

第4編 既設橋梁の補修・補強

第1章 補修・補強一般

1.1 一般

本設計要領は既設橋梁の補修・補強に関する基本的な対応について規定するものである。補修・補強は橋梁の形式や部材によりその対策が異なり、損傷の状況を正確に把握し原因を明らかにしたうえで、適切な方法をとる必要がある。

解

日頃の点検により橋梁に何らかの変状または破損箇所が発見された場合には、その箇所について、さらに詳細な調査を行う。この調査においては、変状または破損の程度を把握するとともに、その原因を究明する姿勢でのぞむのがよい。

次に調査結果を踏まえて、いかに対応すべきか、とるべき措置の判定をしなければならない。この段階では、次のいずれにより対応するかを判定する。

1. 直ちに補修を行う。
2. 直ちに補修を行わなくてもよいが、追跡調査を行った後に再び検討する。
3. 特に補修を必要としない。

補修工事を施工した後は、補修効果の確認を行うのが望ましい。補修工法はまだ完全に体系として確立されていないので、1つ1つの補修工事の施工後の効果を確認しておけば、今後の補修工法の検討において貴重な資料となる。

既設橋の修繕設計に適用する技術基準については、当面の間、以下の方針とする。なお、最新の動向をふまえてこれによりがたい場合には、主幹課と協議を行い決定する。

1) 橋の修繕にあたって、橋の耐荷性能を建設時より向上させる措置を行う場合

橋の修繕内容の決定にあたっては、以下の①又は②の方法による。

- ① 平成29年の道路橋示方書（以下「H29基準」という）を適用する。
- ② 平成24年の道路橋示方書を適用する。このとき、橋の耐荷性能以外の性能に関わる措置内容の決定にあたっては、H29基準に準じた性能が得られるように配慮する。

2) 橋の修繕にあたって、橋の耐荷性能を建設時と同等の性能に戻す措置を行う場合

橋の修繕内容の決定にあたっては、建設時に適用された技術基準を適用する。このとき、必要に応じて、使用材料や断面諸元の詳細等の検討において、適切な範囲でH29基準を適用することもできる。また、橋の耐荷性能以外の性能に関わる措置内容の決定にあたっては、H29基準に準じた性能が得られるように配慮する。

3) 橋の耐震補強を行う場合

- 1)による。

第2章 現橋の点検・調査

2.1 点検の目的

橋梁の点検は、安全で円滑な交通の確保、沿道や第三者への被害の防止を図るため、損傷や変状を早期に発見し適切な処置を講ずるとともに、損傷状況の把握、対策区分の判定、点検結果の記録を行うことにより効率的な維持管理を行うことを目的に実施する。

解

点検の目的は、安全で円滑な交通の確保、沿道や第三者への被害の防止を図るため、損傷や変状を早期に発見し適切な処置を講ずることである。また点検の結果を蓄積することにより、効率的な維持管理が図れるとともに、維持管理面からみた構造上の問題点が明らかになり、より耐久性の高い橋づくりにつながることを期待できる。

2.2 点検の種別

点検の種別は次のとおりである。

① 日常点検

日常点検は、道路パトロールによる路面点検と、桁下からの目視による点検（以下簡易点検という）がある。路面点検は、道路の巡回として実施するもので、道路パトロールカー内からの目視を主体とし、県職員または外部委託により毎月2～5回実施する。簡易点検は、落橋の恐れのある損傷、重大事故を起こす恐れのある損傷、橋の機能障害となる損傷について、遠謀目視を主体とした点検を行うもので、県職員または外部委託により年1回実施する。

② 定期点検

定期点検とは、橋梁の損傷状況を把握し損傷の判定を行うために、頻度を定めて定期的実施するもので、近接目視を基本とする。専門家への外部委託により橋梁形式は5年に1度、BOX形式は10年に1度実施する。ただし、定期点検は、供用後2年以内に初回を行うものとし、2回目以降は、原則として5年以内に行うものとする。

③ 臨時点検

臨時点検とは、地震、台風、集中豪雨、豪雪等の災害や大きな事故が発生した場合などに行う点検で、県職員または外部委託により行う。

解

点検には日常点検、定期点検、臨時点検がある。また日常点検は、道路パトロールによる路面点検と、桁下からの目視による点検（以下簡易点検という）がある。

簡易点検は、県職員または委託業者が、落橋の恐れのある損傷、重大事故を起こす恐れのある損傷、橋の機能障害となる損傷についてマクロ的な視点で、年1回行うものである。

定期点検は、国土交通省「橋梁定期点検要領(案)」に準拠し専門家が橋梁形式は5年に1度、BOX形式は10年に1度、詳細に調査を行うものである。ただし、定期点検は、供用後2年以内に初回を行うものとし、2回目以降は、原則として5年以内に行うものとする。

定期点検の流れは図-4.2.1 のように行うのを標準とする。

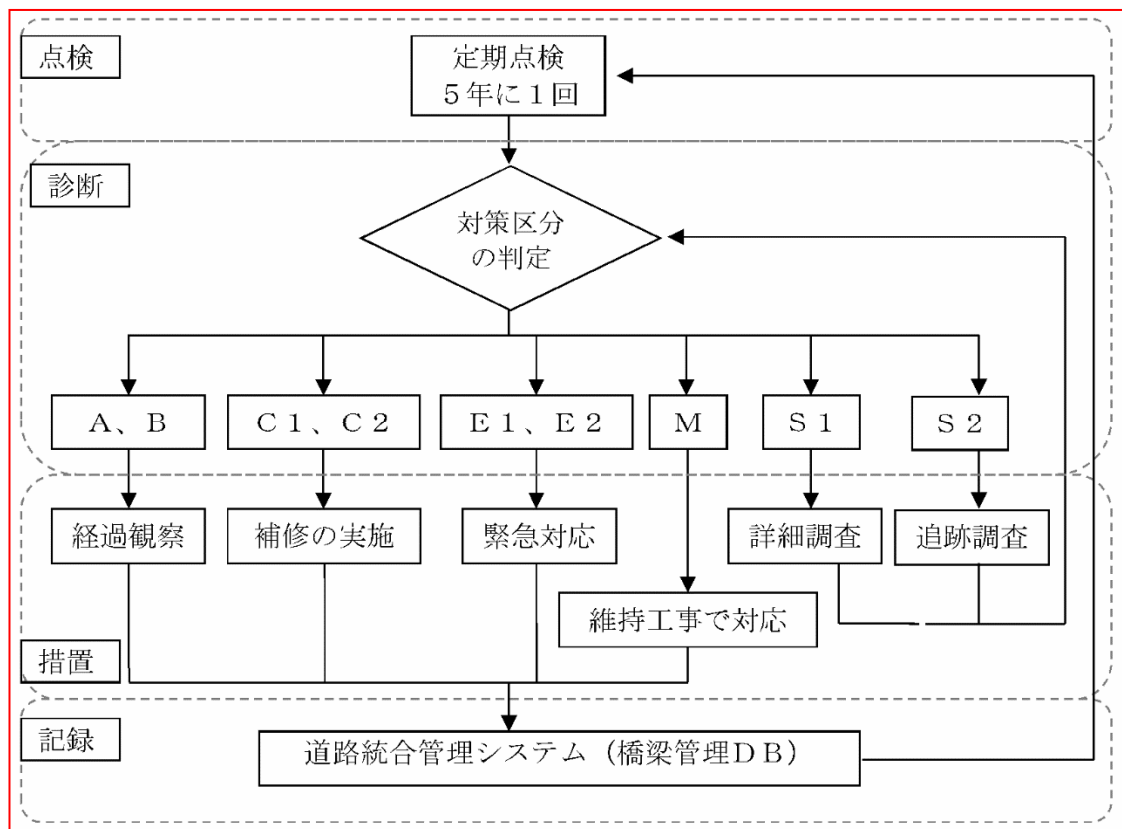


図-4.2.1 定期点検の流れ

2. 3 点検・調査の結果の判定

点検・調査の結果により対策区分の判定は、点検の対象として部材別に、損傷の種類、部材の重要度、損傷の進行性を考えて行うものとする。

解

定期点検の対策区分は、表-4.2.1の判定内容による

表-4.2.1 定期点検の対策区分

対策区分	判定内容
A	損傷が軽微で補修を行う必要がない。
B	状況に応じて補修を行う必要がある。
C1	予防保全の観点から、速やかに補修等を行う必要がある。
C2	橋梁構造の安全性の観点から、速やかに補修等を行う必要がある。
E1	橋梁構造の安全性の観点から、緊急対応の必要がある。
E2	その他、緊急対応の必要がある。
M	維持工事で対応する必要がある。
S1	詳細調査の必要がある。
S2	追跡調査の必要がある。

- (1) 点検は、山梨県定期点検表に基づき行う。
- (2) 対策区分の判定の基本的な考え方は次のとおりである。
 - 1) 判定区分 A とは、少なくとも点検で知りうる範囲では、損傷が認められないか損傷が軽微で補修の必要がない状態をいう。
 - 2) 判定区分 B とは、損傷があり補修の必要があるが、損傷の原因、規模が明確であり、直ちに補修するほどの緊急性はなく、放置しても少なくとも次回の定期点検まで（＝5年程度以内）に構造物の安全性が著しく損なわれることはないとは判断できる状態をいう。
 - 3) 判定区分 C1 とは、損傷が進行しており、耐久性確保（予防保全）の観点から、補修等される必要があると判断できる状態をいう。なお、橋梁構造の安全性の観点からは直ちに補修するほどの緊急性はないものである。
判定区分 C2 とは、損傷が相当程度進行し、当該部位、部材の機能や安全性の低下が著しく、橋梁構造の安全性の観点から、少なくとも次回の定期点検まで（＝5年程度以内）には補修等される必要があると判断できる状態をいう。
 - 4) 判定区分 E1 とは、橋梁構造の安全性が著しく損なわれており、緊急に処置されることが必要と判断できる状態をいう。例えば、亀裂が鉸桁形式の主桁腹板や鋼製橋脚の横梁の腹板に達しており亀裂の急激な進展の危険性がある場合、桁の異常な移動により落橋の恐れがある場合がこれに該当する。
 - 5) 判定区分 E2 とは、自動車、歩行者の交通障害や第三者等への被害の恐れが懸念され、緊急に処置されることが必要と判断できる状態をいう。例えば、遊間が異常に広

がっており二輪車の転倒が懸念される場合やコンクリート塊が落下し、**道路**下の通行人、通行車両に被害を与える恐れが高い場合がこれに該当する。

なお、一つの損傷で E1、E2 両者の理由から緊急対応が必要と判断される場合は、E1 に区分する。

- 6) 判定区分 M とは、損傷があり、当該部材の機能を良好な状態に保つために日常の維持工事で早急に処置されることが必要と判断できる状態をいう。例えば、支承や排水施設に土砂詰りがある場合がこれに該当する。
- 7) 判定区分 S1 とは、損傷があり、補修等の必要性の判定を行うにあたって原因の特定など詳細な調査が必要と判断できる状態をいう。

判定区分 S2 とは、**詳細調査を行う必要性はないものの、追跡調査が必要と判断できる状態をいう。**

2.4 耐荷力調査

現行の設計活荷重より小さい荷重で設計された橋梁、もしくは部材が損傷を受けている橋梁の補修・補強に際しては耐荷力を算定しておくことが望ましい。

解

既設橋には現行の道路橋示方書以前の示方書で設計施工されているものが数多い。これら既設橋の補修・補強に際しては、必要に応じて現行道路橋示方書に定められている水準にまで耐荷力を向上させることがある。

耐荷力調査には部材の損傷程度を測定し、場合によっては材料の試験・検査を行うことも必要である。

当時の設計計算書がない場合のB活荷重に対する耐荷力調査は、一般に既設橋梁の耐荷力照査実施要領（案）[平成8年3月（財）道路保全技術センター]に従ってもよい。

第3章 鉄筋コンクリート床版の補修・補強

3.1 損傷原因と補修対策

鉄筋コンクリート床版の補修に際しては、破損の原因、状況および耐荷力調査の結果や、架替え計画の有無に応じて工法を選定するものとする。

解

鉄筋コンクリート床版の補修に際しては、事前に十分調査し、コンクリートの劣化度、床版下面のひび割れの発生状況や錆、遊離石灰等の浸出物の有無、および舗装面のひび割れの発生状況等を把握しておかなければならない。

特に床版下面のひび割れ発生状況には留意し、点検調査は目視によるものとするが、必ずひびわれ状況の判断が可能な距離から行わなければならない。

補修工法の選定は必要に応じて、耐荷力調査を行うと同時に、下記の原因に対する検討を行い、また将来の架替え計画等の有無を考慮した上で実施するものとする。

鉄筋コンクリート床版の破損の原因は種々考えられるが、その原因と対策を示したのが表-4.3.1であり、これら原因が単独であるいは複合して作用し、破損が生じるものと思われる。

表-4.3.1 床版破損の因子とその対策

原因	対策
1) 過大な輪荷重の作用	床版の補強、輪荷重の制限
2) 過大な衝撃の作用	橋面舗装・伸縮装置の維持補修
3) 輪荷重通行軌跡による過大モーメントの作用	車両通行帯の調整（大型車の通行位置指定等）、 床版の補強
4) 設計耐荷力の不足	床版の補強
5) コンクリートの品質・施工の不良	床版の打換えまたは取替え
6) 配力鉄筋量の不足	床版の補強
7) 床版の剛性不足	床版の補強（床版の剛性増大または支間の短縮）
8) 主桁作用による負の曲げモーメントまたは引張力の作用	床版の補強
9) 自由縁における過大モーメントの作用	床桁の設置、床版の補強または部分打換え
10) 支持桁の不等沈下による付加モーメントの作用	横桁の設置、床版の補強

以上の検討の結果、補修工事をする場合、対策の緊急度に応じて実施時期を判断しなければならず、またその補修工法が恒久的対策か応急的対策かを考えておかなければならない。

3. 2 対策工法の選定

対策工法は、事前調査の結果と各工法の特徴を十分検討して適切な工法を選定する。

解

一般的な方法として、表-4.3.2 損傷度と補修・補強の必要性と図-4.3.1 に工法選定フローチャートを「既設橋梁の耐久性評価・耐久性向上技術に関する調査研究、昭和62年12月：建設省道路局国道第二課 建設省土木研究所」より引用して示す。

また、表-4.3.3 に一般的な床版補修補強工法を示す。

表-4.3.2 損傷度と補修・補強の必要性

損傷度	損傷状況	補修・補強の必要性	
I	亀甲状のひびわれが50cm程度未満の最小間隔で発生しており、角欠けを伴ったひびわれが多く、錆汁、漏水および遊離石灰がかなり認められる場合	路面陥没の恐れがあり、打替え以外の対策では補修・補強後に再び変状の発生する可能性が高い。	打替えを行うのが望ましい。
II	二方向のひびわれが生じ、漏水や遊離石灰が認められる場合	水の影響を受けており、損傷度Iへ移行する可能性が高いのでできるだけ早く補修・補強を行う必要がある。	できるだけ早く補修・補強する必要がある。
III	部分的に二方向のひびわれが発生しており、漏水や遊離石灰が認められる場合	水の影響による損傷の進行が懸念されるため、なるべく早めに補修を行うのが良い。	補修が必要であり、その時期を検討する必要がある。
IV	一方向のひびわれが発生しているが、漏水や遊離石灰が認められない場合		補修・補強の必要はない。

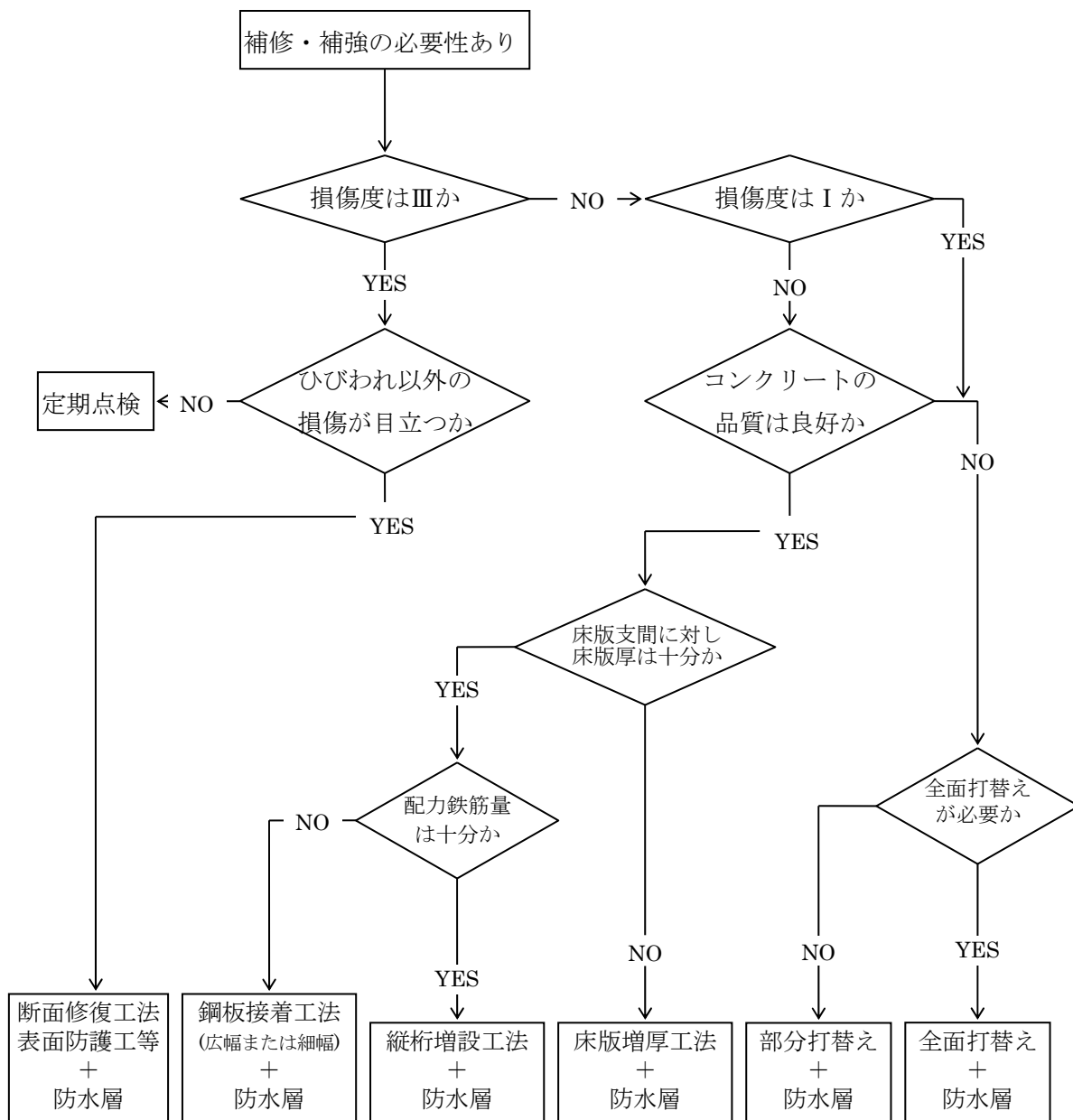


図-4.3.1 工法選定フローチャート

表-4.3.3 一般的な床版補修・補強工法

	工 法	概 要
補 修 工 法	1)樹脂注入工法	床版のひびわれ内にエポキシ樹脂を注入し、コンクリートの一体化を図る工法である。道路を全面供用しながらの施工が可能で、床版の防水性の向上、コンクリートの劣化防止、鉄筋の防錆効果が期待できるがこの工法のみでは耐荷力の増加は望めない。
	2)防水工	床版への雨水等の浸入を防止するために、遮水層を設ける工法である。防水層の種類はシート系と塗膜系に大別される。他の工法と併用されることが多い。コンクリートの劣化防止、鉄筋の防錆効果が期待できるが、施工には交通規制が必要である。
	3)ひびわれ補修工法	床版のひび割れ内にエポキシ樹脂又はセメント粒子を注入し、コンクリートの一体化を図る工法である。
	4)断面修復工法	床版の豆板、空洞、はく離などを補修する工法である。断面修復材料にはセメントモルタルや樹脂モルタル等がある。
補 強 工 法	1)鋼板接着工法	床版コンクリートの引張縁に鋼板(厚さ 4.5~6.0mm)を接着し、既設のコンクリート床版と一体化させ、活荷重に対する抵抗力を増す工法である。鉄筋量が不足している床版で損傷があまり進行していない場合に適している。鋼板は、ひびわれの状況に応じて細幅と広幅を使い分け、接着には一般にエポキシ系の樹脂を用いる。道路を全面供用しながらの施工が可能である。広幅の鋼板を使用した場合には床版下面が鋼板で隠れてしまうため、施工後の内部変化の追跡が困難である。
	2)連続繊維シート接着工法	床版コンクリートの引張縁に連続繊維シートを接着する工法である。道路を全面供用しながらの施工が可能なうえ、素材が柔軟、軽量であり作業性に優れている。鋼板接着工法と同様に、接着部分が隠れてしまうために、施工後の内部変化の追跡が困難である。
	3)縦桁増設工法 (スリッガー工法)	既設床版の支持桁間に 1~2 本の縦桁を増設して床版支間を短くすることにより輪荷重による曲げモーメントを軽減しようとする工法である。道路を全面供用しながらの施工が可能で、損傷があまり進行していない床版の補強に適しており、施工後の損傷進行の確認も可能である。
	4)床版増厚工法	床版上面に鉄筋、網鉄筋などを設置してコンクリートを打設し、床版厚を増すことによって既設床版を補強する工法である。施工の際は、交通規制が必要である。
	5)横桁増設工法	横桁を増設し、床版支持桁の不等沈下を減少させる工法である。道路を全面供用しながらの施工が可能であるが、床版自体の補強ではないので床版コンクリートのはく落防止とはならず、他の工法との併用が望ましい。
打 替 え 工 法	1)RC 床版による打替え	既設床版を全面的に、あるいは部分的に撤去して新たに RC 床版を打設する工法である。全面閉鎖が可能な場合は確実に安価な工法である。現場作業が多く、工期が長い。なお、部分打替えの場合は、樹脂コンクリート等も使用される。
	2)床版の取替	既設床版を撤去し、I形鋼格子床、プレキャストコンクリート床版、鋼コンクリート合成床版、鋼床版等に取り替える工法である。 施工には交通規制が必要であるが、打替えに比べ現場作業が少なく、工期の短縮が図れる。

3.3 打替え工法

既設床版の損傷あるいは損傷の可能性が大きく、床版そのものを全面的に新しいものに打替える方法である。補強効果としては最も大きい、現在の床版を撤去するため、工事中の交通の切回し、各施工段階における荷重及びそれに対する各部の応力・変形を考慮した施工方法、施工順序を検討することが必要である。

特に、橋梁形式が合成桁の場合、既設床版の撤去方法・順序、範囲および施工中の橋体補強等に十分な注意が必要である。

解

補修・補強の方法

RC床版の取替え床版としては、次のようなものがある。

- ・現場打ち鉄筋コンクリート床版
- ・型枠・鉄筋をプレファブ化した床版
- ・プレキャストコンクリート床版
- ・鋼コンクリート合成床版
- ・鋼床版

以下に各床版の概要及び特徴を示す。なお現場打ち鉄筋コンクリート床版による全面打換えは効果は大きい、工期的な問題等から補修・補強工法として用いられることが少ないため本設計要領では省略する。

a) 型枠・鉄筋をプレファブ化した床版

工場で適当な大きさに製作された型枠・鉄筋のパネルを、桁上に架設し、現場にてコンクリートを打設するもので、床版の構造として

- ・型枠代りの鋼板の上に上下鉄筋を溶接(図-4.3.2)
- ・I型鋼と鉄筋を格子状に組込み、I型鋼の下面に鋼板を溶接(図-4.3.3)したものが広く使用されている。

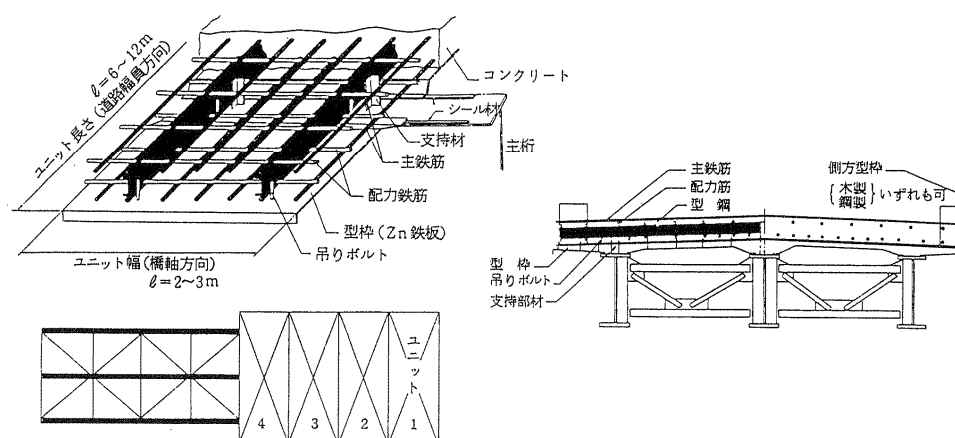


図-4.3.2 型枠・鉄筋をプレファブ化した床版

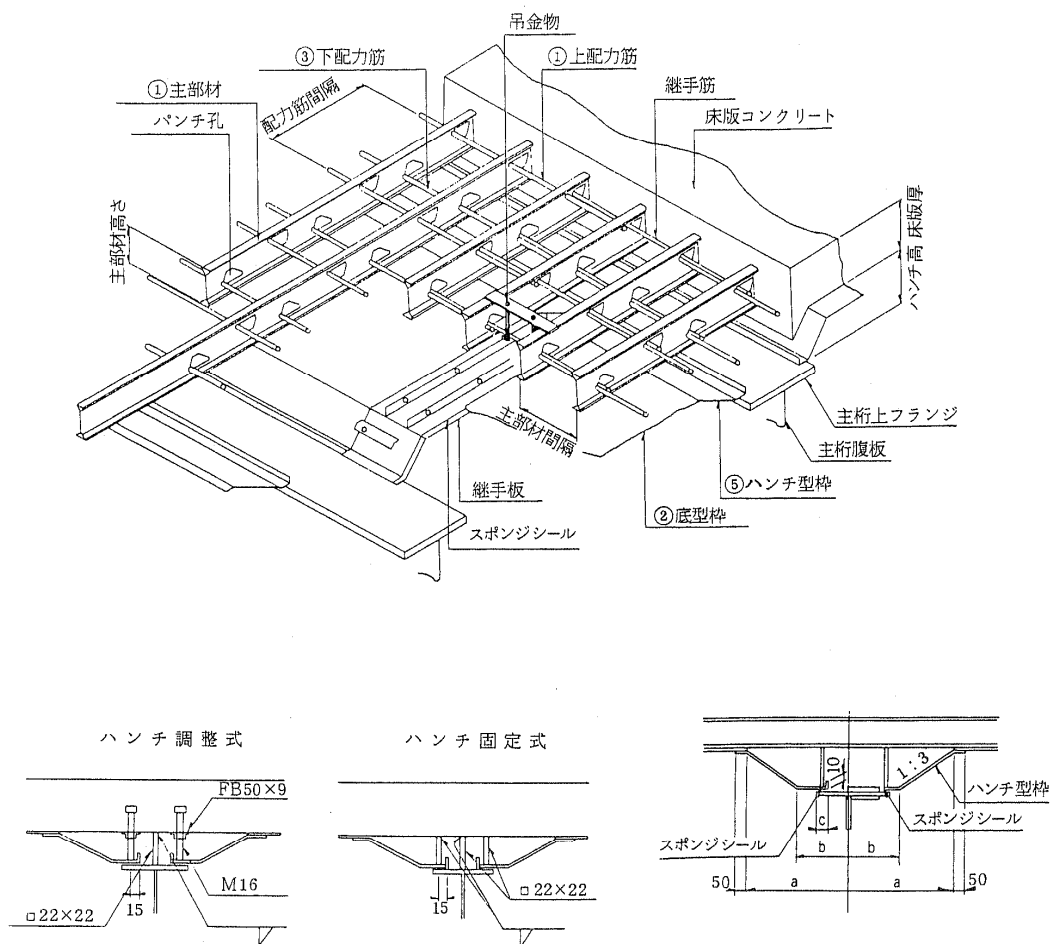


図-4.3.3 I型鋼格子床版とハンチ部詳細

b) プレキャストコンクリート床版

工場で製品化されたプレキャストコンクリート床版を桁上に敷設し、橋軸方向に一体化する構造で、部分的に場所打ちコンクリート、型枠が必要である。

製品として、図-4.3.4 に示すようなものがあり、各々、桁と床版パネル、床版パネル相互の結合方法に特徴がある。

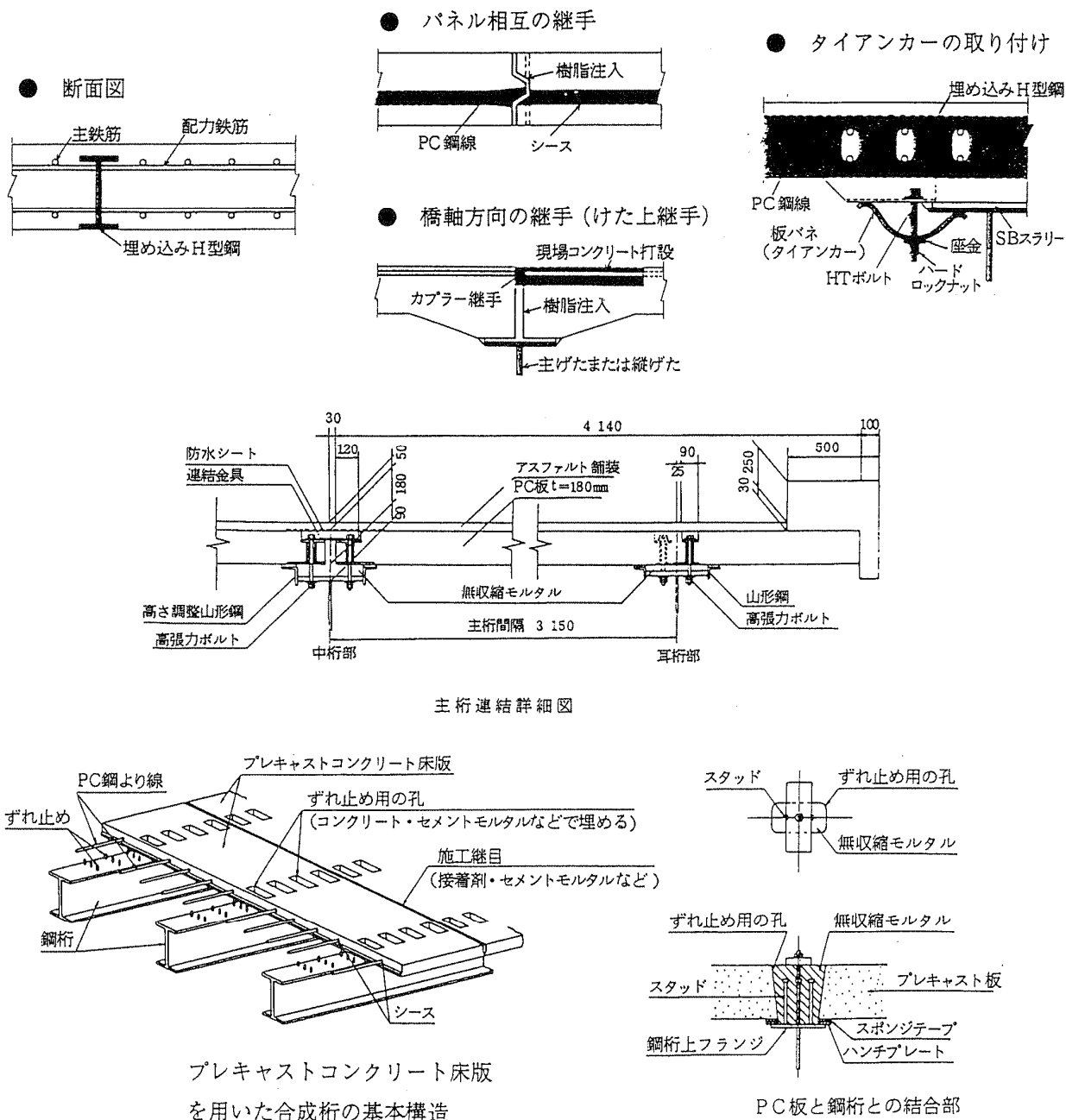


図-4.3.4 プレキャストコンクリート床版

c) 鋼コンクリート合成床版

底鋼板とコンクリートとをずれ止めで、一体化した構造である。(図-4.3.5)

鋼板とコンクリートを合成構造としているため、床版厚が薄く、死荷重の軽減が図れる。

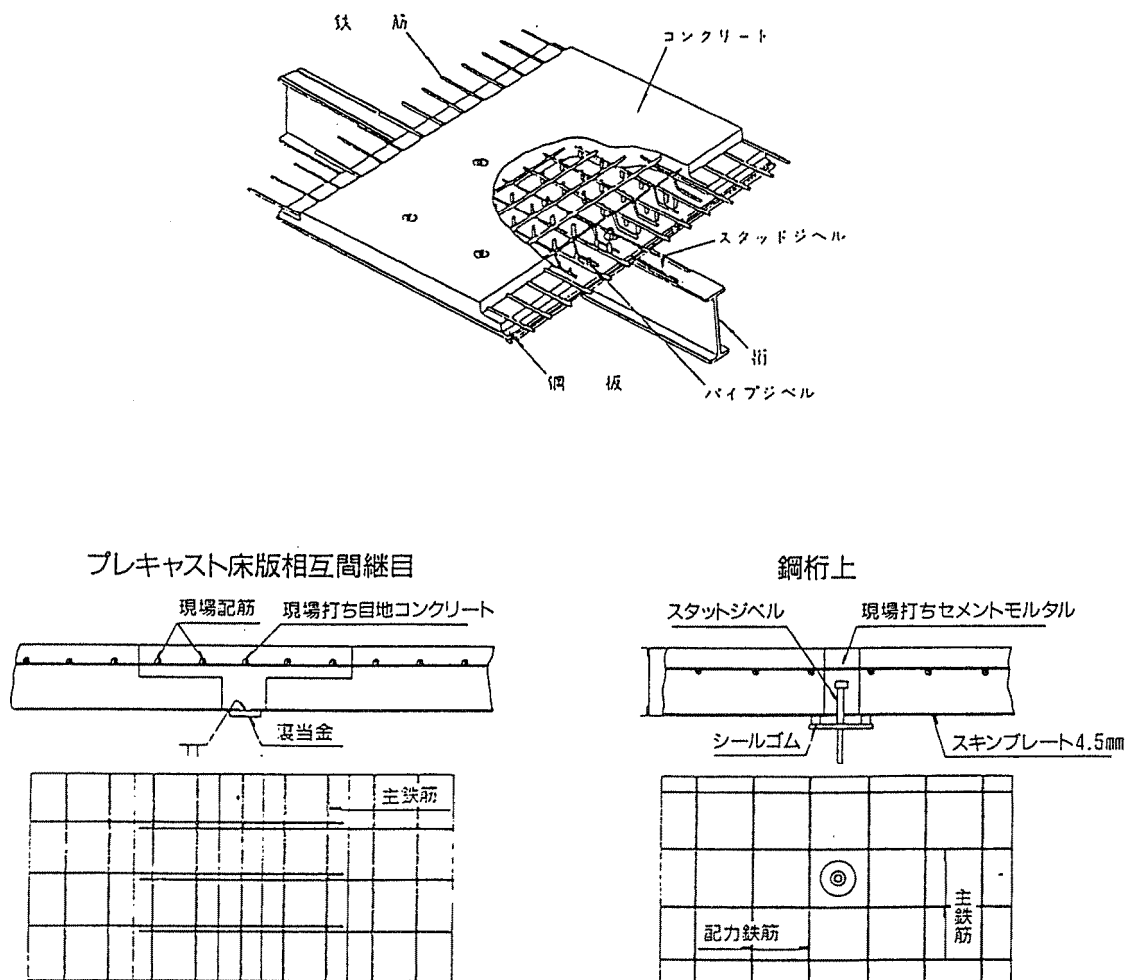


図-4.3.5 プレキャスト鋼コンクリート合成床版

d) 鋼床版

デッキプレート、縦リブ、横リブで構成された鋼床版パネルを桁上に架設し、パネル間を高力ボルトあるいは、溶接で連結する方法である。

個々の橋梁によって色々な構造があるが、図-4.3.6に一例を示す。

RC床版に比べ、大幅な死荷重軽減が可能である。

パネルの高さ（厚さ）がRC床版や他の取替え床版に比べ高く（厚く）なるため、桁との取付け構造を十分検討し、場合によっては、路面高の変更を考慮する必要もある。

また、現場での溶接や舗装の材料、施工法に特に注意を要する。

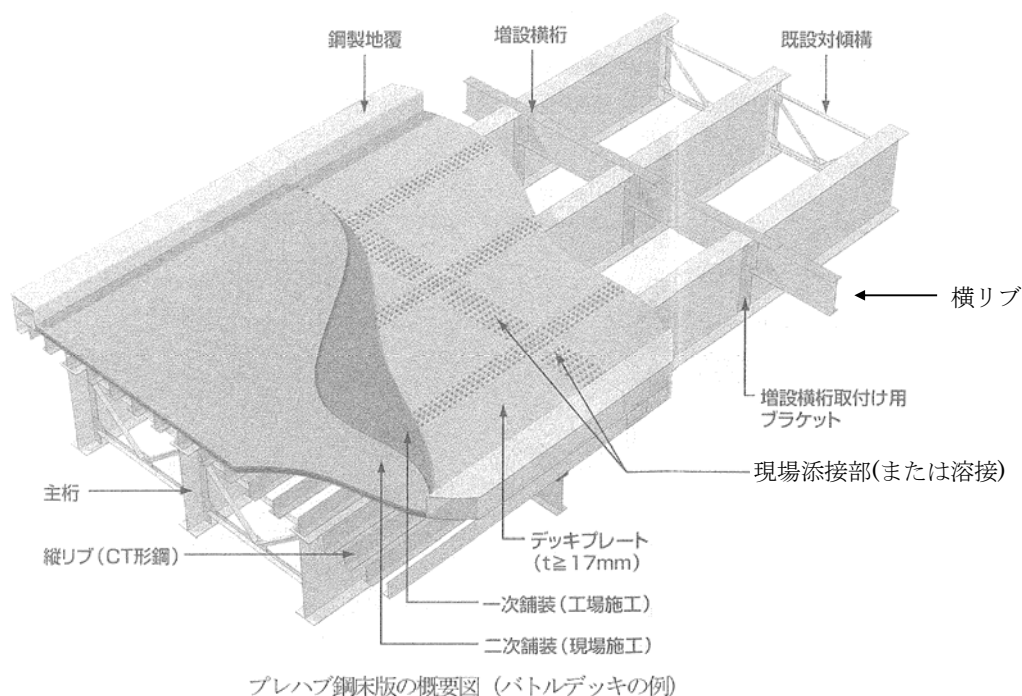


図-4.3.6 鋼床版

なお、床版の損傷程度が著しいが、それが限られた部分である場合には、部分打替えによる方法もある。

1) 補修・補強の方法

部分的に打替え、大半は既存の床版を使用するため形式としては現場打ちのRC床版で、樹脂コンクリート、超速硬コンクリート、超早強コンクリート等が用いられる。

2) 設計・施工上の留意事項

床版の打替えにあたっては、床版厚が増加する場合等、打替えの前後における死荷重の変化が他の部材に与える影響について照査し、必要があれば床組の補強等も考慮する必要がある。

なお、打替えの範囲については、損傷部分のみでなく、その周辺を十分広い範囲にわたって打替えることが必要である。

また、使用するコンクリートに適した温度管理、養生等に十分注意し、打設したコンクリートが硬化するまでは、過度の振動や衝撃及び変形を与えないような注意が必要である。

3. 4 縦桁増設工法

既設の主桁（縦桁）の間に新しく縦桁を追加、現床版の支間を短くし、床版に作用する曲げモーメントを減少させることにより、床版の耐力向上を図る方法である。

解

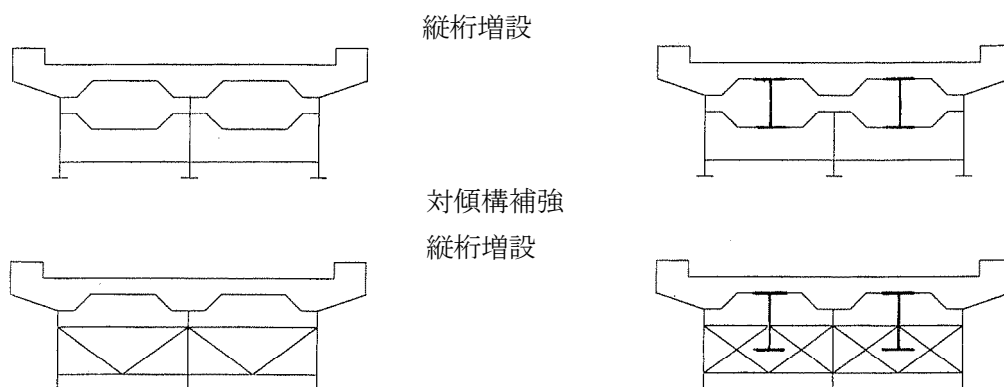
(1) 補修・補強の方法

既存の横桁（利用できない場合には新たに設置した横桁）を支持材として、新たに縦桁を設置する。増設する縦桁は直接床版を支持しなければならないが、縦桁の上フランジを床版に密着させることは困難なため、隙間を設け、樹脂を充填する方法が一般的である。

