

コンクリート・バイオ燃料・建設機械の 統合的脱炭素化アプローチ

小沼 亮太¹・東川 克志²

¹近畿地方整備局 浪速国道事務所 大阪湾岸道路西伸部出張所 (〒651-0082兵庫県神戸市中央区小野浜町7-30)

²株式会社 香山組 工務部 工事課 (〒660-0892兵庫県尼崎市東難波町5丁目31番20号)

建設業界におけるカーボンニュートラルの実現は喫緊の課題であり、2025年4月21日に国土交通省が公表した「土木工事の脱炭素アクションプラン」では、(1)建設機械の脱炭素化、(2)コンクリートの脱炭素化、(3)その他建設技術の脱炭素化の3施策が示された。本工事では、近畿地方整備局直轄工事として、同プランに基づく7技術を統合的に適用し、その削減効果・品質保証・費用対効果を実証的に評価した。特に、基礎工事への高炉セメントC種（スラグ置換率65%以上）の適用可能性を、室内配合試験・ベーンせん断試験・一軸圧縮試験・六価クロム溶出試験・外部技術士評価により実証した。本成果は、他直轄工事への水平展開における技術選定の定量的根拠を提供するものである。

キーワード カーボンニュートラル，GX，脱炭素，電動バックホウ，高炉セメントC種

1. はじめに

日本全体のCO₂排出量のうち、インフラ等の整備が約13%を占め、建設機械からの排出や、主要資材の製造や輸送による排出が主要因とされている（図-1）。

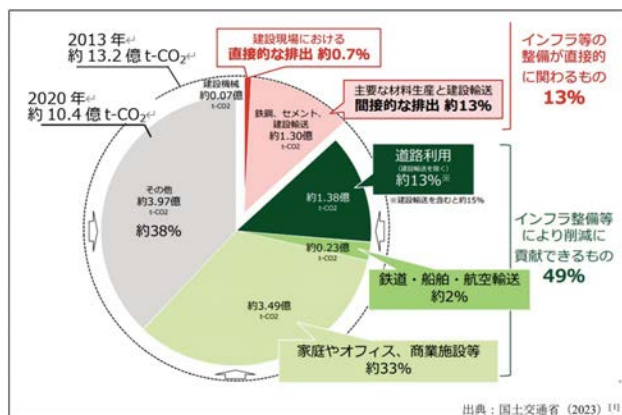


図-1 日本におけるCO₂排出量の内訳

2050年カーボンニュートラル実現に向け、国土交通省は2025年4月21日に「土木工事の脱炭素アクションプラン」を発表し、(1)建設機械、(2)コンクリート、(3)その他建設技術の脱炭素化に関する3施策を示した（図-2）。しかし現状では、カーボンニュートラルへの取組が建設業全体に浸透しているとは言い難い。「コストが高い」「取組効果が見えない」という声が現場では多く聞かれ、複数技術を統合的に適用した実工事の実証データは少なく、定量的評価の蓄積が求められている。

カーボンニュートラルに向けたリーディング施策

国土交通省

リーディング施策	2030年	2040年	2050年
①建設機械の脱炭素化	エネルギー効率向上 燃費向上 電動建機の普及・導入促進 次世代燃料の使用促進 効率的な施工の推進（ICT施工、ICT施工Stage II、新たな施工技術）	使用原則化・更なる燃費向上 電動建機の電力消費性能向上 普及促進	
②コンクリートの脱炭素化	低炭素型コンクリートの使用原則化 CO ₂ 固定化・吸収コンクリート等研究開発（産）	排出削減割合を順次引上げ 費用対効果が優れた技術の使用原則化	
③その他建設技術の脱炭素化	建設分野の材料・製品等の脱炭素化に向けた研究開発（産） 導入環境整備（評価制度等）	費用対効果が優れた材料・製品の普及促進	

図-2 「土木工事の脱炭素アクションプラン」3つの施策

2. 工事概要と脱炭素化の枠組み

本工事（表-1）は、大阪湾岸道路西伸部の六甲アイランド西ランプを支える橋台基礎工事であり、鋼管ソイルセメント杭工がメイン工種の工事である。本工事はカーボンニュートラル対応試行モデル工事には指定されていないが、建設業において脱炭素化の取組を広げていくにあたって、そのデータとプロセスを蓄積したいという受発注者相互の思いが合致したことから、受発注者協働で本取組を行うこととなった。

