

免震模型の設計・制作と振動台実験

(その1) 目標性能と免震模型の材料選定

2019年 1月30日

長谷川研究室

01512005 天沼 良太

発表内容

1. 背景と目的

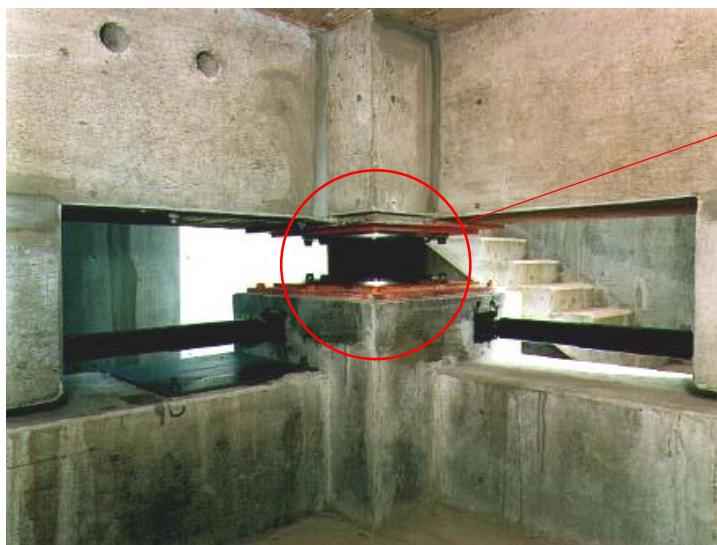
2. 免震模型と目標性能

3. 自由振動実験による免震模型の
材料選定

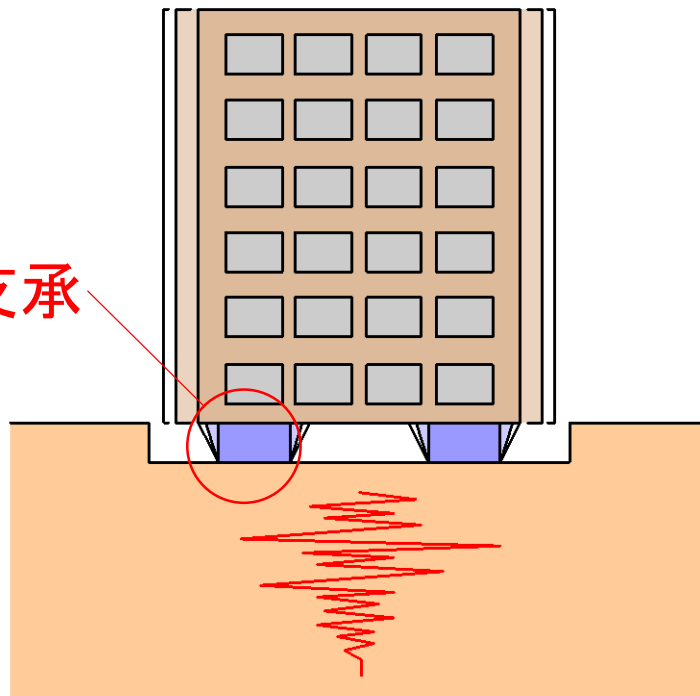
4. まとめ



背景と目的



免震支承

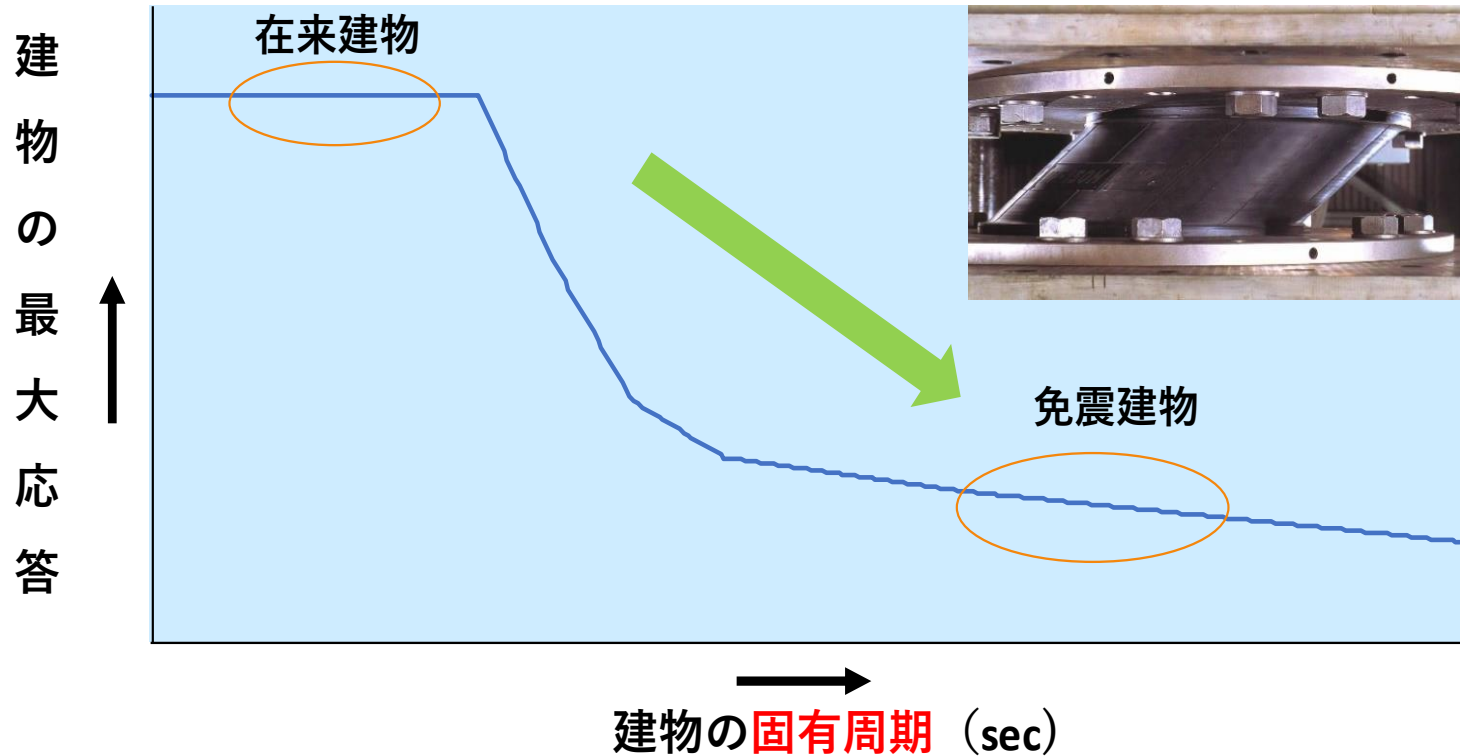


実際の免震支承

建物と地盤との間に何らかの縁を切る機構(免震支承)を挟み、建物に作用する地震力を低減する構造

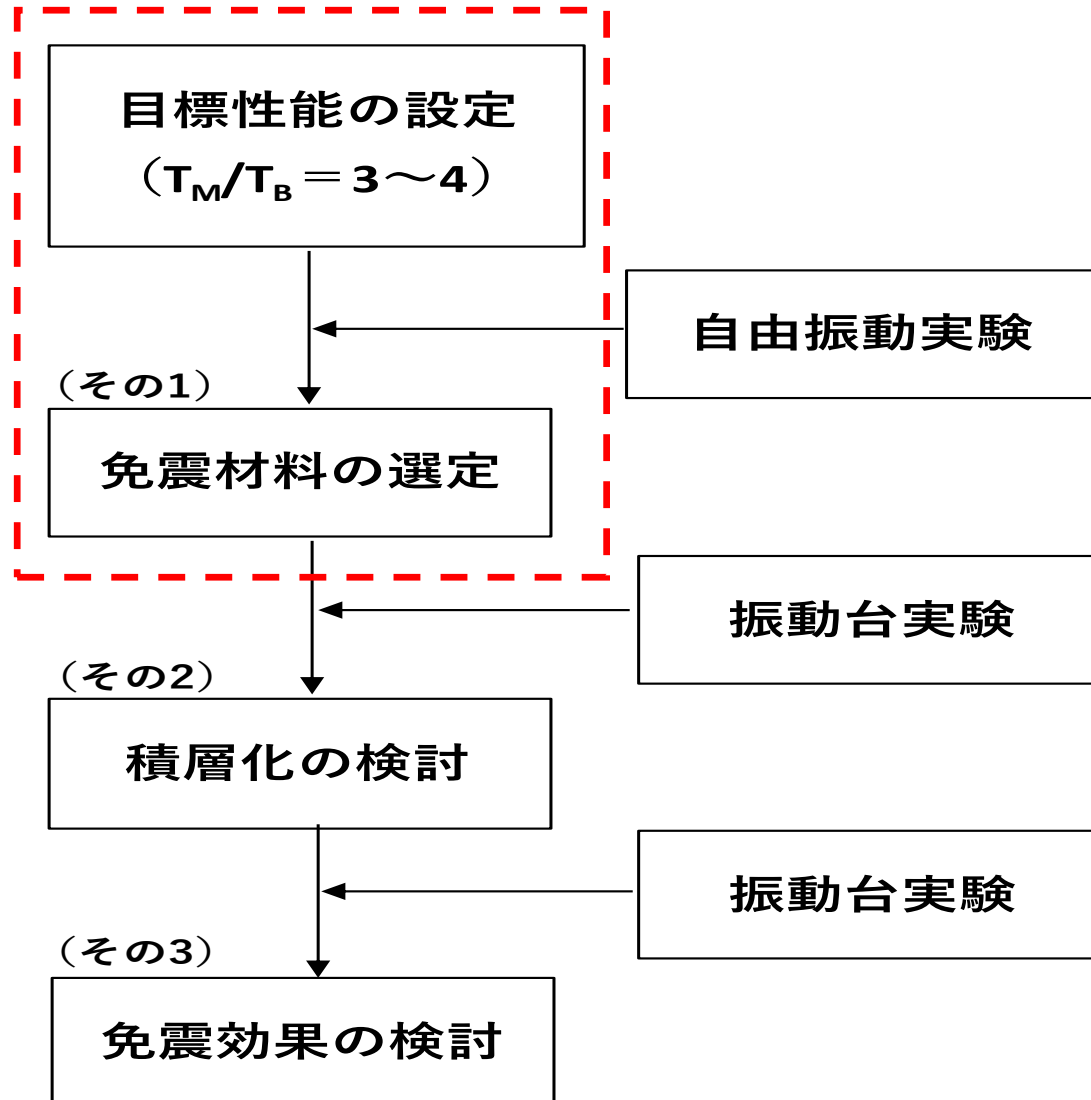
免震の原理

加速度応答スペクトルの概念図



免震支承により、建物の揺れの周期(固有周期)を長くし、地震による建屋応答を低減

全体検討フロー



