

事 務 連 絡

平成 2 1 年 3 月 3 1 日

各 地 方 整 備 局 道 路 部 道 路 管 理 課 長 殿

地 域 道 路 課 長 殿

北 海 道 開 発 局 開 発 建 設 部 道 路 維 持 課 長 補 佐 殿

地 域 事 業 管 理 官 殿

沖 縄 総 合 事 務 局 開 発 建 設 部 道 路 建 設 課 長 殿

道 路 管 理 課 長 殿

道路局 国道・防災課

道路防災対策室 課長補佐

「橋梁耐震補強における対策工法の選定の考え方」について

橋梁の耐震補強については、平成 1 7 年度～平成 1 9 年度までの 3 箇年において「緊急輸送道路の橋梁耐震補強 3 箇年プログラム」を策定し、兵庫県南部地震と同程度の地震動に対しても落橋等の甚大な被害を防止するための耐震補強を実施してきたところであるが、兵庫県南部地震と同程度の地震動に対しても、橋梁の被害を限定的な損傷にとどめ、円滑かつ迅速な応急活動を確保することが可能となるよう、耐震補強における対策工法の選定について、別紙のとおり定めたので、参照されたい。

橋梁耐震補強における対策工法の選定の考え方について

1. 適用範囲

本資料は、既設橋梁の耐震補強を行う場合の工法の選定、設計・施工上の基本的な考え方について示すものである。

既設橋梁の耐震補強については、平成17年度から19年度まで実施した「緊急輸送道路の橋梁耐震補強3カ年プログラム」等によりこれまで進めてきたところである。橋梁の耐震補強においては、既往地震による被災特性の分析結果に基づき、優先度を設定し、橋梁として重大な損傷に結びつく可能性のある橋脚と支承部を対象に実施してきた。その実施にあたっては、効率的かつ効果的な実施に十分配慮し、コスト縮減や工期短縮等に努めてきたところである。

既設の橋梁の耐震性能や被害特性は、建設時に適用した技術基準等により異なる。また、これまで実施された耐震補強レベルが異なる場合も存在する。今後、このような橋梁に対して補強対策を速やかに進めるためには、個々の橋梁の条件に応じて適切に工法を選定していくことが必要とされる。

本資料は、現行の道路橋示方書相当の耐震性能を確保することを目的として耐震補強を実施する場合に、対象橋梁の適用技術基準や既往の耐震補強履歴に応じて、標準的な工法を選定する場合の基本的な考え方、設計施工において参考にするべき基準・資料等について示すものである。

2. 対策工法の選定

2. 1 対策工法の選定フロー

図－1は、建設時に適用した技術基準及びこれまでの耐震補強履歴に応じた対策工法の選定フローを示すものである。図－1のフローでは、技術基準に応じた耐震性能と既往の耐震補強履歴について大きく以下のように分類している。

(1) 技術基準に応じた耐震性能レベルの分類

- 1) 昭和55年道路橋示方書より前（「S55道示より前」）
- 2) 昭和55年道路橋示方書・平成2年道路橋示方書（「S55・H2道示」）
- 3) 平成7年復旧仕様・平成8年道路橋示方書以降（「H7・H8道示以降」）

(2) 既往の耐震補強レベルの分類（主に橋脚と支承部を対象に実施）

- 1) 平成7年復旧仕様・平成8年道路橋示方書以降レベル（「H8（H14）道示仕様レベル」）
- 2) 平成17－19年橋梁耐震補強3カ年プログラムで実施された耐震補強レベル（「3プロ仕様レベル」）

2. 2 対策工法の設計施工に関する基準・資料等

上記2. 1（2）に示す耐震補強を実施する際に参考とすべき基準、資料等は以下の通りである。

1) 未対策の橋にH8（H14）道示仕様レベルの耐震補強を実施する場合

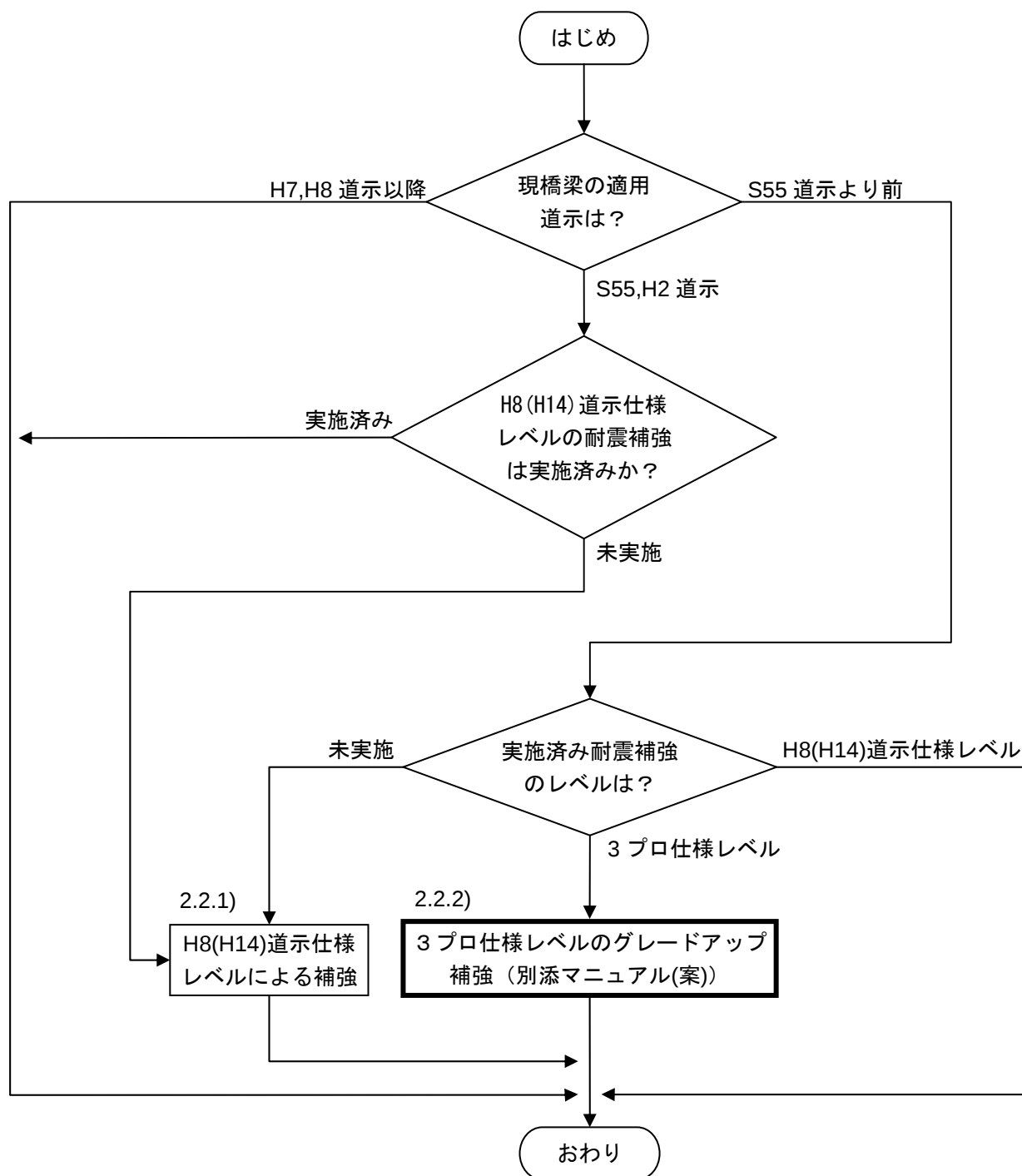
- ・「既設道路橋の耐震補強に関する参考資料」（平成9年8月 日本道路協会）
 - ・「既設橋梁の耐震補強マニュアル」（平成17年2月 国土交通省関東地方整備局）
- （一般参考資料：「既設橋梁の耐震補強工法事例集」

（平成17年4月 （財）海洋架橋・橋梁調査会）等）

2) 3プロ仕様レベルの鉄筋コンクリート橋脚にH8（H14）道示仕様レベルへのグレードアップ補強を実施する場合

- ・別添「3箇年プログラムで段落し部の対策を実施した鉄筋コンクリート橋脚のアップグレード補強マニュアル(案)」（「別添マニュアル(案)」）

以 上



図ー１ 適用基準と実施済みの耐震補強レベルに応じた対策工法の選定の流れ

3 箇年プログラムで段落し部の対策を実施した

鉄筋コンクリート橋脚のアップグレード補強マニュアル(案)

1. 一般

1.1 基本的な考え方

鉄筋コンクリート(RC)橋脚の破壊形態は、曲げ破壊型、曲げ損傷からせん断破壊移行型、せん断破壊型に分類される。このうち、曲げ損傷からせん断破壊移行型およびせん断破壊型は、急激な耐力の低下を引き起こす破壊形態であり、このような破壊が先行して発生する場合は、まず、せん断補強を実施し、じん性が期待できる橋脚基部の曲げ破壊型に破壊形態を移行させることが基本となる。

橋脚基部の補強としては、橋脚がねばり強い構造となるようにじん性補強を優先し、じん性補強のみでは橋脚に大きな残留変位が発生する場合は、フーチングに軸方向鉄筋を定着させて曲げ耐力の向上を図る。この場合、橋脚躯体の曲げ耐力を過度に向上させると、基礎構造を含めた補強が必要となることがあるため、基礎が支持できる範囲内でじん性と曲げ耐力の向上をバランスさせることが補強設計を行う上で重要となる。

平成17～19年度に実施された「緊急輸送道路の橋梁耐震補強3箇年プログラム(以下、3箇年プログラムと呼ぶ)」では、兵庫県南部地震と同程度の地震動に対しても落橋等の甚大な被害を防止し、緊急輸送道路としての機能を確保することを目的とし、既往の地震における橋梁の被災経験に基づき、当面必要とする対策として、主に軸方向鉄筋の段落し部に対する繊維材巻立て工法が実施されている。

