

地震工学第9回：
耐震設計法2
修正震度法と性能設計法

工学部 都市工学科
災害軽減研究室 吉川弘道

1. 耐震設計(seismic design)とは:

➤ 壊れるか/壊れないか？

・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:

設計地震動による地震荷重(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)

2層ラーメン構造で見る 動的荷重と静的荷重

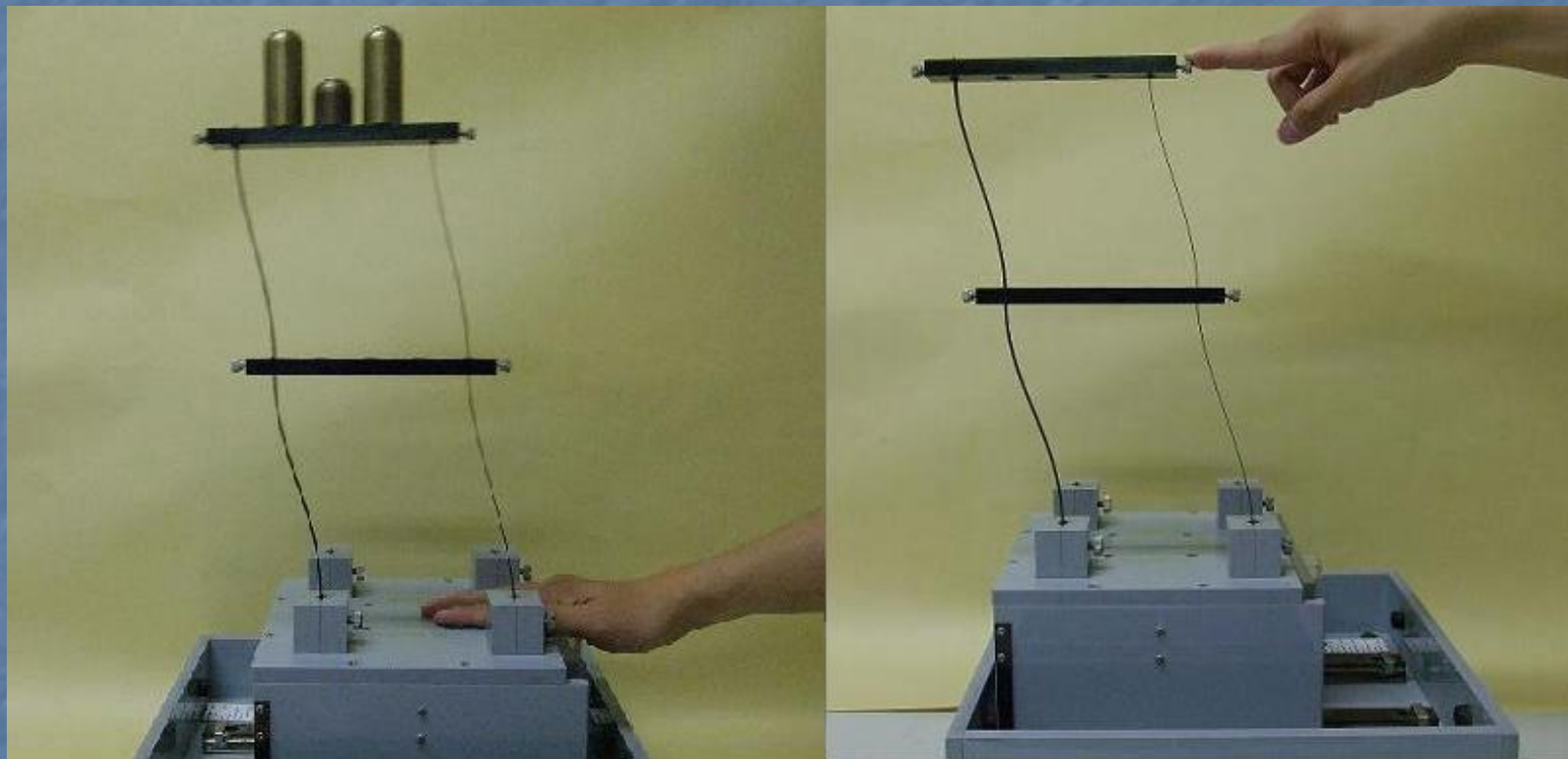


写真1 動的荷重(左)と静的荷重(右)

