

**東北地方の凍結抑制剤散布地域における
プレテンション橋げた設計施工のポイント**
[プレテンションスラブ橋げた編]

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では、復興のリーディングプロジェクトとして三陸沿岸道路等の計画が急ピッチで進んでいます。三陸沿岸道や今後建設が計画されているミッシングリンク解消のための橋梁建設にあたっては、これまでの橋梁調査等で指摘された不具合について、同様な欠陥や劣化が生じることのないよう対策を講じ支部会員内に周知徹底する必要があります。そこで、こうした活動を継続的に実施していくために「PC橋長寿命化委員会」を支部内に設立し、関係各位の助言・援助を受けながら、次の3つのWG体制にて活動を推進してきました。

(1) 初期欠陥防止対策の策定と運用（初期欠陥防止WG）

まめ板や初期ひび割れ等の初期欠陥を防止するため、コンクリート打設から養生までの具体的な標準手順を立案し、その有効性を検証しました。策定した標準手順は支部協会会員が実工事に運用します。

(2) 塩害対策の策定（塩害対策WG）

飛来塩分または凍結抑制剤による塩害に対する対策を立案しました。対策案の有効性を検証していきます。

(3) プレキャスト製品の凍害対策検討（プレキャスト製品WG）

コンクリート部材の内在空気量は、凍害に対する耐久性に大きく影響すると言われています。しかし、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は明らかになっていないのが現況です。このため、工場製作・蒸気養生を行ったプレキャスト部材についての諸検討を実施しました。

このうち、(3) プレキャスト製品WGでは、工場製作プレキャスト桁について、荷下ろし時のコンクリートの空気量を6%程度とし、内部鋼材に被覆鋼材を用いることで塩分環境下における凍害の複合劣化に対応する「高耐久PC桁」を提案しました。実物大試験によって高耐久PC桁の仕様や製造・施工方法について検討し、設計・製造・施工上の留意点を「高耐久PC桁設計施工のポイント [プレテンションスラブ橋げた編]」としてとりまとめ、平成27年2月に初版、平成28年2月に第二版を発刊しました。

東北地方整備局においても、平成26年3月の事務連絡により「高耐久PC桁（プレキャストPC床版桁橋）」の採用が試行され、この仕様は平成28年3月に発刊された「設計施工マニュアル（案）[道路橋編]」にも踏襲されました。

本書は平成29年3月の東北地方整備局「設計施工マニュアル（案）[道路橋編]」の一部改訂におけるコンクリートの空気量の見直しを踏まえ、「高耐久PC桁」の思想を継承しつつ、「設計施工マニュアル（案）[道路橋編]」の仕様に合致した参考資料とすべく新たに発刊するものです。

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 設計上の留意点	4
①P C鋼材位置および鉄筋形状	5
②追加ボンドレス鋼材	6
③桁端面補強	7
④軸方向筋の継手長	8
⑤横締めシース・P C鋼材	9
第3章 プレキャストP C桁の製造上の留意点	10
①鉄筋・C F R P格子筋の組立，P C鋼材の組立・緊張	11
②コンクリートの打込み，締固め，養生，プレストレス導入	12
③桁端面の処理	13
④桁端部の封緘養生	14
第4章 現場施工上の留意点	15
①架設工，横組工，橋面工	16
②横桁横締めP C鋼材定着部の防錆処理	17
参考資料	18
資料1．P C鋼材位置の変更検討	19
資料2．追加ボンドレス鋼材の検討	21
資料3．端部処理材	23
資料4．鉄筋防錆材	24
資料5．定着具メーカーでのP C鋼材定着部の防錆処理	25
資料6．プレキャストP C桁における空気量と耐凍害性に関する文献	26
参考図面	32
被覆P C鋼材を使用したP C桁 BS 2 2	33

第 1 章 仕様の概要

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⁾に基づくプレテンション方式スラブ橋げた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：プレテンション方式スラブ橋げた（本線上に架かる跨道橋は除く）</p>						
部位	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	S
主桁	かぶり(mm) 標準，主桁上面， 下面	標準 25 30,30 ^{※1}	標準 25 30,30 ^{※1}	標準 35 25,35	標準 50 25,50	標準 70 25,70
	PC鋼材 (プレテン)	・被覆PC鋼材				
	鉄筋	・塗装鉄筋				
	横締めシース	・PEシース				
	コンクリート	・水セメント比 45%以下 ・空気量:4.5±1.5% ^{※2}				
	PC鋼材 切断面の処理	・エポキシ樹脂補修材を塗布				
	桁端面の 端部処理	・座掘深さ 3mm 以上 ・端部処理材料は防水性, 付着性, しゃ塩性を 有するものを選択				
	コンクリート塗装	・桁端部のみ				
間詰め部	かぶり(mm) 上面,側面,下面	30,35,35	30,35,35	30,50,50	30,70,70	30,70,70
	横締めPC鋼材 (ポステン)	・PEシース+被覆PC鋼材				
	コンクリート	・水セメント比 45%以下 ・空気量:4.5±1.5% ^{※2} ・早強(膨張・収縮補償)				
	PC鋼材定着部	・定着部のかぶり確保+防錆処理				
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					

※1 各面でのかぶりはPC鋼材のよび径が15.2の場合の値を記載した。

※2 空気量の受入れ基準はJIS規格どおり4.5±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。

概要②

項 目	材 料
	<p>【コンクリート】</p> <p>主桁・間詰め部に使用する<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></p> <p><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></p> <p>※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></p> <p><u>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】</p> <p><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】</p> <p><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】</p> <p><u>被覆PC鋼材は、普通PC鋼材と同等以上の付着強度を有し、かつ、原則として低リラクセーション品</u>とします。</p> <p>但し、低リラクセーション品は主方向に使用する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。</p> <p><u>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]」の他に下記資料を参考とします。</u></p> <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⁾ <p>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	<p>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</p> <p>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</p> <p>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</p> <p>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</p> <p>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</p>

第2章 設計上の留意点

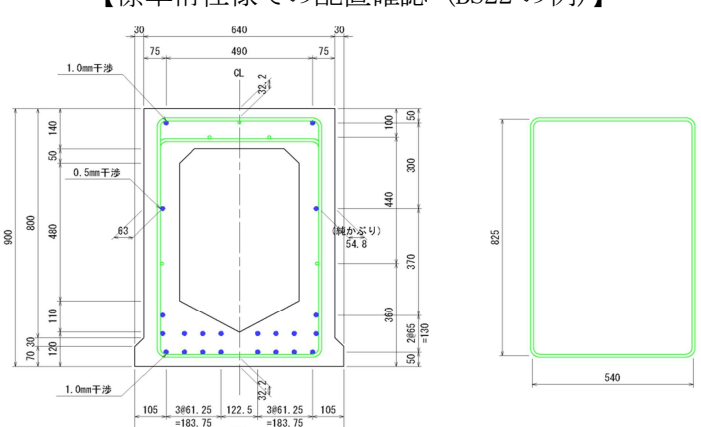
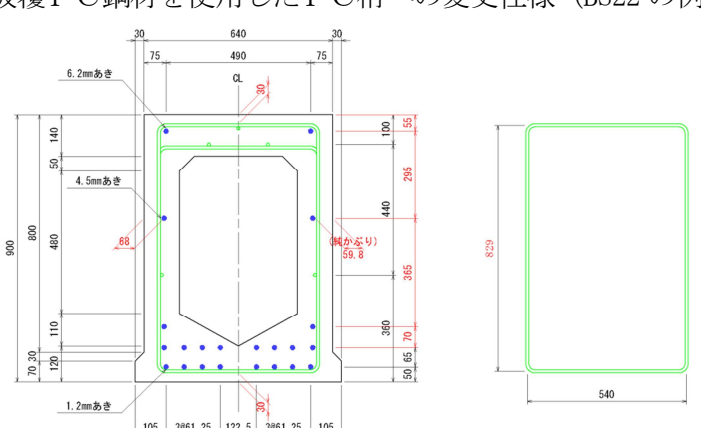
被覆PC鋼材を用いたプレテンション桁の設計において、基本的に標準桁・塩害対策桁の標準設計をそのまま適用する場合、被覆鋼材（鉄筋，PC）を使用することに伴う若干の見直し・調整や補強が必要となります。

見直し・調整内容を以下に示します。

- ① 被覆・被膜により外径が大きくなることから，PC鋼材とスターラップが干渉
⇒PC鋼材位置及び鉄筋形状の変更
- ② プレテンション鋼材に被覆PC鋼材を使用することにより懸念される桁端面のひび割れ
⇒PC鋼材位置の変更，ボンドレス鋼材の追加，桁端面補強の追加
- ③ 塗装鉄筋を使用することによる鉄筋継手長
⇒鉄筋継手長の変更

