

3.耐震設計法

ここでは、「道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編」（平成 14 年 3 月日本道路協会）に示される耐震設計法について述べる。

3.1 耐震設計の手順

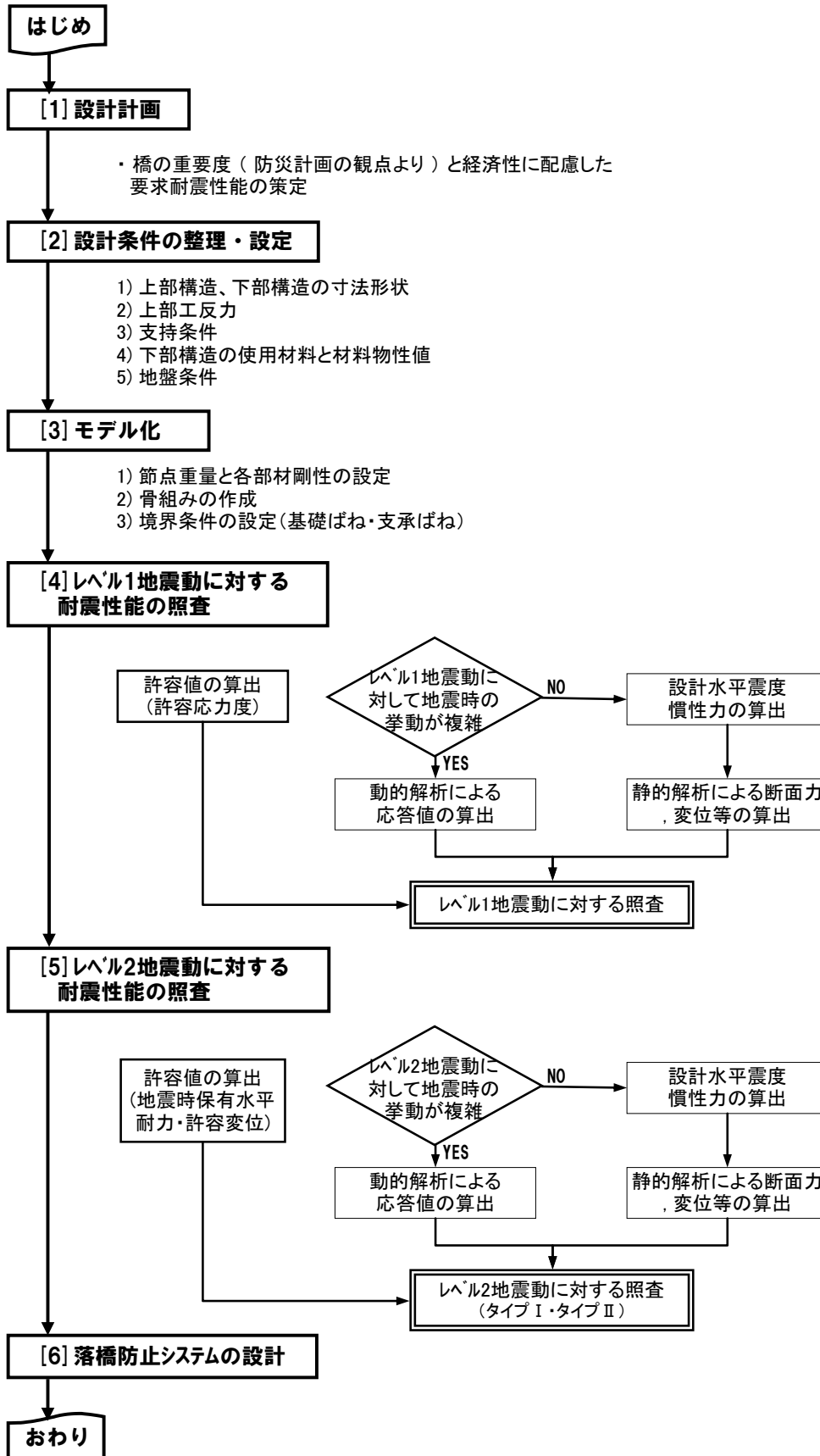


図-3.1 耐震設計の標準的な手順

3.2 レベル2 地震動に対する耐震設計

路橋の耐震設計法は、過去の地震を教訓に改定を重ねてきた。特に 1995 年に発生した兵庫県南部地震による落橋、橋脚の倒壊などの甚大な被害を受け、それまでの耐震設計法から大きく改定された。兵庫県南部地震から得た教訓は以下の 2 点である。

