

地震工学

第8回：耐震設計法1

設計法小史と設計手法

工学部 都市工学科 災害軽減研究室
吉川弘道

1:構造物の被災メカニズムは？

1. 震源断層:

マグニチュード、震源深さ、震源の種類

2. 距離減衰:

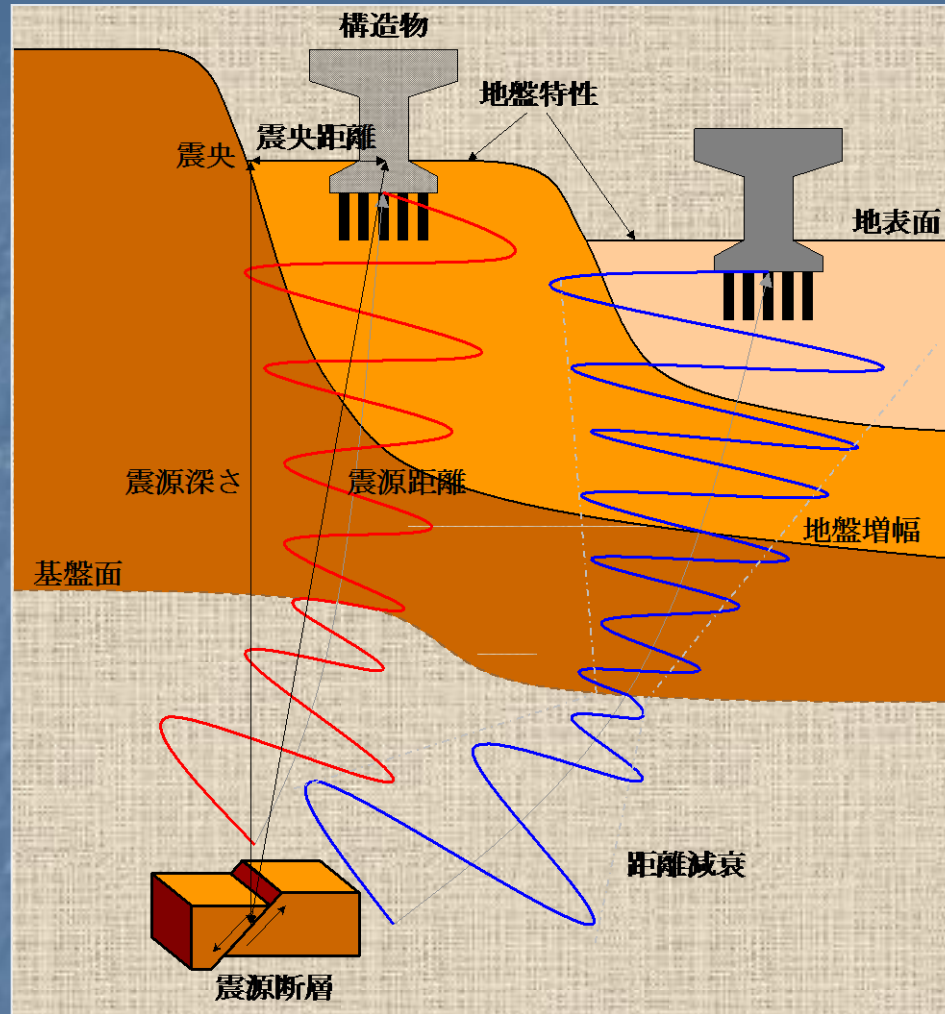
数km～数100kmの基盤を伝播する

3. 地盤増幅:

構造物直下の地盤により、増幅する

4. 構造物の応答:

構造物の固有周期/粘性、免震/制震etc.



