

耐震設計について

大進川内支店 技術部設計2課橋梁構造係 中野 智章

1. はじめに

平成2年に設計鉄筋コンクリート橋脚に対するじん性設計法を導入、平成8年12月には兵庫県南部地震による道路橋の甚大な被害の経験を踏まえ、M₀7級の内陸直下型で発生する地震動に対しても、必要な耐震性能を確保することを主な内容とする改定が行なわれている。

2. 耐震設計の主要な改定内容

2.1 道路橋示方書の改定内容

極めて厳しい地震動に対しては非弾性挙動(損傷や残留変形)を許容する設計へと移行した。また、損傷は基本的には橋脚に集中させ、上部構造・支承・基礎構造などの他の要素は基本的には残留損傷を残さないという「性能照査設計」の考え方が主流となった。世界的な流れもあり「性能照査設計」が次世代設計法として広く認識され、平成14年3月に道路橋示方書が全面的に改訂された。

2.2 道路橋示方書の改定点

橋の耐震性能、設計地震動の設定方法及び耐震性能の照査に関して、基本的な要求事項を明示した。

橋の供用期間中に発生する確率が高い地震動、発生する確率は低いが大きな強度をもつ地震動を、それぞれレベル1地震動、レベル2地震動と名付けるとともに、適切に推定できる場合は建設地点の地震情報や地盤条件等を考慮して設計地震動を設定することとした。

耐震性能の照査方法を「静的照査法」と「動的照査法」に再構成し、橋の構造特性に応じた選定方法を明確にした。また、動的照査法の適用範囲を拡げるとともに、具体的な照査方法を規定した。

修正物部岡部式に基づくレベル2地震時の主働土圧の評価式及びレベル2地震時の動水圧の評価方法を導入した。

地震時に液状化が生じる地盤上の橋台について、レベル2地震動に対する照査方法を新たに規定した。

鋼製橋脚の耐力～変形性能の評価法を見直した。

鋼上部構造及びコンクリート上部構造に対する耐震性能の照査の考え方を新たに規定した。

レベル2地震動に対する支承部の耐力・変形性能の評価法を見直した。

示方書の理解、運用に参考となるデータを巻末に添付した。

3. 耐震設計の基本的な考え方

3.1 橋の耐震性能と限界状態

橋の耐震設計では、橋に要求される耐震性能を確保するために、地震時の挙動をどのような状態までに抑える必要があるかを明確にすることが重要である。そこで、設計地震動と目標とする橋の耐震性能を次のように設定されている。

表 3.1 設計地震動と目標とする橋の耐震性能

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(プレート境界型の大規模な地震)	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い行い得る性能(耐震性能2)
	タイプIIの地震動(兵庫県南部地震のような内陸直下型地震)		

3.2 耐震性能の照査方法

道路橋の耐震設計フロー図を下に示す。ここでは、地震時の挙動が複雑となる橋に対し静的解析が適用可能である。一方、地震時の挙動が複雑な橋に対しては、性能照査の観点では、橋全体系としての耐震性が確保されていることに十分留意することを前提として、動的解析による照査を行う。

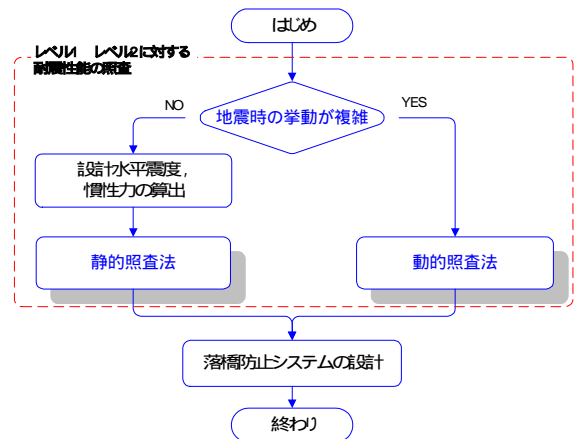


図 3.1 道路橋の耐震設計フロー図

3.3 動的照査法対象となる橋

a) 静的解析の適用性が限定される橋

下記の橋梁は地震時に複雑な挙動を示し、静的解析で破壊メカニズムを想定できないため、動的解析により照査する。

- (a) 斜張橋、吊り橋等の長大橋
- (b) アーチ橋
- (c) 曲線橋

b) 高次モードの影響が懸念される橋

下記の構造形式の場合は、地震応答値に対し1次モード以外に高次モードの寄与率が大きい。

このため、1次モードしか想定できない静的照査法を適用できず、動的照査法を用いる。

- (a) 固有周期の長い橋
- (b) 橋脚高さが高い橋

4. 液状化が生じる橋台の設計

4.1 液状化が生じる橋台基礎の応答値と許容値

橋台基礎の照査フローを下図に示す。今回の改定では、新たに、橋に影響を与える液状化が生じると判断される地盤にある橋台基礎では、地震時保有水平耐力によってレベル2地震動に対する照査を行なうものとした。

