

事務連絡  
平成17年6月23日

各地方整備局	建政部 道路部	都市(・住宅)整備課長	殿
		道路計画(第一)課長	殿
		道路管理課長	殿
		地域道路課長	殿
北海道開発局	事業振興部 開発建設部	都市住宅整備課長	殿
		道路計画課長	殿
		道路維持課長補佐	殿
		地域事業管理官	殿
沖縄総合事務局	開発建政部 開発建設部	地方計画室長	殿
		道路建設課長	殿
		道路管理課長	殿
日本道路公団	保全交通部	保全企画課長	殿
首都高速道路公団	計画部	第一計画課長	殿
阪神高速道路公団	計画部	計画第一課長	殿
本州四国連絡橋公団	保全部	保全企画課長	殿

都市・地域整備局	街路課	課長補佐
道路局	高速国道課	課長補佐
	国道・防災課	課長補佐
	道路防災対策室	課長補佐
	地方道・環境課	課長補佐
	有料道路課	課長補佐

### 「緊急輸送道路の橋梁耐震補強3箇年プログラム」の策定について

近年、新潟県中越地震、福岡県西方沖地震等の地震が頻発し、また、東海地震、東南海・南海地震等の大規模地震の逼迫性が指摘されている状況等にかんがみ、被災時の円滑な救急・救援活動や緊急物資の輸送、復旧活動の支援等において重要な役割を果たす緊急輸送道路の橋梁について、平成17年度～平成19年度までの3箇年において耐震補強を重点的に実施することとしたので、下記により「緊急輸送道路の橋梁耐震補強3箇年プログラム(以下、「プログラム」という。)」を策定し、これに基づき、効果的かつ効率的に橋梁の耐震補強を実施されたい。

なお、プログラムの策定及び対策の実施にあたっては、別添「緊急輸送道路の橋梁耐震補強3箇年プログラム策定・実施要領」によられたい。

また、各地方整備局、北海道開発局、沖縄総合事務局においては、貴管内の都道府県及び政令市へ周知されたい。

## 緊急輸送道路の橋梁耐震補強3箇年プログラム策定・実施要領

### 1. 適用

緊急輸送道路の橋梁耐震補強3箇年プログラム（以下、「プログラム」という。）においては、平成17年度から平成19年度までの3箇年を対象期間とし、緊急輸送道路の橋梁の耐震補強を重点的に実施することとする。本要領は、プログラムの策定及び実施の考え方・手法を示すものである。

プログラムは、兵庫県南部地震と同程度の地震動に対しても落橋等の甚大な被害を防止し、緊急輸送道路としての機能を確保するため、早急に橋梁の耐震補強を進めることを目的としていることから、その実施にあたっては、効率的かつ効果的な実施に十分配慮し、コスト縮減や工期短縮等に努めることとする。

### 2. プログラムの対象路線及び対象橋梁

#### (1) 対象路線

プログラムの対象路線は下表に示すとおりとする。

道路種別	対象路線
高速自動車国道、首都高速道路、阪神高速道路、本州四国連絡道路指定都市高速道路	緊急輸送道路に指定されている全ての路線を対象とする。
一般国道（指定区間内）	緊急輸送道路に指定されている全ての路線を対象とする。
一般国道（指定区間外）、都道府県道、市町村道、一般有料道路	緊急輸送道路の中でも優先的に確保すべきルート（以下、「優先確保ルート」という。）を選定し、これを対象とする。

#### (2) 対象橋梁及び対策の基本的な考え方

プログラムの対象橋梁及び対策の基本的な考え方については、下記①～③に示すとおりとする。（別紙－1参照）

- ① 対象路線にある昭和55年道路橋示方書より古い基準を適用した橋梁のうち、特に優先的に耐震補強を実施する必要がある橋梁を対象とする。当該橋梁の具体的な選定方法及びプログラムにおける基本的な対策については、別紙-2「緊急輸送道路の耐震補強3箇年プログラム耐震補強マニュアル(案)」(以下「マニュアル(案)」という。)に示す。

マニュアル(案)では、近年、大規模地震の逼迫性が指摘されていること等を踏まえ、地震発生時において救急・救援活動や緊急物資の輸送等において重要な役割を果たす緊急輸送道路について、ネットワークとしての機能を早急に確保するため、平成17年度から19年度の3箇年で、橋梁の耐震補強を緊急的かつ重点的に推進する観点から、施工性等も勘案して、当面必要とする対策を示している。

なお、対象橋梁のうち、老朽橋については、構造特性等によっては橋脚の補強や落橋防止システムの設置が不適當な場合も考えられるため、必要に応じて学識経験者の意見を聴取して、応急的措置や橋梁架替等も含めて幅広に必要な措置を検討し、プログラムの期間内に可能な範囲で必要な措置を行うよう努めることとする。

- ② 対象路線にある橋梁のうち、新幹線や高速道路を跨ぐ橋梁については、二次的被害を防止する観点から、上記2.(2)①によらずプログラムの対象とする。

また、対策については、別途通知される「新幹線や高速道路を跨ぐ橋梁の耐震補強3箇年プログラム」に関する通知によることとし、プログラムの期間内に必要な措置を行うこととする。

- ③ 対象路線にある橋梁のうち、特殊な構造等を有する橋梁並びに長大橋梁については、上記2.(2)①によらずプログラムの対象とする。

対策については、橋梁の構造特性や地盤状況等に応じて専門的な解析を行うとともに、必要に応じて学識経験者の意見を聴取し、その結果、補強の必要性が生じた場合には、プログラムの期間内に必要な措置を行うこととする。

なお、ここで「特殊な構造等を有する橋梁」とは、トラス橋、アーチ橋、斜張橋、吊り橋など主に桁橋以外の橋梁をいい、「長大橋梁」とは、道路橋示方書を適用していない長大橋梁をいう。

### 3. プログラムの策定及び実施

プログラムは以下の手順で策定し、実施する。(別紙-3参照)

#### (1) 協議会等(プログラム策定主体)の設置

プログラムの策定にあたっては、国、都道府県、関係公団など関係する道路管理者及び防災に関する各関係機関(都道府県防災担当部局、警察、消防、自衛隊、港湾管理者等)等と連携しつつ実施することとする。

具体的には、関係者間の協議等の場として、協議会の設置や平成8年5月10日付事務連絡「緊急輸送道路ネットワーク計画等の策定について」に基づき設置した協議会の活用等(以下「協議会等」)を行う。

なお、協議会等の基本的な所掌事項は、以下の項目とする。

- ①優先確保ルートを選定
- ②プログラムの策定
- ③プログラムの進捗管理
- ④大規模地震等発生時における緊急輸送道路の被災状況等に関する、関係機関相互の迅速な情報伝達、情報共有の体制等について、基本的事項の整理及び確認
- ⑤その他

(2) 優先確保ルートを選定

協議会等において、緊急輸送道路に指定されている一般国道（指定区間外）、都道府県道、市町村道、一般有料道路の路線のうち、優先確保ルートを選定する。

優先確保ルートを選定にあたっては、以下の事項等を考慮する。

- ①東海地震及び東南海・南海地震の法指定がなされている地域及び地震の逼迫性が指摘されている地域
- ②重要港湾、空港等へのアクセス
- ③当該橋梁が被災した場合の代替路の状況
- ④発災時における自衛隊、警察、消防の被災地への進出計画等との整合
- ⑤行政区域界における緊急輸送道路ネットワークの連続性の確保

(3) 対象橋梁および対策の選定及び整理（別紙－4参照）

各道路管理者は、上記2.（2）に基づき対象橋梁及び対策の選定を行い、併せて、別紙－4「耐震補強進捗管理表」（以下、「管理表」という）に必要事項を記入する。

(4) 基本マップ及び耐震補強管理マップAの作成（別紙－5参照）

各道路管理者は、管理表及び別紙－5に従い、対象路線や対象橋梁の耐震補強の現状等について、地図上に整理する。（以下、「基本マップ」という。）

作成した基本マップを基に、別紙－5に従い、対象橋梁について、対策の年度計画を示した耐震補強管理マップA（以下、「管理マップA」という。）を作成する。

管理マップAの作成にあたっては、特に、大規模地震発生時に緊急輸送道路がネットワークとして有効に機能するよう、耐震補強の実施順序等を十分に検討し、効果の早期発現に十分留意する。このため、上記3.（1）の協議会等を活用しつつ、防災に関する関係機関との連携を図るとともに、各道路管理者の事業調整を図ることとする。

その他、各対象橋梁の個別の状況として、以下の項目も考慮する。

- ①二次的災害の影響（複断面・跨線橋・跨道橋）や機能回復の難易度
- ②幹線ライフラインの添架の状況
- ③耐震補強の施工条件 等

(5) プログラムのとりまとめ

原則として、協議会等において、管理マップAを「緊急輸送道路の橋梁耐震補強3

箇年プログラム」として冊子にとりまとめる。

プログラムは平成17年7月末を目途にとりまとめる。

(6) プログラムの進捗管理と変更

1) 各年度の進捗状況のとりまとめ

各道路管理者はプログラムに従って耐震補強を実施し、毎年度末時点で別紙-5による耐震補強管理マップBの作成するとともに、プログラム全体及び各路線別の耐震補強進捗率をとりまとめ、次年度の早い時期迄に協議会等に報告し、必要に応じて各道路管理者間の調整を図る。

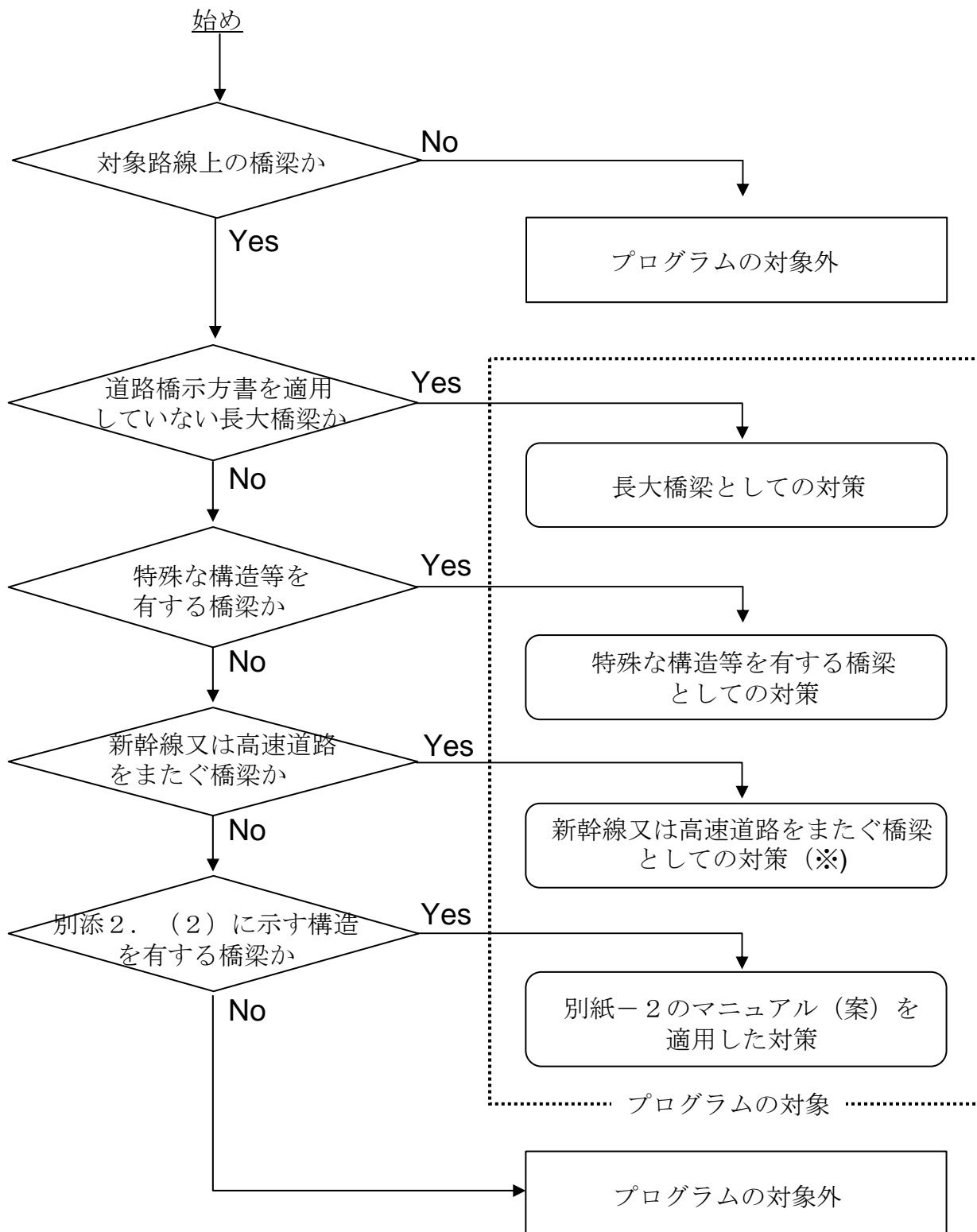
2) プログラムの変更

プログラムに変更の必要が生じた場合（軽微な変更を除く）は、その内容について協議会等において検討し、変更を決定する。なお、変更を行う場合は、上記3.(5)と同様、原則として冊子にとりまとめる。

(7) その他

各地方整備局、北海道開発局、沖縄総合事務局においては、別紙-6①~④をとりまとめ、平成17年7月末までに、国土交通省道路局国道・防災課道路防災対策室まで提出すること。

### 緊急輸送道路の橋梁耐震補強3箇年プログラムにおける 対象橋梁及び対策の選定の基本的な考え方



※新幹線又は高速道路をまたぐ橋梁としての対策については、別途通知される「新幹線、高速道路をまたぐ橋梁の耐震補強3箇年プログラム」に関する通知によるものとする。

## 「緊急輸送道路の橋梁耐震補強3箇年プログラム」 耐震補強マニュアル(案)

### 1. はじめに

本マニュアル(案)は、「緊急輸送道路の橋梁耐震補強3箇年プログラム」(以下、「プログラム」という。)の対象とする橋梁のうち、対象路線にある昭和55年道路橋示方書より古い基準を適用した橋梁で、特に優先的に耐震補強を実施する必要のある橋梁について、具体的な選定方法及びプログラムにおける基本的な対策について示したものである。

プログラムは、兵庫県南部地震と同程度の地震動に対しても落橋等の甚大な被害を防止し、緊急輸送道路としての機能を確保するため、早急に橋梁の耐震補強を進めることを目的としている。したがって、本マニュアル(案)では、兵庫県南部地震等、既往の地震における橋梁の被災経験に基づき、施工性等も勘案して、当面必要とする対策を示している。

しかしながら、地域の状況や橋梁の構造特性、老朽度等により、本マニュアル(案)に示される対策の適用が不相当であると判断される場合には、必要に応じて学識経験者等の意見を聴取し、所要の措置を行うこととする。

### 2. 対象橋梁の選定

昭和55年道路橋示方書よりも古い基準を適用した橋梁について、以下の①～⑥に該当する構造を有する橋梁を対象橋梁として選定することを基本とする<sup>※1</sup>。

