

振動 Q-01

床振動・居住性能

計算例

実測例

デッキ合成スラブで設計された床の振動数及び応答を算出する場合、実態に則した設計方法を教えてください。

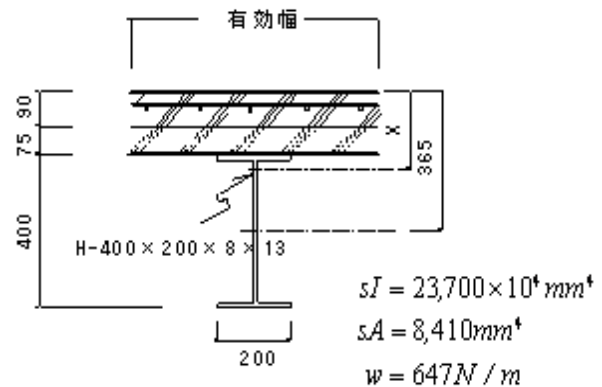
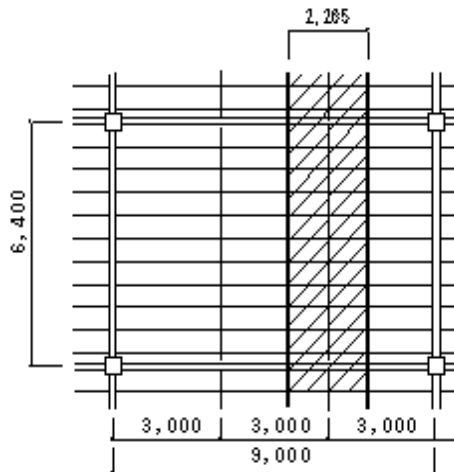
振動 A-01

床スラブの振動に伴う居住性能を検討する場合、S 造の梁に支えられた床は、大梁に囲まれた床組全体がひとつの振動系を形成しています。検討対象となるたわみまたは振動は、小梁の剛性に依存する場合がありますといわれています。

デッキ合成スラブを焼抜き栓溶接により小梁に接合した場合、居住性能の評価で対象とする低応力域では、実測例からデッキ合成スラブと小梁は、合成梁として挙動すると見なすことができます。（添付資料 デッキ合成スラブの振動実測データ）

ここでは、日本建築学会「各種合成構造設計指針 第 1 編合成ばり構造設計指針 1985」を参考にして合成梁として検討します。人間の歩行を加振力とし、デッキ合成スラブと小梁で構成される 50%の度合いの不完全合成梁の 1 質点振動系とみなし、「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説(1999)-付 5」を参照して動的応答を求めた計算例を参考に示します。

《計算例》



(1) 合成梁の有効幅

対象小梁の有効幅 Be を算出する。

$$ba = \left(0.5 - \frac{0.3a}{l_0}\right) a = \left(0.5 - 0.3 \times \frac{3,000 - 200}{6,400}\right) \times (3,000 - 200) = 1,032.5 \text{ mm}$$

$$Be = 2 \times ba + b = 2 \times 1,032.5 + 200 = 2,265 \text{ mm}$$

b : 小梁のフランジ幅

ba : 合成梁の曲げ耐力に用いる床スラブの協力幅

a : 対象デッキスパンの内法寸法

l_0 : 小梁のスパン

(2) 合成梁の断面性能

$$Pt = \frac{sA}{Be \times sd} = \frac{8,410}{2,265 \times 365} = 0.01017$$

sA : 小梁の断面積

sd : 床スラブ上縁から小梁の重心までの距離

次に中立軸位置の算出をする。

$$Pt \geq \frac{(t_1)^2}{\{2 \times n \times (1 - t_1)\}} = \frac{\left(\frac{90}{365}\right)^2}{\{2 \times 15 \times \left(1 - \frac{90}{365}\right)\}} = 0.00269 \quad \rightarrow \text{中立軸は床スラブ外}$$

t_1 : $t_1 = \frac{t}{sd}$ 、小梁のスパン

t : デッキプレート山上の平板状のコンクリート厚さ

n : ヤング係数比

よって、中立軸位置、X は床スラブ上縁から以下のとおりとなる。

$$X = sd - \frac{\frac{Be \times t}{n}(sd - 0.5t)}{\frac{Be \times t}{n} + sA} = 365 - \frac{\frac{2,265 \times 90}{15} \times \left(365 - \frac{90}{2}\right)}{\frac{2,265 \times 90}{15} + 8,410} = 167.3 \text{ mm}$$

