

新技術評価事例（コンクリート構造）

- プレキャスト桁場所打ち接合構造 - （スプライスPC構造）

平成19年 7月

（社）プレストレスト・コンクリート建設業協会

新技術評価事例（コンクリート構造）
- プレキャスト桁場所打ち接合構造（スプライスPC構造） -

はじめに

近年、技術提案型の契約方法の導入や、公共工事費の縮減化が以前にも増して叫ばれており、工期や工事費が縮減できる合理的な構造として新技術を用いた新たなコンクリート橋が採用されるようになってきている。

しかし、そのような新技術が提案されても、「道路橋示方書に示す要求性能を満足しているのかどうか」を技術的に評価しなければならず、何も分からずに設計を進め大きな問題に発展することや、検証方法が分からないために採用に踏切れないケースも生じている。また、新技術の設計では定性的な要求性能だけでなく、具体的な作用外力に対し、どのような変形が生じ各部材にどのような影響が生じるのかも関連して設計していかなければならない。そのため、新技術の採用には、高度な技術的判断が要求されることが多く、従来のみなし規定のように誰もが画一的に設計を行えるものでなくなる。

そこで、PC建協では最近のコンクリート橋における代表的な新技術を取り上げ、性能評価に関する技術資料をまとめた。本資料では、コスト縮減が可能で幅広い普及が期待される下記の構造について、技術評価の必要性の観点から道路橋示方書との関係を整理し、その着目要素と検証方法の考え方など技術評価の方向性を明確にして、それに基づく検証事例を示した。各新技術の紹介では「主な技術概要」、「技術評価の観点と方向性」、「検証事例」の3つの項目に分け、道路橋示方書の要求性能に対する課題や検証事例等を紹介している。

コンクリート橋における代表的な新技術の一覧

外ケーブル構造	
合理化床版構造	広幅員一室箱桁構造
	リブ付き床版構造
	ストラット付き床版構造
プレキャスト桁場所打ち接合構造（スプライスPC構造）	
新しい桁連結構造（リンクスラブ構造）	
合成床版を有する合成U桁構造（Uコンポ橋）	

本資料は、着色部の新技術を示す。

目 次

1. 主な技術概要	1
(1) 概要	1
(2) 橋梁形式の概要	1
(3) 施工方法	2
(4) 接合技術	3
2. 技術評価の観点と方向性	11
(1) プレストレス力の算定	11
(2) プレストレス力の伝達性状	13
(3) 部材の材令英と構造系変化に対する評価	14
(4) 全体構造に対する接合部の破壊挙動と安全性	16
(5) 接合部性能の検証	18
3. 検証事例	19
事例 接合部のプレストレス力と応力度照査	19
事例 プレストレスの伝達性状の確認	21
事例 部材の材令英と構造系変化に対する評価方法	25
事例 非線形解析による終局荷重状態の検証	29
事例 試験体による耐荷力の検証	35
4. 参考資料	41
(1) 参考文献	41
(2) 施工実績	45

プレキャスト桁場所打ち接合構造（スプライスPC構造）

1. 主な技術概要

(1) 概要

PC橋では、径間長が25m程度までは工場製のプレキャスト桁が用いられ、径間長が25m以上になると現場で製作するポストテンション桁が多く用いられている。これには、工場製のプレキャスト桁に対する公道運搬の制約が影響している。

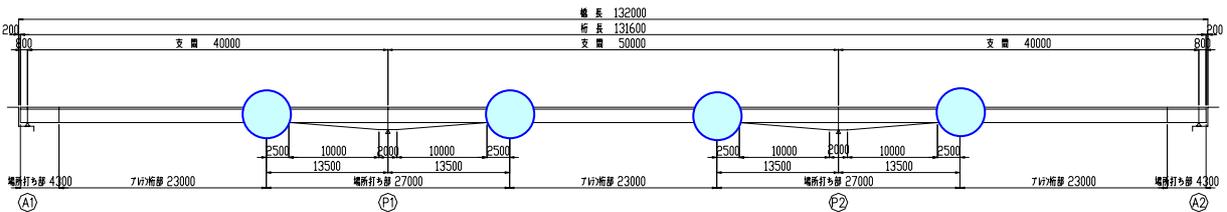


図-1.1 プレキャスト桁を用いたPC構造

図-1.1に示す橋梁は、径間の中間部に工場性プレテンション方式プレキャスト桁、端支点部および中間支点部を場所打ち桁で構成され、ポストテンション方式でプレストレスを導入して接合している。したがって、「プレキャスト桁場所打ち接合構造」を用いた新しい橋梁形式であり、径間長が40m～60mの中規模径間に適用できる。本橋梁構造における着目すべき技術は、プレテンション部材とポストテンション部材との接合技術である。

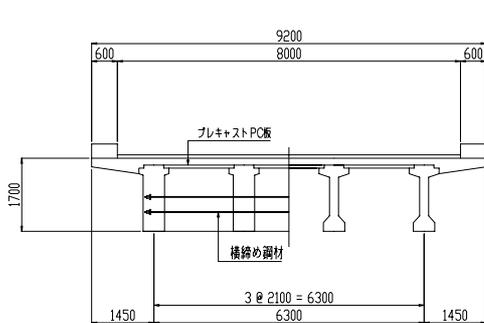
(2) 橋梁形式の概要

プレキャスト部材とポストテンション部材とで構成された構造を図-1.2に示す。プレキャスト部材は、高強度コンクリート（50N/mm²以上）でプレテンションPC鋼材によりプレストレスを導入したプレテンション桁である。プレテンション部材とポストテンション部材とは、最終的にポストテンションPC鋼材によりプレストレスを導入し、一体化する。図-1.2の橋梁例は、プレテンション部材は合成桁であり、ポストテンション部材は箱桁である。

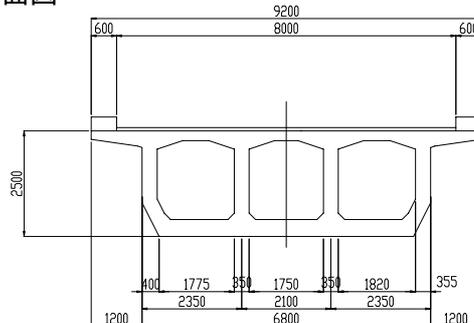


注) 〇が、プレテンション部材とポストテンション部材の接合部を示す。

側面図



プレテンション桁（合成桁）



場所打ち桁（箱桁）

主桁断面図

図-1.2 本技術を用いた橋梁例

(3) 施工方法

図-1.2 に示す橋梁の施工順序を図-1.3 に、施工フローを図-1.4 に示す。プレテンション桁はクレーン架設または架設桁架設となり、場所打ち桁は支保工架設となる。本構造では、プレテンション桁と場所打ち桁を場所打ち接合するためにプレテンション桁を先に架設する点が大きな特徴である。

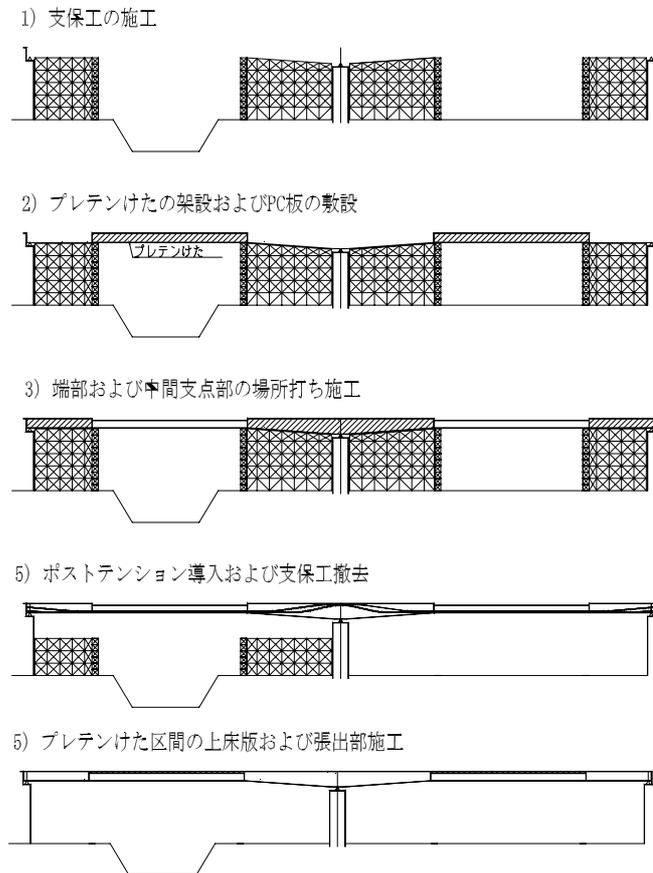


図-1.3 施工順序

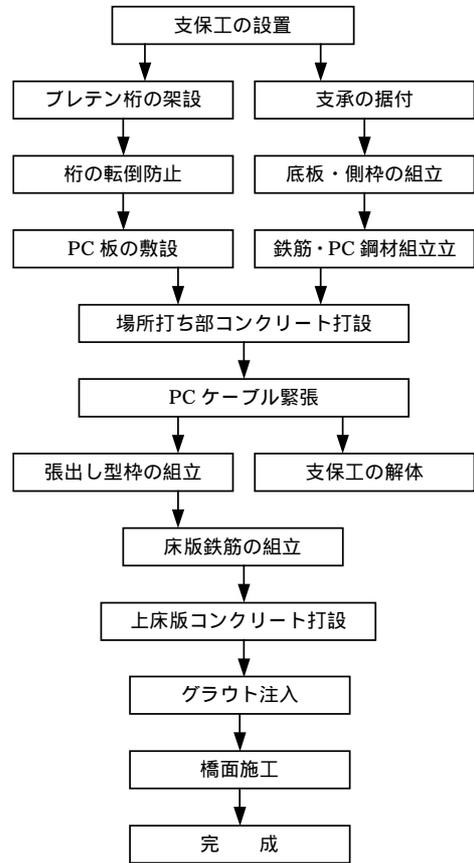


図-1.4 施工フロー

図-1.5 に示す橋梁では、径間中央部のプレキャスト部材に中空床版桁を用いた例である。



図-1.5 施工実績

(4) 接合技術

プレテンション桁（合成桁）と場所打ち桁（箱桁）の接合部を図-1.6 に示す。

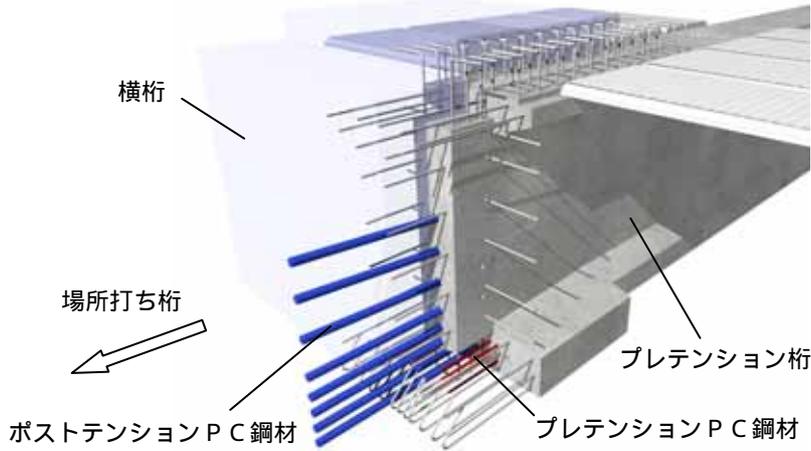


図-1.6 接合部

【接合部の構造】

ポストテンションPC鋼材により、プレテンション桁を後施工の場所打ち箱桁と接合する。図-1.7 に示すとおり、プレテンション桁とポストテンション桁のウェブ厚を擦り付け、連続したポストテンションPC鋼材の配置に配慮するとともに、桁剛性の連続化も図っている。また、プレテンションPC鋼材とポストテンションPC鋼材の配置は、道示やPC工法の規定に従い、PC鋼材のかぶりや空き、定着体の最小間隔や縁辺距離を確保している。

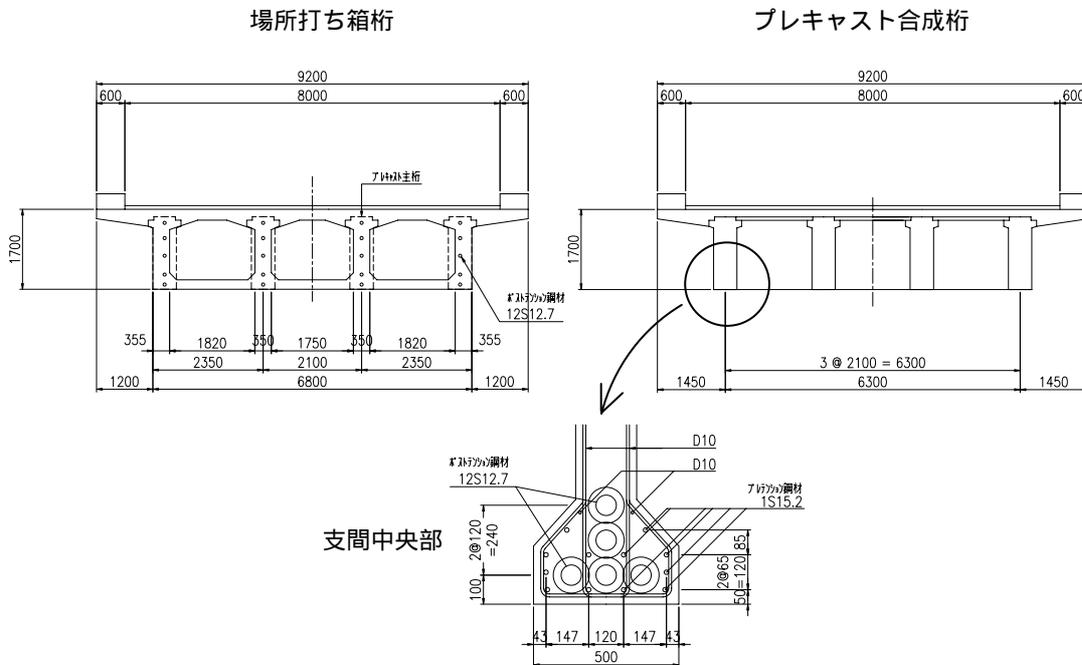


図-1.7 PC鋼材配置

プレテンション桁の端部は、図-1.8 に示すとおり場所打ち桁の横桁に突入させ、横桁方向にプレストレスを導入し、周面摩擦力を付加し、接合性能を高めている。

接合面は、洗出し等により、付着性を確保する。

鉄筋は、プレテンション桁から継手長を突出させることにより、鉄筋の連続性を確保している。

接合面は、後打ちコンクリートの付着に配慮し、洗出し等の処理を施す。

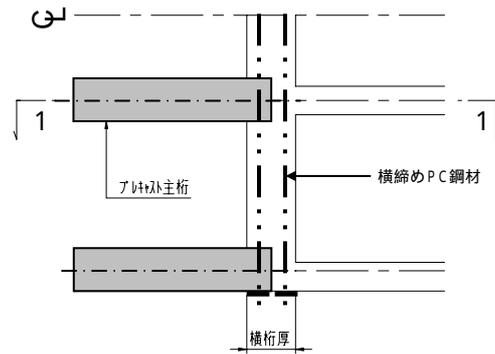
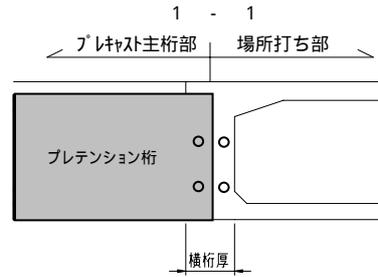


図-1.8 接合部の横桁

接合部は、図-1.9 に示すとおり、ウェット接合で鉄筋やPC鋼材が連続している点では、場所打ち施工の張出し架設や移動支保工等の分割施工で一般的に用いられている接合同様である。

接合部の外的条件を図-1.10 に示す。接合部は、プレテンション部材とポストテンション部材で主桁構造が異なるため、基本的に剛性変化を伴い、曲げモーメントのインフレクションポイント付近に位置することがわかる。

