

トンネル工事における カーボンニュートラルの取り組み

大谷 勇河

中部地方整備局 紀勢国道事務所 工務課 (〒515-0005 三重県松坂市鎌田町144-6)

紀勢国道事務所が発注した国道42号熊野道路 熊野第1トンネル工事、熊野第2トンネル工事では、カーボンニュートラル対応試行工事として、建設工事のCO₂排出量削減に取り組んでいる。

本稿では、「バイオディーゼル燃料の使用」などの建設機械に関わる取り組み、「低炭素型コンクリートの使用」などの建設資材に関わる取り組み等について、従来技術と比較し、導入効果や現場での課題等を報告する。

キーワード カーボンニュートラル、バイオディーゼル燃料、低炭素型コンクリート

1. はじめに

(1) 取り組みの背景

2050年カーボンニュートラル（以下CNと表記）の実現に向け、国土交通省では、2030年度までに重点的に取り組む6つのプロジェクトの一つとして、「インフラのライフサイクル全体でのCN、循環型社会の実現」¹⁾を掲げている。この中では、革新的建設機械の導入拡大や省CO₂に資する材料等の活用促進・技術開発などが謳われており、我が国のCO₂排出量の1割強を占めるインフラの施工段階におけるCO₂排出量（建設現場における燃料消費に伴う直接的排出量が0.7%、主要な材料生産と建設輸送等の間接的排出量が13%）²⁾（図-1）を削減するための様々な取り組みが進められているところである。

その取り組みの中の一つとして、中部地方整備局では、工事契約時にCNに関する取り組み実績や技術提案を評価するとともに、工事完成時に取り組み実績に応じて工事成績評定で評価する「CN対応試行工事」を実施しており、本稿では、試行工事として発注された2件のトンネル（以下TNと表記）工事におけるCO₂削減のための取り組みの一部を報告する。

(2) 国道42号熊野道路の概要

国道42号熊野道路は、三重県熊野市大泊町（熊野大泊IC）から熊野市久生屋町に至る延長6.7kmの一般国道の自動車専用道路である。近畿自動車道紀勢線、国道42号

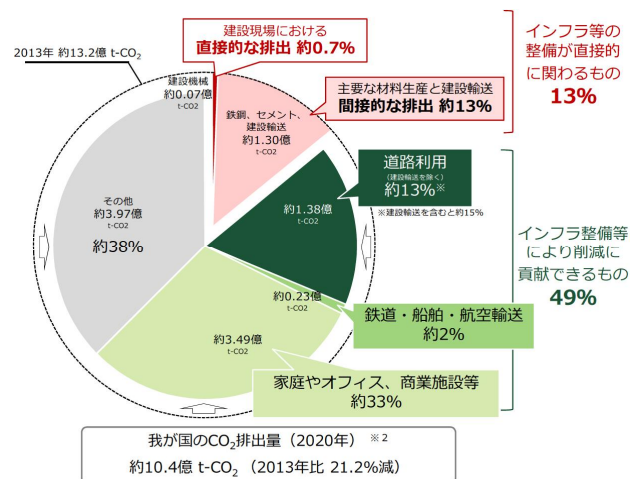


図-1 CO₂排出量の部門別内訳



図-2 熊野道路位置図

熊野尾鷲道路・紀宝熊野道路と一体となって、高規格道路のミッシングリンク解消及び直轄国道とのダブルネットワーク化による道路ネットワーク機能強化を目的に計画され、平成26年度に事業化された。（図-2）

