

第2回 高山市伝統構法木造建築物耐震化マニュアルの勉強会と高山伝統建築の見学等

耐震診断・耐震補強設計の事例の解説（船坂家）

2015年8月29日
金沢工業大学 建築学科 講師
須田 達

講習内容

□設計資料 pp.7 ~ 28

土塗り壁 pp.7-8

土塗り小壁 pp.8-14

仕口接合部 pp.18-28

□マニュアル pp.48 ~ 50

復元力特性の評価

□マニュアル pp.95 ~ 110

事例2 船坂家

設計資料の内容を確認しつつ、事例2に基づいて
復元力特性の評価方法について講習する

耐震性能を評価するためには
(耐震診断・耐震設計)

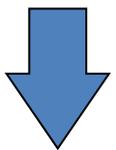
■ 建物重量の算定

■ 建物の復元力特性の算定

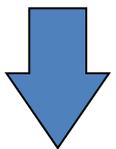
■ 限界耐力計算(伝統的構法)
(マニュアル)

建物重量の算出

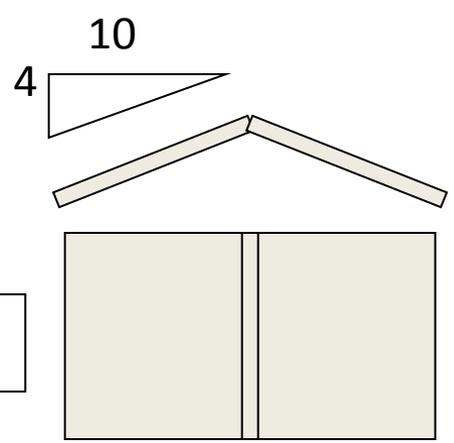
各要素の重量を算出



各構面の重量を算出

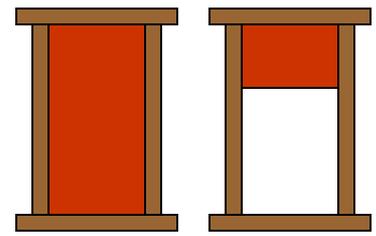


地震時設計用の
建物重量の算出



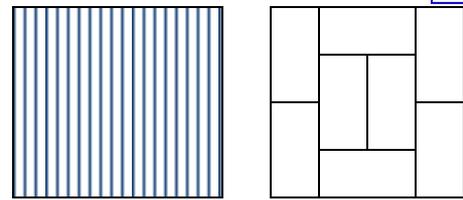
屋根荷重の算出

面積 × 勾配係数 × 単位重量
※軒の出も含めた実面積を算定



壁荷重の算出

面積 × 単位重量
※壁の厚みも考慮してする



床荷重の算出

面積 × 単位重量
※畳と板張りを区別する

重量算出の難しい点

伝統構法木造建築物の場合に

- 仕様が不明確である

- 既存建物では調査に限界もある

たとえば、土壁の厚み、下地の仕様、瓦の産地、小屋組の断面や構法

- 仕様に応じた単位荷重(資料)が少ない

たとえば、茅葺き屋根、土塗り壁

復元力特性の算出

$$\text{建物の復元力特性} = \Sigma(\text{各要素の基準となる復元力} \times \text{換算条件})$$



既往の研究・実験データ



対象要素の仕様を
調査によって確認する

全ての耐震要素が解明されている訳では無い
設計者の判断も要求される
データベースの構築

復元力算出の難しい点

伝統構法木造建築物の場合に

- 仕様が不明確である
- 既存建物では調査に限界もある

たとえば、土壁の地域性を含む仕様（厚み、材料、構法、劣化）、軸組の強度（材種、産地、劣化）

復元力特性の算出

(マニュアルp48)

□特定変形角ごとにせん断耐力（復元力）を算出

□2階建てとするならば（近似応答計算）

けた行方向 2階の復元力特性

けた行方向 1階の復元力特性

張り間方向 2階の復元力特性

張り間方向 1階の復元力特性

□要素ごとの復元力特性（各方向各階）（主たる要素）

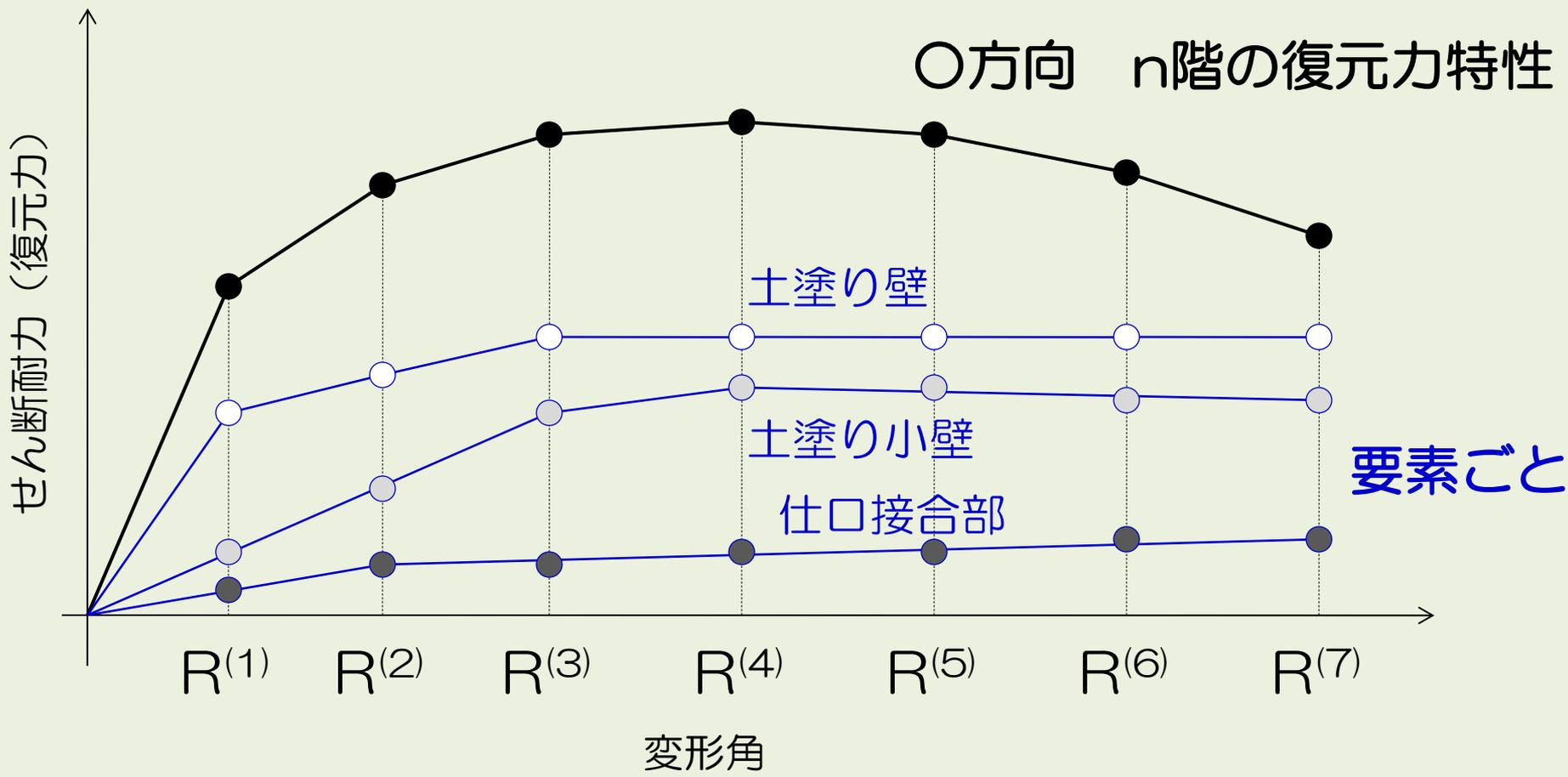
□通りごとの復元力特性（各階）（要素の偏心）

（p53ゾーンによる検討）

復元力特性の算出

(マニュアルp50)

□特定変形角ごとにせん断耐力（復元力）を算出



土塗り壁

(設計資料p7)

<土塗り壁の仕様と適用範囲>

- 片面もしくは両面に中塗りを施工し、総壁厚は50mm以上とする。
- 壁高さは、横架材心々間距離で2000mm~3900mmとし、壁高さによるせん断応力度の補正は行わない。
- 貫の厚さは15mm以上、貫のせいは105mm以上で、段数は3段以上とする。
- 竹小舞の内法間隔は、35~55mmとする。

仕様や寸法が異なれば、想定する拳動が異なる

- ・ 壁の高さ
- ・ 壁の厚み
- ・ 塗り壁の仕様
- ・ 下地の仕様

土塗り壁

(設計資料p7)

**土塗り壁
の復元力** = **壁土部分** + **軸組部分**

壁土によるせん断抵抗

- 壁厚が厚いほど大きい
- 壁長が長いほど大きい

柱ほぞによる回転めり込み抵抗

- ほぞが長いほど大きい
- ほぞが多いほど大きい
- ×柱が長いほど小さい
(せん断抵抗に換算)

(後で解説)

メカニズムが異なるため、別々に検討

土塗り壁

(設計資料p7)

壁土のせん断応力度 (τ)

(設計資料 表3.1)

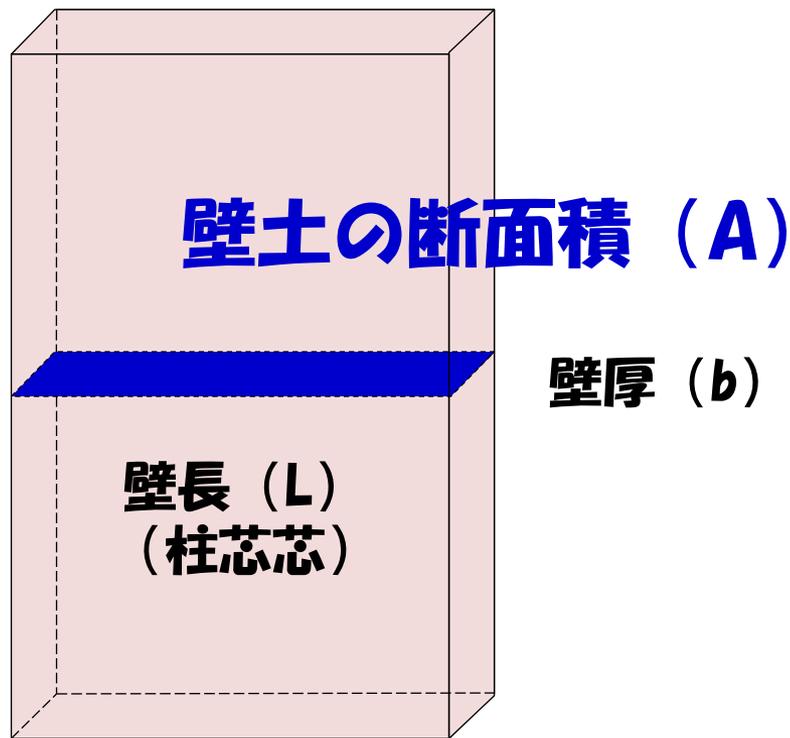
変形角	(rad)	1/480	1/240	1/120	1/90	1/60	1/45	1/30	1/20	1/15	1/10
	($\times 10^{-3}$ rad)	2.08	4.17	8.33	11.11	16.67	22.22	33.33	50.00	66.67	100.00
せん断応力度	1P以上1.5P未満	15	28	48	60	70	68	65	60	52	32
(kN/m^2)	1.5P以上2P以下	30	54	86	96	98	93	84	72	58	34

$$Q = \tau \cdot A$$

壁土によるせん断抵抗 (Q)

壁厚 (b) が厚いほど大きい

壁長 (L) が長いほど大きい



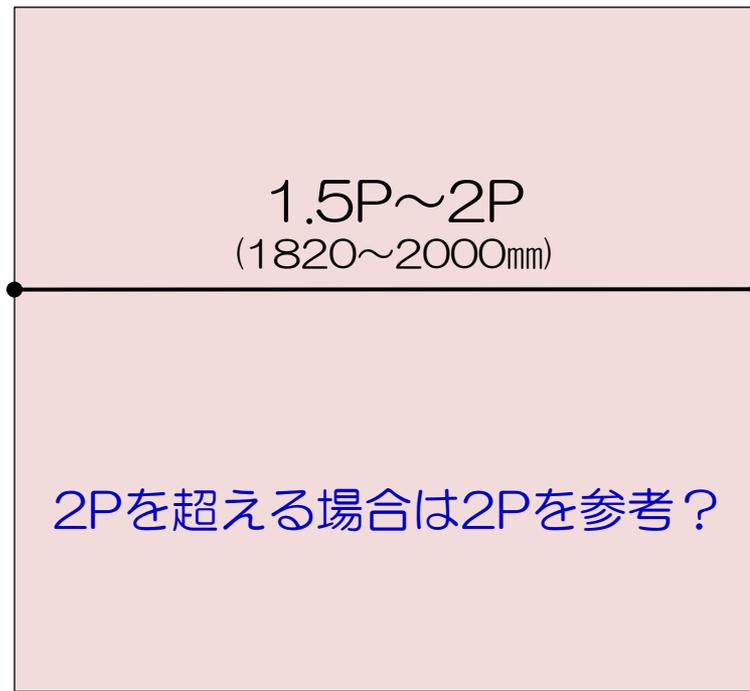
土塗り壁

(設計資料p7)

壁土のせん断応力度 (τ)

(設計資料 表3.1)

変形角	(rad)	1/480	1/240	1/120	1/90	1/60	1/45	1/30	1/20	1/15	1/10
	($\times 10^{-3}$ rad)	2.08	4.17	8.33	11.11	16.67	22.22	33.33	50.00	66.67	100.00
せん断応力度	1P以上1.5P未満	15	28	48	60	70	68	65	60	52	32
(kN/m^2)	1.5P以上2P以下	30	54	86	96	98	93	84	72	58	34



破壊形式が異なるため、それぞれ設定

土塗り壁

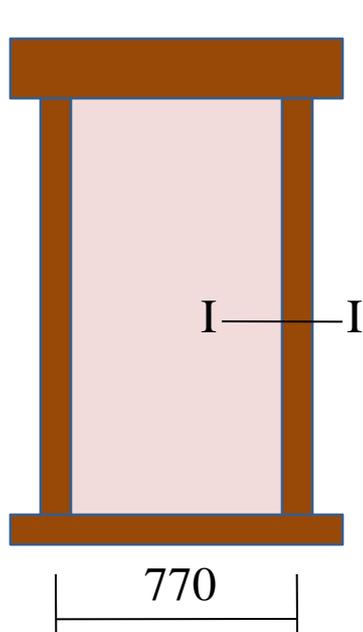
(マニュアルp98)

壁土のせん断応力度 (τ)

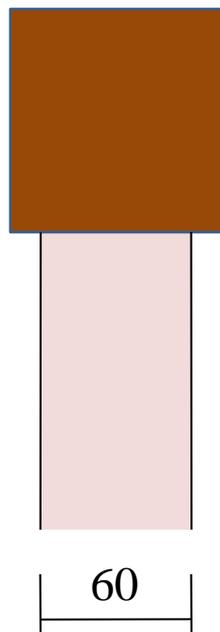
(設計資料 表3.1)

変形角	(rad)	1/480	1/240	1/120	1/90	1/60	1/45	1/30	1/20	1/15	1/10
	($\times 10^{-3}$ rad)	2.08	4.17	8.33	11.11	16.67	22.22	33.33	60.00	66.67	100.00
せん断応力度 (kN/m^2)	1P以上1.5P未満	15	28	48	60	70	68	65	60	52	32
	1.5P以上2P以下	30	54	86	88	98	93	84	72	58	34

<土塗り壁1> 壁長さ：770mm 壁厚：60mm



軸組図



断面図
I - I

<1/90rad時の計算>

$$\begin{aligned} Q1 &= 60 \times 0.77 \times 0.06 \\ &= 2.8 \quad (\text{kN}) \end{aligned}$$

土塗り壁

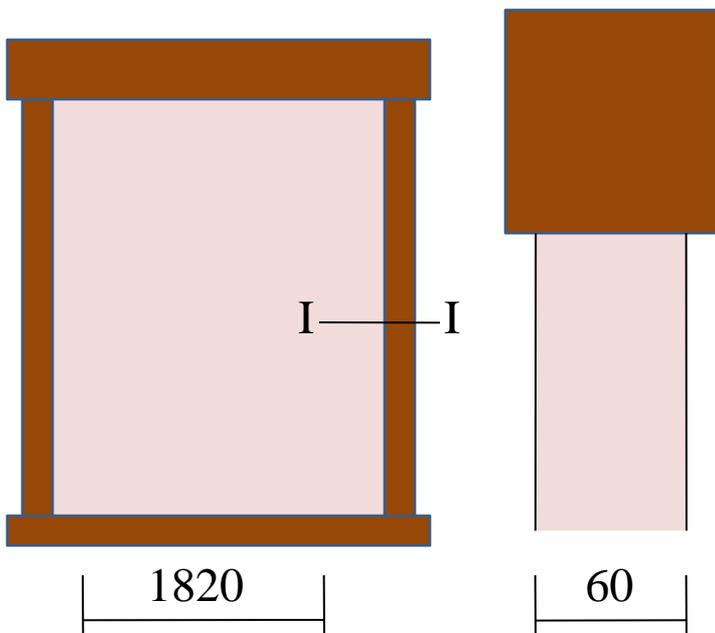
(マニュアルp98)

