

アウトプレート工法

設計・施工マニュアル(案)

改訂版

平成 18 年 8 月

アウトプレート工法研究会

ま え が き

わが国のプレストレストコンクリート橋は、昭和26年に石川県七尾市で長生橋が建設されて以来、高度成長期に多数の橋梁が建設された。また、明治時代から建設されている鉄筋コンクリート橋を加えると、コンクリート橋は膨大な社会資本として蓄積されている。わが国も高度成長期を終え、高齢化社会の入り口に差し掛かっており、新しい社会資本の建設もさることながら、今までに蓄積された建造物の維持管理が重視されてきている。

コンクリート橋の補強工法は、従来の鋼板接着工法や炭素繊維接着工法、プレストレス導入工法として外ケーブル工法が数多く採用されている。特に、外ケーブル工法は、既存構造物にプレストレスを導入し直接的に発生応力を改善するという観点から、既設構造物の耐荷力の向上に有効な工法として取り上げられてきた。しかしながら、高い補強性能を有するが故、定着部施工の煩雑さや緊張材の装置が大型のため適用条件の制約が厳しい等、いくつかの課題を抱えている。

このような状況の中で、炭素繊維をプレート状に加工し、これを緊張材として緊張ならびに定着するアウトプレート工法を開発した。本工法は、小容量ながら構造物にプレストレスを導入するため、外ケーブル工法と同様な補強効果が発揮され、外ケーブル工法が抱える課題も解消できる工法である。また、本工法の活用により、PC橋のみではなくRC橋にも適用できる等、適用性が向上した。

この度、アウトプレート工法研究会では、「アウトプレート工法 設計・施工マニュアル」を改訂することになった。平成16年11月に初版を発刊して以来、本工法による補強実績は順調に推移し、現在10件以上施工されている。これらの施工経験を現マニュアルに反映させ、さらに簡容で安全なプレストレス導入工法として、既設構造物に適用できるように改訂した。

今後も、本工法の実績の積み重ね、種々の改善点を取り入れて、アウトプレート工法がより一層充実した工法となるよう、皆様のご意見、ご指導をお願いする次第である。

平成18年8月
アウトプレート工法研究会

目 次

第1章 総 則	1
1.1 適用の範囲	1
1.2 用語の定義	2
1.3 アウトプレート工法の概要	3
第2章 使用材料	4
2.1 アウトプレート	4
2.2 定着装置	6
2.3 中間定着体	7
2.4 不陸調整材	7
2.5 プライマー	8
2.6 接着樹脂	8
2.7 定着装置の保護材	9
2.8 プレート仕上げ材	9
第3章 設 計	10
3.1 設計の基本	10
3.1.1 一般	10
3.1.2 設計手順	12
3.1.3 断面力の算出	13
3.1.4 プレストレスカ	14
3.2 許容応力度	15
3.3 部材の照査	16
3.3.1 一般	16
3.3.2 曲げモーメント又は軸方向力が作用する部材の照査	16
3.3.3 せん断力が作用する部材の照査	21
3.4 構造細目	22
3.4.1 一般	22
3.4.2 アウトプレートの配置	22
3.4.3 定着装置	23
3.4.4 中間定着体	24
3.4.5 定着装置の防錆	24
3.4.6 他の工法との併用	25
3.4.7 偏向構造	26
3.4.8 多層配置	26

第4章 施工	27
4.1 施工一般	27
4.1.1 施工計画	27
4.1.2 施工手順	28
4.2 施工細目	29
4.2.1 現地の調査	29
4.2.2 既設構造物の調査	30
4.2.3 アンカーの削孔	31
4.2.4 定着部コンクリートのはつり	32
4.2.5 アンカーの設置	33
4.2.6 固定プレートの設置	34
4.2.7 コンクリートの表面処理	36
4.2.8 中間定着体の設置	37
4.2.9 アウトプレートの設置	38
4.2.10 アウトプレートの緊張	40
4.2.11 定着体の保護	43
4.2.12 炭素繊維プレートの仕上げ	44
4.2.13 施工管理試験	45
第5章 維持管理	47
5.1 一般	47
5.2 調査	47
5.3 補修	47
5.4 取り換え	48
資料	49
1. 技術資料	49
2. 設計例：ポストテンション方式T桁橋	54
3. 定着装置の計算	62

第1章 総 則

1.1 適用の範囲

本マニュアルは、アウトプレート工法によるコンクリート構造物の補強設計と施工に適用する。

【解 説】

本マニュアルは、鉄筋コンクリートもしくはプレストレストコンクリートなどのコンクリート構造物を、アウトプレート工法により補強する場合の設計と施工に対して規定するものである。本マニュアルに規定されていないことがらについては、道路橋示方書の規定、関連する技術基準ならびに技術資料を参考にして、補強目的を十分に理解した上で適用することが望ましい。

図-解 1.1 に、中空床版橋に対してアウトプレート工法による補強を適用した場合の概要を示す。

アウトプレート工法は、補強した部材の曲げ破壊耐力を向上することができる。また、コンクリートや鉄筋等の構成材料に作用する応力を緩和するとともに、既存ひび割れの幅を制御することができるので耐久性の向上にも効果を発揮する。さらに、コンクリート構造物の補強に限定されず、引張部材の補強工法として、鋼構造物に対しても適用の可能性が期待されている。

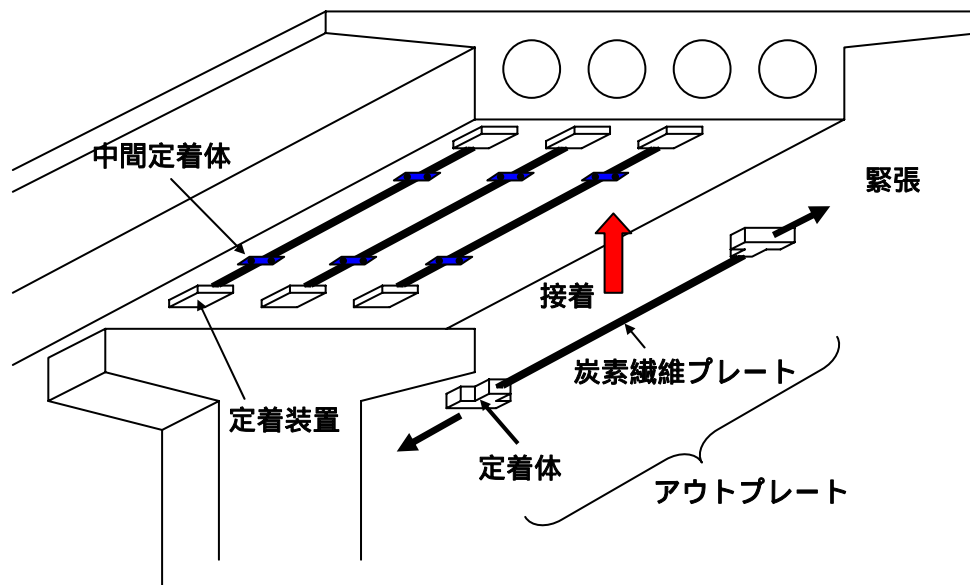


図-解 1.1 アウトプレート工法による補強

1.2 用語の定義

本マニュアルで用いる用語の意味は、次の通りとする。

- 1) アウトプレート : 炭素繊維プレートの両端に工場で定着体を一体化した緊張材。
- 2) 炭素繊維プレート : 炭素繊維プレートとは、CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer 炭素繊維強化ポリマー) を帯板状にした連続繊維補強材をいう。製造方法は、工場で引き抜き成形装置を用いて、装置内で炭素繊維に樹脂を浸透させ、金型内で加熱硬化させて、矩形断面の長尺の板材を連続成形して生産する。
- 3) 定着体 : 定着体とは、アウトプレートを固定プレートに定着するために炭素繊維プレートの両側に設けられた金具をいう。
- 4) 固定プレート : 固定プレートとは、アウトプレートをコンクリート部材に定着するために、固定アンカーで取り付けられた金具をいう。
- 5) 定着装置 : 定着装置とは、アウトプレートと固定プレートを定着し、プレストレスをコンクリート部材に導入する装置全体を示す。アウトプレートの定着体、固定プレート、固定アンカーならびに定着ボルト・ナットで構成される。
- 6) 中間定着体 : 中間定着体とは、炭素繊維プレートの剥離防止もしくは遅延させるため、アウトプレートの中間に設置する定着体をいう。
- 7) 不陸調整材 : 固定プレートとコンクリート面の不陸を調整するパテ材。
- 8) プライマー : コンクリートの表面に浸透させてコンクリート面を強化するとともにコンクリートと炭素繊維プレートの付着性を向上させる樹脂をいう。
- 9) 接着樹脂 : 炭素繊維プレートをコンクリート面に接着する樹脂。
- 10) プレート仕上げ材 : 炭素繊維プレート表面に塗布する塗料やモルタルなどの仕上げ材。
- 11) 定着装置保護材 : 定着装置の保護と防錆の目的で用いられる材料をいう。

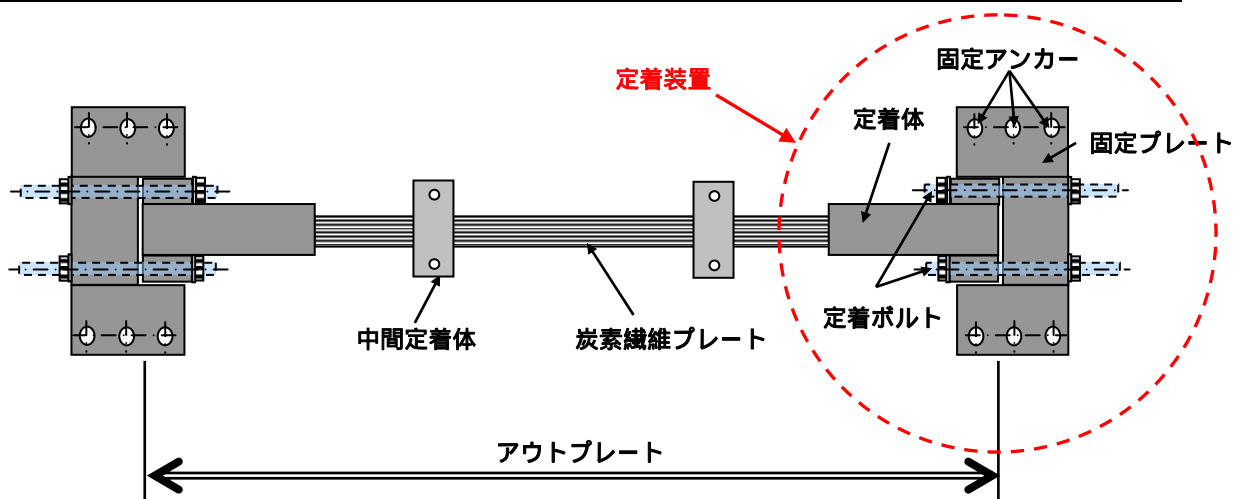


図-解 1.2 アウトプレートのシステム

1.3 アウトプレート工法の概要

アウトプレート工法は、炭素繊維プレートの両端に定着体を工場で一体化した緊張材（アウトプレート）を緊張してコンクリート部材に定着ならびに接着し、コンクリート構造物を補強する工法である。

【解説】

炭素繊維は、高強度で耐腐食抵抗性を有する優れた材料で、鋼材と比較すると軽量かつ柔軟な材料である。炭素繊維シートをエポキシ樹脂などでコンクリート構造物に接着する補強工法は、施工性に優れた補強方法として近年多く採用されている。しかしながら、炭素繊維シート接着工法の場合、補強後の作用荷重が対象であり、補強前に発生しているコンクリートの引張応力やひび割れは抑制できない。また、終局時の曲げ耐力は、炭素繊維シートの剥離の有無を考慮して算定しなければならず、高い引張強度が必ずしも有効に活用されていないのが現状である。

このような背景から、本工法では、炭素繊維の高強度な材料特性を活用し、引き抜き成形された炭素繊維プレートを直接、緊張することにより、コンクリート部材にプレストレスを導入する方法を実用化した。プレストレスの導入効果により、補強前の死荷重あるいは超過荷重による応力および変形を改善することができ、既存のひび割れを積極的に制御することが可能となる。

以下に、アウトプレート工法による補強効果をまとめる。

曲げ耐力の向上

曲げ耐力が向上する。鉄筋コンクリート構造では、鉄筋応力が改善される。

ひび割れの抑制

ひび割れに対して抑制効果があり、ひび割れ発生荷重を上限に設定できる（図-解 1.3）。

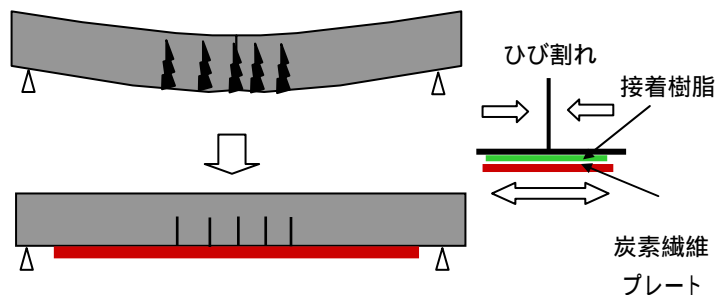


図-解 1.3 ひび割れの抑制効果

たわみの回復

死荷重のたわみに対しても有効である。

耐久性の向上

ひび割れ拘束により、有害物質の浸透が制御され、疲労耐久性が向上する。

景観性の維持

外ケーブルと比べ緊張材が薄く、コンクリートに接着する工法のため、建築限界や河川限界に影響せず、本体の景観性は、補強後においても変化がない。

優れた維持管理性

腐食しない炭素繊維を採用し、定着装置に十分な防錆処理を講じるため、維持管理に優れている。

連続桁支点上の補強が下面から可能

プレストレスによる不静定力を活用することで、上面からの補強に依存せず、下面補強のみで対処できる（図-解 1.4）。

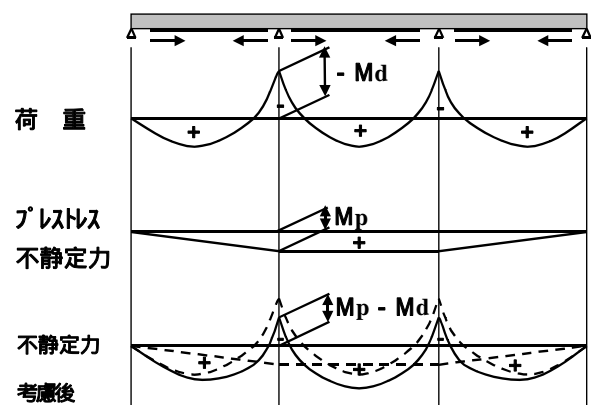


図-解 1.4 曲げモーメントの分布

第2章 使用材料

2.1 アウトプレート

- 1) アウトプレートは、補強設計で要求される力学的性能および物理・化学的性能を満足しなければならない。
- 2) アウトプレートは、炭素繊維プレートを使用し、工場で端部に定着体を一体化することを原則とする。
- 3) 端部の定着体は、鋼製を標準とし、アウトプレートの保証耐力まで有害な抜け出しが生じない構造と性能を有していなければならない。

【解説】

- 1) 炭素繊維プレートの両側に定着体を一体化したアウトプレートの性能を表-解 2.1 に示す。
360kN 型のアウトプレートの厚みは、炭素繊維(2mm)敷布およびガラス繊維で補強されているため、総厚は3mmである。

表-解 2.1 アウトプレートの性能

緊張材の呼称		240kN 型	360kN 型
CFRP プレート	補強繊維	高強度カーボン	高強度カーボン ・ガラス繊維
	幅 (mm)	50 ± 2	75 ± 2
	厚さ (mm)	2.0 ± 0.2	3.0 ± 0.3
	断面積(公称値) (mm ²)	100	225
	引張耐力 (kN)	240 以上	360 以上
	引張弾性率 (kN/mm ²)	165 ± 17	120 ± 12
	耐久性	炭素繊維シートと同等以上 (促進暴露 2000 時間後、強度が初期値から著しく低下しないこと)	
定着部の引張耐力 (kN)	240 以上	360 以上	
定着部の防食	重防食塗装		

炭素繊維プレートに関する他の材料特性を簡単に説明する。

(1) リラクゼーション

炭素繊維プレートの純リラクゼーションは、6.0%とする。純リラクゼーションには、コンクリートの乾燥収縮およびクリープの影響は含まれていない。

(2) 紫外線遮蔽性

炭素繊維プレートは、2000 時間の促進暴露試験結果により、紫外線に対して引張強度が低下しないことが確認されている。

(3) 耐熱性

炭素繊維プレートの耐熱性は、樹脂を使用していることから 60~70 である。

(4) 耐海水性

他の炭素繊維材では、既往の試験結果がある。炭素繊維ロッドでは海水を1年間噴霧する試験、炭素繊維ケーブルでは3年6ヶ月間の海洋暴露試験、いずれの試験においても引張強度が低下しなかったことが確認されている。

2) 炭素繊維プレートは、強化繊維に炭素繊維を使用し、プルトルージョン法（引抜成型法）により、工場で製作されたものを使用する。アウトプレートは、鋼製の定着体に所定の長さに切断した炭素繊維プレートを挿入し、定着用膨張材を充填して鋼製の定着体と炭素繊維プレートを一体化する。炭素繊維プレートの梱包や運搬状態の許容最小曲げ半径（プレストレスが導入されていない状態）は、50cm とする。

3) 図-解 2.1 に示す鋼製定着体は、炭素繊維プレートを確実に定着できるとともに、膨張材の膨張圧や炭素繊維プレートの緊張力に対して所要の耐力を有するものでなければならない。鋼製定着体は、炭素繊維プレートの引張強度以上を耐力とし、240kN と 360kN の 2 種類である。

鋼製の定着体は、SM490Y などの鋼材を使用して製作されるが、機械的性質、化学組成、有害成分の制限など品質の確かめられた鋼材を使用する。また重防食塗装などの仕上により十分な耐食性を有するものとする。

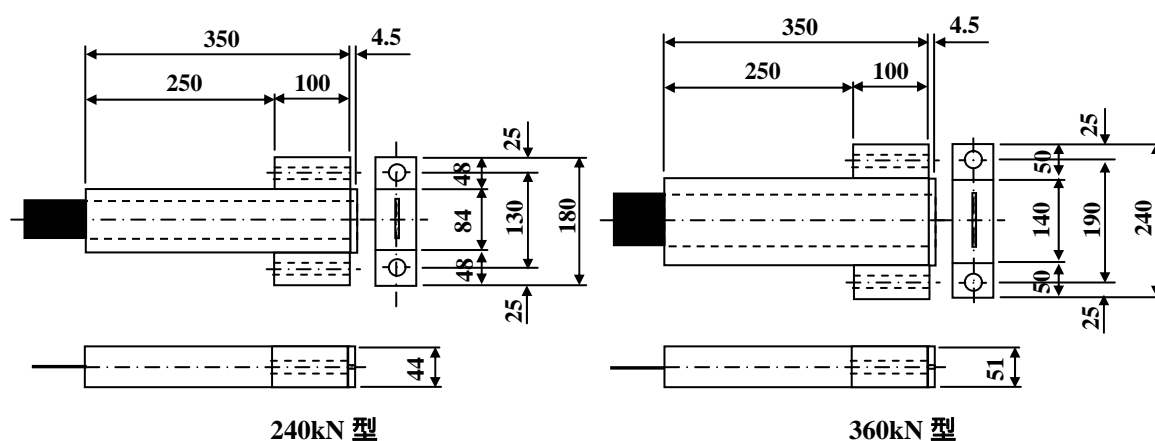


図-解 2.1 鋼製定着体

2.2 定着装置

- 1) 定着装置は、固定プレート、固定アンカーおよび定着ボルトで構成され、鋼製を標準とする。
- 2) 使用する材料は、機械的性質、化学組成、有害成分の制限、形状寸法等の特性や品質が確かなものでなければならない。

【解説】

- 1) 固定プレートは、コンクリートに固定アンカーで定着する。この定着方法として、市販の樹脂アンカーを使用するのがよい。樹脂の性能は、固定アンカーに要求される力学的性能を満足するとともに十分な耐久性を有していなければならない。
定着装置の各部品に付随するナットおよび平座金は、その部品に要求される力学的性能を満足しなければならない。
- 2) 標準的な材質を表-解 2.2 に示す。固定プレートは、溶接加工を行わず切断加工のみで製作する場合、SS 材（一般構造用圧延鋼材）を用いてよい。固定アンカーおよび定着ボルトは、SCM 材（調質材）を用いる。

表-解 2.2 定着装置の材質

	鋼材記号	規格	
固定プレート	SM490	溶接構造用圧延鋼材	JIS G 3106
固定アンカー	SCM440	クロムモリブデン鋼鋼材	JIS G 4053
定着ボルト	SCM440	クロムモリブデン鋼鋼材	JIS G 4053

2.3 中間定着体

- 1) 中間定着体は、鋼製を標準とする。
- 2) 使用する材料は、機械的性質、化学組成、有害成分の制限、形状寸法等の特性や品質が確かなものでなければならない。
- 3) アウトプレートと中間定着体の間に設ける緩衝材は、テフロン板を使用するのがよい。

【解説】

- 1) 中間定着体の炭素繊維プレートと接触する側の面のコーナー部は、表-解 2.2 に示すように炭素繊維プレートの損傷を防止するため、面取りを行う。



図-解 2.2 中間定着体の面取り

また、中間定着体は、鋼材の防錆を考慮した場合、ステンレス鋼を使用するのが望ましい。中間定着体は、コンクリートにアンカーで定着し、その定着方法として、固定プレートと同様に、市販の樹脂アンカーを使用する。樹脂の性能は、アンカーに要求される力学的性能を満足するとともに十分な耐久性を有している必要がある。

中間定着体に付随するナットおよび平座金は、中間定着体に要求される力学的性能を満足しなければならない。なお、中間定着体にステンレス鋼を使用した場合、電食防止のためにアンカーボルト、座金、ナットもステンレス鋼とする。

- 2) 中間定着体とアウトプレートの間には、炭素繊維プレートの傷防止および緊張作業時の摩擦力低減のため緩衝材を挟んで使用する。緩衝材には、一般的に厚さ 1mm 程度のテフロン板を用いるのが良い。

2.4 不陸調整材

不陸調整材は、固定プレートとコンクリート面との隙間に対して注入するため、充填性ならびに所要の強度および耐久性が必要であり、注入時の作業性に優れたものを使用しなければならない。

【解説】

不陸調整材として、セメント系注入材料、エポキシ樹脂、無収縮モルタルなどがある。その中で、エポキシ樹脂に関する性能を表-解 2.3 に示す。エポキシ樹脂は、5 未満の低温や湿度 85% 以上の高湿時やコンクリート表面に結露がある場合には、原則として施工してはならない。可使時間は温度に依存し、冬用、夏用など種類があるので現場の状況に応じて適切に選定する。

表-解 2.3 エポキシ樹脂の性能

試験項目	規格値	試験方法
圧縮強度	コンクリ - トの設計基準強度以上	JIS K 7181
圧縮弾性率	4.0 kN/mm ² 以上	JIS K 7181
引張せん断強度	9.8 N/mm ² 以上	JIS K 6850
コンクリート接着強度	1.5 N/mm ² 以上	JIS A 6909

