

5. コンクリート構造物の補修・補強	9-82
5.1 一般	9-82
5.1.1 補修・補強の概要	9-82
5.1.2 コンクリート構造物の主な損傷と要因	9-83
5.2 コンクリート構造物の変状	9-86
5.2.1 変状の概要	9-86
5.2.2 コンクリート構造物の変状とその原因	9-86
5.2.3 変状調査	9-92
5.2.4 変状の程度の把握	9-93
5.2.5 劣化現象ごとの標準的な対策	9-96
5.3 コンクリート構造物の補修	9-99
5.4 コンクリート構造物の補強	9-108
5.4.1 補強種別と適用工法	9-108
5.4.2 補強工法の概要	9-108
6. 付属物の補修	9-112
6.1 支承部の補修	9-112
6.1.1 一般	9-112
6.1.2 支承部の損傷事例	9-112
6.1.3 補修工法	9-113
6.2 伸縮装置の補修	9-117
6.2.1 一般	9-117
6.2.2 伸縮装置の損傷事例	9-118
6.2.3 補修工法	9-119
6.2.4 補修時伸縮装置の選定	9-120
7. 基礎構造の補修・補強	9-121
7.1 補修・補強の概要	9-121
7.2 基礎の変状とその要因	9-121
7.3 補修・補強工法	9-123
8. 耐震補強	9-128
8.1 設計一般	9-128
8.2 鉄筋コンクリート橋脚の補強	9-135
8.2.1 補強の基本方針	9-135
8.2.2 補強工法の選定	9-136
8.3 RC巻立て工法	9-139
8.4 曲げ耐力制御式鋼板巻立て工法	9-142
8.5 連続繊維巻立て工法	9-144
8.6 橋全体系の耐震補強工法	9-144
8.6.1 補強の基本方針	9-144
8.6.2 補強工法の選定	9-145
8.7 支承部及び落橋防止システム	9-147
8.7.1 一般	9-147
8.7.2 支承部構造	9-148
8.7.3 落橋防止システム	9-150
8.8 アンカー工の設計・施工上の留意事項	9-160
9. 橋面舗装の補修	9-162
9.1 補修の概要	9-162
9.2 アスファルト舗装の破損の種別	9-162

9.3 補修の流れ	9-163
9.4 調査	9-164
9.5 維持修繕工法の種類	9-164
9.6 維持修繕対応工法の選定	9-165
9.7 床版防水の補修	9-166

END 9-166

5. コンクリート構造物の補修・補強

5.1 一般

5.1.1 補修・補強の概要

コンクリートに発生する変状はいくつかの要因により生じ、その現象も複雑である。また、コンクリート構造物の部材に一度変状が発生すると、その後の温度変化、活荷重の繰り返し载荷などにより変状が進行する場合が多く、変状の進行の程度をよく調査する必要がある。変状が進行性の場合、又は進行性でなくとも構造物に悪影響をもたらすような場合は、構造物の機能維持のためにも変状の程度を十分検討したうえで補修する必要がある。

補修は、一般的に作業条件が悪く費用も割高となり、かつ時間的な制約を受けることが多い。

使用材料は、施工の難易を左右し、補修効果の大きな要素となる。そのため、特に新しい材料を使用する場合には、その性能を十分に調査検討のうえで使用し、施工後も追跡調査を行うなどの配慮が必要である。補修方法の選定にあたっては補修の効果、施工性、安全性、経済性、美観等について総合的に検討し、最も適切な方法を選定することが必要である。

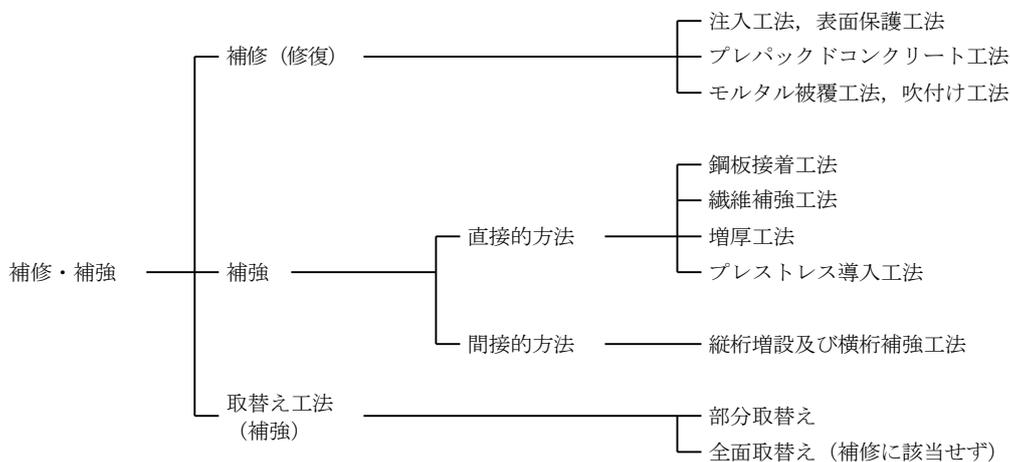


図 5.1.1 主な補修・補強工法

5.1.2 コンクリート構造物の主な変状と要因

コンクリート構造物の主な変状箇所を表 5.1.1 及び図 5.1.2～図 5.1.5 に示す。また、表 5.1.2 にコンクリート構造物の変状と要因を示す。

表 5.1.1 コンクリート構造物の変状箇所
(『コンクリート診断技術’18【基礎編】』図 2.2.6-1 及び表 2.2.6-1, H30.2, 日本コンクリート工学協会)

大分類	中分類	小分類	番号	原因	
A. 材料	使用材料	セメント	A 1	セメントの異常凝結	
			2	セメントの水和熱	
			3	セメントの異常膨張	
		骨材	4	骨材に含まれている泥分	
			5	低品位な骨材	
			6	反応性骨材(アルカリシリカ反応)	
	コンクリート		7	コンクリート中の塩化物	
			8	コンクリートの沈下・ブリーディング	
			9	コンクリートの乾燥収縮	
			10	コンクリートの自己収縮	
B. 施工	コンクリート	練混ぜ	B 1	混和材料の不均一な分散	
			2	長時間の練混ぜ	
			3	ポンプ圧送時の配合の不適當な変更	
		打込み	4	不適當な打込み順序	
			5	急速な打込み	
			締固め	6	不適當な締固め
				7	硬化前の振動や載荷
		養生	8	初期養生中の急激な乾燥	
			9	初期凍害	
		打継ぎ	10	不適當な打継ぎ処理	
	鋼材	鋼材配置	11	鋼材の乱れ	
			12	かぶり(厚さ)の不足	
	型枠	型枠	13	型枠のはらみ	
			14	型枠からの漏水	
			15	型枠の早期除去	
	支保工	支保工	16	支保工の沈下	
			17	不適當な打重ね	
	その他	コールドジョイント	17	不適當な打重ね	
		PCグラウト	18	グラウト充填不足	
C. 使用・環境	熱・水分作用	温度・湿度	C 1	環境温度・湿度の変化	
			2	部材両面の温度・湿度の差	
			3	凍結融解の繰返し	
			4	火災	
			5	表面加熱	
	化学作用		6	酸・塩類の化学作用	
			7	中性化による内部鋼材の錆	
			8	塩化物の浸透による内部鋼材の錆	
	D. 構造・外力	荷重	長期な荷重	D 1	設計荷重以内の長期的な荷重
				2	設計荷重を超える長期的な荷重
短期な荷重			3	設計荷重以内の短期的な荷重	
			4	設計荷重を超える短期的な荷重	
構造設計		5	断面・鋼材量不足		
支持条件		6	構造物の不同沈下		
		7	凍上		
E. その他				その他	

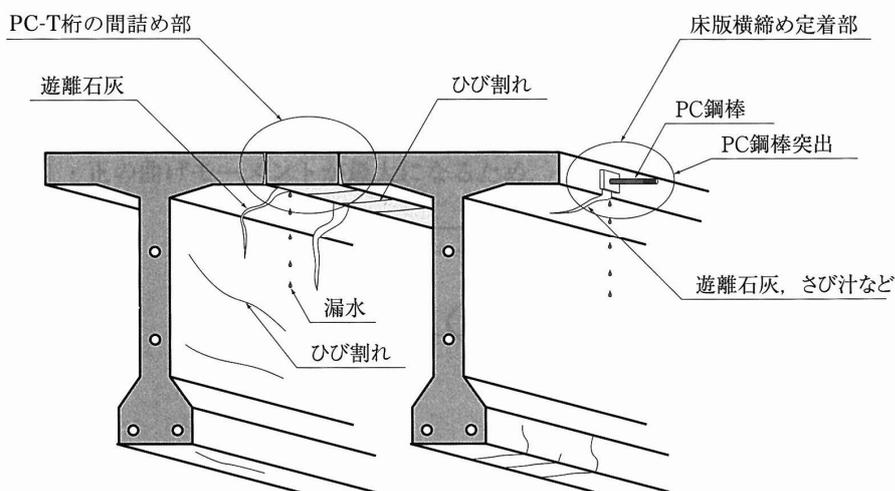
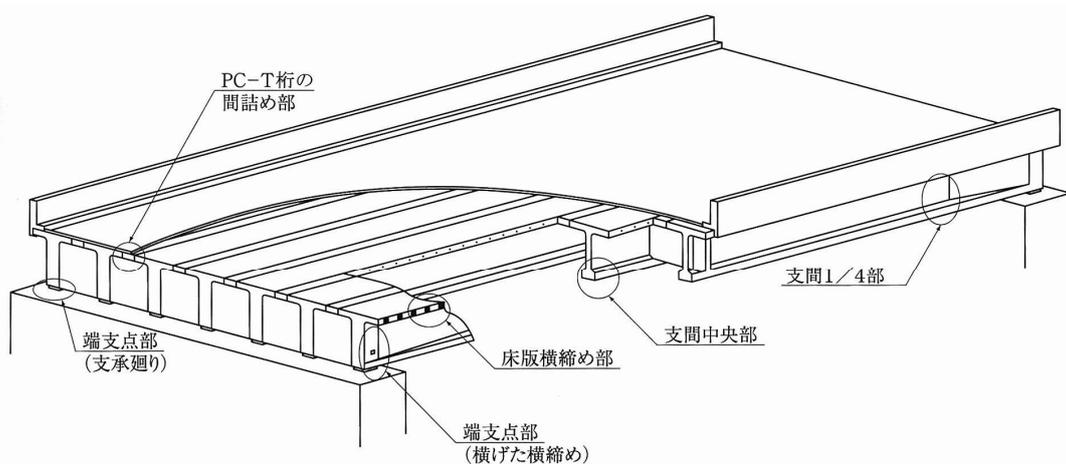


図 5.1.2 PC-T桁の主な変状箇所
(道路橋補修・補強事例集(2012年版), 図-2.2.1, H24.3, 日本道路協会)

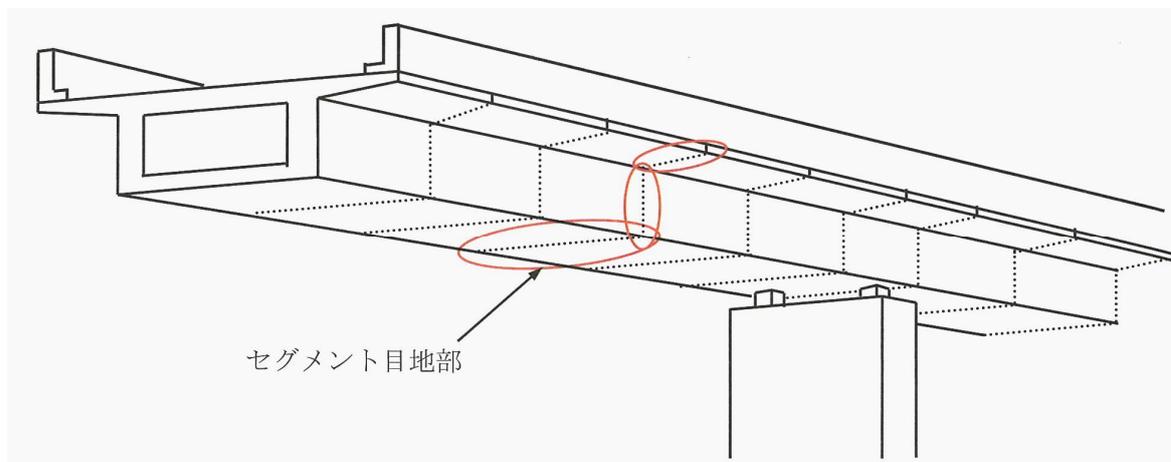


図 5.1.3 プレキャストセグメント工法によるPC連続箱桁橋の主な変状箇所
(道路橋補修・補強事例集(2012年版), 図-2.2.2, H24.3, 日本道路協会)

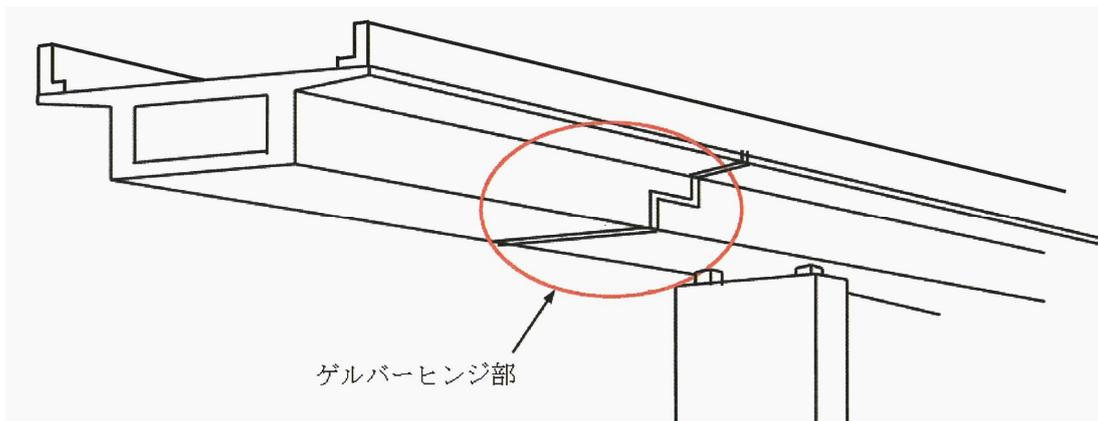


図 5.1.4 ゲルバー桁橋の主な変状箇所
 (道路橋補修・補強事例集 (2012年版), 図-2.2.3, H24.3, 日本道路協会)

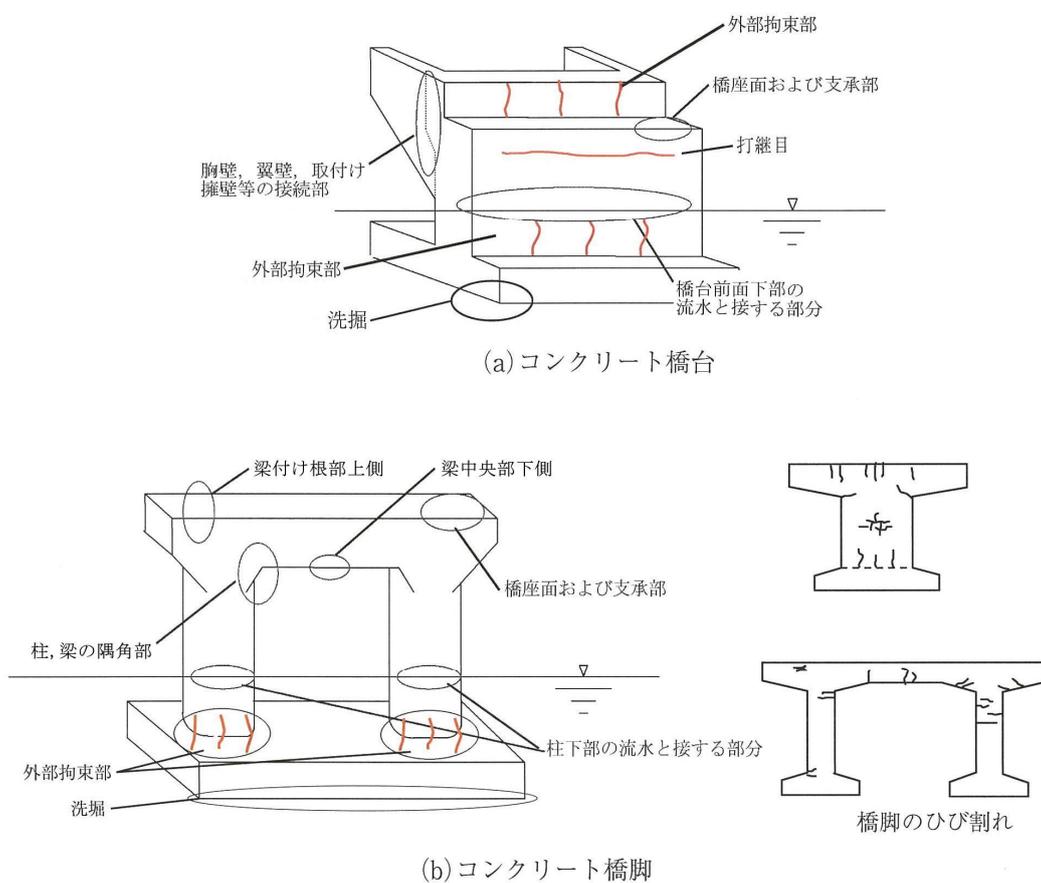


図 5.1.5 下部構造の主な変状箇所
 (道路橋補修・補強事例集 (2012年版), 図-2.2.5, H24.3, 日本道路協会)

表 5.1.2 コンクリート構造物の変状と要因について

変状種類	変状要因	概要
ひび割れ	温度ひび割れ	・セメントの水和熱による内部・外部拘束力により発生
	乾燥収縮	・乾燥時の体積変化による内部拘束力により発生
	アルカリ骨材反応	・反応性シリカが含まれる骨材の使用 ・水の供給が多く、日当たりの良好な箇所で見られる（湿乾の繰り返し）
	塩害	・塩化物の影響により、鉄筋腐食による体積膨張が要因 ・凍結防止剤散布の影響（水周り、桁下条件） ・海砂等塩化物を含む材料の使用
	凍害	・凍結融解の繰り返し ・水の供給が多く、日当たりの良好な箇所で見られる（湿乾の繰り返し）
	中性化	・炭酸ガス等の影響で pH が低下、鉄筋の不動態破膜が破壊され、鉄筋腐食による体積膨張が要因 ・鉄筋かぶり小さい部位
	構造外力	・交通量の増大、大型化、過大な衝撃の作用 ・設計荷重の変遷
	沈下	・支保工の沈下（施工時） ・構造物の不同沈下
	地震	・大きな地震力の作用 ・設計基準の変遷
	剥離・鉄筋露出	かぶり不足
凍害		・凍結融解の繰り返しによるスレーキング
化学的腐蝕		・酸類はコンクリート成分を腐食（石灰を溶解） ・温泉地や酸性河川の影響
塩害		・鉄筋腐食による体積膨張でかぶり部剥離
中性化		・同上
施工的要因		・締固め不足によるジャンカ（豆板）
遊離石灰	浸透水	・ひび割れ等への水分浸透

5.2 コンクリート構造物の変状

5.2.1 変状の概要

変状とは、「2018年制定コンクリート標準示方書 維持管理編, H30.10, 土木学会」の定義によると、何らかの原因で、コンクリートやコンクリート構造物に発生している、本来あるべき姿でない状態をいう。

コンクリートの変状を大別すると、1) 初期欠陥, 2) 損傷, 3) 劣化, に分類できる。

- 1) 初期欠陥の主なものとして、ジャンカ（豆板）、コールドジョイント、砂すじなどの変状がある。
- 2) 損傷は、地震や衝突などによるひび割れや剥離のように、短時間のうちに発生し、その後は時間の経過によっても進行しない変状をいう。
- 3) 劣化は時間の経過に伴って進行する変状をいう。

5.2.2 コンクリート構造物の変状とその原因

コンクリート構造物の代表的な変状の原因である、施工不良、中性化及び塩害による鉄筋腐食、アルカリ骨材反応、化学的腐蝕、凍害による変状について示す。

(1) 施工不良

コンクリートの施工は、練り混ぜ、運搬、打設、締固め及び養生の一連の作業で実施されるが、これらの作業が一つでも適切でないと、ひび割れ、空隙、ジャンカ、コールドジョイントなどの欠陥が発生する。これらの欠陥は構造体の弱点になるとともに、鋼材腐食を促進させる原因になる。

(2) 中性化及び塩害による鉄筋腐食

コンクリート内部の鉄筋は、中性化によるアルカリ性の低下及び塩化物の存在により不動態被膜が破壊されると、腐食が始まり、さびの膨張圧によりひび割れや剥離が生じる。

1) 中性化

中性化とは、空気中の炭酸ガスとコンクリート中の水和生成物との反応（一般には、水酸化カルシウムが炭酸カルシウムに変化することを意味するが、特殊な条件下ではC-S-Hゲル^{※1}やエトリンガイト^{※2}の炭酸化による分解が問題になることもある）によって、コンクリートのアルカリ性が低下することを示す。中性化のメカニズムを図 5.2.1 に、変状事例写真を写真 5.2.1 に、フェノールフタレイン溶液による呈色を写真 5.2.2 に示す。

※1 C-S-Hゲル：微細なケイ酸カルシウム水和物が液体中に分散したもの

※2 エトリンガイト：硫酸イオンと水が存在するセメント水和時に、アルミネート相(アルミン酸三カルシウムと硫酸イオンと水が反応し、生成される水和物)

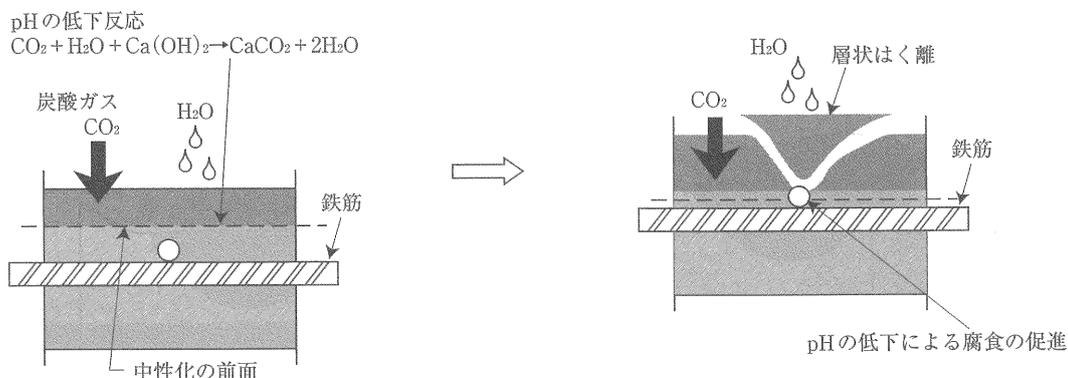


図 5.2.1 中性化のメカニズム

(道路橋補修・補強事例集(2012年版),表-1.4.6(b),H24.3,日本道路協会)



写真 5.2.1 中性化による変状事例



写真 5.2.2 フェノールフタレイン溶液による呈色

2) 塩害

コンクリート中に塩分が存在すると、コンクリートのアルカリ性が保持されているときにも、鉄筋の

不動態被膜は破壊され、急速に腐食が進行する。コンクリート内に塩分が侵入する原因としては、材料によるもの（除塩されていない海砂、海砂利や塩分を含む化学混和剤の使用）及び外部環境からのもの（海洋環境下での飛来塩分や凍結防止剤の使用）とあるが、塩化物イオンの総量規制（練り混ぜ時のコンクリートの含有塩分量を 0.3kg/m^3 以下にする）が遵守されるようになった以後は、凍結防止剤（塩化ナトリウム及び塩化カルシウム）の使用量が積雪寒冷地で急増している事情があり、外部環境からの塩分に対する対策がより重要になっている。塩害のメカニズムを図 5.2.2 に、変状損傷事例写真を写真 5.2.3 に示す。

塩害環境下のコンクリート構造物で生じる鉄筋腐食は、外部から浸透する塩化物イオンの量が部材位置によって不均一となるため、一部で局所的に腐食が進行するマクロセル腐食^{*}となる可能性が高い。

マクロセル腐食は、鉄筋表面全体で均一に腐食が進行するミクロセル腐食^{*}と異なり、局所的に腐食が進行し、その速度も速くなると考えられている。このため、マクロセル腐食が部材の塑性ヒンジ領域や応力集中部など構造的に重要な部位で生じた場合には、構造物の耐荷性能に甚大な影響を及ぼすこととなる。今後、既設コンクリート構造物を適切に維持管理していくためには、実環境で生じる可能性の高いマクロセル腐食の形成機構を解明し、これがコンクリート中铁筋の腐食速度や部材の構造性能に及ぼす影響を適切に把握することが極めて重要となる。

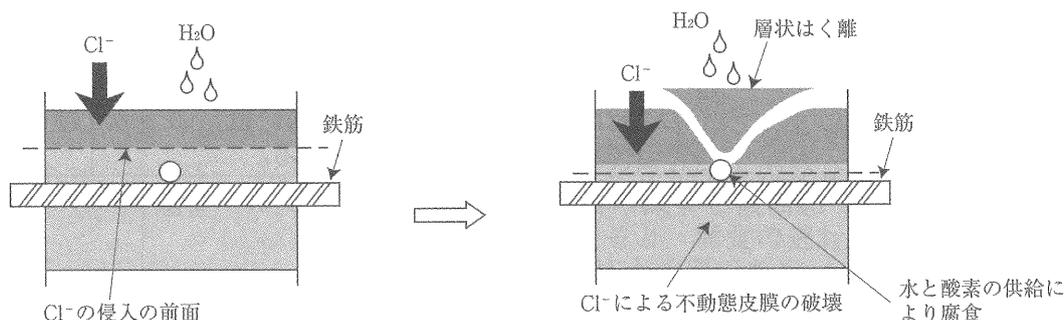


図 5.2.2 塩害のメカニズム
 (道路橋補修・補強事例集 (2012 年版), 表-1.4.6(a), H24.3, 日本道路協会)

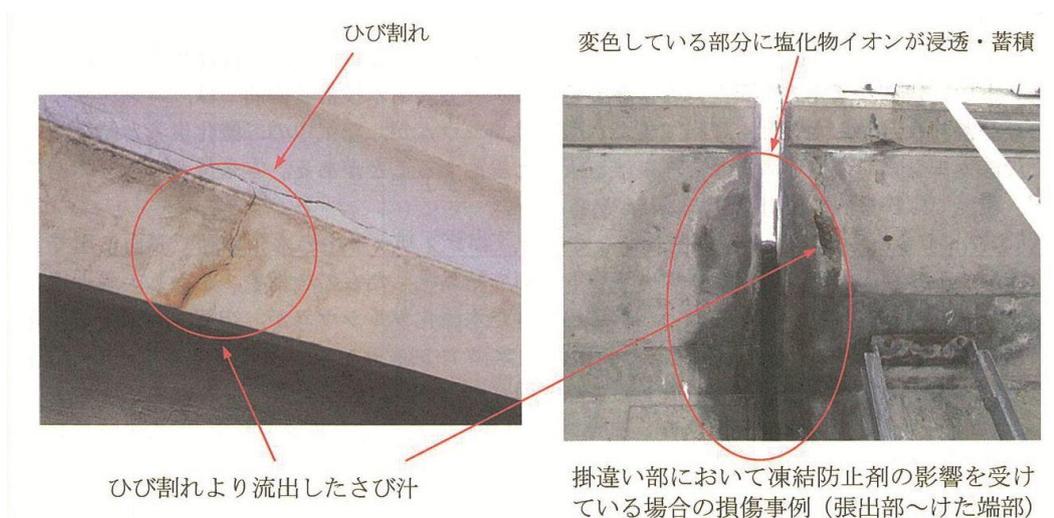
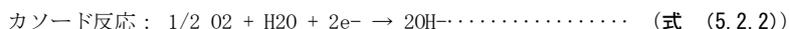
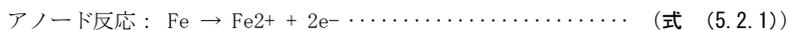


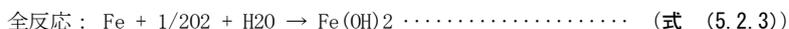
写真 5.2.3 塩害による変状事例

^{*}マクロセル腐食とミクロセル腐食について (土木研究所資料第 4131 号 塩害環境下にあるコンクリート中铁筋のマクロセル腐食形成機構, 2., H21.1, 土木研究所)

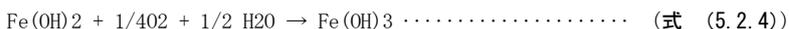
コンクリート中の鉄筋の腐食は、鉄がイオン化するアノード反応式 (5.2.1) と溶存酸素が還元するカソード反応式 (5.2.2) が互いに等しい速度で進行することによって生じる。



鉄筋腐食の全反応はアノード反応とカソード反応が組み合わさった反応となり、式 (5.2.3) のように水酸化第一鉄 (Fe(OH)2) が生じる。



水酸化第一鉄は、溶存酸素の供給により、式 (5.2.4) の反応を生じて二酸化第二鉄 (Fe(OH)3) の赤錆となる。



一般に、アノード反応とカソード反応が同じ位置もしくは極めて近い位置で生じる場合の腐食が、マイクロセル腐食と称される (図 5.2.3 (a) 参照)。

マイクロセル腐食は、鉄筋表面全体で均一に腐食が進行するため、モデル化も容易であり、自然電位法や分極抵抗法など各種の電気化学的測定を用いて腐食リスクや腐食速度を推定する方法が提案されている。

一方、マクロセル腐食は、アノード反応とカソード反応が互いに離れた位置で生じ、一部で局所的に腐食が進行する (図 5.2.3 (b) 参照)。例えば、ひび割れや打継目などの欠陥部で塩化物イオンや水、酸素など腐食因子の浸透が不均一となる場合や、断面修復後の母材コンクリートの残留塩化物イオン濃度が高い場合などでは、マクロセル回路が形成され腐食速度が増加することが指摘されている。また、先に述べたように塩害環境下にあるコンクリート構造物では、外部から供給される塩化物イオンの量が部材位置によって異なるため、コンクリート中の塩化物イオン濃度が高い部分でアノード反応が卓越し、これ以外の部分でカソード反応が生じてマクロセル回路が形成される可能性が高い。