壁土のせん断応力度 (τ)

(設計資料 表3.1)

変形角	(rad)	1/480	1/240	1/120	1/90	1/60	1/45	1/30	1/20	1/15	1/10
	($\times 10^{-3}$ rad)	2.08	4.17	8.33	11.11	16.67	22.22	33.33	50.00	66.67	100.00
せん断応力度 (kN/m^2)	1P以上1.5P未満	15	28	48	60	70	68	65	60	52	32
	1.5P以上2P以下	30	54	86	96	98	93	84	72	58	34

<土塗り壁2> 壁長さ：1820mm 壁厚：60mm



軸組図

断面図

I - I

<1/90rad時の計算>

$$Q1 = 96 \times 1.82 \times 0.06 \\ = 10.5 \quad (\text{kN})$$

<1/20rad時の計算>

$$Q1 = 72 \times 1.82 \times 0.06 \\ = 7.9 \quad (\text{kN})$$

土塗り小壁(設計資料p8)

＜土塗り小壁の仕様と留意事項＞

■小壁の仕様は土塗り壁と同等。

□垂れ壁と腰壁は同じ復元力特性を用いる。

■同一軸組架構に垂れ壁と腰壁の両方が存在する場合は、垂れ壁のみを含む軸組架構と腰壁のみを含む軸組架構とに分けて、それぞれの復元力で「柱が1本有効な場合の復元力」を用いて加算する。

□小壁(垂れ壁・腰壁)が連続し、柱の変形が小壁で拘束される場合の復元力は、別途考慮する。

土塗り小壁(設計資料p8)

**土塗り小壁
の復元力** = **小壁部分** + **軸組部分**

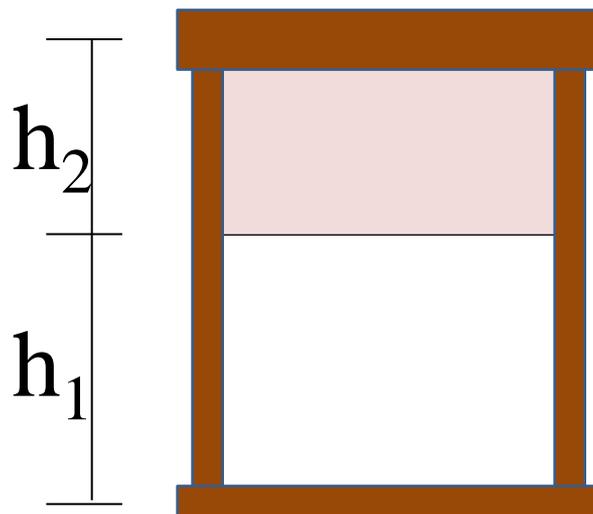
せん断耐力 = **小壁部分** + **軸組部分**
 $Q = Q_W + Q_C$ (式3.1)

せん断変形 = **小壁部分** + **軸組部分**
 $\delta = \delta_W + \delta_C$ (式3.5)

土塗り小壁(設計資料p8)

せん断耐力 = 小壁部分 + 軸組部分
(式3.2、式3.3は省略)

$$Q = Q_w \times h_2 / (h_1 + h_2) \quad (\text{式3.4})$$



階高に対する小壁高さの比によって算定

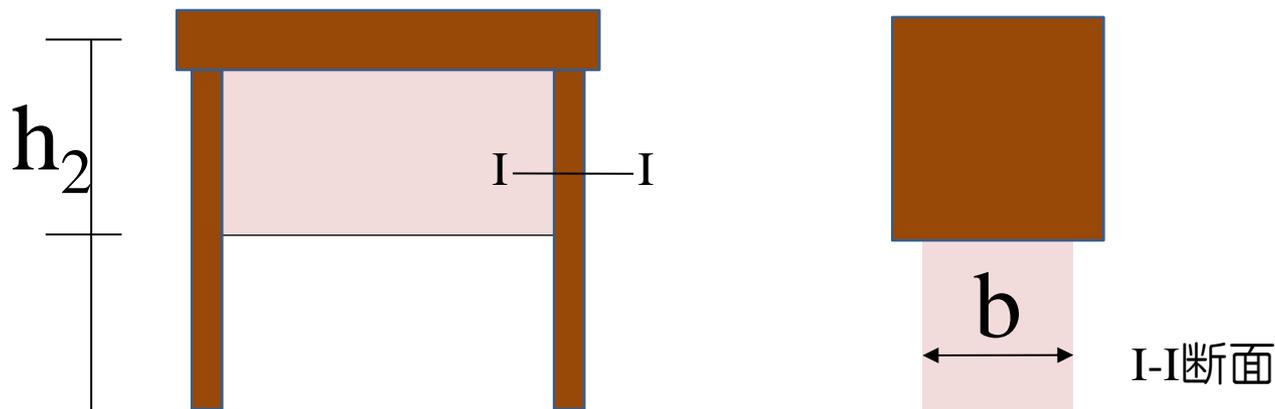
土塗り小壁 (設計資料p8)

壁土 (小壁) のせん断応力度 (τ) (設計資料 表3.2)

変形角	(rad)	1/480	1/240	1/120	1/90	1/60	1/45	1/30	1/20	1/15	1/10
	($\times 10^{-3}$ rad)	2.08	4.17	8.33	11.11	16.67	22.22	33.33	50.00	66.67	100.00
単位壁高さ・ 単位壁厚あたり せん断力 (kN/m^2)	1P以上 2P未満	26	50	90	111	140	161	163	153	133	67
	2P以上 4P未満	39	74	134	166	210	241	245	230	199	100
	4P	58	112	201	249	315	362	368	345	299	150

小壁のせん断応力度は、単位壁高さ・単位壁厚あたり

$$Q_w = \tau \times \text{壁厚} \times \text{小壁高さ}$$

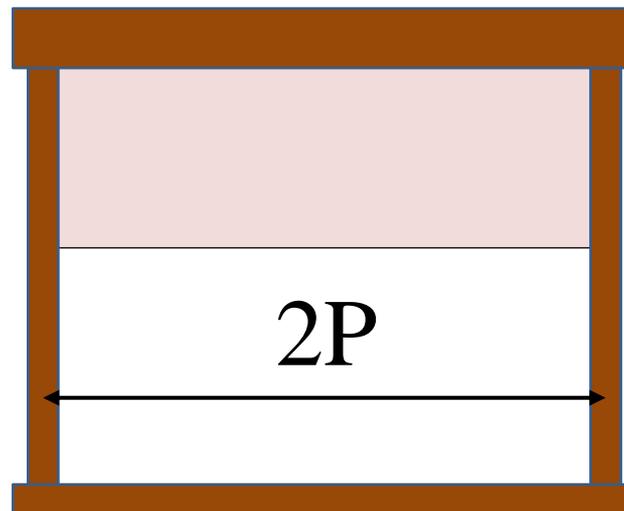
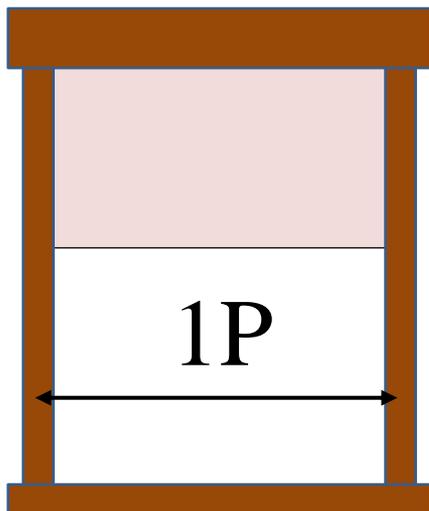


土塗り小壁 (設計資料p8)

壁土 (小壁) のせん断応力度 (τ) (設計資料 表3.2)

変形角	(rad)	1/480	1/240	1/120	1/90	1/60	1/45	1/30	1/20	1/15	1/10
	$\times 10^{-4}$	2.08	4.17	8.33	11.11	16.67	22.22	33.33	50.00	66.67	100.00
単位壁高さ・ 単位壁厚あたり せん断力 (kN/m^2)	1P以上 2P未満	26	50	90	111	140	161	163	153	133	67
	2P以上 4P未満	39	74	134	166	210	241	245	230	199	100
	4P	58	112	201	249	315	362	368	345	299	150

小壁の壁長さに応じてせん断応力度を設定



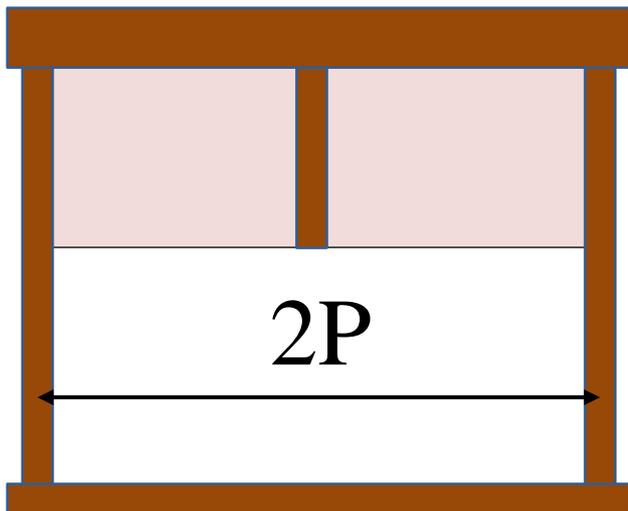
土塗り小壁 (設計資料p8)

壁土 (小壁) のせん断応力度 (τ) (設計資料 表3.2)

変形角	(rad)	1/480	1/240	1/120	1/90	1/60	1/45	1/30	1/20	1/15	1/10
	($\times 10^{-3}$ rad)	2.08	4.17	8.33	11.11	18.07	22.22	33.33	50.00	66.67	100.00
単位壁高さ・ 単位壁厚あたり せん断力 (kN/m^2)	1P以上 2P未満	26	50	90	111	140	161	163	153	133	67
	2P以上 4P未満	39	74	134	166	210	241	245	230		
	4P	58	112	201	249	315	362	368	345		

×2倍

壁長さと耐力比の関係



壁長	使用する復元力特性	耐力比
1P未満	評価しない	0
1P以上2P未満	「1P」	1
2P以上4P未満	「2P」	1.5
	「2P束あり」	2.0 (「1P」の2倍)
4P	「4P」	2.25
	「4P束あり」	4.0 (「2P」の2倍)

(設計資料 表3.3)

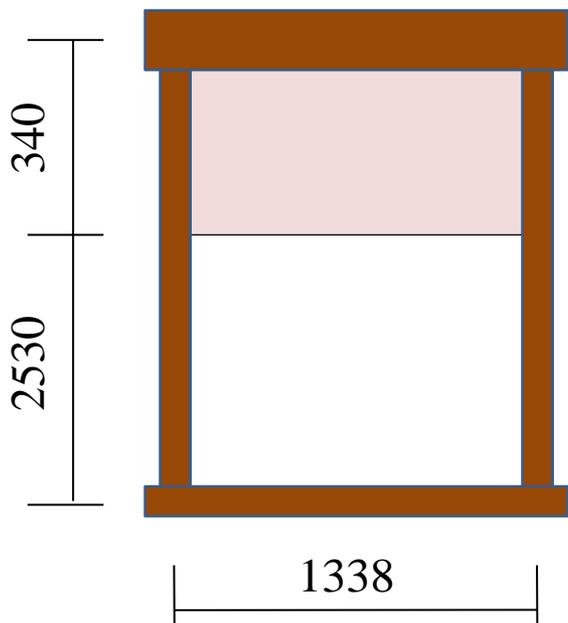
束のある場合

土塗り小壁(マニュアルp98)

壁土 (小壁) のせん断応力度 (τ) (設計資料 表3.2)

変形角	(rad)	1/480	1/240	1/120	1/90	1/60	1/45	1/30	1/20	1/15	1/10
	($\times 10^{-3}$ rad)	2.08	4.17	8.33	11.11	16.67	22.22	33.33	50.00	66.67	100.00
単位壁高さ・ 単位壁厚あたり せん断力 (kN/m^2)	1P以上 2P未満	26	50	90	111	140	161	163	153	133	67
	2P以上 4P未満	39	74	134	166	210	241	245	230	199	100
	4P	58	112	201	249	315	362	368	345	299	150

<土塗り小壁1> 小壁高さ340 壁厚60 壁長さ770 壁高さ2870 mm



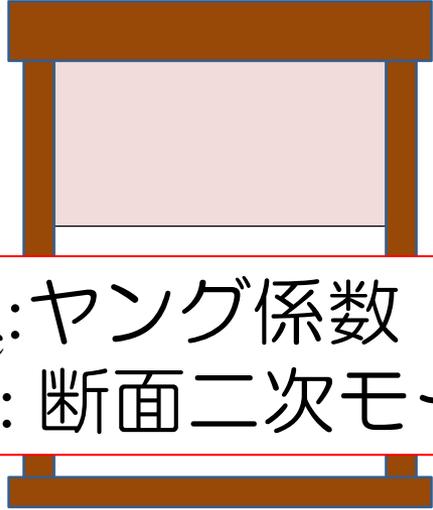
<1/90rad時の計算>

$$Q_w = 111 \times 0.34 \times 0.06 \\ = 2.26 \quad (\text{kN/m}^2)$$

$$Q = 2.26 \times 0.34 / 2.87 \\ = 0.27 \quad (\text{kN})$$

土塗り小壁(設計資料p10)

せん断変形
=小壁のせん断変形
+柱の曲げ変形



E_c : ヤング係数
 I_c : 断面二次モーメント

$$\delta_w = \gamma(h_1 + h_2)$$

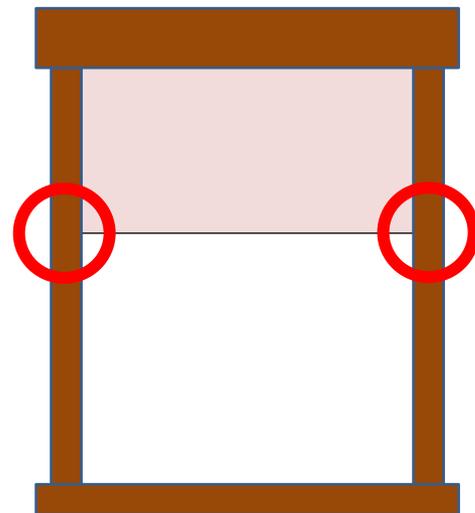
柱2本とも有効

$$\delta_c = \frac{\frac{Q_w}{2} h_1^2 h_2^2}{3E_c I_c (h_1 + h_2)} \cdot \frac{h_1 + h_2}{h_2} = \frac{\frac{Q_w}{2} h_1^2 h_2}{3E_c I_c}$$

(式3.6、式3.7)

土塗り小壁(設計資料p10)

引き抜きに弱い接合
大入れ、斜め釘打ちなど



$$\delta_w = \gamma(h_1 + h_2)$$

柱1本のみ有効

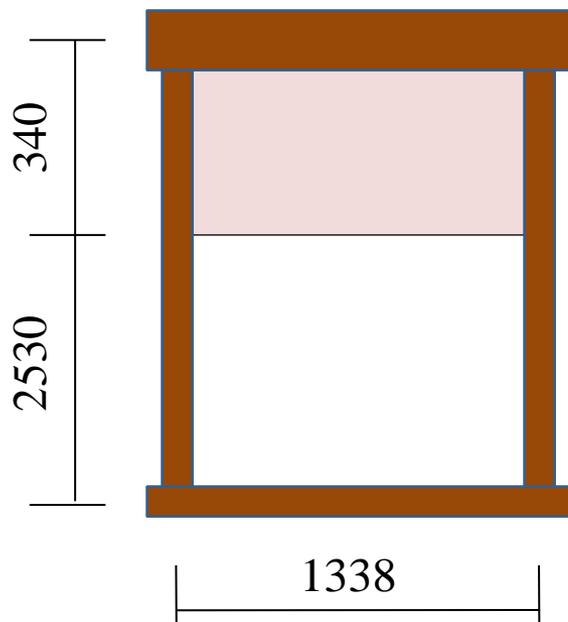
×2倍

$$\delta_c = \frac{\frac{Q_w}{2} h_1^2 h_2^2}{3E_c I_c (h_1 + h_2)} \cdot \frac{h_1 + h_2}{h_2} = \frac{\frac{Q_w}{2} h_1^2 h_2}{3E_c I_c}$$

柱1本のみ有効の場合 δ_c を2倍とする

土塗り小壁 (マニュアルp99)

<土塗り小壁1> 小壁高さ340 壁厚60 壁長さ770 壁高さ2870 mm
ヤング係数7kN/mm² 柱断面110mm角



<1/90rad時の計算>

$$\begin{aligned}\delta_w &= 1/90 \times 2870 \\ &= 31.9 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\delta_c &= \{2.26/2 \times (2530)\}^2 \times 340 \\ &\quad / (3 \times 7 \times 12200833) \times 2 \\ &= 19.2 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\delta &= 31.9 + 19.2 \\ &= \mathbf{51.1}\end{aligned}$$

