

第5章 耐震設計

5.1 橋の耐震設計の基本方針

耐震設計は、「道路橋示方書 V耐震設計編」に準拠するものとし、その基本方針は道示V2章によらなければならない。

5.1.1 総則

- (1) 橋の耐震設計は、道示I編 1.8 に規定する橋の性能を満足するようにしなければならない。
- (2) 橋の耐震設計にあたっては、耐震設計上の橋の重要度を、地震後における橋の社会的役割及び地域の防災計画上野位置付けを考慮して、表-3.5.1 に示すように耐震設計上の重要度が標準的な橋及び特に重要度が高い橋（以下それぞれ「A種の橋」及び「B種の橋」という。）の2つに区分する。

表-3.5.1 橋の重要度の区分

耐震設計上の 橋の重要度の区分	対象となる橋
A種の橋	下記以外の橋
B種の橋	<ul style="list-style-type: none"> ・高速自動車国道、都市高速道路、指定都市高速道路、本州四国連絡道路、一般国道の橋 ・都道府県道、市町村道のうち、複断面、跨線橋、跨道橋又は地域の防災計画上の位置付けや当該道路の利用状況等から特に重要な橋

- (3) 橋の耐震設計では、以下の1)から3)を満足しなければならない。
 - 1) 橋の耐荷性能を上部構造、下部構造及び上下部接続部の耐荷性能で代表させるとき、上部構造、下部構造及び上下部接続部は、少なくとも道示I編 2.3 に規定する橋の耐荷性能を満足するために必要な耐荷性能を有すること。
 - 2) 上部構造、下部構造及び上下部接続部の耐荷性能を部材等の耐荷性能で代表させるとき、これらを構成する部材等は、少なくとも道示I編 2.3 に規定する橋の耐荷性能を満足するために必要な耐荷性能を有すること。
 - 3) 橋の性能を満足するために必要なその他の事項を適切に設定し、その事項に対して必要な性能を有すること。
- (4) 道示I編 1.8.2 に規定する設計手法のうち、地震の影響を評価するための構造解析については、道示V編 2.6 によることを標準とする。

解

解説は道示V編 2.1 P.12～14 による。

5.1.2 耐荷性能に関する基本事項

① 耐荷性能の照査において考慮する状況

橋の耐震設計では、上部構造、下部構造及び上下部接続部の耐荷性能並びに部材等の耐荷性能の照査において、道示 I 編 2.1 に規定する変動作用支配状況及び偶発作用支配状況において、道示 I 編 3.1 に規定する地震の影響を含む設計状況を考慮する。

解

解説は道示 V 編 2.2.1 P.15 による。

② 耐荷性能の照査において考慮する状態

- (1) 橋の耐震設計にあたっては、道示 I 編 2.2 に規定する橋の状態を満足するために考慮する上部構造、下部構造及び上下部接続部の状態を、1) から 3) の区分に従って設定する。
- 1) 上部構造、下部構造又は上下部接続部として荷重を支持する能力が低下しておらず、耐荷力の観点からは特段の注意なく使用できる状態
 - 2) 上部構造、下部構造又は上下部接続部として荷重を支持する能力の低下があるものの、その程度は限定的であり、耐荷力の観点からはあらかじめ想定する範囲の特別な注意のもとで使用できる状態
 - 3) 上部構造、下部構造又は上下部接続部として荷重を支持する能力が完全には失われていない状態
- (2) 部材等の耐荷性能の照査にあたっては、道示 I 編 2.2 に規定する橋の状態を満足するために考慮する部材等の状態を、1) から 3) の区分に従って設定する。
- 1) 部材等として荷重を支持する能力が低下しない状態
 - 2) 部材等として荷重を支持する能力が低下しているものの、その程度は限定的であり、あらかじめ想定する範囲にある状態
 - 3) 部材等として荷重を支持する能力が完全には失われていない状態

解

解説は道示 V 編 2.2.2 P.15～P.16 による。

③ 耐荷性能

- (1) 橋の耐震設計では、上部構造、下部構造及び上下部接続部並びに部材等は、道示 I 編 2.3 に規定する橋の耐荷性能を満足するよう、5.1.2.1 で設定する耐荷性能の照査において考慮する状況に対して、5.1.2.2 で設定する耐荷性能耐荷性能の照査において考慮する状態に、設計供用期間中において所用の信頼性をもって留まるようにしなければならない。
- (2) 道示編 V 2.3 から道示 V 編 2.5 による場合には、(1) を満足するとみなしてよい。

解

解説は道示V編 2.2.3 P.16による。

5.1.3 耐荷性能の照査において地震の影響を考慮する状況

- (1) 橋の耐震設計にあたっては、上部構造、下部構造及び上下部接続部並びに部材等の耐荷性能の照査において、5.1.2に規定する状況を、少なくとも道示I編 3.2に従い、作用の特性値、作用の組合せ、荷重組合せ係数及び荷重係数を用いて適切に設定しなければならない。
- (2) 道示I編 8.19に規定する地震の影響(EQ)は、以下の1)から5)の影響を考慮することを標準とする。
- 1) 構造物及び土の重量に起因する慣性力(以下「慣性力」という。)
 - 2) 地震時土圧
 - 3) 地震時動水圧
 - 4) 地盤振動変位
 - 5) 液状化に伴って生じる地盤の流動化の影響(以下「地盤の流動力」という。)
- (3) (2) 1) から 5) に規定する地震の影響の特性値は、変動作用支配状況及び偶発作用支配状況のそれぞれで考慮する橋に作用する地震動の特性値に基づき適切に設定しなければならない。
- (4) 橋に作用する地震動の特性値を設定するにあたっては、慣性力をその面より上方では考慮しその面より下方では考慮しないと定める地盤面(以下「耐震設計上の地盤面」という。)を設定しなければならない。
- (5) 橋に作用する地震動の特性値は、道示V編 3章の規定により設定する。
- (6) 橋に作用する地震動の特性値は、道示V編 3章の規定により設定する。
- (7) (2) 1) から 5) に規定する地震の影響は、以下の1)から5)により考慮する。
- 1) 慣性力は道示V編 4.1の規定により算出する。
 - 2) 地震時土圧は道示V編 4.2の規定により算出する。
 - 3) 地震時動水圧は道示V編 4.3の規定により算出する。
 - 4) 地盤振動変位が橋に与える影響は、構造条件及び地盤条件に応じて適切に設定しなければならない。
 - 5) 地盤の流動力は道示V編 4.4の規定により算出する。

解

解説は道示V編 2.3 P.17～P.19による。

5.1.4 耐荷性能の照査において地震の影響を考慮する状況に対する限界状態

① 一般

- (1) 橋の耐震設計における上部構造、下部構造、上下部接続部（以下これらを「各構造」という。）又は各構造を構成する部材等の耐荷性能の照査にあたっては、道示V編 2.2.2 に規定する耐荷性能の照査において考慮する状態の限界を、各構造又は各構造を構成する部材等の限界状態として適切に設定しなければならない。
- (2) 橋の耐震設計における橋の耐荷性能の照査にあたって、各構造の限界状態によって橋の限界状態 1、橋の限界状態 2 及び橋の限界状態 3 を代表させる場合には、それぞれ道示V編 2.4.2 から道示V編 2.4.4 の規定に従って各構造の限界状態を設定し、これを組み合わせることを標準とする。
- (3) 橋の耐震設計における各構造の耐荷性能の照査にあたって、各構造を構成する部材等の限界状態によって、各構造の限界状態 1、限界状態 2 及び限界状態 3 を代表させる場合には、道示V編 2.4.5 の規定に従って各構造を構成する部材等の限界状態を設定し、これを組み合わせることを標準とする。

解

解説は道示V編 2.4.1 P.19 による。

② 橋の限界状態 1 に対応する上部構造、下部構造及び上下部接続部の限界状態

橋の耐震設計にあたって、道示I編 4.1 に規定する橋の限界状態 1 を各構造の限界状態で代表させる場合には、以下の 1) から 3) とする。

- 1) 上部構造
道示II編 3.4.2 又は道示III編 3.4.2 に規定する上部構造の限界状態 1
- 2) 下部構造
道示IV編 3.4.2 に規定する下部構造の限界状態 1
- 3) 上下部接続部
支承部を用いる場合には、道示I編 10.1.4 に規定する支承部の限界状態 1

解

解説は道示V編 2.4.2 P.20 による。

③ 橋の限界状態2に対応する上部構造、下部構造及び上下部接続部の限界状態

橋の耐震設計にあたって、道示Ⅰ編 4.1に規定する橋の限界状態2を各構造の限界状態で代表させる場合には、以下の1)から3)とする。ただし、下部構造の限界状態を限界状態2とする場合は、これと組み合わせる上下部接続部の限界状態は限界状態1とし、上下部接続部の限界状態を限界状態2とする場合は、これと組み合わせる下部構造の限界状態は限界状態1とすることを標準とする。

1) 上部構造

道示Ⅱ編 3.4.2 又は道示Ⅲ編 3.4.2 に規定する上部構造の限界状態1

2) 下部構造

道示Ⅳ編 3.4.2 に規定する下部構造の限界状態1 又は限界状態2

3) 上下部接続部

支承部を用いる場合には、道示Ⅰ編 10.1.4 に規定する支承部の限界状態1 又は限界状態2

解

解説は道示Ⅴ編 2.4.3 P.21～25 による。

④ 橋の限界状態3に対応する上部構造、下部構造及び上下部接続部の限界状態

橋の耐震設計にあたって、道示Ⅰ編 4.1に規定する橋の限界状態3を各構造の限界状態で代表させる場合には、以下の1)から3)とする。ただし、下部構造の限界状態を限界状態3とする場合は、これと組み合わせる上下部接続部の限界状態は限界状態1とし、上下部接続部の限界状態を限界状態3とする場合は、これと組み合わせる下部構造の限界状態は限界状態1とすることを標準とする。

1) 上部構造

道示Ⅱ編 3.4.2 又は道示Ⅲ編 3.4.2 に規定する上部構造の限界状態1 又は限界状態3

2) 下部構造

道示Ⅳ編 3.4.2 に規定する下部構造の限界状態1 又は限界状態3

3) 上下部接続部

支承部を用いる場合には、道示Ⅰ編 10.1.4 に規定する支承部の限界状態1 又は限界状態3

解

解説は道示Ⅴ編 2.4.4 P.26～27 による。

⑤ 上部構造、下部構造及び上下部接続部を構成する部材等の限界状態

- (1) 橋の耐震設計にあたって、道示 I 編 4.2 に規定する各構造の限界状態 1 を、各構造を構成する部材等の限界状態で代表させる場合には、各構造を構成するいずれかの部材等が道示 V 編 2.4.6 に規定する部材等の限界状態 1 に達したときとすることを標準とする。
- (2) 橋の耐震設計にあたって、道示 I 編 4.2 に規定する各構造の限界状態 2 を、各構造を構成する部材等の限界状態で代表させる場合には、各構造を構成するいずれかの部材が道示 V 編 2.4.6 に規定する部材等の限界状態 2 に達したときとし、このときその他の部材が限界状態 1 を超えないことを標準とする。部材等の限界状態 2 となる部材を選定するにあたっては、少なくとも塑性化を期待する部材並びにその塑性化する位置及び範囲が、調査及び修復が容易にできることを標準とする。
- (3) 橋の耐震設計にあたって、道示 I 編 4.2 に規定する各構造の限界状態 3 を、各構造を構成する部材等の限界状態で代表させる場合には、これらを構成するいずれかの部材が道示 V 2.4.6 に規定する部材等の限界状態 3 に達したときとし、その他の部材が限界状態 1 を超えないことを標準とする。