なお，②の桁端面のひび割れに対する対応策・補強方法については実物大試験により効果を確認しています。

設計上の留意点①

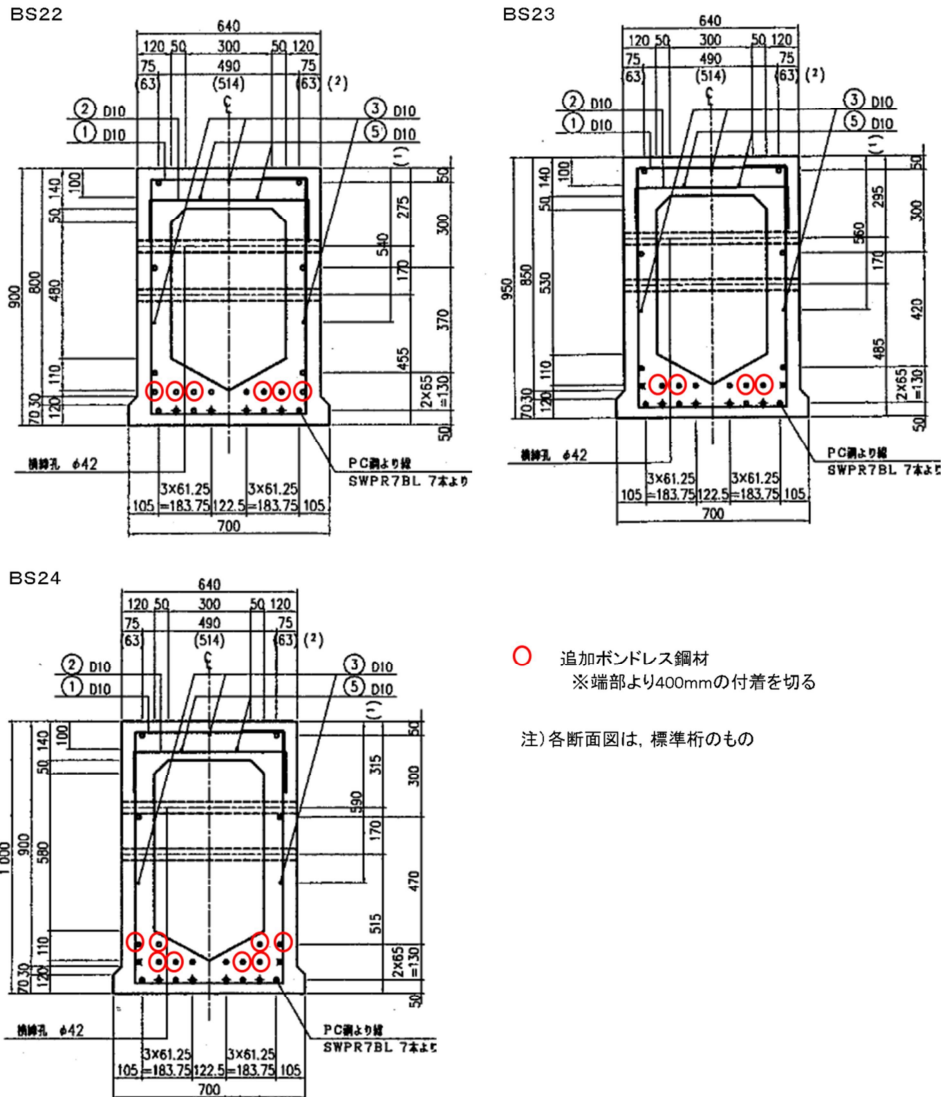
項目	P C鋼材位置および鉄筋形状
	<p>標準桁の断面及びかぶりをそのまま、被覆P C鋼材及びエポキシ樹脂塗装鉄筋を使用した場合、被覆・被膜により外径が大きくなることから、P C鋼材とスターラップが干渉します。また、被覆P C鋼材を使用することで付着力が普通鋼材に比べ大きくなることにより桁端面にひび割れの発生が懸念されます。これに対するP C鋼材位置と鉄筋形状の変更方法を以下に示します。</p> <p>【P C鋼材位置】 P C鋼材は、最上段P C鋼材を5mm下げ、偏心量をあわせるために中段のP C鋼材を1.7～5mm上げる（詳細は資料1を参照）。また、中段のP C鋼材の位置を主桁中央側に5mm水平移動させる。</p> <p>【鉄筋形状】 スターラップは上下の純かぶりを30mm確保するように変更する。</p> <p>【標準桁仕様での配置確認（BS22の例）】</p>  <p>【被覆P C鋼材を使用したP C桁への変更仕様（BS22の例）】</p>  <p>※被覆P C鋼材 SWPR7BL 15.2 相当品、外径16.4mm(被覆厚0.6×2=1.2mmを考慮) エポキシ樹脂塗装鉄筋は被膜厚0.26mm×2=0.52mmを考慮してd=10.52mmとした。</p> <p>なお、斜角の影響で鉄筋径が変更になる場合や塩害対策桁としてかぶりを増加する場合は、別途検討願います。</p>
参考文献	

設計上の留意点②

項 目 追加ボンドレス鋼材

被覆PC鋼材を使用することで桁端面にひび割れの発生が懸念されます。このため一部の桁種において、ボンドレス鋼材の追加が必要となります。

追加ボンドレス鋼材が必要となるのは、BS22、BS23、BS24で、配置は以下の通りとします。



追加ボンドレス鋼材の必要性および必要本数・配置については、FEM解析を行ない過大な応力が発生しないことを確認して決定しています(資料2参照)。

なお、BS24に関しては付着をなくすPC鋼材量が全PC鋼材量の58%となり、道示の解説文にある「1/2以下にするのがよい」との記述は満足しないものの、影響する支点近傍の曲げ応力度及び斜め引張応力度はいずれも許容値内にあることを確認しています。

参考文献

設計上の留意点③

項目	桁端面補強
	<p>被覆PC鋼材を使用することで桁端面にひび割れの発生が懸念されます。これに対するCFRP格子筋による桁端面補強方法を以下に示します。</p> <p>CFRP格子筋配置のポイントは以下の通りです。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・最外縁スターラップ（芯かぶり50mm）の外側へ非鉄材の結束線により結束固定する。 ・ボンドコントロールの有無に関わらずPC鋼材の四方を囲むように配置する。 ・CFRP配置間隔は鋼材間隔程度とする。 ・CFRPの長さは下記を標準とする。 <p>鉛直方向：桁高H-30mm×2 例 下図の場合 → 900mm-30mm×2=840mm</p> <p>水平方向：(桁幅B-15mm×2) / sinθ ※θ：斜角 例 下図の場合 → (580mm-15mm×2) / sin90° = 550mm</p> <p>【桁端面補強の例：BS22（斜角 90° の場合）】</p> <p>※を付した寸法はCFRPの純かぶりを示す</p>
参考文献	

設計上の留意点④

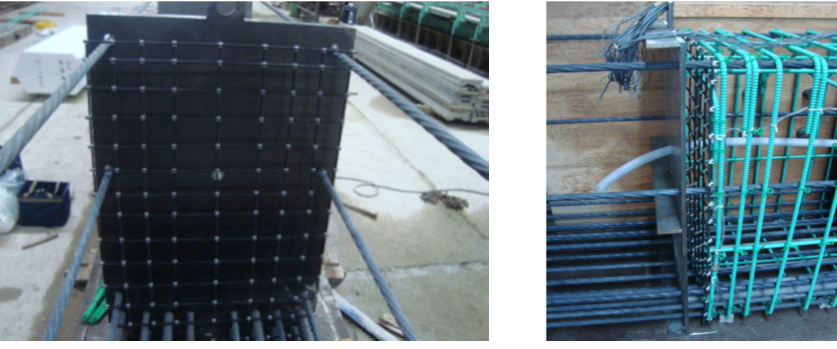
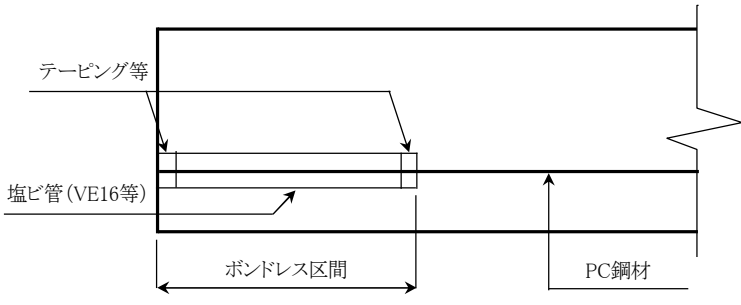
項 目	軸方向筋の継手長						
<p>エポキシ樹脂塗装鉄筋は、コンクリートの設計付着強度を普通鉄筋の85%に低減する必要があるため¹⁾、鉄筋の継手長を下表の通りに変更します。</p>							
鉄筋の継手長							
<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>鉄筋</th> <th>普通鉄筋</th> <th>塗装鉄筋</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>D10 (SD345)</td> <td>250mm</td> <td><u>300mm</u></td> </tr> </tbody> </table>		鉄筋	普通鉄筋	塗装鉄筋	D10 (SD345)	250mm	<u>300mm</u>
鉄筋	普通鉄筋	塗装鉄筋					
D10 (SD345)	250mm	<u>300mm</u>					
<p>継手長の算出根拠は、以下の通りです。</p>							
<p>・普通鉄筋の付着長</p> $l_{an} = \sigma_{sa} \div 4 \div \tau_{oa} \times \phi$ $= 200 \div 4 \div 2.0 \times 10$ $= 250.0 \text{ mm}$ <p> σ_{sa} : 200N/mm² 鉄筋 SD345 の許容引張応力度 τ_{oa} : 2.0N/mm² コンクリートの許容付着応力度 ϕ : 10mm 鉄筋の直径 </p>							
<p>・エポキシ樹脂塗装鉄筋の付着長</p> $l_{ae} = \sigma_{sa} \div 4 \div \tau_{oa} \div \beta \times \phi$ $= 200 \div 4 \div 2.0 \div 0.85 \times 10$ $= 294.1 \text{ mm}$ <p> σ_{sa} : 200 N/mm² 鉄筋 SD345 の許容引張応力度 τ_{oa} : 2.0 N/mm² コンクリートの許容付着応力度 β : 0.85 付着応力度の低減係数 ϕ : 10mm 鉄筋の直径 </p>							
<p>【注意事項】</p> <p>普通鉄筋と同等の付着強度を有する塗装鉄筋を使用する場合は、上記の限りではありません。</p>							
<p>参考文献</p>	<p>1) 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</p>						

