コンクリート舗装のプレキャスト化による工程短縮事例

東亜建設工業（株）　正会員　○河野　涼凪　榊原　務　江口　浩敬
東亜建設工業（株）　小池　信也　長岡　隆浩

1．はじめに

本工事は，七尾港大田地区において，令和 6 年能登半島地震により被災した既設岸壁の災害復旧工事である．工事内容は控え矢板式構造から疑似重力構造へ改良を行うものである（図-1）．

施工にあたっては，資材調達や冬季施工等の厳しい条件の中で，所定の工期を遵守する必要があった．そこで本工事では工程短縮を目的としてエプロン部の舗装コンクリートに対しプレキャスト（以下，PCa とする）工法を採用した．PCa 工法は，現場作業量の削減や施工の標準化により，工程短縮および施工効率の向上に寄与することが期待されている．また，担い手確保といった社会的課題への対応手段としても適用が拡大している．

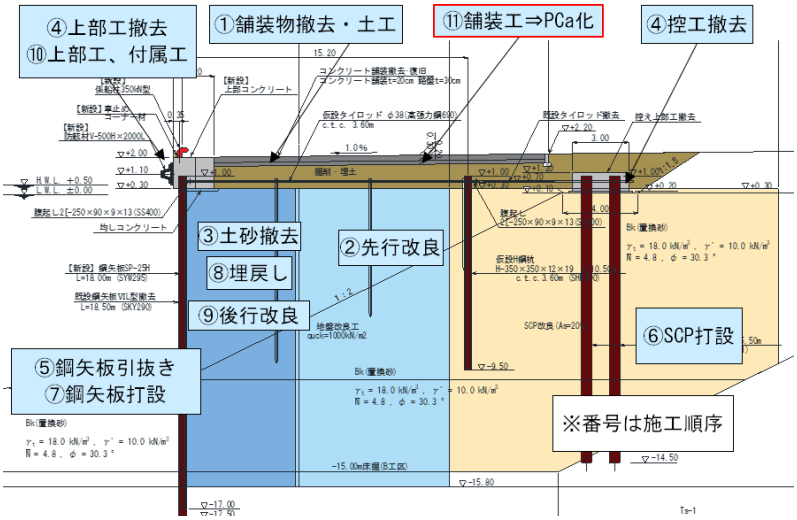


図-1　施工断面図

本稿では，PCa 工法の適用にあたり実施した設計・施工上の課題や対策，導入効果等について報告する．

2．施工上の課題と対策

(1) 施工上の課題

本工事では，資材調達や施工条件に対するリスクを低減し，工程を短縮する施工計画および施工方法の立案が課題となった．

本工事における施工上の問題は，工期が極めて短く，かつ確実に遵守する必要があった点にある．本工区は暫定供用中の岸壁であり，大田地区全体として全長 90m の船舶 2 隻の供用を常時確保しながら施工を実施する必要があった．そのため一部区間の早期部分供用が求められており，施工範囲を段階的に切り替えながら工事を進めつつ，所定の工期までに施工を完了させることが必須条件であった（図-2）．また，能登半島地震後は災害復旧工事が各地で発注されたことから，当初設計の使用材料である曲げコンクリートの供給に制約が生じる可能性が想定された．さらに，舗装コンクリートは大半が冬季施工となることから，積雪などによる作業中断のリスクも考えられた．