解

解説は道示 V 編 2.4.5 P.27～29 による。

⑥ 部材等の限界状態

- (1) 道示Ⅰ編 4.3 に規定する各構造を構成する部材等の限界状態 1 を、道示Ⅱ編 3.4.3、道示Ⅲ編 3.4.3 及び道示Ⅳ編 3.4.3 の規定により設定することができる。
- (2) 道示Ⅰ編 4.3 に規定する各構造を構成する部材等の限界状態 2 は、部材等の挙動が可逆性を失うものの、耐荷力が想定する範囲で確保できる限界の状態とする。
- (3) 道示Ⅰ編 4.3 に規定する各構造を構成する部材等の限界状態 3 を、道示Ⅱ編 3.4.3、道示Ⅲ編 3.4.3 及び道示Ⅳ編 3.4.3 の規定により設定することができる。
- (4) 部材等の限界状態は、その状態を表す工学的指標によって適切に関連付けることを標準とする。
- (5) 地震の影響を考慮して工学的指標と限界状態を関連づける場合には、道示Ⅱ編 3.4.1、道示Ⅲ編 3.4.1 及び道示Ⅳ編 3.4.1 の規定によるほか、限界状態に対応する特性値の設定にあたっては、以下の 1) 及び 2) を満足しなければならない。
 - 1) 地震による繰返し作用が部材等の状態に及ぼす影響を考慮する。
 - 2) 部材等の構造条件に応じた、部材等の耐力、非線形履歴特性及び破壊形態が考慮できる適切な知見に基づいた方法による。
- (6) 各構造及び各構造を構成する部材等について、道示 6 章及び道示 8 章以降の規定に従い工学的指標の特性値又は制限値を定める場合には、(4) 及び (5) を満足するとみなしてよい。

解

解説は道示Ⅴ編 2.4.6 P.29～31 による。

5.1.5 耐荷性能の照査

- (1) 橋の耐震設計にあたって、各構造又は各構造を構成する部材等の耐荷性能の照査は、道示Ⅴ編 2.2.3 に規定する耐荷性能を満足することを適切な方法を用いて確認することにより行う。
- (2) 道示Ⅰ編 5 章の規定に従い橋の耐荷性能の照査を部材等の耐荷性能の照査で代表させる場合の部材等の耐荷性能の照査は、以下の 1) 及び 2) に従い行うことを標準とする。
 - 1) 道示Ⅴ編 2.3 (1) に規定する作用の組合せに対して、部材等の耐荷性能に応じて定める道示Ⅴ編 2.4.6 に規定する部材等の限界状態 1 及び限界状態 3 又は限界状態 2 及び限界状態 3 を、各々に必要な信頼性をもって超えないことを式 (3.5.1) 及び式 (3.5.2) を満足することにより確認する。

$$\sum S_i (Y_{pi}Y_{qi}P_i) \leq \xi_1 \Phi_{RS} R_s \dots \dots \dots \text{式(3.5.1)}$$

$$\sum S_i (Y_{pi}Y_{qi}P_i) \leq \xi_1 \xi_2 \Phi_{RU} R_u \dots \dots \dots \text{式(3.5.2)}$$
 ここに、

P_i : 作用の特性値

S_i : 作用効果であり、作用の特性値に対して算出される部材等の応答値

R_S : 部材等の限界状態 1 又は限界状態 2 に対応する部材等の抵抗に係る特性値

R_U : 部材等の限界状態 3 に対応する部材等の抵抗に係る特性値

Y_{pi} : 荷重組合せ係数

Y_{qi} : 荷重係数

ξ_1 : 調査・解析係数

ξ_2 : 部材・構造係数

Φ_{RS} : 部材等の限界状態 1 又は限界状態 2 に対応する部材等の抵抗に係る抵抗係数

Φ_{RU} : 部材等の限界状態 3 に対応する部材等の抵抗に関わる抵抗係数

- 2) 部材等の限界状態を代表させる事象を、部材等の限界状態 1 又は限界状態 2 と限界状態 3 のいずれかに区分し難い場合には、当該事象を部材等の限界状態 3 として代表させ、道示 V 編 2.3 (1) に規定する作用の組合せに対して、部材等の限界状態 3 として代表させ、道示 V 編 2.3 (1) に規定する作用の組合せに対して、部材等の限界状態 3 を必要な信頼性をもって超えないことを式 (3.5.2) で満足することにより確認する。
- (3) 式 (3.5.1) 及び式 (3.5.2) の作用効果は、道示 V 編 2.6 の規定、道示 V 編 3 章、道示 V 編 4 章及び道示 V 編 5 章の規定に従い算出する。
- (4) 式 (3.5.1) 及び式 (3.5.2) の作用の特性値、荷重組合せ係数及び荷重係数は道示 V 編 2.3 の規定に従い設定する。
- (5) 式 (3.5.1) 及び式 (3.5.2) の抵抗係数並びに抵抗の特性値は、道示 V 編 6 章及び道示 V 編 8 章以降の規定に従い設定する。
- (6) 式 (3.5.1) 及び式 (3.5.2) の調査・解析係数は、道示 I 編 3.3 に規定する㊹の作用の組合せを考慮する場合は 1.00 とすることを標準とする。
- (7) 式 (3.5.2) の部材・構造係数は、道示 V 編 6 章及び道示 V 編 8 章以降の規定に従い設定する。
- (8) 地盤振動変位が部材に及ぼす影響については、道示 V 編 2.3 (2) 1) から 3) に規定する地震の影響を考慮する状況に対して部材等の限界状態を超えないことを確認するとともに、地中部の構造に適切に塑性変形能を付与できるように構造上の配慮をしなければならない。
- (9) 橋の耐震設計において、部材等の塑性化を期待する部材等を連結する場合には、各構造間について、以下の 1) から 3) を満足しなければならない。
- 1) 上部構造、下部構造及び上下部接続部の限界状態と、各構造間の接合部の限界状態の関係を明確にしたうえで、これらの構造全体の所要の機能が発揮されるようにしなければならない。
 - 2) 連結される各構造は、各構造間の接合部の耐荷機構の前提及び連結される各構造の耐

荷機構の前提となる状態が確保されるようにしなければならない。

- 3) これらの構造間の接合部は、構造間に生じる相互の断面力を確実に伝達できるようにしなければならない。
- (10) 液状化が生じる土層を有する地盤上にある橋の耐震設計では、液状化が橋に及ぼす影響を適切に考慮しなければならない。ただし、道示Ⅰ編3.3に規定する⑨の作用の組合せを考慮する場合には、液状化が橋に及ぼす影響を考慮しなくてもよい。
- (11) 道示Ⅴ編7章の規定による場合は、(10)に規定する液状化が橋に及ぼす影響を適切に考慮したとみなしてよい。
- (12) 液状化が橋に及ぼす影響を考慮する場合は、液状化が生じると仮定した場合及び液状化が生じないと仮定した場合のいずれの場合も橋の性能を満足しなければならない。
- (13) 基礎の塑性化を期待する場合は、基礎が塑性化すると仮定した場合及び基礎が塑性化しないと仮定した場合のいずれの場合にも橋の性能を満足しなければならない。

解

解説は道示Ⅴ編2.5 P.34～37による。

5.2 橋に作用する地震動の特性値

5.2.1 地震動の特性値の設定

- (1) 道示V編 2.3に規定する耐荷性能の照査において地震の影響を考慮する状況を設定するにあたっては、橋の設計供用期間中にしばしば発生する地震動（以下「レベル1地震動」という。）及び橋の設計供用期間中に発生することは極めて稀であるが一旦生じると橋に及ぼす影響が甚大であると考えられる地震動（以下「レベル2地震動」という。）を適切に設定しなければならない。
- (2) 地震動の特性値の設定にあたっては、以下の1)から3)を考慮しなければならない。
- 1) 地震動特性、橋の地震応答特性及びそれらのばらつきの影響
 - 2) 地盤の振動特性及びそのばらつきの影響
 - 3) 橋の周辺地域で発生する地震の規模、発生位置等に応じた地震動強度及びそのばらつきの影響
- (3) レベル1地震動及びレベル2地震動の特性値を、道示V編 3.2から道示V編 3.7の規定により設定する場合には、(1)及び(2)を満足するとみなしてよい。

解

解説は道示V編 3.1 P.46～47による。

5.2.2 地域別補正係数

山梨県内の地域別補正係数は、表-3.5.2に示す値とする。

表-3.5.2 地域別補正係数と地域区分

地域 区分	地域別補正係数			対象地域
	c_z	c_{1z}	c_{2z}	
A1	1.0	1.2	1.0	富士吉田市、都留市、大月市、上野原市、西八代郡、南巨摩郡、南都留郡
A2	1.0	1.0	1.0	A1以外の地域

解

山梨県内の地域別補正係数は、規模の大きい地震が発生する可能性が高いA1及びA2地域に該当する。地域別補正係数を定めるための検討には、平成23年東北地方太平洋沖地震、北海道の太平洋沖の地震が連動する場合や、東海地震、東南海地震、南海地震及び日向灘地震が連動する場合などの大規模な地震の震源域が連動する影響も考慮している。特に、山梨県内は、東海地震、東南海地震、南海地震が連動した場合の大規模地震に対して影響が大きいと想定され、県南部の地域においては、タイプI地震動の地域別補正係数 c_{1z} が1.2に設定されている。



図-3.5.1 山梨県の地域区分

5.2.3 耐震設計上の地盤種別

① 一般

耐震設計上の地盤種別は、道示V3.7に規定する耐震設計上の基盤面から地表面までの範囲の地盤の基本固有周期 T_G に応じ、表-3.5.3により区別する。

$$T_G = 4 \sum H_i / V_{si} \dots \dots \dots \text{式(3.5.1)}$$

ここに、 T_G : 地盤の特性値(s)

H_i : i 番目の地層の厚さ(m)

V_{si} : i 番目の地層の平均せん断弾性波速度(m/s)

i : 当該地盤が地表面から耐震設計上の基盤面までの n 層に区分されるときに地表面から i 番目の地層の番号

表-3.5.3 耐震設計上の地盤種別

地盤種別	地盤の特性値 T_G (S)	備 考
I 種	$T_G < 0.2$	岩盤、地表面が基盤面と一致する場合
II 種	$0.2 \leq T_G < 0.6$	I 種、III種いずれにも属さない洪積および沖積地盤
III 種	$0.6 \leq T_G$	沖積地盤のうち軟弱地盤

解

解説は道示V編 3.1 P.68~69による。

② 地盤の基本固有周期

- (1) 地盤の基本固有周期 T_G は、地盤調査等に基づき、適切に算出しなければならない。
- (2) 地盤の基本固有周期 T_G を、式 (3.5.3) により算出する場合には、(1) を満足するとみなしてよい。

$$T_G = 4 \sum H_i / V_{si} \dots \dots \dots \text{式(3.5.3)}$$

ここに、 T_G : 地盤の基本固有周期(s)

H_i : i 番目の地層の厚さ(m)

V_{si} : i 番目の地層の平均せん断弾性波速度(m/s)

i : 当該地盤が地表面から耐震設計上の基盤面までの n 層に区分される場合の地表面から i 番目の地層の番号

- (3) 式 (3.5.3) で用いる平均せん断弾性波速度 V_{si} は、橋の建設地点における地層のせん断弾性波速度を適切な方法で測定又は推定して求めなければならない。
- (4) 平均せん断弾性波速度 V_{si} を、弾性波探査、PS 検層等の適切な手法で直接計測して求める場合又は式(3.5.4)により推定する場合には、(3)を満足するとみなしてよい。