本マニュアル(案)は、このように段落し部に対して繊維材巻立て工法により対策された橋脚を対象に、上記の考え方に基づき、橋脚基部の耐震補強を行う場合の設計や施工の考え方を示すものである。なお、本マニュアル(案)に示す工法は、あくまで1つの工法例であり、個別の橋の条件に応じた検討や実験に基づく別の補強工法の採用を否定するものではないことに注意する必要がある。特に、上記の巻立て工法を河川内の橋脚などに適用する場合には、施工空間や渇水期などの河川条件などの制約、仮締切工等のための仮設費のコスト増、あるいは、河川内で作業を行う場合には河川環境への配慮が不可欠、などの施工上の制約条件やコストの条件が厳しくなることなどの課題も考えられる。このような場合には、個々の下部構造の耐震性能の向上を図る対策工法のみならず、橋全体の耐震性能を向上させる橋全体系の補強¹⁾を検討するのがよい。

一般に、耐震補強は、現場の施工条件、河川条件、交差条件等や補強工法に影響を受けるため、事前に設計や施工時の制約条件を整理し、各工法の耐震補強効果、施工性、経済性等を比較検討のうえ、適切な補強工法を選定するのがよい。

1.2 設計一般

(1) 適用基準

耐震補強に関わる性能照査は、原則として道路橋示方書Ⅴ耐震設計編²⁾に基づいて実施する。

(2) 既設橋脚の調査

補強設計においては、既設橋脚の構造形状、配筋、材料強度、3箇年プログラムによる補強の有無およびその詳細等を把握する。

(3) 耐震補強設計の流れ

図-1.1に、鉄筋コンクリート橋脚のアップグレード補強工法の一般的な選定フローを示す。

3箇年プログラムにおいて、軸方向鉄筋の段落し部の補強が実施され、橋脚基部の曲げ耐力の補強が必要とされる鉄筋コンクリート橋脚のアップグレード補強工法としては、一般に以下の工法が考えられる。

① 鉄筋コンクリート（RC）巻立て工法

本工法は、RC橋脚躯体の周囲を鉄筋コンクリートで巻立て、新旧コンクリートの付着を確保するとともに、必要に応じて軸方向鉄筋をフーチングに定着することによって耐力を増加させる工法である。柱躯体部のせん断耐力、曲げ耐力、及び変形性能の向上を図る。

② 鋼板巻立て工法

本工法は、RC橋脚躯体の周囲を鋼板で巻立て、鋼板と既設躯体表面の間にモルタル等を充填するとともに、必要に応じて鋼板に接合した鉄筋等をフーチングに定着することによって耐力を増加させる工法である。柱躯体部のせん断耐力、曲げ耐力、及び変形性能の向上を図る。

③ 繊維材巻立て工法

本工法は、RC橋脚躯体の周囲を繊維材で巻立てることによって、柱躯体部のせん断耐力、曲げ耐力、変形性能の向上を図る工法である。なお、橋脚の断面がある程度大きくなった場合には変形性能を高めるための拘束効果が低下したり、大きな変形性能を考慮する場合には伸び性能が小さい高強度繊維材では破断しやすくなる場合もあるため、変形性能を向上させるために繊維材巻立て工法を用いる場合には十分な検討が必要とされる。

なお、本マニュアル(案)に示す工法としては、3箇年プログラムにより段落し部に対して実施された繊維材巻立て補強を有効に活かし、その上から追加的に補強して耐震性能のアップグレードを図る場合の工法を示している。個々の橋梁条件によっては、3箇年プログラムによる段落し部の繊維材補強を一旦撤去した上で、新たに一般的な①RC巻立て工法、あるいは、②鋼板巻立て工法を適用することが有利となる場合も考えられるが、このような工法については、個別の橋梁条件を十分検討の上選択するのがよい。

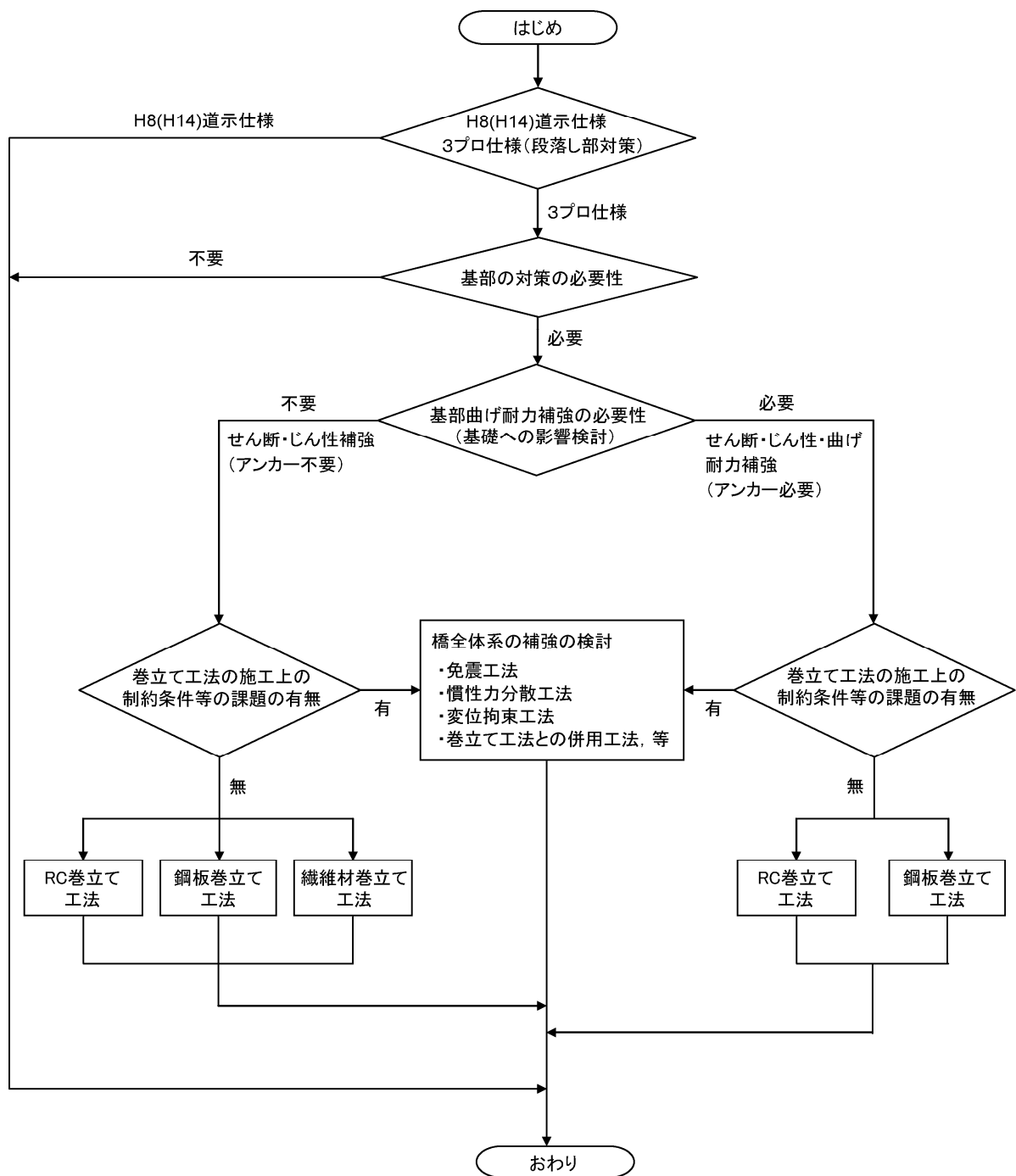


図-1.1 鉄筋コンクリート橋脚のアップグレード補強工法の一般的な選定フロー

(4) 断面変化部の設計計算

ねばり強い変形性能が期待できる基部の曲げ損傷を確実に誘導するためには、補強後の断面変化部の耐力が損傷を想定する基部よりも大きくすることが必要とされる。断面変化部に対する所要断面耐力は、一般に基部断面との耐力比を用いて決定される。断面変化部としては、主鉄筋が段落しされた断面、耐震補強によって巻立て部の上下端部となる断面を含める必要がある。基部の補強によって補強済みの段落し部耐力比が相対的に低くなることもあるため、段落し部についても再度照査が必要とされる。

式(1.1)は、断面変化部の所要断面耐力を算定する基本判定式であり、これを満足するように断面変化部の耐力を確保できる補強設計を行う。なお、3箇年プログラムで繊維材巻立てにより耐震補強が実施された橋脚の場合は、既設の橋脚躯体、既設の巻立て繊維材と新設するコンクリートあるいは鋼材とが一体的に挙動するものとし、一般的なコンクリート構造の断面計算で仮定する平面保持が成り立つものとして、断面曲げモーメントの計算を行うものとする。巻立て繊維材については、その巻立て位置において材料の応力度～ひずみ関係を断面計算に考慮する。

$$\frac{M_{Ty0}/h_t}{M_{By0}/h_B} \geq 1.2 \quad (1.1)$$

ここに、

M_{Ty0} : 断面変化部断面の初降伏曲げモーメント(kN・m)

h_t : 断面変化位置から上部構造の慣性力の作用位置までの高さ(m)

但し、主鉄筋段落し部の照査位置は、実際に鉄筋が途中定着されている位置から次式により算出される定着長 ℓ に相当する長さだけ下げた位置⁴⁾

$$\ell = \frac{\sigma_{sa}}{4\tau_{oa}} \phi$$

M_{By0} : 基部断面の初降伏曲げモーメント(kN・m)

h_B : 基部断面から上部構造の慣性力の作用位置までの高さ(m)

σ_{sa} : 軸方向鉄筋の許容応引張力度(N/mm²)

τ_{oa} : コンクリートの許容付着応力度(N/mm²)

