

PC 連続 U コンポ橋の継目部に関する設計指針

令和 4 年 6 月

公益社団法人プレストレストコンクリート工学会
PC 連続 U コンポ橋の継目部に関する設計指針検討委員会

委員会の構成

役 職	氏 名	所 属
委員長	二羽 淳一郎	東京工業大学名誉教授
委員	佐藤 靖彦	早稲田大学教授
委員	細田 暁	横浜国立大学大学院教授
委員	古賀 裕久	(国研)土木研究所
委員	広瀬 剛	東日本高速道路(株)
委員	長田 光司	中日本高速道路(株)
委員	大城 壮司	西日本高速道路(株)
委員	岩立 次郎	(株)高速道路総合技術研究所
委員	井隼 俊也	オリエンタル白石(株)
委員	今井 平佳	川田建設(株)
委員	渋谷 智裕	八千代エンジニアリング(株)
委員	花島 崇	(株)日本構造橋梁研究所
委託者兼幹事	若林 大	中日本高速道路(株)
委託者兼幹事	小谷内 祐弥	中日本高速道路(株)
委託者兼幹事	田中 伊純	中日本高速道路(株)
連絡幹事	岡山 準也	中日本ハイウェイ・エンジニアリング東京(株)
オブザーバー	片 健一	三井住友建設(株)
オブザーバー	紙永 祐紀	三井住友建設(株)
オブザーバー	古村 豊	(株)ピーエス三菱

目 次

1 章 総則	
1. 1 適用の範囲	P1
1. 2 用語の定義	P4
2 章 継目部の設計に関する基本事項	
2. 1 継目部の各限界状態に対する検討	P6
2. 2 設計計算に関する基本事項	P7
2. 3 供用限界状態に対する継目部の検討	P7
3 章 プレストレス力による局所的なクリープ変形に対する検討	
3. 1 P C 鋼材配置に関する基本方針	P9
3. 2 プレストレス力による局所的なクリープ変形の影響により生じる 応力度の算定	P10
3. 3 継目部構造への配慮事項	P12
<付属資料> 設計計算例	
1. 設計計算例の概要	
(1) 目的と対象部位	P16
(2) 対象構造	P16
(3) 検討手順	P17
2. コンクリート桁の一部としての検討	
(1) 断面力の算出方法	P18
(2) P C 鋼材配置図	P18
(3) 応力分布および継目部応力	P19
3. プレストレス力による局所的なクリープ変形の影響により生じる応力度の算定	
(1) 解析対象と解析モデル	P20
(2) 拘束条件	P21
(3) 材料物性値	P21
(4) 載荷条件	P22
(5) 解析ステップ	P22
(6) 解析結果	P23
(7) 引張力の集計	P24
4. 補強鉄筋の検討	
(1) 補強鉄筋の要否判定	P24
(2) 補強鉄筋量の算定	P25

1章 総 則

1. 1 適用の範囲

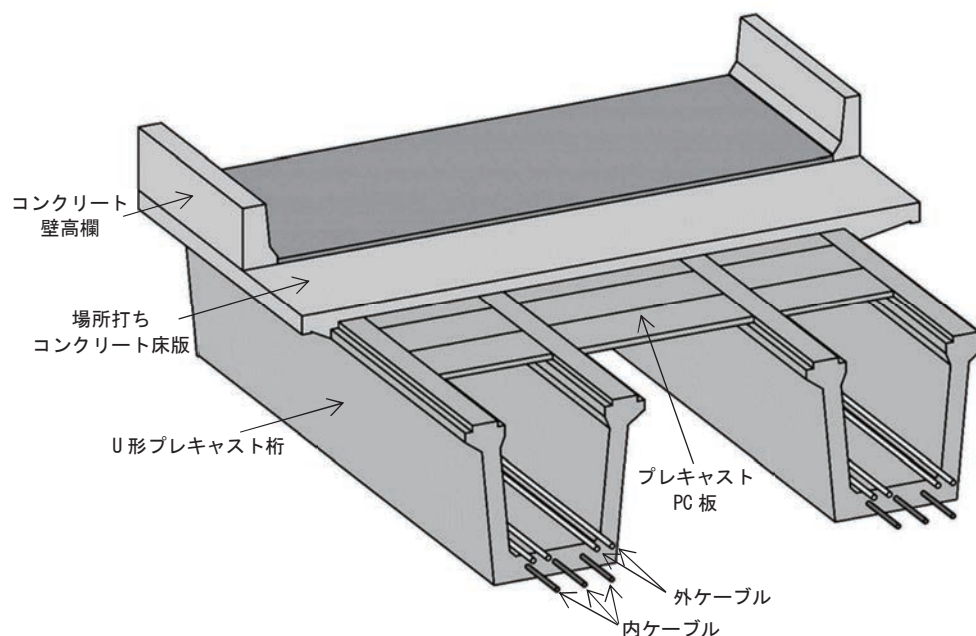
- (1) 本指針は、PC 連続 U コンボ橋の継目部の設計に適用する。
- (2) 本指針で対象とする継目部は、柱頭部と U 形プレキャスト桁との間に設ける場所打ち調整目地とする。
- (3) 本指針に示されていない事項については、「外ケーブル構造・プレキャストセグメント工法設計施工規準」の関連規定に準拠する。

【解説】

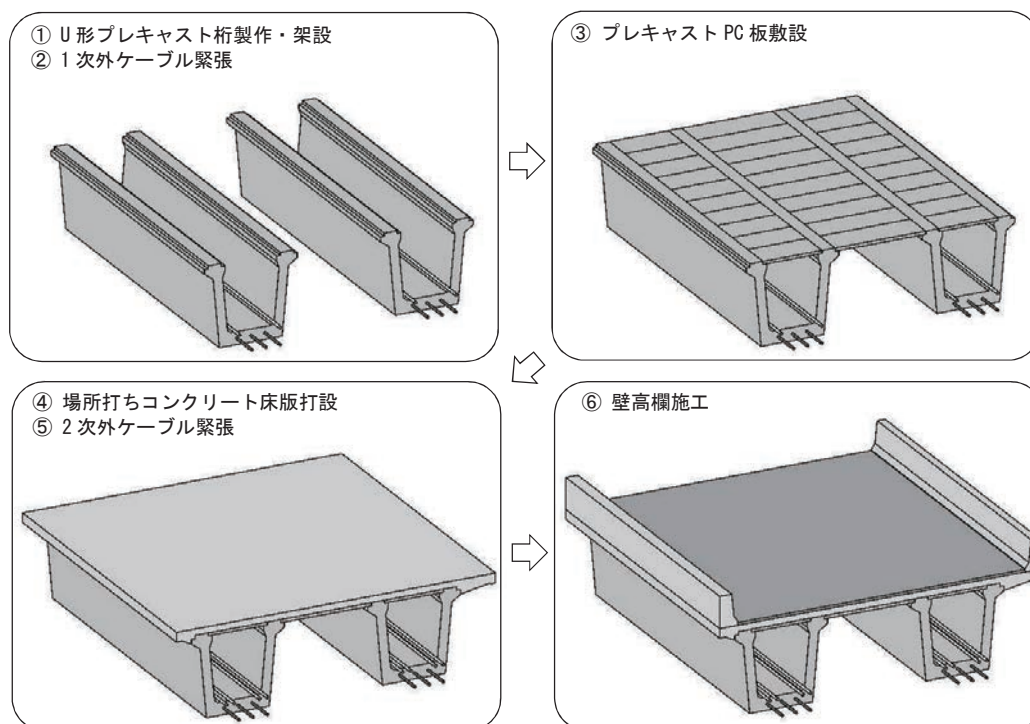
(1) について 本指針で対象とするPC連続Uコンボ橋は、現地ヤードにて一体で製作したおよそ1径間分のU形プレキャスト桁、または工場にて分割製作したU形断面のセグメントを現地ヤードにて連結した桁を、あらかじめ施工した柱頭部間に順次架設するサイクルを繰り返すことで、現場作業の生産性向上を図った構造形式である。また、床版形式はプレキャストPC板を用いたPC合成床版であり、本形式はU形プレキャスト桁と床版とが一体となった合成断面で荷重に抵抗する合成桁構造である（解説 図1.1.1および解説 図1.1.2参照）。

PC連続Uコンボ橋では、現地ヤードにおいてU形プレキャスト桁の断面内に配置したPC鋼材（内ケーブル）を緊張する。このPC鋼材は、継目部に近接するU形プレキャスト桁の端部小口に定着することが一般的であるが、このことが継目部とその近傍の応力状態に影響し、解説 図1.1.3に示すような位置にひび割れが生じることがある。

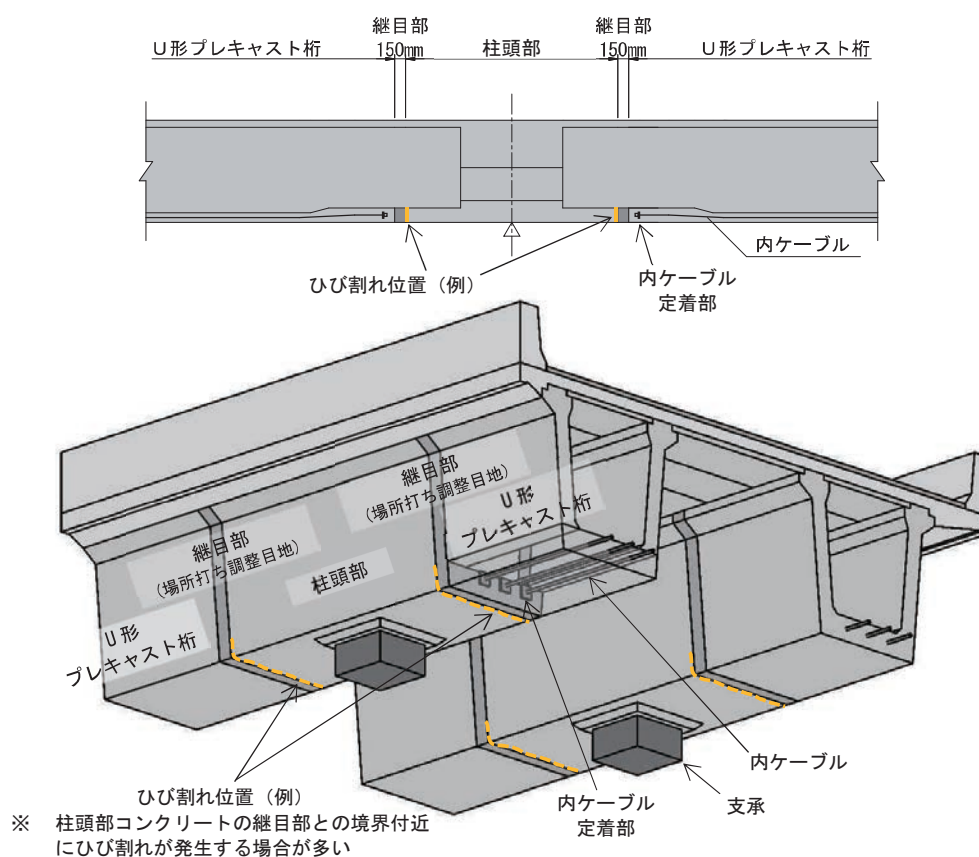
本指針は、こうしたPC連続Uコンボ橋の継目部に特有の現象に着眼した設計指針を示すものであるが、プレキャスト部材を用いた他の構造形式における継目部の設計に対しても、類似した構造条件であれば本指針を準用することができる。



