

ボリビア多民族国 オキナワ道路のi-Construction導入による無筋コンクリート舗装(JPCP)

(独)国際協力機構
国際協力専門員
梶 太郎



(株)安藤・間
国際事業本部 土木部
海外土木作業所課長
青柳 秀明



(株)片平エンジニアリング
・インターナショナル
代表取締役社長
中村 友彦



はじめに

ボリビア多民族国(以下、ボリビア)は、南米大陸のほぼ中央に位置し、ペルー、チリ、アルゼンチン、ブラジル、パラグアイの5か国に取り囲まれた内陸国で、人口1,151万人(2019年)、面積110万km²(日本の約3倍)、国民一人当たりのGDPは3,321USドル(2020年)、その国土は4,000m以上の山々が連なるアンデス高地をはじめ、熱帯雨林やサバンナが広がる低地を含むなど、多彩な自然環境に恵まれている。ボリビアの総輸出の約8割は農業(大豆・砂糖等)、天然資源(亜鉛・銀・天然ガス等)を中心とする一次産品となっている。

内陸国で交通手段の限られるボリビアにおいて、道路は輸出入貨物の約7割を担う輸送手段として重要な役割を担っている。しかし、起伏に富んだ地形や厳しい自然条件により、道路舗装率は8.5%(2010年)に留まっており、中南米地域平均23.3%を大きく下回っている。特に県道は3.49%の舗装率に留まっており、本プロジェクトの対象道路を含む多くの未舗装路は雨季に、通行困難となり同国の地域発展・統合や物流の妨げとなっている。

本プロジェクトの対象であるサンタクルス県のオキナワ市は、北から南へ第1移住地、第2移住地、第3移住地からなり、アマゾン水系の上流域を流れるリオグランデ川によって形成された沖積低地である。オキナワ移住地間を結ぶオキナワ道路は、移住地間及び移住地とサンタクルス市街を繋いでおり、日系人を含む移住地住民の生活を支えている。また同移住地は農業が主産業で、同移住地を含むサンタクルス県の農業生産高は全国の約50%を占めている。小麦や大豆等農産物の生産拠点で出荷の時期には多くのトラックが出入りしており、経済面においても本道路は重要な役割を果たしている。

本プロジェクトは無償資金協力事業により、オキナワ道路のオキナワ第1移住地～第2移住地間の約19.1kmの既設道路の改良、道路排水改良を行い、サンタクルス県及び周辺都市のアクセス向上、農作物の輸送能力向上、地域経済活性化を促すことを目的としている(図-1)。

本報告では、日本無償資金協力においては例の無い、19.1kmと長い無筋コンクリート舗装道路の整備についての計画・設計、施工における課題と対応について述べる。

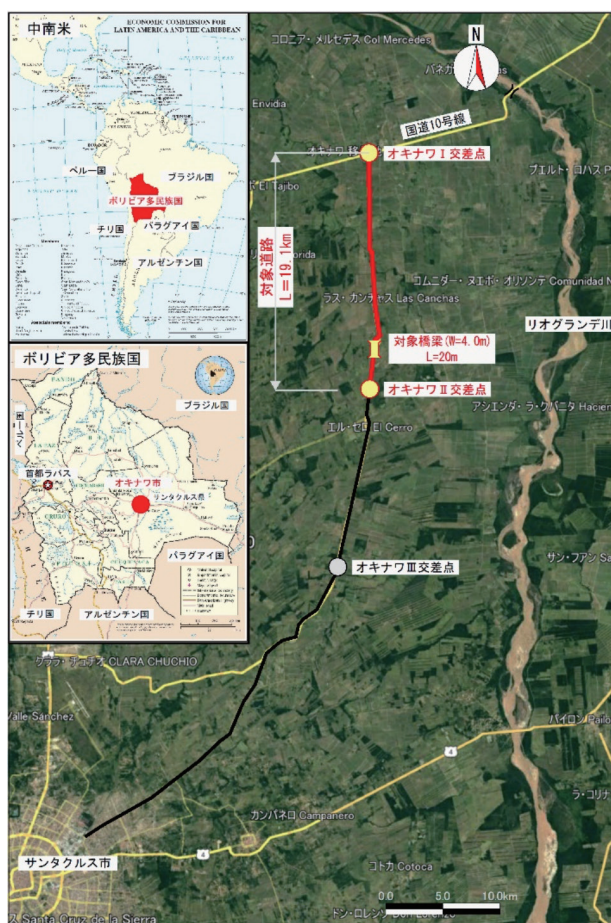


図-1 オキナワ道路位置図

計画・設計

(1) 計画時のオキナワ道路の現状と課題

オキナワ道路は未舗装道路であるため、雨季になると激しいワダチ掘れや滞水が生じ、車両事故や通行止めを引き起こしていた(写真-1、写真-2)。また近年ではその堤防整備が進みその影響は無いが、かつては対象道路から約15km離れて位置するリオグランデ川の氾濫により、対象道路地域は洪水被害に見舞われており、シルト質土や細砂が