これより有効等価断面 2 次モーメント cI は、

$$\begin{aligned} cI &= \frac{Be \times t}{n} \left\{ \frac{t^2}{12} + \left(X - \frac{t}{2}\right)^2 \right\} + sI + sA(sd - X)^2 \\ &= \frac{2,265 \times 90}{15} \times \left\{ \frac{90^2}{12} + \left(167.3 - \frac{90}{2}\right)^2 \right\} + 23,700 \times 10^4 + 8,410 \times (365 - 167.3)^2 \\ &= 77,810 \times 10^4 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

となり、不完全合成梁の断面二次モーメント eIn は、完全合成梁の 1 スパンに必要な頭付きスタッドの本数の半分の本数とする。

$$\begin{aligned} eIn &= sI + \sqrt{\frac{n_p}{n_f}} (cI - sI) = 23,700 \times 10^4 + \sqrt{0.5} \times (77,810 - 23,700) \times 10^4 \\ &= 61,960 \times 10^4 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

n_p : 完全合成梁の 1 スパンに必要な頭付きスタッドの本数

n_f : 合成梁の 1 スパンに配置された頭付きスタッドの本数

(3) 合成梁の固定荷重

デッキ合成スラブ床自重	;	3,050 + 135 =	3,185
床仕上げ、天井等	;		1,000
実状の積載荷重 (設計荷重の 1/3 と仮定)	;		970
合計			$W_0 = 5,155 \text{ N/m}^2$

合成梁は、隣接スパンの半分の床荷重を負担すると仮定する。

$$W = W_0 + w = 5,155 \times 3.0 + 647 = 16,112 \text{ N/m} \quad \rightarrow 16,110 \text{ N/m}$$

合成小梁は両端支持と仮定し、静たわみと固有振動数を算出する。

$$\delta_{st} = \frac{5 \times W \times l_0^4}{384 \times E_s \times eI_n} = \frac{5 \times 16,110 \times 10^{-3} \times 6,400^4}{384 \times 2.05 \times 10^5 \times 61,960 \times 10^4} = 2.77 \text{ mm}$$

$$f_v = \frac{1}{0.0563 \sqrt{\delta_{st}}} = \frac{1}{0.0563 \sqrt{2.77}} = 10.7 \text{ Hz}$$

(参考 鉄骨梁での固有振動数 : $f_s = \frac{1}{0.0563 \sqrt{7.24}} = 6.67 \text{ Hz}$)

参考の数式中の 7.24 は、上式 δ_{st} に eI_n の代わりに鉄骨梁の sI を入れて求めた数値。

ばね定数の算出：梁中央に単位荷重 $P = 1\text{N}$ を加えた時のたわみを δ_0

$$\delta_0 = \frac{P \times l^3}{48 \times EI} = \frac{1 \times 6.4^3 \times 10^9}{48 \times 2.05 \times 10^5 \times 61,917 \times 10^4} = 0.428 \times 10^{-4} \text{ mm}$$

$$K = \frac{P}{\delta_0} = 2.33 \times 10^4 \text{ N/mm}$$

有効質量

$$M_e = \frac{K}{(2\pi \times f_v)^2} = \frac{2.33 \times 10^4}{(2\pi \times 10.7)^2} = 5.16 \text{ N} \cdot \text{sec}^2/\text{mm} = 5.16 \times 10^3 \text{ kg}$$

(4) 動的変位振幅の算出

以下に「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（1999）」付5に記されている動的応答係数を参照して、大人一人歩行時の力積値は、3 kg の質量を 5 cm 高さからの自由落下と等価とすると、

$$V_0 = m \times \sqrt{2G \cdot h} = 3 \times \sqrt{2 \times 9,800 \times 50} = 0.297 \times 10^4 \text{ kg} \cdot \text{mm}/\text{sec}$$

とびはね時の力積値を、 $W_d = 6 \times 0.297 \times 10^4 \text{ kg} \cdot \text{mm}/\text{sec}$ 、