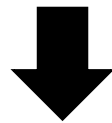
目標性能

実在する免震建物

免震周期 (T_M) → 3秒程度

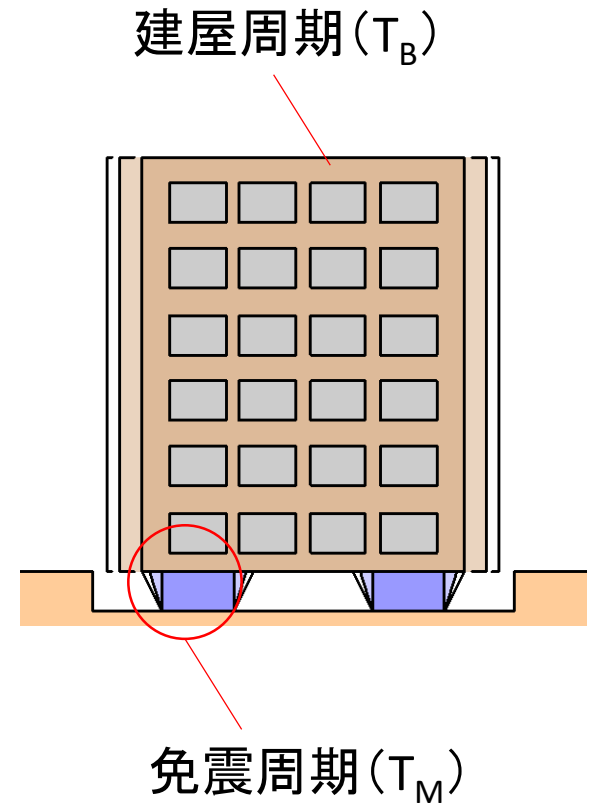
建屋周期 (T_B) → 1秒程度

例) RC造10階建て ($0.1N$ 、 N :階数)



目標性能

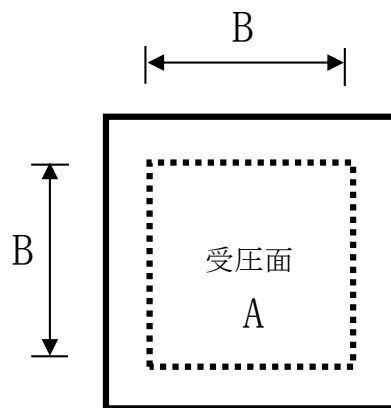
免震周期 (T_M) / 建屋周期 (T_B) = 3 ~ 4



免震模型周期の算定

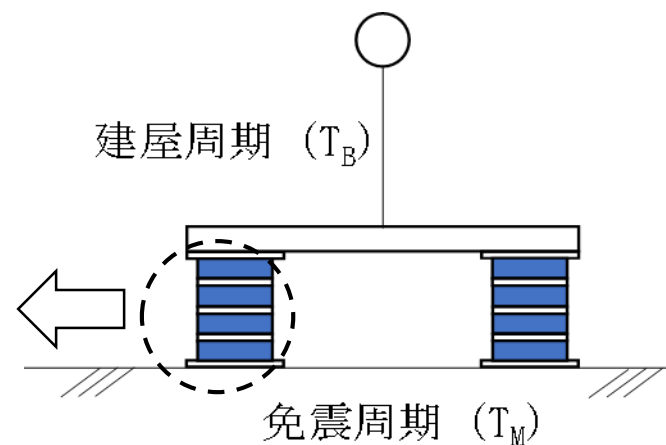
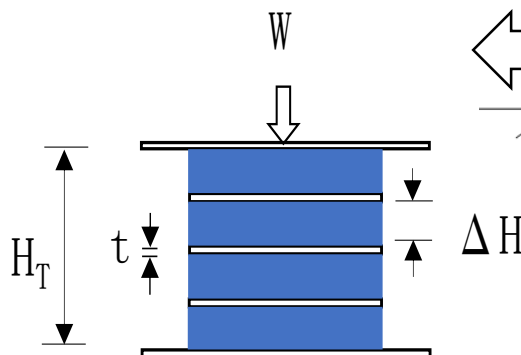
免震周期 (T_M)

$$(1) T_M = 2\pi \sqrt{\frac{w/g}{K}}$$



せん断ばね定数 (K)

$$(2) K = \frac{GA}{H}$$



自由振動実験の目的

加速度減衰波形



固有周期 (T_M)