- ① 内陸直下型の地震による非常に強い地震動が存在すること
- ② 構造物が地震時にどのように挙動するか把握した上で、耐震設計を行う必要があること
 - ☞ 損傷部位（塑性ヒンジ）、破壊モードの推定
 - ☞ 弾性挙動を超える非線形挙動を考慮した耐震設計法

これらの教訓を元に、従来の耐震設計法（「道路橋示方書・同解説Ⅴ耐震設計編」平成 2 年 2 月）から大きく改定された点を以下に示す。

- ① レベル 2 地震として 海洋型地震（タイプⅠ）・内陸型地震（タイプⅡ）の 2 タイプを考慮するようになった。図-3.2 にタイプⅠ、タイプⅡの標準加速度応答スペクトルを示す。また、表-1 にタイプⅠおよびタイプⅡの地震動の特性を整理したものを示す。

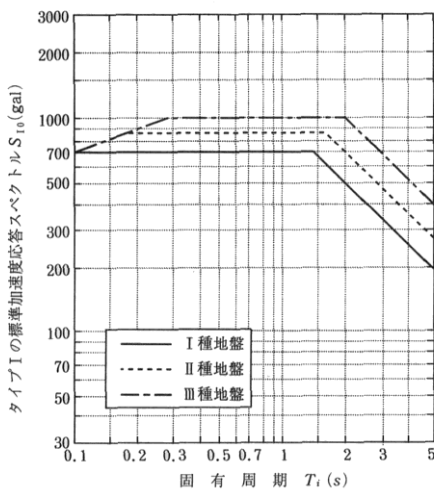


図-3.2(1) タイプⅠの標準加速度応答スペクトル

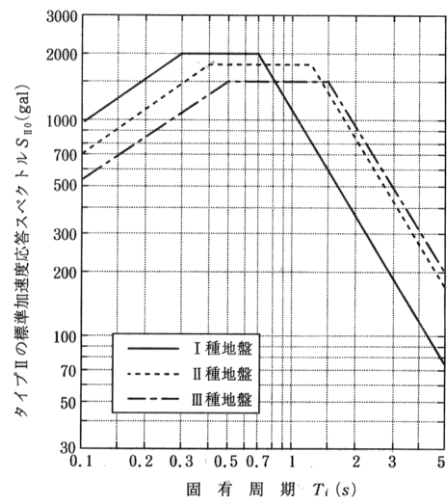


図-3.2(2) タイプⅡの標準加速度応答スペクトル

表-3.1 静的照査法と動的照査法の概要

設計地震動	タイプⅠ地震動	タイプⅡ地震動
想定地震	海洋性巨大地震(プレート境界型)	内陸直下型地震(起震断層タイプ)
地震の発生頻度	100~150年程度	数百年~数千年程度
地震動の特性	主要動の繰り返しが多い	主要動の繰り返しが少ない
地震動の大きさ	地表面加速度 0.3G~0.5G 応答スペクトル 0.7G~1G	地表面加速度 0.6G~0.8G 応答スペクトル 1.5G~2G
想定挙動と設計方針	繰り返し損傷が進展するため、変形性能を重視	繰り返し損傷はあまり進展しないため、変形性能よりは耐力を重視

② レベル2地震動においては、一部破壊を許容するが、構造物の安全性を確保する設計法を適用するようになった。

→ 地震時保有水平耐力法が耐震設計上の静的照査法としてRC橋脚、鋼製橋脚、支承、基礎などに適用され、さらには複雑な挙動が予測される橋梁においては非線形動的解析法が耐震設計上の動的照査法として適用されるようになった。表-2に耐震設計上の静的照査法と動的照査法の概要を整理したものを示す。また図-3.3に橋の動的特性に応じた照査法の選定図を示す。