ϕ : 軸方向鉄筋の直径(mm)

なお、断面耐力の計算においては、後述するRC巻立て工法の組立用アンカーや鋼板巻立て工法の鋼板固定用アンカーボルトの施工により、既設の繊維材の断面を欠損する場合にはその損失分を考慮しない等の配慮をする必要がある。

(5) 主鉄筋段落し部における既設の巻立て補強部の表面処理方法

3箇年プログラムで実施された主鉄筋段落し部に対する繊維材巻立て工法による既設の補強部と新たに巻立てを行う部材との一体性を確保することが重要となる。巻立て繊維材の表面は、樹脂モルタルおよび仕上塗料等で保護されるのが一般的である。このため、既設の補強部の表面処理方法としては、ディスクサンダー、サンドブラスト等のブラスト、ウォータージェット等が利用可能である。表面処理の厚さや既設の補強部以外のコンクリート表面の処理方法も考慮

に入れ、効率よく施工方法を選択するのがよい。

表面処理の要求性能として、表面に仕上げ塗料がある場合は塗料を完全に除去するまで、表面に仕上げ塗料がない場合は、表面の汚れの除去や全体的に目荒らしとなるまで表面処理を行う程度でよい。ただし、いずれの場合においても、既存の繊維材巻立て部を傷つけないように配慮する必要がある。

なお、ここでのいう既設部と新設部の一体化であるが、あたかも一様材料となるような完全かつ均一な一体化までを意図しているのではなく、補強後の橋脚の曲げ耐力、せん断耐力及び変形性能が確保できるとともに、既設部材や補強部材の長期耐久性に影響のない程度の一体化を意図しているものである。

(6) 補強設計における留意事項

1) 固有周期の算出³⁾

道路橋示方書Ⅴ耐震設計編では、固有周期の算出にあたっては、原則として基礎地盤の変形の影響を考慮するものと規定されているが、既設橋脚に本規定を適用する場合、基礎地盤の変形を算出するために必要な諸定数を確認できないことがある。このような場合には、一般に、基礎地盤の変形の影響を無視して固有周期を算出してもよい。ただし、壁式橋脚の橋軸直角方向や橋脚高さの低い寸胴な橋脚等では、基礎地盤の影響を無視すると、道路橋示方書Ⅴ耐震設計編に規定される設計水平震度が固有周期によらず一定とされている値（ピーク値）よりも小さくなる短周期橋脚として評価されることがある。この場合には、固有周期によらず一律に設計水平震度のピーク値を用いて補強設計を行うことで安全側の照査が可能となる。

2) 塑性ヒンジ長の取り扱い³⁾

終局変位を求めるための塑性ヒンジ長 L_p は、道路橋示方書Ⅴ耐震設計編により算出される値に補正係数 $c_{Lp}=0.8$ を乗じた値とするのがよい。

ここで、塑性ヒンジ長に補正係数を乗じて用いるのは、一般に、塑性ヒンジを形成するメカニズムが、新設橋脚の場合と既設橋脚の場合で異なるためである。鋼板や鉄筋コンクリートを巻立てて補強した場合の塑性ヒンジ長に関してはさらに調査研究が必要であるが、既設橋脚を鋼板や鉄筋コンクリートで巻立てると、新設橋脚の場合と比較して塑性ヒンジ長が短くなることが実験により確認されている。そこで、このような実験結果を基に、補正係数を 0.8 として塑性ヒンジ長を算定する。ただし、ここで算定される塑性ヒンジ長には、軸方向鉄筋の塑性域がフーチング内部と橋脚損傷域よりも上部の断面にまで進展して伸び出してくる影響が考慮されている。

なお、補強橋脚における塑性ヒンジ長の取り扱いについては、壁式橋脚に対する鋼板併用鉄筋コンクリート巻立て工法や鉄筋コンクリート巻立て工法、ラーメン橋脚に対する曲げ耐力制御式鋼板巻立て工法や鉄筋コンクリート巻立て工法にも適用できる。ただし、別途実験等により塑性ヒンジ長に関する検討を行った場合には、その結果を適切に反映させて補正係数を設定することができる。

3) 横拘束筋の取り扱い³⁾

既設橋脚の照査において、既設断面の帯鉄筋が内部コンクリートにフックで定着されてい

い場合、コンクリートの終局ひずみは、タイプⅠならびにタイプⅡいずれの地震動に対しても最大圧縮応力時のひずみとすればよい。これは、帯鉄筋を重ね継手で継いでいるような場合には、かぶりコンクリートが剥落するような変形が生じると、内部コンクリートを確実に拘束できないことによる。ただし、既設橋脚を鋼板や、鉄筋コンクリートで巻立てれば、既設橋脚部のかぶりコンクリートは剥落せず、既設断面内の内部コンクリートに定着されていない帯鉄筋も横拘束筋として有効に機能することが期待できるため、補強橋脚に対する耐震設計では、道路橋示方書Ⅴ耐震設計編に従って既設断面内の帯鉄筋を横拘束筋として考慮することができる。

4) 中間貫通鋼材^{3) 4)}

躯体の断面寸法の辺長比が 1:3 を超える橋脚の補強については、中間貫通鋼材を配置するのがよい。なお、中間貫通鋼材は、横拘束筋として取り扱い、コンクリートの応力度～ひずみ曲線に考慮することができる。また、中間貫通鋼材は、塑性ヒンジ部のみに配置されるので補強後のせん断耐力の計算では一般には考慮しない。

5) 乾燥収縮ひび割れ対策

RC 巻立て工法を用いる場合は、乾燥収縮によって巻立てコンクリート部にひび割れが発生する場合がある。このため、コンクリートの配合、打設および養生の各段階において、有害な乾燥収縮ひび割れが発生しないような配慮をする必要がある。確実に養生した場合にも、コンクリートの乾燥収縮や通行車両による常時の振動等の影響からひびわれが発生する恐れがある場合には、膨張剤等の使用を検討してもよい⁵⁾。

6) 劣化・老朽化に対する設計上の配慮

既設橋梁の中には、劣化、老朽化が進展し、設計当初の基準強度よりも材料特性が低下している場合も考えられる。このような場合には、材料試験等を含めて十分に現況の調査を行うとともに、仮に強度が不足するような場合にはその影響を十分検討の上補強設計に反映するのがよい。また、既設部と新設部を一体化する際に用いるアンカー等についても、既設部の材料強度が低下している場合には、その定着が十分でなくなることも考えられるため、検討が必要とされる。

7) 基礎への影響の検討

橋脚基部を補強するために、橋脚躯体の曲げ耐力を過度に向上させたり、あるいは、補強部の重量を大きく増加させてしまうと、基礎への影響が大きくなることも想定される。このため、基礎への影響が著しくならないことにも十分配慮した上で補強検討を行う必要がある。

1.3 耐震補強工法の選定

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、橋脚の耐震性能を高めることが可能であるが、基礎への影響も考慮した上で、耐力と変形性能を balan

スさせた補強工法を選定するのがよい。

本参考資料では、前述の通り、3箇年プログラムにより段落し部に対して繊維材巻立て工法により対策が実施された橋脚を対象に、その既設の補強対策を有効に活かしてアップグレードを図る耐震補強工法として、(1) RC 巻立て工法、(2) 鋼板巻立て工法を示している。

表－1.1 に各工法の比較表を示す。一般に、制約条件のない場合にはRC巻立て工法の方が、建築限界等断面幅増が適切ではない条件では鋼板巻立て工法が採用される事例が多い。

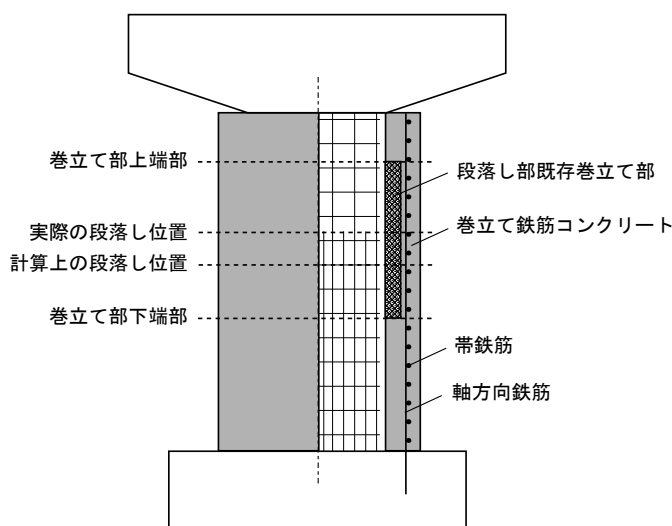
表－1.1 耐震補強工法の比較

		RC 巻立て工法	鋼板巻立て工法
補強対象	曲げ補強	適用可能 施工性、景観性から橋脚躯体全体を巻立てる場合が多い	適用可能 曲げ耐力を過度に大きくすると基礎構造に影響を及ぼす場合がある
	せん断補強	壁式橋脚をじん性補強する場合は中間貫通鋼材等で拘束度を高める	適用可能
	じん性補強	曲げ耐力を過度に大きくすると基礎構造に影響を及ぼす場合がある	適用可能 壁式橋脚をじん性補強する場合は中間貫通鋼材等で拘束度を高める
構造の特徴		巻立て厚が建築限界等の制約を受ける場合がある 巻立て部の自重が基礎構造に影響を及ぼす場合がある	建築限界等の制約を受けない 巻立て部の自重による橋脚基礎への影響は少ない 矩形断面では補強鋼板のはらみだしを防ぐため橋脚基部の拘束が必要
施工性		既設コンクリートの十分な表面処理が必要	狭隘な場所では、施工の制約を受ける場合がある
維持管理性		維持管理面で有利	鋼板の防食対策が必要
経済性		一般に、鋼板巻立て工法や繊維材巻立て工法に比べ経済的	