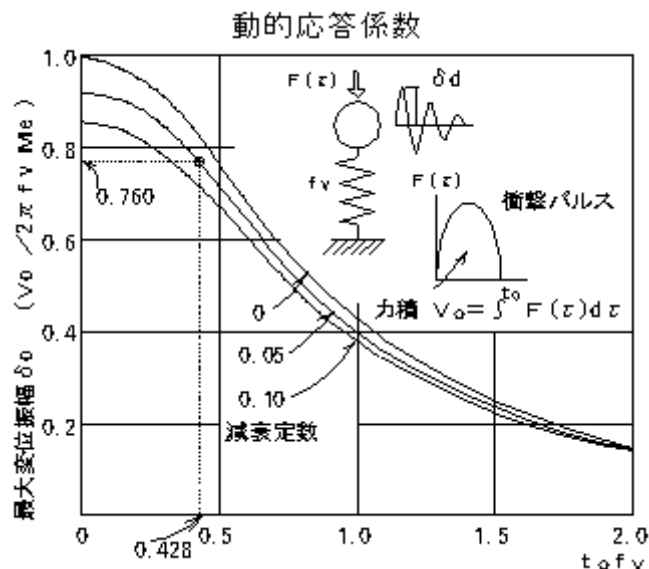
鉄骨造として減衰定数は、0.05、衝撃作用時間は、0.04 sec と仮定します。下図から動的応答係数は、

$$\delta_0 = 0.428 \times 10^{-4} \text{ mmから} 0.760 \text{ となる。}$$

$$\delta_s = 0.760 \times \frac{V_0}{2\pi \times f_v \times M_e} = 0.760 \times \frac{0.297 \times 10^4}{2\pi \times 10.7 \times 5.16 \times 10^3} = 6.51 \times 10^{-3} \text{ mm (6.51 } \mu\text{m)}$$

一人歩行時、単発振動としての感覚値は 0.6 倍とします。

$$\delta_s = 0.6 \times 6.51 = 3.91 \mu\text{m}$$



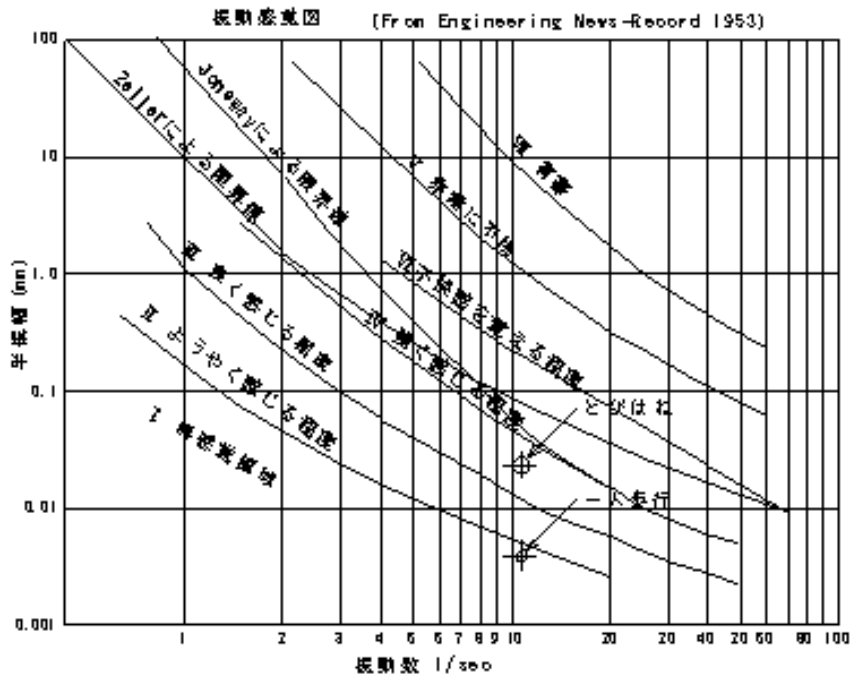
次に、とびはね時のたわみは、

$$\delta_d = 0.760 \times \frac{W_d}{2\pi \times f_v \times M_e} = 0.760 \times \frac{6 \times 0.297 \times 10^4}{2\pi \times 10.7 \times 5.16 \times 10^3} = 39.1 \times 10^{-3} \text{mm} (39.1 \mu\text{m})$$