2.5 プライマー

- 1) プライマーは、コンクリート表層部に浸透し微細な凹部を埋め、かつコンクリートの表面にむらのない塗膜を形成することが可能な粘性を有するものでなければならない。
- 2) プライマーは、十分な接着強度と耐久性を有するものでなければならない。

【解説】

プライマーは、可使時間や粘度など、混合量や施工環境温度、および、塗布するコンクリート面の乾燥状態によって浸透性、塗布性が変化する。したがって、プライマーは、各施工環境下で使用可能であり、良好な施工性を有するものでなければならない。エポキシ樹脂系プライマーは、5 未満の低温や湿度85%以上の高湿時やコンクリート表面に結露がある場合には、原則として施工してはならない。接着樹脂の可使時間は、温度に依存し、冬用、夏用など種類があるので現場の状況に応じて適切に選定する。必要に応じて、加温養生など適切な養生を行うものとする。

エポキシ樹脂系プライマーの性能を表-解 2.4 に示す。

表-解 2.4 プライマーの性能

試験項目	規格値	試験方法
接着強度	1.5N/mm ² 以上	JIS A 6909

2.6 接着樹脂

- 1) コンクリートと炭素繊維プレートの接着する接着樹脂は、炭素繊維プレートとコンクリートの接着剤としての接着強度等などの所要の品質を確保できるものでなければならない。
- 2) コンクリートと炭素繊維プレートの接着剤として、十分な耐久性を有していなければならない。

【解説】

接着樹脂の性能を表-解 2.5 に示す。接着樹脂は、アウトプレート用の接着樹脂として施工性や接着性が確認されたものを使用しなければならない。エポキシ樹脂は、5 未満の低温や湿度 85%以上の高湿時やコンクリート表面に結露がある場合には、原則として施工してはならない。接着樹脂の可使時間は、温度に依存し、冬用、夏用など種類があるので現場の状況に応じて適切に選定する。必要に応じて、加温養生など適切な養生を行うものとする。

一方、既設構造物において、接着面の不陸ならびにたわみが大きい場合や炭素繊維プレートを偏向した場合、接着面と炭素繊維プレートの隙間が大きく、最大で 30 mm程度となる。その場合、接着樹脂は、接着剤よりも間詰材としての機能が優先されるため、表-解 2.5 に示す規格値を緩和し、施工中にだれの少ないエポキシ樹脂モルタルを使用してもよい。

表-解 2.5 接着樹脂の性能

試験項目	規格値	試験方法
圧縮強度	34 N/mm ² 以上	JIS K 7181
引張せん断強度	9.8 N/mm ² 以上	JIS K 6850
コンクリート接着強度	1.5N/mm ² 以上	JIS A 6909

2.7 定着装置の保護材

定着装置の保護材は、定着装置を保護するため、十分な強度と耐久性を有するものでなければならない。

【解説】

定着装置の保護方法として、定着装置の鋼製部分に防錆塗料を塗布し、保護カバーを設け、その中にグラウト材などの防錆材を注入する図-解 2.3 の方法がある。保護カバーには、鋼製や FRP 製のものがあり、最近はその加工性から鋼製のものが多い。FRP 製の保護カバーは腐食の恐れはないが、鋼製の保護カバーを用いる場合は、亜鉛めっきなど適切な防食措置を予め行う必要がある。保護カバーは、中にグラウト材を注入する場合、グラウト材の注入圧力に耐える構造でなければならない。グラウト材は、保護カバーがシースのようなダクト構造でないため、粘性の低いものが適している。

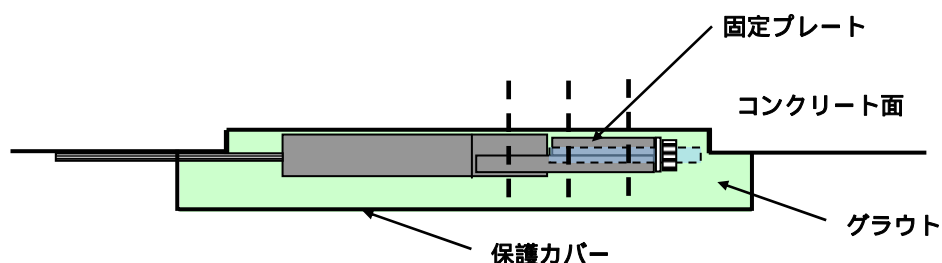


図-解 2.3 定着装置の保護

2.8 プレート仕上げ材

炭素繊維プレートの仕上げ材は、美観の確保や炭素繊維プレートの変色や損傷の防止など目的に応じたものを選定する。また仕上材は、十分な耐久性を有するものでなければならない。

【解説】

炭素繊維は、促進暴露試験などにより耐久性にすぐれていることが確認されている。しかしながら、紫外線により炭素繊維プレート表面の樹脂が黄色などに変色することがあるので、塗装など適切な仕上げを行うのが良い。塗料には、アクリルウレタン塗料、エポキシ樹脂塗料、フッ素塗料など数種類ある。

また、炭素繊維プレート表面の損傷保護を目的とする場合は、モルタル仕上げなどを行う。仕上材は、炭素繊維プレートおよびコンクリートとの付着が確保できるもので、十分な耐久性を有するものでなければならない。

第3章 設 計

3.1 設計の基本

3.1.1 一 般

- 1) アウトプレート工法によるコンクリート部材の補強設計は、本章の規定によることを原則とする。補強設計は、対象部材の損傷の状況や設計荷重に基づいて補強水準を適切に定めて行うものとする。
- 2) 定着装置は、アウトプレートに導入されたプレストレス力を既設のコンクリートに対して確実に伝達できる構造でなければならない。
- 3) 定着装置を設ける位置は、既設のコンクリート部材に有害な応力やひびわれが発生しないことを確認して決定しなければならない。

【解 説】

- 1) アウトプレート工法による補強は、主に死荷重や交通車両の増加に対して実施するものであり、設計荷重作用時においては、プレストレス力によりコンクリートに発生する引張応力の低減を図ることができる。

アウトプレートは、ほとんど偏向させることなくコンクリート面に接着して配置するため、せん断力作用方向に寄与するプレストレス力は少なく、基本的には曲げ耐力を増加するための補強工法である。但し、コンクリートが負担するせん断耐力の増加分としてプレストレスの導入に伴い作用軸方向力が増加することを考慮してもよい。

本来、補強設計は、作用断面力と構造物が保有する耐力を比較して補強水準を決定する。しかし、アウトプレート工法は、引張応力等により発生したコンクリートひび割れに対して直交する方向に緊張・接着することにより、ひび割れ幅を抑制する効果も有しているため、ひび割れ等の損傷水準にも対応できるよう適切に補強水準を決定するのがよい（**図-解 3.1** 参照）。

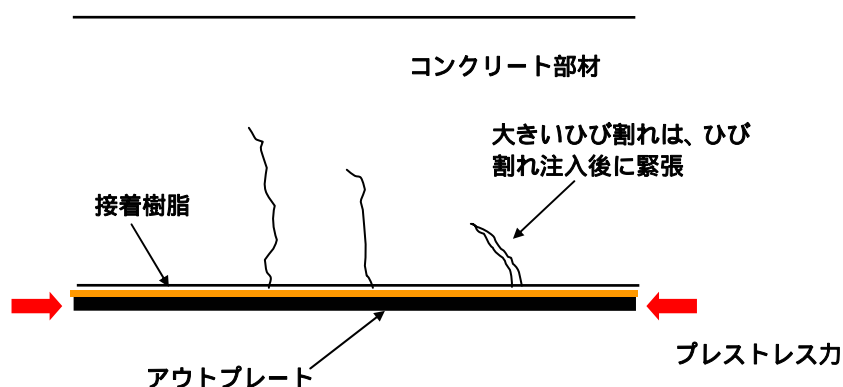


図-解 3.1 ひび割れに対する補強

- 2) 図-解 3.2 に示す定着装置の固定プレート、定着ボルトならびに固定アンカーは、アウトプレートに導入したプレストレス力をコンクリートに確実に伝達できる安全な構造ならびに強度を有していなければならない。定着装置は、アウトプレートの保証耐力に対して設計する。

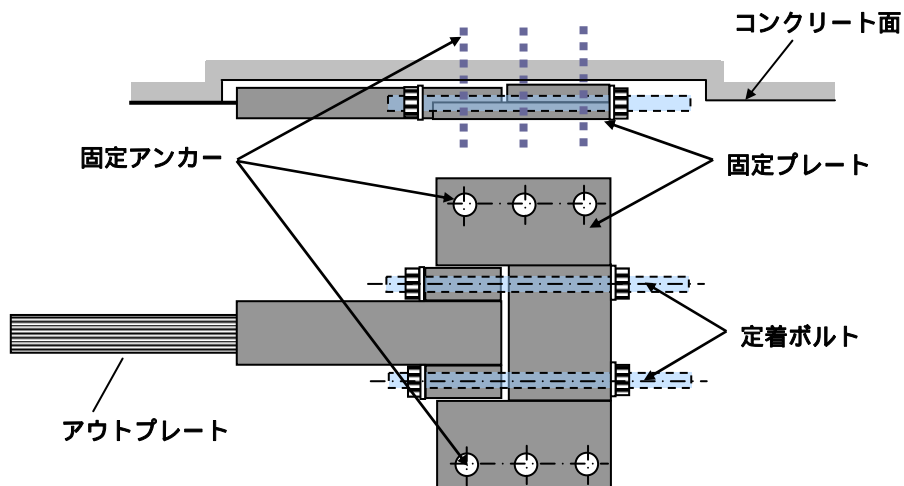


図-解 3.2 定着装置

- 3) 定着装置は、複数本の固定アンカーでコンクリートに定着される。固定アンカー背面付近のコンクリートには、プレストレスにより僅かながら引張応力が発生するため、定着装置は圧縮応力が作用している部位に定着するのがよい。図-解 3.3 に3径間連続ばりの曲げモーメント分布を示すが、部材の下面にアウトプレートを設置する場合、中間支点は負の曲げモーメントが発生している領域に、端支点は正の曲げモーメントが小さい領域に設けるのがよい。定着によるプレストレスの効果は定着アンカー位置から考慮して良い。但し断面によっては有効高を考慮する必要がある。

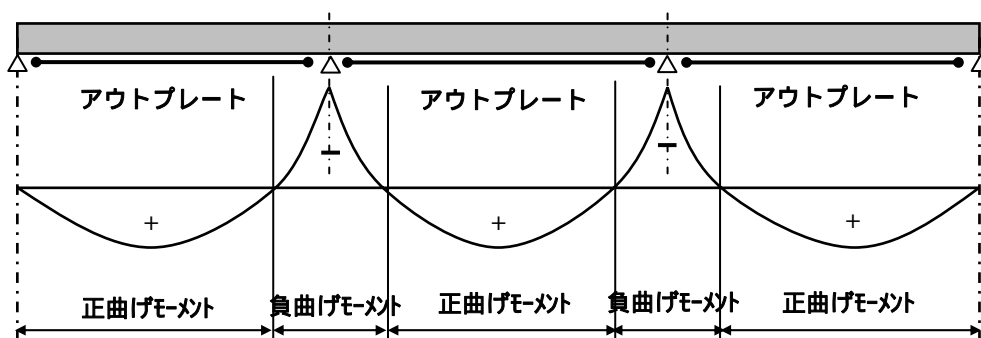
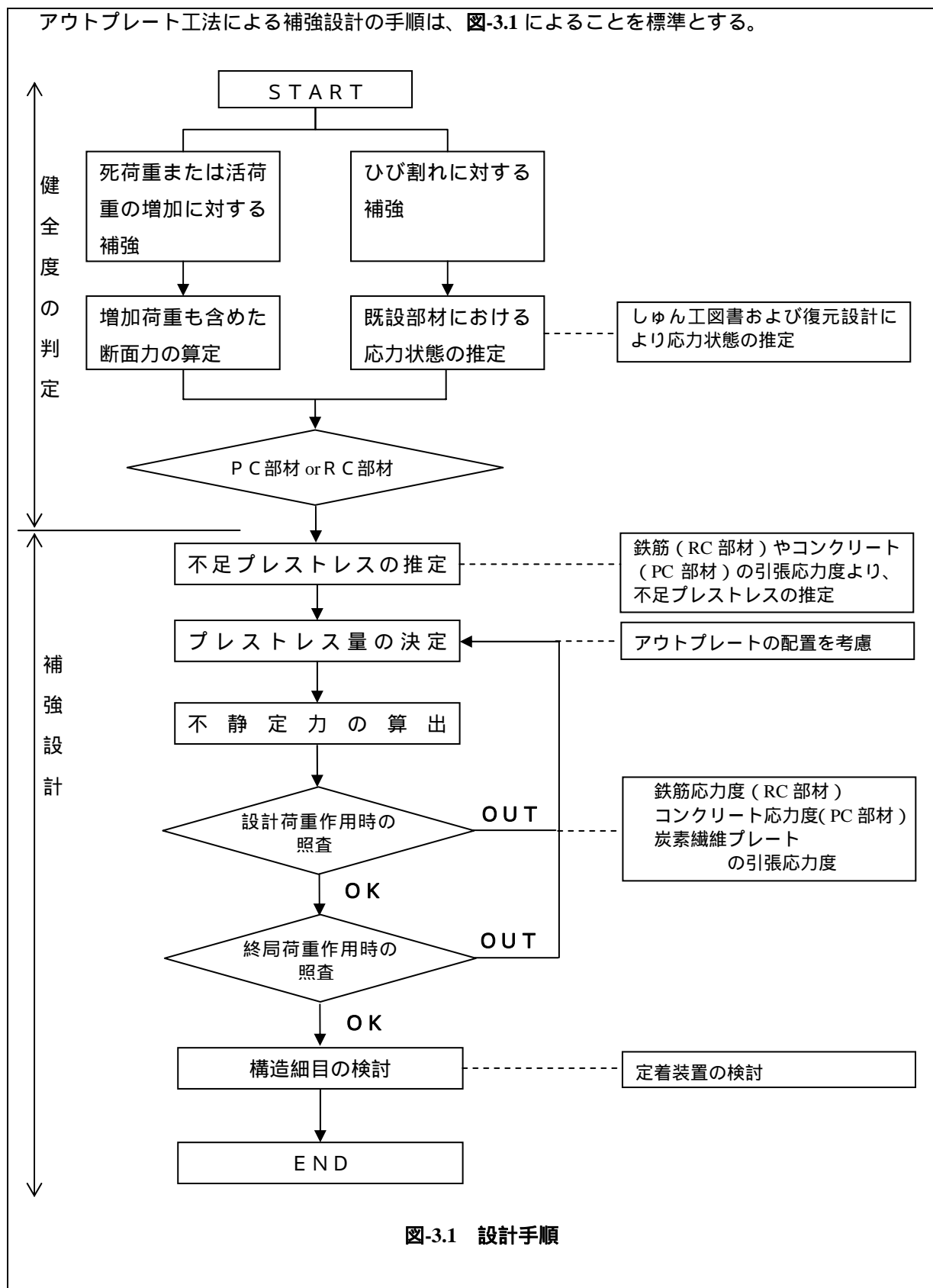


図-解 3.3 連続ばりの曲げモーメント分布

3.1.2 設計手順



3.1.3 断面力の算出

- 1) コンクリート部材の照査に用いる断面力は、線形解析に基づくものとする。この場合、部材の剛性は、新設部材の設計と同様にコンクリートの全断面を有効とし、鋼材を無視して算出してよい。
- 2) アウトプレートのプレストレス力による不静定断面力は、弾性理論（線形解析）により算出してよい。

【解説】

- 1) 断面力の算出は、道路橋示方書の規定に準じる。
 既設構造物に対する設計は、ひび割れなどの損傷が発生したコンクリートを対象とするため、基本的には全断面有効と見なすことはできない。しかし、これを全断面有効と見なすことで断面力の算出が容易となる。この断面力とコンクリート材料非線形等を考慮して算出された部材断面力と比較しても、その安全度が著しく低下するものではない。したがって、照査に用いる断面力は、コンクリートを完全な弾性体と見なし、コンクリートの全断面を有効とした線形解析により算出してよい。
- 2) プレストレス力による不静定断面力の算出において、プレストレスをモデル化する場合、次の3通りの方法がある。
 - (1) 部材評価法：プレストレスが作用するアウトプレートを弦部材として、直接構造モデルに引き込む方法である。
 - (2) 外力評価法：プレストレスを外力評価した算出法である。
 - (3) 内力評価法：プレストレスを内力評価した算出法である。

アウトプレート工法では、プレストレスを導入したアウトプレートをコンクリートに固定アンカーで定着し、その大部分を接着するため、従来の内ケーブルと同様に扱うことができると考えられる。そのため、プレストレス力による断面力の算出は、一般的な(3)内力評価法で算定してよい。

図-解 3.4 に、3径間連続ばりにおけるプレストレスの不静定力による曲げモーメント分布（部材の下面にアウトプレートを設置する場合）を示す。図では断面図心より下方にプレストレスを導入しているため、部材全域に正の曲げモーメントが発生する。そのため、中間支点では、荷重により発生している負の曲げモーメントが低減される。

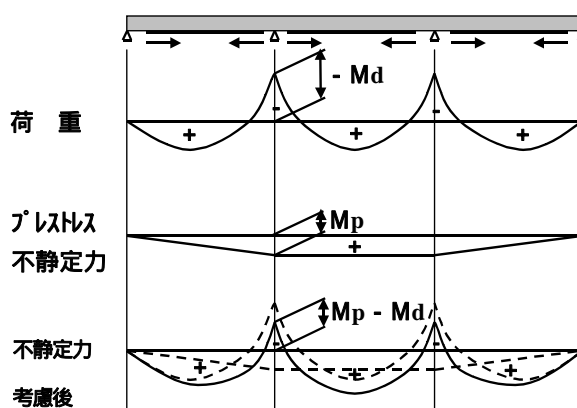


図-解 3.4 曲げモーメントの分布

3.1.4 プレストレス力

- 1) アウトプレートのプレストレス力は、プレストレッシング直後のプレストレス力および有効プレストレス力に区分して、それぞれ適切に部材の照査に考慮するものとする。
- 2) プレストレッシング直後のプレストレス力は、アウトプレートの引張端に与えた緊張力に次の影響を考慮して算出するものとする。
 - (1) コンクリートの弾性変形
 - (2) ジャッキの機械的損失
- 3) 有効プレストレス力は、既設部材のコンクリート材齢を適切に評価し、コンクリートのクリープおよび乾燥収縮の影響とアウトプレートのリラクセーションを考慮して算定しなければならない。
- 4) プレストレス力により不静定力が生じる場合にはこれを適切に考慮するものとする。

【解説】

- 2) 補強設計では、対象となる既設コンクリートの材齢が一般に長期材齢であることや、損傷の有無が影響を及ぼすため、設計上の弾性係数の決定が難しい場合も想定されるが、その場合、既往のコンクリートが持つ設計基準強度の弾性係数を用いてよい。

コンクリートの弾性変形によるアウトプレートの引張応力度の減少量は、アウトプレート位置でのコンクリート応力度にコンクリートとアウトプレートとの弾性係数比を乗じて算出する。特に、RC 部材の場合、アウトプレート位置でのコンクリート応力度は、全断面有効としたコンクリート断面積に対して、プレストレス力による軸力のみを評価して算出してよい。

ジャッキの機械的損失は、緊張空間を小さくした特殊な緊張ジャッキを使用するため、比較的大きい。そのため、現状では表-解 3.1 に示す機械的損失を見込むこととした。ただし、今後改善される見込みがあるため、施工前のキャリブレーション結果を参考にするのがよい。

表-解 3.1 ジャッキの機械的損失

緊張材の呼称	240kN 型	360kN 型
機械的損失 (%)	13.0	20.0

- 3) 有効プレストレスの算出にあたっては、通常は既設コンクリートの材令が長期材齢であることから、コンクリートのクリープおよび乾燥収縮は十分収束しており、その影響を考慮しなくてもよいことが多い。

3.2 許容応力度

- 1) コンクリートと鋼材の許容応力度は、道路橋示方書によるものとする。
 2) アウトプレートの許容引張応力度は、表-3.1の値とする。

表-3.1 アウトプレートの許容引張応力度 (N/mm²)

	240kN 型	360kN 型	備 考
プレストレス中	1920	1280	0.80 pu
プレストレス直後	1680	1120	0.70 pu
設計荷重作用時	1440	960	0.60 pu

ここに、 pu : アウトプレートの引張強度

【解 説】

- 2) アウトプレートの各荷重状態の許容引張応力度は、引張強度に対して規定した。各状態におけるアウトプレートの引張強度に対する安全率は、道路橋示方書の PC 鋼材と同様に設定した。たとえば、設計荷重作用時におけるアウトプレートの許容引張応力度は、引張強度の 60%とした。

3.3 部材の照査

3.3.1 一般

- | |
|---|
| <ol style="list-style-type: none">1) 補強部材の照査は、3.1の規定に従って断面力およびプレストレスを算出し、3.3.2から3.3.3の規定に従って行うものとする。2) 荷重の組合せは、道路橋示方書における荷重の組み合わせを用いる。 |
|---|

【解説】

- 1) 補強部材が、作用荷重に対して所要の性能を有するか否かの照査を行う。

設計荷重作用時の照査は、安全性及び鋼材腐食等の観点からコンクリートにおける引張応力度の照査を行うものとする。増加した断面力に対して、鉄筋コンクリート構造では鉄筋の引張応力度がコンクリートに有害なひび割れの生じる引張応力度に達しないようにすることを、プレレストコンクリート構造ではコンクリートの引張応力度がひび割れの発生する応力度に達しないことを照査する。

終局荷重作用時の照査は、部材に破壊が生じないことを照査する。ただし、既設構造物の終局荷重作用時の照査は、施工時期によっては、当初設計が実施されていない場合もあり、目標とする補強水準を見直さなければならない場合がある。

3.3.2 曲げモーメント又は軸方向力が作用する部材の照査

1. 一般

- | |
|--|
| <ol style="list-style-type: none">1) 曲げモーメント又は軸方向力に対する部材の有効断面は、道路橋示方書に従って定めるものとする。2) 曲げモーメント又は軸方向力が作用する部材の設計荷重作用時の照査は、2.の規定に従って行うものとする。3) 曲げモーメント又は軸方向力が作用する部材の終局荷重作用時の照査は、3.の規定に従って行うものとする。 |
|--|

2. 設計荷重作用時の照査

- 1) 設計荷重作用時には、3.1により算出した断面力で2)と3)の規定により算出した応力度が、3.2に規定する許容応力度以下であることを照査するものとする。
- 2) 鉄筋コンクリート構造
 - (1) 歪みは中立軸からの距離に比例する。
 - (2) コンクリートの引張強度は無視する。
 - (3) 鋼材およびコンクリートのヤング係数比は、15とする。
- 3) プレストレストコンクリート構造
 - (1) 歪みは中立軸からの距離に比例する。
 - (2) コンクリートの引張強度は考慮する。
 - (3) 鋼材およびコンクリートのヤング係数比は、道路橋示方書・同解説に規定されている材料特性により算出する。
- 4) アウトプレート緊張後に荷重が作用すると、アウトプレートの引張応力度が増加するため、この増加応力度を考慮したアウトプレートの応力度が、設計荷重作用時の許容引張応力度以下でなければならない。