2. 鉄筋コンクリート巻立て工法

2.1 工法の概要

本工法は、RC 橋脚躯体周囲を鉄筋コンクリートで巻立て、その橋脚の曲げ耐力、せん断耐力およびじん性の向上を目的として実施する補強工法である。図－2.1 に、主鉄筋段落し部の耐震補強が実施された RC 橋脚に本工法を適用する場合のイメージ図を示す。



図－2.1 RC 巻立て工法のイメージ図

本工法は、経済性や将来的な維持管理の面から他の工法に比べ有利となる場合が多い。ただし、施工性等より 250mm 程度以上の断面増加が必要となり、既設橋梁の建築限界等から採用できない場合もある。また、施工に際しては、他の工法に比べて十分な既設橋脚部の表面処理が必要であり周辺環境により適用を制限されることもある。

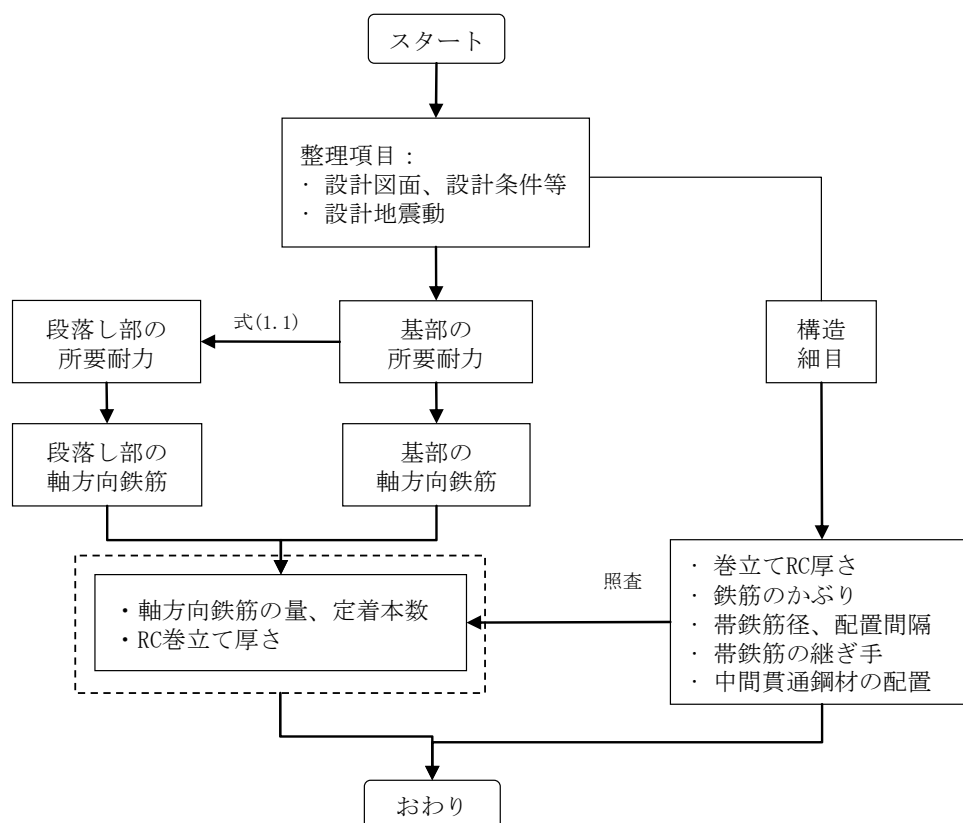
以下に工法の特徴を示す。

- ①建築限界等制約がない場合は、一般的に、鋼板巻立て工法や FRP を用いる補強工法等の工法に比べて経済的である。
- ②維持管理面においても、他工法に比べて有利である。
- ③本工法の設計上のポイントは、既設コンクリートと補強コンクリート間、主鉄筋段落し部における補強部と補強コンクリート間の付着を期待する点であり、他工法に比べ既設コンクリートと主鉄筋段落し部における補強部の十分な表面処理が重要となる。
- ④本工法では、巻立てコンクリートの自重による慣性力が増加するため橋脚基礎に対しては他工法に比べて不利になる場合がある。

2.2 設計

所要のせん断耐力、曲げ耐力およびじん性を確保するように、橋脚に巻立てを行う場合の配筋およびコンクリート厚を設計する。図－2.2 に本工法の一般的な設計計算の流れを示す。設計上の留意点を以下に示す。

- ① 新旧コンクリートが一体となって地震力に抵抗するものとして設計する。
- ② 橋脚基部の曲げ耐力の算定には，既設鉄筋に加えてフーチングに定着した軸方向鉄筋のみ考慮する⁴⁾。
- ③ 変形性能の評価における横拘束筋の取り扱いについては，1.2(6)3節に従い考慮する。



図－2.2 RC 巻立て工法の設計計算の一般的な流れ

2.3 構造細目

(1) 巻立てコンクリート厚

巻立てコンクリート厚は，重量増の基礎への影響の他，耐震補強効果，経済性等を考慮して決定する．一般には，250mm が標準的である⁴⁾。

(2) 表面処理

既設橋脚と新たに巻立てる鉄筋コンクリートの一体化を図るには，確実な表面処理が重要である．表面処理の方法としては，ディスクサンダーによる方法，ピックハンマー，およびサンドブラスト等による方法が一般的である．このうち，ディスクサンダー工法による表面処理は，既設橋脚コンクリートの表層の風化層やレイタンス層等の脆弱部分や汚れに対しては有効であるが，曲げ補強としての機能を発揮できるよう確実に新旧コンクリートを一体化させるには，ピックハンマーやサンドブラスト等により骨材を露出させるような表面処理が望ましい⁵⁾。

主鉄筋段落し部における既存の繊維材補強部の表面処理としては，1.2 に示した処理方法を選定する．ただし，ピックハンマーは段落し部の既存繊維シートを傷つける恐れがあるので原

則として使用しない。

(3) 巻立て部に配置する鉄筋

巻立て部に配置する鉄筋は、表-2.1 に示す配筋が一般的である。

軸方向鉄筋およびアンカー筋の最大径は D32 が一般的であるが、D51 を使用している事例もある。軸方向鉄筋は、橋脚全面で均一な補強効果を確保することから、橋脚基部より天端まで軸方向鉄筋を同径、同間隔に配置するのが標準的である⁴⁾。

帯鉄筋の配置間隔は 150mm 以下を基本とし、D22ctc150mm を配置しても必要帯鉄筋量を満足しない場合には D22ctc100mm⁴⁾ や、D25 を採用する事例もある。帯鉄筋の間隔については、塑性ヒンジ長の 4 倍の区間よりも上の断面領域においては最大値を 300mm としよ²⁾。

表-2.1 鉄筋の標準的な配筋の例⁴⁾

	最小径	最大径	間 隔
軸方向鉄筋	D22	D32	150～300mm
帯鉄筋	D16	D22	100～150mm

(4) 軸方向鉄筋のフーチングへの定着

軸方向鉄筋のフーチングへの定着は、アンカー中心間隔 250～500mm⁶⁾ 程度を目安とし（一般には 300mm⁴⁾ 程度が標準的）、フーチング上面の主鉄筋を避けて設置する。この際、既設の鉄筋を切断しないよう、事前に鉄筋の位置を竣工図書や非破壊検査等により確認するのがよい。

一般的な注入材、アンカーの定着長、削孔径について、表-2.2 に示す。なお、注入材は、必要定着長が短く、フーチング厚の範囲内での定着が容易なエポキシ樹脂が標準的である^{4) 5)}。

表-2.2 一般的な注入材、アンカーの定着長、削孔径

注入材	最小定着長	削孔径
エポキシ樹脂	最小定着長は異形棒鋼径の20倍とする（異形棒鋼径の15倍 ⁷⁾ の定着長を1.3倍 ⁹⁾ した値）。	異形棒鋼径+10mm ⁷⁾ 以上が標準
無収縮モルタル	定着長 $L \geq 1.3 \sigma_{sa} \phi / 4 \tau_{0a}$ ^{6) 9)} σ_{sa} : 異形棒鋼許容引張応力度 ϕ : 異形棒鋼径 τ_{0a} : コンクリートの許容付着応力度	

(5) 鉄筋のかぶり

道路橋示方書IV下部構造編¹⁰⁾ に従い必要な鉄筋のかぶりを確保する（図-2.3 参照）。軸方向鉄筋をフーチングに定着する場合には、削孔作業などの施工余裕に注意する必要がある。

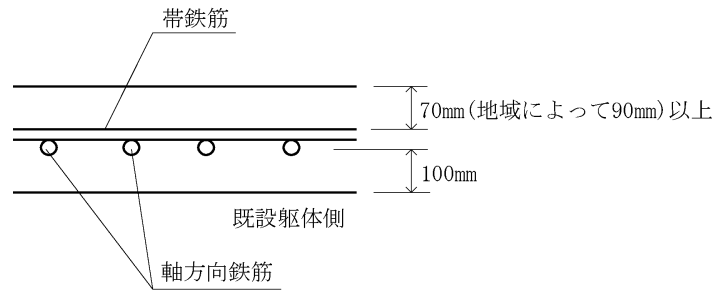


図-2.3 鉄筋のかぶり（土中および水中部の場合）

(6) 帯鉄筋の継手

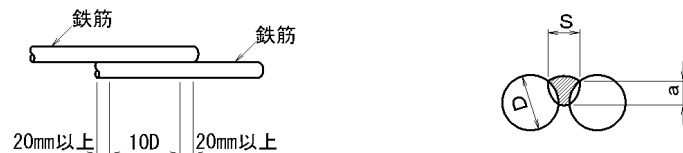
- ① 帯鉄筋の継手は、道路橋示方書Ⅴ耐震設計編、道路橋示方書Ⅳ下部構造編に基づく。
- ② 帯鉄筋は、道路橋示方書では、フックを付けて内部コンクリートに定着することを原則としているが、鉄筋コンクリート巻立てにおいては、フック長の確保が難しいことを考慮してフレア溶接を採用する事例が多い^{4) 5)}。フレア溶接の溶接長は、式(2.1)より算出した値に余裕を見込んで設計値としている^{4) 5)}。

$$\text{溶接長} \quad L \geq \frac{A_s \sigma_{sa}}{a \tau_b} + L_s \quad (2.1)$$

ここに、

- A_s : 鉄筋の公称断面積(mm²)
- σ_{sa} : 鉄筋の許容引張応力度(N/mm²)
- τ_b : 溶接部の許容せん断応力度(N/mm²)
- L_s : 溶接不完全部分の長さ ($L_s = 2S$, ここに S は溶接ビードの幅)
- a : のど厚(mm)

