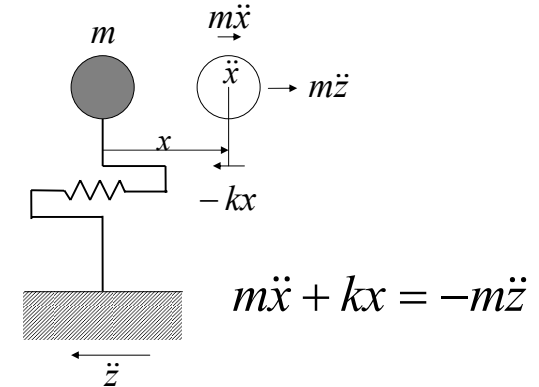


防災工学概論

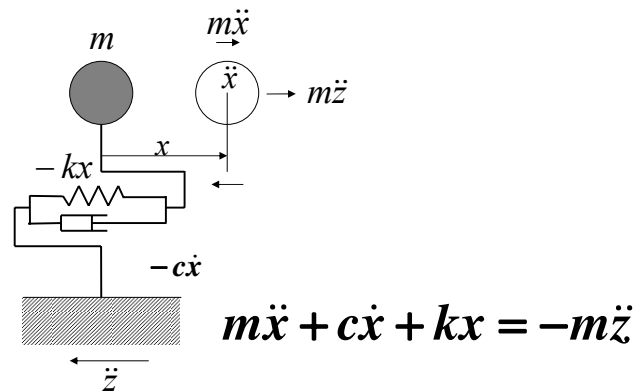
第7回 地震工学と耐震設計 鈴木 猛康

地震動(地動) \ddot{z} による1自由度系の 非減衰運動方程式



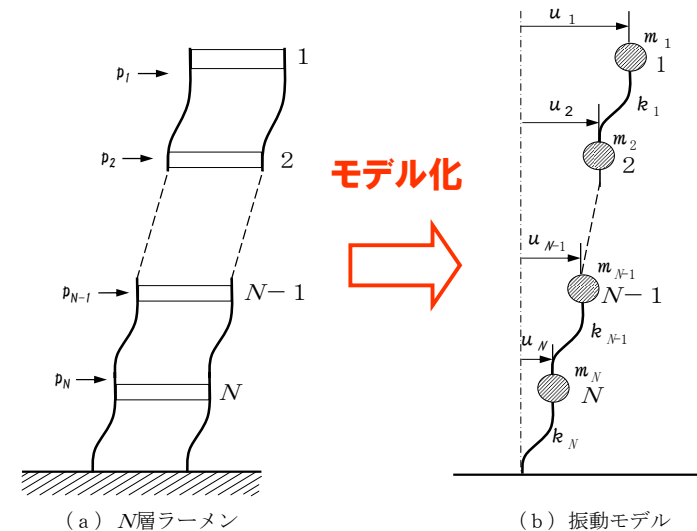
応用物理学の復習(1自由度系の振動)

地震動(地動) \ddot{z} による1自由度系の 減衰運動方程式



応用物理学の復習(1自由度系の振動)

建物は板ばねと錘の集合体



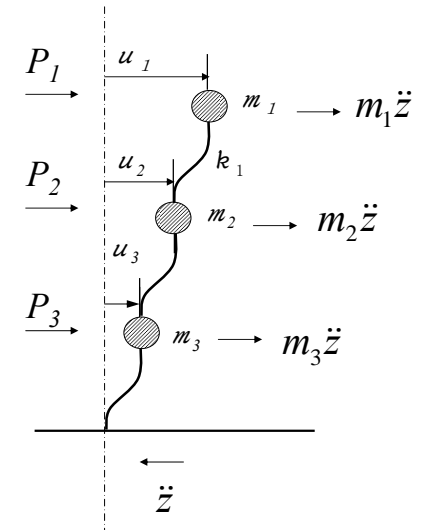
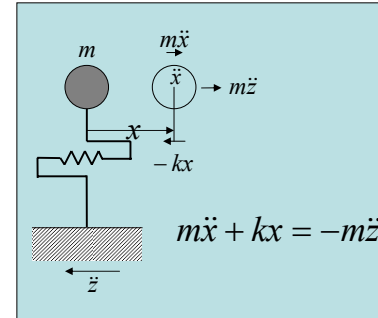
3質点系の運動方程式

$$m_1 \ddot{u}_1 + k_1(u_1 - u_2) = p_1,$$

$$m_2 \ddot{u}_2 - k_1(u_1 - u_2) + k_2(u_2 - u_3) = p_2,$$

$$m_i \ddot{u}_i + k_{i-1}(u_{i-1} - u_i) + k_i(u_i - u_{i+1}) = p_i$$

$$m_N \ddot{u}_N - k_{N-1}(u_{N-1} - u_N) + k_N u_N = p_N$$



マトリクスを用いた運動方程式の表示

$$\begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{u}_1 \\ \ddot{u}_2 \\ \ddot{u}_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} k_1 & -k_1 & 0 \\ -k_1 & k_1+k_2 & -k_2 \\ 0 & -k_2 & k_2+k_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p_1 \\ p_2 \\ p_3 \end{bmatrix}$$

