

V. 耐震設計編

1. 設計一般	1
1.1. 耐震設計の基本方針	1
1.2. 耐震設計一般	2
1.3. 設計図等に記載すべき事項	3
2. 地震動の特性値	4
2.1. 一般	4
2.2. レベル1地震動の特性値	4
2.3. レベル2地震動の特性値	5
2.4. 地域別補正係数	5
2.5. 耐震設計上の地盤種別	5
2.6. 耐震設計上の地盤面	6
3. 耐荷性能の照査	7
3.1. 一般	7
3.2. 橋の限界状態1に対する各部の限界状態	8
3.3. 橋の限界状態2に対する各部の限界状態	8
3.4. 橋の限界状態3に対する各部の限界状態	10
3.5. 解析手法	11
4. 静的解析による耐荷性能の照査方法	12
4.1. 一般	12
4.2. 静的照査法を適用する場合の地震の影響	12
4.2.1. 一般	12
4.2.2. 慣性力	12
4.2.3. 固有周期	13
4.2.4. 設計水平震度	14
4.2.6. 地震時土圧	15
4.2.7. 地震時動水圧	15
4.3. 地盤の流動力	15
4.4. レベル1地震動を考慮する設計状況に対する照査	16
4.4.1. 一般	16
4.4.2. 慣性力の算出方法	16
4.5. レベル2地震動を考慮する設計状況に対する照査	17
4.5.1. 一般	17
4.5.2. 慣性力の算出	18
5. 動的解析による耐荷性能の照査方法	19
5.1. 一般	19

5.2. 動的解析に用いる地震動	19
5.3. 解析方法及び解析モデル	20
5.3.1. 解析方法	20
5.3.2. 橋及び部材のモデル化	20
6. 地盤の液状化	23
6.1. 一般	23
7. 免震橋の耐荷性能の照査	26
7.1. 一般	26
7.2. 免震橋の構造計画	26
7.3. 免震橋における下部構造の限界状態	27
8. 鉄筋コンクリート橋脚	28
8.1. 一般	28
8.2. 鉄筋コンクリート橋脚の破壊形態の判定及び地震時保有水平耐力	28
8.3. 鉄筋コンクリート橋脚の限界状態の照査	30
8.4. 鉄筋コンクリート橋脚の限界状態に対する水平耐力及び水平変位	31
8.5. 上部構造等の死荷重による偏心モーメントが作用する単柱式の鉄筋コンクリート橋脚の地震時保有水平耐力及び限界状態	32
8.6. 鉄筋コンクリート橋脚の構造細目	33
8.7. 軸方向鉄筋の段落し	36
9. 鋼製橋脚	36
10. 橋脚基礎	37
10.1. 一般	37
10.2. 基礎の限界状態	38
10.3. 橋脚基礎の塑性化を期待する場合の橋脚基礎の応答塑性率及び応答変位	39
11. 橋台及び橋台基礎	42
11.1. 一般	42
11.2. 橋台及び橋台基礎に作用する力	44
11.3. 橋台基礎の塑性化を期待する場合の橋台基礎の応答塑性率の算出	44
12. 上部構造	46
12.1. 一般	46
13. 支承部	46
13.1. 一般	46
13.2. 支承部に作用する力	47

14. 遊間及び伸縮装置	48
15. 落橋防止システム	49
15.1. 一般.....	49
15.2. 橋軸方向に対して上部構造が容易に落下しないための対策.....	49
15.3. 橋軸直角方向に対して上部構造が容易に落下しないための対策.....	52
15.4. 回転方向に対して上部構造が容易に落下しないための対策.....	53
15.5. 落橋防止構造及び横変位拘束構造の設置の例外.....	54
15.6. 落橋防止構造及び横変位拘束構造の設計上の配慮事項.....	54

1. 設計一般

1.1. 耐震設計の基本方針

- (1) 橋の耐震設計は、橋の重要度に応じて、「道示 I 1.8 設計」に規定する橋の性能を満足させ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荷性能を有するように配慮する。

【参考】H29 道示 V 2 章
p-11～45

H29 道示 I 1.8
p-16～28

- (1) 橋は、地震後における避難路や救助・救急・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。このため、橋の耐震設計においては、地震時における橋の安全性を確保するとともに、橋の重要度に応じて、地域社会生活に支障を与えるような機能の低下をできるだけ抑制すること及び地震によって損傷が生じた場合にも、その損傷の発見や機能の回復が比較的容易にできることが重要である。
- (2) 構造計画の観点から、耐震性の高い橋を設計するために検討する事項の例を以下に述べる。
 - 1) 地盤調査結果等に基づき、地盤条件及び地盤の振動特性を十分に把握する。
 - 2) 地震時に不安定となることが予測される斜面等では、地盤調査結果に基づいて下部構造の設置位置を検討する。
 - 3) 津波の影響を受ける可能性がある地域においては、その地域の防災計画と一体となった橋梁計画とする。
 - 4) 地形・地質・地盤条件、立地条件等を考慮して、地震に抵抗する構造を適切に選定する。
 - 5) 橋全体系としてエネルギー吸収能に優れた構造とする。
 - 6) 支承部の破壊による上部構造の落下を防止する観点では、慣性力を複数の下部構造に分担させる地震時水平力分散構造やラーメン構造の採用を検討する。
 - 7) 橋の耐震性能の確保のために特別な配慮が必要となる可能性がある構造形式はできるだけ避けるように配慮する。①～③に具体的な例を示す。
 - ① 過度に斜角の小さい斜橋
 - ② 過度に曲率半径が小さい曲線橋
 - ③ 上部構造等の死荷重による偏心モーメントが作用する橋脚のように死荷重により大きな偏心モーメントを受ける橋脚構造
 - 8) 軟弱粘性土層のすべりや砂質地盤の液状化、液状化に伴う流動化等、地盤の変状が生じる可能性のある埋立地盤や沖積地盤上では、水平剛性の高い基礎を選定したり、多点固定方式やラーメン形式等の不静定次数の高い構造系の採用の検討をする。
 - 9) 部分的な破壊が橋全体系の崩壊につながる可能性のある構造系では、当該部分の部材には損傷が生じないようにするか、損傷が生じる場合にもその損傷を限定的に抑えるように配慮する。
 - 10) 支承部の設計においては、取付部周辺に損傷が生じて、落橋防止のための対策に機能的な悪影響が生じないように、装置本体とその取付部の設計等に十分留意する。
 - 11) 地震後の損傷の発見及びその損傷の修復が著しく困難と考えられる箇所には、修復が必要となるような損傷を生じさせないような構造計画とするなど、特に点検及び修復の容易さに対する配慮を行う。

12) 地震による部材の損傷に伴い、その部材や損傷部位周辺の破片等の落下による第三者被害が生じることがないように配慮する。

1.2. 耐震設計一般

- (1) 耐震設計として、以下の2段階の設計地震動を考慮する。
- 1) 変動作用として考慮する、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)
 - 2) 偶発作用として考慮する、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)。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。
- (2) 橋の耐震設計においては、「道示Ⅰ 2.3 橋の耐荷性能」に示す橋の重要度に応じた橋の耐荷性能を確保する。
- (3) 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する。

(1) 地震の影響 (EQ) は、表 1-1 に示す影響を考慮する。

表 1-1 地震の影響を考慮する項目と道示の参照箇所

地震の影響を考慮する項目	道示の参照箇所
構造物及び土の重量に起因する慣性力	道示V 4.1 慣性力 p.71～98
地震時土圧	道示V 4.2 地震時土圧 p.98～102
地震時動水圧	道示V 4.3 地震時動水圧 p.102～107
地盤振動変位	道示V 2.5 耐荷性能の照査 (8) p.33
液状化に伴って生じる地盤の流動化の影響	道示V 4.4 地盤の流動力 p.108～113

(3) 橋の重要度に応じて、橋の耐荷性能を設定する (表 1-2 参照)。

表 1-2 設計地震動と目標とする橋の状態

橋の耐荷性能	考慮する作用の状況	橋の状態
橋の耐荷性能 1 (A種の橋)	変動作用支配状況 (レベル1地震動)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 橋としての荷重を支持する能力が失われていない (橋の限界状態 1) ・ 致命的な状況ではない (橋の限界状態 3)
	偶発作用支配状況 (レベル2地震動)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 致命的な状況ではない (橋の限界状態 3)
橋の耐荷性能 2 (B種の橋)	変動作用支配状況 (レベル1地震動)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 橋としての荷重を支持する能力が失われていない (橋の限界状態 1) ・ 致命的な状況ではない (橋の限界状態 3)
	偶発作用支配状況 (レベル2地震動)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 部分的に荷重を支持する能力の低下が生じているが、橋としてあらかじめ想定する荷重を支持する能力の範囲である状態 (橋の限界状態 2) ・ 致命的な状況ではない (橋の限界状態 3)

表 1-3 橋の重要度区分

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"> ・ 一般国道の橋 ・ 県道のうち、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

【参考】 H29 道示V 2.2 p.14～16
H29 道示V 3.1 p.46～47

【補足】
タイプⅠの地震動は大きな振幅が長時間繰り返して作用する地震動であるのに対し、**タイプⅡの地震動**の継続時間は短い極めて大きな強度を有する地震動であり、その地震動の特性が異なることから、両方の地震動を耐震設計で考慮している。

橋の重要度とは地震後における橋の社会的役割及び地域の防災計画上の位置付けを考慮して設定する。

耐震設計上の安全性とは、地震による上部構造の落下や橋脚の倒壊によって人命を損なうことのないようにすること、**耐震設計上の供用性**とは、地震後において橋が本来有すべき通行機能や、避難路や救助・救急・医療・消火活動及び緊急物資の輸送路としての機能を維持できること、**耐震設計上の修復性**とは、地震によって生じた損傷に対する修復の容易さという。

【参考】 H29 道示V 2.3 p.16～19

【参考】 H29 道示V 2.2 p.14～16
H29 道示V 2.4 p.19～31

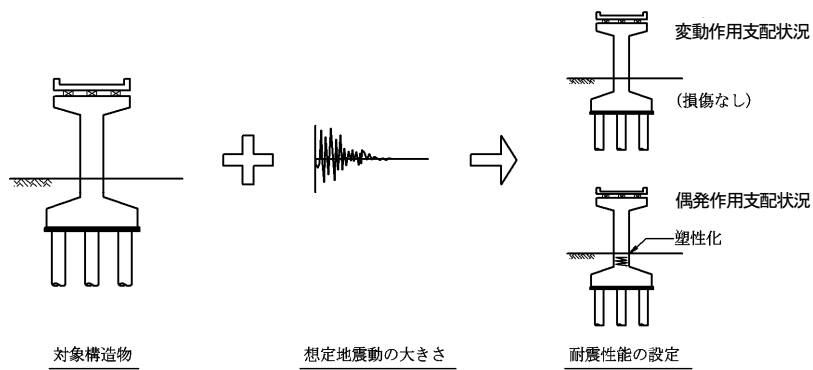


図 1-1 地震力と耐震性能の設定イメージ（橋の耐荷性能2）

- (4) 支承部の破壊は落橋を引き起こす可能性があるため、支承部に破壊が生じて、上部構造の落下を防止できるように配慮する。

1.3. 設計図等に記載すべき事項

(1) 設計図等には、施工及び維持管理の際に必要な事項を記載する。

- (1) 耐震設計において記載する事項としては、以下の事項がある。

1) 橋の耐荷性能

レベル2地震動に対して確保している橋の耐震性能及び橋の限界状態の設定の考え方を記載する。特に主たる塑性化を期待する部位及び副次的な塑性化を考慮する部位について記載する。

2) 耐震設計上の地盤種別

3) 固有周期と設計水平震度

地震動のレベルと種類に応じて、設計に用いた値を記載する。

4) 支承条件と落橋防止システムの考え方

橋軸方向及び橋軸直角方向のそれぞれに対して、支承条件(固定支承、可動支承、弾性支承、免震支承等)を記載する。

5) 設計の前提とした施工の条件

6) 設計の前提とした維持管理に関する事項

特に、地震による塑性化を期待する部材及び部位並びにその部材の想定する修復の実現性

【補足】

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挙げられる。

【参考】 H29 道示 V 1.9
p-8~10

2. 地震動の特性値

2.1. 一般

(1) レベル1地震動及びレベル2地震動は「H29 道示V 3.2 レベル1地震動の特性値及び3.3 レベル2地震動の特性値」による。

(1) 「道示V3.3 レベル2地震動」に規定するレベル2地震動の加速度応答スペクトルは、我が国がおかれる地震環境を考慮した上で、本地震動を用いて設計される道路橋の耐震性能を統一的に確保するために設定しているものである。

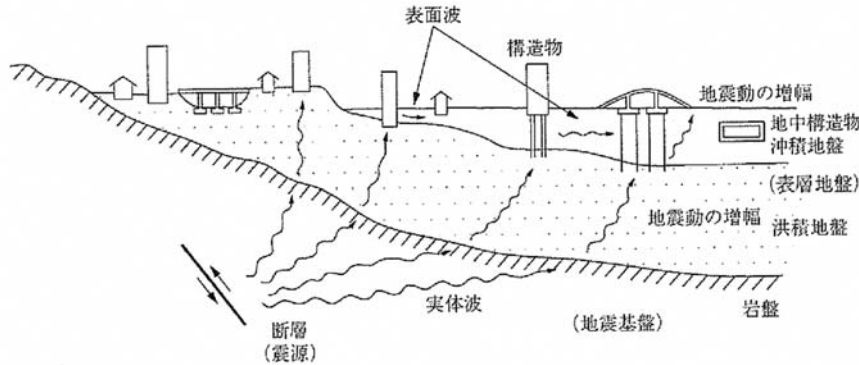


図 2-1 地震波の伝搬模式図

2.2. レベル1地震動の特性値

(1) レベル1地震動の特性値は「H29 道示V3.2 レベル1地震動の特性値」による。
 (2) 加速度応答スペクトルは、耐震設計上の地盤面に設定する。

(2) 加速度応答スペクトルを図 2-2 に示す。

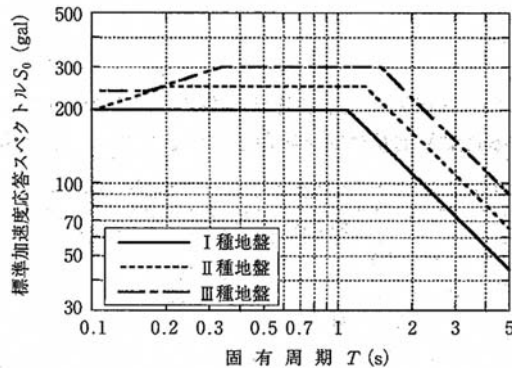


図 2-2 レベル1地震動の標準加速度応答スペクトル S_0

【参考】 H29 道示V 3.1
p-46~47
H29 道示V 3.2
p-48~49
H29 道示V 3.3
p-50~54

【補足】
道示では、個別の建設地点における地震動を適切に推定することができる場合の対応を条文として規定することはせず、東北地方の太平洋沖の連動型の地震や東海地震、東南海地震、南海地震及び日向灘地震が連動する場合等を含む日本近海のプレート境界で発生する可能性がある大規模な地震の影響を考慮したうえで、「道示V3.2 レベル1地震動の特性値及び3.3 レベル2地震動の特性値」に規定する加速度応答スペクトルに基づいて設定されている。

【参考】 H29 道示V 3.2
p-48~49

【補足】
設計地震動の表し方としては**時刻歴波形**や加速度応答スペクトル等があるが、**加速度応答スペクトル**は、特定の地震動に対して任意の固有周期及び減衰定数を持つ1自由度系の最大応答加速度として定義されるものであり、地震動の表し方として一般的であることから、設計地震動は加速度応答スペクトルに基づいて設定されている。

レベル1地震動の標準加速度応答スペクトル S_0 は、従来からの慣行と経験上の事実を統合した上で、我が国の地盤上において観測された強震記録から求めた減衰定数 0.05 の加速度応答スペクトルの統計解析結果に基づき、これに既往の地震被害の特性、地盤の振動特性、その他の工学的判断を加えて、定められている。

2.3. レベル2地震動の特性値

- (1) レベル2地震動の特性値は「H29 道示V3.3 レベル2地震動の特性値」による。
- (2) 加速度応答スペクトルは、耐震設計上の地盤面に設定する。

(2) 加速度応答スペクトルを図 2-3、図 2-4 に示す。

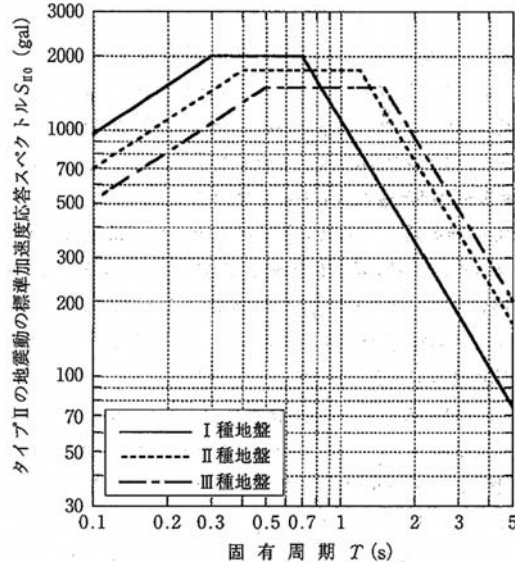
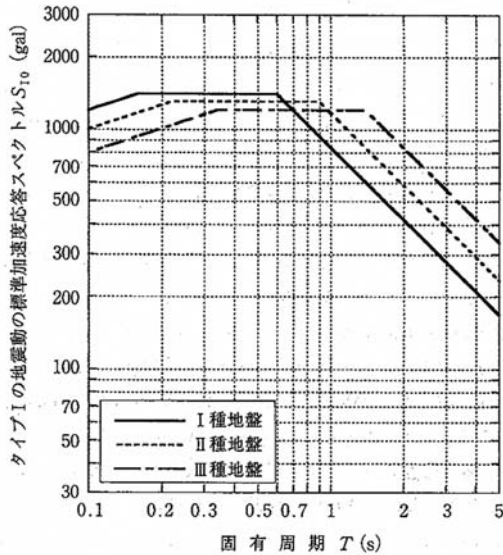


図 2-3 タイプIの地震動の標準加速度応答スペクトル

図 2-4 タイプIIの地震動の標準加速度応答スペクトル

2.4. 地域別補正係数

- (1) 地域別補正係数は「H29 道示V 3.4 地域別補正係数」により、静岡県全域で同じ補正係数“A1地域”とする。

・ A1地域 : $c_z=1.0$, $c_{Iz}=1.2$, $c_{IIz}=1.0$

2.5. 耐震設計上の地盤種別

- (1) 耐震上設計上の地盤種別は地盤の基本固有周期 T_G をもとに表 2-1 により区分する。
- (2) 地表面が耐震設計上の基盤面と一致する場合は I 種地盤と判断する。

(1) 耐震設計上の基盤面は、対象地点に共通する広がりを持ち、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。ここで、十分堅固な地盤とは、せん断弾性波速度 300m/s 程度（粘性土層では N 値 25、砂質土層では 50）以上の値を有している剛性の高い地層と考える。

表 2-1 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	$0.6 \leq T_G$

【参考】 H29 道示 V 3.3
p-50～54

【補足】
タイプ I の地震動の標準加速度応答スペクトル S_{10} は、大正 12 年 (1923 年) 関東地震において、東京周辺で生じた地震動の例としてとらえ、近年の多数の地震観測記録を考慮した距離減衰式による加速度応答スペクトルの推定結果に基づき、政府機関から公表されている東海地震等の地震動予測結果等も踏まえ、工学的判断を加えて定められている。
タイプ II の地震動の標準加速度応答スペクトル S_{10} は、兵庫県南部地震において地盤上で観測された強震記録に基づき、設定されている。

