

令和5年度 建築基準整備促進事業

(S42)

CLTパネル工法建築物の 仕様規定ルートの基準整備及び構造性能に関する検討

事業主体 公益財団法人 日本住宅・木材技術センター
共同研究機関 国立研究開発法人 建築研究所

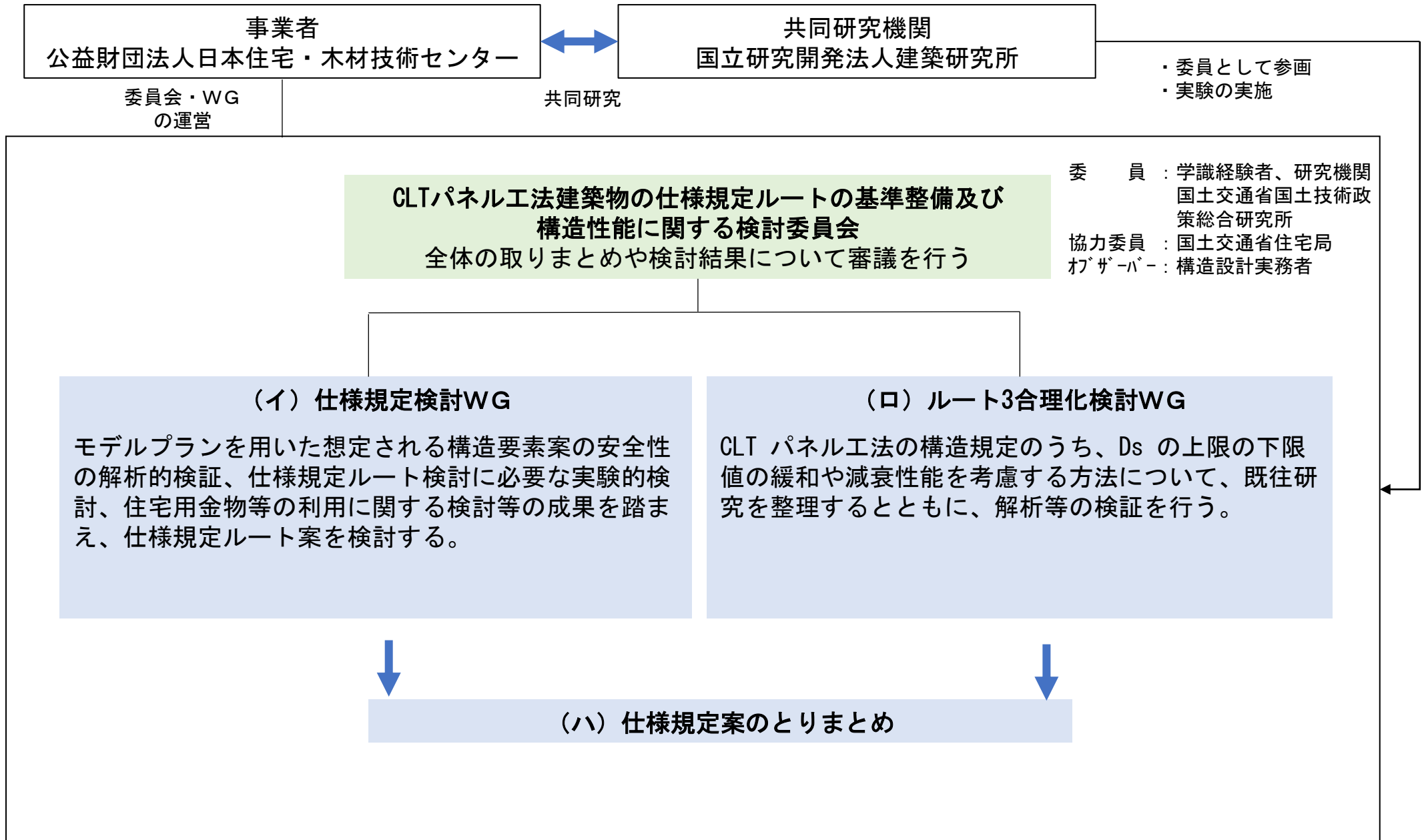
一般的な木造建築物では、高さが13m以下、軒の高さが9m以下で2階建て以下、かつ、延べ面積が500m²以下の小規模な建築物については、仕様規定を満足することが要求されるが、構造計算は要求されない。

しかし、CLTパネル工法の建築物の構造方法を規定した平成28年国土交通省告示第611号において、構造計算によらない仕様規定ルートが整備されておらず、地階を除く階数2以下の小規模な建築物であっても構造計算が要求され、設計者の負担となっている。

このため、構造計算によらない仕様規定ルートを整備することで、小規模なCLTパネル工法の建築物を建てやすくすることが期待されることから、本課題において、CLTパネル工法の建築物の仕様規定ルートの創設を目的に検討を行う。

この他、CLTパネル工法においては、構造特性係数 D_s の下限値が最大0.75と他構造と比べて高いことから、これまでの知見も踏まえた基準の合理化が必要である。

実施体制



【令和5年度】

【検討委員会】

委員長 委員	河合 直人	工学院大学 建築学部建築学科 教授
	五十田 博	京都大学 生存圏研究所生活圏木質構造科学分野 教授
	中川 貴文	京都大学 生存圏研究所生活圏木質構造科学分野 准教授
	槌本 敬大	国立研究開発法人建築研究所 材料研究グループ グループ長
	山崎 義弘	国立研究開発法人建築研究所 材料研究グループ 主任研究員 (2023.12月末まで) 東京工業大学 科学技術創成研究院 多元レジリエンス研究センター 准教授 (2024.1月から)
協力委員	中島 昌一	国立研究開発法人建築研究所 構造研究グループ 主任研究員
	小林 卓哉	日本建築行政会議
	貞広 修	一般社団法人日本建築構造技術者協会 木質系部会主査
	向井 昭義	公益財団法人日本住宅・木材技術センター 理事兼試験研究所長
	飯島 敏夫	公益財団法人日本住宅・木材技術センター 参与兼認証部長
	鈴木 圭	木構造振興株式会社 主任研究員
協力委員	荒木 康弘	国土交通省 国土技術政策総合研究所 建築研究部 基準認証システム研究室 主任研究官
	秋山 信彦	国土交通省 国土技術政策総合研究所 建築研究部 評価システム研究室 主任研究官
	岡野 大志	国土交通省住宅局参事官 (建築企画担当) 付 企画専門官
	杉原 伸一	国土交通省住宅局参事官 (建築企画担当) 付 課長補佐
	甲斐 菜月	国土交通省住宅局参事官 (建築企画担当) 付 係長
	高梨 潤	国土交通省住宅局住宅生産課木造住宅振興室 課長補佐
	福島 純	林野庁林政部木材産業課木材製品技術室 課長補佐
オブザーバー	戸田 淳二	株式会社中央設計 代表取締役
	篠原 昌寿	株式会社構造計画研究所 室長
	野田 卓見	株式会社構造計画研究所
	三宅 辰哉	株式会社日本システム設計 代表取締役
	櫻井 郁子	株式会社日本システム設計 常務取締役
協力	一般社団法人日本CLT協会	

【令和5年度】

【仕様規定検討WG】

主査 委員	河合 直人	工学院大学 建築学部建築学科 教授
	五十田 博	京都大学 生存圏研究所生活圏木質構造科学分野 教授
	松田 昌洋	京都大学 工学部 建築学科 助教
	中川 貴文	京都大学 生存圏研究所生活圏木質構造科学分野 准教授
	槌本 敬大	国立研究開発法人建築研究所 材料研究グループ グループ長
	山崎 義弘	国立研究開発法人建築研究所 材料研究グループ 主任研究員 (2023.12月 末まで)
		東京工業大学 科学技術創成研究院 多元レジリエンス研究センター 准教授 (2024.1月から)
	中島 昌一	国立研究開発法人建築研究所 構造研究グループ 主任研究員
	向井 昭義	公益財団法人日本住宅・木材技術センター 理事兼試験研究所長
	飯島 敏夫	公益財団法人日本住宅・木材技術センター 参与兼認証部長
	山口 修由	国立研究開発法人建築研究所 客員研究員
	鈴木 圭	木構造振興株式会社 主任研究員
協力委員	荒木 康弘	国土交通省 国土技術政策総合研究所 建築研究部 基準認証システム研究室 主任研究官
	秋山 信彦	国土交通省 国土技術政策総合研究所 建築研究部 評価システム研究室 主任研究官
	岡野 大志	国土交通省住宅局参事官 (建築企画担当) 付 企画専門官
	杉原 伸一	国土交通省住宅局参事官 (建築企画担当) 付 課長補佐
	甲斐 菜月	国土交通省住宅局参事官 (建築企画担当) 付 係長
	高梨 潤	国土交通省住宅局住宅生産課木造住宅振興室 課長補佐
	福島 純	林野庁林政部木材産業課木材製品技術室 課長補佐
オブザーバー	篠原 昌寿	株式会社構造計画研究所 室長
	野田 卓見	株式会社構造計画研究所
	戸田 淳二	株式会社中央設計 代表取締役
	三宅 辰哉	株式会社日本システム設計 代表取締役
	櫻井 郁子	株式会社日本システム設計 常務取締役
協力	一般社団法人日本CLT協会	

【令和5年度】

【ルート3 合理化検討WG】

主査 委員	五十田 博	京都大学 生存圏研究所生活圏木質構造科学分野 教授
	前田 匡樹	東北大学グリーン未来創造機構 グリーンクロステック研究センター 教授
	山崎 義弘	国立研究開発法人建築研究所 材料研究グループ 主任研究員 (2023.12月末まで)
		東京工業大学 科学技術創成研究院 多元レジリエンス研究センター 准教授 (2024.1月から)
	三宅 辰哉	株式会社日本システム設計 代表取締役
	貞広 修	一般社団法人日本建築構造技術者協会 木質系部会主査
	向井 昭義	公益財団法人日本住宅・木材技術センター 理事兼試験研究所長
	飯島 敏夫	公益財団法人日本住宅・木材技術センター 参与兼認証部長
	鈴木 圭	木構造振興株式会社 主任研究員
協力委員	荒木 康弘	国土交通省 国土技術政策総合研究所 建築研究部 基準認証システム研究室 主任研究官
	秋山 信彦	国土交通省 国土技術政策総合研究所 建築研究部 評価システム研究室 主任研究官
	岡野 大志	国土交通省住宅局参事官 (建築企画担当) 付 企画専門官
	杉原 伸一	国土交通省住宅局参事官 (建築企画担当) 付 課長補佐
	甲斐 菜月	国土交通省住宅局参事官 (建築企画担当) 付 係長
	高梨 潤	国土交通省住宅局住宅生産課木造住宅振興室 課長補佐
	福島 純	林野庁林政部木材産業課木材製品技術室 課長補佐
オブザーバー	篠原 昌寿	株式会社構造計画研究所 室長
	野田 卓見	株式会社構造計画研究所
	櫻井 郁子	株式会社日本システム設計 常務取締役
協力	一般社団法人日本CLT協会	

1. 仕様規定ルート案の検討

1. 1 構造計算不要ルート（垂れ壁直交壁）の検討

- ・ 基本方針
- ・ 壁倍率の一覧の精査
- ・ モデルプランを用いた設計例の作成
- ・ 部分2階の検討
- ・ 必要壁量の作成
- ・ まとめ

1. 2 既存仕様規定対応仕様規定の検討

- ・ 基本方針
- ・ 壁量計算、引張接合部の必要性能
- ・ せん断接合部の必要性能
- ・ 剛性率・偏心率
- ・ モデルプランによる応答解析
- ・ まとめ

2. ルート3合理化の検討

- ・ 基本方針
- ・ Dsの設定に関する既往研究の整理
- ・ Dsの評価方法の検討
- ・ Dsの下限値の緩和に向けた検討
- ・ まとめ

1. 仕様規定ルート案の検討

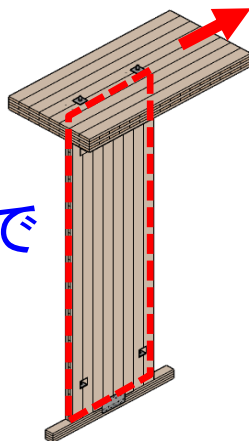
基本方針（構造計算不要ルート）

基整促S35「CLTパネル工法建築物の仕様規定ルートの創設に関する検討」(R3~4年度)の構造計算不要ルートWGでは、現行ルート1を基本としつつ、その計算の一部を省略あるいは新たに仕様規定として提示する方針のもと、検討を行った。本事業では、S35での仕様規定案に下記の検討を追加した。

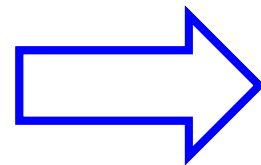
- ・ 壁倍率の一覧の精査
- ・ モデルプランを用いた設計例の作成
- ・ 部分2階の検討
- ・ 必要壁量の計算ツールの作成