標準の特定変形角の値と異なる

土塗り小壁

<土塗り小壁1> 小壁高さ340 壁厚60 壁長さ770 壁高さ2870 mm
ヤング係数71200833 柱断面110mm角

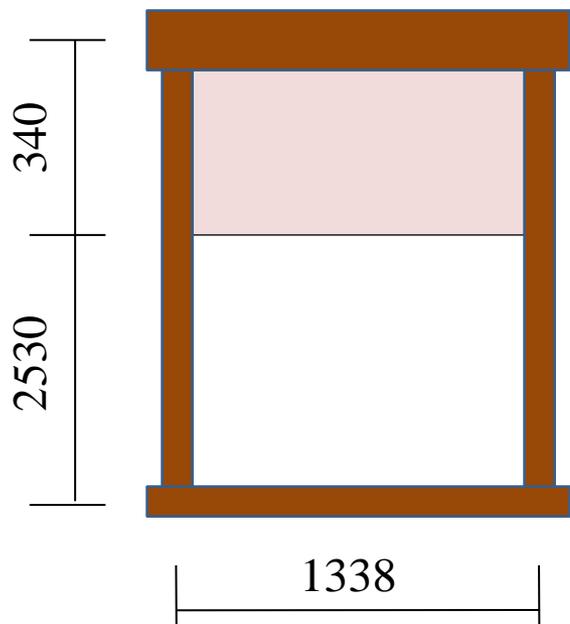
同様に

<1/60rad時の計算>

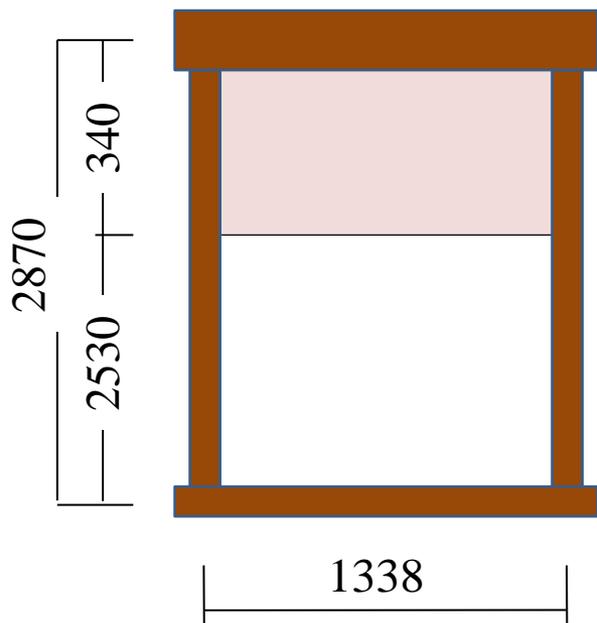
$$\begin{aligned}\delta_w &= 1/60 \times 2870 \\ &= 47.8 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\delta_c &= \{3.12/2 \times (2530)\} 2 \times 340 \\ & \quad / (3 \times 7 \times 12200833) \times 2 \\ &= 24.3 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\delta &= 47.8 + 24.3 \\ &= 72.1\end{aligned}$$



土塗り小壁 (マニュアルp99)



変形角(rad)		変位(mm)
1 / 90 (0.0111)	→	31.9
1 / 60 (0.1667)		47.8
1 / 45 (0.0222)		63.8
1 / 30 (0.0333)		95.7

< 1/90rad時の計算 >

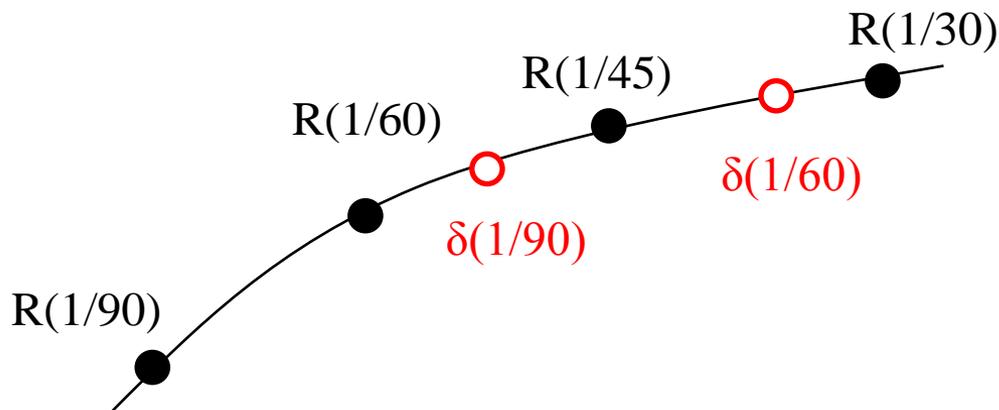
$$\delta(1/90) = \mathbf{51.1} \text{ mm}$$

(R=0.0178)

< 1/60rad時の計算 >

$$\delta(1/60) = \mathbf{72.1} \text{ mm}$$

(R=0.0178)



標準の特定変形角の値と異なる

土塗り小壁 (設計資料p14)

< 1/90rad時の計算 >

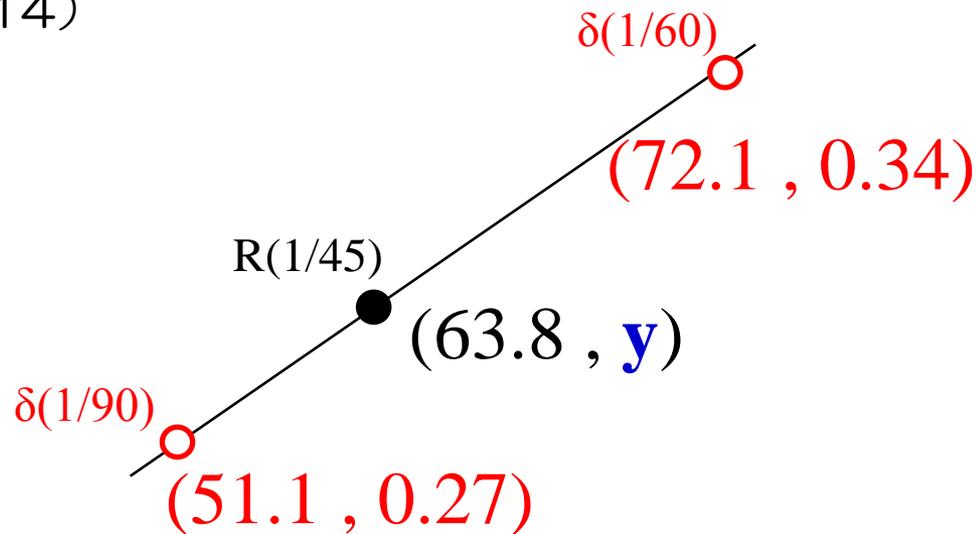
$$Q(1/90) = 0.27 \text{ kN}$$

$$\delta(1/90) = 51.1 \text{ mm}$$

< 1/60rad時の計算 >

$$Q(1/60) = 0.34 \text{ kN}$$

$$\delta(1/60) = 72.1 \text{ mm}$$



線形補間によって標準の特定変形角時のせん断耐力を求める

$$y(\delta) = (0.34-0.27)/(72.1-51.1) \times (63.8-51.1) + 0.27 = 0.31$$

柱一横架材

(設計資料p19~27)

<横架材の種類>

横架材とは、差し鴨居、足固め、貫のこと

<水平抵抗要素>

柱-横架材の接合部に生じる曲げモーメントのこと

<接合部の種類>

- ①通し貫、②雇いほぞ込み栓打ち、③雇いほぞ車知栓打ち、
- ④小根ほぞ車知栓打ち、⑤小根ほぞ鼻栓打ち、
- ⑥小根ほぞ込み栓打ち、⑦小根ほぞ割り楔締め

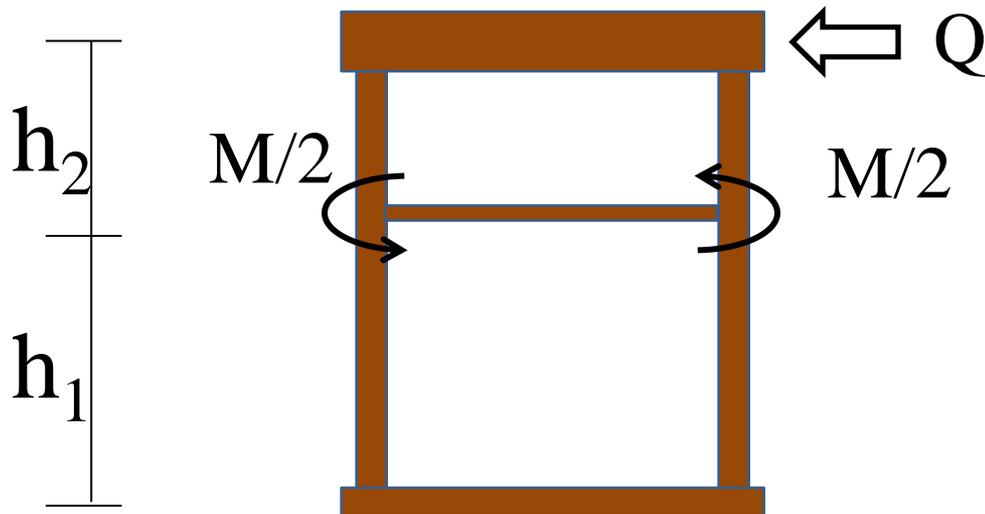
実験的に検証された仕口接合部

柱一横架材 (設計資料p19)

せん断耐力 = 曲げモーメント / 階高

左右の梁端部のモーメントの合計をMとすると
(1 構面当たりのモーメントがM)

$$Q = M / (h_1 + h_2)$$



通し貫

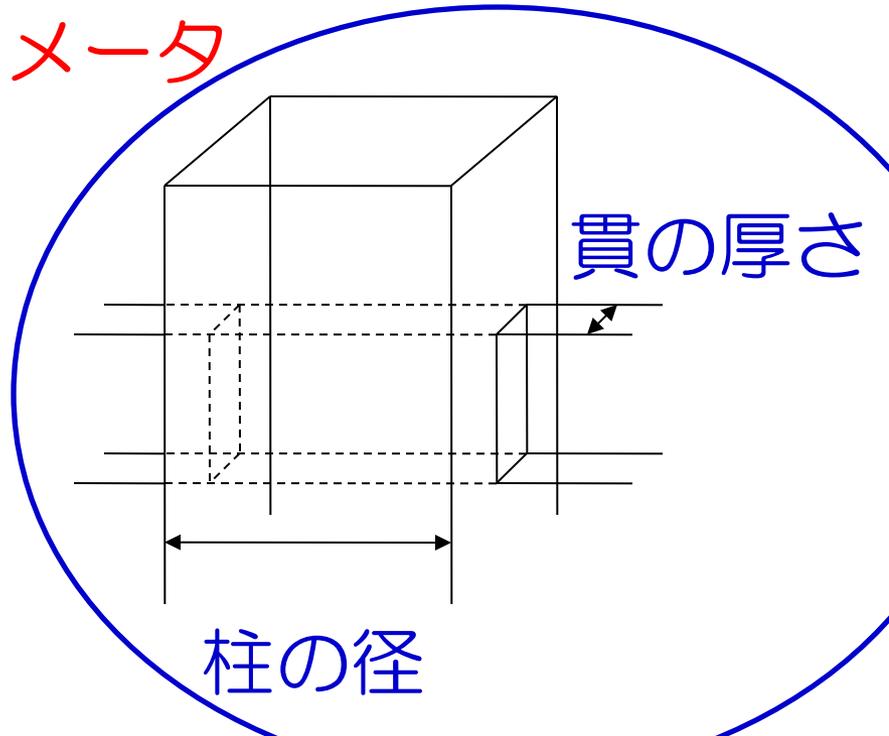
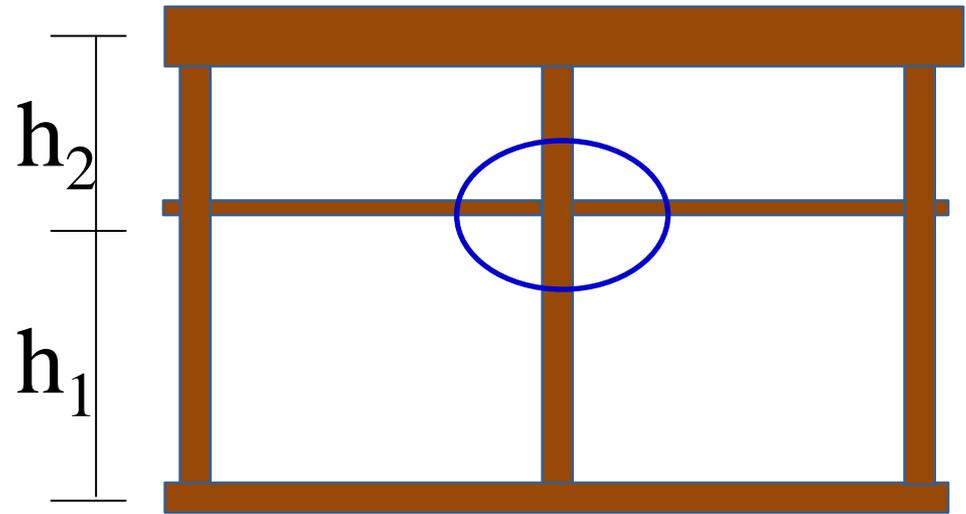
(設計資料p20)

通し貫の曲げモーメント

(設計資料 表4.2)

貫厚さW(mm)	15	15	15	18	18	18	21	21	21	24	24	24	27	27	27	30	30	30	
柱径L(mm)	120	135	150	120	135	150	120	135	150	120	135	150	120	135	150	120	135	150	
($\times 10^{-3}$ rad)	(kNm)																		
1/480	2.1	0.04	0.05	0.06	0.05	0.06	0.07	0.05	0.07	0.08	0.06	0.08	0.09	0.07	0.09	0.11	0.08	0.09	0.12
1/240	4.2	0.08	0.09	0.12	0.09	0.11	0.14	0.11	0.13	0.16	0.12	0.15	0.19	0.14	0.17	0.21	0.15	0.19	0.23
1/120	8.3	0.15	0.19	0.23	0.18	0.23	0.28	0.21	0.27	0.33	0.24	0.30	0.38	0.27	0.34	0.42	0.30	0.38	0.47
1/90	11.1	0.19	0.24	0.28	0.24	0.30	0.36	0.28	0.35	0.43	0.32	0.40	0.50	0.36	0.45	0.56	0.40	0.51	0.63
1/60	16.7	0.20	0.25	0.30	0.26	0.32	0.38	0.31	0.38	0.46	0.37	0.45	0.54	0.43	0.52	0.63	0.48	0.59	0.71
1/45	22.2	0.22	0.27	0.32	0.27	0.33	0.40	0.33	0.40	0.49	0.39	0.48	0.57	0.45	0.55	0.66	0.51	0.62	0.75
1/30	33.3	0.24	0.30	0.36	0.30	0.37	0.45	0.36	0.45	0.54	0.43	0.53	0.64	0.49	0.61	0.73	0.56	0.69	0.83
1/20	50.0	0.28	0.35	0.42	0.35	0.43	0.52	0.42	0.52	0.62	0.49	0.60	0.73	0.50	0.69	0.84	0.63	0.78	0.95
1/15	66.7	0.32	0.39	0.48	0.39	0.49	0.59	0.47	0.58	0.71	0.55	0.68	0.82	0.63	0.78	0.94	0.71	0.88	1.06
1/10	100.0	0.39	0.49	0.6	0.48	0.60	0.73	0.57	0.71	0.87	0.67	0.83	1.01	0.76	0.95	1.15	0.86	1.07	1.30

貫の厚さと柱の径がパラメータ



通し貫

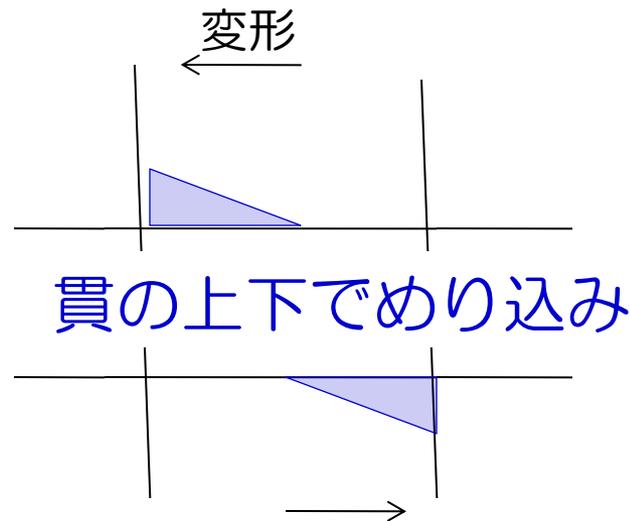
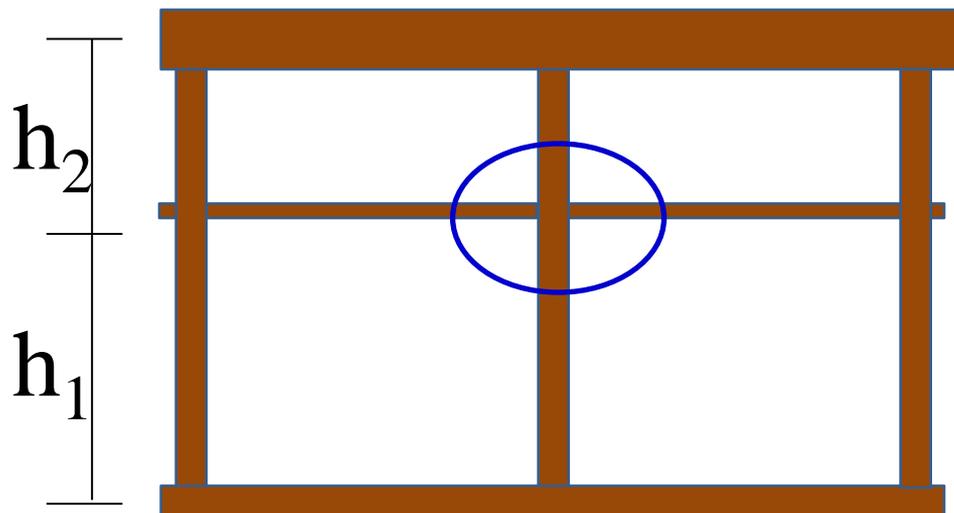
(設計資料p20)