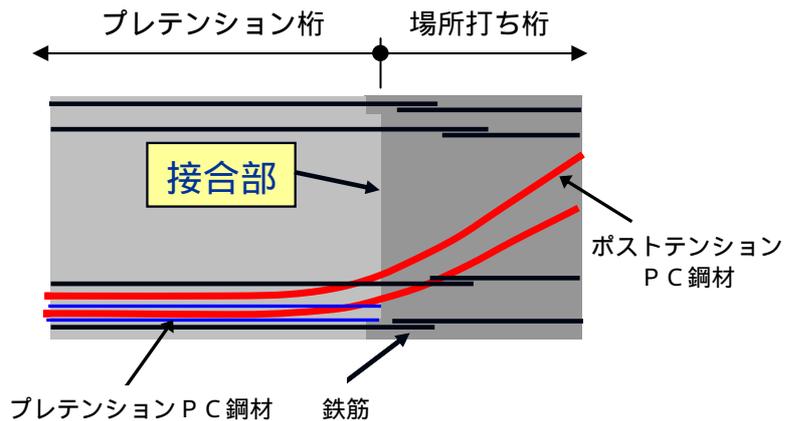


図-1.9 接合部の構造

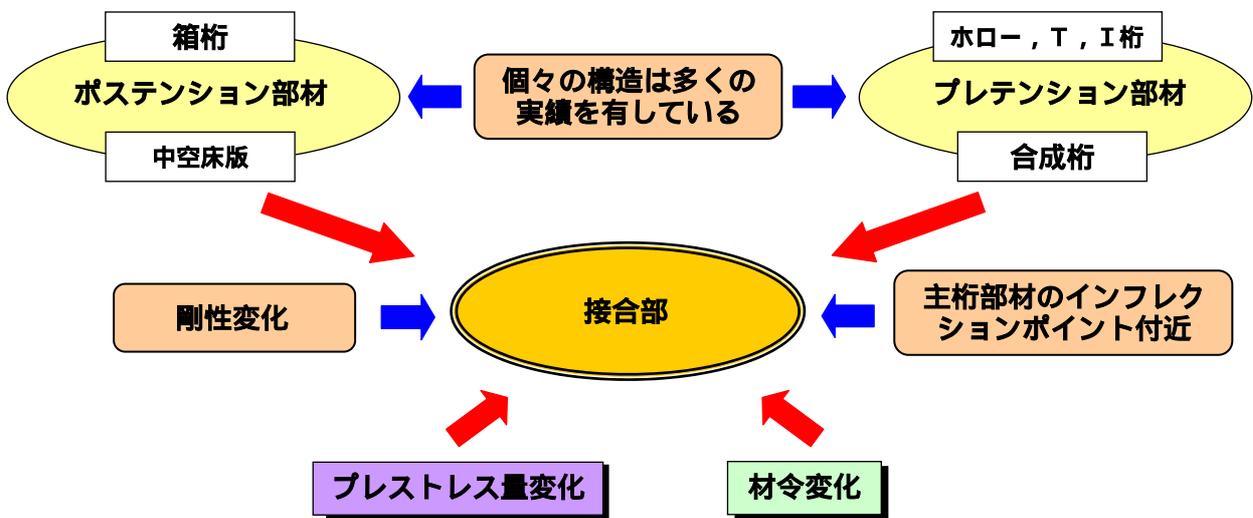


図-1.10 接合部の外的条件

また、接合する部材の構造や接合に関する本構造に関連した道示の規定を表-1.1～表-1.3 に纏める。

表-1.1 道示 における関連事項(1)

	構造種類	適用	関係規定	解説要旨	本構造における適用
適用の範囲	床版橋		相対する2辺が自由で他の2辺が支持される床版橋	道示 8章 床版橋	支間中央部のプレキャストげた区間にHollowげた断面を使用する場合に適用する。
	箱げた橋	適宜	断面が箱形をなす橋	道示 10章 箱げた橋	支点付近(端支点及び柱頭部の構造として使用する。
	合成げた橋		プレキャストコンクリートげたと場所打ち床版とがずれ止めによって結合され、けたと床版とが一体となった合成断面で荷重に抵抗する橋	道示 11章 合成げた橋	支間中央部のプレキャストげた区間に合成げた断面を使用する場合に適用する。
	連続げた	適用	支承により支持され2径間以上連続する橋	道示 12章 連続げた橋	スライスPC橋は一般に2径間以上の橋梁に有効な構造のため適用する必要がある。
	プレキャストセグメント橋	参考	プレキャストセグメント工法により施工する橋	道示 17章 プレキャストセグメント橋	接合部が構造成立上の重要箇所という点为本構造との共通事項のため参照する。
設計一般	床版橋	適宜	床版橋の各部材寸法は、鉄筋配置やコンクリート打設等の施工が確実に行える寸法とするものとする。	施工の容易な構造とし、寸法等は6章構造細目による。	プレキャストげた部にHollowげた断面を使用した場合に適用する。
	箱げた橋	適宜	けた相互のたわみ差によって床版に悪影響をおよぼさない構造とする。	多主げた箱げた橋において、箱げた相互を結合する横げたを設けない場合、橋軸直角方向の剛性が小さくなり荷重分配作用が悪くなり、またけた相互のたわみ差やねじりにより床版に大きな曲げが生じることがある。	場所打部に多主げた箱断面を使用した場合に適用する。
		適用	主げたの支点上には横げた及び隔壁を設ける。 主げたには、1支間に1箇所以上の中間横げた及び隔壁を設ける。		場所打箱げた部に適用する。 場所打ちけたとプレキャストげたの接合部には、横げたを設けるため、1支間に2箇所となる。
	合成げた橋	適宜	施工段階ごとの構造系の変化を考慮して設計する。 施工工程を考慮し、各施工段階ごとの応力度及びそれらの合成応力度について照査する。	1. プレストレス導入直後 : けた断面に[直後プレストレス+けた自重] : けた断面に[有効プレストレス+けた、床版自重] 2. 床版合成時 : けた断面に[有効プレストレス+けた、床版自重]+合成断面に[後死荷重] 3. 合成後死荷重作用時 : けた断面に[有効プレストレス+けた、床版自重]+合成断面に[後死荷重] 4. 活荷重作用時 : けた断面に[有効プレストレス+けた、床版自重]+合成断面に[後死荷重+活荷重+クリープ等の影響]	プレキャストげた部に合成げた断面を使用した場合、左記の検討時期に加え、プレキャストげた架設時、場所打ち部施工時が加わる。
		適用	プレキャストげたと場所打ち床版におけるコンクリートのクリープ及び乾燥収縮の差を考慮する。	コンクリートのクリープ差と乾燥収縮差による平面保持に関する単純桁断面力の算出方法を提示、連続げた橋の場合は、これらを用いて不静定力を算出する。	プレキャストげた部に合成げた断面を使用した場合に適用する。
	連続げた	適用	プレキャストげたの断面形状は、架設時の安全性についても考慮して決定する。	合成げた橋に使用するプレキャストげたは、上フランジ幅が支間に比べ狭いうえにウェブが薄く、横方向の剛性が小さい場合が多いので、架設中の横座屈に対する検討も行って断面形状を決定する必要がある。	プレキャストげた部に合成げた断面を使用した場合に適用する。
	プレキャストセグメント橋	参考	連続げた橋は、施工方法によって施工段階ごとの構造系が変化するので、これを考慮して設計する。	張出し架設工法や移動支保工式架設工法等によって施工される連続げた橋は、構造系が変化したり、材令差による不静定力が生じることがあるので、考慮しなければならない。	スライスPC橋は、段階施工が不可避であり、工場製プレキャストげたと場所打ちけたとは材令差もあるため、必ず適用する必要がある。
継目部がない場合のけたとして安全であるとともに、継目部が断面力に対して安全となるようにする。			継目部は、相互のセグメントを確実に接合し、断面力を確実に伝達できる構造とするものとする。	接合部の前後で剛性変化を伴うため、接合部における力(応力)の伝達は重要であり、思想として適用する必要がある。	
施工各段階において、安全性が確保されるようにする。			継目部は、耐久性上の弱点となることのないように配慮するものとする。	一般部と同様の安全性を確保する必要がある。	
		継目部がないけたとして設計を行うほか、継目部の応力度及び耐力について照査する。	接合面は、主げたの部材軸線に直角に設けるものとする。	支点部の斜角によらず接合部は直角にすることが可能な構造であるため、本規定に従う。	

■ * 接合部に関連する規定

表-1.2 道示 における関連事項(2)

構造種類	適用	関係規定	解説要旨	本構造における適用											
構造解析	床版橋	支持条件や構造形式に応じた解析理論及び解析モデルを用いる。	原則は版理論、ただし、連続床版橋、曲線橋、斜橋等の場合には、格子理論やFEM等により解析。	一般に格子構造解析を使用する。											
		支承条件、斜角等を考慮して版理論により行う。		一般に格子構造解析を使用する。											
		片持床版のある床版橋の構造解析は、片持床版の影響を考慮して行う。	片持床版に作用する荷重や片持床版の剛性の影響を考慮する。	プレキャストげた部にHollowげた断面を使用した場合に適用する。											
		支点反力及び支線方向の断面力は、支配置及び斜角の影響を考慮して算出する。	断面力が支配置及び斜角等によってその分布が変化するため、それらの影響を考慮しなければならない。	プレキャストげた部にHollowげた断面を使用した場合に適用する。											
	Tげた橋	横げたや床版による荷重分配効果を適切に評価できる解析理論及び解析モデルにより行う。	省力化の観点から中間横げたを省略した構造では、主げたへの荷重分配効果や床版へ与える影響について、立体有限要素法等の適切な解析方法によって確認しなければならない。	プレキャストげた部に合げた断面を使用した場合に適用する。											
		横げたを適切な間隔で設けたTげた橋の断面力は、格子構造理論により算出するものとする。		プレキャストげた部に合げた断面を使用した場合に適用する。											
		格子構造理論より断面力を算出する場合には、一般に部材のねじり剛性を無視してもよい。	斜角が70°未満の場合及び横げたの間隔が広い橋については、ねじりの影響が大きいため、ねじり剛性を考慮して解析し、ねじりに対する検討を行う。	プレキャストげた部に合げた断面を使用した場合に適用する。											
	箱げた橋	断面形状や幅員と支間の比及び支承条件に応じて、横方向の荷重分配とねじり剛性効果を適切に評価できる解析理論及び解析モデルにより行う。	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2">構造特徴</th> <th>解析理論</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">全幅・支間比 0.5以下</td> <td>単一箱げた及び、 多重箱げた橋</td> <td>斜角が70°以上 はり理論 格子構造理論</td> </tr> <tr> <td>多主げた箱げた橋</td> <td>格子構造理論</td> </tr> <tr> <td colspan="2">全幅・支間比0.5以上</td> <td>格子構造理論</td> </tr> </tbody> </table>	構造特徴		解析理論	全幅・支間比 0.5以下	単一箱げた及び、 多重箱げた橋	斜角が70°以上 はり理論 格子構造理論	多主げた箱げた橋	格子構造理論	全幅・支間比0.5以上		格子構造理論	場所打ち部は箱げた断面を使用するため、構造の特徴を踏まえて、はり理論と格子構造解析を使用する。
		構造特徴		解析理論											
		全幅・支間比 0.5以下		単一箱げた及び、 多重箱げた橋	斜角が70°以上 はり理論 格子構造理論										
				多主げた箱げた橋	格子構造理論										
	全幅・支間比0.5以上		格子構造理論												
単一箱げた橋や多重箱げた橋で幅員と支間の比が0.5未満の場合は、全断面を一つのはりとしたはり理論により断面力を算出することができる。	適用支間の最小値を40m程度としているため、幅員が20mを超えない状況では、はり理論を適用する。														
斜角を有する箱げた橋、多主げた箱げた橋及び幅員と支間の比が0.5以上の多重箱げた橋の場合は、格子構造理論により断面力を算出する。	幅員が20mを超えない状況では、斜角(70度未満)を有する場合に適用する。														
下フランジ及びウエブの断面力は、箱げたをウエブ及び下フランジにより構成されるラーメン構造とみなして算出してよい。	橋軸方向に1mの興行きを有する箱形ラーメン構造にモデル化して算出しても、十分な精度の解が得られる。上フランジは床版の設計に従う。	場所打部の横方向の設計に適用する。													
連続げた	プレストレス力、温度の影響、クリープ、乾燥収縮、支点移動による不静定力を考慮するものとする。	複数の固定支承を有する連続げた橋では、温度変化、コンクリートのクリープや乾燥収縮、プレストレス力等による変形が橋軸方向に拘束されることによって不静定力が生じる。このような場合には、橋脚を含めた構造モデルにより解析を行う必要がある。	クリープ、乾燥収縮の影響は、構造系変化、平面保持、プレストレス力の変化等に現れるので、適切にこれらを解析する。 本構造は、当面は固定支承を複数有しない構造に適用することを想定しているが、左記に該当する場合は適宜適切な解析を実施する。												
	複数の固定支承を有する橋は、橋脚を含めた構造モデルにより解析を行う。														
	中間支点上の設計曲げモーメントは、支承幅、けたの高さ、横げた等の影響を考慮する。	中間支点上の曲げモーメントは、はり理論では支点上で尖った分布を示すが、実際のけたでは、支承幅、けたの高さ、横げた等の影響を受けるため、支点上の設計曲げモーメントを式(12.3.1)を用いて計算することができる。	通常橋梁と同様に適用する。												
	中間支点上の設計曲げモーメントは、式(12.3.1)により算出することができる。		通常橋梁と同様に適用する。												
継目部の設計	参考	継目部は、相互のセグメントを確実に接合し、断面力を確実に伝達できる構造とするものとする。	プレキャストセグメント橋の安全性は、セグメント継目部の耐荷性能に大きく影響されることから、左記のような規定とした。	接合部の前後で剛性変化を伴うため、接合部における力(応力)の伝達は重要であり、思想として適用する必要がある。											
		継目部は、耐久性上の弱点となることのないように配慮するものとする。	継目部に、橋面上から水は浸透した場合、PC鋼材を腐食させる等の耐久性に関する影響があることから、十分な配慮が必要である。	接合部のディテールのレベルから、本部位が弱点とならないような配慮が必要である。											
		接合面は、主げたの部材軸線に直角に設けるものとする。	接合面は、プレストレス力の接合面に沿った分力が極力生じないように、部材軸線に直角に設ける。	支点部の斜角によらず接合部は直角にすることが可能な構造であるため、本規定に従う。											

* 接合部に関連する規定

表-1.3 道示 における関連事項(3)

構造種類	適用	関係規定	解説要旨	本構造における適用	
構造細目	床版橋	適用	断面には温度や乾燥収縮等によって有害なひび割れが生じないように鉄筋を配置するとともに、断面は施工の容易な構造とする	1) 支間方向に配置される引張主鉄筋の直径は13mm以上とし、その中心間隔は200mm以下とする。 2) 版の上側、下側には直径13mm以上の鉄筋を、300mm以下の間隔で配置する。 3) 8.4(4)、(5)に部材最小寸法を規定。	場所打ち中空床版断面の採用は考えていない。プレキャストHollowげたでは、本規定は適用できないが、場所打ち部全般に対して適用が可能である。
		不可	斜め床版橋に対しては、作用する断面力に対して有効な鉄筋配置とするとともに、局部的に発生する応力に対して補強を行うものとする。	版端部の支間軸直角方向と斜角方向の鉄筋配置を、図-8.4.2に規定。	適用可能箇所なし。
		適宜	支間方向のPC鋼材は、断面の単位幅あたりお prestress及び偏心量が同一になるように配置するのが望ましい。	prestress及び偏心量が同一でないと、せん断力が発生するため、先のような配置ができない場合は、この影響を考慮する。	プレキャストHollowげたを採用する場合には特に、桁間せん断力を発生させないという観点から本規定の考え方は重要である。
	箱げた橋	適宜	開口部を設ける場合には、その周辺を補強する。	開口部を設ける場合は、できるだけ応力の小さい位置とし、切断される鉄筋量以上の鉄筋を補強鉄筋として配置する。PC鋼材の定着は開口部から十分離れた位置で行う。	通常橋梁と同様に適用する。
			ウェブの橋軸方向と下フランジ上下面の橋軸方向及び橋軸直角方向には、直径13mm以上の鉄筋を250mm以下の中心間隔で配置する。	ねじりモーメントに対しても十分な抵抗力を持つ必要があるため、左記の鉄筋を配置し、下フランジとウェブの隅角部にハンチを設け、鉄筋の定着を十分に行う。	通常橋梁と同様に適用する。
			上フランジの厚さは7章「床版」、ウェブの厚さは6章「構造細目」の規定を満足しなければならない。		通常橋梁と同様に適用する。
			下フランジの最小厚さは、140mmとする。	けた高変化がある場合は、圧縮力による偏向力とPC鋼材による腹圧力が作用するので、下床版はこれらの力に対して十分な安全性を確保する。	スプライスPC橋では、中間支座位付近において、桁高変化を伴うので、十分な配慮が必要である。
	合成けた橋	適宜	けたの上フランジの一部を床版に埋め込む場合、結合部の床版は、中間支点としての断面力に対し安全であるとともに、けたと床版の結合構造、合成作用及び施工性に支障をきたさないようにする。		プレキャストけた部に合成けた断面を使用した場合に適用する。
			プレキャストPC版を用いる場合には、PC版は場所打ちコンクリートと一体化するようにする。	けたの上フランジは、一般に埋め込まなくてよいが、合成作用に直接寄与する箇所なので、施工精度等を考慮すると、支間部の床版厚と同程度するのが望ましい。	プレキャストけた部に合成けた断面を使用した場合に適用する。
			けたの上フランジの一部を床版に埋め込む場合、けたの上の床版の最小厚さは150mmとする。		プレキャストけた部に合成けた断面を使用した場合に適用する。
			場所打ちコンクリートと接するプレキャストPC版の上面には、床版の支間方向に凸凹を設けることを標準とする。	一体化させ合成構造とするためには、両者の結合面におけるせん断力の確実な伝達が必要である。	プレキャストけた部に合成けた断面を使用した場合に適用する。
	連続けた	適用	中間支点付近においては、曲げモーメント、せん断力、集中的な支反力の影響を考慮する。	連続けた橋の中間支点付近は、曲げモーメント及びせん断力が最大となり、かつ集中的な支反力を受けて応力状態も複雑になる。はり理論で解析した場合より大きな圧縮力が生じることがあるので、用心鉄筋を配置する必要がある。	通常橋梁と同様に適用する。
適宜		中間支点付近には、ウェブ及びけた下縁側に用心鉄筋を配置するものとする。		通常橋梁と同様に適用する。	
連続けた プレキャストけた架設方式連続けた橋の中間支点部	参考	中間支点部の主げたの連結部は、主げたを横げたと確実に結合し、安全性及び耐久性が確保できる構造とする。		接合部の性能項目として適用すべき規定である。	
		中間支点部の主げたの連結をRCとする場合、連結鉄筋の重ね継手長は8.6.5に従って算出し、かつ鉄筋径の25倍以上とする。	1) 横げたには主げたと横げたの結合を確実にを行うためにPC鋼材を配置してprestressを与えるのが一般的である。 2) 連結鉄筋の重ね継手は、主げたが剛な横げたで橋軸方向に連結されていること等を考慮して、同一断面に集中して配置してよいが、鉄筋に生じる引張応力度を160N/mm ² 以下とすることが望ましい。	接合部の場所打ちコンクリート側で鉄筋継手を使用するため、本規定を適用する。	
		中間支点部の主げたの連結をPCとする場合、主げたと床版コンクリートの結合面におけるせん断応力度は11.3(5)によるほか、床版に作用しているprestress力を考慮して求める。		床版部にprestressの導入は想定していないため、適用箇所なし。	