(3) トンネル工事の概要

国道42号熊野道路の熊野第1トンネル（仮称）（以下熊野1TNと表記）、熊野第2トンネル（仮称）（以下熊野2TNと表記）の工事概要を以下に示す。

工事名：令和3年度 42号熊野第1トンネル工事

工事場所：三重県熊野市大泊町から木本町

工期：自 令和4年4月1日

至 令和6年12月20日

受注者：アイサワ工業株式会社

工事名：令和4年度 42号熊野第2トンネル工事

工事場所：三重県熊野市木本町から井戸町

工期：自 令和5年4月1日

至 令和7年11月28日

受注者：株式会社熊谷組

2. 熊野1TNの取り組み

(1) 建設機械に関わる取り組み

a) 概要

TNずり積込用バックホウ（以下BHと表記）（1.4m³）と資機材運搬用ユニック（4t）の燃料を通常の軽油からバイオディーゼル100%燃料（以下B100と表記）に変更して、これらの建設機械稼働時に発生するCO₂の排出量を100%削減する。給油は現場内に設置したスマートタンク（1900L、太陽光発電、消防法に適合）から行う。（図-3、図-4）



図-3 バイオディーゼル燃料の特徴³⁾



図-4 バイオディーゼル燃料使用車とスマートタンク

b) 適用上の効果

B100は植物由来の廃食油が原料であり、植物成長時のCO₂吸収と燃焼時のCO₂排出が相殺されるため、燃焼時のCO₂増加は無い（京都議定書の国際定義でも0カウント）。また、燃焼時にSO_xや黒煙等の発生も減少するため、地球温暖化の抑制に加え、作業環境の改善も図れる。当該工事では、上記のBHとユニックに従来の軽油を使用した場合、TN工事期間中のCO₂排出量は約118t-CO₂と想定されるため、B100の使用で、約118t-CO₂のCO₂削減が見込まれる。

c) 適用上の問題点

B100の主成分は脂肪酸メチルエステルで軽油（炭化水素）と近い化学組成ではあるが、軽油と比べて蒸留温度が高い（軽油：160～360℃、B100：300～360℃）ため、低負荷作業下では未燃分がエンジンオイルに混入・希釈してエンジンの不良を誘発する恐れがある。このため、現場では高負荷作業を心掛けるとともに、稼働300時間以内のオイル交換を実施している。また、B100は油脂類やゴム類を溶かす（膨潤）性質があるため、燃料ホース等はシリコン製への変更が望ましいが、現場ではこまめな点検と交換で対応している。当該現場ではB100導入初期段階で、エンジン配管内の目詰まりによる不具合が1件発生した。これは燃料系統内に付着している燃えカスがB100により溶解して目詰まりを発生させたもの

であるが、導入時のエンジン内部の洗浄が不十分であったことが原因と考えられるため、燃料を軽油からB100に切替える際のエンジン内部の洗浄は非常に重要である。

d) 今後の活用の見通し

軽油代替燃料には、今回適用したB100以外にも、天然ガス由来のGTL燃料や次世代バイオディーゼル燃料（RD燃料等）があり、建設機械等への導入も視野に入れた開発が進められている。GTL燃料は軽油と同じ取り扱いが可能で、B100のようなエンジンオイルや燃料ホースへの悪影響は無いが、CO₂削減量は対軽油比で8.5%とB100（100%）に比べて小さい。また、次世代バイオディーゼル燃料は、CO₂削減量はB100と同様に100%であるとともに、主成分が軽油と同じ炭化水素のため、GTLと同様に使用機械への悪影響は無いが、現時点におけるコストが軽油の3～5倍（B100は1.3倍程度）であるとともに、現場への供給体制が十分に確立していない。

各々の軽油代替燃料には長所、短所があるため、使用する現場や機械の条件等に応じて、最適なものを選定して導入する必要があることが望まれる。

(2) 建設資材に関わる取り組み

a) 概要

TN支保の鉄鋼材料を減量化して、製造時及び輸送時のCO₂の排出量を削減する。具体的には、DIII区間を除く全てのロックボルトを通常の棒鋼型からGRP型（パワースレッド）に、吹付コンクリートに設置する全ての金網を通常のワイヤーメッシュからスクリューメッシュに変更する。（図-5）