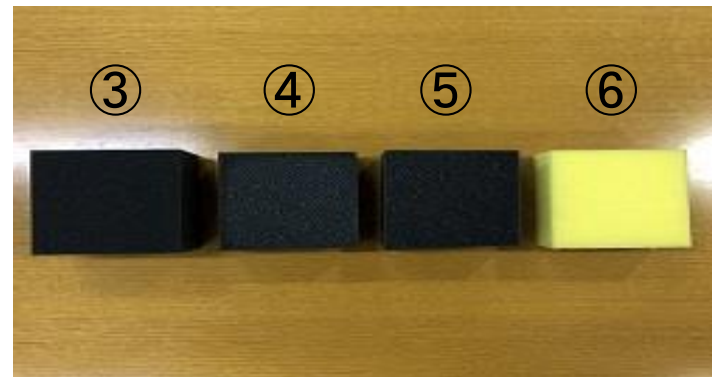


G_i の同定

$$G_i = \frac{m_i \times \omega_i^2}{A/H} = \frac{m_i}{A/H} \left(\frac{2\pi}{T_M} \right)^2$$

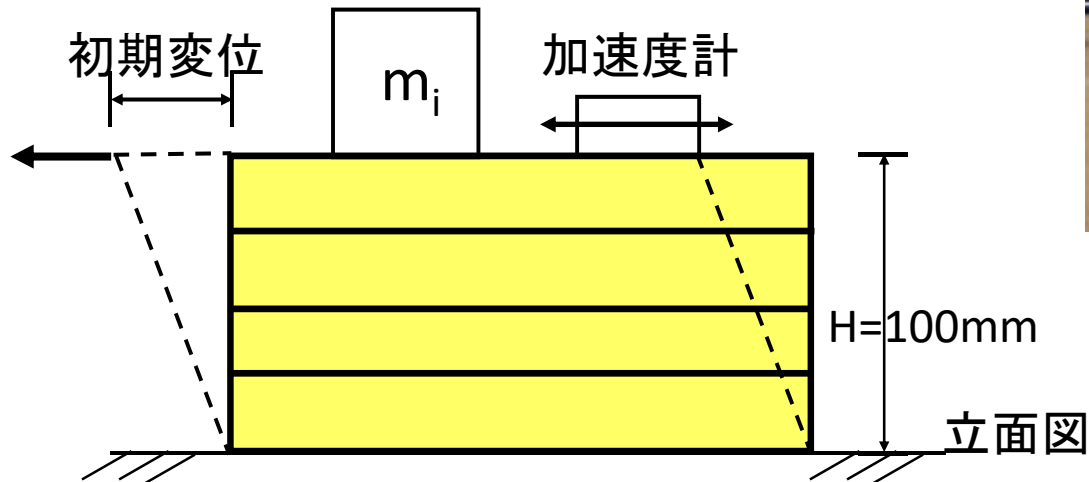
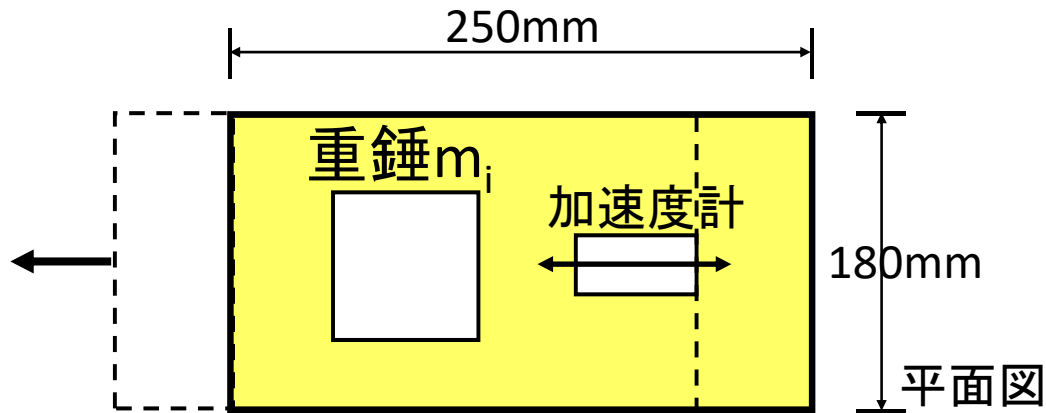


ゴムスポンジ2種類



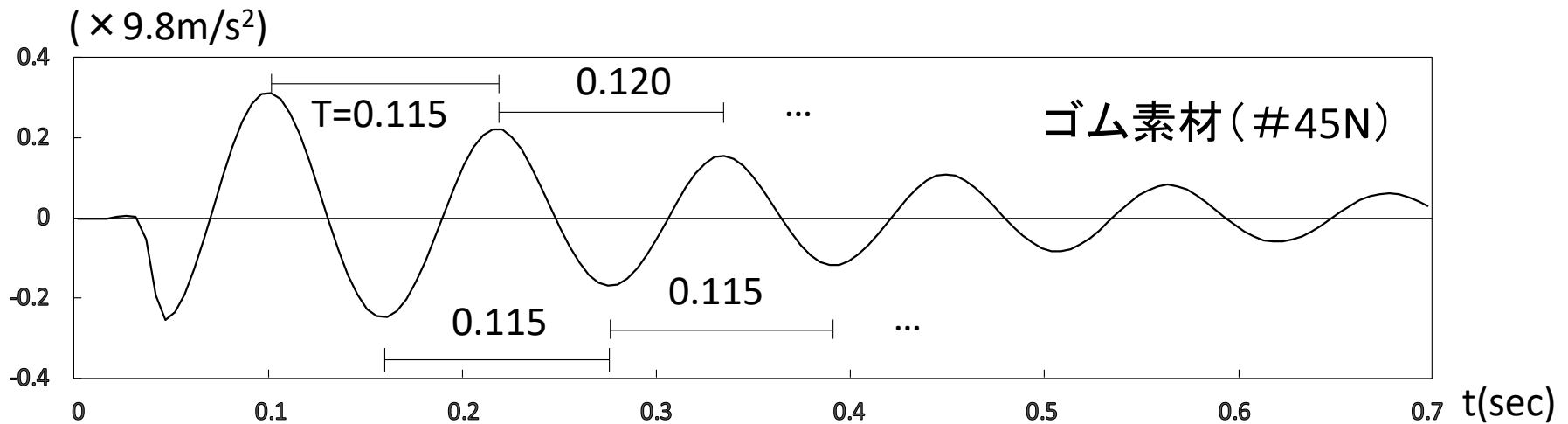
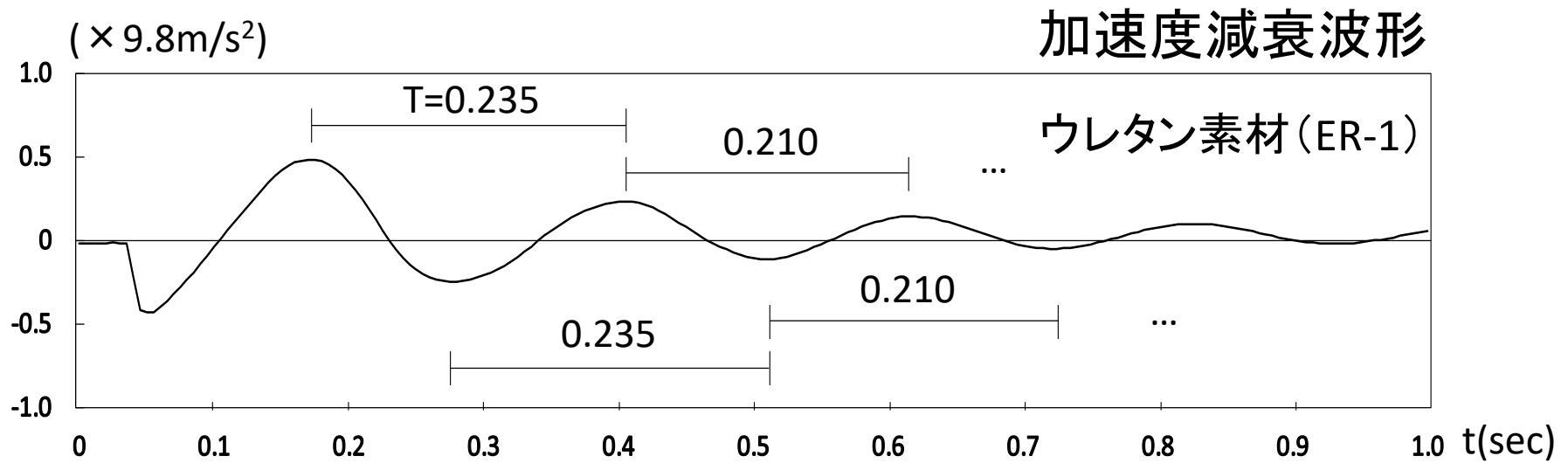
ウレタンフォーム4種類