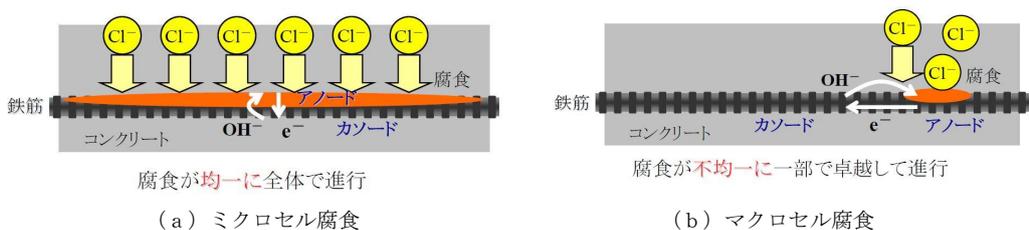


図 5.2.3 ミクロセル腐食とマクロセル腐食

(3) アルカリ骨材反応

ある種のシリカ鉱物や炭酸塩害を含有する骨材は、コンクリート中の水酸化アルカリの水溶液 (NaOH, KOH) と反応してコンクリートに異常な膨張及びひび割れを発生することがある。アルカリ骨材反応はアルカリシリカ反応とアルカリ炭酸塩害反応に分類できるが、我が国での発生頻度が高いのはアルカリシリカ反応である。岩石中のシリカ鉱物で水酸化アルカリと反応するものは、無定形又はガラス質 (オパール, クリストバライト, トリディマイト, 火山ガラスなど) か、結晶質 (石英) であっても、微細な結晶粒又はひずんだ結晶格子をもつものである。中部地方では、北陸地域における安山岩, 流紋岩などの火山岩系の骨材, 東海地方におけるチャートなどの堆積岩系骨材にてアルカリシリカ反応による損傷が報告されている。アルカリ性の水溶液に反応性のシリカ鉱物が接触すると、シリカ鉱物の表面でシリカの溶解が生じて、ゲル状物質が生成する。骨材粒子の膨張によってコンクリートに内部応力が発生し、骨材粒子自身及び骨材粒子周囲のセメントペースト組織に微細なひび割れが発生する。アルカリ骨材反応のメカニズムを 図 5.2.4 に、変状事例写真を写真 5.2.4 に示す。

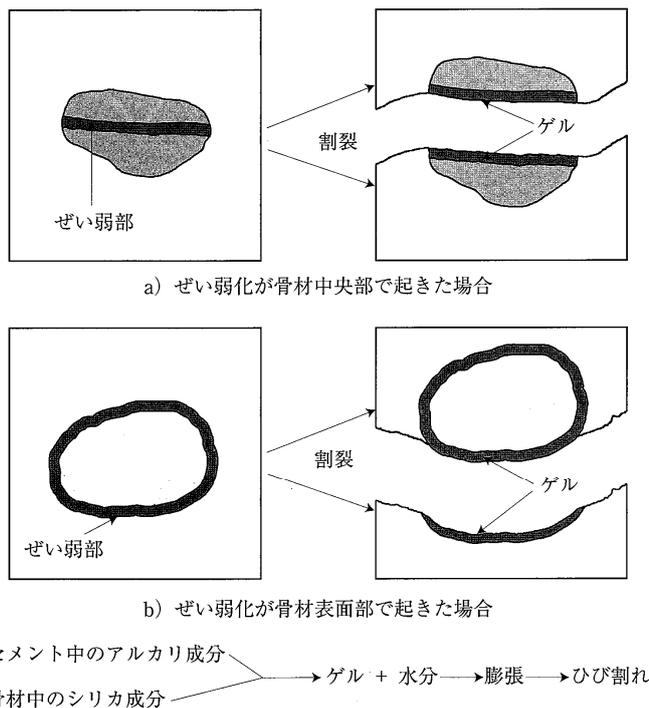


図 5.2.4 アルカリ骨材反応のメカニズム
(道路橋補修・補強事例集 (2012 年版), 表-1.4.6(c), H24.3, 日本道路協会)



写真 5.2.4 アルカリ骨材反応による変状事例

(4) 化学的腐食

セメントペースト (C-S-H ゲル, 水酸化カルシウム, AFt^{*1}, AFm^{*2} の各水和物により構成される) は, 酸, 硫酸塩, 塩化物を含む溶液や気体と反応することで, 水和物の分解や溶脱, 膨張性水和物の生成によるひび割れ, 剥離や軟化などの劣化現象が発生する。セメントペーストを構成する水和物は, アルカリ環境下では安定であるが, アルカリ性が低下するにつれて, 水酸化カルシウム, AFm (pH=12.5-12), AFt (pH=10.6), C-S-H ゲル (pH=8.8) の順番で分解する。コンクリートは無機酸 (塩酸, 硫酸及び硝酸) 及び有機酸 (酢酸, 乳酸) に接すると, 急激な反応によりコンクリートの結合力が失われ, 劣化が内部へと進行する。近年, 下水道処理施設の生物化学的劣化現象 (嫌気性及び好気性のバクテリアを介在とした硫酸腐食) が問題となっている。

※1 AFt: カルシウム・アルミノフェライト・トリサルフェート水和物型化合物の総称

※2 AFm: カルシウム・アルミノフェライト・モノサルフェート水和物型化合物の総称

(5) 凍害

コンクリート中の水分は、凍結する時に約9%の体積膨張を生じるが、コンクリートの内部では空隙組織の壁や骨材により自由な膨張が拘束されるので、セメントペーストの組織に水の移動による、過大な静水圧及び浸透圧が発生する。コンクリートの凍結融解抵抗性には、水セメント比と連行空気量が重要な役割を果たすが、凍結融解の繰返し時に発生する圧力を緩和するのに十分な空隙（気泡）が少ないと、局部的に大きな圧力が発生し、セメントペーストの組織及びセメントペーストと骨材間の結合が破壊される。コンクリート構造物の凍結融解作用による劣化損傷はひび割れ、剥離、ポップアウト、弛緩及び崩壊の形態をとる。凍害のメカニズムを図 5.2.5 に、変状事例写真を写真 5.2.5 に示す。

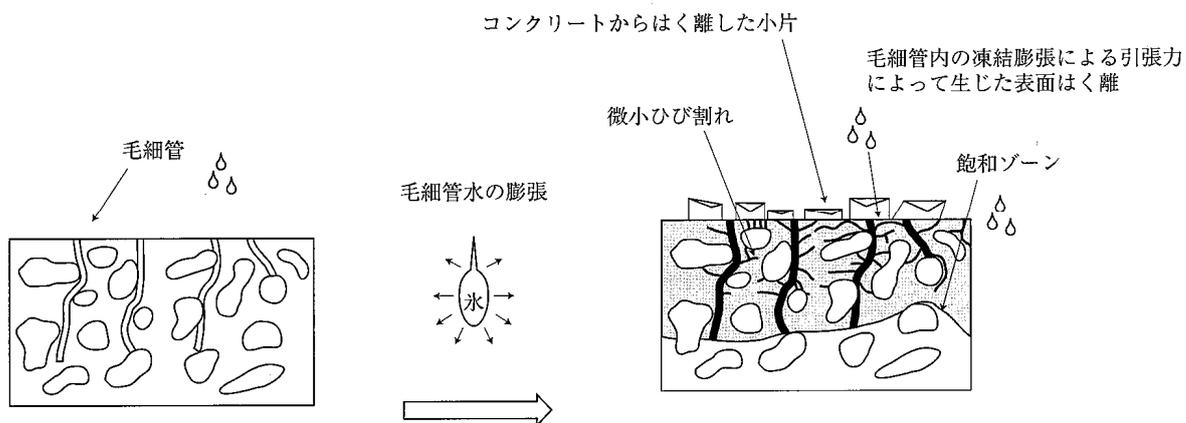


図 5.2.5 凍害のメカニズム
(道路橋補修・補強事例集 (2012年版), 表-1.4.6(d), H24.3, 日本道路協会)

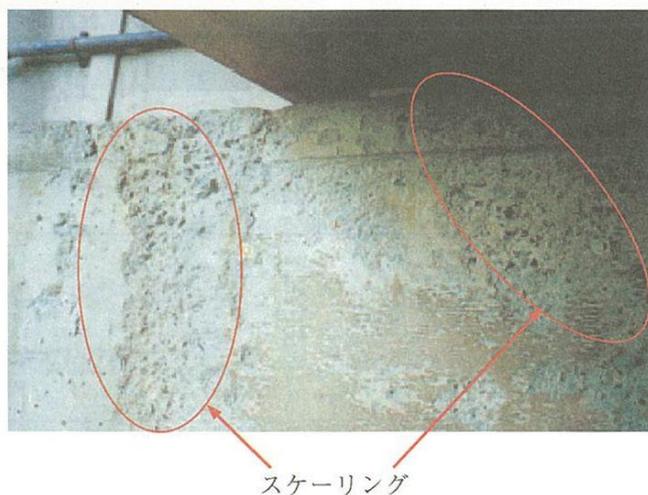


写真 5.2.5 凍害による変状事例

5.2.3 変状調査

コンクリートの変状のうち、愛知県において事例が比較的に多い中性化、塩害、アルカリ骨材反応に対する標準的な調査方法を表 5.2.1 に示す。

表 5.2.1 点検方法一覧表
(2013年制定コンクリート標準示方書 維持管理編 解説 表 3.7.3, H25.8, 土木学会)

調査の方法	具体的な内容など	劣化機構		
		中性化 ^{※2}	塩害	アルカリ骨材反応
書類による方法	設計・施工に関する情報, 既往の維持管理・対策に関する情報	●	●	●
目視による方法 ^{※1} たたきによる方法	肉眼, 双眼鏡, カメラ	●	●	●
	浮き, 剥離, 空洞	●	●	●
	鋼材腐食状況(鋼材露出時)	●	●	●
反発度に基づく方法	テストハンマ強度	△	△	△
電磁誘導を利用する方法	鋼材位置, 径	△	△	△
弾性波を利用する方法	打音法, 超音波法, 衝撃弾性波法, AE法	△	△	△
電磁波を利用する方法	電磁波レーダ法	鋼材配置	△	△
		空隙	—	—
		かぶり	△	△
	赤外線法(サーモグラフィ法)	表面剥離	△	△
X線法	鋼材配置, 径, 空隙, ひび割れ	△	△	△
	自然電位法, 分極抵抗法	△	△	△
電気化学的方法	四電極法	△	△	△
	ファイバースコープを用いる方法	コンクリート内部の状況, シース内のグラウトの充填状況	—	△
局所的な破壊を伴う方法 ・コア採取による方法 ・はつりによる方法 ・ドリル削孔による方法	外観, ひび割れ深さ	▲	▲	▲
	中性化深さ, 中性化残り	▲	▲	△
	塩化物イオン浸透深さ	△	▲	△
	塩化物イオン濃度	△	▲	△
	圧縮強度, 引張強度, 弾性係数	△	△	▲
	配合分析	△	△	△
	アルカリ量	—	—	△
	骨材の反応性	—	—	△
	解放膨張量, 残存膨張率	—	—	△
	細孔径分布	△	△	△
	気泡分布	—	—	—
	透気(水)性試験	△	△	—
	熱分析(TG・DTA) ^{※3}	△	—	—
	X線回析(水和物等の同定)	△	—	△
EPMA ^{※4}	△	△	△	
走査型電子顕微鏡観察	—	—	△	
局所的な破壊を伴う方法 ・はつりによる方法 ・鋼材を採取する方法	鋼材腐食状況	△	△	△
	鋼材引張強度	△	△	△
車上感覚試験	走行快適性	△	△	△
載荷試験(静的, 動的)	ひび割れ発生, 剛性	△	△	△
振動試験	固有振動数, 振動モード	△	△	△
応力測定法	載荷時のひずみ測定	△	△	△
変形測定法	載荷時の変形測定	△	△	△

凡例 ●: 標準調査として実施する項目の例 ▲: 標準調査として必要に応じて実施する項目の例
△: 詳細調査として必要に応じて実施する項目の例 —: 当該の劣化には関係がないか不明

※1: 変形, 変色, スケリング, ひび割れ等の項目を含む。

※2: ここではコンクリートの中性化による鋼材腐食を指す。

※3: TG(熱重量分析), DTA(示差熱分析)とも, 水和生成物や炭酸化合物などを定性, 定量分析を行う。

※4: 電子線マイクロアナライザーの略称, コンクリート中の元素の定性, 定量分析を行う。

5.2.4 変状の程度の把握

(1) 概要

構造物の性能の評価は詳細調査に基づく試験結果の数値により定量的に評価することが望ましいが、現状では困難な場合が多い。

「2018年制定コンクリート標準示方書 維持管理編, H30, 土木学会」によると、変状を特定した後は、想定される劣化機構を、まず環境条件と使用条件等の外的要因でスクリーニングし、次に使用材料や施工性を中心とした内的要因も考慮して、点検で把握した変状の特徴と表 5.2.2 の劣化機構ごとにまとめた劣化現象の特徴を比較して、推定結果の妥当性を評価し、適切な劣化機構を推定するとよいと規定されている。また、この標準示方書で対象とする中性化、塩害、凍害、化学的侵食、アルカリシリカ反応、疲労、すり減り等の劣化機構による損傷の外観上の特徴、構造物の外観上のグレードと劣化の状態がまとめられている。愛知県においても、「2018年制定コンクリート標準示方書 維持管理編, H30, 土木学会」に基づき、変状の程度の把握を行う。

表 5.2.2 環境条件, 使用条件から推定される劣化機構
(2018年制定コンクリート標準示方書 維持管理編, 解説表 4.2.1, H30.10, 土木学会)

外的要因		推定される劣化機構
環境	海岸地域	塩害
	寒冷地域	凍害, 塩害
	温泉地域	化学的侵食
作用	乾湿繰返し	アルカリシリカ反応, 塩害, 凍害
	凍結防止剤使用	塩害, アルカリシリカ反応
	繰返し荷重	疲労, すりへり
	二酸化炭素	中性化
	酸性水	化学的侵食
	流水, 車両など	すりへり

中性化、塩害、アルカリ骨材反応における劣化進行過程の概念図は図 5.2.6 のとおりである。各劣化機構の劣化過程の定義を表 5.2.3 に示す。

表 5.2.3 各劣化機構の劣化過程の定義

劣化機構	中性化 (解説表 2.1.1 ^{※1})	塩 害 (解説表 3.1.1 ^{※2})	アルカリ骨材反応 (ASR) (解説表 6.1.1 ^{※3})
劣化過程	潜伏期 中性化と水の浸透によって鋼材に腐食が発生するまでの期間 (中性化速度と水掛かり)	鋼材の腐食が開始するまでの期間 (塩化物イオンの拡散, 初期含有塩化物イオン濃度)	ASRそのものは進行するものの膨張およびそれに伴うひび割れがまだ発生しない期間 (ASRゲルの生成速度)
	進展期 鋼材の腐食開始から腐食ひび割れ発生までの期間 (鋼材の腐食速度)	鋼材の腐食開始から腐食ひび割れ発生までの期間 (鋼材の腐食速度)	水分とアルカリの供給下において膨張が継続的に進行し, ひび割れが発生するが, 鋼材腐食がない期間 (ASRゲルの生成速度および吸水膨張速度)
	加速期 腐食ひび割れ発生により鋼材の腐食速度が増大する期間 (ひび割れを有する場合の鋼材の腐食速度)	腐食ひび割れ発生により腐食速度が増大する期間 (ひび割れを有する場合の鋼材の腐食速度)	ASRによるひび割れが進展し, 鋼材腐食が発生する場合もある期間 (ASRゲルの生成速度および吸水膨張速度)
	劣化期 鋼材の腐食量の増加により耐力の低下が顕著な期間 (ひび割れを有する場合の鋼材の腐食速度)	腐食量の増加により耐力の低下が顕著な期間 (ひび割れを有する場合の鋼材の腐食速度)	ひび割れの幅および密度が増大し, 部材としての一体性が損なわれる, 鋼材の腐食による断面減少が生じる, 鋼材の損傷が発生するなどにより, 耐力の低下が顕著な期間 (ASRゲルの吸水膨張速度+鋼材の腐食速度)

注) () は, 期間を決定する要因

※1~3 は「2018年制定コンクリート標準示方書 維持管理編, H30.10, 土木学会」の表番号を示す。

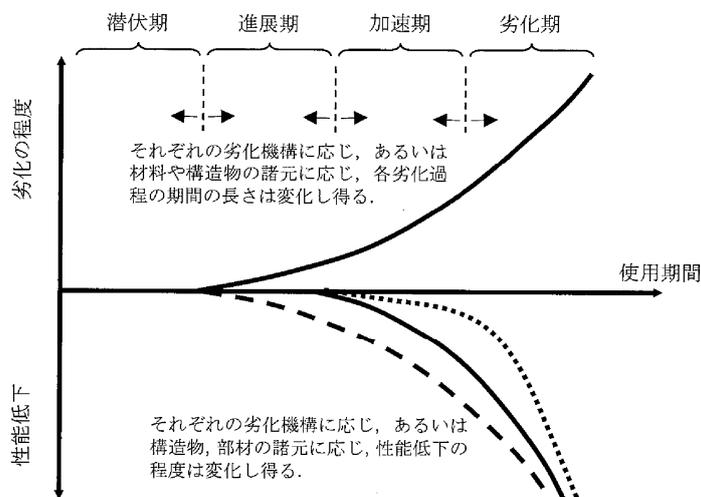


図 5.2.6 劣化進行過程の概念図

(2018年制定コンクリート標準示方書 維持管理編, 解説 図 1.1.2, H30.10, 土木学会)

(2) ひび割れ幅に対する補修の必要性の判定

ひび割れ幅による補修の要否は, 本来, 建造物の重要性, 環境条件, 供用年数に応じて判断すべきものである。しかしながら, 抛り所のない場合には, 調査によって得られたひび割れ幅を表 5.2.4 と照合することで, 補修の要否を判定することができる。判定においては, ひび割れ幅だけでなく, ひび割れの原因, ひび割れ深さ, 密度, パターン等を総合して判定する。水利構造物など特に漏水に対する抵抗性が要求されるものは表 5.2.4 の「防水性からみた場合」を参照する。

表 5.2.4 耐久性又は防水性からみた補修の要否に関するひび割れ幅の限度
 (コンクリートのひび割れ調査 補修・補強指針-2009-, 表 4.1, H21.3, 日本コンクリート工学協会)

環境 ²⁾ その他の要因 ¹⁾ 区分		耐久性からみた場合			防水性からみた場合
		きびしい	中間	ゆるやか	—
(A) 補修を必要とする ひび割れ幅(mm)	大	0.4 以上	0.4 以上	0.6 以上	0.2 以上
	中	0.4 以上	0.6 以上	0.8 以上	0.2 以上
	小	0.6 以上	0.8 以上	1.0 以上	0.2 以上
(B) 補修を必要としない ひび割れ幅(mm)	大	0.1 以下	0.2 以下	0.2 以下	0.05 以下
	中	0.1 以下	0.2 以下	0.3 以下	0.05 以下
	小	0.2 以下	0.3 以下	0.3 以下	0.05 以下

注：1) その他の要因（大，中，小）とは，コンクリート構造物の耐久性及び防水性に及ぼす有害の程度を示し，下記の要因を総合して定める。

ひび割れの深さ・パターン，かぶり（厚さ），コンクリート表面の塗膜の有無，材料・配（調合，打継ぎなど

2) 主として鋼材のさびの発生条件からみた環境条件

5.2.5 劣化現象ごとの標準的な対策

(1) 概要

構造物の性能低下をもたらす劣化機構を把握し、適切な対策の計画を行うことが必要である。

劣化機構ごとに補修に対する要求性能が異なる。「2018年制定コンクリート標準示方書 維持管理編, H30.10, 土木学会」より、中性化、塩害、アルカリ骨材反応に関して補修に期待する効果を、表 5.2.5 に示す。

表 5.2.5 劣化機構ごとの補修に期待する効果と工法の例

劣化機構		中性化 (解説表 2.4.2 ^{※2})	塩害 (解説表 3.4.2 ^{※3})	アルカリ骨材反応 (解説表 6.4.2 ^{※4})
劣化	劣化要因	二酸化炭素, 水分	塩化物イオン, 水分	反応性骨材, 水分
	劣化指標	中性化深さ 鋼材腐食量	塩化物イオン濃度 鋼材腐食量	膨張量(ひび割れ) 鋼材腐食の発生
補修に期待する効果と工法の例		1) 中性化の進行を抑制 ・表面処理(剥落防止を含む) ・ひび割れ注入 2) 中性化深さを0にする ・断面修復(防錆処理, 被覆を含む) ・再アルカリ化 3) 鉄筋の腐食進行を抑制 ・表面処理(剥落防止を含む) ・【電気防食】 ^{※1} ・断面修復 ・再アルカリ化 ・防錆処理 ・水処理 4) 水の浸透を抑制 ・表面処理(表面含浸, 剥離防止を含む) ・ひび割れ注入 ・断面修復 ・水処理 5) 第三者への影響度の低下 ・表面被覆(主に, 剥落防止) 6) 【耐力の回復】 ^{※1} ・【鋼板・FRP接着】 ^{※1} ・【巻立て】 ^{※1} ・【増厚】 ^{※1}	1) 塩化物イオン浸透量の低減 ・表面処理 2) 塩化物イオンの除去 ・脱塩 ・断面修復 3) 鋼材の防食 ・電気防食 4) 力学的な性能の回復 ・断面修復 ・その他	1) ASRの進行を抑制 ・水処理(止水, 排水処理) ・ひび割れ注入 ・表面処理(被覆, 含浸) 2) ASRの膨張を拘束 ・プレストレスの導入 ・巻立て(鋼板・PC・連続繊維) 3) 劣化部を取り除く ・断面修復 4) 鋼材の腐食抑制 ・ひび割れ注入 ・ひび割れ充填 ・表面処理(被覆, 含浸) 5) 第三者影響度の除去 ・剥落防止 6) 耐力の回復 ・接着(鋼板・連続繊維) ・プレストレスの導入 ・巻立て(鋼板・PC・連続繊維) ・外ケーブル ・鋼材の損傷箇所の補修

注) ※1 は, 鉄筋腐食速度が速い場合, 腐食量が大きい場合に選定する。

※2~4 は「2018年制定コンクリート標準示方書 維持管理編, H30.10, 土木学会」の表番号を示す。

(2) 標準的な補修工法の選定

コンクリート構造物の標準的な補修工法を、劣化機構ごとにその進行過程により整理する。

表 5.2.6 劣化機構ごとの標準的な補修工法

劣化機構	中性化 ^{※3} (解説表 2.4.3 ^{※4})	塩害 (解説表 3.4.3 ^{※5})	アルカリ骨材反応 (解説表 6.4.3 ^{※6})
潜伏期	表面処理 ^{※1} (剥落防止 ^{※1} を含む) 再アルカリ化 ^{※1} 増厚 ^{※1}	表面処理	水処理 (止水, 排水処理) ^{※1} 表面処理 (被覆, 含浸) ^{※1}
進展期	表面被覆 (剥落防止を含む) 断面修復 ^{※2} 再アルカリ化	表面処理 脱塩 電気防食 断面修復	【今後予想される膨張量小】 水処理 (止水, 排水処理) ひび割れ注入 表面処理 (被覆, 含浸) 剥落防止
加速期	【前期】 表面被覆 (主に, 剥落防止) 電気防食 ^{※2} 再アルカリ化 断面修復	【前期】 断面修復 脱塩 電気防食	【今後予想される膨張量大】 水処理 (止水, 排水処理) ひび割れ注入 表面処理 (被覆, 含浸) 剥落防止 断面修復 プレストレスの導入 接着 (鋼板・連続繊維) 巻立て (鋼板・PC・連続繊維) 外ケーブル
	【後期】 表面被覆 (主に, 剥落防止) 断面修復	【後期】 断面修復 (力学的な性能の回復を含む)	
劣化期	表面被覆 (主に, 剥落防止) 断面修復 鋼板・FRP接着 ^{※2} 巻立て ^{※2} 増厚 ^{※2}	断面修復 (力学的な性能の回復を含む)	水処理 (止水, 排水処理) 断面修復 表面処理 (被覆) 剥落防止 プレストレスの導入 接着 (鋼板・連続繊維) 巻立て (鋼板・PC・連続繊維) 外ケーブル 鋼材の損傷箇所の補修

注) ※1 は予防的に実施される工法

※2 鉄筋腐食速度が速い場合, 腐食量が大きい場合に選定する。

※3 全ての劣化過程において, 水処理を併用することは鋼材腐食の進行を抑制するために有効である。

※4~6 は「2018年制定コンクリート標準示方書 維持管理編, H30.12, 土木学会」の表番号を示す。

(3) 塩害の補修における留意点

塩害の補修は以下の内容に留意して行う。

- ① 塩害補修を行う場合, 劣化部は全て取り除くことが望ましい。しかし, 塩分を含んでいる場合は視覚的に劣化したコンクリートのみをはつり取るだけでは不十分である。あらかじめコア採取などで塩分量を調査し, 発錆限界 (1.2kg/m³) 以下を目安としてはつり深さを決めるのが良い。鉄筋が腐食している場合は鉄筋の背部までコンクリートをはつり取り, 鉄筋錆を完全に除錆する必要がある。
- ② 部分的に断面修復を行った場合, 逆に鉄筋の腐食を促進したり, 補修部と未補修部のコンクリートとの境界部でマクロセル回路を形成し, 腐食を促進することがある。
- ③ 表面被覆を行った場合, コンクリート表面付近に残留した濃度の高い塩化物イオンが内部へ拡散し, 鉄筋位置における塩化物イオン濃度が増加する場合がある。表面被覆後5年 (塗膜の有効年

数)を目途に鉄筋位置における塩化物イオン濃度の予測を行い、発錆限界値以下になるかどうかを確認し、発錆限界値を超える場合、表面被覆工の有効性が少ないと考え、電気防食工法、脱塩工法の採用を検討することが望ましい。

- ④ 電気防食の採用は以下の場合に適していると判断される。
- ・鋼材付近に発錆限界 (1.2~2.4kg/m³) を超える塩分量が浸透している。
 - ・鋼材の腐食が一部に限られている。
 - ・電気を通しにくいポリマー系の断面修復材を用いていない。
 - ・コンクリート内に塩分の供給が断続的に行われている。
 - ・塩化物イオンが残存し表面被覆工が有効でない。

(4) アルカリ骨材反応 (ASR) の補修・補強における留意点

ASRにより劣化損傷した場合においても、梁などのコンクリート構造物の耐荷性状は、内部の鉄筋が適切に配置されている場合、健全なもの比べて大きく低下していない場合が多く、補強された例は極めて少ない。ASRによる変状が認められる場合でも鉄筋に損傷がない場合には、ASRが進行することを防ぐことを目的とした補修を標準としてよい。しかし、構造物中の鉄筋が破断しているおそれがある場合には、構造物の補強を行うことも視野に入れた検討を行うものとする。

ASRは、コンクリート中のアルカリ分、骨材に含まれる反応性鉱物、及び水の三者がそろうことで反応が進行する。したがって、ASRによる変状に対する代表的な補修工法には、1)コンクリートへの水分の供給を絶ってASRの反応を抑制することを目的とした表面保護工、2)鉄筋近傍への水や塩化物イオンなどの劣化因子の進入を防止することを目的としたひび割れ注入工がある。なお、これらの対策とは別に変状箇所への水分供給を極力防ぐことが必要である。

補修材料として、撥水系の表面保護が目目されているものの、補修に関する費用と効果の関連が十分明らかにされていないのが現状である。しかし、ASRで劣化した部材を反応前の状態に戻すことは不可能であり、補修においては要求性能を満足する材料を用いるとともに伸縮継手の止水等により、劣化の進展を極力防止することが重要である。

ASRにより損傷したコンクリート構造物においては、現状の技術では完全にASR膨張を抑制することは困難であるため、補修を行った場合にも、膨張が進行し性能が経時的に変化するものと考えられる。

ASRにより劣化損傷した構造物の劣化予測及び補修補強後の劣化予測に関しては、十分な知見が得られておらず、適切な維持管理対策を行ううえで今後の重要な課題であり、構造物の保全には点検強化が必要である。

5.3 コンクリート構造物の補修

コンクリート構造物の補修は、ひび割れの補修，劣化部の撤去・復旧，表面保護による劣化速度の抑制により行う。補修工法の一覧を図 5.3.1 示し，そのうち主な補修工法について以下に記載する。



図 5.3.1 補修工法の分類一覧
(2018 年制定コンクリート標準示方書 維持管理編, 解説図 7.3.1, H30.10, 土木学会) を修正)

※2007 年制定コンクリート標準示方書 維持管理編より「コンクリート保護工法」は「コンクリート処理工法」と改定されている。

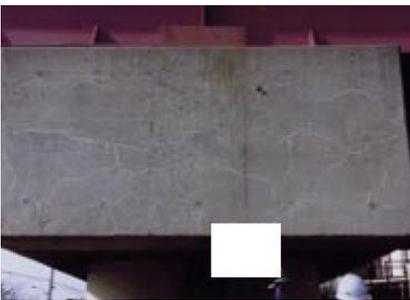
(1) ひび割れ補修工法

1) 工法概要

ひび割れ補修の目的は、ひび割れによるコンクリート構造物の防水性や耐久性の低下を回復させることであり、耐荷力に対する効果は期待できない。

ひび割れ補修工法は、ひび割れの状況により（全体の損傷度にかかわらず）、注入工法，充填工法，含浸材塗布工法等があり，図 5.3.1 を参考に適宜選択する。

表 5.3.1 変状状況と適用補修工法の例

損傷内容	補修工法	損傷写真	
ひび割れ (0.2mm 未満)	浸透性塗布防水工法		
ひび割れ (0.2mm～5.0mm 程度)	ひび割れ注入工		
ひび割れ (5.0mm 以上)	ひび割れ充填工		
ひび割れ (亀甲状) (アルカリ骨材反応の疑い有り)	表面処理工法		
かぶりコンクリートの欠落、鉄筋露出、遊離石灰、豆板	断面修復工法		