単発振動としての感覚値は 0.6 倍とします。

$$\delta'_d = 0.6 \times 39.1 = 23.5 \mu\text{m}$$

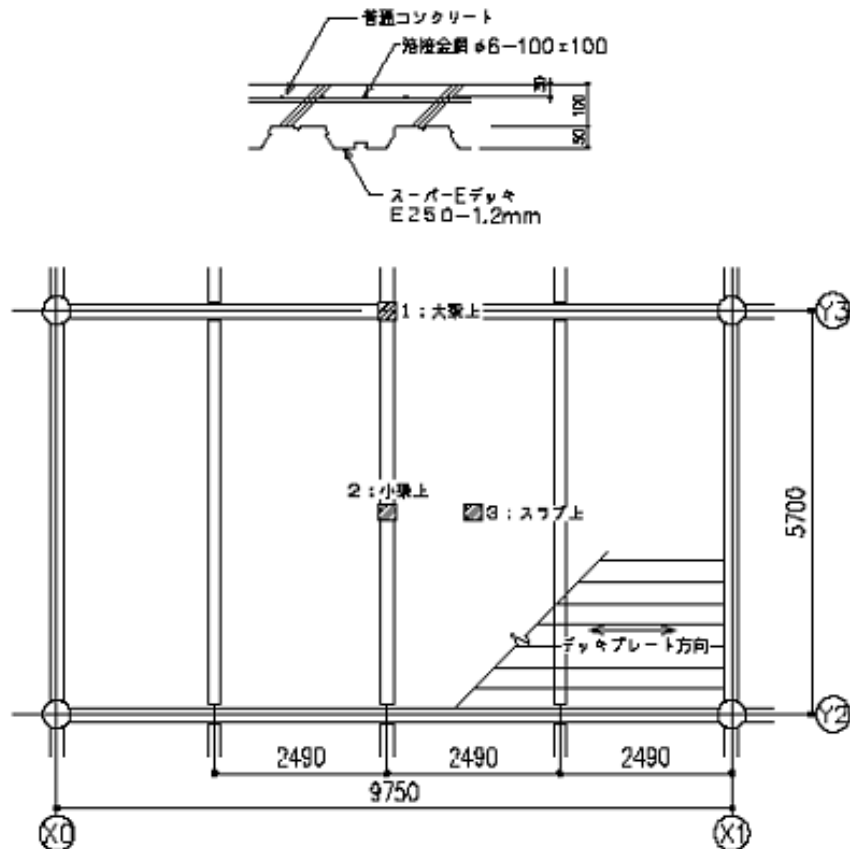
下図から、事務所の執務室として居住性能は充分と考えられます。



《参考資料》デッキ合成スラブの振動実測データ

1. 建物概要

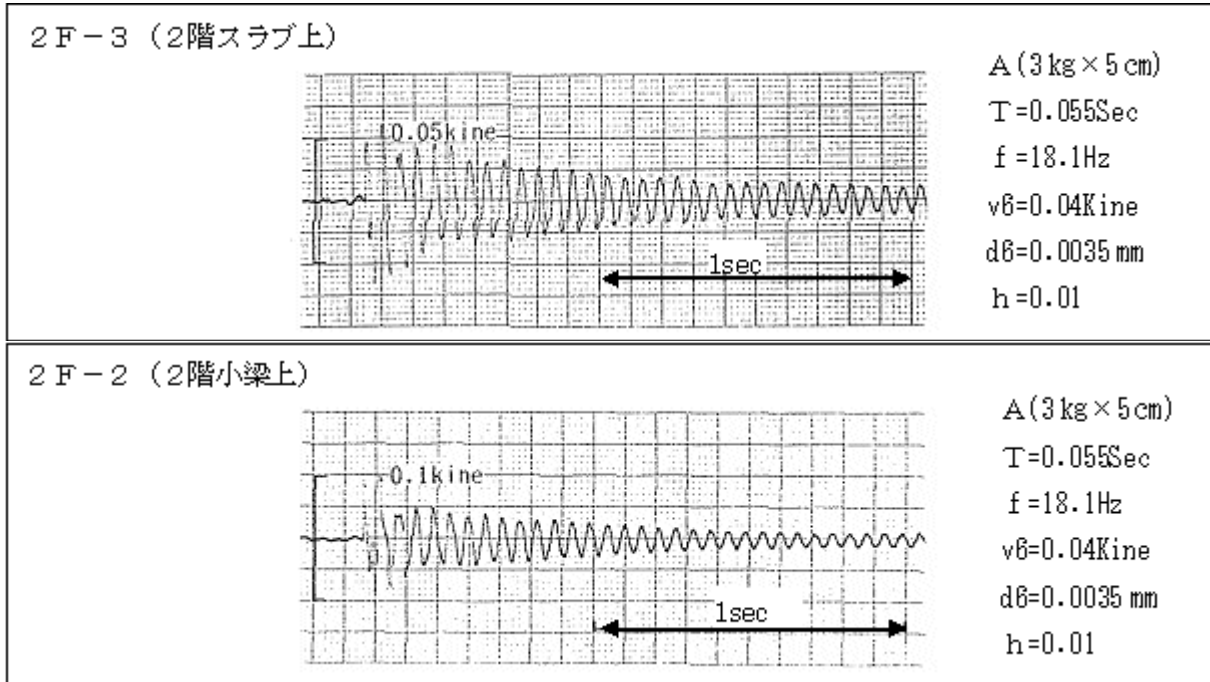
- ・構造：S造一部SRC造
- ・規模：地上10階建て
- ・用途：事務所
- ・床概要：