b) 適用上の効果

パワースレッド（ガラス繊維強化プラスチック）は強度が同等以上で重量が約1/4、スクリューメッシュ（ねじり角鉄線）は高強度で重量が約3/4のため、支保品質を保持したまま、製造時と輸送時のCO₂排出量が削減できる。当該工事では、ロックボルトで約119t-CO₂、金網で約3t-CO₂のCO₂削減が見込まれる。

c) 適用上の問題点

パワースレッドは軽量のため、人力による持ち運びや孔口へのセットは容易になる（図-6）が、通常の棒鋼に比べて軟らかく、挿入時のたわみが原因で、当該現場ではロックボルトの挿入にやや時間がかかっている。削孔径を大きくしたり、注入を後充填方式に変更したりすることで、パワースレッド挿入時の施工性は改善している。また、パワースレッドは、軸方向耐力については棒鋼と同等以上だが、せん断耐力については棒鋼より劣るので、TN支保にせん断が働くような不安定な地山での適用には詳細な検討が必要となる。当該現場では、比較的地山が安定しているB、C I、C II区間で適用している。スク

リューメッシュについては、当該現場では特に問題なく施工できており、軽量のため施工性が向上している。

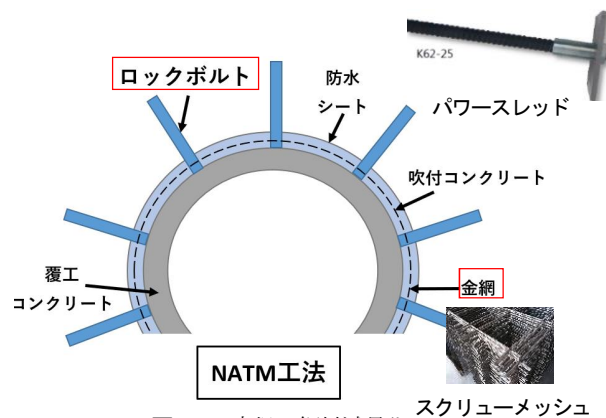


図-5 TN支保の鋼材減量化

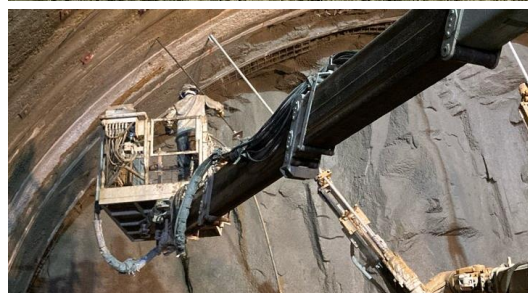
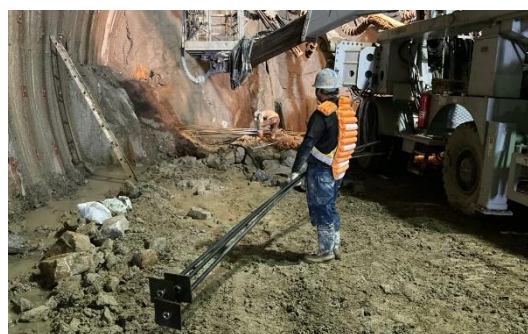


図-6 GRP製ロックボルト（パワースレッド）の施工状況

d) 今後の活用の見通し

パワースレッドについては、上記に記したような施工上、設計上の課題もあり、コスト面でも通常の棒鋼に比べて1.7倍程度（引抜試験箇所では特殊なナットが必要なため2.2倍程度）と割高になるため、導入には現場条件も含めた検討が必要となる。

(3) 現場環境に関わる取り組み

a) 概要

照明を通常の蛍光灯からLED灯に変更して、電力使用時のCO₂の排出量を削減する。具体的には、坑内照明を通常の40W蛍光灯（片側@5m）から高照度LED帯ライトに、事務所照明を通常の40W蛍光灯からLED40W型（型式が40W蛍光灯と同じ）に変更する。（図-7）



