

22 品質管理

橋梁下部工構造物の品質向上と 3D スキャナーによる出来栄え評価について

愛知県土木施工管理技士会

株式会社新井組 土木工事部

森谷 光希[○] 高島 大

1. はじめに

本工事で施工する大阪湾岸道路西伸部（六甲アイランド北～駒栄）は、大阪湾岸道路の一部を構成する、神戸市東灘区から長田区に至る延長14.5kmの道路である。完成すると大阪湾沿岸地域の既存幹線道路の交通負荷を軽減し、都市環境の改善を図るとともに、大阪湾沿岸諸都市を有機的に連絡して、都市の活力を向上させる効果が期待される。なお、本工事は一般国道2号大阪湾岸道路西伸部（六甲アイランド北～駒栄）のうち、六甲アイランド地区に計画される六甲アイランド第四高架橋下部1基の工事である。

工事概要

- (1) 工事名：大阪湾岸道路西伸部六甲アイランド第四高架橋PE11下部工事
- (2) 発注者：近畿地方整備局浪速国道事務所
- (3) 工事場所：神戸市東灘区向洋町地先
- (4) 工期：自) 令和3年3月31日～
至) 令和4年3月31日



図-1 工事全景

2. 現場における問題点

(1) 塩害地域での施工に伴う耐久性の低下

本橋計画地は塩害地域Cに区分され、湾岸沿いの連続高架橋であることや、海岸線から概ね200mであることから、塩害対策はⅢ（影響を受ける）に区分となる。このことから橋脚躯体工の耐久性を向上させるうえでコンクリートのひび割れ抑制対策が重要となる。

表-1 塩害の影響

①塩害の影響：C地域 対策区分：影響は無い(海岸線からの距離200m以上)

地域区分	地域	海岸線からの距離	塩害の影響度合いと対策区分	
			対策区分	影響度合い
A	沖繩県	海上部及び海岸線から100mまで	S	影響が激しい
		100mを超えて300mまで	I	影響を受ける
		上記以外の範囲	II	
B	図-6.2.1 表-6.2.4 に示す地域	海上部及び海岸線から100mまで	S	影響が激しい
		100mを超えて300mまで	I	影響を受ける
		300mを超えて500mまで	II	
		500mを超えて700mまで	III	
C	上記以外の地域	海上部及び海岸線から20mまで	S	影響が激しい
		20mを超えて50mまで	I	影響を受ける
		50mを超えて100mまで	II	
		100mを超えて200mまで	III	

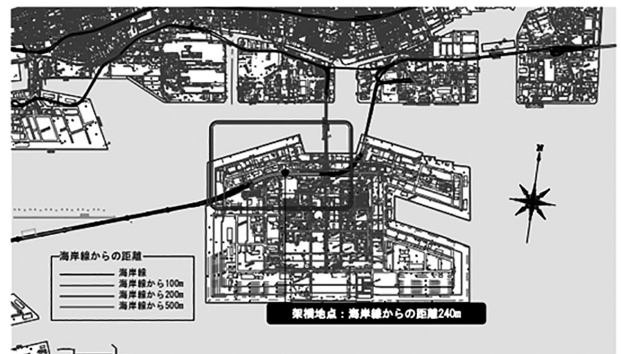


図-2 海岸線からの距離

(2) 温度応力によるフーチング部のひび割れ

本工事で構築される橋脚の躯体コンクリート

(フーチング)は、底版厚4.0m、柱寸法2.5m×4.0mであることから、マスコンクリート(スラブ厚80～100cm以上、壁厚50cm以上)に該当するため、温度ひび割れの発生が懸念された。よって、施工に先立ち温度応力解析により、問題点を抽出することとした。また、打設リフトはフーチング、柱の順番とした。コンクリート標準示方書に基づき、目標ひび割れ指数を1.0以上(ひび割れ発生確率を50%以下)とし、許容ひび割れ幅を0.20mm以下とした。解析の結果、フーチング及び柱の内部の最小ひび割れ指数は、照査水準である1.0以上の値となり表面の最小ひび割れ指数は1.0より小さい値となった。したがって内部拘束による表面ひび割れの発生する可能性が高いことが分かった。