通し貫の曲げモーメント

(設計資料 表4.2)

貫厚さW(mm)	15	15	15	18	18	18	21	21	21	24	24	24	27	27	27	30	30	30	
柱径L(mm)	120	135	150	120	135	150	120	135	150	120	135	150	120	135	150	120	135	150	
($\times 10^{-3}$ rad)	(kNm)																		
1/480	2.1	0.04	0.05	0.06	0.05	0.06	0.07	0.05	0.07	0.08	0.06	0.08	0.09	0.07	0.09	0.11	0.08	0.09	0.12
1/240	4.2	0.08	0.09	0.12	0.09	0.11	0.14	0.11	0.13	0.16	0.12	0.15	0.19	0.14	0.17	0.21	0.15	0.19	0.23
1/120	8.3	0.15	0.19	0.23	0.18	0.23	0.28	0.21	0.27	0.33	0.24	0.30	0.38	0.27	0.34	0.42	0.30	0.38	0.47
1/90	11.1	0.19	0.24	0.28	0.24	0.30	0.36	0.28	0.35	0.43	0.32	0.40	0.50	0.36	0.45	0.56	0.40	0.51	0.63
1/60	16.7	0.20	0.25	0.30	0.26	0.32	0.38	0.31	0.38	0.46	0.37	0.45	0.54	0.43	0.52	0.63	0.48	0.59	0.71
1/45	22.2	0.22	0.27	0.32	0.27	0.33	0.40	0.33	0.40	0.49	0.39	0.48	0.57	0.45	0.55	0.66	0.51	0.62	0.75
1/30	33.3	0.24	0.30	0.36	0.30	0.37	0.45	0.36	0.45	0.54	0.43	0.53	0.64	0.49	0.61	0.73	0.56	0.69	0.83
1/20	50.0	0.28	0.35	0.42	0.35	0.43	0.52	0.42	0.52	0.62	0.49	0.60	0.73	0.50	0.69	0.84	0.63	0.78	0.95
1/15	66.7	0.32	0.39	0.48	0.39	0.49	0.59	0.47	0.58	0.71	0.55	0.68	0.82	0.63	0.78	0.94	0.71	0.88	1.06
1/10	100.0	0.39	0.49	0.6	0.48	0.60	0.73	0.57	0.71	0.87	0.67	0.83	1.01	0.76	0.95	1.15	0.86	1.07	1.30

柱の片側のめり込みによる曲げモーメント



通し貫

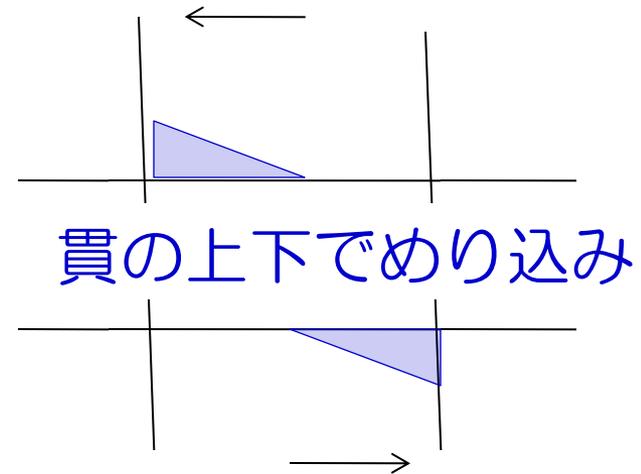
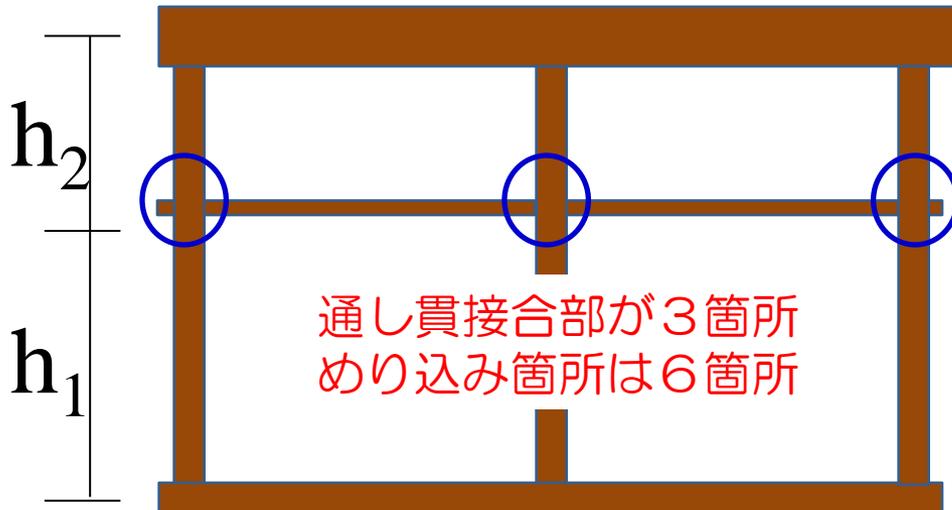
(設計資料p20)

通し貫の曲げモーメント

(設計資料 表4.2)

貫厚さW(mm)	15	15	15	18	18	18	21	21	21	24	24	24	27	27	27	30	30	30	
柱径L(mm)	120	135	150	120	135	150	120	135	150	120	135	150	120	135	150	120	135	150	
($\times 10^{-3}$ rad)	(kNm)																		
1/480	2.1	0.04	0.05	0.06	0.05	0.06	0.07	0.05	0.07	0.08	0.06	0.08	0.09	0.07	0.09	0.11	0.08	0.09	0.12
1/240	4.2	0.08	0.09	0.12	0.09	0.11	0.14	0.11	0.13	0.16	0.12	0.15	0.19	0.14	0.17	0.21	0.15	0.19	0.23
1/120	8.3	0.15	0.19	0.23	0.18	0.23	0.28	0.21	0.27	0.33	0.24	0.30	0.38	0.27	0.34	0.42	0.30	0.38	0.47
1/90	11.1	0.19	0.24	0.28	0.24	0.30	0.36	0.28	0.35	0.43	0.32	0.40	0.50	0.36	0.45	0.56	0.40	0.51	0.63
1/60	16.7	0.20	0.25	0.30	0.26	0.32	0.38	0.31	0.38	0.46	0.37	0.45	0.54	0.43	0.52	0.63	0.48	0.59	0.71
1/45	22.2	0.22	0.27	0.32	0.27	0.33	0.40	0.33	0.40	0.49	0.39	0.48	0.57	0.45	0.55	0.66	0.51	0.62	0.75
1/30	33.3	0.24	0.30	0.36	0.30	0.37	0.45	0.36	0.45	0.54	0.43	0.53	0.64	0.49	0.61	0.73	0.56	0.69	0.83
1/20	50.0	0.28	0.35	0.42	0.35	0.43	0.52	0.42	0.52	0.62	0.49	0.60	0.73	0.50	0.69	0.84	0.63	0.78	0.95
1/15	66.7	0.32	0.39	0.48	0.39	0.49	0.59	0.47	0.58	0.71	0.55	0.68	0.82	0.63	0.78	0.94	0.71	0.88	1.06
1/10	100.0	0.39	0.49	0.6	0.48	0.60	0.73	0.57	0.71	0.87	0.67	0.83	1.01	0.76	0.95	1.15	0.86	1.07	1.30

柱の片側のめり込みによる曲げモーメント



通し貫

(マニュアルp100)

通し貫の曲げモーメント

(設計資料 表4.2)

貫厚さW(mm)	15	15	15	18	18	18	21	21	21	24	24	24	27	27	27	30	30	30	
柱径L(mm)	120	135	150	120	135	150	120	135	150	120	135	150	120	135	150	120	135	150	
($\times 10^{-3}$ rad)	(kNm)																		
1/480	2.1	0.04	0.05	0.06	0.05	0.06	0.07	0.05	0.07	0.08	0.16	0.08	0.09	0.07	0.09	0.11	0.08	0.09	0.12
1/240	4.2	0.08	0.09	0.12	0.09	0.11	0.14	0.11	0.13	0.16	0.2	0.15	0.19	0.14	0.17	0.21	0.15	0.19	0.23
1/120	8.3	0.15	0.19	0.23	0.18	0.23	0.28	0.21	0.27	0.33	0.4	0.30	0.38	0.27	0.34	0.42	0.30	0.38	0.47
1/90	11.1	0.19	0.24	0.28	0.24	0.33	0.38	0.29	0.35	0.43	0.32	0.40	0.50	0.36	0.45	0.56	0.40	0.51	0.63
1/60	16.7	0.20	0.25	0.30	0.26	0.32	0.38	0.31	0.38	0.46	0.37	0.45	0.54	0.43	0.52	0.63	0.48	0.59	0.71
1/45	22.2	0.22	0.27	0.32	0.27	0.33	0.40	0.33	0.40	0.49	0.39	0.48	0.57	0.45	0.55	0.66	0.51	0.62	0.75
1/30	33.3	0.24	0.30	0.36	0.30	0.37	0.45	0.36	0.45	0.54	0.43	0.53	0.64	0.49	0.61	0.73	0.56	0.69	0.83
1/20	50.0	0.28	0.35	0.42	0.35	0.43	0.52	0.42	0.52	0.62	0.49	0.60	0.73	0.50	0.69	0.84	0.63	0.78	0.95
1/15	66.7	0.32	0.39	0.48	0.39	0.49	0.59	0.47	0.58	0.71	0.55	0.68	0.82	0.63	0.78	0.94	0.71	0.88	1.06
1/10	100.0	0.39	0.49	0.6	0.48	0.60	0.73	0.57	0.71	0.87	0.67	0.83	1.01	0.76	0.95	1.15	0.86	1.07	1.30

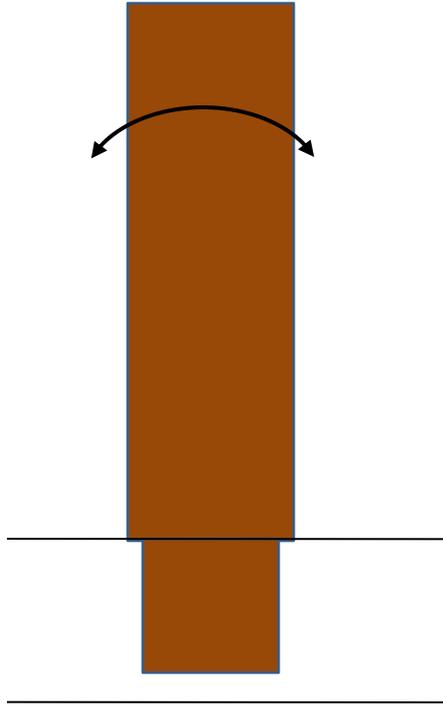
<通し貫> 貫厚24 柱幅120 構面高さ2045 mm
接合部の数 6箇所

<1/90rad時の計算>

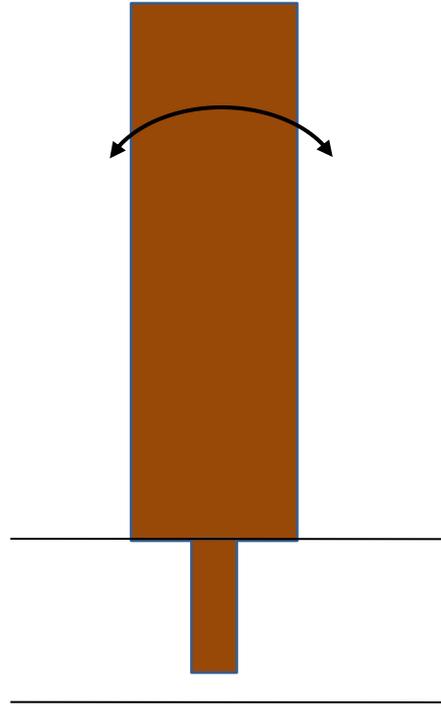
$$Q = 0.32 / 2045 \times (6 \times 2) \\ = 1.88 \text{ kN}$$

柱の長ほぞ仕口

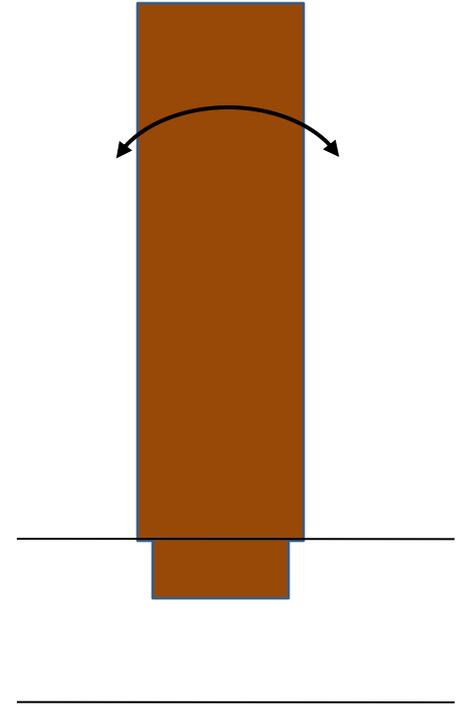
(設計資料p18)



○長ほぞ・強軸



×長ほぞ・弱軸



×短ほぞ

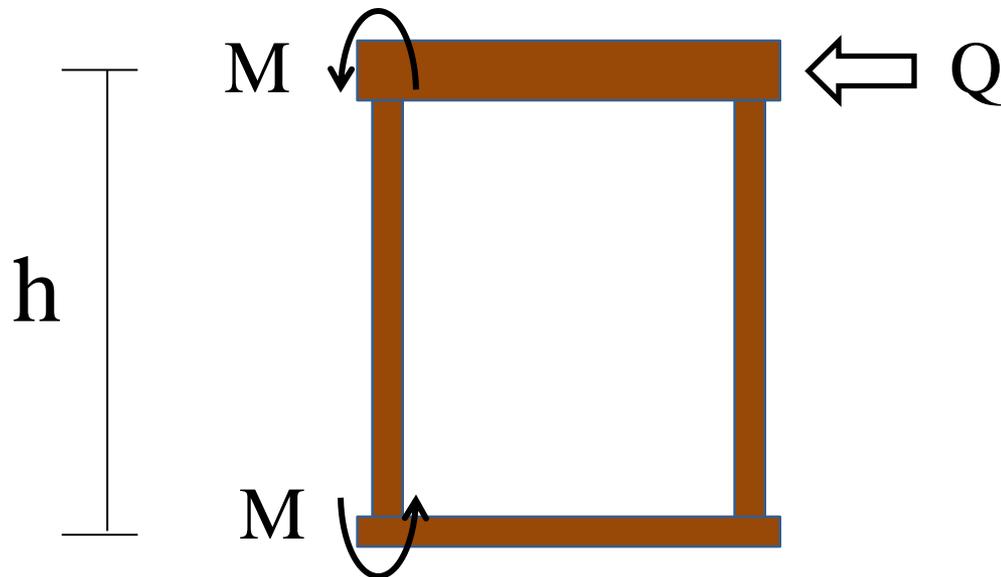
柱は強軸方向の長ほぞのみ評価できる

柱の長ほぞ (設計資料p19)

せん断耐力 = 曲げモーメント / 階高

長ほぞ1箇所の曲げモーメントをMとすれば
(柱1本あたりのモーメントが2M)

$$Q = 2M / h$$



柱の長ほぞ

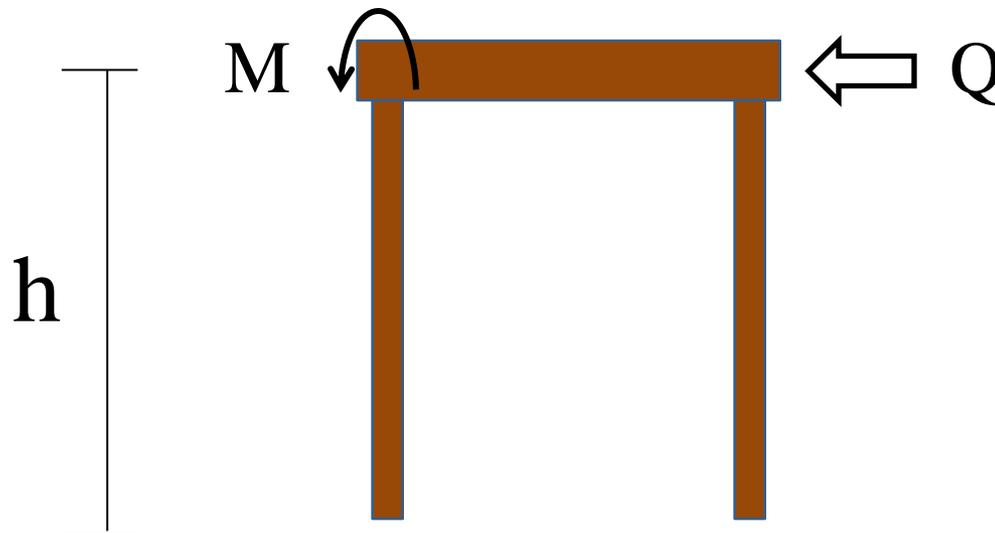
(設計資料p19)