解説 図 1.1.1 U コンボ橋の構造の例

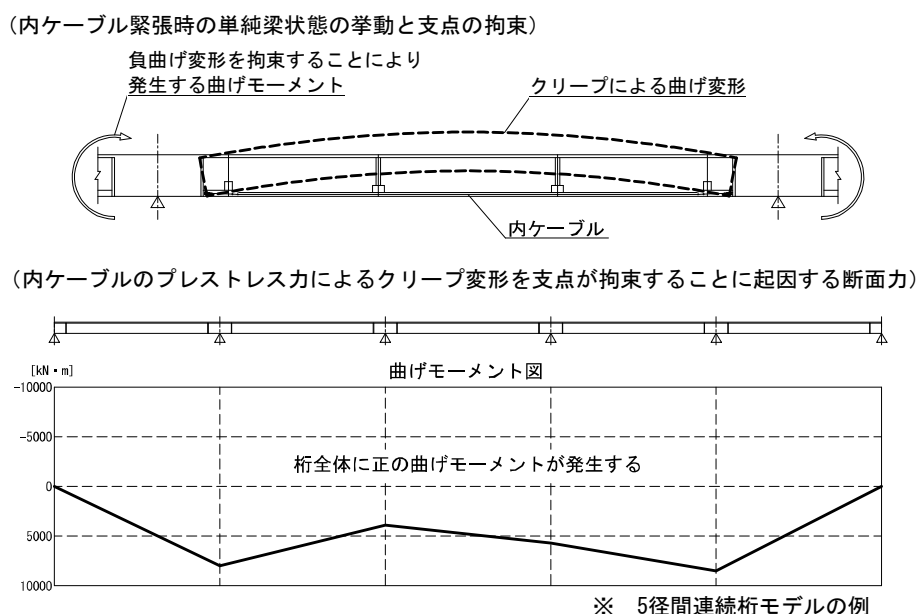


解説 図 1.1.2 Uコンポ橋の施工手順例



解説 図 1.1.3 継目部とその近傍におけるひび割れ発生位置の例

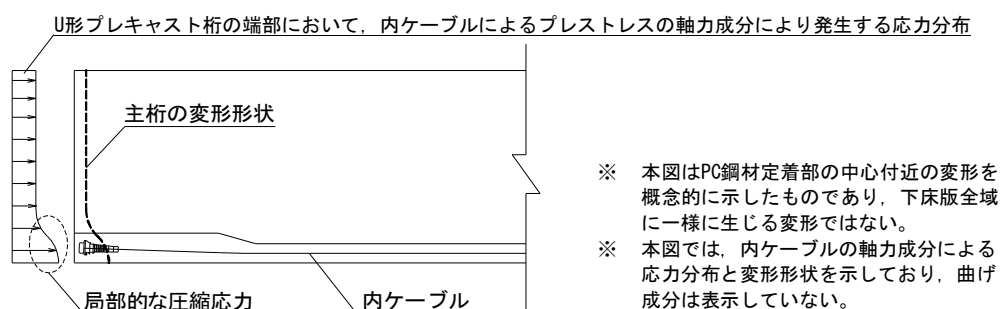
PC 連続 U コンボ橋では、現地ヤードにおいて U 形プレキャスト桁に内ケーブルでプレストレスを導入し、その後に桁架設して橋桁を一体化するため、プレストレス導入前後の構造系の変化により、プレストレス力によるクリープに起因した不静定力が生じる。すなわち、U 形プレキャスト桁の内ケーブルプレストレスによる負曲げ変形が中間支点で拘束されることにより、主桁全体に正曲げの断面力が発生する（解説 図 1.1.4）。なお、この不静定力は、材齢および構造系変化を再現した設計計算において考慮される。



解説 図 1.1.4 プレストレス力によるクリープに起因する桁全体の挙動に影響を与える不静定力

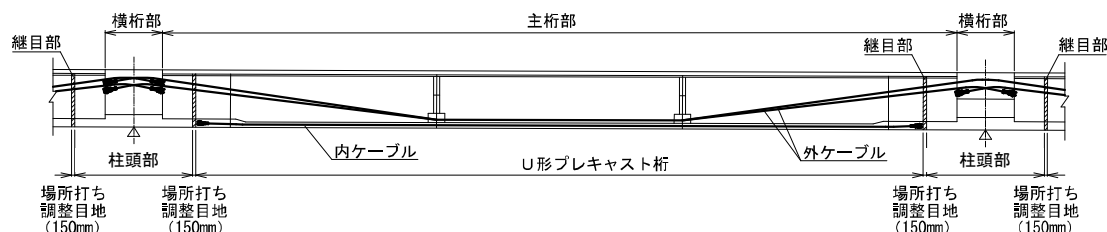
一方、PC 鋼材の定着部近傍は、解説 図 1.1.5 に示すように内ケーブルの定着具からコンクリートにプレストレスによる集中荷重が作用し、周辺のコンクリートと比較して高い圧縮応力状態となるため、局所的に弾性変形量が増大する。クリープひずみは持続荷重による応力度に比例するため、継目部とその近傍における PC 鋼材定着部付近では、プレストレス力によるクリープひずみが局所的に高い値となる。

本指針では、PC 鋼材定着部付近において局所的に高い値となるプレストレス力によるクリープひずみを、前述した桁全体に影響を与えるプレストレス力によるクリープ現象と区別して、設計において考慮することとしている。



解説 図 1.1.5 PC 鋼材定着部付近の弾性変形

(2) について 継目部の構造には、プレキャスト部材どうしを直接接合する接合目地と、場所打ち部を設けて接合する場所打ち調整目地がある。これらのうち、PC 連続 U コンボ橋における柱頭部と U 形プレキャスト桁との継目部には、解説 図 1.1.6 に示す例のように幅 150mm 程度の場所打ち調整目地を設けることが一般的であるため、本指針で対象とする継目部の構造は、場所打ち調整目地とした。



解説 図 1.1.6 PC 連続 U コンボ橋の継目部の配置例

(3) について 本指針は、PC 連続 U コンボ橋に特有の継目部の特性を考慮した設計指針を示すものであり、橋梁全体系の設計や使用材料に加え、本指針に示していない継目部の照査方法や構造細目については、「外ケーブル構造・プレキャストセグメント工法設計施工規準」(プレストレストコンクリート技術協会)に準拠するものとした。なお、この規準は本指針の作成時点で改訂作業中であり、改訂版が発刊された場合は、改訂後の規準に読み替える。

1. 2 用語の定義

本指針で用いる用語の意味は、次のとおりとする。

(1) 継目部

プレキャスト部材どうしまたはプレキャスト部材と場所打ち部材とを接合する各目地部をいい、目地の種類は、接合目地および場所打ち調整目地がある。

(2) 場所打ち調整目地

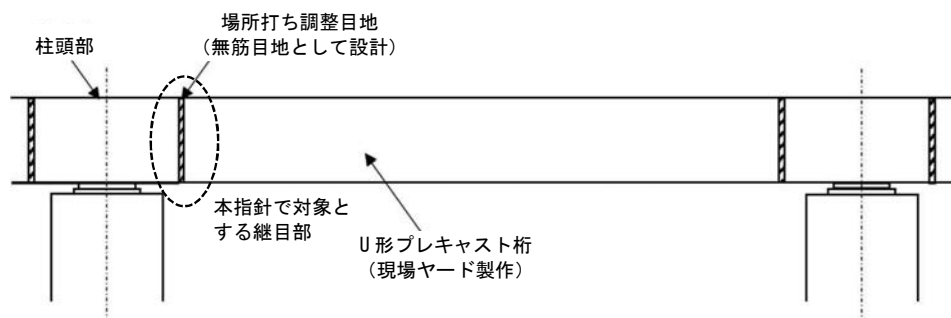
継目部に設ける場所打ちコンクリートによる調整目地で、有筋目地と橋軸方向に鉄筋が連続していない無筋目地がある。

(3) U 形プレキャスト桁

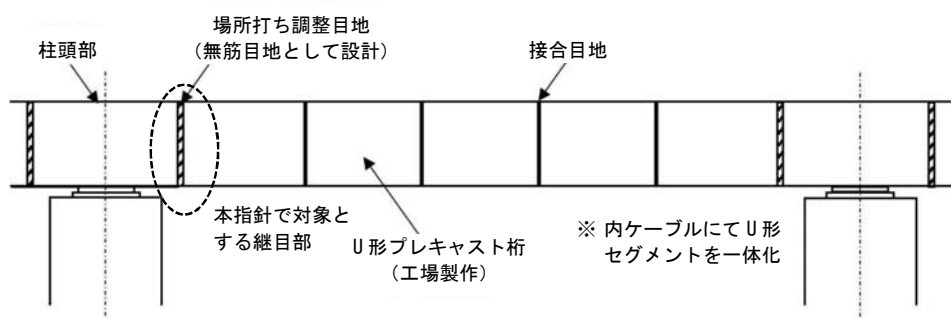
プレキャスト製の U 形断面の主桁をいい、柱頭部間のおよそ一径間分の主桁を現地ヤードにて一体で製作する場合と、分割で工場製作した U 形セグメントを現地ヤードにて架設前に PC 鋼材(内ケーブル)により一体化する場合がある。

【解説】

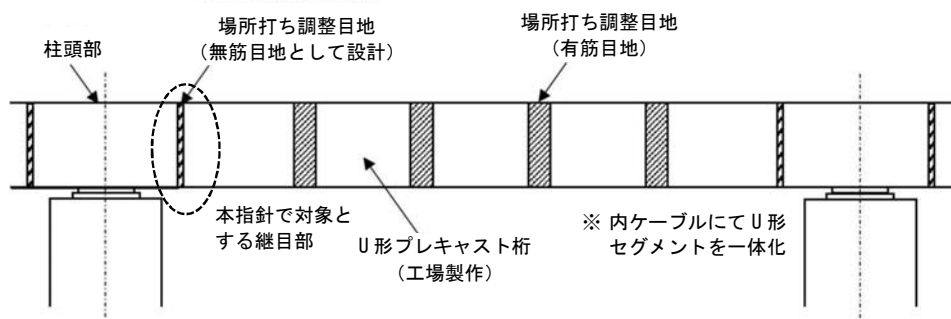
(1) ~ (3) について PC連続Uコンボ橋では、柱頭部とU形プレキャスト桁との継目部に場所打ち調整目地を設ける。U形プレキャスト桁は、現地ヤードにて一体的にコンクリートを打設して製作する場合(解説 図1.2.1(a))と、工場にて分割製作し現場ヤードにて一体化する場合がある。この分割製作したU形セグメントどうしの継目部には、接合目地を設ける事例(解説 図1.2.1(b))と、場所打ち調整目地(有筋目地)を設ける事例(解説 図1.2.1(c))がある。



(a) U形プレキャスト桁を現場ヤードで一体製作する場合



(b) 工場製作したU形セグメントを現場ヤードにて一体化する場合（接合目地）



(c) 工場製作したU形セグメントを現場ヤードにて一体化する場合（場所打ち調整目地）

解説 図 1.2.1 継目部に用いる目地の種類

2章 継目部の設計に関する基本事項

2. 1 継目部の各限界状態に対する検討

(1) 継目部の設計では、コンクリート桁の一部としての検討に加え、継目部の特性を考慮して所要の安全性を有していることを検討しなければならない。

(2) 継目部の限界状態に対する検討は、供用限界状態および終局限界状態に対して行う。

(3) 継目部の供用限界状態に対する検討は、2. 3の規定による。

(4) 継目部の終局限界状態に対する検討は、プレキャストセグメント工法の継目部の設計に準じて行う。

【解説】

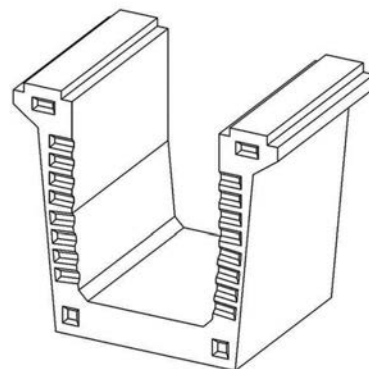
(1) について PC連続Uコンボ橋の継目部の設計では、継目部を有するプレキャストセグメント工法を適用した構造形式と同様に、コンクリート桁の一部としての検討に加え、せん断キーや場所打ち調整目地の設計など、継目部としての設計が必要である。