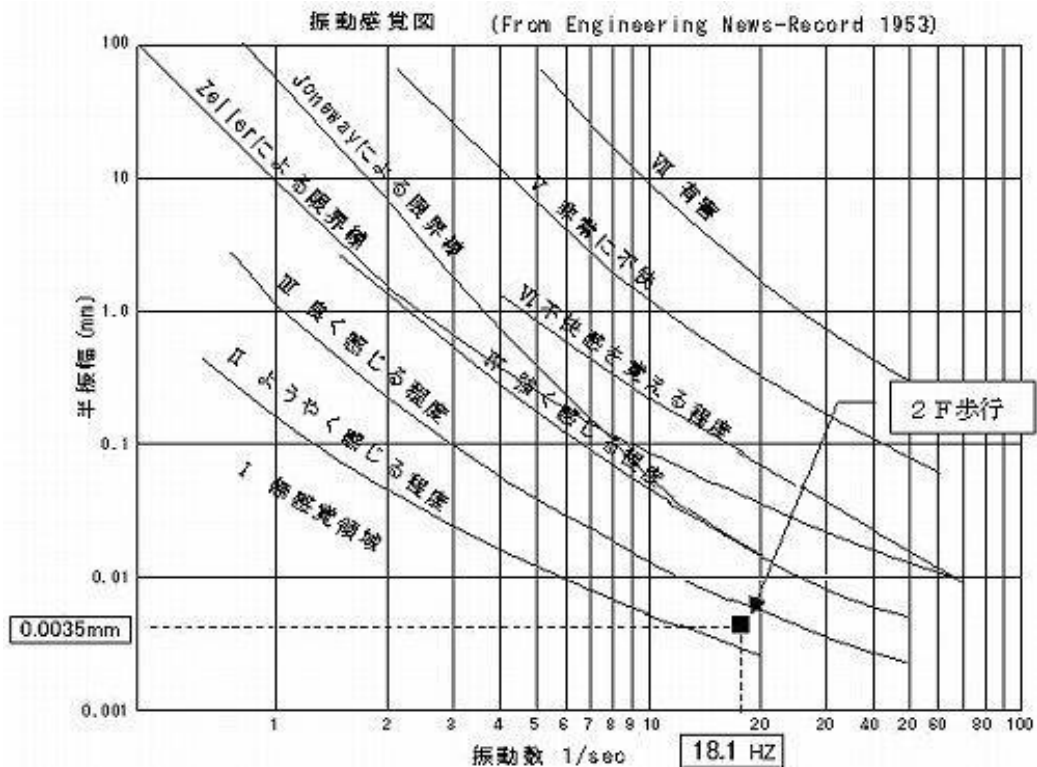
2. 測定結果

階	位置	振動数(Hz)		振幅 (mm)	減衰 h	加振方法
		計算値	実験値			
2	大梁	8.3~13.0	17.9	0.0011	----	(A) 3 kg×5 cm
			18.2	0.0017	----	(B) 6 kg×5 cm
			17.9	0.0062	----	(C) 10 kg×30 cm
	小梁	12.7~20.0	18.1	0.0035	0.01	(A) 3 kg×5 cm
			17.9	0.011	0.01	(B) 6 kg×5 cm
			18.2	0.0039	----	(D) walk
床	46.1	18.1	0.0035	0.01	(A) 3 kg×5 cm	
		18.1	0.0077	0.01	(B) 6 kg×5 cm	
		17.9	0.0037	----	(D) walk	