本構造の要素技術に関連した下記の事項は、道示 によりほぼ網羅されている。

場所打ち桁：箱桁、中空床版

プレキャスト桁：ホロー桁、T桁、合成桁（PC合成床版タイプ）

段階施工を前提とした連続桁構造

プレキャストブロック工法における接合部構造

以上、整理すると、本技術は、道示に示すような接合する両部材がプレキャスト部材でせん断キーを用いるような接合に該当しない。そのため、道示にプレテンション部材とポストテンション部材の接合が具体的に規定されていないため、以下の二つの観点から従来の接合技術との相違点を整理し、評価する必要がある。

プレキャスト部材、特にプレテンション部材とポストテンション部材を接合するため、接合部付近でプレストレスの量や分布が変化する。

PC工場等で製作したプレキャスト部材と現地で製作するポストテンション部材を接合するため、接合面でコンクリートの材令が異なる。

これらの観点から考えられる要求性能と課題を表-1.4～表-1.5に纏める。

表-1.4 要求性能と課題（その1）

道路橋の要求性能 種別	性能項目		問題認識	想定される状態	橋梁の性能に影響を与える 特性及び作用	道示の準用及び前提条件	技術評価の観点	関連項目
	性能項目	性能項目						
	<ul style="list-style-type: none"> 供用性を害するような過大な変位を生じないこと 			<p>有害なひび割れの発生</p>	<p>橋梁の性能に影響を与える特性及び作用</p> <ul style="list-style-type: none"> 接合部近傍に応力が作用する際に剛性の低い側にひび割れが発生し易い可能性がある。 接合部付近に応力伝達の悪さに起因する応力の局部集中が発生し易くなる。 	<p>道示に準拠した解析手法を用いて断面力を算出する。</p> <ul style="list-style-type: none"> 接合部を跨ぐ横桁を配置して、急激な応力変化を緩和する。 	<ul style="list-style-type: none"> 道示に準拠して、プレストレス量を推定することの妥当性 道示に準拠して、プレストレスの伝達状況を推定することの妥当性 道示に準拠し、各施工時の構造や材令を考慮して解析することの妥当性 	<p>検証事例</p> <p>検証事例</p> <p>検証事例</p>
使用目的との適合性 (供用時)	<ul style="list-style-type: none"> 通行者に不快感を与えるような振動を生じないこと <p>(道示 2.1)</p>		<p>プレテンション部材とポストテンション部材を接合する本接合構造では、接合部近傍でプレストレスの量や分布が変化することや、コンクリートの材令が異なるため、安全性に疑義がある。</p>	<p>コンクリートの引張強度の低下</p>	<p>一般にコンクリートの打継ぎ目では、連続部材と比較して引張強度が低下する。</p>	<p>プレストレスを道示に準拠して算定し、効果的なPC鋼材の配置を行う。</p> <ul style="list-style-type: none"> 適切な補強鉄筋の配置 付着力を確保するための打継ぎ面処理の実施 	<ul style="list-style-type: none"> 連続部材に比べ低下すると想定されるコンクリートの引張強度の確認 	<p>検証事例</p>
安全性 (断面破壊)	<p>断面の破壊によって耐荷能力が失われな いこと</p> <p>(道示 2.1)</p>		<p>場所打ち部とPca部で変形性が異なるため、通常の設計と実際の曲げモーメント分布が異なる可能性がある。</p> <p>開断面と閉断面が接合されるため、せん断流の把握が困難であり、接合部において想定外のせん断力が作用する可能性がある。</p>	<p>曲げ破壊</p> <p>せん断破壊</p>	<p>場所打ち部とPca部で変形性が異なるため、通常の設計と実際の曲げモーメント分布が異なる可能性がある。</p> <p>開断面と閉断面が接合されるため、せん断流の把握が困難であり、接合部において想定外のせん断力が作用する可能性がある。</p>	<p>道示により、せん断耐力を算出する。</p> <ul style="list-style-type: none"> 接合部断面の左右の応力度に 対して検証し、安全側の値に 対して配鉄筋する。 	<ul style="list-style-type: none"> 道示に準拠した終局荷重時の照査の妥当性 道示に準拠した設計であれば、斜角が小さくねじりが卓越した構造でなければ、問題は無い。 <p>-----</p>	<p>検証事例</p>
			<p>一般にコンクリートの打継ぎ目では、連続部材と比較して耐荷性能が低下する。</p>	<p>耐荷性能の低下</p>	<p>一般にコンクリートの打継ぎ目では、連続部材と比較して耐荷性能が低下する。</p>	<p>プレストレスを道示に準拠して算定し、効果的なPC鋼材の配置を行う。</p> <ul style="list-style-type: none"> 適切な補強鉄筋の配置 付着力を確保するための打継ぎ面処理の実施 	<ul style="list-style-type: none"> 連続部材に比べ低下すると想定される耐荷性能の確認 	<p>検証事例</p>

表-1.5 要求性能と課題（その2）

道路橋の要求性能 種別	性能項目	問題認識	想定される状態	橋梁の性能に影響を与える 特性及び作用	道示の準用及び前提条件	技術評価の観点	関連項目
	経年的な劣化により供用性、安全性が損なわれないこと(道示 5.1)						
耐久性	経年的な劣化により供用性、安全性が損なわれないこと(道示 5.1)				<ul style="list-style-type: none"> 中性化、凍結融解作用、化学的侵食に対する耐久性の検討は、道示 19章等に規定されている材料及び施工の規定に準拠し、一般に検討を省略 	<ul style="list-style-type: none"> 道示に準拠する場合、基本的に性能は満たしている。 	
	疲労、振動の影響により構造物の安全性が損なわれないこと(道示 2.1)				<ul style="list-style-type: none"> 道示の許容応力度には、疲労について配慮されており、コンクリート橋では疲労が問題となつた事例はない。 道示の許容応力度を満足するコンクリート橋で振動が問題となつた事例は報告されていない。 	<ul style="list-style-type: none"> 道示に準拠する場合、基本的に性能は満たしている。 	
	使用目的との適合性や構造の安全性を確保するため、確実な施工を行える性能を有すること(道示 1.5)					<ul style="list-style-type: none"> 施工の良し悪しが耐久性に及ぼす影響が大きいことを十分認識し、道示に準拠した構造細目への配慮を設計時にを行い、品質を確保する。 	<ul style="list-style-type: none"> 道示に準拠する場合、基本的に性能は満たしている。

2. 技術評価の観点と方向性

(1) プレストレス力の算定

関連する道示の規定

[道示 6.6.7]

- (1) 定着具の位置は、部材に所定のプレストレスを導入できるように、また、部材に有害なひび割れが生じないように選ぶものとする。

- (1) プレテンション部材では、P C 鋼材はコンクリートとの付着によって定着される。この定着に必要な長さ（定着長）は、15.2 までの P C 鋼より線の場合その直径の 65 倍としてよい。なお、せん断応力度を照査する断面が定着長区間にあるときには、その位置でのプレストレス分布を考慮しなければならないが、定着長区間内のプレストレス分布は部材端で 0 となる二次放物線と考えてよい。

[道示 6.6.7]

- (5) プレストレッシング直後のプレストレス力は、P C 鋼材の引張端に与えた引張力に、次の影響を考慮して算出する。

- 1) コンクリートの弾性変形
- 2) P C 鋼材とシースの摩擦
- 3) 定着具におけるセット

- (5) プレストレッシング直後のプレストレス力の減少はプレテンション方式ではコンクリートの弾性変形を、ポストテンション方式ではコンクリートの弾性変形、P C 鋼材とシース摩擦、・・・・・・を考慮するものとする。

技術的課題

接合部界面のプレテンション部材の端部では、プレストレス力が減少しているため、接合部に対する影響が懸念される。

後緊張のポストテンション P C 鋼材により、プレテンション部材が弾性変形するため、プレテンション P C 鋼材のプレストレス力が減少する。

性能評価の対応策

プレテンション部材の端部における P C 鋼材のプレストレス減少区間（65 区間）は、プレストレス力を 0～100%の直線変化として評価する。

プレテンション P C 鋼材のプレストレス力は、ポストテンション P C 鋼材の緊張による部材の弾性変形を考慮して行う。

【解説】

プレテンション P C 鋼材のプレストレス減少区間（65 ）は、図-2.1 に示すとおり、プレテンション部材端で 0 となる 2 次放物線の分布となる。この 2 次放物線の分布区間をプレストレス力が過小評価となるが、容易な 0～100%の直線変化に置換し、安全側な算定を行う。

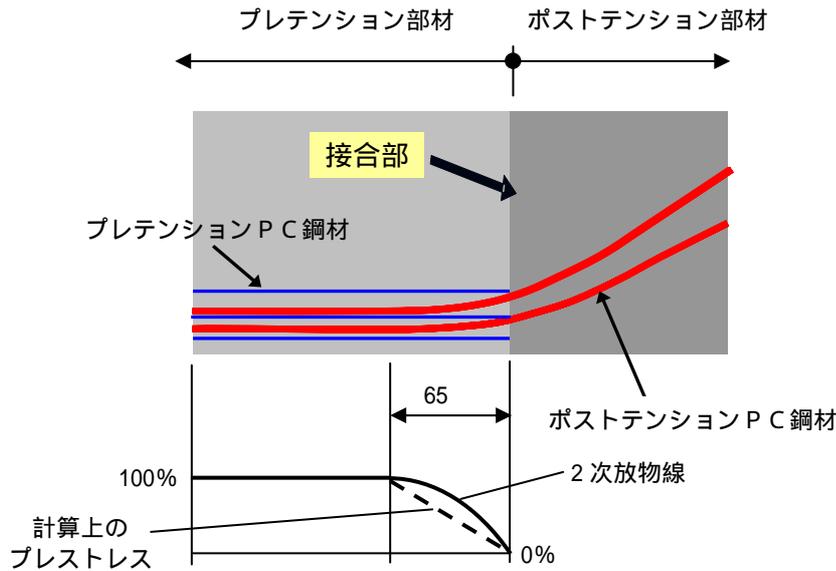


図-2.1 プレテンション部材端部のプレストレス

図-2.2 に示すとおり、ポストテンションPC鋼材で緊張した場合、プレテンション部材が弾性短縮するため、プレテンションPC鋼材のプレストレス力が減少する。

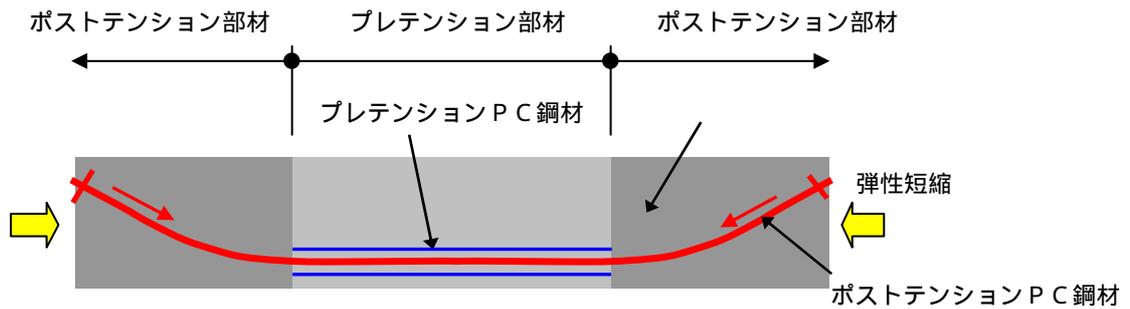


図-2.2 弾性短縮によるプレストレス力の減少

コンクリートの弾性短縮によるプレストレス力の減少量の算出方法は、道示に次のように示されており、準拠して算定する。

コンクリートの弾性変形によるPC鋼材の引張応力度の平均減少量は、式(解 2.2.1)及び式(解 2.2.2)により算出してよい。

(a) プレテンション方式の場合

$$\Delta \sigma_p = n \cdot \sigma_{cpG} \dots \dots \dots (\text{解 2.2.1})$$

(b) ポストテンション方式の場合

$$\Delta \sigma_p = \frac{1}{2} n \cdot \sigma_{cpG} \cdot \frac{N-1}{N} \dots \dots \dots (\text{解 2.2.2})$$

ここに、 $\Delta \sigma_p$: PC鋼材の引張応力度の減少量 (N/mm²)

n : ヤング係数比 $n = \frac{E_p}{E_c}$

E_p : PC鋼材のヤング係数 (N/mm²)

E_c : 緊張時の材令におけるコンクリートのヤング係数 (N/mm²)

σ_{cpG} : PC鋼材緊張によるPC鋼材の図心位置における
コンクリートの応力度 (N/mm²)

N : PC鋼材の緊張回数 (PC鋼材本数)

[検証事例 : 接合部のプレストレス力と応力度照査]

(2) プレストレスカの伝達性状

関連する道示の規定

[道示 6.6.6]

- (2) PC鋼材は、コンクリートに局部的な応力が生じたり、鋼材自体に付加応力が生じないように配置するものとする。
- (3) PC鋼材は、部材縁における有害なひび割れが生じないように配置するものとする。

技術的課題

PC鋼材は、通常コンクリート部材や部材縁に局部的な応力が生じないように配置するが、本接合部では、多主桁構造から箱桁構造に変化するため、部材中のプレストレスカの分布や伝達状況が不明確である。

性能評価の対応策

道示の準拠により、接合部付近の応力度を算定し、接合部の安全性を検証する。さらに、接合部を忠実にモデル化できる高度解析を実施し、直接断面応力度を照査して局部的な応力状態が発生していないことを検証する。

【解説】

本接合部では、図-2.3 に示すとおり、プレキャスト桁の端部を場所打ち箱桁の横桁に突入させ、主方向にポストテンションPC鋼材によるプレストレスを導入し、一体化している。

接合部では、多主桁構造から横桁を介して箱桁構造に連続した構造となる。そのため、道示に準拠した接合部付近の応力度の検証のみならず、各ウェブに配置されたポストテンションPC鋼材のプレストレスの応力分布や伝達状況を3次元ソリッド要素のFEM解析等で確認することは、極めて重要である。

複雑な形状の接合部に対する安全性の検証は、ビーム理論や格子理論で断面力を算定した道示準拠の結果とFEM解析等の高度解析の結果を比較した上で、安全性を検証するのが望ましい。

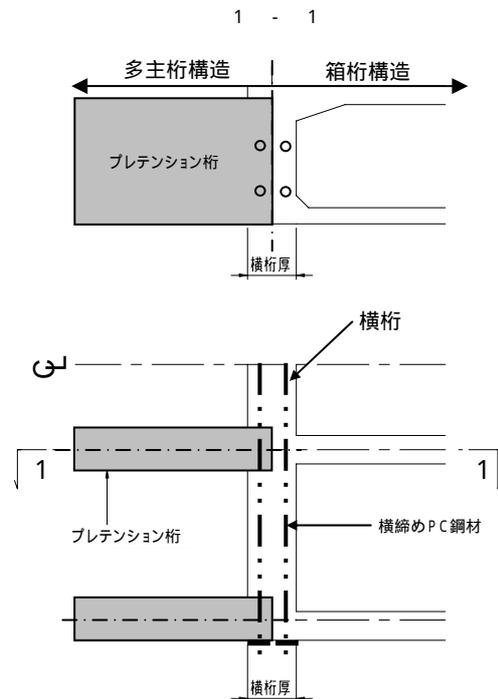


図-2.3 接合部の構造

[検証事例] : プレストレスカの伝達性状の確認]

(3) 部材の材令と構造系変化に対する評価

関連する道示の規定

[道示 2.2.5]

- (4) プレストレスの減少量及び不静定力を算出する場合のコンクリートのクリープ係数は、表-2.2.7の値を標準とする。

表-2.2.7 コンクリートのクリープ係数

持続荷重を載荷するときのコンクリートの材令(日)		4~7	14	28	90	365
ク リ ー プ 係 数	早強ポルトランドセメント使用	2.6	2.3	2.0	1.7	1.2
	普通ポルトランドセメント使用	2.8	2.5	2.2	1.9	1.4

- (5) プレストレスの減少量を算出する場合のコンクリートの乾燥収縮度は、表-2.2.8の値を標準とする。

表-2.2.8 コンクリートの乾燥収縮度

(普通及び早強ポルトランドセメント使用の場合)

プレストレスを導入するときのコンクリートの材令(日)	4~7	28	90	365
乾 燥 収 縮 度	20×10^{-5}	18×10^{-5}	16×10^{-5}	12×10^{-5}

- (7) コンクリートのクリープおよび乾燥収縮の影響により生じる不静定力は、次の規定により算出する。

2) 構造系に変化がある場合

構造物を一度に施工せず、施工中の構造系と施工後の構造系に変化がある場合には、コンクリートのクリープの影響による不静定力は(4)あるいは(6)に規定する値を用いて算出する。なお、この場合に考慮する持続荷重は死荷重、プレストレス力及び乾燥収縮の影響とする。また、……。

- (7) コンクリートのクリープおよび乾燥収縮による変形が拘束される不静定構造物では、この拘束によって不静定力が生じるが、この項はこれらの考え方の基本を示したものである。

2) 構造系に変化がある場合とは、例えば、

-) プレキャスト桁を架設し、…… 連続桁とする場合
-) 片持式架設を行い、…… 連続げたを形成する場合
-) 連続げたを1径間ごとに、…… 施工する場合

技術的課題

本橋梁構造は、プレテンション部材とポストテンション部材を用いるため、材令差が比較的大きい。構造完成迄に構造系が変化するため、断面力にクリープ・乾燥収縮の影響も発生し、接合部に対する影響が懸念される。道示では、構造系が変化に関してプレテンション部材とポストテンション部材を組合せた構造例が示されているが、本構造と一致した例がない。