設計の基本的考え方は以下の通りである。

- a) 縦桁は横桁で支持された単純梁として、死荷重（縦桁自重）及び活荷重により設計する。
- b) 床版は死荷重及び活荷重による曲げモーメントのほか、床版支持桁（既設桁と増設縦桁）の不等沈下により生ずる付加曲げモーメントを考慮する。

既設横桁が利用できる場合



既設横桁がない場合

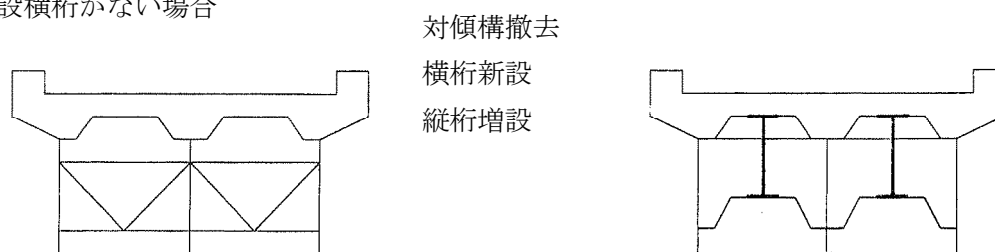


図-4.3.7 縦桁増設工法

(2) 設計・施工上の留意事項

縦桁を増設することにより、床版の曲げモーメントの状態が変わり、増設縦桁上では、新たに負の曲げモーメントが働くことが考えられる。この曲げモーメントに対し、床版断面の照査が必要である。

縦桁の増設は死荷重増加を伴うため、主桁、横桁他、各構造部の応力度の照査及び死荷重によるたわみ（キャンバー）の変動に対する検討が必要である。

また、縦桁増設による補強の効果は増設する縦桁の剛性に大きく左右されるため、できるだけ剛性の大きなものを用いるのが効果的である。

増設する縦桁や横桁の既存部材への取付けは出来る限り高力ボルト構造によることが望ましいが、高力ボルト構造より溶接構造の方が簡単な場合もあり、溶接構造を採用することも考えられる。この場合は材質、応力状態、溶接材料、溶接条件等、十分な溶接施工管理が必要である。

また、増設縦桁のフランジと床版の隙間へ注入した樹脂が硬化するまでは当該桁上への直接的な荷重載荷は避けることが必要である。

3.5 鋼板接着工法

床版コンクリートの下面に鋼板を接着し、既存のコンクリート床版と一体化させ、鉄筋量を補い床版の耐力を向上させる方法である。

設計の基本的考え方は以下のとおりである。

- a) 補強前の死荷重は補強前の床版断面で抵抗し、補強後の死荷重及び活荷重について補強後の断面で抵抗する。
- b) 接着する鋼板は鉄筋に断面換算し、鉄筋コンクリート断面の計算を行う。
- c) 鋼板の厚さは、計算上の必要厚からだけでなく、作業性や腐食の問題等を考慮し、4.5～6mm程度のものが用いられる。

解

(1) 補修・補強の方法

接着する鋼板としては前述の通り、5mm前後の厚さのものが用いられ、接着材としては一般にエポキシ樹脂系のものが用いられる。

本工法は接着する鋼板の幅と配置により、全幅方式と短冊方式(図-4.3.8)があり、各々の特徴は表-4.3.4に示す通りである。

また、接着の方法は注入法と圧着法があるが、注入法が一般的である。

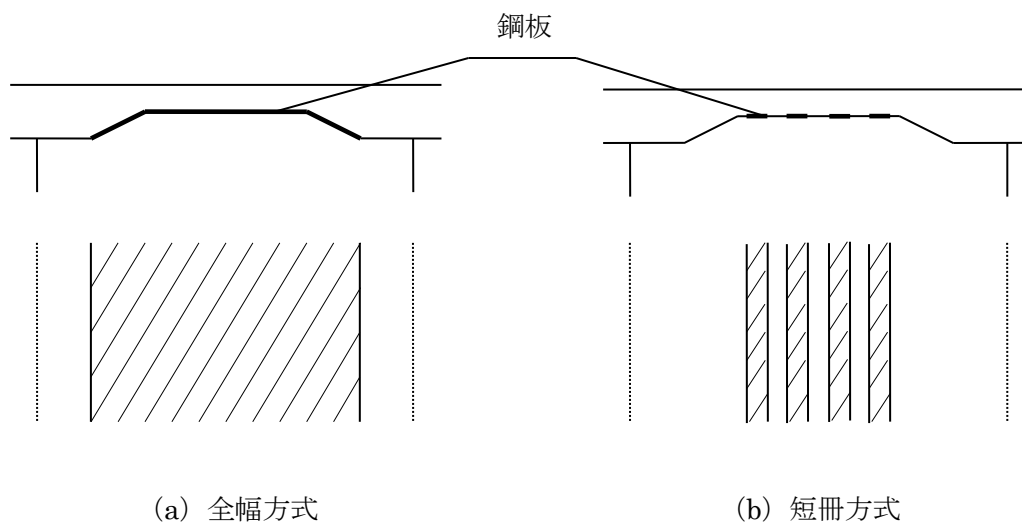


図-4.3.8 鋼板接着方法

表-4.3.4 鋼板の幅と配置による特徴

	全幅方式	短冊方式
主たる補強の方向	<ul style="list-style-type: none"> 主鉄筋方向、配力鉄筋方向ともに直接的に補強 	<ul style="list-style-type: none"> 配力鉄筋方向を補強
適用性	<ul style="list-style-type: none"> ひびわれの方向に左右されない 	<ul style="list-style-type: none"> 主鉄筋方向のひびわれが主な場合
施工性	<ul style="list-style-type: none"> 床版コンクリートが全面的に平坦であることが必要 樹脂の注入が全面に行き渡るようにする 	<ul style="list-style-type: none"> 平坦性の条件は全幅方式ほど厳しくない 樹脂注入作業は全幅方式に比べて容易

(2) 設計・施工上の留意事項

本工法の性能は、コンクリートと鋼材の接着の良否に依存するため、床版コンクリートと鋼板の接着面の十分な前処理（不陸の調整、錆の除去、湿気の除去）が必要である。

接着材として使用する樹脂は、施工方法、施工時期等を考慮し、適切なものを選ぶ必要があり、また樹脂の注入にあたっては、完全に充填されるよう、注入順序、注入圧に注意が必要である。

施工後は樹脂が硬化するまでの間、車両の通行を制限する等、接着面に攪乱を与えないような注意が必要である。

3.6 増厚工法

床版厚を増やすことにより、現床版の耐力向上を図るもので、床版の上面に増厚する方法と床版の下面に増厚する方法がある。

設計の基本的考え方は以下の通りである。

- a) 増厚分のコンクリート重量を含め、増厚前の死荷重は既設の床版断面で抵抗し、増厚後の死荷重及び活荷重は増厚後の床版断面で抵抗する。
- b) 上面増厚工法の場合、鉄筋を入れる場合と入れない場合があるが、鉄筋を入れる場合、床版の上鉄筋は増厚後の床版断面では中立軸付近になるため無視するのが一般的である。

解

(1) 補修・補強の方法

上面増厚工法は舗装を撤去して既設床版の表面をチップングし、現床版の上面に増厚分の鋼繊維補強コンクリート（SFRC）を打ち足す方法である。

これに対し、下面増厚工法は既設床版の下面に鉄筋等の補強材を配置し特殊モルタル等を吹き付け増厚するものである。

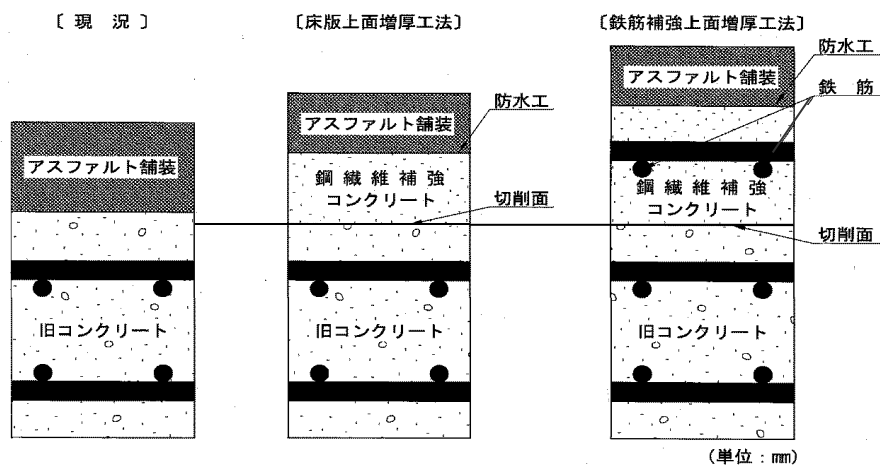


図-4.3.9 上面増厚工法

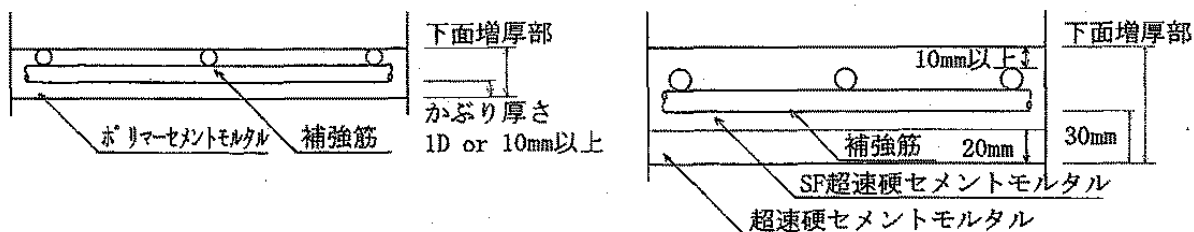


図-4.3.9 下面増厚工法

(2) 設計・施工上の留意事項

上面増厚、下面増厚のいずれの場合も、既設床版のコンクリートと打ち足し部分の一体化が重要である。

そのためには、材料として早期強度が高く、乾燥収縮の少ないものを使用し、コンクリートが硬化するまでは床版に振動や衝撃および変形を与えない様な注意が必要である。

また、本工法は床版増厚による死荷重増加を伴うため、各構造の応力度の照査及び死荷重によるたわみ（キャンバー）について検討する必要がある。

増厚量の決定は設計必要厚のみだけでなく、施工上の問題から打設コンクリートの最小厚が無筋の場合で 50mm 程度、鉄筋を配した場合は最小かぶりが確保できる様、チッピング深さを決定する。

なお、上面増厚工法については「上面増厚工法設計施工マニュアル」（平成7年11月高速道路調査会）、NEXCO 構造物施工管理要領（令和2年7月）を参考にするとよい。

3. 7 連続繊維シート接着工法

床版コンクリートの下面に連続繊維シートを接着し、既存のコンクリート床版と一体化し、床版の耐力を向上する方法である。

連続繊維シート接着工法によるコンクリート床版の補強設計は、床版の構造諸元、交通の状況、床版の損傷状態を考慮して補強後の床版が所要の耐力を確保できるよう、シートの種類積層数を決定する。

床版補強に用いられる繊維材料としては炭素繊維が一般的である。

解

炭素繊維シート接着工法適用の目安

損傷のある床版に対する炭素繊維シート接着工法適用は、下表（「コンクリート部材の補修・補強に関する共同研究報告書（Ⅲ）・炭素繊維シート接着工法による道路橋コンクリート部材の補修・補強に関する設計・施工指針（案）平成11年12月 建設省土木研究所」抜粋）を参考に決定する。

表-4.3.5 床版の損傷段階と炭素繊維シート接着工法の適用

損傷段階	損傷度の目安	床版の損傷状況	炭素繊維シート接着工法の適用
①	健全	[強靱な版構造] 	・基本的に補強の必要はないが、予防保全としての適用が可能
②	Ⅳ	[並列梁構造] 床版コンクリート硬化にともなう乾燥収縮により橋軸直角方向に貫通したひび割れが大きな間隔で発生する段階 	・基本的に補強の必要はないが、予防保全としての適用が可能
③	Ⅲ	[二方向曲げひび割れ] 輪荷重により縦横のひび割れが増加する段階 	・炭素繊維シートによる補強が可能
④	Ⅱ初期 (すり磨きが生じていない)	[ひび割れの細網化、貫通] 輪荷重によるねじりモーメントによって床版上面に橋軸直角方向にひび割れが発生し、下面に発生したひび割れとつながり貫通し、並列の梁状になる段階 	・炭素繊維シートによる補強が可能
⑤	Ⅱ	[サイコロ状] 貫通したひび割れ面のすり磨きや浸透水による石灰分の流出により、ひび割れが拡大し、せん断抵抗を失う段階 	・せん断強度が低下し単独では使用しない ・上面増厚工法との併用・応急対策
⑥	Ⅰ	[床版の陥没] 低下した押し抜きせん断強度を超える輪荷重により抜け落ちを生じる段階 	—————

第4章 鋼橋の補修・補強

4.1 一般

鋼橋の主要な部材には、主桁、横桁、対傾構、床組があり、これらの部分に異常が生じた場合には、橋の崩壊につながる可能性もあるので通行規制等について細心の注意を必要とし、また速やかな補修・補強を行うことが重要である。これらの部材は通常巡回では発見しにくいので定期点検、異常時の点検の際に十分注意しなければならない。

解

(1) 点検調査

点検により正確に破損状況を把握するためには、鋼橋の各構造形式並びに部材毎に生じやすい部分を重点的に点検し、変形、ひびわれ、腐食、異常な振動、たわみ等がそれぞれの部材に生じていないかどうかチェックできるようにしておかなければならない。これらの部材毎にチェックシートを作成し、点検目的とともに記録しておくこと、異常が生じた場合でもその原因の究明に重要な手がかりとなる。

発生する異常については次の項目がある。

- ①腐食 ②変形、座屈 ③ゆるみ、抜け落ち ④ひびわれ ⑤振動、たわみ、異常音

(2) 補修工法

① 鋼材の調査

鋼材の部材を補修する前には必ず鋼材の寸法・材質調査が必要である。

② 設計計算書及び設計図の調査

設計計算書及び設計図は、必ず収集しておかなければならない。特に部材の交換をする場合は必要である。

設計図面が失われている場合は、必要に応じて現地で実測して再現しなければならない。この場合腐食の程度なども同時に調査することが種々の検討を行うにあたって有効な資料となる。

③ 工法の選定での留意事項

a. 部材交換

部材交換にあたっては、通行止め等の通行規制を検討する必要がある。また、変形を受けた部材を交換する際は、他の部材も変形している場合が多いので調査する必要がある。

b. 補強

部材の補強は、形鋼や補強板などによる当て板補強されることが多い。補強部材の接合方法は、高力ボルト接合を基本とし既設部材への現場溶接は原則行わない。これは、現場溶接に特有の作業環境（溶接姿勢や屋外自然環境など）や、車両走行による部材・足場の振動下での溶接施工では、溶接時の変形、応力上の問題や溶接割れなどの溶接品質上の問題があるためである。

c. 修復

部材の修復は、溶接による修復、加熱加工による修復が大部分である。この場合、鋼材の加熱加工によって鋼材が硬化し、脆化することに対する対応策を考えなければならない。

以下の表-4.4.1、表-4.4.2 に一般的な劣化・損傷に応じた補修・補強方針および工
法例を示す

道路橋補修・補強事例集 2012 年版 日本道路協会抜粋

表-4.4.1 劣化・損傷に応じた補修方針と補修工法例

劣化・損傷	補修方針	補修工法例
防食機能の劣化, 腐食	・漏水源の除去	・床版防水工, ひび割れ注入工
	・滞水, 結露の防止	・水抜き孔, 換気孔の設置 ・排水装置の清掃・取替え
	・防食機能の回復	・塗装塗替え
	・腐食減厚部の断面回復	・当て板の設置
疲労き裂	・風や交通などによる振動抑制	・減衰装置 ・制振装置の設置
	・き裂の進展防止対策	・ストップホールの施工 ・き裂除去
	・き裂による欠損断面の回復	・当て板の設置
過大な変形	・損傷部の変形増大及び座屈の防止	・当て板の設置 ・部材取替え
高力ボルトの遅れ破壊	・ボルトの強度等級の変更	・ボルト取替え
	・ボルトの落下防止	・落下防止ネットの設置 ^{注1)}
ボルトやリベットの緩み脱落	・ボルトやリベットの取替え	・ボルト取替え (緩み止め機構付きボルトへ取替えることもある。)

注1) ボルトが破壊, 落下による第三者への被害が生じないように事前にネットを設置することをいう。

表-4.4.2 劣化・損傷に応じた補強方針と補強工法例

劣化・損傷	補強方針	補強工法例
疲労き裂	・疲労強度改善	・溶接止端部の仕上げ
	・細部構造の改良	・けた端切欠き部の細部構造改良 ・当て板の設置
	・全体構造の改良	・対傾構部材の増設 ・鋼床版に対してコンクリート系(SFRC) 舗装 ・補剛材の設置, 増設
異常なたわみ	・剛性の低い箇所に対する断面の増厚 ・部材追加による橋りょう全体系の改良 ・構造系の変更によるたわみの抑制	・当て板の設置 ・主げた増設 ・支持点追加 ・外ケーブル

損傷に対応した補強の他、B活荷重対応や、拡幅等へ対応した補強がある。これについても、上表の異常なたわみへの対応と同様の補強が一般的である。

(3) 参考図書

鋼橋の補修・補強については、「鋼橋の補修・補強の手引き 平成24年3月 財団法人道路保全センター」を参考にすると良い。

4.2 主要部材

補修・補強が必要と判断された場合、適切な時期と方法によって、処理しなければならない。そのためには、目的と効果をよく確認し、有効かつ確実な施工ができるように、計画しなければならない。

解

補強を行うと、構造系、応力の伝達に変化が生じる場合があり、補強後の安全性を検討しなければならない。また新旧部材の一体性、応力の分布と集中などにも注意を要する。

部材の取替えでは、旧部材撤去時の構造系、交通状況、荷重応力状態などを事前に検討しなければならない。主要部材はもちろん、二次部材であっても安易に取外すことは危険である。

補修・補強には、①実応力度を低減させる ②死荷重を軽減し、活荷重に対して耐力を増加する ③許容応力度のアップを図る の3通りの考え方があるが、いずれの場合もコンクリート床版を撤去した上での補強を行った方が、コンクリート床版の荷重を新規部材に分担させることができるので効果が大きい。

ただし、合成構造の場合には、コンクリート床版を撤去することによる応力伝達の推移を十分把握した上で、施工計画する必要がある。

4.2.1 I桁の補強

主桁やトラスの主構などは床組や二次部材と異なり、部分的であっても部材に欠陥がある場合は落橋につながる可能性もあるので、補修・補強にあたっては、慎重な施工計画をしなければならない。

破損部分の切除や部材交換を行う場合には、その部分が無応力に近い状態にする必要があるため、代替部材の使用、一時的な支保工の設置、構造系の変更などを行い、安定した状態で施工するように努めなければならない。

破損などにより構造が変形した場合、元の形に戻すことが補修の基本であるが、完全な補修を求めるために、二次的な付加応力が生ずることのないよう、適切な判断が望まれる。

解

(1) 補修・補強の方法

1) 実応力度を低減させる方法

実応力度を低減させる方法としては、フランジの断面補強があり、主として下フランジの補強に用いられる方法を、図-4.4.1、図-4.4.2に、継手部の補強例を図-4.4.3に示す。

補強部材の接合方法は、高力ボルトを用いた摩擦接合を原則とする。

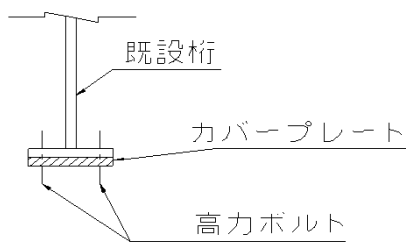


図-4.4.1 下フランジ補強方法

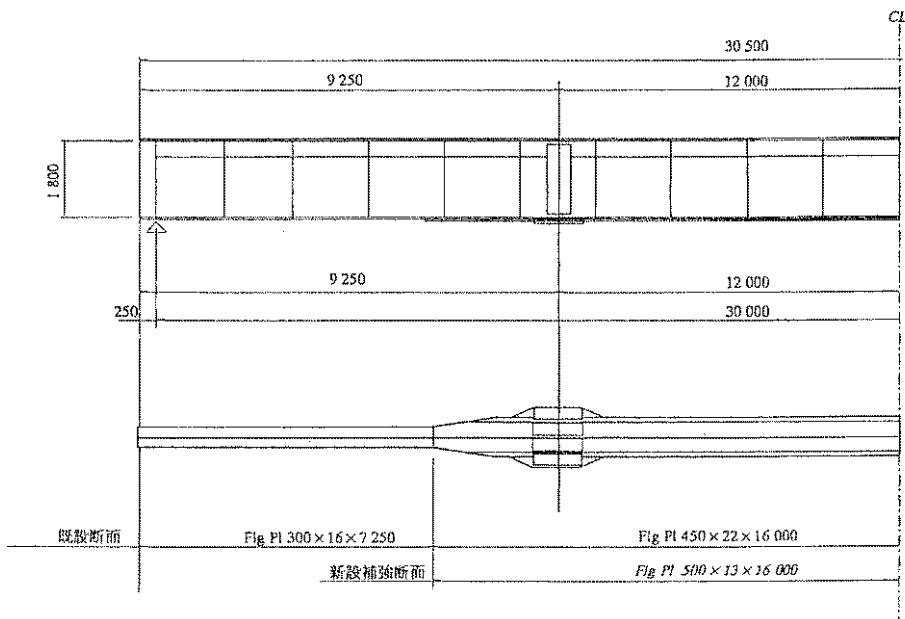


図-4.4.2 主桁の補強例

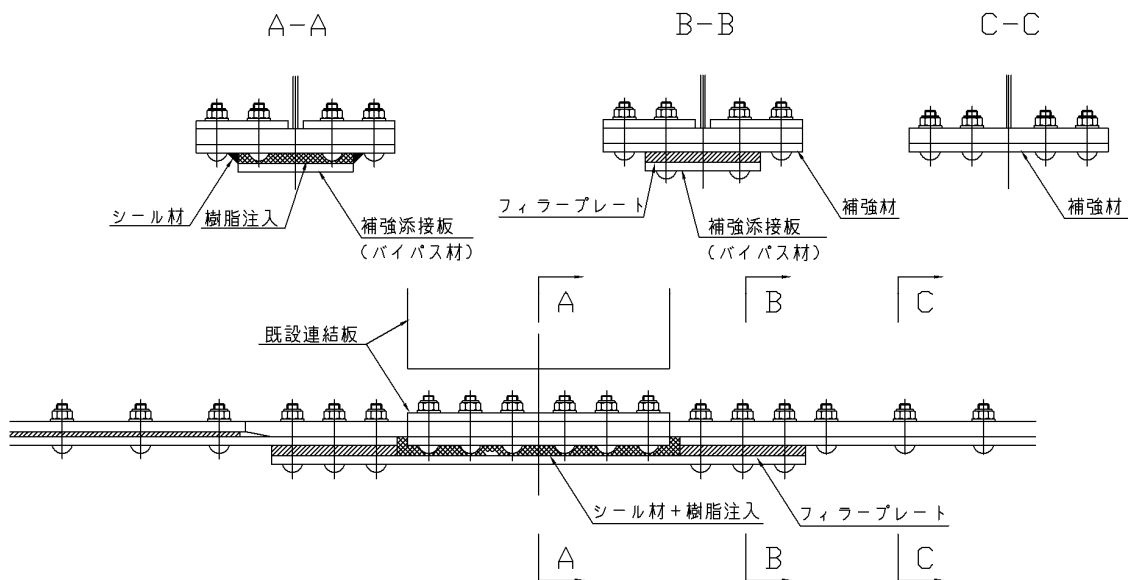


図-4.4.3 継手部の補強

また、図-4.4.4に示すように新しい主桁を増設し、荷重分担により作用応力度を低減する方法もある。

この補強方法はフランジ補強と比較すると補強材の重量は大きいですが、工場製作で大部分の部材が用意できること、重要な部分の現場溶接がないこと、床版支間を縮小するので床版の補強にもなることなど有利な点も多い。

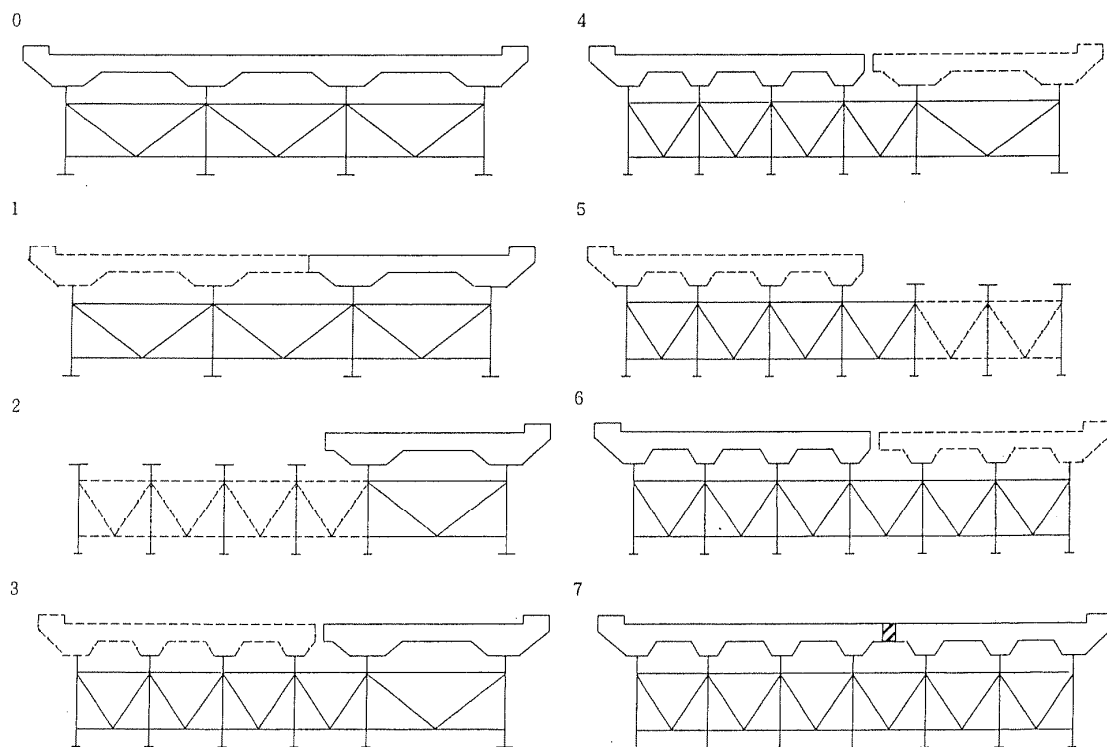


図-4.4.4 主桁の本数を増す補強

2) 死荷重を軽減し活荷重に対して耐力を増す方法

鋼橋の死荷重は RC 床版の占める割合が多いので、この部分の改良による効果大きい。

事例としては、RC 床版を PC 床版、合成床版、鋼格子床版、または鋼床版に取り替えるなどが考えられる。

床版の取替えについての詳細は、第3章床版の項を参照のこと。

図-4.4.5 に RC 床版を鋼床版に取り替える場合の概念図を示す。

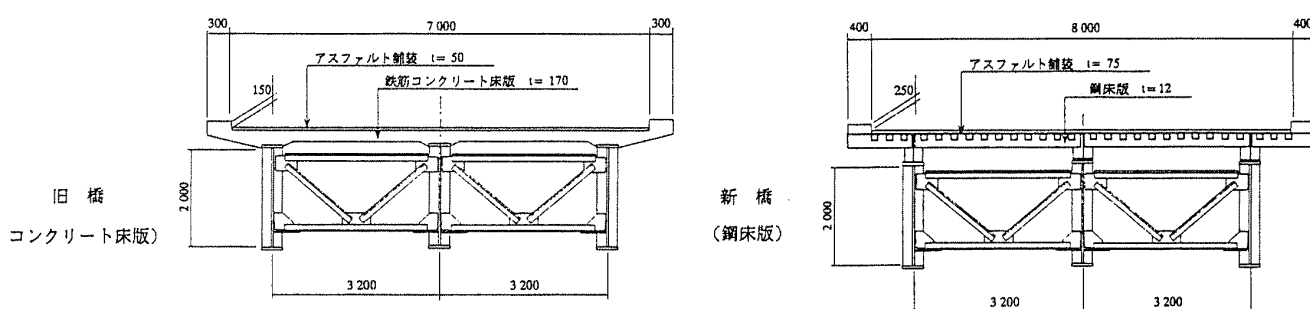


図-4.4.5 鋼床版への取替え概念図

(2) 設計・施工上の留意点

I 桁の設計・施工上の留意点は以下のとおりである。

- a) 既存橋梁で発生している応力状況を適切に把握する。
- b) フランジ以外の部材の安全性や耐荷力についても検討する。
- c) 桁のどの部分が断面不足となっているかを照査する。
- d) スタッドジベルやずれ止めを撤去する際に、上フランジを傷めることがあるので、慎重に作業する。
- e) 継手のボルト結合孔により母材断面が不足とならないように補強構造を選定する。
- f) 高力ボルトによりカバープレートを取付ける場合は、ボルト孔による断面欠損等を設計上考慮する。
- g) 高力ボルト、現場溶接、リベットの併用はしてはいけない。
- h) 橋体をベントなどで支持できる場合は、補強が死荷重に対しても有効となるので仮支持の要否を十分に検討する。
- i) 補強部材添加による部材の偏心、応力伝達機構の変化、応力の集中等に注意しなければならない。

4.2.2 箱桁の補強

箱桁の補強は基本的にはI桁と同様であるが、桁内への補強部材の取込みのための部材の大きさの制限や、狭隘な箇所での作業、換気の問題などの配慮が必要である。

解

(1) 補修・補強の方法

1) 実応力を低減させる方法

実応力を低減させる方法としては、I桁と同様のカバープレートの取付けや、縦リブの追加による断面補強がある。

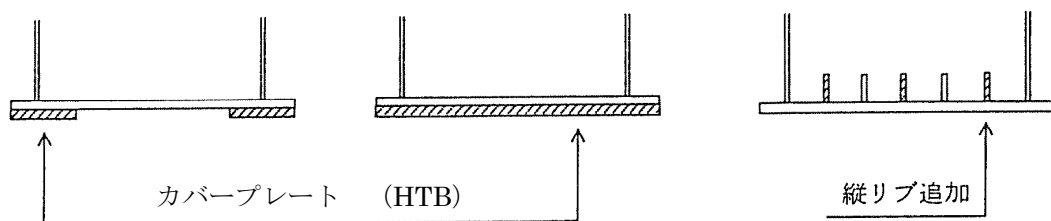


図-4.4.6 箱桁の補強

2) 死荷重を軽減し活荷重に対する耐力を増す方法

死荷重の大部分を占める RC 床版を他の床版形式へ取替えたり、縦桁の増設に伴う床版の支間の縮小により床版厚を薄くするなどが考えられる。

(2) 設計・施工上の留意点

箱桁の設計・施工上の留意点も I 桁の場合と同様であり、以下の項目以外は、I 桁の項を参照とする。

- a) フランジの有効幅を考慮した補強設計が必要である。
- b) 箱桁内へ取込み可能な部材の大きさの決定。

4.3 床組

床組は床版とともに輪荷重の増大にともなって補強の必要性が高い部材である。床組の補強は、以下の方法による

- (1) 縦桁、横桁の断面を大きくして桁1本あたりの耐荷力を上げる。
- (2) 縦桁を単純ばりから連続ばりに構造変更して断面力を軽減する。
- (3) 縦桁、横桁を増設して構造系全体としての作用応力度を下げる。

解

(1)、(2) はあらゆる主構造の形式に適用でき、アーチ系、トラス系橋梁で比較的多く用いられている工法である。また、(3) はI桁橋、箱桁橋で床版支間が長い場合に床版補強工と併せて用いられることが多い。

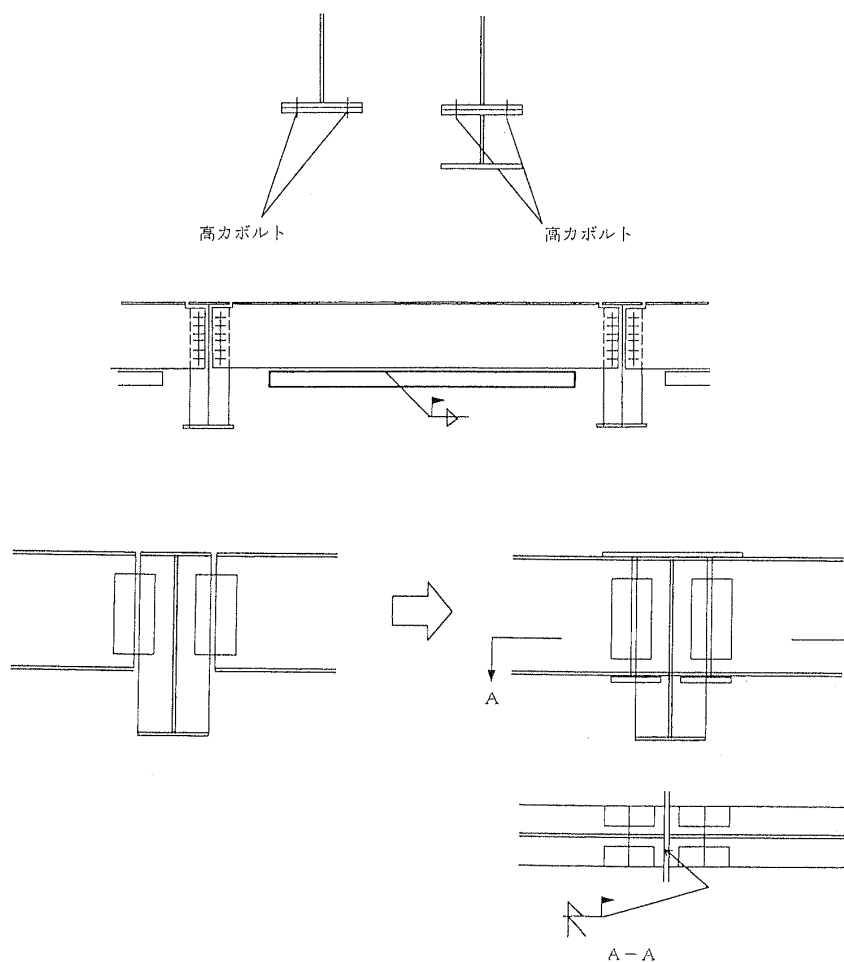


図-4.4.7 床組の補強

4.3.1 端対傾構の補強

端対傾構には逆V型のトラス形式が一般的に用いられている。端対傾構の場合、輪荷重を直接支持する上弦材の補強が必要となる場合があり、補強方法としては下記のような種類がある。

施 工 条 件	考 え ら れ る 工 法	
床版の撤去が可能な場合	上弦材の交換	図-4.4.8
	コンクリートによる巻立て	図-4.4.9
床版の撤去が不可能な場合	上弦材の補強	図-4.4.10

解

(1) 設計・施工上の留意点

上弦材の交換、コンクリートによる巻立ては、桁端部の床版の撤去、伸縮装置の交換などが可能な場合に、これらの工事と同時に行うことを前提としたものである。コンクリートによる巻立て工法は、振動、衝撃の緩和対策として考案された工法であるが、耐力の向上に対しても有効であると考えられる。上弦材の補強は、交通止めを行わないで補強作業を行う場合に用いられる工法であり、上弦材の追加および斜材、下弦材の交換を行うものである。

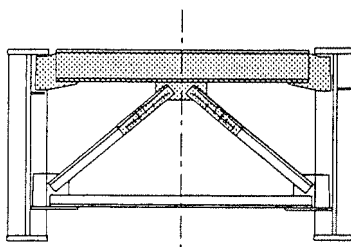


図-4.4.8 上弦材の交換

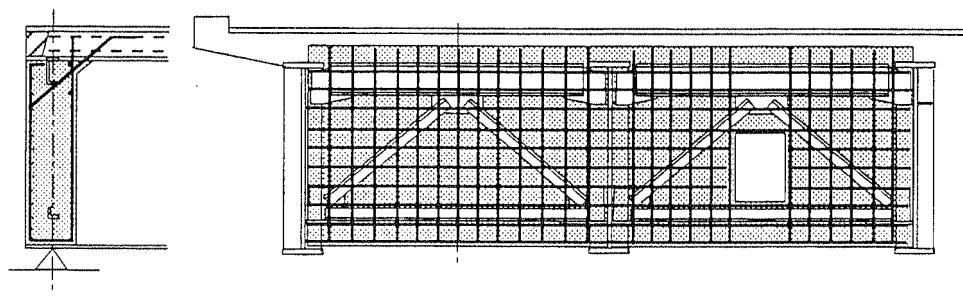


図-4.4.9 コンクリートによる巻立て

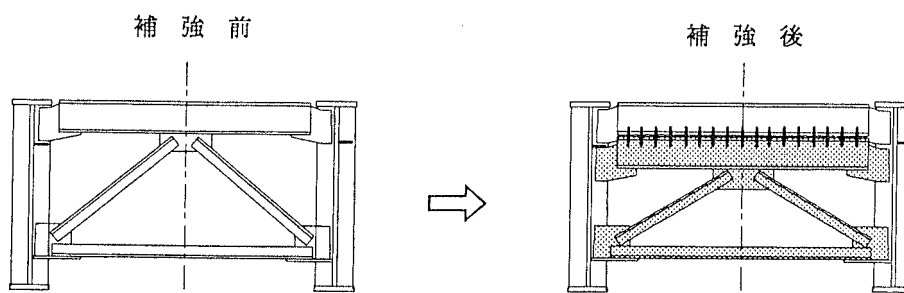


図-4.4.10 上弦材の補強

4.3.2 ブラケットの補強

ブラケットの補強には下記のような工法がある。

- a) 断面を補強して耐力を向上する。(図-4.4.11)
縦桁、横桁の補強と同様に、ブラケットの下フランジ側にフランジプレートまたは逆T断面を取付けて補強する。
- b) ブラケットを追加して1箇所あたりの断面力を低減する。
縦桁増設工(第4編第3章3.4)と同様な構造とする。

両者とも、施工条件、難易度、補強効果の差はほとんどなく、主構造との取合いや床組構造などから適切な工法を選択すれば良い。

解

設計・施工上の留意点

設計上は片持ちばりの先端に輪荷重が作用するものとして断面力、たわみの照査を行えばよいが、このとき、ブラケット取付部で確実に曲げモーメント、せん断力が伝達できる構造となるように構造詳細に配慮する。ブラケットを追加する場合、主桁に横方向の力が作用するため、その取付は対傾構、ダイヤフラムなどの位置にあわせる。これらが無い場合は、図-4.4.12のような控え材を取付け、主桁が面外変形をおこさないような構造とする。