「垂れ壁や直交壁が付帯した耐力壁」
に対し、最大で壁倍率10倍相当の
性能をもたせる仕様と、壁量の確
認方法の明確化

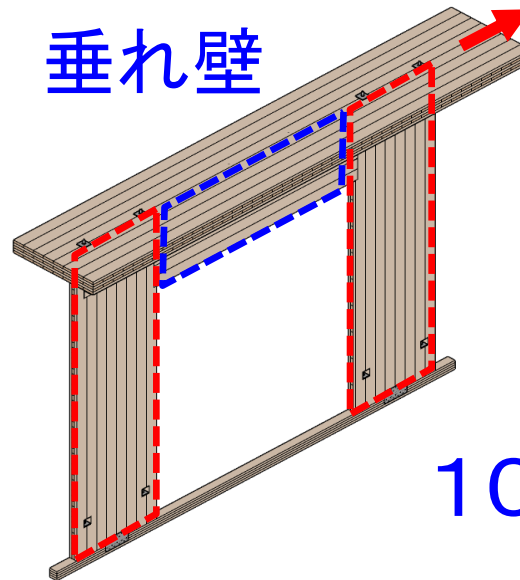
無開口壁



壁倍率換算で
5倍程度

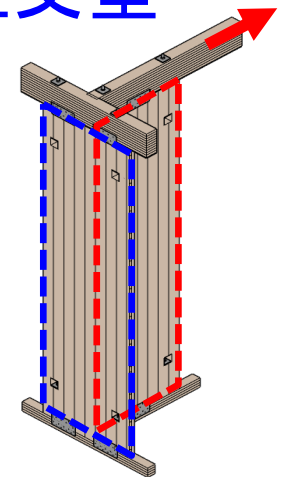


垂れ壁



目標
10倍程度

直交壁



本仕様規定(案)とルート1の比較

	項目	CLTパネル工法告示 ルート1	構造計算不要ルート仕様書の規定案
建物概要	規模	3階以下、軒高9m・高さ13m以下	2階以下、延べ面積500m ² 以下、軒高9m・高さ13m以下、 壁高3.5m±20cm
構造計算	令第82条各号・令第82条の4	計算による	仕様規定により省略
	荷重計算	計算による	仕様規定により省略
	長期/積雪/地震/風荷重時応力検定	計算による	仕様規定により省略
	床のたわみ検定	計算による	仕様規定により省略
	耐風壁・梁の検討・2次部材の検討	計算による	仕様規定により省略
	水平構面・基礎の応力割増1.5倍	行う	仕様規定により省略
	つり合いの良い壁配置	偏心率計算	四分割法 又は偏心率計算
架構	架構形式	小幅又は大版①、上下階の無開口パネルは揃える	小幅のみ 、上下階の無開口パネルは揃える
	通し壁架構	OK(R4に告示改正)	NG
	土台の有無	両方OK	土台有のみ
	開口付きの耐力壁	25cm各以下はOK(配置ルール有)	NG(検討中)
	水平耐力要素	無開口壁(90cm~2m)、腰壁、垂れ壁	無開口壁(90cm~2m)、垂れ壁
	無開口壁許容せん断耐力(倍/m)	階高3mで平屋：7.5~9, 2階：7.5~10.5, 3階：5~10	階高3.5：5~10

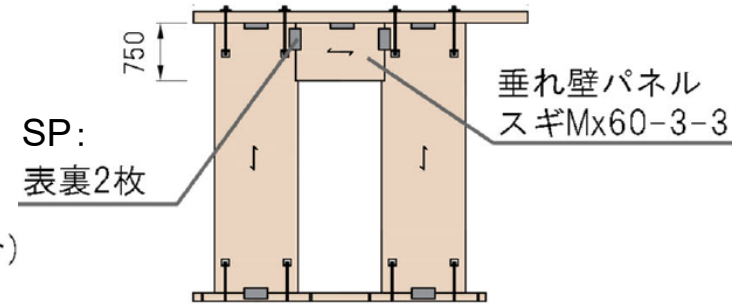
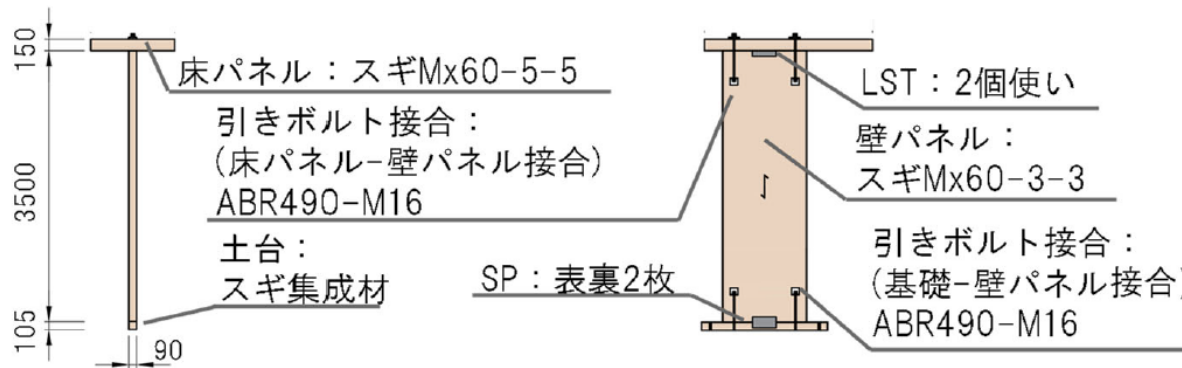
・「必要壁量 ≤ 存在壁量」を確認
 ・必要壁量は、表計算ツールで算定
 ・「開口制限」 + 「床パネルの支持スパン」の規定

・「耐力壁線の間隔」 + 「アスペクト比」の規定

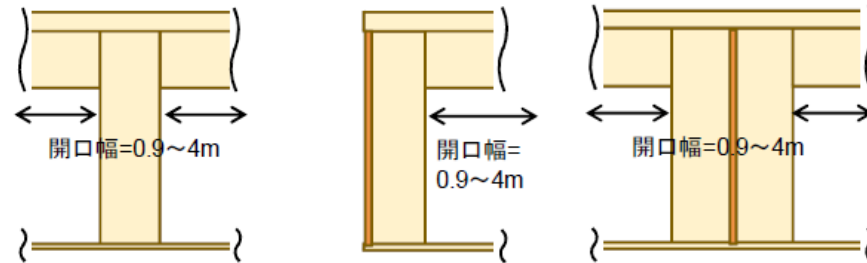
本仕様規定(案)とルート1の比較(続き)

	項目	CLTパネル工法告示 ルート1	構造計算不要ルート仕様書の規定案
壁パネル	強度等級・構成	S60-3-3又はMx60-5-5又は同等以上	Mx60-3-3 又は同等以上
床/屋根	CLT以外で構成	OK	NG (床: Mx60-7-7以上、天井: Mx60-5-5以上)
接合部	壁-基礎引張	終局耐力86kN以上、ABR490 M16, L=400mm以上	終局耐力86kN以上、ABR490 M16, L=350mm以上
	壁-基礎(又は土台)せん断	短期許容耐力47kN以上	短期許容耐力47kN以上
	壁-壁引張	終局耐力135kN以上、ABR490 M20, L=200mm以上	終局耐力86kN以上、ABR490 M16, L=350mm以上
	壁-床引張	終局耐力25kN以上	ABR490 M16, L=350mm以上
	壁-壁(床)せん断	短期許容耐力54kN以上	短期許容耐力54kN以上
	壁-垂れ壁(腰壁)せん断、床-床引張	短期許容耐力52kN以上	短期許容耐力52kN以上
	床-床せん断	計算による	短期許容耐力11kN/m以上
基礎		計算による	別途検討

耐力壁の仕様と壁倍率一覧

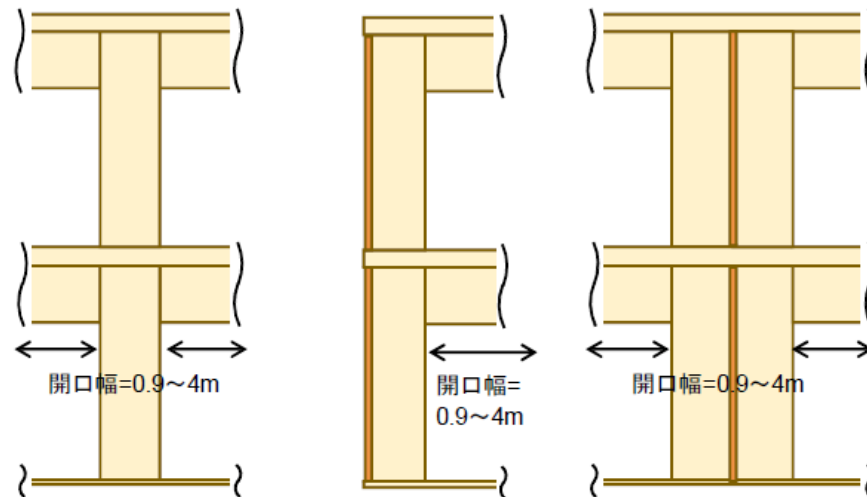


10倍

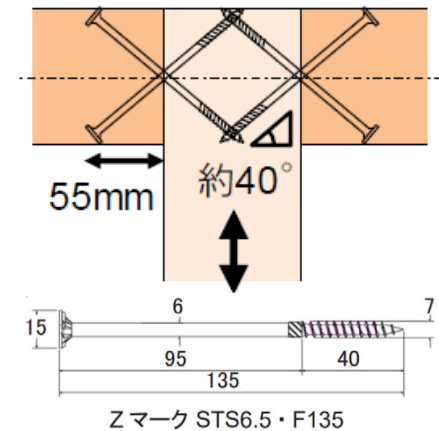


5.0倍 →

5.3倍



10倍

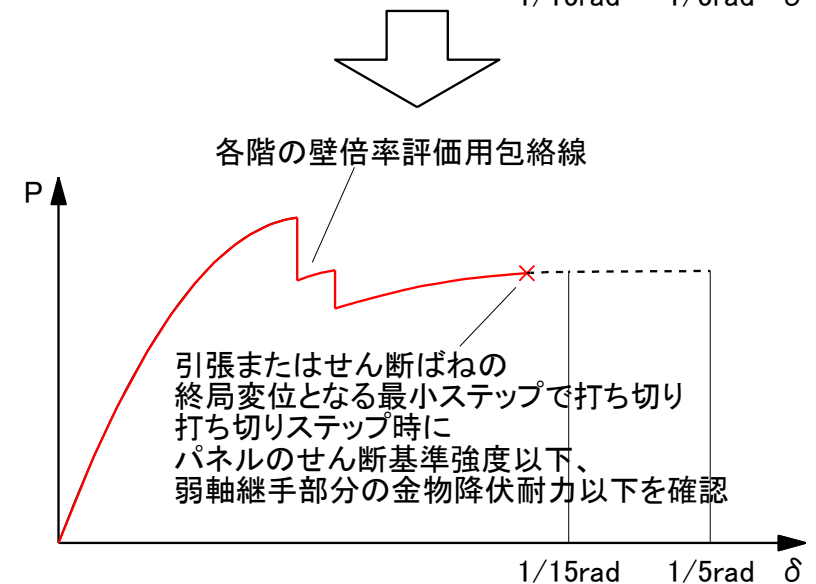
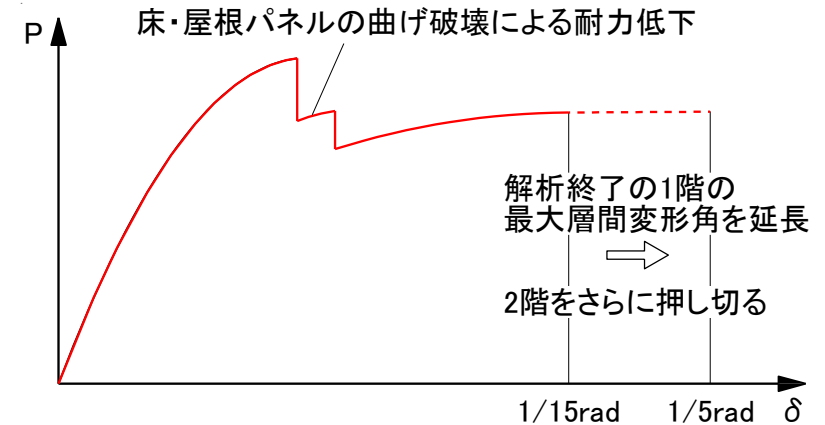


直交壁との交差部は、ビスSTS6.5・F135×22本または同等以上のせん断耐力をもつ接合方法とする。

壁倍率の一覧の精査

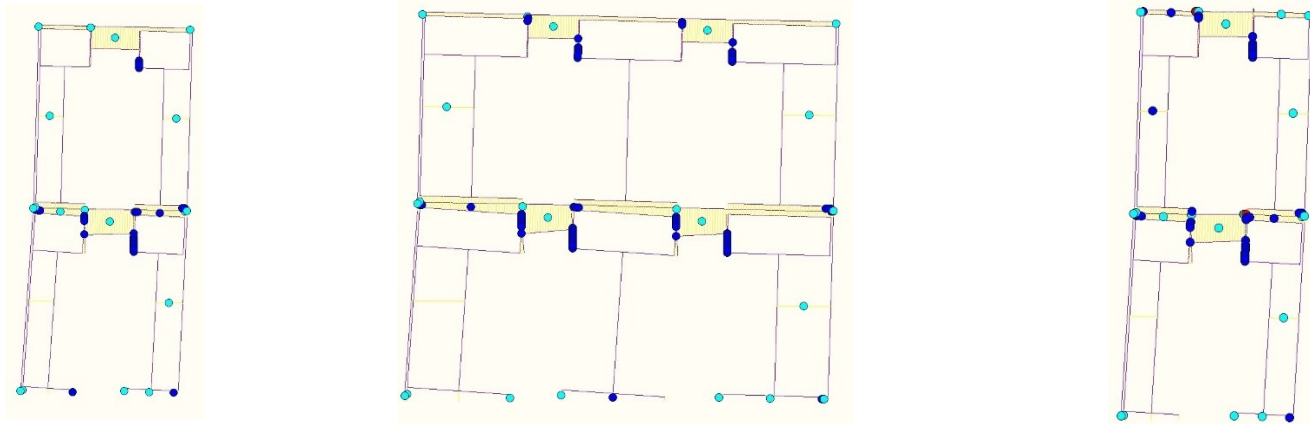
2022年度の検討では壁倍率換算値で1階10倍、2階5倍程度という結果であったが、総2階で重量比0.67の場合、1,2階の地震層せん断力の比 ($Q2/Q1$) は0.53となり、2階の壁量充足率が厳しくなってしまう不都合がある。そこで1階の壁倍率を10倍とした場合、2階の壁倍率が5.3倍を下回ってしまうケースについて再検討を行った。