自由振動実験の方法



自由振動実験風景

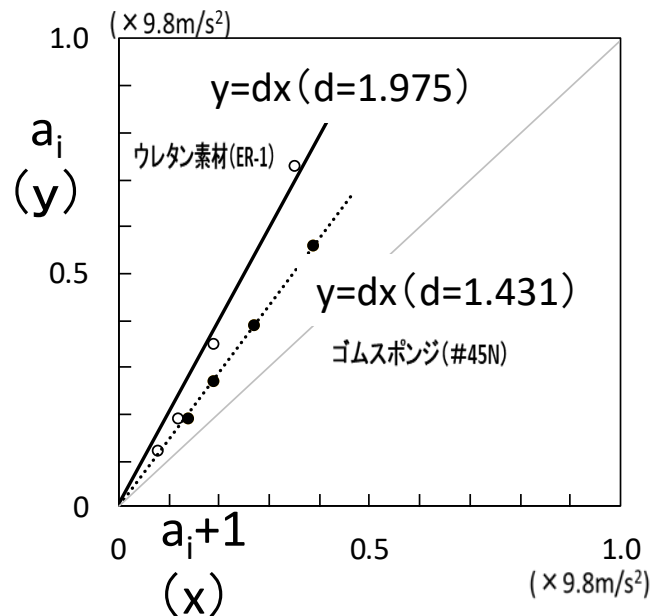
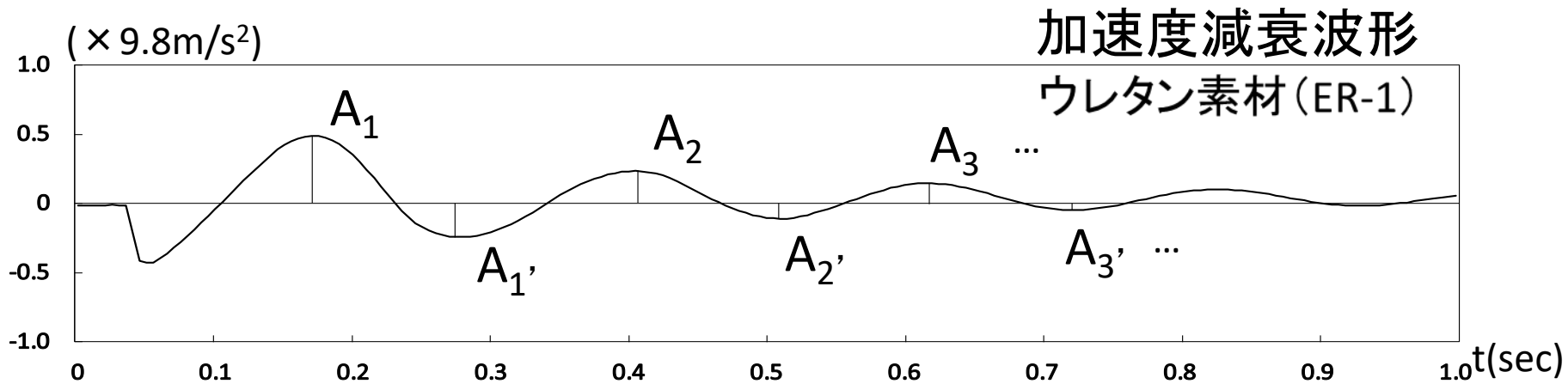
自由振動実験の結果(1)



固有周期の読み取り ➡ せん断弾性係数(G)の同定

自由振動実験の結果(2)

振幅比の読み取り → 減衰定数(h)の同定



対数減衰率

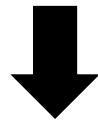
$$d = \frac{a_1}{a_2} = \frac{a_2}{a_3} = \dots ; a_i = A_i + A_i'$$



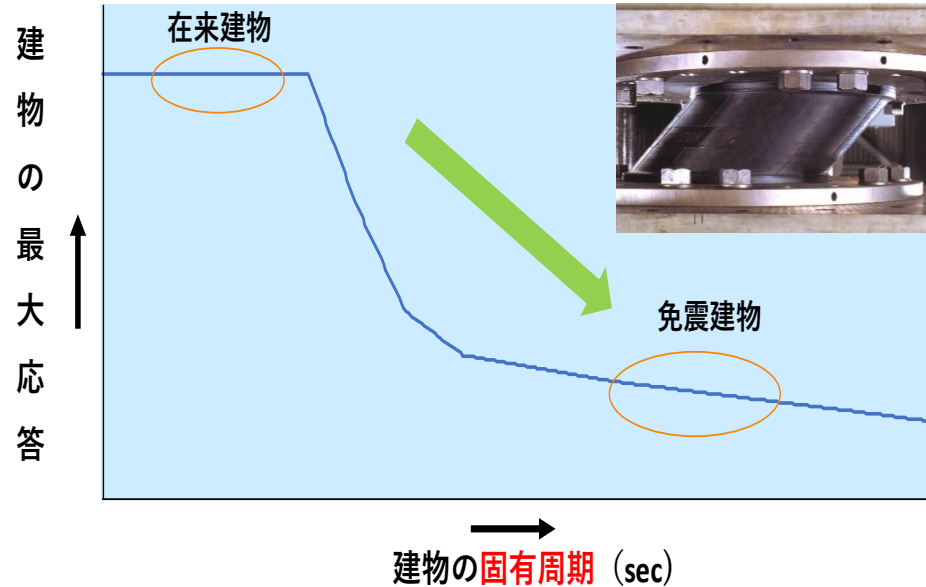
$$h = \ln(d) / 2\pi$$

材料選定の根拠

・ 建屋周期 (T_B) \ll 免震周期 (T_M)