【解説】

2) 鉄筋コンクリート構造

- (1) アウトプレートは、緊張後コンクリート部材に接着するため、応力度の計算において平面保持の法則に従うものとした。
- (3) 緊張後に引張縁のコンクリートに完全に接着されるアウトプレートは、鉄筋コンクリート構造に対して引張鋼材として常に安全側に寄与するため、設計上の簡略化を図り、引張鋼材としての算定を省略してもよい。

図-解 3.5 に曲げモーメント又は軸力方向力が作用する鉄筋コンクリート部材に対して、アウトプレートによる補強前後のメカニズムを示す。アウトプレートでプレストレスを導入した部材には、既設の曲げモーメント M に対して M_1 と M_2 、軸方向力 N に対して N_1 と N_2 が作用する。

ここに、

N_1 : アウトプレートのプレストレス力 ($=P$)

M_1 : プレストレス力により発生する曲げモーメント ($=P \cdot e_p$)

N_2, M_2 : 連続ばりなどで N_1, M_1 により発生する不静定力

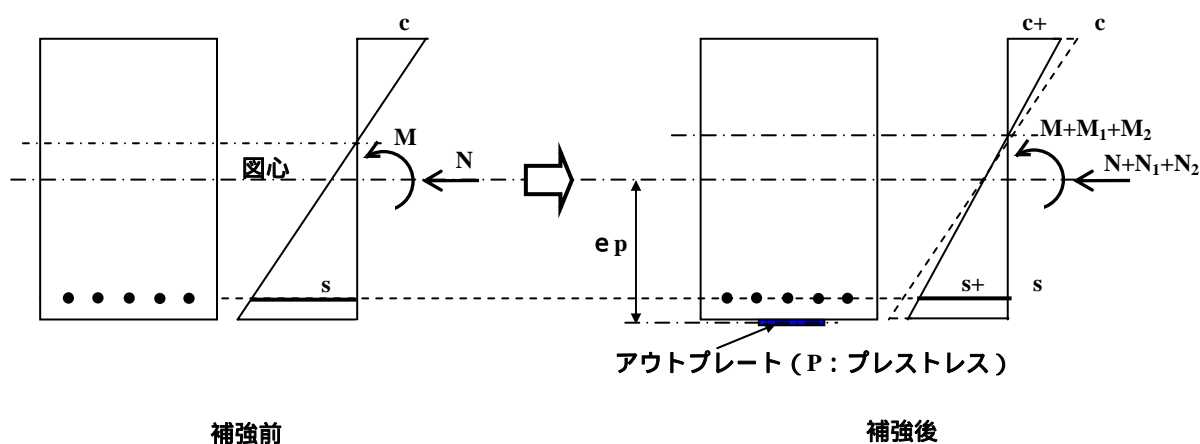


図-解 3.5 鉄筋コンクリート構造に対する補強メカニズム

3) プレストレストコンクリート構造

- (1) 鉄筋コンクリート構造と同様に、平面保持の法則にしたがうものとする。
- (3) コンクリートとのヤング係数比については、使用材料の特性に応じたヤング係数から算出する。ただし、アウトプレートによる引張鋼材として算出は、鉄筋コンクリート構造と同様に省略してもよい。

図-解3.6に曲げモーメント又は軸力方向力が作用するプレストレストコンクリート部材に対して、アウトプレートによる補強前後のメカニズムを示す。コンクリート部材を全断面有効として算定するため、その上縁と下縁に対して、既設のコンクリート部材に発生している応力度にアウトプレートによるコンクリート応力度が作用する。

ここに、

M_p : アウトプレートのプレストレス力により発生する曲げモーメント ($= P \cdot e_p$)

A : 断面積

W, W : 断面係数

σ_1 : アウトプレートのプレストレス力により発生するコンクリート上縁の応力度

$$\sigma_1 = P / A + M_p / W$$

σ_2 : アウトプレートのプレストレス力により発生するコンクリート下縁の応力度

$$\sigma_2 = P / A + M_p / W$$

σ_2, σ_2 : 連続ばりなどにおいて、アウトプレートのプレストレス力により発生する不静定力のコンクリート応力度

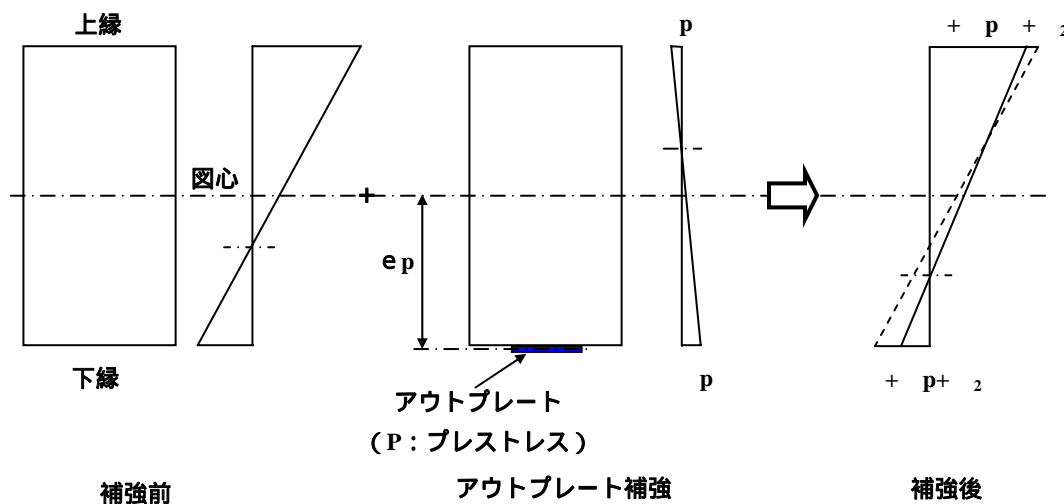


図-解 3.6 プレストレストコンクリート構造に対する補強メカニズム

- 4) アウトプレート緊張後に荷重が作用すると、アウトプレートの引張応力度が増加する。そのため、この増加応力度を考慮したアウトプレート応力度が、設計荷重作用時の許容引張応力度以下であることを照査しなければならない。通常、アウトプレート緊張後に作用する荷重は、活荷重が該当する。この増加荷重を考慮した最大引張応力度の算出は、次式で求める。

$$p_{\max} = p_e + n \cdot l_g < p_a$$

ここに、

p_e : アウトプレートの有効引張応力度 (N/mm²)

n : ヤング係数比 (E_p/E_c)

l_g : アウトプレート位置における活荷重による引張応力度 (N/mm²)

p_a : アウトプレートの許容引張応力度 (N/mm²)

3. 終局荷重作用時の照査

- 1) 終局荷重作用時には、3.1により算出した断面力が2)の規定により算出した部材の破壊抵抗曲げモーメント以下であることを照査するものとする。
- 2) 補強された断面部材の破壊抵抗曲げモーメントは、次のうちの最小値とする。
 - (1) コンクリートが終局ひずみに達する時の破壊抵抗曲げモーメント
 - (2) アウトプレートがはく離破壊する時の破壊抵抗曲げモーメント
 - (3) アウトプレートが終局ひずみに達するときの破壊抵抗曲げモーメント
- 3) コンクリートが終局ひずみに達する時の破壊抵抗曲げモーメントは、以下の仮定に基づいて算定してよい。
 - (1) 維ひずみは中立軸からの距離に比例する。
 - (2) コンクリートの引張強度は無視する。
 - (3) 鋼材およびコンクリートの応力度 - ひずみ曲線は、道路橋示方書に規定されている材料特性により算出する。
 - (4) アウトプレートの応力度 - ひずみ曲線は、図-3.2 に示したものをを用いるものとする。

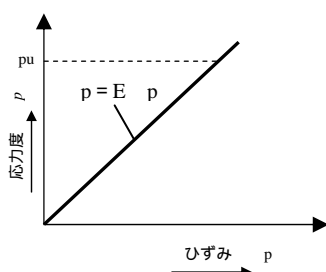


図-3.2 アウトプレートの応力度 - ひずみ曲線

- 4) アウトプレートがはく離破壊する時の破壊抵抗曲げモーメントは、曲げ終局時のアウトプレートの引張応力度(ひずみ)を下式から求め、3)の(1)から(3)の仮定に基づいて算定してよい。

$$\sigma_{ps} = \sigma_{pe} + \sigma_{ps}$$

ここに、 σ_{ps} : 終局時におけるアウトプレートの引張ひずみ
 σ_{pe} : 有効プレストレスによる引張ひずみ
 σ_{ps} : アウトプレートがはく離するまでの引張ひずみの増加量

【解説】

終局荷重作用時の照査は、基本的に道路橋示方書に準じて、部材に曲げ破壊が生じないことを照査する。ただし、アウトプレートで補強した部材は、アウトプレートがはく離すると同時に破壊に至る場合があることが確認されているので、アウトプレートがはく離破壊する時の破壊抵抗曲げモーメントを算出することとした。図-解 3.7 に示す既往の実験(資料参照)より、中間定着体を使用した場合 σ_{ps} は 7500 μ

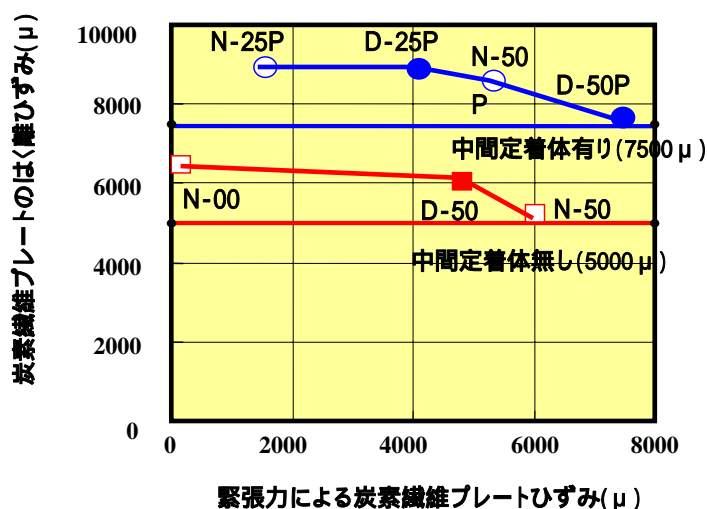


図-解 3.7 中間定着体の効果

中間定着体を使用しない場合でも σ_{ps} は 5000 μ 程度であることが確認されている。

したがって、安全性を考慮し、中間定着体使用しない場合での $\sigma_{ps} = 2500 \mu$ 程度の増加を見込んでよい。

アウトプレートがはく離破壊する時の破壊抵抗曲げモーメントの算出に当たっては、圧縮縁コンクリートのひずみが終局ひずみの 3500 μ に達していないことを考慮しなければならない。厳密には、アウトプレートの中心位置のひずみを σ_{ps} に固定し、断面分割法を用いて破壊抵抗曲げモーメントを算定するとよい。また、道路橋示方書に示される等価な長方形応力度分布をコンクリートの応力度分布に用いても、破壊抵抗曲げモーメントを比較的精度良く評価できるとの報告もあるので、参考にするとよい。

3.3.3 せん断力が作用する部材の照査

補強された部材のせん断に対する照査は、アウトプレートにより補強部材に導入されたプレストレスの効果を適切に評価し、道路橋示方書に従って行うものとする。
--

【解説】

コンクリートが負担できるせん断力の算定に際しては、アウトプレートによる軸方向圧縮力の増加を考慮する。また、軸方向緊張材の有効引張力のせん断力に平行な成分は、既存ケーブルのそれに、アウトプレートの有効引張力のせん断力に平行な成分を加算して算出する。

3.4 構造細目

3.4.1 一般

アウトプレート工法の設計にあたっては、既設の構造物に損傷が生じないための措置、その工法により構造上の弱点をつくらないための配慮をして、設計に反映させるものとする。

【解説】

アウトプレート工法で補強する既設の構造物は、多くの構造形式や条件があり、損傷の程度も多様である。ここでは、一般的な注意事項に対して、標準的な構造細目を示した。

3.4.2 アウトプレートの配置

- 1) アウトプレートは、プレストレスの導入時に付加応力が発生しないように直線状に配置しなければならない。
- 2) アウトプレートを接着するコンクリート面は、緊張時に摩擦が発生しないように十分養生しなければならない。
- 3) 定着装置は、既設構造物の構造に配慮しコンクリートに発生する局所的な引張応力が緩和される位置で最も補強に効果のある位置に設ける。

【解説】

- 1) アウトプレートの炭素繊維プレート部分は、面外方向の変形性に乏しいため、緊張の前後で付加応力が生じないように直線状に配置しなければならない。
- 2) アウトプレートを接着するコンクリート面は、緊張時にアウトプレートに摩擦が発生しないように不陸などを十分に研磨して養生しなければならない。
- 3) たとえば、橋梁の下面に定着装置を設ける場合、端部までの緊張スペースを確保した上で圧縮部材のコンクリートに配置するのが望ましい。

3.4.3 定着装置

- 1) 固定プレートの鋼板板厚は、22mm 以上とする。
- 2) 固定プレートとアウトプレートを連結する定着ボルト径は、240kN 型の場合が 22mm、360kN 型の場合が 24mm を標準とする。
- 3) 固定アンカーは、樹脂アンカーを用いて、コンクリートに定着する。

【解説】

図-解 3.8 に示す定着装置は、プレストレスを既設コンクリートに伝達する極めて重要な部分であるため、安全な構造とする。定着装置の各部品は、アウトプレートの有する引張強度に対して設計を行なう。

- 1) 固定プレートは、プレストレスによる水平力がコンクリートに均等に伝達されるように鋼板の最も薄い部分で 22mm 以上を確保することとした。固定プレートには、図-解 3.8 に示す加工形状や等厚の鋼板を用いた平板形状があり、応力計算を行い決定する。また、固定プレートにおける固定アンカー孔の最小縁端距離は、道路橋示方書（鋼橋編 6 章連結）に準じて決定する。
- 2) 定着ボルトは、基本的にアウトプレートの定着による引張力に対して決定する。ただし、アウトプレートの緊張は、定着ボルトに吊って行うため、ボルトに剛性が必要であり、使用するボルト径を規定した。
- 3) 樹脂アンカーの間隔や埋め込み長は、既設のコンクリートの特性を十分に把握して、決定しなければならない。樹脂アンカーの間隔は、ボルトを締める作業性から 80mm 以上は必要であるが、基本的にコンクリート強度を考慮して、決定しなければならない。

アウトプレート工法における樹脂アンカーに作用する荷重は、既往の実験から、引張力は小さく、主にプレストレスの水平力であり、純せん断の挙動であることが確認されている。そのため、樹脂アンカーの埋め込み長は、引張力から決定されないため、市販されている樹脂アンカー（ショートタイプ）程度の長さで十分である。

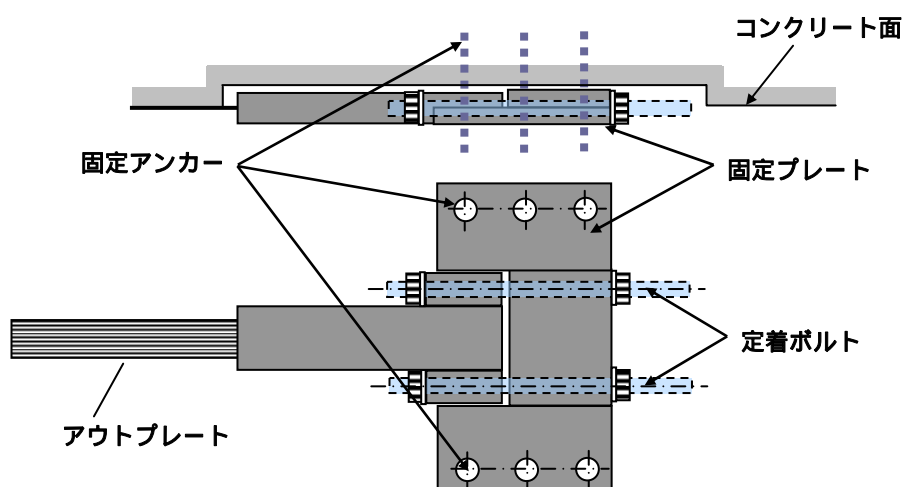


図-解 3.8 定着装置

3.4.4 中間定着体

中間定着体を配置する間隔は、3mを標準とする。

【解説】

図-解 3.9 に示す中間定着体を配置することにより、施工中においては既設構造物のたわみや不陸により生じたアウトプレートとコンクリート面の隙間を密着させる効果がある。

終局荷重作用時において、アウトプレートとコンクリートとの剥離耐力が、中間定着体を使用することによって接着剤のみの時よりも向上することが既往の実験で確認されている。

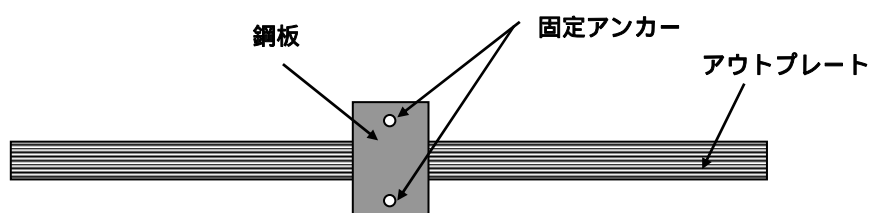


図-解 3.9 中間定着体

3.4.5 定着装置の防錆

定着装置は、構造物の設計耐用期間中に破損または腐食しない構造としなければならない。

【解説】

図-解 3.10 に定着装置に対する防錆の例を示す。定着装置に FRP 製の保護カバーを設け、定着装置と保護カバーの間にはグラウトを充填した。グラウトは、低粘性タイプのグラウト材を使用する。

また、保護カバーは、剛性が小さい材料を使用する場合は必要に応じボルトで固定プレートに連結する。

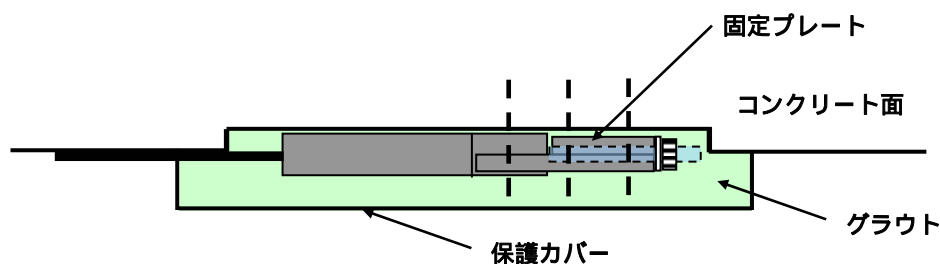


図-解 3.10 定着装置の防錆

3.4.6 他の工法との併用

- 1) アウトプレート工法とひび割れ注入およびひび割れ充填工法を併用する場合、アウトプレートの緊張前にひび割れに対して注入および充填を行わなければならない。
- 2) アウトプレート工法と連続繊維シート接着工法を併用する場合、アウトプレートの緊張後に炭素繊維シートを接着しなければならない。

【解説】

1) ひび割れ注入およびひび割れ充填工法との併用

ひび割れ注入および充填工法と併用する場合、先にひび割れに対して注入および充填の補修を行い、既設の断面を健全化した後にアウトプレートを緊張し、接着するのを原則とする。

2) 連続繊維シート接着工法との併用

補強するコンクリート構造物の必要補強量に対して配置上のスペースからすべての補強量をアウトプレートで行うことができない場合には、アウトプレート工法と連続繊維シート接着工法を併用することがある。その場合、アウトプレートは、コンクリートのひび割れに対する抑制効果を考慮し、連続繊維シートを接着する前に緊張する（図-解 3.11）。その時、連続繊維シートは、炭素繊維プレートや中間定着体を除いた範囲に直線的に配置することを原則とする。また、既設のコンクリート構造物に過密なひび割れが発生している場合は、必要な補強量が満足していても、コンクリートに対してはく落防止のシートが必要であり、上記と同様な併用方法を採用することができる。

一方、橋軸直角方向の曲げ補強のための連続繊維シート接着工法と併用する場合には、連続繊維シートの直線性を確保するために炭素繊維プレートの配置前に連続繊維シートを接着するのを原則とする。

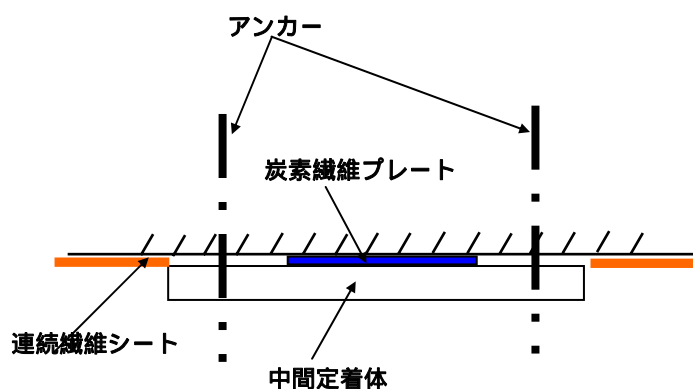


図-解 3.11 アウトプレート工法と連続繊維シート接着工法の併用例

3.4.7 偏向構造

定着部にはつり部を設けず、アウトプレートを偏向して定着する場合は、アウトプレートの偏向角度は、2.5度以下とする。

【解説】

定着部にはつり部を設けない場合は、**図-解 3.12** に示すようにアウトプレートを偏向して定着する。既往の試験では、5.7度迄偏向し破断試験を実施しており、偏向構造の安全性と現行の管理限界内(±10%)で所要のプレストレス量が導入できることを確認している。したがって、許容する偏向角度は、安全率を2以上確保し、2.5度とする。

また、偏向角度を大きくした場合、アウトプレートの偏向区間が短くなり配置が有利となるが、**図-解 3.12** に示す中間定着体 B では、プレストレスによる下向きの力が大きくなり補強効果を低減させることになるので注意しなければならない。

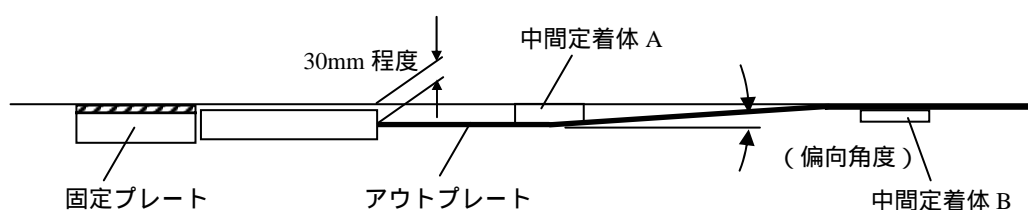


図-解 3.12 偏向構造

3.4.8 多層配置

アウトプレートを多層配置する場合には、1層目のアウトプレートの緊張ならびに接着完了後に2層目のアウトプレートを緊張する。2層目のアウトプレートの定着装置や中間定着体は、1層目のアウトプレートを傷つけない構造とする。