性能評価の対応策

道示を準用して、プレテンション部材とポストテンション部材の材令に応じたクリープ係数・乾燥収縮度を算定し、プレストレスや構造系変化を評価し、架設時や設計荷重時の安全性について検証する。

【解説】

構造系が変化した後では、変化する前の構造系におけるクリープ変形が拘束されるため、クリープが進行するとともに、新しく不静定力が発生する。このクリープによる不静定力は、厳密には構造系が変化する時のコンクリート材令から構造系各部のクリープ係数を算定し、持続荷重による断面力を考慮して算出する。

下記に道示に示されているプレテンション部材とポストテンション部材を組合せた構造例を示す。

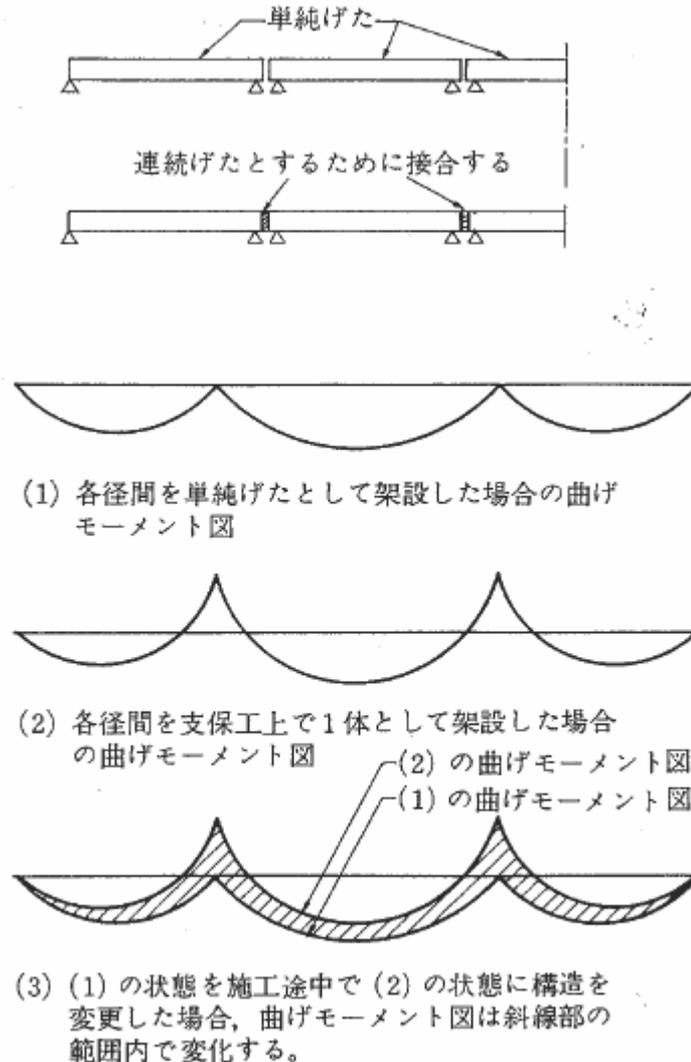


図-解 2.2.16 単純げたを支点上で結合して連続げたとする場合

[検証事例 : 部材の材令と構造系変化の評価方法]

(4) 全体構造に対する接合部の破壊挙動と安全性

関連する道示の規定

[道示 2.2]

(3) 終局荷重作用時の荷重の組合せは、次のとおりとする。

- (a) $1.3 \times (\text{死荷重}) + 2.5 \times (\text{活荷重} + \text{衝撃})$
- (b) $1.0 \times (\text{死荷重}) + 2.5 \times (\text{活荷重} + \text{衝撃})$
- (c) $1.7 \times (\text{死荷重} + \text{活荷重} + \text{衝撃})$

(3) 荷重に乗ずる係数については、各荷重のばらつき、施工精度のばらつき等を考慮して、確立論的に定められるべき数値である。

[道示 2.3]

(1) 構造物の安定性等を確保するために強度、変形及び安定を照査しなければならない。

(3) (1)を照査するにあたっては、終局荷重作用時に部材に発生する断面力が耐力以下であることを照査しなければならない。

(3) 終局荷重作用時には 2.2.(3)に規定する荷重組合せにより部材断面に作用する設計断面力が断面耐力以下であることを照査することにより、部材の曲げ破壊、せん断破壊、コンクリートの圧壊を防ぎ、構造物の安全性を照査することができる。

[道示 4.2.4]

(2) 部材断面の破壊抵抗曲げモーメントは、次の規定により算出するものとする。

- 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) コンクリートの応力度 - ひずみ曲線、図-4.2.2 に示したものをを用いるものとする。
このときコンクリートの終局ひずみは、表-4.2.2 の値を用いるものとする。
- 4) 鋼材の応力度 - ひずみ曲線は、図-4.2.3 に示したものをを用いるものとする。

技術的課題

本接合部を有する橋梁構造の終局荷重時において、道示に示す組合せの終局荷重に対して、安全性が確保されているかどうか懸念される。

本接合部を有する橋梁構造の基本的な破壊抵抗性や破壊挙動を確認する必要がある。

性能評価の対応策

非線形解析の高度解析等を利用することにより、接合部を含め、全体の橋梁構造の部材破壊時における載荷荷重レベルが検証できる。

橋梁構造に対して、材料や構造の非線形性が考慮できる高度解析を実施した場合、最も先行して破壊する部位や基本的な破壊挙動が確認できる。

【解説】

本接合部付近では、プレストレス力や部材剛性が微妙に変化している。そのため、橋梁構造の全体に対して、材料や構造の非線形性が考慮できる高度解析等を実施することにより、道示に準拠した終局荷重時の安全性の照査よりも、厳密な終局荷重レベルや破壊挙動を検証することが可能である。

道示では、部材断面の破壊抵抗曲げモーメント算出時の材料における応力度 - ひずみ曲線や終局ひずみを次のように記述している。

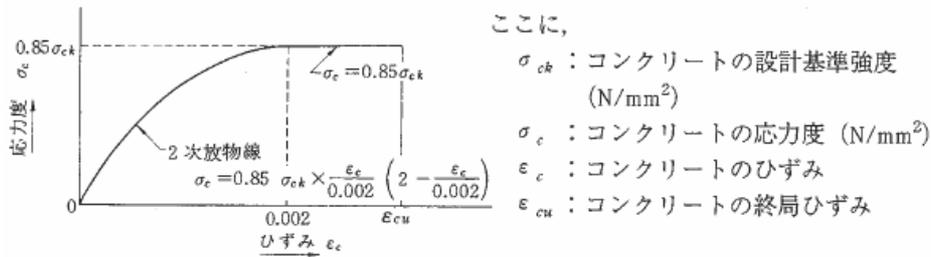
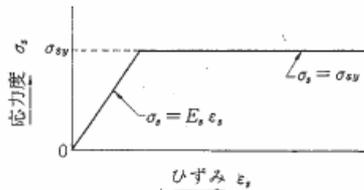


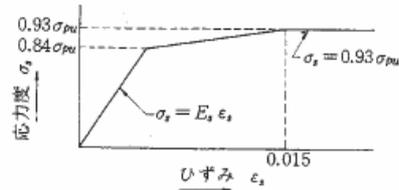
図-4.2.2 破壊抵抗曲げモーメントを算出する場合のコンクリートの応力度-ひずみ曲線

表-4.2.2 コンクリートの終局ひずみ

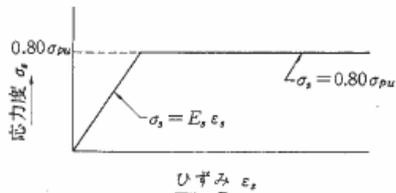
コンクリートの設計基準強度 σ_{ck} (N/mm ²)	$\sigma_{ck} \leq 50$	$50 < \sigma_{ck} < 60$	$60 \leq \sigma_{ck}$
終局ひずみ ϵ_{cu}	0.0035	0.0035から0.0025の間を直線補間	0.0025



(a) 鉄筋



(b) PC鋼線, PC鋼より線及びPC鋼棒1号



(c) PC鋼棒2号

ここに、

- σ_{sy} : 鉄筋の降伏点 (N/mm²)
- σ_{pu} : PC鋼材の引張強さ (N/mm²)
- σ_s : 鋼材の応力度 (N/mm²)
- E_s : 鋼材のヤング係数 (N/mm²)
- ϵ_s : 鋼材のひずみ

図-4.2.3 破壊抵抗曲げモーメントを算出する場合の鋼材の応力度-ひずみ曲線

[検証事例 : 非線形解析による終局荷重状態時の検証]

(5) 接合部性能の検証

関連する道示の規定

[道示 17.2]

- (1) プレキャストセグメント橋は、継目部がない場合のけたとして安全であるとともに、接合部が断面力に対して安全となるようにするものとする。
- (2) プレキャストセグメントは、施工各段階において、安全性が確保されるようにするものとする。

[道示 17.3.1]

- (1) 継目部は、相互のセグメントを確実に接合し、断面力を確実に伝達できる構造とするものとする。

- (1) プレキャストセグメント橋の安全性は、セグメント継目部の耐荷性能に大きく影響されることから、継目部について、相互のセグメントを確実に接合し、断面力を確実に伝達しなければならないとした。

技術的課題

道示では、プレキャスト部材とプレキャスト部材を接合する橋梁構造が示されているが、本接合と合致した特別な接合規定はない。一般に場所打ちコンクリートで接合し、鉄筋が連続する接合では、継目部がない連続部材として設計が行われている。しかし、プレテンション部材とポストテンション部材の接合であり、コンクリートの材令や強度、プレストレス量が増加するため、接合性能が若干懸念される。

性能評価の対応策

道示に準拠し、プレテンション部材とポストテンション部材の材令や強度を構造変化を考慮して適切に評価し、架設時や設計荷重時の安全性を検証する。プレテンション部材とポストテンション部材の接合部を再現し、実条件を考慮した試験体に対して、静的繰り返し載荷試験を実施し、接合部の基本性能を確認する。

【解説】

本接合では、基本的には鉄筋やPC鋼材が連続しており、接合性能は高いと考えられる。しかしながら、プレテンション部材とポストテンション部材を接合することにより、接合部で部材剛性、コンクリートの材令や強度、プレストレス力が変化する。安全性が高いと見込まれる構造に対しても、基本的な性能を高度解析や試験体等で検証しておくことは重要である。

[検証事例] : 試験体による耐荷力の検証]

[参考文献]

- 5-1) 今村他：スプライスPC構造に関する実験的研究について，コンクリート工学年次論文集，Vol. 22，NO.3，2000

3. 検証事例

事例	接合部のプレストレス力と応力度照査																																																																																													
要求性能	使用目的との適合性	関連規定	道示 4.2 道示 2.2.4																																																																																											
検証目的	道示に準拠してプレストレス力を算定し、応力度照査を行い、接合部の安全性を確認する。																																																																																													
検証方法	実験による検証 ・ 解析による検証 ・ 道路橋示方書の準用																																																																																													
検証方針	<p>プレストレス力の算出は、以下のとおりとする。</p> <p>(1) プレテンション部材端部のプレストレス減少区間 (65 区間) プレストレス減少区間は、安全側な直線変化で評価する。</p> <p>(2) ポストテンションPC鋼材によるコンクリート弾性変形 その減少分は、プレテンションPC鋼材のプレストレス力に考慮する。</p>																																																																																													
検証内容	<p>(1) 検証事例 算定したプレストレス力から、接合部付近の合成応力度を纏めると以下のようになる。</p> <p style="text-align: center;">接合部</p> <p style="text-align: center;">上縁</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>格点</th> <th>29</th> <th>30</th> <th>31</th> <th>32</th> <th>33</th> <th>34</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>構造種類</td> <td colspan="3">場所打ち部</td> <td colspan="3">プレキャスト主桁部</td> </tr> <tr> <td>主桁自重</td> <td>-1.74</td> <td>-0.58</td> <td>0.00</td> <td>0.00</td> <td>0.00</td> <td>0.00</td> </tr> <tr> <td>橋面荷重</td> <td>-0.53</td> <td>-0.20</td> <td>-0.39</td> <td>-0.03</td> <td>0.07</td> <td>-0.12</td> </tr> <tr> <td>クリープ・乾燥収縮</td> <td>0.16</td> <td>0.16</td> <td>-0.21</td> <td>-0.12</td> <td>-0.07</td> <td>0.36</td> </tr> <tr> <td>プレストレス</td> <td>5.36</td> <td>3.52</td> <td>2.65</td> <td>2.51</td> <td>2.43</td> <td>1.84</td> </tr> <tr> <td>活荷重LMmax</td> <td>1.32</td> <td>1.60</td> <td>1.67</td> <td>2.63</td> <td>3.02</td> <td>2.45</td> </tr> <tr> <td>活荷重LMmin</td> <td>-1.92</td> <td>-1.65</td> <td>-1.17</td> <td>-2.14</td> <td>-2.17</td> <td>-1.53</td> </tr> <tr> <td>死荷重時</td> <td>3.25</td> <td>2.90</td> <td>2.05</td> <td>2.36</td> <td>2.43</td> <td>2.08</td> </tr> <tr> <td>許容値</td> <td colspan="3">0.0 < ca < 14.0</td> <td colspan="3">0.0 < ca < 16.0</td> </tr> <tr> <td>設計荷重時 (Mmax)</td> <td>4.57</td> <td>4.50</td> <td>3.72</td> <td>4.99</td> <td>5.45</td> <td>4.53</td> </tr> <tr> <td>設計荷重時 (Mmin)</td> <td>1.33</td> <td>1.25</td> <td>0.88</td> <td>0.22</td> <td>0.26</td> <td>0.55</td> </tr> <tr> <td>許容値</td> <td colspan="3">-1.5 < ca < 14.0</td> <td colspan="3">-1.8 < ca < 16.0</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">図-3.1 接合部付近の応力度分布 (主桁上縁)</p>			格点	29	30	31	32	33	34	構造種類	場所打ち部			プレキャスト主桁部			主桁自重	-1.74	-0.58	0.00	0.00	0.00	0.00	橋面荷重	-0.53	-0.20	-0.39	-0.03	0.07	-0.12	クリープ・乾燥収縮	0.16	0.16	-0.21	-0.12	-0.07	0.36	プレストレス	5.36	3.52	2.65	2.51	2.43	1.84	活荷重LMmax	1.32	1.60	1.67	2.63	3.02	2.45	活荷重LMmin	-1.92	-1.65	-1.17	-2.14	-2.17	-1.53	死荷重時	3.25	2.90	2.05	2.36	2.43	2.08	許容値	0.0 < ca < 14.0			0.0 < ca < 16.0			設計荷重時 (Mmax)	4.57	4.50	3.72	4.99	5.45	4.53	設計荷重時 (Mmin)	1.33	1.25	0.88	0.22	0.26	0.55	許容値	-1.5 < ca < 14.0			-1.8 < ca < 16.0		
格点	29	30	31	32	33	34																																																																																								
構造種類	場所打ち部			プレキャスト主桁部																																																																																										
主桁自重	-1.74	-0.58	0.00	0.00	0.00	0.00																																																																																								
橋面荷重	-0.53	-0.20	-0.39	-0.03	0.07	-0.12																																																																																								
クリープ・乾燥収縮	0.16	0.16	-0.21	-0.12	-0.07	0.36																																																																																								
プレストレス	5.36	3.52	2.65	2.51	2.43	1.84																																																																																								
活荷重LMmax	1.32	1.60	1.67	2.63	3.02	2.45																																																																																								
活荷重LMmin	-1.92	-1.65	-1.17	-2.14	-2.17	-1.53																																																																																								
死荷重時	3.25	2.90	2.05	2.36	2.43	2.08																																																																																								
許容値	0.0 < ca < 14.0			0.0 < ca < 16.0																																																																																										
設計荷重時 (Mmax)	4.57	4.50	3.72	4.99	5.45	4.53																																																																																								
設計荷重時 (Mmin)	1.33	1.25	0.88	0.22	0.26	0.55																																																																																								
許容値	-1.5 < ca < 14.0			-1.8 < ca < 16.0																																																																																										