(2) について PC連続Uコンボ橋の継目部の限界状態に対する検討は、「外ケーブル構造・プレキャストセグメント工法設計施工規準」(プレストレストコンクリート技術協会)の規定に準拠し、供用限界状態および終局限界状態に対して行うものとした。

(3) について 1章で示したPC連続Uコンボ橋の継目部に特有の現象に対しては、2. 3の規定により供用限界状態に対して検討するものとした。

(4) について 場所打ち調整目地で接合する柱頭部およびU形プレキャスト桁の小口断面には、解説図2.1.1に示すようなせん断キーを設ける。このせん断キーの設計を含む継目部の限界状態に対する検討は、「外ケーブル構造・プレキャストセグメント工法設計施工規準 IIIプレキャストセグメント工法編」8章「継目部の設計」に準拠するものとした。ただし、床版は橋軸方向に鉄筋が連続した場所打ち床版のため、継目部の設計の適用対象外である。

このほか、プレキャストセグメント工法を適用する箱桁構造と異なる点として、PC連続Uコンボ橋は上床版コンクリートがない状態でU形プレキャスト桁の両端を吊り上げて架設する。このため、架設完了時点での桁の図心位置が低く、継目部コンクリート打設直後に緊張する1次外ケーブルの配置高さによっては、継目部の下縁に引張応力が生じる場合がある。こうした場合の対策として、上床版コンクリート打設までの期間中に生じる引張応力に対処できるプレストレスを仮設PC鋼材により導入するなどの対応が必要である。



解説 図 2.1.1
継目部に設けるせん断キーの例

2. 2 設計計算に関する基本事項

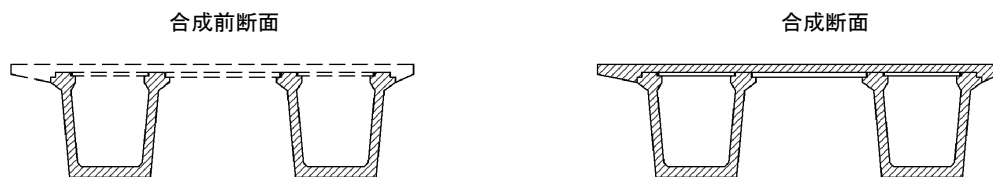
(1) コンクリート桁の一部としての継目部の検討では、継目部の特性を考慮しない一体的な構造として解析してよい。

(2) 継目部の特性を考慮しない連続桁としての構造解析は、弾性理論に基づく線形骨組解析により行ってよい。

(3) 継目部の供用限界状態に対する検討において、部材断面に生じるコンクリートおよび鋼材の応力度は、(2)により算定した断面力を用いて PC 構造の仮定に基づき算定する。

【解説】

(1) および (2) について コンクリート桁の一部としての設計計算に関する基本事項について、「外ケーブル構造・プレキャストセグメント工法設計施工規準」(プレストレストコンクリート技術協会)に準じて示した。ただし、PC 連続 U コンボ橋は、プレキャストセグメント工法を適用する箱桁構造と異なり、U 形プレキャスト桁の架設完了後に床版を施工するため、施工段階に応じて抵抗断面の変化を考慮することが必要である(解説 図 2. 2. 1)。



※ 主方向の検討において、PC 板は荷重のみを考慮し抵抗断面として考慮しない

解説 図 2. 2. 1 抵抗断面の変化

(3) について 継目部の部材断面に生じるコンクリートおよび鋼材の応力度は、ひび割れが発生しない断面として、コンクリート全断面を有効とみなして算定してよい。ただし、本指針 3 章の規定により算定するプレストレス力による局所的なクリープ変形の影響を考慮した部材断面の応力状態が、コンクリートの引張強度を超えないことが前提条件である。

2. 3 供用限界状態に対する継目部の検討

(1) 供用限界状態に対するコンクリート桁の一部としての継目部の検討では、曲げモーメントおよび軸方向力に対し、引張応力を発生させてはならない。

(2) 供用限界状態に対する継目部の検討では、(1)に加え 3 章の規定によりプレストレス力による局所的なクリープ変形の影響を考慮する。

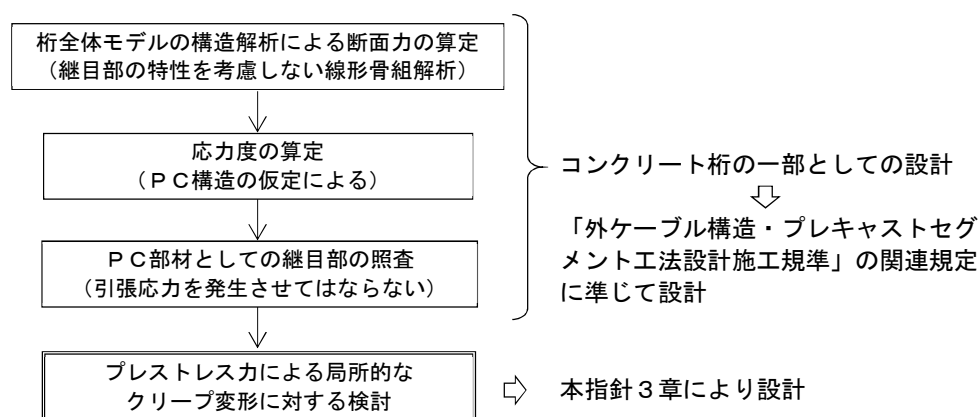
(3) 供用限界状態における継目部のせん断及びねじりに対する検討は、プレキャストセグメント工法の継目部の設計に準じて行う。

【解説】

(1) について PC 連続 U コンボ橋の継目部は、プレキャストセグメント工法の継目部と同様に、供用限界状態に対する検討において算定される曲げモーメントおよび軸方向力に対し、引張応力を発生させないように制限するものとした。ただし、この照査は、2. 2の規定に従って線形骨組解析により算定された応力度に対して行うものである。

(2) について PC連続Uコンボ橋の施工では、現地ヤードにおいてU形プレキャスト桁に内ケーブルにてプレストレスを導入後、速やかに架設し継目部コンクリートを打設して、外ケーブルの緊張により柱頭部との一体化を図る事例が多い。こうした施工サイクルとした場合、U形プレキャスト桁に配置した内ケーブルのプレストレス力によるクリープ変形が進行途中である状態で継目部コンクリートが打設されるため、特に内ケーブル定着部近傍においてプレストレス力による局所的なクリープ変形に起因する引張応力の影響を無視できないことがある。これは、大容量PC鋼材の定着部周辺に見られる局所的な割裂方向の引張応力とは異なるものである。

このため、PC 連続 U コンボ橋の柱頭部とU形プレキャスト桁との継目部における供用限界状態に対する検討では、コンクリート桁の一部としての検討に加え、プレストレス力による局所的なクリープ変形の影響を考慮するものとした。ここで、コンクリート桁の一部としての検討は、「外ケーブル構造・プレキャストセグメント工法設計施工規準」(プレストレスコンクリート技術協会)の規定に準じて行うものとし、プレストレス力による局所的なクリープ変形の影響については、本指針3章の規定により行うものとした。供用限界状態における曲げモーメントおよび軸方向力に対する検討の流れを解説 図 2. 3. 1 に示す。



※ 上図では「供用限界状態」における「曲げモーメントおよび軸方向力に対する検討」を抽出して示している。

※ 「供用限界状態」における「せん断およびねじりに対する検討」ならびに「終局限界状態」における各検討は、「外ケーブル構造・プレキャストセグメント工法設計施工規準」の関連規定による。

解説 図 2. 3. 1 供用限界状態における曲げモーメントおよび軸方向力に対する検討手順

(3) について せん断およびねじりに関する検討は、「外ケーブル構造・プレキャストセグメント工法設計施工規準」の関連規定に準拠するものとした。

3章 プレストレス力による局所的なクリープ変形に対する検討

3. 1 PC 鋼材の配置に関する基本方針

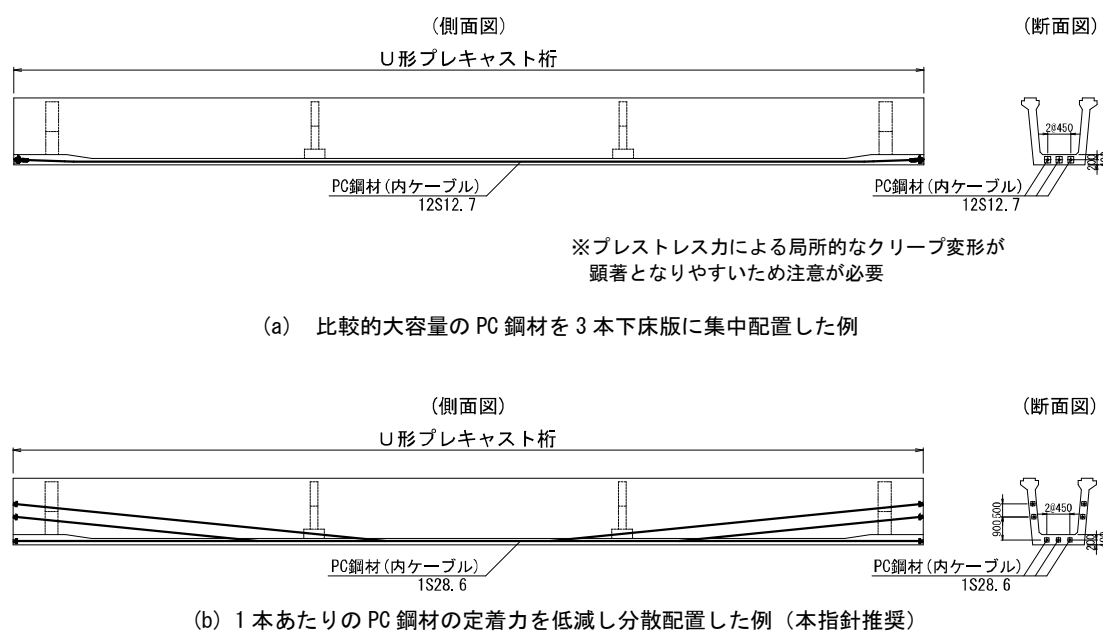
U 形プレキャスト桁の断面内に配置する PC 鋼材は、プレストレス力による局所的なクリープ変形の影響を軽減できるように、鋼材種別を選定するとともに定着具の配置について検討しなければならない。

【解説】

U 形プレキャスト桁の製作にあたり、比較的大容量の PC 鋼材（内ケーブル）を選定し本数を減じることで生産性が向上する面もあるが、継目部におけるプレストレス力による局所的なクリープ変形の影響は、小口に定着する PC 鋼材の 1 箇所あたりの定着力が大きいほど顕著となる（次節 3. 2 の解説参照）。このため、各種照査を満足し、かつ生産性を損なわない範囲で、1 箇所あたりの定着力が小さい PC 鋼材種別を選定することが重要である。なお、解説 図 1. 1. 3 に示したようなひび割れは、これまでに解説 図 3. 1. 1(a) に示す PC 鋼材を下床版に集中配置したケースにおいて確認されている。一方で、解説 図 3. 1. 1(b) に示す PC 鋼材を分散配置したケースでは、ひび割れは確認されていない。

同様に、定着体どうしの間隔が近づくにつれ、プレストレス力による局所的なクリープ変形の影響が大きくなるため、配置可能な範囲で定着体間隔を大きく確保することが望ましい。

このほかに、プレストレス力による局所的なクリープ変形の影響を低減させる方策として、U 形プレキャスト桁に定着突起を設けて一部の PC 鋼材を定着し、小口に定着する PC 鋼材量を減じる方法も考えられるが、桁製作における生産性がやや低下するため、こうした点にも配慮したうえで PC 鋼材配置を決定する必要がある。