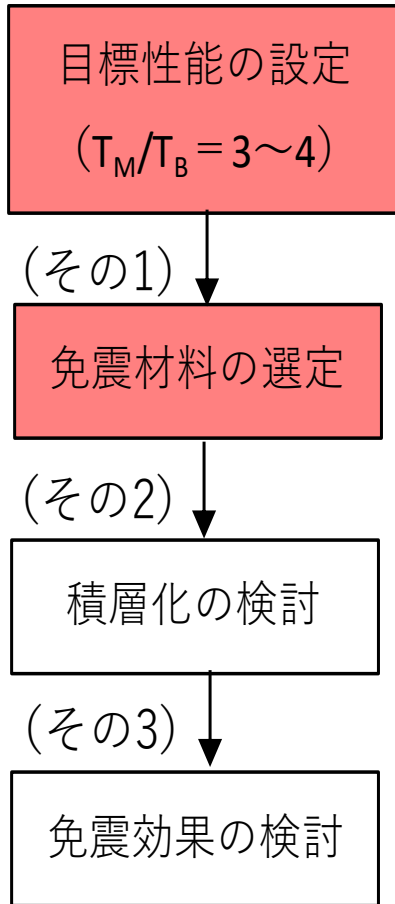


・ Gの小さい材料を選定



種類	ゴムスポンジ		ウレタンフォーム			
商品名	① #45N	② ネオスポン	③ 低反発 EMM	④ 低反発 F-6	⑤ 低反発 F-2	⑥ 高反発 ER-1
せん断弾性係数G (KN/m ²)	48.0	53.6	30.4	21.3	17.1	14.7
減衰定数h (%)	6.2	9.4	4.9	6.3	10.5	10.8