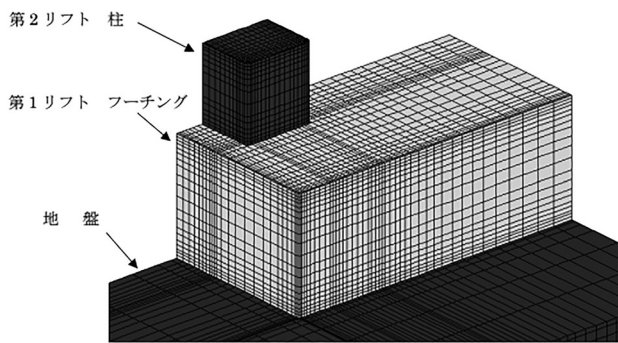


図-3 解析モデル

表-2 ひび割れ指数の照査結果

	第1リフト フーチング (表面)	第1リフト フーチング (内部)	第2リフト 柱 (表面)	第2リフト 柱 (内部)
着目点	20137	22511	36997	37301
材齢(日)	6	215	2	59
予想されるひび割れ	内部拘束	外部拘束	内部拘束	外部拘束
ひび割れ指数	0.72	1.41	0.99	1.19
照査水準	1.0	1.0	1.0	1.0
照査結果	NG	OK	NG	OK

(3) 建設分野における生産性の向上

まず初めに、国土交通省においては、建設現場における生産性を向上させ、魅力ある建設現場を目指す新しい取り組みであるi-Constructionの活用を推奨している。当現場においても、生産性向上を目指し、限りある時間を有効的に活用し施工を進めていくことが必要不可欠である。

3. 工夫・改善点と適用結果

(1) ひび割れ誘発目地材の活用

当初設計では、フーチングコンクリート天端に収縮目地(Vカット)を施工する設計であったが、Vカットの施工は、コンクリート打設前にVカット寸法に合わせた面木等を設置する方法や、コンクリート打設後天端にカッターを入れ、V字形状に研る方法がある。

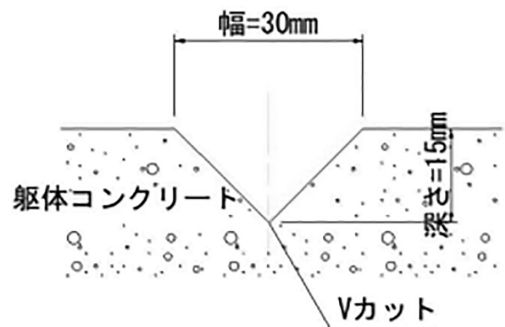
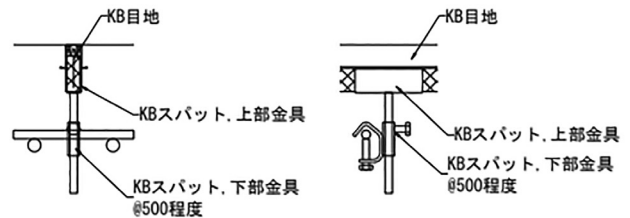


図-4 収縮目地詳細図

本工事では、上記の方法よりも施工性が向上する誘発目地材(KB目地)を採用した。



【目地部断面】

【目地部側面】

図-5 収縮目地(KB目地)詳細図

誘発目地材は、Vカット目地に比べ、ひび割れ誘導性能が優れ、特殊ブチルゴムにより止水性能が高いことから、所定の位置に発生させたひび割れからの鉄筋腐食防止を確実に実施できた。よって、誘発目地の効果により、フーチングコンクリート天端面にひび割れのない綺麗なコンクリートを構築できた。

(2) フーチング柱コンクリートのひび割れ対策

ひび割れ抑制対策の基本的な考えは以下の3点である。①温度上昇を小さくする。②温度応力を小さくする。③温度応力に対して抵抗力をつける。本検討において考えられる具体的な対策と、