5.3倍を下回ったケースは $0.2Pu\sqrt{2\mu-1}$ で壁倍率が決定しており、変形の小さい2階をこれまでよりも押し切ることで壁倍率を引き上げられる可能性が考えられる。そこで、1階の最大層間変形角が $1/5\text{rad}$ に達するまで加力する解析ケースを別途設け検討した。



壁倍率の一覧の精査

これまでの解析よりも2階を押し切れたことで、 $0.2Pu\sqrt{(2\mu-1)}$ の値が向上し2階の壁倍率は5.3倍を下回ることがなくなった。なお、評価に用いた包絡線の最大層間変形角は1/15rad以下であり、壁倍率はこの範囲で決定している。



		階	Py (kN)	P1/120 (kN)	2/3Pmax (kN)	$0.2Pu\sqrt{(2\mu-1)}$ (kN)	Pa (kN/m)	壁倍率	最大層間 変形角 (rad)
強軸	No.1	1F	59.8	49.2	71.8	47.6	23.8	12.1	1/15
		2F	33.3	29.2	39.8	21.2	10.6	5.4	1/24
	No.6	1F	206.0	248.2	240.8	127.7	21.2	10.8	1/42
		2F	115.1	153.6	132.5	70.4	11.7	5.9	1/49
弱軸 継手有	No.1	1F	57.4	48.1	71.1	46.6	23.3	11.8	1/15
		2F	33.0	26.8	39.4	20.9	10.4	5.3	1/22

壁倍率5.3倍以上

1/15rad以下で
壁倍率決定

モデルプランを用いた設計例の作成

住宅のボリュームゾーンとなる30坪、40坪、50坪の総2階をモデルプランとし、これらの必要水平耐力を算出し、壁倍率を1階10倍、2階5.3倍とした場合の許容耐力より、壁パネルの必要枚数を算出した。規模、高さ関係などの計算条件の詳細は以下の通りとした。

計算条件

(1) 規模

総2階：30坪（7m×7m）、40坪（8m×8m）、50坪（9m×9m）

(2) 高さ

GL～1FL：540mm（GL～基礎立ち上がり430mm+基礎パッキン20mm+土台90mm）

1FL～2FL：3710mm（壁高さ3500mm+2階床7層7PLY）

2FL～軒：3650mm（壁高さ3500mm+2階天井5層5PLY）

(3) その他

屋根勾配は5寸とし軒の出、けらばの出は650mm

基準風速36m/s、地表面粗度区分はⅢとし、耐震等級や耐風等級は考慮しない。

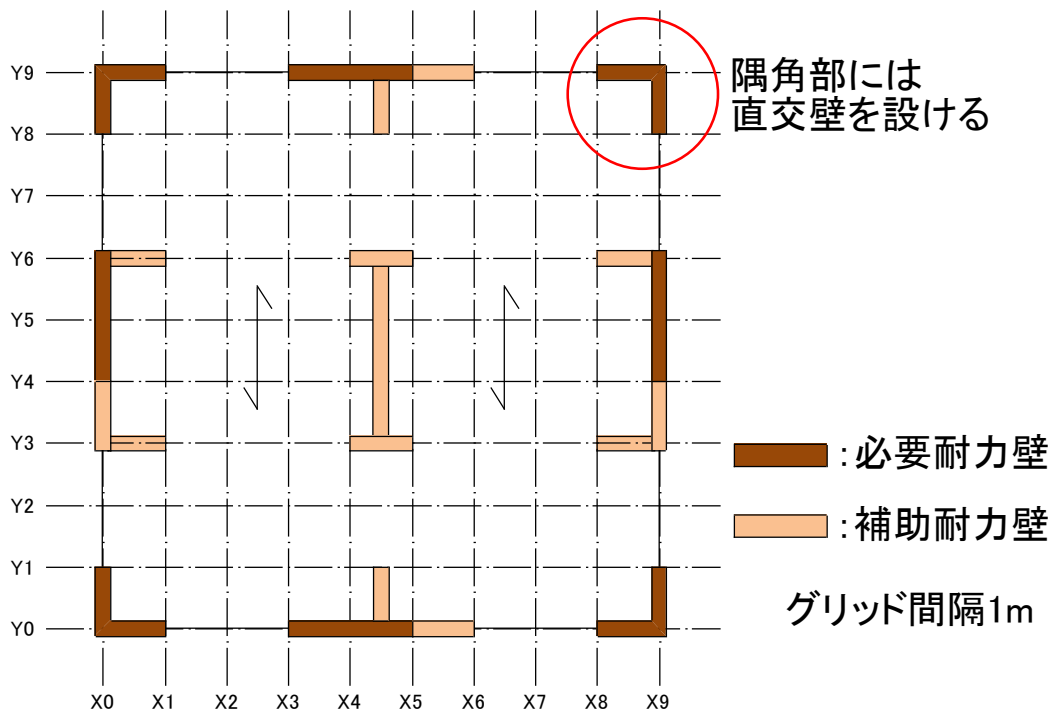
モデルプランを用いた設計例の作成

モデルプランの一例（総2階50坪）

- ・外力から必要な枚数の耐力壁を配置



- ・4m開口制限内、床パネルの支持スパン内（4m以下程度）、耐力壁のバランスなどから、補助耐力壁の配置が必要となった。



壁パネルの必要枚数

階	地震力 (kN)	風圧力 (kN)	壁倍率 (倍)	許容耐力 (kN)	必要水平耐力 (kN)	必要枚数 (枚)
2	75.70	39.08	5.3	10.388	75.70	7.29
1	142.20	80.27	10	19.6	142.20	7.26

許容せん断耐力の比較（仕様規定(案)vsルート1）

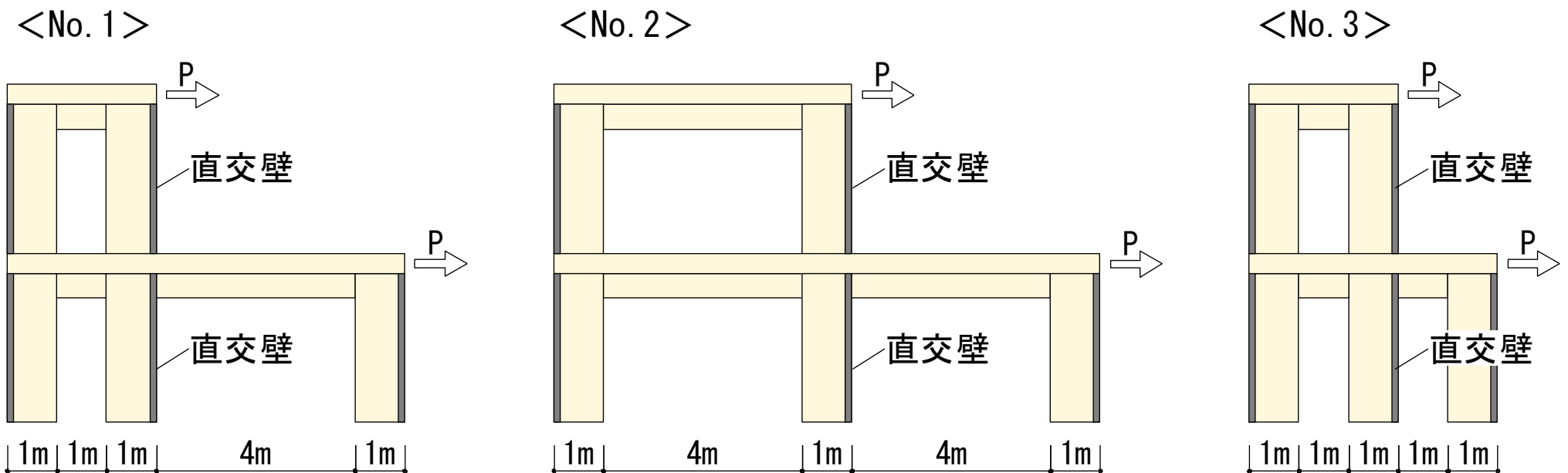
階	方向	ルート1による場合			仕様規定(案)		
		Q_{Ei} (kN)	Q_{Ei}/Q_{E1}	Q_{ai} (kN)	壁倍率	壁長さ(m)	Q_{ai} (kN)
2	X方向	75.70	0.532	134.19	5.3	16	166.2
	Y方向			127.74		15	155.82
1	X方向	142.20	1.000	252.24	10	16	313.60
	Y方向			240.12		15	294.00

部分2階の検討

総2階を基本仕様とし解析的検討を進めてきたが、部分2階となるケースについて未確認であったため検討を行った。

解析対象

極端に2階が小さい (No. 1)、中間 (No. 2)、総2階に近い (No. 3) といった立面構成の3フレームを対象とした。



部分2階の検討

増分解析によって1/15radまで加力したが、剛性率は0.6以上確保できており、部分2階であっても相対的な剛性の偏りはみられず、2階が先行破壊することなかった。

		極端に2階が小さい	中間	総2階に近い
解析対象		<No.1> 	<No.2> 	<No.3>
ヒンジ図 (最終ステップ)				
剛性率	2階	0.964 \geq 0.6	0.866 \geq 0.6	0.876 \geq 0.6
	1階	1.035 \geq 0.6	1.133 \geq 0.6	1.123 \geq 0.6

必要壁量の計算ツールの作成

公益財団法人 日本住宅・木材技術センターから2023年11月20日に公開された軸組構法用の「新しい壁量等の基準（案）」に対応した表計算ツールVer1.1の計算方法に則り、CLT仕様規定用の必要壁量を算定できる表計算ツールを作成した。
（仕上げ材の仕様選定については課題あり）

CLT仕様規定用必要壁量表（案）

-	仕様	部位の面積 当たりの荷重 (N/m ²)	床面積 当たりの荷重 (N/m ²)		仕様の構成例	
			2階	1階		
固 定 荷 重	屋根	瓦屋根（ふき土無）	2300		瓦ふき（640）+小屋組（200）+天井CLT厚さ150mm（750）+打上げ天井（150）	
	外壁	土塗り壁	1300	2階	1970	土塗り壁（上塗りとも、厚6.5mm）（850）+壁CLT厚さ90mm（450）
				1階	2000	
	内壁	せっこうボード	650	300		せっこうボード（両面）（200）+壁CLT厚さ90mm（450）
	太陽光発電		200	260		屋根全面設置を想定
	断熱材	天井断熱材	100	100		（GW24K 400mm程度）
		壁断熱材	70	2階	110	（GW24K 170mm（40）+ 胴縁（30）程度）
	1階			110		
	開口部	トリプルガラス	400	2階	60	トリプルガラス（250）+サッシ枠（150）
				1階	70	
床		1490	1490		畳敷（340）+床CLT厚さ210mm（1050）+天井さお縁（100）	
積載		600	600			

$$\text{当該階の床面積に乗ずる数値 (cm/m}^2\text{)} = (A_i \cdot C_0 \cdot \sum w_i) / (0.0196 \cdot A_{fi})$$

(cm/m²)

平屋	2階建て	
	1階	2階
40	87	52

←ZEH水準等の建築物（CLT仕様規定用）

1. 1 構造計算不要ルート（垂れ壁直交壁）の検討

(1) 壁倍率の一覧の精査

- ・ 総2階建てのときに1階より2階の壁量充足率が厳しくなる不都合があったが、壁倍率の再検討により解消された。

(2) モデルプランを用いた設計例の作成

- ・ 外力から必要な耐力壁を配置すると、開口制限や床パネルの支持スパン内、耐力壁のバランスなどから補助耐力壁の配置が必要であることがわかった。

(3) 部分2階の検討

- ・ 剛性率は0.6以上を示しており、部分2階であっても相対的な剛性の偏りはみられず、2階が先行破壊することはなかった。

(4) 必要壁量の作成

- ・ 「新しい壁量等の基準（案）に対応した表計算ツールVer1.1」の計算方法に則り、CLT仕様規定必要壁量を算定できる表計算ツールを作成したが、仕上げ材の仕様選定に課題が残った。

1. 2 既存仕様規定対応仕様規定の検討

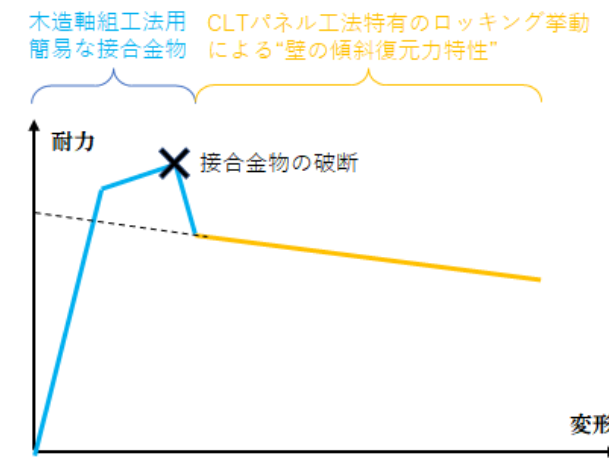
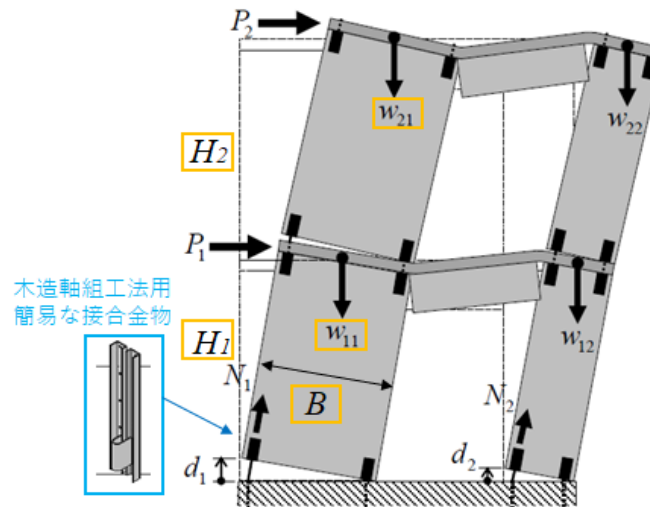
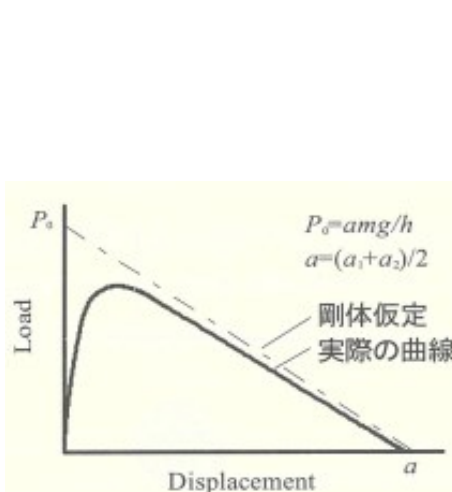
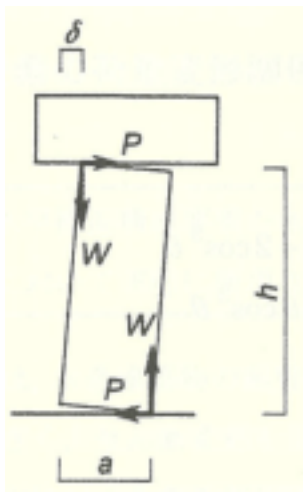
基本方針（既存仕様規定対応仕様規定）

