

VII. 耐震補強編

1. 設計一般	1
1.1 適用範囲	1
1.2 設計の基本	1
1.3 耐震補強として目標とする橋の耐震性能	2
1.4 耐震補強設計に必要な調査	4
1.4.1 既存資料の整理	4
1.4.2 現地調査	4
1.4.3 調査内容	4
1.5 適用基準	5
1.6 設計図等に記載すべき事項	5
2. 耐震性能照査の基本方針	7
2.1 耐震性能照査の基本方針	7
2.1.1 耐震性能照査の基本事項	7
2.1.2 施工への配慮	7
2.2 鉄筋コンクリート橋脚の耐震補強設計における考え方	8
2.2.1 既設橋に鉄筋コンクリート橋脚の耐震補強設計に用いる地震時保有水平耐力及び許容塑性率の算出方法	8
3. 耐震補強工法の選定	9
3.1 補強工法の選定	9
3.1.1 補強工法の選定	9
3.2 橋脚補強工法	10
3.2.1 鉄筋コンクリート橋脚	10
3.2.2 鋼製橋脚	12
3.2.3 橋全体系の補強	13
3.2.4 支承部の耐震補強対策及び落橋防止システムの強化	14
3.2.5 補強構造の組合せ	15
4. 鉄筋コンクリート橋脚の耐震補強設計	16
4.1 一般	16
4.1.1 基本的な考え方	16
4.1.2 設計一般	16
4.2 鉄筋コンクリート巻立て工法	18
4.2.1 工法の特徴	18
4.2.2 耐震補強設計	18
4.2.3 構造細目	19
4.2.4 使用材料	21
4.2.5 ポリマーセメントモルタル吹付け工法	22

4.3 鋼板巻立て工法	23
4.3.1 工法の特徴	23
4.3.2 耐震補強設計	23
4.3.3 構造細目	25
4.3.4 使用材料	27
4.4 繊維材巻立て工法	28
4.4.1 工法の特徴	28
5. 鋼製橋脚の耐震補強	29
5.1 基本的な考え方	29
5.2 設計一般	29
5.2.1 設計一般	29
5.3 コンクリート充填工法	30
5.3.1 工法の特徴	30
5.4 断面補強工法	31
5.4.1 工法の特徴	31
6. 橋全体系の耐震補強工法	32
6.1 基本的な考え方	32
6.2 橋全体系の耐震補強工法の選定	32
6.3 工法に対する留意点	36
7. 支承部及び落橋防止システム	37
7.1 支承部の耐震補強対策及び落橋防止システムの強化の基本方針	37
7.1.1 基本的な考え方	37
7.1.2 設計一般	38
7.2 支承部の補強	41
7.2.1 支承部の補強	41
7.2.2 水平力分担構造	42
7.2.3 段差防止構造	43
7.3 落橋防止システムの強化	44
7.3.1 桁かかり長	44
7.3.2 落橋防止構造	45
7.3.3 横変位拘束構造	48
8. 補足資料	49
8.1 耐震設計法の変遷	49
8.2 既往地震による橋被害の特徴	49
8.2.1 鉄筋コンクリート橋脚	49

8.2.2 鋼製橋脚	55
8.2.3 支承及び落橋防止システム	58
8.3 過去の大規模地震における落橋事例とその分析	62
8.3.1 過去の地震における落橋の分析	62
8.3.2 落橋防止システムの要求性能	64
8.4 既設橋の耐震補強のポイント	65
8.5 破壊メカニズムを踏まえた単柱式鉄筋コンクリート橋脚の限界状態の設定	67

1. 設計一般

1.1 適用範囲

(1) 本編は既設橋の耐震補強設計に適用する。

- ・ 既設橋の耐震補強は、H8 道示レベルの耐震性能を満たしていない橋梁から優先的に実施する計画である。

1.2 設計の基本

- (1) 橋の耐震補強においては、耐荷性能に関する照査は H24 道示及び「国総研資料第 700 号、土研資料第 4244 号」に準拠し、橋の耐荷性能以外の性能については H29 道示に準拠する。
- (2) 既設橋の耐震補強として、橋脚の補強、支承部の補強、落橋防止システムの強化を基本とし、必要に応じて免震構造化や地震時水平力分散構造化等の橋全体系の補強についても検討する。
- (3) 基礎についても、耐震性能の照査を行うことを標準とし、必要に応じて適切な対策を検討する。

(1)H29 道示は新設橋を対象としており、耐震補強設計にはそのまま適応出来ない部分がある。特に、H29 道示の構造細目を満足していない既設の構造や初期応力が発生している既設部材に対し限界状態どのように評価するかは、現時点で十分な知見が得られていない。このため、耐荷性能に関する照査は H24 道示に準拠する。表 1-1 に準拠する基準の主な設計項目の例を示す。

表 1-1 準拠する基準の主な設計項目例

H24 道示及び土研・国総研資料に準拠する項目	H29 道示に準拠する項目
耐荷性能の照査 ・ 橋脚、支承（支承補強含む）、落橋防止構造及び横変位拘束構造の耐荷性能 ・ 上記の取付け側の耐荷性能	左記以外の性能（以下は H29 道示での変更点で注意が必要な項目） ・ 落橋防止システムの考え方 ・ 液状化判定式に用いる繰返し三軸強度比の算出式

- (2) 既設橋の耐震補強を行う場合は、原則として基礎の照査を行い、対策について検討を行う。なお、基礎の補強の実施については、兵庫県南部地震において基礎の甚大な被害は生じなかったこと、及び橋脚の耐震補強を優先することから、施工条件や補強の規模等を勘案し、慎重に検討を行う必要がある。
- (3) 既設橋に固有な構造的な与条件があるために H24 道示に示される計算方法の適用範囲外である場合や、既設構造を活用しながら補強を行う場合等、新設する橋への適用を念頭に規定された道示の考え方を全てそのまま適用するのが難しい場合がある。このような場合には、個別の橋の構造条件と橋に求められる耐震性能を踏まえて適切に設計を行うものとする。

【補足】

事務連絡
「橋・高架の道路等の技術基準」の修繕設計時の適用基準としての当面の扱い
(2) ① ② より

【参考】

「国土技術政策総合研究所資料第 700 号」
「国総研資料第 700 号、土研資料第 4244 号既設橋の耐震補強設計に関する技術資料研究所資料」

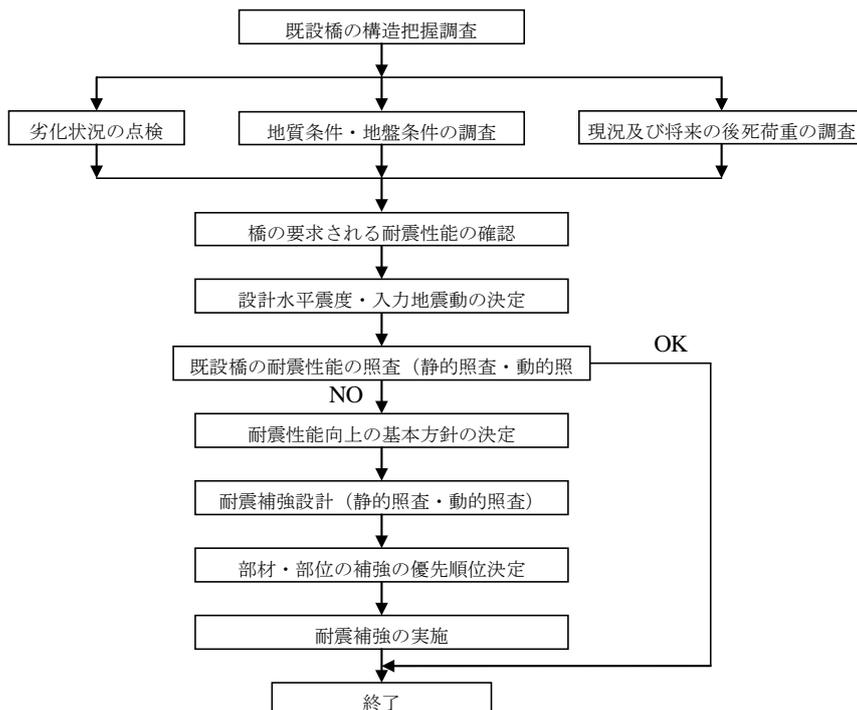


図 1-1 耐震補強の基本フロー

【参考】NEXCO 第二集
橋梁保全編
6章 耐震設計
図 6-2-1 p-6-1
修正・加筆

1.3 耐震補強として目標とする橋の耐震性能

(1) 確保すべき橋の耐震性能は、橋の重要度に応じて新設する橋と同じ耐震性能を確保することを基本とする。

既設橋に対する耐震補強の場合には、様々な制約条件があるため、目標とする耐震性能レベルの設定には様々な考え方があ。ここでは、レベル 2 地震動に対する耐震補強の目標として設定する耐震性能を示す。

耐震性能 2：レベル 2 地震動による損傷が限定なものに留まり、橋としての機能の回復が速やかに行い得る状態が確保されるとみなせる耐震性能

耐震性能 2'：レベル 2 地震動により損傷が生じる部位があり、その恒久復旧は容易ではないが、橋としての機能の回復が速やかに行い得る状態が確保されるとみなせる耐震性能

耐震性能 3：レベル 2 地震動に対して落橋等の甚大な被害が防止されるとみなせる耐震性能

【補足】
耐震設計の性能についての表示は、耐震性能に関する照査は H24 道示に準拠することから H24 道示の表示とする。

表 1-2 耐震補強において目標とする橋の耐震性能とこれらに対する耐震性能の観点

耐震補強において目標とする橋の耐震性能	耐震設計上の安全性	耐震設計上の供用性	耐震設計上の修復性	
			短期的修復性	長期的修復性
耐震性能 2	落橋に対する安全性を確保する	地震後、橋としての機能を速やかに回復できる	機能回復のための修復が応急復旧で対応できる	比較的容易に恒久復旧を行うことが可能である
耐震性能 2'	落橋に対する安全性を確保する	地震後、橋としての機能を速やかに回復できる	機能回復のための修復が応急復旧で対応できる	恒久復旧を行うことは可能である
耐震性能 3	落橋に対する安全性を確保する	—	—	—

- 耐震性能 2' は、機能の回復が速やかに行い得るという観点では耐震性能 2 と同じであるが、機能の回復が速やかに行い得る範囲で、一部の構造部材に対して、限定的な損傷のレベルを超える損傷が生じることを許容し、その結果、恒久復旧を容易に行えない場合があるという点で異なる。

- 耐震性能3は、地震後に橋として機能を回復できることや、地震によって生じた損傷に対する修復の容易さは求めず、落橋等の甚大な被害を防止することを目標とした性能である。
- 耐震性能2と耐震性能2'については、恒久復旧の容易さ等に違いはあるものの、橋としての機能の回復が速やかに行えるという観点では、これらの耐震性能は同等とみなす。具体的には、支承交換を実施した場合は耐震性能2、水平力を分担する構造で支承を補強した場合は耐震性能2'となる。
- 支承周りは空間が狭いため、維持管理の面から支承交換が可能な場合は支承交換を実施し、耐震性能2を確保する。
- 橋脚の補強の目標とする耐震性能は、B種の橋は耐震性能2又は耐震性能2'、A種の橋は耐震性能3とする。

1.4 耐震補強設計に必要な調査

1.4.1 既存資料の整理

- (1) 既設橋に関する既存資料を整理し、設計に必要な情報を整理する。
- (2) 既存資料で不足する場合は、現地調査を行い、必要な情報を得るものとする。

- ・ 既存図書としては、橋梁台帳、竣工図書、地質調査報告書、マイクロフィルム、データベース等があり、補強・補修工事が既に行われている場合には、これらに関する資料も同様である。
- ・ 既設橋の耐震性能の評価においては、既設橋の現況を踏まえることが重要であり、橋梁点検結果に関する資料も同様である。特に、地震の影響を支配的に受ける部材の中で支承部などは経年劣化等によりその機能に支障が生じている場合があるため、留意する必要がある。

1.4.2 現地調査

- (1) 既存資料が現地と整合しているかを確認するために現地調査を行う。
- (2) 耐震補強設計を行う既設橋の状況、劣化状況や耐久性、損傷の有無、施工を行う際の周辺状況等の情報を得るために現地調査を行う。

- ・ 上記既存資料を基礎資料として、設計を合理的に行うために現地調査を行う。
- ・ 特に竣工図等の資料がない状況では、極力、施工時における手戻りがないように調査を行うのがよい。ただし、交差条件や橋梁規模によっては容易に調査が出来ない場合もあるため、設計時に実施する調査内容については調査条件も踏まえ決定すること。

1.4.3 調査内容

(1) 現地状況と既存資料との整合性

- ・ 現地調査において、既存資料との整合を確認する。
- ・ 特に、既設橋に補修・補強が行われている場合は、施工時に設計図面を変更している場合があるため、現地調査にて取り合い状況等を確認する必要がある。
- ・ 工事に影響を及ぼす構造物等も現地で確認する。

(2) 健全度

- ・ 目視レベルを基本とし、橋脚躯体ならびに上下部構造の連結部等の概略の損傷状況を把握する。

(3) 地盤情報

- ・ 地盤に関しては、耐震設計上の地盤種別が判定できる情報が必要となる。
- ・ 資料が存在しない場合は、対象橋梁近傍の構造物の設計図書等から情報を得る。また、必要に応じて地質調査を行い、地盤情報を得ること。

(4) 下部構造

- ・ 橋脚高さが不明な場合は試掘調査等を行い、フーチングより上方の橋脚寸法を確認する。
- ・ 既設橋脚の配筋状態が不明な場合は、復元設計により鉄筋量を推定することも可能であるが、設計当時の適用基準・指針等の詳細な考え方等が不明確で、設計者により配筋等にバラツキが生じるため、

【補足】

地盤の情報は、国土交通省の地質情報提供システム(TRABIS)、静岡県のGISから得ることもできる。

橋脚躯体のコンクリートのはつり調査で求めることを原則とする。

- ・ フーチング形状が不明な場合は、試掘等によりフーチング形状（平面、厚さ）を確認するのが望ましい。
- ・ 必要に応じて、コンクリート圧縮強度の確認（コアまたはテストハンマー）を行う。

(5) 上部構造

- ・ 主桁高、幅員等を確認することにより設計図書が対象橋梁の資料であることを確認する。
- ・ 既存資料がない場合には、上部構造全断面の形状を確認する必要がある。

(6) 制約条件の把握

- ・ 補強工事に際して、工事内容の制約条件となる構造物等があるかどうかを現地調査において把握する。

隣接する道路、フェンス、縁石、ガードレール、地下埋設物・添架物等の配置状況 など

1.5 適用基準

準拠する規準類等を表 1-3 に示す。

表 1-3 適用基準類

適用基準類	発刊年月	発刊者
道路橋示方書・同解説 I～V	H29.11	(社) 日本道路協会
道路橋示方書・同解説 I～V	H24.3	(社) 日本道路協会
道路橋示方書・同解説 V	H14.3	(社) 日本道路協会
既設道路橋の耐震補強に関する参考資料	H9.8	(社) 日本道路協会
既設道路橋基礎の耐震補強に関する参考資料	H12.2	(社) 日本道路協会
道路震災対策便覧（震前対策編）	H18.9	(社) 日本道路協会
道路震災対策便覧（震災復旧編）	H19.3	(社) 日本道路協会
道路震災対策便覧（震災危機管理編）	H23.1	(社) 日本道路協会
既設橋の耐震補強設計に関する技術資料	H24.11	国土交通省国土技術政策総合研究所 (独)土木研究所
既設橋の耐震補強工法事例集	H17.4	(財)海洋架橋・橋調査会
NEXCO 設計要領第二集、橋梁保全編	H25.7	東日本高速道路株、中日本高速道路株、西日本高速道路株

1.6 設計図等に記載すべき事項

- ・ H29 道示Vに規定された「1.9 設計図等に記載すべき事項」の考え方を踏まえ、支承部周辺に設置された構造や装置については、設置の目的や設計地震力を明示することが地震後の緊急点検等の際に有用となることから、耐震補強に関しても同様とする。
- ・ 特に、既設橋に新たな装置や構造を追加設置する場合には、これら装置や部材自体の維持管理だけではなく、桁端部等における排水処理との関係を踏まえ、それらの取付部に対する維持管理に配慮が必要となる場合もある。したがって、対象橋梁の特性と適用する耐震補強工法に応じて、耐震補強により取り付けられた装置や部材、また、これらの取付部の維持管理、さらには地震後の緊急点検をする際に有用となる情報について、設計の段階から十分に検討し、それらの事項が適切に維持管理に引き継がれ、活用できるようにしておくものとする。
- ・ 耐震補強橋梁一般図には、表 1-3 の設計条件表を記載する。
- ・ 耐震補強の施工を行うにあたっては、既設構造物の施工誤差等から設計で想定した位置に鉄筋やアンカー等の設置が困難となる場合がある。このため、計画する鉄筋やアンカーを移動する場合に、設計上再照査が不要な方向（又は必要な方向）を明記する。また、設計時に施工余裕を考慮した場合はその余裕量も明記する。

【参考】 H24 道示V 1.5
p4～5

表 1-4 耐震補強設計条件表

		竣 工 時	補 強 設 計 時	
路 線 名		〇〇		
橋 名		〇〇		
道 路 規 格		第〇種第〇級		
設 計 速 度		V=〇〇km/h		
橋 長		L=〇〇m(道路中心線上)		
桁 長		L=〇〇m(道路中心線上)		
支 間 長		L=〇〇m+〇〇m+〇〇m(道路中心線上)		
計 画 交 通 量		〇〇台/日(〇〇センサスペース)		
大型車計画交通量		〇〇台/日方向(〇〇センサスペース)		
交 通 区 分		〇〇交通		
幅員構成	総幅員	〇〇m=〇〇+〇〇+〇〇(〇〇拉幅有り, 路肩縮小有り)		
	有効幅員	〇〇m		
線形条件	平面線形	R=〇〇〇~A=〇〇〇		
	縦断線形	i=〇〇%		
	横断線形	i=〇〇%(片勾配)		
	斜 角	A1: 〇〇°, P1: 〇〇°, P2: 〇〇°, A2: 〇〇°		
設 計 活 荷 重		例 一等橋 (TL20)	B活荷重	
交 差 条 件		〇〇級河川〇〇川, 市道〇〇線		
添 架 物 件		〇〇(φ〇〇×〇条, 〇〇N/m)		
耐震設計条件	橋の重要度の区分	例 1級	例 B種の橋	
	地域別補正係数	A地域	A1地域	
	地盤種別	例 2種地盤	例 II種地盤	
	設計水平震度	レベル1地震動 橋軸方向: kh=〇〇, 橋軸直角方向: kh=〇〇 レベル2地震動 (タイプI) 橋軸方向: kh=-, 橋軸直角方向: kh=- レベル2地震動 (タイプII) 橋軸方向: kh=-, 橋軸直角方向: kh=-	レベル1地震動 橋軸方向: kh=〇〇, 橋軸直角方向: kh=〇〇 レベル2地震動 (タイプI) 橋軸方向: kh=〇〇, 橋軸直角方向: kh=〇〇 レベル2地震動 (タイプII) 橋軸方向: kh=〇〇, 橋軸直角方向: kh=〇〇	
上部構造条件	形 式	例鋼3径間連続非合成鉄桁橋(RC床版)		
	材 料	主要鋼材	例SM400A, SM490Y, SM520C, SM570, SS400, S10T	
		コンクリート	σ _{ca} =〇〇kN/m ² : RC床版 σ _{ca} =〇〇kN/m ² : 橋高欄, 地覆	
鉄筋	SD〇〇			
架設方法	〇〇架設工法			
下部構造条件	形 式	橋台	例逆T式橋台, 場河汀杭基礎(φ〇〇)(〇〇工法)	
		橋脚	例掘出し式橋脚, ケーソン基礎(〇〇工法)	
	橋台裏込土	γ=〇〇kN/m ³ , φ=〇〇°		
	橋台背面アプローチ部	構造・延長等を記載		
	材 料	橋台躯体	σ _{ca} =〇〇kN/m ² , SD〇〇	
		橋脚躯体	σ _{ca} =〇〇kN/m ² , SD〇〇	
		基礎(〇〇)	σ _{ca} =〇〇kN/m ² , SD〇〇	
基礎(〇〇)		SKK〇〇		
支持地盤	〇〇層(N≥50), 〇〇岩層(岩種区分: D級)			
支 承 形 式	例 鋼製支承(BP-B)			
付 属 物	落橋防止システム	橋軸方向	橋軸直角方向	
	落橋防止構造	例 縁端拉幅	—	
	横変位拘束構造	—	例 コンクリートブロック	
	段差防止構造	例 設置	—	
	水平力分担構造	例 設置	例 設置	
維持管理条件	想定点検方法	梯子, 橋梁点検車, リフト車, 進入ルート等		
	検査路	上部工, 下部工検査路の有無		
	補修時特記事項	・想定している主たる脆性部, 被害想定箇所 ・舗装, 床版部分補修時の交通規制等 ・その他		
適用基準等	例 道路橋示方書・同解説 I~V(昭和55年5月)			
	道路橋示方書・同解説 I~V(平成29年11月)			
	※ただし, 耐荷性能の照査については平成24道示			
	静岡県橋梁設計要領(令和3年3月)			
	〇〇〇〇			

【補足】
橋梁形式の表し方
 橋梁形式の表し方については、明確な決まりはないが、「主材料+径間数+連続形式+(床版形式)+主桁形状」の順で表すことを標準とする。
【表示例】
 鋼単純箱桁
 PC4 径間連続ボスンT桁橋
 PC6 径間連続中空床版橋
 ※ボスメンション方式→ボスメンション方式 →ブレン

注)河川等の交差(コントロール)条件がある場合には、設計条件表の欄外に交差条件を記述する。

2. 耐震性能照査の基本方針

2.1 耐震性能照査の基本方針

2.1.1 耐震性能照査の基本事項

(1) 耐震性能の照査方法

(1) 耐震性能の照査方法は、設計地震動、橋の構造形式に応じて、静的照査法、又は動的照査法により行う。

(1) 耐震性能の照査方法は、橋の動的特性と照査をする耐震性能に応じて、原則として表 2-1 のとおりとする。

表 2-1 地震時の挙動の複雑さと耐震性能照査方法

耐震性能 照査をする 耐震性能	橋の動的 特性 地震時の挙動が複雑ではない橋	塑性化やエネルギー吸収を複数個所に考慮する橋又はエネルギー一定則の適用性が十分検討されていない構造の橋	静的解析の適用性が限定される橋	
			高次モードの影響が懸念される橋	塑性ヒンジが形成される箇所がはっきりしない橋又は複雑な振動挙動をする橋
耐震性能 1	静的照査法	静的照査法	動的照査法	動的照査法
耐震性能 2 耐震性能 3	静的照査法	動的照査法	動的照査法	動的照査法
適用する 橋の例	<ul style="list-style-type: none"> 固定支承と可動支承により支持される桁橋 (曲線橋を除く) 両端橋台の単純桁橋 (免震橋を除く) 	<ul style="list-style-type: none"> 弾性支承を用いた地震時水平力分散構造を有する橋 (両端橋台の単純橋を除く) 免震橋 ラーメン橋 鋼製橋脚に支持される橋 	<ul style="list-style-type: none"> 固有周期の長い橋 橋脚高さが高い橋 	<ul style="list-style-type: none"> 斜張橋、吊橋等のケーブル系の橋 アーチ橋 トラス橋 曲線橋

【参考】 H24 道示 V 5.6
p-50~53

(2) 耐震性能の照査に用いる地震動

(1) 耐震性能の照査に用いる地震動は「H24 道示 V 4 章 設計地震動」による。

【参考】 H24 道示 V4 章
p-16~35

【補足】
H29 道示の地震動の特性値と H24 の地震動は同じであるため、ここでは H24 道示で記載している

(3) レベル 1 地震動に対する評価

(1) 耐震性能の照査は、レベル 2 地震動を対象に行うものとし、原則としてレベル 1 地震動に対する照査は行わなくてよい。

【参考】
耐震補強工法事例集
p- I -28

(1) レベル 1 地震動に対する照査は許容応力度法を基本としており、これを多少超過したとしても、大規模地震時の性能確保に関するレベル 2 地震動に対する照査を満足できていけば、その超過が即機能喪失や致命的な被災に結びつかないことが明らかであるためである。

ただし、支承取替え等を行い、レベル 1 地震時の上部構造分担重量等が変更となった場合は、当初設計時と条件が異なることから、レベル 1 地震時の照査を行う必要がある。

2.1.2 施工への配慮

(1) 既設橋の耐震補強は施工上の制約条件に大きく支配されることから、設計段階で施工性、施工手順等に十分に配慮した上で補強工法の検討を行う。

【参考】
耐震補強工法事例集
p- I -28

(1) 既設橋の周辺環境、施工環境、資機材の搬入、仮設部材の取付等による既設構造物への影響等を踏まえて、施工への配慮を十分に行う必要がある。

2.2 鉄筋コンクリート橋脚の耐震補強設計における考え方

2.2.1 既設橋に鉄筋コンクリート橋脚の耐震補強設計に用いる地震時保有水平耐力及び許容塑性率の算出方法

- (1) 既設橋の鉄筋コンクリート橋脚や鉄筋コンクリート巻立て工法又は曲げ耐力制御式鋼板巻立て工法により補強された橋脚の地震時保有水平耐力及び許容塑性率の算出方法は、「既設道路橋の耐震補強に関する参考資料（以下、「H9 参考資料」）」に示されている方法とする。

- (1) 算出方法の基本的な考え方は、H8 道示V及び H14 道示Vに規定される鉄筋コンクリート橋脚の地震時保有水平耐力及び許容塑性率の算出方法と同様で、既設橋の耐震補強設計に適用する場合には、補強された橋脚の構造特性を踏まえ、H8 道示及び H14 道示の規定による鉄筋コンクリート橋脚と同等の限界状態の変位を推定するために、次の条件を考慮する。

- ・塑性ヒンジ長に補正係数 ($C_L=0.8$) を乗じる。

本算出方法に基づいて算出されるタイプIIの地震動に対する許容変位を用いて耐震補強設計を行えば、タイプII地震動が作用したときにも H24 道示Vの考え方に基づく耐震性能2の限界状態を超えることなく、H24 道示Vの耐震性能2と同等の耐震性能を確保できる。

また、タイプIの地震動に対する許容塑性率は、タイプIIの地震動に対する許容塑性率の値を用いるものとする。

【参考】

「国土技術政策総合研究所資料第700号」

「国総研資料第700号、土研資料第4244号既設橋の耐震補強設計に関する技術資料研究所資料」5.3

p-15~18

3. 耐震補強工法の選定

3.1 補強工法の選定

3.1.1 補強工法の選定

- (1) 耐震補強工法は、既設橋の構造条件、施工条件、河川条件、交差条件等や補強工法に影響を受けるため、事前に設計や施工時の制約条件を整理し、各工法の補強効果、施工性、経済性等を比較検討の上、最適な補強工法を選定する。
- (2) 既設橋の耐震補強工法の選定においては、以下の点に配慮する。
- ① 橋脚及び支承の損傷を軽減し、橋としての所要の耐震性能を確保する
 - ② 鉄筋コンクリート橋脚の段落し部における曲げせん断破壊や柱全体のせん断破壊の防止
 - ③ 鋼製橋脚の座屈・角溶接部の破断による破壊、座屈による大きな残留水平変位の防止
 - ④ 支承部の損傷による上部構造の大変位に伴う落橋の防止
- (3) 耐震補強に用いられる工法や装置等については、「H24 道示V 5.5 地震の影響を受ける部材の基本」の規定を満たす必要がある。