【参考】 H29 道示 V 3.4
p-55～65

【参考】 H24 道示 V 3.6
p-68～70

【補足】
概略の目安としては、I 種地盤は良好な洪積地盤及び岩盤、III 種地盤は沖積地盤のうち軟弱地盤、II 種地盤は 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と考える。ここでいう沖積層には、がけ崩れ等による新しい堆積層、表土、埋立土及び軟弱層を含み、沖積層のうち締まった砂層、砂れき層、玉石層については洪積層として取り扱う。

- 盛土部に位置する場合の地表面の考え方はフーチングが位置している地盤面を基本に考え、図 2-5 のように考える。また、切土部も同様に完成後の地盤に着目して地表面を設定する。

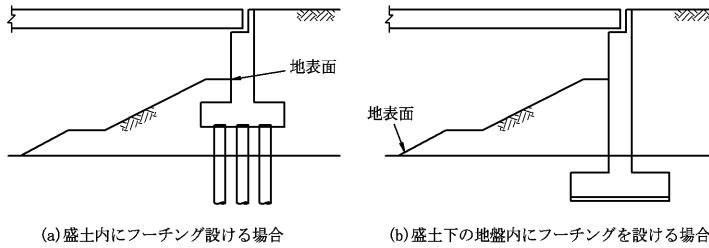


図 2-5 盛土等における地表面のとり方

- 基盤面が設定できない場合は、ボーリングで確認された深さまでの地盤の基本固有周期を算出し、その値が 0.6 以上であれば、Ⅲ種地盤と考える。

2.6. 耐震設計上の地盤面

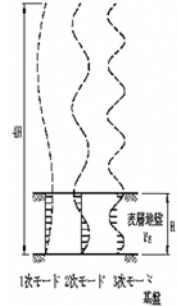
(1) 耐震設計上の地盤面は、水平抵抗を期待できる地盤の上面とし、次の 1)~3)のいずれか深い地盤面とする。

- 「H29 道示Ⅳ 8.5.2 設計上の地盤面」に規定する地盤面
- フーチングを有する基礎においてはフーチング下面
- 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「H29 道示Ⅴ 3.5 耐震設計上の地盤面」に準じて設定した地盤面。

- 橋脚等の周辺の耐震設計上の地盤面から地表面までの土層の重量に起因する慣性力は一般には考慮しない。
- 設計地震動の入力位置としての耐震設計上の地盤面の位置は、フーチング周辺の埋戻しの良否の影響を受けないため、直接基礎及び杭基礎の場合にフーチング周辺の埋戻しが十分に行われる場合にも、フーチング下面とする。
- 地震時に地盤反力が期待できない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。なお、地震時に地盤反力が期待できない土層とは、以下に該当する土層とする。
 - 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、耐震設計上の土質定数を零とする土層。
 - 地表面から3m以内の深さ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20kN/m²以下の土層（耐震設計上ごく軟弱な土層として判定し、耐震設計上その土質定数は零とする）。

【補足】

地盤の基本固有周期は、弾性波動理論によって得られたものであり、表層地盤の1次の固有振動モードを示す1波長の1/4のモードとなっており、4Hすなわち1波長をVsで除して求められる。



【参考】H29 道示Ⅴ 3.5 p-66~70

【補足】

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して定めた地盤面であり、設計地震動の入力位置である。これは、耐震設計上、地盤の水平抵抗が期待できるとして定めた地盤の上面である。耐震設計において、一般に、その面より上方の土層については地盤抵抗を考慮しないが、その面よりも下方の土層については地盤抵抗を考慮する。

土の重量に起因する慣性力とは、橋台の背面土の重量による慣性力が該当する。

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、液状化する土層で耐震設計上土質定数を零とする土層である。

3.2. 橋の限界状態1に対する各部の限界状態

- (1) 橋の限界状態1は、橋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とする。
- (2) 上部構造、下部構造、上下部接合部の限界状態は、「H29 道示V 2.4.2 橋の限界状態1に対する上部構造、下部構造及び上下部接合部の限界状態」による。

(1) 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が使用性に影響を与えない軽微な状態である。

- 一般的な橋においては、限界の状態を越えないとみなせるためには、各構造の状態は可逆性を有し力学的特性や挙動が弾性範囲にあることが求められる。
- 基礎を支持する地盤については、その力学特性に大きな変化が生じない限界の状態を限界状態とする。
- 上部構造端部に取り付ける伸縮装置については、これに損傷が生じると車両の通行に支障が生じるため、損傷が生じない限界の状態を限界状態として設定する。

【参考】H29 道示V 2.4.2
p-20

【補足】
可逆性とは、荷重が除荷されたときに元の状態に戻ることができる状態

3.3. 橋の限界状態2に対する各部の限界状態

- (1) 橋の限界状態2は、橋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とする。
- (2) 上部構造、下部構造、上下部接合部の限界状態は、「H29 道示V 2.4.3 橋の限界状態2に対する上部構造、下部構造及び上下部接合部の限界状態」による。
- (3) 塑性化を考慮する部材は、確実にエネルギー吸収を図ることが必要であることから、塑性化を期待する部材のみ塑性化が生じ、その塑性化の程度が橋の限界状態2を越えないとみなせる状態にとどめなければならない。

(1) 橋の限界状態2では、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、塑性化を考慮する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る状態とするのがよい。

(3) 一般的な橋においては、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、その修復が速やかに行える部材として、主として柱基部で曲げによる塑性化が生じる橋脚または、免震橋における免震支承とする。

- 大水深のダム湖に建設される橋脚や水深の深い河川や海上に架かる橋等の橋脚において柱基部に損傷が生じると、地震後の損傷の発見及び修復が著しく困難と考えられる。このため、こうした場合には、協議の上、柱基部の塑性化の有無を設定する。
- 上部構造は、直接活荷重が載荷される部材であることから、耐震設計上の供用性の観点からは、基本的に限界状態1とすることが望ましい。
- 免震支承を用いた免震橋の場合には、免震支承によるエネルギー吸収を確実にできるように橋脚の塑性化の進展を限定的にとどめる。
- 基礎については、エネルギー吸収を図ることが可能な部材であるが、基礎の本体に変形を生じさせながらエネルギーを吸収することになるため、ある程度の損傷が生じることも想定される。しかし、基礎の損傷は発見が難しく、また、その修復も大がかりなものとなり容易ではないことから、主たる塑

【参考】H24 道示V 2.4.3
p-20～26

【補足】
塑性化を考慮する部材とは、塑性化により確実にエネルギー吸収を図ることができる部材及び損傷が生じなくてもエネルギー吸収を図ることができる部材又は装置のことであり、橋全体系において主として塑性化又はエネルギー吸収を考慮する部材のことである。

副次的な塑性化とは、主たる塑性化を考慮する部材とは別の部材における設計上エネルギー吸収を考慮しない程度の塑性化のことをいう。

基礎の副次的な塑性化とは、基礎の降伏以下に相当する塑性化のことであるが、基礎の降伏に達する前の段階において地盤の塑性化等により水平力と水平変位の関係が非線形となるため、副次的な塑性化と表現している。

性を考慮せず、副次的な塑性化が生じる程度となるように限界状態を設定する。

- 橋脚が設計地震力に対して十分大きな耐力を有している場合、又は、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、架橋地点の制約条件等を踏まえた損傷の発見及び修復の方法を検討した上で、基礎の塑性化を期待した設計を行ってもよい。

【参考】 H29 道示V 2.4.5 p-27~28

【補足】 橋に影響を与える液状化が生じると判定される土層がある場合、H24 道示では基礎に塑性化を期待した設計を行ってもよいことが規定されていたが、H29 道示では、地震後の橋の状態を適切に評価するための調査や、損傷していた場合の復旧性も含めた一連の震後対応の観点も考慮して決定するとされる。ここでは、これまでの経緯も踏まえ、水深が深いダム湖や海上、河川等を除き、一般的な条件の橋では、条件により復旧の容易性は異なるものの、調査・復旧は可能であると判断し、塑性化を期待した設計を行ってもよいとした。

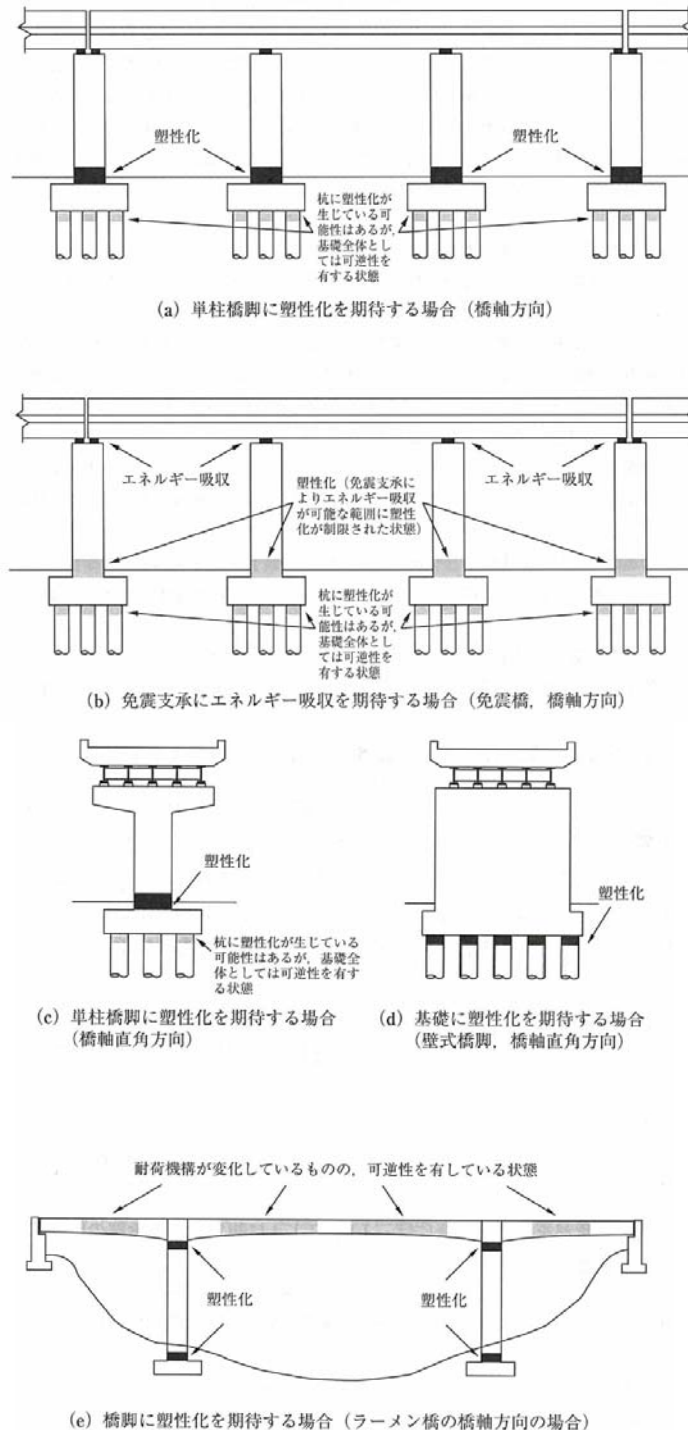
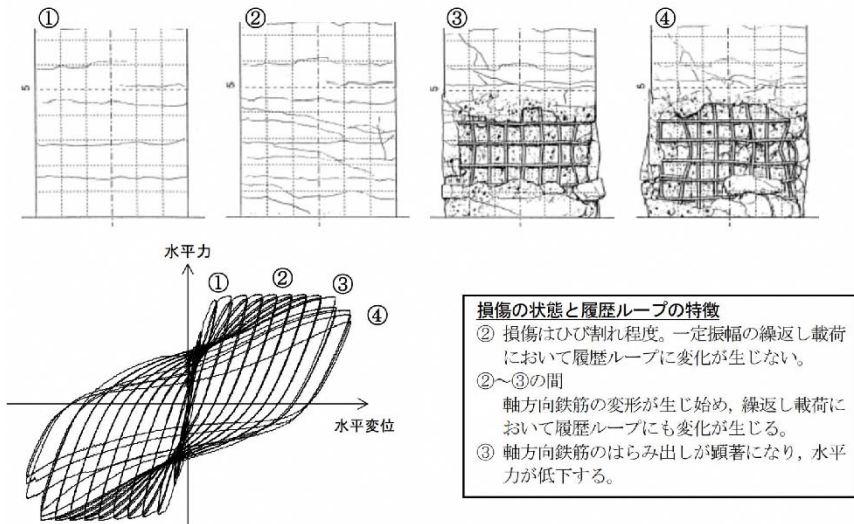
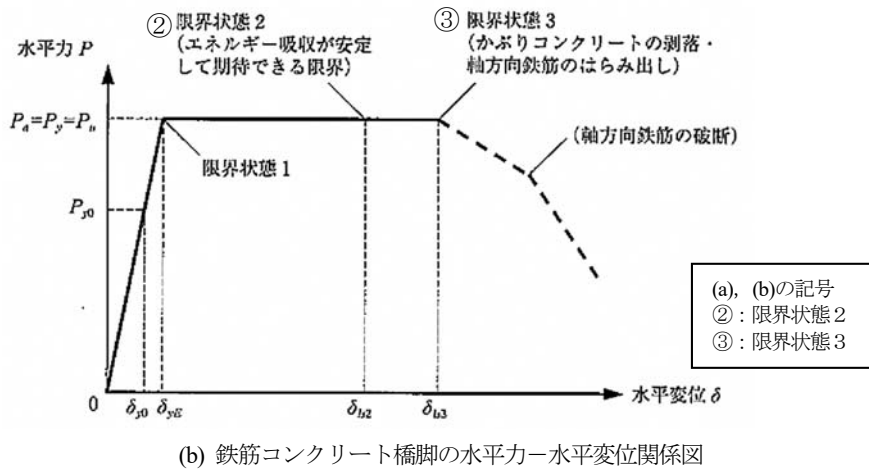


図 3-2 塑性化又はエネルギー吸収を考慮する部材の組合せ



(a) 柱基部で曲げ破壊するタイプの鉄筋コンクリート橋脚の水平力-水平変位関係と損傷の進展



(b) 鉄筋コンクリート橋脚の水平力-水平変位関係図

図 3-3 橋脚の限界状態

【出典】
「耐震補強設計技術資料」
5.2 p-12

【参考】 H29 道示V
図解 8.3.1 p-175

3.4. 橋の限界状態3に対する各部の限界状態

【参考】 H29 道示V 2.4.4
p-26~27

- (1) 橋の限界状態3は、荷重を支持する能力が完全に失われていない状態とする。
- (2) 上部構造、下部構造、上下部接合部の限界状態は、「H29 道示V 2.4.3 橋の限界状態3に対する上部構造、下部構造及び上下部接合部の限界状態」による。

- ・ 塑性化を期待する部材の組合せの考え方は「3.3. 橋の限界状態2に対する各部の限界状態」と同じである。
- ・ 橋脚に塑性化を期待する場合は、安定したエネルギー吸収能が確保できなくなる限界は超えるものの、上部構造を支持するための橋脚の鉛直耐力を保持できる状態とする。
- ・ 基礎の塑性化を期待する場合は、基礎本体に大きな損傷が生じるような状態における基礎の地震時挙動が十分に解明されていないため、限界状態3の制限値は限界状態2に相当する制限値と同じとする。
- ・ 免震支承を用いる場合は、免震支承が耐荷力を完全に失っていない状態である必要があり、照査を行うにあたってはこの制限値を適切に設定する必要がある。なお、橋脚の塑性化の程度は橋の限界状態2に対応する橋脚の状態と同じであることを照査する。

3.5. 解析手法

- (1) 応答値の算出に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)~3)に該当する場合には、静的解析を用いてもよい。
- 1) 1次固有振動モードが卓越している
 - 2) 塑性化を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が検証されている

(1) 表 3-1 を参考に解析手法を設定する。

表 3-1 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 塑性化の有無	1)~3) 全てに該当	2)又は3) に該当しない橋	1) に該当しない橋	1)又は2) に該当しない橋
	地震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を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	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
塑性化を期待しない 限界状態1	静的解析	静的解析	動的解析	動的解析
塑性化を期待する 限界状態2 又は 3	静的解析	動的解析	動的解析	動的解析
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^{注1)} ・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 ※一般に1.5秒以上 ・橋脚高さが高い橋 ※一般に30m程度以上 	<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

注1) 構造系が単純で、地震応答が特定の固有振動モードによって決まり、主たる塑性化の生じる部位が明確になっている場合であれば、荷重漸増荷重解析により全体系の非線形挙動を解析し、これとエネルギー一定則等を組み合わせた静的解析を用いて照査することができる。

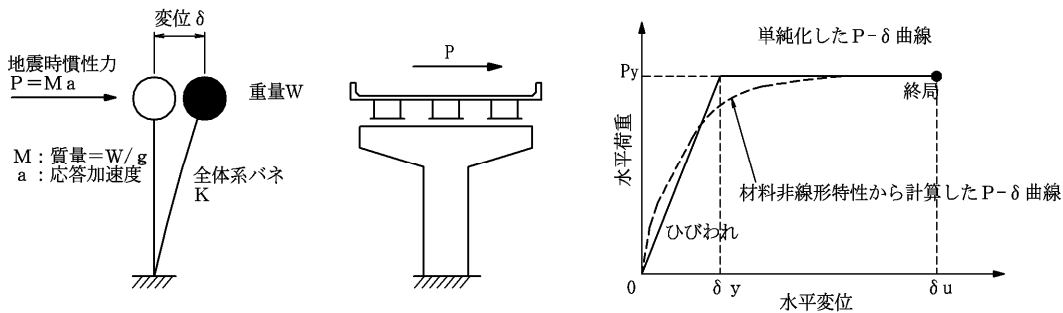


図 3-4 静的設計法の概要

【参考】H29 道示V 5章 p-114~133

【補足】
動的解析は、地震時の挙動を動力学的に解析するため橋の地震応答特性の推定においては構造形式等に関する制約条件が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。
静的解析は、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ない。

4. 静的解析による耐荷性能の照査方法

4.1. 一般

- (1) レベル1地震動を考慮する設計状況の設計を行う場合は、「H29 道示V 4章 地震の影響の特性値」による作用を考慮し、「H29 道示V 6.1 地震の影響を考慮する状況における部材等の限界状態」の規定に準じて、限界状態1及び限界状態3の照査を行う。
- (2) レベル2地震動を考慮する設計状況の設計を行う場合は、「H29 道示V 4章 地震の影響の特性値」による作用を考慮し、「H29 道示V 6.1 地震の影響を考慮する状況における部材等の限界状態」の規定に準じて、限界状態1、限界状態2、限界状態3の照査を行う。

【参考】H29 道示V 4章
p-71～113
H29 道示V 6.1
p-134～135

4.2. 静的照査法を適用する場合の地震の影響

4.2.1. 一般

- (1) 静的照査法で考慮する地震の影響としては、表 1-1 に示す影響を考慮する。
- (2) 耐震設計上の地盤面より下方の構造部分には、慣性力、地震時土圧及び地震時動水圧を作用させない。

【参考】H29 道示V 2.3
p-16～19

【補足】

地震時に地盤も振動し、基礎に支持された橋脚と上部構造の振動によっても基礎の振動が励起されるため、基礎にも慣性力が作用する。その結果、地盤と構造物の間で動的相互作用効果が現れる。このような動的相互作用効果を静的な耐震計算に取り入れるために考え出されたのが耐震設計上の地盤面という考え方であり、これより上方の構造部分に慣性力、地震時土圧及び地震時動水圧を作用させるが、これより下方の構造部分には慣性力、地震時土圧及び地震時動水圧は作用させない。

- (2) 橋台背面から橋台に作用する地震時土圧は、耐震設計上の地盤面が橋台背面のフーチング下面にあるか、それよりも下方にあるかによらず、橋台背面のフーチング下面から上方の部分に対して作用させる。