仕様規定の概要

- 木造軸組工法用金物程度の簡易な接合部を用いて構成されるCLTパネル工法建築物を対象とする。2階建て以下かつ延床面積300m²程度以下の小規模建築物を対象とする。
- 多くの設計者に馴染みのある既存仕様規定（壁量計算など）に準じた方法で構造性能を担保する。壁倍率の上限は7倍とする。

構造性能担保の考え方

- 中地震に対する損傷防止は、壁倍率を用いた壁量計算による。
- 大地震に対する倒壊防止は、仕様規定を定めて検討省略とする。
 - 壁パネルの傾斜復元力によって、建物の耐力と変形性能を確保する。

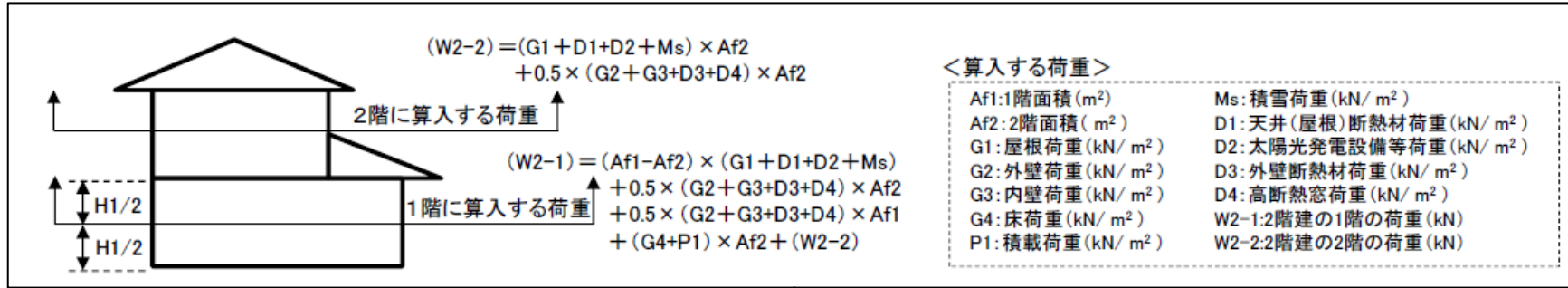


伝統的木造建築物の「柱の傾斜復元力」

CLTパネル工法の「ロッキング挙動」

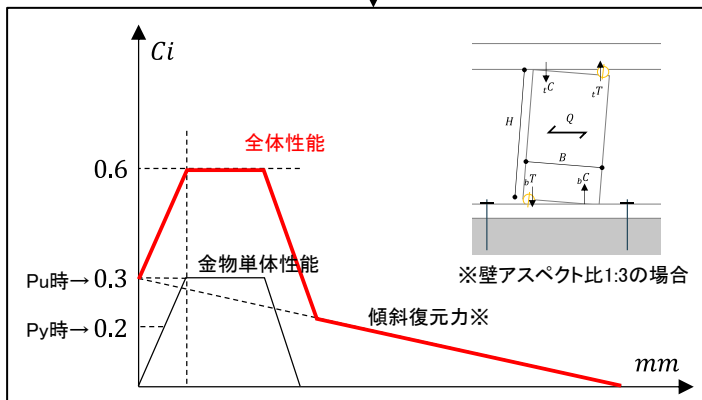
壁量計算、引張接合部の必要性能

実態に応じた荷重を計算する



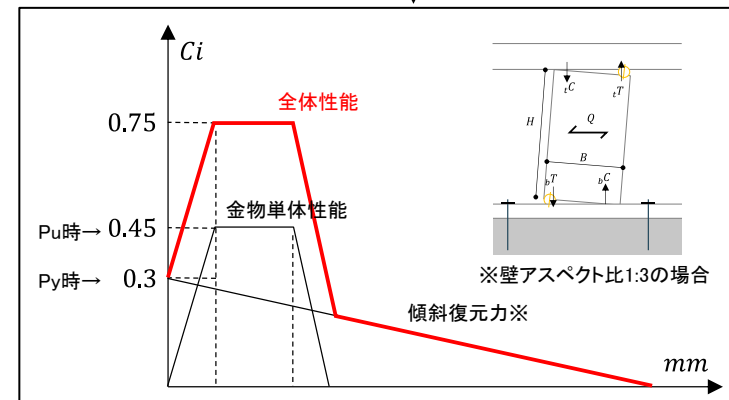
引張接合部の必要性能算出はN値計算

C0=0.2設計



傾斜復元力+金物単体性能で
 $Ci = 0.3 + 0.3 = 0.6$

C0=0.3設計



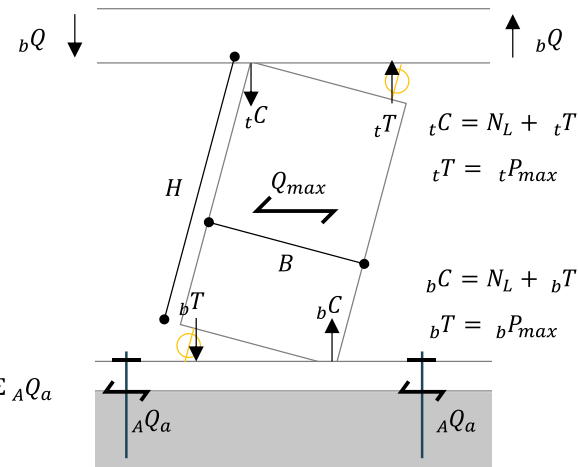
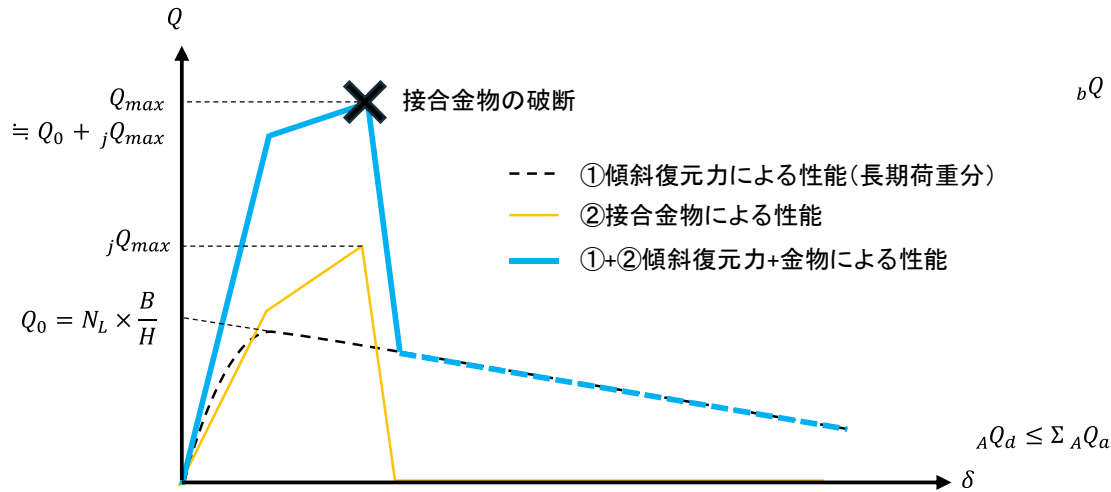
傾斜復元力+金物単体性能で
 $Ci = 0.3 + 0.45 = 0.75$

→ルート3Ds=0.75設計に相当
→現行基準でも接合部の仕様規定除外

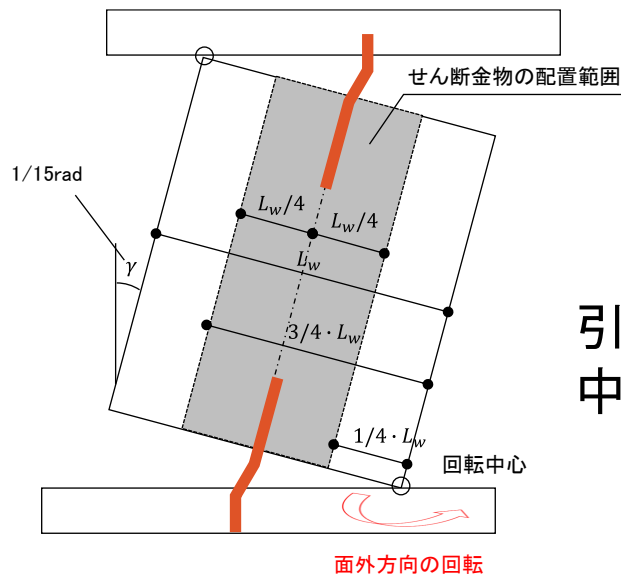
C0=0.3を標準とし、条件付きでC0=0.2設計も可能にする

せん断接合部の必要性能

せん断接合部は保証設計



引張接合部の破断が生じるまで、せん断接合部の耐力を保証する (R4年度検討)

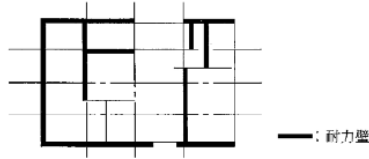


引張金物の破断後、壁パネルの面外回転に対して、中央付近に配置されたせん断金物で抵抗することが可能

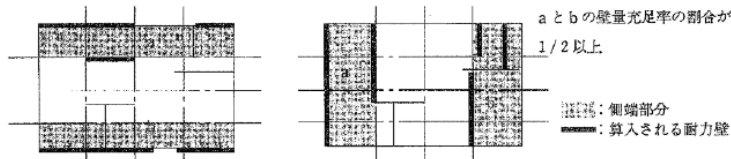
剛性率・偏心率

釣り合いよい壁配置の検討は 四分割法もしくは偏心率計算による

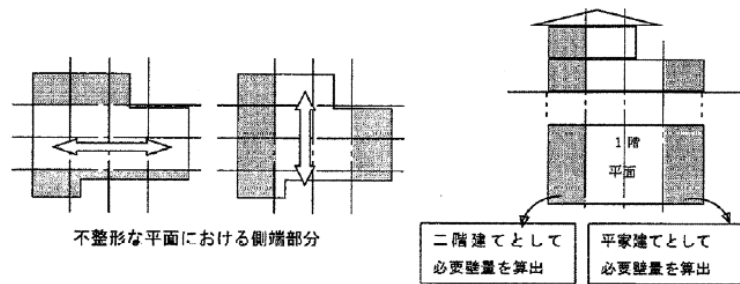
① 建築物の張り間方向、けか行方向の全長を四分割する。



② 張り間方向の両端1/4部分、けか行方向の両端1/4部分（側端部分）それぞれで存在する壁量と必要となる壁量の比率（壁量充足率）を算出し、その比率が1/2以上であることを確認する。

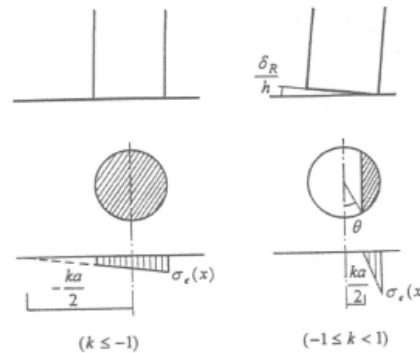


aとbの壁量充足率の割合が
1/2以上



出典：平成12年6月1日施行<改正建築基準法（2年目施行）の解説>

傾斜復元力による水平剛性は、「限界耐力計算による伝統的木造建築物構造計算指針・同解説」を参照



(a) 浮き上がりが生じる前

(b) 浮き上がりが生じた後

$$k \leq -1 \quad P = \left(\frac{K_e \cdot a^3}{6h^2} - \frac{W}{h} \right) \delta$$

$$-1 < k < 1 \quad P = \frac{W}{h} \left(a - \frac{2}{3} \sqrt{\frac{2 \cdot W \cdot h}{K_e \cdot a \cdot \delta}} - \delta \right)$$

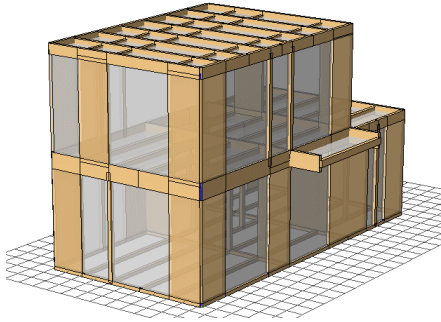
「限界耐力計算による伝統的木造建築物構造計算指針・同解説」

$$\text{水平剛性} = \Sigma L^4 \times Ke \times \bigcirc \bigcirc$$

壁パネルの水平剛性には、傾斜復元力が含まれるため、偏心率の検討に使用する耐力壁の剛性式は、壁幅の4乗と圧縮剛性Keを考慮した式を提案する。

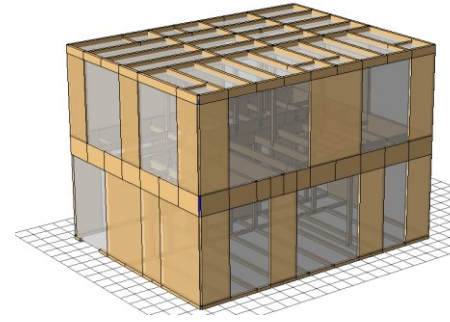
在来軸組工法では上下階の剛性バランス（剛性率）に関する規定は設けられていないため、本仕様規定ルートにおいても設けないことが可能か、応答解析にて確認