【解説】

桁橋等でアウトプレートの配置場所が限定され、**図-解 3.13** に示すようにアウトプレートを多層配置する場合には、2層目のアウトプレートは、1層目のアウトプレートの緊張ならびに接着完了後に緊張する。さらに、2層目のアウトプレートの定着装置や中間定着体は、緊張済みの1層目のアウトプレートを傷つけない構造とする。

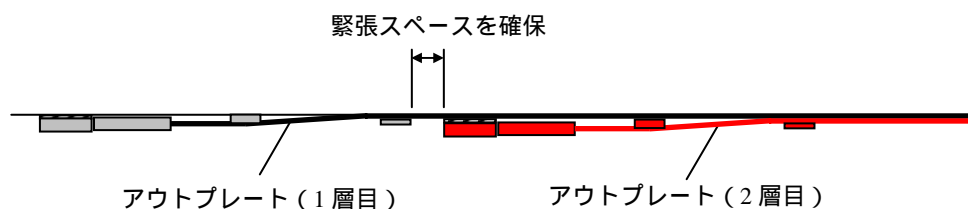


図-解 3.13 アウトプレートの多層配置

第4章 施 工

4.1 施工一般

4.1.1 施工計画

施工計画は、アウトプレートの施工について、設計図書に示された補強内容を工期内に完成させ、円滑な作業と品質および安全を確保するため、十分な検討を行い、立案しなければならない。

【解 説】

プレストレスを導入するアウトプレート工法は、施工の対象が長期間にわたり供用されたコンクリート構造物が多く、**写真-解 4.1** に示すような損傷や支承の状態が当初設計と異なる場合もあるので、事前の施工計画は特に重要である。施工計画は、管理者の仕様書に基づき、設計図書に示された条件を十分に熟知した上で計画しなければならない。

また、アウトプレート工法は、プレストレス導入工法であることから、現場技術者は、プレストレスコンクリート技士資格等を有し、プレストレスコンクリート構造物の施工に十分な経験を有する者とする。



写真-解 4.1 既設のコンクリート構造物

4.1.2 施工手順

施工手順を図-4.1 に示す。

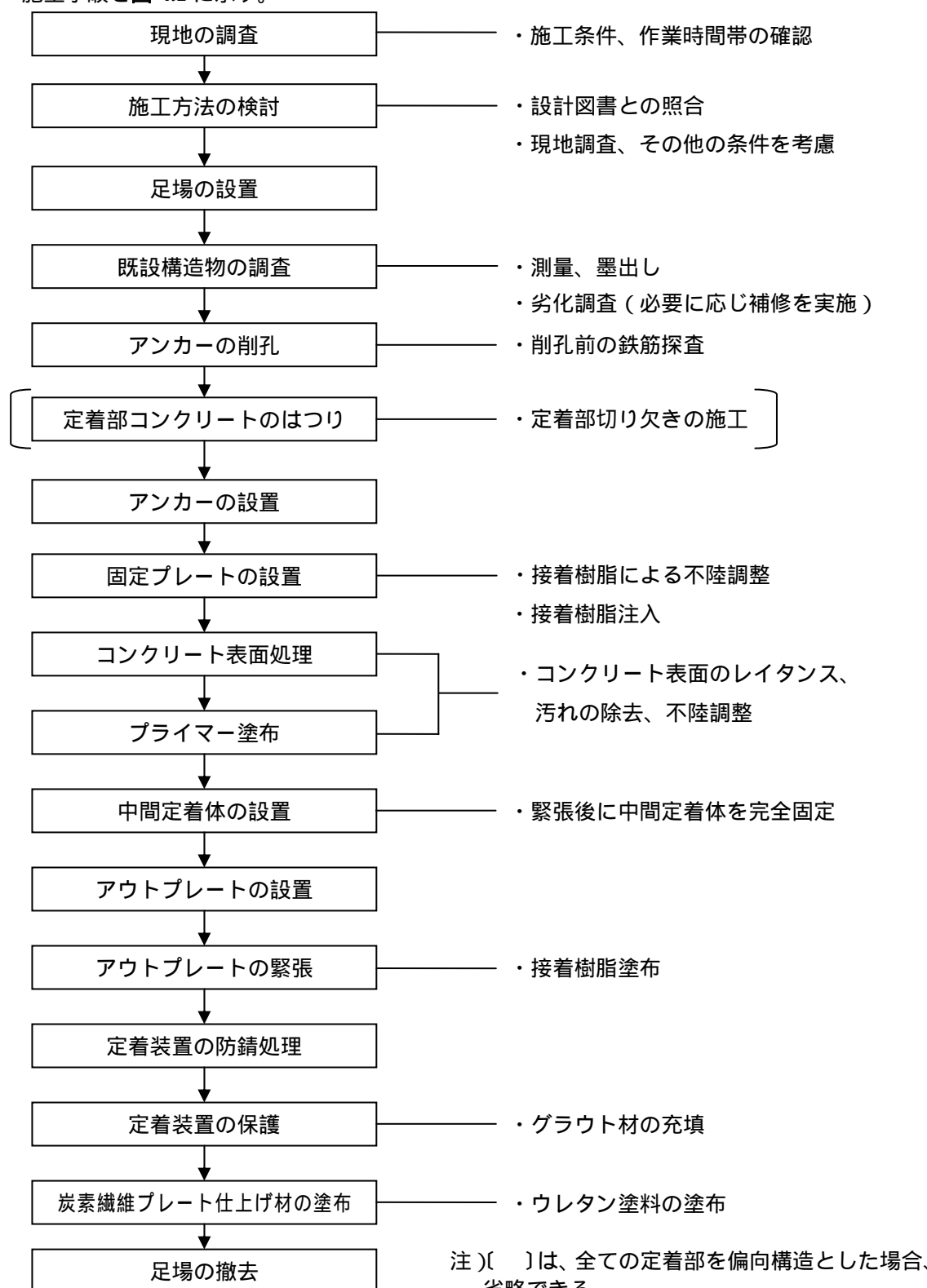


図-4.1 施工手順

【解説】

標準的な施工は、フローチャートに示す順序で行われるが、各施工段階において、4.2 に記述する施工要領、留意点に対して十分な検討を行い、実施する。

4.2 施工細目

4.2.1 現地の調査

施工にあたっては現地調査を行い、障害物の有無や、施工条件などを確認しなければならない。

【解説】

施工にあたっては、現地調査を行い、障害がある場合は写真撮影やスケッチなどによる記録を行い、周辺の環境条件を含めた施工条件について、施工計画に反映できるように十分に把握しておく必要がある。

主な調査項目を以下に示す。

(1) 既設構造物の供用状態

供用中の道路、鉄道、河川、建設物などの確認

交通量の把握

交通規制の必要性（時間帯による可否）

(2) 作業空間の確認

作業空間は、施工性を考慮して、定着部は 1.5m 程度、中間部は 0.8m 以上確保することが望ましい。

(3) 添架物等の確認

(4) 搬入路の確認

施工機器材搬入路の確認

迂回路が必要な場合は、迂回路の確保

(5) その他工事との調整

4.2.2 既設構造物の調査

- 1) 損傷は、構築された足場から、コンクリートに接近した状態で再度確認する。特に、アウトプレートの定着部は若干の引張応力が発生するため、ひび割れ等が発生している場合は、緊張前に補修しなければならない。
- 2) アウトプレートの配置は、十分な測量を行い、設計図書で示された位置に行く。
- 3) 固定プレートならびに中間定着体のアンカーが、既設構造物中の鋼材と干渉しないように、十分に鋼材位置の調査を行わなければならない。

【解説】

- 1) 足場からコンクリートに接近し、目視でコンクリートの損傷度を改めて確認することは、極めて重要である。アウトプレートの定着部周辺では、既設コンクリートに若干の引張応力が作用するため、ひび割れ等が発生している場合は、アウトプレートの緊張前にひび割れ充填工法等で補修しなければならない。
- 2) 既設の構造物のため、全体の寸法が測量により把握できない場合は、既設のマーキング位置や断面変化点などを基準に位置を定めるのがよい。アウトプレートは、直線配置で計画を行う。
- 3) 固定プレートおよび中間定着体におけるアンカーの位置は、既設構造物中の鋼材と干渉することを回避するため、計画した位置を中心に電磁波法によるRCレーダー等を用い、鋼材位置の調査を行い、決定しなければならない。

コンクリート表面近傍の鋼材はもとより、アンカーを埋め込む深さ方向の鋼材との干渉をさける必要があり、調査の結果次第では、計画した位置を大幅に変更しなければならない場合もある。

RCレーダー：

送信アンテナより、コンクリート中に0.5～1ns程度のパルス状の電磁波を発射し、コンクリート内部に埋設されている鋼材などの異物からの反射波を受信アンテナで検出して鋼材位置を特定する。測定結果が視覚的に観察できるが鋼材の埋設深さの測定精度はコンクリートの含水率の影響を受ける。(写真-解4.2)



写真-解 4.2 RCレーダーによる探査

4.2.3 アンカーの削孔

既設コンクリートの削孔は、既設コンクリート内の鋼材に損傷を与えないように削孔機械を用いて正確に行う。

【解説】

定着部ならびに中間定着体の樹脂アンカーを設置するため、削孔機械により、コンクリートの削孔をおこなう。削孔機械には、写真-解 4.3 のコアボーリングマシンやハンマードリルがある。足場の高さは、削孔に必要な作業空間により決定する。

アンカーの削孔では、削孔中に鋼材に接触した場合、削孔位置を変更しなければならず、定着部に用いる樹脂アンカーには純せん断の作用が支配的であることが既往の実験で確認されている。したがって、定着部の樹脂アンカーは、埋込み長が短いタイプを使用してよい。

表-解 4.1 の削孔径や削孔深さは、使用する樹脂アンカーの種類やメーカーにより異なるので、選定の際は十分に注意する。



コアボーリングマシン



ハンマードリル

写真-解 4.3 アンカーの削孔

表-解 4.1 削孔径と削孔深さの例 (mm)

アンカー筋	中間定着体 (M12)	固定プレート (M22)
削孔径	14.5	28
最適深さ	100	180

4.2.4 定着部コンクリートのはつり

緊張に必要な空間を確保するために定着部のコンクリートをはつる場合は、はつり機械を用いる。

【解説】

写真-解 4.4 のはつりは、鋼材を傷つけないように高速カッターで周囲に切れ込みを入れ、はつり機械で所要な量をはつる。図-解 4.1 の緊張に必要なはつりの量は、長さ 1100×幅 300×深さ 30 (mm) 程度であり、かぶりコンクリートの部分をはつる。

はつりにより露出した鉄筋は、防錆処理を十分に行う。

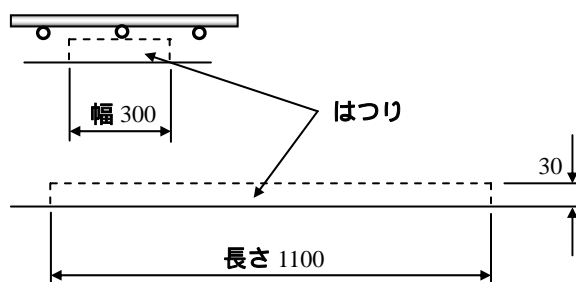


図-解 4.1 はつりの形状



写真-解 4.4 定着部コンクリートのはつり

一方、既設のコンクリート構造物によっては、鉄筋のかぶりが小さく、所要の厚さをはつれない場合があり、コンクリート面と固定プレートの高さ調整板を挟み、固定プレートの設置高さを下げ、緊張空間を確保する。このようにアウトプレートを偏向して定着する構造を用いる場合は、「4.2.8 中間定着体の設置」の図-解 4.6 を参考に決めるのがよい。

4.2.5 アンカーの設置

コンクリートの削孔部に樹脂を注入し、アンカーを固定する。

【解説】

樹脂アンカーは、使用するメーカーの施工手順および品質管理基準に従い、施工する。特に、冬季施工で5未満の低温となる場合には、事前に養生方法や使用する樹脂の種類を十分に検討しなければならない。

樹脂アンカー施工後の品質管理として、写真-解 4.5 のようなアンカーの引き抜き試験を行い、メーカーの保証強度（長期許容引張強度）が確保されていることを確認しなければならない。試験頻度は、「4.2.13 施工管理試験」を参考とする。

また、固定プレートのアンカー位置は、複数のアンカーで定着するため、アンカー相互の関係に注意して決定する。



写真-解 4.5 アンカーの引き抜き試験

4.2.6 固定プレートの設置

- 1) 固定プレートは、アウトプレートの緊張時において、ずれが生じないように確実に設置しなければならない。
- 2) 定着ボルトにより、両端の固定プレートとアウトプレートは、直線状になるように設置しなければならない。

【解説】

- 1) 固定プレートは、コンクリート表面の不陸を調整するため、接着面にプライマーを塗布した固定プレートを仮固定し、接着樹脂を盛り上げた状態でナットを十分に締め付ける（写真-解 4.6 と 4.7）。接着樹脂は、冬季施工で 5 未満の低温となる場合には、事前に養生方法や使用する樹脂の種類を十分に検討しなければならない。図-解 4.2 に示す高さ調整板を用いる場合、高さ調整板と固定プレートは、金属用接着剤で接着する。

図-解 4.3 に示すように、各固定プレート孔とアンカーの隙間には、曲げの発生を防止し、力が均等に働くように接着樹脂を完全に充填するのがよい。特に隙間が大きいアンカーでは、一度ナットおよびワッシャーを取り、接着樹脂が完全に充填されていることを確認する。

充填が不十分な場合、固定プレートの下面から接着樹脂を再度充填し、ナットで締め付ける。固定アンカーはせん断ボルトとして抵抗するが、ナットを十分に締め付けることにより、摩擦力が大きくなるため、定着力が向上する。

ナットの締め付けには、トルク管理が容易なトルクレンチが便利である。一般的なトルク量は、 $282\text{N}\cdot\text{m}$ （鉄系ネジ、M22）程度である。



写真-解 4.6 固定プレートの設置前



写真-解 4.7 固定プレートの設置

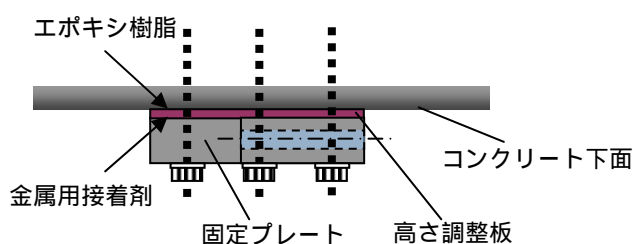


図-解 4.2 固定プレートの設置
(高さ調整板を用いる場合)

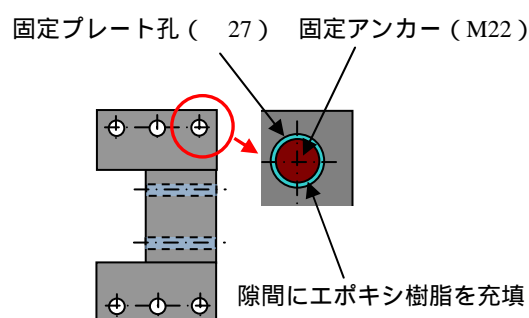


図-解 4.3 固定プレートと固定アンカー

2) アウトプレートと固定プレートは、アウトプレートに直角方向の変形を与えないように直線状に配置する。図-解 4.4 に示すように各固定プレートの定着ボルト間の中心線が、アウトプレート中心線の延長上にあることを確認しなければならない。

さらに、左右に配置した各固定プレートの勾配が概ね一致していることを確認する。中間定着体の配置においても同様である。特に、固定プレートや中間定着体の中で相互に横断勾配が大きく異なる場合は、図-解 4.5 に示すような変形が炭素繊維プレートに生じ、損傷する可能性があるため、十分に注意しなければならない。そのため、アウトプレートを配置するコンクリート面の不陸が顕著で、固定プレートや中間定着体の勾配が揃わず一致しない場合は、予め不陸修正材や断面修復材を用い適切に勾配を調整する。

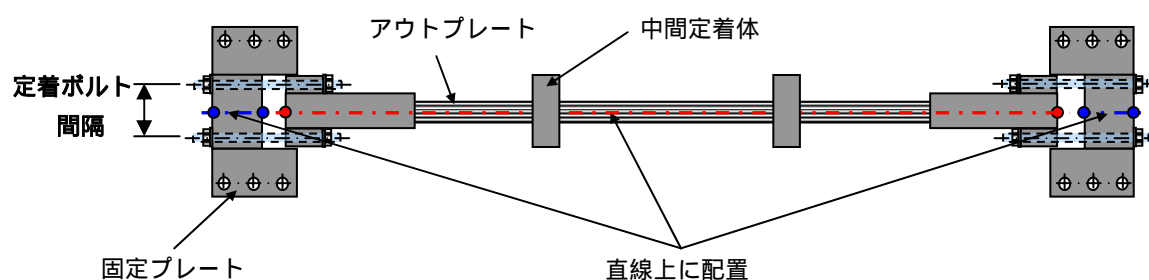


図-解 4.4 アウトプレートの直線配置

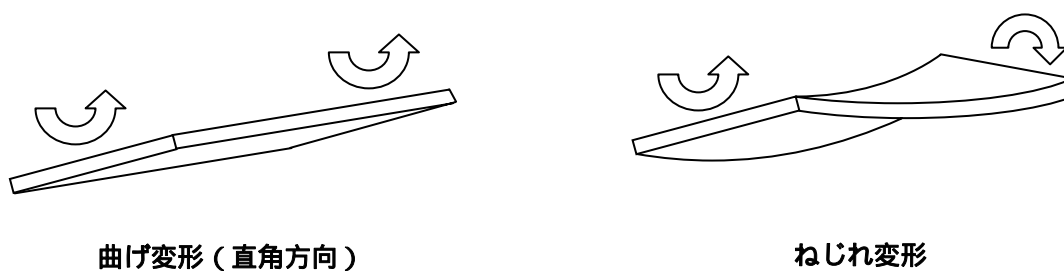


図-解 4.5 炭素繊維プレートの変形挙動

4.2.7 コンクリートの表面処理

- 1) 炭素繊維プレートが接着するコンクリートの表面は、ディスクサンダーなどを用いて行い、コンクリート表面のレイタンス、よごれ、浮石等を研磨、削除するとともに不陸の整正を行う。
- 2) プライマーは、コンクリート表面と接着樹脂の接着性を向上させるために塗布する。

【解説】

- 1) コンクリートの表面処理の状況を写真-解 4.8 に示す。炭素繊維プレートが接着するコンクリートの表面処理の幅は、炭素繊維プレート幅に対して余裕を左右 + 25mm 確保する。
- 2) プライマーの品質管理は、メーカーの品質管理基準に準拠する。プライマーの配合は、メーカーの指定配合比に従って計量器を用いて行わなければならない。また、プライマーの混合は、円形容器内で電動攪拌機により行うことを原則とする。

エポキシ樹脂系プライマーは、5 未満の低温や湿度85%以上の高湿時やコンクリート表面に結露がある場合には施工してはならない。接着樹脂の可使用時間や粘度は、温度によって変化し、冬用、夏用など種類があるので現場の状況に応じて適切に選定しなければならない。必要に応じて、加温など適切な養生を行う。

プライマーの塗布後、樹脂のだれが生じた場合には、だれを除去しなければならない。硬化前のプライマーが目に入ると危険であり、また皮膚に付着するとかぶれなどの皮膚障害を起すことがあるので、保護めがね、保護手袋などの適切な保護具を着用しなければならない。



写真-解 4.8 コンクリートの表面処理

4.2.8 中間定着体の設置

中間定着体は、アウトプレートの緊張後に完全に固定する。

【解説】

中間定着体は、アウトプレートの緊張が完了した後に炭素繊維プレートを傷つけないように緩衝材を介して中間定着体のR面取り面を炭素繊維プレート側に配置して完全に固定する。標準的な中間定着体を写真-解 4.9 に示す。写真-解 4.10 の中間定着体は、斜橋に配慮し、ボルトを斜配置にして鋼板を大きくした例である。



写真-解 4.9 中間定着体（標準）



写真-解 4.10 中間定着体（斜橋に配慮）

既設のコンクリート部材では、設置面の不陸やたわみにより、炭素繊維プレートとコンクリート面の隙間が大きくなる場合がある。炭素繊維プレートとコンクリート面の隙間を小さくするため、緊張後に中間定着体を僅かながら圧着し、中間定着体に偏向力が作用する。一方、4.2.4 に記述されているように固定プレート自体を高さ調整用鋼板等で下げて設置する場合も中間定着体に偏向力が作用する。そのため、中間定着体は、アンカーの偏向力や鋼板の曲げモーメントに対して、検討しておく必要がある。



写真-解 4.11 偏向定着構造

アウトプレートを偏向し、固定プレートを高さ調整用鋼板等で下げて設置する定着構造を写真-解 4.11 と図-解 4.6 に示す。その場合、鋼制定着具の出口で炭素繊維プレートに折角を生じさせないように中間定着体を設置する。偏向区間付近の接着樹脂は、30mm 程度の厚さとなるため、本来の接着効果は発揮されず、間詰材として機能する。

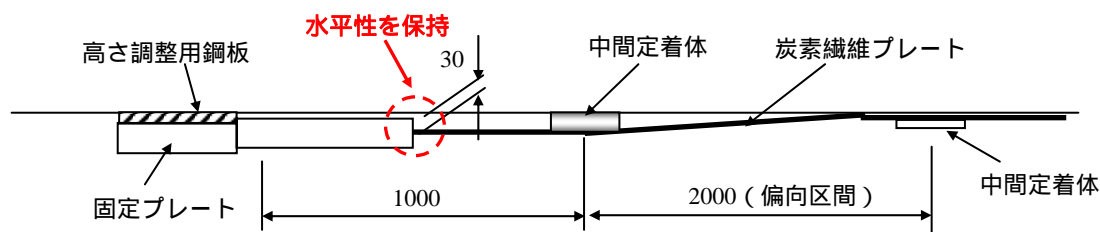


図-解 4.6 アウトプレートの偏向定着構造

4.2.9 アウトプレートの設置

- 1) アウトプレートは、必要なプレストレスを導入するため、適切に固定プレートに取り付けなければならない。
- 2) アウトプレートの取り付けは、炭素繊維プレートが傷つかないように慎重に行わなければならない。
- 3) 接着樹脂は、炭素繊維プレートに均一に塗布しなければならない。

【解説】

- 1) アウトプレートは、1100×1100×300 (mm) 程度の梱包箱で現場に納入され、梱包箱をターンテーブルの上に乗せ、慎重に引き出し、固定プレートに定着ボルトで取り付ける(写真-解4.12)。緊張側の固定プレートでは、アウトプレートの緊張による伸び量を考慮し、固定プレートとアウトプレートの空気を確保する。

アウトプレートの取付作業時に定着体の落下などでプレートから異常音が発生した場合には、アウトプレートに縦割れなどの損傷が発生している可能性があるので損傷の有無を確認しなければならない。

アウトプレートは、接着性を確保するため、接着面が目粗し処理が施されているので、目粗し面(保護テープの貼られていない面)が樹脂塗布面となるように保護テープが貼られた面を下側に配置する。