表-1 工事概要

項目	内容
工事名	大阪湾道路路西伸部六甲アイランド西ランプ橋台基礎工事
発注者	国土交通省 近畿地方整備局 浪速国道事務所
受注者	株式会社香山組
工事期間	R7年4月～11月(約7ヶ月)
工事場所	神戸市東灘区向洋町
主な施工内容	鋼管ソイルセメント杭
コンクリート 使用量	W=約599.77t (高炉セメントC種適用)

脱炭素化への取組については北海道開発局が先行している。北海道開発局、北海道、札幌市、NEXCO東日本北海道支社等が共同で実施する「北海道インフラゼロカーボン試行工事」の枠組みを以下に示す(図-3)。

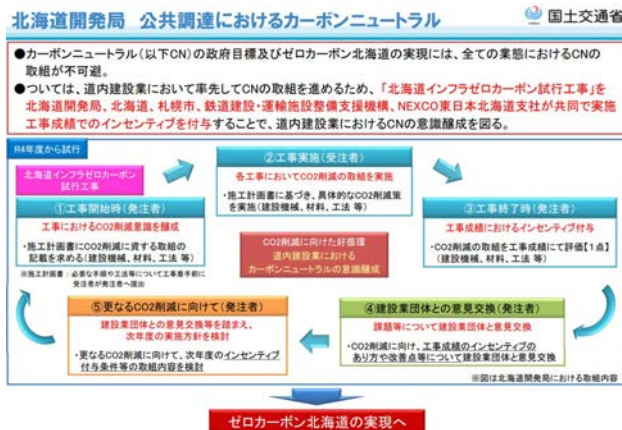


図-3 公共調達におけるカーボンニュートラル(北海道開発局)

中でも北海道庁は「北海道インフラゼロカーボン試行工事」の実施要領を策定しており、これを参考に、国交省土木工事の脱炭素アクションプランの3施策と組み合わせることで実施した。技術の選定にあたっては、「国交省アクションプランの3施策を全て網羅すること」「追加コストの異なる複数の技術を組み合わせること」「削減量の多寡を問わず、実施可能な取組から着実に積み上げること」を基本方針とした。この方針は、予算規模や施工体制が異なる他工事でも参考にできる汎用的なアプローチであり、本研究の再現性を担保する骨格でもある。

3. 高炉セメントC種の適用実証

(1) B種からC種への変更経緯

当初設計は高炉セメントB種(JIS R5211, スラグ置換率30～60%)であったが、2025年4月21日の国交省アクションプラン公表を機に、より置換率の高いC種(スラグ置換率65%以上)に変更した。C種はCO₂削減効果が大きい(普通ポルトランドセメントに対し約60%削減)反面、初期強度発現の遅延が懸念されたため、事前に段階的な品質検証を実施した。

(2) 室内配合試験と強度検証

現地ボーリングで採取した砂質土・粘性土の2土質について、高炉セメントC種(添加量300～350 kg/m³)による室内配合試験を添加量・土質ごとに計24種類実施した。試験結果(表-2)より、特記仕様書に記載されている杭一般部の目標強度(砂質土:1.00 N/mm², 粘性土:0.75 N/mm²)を満足することを確認し、経済性の観点から両土質ともセメント量300 kg/m³を採用した。

表-2 一軸圧縮試験結果(高炉セメントC種, 室内配合試験)

土質	配合 No.	固化材 種類	固化材量 (kg/m3)	W/(C+B) (%)	T/C (%)	B/C (%)	1軸圧縮強さ(N/mm2)		目標強度 (N/mm2)	判定
							材齢7日 平均	材齢28日 平均		
砂質土	3	高炉 セメント C種	300	100	3.0	0	4.77	8.80	> 1.00	－
	10					4.63	8.73	> 1.00	採用	
粘性土	11					0	4.40	7.33	> 0.75	－
	12					10	4.03	7.43	> 0.75	採用

またC種はスラグ置換率(65%以上)がB種(30～60%)より高いため、初期強度の発現はB種に比べて緩やかとなる。一方、スラグの潜在水硬性・水和反応は長期にわたり継続するため、スラグ量がB種より多いC種では硬化体組織がより緻密化され、材齢91日時点でB種と同等以上の圧縮強度を発現し、さらに長期材齢ではこれを上回る傾向がある。この特性はJIS A 6206(コンクリート用高炉スラグ微粉末)における活性度指数として規格化されており、C種は耐久性・水密性・化学的抵抗性の面においてもB種以上の性能が期待できる。

