

東北地方の凍結抑制剤散布地域における ポストテンション橋げた施工のポイント

【ポストテンション方式（場所打ち桁・プレキャスト桁）】

平成29年3月

一般社団法人 プレストレスト・コンクリート建設業協会
東北支部 PC橋長寿命化委員会

まえがき

プレストレスト・コンクリート建設業協会東北支部管内は、そのほとんどが積雪寒冷地であり、凍結抑制剤の散布量も多いことからコンクリート構造物の塩害や凍害に対して非常に過酷な環境にあります。これらに起因した構造物の劣化による維持管理費の増大が課題とされています。

このため東北地方整備局では、短期集中的に整備中の復興道路・復興支援道路の事業やその他の直轄事業の推進に当たり、将来の維持管理費の低減を目的にコンクリート構造物の耐久性向上に向けた様々な取組が行われています。

当支部においても、施工時に発生した初期欠陥に起因する劣化が生じないような対策を検討し支部会員内に周知徹底すること、東北地方整備局道路部道路工事課とともにPC橋の高耐久化のための対策を立案し、その効果を確認することを目的に、平成25年2月に「PC橋長寿命化委員会」を支部内に設立しました。委員会では、「初期欠陥防止WG」「塩害対策WG」「プレキャスト製品WG」の3つのWG体制にて、関係各位の助言・援助を受けながら活動を推進してきました。

このうち「プレキャスト製品WG」では、平成25年度に工場にて蒸気養生により製造される高強度プレキャスト部材（プレキャスト製品）の製造過程における空気量の減少及び耐凍害性について諸検討や確認試験を行いました。平成26-27年度には、プレテンション鋼材に被覆PC鋼材を適用する際に懸念される桁端面のひび割れやプレテンション鋼材バンドアップ部で鋼材の被覆を損傷させない対策を検討しました。その効果を実物大試験によって確認し、目的とする耐久性を確保するための仕様や製造・施工方法を策定しました。

また、平成27-28年度には、主方向に被覆PC鋼材を使用する際のPEシースとの組合せを検討するとともに、PCグラウトの実物大試験によって充填性を確認しました。

本書は、東北地方整備局「設計施工マニュアル（案）[道路橋編]」の仕様に基づき施工する際の参考資料とすべく、これまでのWGでの検討の内容や試行工事での知見をもとに、ポストテンション方式の橋梁における、工場での製造や現地での製作時の留意点を抽出し、取りまとめたものです。

平成29年3月

一般社団法人 プレストレスト・コンクリート建設業協会
東北支部PC橋長寿命化委員会

東北支部 PC橋長寿命化委員会

委員長	森 島 修	株式会社ピーエス三菱
副委員長	南 國 彦	株式会社日本ピーエス
副委員長	野 口 晃	三井住友建設株式会社
副委員長	土 屋 英 治	東日本コンクリート株式会社
幹 事 長	浅 井 洋	三井住友建設株式会社
W G 長	佐 藤 敏 夫	東日本コンクリート株式会社

「プレキャスト製品WG②」

主 査	市 川 成 勝	オリエンタル白石株式会社
副 主 査	堀 重 伸	日本高圧コンクリート株式会社
委 員	漆 原 新 一	株式会社IHIインフラ建設
〃	湊 敬 文	株式会社安部日鋼工業
〃	北 野 勇 一	川田建設株式会社
〃	浅 野 真 人	コーアツ工業株式会社
〃	本 庄 新	昭和コンクリート工業株式会社
〃	別 府 里 志	株式会社銭高組
〃	佐 藤 浩 一	ドーピー建設工業株式会社
〃	鶴 岡 俊 明	株式会社日本ピーエス
〃	加 藤 卓 也	株式会社ピーエス三菱
〃	佐 藤 敏 夫	東日本コンクリート株式会社
〃	油 田 康 生	株式会社富士ピー・エス
〃	池 田 正 行	前田製管株式会社
〃	浅 井 洋	三井住友建設株式会社
旧委員	永 田 伸 幸	株式会社IHIインフラ建設
〃	須 合 孝 雄	ドーピー建設工業株式会社
〃	深 谷 浩 史	株式会社富士ピー・エス
〃	石 井 精 一	三井住友建設株式会社

目 次

第1章 仕様の概要	1
①概要・基本仕様	2
②材料	3
第2章 従来桁から仕様を変更する際の留意点	5
①塗装鉄筋への変更	6
②PEシースへの変更及び被覆PC鋼材を用いる場合の確認事項	7
第3章 施工上の留意点	12
①プレキャスト桁・場所打ち桁共通の留意点	13
②プレキャスト桁の留意点	14
③場所打ち桁の留意点	17
参考資料	18
資料1. PCグラウト実物大試験報告書(抜粋)	19
資料2. 鉄筋防錆材	29
資料3. 定着具メーカーでのPC鋼材定着部の防錆処理	30
資料4. プレキャストPC桁における空気量と耐凍害性に関する文献	31

(END 37頁)

第 1 章 仕様の概要

仕様の概要①

項目	概要・基本仕様					
<p>【適用範囲】</p> <p>本書は、設計施工マニュアル(案)[道路橋編]¹⁾に基づくポストテンション方式のPC橋を凍結抑制剤散布地域で施工する場合に適用します。</p> <p>その際の基本仕様は以下によるものとします。</p> <p>対象：ポストテンション方式の以下の形式(本線上に架かる跨道橋は除く)</p> <p>【場所打ち桁】箱桁，中空床版 【プレキャスト桁】コンボ桁，バルブT桁，スラブ橋桁</p>						
種別	項目	東北地方で凍結抑制剤を散布する場合				
		一般地域	飛来塩分対策区分			
			Ⅲ	Ⅱ	I ^{※1}	S ^{※1}
共通	かぶり(mm) 床版上面，主桁 側面，主桁下面	35, 35, 35	35, 35, 35	35, 35, 50	35, 35, 70	35, 35, 70
	主ケーブル	<ul style="list-style-type: none"> PEシース 普通PC鋼材 普通仕様定着体 防錆仕様グラウトキャップ 			<ul style="list-style-type: none"> PEシース 被覆PC鋼材 防錆仕様定着体 防錆仕様グラウトキャップ 	
	鉄筋	<ul style="list-style-type: none"> 塗装鉄筋(桁端部コンクリート塗装範囲のみ) 			<ul style="list-style-type: none"> 塗装鉄筋(桁端部コンクリート塗装範囲のみ) 	<ul style="list-style-type: none"> 塗装鉄筋
	コンクリート	<ul style="list-style-type: none"> 水セメント比45%以下 空気量$4.5 \pm 1.5\%$^{※2} 				
	桁端部処理	<ul style="list-style-type: none"> コンクリート塗装 				
場所打ち桁	外ケーブル	<ul style="list-style-type: none"> 2重防食PCケーブル 				
	横締ケーブル	<ul style="list-style-type: none"> プレグラウトPC鋼材 定着部の防錆対策 定着体後埋め部防水処理 				
プレキャスト桁	かぶり(mm) 上面，側面，下面	35, 35, 35	35, 35, 35	35, 35, 50	35, 35, 70	35, 35, 70
	横締ケーブル	<ul style="list-style-type: none"> PEシース 被覆PC鋼材 定着部の防錆対策 定着体後埋め部防水処理 				
	横組コンクリート	<ul style="list-style-type: none"> 早強(膨張・収縮補償) 水セメント比45%以下 空気量$4.5 \pm 1.5\%$^{※2} 				
	コンボ桁床版コンクリート	<ul style="list-style-type: none"> 普通(膨張・収縮補償) 水セメント比45%以下 空気量$4.5 \pm 1.5\%$^{※2} 				
	コンボ桁PC板	<ul style="list-style-type: none"> 被覆PC鋼材 PC鋼材切断面防水処理 				
<p>※1 プレキャスト桁(コンボ桁及びバルブT桁)は飛来塩分対策区分S・Iでの採用は望ましくないため、プレキャスト桁(スラブ橋桁)、場所打ち桁の仕様を示した。</p> <p>※2 空気量の受入れ基準はJIS規格どおり$4.5 \pm 1.5\%$とする。但し、耐凍害性の観点から荷下ろし時の空気量はJIS規格の範囲内で、5%程度を目標とするのが良い。</p>						
参考文献	1) 東北地方整備局：設計施工マニュアル(案)[道路橋編]平成28年3月					

仕様の概要②

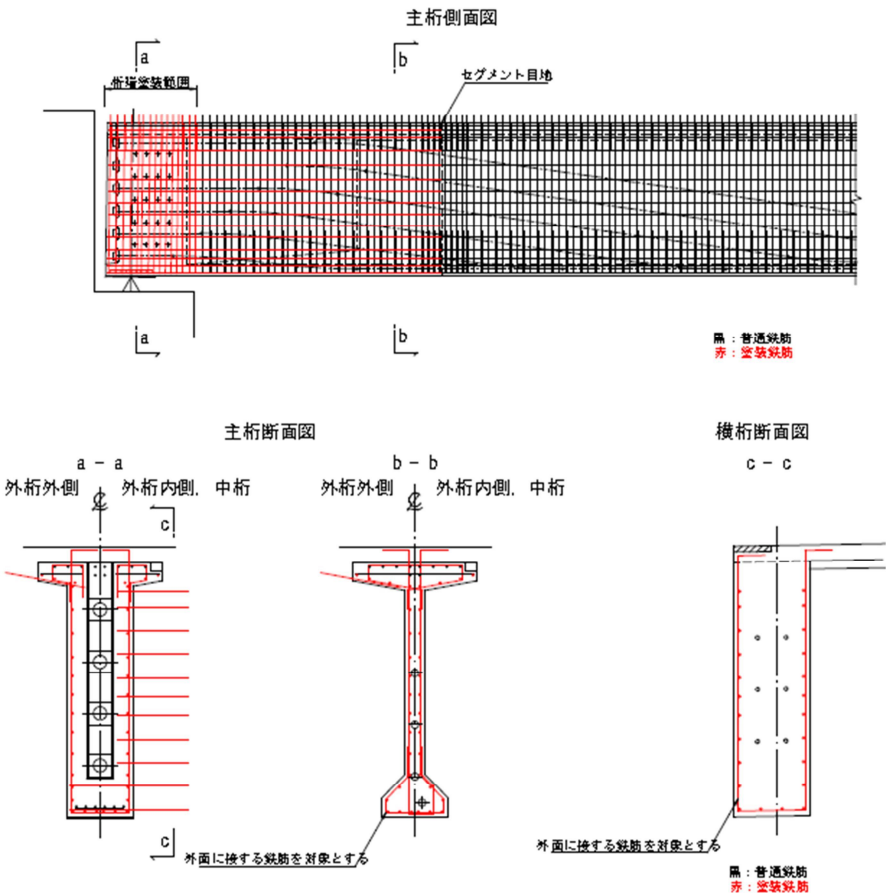
項 目	材 料
	<p>【コンクリート】 主桁・床板・横組部に使用する<u>コンクリートは、コンクリート標準示方書¹⁾ [施工編：施工標準] 4.3.3 耐久性の規定に基づき水セメント比(W/C)を45%以下とし、飛来塩分対策を行う場合は道路橋示方書で想定している水セメント比の目安も考慮します。</u> <u>空気量の受入れ基準はJIS規格どおり4.5±1.5%とします。</u> ※但し、<u>耐凍害性の観点から荷下ろし時の空気量はJIS規格の範囲内で、5%程度を目標とするのが良い。</u> <u>横組部や間詰め部には膨張コンクリート（収縮補償用）を使用します。</u></p> <p>【塗装鉄筋】 <u>塗装鉄筋は「エポキシ樹脂塗装鉄筋を用いる鉄筋コンクリートの設計施工指針[改訂版]」²⁾に適合するもの</u>とします。</p> <p>【PEシース】 <u>PEシースは、「PEシースを用いたPC橋の設計施工指針(案)」³⁾に適合するもの</u>とします。</p> <p>【被覆PC鋼材（内ケーブル）】 <u>被覆PC鋼材は、原則として低リラクセーション品</u>とします。 但し、低リラクセーション品は主方向に主として使用するSWPR7 12.7mm及び同15.2mmの鋼材には対応済みであるものの、その他の鋼材には対応していないため、その場合は通常のリラクセーション品を使用します。 <u>内ケーブル（縦締め、横締め）鋼材の被覆PC鋼材を選定する際には、「道路橋示方書」、「設計施工マニュアル(案)[道路橋編]」及び「高耐久PC桁設計施工のポイント」の他</u>に下記資料を参考とします。 <ul style="list-style-type: none"> ・エポキシ樹脂を用いた高機能PC鋼材を使用するプレストレストコンクリート設計施工指針(案)⁴⁾ ・高強度PC鋼材を用いたPC構造物の設計施工指針⁵⁾ なお、これにより難しい場合には、基準および資料等に示された性能と同等以上の性能を有することの確認を行うこととします。</p>
参考文献	1) 土木学会：2012年制定 コンクリート標準示方書[施工編]，2013.3 2) 土木学会：エポキシ樹脂塗装鉄筋を用いる鉄筋コンクリートの設計施工指針[改訂版]，2003.10 3) プレストレストコンクリート工学会：PEシースを用いたPC橋の設計施工指針(案)，2015.8 4) 土木学会：エポキシ樹脂を用いた高機能PC鋼材を使用するプレストレストコンクリート設計施工指針(案)，2010.8 5) プレストレストコンクリート技術協会：高強度PC鋼材を用いたPC構造物の設計施工指針，2011.6