4.2.2. 慣性力

- (1) 慣性力は「H29 道示V 4.1.4 設計振動単位」による振動単位ごとの固有周期に応じて、レベル1地震動及びレベル2地震動に対して算出する。
- (2) 慣性力の算出及び作用方向は、「H29 道示V 4.1.3 静的解析に用いる慣性力」による。
- (3) 支承部の設計においては、水平2方向の慣性力とともに、鉛直方向の慣性力も考慮する。
- (4) 上部構造の慣性力の作用位置は、上部構造の重心位置とする。ただし、支承部において曲げモーメントが下部構造に伝達されない場合には、上部構造の慣性力の作用位置は支承の底面としてよい。

【参考】H29 道示V 4.1.4
p-83～86

【参考】H29 道示V 4.1.3
p-81～83

- (1) 慣性力の算出においては、橋台も慣性力を分担する条件の場合には、橋台を含む構造系を1つの設計振動単位とする。このほか、斜橋の場合は、単純桁橋で両端の支承条件が橋軸方向に固定・可動の場合にも、土圧の水平成分方向に慣性力を作用させる場合には、両端とも固定条件となるため、設計振動単位が複数の下部構造とそれが支持している上部構造からなる構造として取り扱う。
- (2) 地震時には、2方向の慣性力が同時に最大値をとる可能性が低いことから、水平2方向の慣性力を独立に橋に作用させる。
 - ・ 鉛直方向の地震動が上下部構造の耐震性に与える影響は一般に小さいので考慮しないが、常時死荷重により大きな偏心モーメントを受ける部材等の場合にはこの影響を考慮する。
- (3) 上部構造に作用する水平力によって支承部に作用する鉛直力と鉛直方向の地震動の影響が重なることから、支承部の設計においては鉛直方向の慣性力も考慮する。
- (4) 直橋の橋軸方向では、一般的に支承部は桁の回転を許すことから、支承部において曲げモーメントが伝達されないため、上部構造の慣性力の作用位置は支承部の回転中心位置となるが、支承部の高さの影

響は比較的小さいため、設計の便宜上、支承部の底面とする。

- 橋軸直角方向の場合のように、慣性力の作用方向の直角方向と支承線の方向が一致しない場合には、水平力、鉛直力のほかにモーメントが下部構造の頂部に作用することから、上部構造の慣性力の作用位置は上部構造の重心位置とする。
- 斜角を有する橋脚の橋軸方向も、上部構造の慣性力の作用位置は上部構造の重心位置とする。

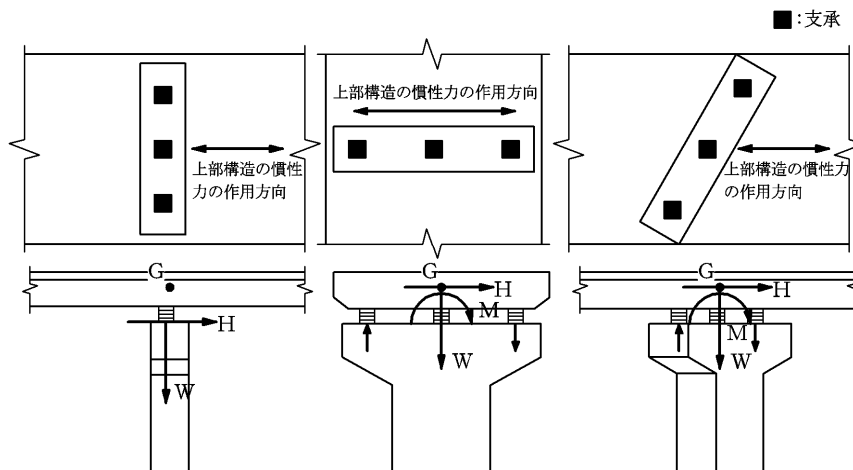


図 4-1 下部構造の耐震設計における上部構造の慣性力の作用位置と下部構造の頂部に作用する荷重

- 可動支承のみを有する下部構造（橋脚、橋台）の場合の上部構造の慣性力は以下のように設定する。
 - レベル1地震動に対しては、支承に作用する静摩擦力を考慮する。
 - レベル2地震動に対しては、橋脚の場合は上部構造の死荷重反力の1/2に設計水平震度を乗じた力を考慮し、橋台の場合は支承の静摩擦力を考慮する。

【参考】H29 道示V 4.1.1
p-71~73

4.2.3. 固有周期

- (1) 固有周期は、部材及び基礎の変形の影響を考慮して算出する。ただし、地震時に不安定となる地盤がある場合の土質定数の低減は見込まないで固有周期を算出する。

【参考】H29 道示V 4.1.5
p-86~92

- (2) 非線形履歴特性を有する部材のように、その変形の大きさによって剛性が大きく変化するものがあるため、固有周期の算出においてはこの影響を考慮する。

- 橋脚の剛性は、レベル1地震動を考慮する設計状態では橋脚の全断面を有効とみなした剛性を、レベル2地震動を考慮する設計状態では橋脚の降伏剛性を用いる。
- 上部構造及び基礎の剛性は、レベル1地震動及びレベル2地震動のいずれの設計状態においても、全断面を有効とみなした剛性とする。

- 地盤反力係数は、レベル1地震動及びレベル2地震動いずれの設計状態においても、H29 道示IVの規定により求める。ただし、固有周期を算出する際は、地震時に地盤に生じる変形に相当する地盤の剛性（H29 道示V p.88 の考え方）から地盤反力係数を求める。
- 固有周期の算出に際して、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る土層がある場合であっても、土質定数の低減は見込まない。

- 地震時水平力分散構造に用いる弾性支承のように変形によって剛性がほとんど変わらない支承ではその剛性を用いて、免震支承のように等価剛性が変形によって変化する支承では有効設計変位に相当する等価剛性を用いる。

【補足】
橋脚の全断面を有効とみなした剛性とは、鉄筋コンクリート橋脚の場合はコンクリートの全断面を有効とし、鋼材を無視して算出した剛性である。また、**降伏剛性**は、橋脚の曲げ変形による降伏時の割線剛性 K_y のことであり、橋脚の降伏耐力 P_y と降伏変位 δ_y の比 ($K_y = P_y / \delta_y$) により求める。

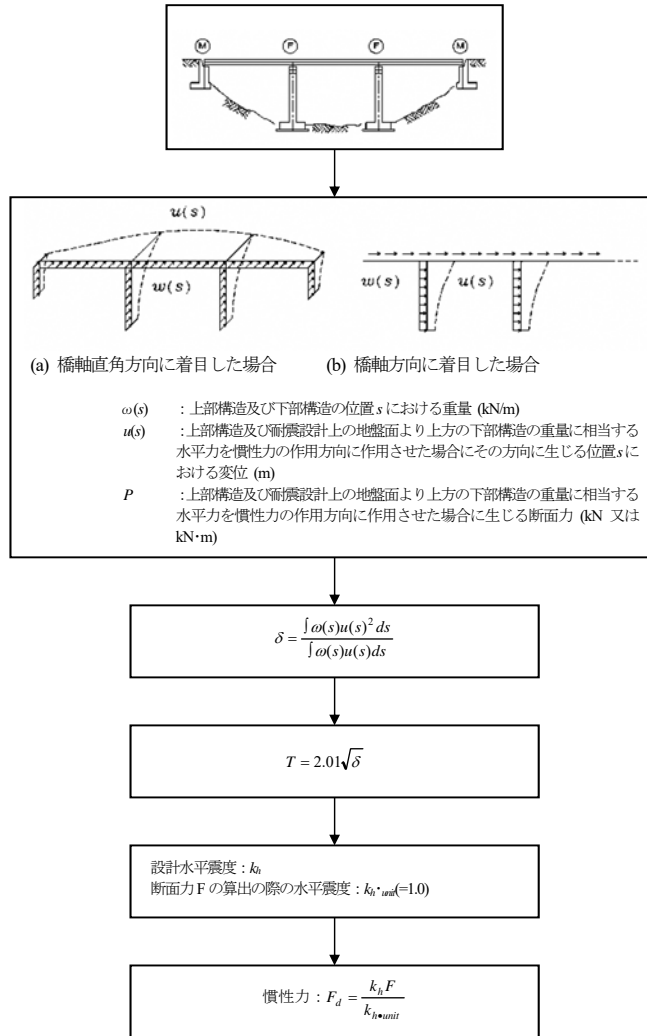


図 4-2 固有周期及び慣性力の算出の手順

4.2.4. 設計水平震度

- (1) 設計水平震度は「H29 道示V 4.1.6 設計水平震度」による。
- (2) 同一の設計振動単位においては、設計水平震度は同一の値を用いること。ただし、土の重量に起因する慣性力及び地震時土圧の算出に際しては、下部構造位置における地盤種別に応じて算出される設計水平震度を用いる。

- (2) 同一の設計振動単位では設計水平震度は同一の値を用いることとし、橋脚ごとの地盤種別を考慮して求めた設計水平震度のうち最も大きな値とする。

【参考】H29 道示V 4.1.6
p-93~98

4.2.6. 地震時土圧

(1) 地震時土圧は、構造物の種類、土質条件、設計地震動のレベル、地震時の挙動等を考慮して、「H29 道示V 4.2 地震時土圧」に準じて算出する。

4.2.7. 地震時動水圧

(1) 地震時動水圧は、水位、下部構造の形状及び寸法、設計地震動のレベル等を考慮して、「H29 道示V 4.3 地震時動水圧」に準じて算出する。
 (2) 地震時動水圧の作用方向は、上部構造の慣性力の作用方向と一致させる。

- (1) 地震時動水圧の影響が大きくなるのは、一般に水深の深い高橋脚を有する橋の場合である。
- ・ 軟弱土層及び液状化した土層における地震時動水圧は、設計上考慮しない。
 - ・ 固有周期の算出においては、地震時動水圧の影響は考慮しない。

4.3. 地盤の流動力

(1) 橋に影響を与える液状化が生じると判定される土層がある場合は、「H29 道示V 4.4 地盤の流動力」の規定に基づき、必要に応じ地盤の流動化の影響を考慮する。
 (2) 橋に影響を与える流動化が生じる地盤であるかの判定は「H29 道示V 4.4.1 橋に影響を与える流動化が生じる地盤の判定」による。
 (3) 地盤の流動力の算出は、「H29 道示V 4.4.2 地盤の流動力の算出」による。

- (1) 流動化は、液状化に伴う支持力の低下に応じて生じるもので、液状化すると判定され、かつ、偏土圧が作用する土層で流動化が生じる可能性が高い。

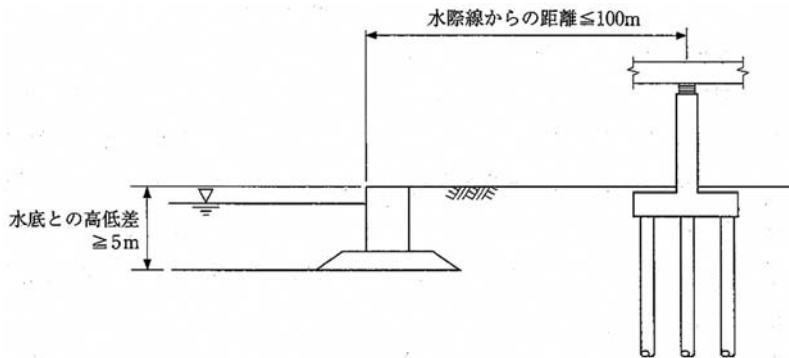


図 4-3 水底との高低差及び水際線から距離の取り方

- ・ 河川部における流動化のメカニズムや構造物に与える影響は、臨海部で生じた現象とは異なると考えられるが、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の低水護岸の背後の高水敷及び直立式の特殊堤の堤内地盤が本規定に該当する場合は、臨海部に準じて、流動化の影響を考慮する必要がある。

橋台は背面に土圧を受けるため偏土圧に抗するように設計される構造物であり、仮に流動化の影響を受けても前面に押し出される方向に移動することにより、上部構造の落下には直接つながりにくいため、一般に橋台に関しては流動化の影響を考慮した耐震性能の照査は省略してよい。

【参考】 H29 道示V 4.2 p-98～102

【補足】 地震時主動土圧係数は、レベル1地震動及びレベル2地震動のいずれに対しても適用可能な修正物部・岡部法に基づいて、一般的な橋台背面土の材料、施工状況、橋台の形状等を考慮して定められている。

【参考】 H29 道示V 4.3 p-102～107

【補足】 地震時動水圧の影響の反映のさせ方としては、静的な荷重に置き換える方法、付加質量に置き換える方法、水との連成を考慮した動的有限要素法による方法等があるが、静的照査法においては、静的な荷重に置き換える方法とする。

レベル2地震動に対して水に接する下部構造の耐震性能の照査を行う場合には、地震時動水圧の影響を考慮することができる解析モデルを用いた動的解析により地震時の挙動を解析すること。動的解析において地震時動水圧の影響を考慮する方法は、水と接している下部構造の領域に、地震時動水圧の影響をモデル化した質量を付加する方法とする。ここで、水の付加質量とは、地震時動水圧の影響を考慮するために下部構造躯体に付加させる仮定の質量のことであり、この付加質量の運動によって生じる慣性力によって地震時動水圧の影響を簡便にモデル化することができる。

【参考】 H29 道示V 4.4 p-108～113

【参考】 H29 道示V 4.4.1 p-108～110

- 斜角の小さい橋等、流動化の影響により、上部構造が回転し大きな変位が生じる可能性がある場合、また、橋台が上部構造を押し出すことにより、中間橋脚部等で大きな変位が生じる可能性がある場合については、桁の連続化の検討や落橋防止システムに対する検討を行い、橋全体系としての耐震性を向上させる配慮を行う。

4.4. レベル1地震動を考慮する設計状況に対する照査

4.4.1. 一般

(1) レベル1地震動を考慮する設計状況に対する照査は、地震時土圧、地震時動水圧及び慣性力を作用させた時に各部材に生じる断面力、変位に対し、「H29 道示V 6.1 地震の影響を考慮する状況における部材等の限界状態」の規定により照査を行う。

【参考】 H29 道示V 6.1
p-134～135

(1) レベル1地震動を考慮する設計状況に対する主な照査項目を表 4-1 に示す。

表 4-1 橋の限界状態 1 に対応する各部材等の主な照査項目

耐震性能 1 を満たす各部材の限界状態			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	限界状態 1	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	断面力 or 応力度 < 制限値
	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	限界状態 1	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 < 制限値
	鋼製支承				応力度 < 許容応力度
橋脚及び橋台		限界状態 1	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	断面力 or 応力度 < 制限値
基礎		限界状態 1	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	変位 < 制限値 安定 < 制限値 断面力 or 応力度 < 制限値
フーチング		限界状態 1	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	断面力 or 応力度 < 制限値

4.4.2. 慣性力の算出方法

(1) 慣性力は、構造物の重量に設計水平震度を乗じた水平力とする。支点の条件が作用方向に対して可動の場合は、上部構造の慣性力として支承の静摩擦力を支点に作用させる。

【参考】 H29 道示V 4.1
p-71～98

4.5. レベル2地震動を考慮する設計状況に対する照査

4.5.1. 一般

【参考】H29 道示V 6.1
p-134~135

- (1) レベル2地震動を考慮する設計状況に対する照査は、地震時土圧、地震時動水圧及び慣性力を作用させた時に各部材に生じる断面力、変位に対し、「H29 道示V 6.1 地震の影響を考慮する状況における部材等の限界状態」の規定により照査を行う。
- (2) 静的解析には、荷重漸増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。
- (3) 下部構造の照査では、慣性力を算出した後、設計振動単位を1基の下部構造とそれが支持している上部構造部分を単位とする構造系に分割して行う。
- (4) 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、橋脚に準じて照査を行う。

- (3) ラーメン橋の面内方向の場合のように、塑性化が複数箇所で生じ、その塑性化の程度によって構造系内で断面力の再配分が生じる場合にはこの影響を考慮する必要があり、設計振動単位を分割せずに全体をモデル化する必要がある。
- (4) 橋台の壁及びパラペットについては、レベル1地震動に対する耐震性能1の照査を満たせば、レベル2地震動に対する照査の対象であるか否かにかかわらず、レベル2地震動に対する耐震性能2又は耐震性能3の照査を省略する。
- 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場合には、橋脚と同じような振動特性を示す場合もあるため、橋脚と同様の照査を行う必要がある。

表 4-2 橋の限界状態2に対する各部材の主な照査項目

(一般的な桁橋で鉄筋コンクリート橋脚に塑性化を期待する場合)

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	本体	限界状態1	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	断面力 or 応力度<制限値
	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	応答値 <上部構造端部の遊間
支承部	弾性支承	限界状態1又は2	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<制限値 応力度<制限値
	鋼製支承	限界状態1			応力度<制限値
橋脚		限界状態2	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	応答変位<制限値 残留変位<許容残留変位
基礎		限界状態1	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	応答変位<制限値
	フーチング	限界状態1	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	断面力 or 応力度<制限値

表 4-3 橋の限界状態 3 に対する主な照査項目

(一般的な桁橋で鉄筋コンクリート橋脚に塑性化を期待する場合)

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	本体	限界状態 1 又は 3	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	断面力 or 応力度<制限値
	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	応答値 <上部構造端部の遊間
支承部	弾性 支承	限界状態 1	耐震設計上の修 復性	耐震設計上の 安全性	せん断ひずみ<制限値 応力度<制限値
	鋼製 支承				応力度<制限値
橋脚		限界状態 3	耐震設計上の安 全性		応答変位<制限値
基礎		限界状態 1	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	応答変位<制限値
		フーチ ング	限界状態 1	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

4.5.2. 慣性力の算出

- (1) 慣性力は、構造物の重量に設計水平震度を乗じた水平力とし、これを設計振動単位の慣性力の作用方向に作用させる。
- (2) 可動の場合においては、上部構造の死荷重反力の 1/2 に設計水平震度を乗じた力を支点に作用させる。

(2) このような慣性力を考慮するのは可動支承のみを有する下部構造(橋脚及び橋台)を対象としており、1つの下部構造上で固定支承と可動支承の両方を有する橋脚の場合には適用しない

【参考】 H29 道示 V 4.1
p-71~98

5. 動的解析による耐荷性能の照査方法

5.1. 一般

- (1) 動的解析を用いて橋に作用する慣性力の影響を算出する場合は、「H29 道示V 4.1.2 動的解析を用いる場合の慣性力」により、各部材に生じる断面力、変位等を算出する。
- (2) 動的解析では、「H29 道示V 5.2 動的解析」により解析目的及び設計地震動のレベルに応じて、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。
- (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、「H29 道示V 4.1.2 動的解析を用いる場合の慣性力」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。
- (4) 各部材の照査等は、「本編 4.4.1. 及び 4.5.1. 」による

- (1) 地震時土圧又は地震時動水圧のうち、動的解析で考慮されていない地震の影響については、別途静的な荷重としてこれらを求め、動的解析の結果に加え合わせる必要がある。
- (2) 動的照査法により耐震性能の照査を行う場合には次の事項を確認する。
 - ① 解析モデルや設定パラメータが構造特性に適合している。
 - ② 固有周期、固有振動モードの形状、応答波形、履歴曲線、変形分布、断面力分布、塑性化が生じた部材の位置等に基づき橋全体系の挙動を把握し、得られた解析結果が橋の地震時の挙動からみて妥当である。
 - ③ 塑性化を考慮してはならない部位に塑性化が生じていない。
 - ④ 部材に塑性化が生じることにより橋全体系が不安定にならない。
 - ⑤ 免震橋においては、設計で考慮したように主として免震支承でエネルギーを吸収している。

5.2. 動的解析に用いる地震動

- (1) 動的解析に用いる加速度波形は、「H29 道示V 4.1.2 動的解析を用いる場合の慣性力」による。
- (2) 地震動は、橋への影響が大きくなる方向に入力する。
- (3) 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。