ダランベールの定理を用いると、 $P_i = -m_i \ddot{z}$

地震動 \ddot{z} による3自由度系の非減衰運動方程式は、以下の式となる。

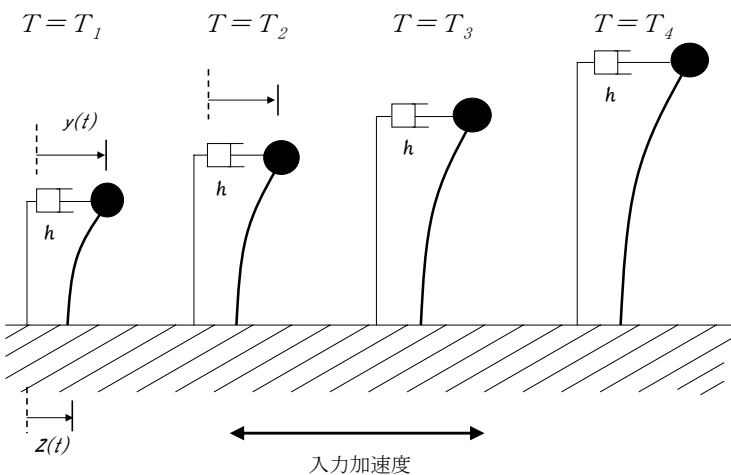
$$\begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{u}_1 \\ \ddot{u}_2 \\ \ddot{u}_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} k_1 & -k_1 & 0 \\ -k_1 & k_1+k_2 & -k_2 \\ 0 & -k_2 & k_2+k_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} m_1 \\ m_2 \\ m_3 \end{bmatrix} \ddot{z}$$

数値解析を用いて、各質点(構造物位置)の地震時応答を求めることができる。

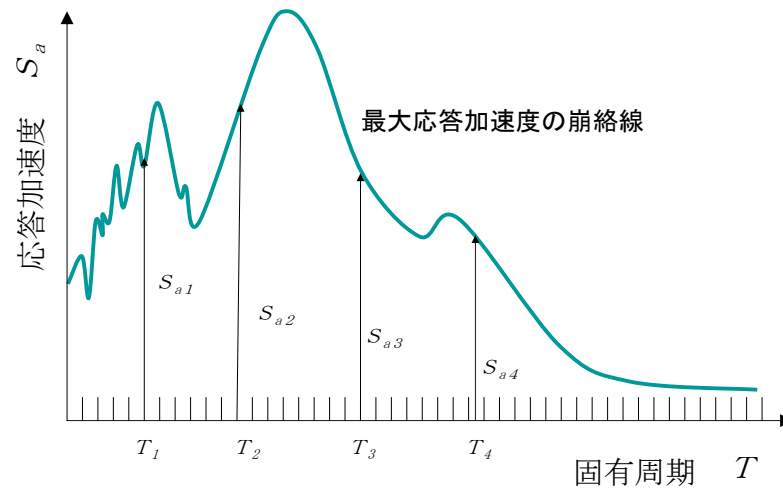
応答スペクトル

- 応答スペクトルとは、地震の力がいろいろな固有周期を持つ建物に対してどんな揺れ(応答)を生じさせるかを、一見して分かり易いように描いたものを言う。応答スペクトルを作成することにより、建物の固有周期が分かれば、建物に作用する地震力の大きさを知ることができる。