#### (1) 橋脚補強の対象構造<sup>※2</sup>

- ① 段落し部のある鉄筋コンクリート製単柱橋脚
- ② 鋼製単柱橋脚
- ③ 連続橋の段落し部のある鉄筋コンクリート製固定橋脚

#### (2) 落橋防止システム設置の対象構造

- ④ 両端が橋台でない単純桁
- ⑤ ゲルバー桁
- ⑥ 流動化の影響を受ける可能性のある連続桁

※1 対象橋梁の選定基準は、兵庫県南部地震等、既往の地震における橋梁の被災経験に基づき設定している。

※2 既往の地震における橋梁の被災経験においては、③に比べて、①及び②の方が落橋に至った事例が多いことから、橋脚補強の実施に優先順位をつける場合には、このことを考慮してもよい。

### 3. 対策の選定

#### 3. 1 橋脚補強

表3-1、表3-2を基本として工法を選定する。

表3-1 鉄筋コンクリート製橋脚の補強工法

施工条件	右記以外	陸上部施工などコスト縮減が図れる場合	補強対策部位が常時水中など特殊な条件の場合
工法	繊維材巻立て工法※	鉄筋コンクリート巻立て工法 等	上部構造慣性力の分散化(免震化を含む) 等

※繊維材巻立て工法により、段落し部の補強を優先的・限定的に実施する。

表3-2 鋼製橋脚の補強工法

施工条件	右記以外	補強対策部位が常時水中など特殊な条件の場合
工法	コンクリート充填 等	上部構造慣性力の分散化(免震化を含む) 等

#### 3. 2 落橋防止システムの設置

下記を基本として工法を選定する。

(1) 設置する落橋防止システムは、表3-3に示す対策工法を基本とする。

表3-3 設置する落橋防止システム

上部構造形式	両端が橋台でない単純桁	ゲルバー桁	流動化の影響を受ける※可能性のある連続桁
対策工法	対策①	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ゲルバー桁端部 →対策②</li> <li>・ゲルバー桁端部以外 →対策①</li> </ul>	対策①

対策①：2連の上部構造を相互に連結する構造（図3-1（A））、上部構造と下部構造を連結する構造（図3-1（B））、上部構造及び下部構造に突起を設ける構造のうち、いずれかとする。  
 対策②：2連の上部構造を相互に連結する構造（図3-1（A））とする。

(※) 流動化の影響を受ける場合とは、道路橋示方書V耐震設計編（平成14年3月）



8.3による。判定が困難な場合は、水際線から100m以内の範囲にある地盤で、かつ、過去における液状化記録、または、微地形分類に基づき液状化の発生可能性が高い条件に該当する場合としてよい。

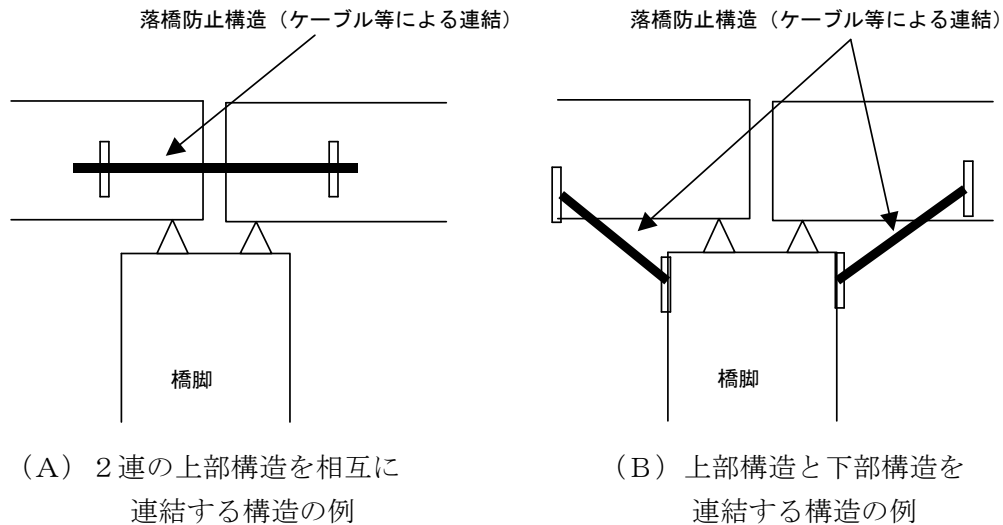


図3-1 落橋防止構造の例

(2) 対象橋梁が道路橋示方書V耐震設計編（平成14年3月）16.5に該当する斜橋・曲線橋の場合には、図3-2のように橋軸方向に対する落橋防止構造に加えて桁端部において橋軸直角方向に変位制限構造（突起を設ける構造等）を設置する。

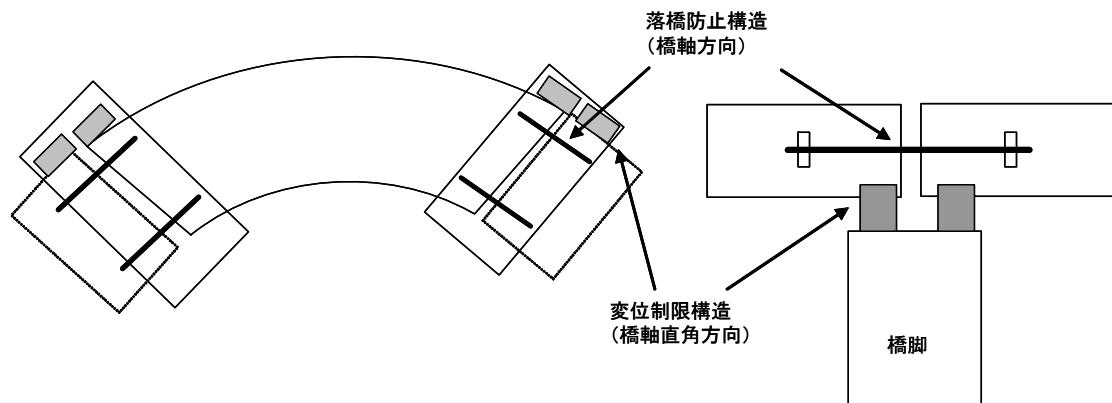


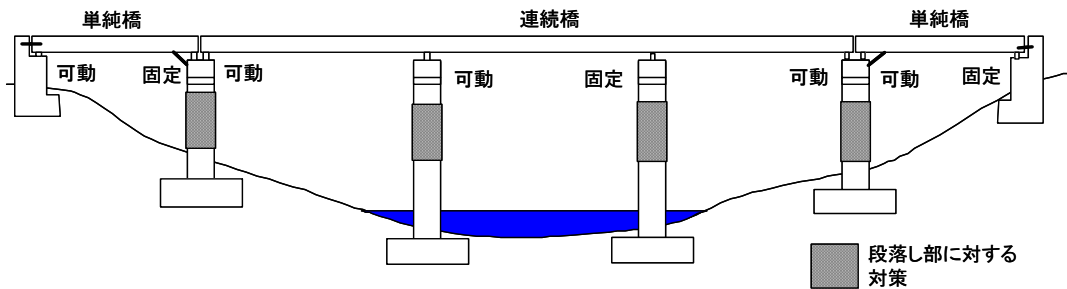
図3-2 斜橋・曲線橋の場合に設置する落橋防止システムの例

(3) 落橋防止システムの設置については、対策工法として、「けたかかり長の確保」よりも「落橋防止構造の設置」（表3-3）を優先することを基本とするが、上部構造にアンカーが定着できない構造の場合など「落橋防止構造の設置」が困難な場合は、「けたかかり長の確保」による対策を検討する。