堆積した軟弱な土壌が広く分布している(写真-3)。

計画においては、道路の嵩上げ、軟弱地盤上の道路構造、雨水排水施設の設置、碎石場や土取り場などの調達方法が課題であった。



写真-1 農産物を運搬する車両



写真-2 水はけが悪く雨季に冠水する



写真-3 1998年の洪水による被害状況

(2) 道路計画・設計

・道路幾何構造

平面線形は道路用地ROWの中心線を基準に、既存道路に沿って設置した。対象道路は、洪水等に影響されず通年走行を可能にするため、盛土により道路計画高を上げ、大幅な縦断線形の改良を行った。道路側溝の設計水位から30cm以上上部に路盤下端が位置するように道路高さを計画した。

・道路舗装構造・設計

コンクリート舗装及びアスファルト舗装を耐久性、経済性から比較検討し、結果としてコンクリート舗装が選定された。本プロジェクトでは現場から150km離れた採石場から碎石を調達する必要があった。そのためコンクリート舗装はアスファルト舗装と比較して使用する碎石の量が少ないことから経済性で有利であった。ポリビアではコンクリート舗装の実施例が豊富であり、またサンタクルス県政府のコンクリート舗装の要望とも合致した結果となった。路盤の配置については、道路の耐久性を高めるため、路盤内の雨水が速やかに排水されるように路盤材を道路端部まで適切な幅及び間隔で設置する計画とした。

コンクリート舗装の設計は、「Guide for Design of Pavement Structure 1993, AASHTO」に従い実施した。主な設計条件は供用期間20年、累積18kipESALが 45.53×10^6 である。原路床の設計CBRは道路全延長19.1kmの内、およそ11kmの範囲で1以下と軟弱であったため、現場近隣で採取できる修正CBRが18の土による路床置換えを採用した。

舗装設計の結果、コンクリート板厚23cm、路盤厚30cm、路床置換え厚120cmを採用した(図-2)。

コンクリート舗装施工時にはう回路を設置し、コンクリートの養生期間を十分に確保することから、コンクリート板は無筋コンクリート(設計曲げ強度4.4N/mm)構造(JPCP (Jointed Plain Concrete Pavement))とし、横収縮目地は5m間隔とした(図-3)。

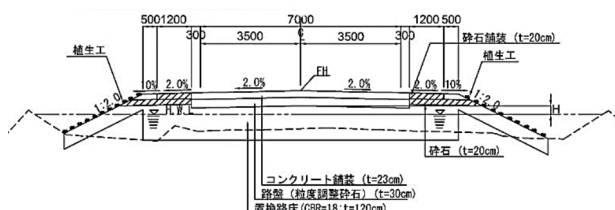


図-2 道路標準断面

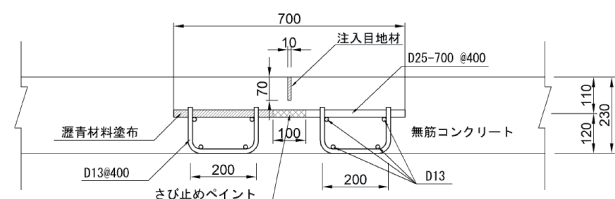


図-3 コンクリート板横目地の構造

・ 道路排水施設計画

対象道路の脇を流れる水路は、道路側溝及び灌漑用排水路として利用されている。また、水路は収穫時期や水量により、農地利用者により堰止め等が行われているため、その利用を制限することなく道路側溝としての機能を確保する必要があった。そのため、水路は農地利用者が維持管理しやすい土側溝とし、また洪水時に道路上を横断していた流水が道路嵩上げにより阻害されないように、必要な道路横断水路を設置した。



写真-4 完成した道路と道路脇水路



写真-5 道路横断排水路設置状況

工事施工

(1) コロナによる中断期間完了に伴う工事再開時期の問題

2020年に発生したコロナにより、当現場も2020年3月から2021年1月まで10か月の工事中断を余儀なくされた。加えて、再開のタイミングが雨期に重なったことで予定していた舗装期間が修正計画より3か月程度短くなり、特にその影響は南工区で大きく、工程の短縮が課題であった。雨期明け直前には大雨により洪水が発生したが、土工事はほぼ完了していたため、大きな被害は無かったものの、舗装工事の開始には影響を与えた。