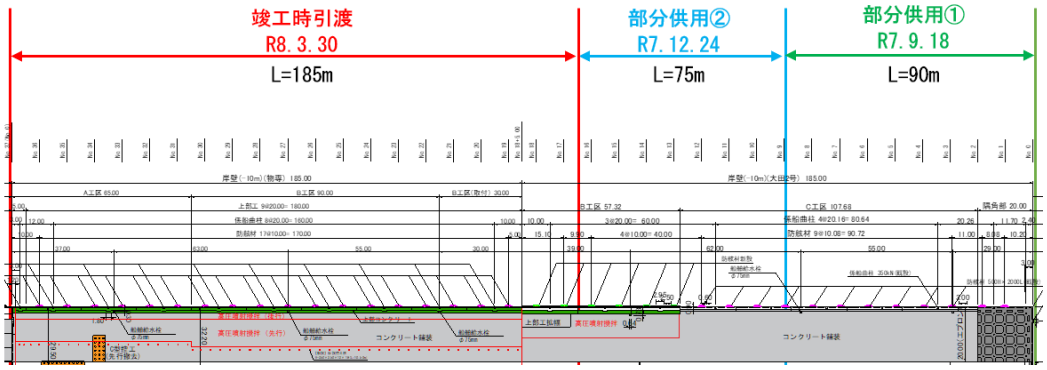


図-2　施工範囲および部分共用条件の概要

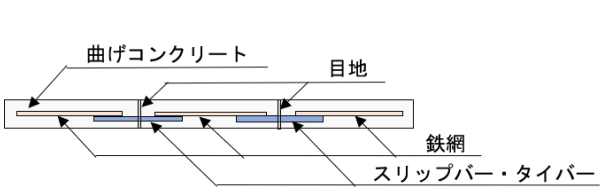
キーワード　能登半島地震，舗装コンクリート，プレキャスト化，工程短縮，施工効率化
連絡先　〒163-1031　東京都新宿区西新宿 3-7-1　新宿パークタワー31F
東亜建設工業（株）土木本部設計部　TEL 03-6757-3849

(2) 対策

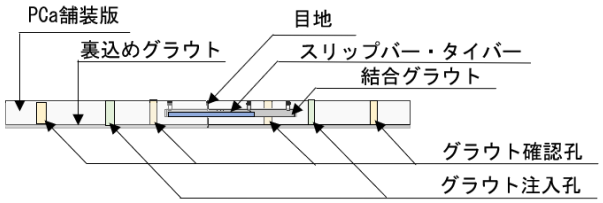
対策として，舗装コンクリートに PCa 工法を採用した．PCa 工法は，工場製作した PCa 舗装版（以下，舗装版とする）を，現地にて据付および接合するものとした．

当初設計および PCa 工法の構造図を図-3 に示す．舗装版相互はスリップバーおよびタイバーにより接合し，「港湾の施設の技術上の基準・同解説」[1)]（以下，「港湾基準」とする）に基づく当初設計と同等の目地構造とした．また，路盤の不陸に対応するよう据付後に裏込めグラウトを注入できる構造としている．舗装版の版厚が薄いため，法線直角方向はプレストレストコンクリート（以下，PC とする）構造，法線平行方向は鉄筋コンクリート構造を採用した．

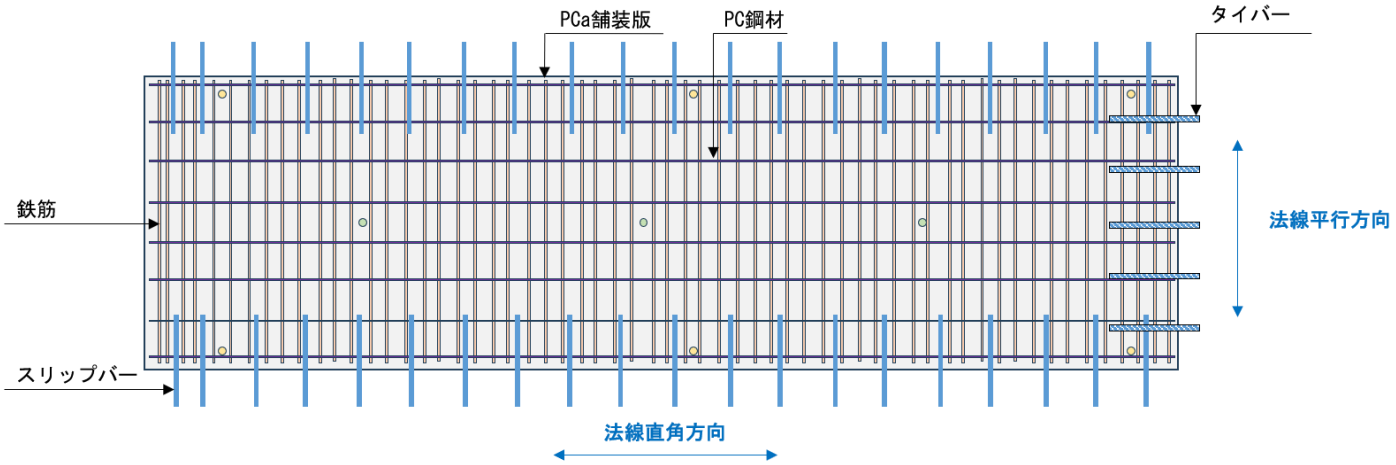
PCa 工法の採用により，現場作業の削減による工程短縮が期待でき，調達に懸念のあった曲げコンクリートが不要となる．また，現場打設は結合グラウトおよび裏込めグラウトに限定されるため施工条件の制約を受けにくく，資材の供給や天候に左右されにくい施工が可能となった．