解説 図 3. 1. 1 PC 鋼材の集中配置と分散配置

また、PC 連続 U コンボ橋は、製作・架設サイクルの短縮により現場作業の生産性向上を目指した形式であるが、U 形プレキャスト桁にプレストレスを導入する際のコンクリートの材齢（以下、「緊張時材齢」という）が短いほど、また PC 鋼材緊張から継目部コンクリート打設までの期間が短いほど、プレストレス力による局所的なクリープ変形の影響も大きくなる。このため工場製プレキャスト部材を採用して緊張時材齢を長めに確保することや、プレストレス導入後に桁をストックして継目部コンクリート打設までの期間を長めに確保することは、これまでの実績からもプレストレス力による局所的なクリープ変形の影響を低減する効果があるため、個々の施工条件に応じて検討するのがよい。

3. 2 プレストレス力による局所的なクリープ変形の影響により生じる応力度の算定

プレストレス力による局所的なクリープ変形の影響により生じる応力度の算定は、施工ステップおよびコンクリートの材齢を反映できる 3 次元有限要素解析によることを基本とする。

【解説】

プレストレス力による局所的なクリープ変形の影響により生じる引張応力は、U 形プレキャスト桁の断面寸法、小口定着する PC 鋼材の定着力、定着具どうしの間隔、緊張時材齢、PC 鋼材緊張から継目部コンクリート打設までの期間、継目部と柱頭部横桁との距離など、様々なパラメータにより変化する。このため、プレストレス力による局所的なクリープ変形の影響により生じる応力度の算定は、詳細な構造諸元や施工ステップを考慮でき、コンクリートの材齢を反映できる解析プログラムを用いた 3 次元有限要素解析によることを基本とした。

本解析では、プレストレス力による局所的なクリープ変形の影響により生じる応力度のみを抽出するよう、解析条件を設定することが必要である。これは、次節 3. 3 で後述するように、本解析結果と線形骨組解析の結果とを重ね合わせて継目部の応力度を算定することから、本解析結果に線形骨組解析で算定される応力度が重複して含まれないようにすることが必要なためである。具体的には、乾燥収縮・自己収縮の影響が含まれないように留意するとともに、拘束条件においてプレストレス力によるクリープに起因する桁の曲げ挙動の影響が含まれないように留意する。ただし、双方の解析において重複が避けられないプレストレス力によるクリープに起因する軸方向の引張応力については、線形骨組解析の結果からこの影響による応力度を控除したうえで、重ね合わせによる評価を行うことが必要である。これらのモデル化や解析条件の詳細については、**付属資料**に示したのであわせて参照されたい。

なお、プレストレス力による局所的なクリープ変形の影響により生じる引張応力は、前述したように施工条件を含む様々なパラメータにより変化するが、計画段階において詳細な解析を実施しない場合で、断面寸法や PC 鋼材配置が**解説 図 3.1.1**に示した諸元（後述する解析結果の例）と類似している場合には、**解説 表 3.2.1**に示す留意点を参考に、使用する PC 鋼材の種別に応じてプレストレス力による局所的なクリープ変形の影響を見込んでおくといよい。

解説 表 3.2.1 プレストレス力による局所的なクリープ変形の影響を簡易評価する際の留意点

引張応力の大きさに影響を与える主なパラメータ	解説図 3.1.1 の構造条件		左記の構造条件が変化する場合の計画段階での留意点
	モデル①※ ¹	モデル②※ ²	
PC 鋼材を定着する部材厚	下床版：400mm	下床版：400mm ウェブ：300mm	● 部材厚が薄くなると引張応力が増加するため、計画段階では左記以上の定着部の部材厚を確保するのが望ましい。 ● 計画段階で継目部の補強鉄筋量を概略で算定する際には、プレストレス力による局所的なクリープ変形の影響により生じる合計引張力として、$T=0.5P$ 程度を見込んでおくとい。
PC 鋼材種別	12S12.7×3 本 ($P=1,315\text{kN/本}$) P:有効プレストレス	1S28.6×7 本 ($P=569\text{kN/本}$) P:有効プレストレス	
PC 鋼材の中心間隔	下床版：450mm	下床版：450mm ウェブ：500mm	● 中心間隔を縮小すると引張応力が増加するため、左記間隔以上を確保するとよい。なお、合計引張力 T の変化は少ない。
柱頭部横桁と継目部との距離	600mm		● 距離が短いと引張応力が増加する。300mm 程度以上確保すれば、引張応力増加の影響は少ない。
サイクルタイム	緊張時材齢	3 日	● いずれも日数が長くなると引張応力は低減されるが、その効果を一律に評価することは難しい。(簡易評価では低減しない)
	緊張～継目部打設までの期間	4 日	

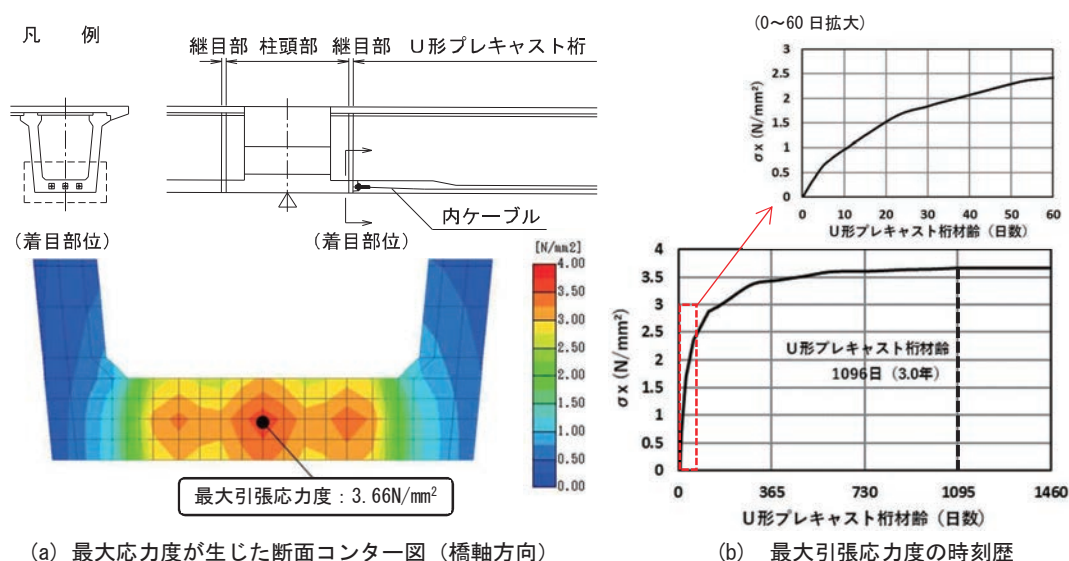
※1 モデル①：解説図 3.1.1 (a) に示す PC 鋼材 12S12.7 を集中配置したケース

※2 モデル②：解説図 3.1.1 (b) に示す PC 鋼材 1S28.6 を分散配置したケース

以下に、解説 図 3.1.1 (a) に示した PC 鋼材を下床版に集中配置したケース（モデル①）と、解説 図 3.1.1 (b) に示した PC 鋼材を分散配置したケース（モデル②）の解析結果について示す。

(1) モデル①の解析結果

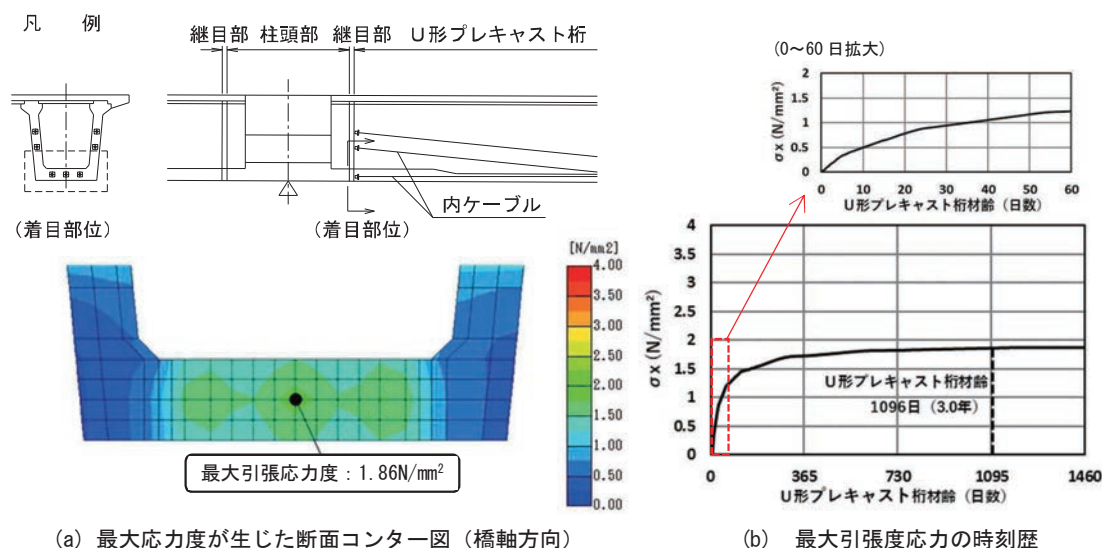
モデル①の解析結果として、縁応力度で最大引張応力度が確認された断面（場所打ち調整目地と柱頭部との境界部）の応力コンターを解説 図 3.2.1 (a) に示す。発生応力度は、下床版の断面中央付近において最大引張応力度 3.66N/mm^2 、上縁および下縁の最大引張応力度はそれぞれ、 3.06N/mm^2 および 3.33N/mm^2 であった。また、断面中央付近における最大引張応力度の時刻歴を解説 図 3.2.1 (b) に示す。プレストレス力による局所的なクリープ変形の影響により生じる応力度は経時的に増加するが、本解析では 2～3 年で収束することが確認された。



解説 図 3.2.1 モデル①（PC 鋼材を集中配置したケース）の解析結果

(2) モデル②の解析結果

モデル②の解析結果について、モデル①と同様に解説図 3.2.2 に示す。この結果より、1 箇所あたりの PC 鋼材の定着力を低減して分散配置することでプレストレス力による局所的なクリープ変形の影響により生じる引張応力を低減できることがわかる。



解説図 3.2.2 モデル② (PC 鋼材を分散配置したケース) の解析結果

3. 3 継目部構造への配慮事項

(1) 継目部とその近傍において、プレストレス力による局所的なクリープ変形の影響を考慮して算定したコンクリートの応力度は、ひび割れ発生限界以下に制限する。

(2) 継目部とその近傍において、プレストレス力による局所的なクリープ変形の影響を考慮して算定したコンクリートの応力状態が引張となる場合には、この範囲に対して橋軸方向に連続しているとみなせる鉄筋を配置する。

(3) 前項により継目部の橋軸方向に配置する鉄筋の発生応力は、コンクリートに生じる引張力に対し、所要の応力度以下に制限する。

【解説】

(1) および (2) について 継目部とその近傍におけるコンクリートの応力状態について、プレストレス力による局所的なクリープ変形の影響を考慮して評価した結果、発生応力がコンクリートの引張強度を超える場合には、構造や施工方法を再検討する必要がある。一方、発生応力がコンクリートの引張強度以下であっても、種々の制約により応力状態が引張となることを避けられない場合には、ひび割れが生じた場合でもその幅が大きくなることやひび割れが進展することを防ぐために、応力状態が引張となるコンクリート断面の範囲に対して橋軸方向に連続しているとみなせる鉄筋を配置することとした。これは、ひとたび橋軸方向に鉄筋が連続していない無筋目地にひび割れが発生すると、解説図 1.1.3 に示したように下床版全域にひび割れが進展する事例が確認されているためである。

また、計画段階において**3. 2**の規定に従ったプレストレス力による局所的なクリープ変形の影響により生じる引張応力度の詳細な算定を行わない場合には、PC 鋼材定着部付近で局所的に応力状態が引張となる可能性があることを考慮し、配筋を検討しておくといよい（配筋量の算定は**解説 表 3.2.1**参照）。

PC 設計

コンクリート圧縮域 (フルプレストレス)

