実験計画法の特長:

- 少ない実験回数で比較的良好な最適解を見つけることが可能。
- 感度情報(設計のコツ)が分かる

特徴②: 誤差因子(ノイズ因子)とは



設計者が扱う事ができない因子(パラメータ)

決定論的最適解

設計変数X

応答の変動ΔY

性能曲線

失敗領域

材料のバラつき

製造のバラつき

使用方のバラつき

環境のバラつき

不具合の未然防止

広い視野で設計できるようにする(タコツボ化解消)

wallstatカンファレンス2022

JAXAにおける品質工学の取り組み



- JAXA安全・信頼性推進部では、平成9年より、品質工学(タグチメソッド)の導入に着手。品質工学の社内研修を中心に進めてきた。
- 2015年より、品質工学の考えを改良し、CAEツール(シミュレーションツール)と連携して利用可能な品質工学ツール(JIANT)を開発した。共同研究相手先などに、無償配布を開始。
- 2018年より、京都大学生存圏研究所、奈良女子大との共同研究をスタート。「木質構造の耐震性能検証におけるロバスト設計法の開発」
- 2022年からは、大阪工業大学が参加して「木造住宅倒壊解析シミュレーションのロバストデータ同化手法の検討」を実施中。

誤差因子(ノイズ因子)

直交表を使う

CAEツール

結果

JIANT: JAXA Integrator for ANalysis Tools

工夫: パラメータ成立範囲が出せる

wallstatカンファレンス2022

【一般】



第27回 品質工学研究発表大会

多様な地震波に対するロバストな木造建築の耐震設計手法の研究

品質工学
木造建築耐震設計
スパコンの出会い

2019年6月28日
○16742 角 有司 宇宙航空研究開発機構
中川貴文 京大大学生存圏研究所

木造建築耐震設計の適用事例



日本は地震大国と言われる事もあり、近年においても、地震による被害が発生している。耐震性能が低い木造建築は甚大な被害を受けていることから、耐震性能の向上が課題となっている。



写真(熊本地震): フォトビータの地震動記録カメラ
<http://www.citba.co.jp/awc/odota-hlog/column/3027.html>

- 木造建築**: 基本的に一品生産モノ設計の自由度が高く、使われ方も様々である。耐震補強を誤ると、応力集中により強度が低下する場合がある。
- 地震動**: 周波数特性・大きさが全て異なる。将来発生する地震の発生時刻・場所が極めて困難。
- 耐震問題は**共振問題**であり、過去の結果があまり参考にならない。

wallstatカンファレンス2022

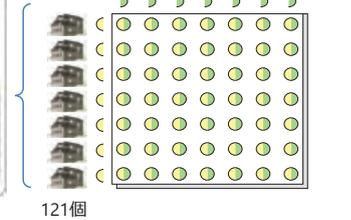
- 京都大学生存圏研究所 中川貴文准教授が開発した、**木造軸組構法住宅の耐震シミュレーションツール**。
 - パソコン上で木造住宅の解析モデルに振動台実験のように地震動を与える
 - 損傷倒壊過程をアニメーションで「見える化」できる



【誤差因子(地震波)】: L49直交表
総当たり計算では $7^3=343$ (回)を49回の計算で代替

No.	パラメータ名 (単位)	水準1	水準2	水準3	水準4	水準5	水準6	水準7
1	地震波振幅 (倍)	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95	1.00
2	地震波方向 (度)	0.0	30.0	60.0	90.0	120.0	150.0	180.0
3	地震波周波数 (Hz)	70.0	75.0	80.0	85.0	90.0	95.0	100.0

【制御因子(木造建築)】: L121直交表
総当たり計算では $11^4=1771$ (回)を121回の計算で代替



総当たり計算($1771 \times 343 = \text{約}6\text{億}(回)$)に比較し
 $121 \times 49 = \text{約}6\text{億}(回)$ の計算で実施 (約10万分の1の計算量)