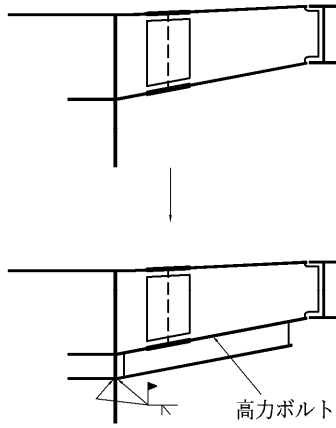


図-4.4.11 断面を補強する方法

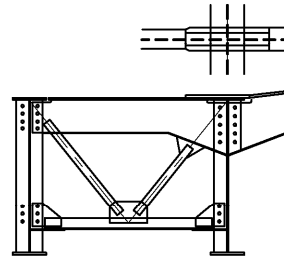


図-4.4.12 ブラケットに控え材を取付ける方法

4.4 支点部近傍

支点部近傍で補修・補強が必要となるような箇所は次のとおりである。

- (1) 支承部
- (2) 支承部の垂直補剛材
- (3) 切欠き部

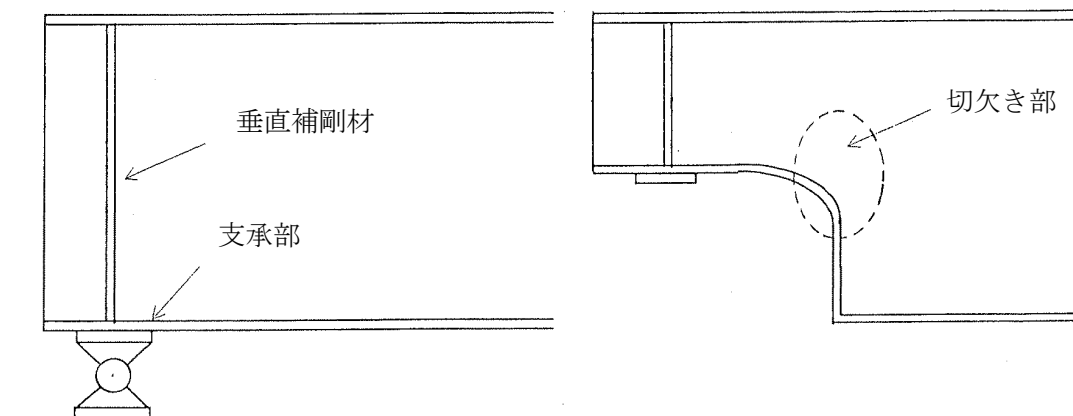


図-4.4.13 支点部近傍

4.4.1 支承取替

設計外力の変更による支承反力の増大に対して、支承各部の応力を照査すると同時に、変状調査を行ない、取替えの要否を判断する必要がある。

支承は上下部構造の接点において応力の伝達と緩衝機能の役割があり、応力伝達のための緊結性と緩衝のための余裕が要求される。既存の道路橋の支承にはこの両要素が十分に満足されていないことによる変状、破損を生じているものと、下部構造の変位や塵埃、異物の介在、錆などのために破損を生じているものがある。その変状の原因としては設計における配慮不足、設計・施工上の不備および維持管理の不十分によるものである。

変状の種類による補修・補強方法の一例としては次のとおりである。

	[変 状]	[補修・補強方法]
①	支 承 本 体 の 損 傷	支 承 取 替
②	ア ン カ ー ボ ル ト 損 傷	ア ン カ ー ボ ル ト 補 修
③	沓 座 モ ル タ ル 損 傷	沓 座 モ ル タ ル 打 替

また損傷の程度により支承取替を行なう場合、損傷のある箇所だけ行なうのではなく、1橋脚、橋台単位として全部行なうのがよい。

解

(1) 支承取替の方法

取替えの方法を検討する場合、計画上、図面及び現地調査で次の点に留意し、図－4.4.14～図－4.4.23のとおりとする。

1) 作業空間、現場環境

- ・作業機材置場の有無
- ・交通規制の必要性
- ・橋下の道路、鉄道、河川、建築物等の障害物の有無
- ・桁下空間の大きさ
- ・足場防護工の必要性とその大きさ

2) 仮受、ジャッキアップの可能性

- ・仮受の位置（下部工先端、ベント工、下部工にブラケット）
- ・橋体に対する補剛材の必要性
- ・橋体の補強の必要性

取替の一般的手順としては下部工がコンクリート製か鋼製かにより多少異なるが一般的には次頁のとおりである。

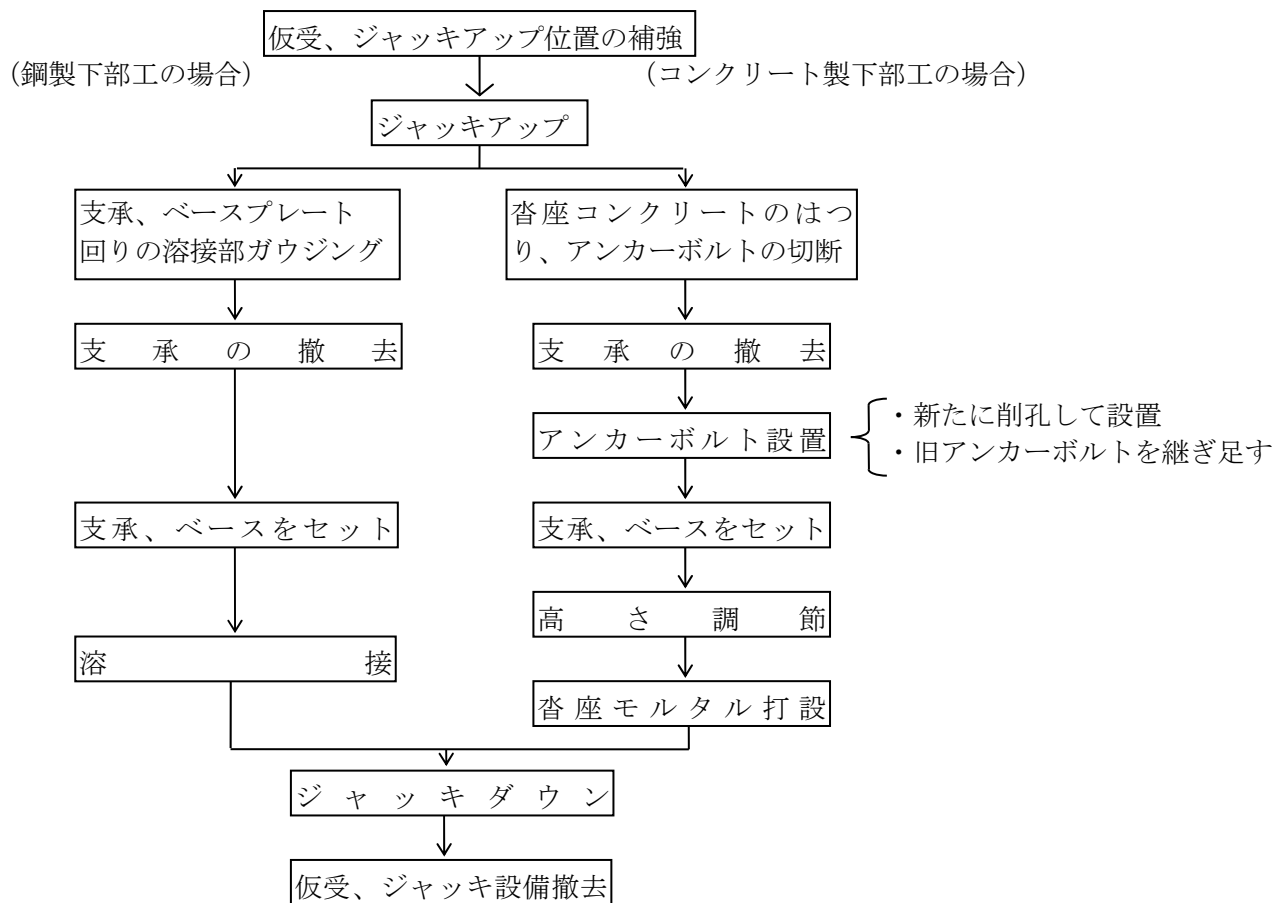


図-4.4.14 支承取替手順

補修例

- 橋梁形式 : 単純合成I桁 6主桁
- 支承形式 : 小判型支承 80t 固定、可動脊
- 取替支承形式 : ゴム支承、ベアリングプレート支承 80t
- 下部工形式 : コンクリート製
- アンカーボルト : アンカーボルトの位置は変更せず
スリーブを利用して溶接接続
- 桁側の受点 : 主桁
- 下部工側の受点 : ベント

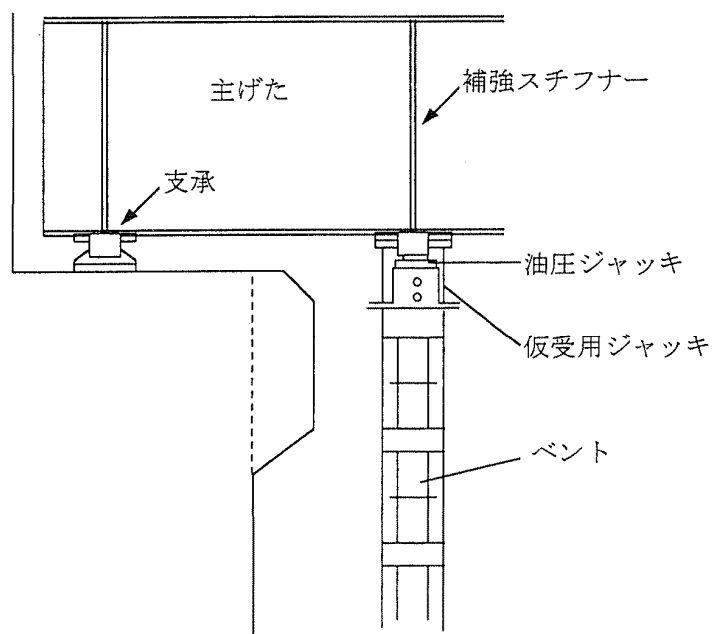


図-4.4.15 ジャッキアップ設備図

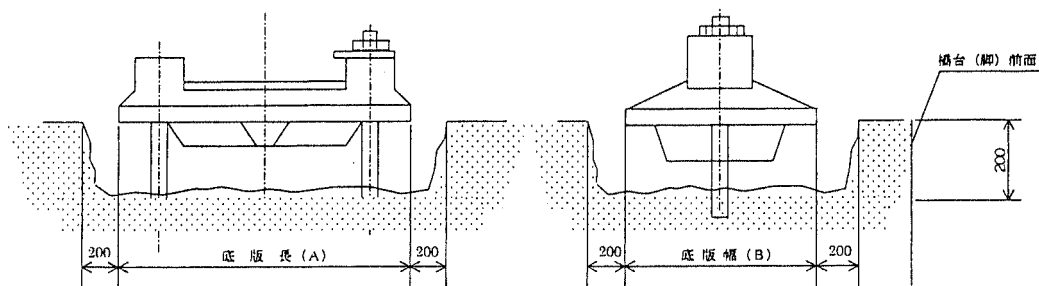
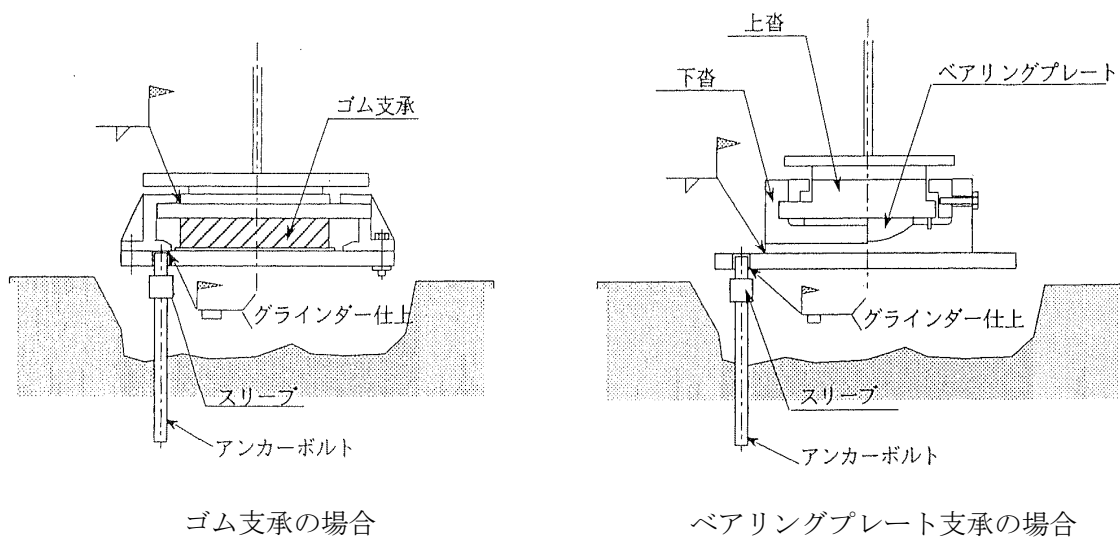


図-4.4.16 はつり要領図



ゴム支承の場合

ベアリングプレート支承の場合

図-4.4.17 新しい支承セット図

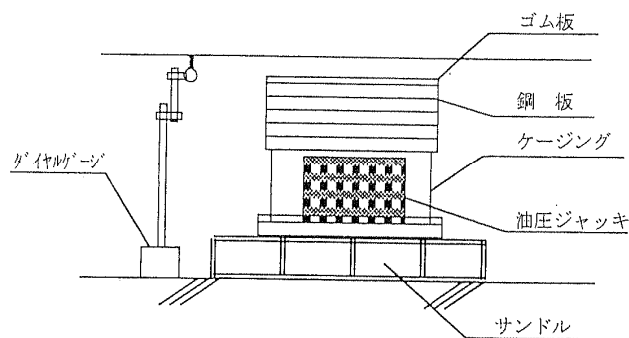


図-4.4.18 仮受図

(2) 設計・施工上の留意点

- 1) ジャッキアップ点上の桁の局部座屈の照査を行ない、座屈の可能性がある場合は、図-4.4.19 に示す補強スチフナーの取付が必要である。

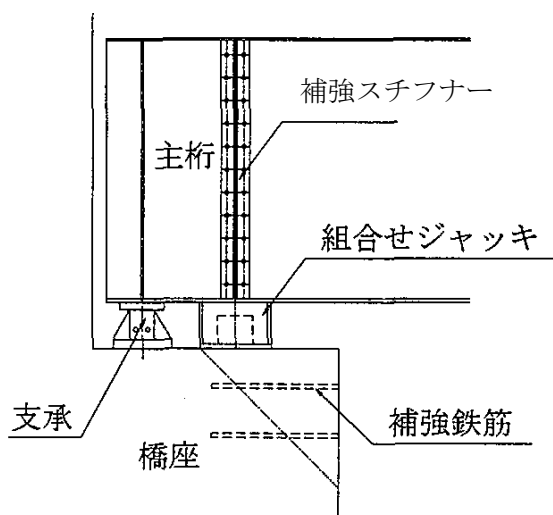


図-4.4.19 ジャッキアップに伴う補強

2) 桁をジャッキアップする時の桁側のジャッキ設置位置及び下部工側のジャッキ設置位置は、現地を調査して図-4.4.20より最適なものを選定するのがよい。

	要 領 図	備 考
主桁 または 主構	<p>支 承 ジャッキ 支 承 ジャッキ</p>	主桁または主構の交点近傍（横桁等）にてジャッキアップおよび仮支持をする。
端横桁	<p>仮支持 ジャッキアップ</p>	既設または新設の横桁を利用してジャッキアップおよび仮支持をする。
ブ ラ ケ ット	<p>仮受支材 仮支持 ジャッキアップ</p>	主桁の支点近傍にてジャッキアップした後、既設または新設（新設が多い）のブラケットを利用して仮支持をする。

図-4.4.20 桁側の受点

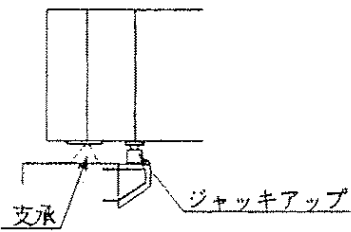
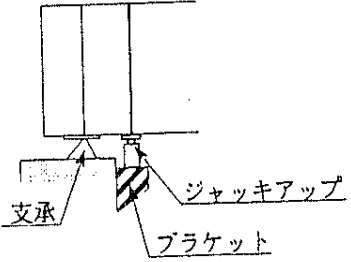
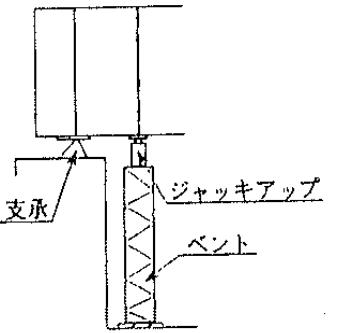
	要 領 図	備 考
橋座 拡幅		<p>既設の下部工橋座では作業空間がない場合、新規橋座拡幅を行い、拡幅した橋座を利用してジャッキアップ、仮支持をする。</p>
ブラケット		<p>既設の下部工橋座では作業空間がない場合、新規に鋼製ブラケットを設置し、ブラケットを利用してジャッキアップ、仮支持をする。</p>
ベント		<p>既設の下部工橋座では作業空間がない場合、ベントまたは架台を設置し、それらを利用してジャッキアップ、仮支持をする。</p>

図-4.4.21 下部工側の受点

3) アンカーボルトは新たに削孔して設置するか、旧アンカーボルトを使用して継ぎ足すか支承の型式及び現場の条件により判断しなければならない。

アンカーボルトの継ぎ足方は図-4.4.22のアンカーボルトの継ぎ足しを参考とする。

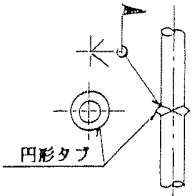
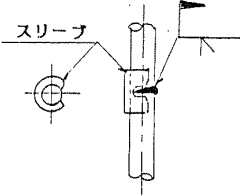
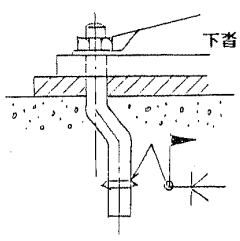
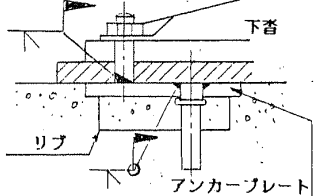
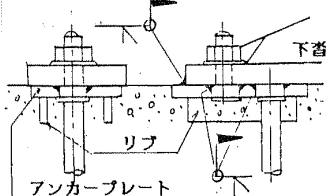
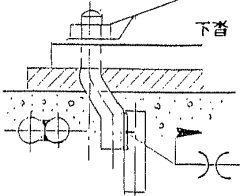
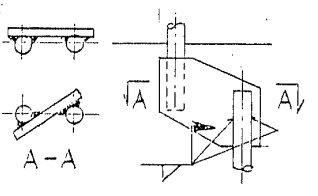
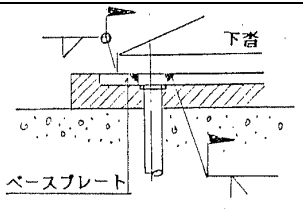
	直接継ぎ足し法	間接継ぎ足し法	
アンカーボルトの位置を変更しない場合	 <p>1.円形タブを利用し、ボルト相互を突合わせて溶接する。</p>	注) 溶接部の開先角度、開先方向、溶接継手位置は、現場施工上の容易さを十分に考えて決定する。	
	 <p>2.スリーブを利用し、ボルト相互を突合わせて溶接する。</p>		
アンカーボルトの位置を変更する場合	 <p>3.曲げ加工した継足しボルトを突合わせて溶接する。</p>	 <p>5.既設と新設のボルトをアンカープレートを通じて溶接固定する。</p>	 <p>7.左図と同様に加えてプレート的一面を下沓と溶接する。</p>
	 <p>4.曲げ加工した継足しボルトを重ね合わせて溶接する。</p>	 <p>6.既設と新設のボルトに溶接しやすい側にプレートをあてがい溶接。</p>	 <p>8.ベースプレートを新設して同プレートと下沓を溶接する。</p>

図-4.4.22 アンカーボルト継ぎ足し

- 4) ジャッキを使用する場合には、床版などに亀裂が生じないように上部構造を均等にジャッキアップするよう注意しなければならない。現場の状況により均等にジャッキアップができない場合は、応力照査を行ないその安全性を確認しなければならない。
- また、ジャッキダウンも同様である。
- 5) 沓座コンクリート高が高い構造の支承取替、沓座モルタルの打替を行なう場合は、ひびわれの発生を防止するために鉄筋などで補強してコンクリートを打設するのがよい。
- 6) 鋼製橋脚の場合、仮受する位置に補強材がない場合は、図-4.4.23 に示すように箱内にダイヤフラム等の補強材を取付ける必要がある。
- また主桁側の受点については図-4.4.20 より選定し応力照査する必要がある。
- その他鋼製橋脚の場合の留意点は次のとおりである。
- a) 支承本体に取り付けられているベースプレートをガウジングまたは、グラインダーにより取り除く場合、本体を傷付けないよう注意する。
 - b) 再度ベースプレートを溶接により取り付ける場合、前の溶接線と重ならないようベースプレートの大きさを決定する。
 - c) ベースプレートと本体の間に水が入ると溶接欠陥の原因となるため支承セット後ガムテープ等で止水する。
 - d) 溶接も対角に行なうようにして溶接割れ防止に配慮する。

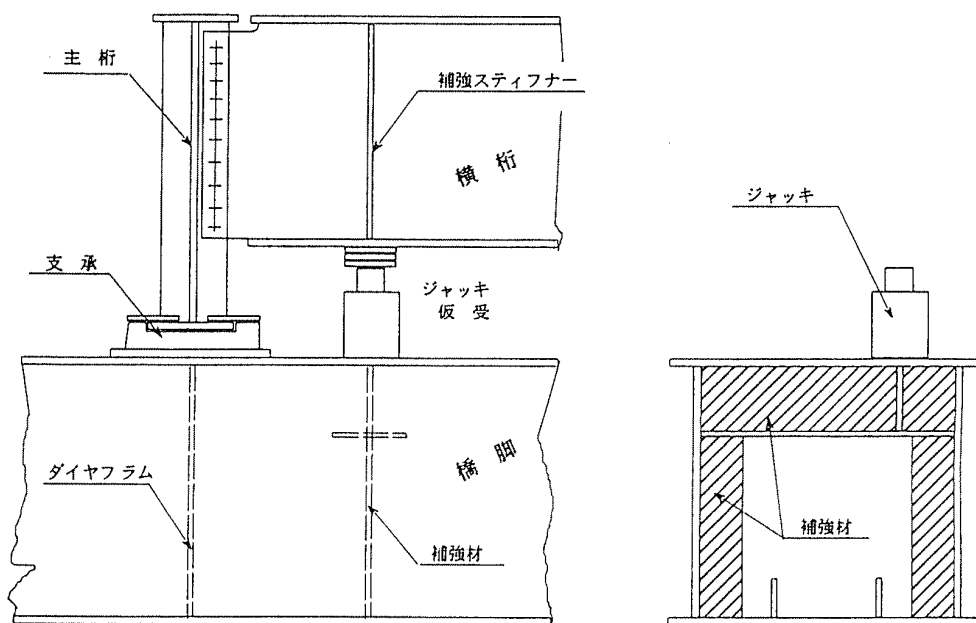


図-4.4.23 箱内補強

(3) 支承は地震時における以下のような特徴を有しているため、取り替える場合は免震支承を含むゴム支承を用いることが望ましい。

- 1) 弾性的な変形に抵抗でき、ひずみ硬化領域では移動制限装置としての機能を有しており衝撃が生じにくい。
- 2) 移動方向が自由であるため、損傷を受けにくい。
- 3) 面積が大きくなるために上部構造が支承から逸脱した場合においても衝撃および段差が小さい。

4.4.2 支点上補剛材の補強

支点上の補剛材を補強する場合は、荷重の増大による応力照査が必要である。支点上の補剛材は、支承直上の柱として計算されるのが一般的である。なお、補強材は活荷重に対してのみ有効として計算する。

解

(1) 補強の方法

断面が不足した場合に垂直補剛材を追加した補強事例が図-4.4.24である。現在ある補剛材を補強する場合は図-4.4.25を参考にするるとよい。

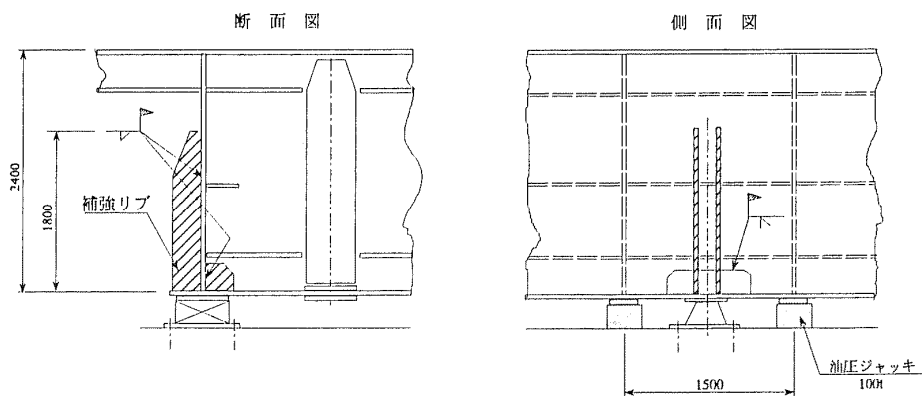


図-4.4.24 補強事例

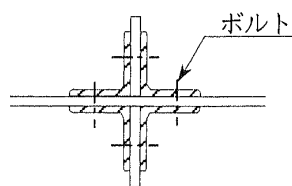


図-4.4.25 補剛材の補強案

(2) 設計・施工上の留意点

- 1) 構造形式及び現地の状況に合わせて、補強材取付方法を決定する。特に、箱げた内補強の場合、部材の運搬手段を検討して取付部材の大きさを決定する必要がある。
- 2) 補剛材が上フランジまで延ばせない場合は、計算方法に留意して安全性を確かめる必要がある。
- 3) 現場溶接を行なう場合は、溶接材料・溶接方法の選定に留意する。

4.4.3 切り欠き部の補強

ゲルバー桁の架け違い部および橋脚上での切り欠き部は応力の流れが急変するため応力集中および疲労による亀裂が発生する可能性が高いため、亀裂損傷がなくても応力照査のうえ補強するものとする。

解

現場で亀裂の有無、腹板のふくらみの有無の調査を行ない、補強方法を検討する。変状が生じている場合は、応力の低減を図ることと、腹板のはらみを許容量以下に矯正する必要がある。両側から補強版を当てて、高力ボルトで締め、また、下フランジの応力の流れをスムーズに伝達するために、下フランジ延長上に補強板を取付ける等の処置を行なうのがよい。

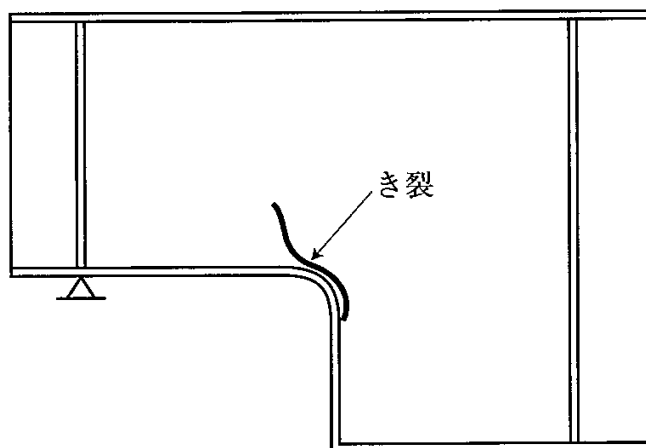


図-4.4.26 亀裂発生状況

(1) 補修・補強の方法

ケルバーI桁のヒンジ部に発生した亀裂に対する補強事例を図-4.4.27に示す。

施工に先立ち腹板亀裂が進展している個所は、施工前にストップホールを設ける。

(図-4.4.28参照)

亀裂の補修溶接は、ガウジングして再溶接を行ない、腹板の補強は両側から鋼板をあて、亀裂の線上をさけて、高力ボルトで締めつけを行なう。

腹板に曲がりが出ているので、補強板にリブを取付けたものを、締付けることにより矯正している。

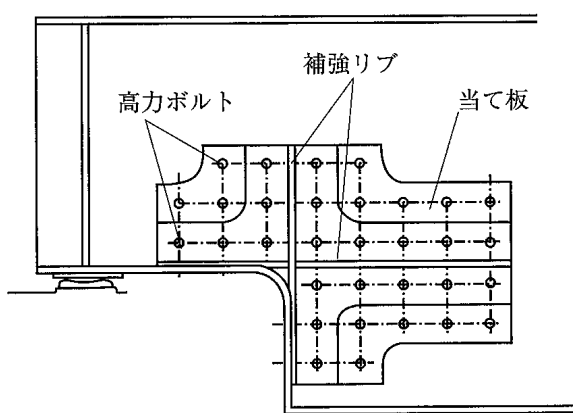


図-4.4.27 補強事例

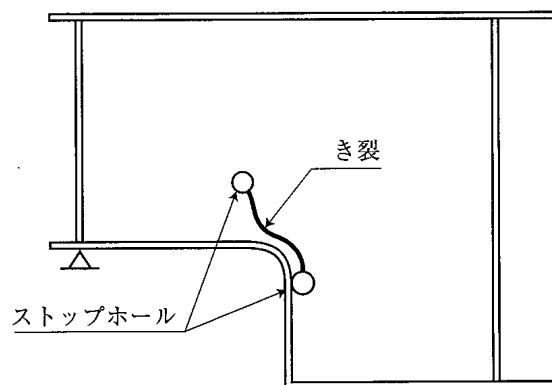


図-4.4.28 ストップホール

(2) 設計・施工上の留意点

- 1) 亀裂が進行している場合は、緊急にベント等により仮受を行い補修するのがよい。
- 2) 亀裂の補修溶接は、交通止めを原則とし、死荷重状態で行なうのがよい。
- 3) 水平方向補強リブは、応力の流れをフランジに伝達することを考慮し、できるだけフランジに近づけて配置するのがよい。

4.5 疲労

4.5.1 一般

疲労に対する補修・補強は、その原因を十分把握したうえで、構造細目の変更、剛性の付与、荷重の軽減、部材厚の増加、構造系全体の変更など、疲労の原因を取り除き適切な対策をとるものとする。

解

道路橋の疲労による損傷が顕在化し始めたのは1980年頃からであり、事例数、種類とも増加する傾向にある。疲労による亀裂損傷の発見が遅れたり、不適切な処置がなされたりすると、重大な事故につながる危険性をふくんでいる。

したがって、鋼橋の疲労による損傷を早期に発見して、その原因を十分に把握したうえで適切な補修・補強を施すことが重要である。

なお、鋼橋の疲労に関する全般的な解説および補修・補強方法については「鋼橋の疲労」

(平成9年5月 日本道路協会)・鋼道路橋の疲労設計指針(平成14年3月 日本道路協会)・鋼道路橋疲労設計便覧(令和2年9月 日本道路協会)を参考にするるとよい。

4.5.2 損傷部位と補修・補強方法

疲労亀裂が橋梁(たとえば主桁、主構)の安全性に及ぼす影響や発見された場合の対応方法については、その発生部位や進展状況によって異なる。大部分の亀裂は、それほど緊急性の高いものではないが、後々の対策の容易さを考慮すると点検によって早期に亀裂の発生の有無や進展の状況を把握し対策を講じておくことが望ましい。

主桁や主構の部材軸方向に対し直角に発生する亀裂については、進展すると部材の破断につながる可能性が高いので、発見後早急に対処する必要がある。また、二次部材に発生した損傷でも、そのまま放置した場合主桁や主構などの主部材に進展する可能性があることを考慮し、緊急対策の必要性、あるいは補修補強の必要性とその程度について検討することが重要である。

解

(1) 損傷部位について

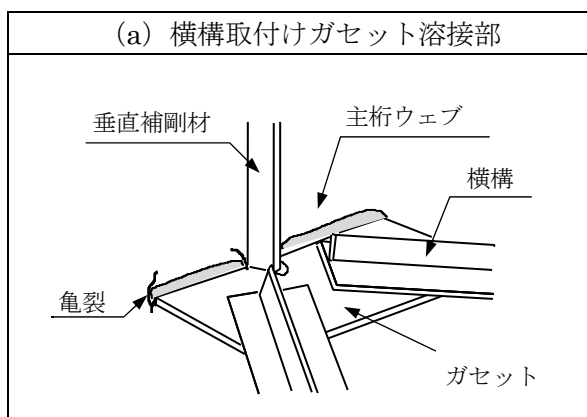
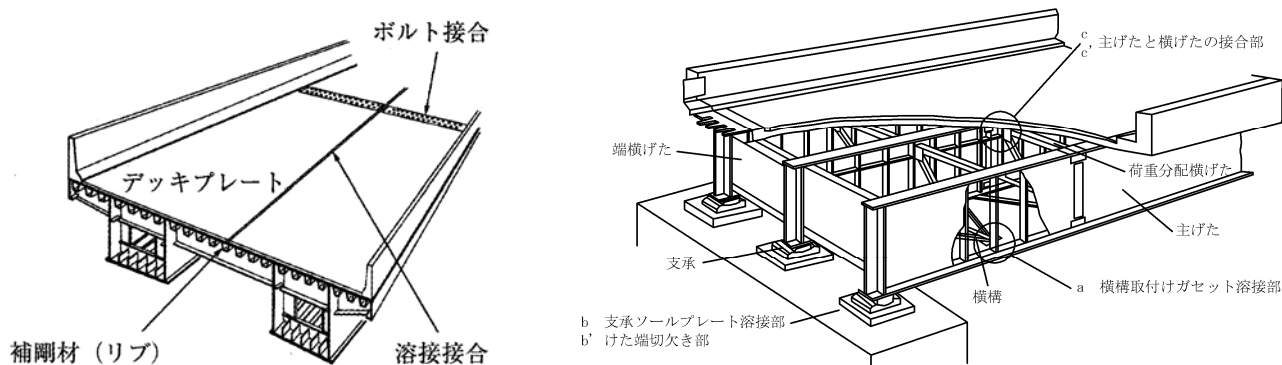
代表的な損傷について図-4.4.29に発生部位を示す。発生部位に関する特徴を以下に示す。

- ① プレートガーダーでは、対傾構、横桁と主桁の接合部や桁端の切欠き部やソールプレート部に見られる。
- ② アーチ、トラス橋では、補剛桁あるいはトラス弦材と横桁の接合部、縦桁と横桁の接合部等の床組や、アーチ橋の垂直材上下端の接合部に疲労亀裂が見られる。また、斜材等の床版コンクリート接触面での腐食部を起点とした疲労亀裂により、部材が破断する損傷が発生している。
- ③ 鋼床版では、輪荷重走行位置の直下の溶接部(Uリブの突合せ溶接部、横リブと縦リブの交差部および垂直補剛材とデッキプレートの溶接部)に見られる。

これらの部位のうち、桁端部（桁端、ヒンジ部の切欠き構造およびソールプレート溶接部）のように、亀裂の進展が主桁、主構の破断に直接つながるおそれのある部位については簡易な足場を用いても点検時に必ず確認しなければならない。また、鋼床版についてもこれまでは比較的軽微な事例が中心であったが、活荷重の影響を受けやすい構造であることや、供用年数を踏まえると、今後注意して点検するのが良い。

参考として、これまでに活荷重によって疲労損傷を受けた鋼道路橋に共通する特徴を以下に示す。

- ① 供用後、10 数年以上経過している。
- ② 大型車交通量が比較的多い路線である。
- ③ 昭和 31 年または 39 年道示で設計された溶接橋に多い。



(注) 亀裂が溶接ビードからはずれてウェブ内に進展している場合には、進展を監視しながら早急に対処する。

図-4.4.29 (a) I桁橋における主な損傷部位

(注) b および b' については、亀裂が主桁・主構ウェブに進展した事例が報告されているので、点検時に必ずチェックすること。

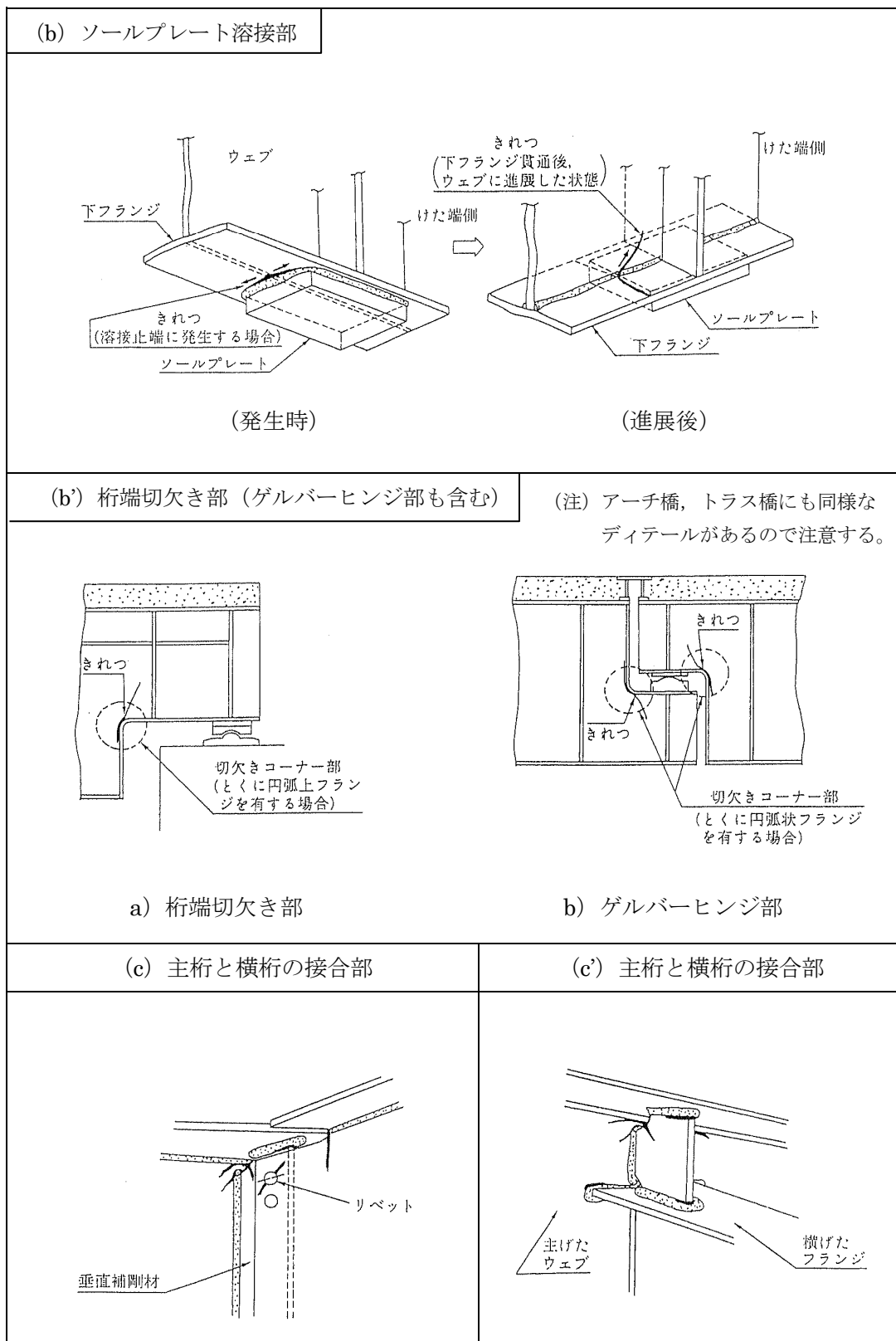


図-4.4.29 (b) I桁橋における主な損傷部位

(2) 補修・補強上の留意点

補修・補強の基本は、損傷をできるだけ早期に発見し、損傷が軽微なうちに、より簡易な方法により実施することである。しかし、疲労損傷に関しては、通常の設計において応力照査がなされないような部位に、二次的な応力・変形の発生、継手詳細の不適切、あるいは溶接部の品質不良などといった要因が複合して発生している場合がほとんどであり、原因の究明あるいは効果的な補修・補強方法の策定に苦慮することが多い。また、これまでに実施された対策の多くについては、施工後の年月が十分に経っていないこともあり、その効果については十分に確認されているとは言い難い。このようなことから、個々の損傷事例に対して経験的あるいは試行錯誤的に対処しているのが現状である。

補修・補強方法を策定するに際しての一般的な留意点について以下に示す。

1) 損傷の原因と補修・補強方法

補修・補強方法の策定に際しては、損傷の原因を明らかにし、その原因を除去できる方法を選択することが重要である。疲労損傷に対しては、亀裂発生部を単に溶接で埋め戻すといった安易な対策を実施するのではなく、原因を十分に把握した上で、再発の防止が可能であるような対策について検討を行わなければならない。

以下に主な疲労損傷の原因とその場合の補修・補強対策の留意点について述べる。

① 製作時の溶接欠陥が原因である損傷

疲労亀裂の発生、進展は、溶接われ、融合不良などの溶接継手部内に残された溶接欠陥に対して非常に敏感である。一般に、これらの溶接欠陥から生じた疲労亀裂については、部材表面で亀裂が確認された段階では、内部においてすでに大きく進展していることが多い。このため、主要部材においてこのような亀裂が確認された場合には、重大事故の原因となり得るので、交通規制や部材の仮受けなどの緊急的な措置を実施することが必要である。また、このような製作時の初期欠陥については、同一条件に従って製作された部位に同様の欠陥が生じている場合もある。したがって、同一施工部位で外観上、亀裂が確認されなかった部位についても継手内部を対象とした非破壊検査等を実施し、亀裂あるいは欠陥の有無を確認することが望ましい。