- ③ フレア溶接の継手長さは鉄筋径の10倍とする。継手構造は図-2.4とし、まわし溶接は行わない。なお、D25以上の鉄筋を用いる場合には土木学会鉄筋定着・継手指針（2007年版）¹⁴⁾を参考にするのがよい。



S : 溶接ビードの幅 ($S = 0.5D$)

a : 厚

$$a = 0.39D - 3 \quad (10\text{mm} < D \leq 22\text{mm})$$

D : 鉄筋径（呼び径）

D	S	a
16	8.0	3.2
19	9.5	4.4
22	11.0	5.6

単位 (mm)

図-2.4 フレア溶接の諸元^{4) 5)}

(7) 中間貫通鋼材の配置^{3) 4)}

図-2.5 に示すように、中間貫通帯鉄筋は、巻立てコンクリート部の拘束効果を高める構造となるように配置する。中間貫通帯鉄筋の設置間隔は、水平方向には補強後の橋軸方向の断面幅以内、高さ方向には 300mm 程度とすることが標準的である。また、中間貫通帯鉄筋の端部にはフックを設け、巻立てコンクリート内に定着させることが原則となる。ただし、このような中間貫通帯鉄筋の施工が難しい場合には、図-2.6 に示すように形鋼と中間貫通 PC 鋼棒の併用により、巻立て鉄筋コンクリート部の軸方向鉄筋の座屈や帯鉄筋のはらみだしを抑える構造も考えられる。

中間貫通帯鉄筋や中間貫通 PC 鋼材の配置を行う場合は、橋脚基部の塑性ヒンジが生じる可能性のある部分の拘束効果を高めることでじん性の向上が確認されているため、橋脚基部の補強後の壁厚以上に配置することを標準とすればよい（図-2.7 参照）。

なお、中間貫通鋼材によりじん性を向上させなくても、曲げ耐力の向上のみで所要の耐震性能を確保できる場合には、中間貫通鋼材を設けなくてもよい。

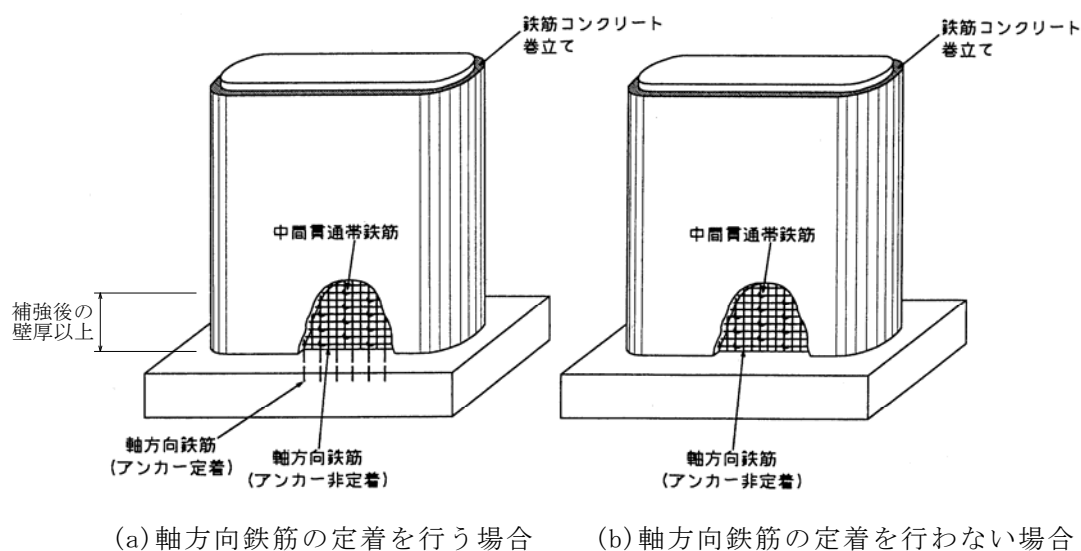


図-2.5 鉄筋コンクリート巻立て工法³⁾

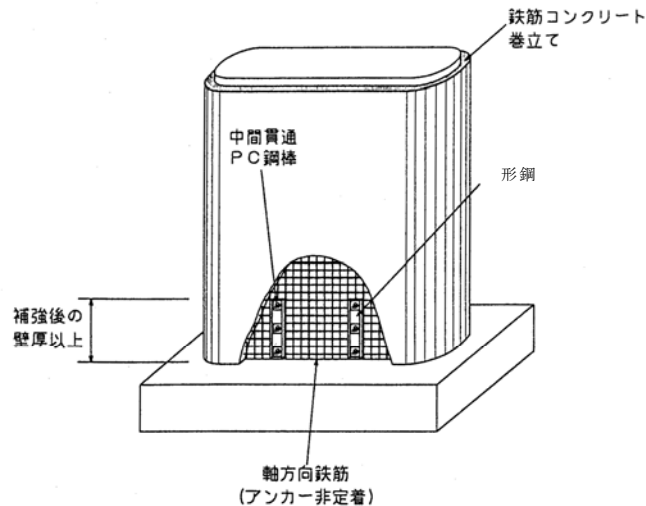


図-2.6 形鋼と中間貫通 PC 鋼棒による横拘束³⁾

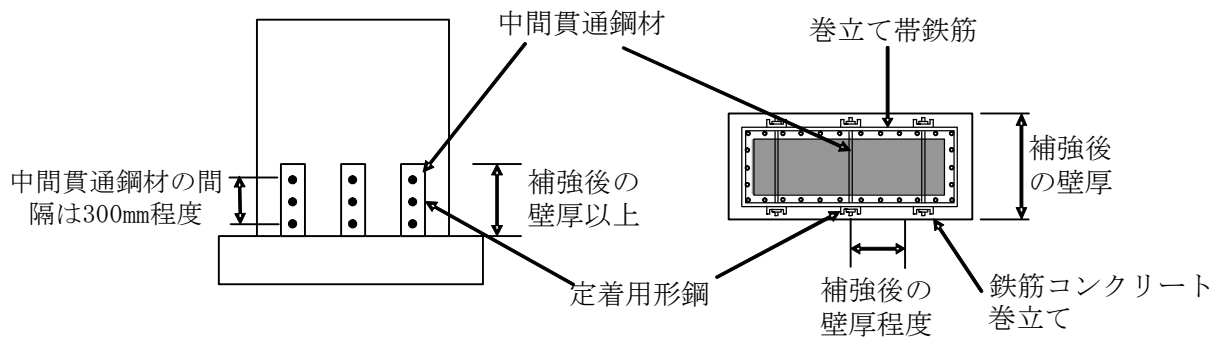


図-2.7 中間貫通鋼材の配置例⁴⁾

(8) 組立て用アンカーの施工⁴⁾

組立て用アンカーの施工にあたっては、削孔時に既設鉄筋に損傷を与えないようにするとともに既設橋脚をできるだけ傷つけないため、1本/m²程度配置する。組立て用アンカーは施工中に脱落しないように十分な付着を確保する。なお、組み立て用アンカーを設置するために既設の巻立て繊維材の欠損部分が生じる場合には、欠損分を設計上考慮しない等の配慮を行うのがよい。

2.4 使用材料

(1) コンクリート

鉄筋コンクリート巻立て工法に用いるコンクリートは、道路橋示方書の規定に適合し、既設橋脚と同等の強度以上のコンクリートを使用することを原則とする⁵⁾。

(2) 鉄筋

鉄筋は、原則として既設鉄筋と同等のものを使用する。ただし、応力上有利となる場合等で

は，十分に検討したうえで既設鉄筋より高い強度の鉄筋を使用してもよい．一般には SD345 を用いる場合が多い^{4) 11)}．

3. 鋼板巻立て工法

3.1 工法の概要

本工法は、RC 橋脚躯体を鋼板で巻立て、その間隙を充填材により密実させるとともに、その橋脚の曲げ耐力、せん断耐力およびじん性の向上を目的として実施する補強工法である。図-3.1 に、主鉄筋段落し部の耐震補強が実施された RC 橋脚に本工法を適用する場合のイメージ図を示す。

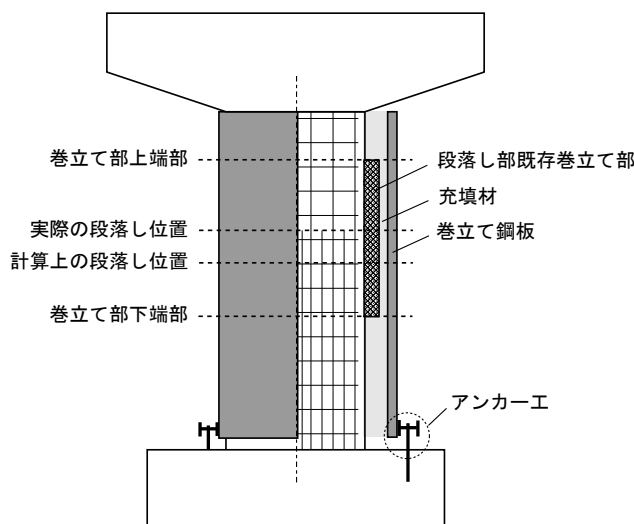


図-3.1 鋼板巻立て工法のイメージ図

本工法は、一般に橋脚のじん性向上、曲げ耐力およびせん断耐力の向上を目的として実施する工法であり、断面増加が数 cm 程度で済むため、側方余裕等が小さい場合には有利となる。さらに、施工の準備作業に並行して補強鋼板の製作が可能のため、現場での作業も比較的短期間で行うことができる。なお、長期的には腐食などの問題が生じるため、防食対策には十分な配慮が必要となる。本工法では、橋脚躯体コンクリートと鋼板の間隙には、無収縮モルタルまたはエポキシ樹脂を充填する。一般には、鋼板溶接の施工性に優れる無収縮モルタルを使用し、建築限界などのために断面増加に制約がある場合等は、エポキシ樹脂を用いることが多い。