（a）当初設計　断面図



（b）PCa 工法　断面図



（c）PCa 工法　平面図

図-3　構造図

3．設計

(1) 設計条件

a) 舗装版の形状寸法について

舗装版の形状寸法は施工性を考慮し決定した．舗装版の大型化は据付枚数を削減できることから，現場作業の効率化が期待できる．一方，過度な大型化は運搬および据付の制約を受ける懸念がある．

本工事では，他工種との調整および調達性を考慮し 20t 積みトレーラによる陸上運搬および 100t 吊りクローラクレーンによる据付を前提条件とし，舗装版の最大寸法を平面形状　約 9.5m×約 2.5m，厚さ　0.18m（重量　約 10t）とした．

b) 荷重条件について

検討ケースは，完成時および架設時とした．なお，完成時は当初設計において設定された荷役機械荷重を対象とし照査を実施し，架設時は舗装版のクレーン吊上げ時を想定して照査を行った．

(2) 設計方法

舗装版の設計フローを図-4 に示す．本設計では，設計条件を設定した後，性能の経時変化，各断面の使用性および安全性，ならびに疲労度の照査を実施した．

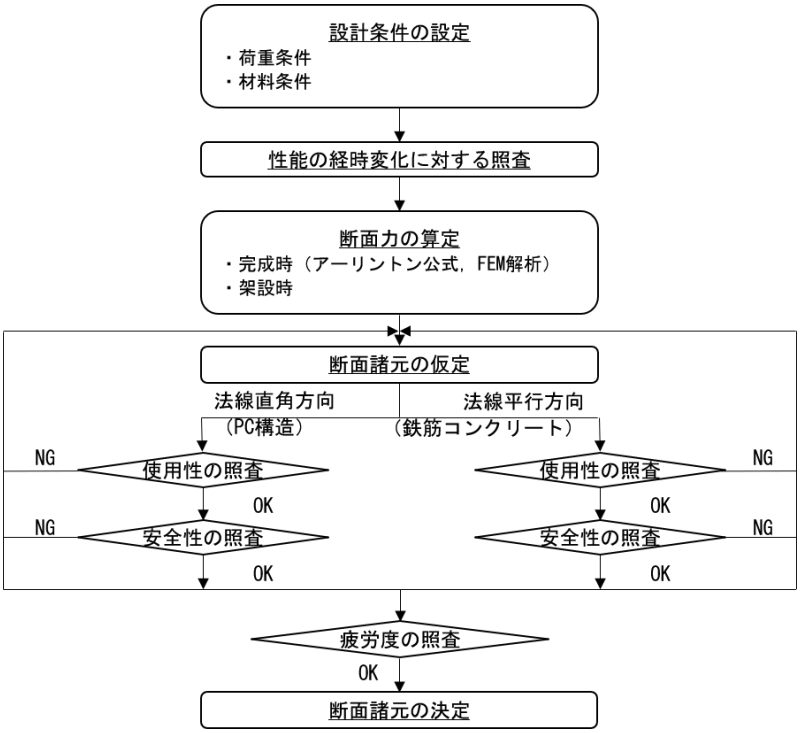


図-4　設計フロー

4．PCa 工法適用における設計上の工夫

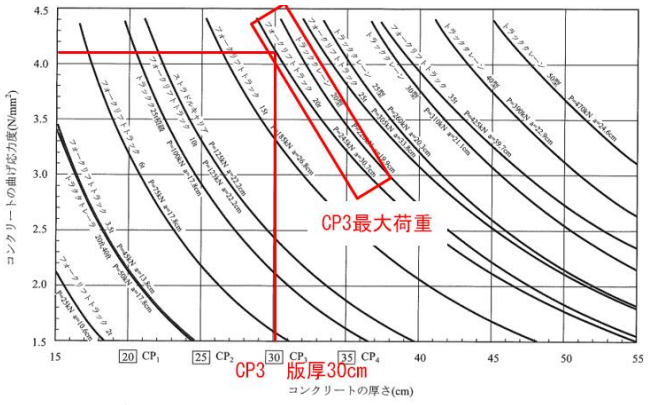
(1) 完成時の設計について

本工事では，「港湾基準」[1]に示される舗装工の設計に加え，FEM 解析による曲げ応力度の確認を実施した．これは，舗装版が一般的な舗装工と比べ長尺であり，寸法効果による応力度への影響を確認するためである．