② 溶接継手部の局所的な応力集中が原因である損傷

道路橋では、部材の集成のためにすみ肉溶接継手が多用される。このすみ肉溶接部の止端部、あるいはルート部には溶接部の形状に起因する局所的な応力の集中が生じやすく、それが著しい場合には損傷の直接的な原因となることがある。このような損傷に対しては、溶接継手形式の変更（完全溶込み溶接化）、あるいは止端部の局所的な形状改善により応力の集中を除去、緩和することが第一の対策となる。

③ 不適切な構造ディテールの採用あるいは二次応力の発生が原因である損傷

構造ディテールに固有な応力集中が原因で損傷の生じた事例、あるいは設計仮定と実構造との違いや実橋の立体挙動により部材接合部に設計上考慮されない二次応力・

変形が作用し損傷の発生した事例は多い。このような損傷に関しては、損傷部位の構造ディテールを改良あるいは補強し、損傷の原因となった応力・変形の発生を低減することが重要である。損傷局所にとらわれ、亀裂の除去と再溶接といった溶接補修のみにより対策を講じた場合には、根本的な損傷原因の除去がなされないばかりか解放された応力・変形が再び生じ亀裂が再発生することもある。

構造上の制約から構造ディテールの改良や補強を行うことが困難である場合、あるいはそのような対策では応力・変形の低減が十分に期待できない場合には、新規部材を追加し橋梁の全体剛性を高め応力・変形を低減させる対策を検討することが必要となる。しかし、このような対策に関してはその施工が大がかりとなり、かつ施工に要する費用も増大することから、その採用にあたっては施工性、経済性に関しての十分な検討が必要である。

なお、損傷の確認された構造ディテールが同一橋梁内において多数採用されておりその一部に損傷が生じている場合には、たとえ現時点では損傷が未発生個所に関してもいずれ損傷の発生することが考えられる。したがって、未発生個所についても損傷個所と同様に対策を講じておくことが必要である。

④ 予期せぬ振動の発生が原因である損傷

設計時には予期していなかった振動が特定の部材に発生し、それが原因で疲労損傷が発生することがある。ランガー橋の吊材が風の作用により振動し、吊材と桁との接合部に亀裂が発生した事例や車両走行に伴う桁の振動が照明柱や標識柱に伝達し、それが原因でこれら付属物あるいは付属物の取付け部に亀裂の発生した事例もある。このような損傷に関しては、疲労に有害となる振動の発生自体を低減させるか、あるいは損傷部の構造ディテールを改良し振動により発生する応力を低減するかどちらかの対策を講ずることが必要である。なお、吊材接合部の損傷と対策に関しては、「道路橋耐風設計便覧」（平成20年1月 日本道路協会）を参考にするとよい。

2) 施工性への配慮

損傷の発生した構造ディテールがごく一般的なものであり、数多くの橋梁において同一の損傷の発生が予想される場合には、できるかぎり現場施工の容易な補修・補強方法を確認することが重要である。いかに効果的な補修・補強方法でも、その施工性に難がある方法では良好な品質は期待できず、かえって強度を低下させてしまうことにもなりかねない。

補修・補強に際し交通規制の実施が可能であるか、供用下においての施工となるのかについても重要な要因である。供用下での補修・補強においては、死荷重あるいは活荷重の一部が載荷された状態での作業となる。このような状態で部材あるいはその一部を撤去する場合には、構造解析を行い部材各部の応力照査を行うことが必要である。また、溶接作業を伴う施工においては、部材の振動、作業足場の振動が溶接部の品質に及ぼす影響についても考えておく必要がある。

4.6 塗装

既設橋における鋼部材の塗装は、年月の経過とともに防食機能が低下していく。そのため、供用後適切な頻度と方法で点検を行い、防食の劣化や損傷状態を評価するとともに、必要に応じて適切な補修を行うことが重要である。

解

既設橋の塗装は、年月の経過にもなると劣化が進行し、防食機能が低下する。このとき、劣化の過程は、構造部位毎の環境の違いや施工品質の差から部位によっても異なったものとなり一様にはならない。したがって、供用後は、適切な頻度と方法で点検を行って防食の劣化や損傷状態を評価するとともに、必要に応じて適切な補修を行うことにより、鋼材の腐食を防止するなどの所要の機能が満足される状態に維持管理を行うことが大切である。

このため、供用に先立って維持管理計画を定めておくことが重要であるが、維持管理計画には、少なくとも点検時期や点検方法、劣化や損傷状態の判定、防食の適切な補修時期の判定方法および補修方法について考慮することが望ましい。なお、ミニマムメンテナンス化の観点から、塗替えの際の塗装仕様は **Rc-I** 塗装系を適用することを原則とする

(1) 塗替え方法

1) 全面塗替え

鋼橋塗膜は、一様に劣化することはなく部位により塗膜劣化程度が異なる。塗膜に劣化が見られた時点で直ちにその部分を塗替えることが理想的であるが、作業足場の架設や塗装効率など経済性や作業条件など種々の制約があるため、橋の機能に影響がないことが明らかでない場合は、部分的な塗膜劣化を許容し、全面塗替えによって対処する。

2) 部分塗替え

鋼橋塗膜は、桁端部、連結部、下フランジ下面など、特定の部位の塗膜が他の部位に比べて劣化が著しくなる傾向があり、この部分を適切に維持管理することにより、全面塗替え時期を延ばすことが可能である。したがって、一般部の塗膜が健全でも、桁端部、連結部、下フランジ下面など特定の部位の劣化が著しい場合には塗膜劣化の著しい箇所の部分塗替えを行うこともある。

このような場合には部分塗替えと全面塗替えの両者について、長期的な維持管理費用（LCC）を算出しいずれの塗替え方法が経済的であるか検討したうえで判断する必要がある。

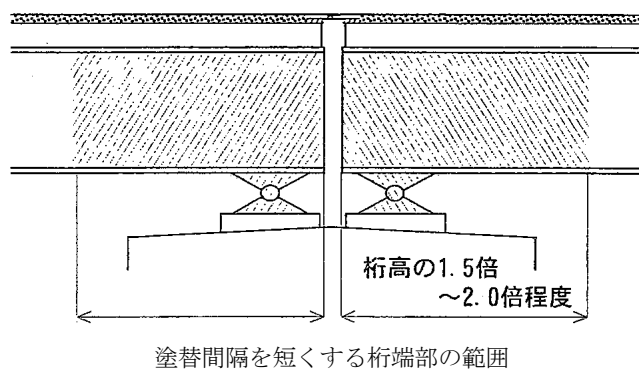
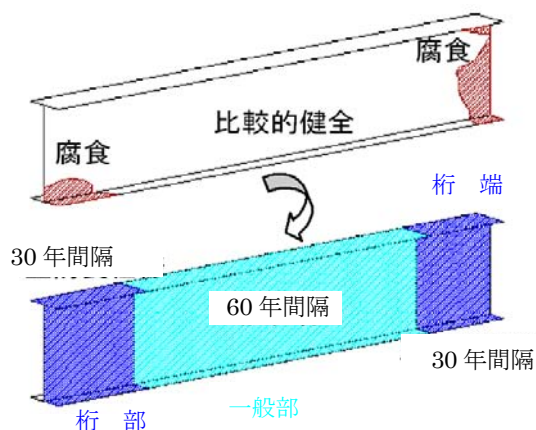
なお、部分塗替えを採用する場合には足場費用の軽減を図るため、橋梁点検車の利用や簡易な移動足場の適用なども検討するのがよい。また、部分的に塗替え塗装を行うと塗替えた部分と塗替えない部分とで色調や光沢、汚れの程度などに相違が生じるため、特に景観や美観上の要求がある橋では部分的な塗替えを検討する場合にこの点についても考慮する必要がある。

3) 局部補修

ジンクリッチペイントを防食下地に用いる重防食塗装系は、耐久性に優れているので、重防食塗装系を適用した橋では塗膜厚の不均一になりやすい連結部のボルト頭や、当て傷による塗膜欠陥の生じた部材角部等の点さびを局部的に補修塗装しておけば、長期間にわたり全面塗替えを行わないで塗膜の防せい(錆)性能を維持することができる。厳しい環境に架設される長大橋では、橋梁点検車や移動足場などを利用して局部補修を行って全面塗替えの間隔を大幅に延ばすことが可能である。局部補修は、塗膜損傷の深さにより対応が異なる。

(2) 塗装橋梁の塗装仕様と塗装間隔

初回の塗替え塗装は重防食塗装 (Rc-1 塗装系：上塗りふっ素) を採用する。その後の塗替えは、桁端部の腐食を重点的に防止するため、推定耐久年数の半分の期間で桁端部を部分塗替えする。これは、伸縮装置からの漏水の影響により、塗装劣化・腐食が桁端部に集中するための対応である。



出典 鋼橋へ長寿命化のための方策
(社) 日本鋼構造協会

図-4.4.30 桁端部塗替え周期調整概念

第5章 コンクリート橋の補修・補強

5.1 一般

コンクリート橋の補修・補強にあたっては、まず設計図書によりその形状寸法、配筋状況および応力状態を調査するとともに、損傷状態を**十分**把握したうえで補修・補強対策を計画する。

解

- (1) コンクリート橋は鋼橋と比較して自重が大きく、曲げ剛性も大きいため、振動、衝撃に対する抵抗性に優れており、一般に活荷重の影響が直接破損の原因となることは少ない。しかし、コンクリート橋は、現場で施工される場合が多く、構造形式も多岐にわたり、部材に変状が生じた場合、その原因を究明することは困難である。

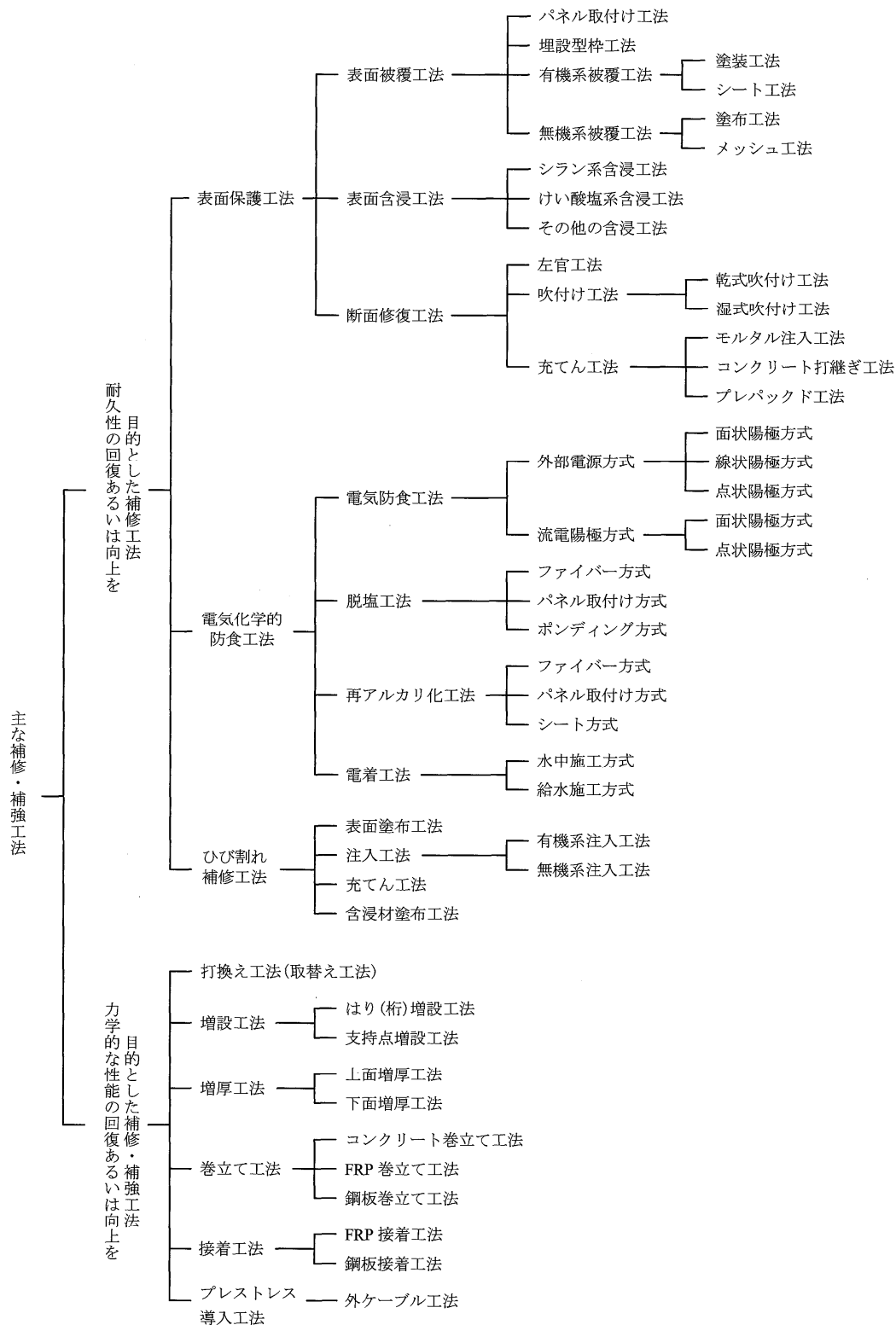
コンクリート橋の部材に現われる変状は、ひび割れ、はく離、鉄筋露出、豆板、漏水、コンクリートの劣化等があり、変状の原因としては、設計施工上の問題、および、使用条件、環境条件などの外的条件の変化が考えられる。しかし、一般にはコンクリート部材に変状が生じたとき、コンクリートのひび割れを伴うことが多いので、その健全度を判断するためには、コンクリートのひび割れの状態を調査する必要がある。コンクリート部材に変状が認められた場合には、発生箇所、程度、進行性か否かを調べて、変状が発生している部材の重要度や、二次的な破損へつながる危険性の有無を検討する必要がある。

コンクリートの耐久性にかかわる要因としては、温度の変化の影響、乾燥湿潤・凍結融解の繰り返しによる劣化、空気中の**二酸化炭素**の侵入による中性化などが考えられる。また、供用中のコンクリート橋を調査する場合、ひび割れと鉄筋の腐食はその耐久性を判断する重要な目安となるが、ひび割れが生じたために鉄筋に錆が発生したもの、および、鉄筋に錆が発生し、その膨張によってコンクリートにひび割れが生じたものの2通りがある。

しかも、コンクリート橋の耐荷力に重大な悪影響を与えるような変状はいくつかの要因が相互に関連し合っただけで起る場合が多いので、原因の究明にあたっては十分な注意が必要である。

(2) コンクリート構造物に適用されている主な補修・補強工法

2007年制定 コンクリート標準示方書〔維持管理編〕抜粋



解説 図 7.3.1 コンクリート構造物に適用されている主な補修、補強工法

(3) 主要な補修工法概要

工法概要を以下に示す。なお、表面被覆工法、表面含浸工法、断面修復工法については「コンクリートライブラリー119 表面保護工法 設計施工指針(案) 平成17年 土木学会」を参考にすると良い。

1) 表面被覆工法

① 塗膜被覆工法

塗膜被覆工法は、直接外気に接する部分に有機系および無機系の材料を直接塗り重ねて（下塗り、中塗り、上塗り）塩分、水分、酸素、**二酸化炭素**などの侵入を防ぐ工法である。

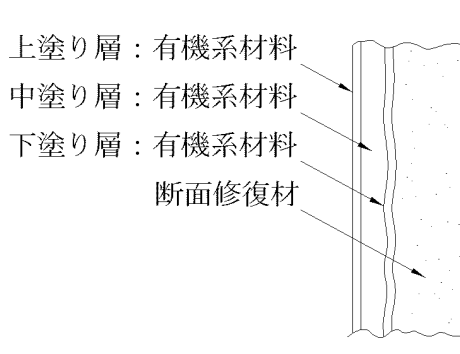


図-4.5.1 塗膜被覆工法の概念

② モルタル被覆工法

モルタル被覆工法は、直接外気に接する部分に無機系材料を塗り重ねて、ある程度の厚みを持った下塗り層（中塗り層）を設け、その上に有機系などの材料を塗り重ねて、塩分、水分、酸素、**二酸化炭素**などの侵入を防ぐ工法である。

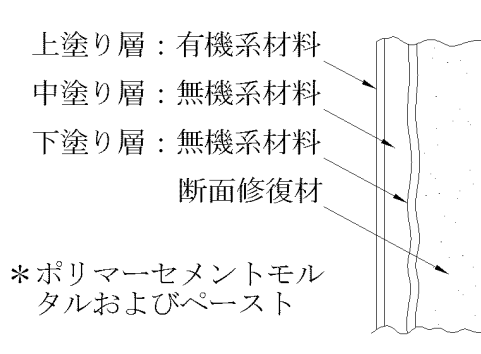


図-4.5.2 モルタル被覆工法の概念

③ 連続繊維シート接着工法

連続繊維シート接着工法は、コンクリート断面の外面に連続繊維シート（カーボン、ガラス、アラミド繊維など）を接着して既設部材との一体化を図り、その上に有機系などの材料を塗り重ねて、塩分、水分、酸素、**二酸化炭素**などの侵入を防ぐ工法である。

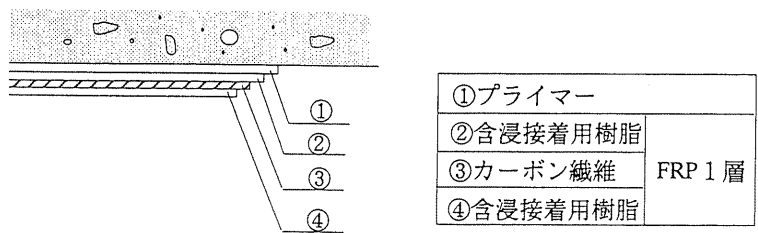


図-4.5.3 連続繊維シート接着工法の概念

2) 表面含浸工法

表面含浸工法は、所定の効果を発揮する表面含浸材をコンクリート表面から含浸させてコンクリート表層部の組織を改質して、コンクリート表層部への特殊機能を付与することで部材を保護する工法である。含浸材にはシラン系、けい酸塩系等があり、求められる効果により様々な製品が開発されている。

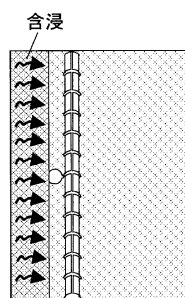


図-4.5.4 表面含浸工法の概念

3) 断面修復工法

断面修復は施工部材・施工方法・補修面積等の施工条件により工法を決定する。

補修部位の位置	下面	側面	上面
施工の方向	上向き施工	横向き施工	下向き施工
補修面積			
小	左官工法	左官工法	左官工法
	吹付け工法	吹付け工法	充填工法
大	充填工法	充填工法	吹付け工法

図-4.5.5 断面修復工法の適用範囲概念図

① 充填工法

充填工法には、型枠を設置し粗骨材を充填して、膨張モルタルなどを隙間に注入する「プレパックドコンクリート工法」や欠損断面が大きく、下向きの作業が可能な場合に、型枠を設置して、コンクリートなどを充填する「打継コンクリート工法」などがある。

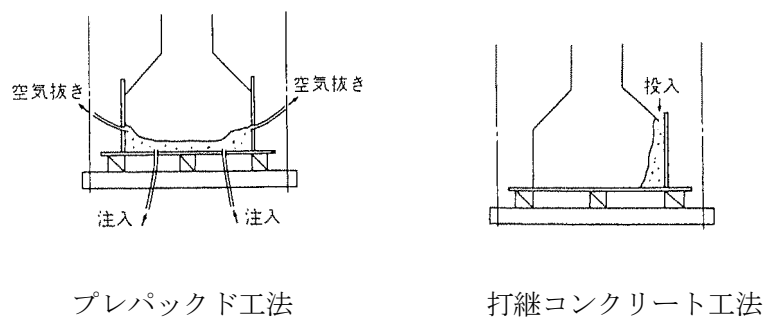


図-4.5.6 充填工法の概念

② 吹付工法

吹付け工法は、型枠を設置せず、圧縮空気や遠心力などを用いて断面修復材を吹付ける工法であり、比較的大きい床版や梁下面等の上向き施工や、柱側面等の横向き施工に適用する。乾式吹付け工法と、湿式吹付け工法がある。

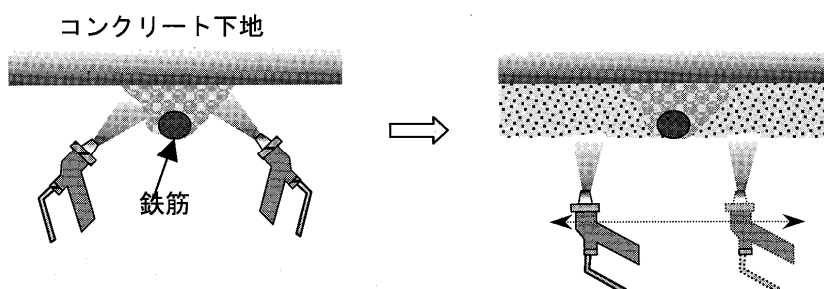


図-4.5.7 吹付け工法の概念

4) ひび割れ補修工法

ひび割れ補修工法はひび割れ幅の他、ひび割れ幅の変動により、ひび割れ塗布やひび割れ注入、ひび割れ充填より選定する。ここで、ひび割れ幅が 0.2mm 未満の場合は劣化進行が軽微なため補修の必要性はないものの、防水性を必要とする場合やひび割れ幅が異なる場合等は、ひび割れの状態を見極めた上でひび割れ塗布の有無を判断するのがよい。ひび割れ幅の変動について、「有」は補修後ひび割れ幅が変動する場合でひび割れに追従する材料を使用する必要があり、「無」はひび割れ変動がなく追従性のない材料を使用するものである。

表-4.5.1 ひび割れ対策工選定

対策工	ひび割れ幅の目安	ひび割れ幅の変動
ひび割れ塗布	0.2mm 未満	有
		無
ひび割れ注入	0.2mm 以上 0.5mm 未満	有
		無
ひび割れ充填	0.5mm 以上	有
		無

① ひび割れ塗布

ひび割れ塗布は注入できない0.2mm未満のひび割れ幅に適用する。本工法はひび割れ表面に塗膜を構成させることで防水性や耐久性向上が目的である。ひび割れ幅に変動が認められない場合は無機系のポリマーセメント、変動が認められる場合は有機系のウレタン樹脂やシリコン樹脂を被覆材として使用する。ここで、変動が認められない場合とは下部構造の建設初期に発生するひび割れ等である。変動が認められる場合とは、ひび割れが発生している部材に変形や振動（上部構造等）が生じたり、アルカリ骨材反応（上部構造、下部構造等）で残存膨張が今後発生する場合である。なお、近年は表面被覆工に代わり、表面含浸工の使用が多く見られている。

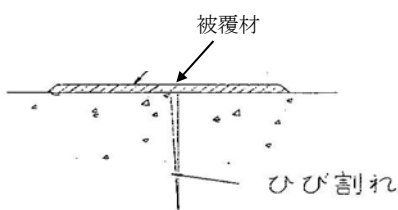


図-4.5.8 一般的なひび割れ塗布工

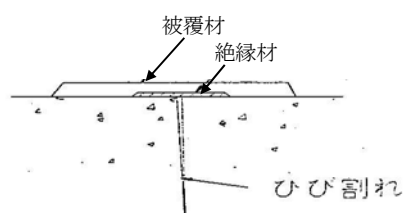


図-4.5.9 ひび割れ幅の変動がある場合

② ひび割れ注入

ひび割れ注入は、ひび割れ内に注入材を圧入して、ひび割れを閉塞することで外部因子を遮断することを目的に実施する方法である。注入材は有機系のエポキシ樹脂等が用いられる。また、近年は超微粒子セメント系注入材もあるため、採用にあたっては比較検討し決定するものとする。

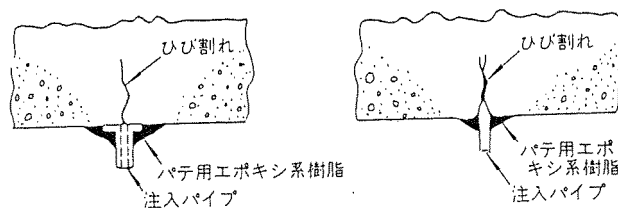


図-4.5.10 注入工法の概念

③ ひび割れ充填

ひび割れ充填は、ひび割れ幅が大きい場合に用いられる工法で、コンクリート表面をひび割れに沿ってU型にカットし、カット部を充填材により充填する方法である。充填材は、ひび割れ幅の変動が認められる場合はウレタン樹脂やシリコン樹脂を用い、ひび割れ幅の変動が認められない場合はエポキシ樹脂やポリマーセメントモルタルを用いる。なお、Vカットは充填材が剥離しやすいため、原則避ける方針とした。

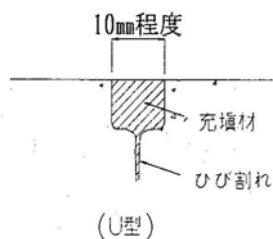


図-4.5.11 ひび割れ充填工

(4) 主として補強に適用される工法

① 鋼板接着工法

鋼板接着工法は、コンクリート断面の外面に鋼板を接着して、既設部材との一体化を図り合成構造とすることにより、曲げおよびせん断耐力を確保する工法である。

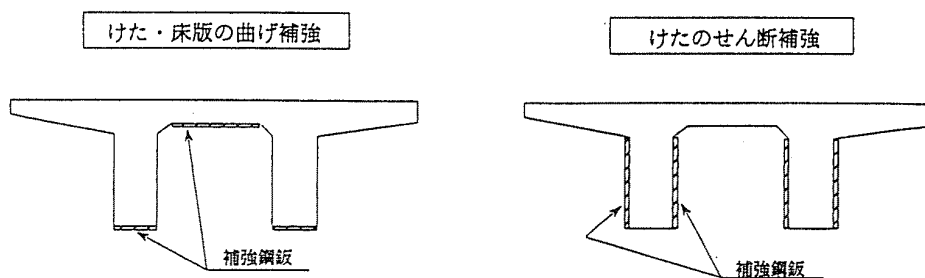


図-4.5.12 鋼板接着工法の概念

② 連続繊維シート接着工法

連続繊維シート接着工法は、コンクリート断面の外面に連続繊維シート材(カーボン、ガラス、アラミド繊維など)を接着して既設部材との一体化を図り、その上に有機系などの材料を塗り重ねて、塩分、酸素、**二酸化炭素**などの侵入を防ぐとともに、曲げおよびせん断耐力を確保する工法である。

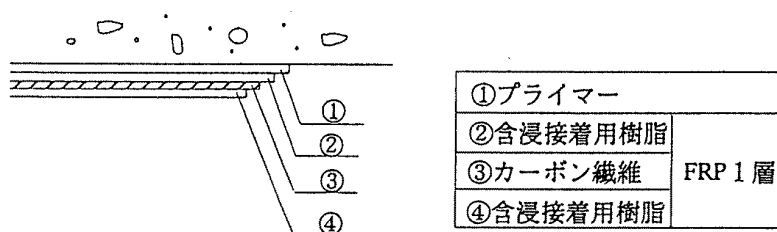


図-4.5.13 連続繊維シート接着工法の概念

③ 増厚工法

増厚工法は、既設部材の上面あるいは側面に鉄筋を配置し、コンクリートを打設することにより、荷重に対する抵抗断面を増加させ、曲げおよびせん断耐力を確保する工法である（鉄筋を配置しない場合もある）。

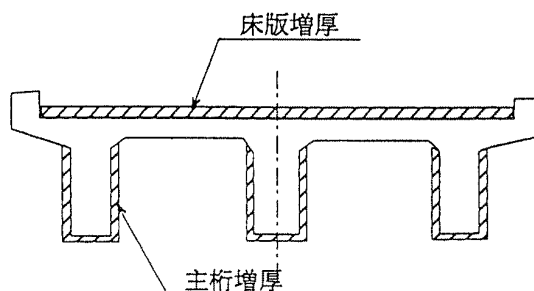


図-4.5.14 増厚工法の概念

④ プレストレス導入工法

プレストレス導入工法は、コンクリート断面の外に PC 鋼材を配置してプレストレスを導入する（外ケーブル方式）ことにより、曲げおよびせん断耐力を確保する工法である。

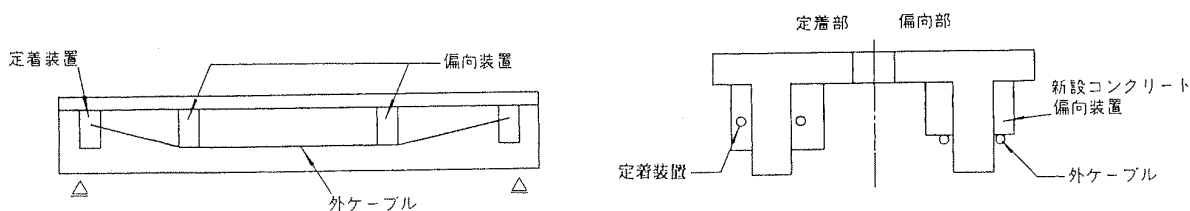


図-4.5.15 プレストレス導入工法の概念

⑤ 打換え工法

打換え工法は、部材を全面あるいは部分的に撤去し、新しいコンクリートで打換えすることで、曲げおよびせん断耐力を確保する工法である。

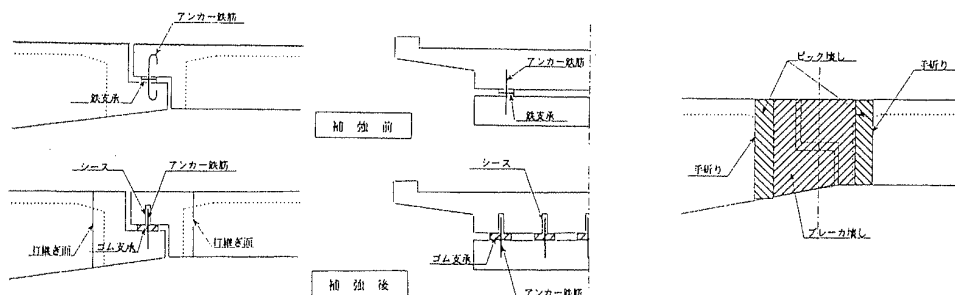


図-4.5.16 打換え工法の概念

⑥ 支持工法

支持工法とは、主桁を増設桁や斜材で支持したり、RC床版に対して鋼製中間縦桁を増設することで、曲げおよびせん断耐力を確保する工法である。

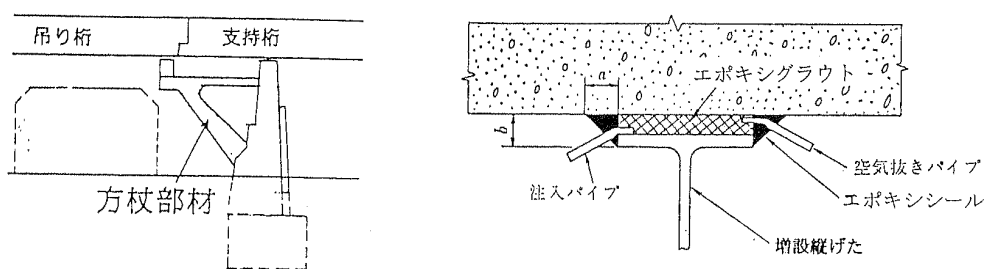


図-4.5.17 支持工法の概念

5.2 補強工法と適用の関係

コンクリート橋の補強については、適用される各工法が多岐にわたるため、補強設計条件に適合する補強工法を選定する際には、各工法で補強が可能な限界および各工法の組合せに対し**十分**留意する必要がある。

解

補強対象部材と適用できる補強工法を表-4.5.2に示す。

表-4.5.2 補強部材と適用できる補強工法

適用対象	工法の概要	主な工法の例*1	適用部材					
			全般	はり	柱	スラブ	壁*2	支承
コンクリート部材	接着	接着工法		◎	○	◎	○	
	巻立て	巻立て工法			◎		○	
	プレストレスの導入	外ケーブル工法		◎	○	○		
	断面の増厚	増厚工法		○		◎		
	部材の交換	打換え工法		○	○	◎	◎	
構造体	はり(桁)の増設	増設工法		◎		◎		
	壁の増設	増設工法					◎	
	支持点の増設	増設工法		◎		◎		
	免震化	免震工法	◎					◎

◎：実績が比較的多いもの，○：適用が可能と考えられるもの

*1：接着工法：鋼板接着工法，FRP接着工法（連続繊維シート接着工法，連続繊維板接着工法）

巻立て工法：鋼板巻立て工法，FRP巻立て工法（連続繊維シート巻立て工法，連続繊維板巻立て工），RC巻立て工法，モルタル吹付け工法，プレキャストパネル巻立て工法

プレストレス導入：外ケーブル工法，内ケーブル工法

増厚工法：上面増厚工法，下面増厚工法，下面吹付け工法

増設工法：はり(桁)増設工法，耐震壁増設工法，支持点増設工法

*2：壁式橋脚を含む

出典 2007年制定 コンクリート標準示方書 維持管理編

(1) 主桁の補強

活荷重の変更、および増厚工法の適用による自重の増加などにより、主桁の断面力が増大することになる。曲げモーメントを例にとると、単純桁の場合は正の曲げモーメント、連続桁やラーメン橋などの場合は正および負の曲げモーメントが増大する。

このように増大する曲げモーメントのうち、正の曲げモーメントに対する補強には、一般に鋼板接着工法、増厚工法、プレストレス導入工法および支持工法などが適用される。

支持工法は、鋼板接着工法、増厚工法およびプレストレス導入工法などの適用が困難な、特殊な条件下において採用される。部材の増設を伴うために作業空間の制約を受けるので、それに応じた対処が可能な条件であることが必要である。

負の曲げモーメントに対しては、上面増厚工法などの適用が考えられるが、全面的な交通規制を行う必要があることなどの理由により、これまでに実施した例は少ない。また、主桁の負の曲げモーメントに対して上面増厚工法を採用した場合、主桁自重が増加し、主桁の断面力も増加するため、プレストレス導入工法などで補強する必要がある。曲げモーメントと同時にせん断力も増加するため、これに対しても主桁の側面に鋼板を接着して鋼板にもせん断力を分担させる鋼板接着工法、あるいは支持工法などで補強する必要があるが生じるが、実施例は少ない。

また、プレストレス導入では、プレストレスの鉛直方向分力により、せん断耐力を増大させることもできる。しかし、不静定構造物に対してはプレストレスにより二次応力が生じるため、他の部位の補強が必要となる場合もあるので留意する必要がある。

(2) ゲルバー部の補強

活荷重の変更、および増厚工法の適用による自重の増加などにより、ゲルバー部に作用するせん断力が増大することになる。

これに対しては、一般に鋼板接着工法、プレストレス導入工法、打換え工法、および支持工法などの適用が考えられる。打換え工法は交通規制を行う必要があるが、確実な補強工法である。

5.3 鋼板接着工法

鋼板接着工法は既設コンクリート部材の下面または側面に、高分子材料を用いて鋼板を接着し一体化を図る工法であり、接着した鋼板により既設部材に対して鉄筋量を増設した場合と同様の効果がある。しかし、コンクリート面の劣化が著しい場合や品質が悪い場合には、別途検討を行なうこと。

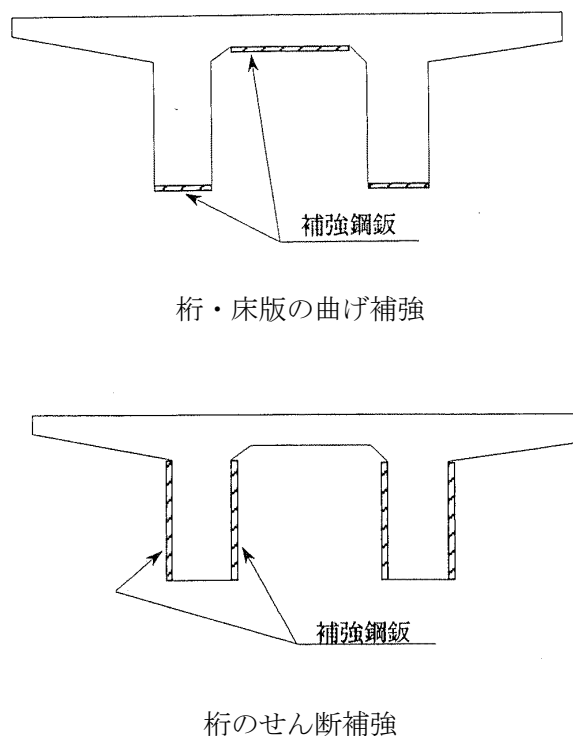


図-4.5.18 鋼板接着工法の概念

解

(1) 使用材料および許容応力度

1) 鋼板

鋼板の材質は、SS400 の事例が多い。

鋼板の許容応力度としては、疲労の影響が大きいと考えられる場合には、 80N/mm^2 程度としている例が多い。

2) 接着材

鋼板接着に使用される接着材料は、エポキシ樹脂が一般的である。

シール材と注入材の標準的な性能規格を参考資料に示す。

(2) 設 計

1) 設計一般

補強対象としては、上部構造では T 桁、箱桁、合成桁、ホロースラブなどの床版下面、

下フランジ、腹板、下部構造では、橋脚のフーチングより上の脚柱、はりに対して鋼板が取付けできる構造が考えられる。

また、鋼板接着による補強は、実験結果により曲げ補強およびせん断補強に対して有効であることが確認されており、両者に対して行うことができる。

設計に考慮する荷重としては、一般に活荷重のみとしてよい。

2) 設計手順

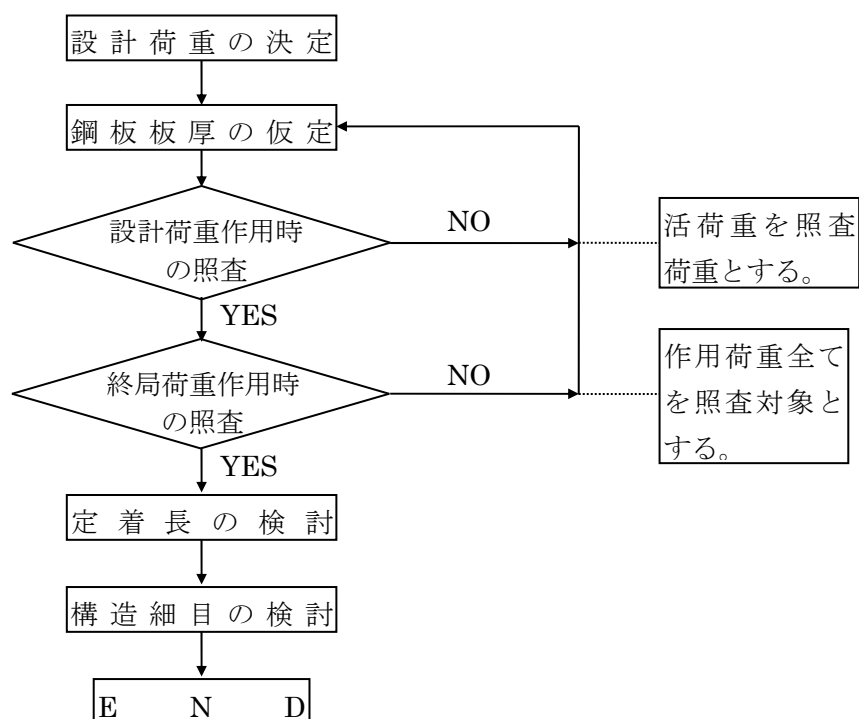


図-4.5.19 設計手順

3) 曲げに対する検討

1. 接着した鋼板により、既設部材に対して鉄筋量を増設した場合と同様の効果があるため合成断面として計算を行う。
2. 設計は、コンクリートの引張を無視した鉄筋コンクリート部材として行うこととし、鋼材とコンクリートのヤング係数比は15とする。
3. T桁の曲げ補強に用いる鋼板の形状は製作及び施工上から平型を標準とするが、設計施工上必要な場合は立ち上げても良い。