粘性土層の場合 $V_{si} = 100N_i^{1/3} \quad (1 \leq N_i \leq 25)$

$$\text{砂質土層の場合} \quad V_{si}=80N_i^{1/3} \quad (1 \leq N_i \leq 50) \quad \text{式(3.5.4)}$$

ここに、 N_i ：標準貫入試験による i 番目の地層の平均 N 値

解

解説は道示V編 3.6.2 P.69～70 による。

5.2.4 耐震設計上の基盤面

- (1) 耐震設計上の基盤面は、架橋位置に共通する広がりを持ち、橋の耐震設計上振動するとみなす地盤の下に存在する十分堅固な地盤の上面とする。
- (2) 平均せん断弾性波速度が 300m/s 程度以上の値を有している剛性の高い地層は、(1)に規定する十分堅固な地盤とみなしてよい。

解

解説は道示V編 3.7 P.70 による。

5.2.5 耐震設計上の地盤面

耐震設計上の地盤面は、地震時に推定抵抗を期待できる地盤の上面とし、以下の 1) から 3) のうちいずれか深い地盤面で設定する。

- 1) 道示IV編 8.5.2 に規定する設計上の地盤面
- 2) フーチングを有する基礎においてはフーチング下面
- 3) 地震時に地盤反力が期待できない土層がある場合には、その土層の下面。ただし、地震時に地盤反力が期待できない土層が互層状態で存在する場合には、層厚が 3m 以上の地盤反力が期待できる最も浅い土層の上面。ここで、地震時に地盤反力が期待できない土層とは、地盤反力係数、地盤反力度の上限値及び最大周面摩擦力度（以下これらを「耐震設計上の土質定数」という。）を零とする土層であり、以下の i) 又は ii) に該当する土層とする。
 - i) 道示V編 7.2 の規定により橋に影響を与える液状化が生じると判定された土層のうち、道示V編 7.3 の規定により耐震設計上の土質定数を零とする土層
 - ii) 地表面から 3m 以内の深さにある粘性土層で、一軸圧縮試験又は現位置試験により推定される一軸圧縮強度が 20kN/m² 以下の土層（以下「耐震設計上ごく軟弱な土層」という。）

解

解説は道示V編 3.5 P.66～68 による。

5.3 地盤の液状化

5.3.1 一般

液状化が橋に及ぼす影響は、以下の1)及び2)により考慮する。

- 1) 道示V編 7.2の規定により橋に影響を与える液状化が生じるか否かを判定する。
- 2) 道示V編 7.2の規定により橋に影響を与える液状化が生じると判定された土層に対して、道示V編 7.3の規定により耐震設計上の土質定数を低減し、これを設計に考慮する。

解

解説は道示V編 7.1 P.161による。

5.3.2 橋に影響を与える液状化の判定

- (1) 沖積層の土層で橋に影響を与える液状化が生じる可能性の条件全てに該当する場合、道示V7.2に基づき、液状化に対する抵抗率 FL により液状化の判定をおこなうものとし、 FL が 1.0 以下の砂質土層については液状化が生じるものと判断する。
- (2) 橋に影響を与える液状化が生じると判定された土層における耐震設計上の土質定数は、レベル1地震動及びレベル2地震動のそれぞれに対して算出した液状化に対する抵抗率 FL の値に応じて表-3.5.4に示す低減係数 DE を乗じることで低減させた値とする。

表-3.5.4 耐震設計上の土質定数の低減係数 DE

FL の範囲	地表面からの 深さ $x(m)$	動的せん断強度比 R	
		$R \leq 0.3$	$0.3 < R$
$FL \leq 1/3$	$0 \leq x \leq 10$	0	1/6
	$10 < x \leq 20$	1/3	1/3
$1/3 < FL \leq 2/3$	$0 \leq x \leq 10$	1/3	2/3
	$10 < x \leq 20$	2/3	2/3
$2/3 < FL \leq 1$	$0 \leq x \leq 10$	2/3	1
	$10 < x \leq 20$	1	1

土質定数 DE が 0 の土層は、耐震設計上土質定数を零とする土層とする。

解

(1) 液状化の判定

- 1) 下記の3つの条件すべてに該当する場合、橋に影響を与える液状化が生じる可能性があるため、道示V7.2に基づき液状化に対する抵抗値(FL)を算定し、液状化の判定を行うものとする。

- イ) 地下水位が地表面から 10m 以内にあり、かつ、地表面から 20m 以内の深さに存在する飽和土層。
- ロ) 細粒分含有率 FC が 35%以下の土層、または、FC が 35%を超えても塑性指数 I_p が 15 以下の土層。
- ハ) 50%粒径 D_{50} が 10mm 以下で、かつ、10%粒径 D_{10} が 1mm 以下である土層
- 2) 粒径は、標準貫入試験により得られる試料を粒度分析して求めた値によるものとする。
- 3) 液状化に対する抵抗率 F_L に基づく液状化の判定は、レベル 1 地震動、レベル 2 地震動のタイプ I 及びタイプ II の地震動に対してそれぞれおこなうものとする。
- 4) 液状化に対する抵抗率 F_L の算定に用いる土の単位体積重量 γ_t 、50%粒径 D_{50} および細粒含有率 FC は、原位置で採取した試料の物理特性試験により求めることを原則とする。
- 5) 液状化に対する抵抗値 F_L は、道示 V7.2 に示される算定式により算定するものとする。算定にあたっての留意点を下記に示す。
 - イ) 砂質土とれき質土の区分は、50%粒径 D_{50} が 2mm 未満であるか以上であるかによるものとする。
 - ロ) 河床のように水位が地表面より上に存在する場合、地下水位が地表面に存在するものとして全上載圧および有効上載圧を求めるものとする。
 - ハ) N 値を測定するための標準貫入試験は、打撃時のエネルギー損失の少ない自然落下法により行うことが望ましい。
 - ニ) 土質定数の低減係数 D_E を求めるための液状化に対する抵抗率 F_L は、1m 程度間隔で F_L を算定し、各土層ごとに平均的な F_L を求めるものとする。
- 6) 洪積土層の液状化
 - イ) 洪積層は東北地方太平洋沖地震や、兵庫県南部地震を含む、既往の地震において液状化したという事例は確認されていない。洪積砂質土は一般に N 値が高く、また、続成作用を受けているために液状化に対する抵抗が高いためである。したがって、原則として洪積層は液状化の判定の対象とする必要はない。
- 7) 礫質土の液状化

液状化の判定にあたり、砂質土とれき砂質土の区分は平均粒径 D_{50} が 2mm 未満であるか以上かにより行うものとする。

なお、砂質土層の液状化の判定式を用いて、れき質土の繰返し三軸強度比を求める際に必要となる 100kN/m^3 相当に換算した N 値 N_1 の値は、砂質土の場合と同様の式で算定してよい。
- (2) 耐震設計上土質定数を低減させる土層とその扱い
 - 1) 橋に影響を与える液状化が生じると判定された砂質土層等は、液状化に対する抵抗率 F_L の値に応じて土質定数の低減を行うものとする。橋に影響を与える液状化が生じると判定された場合の土質定数は、その土層が液状化しないものとして求めた土質

定数に表-3.5.9に示す土質定数の低減係数 D_E を乗じて算出するものとする。

- 2) 低減係数 D_E を乗じて低減させる土質定数とは、地盤反力係数、地盤反力度の上限値および最大周面摩擦力度を指すものとする。
- 3) 液状化に対する抵抗率 F_L は、標準貫入試験が実施された深度において得られるが、土質定数の低減係数 D_E を求めるためには通常 1m 間隔にて F_L を計算し、土層ごとに平均的な F_L を求めて、この値により表-3.5.9により D_E を求めることが望ましい。
- 4) 耐震設計上土質定数を零あるいは低減させる土層は、将来的に掘削あるいは洗掘される可能性がない場合には、それ以下の地盤に負載重量として作用するものとする。
- 5) 耐震設計上土質定数を零あるいは低減させる土層における地震時動水圧および地震時土圧は、地震の影響として考慮しなくてもよい。

5.3.3 耐震設計上ごく軟弱な土層または橋に影響を与える液状化が生じると判定された土層がある場合の耐震設計

- (1) 耐震設計上ごく軟弱な土層と判定された土層の土質定数の取り扱いは、道示V編 3.5によるものとする。
- (2) 橋に影響を与える液状化が生じると判定された砂質土層の土質定数の取り扱いは、道示V7.3によるものとする。
- (3) 固有周期を算定する場合の土質定数は、上記(1)および(2)の規定は適用しないものとする。
- (4) 耐震設計においては、土質定数を上記(1)および(2)の規定によらないケースについてもおこない、いずれか厳しい方の結果を用いるものとする。
- (5) 道示V編 13.3.516.2の規定により、桁かかり長を算出する場合には、耐震設計上土質定数を低減させる土層の影響を見込むものとする。

解

- (3) 地盤の不安定化が起こる過渡的な振動特性のメカニズムについては、まだ、未解明な点が多いため、固有周期の算定にあたっては、耐震設計上ごく軟弱な土層または橋に影響を与える液状化が生じると判定された土層に対し、地震時の地盤の不安定化に伴う土質定数の低減を考慮し固有周期を算定すると設計地震力を小さめに評価する可能性があり、安全側の設計地震力の算定に配慮したものである。

5.3.4 地盤の流動力

①一般

- (1) 地盤の流動力は、地盤条件、地形条件、下部構造の設置位置等を考慮して、適切に設定しなければならない。
- (2) 道示V編 4.4.2の規定により橋に影響を与える流動化が生じると判定された地盤において、道示V編 4.4.3の規定により橋脚基礎に作用する地盤の流動力を設定する場合には(1)を満足するとみなしてよい。

解

解説は道示V編 4.4.1 P.108による。

② 橋に影響を与える流動化が生じる地盤の判定

以下の 1) 及び 2) のいずれにも該当する地盤は、橋に影響を与える流動化が生じる地盤と判定する。

- 1) 臨海部において、背後地盤と前面の水底との高低差が 5m 以上ある護岸によって形成された水際線から 100m 以内の範囲にある地盤
- 2) 道示V編 7.2 の規定により液状化すると判定される層厚 5m 以上の土層があり、かつ、当該土層が水際線から水平方向に連続的に存在する地盤

解

河川部についても、偏土圧の影響が大きいと考えられる直立式低水護岸背後の高水敷や直立式の特殊堤の堤内地盤においては、流動化の影響を検討するものとする。

③ 地盤の流動力の算出

橋脚基礎に作用させる地盤の流動力の算出は、図-3.5.2 に示すように、地表面付近に液状化しない土層（以下「非液状化層」という。）があり、その下部に液状化する土層（以下「液状化層」という。）がある場合、以下の1) 及び2) による。

1) 流動化の影響を考慮する範囲内の非液状化層に位置する部材に作用させる流動力は、式-3.5.5 により算出する。ここで、液状化層の上部に非液状化層が存在せず、地表面まで液状化する地盤については、式-3.5.5 を考慮する必要はない。

2) 流動化の影響を考慮する範囲内の液状化層に位置する部材に作用させる流動力は、式-3.5.6 により算出する。

$$q_{NL} = c_s \cdot c_{NL} K_p \cdot \gamma_{NL} \cdot x \quad (0 \leq x \leq H_{NL}) \dots\dots\dots \text{式(3.5.5)}$$

$$q_L = c_s \cdot c_L \cdot \{ \gamma_{NL} \cdot H_{NL} + \gamma_L (x - H_{NL}) \} \quad (H_{NL} < x \leq H_{NL} + H_L) \dots \text{式(3.5.6)}$$