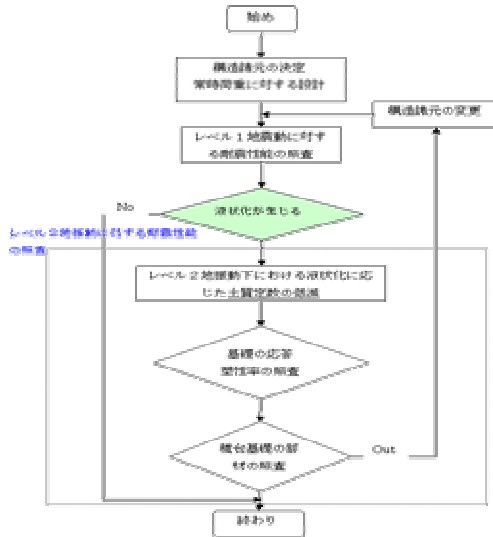


図 4.1 橋台基礎の照査フロー

5. 耐震設計の実例

液状化が生じる橋台の設計

5.1 橋台基礎の耐震性能照査

a) 橋梁概要

- 橋 梁 名：日置南部地区堀川橋
- 路 線 名：広域農道 日置南部地区
- 上部工形式：PC 少数 T 桁橋
- 橋 長：40m
- 液 状 化：液状化の可能性が考えられる。

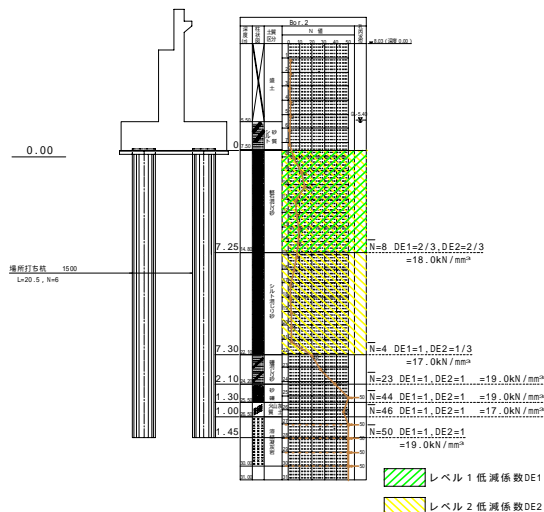


図 51 A2 橋台と柱状図の関係

b) 地震時挙動特性

- ・大地震時の橋台の挙動は橋台自身の振動よりも背面土の振動に一般的に支配される。
- ・背面土が沈下することも考えられ、その場合、基礎周辺地盤にも大きな残留変形が生じ、橋台基礎には前方向に残留変形が生じることが考えられる。
- ・橋台基礎に大きな残留変形が生じると、けたと橋台との間に大きな相対変異が生じる可能性が考えられる。(災厄の場合落橋等も)

c) 液状化の判定 (道示参照)

- ・地下水位が現地盤から 10m 以内にあり、かつ、現地盤から 20m 以内の深さに存在する飽和土層
- ・細粒分含有率 F C が 35% 以下の土層、又は、F C が 35% を超えても塑性指数 I p が 15 以下の土層
- ・平均粒径 D50 が 10mm 以下で、かつ、10% 粒径 D10 が 1mm 以下である土層

d) 照査方法

- ・橋脚基礎の場合と同様、橋台で L₁ 層を吸収する設計は必ずしも合理的ではないことから、橋台基礎に主たる塑性化を考慮し応答塑性率が 3 以下であることを照査する。

6. 今後の課題

6.1 レベル2地震動に対する上部構造の照査

一般に、上部構造から下部構造に地震力を伝達する支承部周辺を除いて、上部構造は地震の影響が支配的にならない。しかし、橋軸方向に地震力を受ける場合はラーメン橋・アーチ橋・吊構造を有する橋、橋軸直角方向に地震力を受ける場合では幅員に比較して固定支点間長が長い橋等においては、地震の影響が上部構造の設計に支配的となる場合がある。

最近の研究により、繰返し荷重下における上部構造の部材特性や非線形履歴特性が一部明らかになってきており、上部構造に塑性化を考慮すると、ラーメン橋等では合理的な耐震設計を行うことができるようになる。そこで、主たる塑性化は橋脚に考慮することを前提として、上部構造に副次的な塑性化を考慮した場合の照査方法を規定された。

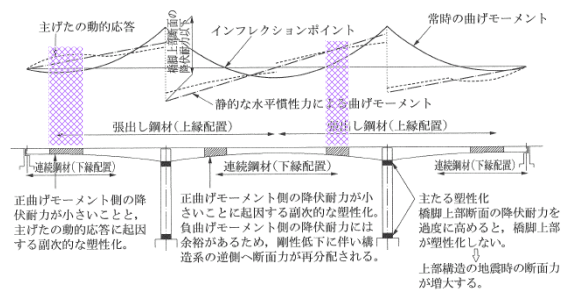


図 6.1 PC ラメン橋に生じる副次的な塑性化

7. まとめ

計算機的能力が急速に発展し、既存のプログラムソフトにより全体系の地震時挙動のシミュレーションも計算可能な時代ではある。また、高度でかつ信頼性のある耐震構造のメニューを増やすためには、精緻な全体系予測モデルが欠かせない。今後上下部工を独立した解析ではなく全体系にて解析し、性能規定に配慮した解析に努め、コスト削減を図った設計が必要であると考えられる。