仕様の概要③

項目	材料
	<p>プレキャスト桁の横締めなどに用いる太径のシングルストランド（SWPR19 同 28.6mm など）は、現時点でその容量に相当する被覆PC鋼材が無く、代替品として高強度PC鋼材を使用した製品なども開発されているため、最新の市場の情報を確認のうえ適切に鋼材選定を行います。</p> <p>【外ケーブル】 箱桁橋に使用する外ケーブルは2重防食PC鋼材を標準とします。 外ケーブルに使用する被覆PC鋼材は、内ケーブルに使用する被覆PC鋼材に準拠した製品を用いることを標準とします。なお、これにより難しい場合には、参考とする基準および資料等に示された性能と同等以上の性能を有することの確認を行うこととします。 樹脂等で防食加工した外ケーブルは、7本より線が独立して配置されるパラレルタイプと、7本より線を数本束ねて加工したマルチタイプに大別されます。 2重防食の方法には、エポキシ被覆鋼材の周囲をポリエチレン被覆したものや、亜鉛メッキ処理した鋼材の周囲をポリエチレンで保護したもの、アンボンドストランドの周囲をポリエチレンで保護したものなどがあります。</p> <p>【定着体】 飛来塩分対策区分S・Iに使用する防錆仕様定着体は、各定着工法が推奨する仕様に基づき支圧板等を防錆塗装した定着体とします。</p> <p>【グラウトキャップ】 グラウトキャップは、防錆塗装された鋼製グラウトキャップまたは樹脂製グラウトキャップとします。</p> <p>【プレグラウトPC鋼材】 プレグラウトPC鋼材は、「エポキシ樹脂を用いた高機能PC鋼材を使用するプレストレストコンクリート設計施工指針」¹⁾ 及び「PCグラウト&プレグラウトPC鋼材施工マニュアル」²⁾ に適合するものとします。</p>
参考文献	1) 土木学会：エポキシ樹脂を用いた高機能PC鋼材を使用するプレストレストコンクリート設計施工指針（案），2010.8 2) プレストレスト・コンクリート建設業協会：PCグラウト&プレグラウトPC鋼材施工マニュアル2013改訂版，2013.8

第2章 従来桁から仕様を変更する際の留意点

仕様変更の際の留意点①

項 目	塗装鉄筋への変更
	<p>【塗装鉄筋の配置】</p> <p>飛来塩分対策区分Sなど、<u>全て塗装鉄筋とする場合は</u>、組立筋や補強筋・グリッド筋も含め橋体内に配置される全ての鉄筋、及び地覆・壁高欄等直接凍結抑制剤に接する部材の鉄筋を塗装鉄筋とします。</p> <p><u>桁端部コンクリート塗装範囲内で一部塗装鉄筋とする場合は</u>、その対象を、ウェブや下フランジ（下床版）、上フランジ（上床版）の下面など、<u>最も外縁に位置する横断方向鉄筋、橋軸方向鉄筋、フック等が外縁と接する鉄筋、組立筋、段取り筋、壁高欄鉄筋（桁端部コンクリート塗装範囲）、及び被覆PC鋼材を使用する場合のグリッド筋</u>とします。</p> <p>以下にプレキャスト桁（PCコンポ橋）の塗装鉄筋配置例を示します。</p> <p>塗装鉄筋の配置範囲</p> <ul style="list-style-type: none"> ・最も外縁に位置する横断方向鉄筋（桁端塗装範囲） ・最も外縁に位置する橋軸方向鉄筋（端部セグメント） ・フック等が外縁と接する鉄筋、組立筋、段取り筋（桁端塗装範囲、橋軸方向に配置する段取り筋などは端部セグメント）  <p>「設計施工マニュアル（案）[道路橋編]」¹⁾より 具体的な配筋要領は「設計施工マニュアル（案）[道路橋編]」¹⁾を参照願います。</p>
参考文献	1) 東北地方整備局：設計施工マニュアル（案）[道路橋編] 平成 28 年 3 月

仕様変更の際の留意点②

項 目	PEシースへの変更及び被覆PC鋼材を用いる場合の確認事項
-----	------------------------------

PC鋼材やシースの仕様においてPEシースに変更する場合や、被覆PC鋼材を用いる場合の確認事項は、下表に示す本書各項を参照願います。

		普通PC鋼材	被覆PC鋼材
主ケーブル	PC鋼材のリラクセーション	-	3頁
	PC鋼材とPEシースの組合せ	7頁	8頁
	PEシースの接続	9頁	9頁
	PEシースの最小曲げ半径	9頁	9, 10頁
	摩擦係数	10頁	10頁
	PEシースの支持間隔	10頁	10頁
	セット量	-	10頁
横締め	PC鋼材のリラクセーション	-	3頁
	PEシースの接続	-	9, 14頁
	セット量	-	11頁
PC板	PC鋼材のリラクセーション	-	11頁

【PC鋼材とPEシースの組合せ】

鋼製シースからPEシースに変更する際には、PCグラウトが確実に充填できる様、空隙率を確保したシース径を選定することが重要であることから、普通PC鋼材とPEシースの組合せは下記のとおりとします。

■プレキャストセグメント桁，鋼材を先挿入する場所打ち桁

基本的に先挿入用の鋼製シースの呼び径と同径のPEシースを選択してよい

■鋼材を後挿入する場所打ち桁，箱形断面のプレキャストセグメント桁

後挿入用の鋼製シースの呼び径と同径のPEシースを用いることを目安とする

鋼材種別	鋼材 断面積 (mm ²)	PEシース			(参考：鋼製シース)			
		呼び径 (mm)	空隙率 (%)	ジョイント シース外径 (mm)	呼び径 (mm)	空隙率 (%)	ジョイント シース外径 (mm)	
マルチ ストランド	7S12.7	691.0	55 [55]	71 [71]	71~77 [71~77]	55 (58)	71 (74)	61 (70)
	12S12.7	1,184.5	65 [70]	64 [69]	80~85 [87~92]	65 (70)	64 (69)	71 (82)
	12S15.2	1,664.4	75 [80]	62 [67]	89~98 [96~103]	75 (80)	62 (67)	81 (92)
シングル ストランド	1S19.3	243.7	35 [35]	75 [75]	45~51 [45~51]	28 (32)	60 (70)	34 (38)
	1S21.8	312.9	35 [38]	67 [72]	45~51 [50~53]	35 (38)	67 (72)	41 (44)
	1S28.6	532.4	45 [45]	67 [67]	57~63 [57~63]	45 (45)	67 (67)	51 (51)

PEシースの[]内は場所打ち桁で後挿入する場合の目安

鋼製シースの()内は後挿入用

PEシースを用いたPC橋の設計施工指針(案)¹⁾より

参考文献	1) プレストレストコンクリート工学会：PEシースを用いたPC橋の設計施工指針(案)，2015.8
------	---

仕様変更の際の留意点③

項目	PEシースへの変更						
<p>主方向に被覆PC鋼材を使用する場合のPEシースの組合せは、普通PC鋼材を使用する場合と空隙率が概ね同等となる下記の「被覆PC鋼材とPEシースの暫定仕様」を用いることが望ましい。</p>							
被覆PC鋼材とPEシースの暫定仕様							
		12S12.7			12S15.2		
		場所打ち桁、箱形断面のプレキャストセグメント桁	場所打ち桁	プレキャストセグメント桁	場所打ち桁、箱形断面のプレキャストセグメント桁	場所打ち桁	プレキャストセグメント桁
		後挿入	先挿入	後挿入	後挿入	先挿入	後挿入
被覆PC鋼材断面積(mm ²)		1630			2230		
PEシース	呼び径(mm)	[80]	75	75	[90]	85	85
	空隙率(%)	[68]	63	63	[65]	61	61
<p>注) []内は目安。 上記の空隙率は、「普通PC鋼材とPEシースの組合せ」の空隙率と概ね同等。</p>							
<p>なお、被覆PC鋼材とPEシースを組合せて使用した事例が少ないため、上記の暫定仕様を適用する場合にはPCグラウトの充填性とPC鋼材の挿入性を予め確認する必要があります。</p>							
<p>PCグラウトの充填性は、「PCグラウトの設計施工指針」¹⁾に基づく過去の良好な充填の実物大試験の事例から、そこに示された範疇のPEシース径・空隙率・下り勾配角度・PCグラウト種類であれば、十分な充填を確保することが可能な条件であることが確認できます。</p>							
<p>現在、「エポキシ樹脂を用いた高機能PC鋼材を使用するプレストレストコンクリート設計施工指針(案)」²⁾に基づく被覆PC鋼材を用いた良好な充填の実物大試験の事例は以下となっています。(試験結果の詳細は資料1を参照願います)</p>							
被覆PC鋼材種別	PCグラウト種類	PEシース径	空隙率	下り勾配角度			
12S12.7	超低粘性型	φ70	57.7%	15°			
		φ75	63.1%	0°	7°	15°	
		φ80	67.6%	15°			
	高粘性型	φ75	63.1%	0°	7°		
		φ80	67.6%	15°			
<p>良好な充填が確認された過去の実績と同等であることが確認されない場合は、実際の構造物と同等のケーブル構造条件およびPCグラウトの施工条件を反映した実物大試験を実施する必要があるため、発注者と協議してください。</p>							
<p>被覆PC鋼材の挿入性は過去の実績や試験から確認してください。</p>							
<p>構造細目の条件等により上記の暫定仕様を適用することで断面変更が生じ大規模な設計の見直しが必要となるなど、橋全体に影響を及ぼす場合は、過去の施工実績に基づき細径のPEシースを使用できるものとします。</p>							
<p>この場合、上記のPCグラウトの充填性の確認を行う必要があるとともに、被覆PC鋼材の挿入方法をPC鋼材メーカーと検討しておく必要があります。</p>							
参考文献	<p>1) プレストレストコンクリート工学会：PCグラウトの設計施工指針—改訂版—，2012.12 2) 土木学会：エポキシ樹脂を用いた高機能PC鋼材を使用するプレストレストコンクリート設計施工指針(案)，2010.8</p>						