※損傷写真は、「道路橋の定期点検に関する参考資料—橋梁損傷事例集—, H16. 12, 国土交通省 国土技術政策総合研究所」より抜粋

以下に、ひび割れ補修における代表的な工法の概要を示す。

① ひび割れ被覆工法

ひび割れ被覆工法は、コンクリート構造物の微細なひび割れ（ひび割れ幅 0.2mm 以下）から水分、塩分、酸素の浸透を防止するためにパテ材を塗布し、防水性、耐久性を向上させる目的で行われる工法である。

《一般的な作業工程》

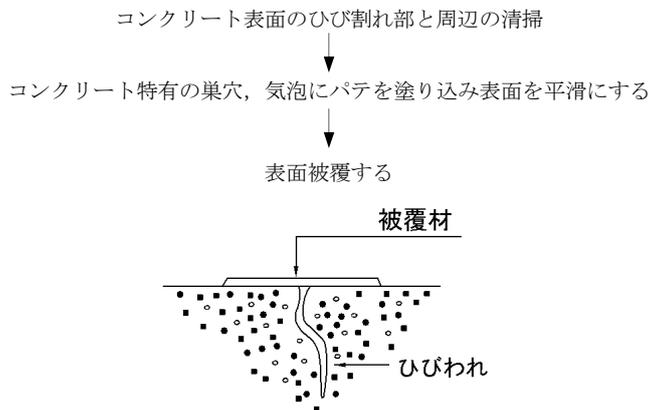


図 5.3.2 ひび割れ被覆工法

② 注入工法

注入工法は、一般にコンクリート構造物の応力上支障のない部分のひび割れ（ひび割れ幅 0.2～5.0mm）に樹脂系あるいはセメント系の材料を注入して、防水性、耐久性の向上およびコンクリート構造物の一体化を図るものである。

《一般的な作業工程》

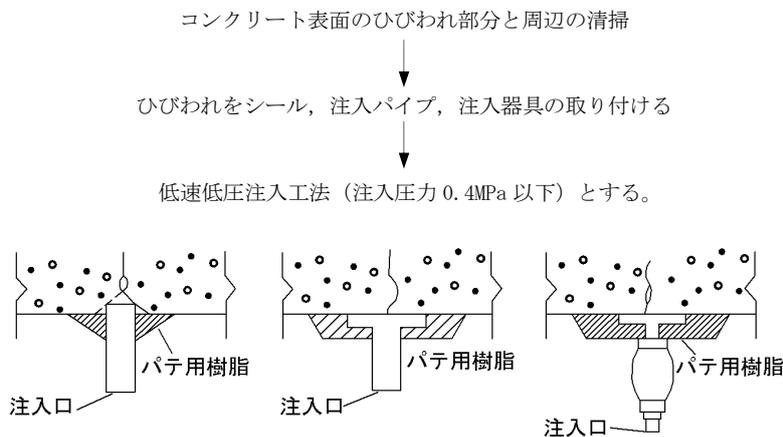


図 5.3.3 注入工法

③ 充填工法

充填工法は、コンクリート構造物の応力上支障のない、比較的大きなひび割れ（ひび割れ幅 0.5mm 以上）部をカットし、そこに補修材を充填し、コンクリート構造物の一体化を図るものである。これによりコンクリート構造物の防水性、耐久性を回復させる。

なお、カット方法は、Vカットの場合、底面付近に未充填部分ができやすいことにより、補修材が剥離しやすいため、Uカットを用いる。

表 5.3.2 ひび割れ注入材の選定
 (コンクリートのひび割れ調査 補修・補強指針-2022-, 解説表-6.3.1,
 H25.8. 日本コンクリート工学協会を基に作成)

ひび割れ 進行度区分	ひび割れ幅 (mm)	ひび割れ部の処理		被 覆
		注 入	充 填	
ひび割れが 進行している	0.2~5.0	エポキシ樹脂 注入材 3種	—	柔軟形厚膜被覆
	5.0<	—	シーラント	
ひび割れの 進行がとまった	0.2~5.0	エポキシ樹脂 注入材 2種	—	柔軟形被覆
		エポキシ樹脂 注入材 1種	—	硬質形被覆
	5.0<	—	シーラント	柔軟形被覆
		—	ポリマーセメント	硬質形被覆

(2) 断面修復工法

1) 工法概要

この工法は、コンクリートが物理的外力又は化学的な劣化により、断面の損傷（欠損等）を受けた場合の、主に断面形状を復元するための補修方法である。補修材料は、無機系材料及びポリマーセメント系を対象とし、有機系材料は含まない。

採用する工法は、主に以下の4タイプであり、損傷の状況により適宜採用する。

① 左官工法

補修面積が比較的小面積の場合に用いられ、エポキシ樹脂モルタルやポリマーセメントモルタルを補修（欠損）部分に左官コテを使用して充填する工法である。

旧コンクリートとの付着力は、付着面の処理及びモルタル側の接着力で対応する。

② モルタル注入工法

補修面積が比較的大面積の場合に用いられ、補修断面に合わせた形状で型枠を組み、流動性に優れたポリマーセメントモルタルやセメントモルタルをポンプで圧送して充てんする工法である。躯体や桁の鉛直面（側面）や下面などの箇所にも適用される。

補修部分が無筋コンクリートとなる場合、付着力は期待できないので、鉄筋を打ち込む等の対策を講ずる必要がある。

③ コンクリート充填工法

補修面積が大面積の場合に用いられ、流動性に優れたコンクリートを充填する工法である。

あらかじめ、粗骨材だけを型枠内に投入しておき、その間隙にモルタルを注入し、新旧コンクリートを一体化させる工法をブレパッド工法という。

通常の打継コンクリートに比べ、旧コンクリートとの付着力は大きいですが、注入モルタルの品質、型枠内に粗骨材を投入する方法等、施工検討が重要である。

④ 吹き付け工法

補修面積が比較的大面積の場合に用いられ、劣化部分や損傷部又は補強部分に適切な下地処理（ウォータージェット工法、サンドブラスト工法等）を施した後、あらかじめ練り混ぜた断面修復材（ポリマーセメントモルタル等）を吹付ける湿式工法と粉体と水または混和液を別々に圧送して吹付ける乾式工法があり、それぞれ専用の吹付け機を使用して、既存の構造物と一体化させる。

断面修復工法と表面被覆工法の併用例を図5.3.5に示す。

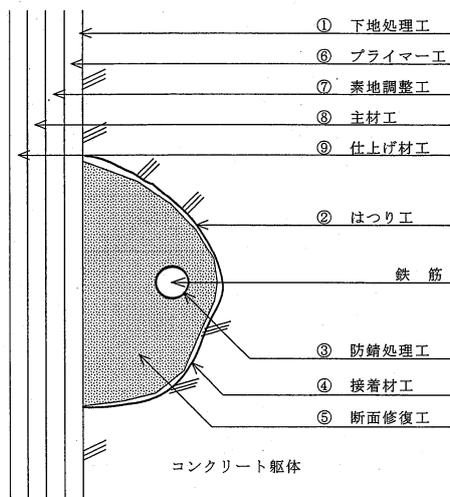


図 5.3.5 断面修復工法と表面被覆工法の併用例

鉄筋が腐食している場合は図5.3.6のようにはつって劣化部分を除去する。

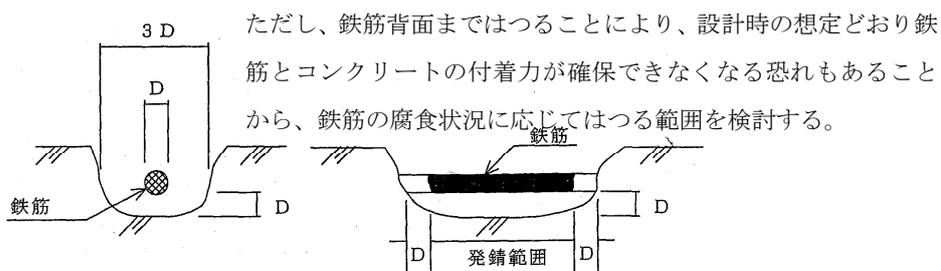


図 5.3.6 鉄筋が腐食している場合のはつり範囲の例

(3) 表面処理工法

1) 工法概要

表面処理工法は、主に劣化因子の内部浸透を抑制する対策として行う。床版下面等の浸透水のある箇所やアルカリ骨材反応対策では、透湿性が必要となる。

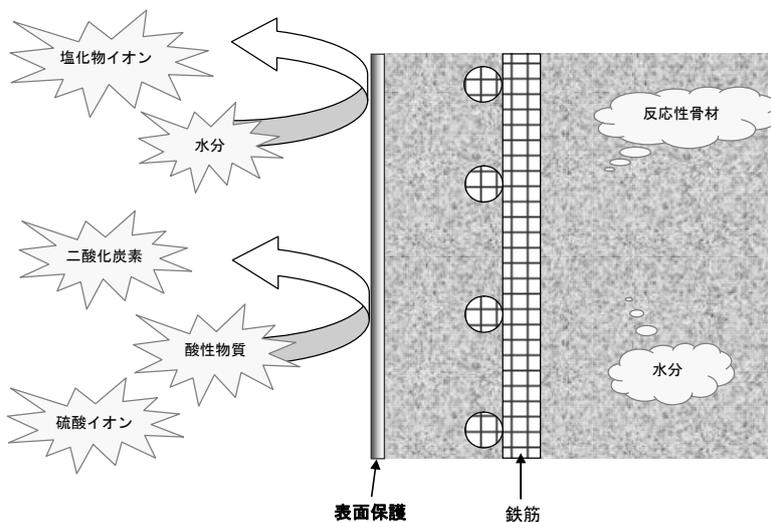
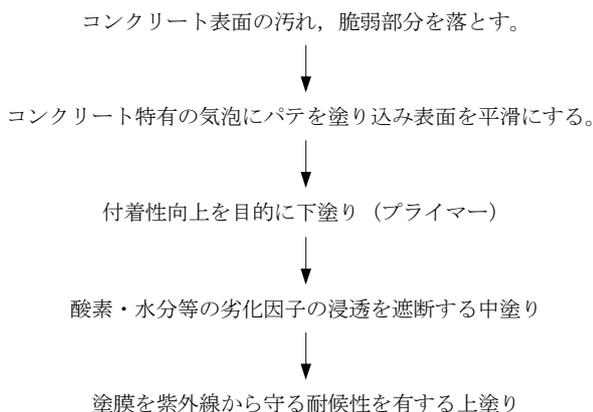


図 5.3.7 保護工法の概念図

《一般的な作業工程》



2) 表面処理工法の要求性能

表面処理工法について要求性能による分類を行えば下表のようである。アルカリ骨材反応と中性化・塩害では、透湿性・ひび割れ追従性で要求性能が異なる。

表 5.3.3 劣化機構ごとの表面被覆工の要求性能

基本性能	分類	主たる対象	特に要求される性能
①防水性 ②耐アルカリ性 ③耐候性 ④接着性 ⑤施工性 ⑥経済性 ⑦コンクリート片の欠落防止	補修	中性化	二酸化炭素遮断性
			遮水性
			酸素遮断性
		塩害	塩化物イオン遮断性
			遮水性
			酸素遮断性
	アルカリ骨材反応	遮水性	
		透湿性	
		ひび割れ追従性	
		耐汚染性	
修景	汚れ	洗浄性	
	景観との不適合	景観との融和	
予防保全	中性化	二酸化炭素遮断性	

コンクリート構造物の表面処理工法には、①表面に被覆を施す工法、②表面近傍断面に表面含浸材の含浸層を形成させる工法、③樹脂などの接着剤を用いて表面にFRPシートを巻き付ける工法、④表面に鋼板を取り付ける工法、⑤埋設型枠を用いる工法、⑥その他の特殊な工法がある。本項においては、既設コンクリート構造物の表面に適用可能で、かつ、コンクリート構造物の劣化の進行の抑制を主目的とした①及び②の工法、すなわち型枠が外された状態にある一般のコンクリート構造物の表面に被覆又は含浸層を施す工法を対象とする。

表面被覆工法は、表面被覆材の種類により有機系被覆工法と無機系被覆工法に区分される。有機系被覆工法としては有機系被覆材の特質を活かした各種の工法が提案されており、無機系被覆工法の場合は中塗りにポリマーセメント系材料などの特質を活かした工法が提案されている。有機系被覆材による被覆には、ひび割れ追従性、耐候性、美観付与などの性能又は機能が要求されることが多い。無機系表面被覆工法は被覆の主材はポリマーセメント系材料とその他の無機質系材料であり、質感がコンクリートと同等である。

表面含浸工法は、コンクリート表面に塗布した表面含浸材がコンクリート内部に含浸して、劣化因子

の侵入抑制，又は新たな性能を付与する効果をもたらす工法であり，一般に，コンクリート表面に塗膜を形成しないものが多い。表面含浸工法に用いられる含浸材は，コンクリート表層部に吸水防止層を形成して，水分や劣化因子の侵入を抑制するシラン系のものと，コンクリートへのアルカリ付与や表層部，ぜい弱部などの強化又は緻密化を主目的としたけい酸塩系のものに大別される。

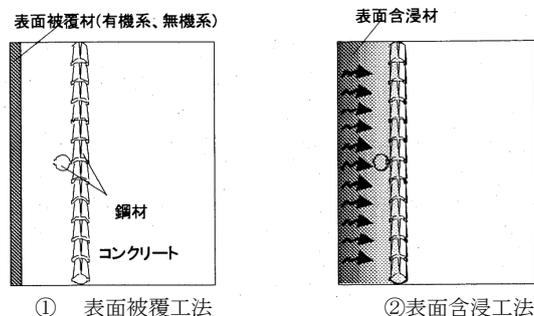


図 5.3.8 工法の概念図

表面処理工法は，コンクリート構造物に適用する目的に応じた選定を行う必要がある。表 5.3.4～表 5.3.7 に表面保護工に対する主な要求性能，各工法に期待される性能と適用効果を，「表面保護工法設計施工指針（案）（平成 17 年 4 月，土木学会）」より示す。

表 5.3.4 劣化対策として用いる表面処理工に対する主な要求性能
 （表面保護工法 設計施工指針（案），解説 表 3.3.1, 解説 表 3.3.2, H17.4, 土木学会）

表面処理工 に対する要求性能	劣化機構					評価指標の例
	中性化	塩害	凍害	化学的 侵食	アルカリ 骨材反応	
二酸化炭素遮断性 （中性化阻止性）	◎					二酸化炭素透過量，コンクリートの中性化深さ，コンクリートの中性化速度係数
塩化物イオン遮断性 （遮塩性）	○	◎	○		○	塩化物イオン透過量，塩化物イオン拡散係数
酸素遮断性	○	○				酸素透過量，酸素拡散係数
凍結融解抵抗性			◎			ふくれ，われ，はがれ，変色など塗膜の変状，コンクリートの相対動弾性係数，質量減少率
耐酸性，耐硫酸性				◎		
耐アルカリ性				◎		ふくれ，われ，はがれ，変色など塗膜の変状，化学物質透過量，硫酸透過量，コンクリートの重量変化など
防水性（遮水性）			◎	○	◎	透水量
水蒸気透過性（透湿性）					◎	水蒸気透過量
ひび割れ追従性 （柔軟性）	△	△	△	△	△	伸び能力，疲労特性
はく落抵抗性	△	△	△	△	△	強度特性，伸び能力，押し抜き荷重

◎：主として必要な要求性能，○：副次的に必要な要求性能，△：場合により必要な要求性能

表 5.3.5 有機系被覆工法に期待される性能と適用効果
(表面保護工法 設計施工指針(案), 解説 表 2.2.1, H17.4, 土木学会)

	塗装工法				シート工法 ³⁾						
	中塗り材の種類				塗布接着形シート工法 (クロスシート, メッシュシート, 等)						張付け 接着形 シート 工法
	標準形	厚膜形	柔軟形	柔軟厚膜 形							
樹脂及び シートの種類 ¹⁾	エポキシ	エポキシ, アクリル, ビニルエステル, ポリエステル, アクロイル	ポキシ, ポリウレタン, ふっ素	エポキシ, ポリウレタン, アクリルゴム, クロップレンゴム, ポリブタジエン, ポリウレア	ガラス繊維シート1層/2層/エポキシ	ビニロン繊維シート/エポキシ, アクリル, クロップレンゴム	アラミド繊維シート/エポキシ	カーボン繊維シート/エポキシ, アクリル	ガラスマット ⁴⁾ 1層/2層/エポキシ/ビニルエステル/ポリエステル	ラミネート/エポキシ	
膜厚(μm)	100未満	100以上	100未満	100以上	500/1000	500	700	積層数により変化	1000-2000	1000	
期待される性能 ²⁾											
中性化抑制	○	○	○	○	*	*	*	*	*	*	
塩化物イオンの侵入抑制	○	○	○	○	*	*	*	*	*	*	
凍結融解抵抗性	△	△	△	○	*	*	*	*	*	*	
化学的侵食抑制	△	○	△	○	○	—	*	○	○	*	
アルカリ骨材反応抑制	△	△	△	△	*	*	*	*	*	*	
ひび割れ割れ追従性	△	△	○	○	*	*	*	*	*	*	
美観・景観に関する性能	○	○	○	○	*	*	*	*	*	*	
はく落抵抗性	—	—	—	—	○	○	○	○	*	○	

- 1) 樹脂系に記載のものは全てではなく、市販の代表的な有機系被覆材を載せた。
- 2) 期待される効果は主要なもののみ示した。表中の○は適用対象、△は適用する場合に検討が必要(他の工法との併用など)、—は適用対象外を示す。
- 3) はく落防止を主目的とする。それ以外の用途として下水道構造物の劣化防止に使用されることもある。*印は、同様の樹脂系のもを用い、かつ膜厚が同じ場合は、塗装工法と同様の適用効果を期待できることを示す。膜厚は目安を示した。
- 4) ガラスマットについては、日本下水道事業団編「下水道コンクリート構造物の腐食抑制技術及び防食技術マニュアル, H24.4」を参照した。

表 5.3.6 無機系被覆工法に期待される性能と適用効果
(表面保護工法 設計施工指針(案), 解説 表 2.3.1, H17.4, 土木学会)

期待される性能	単層による塗装工法		複層による塗装工法		メッシュ工法 ⁴⁾
	柔軟形	標準形	柔軟形	標準形	*
中性化抑制	○	○	○	○	*
塩化物イオンの侵入抑制	○	○	○	○	*
凍結融解抵抗性	○	○	○	○	*
化学的侵食抑制	△	—	△	△	*
アルカリ骨材反応抑制 ²⁾	△	—	△	△	*
ひび割れ追従性	○	△	○	△	*
美観・景観に関する性能	△	△	○	○	*
はく落抵抗性 ³⁾	—	—	—	—	○

- 1) 表中の○は適用対象、△は適用する場合に検討が必要(他の工法と併用など)、—は適用の対象外を示す。
- 2) アルカリ骨材反応抑制は、標準的な遮水性により判定した。
- 3) はく落抵抗性は付着性を基本に判定した。
- 4) メッシュ工法の「*」については、単層及び複層による塗布工法と併用して使用するために、その適用範囲は、使用する無機系被覆の各工法の適用範囲に準ずることを示す。

表 5.3.7 表面含浸工法に期待される性能と適用効果
(表面保護工法 設計施工指針(案), 解説 表 2.4.1, H17.4, 土木学会)

期待される性能	シラン系	けい酸塩系	
		けい酸リチウム系	けい酸ナトリウム系
中性化抑制	△	△	○
塩化物イオンの侵入抑制	○	—	○
凍結融解抵抗性	△	—	△
化学的侵食抑制	—	—	—
アルカリ骨材反応抑制 ²⁾	△	△	—
美観・景観に関する性能	—	—	—
はく落抵抗性 ³⁾	△	—	△

- 1) 表中の○は適用対象, △は適用する場合に検討が必要(他の工法と併用など), —は適用の対象外を示す。
- 2) アルカリ骨材反応抑制は, 標準的な遮水性により判定した。
- 3) はく落抵抗性は付着性を基本に判定した。

5.4 コンクリート構造物の補強

5.4.1 補強種別と適用工法

コンクリート構造物の補強に関しては, 適用される工法が多岐にわたる。そのため, 補強設計条件に適合する工法を判定する場合には, その工法で補強できる限界, 及び工法の組み合わせに対する十分な配慮が必要となる。補強する部材・項目と, 適用できる補強工法の関係を表に示す。ただし, 表中の○印に関しては実績が少ないものを含んでいるため, 選定にあたっては注意する必要がある。

表 5.4.1 補強種別と適用工法

部 材	項 目	①	②	③	④	⑤	⑥
		鋼板接着工法	繊維補強工法	増厚工	プレストレス導入	支持工法	取替工法
床版*	正の曲げ	◎	○	◎		◎	○
	負の曲げ			○		○	
	せん断	○	○	○		○	○
上部工 下部工	正の曲げ	◎	○	◎	◎	◎	
	負の曲げ			○	○	○	
	せん断	○	○	○	○	◎	
ゲルバー部	せん断	◎			◎	◎	◎

*床版の補修・補強に関しては 本章 3. を参照のこと。

5.4.2 補強工法の概要

(1) 鋼板接着工法

- 1) 目 的: コンクリート外面に鋼板を接着することにより, 既設部材との一体化を図り, 合成構造とすることにより, 曲げ及びせん断耐力を確保する工法である。圧着法と注入法とがあるが, 一般に注入法で施工されることが多い。一般に主桁や床版の補強では, 舗装面をさわることなく, 正の曲げに対してのみ適用されることが多い。

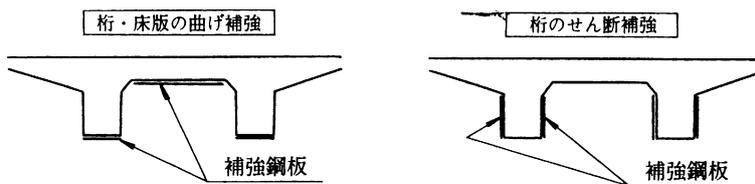


図 5.4.1 鋼板接着工法概念図

- 2) 要 領： ①補強部分の下地処理を行う。
 ②スペーサーにより、すき間を保たせ、周囲をシールしてから、一方から注入用エポキシ樹脂を注入。空気を押し出しながら施工する。
- 3) 問題点： ①コンクリートと鋼板の間に完全に樹脂を行き渡らせるため、施工管理には細心の注意が必要となる。
 ②樹脂が硬化するまでは、大型車の通行を止めるなど接着面を攪乱しないようにする。
 ③補修後のひび割れの進行が確認できない等、維持管理上の問題がある。

(2) 繊維補強工法

- 1) 目 的： 鋼板接着工法と同様の目的で、鋼板の代わりに炭素繊維シート等をエポキシ樹脂ではりつけ、既設部材との一体化を図る。繊維の方向、シートの枚数により任意の補強が可能である。鋼板より軽く、取扱が簡単で施工性がよく、交通規制を伴わない。



図 5.4.2 繊維補強工法概念図

- 2) 要 領： ①補強部分の下地処理を行う。
 ②プライマーを塗布・乾燥させる。
 ③エポキシ樹脂を均一に塗布、炭素繊維シート等を貼りつけ、再度樹脂を上塗りする。
 ④2層以上の場合、上記作業を繰り返す。その後、養生を行う。
- 3) 問題点： ①曲げ補強には適しているが、せん断補強には不向きである。
 ②耐火性に劣り、場合により耐火被膜が必要となる。

(3) 増厚工法

- 1) 目 的： 既設部材の上面又は側面等に鉄筋を配置し、コンクリート打設することにより、荷重に対する抵抗断面を増加させ、曲げ及びせん断耐力を確保する工法である。

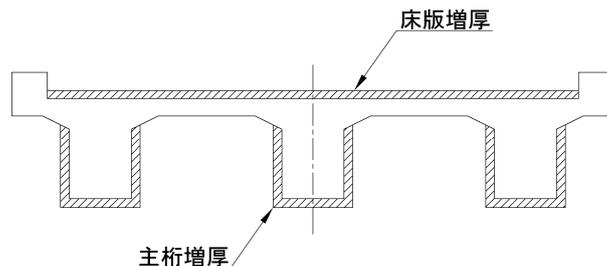


図 5.4.3 増厚工法概念図

- 2)要 領：①補強部分の下地処理（上面増厚の場合は舗装の撤去）を行う。
 ②鉄筋を配筋後，型枠を設置，コンクリート打設を行う。
 ③養生後，型枠を撤去し，仕上げる。
- 3)問題点：①増厚部分の自重が大きく，他の部材に対する影響が大きい場合には，プレストレス導入工法，支持工法などを併用する必要がある。
 ②コンクリートが硬化するまで，交通規制が必要となる。
 ③桁補強時のコンクリート打設には，細部までコンクリートが回るよう，十分な管理が必要となる。

(4)プレストレス導入工法

- 1)目 的：PC鋼材を使用して，桁にプレストレスを導入することにより引張応力度を減少させ，できればひび割れを閉じるだけでなく，圧縮力を与え耐荷力を増大させようとする工法。一般に施工性から外ケーブル方式が用いられる。他の工法により，自重が増加した場合などに使用される。

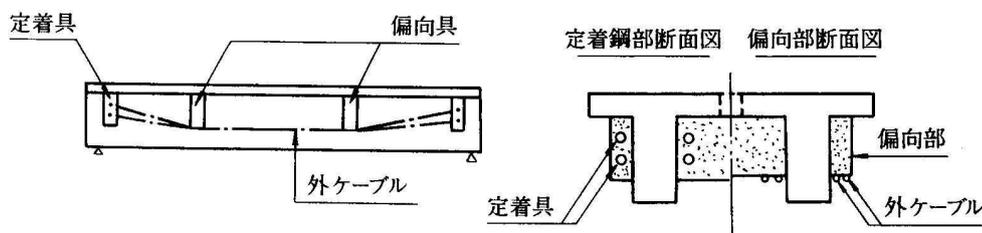


図 5.4.4 プレストレス導入工法概念図

- 2)要 領：①定着部・偏向部のコンクリート打設
 ②PC鋼材の配置，緊張
- 3)問題点：①プレストレスの鉛直方向分力により，他の部材の補強が必要になることもあるので，注意が必要である。
 ②作業空間が確保された施工可能な構造部材であることを，事前に確認する必要がある。

(5)支持工法

- 1)目 的：桁や床版を，増設桁や斜め材で支持し，曲げ及びせん断耐力を確保する工法。他の工法の採用が困難な場合など，特殊な条件において採用される。

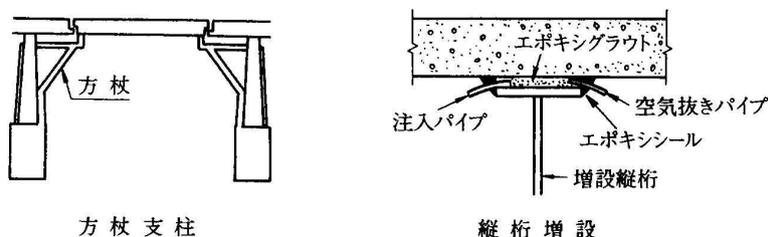


図 5.4.5 支持工法概念図

- 2)要 領：既設主桁・床版を増設桁や斜め材で支持する（荷重分担の軽減又は支間の縮小）。
- 3)問題点：部材の増設を伴うために作業空間の制約を受け，それに応じた対処ができる場合にのみ採用可能である。

(6) 取替工法

- 1) 目的： コンクリート部材の変状又は破損が大きく，修復が困難と考えられる場合，部材の一部又は全部を撤去して，新しいコンクリート部材に取り替える工法である。
- 2) 要領： ①補修・補強部分の一部又は全体の撤去
②新しいコンクリートの打設，養生，復旧仕上げ
- 3) 問題点： ①一般的に交通止めを行って施工するが，幅員の広い場合は分割施工も考慮する。
②部分取替えの場合は，新旧コンクリートの打ち継ぎ目の処理に注意する。
③短期間での施工が必要な場合は，超早強コンクリート等の使用を検討する。

6. 付属物の補修

6.1 支承部の補修

6.1.1 一般

支承部とは、支承本体（図 6.1.1）、アンカーボルト、セットボルト等の上下部構造との取付部材、沓座モルタル、アンカーバー等、支承の性能を確保するための部分をいう（道路橋示方書・同解説（以下「道示」という。）I編 10.1.1 解説）。

支承部は、上部構造に作用する荷重を確実に支持して下部構造に伝達する重要な部位である。また、桁端に位置し漏水による損傷や地震による被害が生じやすい箇所であるので、点検・調査、損傷の原因究明により、最適な補修方法を選定し、その原因を除去しなければならない。なお、支承の洗浄や、土砂等堆積物の除去は、長期耐用のために有効な維持管理行為である。

支承部の補修は、交通の供用下で、作業空間が狭く、作業が困難な場合が多い。また、交通規制を伴うことが多く、数時間という限られた時間の中で施工しなければならない場合もあるので、構造、施工方法、治具の選択などをあらかじめ十分に検討しておき、迅速かつ確実な補修を心掛けなければならない。