- (1) 時刻歴応答解析には、「H29 道示V 図-解 4.1.2～図-解 4.1.4」の標準加速度波形を用いる。
- (2) 地震動は、一般には、橋軸方向及び橋軸直角方向に別々に入力すればよい。
 - ・ 曲線橋のように、橋脚ごとに地震の影響が大きい方向が異なる場合には、いたずらに検討ケースを増やすのではなく、入力方向を適切に変化させて部材ごとに影響が大きい方向を照査の対象とする。
 - ・ 橋全体系の構造が非対称である場合など、入力地震動の振幅の正負を変えた場合に応答が大きく変わる場合にも、部材ごとに影響が大きい方向を照査の対象とする。
- (3) 1つの設計振動単位の中で、下部構造の位置により地盤種別が異なる場合は、それぞれの地盤種別に対する地震動を下部構造の位置の地盤種別によらず共通に作用させて動的解析を行い、慣性力を求める。

【参考】 H29 道示V 4.1.2
p-73～80

【参考】 H29 道示V 5.2
p-116～131

【参考】 H29 道示V 4.1.2
p-73～80

【参考】 H29 道示V 4.1.2
p-73～80

【補足】
時刻歴応答解析法とは、時刻歴で与えられる入力地震動を外力項とする振動系の運動方程式を逐次数値計算により解くことによって、振動系の応答値を時々刻々と求める方法である。時刻歴応答解析法には、個々の固有振動モードに対する 1 自由度系の運動方程式をそれぞれ解き、それらを重ね合わせることによって多自由度系の時刻歴応答を求めるモード解析法、運動方程式を時間領域で解く直接積分法等がある。

5.3. 解析方法及び解析モデル

5.3.1. 解析方法

- (1) 動的解析には、時刻歴応答解析を用いること標準とする。

【参考】 H29 道示V 5.2
p-116～131

5.3.2. 橋及び部材のモデル化

- (1) 橋全体系のモデル化は、橋の地震時の挙動に応じて、橋の構造特性、部材の材料特性、地盤の抵抗特性等に対して行う。
- (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) 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、rayleigh型減衰モデルを用いた粘性減衰モデルとする。

【参考】 H29 道示V 5.2
p-116～131

- (1) 橋全体系の地震時の挙動を表す解析モデルを作成するための基本的な考え方を以下に述べる。

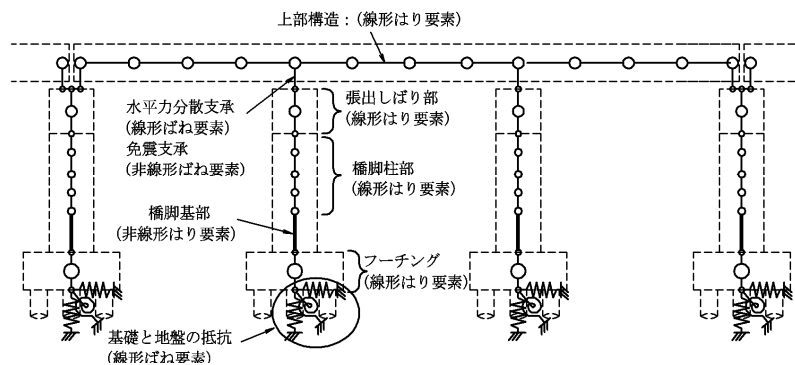


図 5-1 橋の解析モデルの例

1) 節点の設定

構造物の形状を表すために、部材の重心位置に節点や質点を設ける。

2) 動的解析における初期状態

架設時の構造系の断面力やコンクリートの乾燥収縮やクリープの影響などが完成系の構造に残るような構造では、その影響を考慮して動的解析に用いる初期状態を考慮する。

- (2) 部材のモデル化の基本的な考え方を以下に述べる。

- 非線形挙動をする部材は非線形要素でモデル化することを基本とする。
- 橋の主要部材に適用する標準的な非線形履歴モデルを次に示す。

1) 鉄筋コンクリート橋脚

- 鉄筋コンクリート橋脚の非線形履歴特性は、その破壊形態に応じてモデル化する。
- 曲げ破壊型の鉄筋コンクリート橋脚の非線形履歴モデルの骨格曲線は、図 5-2 に示す完全弾塑性型の骨格曲線とする。
- 鉄筋コンクリート橋脚は、塑性変形が大きくなると除荷及び再載荷の剛性が低下する特性を有することから、塑性変形量に応じた剛性低下を表すことができる Takeda モデルを用いる。

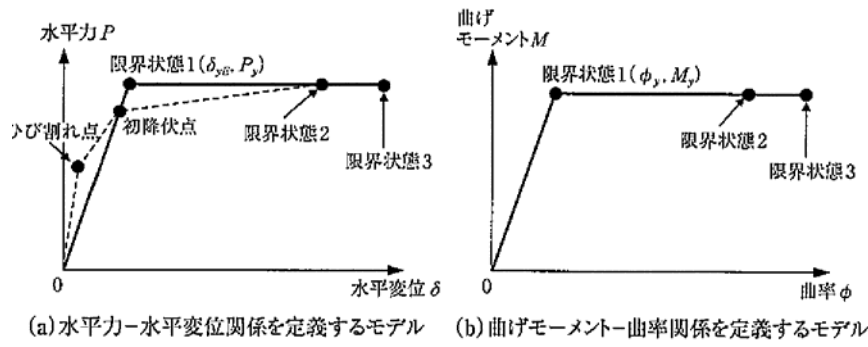


図 5-2 鉄筋コンクリート橋脚の骨格曲線の例

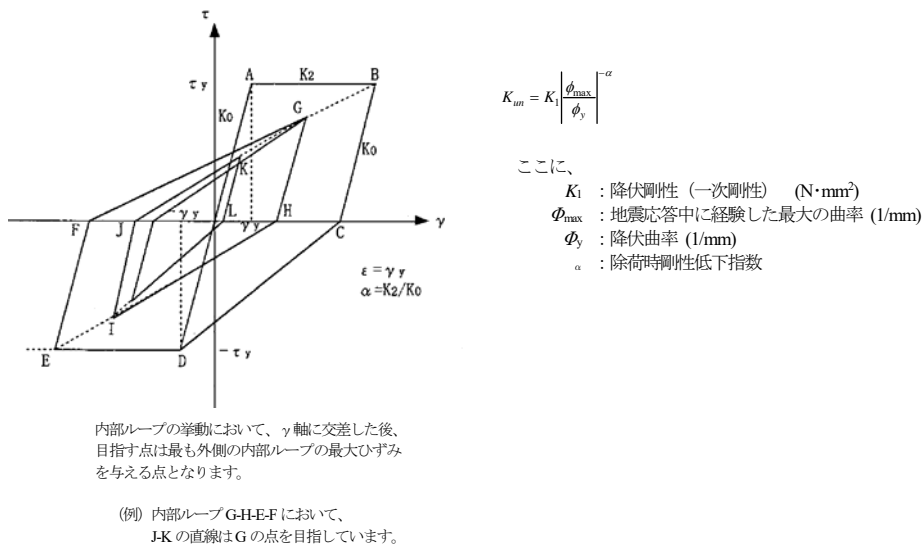


図 5-3 武田 (バイリニア) モデル

2) 鋼製橋脚

- 鋼製橋脚の非線形履歴特性のモデル化は、「H29 道示 V 6.3.2 鋼部材の曲げモーメント-曲率」に規定された曲げモーメント曲率関係の骨格曲線に基づく。また、非線形履歴モデルの硬化則には、コンクリート充てんの有無及び断面形状によらず、図 5-4 に示すような、移動硬化則を適用する。

【参考】H29 道示 V 6.3.2
p-153~157

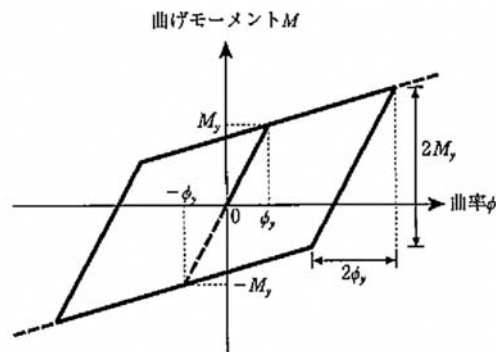


図 5-4 鋼製橋脚の非線形履歴モデルの例 (移動硬化則)

3) 基礎と地盤間の抵抗特性

- 基礎は一般には降伏しないように設計されるため、基礎と地盤間の抵抗特性を表すばねは線形要素によりモデル化する。基礎の抵抗を表わすばね定数は、固有周期を算出する際の地盤反力係数の基準値を用いて算出する。
- 地震時に不安定となる地盤がある場合の基礎と地盤間の抵抗特性に関しては、特にこの影響を考慮して解析を行う必要はない。

4) 支承部

- 支承部は、支承条件に応じてモデル化する。
- 免震橋では、地震時挙動が免震支承によるエネルギー吸収能に大きく依存しているため、免震支承の非線形履歴特性を適切に設定する。

5) 上部構造

- 鋼上部構造については、局部座屈、全体座屈及び連成座屈の影響を解析的には考慮せずに線形はり要素とする。
- コンクリート上部構造に副次的な塑性化を考慮する場合には、非線形弾性モデルのようにエネルギー吸収を考慮しないモデルを用いる。

(3) 減衰定数は、設計の対象とする設計振動単位に対する Rayleigh 型減衰モデルを用いた粘性減衰モデルとする。

- エネルギー吸収を期待しないゴム支承は減衰定数 0.03 とする。
- 免震支承の場合は、非線形要素によりモデル化され、非線形履歴によりエネルギー吸収が考慮されることから、減衰定数は 0 とする。

表 5-1 各構造要素の減衰定数の標準値

構造部材	線形部材としてモデル化する場合		非線形履歴によるエネルギー吸収を別途考慮するモデルを用いる場合	
	鋼構造	コンクリート構造	鋼構造	コンクリート構造
上部構造	0.02 (ケーブル: 0.01)	0.03	—	
弾性支承	0.03 (使用する弾性支承の実験より得られた等価減衰定数)		—	
免震支承	有効設計変位に対する等価減衰定数		0	
橋脚	0.03	0.05	0.01: コンクリートを充填しない場合 0.02: コンクリートを充填する場合	0.02
基礎	0.1: I 種地盤上の基礎及び II 種地盤上の直接基礎 0.2: 上記以外の条件の基礎		—	

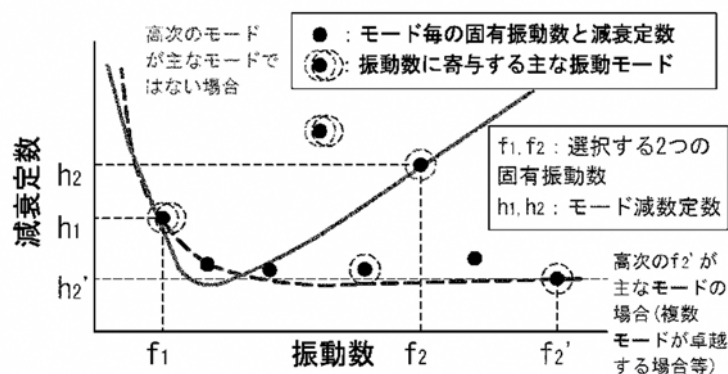


図 5-5 レーリー減衰の設定の例

6. 地盤の液状化

6.1. 一般

【参考】 H24 道示V 7章
p-161~170

- (1) 液状化が橋に及ぼす影響は「H29 道示V 7章 液状化」による。
- (2) 「H29 道示V 7.2 橋に影響を与える液状化の判定」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、「H29 道示V 7.2 耐震設計上の土質を低減させる土層とその取り扱い」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。
- (3) 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照査を行う。
- (4) 橋に影響を与える液状化が生じると判定される土層がある地盤では、「H29 道示V 4.4 地盤の流動化」の規定に基づき、必要に応じて地盤の流動化の影響も考慮する。

(1)(4) 液状化が生じると、見かけの比重の大きな構造物は沈下し、見かけの比重の小さな構造物は浮き上がり、抗土圧構造物は土圧により前面へ押され、また、基礎のように地盤の水平抵抗を期待する構造物はその抵抗を失い大きく変位することがあるので注意が必要である。

さらに、水際線付近や傾斜した地盤においては、液状化に伴い流動化が生じることがあるので注意が必要である。

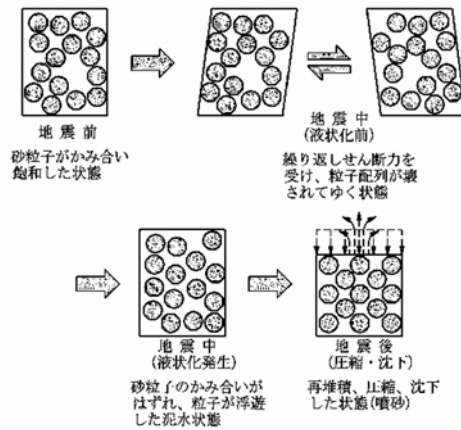


図 6-1 液状化現象の模式図

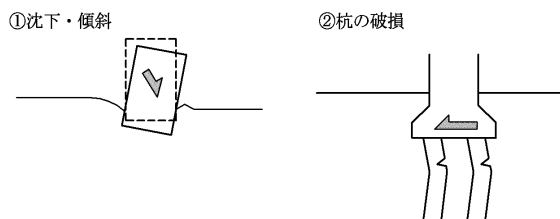


図 6-2 液状化地盤が構造物に影響を及ぼすパターン

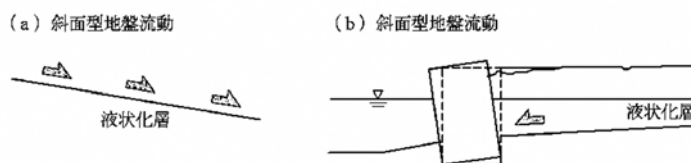


図 6-3 地盤流動のタイプ

(2) 沖積層の土層で以下の①～③の条件全てに該当する場合には液状化の判定を行う。

- 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 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。なお、ここでいう地表面とは完成時における地表面のことである。また、橋台や橋台基礎を対象とする場合は、一般には橋台基礎の前面側における地盤抵抗の低下に着目することになるため、橋台前面側における完成後の地表面から 20m 以内の深さに存在する飽和土層を対象に、液状化の判定を行う。

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。

液状化の判定は、層厚が 1m 程度以上の連続した土層を対象に行い、標準貫入試験を実施した各深度で F_L を算出し、 F_L が 1.0 を下回る箇所がその土層に含まれる場合は、その土層を橋に影響を与える液状化が生じる土層と判定する。

- 土質定数の低減係数 D_E は、1m 程度間隔で F_L を計算し土層ごとに平均的な F_L を求め、この値により低減係数を求める。
- 低減係数 D_E を乗じて低減させる土質定数は、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である。
- 土質定数を零とする又は低減させる土層であっても、重量は低減しない。
- 土質定数を零とする又は低減させる土層における地震時土圧及び地震時動水圧は、地震の影響としては考慮しない。

(4)橋に影響を与える流動化が生じると判定された場合は、流動化が生じると仮定した場合、液状化だけが生じると仮定した場合ならびに液状化及び流動化が生じないと仮定した場合の 3 ケースに対して照査を行う。

【補足】

沖積層とは、第四紀のうち新しい地質時代(更新世)における堆積物及び埋立土による土層である。洪積層は一般に N 値が高く、また、続成作用により液状化に対する抵抗が高いため、一般には液状化の可能性は低く、液状化の判定の対象とする必要はない。洪積層とは、第四紀のうち古い地質時代(更新世)に布ける堆積物による土層である。

洪積層で N 値が小さい土層がある場合は、堆積状況等を踏まえた上で液状化の判定の必要性を判断すること。

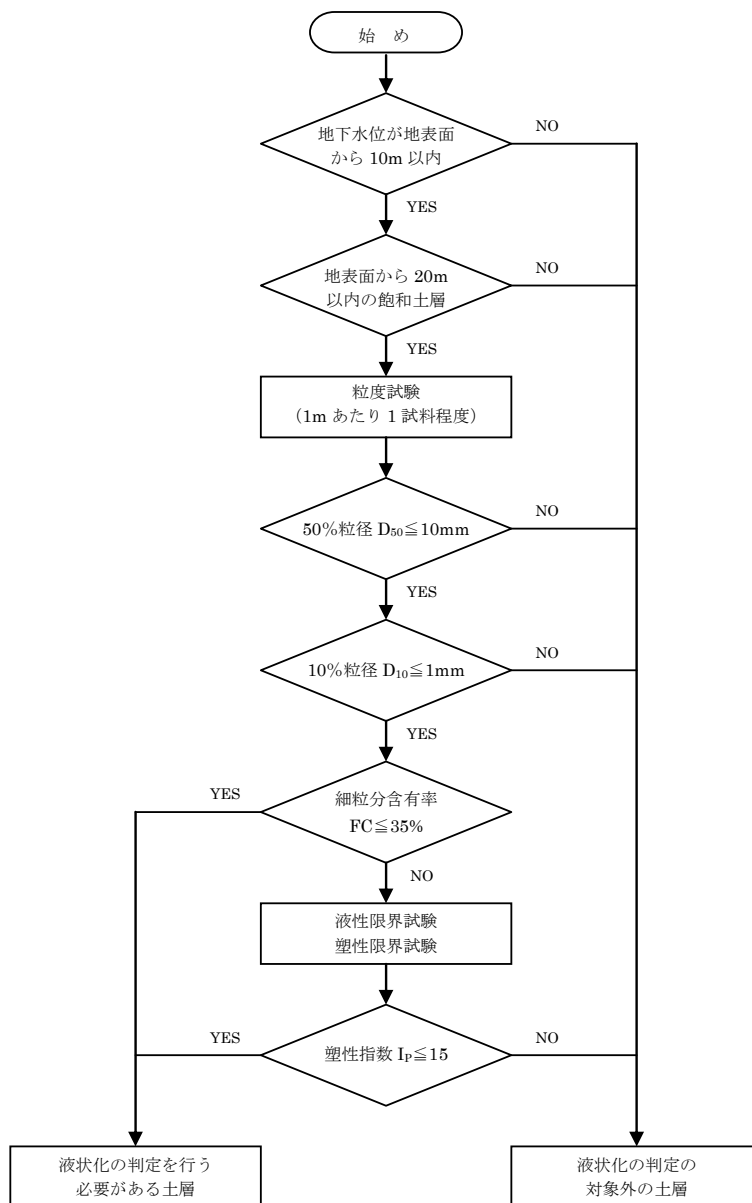


図 6-4 液状化の判定を行う必要がある土層の評価の手順

7. 免震橋の耐荷性能の照査

7.1. 一般

【参考】H29 道示V 14 章
p-297～302

- (1) 免震橋を採用する場合は、「H29 道示V 14 章 免震橋」の規定により、免震橋に固有な設計及び配慮事項を考慮して設計する。

7.2. 免震橋の構造計画

- (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構造で、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があることを確認した上で判断する必要がある。特に、以下のいずれかの条件に該当する場合は、免震橋は採用しない。
- 1) 基礎周辺の地盤が、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) 基礎周辺の地盤が軟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) 永続作用支配状況において、ゴム製の支承本体に引張力が生じる場合
 - 5) 基礎の塑性化を期待する設計を行う場合
- (2) 免震橋を採用した場合は、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る。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とする場合は、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は、免震支承のエネルギー吸収による効果は考慮しない。

(1) 長周期化によって慣性力の低減を図ることが困難なⅢ種地盤等では、過度に長周期化を図るのではなく、減衰性の向上のみを図るのがよい。

- ・ 免震橋は主として免震支承で確実にエネルギーを吸収するように設計することが基本となることから、動的解析の結果をもとに、免震支承に変形が集中し、エネルギー吸収が行われることで確認する。

- 1) 基礎周辺地盤が地震時に不安定となることが問題となるのは、地震時に不安定となる地盤が常時における設計上の地盤面より下方にある場合。
 - 2) 固有周期の長い橋とは、一般に支承条件を全て固定とした場合の固有周期が 1.0 秒程度以上の橋を目安。
 - 3) 地盤と橋の共振の可能性については、地震時の地盤の固有周期と橋の固有周期が近くないことで判断。
- (2) 遊間量を大きくすると、伸縮装置が大がかりな構造となり、維持管理や走行性、振動、騒音等が問題となる場合がある。したがって、免震橋の採用にあたっては、以下のような事項を検討する。
- ① 多径間連続化を図り、橋が一体として振動する構造系にする。
 - ② 上部構造端部や橋台には、大きな応答変位が生じた場合にも、大地震時には実質的な遊間を確保できるような工夫
- (3) 免震支承を慣性力の低減を期待しない地震時水平力分散支承として用いる橋を動的照査法により耐震