ここに、

q_{NL} : 非液状化層中にある構造部材に作用する深さ x (m)の位置の単位面積当りの流動力(kN/m²)

q_L : 液状化層中にある構造部材に作用する深さ x (m)の位置の単位面積当りの流動力(kN/m²)

c_s : 水際線からの距離による補正係数で、表-3.5.5 下表の値とする。

表-3.5.10 水際線からの距離による補正係数 c_s

水際線からの距離 s (m)	補正係数 c_s
$s \leq 50$	1.0
$50 < s \leq 100$	0.5
$100 < s$	0

c_{NL} : 非液状化層中の流動力の補正係数であり、式-3.5.7 による液状化指数 P_L に応じて、表-3.5.6 の値とする。

$$P_L = \int_0^{20} (1 - F_L) (10 - 0.5x) dx \dots\dots\dots \text{式(3.5.7)}$$

c_{NL} : 非液状化層中の流動力の補正係数であり、下式による液状化指数 P_L に応じて、下表の値とする。

表-3.5.6 非液状化層中の流動力の補正係数 c_{NL}

液状化指数 P_L	補正係数 c_{NL}
$P_L \leq 5$	0
$5 < P_L \leq 20$	$(0.2P_L - 1)/3$
$20 < P_L$	1

- c_L : 液状化層中の流動力の補正係数(=0.3)
- K_p : 受働土圧係数で、道示 I 編 8.7 の規定による。
- γ_{NL} : 非液状化層の平均単位体積重量(kN/m³)
- γ_L : 液状化層の平均単位体積重量(kN/m³)
- x : 地表面からの深さ(m)
- H_{NL} : 非液状化層厚(m)
- F_L : 液状化に対する抵抗率で、 $F_L \geq 1$ の場合には $F_L=1$ とする。

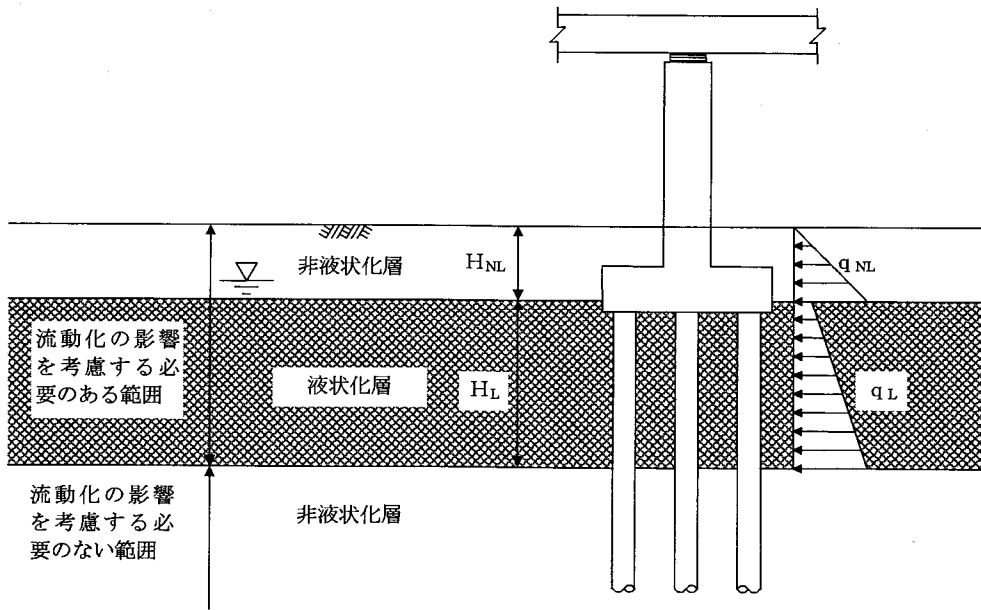


図-3.5.2 流動力の算定モデル

解

- 1) q_{NL} は非液状化層の受働土圧相当の力を基本に、非液状化層から構造物に作用する単位面積当りの流動力を表すものである。
- 2) q_L は全上載圧に相当する力を基本に、液状化層から構造物に作用する単位面積当りの流動力を表すものである。
- 3) 単位深さ当りの流動力は以下により求めるものとする。

$$Q = q_{NL}W \text{ または } q_LW \dots \dots \dots \text{式(3.5.8)}$$

ここに、 Q : 単位深さ当りの流動力(kN/m)

W : 流動力の作用する幅(m)で以下によるものとする。

橋脚およびフーチング—躯体幅

杭基礎—————流動化に抵抗する面の両端に位置する杭の最外縁幅

杭基礎以外の基礎——基礎幅

- 4) 杭基礎においては、全ての杭が分担して流動力に抵抗するものとして設計を行うもの

とする。

5) 流動力を作用させる際には、流動化の影響を考慮する必要がある範囲内の土層の水平抵抗力は考慮しないものとする。

5.4 地震の影響の特性値

5.4.1 慣性力

- (1) 慣性力は、橋の振動特性に応じて地震時に同一の振動をするとみなし得る構造系（以下「設計振動単位」という。）を適切に設定したうえで、設計振動単位ごとに、その大きさを適切に算出するとともに、作用方向を適切に設定しなければならない。
- (2) 水平方向の慣性力の大きさは、動的解析を用いる場合は 道示V編 4.1.2 の規定、静的解析を用いる場合は道示V編 4.1.3 の規定により算出することを標準とする。
- (3) 水平方向の慣性力の作用方向は、部材ごとに影響が最も大きくなる方向及びその直角方向とし、それぞれの方向に別々に作用させる。部材ごとに影響が最も大きくなる方向及びその直角方向は、以下の 1)から 4)によることを標準とする。
- 1) 橋脚の慣性力の作用方向は、橋脚の断面二次モーメントが最小となる軸周りに曲げモーメントを発生させる方向及びその直角方向
 - 2) 橋台の慣性力の作用方向は、土圧の水平成分の作用方向及びその直角方向
 - 3) 基礎の慣性力の作用方向は、これが支持する橋台又は橋脚に作用させる慣性力と同じ方向
 - 4) 上部構造の慣性力の作用方向は、橋軸及び橋軸直角方向
- (4) 以下の 1) 又は 2) に該当する場合は、(3) によるほか、鉛直方向の慣性力も適切に考慮しなければならない。
- 1) 支承部及び支承部と上下部構造との接合部
 - 2) 永続作用により大きな偏心モーメントを受ける橋脚
- (5) 下部構造の頂部において上部構造を支持する支点の条件が慣性力の作用方向に対して可動の場合には、(2) によらず、上部構造の慣性力の代わりに、以下の 1) 及び 2) を下部構造に考慮しなければならない。
- 1) レベル1地震動を考慮する設計状況に対しては、支承の静摩擦力
 - 2) レベル2地震動を考慮する設計状況に対しては、橋脚の場合は、上部構造の死荷重反力の1/2に 5.6.6 に規定する設計水平震度を乗じた力。橋台の場合は、支承の静摩擦力

解

解説は道示V編 4.1.1 P.72～73 による。

② 動的解析を用いる場合の慣性力

- (1) 動的解析を用いる場合の慣性力の大きさは、レベル1地震動及びレベル2地震動の強度、周期特性、位相特性及び継続時間並びに橋の減衰定数等を考慮して、動的解析に用いる加速度波形を適切に設定したうえで、構造物の応答加速度を質量に乗じて算出する。
- (2) (3) から (5) による場合は、(1) の加速度波形を適切に設定したとみなしてよい。
- (3) 動的解析に用いる加速度波形には、道示V編 3.2 により算出するレベル1地震動並びに道示V編 3.3 により算出するレベル2地震動の加速度応答スペクトルと同様の特性を有するように既往の代表的な強震記録を振幅調整した加速度波形を用いる。橋の減衰定数が0.05と大きく異なる場合には、道示V編 3.2 並びに道示V編 3.3 により算出する加速度応答スペクトルに、式-3.5.9 により算出する減衰定数別補正係数 b を乗じて求めた加速度応答スペクトルをレベル1地震動及びレベル2地震動の加速度応答スペクトルとして用いる。

$$c_D = \frac{1.5}{4.0h+1} + 0.5 \dots\dots\dots\text{式(3.5.9)}$$

ここに、 h : 減衰乗数

- (4) 振幅調整しようとする強震記録を選定するにあたっては、以下の1) 及び2) を考慮しなければならない。また、レベル2地震動を考慮する設計状況においては、位相特性が異なる振幅調整した加速度波形を少なくとも3波形用いるものとし、レベル1地震動を考慮する設計状況においては、1波形を用いる。
- 1) 振幅調整しようとする強震記録の加速度応答スペクトルが目標とする加速度応答スペクトルと類似した特性を有すること。
- 2) 部材の塑性化を期待する場合は、以下のi) 及びii) の特性を有すること。
- i) レベル2地震動(タイプI)については、継続時間が長く、地震動の繰返しが橋の非線形応答に与える影響が大きい位相特性
- ii) レベル2地震動(タイプII)については、継続時間は短いが振幅の大きな地震動が橋の非線形応答に与える影響が大きい位相特性
- (5) 慣性力の算出に際しては、設計振動単位ごとに、同じレベル1地震動の加速度波形及びレベル2地震動の加速度波形を用いることを原則とする。

解

解説は道示V編 4.1.2 P.74~80 による。

③ 静的解析を用いる場合の慣性力

静的解析を用いる場合の慣性力の大きさは、道示V編 4.1.5 に規定する設計振動単位の固有周期を算出し、道示V編 4.1.6 に規定する設計水平震度を求め、構造物の重量に乗じて算出する。

解

解説は道示V編 4.1.3 P.81～83 による。

④ 設計振動単位

- (1) 設計振動単位は、橋脚及び橋台の剛性及び高さ、基礎とその周辺地盤の特性、上部構造の特性及び支持条件が橋の振動特性に及ぼす影響を考慮して、地震時に同一の振動をするとみなして慣性力の算出が行える構造系ごとに橋を分割し、適切に設定しなければならない。
- (2) 以下の1) から3) により、設計振動単位を設定する場合は、(1) を満足するとみなしてよい。
 - 1) 複数の下部構造の頂部において一連の上部構造の支持条件が慣性力の作用方向に固定又は弾性支持の場合には、その作用方向に対して、それらの複数の下部構造とそれらが支持している上部構造部分からなる構造系を1つの設計振動単位とする。
 - 2) 1基の下部構造の頂部において上部構造の支持条件が慣性力の作用方向に固定又は弾性支持の場合には、その作用方向に対して、その1基の下部構造とそれが支持している上部構造部分からなる構造系を1つの設計振動単位とする。
 - 3) 下部構造の頂部において上部構造の支持条件が慣性力の作用方向に可動支持の場合には、その作用方向に対して、その1基の下部構造のみからなる構造系を1つの設計振動単位とする。