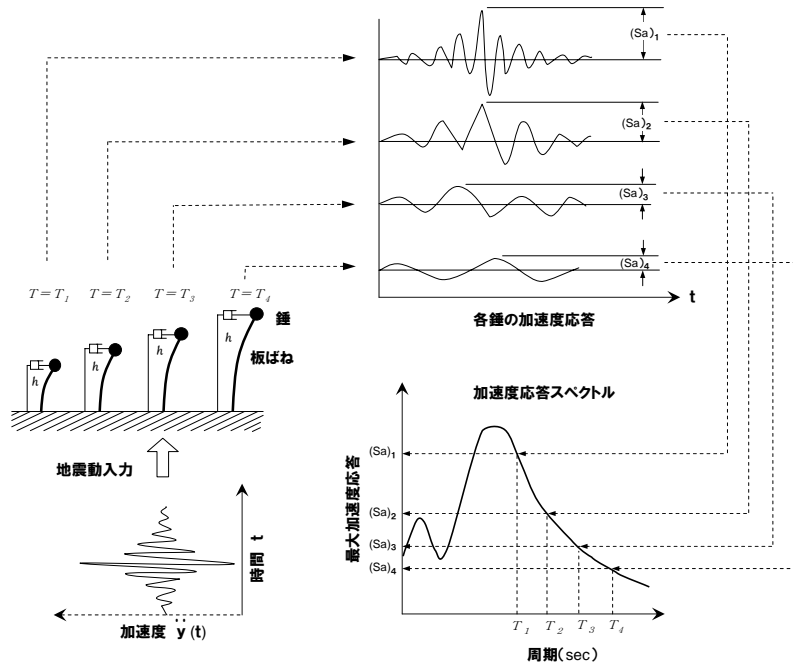
異なった固有周期を持つ一自由度系を加振



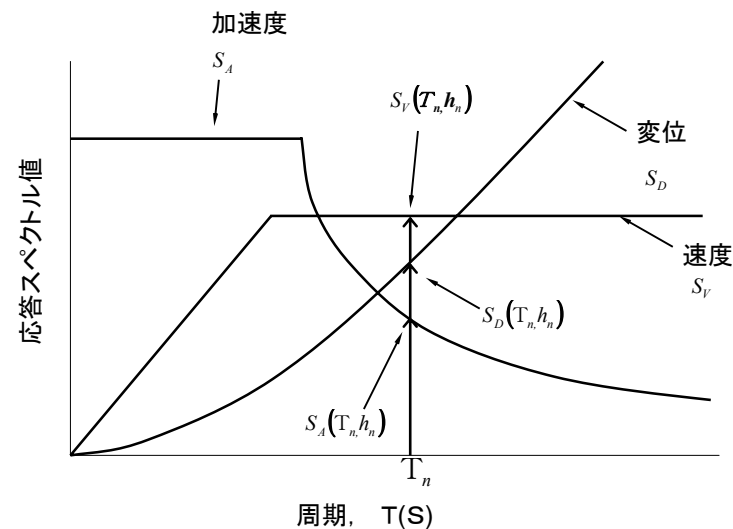
加速度応答スペクトル



応答スペクトルを用いた構造物の最大応答値の評価



加速度、速度、変位 応答スペクトルの関係



加速度, 速度, 変位応答スペクトルの関係

ここで,

$$S_A(T_n, h_n) = \omega_n^2 S_D(T_n, h_n)$$

$$S_V(T_n, h_n) = \omega_n S_D(T_n, h_n)$$

$$S_A(T_n, h_n) = \omega_n S_V(T_n, h_n)$$

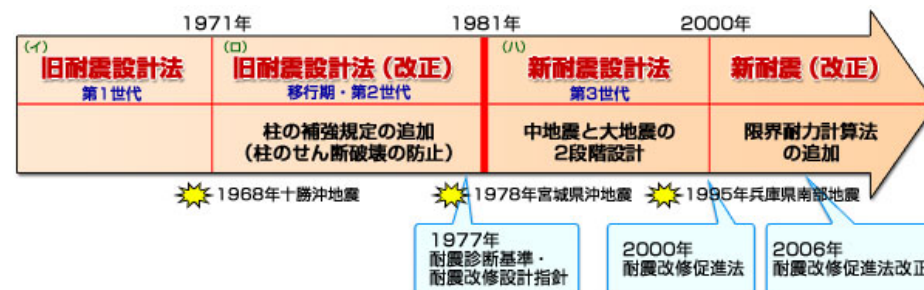
ここで,

$S_A(T_n, h_n)$: 加速度応答スペクトル

$S_V(T_n, h_n)$: 速度応答スペクトル

$S_D(T_n, h_n)$: 変位応答スペクトル

建築基準法の変遷



耐震設計法の変遷1

- 着工が1970年12月以前
柱の帯筋の間隔が粗い(30cm以下) → 地震に弱い
- 着工が1971年1月～1981年5月
柱の帯筋の間隔を10cm以下に(部分的に15cm以下) → 柱の粘り強さがアップ
第1世代の旧耐震設計基準から、第2世代の旧耐震設計基準への移行。

1968年の十勝沖地震におけるせん断破壊の教訓から、せん断補強筋(柱の帯筋)のピッチを細かくするように規定された。

耐震設計法の変遷2

- 着工が1981年6月以降
中地震時には建物の継続使用が可能 大地震時には、建物を倒壊させない設計 → 新耐震設計法

新耐震設計法では、2段階設計法が採用された。

(第1段階)建物が存在中に必ず遭遇するであろう中地震(震度5強程度)に対しては軽微なひび割れ程度にとどめる。

(第2段階)ひょっとして遭遇するかも知れない大地震(震度6強～7)に対しては、建物を崩壊させない。

耐震設計とは

- 用途, 景観, 経済性等を評価して, 構造物の概略構造を設計する.
- 常時の構造設計を行う.
- 経済性, 安全性の確保とともに環境へも配慮した地震対策を行う.
- 地震時の構造物の性能照査(2段階)を行う.