(3) ペーンせん断試験による初期強度確認

鋼管ソイルセメント杭への建込みには、練り混ぜ直後からの初期強度確保(せん断強さ2 kN/m²以上)が必要である。ペーンせん断試験を練り混ぜ直後～8時間後まで1時間ごとに実施し、杭保持に必要なせん断強さの達成時間を確認した。採用配合(砂質土:配合4, 粘性土:配合12)はいずれも施工要件を満足した。

表-3 ペーンせん断試験結果(採用配合の経時変化)

測定時刻	練混ぜ直後(kN/m ²)	1時間後(kN/m ²)	2時間後(kN/m ²)	4時間後(kN/m ²)	6時間後(kN/m ²)	8時間後(kN/m ²)
砂質土 配合4	0.4	0.8	1.3	2.6 (達成)	4.1	5.8
粘性土 配合12	0.3	0.7	1.2	2.3 (達成)	3.7	5.2

(4) 六価クロム溶出試験と環境安全性確認

高炉セメント使用に伴う六価クロム溶出の懸念に対し、JIS A 1481-2(建設汚泥再生路盤材等からの六価クロム溶出試験)に準拠した溶出試験を実施した。全配合において環境基準値(0.05 mg/L)を大幅に下回り、環境安全性を確認した。

(5) 外部技術士による第三者品質評価

高炉セメントC種の品質実証の信頼性を高めるため、本工事では外部機関（技術士・建設部門 大沢悟 氏）による品質証明業務を実施した（表4）。同技術士は全試験成績書を精査の上、C種の品質適合性・環境安全性・施工性を総合的に評価し、他工事への水平展開に耐え得る実証性を有すると判断した。

表4 外部技術士評価コメント

外部技術士評価コメント（2025年10月1日）
・高炉セメントC種はB種より製造時CO₂ 排出量が少なく、2025年の国交省アクションプランが目指す方向と整合する ・28日圧縮強度はB種とほぼ同程度であり、目標強度（砂質土1.47 N/mm²、粘性土1.97 N/mm²）を確実に満足する ・施工性（逸水防止・流動性・硬化遅延性）が良好であり、鋼管ソイルセメント杭への適用上の問題は認められない ・六価クロム溶出試験結果：全配合で環境基準値（0.05 mg/L）を大幅に下回り、環境安全性を確認した ・本工事の品質管理・脱炭素取組は、今後の直轄工事への横展開における先行事例として十分な実証性を有する

CO₂ 削減効果の比較として、本工事で使用したコンクリートW=599.77 tに対し、高炉セメントC種（原単位270.1 kg-CO₂ /t、スラグ置換率65%）はB種（同424.4 kg-CO₂ /t、スラグ置換率45%）に比べて154.3 kg-CO₂ /tの削減効果を有し、製造時に約92.5t-CO₂ の追加削減（B種比約36%減）が実現できた。



図4 高炉セメントC種充填施工（鋼管ソイルセメント杭）

4. RD燃料（HVO）の適用

(1) RD燃料（HVO）の概要

RD（リニューアブルディーゼル）燃料は、廃食油・植物油・廃動物油を原料とする HVO（水素化植物油）であり、原料植物が CO₂ を成長過程で吸収するためカーボンニュートラルな燃料とみなされる。（表5）に RD 燃料と軽油の比較を示す。

表-5 RD燃料（IRD）と軽油の比較

比較項目	RD燃料（HVO）	軽油（化石燃料）
原料	廃食油・植物油・廃動物油等（バイオマス由来）	原油（化石由来）
CO ₂ 排出量係数	RD100%の場合、省エネ法・温対法上でCO ₂ 排出量報告対象外の為、軽油比でCO ₂ 排出量を100%ゼロで報告可能	2.62 kg-CO ₂ /L
エンジン改造	不要（既存機械に無改造適用）	—
外観・臭い	淡黄色～透明・ほぼ無臭	黄褐色・特有の石油臭
認証規格	欧州EN規格（EN15940:2016）・ISCC EU 認証取得	JIS K 2204
事例掲載	「近畿地方整備局道路脱炭素化推進計画」事例掲載	—

(2) 本工事での適用方法と削減効果

RD 燃料最大の特長は、RD100%の場合、バイオ起源の燃料であるため省エネ法・温対法上の報告対象外となり、軽油対比で CO₂ を 100%削減でき、CO₂ 排出量ゼロで報告が可能な点である。これは、将来の技術開発や新たな計測・認証体系の整備を待つことなく、現行の法定報告制度の枠内でそのまま活用できることを意味し、他の脱炭素化技術と比較しても即時性・確実性に優れる特徴といえる。本工事では全建設機械・発電機に対してパトロール給油（ミニローリーによる現場直接補給）で適用した。実使用量 10,570 L に対し、軽油 CO₂ 排出係数 2.62 kg-CO₂ /L を基準とした削減量は 27.70 t-CO₂ であった。