設計上の留意点⑤

項 目	横締めシース・PC鋼材
	<p>横締めは、PEシースと被覆PC鋼材の組み合わせとします。</p> <p>【PEシース】 PEシースの内径は、45mmを標準とします（標準桁は鋼製シースで、内径42mmです）。</p> <p>【被覆PC鋼材】 被覆PC鋼材は、土木学会等で技術基準が整備されている鋼材を基本とします。以下に、その例を示します。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・内部充てん型エポキシ樹脂被覆PC鋼より線¹⁾ ・被覆高強度PC鋼材²⁾ <p>※上記の被覆PC鋼材は、普通PC鋼材と同等以上の付着強度を有するものとします。</p> <p>なお、上記の基本を適用しがたい場合は、別途検討するものとします。</p> <p>例：PC連結げた橋の連結横桁部</p> <p>※この部位では横締め本数が多くなり、上記の鋼材では配置が困難となる場合、以下に示す被覆PC鋼材も認めるものとします。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・プレグラウトPC鋼材¹⁾ ・プレグラウト高強度PC鋼材²⁾ <p>など</p> <p>横締めに用いる太径のシングルストランド（SWPR19_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>【注意事項】 普通PC鋼材で設計済みの案件に被覆PC鋼材を適用し、鋼材径や配置本数を検討する際には、セット量が異なる点や、定着体の寸法が変更となる点にも注意願います。</p>
参考文献	<p>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</p> <p>2) 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</p>

第3章 プレキャストP C桁の製造上の留意点

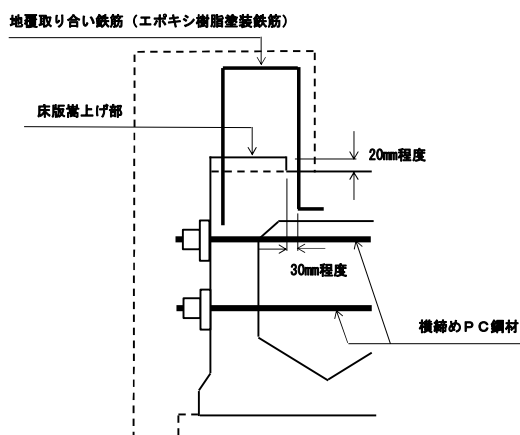
製造上の留意点①

項 目	鉄筋・CFRP 格子筋の組立, PC鋼材の組立・緊張
	<p>鉄筋（エポキシ樹脂塗装鉄筋）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]」¹⁾に記載される事項を遵守し、CFRP 格子筋はメーカーにより定められた方法で組立を行うものとします。</p> <p style="text-align: center;">【鉄筋・CFRP 格子筋の組立状況】</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">  </div> <p>PC鋼材の組立・緊張は、「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（案）」²⁾に記載される事項を遵守します。また、<u>ボンドコントロール材は、全数、桁端までボンドレスとする</u>（下図参照）。これは、従来行われている桁端より 5cm 程度手前で止める方法であると、桁端面にひび割れを生じさせるおそれがあるためです。</p> <p style="text-align: center;">【被覆PC鋼材を使用したPC桁におけるボンドコントロール処理】</p>  <p>【注意事項】</p> <p>実験により効果が確認された CFRP 格子筋は、「CFCC 格子筋 (CFCC U 5.0φ)」です。他製品を用いる場合は、これと同等の軸剛性（ヤング係数と断面積との積）を有するものを選定願います。</p>
参考文献	<p>1) 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</p> <p>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>

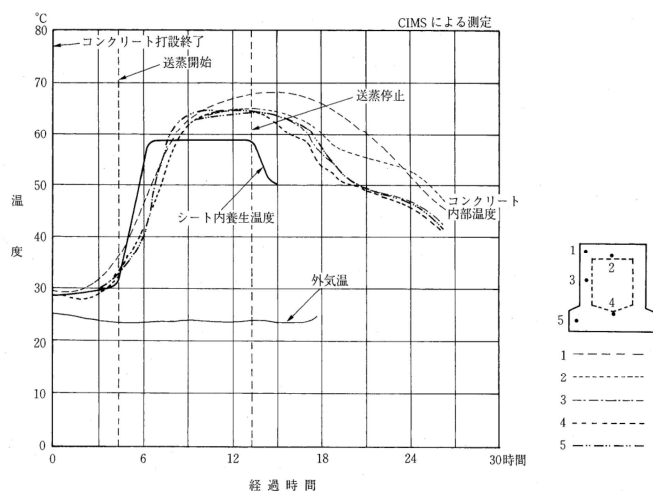
製造上の留意点②

項目 コンクリートの打込み、締固め、養生、プレストレス導入

コンクリートの打込み、締固め、養生（蒸気養生等）は、「道路橋用橋げた設計・製造便覧」¹⁾に記載される事項を遵守します。なお、地覆下部の床版コンクリートを嵩上げ施工し、路面からの横締めP C鋼材定着具への雨水浸入を防止するものとします。



プレキャストP C桁へのプレストレスの導入にあたっては、被覆P C鋼材を使用するため、コンクリート内部温度が65℃以下になったことを確認してからプレストレスを導入します¹⁾。このため、外気温（特に夏期）や蒸気養生温度あるいは部材寸法によってはプレストレス導入が翌日に行えない場合があります。



蒸気養生時における桁内部コンクリート温度の測定例（外気温約25℃）

【注意事項】

エポキシ樹脂は高温域では軟化する性質があるため、コンクリート温度が高温域にある状態で緊張力を解放すると、P C鋼材が滑りを生じて所定のプレストレスが導入されないことが起こりえます。被覆P C鋼材は、参考文献²⁾中に規定される品質規格の一つである、65℃以下で定着すべりを生じないことが確認されたものであることから、65℃以下の温度で緊張力を解放することとします。


参考文献

- 1) プレストレスト・コンクリート建設業協会：道路橋用橋げた設計・製造便覧JIS A 5373⁻²⁰⁰⁴，2004.6
- 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

製造上の留意点③

項目	桁端面の処理												
<p>被覆PC鋼材を使用したPC桁の仕上げは、「塩害に対するプレキャストPCげたの設計・施工資料」¹⁾ に準じて行うことにします。具体的には以下の通りとします。</p>													
<p>■施工フロー</p>													
<p>脱枠</p>													
<p>被覆PC鋼材の切断</p>	<p>被覆PC鋼材は桁端面より奥の座掘面位置(3mm以上)で切断する</p>												
<p>エポキシ補修用材料の塗布(a)</p>	<p>被覆PC鋼材切断面にエポキシ樹脂被覆の補修用材料※1を塗布する この場合、ボンドコントロール材と被覆PC鋼材との隙間にも塗布し、隙間を埋めるものとする</p>												
<p>端部処理材の塗布(b)</p>	<p>エポキシ樹脂被覆の補修用材料が乾燥した後に、被覆PC鋼材を含む座掘部に端部処理材※2を塗布し後埋めする</p>												
<p>桁端部の封緘養生及び乾燥処理</p>	<p>桁端部の封緘養生、乾燥処理の要領は次頁「製造上の留意点④」を参照</p>												
<p>表面被覆仕上げ(c)</p>	<p>端部処理材が乾燥した後に、所定の表面被覆工の材料※3で表面被覆仕上げを行い被覆保護する</p>												
<p>終了</p>													
<p>■桁端面の処理(例)</p>													
<p>使用材料の選定要領</p>													
<table border="1"> <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(a)</td> <td>補修用材料※1</td> <td>「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)」(土木学会)に適合するもの</td> </tr> <tr> <td>端部処理材の塗布(b)</td> <td>端部処理材※2</td> <td>「塩害に対するプレキャストPCげたの設計・施工資料」(プレストレスト・コンクリート建設業協会)に適合する急硬モルタル、ポリマーセメントモルタル、樹脂モルタルなど(資料3)</td> </tr> <tr> <td>表面被覆仕上げ(c)</td> <td>表面被覆材※3</td> <td>発注者指定の工法の材料に適合するもの</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(a)	補修用材料※1	「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)」(土木学会)に適合するもの	端部処理材の塗布(b)	端部処理材※2	「塩害に対するプレキャストPCげたの設計・施工資料」(プレストレスト・コンクリート建設業協会)に適合する急硬モルタル、ポリマーセメントモルタル、樹脂モルタルなど(資料3)	表面被覆仕上げ(c)	表面被覆材※3	発注者指定の工法の材料に適合するもの	
工程	使用材料	材料の選定											
エポキシ補修用材料の塗布(a)	補修用材料※1	「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)」(土木学会)に適合するもの											
端部処理材の塗布(b)	端部処理材※2	「塩害に対するプレキャストPCげたの設計・施工資料」(プレストレスト・コンクリート建設業協会)に適合する急硬モルタル、ポリマーセメントモルタル、樹脂モルタルなど(資料3)											
表面被覆仕上げ(c)	表面被覆材※3	発注者指定の工法の材料に適合するもの											
<p>なお、端部処理材の品質は、資料3を満足し、かつエポキシ樹脂被覆の補修用材料との付着強さが所定の強度を有するものとします。</p>													
<p>参考文献</p>	<p>1) プレストレスト・コンクリート建設業協会：塩害に対するプレキャストPCげたの設計・施工資料(平成17年3月改訂版), 2005.3</p>												