仕様変更の際の留意点④

項 目	P E シースへの変更									
	<p>P E シースは鋼製シースよりも外径が大きく、ジョイントシース部分での外径の増大も無視することができません。</p> <p>このため P E シースの外径が増大することによって、当初のウェブ厚に収まらずウェブ厚を厚くする必要が生じる場合や、片持ち架設の箱桁などでケーブル間隔を変更する必要が生じ、その影響でケーブル高さが変更となる場合が考えられます。</p> <p>このような場合は設計計算自体の見直しが必要となるため、発注者と対応を協議してください。</p> <p>【P E シースの接続部品】</p> <p>P E シースの標準部は、一般に 5.0m の定尺長に切断された製品であるため、これらを「ジョイントシース」、「定着具接続シース」、「セグメントカップラーシース」からなる接続部品で接続して使用します。</p> <p>P E シースの接続部品は、P E シース標準部や定着具と組み合わせた状態で、可とう性や水密性についての所定の試験によって性能が確認された製品を用いる必要があります（横締めケーブルに被覆 P C 鋼材を用いる場合を除く）。</p> <p>また、<u>接続部に巻く防水テープについても、P E シースの接続部において適切な遮蔽性能を確保する上で重要な材料であることから、前述の試験に使用された防水テープと同じ製品を用います。</u></p> <p>接続部品の品揃えは P E シースの製品ごとに異なります。とくに、プレキャストセグメント桁においてその使用が必須となったセグメントカップラーシースは、現状取り揃えている製造会社が限られているため、使用する P E シース径に対応する接続部品の有無を予めよく確認しておく必要があります。</p> <p>【P E シースの最小曲げ半径】</p> <p>普通 P C 鋼材と P E シースの最小曲げ半径の標準値を以下に示します。</p> <table border="1" data-bbox="359 1393 1310 1518"> <thead> <tr> <th>P C 鋼材種別</th> <th>P C 鋼材配置方向</th> <th>最小曲げ半径 (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>マルチストランド</td> <td>主方向ケーブル</td> <td>200D^{※1}</td> </tr> <tr> <td>シングルストランド</td> <td>横締めケーブル</td> <td>100D^{※2}</td> </tr> </tbody> </table> <p>D : P E シースの呼び径 (mm)</p> <p>※1 片引き長 105m を想定した「すり減り抵抗性試験」の結果から定めた標準値 ※2 片引き長 20m を想定した「すり減り抵抗性試験」の結果から定めた標準値</p> <p style="text-align: right;">P E シースを用いた P C 橋の設計施工指針(案) ¹⁾より</p> <p>P E シースの最小曲げ半径は、曲線部における P C 鋼材と P E シースの接触により生じるすり減りの影響が大きいことが知られているため、鋼製シースに比べ大きな値となっています。</p> <p><u>通常、鋼製シースを用いた設計では、最小曲げ半径は 100D が用いられています。</u></p> <p><u>これを P E シースに変更する場合、P E シースの最小曲げ半径の標準値は前頁のとおり 200D となっていることからケーブル配置を変更する必要が生じる可能性があります。</u></p>	P C 鋼材種別	P C 鋼材配置方向	最小曲げ半径 (mm)	マルチストランド	主方向ケーブル	200D ^{※1}	シングルストランド	横締めケーブル	100D ^{※2}
P C 鋼材種別	P C 鋼材配置方向	最小曲げ半径 (mm)								
マルチストランド	主方向ケーブル	200D ^{※1}								
シングルストランド	横締めケーブル	100D ^{※2}								
参考文献	<p>1) プレストレストコンクリート工学会：P E シースを用いた P C 橋の設計施工指針(案)，2015.8</p> <p>2) 土木学会：エポキシ樹脂を用いた高機能 P C 鋼材を使用するプレレストレストコンクリート設計施工指針(案)，2010.8</p>									

仕様変更の際の留意点⑤

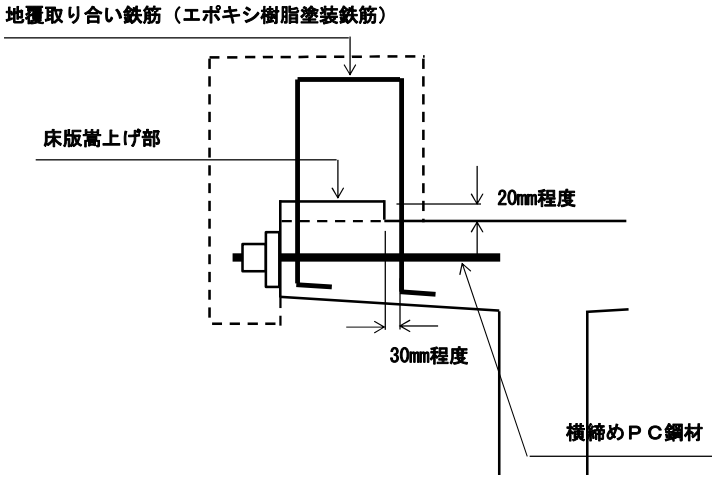
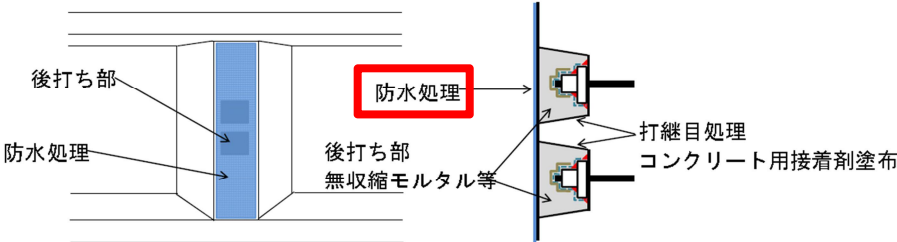
項 目	P E シースへの変更，被覆 P C 鋼材を用いる場合の確認事項																
	<p>このような場合，適用するケーブル長によっては 100D でも「すり減り抵抗性試験」に合格し，最小曲げ半径を変更せずに適用できる場合がありますので，最新のメーカー各社の試験結果を確認して材料選定を行う必要があります。</p> <p>主方向に被覆 P C 鋼材を使用する場合においても，適用するケーブル長に応じた被覆 P C 鋼材を用いた「すり減り抵抗性試験」の結果から，使用可能な製品を選定します。</p> <p>【P E シースの摩擦係数】 普通 P C 鋼材と P E シースの摩擦係数を以下に示します。</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>鋼材種類</th> <th>μ</th> <th>λ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>P C 鋼より線</td> <td>0.30</td> <td>0.004</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: right;">P E シースを用いた P C 橋の設計施工指針(案) ¹⁾より</p> <p>なお，主方向に被覆 P C 鋼材を使用する場合は，「エポキシ樹脂を用いた高機能 P C 鋼材を使用するプレストレストコンクリート設計施工指針(案)」²⁾において，試験により摩擦係数を求めるか，過去の実績等を参考に別途定める必要があるとされています。</p> <p>【P E シースの支持間隔】 普通 P C 鋼材と P E シースの最大支持間隔の標準値を以下に示します。</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>P C 鋼材種別</th> <th>シース呼び径 (mm)</th> <th>最大支持間隔 (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>マルチストランド</td> <td>φ95 未満</td> <td>750</td> </tr> <tr> <td>シングルストランド</td> <td>—</td> <td>500</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: right;">P E シースを用いた P C 橋の設計施工指針(案) ¹⁾より</p> <p>なお，「P E シースを用いた P C 橋の設計施工指針(案)」¹⁾の支持間隔の算出式に基づき，製造会社が発行する試験成績表に記載された剛性値をもとに，使用者が最大支持間隔を算出した場合はこの限りではありません。</p> <p>主方向に被覆 P C 鋼材を使用する場合においても，この算出方法により，上表の標準値が適用可能であることを確認しています。但し，普通 P C 鋼材と同様に使用者が最大支持間隔をこの算出方法から設定する場合は，この限りではありません。</p> <p>【主ケーブルに被覆 P C 鋼材を用いる場合の確認事項】 主方向に主として使用する 12S12.7mm 及び 12S15.2mm の鋼材は，容量とリラクセーションの点では普通 P C 鋼材に対して同等の被覆 P C 鋼材が現存しています。</p> <p>しかしながら，被覆 P C 鋼材と P E シースを組合せて用いる場合，「P E シースとの摩擦係数」と「P E シースの曲げ半径」を試験や過去の実績等から定める必要があるため，従来桁から仕様を変更して使用する場合にはこの点に留意する必要があります。</p> <p>また影響は小さいながらも，被覆 P C 鋼材は普通 P C 鋼材に比べセット量が大きくなる傾向があるため，必要なプレストレス量が導入可能であるかを確認する必要があります。</p>		鋼材種類	μ	λ	P C 鋼より線	0.30	0.004	P C 鋼材種別	シース呼び径 (mm)	最大支持間隔 (mm)	マルチストランド	φ95 未満	750	シングルストランド	—	500
鋼材種類	μ	λ															
P C 鋼より線	0.30	0.004															
P C 鋼材種別	シース呼び径 (mm)	最大支持間隔 (mm)															
マルチストランド	φ95 未満	750															
シングルストランド	—	500															
参考文献	1) プレストレストコンクリート工学会：P E シースを用いた P C 橋の設計施工指針(案)，2015.8																

仕様変更の際の留意点⑤

項 目	被覆PC鋼材を用いる場合の確認事項
	<p>【横締めケーブルに被覆PC鋼材を用いる場合の確認事項】</p> <p><u>横方向に用いられるシングルストランドタイプの鋼材は、普通PC鋼材に対して容量やリラクセーションが同等の被覆PC鋼材が市場に無い場合が多く、また普通PC鋼材に比べセット量が大きくなる傾向にあることが、プレストレスの導入量に影響を及ぼす可能性があります。</u></p> <p>このため、<u>使用するシングルストランドタイプの被覆PC鋼材の容量・リラクセーション値・セット量から、必要なプレストレス量が導入可能な鋼材配置を算出する必要があります。</u></p> <p>なお、セット量増大対策として以下に示す様なセット量補正型の定着装置を使用する際は、通常の定着装置より部材寸法が大きくなるため切欠き寸法や水切り幅を調整するなどしてかぶりを確保します。</p> <div data-bbox="451 862 1177 1064" style="text-align: center;"> </div> <p style="text-align: center;">セット量補正型の定着装置の例</p> <p>現地状況により上記の対応を行っても必要とするプレストレス量が導入できない場合は、別の対応が必要となるため、発注者と対応を協議してください。</p> <p>【PC板のPC鋼材に被覆PC鋼材を用いる場合の確認事項】</p> <p><u>PCコンポ橋のPC板に使用されるIS9.3以下のPC鋼材は、現状低リラクセーション品が市場に存在していません。このため、使用する被覆PC鋼材のリラクセーション値を用いて、当初設計の鋼材本数で必要なプレストレス量が導入可能であるかを検討します。</u></p>
参考文献	

第3章 施工上の留意点

プレキャスト桁・場所打ち桁共通の留意点

項目	主桁製作, 定着部の防錆
<p>【主桁製作時の配慮】</p> <p>横締めPC鋼材定着具への路面からの雨水浸入を防止するため、主桁製作段階で地覆下部の床版コンクリートを嵩上げし、段差を設けておきます。</p>  <p>【横締め定着体後埋め部の防錆処理】</p> <p>横締めPC鋼材定着のために主桁に設けた側面の切欠き部分を後埋めする場合には、打継目処理としてコンクリート用接着剤を塗布した後に無収縮モルタル等で後埋めし、防水剤を塗布します。</p> 	
参考文献	

プレキャスト桁の留意点①

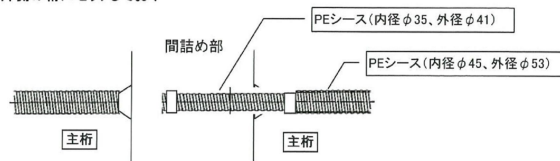
項 目 横締めPC鋼材の組立, PCグラウト

【横締めケーブルのPEシースの接合】

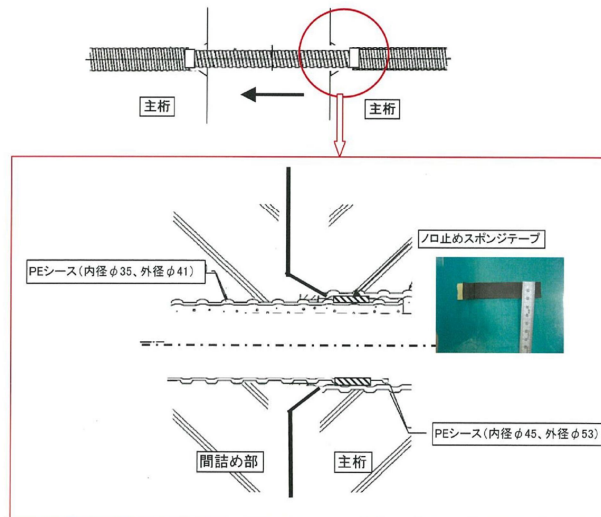
プレキャスト桁の横締めPEシースの間詰め部接合には、コンクリート打設に伴うセメントペースト浸入防止対策を施すものとします。対策例を下図に示します。

なお、メーカーによっては、桁に埋込むシースの外径と架設後に取付けるシースの内径の差が極めて小さいもの（主桁埋設シース内径φ45、間詰め部シース外径φ44）もあるため、予め施工性を確認しておく必要があります。