性能の照査を行う場合には、支承部は線形ばねとしてモデル化し、その減衰定数はエネルギー吸収を期待しないゴム支承の減衰定数を用いて行う。

7.3. 免震橋における下部構造の限界状態

(1) 以下の 1)及び2)を満足する場合は下部構造の限界状態を越えないとみなしてよい。

- 1) 鉄筋コンクリート橋脚の場合で、鉄筋コンクリート橋脚に生じる水平変位が「H29 道示V 式 (14.3.1)」により算出する水平変位の制限値を越えない。
- 2) 「H29 道示IV 9 章～14 章」に規定する基礎の限界状態 1 を越えない

(1) ここでは、鉄筋コンクリート橋脚を対象としており、鋼製橋脚を用いる場合は、免震支承においてエネルギー吸収が確実にできることに留意したうえで、変位の制限値を個別設定する。

【参考】 H29 道示V 14.3
p-301～302

8. 鉄筋コンクリート橋脚

8.1. 一般

(1) 塑性化を期待する単柱式の鉄筋コンクリート橋脚及び一層式の鉄筋コンクリートラーメン橋脚の耐震設計は、「H29 道示V 8 章 鉄筋コンクリート橋脚」による。

(1)道示では、単柱式の鉄筋コンクリート橋脚及び一層式の鉄筋コンクリートラーメン橋脚を対象としており、はりのない二柱式の鉄筋コンクリート橋脚については、二柱式の鉄筋コンクリートの挙動を適切に考慮したうえで、柱ごとに道示の規定を適用し限界状態を設定することができる。

【参考】H29 道示V 8 章
p-171~218

8.2. 鉄筋コンクリート橋脚の破壊形態の判定及び地震時保有水平耐力

(1) 塑性化を期待する鉄筋コンクリート橋脚は、「H29 道示V 8.3 鉄筋コンクリート橋脚の破壊形態の判定及び地震時保有水平耐力」により破壊形態を考慮したうえで限界状態の特性値及び制限値を設定し、地震時保有水平耐力を算出する。ここで、破壊形態は、曲げ破壊型、曲げ損傷からせん断破壊移行型及びせん断破壊型に区分する。

【参考】H29 道示V 8.3
p-172~177

(1)橋の脆性的な破壊を回避するために、鉄筋コンクリート橋脚の破壊形態が曲げ破壊型となるように設計する。ただし、壁式橋脚の橋軸直角方向のように、橋脚の曲げ耐力が大きく、曲げ破壊型となるように設計することが合理的ではない場合もある。このような場合には、塑性変形能を期待することができないため、破壊に対して適切な安全性を確保することが必要となる。

単柱式の鉄筋コンクリート橋脚模型に対する正負交番繰返し載荷実験の結果より、曲げ破壊型の単柱式の鉄筋コンクリート橋脚の水平力-水平変位関係の骨格曲線は、図 8-1 により表される。

- 橋脚の断面が非常に大きく、軸方向鉄筋比が小さい場合には、算出された終局水平耐力がひび割れ水平耐力よりも小さくなり、橋脚に大きな地震力が作用すると、コンクリートのひび割れ発生とともに水平力が急激に減じて破壊に至る可能性があるため、終局水平耐力をひび割れ水平耐力よりも大きくする。

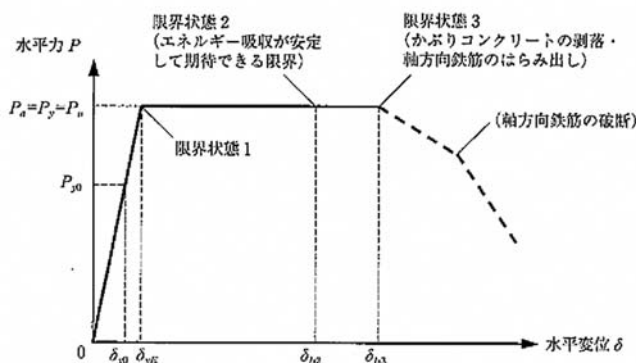


図 8-1 曲げ破壊型の鉄筋コンクリート橋脚の水平力-水平変位関係と限界状態

単柱式の鉄筋コンクリート橋脚の地震時保有水平耐力、限界状態 1、限界状態 2 及び限界状態 3 に対応する変位の制限値の算出の手順を図 8-2 に示す。

【補足】
断面の最外縁にある軸方向引張鉄筋が降伏するときを初降伏限界として初降伏変位 δ_{y0} を算出し、骨格曲線における弾性限界点を降伏変位 δ_y として定義している。これは、初降伏変位を超えても、側方にある軸方向鉄筋の効果により剛性が急激に低下することなく、また、骨格曲線上における弾性限界点を降伏点とする方がエネルギー一定則で仮定している完全弾塑性型の骨格曲線とも一致するためである。

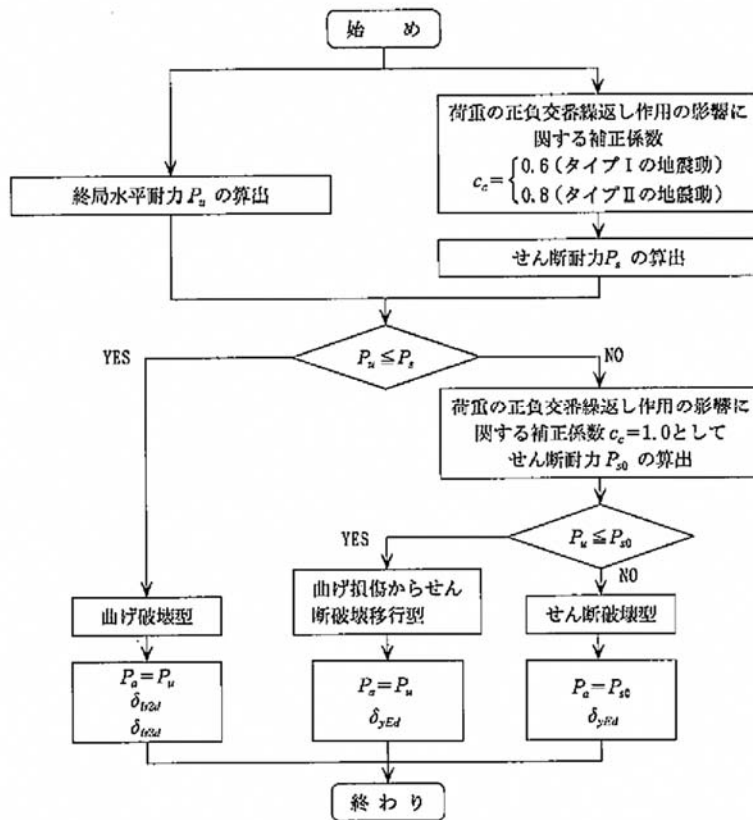


図 8-2 単柱式の鉄筋コンクリート橋脚の破壊形態の判定と地震時保有水平耐力
及び各限界状態に対応する変位の制限値の算出手順

8.3. 鉄筋コンクリート橋脚の限界状態の照査

- (1) 破壊形態に応じた鉄筋コンクリート橋脚の限界状態は「H29 道示V 8.4 鉄筋コンクリート橋脚の限界状態」による。
- (2) 曲げ破壊型の鉄筋コンクリート橋脚の限界状態は以下とおりである。
- 1) 限界状態 1
 - ・鉄筋コンクリート橋脚に生じる水平変位が「H29 道示V 式 (8.4.1)」により算出する制限値を越えない
 - ・鉄筋コンクリート橋脚に生じるせん断力が「H29 道示V 8.6 鉄筋コンクリート橋脚のせん断力の制限値」を越えない
 - 2) 限界状態 2
 - ・鉄筋コンクリート橋脚に生じる水平変位が「H29 道示V 式 (8.4.2)」により算出する制限値を越えない
 - ・鉄筋コンクリート橋脚に生じるせん断力が「H29 道示V 8.6 鉄筋コンクリート橋脚のせん断力の制限値」を越えない
 - ・鉄筋コンクリート橋脚に生じる残留変位が制限値を越えない
 - 3) 限界状態 3
 - ・鉄筋コンクリート橋脚に生じる水平変位が「H29 道示V 式 (8.4.6)」により算出する制限値を越えない
 - ・鉄筋コンクリート橋脚に生じるせん断力が「H29 道示V 8.6 鉄筋コンクリート橋脚のせん断力の制限値」を越えない
- (3) 曲げ損傷からせん断破壊移行型及びせん断破壊型の鉄筋コンクリート橋脚の限界状態は以下とおりである。
- 1) 限界状態 1
 - ・鉄筋コンクリート橋脚に生じる水平変位が「H29 道示V 式 (8.4.1)」により算出する制限値を越えない
 - ・鉄筋コンクリート橋脚に生じるせん断力が「H29 道示V 8.6 鉄筋コンクリート橋脚のせん断力の制限値」を越えない
 - 2) 限界状態 3

限界状態 1 が満足する場合には、限界状態 3 を越えないとみなしてよい。

【参考】 H29 道示V 8.4
p-177～183

【参考】 H29 道示V 8.6
p-199～201

(2) H24 道示では静的解析による鉄筋コンクリート橋脚の照査では、許容塑性率の大きさに応じてエネルギー一定則により低減された設計水平震度を用いて算出する慣性力と部材の地震時保有水平耐力とを比較するという力を指標として行うことが規定されていた。H29 道示では、実際に生じる応答変位を直接的に評価することとされ、鉄筋コンクリート橋脚の応答変位が、部材の限界状態 1、限界状態 2 及び限界状態 3 を超えないとみなせる変位の制限値を設定することが規定されている。

曲げ破壊型と判定された場合にも、ダム湖に架かる橋の橋脚のように地震後の点検や修復が著しく難しい条件等の場合には、このような制約条件を踏まえて設計で考慮する限界状態を定める必要がある。鉄筋コンクリート橋脚に塑性化が生じると、コンクリートにひび割れが生じ、地震後にひび割れが残留する。地震後の残留ひび割れが耐久性に及ぼす影響に関する技術的知見が十分ではないことから、このような条件の場合には塑性化を期待しない部材とするという考え方もある。

- (3) 壁式橋脚の橋軸直角方向のように、橋脚の曲げ耐力が大きく、曲げ破壊型となるように設計することが合理的ではない場合には、塑性変形能を期待することができないため、破壊に対して適切な安全性を確保するために、「H29 道示V 6.2.4 せん断力を受ける部材」に規定される荷重の正負交番繰返し作用の影響に関する補正係数 C_s を 1.0 とした場合の鉄筋コンクリート橋脚のせん断力の制限値を超えないことを確認する。

【参考】H29 道示V 6.2.4
p-142～146

8.4. 鉄筋コンクリート橋脚の限界状態に対する水平耐力及び水平変位

- (1) 単柱式の鉄筋コンクリート橋脚の各限界状態に相当する水平変位の特性値並びに、限界状態 1 に相当する降伏水平耐力及び終局水平耐力は、「H29 道示V 8.5 単柱式の鉄筋コンクリート橋脚の限界状態に対応する水平耐力及び水平変位」により算出する。
- (2) 一層式の鉄筋コンクリートラーメン橋脚の面外方向に対する限界状態に相当する水平変位の特性値並びに水平耐力は、柱部材ごとに単柱式の鉄筋コンクリート橋脚と同様に算出する。
- (3) 一層式の鉄筋コンクリートラーメン橋脚の面外方向に対する各限界状態に相当する水平変位の特性値並びに、終局水平耐力は、「H29 道示V 8.7 一層式鉄筋コンクリートラーメン橋脚の限界状態に対応する水平耐力及び水平変位」により算出する。

【参考】H29 道示V 8.5
p-184～199

【参考】H29 道示V 8.7
p-201～203

- (1) 適用対象は充実断面の単柱式の鉄筋コンクリート橋脚であり、その適用範囲は、鉄筋コンクリート橋脚の軸方向鉄筋比が 2.5%まで、横拘束鉄筋比が 1.8%まで、柱基部の軸圧縮応力度が 3N/mm^2 まで、軸方向鉄筋の種類は SD345、SD390 及び SD490、横拘束鉄筋の種類は SD345、コンクリートの設計基準強度は $21\sim 30\text{N/mm}^2$ である。これ以外の場合は本規定を用いてはならない。

- SD490 の鉄筋を軸方向鉄筋に使用した鉄筋コンクリート橋脚に対する適用性を検証する実験は、 30N/mm^2 以上の強度を有するコンクリートを用いて実施されている。したがって、鉄筋コンクリート橋脚の軸方向鉄筋に SD390 又は SD490 の鉄筋を使用する場合には、設計基準強度 30N/mm^2 のコンクリートを用いる必要がある。
- 中空断面を有する鉄筋コンクリート橋脚で、「H29 道示V 8.9.2(5)」の規定を踏まえ、その解説に示される構造的な配慮をする場合には、塑性ヒンジ領域は充実断面となるため、道示で示す水平力と水平変位の関係の算出方法を適用することができる。
- 塑性ヒンジが中空断面部に形成される可能性のある鉄筋コンクリート橋脚は計画しない。

- (3) 対象とする不静定構造物は、エネルギー一定則の適用性が確認された一層式の鉄筋コンクリートラーメン橋脚であり、二層式のラーメン橋脚や形状の複雑なラーメン橋脚等については、その適用性について別途検討する必要がある。

一層式の鉄筋コンクリートラーメン橋脚では、単柱式の鉄筋コンクリート橋脚と同様に SD390 及び SD490 を柱部材及びはり部材の軸方向鉄筋として使用し、その強度を設計に考慮することができる。

はり部材にプレストレスを導入しているラーメン橋脚ではり部材に塑性化を考慮しない場合は、ここに塑性ヒンジが形成されないように設計する。

8. 鉄筋コンクリート橋脚 8.4 上部構造等の死荷重による偏心モーメントが作用する鉄筋コンクリート橋脚

地震動の種類	レベル2 タイプI	レベル2 タイプII
柱の塑性化	期待する	期待する
耐震性の判定	OK	OK
応答変位に対する判定	$\delta_r \leq \delta_a$ OK	$\delta_r \leq \delta_a$ OK
応答変位 δ_r (mm)	61.19	98.25
最大応答塑性率 μ_r	1.967	3.159
水平変位の制限値 δ_a (mm)	110.16	110.16
限界状態1 δ_{yEd} (mm)	31.10	31.10
限界状態2 δ_{1s2d} (mm)	110.16	110.16
限界状態1の変位の特性値 δ_{yE} (mm)	31.10	31.10
限界状態2の変位の特性値 δ_{1s2} (mm)	169.47	169.47
残留変位に対する判定	$\delta_R \leq \delta_{Ra}$ OK	$\delta_R \leq \delta_{Ra}$ OK
残留変位の制限値 δ_{Ra} (mm)	91.00	91.00
慣性力作用位置 h (m)	9.100	9.100
残留変位 δ_R (mm)	18.05	40.29
残留変位補正係数 cR	0.6	0.6
降伏剛性に対する2次剛性の比 r	0.0	0.0
水平耐力に対する判定	$Pa \geq 0.4cz \cdot W$ OK	$Pa \geq 0.4cz \cdot W$ OK
終局位置	基部	基部
地震時保有水平耐力 Pa (kN)	6770.48	6770.48
破壊形態	曲げ破壊型	曲げ破壊型
終局水平耐力 Pu (kN)	6770.48	6770.48
せん断力の制限値 P_{s0} (係数1.0) (kN)	10765.77	10765.77
せん断力の制限値 P_s (kN)	9263.33	10014.55
$kh \cdot W$ (kN)	11598.34	15613.15
設計水平震度 kh	1.30	1.75
$cz \cdot kh0$ (kN)	1.3000	1.7500
$0.4cz \cdot W$ (kN)	3568.72	3568.72
$0.4cz$ (kN)	0.40	0.40
せん断力に対する判定	$Pres \leq Psd$ OK	$Pres \leq Psd$ OK
作用せん断力 $Pres$ (kN)	6770.48	6770.48
せん断力の制限値 Psd (kN)	9263.33	10014.55
斜引張破壊 $Susd$ (kN)	9263.33	10014.55
圧壊 $Sucd$ (kN)	29440.00	29440.00
等価重量 W (kN)	8921.80	8921.80
等価重量算出係数 cp	0.5	0.5

δ_{Ra} : 慣性力作用位置までの高さの1/100

$Pa \geq khc \cdot W$ であることを照査
 Pa : 地震時保有水平耐力
 $khc \cdot W$: 作用荷重

終局水平耐力, せん断耐力のいずれか小さい方

$khc = cs \cdot cz \cdot khco$

$W = Wu + cp \cdot Wp$
 Wu : 上部構造分担重量
 Wp : 橋脚の重量

水平耐力, 残留変位のそれぞれが満足しているかの照査

$\delta_r = C_R(\mu_r - 1)(1 - r) \delta_{yE}$

$\delta_r \leq \delta_a$ であることを照査

柱部材全体で終局耐力が最も小さい部位
 柱基部又は段落し部

破壊形態の判定(終局水平耐力とせん断耐力を比較)
 $Pu \leq Ps$: 曲げ破壊型
 $Ps < Pu \leq Ps0$: 移動型

図 8-3 橋脚の照査結果の例

8.5. 上部構造等の死荷重による偏心モーメントが作用する単柱式の鉄筋コンクリート橋脚の地震時保有水平耐力及び限界状態

(1) 上部構造等の死荷重による偏心モーメントが作用する単柱式の鉄筋コンクリート橋脚の地震時保有水平耐力及び限界状態に相当する水平変位の特性値は「H29 道示V 8.8 上部構造等の死荷重による偏心モーメントが作用する単柱式の鉄筋コンクリート橋脚の地震時保有水平耐力及び限界状態」により算出する。

(1) 偏心モーメントの作用方向とは反対の方向の地震時保有水平耐力及び限界状態は、偏心モーメントの影響を無視して算出する。

上部構造の慣性力が橋脚躯体の図心から大きく偏心して作用する場合は、橋軸方向の地震力により下部構造躯体にねじりモーメントが作用するので、これに対する橋脚の安全性を検討する。

上部構造等の死荷重による偏心モーメントが作用する鉄筋コンクリート橋脚の基礎の設計に用いる橋脚の終局水平耐力は、偏心モーメントの影響を考慮しない終局水平耐力を用いる。

その他、偏心モーメントが作用する単柱式の鉄筋コンクリート橋脚の設計時に留意する点を以下に示す。

- ・ 上部構造等の死荷重による偏心モーメントが作用する場合は、偏心モーメントによる初期変位の影響を除去するために、偏心モーメントの影響を考慮して算出した降伏剛性 K_{yE} を用いて鉄筋コンクリート橋脚の固有周期を求める。
- ・ 動的解析においては、上部構造等の死荷重による偏心モーメントにより部材に生じる初期断面力を考慮する。

【参考】 H29 道示V 8.8
 p-203~206

8.6. 鉄筋コンクリート橋脚の構造細目

- (1) 耐震設計における鉄筋コンクリート橋脚の構造細目は「H29 道示V 6.2.5 塑性変形を確保するための鉄筋コンクリート部材の構造細目」「H29 道示V 8.9 鉄筋コンクリート橋脚の構造細目」による。
- (2) 鉄筋コンクリート橋脚が地震時保有水平耐力を保持し、塑性変形能を発揮するためには、「H29 道示V 8.9.2 塑性変形能を確保するための構造細目」の規定により、軸方向鉄筋並びに横拘束鉄筋を配筋する。
- (3) 横拘束鉄筋の配置は、以下の規定を満足するように配置する。
- 1) 横拘束鉄筋のうちの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の帯鉄筋間隔は、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。
 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 とする。
 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は、その間隔を徐々(150→200→250→300) に変化させる。