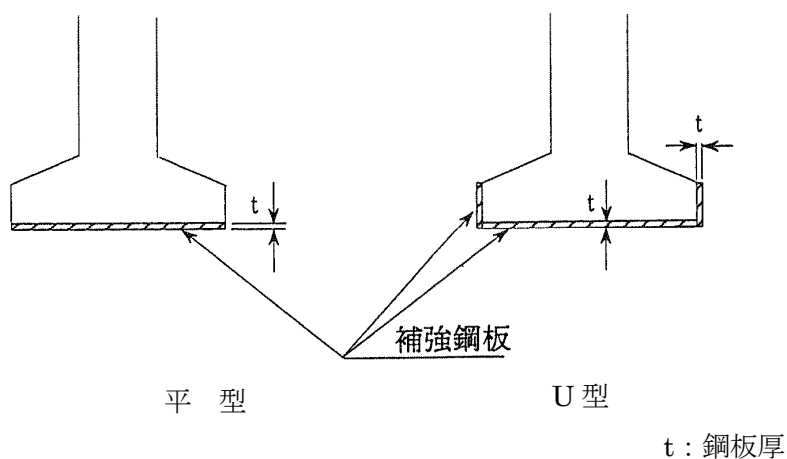
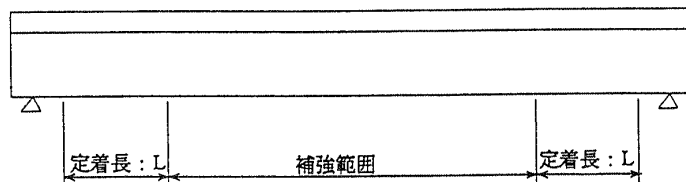


図-4.5.20 T桁断面の補強

4. 桁の曲げ補強の場合、補強を必要とする範囲（以下、補強範囲とする）は、既設桁のひび割れ状態、設計図書等により発生応力を推定し、許容応力度を満足していない区間とする。さらに、定着長として下図に示すように補強範囲から補強範囲外へ必要な長さを確保するものとする。



$$L = \frac{\sigma_P \cdot t \cdot n}{f_{td}}$$

- L : 定着長 (cm)
 σ_P : 鋼板発生応力度 (80N/mm²)
 f_{td} : コンクリート引張り強度 (N/mm²)

なお、コンクリート引張り強度はコンクリート標準示方書（設計編）に基づくものとする。

- t : 板厚 (cm)
n : 安全率 (n=4 としている例が多い)

図-4.5.21 鋼板の定着長

4) せん断に対する検討

1. 桁の側面に接着した鋼板をスターラップに換算し、計算を行う。
2. 補強が必要な区間は、設計荷重に対してせん断補強鉄筋の不足区間とする。

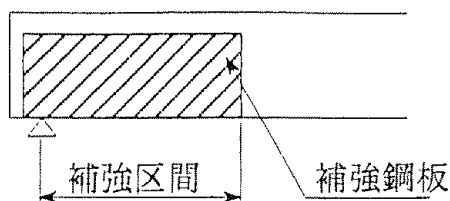


図-4.5.22 桁のせん断補強区間

3. T桁の側面に鋼板を接着し補強を行う場合には、鋼板の定着部は圧縮側に十分定着する。
4. 鋼板の定着長は、耳桁の外側面については桁端部まで延ばし、内側面については、横桁までとする。

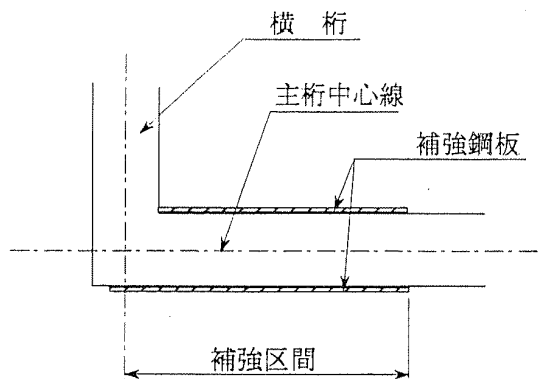


図-4.5.23 桁端部の定着

- 5) 床版に鋼板を接着した場合の耐久性に対する配慮について

鋼板接着工法は、補強後の床版下面のひび割れを直接追跡調査することができないという欠点があるといわれており、耐久性について十分な配慮をすることが必要である。床版の耐久性をより向上させるために、橋面防水を行うものとする。
- 6) 構造細目
 1. 注入樹脂厚は、一般的にはコンクリートの不陸などを考慮し平均 5mm としている例が多い。
 2. アンカーボルトの径は、過去の実績から表-4.5.3 を標準としている例が多い。

表-4.5.3 アンカーボルト径と鋼板厚

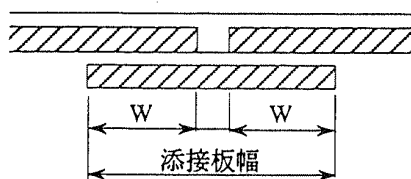
ボルト径	鋼板厚 t (mm)
M10	4.5 < t ≤ 6
M12	6 < t ≤ 9
M16	9 < t ≤ 12

アンカーボルト間隔は、施工性など過去の実績から 50cm 以下が一般的である。

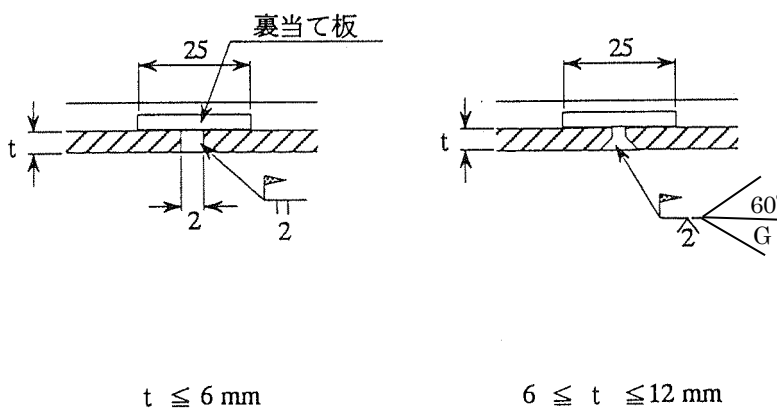
3. 板の接合には、現場溶接の場合と添接板の場合があり、それぞれの標準を図－4.5.24 に示す。

一般的に桁や床版については添接板が用いられているが、橋脚の補強には、現場接合が用いられている。

添接板幅は、添接板の片面 (w) の樹脂と鋼板の付着力と鋼板の引張強度とのつりあいから求めるものとする。



a) 添接板の場合



$t \leq 6 \text{ mm}$

$6 \leq t \leq 12 \text{ mm}$

b) 現場溶接の場合

図－4.5.24 鋼板の接合

4. 鋼板の接合位置は、曲げモーメントの最大位置を避けるものとする。

参考資料

シーラ材・注入材の性能規格例

1) シール用エポキシ樹脂

試験項目	試験方法	試験条件	シーラ用
比 重	JIS K 7112	20℃	1.7±0.2
粘 度	JIS K 6833	20℃	ダレ認められず
可使時間	温度上昇法	20℃	60分以上
圧縮降伏強度	JIS K 7208	20℃ 7日養生	60N/mm ² 以上
引張強度	JIS K 7113	〃	20N/mm ² 以上
曲げ強度	JIS K 7203	〃	35N/mm ² 以上
引張せん断強度	JIS K 6850	〃	10N/mm ² 以上
シャルピー試験 による衝撃強度	JIS K 7111	〃	0.15N/mm ² 以上
圧縮弾性強度	JIS K 7208	〃	10 ³ N/mm ² 以上
硬 度	JIS K 7215	〃	80HDD以上

2) 注入用エポキシ樹脂

試験項目	試験方法	試験条件	シーラ用
比 重	JIS K 7112	20℃	1.2±0.2
粘 度	JIS K 6833	20℃	2000±1000cps
可使時間	温度上昇法	20℃	30分以上
圧縮降伏強度	JIS K 7208	20℃ 7日養生	60N/mm ² 以上
引張強度	JIS K 7113	〃	20N/mm ² 以上
曲げ強度	JIS K 7203	〃	35N/mm ² 以上
引張せん断強度	JIS K 6850	〃	10N/mm ² 以上
シャルピー試験 による衝撃強度	JIS K 7111	〃	0.15N/mm ² 以上
圧縮弾性強度	JIS K 7208	〃	10 ³ N/mm ² 以上
硬 度	JIS K 7215	〃	80HDD以上

5.4 連続繊維シート接着工法

連続繊維シート接着工法は、既設コンクリート部材の外面に、カーボン繊維、アラミド繊維、ガラス繊維などの補強繊維を高分子材料を用いて接着することで既設コンクリート構造物の耐荷性や耐久性向上を図る工法である。

コンクリート面の劣化が非常に進行している場合や、品質が悪い場合には別途検討が必要である。

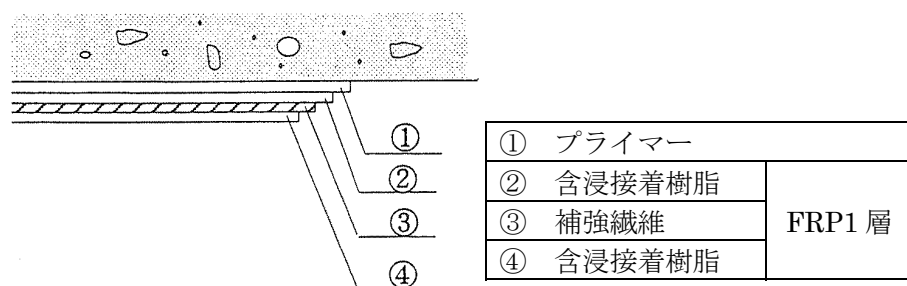


図-4.5.25 連続繊維シート接着工法概念

解

(1) 使用材料

1) 補強繊維

補強に用いる繊維は、繊維を一方向に並べて布状、もしくはシート状にしたものを用いている場合が多い。

繊維の種類はカーボン繊維、アラミド繊維、ガラス繊維等があるが、現在一般的に使用が可能な材料特性を参考資料に示す。

2) プライマー

プライマーはコンクリート表面に塗布浸透させ、表面補強すると共に、連続繊維シートとの接着性を向上させることを目的とする。通常はエポキシ樹脂を用いる場合が多い。標準的な規格値を参考資料に示す。

3) 含浸・接着樹脂

含浸・接着樹脂は補強繊維に含浸し、コンクリート表面に接着させることを目的とする。接着剤としては主としてエポキシ樹脂が用いられる。

(2) 設計

1) 設計一般

一般に補強繊維には方向性があるので、設計にあたっては応力方向を考慮する必要がある。

現場成形での連続シート接着工法の場合、施工（特に上向き施工）により樹脂の含浸程度にバラツキが生じ易いので、樹脂を含浸した状態での引張強度、引張弾性係数、厚さにもバラツキが生じることとなる。

よって、設計を行う場合は繊維単体としての定数を用いるのが望ましいと考えられるが樹脂を含浸した状態の定数を用いる場合は、十分な試験を行って、その結果から信頼できる定数を決定するのがよい。

① 繊維単体としての定数を用いる場合に表示すべき定数

引張強度 (N/mm²)

引張弾性係数 (N/mm²)

1層当たり補強繊維の目付け量 (g/m²)

比重

② 樹脂を含浸した状態の定数を用いる場合に表示すべき定数

引張強度 (N/mm²)

引張弾性係数 (N/mm²)

1層の厚さ

2) 曲げに対する検討

曲げ補強を行う場合は、引張鉄筋の不足量を補う目的で行うものとする。

使用状態及び既設構造物の引張鉄筋降伏までの状態においては、補強繊維の材料定数を設定することにより、RCの曲げ理論式で設計してよい。

3) せん断に対する検討

アンカーボルトや鋼板を用いて、シートがコンクリートから剥離しないように堅固な定着ができる場合には、せん断に対しても効果があることが既往の実験により明らかにされている。したがって、補強箇所に適した定着が可能である場合には、曲げ補強と同様に、補強繊維の材料定数を設定することにより、帯鉄筋量に換算して設計してよい。

4) 許容応力度

補強繊維の許容応力度(t_a)については、明確には定められていない。補強繊維は一般に降伏点がないことから、引張強度の $2/3$ としたものもある。

$$f_a = 2/3 \cdot f_R$$

ここに、 f_R は引張試験から得られた引張強度

5) 構造細目

① 補強繊維の継手長（応力方向）

橋脚などの補強で、補強繊維の継手が必要な場合は200mm以上とする。

② 補強繊維の定着長

補強繊維の定着長については、決定できる算式は提案されていない。したがって、現段階としては可能な限り十分な定着長をとるとする。以下に一例として上側定着長 l_F (4.1)を記す。

$$l_F = \frac{\sigma_{Fb} n_{tF}}{\tau_F} \quad (4.1)$$

ここに、

l_F : 繊維材シートの定着長さ(mm)

n : 繊維材シートの必要枚数(枚)

n : 曲げ補強に用いる繊維材シートの設計用付着強度(N/mm²)
(実験結果から、 $\tau_F=0.44\text{N/mm}^2$ を用いる)

(3) 施工

1) 施工一般

連続繊維接着工法の施工にあたっては、設計図書に基づき資機材の準備・調達、材料の保管、補強対象物のコンクリート面の整形、下地処理、プライマーの塗布、補強繊維の貼り付け、養生などについて、細部にわたり十分検討し、施工および工程の計画を立てなければならない。

2) 施工手順

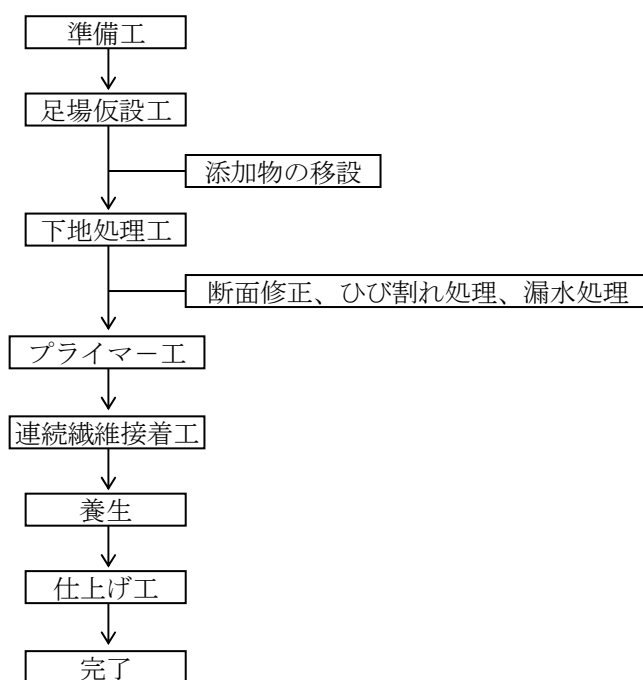


図-4.5.26 施工手順

3) 準備工

施工に必要な資機材を準備する。

4) 足場仮設工

施工に適した足場を仮設し、樹脂の飛散防止のために防護シートを設置する。

施工上支障となる添加物については移設（撤去）を行う。

5) 下地処理工

コンクリート面に付着している離型剤やレイトランスなどをディスクサンダー、ワイヤーブラシを用いて除去する。ひび割れが発生している場合は、適正な方法（注入、充填など）で処理しておく必要がある。コンクリート表面の浮き部分や劣化部分はハンマーで除去し、コンクリートを同等な材料で断面修正し、型枠段差の修正も行い、コンクリート面を平滑にしておかねばならない。

橋脚部が矩形断面の場合は、隅角部が補強繊維を傷つけるので、面取りをする必要がある。尚、面取りの最小半径は5cm程度とする。

また、漏水がある場合には水切り、または導水、止水を行う。

6) プライマー工

コンクリート表面の含水率が10%以下であることを確認した後、ローラー、刷毛を用いてプライマーを均一に塗布する。プライマーは所定の配合で十分に混合する。

7) 連続繊維接着工

プライマーの指触乾燥後、補強繊維を接着する。

接着に先立ち、含浸接着樹脂を所定の配合で十分に混合する。

まず、施工面にローラー、刷毛を用いて含浸接着樹脂を均一に塗布し、補強繊維を貼付ける。その後、補強繊維の上面から再度含浸接着樹脂を塗布し、含浸ローラーで繊維のたるみがないように、また繊維内に気泡が残らないように十分にしごく。

補強繊維を2層以上積層するときは、上記の操作を繰り返し行う。

積層が終わったら、表面を平滑に仕上げ養生する。

8) 仕上げ工

養生完了後、美観及び耐候性向上のため表面塗装を行う。表面塗装仕様は適宜選択するものとする。

9) 交通規制

本工事は橋の下面での施工となるため、交通規制は必要としない

参考資料 連続繊維シート・ストランドの特性
 コンクリートライブラリー101 連続繊維シートを用いたコンクリート構造物の補修補強指
 針 平成12年 土木学会 抜粋

(1) 炭素繊維シート

炭素繊維シートは、使用目的を考慮して5種類のヤング係数のものがある。表-1に各グレードの特性を示す。

表-1 炭素繊維シート既存グレード

炭補研 グレード No.	強化繊維	繊維目付量 (g/m ²)	繊維厚み (mm)	引張強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (N/mm ²)
SU 245-200	高強度炭素繊維	200	0.111	3 400	2.45 × 10 ⁵
SU 245-300	高強度炭素繊維	300	0.167	3 400	2.45 × 10 ⁵
SU 245-400	高強度炭素繊維	400	0.222	3 400	2.45 × 10 ⁵
SU 390-300	中弾性炭素繊維	300	0.165	2 900	3.90 × 10 ⁵
SU 440-300	中弾性炭素繊維	300	0.163	2 400	4.40 × 10 ⁵
SU 540-300	高弾性炭素繊維	300	0.143	1 900	5.40 × 10 ⁵
SU 640-300	高弾性炭素繊維	300	0.143	1 900	6.40 × 10 ⁵

(2) 炭素繊維ストランド

炭素繊維ストランドは、現在、高強度型の炭素繊維を12 000本または24 000本束ねたものが汎用的に使用されている。その特性値を表-2に示す。

表-2 炭素繊維ストランドの既存グレード

グレード	強化繊維	繊維断面積 (mm ² /本)	換算直径 (mm)	引張強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (N/mm ²)
CST-12 K	高強度炭素繊維	0.421	0.732	3.9 × 10 ³	2.45 × 10 ⁵
CST-24 K	高強度炭素繊維	0.842	1.035	3.4 × 10 ³	2.45 × 10 ⁵

(3) アラミド繊維シート

アラミド繊維シートは、ヤング係数の違う2種類があり、表-3に示す種類のものが製造されている。

表-3 アラミド繊維シート既存グレード

アラミド研 グレード No.	強化繊維	繊維目付量 (g/m ²)	繊維厚み (mm)	引張強度 (N/mm ²)	弾性率 (N/mm ²)
AK-40/AW-40	アラミド繊維 1	280	0.193	2 060	1.18 × 10 ⁵
AK-60/AW-60	アラミド繊維 1	415	0.286	2 060	1.18 × 10 ⁵
AK-90/AW-90	アラミド繊維 1	623	0.430	2 060	1.18 × 10 ⁵
AK-120/AW-120	アラミド繊維 1	830	0.572	2 060	1.18 × 10 ⁵
AT-40	アラミド繊維 2	235	0.169	2 350	0.78 × 10 ⁵
AT-60	アラミド繊維 2	350	0.252	2 350	0.78 × 10 ⁵
AT-90	アラミド繊維 2	525	0.387	2 350	0.78 × 10 ⁵
AT-120	アラミド繊維 2	700	0.504	2 350	0.78 × 10 ⁵

5.5 増厚工法

増厚工法は既設部材にコンクリートを打ち足し、断面を増加させて耐力増強を図る工法である。この工法においては、新旧コンクリートの確実な一体化を図ることが重要であり、既設構造物へのアンカー、新旧コンクリートの打継目の処理などが特に大切である。適用の一例を図-4.5.27に示す。

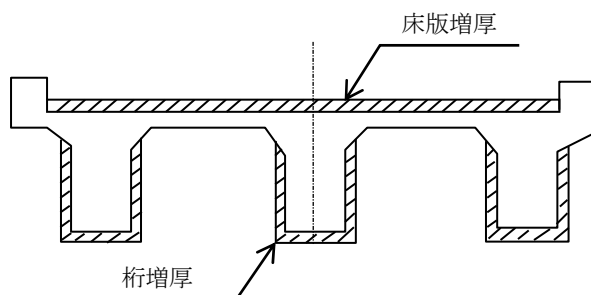


図-4.5.27 増厚工法の一例

解

(1) 使用材料

1) コンクリート

使用するコンクリートは、乾燥収縮の少ない高強度で早強性のあるものを用いるのがよい。

床版に使用する場合は、ひび割れ発生抑止効果のある膨張コンクリートやスチールファイバーコンクリートなどを使用することが望ましい。

2) 合成樹脂

新旧コンクリートの付着性を向上させるためにプライマーを用いる場合は、一般にエポキシ樹脂系のプライマーを使用する。

(2) 設計

1) 設計一般

死荷重（増厚コンクリートの重量を含む）に対しては既設部材、増厚完了後の死荷重および活荷重に対しては増厚された部材が抵抗するものとして設計する。断面計算は鉄筋コンクリート構造として行う（図-4.5.28）。

なお、増厚コンクリートの自重はかなりの重量となり、他の部材（桁、支承、下部構造）への影響が大きいため、それらの部材に対する応力検討が必要である。

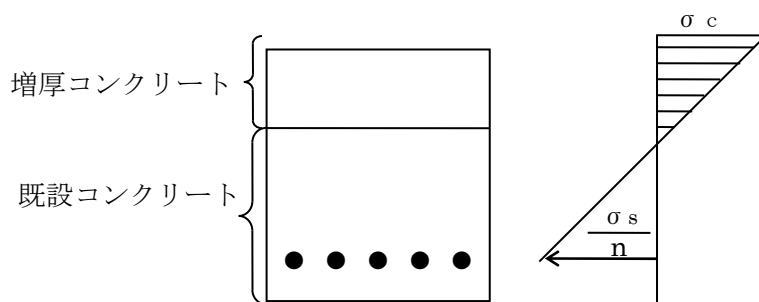


図-4.5.28 増厚工法の応力照査

2) 設計手順

設計手順を図-4.5.29 に示す。

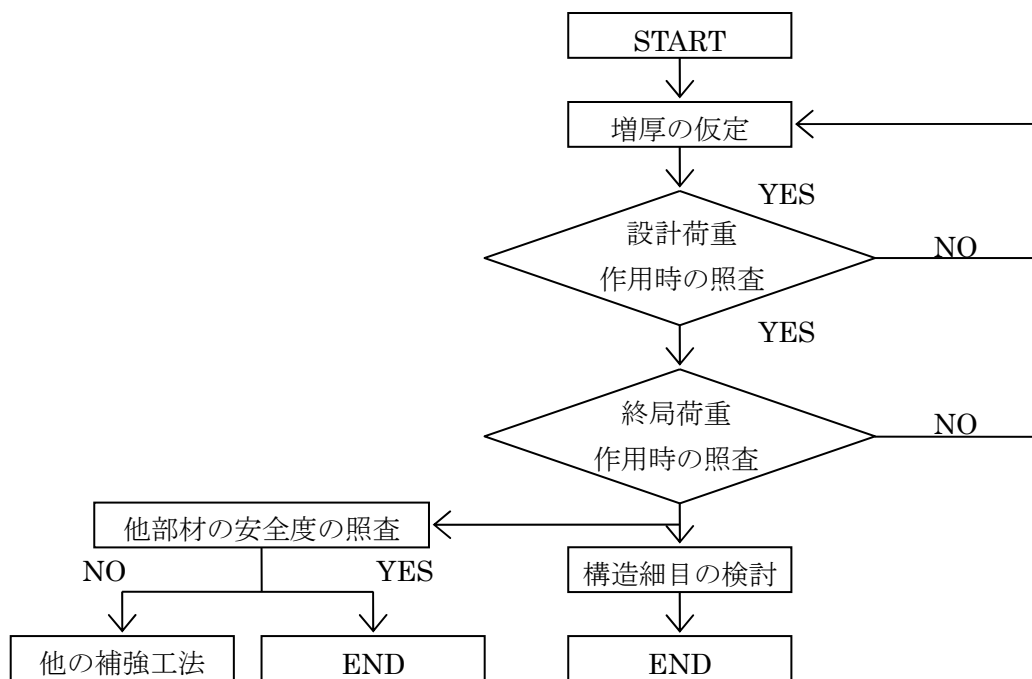


図-4.5.29 設計の流れ

3) 断面の曲げに対する検討

増厚後は新旧コンクリートが一体となった一体構造部材として、設計断面力に対して通常の鉄筋コンクリート理論により応力度の検討を行う。

4) 断面のせん断に対する検討

3) と同様に行えばよい。ただし、打継面は表面処理をしても一体打ちと比較してせん断強度が小さくなるので、せん断に対して補強を行う場合は、アンカーを設けて所定の耐力を確保する必要がある。

5.6 プレストレス導入工法

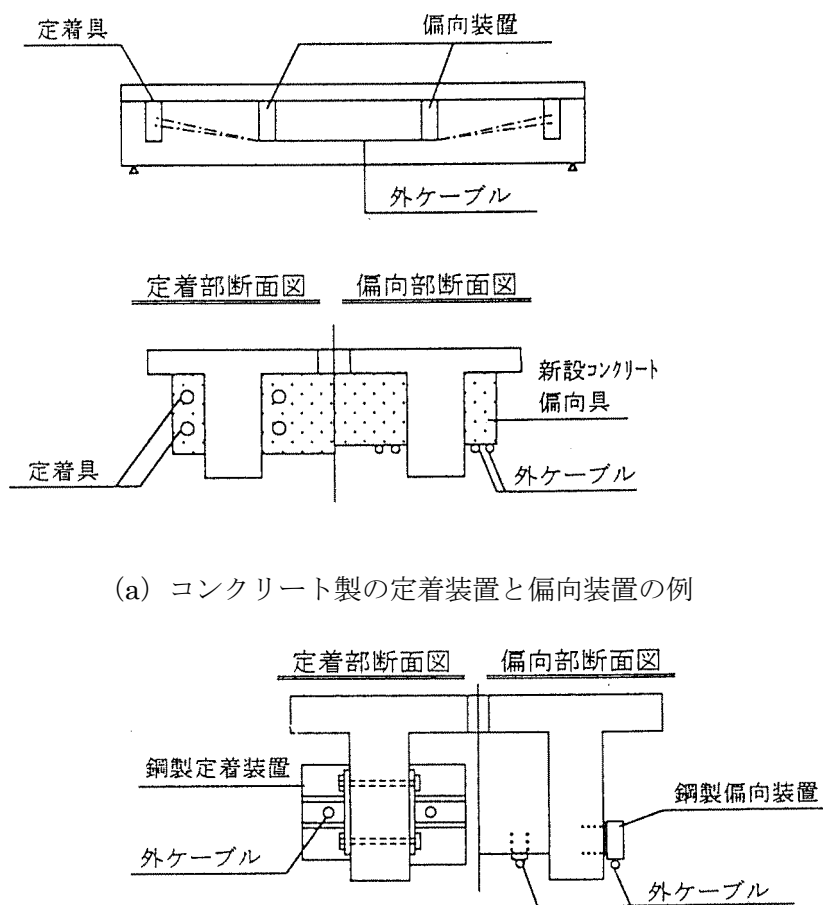
プレストレス導入工法は、緊張材を用いてコンクリート部材にプレストレスを導入することによって、コンクリート部材の曲げ耐力およびせん断耐力の増強、コンクリート部材の剛性の増大または損傷（ひび割れ等）を減少させる工法である。

プレストレスの導入は、下記の緊張材配置方式によるのが一般的である。

外ケーブル方式

コンクリート部材の外部に緊張材を配置してプレストレスを与える方法で、既設コンクリート部材にコンクリートまたは鋼製ブラケットの定着装置や、緊張材の位置を保持するための偏向装置を設置し、緊張材を配置してプレストレスを導入する。

緊張材配置方式の選定にあたっては、既設橋の構造形式、補強する部材あるいは部位の強度、下部構造への影響、美観、施工性、経済性などを検討しなければならない。



(a) コンクリート製の定着装置と偏向装置の例

(b) 鋼制定着装置と偏向装置の例

図-4.5.30 外ケーブル方式プレストレス導入工法概念

解

(1) 使用材料

1) 一般

外ケーブル方式に用いるコンクリート、緊張材、鉄筋、定着具、接続具、シーす、PC グラウトなどの材料は、通常のコンクリート構造物に使用する材料と同様とし、原則として道示およびコンクリート標準示方書施工編の規定に従うものとする。

現在、緊張材にガラス繊維、炭素繊維およびアラミド繊維などの新素材が使用され施工実績のある材料もある。このような材料を使用する場合は、既往の使用例における効果を調査したり、試験を行うなどして、その品質、特性、使用方法、施工性、経済性、維持管理性などを十分検討するのがよい。

2) 緊張材

JIS、土木学会基準などに示されていないPC 鋼材やPC 鋼材以外の緊張材を使用する場合は、試験によってその品質を確かめて強度その他の設計用値を定めなければならない。

緊張材には一般にPC 鋼材が使用可能である。それらのPC 鋼材は、各プレストレストコンクリート工法によって定着具と一体となったシステムとして仕様が決められている。

3) 定着具

定着具は、定着される緊張材の規格引張荷重以下で破壊したり、著しい変形を生じることのないような構造および強さを有し、かつ耐久的でなければならない。

定着具の性能は、土木学会基準「PC 工法の定着具および接続具の性能試験方法(案)」に基づいて確かめることを標準とする。

外ケーブル方式に用いる定着具の性能を確認する場合には、定着具をコンクリートと組み合わせた試験および定着具と緊張材を組み合わせた試験により性能を確かめるとよい。

4) 保護管

外ケーブルの保護管は、緊張材の保護および防錆材の充填管としての役割を担うものであり、その取り扱い中あるいは防錆材の注入のとき、容易に変形しないもので、かつ外部からの衝撃に対しても十分な強度をもつものでなければならない。

また、外気に常時さらされることが多い使用条件のもとで、緊張材を保護するためには有効な腐食対策がなされ、かつ充填材と反応しないもので、温度変化、乾燥の繰り返しなどの気象作用に対しても十分な耐久性、水密性をもたなければならない。

保護管の材料としては、ポリエチレン管および鋼管の使用が一般的であり、その品質は JIS 規格にあるポリエチレン管には一般用ポリエチレン管（JIS K6761）と水道用ポリエチレン管（JIS K6762）があり、それぞれ1種（軟質管）と2種（硬質管）がある。

鋼管には多くの種類があるが、一般的には配管用炭素鋼鋼管（JIS G3452）がある。

5) 防錆材

外ケーブル方式に用いる PC 鋼材の防錆材は、十分に PC 鋼材を包み、これを錆びないように保護するものでなければならない。また、防錆材は化学的安定性に優れ、経年変化による劣化のないものでなければならない。

外ケーブルに使用される PC 鋼材の防錆方法には、メッキ型、塗布型、保護管内への充填型、メッキ型あるいは塗布型と保護管内充填型との組合せによるものがある。

(2) 設計

1) 設計一般

プレストレス導入工法の設計は、原則として **H24 道示Ⅲコンクリート橋編**や **H29 道示Ⅲコンクリート橋・コンクリート部材編**によるが、補強設計に関する特有な事項については、本章にしたがって設計するのがよい。また、損傷の著しい既設部材にプレストレスを導入する場合には、新たに導入するプレストレスによって既設コンクリート部材の機能を損なうことがないように補強し、補強しようとする部材の損傷程度を考慮したうえでプレストレスの導入を検討する必要がある。

- ① 断面力の算出およびコンクリート部材の設計は、**H24 道示Ⅲ4章**や **H29 道示Ⅲ5章**の規定によるものとする。
- ② 既設のコンクリート部材にコンクリートを打足したり、緊張材の定着装置および偏向装置を設置する場合は、これらが新たな付加荷重として既設のコンクリート部材に作用するので、応力度の算出にはこれらの荷重によって生ずる応力度を加える必要がある。
- ③ 外ケーブル構造に関しては、**H24 道示Ⅲ18章**外ケーブル構造や **H29 道示Ⅲ13章**ケーブル構造に従うものとする。

外ケーブル方式における緊張材の引張力を算出する場合は、緊張材の固定点間距離が長いので、一般に角変化による摩擦のみを考慮することとしてよい。

- ⑤ 既設の鉄筋コンクリート部材およびプレストレスコンクリート部材のコンクリート、鉄筋およびPC鋼材の許容応力度は、原則として **H24 道示Ⅲ、3章**の規定によるものとする。

2) 設計手順

プレストレス導入工法による一般的な補強設計の手順を、下図に示す。

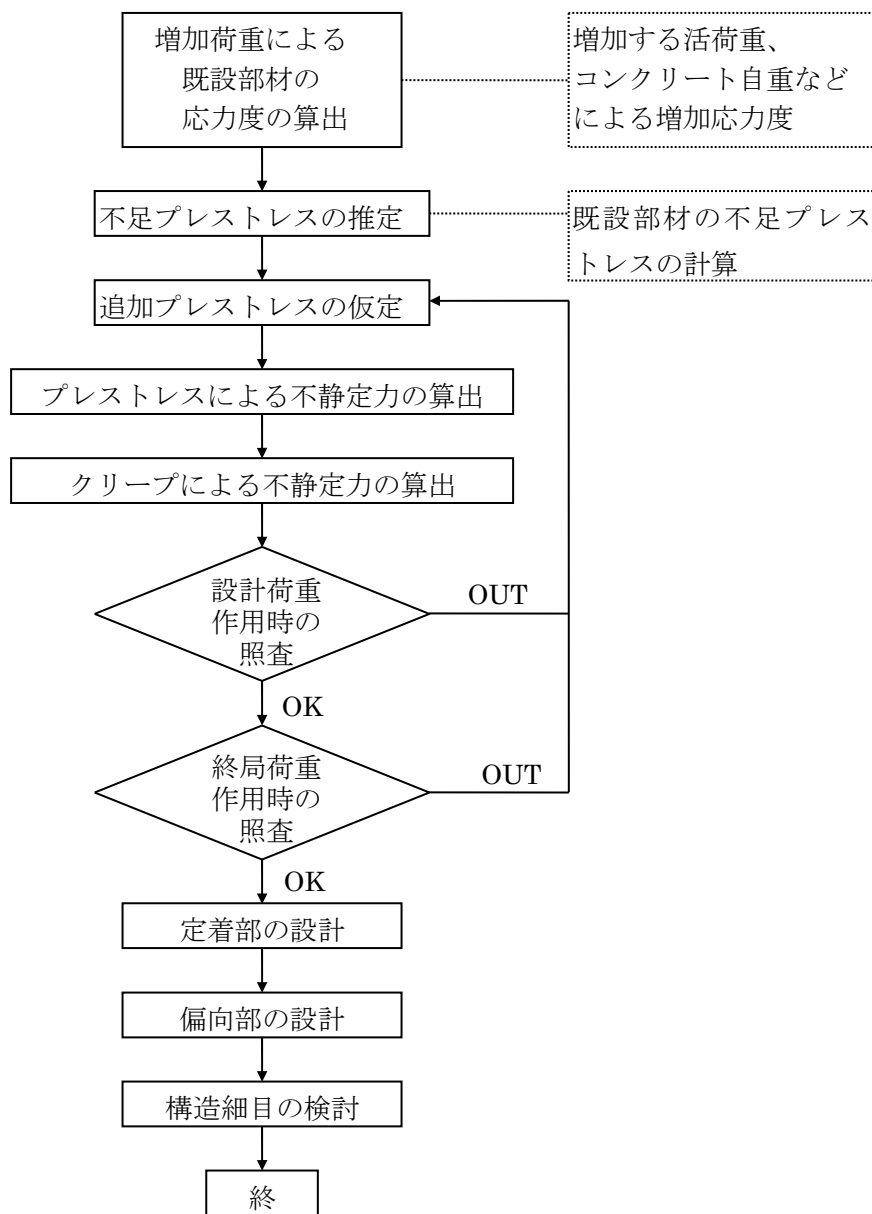


図-4.5.31 設計の流れ

最初に、既設コンクリート部材を補強させるのに必要な追加プレストレスの仮定を行う。このプレストレスの設計では、既設コンクリート部材の断面形状、構造形式、定着位置、偏向具の位置等を考慮して設計する必要がある。

緊張材は、緊張材本数と配置の関係、総緊張力と一本当たり緊張力の関係に着目して施工上無理のないように選定する必要がある。

不静定構造物では支承の拘束をうけ、自由な変形ができないために弾性的な2次不静定が発生したり、また、時間経過に伴うクリープ変形が拘束され、クリープによる不静定力が発生するので、これらを考慮しなければならない。

追加プレストレスを仮定し、各荷重状態の照査が完了した後細部設計および構造細目の検討を行う。特に、既設コンクリート部材に新たに設置する緊張材の定着部や偏向部の設計を行い十分安全であることを確認しなければならない。また、その場合定着部や偏向部付近の既設部材の安全度についても照査し、必要に応じて補強しなければならない。

3) 定着部の設計

① 定着部は構造物にとっては重要な部分である。補強するコンクリート部材が終局荷重作用時まで崩落しないことを保証するためには、定着部が緊張材破断以前に破壊しないことが必要である。このため定着部の設計に際しては、緊張材の破断強度相当の荷重作用に対して、十分安全性を持たせなければならない。

② 定着部には大きな力が作用するため、既設のコンクリート部材に対して不利な影響が最も小さい支点横桁や中間横桁の付近に隔壁あるいは鋼製ブラケットを設ける。

箱桁等において、やむを得ぬ場合はウェブや床版等に突起を設けたりあるいは鋼製ブラケットを設置して定着する。その場合、横桁のない中間点に定着部を設けるときは、圧縮応力が作用する位置で、コンクリート部材に不利とならないような剛性の大きい箇所を選ぶのがよい。また、定着部の既設のコンクリート部材には局部的な大きな応力が発生するので、**H24 道示Ⅲ、6.6.7、6.6.8**や**H29 道示Ⅲ5.3.2**の規定にしたがって検討するのがよい。

③ 定着部の位置を定めるにあたっては、緊張ジャッキの作業スペースが確保できるように留意しなければならない。

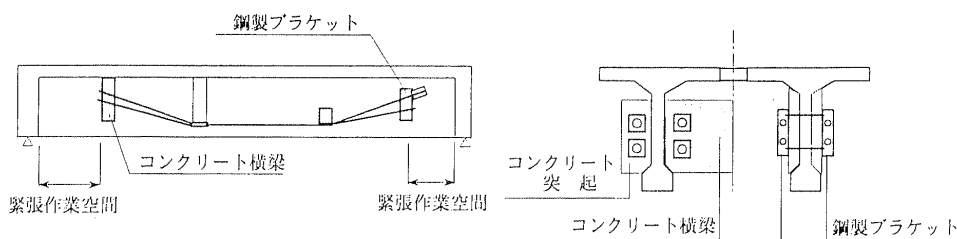


図-4.5.32 定着の例

- ④ 外ケーブルの定着具に鋼製ブラケットを用いる場合の定着力は、コンクリートと鋼製ブラケットの摩擦による場合が多く、その摩擦係数は既往の実験結果等を参考にするとよい。また、間結材の接着力は考慮しないものとする。

4) 偏向部の設計

- ① 緊張材を途中で曲げて配置する場合は、偏向装置を設け、緊張材の引張力がコンクリート部材に安全に伝達でき、かつ緊張材にできるだけ付加応力が生じない構造としなければならない。また、偏向装置および偏向部は、緊張材の引張力の作用に対して、変形の少ない安全な構造となるように補強しなければならない。

偏向部を設ける位置は、図-4.5.33 に示すように横桁などの剛性の大きな箇所にて設けるのがよい。また、箱桁等においてウェブやフランジに偏向突起を設けて偏向部とする場合には、図-4.5.34 に示すように、フランジに横梁を設けるか、剛性の大きい両部材に挟まれる個所に突起を設けるなどして、偏向部付近のコンクリート部材に不利な影響を及ぼさない構造とするのがよい。