図-7 LED照明設置状況（坑内及び事務所）

b) 適用上の効果

LED帯ライト（電力：5W/m、照度500lm/m）は40W蛍光灯（@5mの電力：8W/m、照度：400lm/m）に比べて消費電力が約5/8で照度が1.25倍、LED40W型（電力：18W/本）は40W蛍光灯（電力：40W/本）に比べて消費電力が約1/2で照度が同程度のため、照度を保持したまま、電力消費時のCO₂排出量が削減できる。当該工事では、坑内照明で約4t-CO₂、事務所照明で約3t-CO₂のCO₂削減が見込まれる。

c) 今後の活用の見通し

建設現場における照明については、現時点でかなりの割合でLED化が進んでいる。LED灯の器具に関しては、1台当たりの単価は高いが、省電力、高寿命、メンテナンスフリーといったメリットを考えると今後ますます適用が進んでいくものと思われる。TN坑内のLED帯ライトについても、ここ数年で多くのTN工事での適用が進んでおり、CO₂削減のため、建設現場における照明の完全LED化が今後も進むものと思われる。

(4) CN建機導入促進の取り組み

a) 概要

「令和3年度CN対応試行工事」では、CN建機（2020年燃費基準100%達成建設機械）の使用台数率が工事期間中を通して50%以上となった場合は、工事成績評定で1点の加点が行われ、CN建機の導入を推進することで、CO₂の排出量を削減する。（図-8）

b) 適用上の効果

CN建機とは、JCMAS試験で測定された燃料消費量が2020年燃費基準値（0.8m³BH：10.8kg/標準動作）以下であれば、達成率100%として認定される建設機械であり、CN建機を導入することで、燃料消費量の抑制が図れ、CO₂排出量が削減できる。当該工事では、TN掘削用BH（0.8m³、CAT325）、TN掘削用ブレイカー（0.8m³、CAT325）、場内整備用BH（0.8m³、CAT308CR）、残土処理用BH（0.8m³、コベルコSK235SRD-5）にCN建機を

導入しており、現時点におけるCN建機の使用台数率は57%（4台/7台）で、50%以上を確保している。（図-9）

■燃費基準達成状況に応じた☆の設定

燃費基準を達成した建設機械の認定を行い、燃費基準の達成状況に応じて☆☆☆と☆☆☆及び☆☆を設定する。

☆☆☆の認定	2030年燃費基準達成率 100%以上	☆☆☆
	2020年燃費基準達成率 100%以上	☆☆☆
	2020年燃費基準達成率 85%以上	☆☆



※2030年燃費基準値による認定は令和9年4月より開始

図-8 燃費基準達成建設機械の認定制度⁴⁾



図-9 CN建機の使用状況

3. 熊野2TNの取り組み

(1) 建設機械に関わる取り組み

a) 概要

給油車のタンクに軽油量の0.1%燃料添加剤K-S1[®]を添加し、ディーゼルエンジンのTN掘削にかかわる建設機械(ドリルジャンボ、吹付機、ブレイカー、BH、ホイールローダ、重ダンプトラック、トラックミキサ)に給油し、燃費向上及びそれに伴うCO₂排出量低減を図るものである。（図-10）



図-10 K-S1添加状況

b) K-SIとは

K-SIは、原材料に100%軽油を使用し市販の軽油の製造プラント内のセラミックスに一定の条件下で接触循環させ、循環途中に磁力発生装置で磁界をかけて製造したものである。効果として燃費向上(公称値で平均8.0%程度)、それに伴うCO₂排出量低減、排出ガスのPM(粒子状物質)、窒素酸化物(NO_x)、及び硫黄酸化物(SO_x)等の有害成分削減効果がある。

c) K-SIの利点

近隣燃料販売店の給油車から直接給油できるため、他のバイオディーゼル燃料のように現場にタンクを置く必要がないため消防署との協議や危険物取扱者の配置も不要となり、現場での運用が簡便でありディーゼル機械を使用する工事であればTN工事に限らず幅広く運用が可能である。

d) K-SIの効果の検証

TN掘削に関わる建設機械は全てK-SIを添加した燃料をしているため、TN掘削以外で使用している建設機械と燃費の比較を行う予定であり、現在、データを収集中であり、今後検証予定である。