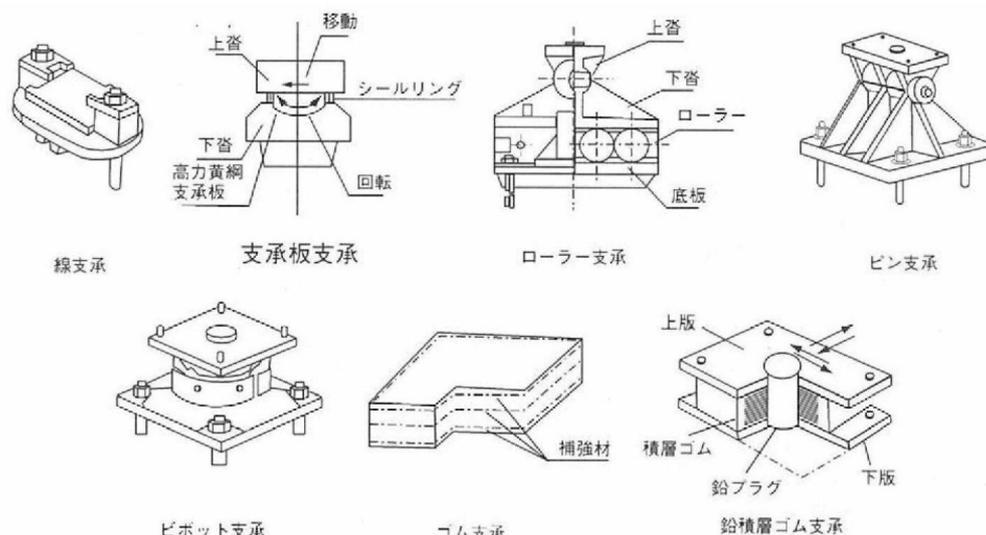


図 6.1.1 一般的な支承のタイプ

6.1.2 支承部の損傷事例

1. 支承本体の腐食



写真 6.1.1 ピンローラー支承の腐食



写真 6.1.2 支承板支承の土砂堆積に伴う腐食

2. 支承本体の破損



写真 6.1.3 ピン支承の地震による破損

3. 沓座モルタルの破損



写真 6.1.4 沓座モルタルの破損

6.1.3 補修工法

支承部の補修工事を計画するにあたっては、支承部の変状の部位や程度を把握するだけでなく、周辺環境への影響、交通への影響、施工時期、施工空間、橋梁形式と構造などについても十分に配慮したうえで、適切な工法を選定しなければならない（道路橋支承便覧, 7.3, H30.12, 日本道路協会）。

補修工法は以下のように分類できる（道路橋支承便覧, 7.3, H30.12, 日本道路協会）。いずれも、個々の橋に応じた事前にその内容について十分に検討することが重要である。支承の一般的な補修工法の作業手順（例）を図6.1.2に示す。

- ・ 取替え（支承本体及び付属品の全部又は一部）
- ・ 補修（損傷の補修溶接など）
- ・ 補強（上下部構造取付部の添接補強など）
- ・ 補修塗装

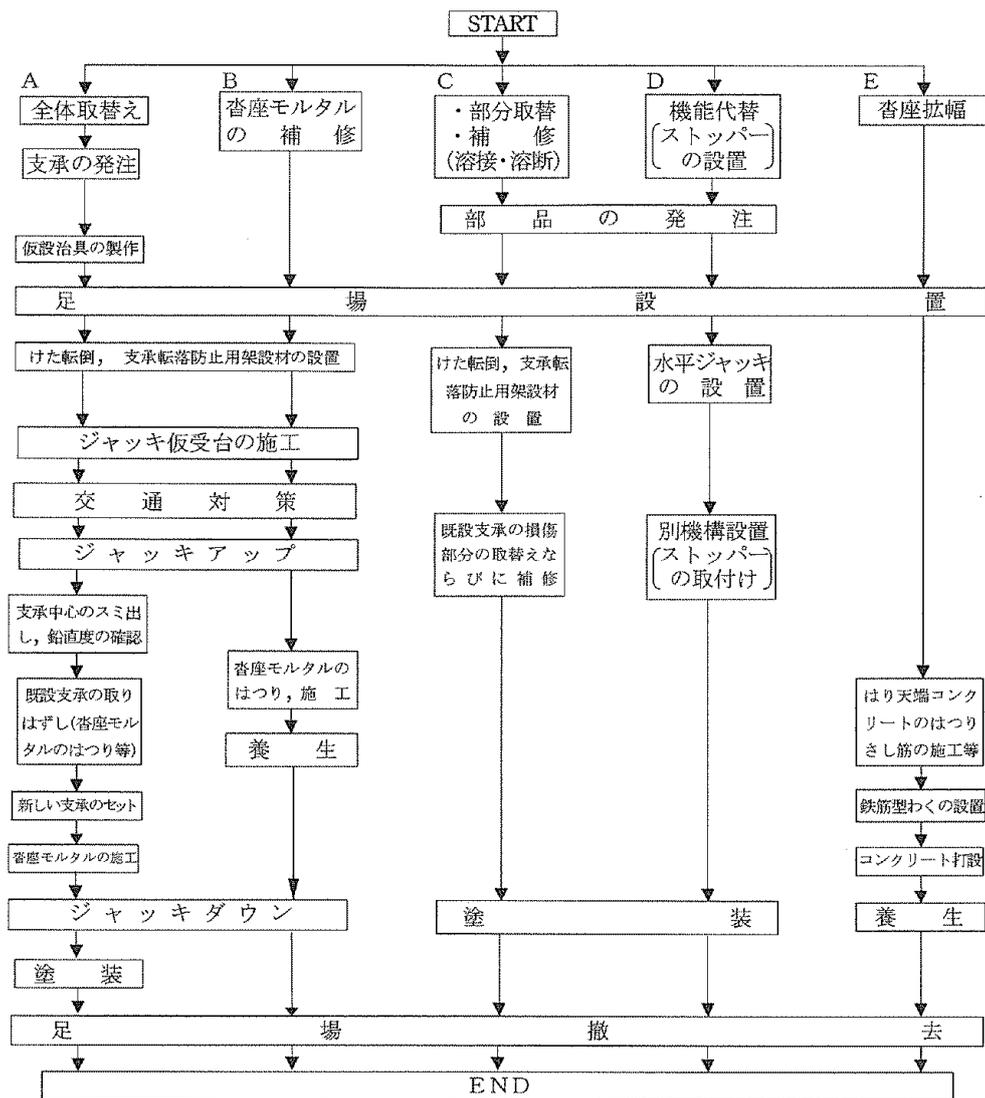


図 6.1.2 補修工法別の作業手順 (例)

(1) 支承本体の補修

a) 全体の取替え

経年劣化に伴って発生している支承本体又は沓座の破損に対して、上部構造をジャッキアップして新しい支承に取り換える補修工法である。

損傷した支承が1基の場合でも、同一橋座上の上部構造全体を同時にジャッキアップして仮受けし、新しい支承又は部材に取り替える。また支承形式を変更する場合は、同一橋座上の全支承を同一形式に統一する。

① 沓座はつり



② 支承撤去



③ 新支承据付け



④ 無収縮モルタル打設



完成

図 6.1.3 支承の全体取替え工法のイメージ

b) 部分取り換え

セットボルト、サイドブロックなど支承の構成部品が破損した場合、破損部分のみを取り替える工法である。

c) 塗替え塗装

劣化した塗膜やさびをケレンし、再塗装する工法である。

素地調整は塗装の耐久性を左右する大きな要因であるので、第1種ケレンを行うことを基本とする。

塗替えは、重防食塗装、金属溶射などの中から適したものを選定する。

(2) 沓座コンクリートの補修

上部構造をジャッキアップして仮受けしてから、破損部分を十分はつって補強し、新しいコンクリートを打設する。

(3) 沓座モルタルの補修

上部構造をジャッキアップして仮受けしてから、無収縮モルタル、樹脂等で再充填する。

充填モルタルは図 6.1.4 のように仕上げるのがよい。

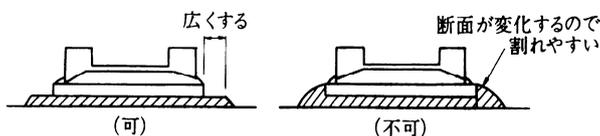


図 6.1.4 充填モルタル仕上げ図

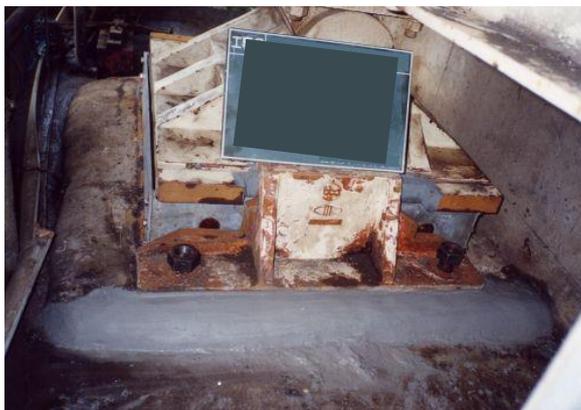


写真 6.1.5 沓座モルタルの補修例

(4) 補強材

ジャッキアップによる荷重の集中点には、耐力不足を補うため補強材を取り付ける。

補強材には入手が簡単で、加工が容易な山型鋼を用いるものとする。また取付けは高力ボルト摩擦接合とし、M22 (S10T) を用いるものとする。取付け方法としては、荷重受点側 (下側) を面タッチさせ、反対側に 2cm の作業余裕を設けるものとする。

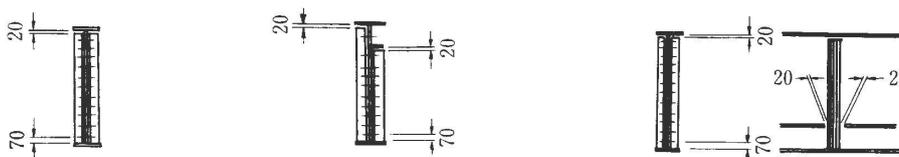


図 6.1.5 補強材の面タッチ



写真 6.1.6 ジャッキアップ補剛材の設置例

(5) 仮受台

支承補修工事でジャッキアップを行う場合、ジャッキが故障したりすると事故につながることから、仮受台を設けるようにする。仮受台及びジャッキの配置は構造条件、現地条件により検討のうえ、決定する。

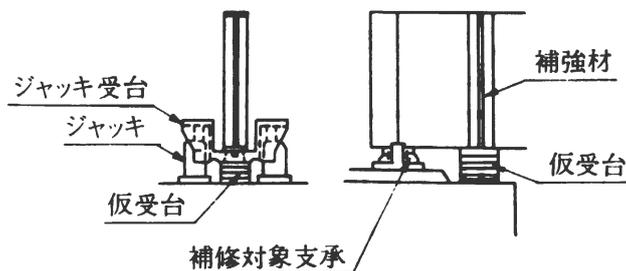


図 6.1.6 仮受台

6.2 伸縮装置の補修

6.2.1 一般

伸縮装置は、橋梁の付属物のうちでも自動車荷重やその衝撃を直接繰り返し受ける過酷な状況におかれているため破損しやすく、道路交通による騒音振動を引き起こしたり、破損や外れにより通行車両に危険性を及ぼしたりすることがあるため、日常の点検を十分に行い、変状の早期発見、早期補修に努める必要がある。

伸縮継手の補修の目的は、概ね以下のとおりである。

- (1) 走行性を確保し、交通の安全性と快適性を保つ。
- (2) 排水性能を維持し、桁端部や支承部の漏水による損傷を防止する。
- (3) 伸縮継手機能（伸縮、回転）を維持し、構造物の健全性を確保する。
- (4) 伸縮継手に起因する振動、騒音を低減する。

6.2.2 伸縮装置の損傷事例

伸縮継手補修の対象となる主な損傷事例は以下のとおりである。

(1) 伸縮装置本体の損傷

ゴムの磨耗及び破損，浮き上がり，陥没，取付けナットのゆるみ，アンカーボルトの破損など

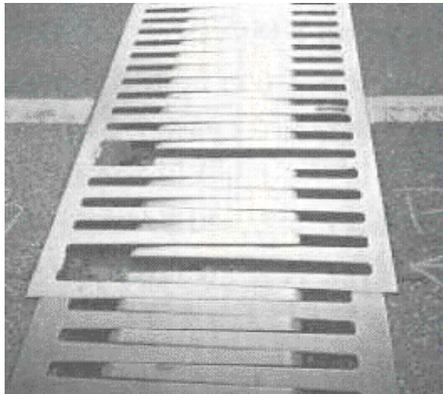


写真 6.2.1 フィンガーの破断



写真 6.2.2 ゴムの摩耗損傷

(2) 後打ちコンクリートなどの損傷

ひび割れ，角欠け，段差



写真 6.2.3 後打ちコンクリートの損傷

(3) 止水材の損傷

はがれ，脱落



写真 6.2.4 止水材の脱落



写真 6.2.5 排水桶の脱落（添架物も損傷）

(4)遊間の異常

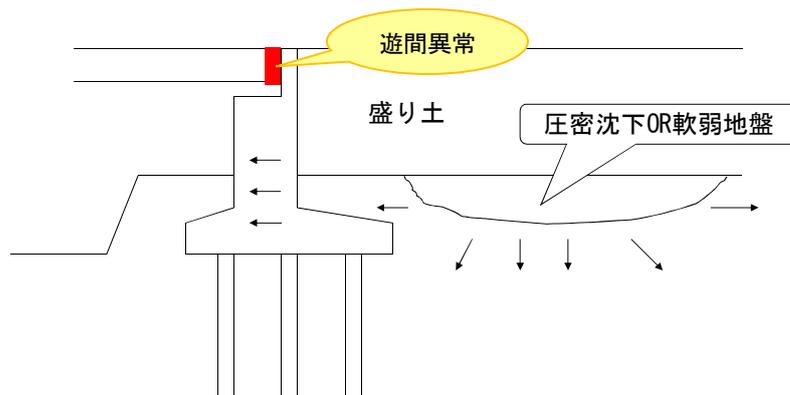


図 6.2.1 遊間異常の原因(例)



写真 6.2.6 遊間の異常



写真 6.2.7 段差

(5)その他

騒音, 振動, 漏水

6.2.3 補修工法

一般に伸縮継手の補修を行う場合, 大なり小なりの交通規制を伴う。したがって, 伸縮装置の構造的, 機能的な検討と同時に, 施工条件の検討が重要である。補修を行う場合, 通行止めを出来ない場合が多いが, その際には, 以下のいずれかの方法で施工計画を立案する。

- ・昼間に交通規制をして, 幅員の半分ずつを施工する。
- ・昼間は覆工板を利用し開放し, 夜間工事の際は通行止めとする。
- ・昼間は覆工板を利用し開放し, 夜間に交通規制をして幅員の半分ずつを施工する。

伸縮装置の補修方法は以下のとおりである。

(1)全体取り替え

交通規制を行い, 損傷した伸縮装置を全て又は車線ごとに撤去し, 新しい伸縮装置に取り替える方法である。

- ・形式の変更
- ・同形式に取り換え
- ・連続化(ノージョイント化)

(2) 部分補修

部分的な交通規制を行い、伸縮装置本体は取り替えず補修や部品の交換を行い、当初の構造に復旧する方法である。

- ・ 部品の補修や交換
- ・ 後打ちコンクリートの補修
- ・ 地覆部の止水補修

(3) 下部構造の変状に伴う補修

遊間異常などの損傷原因が下部構造の傾斜や支承の沈下による場合は、別途検討が必要となる。

(4) その他の補修

縦断修正や遊間調整などの他、鋼製フィンガージョイントの非排水化などがある。特に排水型の鋼製フィンガージョイント（伸縮遊間に流れ込む路面排水を遊間に設ける桶で集水する排水型の構造）は、土砂等の推積によって排水機能が著しく低下し、橋梁本体に悪影響を及ぼすため、非排水構造に変更することが望ましい。

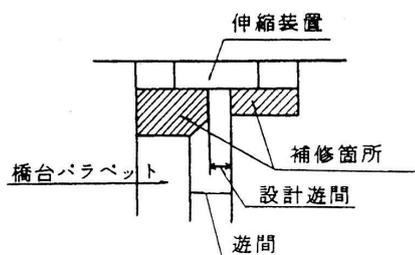


図 6.2.2 桁遊間の調整

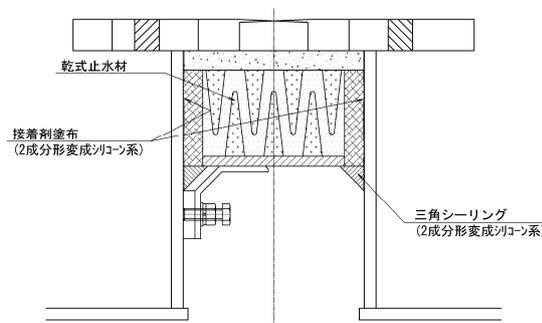


図 6.2.3 鋼製フィンガージョイントの非排水化

6.2.4 補修時伸縮装置の選定

伸縮装置の種類やその選定は、第6章2を参照のこと。

伸縮装置の補修工法の選定に際しては、次の事項に留意して行うものとする。

- (1) 現地の交通の状況を把握し、交通規制の方法、範囲、時間を考慮した工法選定と施工計画を行う。
- (2) 沿道環境（工事中の騒音、振動等）に応じた工法選定と施工計画を行う。
- (3) 損傷の原因を考慮し、その原因を除去し、輪荷重や桁伸縮に耐え得る工法及び材料を採用する。
- (4) 既設構造物に悪影響を与えない工法を選定する。

7. 基礎構造の補修・補強

7.1 補修・補強の概要

基礎構造の変状は基礎の種別や地盤条件，環境条件により異なり，それぞれに対応した設計施工法の検討が必要である。基礎構造の補修・補強にあたっては，「既設道路橋基礎の補強に関する参考資料，H12.2，日本道路協会」を適宜参考にできる。

基礎の補強工法を分類して図 7.1.1 に示す。

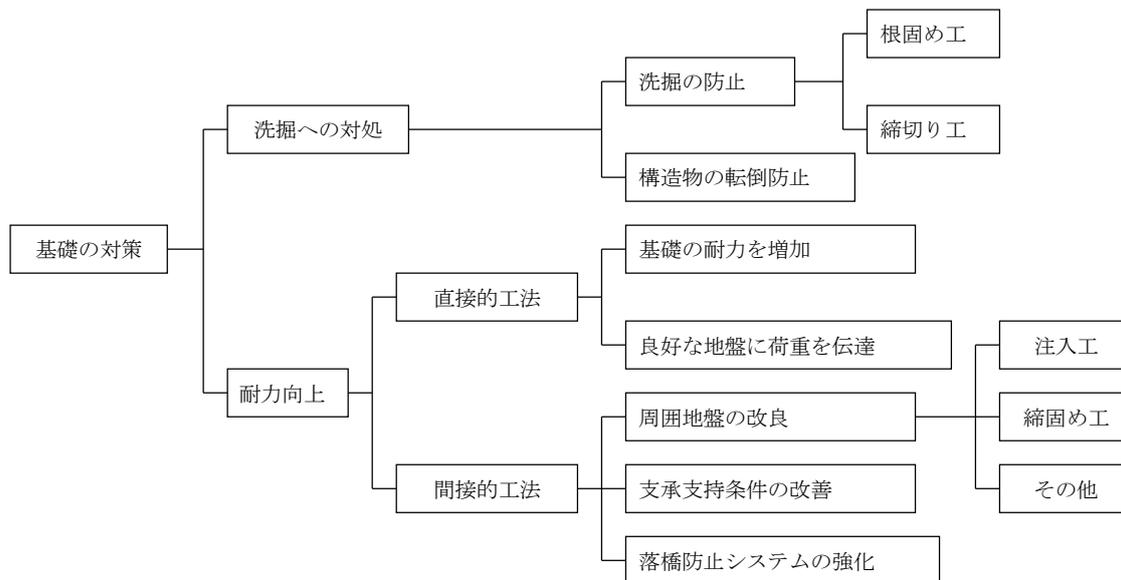


図 7.1.1 基礎の補修・補強工法の分類

7.2 基礎の変状とその要因

(1) 変状の種類

基礎の変状としては，次のものが挙げられる。

- ・ 沈下及び不等沈下
- ・ 傾斜，移動
- ・ ひび割れ，腐食，亀裂，破断

これらの基礎の変状を直接的に目視観測することは困難であるが，一般的にこれらの基礎の変状はその影響が上部構造や下部構造，取付部構造（擁壁，盛土等）に現れることが多い。

(2) 基礎構造の形式別の変状と原因

基礎構造の形式別に変状の原因を整理すると，次のとおりである。

1) 直接基礎の場合

- ① 橋台の背面土圧によって生じる傾斜・移動
- ② 地震時の安定の問題による傾斜・移動
- ③ 地震時の部材耐力喪失による変状
- ④ 河川区域内において，流心の移動等によって起こる河床沈下や洗掘による基礎の沈下・傾斜
- ⑤ 近接工事時の配慮不足による基礎の沈下・傾斜
- ⑥ 基礎の根入れ不足や埋戻し，排水不良等による土圧支持力の変化。寒冷地では凍結融解の繰り返しによる基礎の浮き上がり・沈下

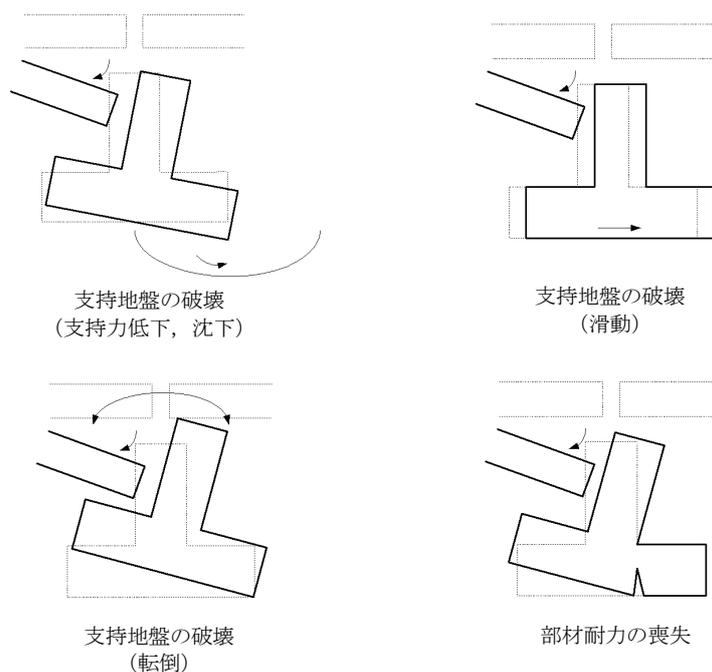


図 7.2.1 直接基礎の変状

2) 杭基礎の場合

- ① 地震時の杭本体の耐力喪失による変形・ひび割れ・破断
- ② 地震時の液状化による水平抵抗喪失による変形・ひび割れ・破断
- ③ 経年的な地下水低下地帯における、木杭基礎の腐食による基礎の支持力不足
- ④ 既製コンクリート杭の継手強度不足。継手不良による橋台のすべり出し等を生ずる横抵抗の不足
- ⑤ 場所打ちコンクリート杭の施工精度不良、並びに杭頭と躯体の連結不良による基礎の不等沈下及び移動を生ずる強度不足
- ⑥ 地盤沈下に伴うネガティブフリクションによる本体の耐荷力超過
- ⑦ 杭の根入れ不足による支持力不足

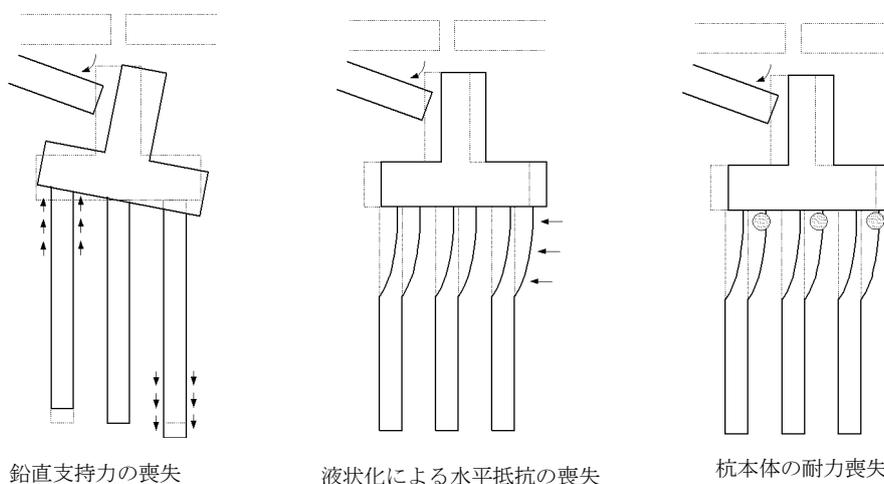


図 7.2.2 杭基礎の変状

3) ケーソン基礎の場合

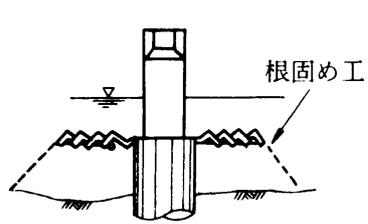
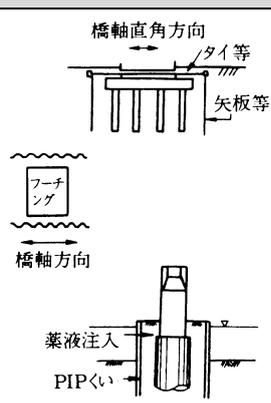
- ① 地震時おける、ケーソン本体耐力喪失によるひび割れ・破断
- ② 地震時の液状化による水平抵抗喪失による傾斜・移動
- ③ 河川流水部の洗掘に伴う根入れ不足による基礎の傾斜・移動
- ④ 河川流水部の転石、流水物による基礎構造物のコンクリートの破損と鉄筋の腐食
- ⑤ 経年的な周辺地盤の変動に起因する基礎の根入れ不足等による基礎の傾斜・移動
- ⑥ 近接施工時の配慮不足による土圧変化に起因する基礎の傾斜
- ⑦ 掘削、沈下工法、地下水の処理等の施工不良に起因する基礎周辺地盤のゆるみや偏心载荷の過大等による基礎の傾斜・移動

7.3 補修・補強工法

基礎の耐震補強については、本章 8. で述べる。ここでは、地震以外の要因による補修・補強について述べる。

(1) 洗掘による構造物倒壊防止や橋台背面盛土の土の回り込み防止などを行う方法

表 7.3.1 洗掘、河床低下の防護工法

工 法	根固め工	縮切り工
概念図		
概 要	ブロック、コンクリート打設、フトンかご等により基礎を防護して洗掘を防ぐ。	鋼矢板、PIP杭を基礎外周に施工し土砂で中埋めを行う。中埋めに薬液注入、プレバックドコンクリートを打設することもある。
対策項目	洗掘	洗掘・杭の支持力
設計上の留意点	対策範囲に注意を要する。一般に恒久的な対策とはならない。	河積阻害率に留意する。
施工上の留意点	施工は比較的容易である。	矢板、杭等、桁下での施工には、使用機械が制限される場合がある。

① 鋼矢板、地中連続壁などによる基礎周辺の補修

洗掘が激しく広範囲にわたるか河床が不安定な場合などで、洗掘による構造物の倒壊防止を目的として行われる工法である。一般には既存の基礎の周囲に鋼矢板等を打設し、その内側にコンクリートを施工し、一体化させる。

② 洗掘、河床低下の防護工

洪水などによる出水時に橋台前面、橋脚付近の洗掘や河床の低下を防護する。工法の主なものは蛇籠工、コンクリート張工、捨石又はブロック工、堰提工などである。工法の選定には河川の地形・地質・流域の状況や、既往の洗掘状況など調査し、それぞれの河川の特性に合った工法を河川管理者と協議して決定する。変形を伴わない軽度の洗掘は、図 7.3.1 に示す対策工等を施す。

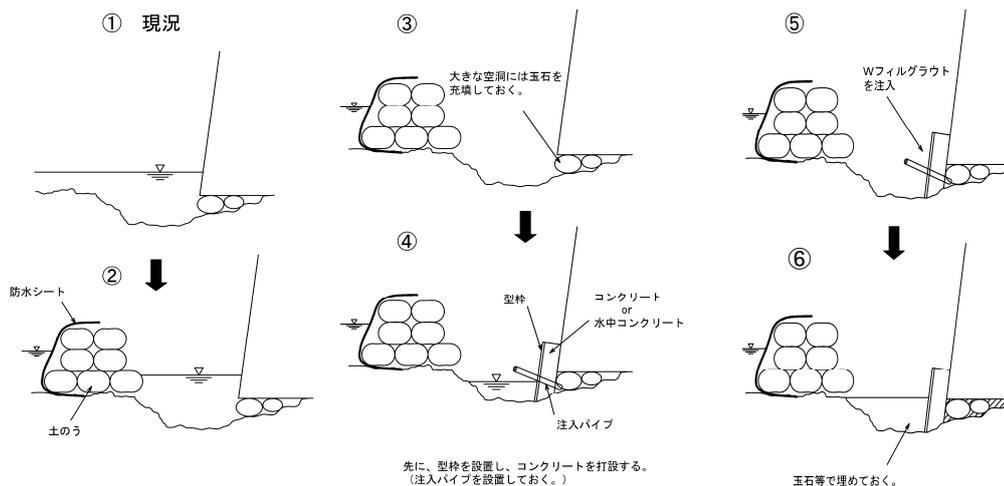


図 7.3.1 規模の小さな橋台の洗掘対策

(2) 基礎の構造を改良する方法

① 基礎の耐力を増加させる方法

既設基礎に新たな構造部材を付加し基礎の耐力を増加させる方法で、増し杭工法、鋼管矢板増設工法、地中連続壁増設工法等がある。

② 良好な地盤に荷重を伝達させる方法

既設の基礎が良好な支持層に十分に根入れされていない場合に用いる方法で、通常は増し杭工法等が用いられる。この他、施工実績は少ないが、基礎底面の地盤改良も考えられる。

③ 基礎周辺地盤の改良

地盤改良により地盤の動的せん断強度自体を増加させる方法と、地盤中に透水層を設け間隙水圧の増加を抑制させる方法がある。この他、地盤中に矢板や地中連続壁を設置し、地震時の地盤のせん断応力又はせん断ひずみを減少させる方法もある。

表 7.3.2 橋脚基礎の補強工法 (1/3)