まとめ

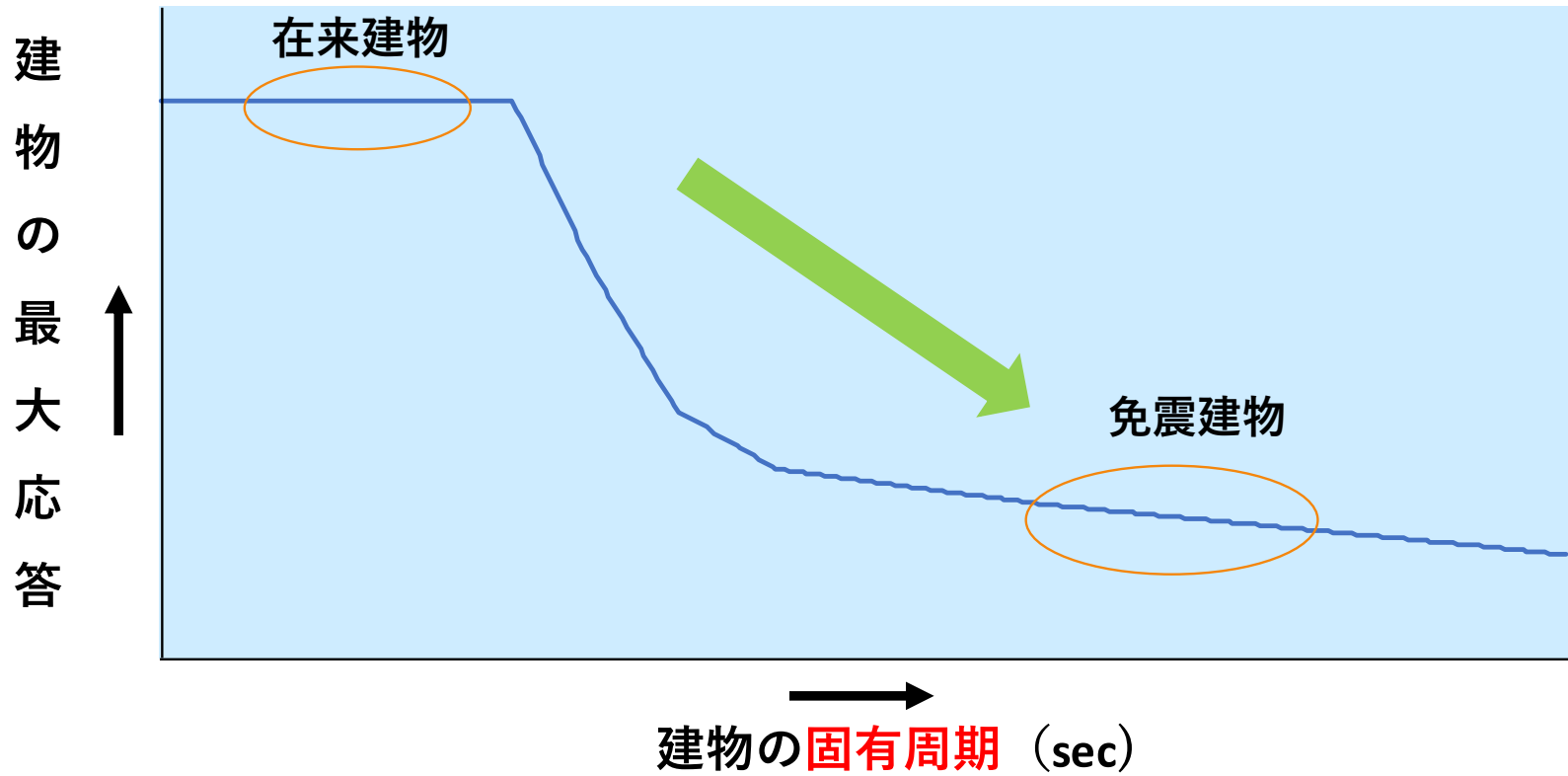


- 目標性能 $T_M/T_B = 3 \sim 4$

- 自由振動実験によるGの同定

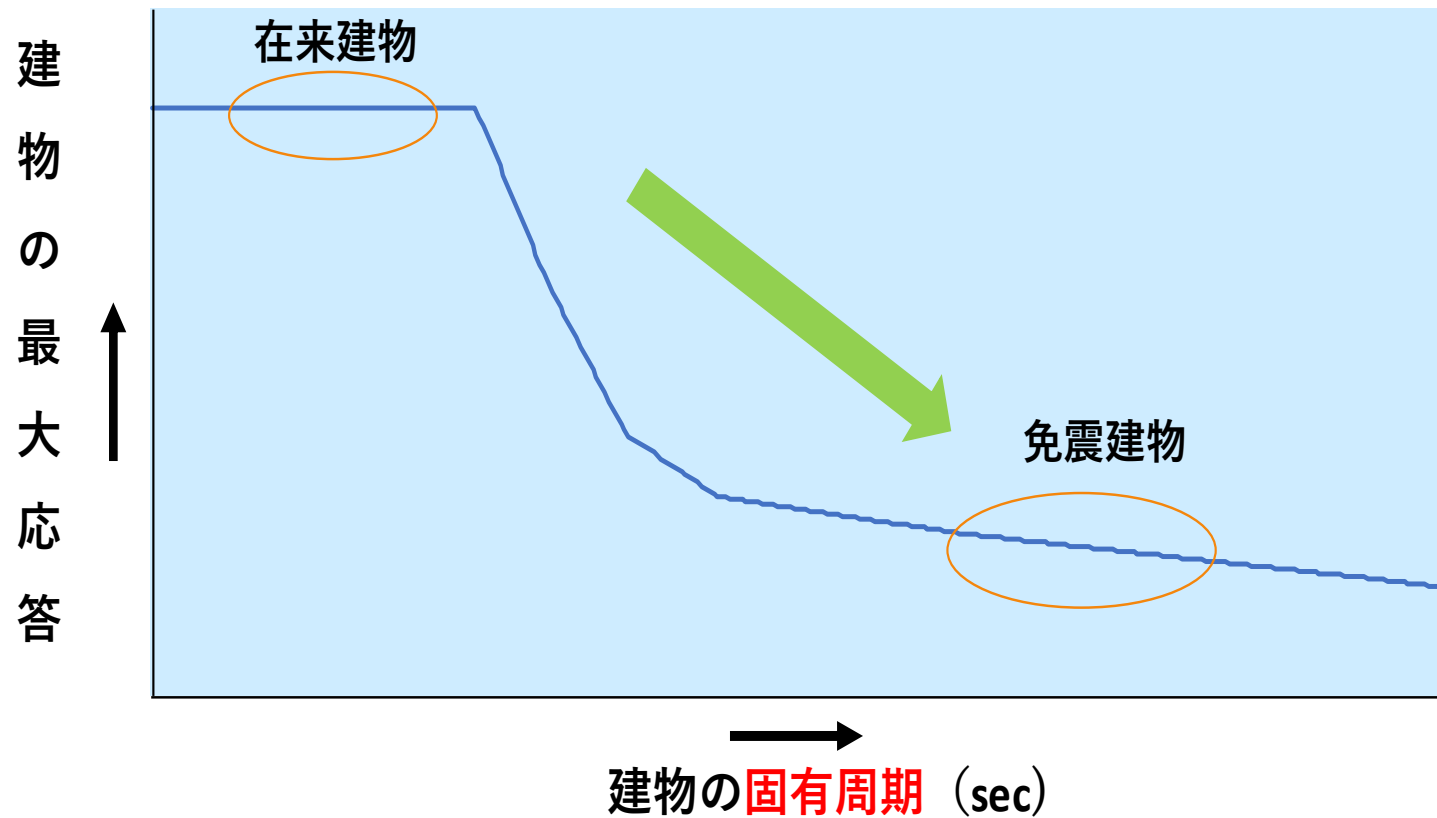
- 免震材料にウレタンフォーム (ER-1) 選定

加速度応答スペクトル

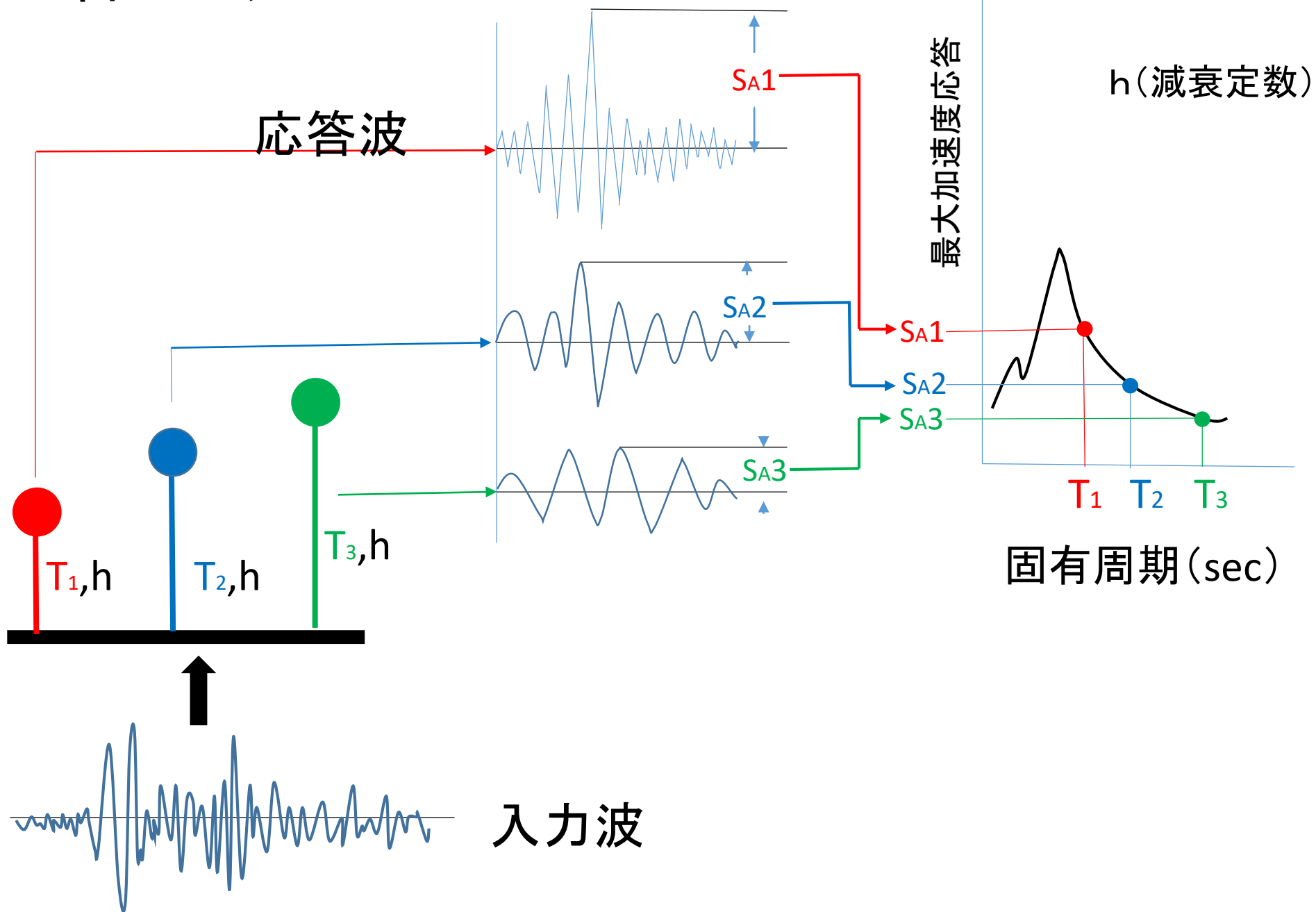


Q&A

加速度応答スペクトルの概念図



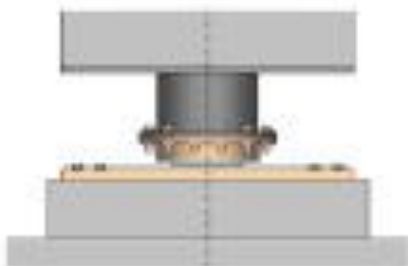
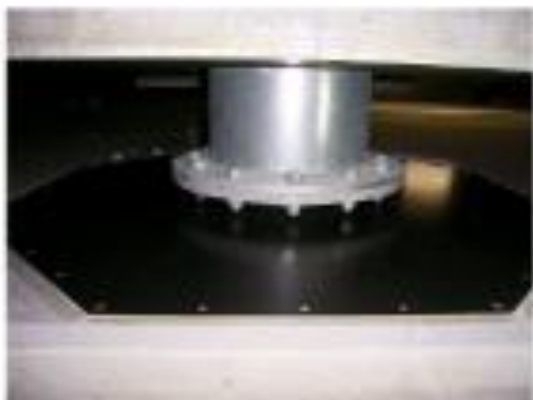
応答スペクトルとは