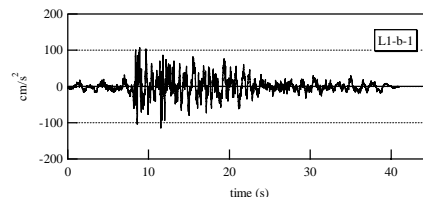
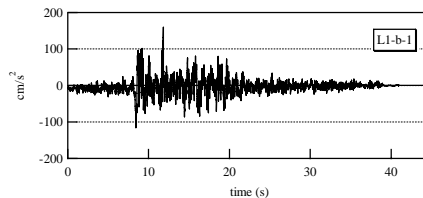
レベル1地震動

- 構造物の使用期間中に1~2回発生すると考えられる強さの地震動
- T_D 年間に Y が y を超えない確率(非超過確率) P
ここで T_R =再現期間

$$P[Y < y, T_D] = \left\{ 1 - \frac{1}{T_R(y)} \right\}^{T_D}$$

- 耐用年数50年→再現期間75年
- 耐用年数100年→再現期間150年

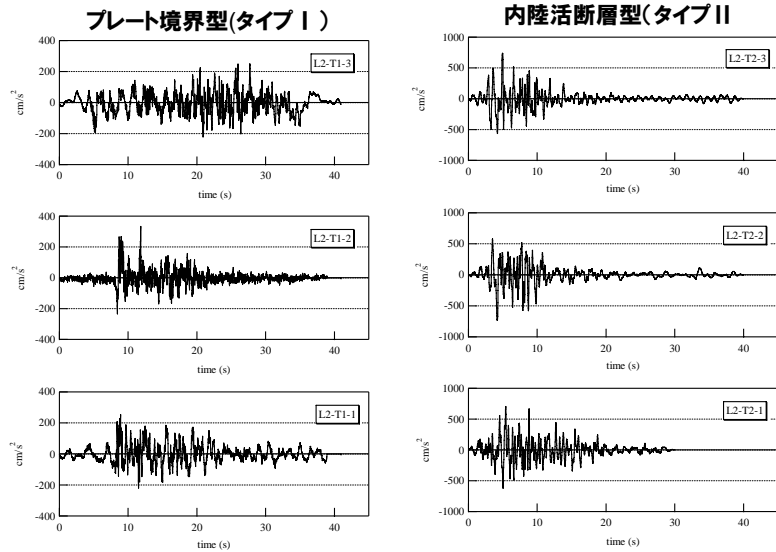
道路橋示方書のレベル1地震動



レベル2地震動

- 構造物の耐震設計に用いる地震動で現在から将来に亘って当該地点で考えられる最大級の強さをもつ地震動

道路橋示方書のレベル2地震動



A種の橋とB種の橋の定義

A種の橋: 重要度が標準的な橋

B種の橋: とくに重要度が高い橋

高速道路, 一般国道, 都道府県道, 市町村道のうち地域の防災計画上の位置づけや利用状況からとくに重要な橋

設計地震動と橋の要求性能

設計地震動		A種の橋	B種の橋
レベル1地震動		地震によって橋としての健全性を損なわない性能(耐震性能1)	
レベル2地震動	タイプIの地震動	地震による損傷が橋として致命的とならない性能(耐震性能3)	地震による損傷が限定的なものにとどまり, 橋としての機能の回復が速やかに行い得る性能(耐震性能2)
	タイプIIの地震動		

耐震性能(道路橋示方書)

	耐震設計上の安全性	耐震設計上の供用性	短期的修復性	長期的修復性
耐震性能1: 橋としての健全性を損なわない	落橋に対する安全性を確保	地震前と同じ橋としての機能を確保する	機能回復のための修復を必要としない	軽微な修復でよい
耐震性能2	落橋に対する安全性を確保	地震後橋としての機能を速やかに回復できる	機能回復のための修復が応急復旧で対応できる	比較的容易に恒久復旧を行うことができる
耐震性能3	落橋に対する安全性を確保	-	-	-