製造上の留意点④

項 目	桁端部の封緘養生
	<p>標準桁では蒸気養生を行うことにより養生が促進され、コンクリートの打込み翌日に養生が完了します。しかし、桁端部では元々プレストレスが作用していないため、蒸気養生のみでは微細ひび割れの発生が懸念されます。</p> <p>そこで、<u>被覆PC鋼材を使用したPC桁では桁端面から1.0mの範囲の桁外周全面をシートで覆い、最低3日以上封緘養生を行うこと</u>にします。また、封緘養生の実施は、端部処理材の塗布後～表面被覆仕上げの間で行うものとします。</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[エポキシ補修用材料の塗布] C --> D[端部処理材の塗布] D --> E[桁端部の封緘養生] E --> F[桁端部の乾燥処理] F --> G[表面被覆仕上げ] G --> H[終了] </pre>	<p>桁端部から1mの範囲の桁外周全面をシート等で覆い、最低3日以上封緘養生</p> <p>シートを桁端から撤去し、自然乾燥する</p>
	
<p>【注意事項】</p>	<p>封緘養生を長期間行った場合、コンクリート中の含水率が高い状態が保持され、表面被覆材料の付着に悪影響を及ぼす可能性があります。このような場合、表面被覆仕上げ前に桁端部の含水率を確認する必要があります。</p>
<p>参考文献</p>	

第4章 現場施工上の留意点

施工上の留意点①

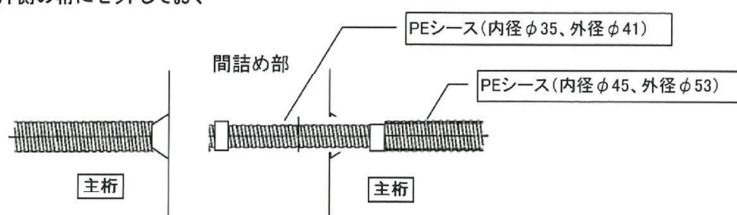
項 目 架設工, 横組工, 橋面工

プレキャストPC桁の架設工, 横組工, 橋面工は, 「道路橋用橋げた設計・製造便覧」¹⁾に記載される事項を遵守します。

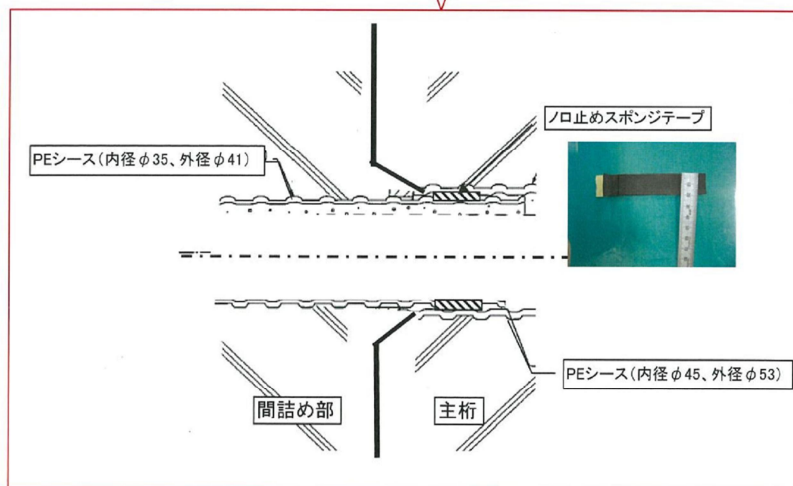
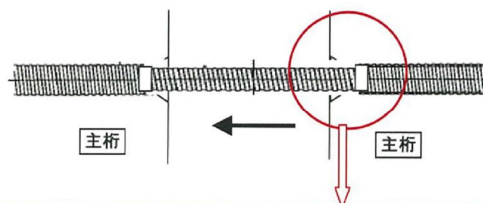
横締めシースは, 主桁部・間詰部ともPEシースとし, PEシースの間詰め部接合には, コンクリート打設に伴うセメントペースト浸入防止対策を施すものとします。対策例を下図に示します。

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

床版・間詰コンクリートは, 膨張コンクリート(収縮補償用コンクリート)の使用を標準とします。

参考文献

1) プレストレスト・コンクリート建設業協会: 道路橋用橋げた設計・製造便覧JIS A 5373²⁰⁰⁴, 2004.6

施工上の留意点②

項目 横桁横締めPC鋼材定着部の防錆処理

横締めPC鋼材定着部には防錆処理を施します。

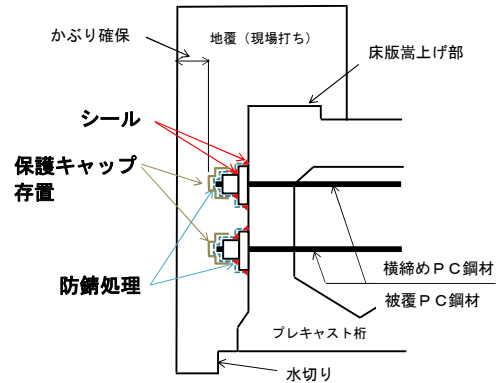
具体的には、横締めPC鋼材の支圧板・定着具・PC鋼材端部の露出面に防錆処理を施し、PCグラウト用の保護キャップを存置し、シリコン系止水材にてコンクリートと支圧板の境界4辺、支圧板とスリーブの境界外周をシールするものとします。被覆PC鋼材を用いた場合の一例を以下に示します。

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：製造上の留意点③参照）を塗布します。

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4）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5）に基づくこととします。

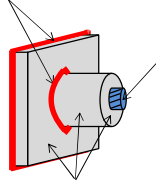
また、工場で防錆処理されていない露出面は、PC鋼材切断面と同じ防錆材料もしくは資料4に適合する材料を現場で塗布します。

【定着部防錆処理の例】



《現場塗布の場合》

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

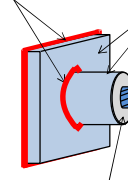


緊張後、PC鋼材切断面に塗布型の防錆処理を施す

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

《工場防錆処理部材使用の場合》

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



予め工場塗装

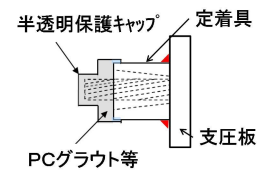
緊張後、PC鋼材切断面に塗布型の防錆処理を施す

緊張後、定着具頂部の露出面に塗布型の防錆処理を施す

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周囲はシリコン系止水材にてシールするものとします。

PCグラウト時に使用した保護キャップは取外さず存置することを基本とします。

【保護キャップの例】



【注意事項】

現場で防錆処理を行う場合、緊張前に実施すると支圧板と定着具の間に処理材が入り摩擦力が小さくなり、緊張時に定着具とジャッキが回転してプレストレスの導入に支障を来す恐れがあるため、防錆処理は必ず緊張終了後に行うこととします。

PCグラウト時に使用した保護キャップを存置した場合、その先端でかぶりを確保する必要性から、新規設計案件ではこの点を考慮して水切り幅を設定します。既存の設計案件に適用する場合は、先付け型の支圧板を使用する、主桁定着部に製作段階で切欠を設けるなど、ケーブル形状の調整が必要となる場合があります。

参考文献

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）

参 考 資 料

- 資料 1. P C 鋼材位置の変更検討
- 資料 2. 追加ボンドレス鋼材の検討
- 資料 3. 端部処理材
- 資料 4. 鉄筋防錆材
- 資料 5. 定着具メーカーでの P C 鋼材定着部の防錆処理
- 資料 6. プレキャスト P C 桁における空気量と耐凍害性に関する文献

資料 1 P C 鋼材位置の変更検討

P C 鋼材位置について (その1)