また、舗装工事における平坦性の確保は重要な管理項目であり、コンクリートの配合を始めとした舗装工事全体の

施工方法の選定も重要であった。

施工箇所周囲は全工区において平坦で、常に強風に見舞われ、深夜から早朝にかけては10度を下回ることもあり、舗装工事を行う気象環境は厳しかった。土日作業は作業員の疲労を考慮し原則土曜日は半日・日曜日は休業とした。コンクリート舗装の作業時間は日中の気温と風の影響を考慮し、日当たり作業時間12時間(16:00舗装開始)、週の進捗目標を1,000m(200m*5日=1,000m/週)で作業計画を作成し、南工区においては2車線一括の全幅舗装で2.5か月、北工区は1車線ずつの舗装で5か月での舗装完了を目標として舗装工程を策定した。

コンクリート舗装は全長19.1kmと長く、ひとつの舗装施工業者で工事を行うことは能力・施工効率を考慮すると難しいと判断し、工事当初より、北工区・南工区と2工区に分け、ボリビアのコンクリート舗装の経験が豊富な現地施工業者2社とコンクリート供給業者については1社で両工区を供給する予定であったが、品質・供給能力から南工区用に別のコンクリート供給業者を選定し配置した。

施工条件・使用機械とその管理方法の比較を表-1に記す。

表-1 南北工区の舗装工事の比較

	北工区	南工区
施工延長(m)	9,750	9,350
舗装開始	2022年3月7日	2022年5月5日
舗装完了	2022年9月26日	2022年7月15日
実作業日	170	59
既設道路占用条件	既設車線併用	完全通行止め
施工方法	片側車線(3.8m)	上下車線(7.6m)
目地間隔	5m	5m
最大日打設数量	400.5m ³ (31.4m ³ /hr)	568m ³ (49.4m ³ /hr)
最大日進	440m(34.5m/hr)	305m(26.5m/hr)
舗装機械制御システム	ワイヤーセンサーによる舗装厚制御	3D測量システムによる舗装厚・進行・勾配制御
舗装機械の準備作業	5m毎にワイヤー張りのための測量及びポール設置	測量データの事前入力と制御機械の設置のみ
型枠システム	スリップフォーム	スリップフォーム

(2) 施工サイクルの問題とその対応

北工区・南工区のコンクリートプラントは各工区の終点付近に設置していることからサイトまでの最大の運搬距離は北工区7km・南工区9kmであった。運搬距離に応じてミキサー車の台数を増減させることにより、プラント能力を最大限に発揮できるよう調整を行い、かつ現場が手待ちとならないよう対応を行うも夜間作業におけるプラント能力低下や既設道路を部分開放しながらのミキサー車の運行は想定以上に効率が悪く、特に北工区においては現場の目標としていた400m(片側車線分)を定常的に達成することは難しく、日平均は全体を通して200m程度であった。

また、排水構造物の横断部分は不等沈下を防止するための溶接金網を設置する箇所が400箇所以上に及び、横断

部分を施工するごとに人力での作業となり排水管部30分・ボックスカルバート部60分の舗装機械を動かさないタイムロスが発生した。日によっては5か所の排水横断部の施工に3時間以上を要することもあり、限られた10時間で日進の目標を達成できず、未達成数量を残業でカバーするという悪循環が続き作業効率が低下した。

昼間のコンクリート舗装はクラックの発生の可能性が高いという固定観念があったが、逆に夜間は気温が下がり過ぎ、長時間の残業による作業員の疲労が大きいこと、また日中の最高気温がそれほど上がらず30°C以下であり、風の影響も軽微であることから当初16:00以降の作業開始としていた舗装開始時刻を14:00に繰り上げ、基本的にコンクリートの練り混ぜは0:00までに完了として昼間に出来高を上げるよう作業時間を変更した。

特に南工区は北工区と異なり一般車両用の迂回路を設置したため、昼作業でも一般車両の進入が無く、ミキサー車が阻害される要因は無かった。排水構造物部の人力施工を、夜間作業と比較して約半分の時間で可能な昼施工で行うことにより、舗装機械の中断時間が大きく低減した。週の進捗の調整を行うこともあり、週末の残業のみは認めたが、計画進捗以上の効果が上がり、工事完了までの予定が立てられる状態となった(写真-6)。



写真-6 南工区全景(既設道路との擦り付けによる拡張部分)

(3) i-Construction【3D測量システムによる舗装機械の制御システム】を利用した舗装管理

北工区・南工区とでは既設道路の占用条件が異なることから、施工方法は南工区が全幅舗装に対し、北工区は片側舗装で施工する必要があり、工程に違いが出ることは舗装工程作成の段階である程度の考慮はされていた。しかしながら、両工区の作業延長は400mしか変わらないものの、実際は施工期間が100日以上の開きとなった。これは単に施工方法だけではなく、両協力会社が採用したスリップフォーム工法と北工区が一般的なワイヤーセンサーによる舗装機械の制御システムを採用したことに対し、南工区で採用された3D測量システムを利用した舗装機械の制御システムが