【制御因子】
121種類の建物

【誤差因子】
49種類の地震波

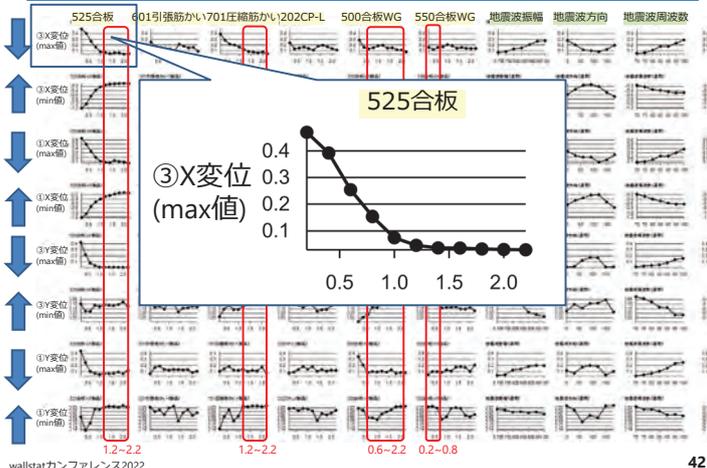
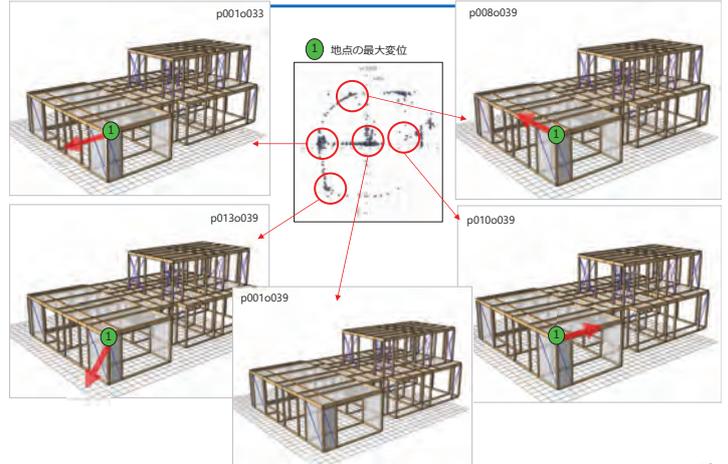
121x49 = 5929回の計算
スパコンによる wallstatの実行

①一般的なPCの場合

- 1回の計算で約40分程度かかる。
- 5929回の計算は約4,000時間(約160日)の計算量。

②スパコンの場合

- 全ての計算を約1日で完了 (160分の1に削減)



1回目

No.	パラメータ名 (単位)	水準1	水準2	水準3	水準4	水準5	水準6	水準7
1	525合板W (倍)	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00	1.20	1.40
2	601引張筋かい (倍)	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00	1.20	1.40
3	701圧縮筋かい (倍)	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00	1.20	1.40
4	202CP-L (倍)	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00	1.20	1.40
5	500合板W (倍)	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00	1.20	1.40
6	550合板W (倍)	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80

絞込み

2回目

No.	パラメータ名 (単位)	水準1	水準2	水準3	水準4	水準5	水準6	水準7
1	地震波振幅 (倍)	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95	1.00
2	地震波方向 (度)	0.0	30.0	60.0	90.0	120.0	150.0	180.0
3	地震波周波数 (Hz)	70.0	75.0	80.0	85.0	90.0	95.0	100.0

同じ定義

(注: 一回り小さいL49に変更して計算回数削減
理由: 要因効果図が比較的滑らかであったため)

2回目の計算はL49xL49=2401 (回) の計算を実施。

①大地震(500年に一度)で倒壊しない (制約: 層間変位1/30rad(0.0933m)以下)

【誤差因子】

No.	パラメータ名 (単位)	水準1	水準2	水準3	水準4	水準5	水準6	水準7
1	地震波振幅 (倍)	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95	1.00
2	地震波方向 (度)	0	30	60	90	120	150	180
3	地震波周波数 (Hz)	70	75	80	85	90	95	100