※最上段 P C 鋼材位置変更に対応し現行 JIS 桁と鋼材図心位置が等しくなるように中段の鋼材の高さを変更した案 : A 活荷重対応桁

使用PC鋼材 : SWRFBEL IS12.7

鋼材図数 上段から	AS05		AS06		AS07		AS08		AS09		AS10		AS11	
	上段から の距離	本数	上段から の距離	本数	上段から の距離	本数	上段から の距離	本数	上段から の距離	本数	上段から の距離	本数	上段から の距離	本数
1段目	50	2	50	2	50	4	50	4	50	4	50	4	50	4
2段目	245	2	190	2	240	4	295	4	345	6	250	2	200	4
3段目	300	5	300	7	295	4	350	8	400	6	345	6	345	4
4段目			350	4							400	7	400	9
5段目														
合計	350	9	350	11	400	12	400	16	450	16	450	19	450	21
桁高	2322.2222		2344.5455		263.3333		281.2500		291.8750		297.3684		301.9048	
鋼材図心														

使用PC鋼材 : SWRFBEL IS15.2

鋼材図数 上段から	AS05		AS06		AS07		AS08		AS09		AS10		AS11	
	上段から の距離	本数	上段から の距離	本数	上段から の距離	本数	上段から の距離	本数	上段から の距離	本数	上段から の距離	本数	上段から の距離	本数
1段目	55	2	55	2	55	4	55	4	55	4	55	4	55	4
2段目	240.0	2	185.0	2	235.0	4	290.0	4	341.7	6	289.0	4	238.0	4
3段目	300	5	300	7	295	4	350	8	400	6	345	6	345	4
4段目											400	7	400	9
5段目														
合計	350	9	350	11	400	12	400	16	450	16	450	19	450	21
桁高	2322.2222		2344.5455		263.3333		281.2500		291.8750		297.3684		301.9048	
鋼材図心														

使用PC鋼材 : SWRFBEL IS15.2

鋼材図数 上段から	AS12		AS13		AS14		AS15		AS16		AS17		AS18		AS19		AS20		AS21		AS22		AS23		AS24			
	上段から の距離	本数	上段から の距離	本数	上段から の距離	本数	上段から の距離	本数	上段から の距離	本数	上段から の距離	本数	上段から の距離	本数	上段から の距離	本数	上段から の距離	本数	上段から の距離	本数	上段から の距離	本数	上段から の距離	本数	上段から の距離	本数		
1段目	50	2	50	2	50	2	50	2	50	2	50	2	50	2	50	2	50	2	50	2	50	2	50	2	50	2		
2段目	305	2	385	2	385	4	435	4	485	4	535	4	585	6	570	6	620	6	670	6	720	4	770	4	820	2		
3段目	400	8	450	8	450	8	500	8	550	8	600	8	650	8	700	8	750	8	800	8	850	6	900	8	950	8		
4段目																												
5段目																												
合計	450	12	500	12	500	14	550	14	600	14	650	14	700	16	750	16	800	18	850	18	900	20	950	20	1000	22		
桁高	3308.8333		3722.5000		374.2857		417.1429		460.0000		506.8750		550.6250		591.6667		636.1111		673.0000		724.5000		771.0000		817.5000		864.0000	
鋼材図心																												

鋼材図数 上段から	AS12		AS13		AS14		AS15		AS16		AS17		AS18		AS19		AS20		AS21		AS22		AS23		AS24			
	上段から の距離	本数	上段から の距離	本数	上段から の距離	本数	上段から の距離	本数	上段から の距離	本数	上段から の距離	本数	上段から の距離	本数	上段から の距離	本数	上段から の距離	本数	上段から の距離	本数	上段から の距離	本数	上段から の距離	本数	上段から の距離	本数		
1段目	55	2	55	2	55	2	55	2	55	2	55	2	55	2	55	2	55	2	55	2	55	2	55	2	55	2		
2段目	330.0	2	380.0	2	382.5	4	432.5	4	482.5	4	533.3	4	583.3	6	565.0	6	615.0	6	660.0	6	717.5	4	765.0	4	812.5	2		
3段目	400	8	450	8	450	8	500	8	550	8	600	8	650	8	700	8	750	8	800	8	850	6	900	8	950	8		
4段目																												
5段目																												
合計	450	12	500	12	500	14	550	14	600	14	650	14	700	16	750	16	800	18	850	18	900	20	950	20	1000	22		
桁高	3308.8333		3722.5000		374.2857		417.1429		460.0000		506.8750		550.6250		591.6667		636.1111		673.0000		724.5000		771.0000		817.5000		864.0000	
鋼材図心																												

P C 鋼材位置について (その2)

※最上段 P C 鋼材位置変更に対応し現行JIS桁と鋼材図心位置が等しくなるように中段の鋼材の高さを変更した案：B 活荷重対応桁

使用PC番号：SWRFBT IS12.7

鋼材図心 上段から 上段から	BS05		BS06		BS07		BS08		BS09		BS10		BS11	
	上段から の距離	本数	上段から の距離	本数	上段から の距離	本数	上段から の距離	本数	上段から の距離	本数	上段から の距離	本数	上段から の距離	本数
1段目	50	2	50	2	50	4	50	4	50	4	50	4	50	4
2段目	245	4	245	4	240	4	245	4	245	6	250	4	310	6
3段目	300	4	300	6	295	4	300	9	400	7	345	4	395	6
4段目			350	4							400	9	450	6
5段目														
合計	350	10	350	12	400	14	400	17	450	17	450	21	500	22
桁高	228.0000		236.6667		260.0000		266.4706		298.2353		301.9048		332.2727	
鋼材図心	228.0000		236.6667		260.0000		266.4706		298.2353		301.9048		332.2727	

使用PC番号：SWRFBT IS15.2

鋼材図心 上段から 上段から	BS06		BS07		BS08		BS09		BS10		BS11		
	上段から の距離	本数	上段から の距離	本数	上段から の距離	本数	上段から の距離	本数	上段から の距離	本数	上段から の距離	本数	
1段目	55	2	55	2	55	2	55	2	55	2	55	2	
2段目	242.5	4	237.5	4	240.0	4	341.7	4	285.0	6	336.7	6	
3段目	300	4	300	6	350	4	400	7	345	4	395	6	
4段目			350	4					400	9	450	6	
5段目													
合計	350	10	350	12	400	14	450	17	450	21	500	22	
桁高	228.0000		236.6667		260.0000		266.4706		298.2353		301.9048		332.2727
鋼材図心	228.0000		236.6667		260.0000		266.4706		298.2353		301.9048		332.2727

使用PC番号：SWRFBT IS15.2

鋼材図心 上段から 上段から	BS12		BS13		BS14		BS15		BS16		BS17		BS18		BS19		BS20		BS21		BS22		BS23		BS24			
	上段から の距離	本数	上段から の距離	本数	上段から の距離	本数	上段から の距離	本数	上段から の距離	本数	上段から の距離	本数	上段から の距離	本数	上段から の距離	本数	上段から の距離	本数	上段から の距離	本数	上段から の距離	本数	上段から の距離	本数	上段から の距離	本数		
1段目	50	2	50	2	50	2	50	2	50	2	50	2	50	2	50	2	50	2	50	2	50	2	50	2	50	2		
2段目	385	2	385	4	435	4	485	4	485	6	535	6	585	6	570	6	620	6	605	2	650	2	720	2	770	2		
3段目	450	8	450	8	500	8	550	8	550	8	600	8	650	8	635	8	685	8	670	8	730	8	785	8	835	8		
4段目															700	8	750	8	800	8	850	8	900	8	950	8		
5段目																			800	20	850	22	900	22	950	22		
合計	500	12	500	14	550	14	600	14	600	16	650	16	700	16	750	16	800	18	850	18	900	18	950	18	1000	22		
桁高	372.5000		374.2857		417.1429		460.0000		463.1250		506.8750		550.6250		591.6667		636.1111		673.0000		715.0000		758.3636		797.2727		840.0000	
鋼材図心	372.5000		374.2857		417.1429		460.0000		463.1250		506.8750		550.6250		591.6667		636.1111		673.0000		715.0000		758.3636		797.2727		840.0000	

使用PC番号：SWRFBT IS15.2

鋼材図心 上段から 上段から	BS12		BS13		BS14		BS15		BS16		BS17		BS18		BS19		BS20		BS21		BS22		BS23		BS24			
	上段から の距離	本数	上段から の距離	本数	上段から の距離	本数	上段から の距離	本数	上段から の距離	本数	上段から の距離	本数	上段から の距離	本数	上段から の距離	本数	上段から の距離	本数	上段から の距離	本数	上段から の距離	本数	上段から の距離	本数	上段から の距離	本数		
1段目	55	2	55	2	55	2	55	2	55	2	55	2	55	2	55	2	55	2	55	2	55	2	55	2	55	2		
2段目	380.0	2	382.5	4	432.5	4	482.5	4	483.3	4	533.3	4	583.3	4	565.0	4	615.0	4	600.0	4	650.0	4	700.0	4	745.0	4		
3段目	450	8	450	8	500	8	550	8	550	8	600	8	650	8	635	8	685	8	670	8	730	8	785	8	835	8		
4段目															700	8	750	8	800	8	850	8	900	8	950	8		
5段目																			800	20	850	22	900	22	950	22		
合計	500	12	500	14	550	14	600	14	600	16	650	16	700	16	750	16	800	18	850	18	900	18	950	18	1000	22		
桁高	372.5000		374.2857		417.1429		460.0000		463.1250		506.8750		550.6250		591.6667		636.1111		673.0000		715.0000		758.3636		797.2727		840.0000	
鋼材図心	372.5000		374.2857		417.1429		460.0000		463.1250		506.8750		550.6250		591.6667		636.1111		673.0000		715.0000		758.3636		797.2727		840.0000	