作業効率に大きな影響を与え、北工区との作業日数とに大きな差異ができた要因であると考えている。

もちろん、作業を行える条件が重要であるが、施工条件が合えば適切な制御システムの選択が工事進捗に非常に大きな影響を与え、工期短縮に貢献することが明確な結果となった。i-Construction【3D測量システムによる舗装機械の制御システム】には大きなメリットがあるが、一方で海外特有の便利さに起因する留意点も存在することから下記に記す(写真-7)。



写真-7 3D測量システムによる舗装機械の制御システム

(4) 海外工事におけるi-Construction導入のメリットと留意点

今回の工事には適用していないが、グレーダーやフィニッシャー、バックホウの排土板に機械制御のための測量用プリズムを設置することで路盤・路床の仕上げも可能である。一連の舗装工事において、熟練したオペレーターと多くの作業員がいなくとも高精度な施工、作業の合理化・省力化が可能となることから、優秀な人材の不足している海外工事に限らず、現在の日本の建設業の抱えている少子高齢化による人材不足に対しても対応することが可能である。

また、常に路盤データ・舗装高さデータを測量機械にて自動検出し修正を行っているため、重機作業の中断や稼働中の重機の前を横切る作業途中の検測作業が不要となることから重機による災害の防止にも貢献する。

海外工事においては、技術者や作業員の作業に対する基本的な知識・技術力が未だ低いこと、また自動制御を先入観無く受け入れることができることから新技術の導入が行いやすい。また、機械を扱う人員を限定することで、操作ミスが生まれにくい人員配置をとることが可能となり、手戻りや手直しといった無駄な作業を防止することに貢献する。

一方で基本的な知識が低い場合機械を信用しすぎ、機械に頼りきりになってしまうことから間違えを発見できず、問題が発生した際に対応できないという危険性もある。そのリスクを正すことが日本人技術者の役割であり、死角となりやすい機械がミスをする可能性のある箇所を特定し重点的なチェックを行い、問題が発生した際の対処を素早く行うことで、現場の手待ちを防止し、また機械の性能を最大限引き

出すよう各機械のサイクルタイムにロスが出ないような活用方法の提案を行っていく必要がある。

(5) その他のプロジェクトに影響を与えた技術

・中折れ式両勾配対応型フィニッシャー(写真-8)

南工区における全幅7.6mの舗装工事を行う中で問題となったのが道路中心から勾配が左右異なることであった。また、カーブ部においては勾配が変化し、高さ管理が重要であるが、3D測量システムによる舗装機械の制御システムにより、舗装機械の高さを制御する舗装機械のストロークジャッキと連動し、高さ管理が自動制御されることにより、スムーズな線形にて舗装工事を行うことが可能であった(写真-9)。



写真-8 中折れ式両勾配対応型フィニッシャー



写真-9 自動制御によるカーブ部の施工

・ファイバーコンクリート

舗装工事におけるクラックの発生は原因の追究に時間がかかる。加えて舗装工事は日進200m以上の進捗があることから、仮にクラックが発生した場合、その補修に費やす時間と費用、進捗は計り知れない。そこで当プロジェクトにおいてはボリビア国内では一般的なポリエチレン繊維(ファイバー)をコンクリート体積容量に対して0.1%程度混合することで引張・曲げ強度の増加を期待した。

コンクリート舗装が普及しているボリビアにおいて、ファイバーコンクリートの使用は特別ではなく、100g詰めファイバーの袋を直接練り混ぜ時に投入することでタイムロスなく製造を行った。その効果を定量評価することは難しいが、クラックによる工事中断が無かったことからその効果は証明されている。

終わりに

本プロジェクトにおいては、気象条件の変化に柔軟に対応した施工時間の変更や作業効率に大きな影響を与える、ボリビアの協力会社が既に採用・導入済のi-Constructionを採用、またスリップフォームや中折れ式両勾配対応型フィニッシャーを導入したことにより、工期内にコンクリート舗装工事を完了、平坦性を高い精度で確保した我が国技術者による初の本格的なJPCP舗装の実施例を示すことができた。完成した道路、橋梁を写真-10、11に示す。

海外工事においても本国と同様に建設作業従事者の減少は問題となっているものの、急増を期待することはできない。そのような環境下において我が国技術者は、新技術にも目を向け、生産性を向上と作業時間の有効利用を念頭に効率の良い作業、高い品質の確保ができる環境を整えることが重要であると再認識させられた。



写真-10 完成したオキナワ道路



写真-11 橋梁