【制御因子】

No.	パラメータ名 (単位)	水準1	水準2	水準3	水準4	水準5	水準6	水準7
1	525合板W (倍)	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00	1.20	1.37
2	601引張筋かい (倍)	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00	1.20	1.40
3	701圧縮筋かい (倍)	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00	1.20	1.40
4	202CP-L (倍)	0.20	0.40	0.53	0.60	0.80	1.00	1.20
5	500合板W (倍)	0.20	0.40	0.60	0.76	0.80	0.87	1.00
6	550合板W (倍)	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80

②中地震(50年に一度)で変形しない (制約: 層間変位1/120rad(0.2332m)以下)

【誤差因子】

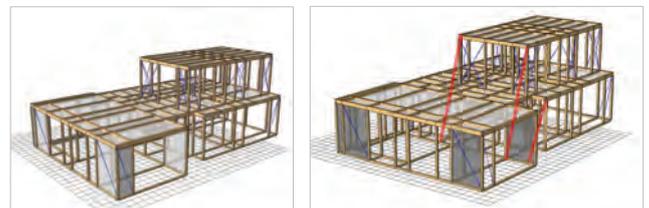
No.	パラメータ名 (単位)	水準1	水準2	水準3	水準4	水準5	水準6	水準7
1	地震波振幅 (倍)	0.14	0.15	0.16	0.17	0.18	0.19	0.20
2	地震波方向 (度)	0	30	60	90	120	150	180
3	地震波周波数 (Hz)	70	75	80	85	90	95	100

振幅20%

【制御因子】

No.	パラメータ名 (単位)	水準1	水準2	水準3	水準4	水準5	水準6	水準7
1	525合板W (倍)	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00	1.20	1.37
2	601引張筋かい (倍)	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00	1.20	1.40
3	701圧縮筋かい (倍)	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00	1.20	1.40
4	202CP-L (倍)	0.20	0.40	0.53	0.60	0.80	1.00	1.20
5	500合板W (倍)	0.20	0.40	0.60	0.76	0.80	0.87	1.00
6	550合板W (倍)	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80

- 2層目部分が補強区域に倒れ込んでいるケースが散見された。
- 補強区画を強化するだけでは本倒壊を防止できない可能性があり、**新たな支持材の追加**等が有効である可能性がある。



- 統計的手法 (品質工学、等) と可視化技術との併用が有効

耐震等級3の木造住宅の構造安全性に対する

腐朽・蟻害による劣化の影響

株式会社コシプレザービング

○宇佐美 佳那

同上

川田 達郎

同上

前田 恵史

同上

久保 友治

1. 背景と目的

腐朽・蟻害を受けた木造住宅は耐震性能が低下する可能性があるが、実際の腐朽・蟻害の状況を反映して倒壊解析を行った例は少なく、データの蓄積が必要と考える。株式会社コシプレザービングは腐朽・蟻害の実態を把握するため、住宅を解体する前の事前調査（以降、解体前調査とする）を71棟（2022年8月現在）にて実施した。解体前調査結果の分析によって得られた生物劣化傾向を反映させ、木造住宅解析ソフト wallstat で地震応答解析を実施することで、実際に腐朽・蟻害にあった物件が地震にあった場合にどのような影響があるかを検討している。

今回は、例えば、耐震等級3の木造住宅において生物劣化が生じた場合について、本解体前調査の取り組みで得られた生物劣化の様子を組み込んで解析した結果を報告し、取り組みの一端を紹介する。

2. 解析条件

ごく一般的な間取りを想定した、許容応力度計算での耐震等級3の2階建ての物件を対象とし、6.37×8.645mの平面とした。耐力要素としては、筋かいと石膏ボード系の面材耐力壁を使用し、生物劣化は下記に示す耐力低下のモデル化が進んでいる筋かい耐力壁のみ発生するとした。要するに、石膏ボードは生物劣化しないと想定し、面材耐力壁に劣化は反映させていない。