アウトプレートを2層配置する場合には、1層目の下面に2層目のアウトプレートを接着することになるので、1層目の緊張後、2層目の接着範囲に1層目のアウトプレートの下面を120番程度のサンドペーパーで目粗して2層目のアウトプレートを配置する。多層配置する場合も同様とする。

- 2) アウトプレートの定着体と固定プレートは、定着ボルトの2本で連結される。相互の定着ボルトが対称になるようにアウトプレートを取り付け、アウトプレートがねじれていないことを確認する(写真-解4.13)。また、アウトプレートが長い場合、中間定着体を支持金具として使用してよい(写真-解4.14)。



写真-解 4.12 プレートの引き出し



写真-解 4.13 定着体の設置



写真-解 4.14 中間定着体の仮固定

- 3) 接着樹脂は、緊張前にアウトプレート上に盛り上げた状態とする。塗布する厚さは、標準で5mmとする(写真-解 4.15)。但し、不陸がある場合は不陸を吸収するため厚く塗布しても良い。

接着樹脂の配合は、メーカーの指定配合比に従って計量器を用いて行わなければならない。また接着樹脂の混合は、円形容器内で電動攪拌機により行うことを原則とする。

エポキシ樹脂の接着樹脂は、原則として、5未満の低温や湿度85%以上の高湿時やコンクリート表面に結露がある場合には施工してはならない。必要に応じて加温など適切な養生を行う。

アウトプレートの定着力は、定着装置が100%を負担し、エポキシ樹脂は活荷重による変動応力を負担する。そのため、アウトプレートの定着の観点からは、必ずしもエポキシ樹脂を早期に硬化させる必要はない。やむを得ず5未満の低温で施工する場合は、低温化での樹脂の粘度などの施工性、硬化特性などを十分検討した上で施工する。

また、硬化前の接着樹脂が目に入ると危険であり、また皮膚に付着するとかぶれなどの皮膚障害を起すことがあるので、保護めがね、保護手袋などの適切な保護具を着用しなければならない。



写真-解 4.15 接着樹脂の塗布

4.2.10 アウトプレートの緊張

- 1) 緊張ジャッキは、爪付きジャッキを使用し、使用前に必ずキャリブレーションを行わなければならない。
- 2) 緊張作業は、定着装置や中間定着体周辺におけるコンクリートの状態を事前に確認し、観察しながら行わなければならない。
- 3) 緊張管理は、電動ポンプのマノメーター示度とアウトプレートの伸び量により行う。

【解説】

- 1) 緊張作業の最小空間は、定着部前後に1m程度確保する。写真-解 4.16 に緊張前の状況を示す。また、写真-解 4.17 に示す緊張ジャッキ（爪付油圧ジャッキ）の仕様を表-解 4.2 に示す。アウトプレートは、引張試験でヤング係数を確認後に現場に搬入されており、緊張中もプレストレスの摩擦損失が生じないことから、試験緊張を省略してもよい。
- 2) アウトプレート工法は、プレストレスを導入する工法であり、定着部のコンクリートに引張応力が生じる。そのため、緊張時には、アンカー周辺の既設コンクリートに損傷が生じていないかを観察しながら実施しなければならない（写真-解4.18）。緊張作業中は、アウトプレートの延長線に入ってはならない。緊張作業中にアウトプレートの伸び量の計測などでアウトプレートに近づく場合には、保護めがねを着用する。



写真-解 4.16 緊張前の状況

表-解 4.2 緊張ジャッキの性能

緊張材の呼称	240kN型	360kN型
容量 (kN)	250	400
最大ストローク (mm)	50	65
圧力 (MPa)	65	62.9
受圧面積 (cm ²)	38.48	63.62
必要油量 (ℓ)	約0.39	約0.48
本体重量 (kg)	約20.0	約34.0
ブロック重量 (kg)	約6.1	約11.0
長さ (mm)	315	360

緊張前に以下の事項を確認する。

- (1) アウトプレートは、緊張後にコンクリート面と接触するため、損傷を与えないことを確認する。
- (2) 緊張時のアウトプレートは、定着間で自由に変形させることが望ましく、中間定着体により変形を強制的に干渉してはならない。特に、偏向用の中間定着体は、緊張前に5mm程度隙間をあけ、最終的な圧着は緊張後に行う。

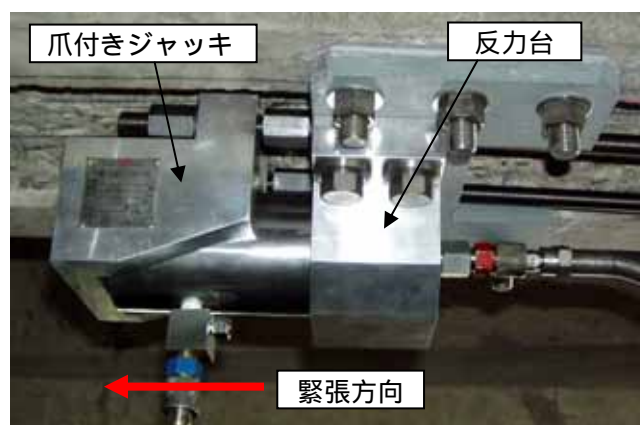


写真-解 4.17 ジャッキの構造 (240kN 型の場合)



写真-解 4.17 アウトプレートの緊張

- (3) 緊張前およびジャッキ盛換え時には、左右の定着ボルトに対して **図-解 4.7** に示すナットからの突き出し量 (a_1 と a_2 、 b_1 と b_2) が一致していることを確認する。
- (4) サグが除去される 5MPa 導入時には、再度、アウトプレートの直線性、アウトプレートに損傷を与えるものが無いこと、中間定着体によりアウトプレートが固定されていないことを目視で確認する。

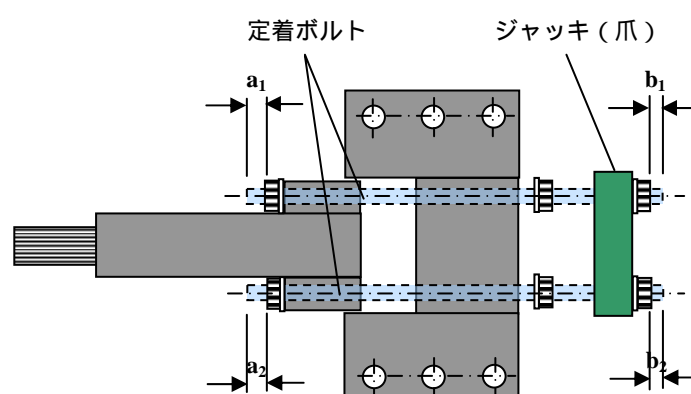


図-解 4.7 定着ボルトの突き出し量

- 3) 緊張順序は、**図-解 4.8** に示す断面図心に近いアウトプレートから対称に緊張する。緊張管理の限界値は $\pm 10\%$ とし、緊張管理図の例を **図-解 4.9** に示す。

緊張手順を以下に示す。

- (1) 初期緊張力は、緊張ジャッキのキャリブレーションを事前実施し、爪部のキャリブレーション値で補正する。
- (2) 伸び量は、アウトプレート緊張材のたるみを除去するため、5MPa まで電動ポンプを加圧し、その時点から測定する。
- (3) その後、各荷重段階 (5MPa) 毎に伸び量を測定し、管理図に記入し、最終緊張力を決定する。
- (4) 緊張管理は、電動ポンプのマノメータ示度と伸び量で管理し、管理範囲内であることを確認する。

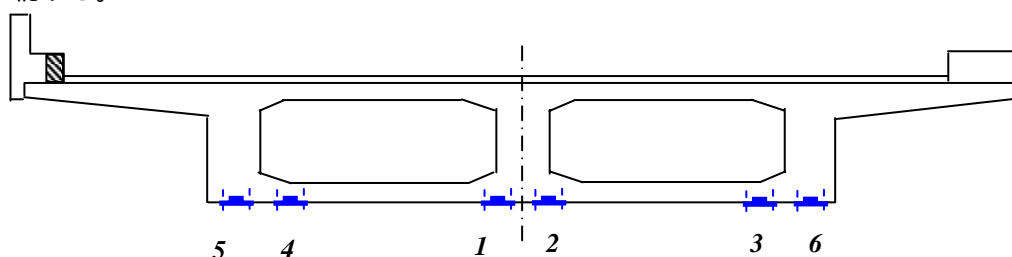


図-解 4.8 緊張順序

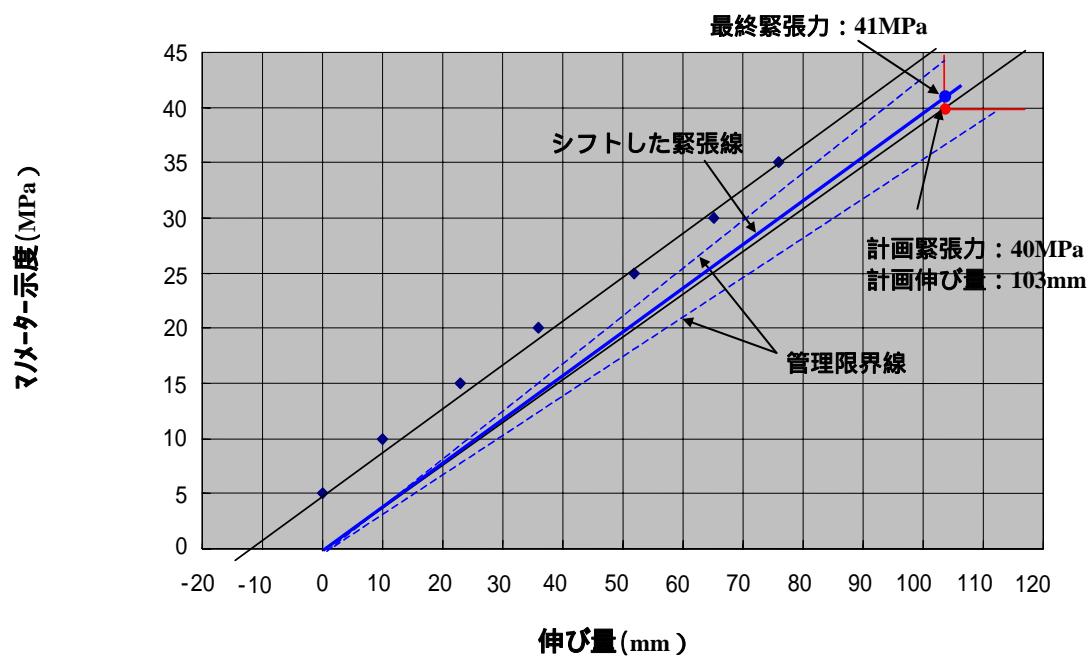


図-解 4.9 緊張管理例 (240kN 型の場合)

4.2.1.1 定着装置の保護

定着装置の構成部分に対して、防錆処置を行う。

【解説】

定着装置は鋼製であり、将来にわたって多重な防錆を行う必要がある。

現状の定着装置に対する保護方法を以下に示す。

(1) 定着装置の鋼製部分は、ステンレス鋼でないため、防錆塗料を塗布する。

(2) 写真-解 4.19 に示す保護カバーには、防錆材を注入するため、耐圧性と防錆に優れたものを使用する。保護カバーの取付は、防錆材の充填性を高めるため、保護カバーの全周にシール材を施し、コンクリート用ネジで定着する。さらに、将来の万が一の落下に備え、保護カバーを固定プレートにボルトで固定する。

(3) 防錆材には、グラウト材を使用する。写真-解 4.20 のように保護カバーに設けた注入孔からグラウト材を注入し、保護カバー内を充填する。グラウトに関して、材料、施工方法および品質管理は、PCグラウトマニュアル（プレストレストコンクリート技術協会）に準拠する。

ただし、保護カバー内の構造がシースのようなダクトでないため、グラウトの注入圧は、充填性に関して低圧で十分であることを既往の試験で確認している。そのため、グラウト材は、低粘性のグラウト材がよい。グラウトの注入孔と排出口は、保護カバー内にグラウトが完全に充填される位置に設ける。



写真-解 4.19 保護カバーの設置



写真-解 4.20 グラウト注入

4.2.12 炭素繊維プレートの仕上げ

炭素繊維プレート表面には、目的に応じて仕上材を塗布する。

【解説】

炭素繊維プレートの表面をサンドペーパーで軽く目粗し清掃した後、よごれがないことを確認し、ウレタン系等の耐候性塗料を塗布する。炭素繊維は、促進暴露試験などにより耐久性に優れていることが確認されている。しかしながら、紫外線により炭素繊維プレート表面の樹脂が黄変など変色することがあるので、塗装など適切な仕上げを行うのが良い。この仕上げの目的は、長期的な紫外線による変色を予防することと写真-解4.21のように色調をコンクリートと同色とすることで景観性に配慮することにある。

標準的な塗装量は、アクリルウレタン樹脂塗装の場合で $150\text{g}/\text{m}^2$ (目標膜厚: $50\mu\text{m}$) の2回塗りとする。また、特に耐衝突性や耐火性が要求される場合、モルタル被覆や鋼製ガイドを用いるのがよい。

施工が完了した状況を写真-解 4.22 に示す。



写真-解 4.21 炭素繊維プレートの仕上げ



写真-解 4.22 施工完了

4.2.13 施工管理試験

1) 材 料

アウトプレート工法で使用する材料は、使用に先立ち、製造会社の品質規格証明書を提出するものとする。また、入荷毎にも品質規格証明書を提出し、確認するものとする。

2) 基準試験

基準試験は、材料ならびに施工法が本マニュアルに規定する諸基準を満足することを確認するために、施工開始前に実施する試験である。

3) 定期管理試験

定期管理試験は、アウトプレート工法が所定の規格を満足しているかを確認するために工事期間中において定期的に行う試験である

4) 日常管理試験

日常管理試験は、アウトプレート工法の材料ならびに強度等が所定の規格を満足しているか、また、変動がどの程度あるのかを確認するとともに、各施工毎の品質管理を行うために工事期間中に実施する試験である。

【解 説】

2) 基準試験における項目、頻度ならびに規定値は、表-解 4.3 に示すとおりである。

表-解 4.3 アウトプレート工法の基準試験

項 目	試験項目	試験方法	試験頻度	規格値
アウトプレート	引張試験	試験体を作製し、引張試験を実施する(JSCE-E 531-1999 準拠)。または、使用アウトプレートを許容引張荷重で緊張する。	施工物件毎	許容引張荷重未滿で、アウトプレートの破断、定着部での引き抜け、定着体の変状が生じないこと。

3) 定期管理試験における項目、頻度ならびに規定値は、表-解 4.4 に示すとおりである。

表-解 4.4 アウトプレート工法の定期管理試験

項 目	試験項目	試験方法	試験頻度	規格値
アンカー 引き抜き試験	引張試験	センターホールジャッキで緊張を行う。	各サイズを 3本	使用する樹脂アンカーの長期許容引張強度

4) 日常管理試験における項目、頻度、試験方法ならびに規定値は、表-解 4.5 に示すとおりである。

表-解 4.5 アウトプレート工法の日常管理試験

項目	試験項目	試験方法	試験頻度	規格値
使用材料の確認	材料試験	品質規格証明書	製造 ロット毎	各試験項目が、品質補償 範囲以内であること。
施工状況の記録	緊張管理	荷重計示度と伸びにより管理する。	緊張毎	管理値に対して、荷重計 示度と伸びが 10% 以内 であること。
材料使用の記録	使用量の 確認	空袋等による確認	施工日毎	材料区分と工程毎の使用 量が大きく変わらないこ と。
接着剤等 の使用量	使用量の 確認	単位使用量の確認	施工単位毎	標準使用量を下回らない こと。
固定プレート	出来型	寸法検査	全枚数	設計寸法に対して \pm 1mm とする。
アウトプレートの 設置	出来型	寸法検査	全数	既設鉄筋の位置により、 当初計画と異なることが 想定されるので、最終出 来型図のみで対応する。

第5章 維持管理

5.1 一般

アウトプレート工法によりプレストレスが導入されたコンクリート構造物は、長期にわたり補強の効果を持続させるため、定期的な調査を行い、変状が発見された場合には適切な対策を実施しなければならない。

【解説】

アウトプレート工法によりプレストレスが導入されたコンクリート構造物は、長期にわたり補強の効果を持続させるため、定期的な調査を行い、アウトプレートに変状が発見された場合、適切な対策や処理が必要である。補強後の性状がフラット性に富んだアウトプレート工法は、供用中の道路や鉄道上の構造物に用いられることが多く、アウトプレートに変状が生じた場合、第三者に影響を与えることも考えられ、定期的な調査は極めて重要である。

5.2 調査

目視による外観調査は、アウトプレート工法によるプレストレスの導入効果が低下するような変状の有無を発見するために定期的な実施しなければならない。

【解説】

アウトプレート工法で補強したコンクリート構造物の調査は、双眼鏡などによる目視観察を主体とし、管理者が定める点検方法ならびに頻度によって実施する。外観調査では、交通車両による炭素繊維プレートの割れや切れ目の有無ならびに定着装置の変形、また、防錆材や仕上げ材が塗布されている場合は、その劣化状況を観察する。

さらに、アウトプレート工法で補強した周辺部のコンクリートに対して、ひび割れや漏水、遊離石灰の有無も観察する。

5.3 補修

調査により、アウトプレートまたはアウトプレート工法で補強した周辺部のコンクリートに対して、変状が認められた場合、補修対策を施さなければならない。また、万が一、炭素繊維プレートに割れや切れ目などの変状が発見された場合、5.4の規定に従う。

【解説】

調査により、アウトプレートまたはアウトプレート工法で補強した周辺部のコンクリートに対して、変状が認められた場合、補修対策を施すのがよい。一方で、万が一、炭素繊維プレートに割れや切れ目などの変状が発見された場合、5.4の規定に従い、アウトプレートは、取り換えなければならない。

5.4 取り換え

炭素繊維プレートに割れや切れ目などの変状が発見された場合、アウトプレートの取り換えを実施しなければならない。

【解説】

炭素繊維プレートに万が一、割れや切れ目などの変状が発見された場合、アウトプレートは、取り換えなければならない。プレストレスが導入されているため、炭素繊維プレートの一部に割れや切れ目が生じると、破断が次第に進行し、プレストレスの導入効果が保持できない可能性がある。

既往の実験では、万が一発生した交通車両による炭素繊維プレートの破断に備え、コンクリート面に接着された炭素繊維プレートを序々にカッターで破断し、最終的な破断挙動を確認している。

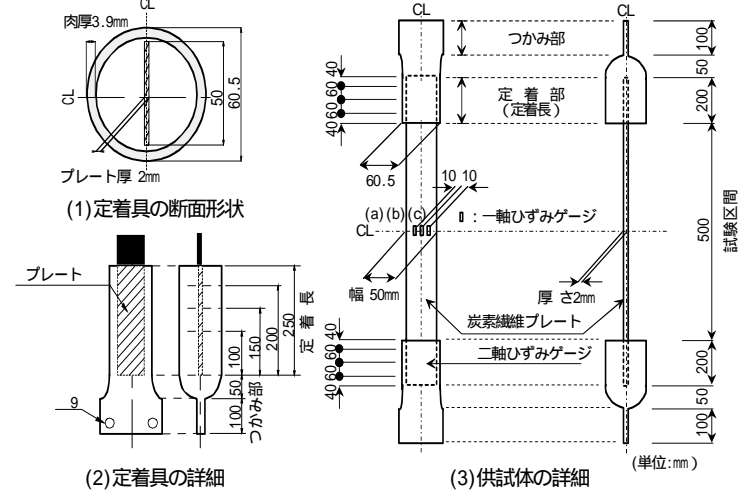
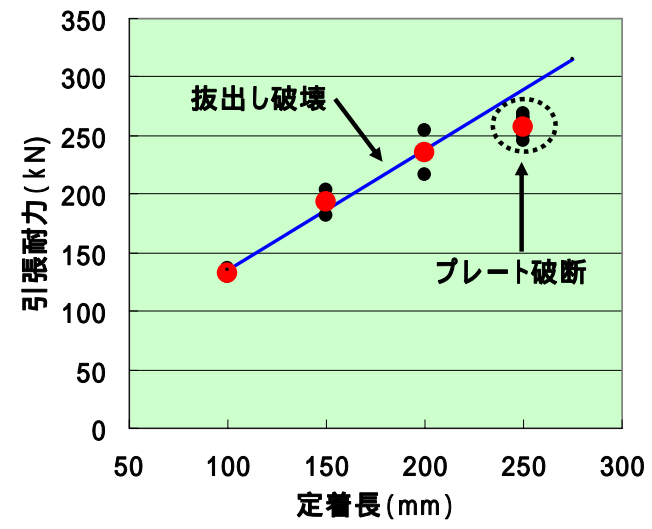
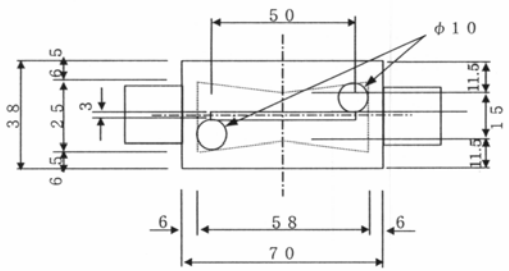
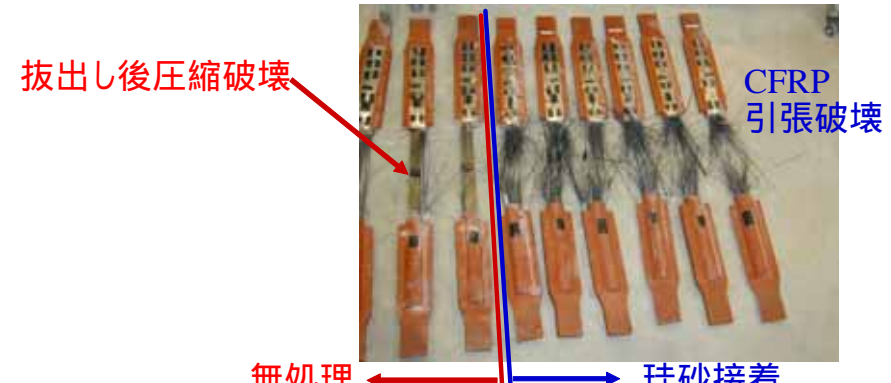
炭素繊維プレートの一部を破断させた場合、接着樹脂と中間定着体の接着効果により、残留断面では破断は進行しない。ただし、破断させた部分は、炭素繊維プレートの材料特性から長さ方向に割れが進行する。しかしながら、この割れ性状は、両側に設けた中間定着体でほぼ抑止されるため、破断した炭素繊維プレートの飛散ならびに垂れ下がりが生じるのは、中間定着体の間のみである。