石場建ての場合は

せん断耐力 = 曲げモーメント / 階高

長ほぞ1箇所の曲げモーメントをMとすれば
(柱1本あたりのモーメントが2M)

$$Q = M / h$$



柱の長ほぞ (マニュアルp100)

長ほぞの曲げモーメント (設計資料 表4.1)

回転角	(rad)	1/480	1/240	1/120	1/90	1/60	1/45	1/30	1/20	1/15	1/10
	($\times 10^{-3}$ rad)	2.08	4.17	8.33	11.11	16.67	22.22	33.33	50.00	66.67	100.00
曲げモーメント	(kN·m)	0.25	0.45	0.70	0.90	1.10	1.30	1.45	1.50	1.50	1.50

<長ほぞ> 柱本数4本 柱頭柱脚ともに長ほぞ 柱長さ2870 mm

<1/90rad時の計算>

$$\begin{aligned} Q &= \mathbf{0.9} / 2.87 \times (4 \times 2) \\ &= 2.51 \text{ kN} \end{aligned}$$

演習 復元力特性の算出

船坂家住宅の復元力特性の算出

変形角 $1/20\text{rad}$ 時の計算

土塗り壁

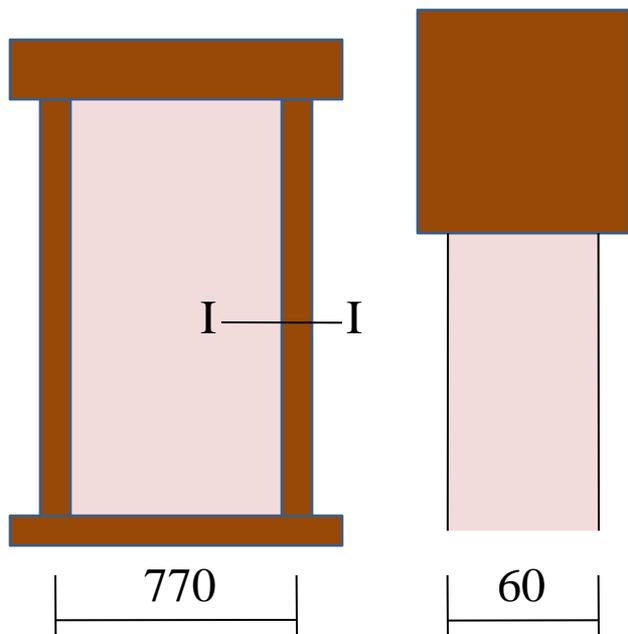
(マニュアルp98)

壁土のせん断応力度 (τ)

(設計資料 表3.1)

変形角	(rad)	1/480	1/240	1/120	1/90	1/60	1/45	1/30	1/20	1/15	1/10
	($\times 10^{-3}$ rad)	2.08	4.17	8.33	11.11	16.67	22.22	33.33	50.00	66.67	100.00
せん断応力度 (kN/m^2)	1P以上1.5P未満	15	28	48	60	70	68	65	60	52	32
	1.5P以上2P以下	30	54	86	96	98	93	84	72	58	34

<土塗り壁1> 壁長さ：770mm 壁厚：60mm



軸組図

断面図

I - I

<1/20rad時の計算>

$$Q = \text{せん断応力度} \times \text{壁長さ} \times \text{壁厚}$$
$$= \quad (\text{kN})$$

土塗り壁

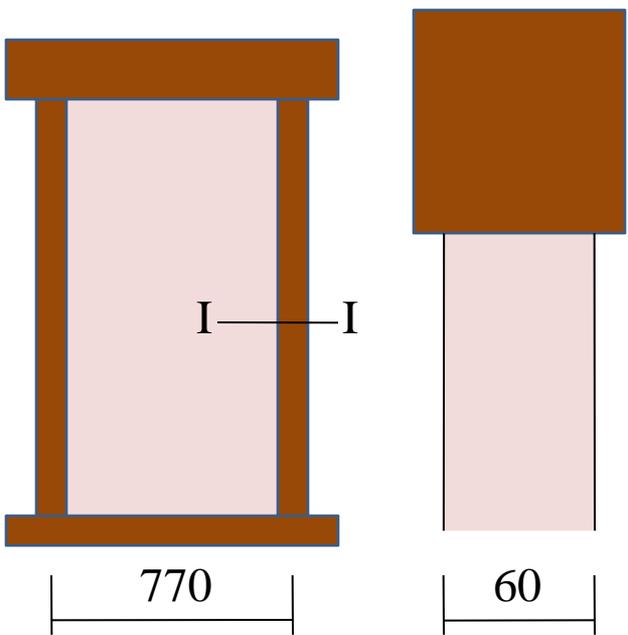
(マニュアルp98)

壁土のせん断応力度 (τ)

(設計資料 表3.1)

変形角	(rad)	1/480	1/240	1/120	1/90	1/60	1/45	1/30	1/20	1/15	1/10
	($\times 10^{-3}$ rad)	2.08	4.17	8.33	11.11	16.67	22.22	33.33	50.00	66.67	100.00
せん断応力度 (kN/m^2)	1P以上1.5P未満	15	28	48	60	70	68	65	60	52	32
	1.5P以上2P以下	30	54	86	96	98	93	84	72	58	34

<土塗り壁1> 壁長さ：770mm 壁厚：60mm



軸組図

断面図

I - I

<1/20rad時の計算>

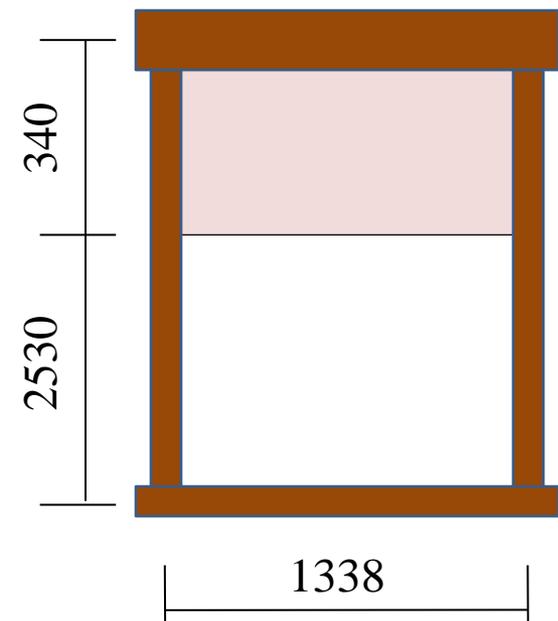
$$Q = 60 \times 0.77 \times 0.06 = 2.8 \text{ (kN)}$$

土塗り小壁(マニュアルp98)

壁土 (小壁) のせん断応力度 (τ) (設計資料 表3.2)

変形角	(rad)	1/480	1/240	1/120	1/90	1/60	1/45	1/30	1/20	1/15	1/10
	($\times 10^{-3}$ rad)	2.08	4.17	8.33	11.11	16.67	22.22	33.33	50.00	66.67	100.00
単位壁高さ・ 単位壁厚あたり せん断力 (kN/m^2)	1P以上 2P未満	26	50	90	111	140	161	163	153	133	67
	2P以上 4P未満	39	74	134	166	210	241	245	230	199	100
	4P	58	112	201	249	315	362	368	345	299	150

<土塗り小壁1> 小壁高さ340 壁厚60 壁長さ770 壁高さ2870 mm



<1/20rad時の計算>

$$Q_w = \text{せん断応力度} \times \text{小壁高} \times \text{壁厚} \\ = \quad (\text{kN/m}^2)$$

$$Q = \text{せん断耐力} \times \text{小壁高} / \text{壁高} \\ = \quad (\text{kN})$$

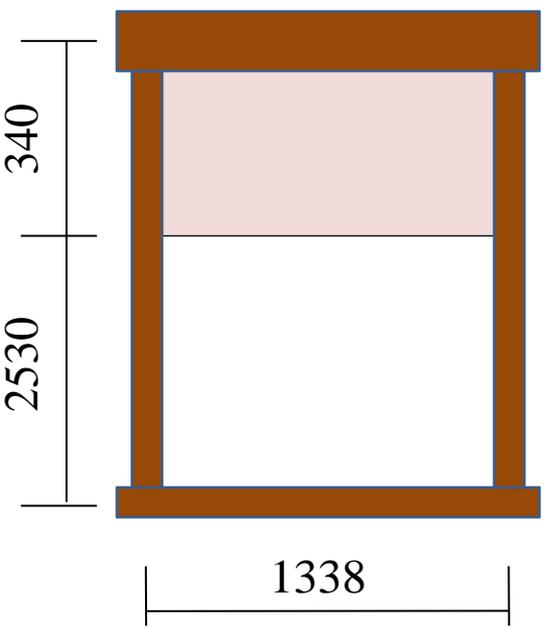
土塗り小壁 (マニュアルp98)

壁土 (小壁) のせん断応力度 (τ) (設計資料 表3.2)

変形角	(rad)	1/480	1/240	1/120	1/90	1/60	1/45	1/30	1/20	1/15	1/10
	($\times 10^{-3}$ rad)	2.08	4.17	8.33	11.11	16.67	22.22	33.33	50.00	66.67	100.00
単位壁高さ・ 単位壁厚あたり せん断力 (kN/m^2)	1P以上 2P未満	26	50	90	111	140	161	163	153	133	67
	2P以上 4P未満	39	74	134	166	210	241	245	230	199	100
	4P	58	112	201	249	315	362	368	345	299	150

<土塗り小壁1> 小壁高さ340 壁厚60 壁長さ770 壁高さ2870 mm

<1/20rad時の計算>



$$Q_w = 153 \times 0.34 \times 0.06 = 3.12 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

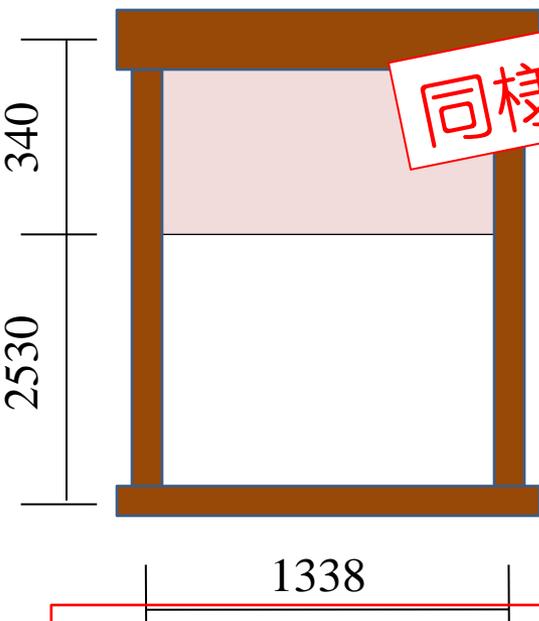
$$Q = 3.12 \times 0.34 / 2.87 = 0.37 \text{ (kN)}$$

土塗り小壁 (マニュアルp98)

壁土 (小壁) のせん断応力度 (τ) (設計資料 表3.2)

変形角	(rad)	1/480	1/240	1/120	1/90	1/60	1/45	1/30	1/20	1/15	1/10
	($\times 10^{-3}$ rad)	2.08	4.17	8.33	11.11	16.67	22.22	33.33	50.00	66.67	100.00
単位壁高さ・ 単位壁厚あたり せん断力 (kN/m^2)	1P以上 2P未満	26	50	90	111	140	161	163	153	133	67
	2P以上 4P未満	39	74	134	166	210	241	245	230	199	100
	4P	58	112	201	249	315	362	368	345	299	150

<土塗り小壁1> 小壁高さ340 壁厚60 壁長さ770 壁高さ2870 mm



同様に $1/30\text{rad}$ 時の計算>

$$Q_w = \text{せん断応力度} \times \text{小壁高} \times \text{壁厚}$$

$$= \quad (\text{kN/m}^2)$$

$$Q = \text{せん断耐力} \times \text{小壁高} / \text{壁高}$$

$$= \quad (\text{kN})$$

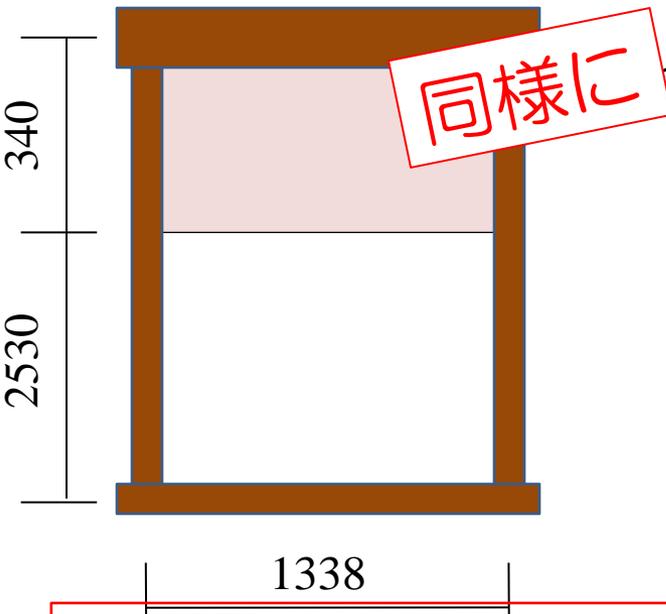
特定変形角 $1/20\text{rad}$ 時のせん断耐力を算出するため

土塗り小壁 (マニュアルp98)

壁土 (小壁) のせん断応力度 (τ) (設計資料 表3.2)

変形角	(rad)	1/480	1/240	1/120	1/90	1/60	1/45	1/30	1/20	1/15	1/10
	($\times 10^{-3}$ rad)	2.08	4.17	8.33	11.11	16.67	22.22	33.33	50.00	66.67	100.00
単位壁高さ・ 単位壁厚あたり せん断力 (kN/m^2)	1P以上 2P未満	26	50	90	111	140	161	163	153	133	67
	2P以上 4P未満	39	74	134	166	210	241	245	230	199	100
	4P	58	112	201	249	315	362	368	345	299	150

<土塗り小壁1> 小壁高さ340 壁厚60 壁長さ770 壁高さ2870 mm



同様に

1/30rad時の計算>

$$Q_w = 163 \times 0.34 \times 0.06 = 3.33 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

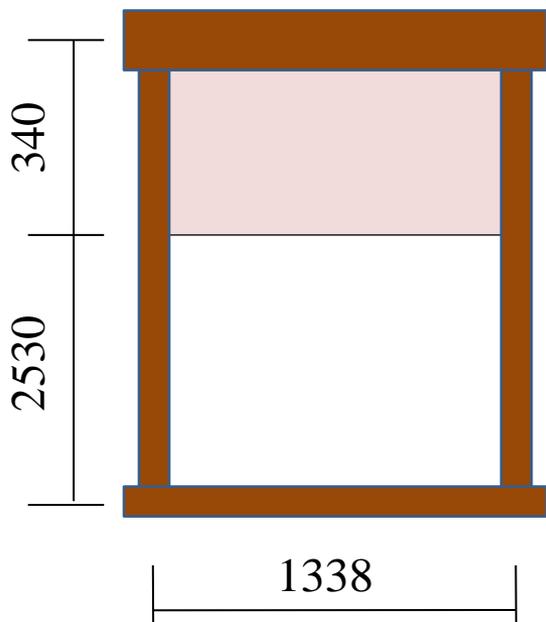
$$Q = 3.33 \times 0.34 / 2.87 = 0.39 \text{ (kN)}$$

特定変形角1/20rad時のせん断耐力を算出するため

土塗り小壁 (マニュアルp99)

<土塗り小壁1> 小壁高さ340 壁厚60 壁長さ770 壁高さ2870 mm
ヤング係数7kN/mm² 柱断面110mm角 柱1本のみ有効

<1/20rad時の計算>



$$\begin{aligned}\delta_w &= \text{当該変形角} \times \text{壁高} \\ &= \text{mm}\end{aligned}$$

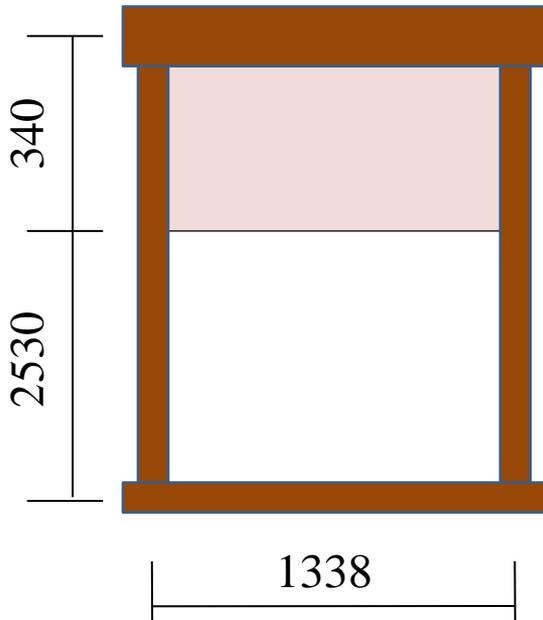
$$\begin{aligned}\delta_c &= \{ \text{せん断耐力} / 2 \times \text{壁下高}^2 \times \text{小壁高} \\ &\quad / (3 \times \text{ヤング係数} \times \text{断面二次モーメント}) \\ &\quad \times \text{柱の有効度} \\ &= \text{mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\delta &= \delta_w + \delta_c \\ &= \end{aligned}$$