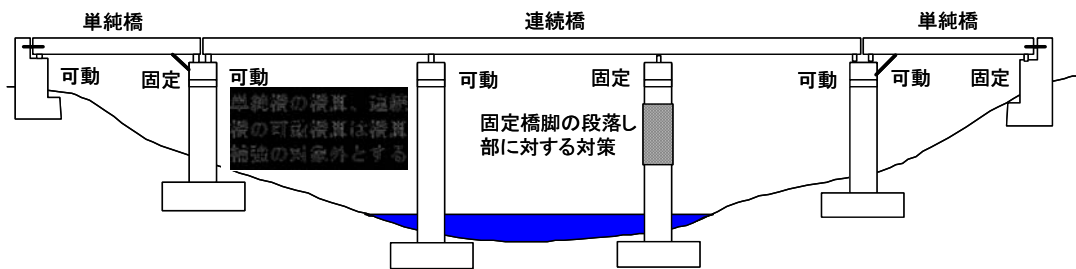
### 3. 3 耐震補強の対象例

#### (1) 橋脚補強の対象例

##### ①鉄筋コンクリート製単柱橋脚の場合

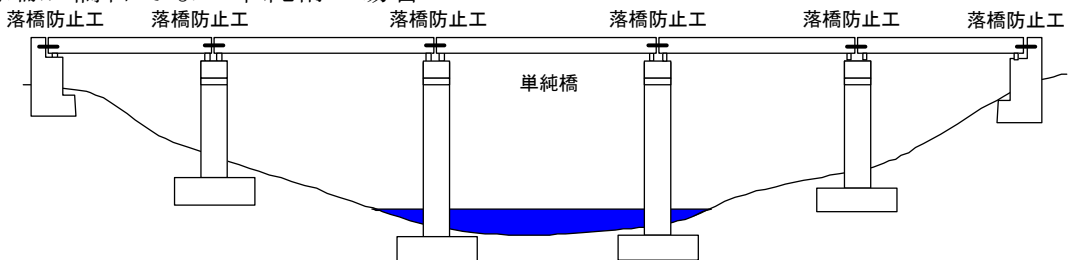


##### ②鉄筋コンクリート製単柱橋脚以外（壁式橋脚、ラーメン橋脚）の場合

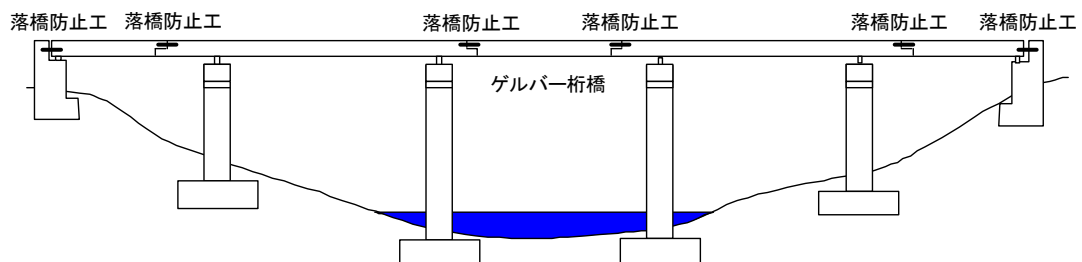


#### (2) 落橋防止システムの設置の対象例

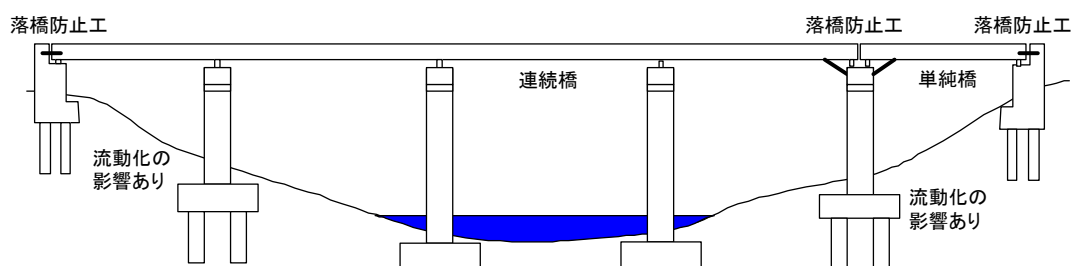
##### ①両端が橋台でない単純桁の場合



##### ②ゲルバー桁の場合

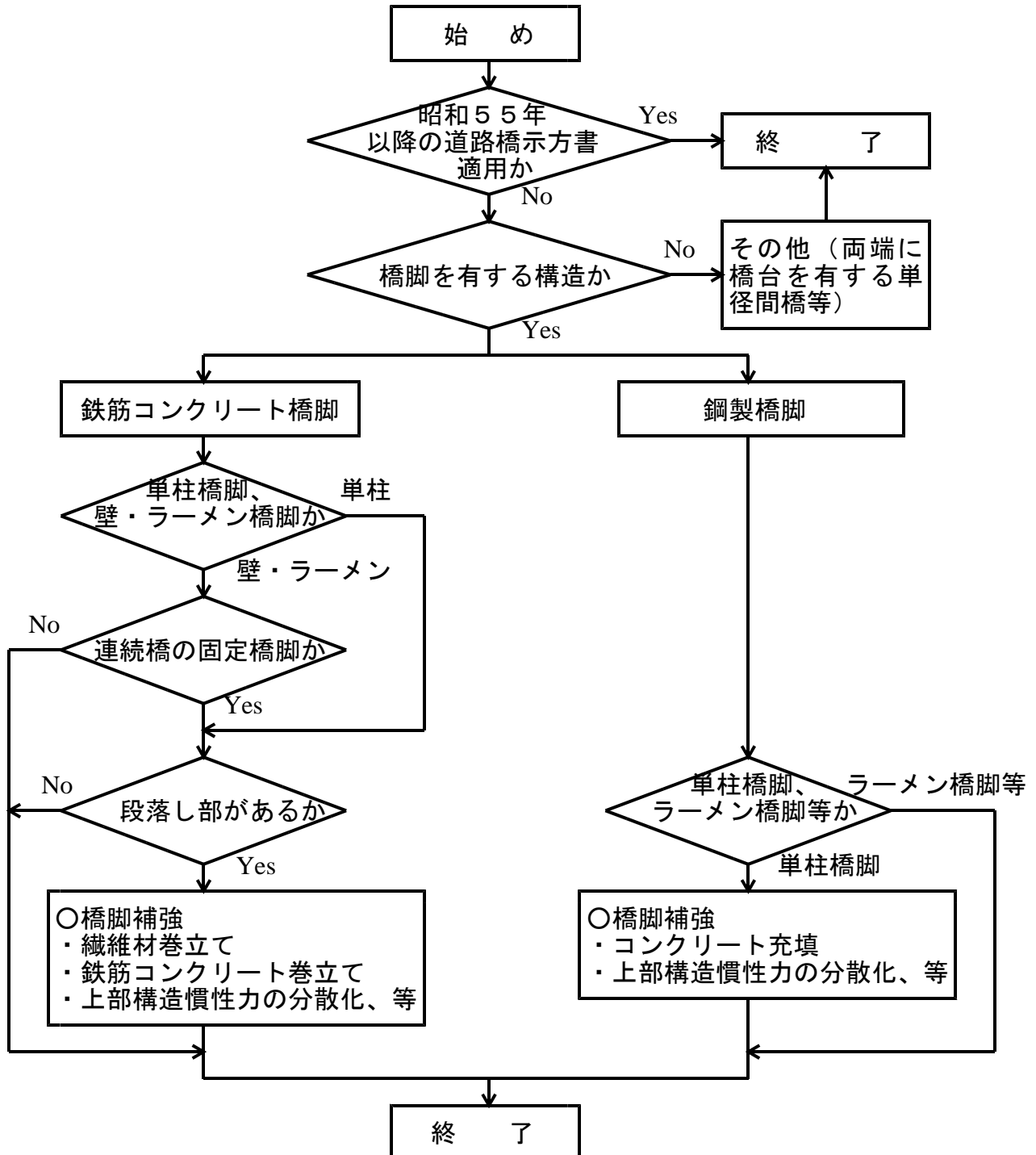


##### ③流動化の影響を受ける可能性のある連続桁の場合

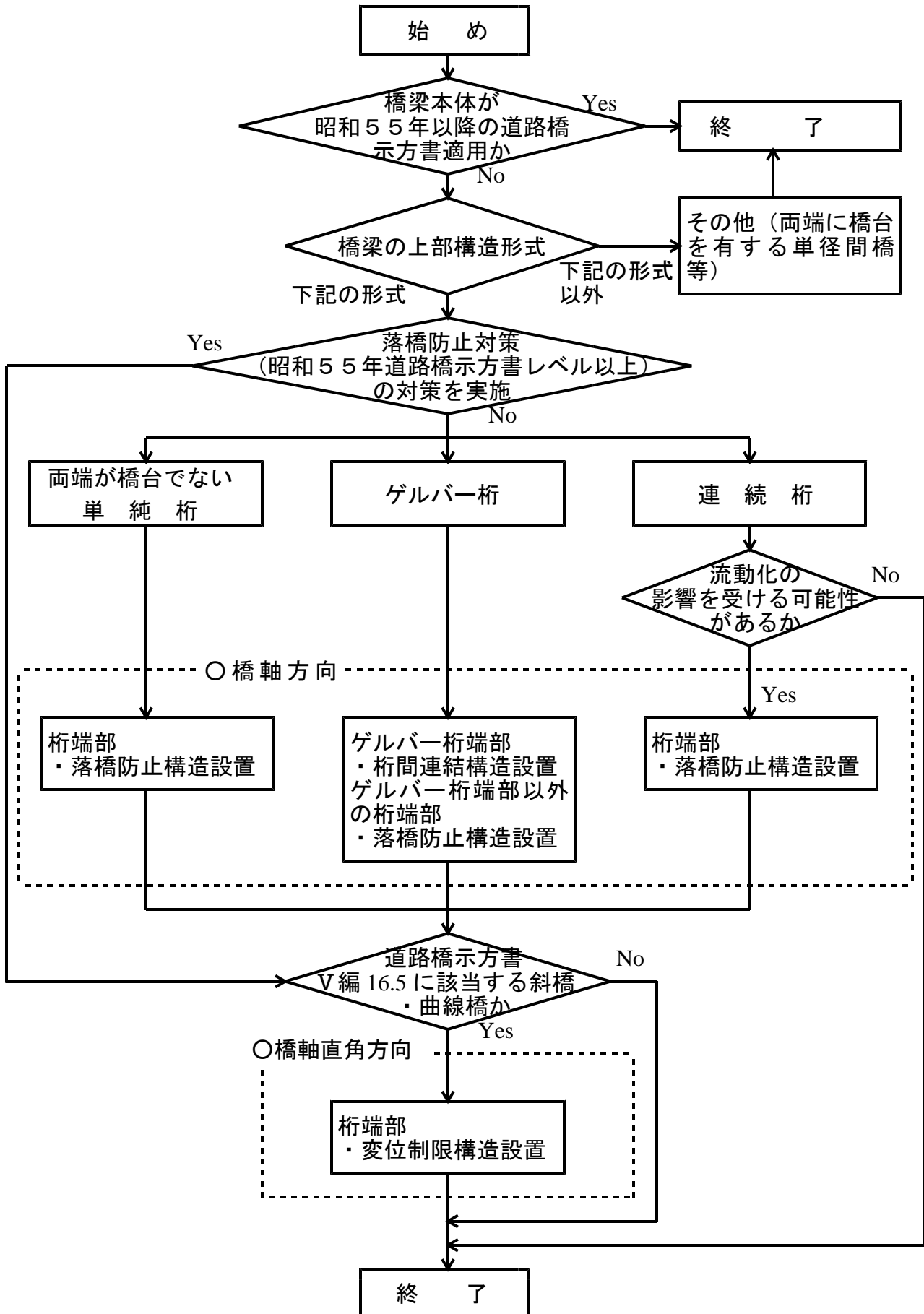


#### 4. 対策フロー

##### 4. 1 橋脚補強フロー



4. 2 落橋防止システム設置フロー



# 参考資料

## 目次

1. 鉄筋コンクリート製橋脚の耐震補強の考え方	1
(1) 平成7年兵庫県南部地震による被災の特徴	1
(2) 鉄筋コンクリート製橋脚の耐震補強の考え方	1
2. 既往の地震による被害事例	2
3. 一般的な橋梁における従来工法と緊急対策工法の比較事例	4
4. 鉄筋コンクリート橋脚の段落し部における繊維材巻立て工法の設計計算例	5
(1) 設計条件	5
1) 上部構造	5
2) 下部構造	5
3) 鉛直荷重および橋脚が支持する上部構造部分の重量	5
4) 重要度の区分および地域区分	5
5) 地盤条件	5
6) 橋脚の断面構成	7
(2) 橋脚の照査	8
1) 橋脚の損傷断面の判定	9
2) 段落し部の曲げ耐力照査	10
3) 段落し部のせん断耐力照査	12
4) 照査結果のまとめ	16
(3) 炭素繊維材シートによる補強計算	17
1) 曲げ補強	17
2) せん断補強	20
参考資料 1 基礎の影響を考慮した減衰定数に基づく補正係数	23
参考資料 2 ディープビームの効果を考慮したせん断耐力の計算方法	24

## 1. 鉄筋コンクリート製橋脚の耐震補強の考え方

### (1) 平成7年兵庫県南部地震による被災の特徴

- ①昭和55年道路橋示方書より古い基準を適用した鉄筋コンクリート製橋脚の段落し部における曲げせん断破壊により、橋脚の倒壊に至る甚大な被害が発生した。
- ②昭和55年道路橋示方書より古い基準を適用した鉄筋コンクリート製橋脚においても、橋脚基部の損傷では、橋脚の倒壊に至る甚大な被害は発生しなかった。
- ③昭和55年道路橋示方書以降の基準を適用した橋脚においては、甚大な損傷は発生しなかった。

### (2) 鉄筋コンクリート製橋脚の耐震補強の考え方

上記(1)を踏まえ、昭和55年道路橋示方書より古い基準を適用した鉄筋コンクリート製橋脚について、段落し部に対する補強を優先的、限定的に実施し、落橋等の甚大な被害を防止し、緊急輸送道路としての機能を確保する。



写真. 兵庫県南部地震における単柱橋脚段落し部の破壊

## 2. 既往の地震による被害事例

被害事例1 昭和55年道路橋示方書よりも古い基準を適用した鉄筋コンクリート製単柱橋脚の甚大な被害例（兵庫県南部地震）



被害事例2 昭和55年道路橋示方書よりも古い基準を適用した鋼製単柱橋脚の甚大な被害例（兵庫県南部地震）



被害事例3 昭和55年道路橋示方書よりも古い基準を適用した鉄筋コンクリート製単柱橋脚以外（壁式橋脚・ラーメン橋脚）の甚大な被害例（兵庫県南部地震）



甚大な被害を受けたのはいずれも  
連続橋の固定橋脚

被害事例4 単純桁橋・ゲルバー桁橋の甚大な被害例



写真. 単純桁形式の高架橋の落橋(兵庫県南部地震)



写真. ゲルバー桁橋の落橋(宮城県沖地震)

被害事例5 流動化等の影響による甚大な被害例および斜橋・曲線橋の甚大な被害例



写真. 液状化・流動化による落橋(新潟地震)



写真. 流動化による橋脚基礎の変位(兵庫県南部地震)



写真. 斜橋の落橋(兵庫県南部地震)

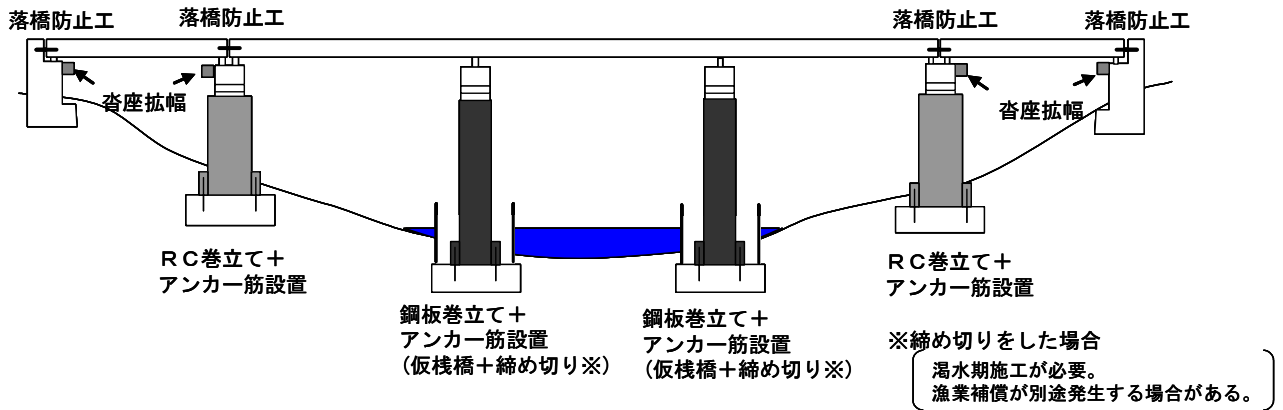


写真. 曲線橋の落橋(兵庫県南部地震)

