

第3章 耐震設計

1 耐震設計

1-1 適用

橋は、地震後における避難路や救助・医療・消火活動及び被災地への緊急物資の輸送路として、非常に重要な役割を担っている。このような橋の役割の重要性を踏まえ、橋の耐震設計では、設計地震動のレベルと橋の重要度に応じて、必要とされる耐震性能を確保することを基本とする。

本節の内容は「道示V（H24.3）」より抜粋したものである。

なお、本章に記載されていない内容については、下表の関係図書他による。

表1-1 関係図書

関係図書	発行年月	発行者
道路橋示方書・同解説 V耐震設計編	H24. 3	日本道路協会
道路橋示方書・同解説 V耐震設計編に関する参考資料	H27. 3	日本道路協会
平成8年度耐震設計ソフトウェアに関する研究委員会報告書	H 9. 3	土木研究センター
平成9・10年度耐震設計ソフトウェアに関する研究委員会報告書	H11. 3	土木研究センター
平成12年度 実務者の耐震設計入門	H12	土木学会
橋の動的耐震設計	H15. 3	土木学会
土木構造物の耐震設計入門	H13. 10	土木学会
最新耐震構造解析	H 9	柴田明德（森北出版）
新・地震動のスペクトル解析入門	H 6	大崎順彦（鹿島出版）
入門建設振動学	H 9	小坪清眞（森北出版）

道示V
(H24.3) P6

1-2 耐震設計の基本

1-2-1 耐震設計の基本

- (1) 橋の耐震設計は、設計地震動のレベルと橋の重要度に応じて、必要とされる耐震性能を確保することを目的として行う。
- (2) 耐震設計にあたっては、地形・地質・地盤条件、立地条件、津波に関する地域の防災計画等を考慮した上で構造を計画するとともに、橋を構成する各部材及び橋全体系が必要な耐震性を有するように配慮しなければならない。

道示V
(H24.3) P6

1-2-2 耐震設計一般

- (1) 橋の耐震設計においては、橋の供用期間中に発生する確率が高い地震動（以下「レベル1地震動」という。）と橋の供用期間中に発生する確率は低いが大きな強度をもつ地震動（以下「レベル2地震動」という。）の2段階のレベルの設計地震動を考慮するものとする。ここで、レベル2地震動としては、プレート境界型の大規模な地震を想定したタイプⅠの地震動及び内陸直下型地震を想定したタイプⅡの地震動の2種類を考慮するものとする。
- (2) 橋の重要度は、道路種別及び橋の機能・構造に応じて、重要度が標準的な橋と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つに区分するものとし、その区分は表1-4に規定する。
- (3) 橋の耐震性能は、橋全体系の挙動を踏まえ、以下のとおりとする。
 - ① 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
 - ② 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い行い得る性能
 - ③ 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
- (4) 橋の耐震設計においては、設計地震動のレベルと橋の重要度に応じて、以下のよう設計するものとする。
 - ① レベル1地震動に対しては、A種の橋、B種の橋ともに、耐震性能1を確保するように耐震設計を行う。
 - ② レベル2地震動に対しては、A種の橋は耐震性能3を、また、B種の橋は耐震性能2を確保するように耐震設計を行う。
- (5) 橋の複雑な地震応答や地盤の流動化に伴う地盤変位等が原因による支承部の破壊が生じた場合においても、上部構造が落下することを防止できるように配慮しなければならない。

道示V
(H24.3) P9

表 1-2 耐震性能の観点

橋の耐震性能	耐震設計上の安全性	耐震設計上の供用性	耐震設計上の修復性	
			短期的修復性	長期的修復性
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	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	軽微な修復でよい
耐震性能 2 : 地震による損傷が限定的なものに留まり、橋としての機能の回復が速やかに実行可能な性能	落橋に対する安全性を確保する	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	比較的容易に恒久復旧を行うことが可能である
耐震性能 3 地震による損傷が橋として致命的としない性能	落橋に対する安全性を確保する	—	—	—

道示 V
(H24.3) P11

表 1-3 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しない性能 (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実行可能な性能 (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)		

道示 V
(H24.3) P12

1-2-3 橋の重要度の区分

A種の橋ならびにB種の橋は、表 1-4 に示すように区分するものとする。

表 1-4 橋の重要度の区分

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，跨道橋及び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

道示 V
(H24.3) P13

なお、県道橋の新設橋における重要度区分については、「県道橋の重要度区分について（通知）：道路建設課長，道路維持課長，都市計画課長（H28.11.16）」によりB種を基本とするが、「図 1 新設橋における重要度区分」に基づき適切に判断すること。

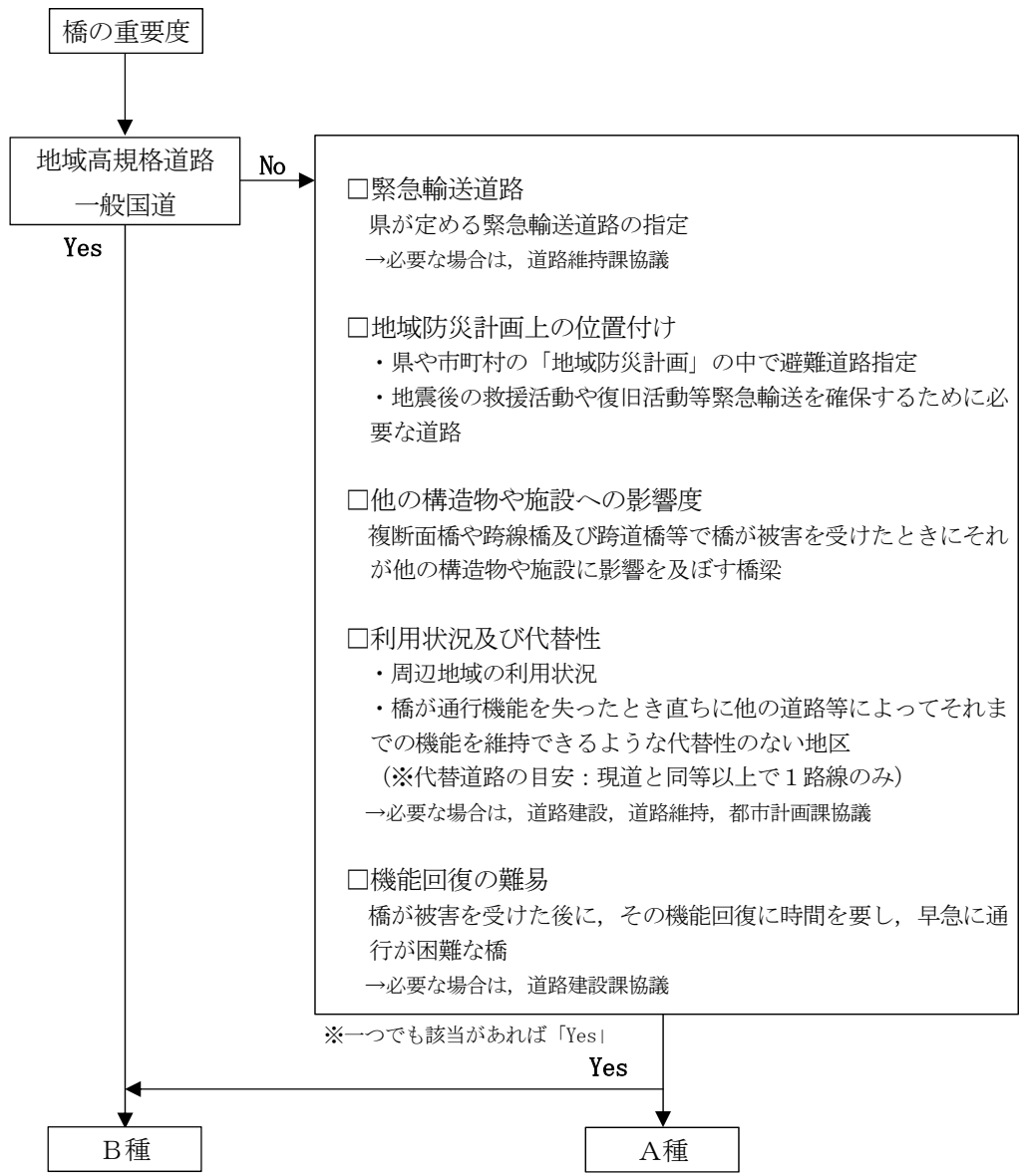


図1 新設橋における重要度区分

1-2-4 設計地震動と設計照査の関連

表1-5 設計地震動と設計照査の関連

地震動レベル		再来期間	地震動の定義
レベル1 地震動		100年オーダー (構造物の供用期間内に1~2度発生する確率)	許容応力度設計など従来型設計に用いられる地震動で、原則としてそれが作用しても構造物が損傷しないことを照査するために用いる地震動
レベル2 地震動	タイプI	1000年オーダー	きわめて希であるが非常に強い地震動を定式化したもので、構造物が損傷を受けることを考慮してその損傷過程にまで立ち入って構造物の耐震性能を照査するために用いる地震動
	タイプII		

土木学会耐震基準等に関する提言集抜粋

2 設計地震動

2-1 一般

レベル1地震動及びレベル2地震動は、それぞれ、道示V4.2及び道示V4.3の規定により設定するものとする。

道示V
(H24.3) P16~18

(1) レベル1地震動

レベル1地震動の加速度応答スペクトルは以下の式(2-1)により算出する。

$$S = c_z c_D S_0$$

ここに、

S : レベル1地震動の加速度応答スペクトル (1gal 単位に丸める)

c_z : 地域別補正係数

c_D : 減衰定数別補正係数であり、減衰定数 h に応じて以下により算出する。

$$C_D = \frac{1.5}{40h + 1} + 0.5 \quad \dots \dots \text{式 (2-1)}$$

S_0 : 図2-1に示すレベル1地震時の標準加速度応答スペクトル(gal)

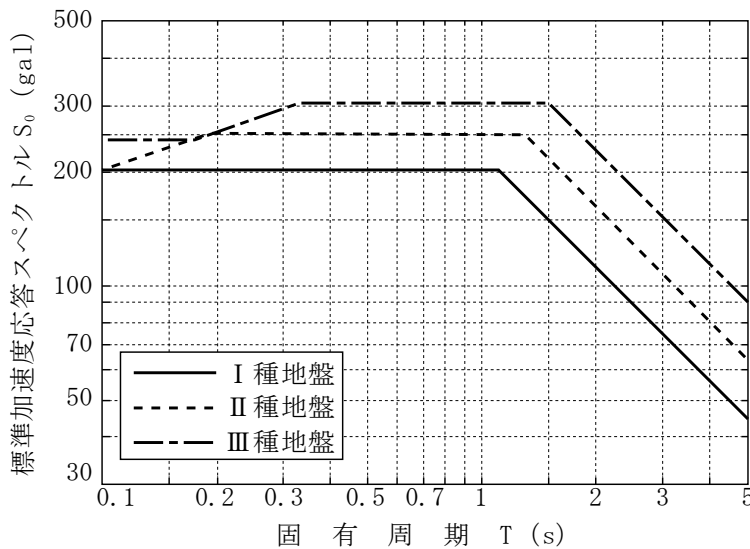


図2-1 レベル1地震動の標準加速度応答スペクトル S_0

(2) レベル2地震動

レベル2地震動の加速度応答スペクトルは以下の式により算出する。

$$S_I = c_{IZ} c_D S_{I0} \quad \dots \dots \text{式 (2-2)}$$

$$S_{II} = c_{IIZ} c_D S_{II0} \quad \dots \dots \text{式 (2-3)}$$

ここに、

S_I : タイプI地震動の加速度応答スペクトル (1gal 単位に丸める)

S_{II} : タイプII地震動の加速度応答スペクトル (1gal 単位に丸める)

c_{IZ} : タイプI地震動の地域別補正係数

c_{IIZ} : タイプII地震動の地域別補正係数

c_D : 減衰定数別補正係数であり、減衰定数 h に応じて式(2-1)により算出

S_{I0} : 図2-2に示すタイプIの地震時の標準加速度応答スペクトル(gal)

S_{II0} : 図2-3に示すタイプIIの地震時の標準加速度応答スペクトル(gal)

道示V
(H24.3) P19~22

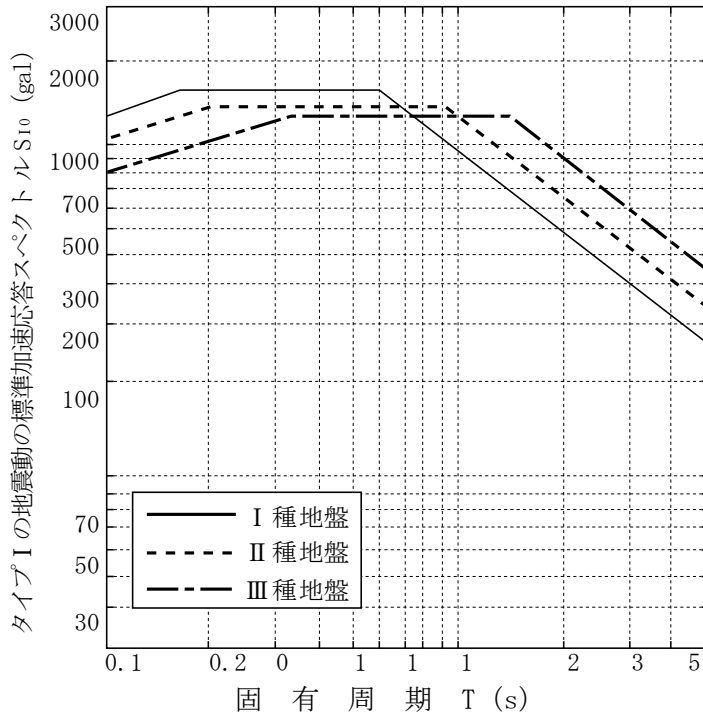


図2-2 タイプI地震動の標準加速度応答スペクトル S_{10}

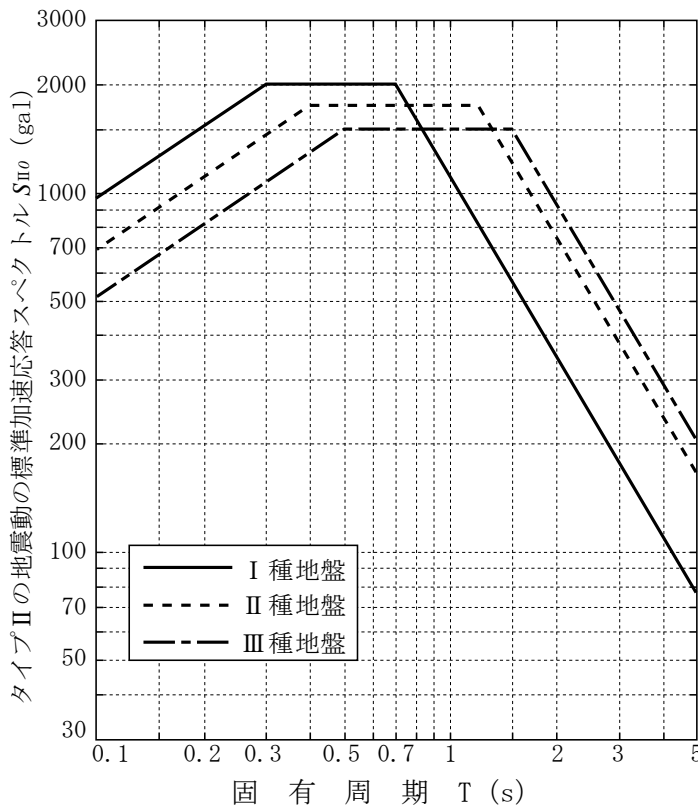


図2-3 タイプII地震動の標準加速度応答スペクトル S_{10}

2-2 レベル1地震動

レベル1地震動は、表2-1に規定する加速度応答スペクトルに基づいて設定しなければならない。

道示V
(H24.3) P17

表2-1 レベル1地震動の標準加速度応答スペクトル S_0

地盤種別	固有周期T (s)に対する S_0 (gal)		
I種	$T < 0.1$ $S_0 = 431T^{1/3}$ ただし、 $S_0 \geq 160$	$0.1 \leq T \leq 1.1$ $S_0 = 200$	$1.1 < T$ $S_0 = 220/T$
II種	$T < 0.2$ $S_0 = 427T^{1/3}$ ただし、 $S_0 \geq 200$	$0.2 \leq T \leq 1.3$ $S_0 = 250$	$1.3 < T$ $S_0 = 325/T$
III種	$T < 0.34$ $S_0 = 430T^{1/3}$ ただし、 $S_0 \geq 240$	$0.34 \leq T \leq 1.5$ $S_0 = 300$	$1.5 < T$ $S_0 = 450/T$