土塗り小壁 (マニュアルp99)

<土塗り小壁1> 小壁高さ340 壁厚60 壁長さ770 壁高さ2870 mm
 ヤング係数7kN/mm² 柱断面110mm角 柱1本のみ有効

<1/20rad時の計算>



$$\begin{aligned} \delta_w &= 1/20 \times 2870 \\ &= 143.5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \delta_c &= \{ 3.12 / 2 \times 2530^2 \times 340 \\ &\quad / (3 \times 7 \times 12200833) \\ &\quad \times 2 \\ &= 26.5 \text{ mm} \end{aligned}$$

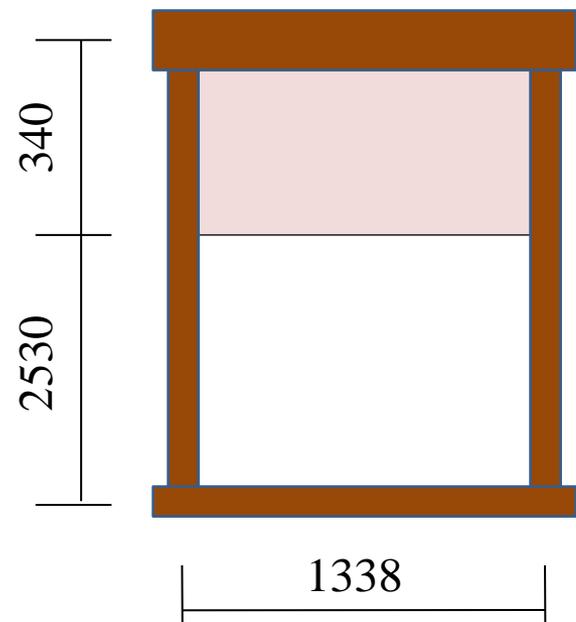
$$\begin{aligned} \delta &= 143.5 + 26.5 \\ &= 170.0 \end{aligned}$$

土塗り小壁 (マニュアルp99)

<土塗り小壁1> 小壁高さ340 壁厚60 壁長さ770 壁高さ2870 mm
ヤング係数70000 柱断面110mm角 柱1本のみ有効

同様に

<1/30rad時の計算>



$$\delta_w = \quad \text{mm}$$

$$\delta_c = \quad \text{mm}$$

$$\delta =$$

特定変形角1/20rad時のせん断耐力を算出するため

土塗り小壁(マニュアルp99)

<土塗り小壁1> 小壁高さ340 壁厚60 壁長さ770 壁高さ2870 mm
 ヤング係数71200 N/mm² 柱断面110mm角 柱1本のみ有効

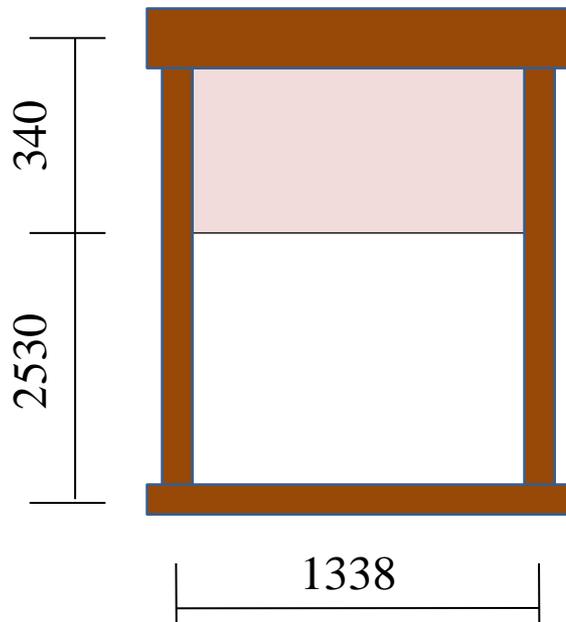
同様に

<1/30rad時の計算>

$$\begin{aligned} \delta_w &= 1/30 \times 2870 \\ &= 95.7 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \delta_c &= \{ 3.33 / 2 \times 2530^2 \times 340 \\ & / (3 \times 7 \times 12200833) \} \times 2 \\ &= 28.2 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \delta &= 95.7 + 28.2 \\ &= 123.9 \end{aligned}$$



特定変形角1/20rad時のせん断耐力を算出するため

土塗り小壁 (設計資料p14)

< 1/30rad時の計算 >

$$Q(1/30) = \quad \text{kN}$$

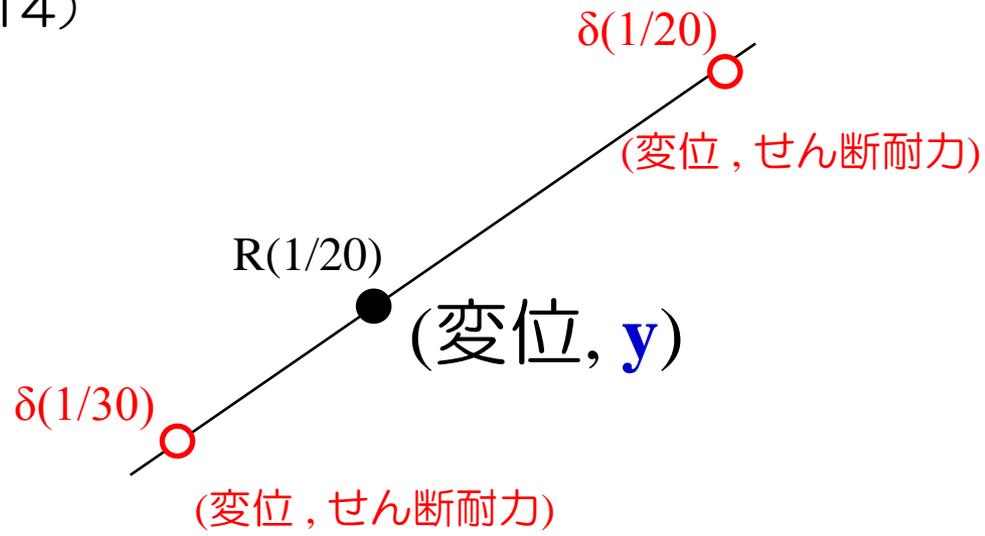
$$\delta(1/30) = \quad \text{mm}$$

< 1/20rad時の計算 >

$$Q(1/20) = \quad \text{kN}$$

$$\delta(1/20) = \quad \text{mm}$$

$$y(\delta) =$$
$$=$$



線形補間によって標準の特定変形角時のせん断耐力を求める

土塗り小壁 (設計資料p14)

< 1/30rad時の計算 >

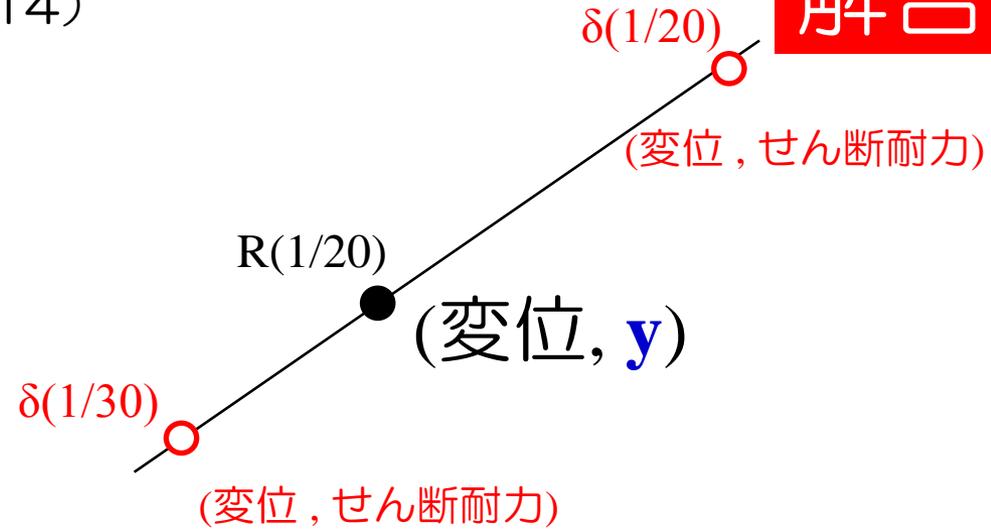
$$Q(1/30) = 0.39 \text{ kN}$$

$$\delta(1/30) = 123.9 \text{ mm}$$

< 1/20rad時の計算 >

$$Q(1/20) = 0.37 \text{ kN}$$

$$\delta(1/20) = 170.0 \text{ mm}$$



線形補間によって標準の特定変形角時のせん断耐力を求める



通し貫

(マニュアルp100)

通し貫の曲げモーメント

(設計資料 表4.2)

貫厚さW(mm)	15	15	15	18	18	18	21	21	21	24	24	24	27	27	27	30	30	30	
柱径L(mm)	120	135	150	120	135	150	120	135	150	120	135	150	120	135	150	120	135	150	
($\times 10^{-3}$ rad)	(kNm)																		
1/480	2.1	0.04	0.05	0.06	0.05	0.06	0.07	0.05	0.07	0.08	0.06	0.08	0.09	0.07	0.09	0.11	0.08	0.09	0.12
1/240	4.2	0.08	0.09	0.12	0.09	0.11	0.14	0.11	0.13	0.16	0.12	0.15	0.19	0.14	0.17	0.21	0.15	0.19	0.23
1/120	8.3	0.15	0.19	0.23	0.18	0.23	0.28	0.21	0.27	0.33	0.24	0.30	0.38	0.27	0.34	0.42	0.30	0.38	0.47
1/90	11.1	0.19	0.24	0.28	0.24	0.30	0.36	0.28	0.35	0.43	0.32	0.40	0.50	0.36	0.45	0.56	0.40	0.51	0.63
1/60	16.7	0.20	0.25	0.30	0.26	0.32	0.38	0.31	0.38	0.46	0.37	0.45	0.54	0.43	0.52	0.63	0.48	0.59	0.71
1/45	22.2	0.22	0.27	0.32	0.27	0.33	0.40	0.33	0.40	0.49	0.39	0.48	0.57	0.45	0.55	0.66	0.51	0.62	0.75
1/30	33.3	0.24	0.30	0.36	0.30	0.37	0.45	0.36	0.45	0.54	0.43	0.53	0.64	0.49	0.61	0.73	0.56	0.69	0.83
1/20	50.0	0.28	0.35	0.42	0.35	0.43	0.52	0.42	0.52	0.62	0.49	0.60	0.73	0.50	0.69	0.84	0.63	0.78	0.95
1/15	66.7	0.32	0.39	0.48	0.39	0.49	0.59	0.47	0.58	0.71	0.55	0.68	0.82	0.63	0.78	0.94	0.71	0.88	1.06
1/10	100.0	0.39	0.49	0.6	0.48	0.60	0.73	0.57	0.71	0.87	0.67	0.83	1.01	0.76	0.95	1.15	0.86	1.07	1.30

<通し貫> 貫厚24 柱幅120 構面高さ2045 mm
接合部の数 6箇所

<1/20rad時の計算>

$$Q = \text{単位曲げモーメント} / \text{構面高さ} \times \text{めり込み箇所数}$$
$$= \quad \text{kN}$$

通し貫

(マニュアルp100)

通し貫の曲げモーメント

(設計資料 表4.2)

貫厚さW(mm)	15	15	15	18	18	18	21	21	21	24	24	24	27	27	27	30	30	30	
柱径L(mm)	120	135	150	120	135	150	120	135	150	120	135	150	120	135	150	120	135	150	
($\times 10^{-3}$ rad)	(kNm)																		
1/480	2.1	0.04	0.05	0.06	0.05	0.06	0.07	0.05	0.07	0.08	0.16	0.08	0.09	0.07	0.09	0.11	0.08	0.09	0.12
1/240	4.2	0.08	0.09	0.12	0.09	0.11	0.14	0.11	0.13	0.16	0.2	0.15	0.19	0.14	0.17	0.21	0.15	0.19	0.23
1/120	8.3	0.15	0.19	0.23	0.18	0.23	0.28	0.21	0.27	0.33	0.4	0.30	0.38	0.27	0.34	0.42	0.30	0.38	0.47
1/90	11.1	0.19	0.24	0.28	0.24	0.30	0.36	0.28	0.35	0.43	0.32	0.40	0.50	0.36	0.45	0.56	0.40	0.51	0.63
1/60	16.7	0.20	0.25	0.30	0.26	0.32	0.38	0.31	0.38	0.46	0.37	0.45	0.54	0.43	0.52	0.63	0.48	0.59	0.71
1/45	22.2	0.22	0.27	0.32	0.27	0.33	0.40	0.33	0.40	0.49	0.39	0.48	0.57	0.45	0.55	0.66	0.51	0.62	0.75
1/30	33.3	0.24	0.30	0.36	0.30	0.37	0.45	0.36	0.45	0.54	0.43	0.53	0.64	0.49	0.61	0.73	0.56	0.69	0.83
1/20	49.9	0.28	0.35	0.42	0.35	0.43	0.52	0.42	0.52	0.62	0.49	0.60	0.73	0.50	0.69	0.84	0.63	0.78	0.95
1/15	66.7	0.32	0.39	0.48	0.39	0.49	0.59	0.47	0.58	0.71	0.55	0.68	0.82	0.63	0.78	0.94	0.71	0.88	1.06
1/10	100.0	0.39	0.49	0.6	0.48	0.60	0.73	0.57	0.71	0.87	0.67	0.83	1.01	0.76	0.95	1.15	0.86	1.07	1.30

<通し貫> 貫厚24 柱幅120 構面高さ2045 mm
 接合部の数 6箇所

<1/20rad時の計算>

$$Q = 0.49 / 2.045 \times (6 \times 2)$$

$$= 2.88 \text{ kN}$$

柱の長ほぞ (マニュアルp100)

長ほぞの曲げモーメント (設計資料 表4.1)

回転角	(rad)	1/480	1/240	1/120	1/90	1/60	1/45	1/30	1/20	1/15	1/10
	($\times 10^{-3}$ rad)	2.08	4.17	8.33	11.11	16.67	22.22	33.33	50.00	66.67	100.00
曲げモーメント	(kN·m)	0.25	0.45	0.70	0.90	1.10	1.30	1.45	1.50	1.50	1.50

<長ほぞ> 柱本数4本 柱頭柱脚ともに長ほぞ 柱長さ2870 mm

<1/20rad時の計算>

$$\begin{aligned} Q &= \text{単位曲げモーメント} / \text{柱長さ} \times \text{仕口の数} \\ &= \quad \text{kN} \end{aligned}$$

柱の長ほぞ (マニュアルp100)

長ほぞの曲げモーメント (設計資料 表4.1)

回転角	(rad)	1/480	1/240	1/120	1/90	1/60	1/45	1/30	1/20	1/15	1/10
	($\times 10^{-3}$ rad)	2.08	4.17	8.33	11.11	16.67	22.22	33.33	50.00	66.67	100.00
曲げモーメント	(kN·m)	0.25	0.45	0.70	0.90	1.10	1.30	1.45	1.50	1.50	1.50

<長ほぞ> 柱本数4本 柱頭柱脚ともに長ほぞ 柱長さ2870 mm

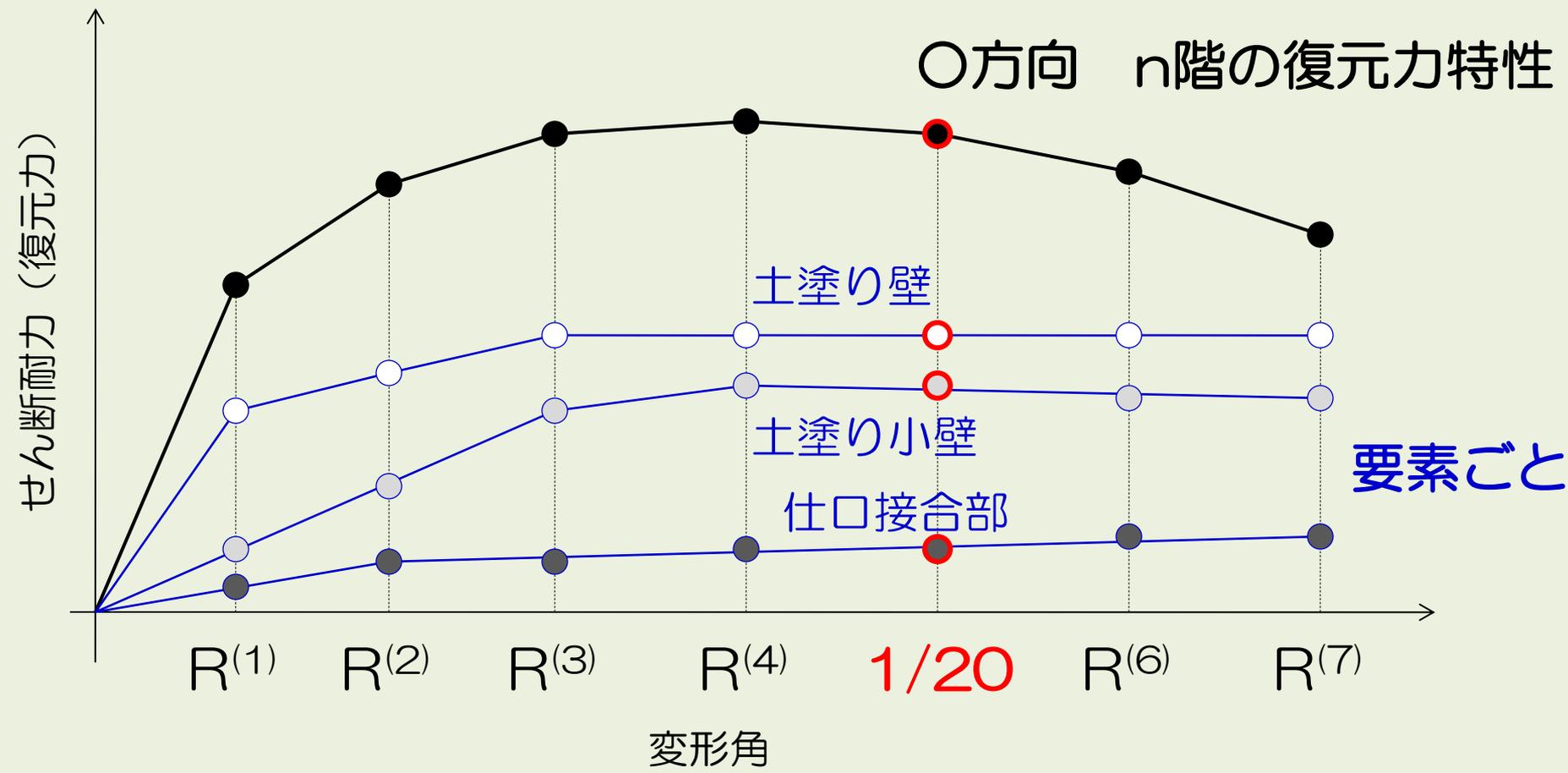
<1/20rad時の計算>

$$\begin{aligned}
 Q &= 1.5 / 2.87 \times (4 \times 2) \\
 &= 4.18 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