設計荷重は，舗装工に作用する荷役機械荷重とし，作用分類は CP3 である（表-1）．「港湾基準」[1]に示される舗装工の設計では，作用分類に応じコンクリート版厚を決定するが，本工事では舗装版の版厚を 0.18m としたため，CP3 の機械荷重，設置半径を用いてアーリントン公式より曲げ応力度を算定し，所要の性能を満足することを確認する（表-1，図-5）．本検討では，算定した曲げ応力度は FEM 解析と比較しアーリントン公式は大きな値を示したため，アーリントン公式により算定した曲げ応力度を用いて断面諸元を決定した．

表-1　「港湾基準」[1]による設計方法

作用分類	荷役機械の種類		作用（kN）	設置半径（cm）	版厚（cm）
CP1	フォークリフトトラック	2t	25	10.6	20
	トラクタトレーラ	20ft，40ft用	50	17.8	
	フォークリフトトラック	3.5t	45	13.8	
CP2	フォークリフトトラック	6t	75	17.8	25
CP3	トラック	25t積級	100	17.8	30
	フォークリフトトラック	10t	125	22.2	
	ストラドルキャリア	-	125	22.2	
	フォークリフトトラック	15t	185	26.8	
CP4	移動式クレーン	20型	220	19.9	35
	フォークリフトトラック	20t	245	30.7	
	移動式クレーン	25型	260	20.3	



$$\sigma = \frac{10CP}{h^2}\left(1 - \frac{\sqrt{\frac{a}{l}}}{0.925 + 0.22\frac{a}{l}}\right)$$

ここに，

σ　：コンクリート版の直角隅角部の最大応力度 (N/mm²)

C　：係数，ダウエルバーを用いる場合は，$C = 3.36$ としてよい。

P　：荷役機械荷重 (kN)

h　：コンクリート版の厚さ (cm)

a　：荷役機械荷重の接地半径 (cm)

l　：舗装の剛比半径 (cm)　$l = \sqrt[4]{\frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)K_{75}}}$

図-5　コンクリート版厚と応力度の関係（「港湾基準」[1] より抜粋　一部加筆）

(2) 隅角部のスリップバー・タイバーについて

本工事では，舗装版の接合部に配置するスリップバーおよびタイバーについて，舗装版据付後にシース管内を移動させて所定位置へ配置する方式を採用した．一方，舗装版の隅角部において，上述の方式ではスリップバーとタイバー用シース管が干渉する問題があった（図-6）．そこで本工事では，スリップバーとタイバーのシース管が舗装版内部で交差する十字型のシース管の使用を考案し，隅角部に配置することで所定位置に配置できる構造とした．スリップバーおよびタイバーの設置手順を図-7 に示す．なお，本方式は特許出願中である．