表-3.2 静的照査法と動的照査法の概要

照査方法	静的照査法	動的照査法
モデル	1質点系モデル（橋脚単体）	多質点系モデル（振動系全体）
地震動	設計震度	時刻歴波形（設計スペクトルに適合）
非線形部材	橋脚基部など特定位置に設定	非線形性の発生が予測される箇所
減衰の評価	設計震度の中で考慮	減衰力としてモデル化
性能照査	最大応答値が許容値以内であることを照査	

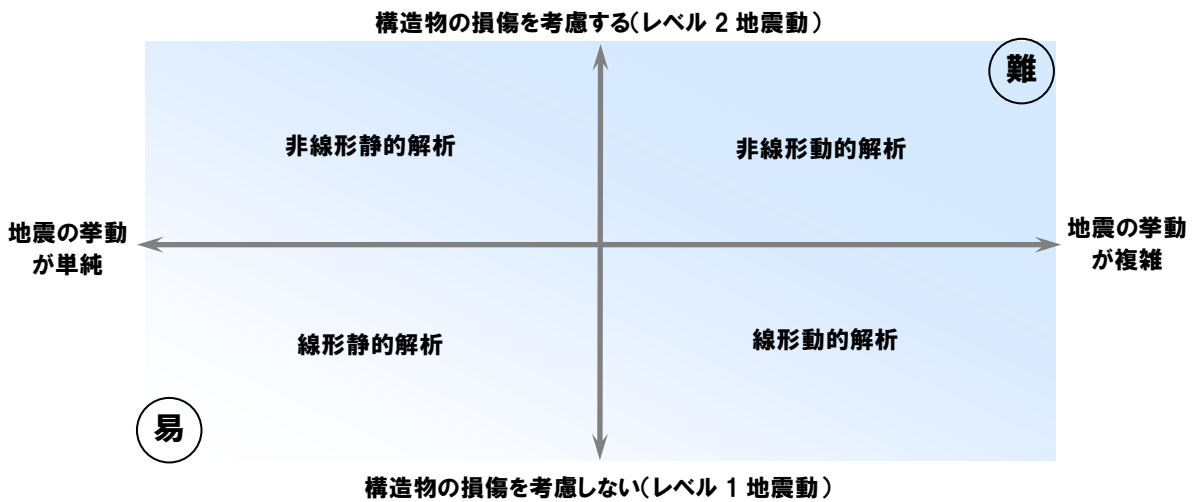


図-3.3 照査法の選定の考え方

3.3 耐震性能

現行の道路橋の耐震設計基準では、橋の供用期間中に発生する確率が高い地震動（レベル1地震動）と、橋の供用期間中発生する確率は低いが大きな強度をもつ地震動（レベル2地震動）の2段階のレベルの設計地震動を考慮することになっている。この設計地震動に対して定められている耐震性能は表-3.3のとおりである。

表-3.3 設計地震動と耐震性能の定義

設計地震動	耐震性能の定義
レベル1地震動 比較的生きる可能性の高い中規模地震	耐震性能1 健全性を損なわない
レベル2地震動 発生頻度が低い大規模地震 タイプⅠ：プレート境界型 タイプⅡ：内陸直下型	耐震性能2 橋としての機能の回復を速やかに行うために限定された損傷に留める
	耐震性能3 致命的な被害を防止する

上記に定義された耐震性能の内容を具体的に定めたものが表-3.4である。

表-3.4 耐震性能と照査項目

設計地震動	耐震性能	橋梁の重要度	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	照査項目 (橋脚に着目)
レベル1地震動	1	A種 B種	落橋に対する 安全性確保	地震前と同じ機能を確保	必要としない	必要としない	応力度<許容応力度
レベル2地震動	2	B種		地震後、速やかに機能回復	応急修復で対応可能	比較的容易に恒久復旧が可能	慣性力<地震時保有水平耐力 残留変位<許容残留変位
	3	A種		—	—	—	慣性力<地震時保有水平耐力
[備考] 重要度A種の橋……:B種以外 重要度B種の橋……:高速道路や自動車専用道路などの高規格道路、一般国道の橋、さらには都道府県道や市町村道において、跨線橋、跨道橋および防災計画上、特に重要な橋							