炭素繊維プレートに割れや切れ目などの変状が発見され、アウトプレートを交換する場合において、以下に留意事項を示す。

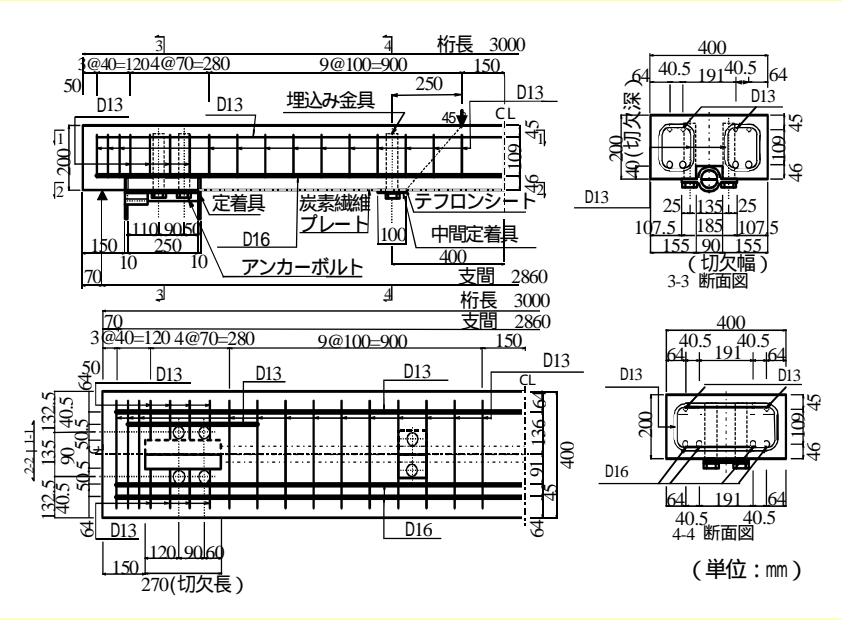
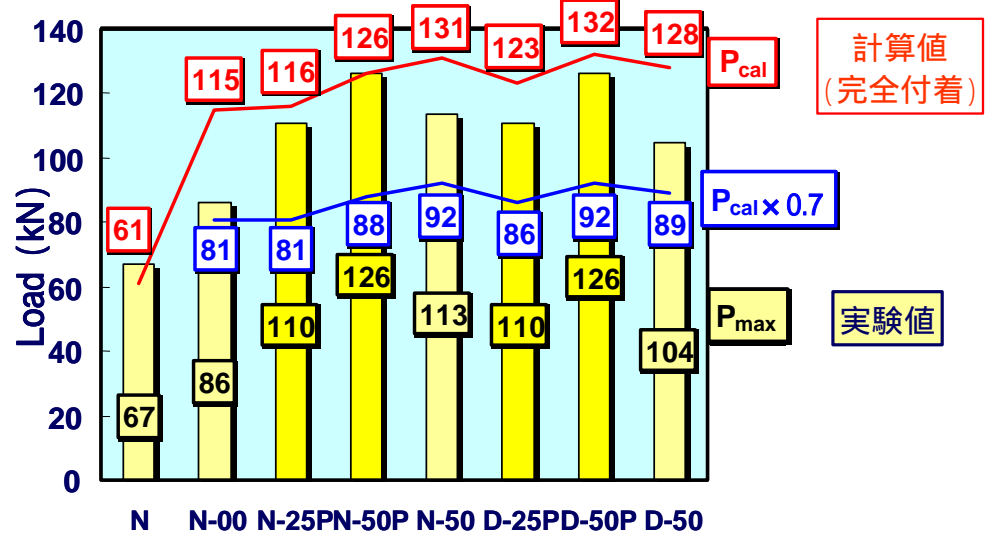
- (1) アウトプレートは、切断後の炭素繊維プレートが飛散しないように周囲に防護を設けた上で、残りの部分を次第に切断し、炭素繊維プレート全体の張力を開放する。
- (2) 固定プレートおよび固定アンカー以外は、アウトプレートおよび定着ボルト等を含め、全て撤去する。固定プレートおよび固定アンカーは、再緊張時にも使用することが基本的に可能である。
- (3) 炭素繊維プレート接着部分のコンクリートは、ペースト部分が剥離するため、セメントモルタル系の材料で補修し、十分養生する。

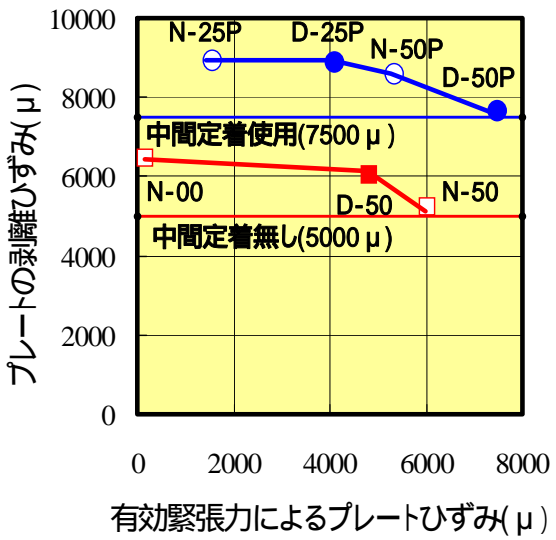
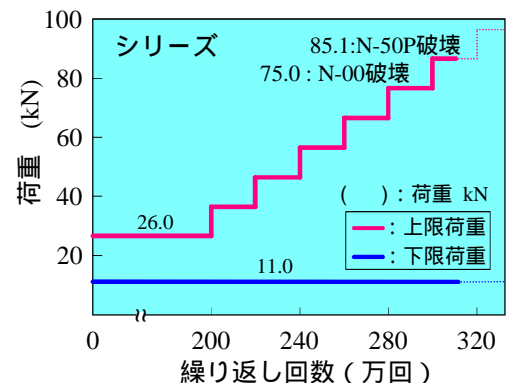
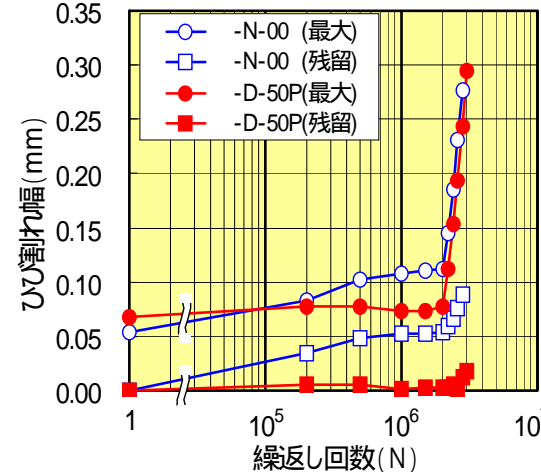
第6章 技術資料

1. アウトプレートの引張強度特性および定着特性

項目	概要	目的(確認項目)	結果
<p>1) 引張強度特性</p>	<p>アウトプレートの引張強度特性を確認するため、円形断面を有する定着体の定着長を変化させ、引張試験を実施した。(プレート長: 500mm)</p>  <p>(1) 定着具の断面形状 (2) 定着具の詳細 (3) 供試体の詳細 (単位:mm)</p> <p>試験体</p>	<p>1) 定着長の確認(円形断面定着体)</p> <p>2) アウトプレートの引張強度特性</p>	<p>定着長 200mm まではプレートが定着体から抜け出して破壊に至り、定着長の増加に比例して引張耐力も増加した。定着長 250mm では、プレートが破断して破壊に至った。したがって、円形断面を有する定着体を用いる場合は、定着長を 250mm 以上確保する必要がある。</p>  <p>引張耐力(kN)</p> <p>定着長(mm)</p> <p>結果</p> <p>定着長 250mm 供試体の引張試験結果は、以下のようになった。</p> <ul style="list-style-type: none"> 引張耐力の平均値 = 257kN 引張耐力の変動係数 = 3.07% 弾性係数 = 150kN/mm² <p>引張耐力の平均値から標準偏差の3倍を減じて算定した保証耐力は、以下のようになった。</p> <ul style="list-style-type: none"> 保証耐力 = 234kN
<p>2) 定着体の断面形状</p>	<p>実構造物への適用を念頭に置き、矩形断面を有する定着体の引張試験を実施した。(中空断面: 58mm × 15mm、定着長: 350mm)</p> 	<p>1) 定着効果の確認(矩形断面)</p> <p>2) 引張強度の確認</p>	<p>プレートの表面に何も処置を施さなかった場合、プレートが定着体より抜け出して破壊に至った。プレート表面に事前に珪砂を接着した場合、プレートが破断して破壊に至った。</p> <p>プレートが破断した供試体の引張耐力の平均値は 250kN であり、円形断面定着体を用いた場合とほぼ同じ結果が得られた。したがって、矩形断面を有する定着体を用いる場合は、プレート表面に事前に珪砂を接着し、定着長を 350mm 以上確保する必要がある。</p>  <p>供試体の破壊状況</p>


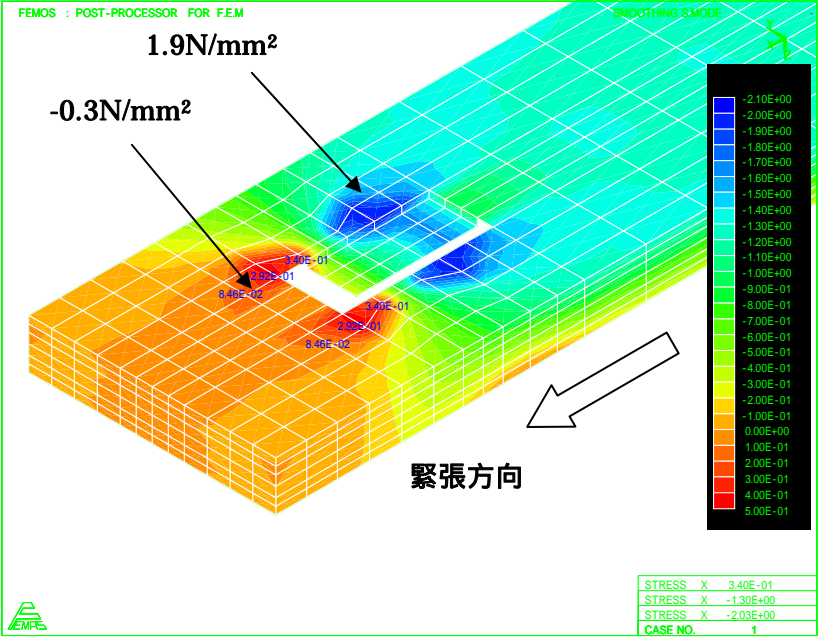
2. アウトプレート工法で補強した RC 部材の力学的特性

項目	概要	目的 (確認項目)	結果																												
<p>1) 供試体</p>	<p>アウトプレートにより補強された RC 部材の力学的特性を検討するために、4000 × 200 × 3000mm の RC はりを製作した。</p>  <p style="text-align: center;">試体の概要</p>		<p>供試体の諸元</p> <ul style="list-style-type: none"> 幅 400mm × 高さ 200mm × 長さ 3000mm 引張鉄筋 D16 × 4 本 (SD295) 有効高さ = 154mm 引張鉄筋比 = 1.29% コンクリート強度 = 38.9N/mm² 支点間距離 = 2860mm, 曲げスパン = 300mm, せん断スパン有効高さ比 = 8.31 <p>補強方法</p> <ul style="list-style-type: none"> アウトプレートは、引張試験に用いたものと同じものを用いた。 アウトプレートに導入する緊張力を変化させ、補強効果を確認した。 載荷点から 250mm 離れたせん断スパン内に中間定着具を設置した供試体を製作し、中間定着具のプレート剥離防止効果を検討した。 引張鉄筋が降伏するまで曲げ載荷して初期損傷を与えた供試体を製作し、損傷を有する RC はりに対する補強効果を確認した 																												
<p>2) 静的載荷試験</p>	<p>緊張したアウトプレートで補強した RC はりの静的曲げ載荷試験を実施し、曲げ補強効果を検討した。</p> <table border="1" data-bbox="623 1102 1098 1365"> <thead> <tr> <th>供試体名称</th> <th>ひび割れ損傷</th> <th>目標緊張力 (kN)</th> <th>中間定着具</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>N</td> <td></td> <td colspan="2">無補強はり</td> </tr> <tr> <td>N-00</td> <td rowspan="3">無し (健全はり)</td> <td>11.4 [5%]</td> <td></td> </tr> <tr> <td>N-25P</td> <td>58.2 [25%]</td> <td>有り</td> </tr> <tr> <td>N-50P</td> <td>116.8 [50%]</td> <td>有り</td> </tr> <tr> <td>D-25P</td> <td rowspan="3">有り (損傷はり)</td> <td>58.2 [25%]</td> <td>有り</td> </tr> <tr> <td>D-50P</td> <td>116.8 [50%]</td> <td>有り</td> </tr> <tr> <td>D-50P</td> <td>116.8 [50%]</td> <td>有り</td> </tr> </tbody> </table> <p>[]: 目標緊張力 / 保証耐力 (=234kN)</p> <p>試験概要</p> <ul style="list-style-type: none"> 供試体数=8 体 N: 初期損傷なし (健全), D: 初期損傷あり 00, 25, 50: 導入緊張力 (保証耐力の%表示) 記号 P: 中間定着具あり 	供試体名称	ひび割れ損傷	目標緊張力 (kN)	中間定着具	N		無補強はり		N-00	無し (健全はり)	11.4 [5%]		N-25P	58.2 [25%]	有り	N-50P	116.8 [50%]	有り	D-25P	有り (損傷はり)	58.2 [25%]	有り	D-50P	116.8 [50%]	有り	D-50P	116.8 [50%]	有り	<p>1) 曲げ補強効果の確認</p>	<p>補強した RC はりの曲げ破壊耐力は、無補強供試体 (N) より全て大きくなった。しかし、補強した RC はりはプレートが剥離して破壊に至ったため、曲げ破壊耐力は、破壊までプレートが完全に付着していると仮定して算出した計算値より小さくなった。補強した RC はりの曲げ破壊耐力は、導入緊張力が大きくなるほど大きくなった。また、初期損傷の有無に関わらず、中間定着具を設置することにより、補強した RC はりの曲げ破壊耐力は大きくなった。</p>  <p style="text-align: center;">各供試体の曲げ破壊耐力</p>
供試体名称	ひび割れ損傷	目標緊張力 (kN)	中間定着具																												
N		無補強はり																													
N-00	無し (健全はり)	11.4 [5%]																													
N-25P		58.2 [25%]	有り																												
N-50P		116.8 [50%]	有り																												
D-25P	有り (損傷はり)	58.2 [25%]	有り																												
D-50P		116.8 [50%]	有り																												
D-50P		116.8 [50%]	有り																												

項目	概要	目的（確認項目）	結果																									
		2) 中間定着具の効果	<p>中間定着具を設置していない供試体のプレートの剥離ひずみは、有効緊張力の増加に伴い減少するものの、5000 μ以上であった。</p> <p>中間定着具を設置した供試体の剥離ひずみは、設置していない場合より一律2500 μ程度増加し、7500 μ以上であった。</p> <p>これにより、中間定着具を設置した供試体の曲げ破壊耐力は、設置しない場合より向上したと考えられる。</p> 																									
3) 疲労載荷試験	<p>緊張したアウトプレートで補強したRCはりの疲労曲げ載荷試験を実施し、疲労強度などを検討した。</p> <p>試験概要</p> <ul style="list-style-type: none"> 供試体数=5 体 ：段階繰返し載荷，：一定繰返し載荷 の初期上限荷重は、B 活荷重載荷時に相当する荷重。 の 70, 60, 50 : 上限荷重費（破壊耐力の%表示）  <p>シリーズの段階繰返し載荷</p>	<p>1) 疲労強度</p> <p>2) ひび割れ抑制効果</p>	<p>シリーズにおいて、B 活荷重に相当する上限荷重を 200 万回載荷しても、補強した RC はりは疲労破壊しなかった。また、保証耐力の 50% の緊張力を導入して補強したはりの疲労強度は、15% の緊張力を導入した場合より大きくなった。</p> <p>補強した RC はりの 200 万回疲労強度は、静的曲げ破壊耐力の 50% 程度であった。</p> <table border="1" data-bbox="1929 997 2686 1302"> <thead> <tr> <th>供試体名称</th> <th>上限荷重 (kN)</th> <th>繰返し回数</th> <th>破壊形式</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">シリーズ</td> <td>- N - 00 (=15%)</td> <td>75.0</td> <td>2,892,461</td> <td>引張鉄筋の疲労破断</td> </tr> <tr> <td>- D - 50P (=50%)</td> <td>85.1</td> <td>3,067,024</td> <td>プレート剥離後、引張鉄筋の破断</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">シリーズ</td> <td>-N-50P-70 (=53%)</td> <td>88.2</td> <td>192,581</td> <td rowspan="2">プレート剥離後、引張鉄筋の破断</td> </tr> <tr> <td>-N-50P-60 (=51%)</td> <td>75.6</td> <td>647,417</td> </tr> <tr> <td>-N-50P-50 (=49%)</td> <td>63.0</td> <td>2,000,000</td> <td>200万回で繰返し載荷を終了</td> </tr> </tbody> </table> <p>初期損傷を有する供試体を緊張したアウトプレートで補強すると、初期損傷として残留していたひび割れは目視では確認できない程度に閉じた。</p> <p>シリーズにおいて保証耐力の 50% の緊張力を導入して補強した RC はりでは、B 活荷重に相当する上限荷重を 200 万回載荷しても、最大ひび割れ幅は増加しなかった。</p> <p>また、その後上限荷重を段階的に増加しても、残留ひび割れ幅はほとんど増加せず、優れたひび割れ抑制効果を発揮した。</p>  <p>繰返し回数とひび割れ幅の関係</p>	供試体名称	上限荷重 (kN)	繰返し回数	破壊形式	シリーズ	- N - 00 (=15%)	75.0	2,892,461	引張鉄筋の疲労破断	- D - 50P (=50%)	85.1	3,067,024	プレート剥離後、引張鉄筋の破断	シリーズ	-N-50P-70 (=53%)	88.2	192,581	プレート剥離後、引張鉄筋の破断	-N-50P-60 (=51%)	75.6	647,417	-N-50P-50 (=49%)	63.0	2,000,000	200万回で繰返し載荷を終了
供試体名称	上限荷重 (kN)	繰返し回数	破壊形式																									
シリーズ	- N - 00 (=15%)	75.0	2,892,461	引張鉄筋の疲労破断																								
	- D - 50P (=50%)	85.1	3,067,024	プレート剥離後、引張鉄筋の破断																								
シリーズ	-N-50P-70 (=53%)	88.2	192,581	プレート剥離後、引張鉄筋の破断																								
	-N-50P-60 (=51%)	75.6	647,417																									
	-N-50P-50 (=49%)	63.0	2,000,000	200万回で繰返し載荷を終了																								

3. アウトプレート緊張システムの開発

項目	概要	目的(確認項目)	結果
1) 1期試験～ 掛川工場 (平成15年3月)	<p>改良ジャッキの使用性と緊張システムに関する設計値の確認を行なった。 (アウトプレート長: 5.132m、片引き緊張)</p> <p>試験体</p>  <p>緊張状況</p>  <p>角度プレートの設置</p> 	<p>1) 改良ジャッキの使用性 (250kN、100mm ストローク)</p> <p>2) ジャッキロス</p> <p>3) 緊張システムの確認 (1) 左右の鋼棒における張力バランス</p> <p>(2) コンクリート下面とアウトプレートの摩擦ロス</p> <p>(3) アウトプレートのヤング係数</p> <p>(4) アンカーボルトに発生する引抜き力</p> <p>(5) アウトプレートに対する折れ角の影響</p>	<p>ジャッキの材質にチタンならびにアルミを一部使用し、軽量化(26.1kg)したため、作業性は著しく向上。</p> <p>緊張側ロードセルの測定値から、ジャッキロスは平均17.2%(3回測定)。 緊張側ひずみゲージの測定値から、ジャッキロスは平均11.2%(3回測定)。</p> <p>緊張側ロードセルの測定値から、左右鋼棒の張力比率は、0.909～0.958。</p>  <p>ロードセルの測定値から、固定側と可動側の張力比率が0.998～1.012であり、コンクリート下面とアウトプレートで摩擦損失は発生していない。</p> <p>アウトプレートの伸び量が設計値に対してほぼ±5.0%以内であり、設計上のヤング係数は、$E=1.63 \times 10^5 \text{N/mm}^2$で良い。</p> <p>アンカーボルトに取付たロードセルの測定値は、最大0.9kNであり、引抜き力はほとんど発生しない。</p> <p>角度が1.0度と1.5度の角度プレートを固定プレートにはさみ、アウトプレートに折れ角を発生させ、アウトプレートの張力を測定した。アウトプレートの張力は、角度プレートがない場合に比べ、1.5度プレートの場合で最大4.2%低下した。しかし、発生する張力損失は、通常の緊張管理が実施されれば、必要導入力に影響はないと考えられる。</p>
2) 奈良県・平和橋 (平成15年4月)	<p>本橋は、単純PCT桁橋であり、主桁1本毎に1本の炭素繊維プレートを定着し、合計7本緊張した。 1期試験で検証された設計値から導入緊張力と伸び量を算定して、緊張を実施した。 (アウトプレート長: 25.382m、両引き緊張)</p> <p>伸び量の測定</p> 	<p>導入緊張力 131.5kN(38.5Mpa)、伸び量 205.0mm の設計値に対して、荷重計示度および伸び量は、管理範囲±10.0%で緊張管理。 設計上のジャッキロスは、キャリブレーション結果より11.3%とする。</p>	<p>7本の緊張結果から、アウトプレート緊張は、管理範囲±10.0%で十分管理できることを確認した。</p>

項目	概要	目的(確認項目)	結果
<p>3) 2期試験 ～ 関東工場 (平成 15 年 7 月)</p>	<p>第 2 期試験では、コンクリート強度ならびに構造(版厚が薄い。)が厳しい状態の試験体に対して、炭素繊維プレートの緊張を行い、定着部の安全性を確認した。 試験体は、形状(1000×5500×200、2.8ton/枚)の RC 構造である。</p> 	<p>試験の目的は、以下のとおりである。 低強度コンクリート($f_{ck}=21\text{N/mm}^2$)に対する定着安全性 樹脂アンカーの主桁埋め込み長を短くした場合の定着安全性 樹脂アンカー M20 は、ショートタイプを使用し、コンクリート埋め込み長は 130mm。</p>	<p>以下に事前の FEM 解析における橋軸方向の応力度分布(160kN 緊張時)を示す。</p>  <p>160kN 緊張時の橋軸方向応力分布(主桁下縁)</p> <p>定着部背面では、コンクリート材令 21 日時(圧縮強度 24.2N/mm^2)に解析値の -14.5μ に対して -10μ 程度のひずみが発生し、最大で -16.3μ (コンクリート応力度換算: -0.38N/mm^2) のひずみが発生した。コンクリート材令 41 日時においても、最大で -22.8μ (コンクリート応力度換算: -0.68N/mm^2) のひずみが発生した。 圧縮ひずみは、コンクリート材令 41 日時にコンクリートのひずみゲージを追加して測定を実施したが、解析値の 80.9μ に対して 100μ 程度のひずみが発生し、最大で 217.3μ (コンクリート応力換算: 5.11N/mm^2) のひずみが発生した。 コンクリート設計基準強度 21N/mm^2 の許容値をコンクリート標準示方書(土木学会)から算出すると、圧縮応力に対して 8.4N/mm^2 ($0.4f'_{ck}$)、引張応力に対して -1.8N/mm^2 (ひび割れ発生限界 f_{tde}) である。 したがって、許容値を超えた応力は発生せず、低強度のコンクリートに対する定着の安全性が確認された。 さらに、本試験では主桁の埋め込みアンカー長を短くしたため、アンカーの引き抜き耐力が低下するが、緊張時においてアンカーの抜け挙動は確認されなかった。</p>