解

解説は道示V編 4.1.4 P.84～86 による。なお、設計振動単位の設定例を図-3.5.3 に示す。

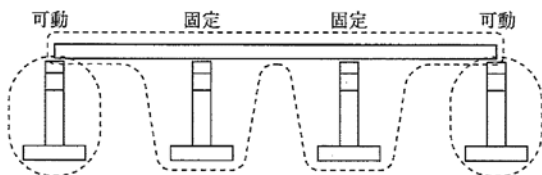


図-解 4.1.7 橋軸方向に固定支持の場合

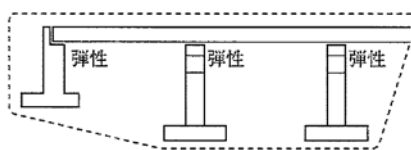


図-解 4.1.8 橋軸方向に弾性支持の場合

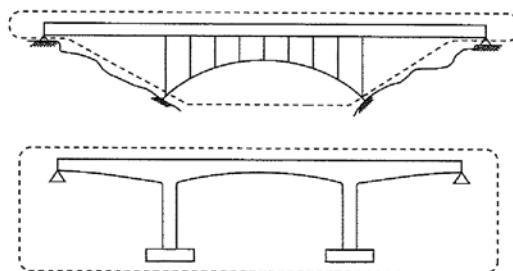


図-解 4.1.9 アーチ橋, ラーメン橋等の場合

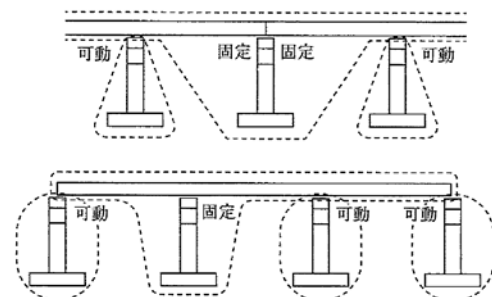


図-解 4.1.10 橋軸方向に一点固定の場合

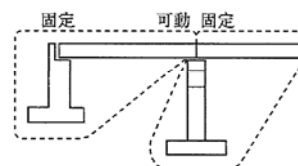


図-解 4.1.11 橋軸方向に固定・可動の場合

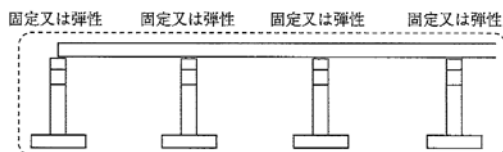


図-解 4.1.12 橋軸直角方向に固定又は弾性支持の場合の例

図-3.5.3 設計振動単位の設定例

⑤ 設計振動単位の固有周期

- (1) 固有周期の算定方法は、道示V4.1.5の規定によるものとする。
- (2) 地震時に不安定となる地盤がある場合には、道示V7.3に規定される土質定数の低減は見込まないで固有周期を算出するものとする。

解

解説は道示V編 4.1.4 P.87~92による。なお、固有周期の算定手順と関連する道示の章節番号を図-3.5.4に示す。

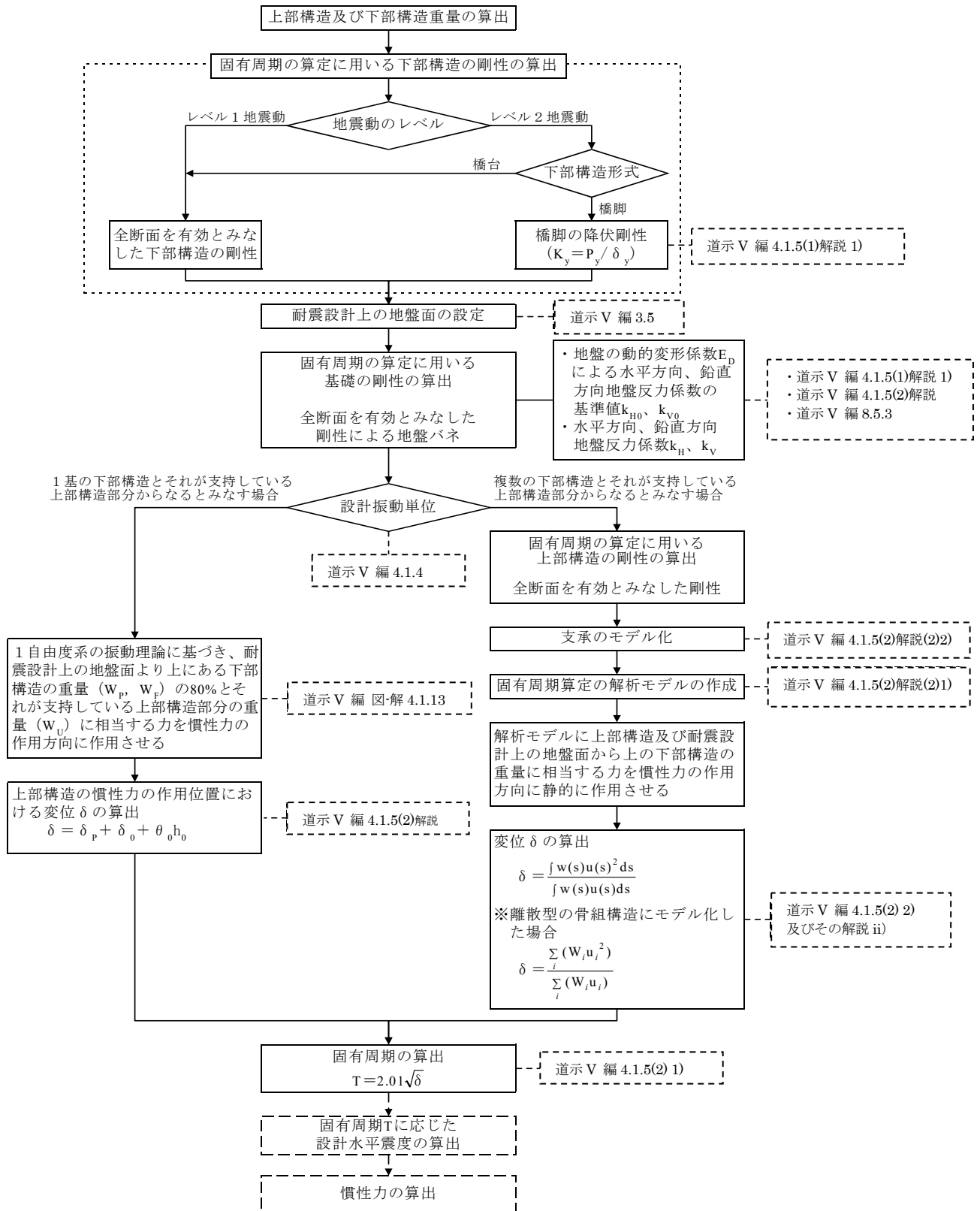


図-3.5.4 固有周期の算定フロー

⑥ 設計水平震度

- (1) 設計水平震度は、道示V編3章に規定する橋に作用する地震動の特性値に対して、構造物の振動特性に応じた減衰特性を適切に考慮して設定しなければならない。
- (2) (3) から (6) による場合には、(1) を満足するとみなしてよい。
- (3) レベル1地震動の設計水平震度は式-3.5.10により算出する。ただし、式-3.5.10による値が0.10を下回る場合には、レベル1地震動の設計水平震度を0.10とする。

$$k_h = c_z k_{h0} \dots\dots\dots \text{式 (3.5.10)}$$

ここに、

k_h : レベル1地震動の設計水平震度 (四捨五入により小数点以下2けたに丸める)

k_{h0} : レベル1地震動の設計水平震度の標準値で、本編5.2.3の規定により区別した地盤種別と本編5.4.1⑤により算出したレベル1地震動に対する固有周期 T に応じて、表-3.5.7により求める。

c_z : 地域別補正係数 (本編5.2.2を参照)

表-3.5.7 レベル1地震動の設計水平震度の標準値 k_{h0}

地盤種別	固有周期 T (s)に対する k_{h0} の値		
I種	$T < 0.1$ $k_{h0} = 0.431 T^{1/3}$ ただし、 $k_{h0} \geq 0.16$	$0.1 \leq T \leq 1.1$ $k_{h0} = 0.20$	$1.1 < T$ $k_{h0} = 0.213 T^{-2/3}$
II種	$T < 0.2$ $k_{h0} = 0.427 T^{1/3}$ ただし、 $k_{h0} \geq 0.20$	$0.2 \leq T \leq 1.3$ $k_{h0} = 0.25$	$1.3 < T$ $k_{h0} = 0.298 T^{-2/3}$
III種	$T < 0.34$ $k_{h0} = 0.430 T^{1/3}$ ただし、 $k_{h0} \geq 0.24$	$0.34 \leq T \leq 1.5$ $k_{h0} = 0.30$	$1.5 < T$ $k_{h0} = 0.393 T^{-2/3}$

- (4) レベル2地震動の設計水平震度は以下の1)及び2)により算出する。

- 1) レベル2地震動 (タイプI) の設計水平震度

レベル2地震動 (タイプI) の設計水平震度は、式 (3.5.11) により算出する。

$$k_{1h} = c_{1z} k_{1h0} \dots\dots\dots \text{式 (3.5.11)}$$

ここに、

k_{1h} : レベル2地震動 (タイプI) の設計水平震度 (四捨五入により小数点以下2桁とする)

k_{1h0} : レベル2地震動 (タイプI) の設計水平震度の標準値で、本編5.2.3の規定により区別した地盤種別と本編5.4.1⑤により算出したレベル1地震動に対する固有周期 T に応じて、表-3.5.8により求める。

c_{1z} : レベルⅡ地震動 (タイプⅠ) の地域別補正係数 (本編 5.2.2 を参照)

表-3.5.8 レベルⅡ地震動 (タイプⅠ) の設計水平震度の標準値 k_{1h0}

地盤種別	固有周期 $T(s)$ に対する k_{1h0} の値		
Ⅰ種	$T < 0.16$	$0.16 \leq T \leq 0.60$	$0.60 < T$
	$k_{1h0} = 2.58T^{1/3}$	$k_{1h0} = 1.40$	$k_{1h0} = 0.996T^{-2/3}$
Ⅱ種	$T < 0.22$	$0.22 \leq T \leq 0.90$	$0.90 < T$
	$k_{1h0} = 2.15T^{1/3}$	$k_{1h0} = 1.30$	$k_{1h0} = 1.21T^{-2/3}$
Ⅲ種	$T < 0.34$	$0.34 \leq T \leq 1.40$	$1.40 < T$
	$k_{1h0} = 1.72T^{1/3}$	$k_{1h0} = 1.20$	$k_{1h0} = 1.50T^{-2/3}$

2) レベルⅡ地震動 (タイプⅡ) の設計水平震度

レベルⅡ地震動 (タイプⅡ) の設計水平震度は、式-3.5.12 により算出する。

$$k_{\text{II}h} = c_{\text{II}z} k_{\text{II}h0} \dots\dots\dots \text{式 (3.5.12)}$$

ここに、

$k_{\text{II}h}$: レベルⅡ地震動 (タイプⅡ) の設計水平震度 (四捨五入により小数点以下 2 桁とする)

$k_{\text{II}h0}$: レベルⅡ地震動 (タイプⅡ) の設計水平震度の標準値で、本編 5.2.3 の規定により区別した地盤種別と本編 5.4.1⑤により算出したレベルⅠ地震動に対する固有周期 T に応じて、表-3.5.9 により求める。

$c_{\text{II}z}$: レベルⅡ地震動 (タイプⅡ) の地域別補正係数 (本編 5.2.2 を参照)

表-3.5.9 レベルⅡ地震動 (タイプⅡ) の設計水平震度の標準値 $k_{\text{II}h0}$

地盤種別	固有周期 $T(s)$ に対する $k_{\text{II}h0}$ の値		
Ⅰ種	$T < 0.30$	$0.30 \leq T \leq 0.70$	$0.70 < T$
	$k_{\text{II}h0} = 4.46T^{2/3}$	$k_{\text{II}h0} = 2.00$	$k_{\text{II}h0} = 1.24T^{-4/3}$
Ⅱ種	$T < 0.40$	$0.40 \leq T \leq 1.20$	$1.20 < T$
	$k_{\text{II}h0} = 3.22T^{2/3}$	$k_{\text{II}h0} = 1.75$	$k_{\text{II}h0} = 2.23T^{-4/3}$
Ⅲ種	$T < 0.50$	$0.50 \leq T \leq 1.50$	$1.50 < T$
	$k_{\text{II}h0} = 2.38T^{2/3}$	$k_{\text{II}h0} = 1.50$	$k_{\text{II}h0} = 2.57T^{-4/3}$