復元力特性の算出

(マニュアルp50)

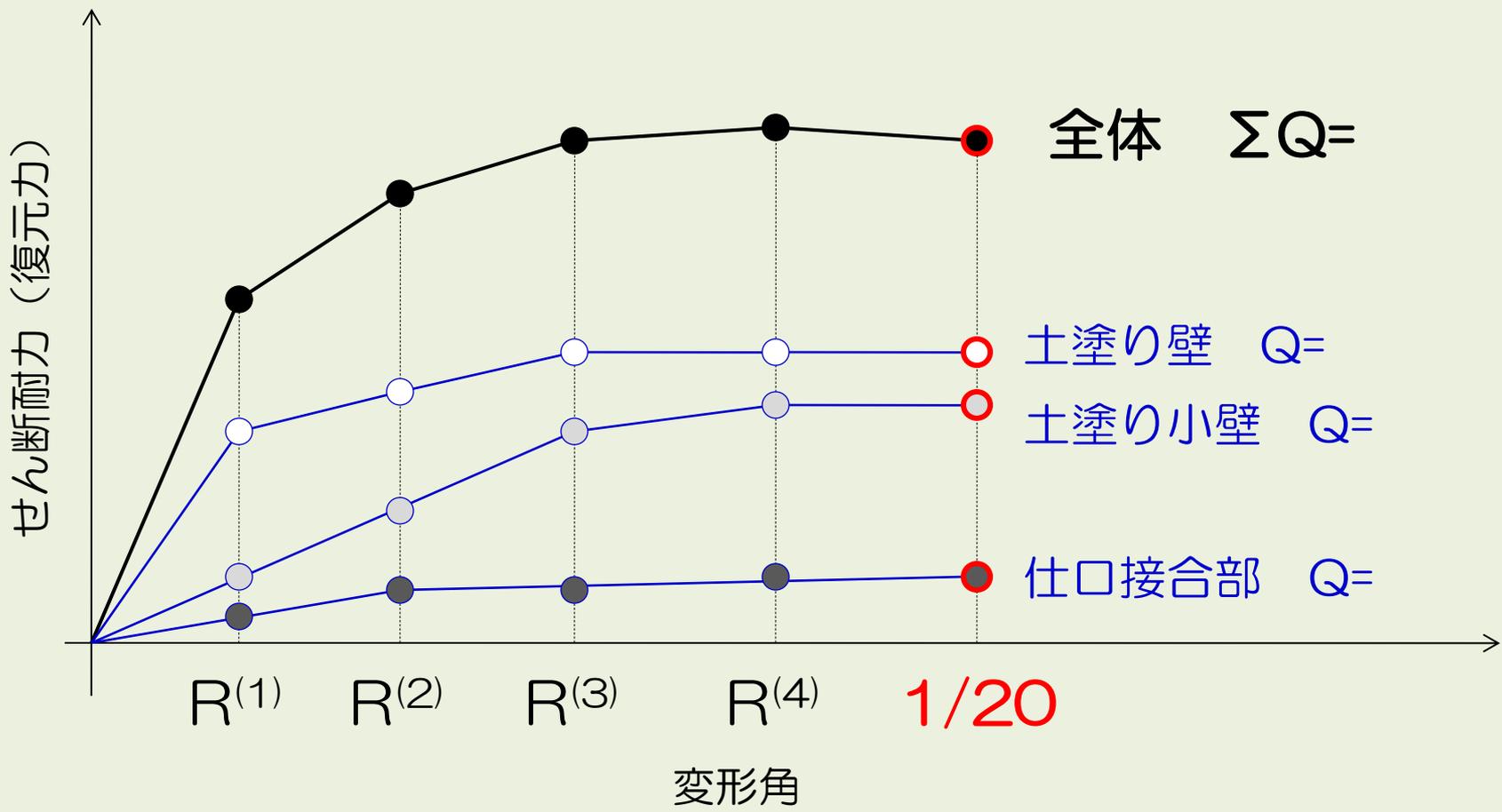
□特定変形角ごとにせん断耐力（復元力）を算出



復元力特性の算出

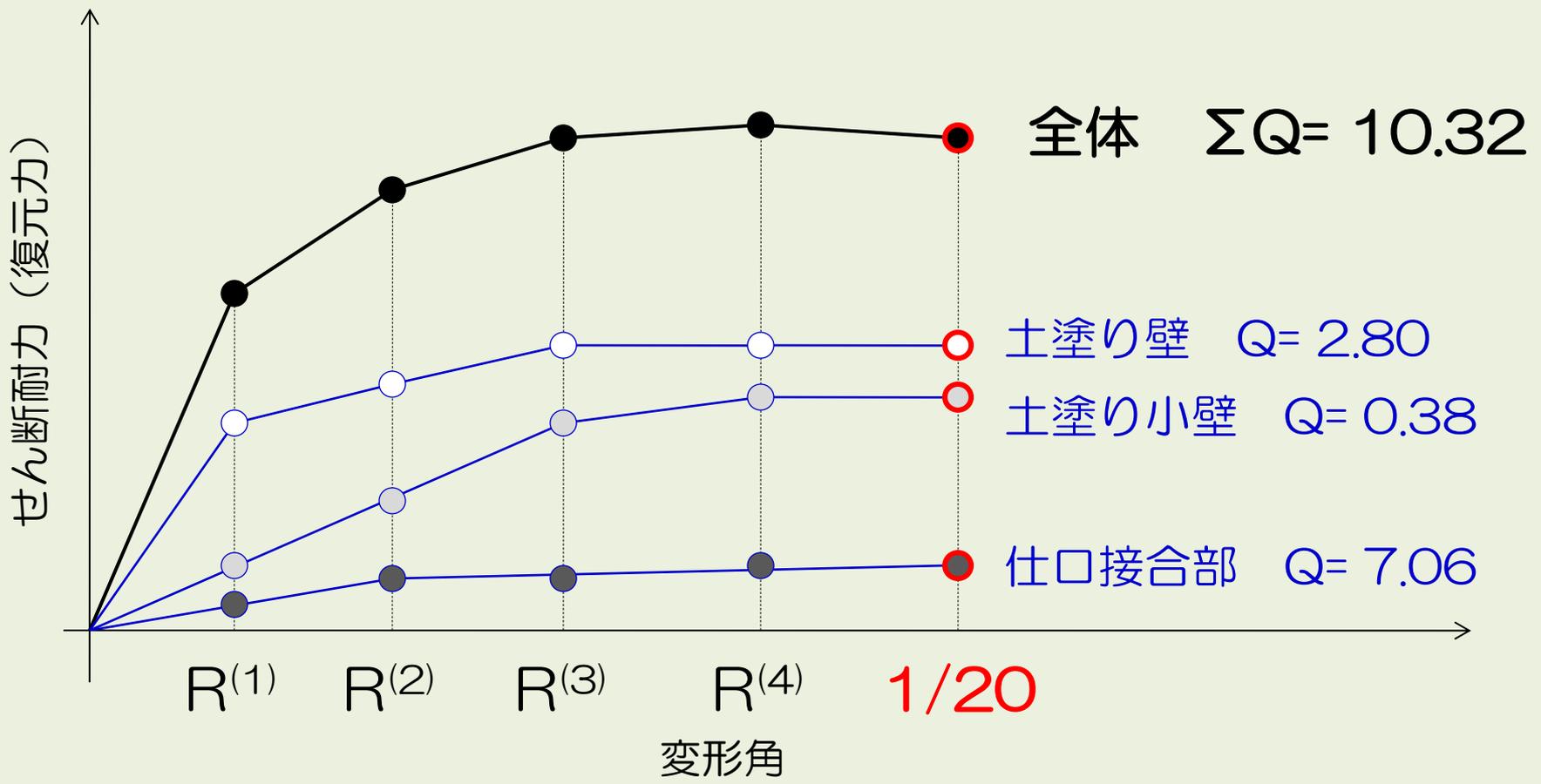
(マニュアルp50)

□特定変形角ごとにせん断耐力（復元力）を算出



復元力特性の算出

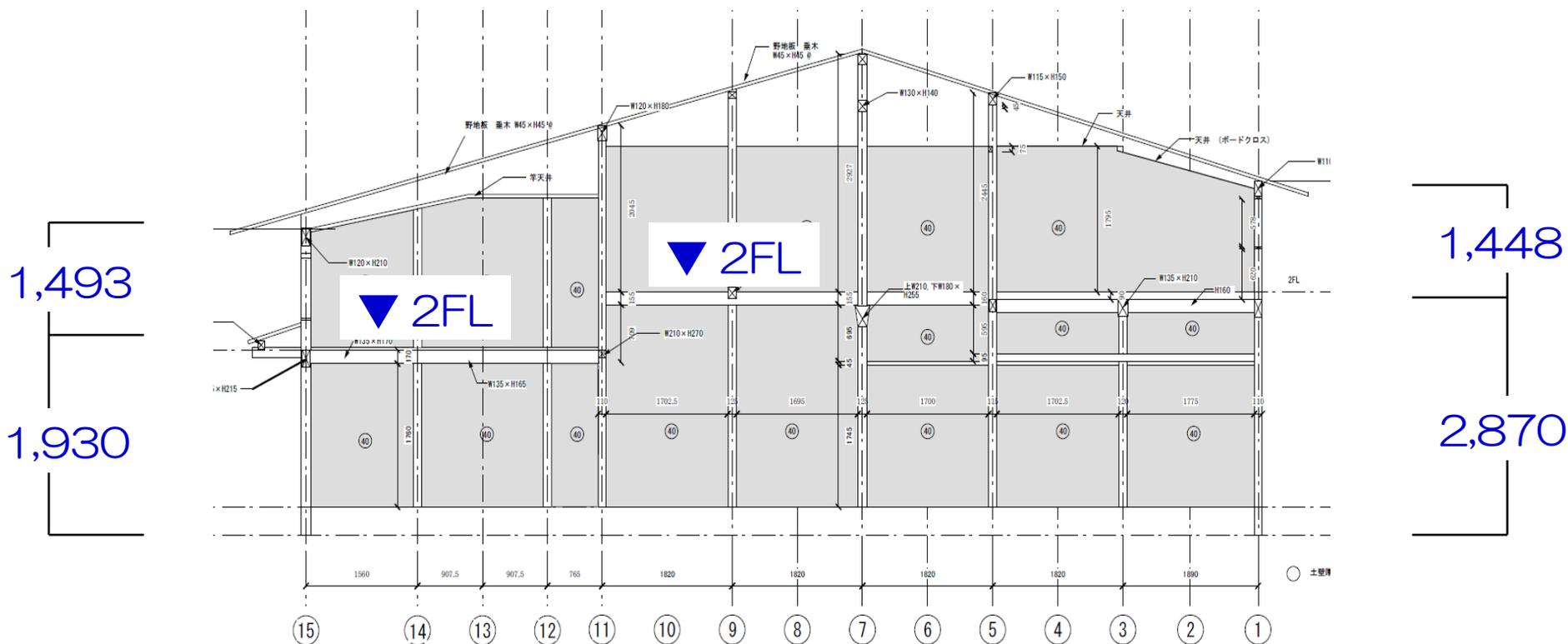
□特定変形角ごとにせん断耐力（復元力）を算出



特定変形角ごとに算出する

高さの考え方

(マニュアルp96)



階高もレベルもバラバラだとしても
構造高さを決めなければならない

高さの考え方

(マニュアルp50)