工 法	増し杭	地中連続壁	鋼管圧入
概念図			
概 要	増し杭をし、フーチングを拡大する（上図は橋軸直角方向のみの増し杭）。	地中連続壁を設け、フーチングと一体化させる。	既設フーチングの下をたぬき掘りし、鋼管杭の圧入により基礎杭を追加補強する。
対策項目	土の支持力・杭の支持力	土の支持力・洗掘	基礎の支持力・土の支持力
設計上の留意点	確実な補強効果が得られる。新旧杭の荷重負担、及び新旧フーチングの接合に留意する。	確実な補強効果が得られる。河積阻害率に留意する。また、流水圧の影響に注意を要する。	たぬき掘りのための入念な仮設構造物検討が必要
施工上の留意点	橋軸直角方向の増し杭は比較的制約が少ないが、橋軸方向の増し杭にする場合には、桁下施工に伴い使用機械が制限される。フーチングの連結には締切り工を要する。	掘削及び孔壁安定を考慮して、土質条件に見合った施工法を選定する必要がある。桁下施工に伴い使用機械が制限される。	一般には締切り工、杭の圧入等施工が困難であり、工費も高い。

表 7.3.3 橋脚基礎の補強工法 (2/3)

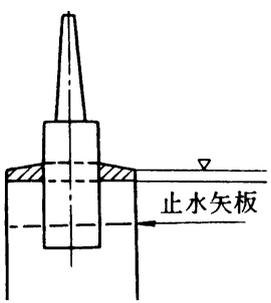
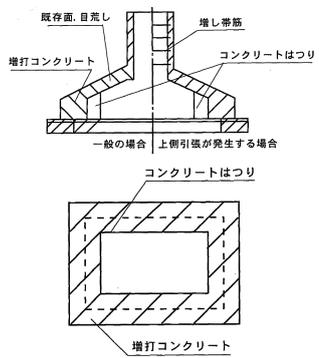
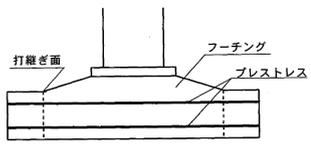
工 法	フーチング拡大	フーチングの拡大 (上方に増圧)	フーチング拡大 (プレストレス導入)
概念図			
概要	設計地盤面位置にフーチングを設置し、モーメント及び水平力に抵抗させる。	既設フーチングを包むように、コンクリート増厚を行い、基礎形状を拡大するとともにフーチングの耐荷力を向上させる。	既設フーチングを拡幅し、プレストレスを導入し、一体化する。
対策項目	土の支持力・洗掘	基礎の支持力・フーチングの耐荷力	基礎の支持力・フーチングの耐荷力
設計上の留意点	新旧部の荷重負担及び新旧部の接合に留意する。	フーチング下面引張りに対し、補強効果が少ない。	フーチングの剛性が高いため、大きなプレストレスが必要となる。
施工上の留意点	桁下での締切工が必要となる。	既設フーチングと拡大したフーチング部分の一体化に留意する。	フーチング前面にプレストレスを導入するための作業スペースが必要となる。

表 7.3.4 橋脚基礎の補強工法 (3/3)

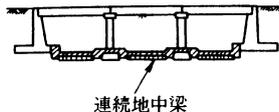
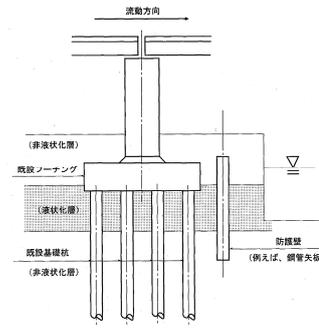
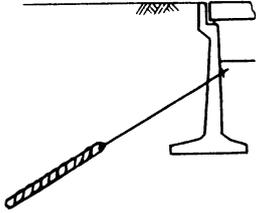
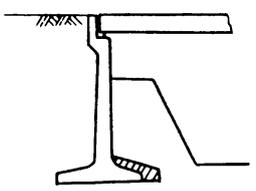
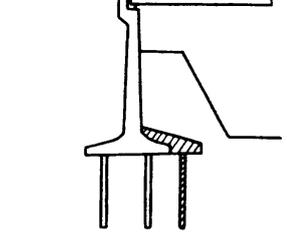
工 法	地中はり・コンクリート床版	地盤改良	防護壁による地盤流動対策
概念図			
概要	隣接する基礎間を地中はり又はコンクリート床版で連結させ、基礎の安定を増加させる。小スパンの橋梁に適用される。	生石灰パイル、サンドコンパクションパイル、グランベルドレーン、薬液注入、ソイルセメント等を基礎周辺に施工し軟弱地盤の支持力を増大させる。	地盤の基礎近傍に防護壁等を設けることで地盤の変形を抑制し、基礎に作用する流動力を遮断、あるいは低減する。
対策項目	土の支持力・基礎の変位	土の支持力・飽和砂質土の影響	地盤の流動化
設計上の留意点	特になし	地盤改良効果の評価に留意する必要がある。改良範囲に留意する。	防護壁を基礎の水路側か陸側のどちらに設けると効果的か検討する。
施工上の留意点	桁下での締切り工や、河川の切り廻しが必要となる。	特になし	防護壁の施工により、基礎の周辺地盤が緩まないようにする。

表 7.3.5 橋台基礎の補強工法

工 法	アース・アンカー工法	フーチング前面拡幅	前面への増し杭	
概念図				
概 要	橋台たて壁からボーリングを行い、アース・アンカーを埋設し、滑動・転倒に抵抗させる。	フーチング前面を掘削し、前趾を拡大する。	フーチング前面を掘削し、杭を打ち込みフーチングを拡大する。	
対策項目	土の支持力・基礎の変位	土の支持力	土の支持力・杭の支持力	
設計上の留意点	アンカーとの基礎底面の荷重分担に留意する。	新旧フーチングの接合に留意する。	新旧杭の荷重負担及び新旧フーチングの接合に留意する。	
施工上の留意点	交通規制作業空間	比較的小規模の施工機械でも施工可能であり、桁下3mまでの実施例がある。	作業空間は小規模でもよい。	桁下空間のため施工機械がコンパクトな場所打ち杭、鋼管杭の施工法となる。
	締切り工	場合によっては必要となるが、小規模でよい場合が多い。	掘削のための矢板による締切りが必要。桁下空間のため継手の多い特殊打設を用いる必要がある。	「フーチング前面拡幅」に同じ
	既設橋への影響	橋台たて壁の鉄筋を切断する可能性がある。アース・アンカー導入による付加応力の検討が必要である。	フーチング前面を掘削するため、施工時の安定を検討する必要がある。	フーチング前面を掘削するため、施工時の安定を検討し、場合によっては分割施工の必要がある。既設杭の前列が斜杭の場合には施工位置が制限される。
	近接構造物への影響	橋台裏埋設物への影響に注意する必要がある。	特になし	特になし
その他	<ul style="list-style-type: none"> ・安価なため実施例が多い。 ・地震時には背面地盤自体の水平移動も考えられるため、補強効果は慎重に検討する必要がある。 ・アンカー定着位置は基礎底面以下の安定した地盤とする。 ・地震時の挙動が躯体と異なることや、部材の変形量が大きくなることにより、耐震補強としては課題が多い。 	<ul style="list-style-type: none"> ・フーチング主鉄筋の差し筋には確実な施工を必要とする。 ・フーチング底面に突起をつけて水平力に抵抗させる案もある。 	<ul style="list-style-type: none"> ・新旧フーチングの接合を確実に行う必要がある。 	

(3) 間接的方法

① 地震時に基礎に作用する荷重を低減させる方法

地震時に基礎に作用する荷重としては上部構造の慣性力が挙げられるが、これを低減させる方法として、支承条件の変更や免震支承への変更による上部構造慣性力の再分配がある。また、上部構造の補修に際して、鋼床版を用いるなど死荷重を軽減させる方法もある。

② 橋桁の落下に対し安全性を向上させる方法

基礎自身の損傷を抑えることはできないが、それにより生じる支承位置での相対変位に対し橋桁の落下が生じないように対策する方法である。この方法には、桁の連結や落橋防止構造の強化及び桁かかり長の増加等が挙げられる。

(4) 基礎の補強設計に関する留意事項

既設道路橋の基礎の補強においても道示を準用することができるが、その補強設計においては特に次の

点に留意する。

- 1) 古い橋梁では、基礎の諸元や配筋、場合によっては基礎形式自体が不明な場合がある。このような基礎に対して諸元、配筋等が不明なままで補強を施しても適切な補強とすることができない。このため、原則として基礎諸元、配筋状況等を調査し推定した結果を基に、現状の性能の照査及び補強計算を行う。基礎諸元、配筋の推定及び調査の方法としては、以下が考えられる。
 - ・部分的な試掘、又はかぶりコンクリートの部分的はつりによる諸元調査
 - ・各種非破壊調査法による推定
 - ・当時の設計基準に準拠した復元設計などによる推定
- 2) 補強設計においては、各工法に応じて適切な解析モデルを設定する必要がある。特に、既設基礎と新設基礎とでその種類や剛性、耐力、材料などが大きく異なる場合には、荷重分担や水平地盤抵抗などについて十分に検討する必要がある。
- 3) 設計計算に用いるコンクリートの強度や地盤の強度、変形特性などの各種定数は、既設基礎の調査結果に基づいて定める。
- 4) 既設基礎の保有性能の照査、及び補強設計における安全性の照査は、原則として道示を準用する。

8. 耐震補強

8.1 設計一般

既設橋の耐震補強は、既設橋耐震補強計画（H26.9策定）（以下）によるものとする。

既設橋耐震補強計画

1 計画策定の主旨

既設橋梁の耐震補強については、阪神淡路大震災以降実施してきた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することを目的とした対策が、今年度概ね終了する。これにより、過去の被災経験を踏まえると、本県の橋梁は、兵庫県南部地震と同程度の地震に対しても落橋等の甚大な被害を防止し、救援・救護活動や緊急物資の輸送路としての機能を維持できるとみなせる性能レベルに達する。よって、今後はさらなる耐震性の向上を目指し、地震後に一般交通に対して長期に通行止めが生じないよう、橋としての機能が応急復旧程度で速やかに回復でき、また、長期に必要な修復も比較的容易に行うことができる状態を確保することとし、そのために必要な対策として昭和55年よりも古い基準を適用した曲げ破壊型の橋梁から耐震補強を実施する。※

2 対象橋梁

昭和55年道示よりも古い基準を適用した複数径間の橋梁で、平成7年復旧仕様、平成8年道示レベルの耐震性能を満たしていない橋梁とする。

図-1に今後の耐震補強における対象橋梁選定の流れを示す

※これまでの既設橋の地震対策により、せん断破壊型の橋脚に対する耐震補強が概ね完了するため、本計画では、曲げ破壊型の橋脚に対する耐震補強を実施する。

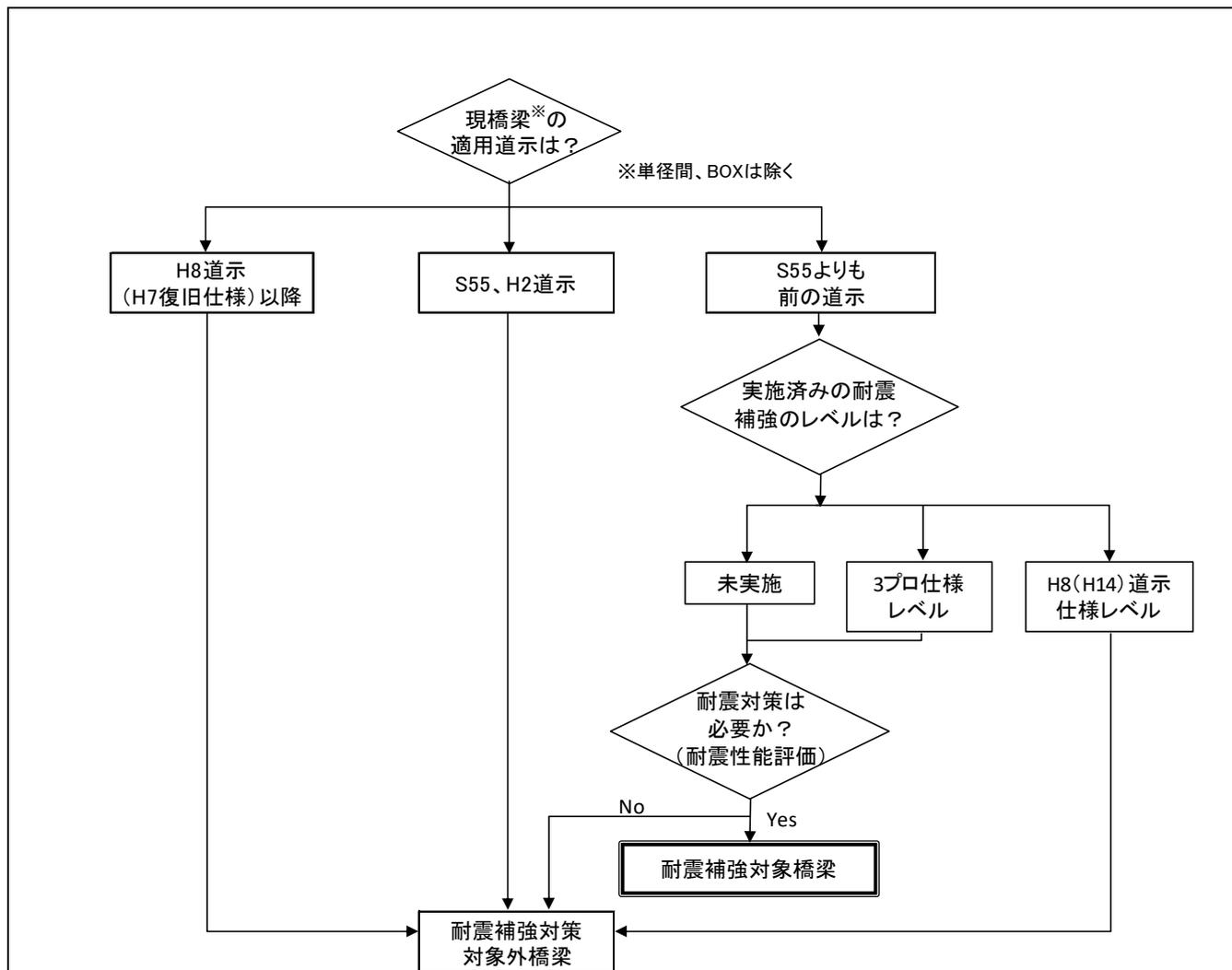


図-1 今後の耐震補強における対象橋梁選定フロー

- 1) 技術基準に応じた耐震性能レベルの分類
 - ・昭和55年より前の道示（「S55 よりも前の道示」）
 - ・昭和55年道示、平成2年道示（「S55、H2道示」）
 - ・平成7年復旧仕様、平成8年道示以降（「H8道示（H7復旧仕様）以降」）
- 2) 既往の耐震補強レベルの分類
 - ・平成7年復旧仕様、平成8年道示以降レベル（「H8（H14）道示仕様レベル」）
 - ・橋梁耐震補強3カ年プログラムで実施された耐震補強レベル（「3プロ仕様レベル」）

3 目標とする耐震性能レベル

「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きみなせる耐震性能レベル※」を基本とする。

ただし、既設路面高、河川渡河橋における計画高水位、交差道路・交差軌道に対する建築限界など既設橋に固有な与条件による制約で、やむを得ず基本とする耐震性能が確保できない場合の目標とする橋の耐震性能レベルは、「レベル2地震動による損傷部位があり、その恒久復旧は容易でないが、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※」とする。

※「既設橋の耐震補強設計に関する技術資料（以下「技術資料」という。）」

（国総研資料第700号, 土研資料第4244号, H24.11）

4 設計地震動等

地震動については、設計時における最新の道示V編の地震動を適用する。

なお、補強設計にあたっては「技術資料」を適用することができる。（平成25年1月9日付け事務連絡「既設橋の耐震補強設計における道示の留意事項について（通知）」参照）

5 耐震補強対策内容

橋脚巻立て、タイプBへの支承交換、落橋防止システムの設置、踏掛版の設置等

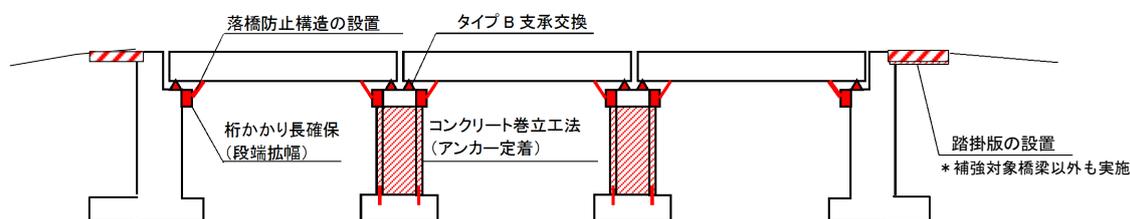


図-2 対策イメージ

<留意事項>

・橋台背面の段差対策について

橋梁本体の耐震対策だけでなく、橋台背面土において液状化による沈下が容易に想定される場合には、「橋梁設計の手引き」に基づき踏掛版設置などの段差対策を併せて行うこと。

また、南海トラフの巨大地震等が発生した場合、橋梁は避難路として活用されることが想定される。よって、補強対象以外の橋梁についても、液状化による沈下が容易に想定される場合には、路面の連続性の確保のため、対策を実施することとする。なお、その際には、南海トラフの巨大地震により浸水が想定される区域から、優先的に対策を行うこととする。

・橋全体系の補強検討について

合理的な耐震補強設計を行うために、積極的に検討すること。特に、橋脚の巻立て工法を河川内の橋脚などに適用する場合には、施工空間や濁水期などの河川条件などの制約、仮締切工等のための仮設費コスト増、あるいは河川内で作業を場合には河川環境への配慮が不可欠、などの施工上の制約条件やコストの条件が厳しくなることなどの課題が考えられるため、個々の下部構造の耐震性能を図る対策工法のみならず、橋全体の耐震性能を向上させる橋全体系の補強を検討すること。

・基礎の対策について

基礎に関しては、平成7年兵庫県南部地震においても、杭体の亀裂が生じた事例が見られたが、基礎本体の破断や大きな残留変位といった基礎の安定性に影響を及ぼす重大な被害は生じていない。また、基礎の補強は、経済性や施工性（架橋条件）から困難な場合が多い。

よって、基礎の補強を不要、あるいは最小限とすることができる方法を検討した上で適切に判断すること。

6 事業の進め方

ひとたび被災を受ければ施工性の困難等から復旧に時間を要し、社会的・経済的にも与える影響が大きい跨線橋・跨道橋を最優先の整備とし、主要幹線道路であるとともに災害時に必要な救援・救護活動や緊急物資輸送のための緊急輸送道路上の橋梁を次とする。緊急輸送道路においては、第1次、第2次の順とする。そして、最後に緊急輸送道路に指定されていない路線上の橋梁とする。(図-3 参照)

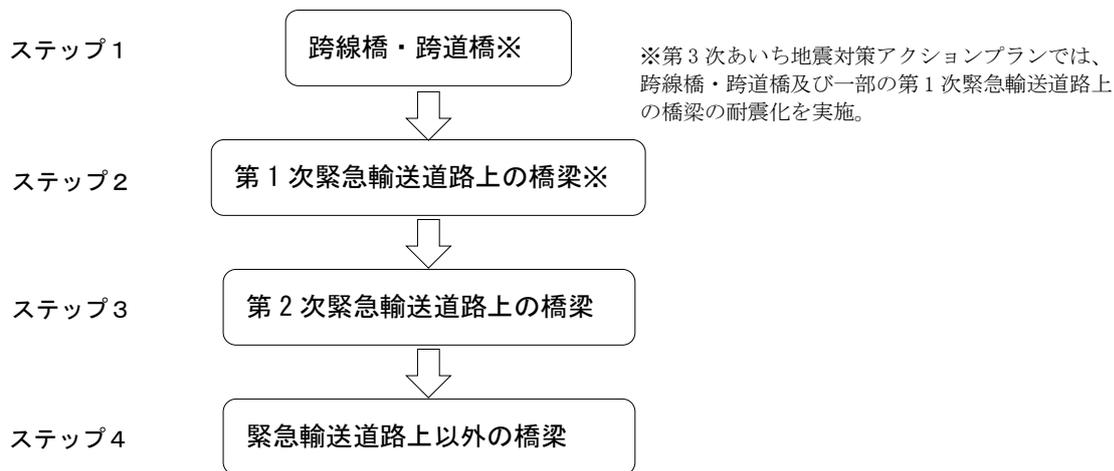


図-3 整備における優先順位

なお、一般に図 8.1.1 するような耐震補強工法がある。

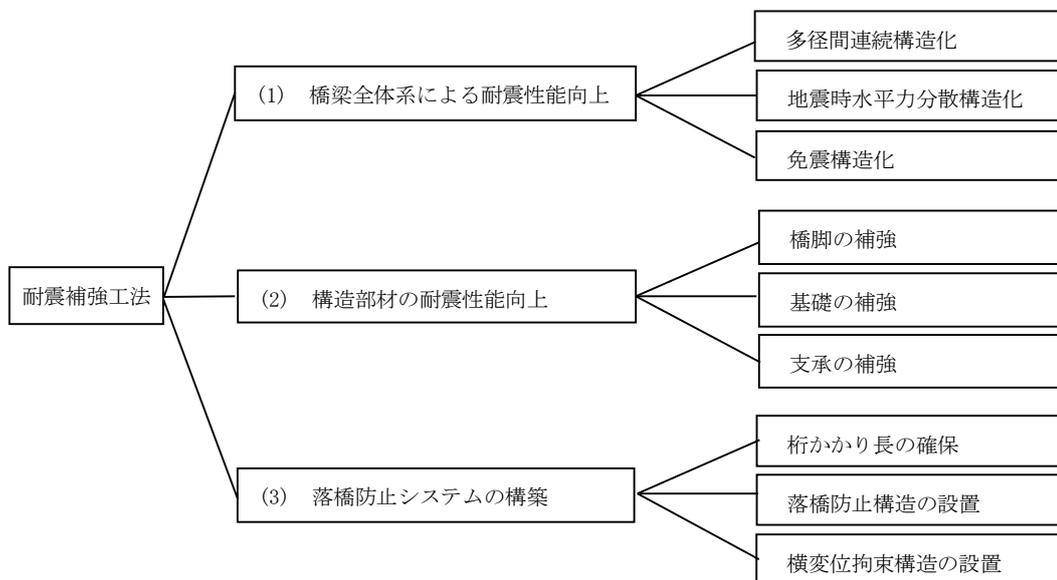


図 8.1.1 補強工法

(1) 橋梁全体系による耐震性能向上

橋梁全体系の変更の目的は、一部の部材補強にのみ着目せず、橋梁全体として耐震性を確保することである。耐震性の確保は、地震時慣性力を低減することや橋梁全体系の変位を抑制することで行う。

なお、「既設橋梁の耐震補強工法事例集」((財)海洋架橋・橋梁調査会, H17.4) 3.2.2 性能評価の基本事項については、適用しないことを基本とし、制約条件(河積阻害率を満足できない場合等)等によりやむを得ず適用する場合には、事前に道路維持課と協議するものとする。

① 多径間連続化と地震時水平力分散構造の採用

図 8.1.2 に例を示す。桁の連続化と支承条件の変更により、桁の落下を防止するとともに、上部構造の慣性力を各橋脚に分散させ橋脚の耐震性を向上させるものである。

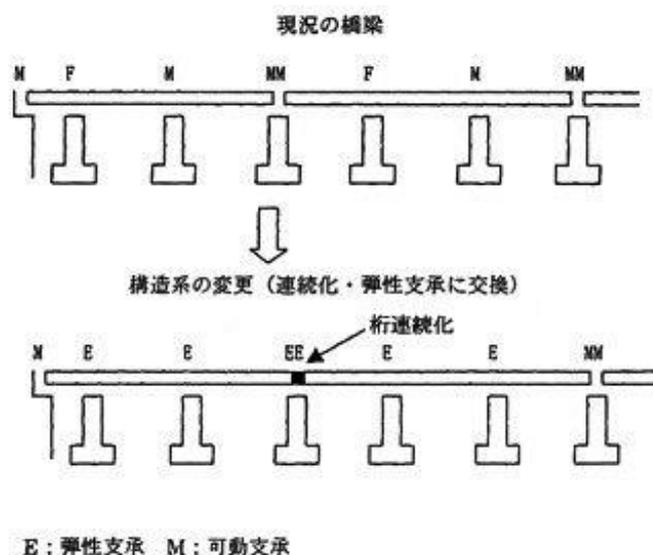


図 8.1.2 造系の変更による耐震性能向上

② 免震構造化

橋梁の免震構造化により、橋梁の地震時の振動周期を長周期化し、さらに、橋梁に作用する地震エネルギーを吸収し、橋梁の耐震性を向上させる方法である。ただし、免震構造化は地盤条件や現状橋梁の周期特性によって適用が制限される。免震構造化に適する条件、適さない条件については、「道示 V 編 14.1, 14.2」及び第 5 章 14.2 を参照のこと。

(2) 構造部材の耐震性能向上

構造部材の耐震補強の目的は、橋を構成する主要な部材の耐力又は変位性能を向上させることにより、橋梁全体系の耐震性を確保することである。ただし、構造部材の耐震補強は他部材の耐力とのバランスに注意し、橋梁全体の安全性に配慮して進める必要がある。

なお、橋梁によっては配筋等が不明の場合もあり、その際には復元設計又は非破壊調査法により配筋状況を推定した結果を基に、耐震性の照査及び耐震補強設計を行わなければならない。

1) 橋脚

橋脚の耐震補強としては、塑性変形能を向上させる方法、せん断耐力を向上させる方法、曲げ耐力を向上させる方法、段落し部補強などがある。橋脚躯体の耐力を向上させると、橋脚躯体から基礎構造へ伝達される地震力も大きくなり、基礎を含めた補強が必要となる場合もある。そのため、基本的にはできるだけ橋脚の塑性変形能を向上させ、耐力が過度に上がらないように配慮することが必要である。

しかし、橋脚躯体の耐力が不足する場合において橋脚の塑性変形の向上だけに期待すると、地震後の橋脚に大きな残

留変位が生じることもあるため、基礎が支持できる範囲内で所要の橋脚躯体耐力の向上を図り、塑性変形能と耐力の向上をバランスさせることが重要である。設計上の留意点は次の通りである。

- ① せん断破壊先行型は避け、曲げ破壊先行型にする。
- ② 耐力を過度に増加させるのではなく、塑性変形能の向上を基本とする。
- ③ 段落し部での曲げ破壊、せん断破壊を防ぐ

2) 基礎

基礎については、原則として照査を行うものとするが、橋脚躯体の耐力が増加しない補強工法の場合には、基礎構造の照査を省略してもよい。

また、上記既設橋耐震補強計画（H26.9 策定）に記載のとおり、基礎の補強を不要、あるいは最小限とすることができる方法を検討するものとする。

なお、過去に見られた地震被害からすると、次のような場合には、基礎の補強を含めて耐震性能の向上を検討すべき場合が多い。

- ① 液状化に伴う流動化が生じるもの
- ② 基礎の耐力及び変形性能が著しく小さいもの
- ③ 液状化の判定が変更となり、液状化時の基礎の耐力が著しく小さいもの
- ④ その他、特殊な条件を有するもの

上記の内、①については、兵庫県南部地震（平成7年）においても臨海部で著しい地盤の水平移動が生じ、その結果基礎にも過大な残留水平変位が生じた事例がある。また、②については建築基礎において既製コンクリート杭で抗体のせん断破壊が多数認められている他、基礎の耐力が著しく小さいと過大な残留変位が生じる恐れがある。③については、②とも関連するが、根入れの比較的小さい基礎では支持層付近の地盤で液状化が発生する恐れがある場合もあるので注意する必要がある。その他の地震による被害状況は、「土木研究所資料第4168号 既設道路橋基礎の耐震性能簡易評価手法に関する研究（平成22年5月、土木研究所）」にまとめられているので参考にすると良い。

基礎の補強は、次の方法に大別される。

- ① 基礎の耐力を増加させる方法

既設基礎に新たな構造部材を付加し基礎の耐力を増加する方法と、基礎周辺地盤の強度を増加することにより基礎の耐力を増加させる方法がある。

- ② 基礎周辺地盤の液状化による強度低下を防止する方法

地盤改良により地盤の動的せん断強度を増加させる方法と、地盤中に透水層を設け間隙水圧の増加を抑制する方法がある。その他、地盤中に鋼矢板や地中連続壁を設置し、地震時の地盤のせん断力又はせん断ひずみを減少させる方法がある。

また、「土木研究所資料第4168号 既設道路橋基礎の耐震性能簡易評価手法に関する研究、H22.5、土木研究所」では、下記のように耐震補強の優先順位が整理されている。

<過去の被災事例と傾向分析から見た基礎の補強の優先順位>

- ① 既往の被災事例で数多く報告されている地盤の液状化に伴う基礎周辺地盤の水平抵抗低下に伴い、基礎部材に脆性的な破壊が生じるケース
- ② 施工性を優先し、振動特性を無視した極端に剛性や余裕が低い突出構造（パイルベント橋脚、

突出ケーソン基礎)に残留変位, 破壊が生じるケース

- ③ 液状化後の地盤の流動化によって地盤自体が移動し, 基礎にも残留変位が生じるケース
- ④ 新潟県中越地震や岩手・宮城内陸地震で見られた斜面上にある基礎において, 基礎の周辺斜面が崩壊し, 杭頭が露出や基礎底面地盤の傾斜など常時の支持力に不安が生じるケース