検証内容	<p style="color: red; font-weight: bold;">接合部</p> <p>下縁</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>格点</th> <th>29</th> <th>30</th> <th>31</th> <th>32</th> <th>33</th> <th>34</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>構造種類</td> <td colspan="3">場所打ち部</td> <td colspan="3">プレキャスト主桁部</td> </tr> <tr> <td>主桁自重</td> <td>2.40</td> <td>0.79</td> <td>2.22</td> <td>1.22</td> <td>0.53</td> <td>-1.76</td> </tr> <tr> <td>橋面荷重</td> <td>0.71</td> <td>0.26</td> <td>0.63</td> <td>0.37</td> <td>0.18</td> <td>-0.36</td> </tr> <tr> <td>クリープ・乾燥収縮</td> <td>-0.22</td> <td>-0.22</td> <td>-0.76</td> <td>-0.84</td> <td>-0.89</td> <td>-0.49</td> </tr> <tr> <td>プレストレス</td> <td>-0.15</td> <td>2.09</td> <td>4.41</td> <td>7.53</td> <td>10.11</td> <td>12.62</td> </tr> <tr> <td>活荷重LMmax</td> <td>-1.78</td> <td>-2.13</td> <td>-3.72</td> <td>-4.41</td> <td>-5.21</td> <td>-5.97</td> </tr> <tr> <td>活荷重LMmin</td> <td>2.58</td> <td>2.20</td> <td>4.05</td> <td>4.28</td> <td>4.68</td> <td>4.46</td> </tr> <tr> <td>死荷重時</td> <td>2.74</td> <td>2.92</td> <td>6.50</td> <td>8.28</td> <td>9.93</td> <td>10.01</td> </tr> <tr> <td>許容値</td> <td colspan="3">0.0 < ca < 14.0</td> <td colspan="3">0.0 < ca < 16.0</td> </tr> <tr> <td>設計荷重時 (Mmax)</td> <td>0.96</td> <td>0.79</td> <td>2.78</td> <td>3.87</td> <td>4.72</td> <td>4.04</td> </tr> <tr> <td>設計荷重時 (Mmin)</td> <td>5.32</td> <td>5.12</td> <td>10.55</td> <td>12.56</td> <td>14.61</td> <td>14.47</td> </tr> <tr> <td>許容値</td> <td colspan="3">-1.5 < ca < 14.0</td> <td colspan="3">-1.8 < ca < 16.0</td> </tr> </tbody> </table> <div style="text-align: center;"> </div> <p style="text-align: center;">図-3.2 接合部付近の応力度分布（主桁下縁）</p> <p>(2) 検証結果</p> <p>接合部界面では、両側の部材剛性が異なるため、基本的に接合部で応力度変化が生じており、主桁下縁の方が高い応力レベルにある。</p> <p>プレテンション部材端部のプレストレス力の減少区間を考慮することにより、接合部付近の応力度変化については、上縁および下縁とも緩和される。</p> <p>合成応力度の照査から、接合部の位置で正負の曲げモーメントが卓越していないため、比較的小さい応力レベルである。そのため、プレストレス変化の影響は、接合部に対して小さいことが確認できる。</p>	格点	29	30	31	32	33	34	構造種類	場所打ち部			プレキャスト主桁部			主桁自重	2.40	0.79	2.22	1.22	0.53	-1.76	橋面荷重	0.71	0.26	0.63	0.37	0.18	-0.36	クリープ・乾燥収縮	-0.22	-0.22	-0.76	-0.84	-0.89	-0.49	プレストレス	-0.15	2.09	4.41	7.53	10.11	12.62	活荷重LMmax	-1.78	-2.13	-3.72	-4.41	-5.21	-5.97	活荷重LMmin	2.58	2.20	4.05	4.28	4.68	4.46	死荷重時	2.74	2.92	6.50	8.28	9.93	10.01	許容値	0.0 < ca < 14.0			0.0 < ca < 16.0			設計荷重時 (Mmax)	0.96	0.79	2.78	3.87	4.72	4.04	設計荷重時 (Mmin)	5.32	5.12	10.55	12.56	14.61	14.47	許容値	-1.5 < ca < 14.0			-1.8 < ca < 16.0			<p>参考にあたっての注意点</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 接合部を正負の曲げモーメントが比較的卓越した位置に設ける場合には、配置されるPC鋼材量も増加するため、プレストレス力の変化の影響も大きくなることが想定される。したがって、例示の結果と異なってくる可能性があり、十分な検討が必要である。
	格点	29	30	31	32	33	34																																																																																						
構造種類	場所打ち部			プレキャスト主桁部																																																																																									
主桁自重	2.40	0.79	2.22	1.22	0.53	-1.76																																																																																							
橋面荷重	0.71	0.26	0.63	0.37	0.18	-0.36																																																																																							
クリープ・乾燥収縮	-0.22	-0.22	-0.76	-0.84	-0.89	-0.49																																																																																							
プレストレス	-0.15	2.09	4.41	7.53	10.11	12.62																																																																																							
活荷重LMmax	-1.78	-2.13	-3.72	-4.41	-5.21	-5.97																																																																																							
活荷重LMmin	2.58	2.20	4.05	4.28	4.68	4.46																																																																																							
死荷重時	2.74	2.92	6.50	8.28	9.93	10.01																																																																																							
許容値	0.0 < ca < 14.0			0.0 < ca < 16.0																																																																																									
設計荷重時 (Mmax)	0.96	0.79	2.78	3.87	4.72	4.04																																																																																							
設計荷重時 (Mmin)	5.32	5.12	10.55	12.56	14.61	14.47																																																																																							
許容値	-1.5 < ca < 14.0			-1.8 < ca < 16.0																																																																																									

事例	プレストレスの伝達性状の確認		
要求性能	使用目的との適合性	関連規定	道示 6.6.6
検証目的	接合部に対するプレストレス力の伝達性状や応力度分布を FEM 解析により確認する。		
検証方法	実験による検証 ・ 解析による検証 ・ 道路橋示方書の準用		
検証方針	<p>プレテンション合成桁と場所打ち箱桁の上部構造を 3 次元ソリッド要素で構築し、ポストテンション P C 鋼材によるプレストレス力に対して FEM 解析を実施する。</p> <p>なお、プレテンション桁は、場所打ち箱桁の横桁に突入しており、解析モデルは横桁も再現する。</p>		
検証内容	<p>(1) 検証概要</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 解析に使用したソフト：FEMLEEG バージョン 3.5 リリース 9 ・ 使用要素：8 節点ソリッド要素 (24 自由度) ・ コンクリートの設計基準強度 <ul style="list-style-type: none"> プレキャスト桁： $ck = 50\text{N/mm}^2$ P C 版： $ck = 50\text{N/mm}^2$ 場所打ち桁： $ck = 40\text{N/mm}^2$ <p style="text-align: center;">側面図</p> <p style="text-align: center;">図-3.3 全体構造</p> <p>FEM 解析のモデルを図-3.4 に示す。</p> <p style="text-align: center;">図-3.4 FEM 解析モデル</p>		

(2) モデル化における留意点

主桁を構成する要素グループは以下のとおりである。

- ・ プレテンション桁
- ・ 場所打ち箱桁
- ・ P C 板
- ・ 場所打ち床版

モデル化では、プレテンション桁上の P C 板は実橋を再現し、橋軸方向の不連続性を考慮した上に、主桁と P C 版の境界条件は鉛直方向のみを拘束する。

支承構造は、場所打ち箱桁の端支点ならびに中間支点ともに 2 点支持として、支承面積を考慮した境界条件を設定した。

本解析では、面外方向の変位が発生するような荷重を載荷しないため、断面中央で切断した 1/2 構造をモデル化することとし、全体モデルと解が等しくなるように橋軸直角方向のみ切断断面の全節点を拘束する (図-3.5)。

荷重のプレストレス力は、図-3.6 に示すとおり、箱桁のウェブならびにプレテンション桁 1 本あたり 12S12.7B を 5 本配置し、初期緊張力を $p_i = 1340\text{N}/\text{mm}^2$ として載荷する。載荷方法は、各ケーブルの定着体と偏向区間にプレストレスを分割した集中荷重を載荷する。

検証内容

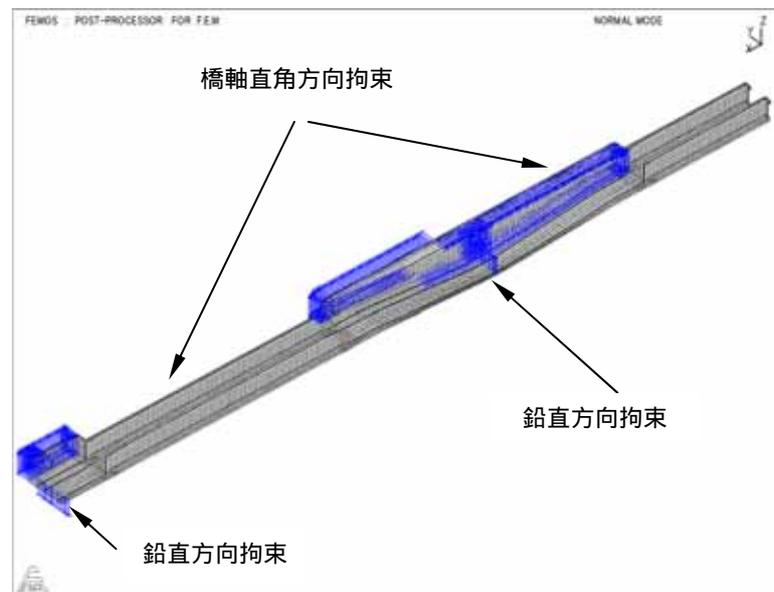


図-3.5 境界条件

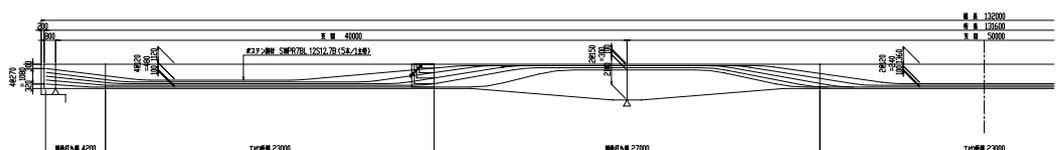


図-3.6 ポストテンション P C 鋼材配置

(3) 検証結果

接合部付近に着目し、ポストテンションPC鋼材のプレストレス力による橋軸方向の応力度分布図を示す。プレテンション桁上縁を図-3.7に、主桁下縁を図-3.8に示す。

検証内容

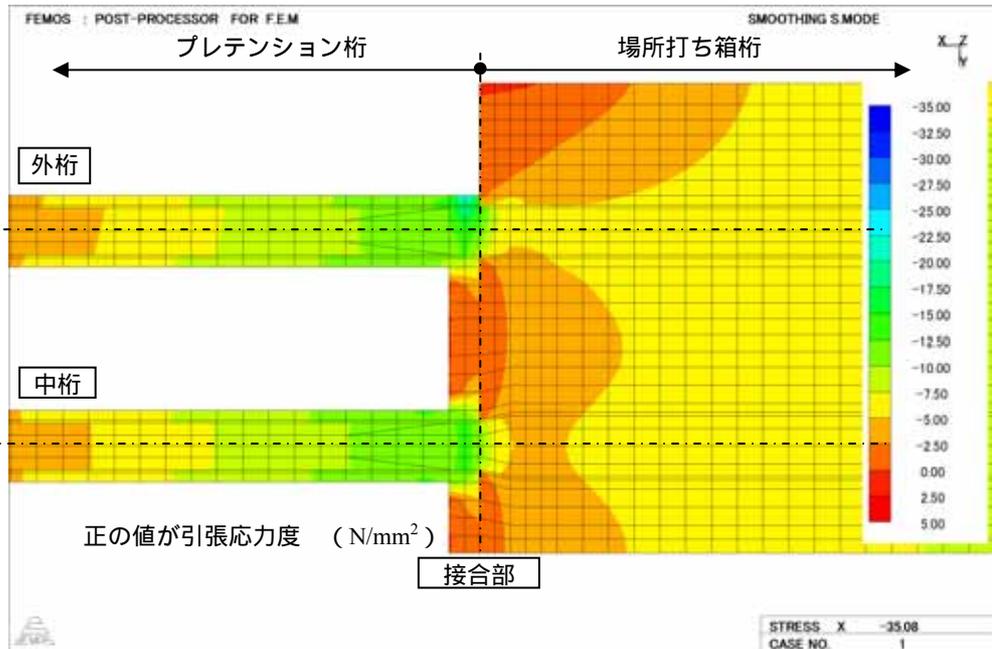


図-3.7 橋軸方向のプレストレス応力度分布（プレテンション桁上縁）

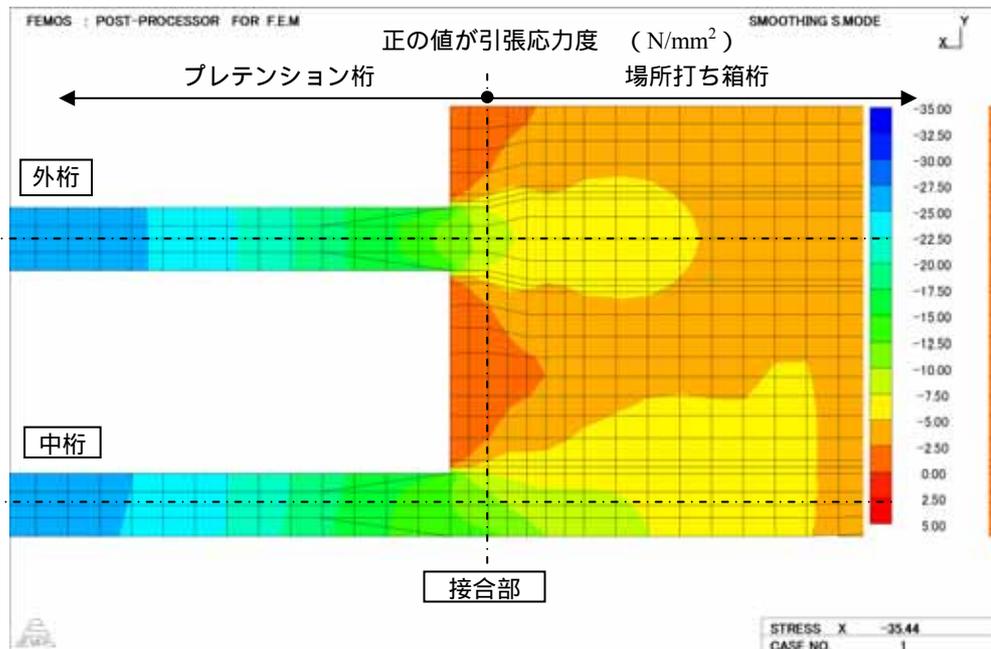


図-3.8 橋軸方向のプレストレス応力度分布（主桁下縁）

検証内容	<p>接合部では多主桁構造のプレテンション桁から場所打ち箱桁に部材が変化するため、プレストレス力の応力度分布の乱れが懸念される。しかし、プレストレス力が横桁を介して伝達されているため、プレテンション桁から場所打ち桁に比較的緩やかにプレストレス力（圧縮応力度）が伝達されている。本検証例の FEM 解析の結果からは、接合部に局所的な応力度が発生していないため、安全な接合構造であることが判る。</p>
参考にあたっての注意点	<ul style="list-style-type: none">・接合部付近のポストテンション P C 鋼材が、接合断面に対して上縁ならびに下縁に片寄って配置された場合、接合部に局部応力が発生する可能性が高くなるため、十分な注意が必要である。

事例	部材の材令と構造系変化に対する評価方法												
要求性能	使用目的との適合性	関連規定	道示 2.2.5										
検証目的	プレテンション部材とポストテンション部材の接合部において、材令変化と構造系変化により生じるクリープ・乾燥収縮の影響を道示の準用により、設定する。												
検証方法	実験による検証 ・ 解析による検証 ・ 道路橋示方書の準用												
検証方針	道示を準用し、施工工程を考慮した施工段階毎にクリープ係数と乾燥収縮度の影響を評価する。												
検証内容	<p>(1) 検証概要 対象は、プレテンション合成桁と場所打ち箱桁の構造とする。</p> <p>1) 材令変化 プレテンション桁とポストテンション桁では材令が異なるため、個々の部材の履歴に対応したクリープ係数および乾燥収縮度を照査日毎に設定する。クリープ係数および乾燥収縮度の変化は、プレストレス力と断面力の算定に影響する。</p> <p>2) 構造系変化の影響 プレキャスト桁とポストテンション桁を用いる構造では、構造系変化が伴うため、構造系変化後に変化前の構造系におけるクリープ変形の拘束による不静定力が発生する。そのため、道示の「2.2.5 コンクリートのクリープ及び乾燥収縮の影響」に準拠し、断面力を算出する際に構造系変化に対して、クリープ乾燥収縮による変形の影響を考慮する。</p> <p>クリープ係数・乾燥収縮度は、道示の規定に従い、以下の方法により設定する。</p> <p>クリープ解析 コンクリートのクリープひずみについては、以下の式により算出する。</p> $\varepsilon_{cc} = \frac{\sigma_c}{E_c} \cdot \phi$ <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 30%;">変数</th> <th>説明</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ϕ</td> <td>コンクリートのクリープひずみ</td> </tr> <tr> <td>σ_c</td> <td>持続荷重による応力度 (N/mm²)</td> </tr> <tr> <td>E_c</td> <td>コンクリートのヤング係数 (N/mm²)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>コンクリートのクリープ係数</td> </tr> </tbody> </table>			変数	説明	ϕ	コンクリートのクリープひずみ	σ_c	持続荷重による応力度 (N/mm ²)	E_c	コンクリートのヤング係数 (N/mm ²)		コンクリートのクリープ係数
変数	説明												
ϕ	コンクリートのクリープひずみ												
σ_c	持続荷重による応力度 (N/mm ²)												
E_c	コンクリートのヤング係数 (N/mm ²)												
	コンクリートのクリープ係数												

道路橋示方書の計算式よりクリープ係数を計算する。材令 t_0 日に持続荷重が載荷されたコンクリート材令 t 日におけるクリープ係数を計算する。

クリープ係数

$$\varphi(t, t_0) = \varphi_{d0} \cdot \beta_d(t - t_0) + \varphi_{f0} \{ \beta_f(t) - \beta_f(t_0) \}$$

変数	説明
$\varphi(t, t_0)$	材令 t_0 日に持続荷重が載荷されたコンクリートの、材令 t 日におけるクリープ係数
φ_{d0}	持続荷重を取り除くと時間の経過とともに回復するひずみに対するクリープ係数
$\beta_d(t - t_0)$	持続荷重載荷後の経過日数 ($t - t_0$) に関する関数
φ_{f0}	持続荷重を取り除いても回復しないクリープひずみ
$\beta_f(t)$	コンクリート材令 t (日) および仮想部材厚 h_{th} に関する関数

乾燥収縮度

道路橋示方書の計算式により乾燥収縮によるひずみを計算する。コンクリートの材令 t_0 日から t 日までに進行する乾燥収縮度を計算する。

$$\varepsilon_{cs}(t, t_0) = \varepsilon_{s0} \cdot \{ \beta_s(t) - \beta_s(t_0) \}$$

変数	説明
$\varepsilon_{cs}(t, t_0)$	コンクリートの乾燥開始材令 t_0 日から材令 t 日における乾燥収縮度
ε_{s0}	コンクリートの基本乾燥収縮ひずみ (環境条件により算出)
$\beta_s(t)$	コンクリートの材令 t 日及び部材の仮想厚 h_{th} に関する関数