資料 2 追加ボンドレス鋼材の検討

改善後の引張応力(定着長40φ)が、標準桁の引張応力(定着長65φ、最大2.45N/mm²)を下回るよう、FEMにより検討した。

一例として、BS22の解析結果を次頁に掲載する。

1. A活荷重

	桁高	鋼材	標準桁						改善案					配置本数	ボンドレス鋼材総数	率
			ボンドレス鋼材			引張応力			追加ボンドレス鋼材			引張応力				
			下から ①	下から ②	下から ③	65φ時	40φ時	採用	下から ①	下から ②	下から ③	40φ時	採用			
AS05	350	φ12.7				—	0.78	○						9本	0本	0%
AS06	350	"				—	0.82	○						11本	0本	0%
AS07	400	"				—	0.90	○						12本	0本	0%
AS08	400	"				—	1.23	○						16本	0本	0%
AS09	450	"				—	1.35	○						16本	0本	0%
AS10	450	"				—	1.49	○						19本	0本	0%
AS11	450	"				—	1.30	○						21本	0本	0%
AS12	450	φ15.2	4			—	1.40	○						12本	4本	33%
AS13	500	"	4			—	1.40	○						12本	4本	33%
AS14	550	"	4			—	1.47	○						14本	4本	29%
AS15	550	"	4			—	1.69	○						14本	4本	29%
AS16	600	"	4	0		—	1.86	○						14本	4本	29%
AS17	650	"	4	2		—	1.94	○						16本	6本	38%
AS18	700	"	4	2		—	2.06	○						16本	6本	38%
AS19	750	"	4	2		—	1.96	○						16本	6本	38%
AS20	750	"	4	4		—	1.96	○						18本	8本	44%
AS21	800	"	4	4		—	2.05	○						18本	8本	44%
AS22	850	"	4	4		—	2.11	○						20本	8本	40%
AS23	900	"	4	4		—	2.36	○						20本	8本	40%
AS24	950	"	4	4		—	2.00	○						22本	8本	36%

2. B活荷重

	桁高	鋼材	標準桁						改善案					配置本数	ボンドレス鋼材総数	率
			ボンドレス鋼材			引張応力			追加ボンドレス鋼材			引張応力				
			下から ①	下から ②	下から ③	65φ時	40φ時	採用	下から ①	下から ②	下から ③	40φ時	採用			
BS05	350	φ12.7				—	0.73	○						10本	0本	0%
BS06	350	"				—	0.92	○						12本	0本	0%
BS07	400	"				—	0.65	○						14本	0本	0%
BS08	400	"				—	1.31	○						17本	0本	0%
BS09	450	"				—	1.46	○						17本	0本	0%
BS10	450	"				—	1.19	○						21本	0本	0%
BS11	500	"				—	1.43	○						22本	0本	0%
BS12	500	φ15.2	4			—	1.47	○						12本	4本	33%
BS13	500	"	4			—	1.47	○						14本	4本	29%
BS14	550	"	4			—	1.69	○						14本	4本	29%
BS15	600	"	4			—	1.86	○						14本	4本	29%
BS16	600	"	4	2		—	1.81	○						16本	6本	38%
BS17	650	"	4	2		—	1.94	○						16本	6本	38%
BS18	700	"	4			—	2.35	○						16本	4本	25%
BS19	750	"	4	4		—	1.96	○						18本	8本	44%
BS20	800	"	4	4		—	2.05	○						18本	8本	44%
BS21	850	"	4	4		—	2.11	○						20本	8本	40%
BS22	900	"	4			2.25	3.18			6		2.22	○	22本	10本	45%
BS23	950	"	4	2		—	2.96			4		2.29	○	22本	10本	45%
BS24	1000	"	4	2		2.45	3.27			4	4	2.30	○	24本	14本	58%

■ボンドレス鋼材の改善効果について

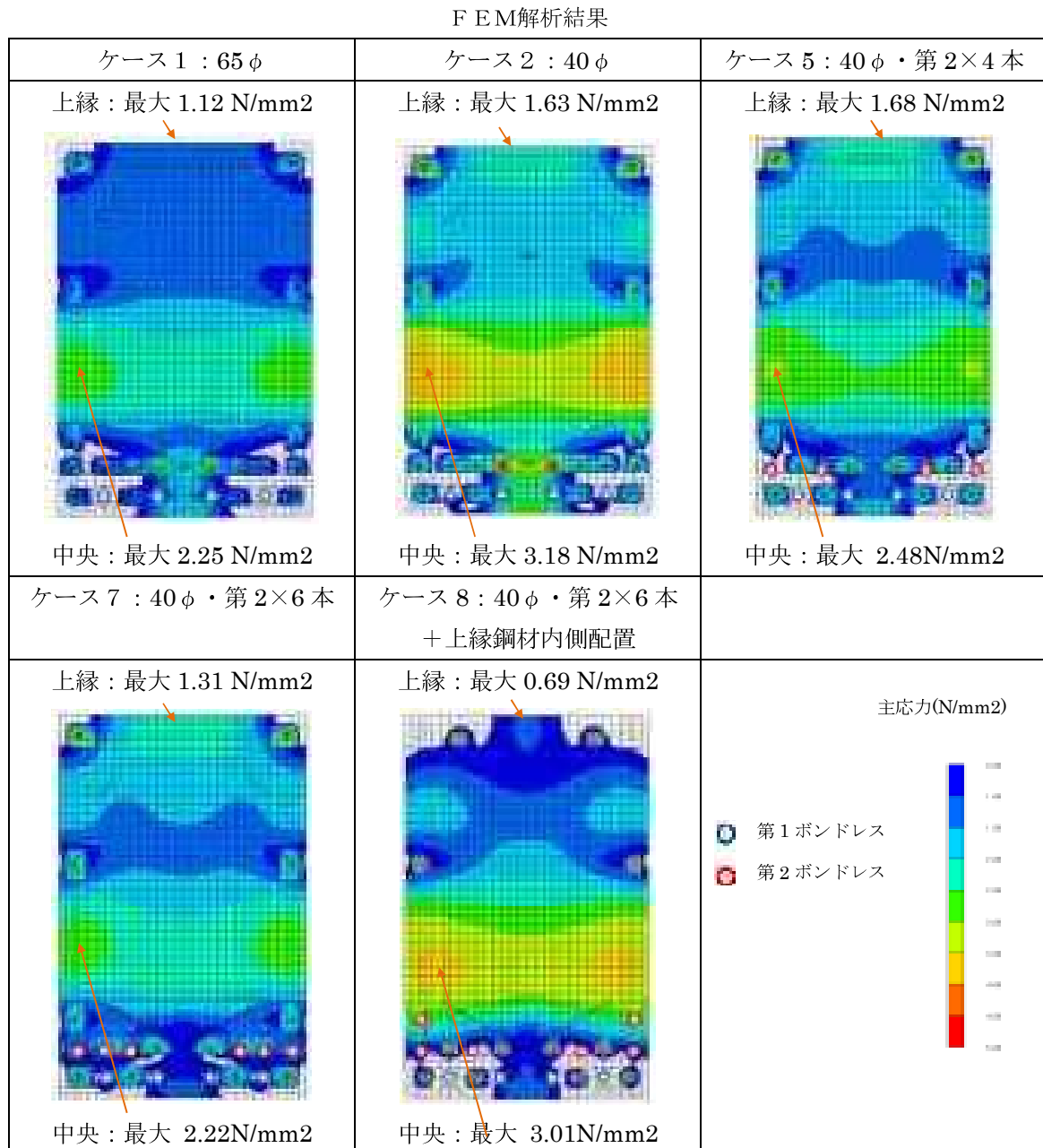
改善策の効果についてFEM解析により検討する。解析ケースは以下の通り。

【標準桁】 ケース1・2：第2ボンドレス：無 → 全ボンドレス 4/22本

【試験桁】 ケース5：第2ボンドレス(380mm：25φ)×4本 → 全ボンドレス 8/22本

【改善策】 ケース7・8：第2ボンドレス(380mm：25φ)×6本 → 全ボンドレス 10/22本

※PC鋼材は全22本で、第1ボンドレス×4本、端部に1/2以上定着と規定あり



注) 数値は、要素中心の主引張応力とする。また、事前に行ったFEM解析では引張応力と実験結果にやや乖離が見られたため、本解析ではPC鋼材の剛性と端部付近でのすべり(38mm：2.5φ分)を考慮した。

資料 3 端部処理材

PC建協：塩害に対するプレキャストPC
げたの設計・施工資料より

1.3.3 PC鋼材定着部

PC鋼材定着端部の防錆を目的とした端部処理について定める。

- (1) 主ケーブル
 - 1) プレテンションげた
 - (a) 材料
 - a) 材料の特性

端部処理に用いる材料には、次の特性が要求される。

- ① 防水性・・・水の浸入によるPC鋼材の錆の発生を防止する。
- ② 付着性・・・塗布材料がコンクリートに付着する。
- ③ 耐アルカリ性・・・コンクリート表面の高アルカリに耐性を有する。
- ④ しゃ塩性・・・塩分の浸透を抑制する。