【参考】

耐震補強工法事例集
4. p- I -31~39

【参考】 H24 道示V 5.5
p-49~50

(1) 橋脚の補強工法は、一般に巻立て工法等による橋脚補強を基本とする。ただし、橋脚の補強が用地や河川条件、交差条件による制約により困難となる場合は、橋全体系の補強の採用を検討する。

- ・ 河積阻害率等断面増の制約がある場合には、鋼板巻立て工法、ポリマーセメントモルタル吹付け工法等を、施工空間の制約や施工期間の運搬の制約がある場合には、繊維材巻立て工法等の適用性が高い。
- ・ 鋼製橋脚の補強工法は、コンクリートを内部に充填する工法と補強材により鋼断面を補強する方法がある。

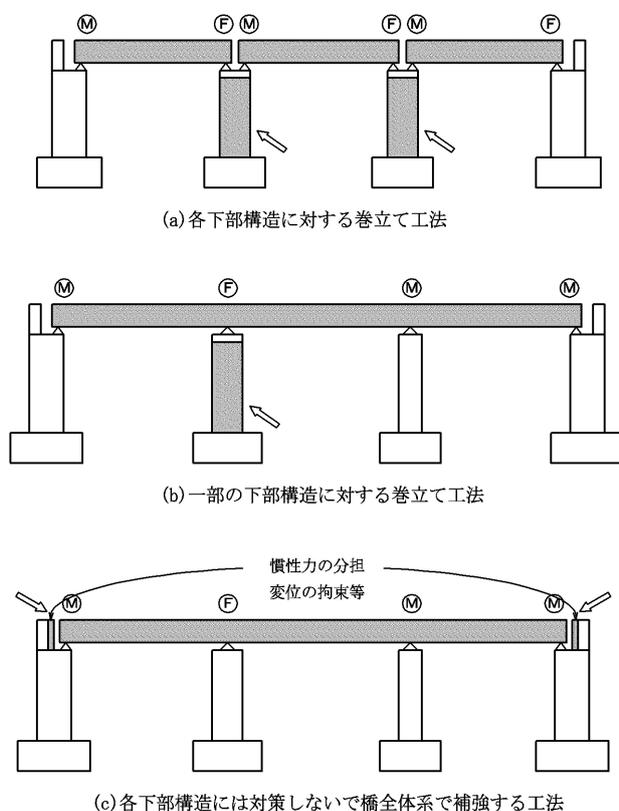


図 3-1 橋脚の補強と橋全体系の補強

【出典】

耐震補強工法事例集
図-4.1 p- I -38

3.2 橋脚補強工法

3.2.1 鉄筋コンクリート橋脚

(1) 一般

(1) 鉄筋コンクリート橋脚の補強にあたっては、せん断破壊を防止し、じん性の向上によりねばり強い構造とする。

- ねばりの少ないせん断破壊を防止するため、橋脚の破壊形態を橋脚基部の曲げ破壊型となるように段落し部の補強、あるいは、せん断補強を行う。
- 壁式橋脚の橋軸直角方向などのように曲げ耐力が大きく、曲げ破壊型に移行させるためには多大なせん断補強が必要となる場合は、所要のせん断耐力を確保した上でせん断破壊型とする考え方もある。

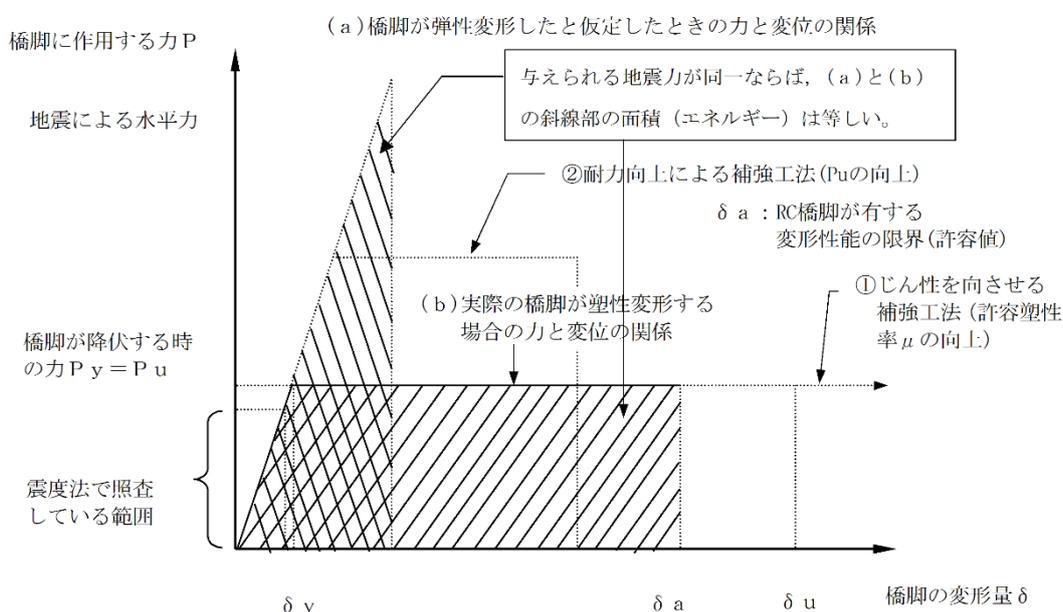


図 3-2 既設 RC 橋脚のじん性と耐力の関係(エネルギー一定則による考え方)

(2) 鉄筋コンクリート橋脚の耐震補強工法

(1) 鉄筋コンクリート橋脚の補強工法は、耐震補強効果、耐久性等の所要の耐震性能が確保されている工法を採用するものとする。

- (1) 耐震補強工法に関しては、新たな材料の活用や工法、施工法等の開発も目覚ましいが、新たに採用された工法等の採用にあたっては、耐震補強効果、耐久性等の所要の耐震性能が確保されることを確認した上で、採用すること。表 3-1 に、鉄筋コンクリート橋脚の耐震補強工法を示す。

【参考】

耐震補強工事例集
4.2 p-I-32~36

【出典】NEXCO 第二集
橋梁保全編
6章 耐震設計
図 6-7-1 p-6-14

表 3-1 鉄筋コンクリート橋脚の耐震補強工法

		鉄筋コンクリート巻立て工法	ポリマーセメントモルタル吹付け工法	鋼板巻立て工法	繊維材巻立て工法
補強対象	段落し部	適用可能 ・ 施工性、景観性から橋脚躯体全体を巻立てる場合が多い。	適用可能 ・ 施工性、景観性から橋脚躯体全体を巻立てる場合が多い。	適用可能 ・ 段落し区間補強が可能。	適用可能 ・ 段落し区間補強が可能。
	せん断補強	適用可能 ・ 壁式橋脚をじん性補強する場合は中間貫通鋼材等で拘束度を高める。	適用可能 ・ 壁式橋脚をじん性補強する場合は中間貫通鋼材等で拘束度を高める。	適用可能 ・ 壁式橋脚をじん性補強する場合は中間貫通鋼材等で拘束度を高める。	適用可能 ・ 壁式橋脚をじん性補強する場合は中間貫通鋼材等で拘束度を高める。
	じん性補強	適用可能 ・ 曲げ耐力を過度に大きくすると基礎構造に影響をおよぼす。	適用可能 ・ 曲げ耐力を過度に大きくすると基礎構造に影響をおよぼす。	適用可能 ・ 曲げ耐力を過度に大きくすると基礎構造に影響を及ぼす。	適用可能 ・ 曲げ耐力を過度に大きくすると基礎構造に影響を及ぼす。
	曲げ補強	適用可能 ・ 曲げ耐力を過度に大きくすると基礎構造に影響をおよぼす。	適用可能 ・ 曲げ耐力を過度に大きくすると基礎構造に影響をおよぼす。	適用可能 ・ 曲げ耐力を過度に大きくすると基礎構造に影響を及ぼす。	適用不可 ・ 繊維材のみの曲げ補強は不可能。繊維材と鉄筋コンクリートとの併用補強については事例有り。
	構造的特徴	巻立て厚が建築限界等の制約を受ける場合がある。 巻立て部の自重が基礎構造に影響を及ぼす場合がある。	巻立て厚が鉄筋コンクリート巻立て工法よりは建築限界等の制約を受けない。 RC巻立て工法より巻立て部の自重が小さいことより、基礎構造への影響は少ない。	建築限界等の制約を受けない。 巻立て部の自重が橋脚基礎に影響を及ぼすことは少ない。 矩形断面では補強鋼板のはらみ出しを防ぐため橋脚基部の拘束が必要。	建築限界等の制約を受けない。 巻立て部の自重が橋脚基礎に影響を及ぼすことは少ない。 複雑な構造物に対応できる。 繊維材は絶縁性を有するもの、断面コーナー部での破断性を改善したものがある。
	施工性	既設コンクリートの十分な表面処理が必要。	既設コンクリートの十分な表面処理が必要。 プラント設備からの圧送距離の制約がある。	狭い場所では、施工の制約を受ける場合がある。	繊維材をエポキシ系樹脂で接着する作業であり、工期が短い。 手作業での施工であり重機が不要。 軽量で可搬性に優れ、狭い場所での作業に適す。 施工時の気温や湿度に注意が必要。
	維持管理性	維持管理面で有利。	維持管理面で有利。	鋼板の防食対策が必要。	維持管理面で有利。ただし、繊維材は損傷を受けやすいので、仕上げ材が必要。 含浸接着樹脂による防水効果でコンクリートの劣化、鉄筋の腐食進行を抑えられる。
	経済性	一般に、鋼板巻立て工法や繊維材巻立て工法に比べて経済的。			巻立て層数によっては鋼板巻立て工法に比べて経済的。

【参考】
耐震補強工法事例集
表-4.1 p-I-33
修正・加筆

(3) 軸方向鉄筋段落し部の補強

- ・ 軸方向鉄筋の段落し部において、先行した曲げ破壊がせん断破壊に移行しないように、曲げ耐力及びせん断耐力の補強を図るものとする。

(4) せん断補強

- ・ 部材全体にせん断破壊が生じないように、せん断耐力の補強を図るものとする。

(5) じん性補強

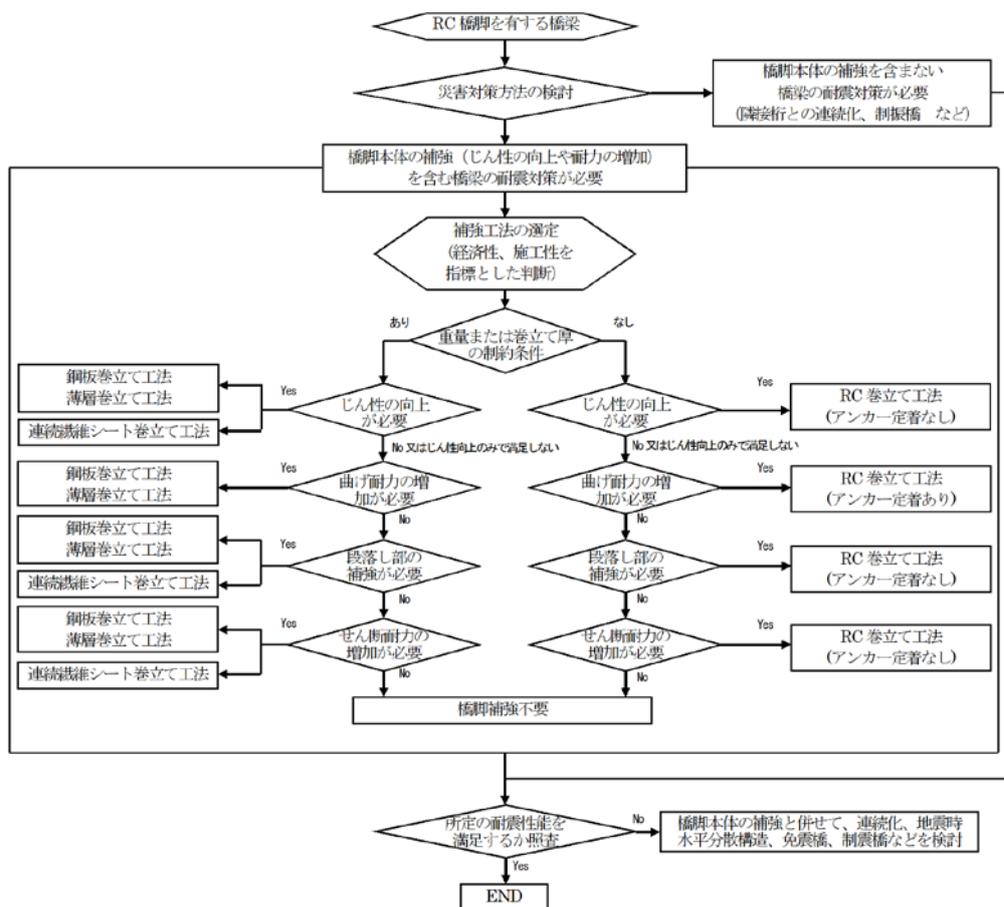
- ・ かぶりコンクリートの剥離、軸方向鉄筋のはらみ出しや破断、コアコンクリートの破壊が生じないように塑性ヒンジ領域の拘束効果の補強を図るものとする。

(6) 曲げ耐力補強

- ・ 地震時の応答変位及び残留変位を減少させるため、曲げ耐力を補強するものとする。

(7) 鉄筋コンクリート橋脚耐震補強工法選定の標準的な選定フロー

図 3-3 に鉄筋コンクリート橋脚耐震補強工法選定の標準的な選定フローを示す。



【補足】
「薄層巻立て工法」とはポリマーセントモルタル等を用いた巻立て厚の薄い巻立て工法を指す。採用にあたっては、各工法の特徴や耐荷性能等を十分把握したうえで適切に用いること。

図 3-3 鉄筋コンクリート橋脚耐震補強工法選定の標準的な選定フロー

【参考】 NEXCO 第二集
橋梁保全編
6章 耐震設計
図 6-7-3 p-6-18
修正・加筆

3.2.2 鋼製橋脚

(1) 鋼製橋脚の補強にあたっては、鋼板の局部座屈による角溶接部や母材の破断を防止し、じん性を向上させてねばり強い構造とする。

(1) 地震時保有水平耐力の増強を図ることにより、橋脚の耐震性能を高めることが可能であるが、橋脚基部のアンカー部への影響を考慮し、できるだけじん性を向上させ、橋脚の水平耐力を過度に増加させない補強工法を選定するものとする。表 3-2 に、鋼製橋脚の耐震補強工法を示す。

表 3-2 鋼製橋脚の耐震補強工法

【出典】
耐震補強工法事例集
表-4.2 p- I -34

		コンクリート充填工法	断面補強工法
補強対象	じん性補強 (座屈防止)	適用可能 • 充填コンクリートの自重により、慣性力が増加する。 また、基礎構造の支持に影響を及ぼす場合もある。	適用可能
	曲げ補強	• アンカー耐力が低い場合は適用制限が生じる。	
構造的特徴		• コンクリートを鋼製橋脚の内部に充填することで座屈防止と曲げ耐力の向上が図れる。	「矩形断面」 • 断面の角部分をコーナープレートで補剛する。 「円形断面」 • 隙間あけ鋼板巻立て補強: 鋼管の周りに隙間をあけて鋼板を巻立て、変形領域を分散させる。既設断面の耐力を増加させずにじん性の向上が可能。 • 縦リブ補強: 鋼管を縦リブで補剛することで、提灯座屈の防止と、じん性の向上が図れる。
施工性		• 橋脚内部での主な作業はコンクリートの充填であり、施工は比較的容易。 • 水抜きパイプ、既設ダイヤフラムの空気孔加工なども必要となる。	• 橋脚内部で、溶接、加工、高力ボルト締め付け、塗装等の作業が必要。 • このため、橋脚内の換気、照明設備が必要。 • 詳細な補強部材の製作は、橋脚内部の調査後となる。 • 既設部材の加工が必要となる。 • 現場溶接の品質管理が重要。
維持管理性		• 日常的な維持管理は必要ない。 • 内部の水処理を適切に行えば耐久性に問題は少ない。	• 補強部の防食対策が必要。 • 通常の鋼製橋脚と同様な維持管理が必要。
経済性		• 一般に、断面補強工法に比べ経済的。	

3.2.3 橋全体系の補強

(1) 橋全体系の補強を行う場合は、橋脚に個別の対策補強を行うことなく、あるいは比較的軽微な補強対策を行い、橋全体としての耐震性能の向上を図るものとする。

(1) 橋全体系の補強は、橋脚に対する補強が困難な場合、あるいは、コスト縮減が可能となる場合に有効である。表 3-3 に、橋全体系の補強工法を示す。

表 3-3 橋全体系の耐震補強工法

【出典】
耐震補強工法事例集
表-4.3 p- I -35

	免震工法	慣性力分散工法	変位拘束工法
構造的特徴	• 水中部の橋脚補強や、橋脚補強による基礎構造への影響が無視できない場合において有利。 • 免震工法、慣性力分散工法、変位拘束工法の併用、あるいは部材の耐震補強工法との併用により、補強効果をさらに高められる可能性がある。	• 橋軸方向の耐震補強に適用。 • 単純桁橋は桁連結工法を採用し連続構造に改造する。 • 多点固定方式の場合は、通常の温度変化に対して拘束力が発生する。ただし、地震時のみ固定可能なダンパーの採用が可能。	• 橋軸方向の耐震補強に適用。 • 橋台の耐力や地盤の安定性が高い場合に適用可能。 • 単純桁橋は桁連結工法を採用し連続構造に改造する。 • 2 径間程度の小規模な橋梁については、下部構造の補強を行わないで耐震性の向上が図れる場合が多い。 • 橋台背面土の抵抗も考慮して橋台の耐震安全性の照査を行う。
	• 橋軸方向、橋軸直角方向の耐震補強に適用可能。 • 不安定な地盤、長周期構造、不反力が生じる構造等では、適用に制約が生じる。 • 単純桁橋は、桁連結工法を採用し連続構造に改造する。		
施工性	• 既設支承高が低い場合は、機能分離型支承の採用等、検討が必要。 • 支承部の取替えの際は、既設部材を損なわないよう注意が必要。		• 橋台の補強が必要な場合は、交通規制を伴うことがある。
維持管理性	• 制振装置を用いる場合は装置の維持管理が必要となる場合がある。 • 既設橋梁と同様な維持管理が必要。		• 既設橋梁と同様な維持管理が必要。
経済性	• 水中部の橋脚補強や、基礎構造への影響が無視できない場合は、部材の耐震補強工法に比べ経済的に有利となる可能性がある。		
			• 小規模橋梁の場合は、経済的に有利となる可能性がある。

○免震工法: 免震支承、ダンパー等を併用して、長周期化を図るとともに、減衰性能を高めて、地震時に橋に作用する慣性力の低減あるいは遮断を図る工法である。既設支承を免震支承やダンパーに交換あるいは追加することにより免震化を図る。必要に応じて上部構造の連続化・連結化を行う。

- 慣性力分散工法**：地震時に負担する慣性力を他の下部構造に分散することにより、橋全体として地震力に対して抵抗する工法である。各下部構造への地震時慣性力の分散方法としては、ゴム系支承による方法、多点固定による方法、地震時のみ固定として機能するダンパー・ストッパーによる方法等がある。必要に応じて上部構造の連続化・連結化を行う。
- 変位拘束工法**：地震時に上部構造に生じる変位を拘束する工法で、橋脚に作用する慣性力の低減を図る工法である。橋台による橋軸方向に対する変位拘束効果を期待する工法、あるいは、橋台の補強により変位拘束効果を増強する工法などがある。必要に応じて上部構造の連続化・連結化を行う。

3.2.4 支承部の耐震補強対策及び落橋防止システムの強化

- (1) 支承部の補強は、既設支承部の耐力及び移動量の照査を行った上で、支承の取替え、水平力分担構造の追加等を行い、所要の耐震性能を確保する。
- (2) 落橋防止システムの強化は、「H29 道示V 13.3 落橋防止システム」により、①橋軸方向、②橋軸直角方向、③回転方向に対して独立して働くシステムを構成する。
- (3) 必要桁かかり長の算出は「H29 道示V13.3.5 必要桁かかり長」による。また、落橋防止構造ならびに横変位拘束構造は「H24 道示V 16.3 落橋防止構造」「H24 道示V 16.4 横変位拘束構造」の規定により照査する。
- (4) 桁かかり長は、上下部構造の取付部の空間、取付部の耐力等を考慮して、構造を選定する。
- (5) 落橋防止構造は、上部構造の材料、桁形式、下部構造天端の設置空間等を考慮して選定する。
- (6) 横変位拘束構造は、上部構造の材料、桁形式、下部構造天端の設置空間等を考慮して選定する。
- (7) 段差防止構造は、支承の構造、上部構造の材料、桁形式、下部構造天端の設置空間等を考慮して選定する。

【参考】H29 道示V 13.3
p-275～296

【参考】H24 道示V 16.3
p-310～313
H24 道示V 16.4
p-314～315

- (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 3-4 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 3-4 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

- (4)桁かかり長は、上部構造が下部構造頂部から逸脱して落下するのを防止するための対策である。桁かかり長が不足する場合は、下部構造天端における鉄筋コンクリート増設工法、鋼製ブラケット増設工法等がある。取付部の耐力照査は H24 道示に準拠して照査を行う。
- (5)落橋防止構造は、上下部構造に大きな相対変位が生じた場合に、これが桁かかり長を超えないようにするために、上下部構造間の相対変位を拘束するものである。ケーブル等により、上部構造と下部構造を連結する構造、コンクリートブロックあるいは鋼製ブラケットにより上部構造及び下部構造に突起を設ける構造、ケーブル等により 2 連の上部構造を相互に連結する構造等がある。

表 3-5 落橋防止構造

		上部構造と下部構造を連結する構造	突起を設ける構造	2連の上部構造を連結する構造
構造的 特徴	材 料	<ul style="list-style-type: none"> PC ケーブル, チェーン, 繊維材等による連結 	<ul style="list-style-type: none"> コンクリートブロック 鋼製ブラケット, 等 	<ul style="list-style-type: none"> PC ケーブル, チェーン, 繊維材等による連結
	連結部位 (上部構造)	<ul style="list-style-type: none"> 端横桁 上部構造下面 ウェブ 	<ul style="list-style-type: none"> 端横桁 上部構造下面 	<ul style="list-style-type: none"> 端横桁 ウェブ
	連結部位 (下部構造)	<ul style="list-style-type: none"> 下部構造天端 下部構造側面 橋台パラペット 	<ul style="list-style-type: none"> 下部構造天端 下部構造側面 	
施工性		<ul style="list-style-type: none"> 後施工アンカー等で設置する場合には, 既設構造の配筋状態などの事前調査が必要。 既設鋼構造に溶接などで設置する場合には, 既設構造に悪影響を与えないように注意が必要。 落橋防止構造本体のみならず, 固定部が確実に地震力を伝達できるようにすることが必要。 	<ul style="list-style-type: none"> 鋼製橋脚または工期等の制約がある場合は鋼製ブラケットが用いられる場合が多い。 	
その他		<ul style="list-style-type: none"> 下部構造天端・側面に連結する場合は景観性・建築限界に注意。 	<ul style="list-style-type: none"> 上部構造下面, 下部構造側面に設置する場合は景観性・建築限界に注意。 	<ul style="list-style-type: none"> 連結する2連の橋の規模・固有周期が大きく異なる場合は採用不適。

【出典】
耐震補強工法事例集
表-4.4 p-I-36

(5) 横変位拘束構造は, 斜橋・曲線橋等において橋軸直角方向への変位により上部構造が落橋に至るのを防止するために, 橋軸直角方向に対する相対変位を拘束するものである。ケーブル等により上部構造と下部構造を連結する構造, コンクリートブロックあるいは鋼製ブラケットにより上部構造および下部構造に突起を設ける構造等がある。

(6) 段差防止構造は, 地震時に路面に大きな段差が生じることを防止するために, 桁端部に対する沈下を拘束するものである。鋼製架台, コンクリートブロック等を桁と下部構造頂部の間に設ける。

3.2.5 補強構造の組合せ

(1) 既設橋の構造条件に応じて, 橋脚の補強, 支承部の補強, 落橋防止システムの強化, 橋全体系の補強等を効果的に組合せること。

4. 鉄筋コンクリート橋脚の耐震補強設計

4.1 一般

4.1.1 基本的な考え方

- (1) 鉄筋コンクリート橋脚の破壊形態が“曲げ損傷からせん断破壊移行型”及び“せん断破壊型”の場合、急激な耐力の低下を引き起こす破壊形態であり、まず、せん断補強を実施し、じん性が期待できる橋脚基部の曲げ破壊型に破壊形態を移行させることを基本とする。
- (2) 橋脚基部の補強は、橋脚が粘り強い構造となるようにじん性補強を優先し、じん性補強のみでは橋脚に大きな残留変位が発生する場合には、フーチングに軸方向鉄筋を定着させて曲げ耐力の向上を図る。

4.1.2 設計一般

(1) 耐震補強設計の流れ

鉄筋コンクリート橋脚に関する一般的な耐震補強設計の流れを図 4-1 に示す。

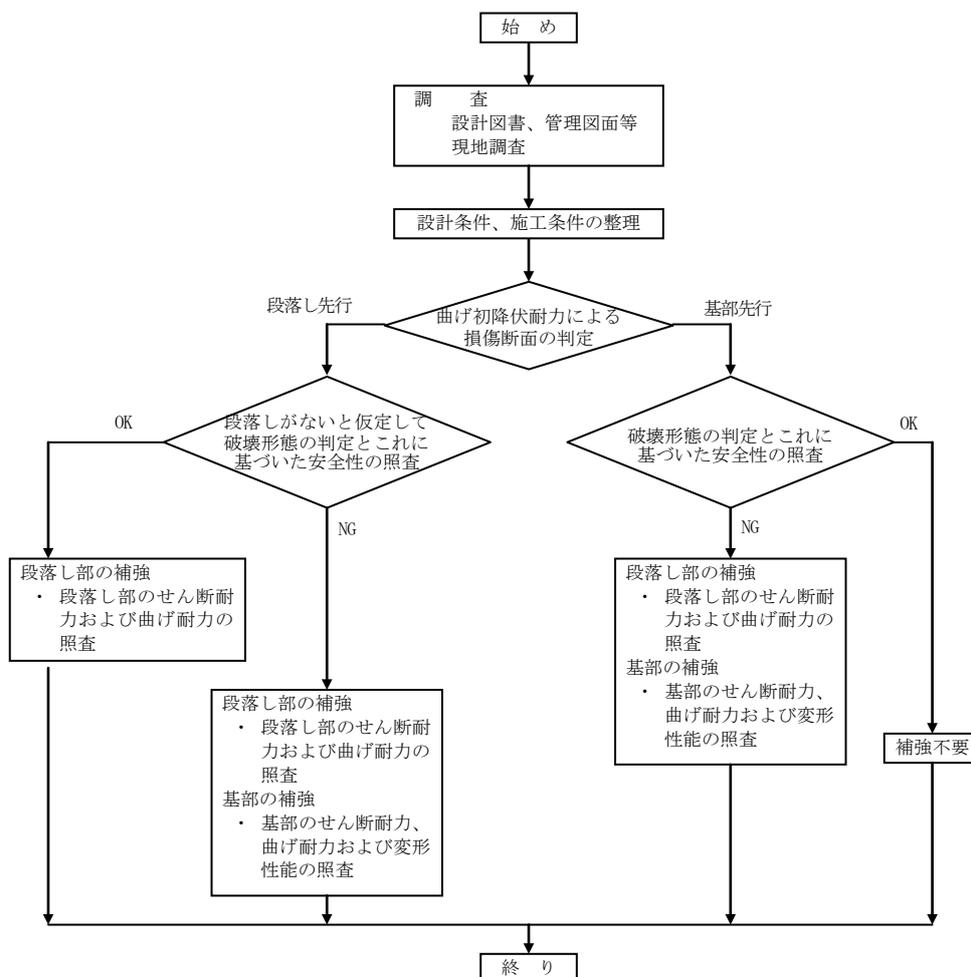


図 4-1 鉄筋コンクリート橋脚に関する一般的な耐震補強設計のフロー

【参考】

耐震補強工事例集
5.1 p- I -42~45

【出典】

耐震補強工事例集
図-5.1 p- I -43

(2) 補強設計における留意事項

- (1) 固有周期の算出にあたっては、原則として基礎地盤の変形の影響を考慮する。
- (2) 軸方向鉄筋段落し部での損傷の判定は式 (4.1) により行う。
- (3) 塑性ヒンジ長 L_P は、H14 道示Vにより算出される値に補正係数 $C_{LP}=0.8$ を乗じた値とする。
- (4) 既設橋脚の照査において、既設断面の帯鉄筋が内部コンクリートにフックで定着されていない場合、コンクリートの終局ひずみは、タイプ I ならびにタイプ II いずれの地震動に対しても H14 道示Vの最大圧縮応力時のひずみとする。