また、橋脚基部には、鋼板下端とフーチング上面の間に間隙を設ける。これは、大きな地震力を受けた場合に、ここに塑性ヒンジが生じることを許容し、鋼板巻立てによる拘束を受けた状態でじん性のある曲げ破壊が生じるようにするためである。ただし、間隙が過大になると、鋼板による拘束効果が低減するため、この間隙は 50～100mm 程度とされている³⁾。

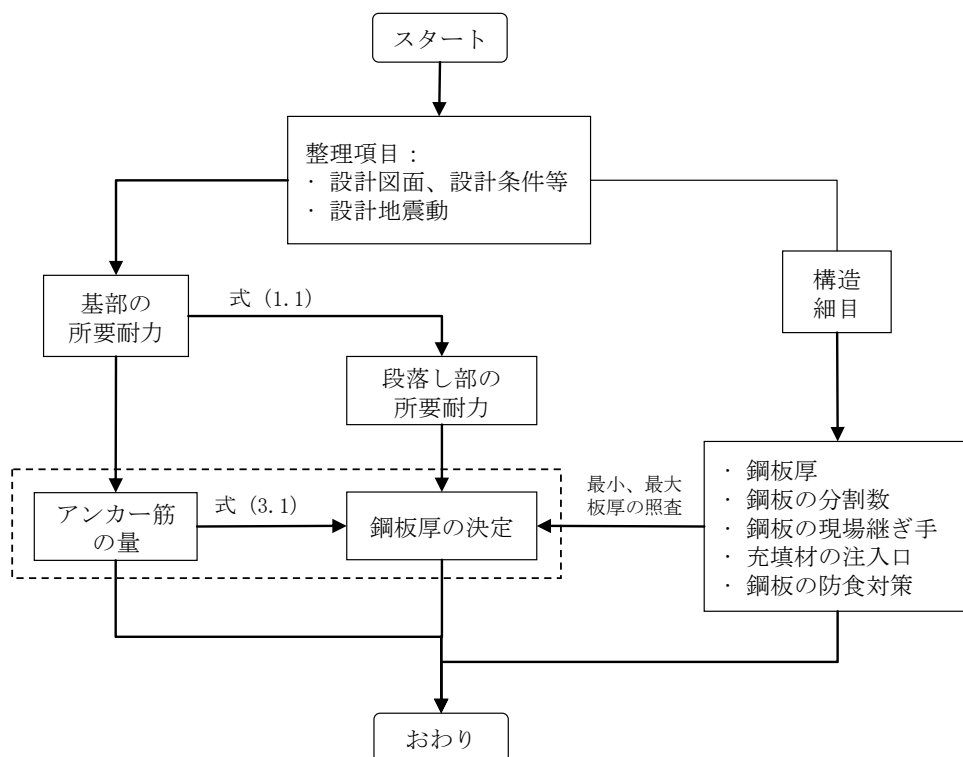
以下に本工法の特徴を示す。

- ①鉄筋コンクリート巻立て工法に比較して、補強部が薄くできるため建築限界等の制約を受けない。
- ②鋼板の防食対策が必要である。
- ③橋脚の断面形状が矩形の場合は、溶接した鋼板のはらみだし等を防ぐために鋼板の基部を拘束する円形鋼板もしくは拘束形鋼を用いる必要がある。

- ④一般には鋼板等の建てこみにクレーン等の重機が必要であり，狭隘な場所では，施工の制約を受ける場合がある．

3.2 設計

所要のせん断耐力，曲げ耐力およびじん性を確保するように，巻立て鋼板の厚さ，巻立て幅，アンカー筋の配筋を設計する．図－3.2 に鋼板巻立て工法の一般的な設計計算の流れを示す．設計上の留意点を以下に示す．



図－3.2 鋼板巻立て工法の設計計算の一般的な流れ

(1) 一般

- ①巻立て鋼板は，既設橋脚と一体となって地震力に抵抗するものとして設計する．
- ②巻立て範囲は，一般に橋脚躯体全体を巻立てることとする．
- ③フーチングへアンカー定着する必要がある場合は，じん性と曲げ耐力の向上をバランスさせることを念頭に，鋼板の厚さ，アンカーの径，間隔を検討する⁴⁾．
- ④補強後の躯体基部の曲げ耐力の算定に際しては，既設の鉄筋に加えてフーチングに定着したアンカー筋のみを考慮する⁴⁾．
- ⑤帯鉄筋の有効長は，巻立て部材厚が薄いため既設橋脚外側寸法としてよい．また，既設橋脚帯鉄筋と補強鋼板を合算し，帯鉄筋に換算する⁴⁾．
- ⑥大きな地震を受けて橋脚基部が塑性ヒンジ化した場合，鋼板により躯体コンクリートを確実に拘束することが重要となる．鋼板と橋脚躯体が適切に一体化されていれば，円形断面の場合は鋼板だけでも所要の拘束が得られるが，矩形断面の橋脚では，形鋼，コンクリート巻き等で橋脚基部を補強する必要がある．

- ⑦補強鋼板は鉄筋換算を行い，鉄筋コンクリート構造として設計する．既設橋脚躯体全周に鋼板を巻立てることから，コンクリートの拘束効果とせん断耐力の増加が期待できるため，鉄筋コンクリート巻立ての帯鉄筋として鋼板全断面を有効として取り扱う⁴⁾．
- ⑧鋼板の防食を考慮して根巻きコンクリートを施工するのが一般的である⁴⁾．

(2) 曲げ耐力制御式鋼板巻き立て工法の設計³⁾

本工法は，図-3.3に示すように，鉄筋コンクリート橋脚躯体を鋼板で巻き立て，アンカー筋を通じて鋼板をフーチングに定着させた構造である．

本補強工法の目的は，軸方向鉄筋段落し部を補強するとともに，橋脚の曲げ耐力とじん性の両者の向上を図ることにあり，図-3.4に示すように，アンカー筋によるフーチングへの鋼板の定着，鋼板下端とフーチング上面の間に設ける間隙等の特徴を有している．

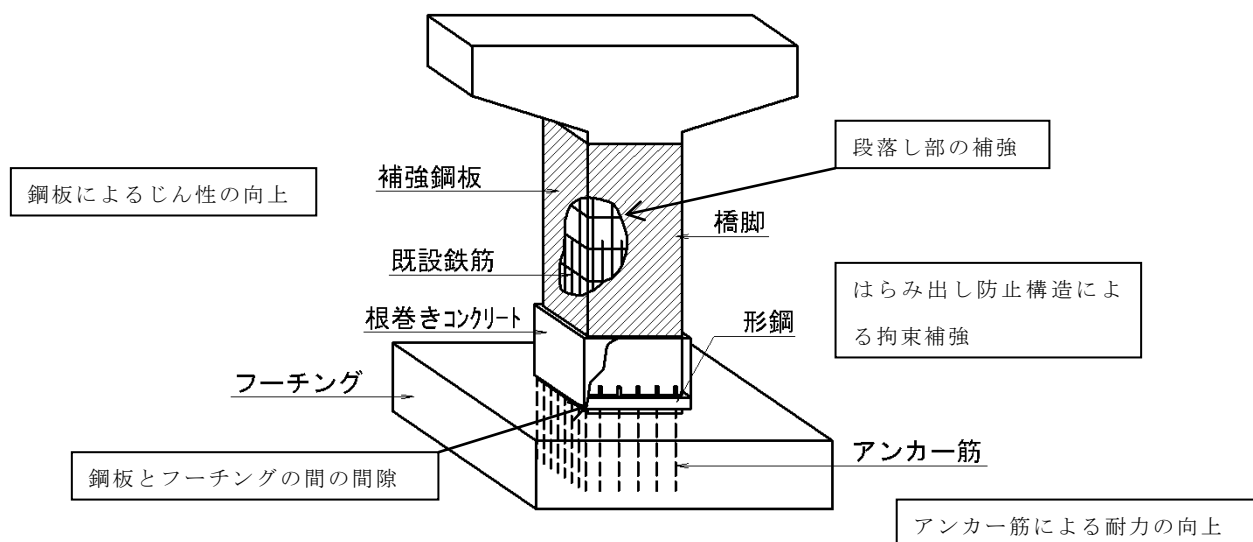


図-3.3 曲げ耐力制御式鋼板巻き立て工法

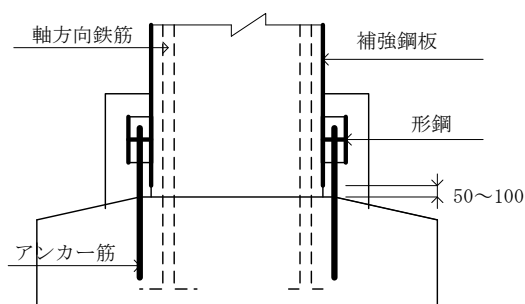


図-3.4 フーチング定着構造

まず，アンカー筋は，橋脚の曲げ耐力向上を図るとともに，フーチングに伝達される地震力をコントロールする役目を担っている．すなわち，アンカー筋の本数および径を調整すること