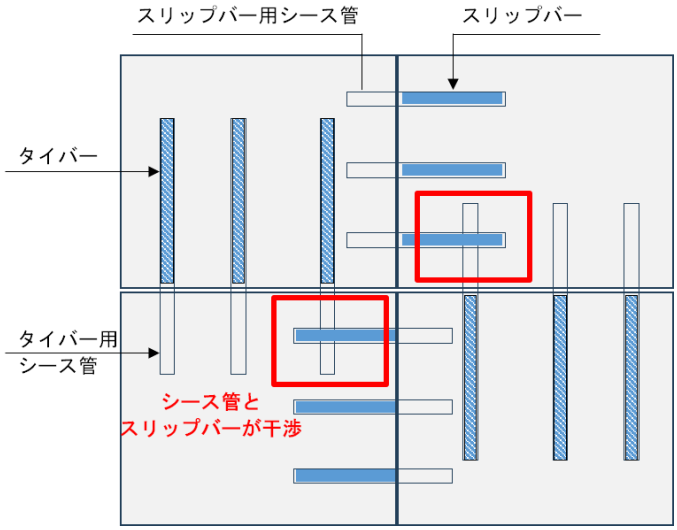


図-6　隅角部干渉状況図

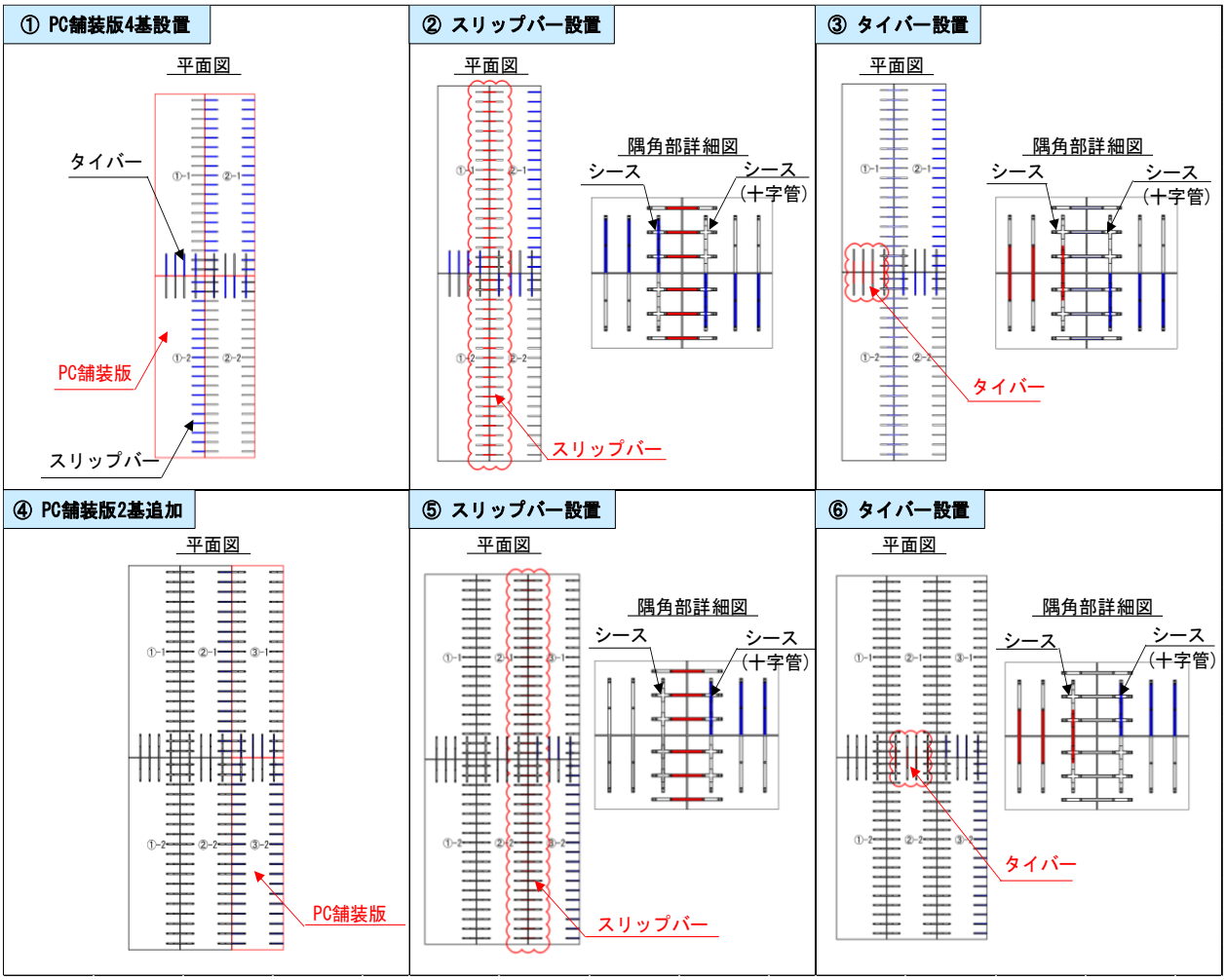


図-7　スリップバー・タイバーの設置手順

5．施工方法

(1) 舗装版の据付

舗装版は事前に工場にて製作し，陸上運搬により現地へ搬入した．現場では，路床および路盤の構築，小口止めの施工及び路盤面へポリエチレンシートを敷設した．舗装天端面の平坦性を確保することを目的に，路盤上にあらかじめライナープレートを設置した．

また，搬入した舗装版はクローラクレーンを用いて据付を行った（図-8）．



図-8　据付状況

(2) スリップバー・タイバーの設置および接合

舗装版を搬入した後，仮置きを行い舗装版側面にスリップバーまたはタイバーおよび結合グラウト流出防止用パッキンを設置した．スリップバーおよびタイバーには事前にリード線を取り付けることにより，スリップバーおよびタイバーを所定の位置に設置できる構造とした．