また、端部処理材料は施工性がよく、長期にわたって耐久性に優れていることが大切である。なお、コンクリート表面の湿潤の度合いにより特性が極端に低下するものもあるので注意しなければならない。

- b) 材料の品質

端部処理に用いる材料の品質は、表 1.6 による規格を満足しなければならない。

表 1.6 端部処理材料の品質規格の標準

品質項目	試験項目		単位	品質規格	試験条件	養生条件
防水性	吸水試験	吸水量	g/cm ³	0.25 以下	材令 14 日	養生室 [※]
付着性	付着試験	付着強さ	N/mm ²	1.0 以上	材令 14 日	養生室 [※]
	耐アルカリ性試験	付着強さ	N/mm ²	0.8 以上	材令 14 日	アルカリ水溶液に浸漬 20±2℃
しゃ塩性	しゃ塩性試験	透過量	mg/cm ² ・日	0.01 以下	材令 14 日	養生室 [※]

※ 養生室の状態は、温度 20±2℃、湿度 65±10%

(出典：「設計・製造便覧 JIS A 5373-2004 附属書 2 (規定) 橋りょう類 推奨仕様 2-1 道路橋用橋げた (通常橋げた) (平成 16 年 6 月) 第三編 製造 3.12.2 仕上げ材料」)

材料の試験方法は、設計・製造便覧 付録-1 「端部処理材料の品質試験方法 (案)」による。

しゃ塩性の試験については、「道路橋の塩害対策指針 (案)・同解説 (社団法人 日本道路協会 昭和 59 年 2 月)」に収録されている付属資料 2 の付録 1 「コンクリート塗装材料の品質試験方法 (案)」による。

資料4 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

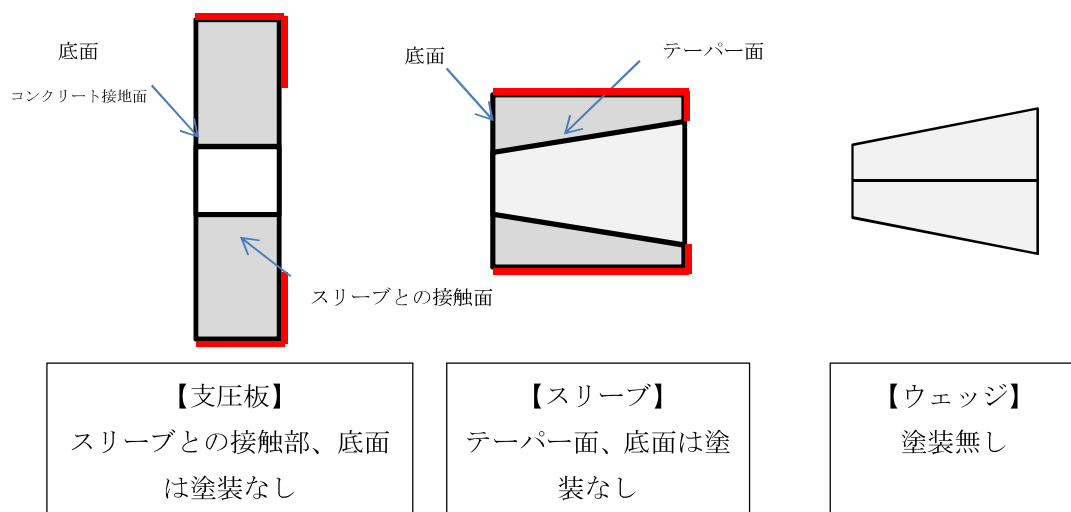


図 塗装箇所の一例

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

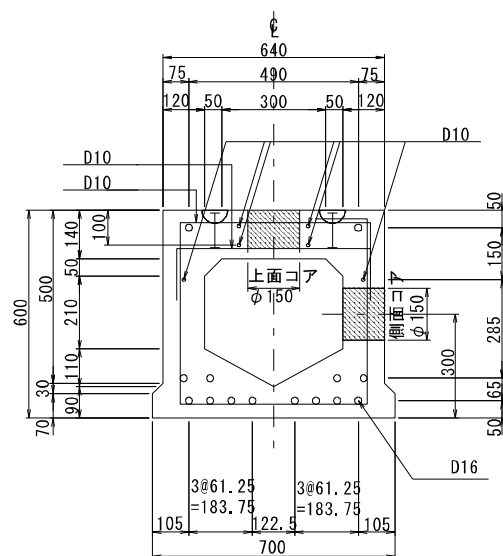


図-1 試験体断面図

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ルン量	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, スケールン量を測定する(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 $0.1 \sim 1 \times 10^{-16} m^2$ 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