3. 測定データ



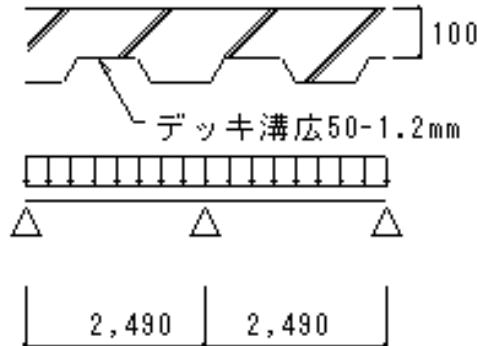
4. 感覚図



5. 振動数の算出

(1) 床スラブの振動数の算出

EZ50 (t=1.2mm) と普通コンクリート (10cm) のデッキ合成スラブの現場実験時の振動数を算出する。



デッキ合成スラブの断面性能 (スーパー E デッキマニュアルから) ;

$$cI_n = 25,700 \times 10^4 \text{ mm}^4 / \text{メートル幅}$$

$$\text{対象荷重: } W = W_{DL} + W_0 = 298 + 60 = 358 \quad \rightarrow 360 \text{ kg/m}^2$$

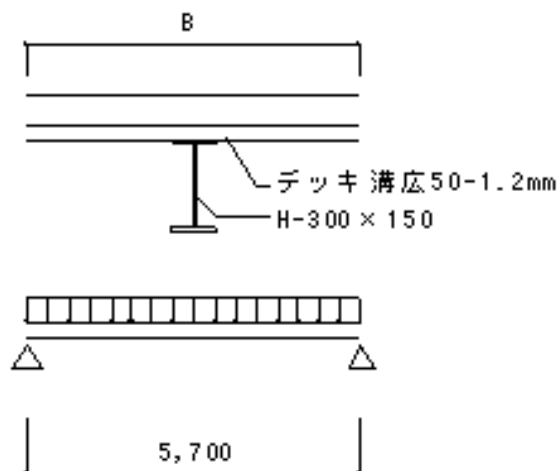
$$\begin{aligned} \text{たわみ (連続支持): } \delta_v &= n \times \frac{1}{185} \times \frac{W \times l^4}{E_s \times cI_n} \\ &= 10 \times \frac{1}{185} \times \frac{3.6 \times 249^4}{2.1 \times 10^6 \times 25,700} = 0.014 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\text{固有振動数: } f = \frac{1}{0.177 \times \sqrt{\delta_v}} = \frac{1}{0.177 \times \sqrt{0.014}} = 47.7 \text{ Hz}$$

ただし、0.177 ; 一端支持・他端固定

(2) 小梁の振動数の算出

小梁 (H-300×150×6.5×9、w=36.7kg/m) とデッキ合成スラブ (EZ50、全厚 150mm、普通コンクリート) との合成梁の振動数を算出する。



合成梁の有効幅：

$$a = 2,490 - 150 = 2,340 \leq L_0 = 5,700$$

$$b_a = 0.2 \times L_0 = 1,140$$

$$B = 150 + 2 \times 1,140 = 2,430 \text{ mm}$$

$$\text{合成梁の断面二次モーメント： } cI_n = 31,200 \text{ cm}^4$$

$$\text{対象荷重： } W = W_{\text{FLOOR}} + W_{\text{BEAM}} = 360 \times 2.49 + 36.7 = 933 \quad \rightarrow 940 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{たわみ（単純支持と仮定）： } \delta_v = \frac{5}{384} \times \frac{9.4 \times 570^4}{2.1 \times 10^6 \times 31,200} = 0.197 \text{ cm}$$

$$\text{固有振動数： } f = \frac{1}{0.178 \times \sqrt{0.197}} = 12.7 \text{ Hz} \quad \text{ただし、0.178；両端支持}$$

次に、連続支持と仮定すると、

$$\text{たわみ（連続支持と仮定）： } \delta_v = \frac{1}{185} \times \frac{9.4 \times 570^4}{2.1 \times 10^6 \times 31,200} = 0.082 \text{ cm}$$

$$\text{固有振動数： } f = \frac{1}{0.175 \times \sqrt{0.082}} = 20.0 \text{ Hz} \quad \text{ただし、0.175；両端固定}$$