(5) 土の重量に起因する慣性力の算出に用いる地盤面における設計水平震度は、式-3.5.13、式-3.5.14 及び式 3.5.15 により算出する。

$$k_{hg} = c_z k_{hg0} \dots\dots\dots \text{式 (3.5.13)}$$

$$k_{1hg} = c_{1z} k_{1hg0} \dots\dots\dots \text{式 (3.5.14)}$$

$$k_{\text{II}hg} = c_{\text{II}z} k_{\text{II}hg0} \dots\dots\dots \text{式 (3.5.15)}$$

ここに、

k_{hg} : レベル1地震動の地盤面における設計水平震度(四捨五入により小数点以下2桁とする。)

k_{hg0} : レベル1地震動の地盤面における設計水平震度の標準値で、地盤種別がI種、II種、III種に対して、それぞれ、0.16、0.20、0.24とする。

k_{Ihg} : レベル2地震動(タイプI)の地盤面における設計水平震度(四捨五入により小数点以下2桁とする。)

k_{Ihg0} : レベル2地震動(タイプI)の地盤面における設計水平震度の標準値で、地盤種別がI種、II種、III種に対して、それぞれ、0.50、0.45、0.40とする。

k_{IIhg} : レベル2地震動(タイプII)の地盤面における設計水平震度(四捨五入により小数点以下2桁とする。)

k_{IIhg0} : レベル2地震動(タイプII)の地盤面における設計水平震度の標準値で、地盤種別がI種、II種、III種に対して、それぞれ、0.80、0.70、0.60とする。

- (6) 慣性力の算出に際しては、設計振動単位ごとに、式-3.5.10、式-3.5.11及び式-3.5.12により算出される同じ設計水平震度を用いることを原則とする。ただし、土の重量に起因する慣性力の算出に際しては、下部構造位置における地盤種別に応じて式-3.5.13、式-3.5.14及び式-3.5.15により算出する地盤面における設計水平震度を用いなければならない。

解

解説は道示V編 4.1.6 P.95～98による。

5.5 構造解析手法

5.5.1 一般

- (1) 橋の耐震設計にあたっては、慣性力による断面力、応力、変位等の応答値の算出に、道示V編 5.2 に規定する動的解析を用いることを標準とする。ただし、部材等の塑性化を期待しない場合で以下の 1) に該当する場合又は部材等の塑性化を期待する場合で以下の 1) から 3) に該当する場合には、5.3 に規定する静的解析を用いてもよい。
- 1) 1 次の固有振動モードが卓越している。
 - 2) 塑性化の生じる部材及び部位が明確である。
 - 3) エネルギー一定則の適用性が検証されている。
- (2) 地盤抵抗は、道示V編 3.5 に規定する耐震設計上の地盤面の下方において考慮することを標準とする。

解

解説は道示V編 5.1 P.114～116 による。

5.5.2 動的解析

- (1) 動的解析には、時刻歴応答解析を用いることを標準とする。
- (2) 動的解析により応答値を算出するにあたって、部材のモデル化は以下の 1) から 3) を満足しなければならない。
- 1) 橋の構造特性を踏まえ、橋の地震時の挙動を評価できるように、部材の材料特性、地盤の抵抗特性等に応じて、適切に部材をモデル化する。
 - 2) 部材のモデル化は、その力学的特性及び履歴特性に応じて適切に行う。
 - 3) 橋の減衰特性は、橋を構成する部材等の振動特性を考慮して、適切にモデル化する。
- (3) 動的解析による応答値の算出は、レベル 2 地震動を考慮する設計状況において、道示V編 4.1.2 に規定する加速度波形を用いて算出した応答値の平均値を用いる。

解

解説は道示V編 5.2 P.116～131 による。

5.5.2 静的解析

- (1) 静的解析には、荷重漸増載荷解析及びエネルギー一定則を用いることを標準とする。
- (2) (2) 静的解析により応答値を算出するにあたって、部材のモデル化は、橋の構造特性を踏まえ、橋の地震時の挙動を評価できるように、部材の材料特性、地盤の抵抗特性等に応じて、適切に行わなければならない。

解

解説は道示V編 5.3 P.132～133 による。

5.6 落橋防止システム

5.6.1 一般

- (1) 落橋防止システムは、道示V編 13.3に基づいて設計するものとする。
- (2) 落橋防止システムは、以下の 1) から 3) の設計で考慮する方向に対して独立して働くシステムから構成されるものとする。
- 1) 橋軸方向
 - 2) 橋軸直角方向
 - 3) 水平面内での回転方向
- (3) 橋軸方向に対しては道示V編 13.3.2、橋軸直角方向に対しては道示V編 13.3.3 及び回転方向に対しては道示V編 13.3.4の規定による場合には、上部構造が容易には落下しないように適切な対策を講じたとみなしてよい。
- (4) 道示V編 13.3.9の規定による場合は、(2)によらず、上部構造が容易には落下しないように適切な対策を講じたとみなしてよい。

解

解説は道示V編 13.3.1 P.275～276による。

落橋防止システムの基本的な考え方を図-3.5.5に示す。

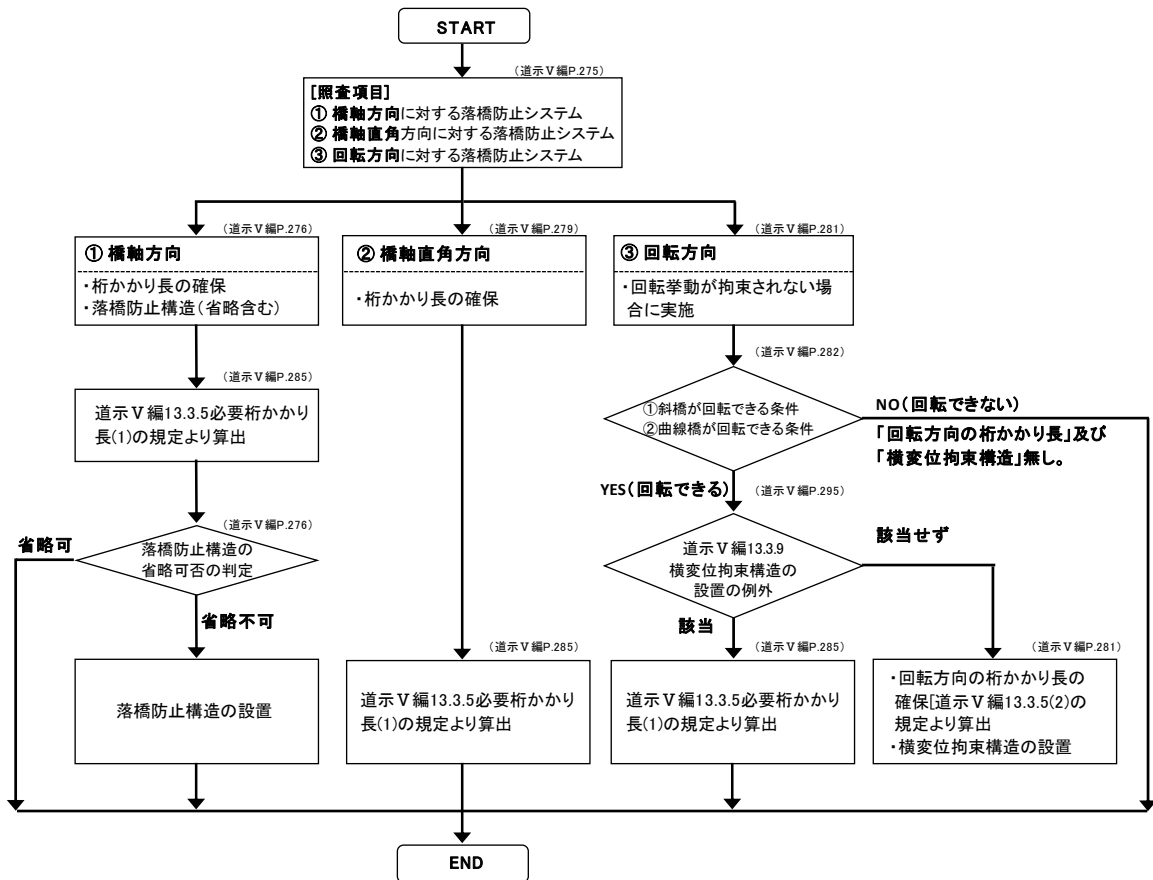


図-3.5.5 落橋防止システムの基本的な考え方

5.6.2 橋軸方向に対して上部構造が容易には落下しないための対策

- (1) 橋軸方向に対して上部構造が容易には落下しないための対策は、(2) の桁かかり長を確保するとともに、(3) の落橋防止構造を設けることにより行う。
- (2) 橋軸方向に対する桁かかり長は、以下の 1) から 3) を満足するように確保する。
 - 1) 必要桁かかり長は、一連の上部構造の端支点部において確保する。ただし、図-3.5.6 に示す下部構造上の支点が上部構造の橋面の水平投影面上にない場合は、当該支点部でも確保する。
 - 2) 必要桁かかり長は、一連の上部構造端部から橋軸方向に確保する。
 - 3) 必要桁かかり長は、道示V編 13.3.5 (1) の規定により算出する。
- (3) 落橋防止構造は、道示 13.3.6 に規定する構造を、以下の 1) から 3) により設置する。
 - 1) 落橋防止構造は、一連の上部構造を支持する支点部のうち、必要桁かかり長を確保した支点部に設置する。
 - 2) 落橋防止構造は、上部構造がこれを支持する下部構造から橋軸方向に対する桁かかり長を超えて逸脱することのない範囲で機能するように設置する。
 - 3) 落橋防止構造を橋軸方向に対する桁かかり長の 0.75 倍以下の範囲で機能するように設置する場合には、2) を満足するとみなしてよい。
- (4) 橋軸方向に対して、両端が橋台に支持された一連の上部構造を有する橋で、以下の 1) から 3) を満足する場合には、(3) によらず、パラペットと橋台背面土が協働して落橋防止構造と同等の役割を果たすとみなしてよい。
 - 1) 道示 IV 編 7.4.4 に規定するパラペットを有し、かつ、橋台背面土圧に対して抵抗するように設計された橋台であること。ただし、橋脚と同様の振動特性を有する橋台は除く。
 - 2) 上部構造が、一方の上部構造端部における橋軸方向に変位したと仮定したときに、他端部に位置する橋台パラペットで拘束される状態になること。
 - 3) 2) の状態となるときに、上部構造端部が下部構造上に留まっていること。