偏向部の形状は、図-4.5.35 に示すようにダイヤフラム形式、リブ形式、ブラケット形式が考えられる。

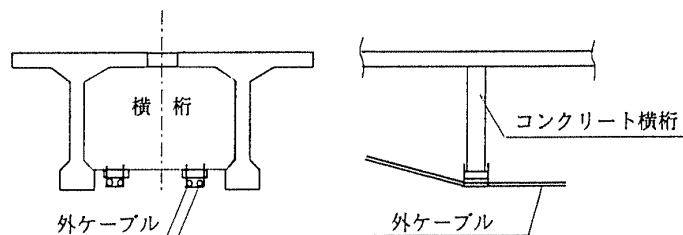


図-4.5.33 横桁を偏向部とする例

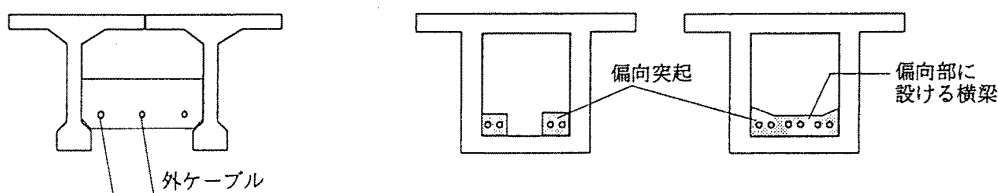


図-4.5.34 偏向突起を設けて偏向部とする例

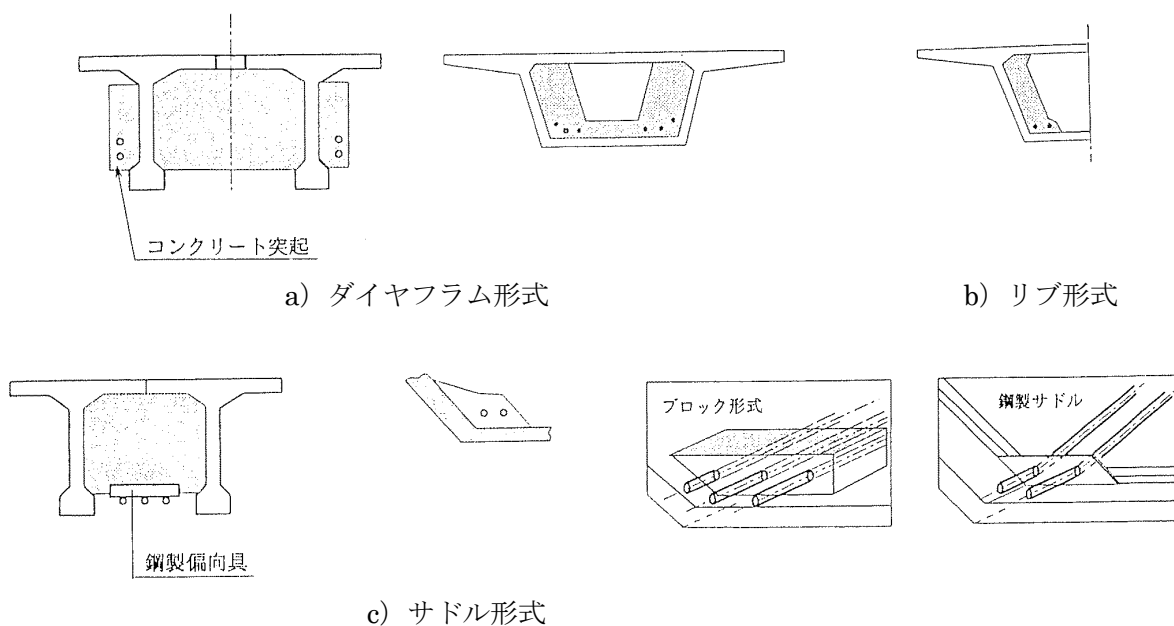


図-4.5.35 偏向部の構造の例

5) 構造細目

鉄筋コンクリート部材およびプレストレストコンクリート部材の形状、部材寸法、最小鋼材量、鋼材の配置等は、原則として **H24 道示Ⅲ**、6章および18章や **H29 道示Ⅲ5章**および**13章**の規定にしたがう。

(3) 施工

1) 施工一般

① 施工計画書は、設計図書に示された補強内容を工期内に完成させるために、あらかじめ、工程管理、品質管理、安全衛生管理を含めた施工工法全般について十分な検討を作成するものとする。

プレストレッシングは特に重要であり、その方法や順序いかんによっては、施工時に既設部材の応力が設計条件と著しく異なり、ときには危険な状態を生ずることもあるので、設計図書に示された条件を十分検討し、プレストレッシングについてはその詳細を施工計画書に必ず記述しなければならない。また、既設部材の損傷の程度、支承の拘束状態等が設計時に想定した状態と異なる場合もあるので、施工に当たっては既設部材の状況に応じた適切な処置が必要となる。

② 本工法における材料、コンクリートの施工、プレストレストコンクリートの施工、鉄筋の加工および配筋、プレキャスト部材、グラウトの施工、型枠および支保工、架設等については、**H24 道示Ⅲ、20 章**や**H29 道示Ⅲ17 章**の規定にしたがうものとする。

③ 緊張材に PC 鋼材を用いる場合は、原則として「プレストレストコンクリート工法設計施工指針」（土木学会）によるものとする。

緊張材として FRP 材等を用いる場合は、実績における効果の調査や試験等により材料の特性を十分に理解して使用しなければならない。

2) 施工手順

プレストレスト導入工法の施工手順は、一般につきのとおりである。

外ケーブル方式

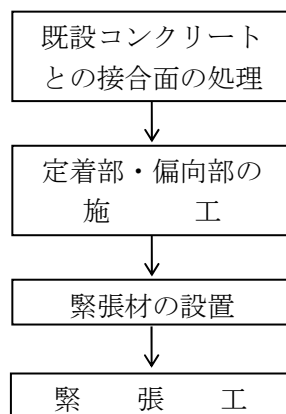


図-4.5.36 施工手順

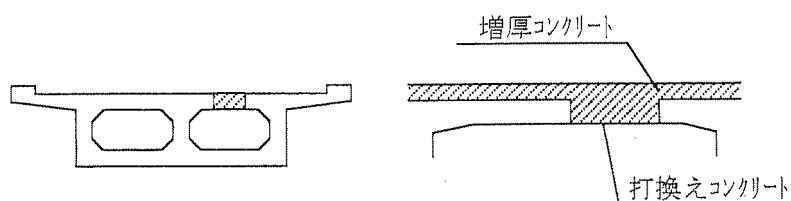
3) 施工

- ① 既設コンクリート部材にコンクリートを打足したり、ブラケットや緊張材を配置するためのダクトの施工等において、コンクリートを削孔する場合は、孔の周囲のコンクリートを損傷しないようにコアボーリングマシンを用いるのがよい。
削孔によってコンクリート内の鋼材を切断したり破損すると、既設構造物の耐荷重性能に影響があるので、あらかじめ鋼材の位置を確認しておかなければならない。
- ② 外ケーブル方式における緊張材の定着具や偏向具は、外ケーブルの配置形状に影響を与えるため、施工精度を高めるように配置し、コンクリートの打ち込みなどによって動かないように堅固に固定しなければならない。また、偏向具の設置誤差により、緊張材に局所的な折れが生じないように十分注意して施工しなければならない。

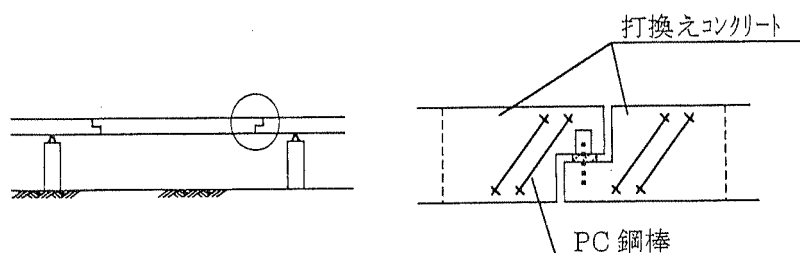
5.7 打換え工法

打換え工法は、部材の一部または全部を撤去し、新しいコンクリートで打換えることにより、**B**活荷重あるいは供用荷重に対する曲げおよびせん断力を確保する工法で、床版、ゲルバーヒンジ部、支承部等に適用される。

ただし、既設部材断面の復元の打換えでは補強効果は期待できないので鉄筋量の大幅増加や鋼板接着、増厚（断面増）などの他工法との併用を考える必要がある。



(a) 床版部、増厚工法との併用



(b) ゲルバーヒンジ部、プレストレスト導入工法との併用

図-4.5.37 打換え工法概念図

解

(1) 使用材料

通常のコンクリートの他以下の材料が使用される。

1) 超速硬セメントコンクリート

施工時間の短縮が要求される場合に使用される。

材令3時間で 24N/mm^2 程度の強度が得られる。ハンドリングタイムは約30分と短い。

2) 超早強コンクリート

施工時間の短縮が要求される場合に使用する。

材令1日で 30N/mm^2 程度の強度が得られハンドリングタイムは約1時間ある。

3) 膨張コンクリート

打換え部分のコンクリートの収縮ひび割れが心配される場合に使用される。

4) エポキシ系樹脂プライマー

新旧コンクリートの付着性を向上させるために使用される。

(2) 設計

1) 設計一般

① 一般的な鉄筋コンクリート構造としての計算を行う。

ただし、施工中の部材の撤去に伴う断面変化、構造形式の変化に対する検討を行う必要がある。

② PC部材の部分打換えを行う場合は、各施工段階ごとのプレストレスの状態について検討しなければならない。

③ 補強鉄筋のかわりにFRP材を使用する事によりかぶり厚さを小さくし有効高さを大きくする事も考えられる。

2) 構造細目

① 打換え部分の大きさは補強鉄筋のラップ長、定着長を考慮に入れて決定する。

② 打継ぎ目の位置は活荷重によって生ずる断面力の小さな所に設ける。

(3) 施工

1) 施工一般

① 新しいコンクリートを打換えた直後の交通による振動の悪影響を出来るだけ少なくする方法をとる。

② 新旧コンクリートの打ち継ぎ目の処理に十分な注意をはらうこと。

③ 鉄筋の不足している個所や鉄筋の損傷が大きい場合などで新しく鉄筋の補強を考慮するときには、できるだけ溶接をさける。やむをえない場合はエンクローズ溶接継手など、適用条件に応じた適切な継手方法を選定して用いること。

④ 施工位置・範囲・材料搬入方法、足場、支保工の架設方法などの事前の調査を行い、余裕をもった材料の準備、ならびに適切な作業人員を配置して、最も能率的な施工手順を計画し、施工時間の短縮を図らなければならない。

⑤ 交通の規制により、短時間の施工が要求される場合は、打換える新しいコンクリートは早強性で、かつ、無収縮性のセメントを使用する方が好ましい。

⑥ 床版の部分打換え箇所の上面には、防水工を行うものとする。

2) 施工手順

一般的な施工の手順は以下の通りである。

- ① 交通規制
- ② 損傷部コンクリートのはつり撤去
- ③ 鉄筋の補強
- ④ 型枠取付
- ⑤ 新しいコンクリートの打設
- ⑥ 養生
- ⑦ 交通開放

3) 交通規制

打換えを行う場合、その多くは交通規制を行って施工することになる。

5.8 支持工法

支持工法とは、既設部材の中間を新しく増設した部材で支持し、既設部材の支間を短くすることによって耐荷力を増加させる工法である。

主桁に対しては橋台または橋脚間に脚柱を増設して支持する方法、橋台または橋脚から方杖支柱を張出し支持する方法、鋼桁を増設して支持する方法などがある。

床版に対しては鋼製縦桁を増設して支持する方法がある。

解

(1) 脚柱の増設による方法

既設の橋台、橋脚の間に新たに橋脚を増設し、支間を短くすることによって耐荷力を増加させる方法である。

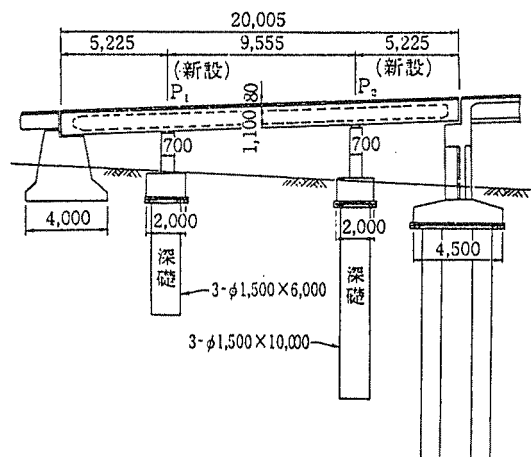


図-4.5.38 脚柱の増設による方法概念図

(2) 方杖支柱による方法

跨道橋・跨線橋等、橋下側の建築限界の関係で新たに脚柱が増設できない場合に用いられる方法である。

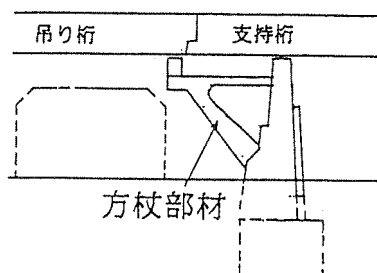


図-4.5.39 方杖支柱による方法概念図

(3) 鋼桁の増設による方法

既設橋台、橋脚間に鋼桁を架設して支持し、作用断面力を減少させる方法である。

増設鋼桁の剛度が既設桁の剛度に対して著しく小さいと補強効果はほとんどないので増設鋼桁の剛度はできるだけ大きいものを使用する。

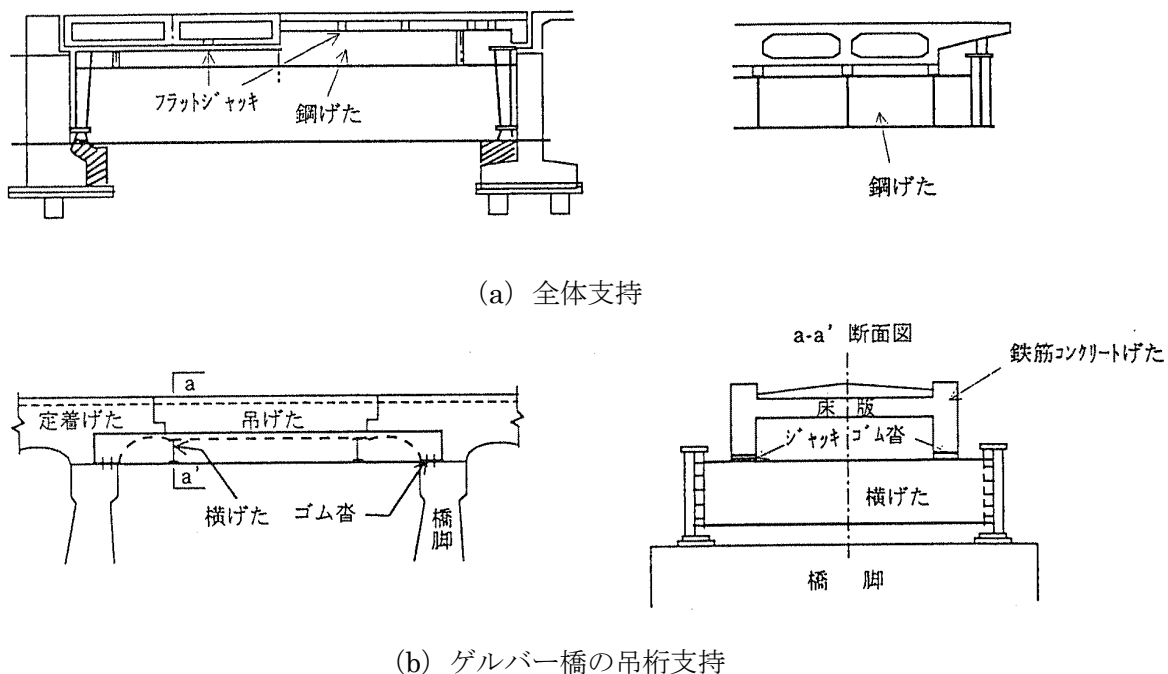


図-4.5.40 鋼桁増設による方法概念図

(4) 縦桁増設による方法

床版を支持する既設の主桁間に新たに縦桁を増設して床版を支持させ、床版支間を短縮して作用曲げモーメントを減少させる方法である。

増設縦桁の剛性に大きく左右される。既設の支持桁の剛性に比べて増設縦桁の剛性が著しく小さいと補強効果はほとんどないので、既設桁との相対関係においてできるだけ剛性の大きい縦桁を増設するのが効果的である。

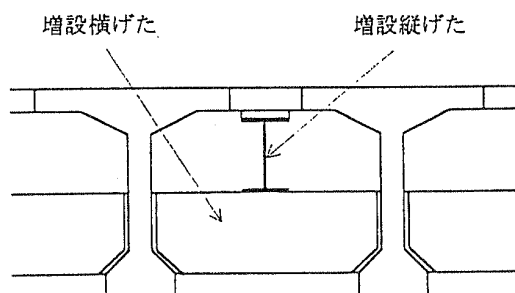


図-4.5.41 縦桁増設による方法概念図

(5) 使用材料

通常のコングリート、鋼材の他に以下の材料が使用される。

1) 無収縮モルタル

既設部材と増設した支持部材とのすき間の充填に使用される。

2) エポキシ樹脂

既設部材と増設した支持部材とのすき間の充填に使用される。

3) フラットジャッキ

反力調整を行う場合に使用される。

(6) 設計

1) 設計一般

- ① 死荷重による断面力は既設支間、活荷重による断面力は増設した支持点を考慮した支間によって算出する。ただし、計算に当っては支持部材の剛度を考えなければならない。
- ② 主桁においてはジャッキアップなどによる反力調整を行うことにより死荷重量も増設支持点に受け持たすことができる。
- ③ 増設支持点の位置は、支持点に発生する負の曲げモーメントが既設部材に与える影響を考慮して決定しなければならない。特に PC 部材ではプレストレスの状態を考慮した検討を行わなければならない。
- ④ 引張側断面が不足の場合は、鋼板接着工法またはプレストレス導入工法を併用することも考えられる。圧縮断面が不足する場合は、断面の増設をする必要がある。
- ⑤ 増設支持による反力の変化に対する既設下部工の照査を行う必要がある。

第6章 下部構造の補修・補強

6.1 一般

下部構造の破損や劣化の原因は、大別すると地震のような異常な外力が作用することによる破損と、地盤や材料の経年的な変化あるいは劣化とに分けることができる。破損の形態は前者の方が激しいのが一般であるが、後者も気付かぬうちに進行する点で非常に重要である。また、地中に位置する部分の点検および補修・補強は構造の性質上、作業が困難な場合が多い。したがって、下部構造の補修・補強工法は施工性を十分検討して計画するものとする。

下部工の材質は、ほとんどがコンクリートであることから、補修工法については第5章コンクリート橋の補修・補強を参考とするのがよい。

解

(1) 躯体

橋梁の下部構造のうち、橋台、橋脚の躯体は、上部構造と基礎との間にあつて、上部構造からの荷重を基礎に伝える機能を有している。このために、躯体は上部構造の荷重増加の影響、及び基礎の変状の影響を受けやすい。

橋台、橋脚は、長年にわたる気象作用による乾燥、湿潤、寒暑、凍結融解のほか、水、塩水（凍結抑制剤等）、酸、アルカリ、火熱、工業排水などにより、ひびわれ、剥離などの変状が生じるとともに、風化、破損が少しずつ進み、次第に老朽化する。

1) 変状の種類

躯体に生じる変状としては、次のものがあげられる。

- ① コンクリートのひびわれ
- ② 鉄筋の露出
- ③ コンクリートの剥離
- ④ コンクリートの劣化
- ⑤ 漏水
- ⑥ 変位

躯体で発見できる変状は、地上に出ている目視ができる躯体壁、柱の一部、支承座部、橋台の胸壁部などに限られてくる。目視ができない隠れた部分の変状は、その変状がかなり発達して、構造物全体に変位などの影響を与えないと発見されにくい場合が多く、注意深い外観調査や計測が必要となる。

2) 補修工法

躯体に対する補修工法を決定するにあたり、変状の原因、補修の規模、内容にもよるが躯体（橋台、橋脚）の構造図（配筋図）、応力計算書、地質調査結果などの資料を入手し、構造物の設計内容の把握、現状の応力状態の推定を行い、効果的な方法を選定するとともに、その橋梁の架替計画、今後の供用年数なども十分考慮しなければならない。

補修工事のうち、橋台胸壁の打換え、支承部の補修などのように通行規制が必要となる場合がある。通行規制の内容により補修工法が左右されるので、あらかじめ交通管理者などと打ち合わせを行い、交通状況、規制方法などを十分考慮して、補修工法を決定する。

補修工法は、現場作業の安全性、確実性を確保できるような現場の施工環境に見合ったもので、容易に施工できるものでなければならない。

高架橋、立体交差橋などの補修の場合、作業用足場が建築限界内に飛び出したり、はつり取ったコンクリートが落下したりして第三者に被害をもたらさないように十分な配慮が必要である。

① ひびわれ

ひびわれ注入材にはエポキシ樹脂系注入材や超微粒子セメント系注入材があり、ひびわれ性状や施工条件等を勘案し決定する。注入材の品質は硬化収縮がなく、ひびわれの深部にも均一に浸透する流動性、接着性、強度及び耐久性、ひびわれ幅に変動がある場合はひびわれ追従性が要求される。

② 剥離、鉄筋の露出

コンクリートの剥離は、部材の断面欠損となり、鉄筋の露出、鉄筋の発錆の原因ともなり、橋台、橋脚の強度不足を招き耐久性を著しく損なうことにもなる。このために、コンクリートの剥離の補修は、変状発生後、速やかに行う必要がある。

補修方法は、剥離したコンクリート、浮き上がったコンクリートを完全に取り除き、セメントモルタル、コンクリート、樹脂モルタルなどにより断面補修を行う。

新旧コンクリートなどの打継目の処理は、さし筋を用いたり、樹脂系の接着剤を打継目に塗布したり、両者を併用することもある。

③ コンクリートの劣化

コンクリートの劣化が躯体の深部に及んでいる場合は、剥離の補修と同様に劣化したコンクリートを完全に取り除き、コンクリートを打ち直して補修する。新旧コンクリートの打継目の処理は、剥離、鉄筋の露出の場合と同じように、さし筋を用いたり、樹脂系の接着剤を用いたり、両者を併用することもある。

コンクリートの劣化が初期の段階で躯体の表面部に限られている場合は、セメントモルタル、樹脂モルタルを用いて補修する。

(2) 基礎

基礎は、直接基礎、ケーソン基礎、杭基礎に大別されるがそれぞれの基礎構造形式によって、その構造特性上、発生しやすい異常があるので、基礎構造形式と、基礎が建設されている地形等を考慮して、基礎の異常に備えなければならない。

1) 変状

① 変状の種類

- a. 基礎の沈下及び不等沈下、傾斜、移動、ひびわれ
- b. 基礎の根入れ不足、強度不足

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、一般的には、これらの基礎の変状はその影響が、上部構造、橋脚、橋台、取付部構造（擁壁、盛土等）に現れてくる。

② 変状発生の原因

- a. 土層の圧密沈下、地震の影響、基礎の背後地盤の移動・崩壊、地下水位の変化、近接施工時の配慮不足による基礎周辺の沈下・移動
 - b. 設計、施工時の配慮不足による基礎の強度不足
 - c. 河床低下及び洗掘、洪水時の上向き浸透圧による地盤支持力の低下
 - d. 載荷荷重の増大
- 等が考えられる。

③ 基礎構造の種類別の変状と原因

a. 直接基礎の場合

- (イ) 流心の移動等によって起こる河床低下や洗掘による基礎の沈下、傾斜
- (ロ) 近接施工時の配慮不足による基礎の沈下、傾斜
- (ハ) 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

b. 杭基礎の場合

- (イ) 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
- (ロ) 既成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じる横抵抗の不足
- (ハ) 場所打ちコンクリート杭の施工精度不良、ならびに、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
- (ニ) 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
- (ホ) 杭の根入れ不足による支持力不足

c. ケーソン基礎の場合

- (イ) 洪水時周辺地盤の洗掘に伴う根入れ不足による基礎の傾斜、移動

- (ロ) 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
- (ハ) 洪水位付近及び河床付近の転石等、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
- (ニ) 近接施工時の配慮不足による土圧状態の変化に起因する基礎の傾斜
- (ホ) 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山のゆるみや偏心载荷の過大等による基礎の傾斜、移動

2) 補修工法

一般的な補修方法には次のようなものがある。

① 根入れが不足する場合

a. 矢板、地中連続壁等による基礎周辺の補強

洗掘による倒壊を防止する方法であるが、補強部が河床より上部に出ると流水障害率が大きくなり、局部洗掘に悪影響を及ぼすので、補強部の根入れについては、慎重な検討が必要である。

b. 鋼管杭、場所打ちコンクリート杭、地中連続壁で基礎周辺の補強と支持力の増強

この場合は、杭や地中壁と躯体を強固にする必要がある。一体方法としては、鉄筋コンクリート構造による方法と、プレストレストコンクリート構造による方法がある。

鋼管杭打込みや、場所打ちコンクリート杭の施工は桁下で行われる場合が多いので、施工性を考慮した設計を行う必要がある。

② 支持力が不足する場合

a. フーチングの拡大・増杭による支持力の増強

基礎フーチングの拡大や増杭により、杭基礎や直接基礎の支持力を増強する方法である。

増杭はネガティブフリクションの発生、木杭の腐食、荷重増大等に対する補強措置である。

ケーソン基礎の水平荷重に対する強度不足は、ケーソン外側に地中連続壁等を設置して、頂部を剛結する。

b. 躯体に作用する荷重の軽減

橋台に作用する土圧の軽減や上部構造をコンクリート構造から鋼構造に変更するなど、構造形式の改造により、荷重の軽減を図る方法である。

c. その他の補強

基礎底部の地盤が砂質土の場合は薬液注入工法、粘性土の場合には石灰パイル工法、サンドコンパクションパイル工法等が多く用いられる。

③ 河床低下及び洗掘がある場合

河床低下及び洗掘に対しては、基礎構造物に対する措置のほかに、河床地盤に対する措置の方法がある。

a. 根固め工

橋脚の周りに、捨石などを高く積み上げると、防護した橋脚の周辺や橋脚間の河床低下を促進することがあるので注意を要する。

b. 河床低下防止法

河床低下が著しく、根固め工だけでは、橋脚の維持が困難な場合には本工法を採用する。

④ 変位

躯体の変位は一般に基礎の変位に伴って生じる。

基礎の支持力不足は、土圧の増加などにより、基礎が沈下、水平移動、傾斜などの変状を生じた場合、それ以上の変状を防止するために、増杭などのアンダーピニングを行うことが多い。

第7章 付属物の補修・補強

7.1 伸縮装置

日常の点検を十分に行い、重大な損傷箇所を発見した場合は、損傷に至った原因を究明、把握したうえで補修の適正な方法について判断し、補修するのが望ましい。

解

伸縮装置は直接輪荷重が載荷される部材であるため、ひとつの損傷が新たな損傷を招く原因となり、交通の安全と走行性に異常をきたすばかりでなく、伸縮構造機能の低下による、騒音・段差に伴う振動、漏水等が、道路構造物全体に悪影響を及ぼすことも考えられる。したがって、伸縮装置の損傷は早期に発見し、過度に進行しない時点で適切な対策を講じることが重要である。また、伸縮装置の形式は多種多様なので、補修に際しては橋梁の伸縮量、橋梁形式やその伸縮装置の特性等を十分理解することが重要である。

(1) 主な損傷と原因

損傷の種類、原因、点検方法および補修・補強方法について表-4.7.1に示す。

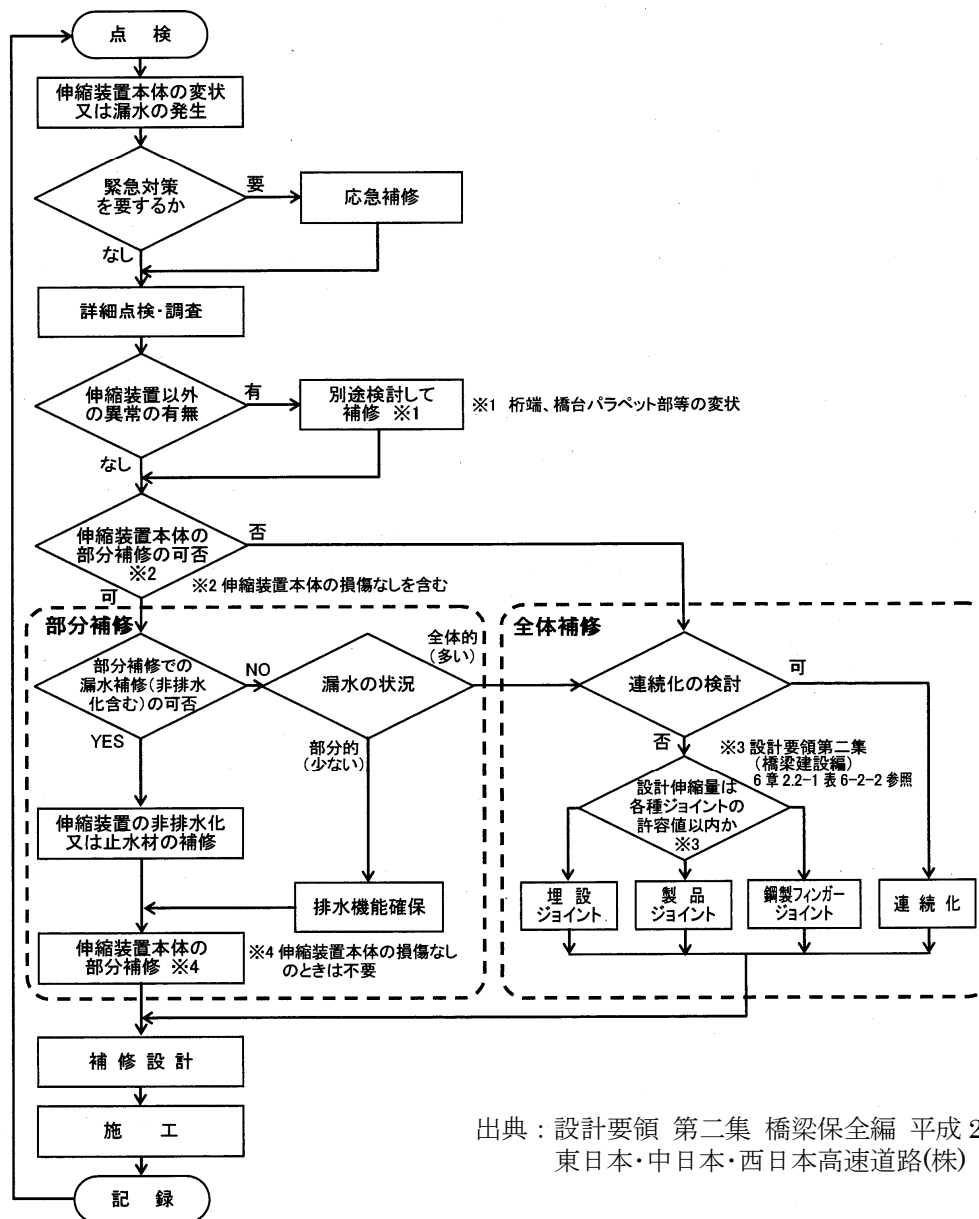
表-4.7.1 伸縮装置の主な損傷と原因、補修・補強方法

損傷の種類	原因	点検・調査方法	補修・補強方法
段差, 異常音	<ul style="list-style-type: none"> ・アンカーの破損 ・桁との取付け不良(ボルト破損) ・沓座モルタル破損による桁沈下 ・伸縮装置前後の路面の凹凸 ・ゴムの破損 	<ul style="list-style-type: none"> ・まず目視により点検する。 ・スケールなどを用いて段差量を測定する。 ・桁下空間において異常音を確認する。 ・騒音計による騒音レベルを測定する。 ・カメラや記録用紙を用いて記録する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・舗装を部分補修するなどして段差をなくす。 ・伸縮装置を取り替える。 ・損傷部材の部分補修や取替え。
遊間異常	<ul style="list-style-type: none"> ・設計時の移動量算定不足 ・下部工の移動(移動, 倒れ) 	<ul style="list-style-type: none"> ・まず目視により点検する。 ・スケールなどを用いて遊間量を測定する。 ・カメラや記録用紙を用いて記録する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・下部工の移動であれば挙動を確認する。 ・パラペットを打ち替える。 ・伸縮装置を取り替える。
フィンガーの破損 および溶接部破損	<ul style="list-style-type: none"> ・繰返し荷重による疲労 ・交通による摩耗 ・強度不足 ・桁の沈下 	<ul style="list-style-type: none"> ・近接目視, ルーペ, テストハンマーなどにより亀裂を発見する。 ・カメラや記録用紙を用いて記録する。 ・浸透探傷試験や磁粉探傷試験などにより亀裂を発見する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・原因を明確にしてから補修方法を選定する。 ・フィンガーを部分的に補修する。 ・伸縮装置を取り替える。
漏水	<ul style="list-style-type: none"> ・排水装置の排水樋の土砂詰まり ・ゴムの破損 ・非排水装置の劣化破損 	<ul style="list-style-type: none"> ・目視, 双眼鏡, 点検ハンマーなどを用いて漏水箇所を発見する。 ・赤外線カメラによる調査を行う。 ・カメラや記録用紙を用いて記録する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・漏水箇所を明確にしてから補修方法を選定する。 ・損傷部材を取り替える。 ・床版防水を行う。

出典：橋梁点検ハンドブック 平成18年11月
(財)道路保全技術センター

(2) 伸縮装置補修・補強の流れ

伸縮装置補修・補強の流れを図-4.7.1に示す。



出典：設計要領 第二集 橋梁保全編 平成24年7月
東日本・中日本・西日本高速道路(株)

図-4.7.1 伸縮装置補修の流れ

(3) 伸縮装置の補修・補強設計

伸縮装置補修・補強工法の選定に際し考慮する要因として、次のものがあげられる。破損原因の究明、桁の構造形式と床版および桁端部構造の調査、必要伸縮量の精査、漏水、騒音防止の必要性、舗装厚の調査（舗装の嵩上げ、切下げ箇所に関係する）等、これらの要因は、選定にあたっての基本的な事項であり、そのほか、走行性、経済性（LCC）に留意し、総合的に判断して決定するものとする。

伸縮装置の補修について表-4.7.2に示す。

表-4.7.2 伸縮装置の補修方法

(1)部分補修	<ul style="list-style-type: none"> ・ 後打ち材の打換え ・ 部分取替え、補修 ・ 地覆部の止水補修
(2)全体補修	<ul style="list-style-type: none"> ・ 形式の変更（埋設ジョイント化など） ・ 取替え ・ 連続化
(3)その他の補修	<ul style="list-style-type: none"> ・ 伸縮装置の非排水化（ミニマムメンテナンス化） ・ 縦断修正 ・ スノープラウ誘導板の新設 ・ 遊間調整

また、伸縮装置の補修設計上、留意すべき事項について以下に示す。

(a) 環境条件の把握

- ・ 交通量および大型車両混入率（補修サイクル、耐久性への配慮）
- ・ 沿線環境（騒音、振動が少ない形式選定）
- ・ 積雪地区（スノープラウ誘導版の設置の有無）

(b) 施工条件の把握

- ・ 交通規制の方法、範囲および時間
- ・ 補修に要する時間（補修規模、方法、材料）
- ・ 施工時の気象条件
- ・ 沿線環境（工事中の騒音、振動、防水対策）

(4) 伸縮装置の部分補修

(a) 後打ち材の打換え

後打ち材の打換えにおいて、既設後打ち材撤去の床版の表面には、耐久性や舗装内に滞水した雨水の侵入を完全に防止するための十分な打ち継ぎ処理が必要であり、下地処理後打継用プライマーを塗布するものとする。図-4.7.2に後打ち材の補修断面を示す。

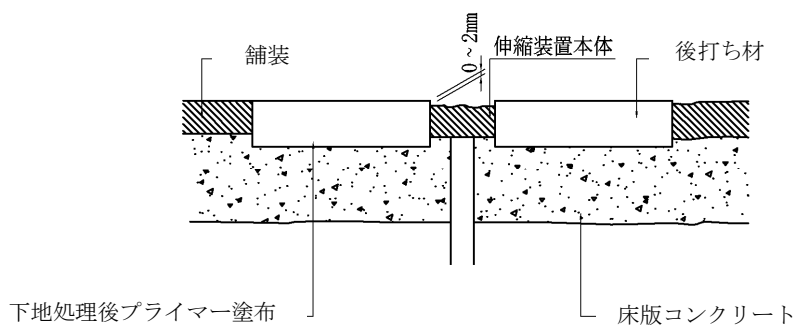


図-4.7.2 後打ち材の補修

(b) 部分取替え、補修

部品の交換は、一般に既設の部材と同一のものとしていることが多いが、同一の損傷が再発生することが考えられるので、材質、構造等工夫できるものについては見直しを行うのがよい。

(c) 地覆部の止水処理

地覆部の止水は弾性シール材により行うことを基本とするが、遊間量が大きい場合は施工性を考慮し、シールゴム等を挿入するものとする。図-4.7.3に地覆部の止水状況を、図-4.7.4に止水断面を示す。

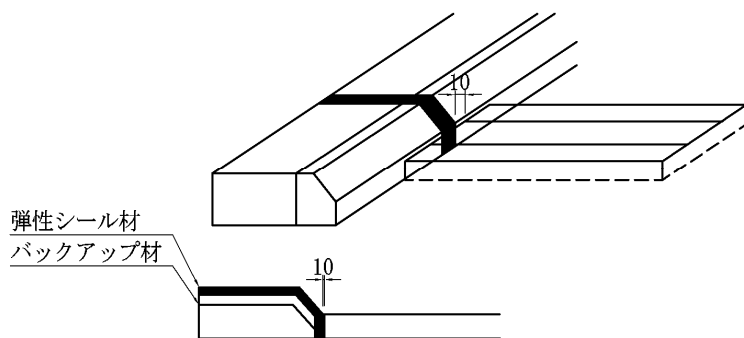


図-4.7.3 地覆部止水構造

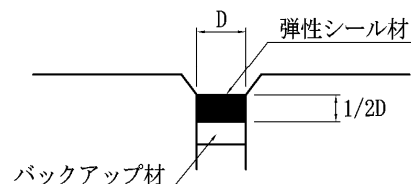


図-4.7.4 地覆部の止水断面

(5) 伸縮装置の全体補修

全体取替えを行う場合の伸縮装置形式の選定は日交通量と橋梁種別により、以下の項目も十分検討し形式の選定を行うものとする。

- (a) 同形式の伸縮装置を選定した場合、交通量やその他の要因により将来同じ変状が発生する可能性もあり、他形式への変更も含めて取替え形式を選定することが望ましい。
- (b) 取り付け部の構造(旧アンカーボルトとの取り合い等)や施工条件によって、形式の適応が分かれるので、慎重な施工計画を立案した上で、形式の選定を行わなければならない。
- (c) 遊間量と伸縮量の検討を行い、遊間量、伸縮量が適用範囲に合致した形式を選定する。場合によっては、遊間調整等の措置を行い、遊間量を調整する。
- (d) 設計伸縮量が小さい場合には、交通量に応じ埋設ジョイントへの変更も検討する。
- (e) 鋼製フィンガージョイントへの取替えには、床版のはつり作業が必要で、補修規模や補修時間が他の伸縮装置形式に比べて著しく増大する場合もあるので注意を要する。
- (f) 鋼製フィンガージョイント形式から他の形式に変更する場合には、端部の床版の剛性が不足して不都合が生じる場合もあり、端部床版の打ち直しや補強について十分検討する必要がある。
- (g) 上部構造をジョイントレス化する場合の工法として主桁の連続化などがあり、埋設ジョイントや床版の連続化も併用するとよい。

(6) その他の補修について

伸縮装置付近の端部床版に変状が認められる場合には、伸縮装置の変状の原因を取り除くために、床版の補修等も併せて行わなければならない。

(a) 伸縮装置の非排水化

排水型の鋼製ジョイントにおいては、土砂等の堆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、できるだけ非排水構造に変更することが望ましい。非排水化の施工は路面から行うため、一般にフィンガーの遊間が 40×40mm 程度以上必要である。必要遊間がとれない場合は、別途検討する必要がある。非排水化の施工手順を以下に示し、断面を図-4.7.6 に示す。

なお、弾性シール材は一般に施工時流動性、水密性、伸縮追従性の優れる 2 液型ポリブタジエン系シール材等が用いられている。

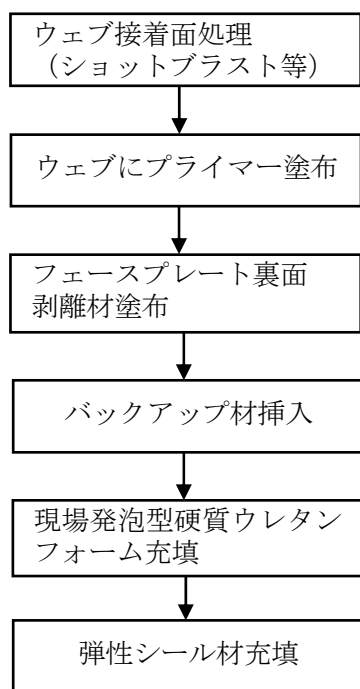


図-4.7.5 非排水化の施工手順

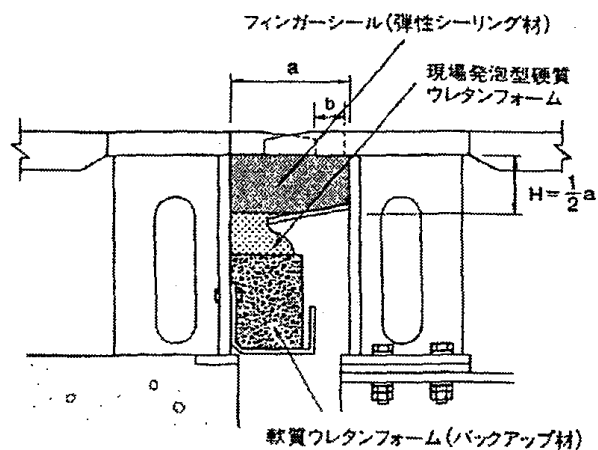


図-4.7.6 鋼製フィンガージョイントの非排水化

伸縮装置が非排水化されていないことより桁端部や杓座部に漏水や土砂堆積が発生している場合が多い。伸縮装置部においては、従来の排水型から非排水型に変更することで、橋面からの漏水を防止でき、桁端部の水による損傷を改善でき、ミニマムメンテナンス化が図れる。