地震波の発生/伝播/増幅/構造物の応答/被害

2. 耐震工学 4つのPhase

耐震設計法の講義の前に、耐震工学/耐震設計の発展してきた道程を説明したい。

地震工学/Earthquake Engineering

耐震設計/Seismic Design

- 地震被害: 近年, 多くの深刻な被災例がある

- 日本: 兵庫県南部地震/M7.3: 1995, 新潟県中越沖/M6.8: 2007
- 海外: Loma Prieta/米国, 四川大地震/中国2008

- 耐震工学: 多くの要素技術から構成される:

- 地震学/地盤工学: 震源断層, 地震の伝搬, 地盤増幅, 液状化
- 構造物の応答: 線形/非線形応答解析, 動的/静的解析
- 構造力学: 線形/非線形力学, コンクリート工学, 鋼構造学, 橋梁工学,
- 設計理論: 許容応力度設計法, 信頼性理論, 性能設計, 確率論的評価
- 耐震対策: 耐震補強, 免震/制震,

- 特定構造物を対象とした設計示方書

- 道路橋示方書, 鉄道標準, コンクリート標準示方書, 鋼構造, 複合構造
- 建築: 建築基準法/施行令, 構造種別ごとに指針, 住宅性能表示
- 原子力: 本体建屋, 屋外土木構造物

- 耐震工学: ‘4つのPhase’ で説明したい

耐震工学: 4つのPhase

- Phase1: 地震被害
 - lessons learned from past earthquakes
- Phase2: 構造実験と実証実験
 - experimental studies and verification
- Phase3: 数学モデル/解析プログラム
 - mathematical model/computer programs
- Phase4: 設計基準/ガイドライン
 - specification, design guideline

Phase1:地震被害



地震被害/兵庫県南部地震(1995)におけるRC橋脚の地震被害

Phase1:地震被害

阪神大震災(1995年 M7.3)



(c) 地震で崩壊した
阪神高速神戸線
(提供 朝日新聞社)

戦後最大被害となった都市直下型地震。17基のピルツ橋脚の倒壊など、衝撃的な光景は全世界の耳目を集めた。



P126(Asランク:再構築)



Phase2:部材実験/実証実験



- ・鉄筋コンクリートの柱部材載荷実験の試験体2体
- ・実大モデル〈奥側〉と縮小モデル〈手前側〉による比較(試験体の寸法効果(size effect))
- ・アクチュエーターにより水平方向の荷重を漸増正負交番にて付与し, 通例, 破壊するまで変位(または荷重)を増加させる.