(1) 既設橋脚に適用する場合、基礎地盤の変形を算出するために必要な諸定数を確認できない場合には、基礎地盤の変形の影響を無視して固有周期を算出してもよい。ただし、H24 道示Vに規定される設計水平震度が固有周期によらず一定とされている値 (ピーク値) よりも小さくなる短周期橋脚として評価される場合は、固有周期によらず一律に設計水平震度のピーク値を用いて補強設計を行うこと。

(2) 軸方向鉄筋段落し部での損傷の判定方法

$$\frac{M_{Ty0}/h_t}{M_{By0}/h_b} \begin{cases} \geq 1.2 & \text{橋脚基部損傷} \\ < 1.2 & \text{軸方向鉄筋段落し部損傷} \end{cases} \quad (4.1)$$

ここに、

M_{Ty0} : 照査段落し位置の断面の初降伏曲げモーメント (kN・m)
 h_t : 照査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)
 ただし、照査段落し位置とは、実際に鉄筋が途中定着されている位置から次式により算出される定着長 λ に相当する長さだけ下げた位置

$$\lambda = \frac{\sigma_{su}}{4\tau_{oa}} \phi \quad (4.2)$$

M_{By0} : 橋脚躯体基部断面における初降伏曲げモーメント (kN・m)
 h_b : 橋脚躯体基部断面から上部構造の慣性力の作用位置までの高さ (m)
 σ_{su} : 軸方向鉄筋の許容引張応力度 (N/mm²)
 τ_{oa} : コンクリートの許容付着応力度 (N/mm²)
 ϕ : 軸方向鉄筋の直径 (mm)

- 壁式橋脚の橋軸直角方向のように橋脚が十分な耐力を有しており、地震時保有水平耐力の照査で応答塑性率が 1.0 を下回る(弾性範囲の場合)、段落し部の損傷判定は、照査段落し位置における作用モーメントに対して行う。
- 静的照査法では、式(4.3)により、設計水平震度の標準値に地域別補正係数を乗じた震度に対して算出される照査段落し位置の発生曲げモーメントが、降伏曲げモーメント以下であることを照査する。

$$C_z \cdot kh_{c0} \cdot W \cdot ht \leq M_{Ty} \quad (4.3)$$

- 動的照査法では、動的解析から求められる照査段落し位置の発生曲げモーメントが、降伏曲げモーメント以下であること、あるいは、塑性化が生じても耐力低下が生じるような塑性率を生じないことを照査する。
- 段落し部における損傷で耐力低下が生じない塑性率としては、2.0 程度以下を目安とする。

(3) 補強橋脚における塑性ヒンジ長の取り扱いは、壁式橋脚に対する鋼板併用鉄筋コンクリート巻立て工法や鉄筋コンクリート巻立て工法、ラーメン橋脚に対する曲げ耐力制御式鋼板巻立て工法や鉄筋コンクリート巻立て工法にも適用する。

(4) 既設橋脚を鋼板や鉄筋コンクリートで巻立てることにより、既設橋脚部のかぶりコンクリートは剥落せず、既設断面内の内部コンクリートに定着されていない帯鉄筋も横拘束筋として有効に機能すること

が期待できるため、補強橋脚に対する設計では、H14 道示Vに従って既設断面内の帯鉄筋を横拘束筋として考慮する。

- (5) 中間貫通鋼材は、横拘束筋として取り扱い、コンクリートの応力度～ひずみ曲線に考慮することができる。また、中間貫通鋼材は、一般に塑性ヒンジ部のみに配置するので補強後のせん断耐力の計算では考慮しない。

4.2 鉄筋コンクリート巻立て工法

4.2.1 工法の特徴

- 本工法は、既設橋脚のコンクリート面を表面処理し、その周囲を鉄筋コンクリートで巻立てることにより、新旧コンクリートの付着が確保され、巻立てた鉄筋コンクリート部材と既設橋脚が一体となって機能する。
- 本工法は、一般に橋脚のじん性向上、曲げ耐力およびせん断耐力の向上を目的として実施する工法であり、曲げ耐力の増加のためには、橋脚に設置する軸方向鉄筋をフーチングに定着する必要がある。
- 本工法は、経済性や将来的な維持管理の面から他の工法に比べ有利となる場合が多い。ただし、施工性等より 250mm 程度以上の断面増加が必要となることから、既設橋の建築限界等から採用できない場合もある。また、施工に際しては、他の工法に比べて十分な既設橋脚部の表面処理が必要であり周辺環境により適用を制限されることもある。

4.2.2 耐震補強設計

- (1) 所要のせん断耐力、曲げ耐力及びじん性を確保するように、橋脚に巻立てを行う場合の配筋及びコンクリート厚を設計する。
- (2) 新旧コンクリートが一体となって地震力に抵抗するものとして設計する。
- (3) 橋脚基部の曲げ耐力の算定には、既設鉄筋に加えてフーチングに定着した軸方向鉄筋のみを考慮する。
- (4) 軸方向鉄筋の段落しがある場合は、式 (4.1) を満足するように橋脚に設置する軸方向鉄筋の配筋を設計する。
- (5) 変形性能の評価における横拘束筋の取り扱いについては、4.1.2(4)に従い考慮する。

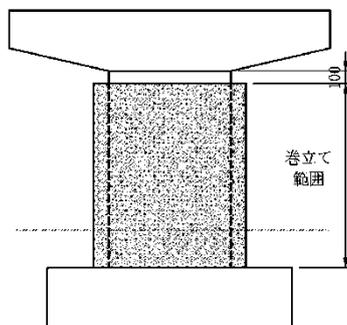


図 4-2 鉄筋コンクリート巻立て範囲

【参考】

耐震補強工事例集
5.1.3 p- I -46～50

【出典】

耐震補強工事例集
図-5.2 p- I -46

4.2.3 構造細目

1) 巻立てコンクリート厚および巻立て範囲

- 巻立てコンクリート厚は、施工性を考慮して決定するが、250mm を標準とする。なお、巻立てに伴う重量増の基礎への影響等も考慮し巻立て厚を決定する。
- 巻立て範囲は、コンクリートの打設に配慮し、はりつけ根から 100mm 下がりの位置までとすることを標準とする。ただし、橋脚高が低い場合などで、はりつけ根位置で耐力が不足する場合はこの限りではない。

2) 表面処理

- 既設橋脚と新たに巻立てる鉄筋コンクリートの一体化を図るために、確実な表面処理を行うものとする。
- 表面処理の方法は、従来のチップングによるはつり処理に変えて、ウォータージェット工法もしくはバキュームブラスト工法を標準とし、現場条件から選択するものとする。

3) 巻立て部に配置する鉄筋

- 巻立て部に配置する鉄筋は、表 4-1 に示す配筋を標準とする。

表 4-1 鉄筋の標準的な配筋

	標準的な鉄筋径	間隔
鉛直方向鉄筋	D22 ~ D32	150~300mm
帯鉄筋	D16 ~ D22	100~150mm

- 軸方向鉄筋は、橋脚全面で均一な補強効果を確保するために、橋脚基部より天端まで軸方向鉄筋を同径、同間隔で配置する。
- 帯鉄筋の配置間隔は 150mm 以下を基本とする。塑性ヒンジ長の 4 倍の区間よりも上の断面領域においては最大値を 300mm とする。

4) 軸方向鉄筋のフーチングへの定着

- 軸方向鉄筋のフーチングへの定着は、アンカー中心間隔 250~500mm(一般的に 300mm 程度を標準)とし、フーチング上面の主鉄筋を避けて配置するものとする。
- 既設の鉄筋を切断しないように、事前に鉄筋の位置を非破壊検査等により確認する。

5) 鉄筋のかぶり

- 最小の鉄筋かぶり (70mm) を確保する。鉛直方向鉄筋をフーチングに定着する場合には、削孔作業などの施工余裕に注意する。

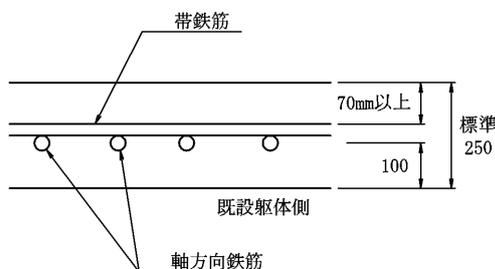


図 4-3 鉄筋のかぶり (土中及び水中部の場合)

6) 帯鉄筋の継手

- 帯鉄筋の継手は、フレア溶接とする。
- フレア溶接の継手長さは鉄筋径の 10 倍とする。継手構造は図 4-4 とし、まわし溶接は行わない。

【出典】

耐震補強工事例集
表-5.1 p- I-47

【補足】

鉄筋コンクリート巻立て工法の場合もかぶりは、構造物の残存耐用年数、補強効果等を踏まえ、H24 道示の値とした。

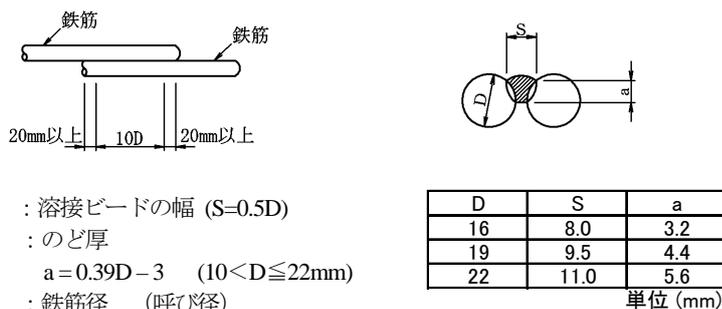


図 4-4 フレア溶接の諸元

7) 中間貫通鋼材の配置

- 中間貫通帯鉄筋は、巻立てコンクリート部の拘束効果を高めるように配置する。
- 中間貫通帯鉄筋の設置間隔は、水平方向には補強後の橋軸方向の断面幅以内、高さ方向には 300mm 程度とする。また、中間貫通帯鉄筋に対してもかぶりを確保する必要がある。
- 中間貫通帯鉄筋の端部にはフックを設け、巻立てコンクリート内に定着させることを原則とする。
- 中間貫通帯鉄筋や中間貫通 PC 鋼材の配置を行う場合は、橋脚基部の補強後の壁厚以上に配置する。(図 4-6 参照)
- 中間貫通鋼材によりじん性を向上させなくても、曲げ耐力の向上のみで所要の耐震性能を確保できる場合には、中間貫通鋼材を配置しなくてもよい。

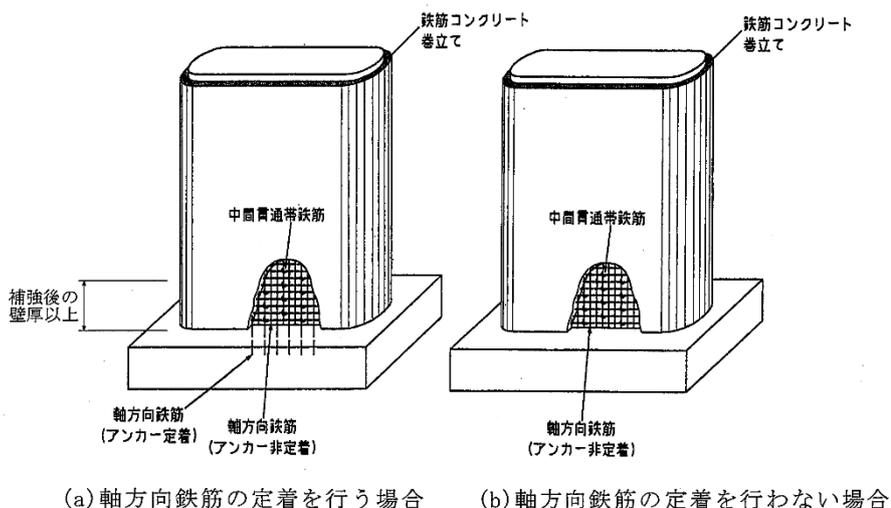


図 4-5 鉄筋コンクリート巻立て工法

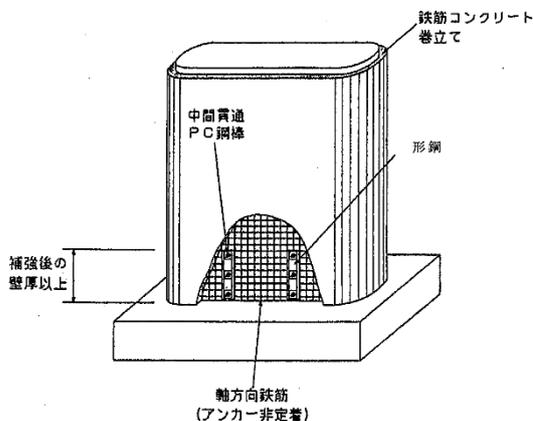


図 4-6 形鋼と中間貫通 PC 鋼棒による横拘束

【出典】
耐震補強工法事例集
図-5.4 p-I-48

【出典】
耐震補強工法事例集
図-5.5 p-I-49

【出典】
耐震補強工法事例集
図-5.6 p-I-49

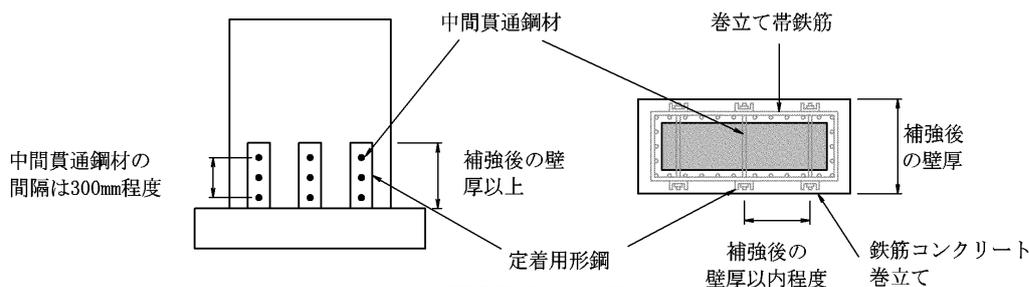


図 4-7 中間貫通鋼材の配置例

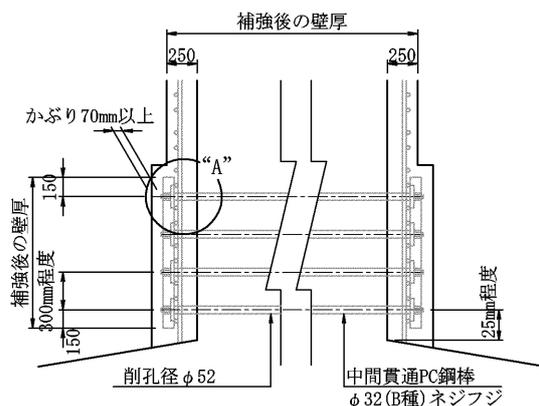


図 4-8 橋脚躯体下端の中間貫通鋼材の配置例

【出典】
耐震補強工法事例集
図-5.7 p-I-50

【参考】NEXCO 第二集
橋梁保全編
6章 耐震設計
図6-7-8 p-6-25
修正・加筆

8) 組立て用アンカーの施工

- ・ 組立て用アンカーの施工にあたっては、削孔時に既設鉄筋に損傷を与えないように注意する。
- ・ 配置間隔は、1本/m²程度とする。
- ・ 組立て用アンカーは施工中に脱落しないように十分な付着を確保する。

4.2.4 使用材料

1) コンクリート

(1) 鉄筋コンクリート巻立て工法に用いるコンクリートは、H24 道示に適合し、既設橋脚と同等の強度以上のコンクリート ($\sigma_{ck}=24\text{N/mm}^2$) を使用することを原則とする。

(1) 鉄筋コンクリート巻立て工法のコンクリートの仕様は表 4-2 に示すとおりとする。

表 4-2 コンクリートおよび鉄筋の使用区分と重ね継手長

種別	コンクリート				鉄筋の種類	重ね継手長		備考
	設計基準強度 σ_{ck} (N/mm ²)	スランプ (mm)	粗骨材の最大寸法 (mm)	セメントの種類		主鉄筋	35φ (31.3φ)	
鉄筋コンクリート巻立て	24	12	25	高炉セメント	SD345	主鉄筋	35φ (31.3φ)	膨潤材 (添加量は30kg/m ³ を超えない)

※1) 重ね継手長は5.0φラウンドに切上げる (φは対象とする鉄筋の呼び径で、()内はラウンド前の数値)

2) 鉄筋

(1) 鉄筋は、原則として既設鉄筋と同等のものを使用するが、応力上有利となる場合は十分に検討したうえで既設鉄筋より高い強度の鉄筋を使用してもよい。標準はSD345とする。

【参考】
「国土技術政策総合研究所資料第700号」
「国総研資料第700号、土研資料第4244号既設橋の耐震補強設計に関する技術資料研究所資料」

(1) 補強のためにフーチングに定着する鉛直方向鉄筋に SD390, SD490 を用いる場合、フーチングへの定着方法や地震時保有水平耐力及び許容塑性率の算出方法の適用性等について実験データをもとに検証がなされていないため、H9 参考資料の適用範囲にはならないため、個別の検証が必要となる。

3) アンカー定着部の注入材

(1) 注入材は経済性に優れたエポキシ樹脂とする。

(1) アンカー定着長は注入材の種類に応じて、表 4-3 の値以上とする。

表 4-3 注入材、アンカーの定着長、削孔径

注入材	最小定着長	削孔径
エポキシ樹脂	最小定着長は異形棒鋼径の 20 倍とする (異形棒鋼径の 15 倍の定着長を 1.3 倍した値)	異形棒鋼径+10mm 以上が標準
無収縮モルタル	定着長 $L \geq 1.3 \sigma_{sa} \phi / 4 \tau_{ca}$ σ_{sa} : 異形棒鋼許容引張応力度 ϕ : 異形棒鋼径 τ_{ca} : コンクリートの許容付着応力度	

【出典】
耐震補強工法事例集
表-5.2 p-I-47

4.2.5 ポリマーセメントモルタル吹付け工法

ポリマーセメントモルタル吹付け工法は、RC 巻立て工法のコンクリートの代わりに、ポリマーセメントモルタルを使用し、巻立て厚を薄くした工法である。従来の RC 巻立て工法では施工できない建築限界や河川内の河積阻害が問題になる場所で用いられている。

特徴としては、以下の事項がある。

1. 補強による増厚が薄くなるため、建築限界や河積阻害が問題になった場合に適用できる。
2. 死荷重が軽減されるので基礎への影響が少ない。
3. 型枠作業が不要となることから、作業スペースが狭くても対応できる。
4. 補強と同時に防食効果による延命ができる。
5. 補強後は目視点検ができる。
6. 変形ピアにも対応可能である。

ポリマーセメントモルタル吹付け工法は、各種工法が開発されており、各工法により適用条件が異なることから、耐震補強設計においては各工法で定められている諸条件を確認の上、採用する。

表 4-4 ポリマーセメントモルタル吹付け工法概要

	湿式吹付け	乾式吹付け
施工概要	<ul style="list-style-type: none"> 既存の鉄筋コンクリート橋脚の周辺に補強鉄筋を組立て、特殊ポリマーセメントモルタルを吹付け、耐力補強を行う。 ポリマーセメントモルタルは数層に分けて吹付け、既設面や各層間にはプライマーを塗布する。 	<ul style="list-style-type: none"> 既存の鉄筋コンクリート橋脚の周辺に補強鉄筋を組立て、特殊ポリマーセメントモルタルを吹付け、耐力補強を行う。 ポリマーセメントモルタルは数層に分けて吹付ける (プライマーは不要)。
工法の特徴	<ul style="list-style-type: none"> 乾式吹付けに比べ、ロス率が少ない。 工法によっては、初期ひび割れ対策が施されているものもある。 	<ul style="list-style-type: none"> ブランチ設置位置からの圧送可能な距離が長い。 施工速度が速い。 湿式よりロス率が高く粉塵が多いが、近年は改良されている。

4.3 鋼板巻立て工法

4.3.1 工法の特徴

- 本工法は、鉄筋コンクリート橋脚躯体を鋼板で巻立て、その間隙を充填材により密実にするとともに、曲げ耐力の増加を図る場合は、アンカー筋を通じて鋼板をフーチングに定着させる工法である（図4-9参照）。
- 本工法は、一般に橋脚のじん性向上、曲げ耐力及びせん断耐力の向上を目的として実施する工法であり、断面増加が数cm程度で済むため、側方余裕等が小さい場合には有利となる。
- 施工の準備作業に並行して補強鋼板の製作が可能のため、現場での作業が比較的短期間で行うことができる。
- 長期的には腐食などの問題が生じるため、防食対策には十分な配慮が必要である。
- 橋脚基部には、大きな地震力を受けた場合に、塑性ヒンジが生じることを許容し、鋼板巻立てによる拘束を受けた状態でじん性のある曲げ破壊が生じるようにするため、鋼板下端とフーチング上面の間に間隙を設ける。

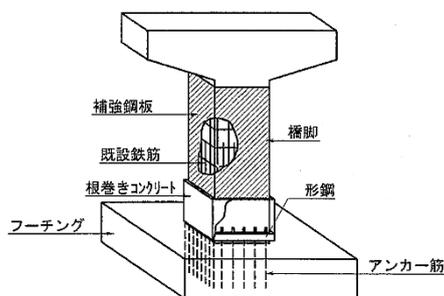


図 4-9 鋼板巻立て工法の概要図

4.3.2 耐震補強設計

(1) 一般

- (1) 所要のせん断耐力、曲げ耐力及びじん性を確保するために、巻立て鋼板の厚さ、巻立て幅、アンカー筋の配筋を設計する。
- (2) 巻立て鋼板は、既設橋脚と一体となって地震力に抵抗するものとして設計する。
- (3) 巻立て範囲は、鉛直方向鉄筋段落し部の補強、あるいは橋脚躯体全体を巻立てた場合など、補強目的に応じて設定する。
- (4) フーチングへアンカー定着する必要がある場合は、じん性と曲げ耐力の向上をバランスさせることを念頭におき、鋼板の厚さ、アンカーの径、間隔を検討する。
- (5) 補強後の躯体下端の曲げ耐力の算定は、既設の鉄筋に加えてフーチングに定着したアンカー筋を考慮する。
- (6) 帯鉄筋の有効長は、既設橋脚の外側寸法とする。また、既設橋脚の帯鉄筋と補強鋼板を合算し、帯鉄筋として鉄筋に換算する。
- (7) 矩形断面の橋脚の場合は、形鋼、コンクリート巻き等で橋脚基部を補強する。
- (8) 補強鋼板は鉄筋換算を行い、鉄筋コンクリート構造として設計する。鋼板は鉄筋コンクリート巻立ての帯鉄筋として鋼板全断面を有効として取り扱う。
- (9) 鋼板の防食を考慮して基部には根巻きコンクリートを施工する。

【参考】

耐震補強工事例集
5.1.4 p-I-51~58

【出典】

耐震補強工事例集
図-5.8 p-I-51

(3) 鋼板巻立ての補強範囲の例を図 4-10, 図 4-11 に示す。

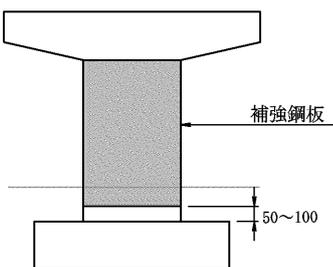


図 4-10 鋼板の巻立て範囲 (橋脚躯体全体に巻立てた場合)

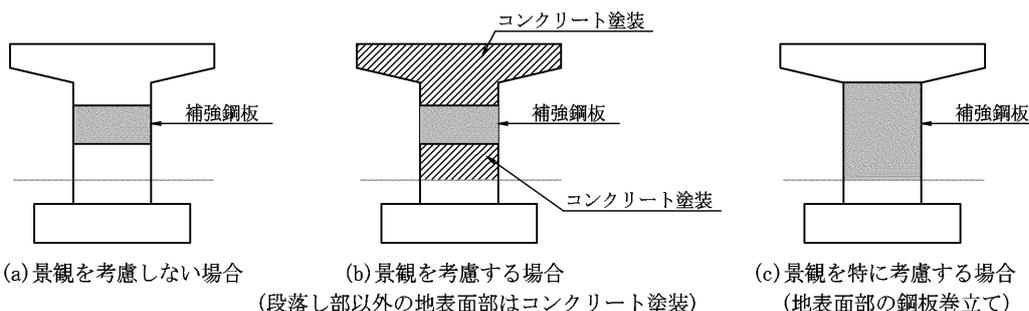


図 4-11 軸方向鉄筋段落し部の鋼板巻立て範囲の例

(2) 曲げ耐力制御式鋼板巻立て工法の設計

- (1) 本補強工法は、軸方向鉄筋段落し部を補強するとともに、橋脚の曲げ耐力とじん性の両者の向上を図るため、アンカー筋によりフーチングへ定着する。
- (2) 補強鋼板の表面は防食対策として塗装を実施し、地中部ではコンクリートによる根巻きを行う。

- (1) アンカー筋の本数及び径を調整することで補強による橋脚躯体の曲げ耐力の増加を制御することができる。全強で鋼板をフーチングに固定する場合よりも基礎へ伝達される地震力を小さくすることができる。
- 橋脚基部の鋼板が局所的に座屈変形を生じないように、鋼板厚さは式(4.4)を満足するよう決定する。

$$t \geq \frac{\sigma_{ya} A_a}{0.6 \sigma_{yi} S_a} \tag{4.4}$$

ここに、

- t : 鋼板厚さ (mm)
- σ_{ya} : アンカー筋の降伏点 (M/mm²)
- A_a : アンカー筋 1 本当たりの断面積 (mm²)
- σ_{yi} : 鋼板の降伏点 (N/mm²)
- S_a : アンカー筋の間隔 (mm)

- 矩形断面 (小半形も同様) の場合は、鋼板下端部のはらみ出しを防止し、大変形時にでも鋼板が横拘束筋としての機能を発揮できるように、鋼板下端部において断面を取り囲むように形鋼等を取り付ける。形鋼を用いる場合は、橋脚断面寸法に応じて表 4-5 に示すものを用いる。
- 断面寸法が 4.5m を超える場合には、式(4.5)により算出される値よりも大きな断面係数を有する形鋼等を用いるものとする。

$$W = 0.15 \times a^2 \tag{4.5}$$

- ここに、 w : 断面係数(mm³)
- a : 断面寸法 (mm)