2-3 レベル2地震動

レベル2地震動は、表2-2、3に規定する加速度応答スペクトルに基づいて設定しなければならない。

道示V
(H24.3) P22

表2-2 タイプIの地震動の標準加速度応答スペクトル S_{I0}

地盤種別	固有周期T (s)に対する S_{I0} (gal)		
I種	$T < 0.16$ $S_{I0} = 2,579T^{1/3}$	$0.16 \leq T \leq 0.6$ $S_{I0} = 1,400$	$0.6 < T$ $S_{I0} = 840/T$
II種	$T < 0.22$ $S_{I0} = 2,153T^{1/3}$	$0.16 \leq T \leq 0.6$ $S_{I0} = 1,300$	$0.9 < T$ $S_{I0} = 1,170/T$
III種	$T < 0.34$ $S_{I0} = 1,719T^{1/3}$	$0.16 \leq T \leq 0.6$ $S_{I0} = 1,200$	$1.4 < T$ $S_{I0} = 1,680/T$

表2-3 タイプIIの地震動の標準加速度応答スペクトル S_{II0}

地盤種別	固有周期T (s)に対する S_{II0} (gal)		
I種	$T < 0.3$ $S_{II0} = 4,463T^{1/3}$	$0.3 \leq T \leq 0.7$ $S_{II0} = 2,000$	$0.7 < T$ $S_{II0} = 1,104/T^{5/3}$
II種	$T < 0.4$ $S_{II0} = 3,224T^{1/3}$	$0.4 \leq T \leq 1.2$ $S_{II0} = 1,750$	$0.9 < T$ $S_{II0} = 2,371/T^{5/3}$
III種	$T < 0.5$ $S_{II0} = 2,381T^{1/3}$	$0.5 \leq T \leq 1.5$ $S_{II0} = 1,500$	$1.5 < T$ $S_{II0} = 2,948/T^{5/3}$

2-4 地域別補正係数

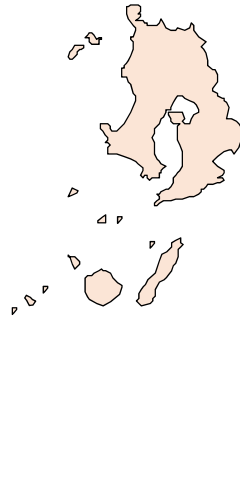
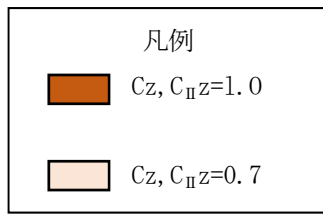
レベル1地震動の地域別補正係数 c_z 、レベル2地震動(タイプI)の地域別補正係数 c_{Iz} 及びレベル2地震動(タイプII)の地域別補正係数 c_{IIz} は、表2-4に示す地域区分に応じた値とする。ただし、架橋地点が地域区分の境界線上にある場合においては、係数の大きい方を用いなければならない。

道示V
(H24.3) P23

表 2-4 地域別補正係数と地域区分

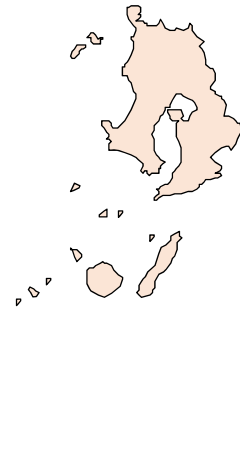
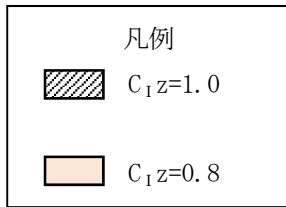
地域区分	地域別補正係数			対象地域
	Cz	Clz	C _{IIz}	
A1	1.0	1.2	1.0	千葉県のうち館山市、木更津市、勝浦市、鴨川市、君津市、富津市、南房総市、夷隅郡、安房郡 神奈川県 山梨県のうち富士吉田市、都留市、大月市、上野原市、西八代郡、南巨摩郡、南都留郡 静岡県 愛知県のうち名古屋市、豊橋市、半田市、豊川市、津島市、刈谷市、西尾市、蒲郡市、常滑市、稲沢市、新城市、東海市、大府市、知多市、豊明市、田原市、愛西市、清須市、弥富市、あま市、海部郡、知多郡、額田郡、北設楽郡のうち東栄町 三重県（津市、松阪市、名張市、亀山市、いなべ市、伊賀市、三重郡菟野町を除く。） 和歌山県のうち新宮市、西牟婁郡、東牟婁郡 徳島県のうち那賀郡、海部郡
A2	1.0	1.0	1.0	A1, B1, B2, C 地域以外の地域
B1	0.85	1.2	0.85	愛媛県のうち宇和島市、北宇和郡、南宇和郡 高知県(B2地域に掲げる地域を除く。) 宮崎県のうち延岡市、日向市、児湯郡（西米良村及び木城町を除く。）、東臼杵郡のうち門川町
B2	0.85	1.0	0.85	北海道のうち札幌市、函館市、小樽市、室蘭市、北見市、夕張市、岩見沢市、網走市、苫小牧市、美瑛市、芦別市、江別市、赤平市、三笠市、千歳市、滝川市、砂川市、歌志内市、深川市、富良野市、登別市、恵庭市、伊達市、北広島市、石狩市、北斗市、石狩郡、松前郡、上磯郡、亀田郡、芽部郡、二世郡、山越郡、檜山郡、爾志郡、奥尻郡、瀬棚郡、久遠郡、島牧郡、寿都郡、磯谷郡、虻田郡、岩内郡、古宇郡、積丹郡、古平郡、余市郡、空知郡、夕張郡、樺戸郡、雨竜郡、上川郡（上川総合振興局）のうち東神楽町、上川町、東川町及び美瑛町、勇払郡、網走郡、斜里郡、常呂郡、有珠郡、白老郡 青森県のうち青森市、弘前市、黒石市、五所川原市、むつ市、つがる市、平川市、東津軽郡、西津軽郡、中津軽郡、南津軽郡、北津軽郡、下北郡 秋田県、山形県 福島県のうち会津若松市、郡山市、白河市、須賀川市、喜多方市、岩瀬郡、南会津郡、耶麻郡、河沼郡、大沼郡、西白河郡 新潟県 富山県のうち魚津市、滑川市、黒部市、下新川郡 石川県のうち輪島市、珠洲市、鳳珠郡 鳥取県のうち米子市、倉吉市、境港市、東伯郡、西伯郡、日野郡 島根県、岡山県、広島県 徳島県のうち美馬市、三好市、美馬郡、三好郡 香川県のうち高松市、丸亀市、坂出市、善通寺市、観音寺市、三豊市、小豆郡、香川郡、綾歌郡、仲多度郡 愛媛県(B1 地域に掲げる地域を除く。) 高知県のうち長岡郡、土佐郡、吾川郡（いの町のうち旧伊野町の地区を除く。) 熊本県(C 地域に掲げる地域を除く。) 大分県(C 地域に掲げる地域を除く。) 宮崎県(B1 地域に掲げる地域を除く。)
C	0.7	0.8	0.7	北海道のうち旭川市、留萌市、稚内市、紋別市、士別市、名寄市、上川郡（上川総合振興局）のうち鷹栖町、当麻町、比布町、愛別町、和寒町、剣淵町及び下川町、中川郡（上川総合振興局）、増毛郡、留萌郡、苫前郡、天塩郡、宗谷郡、枝幸郡、礼文郡、利尻郡、紋別郡 山口県、福岡県、佐賀県、長崎県 熊本県のうち荒尾市、水俣市、玉名市、山鹿市、宇土市、上天草市、天草市、玉名郡、葦北郡、天草郡 大分県のうち中津市、豊後高田市、杵築市、宇佐市、国東市、東国東郡、速見郡 鹿児島県（奄美市及び大島郡を除く。) 沖縄県

道示V
(H24.3) P23~24



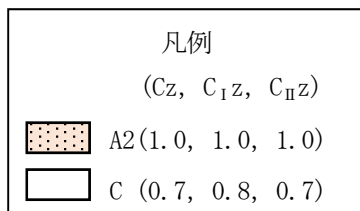
道示V
(H24.3) P26~27

図2-4 レベル1地震動及びレベル2地震動(タイプII)の地域別補正係数



道示V
(H24.3) P28~29

図2-5 レベル2地震動(タイプI)の地域別補正係数



道示V
(H24.3) P30~31

図2-6 道示V表-4.4.1に示す地域別補正係数

2-5 耐震設計上の地盤種別

耐震設計上の地盤種別は、以下の式(2-4)により算出する地盤の基本固有周期 T_G をもとに、表2-5により区別する。地表面が耐震設計上の基盤面と一致する場合にはI種地盤とする。

$$T_G = 4 \sum_{i=1}^n \frac{H_i}{V_{si}} \dots \dots \dots \text{式(2-4)}$$

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

耐震設計上の地盤種別は、設計地震動を設定する際に、地盤条件の影響を考慮するために規定している。

耐震設計上の地盤種別の概略の目安は以下のとおりである。

- (1) I種地盤：良好な洪積地盤及び岩盤
- (2) II種地盤：I種地盤及びIII種地盤のいずれにも属さない洪積地盤及び沖積地盤
- (3) III種地盤：沖積地盤のうち軟弱地盤

平均せん断弾性波速度 V_{si} は、弾性波探査やPS検層によって推定するのが望ましいが、実測値がない場合はN値から推定してもよい。この場合のN値は各層の平均的なN値で代表し、むやみに計算を煩雑にする必要はない。

【粘性土層の場合】

$$V_{si} = 100N_i^{1/3} \quad (1 \leq N_i \leq 25) \dots \dots \dots \text{式(2-5)}$$

【砂質土層の場合】

$$V_{si} = 80N_i^{1/3} \quad (1 \leq N_i \leq 50) \dots \dots \dots \text{式(2-6)}$$

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

なお、N値が0の場合は $V_{si} = 50\text{m/s}$ としてよい。

表2-5 耐震設計上の地盤種別

地盤種別	地盤の基本固有周期 T_G (s)
I種	$T_G < 0.2$
II種	$0.2 \leq T_G < 0.6$
III種	$0.6 \leq T_G$

一般には、盛土等、地表面が平坦でなく、図2-7(a)に示すように盛土内にフーチングを設ける場合には、盛土の天端を地表面とみなして式(2.3.2.2)により地盤の固有周期を求める。図2-7(b)に示すようにフーチングを盛土下の地盤内に設ける場合には周辺の平均的な地表を地盤面とみなして地盤の固有周期を求める。

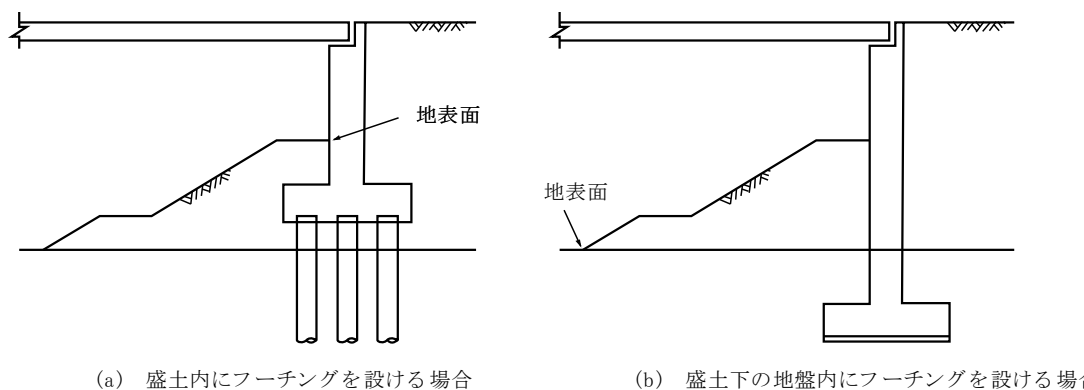


図 2-7 盛土等における地表面の取り方

2-6 耐震設計上の地盤面

耐震設計上の地盤面は、常時における設計上の地盤面とする。ただし、フーチングを有する基礎において、常時における設計上の地盤面がフーチング下面より上方にある場合には、耐震設計上の地盤面はフーチング下面とする。また、地震時に地盤反力が期待できない土層がある場合においては、その影響を考慮して適切に耐震設計上の地盤面を設定するものとする。

耐震設計上の地盤面とは、構造物や土の重量に起因する慣性力を、その上面では考慮し、その下面では考慮しないと定めた地盤面であり、「2-1 一般」に規定する設計地震動の入力位置である。

耐震設計上の地盤面は、図 2-8 及び図 2-9 に示すとおり、道示IV9.5 に規定する常時における設計上の地盤面としているが、地震時に地盤反力が期待できない土層がある場合には、その影響を考慮して適切に耐震設計上の地盤面を設定する必要がある。

ここで、地震時に地盤反力が期待できない土層とは、ごく軟弱な土層、又は液状化する土層で道示V8.2.4の規定により耐震設計上の土質定数を零とする土層である。そのような土層がある場合には、耐震設計上の地盤面はその層の下面に設定する。

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、図 2-10 に示すように、耐震設計上の地盤面は少なくとも層厚が 3 m 以上の地盤反力が期待できる土層の上面としてよい。