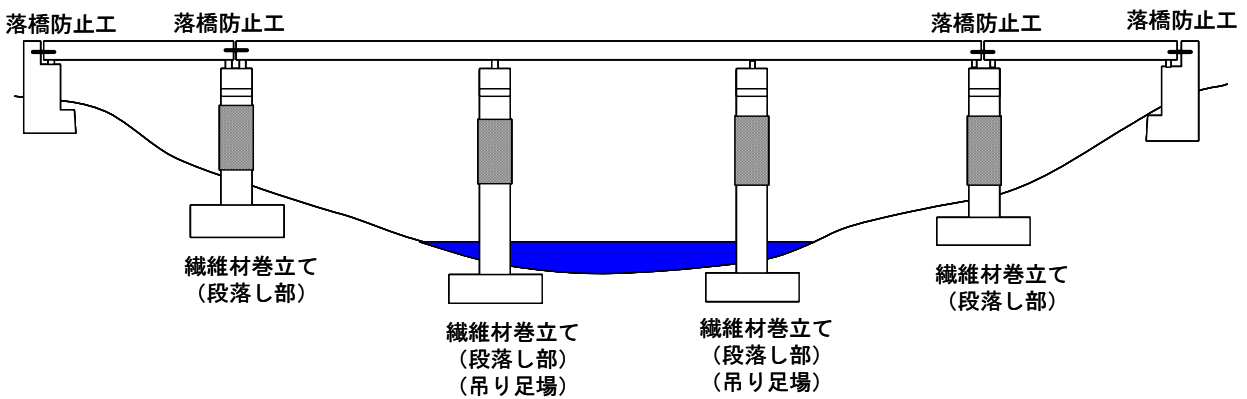


### 3. 一般的な橋梁における従来工法と緊急対策工法の比較事例

従来工法：概算事業費 約140百万円※



緊急対策工法：概算事業費 約60百万円



### 橋脚の耐震補強工法の比較事例

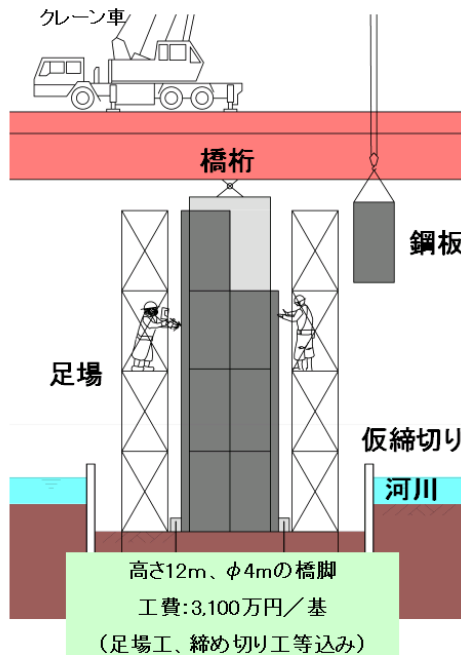


図. 鋼板巻立て工法

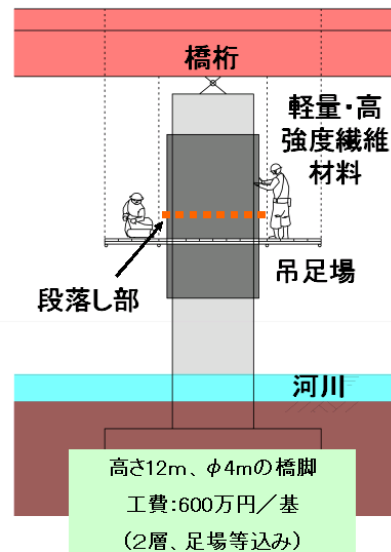


図. 軽量・高強度の繊維材巻立て工法

## 4. 鉄筋コンクリート橋脚の段落し部における繊維材巻立て工法の設計計算例

### (1) 設計条件

本設計計算例で対象とする鉄筋コンクリート橋脚（P2 橋脚）の設計条件は，以下に示すとおりである。

#### 1) 上部構造（図-1 参照）

形 式：3 径間連続鋼鈹げた橋

支 間 長：25.0m+25.0m+15.0m

幅 員：全幅員 8.70m

支 持 条 件：固定，可動

支 承 の 種 類：密閉ゴム支承板支承

#### 2) 下部構造（図-2 参照）

橋 脚：張出し式コンクリート製単柱橋脚（小判型断面）

基 礎：杭基礎（鉄筋コンクリート場所打ち杭）

使用材料

コンクリート： $\sigma_{ck}=21\text{N/mm}^2$

鉄 筋：SD295

設計水平震度： $k_h=0.20$ （当初設計）

#### 3) 鉛直荷重および橋脚が支持する上部構造部分の重量

上部構造からの死荷重： $R_D=3100\text{kN}$

上部構造部分の重量

橋軸方向： $W_u=6850\text{kN}$

橋軸直角方向： $W_u=3100\text{kN}$

橋脚躯体の重量： $W_p=2590\text{kN}$

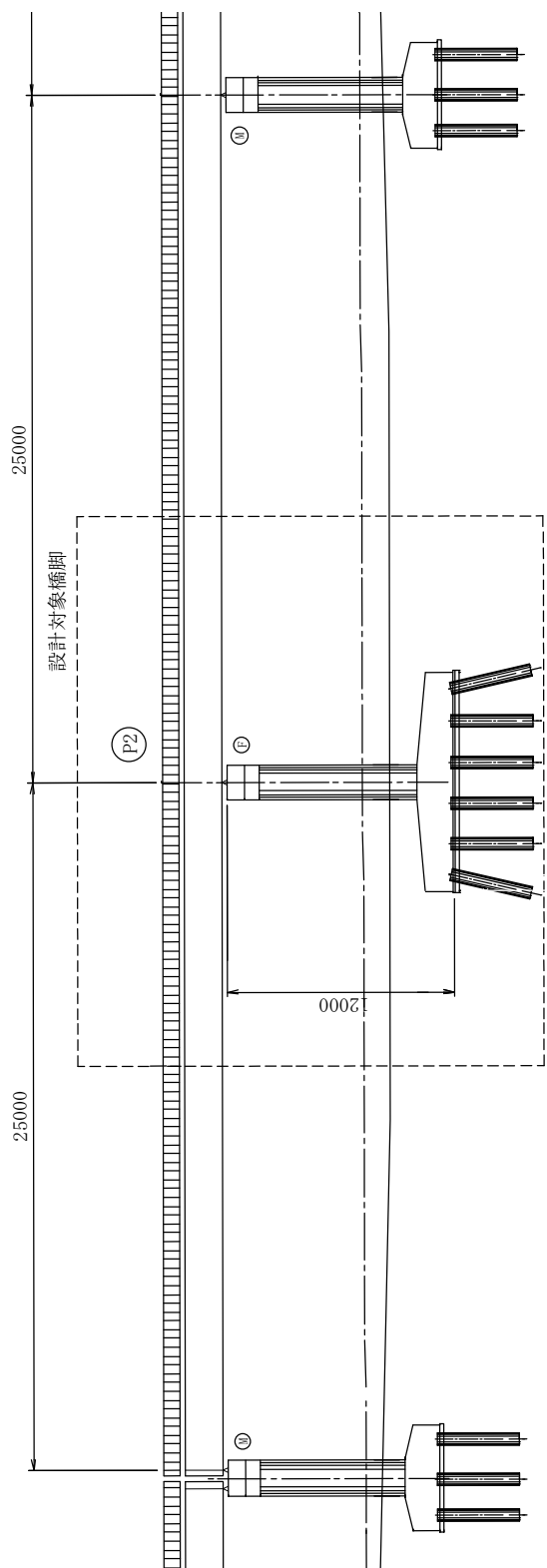
#### 4) 重要度の区分および地域区分

重要度の区分：B 種の橋

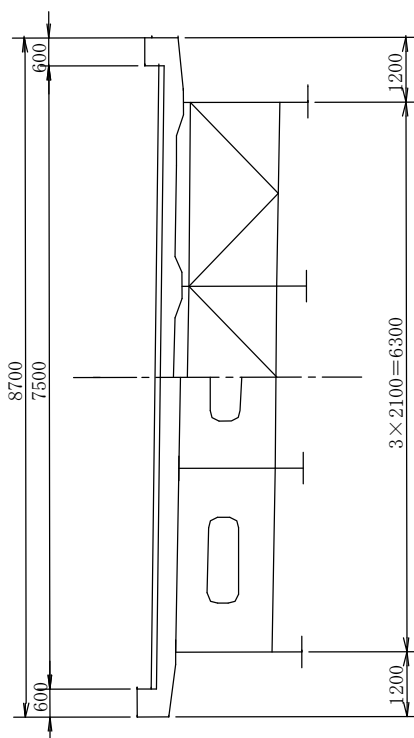
地 域 区 分：A 地域

#### 5) 地盤条件

耐震設計上の地盤種別：II 種地盤



(a) 側面図



(b) 上部構造断面図

図-1 設計対象橋梁

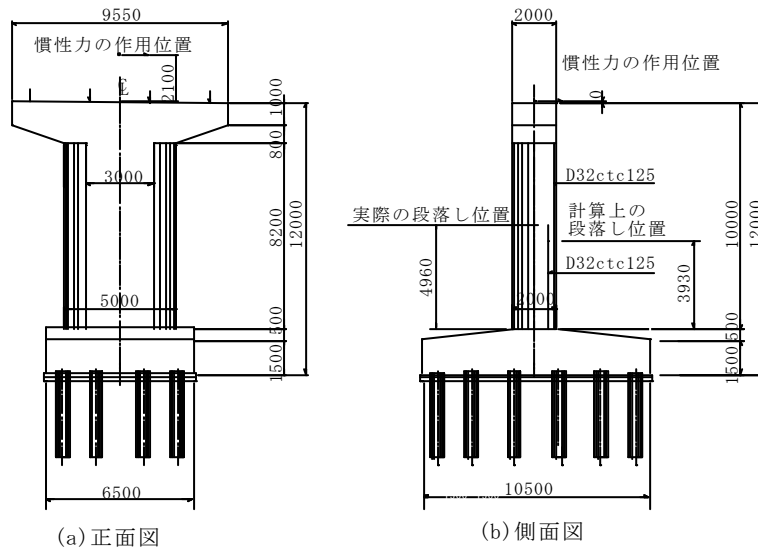


図-2 設計対象橋脚

6) 橋脚の断面構成

段落し高さ：橋脚基部から 3.930m（計算上の段落し位置）

主鉄筋：（段落し部） D32ctc125-1 段

（基部） D32ctc125-2 段

帯鉄筋：表-1，図-3 参照

表-1 帯鉄筋の構成

(a) 橋軸方向

範囲 (m)	ピッチ (mm)	帯鉄筋 $A_w$	横拘束筋 $A_h$	有効長 (m)
3.930～8.200	300	D16×2	D16×1	4.800
0.000～3.930	300	D16×4	D16×2	4.700

(b) 橋軸直角方向

範囲 (m)	ピッチ (mm)	帯鉄筋 $A_w$	横拘束筋 $A_h$	有効長 (m)
3.930～8.200	300	D16×2	D16×1	1.800
0.000～3.930	300	D16×4	D16×2	1.700

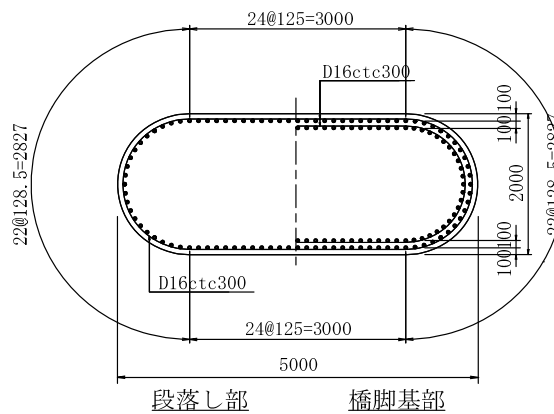
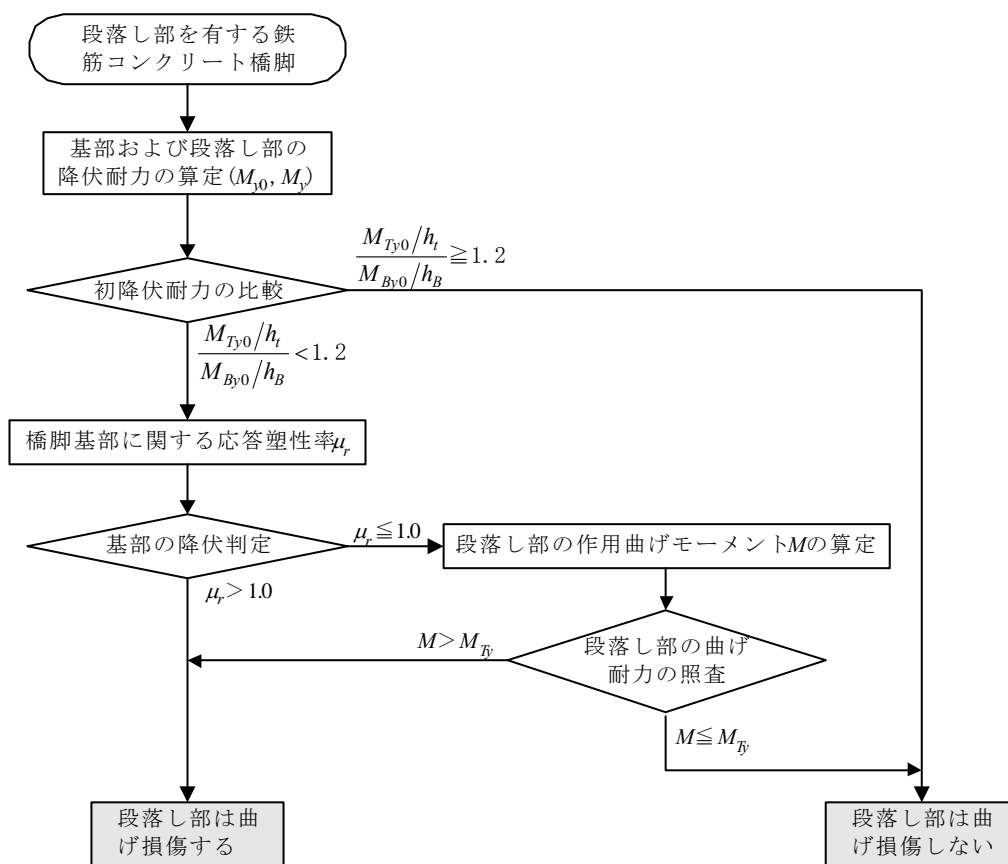


図-3 設計対象橋脚配筋図

## (2) 橋脚の照査

鉄筋コンクリート橋脚の段落し部の補強設計では、まず、段落し位置と橋脚基部の初降伏耐力を比較して、損傷断面の判定を行う。損傷断面が段落し部と判定されたケースでは、レベル2地震動により橋脚基部に曲げ損傷が生じる場合、段落し部の損傷が先行して生じると考えられる。損傷断面が段落し部と判定されたケースでも、断面寸法が大きく耐力に余裕があり、橋脚基部がレベル2地震動に対し降伏しない橋脚では、段落し部の断面力が曲げ耐力を下回り損傷が生じない場合がある。そこで、このような橋脚では、段落し部の断面力と曲げ耐力を比較して段落し部の損傷判定を行う必要がある。段落し部の損傷判定の流れを図-4に示す。

なお、段落し部において、軸方向鉄筋が2段から1段に変化する等、せん断補強筋が低減される場合は、段落し部のせん断耐力も照査することが必要である。



ここに、

$M_{Ty0}$  : 橋脚躯体の段落し位置における初降伏曲げモーメント(kN・m)

$h_t$  : 橋脚躯体の段落し位置から上部構造の慣性力の作用位置までの高さ(m)

$M_{By0}$  : 橋脚躯体基部における初降伏曲げモーメント(kN・m)

$h_B$  : 橋脚躯体基部から上部構造の慣性力の作用位置までの高さ(m)

図-4 段落し部の損傷判定の流れ

1) 橋脚の損傷断面の判定

対象橋脚は、図-2 に示すように橋脚基部より 4.960m において軸方向鉄筋の段落しが行われている。損傷断面の判定に用いる計算上の段落し位置は、実際の段落し位置から「道路橋示方書IV下部構造編 7.8 鉄筋の継ぎ手」に規定される鉄筋の重ね継手長  $\ell_a$  に相当する長さだけ下げた位置とする。重ね継手長は以下により 1.030m であるため、計算上の段落し位置は橋脚基部より 3.930m となる。

$$\ell_a = \frac{\sigma_{sa}}{4\tau_{0a}}\phi = \frac{180}{4 \times 1.4}\phi = 32.143\phi = 32.143 \times 31.8 = 1022\text{mm} \rightarrow 1.030\text{m}$$

ここに、

$\sigma_{sa}$  : 鉄筋の許容引張応力度(N/mm<sup>2</sup>)

$\tau_{0a}$  : コンクリートの許容付着応力度(N/mm<sup>2</sup>)で、コンクリートの設計基準強度が 21N/mm<sup>2</sup>であることから 1.4N/mm<sup>2</sup>

$\phi$  : 鉄筋の直径(mm)

橋脚基部と段落し位置の曲げ初降伏耐力を、「道路橋示方書 V 耐震設計編 10.3 水平耐力及び水平変位の算出」に基づいて算出し、損傷断面の判定を行うと以下のとおりとなる。

a) 橋軸方向

段落し位置  $M_{Ty0} = 19489\text{kN}\cdot\text{m}$

$h_t = 6.070\text{m}$

橋脚基部  $M_{By0} = 32560\text{kN}\cdot\text{m}$

$h_B = 10.000\text{m}$

$$\frac{M_{Ty0}/h_t}{M_{By0}/h_B} = 0.99 < 1.2 \quad \text{軸方向鉄筋段落とし部損傷}$$

ここに、

$M_{Ty0}$  : 橋脚躯体の段落し位置における初降伏曲げモーメント(kN・m)

$h_t$  : 橋脚躯体の段落し位置から上部構造の慣性力の作用位置までの高さ(m)

$M_{By0}$  : 橋脚躯体基部における初降伏曲げモーメント(kN・m)

$h_B$  : 橋脚躯体基部から上部構造の慣性力の作用位置までの高さ(m)

b) 橋軸直角方向

段落し位置  $M_{Ty0} = 37480\text{kN}\cdot\text{m}$

$h_t = 8.170\text{m}$

橋脚基部  $M_{By0} = 62459\text{kN}\cdot\text{m}$

$h_B = 12.100\text{m}$

$$\frac{M_{Ty0}/h_t}{M_{By0}/h_B} = 0.89 < 1.2 \quad \text{軸方向鉄筋段落し部損傷}$$

ここに、

$M_{Ty0}$  : 橋脚躯体の段落し位置における初降伏曲げモーメント(kN・m)

$h_t$  : 橋脚躯体の段落し位置から上部構造の慣性力の作用位置までの高さ(m)

$M_{By0}$  : 橋脚躯体基部における初降伏曲げモーメント(kN・m)

$h_B$  : 橋脚躯体基部から上部構造の慣性力の作用位置までの高さ(m)

以上より、橋軸方向、橋軸直角方向ともに段落し部で損傷が先行すると判定される。

## 2) 段落し部の曲げ耐力照査

本橋脚では、段落し部で損傷が先行すると判定されたため、レベル2地震動により橋脚基部が降伏するか否かを判定し、段落し部に損傷が生じるかどうかを検討する。

橋脚基部の降伏判定と、段落し部に作用する断面力の算出に当っては、参考資料1に示す基礎の影響を考慮した減衰定数により設計水平震度を補正することとする。表-2に基礎の影響による減衰定数に基づく補正係数計算結果を示す。

表-2 基礎の影響を考慮した減衰定数に基づく補正係数

		P2橋脚	
		橋軸方向	橋軸直角方向
橋脚	橋脚形式	単柱橋脚 (小判型断面)	
	橋脚の剛性を表すばね定数 $K_p$ (kN/m)	92581	264842
基礎	基礎形式	杭基礎	
	基礎の剛性を表すバネ定数 $K_F$ (kN/m)	411046	125212
下部構造 の 減衰特性	下部構造の剛性比 $K_p/K_F$	0.225	2.115
	橋脚の減衰定数 $h_p$ 5%	0.050	0.050
	基礎の減衰定数 $h_F$ 20%	0.200	0.200
	下部構造の減衰定数 $h$	0.078	0.152
	減衰定数に基づく補正係数 $c_E$	1.00	0.70