RC柱部材による静的載荷実験 : 東急建設提供



RC単柱の静的載荷実験：構造実験棟/1998年



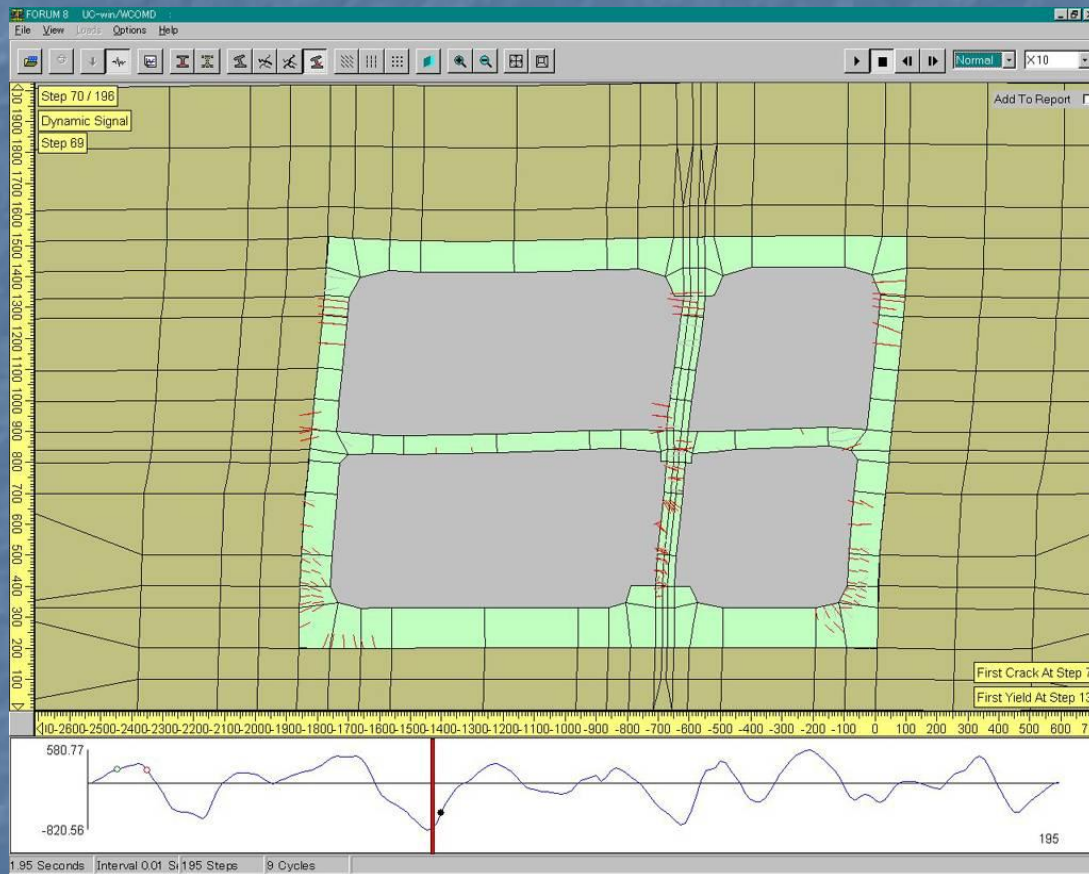
曲げ破壊
flexural failure



せん断破壊
shear failure