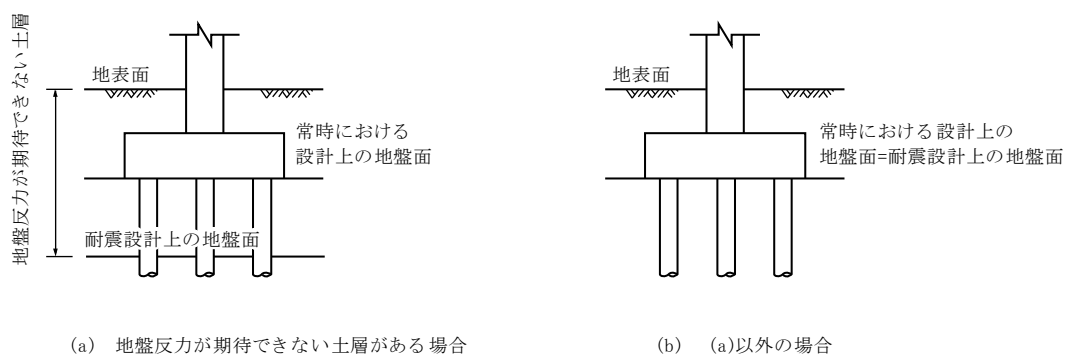


図 2-8 橋脚における耐震設計上の地盤面

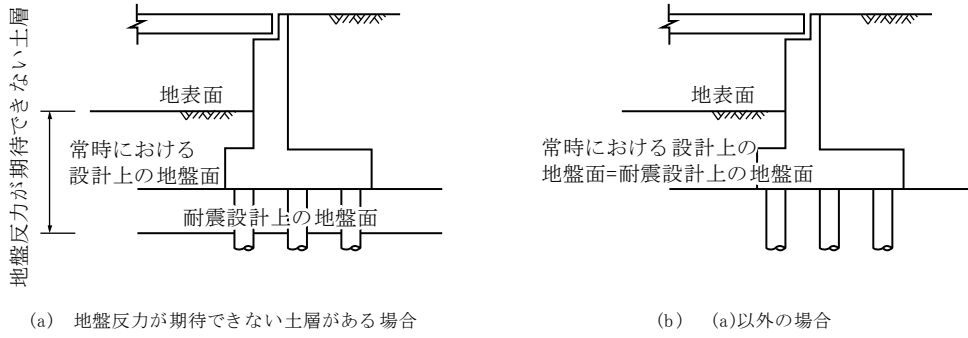


図 2-9 橋台における耐震設計上の地盤面

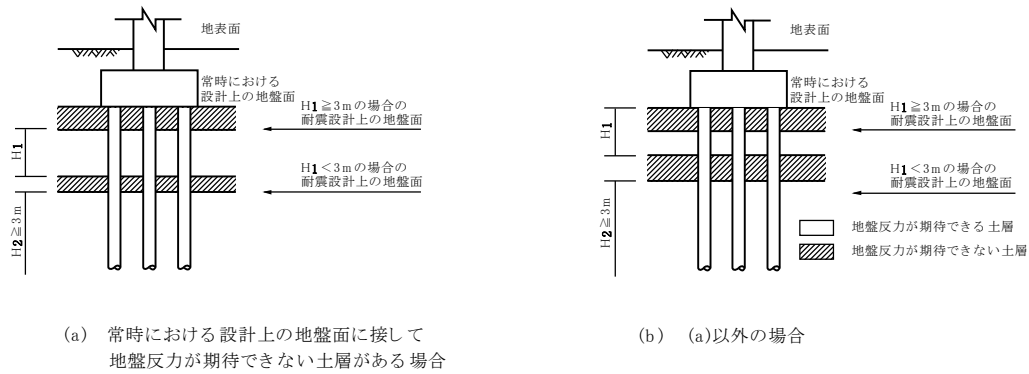


図 2-10 地盤反力が期待できない土層が互層状態で存在する場合の耐震設計上の地盤面

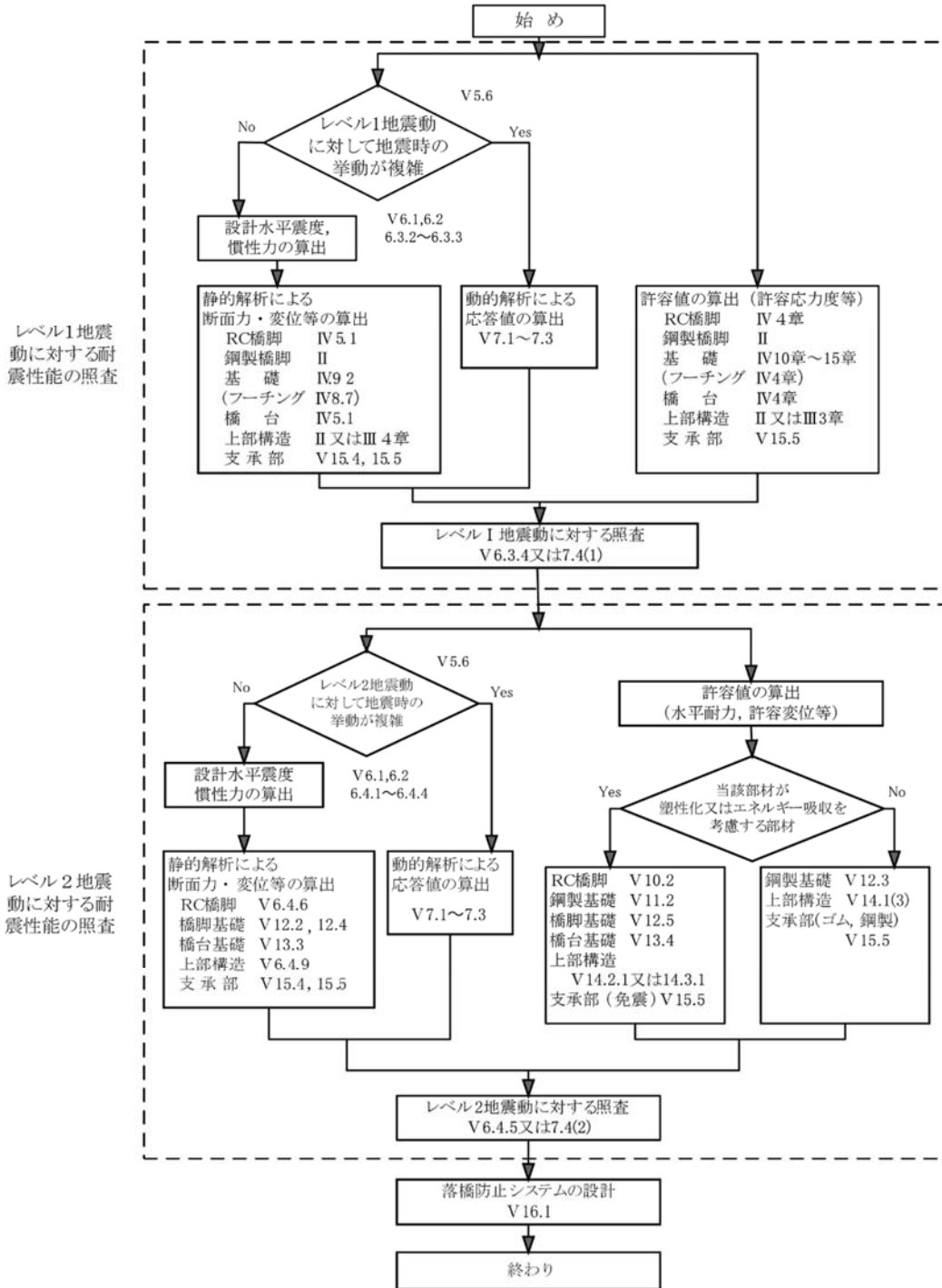
3 耐震性能の照査

3-1 一般

- (1) 耐震性能の照査にあたっては、道示V5.2から道示V5.4までに規定する橋の限界状態に基づき、各部材の限界状態を適切に設定するものとする。
- (2) 橋を構成する部材のうち、地震の影響を支配的に受ける部材には、道示V5.5の規定を満たす部材を用いなければならない。
- (3) 耐震性能の照査は、設計地震動によって生じる各部材の状態が、(1)の規定により設定した当該部材の限界状態を超えないことを照査することにより行わなければならない。耐震性能の照査方法は道示V5.6の規定による。
- (4) 道示V2.2(5)に規定する上部構造の落下を防止するための配慮については、道示V5.7の規定による。

道示V
(H24.3) P36

3-2 耐震設計の流れ



道示 V
(H24.3) P37

図 3-1 耐震設計の流れと関連する主な条文の規定箇所

3-3 各耐震性能に対する橋の限界状態

3-3-1 耐震性能1に対する橋の限界状態

耐震性能1に対する橋の限界状態は、地震によって橋全体系としての力学特性が弾性域を超えない範囲内で適切に定めるものとする。

耐震性能1に対する橋の限界状態は、地震後において地震前と同じ橋としての機能が確保でき、かつ各部材に生じる損傷の修復が軽微な程度に抑えることができるように適切に定めることを規定している。

一般的な橋においては、耐震性能1に対する各部材の限界状態は力学的特性が弾性域を超えない限界の状態を設定すればよい。

なお、上部構造端部に取り付ける伸縮装置については、損傷が生じない限界の状態を限界状態として設定すればよい。

道示V
(H24.3) P38

3-3-2 耐震性能2に対する橋の限界状態

- (1) 耐震性能2に対する橋の限界状態は、塑性化を考慮した部材にのみ塑性変形が生じ、その塑性変形が当該部材の修復が容易に行い得る範囲内で適切に定めなければならない。

耐震性能2に対する橋の限界状態は、橋としての機能の回復を速やかに行えるようにするために、塑性化を考慮した部材と塑性化させない部材を明確に区別し、地震時においては、塑性化を考慮した部材にのみ塑性化が生じるようにした上で、生じる損傷が修復を容易に行い得る程度のもので抑えられるように定めている。

- (2) 塑性化を考慮する部材としては、確実にエネルギー吸収を図ることができ、かつ速やかに修復を行うことが可能な部材を選定しなければならない。

一般的な橋において、塑性化により確実にエネルギー吸収を図ることができ、損傷の発見が容易であり、かつその修復が速やかに行える部材としては、主として柱基部で曲げによる塑性化が生じる橋脚が該当する。ただし、大水深のダム湖に建設される橋脚等の場合、修復困難な制約条件を踏まえて限界状態を適切に設定する必要がある。

- (3) 橋の構造特性を踏まえ、塑性化を考慮する部材を適切に組合せるとともに、その組合せに応じて、各部材の限界状態を適切に設定するものとしなければならない。

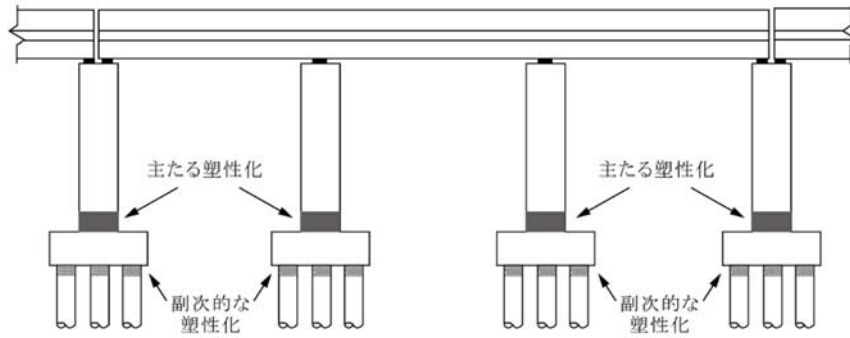
一般的な橋において、橋全体系として耐震性能2を確保するために塑性化又はエネルギー吸収を考慮する部材の組合せ方と、その組合せに対する各部材の限界状態の設定例を表3-1に示す。

道示V
(H24.3) P38

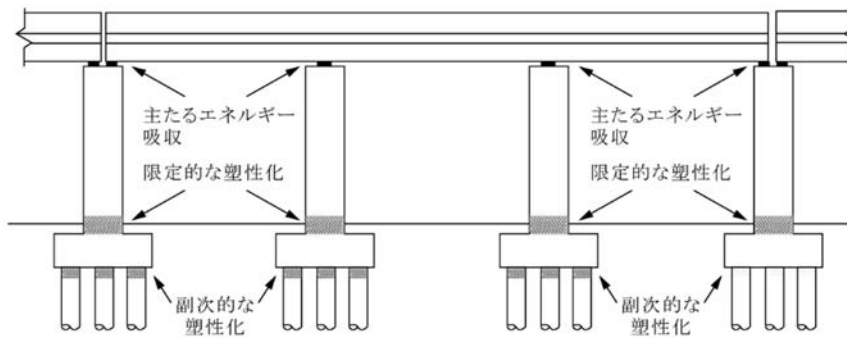
表 3-1 一般的な橋に対する塑性化又はエネルギー吸収を考慮する部材の組合せの例と各部材の限界状態（耐震性能2）

塑性化又はエネルギー吸収を考慮する部材 各部材の限界状態	橋脚	橋脚 (上部構造に副次的な塑性化を考慮する場合)	基礎	免震支承と橋脚
橋脚	損傷の修復を容易に行い得る限界の状態	損傷の修復を容易に行い得る限界の状態	力学的特性が弾性域を超えない限界の状態	限定的な塑性化に留まる限界の状態
橋台	力学的特性が弾性域を超えない限界の状態	力学的特性が弾性域を超えない限界の状態	力学的特性が弾性域を超えない限界の状態	力学的特性が弾性域を超えない限界の状態
支承部	力学的特性が弾性域を超えない限界の状態	力学的特性が弾性域を超えない限界の状態	力学的特性が弾性域を超えない限界の状態	免震支承によるエネルギー吸収が確保できる限界の状態
上部構造	力学的特性が弾性域を超えない限界の状態	副次的な塑性化に溜まる限界の状態	力学的特性が弾性域を超えない限界の状態	力学的特性が弾性域を超えない限界の状態
基礎	副次的な塑性化に溜まる限界の状態	副次的な塑性化に溜まる限界の状態	速やかな機能回復に支障となるような変形や損傷が生じない限界の状態	副次的な塑性化に溜まる限界の状態
	フーチング	力学的特性が弾性域を超えない限界の状態	力学的特性が弾性域を超えない限界の状態	力学的特性が弾性域を超えない限界の状態
適用する橋の例	免震橋以外の一般的な桁橋等	ラーメン橋	橋脚躯体が設計地震力に対して十分な耐力を有している場合や液状化の影響のあるようなやむを得ない場合	免震橋

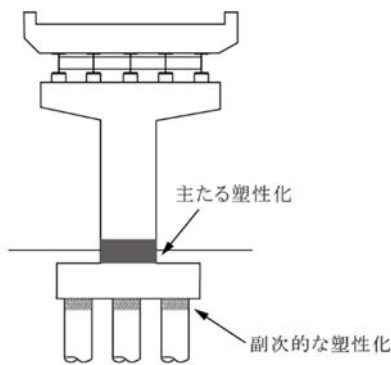
道示V
(H24.3) P43



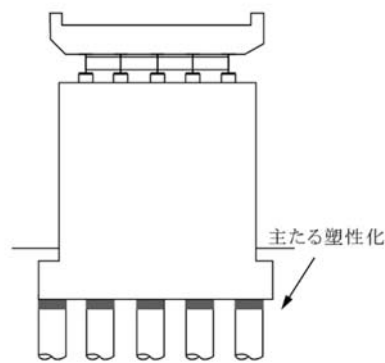
(a) 単柱橋脚に塑性化を考慮する場合(橋軸方向)



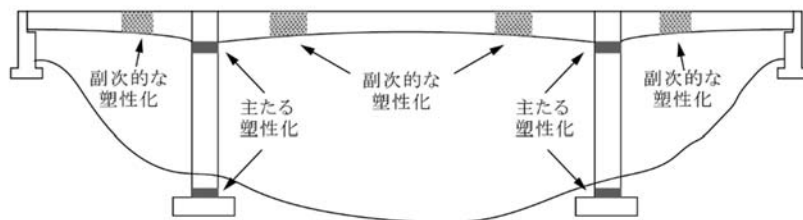
(b) 免震支承にエネルギー吸収を考慮する場合(免震橋, 橋軸方向)



(c) 単柱橋脚に塑性化を考慮する場合
(橋軸方向)



(d) 基礎に塑性化を考慮する場合
(壁式橋脚, 橋軸直角方向)



(e) 橋脚に塑性化を, 上部構造に副次的な塑性化を考慮する場合
(ラーメン橋の橋軸方向の場合)

図3-2 塑性化又はエネルギー吸収を考慮する部材の組合せの例

3-3-3 耐震性能3に対する橋の限界状態

(1) 耐震性能3に対する橋の限界状態は、塑性化を考慮した部材にのみ塑性変形が生じ、その塑性変形が当該部材の保有する塑性変形性能を超えない範囲内で適切に定めなければならない。

耐震性能3に対する橋の限界状態は、地震による損傷が橋として致命的とならないようにするため、塑性化を考慮する部材と塑性化させない部材を明確に区別し、地震時においては、塑性化を考慮する部材にのみ確実に塑性化が生じるようにした上で、その塑性変形は当該部材が保有する塑性変形性能を超えない範囲で適切に定めることとしている。

(2) 塑性化を考慮する部材としては、確実にエネルギー吸収を図ることができる部材を選定しなければならない。

一般的な橋において、橋全体系として耐震性能3を確保するために設定する各部材の限界状態の組合せの例とその組合せに対する各部材の限界状態の設定例を表3-2に示す。

表3-2 一般的な橋に対する塑性化（非線形性）を考慮する部材の組合せの例と各部材の限界状態（耐震性能3）

各部材の限界状態	塑性化又はエネルギー吸収を考慮する部材		橋脚		基礎		免震支承と橋脚	
	橋脚	橋台	橋脚	橋台	基礎	免震支承	橋脚	橋脚
橋脚	橋脚の水平耐力を保持できる限界の状態	力学的特性が弾性域を超えない限界の状態	橋脚の水平耐力を保持できる限界の状態	力学的特性が弾性域を超えない限界の状態	力学的特性が弾性域を超えない限界の状態	力学的特性が弾性域を超えない限界の状態	力学的特性が弾性域を超えない限界の状態	力学的特性が弾性域を超えない限界の状態
橋台	力学的特性が弾性域を超えない限界の状態	力学的特性が弾性域を超えない限界の状態	力学的特性が弾性域を超えない限界の状態	力学的特性が弾性域を超えない限界の状態	力学的特性が弾性域を超えない限界の状態	力学的特性が弾性域を超えない限界の状態	力学的特性が弾性域を超えない限界の状態	力学的特性が弾性域を超えない限界の状態
支承部	力学的特性が弾性域を超えない限界の状態	力学的特性が弾性域を超えない限界の状態	力学的特性が弾性域を超えない限界の状態	力学的特性が弾性域を超えない限界の状態	力学的特性が弾性域を超えない限界の状態	力学的特性が弾性域を超えない限界の状態	力学的特性が弾性域を超えない限界の状態	免震支承によるエネルギー吸収が確保できる限界の状態
上部構造	力学的特性が弾性域を超えない限界の状態	力学的特性が弾性域を超えない限界の状態	副次的な塑性化に留まる限界の状態	副次的な塑性化に留まる限界の状態	力学的特性が弾性域を超えない限界の状態	力学的特性が弾性域を超えない限界の状態	力学的特性が弾性域を超えない限界の状態	力学的特性が弾性域を超えない限界の状態
基礎	副次的な塑性化に留まる限界の状態	副次的な塑性化に留まる限界の状態	副次的な塑性化に留まる限界の状態	副次的な塑性化に留まる限界の状態	速やかな機能回復に支障となるような変形や損傷が生じない限界の状態	速やかな機能回復に支障となるような変形や損傷が生じない限界の状態	速やかな機能回復に支障となるような変形や損傷が生じない限界の状態	副次的な塑性化に留まる限界の状態
	フーチング	力学的特性が弾性域を超えない限界の状態	力学的特性が弾性域を超えない限界の状態	力学的特性が弾性域を超えない限界の状態	力学的特性が弾性域を超えない限界の状態	力学的特性が弾性域を超えない限界の状態	力学的特性が弾性域を超えない限界の状態	力学的特性が弾性域を超えない限界の状態
適用する橋の例	免震橋以外の一般的な桁橋等	免震橋以外の一般的な桁橋等	ラーメン橋	ラーメン橋	橋脚躯体が設計地震力に対して十分な耐力を有している場合や液状化の影響のあるようなやむを得ない場合	橋脚躯体が設計地震力に対して十分な耐力を有している場合や液状化の影響のあるようなやむを得ない場合	橋脚躯体が設計地震力に対して十分な耐力を有している場合や液状化の影響のあるようなやむを得ない場合	免震橋