【出典】
耐震補強工法事例集
図-5.9 p-I-52

【出典】
耐震補強工法事例集
図-5.10 p-I-52

【参考】
耐震補強工法事例集
5.1.4(2)
p-I-52~54

表 4-5 下端拘束用形鋼の標準寸法

断面寸法 a(mm)	形 鋼
$a \leq 2000$	H形鋼 (250 x 250)
$2000 < a \leq 3000$	H形鋼 (300 x 300)
$3000 < a \leq 3800$	H形鋼 (350 x 350)
$3800 < a \leq 4500$	H形鋼 (400 x 400)

- 根巻きコンクリートの強度が高すぎたり、配筋される鉄筋量が多すぎると、橋脚基部に設けた間隙部に塑性ヒンジが生じなくなり、耐震補強の効果が得られなくなることから、根巻きコンクリートの設計基準強度は $\sigma_{ck}=18\text{N/mm}^2$ (I編 表 2-11 における重力式橋台)、ひび割れ防止に異形鋼棒 D13 を 300mm 間隔で縦横に配筋する。ただし、周方向に配筋される鉄筋が横拘束鉄筋として機能しないように定着には留意する必要がある。

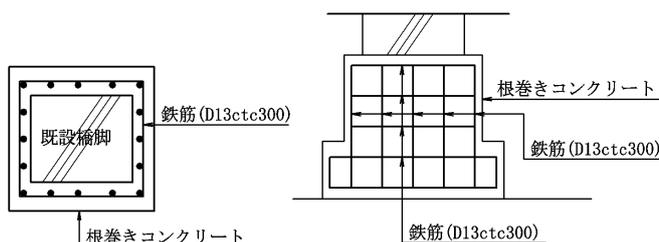


図 4-12 根巻きコンクリート

(3) 段落し部の補強

- 段落し部の性能照査は、曲げ耐力に対して行うとともに、せん断耐力についても照査する。
- 段落し部の補強範囲は正方形断面あるいは円形断面の場合は、実際の段落し位置から下方へ 0.5D、上方へ 1.0D、全体で 1.5D 以上 (D は矩形断面の場合は長辺、円形の場合は直径)、また、辺長比 1:3 までの矩形断面の場合は、実際の段落し位置から下方へ 1.0D、上方へ 1.0D、全体で 2.0D 以上とする(図 4-13 参照)。

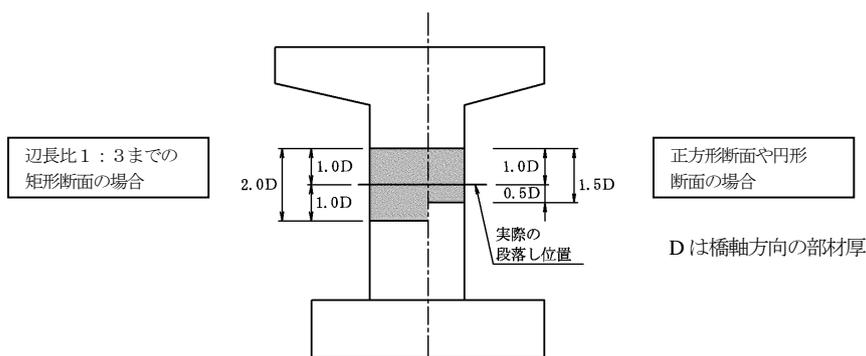


図 4-13 最小補強範囲

4.3.3 構造細目

- 鋼板の板厚
 - 施工性、溶接性等から最小 6mm、加工性から最大厚 12mm までを標準とする。
- 板厚の分割数
 - 鋼板の分割数は、現場における施工条件を考慮し、出来るだけ少なくすることが望ましい。
 - 鋼板の現場継手は、現場溶接継手とする。なお、矩形断面の場合には、隅角部には継手を設けない。

【出典】
耐震補強工事例集
表-5.3 p-I-54

【補足】
プラントの条件等により $\sigma_{ck}=18\text{N/mm}^2$ のコンクリートの入手が困難な場合は、強度設定の主旨を踏まえ適切な強度に変更してもよい。

【出典】
耐震補強工事例集
図-5.15 p-I-56

【参考】
耐震補強工事例集
5.1.4(2)4 p-I-56

【出典】
耐震補強工事例集
図-5.16 p-I-56

【参考】
耐震補強工事例集
5.1.4(3)
p-I-57~58

鋼材の断面方向の分割数は、4分割を標準とする（

- 図 4-14 参照）。
- 鋼板重量は、5t クレーン等を考慮した場合は 300～400kg/枚、チェーンブロック等、人力で作業を行う場合は 150kg/枚程度とする。

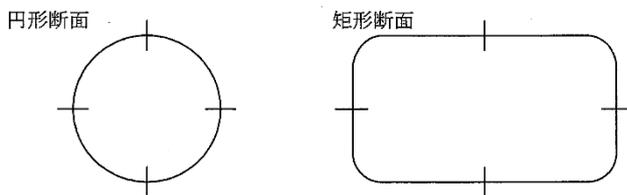
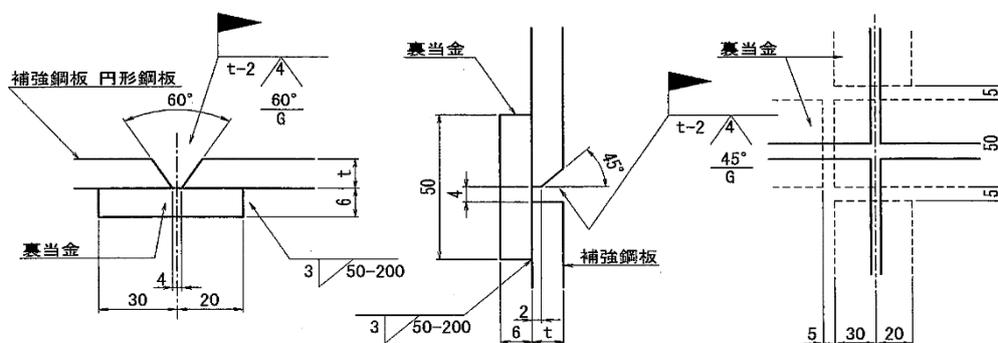


図 4-14 鋼板の継手位置

3) 補強鋼板の現場継手

- 溶接施工性等を検討の上、良好な品質が得られるように開先形状を決定し、現場溶接を行う（図 4-15 参照）。



(a) 鉛直継手部の溶接

(b) 水平継手部の溶接

(c) 裏当金取合いの詳細

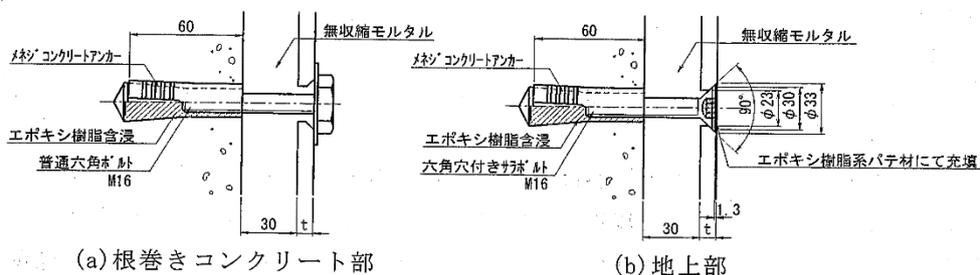
図 4-15 現場溶接継手形状の例

【出典】

耐震補強工事例集
図-5.18 p-I-57

4) 鋼板固定用アンカーボルト

- 鋼板固定用アンカーボルトは、注入圧による鋼板の変形防止と均一な注入厚を確保するため、地上部は M16 皿ボルト、地下部は M16 普通六角ボルト、配置間隔は矩形断面 500mm、円形断面 1000mm とする。



(a) 根巻きコンクリート部

(b) 地上部

図 4-16 固定用アンカーボルトの例

【出典】

耐震補強工事例集
図-5.19 p-I-58

5) 充填材の注入口

- 充填材の注入口は、補強鋼板単位面積(m²)あたり 1 本を設置する。

6) 補強鋼板の防食対策

- 塗装仕様は、外面を鋼道路橋塗装便覧の C-5 塗装系を基本とし、補強鋼板内側および根巻きコンクリートに接する鋼材の塗装仕様の例を表 4-6 に示す。

表 4-6 補強鋼板内側及び根巻きコンクリートに接する鋼材の塗装仕様の例

	塗装区分	工程	塗装種類	塗装回数	標準使用量 g/m ² /回	標準塗膜厚 μm/回
一般部	前処理	素地調整 プライマー	厚板プラスト 無機ジンクリッチプライマー	—	—	—
	工場 塗装	2次素地調整 下塗り	製品プラスト 無機ジンクリッチプライマー	— 1	— スプレー700	— 15 75
溶接部	前処理	素地調整 プライマー	厚板プラスト 無機ジンクリッチプライマー	—	—	—
	現場 塗装	2次素地調整 下塗り	動力工具処理 変形エポキシ樹脂と層下塗	— 1	— はけ240	— 60

【出典】
耐震補強工法事例集
表-5.4 p-I-58

4.3.4 使用材料

1) 鋼材

(1) 鉄筋コンクリート橋脚の補強に用いる巻立て鋼板の材質は、現場での溶接性を考慮し SM400 とする。

2) 既設橋脚と鋼板の接着

(1) 既設橋脚と鋼板との充填は、無収縮モルタル充填とする。

無収縮モルタルを注入する際の厚さは、充填性および既設のコンクリート表面の不陸、施工実績等より 30mm、エポキシ樹脂を用いる場合は 4mm とする。建築限界等により断面を増加させることに制約がある場合には、充填材をエポキシ樹脂とする。

3) アンカー用の鉄筋

(1) アンカー用の鉄筋は SD345 とする。

4.4 繊維材巻立て工法

4.4.1 工法の特徴

- 本工法は、炭素繊維やアラミド繊維など、多本数の繊維材を樹脂等の結合材で集束したもので、既設鉄筋コンクリート橋脚躯体を巻立てることにより補強を行う工法である。
- 本工法は、一般に橋脚の段落し部の耐力の向上あるいは橋脚全体のせん断耐力の向上を目的として実施する工法であり、鋼板巻立て工法と同様な特徴を有し、さらに、軽量な材料を使用するため施工は手作業によることが可能で、狭小な箇所での作業や 橋脚位置までの材料搬入も容易である。
- 炭素繊維補強工法は、コンクリート表面に高強度型の炭素繊維シートを現場でエポキシ系樹脂により接着・含浸し、CFRP(炭素繊維強化プラスチック)として補強機能を発揮させる工法である。
- アラミド繊維補強工法は、コンクリート表面にアラミド繊維シートを現場でエポキシ系樹脂により接着・含浸し、AFRP(アラミド繊維強化プラスチック)として補強機能を発揮させる工法である。アラミド繊維は、炭素繊維よりも剛性が低いため、断面コーナー部での破断や接着含浸時の密着度等が改善でき、同様の効果が得られるとして普及してきた工法で、絶縁特性も有している。
- 河川内橋脚に用いる場合は、表面保護工としてポリマーモルタル処理等が必要となる。
- 繊維材巻立て工法の補強の考え方、設計方法等は「既設橋脚の耐震補強設計事例集」等を参考にして行うものとする。

【参考】

耐震補強工法事例集
5.1.5 p-I-59~67

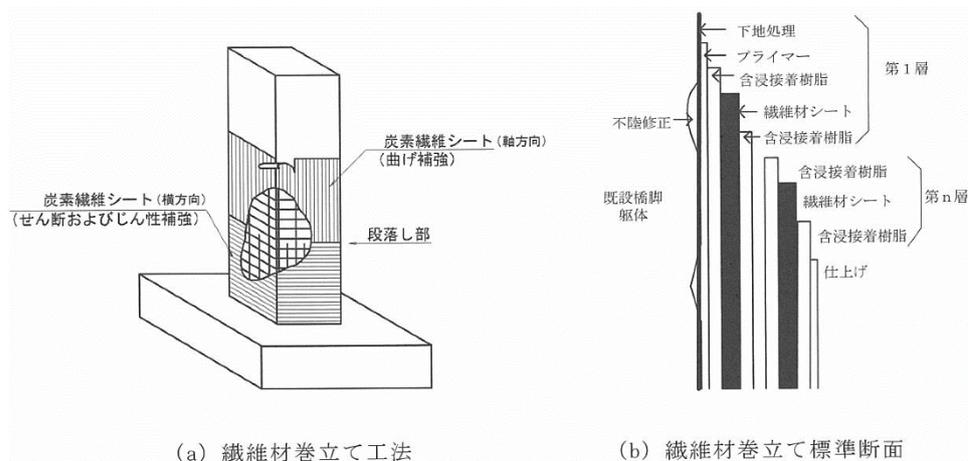


図 4-17 繊維材巻立て工法の概要

【出典】

耐震補強工法事例集
図-5.20 p-I-60

5. 鋼製橋脚の耐震補強

5.1 基本的な考え方

- (1) 鋼製橋脚の補強にあたっては、基礎やアンカー部への負担を小さくするために、できるだけ橋脚のじん性を向上させ、水平耐力が過度に上がらない補強工法を選定する。
- (2) 設計にあたっては、橋脚各断面の耐力とアンカー部の耐力の大小関係に応じて、塑性ヒンジの位置および補強方法を検討する。
- (3) 部材補強の工法選定にあたっては、現場施工の容易さから基本的にはコンクリート充填補強工法とする。
- (4) 鋼板等の部材の追加は現場溶接ではなく、ボルト止めを基本とする。

- (1) 既設アンカー部はフーチングコンクリート内に埋め込まれているため補強が難しく、容易に耐力向上を図れないことに留意する必要がある。
- (2) 塑性ヒンジは橋脚基部断面もしくは基部に出来る限り近い位置（コンクリート充填部と鋼断面部との境界部付近）になるように計画し、その断面にじん性の期待できる補強工法を選定する。

5.2 設計一般

5.2.1 設計一般

(1) 耐震補強設計の流れ

鋼製橋脚に対する一般的な耐震補強設計のフローを図 5-1 に示す。

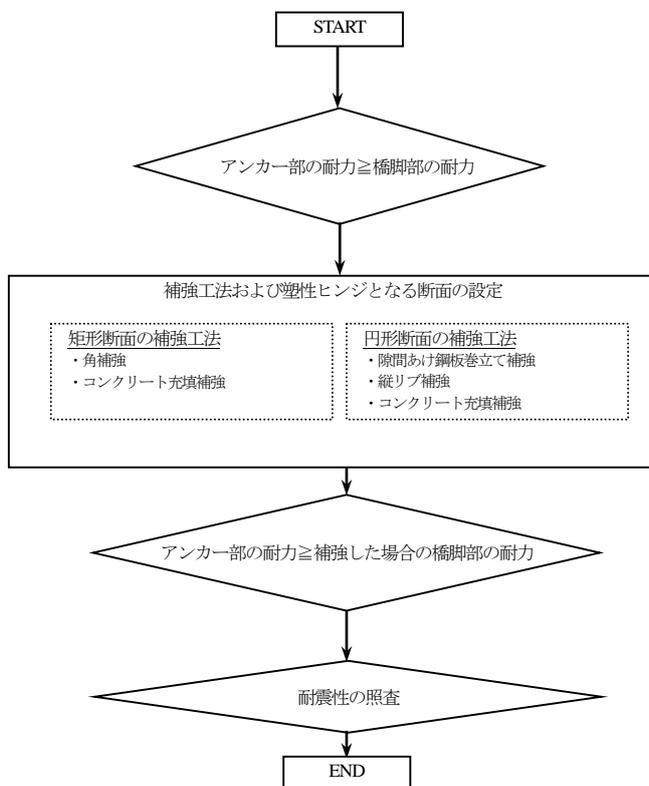


図 5-1 鋼製橋脚の耐震補強設計のフロー

【参考】

耐震補強工法事例集
5.2 p-I-68~77

【出典】

耐震補強工法事例集
図-5.26 p-I-69

5.3 コンクリート充填工法

5.3.1 工法の特徴

コンクリートを鋼製橋脚の内部に充填することで、座屈の防止と曲げ耐力の向上が可能であり、じん性補強と曲げ補強に適用できる工法である。コンクリート充填による死荷重の増加、アンカー耐力が低い場合の適用制限等、採用にあたっては注意すべき点もあるが、現場施工の容易さから、よく選定されている。

耐震補強設計の考え方、設計方法等は、「既設橋脚の耐震補強設計事例集」等を参考にして行う。

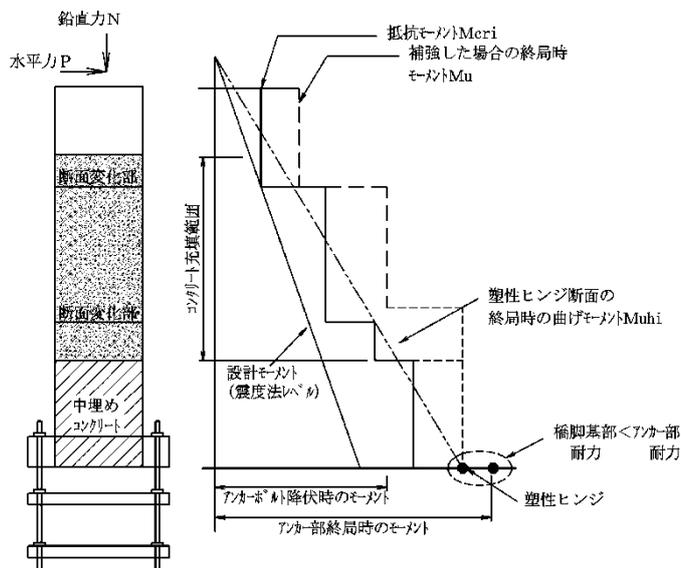


図 5-2 コンクリート充填工法の補強概念図

【参考】

耐震補強工法事例集
5.2.3 p-I-71

【出典】

耐震補強工法事例集
図-5.27 p-I-70

5.4 断面補強工法

5.4.1 工法の特徴

鋼断面部を塑性ヒンジとする場合には、脆性的な破壊を防止し、さらにじん性の向上が期待できる補強工法の選定を基本とする。

1) 矩形断面の場合

矩形断面橋脚の角部分をコーナープレートにより補剛することで角溶接部が裂ける脆性的破壊を防ぎ、さらにじん性の向上も図れる。

2) 円形断面の場合

① 隙間あけ鋼板巻立て補強

鋼管の周りに鋼板を母材板厚の1/2程度の隙間をあけて巻立てる構造である。高さ方向に屈曲波形が多段化し、変形領域が分散されることから変形の集中や割れを防ぎ、かつじん性の向上が図れる。

既設断面に対して耐力を増加させずにじん性の向上が図れる。

② 縦リブ補強

鋼管を縦リブにて補剛することにより、提灯座屈のような変形の集中を防ぎ、かつじん性の向上が図れる。

耐震補強設計の考え方、設計方法等は、「既設橋脚の耐震補強設計事例集」等を参考にして行うこと。

【参考】

耐震補強工法事例集
5.24 p-I-72

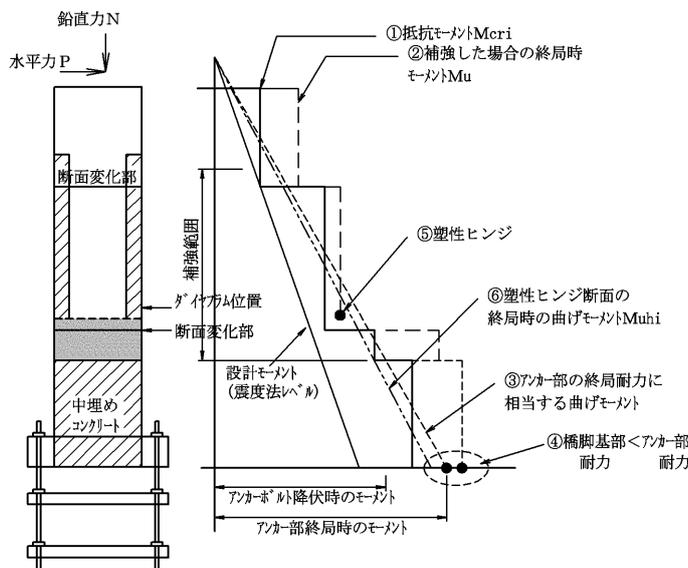


図 5-3 断面補強工法の補強概念図

【出典】

耐震補強工法事例集
図-5.27 p-I-70

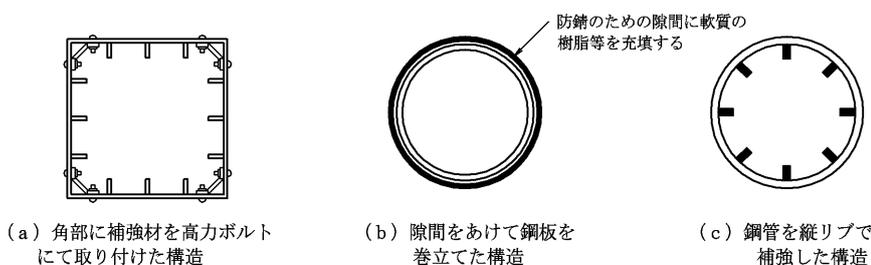


図 5-4 既設鋼製橋脚の補強方法

【出典】

耐震補強工法事例集
図-5.28 p-I-72

6. 橋全体系の耐震補強工法

6.1 基本的な考え方

- (1) 橋脚の補強が用地や交差条件による制約により困難となる場合は、橋全体系の補強の採用を検討する。
- (2) 橋全体系の耐震補強工法は、上部構造の支持条件を変更したり、橋台の抵抗を評価することで、橋全体としての耐震性能を高める工法である。

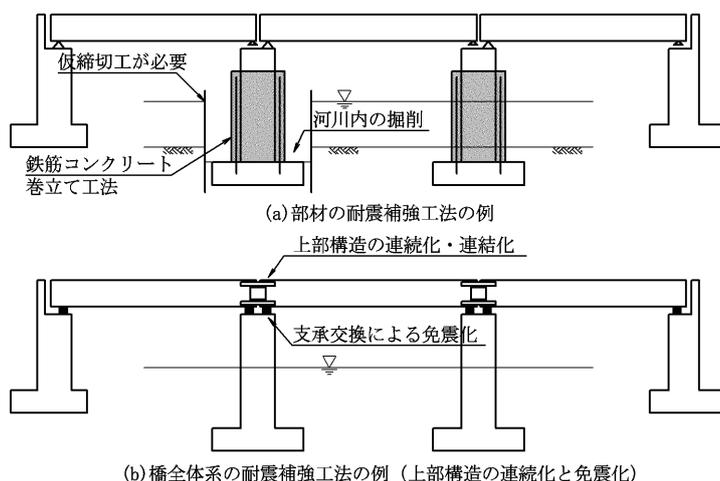


図 6-1 部材の耐震補強と橋全体系の耐震補強の比較

6.2 橋全体系の耐震補強工法の選定

(1) 免震工法

- 免震支承、ダンパー等を併用して長周期化を図るとともに、減衰性能を高めて、地震時に橋に作用する慣性力の低減あるいは遮断を図る工法である。
- 既設支承を免震支承に交換、あるいは新たに追加することにより免震化を図る。
- 必要に応じて上部構造の連続化・連結化を行う。

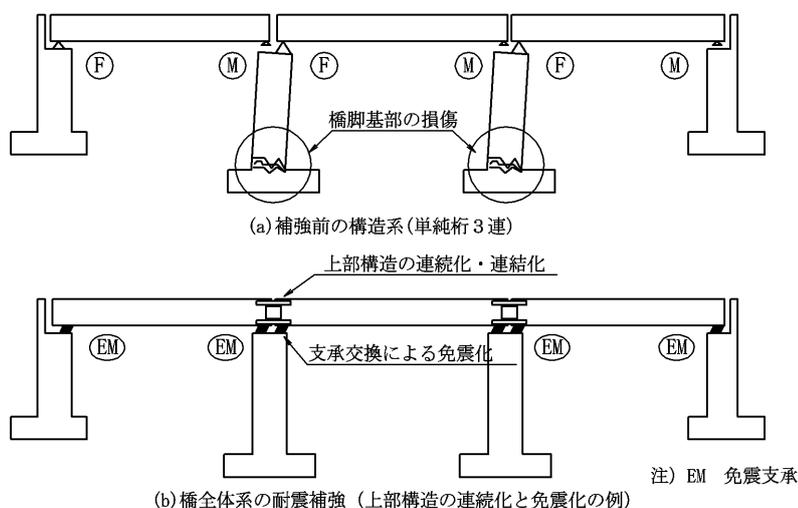


図 6-2 免震工法による橋全体系の耐震補強の例

【参考】

耐震補強工法事例集
6.1.1 p- I-79

【出典】

耐震補強工法事例集
図-6.1 p- I-79

【参考】

耐震補強工法事例集
6.1.2 p- I-80~84

【出典】

耐震補強工法事例集
図-6.2 p- I-81

(2) 慣性力分散工法

- 地震時に負担する慣性力を他の下部構造に分散することにより、橋全体として地震力に対して抵抗する工法である。
- 各下部構造への地震時慣性力の分散方法としては、ゴム系支承による方法、多点固定による方法、地震時のみ固定として機能するダンパーストッパーによる方法等がある。
- 必要に応じて上部構造の連続化・連結化を行う。

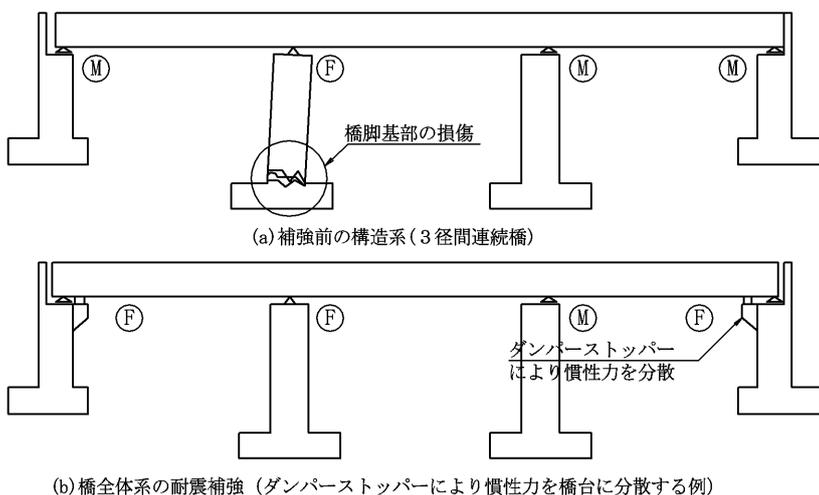


図 6-3 慣性力分散工法による橋全体系の耐震補強の例

(3) 変位拘束工法

- 地震時に上部構造に生じる水平変位を拘束する工法で、橋脚に作用する慣性力の低減を図る。
- 橋台により橋軸方向に対する水平変位の拘束を期待する工法、あるいは、橋台の補強により変位拘束効果を増強する工法などがある。
- 必要に応じて上部構造の連続化・連結化を行う。