4. 施工実績

工事名	発注者(事務所)	施工開始	施工終了	構造型式	備考
能舞台栈敷工事(鏡橋補強)	東北芸術工科大学	2002/06/24	2002/08/21	P C 4 径間連続版桁橋	歩道橋
緊急地方道路整備事業(橋梁補修)木津横田線(平和橋)	奈良県 郡山土木事務所	2003/02/26	2003/06/16	P C 6 ^ホ ステンション T 桁橋	県道 7 5 4 号線
中央自動車道 国立床版補強工事(都計 2 1 3 橋)	日本道路公団 八王子管理事務所	2003/06/26	2004/02/20	RC 3 径間連続箱桁	高速自動車道路

5. 投稿論文

- (1) 濱田譲、井上真澄、小林朗、高木宣章、児島孝之：緊張した炭素繊維プレートによる既設コンクリート部材の補強に関する研究、土木学会論文集 NO.711/V-56、27-44、2002.8
- (2) 安森浩、高橋輝光、濱田譲、小林朗：炭素繊維プレート緊張システムの開発、プレストレストコンクリート技術協会第 1 2 回シンポジウム論文集
- (3) 長谷川剛、濱口竜雄、江本雅樹、小林朗：炭素繊維プレート緊張材を用いた「平和橋」の補強、プレストレストコンクリート技術協会第 1 2 回シンポジウム論文集

資料 - 2 設計計算例 (CRC: PC-BEAMによる)

第1章 設計条件

1.1 設計条件

1) 設計条件

橋	種	:	プレストレストコンクリート道路橋		
構	造	形	式	:	ポストテンション方式PC単純T桁橋
橋	長	:	30.600 m		

【設計条件一覧表】

	桁長 (m)	支間長 (m)	桁がかり長 (m)	
			左桁端側	右桁端側
G1	30.540	29.740	0.400	0.400
G7	30.540	29.740		

橋台、橋脚	全幅員 (m)	主桁間隔 (m)	斜角
左橋台	13.800	2.000	右 64° 40' 0"
右橋台	13.800	2.000	右 64° 40' 0"

2) 荷重条件

(1) 単位重量

鉄筋コンクリート	:	24.5 kN/m ³
無筋コンクリート	:	23.0 kN/m ³
アスファルト舗装	:	22.5 kN/m ³

(2) 活荷重

自動車荷重	:	TL20	B 活荷重
		床版設計の輪荷重	= 100.000 kN

群集荷重	:	床版の設計	= 5.000 kN/m ²
		主桁・横桁の設計	= 3.500 kN/m ²

(3) 雪荷重 : 0.000 kN/m²

(4) 橋面荷重

荷重種別			
地覆自重	左側	kN/m	4.716
	右側		4.716
高欄自重	左側	kN/m	0.600
	右側		0.600
歩道自重	左側	kN/m ²	6.310
	右側		6.310
防護柵自重	左側	kN/m	0.000
	右側		0.000
縁石自重	左側	kN/m	1.550
	右側		1.550
張出床版	左側	kN/m	0.000
	右側		0.000
車道舗装自重	左側	kN/m ²	1.861
	右側		1.861
中央分離帯自重		kN/m ²	0.000
添架物荷重	1	kN/m	2.000
	2		1.000
	3		1.000

1. 2 材料強度及び許容応力度

1) コンクリート (N/mm²)

項目		主桁
設計基準強度		40.00
プレストレス導入時の圧縮強度		34.00
許容曲げ圧縮応力度	プレストレス導入直後	19.00
	設計荷重時	14.00
許容曲げ引張応力度	プレストレス導入直後	-1.50
	全死荷重時	0.00
	設計荷重時	-1.50
	セグメント継目部	-2.50
平均せん断応力度	設計荷重時	0.55
	終局荷重時	5.30
	" ねじり+せん断	6.10
許容斜引張応力度	死荷重時	-1.00
	" ねじり+せん断	-1.30
許容斜引張応力度	設計荷重時	-2.00
	" ねじり+せん断	-2.50
衝突荷重組み合わせ	PC床版	21.00
	RC床版	-----

2) PC鋼材 (N/mm²)

項目		主桁
PC鋼材種類		12W7
PC鋼材材質		SWPR1
引張強度		1500.0
降伏点応力度		1300.0
許容 引張 応力度	緊張作業時	1170.0
	プレストレス導入直後	1050.0
	設計荷重時	900.0

3) 鉄筋 (N/mm²)

項目		
鉄筋材質		SD295A
降伏点応力度		295.0
許容引張応力 度	主桁鉄筋：斜引張鉄筋，せん断	295.0
	主桁鉄筋：軸方向鉄筋	295.0
	主桁鉄筋：引張鉄筋	180.0
	床版鉄筋：主荷重+主特	140.0
	床版鉄筋：主荷重+主特+衝突	270.0
	床版鉄筋：死荷重時	100.0
	横桁鉄筋	180.0

4) CFRP(炭素繊維プレート) (N/mm²)

項目		
プレート種類	幅 (mm)	50.0
	厚 (mm)	2.0
弾性係数		1.65 × 10 ⁵
純リラクセーション率 (%)		6.0
引張強度		2400.0
許容 引張 応力度	緊張作業時	1920.0
	プレストレス導入直後	1680.0
	設計荷重時	1440.0

1.3 形状寸法

1)主桁寸法

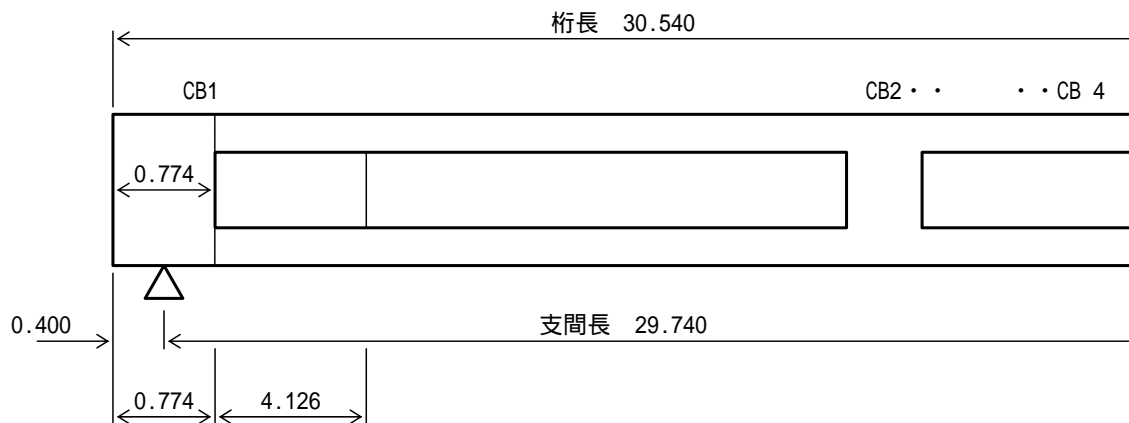
断面形状 : 「主桁の設計」を参照
 桁高 : 桁高変化なし
 1600.00 ~ 1600.00 mm

2)横桁寸法

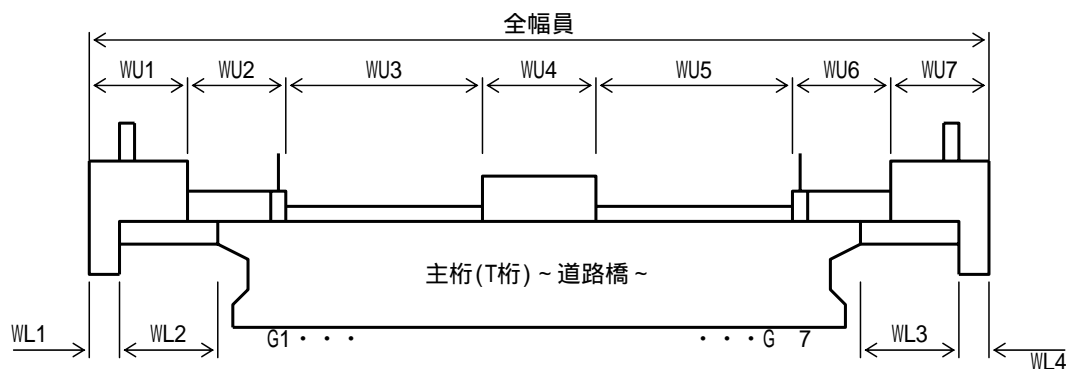
	G1横桁位置	G7横桁位置	横桁厚	横桁高さ	ダイヤフラム
CB1	0.400	0.400	0.774	-----	
CB2	10.270	10.270	0.220	0.200	
CB3	20.270	20.270	0.220	0.200	
CB4	30.140	30.140	0.774	-----	

注1 : 厚さは橋軸方向(主桁と平行)での寸法
 注2 : 横桁高さは主桁下縁から横桁下縁までの高さ

【側面図, 単位:m】 注:CBiは横桁番号を表す。(CB1, 4は支点横桁)



【断面図, 単位:m】 注:Giは主桁番号を表す。(G1, 7は左右の外桁)



	全幅員	WU1	WU2	WU3	WU4	WU5	WU6	WU7
左橋台	13.800	0.400	2.250	4.250	0.000	4.250	2.250	0.400
右橋台	13.800	0.400	2.250	4.250	0.000	4.250	2.250	0.400

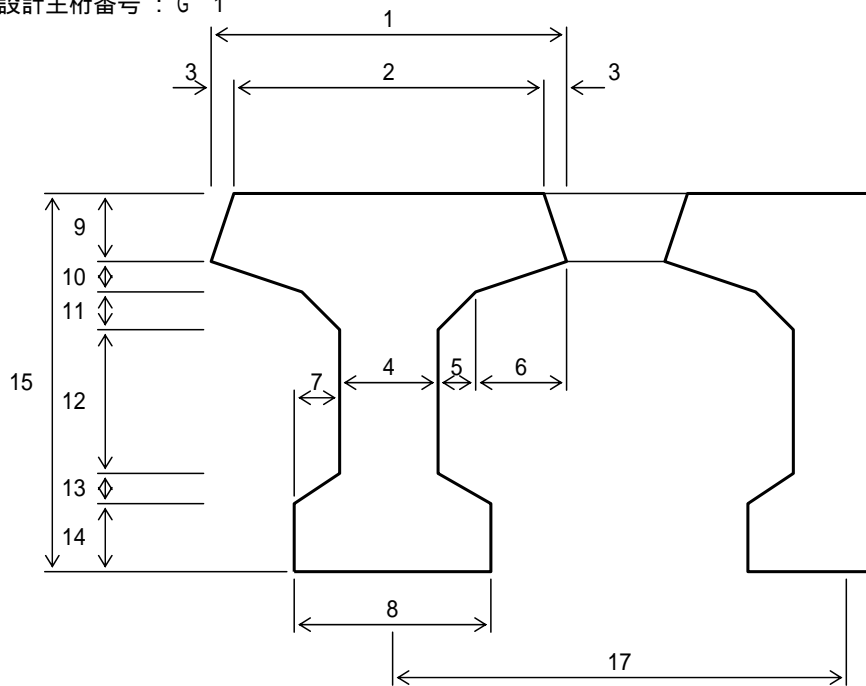
	主桁間隔	WL1	WL2	WL3	WL4
左橋台	2.000	0.150	0.000	0.000	0.150
右橋台	2.000	0.150	0.000	0.000	0.150

第2章 主桁の設計

2.1 主桁形状及び鋼材配置

1) 主桁断面形状

・設計主桁番号：G 1



		左桁端	支間中央	右桁端
幅 (mm)	1	1500.0	1500.0	1500.0
	2	1480.0	1480.0	1480.0
	3	20.0	20.0	20.0
	4	500.0	180.0	500.0
	5	100.0	260.0	100.0
	6	400.0	400.0	400.0
	7	0.0	160.0	0.0
	8	500.0	500.0	500.0
高さ (mm)	9	180.0	180.0	180.0
	10	15.0	15.0	15.0
	11	34.6	90.0	34.6
	12	1170.4	905.0	1170.4
	13	0.0	210.0	0.0
	14	200.0	200.0	200.0
	15	1600.0	1600.0	1600.0
	16	-----	-----	-----
主桁間隔 (mm)	17	2000.0	2000.0	2000.0

2) PC鋼材の配置

(2) 各検討断面のケーブル位置

検討断面番号		1	2	3	4
桁端からの距離 (m)		0.400	1.200	4.900	15.270
ケーブル段数/位置 (mm)	1	0.0	0.0	0.0	165.0
	2	0.0	0.0	0.0	165.0
	3	0.0	0.0	1402.7	165.0
	4	0.0	0.0	856.7	165.0
	5	0.0	0.0	401.9	165.0
	6	1246.9	1076.8	290.4	80.0
	7	855.9	714.9	110.1	80.0
	8	464.9	352.4	80.0	80.0
PC鋼材図心位置 (mm)		777.7	642.3	416.5	122.5
sin i		0.8336	0.8336	1.2596	0.0000

注: 高さは左桁端の主桁下縁を基準とする

2. 2 断面諸定数の計算

検討断面番号 [4]			コンクリート 総断面	コンクリート 純断面	PC鋼材 換算断面	場所打ち 換算断面
コンクリート断面積		cm ²	6586.00	6440.78	6738.69	7161.40
中立軸からの距離	主桁上縁	cm	60.77	58.80	62.74	59.56
	下縁		-99.23	-101.20	-97.26	-100.44
	PC鋼材図心		-86.98	-88.95	-85.01	-88.19
断面二次モーメント		cm ⁴	21053760.63	19930038.86	22182711.20	23347626.63
断面係数	主桁上縁	cm ³	346475.63	338921.74	353585.76	392016.44
	下縁		-212161.68	-196945.41	-228068.05	-232448.32
	PC鋼材図心		-242040.34	-224069.60	-260931.44	-264735.65
回転二次半径		cm ²	3196.74	3094.35	3291.84	3260.20
断面一次モーメント		cm ³	170008.28	162543.56	177579.72	186823.41

2. 3 曲げ応力度の計算

検討断面番号	1	2	3	4
曲げモーメント (kN・m)				
主桁自重	0.000	198.486	960.134	1842.638
場所打ちコンクリート	0.000	17.192	87.158	175.112
橋面荷重	0.000	110.819	543.661	1058.395
死荷重合計	0.000	326.497	1590.953	3076.145
活荷重合計(最大)	0.000	182.062	893.165	1738.809
活荷重合計(最小)	0.000	-14.728	-72.255	-140.666
雪荷重	0.000	0.000	0.000	0.000
合計(最大)	0.000	508.558	2484.118	4814.954
合計(最小)	0.000	311.768	1518.697	2935.479

2.4 プレストレスの計算

検討断面番号	1	2	3	4
直後プレストレス (N/mm ²)				
初引張応力度	1150.00			
初引張応力度(定着具の摩擦を考慮)	1150.00			
シーソとの摩擦による減少量	1.16	4.87	41.38	139.22
定着具のセットによる減少量	201.09	193.67	148.72	0.00
コンクリートの弾性変形による減少量	6.71	7.95	25.93	54.09
導入直後のPC鋼材応力度	941.05	943.51	933.96	956.69
許容引張応力度	1050.00	1050.00	1050.00	1050.00
有効プレストレス (N/mm ²)				
クリープ、乾燥収縮による減少量	80.03	84.71	140.30	188.66
リラクセーションによる減少量	47.05	47.18	46.70	47.83
PC鋼材の有効引張応力度	813.96	811.63	746.96	720.20
許容引張応力度	900.00	900.00	900.00	900.00
有効係数	0.8650	0.8602	0.7998	0.7528
プレストレス力 (N)				
弾性変形前	2188178	2196739	3545933	4667388
導入直後	2172691	2178386	3450138	4417602
設計荷重時	1879273	1873893	2759342	3325579

2.5 合成応力度の計算 (補強前)

検討断面番号		1	2	3	4	
曲げ応力度 (N/mm ²)						
主桁自重	主桁上縁	0.000	0.539	2.776	5.437	
	下縁	0.000	-0.775	-4.659	-9.356	
場所打ちコンクリート	主桁上縁	0.000	0.047	0.251	0.495	
	下縁	0.000	-0.066	-0.399	-0.768	
橋面荷重	主桁上縁	0.000	0.275	1.413	2.700	
	下縁	0.000	-0.416	-2.440	-4.553	
死荷重合計	主桁上縁	0.000	0.862	4.440	8.632	
	下縁	0.000	-1.258	-7.498	-14.677	
活荷重合計	最大	主桁上縁	0.000	0.452	2.321	4.436
		下縁	0.000	-0.684	-4.008	-7.480
	最小	主桁上縁	0.000	-0.037	-0.188	-0.359
		下縁	0.000	0.055	0.324	0.605
雪荷重	主桁上縁	0.000	0.000	0.000	0.000	
	下縁	0.000	0.000	0.000	0.000	
cpg (N/mm ²)						
主桁自重+プレストレス	PC鋼材図心	2.448	2.902	8.654	17.551	
PC鋼材 (N/mm ²)						
導入直後プレストレス	主桁上縁	1.283	0.522	-0.514	-4.735	
	下縁	3.516	4.867	15.147	26.810	
	PC鋼材図心	2.431	3.123	11.071	24.395	
有効プレストレス	主桁上縁	1.110	0.449	-0.411	-3.564	
	下縁	3.042	4.187	12.115	20.183	
合成応力度 (N/mm ²)						
導入直後 -1.50< c<19.00	主桁上縁	1.283	1.061	2.262	0.702	
	下縁	3.516	4.092	10.488	17.454	
全死荷重時 0.00< c<14.00	主桁上縁	1.110	1.310	4.029	5.068	
	下縁	3.042	2.929	4.616	5.505	
設計荷重時 -1.50< c<14.00	最大	主桁上縁	1.110	1.763	6.350	9.503
		下縁	3.042	2.245	0.608	-1.975
	最小	主桁上縁	1.110	1.274	3.841	4.709
		下縁	3.042	2.984	4.941	6.111

全死荷重時：活荷重及び衝撃以外の主荷重による応力度
 設計荷重時：主荷重及び主荷重に相当する特殊荷重による

第3章 補強計算

3.1 アウトプレートによるプレストレスの計算

CFRP製(高強度炭素繊維 引張強度 2300 N/mm²)のプレートを緊張し、主桁の下面に接着して補強を行う。

プレートに作用する緊張力は、緊張機器に作用する緊張力よりジャッキの内部損失とリラクゼーションにより減少する。

(1)ジャッキの内部損失による減少

$$p1 = 1 \cdot p_i$$

$p1$: ジャッキの内部損失による減少量

p_i : 初期緊張応力度

1 : ジャッキの内部損失率 = 13.00 %

(2)導入直後の応力度

$$p_t = p_i - p1$$

(3)リラクゼーションによる減少

$$p2 = p_t \cdot 2$$

$p2$: リラクゼーションによる減少量

2 : リラクゼーション率 = 6.00 % = 0.060

(4)PC鋼材の有効引張応力度

$$p_e = p_t - p2$$

(5)有効引張力

$$P_e = p_e \cdot B \cdot t \cdot N$$

B : プレートの幅 = 50.0 mm

t : プレートの厚さ = 2.000 mm

N : プレートの本数

検討断面番号		1	2	3	4
初引張応力度	N/mm ²	-----	-----	1250.00	1250.00
ジャッキの内部損失による減少量	N/mm ²	-----	-----	162.50	162.50
導入直後応力度 1610	N/mm ²	-----	-----	1087.50	1087.50
リラクゼーションによる減少量	N/mm ²	-----	-----	65.25	65.25
有効引張応力度 1380	N/mm ²	-----	-----	1022.25	1022.25
本数	本	-----	-----	1.00	1.00
導入直後引張力	N	-----	-----	108750	108750
有効引張力	N	-----	-----	102225	102225

3.2 合成応力度の計算（補強後）

検討断面番号		1	2	3	4
補強前合成応力度 (N/mm ²)					
全死荷重時 0.00< c<14.00	主桁上縁	1.110	1.310	4.029	5.068
	下縁	3.042	2.929	4.616	5.505
設計荷重時(最大) -1.50< c<14.00	主桁上縁	1.110	1.763	6.350	9.503
	下縁	3.042	2.245	0.608	-1.975
設計荷重時(最小) -1.50< c<14.00	主桁上縁	1.110	1.274	3.841	4.709
	下縁	3.042	2.984	4.941	6.111
アウトプレート					
導入直後プレストレス	主桁上縁	0.000	0.000	-0.134	-0.127
	下縁	0.000	0.000	0.647	0.622
有効プレストレス	主桁上縁	0.000	0.000	-0.126	-0.119
	下縁	0.000	0.000	0.608	0.584
アウトプレート補強後合成応力度					
導入直後 -1.50< c<14.00	主桁上縁	1.110	1.310	3.895	4.941
	下縁	3.042	2.929	5.263	6.127
全死荷重時 0.00< c<14.00	主桁上縁	1.110	1.310	3.903	4.948
	下縁	3.042	2.929	5.224	6.090
設計荷重時(最大) -1.50< c<14.00	主桁上縁	1.110	1.763	6.224	9.384
	下縁	3.042	2.245	1.216	-1.391
設計荷重時(最小) -1.50< c<14.00	主桁上縁	1.110	1.274	3.715	4.590
	下縁	3.042	2.984	5.549	6.695

← 0.K

全死荷重時：活荷重及び衝撃以外の主荷重による応力度
 設計荷重時：主荷重及び主荷重に相当する特殊荷重による

3 . 固定プレートの設計 (SM490)

固定プレートの設計は、固定アンカー間隔を支間とした梁モデルに対して、定着ボルトの位置にプレストレスを載荷して検討する。固定アンカーの位置は、鉄筋等の影響を受けプレストレスの載荷位置に対して非対称な配置となる場合があり、その影響を考慮して、固定プレートの形状を決定しなければならない。

1) 設計荷重

$$P = 240.0 / 2 = 120.0 \text{ kN}$$

2) 断面力

$$\text{曲げモーメント } M = 120.0 \times 10.25 = 1230.0 \text{ kN} \cdot \text{cm}$$

$$\text{せん断力 } S = 120.0 \text{ kN}$$

3) 断面常数

$$\text{断面積 } A = 2.1 \times 14.5 = 30.4 \text{ cm}^2 \text{ (板厚 } t = 45 - 24 = 21\text{mm)}$$

$$\text{断面係数 } W = 2.1 \times 14.5^2 / 6 = 73.5 \text{ cm}^3$$

定着ボルト孔径
/

4) 曲げ応力度

$$= M / W$$

$$= 1230.0 \times 10 / 73.5 = 167.3 \text{ N/mm}^2 < 175 \text{ N/mm}^2 \text{ OK}$$

5) せん断応力度

$$= S / A$$

$$= 120.0 \times 10 / 30.4 = 39.5 \text{ N/mm}^2 < 100 \text{ N/mm}^2 \text{ OK}$$

6) 合成応力度

$$(167.3 / 175)^2 + (39.5 / 100)^2 = 1.069 < 1.2$$

4 . 固定アンカーの設計 (SCM440)