1. 予めPEシース（内径φ35）に隙間テープを重複して貼り、片側の桁にセットしておく



2. 桁セット後、間詰め部のシースをスライドさせ反対側のPEシースに挿入する。



PEシース接合部のセメントペースト浸入防止対策例

【横締めPC鋼材の挿入】

プレキャスト桁の横締めPC鋼材には、太径の被覆PC鋼材が用いられる場合が考えられます。

太径の被覆PC鋼材は、堅く曲がりにくい鋼材となるため、回転台を使用した従来の挿入方法がとれなくなることが考えられ、その現場の作業条件から適切な挿入方法を予め検討しておく必要があります。

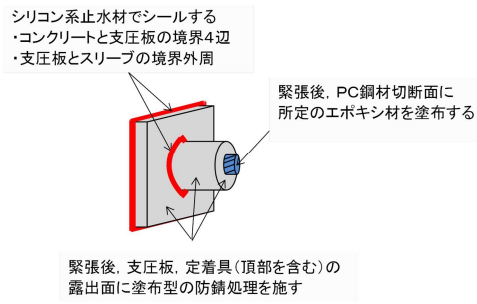
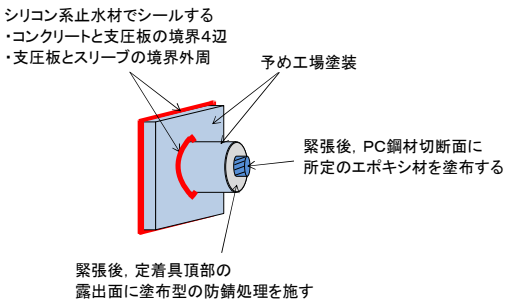
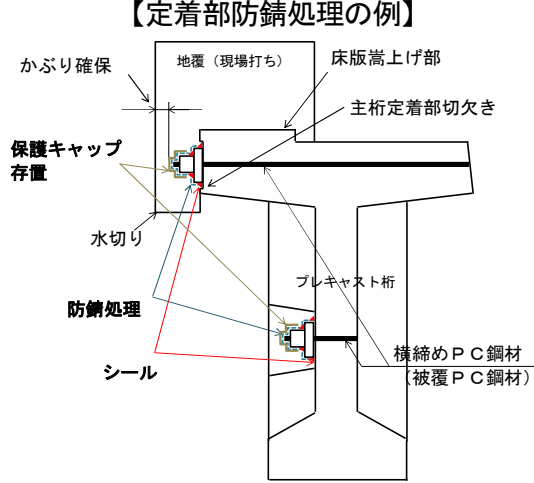
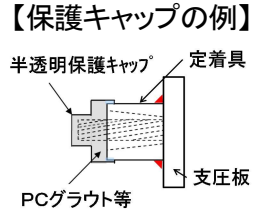
【横締めケーブルのグラウト注入速度】

横締めケーブルは直線的かつ細径で注入量が少ないことから、グラウト注入流量が「PCグラウトの設計施工指針」¹⁾に記された標準的な範囲を逸脱しない様注意します。

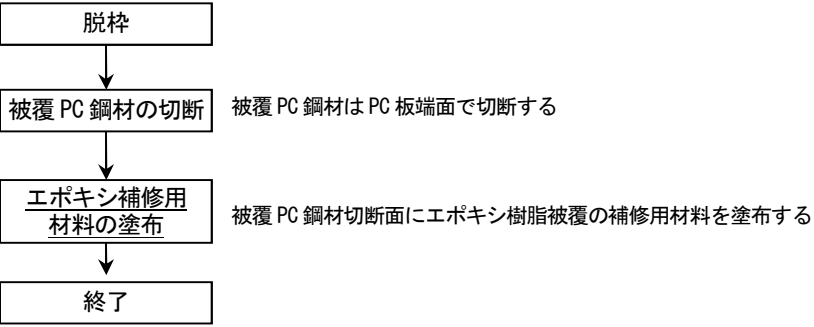
参考文献

- 1) プレストレストコンクリート工学会：PCグラウトの設計施工指針—改訂版一，2012.12

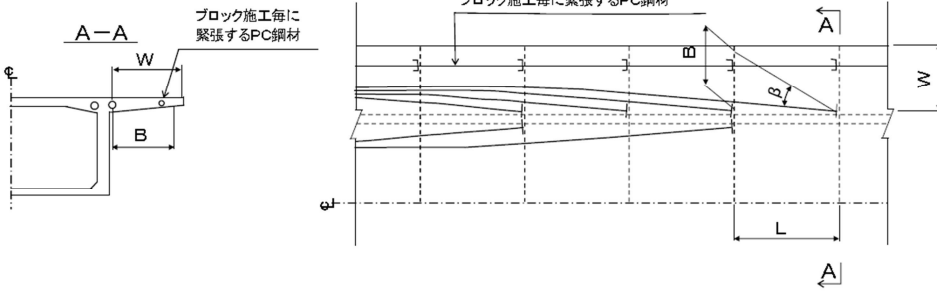
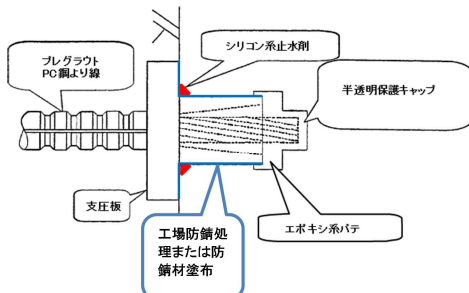
プレキャスト桁の留意点②

項目	横締めPC鋼材定着部の防錆処理
	<p>プレキャスト桁の横締めPC鋼材定着部には以下の防錆処理を施します。</p> <p>具体的には、<u>横締めPC鋼材の支圧板・定着具・PC鋼材端部の露出面に防錆処理を施し、PCグラウト用の保護キャップを存置し、シリコン系止水材にてコンクリートと支圧板の境界4辺、支圧板とスリーブの境界外周をシールするもの</u>とします。被覆PC鋼材を用いた場合の一例を以下に示します。</p> <p>緊張終了後、PC鋼材切断面に被覆PC鋼材の被覆と同等の防錆材料（エポキシ補修用材料）を塗布します。</p> <p>その後、現場で防錆材を塗布する場合、防錆材料は「構造物施工管理要領」¹⁾の「鉄筋防錆材の性能照査項目」（資料2）の規定を満たす材料を選択するものとします。一方、予め工場で防錆処理された支圧板及び定着具を使用する場合、各メーカーの仕様（資料3）に基づくこととします。また、工場で防錆処理されていない露出面は、PC鋼材切断面と同じ防錆材料もしくは資料2に適合する材料を現場で塗布します。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="430 1030 662 1064" style="text-align: center;"> <p>《現場塗布の場合》</p>  <p>シリコン系止水材でシールする ・コンクリートと支圧板の境界4辺 ・支圧板とスリーブの境界外周</p> <p>緊張後、PC鋼材切断面に 所定のエポキシ材を塗布する</p> <p>緊張後、支圧板、定着具（頂部を含む）の 露出面に塗布型の防錆処理を施す</p> </div> <div data-bbox="941 1030 1348 1064" style="text-align: center;"> <p>《工場防錆処理部材使用の場合》</p>  <p>シリコン系止水材でシールする ・コンクリートと支圧板の境界4辺 ・支圧板とスリーブの境界外周</p> <p>予め工場塗装</p> <p>緊張後、PC鋼材切断面に 所定のエポキシ材を塗布する</p> <p>緊張後、定着具頂部の 露出面に塗布型の防錆処理を施す</p> </div> </div> <div style="text-align: right; margin-top: 20px;"> <p>【定着部防錆処理の例】</p>  </div> <div style="text-align: right; margin-top: 20px;"> <p>【保護キャップの例】</p>  </div>
参考文献	<p>1) 東日本高速道路株式会社, 中日本高速道路株式会社, 西日本高速道路株式会社： 構造物施工管理要領（平成25年7月版）</p>

プレキャスト桁の留意点③

項 目	P C板のP C鋼材切断面の処理						
	<p>P Cコンポ橋のP C板のP C鋼材切断面の処理方法は、以下の要領で行うことにします。 具体的には以下のとおりとします。</p> <p>■施工フロー</p>  <pre> graph TD A[脱枠] --> B[被覆 PC 鋼材の切断] B --- C[被覆 PC 鋼材は PC 板端面で切断する] B --> D[エポキシ補修用材料の塗布] D --- E[被覆 PC 鋼材切断面にエポキシ樹脂被覆の補修用材料を塗布する] D --> F[終了] </pre> <p>使用材料の選定要領</p> <table border="1" data-bbox="344 1016 1286 1104"> <thead> <tr> <th>工程</th> <th>使用材料</th> <th>材料の選定</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>エポキシ補修用材料の塗布</td> <td>補修用材料</td> <td>「エポキシ樹脂を用いた高機能P C鋼材を使用するプレストレストコンクリート設計施工指針（案）」¹⁾に適合するもの</td> </tr> </tbody> </table>	工程	使用材料	材料の選定	エポキシ補修用材料の塗布	補修用材料	「エポキシ樹脂を用いた高機能P C鋼材を使用するプレストレストコンクリート設計施工指針（案）」 ¹⁾ に適合するもの
工程	使用材料	材料の選定					
エポキシ補修用材料の塗布	補修用材料	「エポキシ樹脂を用いた高機能P C鋼材を使用するプレストレストコンクリート設計施工指針（案）」 ¹⁾ に適合するもの					
参考文献	1) 土木学会：エポキシ樹脂を用いた高機能P C鋼材を使用するプレストレストコンクリート設計施工指針（案），2010.8						

場所打ち桁の留意点

項目	張出し床版部の補強、緊張時の温度、横締め定着部の防錆
	<p>【張出し床版先端部のPC鋼材配置】</p> <p>片持ち架設工法において、施工ブロック長が短く張出し床版長が長い場合、施工時の打継目部で張出し床版先端まで有効にプレストレスが導入されない状態が考えられます。</p> <p><u>このような状態が想定される場合には、張出し床版先端付近にブロック毎または数ブロック毎に緊張できる補強PC鋼材を配置します。</u></p>  <p>補強PC鋼材配置の例（設計施工マニュアル（案）[道路橋編]¹⁾より）</p> <p>【緊張力導入時の温度】</p> <p>「PEシースを用いたPC橋の設計施工指針(案)」²⁾では、緊張時にPEシースに接するコンクリートの温度が50℃よりも高温になることが予想される場合には、別途温度条件を変更して「すり減り抵抗性試験」を実施するか、<u>コンクリートの温度が「すり減り抵抗性試験」で所定の性能が得られることが確認されている温度（50℃）以下に低下してから、緊張作業を行う等の配慮が必要であるとされています。</u></p> <p>【プレグラウトPC鋼材定着部の防錆処理】</p> <p>プレグラウトPC鋼材の取扱い方法は、「PCグラウト&プレグラウトPC鋼材施工マニュアル」³⁾に記された事項を遵守します。</p> <p>なお、横締め定着体は予め工場にて防錆処理を施されたもの、若しくは現場にて防錆材を塗布するものとします。</p> <p>この際、防錆の材料はプレキャスト桁の方法に準ずることとし、防錆を行う箇所は以下の図のとおりとします。</p> 
<p>参考文献</p>	<p>1) 東北地方整備局：設計施工マニュアル（案）[道路橋編] 平成28年3月 2) プレストレストコンクリート工学会：PEシースを用いたPC橋の設計施工指針（案），2015.8 3) プレストレスト・コンクリート建設業協会：PCグラウト&プレグラウトPC鋼材施工マニュアル2013改訂版，2013.8</p>

参 考 資 料

- 資料1. PCグラウト実物大試験報告書（抜粋）
- 資料2. 鉄筋防錆材
- 資料3. 定着具メーカーでのPC鋼材定着部の防錆処理
- 資料4. プレキャストPC桁における空気量と耐凍害性に関する文献

20170306 版

PC グラウト実物大試験

報 告 書 （抜粋）

平成 2 9 年 2 月

一般社団法人 プレストレスト・コンクリート建設業協会
東北支部 PC 橋長寿命化委員会

目次

1. 目的	1
2. 実験概要	2
2. 1 実験方針	2
2. 2 実験ケース	2
2. 3 PCグラウト	4
3. 実験結果	6
3. 1 実験環境	6
3. 2 品質管理試験	7
3. 3 PCグラウト注入	12
3. 4 硬化後充填確認	17
4. 考察	24
4. 1 注入時の挙動について	24
4. 2 注入完了後の加圧の効果について	28
4. 3 未充填部の発生要因について	29
4. 4 被覆PC鋼材とPEシースの組合せについて	33
5. まとめ	36
【資料】	
PC鋼材カタログ	37
PEシースカタログ	43
高粘性グラウトカタログ	52
超低粘性グラウトカタログ	57