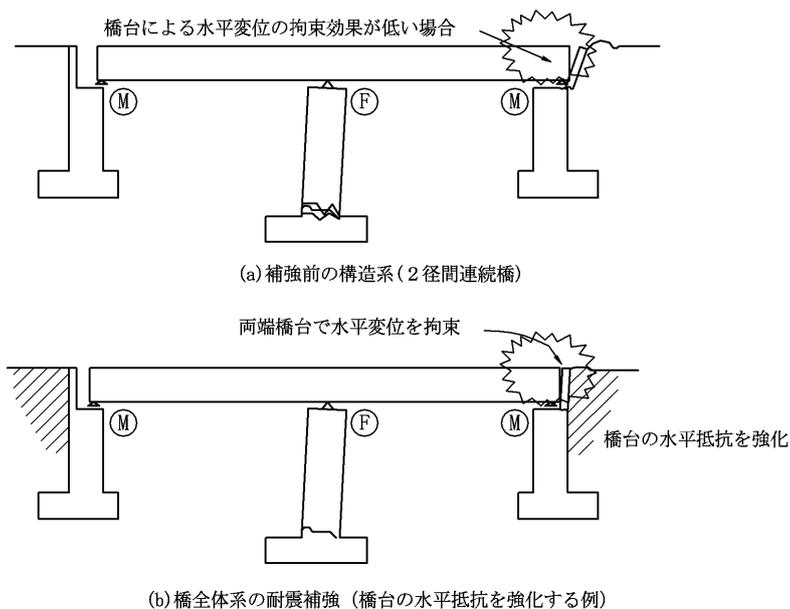


図 6-4 変位拘束工法による橋全体系の耐震補強の例

【出典】
耐震補強工事例集
図-6.3 p-I-81

【出典】
耐震補強工事例集
図-6.4 p-I-82

- 単一の工法では補強効果が十分でない場合は、これらの工法を併用することによって補強効果を高めることができる。

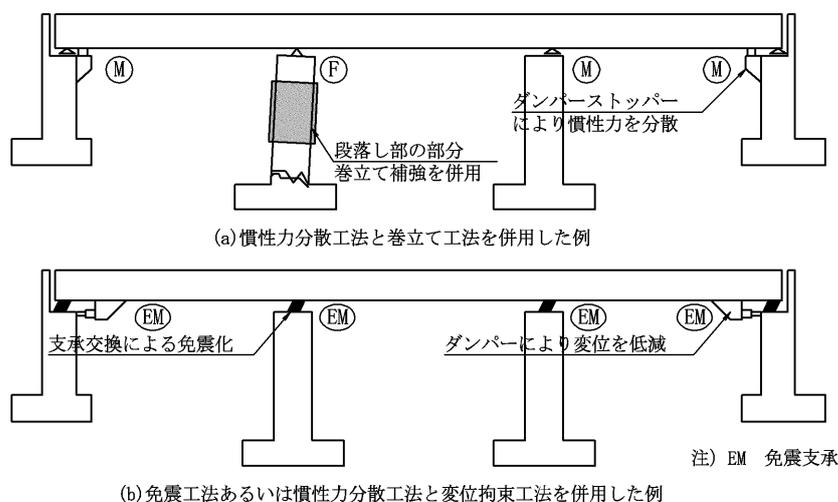


図 6-5 橋全体系の耐震補強を組合せた補強の例

(4) 選定フロー

橋全体系の耐震補強工法の一般的な選定フローを図 6-6 に示す。

- 橋全体系の耐震補強工法の選定にあたっては、橋軸直角方向の性能が満足できない場合は、この方向への慣性力の分散を行うのが難しく、橋台による変位拘束も期待できないため、免震工法の採用を検討し、減衰性能を高めて地震時に橋に作用する慣性力の低減あるいは遮断を図る。
- 橋軸直角方向の耐震性能を満足する既設橋では、径間数が少ない等により上部構造の質量が小さく、かつ橋台が安定している場合には、橋台による変位拘束工法の検討を行う。
- 既設橋の条件が免震構造に適している場合、または下部構造の耐力の合計が慣性力に比較して小さく、慣性力の低減を図る必要がある場合には、免震工法の検討を行う。慣性力分散工法はこれら以外のケースにおいて幅広く適用可能である。
- 橋全体系の耐震補強において、ダンパーストッパーの設置や橋台による変位拘束を考慮する等により、上部構造の慣性力を橋台に多く負担させる場合は、橋台の耐震性能を照査し、必要な場合は補強を行う。ただし、橋台の補強が効果的に実施できない場合は、他の耐震補強工法の適用を検討する。

【出典】

耐震補強工法事例集

図-6.5 p-I-82

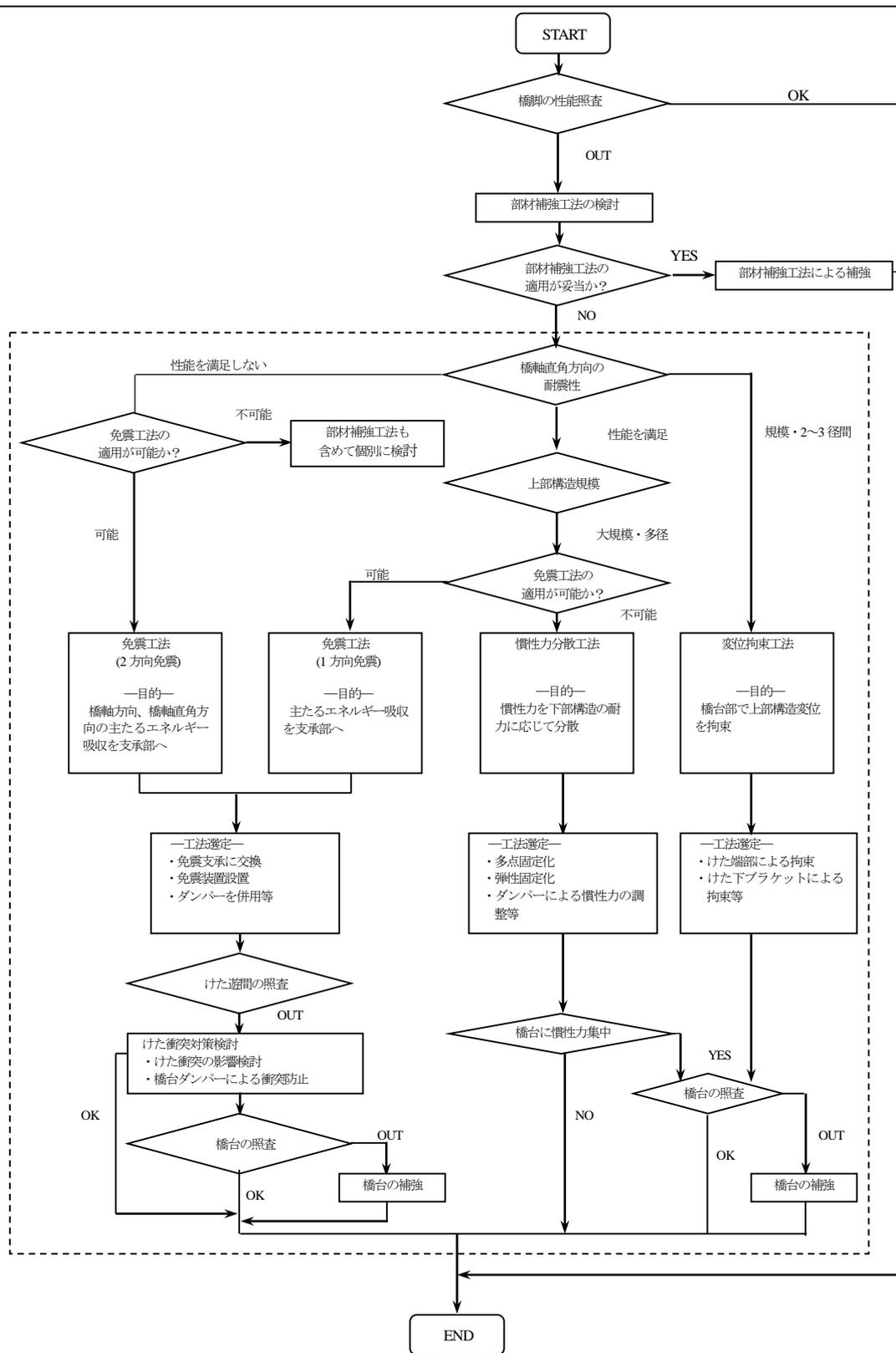


図 6-6 橋全体系の耐震補強工法の一般的な選定フロー

【出典】
耐震補強工事例集
図-6.6 p-I-84

6.3 工法に対する留意点

(1) 上部構造の連続化・連結化

- 橋全体系の耐震補強工法を採用する場合、上部構造を介して各下部構造に地震力の分散等が図れるため、上部構造が連続構造である方が有利である。そこで、単純橋が連続している場合には必要に応じて上部構造の連続化・連結化を検討する。
- 上部構造の連続化・連結化においては、ノージョイント化による走行性、維持管理性の向上等の効果の考慮、既設上部構造の応力状態等を踏まえて、上部構造の連続化の検討を行う。
- 上部構造の連結に関しては「既設橋のノージョイント工法の設計施工手引き(案)」を参考にして、検討する。

【参考】

耐震補強工法事例集
6.1.3 p-I-85

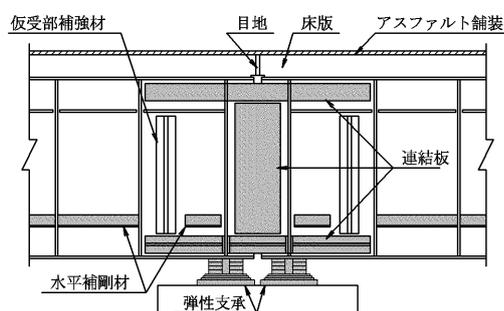


図 6-7 鋼桁主桁連結工法

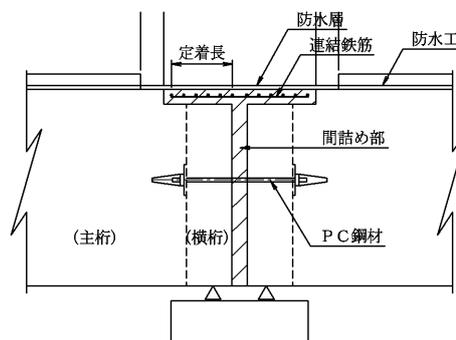


図 6-8 PC桁連結構造

(2) 橋全体系の耐震補強工法における免震・制震装置

- 既設支承を取替える場合や免震・制震装置を新たに設置する場合は、地震時に作用する荷重・変位に対し、それらの装置が損傷しないよう設計を行うとともに、装置を取付ける既設部材についても適切に補強を行い、地震時に弱点とならないように配慮する。
- 点検・維持管理時に支障にならないように配慮する。

(3) 常時に対する検討

- 橋全体系の耐震補強工法では、固定可動等の支持条件の変更や上下部構造間への制震装置の設置、上部構造の連続化等により構造系を変更した場合は、設計荷重時、温度荷重時に当初設計で想定していなかった応力が発生する可能性があるため、補強検討においてはこれに十分留意する。
- 変位拘束工法においてけた遊間を調整する場合等は、常時の変位に対して影響がないことを確認する。

(4) 橋台の耐震性能の照査

- 慣性力分散工法や変位拘束工法において、橋台に当初の設計で想定していた以上の慣性力を分担させる工法を選定する場合は、確実に橋台の水平抵抗が得られることの確認や、橋台が確保すべき性能を有しているか等の照査を行うものとする。
- 橋全体系の耐震補強設計の考え方、手法等は、「既設橋脚の耐震補強設計事例集」等を参考にして行う。

7. 支承部及び落橋防止システム

7.1 支承部の耐震補強対策及び落橋防止システムの強化の基本方針

7.1.1 基本的な考え方

- (1) 支承部は、地震時の上部構造の慣性力を下部構造に伝達できる構造であることを標準とする。
また、構造部材や地盤の破壊に伴う予期されない構造系の損傷が生じても上部構造の落下を防止できるよう落橋防止システムを強化する。
- (2) 支承部の補強及び落橋防止システムの強化にあたっては、下部構造の耐震性能についてもあわせて照査を行う。
- (3) 設計にあたっては、既設橋の状況や施工条件等について十分配慮する。

(1)(2) 設計で想定されない地震動が作用したり、周辺地盤の破壊や構造部材の予期しない複雑な振動により、想定をこえる地震動や変位、変形が橋に生じる場合のフェールセーフ機構として、落橋防止システムを強化するための検討を行う。

- ・ 支承部の補強及び落橋防止システムの強化にあたっては、画一的に設計・施工を行うのではなく、個々に構造的な特性を考慮して検討するとともに、上下部構造に及ぼす影響を考慮し、取付部周辺の補強とあわせて行う。

耐震補強において目標とする耐震性能に対して、支承部及び上部構造に生じる状態ならびにその状態を表 7-1 に示す。

耐震補強において支承部及び上部構造の目標とする耐震性能は、表 7-1 の“耐震性能 2”又は“耐震性能 2'”とする。ただし、設置する空間、構造的な制約等により目標とする耐震性能 2 又は耐震性能 2' を確保しがたい場合は別途目標とする耐震性能を設定するものとする。

表 7-1 既設橋の耐震補強における目標性能レベルに応じた支承部・落橋防止システムへの対応の考え方
(橋軸方向の場合)

	耐震補強において目標とする橋の耐震性能レベル	耐震補強において考慮する支承部及び上部構造に生じている状態			既設橋の耐震補強における支承部・落橋防止システムへの対応
		レベル1地震動まで	レベル1～レベル2地震動まで	支承部の破壊後	
耐震性能 2	レベル2地震動による損傷が限定的なものに留まり、橋としての機能の回復が速やかに行い得る状態が確保されるとみなせる耐震性能レベル	支承部(支承本体、取付用鋼板、ボルト等の取付部材等)に変状や損傷が生じない。	支承部(支承本体、取付用鋼板、ボルト等の取付部材等)に変状や損傷が生じない。	支承部は破壊するため、機能を喪失する*。 桁かかり長と落橋防止構造により上部構造が逸脱しない。	支承部： レベル2地震動に対して機能確保できる支承部(必要に応じて、段差防止構造を設置) 落橋防止システム： 桁かかり長の確保 落橋防止構造の設置
耐震性能 2'	レベル2地震動により損傷が生じる部位があり、その恒久復旧は容易ではないが、橋としての機能の回復は速やかに行い得る状態が確保されるとみなせる耐震性能レベル	支承部(支承本体、取付用鋼板、ボルト等の取付部材等)に変状や損傷が生じない。	既設の支承部(支承本体、取付用鋼板、ボルト等の取付部材等)に損傷又は変状が生じるため、支承部の恒久復旧は容易に行えないが、供用性に影響を及ぼす段差は生じない*。また、水平力を分担する構造により水平力の伝達機能は確保されている。	支承部(水平力を分担する構造)は破壊するため、機能を喪失する。 桁かかり長と落橋防止構造により上部構造が下部構造頂部から逸脱しない。	支承部： 既設の支承部をそのまま使用 レベル2地震動による水平力を分担する構造の追加設置(必要に応じて、段差防止構造を設置) 落橋防止システム： 桁かかり長の確保 落橋防止構造の設置
耐震性能 3	レベル2地震動に対しれ落橋等の甚大な被害が防止されるとみなせる耐震性能レベル	支承部(支承本体、取付用鋼板、ボルト等の取付部材等)に変状や損傷が生じない。	支承部(支承本体、取付用鋼板、ボルト等の取付部材等)に損傷又は変状が生じるため、支承部は機能を喪失する。	支承部(水平力を分担する構造)は破壊するため、機能を喪失する。 桁かかり長と落橋防止構造により上部構造が下部構造頂部から逸脱しない。	支承部： 既設の支承部をそのまま使用 落橋防止システム： 桁かかり長の確保 落橋防止構造の設置

【参考】

耐震補強工事例集
7.1 p-1-109～110

【参考】

「国土技術政策総合研究所資料第700号」
「国総研資料第700号、土研資料第4244号既設橋の耐震補強設計に関する技術資料研究所資料」
4. p-7～11

【出典】

「国土技術政策総合研究所資料第700号」
「国総研資料第700号、土研資料第4244号既設橋の耐震補強設計に関する技術資料研究所資料」
表4.2. p-9 修正・加筆

7.1.2 設計一般

- (1) 支承部の補強及び落橋防止システムの強化の計画にあたっては、橋の形式、支承部のタイプ、施工上の制約、取付部材の構造的な制限等を整理の上、構造的、施工性、経済性などを比較検討し適切に設置する。
- (2) 落橋防止システムは、フェイルセーフ機構として、桁かかり長、落橋防止構造および横変位拘束構造で構成する。また、必要に応じ段差防止工の設置が必要である。
- (3) 支承部の補強及び落橋防止システムの強化の際は、図面等の既存設計資料の収集、現地における既設部材の配筋状況や材料強度の確認を行った上で、落橋防止システムの形状及び工法の検討を行う。
- (4) 支承部の補強及び落橋防止システムの強化の際は、新たな部材が取り付く既設部材についても、発生する断面力とその伝達経路に注意し所要の耐力を確保するとともに、施工等により既設部材の耐力を損なうことのないよう留意する。

(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 3-4 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。落橋防止システムの考え方については、本要領「V編耐震設計編 15.落橋防止システム」も参照すること。

表 7-2 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

- (2) 取付部の耐力照査は H24 道示に準拠して照査を行う。既設橋に新たに設置する装置・構造は、設置場所に制約を受ける場合が多いため、計画にあたっては、支承部や落橋防止システムを構成する各々の部材が機能を損なわないこと、さらに、維持管理や雨水等が溜まらない構造などについて十分な配慮を行う。
- (4) 桁かかり長は、上部構造が下部構造頂部から逸脱して落下するのを防止するための対策である。桁かかり長が不足する場合は、下部構造天端における鉄筋コンクリート増設工法、鋼製ブラケット増設工法等がある。

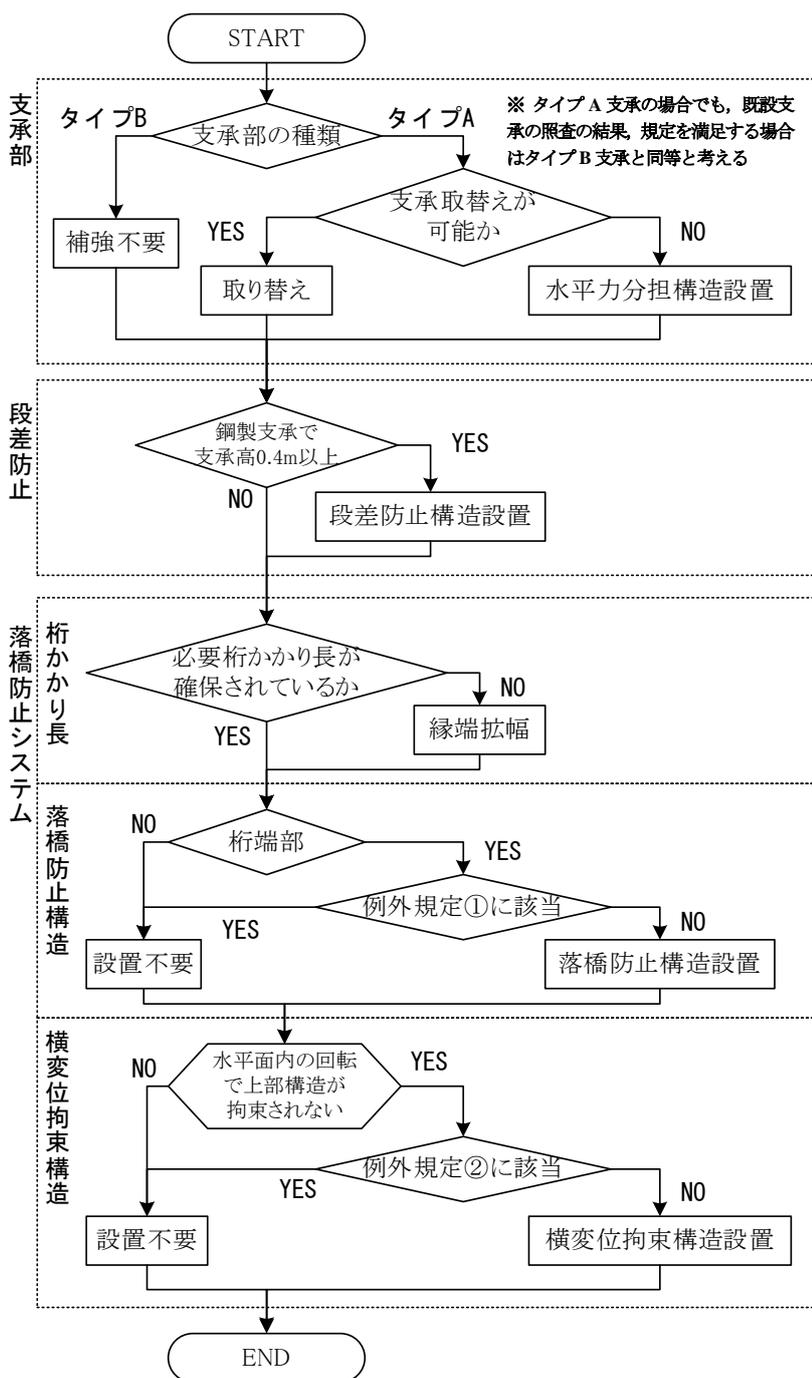
支承部の補強及び落橋防止システムの強化の基本的な考え方を図 7-1 に示す。

【参考】

耐震補強工事例集
7.1.2 p-1-109
修正・加筆

【補足】

落橋防止システムへの構成に関しては、「H29 道示 V 13.3 p-275 ~ 296」参照。



【補足】
タイプA 支承: H14 道示以前の支承で設計荷重がレベル1地震動の支承(但し、支承の照査の結果レベル2地震動でも性能を満足する場合はタイプB相当の支承と考える)
タイプB 支承: H14 道示以前の支承で設計荷重がレベル2地震動の支承

【出典】設計施工マニュアル(案) H28.3 東北地方整備局 p-2-29

【参考】 H29 道示V 13.3 p-275~296

【補足】
 「水平面内の回転で上部構造が拘束されない」とは H29 道示 13.3.4(1)における H29 道示 式(解 13.3.1)または式(解 13.3.2)に該当する場合を言う

例外規定①: H29 道示V 13.3.2(4)及び 13.3.9(1)の規定で、特殊な場合を除き、両端が橋台に支持された一連の上部構造を有する橋及び、一連の上部構造を有する3径間以上の橋で、上下部接続部において2基以上が剛結、又は、4基以上が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橋。

例外規定②: H29 道示V 13.3.9の規定で、特殊な場合を除き、一連の上部構造を有する3径間以上の橋で、上下部接続部において2基以上が剛結、又は、4基以上が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橋及び、ラーメン橋又は一連の上部構造が4基以上の下部工で支持されている3径間以上の橋。

図 7-1 支承補強及び落橋防止システム構成の基本的な考え方

7. 支承部及び落橋防止システム 7.1 支承部の耐震補強対策及び落橋防止システムの強化の基本方針

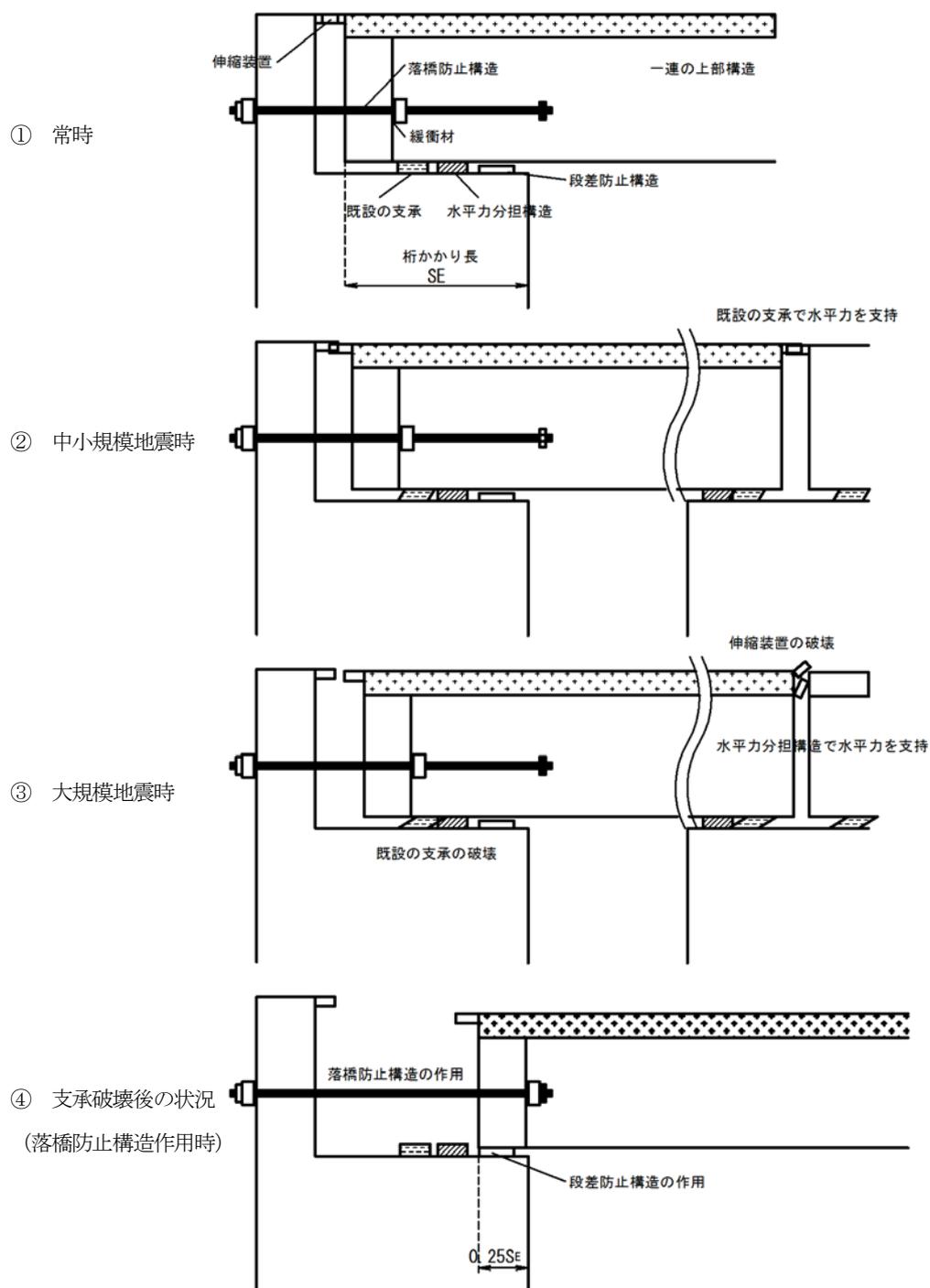


図 7-2 支承部及び落橋防止システム作用概念図

7.2 支承部の補強

7.2.1 支承部の補強

- (1) 支承部は、レベル2地震動により生じる水平力及び鉛直力に対して機能を確保する構造とする。また、一連の橋においては、既設支承と「H24 道示V15章」で規定された機能を有する支承部は混在させないことを原則とする。
- (2) 支承部の補強は、既設橋の構造（橋梁形式、路面高の変更の可否等）、対策後の維持管理の確実性、既設支承の損傷状況等を踏まえ、支承の取替え、又は既設の支承をそのまま使用し水平力分担構造の追加設置を行う。