RC梁の小型静的載荷実験（試験体の終局状況）

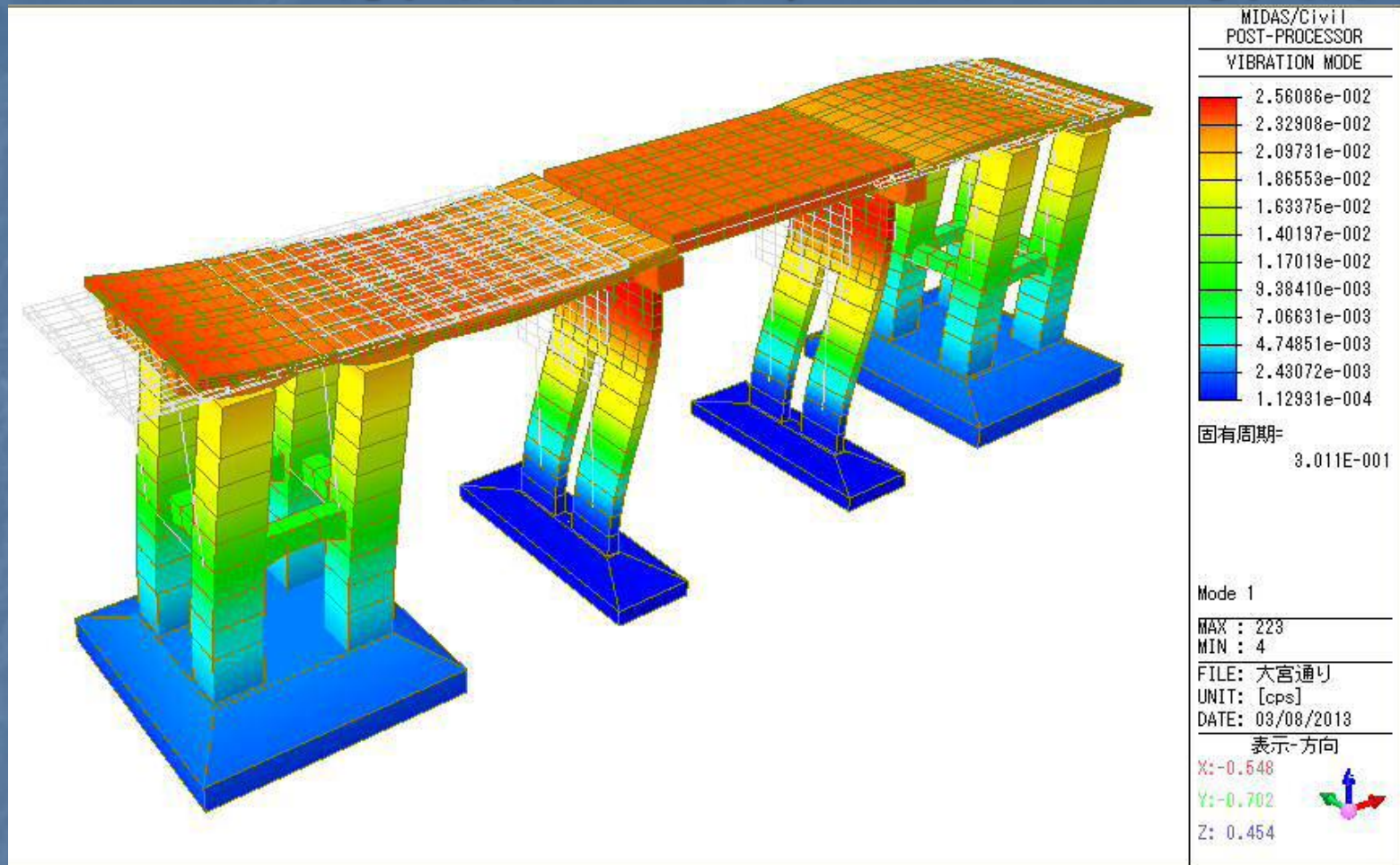
Phase3:数学モデル/解析プログラム



- ・地中構造物(中柱を有する2層RCラーメン部材)とその周辺地盤の横断面/一体モデル
- ・部材を平面応力モデル, 周辺地盤を平面ひずみ要素としてモデル化