(END 61)

1. 目的

高耐久 PC 桁のポストテンション方式では PE シースと被覆 PC 鋼材を用いて設計が行われる。普通 PC 鋼材と PE シースの組合せについては、プレストレストコンクリート工学会から「PE シースを用いた PC 橋の設計施工指針(案), 2015.8」¹⁾ (以下, PE シース指針案) が発刊されている。しかしながら, PE シースと被覆 PC 鋼材の組合せについての指針類は見当たらない。東北支部では, 上記 PE シース指針案を参考に, シース内空隙率を同程度とした PE シース径の暫定仕様を取り決めた (図 1-1 参照) が, 被覆 PC 鋼材 12S12.7 と PE シース φ75mm の組合せで下り勾配 7° の実物大実験結果があるものの, それ以外については確認されていない。そこで, 水尻橋上部工事で実施される実物大グラウト試験に加え, 実構造物で下り勾配が最大と考えられる 15° についても確認実験を実施することとした。また, PE シース径が大きくなることによる部材寸法の変更を極力回避するため, 従来の空隙率を若干下回る PE シース径 φ70mm についても検討することとした。

主方向に被覆 PC 鋼材を使用する場合の PE シースの組合せは, 普通 PC 鋼材を使用する場合と空隙率が概ね同等となる下記の「被覆 PC 鋼材と PE シースの暫定仕様」を順守することが望ましい。

【被覆 PC 鋼材と PE シースの暫定仕様】

		12S12.7			12S15.2		
		場所打ち桁、箱形断面のプレキャストセグメント桁	場所打ち桁	プレキャストセグメント桁	場所打ち桁、箱形断面のプレキャストセグメント桁	場所打ち桁	プレキャストセグメント桁
		後挿入	先挿入	後挿入	後挿入	先挿入	後挿入
被覆 PC 鋼材断面積(mm ²)		1630			2230		
PE シース	呼び径(mm)	[80]	75	75	[90]	85	85
	空隙率(%)	[68]	63	63	[65]	61	61

注) []内は目安。

上記の空隙率は、「普通 PC 鋼材と PE シースの組合せ」の空隙率と概ね同等。

なお, 被覆 PC 鋼材と PE シースを組合せて使用した事例が少ないため, 上記の暫定仕様を適用する場合においては以下を確認する必要があります。

- 「PC グラウトの設計施工指針」に基づき PC グラウトの充填性が以下により確認されていること
 - ・ 既存の実物大試験結果と, 実際に使用する被覆 PC 鋼材種別, PE シース径, 被覆 PC 鋼材の下り勾配角度, グラウト混和材の組合せが同等である
 - ・ 既存の実物大試験結果が得られていない場合は, その条件に適した実物大試験を行い確認する
- ※現在保有する実物大試験の結果は, 被覆 PC 鋼材 12S12.7・PE シース径 φ75・下り勾配 7° の一例のみです。

- 被覆 PC 鋼材の挿入性が以下により確認されていること
 - ・ 過去の実績や試験により挿入が可能であることを確認済みである

図 1-1 PC 建協東北支部「被覆 PC 鋼材と PE シースの暫定仕様」に関する記述案

2. 実験概要

2.1 実験方針

本実験は、プレストレストコンクリート工学会発刊「PC グラウトの設計施工指針—改訂版—(平成 24 年 12 月)」(以下、PC グラウト指針)²⁾における【PC グラウトの充填性に関する実物大試験方法】に従って実施する。

2.2 実験ケース

実験ケースを表 2-1 に、ケーブル形状を図 1-1～図 1.2 に示す。H70～L80 の 6 ケースは、過去に実施された普通 PC 鋼材 12S12.7 の実物大実験にて「完全充填」が確認されている中で最も先流れが生じる下り勾配 15° (直線区間 4.0m) の条件とし、グラウト種別 (高粘性、超低粘性) 及びシース内径 (φ 70, φ 75, φ 80) を変化させた。L70-5 は水尻橋上部工事で計画されている実物大グラウト実験である。

なお、ケーブル形状および排気口の位置は PC グラウト指針²⁾に掲載されている過去の実物大実験を踏襲し、PE シースは半透明のものを用いることにした。

表 2-1 実験ケース

ケーブル 番号	鋼材 種類	グラウト 種別	シース内径 (mm)	ケーブル 下り勾配	排気口の位置
H70	12S12.7 被覆 PC 鋼 材 ※ ¹	高粘性	φ 70	15°	0.4m, 1.4m
H75			φ 75		0.4m, 1.4m
H80			φ 80		0.4m, 1.4m
L70		超低粘性	φ 70		0.0m, 0.2m
L75			φ 75		0.0m, 0.2m
L80			φ 80		0.0m, 0.2m
L70-5			φ 70	5° 51' 46" (5.86°)	0.0m, 0.5m

※1 被覆 PC 鋼材は、内部充てん型エポキシ樹脂被覆 PC 鋼より線 (ECF ストランド) の付着型とする。

○高粘性型
下り勾配 15°

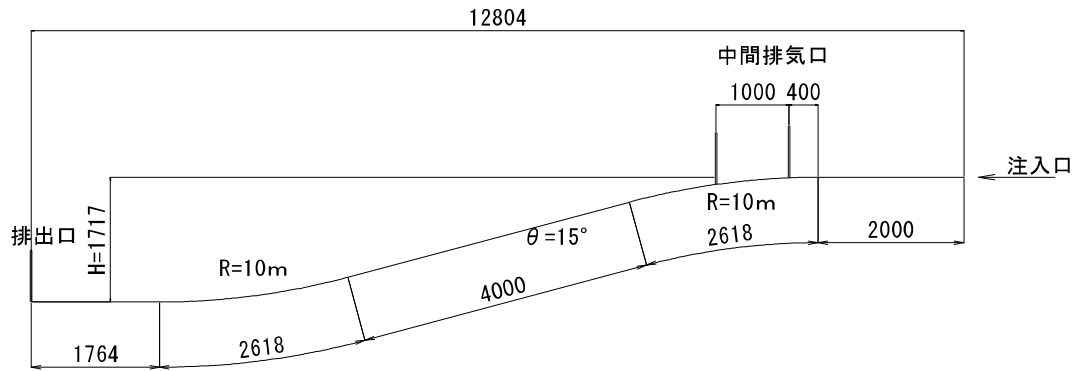
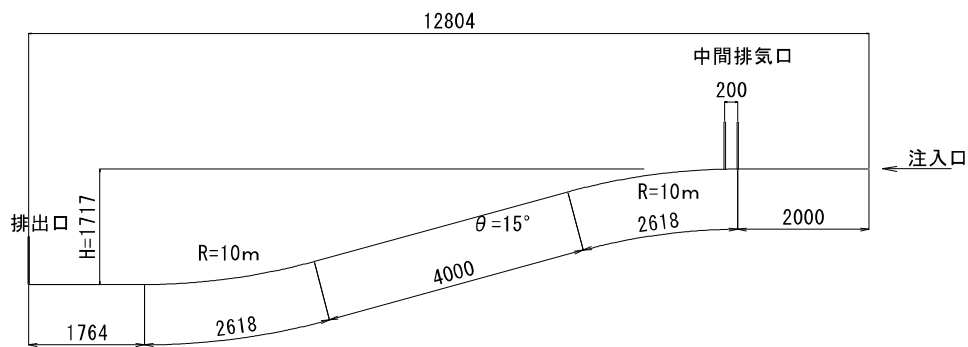


図 1-1 ケーブル形状図 (高粘性グラウト)

○超低粘性型
下り勾配 15°



下り勾配 5° 51' 46"

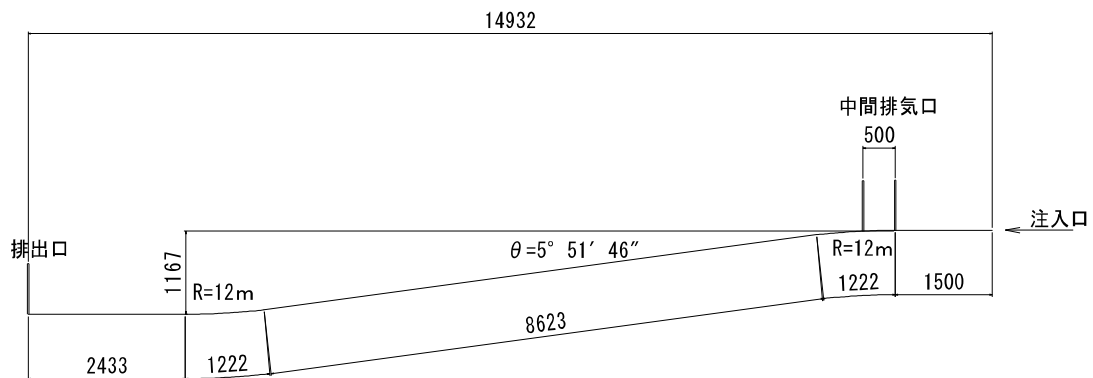


図 1-2 ケーブル形状図 (超低粘性グラウト)

2.3 PC グラウト

1) PC グラウト材料

表 2-2 PC グラウト使用材料（高粘性グラウト）

	種別	製造会社名
セメント	普通ポルトランドセメント	太平洋セメント（株）
混和剤	マスターフロー152	BASF ジャパン（株）
水	上水道水	

表 2-3 PC グラウト使用材料（超低粘性グラウト）

	種別	製造会社名
セメント+混和剤	ハイゾエクター Premix-AD	太平洋マテリアル（株）
水	上水道水	

2) PC グラウト配合

表 2-4 PC グラウト配合（高粘性グラウト）

	水セメント比	水	セメント	混和剤
1m ³ 当り	42.5%	563 kg	1341 kg	13410g
1 バッチ当り		32.2 kg	76.605 kg	750g

※セメントは 10 袋平均 25.535 kgを採用

表 2-5 PC グラウト配合（超低粘性グラウト）

	水セメント比	水	プレミックス材	混和剤
1m ³ 当り	36%	527 kg	1465 kg	—
1 バッチ当り		27 kg	75 kg	—

3) 練混ぜ及び注入方法

PC グラウトの材料投入順序と練混ぜ時間は以下とする。

①高粘性

水 → 混和剤 → セメント → 練混ぜ（3 分間）

②超低粘性

水 → プレミックス材 → 練混ぜ（2 分間）

4.4 被覆 PC 鋼材と PE シースの組合せについて

今回の実物大実験（被覆 PC 鋼材）の結果を表 4-2～4-3 に示す。また、過去に行われた実物大試験として、大沢第 3 橋の事例⁴⁾を表 4-4～4-5 に示す。

表 4-2 東北支部 H29.1 注入試験（高粘性グラウト）

ケーブル番号	鋼材種類	ダブ外内径	空隙率	ダブ外長	下り勾配	注入流量	ポンプ圧力	注入結果
H70	被覆 12S12.7	φ 70	57.7%	13m	下り 15°	10L/分	0.95～ 1.15MPa	不完全
H75		φ 75	63.1%					不完全
H80		φ 80	67.6%					完全充填

表 4-3 東北支部 H29.1 注入試験（超低粘性グラウト）

ケーブル番号	鋼材種類	ダブ外内径	空隙率	ダブ外長	流動勾配	注入流量	ポンプ圧力	注入結果
L70	被覆 12S12.7	φ 70	57.7%	13m	下り 15°	15L/分	0.15～ 0.4MPa	完全充填
L75		φ 75	63.1%					完全充填
L80		φ 80	67.6%					完全充填
L70-5		φ 70	57.7%	15.067m	下り 5.86°			不完全

表 4-4 大沢第 3 橋 H27.8 注入試験（高粘性グラウト）⁴⁾

ケーブル番号	鋼材種類	ダブ外内径	空隙率	ダブ外長	流動勾配	注入流量	ポンプ圧力	注入結果
1	被覆 12S12.7	φ 75	63.1%	35.011m	下り	10L/分	0.95～ 1.15MPa	完全充填
2					上り 0-7°			完全充填