(3) 橋の構造特性を踏まえ、塑性化又はエネルギー吸収を考慮する部材を適切に組み合わせるとともに、その組み合わせに応じて、各部材の限界状態を適切に設定しなければならない。

道示V
(H24.3) P46

道示V
(H24.3) P48

3-4 耐震性能の照査方法

橋の耐震性能の照査方法としては大きく分けて静的照査法と動的照査法の2つがある。

道示V
(H24.3) P50

(1) 耐震性能の照査は、設計地震動、橋の構造形式とその限界状態に応じて、適切な方法に基づいて行わなければならない。

静的照査法は、地震の影響によって構造物や地盤に生じる作用を静的な荷重に置き換えて応答値を解析するため、比較的簡便に地震時の挙動を推定することができる。しかしながら、静的荷重へのモデル化や地震時挙動の推定方法等については適用条件があり、全ての橋梁形式や構造条件に対して適用できるものではない。

(2) 地震時の挙動が複雑ではない橋に対しては、道示V 6章に規定する静的照査法により耐震性能の照査を行えば、(1)を満足するとみなしてよい。地震時の挙動が複雑な橋に対しては、道示V 7章に規定する動的照査法により照査を行えば、(1)を満足するとみなしてよい。

動的照査法は、地震時の挙動を動学的に解析するため、橋の地震応答特性については、静的照査法よりも精度よく推定することができ、また構造形式等による適用条件も少なく汎用性は高い。しかし、解析モデルの設定方法等が解析結果に重要な影響を及ぼすこともあり、求められた結果の妥当性の評価や解析結果の耐震設計への反映方法等については、動的照査法に関する適切な知識と技術が必要となる。

地震時の挙動が複雑な橋とは、静的照査法では地震時の挙動を十分表すことができない橋、又、静的照査法の適用性が限定される橋を指し、一般には以下に示す場合がある。

- ① 橋の応答に主たる影響を与える固有振動モードの形状が静的照査法で考慮する1次の固有振動モードの形状と著しく異なる場合
- ② 橋の応答に主たる影響を与える固有振動モードが2種類以上ある場合
- ③ レベル2地震動に対する耐震性能の照査において、塑性化が複数箇所に生じる可能性がある場合又は複雑な構造で塑性化がどこに生じるかはっきりしない場合
- ④ レベル2地震動に対する耐震性能の照査において、構造部材や橋全体系の非線形履歴特性に基づくエネルギー一定則の適用性が十分検討されていない場合
上記の基本的な考え方に基づき、地震時の挙動が複雑な橋に対する耐震性能の照査において、動的照査法を適用する対象橋梁に関する具体例を示すと次のとおりである。

ア 固有周期の長い橋（一般に、固有周期 1.5 秒程度以上）又は、橋脚高さが高い橋（一般に、30m程度以上）

イ 弾性支承を用いた地震時水平力分散構造を有する橋

ウ 免震橋

エ ラーメン橋

オ 鋼製橋脚に支持される橋

カ 斜張橋、吊橋等のケーブル系の橋

キ アーチ橋

ク トラス橋

ケ 曲線橋

表 3-3 地震時の挙動の複雑さと耐震性能の照査方法

橋の動的 特性 照査 をする 耐震性能	地震時の挙動が 複雑ではない橋	塑性化やエネルギー吸 収を複数箇所考慮す る橋又はエネルギー一 定則の適用性が十分検 討されていない構造の 橋	静的解析の適用性が限定される橋	
			高次モードの 影響が懸念さ れる橋	塑性ヒンジが形成され る箇所がはっきりしな い橋又は複雑な振動挙 動をする橋
耐震性能 1	静的照査法	静的照査法	動的照査法	動的照査法
耐震性能 2 耐震性能 3	静的照査法	動的照査法	動的照査法	動的照査法
適用する橋 の例	<ul style="list-style-type: none"> 固定支承と可動 支承により支持 される桁橋 (曲線橋を除く) 両端橋台の単純 桁橋 (免震橋を除く) 	<ul style="list-style-type: none"> 弾性支承を用いた 地震時水平力分散 構造を有する橋 (両端橋台の単純橋 を除く) 免震橋 ラーメン橋 鋼製橋脚に支持さ れる橋 	<ul style="list-style-type: none"> 固有周期の 長い橋 橋脚高さが 高い橋 	<ul style="list-style-type: none"> 斜張橋、吊橋等の ケーブル系の橋 アーチ橋 トラス橋 曲線橋

道示 V
(H24.3) P53

3-5 上部構造の落下防止対策

- (1) 橋の複雑な地震応答や流動化に伴う地盤変位等が原因による支承部の破壊によ
り、上部構造と下部構造との間に大きな相対変位が生じる状態に対して、上部構
造の落下を防止できるように、適切な対策を講じなければならない。
- (2) 道示 V16 章に規定する落橋防止システムを設ける場合においては、(1)を満た
すものとみなす。

4 静的照査法による耐震性能の照査方法

4-1 一般

静的照査法を適用してレベル1地震動及びレベル2地震動に対する耐震性能の照査を行う場合に従うべき基本事項として、レベル1地震動に対しては震度法により、レベル2地震動に対しては地震時保有水平耐力法により照査を行うこととしている。

(1) 道示V5.6(2)の規定に基づき、レベル1地震動に対する耐震性能の照査を静的照査法により行う場合においては、道示V6.2の規定により荷重を算出し、道示V6.3に規定する弾性域の振動特性を考慮した震度法により耐震性能1の照査を行うことを標準とする。

(2) 道示V5.6(2)の規定に基づき、レベル2地震動に対する耐震性能の照査を静的照査法により行う場合においては、道示V6.2の規定により荷重を算出し、道示V6.4に規定する地震時保有水平耐力法により耐震性能2又は耐震性能3の照査を行うことを標準とする。

[震度法]

- ・橋に動的に作用する地震力を静的な水平荷重(慣性力)に置き換えて作用させ、橋に生じる変位や断面力等を算定する手法

[地震時保有水平耐力法]

- ・地震時に構造物に作用する慣性力を、塑性化する部材の影響を考慮し補正した設計水平震度と構造物の重量の積として静的な力に置き換えて作用させ、橋に生じる変位や断面力等を算出する手法。

4-2 レベル1地震動に対する耐震性能の照査

4-2-1 一般

弾性域の振動特性を考慮した震度法による耐震性能1の照査は、道示V6.2.4に規定する地震時土圧、道示V6.2.5に規定する地震時動水圧及び道示V6.3.2の規定により算出する慣性力を作用させた時に各部材に生じる断面力、変位等を算出し、道示V6.3.4の規定に基づいて行うものとする。

4-2-2 耐震性能1の照査

鉄筋コンクリート橋脚及び橋台の照査は道示IV5.1、基礎の照査は道示IV5.1及び道示IV9.2、鋼製橋脚及び鋼上部構造の照査は道示II、コンクリート上部構造の照査は道示III4章の設計荷重作用時の照査、免震橋の照査は道示V9章、支承部の照査は道示V15.1の規定に基づいてそれぞれ行う。また、上部構造端部構造に関する設計は、道示V14.4の規定による。

道示V
(H24.3) P57

道示V
(H24.3) P81

道示V
(H24.3) P86

表 4-1 耐震性能 1 に対する主な照査項目

耐震性能 1 を満たす各部材の 限界状態の組合せ			耐震性能の観点		主な照査項目
			照査において支 配的となる観点		
上部 構造	本体	力学的特性が弾性 域を超えない限界 の状態	耐震設計上の 修復性 耐震設計上の 供用性	耐震設計上 の安全性	応力度 < 許容応力度
	伸縮 装置	損傷が生じない限 界の状態	耐震設計上の 修復性 耐震設計上の 供用性	耐震設計上 の安全性	地震時設計伸縮量 < 伸縮装置の伸縮量
支 承 部	弾性 支承	力学的特性が弾性 域を超えない限界 の状態	耐震設計上の 修復性 耐震設計上の 供用性	耐震設計上 の安全性	せん断ひずみ < 許容せん断ひずみ 応力度 < 許容応力度
	鋼製 支承				応力度 < 許容応力度
橋脚及 び橋台		力学的特性が弾性 域を超えない限界 の状態	耐震設計上の 修復性 耐震設計上の 供用性	耐震設計上 の安全性	応力度 < 許容応力度
基 礎		基礎の力学的特性 が弾性域を超える ことなく、基礎を 支持する地盤の力 学的特性に大きな 変化が生じない限 界の状態	耐震設計上の 修復性 耐震設計上の 供用性	耐震設計上 の安全性	支持力 < 許容支持力 応力度 < 許容応力度 応答変位 < 許容変位
フーチ ング		力学的特性が弾性 域を超えない限界 の状態	耐震設計上の 修復性 耐震設計上の 供用性	耐震設計上 の安全性	応力度 < 許容応力度

道示 V
(H24.3) P87

4-3 レベル 2 地震動に対する耐震性能の照査

4-3-1 一般

鉄筋コンクリート橋脚及び橋台の照査は道示 IV5.1, 基礎の照査は道示 IV5.1 及び道示 IV9.2, 鋼製橋脚及び鋼上部構造の照査は道示 II, コンクリート上部構造の照査は道示 III 4 章の設計荷重作用時の照査, 免震橋の照査は道示 V 9 章, 支承部の照査は道示 V15.1 の規定に基づいてそれぞれ行う。また, 上部構造端部構造に関する設計は, 道示 V14.4 の規定による。

道示 V
(H24.3) P88

4-3-2 耐震性能2又は耐震性能3の照査

鉄筋コンクリート橋脚の照査は道示V6.4.6、橋脚基礎の照査は道示V6.4.7、橋台基礎の照査は道示V6.4.8、上部構造の照査は道示V6.4.9、支承部の照査は道示V6.4.10の規定に基づいて行うものとする。また、橋脚と同様の振動特性を有する橋台及びその橋台基礎の照査は、道示V6.4.6及び道示V6.4.7の規定によりそれぞれ行うものとする。

道示V
(H24.3) P97

表4-2 耐震性能2に対する主な照査項目

(一般的な桁橋で、橋脚に主たる塑性化を考慮することを設計条件とした場合の例)

耐震性能2を満たす各部材の限界状態の組合せ			耐震性能の観点		主な照査項目
			照査において支配的となる観点		
上部構造	遊間	損傷が生じない限界の状態	耐震設計上の修復性	耐震設計上の供用性	上部構造端部の遊間の設計値<上部構造端部の遊間
橋脚	損傷の修復を容易に行い得る限界の状態	耐震設計上の修復性 耐震設計上の供用性	耐震設計上の安全性	慣性力<地震時保有水平耐力 残留変位<許容残留変位	
					基礎
フーチング	力学的特性が弾性域を超えない限界の状態	耐震設計上の修復性 耐震設計上の供用性	耐震設計上の安全性	作用曲げモーメント<降伏曲げモーメント 作用せん断力<せん断耐力	

道示V
(H24.3) P98

表4-3 耐震性能3に対する主な照査項目

(一般的な桁橋で、橋脚に主たる塑性化を考慮することを設計条件とした場合の例)

耐震性能3を満たす各部材の限界状態の組合せ			耐震性能の観点		主な照査項目
			照査において支配的となる観点		
上部構造	遊間	損傷が生じない限界の状態	耐震設計上の修復性	耐震設計上の供用性	上部構造端部の遊間の設計値<上部構造端部の遊間
橋脚	橋脚の水平耐力を保持できる限界の状態	耐震設計上の安全性	耐震設計上の安全性	慣性力<地震時保有水平耐力	
					基礎
フーチング	力学的特性が弾性域を超えない限界の状態	耐震設計上の修復性 耐震設計上の供用性	耐震設計上の安全性	作用曲げモーメント<降伏曲げモーメント 作用せん断力<せん断耐力	

道示V
(H24.3) P99

5 動的照査法による耐震性能の照査方法

5-1 一般

- (1) 道示V5.6(2)に規定する動的照査法による耐震性能の照査は、道示V7.2に規定する地震動を作用させた時に各部材に生じる断面力、変位等を動的解析により算出し、道示V7.4の規定に基づいて行うものとする。
- (2) 動的解析では、解析目的及び設計地震動のレベルに応じて、道示V7.3の規定により適切な解析モデルを設定するとともに、適切な解析方法を選定するものとする。

道示V
(H24.3) P109

5-2 動的解析に用いる地震動

- (1) 動的解析に用いる地震動は、レベル1地震動に対しては道示V4.2、レベル2地震動に対しては道示V4.3に規定する設計地震動に基づき設定しなければならない。
- (2) 次による場合においては、(1)を満たすものとみなす。
 - ① 応答スペクトル法を用いる場合
レベル1地震動に対しては道示V式(4.2.1)、また、レベル2地震動に対しては道示V式(4.3.1)及び道示V式(4.3.2)により算出する加速度応答スペクトルを用いる。
 - ② 時刻歴応答解析法を用いる場合
レベル1地震動に対しては道示V式(4.2.1)、また、レベル2地震動に対しては道示V式(4.3.1)及び道示V式(4.3.2)により算出する加速度応答スペクトルに近い特性を有するように振幅調整した加速度波形を用いる。
- (3) 地震動は、橋への影響が大きくなる方向に入力しなければならない。

道示V
(H24.3) P110~111

5-3 解析モデル及び解析方法

5-3-1 解析方法

- (1) 動的解析に際しては、解析目的及び設計地震動のレベルに応じて、適切な解析方法を用いなければならない。
- (2) 次による場合においては、(1)を満たすものとみなす。
 - ① レベル1地震動に対する耐震性能1の照査では、弾性域における橋の動的特性を評価できる解析方法を用いる。
 - ② レベル2地震動に対する耐震性能2又は耐震性能3の照査では、必要に応じて塑性化を考慮する部材の非線形の効果を含めた橋の動的特性を評価できる解析方法を用いる。

道示V
(H24.3) P117

5-3-2 橋及び部材のモデル化

- (1) 橋全体系のモデル化は、橋の地震時の挙動を推定できるように、橋の構造特性、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。
- (2) 部材のモデル化は、その力学的特性に応じて適切に行わなければならない。
- (3) 動的解析における減衰特性のモデル化は、橋を構成する各要素の振動特性を考慮して、適切に設定しなければならない。

道示V
(H24.3) P118

5-4 耐震性能の照査

道示V
(H24.3) P127~128

- (1) 耐震性能1の照査は、次による。
- ① 鉄筋コンクリート橋脚及び橋台に対しては、動的解析により算出される断面に生じる応力度が道示IV4章に規定する許容応力度以下となることを照査する。
 - ② 鋼製橋脚の照査は、動的解析により算出される断面力を用いて道示IIの規定に基づいて行う。
 - ③ 橋脚基礎の照査は、動的解析により算出される橋脚基部の断面力を橋脚基礎に作用する地震力とし、道示IV5.1及び道示IV9.2の規定に基づいて行う。
 - ④ 鋼上部構造の照査は、動的解析により算出される断面力を用いて道示IIの規定に基づいて行う。コンクリート上部構造は、動的解析により算出される断面に生じる応力度が、道示III3章に規定する許容応力度以下となることを照査する。また、上部構造端部構造に関する設計は、道示V14.4の規定に基づいて行う。
 - ⑤ 支承部の照査は、道示V15章の規定に基づいて行う。
- (2) 耐震性能2又は耐震性能3の照査は、次による。
- ① 鉄筋コンクリート橋脚に対しては、動的解析により算出される応答塑性率が道示V10.2に規定する許容塑性率以下となることを照査する。また、耐震性能2を確保する橋の鉄筋コンクリート橋脚に対しては、動的解析により算出される上部構造の慣性力の作用位置における橋脚の最大応答変位を用いて道示V式(6.4.9)により算出する残留変位が道示V6.4.6に規定する許容残留変位以下となることを照査する。
 - ② 鋼製橋脚の照査は、道示V11章の規定に基づいて行う。
 - ③ 橋脚基礎の照査は、動的解析により算出される橋脚の応答値を用いて、道示V6.4.7の規定に基づいて行う。
 - ④ 橋台基礎の照査は、道示V8.2.3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る土層を有する地盤上にある場合を対象として、動的解析により算出される支承部の応答値を用いて、道示V13章の規定に基づいて行う。
 - ⑤ 鋼上部工構造又はコンクリート上部構造に対して、上部構造に塑性化を考慮する場合においては、動的解析により算出される応答値が、それぞれ、道示V14.2.1又は道示V14.3.1に規定する塑性域での耐力及び許容変形量以下となることを照査する。上部構造に塑性化を考慮しない場合においては、動的解析により算出される応答値を用いて、道示V14.1(3)の規定に基づいて照査を行う。また、上部構造端部構造に関する設計は、道示V14.4の規定に基づいて行う。
 - ⑥ 支承部の照査は、道示V15章の規定に基づいて行う。
- (3) 免震橋の耐震性能の照査は、道示V9章の規定に基づいて行う。
- (4) 動的照査法により耐震性能の照査を行う場合においては、橋全体系としての耐震性が確保されていることに十分に留意しなければならない。