続いて隣接する舗装版を据え付け，スリップバーおよびタイバーを所定の位置へ配置した．スリップバーおよびタイバーの配置完了後は結合グラウトを充填し，舗装版同士の一体化を行った．スリップバーおよびタイバーの設置方法を図-9 に示す．

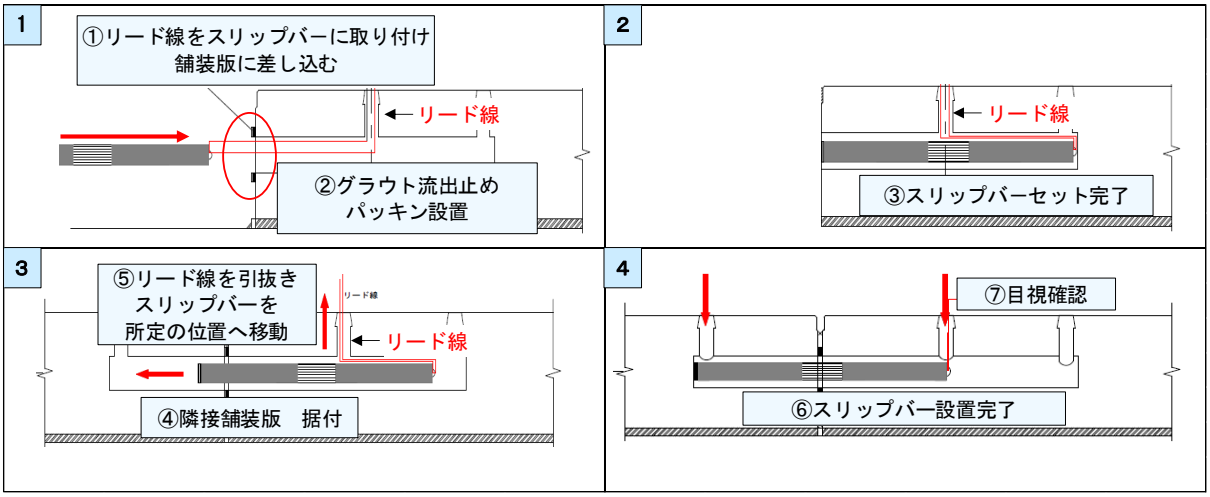


図-9　スリップバー・タイバー設置方法

(3) 裏込めグラウト施工および目地処理

舗装版相互の接合完了後，舗装版下面と路盤と間に裏込めグラウトを充填した．結合グラウトおよび裏込めグラウトは，舗装版に設けた注入孔から注入し，確認孔により充填状況を確認した．注入孔および確認孔は充填確認後，樹脂モルタルにより処理した．その後，舗装版間の目地部に対して加熱注入目地材を充填し，一連の舗装施工を完了とした．

６．PCa 工法適用における施工上の工夫

(1) 舗装版据付時の平面位置の管理

平面位置の据付管理にあたっては，舗装版が施工済み構造物および既設構造物に囲まれている中で，計画位置内に収めることが課題であった．また，舗装版には製作時の寸法誤差が生じる．本工事では製作時の寸法誤差は管理値を±5mm とし，実測結果は最大　+3mm，最小　-2mm であった．1 枚あたりの誤差は少ないものの，据付枚数が増加すると誤差が累積し，舗装延長が計画値を超過するおそれがあった．そこで本工事では，各舗装版の据付時に計画位置との差異を確認し，生じた誤差を目地幅により逐次調整しながら施工を行った．

その結果，寸法誤差の累積による影響を抑え，すべての舗装版を計画した舗装範囲内に据え付けることができた．

(2) 舗装版据付時の平坦性の確保

舗装版の平坦性を確保するため，既設構造物および舗装版同士の段差が生じないよう据付を行う．路盤高が

設計高を上回った場合，舗装版設置後の高さの修正が困難となり，平坦性を確保できない懸念がある．一方で路盤高が低い場合，舗装版下面と路盤の間隔が大きくなり，裏込めグラウトの打設数量増加につながり，施工効率の低下や施工コストの増加を招くことが懸念された．

そこで本工事では，出来形管理基準値と裏込めグラウト数量とのバランスを考慮し，路盤高の管理を行った．路盤の管理にあたっては，厚さの管理（出来形管理基準より-2.5cm，+方向規定なし）に加えて，天端高の自主管理を行った．実施工時の管理値は天端高を+5mm，-10mm と設定し管理を行った．