### a) 橋軸方向

段落し部が損傷しないと仮定し、レベル2地震動における橋脚基部に関する応答塑性率を算出する。計算は設計水平震度が大きいタイプII地震動に対して行い、タイプI地震動の計算は省略する。下記に示すように応答塑性率 $\mu_r=6.91 > 1.0$ となり、橋脚基部が降伏すると判断される。このため、橋軸方向には段落し部の損傷が橋脚基部の降伏に先行して生じると考えられる。

$$\mu_r = \frac{1}{2} \left\{ \left( \frac{c_E c_z k_{hc0} W}{P_a} \right)^2 + 1 \right\} = \frac{1}{2} \left\{ \left( \frac{1.0 \times 1.0 \times 1.75 \times 8145}{3981} \right)^2 + 1 \right\} = 6.91$$

ここに、

$c_E$  : 表-2に示す減衰定数に基づく補正係数で、1.0 (参考資料1)

$c_z$  : 地域別補正係数で、地域区分はAより1.0 (道路橋示方書V耐震設計編4.4地域別補正係数)

$k_{hc0}$  : 設計水平震度の標準値 (道路橋示方書V耐震設計編6.4.3設計水平震度) で、震度の大きいタイプII地震動の値1.75

$W$  : 等価重量(kN)で、以下の式で求める (道路橋示方書V耐震設計編6.4.6鉄筋コンクリート橋脚の照査)

$$W = W_U + c_P W_P = 6850 + 0.5 \times 2590 = 8145 \text{ kN}$$

$W_U$  : 当該橋脚が支持している上部構造部分の重量 (kN)

$c_P$  : 等価重量算出係数で、曲げ破壊型より 0.5 (道路橋示方書V耐震設計編6.4.6鉄筋コンクリート橋脚の照査)

$W_P$  : 橋脚躯体の重量 (kN)

$P_a$  : 橋脚基部の地震時保有水平耐力 (kN) (道路橋示方書V耐震設計編10.2破壊形態の判定ならびに地震時保有水平耐力及び許容塑性率)

b) 橋軸直角方向

段落し部が損傷しないと仮定し、レベル2地震動における橋脚基部に関する応答塑性率を算出する。計算は設計水平震度が大きいタイプII地震動に対して行い、タイプI地震動の計算は省略する。下記に示すように応答塑性率  $\mu_r = 0.73 \leq 1.0$  となり、橋脚基部は降伏しない。

$$\mu_r = \frac{1}{2} \left\{ \left( \frac{c_E c_z k_{hc0} W}{P_a} \right)^2 + 1 \right\} = \frac{1}{2} \left\{ \left( \frac{0.7 \times 1.0 \times 1.75 \times 4395}{7958} \right)^2 + 1 \right\} = 0.73$$

ここに、

$c_E$  : 表-2に示す減衰定数に基づく補正係数で、0.7 (参考資料1)

$c_z$  : 地域別補正係数で、地域区分はAより1.0 (道路橋示方書V耐震設計編4.4地域別補正係数)

$k_{hc0}$  : 設計水平震度の標準値 (道路橋示方書V耐震設計編6.4.3設計水平震度) で、震度の大きいタイプII地震動の値1.75

$W$  : 等価重量 (kN) で、以下の式で求める (道路橋示方書V耐震設計編6.4.6鉄筋コンクリート橋脚の照査)

$$W = W_U + c_P W_P = 3100 + 0.5 \times 2590 = 4395 \text{ kN}$$

$W_U$  : 当該橋脚が支持している上部構造部分の重量 (kN)

$c_P$  : 等価重量算出係数で、曲げ破壊型より 0.5 (道路橋示方書V耐震設計編6.4.6鉄筋コンクリート橋脚の照査)

$W_P$  : 橋脚躯体の重量 (kN)

$P_a$  : 橋脚基部の地震時保有水平耐力 (kN) (道路橋示方書V耐震設計編10.2破壊形態の判定ならびに地震時保有水平耐力及び許容塑性率)

橋脚基部は、レベル2地震動により降伏しないため、段落し部の耐力照査を行う。計算は設計水平震度が大きいタイプII地震動に対して行い、タイプI地震動の計算は省略する。下記に示すように段落し部に生じる曲げモーメントは、降伏曲げモーメントを下回るため、段落し部は損傷しないと判定される。

$$c_E c_z k_{hc0} W h_t = 0.70 \times 1.0 \times 1.75 \times 3955 \times 8.170 = 39583 \text{ kN} \cdot \text{m} \leq M_{T_y} = 55206 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

ここに、

$c_E$  : 表-2に示す減衰定数に基づく補正係数で、0.7 (参考資料1)



- $c_z$  : 地域別補正係数で、地域区分はAより1.0 (道路橋示方書V耐震設計編4.4地域別補正係数)
- $k_{hc0}$  : 設計水平震度の標準値 (道路橋示方書V耐震設計編6.4.3設計水平震度) で、震度の大きいタイプII地震動の値1.75
- $W$  : 等価重量(kN)で、以下の式で求める (道路橋示方書V耐震設計編6.4.6鉄筋コンクリート橋脚の照査)
- $$W = W_U + c_P W_P' = 3100 + 0.5 \times 1710 = 3955 \text{ kN}$$
- $W_U$  : 当該橋脚が支持している上部構造部分の重量(kN)
- $c_P$  : 等価重量算出係数で、曲げ破壊型より0.5 (道路橋示方書V耐震設計編6.4.6鉄筋コンクリート橋脚の照査)
- $W_P'$  : 計算上の段落し位置より上にある下部構造の重量(kN)
- $h_t$  : 橋脚躯体の段落し位置から上部構造の慣性力の作用位置までの高さ(m)
- $M_{Ty}$  : 「道路橋示方書V耐震設計編10.3水平耐力及び水平変位の算出」に基づいて算出した計算上の段落し位置における降伏曲げモーメント (kN・m)

### 3) 段落し部のせん断耐力照査

本橋脚では、表-1に示すように段落し部においてせん断補強筋の本数が半分に低減されているため、段落し部のせん断耐力の照査を行う。

#### a) 橋軸方向

橋軸方向の照査に用いる作用せん断力は、橋脚基部がレベル2地震動で降伏するため橋脚基部の耐力を超える力は橋脚に加わらないことから、橋脚基部の終局水平耐力を用いる。

#### i) タイプI地震動

コンクリートが負担するせん断耐力  $S_c$

$$S_c = c_c c_e c_{pt} \tau_c b d$$

$$= 0.6 \times 0.865 \times 1.224 \times 0.33 \times 4571 \times 1900 = 1821 \text{ kN}$$

ここに、

- $c_c$  : 正負交番繰返し作用の影響に関する補正係数で、タイプI地震動であることから0.6 (道路橋示方書V耐震設計編10.5せん断耐力)
- $c_e$  : 橋脚断面の有効高に関する補正係数 (道路橋示方書V耐震設計編10.5せん断耐力)
- $c_{pt}$  : 引張主鉄筋比に関する補正係数 (道路橋示方書V耐震設計編10.5せん断耐力)
- $\tau_c$  : 平均せん断応力度 (道路橋示方書V耐震設計編10.5せん断耐力) で、橋脚コンクリートの設計基準強度が21 N/mm<sup>2</sup>であることから0.33 N/mm<sup>2</sup>
- $b$  : 橋脚断面の幅(mm)で、面積等価な矩形断面の幅
- $d$  : 橋脚断面の有効高さ(mm)

帯鉄筋が負担するせん断耐力  $S_s$

$$S_s = \frac{A_w \sigma_{sy} d (\sin \theta + \cos \theta)}{1.15a} = \frac{397.2 \times 295 \times 1900 \times 1.0}{1.15 \times 300} = 645 \text{ kN}$$

ここに,

$A_w$  : 帯鉄筋の総断面積(mm<sup>2</sup>)

$$A_w = D16 \times 2 = 397.2 \text{ mm}^2$$

$\sigma_{sy}$  : 帯鉄筋の降伏点 (N/mm<sup>2</sup>)

$d$  : 橋脚断面の有効高さ(mm)

$\theta$  : 帯鉄筋と鉛直軸とのなす角度 (°)

$a$  : 帯鉄筋の間隔(mm)

せん断耐力  $P_s$

$$P_s = S_c + S_s = 1821 + 645 = 2466 \text{ kN} < P_u = 3974 \text{ kN}$$

ここに,

$S_c$  : コンクリートが負担するせん断耐力 (kN)

$S_s$  : 帯鉄筋が負担するせん断耐力 (kN)

$P_u$  : 「道路橋示方書 V 耐震設計編 10.3 水平耐力及び水平変位の算出」に基づいて算出した橋脚基部の終局水平耐力 (kN) で, 段落し部の作用せん断力と同じ

以上より, 段落し部ではタイプ I 地震動に対してせん断耐力が不足する.

## ii) タイプ II 地震動

コンクリートが負担するせん断耐力  $S_c$

$$S_c = c_c c_e c_{pt} \tau_c b d$$

$$= 0.8 \times 0.865 \times 1.224 \times 0.33 \times 4571 \times 1900 = 2428 \text{ kN}$$

ここに,

$c_c$  : 正負交番繰返し作用の影響に関する補正係数で, タイプ II 地震動であることから 0.8 (道路橋示方書 V 耐震設計編 10.5 せん断耐力)

$c_e$  : 橋脚断面の有効高に関する補正係数 (道路橋示方書 V 耐震設計編 10.5 せん断耐力)

$c_{pt}$  : 引張主鉄筋比に関する補正係数 (道路橋示方書 V 耐震設計編 10.5 せん断耐力)

$\tau_c$  : 平均せん断応力度 (道路橋示方書 V 耐震設計編 10.5 せん断耐力) で, 橋脚コンクリートの設計基準強度が 21 N/mm<sup>2</sup> であることから 0.33 N/mm<sup>2</sup>

$b$  : 橋脚断面の幅(mm) で, 面積等価な矩形断面の幅

$d$  : 橋脚断面の有効高さ(mm)

帯鉄筋が負担するせん断耐力  $S_s$

タイプ I 地震動で算出した値と同じ.

せん断耐力  $P_s$

$$P_s = S_c + S_s = 2428 + 645 = 3073 \text{ kN} < P_u = 3981 \text{ kN}$$

ここに,

$S_c$  : コンクリートが負担するせん断耐力 (kN)

$S_s$  : 帯鉄筋が負担するせん断耐力 (kN)

$P_u$  : 「道路橋示方書 V 耐震設計編 10.3 水平耐力及び水平変位の算出」に基づいて算出した橋脚基部の終局水平耐力 (kN) で, 段落し部の作用せん断力と同じ

以上より、段落し部ではタイプⅡ地震動に対してもせん断耐力が不足する。

iii)段落し部の橋軸方向せん断耐力照査結果

橋軸方向の段落し部ではタイプⅠおよびタイプⅡ地震動ともにせん断耐力が不足する。

b)橋軸直角方向

橋軸直角方向の照査に用いる作用せん断力は、橋脚基部がレベル2地震動で降伏しないため、段落し部より上の部分に作用する慣性力の合計を用いる。計算は設計水平震度が大きいタイプⅡ地震動に対して行い、タイプⅠ地震動の計算は省略する。設計水平震度の算定においては、曲げ耐力照査より段落し部が曲げ損傷しないことから、コンクリートが負担するせん断耐力の算定において正負交番繰返し作用の影響を考慮しない。

また、本橋脚は橋軸直角方向に対してはレベル2地震動により降伏しないこと、せん断スパン比が比較的小さいことから、参考資料2に示すディープビームの効果を考慮したせん断耐力による評価を行う。

コンクリートが負担するせん断耐力  $S_c$

$$S_c = c_c c_e c_{pt} \tau_c b d$$
$$= 1.0 \times 0.622 \times 1.268 \times 0.33 \times 2000 \times 4596 = 2392 \text{ kN}$$

ここに、

$c_c$  : 正負交番繰返し作用の影響に関する補正係数で、段落し部は曲げ降伏しないことから正負交番繰返しの影響がないとして 1.0 (道路橋示方書 V 耐震設計編 10.5 せん断耐力)

$c_e$  : 橋脚断面の有効高に関する補正係数 (道路橋示方書 V 耐震設計編 10.5 せん断耐力)

$c_{pt}$  : 引張主鉄筋比に関する補正係数 (道路橋示方書 V 耐震設計編 10.5 せん断耐力)

$\tau_c$  : 平均せん断応力度 (道路橋示方書 V 耐震設計編 10.5 せん断耐力) で、橋脚コンクリートの設計基準強度が  $21 \text{ N/mm}^2$  であることから  $0.33 \text{ N/mm}^2$

$b$  : 橋脚断面の幅 (mm)

$d$  : 橋脚断面の有効高さ (mm) で、面積等価な矩形断面の圧縮縁から引張鉄筋の重心位置までの距離

せん断スパン比によるコンクリートの負担するせん断耐力の割増し係数  $c_{dc}$  (参考資料2)

$$a/d = 4270/4596 = 0.93$$

$$c_{dc} = 4.34$$

ここに、

$a$  : せん断スパン (mm) で、段落し位置から横梁下端までの高さ (図-5)

$d$  : 橋脚断面の有効高さ (mm) で、面積等価な矩形断面の圧縮縁から引張鉄筋の重心位置までの距離

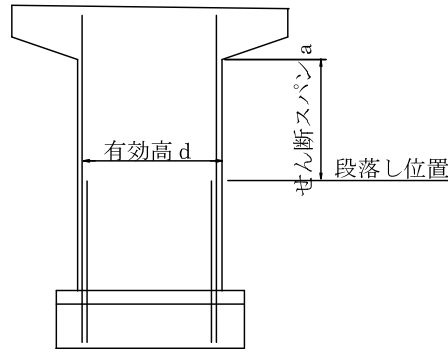


図-5 せん断スパンの考え方

帯鉄筋が負担するせん断耐力  $S_s$

$$S_s = \frac{A_w \sigma_{sy} d (\sin \theta + \cos \theta)}{1.15a} = \frac{397.2 \times 295 \times 4596 \times 1.0}{1.15 \times 300} = 1561 \text{ kN}$$

ここに、

$A_w$  : 帯鉄筋の総断面積(mm<sup>2</sup>)

$$A_w = D16 \times 2 = 397.2 \text{ mm}^2$$

$\sigma_{sy}$  : 帯鉄筋の降伏点 (N/mm<sup>2</sup>)

$d$  : 橋脚断面の有効高さ(mm) で、面積等価な矩形断面の圧縮縁から引張鉄筋の重心位置までの距離

$\theta$  : 帯鉄筋と鉛直軸とのなす角度 (°)

$a$  : 帯鉄筋の間隔(mm)

せん断スパン比による帯鉄筋が負担するせん断耐力の低減係数  $c_{ds}$  (参考資料 2)

$$c_{ds} = \frac{1}{2.5} (a/d) = \frac{1}{2.5} \times 0.93 = 0.372$$

ここに、

$a$  : せん断スパン(mm)で、段落し位置から横梁下端までの高さ (図-5)

$d$  : 橋脚断面の有効高さ(mm) で、面積等価な矩形断面の圧縮縁から引張鉄筋の重心位置までの距離

せん断耐力  $P_{s0}$

$$P_{s0} = c_{dc} S_c + c_{ds} S_s = 4.34 \times 2392 + 0.372 \times 1561 = 10962 \text{ kN}$$