6 免震設計

道示V
(H24.3) P150

(1) 免震橋の採用は、上部構造の慣性力を適切に複数の下部構造に分散できることを前提とし、免震支承により橋の固有周期及びエネルギー吸収能を増大させる効果を検討した上で判断しなければならない。特に、次のいずれかの条件に該当する場合においては、原則として免震橋を採用してはならない。

- ① 基礎周辺の地盤が道示V8.2.4に規定する耐震設計上土質定数を零にする土層を有する地盤の場合
- ② 下部構造のたわみ性が大きく、もともと固有周期の長い橋
- ③ 基礎周辺の地盤が柔らかく、橋を長周期化することにより、地盤と橋の共振を引き起こす可能性がある場合
- ④ 活荷重及び衝撃を除く主荷重により、ゴム性の支承本体に引張力が生じる場合

(2) 免震橋を採用する場合においては、上部構造の端部に設計上の変位を確保できる遊間を設けなければならない。また、橋軸方向に免震支承によるエネルギー吸収を期待し、橋軸直角方向の支承条件を固定支承とする場合においては、橋軸直角方向の変形を拘束する部材が、免震支承の橋軸方向の変形を拘束することがないように配慮する。

(3) 免震支承をエネルギー吸収による慣性力の低減を期待しない地震時水平力分散構造に用いる場合においては、免震支承のエネルギー吸収による効果を考慮してはならない。

・免震設計が適している橋の一般的条件

- ① 地盤が堅固で、基礎周辺地盤が地震時に安定している場合
 - ② 下部構造の剛性が高く、橋の固有周期が短い場合
 - ③ 多径間連続橋
- (①, ②は橋を長周期化することにより橋に作用する地震力の低減を期待しやすい条件)

[免震設計フロー]

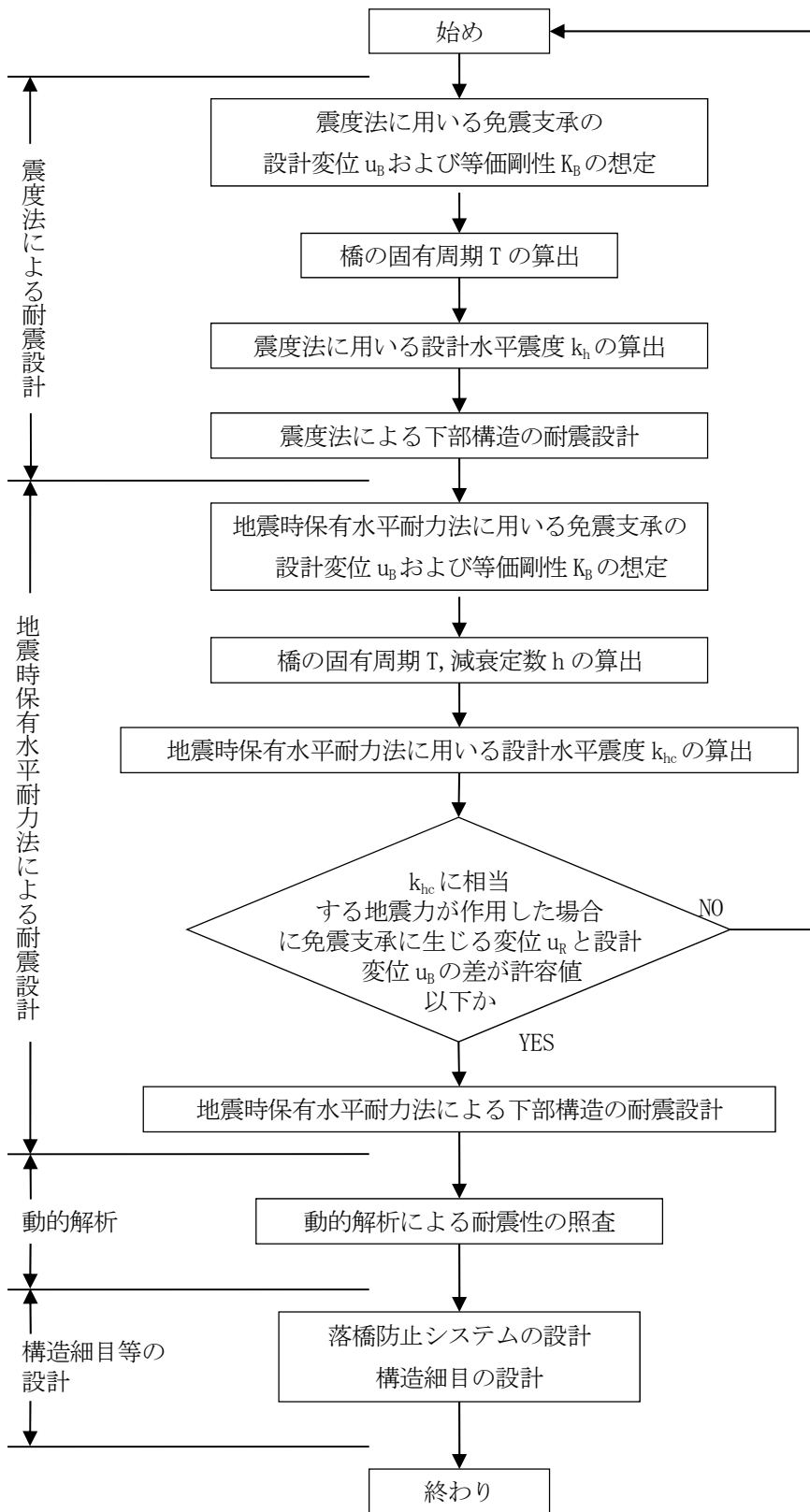


図6 免震橋の設計フロー

7 地震時に不安定となる地盤の影響

7-1 一般

(1) 道示V6.2.1の規定により、基礎周辺地盤が地震時に不安定となる影響を考慮する場合には、道示V8.2及び8.3の規定により、その影響を橋の耐震性能の照査に考慮しなければならない。なお、地震時に不安定となる地盤とは、耐震設計上ごく軟弱と判定される土層を有する地盤、橋に影響を与える液状化が生じると判定される土層を有する地盤とする。

既往の震災事例によれば、ごく軟弱な粘性土層及びシルト質土層に生じる地震時の強度の低下と、飽和砂質土層に生じる液状化及びこれに伴う地盤の流動化は橋の耐震性能に大きな影響を与える。このため、地盤が地震時に不安定となる場合には橋の耐震性能の照査においてその影響を考慮することとする。

(2) 橋に影響を与える液状化が生じると判定される土層を有する地盤上の橋の耐震性能の照査においては、橋に影響を与える液状化が生じると仮定した場合及び橋に影響を与える液状化が生じないと仮定した場合の照査を行わなければならない。

液状化が生じた場合の構造物の応答特性は複雑であり、地震動や地盤の物性によっては、設計で仮定したとおりの状況にならない可能性もあることから、橋に影響を与える液状化が生じないという条件でも耐震性能の照査を行うこととしている。橋に影響を与える液状化が生じると判定された場合には、液状化が生じないとした場合の耐震性能の照査を行い、いずれか厳しい方の結果を用いる。

7-2 耐震設計上ごく軟弱な土層又は橋に影響を与える液状化が生じると判定された土層の取扱い

道示V8.2.2の規定により耐震設計上ごく軟弱な土層と判定された土層、又は道示V8.2.3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ついては、道示V8.2.4の規定により耐震設計上土質定数を低減させなければならない。

ごく軟弱な粘性土層やシルト質土層、液状化すると判定された土層がある場合には、土の強度及び支持力が低下する可能性がある。このため、次に示すように判定された土層については、耐震設計上の土質条件を零とする又は低減させるものとする。

(1) 以下の条件に該当する土層は、耐震設計上ごく軟弱な土層とみなす。

地表面から3m以内にある粘性土層及びシルト質土層で、一軸圧縮試験又は原位置試験により推定される一軸圧縮強度が 20 k N/m^2 以下の土層

(2) 沖積層で以下の3つの条件全てに該当する場合には、地震時に橋に液状化が生じる可能性があるため、液状化の判定を行う必要がある。

① 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

② 細粒分含有率 FC が35%以下の土層、又は、 FC が35%を超えても塑性指数 I_p が15以下の土層

③ 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

道示V
(H24.3) P132

道示V
(H24.3) P133~134

液状化の判定を行う必要のある土層に対しては、液状化に対する抵抗率 F_L を算出し、この値が 1.0 以下の土層については液状化するとみなすものとする。

道示 V
(H24.3) P138

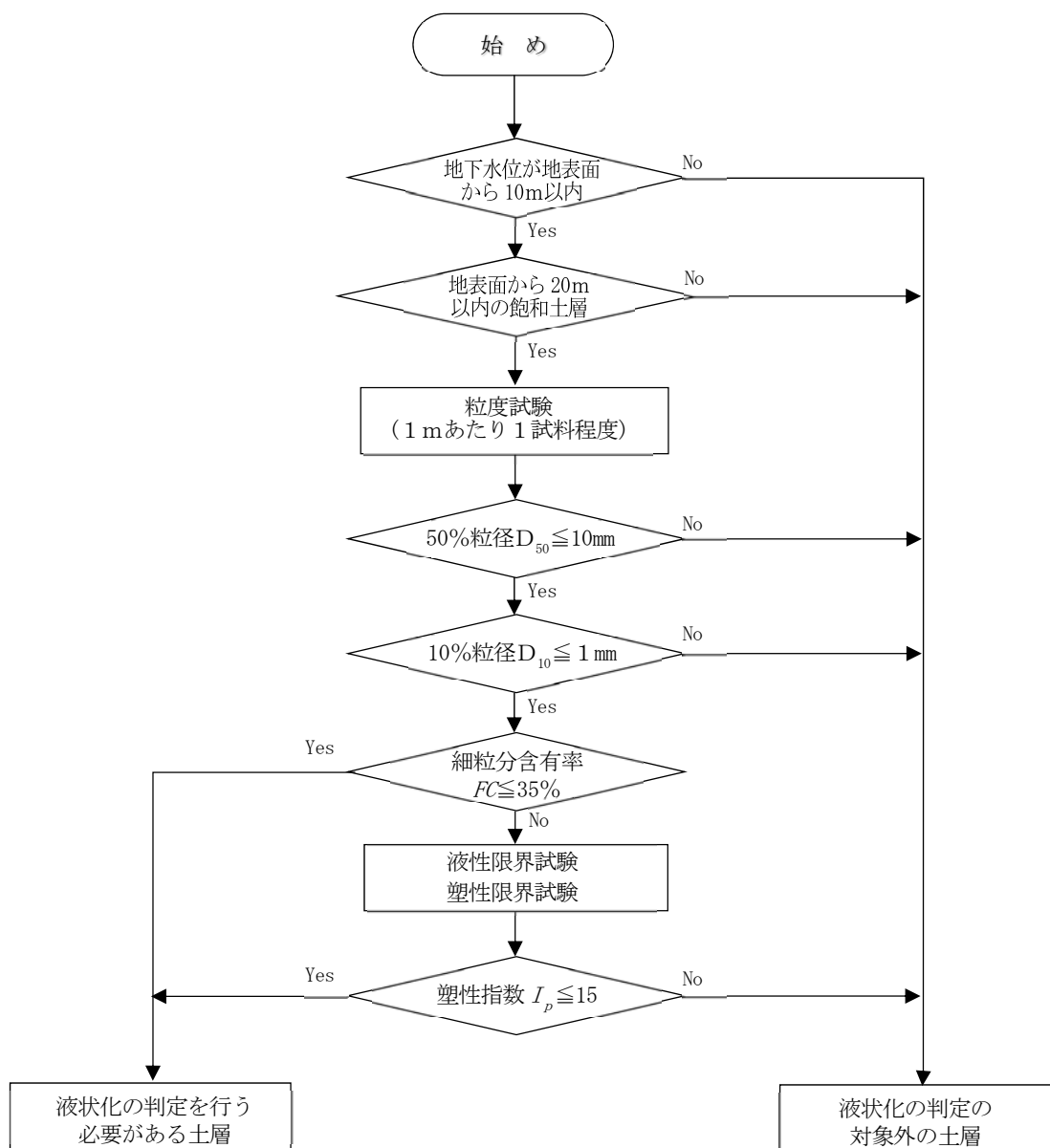


図 7 - 1 液状化の判定を行う必要がある土層の評価の手順

7-3 耐震設計上土質定数を低減させる土層とその扱い

(1) 道示V8.2.2の規定によりごく軟弱な土層と判定された土層は、耐震設計上その土質定数を零とする。

耐震設計上ごく軟弱な土層は、その強度及び支持力を期待できないので、耐震設計上の土質定数を零として取扱うこととしている。

(2) 道示V8.2.3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は、液状化に対する抵抗率 F_L の値に応じて耐震設計上の土質定数を低減させるものとする。

液状化した砂質土層においては、土の強度及び支持力が低下する。このため、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7の係数 D_E を乗じて算出する。なお、 $D_E=0$ の場合の土層は耐震設計上土質定数を零とする土層とする。

表7 土質定数の低減係数 D_E

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

7-4 液状化が生じる地盤上の橋台について

橋に影響を与える液状化が生じると判定される地盤にある橋台基礎では、地震時保有水平耐力法によってレベル2地震動に対する照査を行うこと。

(1) 耐震性能2又は耐震性能3の照査において、道示V8.2.3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る土層を有する地盤にある橋台基礎の照査に用いる設計水平震度及び橋台基礎の応答塑性率は、それぞれ、道示V13.2及び道示V13.3の規定に基づいて算出するものとする。また、橋台基礎の許容塑性率は道示V13.4の規定に基づいて設定するものとする。

① 耐震設計上の地盤面より上方にある橋台、フーチング上載土及び杭基礎のフーチングのように基礎全体における重量の影響が大きい構造部分の慣性力並びに地震時土圧の算出に用いる設計水平震度は、道示V6.4.3に規定する地盤面の設計水平震度に基づいて算出してよい。

② 橋台基礎の応答塑性率の算出においては、地震動のタイプごとに設定される水平震度-水平変位関係と同じ地震動のタイプの設計水平震度 k_{HA} を組み合わせることにより地震動のタイプごとに橋台基礎の応答塑性率を求め、照査には、これらのうち厳しい方の結果を用いることが規定されている。

③ 橋台基礎の照査を道示V13.3に基づいて算出する場合には、橋台基礎の許容塑性率は3を目安としてよい。ただし、軸方向鉄筋にSD390又はSD490の鉄筋を使用する場合の場所打ち杭基礎については、各杭体の変位量が大きくなることを考慮して塑性化を許容しないのがよい。一方、斜杭の場合には、許容塑性率は2を目安とするのがよい。