その結果，舗装版および路盤のどちらも出来形管理基準を満足する結果となった．

(3) グラウトの品質管理

グラウトの品質管理を目的に，練上り温度の管理およびポリエチレンシートを使用した．

練上り温度の管理は，結合グラウトおよび裏込めグラウトの充填を確実に行うために実施した．結合グラウトおよび裏込めグラウトは，舗装版に設けた注入孔から施工する構造であり，施工中に内部の充填状況を直接確認することができない．グラウトの流動性が不足した場合や初期硬化が発生した場合，舗装版内部への充填不足や未充填部の発生につながる恐れがある．このため，施工にあたっては練混ぜ水による練上り温度の管理を徹底し，所定の流動性を確保した状態で充填を行った．なお，グラウトの練上り温度は，養生温度に対応する温度となるよう管理した（**表-2**）．

表-2　グラウトの練上り温度

養生温度（℃）	5	10	20	30
練上り温度（℃）	8	12	22	32

上述の品質管理により，結合グラウトおよび裏込めグラウトを確実に充填することができた．

また，通常の舗装工における路盤紙の代替として，裏込めグラウトの品質確保を目的にポリエチレンシートを使用した．路盤紙ではグラウトの水分が路盤紙に吸収され水セメント比が変化する懸念があった．そこで路盤紙と比較し耐水性および遮水性の高いポリエチレンシートを使用することで，裏込めグラウトの水セメント比を確保し，品質の安定を図った．

7．導入の効果

本工事において，エプロン幅　約 18m，延長　約 185m，面積　約 3,300m²の区間を対象として，現場打設工法の当初計画と PCa 工法の実績を比較し，PCa 工法導入による効果を検証した．

(1) 工程について

舗装コンクリートに PCa 工法を採用することにより，現場打設工法と比較して工程を約 4 週間短縮することができた．工程短縮の主な要因は，現場作業量の削減および施工効率の向上，養生期間の短縮である．

各工法の施工フローを**図-10** に示す．

PCa 工法は，作業手順の簡素化に加え各作業を輻輳し施工することが可能であるため，施工効率の大幅な向上に寄与した．1 日当たりの施工数量は，現場打設工法は 55m²/日，PCa 工法は 118 m²/日となった．なお，本数量は着手から養生期間を考慮したものである．

養生期間について，当初計画では舗装コンクリート打設後に 28 日間の養生期間を確保する必要があった．一方，PCa 工法では現場施工が結合グラウトおよび裏込めグラウトに限定される．グラウトには超速硬型グラウトを採用したことにより，必要な養生期間を 7 日間まで短縮することができた．

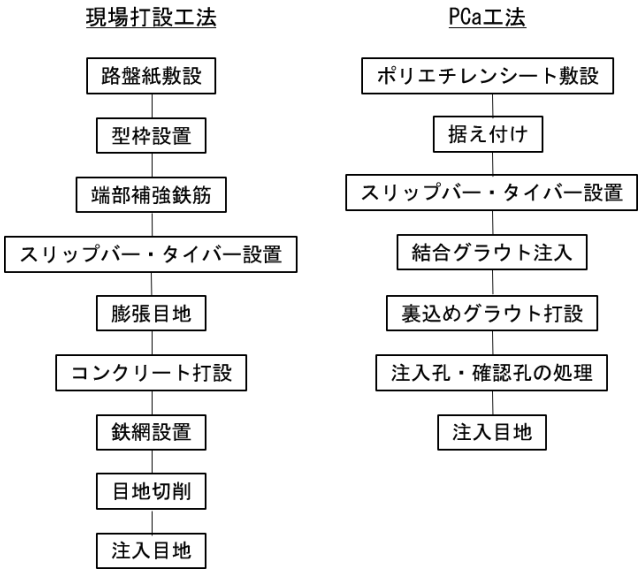
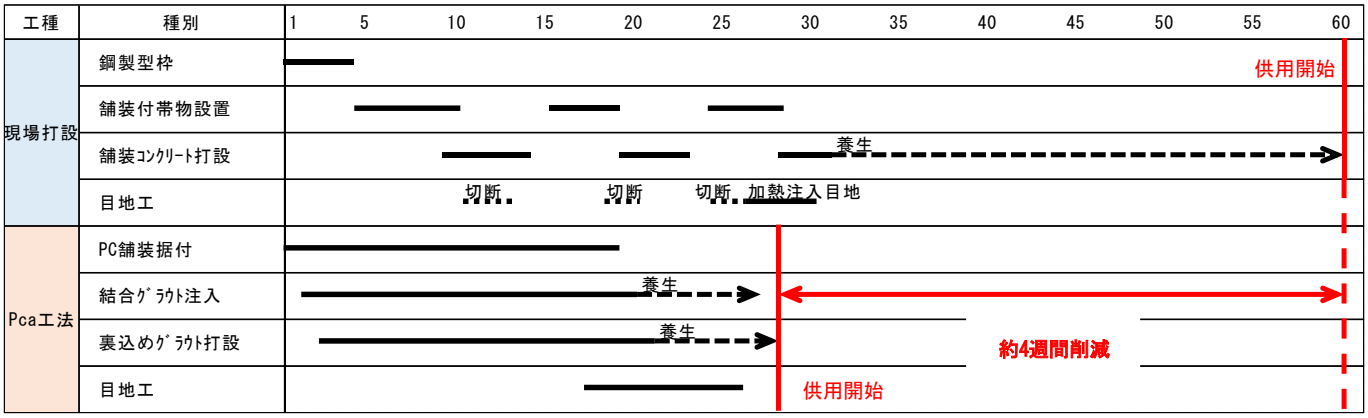