ここに、

$c_{dc}$  : せん断スパン比によるコンクリートの負担するせん断耐力の割増し係数 (参考資料 2)

$S_c$  : コンクリートが負担するせん断耐力 (kN)

$c_{ds}$  : せん断スパン比による帯鉄筋が負担するせん断耐力の低減係数 (参考資料 2)

$S_s$  : 帯鉄筋が負担するせん断耐力 (kN)

段落し位置での作用せん断力は以下により求める。

$$c_{ECz} k_{hc0} W = 0.70 \times 1.0 \times 1.75 \times 4810 = 5892 \text{ kN} < P_{s0} = 10962 \text{ kN}$$

ここに、

$c_E$  : 表-2に示す減衰定数に基づく補正係数で、0.7 (参考資料1)

$c_z$  : 地域別補正係数で、地域区分はAより1.0 (道路橋示方書V耐震設計編4.4地域別補正係数)

$k_{hc0}$  : 設計水平震度の標準値 (道路橋示方書V耐震設計編6.4.3設計水平震度) で、ここでは震度の大きいタイプII地震動の値1.75

$W$  : 等価重量(kN)で、以下の式で求める (道路橋示方書V耐震設計編6.4.6鉄筋コンクリート橋脚の照査)

$$W = W_U + c_P W_P' = 3100 + 1.0 \times 1710 = 4810 \text{ kN}$$

$W_U$  : 当該橋脚が支持している上部構造部分の重量(kN)

$c_P$  : 等価重量算出係数で、せん断力に対する照査を行うため1.0 (道路橋示方書V耐震設計編6.4.6鉄筋コンクリート橋脚の照査)

$W_P'$  : 計算上の段落し位置より上にある下部構造の重量(kN)

以上より、橋軸直角方向の段落し部においては、ディープビームの効果を考慮することで、作用せん断力はせん断耐力を下回り、せん断破壊は生じないと判断される。

#### 4) 照査結果のまとめ

レベル2地震動に対する段落し部の照査結果を以下に示す。

##### a) 橋軸方向

タイプI及びタイプII地震動に対して、段落し部においては、曲げ損傷が生ずると共にせん断耐力が不足すると判断されることから、曲げと共にせん断に対する補強検討が必要である。

曲げ照査 : 作用モーメント  $\geq$  降伏曲げモーメントより、損傷する (NO)

せん断照査 : 基部の終局耐力  $>$  段落し部のせん断耐力より、損傷する (NO)

##### b) 橋軸直角方向

タイプI及びタイプII地震動に対して、段落し部においては、曲げ降伏は生じないと共にせん断照査も満足する。このため、補強検討の必要はない。

曲げ照査 : 作用モーメント  $\leq$  降伏曲げモーメントより、損傷しない (OK)

せん断照査 : 作用せん断力  $\leq$  せん断耐力より、損傷しない (OK)

### (3) 炭素繊維材シートによる補強計算

橋脚の照査結果より、段落し部は橋軸方向の地震力に対し曲げ耐力およびせん断耐力が不足することから、炭素繊維材シート巻立てによる曲げおよびせん断耐力補強を検討する。

#### 1) 曲げ補強

段落し部の橋軸方向の曲げ耐力に対する補強に必要な炭素繊維材シートの巻立て量を以下により算定する。

#### a) 炭素繊維材シートの必要巻立て断面積

$$A_F = 1000\Delta M / \left( \frac{7}{8} \sigma_{Fb} d \right) = 1000 \times 4228 / \left( \frac{7}{8} \times 2300 \times 2.000 \right) = 1050 \text{mm}^2$$

ここに、

$A_F$  : 必要となる繊維材シートの巻立て断面積 ( $\text{mm}^2$ )

$\Delta M$  : 段落し位置の不足モーメント ( $\text{kN}\cdot\text{m}$ ) で、以下により求める。

$$\Delta M = 1.2 \times M_{By0} \frac{h_t}{h_B} - M_{Ty0} = 1.2 \times 32560 \times \frac{6.070}{10.000} - 19489 = 4228 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$M_{By0}$  : 橋脚躯体基部における初降伏曲げモーメント ( $\text{kN}\cdot\text{m}$ )

$M_{Ty0}$  : 橋脚躯体の段落し位置における初降伏曲げモーメント ( $\text{kN}\cdot\text{m}$ )

$h_t$  : 橋脚躯体の段落し位置から上部構造の慣性力の作用位置までの高さ ( $\text{m}$ )

$h_B$  : 橋脚躯体基部から上部構造の慣性力の作用位置までの高さ ( $\text{m}$ )

$\sigma_{Fb}$  : 繊維材シートの曲げ補強用設計強度で、炭素繊維材の場合は  $2300\text{N}/\text{mm}^2$

$d$  : 部材高さ ( $\text{m}$ )

#### b) 炭素繊維材シートの巻立て枚数

① 目付量  $200\text{g}/\text{m}^2$  (厚さ  $0.111\text{mm}$ ) のシートを使用する場合

$$n_F = \frac{A_F}{t_F b_F} = \frac{1050}{0.111 \times 4571} = 2.07 \text{ 枚}$$

ここに、

$n_F$  : 繊維材シートの必要枚数 (枚)

$A_F$  : 必要となる繊維材シートの巻立て断面積 ( $\text{mm}^2$ )

$t_F$  : 繊維材シート 1 枚あたりの厚さ ( $\text{mm}$ )

$b_F$  : 繊維材シートの幅 ( $\text{mm}$ ) で、橋脚断面積と等価な矩形断面の幅

必要枚数を整数に切り上げると 3 枚となり、実際に巻き立てるシートの厚さは、 $0.111\text{mm} \times 3$  枚 =  $0.333\text{mm}$  となる。

② 目付量  $300\text{g}/\text{m}^2$  (厚さ  $0.167\text{mm}$ ) のシートを使用する場合

$$n_F = \frac{A_F}{t_F b_F} = \frac{1050}{0.167 \times 4571} = 1.38 \text{ 枚}$$

ここに、

$n_F$  : 繊維材シートの必要枚数(枚)

$A_F$  : 必要となる繊維材シートの巻立て断面積(mm<sup>2</sup>)

$t_F$  : 繊維材シート1枚あたりの厚さ(mm)

$b_F$  : 繊維材シートの幅(mm)で、橋脚断面積と等価な矩形断面の幅

必要枚数を整数に切り上げると2枚となり、実際に巻き立てるシートの厚さは、0.167mm×2枚=0.334mmとなる。

実際に巻き立てるシートの厚さは①≒②であることから、巻立て枚数が少なく工費が安価と考えられる目付量 300g/m<sup>2</sup>のシート(厚さ 0.167mm)を使用する。

以上より、炭素繊維材シートの巻立て枚数は橋脚柱部の軸方向鉄筋方向に2枚となるが、軸方向シートの外側に、曲げ補強の繊維材シートとコンクリートとの一体性を強化するために帯鉄筋方向に1枚を巻き付けて、合計3枚とする。

### c) 炭素繊維材シートの巻立て範囲

炭素繊維材シートの巻立て範囲は、図-6に示すように、上側定着長は①と②の長い方を、下側定着長は③を含めた範囲として設定する。

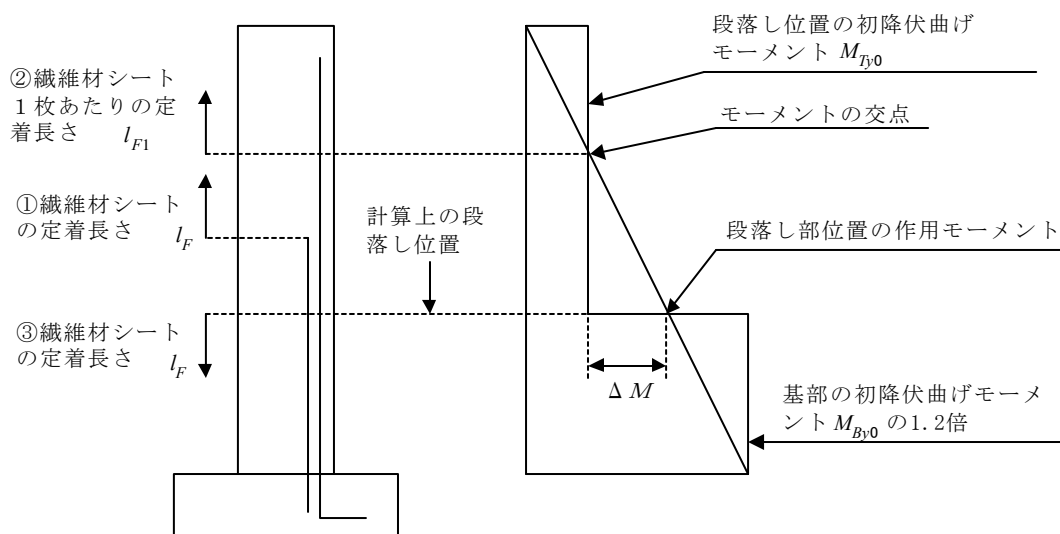


図-6 繊維材シートの巻立て範囲

①実際に段落としされた位置(柱基部から 4.960m)から定着長さ  $l_F$  を上側に確保した場合

$$l_F = \frac{\sigma_{Fb} n t_F}{\tau_F} = \frac{2300 \times 2 \times 0.167}{0.44} = 1746 \text{mm}$$

ここに、

$l_F$  : 繊維材シートの定着長さ(mm)

$n$  : 繊維材の巻立て枚数(枚)で、軸方向鉄筋方向の2枚

$\sigma_{Fb}$  : 繊維材シートの曲げ補強用設計強度で、炭素繊維材の場合は 2300N/mm<sup>2</sup>

$t_F$  : 繊維材シート1枚あたりの厚さ(mm)

$\tau_F$  : 曲げ補強に用いる繊維材シートの設計用付着強度で、 $\tau_F = 0.44 \text{ N/mm}^2$

よって、柱基部からの巻立て範囲の上端の高さは  $4.960 + 1.746 = 6.706$  (m)

② 段落し位置における初降伏曲げモーメント  $M_{Ty0}$  と作用曲げモーメントとの交点(柱基部から 5.012m)から繊維材シート 1 枚あたりの定着長さ  $l_{F1}$  を上側に確保した場合 (図-7 参照)

$$l_{F1} = \frac{\sigma_{Fb} n t_F}{\tau_F} = \frac{2300 \times 1 \times 0.167}{0.44} = 873 \text{ mm}$$

ここに、

$l_{F1}$  : 繊維材シート 1 枚あたりの定着長さ (mm)

$\sigma_{Fb}$  : 繊維材シートの曲げ補強用設計強度で、炭素繊維材の場合は  $2300 \text{ N/mm}^2$

$n$  : 繊維材の巻立て枚数 (枚) で 1 枚

$t_F$  : 繊維材シート 1 枚あたりの厚さ (mm)

$\tau_F$  : 曲げ補強に用いる繊維材シートの設計用付着強度で、 $0.44 \text{ N/mm}^2$

よって、柱基部からの巻立て範囲の上端の高さは  $5.012 + 0.873 = 5.885$  (m)

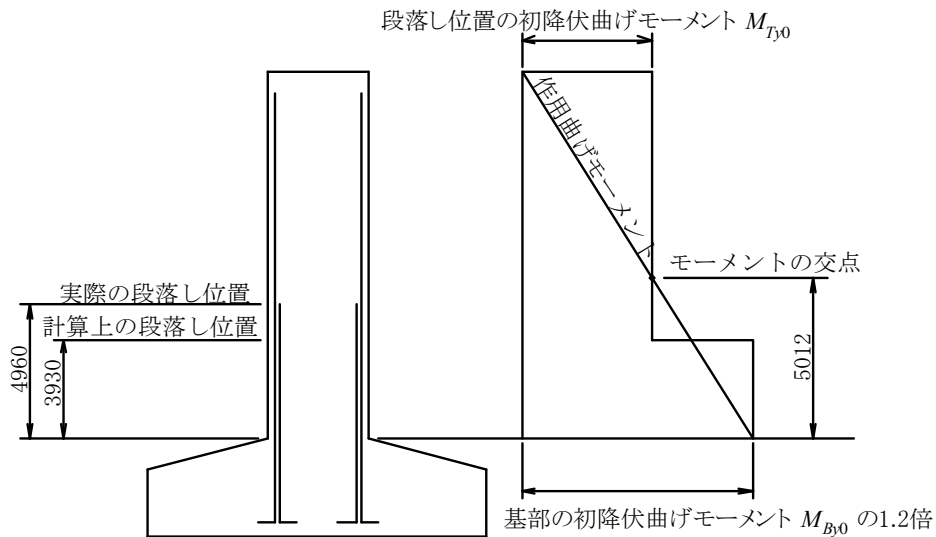


図-7 橋脚の耐力および作用曲げモーメントの分布図

以上より、巻立て範囲の上端は① > ②より①の値を用いて、橋脚基部から 6.706m とする。

③ 巻立て範囲の下端

計算上の段落し位置から定着長さ  $l_F$  を確保するため、橋脚基部から高さ  $3.930 - 1.746 = 2.184$  (m) とする。

以上より、巻立て範囲は橋脚基部から高さ 2.184m ~ 6.706m の 4.522m の範囲であり、実際の段落し位置に対しては上方向に 1.746m、下方向に 2.776m の範囲となる。図-8 に炭素繊維材シートの巻立て範囲を示す。



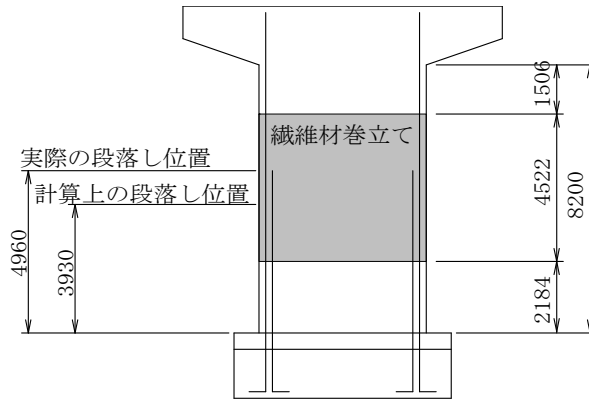


図-8 炭素繊維材シートの巻立て範囲

## 2) せん断補強

段落し部の橋軸方向の不足せん断耐力は、橋脚基部がレベル2地震動で降伏するため橋脚基部の耐力を超える力は橋脚に加わらないことから、橋脚基部の終局水平耐力と段落し部のせん断耐力の差として算出する。ここで、段落し部は巻立て補強により曲げ損傷が生じない断面となっていることから、コンクリートが負担するせん断耐力の算定においては、正負交番繰返し作用の影響は考慮しない。

### a) 曲げ補強後の段落し部のせん断耐力

コンクリートが負担するせん断耐力  $S_c$

$$S_c = c_c c_e c_{pt} \tau_c b d$$

$$= 1.0 \times 0.865 \times 1.224 \times 0.33 \times 4571 \times 1900 = 3035 \text{ kN}$$