- (1) 一連の橋に、H24 道示Vの規定で要求される機能を満足しない支承が混在すると地震時の水平力の分散をはじめ、橋としての挙動が不明確となることが考えられるため、異なる耐力や力学特性を有する支承は混在させないことを原則とする。
- (2) 支承周りは一般的に狭小であり、別途支承を補強する部材を設けると維持管理が困難となることから、支承の取替えが可能な場合は支承の取替えを行う。特に、既設支承の形式がピン、ピボット、ローラー支承の場合は、地震時に支承の逸脱により、桁の移動、落橋等の被災が発生する可能性が高いことから、支承の取替えを積極的に検討する。
- 支承を取り替える場合は、地震力のような衝撃的な力を緩和し、大きな変形性能が期待できるゴム支承を用いることを標準とするが、既設の支承の形状や橋梁形式により適切な支承形式を選定する。
 - 支承を取替える場合は、地震時水平力分散構造や橋の周期を適度に長くするとともに減衰性能の増大を図る機能を有する免震支承などを用いた免震構造など、下部構造の補強方法や橋全体構造系の変更についても検討し、橋の耐震性能の向上を図ることが望ましい。
 - 支承端部直上の鋼上部構造には、橋軸方向の慣性力と支承高に起因する偶力により、上下方向の力が生じフランジやウェブの局部座屈が生じる場合が考えられる。こうしたことを防止するために、支承部直上の上部構造ウェブには垂直補剛材を設けて局部変形を防ぐとともに、桁が橋軸直角方向の地震力によって面外変形を生じないようにするため、横桁やダイヤフラムにより補強することが必要である。図 7-3 に鋼上部構造の補強例を示す。
 - 「H24 道示Vの式(15.4.2)」により算出される R_u が正（上揚力が発生しない）の場合は、上揚力対策は不要とする。一方、 R_u の値が負となる場合は、上揚力により支承部の機能が失われることがないように、既設橋の耐震補強においても、上揚力に対して適切な対策を行うものとする。

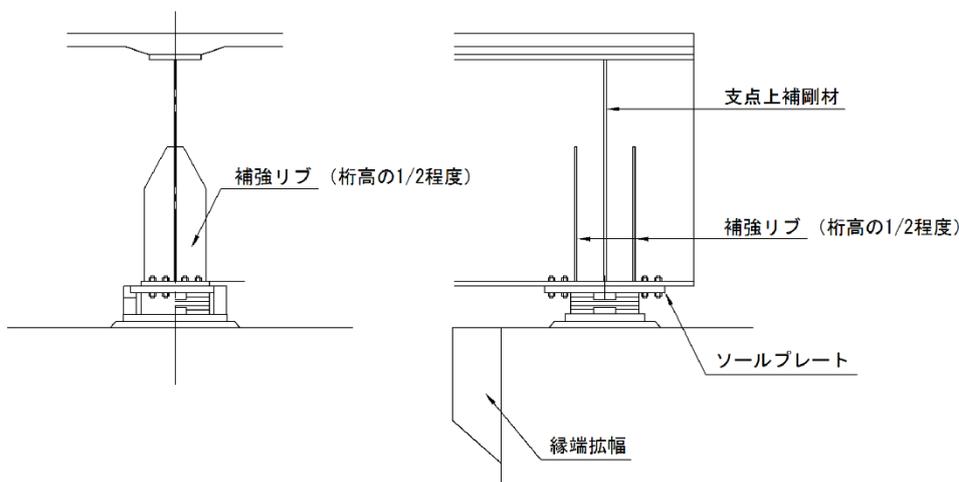


図 7-3 鋼上部構造の補強例

【県の運用】
7.2

【参考】NEXCO 第二集
橋梁保全編
6章 耐震設計
9-3 p-6-48~49
修正・加筆

【出典】NEXCO 第二集
橋梁保全編
6章 耐震設計
図 6-9-2 p-6-49

7.2.2 水平力分担構造

- (1) 水平力分担構造は、レベル2地震動に対し、支承部の水平力を分担するために設置する構造をいう。
- (2) 水平力分担構造は、レベル2地震動に対し、水平力を下部構造に確実に伝達できる構造とし、「H24 道示V15章」に規定された支承と同等の機能を有することを標準とする。また、落橋防止システムと機能を兼用してはならない。
- (3) 水平力分担構造の照査は、「H24 道示V15章」によることを標準とする。また、既設支承部の耐震性能も合わせて照査する。
- (4) 水平力分担構造の取付部は、荷重を確実に伝達できる構造とし、必要に応じて上下部構造の補強を行う。
- (5) 水平力分担構造の設置にあたっては、支承部の機能を阻害してはならない。また、落橋防止システムの設置や支承部の維持管理に支障とならないように配慮する。

【参考】NEXCO 第二集
橋梁保全編
6章 耐震設計
9-5-4 p-6-58～59
修正・加筆

【参考】H24 道示V15章
p-275～293

- (1) H24 道示Vにおいて、従来規定されていたタイプA支承部を補完するための構造であった変位制限構造の定義が廃止され、支承部はレベル2地震動に対し、機能する構造（従来のタイプB支承部）のみの規定となった。一方、既設橋において支承交換を行わずにレベル2地震動に対する機能を確保するためには、従来のタイプA支承部に相当する構造とする必要があり、このためには、従来の変位制限構造に準じた構造が必要となる。このため、本要領では、支承部の水平力を分担するために設置する構造を水平力分担構造と定義した。
- (2) 水平力分担構造は、レベル2地震動に対して、水平方向の支承部耐力を確保する目的で設置するものであり、支存取替えが困難な場合など、既設支承のほか、別途、水平方向の地震力に抵抗する装置を設けて、既設支承部を機能分離型支承と同等の構造にするものである。水平力分担構造としては、以下の構造があげられる。
 - 1) 免震支承や固定支承の増設
 - 2) コンクリートブロックや鋼製ブラケット等の突起設置
 - ・ 既設支承の耐力を照査し、水平力の分担が必要となる方向を検討したうえで、水平力分担構造を設置する。固定支承では橋軸方向と橋軸直角方向、可動支承では橋軸直角方向に設置することを基本とする。
 - ・ 可動支承においては、レベル2地震時においても橋軸方向の設計変位を満足させることを標準とする。
 - ・ 水平力分担構造は、落橋防止構造や横変位拘束構造と類似した構造となる場合があるが、その機能は異なるため、原則として兼用してはならない。
 - ・ 水平力分担構造と横変位拘束構造の両者の機能を確保できる構造を採用する場合にはこれらを兼用してもよい。
 - ・ 既設橋梁ではアンカーバーや支承サイドストッパー等が設置されているのが一般的であるが、水平力分担構造として一体的に機能しない可能性があるため、既設の装置の耐力に期待した設計は行わず、水平力分担構造で負担させるために新設するのがよい。
- (3) 照査は、レベル2地震動によって作用する上部構造慣性力に対して生じる断面力や応力度及び変形量等が構造特性や材料特性に応じて定められる許容値以下であることを照査する。
 - ・ 水平力分担構造を設置する支承部は、機能分離型の支承構造となるため、既設支承の耐震性能（耐力、遊間量等）も照査する。

- 既設支承を改造し建設当初の設計地震力や荷重分担等の条件が変わる場合には、下部構造のレベル1地震動に対する耐震性能についても照査しなければならない。
 - 照査に用いる設計地震力は、「H24 道示V15.4」の規定によるものとする。なお、橋脚に水平力分担構造を設置する場合には、橋脚耐力によって、支承部に作用する水平力の大きさが変わるため、橋脚の耐震補強対策の状況や計画に十分配慮して、適切な設計地震力を設定する。
- (4) 水平力分担構造の取付部は、上部構造の慣性力を確実に下部構造に伝達するため、十分な耐力を有する構造とする。
- 既設橋の取付部における鋼材配置や劣化状況についても留意するとともに、必要に応じて取付部の上下部構造を適切に補強する。
 - コンクリートブロックや鋼製ブラケットについては、施工余裕として15mm程度の隙間を設ける。
 - 水平力分担構造を橋梁の部材に直接衝突させる構造では、部材の損傷を避けるため緩衝を目的として、ゴムなどの緩衝材を設置することを標準とする。
- (5) 水平力分担構造を設置する場合には、支承部機能を阻害しないように、常時及び地震時に生じる支承の設計変位量に相当する遊間量を確保する。
- 水平力分担構造を設置する箇所については、支承や落橋防止システムの設置位置及び既設の添架物等の取り合いを考慮するとともに、支承部の維持管理を妨げる構造や配置とならないように配慮する。

【参考】H24 道示V 15.4
p-283~288

7.2.3 段差防止構造

(1) 一般

- 段差防止構造は、桁下面と橋座面との離隔が大きい橋の端支点部に設置することを標準とする。
- 段差防止構造の設計は、「H24 道示V15.6」による。

【参考】H24 道示V 15.6
p-292

- (1) 地震時に、路面に大きな段差が生じることを回避し、地震直後の緊急交通路としての機能を確保できるように、支承本体や台座の高さが高い支承部には段差防止構造を設ける必要がある。この場合の桁下面と橋座面との離隔の目安としては、鋼製支承で離隔400mm以上とする。

段差防止構造の構造例を図7-4に示す。

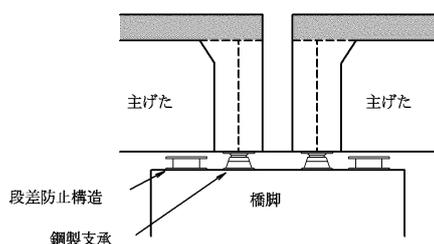


図 7-4 段差防止構造の構造例

【出典】設計施工マニュアル(案) H28.3 東北地方整備局 p-2-29

【出典】NEXCO 第二集
橋梁保全編
6章 耐震設計
図6-9-3 p-6-50

(2) 設計

- 段差防止構造の設計は、「H24 道示V 15.6(4)」の解説に基づき行う。
- 上部構造の死荷重を支持できる構造とする。水平方向の地震力等は考慮する必要はない。

【参考】H24 道示V 15.6
p-292

(3) 構造細目

- (1) 支承高が高い支承(鋼製支承等)の場合、上部構造が落下し、上・下部構造の損傷、路面の段差等が生じるため、段差防止構造を設けるものとする。
- (2) 段差防止構造は、鋼製架台、コンクリートブロック等が考えられるが、維持管理上の障害となりやすいため、支承部の維持管理が可能な構造(取りはずし可能な形式)や維持管理用のジャッキ受け台等と兼用できるような構造とし、下部構造天端が複雑にならないように留意する。
- (3) 上部構造が支承からはずれ、段差防止構造にあたったときの衝撃を緩和させ、上部構造の損傷を防止するために、ゴムパッド等の緩衝材を設ける。

【参考】
耐震補強工事例集
7.2.4 p-I-120~121

7.3 落橋防止システムの強化

7.3.1 桁かかり長

(1) 設計

- (1) 縁端拡幅の構造は、鉄筋コンクリート橋脚の場合は鉄筋コンクリート構造、鋼製橋脚の場合は鋼構造で拡幅することを基本とする。
- (2) 必要桁かかり長の算出は、「H29 道示V 13.3.5 必要桁かかり長」の規定に基づき実施する。
- (3) 拡幅構造は、拡幅部の先端に上部構造の死荷重反力を載荷させて応力の照査を行う。

【参考】
耐震補強工事例集
7.2.1
p-I-111~112

- (1) 鉄筋コンクリート橋脚の場合でも、施工空間の確保が困難な場合、構造上の問題を有している場合、工期短縮が必要な場合等の場合は、比較検討の上、鋼構造を採用する場合もある。
- 鋼製ブラケットを現場溶接により鋼製橋脚に固定する場合は、疲労耐久性が低下することのないように配慮する。

【参考】 H29 道示V 13.3.5
p-285~290

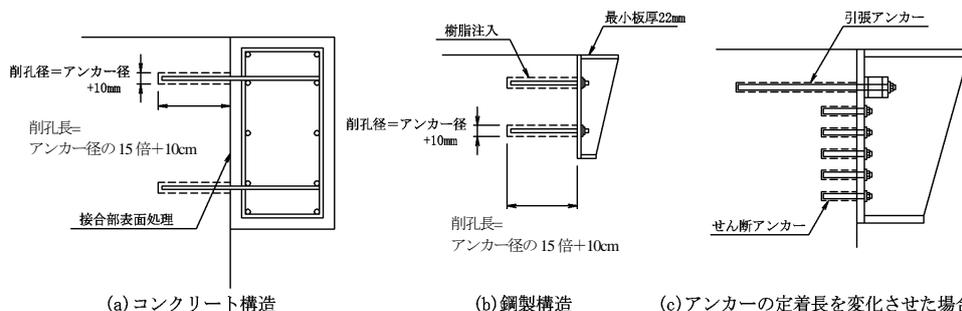


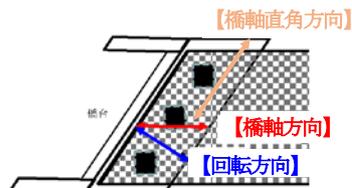
図 7-5 縁端拡幅の構造

【出典】
耐震補強工事例集
図-7.2 p-I-112

- (2) 桁かかり長を確保する方向は、設計方向により異なるため注意する。

表 7-3 設計方向と必要桁かかり長を確保する方向

設計方向	必要桁かかり長を確保する方向
橋軸方向	一連の上部工端部から橋軸方向に確保
橋軸直角方向	橋軸直角方向に確保
回転方向	一連の上部工端部から当該端支点部に直角な方向に確保



- (3) 各部材の設計はH24 道示により行ってよい。

(2) 構造細目

- (1) 鉄筋コンクリート構造で拡幅する場合
 - ・ 最小拡幅量は、配筋、コンクリートの打設等の施工性を考慮し、300mm 程度とする。
 - ・ 引張抵抗を確保する必要がある場合のアンカー筋の鉄筋コンクリート橋脚への定着長は、アンカー径の 15 倍以上とする。せん断抵抗のみを確保する必要がある場合は、アンカー径の 10 倍以上とする。
 - ・ 鉄筋コンクリート橋脚の壁面は、新旧のコンクリートが一体化するように表面処理を施す。
- (2) 鋼構造で拡幅する場合
 - ・ 引張抵抗を確保する必要がある場合のアンカー筋の鉄筋コンクリート橋脚への定着長は、アンカー径の 15 倍以上とする。せん断抵抗のみを確保する必要がある場合は、アンカー径の 10 倍以上とする。
 - ・ 鋼材の板厚は十分な剛性を確保するため最小 22 mm とする。

(3) 使用材料

- (1) コンクリートの設計基準強度は $\sigma_{ck}=24\text{N/mm}^2$ とする。
- (2) 鉄筋は SD345 とする。
- (3) 鋼材の材質は SS400 とするが、溶接を必要とする場合には、SM400 とする。

7.3.2 落橋防止構造

(1) 落橋防止構造の必要性

- (1) 落橋防止構造は、後施工が困難な場合は必要桁かかり長の 1.5 倍とする。
- (2) 落橋防止装置が省略できる場合は以下の場合である。
 - ① 「H29 道示 V 13.3.2(4)」に該当する場合
 - ② 「H29 道示 V 13.3.9(1)」に該当する場合

(2) H24 道示と同様に、橋の構造的特徴から、橋軸方向に大きな変位が生じにくい構造特性を有する橋や、端支点部での鉛直支持が失われても上部構造が落下しない橋、多点支持された支承部の破壊に対する補完性又は代替性が高いと考えられる橋として示されていたものを基本とする。ただし、13.3.9(1)において、多点支持された支承部のうち 1 支承線上の支承数が少ない支点は、支承部の破壊に対する補完性、代替性が低いと考えられるため、1 支承線上の支承数が 1 つである支点は除くものとする。

【参考】

耐震補強工法事例集
7.2
p- I -112~119

【参考】H29 道示 V 13.3.2
p-276~281

H29 道示 V 13.3.9
p-295~296

(2) 落橋防止構造の選定

- (1) 落橋防止構造の検討にあたっては、以下の基本構造の中から最適な工法を選定する。
- ① 上部構造と下部構造を連結する構造
 - ② 上部構造および下部構造に突起を設ける構造
 - ③ 2連の上部構造を互いに連結する構造

(1) 上部構造と下部構造を連結する構造は、PC ケーブル、チェーン、繊維材等により連結するタイプがあり、連結する部位は、下部構造は下部構造天端または橋台パラペット、上部構造は端横桁、下フランジ、ウェブ等がある。

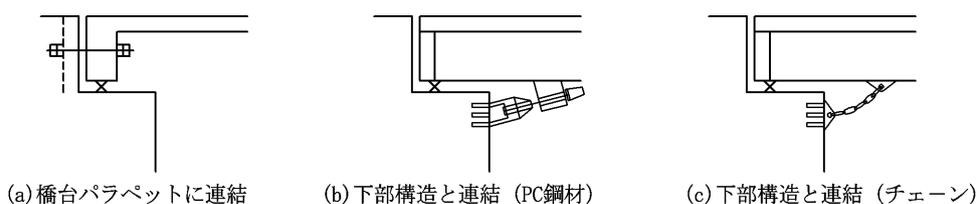


図 7-6 上部構造と下部構造を連結する構造

上部構造および下部構造に突起を設ける構造は、コンクリートブロックを用いる場合と鋼製ブラケットを用いる場合がある。突起を設ける位置は下部構造の天端、下部構造天端の側面、上部構造下面、下部構造天端と上部構造双方に設ける場合等がある。

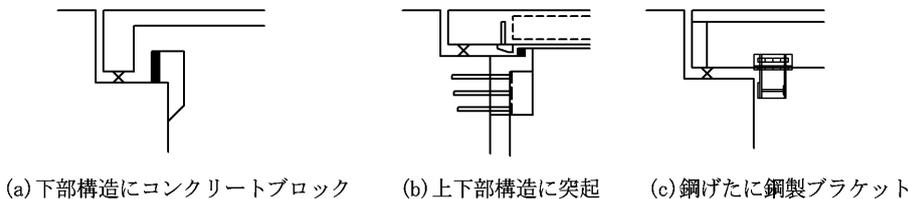


図 7-7 上部構造および下部構造に突起を設ける構造

2連の上部構造を互いに連結する構造は、かけ違い部に落橋防止構造を設置する場合に用いる。

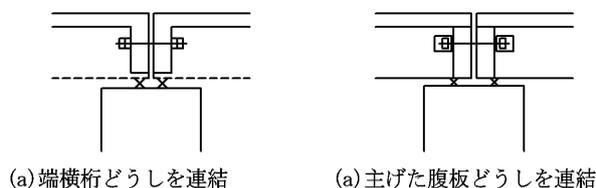


図 7-8 2連の上部構造を互いに連結する構造

図 7-9 に落橋防止構造のタイプ選定フローを示す。

【出典】
耐震補強工法事例集
図-7.3 p- I-112

【出典】
耐震補強工法事例集
図-7.4 p- I-113

【出典】
耐震補強工法事例集
図-7.5 p- I-113

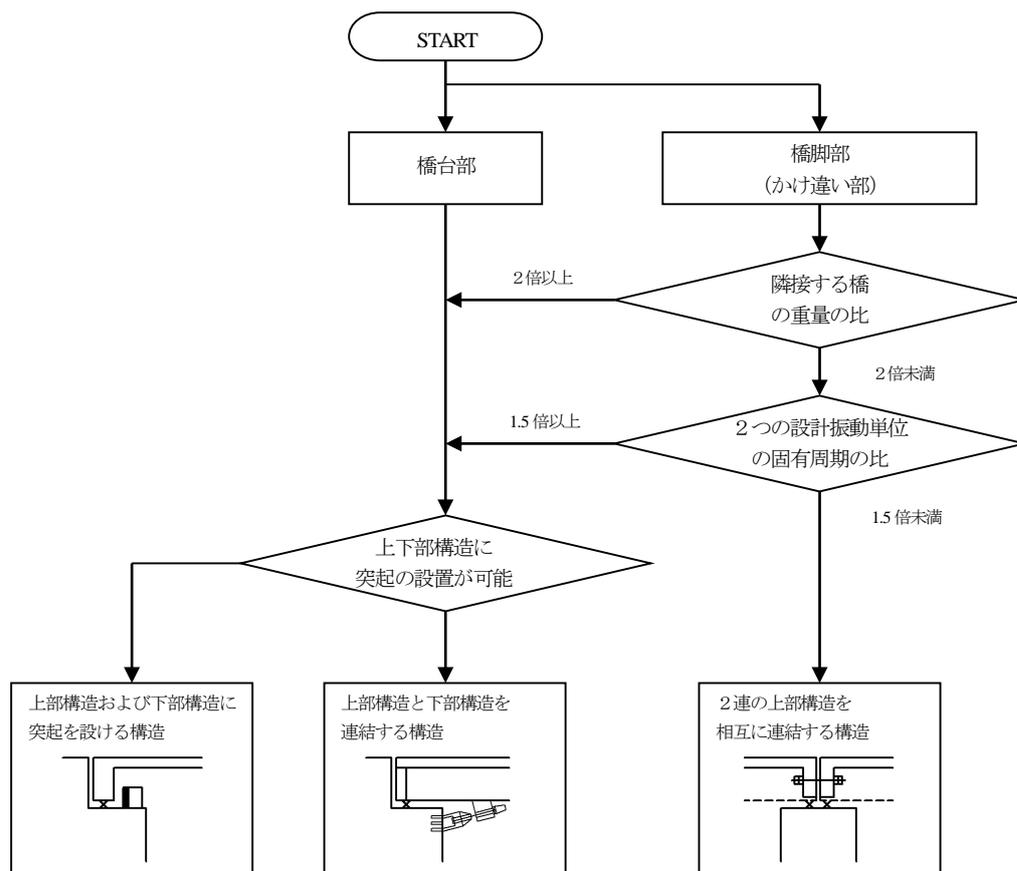


図 7-9 落橋防止構造のタイプの選定フロー

【補足】
 かけ違い橋脚の場合は、維持管理の面から「2連の上部構造を相互に連結する構造」を採用するの望ましい。

【出典】
 耐震補強工事例集
 図-7.6p- I-114

【参考】
 耐震補強工事例集
 7.2.1(6) p- I-117

(3) 既設橋の落橋防止装置

(1) 既設橋に落橋防止装置が設置されている場合は、「H24 道示V16.3」に規定される荷重、移動量等の照査を行い、規定を満足する場合は落橋防止構造として使用する。なお、規定を満たさない場合は、撤去し、新しい装置・構造を設置する。

(4) 設計

(1) 落橋防止構造の部材の設計は、「H24 道示V 16.3」の規定に基づき行う。

【参考】H24道示V 16.3
 p-310~313

(6) 構造細目

- (1) 落橋防止構造には衝撃的な荷重を緩和するために適切に緩衝材を設置する。
- (2) 突起に取付ける緩衝材はゴムパッド等とする。
- (3) 引張抵抗を確保する必要がある場合のアンカーボルトの定着長は、アンカーボルトの径の15倍以上とする。せん断抵抗のみを確保する必要がある場合は、アンカーボルトの径の10倍以上とする。
- (4) アンカー定着部の接着材は、エポキシ系樹脂を標準とし、削孔径は直径+10 mm、削孔長は定着長+10 mmとする。
- (5) 落橋防止構造の設計遊間は、「H24 道示V 式(16.3.2)」により算出される落橋防止構造の設計最大遊間量を超えない範囲で可能な限り大きい値とする。

【参考】H24 道示V
式(16.3.2) p-311

7.3.3 横変位拘束構造**(1) 一般**

- (1) 「H29 道示V 13.3.4」に規定する上部構造の直角方向への移動により落橋する可能性のある橋に該当する場合には横変位拘束構造を設置する。横変位拘束構造の部材の設計は「H24 道示V 16.4」による。
- (2) 横変位拘束構造の検討にあたっては、以下の基本構造の中から最適な工法を選定する。
 - ① 上部構造と下部構造を連結する構造
 - ② 上部構造および下部構造に突起を設ける構造

【参考】
耐震補強工法事例集
7.2.3
p- I -119～121

【参考】H29 道示V 13.3.4
p-281～285

【参考】H24 道示V 16.4
p-314～315

- (1) 既設橋の場合においても、「H29 道示V 13.3.9」に示す省略できる条件に該当する場合は、省略できる。
- ・ 一連の上部構造が4基以上の下部構造で支持される3径間以上橋
 - ・ ラーメン橋の場合

【参考】
H29 道示V 13.3.9
p-295～296

(2) 設計

- (1) 横変位拘束構造の設計は、「H24 道示V 16.4」の規定に基づき行う。

【参考】H24 道示V 16.4
p-314～315

(3) 構造細目

- (1) 突起に取付ける緩衝材はゴムパッド等とする。
- (2) 鋼製の突起を用いる場合は、十分な剛性を突起に持たせる必要があるため、部材の最小板厚は22 mmとする。
- (3) 引張抵抗を確保する必要がある場合のアンカー筋の既設コンクリートへの定着長は、アンカー径の15倍以上とする。せん断抵抗のみを確保する必要がある場合は、アンカー径の10倍以上とする。
- (4) アンカー定着部の接着材は、エポキシ系樹脂を標準とし、削孔径は直径+10 mm、削孔長は定着長+10 mmとする。

8. 補足資料

8.1 耐震設計法の変遷

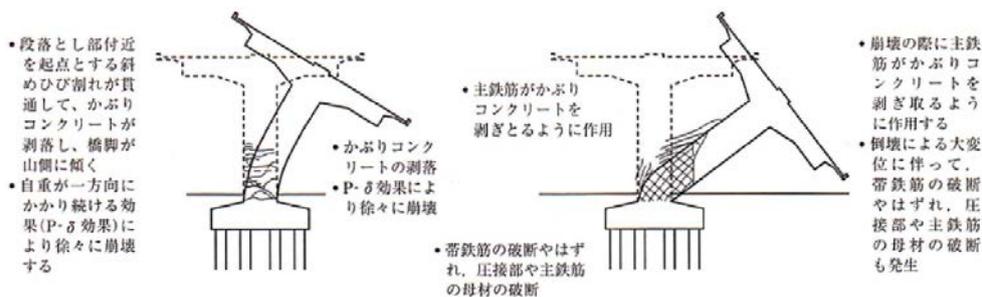
耐震設計における基準の変遷は「VIII 参考資料編」を参照されたい。

8.2 既往地震による橋被害の特徴

8.2.1 鉄筋コンクリート橋脚

(1) 橋脚倒壊メカニズム

橋脚倒壊のメカニズムの例を図 8-1 に示す。



(2) 被害例

平成 7 年兵庫県南部地震（阪神淡路大震災）では、主鉄筋段落し部およびせん断耐力の設計方法に関する規定が改訂された昭和 55 年の道示より前の規準に従って設計施工された橋脚において、曲げ損傷からせん断破壊に移行する著しい被害が発生した事例が見られた(図 8-2～図 8-4)。また、橋脚基部においても著しい被害を受けたものもあった。



図 8-2 段落し部の損傷による倒壊



図 8-3 段落し部の曲げせん断損傷



図 8-4 段落し部を起点とするせん断破壊

【出典】

耐震補強工事例集
2.2 既往地震による
橋被害の特徴
p. 1-10～23

【出典】 図 8-2～8-4

「阪神・淡路大震災調査報告編集委員会編：阪神・淡路大震災調査報告 1 土木構造物の被害（橋梁）、土木学会、1996 年 12 月」
写真 1.2.1.21、
写真 1.2.1.5、
写真 1.2.1.3 より転載

「段落し部」とは

- ①段落し部：柱中間において主鉄筋本数を減じた部分。
- ②段落し部の構造的な意義
従来のコンクリート構造物設計では、柱と下部構造部分（基礎、梁、支持床など）の接合部に地震応力が集中し、柱中間部分には接合部分ほど大きな応力は作用しないとの考え方があり、柱重量の軽量化と鉄筋材や工数節約のために主鉄筋の「段落し」を行うのが定石。
- ③段落し部の問題点
地震で垂直衝撃応力を受けた RC 柱の「段落し」部分が爆裂圧潰したり破断折損するような破壊被害が目立ち、「段落し」をしていない柱の被害が比較的少ない事例があり、従来の耐震設計法の問題点が浮き彫りになった。