1) 設計荷重

$$S = 240.0 \text{ kN}$$

2) ボルト断面積 (M22、細目ネジ)

$$A = 3.330 \text{ cm}^2/\text{本} \text{、} 4 \text{ 本配置}$$

3) せん断応力度

$$= S / A$$

$$= 240.0 \times 10 / 3.330 \times 4 = 180.2 \text{ N/mm}^2 < 188 \text{ N/mm}^2 \text{ OK}$$

4) 引張応力度

$$P = 240 \times 30.5 / 165 = 44.4 \text{ kN}$$

$$= P / A$$

$$= 44.4 \times 10^3 \times 1/2 / 333.0 = 66.7 \text{ N/mm}^2 < 491 \text{ N/mm}^2 \text{ OK}$$

5) 合成応力度

$$(180.2 / 185.0)^2 + (66.7 / 491.0)^2 = 0.967 < 1.2 \text{ OK}$$

5 . 定着ボルトの設計 (SCM440)

1) 設計荷重

$$P = 240 \text{ kN}$$

2) ボルト断面積 (M22、並目ネジ)

$$A = 3.034 \text{ cm}^2/\text{本} \text{、} 2 \text{ 本配置}$$

3) 引張応力度

$$= P / A$$

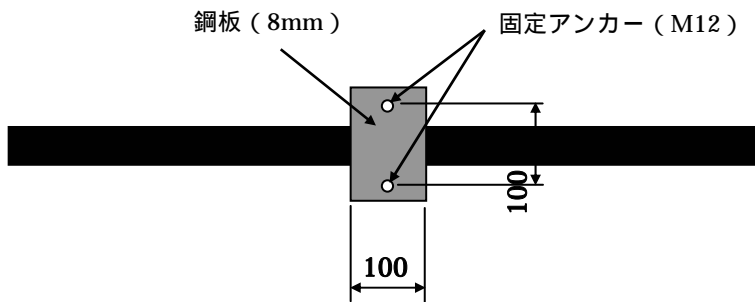
$$= 240.0 \times 10 / 3.034 \times 2 = 395.5 \text{ N/mm}^2 < 491 \text{ N/mm}^2 \text{ OK}$$

6. ジャッキ固定用ボルトの設計 (SCM435)

- 1) 設計荷重 $S = 240.0 \text{ kN}$
- 2) ボルト断面積 (M24、並目ネジ)
 $A = 3.525 \text{ cm}^2/\text{本}$ 、4本配置
- 3) せん断応力度
 $= S / A$
 $= 240.0 \times 10 / 3.525 \times 4 = 170.2 \text{ N/mm}^2 < 178 \text{ N/mm}^2 \dots\dots \text{OK}$

7. 中間定着体の設計

- 1) 中間定着体の概要図



- 2) 鋼板の設計 (SUS304)

- (1) 設計荷重

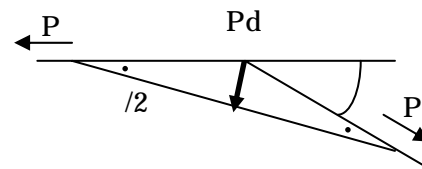
アウトプレートのプレストレス力を $P = 240.0 \text{ kN}$ とする。
 アウトプレートが偏向される最大角度を $= 1.0^\circ$ と設定する。

$$\begin{aligned} P_d &= 2P \times \sin(\quad / 2) \\ &= 2 \times 240.0 \times \sin(1.0 / 2) \\ &= 4.2 \text{ kN} \end{aligned}$$

- (2) 曲げモーメント

アンカー間隔を支間とする。

$$\begin{aligned} M &= P_d \times L / 4 \\ &= 4.2 \times 10.0 / 4 \\ &= 10.5 \text{ kN} \cdot \text{cm} \end{aligned}$$



- (3) 断面係数 (100mm × 8mm)

$$W = 10.0 \times 0.8^2 / 6 = 1.067 \text{ cm}^3$$

- (4) 曲げ応力度

$$\begin{aligned} &= M / W \\ &= 10.5 \times 10 / 1.067 = 98.4 \text{ N/mm}^2 < 140 \text{ N/mm}^2 (\text{SS400 相当}) \dots\dots \text{OK} \end{aligned}$$

- 3) 固定アンカーの設計 (SUS304)

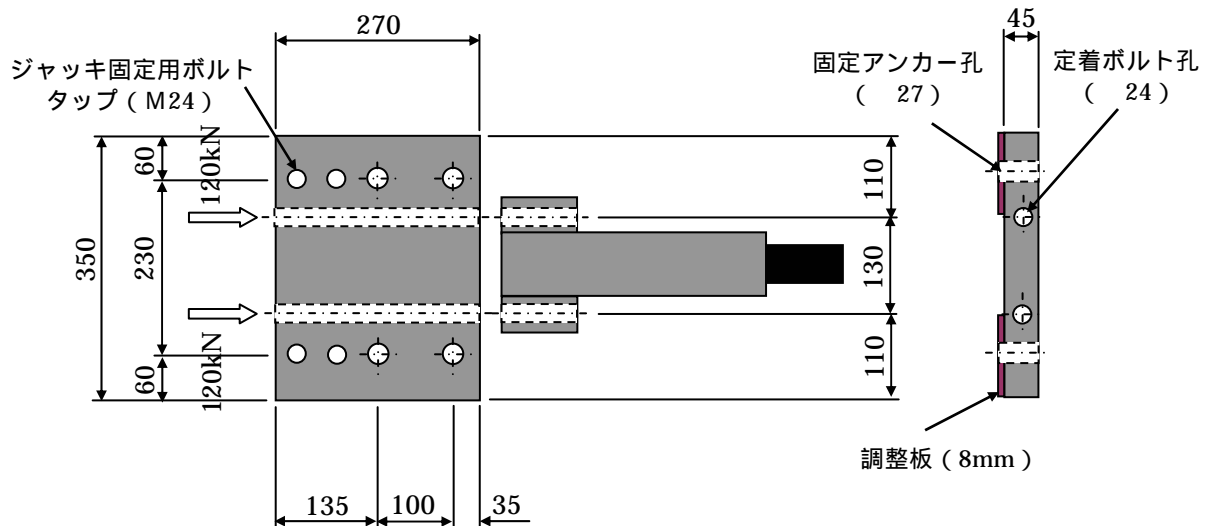
1本あたりのアンカー (M12) の引張力は、以下のとおりである。

$$\begin{aligned} P &= 3.6 / 2 = 1.8 \text{ kN} < 11.3 \text{ kN} \dots\dots \text{OK} \\ &(\text{樹脂アンカーの耐力}) \end{aligned}$$

【参考】 固定プレートの形状が矩形の場合

固定プレートが矩形形状の場合、応力度が小さくなるため、固定プレートの材質がSS400で満足する場合が多い。

1) 概要図



2) 設計荷重

$$P = 240.0 / 2 = 120.0 \text{ kN}$$

(樹脂アンカー間隔の支間に対して、プレストレスの載荷位置が対象な場合)

3) 断面力

$$\text{曲げモーメント } M = 120.0 \times 5.0 = 600.0 \text{ kN} \cdot \text{cm}$$

$$\text{せん断力 } S = 120.0 \text{ kN}$$

4) 断面常数

$$\text{断面積 } A = 2.1 \times 27.0 = 56.7 \text{ cm}^2 \text{ (板厚 } t = 45 - 24 = 21 \text{ mm)}$$

$$\text{断面係数 } W = 2.1 \times 27.0^2 / 6 = 255.2 \text{ cm}^3$$

5) 曲げ応力度

$$= M / W$$

$$= 600.0 \times 10 / 255.2 = 23.5 \text{ N/mm}^2 < 125 \text{ N/mm}^2 \dots\dots \text{OK}$$

6) せん断応力度

$$= S / A$$

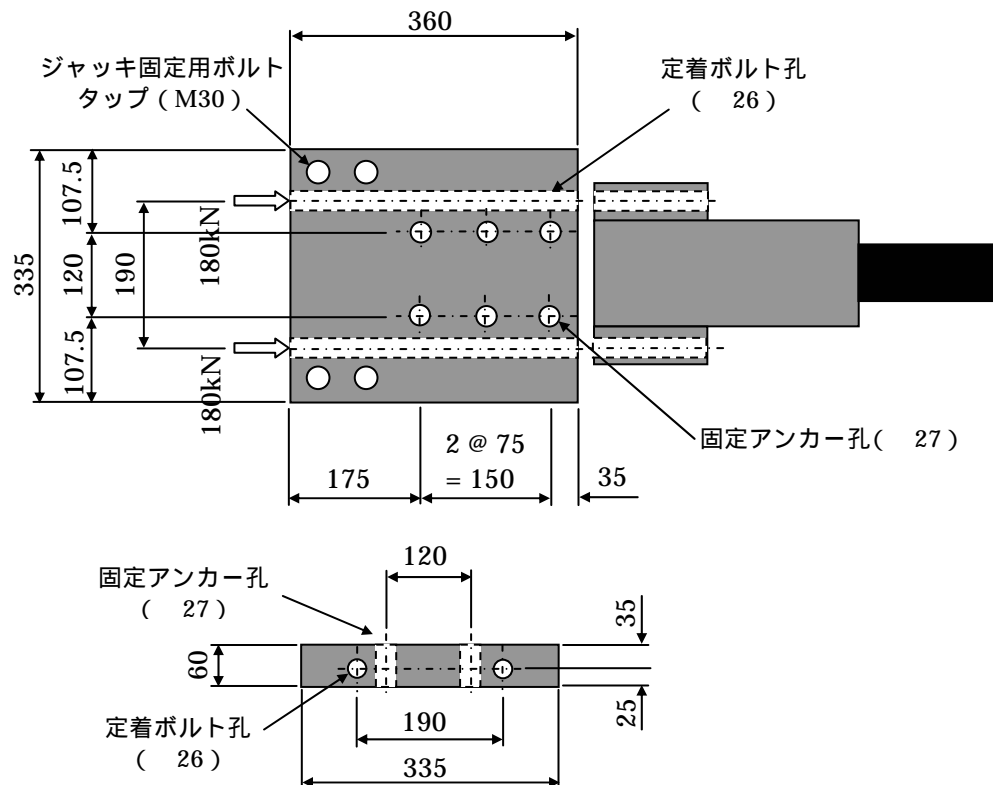
$$= 120.0 \times 10 / 56.7 = 21.2 \text{ N/mm}^2 < 75 \text{ N/mm}^2 \dots\dots \text{OK}$$

7) 合成応力度

$$(23.5 / 125)^2 + (21.2 / 75)^2 = 0.115 < 1.2$$

【360kN 型緊張材】

1. 定着装置の概要図（調整板が無しのタイプ）



2. 設計条件

1) 設計水平力

アウトプレートのプレストレスカ（引張強度）を定着装置の設計水平力とする。

$$H = 360 \text{ kN}$$

2) 使用材料および許容応力度

		固定プレート (40 をこえ 75mm 以下)	固定アンカー 定着ボルト	ジャッキ固定用 ボルト
材 質		SS400	SCM440	SCM435
引張強さ	(N/mm ²)	400	980	930
降伏点	(N/mm ²)	235	835	785
許容引張応力度	(N/mm ²)	125	491	-----
許容せん断応力度	(N/mm ²)	75	188	178

注 1) 許容応力度は、道路橋示方書・同解説に準じて算出する。また、鋼材の防錆は、亜鉛メッキ等の熱処理は行わず、許容応力度の低減は実施していない。

注 2) ボルトならびにアンカーの許容値は、以下の方法で算出する。

許容引張応力度

引張接合用高力ボルトとして算出し、降伏点を安全率 1.7 で除した値を許容値とする。

許容せん断応力度

高力ボルトのせん断強さを引張強さの 1/3 と考え、安全率を降伏点に対しては 1.7、引張強さに対しては 3 とする。

3. 固定プレートの設計 (SS400)

固定プレートの設計は、固定アンカー間隔を支間とした梁モデルに対して、定着ボルトの位置にプレストレスを載荷して検討する。固定アンカーの位置は、鉄筋等の影響を受けプレストレスの載荷位置に対して非対称な配置となる場合があり、その影響を考慮して、固定プレートの形状を決定しなければならない。

1) 設計荷重

$$P = 360 / 2 = 180.0 \text{ kN}$$

2) 断面力

$$\text{曲げモーメント } M = 180.0 \times 3.5 = 630.0 \text{ kN}\cdot\text{cm}$$

$$\text{せん断力 } S = 180.0 \text{ kN}$$

3) 断面常数

$$\text{断面積 } A = 3.4 \times 36.0 = 122.4 \text{ cm}^2 \text{ (板厚 } t = 60 - 26 = 34\text{mm)}$$

$$\text{断面係数 } W = 3.4 \times 36.0^2 / 6 = 734.4 \text{ cm}^3$$

連結ボルト孔径

4) 曲げ応力度

$$= M / W$$

$$= 630.0 \times 10 / 734.4 = 8.6 \text{ N/mm}^2 < 125 \text{ N/mm}^2 \text{ OK}$$

5) せん断応力度

$$= S / A$$

$$= 180.0 \times 10 / 122.4 = 14.7 \text{ N/mm}^2 < 75 \text{ N/mm}^2 \text{ OK}$$

6) 合成応力度

$$(8.6 / 125)^2 + (14.7 / 75)^2 = 0.043 < 1.2$$

4. 固定アンカーの設計 (SCM440)

1) 設計荷重

$$S = 360 \text{ kN}$$

2) ボルト断面積 (M22、細目ネジ)

$$A = 3.330 \text{ cm}^2/\text{本} \text{、} 6 \text{ 本配置}$$

3) せん断応力度

$$= S / A$$

$$= 360.0 \times 10 / 3.330 \times 6 = 180.0 \text{ N/mm}^2 < 188 \text{ N/mm}^2 \text{ OK}$$

4) 引張応力度

$$P = 360 \times 35 / 150 = 84.0 \text{ kN}$$

$$= P / A$$

$$= 84.0 \times 10^3 \times 1/2 / 333.0 = 126.1 \text{ N/mm}^2 < 491 \text{ N/mm}^2 \text{ OK}$$

5) 合成応力度

$$(180.0 / 185.0)^2 + (126.1 / 491.0)^2 = 0.983 < 1.2 \text{ OK}$$

5. 定着ボルトの設計 (SCM440)

1) 設計荷重

$$P = 360 \text{ kN}$$

2) ボルト断面積 (M24、細目ネジ)

$$A = 3.844 \text{ cm}^2/\text{本} \text{、} 2 \text{ 本配置}$$

3) 引張応力度

$$= P / A$$

$$= 360.0 \times 10 / 3.844 \times 2 = 468.3 \text{ N/mm}^2 < 491 \text{ N/mm}^2 \text{ OK}$$

6. ジャッキ固定用ボルトの設計 (SCM435)

1) 設計荷重 $S = 360.0 \text{ kN}$

2) ボルト断面積 (M30)

$$A = 5.606 \text{ cm}^2/\text{本} \text{、} 4 \text{ 本配置}$$

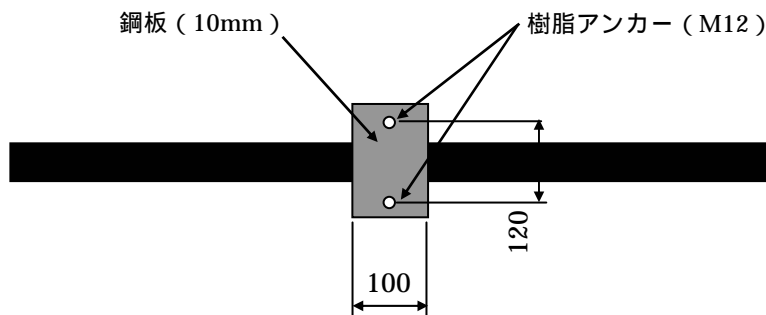
3) せん断応力度

$$= S / A$$

$$= 360.0 \times 10 / 5.606 \times 4 = 160.5 \text{ N/mm}^2 < 178 \text{ N/mm}^2 \dots\dots \text{OK}$$

7. 中間定着体の設計

1) 中間定着体の概要図



2) 鋼板の設計 (SUS304)

(1) 設計荷重

アウトプレートのプレストレス力を $P = 360.0 \text{ kN}$ とする。

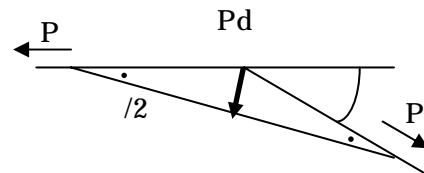
アウトプレートが偏向される全角度を $= 1.0^\circ$ と仮定する。

$$\begin{aligned} P_d &= 2P \times \sin (\quad / 2) \\ &= 2 \times 360.0 \times \sin (1.0 / 2) \\ &= 6.3 \text{ kN} \end{aligned}$$

(2) 曲げモーメント

アンカー間隔を支間とする。

$$\begin{aligned} M &= P_d \cdot L / 4 \\ &= 6.3 \times 12.0 / 4 \\ &= 18.9 \text{ kN} \cdot \text{cm} \end{aligned}$$



(3) 断面係数 (100mm × 10mm)

$$W = 10.0 \times 1.0^2 / 6 = 1.666 \text{ cm}^3$$

(4) 曲げ応力度

$$= M / W$$

$$= 18.9 \times 10 / 1.666 = 113.4 \text{ N/mm}^2 < 140 \text{ N/mm}^2 \text{ (SS400 以上)} \dots\dots \text{OK}$$

3) アンカーの設計 (SUS304)

1本あたりのアンカー (M12) の引張力は、以下のとおりである。

$$P = 6.3 / 2 = 3.2 \text{ kN} < 11.3 \text{ kN} \dots\dots \text{OK}$$

(樹脂アンカーの耐力)

【固定プレートの設計上の留意点】

1. 固定アンカーの配置

固定アンカーは、せん断ボルトとして機能するが、固定プレート上の縁端距離や最小間隔は、道路橋示方書の「鋼橋編、6章連結」に準拠している。

前頁の設計例では、M22の縁端距離を35mmとした。下表より、固定プレートの加工を自動ガス切断によることを前提とした場合、32mmであることから、5mm単位で切り上げて決定した。

ボルトの最小縁端距離 (mm)

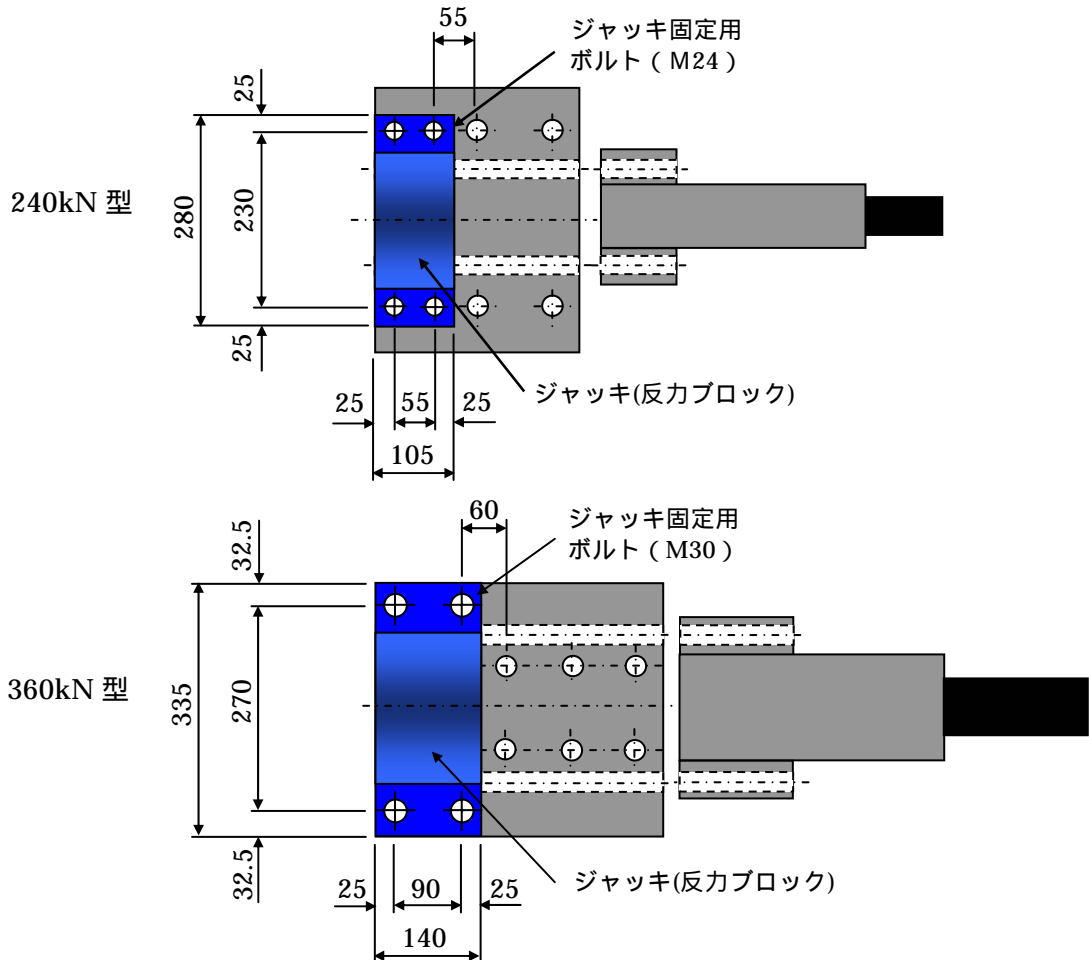
ボルトの呼び	せん断縁 手動ガス切断縁	圧延縁、仕上げ縁 自動ガス切断縁
M24	42	37
M22	37	32
M20	32	28

ボルトの最小中心間隔 (mm)

ボルトの呼び	最小中心間隔
M24	85
M22	75
M20	65

2. ジャッキ固定用ボルトの配置

緊張時には、固定プレートにジャッキ（反カブロック）を装着するため、各緊張ジャッキの規格を考慮して、固定プレート形状ならびにジャッキ固定用ボルトの位置を決定しなければならない。固定アンカーにM22を使用する場合、固定アンカーとジャッキ固定用ボルトの空きは、240kN型で55mm以上、360kN型で60mm以上必要である。



アウトプレート工法研究会会員

正会員

株式会社愛橋
オリエンタル建設株式会社
川田建設株式会社
極東工業株式会社
株式会社国際建設技術研究所
コアツ工業株式会社
昭和コンクリート工業株式会社
常磐興産ピーシー株式会社
ドーピー建設工業株式会社
日鉄コンポジット株式会社
日本高圧コンクリート株式会社
日本鋼弦コンクリート株式会社
株式会社日本ピーエス
株式会社ピーエス三菱
ピーシー橋梁株式会社
株式会社富士ピー・エス
三井住友建設株式会社

賛助会員

東レ株式会社
日本シーカ株式会社
三菱化学産資株式会社

(五十音順)

アウトプレート工法設計・施工マニュアル(案)

発行平成18年 8月

事務局：〒170-0004 東京都豊島区北大塚1-16-6(大塚ビル)

ドーピー建設工業株式会社 営業部内

TEL 03-3918-6174 FAX 03-3915-8474