無筋目地 適用可

コンクリート引張域・ひび割れ発生限界以下

引張領域に連続鉄筋を配置

PPC 設計

コンクリート引張域・ひび割れ発生

構造や施工方法再検討

- ・PC 鋼材の配置方法
- ・U 形プレキャスト桁の製作方法
- ・施工サイクル など

0

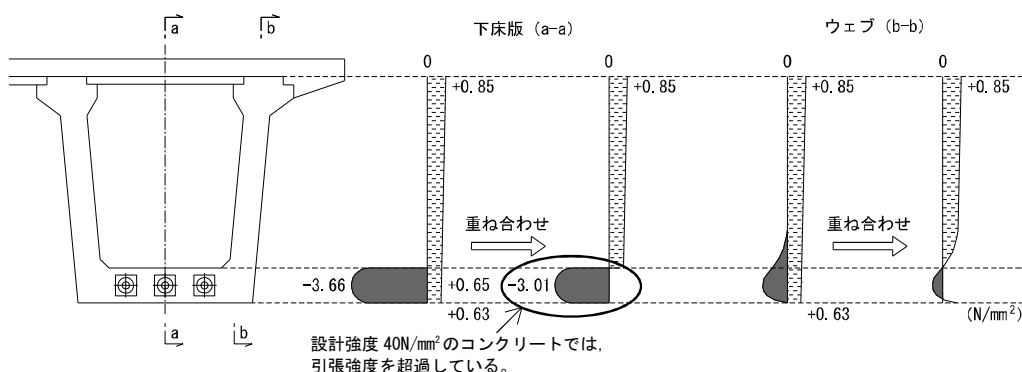
コンクリートの引張強度

コンクリートに生じる引張応力度 (プレストレス力による局所的なクリープ変形の影響を考慮)

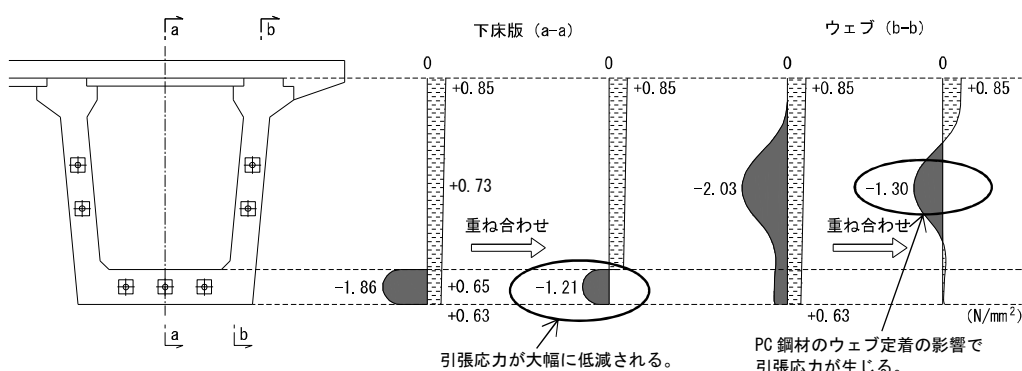
継目部とその近傍の応力状態は、コンクリート桁の一部としての線形骨組解析で得られた応力度と、有限要素解析により算定したプレストレス力による局所的なクリープ変形の影響により生じる引張応力度とを重ね合わせることにより評価する方法がある。ここで、線形骨組解析では、着目点の圧縮応力度が最小となる荷重条件にて評価する必要がある。

13

(1) PC鋼材の集中配置



(2) PC鋼材の分散配置



■ 有限要素解析により算定したプレストレス力による局所的なクリープ変形の影響により生じる応力度

▨ 線形骨組解析により算定した応力度 (荷重組合せ: 死荷重+温度変化の影響)

※ 線形骨組解析による応力度は、永続作用および変動作用の組合せのうち、下床版が最も不利な圧縮応力度最小となるケースを選定する。

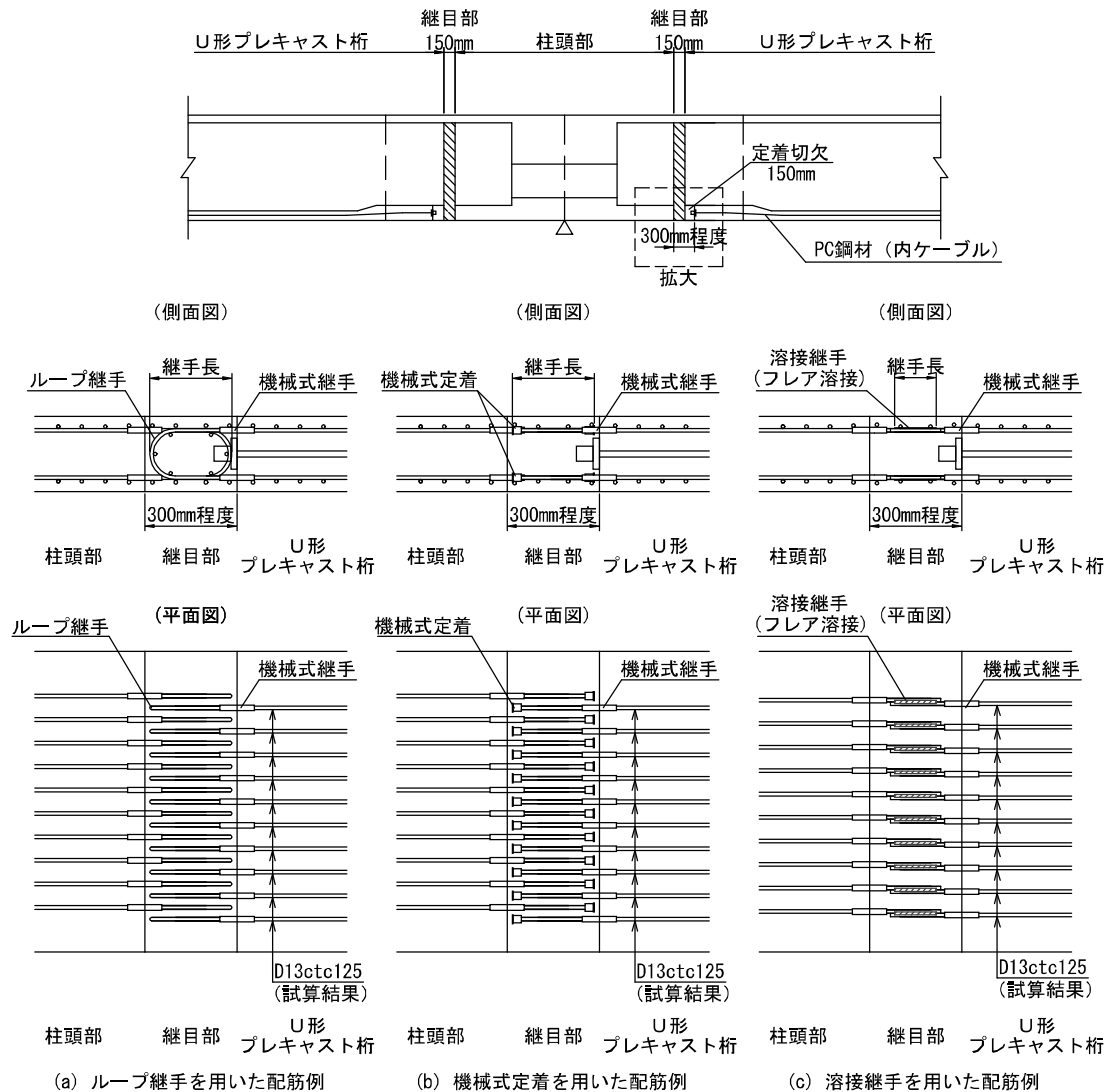
※ 線形骨組解析には、プレストレス力によるクリープ変形に起因する軸方向引張応力が含まれるが、この引張応力は双方の解析で重複するため、線形骨組解析により算定した応力度からこの値 (0.18N/mm²) を控除している。

解説 図 3.3.2 応力度の重ね合わせによる評価例

(3)について コンクリートに生じる引張力の算定方法については、付属資料を参照されたい。引張応力が生じている範囲に配置する鉄筋は、ひび割れが生じた場合でも耐久性の観点から有害なひび割れ幅とならないよう、所要の応力度以下に制限することが必要である。引張鉄筋の応力度制限値は、2017 年制定コンクリート標準示方書 (公益社団法人土木学会) [設計編: 標準]2 編 3 章「耐久設計および耐久性に関する照査」の規定に準じて、120N/mm²を目安とするのがよい。

継目部に幅 150mm の場所打ち調整目地を採用する場合、重ね継手による鉄筋継手は困難となるため、鉄筋が連続しているとみなせる継手方法を適宜検討するとよい。継目部における下床版の配筋例を解説 図 3.3.3 に示す。この例は、コンクリート断面の全域に連続鉄筋を配置する有筋目地とは異なるが、局所的な引張応力に対処できる。

本指針で推奨する PC 鋼材 1S28.6 を分散配置した構造 (解説 図 3.2.2 のモデル②) に対し補強鉄筋量を試算した結果、D13ctc125 で必要鉄筋量を満足する結果であった (付属資料参照)。なお、ウェブにも PC 鋼材を定着し、プレストレス力による局所的なクリープ変形の影響により応力状態が引張となる場合には、下床版と同様に継手方法を検討する必要がある。



- ※ 鉄筋継手の位置は、切欠きを設けて継手スペースを確保。
- ※ PC 鋼材緊張後に柱頭部および U 形プレキャスト桁の主鉄筋と継目部に配置する鉄筋を機械式継手により接続。
- ※ 図中の (試算結果) は、解説 図 3.3.2 に示す (2) PC 鋼材の分散配置での試算による。
- ※ 機械式継手や機械式定着の配置を考慮して、かぶりを確保することに留意する。
- ※ 溶接継手を用いる場合、疲労の影響など適用条件に留意する。

解説 図 3.3.3 場所打ち調整目地の配筋例

<付属資料> 設計計算例

1. 設計計算例の概要

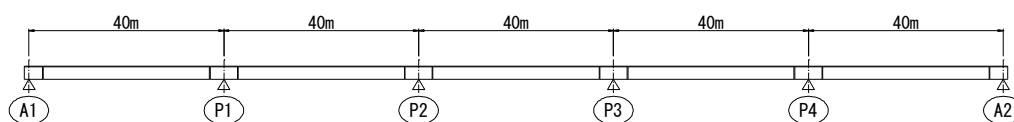
(1) 目的と対象部位

本設計計算例は、本指針に従って行う継目部の照査方法を明確にし、同種橋梁の継目部の検討における参考資料とすることを目的としている。対象とする部位は、柱頭部と U 形プレキャスト桁の調整目地となる継目部とその近傍とし、プレストレス力による局所的なクリープ変形の影響を考慮した応力度の算定例と、補強鉄筋の要否判定ならびに補強鉄筋量の算出例を示す。

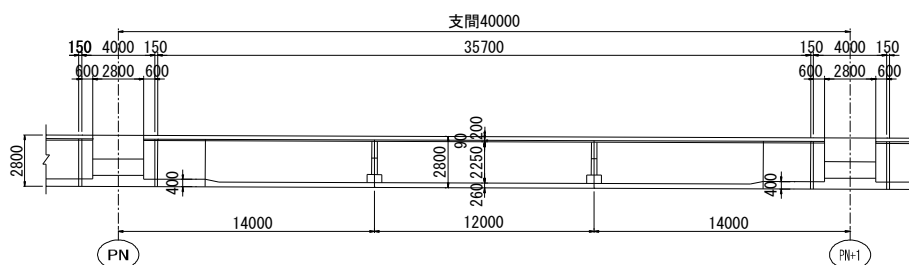
なお、本設計計算例では、本指針のほか、「外ケーブル構造・プレキャストセグメント工法設計施工規準」(プレストレストコンクリート技術協会)の関連規定に準拠した。