表 8-1 帯鉄筋間隔の設定の目安

帯鉄筋の呼び径	D13,D16,D19	D22	D25,D29	D32
帯鉄筋間隔の目安(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。また、フックとして直角フックを用いる場合は、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。
- 3) 矩形断面の隅角部以外で帯鉄筋を継ぐ場合は、帯鉄筋の直径の 40 倍以上帯鉄筋を重ね合わせ、フックを設ける。
- 4) 横拘束鉄筋のうちの中間帯鉄筋は、帯鉄筋と同材質、同径の鉄筋を断面内配置間隔 1m 以内で、帯鉄筋の配置される全ての断面に配筋する。中間帯鉄筋は、帯鉄筋に半円形フック又は鋭角フックでかける。なお、軸方向鉄筋を 2 段以上配筋されている場合は、最も外側に配筋される帯鉄筋にフックをかければよい。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。
- (4) ラーメン橋脚の柱部材とはり部材の節点部には、塑性ヒンジが形成されないように配筋する。
- (5) 中空断面を有する鉄筋コンクリート橋脚は、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形状及び配筋とする。
- (6) 鉄筋コンクリート橋脚の地震時保有水平耐力と塑性変形能が確実に発揮させるため、原則として軸方向鉄筋の段落しは行わない。
- (7) 鉄筋コンクリート橋脚の地震時保有水平耐力は「H29 道示V 式 (8.9.1) を満足しなければならない。

【参考】H29 道示V 6.2.5
p-146～151H29 道示V 8.9
p-207～216H29 道示V 8.9.2
p-210～216

(1) 本構造細目は、橋脚の柱部だけでなく、ラーメン橋脚の横ばり部のように、塑性化する可能性がある領域に適用する。

- 塑性化を考慮しない区間は、「本要領Ⅳ. 下部構造」に規定する構造細目による。
- 塑性化を考慮する領域は、単柱式の鉄筋コンクリート橋脚で塑性ヒンジが橋脚基部に形成される場合

は、橋脚基部から上部構造の慣性力の作用位置までの距離 h の 0.4 倍の領域とする。

- 橋軸方向と橋軸直角方向で、橋脚基部から上部構造の慣性力の作用位置までの距離 h が異なる場合は、塑性化を考慮する領域の算出は大きい方の値を用いて算出する。
- ラーメン橋脚の柱部材の上端部やはり部材の両端部にハンチを設ける場合は、図 8-5 に示すようにハンチを無視して塑性化を考慮する領域の始点を設定する。この場合の h は、柱部材に対しては橋脚基部からはり軸線までの高さの 1/2 を、また、はりに対しては隣合った柱部材の中心間距離の 1/2 とする。
- 施工上の事由等により、やむを得ず塑性化を考慮する領域で軸方向鉄筋の継手を設ける場合は、機械式継手、ガス圧接継手とする。

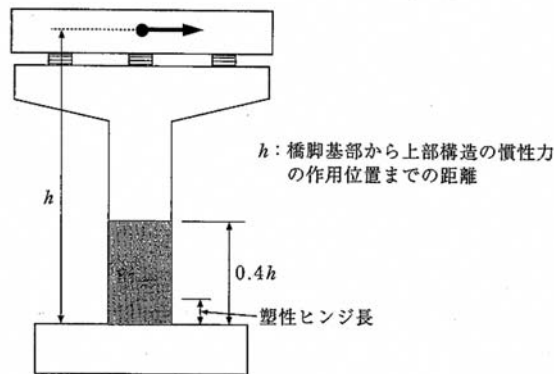


図 8-4 塑性化を考慮する領域

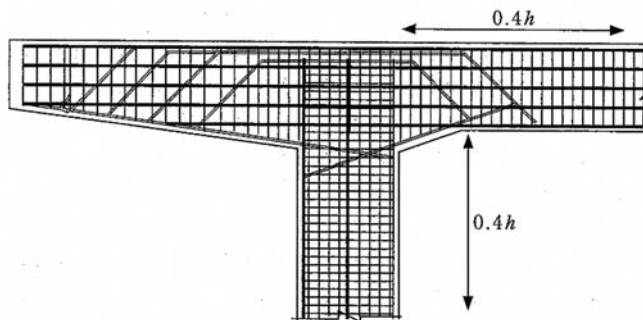


図 8-5 ハンチがある場合の塑性化を考慮する領域の取り方

(2) 矩形断面の隅角部で帯鉄筋を継ぐ場合は、半円形フック又は鋭角フックにより軸方向鉄筋に定着すれば、継手長は設けなくてよい。

- ラーメン橋脚のはり部材は面内方向の耐震設計に対してのみ塑性変形能を期待する部材であり、面外方向の耐震設計では一般には塑性化を考慮しない。このため、横拘束鉄筋の断面内間隔が 1m を超える場合にも、はり部材の断面の水平方向には横拘束鉄筋としての中間帯鉄筋は配筋しなくてもよい。
- 施工性に配慮して、一方のフックを直角フックとする場合には、直角フックの位置が千鳥状になるように中間帯鉄筋を配筋する。
- 塑性化を考慮する領域において直角フックを用いる場合は、鋭角フックや半円形フックと同等の横拘束効果が見込めないことから、横拘束鉄筋の有効長を 1.5 倍の値とする。
- 中間帯鉄筋のフックは、軸方向鉄筋のはらみ出しを抑制する観点からは、帯鉄筋とともに軸方向鉄筋にもかけるようにするのがより効果的であるが、施工性に配慮し、軸方向鉄筋のすぐ近傍で帯鉄筋に中間帯鉄筋のフックをかければよい。

- (3) ラーメン橋脚の柱部材とはり部材の節点部には中間帯鉄筋を配筋しなくてもよいが、水平方向の帯鉄筋は柱部材の帯鉄筋間隔と同じ間隔で柱上端まで配筋し、鉛直方向の帯鉄筋ははり部材の帯鉄筋間隔と同じ間隔で配筋する。
- (5) 高橋脚等において中空断面の鉄筋コンクリート橋脚を適用する場合は、塑性ヒンジ領域とその近傍で塑性ヒンジの影響を受ける領域は充実断面とした上で、塑性ヒンジの影響を受けない部位のみを中空断面とし、さらに、充実断面から中空断面へと変化する部位が新たな損傷箇所とならないように構造的な配慮をする。
- ハンチの寸法は、幅と高さの比を 1:3 とし、付根部でのハンチの幅は中空断面の壁の厚さの 0.5 倍とする。

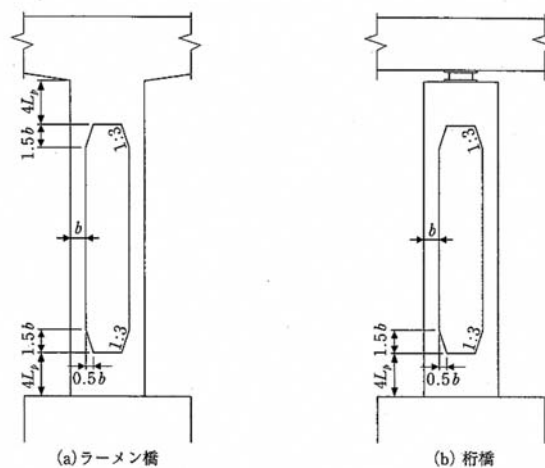


図 8-6 中空断面を有する橋脚における充実断面とする領域と部材軸方向ハンチの例

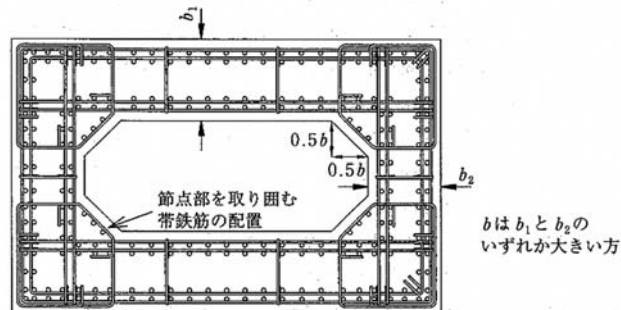


図 8-7 塑性ヒンジの影響を受けない部位における中空断面部の内部ハンチの形状と接点部の補強鉄筋の例

- (6) 高さが 30m を超える高橋脚の場合には、軸方向鉄筋の段落しを行ってもよいが、この場合には、「本編 8.7. 軸方向鉄筋の段落し」によるものとする
- (7) H24 道示の最低震度に相当する記述で、橋脚に一定以上の耐力（設計水平震度 0.4 に地域別補正係数を考慮した慣性力に相当する耐力）が付与されるように地震時保有水平耐力の下限値が規定されたものである。

8.7. 軸方向鉄筋の段落し【参考】 H249 示V 8.10
p-217～218

- (1) 橋脚高が 30m を超える橋脚は、「H29 道示V 8.10 鉄筋コンクリート橋脚の軸方向鉄筋の段落し」に準じて、以下の事項に注意し、軸方向鉄筋の段落しを行ってもよい。
- 1) 塑性化を考慮する領域では軸方向鉄筋の段落しを行ってはならない。
 - 2) 段落し部に塑性化が生じないように段落し位置を設定する。
 - 3) 1つの段落し位置において軸方向鉄筋量の低減割合は 1/3 以下とする。ただし、橋軸方向及び橋軸直角方向に異なった高さで段落しする場合は、それぞれの面において低減割合を定めるものとする。
 - 4) 段落し位置においては、これより上下それぞれに橋脚断面の短辺方向の長さ又は直径の 1.5 倍に相当する領域の帯鉄筋間隔は 150mm 以下とする。

- (1) 橋脚高さが高い橋脚と同様に、ラーメン橋の橋脚の場合には、本規定の考え方に基づいて段落し位置を決定してもよい。
- ・ ラーメン橋脚の柱に適用する場合は、柱の下部に対してはそのまま適用し、柱の上部に対しては柱の上端部からの距離を用いて算出する。

9. 鋼製橋脚【参考】 H29 道示V 9章
p-219～233

- (1) 塑性化を期待する鋼製橋脚の設計は「H29 道示V 9章 鋼製橋脚」による。
- (2) アンカー部は「H29 道示V 9.6 鋼製橋脚と基礎の接合部の設計」による。

10. 橋脚基礎

10.1. 一般

- (1) 橋脚基礎の耐震設計は「H29 道示V 10 章 橋脚基礎」による。
- (2) 橋に影響を与える液状化が生じると判定された場合は、液状化が生じる場合及び液状が生じない場合のいずれも応答値を算出する。また、橋に影響を与える流動化が生じると判定された場合は、この影響のみを考慮した応答値を算出する。
- (3) 橋脚基礎に塑性化を期待しない場合には、橋脚基礎の応答変位を算出し、橋脚基礎の限界状態 1 に相当する降伏変位を越えないことを照査する。
- (4) 橋脚基礎に塑性化を期待する場合は、橋脚基礎の応答塑性率及び応答変位を算出し、橋脚基礎の限界状態 2 に相当する制限値を越えないことを照査する。なお、各部材の断面力は、この応答塑性率及び応答変位に達する時の値とし、表 10-1 に示す「H29 道示IV」の各基礎の制限値を越えないことを照査する。
- (5) 橋に影響を与える流動化が生じる地盤中に基礎が存在する場合は、「H29 道示V 4.4.2 地盤の流動力の算出」により算出される流動力を橋脚基礎に作用させ、基礎天端における水平変位が、基礎が降伏に達するときの水平変位の 2 倍を越えない場合は基礎の限界状態 2 を越えないとみなしてよい。
- (6) 橋脚基礎に荷重が作用したときに橋脚基礎の各部材に生じる断面力及び橋脚基礎の変位ならびに基礎周辺地盤の地盤反力度は、表 10-1 に示す「H29 道示IV」の各基礎の基準に応じて算出する。

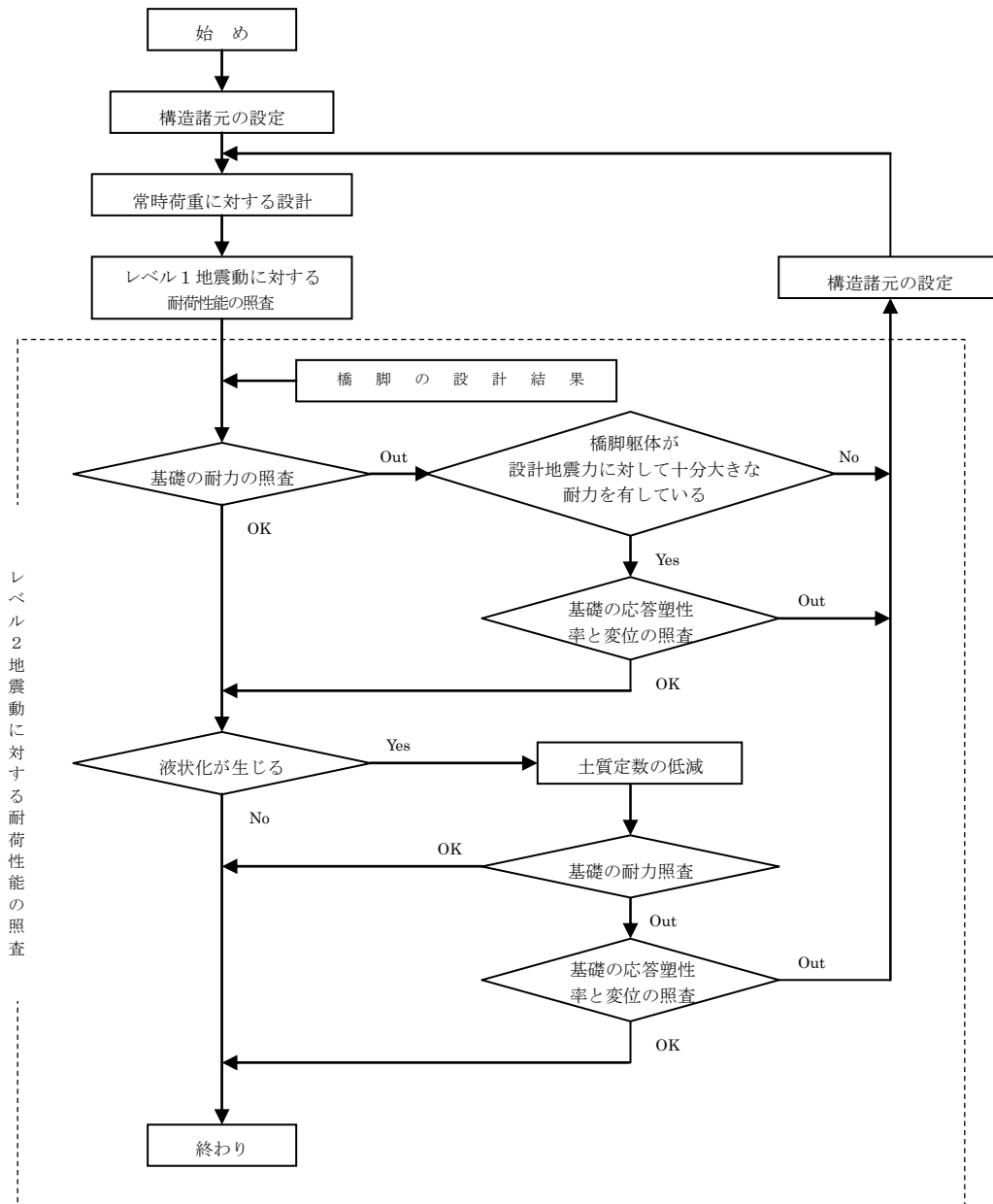
- (3) 橋脚基礎に塑性化を期待しない場合は、橋脚基礎には橋脚の終局水平耐力と同等以上の水平耐力を保有するように耐震設計を行う。
- (4) 塑性化を期待する部材として橋脚基礎を選定する場合には、塑性化が橋脚基礎にのみ生じるようにするために、基礎の降伏耐力が橋脚の終局水平耐力又は橋脚躯体基部に生じる断面力を上回らないことを確認する。

表 10-1 レベル2地震動を考慮する設計状況における各基礎の参照先

基礎形式	H29 道示IVの参照先
杭基礎	10.9 p.289～301
ケーソン基礎	11.9 p.369～375
鋼管矢板基礎	12.10 p.406～409
地中連続壁基礎	13.9 p.431～433
深礎基礎	14.8 p.461～462

【参考】H29 道示V 10 章
p-234～243

【参考】H29 道示V 4.4.1
p-108～110



【補足】
 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、架橋地点の制約条件等を踏まえた損傷の発見及び修復の方法を検討した上で、基礎の塑性化を期待した設計を行ってもよい。

図 10-1 橋脚基礎の照査の手順

10.2. 基礎の限界状態

(1) 基礎の限界状態は、表 10-1 に示す「H29 道示IV」の各基礎の章による。

10.3. 橋脚基礎の塑性化を期待する場合の橋脚基礎の応答塑性率及び応答変位

【参考】 H29 道示V 10.4
p-239～242

- (1) 橋脚基礎の塑性化を考慮する場合の橋脚基礎の応答塑性率及び応答変位は、「H29 道示V 10.4 橋脚基礎の塑性化を期待する場合の橋脚基礎の応答塑性率及び応答変位」に準じ、橋脚基礎の設計水平震度を用いて、橋脚基礎の応答塑性率及び応答変位を算出する。
- (2) 耐震設計上ごく軟弱と判定される土層又は橋に影響を与える液状化が生じると判定される土層がある場合は、この影響を考慮する。

(1) 応答塑性率及び応答変位は、図 10-2 に示すエネルギー—変位則により算出する。常に偏心荷重が作用する基礎においては、その影響を考慮して応答を算出する。

- 基礎形式ごとの橋脚基礎の初期剛性に対する二次剛性の比の考え方は「H29 道示V 10.4 橋脚基礎の塑性化を期待する場合の橋脚基礎の応答塑性率及び応答変位」による。

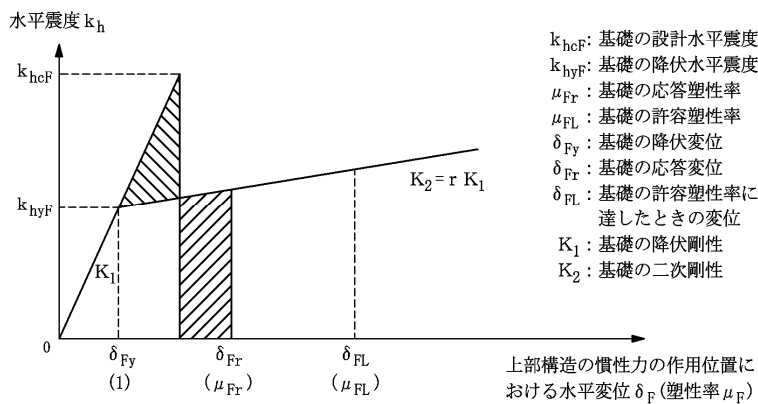


図 10-2 エネルギー—変位則によるケーソン基礎、杭基礎、鋼管矢板基礎及び地中連続壁基礎の応答塑性率の算出方法

- レベル2地震動が作用したときに橋脚基礎に塑性化が生じることを期待する場合は、橋脚基礎の応答塑性率や応答変位を算出する場合はレベル2地震動に対する設計水平震度を減衰定数別補正係数によって補正する。減衰定数別補正係数は2/3とする。

(2) 耐震設計上ごく軟弱と判定される土層がある場合は、耐震設計上土質定数を零として、また、液状化が生じると判定される土層がある場合は、地震動のタイプごとに求められる設計水平震度及び当該地震動のタイプに応じた土質定数の低減係数 D_E を用いて弾塑性型の水平震度—水平変位関係を求める。