$c_c$  : 正負交番繰返し作用の影響に関する補正係数で、段落し部は曲げ降伏しないことから正負交番繰返しの影響がないとして 1.0 (道路橋示方書 V 耐震設計編 10.5 せん断耐力)

$c_e$  : 橋脚断面の有効高に関する補正係数 (道路橋示方書 V 耐震設計編 10.5 せん断耐力)

$c_{pt}$  : 引張主鉄筋比に関する補正係数 (道路橋示方書 V 耐震設計編 10.5 せん断耐力)

$\tau_c$  : 平均せん断応力度 (道路橋示方書 V 耐震設計編 10.5 せん断耐力) で、橋脚コンクリートの設計基準強度が  $21 \text{ N/mm}^2$  であることから  $0.33 \text{ N/mm}^2$

$b$  : 橋脚断面の幅 (mm) で、面積等価な矩形断面の幅

$d$  : 橋脚断面の有効高さ (mm)

帯鉄筋が負担するせん断耐力  $S_s$

$$S_s = \frac{A_w \sigma_{sy} d (\sin \theta + \cos \theta)}{1.15a} = \frac{397.2 \times 295 \times 1900 \times 1.0}{1.15 \times 300} = 645 \text{ kN}$$

ここに、

$A_w$  : 帯鉄筋の総断面積 ( $\text{mm}^2$ )

$$A_w = D16 \times 2 = 397.2 \text{ mm}^2$$

$\sigma_{sy}$  : 帯鉄筋の降伏点 ( $\text{N/mm}^2$ )

- $d$  : 橋脚断面の有効高さ(mm)  
 $\theta$  : 帯鉄筋と鉛直軸とのなす角度 (°)  
 $a$  : 帯鉄筋の間隔(mm)

せん断耐力  $P_{s0}$

$$P_{s0} = S_c + S_s = 3035 + 645 = 3680 \text{ kN}$$

ここに、

$S_c$  : コンクリートが負担するせん断耐力 (kN)

$S_s$  : 帯鉄筋が負担するせん断耐力 (kN)

b) せん断補強に必要な巻立て量

不足せん断耐力より、せん断補強で必要となる炭素繊維材シートの巻立て量は以下のように算出される。

$$\Delta P_s = P_u - P_{s0} = 3981 - 3680 = 301 \text{ kN}$$

$$A_F = 1.15 \Delta P_s / \{ \sigma_F d (\sin \theta + \cos \theta) \} = 1.15 \times 301 / (2300 \times 2.0 \times 1.0) = 0.0654 \text{ mm}^2$$

$$n_F = \frac{A_F}{2 \times t_F} = \frac{0.0654}{2 \times 0.167} = 0.192 \text{ 枚}$$

ここに、

$\Delta P_s$  : 不足せん断耐力 (kN)

$P_u$  : 「道路橋示方書 V 耐震設計編 10.3 水平耐力及び水平変位の算出」に基づいて算出した橋脚基部の終局水平耐力 (kN) で、段落し部の作用せん断力と同じ

$P_{s0}$  : 橋脚段落し部のせん断耐力 (kN)

$A_F$  : 単位幅 (1mm) 当たりの繊維材シートの断面積 (mm<sup>2</sup>)

$\sigma_F$  : 繊維材シートの設計用引張強度で、炭素繊維材の場合は 2300N/mm<sup>2</sup>

$d$  : せん断耐力を算定する方向に平行な方向の橋脚断面の有効高 (m)

$n_F$  : 繊維材シートの必要枚数 (枚)

$t_F$  : 繊維材シート 1 枚あたりの厚さ (mm) で、目付量 300g/m<sup>2</sup> のシートを使用するので 0.167 mm

$\theta$  : 繊維材と鉛直軸とのなす角度 (°)

せん断補強のために必要な繊維材シートの巻立て枚数を整数に切り上げると 1 枚である。曲げ補強の際、軸方向鉄筋に平行なシートの外側に帯鉄筋に平行なシートを 1 枚の巻立てることが必要とされているため、曲げ補強で必要とされる巻立て補強により、必要なせん断耐力も確保できると考えられる。

c) 巻立て範囲より上の部分に関するせん断耐力照査

曲げ補強で必要となる炭素繊維材シートの巻立て範囲より上の部分において、さらにせん断耐力補強が必要かどうかを検討する。ここで、せん断耐力は、参考資料 2 によりディーブビームの効果を考慮して算定し、せん断スパンは巻立て範囲の上端から横梁下端までの高さとする。

コンクリートが負担するせん断耐力  $S_c$

a) 曲げ補強後の段落とし部のせん断耐力で算出した値と同じ。

せん断スパン比によるコンクリートの負担するせん断耐力の割増し係数  $c_{dc}$  (参考資料 2)

$$a/d = 1506/1900 = 0.793$$

$$c_{dc} = 4.99$$

ここに、

$a$  : せん断スパン(mm)で、巻立て範囲の上端から横梁下端までの高さ (図-8)

$d$  : 橋脚断面の有効高さ(mm)。

帯鉄筋が負担するせん断耐力  $S_s$

a) 曲げ補強後の段落とし部のせん断耐力で算出した値と同じ。

せん断スパン比による帯鉄筋が負担するせん断耐力の低減係数  $c_{ds}$  (参考資料 2)

$$c_{ds} = \frac{1}{2.5}(a/d) = \frac{1}{2.5} \times 0.793 = 0.317$$

ここに、

$a$  : せん断スパン(mm)で、巻立て範囲の上端から横梁下端までの高さ (図-8)

$d$  : 橋脚断面の有効高さ(mm)。

せん断耐力  $P_{s0}$

$$P_{s0} = c_{dc} S_c + c_{ds} S_s = 4.99 \times 3035 + 0.317 \times 645 = 15349 \text{ kN} \geq P_u = 3981 \text{ kN}$$

ここに、

$c_{dc}$  : せん断スパン比によるコンクリートの負担するせん断耐力の割増し係数 (参考資料 2)

$S_c$  : 曲げ補強後の段落し部のコンクリートが負担するせん断耐力 (kN) で、a)で算出した値

$c_{ds}$  : せん断スパン比による帯鉄筋が負担するせん断耐力の低減係数 (参考資料 2)

$S_s$  : 曲げ補強後の段落し部の帯鉄筋が負担するせん断耐力 (kN) で、a)で算出した値

$P_u$  : 橋脚基部の終局水平耐力 (kN) で、段落し部の作用せん断力

以上より、 $P_{s0} \geq P_u$ となることから、曲げ補強で必要となる巻立て範囲より上の部分ではせん断破壊が生じないと判断され、せん断補強は必要ない。

## 参考資料 1 基礎の影響を考慮した減衰定数に基づく補正係数

従来の設計震度の算定においては、基礎の減衰の影響は一定として評価していた。一方、橋脚の剛性が大きく、固有周期が短い橋脚では地震時の変位に基礎の変形の影響が大きくなるため、減衰定数の大きな基礎の影響により下部構造全体の減衰定数が大きくなる。ここでは、基礎の影響を考慮した減衰定数に基づく補正係数の算定方法を示す。

図-参 1.1 に示すような 1 自由度のバネ-質点系のモデルを対象とすると、下部構造の減衰定数  $h$  は、橋脚および基礎のバネ( $K_P, K_F$ )および減衰定数( $h_P, h_F$ )から、地震時の下部構造変形時における橋脚と基礎のひずみエネルギーの配分により、以下の式で算定される。

$$h = \frac{h_P K_F + h_F K_P}{K_P + K_F} \quad (\text{参 1.1})$$

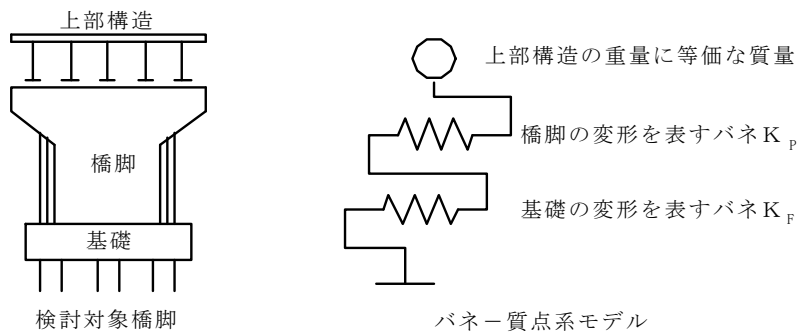


図-参 1.1 1 自由度系のバネ-質点系モデル

ここに、

$h$  : 検討対象となる下部構造を含む設計振動単位の減衰定数

$K_P, K_F$  : 橋脚, 基礎の剛性を表わすバネ定数

$h_P, h_F$  : 橋脚, 基礎の減衰定数 (道路橋示方書 V 耐震設計編 7.3.2 部材のモデル化 表-解 7.3.1)

算出した下部構造の減衰定数  $h$  から設計水平震度を補正することにより、基礎の影響を考慮した設計震度が算定できる。表-参 1.1 に、設計水平震度を補正するための基礎の影響を考慮した減衰定数に基づく補正係数を示す。

表-参 1.1 基礎の影響を考慮した減衰定数  $h$  に基づく補正係数  $c_E$

減衰定数 $h$	補正係数 $c_E$
$h < 0.1$	1.0
$0.1 \leq h < 0.12$	0.9
$0.12 \leq h < 0.15$	0.8
$0.15 \leq h$	0.7

## 参考資料2 ディープビームの効果を考慮したせん断耐力の計算方法

ディープビームの効果とは、図-参 2.1 のように橋脚に斜めせん断ひび割れが進展したあとも載荷点と支点を結ぶコンクリートが圧縮力に抵抗し、トラス的な耐荷機構が形成されることにより、せん断耐力が増加する効果をいう。

このようなディープビームの効果を考慮したせん断耐力の計算方法は、「道路橋示方書Ⅳ下部構造編 8.7.4 せん断力の設計」より、以下のように考える。ここで、橋脚のせん断スパンは図-参 2.1 のように考えることとする。

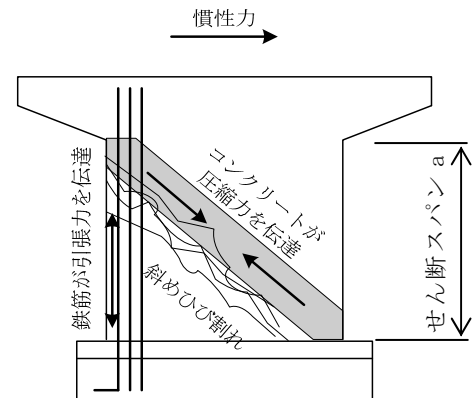


図-参 2.1 ディープビームの効果

- 1) せん断スパン  $a$  が橋脚の有効高さ  $d$  の 2.5 倍以下の場合、コンクリートが負担するせん断耐力  $S_C$  は、「道路橋示方書Ⅴ耐震設計編 10.5 せん断耐力」の式(10.5.2)により求まる値に表-参 2.1 に示す割増し係数  $c_{dc}$  を乗じた値とする。

表-参 2.1 せん断スパン比によるコンクリートの負担するせん断耐力の割増し係数  $c_{dc}$

$a/d$	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
$c_{dc}$	6.4	4.0	2.5	1.6	1.0

$c_{dc}$  : せん断スパン比によるコンクリートの負担するせん断耐力の割増し係数

$a$  : せん断スパン(mm)

$d$  : フーチングの有効高(mm)で、柱または壁前面の位置で求める

- 2) せん断スパン  $a$  がフーチングの有効高  $d$  の 2.5 倍以下の場合、帯鉄筋が負担するせん断耐力  $S_s$  は、「道路橋示方書Ⅴ耐震設計編 10.5 せん断耐力」の式(10.5.3)により求まる値に式(参 2.1)により算出される低減係数  $c_{ds}$  を乗じた値とする。

$$c_{ds} = \frac{1}{2.5}(a/d) \quad (\text{参 2.1})$$

ここに、

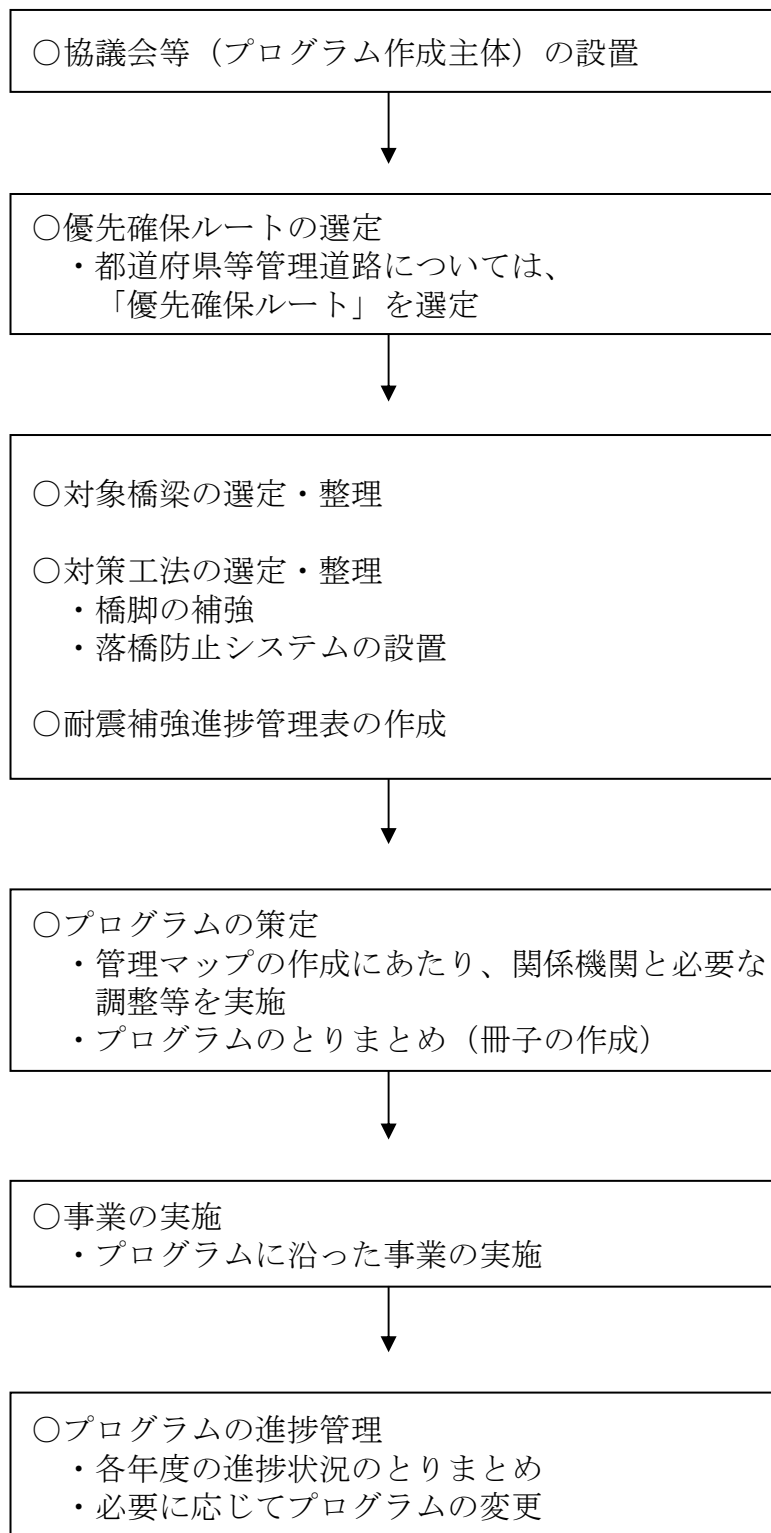
$c_{ds}$  : せん断スパン比による斜引張鉄筋の負担するせん断耐力の低減係数