(2) 対象構造

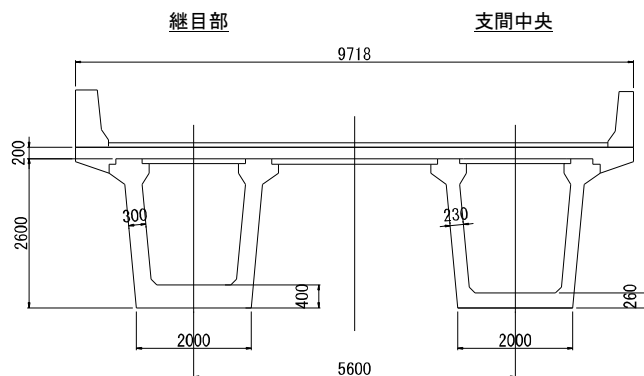
本設計計算例では、付図 1.1 に示す PC5 径間連続 U コンボ橋を対象とした。対象橋梁の 1 径間分を抽出した側面構造図を付図 1.2 に、断面図を付図 1.3 に示す。施工方法は A1 側から A2 側へ 1 径間ずつ片押し施工で行うものとする。



付図 1.1 全体図



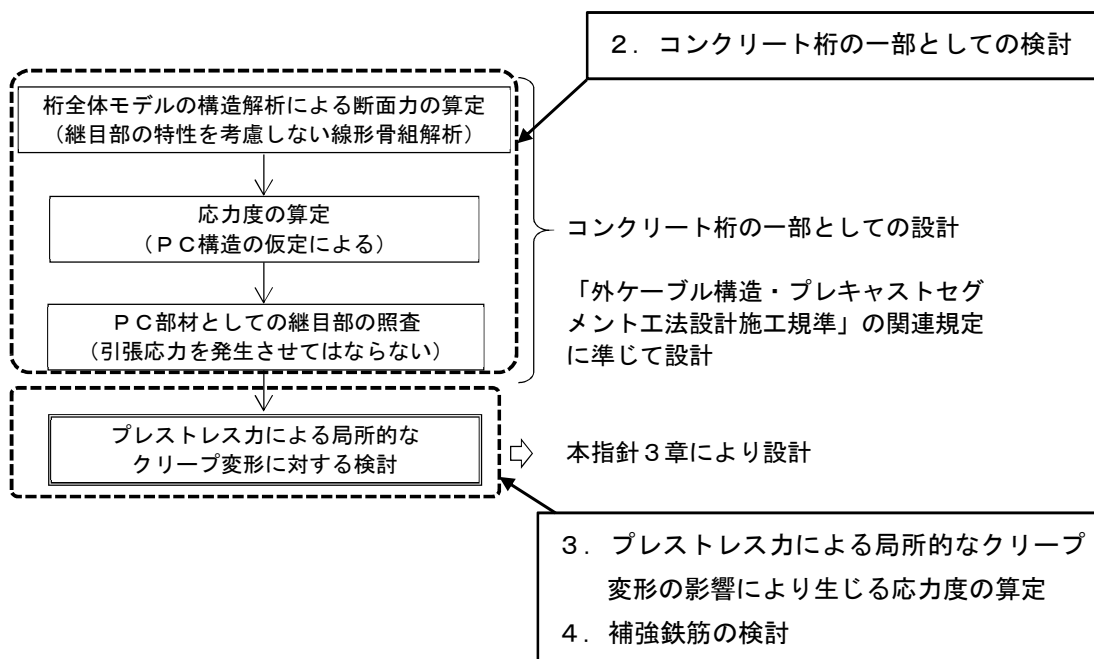
付図 1.2 側面構造図 (1 径間分)



付図 1.3 断面図

(3) 検討手順

PC 連続 U コンボ橋の継目部の設計では、プレキャストセグメント工法の継目部と同様に供用限界状態において、曲げモーメントおよび軸方向力に対し、線形骨組解析により応力度を算出する。加えて本指針の3章の規定よりプレストレス力による局所的なクリープ変形の影響を考慮する。供用限界状態における曲げモーメントおよび軸方向力に対する検討の流れについて、本指針に示した解説図 2.3.1 に、本設計計算例での記載箇所を重ねて付図 1.4 に示す。



付図 1.4 供用限界状態における曲げモーメントおよび軸方向力に対する検討手順

2. コンクリート桁の一部としての検討

(1) 断面力の算出方法

コンクリート桁の一部としての検討では、付表 2.1 に示す解析モデルにより、各施工段階の抵抗断面の変化を考慮して断面力を算出する。

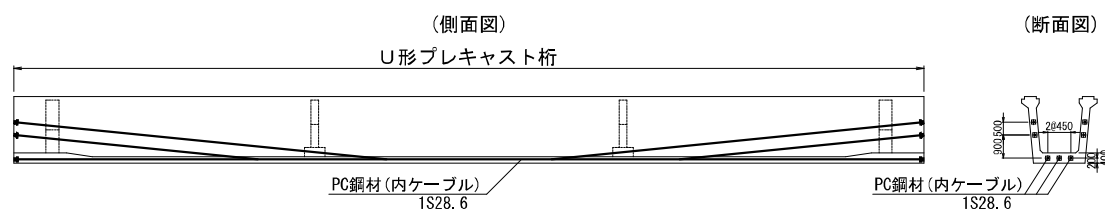
付表 2.1 断面力算出の解析モデル

			解析モデル		
			曲げ・軸力	せん断力	ねじり
主荷重	死荷重	自重	平面骨組解析	平面骨組解析	－
		橋面荷重	平面格子解析	平面格子解析	平面格子解析
	乾燥収縮・クリープ		平面骨組解析	平面骨組解析	－
	プレストレス力		平面骨組解析	平面骨組解析	－
	活荷重		平面格子解析	平面格子解析	平面格子解析
従荷重	温度変化		平面骨組解析	平面骨組解析	－
	床版温度差		平面骨組解析	平面骨組解析	－
鉄筋拘束力			考慮する	－	－

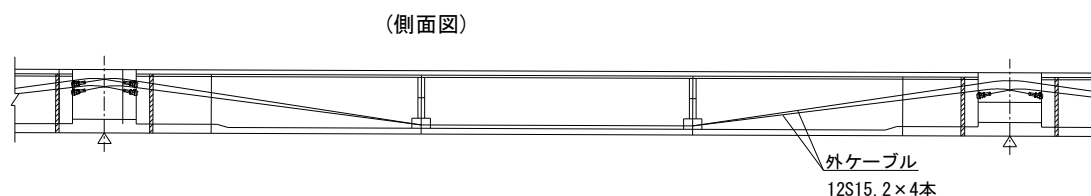
(2) PC 鋼材配置図

本設計計算例で想定した PC 鋼材配置を付図 2.1 に示す。PC 鋼材緊張のタイミングは、内ケーブルは U 型プレキャスト桁の製作後、外ケーブルは桁架設後に柱頭部との調整目地となる継目部のコンクリートの施工後とする。なお、内ケーブルの PC 鋼材種別と配置は、本指針に準拠して継目部におけるプレストレス力による局所的なクリープ変形の影響を緩和できる分散配置としている。(本指針解説 図 3.1.1 (b) と同じ諸元)

(内ケーブル配置図)



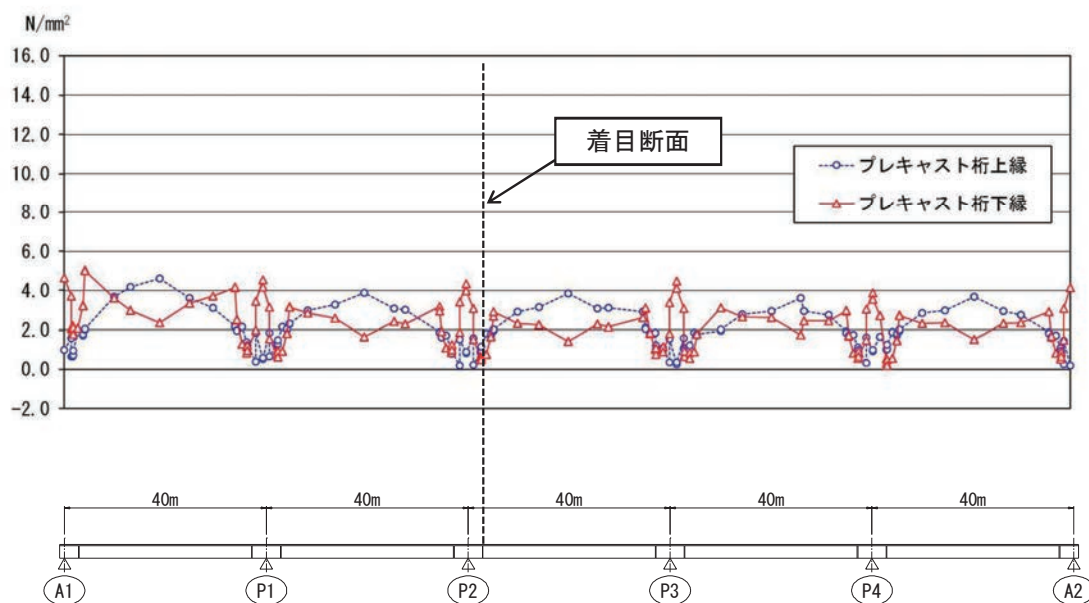
(外ケーブル配置図)



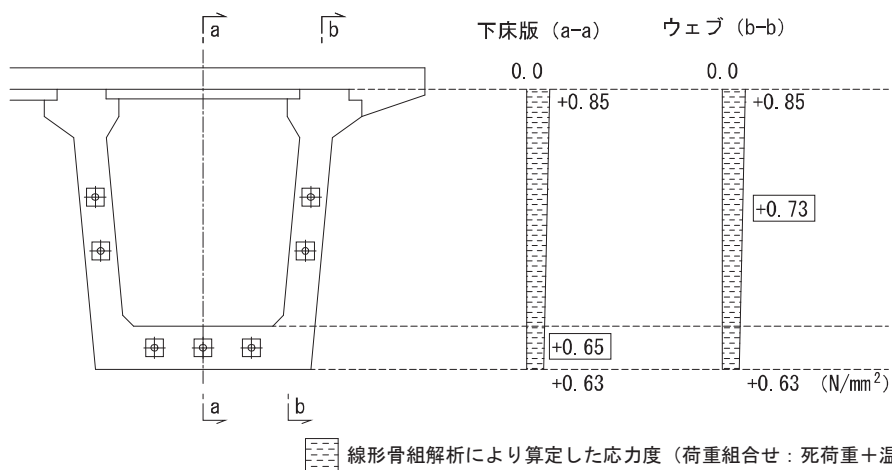
付図 2.1 PC 鋼材配置図

(3) 応力分布および継目部応力

「死荷重+温度変化の影響」の荷重組合せにおける線形骨組解析の結果として、付図 2.2 に主桁の応力分布を、付図 2.3 に P2 終点側の着目断面の応力分布を示す。なお、「死荷重+温度変化の影響」の荷重組合せが、継目部とその近傍において下縁の圧縮応力度が最小となるケースである。また、P2 終点側は、各継目部のうち圧縮応力度が最小となる断面である。



付図 2.2 プレキャスト桁の応力分布



- ※ 線形骨組解析による応力度は、永続作用および変動作用の組合せのうち、下床版が最も不利な圧縮応力度最小となるケースを選定する。
- ※ 線形骨組解析には、プレストレスによるクリープに起因する軸方向引張応力が含まれるが、この引張応力は双方の解析で重複するため、線形骨組解析により算定した応力度からこの値 (0.18N/mm^2) を控除している。
- ※ 図中の四角で表示している数値は、線形骨組解析で算出されるウェブまたは下床版の圧縮力を集計するための応力度を示している。