1:耐震設計とは

耐震設計に関する基本用語

- 耐震設計の合理的具体的な実施に際しては、公的な基準が必要となり、これを総称して耐震基準(design code)と呼ぶ。
- 土木構造物の場合：
構造物毎に設計示方書または設計指針が定められ、
- 建築物の場合：
建築基準法および付随する諸規定が準備されている。
- 耐震関連の基本用語：
耐震設計を理解するには多くの要素技術が必要であるが、関係する基本用語を、表1に整理した。

1:耐震設計とは

耐震設計に関する基本用語

基本用語	解 説
耐震設計	構造物の目標耐震性能を発揮するよう架構形式や部材断面を設計すること。
耐震基準	耐震設計を実施する際の手法や手順などの基準となるもの。土木構造物と建築構造物、それぞれの基準が設けられている。
耐震性能	地震時における構造物の発揮する耐震能力。強さを表す「耐力」や変形能力を表す「じん性」などにより表現される。
地震荷重	設計地震動を荷重に変換したもの。例えば、構造物の質量を M 、応答加速度を A とすれば、地震荷重 $=MA$ にて算定できる。
設計照査	構造物が所定の地震荷重に対して、所要の耐震性能を満足しているか判定を行う行為。
耐震補強	既存の構造物について、より高い耐震性能を確保するよう、構成する部材を補強し、高強度化や高じん性化すること。

2. 基本的な耐震設計法

- 震度法/修正震度法:
- 性能照査型耐震設計法:

2.1 震度法/修正震度法

■ 震度法:

$$\text{地震荷重} = k_h \times W$$

(k_h =震度, W =重量)

レベル1地震動: $k_h = 0.2 \sim 0.3$

レベル2地震動: $k_h = 1.0$ 、または2.0

震度法

■ 震度法：地震荷重 $= k_h \times W$

(k_h = 震度, W = 重量)

震度 $k_h = 0.2$ とは？

震度 $k_h = 1.0$ とは？

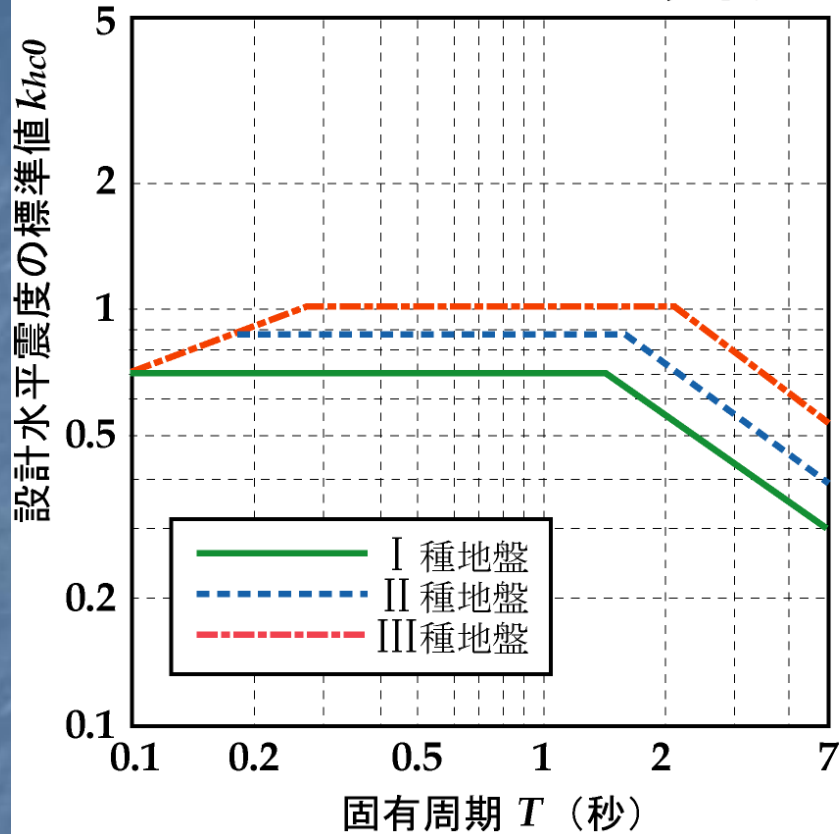
震度法/修正震度法

■ 修正震度法:

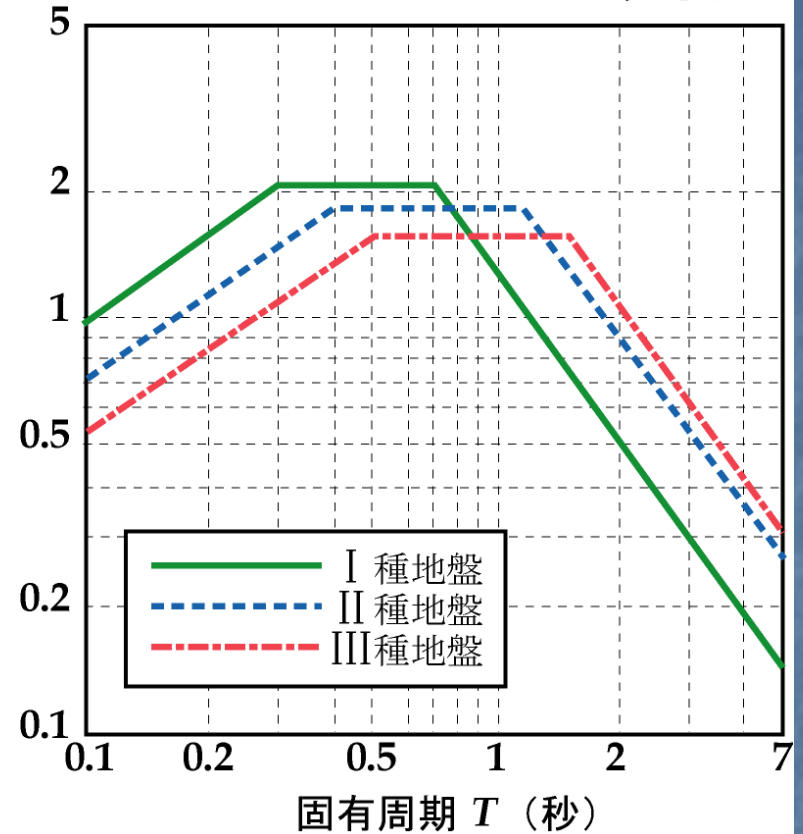
$$\text{地震荷重} = k_h \times W$$

基本的にこの式を用いるが、
構造物の固有周期と地盤特性により、
設計震度 k_h を調整する。

タイプ I



タイプ II



修正震度法による応答(設計)スペクトルの例
道路橋示方書レベル2地震動(タイプ I、タイプ II)