※ケーブル 1 は定着部からの注入、ケーブル 2 は支間中央部からの注入

表 4-5 大沢第 3 橋 H27.8 注入試験（超低粘性グラウト）⁴⁾

ケーブル番号	鋼材種類	ダブ外内径	空隙率	ダブ外長	流動勾配	注入流量	ポンプ圧力	注入結果
3	被覆 12S12.7	φ 75	63.1%	35.011m	下り	10L/分	0.15～ 0.4MPa	完全充填
4					上り 0-7°			完全充填

※ケーブル 3 は定着部からの注入、ケーブル 4 は支間中央部からの注入

【大沢第3橋注入試験の参考図】

(1) シース配管形状

実物大試験を行うシース配管形状は、主ケーブルは大沢第3橋A1-P1径間のG4桁C1ケーブル、横締めケーブルは不動沢橋床版横締めケーブルと同様の形状とする。以下に形状詳細図を示す。



【主ケーブル用シース配管形状図】

(2) 注入口、排出口

主ケーブル、横締めケーブルの注入口、排出口の位置図を以下に示す。

○ 定着部からの注入



○ 支間中央部からの注入



【主ケーブル用シース注入口、排出口位置図】

また、図4-6及び図4-7は、今回の実物大実験（被覆PC鋼材）及び過去に行われた実物大試験（被覆PC鋼材⁴⁾、普通PC鋼材²⁾）を、空隙率と勾配との関係として整理したものである。これより、以下のことが確認された。

- ① 被覆PC鋼材のグラウト注入結果は、空隙率で整理すると、普通PC鋼材の注入結果と概ね同じ傾向を示した。
- ② 超低粘性グラウトに関しては、空隙率62%以上の範囲ですべて完全充填となっている。一方、今回の実物大実験のうち、下り勾配15°では完全充填（空隙率57.7%、63.1%、67.6%）、下り勾配5.86°（空隙率57.7%）で残留空気が認められた。したがって、超低粘性グラウトを用いる場合、被覆PC鋼材とPEシースの組合せは、少なくとも空隙率62%を確保することが望ましい。

③ 高粘性グラウトに関しては、過去の実物大実験においても空隙率 62%以上の範囲で残留空気が生じるケースがあった。今回の実験結果と合わせ完全充填が得られる閾値は式(2)~(3)として推定された。

$$\text{空隙率 } V = 0.0567s^2 - 0.688s + 65.2(\%) \quad (7^\circ \leq s \leq 15^\circ) \quad (2)$$

$$\text{空隙率 } V = 63.1(\%) \quad (s \leq 7^\circ) \quad (3)$$

s : 下り勾配 (°)

以上より、高粘性グラウトに関しては下り勾配が小さい (7° 程度以下) 場合は空隙率を 63%以上確保し、下り勾配が大きくなるほど空隙率を大きく取る必要がある。下り勾配 15° 以下の範囲であれば、空隙率 68%以上を確保することが望ましい。

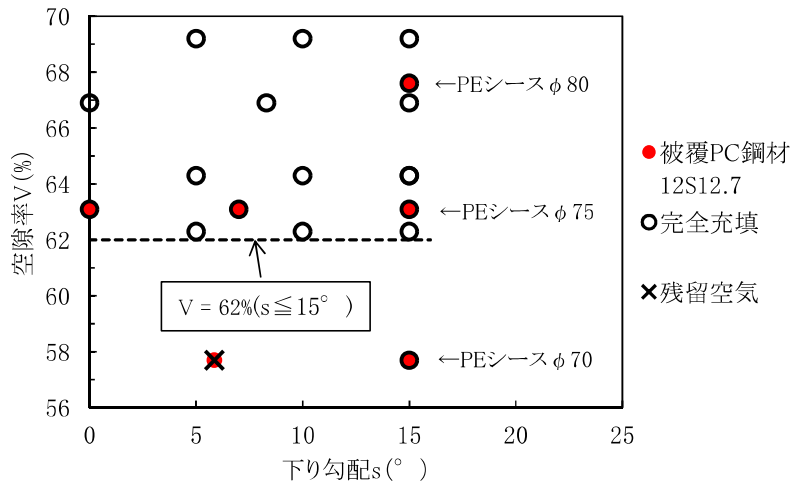


図 4-6 超低粘性グラウトを用いた実物大試験結果

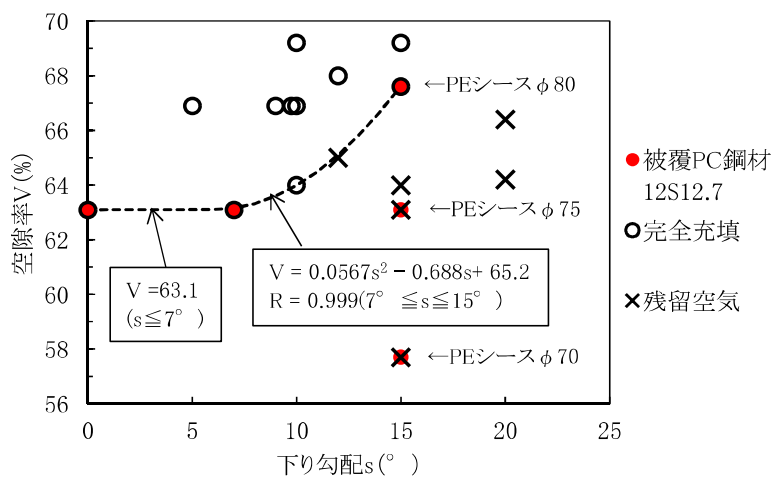


図 4-7 高粘性グラウトを用いた実物大試験結果

5. まとめ

12S12.7 被覆 PC 鋼材と PE シースの組合せによる実物大グラウト試験の結果, 次の事が明らかになった。

- (1) 高粘性 PC グラウトの施工は, 下り勾配 15° の場合, PE シース径 $\phi 80\text{mm}$ を確保し, 「PC グラウト設計施工指針」に基づいて行えばシース内を充填できることが確認された。ただし, PE シース径 $\phi 70$, $\phi 75\text{mm}$ の場合は, シース内を完全に充填することができなかった。
- (2) 超低粘性 PC グラウトの施工は, 下り勾配 15° の場合, PE シース径 $\phi 70$, $\phi 75$, $\phi 80\text{mm}$ を確保し, 「PC グラウト設計施工指針」に基づいて行えばシース内を充填できることが確認された。
- (3) 超低粘性 PC グラウトを用い, 下り勾配 5.86° , PE シース径 $\phi 70\text{mm}$ については, 部分的に未充填部が生じたため, 排気口の位置や注入速度等について検討を要することが明らかになった。

【参考文献】

- 1) 公益社団法人プレストレストコンクリート工学会 : PE シースを用いた PC 橋の設計施工指針(案), 2015.8
- 2) 公益社団法人プレストレストコンクリート工学会 : PC グラウトの設計施工指針—改訂版一, 2012.12
- 3) 一般社団法人プレストレスト・コンクリート建設業協会 : PC グラウト&プレグラウト PC 鋼材施工マニュアル 2013 改訂版, 2013
- 4) 国土交通省東北地方整備局南三陸国道事務所, 株式会社 IHI インフラ建設 : 大沢第 3 橋外 PC 上部工工事 グラウト実物大試験報告書 (1 回目), 2015.8

資料2 鉄筋防錆材

3-5-2 鉄筋防錆の要求性能

- | |
|--|
| (1) 錆の発生を防止する性能：防錆性 |
| (2) 鉄筋と良好に付着する性能：鉄筋との付着性 |
| (3) コンクリートや断面修復材と良好に付着する性能：コンクリートとの付着性 |

鉄筋防錆材には鋼材に対して腐食性因子の浸透を抑制し、鉄筋との強固な付着力を有し、かつ断面修復材との付着がよいことなどの性能が要求される。

防錆材の塗装は、塗り残しのないよう入念に行うものとする。また、残存する塩化物イオンや除錆、防錆材塗布の施工のばらつきを考慮して、鉄筋周辺を亜硝酸塩雰囲気下に置くことも、フェールセーフとして実施することが望ましい。現在のところ、亜硝酸塩による効果を明らかにできる試験・研究結果はないが、断面修復材に亜硝酸リチウムを添加する方法や、塩素吸着剤を用いる方法がある。

3-5-3 鉄筋防錆の性能照査

鉄筋防錆は、表 3-5-1 に示す性能を照査するものとする。				
表 3-5-1 鉄筋防錆材の性能照査項目				
要求性能	試験項目		基準値	試験方法
防錆性	防錆性試験	処理部	防せい率 50%以上	鉄筋コンクリート補修 用防錆材の品質基準 (案) ^{注1} を標準
		未処理部	防せい率 -10%以上	
鉄筋との付着性	鉄筋に対する付着強さ		7.8N/mm ² 以上	
コンクリートとの付着性	耐アルカリ性		塗膜に異常が認められないこと	
注1) 日本建築学会 鉄筋コンクリート造建築物の耐久性調査・診断および補修指針(案)・同解説 付 1.3				

東日本高速道路(株)・中日本高速道路(株)・西日本高速道路(株)：構造物施工管理要領より

定着具メーカーでの PC 鋼材定着部の防錆処理

支圧板および定着具の防錆処理を、予め工場加工とする場合は各メーカーの仕様に基づいて実施されます。その仕様を表に、塗装箇所の一例を図に示します。

表 定着具メーカーでの防錆処理

	A 社	B 社	C 社	D 社
塗装方法	エポキシ樹脂 静電粉体塗装	エポキシ樹脂 静電粉体塗装	エポキシ樹脂 静電粉体塗装	エポキシ樹脂 静電粉体塗装
塗膜外観	塗膜に剥がれが 無いこと	塗膜に剥がれが 無いこと	塗膜に剥がれが 無いこと	塗膜に剥がれが 無いこと
塗膜の 連続性	ピンホールが無 いこと	ピンホールが無 いこと	ピンホールが無 いこと	ピンホールが無 いこと
塗膜 硬化性	鉛筆ひっかき試 験(H 以上)	鉛筆ひっかき試 験(H 以上)	鉛筆ひっかき試 験(H 以上)	鉛筆ひっかき試 験(H 以上)
塗膜厚さ	180～500 μ m	180～500 μ m	180～1200 μ m	180 μ m 以上

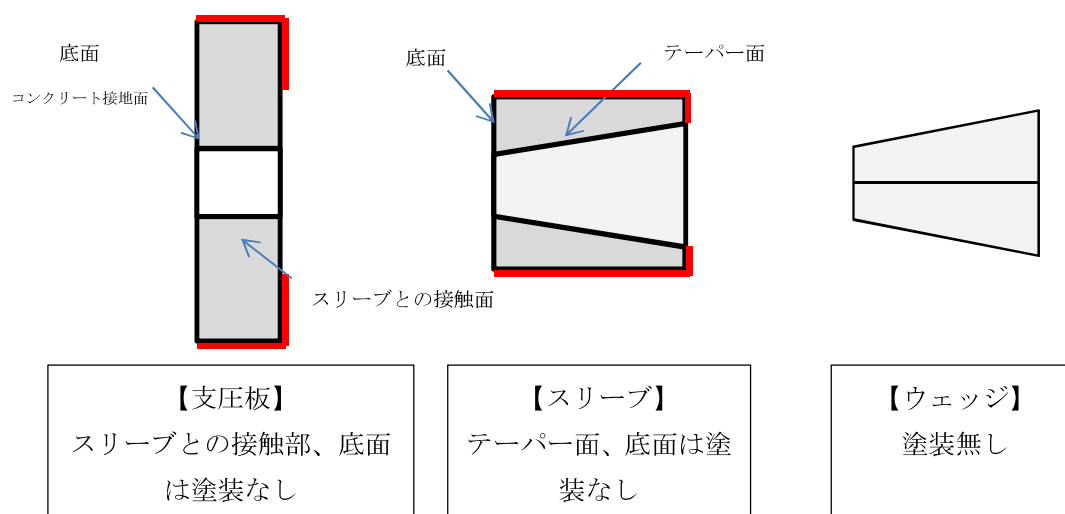


図 塗装箇所の一例

資料 4 プレキャストPC桁における空気量と耐凍害性に関する文献

プレストレストコンクリート工学会 第23回シンポジウム論文集 (2014年10月)

[論文]

プレキャストPC桁における空気量と耐凍害性に関する調査

プレストレスト・コンクリート建設業協会東北支部 正会員 ○北野 勇一
プレストレスト・コンクリート建設業協会東北支部 池田 正行
日本大学工学部 岩城 一郎
八戸工業大学 阿波 稔

Abstract : Air content in hardened concrete has been said to greatly influence the durability of concrete structure attacked frost damage. However, any test or experiment has not successfully proved the causal relation between the air content of high strength precast concrete members during plant fabrication and freeze-thaw resistance of those members. Therefore, various investigations were performed on the precast prestressed concrete girders fabricated by steam curing in the plant. This report shows the results of those investigations.