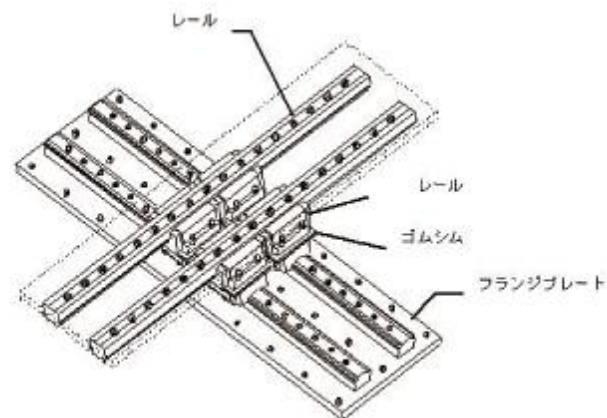
Q&A

滑り支承と転がり支承

▼ すべり支承の例



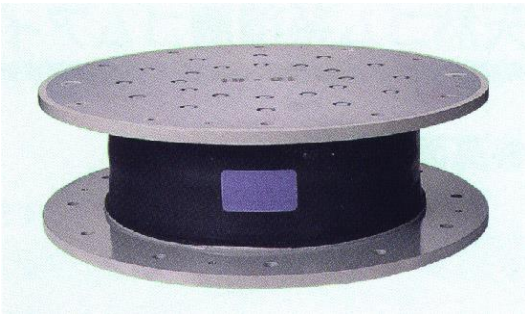
▼ 転がり支承の例



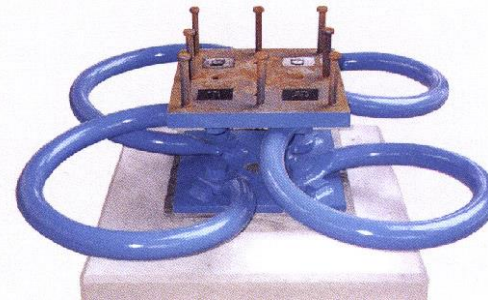
出典

http://www.jssi.or.jp/menshin/m_kenchiku.html

免震装置（別置き型）



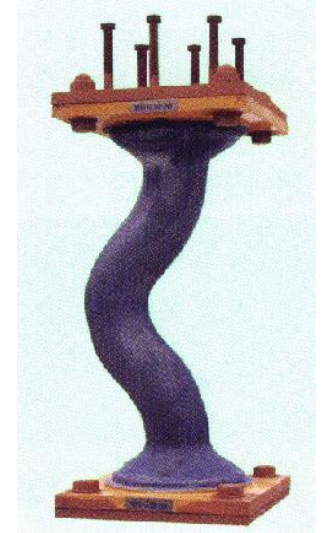
積層ゴム
（天然ゴム）



鋼棒ダンパー



オイルダンパー



鉛ダンパー

実際の免震建物における積層ゴム割合

一例

・財務省本庁舎

面積：約11,000m²

免震装置：472基

・積層ゴム

天然ゴム：74基

鉛入り：110基

・転がり支承：264基

・オイルダンパー：24基

免震建物の数

ビル 4100棟

戸建て住宅 4000棟

代表的な免震部材

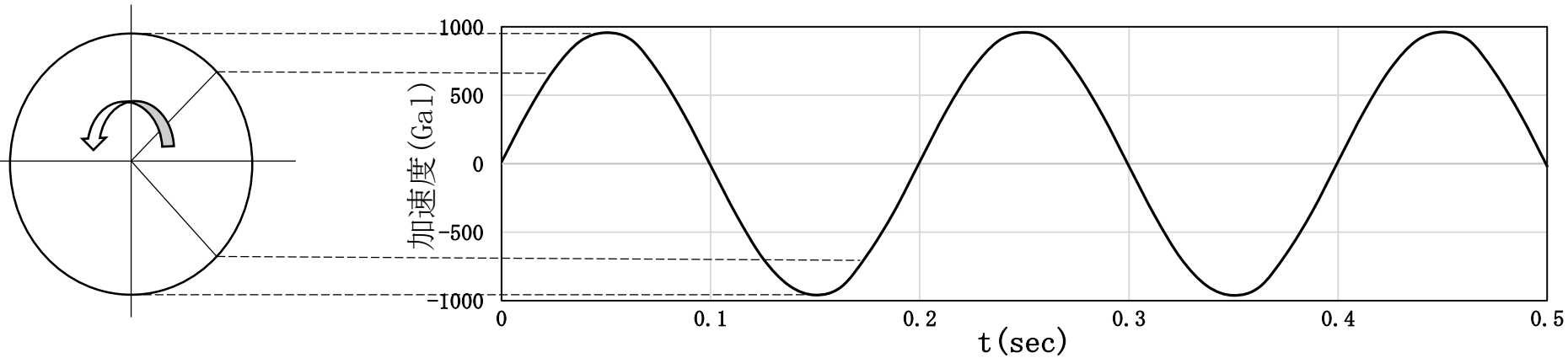
免震支承	積層ゴム支承	天然ゴム系積層ゴム支承
		高減衰ゴム系積層ゴム支承
		鉛プラグ型積層ゴム支承
	すべり支承	弾性すべり支承
	転がり支承	ボールベアリング支承
ダンパー	履歴減衰型	鋼材ダンパー
		鉛ダンパー
	粘性減衰型	粘性ダンパー
		オイルダンパー
	摩擦減衰型	摩擦ダンパー