判 定 典型的 な破壊モード	As	A	B	C	D
柱地盤面位置 での曲げ破壊	全面的破壊 	2面の破壊 	1面程度の破壊 	一部の剥離程度 	被害なし
柱地盤面位置 での曲げせん断 破壊	内部破壊 	2面程度の破壊 	1面程度の破壊 	一部のみ 	被害なし
軸方向鉄筋 段落し部の 曲げせん断破壊	内部破壊 	内部破壊 	内部破壊 	内部破壊 	被害なし
柱地盤面位置 でのせん断破壊	全断面破壊 	貫通した破壊 	部分破壊 	部分破壊 	被害なし

図 8-5 鉄筋コンクリート橋脚の損傷モードと損傷度判定ランク

【出典】 図 8-5
「阪神・淡路大震災調査報告編集委員会編：阪神・淡路大震災調査報告1 土木構造物の被害（橋梁）、土木学会、1996年12月」
図 1.2.1.2 より転載

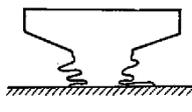
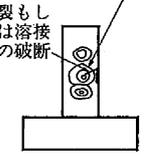
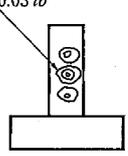
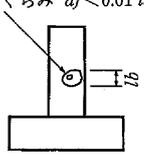
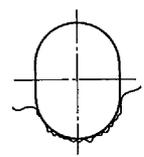
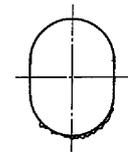
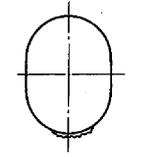
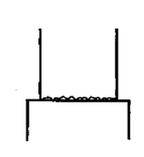
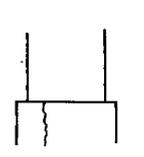
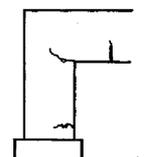
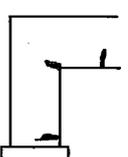
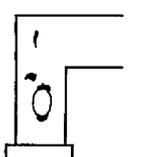
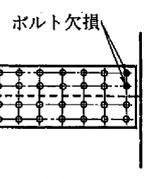
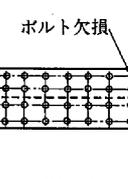
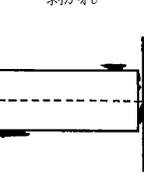
	As	A	B	C	備考
座 屈	完全圧壊 	へこみもしくは ふくらみ $0.03 lb \leq df$ 亀裂もしくは 溶接部 の破断 	へこみもしくは ふくらみ $0.01 lb \leq df < 0.03 lb$ 	へこみもしくは ふくらみ $df < 0.01 lb$ 	道路橋震災対策便覧(震災復旧編)による ただし、次の場合は1ランクアップ a) 4面(円柱の場合は全周程度)が座屈している場合 b) 部分的に曲率の小さい屈曲部がある場合 c) 角溶接部等に変形を伴う場合
亀 裂		マンホール溶接部亀裂  (周辺に亀裂の進展の可能性があるもの)	 1/4 周以上の亀裂 (周辺に亀裂の進展の危険なし)	 1/4 周以上の亀裂	
		根巻鋼板隅内溶接部 		根巻きコンクリートの亀裂 	
		他主要部位の亀裂 	主要部位の塗装の剥がれ  (目視では亀裂が確認されない)	主要部位以外の塗装の剥がれ 	
H T B 部		ボルト欠損 ボルト欠損  (1 添接部当たり 1 割程度以上)	ボルト欠損 ボルト欠損  (1 添接部当たり 1 割程度以下)	添接板周りの塗装の剥がれ 	

図 8-6 鋼製橋脚の損傷モードと損傷度判定ランク

【出典】 図 8-6
「阪神・淡路大震災調査報告編集委員会編：阪神・淡路大震災調査報告1 土木建造物の被害(橋梁)、土木学会、1996年12月」
図 1.2.1.3 より転載

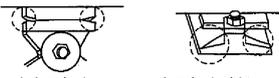
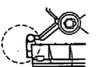
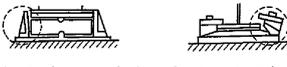
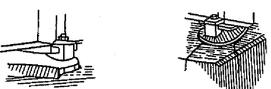
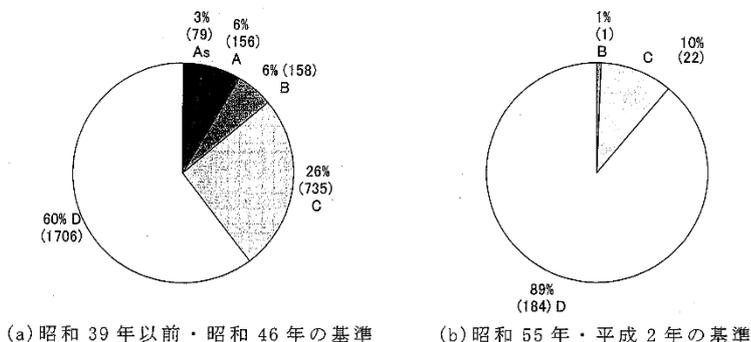
	C：小被害	B：中被害	A：大被害
上沓・下沓の 鋳物部	 上沓の変形 下沓の変形・破断		
セットボルト	 セットボルトのゆるみ	 セットボルトの切断	 セットボルトの破断やソールプレート、ボス部の被害
ローラー	 ローラーの抜け出し	 ローラーの抜け出し	
ピン および ピンキャップ	 ピンキャップの抜出し	 ピンの切断	
上沓ストッパー	 上沓ストッパーの亀裂	 上沓ストッパーの亀裂	
サイドブロック	 サイドブロックの変形 下沓ストッパーの亀裂	 サイドブロック止めの 下沓ストッパーの破断 破断	
アンカーボルト	 1cm以下 アンカーボルトの抜出し(1cm以下)	 1cm以上 アンカーボルトの抜出し(1cm以下)	 アンカーボルトの破断
沓座モルタル および 沓座コンクリート	 沓座モルタルの亀裂 沓座コンクリートの亀裂	 沓座モルタルの破壊 沓座コンクリートの破壊	 沓座コンクリートの破壊

図 8-7 支承の損傷モードと損傷度判定ランク

【出典】 図 8-7
「阪神・淡路大震災調査報告編集委員会編：阪神・淡路大震災調査報告 1 土木構造物の被害（橋梁）、土木学会、1996年12月」
図 1.2.1.8 より転載

(3) 適用基準との関係

図 8-8 は、平成 7 年兵庫県南部地震による被災について、適用基準と鉄筋コンクリート橋脚の被災度の関係を示したものである。昭和 39 年および昭和 46 年の道示が適用された橋では、倒壊したものや鉄筋の破断、大変形等の大きな被害(被災ランク As, および A)を受けた橋脚が 9%あるが、昭和 55 年以降の道示を適用した橋では、このような被害は生じていない。



鉄筋コンクリート橋脚の被災ランクの定義
 As (倒壊・損傷変形が甚大)
 A (鉄筋は段、変形が大)
 B (鉄筋一部破断、コンクリートの部分的剥離)
 C (ひびわれ、局所的なコンクリートの剥離)
 D (損傷なし、軽微)
 *) 出典：土木学会、阪神淡路大震災調査報告
 (直轄国道、阪神高速道路、高速国道の被災統計データに基づく)

図 8-8 鉄筋コンクリート橋脚の被災特性と適用基準の関係

ここで、昭和55年の道示より前と以降における鉄筋コンクリート橋脚の主鉄筋段落し部の設計方法の相違は、図8-9に示す通りである。

一般に配筋は曲げモーメントが大きくなる橋脚基部で設計するが、高さ方向に同一の断面耐力を必要としないことから途中で主鉄筋の段落しを行っている。昭和55年道示では、主鉄筋段落し位置に置いて影響のある損傷が生じないようにするために、i) 計算上鉄筋が不要となる断面位置からの主鉄筋の定着長を延長、ii) 段落し部の許容せん断応力度を一般部の2/3に低減、iii) 帯鉄筋を一般部の2倍程度配置、といった改定が行われた。

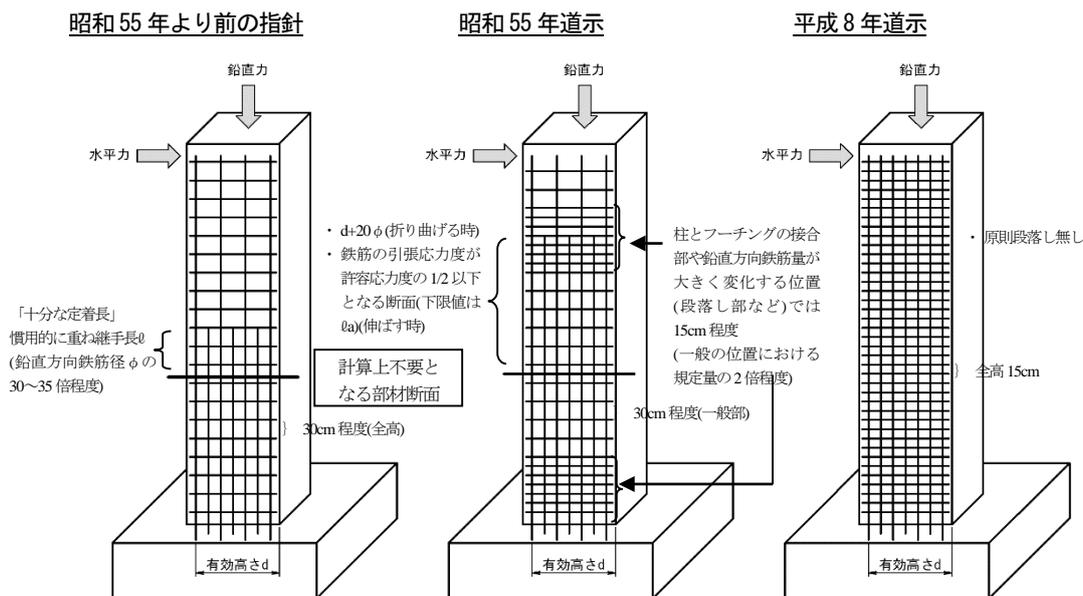


図 8-9 主要道示における主鉄筋段落し部の設計法の改定

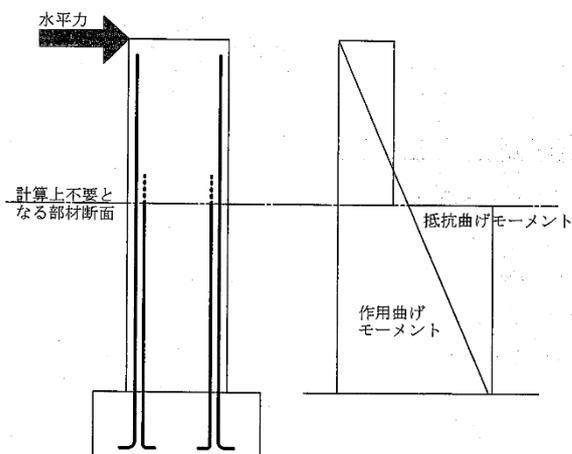
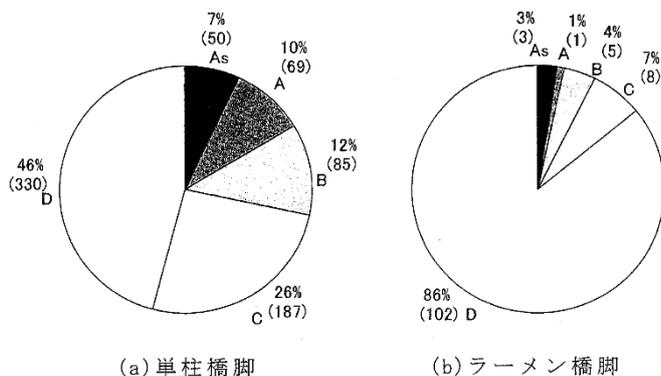


図 8-10 単柱式橋脚に作用する断面力（曲げモーメント）分布

(4) 構造形式との関係

図 8-11 は、平成 7 年兵庫県南部地震による被災について、鉄筋コンクリート橋脚の構造形式との被災度の関係を示したものである。図 8-12 に示すような単柱橋脚、ラーメン橋脚（門型および立体ラーメン橋脚）の構造特性ごとの被害率の比較から、ラーメン橋脚の被害の割合が小さい。ラーメン橋脚は、その構造上、橋軸方向に対しては単柱と同様の耐力特性を有すると考えることができるが、橋軸直角方向に対してはフレーム構造として抵抗するために一般に単柱より大きい耐力特性を有している。



鉄筋コンクリート橋脚の被災ランクの定義

- As (倒壊・損傷変形が甚大)
- A (鉄筋破断, 変形が大)
- B (鉄筋一部破断, コンクリートの部分的剥離)
- C (ひびわれ, 局所的なコンクリートの剥離)
- D (損傷なし, 軽微)

*) 出典: 土木学会 阪神・淡路大震災調査報告
 阪神高速道路公団 第震災を乗り越えて 震災復旧工事誌
 (阪神高速 3 号神戸線の被災統計データに基づく)

図 8-11 鉄筋コンクリート橋脚の被害特性と構造特性の関係

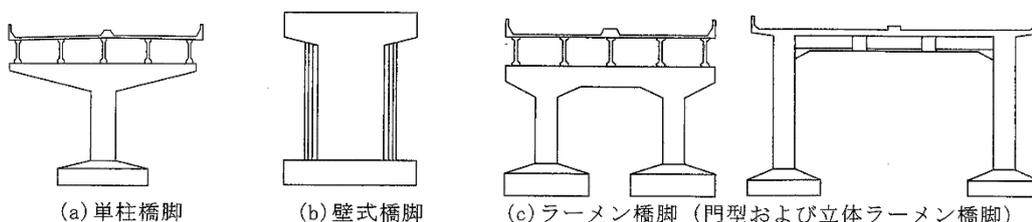
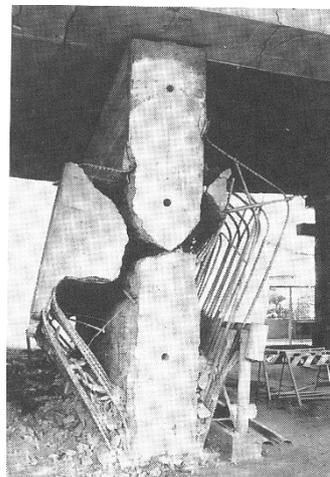


図 8-12 鉄筋コンクリート橋脚の構造特性の分類



(a) 鉄筋コンクリートラーメン橋脚



(b) 鉄筋コンクリート壁式橋脚

図 8-13 鉄筋コンクリートラーメン橋脚・壁式橋脚の段落し部の損傷事例

【出典】 図 8-13(b)
 「阪神・淡路大震災調査報告編集委員会編：阪神・淡路大震災調査報告 1 土木構造物の被害（橋梁）、土木学会、1996 年 12 月」
 写真 1.1.5 より転載

(5) 構造的要因に基づく耐震性

鉄筋コンクリート橋脚では、昭和55年道示、また、鉛直方向鉄筋の段落しの有無、構造形式の違いなどの要因により、被害程度が大きく異なっている。

① 適用基準

区分	適用示方書	被災の程度
①	昭和55年より前の道示（軸方向鉄筋の段落し有り）	
②	昭和55年より前の道示（軸方向鉄筋の段落し無し）	
③	昭和55年道示（軸方向鉄筋の段落し部とせん断耐力に対する設計法の規定が導入）	
④	平成2年道示（関東大震災を想定した地震時保有水平耐力の照査の規定が導入）	

② 構造特性

区分	構造特性	被災の程度
①	単柱	
②	壁式・ラーメン形式	

③ 支承条件

区分	支承条件	被災の程度
①	固定支承	
②	可動支承（可動支承の破壊により固定状態のようになってしまう可能性もあるが、可動方向の地震力に対しては下部構造に地震力を伝達しにくい）	

8.2.2 鋼製橋脚

(1) 被害例

平成7年兵庫県南部地震では、矩形断面を有する鋼製橋脚において、水平地震力の作用によりウェブおよびフランジの局部座屈が角溶接部の破断に発展し、その結果上下方向耐力の低下を起こして桁が沈下した事例がある（図 8-14）。

円形断面を有する鋼製橋脚では、水平地震力の作用により鋼管の局部座屈（提灯状の座屈）とこれに起因する鋼管の割れが発生し、大きな残留変位を発生した事例がある（図 8-15、図 8-16）。

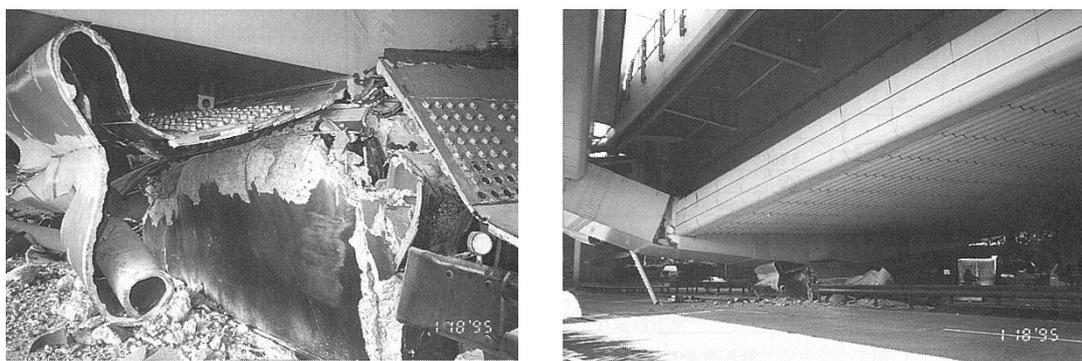


図 8-14 角溶接の破断と沈下の事例

【出典】 図 8-14
 「阪神・淡路大震災調査報告編集委員会編：阪神・淡路大震災調査報告1 土木構造物の被害（橋梁）、土木学会、1996年12月」
 写真 1.1.8 下段、2段目より転載

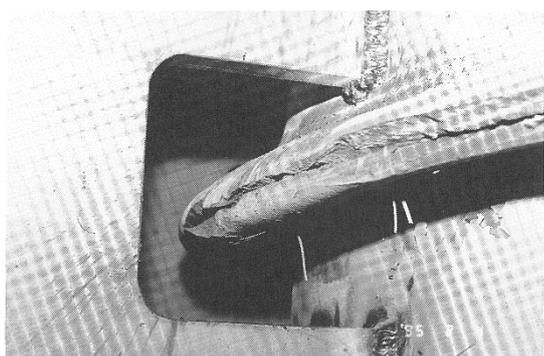


図 8-15 提灯座屈

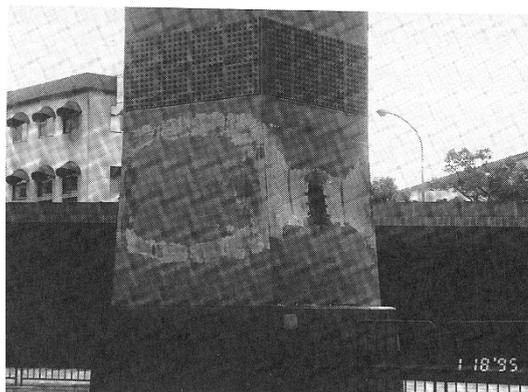


図 8-16 パネル全体の局部座屈

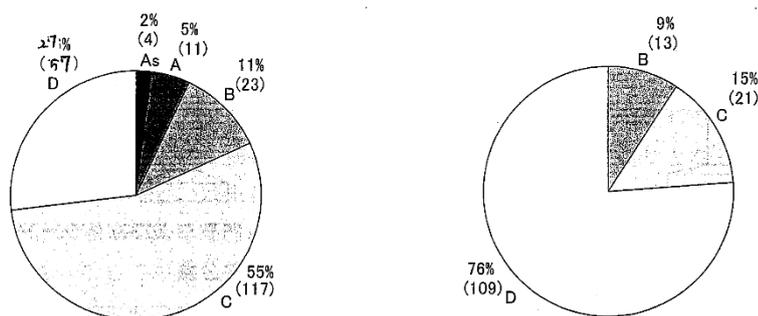


図 8-17 鋼製橋脚アンカー一部の損傷

【出典】図 8-15～8-17
「阪神・淡路大震災調査報告編集委員会編：阪神・淡路大震災調査報告 1 土木建造物の被害（橋梁）、土木学会、1996年12月」
写真 1.2.1.15、
写真 1.2.1.7、
写真 1.2.1.11 より転載

(2) 適用基準との関係

図 8-18 は、平成 7 年兵庫県南部地震による被災について、適用基準と鋼製橋脚の被災度の関係を示したものである。昭和 39 年および昭和 46 年の道示が適用された橋では、倒壊を始めとする甚大な被災を受けた橋脚が 7% あるが、昭和 55 年以降の道示を適用した橋では、このような被害は生じていない。



(a) 昭和 39 年以前・昭和 46 年の基準

(b) 昭和 55 年・平成 2 年の基準

鋼製橋脚の被災ランクの定義	
As	(倒壊・損傷変形が甚大)
A	(亀裂・座屈, 変形が大)
B	(部分的な鋼材の座屈や部材の変形)
C	(鋼材の座屈や変形が局部的かつ軽微)
D	(損傷なし, 軽微)
*) 出典: 土木学会 阪神淡路大震災調査報告 (直轄国道, 阪神高速道路, 高速国道被災統計データに基づく)	

図 8-18 鋼製橋脚の被害特性と適用基準の関係

(3) 構造形式との関係

図 8-19 は、平成 7 年兵庫県南部地震による被災について、鋼製橋脚の構造形式と被災度の関係を示したものである。図 8-20 に示すような単柱橋脚、ラーメン橋脚の構造特性ごとの被害率の比較によれば、ラーメン橋脚の被害の割合は小さい。また、ラーメン橋脚で倒壊したものはない。

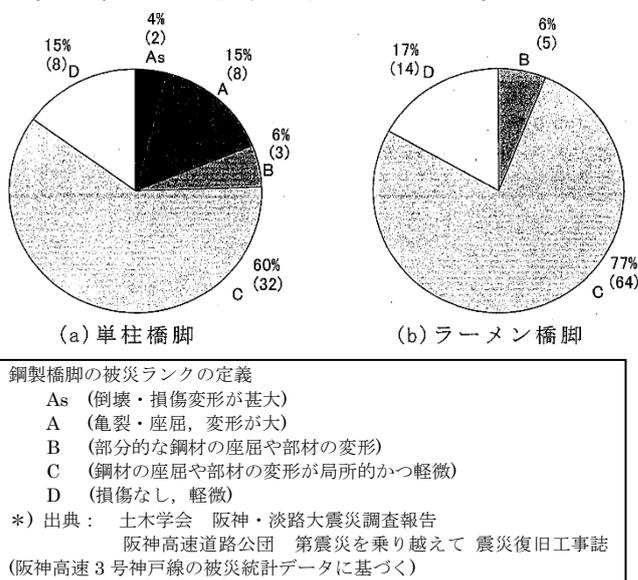


図 8-19 鋼製橋脚の被害特性と構造特性の関係

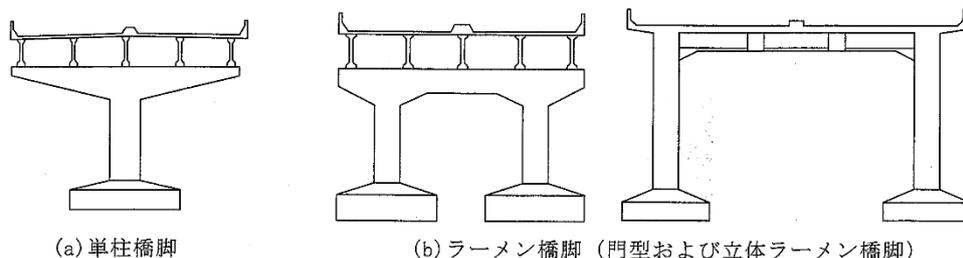


図 8-20 鋼製橋脚の構造特性の分類

(4) 構造的要因に基づく耐震性

鋼製橋脚では、昭和 47 年道示及び昭和 55 年道示、構造形式の違いなどの要因により、被害特性が大きく異なる。

① 適用基準

区分	適用示方書	被災の程度
①	昭和 47 年より前の道示 (許容応力度・板厚の制限規定のみ)	大
②	昭和 47 年道示 (補剛材の必要剛度の規定)	中
③	昭和 55 年道示 (局部座屈に対する許容応力度の規定)	小

② 構造特性

区分	構造特性	被災の程度
①	単柱	大
②	壁式・ラーメン形式	小

③ 支承条件

区分	支承条件	被災の程度
①	固定支承	大
②	可動支承 (可動支承の破壊により固定状態のようになってしまう可能性もあるが、可動方向の地震力に対しては下部構造に地震力を伝達しにくい)	小

8.2.3 支承及び落橋防止システム

(1) 支承の被害及び落橋防止システムの被害

支承の被害は、既往の地震被害においても最も多く見られた被害である。支承部では地震力が集中するため、下部構造の耐力が相対的に大きい場合は、支承に損傷が生じる。平成7年兵庫県南部地震による支承・落橋防止装置の被害特性をまとめると以下の通りとなる。

鋼製支承では、支承本体あるいは支承の固定部（アンカーボルト、セットボルト等）の破壊等、多数の被害が生じた（図 8-21、図 8-22）。また、これに伴って、上部構造に大きな変位が生じ、落橋に至った事例があった。上部構造の損傷の大部分は、支承の被害に伴って支承部周辺に生じたものである。さらに、落橋防止装置の取付部でも被害が生じた（図 8-23、図 8-24）。ゴム支承では、金属支承に比較して被害が少なかった。

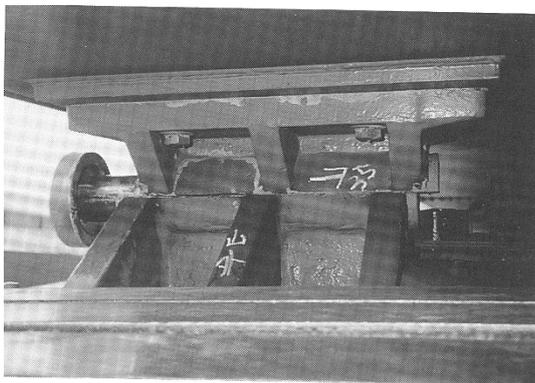


図 8-21 ピン支承のピン及びキャップの損傷



図 8-22 ローラー支承の破損

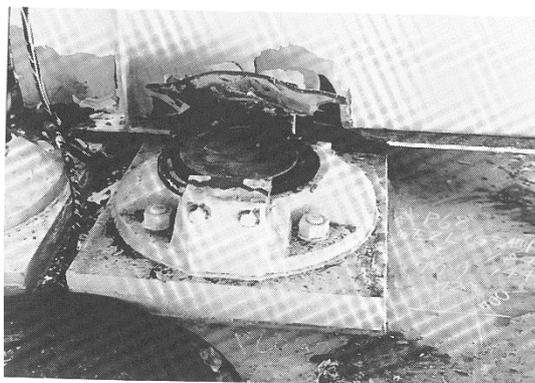


図 8-23 下フランジの局部変形による支承の損傷



図 8-24 主桁の横倒れ座屈による支承の損傷

落橋防止装置では、衝撃的な地震力の作用により、装置本体もしくはこれが取り付けられた側の局所的な破断が生じ、落橋を有効に防止できなかった事例がある。また、落橋防止装置が橋軸直角方向の変位に追随できない構造のために破壊した事例がある（図 8-25、図 8-26）。

【出典】図 8-21～8-24
「阪神・淡路大震災調査報告編集委員会編：阪神・淡路大震災調査報告1 土木構造物の被害（橋梁）、土木学会、1996年12月」
写真 1.2.1.41、
写真 1.2.1.45、
写真 1.2.1.40、
写真 1.2.1.37 より転載