道示V
(H24.3) P141~142

道示V
(H24.3) P251

(2) 橋台基礎の部材に生じる断面力に対する照査は、道示V13.5の規定に基づいて行うものとする。

① 橋台基礎の部材は、橋台基礎の部材に生じる断面力が、当該部材の耐力以下となることを照査しなくてはならない。

道示V
(H24.3) P253

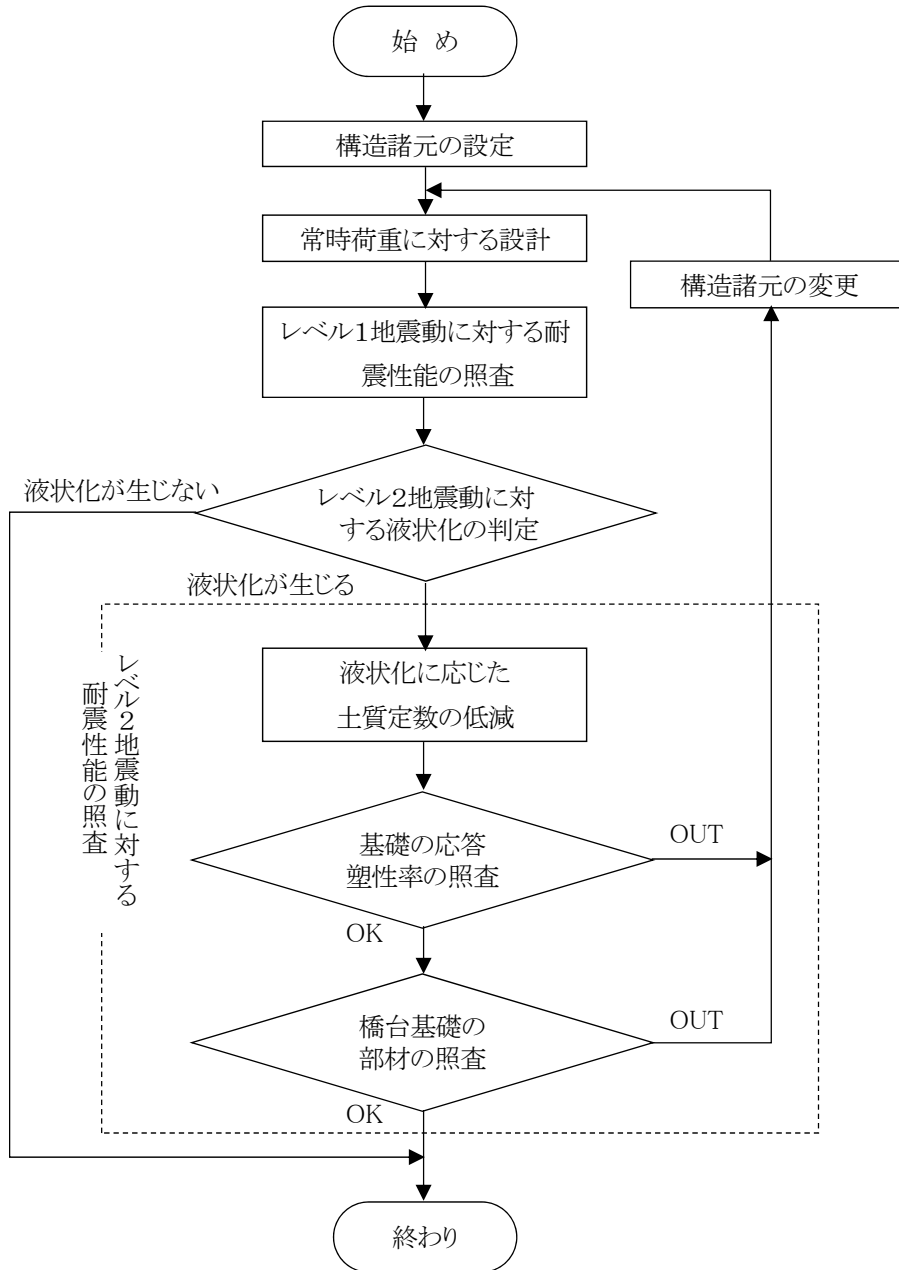


図7-2 地震時保有水平耐力法による橋台基礎の照査の手順

8 鉄筋コンクリート部材の構造

8-1 鉄筋コンクリート橋脚の塑性変形能を確保するための構造細目

道示V
(H24.3) P201~203

- (1) 鉄筋コンクリート橋脚において地震時に塑性化を考慮する領域の鉄筋の配置は、塑性変形能が確実に得られるように、次の事項を満たさなければならない。
- ① 軸方向鉄筋は、道示V10.2に規定する地震時保有水平耐力が確実に保持できるように配置する。
 - ② 横拘束鉄筋は、軸方向鉄筋のはらみ出しを抑制する効果と横拘束鉄筋で囲まれるコンクリートを拘束する効果を確実に発揮できるような形式及び間隔で配置する。
- (2) 鉄筋コンクリート橋脚の軸方向鉄筋は、道示IV7章に規定する構造細目を満たし、かつ、塑性化を考慮する領域においてかぶりコンクリートが剥離しても軸方向鉄筋が確実に機能するように配置する場合においては、(1)①を満たすものとみなす。
- (3) 横拘束鉄筋の配置は、次の事項による場合においては、(1)②を満たすものとみなす。
- ① 横拘束鉄筋のうち帯鉄筋には異形棒鋼を用い、その直径は13mm以上、かつ軸方向鉄筋の直径よりも小さくする。塑性化を考慮する領域における帯鉄筋間隔は、帯鉄筋の直径に応じて表8-1に示す値以下、かつ、断面高さの0.2倍以下とする。この場合、断面高さは、矩形断面の場合においては短辺の長さ、また、円形断面の場合においては直径とする。
なお、弾性域に留まることが確実な領域では、帯鉄筋間隔の上限値は300mmとしてもよい。ただし、高さ方向に対して途中で帯鉄筋の間隔を変化させる場合においては、その間隔を徐々に変化させなければならない。

表8-1 帯鉄筋間隔の上限値(mm)

帯鉄筋の直径 ϕ_h (mm)	$13 \leq \phi_h < 20$	$20 \leq \phi_h < 25$	$25 \leq \phi_h < 30$	$\phi_h \geq 30$
帯鉄筋間隔の上限値 (mm)	150	200	250	300

- ② 帯鉄筋は、軸方向鉄筋を取り囲むように配置し、端部は次に示すフックをつけて帯鉄筋で囲まれるコンクリートに定着することを標準とし、フックのない重ね継手は原則として用いてはならない。また、フックとして直角フックを用いる場合においては、かぶりコンクリートが剥離してもフックがはずれないような構造とする。なお、帯鉄筋の継手部は高さ方向に千鳥状に配置する。鉄筋の種類に応じたフックの曲げ形状とフックの曲げ内半径は、道示IV7.7の規定による。フックは、曲げ加工する部分の端部から次に示す値以上まっすぐにのばす。
 - ア 半円形フック: 帯鉄筋の直径の8倍又は120mmのうち大きい値
 - イ 鋭角フック: 帯鉄筋の直径の10倍
 - ウ 直角フック: 帯鉄筋の直径の12倍
- ③ 矩形断面の隅角部以外で帯鉄筋を継ぐ場合においては、帯鉄筋の直径の40倍以上帯鉄筋を重ね合わせ、さらに②に規定するフックを設けることを標準とする。

- ④ 横拘束鉄筋のうちの間帯鉄筋は、次の事項を満たさなければならない。
- ア 中間帯鉄筋には、原則として帯鉄筋と同材質、同径の鉄筋を用いる。
 - イ 中間帯鉄筋の断面内配置間隔は、原則として1 m以内とする。
 - ウ 中間帯鉄筋は、帯鉄筋の配置される全ての断面で配筋する。
 - エ 中間帯鉄筋は、断面周長方向に配筋される帯鉄筋に、②に規定する半円形フック又は鋭角フックをかけて橋脚内部のコンクリートに定着することを標準とする。なお、軸方向鉄筋を2段以上配筋する場合においては、最も外側に配筋される帯鉄筋にフックをかければよい。
 - オ 中間帯鉄筋は、1本の連続した鉄筋、又は、橋脚断面内部に継手を有する2組の鉄筋により橋脚断面を貫通させることを標準とする。ただし、橋脚断面内部において継手を設ける場合においては、中間帯鉄筋の強度に相当する継手強度が確保できるように適切な継手構造を選定する。
- (4) ラーメン橋脚の柱部材とはり部材の節点部においては塑性ヒンジが形成されないように配筋しなければならない。
- (5) 中空断面を有する鉄筋コンクリート橋脚においては、中空断面の特性を踏まえて、塑性変形能が確実に発揮できるような形状及び配筋としなければならない。

道示V
(H24.3) P201~203

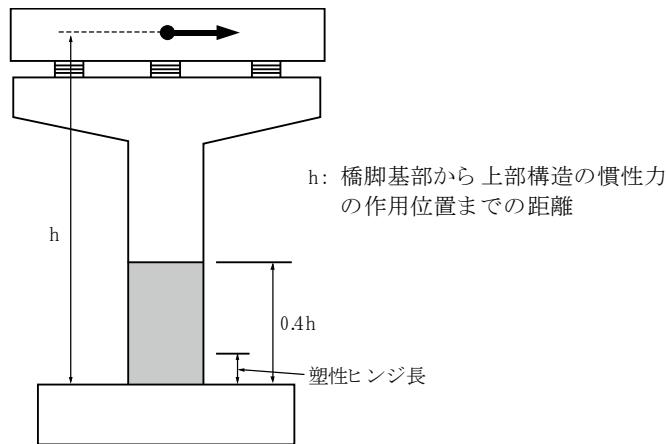


図8-1 塑性化を考慮する領域

道示V
(H24.3) P204

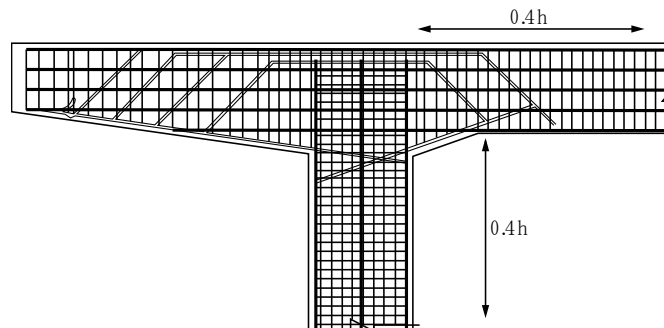


図8-2 ハンチがある場合の塑性化を考慮する領域の取り方

表 8-2 JIS G 3112 に規定される異形棒鋼に対する
帯鉄筋間隔の設定の目安 (mm)

帯鉄筋の呼び径	D13, D16 及びD19	D22	D25, D29	D32
帯鉄筋間隔の目安 (mm)	150	200	250	300

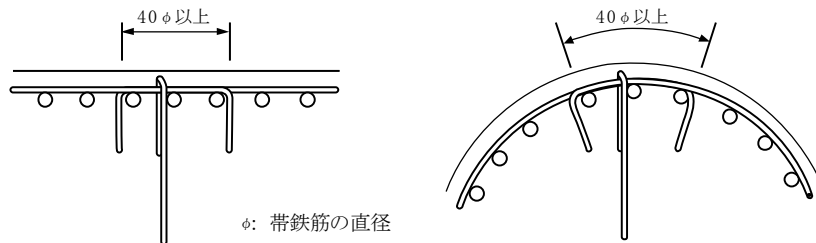
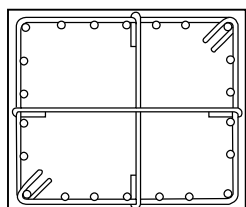
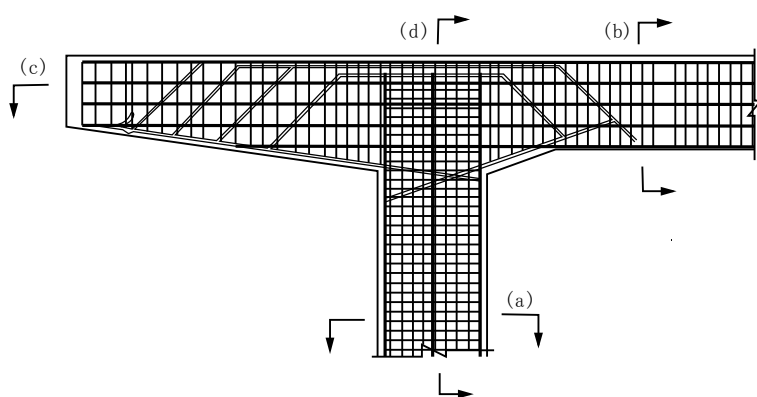
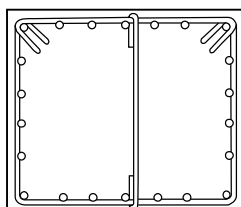


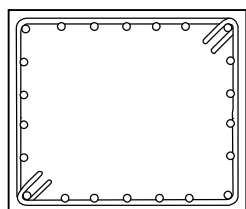
図 8-3 直角フックを有する帯鉄筋の定着例



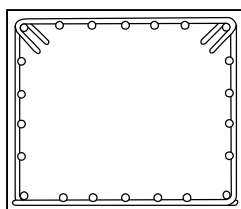
(a) 塑性化を考慮する領域の
柱部材の配筋例



(b) 塑性化を考慮する領域の
はり部材の配筋例



(c) 節点部の柱の配筋例



(c) 節点部のはりの配筋例

図 8-4 鉄筋コンクリートラーメン橋脚の柱はり節点部の配筋の標準
(節点部が T 型の形状の場合の例)

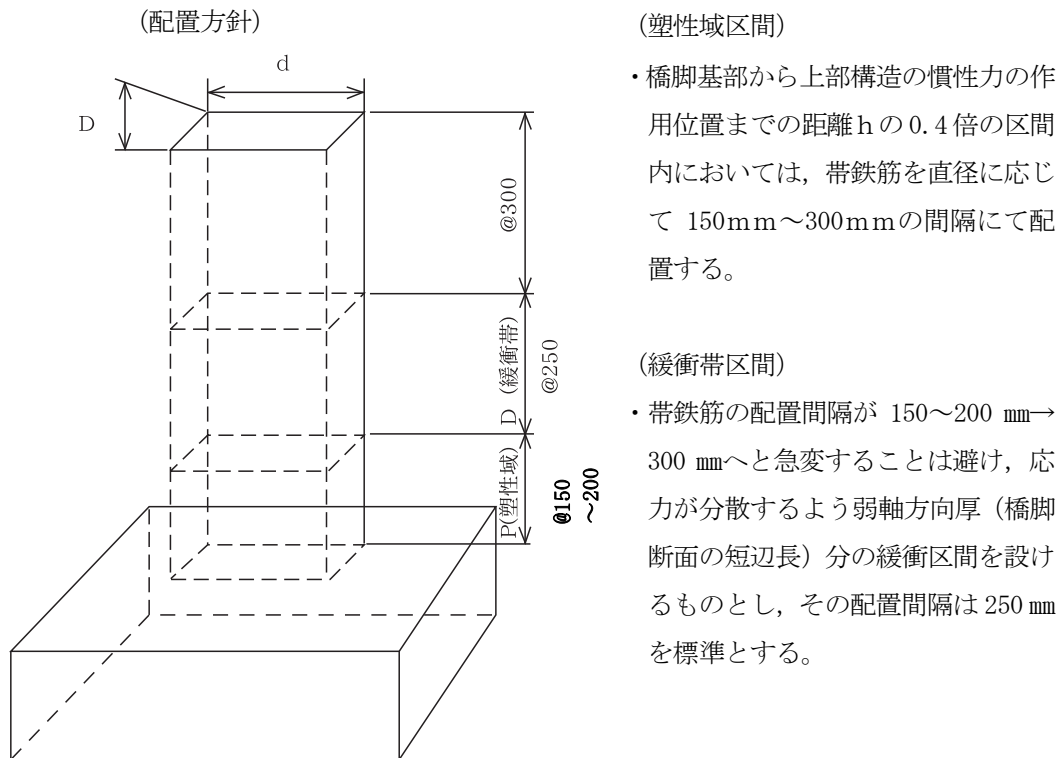
道示 V
(H24.3) P207

道示 V
(H24.3) P210

8-2 道路橋示方書の改訂に伴う帯鉄筋配置方針について

道示IV第7章鉄筋コンクリート部材の構造細目において、橋脚の帯鉄筋について高さ方向の配置間隔は300mm以下とすることと規定されたところであるが、道示IV第10章鉄筋コンクリート橋脚の地震時保有水平耐力及び許容塑性率においては、塑性化を考慮する領域については帯鉄筋の直径に合わせ、150~300mm以下の間隔で配置することが標準とされ、あわせて帯鉄筋を途中で変化する場合はその間隔を徐々に変化させなければならぬと規定されているため今後は、下記の配置方針とする。

道示V
(H24.3) P158~



D : 弱軸方向厚 (Dとdの薄い方)