- ・免震支承として最も使われているのは積層ゴム支承

せん断弾性係数Gの比較

材種	せん断弾性係数G (KN/m ²)
高反発ウレタンフォーム	14.7
ゴムスポンジ	48.0
一般的な天然ゴム	約300~2.000

Q&A



重力加速度 g

$$(1.0) g = 9.8 \text{ m/s}^2$$

$$980 \text{ Gal} = 980 \text{ cm/s}^2 = 9.8 \text{ m/s}^2$$

$$1 \text{ Gal} = 1/100 \text{ m/s}^2 = 1 \text{ cm/s}^2$$

$$(1 \text{ m/s}^2 = 100 \text{ Gal})$$

クロロプレンゴム系溶剤形接着剤

- 商品名：G17
 - 用途：ゴム・金属・皮革・硬質プラスチックなど
 - クロロプレンゴムを主成分とする接着剤
- * 溶剤とは、物質を溶かすのに用いる液体



日本で初の免震レトロフィット

国立西洋美術館

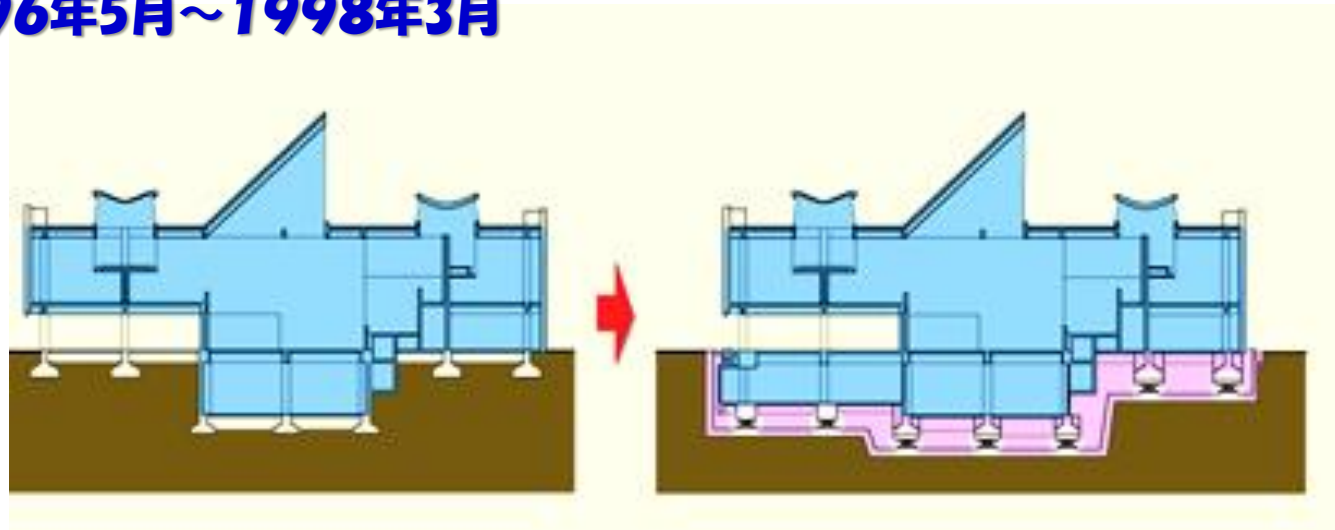
・元の建物の竣工：1959年

(基本設計者：ル・コルビュジェ)

・免震レトロフィット工期：

1996年5月～1998年3月

オリジナルデザインを変更することなく、耐震性を大きく向上させた！



建屋周期 略算式

$$T = \begin{cases} 0.03h & \cdots \text{S造} \\ 0.02h & \cdots \text{RC造} \end{cases}$$

$$h = \Delta h \times N$$

$$\Delta h (\text{階高}) = 3.5 \sim 4.0\text{m}$$

$$N = \text{階数}$$

せん断弾性係数 (G)

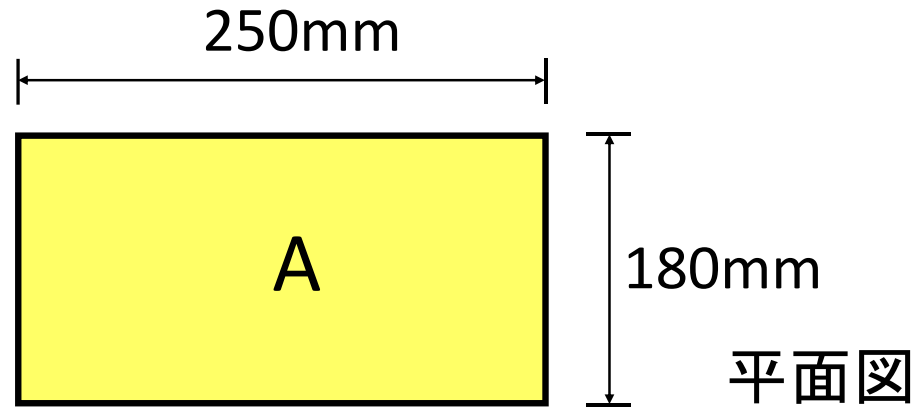
$$K=0.45G$$

$$K = \frac{GA}{H}$$

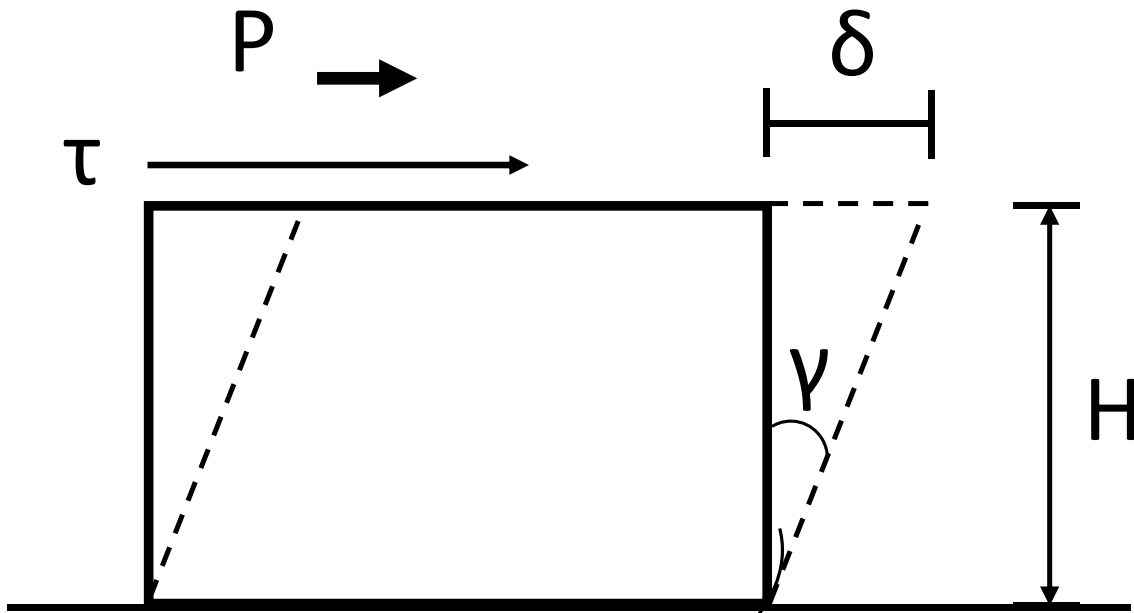
$$G_i = \frac{m_i \times \omega_i^2}{0.45}$$

$$m_i = W_i / g$$

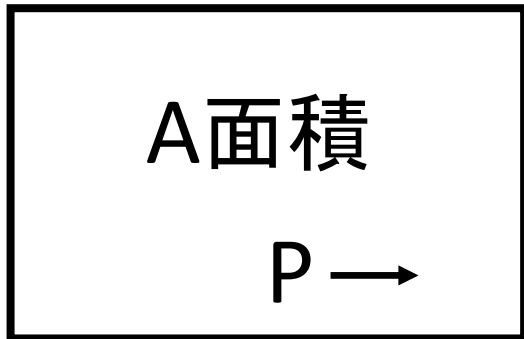
$$\omega_i = 2\pi / T_{Mi}$$



せん断ばね定数(K)



γ =せん断歪み
 τ =せん断応力



$$\gamma = \frac{\delta}{H}$$

$$\tau = \frac{P}{A}$$

$$P = \tau A$$

応力と歪み関係

$$\tau = G\gamma$$

免震のメリット

安全性向上

機能性の維持

財産の保全

安心・居住性の向上

設計自由度の向上

免震のデメリット

建設コスト

クリアランス

縦揺れには効果が薄い

長周期地震動に共振しやすい

定期点検

ウレタンフォーム

内部に気泡を保留させた多孔質のポリウレタン。生成過程で発生するガスを保留させたもの。

マットレスやクッション、にも使用されている。