修正震度法による設計スペクトル

道路橋示方書Ⅴ（耐震設計編）

レベル2地震動（タイプⅠ，タイプⅡ）

地盤	固有周期	タイプⅠ	タイプⅡ
Ⅰ種地盤	0.2秒		
	0.5秒		
	秒		
Ⅲ種地盤	0.2秒		
	0.5秒		
	秒		

2.2 性能照査型耐震設計法

（単純に、性能設計法、と呼ぶ）

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

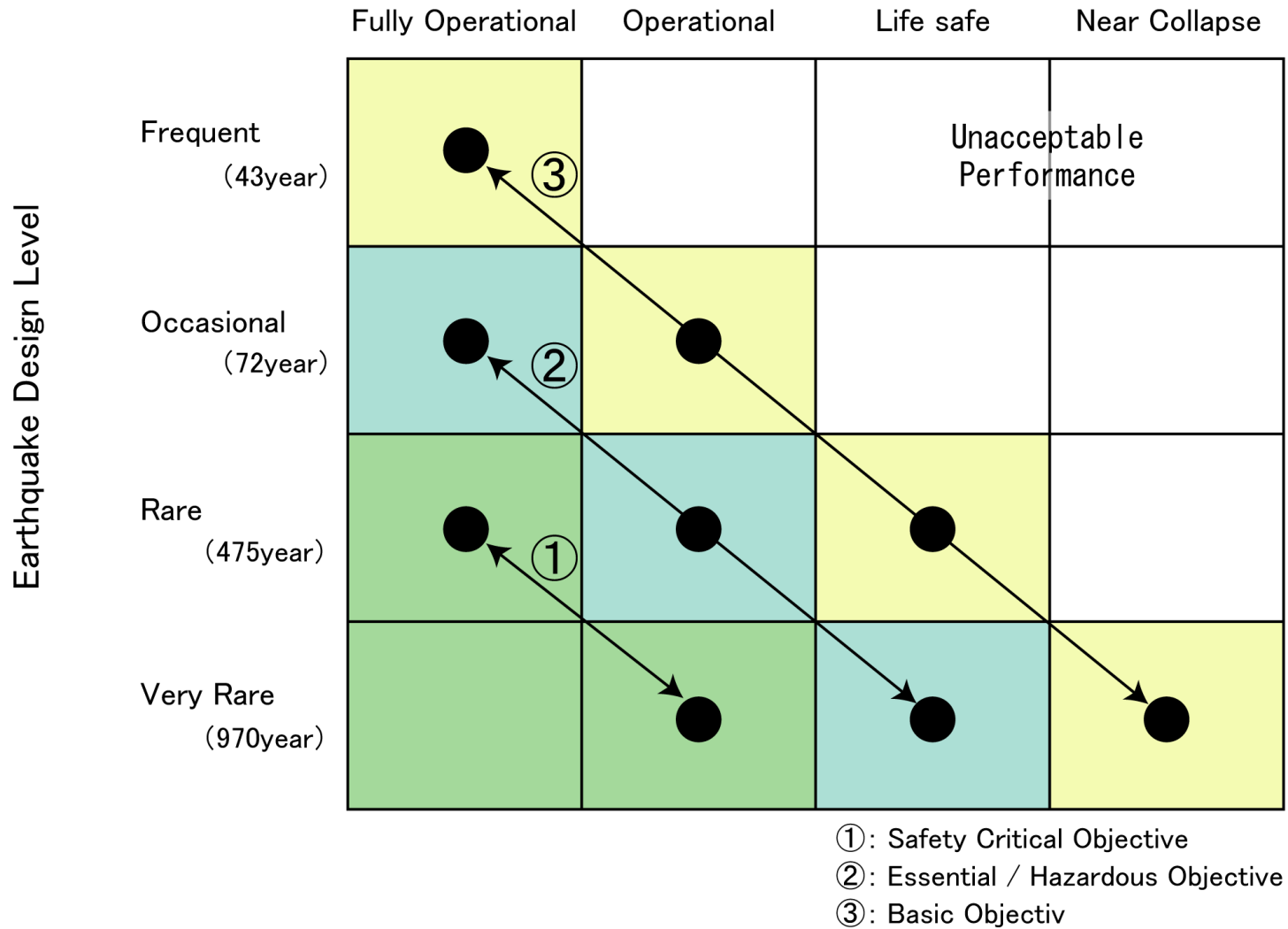
性能設計法とは:

- 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

Earthquake Performance Level

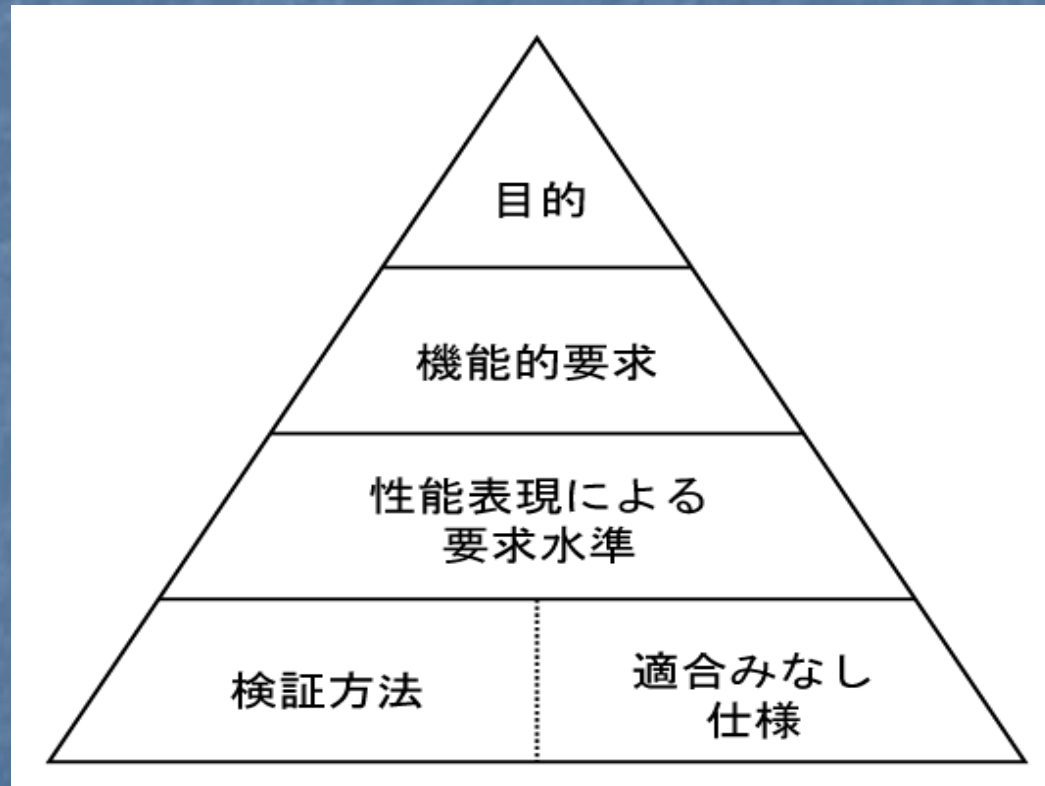


耐震性能マトリックス SEAOC Vision 2000

3. 現行の耐震設計法

- 鉄道構造物等設計標準・同解説
- 道路橋示方書・同解説

鉄道構造物等設計標準・同解説 性能照査に対する基本的考え方



性能照査型設計の階層化モデル

鉄道構造物等設計標準・耐震設計

設計想定地震動

- | | |
|-------|-----------------------------|
| L1地震動 | 設計耐用期限内に数回発生する確率を有する地震動 |
| L2地震動 | 設計耐用期限内に発生する確率は低いが、非常に強い地震動 |

耐震性能

- | | |
|-------|--------------------------------|
| 耐震性能Ⅰ | 地震後も補修せずに機能保持できる |
| 耐震性能Ⅱ | 地震後に補修を必要とするが、早期に機能が回復することができる |
| 耐震性能Ⅲ | 地震によって構造物全体が崩壊しない |

鉄道構造物等設計標準・耐震設計

		耐震性能 Ⅰ	耐震性能 Ⅱ	耐震性能 Ⅲ
L1 地震動	設計耐用期間内に 数回程度発生する 確率を有する地震動	○		
L2 地震動	設計耐用期間内に 発生する確率は低い が、非常に強い地震 動		○ 重要度 の高い 構造物	○ その他の 構造物