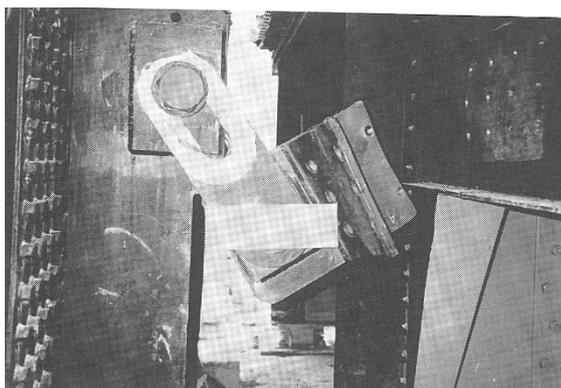


図 8-25 タイバーの取付部の破断

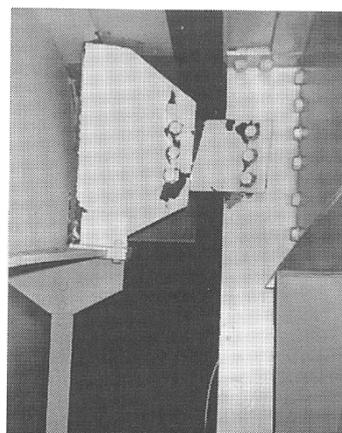


図 8-26 プレートタイプの構造の破断

(2) 支承破壊に起因する落橋事例

支承破壊と下部構造の地震時の相対的な変位の発生により、ゲルバー橋吊桁が落下した事例があった（図 8-27）。

斜橋や曲線橋では、地震時の振動に伴って、橋軸方向のみならず、橋軸直角方向にも回転変位が生じ、落橋に至った事例があった（図 8-28）。

また、隣接する大規模な橋あるいは連続桁の変位に伴う追突の影響により支承の破壊が生じ、単純形式の上部構造の大変位が生じ、落橋に至った事例があった（図 8-29）。

地盤の液状化に伴う流動化により、下部構造に大きな変位が生じ、落橋あるいは落橋寸前の状態となった事例があった（図 8-30、図 8-31）。



図 8-27 ゲルバー橋吊桁の落下

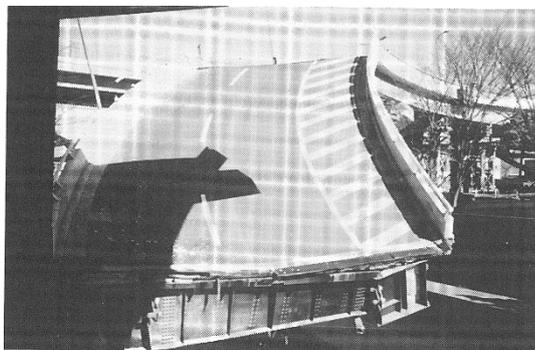


図 8-28 曲線橋の落橋事例（橋軸直角方向への変位）

【出典】図 8-25～8-26
「阪神・淡路大震災調査報告編集委員会編：阪神・淡路大震災調査報告1 土木構造物の被害（橋梁）、土木学会、1996年12月」
写真 1.2.1.59、
写真 1.2.1.64 より転載

【出典】図 8-28
「阪神・淡路大震災調査報告編集委員会編：阪神・淡路大震災調査報告1 土木構造物の被害（橋梁）、土木学会、1996年12月」
写真 1.2.1.18、
写真 1.2.1.19 より転載

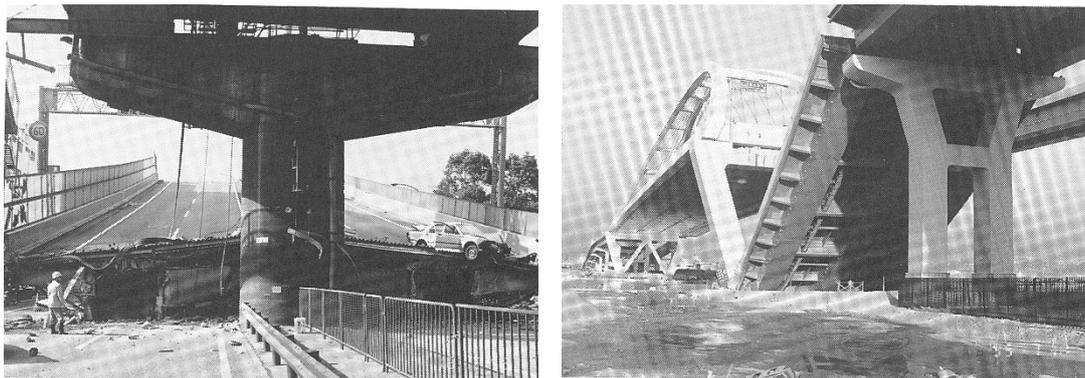


図 8-29 隣接する大規模橋あるいは連続橋の追突に影響を受けた連続桁橋の落橋

【出典】 図 8-29
 「阪神・淡路大震災調査報告編集委員会編：阪神・淡路大震災調査報告 1 土木建造物の被害（橋梁）、土木学会、1996年12月」
 写真 1.2.1.9、
 写真 1.2.1.20 より転載



図 8-30 地盤の流動化による下部構造の大変位と単純桁の落橋（落橋防止装置未整備）



図 8-31 地盤の流動化による下部構造の大変位（左側の主げたが落橋寸前）

(3) 既往地震による落橋事例と構造特性の関係

表 8-1 は、1923 年の関東地震以降に落橋した橋とその構造特性を整理したものである。これによれば、鋼橋およびコンクリート橋で合計 62 橋落橋が生じているが、落橋した橋のほとんどは複数径間を有する単純桁形式の橋であり、両端を橋台に支持された単純橋では橋台自体の破壊により落橋した 2 例を除いて落橋に至った事例はない。また、連続形式を有する橋で橋脚の破壊、倒壊により落橋した事例はあるが、支承破壊に伴う上部構造の大変位により落橋した事例はない。

表 8-1 1923 年関東地震以降の被害地震による落橋事例と構造特性の関係

地震	落橋数	構造特性 (径間数)		
		両端に橋台を有する単純桁橋	複数径間を有する単純げた橋	連続桁橋
1923 年関東地震	6 橋	(1)	2(35)	—
1946 年南海地震	1 橋	—	6	—
1948 年福井地震	7 橋	—	(116)	—
1955 年二ツ井地震	1 橋	—	3	—
1964 年新潟地震	4 橋	—	6(1)	—
1978 年宮城県沖地震	1 橋	—	1	—
1995 年兵庫県南部地震	12 橋	—	6(26)	4(17)
2000 年鳥取県西部地震	1 橋	(1)	—	—
2009 年岩手・宮城内陸地震	1 橋	—	—	(3)
合計	34 橋	(2)	24(178)	4(20)

注) シナリオ B、C、D による落下径間数を示す。カッコ内はシナリオ A による落下径間数を示す。
ただし、シナリオ B、C、D とあわせてシナリオ A も原因のひとつと思われる場合には双方に計上している。
(シナリオ A、B、C、D に関しては、「8.3 過去の大規模地震における落橋事例とその分析」を参照)

(4) 構造的要因に基づく耐震性

斜橋・曲線橋および両端橋台形式の単純橋など橋軸方向に変位の生じにくい構造などの構造特性により、落橋に対する安全度が異なる。

① 適用基準

区分	適用示方書	落橋に対するフェイルセーフ性能
①	昭和 43 年より前の道示 (緑端距離 S および桁かかり長 S _E の規定なし)	
②	昭和 43 年道示 (緑端距離 S の規定)	
③	昭和 46 年道示 (緑端距離 S、移動制限装置、桁間連結装置の規定)	
④	昭和 55 年道示・平成 2 年道示 (緑端距離 S、桁かかり長 S _E 、移動制限装置、落橋防止構造の規定)	

② 構造特性 (橋軸方向への振動)

区分	構造特性	落橋に対するフェイルセーフ性能
①	橋軸方向に変位が生じにくい橋 (両端に橋台を有する単純桁橋)	
②	連続形式の橋梁	
③	①、②以外の橋 (複数径間の単純桁橋)	

③ 構造特性 (橋軸直角方向への振動)

区分	構造特性	落橋に対するフェイルセーフ性能
①	②以外の橋 (橋軸直角方向に変位が生じにくい橋)	
②	斜橋・曲線橋等 (回転により橋軸直角方向に変位が生じ、落橋に結びつく可能性のある橋)	

8.3 過去の大規模地震における落橋事例とその分析

8.3.1 過去の地震における落橋の分析

橋桁が落橋するシナリオを以下の5つに分類し、過去の大規模地震により橋桁が落橋した事例を整理した結果を図 8-33～図 8-35 に示す。

シナリオ A：下部構造が倒壊

シナリオ B：下部構造が大変位

シナリオ C：上部構造の橋軸方向への変位

シナリオ D：上部構造の直角方向への変位

シナリオ E：津波による上部構造の流失（漂流船舶の衝突による橋脚の崩壊も含む）

【出典】

「土木研究所資料第 4158 号過去の大規模地震における落橋事例とその分析より転載」を修正・加筆



(a) シナリオ A：下部構造が倒壊した例



(b) シナリオ B：下部構造が大変位した例



(c) シナリオ C：桁が橋軸方向へ変位した例



(d) シナリオ D：桁が直角方向へ変位した例

図 8-32 桁落下シナリオに基づく被災例

図 8-33、図 8-34 によれば、桁落下の原因としては、下部構造の倒壊（シナリオ A）が圧倒的に多く、次が津波を原因とするケース（シナリオ E）である。下部構造や上部構造の大変位に起因する落橋は少ない。

図 8-35 によれば、桁落下は複数径間を有する単純桁橋に多く生じている。一方、両端に橋台を有する単純桁橋は一般に振動しにくいと考えられるが、実際の被害も少なく、その原因は橋台の破壊であり、橋の地震応答によるものではないと推測されている。連続桁では、橋脚の崩壊による落橋の事例があるのみであり、下部構造が倒壊しない限り桁落下が生じた事例はない。

以上より、過去の地震被災によれば、下部構造の倒壊なしに桁が落橋した橋の構造形式としては、複数径間を有する単純桁橋に限られている。

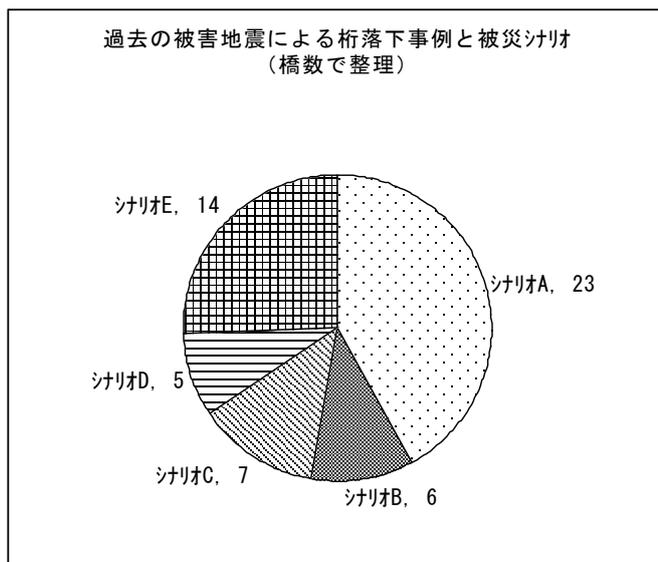


図 8-33 過去の被害地震による桁落下事例と被災シナリオの関係 (橋数で整理)

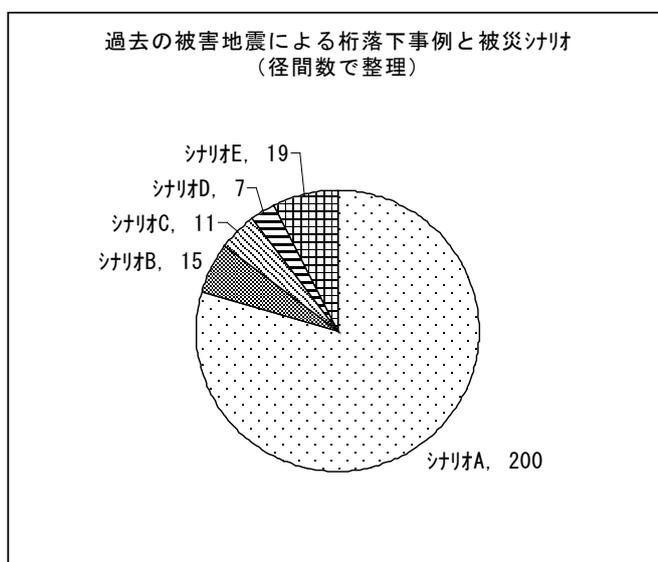


図 8-34 過去の被害地震による桁落下事例と被災シナリオの関係 (径間数で整理)

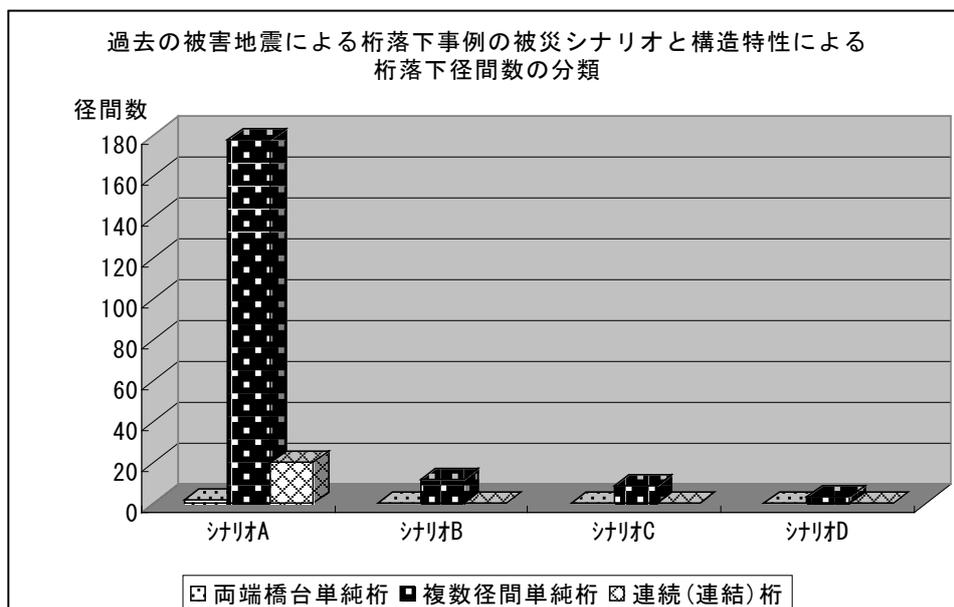


図 8-35 過去の被害地震による桁落下事例の被災シナリオと構造特性による桁落下径間数の分類

8.3.2 落橋防止システムの要求性能

道示に示される落橋防止システムは、主として桁かかり長と落橋防止構造から構成されている。本システムは、基本的に支承が破壊した場合に生じる上下部構造間もしくは上部構造間の大きな相対変位に対応するために設置されており、下部構造が倒壊する場合（シナリオ A）による桁の落下を防ぐことは困難である。このような被災形態を防ぐためには、下部構造の耐震性能を向上させることが重要である。

また、橋台や橋脚が設置されている周辺地盤の崩壊による落橋に対しても、落橋防止システム等の現状の技術で構造的に対応することは非常に困難であるため、路線計画段階における十分な検討が必要となる。

下部構造もしくは上部構造に大きな変位が生じて、上下部構造間もしくは上部構造間の相対変位が大きくなる場合（シナリオ B～D）には、十分な桁かかり長を確保することや落橋防止構造により隣接する上部構造間もしくは上下部構造間を連結することにより、桁の落下を防止することが可能と考えられる。

落橋防止システムはこうした被害を防ぐことを想定しており、これをもとに合理的に桁かかり長や落橋防止構造の設計耐力、設計遊間量を設定することが重要である。

【出典】

「土木研究所資料第4158号過去の大規模地震における落橋事例とその分析より転載」加筆・修正

8.4 既設橋の耐震補強のポイント

既往の被害事例に基づいた損傷は以下のようにまとめられる。

(1) 昭和 55 年道示より前の基準による橋脚

a) 鉄筋コンクリート橋脚

- ・ 曲げ及びせん断耐力が小さいことから、鉄筋の破断、コンクリートの部分的剥離が生じている。

b) 鋼製単柱橋脚

- ・ 単柱形式の鋼製橋脚の局部座屈に伴う溶接部の破断により桁の沈下、または円形断面の提灯状の座屈により大きな残留変位あるいは破断が生じたものがある。

c) 支承部

- ・ 縁端距離及び桁かかり長が小さいこと、落橋防止構造の規定が無いこと等により、単純桁形式、斜橋、曲線橋等では落橋した事例がある
- ・ 支承破壊に起因して落橋した事例はない。

(2) 昭和 55 年道示から平成 2 年道示の基準による橋脚

a) 鉄筋コンクリート橋脚

- ・ 段落し部位置が上方に伸びたこと、基部ならびに段落し部のせん断補強筋の増加によるせん断耐力の向上等により、鉄筋の破断、コンクリートの部分的剥離という損傷はほとんど生じていない。

b) 鋼製単柱橋脚

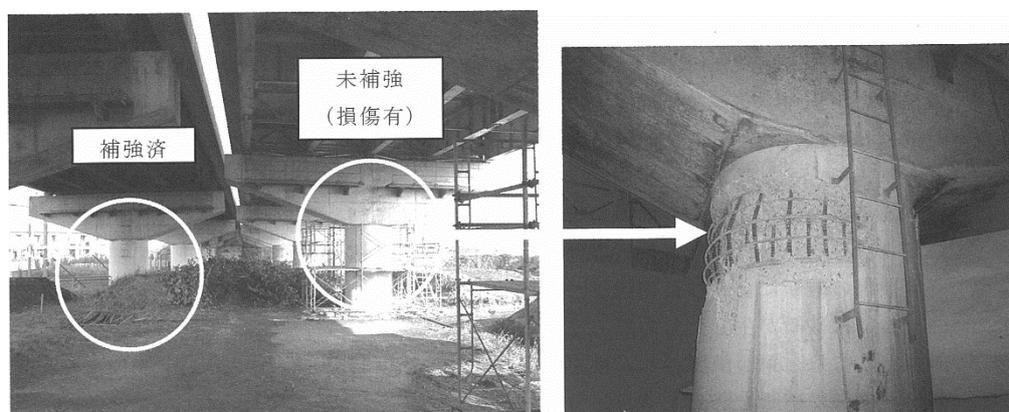
- ・ 局部座屈に対する許容労力度の規定の改定により、鋼材の座屈は部分的～局部的かつ軽微な損傷となっている。

c) 支承部

- ・ 縁端距離、桁かかり長及び落橋防止構造の規定が改定されたが、単純桁形式、斜橋、曲線橋等では落橋した事例がある
- ・ ゲルバー形式の吊桁部が落下した事例もある。

【出典】

耐震補強工事例集
p-1-25 修正・加筆



(a) 左側：鋼板巻立て、右側：未補強

(b) 未補強橋脚の段落し部の曲げ破壊

図 8-36 平成 16 年新潟県中越地震において橋脚の巻立て対策の効果が検証された事例



図 8-37 平成 15 年宮城県北部地震において落橋防止構造による変位拘束効果が検証された事例

8.5 破壊メカニズムを踏まえた単柱式鉄筋コンクリート橋脚の限界状態の設定

(1) 単柱式鉄筋コンクリート橋脚の限界状態は、破壊メカニズムを踏まえて設定されている。

(1) 図 8-38 に柱基部で曲げ破壊するタイプの単柱式鉄筋コンクリート橋脚に対する、正負交番繰返し荷重下における典型的な水平力-水平変位の履歴曲線と戴荷変位の増加に伴う損傷の進展を示す。

図中①：水平曲げひび割れが生じる程度の損傷状態

図中②：水平ひび割れの数が増え、柱基部に縦方向のひび割れが生じ始める状態

図中③：かぶりコンクリートが剥がれ、鉛直方向鉄筋のはらみ出しが生じる状態

図中④：鉛直方向鉄筋に破断や内部コンクリートの圧縮破壊が生じる状態

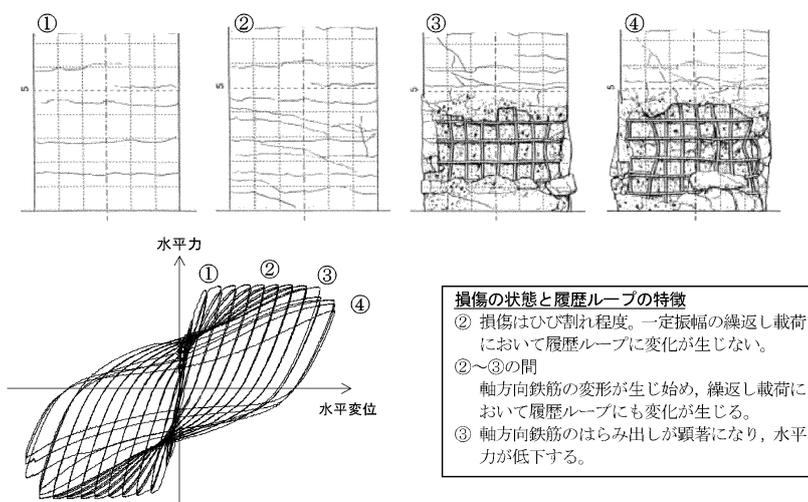


図 8-38 柱基部で曲げ破壊するタイプの鉄筋コンクリート橋脚の水平力-水平変位関係と損傷の進展

表 8-2 H14 道示と H24 道示による鉄筋コンクリート橋脚の許容変位の算出方法の違い（耐震性能 2）

	H14 道示 V の考え方	H24 道示 V の考え方
許容変位の算出方法	<p>安全係数 (1.5)</p> <p>かぶりコンクリートの剥落・軸方向鉄筋のはらみ出し</p> <p>耐震性能 2 の許容変位</p>	<p>エネルギー吸収が安定して期待できる限界</p> <p>安全係数 (1.2)</p> <p>かぶりコンクリートの剥落・軸方向鉄筋のはらみ出し</p> <p>軸方向鉄筋の破断</p> <p>耐震性能 2 の許容変位</p>

【参考】
 「国土技術政策総合研究所資料第 700 号」
 「国総研資料第 700 号、土研資料第 4244 号既設橋の耐震補強設計に関する技術資料研究所資料」
 5. p-12～18 より転載
 加筆・修正

8. 補足資料 8.5 破壊メカニズムを踏まえた単柱式鉄筋コンクリート橋脚の限界状態の設定

表 8-3 橋の耐震性能と鉄筋コンクリート橋脚の限界状態

	耐震性能 2	耐震性能 3
橋の耐震性能	地震による損傷が限定的なものに留まり、橋としての機能の回復が速やかに行い得る性能	地震による損傷が橋として致命的とならない性能
橋の限界状態	塑性化を考慮する部材にのみ塑性変形が生じ、その塑性変形が当該部材の修復が容易に行い得る範囲内で適切に定める	塑性化を考慮する部材にのみ塑性変形が生じ、その塑性変形が当該部材の保有する塑性変形を超えない範囲内で適切に定める
鉄筋コンクリート橋脚の限界状態	損傷の修復を容易に行い得る限界の状態。 具体的には、水平力-水平変位関係において、水平力の低下がほとんどなく、安定したエネルギー吸収能が確保できる状態	橋脚の水平力を保持できる限界の状態
鉄筋コンクリート橋脚の損傷状況	曲げひび割れが残留する程度あるいはかぶりコンクリートが軽微に剥離する程度	かぶりコンクリートが剥落した後、軸方向鉄筋のはらみ出しが顕著になる直前の段階

表 8-4 鉄筋コンクリート巻立て工法により補強された鉄筋コンクリート橋脚模型に対する実験結果と

H9 参考資料の算出方法に基づく耐震性能 2 の許容変位の評価の比較

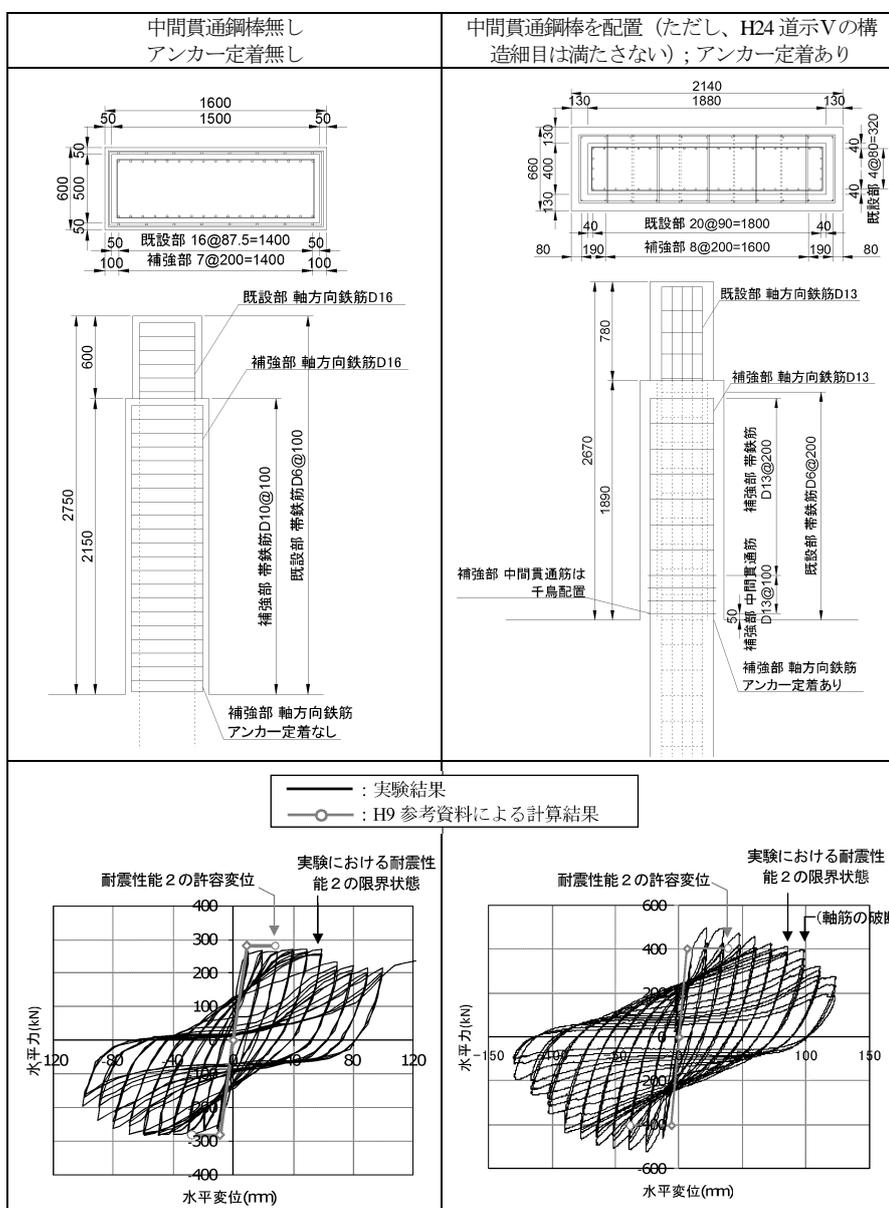


表 8-5 曲げ耐力制御式鋼板巻立て工法により補強された鉄筋コンクリート橋脚模型に対する実験結果と

H9 参考資料の算出方法に基づく耐震性能 2 の許容変位の評価の比較