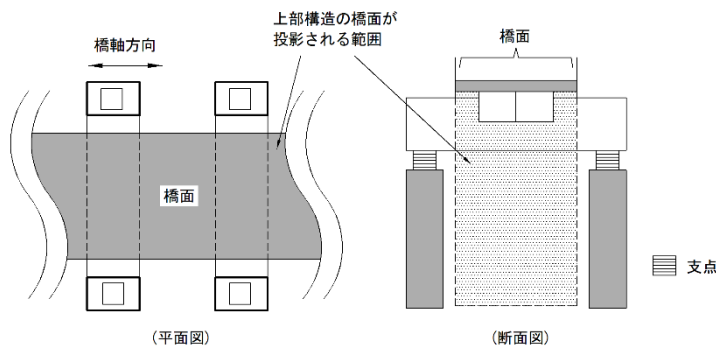


図-3.5.6 下部構造上の支点が上部構造の橋面の水平投影面上にない構造の例

解

解説は道示V編 13.3.2 P.277～279 による。

- (4) 2) 両端が橋台であるが、パラペットに拘束されない例を、図-3.5.7 及び図-3.5.8 に示す。

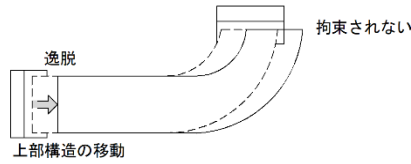


図-3.5.7 橋軸方向の上部構造の変位が拘束されない橋の例

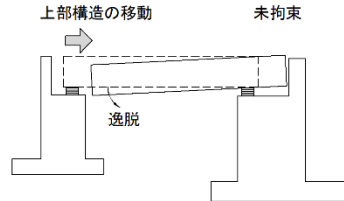


図-3.5.8 上部構造端部における遊間量が桁かかり長より大きい橋の例

5.6.3 橋軸直角方向に対して上部構造が容易には落下しないための対策

- (1) 橋軸直角方向に対して上部構造が容易には落下しないための対策は、(2) の桁かかり長を確保することにより行う。
- (2) 橋軸直角方向に対する桁かかり長は、以下の 1) から 3) を満足するように確保する。
 - 1) 必要桁かかり長は、一連の上部構造の全ての支点部において確保する。
 - 2) 必要桁かかり長は、橋軸直角方向に確保する。
 - 3) 必要桁かかり長は、上部構造が下部構造に対して相対的に橋軸直角方向に 5.11.5(1)の規定により算出した長さ分だけ移動した場合に、安定して下部構造上に留まることのできる長さとする。ただし、道示V編 13.3.5 (1) の規定により算出した必要桁かかり長が一連の上部構造の両端部で異なる場合は、いずれか長い方を用いる。

解

解説は道示V編 13.3.3 P.280～281 による。

(2) 3) 安定して下部構造上に留まることのできる長さとは、上部構造が下部構造頂部から逸脱しても、安定した状態で残存することができる長さを指している。例えば、図-3.5.9 (a) のような橋では、主桁の中心位置が下部構造の柱又ははり端部から逸脱すると、転倒モーメントが発生し安定した状態で残存できないと判断できる。一方、図-3.5.9 (b) のような橋では、最外縁にある 1 主桁が下部構造頂部から逸脱した段階では、残りの主桁は下部構造上に留まっており、また、上部構造が転倒する状態とはならないことから、ただちに上部構造が不安定となることはない判断できる。

斜橋や曲線橋の場合は、各下部構造位置での橋軸直角方向に対して判断する。例えば、図-3.5.10 のような曲線橋で、最も左側の下部構造位置での橋軸直角方向に対する桁かかり長を検討するときは、図の矢印の向き（図においては左斜め上方向）に対し

での移動を考えることになる。なお、この状態のときに他の下部構造上の桁かかり長の状態については考慮する必要はないが、この検討を一連の上部構造を支持する下部構造上で行い、一連の上部構造を支持する全ての下部構造上で橋軸直角方向に桁かかり長を確保する必要がある。

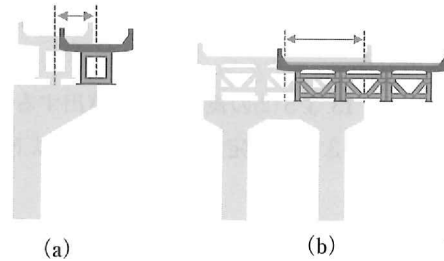


図-3.5.9 橋軸直角方向に上下部構造間の相対変位が生じた際に安定した状態で残存しない場合の例

(※ 矢印部分の長さが橋軸方向の桁かかり長相当分の相対変位より小さい場合は安定した状態で残存しなくなると判断)

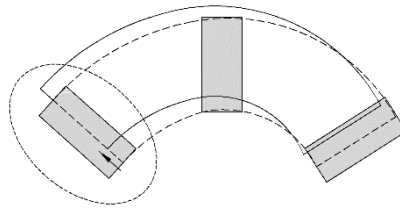


図-3.5.10 曲線橋の橋軸直角方向の桁かかり長の考え方
(※左端の下部構造位置で検討する場合)

5.6.4 回転方向に対して上部構造が容易には落下しないための対策

- (1) 回転方向に対して上部構造が容易には落下しないための対策は、一連の上部構造の水平面内での回転挙動を想定した場合に、これに隣接する上部構造、橋脚の段違い部又は橋台パラペットで挙動が拘束されないときに行う。
- (2) 回転方向に対して上部構造が容易には落下しないための対策は、(3) の桁かかり長を確保するとともに、(4) の横変位拘束構造を設けることにより行う。
- (3) 回転方向に対する桁かかり長は、以下の 1) から 3) を満足するように確保する。
 - 1) 必要桁かかり長は、一連の上部構造の端支点部において確保する。
 - 2) 必要桁かかり長は、一連の上部構造端部から当該端支点部の支承線に直角な方向に確保する。
 - 3) 必要桁かかり長は、道示V編 13.3.5 (2) の規定により算出する。
- (4) 横変位拘束構造は、道示V編 13.3.7 の規定による構造を、以下の 1) 及び 2) により設置する。

- 1) 横変位拘束構造は、上部構造の回転を拘束する位置に設置する。
- 2) 横変位拘束構造は、上部構造がこれを支持する下部構造から回転方向に対する桁かかり長をを超えて逸脱することのない範囲で機能するように設置する。

解

解説は道示V編 13.3.4 P.282～285 による。

(1) 上部構造の幾何学的条件から、上部構造が隣接桁や橋台の拘束を受けずに回転できる条件は道示V式(解 13.3.1)、道示V式(解 13.3.2)により簡便に判定することもできる。

①斜橋が回転できる条件

$$\frac{\sin 2\theta}{2} > \frac{b}{L} \dots\dots\dots \text{道示V式(解 13.3.1)}$$

②曲線橋が回転できる条件

$$\cos \theta' > \frac{b}{L} \dots\dots\dots \text{道示V式(解 13.3.2)}$$

ここに、

L : 一連の上部構造の長さ (m)

b : 上部構造の全幅員 (m)

θ : 回転条件を評価するための角度。例えば、図-3.5.11において、D点を中心とした回転を考慮する場合には、回転中心Dと上部構造の他端部の回転中心側角部Aを結ぶ線(AD)と、他端部(AB)がなす角度(°)

θ' : 回転条件を評価するための角度。例えば図-3.5.12において、D点を中心とした回転を考慮する場合には、回転中心Dと上部構造の他端部の回転中心側角部Aを結ぶ線(AD)と、保下端部(AB)がなす角度(°)

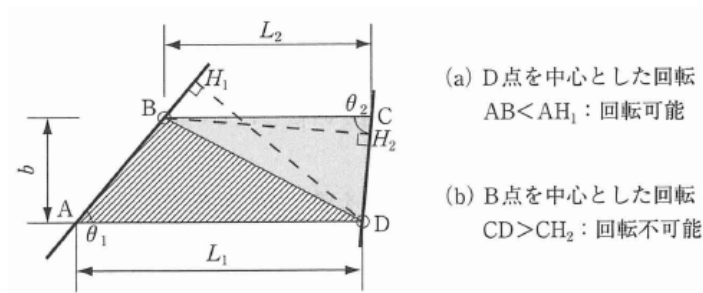


図-3.5.11 隣接する上部構造や橋台等の拘束影響を受けずに斜橋が回転できる条件

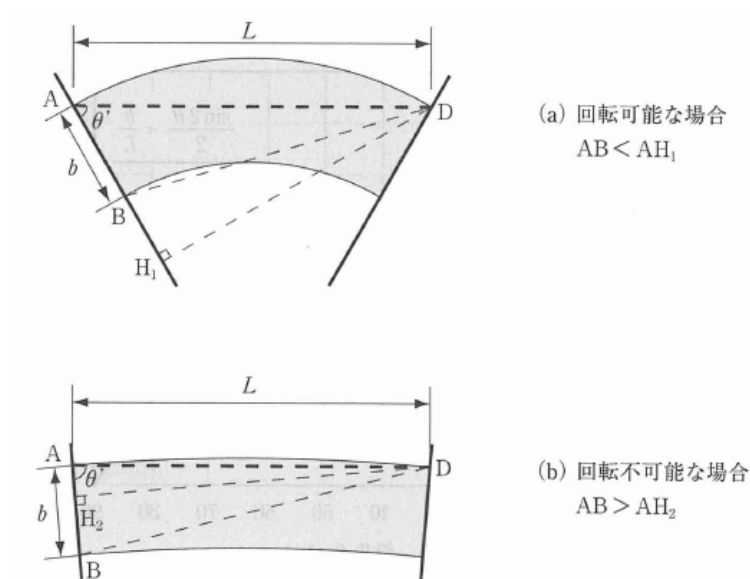


図-3.5.12 隣接する上部構造や橋台等の拘束の影響を受けずに曲線橋が回転できる条件

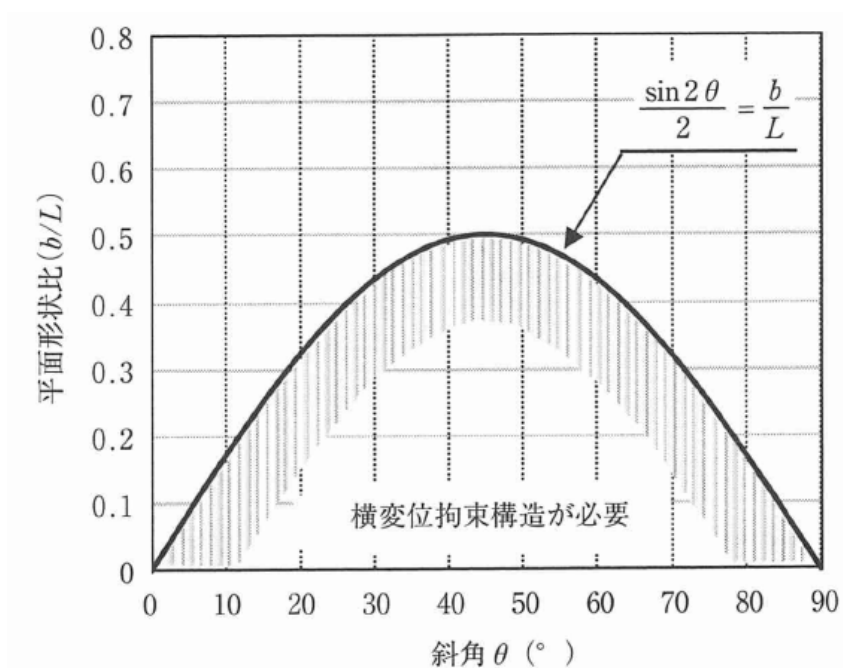


図-3.5.13 回転に対して上部構造が容易には落下しないための対策が必要な斜橋の条件

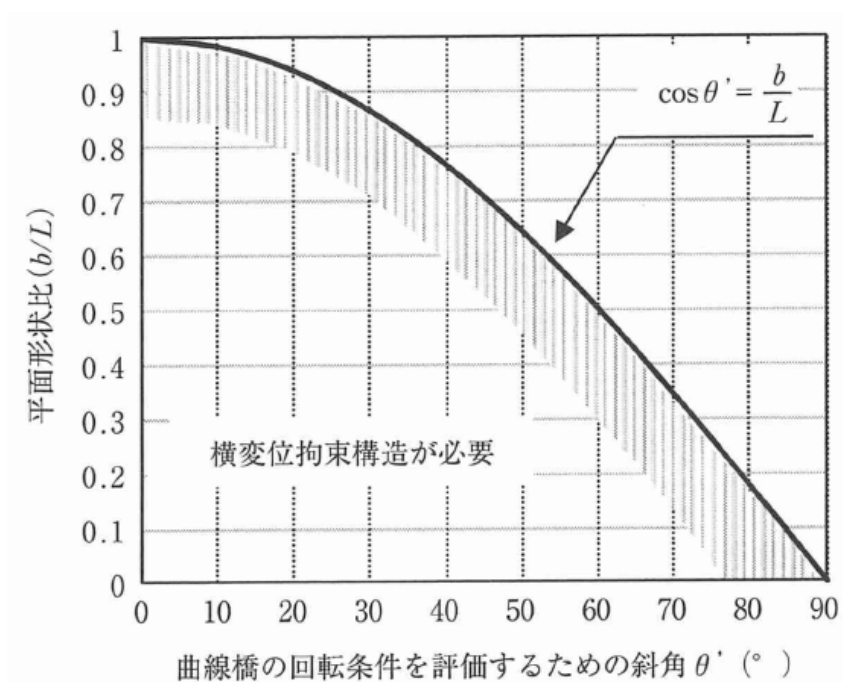


図-3.5.14 回転に対して上部構造が容易には落下しないための対策必要な曲線橋の条件

5.6.5 必要桁かかり長

(1) 必要桁かかり長は、道示V編 13.3.5 必要桁かかり長に基づいて算出するものとする。必要桁かかり長は、式 (3.5.16) により算出する値以上とする。ただし、この値が式 (3.5.17) により算出する値を下回る場合には、式 (3.5.17) により算出する値とする。