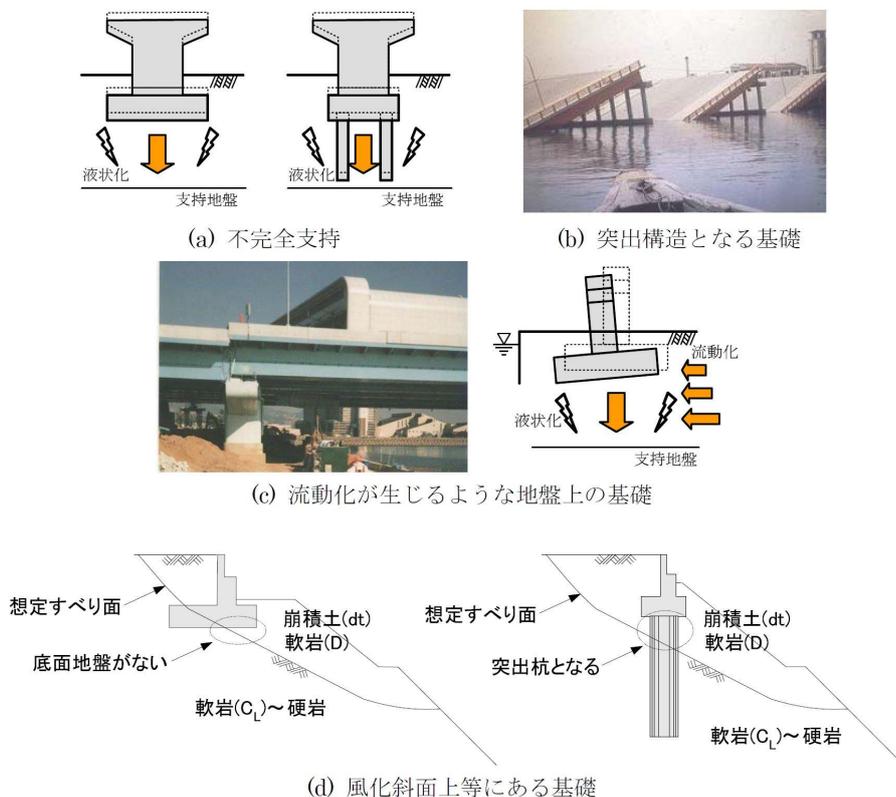


図 8.1.3 補強優先度の高い基礎の状態
(土木研究所資料第 4168 号 既設道路橋基礎の耐震性能簡易評価手法に関する研究, 図-4.16, H22.5, 土木研究所)

<設計基準及び施工技術の変遷から見た基礎の補強の優先順位>

以下のような条件を満たす基礎は, 大地震時に対する安全余裕度が相対的に小さいものと考えられ, 基礎補強の優先順位は高いものと言える。

- ① 過去の基礎の施工能力不足や技術レベルにより, 良質な支持層に根入れされていないなど, 常時・レベル 1 地震時の安定計算を満足しない基礎。
- ② 過去の既製コンクリート杭などに見られるように, 横拘束鉄筋の量が少なく, 部材の塑性変形能及びせん断耐力が劣るもの。

8.2 鉄筋コンクリート橋脚の補強

8.2.1 補強の基本方針

既設鉄筋コンクリート橋脚の補強では、橋全体系の塑性変形能を向上させて粘り強い構造とすることが重要である。このため、鉄筋コンクリート橋脚で支持された橋では、橋脚の塑性変形能と耐力の向上が求められる。橋脚躯体の耐力を向上させると基礎への負担も大きくなるので、耐力が過度に上がらない工法が望ましい。一方、塑性変形能の向上だけに期待すれば地震後の橋脚に大きな残留変位を生じることもあるため、注意を要する。

愛知県においては、「既設橋の耐震補強設計の当面の進め方について（通知）, H25. 1. 9, 事務連絡, 愛知県道路維持課」にて、『設計地震動は、H24 耐震設計編の設計地震動を採用し、既設橋の鉄筋コンクリート橋脚の耐震性能評価における地震時保有水平耐力及び許容塑性率の算出方法については、「既設道路橋の耐震補強に関する参考資料, H9. 8, 日本道路協会（以下、「H9 参考資料」という。）」により設計する。なお、載荷繰返し回数の影響についての最新の知見に基づき、タイプⅠの地震動及びタイプⅡの地震動の両方に対して H9 参考資料のタイプⅡの地震動に対する許容塑性率の値を用いる。』としているので、これによることとする。

既設鉄筋コンクリート橋脚の耐震性向上策として、以下の方法が考えられる。

- ① 塑性率 μ を大きくし、耐力を変えずにエネルギー吸収を図る方法
- ② 橋脚の終局水平耐力 P_u を上げ、耐力と変形性能により抵抗させる方法

①は、RC巻立て工法や鋼板巻立て工法（いずれもフーチングへのアンカー定着なし）等による拘束効果（帯鉄筋効果）により可能となる方法である。本方法では、橋脚の終局水平耐力 P_u が大きく変わらないため、想定以上の地震が生じても基礎への負担が少ない。②は、フーチングへのアンカー定着を併用することにより、橋脚の終局水平耐力 P_u を向上させる方法である。本方法では、塑性率の改善のみではエネルギー吸収に限界があり十分な補強効果が得られない場合に有効であるが、橋脚の耐力を大きく増加させる必要がある場合には、基礎の照査が必要となる。

補強の考え方として、まず①の方法で補強工法を検討することを基本とし、それでも耐力不足となる場合には②の方法で検討するものとする。なお、②の方法で橋脚の耐力を大幅に増加させる必要があり、基礎の補強が必要となる場合には、地震時水平力分散構造や免震構造への変更などを検討する。

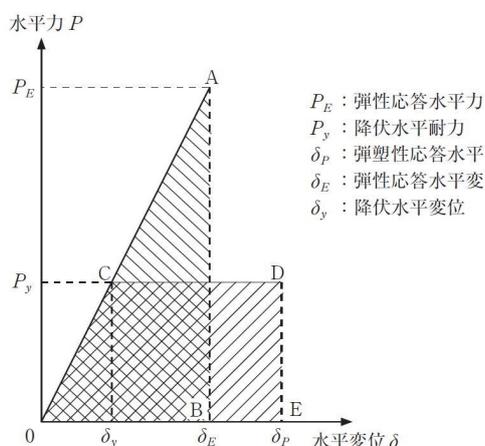


図 8.2.1 エネルギー一定則に基づく構造物の弾塑性応答変位の推定（道示Ⅴ編, 図-解 5.3.1）

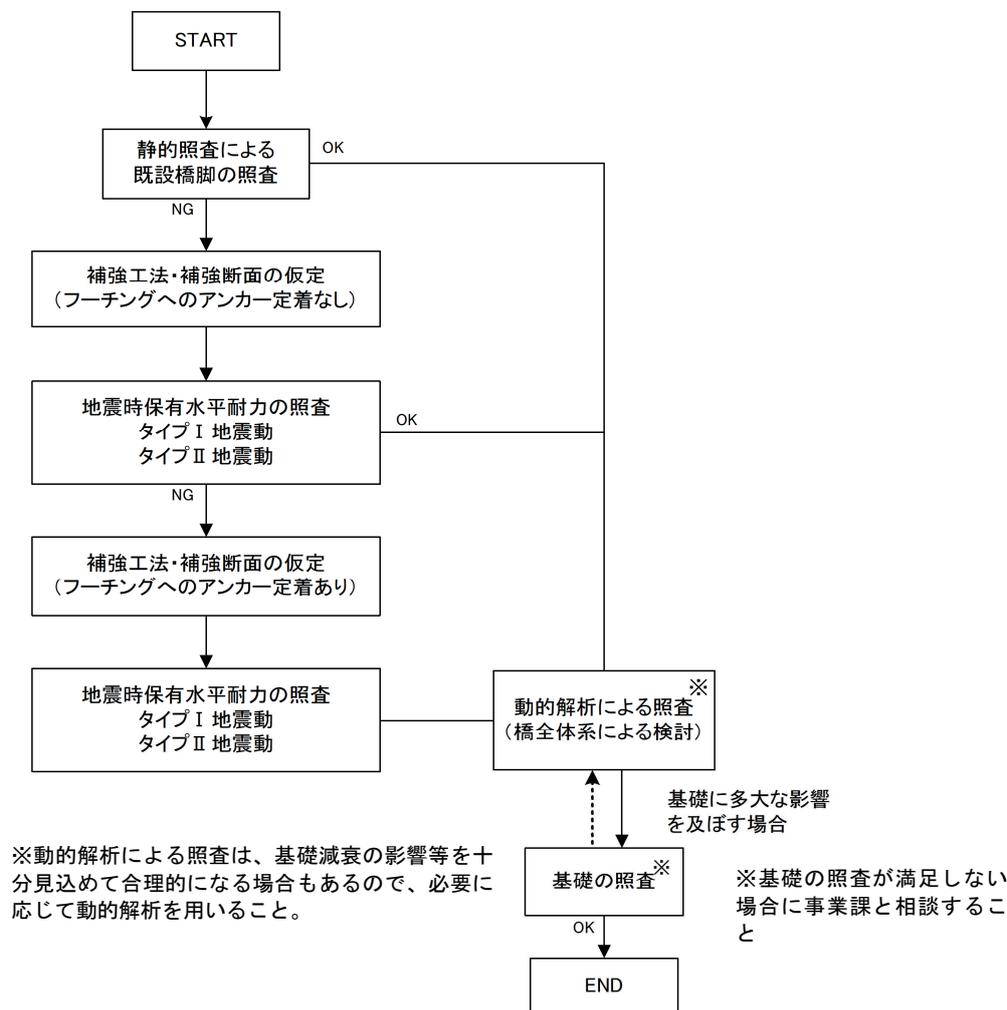


図 8.2.2 既設鉄筋コンクリート橋脚のRC巻立て工法・鋼板巻立て工法の補強設計の流れ

8.2.2 補強工法の選定

一般に耐震補強工法の選定は、工法の特徴及び現場の施工条件に大きく影響を受けるため、事前に設計、施工の制約条件を検討したうえで、各工法の補強効果、経済性、施工性等を比較検討して補強工法を選定しなければならない。主な補強工法としてRC巻立て工法、鋼板巻立て工法、連続繊維巻立て工法などがある。補強効果については、RC巻立て工法と鋼板巻立て工法ともに耐力の向上（フーチングにアンカー定着する）や塑性変形能の向上の効果が実験により認められている。特に鋼板巻立て工法では、鋼板を帯鉄筋として換算することにより塑性率が大きくなり、補強設計上有利となる。また、連続繊維巻立て工法については、従来段落とし部の補強やせん断補強として用いられてきたが、帯鉄筋効果による塑性変形能の向上についても、実験により効果が確認されている。

表 8.2.1 鉄筋コンクリート橋脚の耐震補強工法の特徴

(既設橋梁の耐震補強工法事例集, 表 4-1, H17. 3, 海洋架橋・橋梁調査会 (一部修正))

		鉄筋コンクリート巻立て工法	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 ・壁式橋脚の塑性変形能を向上させる場合は中間貫通鋼材等で拘束度を高める ・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 ・段落し区間の補強が可能	適用可能 ・段落し区間の補強が可能
	せん断補強		適用可能	適用可能
	塑性変形能の向上		適用可能 ・壁式橋脚の塑性変形能を向上させる場合は中間貫通鋼材等で拘束度を高める	適用可能 ・壁式橋脚の塑性変形能を向上させる場合は中間貫通鋼材等で拘束度を高める
	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あり
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およぼす場合がある	・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およぼすことは少ない ・矩形断面では補強鋼板のほ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およぼすことは少ない ・複雑な構造物形状に対応できる ・繊維材に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等がある
施工性		・既設コンクリートの十分な表面処理が必要	・狭あいな場所では, 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	・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, 仕上げ工が必要 ・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経済的		・巻立て層数によっては鋼板巻立て工法に比べ経済的

(3) 経済性

一般的には, RC巻立て工法が最も有利となる場合が多く, 次いで鋼板巻立て工法又は連続繊維巻立て工法の順となる。また, RC巻立て工法は, 将来的な維持管理面で他工法に比べ有利ともいえる。

(4) 施工性

RC巻立て工法は, 補強断面の施工性から25cmの断面増加が避けられない。当該橋梁の交差道路側方余裕等の関係からRC巻立て工法を採用できない場合, 河川内橋脚で河積阻害率を満足しない場合等により採用できない場合もある。

鋼板巻立て工法は, 断面増加が数cm程度で済むため, 交差道路等の側方余裕が小さい場合や, 柱自重が増加して基礎の耐力に影響を与える場合に有効である。さらに, 現場での準備期間中に補強鋼板の製作が可能であるので比較的短期間で施工が可能である。なお, 長期的には腐食などの問題が懸念されるので防錆には十分配慮しなければならない。

連続繊維巻立て工法は, 鋼板巻立て工法と同様の特徴を有し, さらに軽量な材料を使用するため, 手作業による施工が可能であり, 狭隘な箇所での作業が比較的容易で, 材料搬入時にも特別な搬入路の整備が不

要である。しかし、工法が特殊であり下地処理やシートの貼付作業の良否が補強効果に大きな影響を及ぼすので、工法を理解したうえで入念な施工が必要である。

8.3 RC巻立て工法

RC巻立て工法は、図 8.3.1 に示すように橋脚躯体を鉄筋コンクリートで巻立て、既設橋脚の段落とし部のせん断補強のみでなく、橋脚全体の耐力向上を狙った補強工法である。

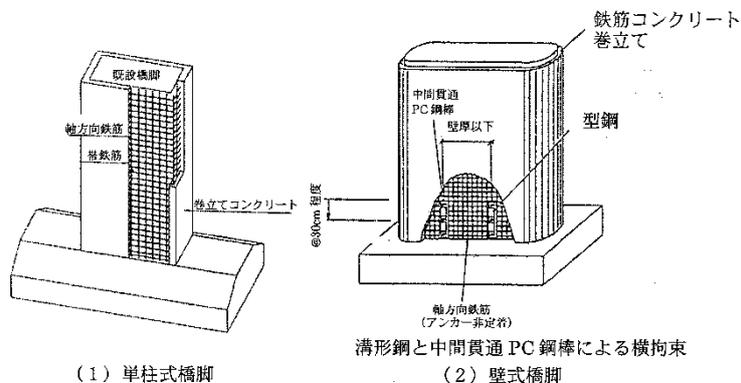


図 8.3.1 補強概要 (RC巻立て工法)

(1) コンクリート

巻立てコンクリートは、24-8-25BB ($\sigma_{ck}=24\text{N/mm}^2$) を標準とする。

また、膨張材等の混和材料 (混和材, 混和剤) については、第 11 章「RC巻立て工法施工要領 (最新版 愛知県建設部道路維持課)」14.7 によるものとする。

なお、混和材料の使用量については、配合設計時に決定するため、設計図面 (工事発注図面) には、以下の例のように施工時に決めることを明記する。

膨張材の記載例：「膨張材使用，添加量 30kg/m³ 以下，監督員と協議のうえで添加量を決定すること。」

(2) 既設コンクリートの表面処理

第 11 章「RC巻立て工法施工要領 (最新版 愛知県建設部道路維持課)」14.4 によるものとする。

(3) 構造細目

(a) 巻立てコンクリート厚は、施工性から 250mm を標準とする。

(b) 巻立てコンクリートの鉄筋の鋼種は、SD345 を標準とする。

なお、SD390 及び SD490 については、「既設橋の耐震補強設計の当面の進め方について (通知) , H25. 1. 9, 事務連絡, 愛知県道路維持課」に基づき使用しない。

(c) 補強部材に配置する鉄筋は、表 8.3.1 を標準とする。

表 8.3.1 補強部材に配置する鉄筋径と間隔

	最小径	望ましい最大径	最大径	間 隔
軸方向鉄筋	D22	D32	D51	150~300mm
帯鉄筋	D16	D22	D25	100~150mm

(d) フーチングにアンカー一定着する軸方向鉄筋間隔は、250~300mm を標準とし、アンカー一定着が容易なエポキシ樹脂による定着方法を標準とする。

(e) 軸方向鉄筋のエポキシ樹脂接着アンカーの埋込長については、鉄筋径の20 倍以上を確保する。

(f) エポキシ樹脂塗装鉄筋を使用する場合の定着長 (重ね継手長) は、付着強度を普通鉄筋の85%として算出する (エポキシ樹脂塗装鉄筋を用いる鉄筋コンクリートの設計施工指針, 3. 1, H15. 11, 土木学会)。

(g) 機械式継手を用いる場合は以下の内容を適用する。

- ・現場打ちコンクリート構造物に適用する機械式継手工法ガイドラインを遵守すること。
- ・橋梁では、D38以上を原則使用し、SA級機械式継手を採用すること。D38未満で使用する場合は、設計に特に留意し、必ず事業課と調整すること。

ただし、継手等級については、継手工法、メーカー製品ごとに異なるため、工法選定時には検証等が必要である。

なお、機械式継手は、カプラー、スリーブ等の継手部が鉄筋径よりも太いため、必要なかぶり厚さやあきが不足することが懸念されるため留意すること。

また、軸方向鉄筋に機械式継手を用いる場合などは、帯鉄筋の加工寸法など留意が必要である。

(h) 橋脚躯体下端の曲げ耐力の向上に寄与するのは、既設橋脚に定着された軸方向鉄筋のみであると考え、基部の曲げ耐力の算定においては、フーチングにアンカー定着した軸方向鉄筋のみを考慮する。

(i) 軸方向鉄筋及び帯鉄筋は、橋脚躯体下端より天端まで同径、同間隔とし断面変化は行わない。

(j) 鉄筋のかぶり及びあきについては、道示によるものとする。

(k) 中間貫通鋼材を配置する場合は、橋脚躯体下端から補強後の壁厚以上の区間に配置することを標準とする。

中間貫通鋼材は、PC 鋼棒φ32等を使用し、配置間隔は、水平方向には補強後の橋軸方向の断面幅以内、鉛直方向には30cm程度としてよい。PC 鋼材には、緊張力は導入せず、降伏強度比による帯鉄筋換算してよい。なお、鉛直方向間隔がRC 巻立ての帯鉄筋間隔よりも大きい場合、鉛直方向に溝形鋼等を配置して中間貫通鋼材を定着することが必要である。(図 8.3.2参照)

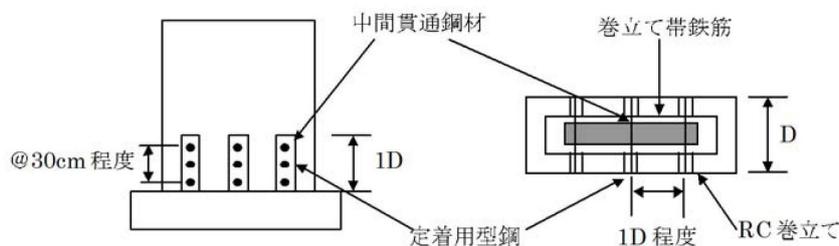


図 8.3.2 中間貫通鋼材の配置

(1) 巻立てコンクリートの天端位置は、コンクリートの打設に配慮し、図 8.3.3のとおり、梁のつけ根から10cm下がりを目安とする。ただし、橋脚高が低い場合等、梁つけ根位置で耐力が不足する場合はこの限りではない。

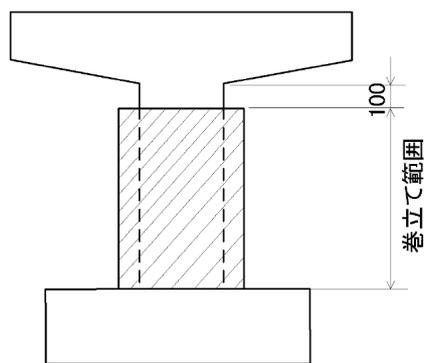


図 8.3.3 補強部材に配置する鉄筋径と間隔

- (m) 巻立てコンクリートの天端は、排水勾配として2%程度の勾配を付けることを基本とする。また、天端部での新旧コンクリートとの境界には、雨水などの侵入防止のためシーリングを行う。

8.4 曲げ耐力制御式鋼板巻立て工法

鋼板巻立て工法のうち、耐力及び塑性変形能の向上をバランスよく確保できる補強工法として曲げ耐力制御式鋼板巻立て工法がある。曲げ耐力制御式鋼板巻立て工法は、図 8.4.1 に示すように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させるとともに、アンカー筋を通じて鋼板をフーチングに定着させた構造である。

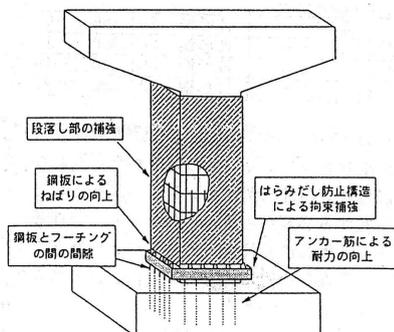


図 8.4.1 曲げ耐力制御式鋼板巻立て工法

- (1) 補強鋼板は、柱の全長にわたり巻立てることを原則とする。
- (2) 補強鋼板の板厚は6～12mm（1mm きざみ）を標準とする。
- (3) 補強鋼板の現場継手は現場溶接による接合とし、その開先形状は良好な施工性を確保でき、所定の溶接品質が得られるようなものとする。なお、溶接継手位置は、特に矩形柱の場合には鋼板の隅角部を継手位置としてはならない。
- (4) 橋脚躯体と鋼板の間隙に無収縮モルタルを充填することを標準とする。充填厚は平均30mmとする。
- (5) 鋼板固定用アンカーボルトは径 M16（皿ボルト又は普通六角ボルト）とし、配置間隔は500mmを標準とする。

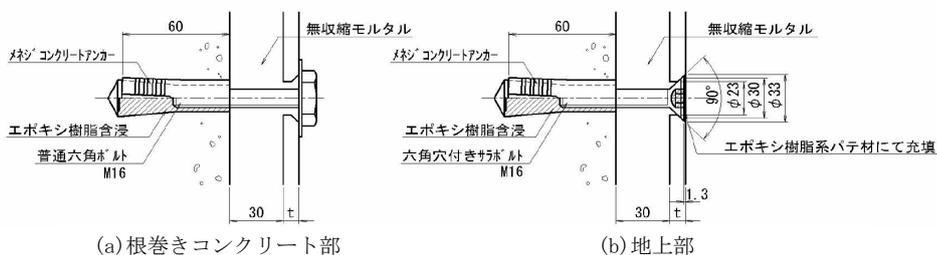


図 8.4.2 固定用アンカーボルトの例
(既設橋梁の耐震補強工法事例集, 図-5.19, H17.3, 海洋架橋・橋梁調査会)

- (6) 矩形橋脚下端部の拘束方法は、鉄筋コンクリートを円形に巻立てる方法を標準とする。これは、大きな地震を受けて橋脚基部で塑性ヒンジが生じた場合、鋼板により躯体コンクリートを確実に拘束することが重要なことによる（既設橋梁の耐震補強工法事例集 5.1.4, H17.3, 海洋架橋・橋梁調査会）。

図 8.4.3 に各拘束方法を示す。

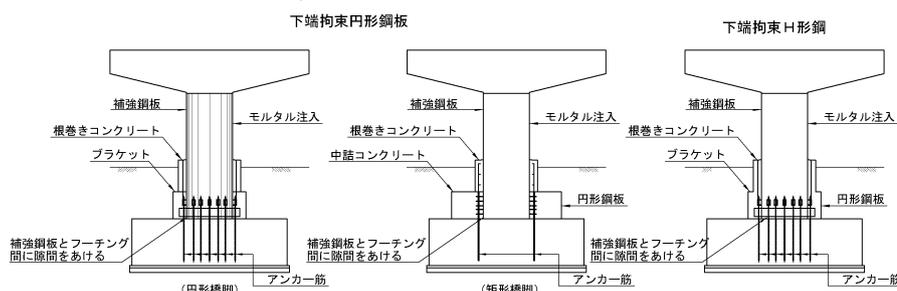


図 8.4.3 鋼板巻立てによる橋脚補強

- (7) 円形鋼板の板厚は、補強鋼板厚に腐食代 2mm を加えた厚さ以上とする。
- (8) フーチング定着アンカーを用いる場合には、補強鋼板下端部にスタッドジベルを取り付けて、アンカー筋の応力を補強鋼板に伝達させる。
- (9) フーチング定着アンカーは異形棒鋼を使用し、フーチングへの定着は無収縮モルタルによる定着を標準とする。定着長はアンカー鉄筋径の 20 倍以上確保するものとする。アンカーピッチは 250mm～500mm 程度とする。
- (10) H形鋼による下端拘束で補強鋼板とアンカー筋の応力伝達を、ブラケットを介して行う場合、鋼板厚さは局部座屈を考慮して、次式により算出する。

$$t \geq \sigma_{ya} \cdot Aa / 0.6 \cdot \sigma_{yi} \cdot Sa \quad \dots\dots\dots \text{式 (8.4.1)}$$

ここに、

- t : 鋼板厚さ (mm)
- Σya : アンカー筋の降状点 (N/mm²)
- Aa : アンカー筋 1 本当りの断面積 (mm²)
- Σyi : 鋼板の降伏点 (N/mm²)
- Sa : アンカー筋の間隔 (mm)

(既設橋梁の耐震補強工法事例集, 式 5.5, H17.3, 海洋架橋・橋梁調査会)

- (11) 下端拘束に使用するH形鋼は、以下の断面係数を有する形鋼等を取り付けることを標準とする。

$$W = 0.015 \times a^2 \quad \dots\dots\dots \text{式 (8.4.2)}$$

- W : 断面係数 (cm³)
- a : 断面寸法 (cm)

表 8.4.1 下端拘束用形鋼の標準寸法

断面寸法 a (m)	形 鋼
$a \leq 2.0$	H形鋼 (250-250-9-14)
$2.0 < a \leq 3.0$	H形鋼 (300-300-10-15)
$3.0 < a \leq 3.8$	H形鋼 (350-350-12-19)
$3.8 < a \leq 4.5$	H形鋼 (400-400-13-21)

(既設橋梁の耐震補強工法事例集, 式 5.6 及び表-5.3, H17.3, 海洋架橋・橋梁調査会)

- (12) 使用する鋼材の鋼種は、以下を標準とする。

鋼板 : SM400, 鉄筋 : SD345

鉄筋の鋼種は、SD390 及び SD490 については、「事務連絡-既設橋の耐震補強設計の当面の進め方について (通知) , H25.1.9, 事務連絡, 愛知県道路維持課」に基づき使用しない。

- (13) 鋼板の分割数については、現場における施工条件を考慮しできるだけ少なくすることが望ましい。鋼材の断面方向の分割数は、**図8.4.4**に示すように4分割を標準とする。

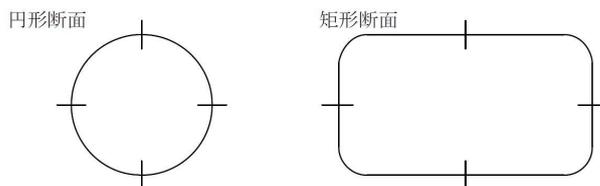
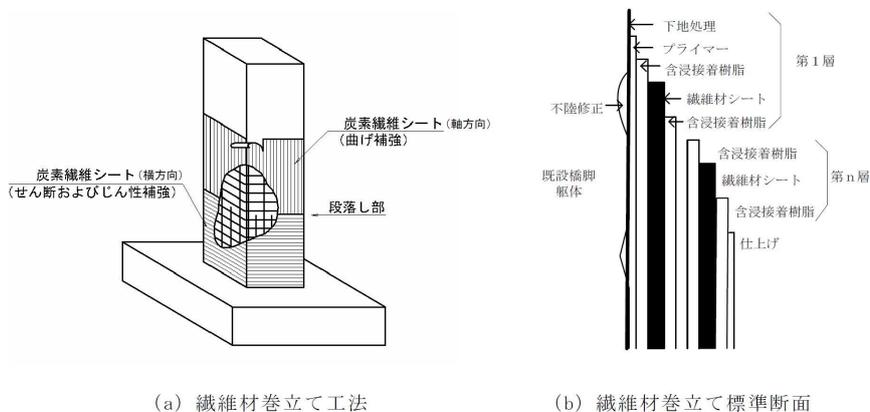


図 8.4.4 鋼板の継手位置

8.5 連続繊維巻立て工法

連続繊維巻立て工法は、鉄筋コンクリートや鋼板に代わって、炭素繊維やアラミド繊維などの連続繊維を樹脂などの結合材で集結したものをを用いて、鉄筋コンクリート橋脚を巻立てる耐震補強工法である。



(a) 繊維材巻立て工法 (b) 繊維材巻立て標準断面

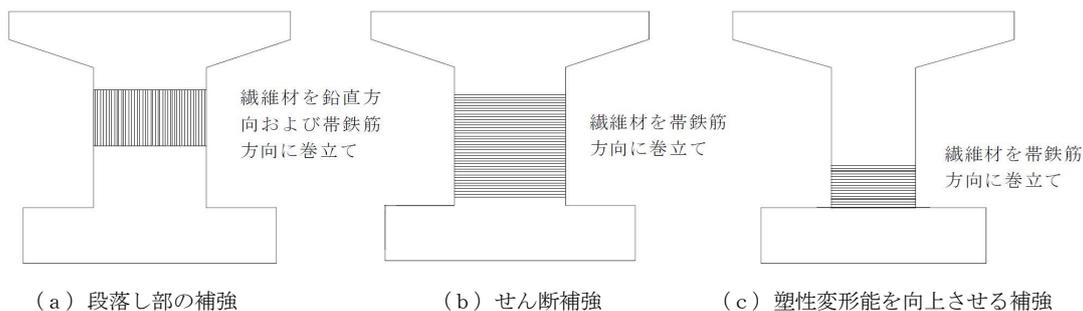
図 8.5.1 連続繊維巻立て工法

期待できる補強効果は、以下のとおりである。

- ① 橋脚の破壊形態を躯体下端の曲げ破壊へ移行させる補強
- ② 橋脚全体の塑性変形能を向上させる補強

①は、躯体表面の軸方向及び直角方向に、炭素繊維シートを交互に貼付けることにより、引張鉄筋及び帯鉄筋を増設することと同様の効果を期待して、段落とし部の曲げ耐力の増加やせん断耐力の向上を図り、橋脚の破壊形態を躯体下端の曲げ破壊へと移行させるものである。②は、橋脚の破壊形態が躯体下端の曲げ破壊であることを前提に、躯体下端で帯鉄筋方向に炭素繊維シートを貼付けることにより、横拘束効果の向上を図り、橋脚全体の塑性変形能を向上させるものである。