モデルプランによる応答解析



モデルA

- ・セットバック形状あり
- ・剛性率を満足しない



モデルB

- ・総2階建て
- ・剛性率を満足する

極稀地震 (85%入力)		C0=0.2設計				C0=0.3設計			
		ケース① L値考慮		ケース② L値考慮なし		ケース③ L値考慮		ケース④ L値考慮なし	
加力方向		X方向	Y方向	X方向	Y方向	X方向	Y方向	X方向	Y方向
モデルA	剛性率	2F : 0.45 1F : 1.55	2F : 0.55 1F : 1.45	2F : 0.47 1F : 1.53	2F : 0.59 1F : 1.41	2F : 0.56 1F : 1.44	2F : 0.66 1F : 1.34	2F : 0.55 1F : 1.45	2F : 0.68 1F : 1.32
	最大応答	倒壊	倒壊	1/39	倒壊	1/77	1/39	1/85	1/44
モデルB	剛性率	2F : 0.78 1F : 1.22	2F : 0.72 1F : 1.28	2F : 0.98 1F : 1.02	2F : 0.69 1F : 1.31	2F : 0.68 1F : 1.32	2F : 0.79 1F : 1.21	2F : 0.94 1F : 1.06	2F : 0.68 1F : 1.32
	最大応答	1/26	1/13	1/118	1/45	1/130	1/52	1/87	1/45

C0=0.3設計の場合、いずれのモデルも安全限界変形角以内に収まっており、剛性率規定を満足しない建物についてもC0=0.3として必要壁量を設定することで、倒壊を防ぐ可能性があることが確認できた。

1. 2 既存仕様規定対応仕様規定の検討

(1) 壁量計算の必要壁量

・標準層せん断力係数 $C0=0.2$ または $C0=0.3$ として必要壁量を算出する案を提示し、それぞれ終局時のベースシア係数で 0.6 または 0.75 の性能が確保できる可能性を示した。

(2) せん断接合部の仕様

・浮き上がり変位に追従できるせん断金物が壁パネルの中央付近に1箇所以上配置されれば、面外方向の回転に抵抗できることを示した。

(3) 剛性率及び偏心率に関する検討 (3.2.3節)

・偏心率計算で使用する耐力壁の水平剛性評価式について検討した。壁幅の4乗と端部圧縮剛性 Ke に比例させる簡易式を提案した。

(4) モデルプランによる応答解析 (3.2.4節)

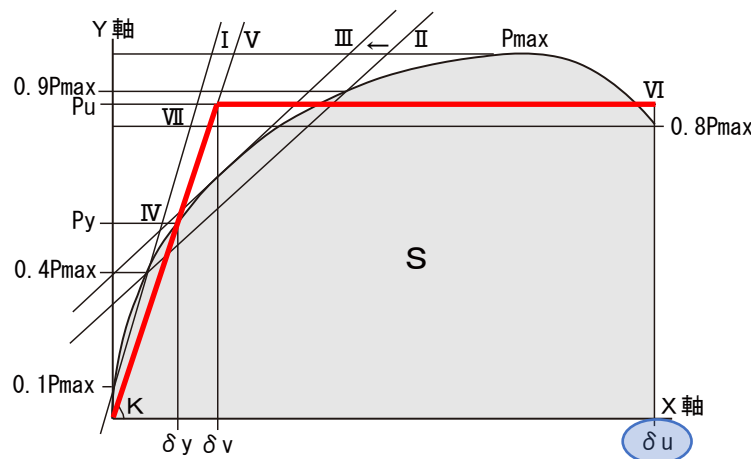
・必要壁量算出時の標準層せん断力係数 $C0$ の設定と剛性率規定の要否を確認するため時刻歴応答解析を実施した。

・剛性率規定を設けない場合でも $C0=0.3$ として必要壁量を設定することで、倒壊を防ぐ可能性があることが確認できた。

2. ルート3合理化の検討

基本方針

- ・ 現行規定では告示611号第八第二号で D_s が与えられているが、その与条件である耐力壁の長さや架構形式（分割型または一体型）、その他の仕様を満たさない場合には D_s を0.75以上とすることとされている。計算によって合理的に D_s を算定できるようになることが望まれる。
- ・ D_s の算定において、木質構造では完全弾塑性置換とエネルギー一定測による評価が適用されてきた。荷重変形関係の打ち切り点（安全限界）に相当する層間変形角は、低層の木造建築物では $1/30 \sim 1/15 \text{rad}$ 程度とされているが、ある程度高層となった場合の限界変形の設定方法について、十分な知見がない。
- ・ エネルギー一定則は短周期構造に適用可能な経験則である。ある程度階数が多ければ変位一定則に近くなり、必要保有水平耐力は下がる傾向にある。これを踏まえ、低層建築物を対象とした従前の方法をベースとしつつ、中高層建築物にも適した評価方法を新たに検討する。



- ・ 低層では $1/30 \sim 1/15 \text{rad}$ まで使用
- ・ 仮に $1/75 \sim 1/50 \text{rad}$ 程度とすると、 $\mu=2$ 程度 ($D_s=0.58$ 程度) しかとれない

D_sの設定に関する既往研究の整理

下記文献により現行D_sの技術的背景および関連研究について調査を行った

- 1) 総プロ「新耐震設計法の開発」における新耐震設計法(案)
- 2) 建築物荷重指針・同解説(2015)
- 3) 建築耐震設計における保有耐力と変形性能(1981)

その他

木質構造では骨格曲線を完全弾塑性に置換して式(1)が適用されているが、RC造では復元力特性をDegrading tri-linear形として、 $\mu \leq 5$ で式(2)が時刻歴応答解析の結果に対応するとされている。

$$D_s = \frac{1}{\sqrt{2\mu - 1}} \quad \text{—式(1)}$$

$$D_s = \frac{0.75(1 + 0.05\mu)}{\sqrt{2\mu - 1}} \quad \text{—式(2)}$$

木質構造の骨格曲線も明瞭な降伏点をもたないため、式(1)のように $\mu \rightarrow 1$ で $D_s \rightarrow 1$ とはならず、式(2)のように何らかの緩和ができると予想される。また、塑性率 μ を求める際の打ち切り点(限界変形)や、階数の影響などについて、これまで十分に検討されていない

→限界耐力計算を応用した方法、および時刻歴応答解析を実施して検証

安全限界変位に基づく設定法による検討

「JSCA版 木造建築構造の設計」による、限界耐力計算を応用した D_s の計算法(以下、 D_s (JSCA))

→ 限界変形角と必要保有水平耐力の関係が明確になる

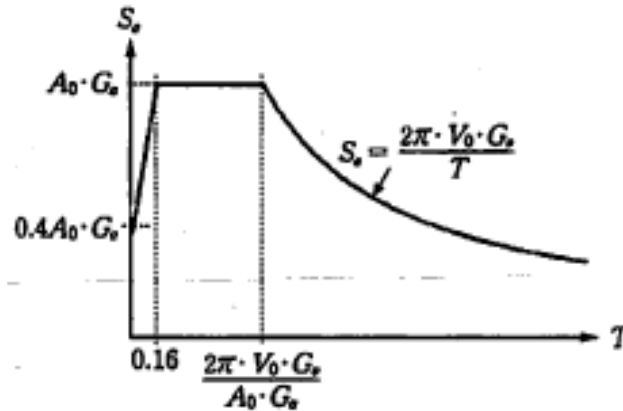


図 11.2 地震動の加速度応答スペクトル

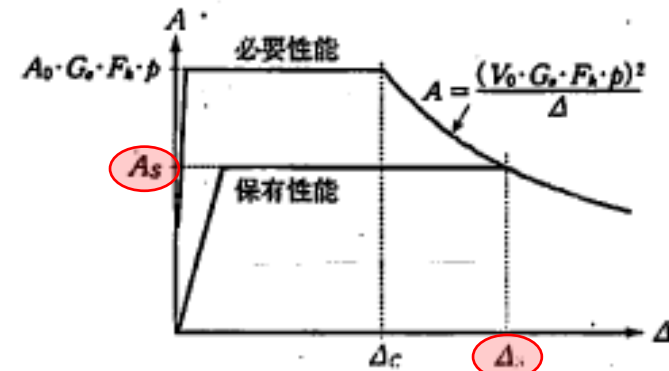


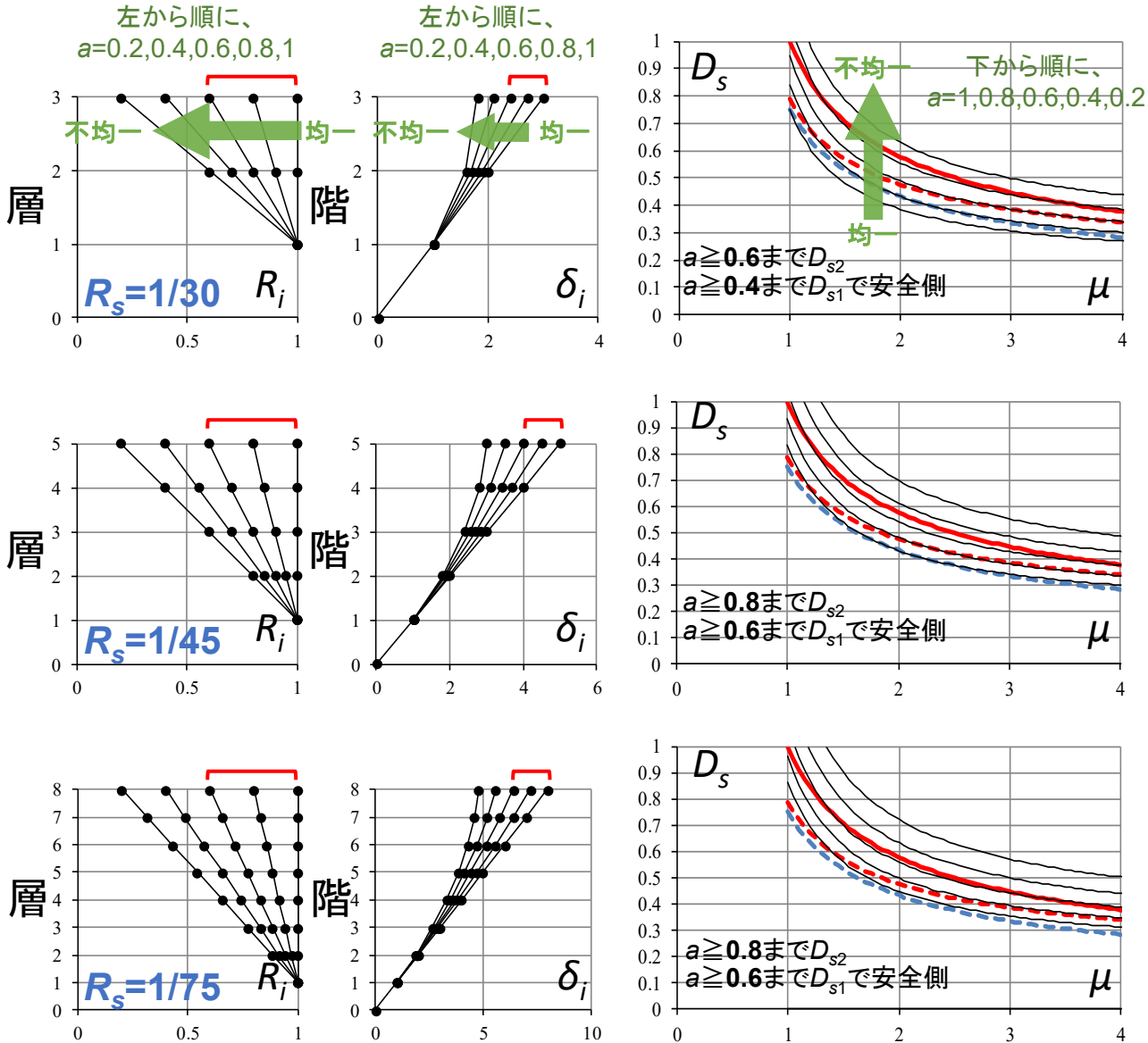
図 11.3 必要性能曲線と保有性能曲線

$$D_s = \min \left[\underbrace{A_0 G_a F_h p}_{\text{加速度一定}}, \underbrace{\frac{(V_0 G_a F_h p)^2}{\Delta_s}}_{\text{速度一定}} \right] \cdot \frac{R_m}{g \cdot R_t}$$

- Δ_s : 等価一自由度系の代表変位 (=安全限界変位)
- F_h : 減衰による加速度低減率(等価一自由度系の減衰定数による)
- p : 階数による調整係数
- R_t : 昭55建告第1793号による振動特性係数
- R_m : 安全限界時の有効質量比
- A_0, V_0, G_a, G_v : 地盤種別に応じた係数
- g : 重力加速度

限界変形の設定方法の影響 (中高層)

D_s (JSCA)の計算結果 (階高3.5m, $N=3,5,8$)