P : 橋脚基部から慣性力の作用位置までの距離×0.4倍

帯鉄筋段落としについて、梁と柱の変化点も300mmピッチとする。

図8-5 橋脚の帯鉄筋配置

9 支承部の照査

9-1 一般

- (1) 支承部は、レベル1地震動及びレベル2地震動により生じる水平力及び鉛直力に対して、道示I4.1.1(1)を満たす構造としなければならない。
- (2) 次による場合においては、(1)を満たすものとみなす。
- ① 支承部には、道示V15.2に規定する支承部の基本条件を満たす支承を用いる。
 - ② 支承部の照査は、道示V15.3に規定するモデルを用いて算出する応答値に基づき、道示V15.4の規定により算出する設計地震力を用いて、道示V15.5の規定により行う。
 - ③ 支承部は道示V15.6に規定する支承部の構造によるとともに、支承部から地震力の作用を受ける上部構造の部位は道示V14.1(4)の規定に、また、下部構造の橋座部は道示IV8.6の規定にそれぞれ基づいて設計する。

道示V
(H24.3) P275

9-2 支承部の照査

- (1) レベル1地震動及びレベル2地震動に対する支承部は、静的照査法を用いる場合においては道示V15.4(2)に規定する設計地震力が作用したときに、また、動的照査法を用いる場合においては道示V15.4(3)に規定する設計地震力が作用したときに、支承部に生じる応答値が支承本体及び取付部材の許容値以下となることを照査する。なお、照査においては、支承部に作用する水平方向の設計地震力と鉛直方向の設計地震力が同時に作用することを考慮しなければならない。
- (2) 支承部は、 $-0.3R_D$ の設計鉛直地震力が作用した際に、支承部に生じる断面力が当該部材の耐力以下となることを照査することを標準とする。ただし、道示V式(15.4.2)による設計鉛直地震力 R_u が $-0.3R_D$ を超える場合、または R_u が正の場合で鉛直方向の変位を拘束しなくても地震後に支承部の機能が確保される支承部構造を採用する場合においては、この照査を省略してもよい。
- (3) 鋼製の支承本体及び鋼製の取付部材の照査は、割増係数1.7を考慮した許容応力度を用いて道示IIの照査法に準じて行うことを標準とする。ただし、レベル1地震動に対する照査における許容応力度は、道示IIの規定に従う。
- (4) ゴム製の支承本体の照査は、次による。
- ① ゴム製の支承本体に生じるせん断ひずみはその許容値を超えないこと
 - ② 地震時に水平変位を受けた状態においてゴム製の支承本体が座屈に対して安全であること
 - ③ 地震時に水平変位を受けた状態において鉛直地震力の作用によりゴム製の支承本体に生じる引張応力度がその許容値を超えないこと
 - ④ 鉛直地震力の作用によりゴム製の支承本体の内部鋼板に生じる引張応力度がその許容値を超えないこと。なお、ゴム製の支承本体のせん断ひずみ及び引張応力度の許容値は、道示V15.2(2)の規定に基づき、支承本体のせん断破壊及び引張破壊に対して安全性を確保できることを考慮して、使用する支承本体の特性に応じて適切に定める。また、ゴム製の支承本体の圧縮破壊及び座屈安定性に対して安全性を確保できるように、支承本体の圧縮応力度の許容値は支承本体の特性に応じて適切に定めるとともに、座屈に対して安定した形状の支承本体を用いる。

道示V
(H24.3) P288～289

⑤ 地震時水平力分散型ゴム支承本体の一般的な設計手順を図9に示す。

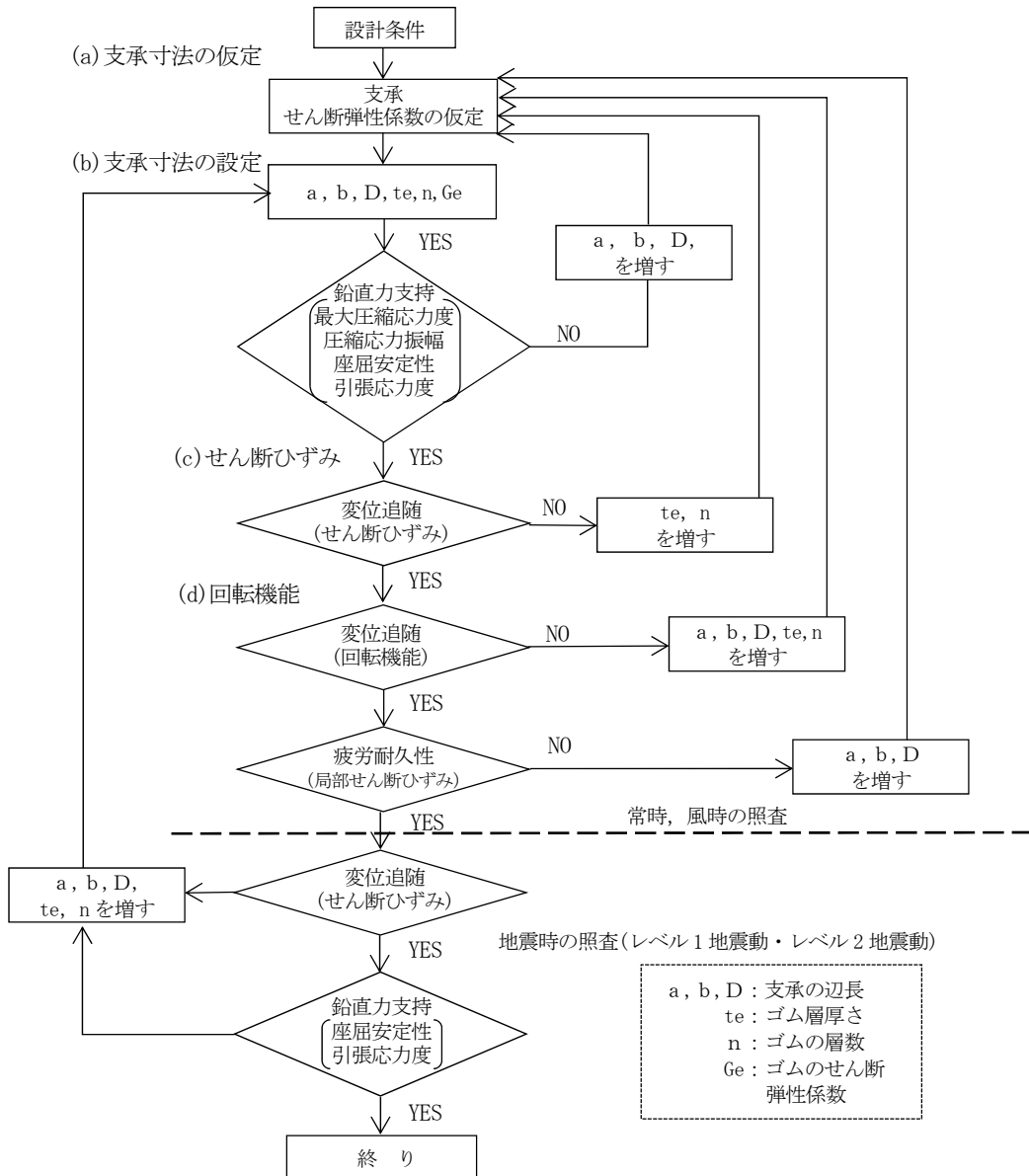


図9 ゴム支承の設計手順

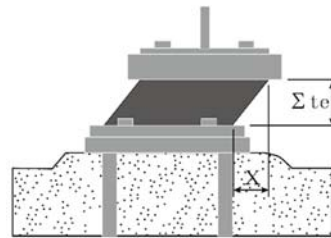
[せん断ひずみの計算]

$$\gamma = X / \sum te \leq \gamma a$$

ここに γ : せん断ひずみ (L2地震時 250%)

X : 変形量 (mm)

$\sum te$: ゴム層厚 (mm)



[圧縮ひずみの計算]

$$\delta r \leq \delta c$$

ここに δr : 回転ひずみ量 (= $a/2 \cdot \sum \alpha e$)

δc : 圧縮ひずみ量 (= R_{max}/Kv)

a : ゴム橋軸寸法 (mm)

$\sum \alpha e$: 桁の回転角 (rad)

R_{max} : 死荷重+活荷重 (N)

Kv : ゴムの圧縮ばね定数 (N/mm)

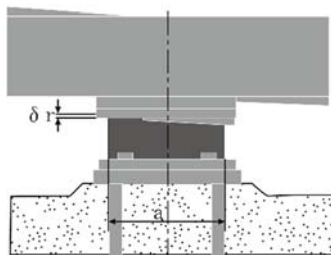


表9 上下部構造との取付部の作用力と作用位置の例

	弾性支承	固定支承		可動支承
作用力と作用位置				
上部構造との取付部	V H $M = H \cdot h_1 + V \cdot x/2$	V H $M = H \cdot h_1$	V H $M = H \cdot h_1$	V H $M = H \cdot h_1 + V \cdot x$
下部構造との取付部	V H $M = H \cdot h_2 + V \cdot x/2$	V H $M = H \cdot h_2$	V H $M = H \cdot h_2$	V H $M = H \cdot h_2$

道示V
(H24.3) P290

注1) 表中のVは鉛直力、Hは水平力、Mはモーメント、xは上下部構造間の相対変位をそれぞれ表す。

注2) 弾性支承の鉛直力の作用位置は、支承本体の下部構造側の面の中心から弾性変形量の1/2だけ偏心した位置とする。

注3) 可動支承の上部構造側の鉛直力の作用位置は、支承本体の中心から移動量だけ偏心した位置とする。

注4) 可動支承の取付部の照査に用いる地震力は、支承の摩擦力に相当する力とする。

9-3 支承部の構造

- (1) 支承部としてねばりのある挙動をする材料及び構造を採用するとともに、応力集中が生じにくい構造としなければならない。
- (2) 支承部は、支承本体の取替えが可能な構造を標準とする。
- (3) 支承部が取り付けられる上下部構造の部位は、支承部の維持管理の確実性及び容易さ並びに支承部の取替えに配慮した構造とするのがよい。
- (4) 耐震性能2を確保する橋の支承部においては、支承部に破壊が生じた場合においても、上部構造を適切な高さに支持できるように、また、橋軸直角方向への上部構造の残留変位が過大にならないように配慮しなければならない。

道示V
(H24.3) P292

10 落橋防止システム

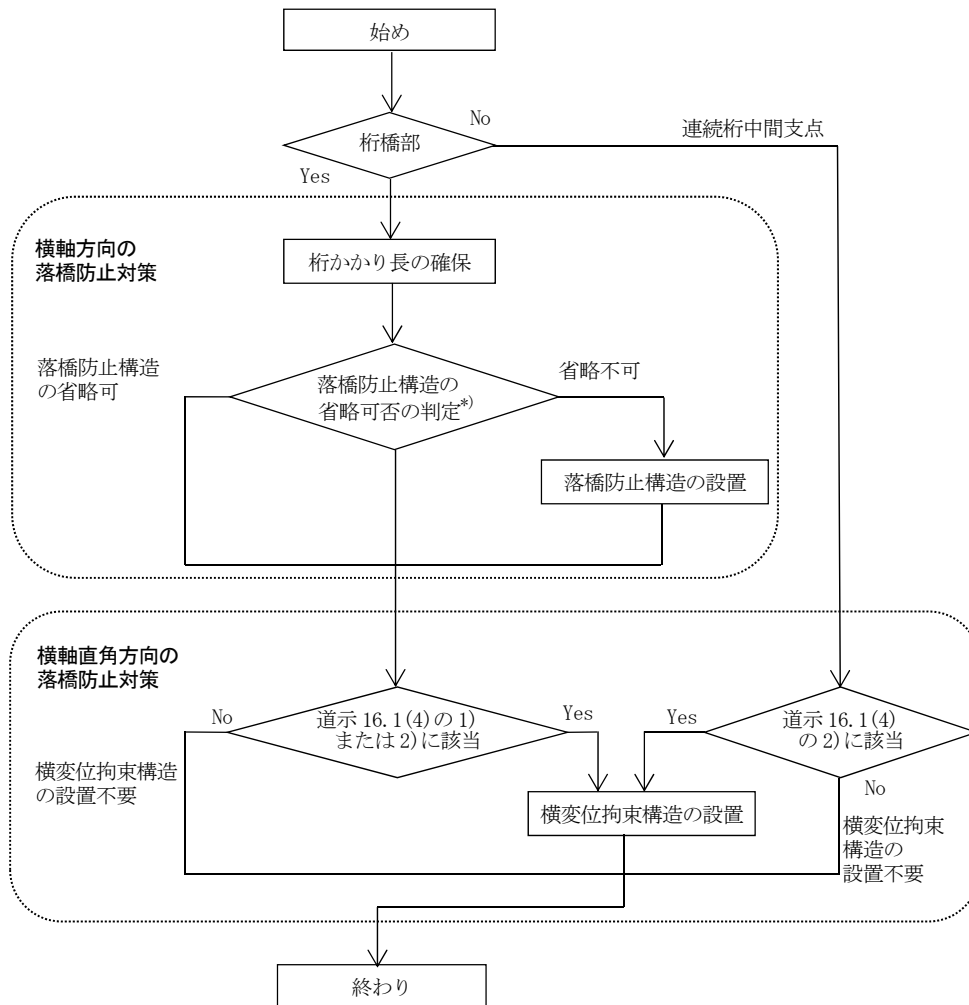
10-1 一般

- (1) 道示V5.7の規定に基づく上部構造の落下防止対策として、(2)に規定する桁かかり長、落橋防止構造及び横変位拘束構造から適切に選定した落橋防止システムを設置しなければならない。
- (2) 落橋防止システムを構成する各要素は次の機能を備えなければならない。
- ① 桁かかり長
 支承部が破壊したときに、上部構造が下部構造の頂部から逸脱することを防止する機能
 - ② 落橋防止構造
 支承部が破壊したときに、橋軸方向の上下部構造間の相対変位が桁かかり長を超えないようにする機能
 - ③ 横変位拘束構造
 支承部が破壊したときに、橋の構造的要因等によって上部構造が橋軸直角方向に変位することを拘束する機能
- (3) 橋軸方向に対しては、橋の形式、地盤条件等に応じて、上部構造の端支点を支持する下部構造において道示V16.2に規定する桁かかり長を確保するとともに、道示V16.3に規定する落橋防止構造を適切な箇所に設置し、また、橋軸直角方向に対しては、(4)に規定する上部構造の橋軸直角方向への移動により落橋する可能性のある橋に対して道示V16.4に規定する横変位拘束構造を適切な箇所に設置する場合においては、(1)を満たすものとみなす。ただし、橋軸方向に大きな変位が生じにくい構造特性を有する橋又は端支点の鉛直支持が失われても上部構造が落下しない構造特性を有する橋の場合においては、落橋防止構造の設置を省略してもよい。
- (4) 上部構造の橋軸直角方向への移動により落橋する可能性のある橋とは、次の条件のうちのいずれかに該当する橋とする。
- ① 上部構造の構造条件や幾何学的条件から、支承部の破壊後に上部構造が隣接桁や橋台の拘束を受けずに回転できる橋で、かつ径間数が1径間又は2径間の一連の上部構造を有する橋
 - ② 下部構造の頂部幅が狭い橋
- (5) 落橋防止構造及び横変位拘束構造は、道示V16.5に規定する構造細目によらなければならない。

道示V
(H24.3) P294～295

表 10 落橋防止システムに求められる機能

		機能方向	役割
落橋防止システム	桁かかり長	橋軸方向	支承部が破壊したときに、上部構造が下部構造から逸脱して上部構造が落下するのを防止する。
	落橋防止構造	橋軸方向	支承部が破壊したときに、橋軸方向の上下部構造間の相対変位が桁かかり長を超えないようにする。
	横変位拘束構造	橋軸直角方向	支承部が破壊したときに、橋の構造的要因等によって上部構造が橋軸直角方向に変位することを拘束する機能



道示 V
(H24. 3) P296

*) 橋軸方向の落橋防止構造の省略の可否については、橋軸報告に大きな変位が生じにくい構造特性を有する橋又は端支点の鉛直支持が失われても上部構造が落下しない構造特性を有する橋とい観点から判定

図 10-1 落橋防止システム構成の基本的な考え方

橋軸方向に大きな変位が生じにくい構造特性を有する橋では、レベル 2 地震動に対して設計された支承部により上部構造が支持され、また、道示 V 16.2 に規定される桁かかり長も確保されることから、支承部の破壊に対する補完性又は代替性が一般には高く、その結果、落橋に対する安全性も高いため、橋軸方向の落橋防止構造を省略してもよいことを規定している。