図-10　施工フロー

加えて，現場でのコンクリート打設が不要となったことで，降雨や積雪の影響を大きく受ける現場打設工法

と比べ計画的に進捗管理を行うことができた．現場打設工法と PCa 工法の工程を表-3 に示す．

表-3　工程の比較



(2) 労務について

現場打設工法と PCa 工法の労務構成を表-4 に示す．PCa 工法の採用により，労務を削減することができた．また，PCa 工法は現場打設工法と比べ高度な専門技能を必要とする作業が少なく，作業可能な技術者の確保が容易となる．

表-4　労務構成

(a) 現場打設工法

	労務(人)
鋼製型枠設置	31
コンクリート舗装	410
横収縮目地	34
膨張目地	3
縦方向目地	19
施工目地	14
対象範囲全体の労務合計	511

(b) PCa 工法

	労務(人)
ポリエチレンシート	38
据付	95
スリップバー・タイバー設置	38
結合グラウト注入	95
裏込めグラウト打設	95
注入孔・確認孔の処理	38
注入目地	19
対象範囲全体の労務合計	418

8．おわりに

本工事では，工程遵守が最重要課題となる中，エプロン部の舗装コンクリートに PCa 工法を採用した．その結果，現場作業の削減，養生期間の短縮および気象条件による工程遅延リスクの低減により，当初計画と比較して大幅な工程短縮を実現することができた．加えて，施工上の課題のひとつであった施工条件や材料調達の制約への対応という観点からも PCa 工法の適用は非常に有効であった．また，PCa 工法の適用にあたっては，課題に対して各種対策を講じることで，所要の品質を確保しながら施工を完了することができた．完成後の写真を図-11 に示す．

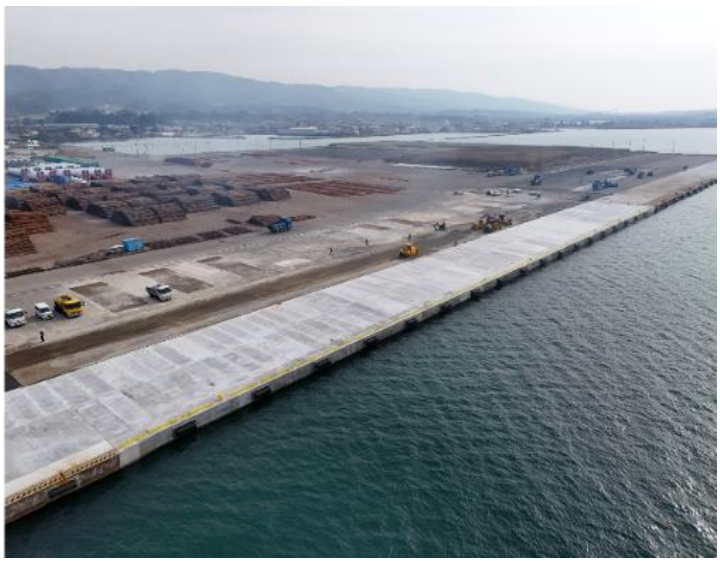


図-11　完成状況写真

本稿が今後の PCa 工法の採用の一助となれば幸いである．

参考文献

1)　日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説，pp. 1310-1328，日本港湾協会，2018 年