検証内容

検証内容

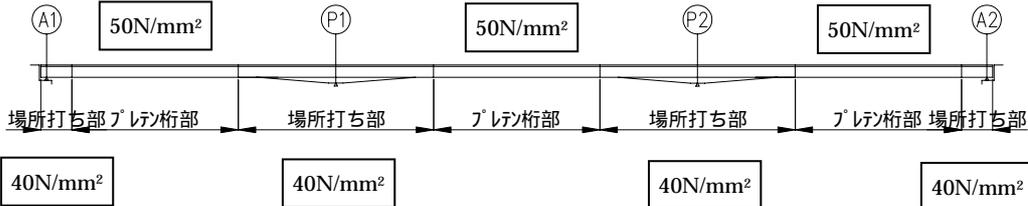
(2) 検証条件

1) 材料

コンクリート

(N/mm²)

	主桁 (場所打ち部)	主桁 (プレキャスト部)
設計基準強度	40	50
ヤング係数	3.10×10^4	3.3×10^4



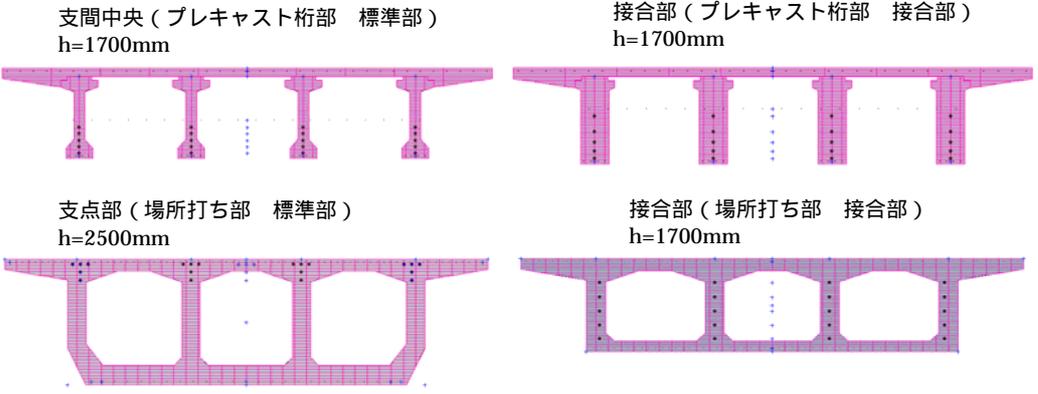
P C 鋼材

仕 様		主方向鋼材	
		SWPR7BL 12S12.7 主ケーブル (ホース鋼材)	SWPR7BL 1S15.2 (プレテンション鋼材)
断面積	(mm ²)	1184.5	138.7
引張強度	(N/mm ²)	1850	1850
降伏点応力度	(N/mm ²)	1570	1570
ヤング係数	(N/mm ²)	2.0×10^5	2.0×10^5
レラクセーション	導入まで (%)	-	2.5
	導入後 (%)	1.5	1.5
セット量	(mm)	12.0	-
シース径	(mm)	58	-
摩擦係数	μ	0.3	-
		0.004	-



クリープ係数、乾燥収縮度は施工ステップに応じて適切に設定する。

<p>検証内容</p>	<div style="text-align: center;"> <h3>2) 施工ステップ</h3> <p style="text-align: center;">図-3.9 施工ステップ</p> <p>クリープ・乾燥収縮は、照査ステップから次のステップまでクリープ・乾燥収縮が進行した変化量を2次力として影響を考慮し、各ステップでの応力度を照査する。</p> <p>(3) 検証結果</p> <p>本構造において、道示に準拠し、材料および施工ステップ、日数および構造変化に応じた断面力解析を行うことで、クリープ・乾燥収縮の影響を評価できる。</p> </div>
<p>参考にあつての注意点</p>	<p>・道示 2.2.5 には、構造系変化に対するクリープによる不静定力を近似的に計算する方法として、算定式が記載されている。構造系が変化する回数が増加すると断面力の重ね合せの算定が複雑となるため、十分な注意が必要である。</p>

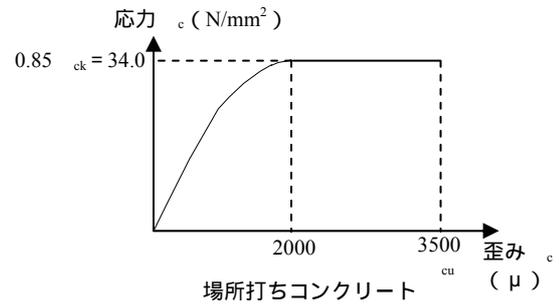
事例	非線形解析による終局荷重状態時の検証		
要求性能	安全性（断面破壊）	関連規定	道示 2.2 道示 2.3 道示 4.2.4
検証目的	本接合を有する橋梁構造において、非線形解析を用いて終局荷重状態時の破壊挙動と安全性を検証する。		
検証方法	実験による検証 ・ 解析による検証 ・ 道路橋示方書の準用		
検証方針	終局限界状態時の検証として、材料非線形性と構造非線形性を考慮するため、定式化にファイバー法を用いた骨組み解析プログラム FRAME 3D（FORUM8）による終局荷重時の材料非線形解析を行う。		
検証内容	<p>(1) 検証概要</p> <p>モデルは、プレテンション合成桁と場所打ち箱桁の構造である。 着目する検証位置は、中央径間の接合部と側径間の接合部の2箇所とする。</p> <p>1) 対象荷重：死荷重 + 活荷重（衝撃含む） + 内ケーブルプレストレス 2) 解析手法：荷重増分法による非線形解析 3) モデル化：3径間全体骨組みモデル（A1～A2）</p>  <p>図-3.10 解析モデル</p> <p>4) 材料：コンクリート $ck = 40\text{N/mm}^2$（場所打ち部） $ck = 50\text{N/mm}^2$（プレキャスト桁） PC鋼材 SWPR7BL 12S12.7B（ポストテンション鋼材） SWPR7BL 1S15.2B（プレテンション鋼材）</p> <p>5) 断面（ファイバーモデル）</p> 		

検証内容

6) 材料特性

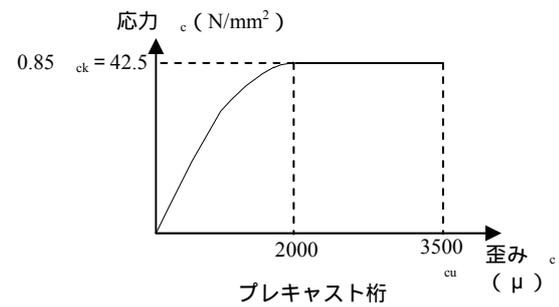
場所打ちコンクリート

$c_k = 40 \text{ N/mm}^2$
 $E_c = 31000 \text{ N/mm}^2$
 $c_u = 3500 \mu$



プレテンション桁

$c_k = 50 \text{ N/mm}^2$
 $E_c = 33000 \text{ N/mm}^2$
 $c_u = 3500 \mu$



P C 鋼材

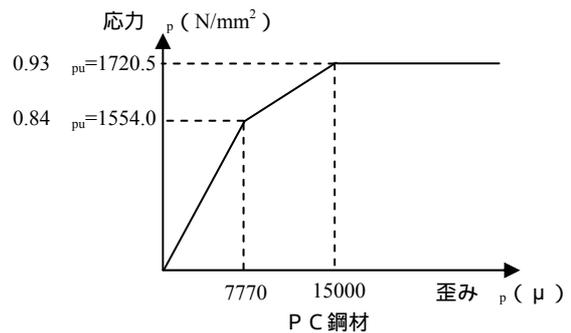
$p_u = 1850 \text{ N/mm}^2$
 $E_p = 2.0 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$

ポストテンション鋼材
(SWPR7BL 12S12.7B)

$A_p = 1184.8 \text{ mm}^2$

プレテンション鋼材
(SWPR7BL 1S15.2B)

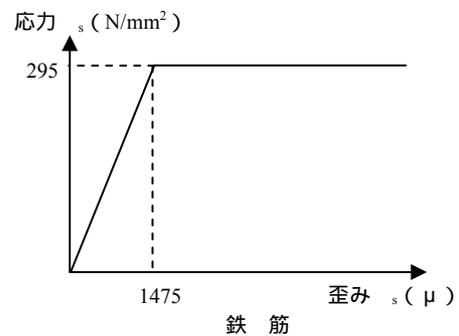
$A_p = 138.7 \text{ mm}^2$



注) 鋼材の有効応力度 p_e は、試設計にて算出された応力度を各断面に用いた。

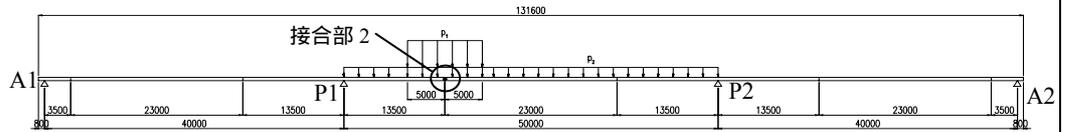
鉄筋

$s_y = 295 \text{ N/mm}^2$
 $E_p = 2.0 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$

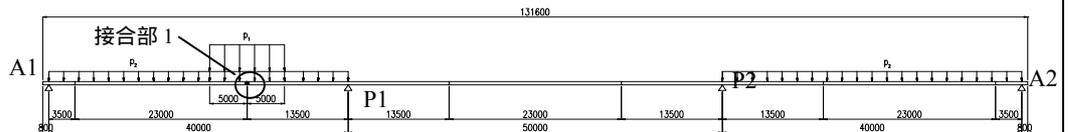


7) 活荷重の載荷方法

接合部 2 に着目した載荷



接合部 1 に着目した載荷



荷重強度および載荷幅

	載荷長 (m)	荷重強度 (kN/m ²)	載荷幅 (m)	備 考
P ₁	10.0m	10.0	5.5	主載荷荷重
		5.0	2.5	従載荷荷重
P ₂	制限なし	3.5	5.5	主載荷荷重
		1.75	2.5	従載荷荷重

図-3.11 活荷重の載荷方法

検証内容

上記のと の載荷パターン各々に対し、以下の2式を用いた載荷を行う。

$$P + 1.3D + (L + i)$$

$$P + (D + L + i)$$

では は2.5以上、 では は1.7以上になるかを確認する。

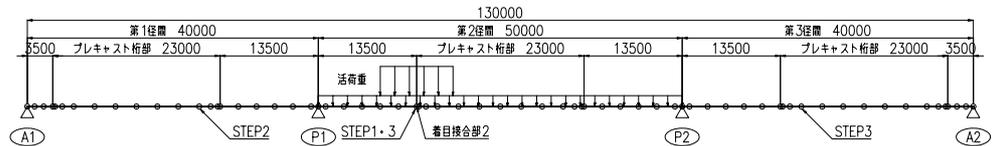
(2) 検証結果

1) 終局荷重状態における破壊形態

各ケースの履歴を以下に示す。

中央径間【P+1.3D+ L】

活荷重：中央径間載荷 着目接合部 2



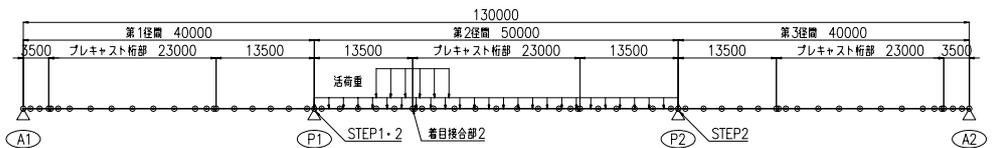
STEP1・・・ = 5.6 着目接合部の箱桁側にて下縁の鋼材が第1降伏点を超える。

STEP2・・・ = 5.9 第1径間接合部付近のプレテンション桁の部材下縁にてコンクリートの終局歪みを超える。

STEP3・・・ = 6.5 着目接合部（箱桁側）にて上縁のコンクリート歪みが終局歪みを超える。同時に第3径間接合部付近のプレテンション桁の部材下縁にてコンクリート歪みが終局歪みを超える。

中央径間【P+ (D+L)】

活荷重：中央径間載荷 着目接合部 2

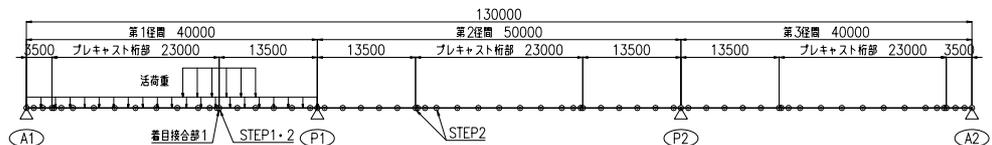


STEP1・・・ = 2.6 P1 支点の上縁にて鋼材が第1降伏点を超える。

STEP2・・・ = 2.9 P1 支点およびP2 支点下縁にてコンクリートの終局歪みを超える。以降収束せず、解析が中断した。

側径間【P+1.3D+ L】

活荷重：側径間載荷 着目接合部 1



STEP1・・・ = 4.4 着目接合部の箱桁側にて下縁の鋼材が第1降伏点を超える。

STEP2・・・ = 5.4 STEP1 で第1降伏点を超えた接合部の上縁にてコンクリート歪みが終局歪みを超える。

STEP3・・・ = 5.5 STEP2 と同時に中央径間接合部および接合部付近のプレテンション桁の部材下縁にてコンクリートの終局歪みを超える。

検証内容

側径間【P+ (D+L)】

活荷重：側径間載荷 着目接合部 1



STEP1... = 2.5 P1 支点の上縁にて鋼材が第 1 降伏点を超える。

STEP2... = 2.9 着目接合部の上縁および P1 支点下縁にてコンクリートの終局歪みを超える。以降収束せず、解析が中断した。

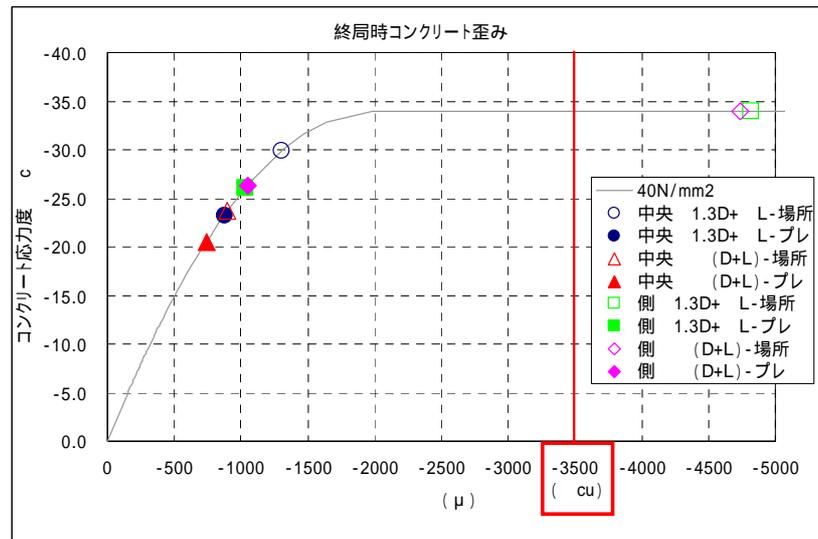


図-3.12 終局時のコンクリート歪み（接合部）

前述した結果より接合部に不利になるように活荷重を載荷し、解析を行ったが、活荷重を中央径間の接合部 2 に着目したケースでは最初に終局破壊に至るのは接合部ではなく、接合部付近もしくは支点上の部材であった。一方、活荷重を側径間に載荷して接合部 1 に着目したケースでは、接合部 1 のコンクリート歪みが他の部材より先に終局を超え、破壊に至る結果となった。

図-3.12 では、接合部の終局時コンクリート応力度 歪みの関係を示す。側径間（接合部 1）に着目したケース およびケース における接合部の場所打ち側では、終局時のコンクリート歪みは、終局歪み 3500 μ を超えている。

この理由として、接合部 1（場所打ち側）では、ポストテンション PC 鋼材の位置が接合部 2 と比較して断面の上側に配置されており、下縁のコンクリートがひび割れ、PC 鋼材が荷重を負担できなくなったためである。

したがって、側径間（接合部 1）に着目したケース およびケース では、接合部が最初に終局歪みを超える結果となる。

検証内容

検証内容	<p>2) 終局荷重作用時の安全性の確認</p> <p>終局荷重作用時の断面力係数 について、解析結果の一覧を表-3.1 に示す。解析結果より、 は 2.9~5.9 となり、道示の終局荷重時の断面力係数である = 1.7 および = 2.5 をはるかに超えている。そのため、本接合部を有する全体構造が道示の示す終局荷重よりも大きい荷重で部材が破壊することが判る。</p> <p style="text-align: center;">表-3.1 終局荷重作用時の断面力係数</p> <table border="1" data-bbox="427 573 1310 792"> <thead> <tr> <th rowspan="2">活荷重 載荷位置</th> <th rowspan="2">適用式</th> <th colspan="2">道示</th> </tr> <tr> <th>解析結果</th> <th>終局時規定値</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">中央径間</td> <td>P+1.3D+ L</td> <td>5.9</td> <td>2.5</td> </tr> <tr> <td>P+ (D+L)</td> <td>2.9</td> <td>1.7</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">側径間</td> <td>P+1.3D+ L</td> <td>5.4</td> <td>2.5</td> </tr> <tr> <td>P+ (D+L)</td> <td>2.9</td> <td>1.7</td> </tr> </tbody> </table>	活荷重 載荷位置	適用式	道示		解析結果	終局時規定値	中央径間	P+1.3D+ L	5.9	2.5	P+ (D+L)	2.9	1.7	側径間	P+1.3D+ L	5.4	2.5	P+ (D+L)	2.9	1.7
	活荷重 載荷位置			適用式	道示																
解析結果		終局時規定値																			
中央径間	P+1.3D+ L	5.9	2.5																		
	P+ (D+L)	2.9	1.7																		
側径間	P+1.3D+ L	5.4	2.5																		
	P+ (D+L)	2.9	1.7																		
参考にあつての注意点	<p>・検討事例では、終局荷重時に対して材料や構造の非線形性が考慮されており、道示による照査結果と比較すると、比較的安全性が高い結果が得られる場合がある。その結果のみで構造の安全性を評価することは危険側となる場合があるため、解析時の構成則や結果の破壊過程を十分に検討して、安全性を判断する必要がある。</p>																				