Key words : Precast prestressed concrete, Air content, Freeze-thaw resistance, Scaling

1. はじめに

硬化コンクリート中の空気量は、凍害を受けるコンクリート構造物の耐久性に大きく影響すると言われている。しかし、プレストレストコンクリート（以下、PCという）工場にて製造される高強度プレキャストコンクリート部材における空気量と耐凍害性との関連性については明らかにされていない。そこで、一般社団法人プレストレスト・コンクリート建設業協会東北支部（以下、PC建協東北支部という）は、日本大学工学部および八戸工業大学の協力を得て、PC工場にて蒸気養生を行い製作されるプレキャストPC桁を対象に空気量と耐凍害性に関する各種調査を実施した。本稿では、上記の目的で実施された一連の調査の結果についての概略を報告する。

なお、本調査は2013年2月にPC建協東北支部内に設立された「PC橋長寿命化委員会」の活動の一環として実施されたものである。

2. 調査概要

2.1 調査方針

目標空気量を荷卸時4.5%（現況仕様）と「東北地方におけるコンクリート構造物設計・施工ガイドライン（案）」¹⁾に提示される6.0%（新仕様）としたコンクリートを用いて製作するプレキャストPC桁の気泡組織と塩分影響下での耐凍害性を確認する。

2.2 調査対象

対象とするプレキャストPC桁は、床版および桁としてのコンクリート施工が行えることを考慮し、JIS A 5373²⁰¹⁰附属書B推奨仕様B-1に記載される中空断面のスラブ橋桁であるBS16を選定する。試験体はBS16の切り出しモデルとし、プレストレスの有無による凍害発生過程への影響がないことからPC鋼材を鉄筋

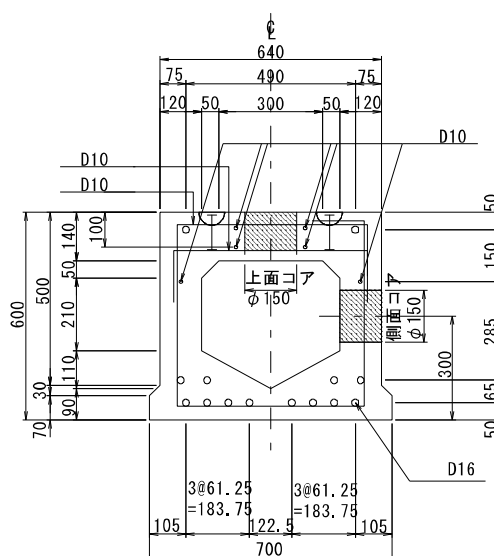


図-1 試験体断面図

表-1 コンクリート配合

配合	対象工場	設計基準強度 (N/mm ²)	目標スランプ (cm)	粗骨材最大寸法 (mm)	セメントの種類	目標空気量 (%)	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単体量 (kg/m ³)				混和剤
									水	セメント	細骨材	粗骨材	
1	A	50	12	20	H	6.0	35.2	42.0	160	455	708	1086	高性能減水剤 + AE剤
2						4.5	36.6	42.0		153	418	745	
3	B		15			6.0	35.9	38.8	160	446	660	1131	高性能AE減水剤
4										4.5	38.0	41.3	
5	C		10			6.0	35.0	39.5	164	469	708	1107	高性能減水剤 + AE剤
6										4.5	37.0		

セメントの種類 H は早強ポルトランドセメントである。骨材は各工場とも化学法で「無害」の骨材を用いる。混和剤は、所定のスランプ (±2.5cm) および空気量 (本文中に記載) が得られるように調整する。

に置き変える (図-1)。また、PC工場は、コンクリート配合や製作方法の違いを検討するため、岩手県内にある3工場を対象とする。

2.3 試験体の製作

コンクリート配合を表-1に示す。コンクリートは設計基準強度50N/mm²、プレストレス導入時強度35N/mm²、空気量を4.5%と6.0%の条件と、各工場の規格に従い、表に示す6配合を用いる。ここで、新仕様の空気量については7%以上とした既往研究が少ないことから、今回の実験では6.0~6.9%を目標とし、現況仕様は新仕様との空気量の差を2%程度つけることにする。また、新仕様である配合1, 3, 5は強度発現を確保するため、現況仕様よりも水セメント比を1.4~2.1%低める。

試験体の製作方法を表-2に、製作状況を写真-1に示す。コンクリートは両ウェブに均等に入るように留意しながら3層に分けて打込み、各工場の規格に従い締固め、型枠表面のエア抜きおよび仕上げを行う。これらの試験体の製作方法は、プレキャストPC桁BS16の製作要領を忠実に再現する。また、蒸気養生は各工場で行われる設定で行い (表-3参照)、脱枠後は散水養生などの追加養生を行わずに屋外に保管する。

2.4 調査項目および調査方法

調査項目および調査方法を表-4に示す。空気量調査としては、フレッシュ時と硬化コンクリートについて実施する。耐凍害性については、硬化コンクリートの気泡間隔係数およびスケールング量等の結果より判断する。また、コンクリート表層品質の評価として表層透気性を調査する。

表-2 試験体の製作方法

工種	A工場	B工場	C工場
打込み	3層 (下部, ウェブ, 上部) に分け打ち込む。		
締固め	1~3層: 棒状パイプ レータφ50×2	1~3層: 棒状パイプ レータφ42×2	1層目: 外部振動機30秒 2,3層目: 棒状パイプ レータφ30×2
型枠表面エア抜き	棒状パイプ レータφ40×2	棒状パイプ レータφ40×2	棒状パイプ レータφ30×2
仕上げ	金ごてを用いコンクリート上面を仕上げる。		



写真-1 新仕様 6.0%試験体の製作状況

表-3 蒸気養生の設定

対象工場	前養生時間	昇温速度	最高温度
A	3hr 以上	15°C/hr 以下	40°C×4hr
B			45°C×4hr
C			
示方書 ²⁾	2~3hr 以上	20°C/hr 以下	65°C以下

表-4 調査項目および調査方法

調査項目	調査方法
フレッシュ性状	スランブはJIS A 1101, 空気量はJIS A 1118 に従い試験する。
圧縮強度	製品同一養生(蒸気養生)を行ったφ10×20cmの円柱供試体を用い, JIS A 1108 に準じて圧縮強度試験を行う。
表層透気性	試験体上面と側面の透気性をTorrent法により各3箇所ずつ測定し, 平均値を透気係数とする。測定材齢は28日とし, その3日前より屋内に保管する。
硬化コンクリート中の空気量, 気泡間隔係数	試験体上面と側面よりφ150mmのコアを採取し, 表面より約5mm(表層)と約50mm(内部)の気泡組織をASTM C457 リニアトラバース法により調査する。
コンクリート表層のスケーリング量	試験体上面と側面より採取したコアをφ150×80mmに成形し, 表層側に土手を設けて3%NaCl水溶液を湛水させ, -20℃×16時間の凍結と20℃×6時間の融解(移行時間は各1時間)を1サイクルとした凍結融解を100サイクル(通常50サイクル)まで行い, スケーリング量を測定する(ASTM C672に準じる)。

3. 調査結果および考察

3.1 フレッシュ性状および圧縮強度

フレッシュ性状と圧縮強度の試験結果を表-5に示す。スランブは所定値内であり, 空気量は新仕様である配合1, 3, 5で目標の6.0~6.9%を満たし, 現況仕様である配合2, 4, 6でも新仕様との空気量の差が1.8~2.5%となった。また, 圧縮強度は新仕様とした場合にも所定の強度が得られ, 強度発現性が問題とならないことを確認した。

3.2 表層透気性

表層透気性に関する調査状況を写真-2に示す。透気係数は試験体上面(床版として着目)と試験体側面(桁として着目)についてそれぞれ3箇所ずつ測定し, その平均値を図-2に示す。一般のコンクリート構造物で測定される透気係数は品質クラス一般の $0.1 \sim 1 \times 10^{-16} \text{m}^2$ であると想定されるが, 今回の結果はいずれもその1/10~1/100ほどで品質クラス良または優に当たることが確認された。また, 一般のコンクリート構造物ではブリーディングの発生により上面の透気係数が高くなると考えられるが, 今回の調査結果はむしろ側面の透気係数が若干高まる傾向にあった。これは, 今回用いたコンクリートがノンブリーディングの配合であることから上下方向の透気性の差が小さくなること³⁾, 散水養生が行われる上面は透気性が低くなるが封緘養生となる側面では透気性が若干高まること⁴⁾(今回の試験体では打込み後翌日までは上面に養生マットを敷き, 蒸気養生により湿潤状態となっている)が影響したものと推察される。

なお, 透気係数は温度や含水状態の影響を受けて結果が大きく左右されることがあるが, 海外の

表-5 フレッシュ性状と圧縮強度試験結果

配合	スランブ (cm)	空気量 (%)	圧縮強度 (N/mm ²)	
			1日	28日
1	13.0	6.2	41.6	59.4
2	14.0	4.4(-1.8)	40.6	60.4
3	16.0	6.6	35.5	54.4
4	15.0	4.4(-2.2)	36.2	58.4
5	11.0	6.3	43.0	58.5
6	9.0	3.8(-2.5)	41.7	58.1

注) 空気量の括弧内の数値は, 現況仕様と新仕様との空気量の差を示す。



写真-2 表層透気性に関する調査状況

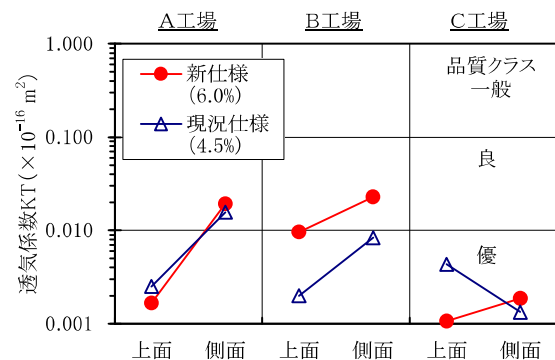


図-2 表層透気性に関する調査結果

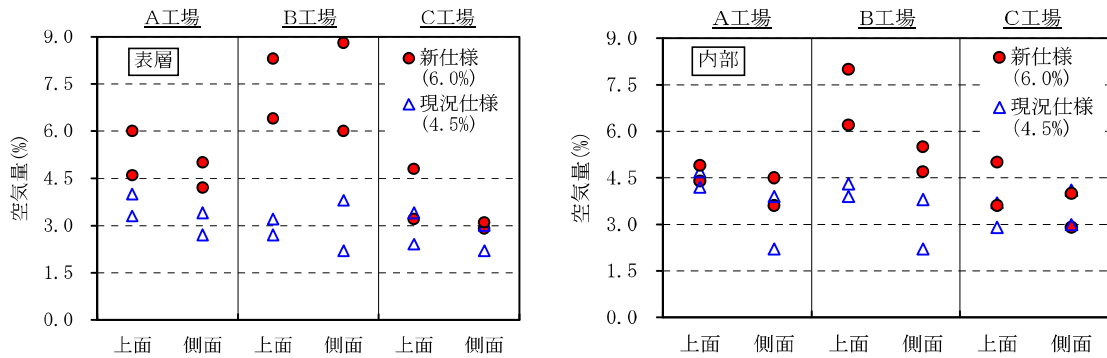


図-3 試験体表層と内部における硬化コンクリート中の空気量

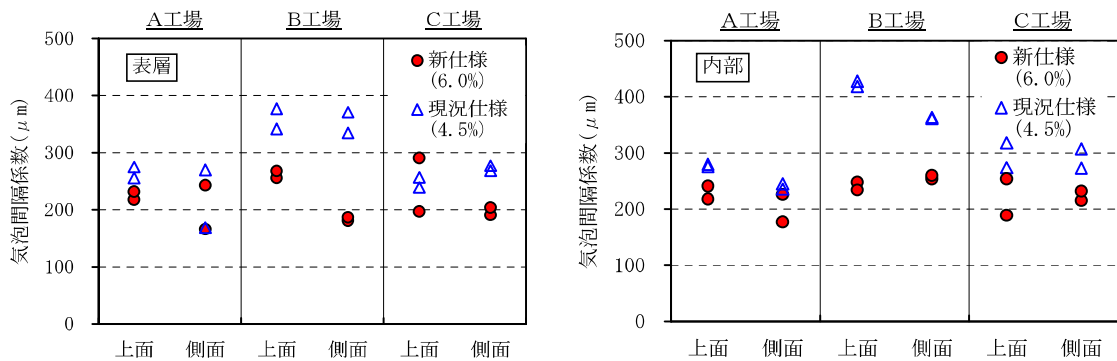


図-4 試験体表層と内部における硬化コンクリート中の気泡間隔係数

指針には実務上、①試験材齢28~90日、②コンクリート表面温度10℃(熟練者は5℃)以上で試験装置に直射日光が当たらないこと、③コンクリートの含水率が5.5%以下等であることを規定している⁵⁾。本調査は材齢28日で温度10℃程度の屋内にて実施し、コンクリート含水率は4.5~6.1%であった。コンクリート含水率は12箇所中の3箇所まで5.5%を上回ったが、残り9箇所については上記の規定をすべて満足するものである。したがって、今回調査した試験桁の表層品質は高いと評価できるといえる。