図-5 RD 燃料使用の明示

(3) コストと普及見通し

現状の価格（約600円/L）は軽油の約4～5倍であり、本工事では約500万円の追加コストが発生した（費用対効果：約180,500円/t-CO₂）。この水準は高炉セメントC種（約19,500円/t-CO₂）と比べてコスト高であるが、廃食油をはじめとする原料の国内調達ルートの拡大、精製技術の向上、需要拡大に伴うスケールメリットの発現により、中長期的な価格低下が見込まれており、段階的導入技術として位置付けられる。また、エンジン改造が不要という汎用性の高さから、価格低下が進んだ段階での普及スピードは速いと予想される。

5. 電動バックホウ活用による諸効果

国土交通省「GX建設機械認定制度」の充電式バッテリー駆動の電動ミニショベルは、稼働時の排気ガスなし・騒音・振動極小という特性を持つ（表-6）。本工事の補助作業（掘削・整地・小運搬）に適用し、同等クラスのディーゼル機械からの代替によりCO₂削減効果を得た。



図-6 電動バックホウの稼働状況

表-6 電動バックホウと同等クラスのディーゼル機の比較

比較項目	電動バックホウ（TB20e）	同等クラスディーゼル機
駆動方式	充電式バッテリー（リチウムイオン）	ディーゼルエンジン
稼働時排気ガス	なし	あり（NOx・PM等）
騒音・振動	極小	あり
充電時間	約4～5時間（100V/200V対応）	給油：数分
CO ₂ 削減量 ※ 本工事の結果	0.17t-CO ₂ （ディーゼル機との差分）	基準
主な適用作業	補助作業（掘削・整地・小運搬）	同上
事例掲載	「近畿地方整備局道路脱炭素化推進計画」事例掲載	—

本工事での稼働時間に基づくCO₂削減量は0.17 t-CO₂であり、全体削減量に占める割合は0.1%と小さい。ただし、この数値だけで電動バックホウの価値を評価することは適切でない。周辺地域への騒音・振動・排気ガス影響の軽減という施工環境改善効果は、削減量の数値には現れない実質的な貢献である。

6. その他建設技術の脱炭素化

「その他建設技術の脱炭素化」として、以下の4技術（表-7）を適用した。個別の削減量は小さいが、調達・仕様変更のみで適用可能なものが多く、追加コストが低い点が特徴である。④ソーラー監視カメラ（図-7、8）・⑤ソーラー休憩所（図-9、10）は、発電機（化石燃料）を太陽光発電で代替することで削減と同時にランニ

ングコストの削減も実現した。⑥ソーラー休憩所（図-11、12）の照明・扇風機等の基本設備は自家発電で賄えたが、エアコン等の大電力を要する設備はRD燃料対応の発電機で補う必要があり、電力の全量自家賄いには至らず、課題の残る結果となった。⑦紙媒体ゼロの取組（図-13、14）は、現場の月平均出力枚数を76%削減し、脱炭素と省人化を同時に達成した取組である。

表-7 その他建設技術4技術の概要と削減量

No.	技術名	概要・特徴	削減量（t-CO ₂ ）	選定理由
④	BTTカラーコーン	バイオマス素材使用の保安資材。通常品と外観・強度は同等	0.03	調達先変更のみで適用可能・追加コストほぼゼロ
⑤	ソーラー監視カメラ	太陽光発電で動作。発電機（化石燃料）を代替	4.20	発電機代替でランニングコスト削減と脱炭素を両立
⑥	ソーラー休憩所（3棟）	太陽光パネル搭載休憩所。照明・扇風機を自家発電で賄う	5.00	作業員の休憩所として選定したが、電力不足が課題
⑦	紙媒体ゼロの取組	工事書類を完全電子化。印刷・輸送CO ₂ をゼロ	0.05	書類管理工数削減と脱炭素の同時達成
合計	その他建設技術の脱炭素化		9.28	削減量は小さいが3施策網羅に寄与



図-7 ④BTTカラーコーン



図-8 ④BTTカラーコーン設置状況



図-9 ⑤監視カメラ



図-10 ⑤ソーラーパネル



図-11 ⑥ソーラー休憩所



図-12 ⑥ソーラーパネル(天井)