材料の調達・コスト等を考慮した実現の可否について表-3に示す。

表-3 ひび割れ制御対策

① 温度上昇を小さくする。		適否
低熱型セメントを使用する。	強度発現が遅いため養生期間を長く取る必要があり工程に影響する 対応できる生コンプラントが限定される。	×
ブレイクリングを実施する。	液化窒素投入設備に係るコストが高価である。	×
パイプクーリングを実施する。	パイプ配管、水温・水量管理、打設後配管の後処理等の施工手 間による工程への影響や、冷却装置水槽等設備のコストの影響 が大きい。	×
② 温度応力を小さくする。		
ひび割れ誘発目地を設置する。	主に壁状構造物（擁壁・橋台・ボックスアバウト）に使用される。	×
保温養生を行う。	コンクリート内部と外部の温度差を低減することで拘束応力 の低減が期待できる。 施工計画による養生方法を解析条件に設定済み。	—
普通ポルトランドセメントを使用する。	高炉セメントに比べて自己収縮、熱膨張率が小さい。	○
③ 温度応力に対して抵抗力をつける。		
膨張材を使用する。	膨張効果により収縮ひずみから生じる引張応力を低減させる ことができる。 施工条件により効果が明確でない。 試験検証が必要である。	×
補強鉄筋を配置する。	引張応力を負担させることでひび割れの発生を分散するこ とができる。 過密配筋になる場合が多い。 FEM解析時は鉄筋を考慮しないので効果をひび割れ指数で示 すことができない。	×
ガラス繊維補強を行う。	引張応力を負担させることでひび割れの発生を低減するこ とができる。 設置および打設方法がその効果に大きく影響する。 FEM解析時は考慮しないので効果をひび割れ指数で示すこ とができない。	×

内部拘束による表面ひび割れがコンクリートの耐久性に与える影響は小さく、外部拘束による貫通ひび割れがコンクリートの耐久性に与える影響は大きい。解析結果では、フーチング及び柱で貫通ひび割れが発生する可能性は低い、ひび割れの少ないより良い構造物を構築するため、上表の適否を踏まえ、対策案として、普通ポルトランドセメントの使用を検討する。

普通ポルトランドセメントを使用した場合におけるコンクリート温度応力解析の照査結果について、ひび割れ指数の最小値は、内部・表面ともに照査水準である1.0以上となった。したがって、対策案を採用することにより、有害な温度ひび割れの発生を低減できることが分かった。

表-4 ひび割れ指数の照査結果

	第1リフト フーチング (表面)	第1リフト フーチング (内部)	第2リフト 柱 (表面)	第2リフト 柱 (内部)
着目点	20137	22511	36997	37301
材齢(日)	4	215	2	59
予想されるひび割れ	内部拘束	外部拘束	内部拘束	外部拘束
ひび割れ指数	1.11	1.84	1.10	1.27
照査水準	1.0	1.0	1.0	1.0
照査結果	OK	OK	OK	OK

施工完了後にクラック調査を行ったが、クラックの発生は無く密実なより良いコンクリート構造物が構築でき、発注者から高評価をいただいた。

表-5 ひび割れ指数の比較

	第1リフト フーチング		第2リフト 柱	
	表面	内部	表面	内部
標準案 (高炉セメントB種)	0.72	1.41	0.99	1.19
対策案 (普通ポルトランドセメント)	1.11	1.84	1.10	1.27
改善	+0.39	+0.43	+0.11	+0.08

(3) 3Dスキャナーの活用による生産性の向上

コンクリート構造物の出来形計測について、生産性を向上すべく3Dスキャナーを使用し、フーチング、柱コンクリートの出来栄評価を行った。なお、今回は従来の出来形管理の補助として行うものとし、3Dでの出来形計測値と従来の出来形計測値を比較する。計測機種はi-constructionの点群計測に最適であり、かつ高密度3D点群データによる面管理が可能な機種を活用した。

【活用機種：TOPCON GLS-2000 (タイプミドル)
レーザークラス：クラス3R測定範囲：距離0.3m～350m水平360°鉛直270°】

出来形管理規格が20mmであることから、3Dレーザーの測定精度規格は±7mm以内の性能を有する機器を用いた。

表-6 計測規格

計測	測定精度	計測密度
起工測量 (多点計測技術) ・空中写真測量(UAV) ・地上型レーザースキャナー ・無人航空機搭載レーザースキャナー	【鉛直方向・平面方向】 ±100mm 以内	1点以上/0.25㎡(0.5m×0.5mメッシュ)
出来形計測 (多点計測技術) ・空中写真測量(UAV) ・地上型レーザースキャナー ・無人航空機搭載型レーザースキャナー	【鉛直方向・平面方向】 規格値 50mm の場合: ±16mm 以内 30mm の場合: ±10mm 以内 20mm の場合: ±7mm 以内 10mm の場合: ±3mm 以内	1点以上/0.0025㎡(0.05m×0.05mメッシュ)