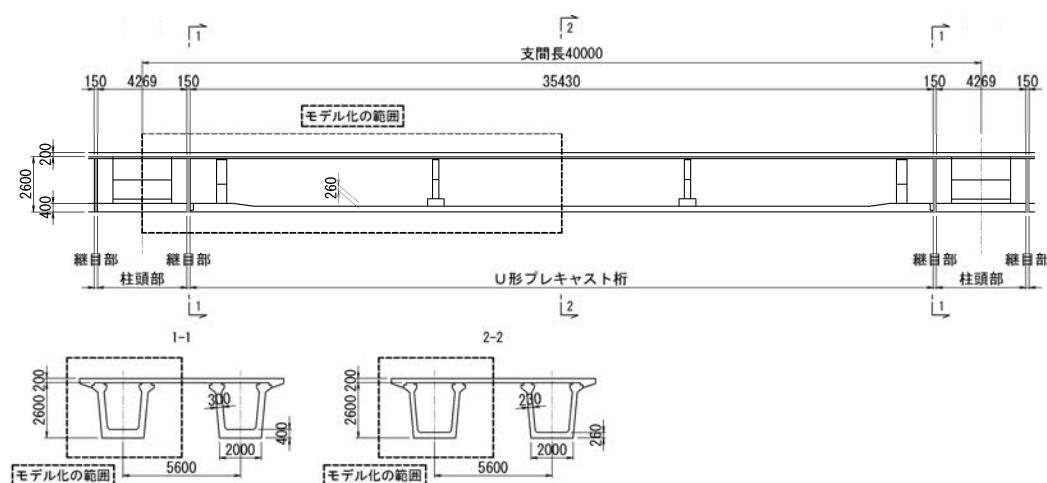
付図 2.3 断面の応力分布（線形骨組解析）

3. プレストレス力による局所的なクリープ変形の影響により生じる応力度の算定

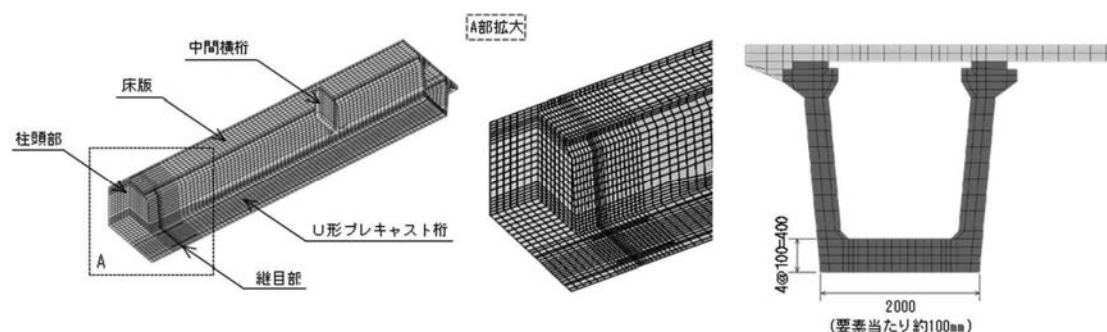
プレストレス力による局所的なクリープ変形の影響により生じる応力度は、本指針 3 章 3. 2 に従い、施工ステップやコンクリートの材齢の変化を考慮できる 3 次元有限要素解析により算定する。以下に、有限要素解析による応力度の算定例ならびに解析結果を用いた引張力の集計例を示す。

(1) 解析対象と解析モデル

本解析では、付図 2.1 に示した U 形プレキャスト桁の小口に PC 鋼材 1S28.6 を 7 本分散して定着した構造を対象としている。モデル化の範囲を付図 3.1 に、解析モデルを付図 3.2 に示す。モデル化の範囲は、対称性を考慮して支点から支間中央までとした。また、要素分割は、主な着目点である下床版の継目部とその近傍において 1 要素あたり約 $100 \times 100 \times 100 \text{mm}$ となるように設定した。



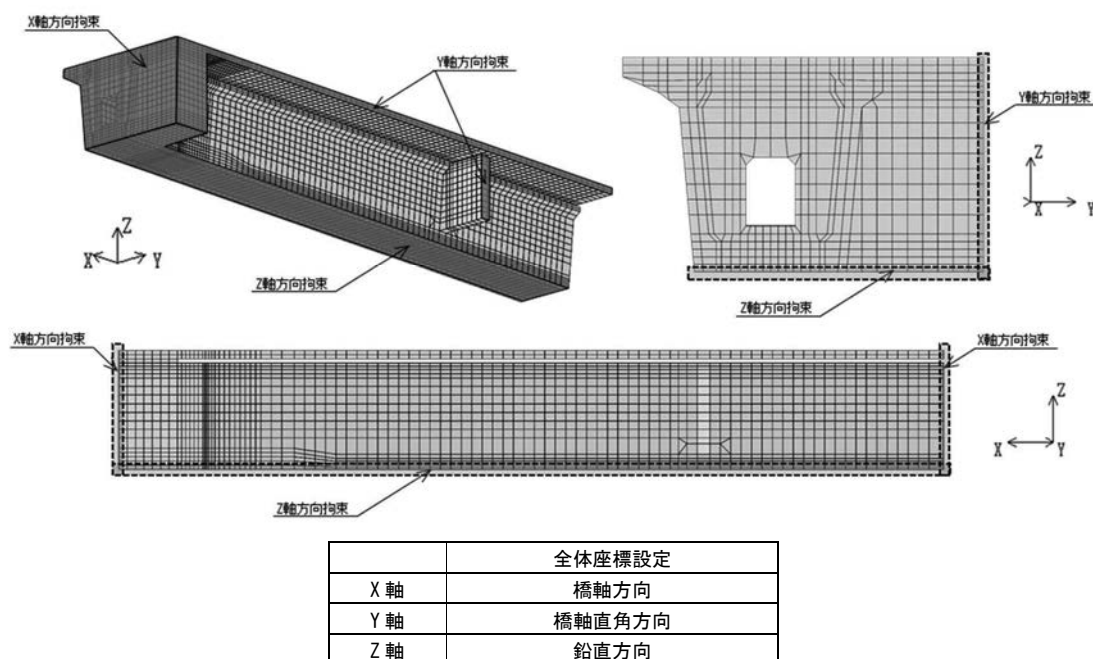
付図 3.1 モデル化の範囲



付図 3.2 解析モデル

(2) 拘束条件

拘束条件を付図 3.3 に示す。本解析では、プレストレス力による局所的なクリープ変形の影響により生じる応力度のみを抽出するため、プレストレス力によるクリープに起因する桁の曲げ挙動の影響が生じないように下床版下面を鉛直方向に拘束することとした。これは、桁の曲げ挙動の影響による応力度が線形骨組解析で算定されるコンクリート桁の一部としての設計計算結果に含まれるため、発生応力度を重複して評価しないように配慮したものである（本指針 1 章 1. 1 (1) 解説参照）。



付図 3.3 拘束条件

(3) 材料物性値

本解析に用いた材料物性値を付表 3.1 に示す。本解析では、プレストレス力による局所的なクリープ変形の影響により生じる応力度のみを抽出するため、水和熱の影響や乾燥収縮・自己収縮の影響は考慮していない。なお、クリープ構成則は、道路橋示方書・同解説Ⅲコンクリート橋・コンクリート部材編（平成 29 年 11 月、公益社団法人日本道路協会）「4.2.3 解説(4)1)クリープ係数」に準じた。

付表 3.1 材料物性値

		柱頭部	U 形プレキャスト桁	継目部	床版
設計規準強度 (N/mm ²)		36	40	40	36
弾性係数 (N/mm ²)		29,800	31,000	31,000	29,800
ポアソン比		0.167	0.167	0.167	0.167
クリープ構成則	構成則	道示式	道示式	道示式	道示式
	セメント種別	普通	早強	早強	普通
	相対湿度 (%)	70	70	70	70
	仮想部材厚 (mm)	2,800	420	420	470

(4) 載荷条件

U 形プレキャスト桁の小口に定着する PC 鋼材定着力の載荷条件を付表 3.2 に示す。

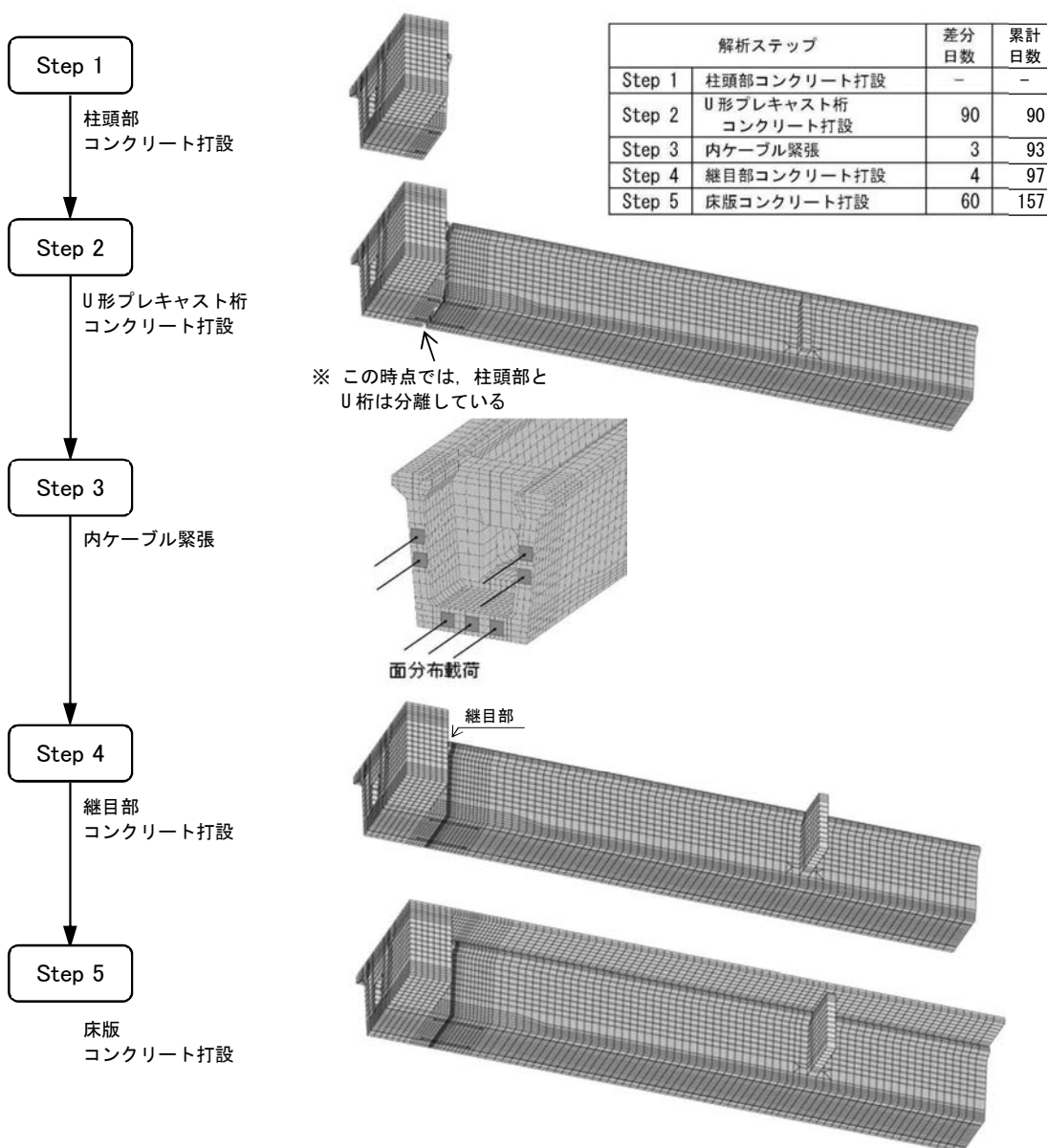
本解析では、有効プレストレスとして $0.6P_u$ に相当する値を設定したが、個々の設計においては設計計算書による有効緊張力を設定してもよい。