3.3 硬化コンクリート中の空気量と気泡間隔係数

試験体表層と内部の空気量と気泡間隔係数を調査した結果を図-3および図-4に示す。凍結防止剤の影響と凍害の複合劣化が懸念される上面表層に着目すると、現況仕様4.5%試験体は空気量2.4~4.0%、気泡間隔係数239~377 μmであるのに対し、新仕様6.0%試験体は空気量3.2~8.3%、気泡間隔係数197~291 μmと改善されることが確認された。また、上面と側面あるいは表層と内部の差異は、空気量および気泡間隔係数とも、それほど大きくないことも確認された。つまり、今回対象とした3工場の製作方法に則れば、実際のプレキャストPC桁の製作においても気泡組織が均等に分布し得ると考えられる。

図-5は、硬化コンクリート中の空気量と気泡間隔係数との両者の関係を整理したものである。

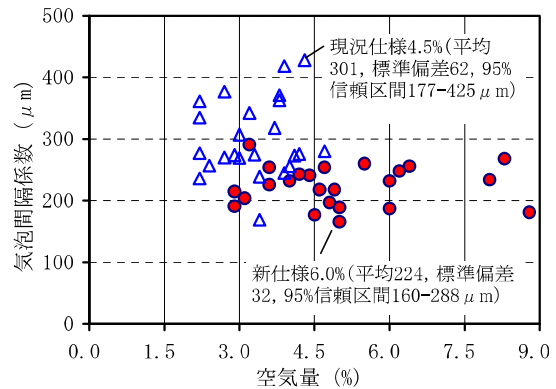


図-5 硬化コンクリート中の空気量と気泡間隔係数の関係

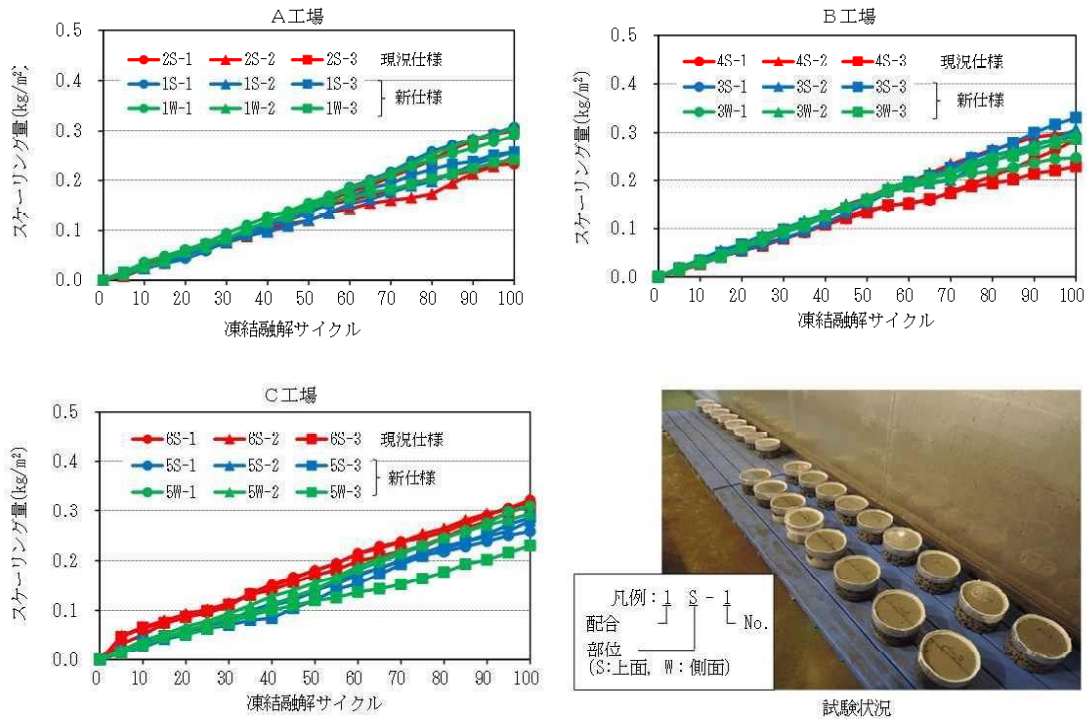


図-6 スケーリング量の推移



写真-3 スケーリング試験後の状況

表-6 目視による評価基準⁷⁾

評価	コンクリート表面状態
0	剥落なし
1	粗骨材の露出なし。劣化深度最大3mm程度のごく軽微な剥落
2	軽度の剥落 (評価1と評価3の中間に位置する程度)
3	いくらか粗骨材の露出が確認される中度の剥落
4	強度の剥落 (評価3と評価5の中間に位置する程度)
5	表面全体に粗骨材の露出が確認される激しい剥落

現状仕様4.5%は気泡間隔係数の変動係数が20.6%となるのに対し、新仕様6.0%のそれは14.3%と小さい。つまり、空気量を新仕様6.0%としたコンクリートを採用することにより、硬化コンクリート中に良質な気泡組織 (気泡間隔係数で概ね300 μ m以下) を安定して形成し得ると言える。

3.4 コンクリート表層のスケーリング量

図-6にスケーリング量の測定結果を示す。スケーリング量は空気量や部位あるいは工場の違いによらず概ね同程度で線形的に増大し、最終100サイクルで0.23~0.33kg/m²となった。

次に、スケーリング試験後の状況を写真-3に示す。この写真には本調査の試験体と、水セメント比45%でNonAEの試験体⁶⁾を併せて示す。本調査100サイクル後の試験体は、凍結融解の影響を受けても、骨材の露出が確認されることはなかった。水セメント比45%でNonAEの試験体が凍結融解の影響を受けて表面のペースト分が剥がれ落ち骨材が露出する状況と比べると、本調査の試験体は極めて健全な状態を保つと言える。ちなみに、ASTM規格に定められる目視による評価基準に照合すると、本調査

の試験体はいずれも評価1に該当し、水セメント比45%でNonAEの試験体は評価5に相当する(表-6)。

前出の図-6に示した結果の内、試験体上面に着目して凍結融解50サイクルおよび100サイクルにおけるスケーリング量を比較した結果を図-7に示す。図には前述の文献6に示される水セメント比45%でNonAE、空気量3.0%、4.5%、6.0%の凍結融解50サイクルの試験結果を併記した。図より、本調査試験体のスケーリング量は、水セメント比45%のAEコンク

リートに比べ50サイクル時点で1/2以下であり、試験期間を100サイクルまで延長しても極めて少ないことがわかる。つまり、コンクリートの水セメント比を40%以下にまで低減することで、耐凍害性がさらに向上すると言える。

4. まとめ

実物大のプレキャストPC桁を製作し各種調査を行った結果、次のことが確認された。

- 1) 目標空気量を荷卸時6.0% (新仕様) としたコンクリートは、荷卸時4.5% (現況仕様) のコンクリートよりも水セメント比を1.4~2.1%低めることにより、材齢1日で35N/mm²、材齢28日で50N/mm²が確保され、強度発現性が問題とならないことが確認された。
- 2) 上記1)のコンクリートを用いて製作した試験体の上面表層に着目すると、現況仕様4.5%試験体は空気量2.4~4.0%、気泡間隔係数239~377μmであるのに対し、新仕様6.0%試験体は空気量3.2~8.3%、気泡間隔係数197~291μmと改善されることが確認された。
- 3) 凍結融解試験では現況仕様4.5%試験体および新仕様6.0%試験体とも所定の試験期間でスケーリングがほとんど発生せず、試験期間を延長しても非常に耐凍害性が高いことが確かめられた。

なお、本調査の実施にあたり、東北地方整備局道路工事課長 (現南三陸国道事務所長) の佐藤和徳氏をはじめとする関係各位に多大なるご支援とご協力を頂いたことに対しまして感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1) 東北コンクリート耐久性向上委員会：東北地方におけるコンクリート構造物設計・施工ガイドライン(案)，pp. 86, 2009. 3
- 2) 土木学会：2012年制定コンクリート標準示方書施工編，pp. 355, 2013. 3
- 3) 早川健司，加藤佳孝：振動締固めにより充填されたかぶりコンクリートの品質変動に関する研究，土木学会第65回年次学術講演会V-684, 2010. 9
- 4) 松崎晋一郎，吉田亮，岸利治：単位水量と水セメント比がコンクリート表層の透気性に及ぼす影響とその養生依存性，コンクリート工学年次論文集，Vol. 31, No. 1, 2009.
- 5) 半井健一郎，蔵重勲，岸利治：かぶりコンクリートの透気性に関する竣工検査—スイスにおける指針—，コンクリート工学，Vol. 49, No. 3, 2011. 3
- 6) 佐久間正明，子田康弘，岩城一郎：塩分環境下におけるコンクリートの耐凍害性に及ぼす空気量およびフライアッシュの影響，平成25年度東北支部技術研究発表会，V-37, 2013. 3
- 7) American Society for Testing and Materials: Standard test method for scaling resistance of concrete surface exposed to de-icing chemicals, Annual Book of ASTM Standard, Vol. 04. 02, pp. 344-346, 1998.

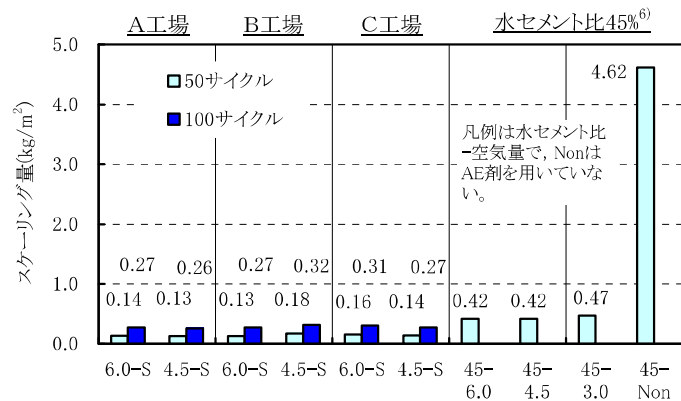


図-7 スケーリング量の比較

(一社) プレストレスト・コンクリート建設業協会 東北支部

【東北支部役員】

支部長	森島 修
副支部長	南 國彦
副支部長	野口 晃
副支部長	土屋 英治

【東北支部正会員】

(株) I H I インフラ建設
(株) 安部日鋼工業
オリエンタル白石(株)
川田建設(株)
コーアツ工業(株)
昭和コンクリート工業(株)
(株) 銭高組
ドーピー建設工業(株)
日本高圧コンクリート(株)
(株) 日本ピーエス
(株) ピーエス三菱
東日本コンクリート(株)
(株) 富士ピー・エス
前田製管(株)
三井住友建設(株)

【東北支部事務局】

住所 〒980-0811 宮城県仙台市青葉区一番町 1-8-1 (東菱ビル)
(株) ピーエス三菱東北支店内
TEL (022) 266-8377
FAX (022) 227-5641