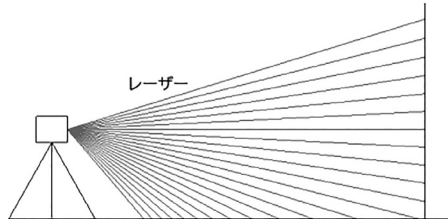
※TS等光波方式を利用する場合は、TS等光波方式を用いた出来形管理の施工管理要領(土工編)(案)「(国土交通省)の出来形計測で規定する計測性能および測定精度、精度管理を満足する技術を利用することができる。

TLS(地上レーザースキャナー)による計測作業時は、周囲に標定用ターゲットを設置した。標定用ターゲットは、各スキャンを合成する際に必要となるもので、TLSを既知点上に設置する場合は、後視点となる既知点上、TLSを後方交合法にて設置する場合は、後視点・視準点をなる既知点2点以上に標定用ターゲットを設置した。また、標定用ターゲットを新たに設置する場合は、TS

で観測を行った。また、下図のようにTLSを移動させ計測を行った。(TLS計測回数：6回)



図-6 標定用ターゲット



レーザーによる計測後
60° ずつ360° 計6枚の写真を撮影します。

図-7 TSL計測イメージ

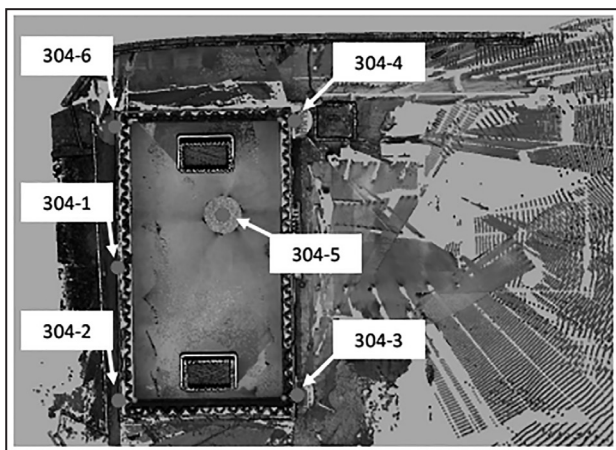


図-8 計測実施位置

解析、座標値化ソフトは、TOPCO製MAGEET-Collageを使用した。複数点のスキャンデータを使用してカラーマッピングを行い、基準点の座標を用いて、計測点群データの座標値化を行った。観測したデータより、計測対象箇所の点群数は約2245万点である。なお、点群の間隔は1～10mmとした。(3Dスキャナーは不要な点群等は消去し取り除けるため、編集等の作業も可能である) 点群データより出来形計測の結果と、従来測定との差は、最大28mm、最小0mmという結果になった。今回最大値がこのような結果となった要因は、施工箇所の両側にガス管と水道管が近接し、鋼矢板と構造物の離隔が狭くなるため、埋設型枠に変更となった。躯体隅部の測定位置が3D

スキャナーの点群位置と異なっており、このような結果になったと想定される。今後の課題としては、施工する内容に応じて最適な技術を見極め活用する必要があると感じた。また、観測が容易な場所では誤差の平均値が±5mmであるため、十分に活用できる技術である。



図-9 解析後データ(点群による出来形計測)

3Dスキャナーの施工金額は、測量からデータ作成1式で約60万円であった。人力で計測するよりはるかに高い金額ではあるが、3Dスキャナードローン等を活用することにより、橋脚の柱や沓座等の出来形計測では足場が不要となり、工期短縮や高所における測量業務の低減による安全性の向上などのメリットがある。

4. おわりに

コンクリートの品質向上について、塩害を受ける地域であり、ひび割れの少ないコンクリート構造物を構築することが課題であったが、ひび割れに有効的な誘発目地材を使用することや、事前に温度応力解析を実施し、ひび割れ抑制に対して効果的な対策を実施できたことで、課題であるひび割れ抑制に対応できた。さらに今後私が施工管理を行う中で新たな知恵、知識となった。また、完成した構造物に対して発注者からお褒めの言葉をいただいたのは、大きな達成感があり、建設業におけるの仕事に対するやりがいを感じた。

生産性の向上については、3Dスキャナーによる構造物の出来形計測を行い、計測作業に対する生産性は大いに向上した。精度については、これから進化が進む技術に期待し、ICT技術は色々な面で活躍できるものと思われる。よって、これからの業務に意欲的に活用し、最先端の技術を取り入れ、生産性の向上に繋げて行きたい。