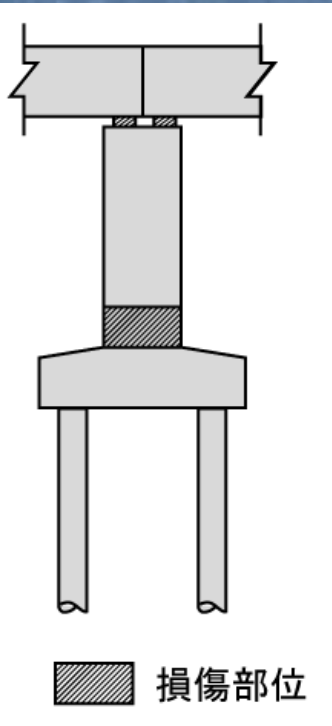
コンクリート部材の損傷レベルと適用補修工法

鉄道標準 解説表2.2.5

	損傷のレベル	補修工法のイメージ
損傷レベル1	無損傷	無補修（必要により耐久性上の配慮）
損傷レベル2	場合によっては補修が必要な損傷	必要によりひび割れ注入・断面修復
損傷レベル3	補修が必要な損傷	ひび割れ注入・断面修復 必要により帯鉄筋等の整正
損傷レベル4	補修が必要な損傷で、場合によっては部材の取替えが必要な損傷	ひび割れ注入・断面修復・帯鉄筋等の整正 軸方向鉄筋、鉄骨の座屈が著しい場合は、部材の取替え

左図：単柱式橋脚の損傷部位（鉄道標準／解説図2.2.4）

右付表：損傷レベルと安定レベルの制限値（鉄道標準／解説表2.2.1）



構造物	耐震性能Ⅰ	耐震性能Ⅱ	耐震性能Ⅲ
部材の損傷 レベル	1	3	3
基礎の安定 レベル	1	2	3

☆ 道路橋示方書(道路協会) :

V : 耐震設計編

1 : 設計地震動の区分

- レベル1地震動、レベル2地震動

2 : 耐震性能の区分 :

- 耐震性能1、耐震性能2、耐震性能3 :

3 : 橋の重要度 :

- A種の橋、B種の橋

道路橋示方書・同解説(道路協会)

表2 耐震性能の分類(道路橋示方書[2]表-解2.2.1を簡略化)

橋の耐震性能	安全性	供用性	修復性	
			短期的修復性	長期的修復性
耐震性能 1	落橋に対する 安全性を確保 する	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	軽微な修復だけで
耐震性能 2		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, 応急修復で対応できる	比較的容易恒久に修復を行うことが可能である
耐震性能 3		—	—	—

☆ 道路橋示方書：Ⅴ：耐震設計編

1：設計地震動

■ レベル1地震動：

発生する確率が高い地震動

■ レベル2地震動：

発生する確率は低いが、大きな強度を持つ地震動

(タイプⅠの地震動、タイプⅡの地震動)

☆ 道路橋示方書：Ⅴ 耐震設計編

2：耐震性能の区分と定義：

- 耐震性能1：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2：損傷が限定的で機能が短期間で回復でき、補強を必要としない。
- 耐震性能3：地震による損傷が橋として致命的とならない性能

3：橋の重要度：

- A種の橋（重要度が標準的な橋）
- B種の橋（重要度が高い橋）：

☆道路橋示方書/V耐震設計編:

耐震性能の観点(表-解2.2.1を簡略化)

橋の 耐震性能	安全性	供用性	修復性	
			短期的修復性	長期的修復性
耐震性能 1		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		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修復で対応できる	比較的容易に恒久修復を行うことが可能である
耐震性能 3	落橋に対する安全性を確保する	—	—	—

☆ 道路橋示方書における性能マトリックス： 道路橋示方書 表-解2.2.2を再整理

設計地震動	A種の橋 重要度が標準的な橋	B種の橋 重要度の高い橋
レベル1地震動	耐震性能1 地震によって橋としての健全性を損なわない性能	
レベル2地震動 タイプⅠ地震動 タイプⅡ地震動	耐震性能3 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2 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