$$S_{ER} = U_R + U_G \geq S_{EM} \quad \dots\dots\dots \text{式(3.5.16)}$$

$$S_{EM} = 0.7 + 0.005 l \quad \dots\dots\dots \text{式(3.5.17)}$$

$$U_G = \varepsilon_G L \quad \dots\dots\dots \text{式(3.5.18)}$$

ここに、

- S_{ER} ; 必要桁かかり長 (m)
- U_R ; レベル2地震動を考慮する設計状況において生じる支承部の最大応答変形量 (m) で、地盤の流動化を考慮する場合には流動化した際の最大応答変形量をふくむ。ただし、道示V編 4.4 に定する地盤の流動力を考慮する場合で、流動力を作用させたときに生じる基礎天端における水平変位が基礎の降伏に達するときの水平変位を上回る場合には、さらに0.5mを加える。
- U_G ; 地震時の地盤ひずみによって生じる地盤の相対変位 (m)
- S_{EM} ; 必要桁かかり長の最小値 (m)
- ε_G ; 地震時地盤ひずみで、地盤種別がⅠ、Ⅱ、Ⅲ種に対して、それぞれ0.0025、0.00375、0.005とする。ここで、一連の上部構造が異なる地盤種別上に設置された下部構造により支持されている場合は、そのうち最も地震時地盤ひずみが大きい地盤種別の値を用いる。
- L ; 必要桁かかり長の算定に用いる下部構造間の距離 (m)
- l ; 支間長 (m) 1橋脚上に2つの上部構造の端部が支持され両側の桁の支間長が異なる場合には、いずれか大きい方の支間長を用いる。

(2) 回転方向に対する必要桁かかり長は、式 (13.3.19) により算出する値とする。ただし、一連の上部構造の両端部でそれぞれ算出する値が異なる場合には、いずれか長い方とする。

$$S_{E\theta R} = 2L_\theta \sin(\alpha_E/2) \cos(\alpha_E/2 - \theta) \quad \dots\dots\dots \text{式(3.5.19)}$$

ここに、

- $S_{E\theta R}$; 道示V編 13.3.4 (1) の条件に該当する橋の必要桁かかり長 (m)
- L_θ ; 上部構造の一連の長さ (m)
- θ ; 回転条件を評価するための角度 (°)
- α_E ; 限界脱落回転角 (°) で、一般に2.5°としてよい。

解

解説は道示V編 13.3.5 P.286～290による。

5.6.6 落橋防止構造

(1) 落橋防止構造に作用する水平力は、式 (3.5.20) により算出する。。

1) 上下部構造間で拘束する形式の落橋防止構造の場合

$$H_F = P_{LG}$$

ただし $H_F \leq 1.5R_d$

2) 2連の上部構造を相互に連結する形式の落橋防止構造の場合

$$H_F \leq 1.5R_d$$

ここに、

H_F ; 落橋防止構造に作用する水平力 (kN)

P_{LG} ; 当該支点を支持する下部構造が橋軸方向に発揮できる最大の水平耐力 (kN)

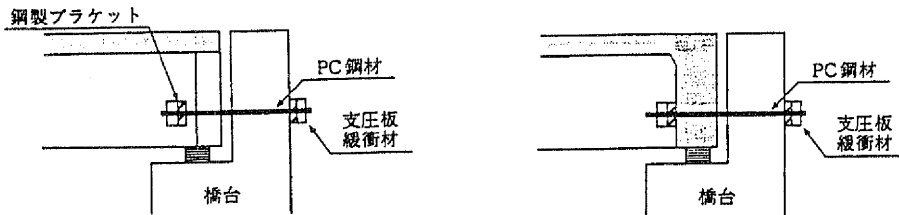
R_d ; 上部構造の死荷重により必要桁かかり長を確保する下部構造の支点部に生じる鉛直反力 (kN)。ただし、2連の上部構造を相互に連結する形式の落橋防止構造を用いる場合においては、いずれか大きい方の鉛直反力の値を用いる。

(2) 落橋防止構造の設計は桁かかり長を超えない範囲で必要な強度を発揮し、かつ、(1)の水平力に対して弾性域に留まるようにする。

解

解説は道示V編 13.3.6 P.291～293 による。

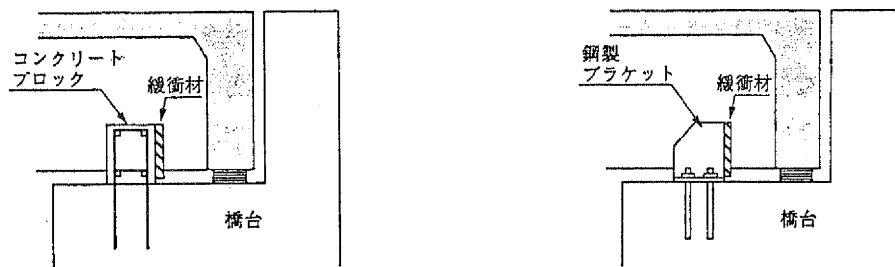
以下に、落橋防止構造の設置例を示す。



(a) 鋼上部構造の場合

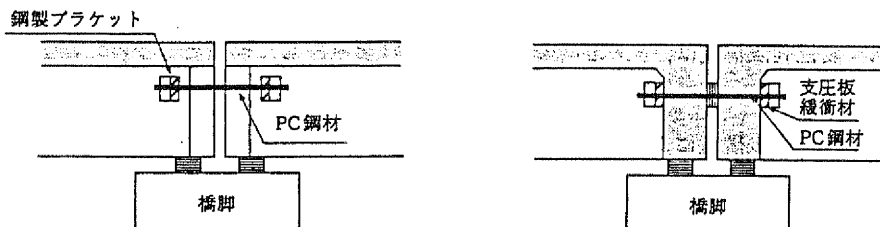
(b) コンクリート部構造の場合

図-3.5.15 上部構造と下部構造を連結する落橋防止構造の例



(a) コンクリートブロックを用いる落橋防止構造 (b) 鋼製ブラケットを用いる落橋防止構造

図-3.5.16 上部構造および下部構造に突起を設ける落橋防止構造の例



(a) 鋼上部構造の場合 (b) コンクリート上部構造の場合

図-3.5.17 2連の上部構造を相互に連結する落橋防止構造の例

5.6.7 横変位拘束構造

(1) 横変位拘束構造に作用する水平力は、式 (3.5.21) により算出する。

$$\left. \begin{array}{l} H_S = P_{TR} \\ \text{ただし } H_S \leq 3k_h R_d \end{array} \right\} \dots\dots\dots \text{式 (3.5.21)}$$

ここに、

H_S ; 横変位拘束構造に作用する水平力 (kN)

P_{TR} ; 当該支点を支持する下部構造が橋軸直角方向に発揮できる最大の水平耐力 (kN)

k_h ; レベル 1 地震動に相当する設計水平震度で、道示 V 4.1.6 の規定による。

R_d ; 上部構造の死荷重により必要桁かかり長を確保する下部構造の支点部に生じる鉛直反力 (kN)

(2) 横変位拘束構造の設計は、桁かかり長を超えない範囲で必要な強度を発揮し、かつ、(1) の水平力に対して弾性域に留まるようにする。

解

解説は道示 V 編 13.3.7 P.293 による。

5.6.8 落橋防止構造及び横変位拘束構造の構造設計上の配慮

落橋防止構造及び横変位拘束構造の構造及び配置は、以下の 1) から 4) に配慮しなければならない。

- 1) 落橋防止構造及び横変位拘束構造は、これらに作用する衝撃的な力をできるだけ緩和できる構造とする。
- 2) 設計で考慮する方向以外に上下部構造間の相対変位が生じた場合でも、橋軸方向、橋軸直角方向及び回転方向のシステムがそれぞれ働き、協働して上部構造が容易には落下しないようにそれぞれの方向のシステムの設計を行う。
- 3) 落橋防止構造及び横変位拘束構造並びにこれらの周辺にある構造の経年の劣化の影響に対して、点検及び修繕が困難となる箇所ができるだけ少ない構造及び配置とする。
- 4) 塵埃、滞水等による上下部接続部及び上下部構造の腐食等を生じさせにくい構造及び配置とする。

解

解説は道示 V 編 13.3.8 P.294～295 による。

5.6.9 落橋防止構造及び横変位拘束構造の設置の例外

- (1) 一連の上部構造を有する 3 径間以上の橋で、全ての下部構造上の支点が上部構造の橋面の水平投影面上にあり、以下の 1) 又は 2) に該当する場合は、道示V編 13.3.2 から道示V編 13.3.4 の規定のうち必要桁かかり長のみを確保する。ただし、回転方向に対する必要桁かかり長は、道示V編 13.3.5 (1) の規定により算出する。
- 1) 上下部接続部が 2 基以上の下部構造で剛結の場合
 - 2) 1 支承線上の支承数が 1 つである下部構造を除いた 4 基以上の下部構造において、橋軸方向に対して剛結、弾性支持若しくは固定支持又はこれらの併用からなる場合。ただし、橋軸方向に対してレベル2地震動を考慮する設計状況において生じる一連の上部構造の重量による慣性力のうち、その半分以上の慣性力を 1 支承線で分担していない場合に限る。
- (2) (1) の条件に該当しないラーメン橋又は一連の上部構造が 1 支承線上の支承数が 1 つである下部構造を除いた 4 基以上の下部構造で支持されている 3 径間以上の橋の場合で、道示V編 13.3.4 (1) の規定に該当するときは、以下の 1)から 3)による。
- 1) 橋軸方向に対しては、道示V編 13.3.2 の規定による。
 - 2) 橋軸直角方向に対しては、道示V編 13.3.3 の規定による。
 - 3) 回転方向に対しては、道示V編 13.3.4 (3) 1) 及び 2) 並びに道示V編 13.3.5 (1) に規定する必要桁かかり長を確保する。

解

解説は道示V編 13.3.8 P.295～296 による。