- ・地震動(時刻歴加速波形)を入力し, 全体系の動的弾塑性解析を実施
- ・強震時の変位/損傷/コンクリートのひび割れ

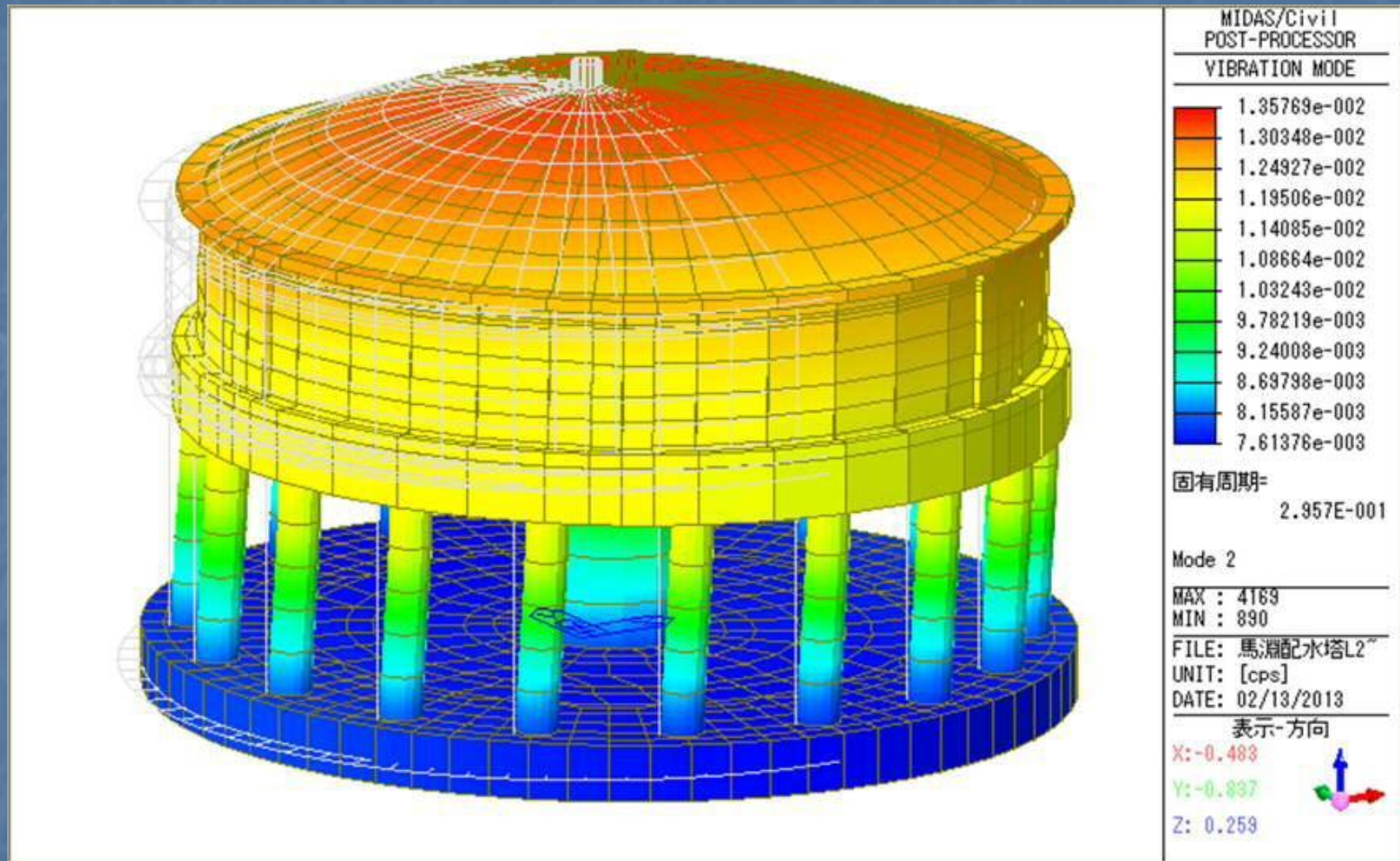
地中構造物の2次元有限要素解析:
要素分割と応答結果(Phase3)