表-3.5に耐震性能とその照査方法の選定表を示す。

表-3.5 橋梁種別と耐震性能照査方法の関係

地震動レベル		レベル1地震動	レベル2地震動	
		1	2	3
耐震設計照査法	地震時挙動が複雑ではない	静的照査法 (震度法)	静的照査法 (保有水平耐力法)	静的照査法 (保有水平耐力法)
	分散橋、免震橋、ラーメン橋、塑性化する鋼製橋脚	静的照査法 (震度法)	非線形動的照査法	非線形動的照査法
	固有周期が長い橋、橋脚高が高い橋、斜張橋、吊橋、曲線橋	線形動的照査法	非線形動的照査法	非線形動的照査法

※動的照査法は静的照査法の範囲に対しても適用が可能である。

3.4 耐震性能照査法

(1) 静的照査法(耐震性能 1)

各構造特有の振動特性（固有値）に応じて応答スペクトル（レベル 1）から決定する設計水平震度に、構造物各部（上部構造、下部構造など）の重量を乗じて得られる地震荷重（慣性力）を、構造物に静的に作用させ、各部位の断面力を算定し、許容応力度法で断面照査を行うものである。

☞ 許容応力度による照査

地震荷重によって部材に発生する応力が許容値内に収まっていることを確認する方法である。弾性挙動を前提として算定した断面力を用いることから、構造物をがっちりさせ（剛性を確保する）ことにより地震に耐える考え方といえ、耐震設計の当初から用いられている設計方法である。

(2) 静的照査法(耐震性能 2・3)

各構造特有の振動特性（固有値）に応じて応答スペクトル（レベル 2）から決定する地震時保有水平耐力法に用いる設計水平震度に、地域別補正係数および橋脚の許容塑性率 μ_a からレベル 2 地震動（タイプ I・タイプ II）の等価水平震度 k_{he} を算出し、橋脚の地震時保有水平耐力以下となることを確認する設計方法である。