「設計要領 第二集, 6章 7-4-2, H24. 7, NEXCO 総研」では、使用する炭素繊維シートは引張強度 3400N/mm²を標準としている。



(a) 段落し部の補強 (b) せん断補強 (c) 塑性変形能を向上させる補強

図 8.5.2 連続繊維巻立てによる橋脚補強

8.6 橋全体系の耐震補強工法

8.6.1 補強の基本方針

既設橋梁下部構造の耐震補強には、橋脚等を対象に鉄筋コンクリート巻立て工法や鋼板巻立て工法などの部材補強工法が主に採用されてきた。これらの工法は補強効果が確認された有効な工法であるが、たとえば、河川内の橋脚などに適用した場合には、以下の理由等により施工上の制約条件や建設コストが厳しくなるなどの課題がある。

- ・河川管理上の制約を受ける。
- ・水中部の部位を補強する場合は仮締切工等が必要となり、仮設費が増加する。
- ・河川内で作業を行う場合には河川環境への配慮が必要となる。

これらの課題を有する既設橋梁については、橋の全体構造系に着目して耐震性能を評価することで各橋脚の性能を確保する橋全体系の耐震補強工法が望ましい。

図 8.6.1 に橋全体系の耐震補強工法を適用した例を示す。図 8.6.1 (a) は通常の橋脚の耐震補強を行う例であり、河川内の橋脚に対して水中部での施工を行うため仮締切工が必要となる。図 8.6.1 (b) は橋全体系の耐震補強工法の例であり、上部構造の連続化・連結化を行うとともに、支承を免震支承に交換し、全体構造系を免震構造に変更して地震時慣性力の低減を図ることで、各下部構造の補強対策を不要とする工法である。

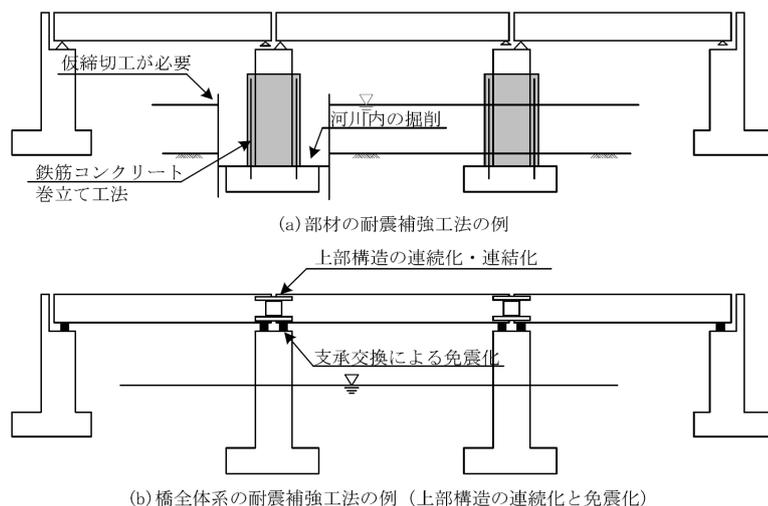


図 8.6.1 部材の耐震補強と橋全体系の耐震補強の比較
(既設橋梁の耐震補強工法事例集, 図 6-1, H17.3, 海洋架橋・橋梁調査会)

8.6.2 補強工法の選定

橋全体系の耐震補強工法の特徴を表 8.6.1 に、選定フローを図 8.6.2 に示す。

表 8.6.1 橋全体系の耐震補強工法
(既設橋梁の耐震補強工法事例集, 表 4-3, H17.3, 海洋架橋・橋梁調査会)

	免震工法	地震時水平力分散方式	変位拘束工法
構造的特徴	<ul style="list-style-type: none"> 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、地震時水平力分散方式、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 	<ul style="list-style-type: none"> 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、常時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 	<ul style="list-style-type: none"> 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
施工性	<ul style="list-style-type: none"> 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 支承部の取り替えの際は、既設部材を損なわないよう注意が必要 		<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 制震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 		<ul style="list-style-type: none"> 既設橋梁と同様な維持管理が必要
経済性	<ul style="list-style-type: none"> 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 		<ul style="list-style-type: none"> 小規模橋梁の場合は、経済的に有利となる可能性がある



図 8.6.2 橋全体系の耐震補強工法の一般的な選定フロー
 (既設橋梁の耐震補強工事例集, 図-6.6, H17.3, 海洋架橋・橋梁調査会)

8.7 支承部及び落橋防止システム

8.7.1 一般

支承部に対する耐震設計に関して H24 道示 V 編の改定において配慮された事項は、新設する橋に対してはその設計段階において一般には容易に考慮できる事項であるが、既設橋に対する耐震補強においては、レベル 1 地震動に対してまで抵抗するように設計された支承部が既に設置されているという、既設橋に固有な与条件があるため注意が必要である。これは、既設橋に改定された H24 道示 V 編以降の考え方を全てそのまま適用すると、設計・施工の面でその対応が難しい場合もあり、また結果として、支承部の周辺が煩雑な構造という本来避けるべき構造を生み出す可能性もあり得るためである（既設橋の耐震補強設計における技術資料, 4.2（国総研資料第 700 号）, H24. 11, 国土交通省国土技術政策総合研究所）。

既設橋の支承部の耐震補強対策及び落橋防止対策については、「既設橋の耐震補強設計における技術資料（国総研資料第 700 号）, H24. 11, 国土交通省国土技術政策総合研究所」にその考え方に基づく例が示されているので参考にするとよい。表 8.7.1 に、一般的な既設橋の耐震補強において目標とする耐震性能レベルの 3 つの例について、支承部及び上部構造に生じる状態及びその状態を具現化するための対応方法（橋軸方向の場合）を示す。

愛知県においては、「既設橋の耐震補強設計における道示の留意事項について（通知）, H25. 9, 事務連絡, 愛知県道路維持課」にて、「既設橋の耐震補強における落橋防止対策については、H24 道示 V 編 5.7(1)の規定に基づき、橋の構造条件を踏まえた上で、支承の破壊に起因する上部構造の落下を防止できるように適切な対策を講じれば良いものとする。」とされ、「既設橋の耐震補強設計における技術資料（国総研資料第 700 号）」により行うことを示している。さらに、既設橋の耐震設の方針について「既設橋の耐震補強設計の当面の進め方について（通知）, H25. 1. 9, 事務連絡, 愛知県道路維持課」にて示されている。

表 8.7.1 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の例（橋軸方向）
 （既設橋の耐震補強設計における技術資料, 表 4-2,
 (国総研資料第 700 号) , H24. 11, 国土交通省国土技術政策総合研究所)

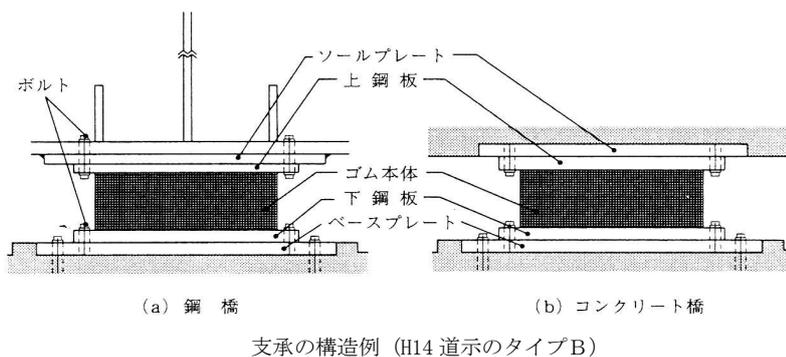
耐震補強において 目標とする橋の 耐震性能レベル	耐震補強において考慮する支承部及び上部構造に生じている状態			既設橋の耐震補強に おける支承部・落橋防 止システムへの対応
	レベル1地震動まで	レベル1～レベル2 地震動まで	支承部の破壊後	
レベル2地震動による損傷が限定的なものに留まり、橋としての機能の回復が速やかに行い得る状態が確保されるとみなせる耐震性能レベル	支承部（支承本体、取付用鋼板、ボルト等の取付部材等）に変状や損傷が生じない。	支承部（支承本体、取付用鋼板、ボルト等の取付部材等）に変状や損傷が生じない。	支承部は破壊するため、機能を喪失する*）。桁かかり長と落橋防止構造により上部構造が下部構造頂部から逸脱しない。	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
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は行えないが、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
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、支承部は機能を喪失する。	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

※) 支承部に破壊が生じた場合にも、橋の速やかな機能の回復が求められる場合には、当該支承部の構造条件等によってはその破壊により路面に数百 mm の段差が生じる可能性がある場合もあるため、段差防止構造の設置等についても検討する。

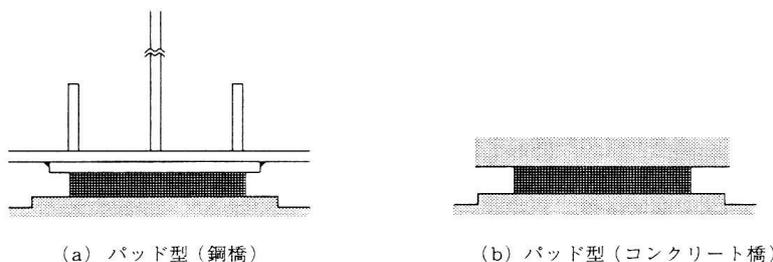
8.7.2 支承部構造

(1) 支承部構造

支承のタイプは、H14 道示では耐震性能により支承を支承部単独で設計水平震度に相当する慣性力に抵抗する場合に用いる支承（タイプB）と落橋防止システムと補完し合って設計水平震度に相当する慣性力に抵抗する場合に用いる支承（タイプA）に分類されていた。しかし、H24 道示以降では、支承部の点検や維持管理のために支承部周辺は可能な限り複雑な構造としない方がよいこと、レベル1地震動を超える地震動により従来のタイプAの支承部が損傷した場合にその部材や破片の落下による第三者被害が生じないような配慮が必要であること（道示V編, 15.1 解説）等を踏まえ、従来のタイプBであるレベル2地震動に対して支承部の機能を確保する構造のみの規定となった。図 8.7.1 に支承の構造例、表 8.7.2 支承の補強方法と特徴を示す。



支承の構造例 (H14 道示のタイプB)



(参考) H14 道示のタイプAのゴム支承の構造例

図 8.7.1 支承の構造例

表 8.7.2 支承の補強方法と特徴

補強方法	機能性	施工性	設計・施工上の留意点
支承交換	・大規模地震に対する耐力が明確である。	・上・下部構造間の狭所での支承の交換工事となる。 ・交通解放下での作業ではジャッキアップが必要	・支承の寸法が既設のものより大きくなる。 ・既設アンカーボルトの補強が必要
水平荷重を支持する支承の追加設置 (図参照)	同上	・下部構造の側面も利用できるため、施工空間は支承交換の方法より広がる。 ・交通解放下での作業でもジャッキアップの必要はない。	・支承受り付け用の台座アンカーボルトの新設。上・下部構造の支承受り付け箇所の補強が必要

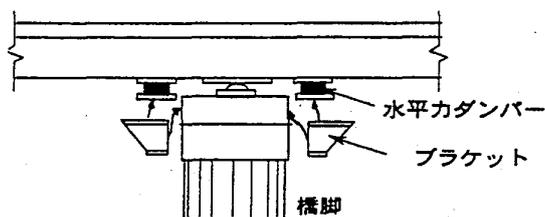


図 7.8.2 水平荷重を支持する支承の追加設置の例 (水平力分散・免震化構造への変更)

(2) 支承部の設計地震力の考え方 (既設橋の耐震補強設計における技術資料 4.3 (国総研資料第 700号), H24. 11, 国土交通省国土技術政策総合研究所)

H24 道示V編以降では、タイプAの支承部の規定を削除し、支承部に対する設計地震力を一本化したことを踏まえ、耐震補強において追加で設置するレベル2地震動によって生じる水平力を分担する構造の設計地震力としては、変位制限構造の設計地震力として用いられていた $3k_h R_d$ (ここで、 k_h はレベル1地震動に相当する設計水平震度、 R_d は死荷重反力)ではなく、「道示V編 15.4」の規定によることが基本となる。

8.7.3 落橋防止システム

(1) 落橋防止システムの構築

落橋防止システムは、桁かかり長、落橋防止構造及び横変位拘束構造により構成し、支承部の破壊によって上部構造と下部構造が構造的に分離し、これら間に大きな相対変位が生じる場合にも上部構造の落下を防止することを目的とする（道示V編, 13.3 解説）。

H24 道示以降では、大地震における既往の落橋被害の分析等の結果を踏まえ、落橋に至るような大きな変位が生じにくい構造条件を、橋軸方向の落橋防止構造を省略できる条件とすることにより、落橋防止構造を省略できる条件の適用範囲を拡大している。これは、落橋防止対策という観点からは、そもそも落橋に対する安全性の高い構造計画を検討するのが望ましいためである（道示V編, 2.7.1 (2) 解説）。

表 8.7.3 落橋防止システムに関する規定の推移

		落 橋 防 止 構 造							
		橋 軸 方 向				直 角 方 向			
H2 道路橋示方書	落橋防止構造	桁端から下部構造 頂部縁端までの、桁 の長さ等 SE=70+0.5L	落橋防止装置		可動支承の移動制限装置		—	規定なし	
		いずれか一方必要		要					
H7 復旧仕様	落橋防止構造	桁端から下部構造 頂部縁端までの、桁 の長さ等両側支間 の大きい方をしと する。	落橋防止装置 「衝撃が生じに くい構造、橋軸直 角方向への自由 度及び損傷しな い配慮」		可動支承の移動制限装置		予備支承	落橋防止装置の設置等の検討が 望ましい（復旧仕様の参考資料） 斜橋、曲線橋、ゲルバーかけ違い 部、横梁のない単柱橋脚の橋	
		要	複数要		要				
H8, H14 道路橋示方書	落橋防止システム	桁かかり長 支間長Lのほか、地 盤のひずみ、橋脚の 変形、液状化・流動 化の影響、斜角、曲 線橋交角を考慮	落橋防止構造 （上部構造の落 下を防止する）		変位制限構造 （上下部構造の相 対変位を抑制す る）		ジョイント プロテクター： 変位制限構 造との兼用 可	段差防止 構造： 背の高い 鋼製支承 （B種橋） 使用時	変位制限構造を設ける 斜橋、曲線橋、下部構造の頂部幅 の狭い橋、1支承線上の支承数の 少ない橋、地盤流動化により橋脚 が橋軸直角方向に移動する可能 性のある橋
			支承		支承				
		要	タイプ B	タイプ A	タイプ B	タイプ A			
H24 道路橋示方書	落橋防止システム	桁かかり長 支間長Lのほか、地 盤のひずみ、橋脚の 変形、液状化・流動 化の影響、斜角、曲 線橋交角を考慮	落橋防止構造 （上部構造の落 下を防止する）		規定なし			横変位拘束構造を設ける 上部構造が隣接桁や橋台の拘束 を受けずに回転できる橋で、かつ 径間数が1径間又は2径間の一連 の上部構造を有する橋は端支 点に設ける 下部構造の頂部幅が狭い橋は端 支点及び中間支点に設ける	
		要	要：ただし、橋軸 方向に大きな変 位が生じにくい 構造特性を有す る橋は不要						
H29 道路橋示方書	落橋防止システム	橋軸方向		直角方向		回転方向			
		桁かかり長 支間長Lのほか、地 盤のひずみ、橋脚の 変形、液状化・流動 化の影響を考慮	落橋防止構造 （上部構造の落 下を防止する）		桁かかり長を確保する 一連の上部構造の全ての支 点部において 確保する		桁かかり長を確保する 一連の上部構造の端支 点部において当該支 点部の支承線に 直角な方向に確保する 横変位拘束構造を設ける 上部構造が隣接する上部構造、橋 脚の段違い又は橋台パラベット で挙動が拘束されないときに、上 部構造の回転を拘束する位置、及 び上部構造がこれを支持する下 部構造から回転方向に対する桁 かかり長を超えて逸脱すること のない範囲で機能するように設 置する		
		要	要：ただし、上部 構造が容易には 落下しないと考 えられる構造条 件を有する橋は 不要						

表 8.7.4 落橋防止システムの設計荷重等の推移

		橋 軸 方 向			直角方向	
H2 道路橋示方書	桁端から下部構造頂部縁端までの桁の長さ、及びかけ違い部の桁の長さ 1) $L \leq 100$ $SE = 70 + 0.5L$ 2) $L > 100$ $SE = 80 + 0.4L$	落橋防止装置 $HR \geq 2.0 \cdot Kh \cdot Rd$ (許容応力度割増考慮) 桁を連結する構造 $V = Rd$	可動支承の移動制限装置 設計水平力 $HS = 1.5 \cdot kh \cdot Rd$ (許容応力度の割増考慮)	—	規定なし	
H7 復旧仕様	桁端から下部構造頂部縁端までの桁の長さ、及びかけ違い部の桁の長さ(支間長Lは両側支間の大きい方とする) 1) $L \leq 100$ $SE = 70 + 0.5L$ 2) $L > 100$ $SE = 80 + 0.4L$	落橋防止装置 $P = Rd$ (許容応力度割増なし)	可動支承の移動制限装置 設計水平力 $HS = 1.5 \cdot kh \cdot Rd$ (許容応力度の割増考慮)	予備支承	落橋防止装置 1) 設計水平力(参考資料) 2) 鉛直力(桁を連結する構造) $V = Rd$	
H8, H14 道路橋示方書	桁かかり長 $SE = UR + UG \geq SEM$ $UG = \epsilon \cdot G \cdot L$ レベル2地震動により生じる上部構造と下部構造 $SEM = 70 + 0.5L$ 斜橋・曲線橋は以下の値をそれぞれ下回らないこと $SE0 = (L0/2) \cdot (\sin \theta - \sin(\theta \cdot \alpha E))$ $SE \phi = (0.5 \phi + 70) \cdot (\sin \phi / \cos(\phi/2)) + 30$ 地盤流動化が生じる場合には50cmの余裕量を見込む	落橋防止構造 $HF = 1.5 \cdot Rd$ (許容応力度の割増考慮) 設計最大移動量: $SF = 0.75 \cdot SE$	変位制限構造 $HS = 3 \cdot Kh \cdot Rd$ (許容応力度の割増考慮) 設計移動量: 温度変化など常時による移動量	ジョイントプロテクター $HJ = Kh \cdot Rd$ (許容応力度の割増考慮)	段差防止構造 支承損傷後に上部構造を適切な高さに支持できる構造	変位制限構造 $HS = 3 \cdot Kh \cdot Rd$ (許容応力度の割増考慮) 設計移動量: 常時による移動量
H24 道路橋示方書	桁かかり長 $SER = UR + UG \geq SEM$ $UG = \epsilon \cdot G \cdot L$ レベル2地震動により生じる上部構造と下部構造 $SEM = 0.7 + 0.005L$ 斜橋・曲線橋は以下の値をそれぞれ下回らないこと $SE \theta R = 2L \theta \sin(\alpha E/2) \cos(\alpha E/2 - \theta)$ 地盤流動化が生じる場合には0.5mの余裕量を見込む	落橋防止構造 1) 上下部構造を連結する形式 $HF = PLG$ ただし, $HF \leq 1.5Rd$ 2) 2連の桁を相互に連結する形式 $HF = 1.5Rd$ 設計最大移動量: $SF = cFSE$	規定なし		横変位拘束構造 $Hs = PTR$ ただし, $HS \leq 3khRd$	
H29 道路橋示方書	橋軸方向		直角方向		回転方向	
	桁かかり長 $SER = UR + UG \geq SEM$ $UG = \epsilon \cdot G \cdot L$ レベル2地震動により生じる上部構造と下部構造 $SEM = 0.7 + 0.005L$ 地盤流動化が生じる場合には0.5mの余裕量を見込む	落橋防止構造 1) 上下部構造を連結する形式 $HF = PLG$ ただし, $HF \leq 1.5Rd$ 2) 2連の桁を相互に連結する形式 $HF = 1.5Rd$ 設計最大移動量: $SF = cFSE$	桁かかり長 $SER = UR + UG \geq SEM$ $UG = \epsilon \cdot G \cdot L$ レベル2地震動により生じる上部構造と下部構造 $SEM = 0.7 + 0.005L$ 地盤流動化が生じる場合には0.5mの余裕量を見込む	桁かかり長 $SE \theta R = 2L \theta \sin(\alpha E/2) \cos(\alpha E/2 - \theta)$ 横変位拘束構造 水平力は下記式より算出する $Hs = PTR$ ただし, $HS \leq 3khRd$		

(2) 桁かかり長 (道示V編, 13.3.5)

桁かかり長は、第5章13.3.5により決定する。なお、第5章13.3.5による桁かかり長の確保が困難な場合は、本章8.7.3(6)5を参考に検討を行う。

(3) 橋軸方向の落橋防止構造

既設橋の落橋防止システムの対策は、「供用期間中に発生する確率が低いが大きな強度をもつ地震動に対し、支承に損傷が生じて上部構造が下部構造から落下することを防止する」ことを基本とする。

その中でも、橋軸方向の落橋防止構造については以下のとおりとする。

- 1) 落橋防止構造は、桁かかり長を補完するもので、支承部が破壊したときに、橋軸方向の上下部構造間の相対変位が桁かかり長を超えないようにする機能である。支承部が破壊しても、上部構造端部において上下部構造間に落橋に至るような相対変位が生じにくい橋やこの支点以外において上下部構造間が結合されていることにより上部構造に落橋に至るような大きな応答変位が生じにくい橋（両端が橋台に支持された一連の上部構造を有する橋、橋軸方向に4基以上の下部構造において弾性支持又は固定支持される橋、2基以上の下部構造が剛結されるラーメン橋等）を除いた、一連の上部構造の端支点に設置しなければならない。
- 2) 落橋防止構造は原則として以下に示す構造とする。
 - ① 上部構造と下部構造を連結する構造
 - ② 上部構造及び下部構造に突起を設ける構造
 - ③ 2連の上部構造を相互に連結する構造
- 3) 落橋防止構造の遊間は、橋軸方向に対する桁かかり長の0.75倍以下の範囲で機能するように設置する。落橋防止構造の設置位置は、常時の桁の変位や回転を拘束しない範囲で図8.7.3に示す遊間「a」を最低限確保し、可能な範囲で大きい値をとることとする。なお、最小遊間が確保されていれば橋座面の拡幅等を行う必要はない。

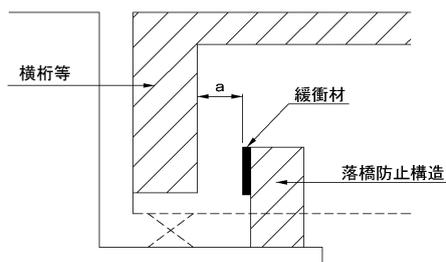


図 8.7.3 落橋防止構造の遊間

$$\text{最小遊間 } a = (\text{桁の温度変化による移動量}) + (\text{桁のたわみによる移動量}) \\ + (\text{余裕量} \pm 20\text{mm}) + (\text{施工余裕量})$$

(既設橋梁の耐震補強工法事例集, 図-7.13, H17.3, 海洋架橋・橋梁調査会)

- ① 落橋防止構造は、桁が温度変化やたわみにより伸縮・変位した場合に、干渉することがない位置に設置することとし、変位量に余裕量 $\pm 20\text{mm}$ を考慮する（既設橋梁の耐震補強工法事例集, 7.2.2, H17.3, 海洋架橋・橋梁調査会）。なお、コンクリートの乾燥収縮・クリープは建設後3年～5年でほぼ終了すると考えられるため、この影響は考慮しなくてよい。
- ② 落橋防止構造自体の施工性等を考慮し、必要に応じて施工余裕量を確保する。

③ 緩衝材には、クロロプレンゴム（硬度 $55^{\circ} \pm 5^{\circ}$ 程度，許容支圧応力度 $12\text{N}/\text{mm}^2$ ）を使用することとする（「兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係る仕様」の準用に関する参考資料(案), 2.1.9, H7.6, 日本道路協会）。

4) 落橋防止構造は，支承部の維持管理を考慮した構造，配置とする。

5) 支承高が高い(40cm程度以上)場合には，段差防止構造の設置について検討を行う。

(4) 水平面内での回転方向の落橋防止システム(横変位拘束構造)

水平面内での回転方向の落橋防止対策は，一連の上部構造の水平面内での回転挙動を想定した場合に，これに近接する上部構造，橋脚の段違い部又は橋台パラペットで挙動が拘束されないときに行う。横変位拘束構造は，下記の条件の場合に設置する。

① 斜橋，曲線橋

斜角，曲率が「道示V編 13.3.4 (1)」の規定に該当する場合は，上部構造の水平面内での回転による変位を拘束して，水平面内の回転方向の落橋を回避するため，端支点・掛け違い部に横変位拘束構造を設置する。回転に対する横変位拘束構造は，レベル2地震動を考慮する設計状況で生じる橋軸直角方向に対する最大応答変位を越えてほどなく機能するような位置に設置されることが一般的である。

(5) 橋軸直角方向の落橋防止システム(横変位拘束構造) (H24 道示を適用。H29 道示では，頂部幅が狭い橋を計画しないことが明確化されたため，頂部幅が狭い既設橋についてはH24 道示を適用して計画する。)

橋軸直角方向の落橋防止システム(横変位拘束構造)は，桁配置に対して橋座幅に余裕がある場合が多いことや，一般的には壁式橋脚などの剛性の高い構造を採用していることから，上下部構造の相対変位は小さく，橋軸直角方向に落橋に至る可能性は低いと考えられるため，下記の条件の場合に設置する。

① 特殊な橋 (H24 道示)

「H24 道示V編 16.1 (4) 2)」に規定する下部構造の頂部幅が狭い橋は，上部構造の端支点に加えて中間支点にも橋軸直角方向の横変位拘束構造を設ける必要がある。

流動化により直角方向に移動が生じる可能性のある橋は，個々の構造条件や支点条件に応じて，落橋防止対策を検討するのがよい。

(6) 落橋防止システムに関する計画方針

落橋防止システムの計画においては，できるだけH29 道示に適合するよう創意工夫することを基本とする。

1) 適用

既設橋に新たに設置する落橋防止システムについては，「既設橋の耐震補強設計の当面の進め方について（通知）」，H25.1.9, 事務連絡，愛知県道路維持課，H29 道示及び「既設橋の耐震補強設計における技術資料 4.4（国総研資料第 700 号）9, H24.11, 国土交通省国土技術政策総合研究所」に準拠して設計することを基本とする。また，復旧仕様，H8 道示，H14 道示，「緊急輸送道路の橋梁耐震補強 3 箇年プログラム, H17.6.3, 事務連絡, 国土交通省」により耐震補強設計済みで未施工の橋梁に関しては，原則施工前に H29 道示に基づき修正設計を行う。

2) 復旧仕様による対策済橋梁の取扱い

復旧仕様による対策済橋梁に対する耐震対策上の取扱いは、「対策済み」とする。ただし、将来的には落橋防止システムの確保の検討することとし、当面、H29 道示へ対応させる対策を実施しない。

3) 復旧仕様による一部対策済橋梁の取扱い

復旧仕様による一部（上部構造対策のみ、上部構造対策あるいは下部構造対策の一部）対策済橋梁において、今後未対策部分の耐震対策に着手する場合には、1) の内容のとおり、H24 道示に基づき対策を実施する。ただし、上部構造対策においては、構造単位ごとに適用示方書の統一を図ることとする。なお、復旧仕様による対策済み部分の取扱いについては、2) の内容のとおり「対策済み」とし、H29 道示に対応させる対策を当面実施しない。

4) H2 及びそれ以前の道示を適用した橋梁の取扱い

H2 及びそれ以前の道示を適用した橋梁に対する耐震対策上の取扱いは、「未対策」とする。

今後実施する上部構造対策の設計時には、H2 以前の道示を適用している既設落橋防止装置及び移動制限装置等について、その構造、機能を考慮のうえ、既設構造の機能向上を図ることにより、有効利用が可能か否かを検討する。ただし、有効利用の判定においては、H29 道示との適合が原則となる。判定における主な項目は、以下のとおりである。

- ・桁かかり長：下部構造の桁かかり長、後付けの沓座縁端拡幅構造
- ・落橋防止構造：耐荷力、移動量（作用時期）、緩衝機能
- ・横変位拘束構造：耐荷力、移動量（作用時期）

ただし、有効利用できる場合であっても、その採用にあたっては新規設置の場合と機能、コスト、施工性、施工が橋梁本体構造に与える影響について比較のうえ、総合的に判断すること。また、既設構造を有効利用する場合は、既設構造と新設構造の作用時期を合せる必要がある。

なお、有効利用しない既設の落橋防止装置及び移動制限装置は、上部構造対策工事の実施及び支承等の維持管理に支障のない場合に限り、その装置を撤去する必要はない。

5) H29 道示への対応が困難な場合等への対応

H29 道示への対応が困難な場合については、落橋防止システムを構成する以下の①～③を考慮する。

① 桁かかり長

- a) 復旧仕様適用前の基準で設計された既存の上部構造対策工（橋座縁端拡幅工）は、必要長 S_E を満足する場合には、「対策済み」として取り扱う。復旧仕様適用前の基準にて設計された橋座縁端拡幅は、H29 道示で耐力を照査すると設計荷重の相違により、既設のアンカー鉄筋の設計荷重時の断面力が制限値を満足しない可能性がある。その理由は設計荷重が復旧仕様以降 1.5 倍になったことによる。しかし、断面力は制限値を超えるものの降伏点以下であること、又、取り壊し再構築は既設のアンカー鉄筋が支障となり施工が困難であることより、「対策済み」として取り扱う。

- b) 建築限界等の制約条件により橋座縁端拡幅を行えない場合には、横変位拘束構造を設置する等により適切な対策を施すこと。ただし、以下③のような場合には、別途協議のうえ対応を決定するものとする。

② 落橋防止構造

- a) 既設橋（PCプレテン床版桁，PC中空床版桁（場所打ち）等）で，新たに落橋防止構造を設けることが困難な場合には，桁かかり長 S_E に余裕を持たせる（例えば，「道示V編 16.2」の規定により設定される必要桁かかり長の1.5倍以上を確保する）等により適切な対策を施す。
- b) 落橋防止構造，横変位拘束構造ともに対策が必要な場合で，いずれかの新設が困難な場合には，落橋防止構造の対策を優先するものとする。
- c) 上記 a) を適用した橋梁は，今後においても前述 2) 「復旧仕様による対応済」と同様の取扱いとする。