- ・限界変形時の層間変形角 R_s を階数に応じて表のように変化させる(CLTマニュアル)
- ・各層の層間変形角の分布は係数 a で変化させる

表 8.2-1 安全限界変形角の上限值 γ_s 【暫定値】

階数	3以下	4	5	6	7	8以上
γ_s	1/30	1/40	1/45	1/50	1/60	1/75

$$D_s(\text{JSCA})$$

VS

$$D_{s1} = 1/\sqrt{2\mu-1}$$

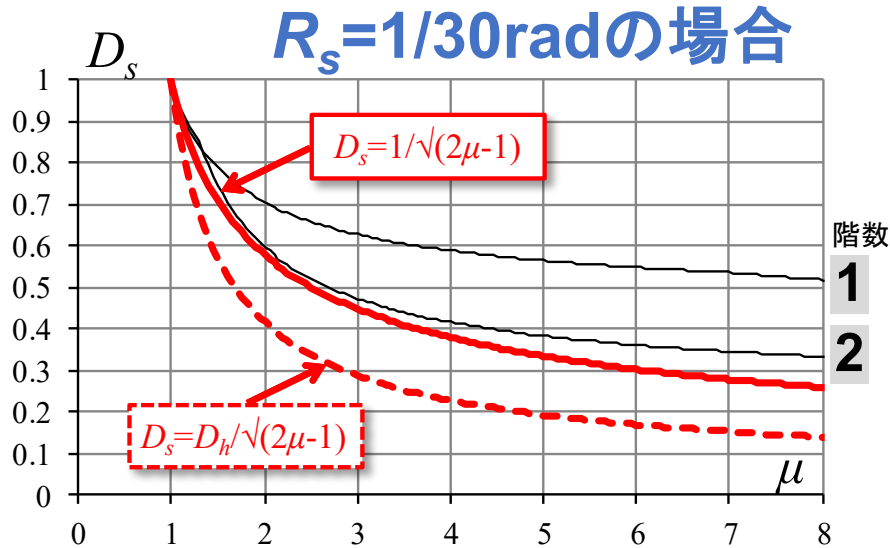
$$D_{s2} = 0.75(1+0.05\mu)/\sqrt{2\mu-1}$$

$$D_{s3} = 0.75/\sqrt{2\mu-1}$$

3~8層では層数によらず、各層の層間変形角が均一に近ければ、
 $D_s = 0.75(1+0.05\mu)/\sqrt{2\mu-1}$
 に適合。このとき、 $D_s = 0.34 \sim 0.48$ ($\mu = 2 \sim 4$)
 * 層間変形角が不均一 → D_s (JSCA)は上昇

限界変形の設定方法の影響 (低層)

D_s (JSCA)の計算結果 (階高3.0m, $N=1,2$)



D_s (JSCA)

* 各層の層間変形角が均一と仮定

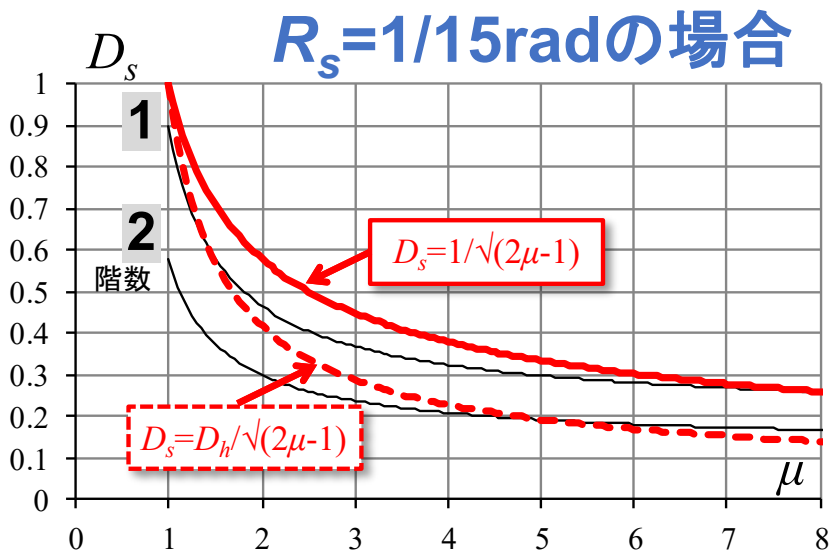
VS

$D_s = 1/\sqrt{2\mu-1}$

$D_s = D_h/\sqrt{2\mu-1}$

* 構造関係技術基準解説書による減衰を見込む方法

$$D_h = \frac{1.5}{1+10h_{eq}} \quad h_{eq} = 0.2 \left(1 - \frac{1}{\sqrt{\mu}} \right) + 0.05$$



限界変形を1/30~1/15rad程度とすれば、

$$D_s = 1/\sqrt{2\mu-1}$$

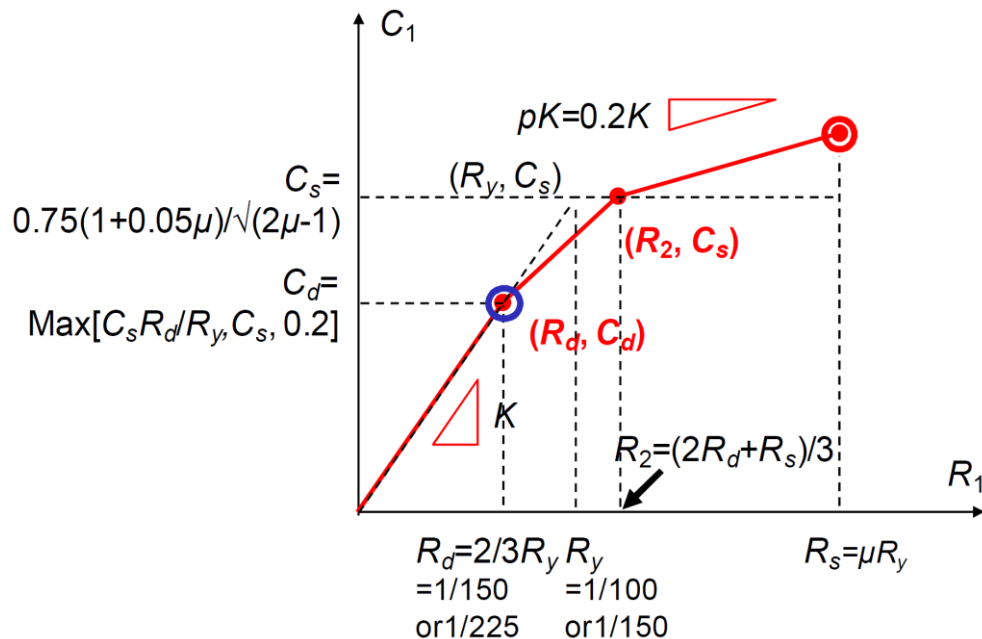
が安全側の評価となる

→低層の場合には従前の方法で良い。階数に応じた限界変形の適用範囲に留意

Dsの評価方法の検討 (時刻歴応答解析による検証)

モデルの骨格曲線の設定 (第1層のベースシア係数-層間変形角関係)

- 1) 限界変形角 R_s を決める(○)
- 2) 完全弾塑性置換したときの折れ点変形角 R_y を決める($R_y=1/100\text{rad}$ or $1/150\text{rad}$)
- 3) 1),2)から μ が決まり、保有水平耐力 $C_s(=D_s)=0.75(1+0.05\mu)/\sqrt{(2\mu-1)}$ とする
- 4) 損傷限界変形角 R_d は R_y の2/3とする。初期剛性は2),3)から C_s/R_y で定まり、 C_d は0.2を下回らないようにする(○)
- 5) 第2折れ点の変形角 R_2 は R_d と R_s を2:1に内分する変形角とし、このとき保有水平耐力 C_s に到達する。また、第2折れ点以降の3次勾配は、初期の勾配の0.2倍とする



D_s 算定用の層の限界変形角 R_s

階数	3以下	4	5	6	7	8以上
R_s	1/30	1/40	1/45	1/50	1/60	1/75

→ 1/50

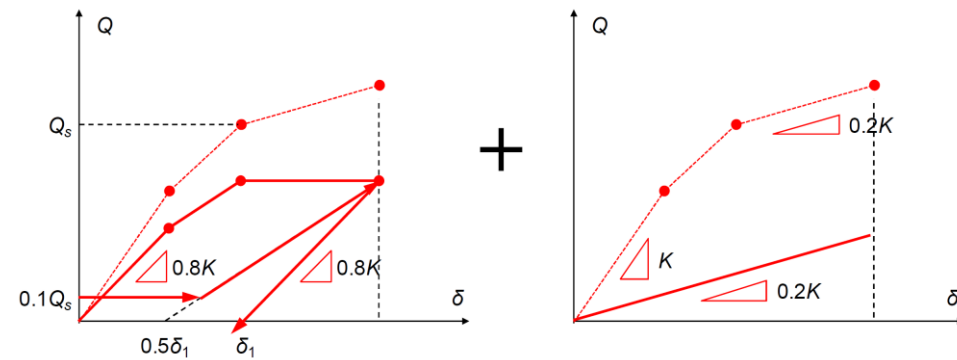
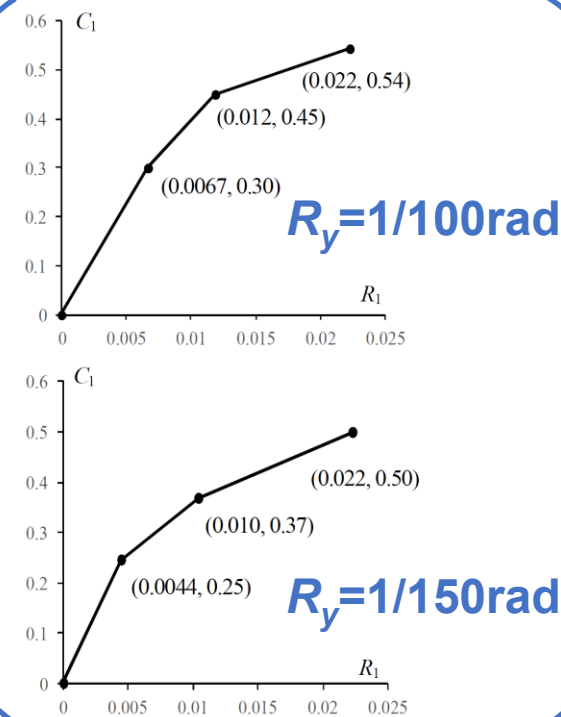
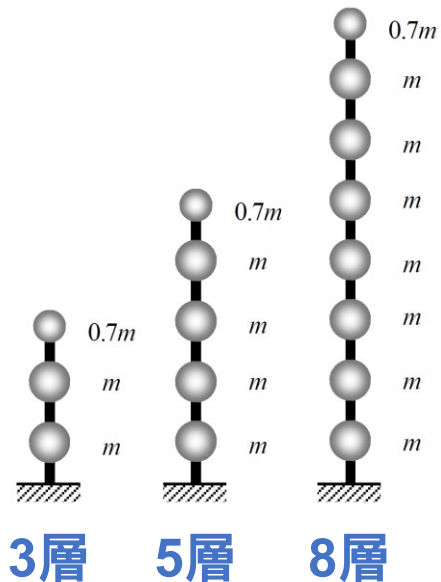
Dsの評価方法の検討 (時刻歴応答解析による検証)

振動解析モデルと入力地震動

- ・標準モデルを設定し、その耐力を0.8~1.8倍まで変化させる
- ・極めて稀に発生する地震動に対応する工学的基盤上の加速度応答スペクトルに、平12建告第1457号第10の表層地盤による加速度の増幅率(第二種地盤)を乗じて得られるスペクトルに概ね対応する模擬地震動を使用(位相特性は既往観測波で計7波)。3層モデルは調整係数 p (=0.9)を入力倍率に乗じる

標準モデルの骨格曲線

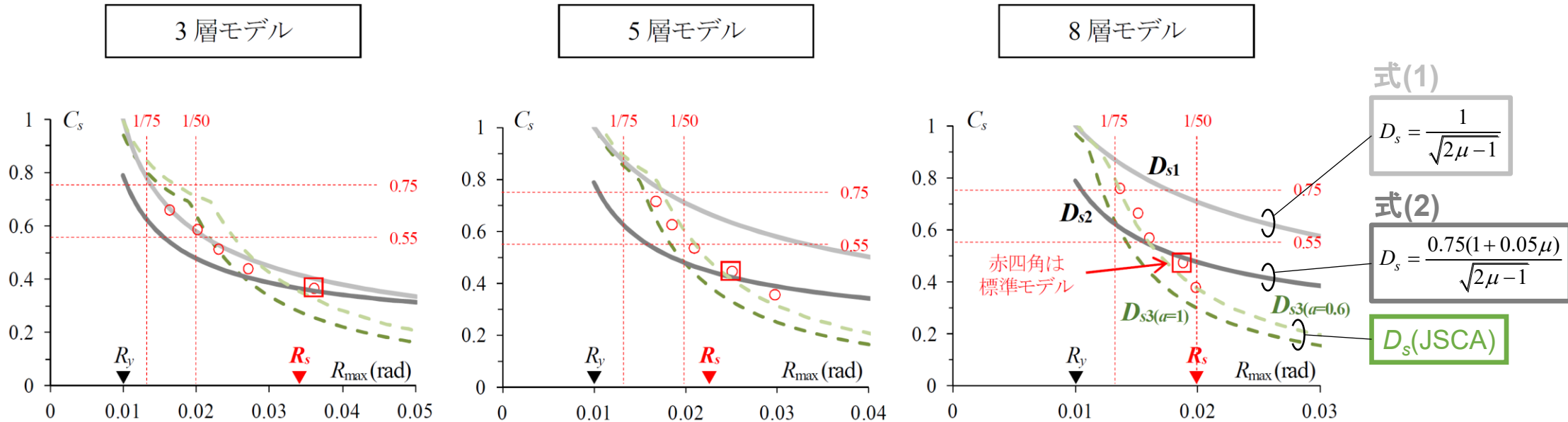
各層の剛性・耐力は A_i 分布に比例



既往のCLT架構実験の結果に適合するよう、復元力特性のパラメータを設定

D_sの評価方法の検討 (時刻歴応答解析による検証)

保有水平耐力と最大層間変形角(7波平均)の関係 (R_y=1/100radの場合)