で補強による橋脚躯体の曲げ耐力の増加を制御することができ、全強で鋼板をフーチングに固定する場合よりも基礎へ伝達される地震力は小さくなる。ただし、アンカー筋の強度が鋼板と比較して相対的に強すぎると、橋脚基部において鋼板に局所的な座屈変形が生じることもある。そこで、このような鋼板の座屈変形が防止できるよう、鋼板厚さ t を式 (3.1) を満足するように決定することができる。

$$t \geq \frac{\sigma_{ya} A_a}{0.6 \sigma_{yi} S_a} \quad (3.1)$$

ここに、

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

ここで、式 (3.1) は、曲げ耐力制御式鋼板巻立て補強された模型供試体に対する正負交番載荷実験結果を基に設定されたものである。なお、本工法における鋼板厚さは、式 (3.1) による他にも、橋脚のせん断耐力や軸方向鉄筋段落し断面での曲げ耐力によって決定される場合もある。

さらに、矩形断面の場合には、鋼板下端部において断面を取り囲むように形鋼等を取り付ける。矩形断面橋脚の場合、橋脚基部に大きな曲率変形が生じると、鋼板下端部がはらみ出すように変形し、鋼板によるコンクリートの拘束効果が失われやすい。そこで、鋼板下端を形鋼等で補剛することにより、大変形時にでも鋼板が横拘束筋としての機能を発揮できるようにしたものである。形鋼を用いる場合には、橋脚断面寸法に応じて表-3.1 に示すものが基準となる。断面寸法が 4.5m を超える場合には、式 (3.2) により算出される値よりも大きな断面係数を有する形鋼等を用いる。

$$W = 0.15 \times a^2 \quad (3.2)$$

ここに、

- W : 断面係数(mm³)
- a : 断面寸法(mm)

表-3.1 下端拘束用形鋼の標準寸法

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

補強鋼板の表面は防食対策として塗装を実施するとともに、地中部ではコンクリートによる根巻きを行う。ただし、この根巻きコンクリートの強度が高すぎたり、配筋される鉄筋量が

多すぎると、橋脚基部に設けた間隙部に塑性ヒンジが生じなくなり、耐震補強の効果が得られなくなることに十分注意する必要がある。根巻きコンクリートは設計基準強度 $\sigma_{ck}=18\text{N/mm}^2$ とし、ひび割れ防止に異形鋼棒 D13 を 300mm 間隔で縦横に配筋する。ただし、周方向に配筋される鉄筋が横拘束鉄筋として機能しないような定着に留意する必要がある¹¹⁾¹²⁾。

なお、上記はあくまでも一般の橋に対する補強を示したものであり、実験や解析等による検討に基づいて別の補強工法を用いることを制約するものではない。

(3) 鉄筋コンクリートと円形鋼板を併用した下端拘束工法の設計^{11) 12)}

本工法は、図-3.5、図-3.6 に示すように、形鋼による拘束と同等の効果を有するように鉄筋コンクリートと円形鋼板を併用した工法である。拘束のための補強鋼材は、中詰めコンクリートの周囲に円形鋼板を配置する。アンカー定着する鉄筋は、橋脚柱の鋼板表面に取り付けられたスタッドジベルを介して補強鋼板に伝達する。

円形鋼板の設置はフーチング天端から $0.5D$ （矩形橋脚の短辺長）の範囲とする。この場合の補強鋼板と円形鋼板との重ね合わせ長さは $0.3D$ 以上を確保する。

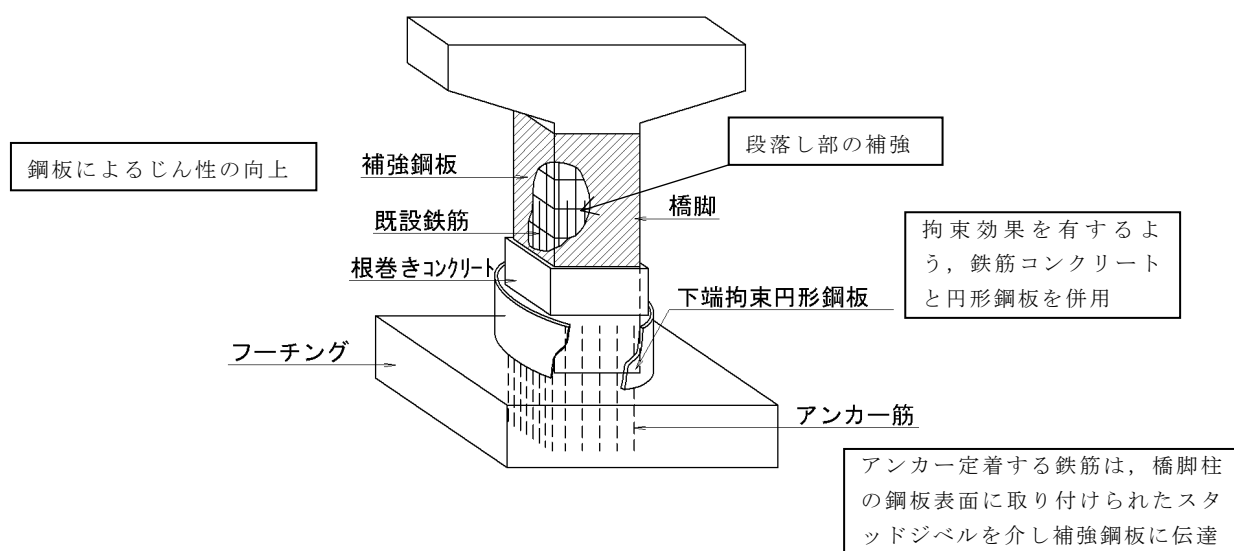


図-3.5 鉄筋コンクリートと円形鋼板を併用した下端拘束工法^{5) 11) 12)}

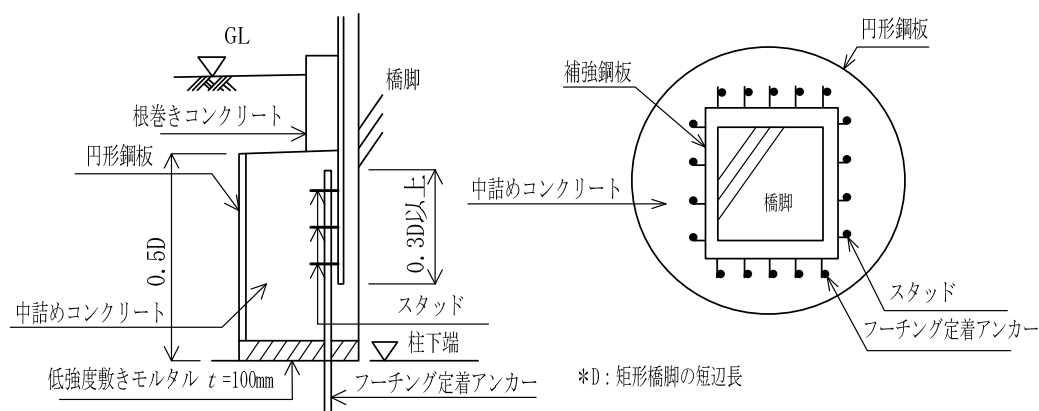


図-3.6 矩形橋脚下端部の補強鋼板拘束方法¹¹⁾

円形鋼板の直径は補強鋼板部分を含めた橋脚の対角線上に必要な根巻きコンクリート厚を加えた長さを標準とする。円形鋼板の板厚は補強鋼板と同じとするが、土中部にある円形鋼板は腐食代を 2mm 考慮する。円形鋼板と既設橋脚の間に充填する中詰コンクリートの強度は既設の躯体の強度と同等以上とする。また、帯鉄筋として径 13mm 以上の異形棒鋼を間隔 150mm 以下で配筋する（図-3.7 参照）¹¹⁾¹²⁾。

ここに、図-3.6 中のスタッドジベルは橋脚躯体軸方向に 2 段以上、間隔 100mm 以上で定着アンカーに沿って配置するものとし、スタッドジベルが溶植される鋼板に著しい変形が生じないように注意するのがよい。定着アンカー 1 本当たりのスタッドジベルの必要本数は次式により決定する⁹⁾¹¹⁾。

$$\Sigma Q \geq \Sigma T \quad (3.3)$$

$$T = A_s \cdot \sigma_{sy} \quad (3.4)$$

ここに、

Q : スタッドジベル 1 本あたりのせん断耐力(N)

T : 定着アンカー鉄筋 1 本あたりの降伏耐力(N)

A_s : 定着アンカー鉄筋 1 本あたりの断面積(mm²)

σ_{sy} : 定着アンカー鉄筋の降伏強度(N/mm²)

根巻きコンクリートは設計基準強度 $\sigma_{ck}=18\text{N/mm}^2$ とし、ひび割れ防止に異形鋼棒 D13 を 300mm 間隔で縦横に配筋する。ただし、周方向に配筋される鉄筋が横拘束鉄筋として機能しないような定着に留意する必要がある（図-3.7）¹¹⁾¹²⁾。

根巻きコンクリートの天端は、排水勾配として 2% 程度の勾配をつける。また、天端部で鋼板と根巻きコンクリートとの境界には、雨水などの浸入防止のためシーリングを行う⁴⁾。