このような観点から、次の条件のいずれかに該当する場合には橋軸方向に大きな変位が生じにくい構造特性の橋であるとみなしてよい。

(1) 両端が橋台に支持された一連の上部構造を有する橋

両端が橋台に支持された一連の上部構造を有する橋は、橋長や地盤種別にかかわらず、構造特性により橋軸方向に落橋に至るような大きな相対変位が上下部構造間に生じにくい橋とみなすことができることが明らかになっている。これは、支承部が破壊した後上部構造の橋軸方向の応答変位が過大となった場合にも、上部構造の他端部が橋台パラペットに衝突し、橋台や橋台背面の地盤の抵抗により上部構造の応答が拘束されるため、当該端支点にお

道示 V
(H24. 3) P298～301

ける上下部構造間の相対変位は、一般には桁かかり長以下となると考えられるためである。ただし、道示V6.4.5の規定における橋脚と同様の振動特性を有する橋台の場合には、一般的な条件の橋台のように橋台の背面の地盤の抵抗が期待できない可能性もあると考えられるため、本条件には該当しない。ここで、道示V6.4.5の規定における橋脚と同様の振動特性を揺する橋台とは、背面土等がない特殊な形式や橋台背面土に軽量盛土を用いた橋台である。

(2) 橋軸方向に4基以上の下部構造において弾性支持又は固定支持される一連の上部構造を有する橋

水平力分散形式や多点固定形式により多点支持される橋では、支承部の破壊に対する補完性又は代替性が高いため、地盤種別にかかわらず、図10-2に示すような橋軸方向に4基以上の下部構造において弾性支持又は固定支持される一連の上部構造を有する橋は、構造特性により橋軸方向に落橋に至るような変位が生じにくい橋とみなすことができる。

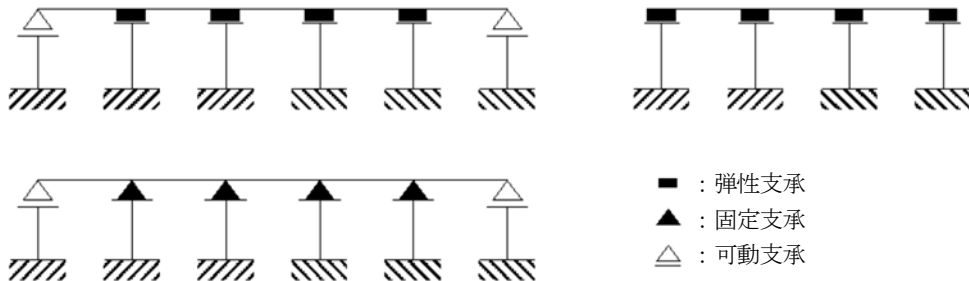


図10-2 橋軸方向に4基以上の下部構造において弾性支持又は固定支持される一連の上部構造を有する条件の例

(3) 2基以上の下部構造が剛結される上部構造を有するラーメン橋

ラーメン橋は、下部構造が上部構造に剛結された構造であり、この剛結部が破壊して上下部構造間が分離する可能性はきわめて低いことから、仮に端支点部の支承部が破壊しても橋軸方向に大きな応答変位が生じにくいいため、落橋に対する安全性は高い構造である。

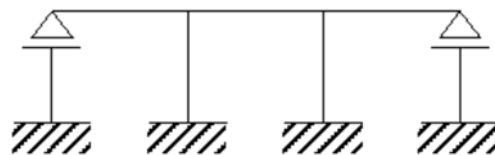


図10-3 2基以上の下部構造が剛結される上部構造を有するラーメン橋の例

道示V
(H24.3) P301

10-2 桁かかり長

(1) 桁かかり長は、式(10-1)により算出する値以上とする。ただし、この値が式(10-2)による桁かかり長の最小値を下回る場合においては、桁かかり長は式(10-2)により算出する値以上とする。なお、斜橋や曲線橋のように橋軸方向と橋台に働く土圧の作用方向が一致しない場合においては、桁かかり長は支承線に直角な方向に確保する。

$$S_{ER} = u_R + u_G \cdots \cdots \text{式(10-1)}$$

$$S_{EM} = 0.7 + 0.005 l \cdots \cdots \text{式(10-2)}$$

$$u_G = \varepsilon_G L \cdots \cdots \text{式(10-3)}$$

ここに

S_{ER} : 必要桁かかり長(m)

u_R : レベル2地震動により生じる支承部の最大応答変形量(m)で、道示V8章に規定する橋に影響を与える地盤の液状化又は流動化が生じると判定される場合においては、この影響を適切に考慮する。ただし、 u_R の算出に際して落橋防止構造及び横変位拘束構造の効果は考慮してはならない。

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} : 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種、Ⅱ種、Ⅲ種に対して、それぞれ、0.0025, 0.00375, 0.005とする。

L : 必要桁かかり長に影響を及ぼす下部構造間の距離(m)

l : 支間長(m)で、1橋脚上に2つの上部構造の端部が支持され両側の支間長が異なる場合においては、大きい方の支間長を用いる。

(2) 道示V16.1(4)1の条件に該当する橋の場合においては、桁かかり長は、(1)の規定を満たすとともに、式(10-4)により算出する値以上とする。なお、上部構造両端の支承線が平行でなく非対称の斜橋では、両端いずれか小さい方の斜角を用いて $S_{E\theta R}$ を算出する。

$$S_{E\theta R} = 2L_\theta \sin(\alpha_E/2) \cos(\alpha_E/2 - \theta) \cdots \cdots \text{式(10-4)}$$

ここに

$S_{E\theta R}$: 道示V16.1(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 : 斜角(°)

α_E : 限界脱落回転角(°)で、一般に、2.5°としてよい。

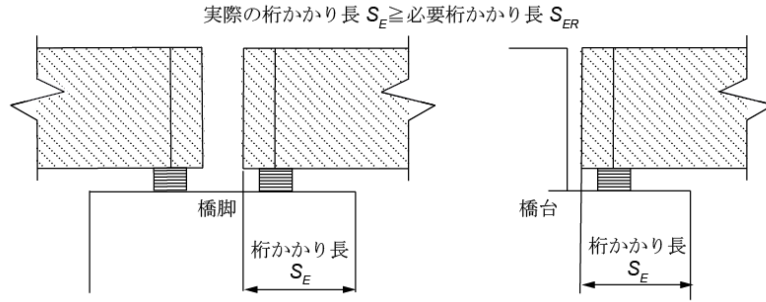


図 10-4 桁かかり長

道示 V
(H24.3) P306

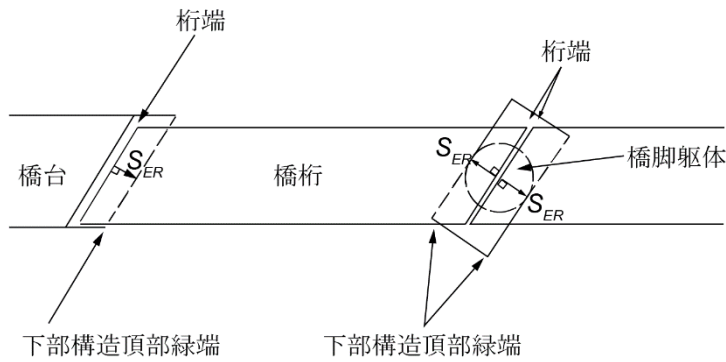
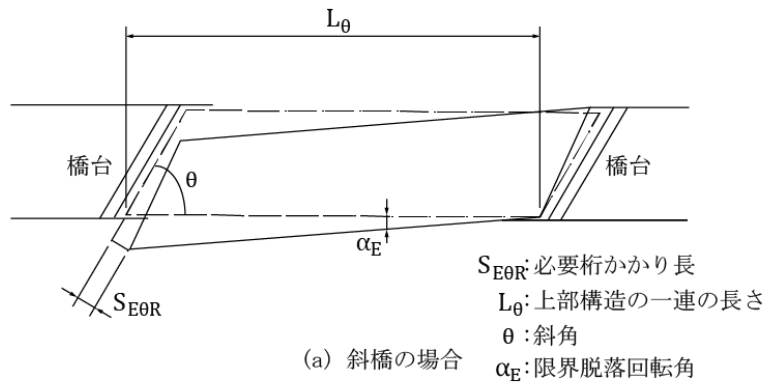


図 10-5 橋軸方向と土圧の水平成分の作用方向が一致しない場合の必要桁かかり長の取り方

道示 V
(H24.3) P309



道示 V
(H24.3) P310

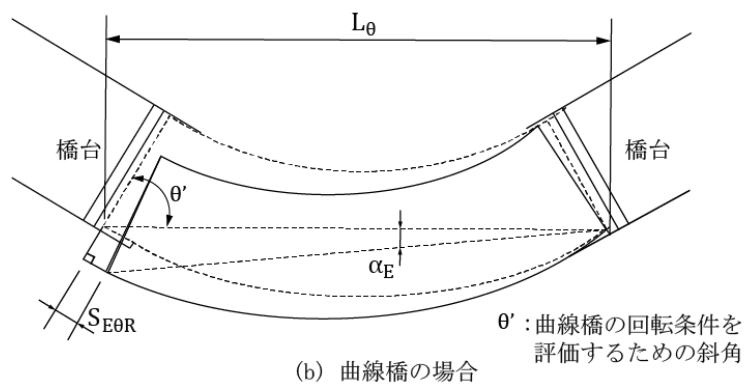


図 10-6 道示 V 16.1(4)1) の条件に該当する橋の必要桁かかり長

10-3 落橋防止構造

道示V
(H24.3) P310~311

- (1) 落橋防止構造は、道示V16.1(3)に規定する落橋防止構造の設置を省略してよい条件に該当しない橋の一連の上部構造の端支점에設置しなければならない。
- (2) 落橋防止構造の耐力は、式(10-5)により算出する設計地震力を下回ってはならない。この場合、落橋防止構造の耐力は、鋼部材の場合においては割増係数1.7を考慮した許容応力度から算出してよい。コンクリート部材の場合においては、その耐力を用いてよい。

- ① 上下部構造を連結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連の桁を相互に連結する形式の落橋防止構造の場合
 $H_F = 1.5R_d$
-式(10-5)

ここに

- H_F : 落橋防止構造の設計地震力(kN)
 P_{LG} : 当該支点を支持する下部構造の橋軸方向の水平耐力(kN)
 R_d : 死荷重反力(kN)。ただし、2連の桁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。

- (3) 落橋防止構造の設計遊間量は、式(10-6)により算出する値を超えない範囲で可能な限り大きい値としなければならない。

$$S_F = c_F S_E \dots \dots \dots \text{式(10-6)}$$

- S_F : 落橋防止構造の設計最大遊間量(m)
 S_E : 桁かかり長(m)
 c_F : 落橋防止構造の設計変位係数で、0.75を標準とする。

- (4) 落橋防止構造の取付部における鋼部材の照査は、割増係数1.7を考慮した許容応力度を用いて道示IIの照査法に準じて行う。
- (5) 落橋防止構造から地震力の作用を受ける上部構造の部位は道示V14.1(4)の規定に基づいて設計する。また、下部構造の部位は、鉄筋コンクリート部材の場合においては道示IV8章の規定に、また、鋼製部材の場合においては道示IIの規定に基づいてそれぞれ設計する。

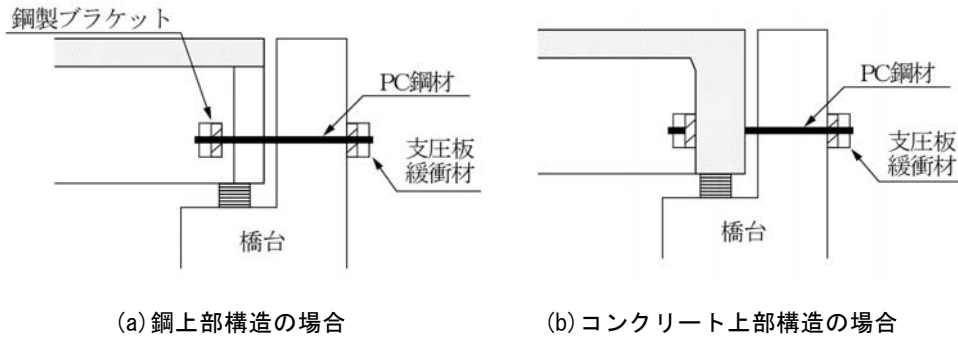


図 10-7 上部構造と下部構造を連結する落橋防止構造の例

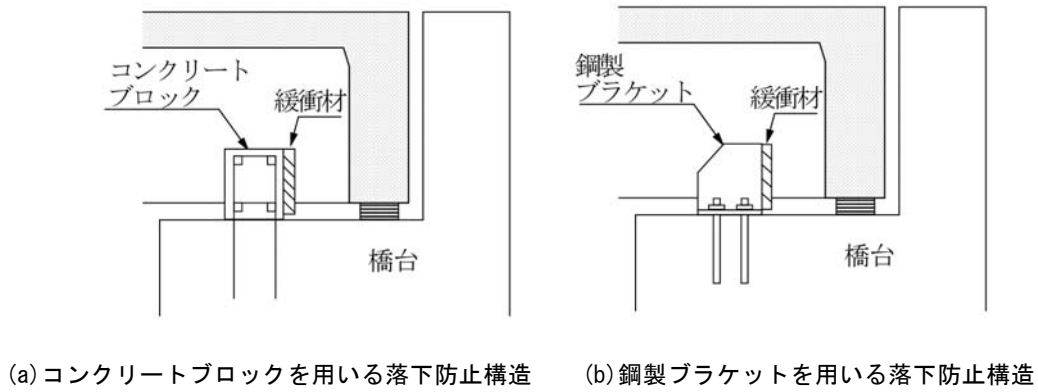


図 10-8 上部構造と下部構造に突起を設ける落橋防止構造の例

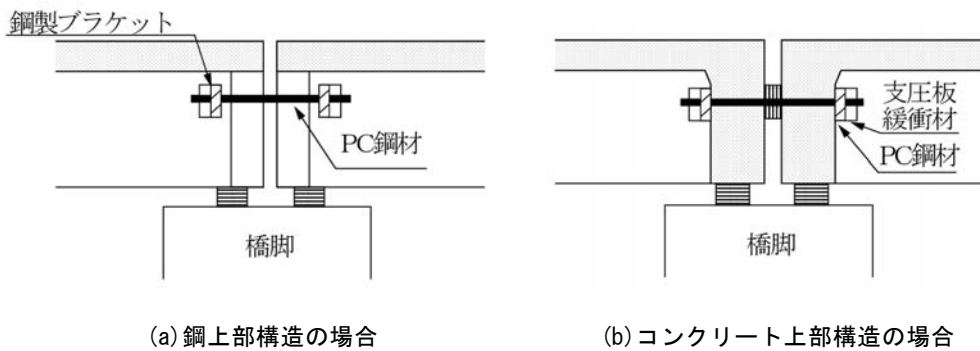


図 10-9 2連の上部構造を相互に連結する落橋防止構造の例

10-4 横変位拘束構造

道示V
(H24.3) P314

- (1) 横変位拘束構造は、道示V16.1(4)1)に該当する橋の上部構造においては端支
点に、また、道示V16.1(4)2)に該当する橋の上部構造においては端支点及び中
間支点到に設置しなければならない。
- (2) 横変位拘束構造の耐力は、式(10-7)により算出する設計地震力を下回って
はならない。この場合、横変位拘束構造の耐力は、鋼部材の場合においては割増係
数1.7を考慮した許容応力度から算出してよい。コンクリート部材の場合におい
ては、その耐力を用いてよい。

$$H_S = P_{TR} \quad \left. \begin{array}{l} \dots \dots \dots \text{式(10-7)} \end{array} \right\}$$

ただし、 $H_S \leq 3 k_h R_d$

ここに、

- H_S : 横変位拘束構造の設計地震力(k N)
- P_{TR} : 当該支点を支持する下部構造の橋軸直角方向の水平耐力(k N)
- k_h : レベル1地震動に相当する設計水平震度で、道示V6.3.3の規定に
よる。
- R_d : 死荷重反力(k N)

- (3) 横変位拘束構造の設計遊間量は、レベル2地震動に対する支承部の橋軸直角方
向への変形量に余裕量を見込んだ値とする。
- (4) 横変位拘束構造の取付部における鋼部材の照査は、割増係数1.7を考慮した許
容応力度を用いて道示IIの照査法に準じて行う。
- (5) 横変位拘束構造から地震力の作用を受ける上部構造の部位は道示V14.1(4)の
規定に基づいて設計する。また、下部構造の部位は、鉄筋コンクリート部材の場
合においては道示IV8章の規定に、また、鋼製部材の場合においては道示IIの規
定に基づいてそれぞれ設計する。