事例	試験体による耐荷力の検証																																																																					
要求性能	使用目的との適合性 安全性				関連規定		道示 17.2 道示 17.3.1																																																															
検証目的	接合部を再現した実験により、プレテンション部材とポストテンション部材の接合部の耐荷力を検証する。																																																																					
検証方法	実験による検証 ・ 解析による検証 ・ 道路橋示方書の準用																																																																					
検証方針	<p>試験体を作製し、以下の要素に注意して接合部を再現して静的繰り返し載荷実験を行う。</p> <p>コンクリート強度(付着強度)</p> <p>プレテンション部材とポストテンション部材では、基本的に強度が異なる。</p> <p>プレストレス量の変化</p> <p>接合部横桁の拘束効果</p> <p>横桁には、横締PC鋼材でプレストレスを導入しており、拘束効果を確認する。</p>																																																																					
検証内容	<p>(1) 実験概要</p> <p>1) 試験体</p> <p>実験には打継ぎ目のないM-1、打継ぎ目があり、後打ち部断面形状(I型、矩形)の異なるM-2・M-4と、横方向プレストレスを導入したMC-1の計4供試体を比較する。各々の供試体諸元を表-3.2に、供試体形状、鋼材配置図を図-3.13に示す。M-1の基準梁は下縁側全長にわたりプレテンション鋼材を、その他はプレテンション鋼材とポストテンション鋼材を配置し、全長3.0mの単純梁とする。</p> <p>プレテンション部は、部材長1.6mと短く、プレテンション鋼材の緊張ロスが発生するため、桁端部に定着体を設けてロスを減少させるよう配慮した。打継目側については、実橋と同様に定着体を設けずにプレテンション鋼材を突出させた。なお、打ち継目部は洗い出しのみの処理とした。</p> <p>2) 材料</p> <p>コンクリート $c_k = 40\text{N/mm}^2$ (場所打ち部) $c_k = 60\text{N/mm}^2$ (プレキャスト桁)</p> <p>PC鋼材 SWPR7A 9.3 (ポストテンション鋼材) SWPR7A 9.3 (プレテンション鋼材) SBPR930/1080 26 (横締め鋼棒)</p> <p style="text-align: center;">表-3.2 試験体諸元</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">供試体 NO.</th> <th rowspan="2">記号</th> <th rowspan="2">打継 目の 有無</th> <th colspan="2">断面形状</th> <th colspan="2">コンクリート 強度(N/mm²)</th> <th colspan="2">鋼材有効緊 張力(N/mm²)</th> <th rowspan="2">側方拘束 (横桁)</th> <th rowspan="2">備考</th> </tr> <tr> <th>プレキャスト部</th> <th>後打ち部</th> <th>プレキャスト部</th> <th>後打ち部</th> <th>プレテンション</th> <th>ポストテンション</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>M-1</td> <td>無</td> <td>I型</td> <td>-</td> <td>60</td> <td>-</td> <td>940</td> <td>-</td> <td>無</td> <td>プレテン基準はり</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>M-2</td> <td>有</td> <td>I型</td> <td>I型</td> <td>60</td> <td>40</td> <td>940</td> <td>940</td> <td>無</td> <td>打継-継手-強度差</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>M-4</td> <td>有</td> <td>I型</td> <td>矩形</td> <td>60</td> <td>40</td> <td>940</td> <td>940</td> <td>無</td> <td>打継-継手-断面変化</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>M-C1</td> <td>有</td> <td>I型</td> <td>矩形</td> <td>60</td> <td>40</td> <td>940</td> <td>940</td> <td>有</td> <td>打継-継手-断面変化-横拘束</td> </tr> </tbody> </table>									供試体 NO.	記号	打継 目の 有無	断面形状		コンクリート 強度(N/mm ²)		鋼材有効緊 張力(N/mm ²)		側方拘束 (横桁)	備考	プレキャスト部	後打ち部	プレキャスト部	後打ち部	プレテンション	ポストテンション	1	M-1	無	I型	-	60	-	940	-	無	プレテン基準はり	2	M-2	有	I型	I型	60	40	940	940	無	打継-継手-強度差	3	M-4	有	I型	矩形	60	40	940	940	無	打継-継手-断面変化	4	M-C1	有	I型	矩形	60	40	940	940	有	打継-継手-断面変化-横拘束
供試体 NO.	記号	打継 目の 有無	断面形状		コンクリート 強度(N/mm ²)		鋼材有効緊 張力(N/mm ²)		側方拘束 (横桁)				備考																																																									
			プレキャスト部	後打ち部	プレキャスト部	後打ち部	プレテンション	ポストテンション																																																														
1	M-1	無	I型	-	60	-	940	-	無	プレテン基準はり																																																												
2	M-2	有	I型	I型	60	40	940	940	無	打継-継手-強度差																																																												
3	M-4	有	I型	矩形	60	40	940	940	無	打継-継手-断面変化																																																												
4	M-C1	有	I型	矩形	60	40	940	940	有	打継-継手-断面変化-横拘束																																																												

検証内容

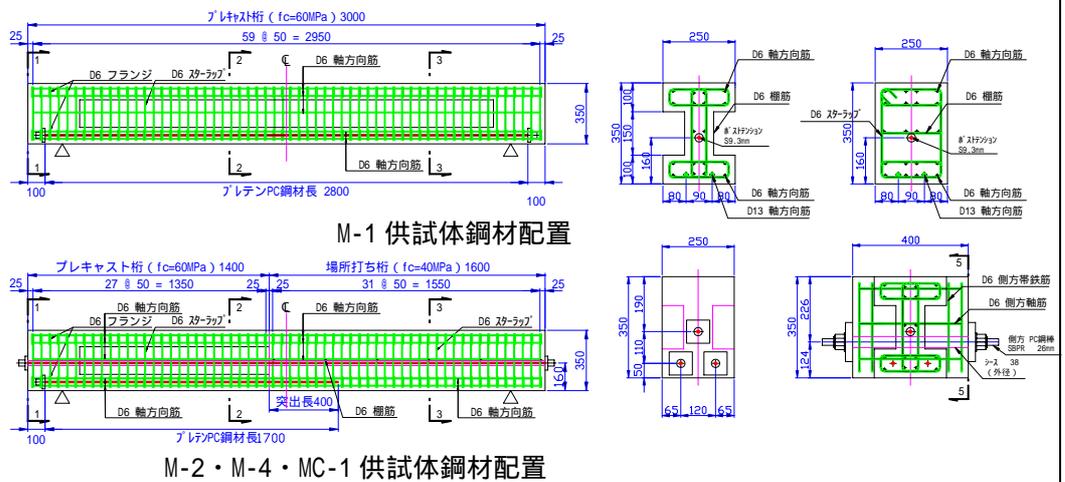
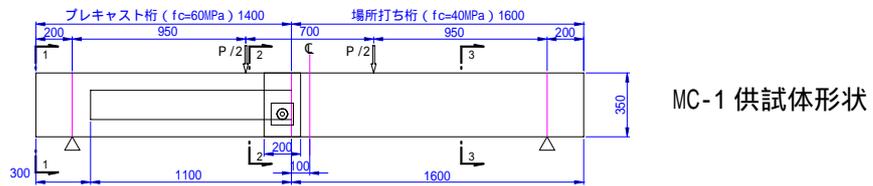
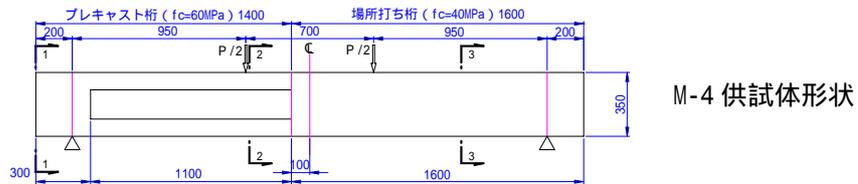
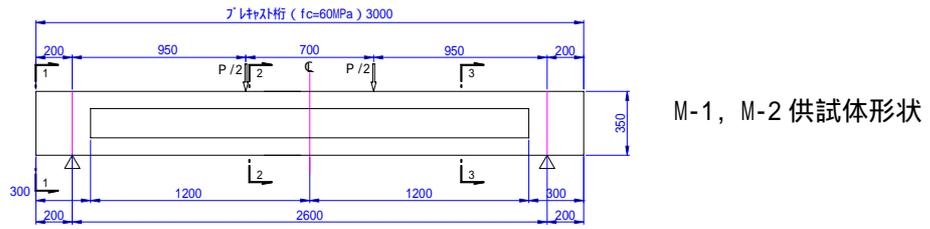


図-3.13 試験体形状、鋼材配置図

2) 荷重方法と耐力算定

荷重荷重位置は、打ち継目で破壊がおこるように2点荷重とし、せん断破壊が先行して発生しないように決定する。

鉄筋塑性域での静的繰り返し荷重に際しては、継目部の変位量で制御し、2.5mm、5mm、7.5mmの各段階で除荷した後、破壊まで荷重した。

図-3.14には荷重位置とゲージ位置を示す。荷重位置を決定する際の終局耐力の算定は、「土木学会コンクリート標準示方書 設計編(H8)」の規定に基づいて行った。耐力の計算結果を表-3.3に示す。

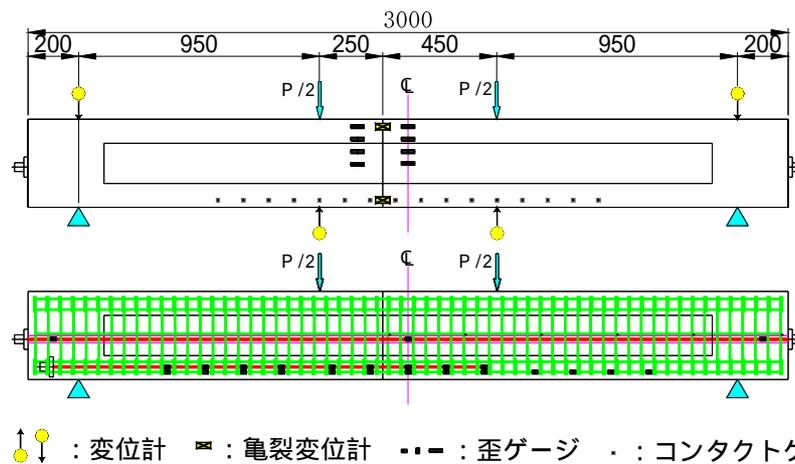


図-3.14 荷重位置、歪ゲージ位置

検証内容

表-3.3 供試体の耐力計算結果

No.	記号	プレキャスト側 (fck=60N/mm ²)					打ち継目				場所打ち側 (fck=40N/mm ²)				
		曲げ耐力 Mu (kN·m)	曲げ耐力時 せん断力 S (kN)	せん断 耐力 Vu (kN)	耐力		曲げ 耐力 Mu (kN·m)	せん断 伝達耐 力 Vcw (kN)	耐力		曲げ 耐力 Mu (kN·m)	曲げ 耐力時 せん断力 S (kN)	せん断 耐力 Vu (kN)	耐力	
					(曲げ)	(せん断)			(曲げ)	(せん断)				(曲げ)	(せん断)
1	M-1	74.3	78.2	135.0	156.4	270.1									
2	M-2	87.8	92.5	140.3	184.9	280.6	85.8	361.3	180.7	722.6	69.9	73.6	131.1	147.2	262.3
3	M-4	87.8	92.5	140.3	184.9	280.6	85.8	361.3	180.7	722.6	69.9	73.6	131.1	147.2	262.3
4	M-C1	87.8	92.5	140.3	184.9	280.6	85.8	361.3	180.7	722.6	69.9	73.6	245.4	147.2	490.8

(3) 実験結果と考察

1) 実験結果

戴荷実験の結果を表-3.4 にまとめる。4 体の供試体の内、MC-1 のみが場所打ち部戴荷点で破壊したが、継目の無い M-1 を含め、その他は全て継目位置で破壊した。

継目を有する供試体 M-2・M-4 共、継目でひび割れが発生した後、後打ち部、プレキャスト部の順にひび割れが発生した。

荷重増加によるひび割れの進展は、プレキャスト部、継目、後打ち部で差異が見られ、後打ち部では新たなひび割れが発生しながら進展していくのに対して、プレキャスト部ではひび割れ間隔が大きく、最初に入ったひび割れの幅が増大していった。

プレキャスト部最下縁の鉄筋が降伏歪みを超えたあたりから、継目の下縁が開きはじめ、除荷時においても継目は閉じなかった。その後の荷重増荷により継目の開口が大きくなり V 字型に変形し上側コンクリートが圧縮破壊した。

また、表-3.5 に示すように除荷後の変形復元率が、基準供試体 M-1 に比べて一様に低い傾向にあった。横拘束を有する MC-1 については、計測値は他と同様の傾向があるものの、目視による継目のひび割れ発生は遅かった。

表-3.4 実験結果

供試体名	継目 有無	ひび割れ発生 荷重 $P_{cr}(kN)$	1) 鉄筋 初降伏 $P_{y0}(kN)$	最大 荷重 $P_u(kN)$	2) 破壊 箇所	3) 破壊 形態	降伏変位 (載荷点)		終局変位 ⁴⁾ (載荷点)		
							プレカ スト側 $\delta_y(mm)$	後打 ち側 $\delta_y(mm)$	プレカ スト側 $\delta_u(mm)$	後打 ち側 $\delta_u(mm)$	
NO.	記号										
1	M-1	無	80	111	220	A	a	5.3	5.5	13.6 ⁵⁾	14.7 ⁵⁾
2	M-2	有	29	100	202	A	a	8.7	8.2	27.4	25.9
3	M-4	有	30	103	200	A	a	9.9	9.4	22.0	21.2
4	M-C1	有	42 ⁶⁾	104	156	B	b	5.7	6.7	14.1	22.0

- 1) 初降伏荷重は、引張最外縁の鉄筋が降伏歪みとなる荷重
- 2) A：打ち継目、B：場所打ち側載荷点
- 3) a：曲げ圧縮、b：曲げ引張り
- 4) 終局変位は、荷重-変位曲線の降伏点荷重となる最大変位
- 5) M-1 供試体の終局変位値は、最大荷重における変位とした。
- 6) MC-1 供試体は場所打ち側載下点破壊だが、本数値は継目の値

表-3.5 載荷点変位と復元率

	プレキャスト側			場所打ち側		
	最大変位 (mm)	残留変位 (mm)	復元率	最大変位 (mm)	残留変位 (mm)	復元率
M-1	14.7	7.1	0.51			
M-2	27.4	19.8	0.27	25.9	18.7	0.28
M-4	22.0	13.1	0.40	21.2	12.9	0.40
MC-1	14.1	7.7	0.45	22.0	14.0	0.36

検証内容

2) 考察

ひび割れ発生

実験値と計算値の比較を表-3.6 に示す。

M-2・M-4 供試体では、最初のひび割れ発生が載荷荷重 30 k N 付近で継目の位置において確認された。

この荷重は載荷荷重・プレストレス力から下縁コンクリート応力度を計算すると -2.3N/mm^2 であり、コンクリートの引張強度 $f_{tk} = -2.69\text{N/mm}^2 (=0.23f_{ck}^{2/3})$ の約 84% 程度である。各供試体共、ひび割れ発生限界が低く、継目のコンクリート引張強度は一体打ちに比べ低いことが確認された。

しかし、横拘束のある MC-1 では、ひび割れ発生荷重が計算値とほぼ一致していたが、図-3.15 に示すように、荷重-ひび割れ幅関係では他供試体と同様な挙動を示した。

表-3.6 実験値と計算値の比較

供試体名		打継目の有無	実験値			計算値		
NO.	記号		曲げひび割れ P_{cr} (kN)	鉄筋初降伏 P_{y0} (kN)	最大荷重 P_u (kN)	曲げひび割れ P_{cr} (kN)	鉄筋初降伏 P_{y0} (kN)	最大荷重 P_u (kN)
1	M-1	無	80	111	220	83	112	157
2	M-2	有	29	100	202	39	74	181
3	M-4	有	30	103	200	39	74	181
4	M-C1	有	42	104	156	39	74	147