□土台形式と石場建て形式

<土台形式>

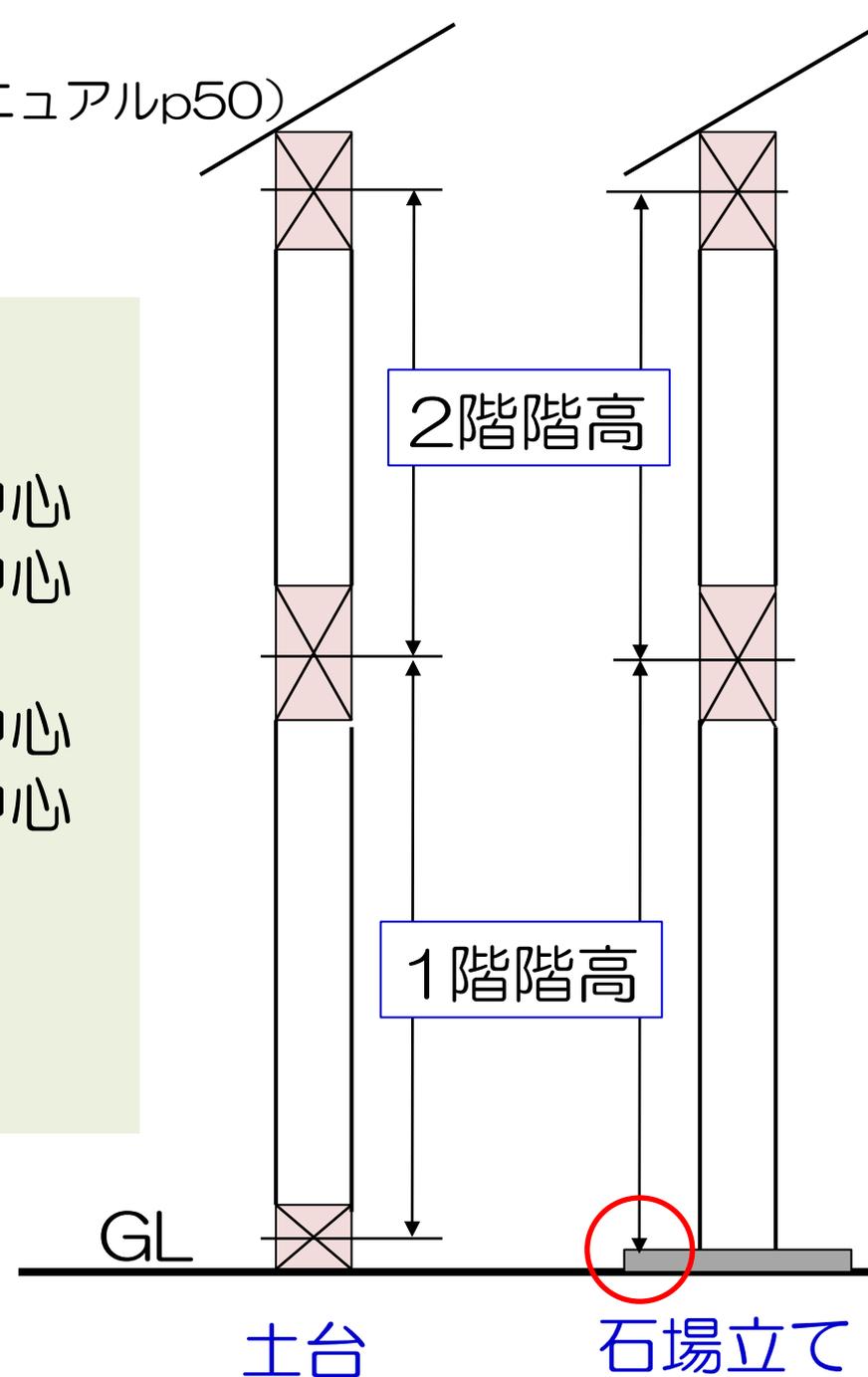
- 1階階高：土台の中心－梁桁の中心
- 2階階高：梁桁の中心－梁桁の中心

<石場立て形式>

- 1階階高：礎石の天端－梁桁の中心
- 2階階高：梁桁の中心－梁桁の中心

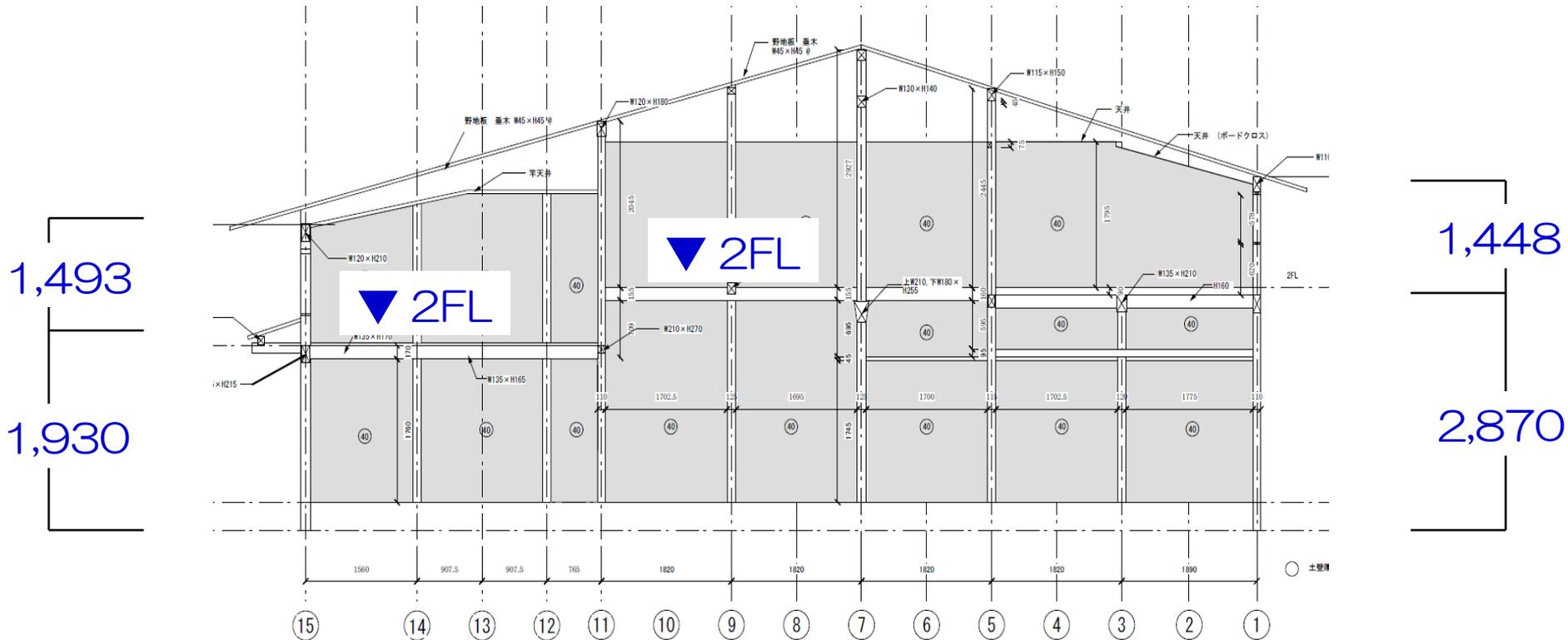
□階高の異なる場合

各レベルの平均的な高さ



高さの考え方

(マニュアルp96)



1階の主な空間が占める階高として

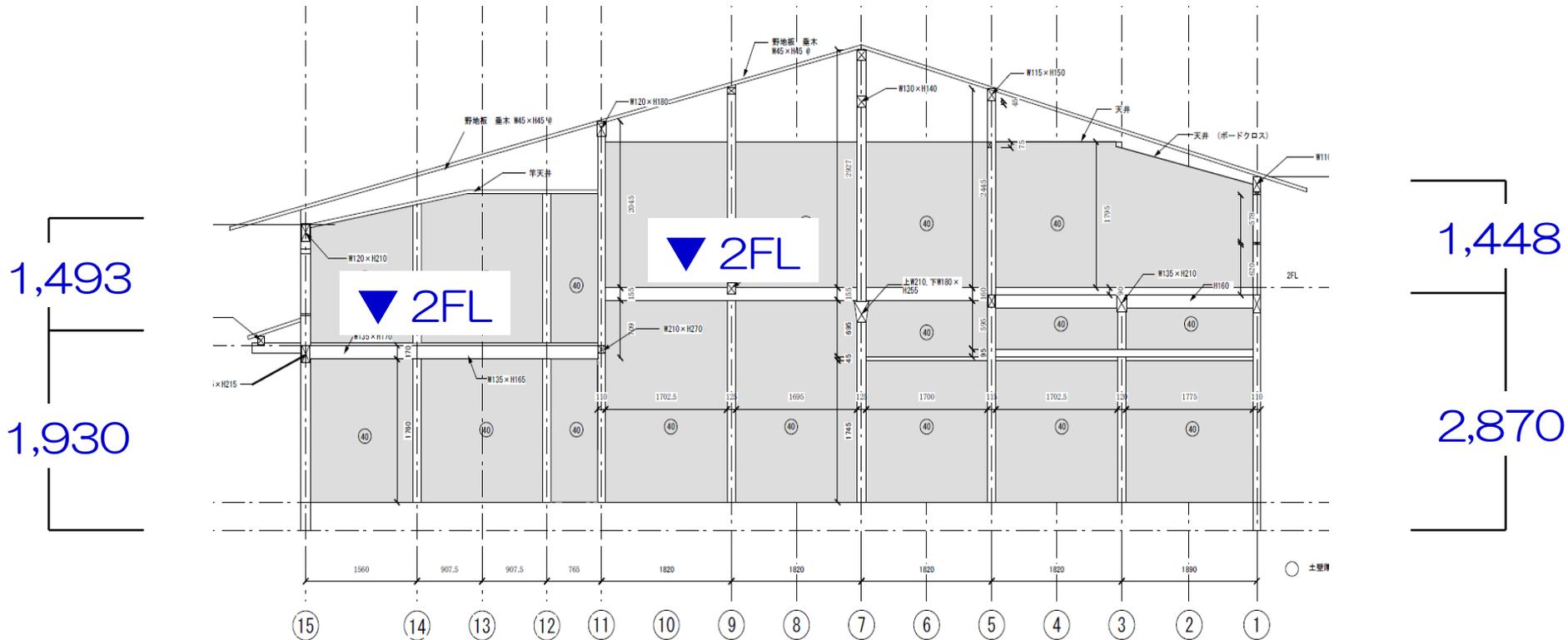
>> 1階の構造階高は、2,870mm

前後の階高の平均として

>> 2階の構造階高は、1,471mm

高さの考え方

(マニュアルp96)

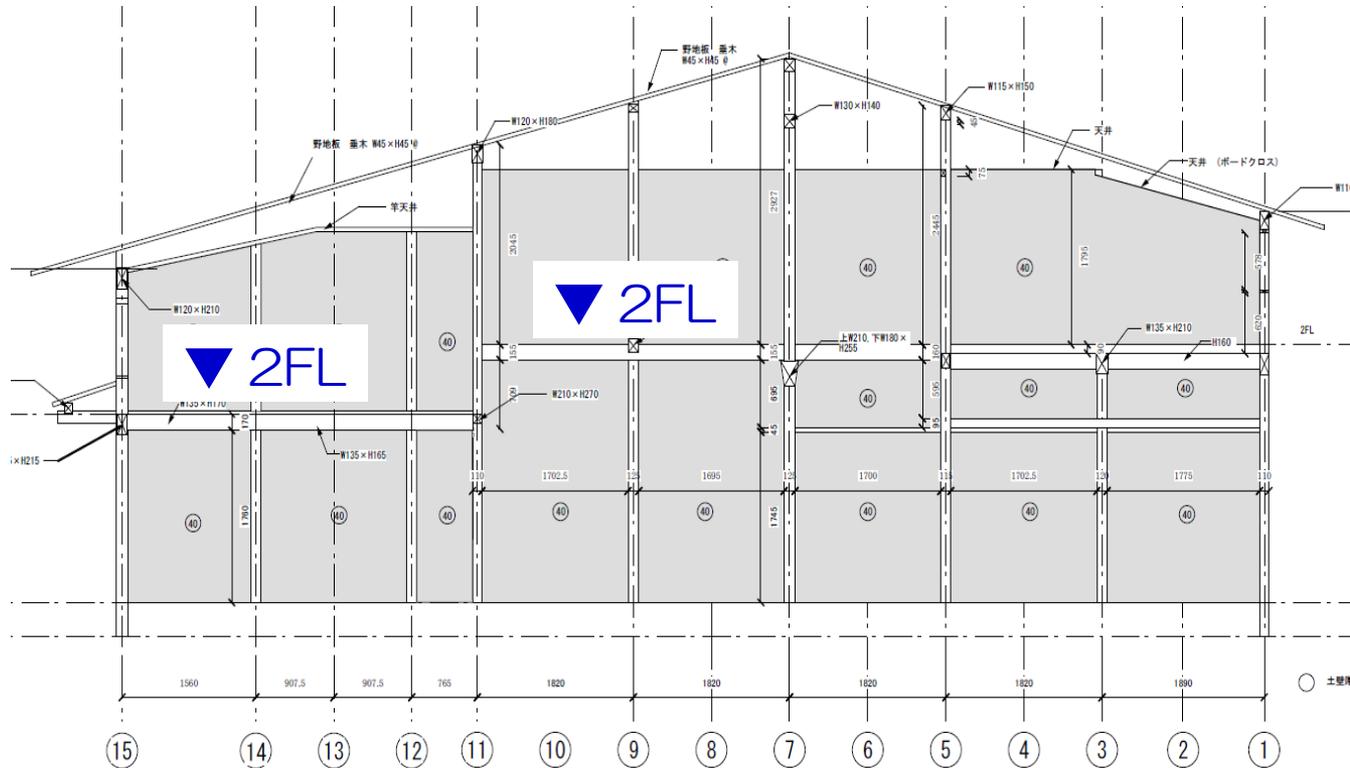


地震安全性の評価結果が覆ること無いように
構造階高を定めることが重要

高さの考え方

(マニュアルp96)

1,493
1,930

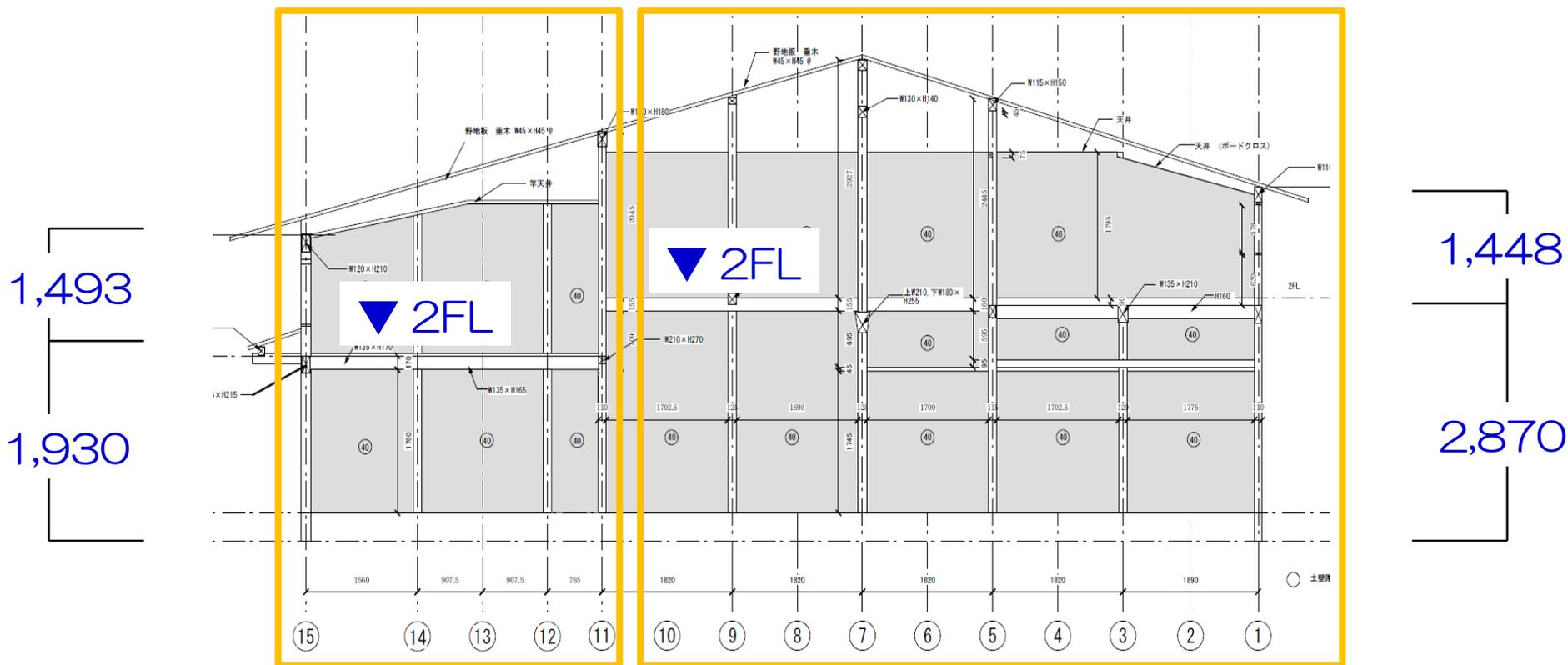


1,448
2,870

例えば階高が10cm変更されたら
「安全」が「危険」の判定になるのか

高さの考え方

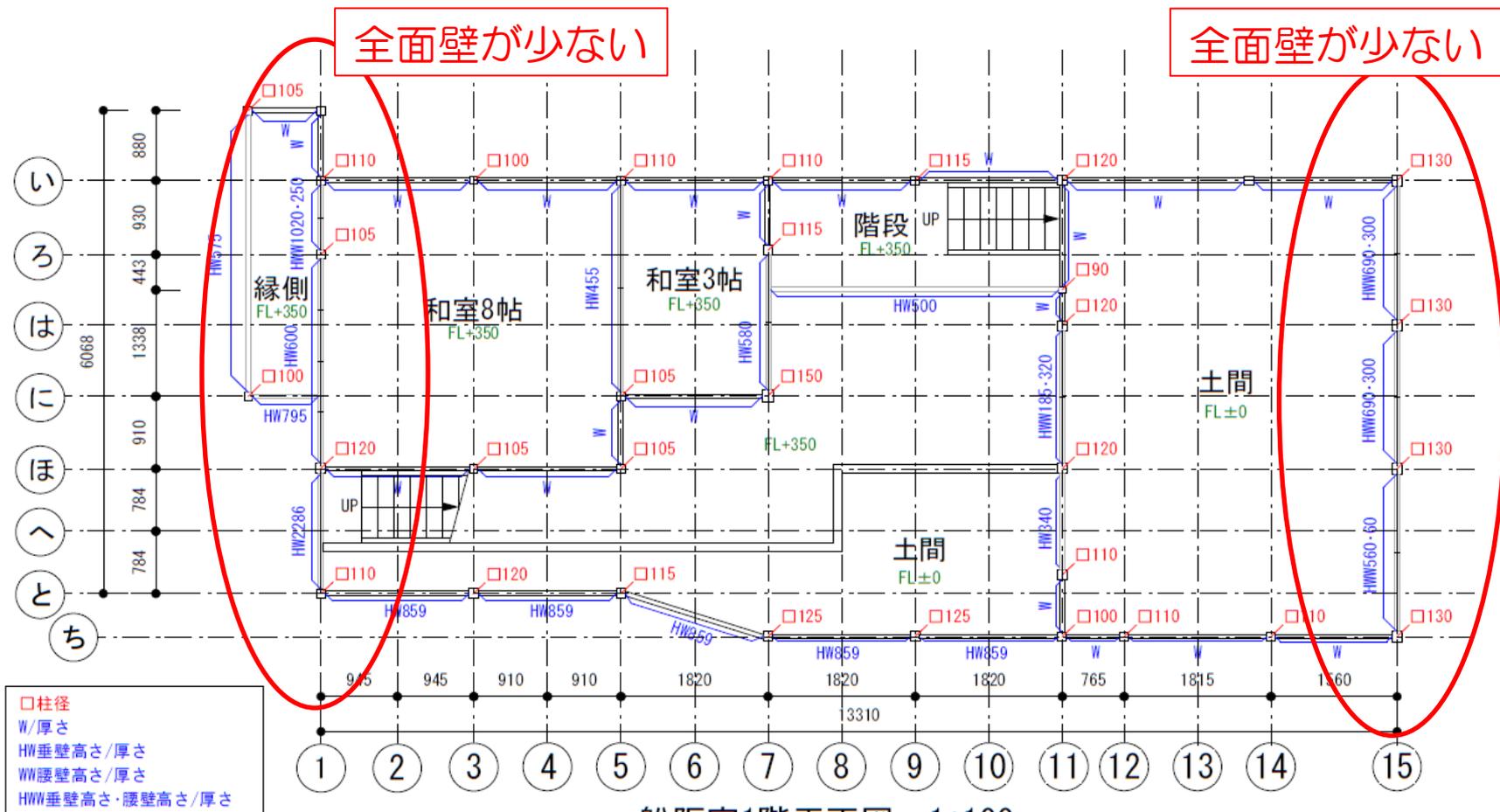
(マニュアルp96)



例えば階高の異なる空間ごとに
ゾーニングして検討してみる

耐震補強

(マニュアルp107)



- 耐震性能評価の結果から全体的な耐力の向上が必要
- 各構面のバランスを整えることが重要

耐震補強

(マニュアルp107)

- 主たる構造要素の特性に合う構造要素で補強する
- 耐震要素の少ない箇所を補強する
- 応答変形角が大きくなる層（ゾーン）を補強する
- 補強後の耐震性能を評価・確認する