劣化度合いに併せた耐力低下は、文献を参考に定めた^{1,2)}。劣化度は健全、劣化度1～3の4段階で提案されており、例えば劣化度3は部材の取り換えが必要な劣化度合いを想定している。劣化した耐力要素のパラメータは、健全状態の耐力要素の荷重値に劣化度に応じた低減係数^{3,4)}をかけ合わせることで作成した。図1に例として引張筋かいの荷重変形関係を示す。

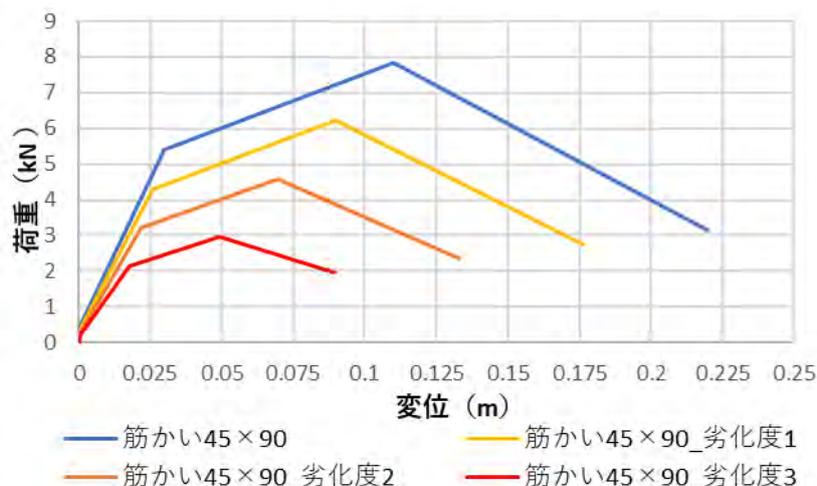


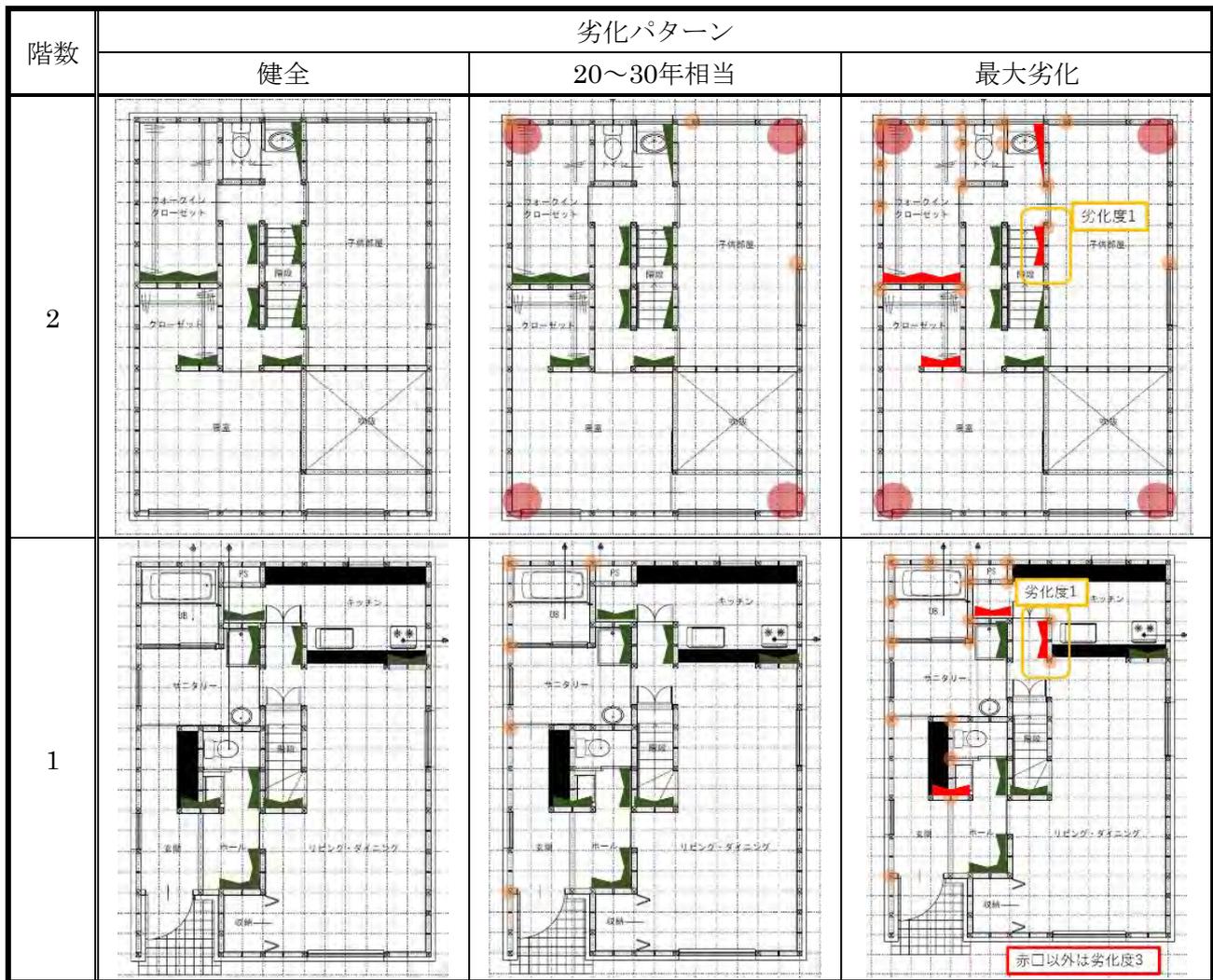
図1. 劣化を考慮した引張筋かいの荷重変形関係^{1,2,3,4)}

劣化条件は表1に示す3パターンとした。下記に劣化条件のそれぞれでの劣化状況を示す。

- ・健全 : 劣化が全くない状態。
- ・20～30年相当 : 築20～30年程度の物件での解体前調査結果⁵⁾ ⁶⁾ を参考に、水回り付近の柱脚、2階の開口部の柱脚・柱頭、野地板の隅部分が劣化度3まで劣化したと想定。
- ・最大劣化 : 劣化の著しい物件群の解体前調査結果⁵⁾ ⁶⁾ を参考に、水回り付近の柱脚・柱頭、筋交い端部、1階水回り付近の真上の2階の柱脚柱頭、2階の開口部の柱脚柱頭、野地板の隅部分が劣化度3まで劣化した状態と想定。ただし、キッチン周りにはわずかな劣化が見られることが多いため一部の筋交いは劣化度1とした。

入力地震波はJMA神戸波 (X方向にNS、Y方向にEW) とし、各劣化状況について3回連続で入力した。なお、載積重量は0.6kN/m²とした。

表1. 劣化パターン



凡例	内容
	健全な片筋交い
	健全な両筋交い
	表層30mm以上劣化した片筋交い
	表層30mm以上劣化した両筋交い
	表層30mm以上劣化した柱脚・柱頭
	隅部から30cm以上劣化した野地板

2.1 解析結果

解析終了後の解析モデルの様子を表2に示す。壁の変色はwallstatのデフォルトの設定を使用しており、灰色→黄色→橙色→赤色の順で変形が進んでいることを示している。