③ 横変位拘束構造

- a) 新たに横変位拘束構造の設置が困難な場合には，既設の変位制限構造を横変位拘束構造とみなしてよいものとする。例えば，PCプレテン床版桁などの実質的な対応が困難なPC桁等では，既設のアンカーバータイプの移動制限装置を横変位拘束構造とみなすこともやむを得ないものとする。
- b) 上記 a) を適用した橋梁は，今後においても前述 2) 「復旧仕様による対応済」と同様の取扱いとする。

(7) 落橋防止構造の選定

1) 落橋防止構造のタイプごとの特徴及び適用を表 8.7.5，表 8.7.6 に示す。選定にあたっては，既設橋の構造，施工条件，環境条件や経済性の他，以下の事項を考慮することとする。

① 橋台部(端支点部)

- ・ 支承部近傍の維持管理を考慮すると，上下部構造を連結するタイプ(表 8.7.5 の II-A)が好ましいが，既設橋の場合，橋台背面の掘削により交通規制が生じるため，一般に設置が困難となる。また，橋台たて壁をチェーンやPC鋼材により連結するタイプ(表 8.7.5 の II-B，II-C)も考えられるが，交差道路等の建築限界や景観等に影響する場合も多い。そのため，上部構造及び下部構造に突起を設ける構造であり，状況によっては取り外すことができる鋼製ブラケットタイプを基本としてよい。
- ・ 現状の橋座幅で最小遊間(図 8.7.3 の「a」)が確保できる場合は，橋座幅を拡幅せずに設置可能な構造(表 8.7.5 の I-A，I-B)を選定することがよい。
- ・ PC中空床版形式等の上部構造及び下部構造に突起の設置が困難な場合には，上部構造と下部構造を連結する構造としてよい。
- ・ コンクリート構造物(橋台，RC・PC桁等)においては，既設の鉄筋，PC鋼材のボイド等の位置に十分留意する。

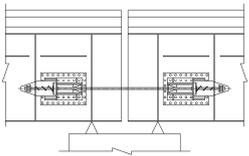
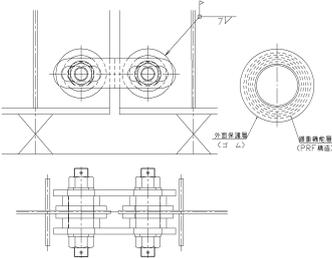
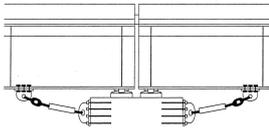
表 8.7.5 橋台部(端支点)の落橋防止構造タイプの特徴及び適用例

落橋防止構造 タイプ 項目	Ⅰ：鋼製ブラケット		
	I-A	I-B	
構造図			
特徴	鋼製の突起構造を橋座面に設置し、端横桁により地震時の落橋を防止する。現行の橋座幅で最小遊間が確保できる場合に適用。	鋼製の突起構造を橋座面に設置し、上部構造から張出したH形鋼により地震時の落橋を防止する。	
適用形式	コンクリート桁 鋼板桁	鋼板桁	
備考	鋼板桁の場合は端横桁にRC巻立てが必要。		
落橋防止構造 タイプ 項目	Ⅱ：橋台と桁を連結		
	Ⅱ-A	Ⅱ-B (チェーン)	Ⅱ-C (PC鋼材)
構造図			
特徴	新設橋では最も一般的な構造であるが、既設橋では交通規制が必要であるため、設置は困難となる場合が多い。	緩衝材であるゴムを被覆したチェーンにより上部構造と下部構造を連結する構造。	PCケーブル等により上部構造と下部構造を連結する構造。
適用形式	コンクリート桁 鋼板桁	中空床版 箱桁	中空床版 箱桁
備考		桁下の建築限界及び美観に留意	

② 橋脚部(掛け違い部)

- ・ 支承部の維持管理を考慮し、上部構造相互を連結するタイプ(表 8.7.6 のⅢ)を基本とする。
- ・ 2連の桁を相互に連結する形式の落橋防止構造は、隣接する上部構造の形式や規模が著しく異なる橋には適用しないのがよい。一般にこのような配慮が必要な橋は、隣接する上部構造の重量の比が2倍以上、又は、2つの設計振動単位の固有周期の比が1.5倍以上の橋と考えてよい(道示V編 13.3.6 解説)。上部構造を連結するタイプの設置が困難な場合には、上部構造及び下部構造に突起を設ける構造、又は上部構造と下部構造とを連結する構造(表 8.7.6 のⅣ)とする。
- ・ トラス、アーチ橋等の特殊な上部構造に関しては別途検討を行わなければならない。

表 8.7.6 橋脚部(掛け違い部)の落橋防止構造タイプの特徴及び適用

項目	Ⅲ：上部構造同士で連結		Ⅳ：形式・規模が異なる
	Ⅲ-A P C鋼材等により連結する	Ⅲ-B 添接板により連結する	
構造図			
特徴	隣接桁同士をP C鋼材等により連結するタイプで、支承部周辺が複雑とならず、維持管理上好ましい。	隣接桁同士を連結板により連結する。緩衝機能を緩衝ピンもしくは添接板の構造改良により付加する。	上部構造及び下部構造に突起を設けるか、上部構造と下部構造と連結するタイプ。
適用	Ⅳ以外の場合。	Ⅳ以外の場合で既設が連結板を用いている場合や歩道橋のように荷重規模が小さく伸縮継手部の変位量が小さい場合。	隣接桁の死荷重反力差が2倍以上、両者の振動系固有周期比が1.5倍以上の場合、及び構造上、上部構造を連結するタイプの設置困難な場合。
備考	鋼桁の場合、腹板にブラケットを設置し、落橋防止構造を取り付けるのが一般的であるが、桁本数が異なる場合(主桁線が一致していない場合)は横桁をR C巻立てし、連結構造とすることで対処が可能となる。	鋼桁で既設落橋防止構造として添接板が用いられている場合に、緩衝機能を付加し、添接板の改造を行う。緩衝ピンの採用が多いが、緩衝式連結板を用いることができる。	具体的な落橋防止の構造は、桁形式や施工条件等に応じて、橋台部の選考方法に準じる。

(8) 横変位拘束構造の選定

横変位拘束構造は、本章 8.7.3(4)、(5)の条件に合致するときに設置する。横変位拘束構造の構造例を表 8.7.7 に示す。

横変位拘束構造は、「道示V編 13.3.4(1)」に該当する構造条件である場合には、「道示V編 13.3.4(4)」の規定に従って設置しなければならない。

表 8.7.7 横変位拘束構造の例

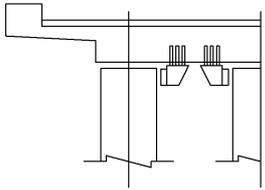
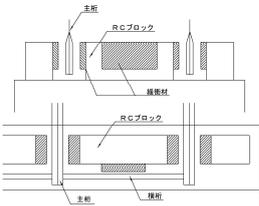
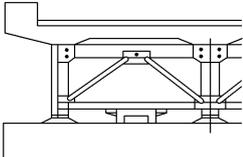
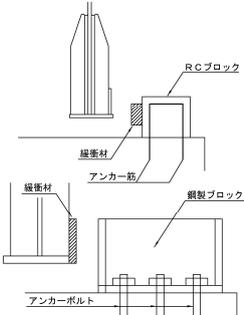
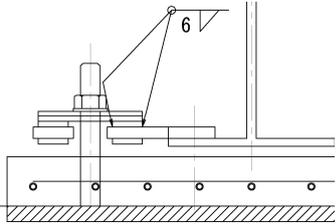
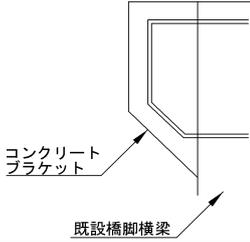
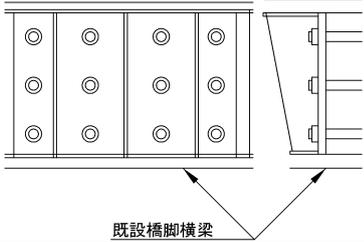
項目	V：横変位拘束構造の例		
	V-1	V-2	V-3
構造図			
特徴	上部構造にアンカーにより鋼製の突起を設置した構造。	下部構造上面の主桁間にコンクリートブロックを設置した構造。	横桁及び橋座面に突起を設置した構造。
項目	V：横変位拘束構造の例		
	V-4	V-5	
構造図			
特徴	桁のサイドにコンクリートブロックや鋼製ブラケットを設置した構造。	桁のサイドにアンカーバーを設置し、桁に鋼製ブラケットを設置した構造。	

表 8.7.8 下部構造頂部縁端を拡幅する場合の例（概略）

	鉄筋コンクリート造	鋼製
概略図		

(9) 構造細目

- 1) アンカー定着長は 15φ 以上とする。
- 2) 削孔長は必要な定着長を確保するため、アンカー定着長に余裕長（10 mm 程度）を考慮する。
- 3) 既設部及び新設（同時施工）の RC 造沓座拡幅部に落橋防止構造のアンカーを取り付ける場合は、アンカーの定着は既設部で行う。
- 4) 沓座拡幅が既に RC 造で行われている場合、沓座拡幅部へのアンカー取り付けは、原則としてアンカーの定着を既設沓座拡幅部を無視して既設本体に定着する。ただし、既設の沓座拡幅部の耐荷力について落橋防止構造からの荷重が作用した場合の照査を行い、問題なければ定着長として既設沓座拡幅も考慮する。なお、既設沓座拡幅部に損傷がある場合は適切な処置を行う。

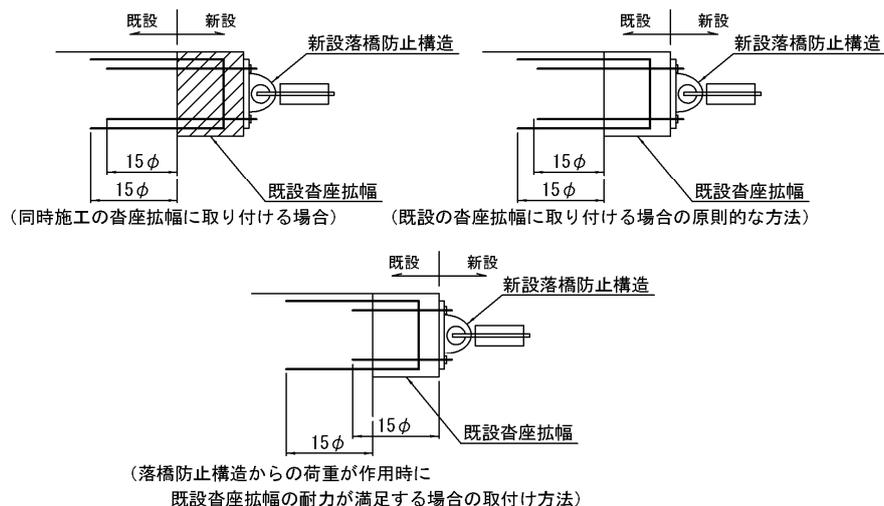


図 8.7.4 アンカーの定着長

5) 沓座拡幅部にRC造もしくは鋼製の突起を設ける場合は、沓座拡幅部の桁荷重による耐荷力の照査を行う。沓座拡幅部の照査では有効幅を以下のように仮定してよい。

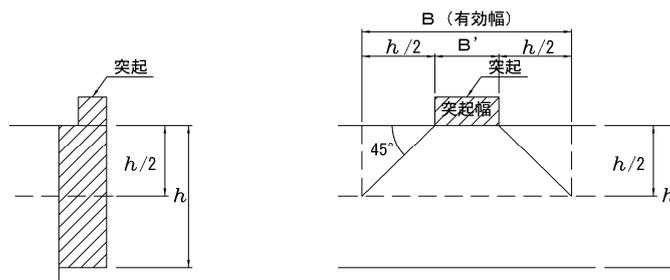


図 8.7.5 沓座拡幅部の有効幅

8.8 アンカー工の設計・施工上の留意事項

橋梁耐震補強工事におけるアンカー工の設計及び施工においては、以下に示す内容に留意する。

(1) 設計上の留意事項

- ①アンカー削孔を計画する場合は、必要に応じて既設RC構造物の表面から鉄筋レーダー探査を行い、既設配筋状態を確認したうえで設計を行う。
- ②アンカー定着長は、橋脚柱のRC巻立て工法及び曲げ耐力制御式鋼板巻立て工法のフーチングへのアンカー工では20φ以上、落橋防止システム設置でのアンカー工では15φ以上とする
- ③削孔長は必要な定着長を確保するため、アンカー定着長に余裕長（10mm程度）を考慮する。
- ④既設RC沓座拡幅部に落橋防止構造のアンカーを取り付ける場合の定着長は、原則として既設沓座拡幅部を無視する。ただし、既設の沓座拡幅部の耐荷力が、落橋防止構造からの荷重が作用した場合の照査において問題ない場合は、既設沓座拡幅部も定着長に含んでもよい。なお、既設沓座拡幅部に損傷がある場合は、その状況に応じて定着長に含んでよいか否かを検討する必要がある。
- ⑤アンカー工設計図面にはアンカーボルト長及び定着長、削孔長、削孔径及び削孔余裕長、削孔手法（削孔径による使用機械名）を記入する。

- ⑥アンカー削孔の際、既設鉄筋にドリル（又はコアボーリングビット）が当たっても「既設鉄筋を切断しない」という主旨のもと、削孔位置を移動できることを念頭においた落橋防止システムの設計を行うとともに、アンカー工設計図面に反映する。
- ⑦工事施工時における監督員の段階確認及び立会測定について、別途提示する指定の内容をアンカー工設計図面に注記として記載する。
- ⑧橋座部に支承部等（落橋防止構造、水平力を分担する構造等を含む）を設置する際に所定の橋の耐震性能を確保できるよう、地震発生時における所要に耐力や縁端距離、鉄筋端部における必要な定着長等については十分検討のうえ補強設計を行う。なお、設計では「既設橋梁の落橋防止構造等を設計する際の留意事項」（「既設橋梁の落橋防止構造等の耐震補強工事の設計について、H28.9.30、事務連絡、国土交通省」）を参考とする。

(2) 施工上の留意事項

- ①工事施工前に現地調査を行い、上部構造及び下部構造について、形状・寸法、既設鉄筋の位置、添架物等を事前に確認する。
- ②下部工等の既設鉄筋位置については、建設時の設計図書を参考にレーダー探査にて確認し、その結果を構造物本体に記すとともに、工事打合せ簿により探査結果を監督員に報告させ、以後の施工の承諾を行う。
- ③アンカー削孔については、現地調査工事打合せ簿を監督員が承諾した後に着手させる。
- ④アンカー削孔時に既設鉄筋を切断してはならない。既設鉄筋にドリル（又はコアボーリングビット）が当たった場合には、直ちに削孔を止め、位置を変更し再削孔すること。ただし、設計上の移動可能範囲を超える場合については別途協議すること。
- ⑤図示等の指示によりコアカッターで削孔を行う場合には、削孔後、抜き取りコア全数を監督員に提示させ、鉄筋が切断されていないことを確認する。抜き取りコアについては、監督員による確認終了後、監督員が処分の承諾をする。
- ⑥（アンカーボルト使用時のみの記載）アンカー挿入工、ブラケット製作工については監督員によるアンカー孔の立会確認（監督員が立会できない場合は、監督員の指示により工事記録写真等を速やかに提出させ確認すること）後に着手させる。監督員の確認は、対象アンカー総数の10%以上（最低本数は5本）とし、監督員がこれを指定する。
- ⑦（アンカーボルト使用時のみの記載）ブラケット等の取付後、アンカーボルト全数について監督員立会のもと超音波探傷器により定着長を測定し確認する。
- ⑧（アンカー筋使用時のみの記載）アンカー挿入工、鉄筋加工組立工等については監督員によるアンカー孔の立会確認（監督員が立会できない場合は、監督員の指示により工事記録写真等を速やかに提出させ確認すること）後に着手させる。監督員の確認は、対象アンカー全数とする。
- ⑨出来形管理（削孔長、アンカー定着長）は、アンカー全数を対象に行う。また、写真管理は削孔長について、削孔総数の10%以上を対象とし、その他施工状況についても管理を行う。
- ⑩出来形管理は、工事標準仕様書「出来形管理基準及び規格値」によることとする。

9. 橋面舗装の補修

9.1 補修の概要

橋面舗装は、橋梁の完成した時点から交通荷重や気象条件などの外的要因及び経年による内的要因の影響をたえず受けており、やがては円滑かつ安全な交通の確保に支障をきたす。このため、良好な供用性を確保するためには常に路面の状態を把握し、維持及び修繕を行うことが必要である。

舗装の補修は、その緊急度、交通規制、安全対策、工事中の環境保全対策、走行車両の騒音・振動対策など、その実施にあたっては検討を要すべき広範かつ多岐にわたる事項があるので、これらの事項を十分に検討のうえ、合理的かつ効率的に行う必要がある。

(1) 舗装の損傷の区分

舗装の破損の区分としては、機能的破損と構造的破損に区分できるものと、双方に関与するものがある。

1) 機能的破損

舗装の主な機能的破損として、わだち掘れ、ひび割れ、すべり抵抗の低下がある。

- ・わだち掘れとは、交通荷重の集中により道路横断方向に生じた路面の凹凸をいう。
- ・ひび割れは、混合物の劣化、老化に起因するものと構造に起因するものに大別されるが、いずれも舗装の耐久性に影響を及ぼす。進行性のひび割れは、やがて拡大、進行し、雨水の浸入などにより促進され、構造的破損に至る恐れがある。ひび割れは、破損状況により線状ひび割れ、亀甲状（格子状）のひび割れに大別できる。

2) 構造的破損

舗装の主な構造的破損として、ひび割れがある。

- ・舗装構造に関する破損は、繰り返し荷重による強度低下、舗装厚及び材料強度の不足などが原因として挙げられる。又、機能的破損に挙げたわだち掘れ、ひび割れもそのまま放置しておけば長期的には構造的破損の原因となるものである。

(2) 舗装の補修の目的

補修の目的は、主として次に示すものである。

- ① 舗装の耐久性を確保し、舗装構造の機能を保つこと。
- ② 路面の走行性を確保し、交通の安全と快適性を保つこと。
- ③ 舗装に起因する沿道環境の悪化を防ぐこと。

舗装構造の耐久性や舗装機能の低下を招くような破損は、舗装寿命に直接影響を及ぼすので時期を失しないよう補修を実施する。橋面舗装の補修においては、維持と修繕の両方の視点から対策方針を決定する必要がある。

(3) 橋面防水工の設置

舗装全面打替時には防水層の施工を同時に行う。なお、詳細については、道路橋床版防水便覧（平成19年3月（社）日本道路協会）によること。

9.2 アスファルト舗装の破損の種類

アスファルト舗装では、交通荷重の繰返し及びアスファルト混合物の劣化による疲労破壊が生じたり、混合物の流動や磨耗により供用性が低下したりする。

表 9.2.1 アスファルト舗装の破損の種類

破損の種類	破損の分類		破損状況	発生地域・位置	主な原因	調査方法				
	機能	構造				点検	路面性状	混合物	構造	
わだち掘れ	流動わだち掘れ	○	○	アスファルト混合物の側方移動を伴う	温暖地, 重交通路線	大型車両, 渋滞, 混合物の適正	○	◎	○	○
	磨耗わだち掘れ	◎		走行軌跡部のすり減り	積雪寒冷地	チェーン等による磨耗	○	◎		
	アスファルト混合物の劣化, 老化によるひび割れ	○	○	亀甲状	走行軌跡部から発生し, 舗装面全体へ	混合物の劣化, 老化	○	◎	○	○
	温度応力ひび割れ	○	○	線状(横方向)ほぼ一定間隔に発生	極めて寒冷な地域		○	○	○	○
	施工継ぎ目部のひび割れ	◎		線状(縦, 横方向)	施工継目部		○			
	わだちわれ	○	○	線状(縦方向)	走行軌跡部	大型車交通	○	○		○
平坦性低下										
	コルゲーション, くぼみ, より	○	○	さざ波状の舗装面のしわ, こぶ状のより	登坂車線, 料金所付近, 駐車場, 渋滞箇所	床版の損傷, 発進停止荷重	○	◎	○	○
その他	ポットホール	◎		舗装表面に生じた穴, 骨材の剥離, 亀甲状のひび割れを伴う場合あり	ひび割れ部, 排水不良箇所	床版の損傷, 発進停止荷重	○	◎	○	○
	すべり摩擦係数の低下	◎		ブリージングポリッシング		アスファルト分の染み出し, 骨材の研磨	○	◎	○	
	ポンピング		◎	水等の細粒分の吹き出しひび割れを伴うことが多い	ひび割れ部		○			◎
	段差	○	○	路面の鉛直変位, 凹凸, 通常横断方向, ときに不規則方向	橋台背面	圧密沈下 締め固め不足	○	◎		○

- 凡例) 1. 破損の分類 ◎: 特にその破損である可能性が強いこと ○: いずれの破損も可能性があること
2. 調査方法 ◎: 路面状態, 舗装の破損状況を詳細点検に把握するために必要な調査 ○: 路面状態, 舗装の破損状況を適宜, 全般的に把握するために必要な調査

9.3 補修の流れ

橋面舗装の点検から補修に至る作業の流れの概略は, 図 9.3.1 に示すとおりである。

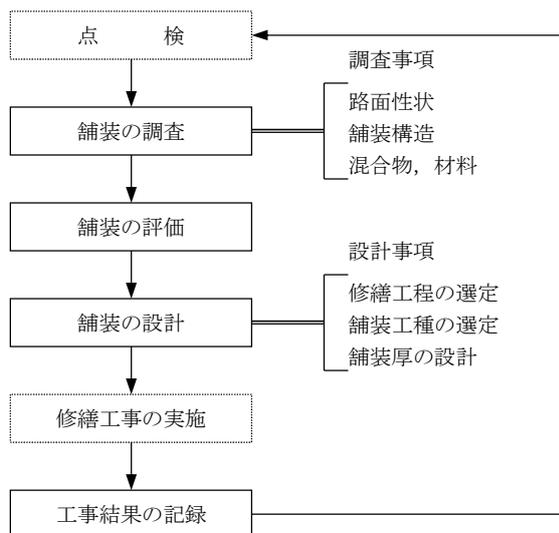


図 9.3.1 補修の流れの概略

9.4 調査

舗装路面の調査は、日常の巡回点検にはじまり、路面性状を把握するための調査、混合物の性状を求める調査及び舗装の支持力を求める調査がある。調査の流れの概略を図 9.4.1 に示す。

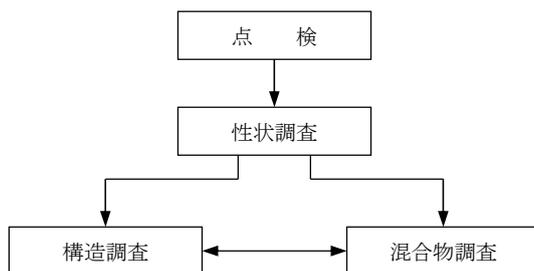


図 9.4.1 調査の流れの概略

路面性状に関する調査事項は、以下の5項目とする。

- ① わだち掘れ
- ② ひび割れ
- ③ 縦断方向の路面の凹凸
- ④ 段差
- ⑤ すべり摩擦係数

混合物に対する調査は修繕工法の選定及び混合物の劣化状況を調査するために、アスファルトの回収試験により、混合物の粒度、アスファルトの針入度及び軟化点等の物性値を求め、品質を評価する。

9.5 維持修繕工法の種類

(1) 維持工法

1) パッチング

ポットホール、段差、局所的なひび割れ及びくぼみ等を舗装材料で応急的に充填する工法

2) 充填

線状ひび割れやコンクリート舗装の目地の破損部・ひび割れに注入目地材を充填する工法

3) 表面処理

舗装表面に局部的なひび割れ、変形、摩耗等の破損が生じた場合に薄い防水膜層を施す工法

- ・ 散布式（シーラコート）：舗装表面に散布した瀝青材料の上に砂や、砕石を被覆付着させる工法。改良地盤の保護層としても使用する。

4) 切削

舗装表面に凹凸が発生して平坦性が極端に悪くなった場合に、その部分を機械によって切り取り、路面の平坦性とすべり抵抗を回復させる工法

(2) 修繕工法

1) 切削オーバーレイ

既設舗装厚の一部を切削した後にオーバーレイを行うもので、舗装の破損の程度等を勘案して用いる。設計に際しては既設舗装の評価を行うとともに流動が基層にまで及んでいるか調査し、切削厚さや切削後の施工厚を決定する。

2) 路上表層再生

わだち掘れ、縦断方向の凹凸、ひび割れ等の発生により、既設表層が破損している場合に、路上において表層の加熱、かきほぐしを行い、必要に応じて新規アスファルト混合物や再生添加剤等を加えて混合、敷均し締固めて新しく再生された表層をつくるもので、路面性状の回復と既設表層の品質改善を一体的に行う工法

3) 部分打換え

アスファルト混合物の劣化や流動により、表層の破損が著しく、他の維持修繕工法では良好な路面を維持することが困難となった場合、アスファルト混合物の打換えを行う。

4) 打換え

舗装の破損が著しく、他の工法では良好な路面を保つことができない場合に舗装厚の全層を打換える。

注) N5 交通路線の内、大型車交通量（5年後の推定）600 台／日・一方向以上の区間で表層，N6，N7 交通路線では表層・基層に改質アスファルトを用いた耐流動混合物を使用する。

9.6 維持修繕対応工法の選定

舗装破損状況と維持修繕工法の選定は、表 9.6.1 を標準としている。

表 9.6.1 標準的な対応工法

交通区分 (従前の 交通区分) ひび割れ 率区分	N1, N2, N3 (L交通)	N4 (A交通)	N5 (B交通)	N6, N7 (N6: C交通, N7: D交通)
0～5%未満	現状では修繕の必要なし（応急処置で対応）			
5～15%未満	現状では修繕の必要なし（応急処置で対応）			
15～35%未満	☆切削 OL-5	☆切削 OL-5	☆切削 OL-5	☆切削 OL-5
35～50%未満	一部打換え ☆切削 OL-5	一部打換え ☆切削 OL-5	一部打換え ☆切削 OL-5	打換え
50%以上	一部打換え ☆切削 OL-5	打換え	打換え	打換え

- 1) ☆印は切削オーバーレイを施工するにあたって、必要に応じてリフレクションクラック抑制のためのクッション層又は舗装シートの敷設を採用するとよい。

- 2) ひび割れ率0～15%未満であってもわだち掘れ量が20mm以上の箇所では切削オーバーレイを検討するとよい。
- 3) 橋面で打換え工法を採用する場合は、床版面の防水工（橋面防水）を別途に検討し、施工する。
- 4) N5 交通路線の内、大型車交通量（5年後の推定）600 台/日・一方向以上の箇所では表層、N6、N7 交通路線では表層及び基層に改質アスファルトを用いた耐流動混合物を使用する。
- 5) すべり止め対策として縦横断勾配6%以上の区間、道路構造令において特例値を採用した曲線部等で屈曲の著しい区間、坂路中の交差点、横断歩行者の多い横断歩道の前の区間等では、改質アスファルトを用いたすべり止め混合物を使用する。
- 6) 排水性舗装は、ゴミ、土砂などで目詰りし機能が低下しやすい。したがって定期的に洗浄等により透水能の回復を図る必要がある。

9.7 床版防水の補修

詳細点検時の開削調査箇所及びポットホールなど、部分的な損傷箇所の補修は、交通規制時間などの制約から仮復旧的な応急処置となりやすく、再び早期に損傷が発生することがある。このため、部分的補修にあたっては、以下の点について十分考慮し、短時間で防水性、耐久性を確保できる方法をあらかじめ検討しておく必要がある。

- ・ 床版防水層、舗装とも小面積での施工が可能であること
- ・ 部分補修箇所の床版防水層が十分な性能を有していること
- ・ 部分補修箇所の床版防水層と既設の床版防水層との接着不良又は継ぎ目からの漏水がないこと
- ・ 部分補修箇所の周囲において滞水が発生しないような舗装構成であること

シート系（流し貼り型、加熱溶着型、常温粘着型）及び塗膜系（アスファルト加熱型）の部分的補修の例を図9.7.1に示す。部分的補修は既設アスファルト混合物と補修部に用いる加熱アスファルト混合物などとの一体化が容易でないため、防水に対する配慮が一層重要となる箇所である。床版防水層自体についても新旧の接続は容易でないが、床版防水層の重ね幅を確保するなどの工夫が必要である。

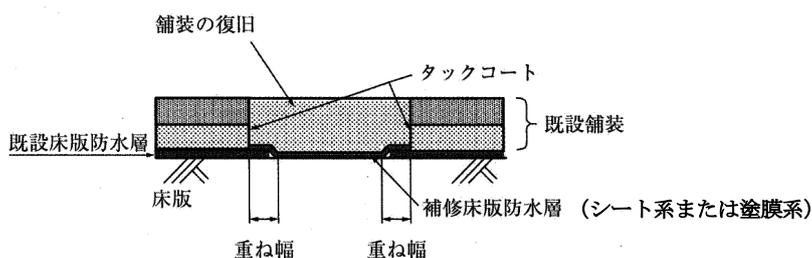


図 9.7.1 部分的補修の例
(道路橋床版防水便覧, 8.5. 部分補修, H19.3, 日本道路協会)

部分補修箇所においては、防水層上に滞水しないように、床版水抜きパイプを設置し排水を行うこととする。なお、橋梁路面排水の横引き管（水平方向の排水管）がなく橋梁下に垂れ流しとする際には、排水管から落ちる水滴の飛沫が桁や支承にかからないように配慮する。具体的には、床版下面から5cm程度突き出させ水滴が床版を伝うのを防ぎ、フレキシブルチューブを取り付けて桁下（あるいは橋座外）まで排水を導くものとする。なお、桁下空間の利用のある場所では、流末を排水管に接続し、第三者に排水がかからないように留意する（第6章 4.6.3 (3) 参照）。