		単位	(1)杭	(2)杭	
基礎の耐力照査	最大曲げモーメント	Mmax	kN・m	2185.72	1903.13
	降伏曲げモーメント	My	kN・m	2291.20	1752.20
	抽出条件		—	条件2	条件3
	発生深さ		m	0.000	0.000
	杭体区間		—	1	1
	判定		—	Mmax < My	Mmax ≥ My
				降伏していない杭がある	OK
	杭頭最大鉛直反力	PN	kN	7212.16	
	押込み支持力の上限値	PNu	kN	13775.00	
せん断力の照査	判定		—	PN < PNu	
				押込み支持力の上限値に達しない	OK
せん断力の照査	杭基礎のせん断力	S	kN	9661.82	
	杭反力分		kN	9661.82	
	杭体慣性力分		kN	—	
	斜め引張破壊の制限値	Susd	kN	15502.03	
	ウェブ圧壊の制限値	Sucd	kN	28418.97	
	判定		—	S ≤ Susd, Sucd	OK

Mmax ≤ Myであることを照査

PN ≤ PNuであることを照査

S ≤ Susd, Sucdであることを照査

図 10-3 橋脚基礎のレベル2地震動に対する照査結果の例（杭基礎（耐力照査）の場合）

		単位	(1)杭	(2)杭	
基礎の耐力照査	最大曲げモーメント	Mmax	kN・m	2291.20	1934.82
	降伏曲げモーメント	My	kN・m	2291.20	1752.20
	抽出条件		—	条件3	条件3
	発生深さ		m	0.000	0.000
	杭体区間		—	1	1
	判定		—	Mmax ≥ My 全ての杭が降伏した	Mmax ≥ My
	杭頭最大鉛直反力	PN	kN	7249.03	
	押込み支持力の上限值	PNu	kN	13775.00	
判定		—	PN < PNu 押込み支持力の上限值に達しない	OK	

Mmax ≤ Myであることを照査
⇒全ての杭が降伏

PN ≤ PNuであることを照査

応答塑性率の照査	基礎の応答塑性率	μFr	—	1.743
	基礎の塑性率の制限値の目安	μFL	—	4.000
	判定			$\mu Fr \leq \mu FL$ OK
	基礎の応答変位	δFr	m	0.1619
変位の照査	フーチングの回転角	αFo	rad	0.0042
	回転角の制限値の目安	αFoa	rad	0.0200
	判定			$\alpha Fo \leq \alpha Foa$ OK
せん断力の照査	杭基礎のせん断力	S	kN	10316.06
	杭反力分		kN	10316.06
	杭体慣性力分		kN	—
	斜め引張破壊の制限値	Susd	kN	15542.21
	ウェブ圧壊の制限値	Sued	kN	28418.97
	判定			$S \leq Susd, Sued$ OK

$\mu Fr \leq \mu FL$ であることを照査

$\alpha Fo \leq \alpha Foa$ であることを照査

$S \leq Susd, Sued$ であることを照査

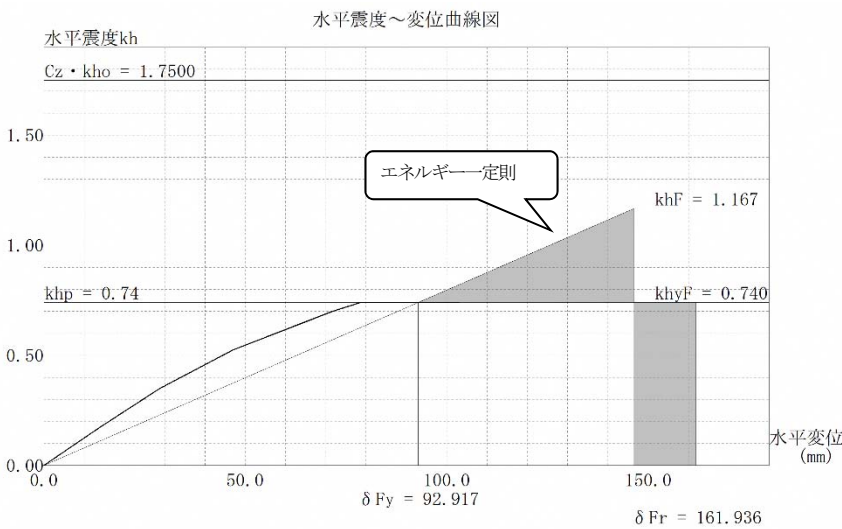


図 10-4 橋脚基礎のレベル2地震動に対する照査結果の例（杭基礎（応答塑性率照査）の場合）

11. 橋台及び橋台基礎

11.1. 一般

【参考】H29 道示V 11 章
p-251～253

- (1) レベル2地震動を考慮する設計状況における橋台及び橋台基礎の耐震設計は、「H29 道示V 11 章 橋台及び橋台基礎」による。
- (2) 橋台及び橋台基礎は、以下の 1)又は 2)に該当する場合を除き、レベル1地震動を考慮する設計状況において、橋台及び橋台基礎がそれぞれ限界状態1及び限界状態3を越えない場合は、レベル2地震動を考慮する設計状況に対して下部構造の限界状態2及び限界状態3を超えないとみなしてよい。
 - 1) 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
 - 2) レベル2地震動に対する橋台の荷重支持条件がレベル1地震動に対する橋台の荷重支持条件と異なる場合
- (3) 橋台基礎に塑性化を期待する場合は、橋台基礎の応答塑性率及び応答変位を算出し、橋脚基礎の限界状態2に相当する制限値を越えないことを照査する。なお、各部材の断面力は、この応答塑性率及び応答変位に達する時の値とし、表 10-1 に示す「H29 道示IV」の各基礎の制限値を越えないことを照査する。
- (4) 橋台基礎に荷重が作用したときに橋台基礎の各部材に生じる断面力及び橋台基礎の変位ならびに基礎周辺地盤の地盤反力度は、表 10-1 に示す「H29 道示IV」の各基礎の基準に応じて算出する。

- (1) 背面土等がない特殊な形式や構台背面土に軽量盛土を用いた場合には、橋脚と同様の設計を行う。
- (2) 一般的な橋台で、1)又は2)に該当しない場合は、レベル2地震動に対する照査は省略できる。また、橋台周辺に橋に液状化が生じる地盤と判定された場合であっても、例えば、両端に橋台を有する橋長25m以下の単径間の橋等、既往の被災事例及びその損傷状況を踏まえ、明らかに橋の限界状態2及び橋の限界状態3を超えないとみなすことができ、橋の機能の速やかな回復が著しく困難とはならないと判断される橋に対しては、レベル2地震動に対して計算による橋台基礎の照査を省略してもよい。
- (3) 橋台基礎に主たる塑性化を考慮し、応答塑性率が許容塑性率以下であることを照査する。
 - ・ 地盤に液状化が生じると考えられる場合には、橋台基礎に所要の耐力を付与するとともに、桁の連続化の検討や落橋防止システムに対する検討を行う等、橋全体系としての耐震性が向上するように検討を行う。

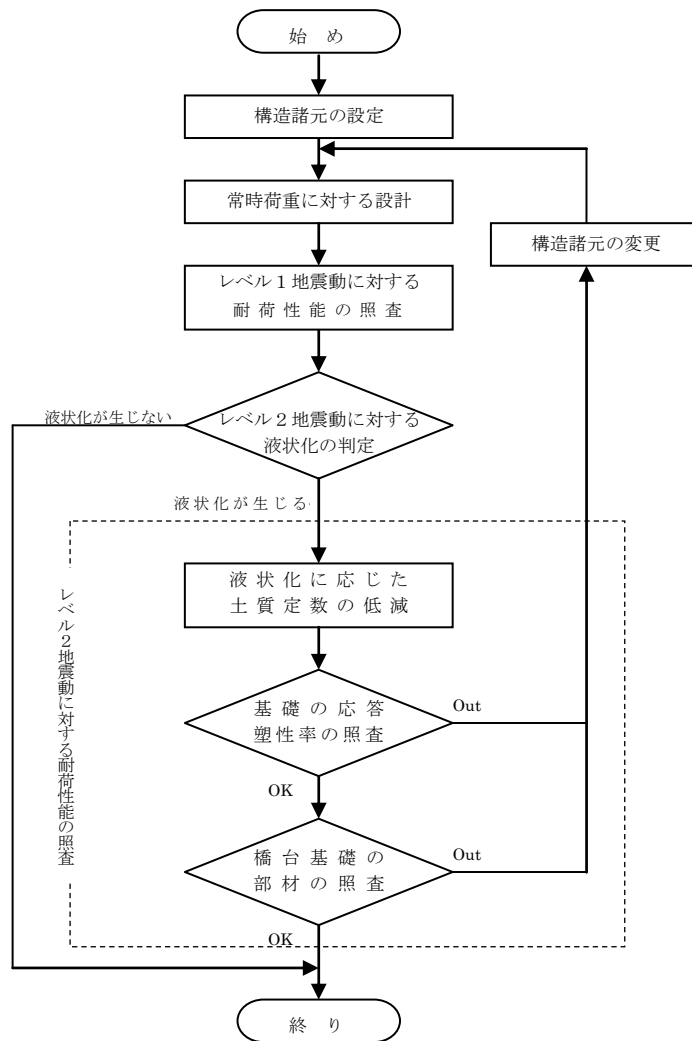


図 11-1 橋台基礎の照査の手順

11.2. 橋台及び橋台基礎に作用する力

【参考】H29 道示V 11.3
p-247~248

- (1) 橋台及び橋台基礎に作用する力は「H29 道示V 11.3 橋台及び橋台基礎に作用する力」により、
①地震時土圧、②構造物及びフーチング上載土の慣性力とする。
- (2) 上部構造の慣性力以外の(1)の算出に用いる設計水平震度は、「H29 道示V 4.1.6(5)」に規定する地盤面の設計水平震度に基づいて算出する。

(2) 橋台及び橋台基礎の設計において考慮する慣性力と地震時土圧を図 11-2 に示す。

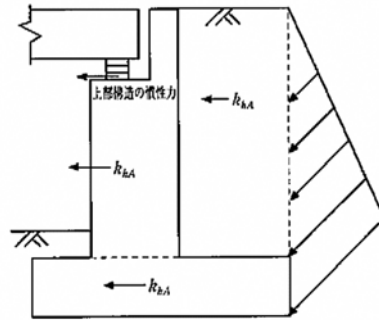


図 11-2 逆 T 式の橋台基礎の設計において考慮する慣性力と地震時土圧

(2) 液状化が生じた場合に偏荷重を受けている基礎周辺地盤に大きな残留変位が生じ、基礎に影響を与えることも考えられること等から、橋台基礎の設計水平震度の補正係数 C_A は 1.0 とする。

11.3. 橋台基礎の塑性化を期待する場合の橋台基礎の応答塑性率の算出

【参考】H29 道示V 11.4
p-249~250

- (1) 橋台基礎の応答塑性率は、基礎の非線形挙動や土圧の影響を考慮し「H29 道示V 11.4 橋台基礎の塑性化を期待する場合の橋台基礎の応答塑性率の算出」により算出する。

(1) 橋台基礎の降伏剛性に対する二次剛性の比 r は、橋脚基礎と同様に設定すればよい。また、橋脚基礎と同様に、液状化の影響を考慮する必要がある場合は、地震動のタイプごとに求められる土質定数の低減係数 D_E を適切に考慮する。

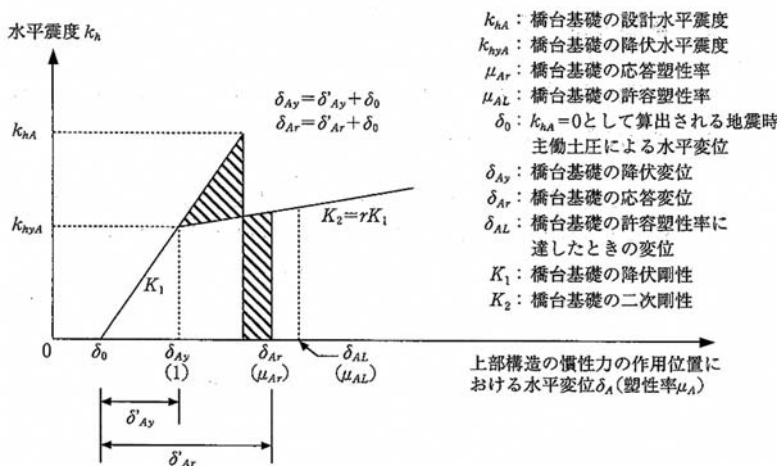


図 11-3 エネルギー—一定則による橋台基礎の応答塑性率の算出

11. 橋台及び橋台基礎 11.3 橋台基礎の塑性化を期待する場合の応答塑性率の算出

		単位	照査結果	
耐力照査	杭曲げモーメント			全ての杭が降伏した
	杭頭最大鉛直反力	PN	kN	2060.77
	押込み支持力の上限値	PNu	kN	3774.00
	判定			PN < PNu 押込み支持力の上限値に達しない OK

$M_{max} \leq M_y$ であることを照査
⇒全ての杭が降伏

$PN \leq P_{Nu}$ であることを照査

応答塑性率の照査	基礎の応答塑性率	μAr	—	1.489
	基礎の塑性率の制限値の目安	μAL	—	3.000
	判定			$\mu Ar \leq \mu AL$ OK
せん断力の照査	基礎の応答変位	δAr	m	0.0243
	杭基礎のせん断力	S	kN	9145.26
	杭反力分		kN	9145.26
	杭体慣性力分		kN	—
	斜め引張破壊の制限値	Susd	kN	14825.77
	ウェブ圧壊の制限値	Sucd	kN	38259.63
	判定			$S \leq S_{usd}, S_{ucd}$ OK

$\mu Ar \leq \mu AL$ であることを照査

$S \leq S_{usd}, S_{ucd}$ であることを照査

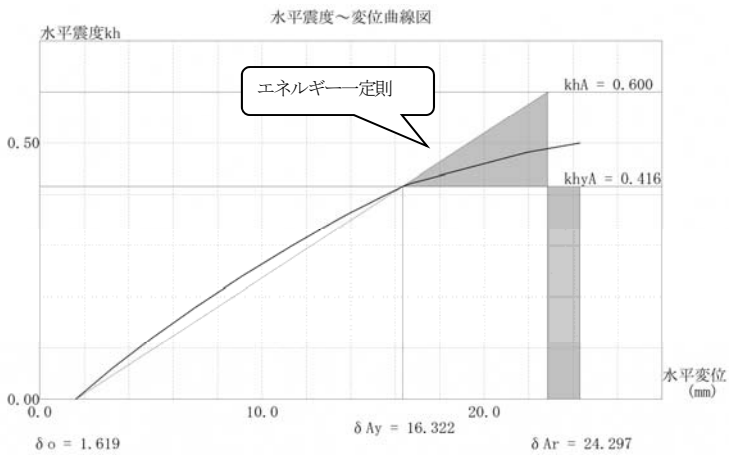


図 11-4 橋台基礎のレベル2地震動に対する照査結果の例

12. 上部構造

12.1. 一般

- (1) レベル2地震動を考慮する設計状況における上部構造の耐震設計は「H29 道示V 12 章 上部構造」による。
- (2) 上部構造は修復性や耐荷力の急激な低下の恐れなどの観点から塑性化を期待する部材として選定しないことを基本とする。
- (3) 上部工の耐震設計における構造細目は「H29 道示V 12.5 構造細目」による。

- (2) 「H29 道示V 12.2 一般」の規定に従い、上部構造を構成する全ての部材等が「H29 道示V 6.1 地震の影響を考慮する状況における部材等の限界状態」に規定する部材等の限界状態1及び部材等の限界状態3を超えないことを確認する。

【参考】H29 道示V 12 章
p-251～258

13. 支承部

13.1. 一般

- (1) 支承部の耐震設計は「H29 道示V 13.1 支承部」による。
- (2) 支承部は「H29 道示V 13.1.1 支承部に作用する力」で算出した力が作用した時の支承各部の応答値が「H29 道示V 13.1.3 支承部の耐荷性能の照査」により支承部の限界状態を越えないことを照査する。
- (3) 上下部構造の取付部は「H29 道示V 13.1.4 上下部構造の取付部」の規定による。
- (4) 支承本体の高さが高い支承部や台座コンクリートの高さか高い支承部等では、支承部の損傷により数百 mm の段差が生じる可能性がある。支承部に負反力が生じており、支承部が破壊されると浮き上がりが生じるような場合は、その際に大きな段差が生じる場合もある。B 種の橋については、車両の通行が困難となる段差を防止するための対策が必要かどうかを検討すること。

- (1) 支承の設計については、「本要領 VI 附属物編 1. 支承部」も参照すること。

橋の構造や規模及び支承部周辺の維持管理の確実性及び容易さ等を考慮した上でそれぞれの構造的特性を踏まえて、適切な構造の支承部を選定する。

- 支承部の点検や維持管理のために支承部周辺は可能な限り複雑な構造としない方がよい。
 - パット型ゴム支承や帯状ゴム支承とアンカーバーの組合せによる支承構造は、機能分離型と位置付ける。
- (3) 支承部が確実にその機能を発揮するためには、上部構造と下部構造との間に設置される支承本体や水平荷重を伝達させるためのアンカーバー、ソールプレートやベースプレート、アンカーボルトやセットボルト等の支承と上下部構造を連結するための取付部材、沓座モルタル、さらに取付部材と上部構造及び下部構造との接合部を、支承に求められる機能（荷重伝達機能や変位追従機能等）が適切に発揮できるようにする。
- (4) 段差防止構造としては、これまでもコンクリートや鋼製の台座を設けた場合がある。ただし、段差防止構造をどのような構造でどのように配置すればよいかは、上部構造の構造形式、支承破壊時の上部構造の移動量、支承破壊後の上部構造の移動量等とも関連し、どこまで配慮すれば適切であるかは一概に言えないため、対策の必要性とともに対策方法を個別に検討すること。

【補足】

H29道示では、**支承部、遊間及び伸縮装置**については、「13章 上下部接合部」として取りまとめられている。

【参考】H29 道示V 13.1
p-259～268

【参考】H29 道示V 2.7.1
p-41～42

13.2. 支承部に作用する力

- (1) 支承部に作用する力は「H29 道示V 13.1.1 支承部に作用する力」による。
- (2) 支承部に作用する水平力のうち、地震時の影響による力は「H29 道示V 4.1 慣性力」に規定する慣性力とする。ただし、静的解析による場合で、鉄筋コンクリート橋脚又は基礎の塑性化を期待する場合には、塑性化を期待する橋脚又は基礎の応答変位が最大となる時の上部構造の慣性力の作用位置における水平力とする。
- (3) 支承部に作用する鉛直力のうち地震の影響による力は「H29 道示V 13.1.1(4)」により考慮する。

【参考】H29 道示V 13.1.1
p-259～264

(1) 1 支承線上の支承部全体に作用する地震力に基づき 1 支承線上の個々の支承部の設計地震力を算出する場合は、それぞれの水平方向の剛性差の影響を考慮して算出する。

- ・ 水平地震力の算出の際には、水平方向の剛性に基づく水平地震力の分担率とする。
- ・ 耐力及び剛性が著しく小さい支承部が 1 支承線に含まれるのは望ましくないため、1 つの支承部の設計地震力が 1 支承線上の支承全体に作用する地震力の平均値よりも小さくなる場合には、この平均値を設計地震力として考慮する。
- ・ 地震時の挙動をいたずらに複雑にしないという観点から、支承部の設計においては以下を基本とする。
 - ① 1 支承線上の支承部には、水平方向の力学的特性が同じものを使用する。
 - ② 1 支承線上の最大鉛直反力が著しく異なる場合等に 1 支承線上の同機能を有する構造の種類を複数とする場合にも、2 種類程度までとする。

(2) 鉄筋コンクリート橋脚又は基礎の塑性化を期待する場合には、塑性化を期待する橋脚又は基礎の応答変位が最大となる時の上部構造の慣性力の作用位置における水平力とは、静的解析の適用条件が、構造系は一次モードが卓越するとみなせる場合としていることから、橋脚の終局水平耐力を等価な外力に置き換えたものとみなすことができる。