- ・式(1)は、ほとんどのケースで時刻歴応答解析を上回った
- ・式(2)は、標準モデルの時刻歴応答解析(□)に概ね一致した
- ・ $D_s(JSCA)$ は、時刻歴応答解析に概ね一致した
- ・ $C_s=0.75$ では1/75rad程度に収まった($R_y=1/150rad$ のモデルは、 $C_s=0.55$ で1/75rad程度)

増分解析によりDsを評価する方法(案)

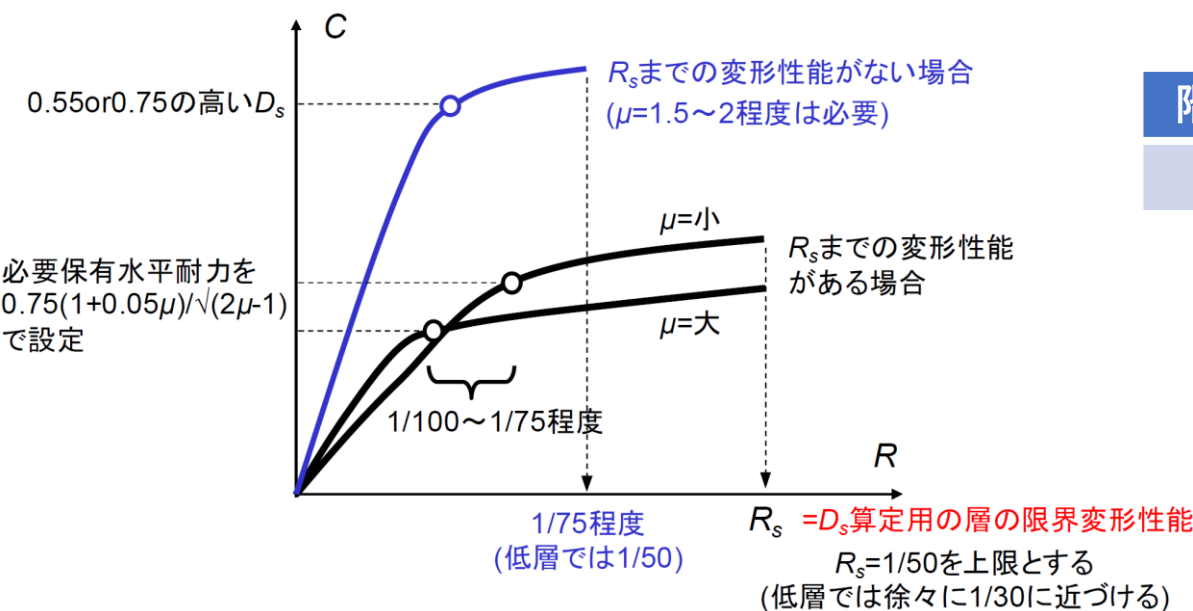
- 1) いずれかの層の層間変形角が R_s に達するまで増分解析を行う
 - * R_s に達した時点で接合部等の変形性能に余裕があっても、 R_s を D_s 算定用の層の限界変形性能とする
- 2) R_s までの荷重－変形関係に基づいて塑性率 μ を評価 (①,②のいずれか)
 - ① R_s に達した層の荷重－変形関係から μ を評価
 - ② 各層の荷重－変形関係を等価－自由度系に縮約し、その代表加速度－変位関係から μ を評価
- 3) 必要保有水平耐力は $D_s=0.75(1+0.05\mu)/\sqrt{(2\mu-1)}$ として算定 (または D_s (JSCA))
- 4) 保有水平耐力を算定 (①,②のいずれか)
 - ① 1/100～1/75rad程度に達したときの耐力
 - ② 層の荷重－変形関係を完全弾塑性置換して得られる終局耐力
- 5) 3)の必要保有水平耐力より、4)の保有水平耐力が上回ることを確認

D_s 算定用の層の限界変形角 R_s

階数	3以下	4	5	6	7	8以上
R_s	1/30	1/40	1/45	1/50	1/50	1/50

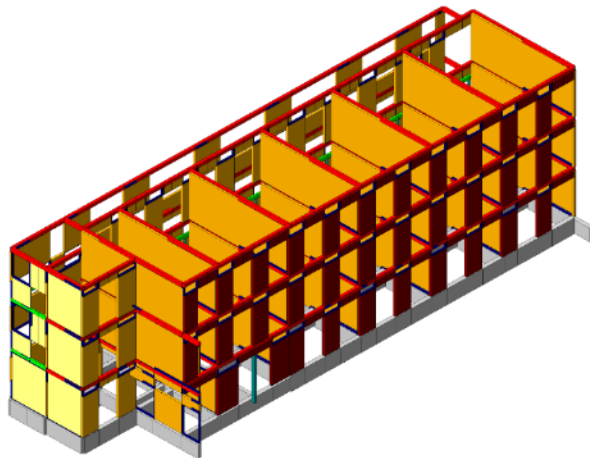
- ・ 3層以上（階高3.5mを想定）、CLTパネル工法、各層が均一に近い塑性変形が生じた状態を想定

- ・ 他の工法の木質構造においても適用できる可能性があるが、骨格曲線をはじめとして諸々の前提条件の精査などが必要

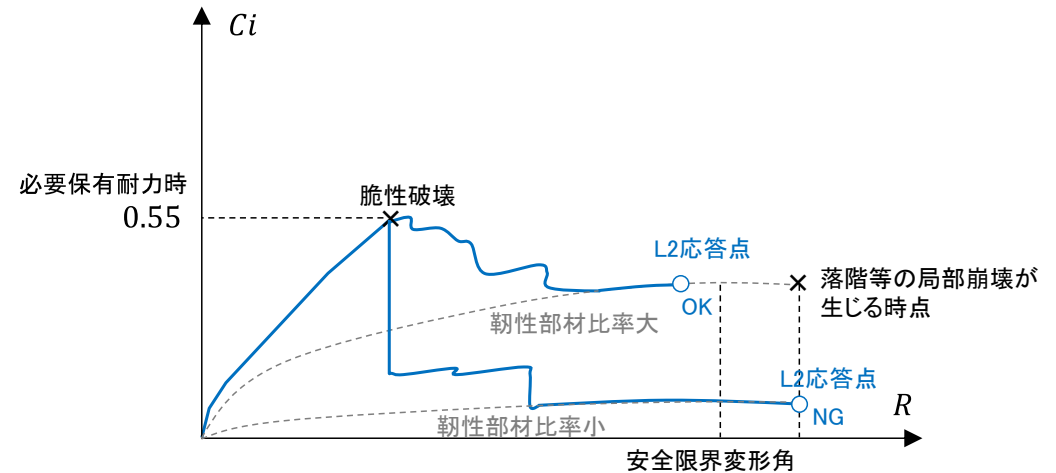


基本方針

CLTパネル工法告示の最大Ds (=0.75) の緩和の可能性を検討



3階建てモデル建物



仕様Dsの適用を外れる架構の性能イメージ

他工法では靱性が低い架構でも最大Ds=0.55で設計が可能

CLTパネル工法でも他工法とレベル感を合わせて、最大Ds=0.55とした場合の建物性能を検証する。

現行告示の仕様Dsの適用条件 → 外れると最大Ds=0.75

イ (略)

ロ 耐力壁の長さは90cm以上。

ハ 開口部の幅は70cm以上4m以下。

ニ 引張接合部は所定の変形能力を有する。 →変形能力を満足しない接合部仕様として、Ds=0.55で設計する

ホ 垂れ壁パネルの脱落防止措置（欠き込み、受け材等）を講じる。

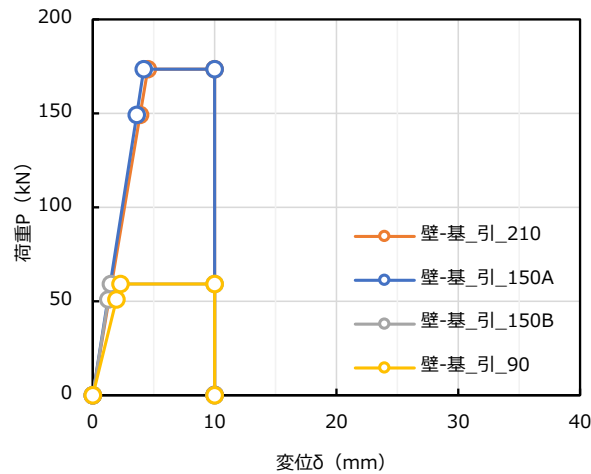
ヘ 直下に壁パネル及び垂れ壁パネルが存在しない床パネルの脱落防止措置（受け材等）を講じる。

ト 耐力壁-基礎引張接合部の先行降伏を確認する。

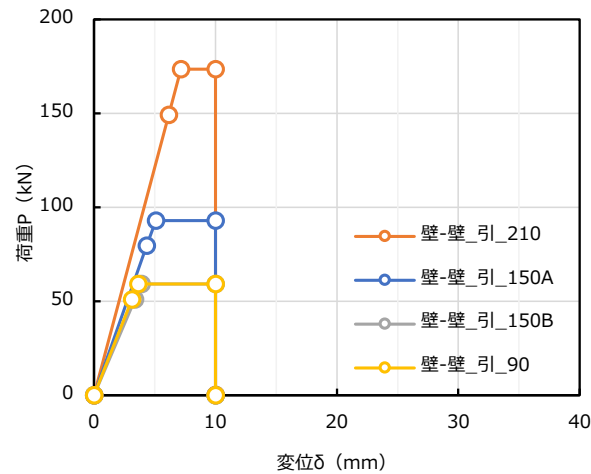
引張接合部の性能

引張接合部は告示の靱性規定を満足しない設定

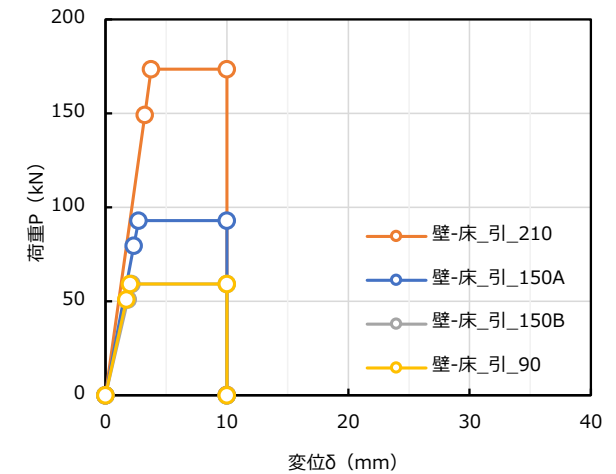
パネル符号	部位	材質	径	本数	ナット間長さ	K1	※1Py	※2Pu	δu	R
					(mm)	(kN/mm)	(kN)	(kN)	(mm)	
W21	壁-屋根、床	ABR490	M27	1	610	45.96	149.2	173.4	10	0.67
	壁-壁	ABR490	M27	1	1010	24.22	149.2	173.4	10	0.67
	壁-基礎	ABR490	M27	1	1000	38.26	149.2	173.4	10	0.67
W15 W15A	壁-屋根、床	ABR490	M20	1	610	34.00	79.6	93	10	0.67
	壁-壁	ABR490	M20	1	1010	18.30	79.6	93	10	0.67
	壁-基礎	ABR490	M27	1	850	41.32	149.2	173.4	10	0.67
W15B	壁-屋根、床	ABR490	M16	1	610	27.61	51	59.3	10	0.78
	壁-壁	ABR490	M16	1	1010	15.17	51	59.3	10	0.78
	壁-基礎	ABR490	M16	1	1100	39.63	51	59.3	10	0.78
W9 W9A	壁-屋根、床	ABR490	M16	1	610	29.37	51	59.3	10	0.73
	壁-壁	ABR490	M16	1	1010	16.24	51	59.3	10	0.73
	壁-基礎	ABR490	M16	1	750	26.04	51	59.3	10	0.73



壁-基礎引張ばね



壁-壁引張ばね

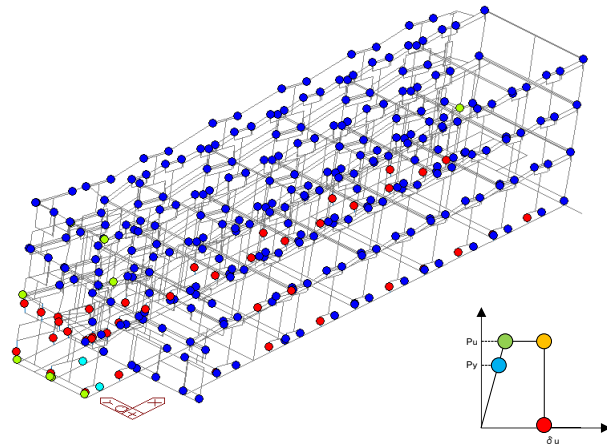


壁-床引張ばね

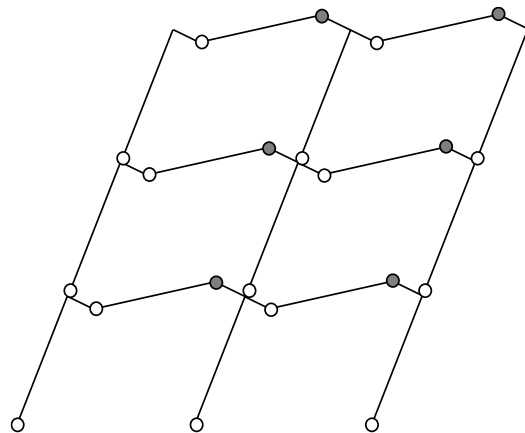
荷重増分解析結果 (X方向)

荷重増分解析結果 (X方向)