☆ 道路橋示方書：Ⅴ 耐震設計編

1：設計地震動

- レベル1地震動：
- レベル ：

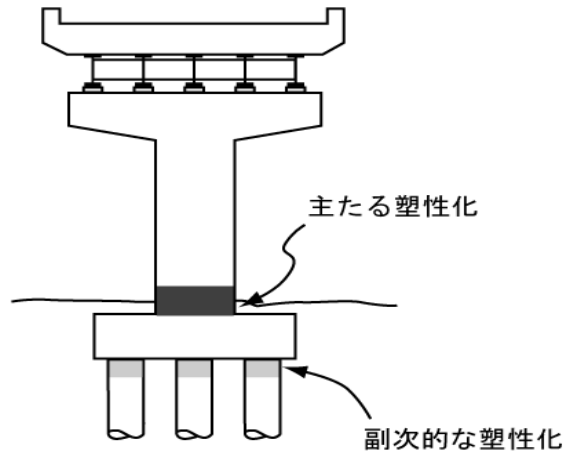
2：耐震性能の区分と定義：

- 耐震性能1：
- 耐震 ：
- 耐震

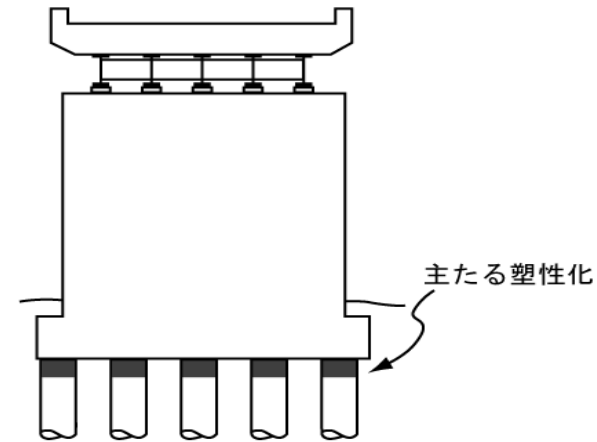
☆ 道路橋示方書における性能マトリックス： 道路橋示方書 表-解2.2.2を再整理

設計地震動	の橋	の橋

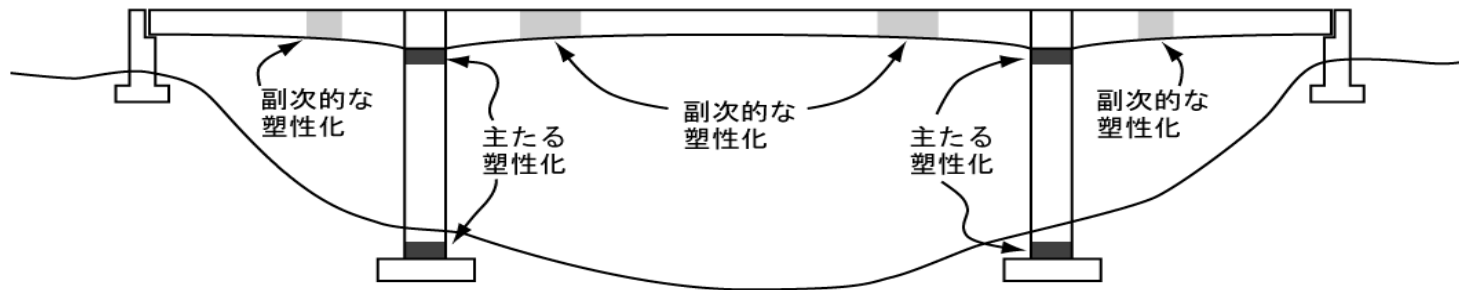
☆塑性化を考慮する部材の組合せ： 道路橋示方書 図-解5.3.1から3例抜粋



単柱橋脚に塑性化を考慮する場合
(橋軸直角方向)



基礎に塑性化を考慮する場合
(壁式橋脚、橋軸直角方向)



橋脚と上部構造に塑性化を考慮する場合 (ラーメン橋の橋軸方向の場合)

耐震設計に関する授業科目

都市設計製図

(3年後期科目：月曜日 3-4時限開講)

都市設計製図

(3年後期科目:月曜日1-2時限)

★鋼製橋梁構造の設計(上部工)

白旗先生担当:60名程度

★RC橋脚の耐震設計(下部工)

吉川担当:30名程度