Phase3:解析プログラム (FEM解析)



鉄道高架橋の耐震設計: 3次元有限要素解析
提供: クレアテック(株):

Phase3:解析プログラム (FEM解析)



PCタンクの地震応答解析:耐震照査と耐震補強
提供:クレアテック(株):

Phase4:設計基準/設計示方書

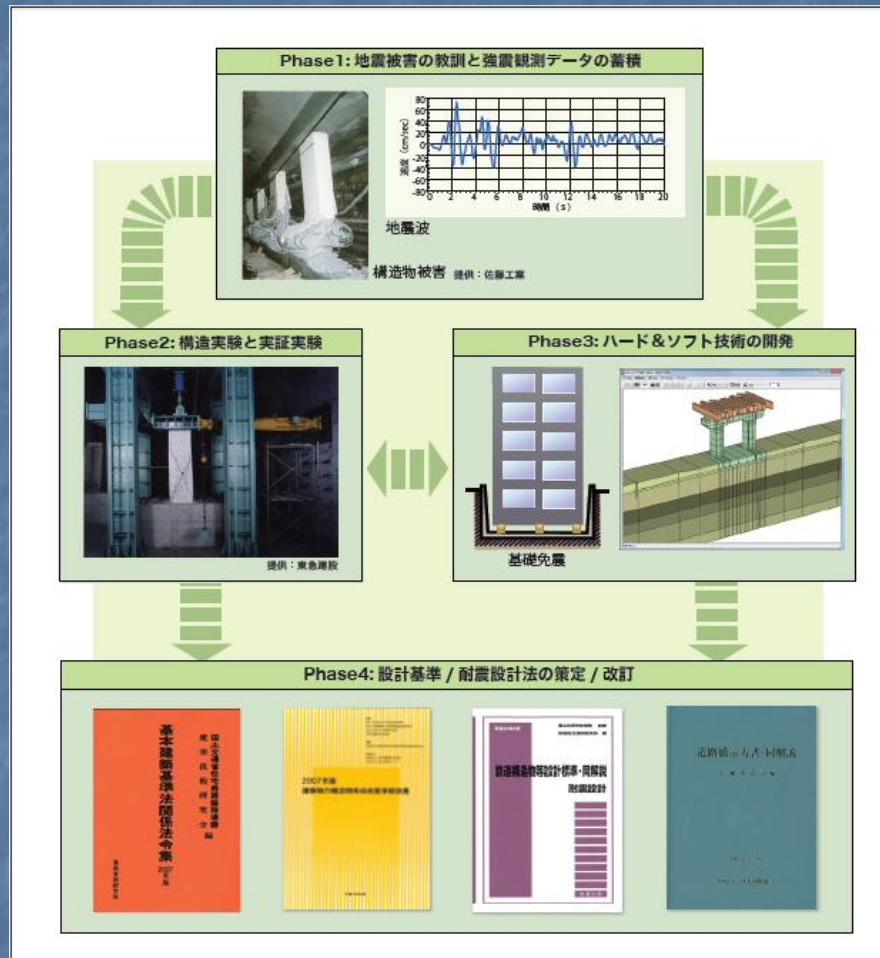


設計基準/design concept, specification, guideline(Phase4)₁₆

耐震工学: 4つのPhase

- Phase1: 地震被害
 - lessons learned from past earthquakes
- Phase2: 構造実験と実証実験
 - experimental studies and verification
- Phase3: 数学モデル/解析プログラム
 - mathematical model/computer programs
- Phase4: 設計基準/ガイドライン
 - specification, design guideline

耐震工学: 4つのPhase(フロー図)



耐震地震工学→耐震工学への道程

3. 耐震設計と設計照査

耐震設計法の重要性

➤耐震設計法は、地震大国日本では、最も重要な設計法である。

(耐久性設計、耐風設計、疲労設計、etc.)

➤多くの荷重・作用の中でも、地震荷重は強大かつバラツキが多い(予測が困難)。

➤このため、欧米/日本において、耐震設計の手法/手順が研究されてきた。

➤現在では、性能設計法が主流となっている。

耐震設計とは

➤ 耐震設計(seismic design):