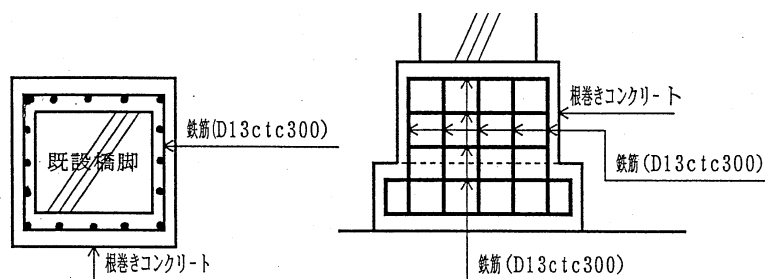


図-3.7 根巻きコンクリート⁵⁾

3.3 構造細目

(1) 鋼板の板厚

施工性、溶接性等から最小 6mm、加工性から最大厚 12mm までが標準的である⁴⁾。

(2) 鋼板の分割数

鋼板の分割数については、現場における施工条件を考慮し出来るだけ少なくすることが望ましい。また、鋼板の現場継手は、現場溶接継手とする。なお、矩形断面の場合には、隅角部は継手位置としない。鋼材の断面方向の分割数は、図-3.8 に示すように 4 分割を標準とする。鋼板重量は、施工方法によっても異なるが、5ton 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⁴⁾．

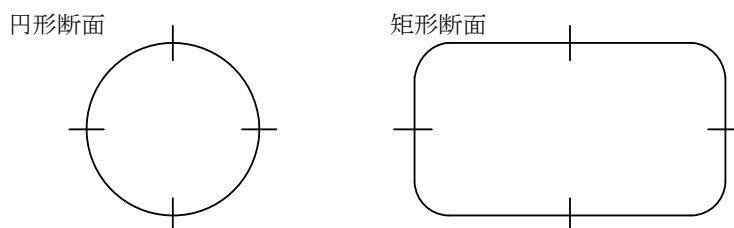
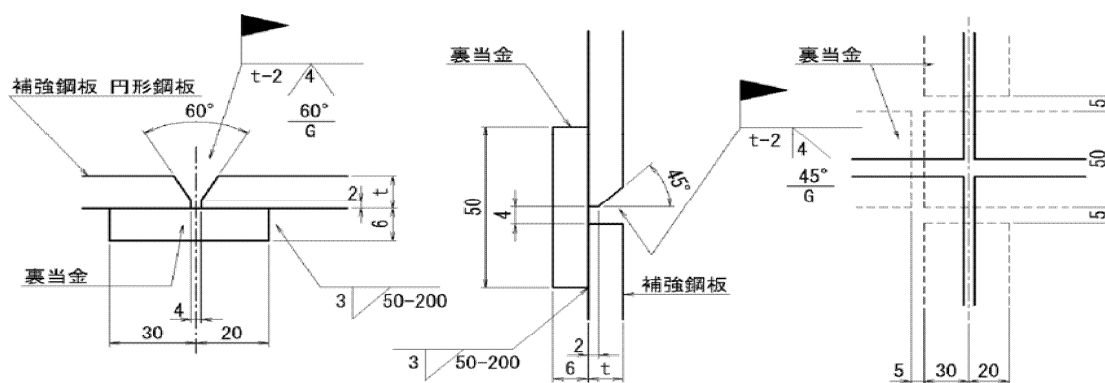


図-3.8 鋼板の継手位置³⁾

(3) 補強鋼板の現場継手

溶接施工性等を検討の上，良好な品質が得られるように開先形状を決定し，現場溶接を行う（図-3.9 参照）．



(a) 鉛直継手部の溶接

(b) 水平継手部の溶接

(c) 裏当金取合いの詳細

図-3.9 現場溶接継手形状の例⁵⁾¹¹⁾

(4) 鋼板固定用アンカーボルト

鋼板固定用アンカーボルトは，注入圧による鋼板の変形防止と均一な注入厚を確保するため必要となる．地上部は M16 皿ボルト，地下部は M16 普通六角ボルトとし，配置間隔は矩形断面 500mm，円形断面 1000mm⁴⁾ が標準的である．固定用アンカーボルトの形状を図-3.10 に示す．なお，鋼板固定用アンカーボルトを設置するために既設の巻立て繊維材の欠損部分が生じる場合には，欠損分を設計上考慮しない等の配慮を行うのがよい．

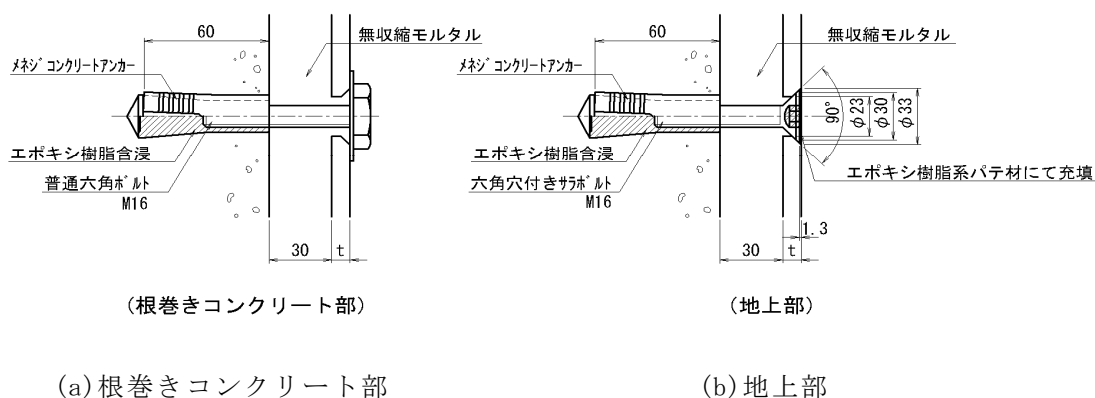


図-3.10 固定用アンカーボルトの例⁵⁾

(5) 充填材の注入口

充填材の注入口は、補強鋼板単位面積(m^2)あたり 1 本設置するのが標準的である⁴⁾。

(6) 補強鋼板の防食対策

塗装仕様の事例としては、外面を鋼道路橋塗装便覧¹³⁾の C-5 塗装系を基本とし、補強鋼板内側および根巻きコンクリートに接する鋼材の塗装仕様の例を表-3.2 に示す⁵⁾。

表-3.2 補強鋼板内面および根巻きコンクリートに接する鋼材の塗装仕様の例⁵⁾

	塗装区分	工程	塗装種類	塗装回数	標準使用量 $\text{gf/m}^2/\text{回}$	標準塗膜厚 $\mu\text{m}/\text{回}$
一般部	前処理	素地調整 プライマー	原板ブラスト 無機ジンクリッチプライマー	— —	— スプレー 200	— 15
	工場塗装	2 次素地調整 下塗り	製品ブラスト 無機ジンクリッチプライマー	— 1	— スプレー 700	— 75
溶接部	前処理	素地調整 プライマー	原板ブラスト 無機ジンクリッチプライマー	— —	— スプレー 200	— 15
	現場塗装	2 次素地調整 下塗り	動力工具処理 変性エポキシ樹脂塗料下塗	— 1	— はけ 240	— 60

(7) 表面処理

既設橋脚を鋼板で巻立てる場合には、その空隙が確実に充填されることが重要であり、鉄筋コンクリート巻立てのように新旧コンクリートの一体化を図るものとは相違する。このため、ディスクサンダー工法による表面処理等、既設橋脚コンクリートの表層の風化層や汚れを除去する程度の表面処理でよい。

主鉄筋段落し部の既存の繊維材補強部の表面処理としては、1.2 で述べたように処理方法の選定を行う。表面の汚れの除去や全体的に目荒らしとなるまで表面処理を行う程度でよい。

3.4 使用材料

(1) 鋼材

鉄筋コンクリート橋脚の補強に用いる巻立て鋼板の材質は、現場での溶接性を考慮し SM400 が標準的である³⁾。

(2) 既設橋脚と鋼板の接着⁴⁾

既設橋脚と鋼板との充填には、接着効果を期待してエポキシ樹脂を用いることが考えられるが、実験結果によれば無収縮モルタル充填とエポキシ充填で補強効果に大差がないことから、無収縮モルタル充填が標準的となっている。ここで、無収縮モルタルを注入する際の厚さは、充填性および既設のコンクリート表面の不陸、施工実績等より 30mm、エポキシ樹脂を用いる場合は 4mm が標準的である。このため、建築限界等により断面を増加させることに制約がある場合には、充填材にエポキシ樹脂を用いることが多い。なお、3 箇年プログラムによる既設の繊維材巻立て補強が実施されている場合には、断面が多少大きくなっていることから、施工性も踏まえて、空隙量の設定を行うことが必要とされる。

(3) アンカー用の鉄筋

アンカー用の鉄筋としては一般に SD345 を用いる場合が多い^{4) 11)}。

【参考文献】

- 1) (財) 海洋架橋・橋梁調査会：既設橋梁の耐震補強工法事例集，平成 17 年 4 月
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅴ耐震設計編，平成 14 年 3 月
- 3) 日本道路協会：既設道路橋の耐震補強に関する参考資料，平成 9 年 8 月
- 4) 日本道路公団：設計要領第二集 橋梁保全編，平成 9 年 11 月
- 5) 国土交通省関東地方整備局：既設橋梁の耐震補強マニュアル，平成 17 年 2 月
- 6) 阪神高速道路公団保全施設部：R C 橋脚耐震補強設計・施工要領（案），平成 9 年 7 月
- 7) 建設省土木研究所：桁座拡幅に関する実験資料および桁座拡幅標準設計（改訂案），土木研究所資料第 1828 号，昭和 57 年 3 月
- 8) 日本道路協会：「兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係る仕様」の準用に関する参考資料(案)，平成 7 年 6 月
- 9) 首都高速道路公団：既設 R C 橋脚の耐震性向上 設計・施工要領（案），平成 6 年 5 月
- 10) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅳ下部構造編，平成 14 年 3 月
- 11) 国土交通省近畿地方整備局：設計便覧（案）第 3 編 道路編，平成 12 年 4 月
- 12) 国土交通省関東地方整備局：既設鉄筋コンクリート橋脚耐震補強 施工管理マニュアル（案），平成 10 年 7 月
- 13) 日本道路協会：鋼道路橋塗装・防食便覧，平成 17 年 12 月
- 14) 土木学会：定着・継手指針（2007 年版），2007 年 8 月