加振1回目は健全と20～30年相当はほとんど同じ箇所が黄色になった。最大劣化は1階の全面が黄色になった。

加振2回目は健全の南面1階がオレンジ色に、それに加えて20～30年相当と最大劣化は西面も1階がオレンジ色、2階が黄色になった。

加振3回目の健全は少し赤色の箇所が増えたのだが、20～30年相当は1階のほとんどが赤色もしくはオレンジ色になった。最大劣化は倒壊した。

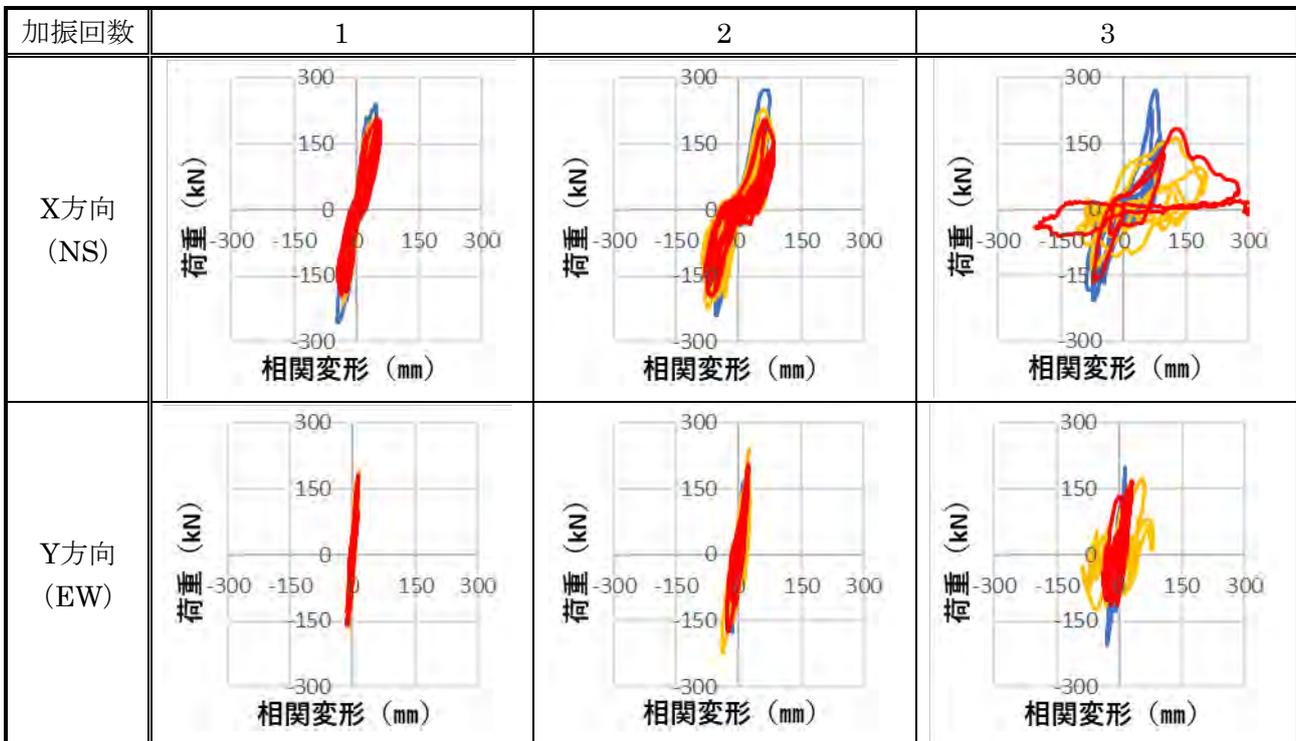
以上より、劣化が大きい方が同様の地震を受けた場合でも、壁の変形が大きくなる傾向を確認した。

1層のX方向とY方向の荷重層間変形曲線を表3に示す。最大劣化、20～30年相当、健全の順で変位が大きく、劣化が変形に大きく影響を与えていることが確認できた。また、加振回数が増えるごとに変位が大きくなっており、塑性が進んだことが確認できた。

表 2. 耐震等級3・JMA神戸波繰り返し加振

劣化パターン	加振回数		
	1	2	3
健全			
20～30年相当			
最大劣化			

表 3. 荷重層間変形



— 健全・1回目-1層・X方向 — 劣化20～30年相当・1回目-1層・X方向 — 最大劣化・1回目-1層・X方向

3. 考察

実物件で見られた腐朽・蟻害の事例を基にした劣化度合いを取り込んで wallstat を用いたシミュレーションを実施した結果、耐震性能の高い物件でも構造躯体の劣化が酷くなるほど耐震性能が低下することが確認できた。劣化が著しい建物は繰り返し加振回数が増えるほど応答変位の増大率が大きくなる傾向があった。