図-13 ⑦デジタルホワイトボード 図-14 ⑦デジタル安全掲示板

7. 適用技術におけるCO₂ 削減量の概要

(1) CO₂ 削減量の算出について

第3～6章で紹介した各取組の削減量を集約したものが以下(表-8)である。各技術の削減量は、北海道インフラゼロカーボン試行工事の事例(図-15)および、CO₂ 排出量試算シート(18技術対応版(図-16))を参考として算定した。今回は代表的な3技術(電動BH、RD燃料、高炉セメントC種)について試算条件を記載する。



図-15 北海道インフラゼロカーボン試行工事の事例

CO ₂ 排出量試算シート		
取組事例： バイオ燃料(B5)の使用		
⑧		
入力値 (任意で設定可能)		単 位
燃料消費量	10	L/h
稼働日数	130	日
燃料消費量	10,400	L
係 数		
バイオ燃料のBDF相当量	5	%
CO ₂ 排出量係数(軽油)	2.62	kg-CO ₂ /L
導入前(通常軽油)のCO ₂ 排出量	27,248	kg-CO ₂
導入後(B5混合軽油のBDF相当量)のCO ₂ 排出量	1,362	kg-CO ₂
削減されるCO ₂ 排出量	1,362	kg-CO ₂
CO ₂ 排出削減量	1,362	kg-CO ₂
■係数の出典		
注1: 燃料の納入証明書		
注2: 算定・報告・公表制度における算定方法・排出係数一覧(環境省)		

図-16 CO₂排出量試算シート

(2) 主要3技術のCO₂ 削減量算出結果

a) 「電動BH」…稼働台数1台、16 hの稼働

- ・導入前(標準機)：1×16×4.5=72.0L
- ・導入後(電動BH)：1×16×0=0L
- ・削減される燃料使用量=72.0L

太字：数量
斜体：個別の係数
下線：共通の係数

- ・72.0L×2.62 kg-CO₂/L=約 167.68 kg-CO₂ 排出量削減
- ※削減量は、電力分のCO₂ 排出量を含んでいない

【入力値】

稼働時間：16 h

標準機の燃料使用量：4.5 L/h

電動バックホウの燃料使用量：0 L/h

【係数】2.62 kg-CO₂/L：軽油のCO₂ 排出係数

※係数の出展：算定・報告・公表制度における算定方法・排出係数一覧(環境省)

表-8 本工事で採用した脱炭素化技術とその効果

No.	脱炭素アクションプラン 施策	技術名	削減量 (t-CO ₂)	従来技術との 経済比較	総合評価
①	(1)建設機械の脱炭素化	電動バックホウ	0.17 (0.1%)	約 4 倍	排気ゼロ・低騒音の効果
②		RD 燃料	27.7 (21.4%)	約 5 倍(軽油比較)	重機や発電機の主燃料
③	(2)コンクリートの脱炭素化	高炉セメント C 種	92.5 (71.3%)	約 1.2 倍(BB 比較)	製造時の CO ₂ 最大削減
④	(3)その他建設技術の脱炭素化	BTT カラーコーン	0.03 (0.02%)	約 3 倍	あらゆる現場で導入可能
⑤		ソーラー監視カメラ	4.2 (3.2%)	約 1.5 倍	発電機不要で設置可能
⑥		ソーラーハウス	5.0 (3.9%)	約 20 倍	ソーラーでは電力不足
⑦		紙媒体ゼロ化の取組	0.05 (0.04%)	－	脱炭素効果より省人化に寄与
合 計 (7 技術・工事期間 7 ヶ月)			129.65 t-CO ₂ (一般家庭(1 世帯)が排出する CO ₂ 約 52 年分)		

b) 「RD 燃料」…工事期間中の燃料消費量が 10,570L

- ・導入前(通常軽油) : $10,570 \times 2.62 = 27,693\text{kg-CO}_2$
- ・導入後(RD 燃料) : $10,570 \times 0 \times 2.62 = 0\text{kg-CO}_2$
= 約 27, 7t-CO₂ の排出量削減

【入力値】

稼働条件 : RD 燃料の使用料 = 10,570L

・RD 燃料は燃焼時に CO₂ を排出しますが、原料の植物が成長過程で CO₂ を吸収するため、軽油対比での CO₂ 排出量は実質ゼロと見なされるカーボンニュートラルな燃料 = 0