その際、止水材の他に止水ゴムや樋を併用して、非排水構造を強化したり、また伸縮装置非排水化にあたっては、地覆からの漏水も防止するように改良するとよい。

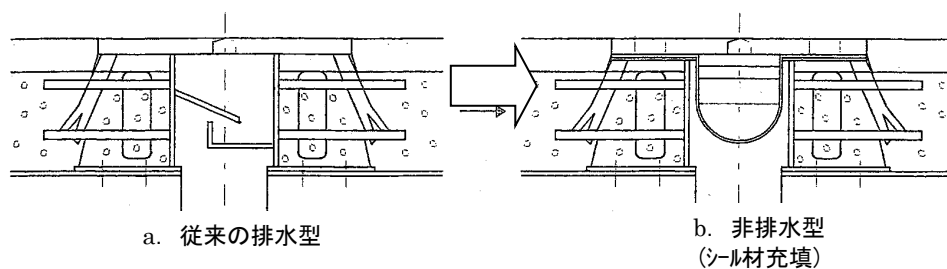


図-4.7.7 伸縮装置の非排水化

(b) 遊間調整

遊間調整は伸縮装置の設置に先立って、桁遊間の調整を行う。図-4.7.8 に示すように必要以上に広い遊間 S を規定遊間量 S_0 に調整するものである。遊間調整は補強プレート・鉄筋およびコンクリートで構成されるもので埋設ジョイント・突合せジョイントを選定した場合に行うこととする。

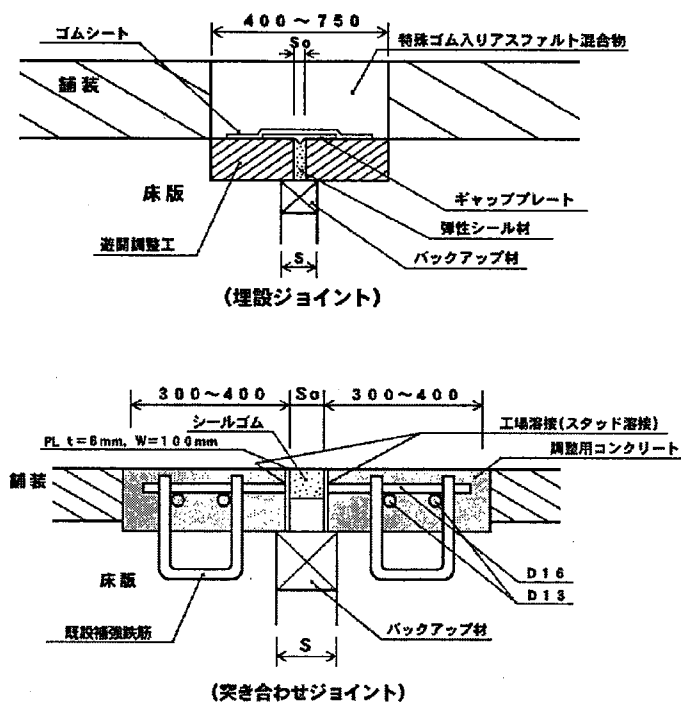


図-4.7.8 桁遊間の調整例

(7) 施工時留意事項

伸縮装置の補修を行う場合、交通止めできないことが多いので、次のような処置が考えられる。

- 1) 通行規制をして幅員の半分ずつを施工する。
- 2) 夜間通行規制をして幅員の半分または全部を施工し、昼間は覆工板を使用する。

いずれの場合でも短期工事が要求されるため、施工法、材料、構造を十分検討する必要がある。切削目地や目地板ジョイントまたは突合せジョイントは、まわりの舗装あるいはコンクリートをわずかな部分だけ壊すだけでよい。

これに対し後付型式、ゴムジョイント型式、および先付型式のうちアングル補強や補剛鋼材では、コンクリートをはつってアンカー部分を露出させなければならない。鋼橋に取り付けたフィンガージョイントや鋼重ねジョイントでは主桁のフランジまで露出させなければならないこともある。このような場合には、床版コンクリートの鉄筋や桁部材を損傷しないよう注意しなければならない。

(8) ノージョイント化

橋面上に存在する伸縮装置は、車両走行上の快適性を著しく低下し、伸縮装置ならびにその近傍の構造部分に破損が生じやすく、補修の頻度とともに騒音、振動の面からも維持管理上問題となりやすい。

その解決策として、伸縮装置そのものを撤去し、路面を連続化させるノージョイント工法がある。

ノージョイント工法は、隣接する主桁端部の連結方法により、図-4.7.9 および図-4.7.10 に示す種類に大きく分類できる。このうち埋設ジョイントは、主桁端部の伸縮装置に生じる変形を床版や主桁等を連結せずに伸縮部の舗装体で吸収する構造である。埋設ジョイント以外の連結型ノージョイント工法では、既設床版のはつり、杓座コンクリートのはつり、支承の取替え、鋼桁の孔あけ等の作業を必要とするが、埋設ジョイントではこれらの作業は不要であり、伸縮部の舗装体のみに対する簡易な施工で対処することができる。

埋設ジョイントはジョイント部に生じる変形を主に舗装材料で吸収するため、大きな変形は吸収できない。したがって桁長が短く、桁端部に生じる変形が小さい橋梁において、埋設ジョイントの適用を検討するとよい。埋設ジョイントは変形の吸収方法によって、伸縮吸収型、伸縮分散型および伸縮誘導型の3種類に分類することができる。機能および概念図をそれぞれ表-4.7.3 および図-4.7.11 に示す。

なお、埋設ジョイントおよびその他によるノージョイント化について検討する場合には、「既設橋梁のノージョイント工法の設計施工手引き（案）」（平成7年1月 道路保全技術センター）を参考にするとよい。

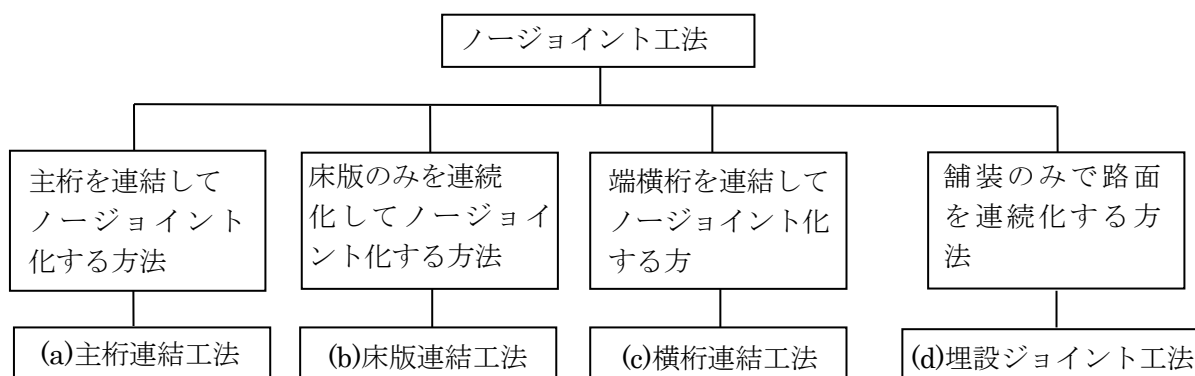


図-4.7.9 ノージョイント工法の種類

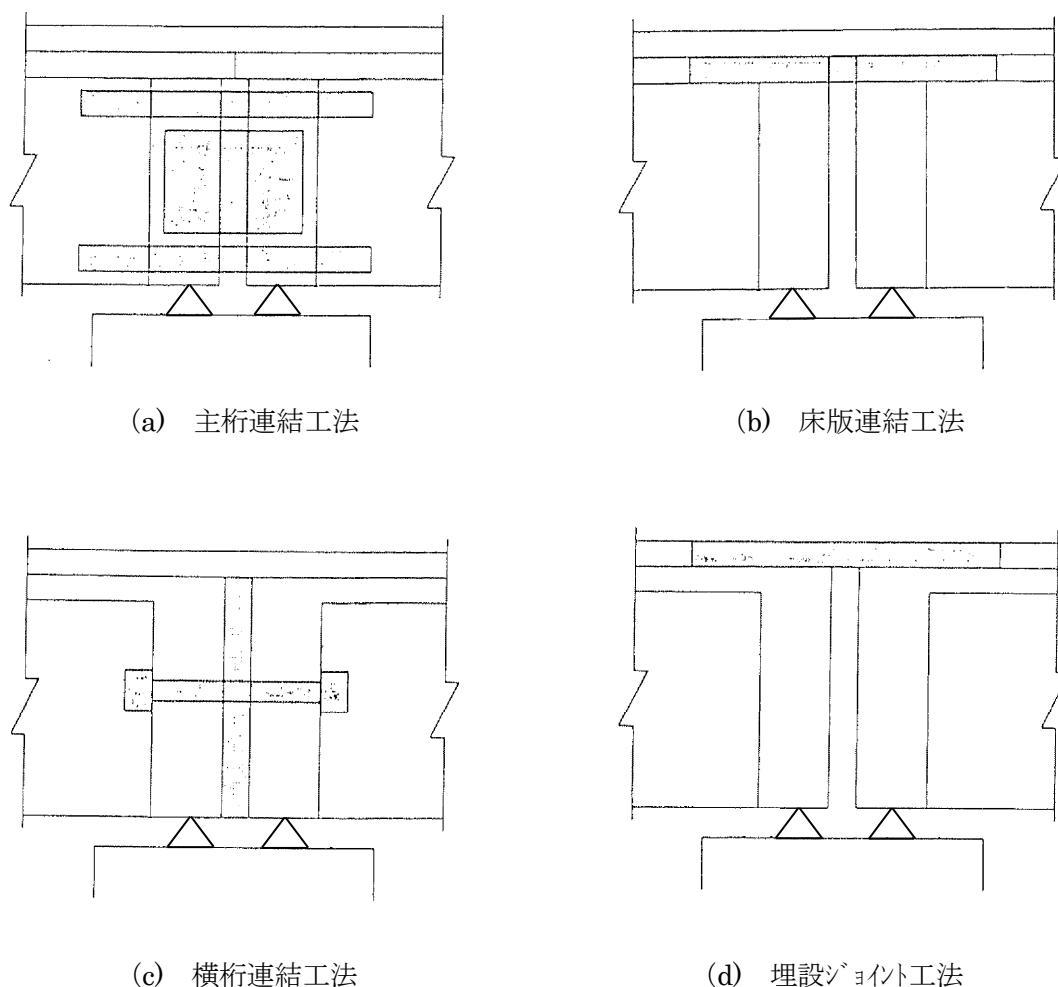
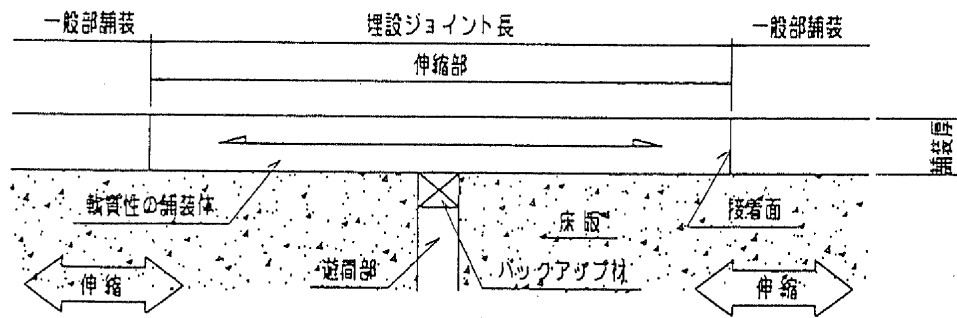


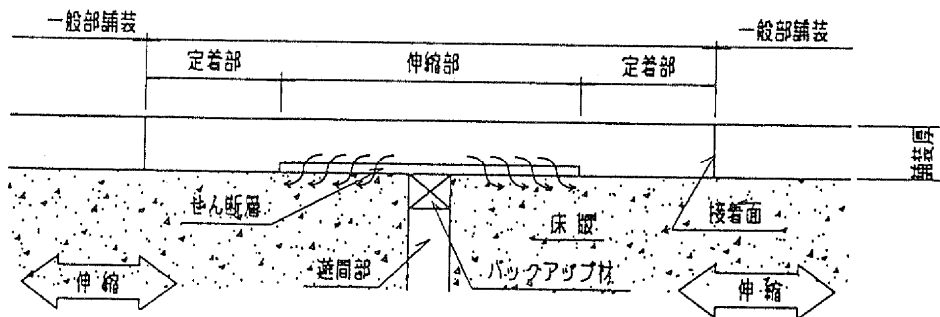
図-4.7.10 ノージョイント工法の概念図

表-4.7.3 埋設ジョイントの機能

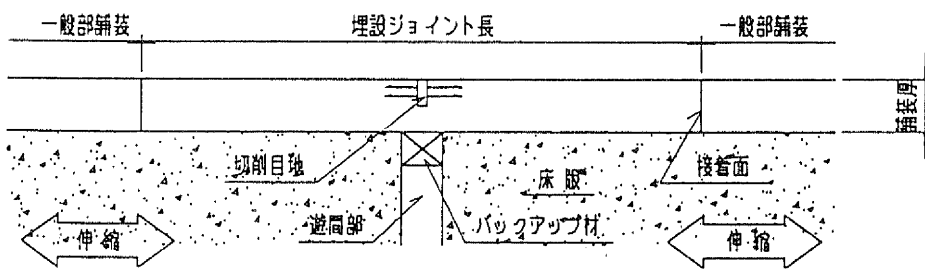
型 式	機 能
伸縮吸収型	<ul style="list-style-type: none"> ・ 軟質な舗装材料を使用し、舗装体全体の変形性能によって主桁端部の伸縮量や回転量を吸収する。 ・ 前後の一般部舗装と埋設ジョイントの舗装体との特性が異なることから、使用に伴って段差が生じる場合がある。
伸縮分散型	<ul style="list-style-type: none"> ・ 基本的には舗装体の変形性能を利用しているが、舗装体と床版との間にシート(以下、せん断層という)を設置し、そのせん断変形性能によって変形を舗装体全体に分散させる。
伸縮誘導型	<ul style="list-style-type: none"> ・ 舗装体に切削目地を設けることによって、変形を切削目地部に誘導する。 ・ 小規模の橋梁で適用されるが、変形が大きくなると目地部が弱点になり、目地部から破損が進行しやすい。



(a) 伸縮吸収型



(b) 伸縮分散型



(c) 伸縮誘導型

注) \longleftrightarrow : 発生するひずみ状況の概念を示す。

図-4.7.11 埋設ジョイントの概念図

7.2 排水工

排水工は、土砂詰まりなどによる溢水の生じることなく、橋面の雨水が完全に排水されるように維持しなければならない。

解

排水工の不備により橋面に滞水が生じると、床版に雨水が浸透して床版上面に損傷が生じたり、桁端部から流水が生じたり、橋梁本体や下部構造に汚れや損傷を招く原因となる。したがって、排水柵の設置、排水パイプが正しく取り付けられているか点検するとともに、床版防水層の敷設、導水パイプ、床版の水抜き孔など舗装全層打換えを伴う補修の際、排水工の再設置を含めて検討する必要がある。

(1) 橋面防水工

排水工の流末処理は、排水が桁や支承に飛散しないよう、また橋脚上面などに滞水しないよう十分留意する必要がある。下図に道路橋床版防水便覧（平成 19 年 3 月）（社）日本道路協会の設置例を示す。

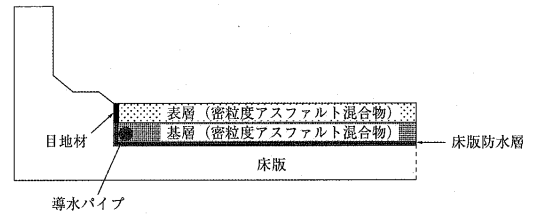
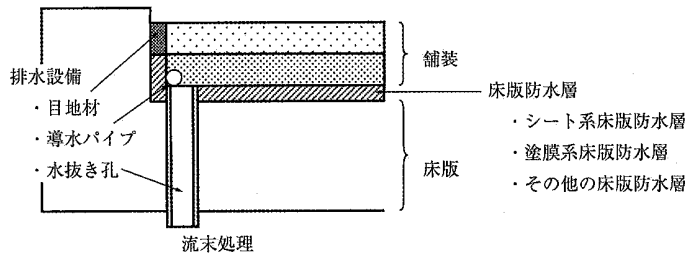
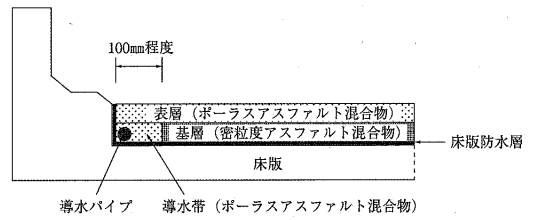


図-5.3.1 導水パイプを用いる場合の設置例



縦断勾配	設置間隔 ϕ (m)
1%以下	5
1%を超える場合	10

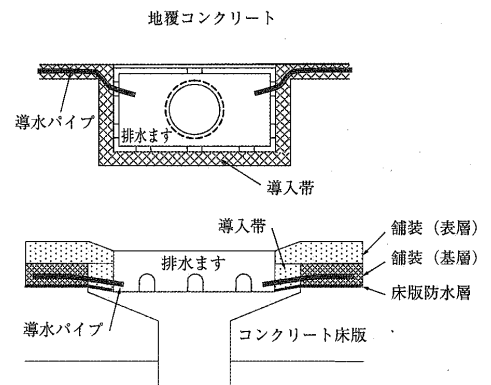
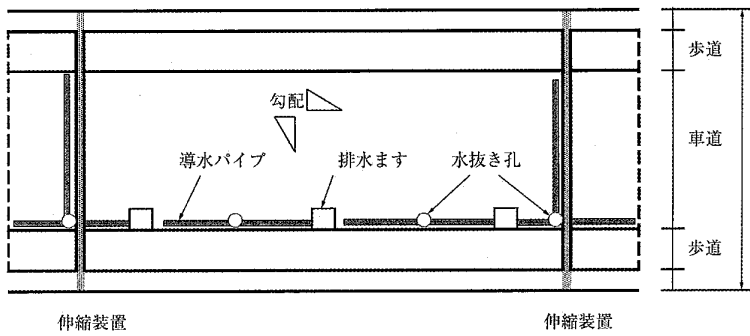


図-4.7.12 床版防水の設置例

(2) 床版の防水処置

床版は輪荷重を直接受け、疲労の影響を受けやすい部材である。特に昭和39年の道路橋示方書以前に設計された道路橋のRC床版では、床版厚が現在の規定に比べ相対的に薄く、配力鉄筋量も少ないため、床版ひび割れが発生しやすく損傷が多く見られる場合が多い。また、ひび割れに水などが流入すると、床版コンクリートの劣化が著しく進展し、乾燥状態に比べて床版の寿命が大幅に短くなることが明らかになっている。(湿潤状態は乾燥状態の50倍～300倍もの速さで破壊)

床版の劣化を防止するため、床版一般部の防水層のディテール検討に加え、中央分離帯部における床版防水層の敷設、床版張り出し部水切りの改良、片栈道橋縦目地部における水切りの構造変更等を検討する必要がある。

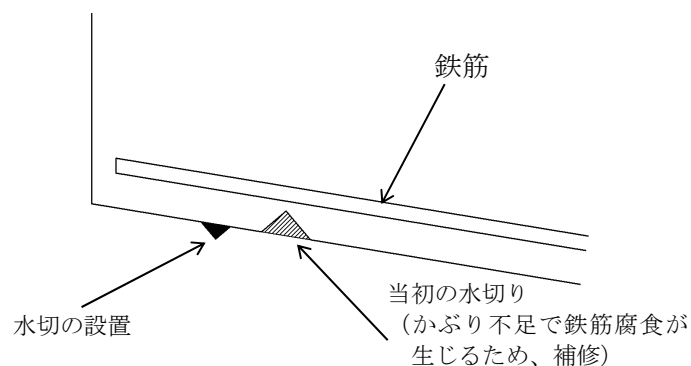


図-4.7.13 床版張り出部 水切の改良例

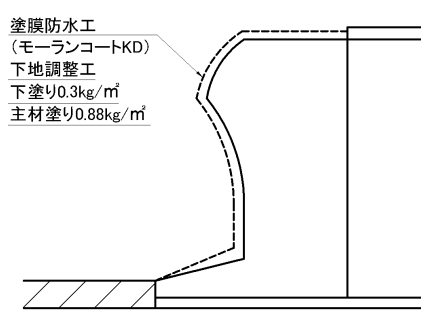


図-4.7.14 中央分離帯における床版防水層の設置例

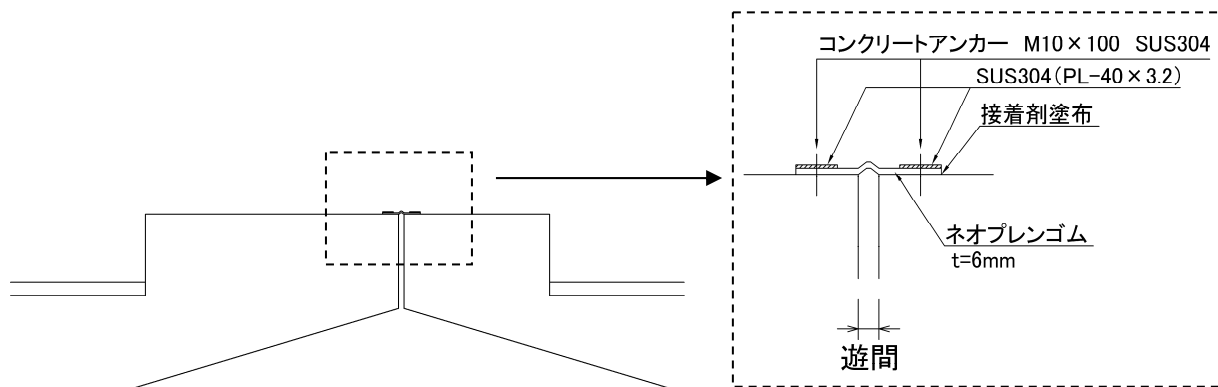


図-4.7.15 中央分離帯構造に対する止水対策例

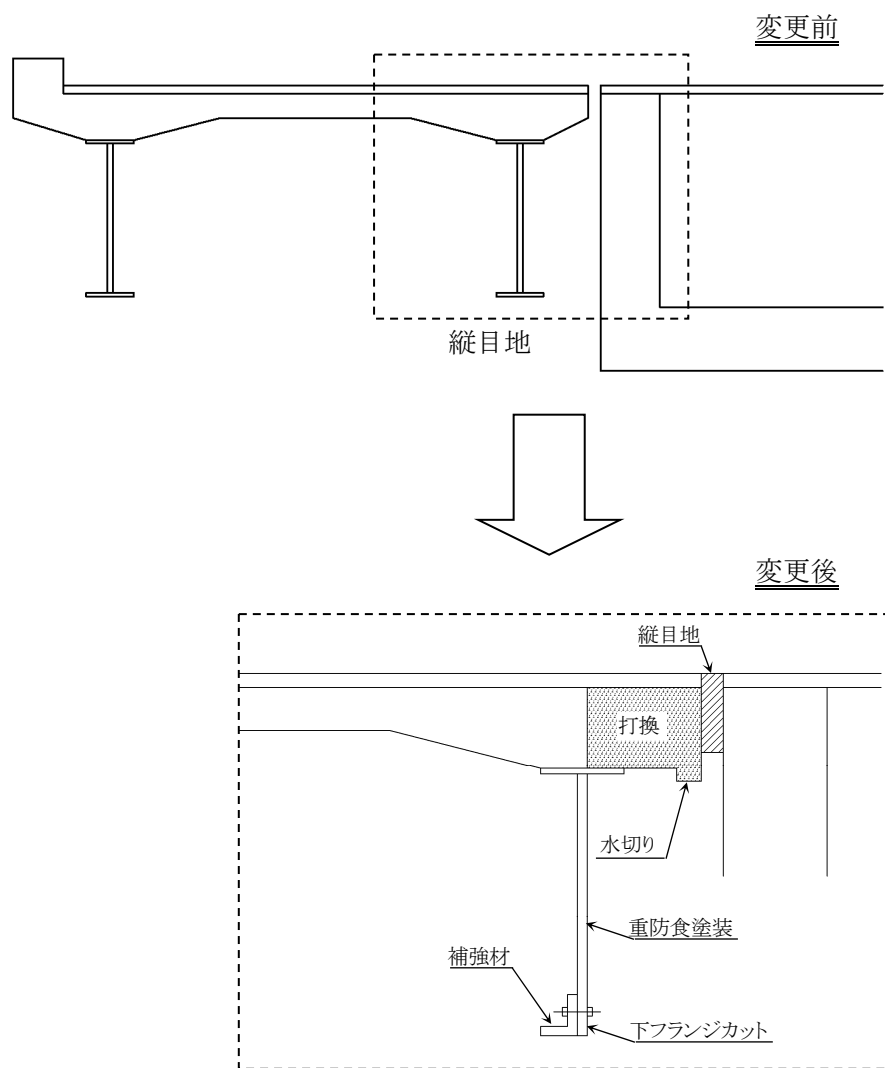


図-4.7.16 片栈道縦目地部における水切りの構造変更例

7.3 防護柵

防護柵は、進行方向を誤った車両の路外逸脱の防止、乗員傷害の最小限化、車両の進行方向復元などを目的とし、また、歩行者および自転車の転落、横断防止の目的をそなえた施設である。よってその機能を確保するため日常の点検を十分に行い、破損箇所を発見した場合は、補修の適正な時期や方法について判断し、補修するのが望ましい。なお、既存の防護柵において現行基準に適さないものは、適宜対策を講じることが望ましい。

解

防護柵の機能を十分に発揮するためには、日常の点検と保守が大切である。防護柵に損傷などが生じている場合には、車両衝突の際、本来の防護柵の機能を発揮できない場合もあるため、日常の維持管理を十分に行うことが必要である。また、平成17年5月にはガードレールに付着した金属片によって自転車で帰宅中の中学生が負傷するという事故や平成18年8月には後続車両に追突された車両が歩道を乗り越えて橋梁の高欄を突破する車両転落事故など、防護柵に関連する社会的にも影響の大きな事件・事故が発生した。このような背景より車両通行と歩行者の安全に加え、自転車の通行環境の安全にも注視すること、橋梁上の防護柵設置のあり方など現行基準「防護柵の設置基準・同解説 平成20年1月(社)日本道路協会」に適した対策を講じ、維持管理を行うことが必要である。

(1) 防護柵の設置・更新

防護柵の設置・更新は「防護柵の設置基準・同解説 平成20年1月(社)日本道路協会」に準拠し、適宜対策を講じる。橋梁、高架区間の歩車道境界には、以下のような場合に、必要に応じて、車両用防護柵を設置するものとする。

- a). 転落車両による第三者の二次被害が発生するおそれのある場合
- b). 線形が視認されにくい曲線部など、車両の路外逸脱が生じやすい場合
- c). 地域の気象特性等によって路面凍結が生じやすくスリップ事故が多発している場合
- d). 橋長が長いなど走行速度が高くなるおそれがある場合
- e). 歩道幅員が狭い又は縁石の高さが低い場合

一般に、橋梁、高架区間は、線形条件も良く車両が正常な進行方向を誤るという事態は、あまり生じないものと考えられる。また、歩道等のある橋梁、高架区間の場合には、万が一車両が正常な進行方向を誤った時でも、まず歩車道境界の縁石が車両の乗越しを抑制する働きがあり、さらに、縁石を越えるものについては、歩道等の幅員の中で正常な進行方向に回復する場合も考えられる。しかし、橋梁、高架からの転落車両による二次被害を防止するため、上記の a) に該当する場合には、安全性の向上を図るために、必要に応じて、歩車道境界に車両用防護柵を設置するものとする。

また、上記の b)、c)、d)、e) に該当する場合には、車両の歩道等への逸脱から、歩

行者等を保護し、また、車両自体の橋梁、高架外への転落を防止するために、必要に応じて、歩車道境界に車両用防護柵を設置するものとする。ただし、歩道等の幅員などが狭いため、歩車道境界に車両用防護柵を設置すると歩行者の通行を妨げるおそれがある場合には、歩道等に接する地覆に転落防止機能を有する歩行者自転車用柵を兼用した車両用防護柵を設置するものとする。なお、歩行者等のみだりな横断を防止するために必要な場合には、歩車道境界に種別 P の横断防止柵を設置するものとする。

既設の歩道等のある橋梁、高架のうち、上記 a)、b)、c)、d)、e)に該当するまたはハイテンション型ではないアルミニウム製の歩行者自転車用柵が設置されている橋梁、高架についても、必要に応じて車両用防護柵を歩車道境界に設置するものとする。ただし、歩道等の幅員などが狭いため、歩車道境界に車両用防護柵を設置すると歩行者の通行を妨げるおそれがある場合には、歩道等に接する地覆に転落防止機能を有する歩行者自転車用柵を兼用した車両用防護柵を設置するものとする。なお、転落車両による第三者の二次被害が発生するおそれのある場合に該当する場合は、車両用防護柵設置の優先度が特に高いと考えられる。二次被害が発生するおそれのある橋梁、高架については、路外の施設の重要性や交通量等を勘案し、優先度の高いものから対策を講じる必要がある。

第8章 耐震補強

8.1 耐震設計一般

8.1.1 耐震補強設計の基本

- (1) 旧基準で設計された既設橋に対する耐震補強においては、まず、耐震補強において目標とする橋の耐震性能を設定することから着手し、その上で、その耐震性能が確保できるよう耐震補強が必要な部材を適切に選定し、その部材の特性に応じた適切な補強工法を検討する。
- (2) 耐震補強設計においては、既設橋に固有の構造的な与条件があるために道路橋示方書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対策を行う場合等、新設する橋への適用を念頭に規定された道路橋示方書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耐震補強設計を行うことになる。

解説

既設橋の耐震補強では平成24年道路橋示方書第V編、平成29年道路橋示方書第V編の他、以下の基準を準用する。

- ・ 「既設道路橋の耐震補強に関する参考資料」（平成9年8月、日本道路協会）
- ・ 「既設道路橋基礎の補強に関する参考資料」（平成12年2月、日本道路協会）。
- ・ 「既設橋の耐震補強設計に関する技術資料」
(平成24年11月 国土技術政策総合研究所・土木研究所)
- ・ 「既設橋の耐震補強設計における道路橋示方書の留意事項について」
(平成24年12月18日付道路局国道・防災課課長補佐他事務連絡)
- ・ 「既設道路橋の耐震性能照査及び耐震補強設計について」
(平成27年6月25日付道路局国道・防災課道路保全企画室課長補佐他事務連絡)
- ・ 「既設道路橋の耐震性能照査及び耐震補強設計について（参考）」
(平成27年6月25日付道路局国道・防災課道路保全企画室課長補佐他事務連絡)
- ・ 「平成28年熊本地震を踏まえた橋の耐震設計に関する留意点について」
(平成28年9月13日付道路局国道・防災課道路保全企画室課長補佐他事務連絡)
- ・ 「既設道路橋の落橋防止構造等の耐震補強工事の設計について」
(平成28年9月30日付道路局国道・防災課道路保全企画室課長補佐他事務連絡)
- ・ 「ロッキング橋脚を有する橋梁の耐震性能照査及び耐震補強設計について」
(平成28年10月25日付道路局国道・防災課課長補佐他事務連絡)
- ・ 「「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について」、「橋・高架の道路等の技術基準を既設橋の修繕設計に適用する場合の留意事項」
(令和2年7月20日 事務連絡)

山梨県においては耐震性能の目標は原則としてレベル2地震動に対し耐震性能2を満足することとする。制約条件等によりこれによらない場合は主幹課と協議する。

耐震補強において、H29道示を適用した耐荷性能の照査は、参考資料が整理されておらず、現状実施が困難であるため、山梨県としては、当面、H24道示を適用することとする。このとき、橋の耐荷性能以外の性能に関わる措置内容の決定にあたっては、H29基準に準じた性能が得られるように配慮すること。なお、適用する道路橋示方書については、最新の動向を踏まえ、適宜判断すること。

表-4.8.1 既設道路橋において求める橋の耐震性能とその観点

既設道路橋の耐震性能照査及び耐震補強設計についてより抜粋

表-1 既設道路橋において求める橋の耐震性能とその観点

橋の耐震性能	既設道路橋において求める観点			備考
	橋の安全性	橋の供用性	橋の修復性	
橋の耐震性能1	落橋に対する安全性を確保する	地震前と同じ橋としての機能を確保する	左記の橋の機能回復措置が基本的に不要	各部材の限界状態の選択によっては、橋の機能回復のために修復が必要になることもある。
橋の耐震性能2	落橋に対する安全性を確保する	少なくとも、避難路や救助・救急・医療・消火活動及び緊急物資の輸送路としての機能を確保する	左記の橋の機能回復を速やかに行うことができる	各部材の限界状態の選択によっては、橋の機能回復にあたって、通行の制限や別途荷重を受け直すなどの措置が必要なことや、部材の恒久復旧は容易でないこともある。
橋の耐震性能3	落橋に対する安全性を確保する			—

8.1.2 耐震補強設計の留意事項

耐震補強設計は以下の項目に留意し実施する。

- (1) 現況の把握と維持管理の確実性および容易さへの配慮
- (2) 橋梁全体系の挙動を踏まえた耐震補強の考え方
- (3) 耐震補強における橋梁の耐震性能の照査方法、部材等の抵抗特性および許容値の設定
- (4) 既設取付部の設計・照査
- (5) 施工性への配慮
- (6) 設計図等に記載すべき事項

解

- (1) 現況の把握と維持管理の確実性及び容易さへの配慮

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る。その際には、当該橋に対する橋梁点検結果を活用するとともに、必要に応じて現況調査を実施する必要がある。特に、地震の影響を支配的に受ける部材の中でも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もあるため、留意して現況把握をする必要がある。

また、耐震補強の構造計画を検討する際には、維持管理の確実性及び容易さに配慮することも重要である。既設橋の場合には、調査によりその橋の劣化特性や耐久性の観点での架橋条件等に関する情報を十分に得ることができる。このため、こうした条件を補強設計の際に確実に考慮したり、今後の劣化の推移を考慮した設計を行ったり、適切な維持管理の計画をたてることもできる。このような配慮が、補強により期待される耐震性能を確実に発揮できるようにするためにも必要である。なお、既存の部材に損傷がある場合等には、それらに対する補修の検討も含めて耐震補強の構造計画を検討することも重要な留意点である。これは、耐震補強の実施によって、部材や装置が追加設置された結果、既に生じていた別の損傷が点検しにくくなったり、耐震補強後ではその損傷を補修することが困難となったりする可能性も考えられるためである。

- (2) 橋全体系の挙動を踏まえた耐震補強の考え方

合理的な耐震補強設計を行うためには、橋の構造特性を考慮して、レベル 2 地震動を受けた場合に、対象とする橋が橋全体系としてどのように挙動するのか、どの部材がどのような順序で損傷を受けるのかを把握することも重要である。その上で、その損傷が橋の耐震性能に対してどのような影響を及ぼすかを検討し、目標とする耐震性能に照らして必要な耐震補強対策を検討する。

- (3) 耐震補強における橋の耐震性能の照査方法、部材等の抵抗特性及び許容値の設定

耐震補強においては、橋の耐震性能の照査方法の選定、部材等の許容値の設定及び抵抗特性のモデル化等は、目標とする橋の耐震性能の観点から適切に行う必要がある。道路橋示方書に規定される照査方法や部材の許容値の設定方法や抵抗特性のモデル化の方法は、基本的には新設する橋の構造条件を対象としたものであるため、特に道路

橋示方書V耐震設計編に示される部材の許容値を既設橋の耐震性能評価や耐震補強設計に対して適用する場合には、目標とする耐震性能レベルの観点からその許容値の設定の考え方が適当であるかを吟味する必要がある。また、平成24年の道路橋示方書V耐震設計編の改定では、「5章耐震性能の照査」において、「5.5地震の影響を支配的に受ける部材の基本」が新たに節を設けて規定された。これは、材料、部材、装置、構造等の既存の技術だけでなく新しい技術を「地震の影響を支配的に受ける部材」として道路橋に適用する場合に要求される事項を示しているものである。耐震補強に関する技術については、例えば、鉄筋コンクリート橋脚に対する耐震補強工法だけでも様々な工法技術が提案されており、また、橋全体としての減衰特性を高めることを目的とした制震装置についても様々な装置が開発されている。耐震補強に適用されることを目的としたこれらの工法や装置等は、地震の影響を支配的に受ける部材に該当するものであり、道路橋示方書V耐震設計編の5.5の規定を満たすことが求められる。このため、こうした工法技術や装置の適用に際しては、実験等により検証された適用範囲や設計手法の前提条件等をよく把握した上で、耐震補強の対象橋に対して目標としている耐震性能が確保できるよう、適切に検討を行う必要がある。

(4) 既設取付部の設計・照査

耐震補強において追加設置された部材や装置等の取付部が確実に機能を確保できるように配慮する必要がある。耐震補強では、後施工として既設橋に新たな部材や装置等を取り付けることが多いが、その際、このような新たに設置する部材や装置自体だけでなく、それらを取り付けられる部位側に対しても適切な検討が必要である。これは、取り付けられる側の部位に損傷が生じると、設計の前提条件が成立しなくなるためである。このため、これらの新たに設置する部材や装置等から伝達される力に対して、取り付けられる側の部位が確実に抵抗できるよう、必要に応じて取付部側にも補強を施す等について検討する。

また、支承部が破壊した後に機能することを期待する落橋防止対策として追加で設置された縁端拡幅のためのブラケットや落橋防止構造等については、支承部等のレベル2地震動に対して機能を確保する部材又は装置及びそれらの取付部に仮に損傷が生じてもこれらの取付部等にはその影響が及ばず、縁端拡幅部や落橋防止構造等に期待する機能が確実に発揮される箇所に設置することが重要である。

(5) 施工性への配慮

既設橋に対する耐震補強においては、施工上の制約条件に大きく支配されることが多いため、設計段階において施工性、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ことが重要である。例えば、支承交換する場合、一般に上部構造をジャッキアップして施工することになると考えられるが、その場合には、ジャッキアップの支点部となる上部構造側及び下部構造側の部位に対して検討が必要となる。そして、仮に、当該部位の耐力のため補強を検討する場合には、ジャッキアップという施工時の状況だけでなく、補強後の構造が常時に対する設計や耐久性の観点から影響を及ぼすことはないかも含めて留意して検討する必要がある。

(6) 設計図等に記載すべき事項

平成29年道路橋示方書V耐震設計編に「1.9 設計図等に記載すべき事項」が規定されている。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、それらの取付け部位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た装置や部材、またこれらの取付け部位の維持管理、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、補強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、活用できるように記録しておくことが重要である。また、地震後の緊急点検の際に必要な情報については、すぐに取り出せる資料に記録する等の配慮も必要である。

8.2 支承部の耐震補強対策および落橋防止対策

8.2.1 基本方針

支承部の耐震補強対策および落橋防止対策は、平成 29 年道路橋示方書(以下 H29 道示)及び平成 24 年度道路橋示方書(以下 H24 道示)に従うことを原則としながら、対象橋梁の耐震設計における目標性能レベルおよび当該橋梁固有の制約事項等を適切に配慮し設計する。

解

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は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、既設橋に固有な構造的与条件があるため注意が必要である。これは、H24 道示Vの考え方を全てそのまま適用しようとする、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。

表ー4.8.2 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例

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。

(既設橋の耐震補強設計に関する技術資料,国土交通省国土技術政策総合研究所 2012,11.)