これらのことから生物劣化をさせないことが重要であることが確認できた。

耐震性能を高めることに加えて腐朽・蟻害の対策をすることで、より永く・安心・安全に暮らすことが出来ると考える。

謝辞

腐朽・蟻害にあった場合の解析への入力データやその評価方法について、広島大学森拓郎准教授・同研究室の井上涼様にご協力いただきました。また、wallstat を用いた解析などについて京都大学中川貴文准教授にご協力いただきました。

厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 毛利悠平, 芝尾真紀, 森拓郎, 田中圭, 野田康信, 戸田正彦, 森満範, 井上正文: 生物劣化を受けた木質構造物の残存性能評価法について(その 1)木ねじ接合部の骨格曲線モデルの提案, 日本建築学会大会学術講演便概集(九州)2016年8月, pp587-588
- 2) 西野進, 芝尾真紀, 永見瞳子, 瀧裕, 森拓郎, 田中圭: 生物劣化を受けた木質構造物の残存性能評価に資するデータベースの提案, 日本建築学会大会学術講演便概集(東北)2018年9月, pp609-610
- 3) 永見瞳子, 鶴寛之, 田中圭, 森拓郎: 生物劣化を受けた木質構造物の残存性能評価に資するデータベースの提案(その 2)接合具の骨格曲線導出法の提案, 日本建築学会大会学術講演便概集(北陸)2019年9月, pp511-512
- 4) 佐藤宙, 鶴寛之, 田中圭, 森拓郎: 生物劣化を受けた木質構造物の残存性能に資するデータベースの提案(その 3)腐朽深度モデルの提案とそれを用いた一面せん断耐力の推定, 日本建築学会大会学術講演便概集(関東)2020年9月, pp85-86
- 5) 川田達郎, 中島正夫: 築40年以下の木造住宅の点検・維持保全方法の検討に向けた部分解体による蟻害・腐朽調査—蟻害の発生様態の考察—, 日本建築学会大会学術講演便概集(関東)2020年9月, pp83-84
- 6) 川田達郎, 辻本吉寛, 中島正夫: 木造住宅の解体調査で見られた腐朽被害の分類, 日本建築学会大会学術公園便概集(北陸)2019年9月, pp509-510



会社 HP・QR コード



会社 YouTube・QR コード

wallstat による住宅設計者育成

アウェア株式会社 橋田竜也

1. はじめに

近年、建築士法改正による構造図書の保存、住宅の品質確保の促進等に関する法律（以下、品確法）改正による ZEH 建物の荷重を考慮した壁量係数の割増、長期優良住宅の普及の促進に関する法律の改正による長期優良住宅必須条件耐震等級 3 への引き上げや、2025 年を目途とした建築基準法改正による 4 号特例縮小など、木造住宅の構造に対する要求値が一気に引き上げられている。

そのような情勢の中、多くの 2 階建て以下の住宅は、建築基準法や品確法の壁量計算を満たすことで構造の安定性を確認している。しかし、耐力壁の量だけ満たしているだけでは耐震性能の高い建築物とは言えず、耐力壁の配置や吹き抜け計画によっては十分な耐震性能を発揮できない場合もある。

壁量計算では評価できない構造要因を含む建物の耐震性能は、地震が起きてみないと確認することができないが、地震が起きてからでは手遅れになることもある。そのため、住宅設計者が壁量計算では評価できない構造要因を把握し、プラン提案段階、実施図作成段階で考慮した設計を行う必要がある。

全ての住宅設計者が建物の耐震性能を正しく把握しているわけではない。特に壁量計算では評価できない構造要因が、木造住宅の耐震性能にどのような影響を及ぼすか想像するのは難しい。そこで、耐震シミュレーションである wallstat を利用して住宅設計者に対し、壁量計算では評価できない構造要因の影響が見える化することを考えた。