垂れ壁・腰壁によって耐力が維持されることを確認

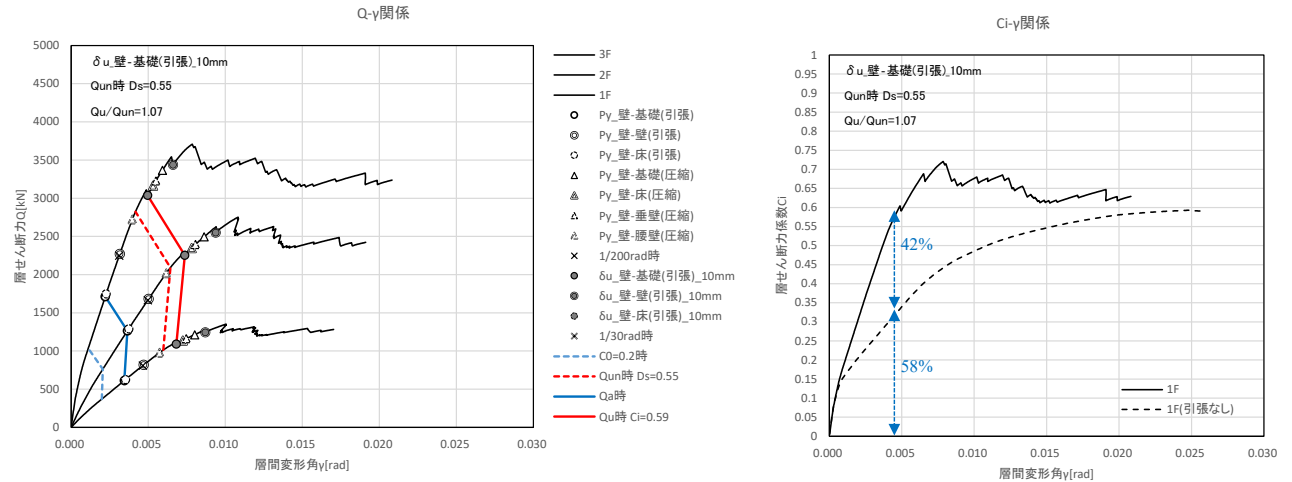


引張接合部のヒンジ図



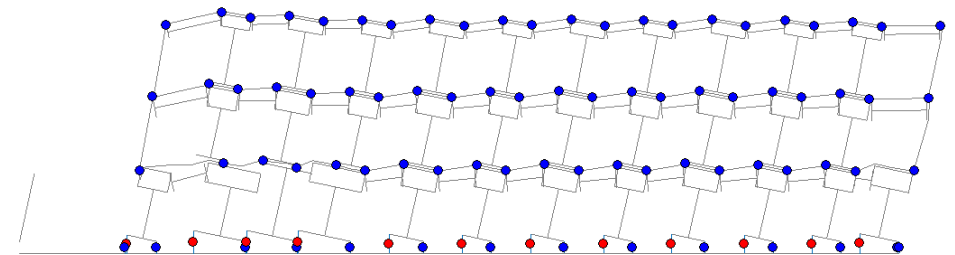
- 垂れ壁端部のモーメント抵抗
- 脆性破壊後

垂れ壁付き架構の代表的な降伏機構

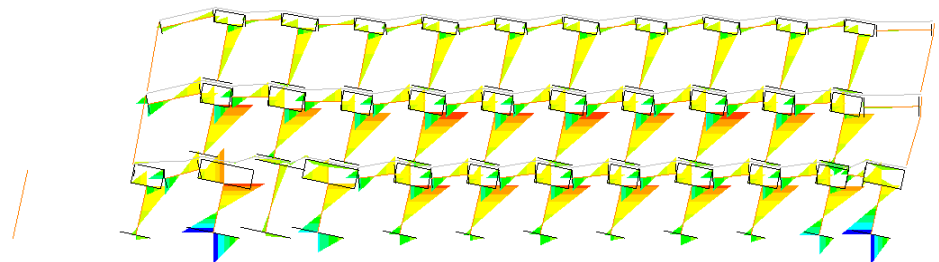


各階の荷重-変形角関係

1階の層せん断力係数-変形角関係



引張接合部ヒンジ図

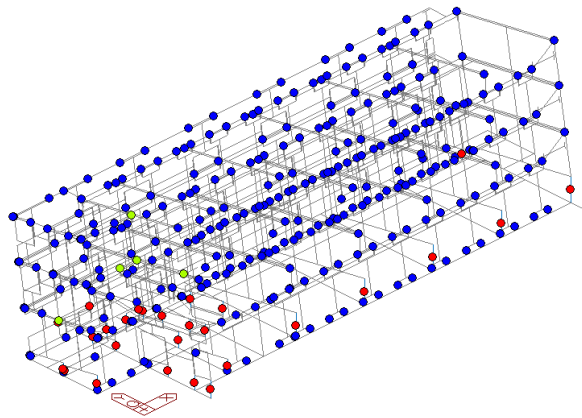


モーメント図

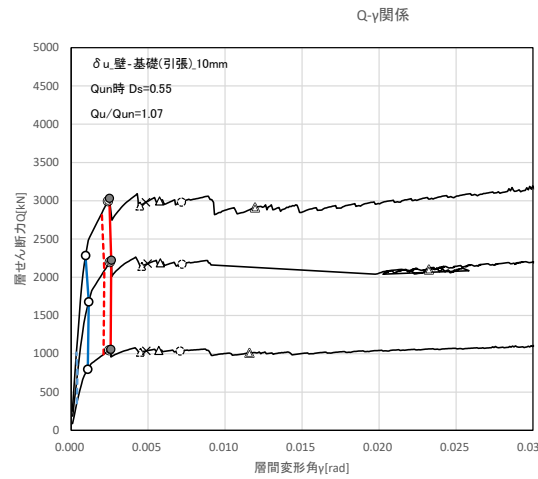
荷重増分解析結果 (Y方向)

荷重増分解析結果 (Y方向)

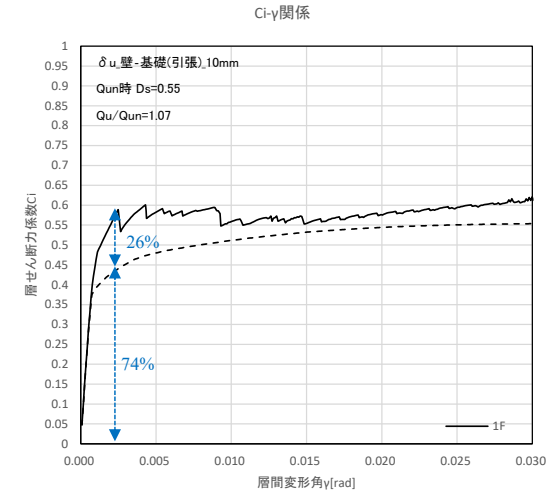
傾斜復元力によって耐力が維持されることを確認



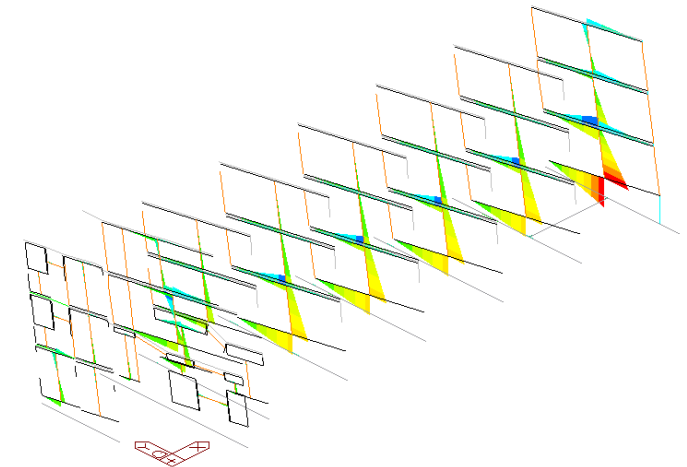
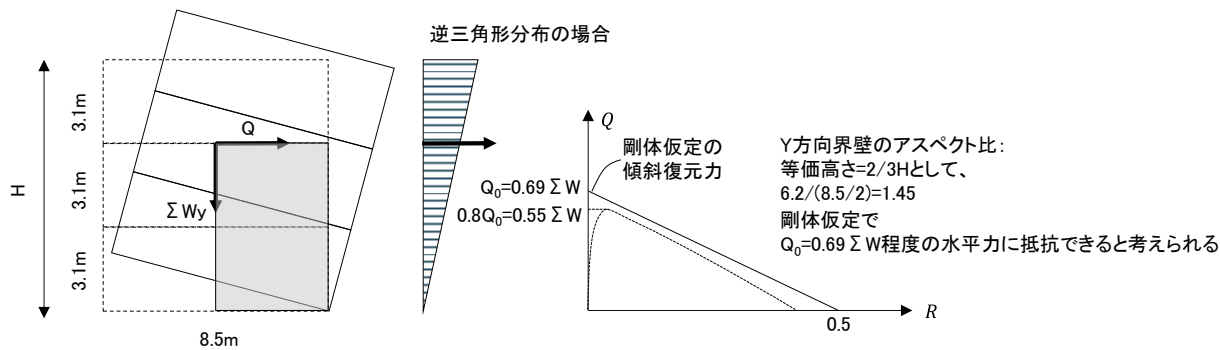
引張接合部のヒンジ図



各階の荷重-変形角関係



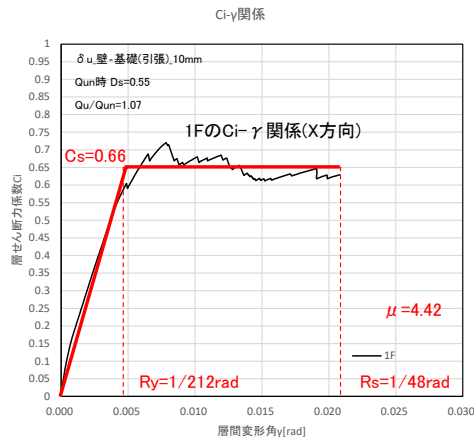
1階の層せん断力係数-変形角関係



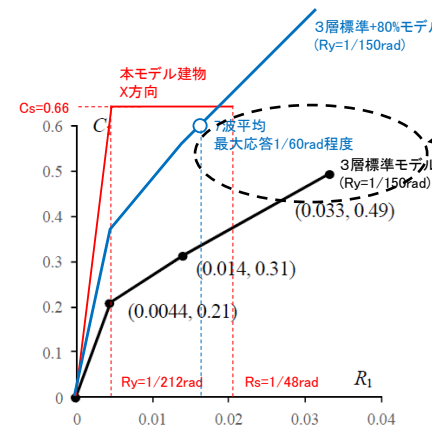
モーメント図

応答解析結果との比較

質点モデルによる応答解析結果とモデル建物のバイリニア性能の比較

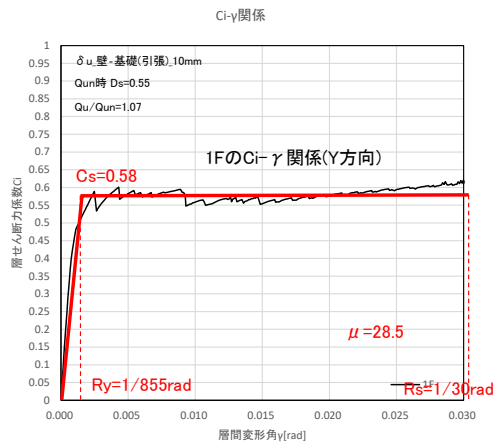


バイリニア置換 (X方向)

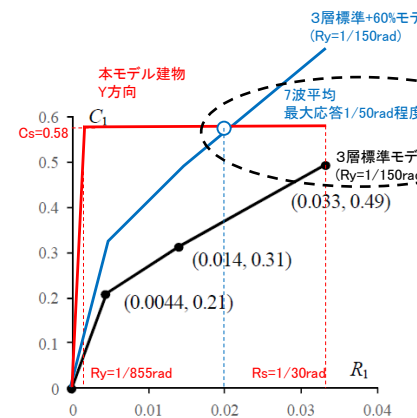


7波平均の応答値よりもモデル建物の変形能力があることを確認

振動解析モデルとの比較 (X方向)



バイリニア置換 (Y方向)



7波平均の応答値よりもモデル建物の変形能力があることを確認

振動解析モデルとの比較 (Y方向)

現行規準では最大Ds=0.75になってしまう引張接合部仕様を採用した建物でも、必要保有水平耐力をDs=0.55として算出し設計すると、極稀地震に対して安全限界以内の応答に収まる可能性が示された。

2. ルート3合理化の検討

2. 1 D_s の評価方法の検討について

【限界耐力計算に基づく応答計算から求まる D_s 値によるパラメトリックスタディ】

- ・ 低層建築物では、従来通り、限界変形角を最大 $1/15\text{rad}$ までとれることを条件に、慣例的に用いられてきた $1/\sqrt{(2\mu-1)}$ が妥当と考えられる。
- ・ 中層以上(3層以上)では、従来の $1/\sqrt{(2\mu-1)}$ から緩和を図ることは可能と思われる。

【時刻歴応答解析による検証】

- ・ 増分解析により D_s を評価して保有水平耐力計算を行う方法(案)を示した。これは3層以上(階高 3.5m を想定)のCLTパネル工法を対象としており、全層が均一に近い塑性変形が生じた状態に対して適用することを意図している。

2. ルート3合理化の検討

2. 2 Dsの下限値の緩和に向けた検討

- Ds=0.55で設計された3階建てモデル建物の性能検証を実施
- 変形能力の規定を満足しない接合部仕様として、仕様Dsを外れた架構とした
- 垂れ壁および腰壁の取り付きが多い架構では、垂れ壁・腰壁がモーメント抵抗を続けるため急激な耐力低下は生じないことを確認。
- 比較的アスペクト比の小さい連層壁で構成される架構は、壁の傾斜復元力による寄与率が大きいため、急激な荷重低下は生じないことを確認。
- 3質点モデルによる時刻歴応答解析の結果と比較すると、極稀地震に対する最大応答の7波平均は、1/50~1/60rad程度と予想され、最大応答時にも安全性が確保されることを確認。

モデル建物の限定された条件ではあるが、現行告示の仕様Dsを外れる架構でもDs=0.55として設計しておけば、極稀地震に対して安全限界以内の応答に収まる可能性が示された。