8.2.2 支承部の耐震補強設計

支承部の耐震補強対策は、耐震補強における目標性能レベルに応じ適宜選定する。

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はH24道路橋示方書V編15.4の規定によることを基本とする

解

1) 支承部の耐震補強工法

支承部のレベル2地震動に対する耐震対策工法としては目標とする耐震レベルに応じ以下3つの方法から決定する。

- ① 既設支承の支承交換
- ② 水平力抵抗する支承を追加して、既設支承を鉛直支承と見なし、両者で機能分離支承としてレベル2地震動対応とする。
- ③ 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追加

工法決定においては、経済性のみならず、取付部の構造的性（上部工、下部工）、添架物等による付加構造物設置の可否、構造物設置後の維持管理性等を総合的に判断する必要がある。

2) 支承部の設計水平力の考え方

支承部の設計地震力はH24道路橋示方書V編15.4の規定による事が基本となる。ただし、既設橋の耐震補強においては、ひとつの固定支点において大きな地震力を負担する構造を設置するよりも、固定支点だけでなく既設橋において可動支点として設計されている支点もレベル2地震動によって生じる水平力を協働で負担できるようにする方が設計上も合理的であり、かつ、固定支点の支承部周辺の維持管理の確実性及び容易さ等の面で有利な場合もある。このため、こうした点も踏まえ、例えば、可動支承を有する橋脚にもその耐力の範囲内で水平力を分担させるなど、個々の橋の構造条件に応じて橋全体系として必要十分な耐震補強となるように検討することが重要である。

3) 上揚力への対応

耐震補強においてはレベル2地震動に対してH24道示Vの式(15.4.2)により算出される R_u が負ではない、すなわち上揚力が生じないことの条件を満たせば、既設橋の耐震補強においては上揚力対策は不要とする。一方、レベル2地震動に対してH24道示Vの式(15.4.2)により算出される R_u が負となる場合には、上揚力により支承部が上下に分離して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施す必要がある。

8.2.3 落橋防止システムの設計

既設橋の耐震補強における落橋防止対策については、新設の橋と同様に、**H29 道示Vの2.7.1の(2)の規定に基づき**、橋の構造条件を踏まえた上で、上部構造の落下を防止できるように適切な対策を講じる。

解

① 制約条件を考慮した工法検討

既設構造に関する様々な制約条件があるため、**H29 道示V**に規定する「**13.3 落橋防止システム**」の規定をそのまま適用することが必ずしも合理的とはならない場合もある。例えば、既設橋の場合には支承部周辺の構造上の制約条件により、落橋防止構造の後施工による設置が難しい場合には、桁かかり長を大きく確保すること(例えば、**H29 道示Vの13.3.5**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、上部構造の落下防止対策とするという考え方もある。

② 落橋防止構造の省略

以下の条件のいずれかを満足する場合は落橋防止構造を省略可能である。

- ・ **H29 道示Vの13.3.9**に規定する橋軸方向に大きな変位が生じにくい構造特性を有する橋、又は端支点の鉛直支持が失われても上部構造が落下しない構造特性を有する橋に該当する場合。レベル2地震動に対して設計された支承部により上部構造が支持され、かつ、桁かかり長が確保されていることを前提とする。ここで、支承部の耐震補強対策としてレベル2地震動によって生じる水平力を分担する構造を追加で設置する場合においては、一連の上部構造を有する橋としてレベル2地震動によって生じる水平力に対して水平力の伝達機能が確保されていること及びそれぞれの支点において R_u が負ではない、すなわち上揚力が生じないこと条件を満たせば、レベル2地震動に対して設計された支承部により上部構造が支持されるという前提条件を満たすとみなすことができる。
- ・ **H29 道示Vの13.3.2の(4)**に規定する構造特性により橋軸方向の変位が生じにくい橋。両端が剛性の高い橋台に支持された橋。

省略の可否の判断は橋台が地震時に不安定となる地盤上にあるかどうかに影響を受けない。これは、両端が橋台に支持される一連の上部構造を有する橋では、地震時に地盤が不安定となっても、橋台には背面土圧により前面に移動する方向の力が作用し、その結果として橋台間の距離が狭まる方向に挙動をするため、上部構造の落下が生じにくい構造特性を有する橋と考えられることから、地震時に不安定となる地盤があることと落橋防止構造の省略の可否は関係しないとしたためである。

③ 取付部の照査

新規部材のみではなく、取付部材(上部工・下部工)および突起タイプの場合は衝突を想定する部材の照査を行い、これらに対しても必要な補強を行う。

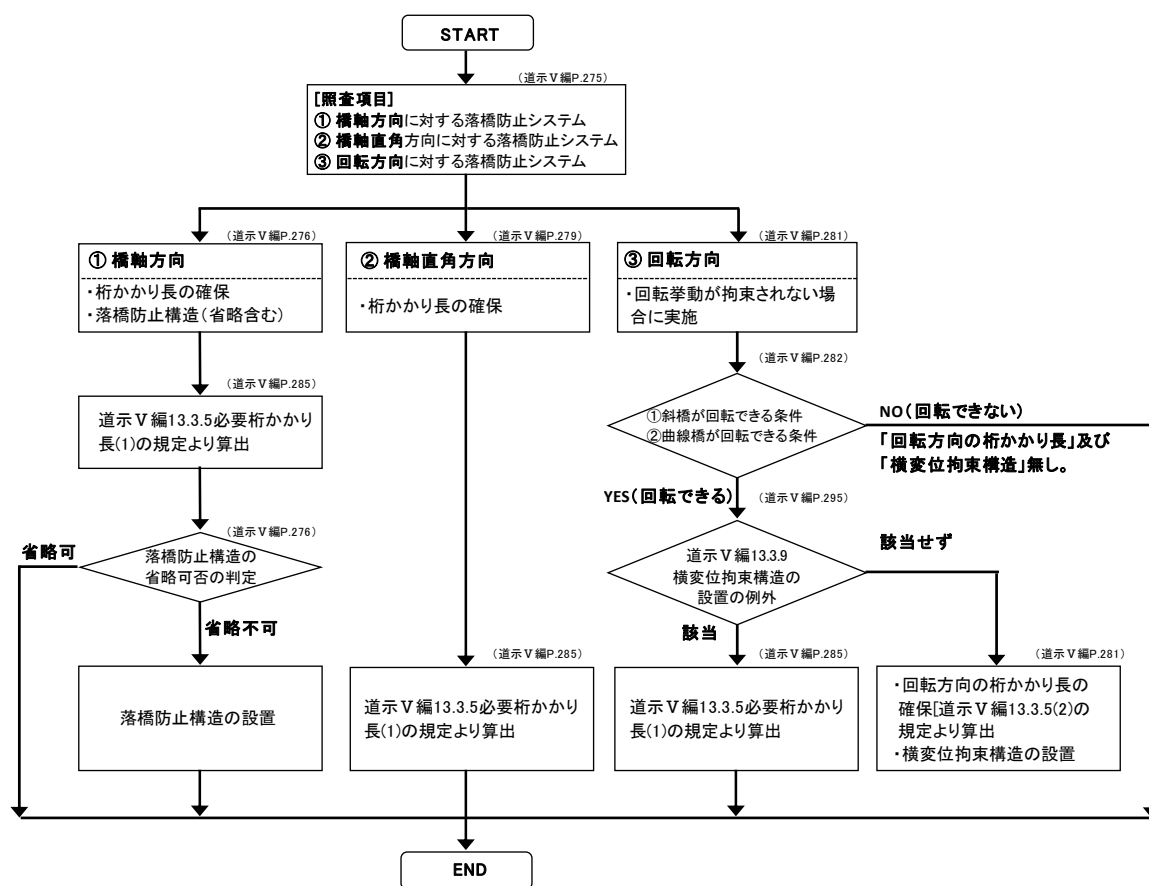


図-4.8.1 落橋防止対策の基本的なフロー

(1) 桁かかり長

桁かかり長を確保するためには、下部構造天端において、鉄筋コンクリート増設工法、鋼製ブラケット増設工法がある。なお、下部構造の梁部材などに PC ケーブルが配置されている場合など、増設部を固定するための後施工アンカーの設置が困難となる場合には、深い後施工アンカーを必要としない対策工法を考慮する。また、鋼製橋脚などにブラケットを固定する場合には、溶接により母材の性能を低下させてしまうことがあるため、接合方法に十分注意する。

1) 設計

a) 一般

桁かかり長の設計は、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。

b) 作用荷重

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し、応力照査を行う。

c) 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 22mm 以上とする。
- ・鋼材には、桁本体と同等の防食処理を施す。

2) 使用材料

- ・コンクリートは、設計基準強度 $\sigma_{ck}=24\text{N/mm}^2$ 以上が一般的である。
- ・鉄筋は、SD345、鋼材の材質は SS400 が一般的である。但し、溶接を必要とする場合には、SM400 が用いられる。

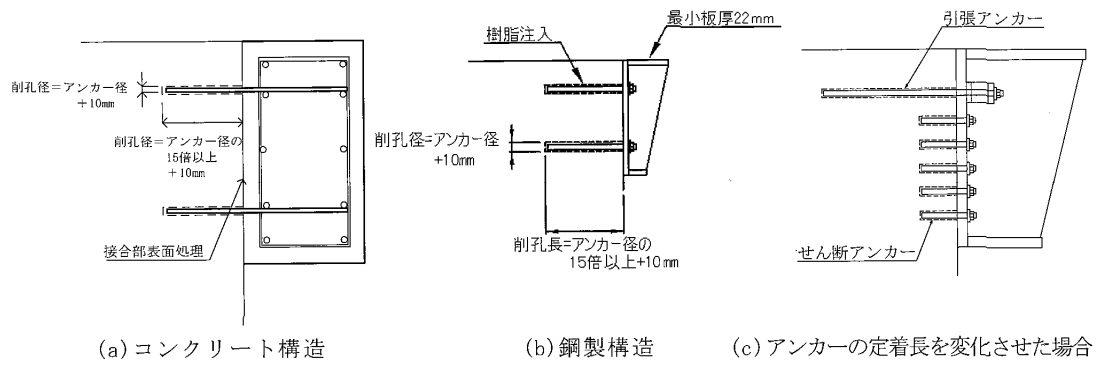


図-4.8.2 縁端拡幅の構造

(2) 落橋防止構造

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
- ③2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

上部構造と下部構造を連結する構造は、図-4.8.3 に示すように、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。既設橋において下部構造側の取付け部位を橋台パラペットとする場合は交通を遮断する必要が生じることから、施工性に課題がある。下部構造側の取付け部位を下部構造天端とする場合は景観性や建築限界に注意が必要となる。

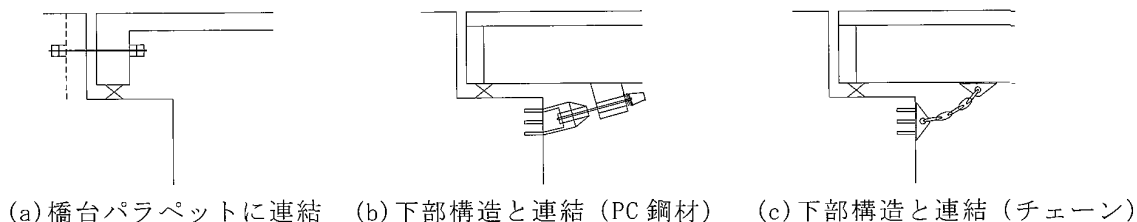


図-4.8.3 上部構造と下部構造を連結する工法

2) 上部構造および下部構造に突起を設ける構造

上部構造および下部構造に突起を設ける構造は、図-4.8.4 に示すように、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。

鋼桁の下フランジに鋼製ブラケットを設ける場合はブラケットに作用する荷重により主桁が損傷しないよう補強が必要となる場合がある。また、下部構造の側面や上部構造下面に設ける場合は景観および建築限界にも配慮が必要となる。

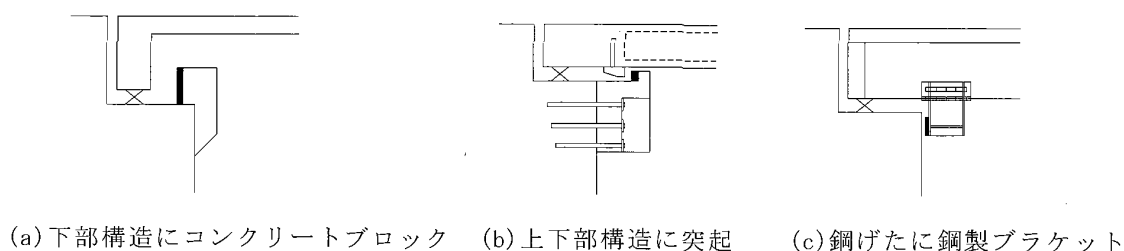


図-4.8.4 上部構造と下部工構造に突起を設ける工法

3) 2連の上部構造を互いに連結する工法

図-4.8.5 に示すような 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。ここで、H24 道示 V に従い、連結する 2 連の橋の規模や固有周期が大きく異なる場合（橋の重量の比が 2 倍以上、固有周期の比が 1.5 倍以上）は連結構造を避けるのがよい。上部構造どうしの連結は PC 鋼材、チェーン、繊維材等により連結するタイプがある。連結材を設置する部位は端横桁やウェブなどがある。落橋防止構造を取付ける部位は、それらが作動した際の荷重により損傷しないよう適正に補強する

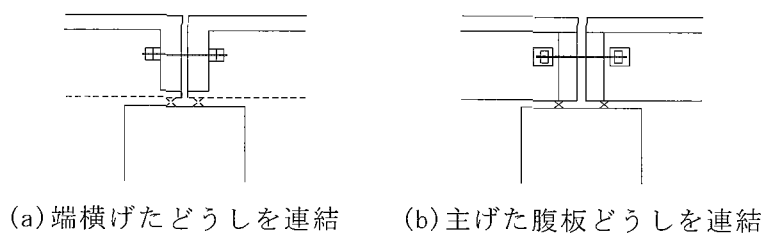


図-4.8.5 2連の上部工を互いに連結する工法

以下に落橋防止構造のタイプを選定するフローの例を図4.8.6に示す。

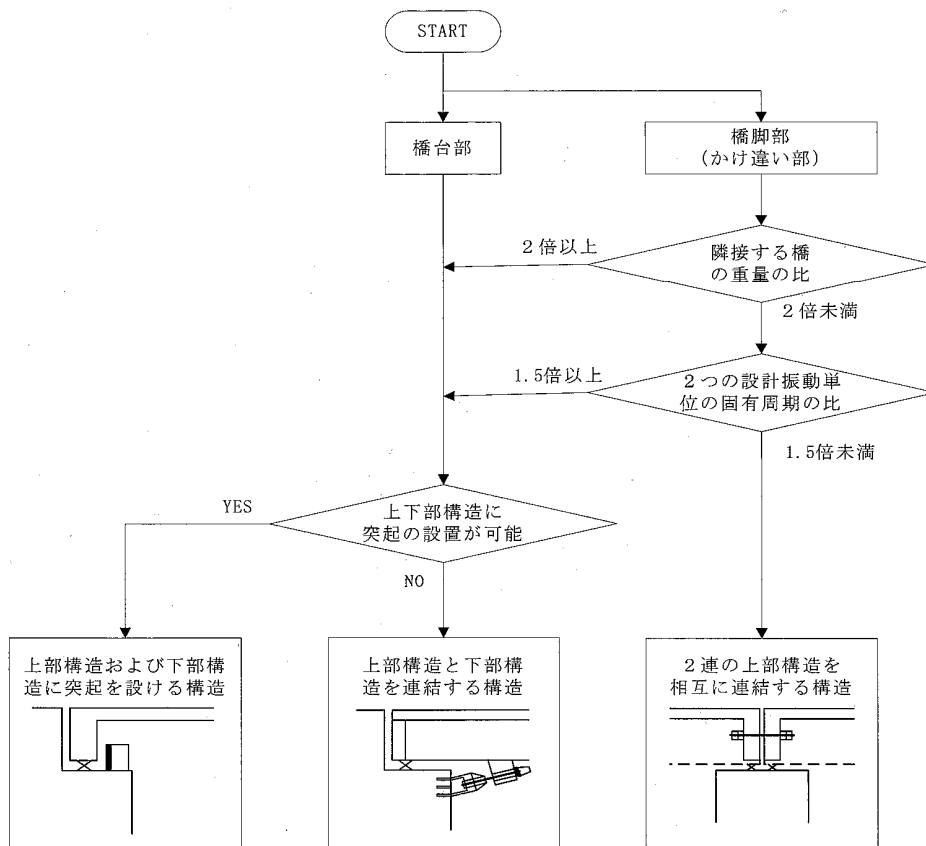


図-4.8.6 落橋防止構造選定フロー

(3) 横変位拘束構造

横変位拘束構造は、支承の耐震補強として追加するレベル2地震動によって生じる水平力を分担する構造と類似した構造となる。しかし、横変位拘束構造は支承部の構造が万が一破損した後に機能する事を期待されるため、両者を兼用しない。

橋梁の構造上支承破壊時に橋軸直角方向への落橋が懸念されるものに取り付けるため、落橋が想定される方向の変位を拘束できるよう設置すればよい。

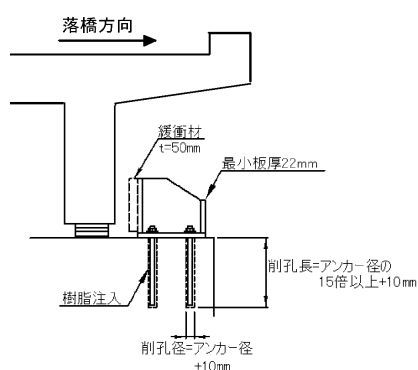


図-4.8.7 横変位拘束構造例（鋼製突起タイプ）

1) 構造細目

- a) 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、部材の最小板厚を 22mm とする。
- b) 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。
- c) 突起に取付ける緩衝材はゴムパッド等とし、厚さは 50mm を標準とする。ゴムパッドは、クロロプレンゴム相当（硬度 $55^{\circ} \pm 5^{\circ}$ 程度、許容支圧応力度 12N/mm^2 ）等を用いる
- d) 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+10mm、削孔長は定着長+10mm とする。

8.3. 橋脚耐震補強

8.3.1 構造一般

既設橋梁の橋脚補強では、じん性を向上させてねばり強い構造とし、基礎が支持できる範囲内で所定の躯体耐力向上を図ることを基本として、バランスの良いじん性と耐力の向上による工法を検討するのが良い。

解説

既設橋梁の補強では、橋全体系のじん性を向上させてねばり強い構造とすることが重要である。このため、橋脚で支持された橋では、橋脚のじん性と耐力の向上が求められる。橋脚躯体の地震時保有水平耐力を向上させると、大きな地震を受けた場合に、橋脚躯体から基礎構造物へ伝達される地震力も大きくなり、基礎も含めた大規模な補強が必要となる場合がある。したがって、基礎への影響を小さくするために、基本的にはできるだけ橋脚のじん性を向上させ、耐力が過度に上がらないような工法が望ましい。しかし、橋脚躯体の耐力が不足する場合において橋脚のじん性の向上だけに期待すると、地震後に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の耐力の向上も図り、バランスの良いじん性と耐力の向上による工法を採用するのがよい。

8.3.2 鉄筋コンクリート橋脚の補強

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ことが原則となる。地震時保有水平耐力の増強を図ることにより、橋脚の耐震性を高めることが可能であるが、基礎への影響を考慮し、できるだけ橋脚の耐力を増加させない補強工法を選定するのがよい。

せん断破壊を防止するためには、橋脚の損傷モードを橋脚基部の曲げ破壊型にできるように段落し部の補強、あるいは、せん断補強を行うのがよい。なお、壁式橋脚の橋軸直角方向方向などのもともとも曲げ耐力が大きく、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もあるため、所要のせん断力を確保できる場合にはせん断破壊型としてもよい。

解説

a) 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損傷がせん断破壊に移行しないように、曲げ耐力およびせん断耐力の増強を図る。段落し部周辺に対する鋼板巻立て工法、さらに繊維材巻立て工法、橋脚全体の鉄筋コンクリート巻立て工法がある。

b) 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増強を図る。せん断耐力の増強を図ることができる範囲に対する鋼板巻立て工法、鉄筋コンクリート巻立て工法、繊維材巻立て工法などがある。

c) 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増強を図る。塑性ヒンジ領域となる橋脚基部周辺に対する鋼板巻立て工法、鉄筋コンクリート巻立て工法、繊維材巻立て工法などがある。

d) 曲げ耐力補強

地震時の応答変位および残留変位を減少する目的で、曲げ耐力を増強する。フーチングへのアンカー定着を有する鋼板巻立て工法、鉄筋コンクリート巻立て工法などがある。

表ー4.8.3 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	鋼板巻立て工法	繊維材巻立て工法
補強対象	段落し部	<ul style="list-style-type: none"> 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。 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。 	<ul style="list-style-type: none"> 適用可能 段落し区間の補強が可能。 	<ul style="list-style-type: none"> 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
	じん性補強		<ul style="list-style-type: none"> 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。 	<ul style="list-style-type: none"> 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。
	曲げ補強		<ul style="list-style-type: none"> 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。 	<ul style="list-style-type: none"> 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		<ul style="list-style-type: none"> 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。 	<ul style="list-style-type: none"> 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はらみ出しを防ぐため橋脚基部の拘束が必要。 	<ul style="list-style-type: none"> 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		<ul style="list-style-type: none"> 既設コンクリートの十分な表面処理が必要。 	<ul style="list-style-type: none"> 狭い場所では、施工の制約を受ける場合がある。 	<ul style="list-style-type: none"> 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		<ul style="list-style-type: none"> 維持管理面で有利。 	<ul style="list-style-type: none"> 鋼板の防食対策が必要。 	<ul style="list-style-type: none"> 維持管理面で有利。 但し、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		<ul style="list-style-type: none"> 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。 		<ul style="list-style-type: none"> 巻立て層数によっては鋼板巻立て工法に比べ経済的。

出典：既設橋梁の耐震補強工法事例集 平成17年4月
(財)海洋架橋・橋梁調査会

(1) 補強量の目安

標準補強量は表-4.8.4を目安とする。ただし、これらを越える補強量についても、経済性、施工性等の点で有利な場合は、その採用を検討するものとする。

表-4.8.4 標準補強量

		最小	最大	間隔
RC 巻立て工法	巻立て厚	250mm	—	
	軸方向鉄筋	D22	D38	150～300mm
	アンカー筋	D22	D38	150～300mm
	帯鉄筋	D16	D29	100～150mm
鋼板巻立て工法		厚さ		
	鋼板	最小 6mm 最大 12mm		

(2) 構造細目

1) RC 巻立て工法

- a) 巻立てコンクリート厚は、250mm を標準とする。
- b) RC 巻立て部の軸方向鉄量は、D22ctc150mm 以上を配置する。
- c) フーチングにアンカー定着する軸方向鉄筋間隔は、250～300mm を標準とし、アンカー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。
- d) 軸方向鉄筋のエポキシ樹脂定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。
- e) 軸方向鉄筋は、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。
- f) 鉄筋のかぶりおよびあきについては、道示IVによる。
- g) 帯鉄筋は、橋脚躯体下端より天端まで同径、同間隔とする。
- h) 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 $\phi 17 \sim \phi 32$ 等を用い、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、降伏強度比により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。

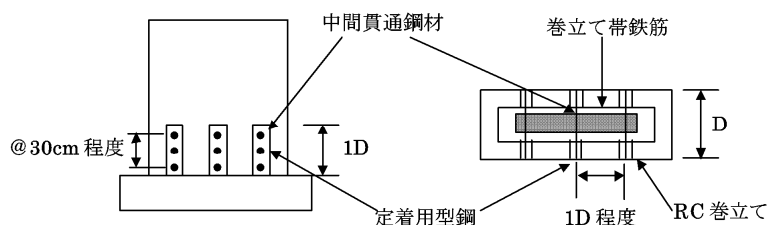


図-4.8.8 中間貫通鋼材配置図

- i) 鉄筋材質は SD345 とし、高強度鉄筋 (SD390、SD490) は用いない。

これは、既設橋の耐震補強における鉄筋コンクリート巻立て工法や曲げ耐力制御式鋼板巻立て工法の巻立て部の軸方向鉄筋のように、補強のためにフーチングに定着する軸方向鉄筋に SD390 又は SD490 を用いる場合については、軸方向鉄筋のフーチングへの定着方法や H9 参考資料の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。このため、補強のためにフーチングに定着する軸方向鉄筋に SD390 又は SD490 を用いる橋脚に対しては、H9 参考資料の算出方法の適用範囲外となるためである。

2) 鋼板巻立て工法

- a) (1) 鋼板の板厚は、原則として6mm～12mmのうちから選定する。なお、フーチングにアンカー定着する場合の鋼板の厚さ t は、式(4-3-1)により算出する。

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

ここに、

- t : 鋼板の板厚 (cm)
 σ_{ya} : アンカー鉄筋の降伏点 (N/mm²)
 A_a : アンカー鉄筋1本あたりの断面積 (cm²)
 σ_{yi} : 鋼板降伏点 (N/mm²)
 S_a : アンカー鉄筋の間隔

- b) 矩形柱では、鋼板の隅角部を現場溶接継手としてはならない。また、鋼板の形状は、施工性を損なわない範囲で分割数を少なく割付け高さを大きくすることが望ましい。鋼板重量は、施工方法によって異なるが、5t クレーン等を考慮した場合、300～400kg/枚の実績がある。なお、チェンブロック等、人力で作業を行う場合は150kg/枚程度となる。ただし、大型重機等の使用が可能な場合は、現場溶接延長の削減の観点からも、分割数はできるだけ少なくすることが望ましい。
- c) 補強鋼板と橋脚コンクリートの間隙の充填材は無収縮モルタルを標準とし、その注入厚は平均30mmとする。
- d) 鋼板固定用のアンカーボルトは径M16とし、配置間隔は500mmを標準とする。
- e) 下端の根巻きコンクリートは、躯体下端より最低1D以上、または土被り+100mmの大きい方を確保し、厚さは250mmとする。配筋は、RC巻立て工法に準ずるものとするが、帯鉄筋はD22ctc100mmを標準とする。
- f) フーチング定着アンカーは、異形鉄筋を使用し、フーチングへの定着はエポキシ樹脂による定着を標準とする。定着長はアンカー鉄筋の20倍以上を確保するものとする。

3) 連続繊維シート巻立て工法

- a) 炭素繊維シートの重ね継手長は、20cm以上とする。アラミド繊維シートの重ね継ぎ手長は、392kN/m(40tf/m)、588kN/m(60tf/m)級シートでは20cm以上、882kN/m(90tf/m)、1176kN/m(120tf/m)級シートでは25cm以上とする。
- b) 矩形断面の隅角部は、炭素繊維シートの場合半径5cm以上、アラミド繊維シートの場合半径1cm以上の面取りをする。
- c) 断落とし部の補強を行う場合は、曲げ補強のために躯体軸方向に連続繊維シートを貼付け、その外周に帯鉄筋方向に連続繊維シートを1層巻付ける。

- d) じん性向上のための補強を行う場合は、躯体軸方向に連続繊維シートを1層巻立てた後、その外周に帯鉄筋方向に設計計算で得られた必要量の連続繊維シートを巻立てるものとする。ただし、最少補強総数は軸方向、帯鉄筋方向各1層の合計2層とする。
- e) じん性向上を目的とした補強を行う場合は、躯体の下端から躯体の断面厚の1.5倍の範囲を補強する。

8.3.3 鋼製橋脚

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ことが原則となる。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および基礎への影響を考慮し、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のがよい。

解

a) 矩形断面を有する鋼製橋脚

局部座屈による角溶接部の破断を防止するためにじん性を増強する。コンクリート充填工法、角補強工法などがある。

b) 円形断面を有する鋼製橋脚

局部座屈による母材の亀裂、破断等を防止するためにじん性を増強する。コンクリート充填工法、隙間あけ鋼板巻立て工法、縦リブ補強工法などがある。

表-4.8.5 鋼製橋脚の耐震補強工法

		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およぼす場合もある。	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の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。	

出典：既設橋梁の耐震補強工法事例集 平成17年4月
(財)海洋架橋・橋梁調査会

8.3.4 橋全体系の補強

橋全体系の補強とは、前述した橋脚に対する補強対策を行うことなく、あるいは、補強対策を行うとしても比較的軽微な対策のみを行い、橋全体としての耐震性能の向上を図るものである。本工法は、橋脚に対する補強が困難な場合、あるいは、コスト低減が可能となる場合に有効となる。対策工法としては以下の工法がある。

解

a) 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、地震時に橋梁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。

b) 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。

c) 変位拘束工法

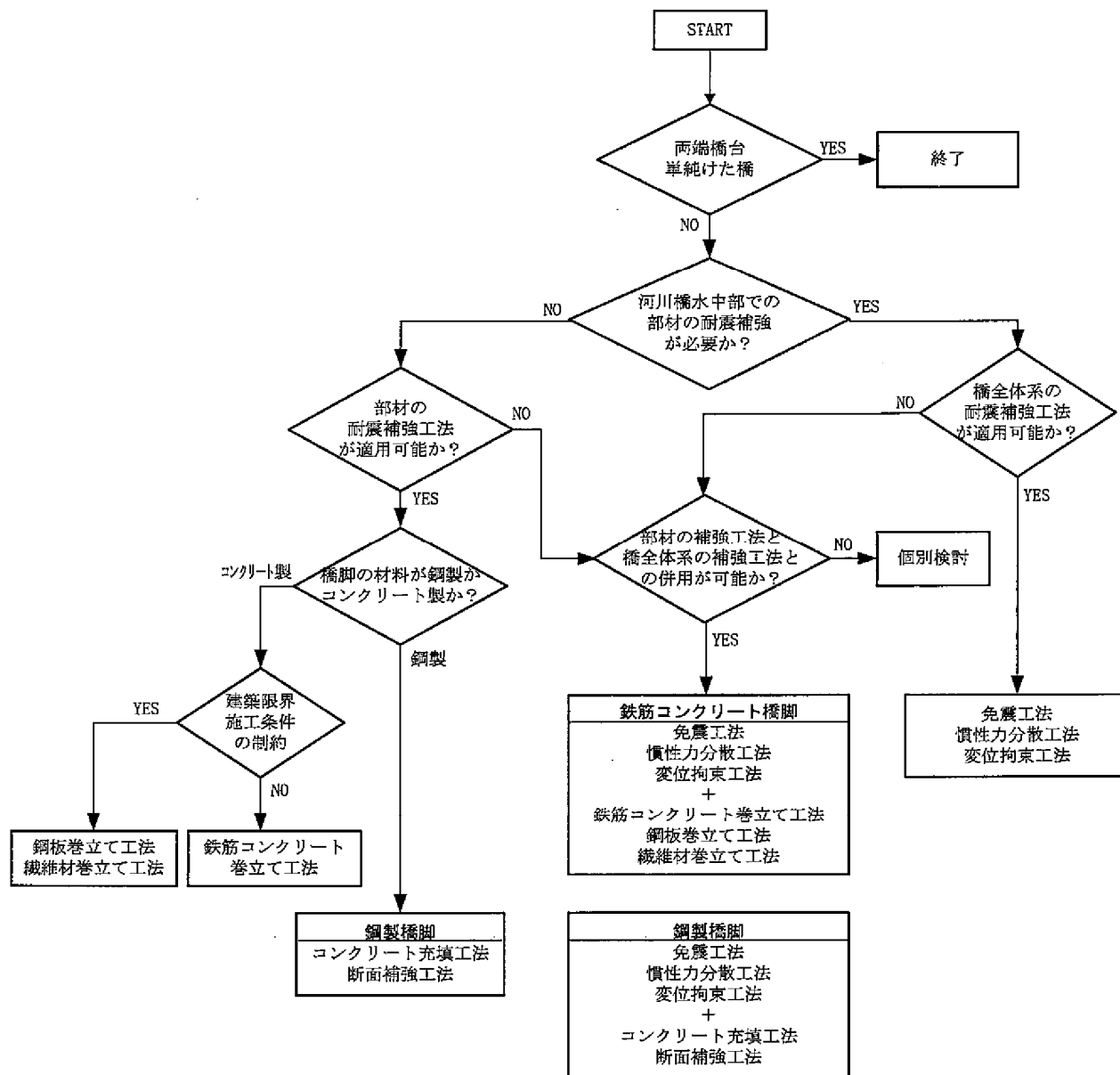
地震時に上部構造に生じる変位を拘束する工法で、橋脚に作用する慣性力の低減を図る工法である。橋台による橋軸方向に対する変位拘束効果を期待する工法、あるいは、橋台の補強により変位拘束効果を増強する工法などがある。必要に応じて上部構造の連続化・連結化を行う。

表-4.8.6 橋全体系の耐震補強工法

	免震工法	慣性力分散工法	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、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。 		
	<ul style="list-style-type: none"> ・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、負反力が生じる構造等では、適用に制約が生じる。 ・単純げた橋は、けた連結工法を採用し連続構造に改造する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・橋軸方向の耐震補強に適用。 ・単純げた橋は、けた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。 ・単純げた橋は、けた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。

出典：既設橋梁の耐震補強工法事例集 平成17年4月
(財)海洋架橋・橋梁調査会

耐震補強工法の選定フロー



出典：既設橋梁の耐震補強工法事例集 平成 17 年 4 月
(財)海洋架橋・橋梁調査会

図-4.8.9 耐震補強工法の選定フロー

8.3.5 基礎の補強

下部構造の補強、支承条件の変更、落橋防止システムの設置など、橋梁全体のバランスのとれた補強方法を尽くした上で、さらに現地条件によって倒壊や落橋といった甚大な被害が懸念される橋梁については、十分な検討のもとに基礎の補強が必要と判断するのが良い。
 なお、基礎の補強を実施する場合は、別途主幹課と協議を行うこと。

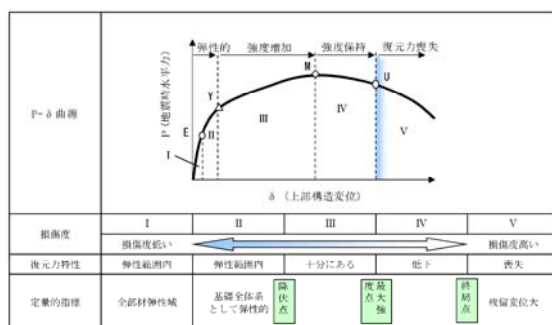
解説

基礎の補強の要否の判定においては、基礎の照査結果や現地の環境条件（交差物件や立地条件など）、地盤条件などの諸条件を十分勘案した上で判断する必要がある。補強の要否の目安となり得る項目を下記に示す。

- 1) 基礎の照査により、レベル1地震動において耐力不足が確認された橋梁
- 2) 橋梁全体のバランスのとれた補強対策を尽くした上で、現地条件により倒壊や落橋といった甚大な被害が懸念される橋梁
 - a) 液状化に伴う流動化が生じる箇所に位置する橋梁
 - b) 液状化が生じる箇所に位置する橋梁（液状化時の基礎耐力が著しく小さい橋梁）
 - c) 洗掘が著しい橋梁
 - d) 基礎の耐力および変形性能が著しく小さい橋梁など
- 3) レベルII地震動において目標とする橋の耐震性能を満足しない橋梁

上部構造からの慣性力を支持する基礎の水平力-水平変位関係とその特性について、弾性とみなせる限界点（E点）、基礎の降伏点（Y点）、最大強度点（M点）、終局点（U点）の関係を図-4.8.10に示す。既設道路橋の耐震性能照査及び耐震補強設計においては、レベル1地震動に対して、橋の耐震性能1を確保する場合には、E点、Y点、M点のいずれかを越えないように行う。また、レベル2地震動に対して、橋の耐震性能2を確保する場合には、E点、Y点、M点、U点のいずれかを越えないように、また、橋の耐震性能3を確保する場合にはU点を越えないように行う。

図-4.8.10 道路橋基礎の水平力-水平変位関係



E点	基礎を構成する部材や部材を支持する地盤抵抗のいずれかが弾性（可逆性を有する）とみなせる限界点を越える点
Y点	基礎全体系の水平力-水平変位関係において基礎の降伏点
M点	Y点を越えた後、基礎としての最大強度を發揮する点（最大強度点）
U点	基礎の降伏点及び基礎の最大強度点を越えた後、復元力の急激な低下が生じ始める点（終局点）

※1：基礎の降伏とは、基礎の部材の塑性化、地盤抵抗の塑性化、基礎の浮上りのいずれかにより、上部構造の慣性力の作用位置での水平変位が急増し始める時をいう。
 ※2：基礎の終局点とは、最大強度付近で安定していた復元力が低下し始める点をいう。

既設道路橋の耐震性能照査及び耐震補強設計においては、レベル1地震動に対して橋の耐震性能1を確保する場合には、基礎の損傷度Ⅰ、Ⅱ、Ⅲのいずれか以内となるように行う。また、レベル2地震動に対して橋の耐震性能2を確保する場合には、基礎の損傷度Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳのいずれか以内となるように、また、橋の耐震性能3を確保する場合には基礎の損傷度がⅤにならないように行う。基礎の損傷度と基礎の状態を表4-8-5に示す。

いずれの点を基礎の限界状態とするかは、橋の応答変位や残留変位、強度や剛性の低下度を踏まえて、地震後に必要な通行の制限、橋の機能回復措置内容を考慮し、選定理由を含めて、個別の橋毎に検討する必要がある。

各基礎形式における損傷度に応じた基礎の塑性率の目安(参考)を表-4.8.6に示す。表-4.8.6に示す塑性率は現時点での知見を踏まえ設定したものであり、現場条件等を踏まえ、現場の判断で適切に設定する必要がある。

表-4.8.5 基礎の損傷度と基礎の状態

基礎の損傷度	基礎の状態
基礎の損傷度Ⅰ	基礎を構成する部材や支持する地盤抵抗のいずれかが弾性(可逆性を有する)とみなせる限界点を越えていない状態
基礎の損傷度Ⅱ	基礎を構成する一部の部材やそれを支持する地盤抵抗が可逆性を有するとみなせる限界点を越えるものの、基礎全体としての水平力-水平変位関係においては基礎の降伏点を越えていない状態
基礎の損傷度Ⅲ	基礎全体系の水平力-水平変位関係における基礎の降伏点を越えた後、基礎としての最大強度を発揮する点(最大強度点)を越えていない状態
基礎の損傷度Ⅳ	基礎の降伏点及び基礎の最大強度点を越えた後、復元力の急激な低下が生じ始める点(終局点)を越えない状態
基礎の損傷度Ⅴ	基礎の部材損傷や支持地盤の崩壊により、復元力を喪失した状態

表-4.8.6 各基礎形式における損傷度に応じた基礎の塑性率の目安（参考）

基礎形式		損傷度			
		Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	
直接基礎		1	4	8	
杭 基 礎	フーチング		1	2	5
	鋼管杭	H2 道示より前	1	2	4
		H2 道示	1	4	8
	場所打ち杭	S46 より前	1	2	4
		S46 耐震指針	1	3	6
		S55 道示	1	4	8
	既製コンク リート杭	H8 道示より前	1	2	4
		H8 道示	1	4	8
	木杭		1	—	—
	パイルベン ト橋脚	単列方向（鋼管杭）	1	4	8
単列方向 （鋼管杭以外）		1	$1 + \frac{\delta_u - \delta_y}{1.8 \delta_y} \leq 4$	$1 + \frac{\delta_u - \delta_y}{\delta_y} \leq 8$	
複列方向		各杭種と同様			
ケーソン基礎及び地中連続壁基礎 （ $M_c < M_y < M_u$ ）		1	$1 + \frac{\delta_u - \delta_y}{1.8 \delta_y}$	$1 + \frac{\delta_u - \delta_y}{\delta_y}$	
鋼管矢板基礎		鋼管杭基礎に準じる			

注1) 部材の曲げ損傷を前提として基礎の耐荷力保持、復元力保持という観点で各損傷度に応じた塑性率の目安を示しているものであり、部材のせん断破壊等が及ぼす影響は個別に検討する必要がある。また、一列の杭頭反力が押込み支持力の上限値に達する場合には、回転挙動が卓越し、ここに示す目安を超える水平変位が生じたとしても、水平力を保持できる場合があると考えられるため、個別に許容される応答変位を踏まえて設定する必要がある。

注2) 橋台及び斜面上の基礎は常時偏土圧を受けるため、ここに示す塑性率の目安よりも小さく設定する必要がある。損傷度Ⅲ、損傷度Ⅳの目安として4、8を示しているものについてはそれぞれ、3、6とする。なお、これよりも小さな塑性率の目安を示している古い基礎形式については個別に検討を行う必要がある。

注3) 流動化に対しては、基礎の変形能で抵抗することを期待していないため、同様に、損傷度Ⅲ、損傷度Ⅳの目安として4、8を示しているものについてはそれぞれ、2、4とする。なお、これよりも小さな塑性率の目安を示している古い基礎形式については個別に設定する必要がある。