2. 住宅設計者向け構造研修

壁量は耐震等級 3、地震波は JMA 神戸 1.0 倍を基本として、下記①～⑤の条件で、耐力壁の配置などの違いによってどのような影響があるか、シミュレーション結果を並べて比較した。

2020 年に社内住宅設計者を対象に研修形式として実施し、その後、取引先企業の設計者に向けて研修を行っている。研修では、住宅設計者へ比較条件や建物形状などの資料を事前に配布し、それぞれどのような結果となるか予測してもらう形式とした。

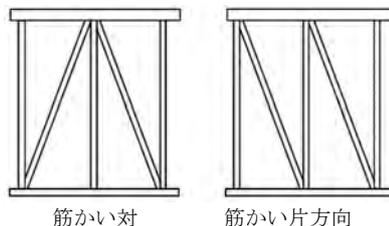
- ① 筋かいの向き（対、片方向）
- ② 耐力壁の配置（隅角部あり、なし）
- ③ 耐力壁の配置（隅角部配置、センターコア）
- ④ 上下階のバランス（1 階割増、2 階割増）
- ⑤ 吹抜（火打あり、なし）



ここでは比較した結果は明らかにしていない。発表時のシミュレーション結果を見ながらそれぞれ想像していただきたい。

① 筋かいの向き

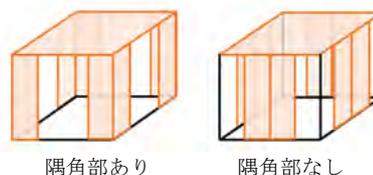
壁量計算では向きに関係なく壁倍率 2.0 倍となる筋かいの向きについて、対となるように配置した建物と同じ方向に配置した建物を比較。



② 耐力壁の配置（隅角部あり、なし）

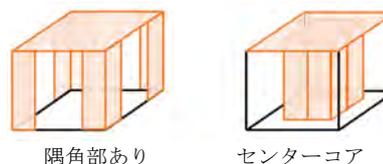
耐震等級 3 を満たし、偏心率 0、壁量同じとした建物で耐力壁の配置による比較をした。

外周部の隅角部に耐力壁を配置した建物と、隅角部を避けて耐力壁を配置した建物を比較。



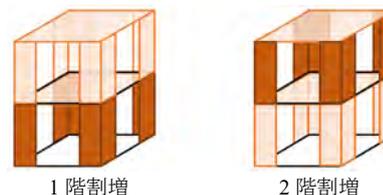
③ 耐力壁の配置（隅角部配置、センターコア）

②と同様の条件で、外周部の隅角部に耐力壁を配置した建物と、外周部に一切壁を設けず内部に耐力壁を配置した建物を比較。



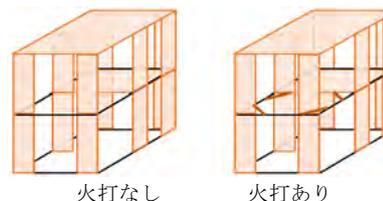
④ 上下階のバランス（1 階割増、2 階割増）

1 階、2 階とも耐震等級 3 を満たした建物で、1 階の壁量のみ増やした建物と 2 階の壁量のみ増やした建物を比較。



⑤ 吹抜（火打あり、なし）

南面に大きく吹き抜けを設けた建物で、火打を設けた建物と火打を設けない建物を比較。



3. おわりに

wallstat はお施主様への耐震性能見える化のツールとしてだけでなく、住宅設計者が壁量計算では評価できない構造要因について考えるために最適なツールである。ここでの建物形状は研修用の資料として、比較しやすい単純な形としている。実際には計画する建物で耐力壁の配置を変えて wallstat で解析した結果を確認しながら設計することで、本当の意味で木造住宅の耐震性能が向上することになる。

wallstat ver5 ならば計算時間が劇的に短くなったため、木造住宅のプランニングをしながら、もしくは実施設計を行いながら、傍らで wallstat を利用して壁量、耐力壁の配置を決定していくという使い方もできる。