検証内容

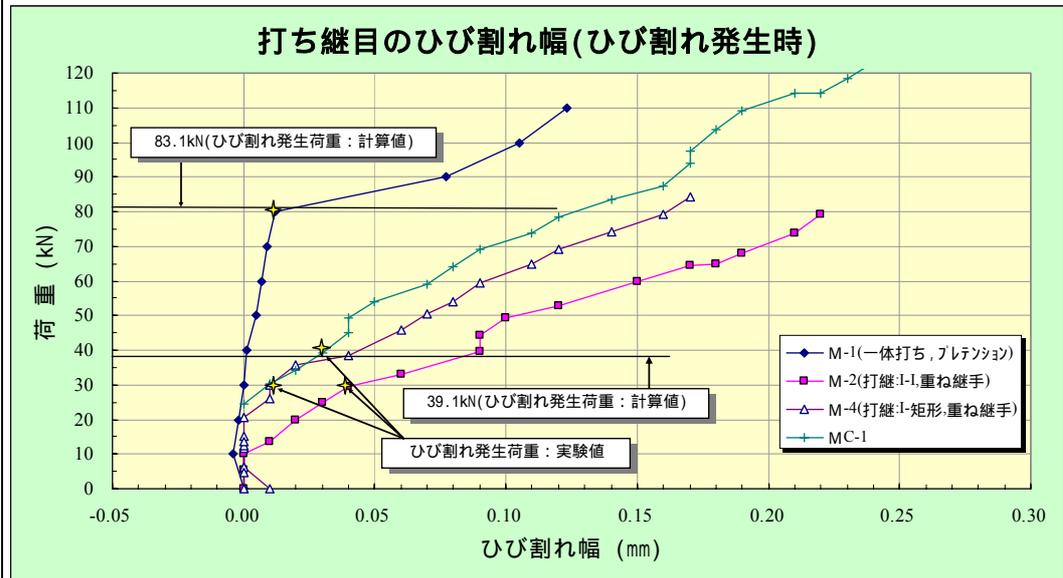


図-3.15 荷重-ひび割れ幅関係

最大耐力

最大耐力は全供試体で計算値とほぼ一致しており、じん性率（最大変位/降伏変位）は 10 以上となった。上部構造のじん性は特にラーメン構造で要求されるが、本構造を適用しても構造上の安全性は確保できるものと考えられる。

<p>検証内容</p>	<p>(4) まとめ</p> <p>本接合構造は、実験結果より、ひび割れ発生限界は低いものの、一般部材と同程度の終局耐力を有していることが確認できた。</p> <p>1) 横拘束の無い供試体のひび割れ発生荷重は、計算値の 84%程度であった。</p> <p>2) 横拘束のある打継目のひび割れ発生荷重は、計算値とほぼ一致し、MC-1 供試体が場所打ち側で破壊したことから、横拘束による効果が十分に確認できた。ただし、荷重-ひび割れ幅の関係は、横拘束の無い供試体と同様な傾向であった。</p>
<p>参考にあつての注意点</p>	<p>・プレテンション部材とポストテンション部材との接合構造において、多主桁と場所打ち箱桁を接合するような構造では、接合部に横締め P C 鋼材のプレストレス等で横拘束することが有効であることが、実験結果により確認されている。したがって、接合部の設計において、横締め P C 鋼材の配置や横方向鉄筋量等、十分な検討が必要である。</p>

4. 参考資料

(1) 参考文献

1) プレストレストコンクリート技術協会 シンポジウム論文集

■プレキャスト部材の接合と継手構造に関する論文

NO.	タイトル	発表年次
1	ホローげたを用いた連結構造の静的挙動について	1992
2	プレキャストホローけたを用いた連結構造について	1994
3	PC3 径間連続箱桁橋の一体化拡幅施工	1994
4	プレキャストブロック継目部の設計法に関する研究	1995
5	PRC 桁と RC 桁の連続化について (総社高架橋 PC 上部工の設計・計測)	1996
6	PC 橋鉛直打ち継ぎ目処理方法の開発実験と施工報告	1996
7	NC (Non-Contact) 継手を有する JIS 桁の曲げ・せん断強度	1996
8	合理化施工による PC 連続合成桁の設計と施工ー北海道縦貫自動車道大岸橋	1997
9	H 型鋼を用いたプレテン連結ホロー桁 神崎川橋梁 (仮称) 左岸取付高架橋施工報告	1997
10	プレキャストスラブ橋桁の連結部構造に関する実験的研究	1998
11	スプライス PC 構造の継手構造に関する実験的研究について	2000
12	六美高架橋の多径間連結化について	2000
13	高性能鋼繊維補強材料を用いて連続化されたプレキャスト構造に関する実験的研究	2003
14	曲線を有する鋼・コンクリート混合箱桁橋の接合部の設計	2003
15	松山中高架橋における RC 桁と PRC 桁の接合部補強に関する一考察	2003
16	はり部材におけるループ継手の破壊性状に関する実験的研究	2004

■剛性変化を伴う構造に関する論文

NO.	タイトル	発表年次
1	田沢湖線拡幅橋梁の既設ケーブル探査及び一体化施工	1995
2	PC 合成桁と RC 中空床版の連続化構造と計測	1995
3	広幅員連続ラーメン橋における水平反力調整工及びウェブ合流付近の有限要素解析について	1995
4	サンマリブリッジ (複合斜張橋) の施工	1996
5	PC・鋼複合 5 径間連続エクストラドーズド橋 (木曾川橋) の全体構造系の検討	1996
6	プレテンションホロー連結げた連結部の剛性低下の影響に関する一考察	1997
7	スプライス PC ホロー構造の特性について	1998
8	主桁分岐を有する PC 連続ラーメン橋 (夏厩高架橋) の設計	1998
9	連結部の剛性低下を考慮したプレテンションホロー連結げたの解析的検討	1998
10	断面分割架設による揖斐川橋側径間部の設計と施工	2000

2) 日本コンクリート工学協会年次大会論文集

NO.	タイトル	発表年次
1	PCa 構造接合面におけるダウエル筋のせん断伝達に対する横補強筋効果に関する研究	1995
2	コンクリート打継ぎ面における表面粗さの評価とせん断力伝達能力に関する実験研究	1995
3	PC 合成桁のクリープ特性に関する解析的研究	1995
4	複合非線形フレーム解析による外ケーブルプレキャストセグメント PC 梁の耐力解析	1995
5	外ケーブル方式プレキャストブロック PC はりの挙動	1996
6	プレキャスト鉄筋コンクリート部材接合面におけるせん断伝達機構に関する研究	1996
7	コンクリート打継ぎ面における表面粗さの評価とせん断伝達に関する実験的研究	1996
8	鉛直ループ継手の疲労強度に関する研究	1997
9	コンクリート打継ぎ面に直交する鉄筋の挙動と打継ぎ面粗さの関係に関する研究	1997
10	U 型ハーフプレキャスト部材を用いた合成梁の曲げ性状について	1999
11	ハーフ PCa 板合成スラブにおける新旧コンクリートの収縮歪差の影響	1999
12	PRC 連続はりの曲げおよびせん断耐荷特性に関する研究	2000
13	大偏心外ケーブルを用いたプレキャストセグメント PC 桁の曲げ性状に関する実験的研究	2000
14	鉄筋コンクリート合成梁の長期曲げ性状	2000
15	高強度鋼繊維補強材料で接合されたプレキャストコンクリートはりの曲げ挙動	2001
16	スプライス PC 構造の継手構造に関する研究	2001

3) 土木学会年次学術講演会概要集

NO.	タイトル	発表年次
1	プレキャスト PC 部材と現場打コンクリートとの接合に関する基礎研究	1972
2	プレキャスト PC 部材の接合に関する一実験	1986
3	RC はり・柱接合部の部材じん性に及ぼす影響に関する実験的研究	1990
4	3 径間連続吊床版橋の設計及び施工について	1991
5	プレキャスト PC 製ラーメン隅角部の挙動に関する研究	1991
6	剛体ばねモデルによる PC 箱桁ブロック接合部のねじり挙動解析	1991
7	剛体ばねモデルによる PC 箱桁ブロック接合部の終局ねじり挙動解析	1992
8	コンクリート吊床版橋を応用した合成構造の PC 橋に関する研究	1992
9	PC トラスウェブ箱桁橋の試設計—外ケーブルの適用とプレキャスト工法	1992
10	I 桁の接着接合に関する実験的研究	1992
11	H 鋼による PC ホロー桁連結方式に関する検討	1993
12	PC 鋼棒で締結された柱添え梁接合面のせん断耐力	1993
13	RC 構造による合成桁継手の機能性について	1993
14	はりと柱の接合部の剛結・半剛結の区分に関する一考察	1993

NO.	タイトル	発表年次
15	アラミドロープを用いたプレキャスト部材の接合方法に関する研究	1993
16	プレキャストコンクリート型枠を使用した合理化技術の開発 (その3) －梁試験体による一体化の確認実験－	1993
17	プレキャストコンクリート型枠を使用した合理化技術の開発 (その4) －鉛直接合部における鉄筋継手の検討 (継手性能実験)－	1993
18	プレキャストコンクリート型枠を使用した合理化技術の開発 (その5) －鉛直接合部における鉄筋継手の検討 (橋脚モデル実験)－	1993
19	E 積分による異種材料界面近くのき裂に対するエネルギー解放率の解析	1994
20	FRP を補強材に用いた鉛直打継目を有する CPC はりの曲げひび割れ性状	1994
21	RC 橋と PC 橋の連続化に関する設計と解析	1994
22	コンクリート二次製品の設計・施工技術の開発 (その1) －二次製品接合部のせん断試験－	1994
23	コンクリート二次製品の設計・施工技術の開発 (その2) －二次製品接合部の曲げせん断試験－	1994
24	コンクリート二次製品の設計・施工技術の開発 (その3) －二次製品接合部の曲げせん断試験 (せん断破壊先行)－	1994
25	プレキャスト PC 製ラーメン隅角部の変形に関する解析的研究	1994
26	2 主桁橋 (ホロナイ川橋) の横桁取付構造に関する実験的研究	1995
27	PC 床版 2 主桁橋 (ホロナイ川橋) の設計	1995
28	コンクリート二次製品の設計・施工技術の開発 (その4) －実物大組立実験の概要と機械化施工－	1995
29	コンクリート二次製品の設計・施工技術の開発 (その5) －実物大組立実験の組立施工調査結果－	1995
30	コンクリート二次製品の設計・施工技術の開発 (その6) (接合部モルタル充填継手のモルタル注入方法確認実験)	1995
31	プレキャスト部材の接合面におけるせん断耐力の研究	1995
32	プレキャスト部材を採用した鉄道高架橋の施工	1995
33	3 ヒンジアーチカルバートの内部応力解析に関する研究	1996
34	PC 斜版橋・名取川橋梁上部工の施工	1996
35	プレキャスト RC ラーメン柱の耐震実験	1996
36	プレキャスト部材の接合面におけるせん断耐力の研究	1996
37	アンボンドプレストレストコンクリートのプレキャスト化に関する基礎的研究	1997
38	ANEX 継ぎ手の性能実験	1998
39	AS セグメントの試験施工 (その1) 組立	1998
40	AS セグメントの試験施工 (その2) 計測	1998
41	せん断キーを用いた接合部を有するプレキャスト床版の疲労耐久性について	1998
42	せん断プレストレス合成桁の非線形ずれ解析	1998
43	実大プレキャスト試験体による柱梁接合部の組立施工実験	1998
44	DNA セグメントの組み立て性能試験	1999

NO.	タイトル	発表年次
45	プレキャスト PC ブロックの継手補強に関する基礎的研究	1999
46	プレキャスト PC 床版の継手強度に関する実験的研究	1999
47	プレキャスト PC 床版の合成構造継手の疲労強度に関する研究	1999
48	プレキャスト型枠を用いたはりの曲げ性状に関する基礎実験	1999
49	AS セグメントの急曲線施工	2000
50	CFT 柱と軌道支持梁による鉄道ラーメン高架橋構造とその柱梁接合部の交番載荷試験	2000
51	PCU 型桁合成床版載荷実験	2000
52	PC で連結したブロック梁の耐荷力性状	2000
53	PRC プレキャスト部材の一接合法に関する耐震性能試験その 1 (主筋に PC 鋼より線を使用した場合)	2000
54	PRC プレキャスト部材の一接合法に関する耐震性能試験その 2 (主筋に異形鉄筋を使用した場合)	2000
55	PRC プレキャスト部材の一接合法に関する耐震性能試験その 3 (ボンド供試 (TMFK) とアンボンド供試体 (TMKB) との比較)	2000
56	コンクリート接合面のせん断耐力算定式	2000
57	U 型プレキャスト型枠を用いた合成はりの曲げ性状に関する実験	2000
58	プレキャスト PC 床版から成る合成桁に導入されたせん断プレストレスの有効性	2000
59	2 軸応力下における主桁・横桁接合部の疲労強度	2001
60	PC で連結した梁の耐荷力性状	2001
61	PRC プレキャストブロック工法の継手部曲げ性能の改善	2001
62	2 軸荷重を受ける主桁・横桁接合部の疲労強度	2002
63	CFT ラーメン高架橋の試験施工について－東海道本線蒲郡駅付近連続立体交差	2002
64	PCF 合成床版の実物大試験体施工実験における構造特性の検証	2002
65	PCF 合成床版を用いた合成桁負曲げ載荷試験	2002
66	PC 床版を有する 2 箱桁と 3 箱桁の接続構造について	2002
67	つくばエクスプレス (常磐新線) で採用した省力化プレキャスト PCU 形桁について	2002
68	コンクリート部材接合部の一体化に関する数値解析的研究	2002
69	分割セグメントの研究と開発	2002
70	プレキャスト・現場打ちコンクリート接合部の曲げ変形・耐荷性能	2003
71	内牧高架橋 ストラット接合部の合成と耐荷力の確認試験	2003

4) 土木学会論文集

NO.	タイトル	発表年次
1	PC 箱桁ブロック接合部のねじり挙動解析	1990
2	プレキャスト PC 部材接合部の剛体-ばねモデルによる挙動解析	1991
3	コンクリート接合面のせん断伝達に関する研究	1994

(2) 施工実績

全体構造の中で本技術に類似した接合部を有する橋梁や剛性が大きく異なる部位を有する橋梁について、実績を纏めた。なお、表中には、接合した部材の剛性比率を示している。

No	橋梁名	構造形式	構造種別	接合部断面	PC鋼材	剛性		備考
						断面2次(×10 ¹² mm ⁴)		
1	巡間橋	3径間連続箱桁橋	PC	① 2室箱桁	12S15.2(内)	①	5.6	-----
						②	6.6	
				② 1室箱桁		比率①/②	0.85	
2	久御山JCT 南大内 上部工事	3径間連続ラーメン箱桁橋	PC	① 4室箱桁	12S15.2(内外)	①	51.5	・3次元立体フレームにより、主桁及び横桁検討の実施。
						②	53.5	
				② 3室箱桁		比率①/②	0.96	
3	久安川橋	4径間連続ラーメン箱桁	PC	① 1室箱桁	12S15.2(内)	①	14.6	・断面力は断面左右の剛性考慮、連続鉄筋は必要鉄筋量が大きい方で決定。 ・断面変化が支間中央のため中間横桁で断面変化。 ・3次元FEMにより補強検討。
						②	16.4	
				② 2室箱桁		比率①/②	0.89	
4	太田川橋	10径間連続3主版桁 +8径間連続箱桁 +8径間連続3主版桁	PRC	① 3主版桁	1S28.6(内)	①	10.4	・断面力は断面左右の剛性考慮、連続鉄筋は必要鉄筋量が大きい方で決定。 ・支点横桁の前後で断面変化。
						②	15.2	
				② 箱桁		比率①/②	0.68	
5	一宮高架橋	4径間連続中空床版 +4径間連続箱桁 +4径間連続中空床版 +4径間連続箱桁	PRC	① 中空床版	1S28.6(内)	①	8.9	・断面力は断面左右の剛性考慮 ・連続鉄筋は必要鉄筋量が大きい方で決定 ・支点横桁の前後で断面変化 ・主方向PC鋼材連続化のため配置を平面変化させ、プレストレスロス及び腹圧力を検討
						②	10.3	
				② 箱桁		比率①/②	0.86	
6	多々羅田	3径間連続ラーメン橋	PC	① 3室箱桁	12S12.7、 19S15.2(内外)	①	4.1	・断面力は断面左右の剛性考慮、設計は剛性の小さい方で決定。 ・急変部に横桁を設置。 ・ホロー桁と箱桁の軸方向鉄筋は機械式継手を採用。 ・横締めによりプレストレスを導入。
						②	4.1	
				② ホロー桁		比率①/②	1.00	
7	発寒東 高架橋	3径間連続構造	PC	① 2主版桁	12S12.4	①	1.5	-----
						②	2.5	
				② 1室箱桁		比率①/②	0.60	

No	橋梁名	構造形式	構造種別	接合部断面		PC鋼材	剛性		備考
							断面2次(×10 ¹² mm ⁴)		
8	鎗川橋	3径間連続箱桁構造	PC	①	2室箱桁	φ32(内)	①	9.4	・断面力は断面左右の剛性考慮。 ・補強設計は剛性の小さい方で決定。 ・断面急変部に横桁を設け、急変部近傍を3次元FEM解析で照査。
				②	1室箱桁		比率①/②	0.87	
9	壬生石橋 高架橋	プレテン中空床版と ポステン中空床版の 連続構造	RC	①	プレ中空	15.2	①	—	
				②	ポス中空	12S12.7	比率①/②		
10	小松 上の沢川橋	合成桁と中空桁の連結構造	RC	①	合成T桁	12T12.4	①	0.9	・連結桁として連結鉄筋を配置。
				②	中空床版		比率①/②	0.12	
11	刈谷 第1高架橋	9径間連続構造	PC	①	2主版桁	1S28.6(内)	①	4.2	
				②	1室箱桁		比率①/②	0.54	
12	佐野川橋	8径間連続構造	PRC	①	3主版桁	1S28.6(内)	①	2.4	・施工目地を断面変化部とし、各剛性を用いて断面力を算出。 ・接合部断面では、両方の断面性能で設計。 ・断面急変部に設けた横桁にPC鋼材がたすき掛け定着されるため、FEM解析にて補強設計。
				②	2室箱桁	19S15.2(外)	比率①/②	0.53	
13	仮)瀬野川 高架橋	3径間連続ラーメン構造	PC	①	3室箱桁	1B32、 12S12.7(内)	①	79.4	
				②	6室箱桁		比率①/②	0.86	
14	第1岩屋橋 (Aブロック)	3径間連続箱桁	PC	①	2室箱桁	12S12.7(内)	①	5.7	・断面力は断面左右の剛性考慮。 ・補強設計は剛性の小さい方で決定。 ・断面急変については温度解析を実施。
				②	1室箱桁		比率①/②	0.74	