- ・簡単にいうと→

「構造物が地震に対して壊れないように設計すること」

- ・工学的には→

「構造物が設定した設計地震動に対して、所定の耐震性能を有するように設計すること」

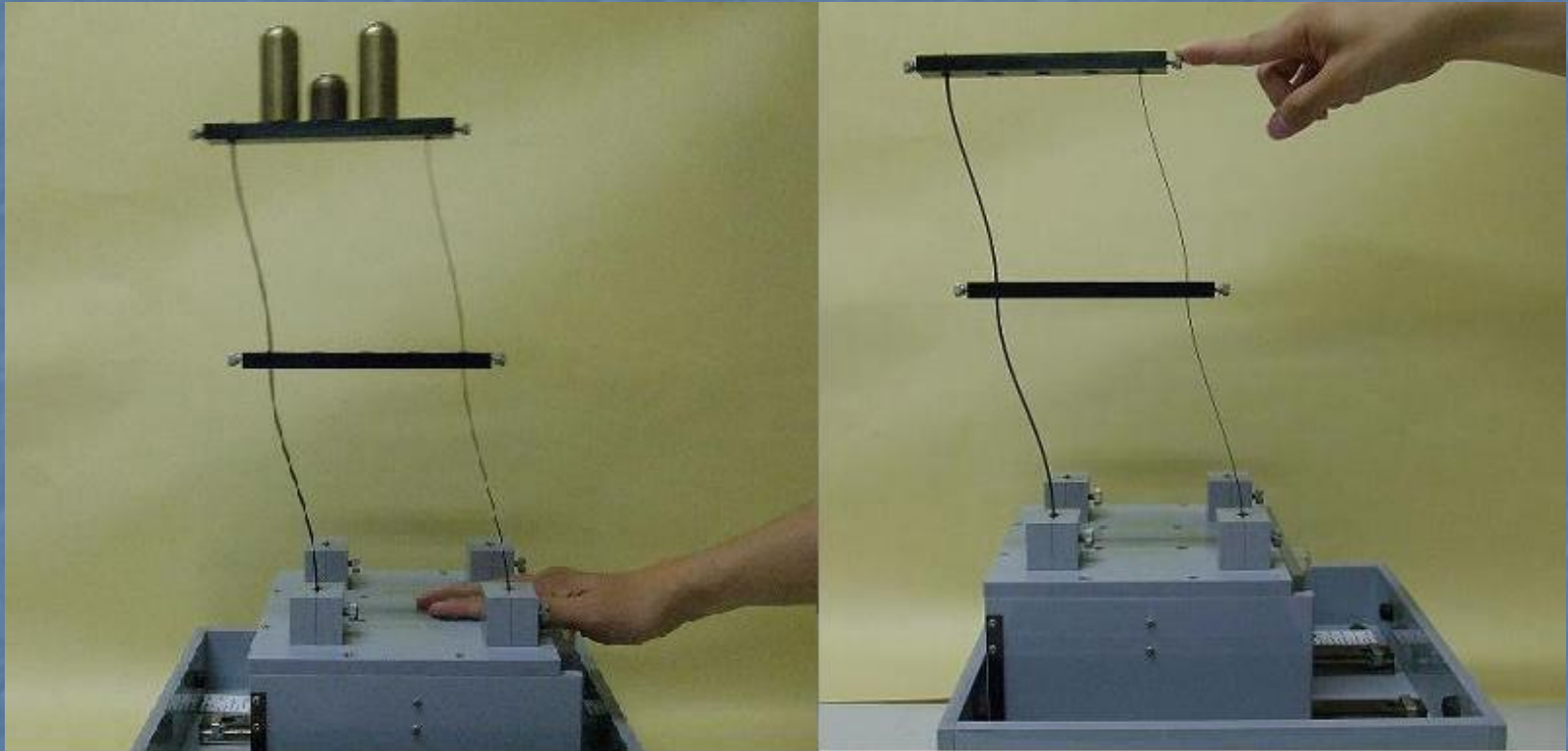
➤ 耐震設計の実施:

地震荷重(seismic load)、構造物の耐震性能(seismic performance)を算定し、設計照査(OKか, NGか)を行う:

- ・地震荷重 < 耐震性能 ⇒ OK

- ・地震荷重 > 耐震性能 ⇒ NG(不可)

設計照査：動的荷重と静的荷重



動的荷重(左)と静的荷重(右)

耐震設計法 小史

- 第1段階 静的解析：
20世紀前半(～1950年頃まで)
- 第2段階 応答スペクトル法：
1930年代から始まる
- 第3段階 動的解析：
概ね1970年ころ始まる
- 現在：20世紀⇒21世紀
許容応力度設計法、
限界状態設計法、
性能設計法

近代の構造物設計法

- 許容応力度設計法: Allowable Stress Design
- 限界状態設計法: Limit State Design
- キャパシティデザイン: Capacity Design
- 性能設計法: Performance-Based Design

性能設計法とは:

- 構造物の建設目的と建設地点の環境によって、発注者/使用者の要求する(必要とする)性能がある。
⇒要求性能
- 一方、構造物は、その構造形状、使用材料の仕様、施工によって、特有の構造性能(達成性能)を有する。⇒構造性能
- 性能(performance)とは、これまでの耐荷力や変形能にとどまらず、安全性、使用性、美観、(貯蔵物の)遮蔽性など、構造物本来の特性、期待される機能を表すもの

性能設計法とは:

- これらの‘要求性能’と‘構造性能’とを対比し、性能レベルにて設計照査する。
- 構造性能が要求性能を上回ることにより、設計照査が達成される。
- または、発注者の求める要求性能をもとに、目標性能を策定し、建造物が設計／施工される。

性能設計法と仕様設計:

- 性能設計(performance-based design)
現在の設計法
- 仕様設計(specification-based design)
従来の設計法