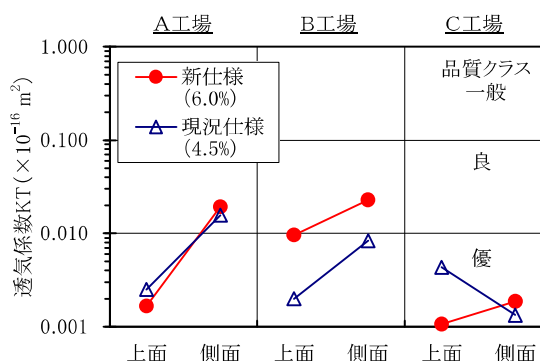


図-2 表層透気性に関する調査結果

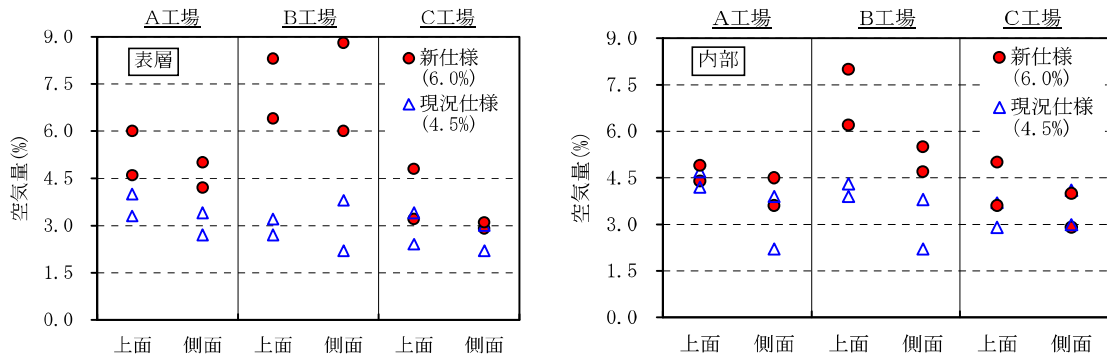


図-3 試験体表層と内部における硬化コンクリート中の空気量

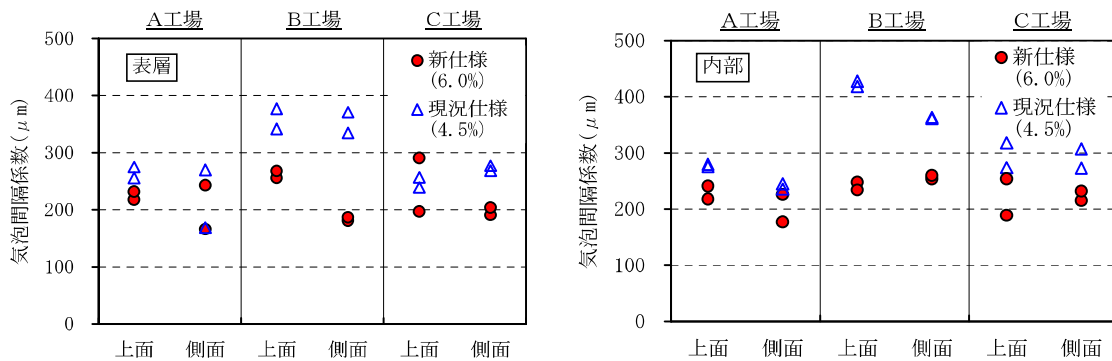


図-4 試験体表層と内部における硬化コンクリート中の気泡間隔係数

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。

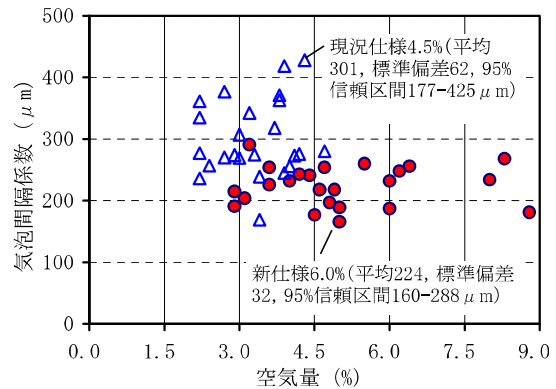


図-5 硬化コンクリート中の空気量と気泡間隔係数の関係

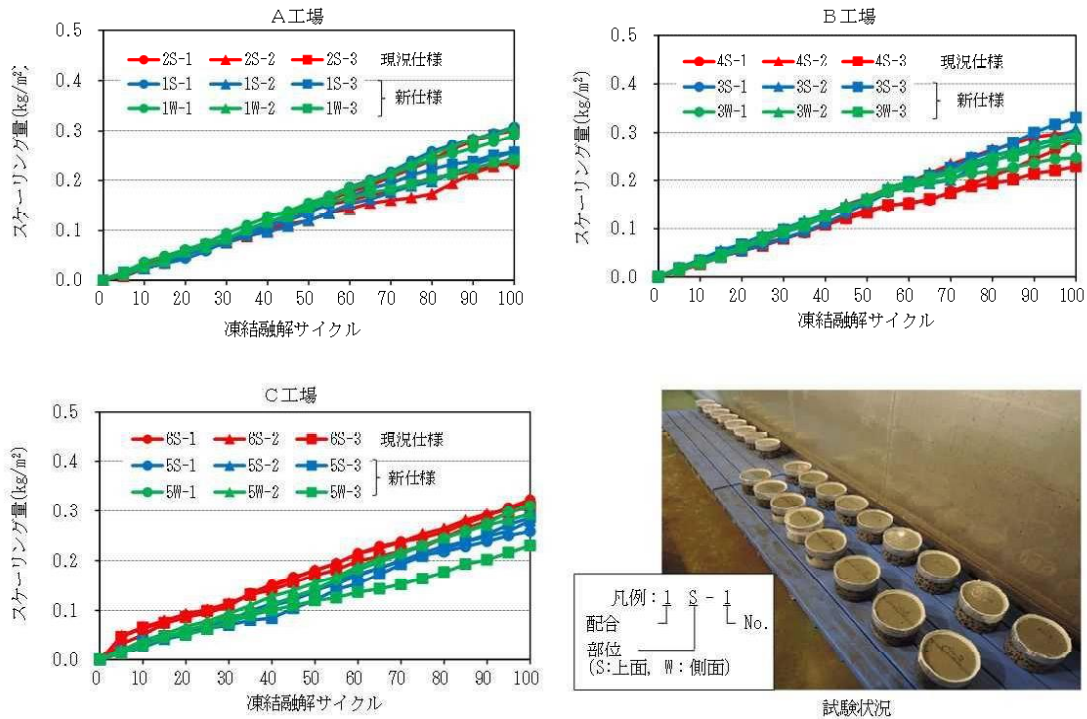


図-6 スケーリング量の推移



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

現況仕様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.

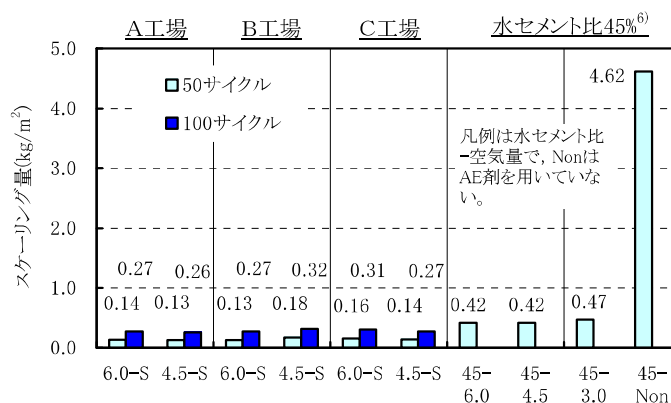


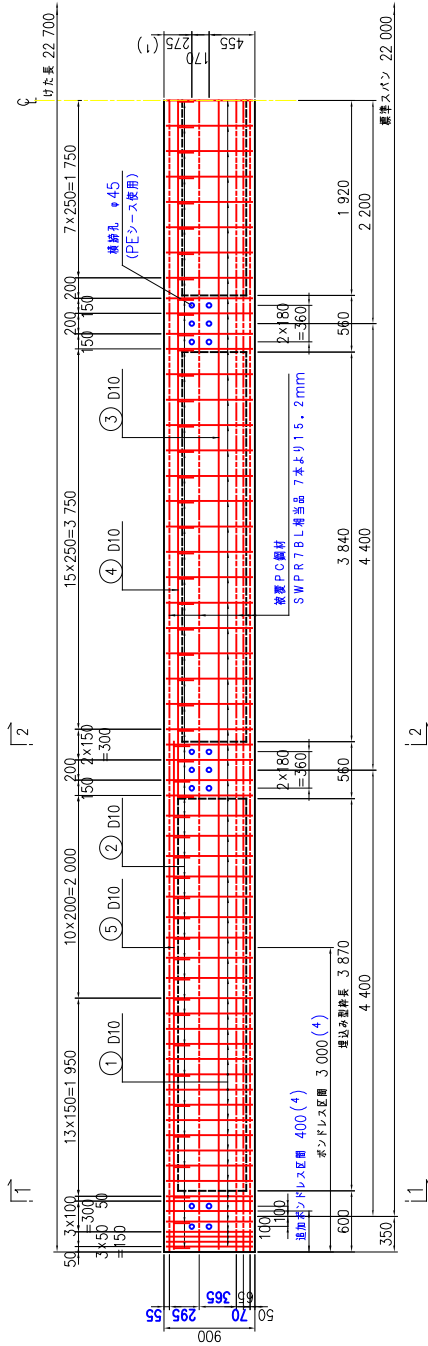
図-7 スケーリング量の比較

参 考 图 面

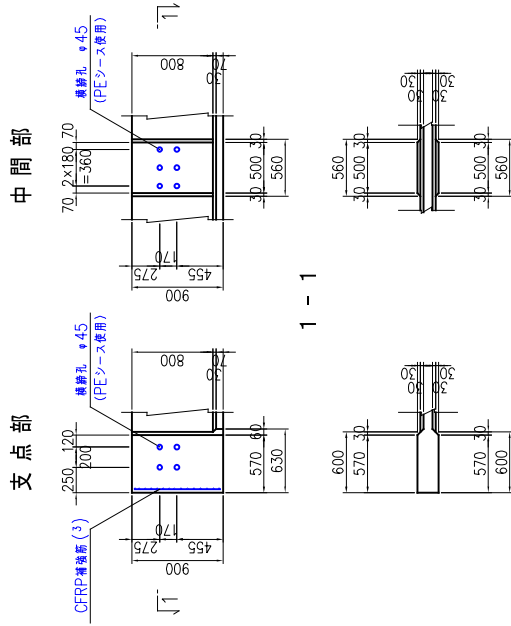
被覆PC鋼材を使用したPC桁 BS22

単位 mm

橋げた側面図



横締位置詳細図

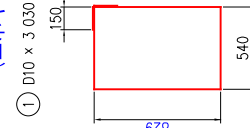


橋げた断面図

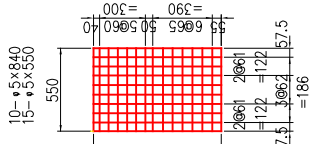
1 - 1

2 - 2

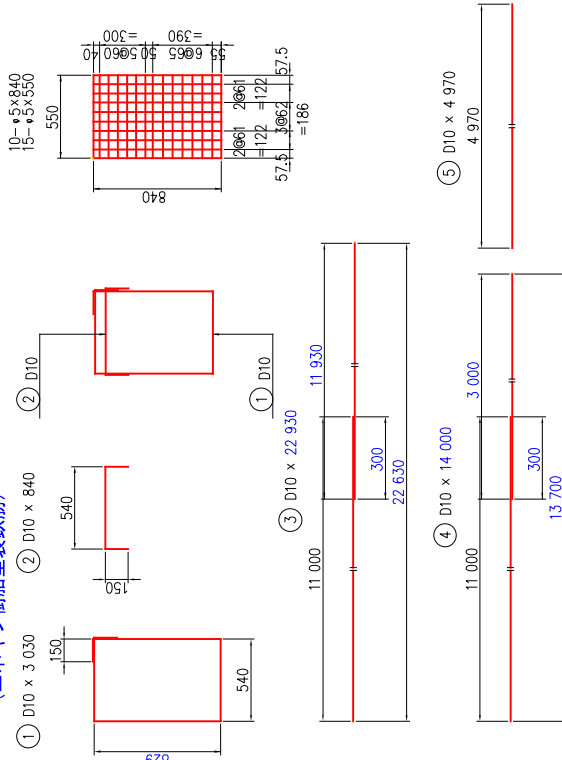
鉄筋加工図 (1)
(エポキシ樹脂塗装鉄筋)



CFRP補強筋 (3)



組立図



凡例
 ○ 被覆PC鋼材 ※SWPR7BL相当品 (成分を除く) で、普通PC鋼材と同等以上の付着強度を有する。
 ● ポンドコントロール鋼材 ● 追加ポンドコントロール鋼材
 ● エポキシ樹脂塗装鉄筋 (SD345相当品)

- 注 (1) 鉄筋加工寸法及び横締配置間隔は、参考値とする。
 (2) 最下段及び最上段以外のPC鋼より線の水平距離。
 (3) 折断面からの疵かぶり: 35mm
 (4) ポンドコントロール鋼材は、全数、折端までポンドレスとする。

(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