付表 3.2 PC 鋼材定着力の載荷条件

PC 鋼材種別	SWPR19L 1S28.6
PC 鋼材断面積	532.4 mm ²
PC 鋼材本数	7 本/主桁
有効プレの引張応力度	1,068 N/mm ²
有効プレの引張力	569 kN
載荷面積 (□165mm)	27,225 mm ²

(5) 解析ステップ

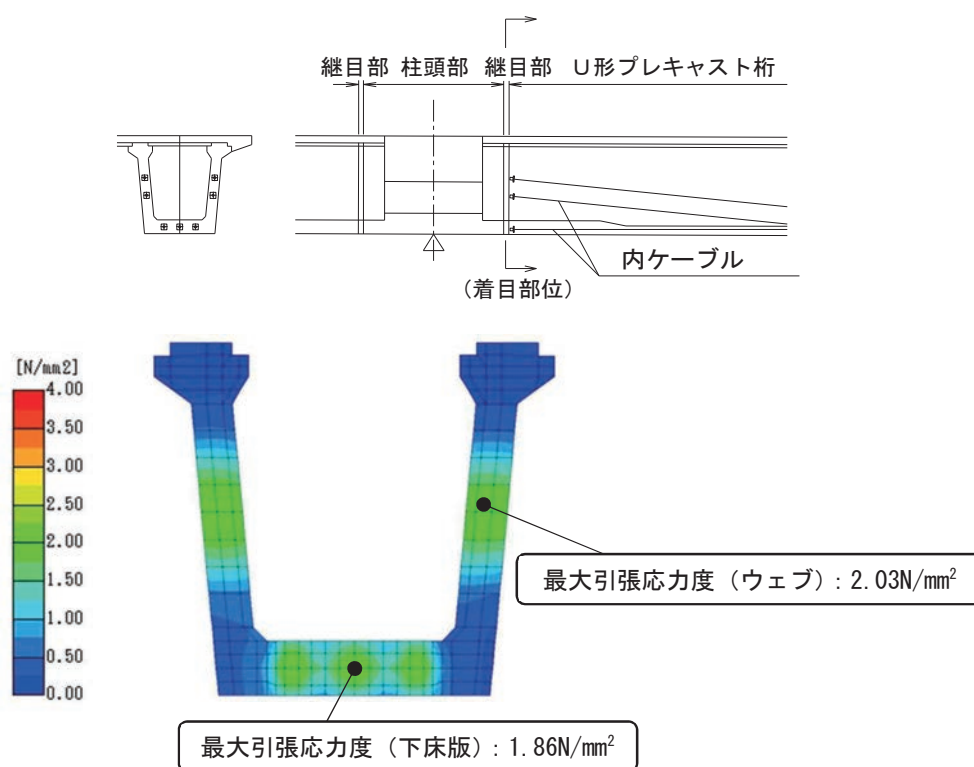
施工手順を考慮した解析ステップを付図 3.4 に示す。本解析では、実現可能な施工サイクルの範囲で考えられる最も厳しい条件として、緊張時材齢 3 日、U 形プレキャスト桁に配置した PC 鋼材（内ケーブル）緊張から継目部コンクリート打設までの期間を 4 日と設定した。



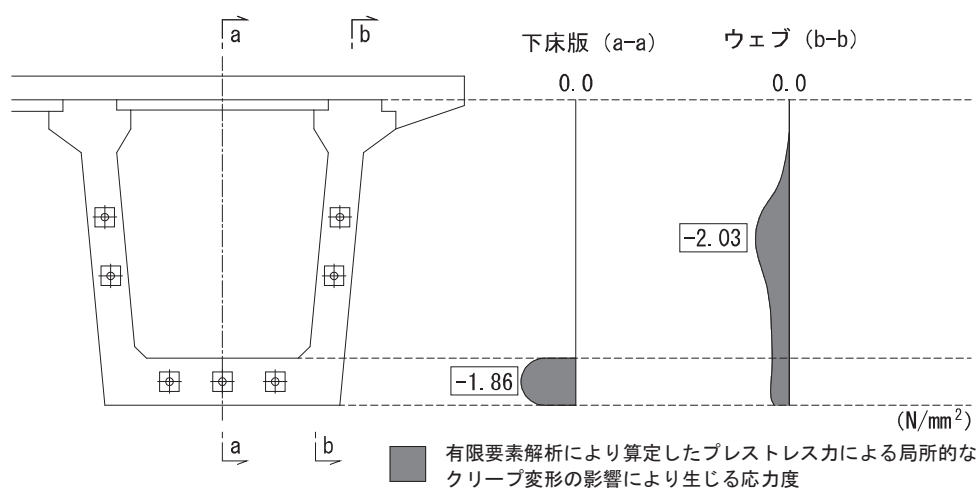
付図 3.4 解析ステップ

（６）解析結果

付図 3.5 に縁応力度で最大引張応力度が確認された断面（場所打ち調整目地と柱頭部との境界部）の応力コンターを示す。また、断面の応力分布を付図 3.6 に示す。最大引張応力度は、下床版の断面中央付近において 1.86N/mm^2 、ウェブの断面中央付近において 2.03N/mm^2 であった。なお、最大引張応力度の値は、応力度の増加がほぼ収束した 1096 日後（3 年後）で評価している。



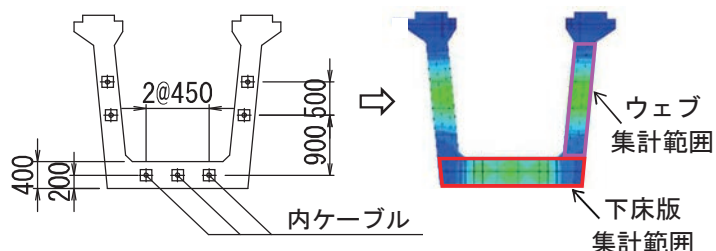
付図 3.5 応力コンター



付図 3.6 断面の応力分布（プレストレス力による局所的なクリープ変形の影響）

（７）引張力の集計

下床版およびウェブに生じる引張力は、それぞれの集計範囲において、要素応力に断面積を乗じた値を合計して算出する。応力コンターと集計範囲を付図 3.7 に、引張力を集計した結果を付表 3.3 に示す。



付図 3.7 応力コンターと集計範囲

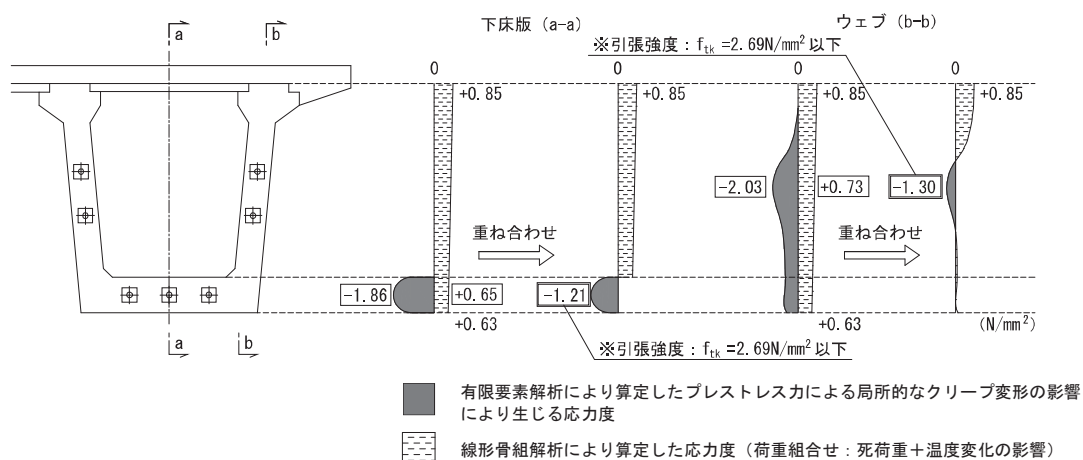
付表 3.3 引張力の集計表

着目位置	最大引張応力度	集計範囲	集計範囲の合計引張力
下床版	1.86 N/mm ²	812,400 mm ²	900 kN
ウェブ	2.03 N/mm ²	603,000 mm ²	600 kN

4. 補強鉄筋の検討

（１）補強鉄筋の要否判定

継目部とその近傍における応力状態は、骨組解析により得られた応力度と、プレストレス力による局所的なクリープ変形の影響により生じる引張応力度とを重ね合わせて評価する。なお、骨組解析では、着目点の圧縮応力が最小となる荷重条件にて評価する。付図 4.1 に断面の応力状態の重ね合わせ結果を示す。重ね合わせた引張応力度は、引張強度： $f_{tk}=2.69\text{N/mm}^2$ （コンクリート強度： 40N/mm^2 ）以下となっている。ただし、応力状態が引張となることから、本指針 3 章 3.3 に従い、コンクリート断面の範囲に対して橋軸方向に連続しているとみなせる鉄筋を配置する。

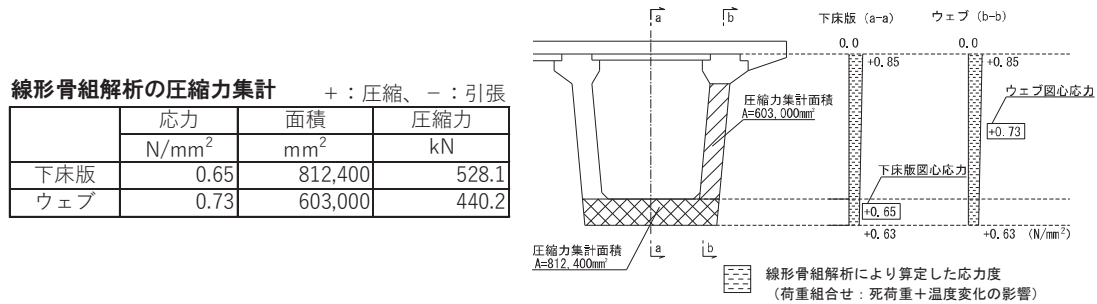


付図 4.1 断面の応力分布（重ね合わせ）

（２）補強鉄筋量の算定

プレストレス力による局所的なクリープ変形の影響を考慮した補強鉄筋量の算定例を付表 4.1 に、配筋断面図を付図 4.2 に示す。引張鉄筋の応力度制限値は、本指針 3. 3（２）解説より 120N/mm^2 とした。

付表 4.1 補強鉄筋量の算定例

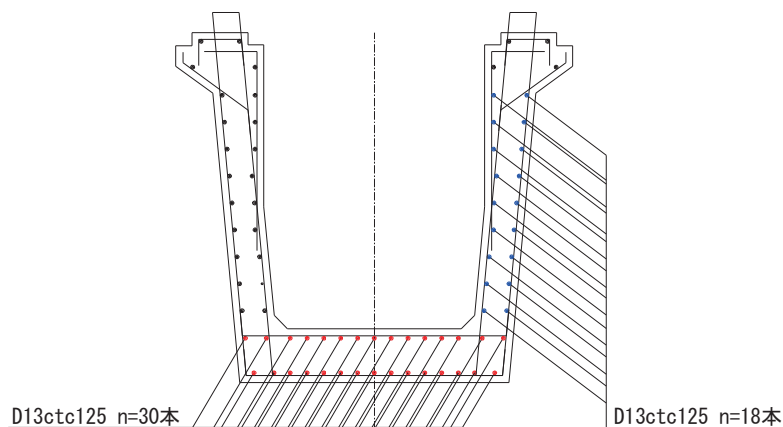


重ね合わせ +：圧縮、－：引張

	骨組解析による圧縮力 kN	局所的なプレストレス クリープによる引張力 kN	合計 kN
下床版	528.1	-900	-371.9
ウェブ	440.2	-600	-159.8

補強鉄筋量

	鉄筋の 応力度制限値	必要鉄筋量 mm^2	配置鉄筋				判定
	N/mm^2		本	径	1本 mm^2	合計 mm^2	
下床版	120	3099.5	30	D13	126.7	3801.0	OK
ウェブ	120	1331.8	18	D13	126.7	2280.6	OK



付図 4.2 配筋断面図