橋全体系に対する時刻歴応答解析を行う場合は、上部構造と下部構造の相対的な挙動を直接評価できるので、この解析から得られる力を支承部に作用する力とすればよい。

橋台に設置される支承部に生じる上部構造の慣性力は、設計水平震度の 0.45 倍から算出される慣性力を考慮すればよい。

表 13-1 支承部の設計に用いる水平力

地震動レベル	解析方法	各部材の状態	水平力の考え方
レベル1 地震動	静的解析	—	慣性力
	動的解析	—	動的解析により算出した支承部の最大応答値
レベル2 地震動	静的解析	—	慣性力
		鉄筋コンクリート橋脚に塑性化を考慮	橋脚の終局水平耐力
	基礎に塑性化を考慮	橋脚基礎の変形による上部構造の慣性力作用位置における応答変位に相当する水平力	
動的解析	—	動的解析により算出した支承部の最大応答値	

14. 遊間及び伸縮装置

【参考】H29 道示V 13.2
p-268～274

- (1) 隣接する上部構造どうし、上部構造と橋台又は上部構造と橋脚の段違い部は、地震の影響を考慮する設計状況において、衝突しないように「H29 道示V 式 (13.2.1)」により算出する必要な遊間を設ける。
- (2) 伸縮装置の伸縮量は、変動作用支配状況のうち地震の影響を考慮する設計状況に対して「H29 道示V 式 (13.2.2)」により算出する値以上を確保する。ただし、「H29 道示 I 10.3.3 設計伸縮量」を下回ってははならない。
- (3) 伸縮装置及び伸縮装置と上下部構造との接合部は、作用する荷重を上下部構造に確実に伝達できるようにしなければならない。

(1) 遊間については、「本要領 VI附属物編 1.8 遊間」も参照すること。

(2)(3) 伸縮装置については、「本要領 VI附属物編 2.伸縮装置」も参照すること。

15. 落橋防止システム

15.1. 一般

- (1) 支承部の破壊によって上部構造と下部構造が構造的に分離し、これらの上に大きな相対変位が生じる場合でも上部構造が容易には落下しないよう落橋防止システムを設置する。
- (2) 落橋防止システムは、以下の①～③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。
 - ① 橋軸方向、② 橋軸直角方向、③ 回転方向

(2)各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として、表 15-1 に示す通り、「桁かかり長」を確保するとともに、「落橋防止構造」又は「横変位拘束構造」を設ける。

表 15-1 設計で考慮する方向と考慮する落橋防止対策と道示規定先

設計方向	桁かかり長	落橋防止構造	横変位拘束構造	道示規定先
橋軸方向	○	○	—	道示V 13.3.2
橋軸直角方向	○	—	—	道示V 13.3.3
回転方向	○	—	○	道示V 13.3.4

○ : H29 道示で考慮が必要な構成

【参考】H29 道示V 13.3 p-275～296

【補足】
H29 道示では、(2)の①～③の方向毎に必要な対策を記述している。

15.2. 橋軸方向に対して上部構造が容易に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、「桁かかり長」を確保するとともに、「落橋防止構造」を設ける。
- (2) 桁かかり長は、以下の①～③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、一連の上部構造の端部から橋軸方向に確保する。
 - ③ 必要桁かかり長は、「H29 道示V 13.3.5(1)」により算出する。
- (3) 落橋防止構造は「H29 道示V 13.3.6 落橋防止構造」に規定する構造を以下の①及び②により設置する。
 - ① 落橋防止構造は、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、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。
- (4) 橋軸方向に対して、両端が橋台で支持された一連の上部構造を有する橋で「H29 道示V 13.3.2(4) 1)～3)」を満足する場合は(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ため、(3)の落橋防止構造を省略できる。

(2) 中間支点部であっても、図 15-1 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、当該支点部でも必要桁かかり長を確保する。

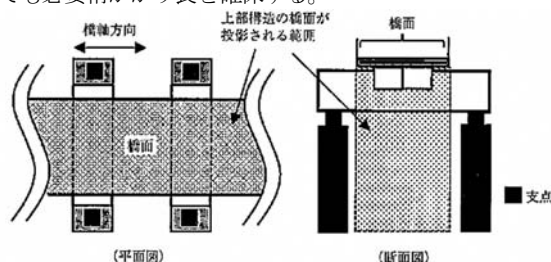


図 15-1 下部構造上の支点が上部構造の橋面の水平投影面上にない構造の例

【参考】H29 道示V 13.3.2 p-276～279

- (3) 本編 15.5. 落橋防止構造及び横変位拘束構造の設置の例外 (1) に該当する場合は、落橋防止構造を省略できる。
- (4) 橋軸方向に対して、両端が橋台で支持された一連の上部構造を有する橋の例を図 15-2 に示す。

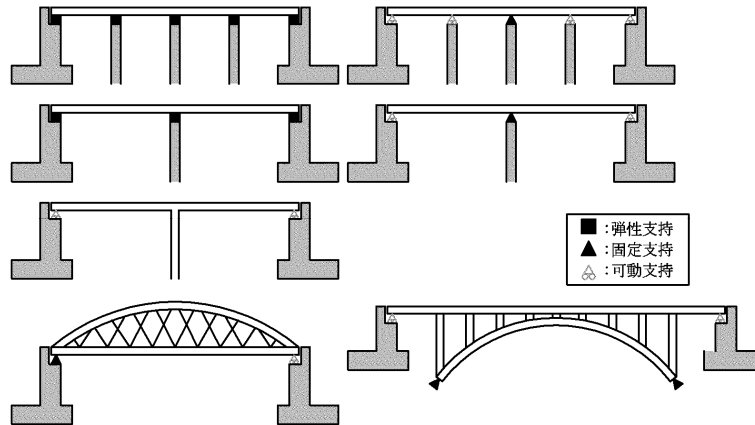


図 15-2 両端が橋台に支持された一連の上部構造を有する橋の例

また、「H29 道示V 13.3.2(4) 1)~3)」を満足しない場合とは、主に以下の場合である。

- ・ 橋台背面土がない特殊な形状や橋台背面土に軽量盛土を用いた場合など、橋脚と同様の振動特性を有する橋台。
- ・ 図 15-3 に示すように、両端が橋台であっても、上部構造の平面形状や橋台位置の関係によって上部構造の応答が拘束されない橋。

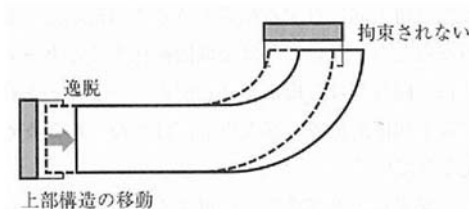


図 15-3 橋軸方向の上部構造の変位が拘束されない橋の例

- ・ 図 15-4 に示すように、桁かかり長に比べて上部構造の他端部の遊間量が多い場合で、上部構造はパラペットに衝突して応答が拘束されるよりも前に、下部構造頂部から逸脱する橋

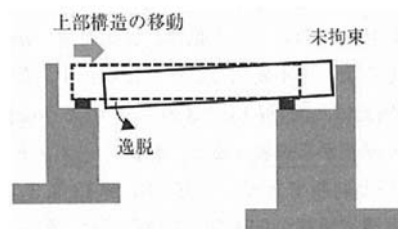


図 15-4 上部構造端部における遊間量が桁かかり長より大きい橋の例

橋軸方向に設置する落橋防止システムの概念図を図 15-5 に示す。

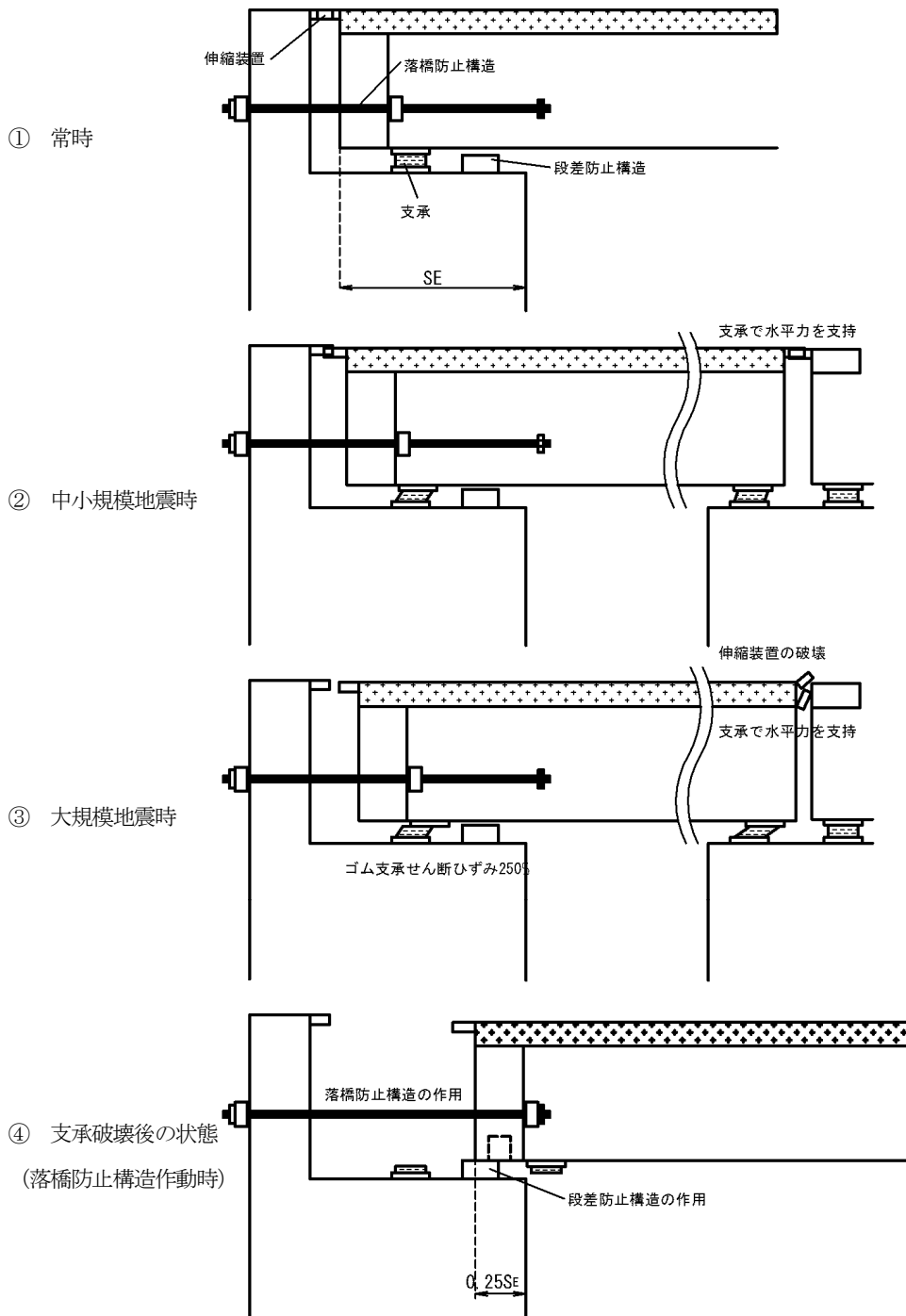
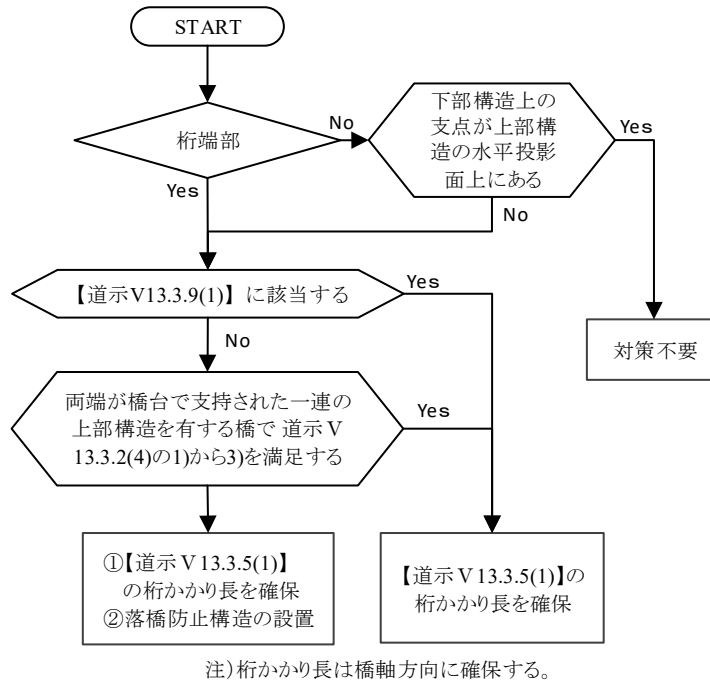


図 15-5 支承部及び落橋防止システム作用概念図



注) 桁かかり長は橋軸方向に確保する。

図 15-6 橋軸方向における落橋防止システムの選定フロー

15.3. 橋軸直角方向に対して上部構造が容易に落下しないための対策

【参考】H29 道示V 13.3.3
p-279～281

- (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、「桁かかり長」を確保する。
- (2) 桁かかり長は、以下の①～③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、「H29 道示V 13.3.5(1)」により算出した長さの分だけ上部構造が下部構造に対して相対的に移動した場合に、安定して下部構造上に留まることができる長さとする。

(2) 上部構造が下部構造に対して相対的に移動した場合に、安定して下部構造上に留まることができるとは、上部構造が下部構造頂部より逸脱した後の状態に対して、上部構造に活荷重が作用していない状況において、上部構造に不可逆でかつ一度生じると制御できない転倒等の挙動が生じるような不安定な状態とはならず、落下も生じない状態に留まることができることを指す。H29 道示Vの例では、幅員の中心位置から橋脚の端部までの距離(図 15-7の矢印の長さ)が必要桁かかり長より短い場合は安定した状態で残存しなくなるとしている。

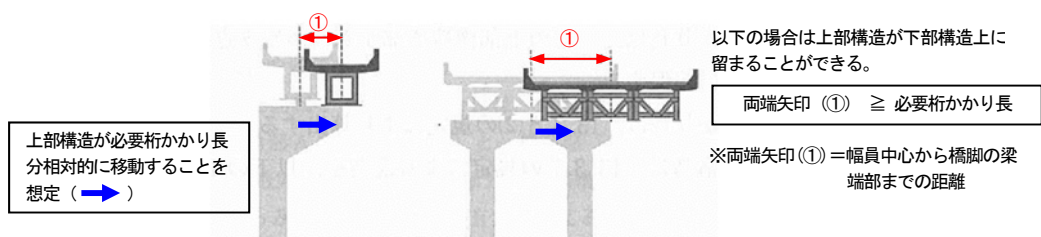


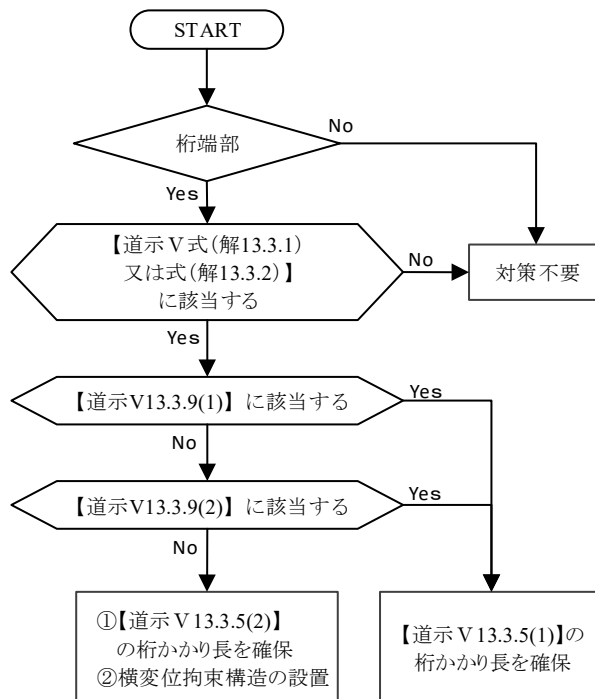
図 15-7 橋軸直角方向に上下部構造間の相対変位が生じた際に安定した状態で存在する場合の例

15.4. 回転方向に対して上部構造が容易に落下しないための対策

【参考】H29 道示V 13.3.4
p-281～285

- (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、「桁かかり長」を確保するとともに、「横変位拘束構造」を設ける。
- (2) 桁かかり長は、以下の①～③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、一連の上部構造の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、「H29 道示V 13.3.5(2)」により算出する。
- (3) 横変位拘束構造は「H29 道示V 13.3.7 横変位拘束構造」に規定する構造を以下の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、桁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。

- (1) 上部構造の幾何学的条件が、「H29 道示V 式(解 13.3.1) 及び式(解 13.3.2)」に当てはまる場合は、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を受けずに回転できると判断できる。
- (2) 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こととされているが、図 15-3 のような場合で回転変位にともない中間支点で上部構造を支持できなくなる可能性がある場合には、上部構造を支持できるように中間支点であっても適切な桁かかり長を確保する必要がある。
- (3) 「本編 15.5. 落橋防止構造及び横変位拘束構造の設置の例外」に該当する場合は、回転方向の必要桁かかり長を「H29 道示V 13.3.5(1)」により算出し、横変位拘束構造は省略できる。



注) 桁かかり長は支承線に直角な方向に確保する。

図 15-8 橋軸方向における落橋防止システムの選定フロー

15.5. 落橋防止構造及び横変位拘束構造の設置の例外

【参考】H29 道示V 13.3.9
p-295～296

- (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、落橋防止構造及び横変位拘束構造を省略し、各方向の桁かかり長のみ確保する。ただし、この場合の回転方向に対する必要桁かかり長は「H29 道示V 13.3.5(1)」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（図 15-9 参照）
 - 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（図 15-10 参照）。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、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は、回転方向の必要桁かかり長を「H29 道示V 13.3.5(1)」により算出し、横変位拘束構造は省略できる。

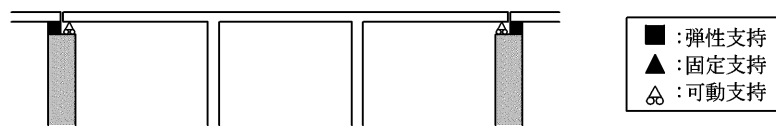


図 15-9 2 基以上の下部構造が剛結される上部構造を有するラーメン橋

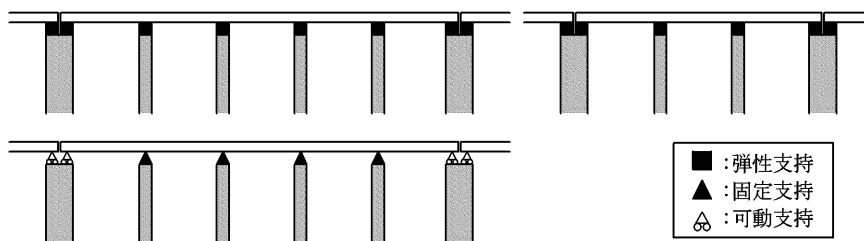


図 15-10 橋軸方向に 4 基以上の下部構造において弾性支持又は固定支持される一連の上部構造を有する橋

15.6. 落橋防止構造及び横変位拘束構造の設計上の配慮事項

【参考】H29 道示V 13.3.8
p-294～295

- (1) 落橋防止構造及び横変位拘束構造は、設計で考慮する方向に直交する方向(鉛直方向を含む)への移動にそれぞれ追随できる構造とするとともに、衝撃的な力をできるだけ緩和するため緩衝材を用いて耐衝撃性を高めた構造とする。
- (2) 落橋防止構造及び横変位拘束構造は支承部付近に設けられることが多いため、落橋防止構造や横変位拘束構造そのものはもとより、支承部や上下部構造、伸縮装置の点検や修繕の障害とならない構造とすることが望ましい。

(2)特に上部構造又は下部構造に突起を設ける構造や、上部構造と下部構造を連結する構造を採用する場合には、支承部や伸縮装置の点検等の維持管理に支障とならないように設置する必要がある。