☞ 地震時保有水平耐力法による照査

$$k_{he} = \frac{k_{hc}}{\sqrt{2\mu_a - 1}}$$

$$k_{hc} = c_z \cdot k_{hc0}$$

ここに

k_{hc} : 地震時保有水平耐力法に用いる設計水平震度

k_{hc0} : 地震時保有水平耐力法に用いる設計水平震度の標準値

c_z : 地域別補正係数

μ_a : 橋脚の許容塑性率

照査式は下式による

$$P_a \geq k_{ke} \cdot W$$

P_a : 橋脚の地震時保有水平耐力

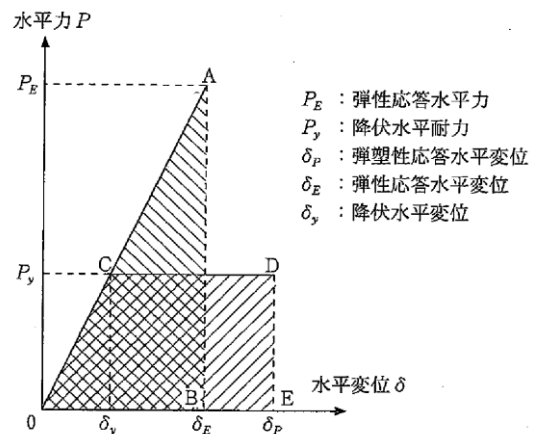


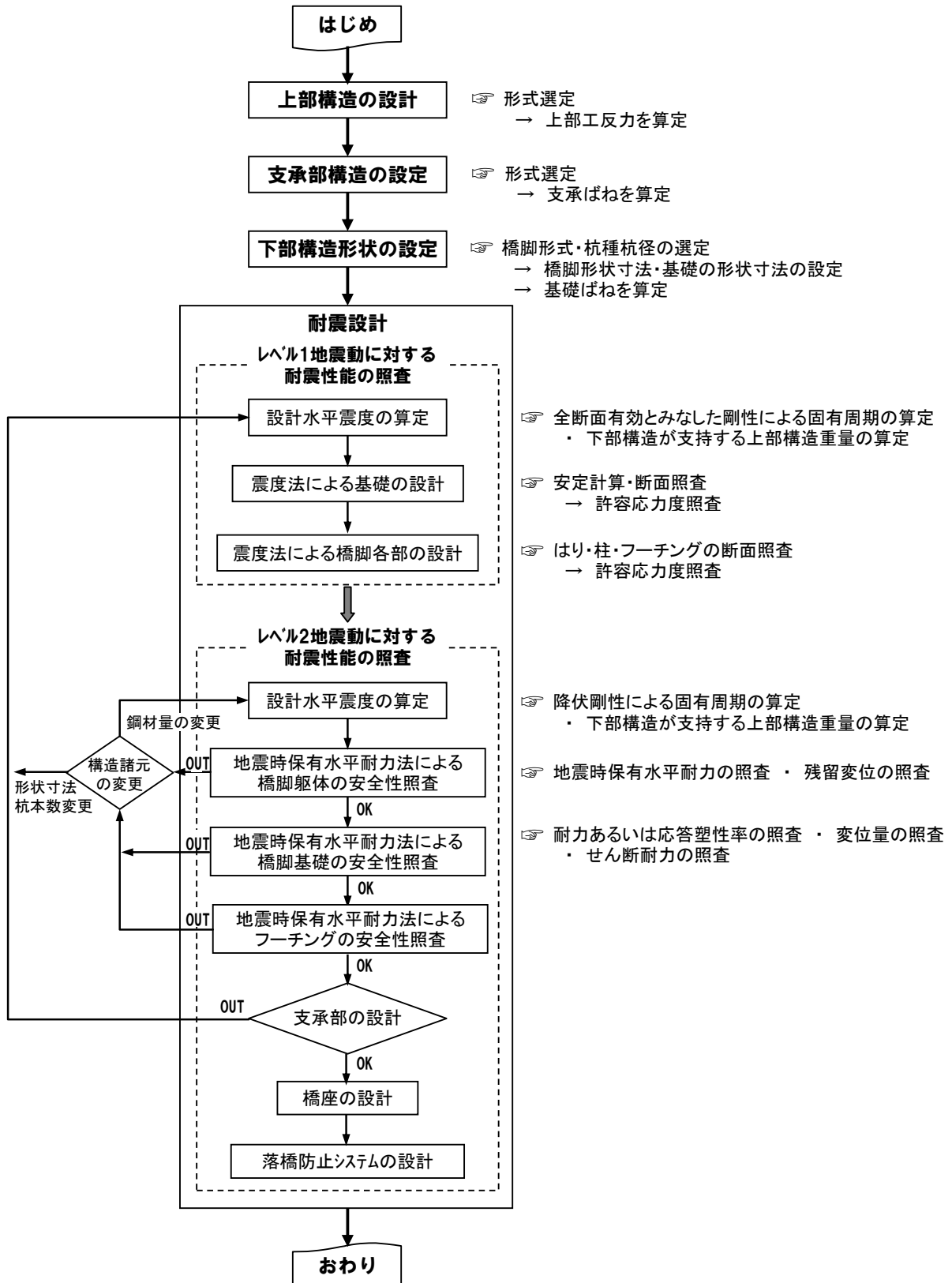
図-3.4 橋脚の弾塑性応答変位図

(3) 動的照査法

構造物の振動を複数のモードの重ね合わせで計算する応答スペクトル法と、入力地震動の時間的変化から、時間を追って逐一構造物の揺れ方を計算する（運動方程式の計算）時刻歴応答解析法がある。前節で示したとおり、動的照査法には線形解析によるものと、非線形解析によるものに分類でき、線形解析には応答スペクトル法が、非線形解析には時刻歴応答解析法が一般的に適用される。

付図：構造設計の流れ：

支承構造を有する一般的な高架橋(レベル2地震動に対して地震時の挙動が複雑ではない場合)の構造設計全体の流れを示す。このうち、大枠の範囲が耐震設計となり、これはレベル1地震動、レベルII地震動に対する2つの照査にて構成される。



付図 構造設計の流れ