$a$  : せん断スパン(mm)

$d$  : フーチングの有効高(mm)で、柱又は壁前面の位置で求める

- 3) せん断耐力に対するディープビームの効果の適用範囲としては、橋脚の応答は弾性応答であること(応答塑性率  $\mu_r \leq 1.0$ ) が望ましいが、 $\mu_r=1.5$  程度までは耐力の低下が生じずその効果を見込むことができると考えられる。

## 「緊急輸送道路の橋梁耐震補強3箇年プログラム」 策定・実施フロー





## 基本マップ及び耐震補強管理マップA・Bの作成手順

## 1. 基本マップの作成手順

管内図等の地図を用意し、以下の手順で、対象橋梁に関する情報及び対象路線に関する情報（路線番号、路線名）等を記入する。また、港湾・空港および広域防災拠点等の重要拠点を必要に応じて記入する。

使用する地図は、広域にわたって道路ネットワークの状況を確認できるものであれば紙面によるもの、電子情報によるものを問わない。

## (1) 対象橋梁の位置等の記入

プログラムの対象橋梁の位置を図面に白丸○で示し、傍らに橋梁名を記入する。  
(耐震補強対策が完了している対象橋梁も含む。)

## (2) 耐震補強の実施状況の記入

耐震補強進捗管理表（別紙－4）の記載内容に基づき、耐震補強の実施状況を下表の凡例に従って記入する（(1)で記入した白丸の該当部分を黒で塗りつぶす）。

	対策完了	一部完了（実施中）	未実施
落橋防止システムの設置 (別紙－2：AA欄参照)	上部半分を塗る	上部 1 / 4 を塗る	そのまま
橋脚の補強 (別紙－2：W欄参照)	下部半分を塗る	下部 1 / 4 を塗る	そのまま

※対策を橋梁架替により行う場合は、上記の分類によらず、橋梁架替の事業中の場合は■、未着手の場合は□で記入する。

## (3) 対象路線等の記入

下記の凡例によって、対象路線を記入する。

- ① 別添2.(1)に該当する路線・区間は、オレンジ色の太線で表示
- ② 緊急輸送道路のうち、上記①以外の路線・区間は、緑色の細線で表示
- ③ 上記①及び②において、耐震補強が完了している橋梁に挟まれる（以下、「確保済み」という。）路線・区間は、黒色で表示
- ④上記①～③の記入にあたっては、路線番号及び路線名を併記する。

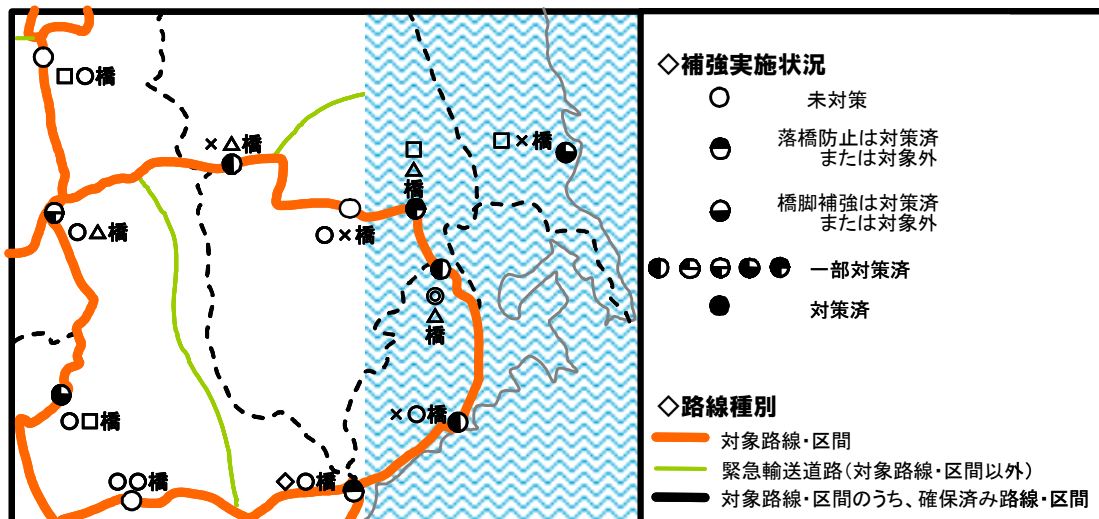


図1 基本マップのイメージ



## 2. 耐震補強管理マップA・Bの作成手順

### (1) 耐震補強管理マップA(プログラム策定時に作成)

基本マップの対象橋梁の耐震補強について、一部完了(実施中)及び未実施箇所を下記の凡例に基づき、実施予定年度別に着色する。

平成17年度実施予定	赤
平成18年度実施予定	黄
平成19年度実施予定	青

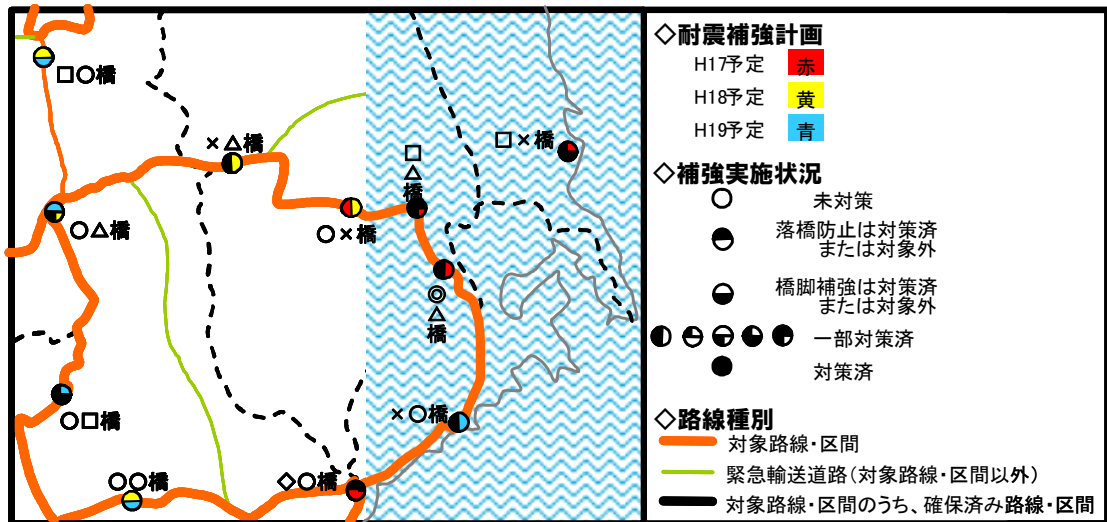


図2 耐震補強管理マップAのイメージ

### (2) 耐震補強管理マップB(各年度末に作成)

平成17～19年度の各年度末時点における耐震補強進捗の状況を、耐震補強管理マップAを用いて作成する。

- ①耐震補強が完了した橋梁を基本マップ作成手順(2)の要領で黒く塗りつぶす。
- ②確保済み路線・区間について、当該路線・区間を黒線で表示する。

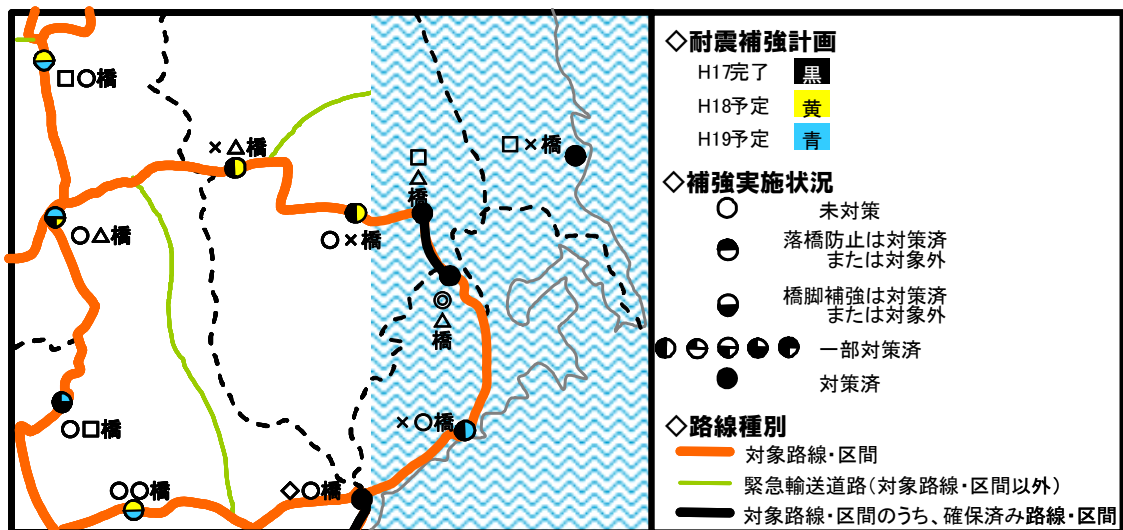


図3 耐震補強管理マップBのイメージ (例:平成17年度末)

## 3. 基本マップ及び耐震補強管理マップA・Bの共通事項

緊急輸送道路の路線名、延長等について、以下の表を参考にして、各都道府県単位ごとに整理し、基本マップ及び耐震補強管理マップA・Bの各々に貼付等により記入する。

表、緊急輸送道路等整理表 <〇〇都・道・府・県内>

路線 番号	路 線 名	道路管理者	道路実延長 (当該都道 府県内)  (k m)	うち 緊急輸送道 路の延長  (k m)	うち 優先確保ル ートの延長 (都道府県 管理道路等 のみ記入) (k m)	プログラムの対象橋梁 数(対策が 完了してい る橋梁も含 む)  (橋)
	・ ・ ・ ・					
計	—	—				

## 3箇年プログラム計数整理表（一般道／橋梁数）

（単位：橋）

地整等	都道府県	道路種別	プログラム対象橋梁全数														プログラム対象橋梁全数のうち、				
			H16年度末時点		3箇年プログラム実施数								H19年度末時点（予定）		H20年度以降（予定）		長大橋	特殊橋	老朽橋		
					H17年度（予定）		H18年度（予定）		H19年度（予定）		3箇年計（予定）										
			着手	完了	着手	完了	着手	完了	着手	完了	着手	完了	着手	完了	着手	完了	着手	完了			
〇〇地整管内	〇〇県内	直轄国道										0	0	0	0	0	0				
		補助国道										0	0	0	0	0	0				
		都道府県道										0	0	0	0	0	0				
		市町村道										0	0	0	0	0	0				
		その他										0	0	0	0	0	0				
	計	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	〇〇県内	直轄国道											0	0	0	0	0	0			
		補助国道											0	0	0	0	0	0			
		都道府県道											0	0	0	0	0	0			
		市町村道											0	0	0	0	0	0			
その他												0	0	0	0	0	0				
計	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
⋮																					
		直轄国道											0	0	0	0	0	0			
		補助国道											0	0	0	0	0	0			
		都道府県道											0	0	0	0	0	0			
		市町村道											0	0	0	0	0	0			
		その他											0	0	0	0	0	0			
		計	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

## 【記入上の留意点】

- ・耐震補強進捗管理表（別紙－4）に掲載している橋梁を対象とする。
- ・一般道については、**橋梁数を計上**すること。例えば、一連の下部工に、上下線分離の2つの上部工が架設されている場合は、「1橋」と計上する。
- ・「着手」には、**一部でも耐震補強に着手（完了）**している橋梁を計上する。（※必要な耐震補強が全て完了している橋梁は計上しないこと。）
- ・「完了」には、**必要な耐震補強を全て完了**している橋梁を計上する。
- ・道路種別「その他」は、道路法の道路以外の道路のこと。

3箇年プログラム計数整理表（一般道／事業費）

（単位：億円）

地整等	都道府県	道路種別	総事業費							総事業費のうち、			
			H16年度末 時点	3箇年プログラム事業費				H19年度末時点 (予定)	H20年度以降 (見込み)	長大橋	特殊橋	老朽橋	
				H17年度 (当初)	H18年度 (見込み)	H19年度 (見込み)	3箇年計 (見込み)						
〇〇地整 管内	〇〇 県内	直轄国道	0					0					
		補助国道	0					0					
		都道府県道	0					0					
		市町村道	0					0					
		その他	0					0					
		計	0		0	0	0	0		0	0	0	0
	〇〇 県内	直轄国道	0					0					
		補助国道	0					0					
		都道府県道	0					0					
		市町村道	0					0					
		その他	0					0					
		計	0		0	0	0	0		0	0	0	0
	⋮												
			直轄国道	0					0				
			補助国道	0					0				
		都道府県道	0					0					
		市町村道	0					0					
		その他	0					0					
		計	0		0	0	0	0		0	0	0	

【記入上の留意点】

- ・耐震補強進捗管理表(別紙-4)に掲載している橋梁を対象とする。
- ・事業費は、億円単位で記入すること。
- ・道路種別「その他」は、道路法の道路以外の道路のこと。



## 【記入上の留意点】

- ・耐震補強進捗管理表(別紙－4)に掲載している橋脚を対象とする。
- ・高速等については、**橋脚数を計上**すること。
- ・「着手」には、**一部でも耐震補強に着手(完了)**している橋脚を計上する。(※必要な耐震補強が全て完了している橋脚は計上しないこと。)
- ・「完了」には、**必要な耐震補強を全て完了**している橋脚を計上する。

3箇年プログラム計数整理表（高速等／事業費）

（単位：橋脚）

地整等	都道府県	道路種別	総事業費							総事業費のうち、		
			H16年度末 時点	3箇年プログラム事業費				H19年度末時点 (予定)	H20年度以降 (予定)	長大橋	特殊橋	老朽橋
				H17年度 (予定)	H18年度 (予定)	H19年度 (予定)	3箇年計 (予定)					
〇〇地整管内	〇〇県内	高速自動車国道	0				0					
		首都高速道路	0				0					
		阪神高速道路	0				0					
		本州四国連絡道路	0				0					
		指定都市高速道路	0				0					
		一般有料道路	0				0					
		計	0		0	0	0		0	0	0	0
	〇〇地整管内	高速自動車国道	0				0					
		首都高速道路	0				0					
		阪神高速道路	0				0					
		本州四国連絡道路	0				0					
		指定都市高速道路	0				0					
		一般有料道路	0				0					
計		0		0	0	0		0	0	0	0	
⋮												
		高速自動車国道	0				0					
		首都高速道路	0				0					
		阪神高速道路	0				0					
		本州四国連絡道路	0				0					
		指定都市高速道路	0				0					
		一般有料道路	0				0					
		計	0		0	0	0		0	0	0	

【記入上の留意点】

- ・耐震補強進捗管理表(別紙－4)に掲載している橋脚を対象とする。
- ・事業費は、億円単位で記入すること。