【係数】 2.62kg-CO₂ /L : 軽油の CO₂ 排出係数

※係数の出典 : 算定・報告・公表制度における算定方法・排出係数一覧 (環境省)

c) 「高炉セメントC種」…セメント使用量が 599.77t

- ・B種からC種への CO₂ 削減量 : 154.3kg-CO₂
- ・製造時削減される CO₂ : $599.77\text{t} \times 154.3\text{kg-CO}_2$
= 約 92.5 t-CO₂ の排出量削減

【入力値】

使用条件 : ポルトランドセメント1tあたりのCO₂ 排出量 : 771.7 kg

各セメントのslag比率は高炉セメントB種=45%、高炉セメントC種=65%

- ・高炉セメントB種1tあたりのCO₂ 排出量 : $771.7 \times 45\% = 424.4\text{kg}$
- 高炉セメントB種1tあたりのCO₂ 削減量 : $771.7 - 424.4\text{kg} = 347.3\text{kg}$
- ・高炉セメントC種1tあたりのCO₂ 排出量 : $771.7 \times 65\% = 270.1\text{kg}$
- 高炉セメントC種1tあたりのCO₂ 削減量 : $771.7 - 270.1\text{kg} = 501.6\text{kg}$
- ・B種からC種へのCO₂ 削減量 : $501.6\text{kg} - 347.3\text{kg} = 154.3\text{kg-CO}_2$

CO₂ を試算した結果、高炉セメントC種が71.3%、RD燃料が21.4%を占め、資材選択2技術で全体の92.7%を担う。この結果は、脱炭素化の初期段階においては、建設機械や現場運用の脱炭素化(面的な対策)よりも、使用資材そのものをより低炭素なものへ転換する対策の方が、投入労力に対して大きな削減効果を生むことを示している。

8. おわりに

本工事では、国交省「土木工事の脱炭素アクションプラン」の3施策に対応する7技術を統合的に適用し、工事期間7ヶ月で総CO₂ 削減量129.65 t-CO₂ (一般家庭(1世帯)が排出するCO₂ の約52年分相当)を達成した。特に、基礎工事への高炉セメントC種の適用を、室内配合試験・ベーンせん断試験・六価クロム溶出試験・外部技術士評価という4段階の検証プロセスにより実証したこと

は、他工事への水平展開に耐え得る信頼性を持つ先行事例として意義深い。費用対効果の観点では、高炉セメントC種(約19,500円/t-CO₂)が最も優れ、まず何から始めるかという点については、どのような工種でも設置が可能なBITカラーコーン・ソーラー監視カメラから着手し、最終的にRD燃料や電動建設機械へと段階的に取組を拡大するロードマップを本工事の経験として提案できる。本工事はカーボンニュートラル対応試行モデル工事に指定されていない、いわば「普通の工事」である。それでも受発注者が協働で自発的に7技術を統合適用し、具体的な成果を達成できたことが最大の教訓であり、「カーボンニュートラルはあらゆる工事に取り組めるものである」という認識の転換を示している。本取組は、2026年3月に策定された「近畿地方整備局道路脱炭素化推進計画」に第3~5章の技術が脱炭素化の先行事例として掲載(図-17)された。



図-17 「近畿地方整備局：道路脱炭素化推進計画」掲載

本論文の内容は、建設業各社が取組む際の再現可能な実践マニュアルとして、また、今後脱炭素化推進計画のロードマップに沿って低炭素コンクリートや電動建設機械の使用が推進されていく中で、本取組が積み上げたデータとプロセスが活用され、脱炭素化の取組が他工事に広がっていくことを期待し、その先行事例として紹介するものである。

謝辞 : 外部品質証明担当の大沢悟技術士、および北海道インフラゼロカーボン試行工事の先行取組を公開された北海道開発局に深く感謝する。

参考文献

- 1) 国土交通省 : 土木工事の脱炭素アクションプラン, 2025年4月21日
- 2) 北海道開発局 : 北海道インフラゼロカーボン試行工事, <https://www.hkd.mlit.go.jp/ky/jg/gi/jyutu/slo5pa000000g6mu.html>
- 3) 北海道(建設政策局建設管理課) : 「北海道インフラゼロカーボン試行工事」実施要領, 2023年1月改定版
- 4) 近畿地方整備局 : 道路脱炭素化推進計画, 2026年3月30日
- 5) 国土交通省 : 新技術情報提供システム (NETIS), リニューアルディーゼル (RD) : 登録番号 KT-260011-A