(2) 建設資材に関わる取り組み

a) 概要

吹付コンクリート材料におけるセメント及び細骨材の10%を石炭火力発電所で微粉炭を燃焼した際に発生する石炭灰のうち、集塵器で採取された灰であるフライアッシュ⁹⁾で置換する。置換することで、製造工程における焼成でCO₂を多く排出するセメント量を減少させ、CO₂排出量を削減することができる。

b) フライアッシュとは

石炭火力発電所では、微細に破砕した石炭をボイラで燃焼させその熱を利用して蒸気を発生し、タービン・発電機を回すことで発電する。その発電過程で、大別して2種類の石炭灰が発生する。1つは、灰の粒子が溶解固化し塊状となるのが「クリンカアッシュ」、もう1つは、燃焼により熔融状態でガス中に浮遊している灰がボイラ出口から徐々に冷却されることで球形微細粒子(10~30μm程度)となるのが「フライアッシュ」である。フライアッシュは、ボイラ煙突間の電気集塵器で捕集される。

(図-11)

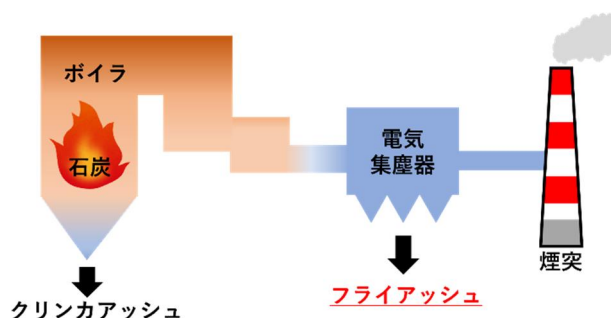


図-11 フライアッシュ生成過程イメージ

利用目的に応じて、4種類の品質がJISに規定され、一般的にコンクリート混和剤として利用されているものはⅡ種であり、本工事でもⅡ種を使用している。

※Ⅱ種：混入することにより、コンクリートの水和発熱抑制、長期強度の改善効果があるもの。また、コンクリートへの流動性付与、アルカリシリカ反応抑制について、無混入の場合と比較して十分に効果が発揮されるもの。

c) フライアッシュのCO₂削減効果の検証

フライアッシュを再生資源として有効活用するための研究開発が関係各方面で積極的に進められ、セメント、コンクリート混和剤、建材、農水産業、地盤改良材、道路その他の分野で有効活用されている。いずれの用途もフライアッシュのCO₂排出量原単位が非常に少ないことからCO₂削減が期待できる。

本工事では、フライアッシュの置換量を表1に示すとおり、セメント置換10%、細骨材15%で設定している。計算上で表2の通り9.0%程度のCO₂削減が見込める。掘削完了後、フライアッシュの使用量を集計し、CO₂排出削減量を算出するとともに、計算上の削減量と実際の削減量を比較する。

表-1 配合表

		水	セメント	細骨材	粗骨材	フライアッシュ
標準配合	重量(kg/m ³)	223	360	1059	716	0
FA吹付け	重量(kg/m ³)	185	324	897	813	128

表-2 吹付コンクリート1m³あたりのCO₂排出量

	水	セメント	細骨材	粗骨材	フライアッシュ	CO ₂ 排出量合計
CO ₂ 原単位(kg-CO ₂ /kg)	0	0.747	0.004	0.003	0.018	kg-CO ₂ /m ³
標準配合	重量(kg/m ³)	223	360	1059	716	0
	CO ₂ 排出量(kg)	0	268.92	4.236	2.148	0
FA吹付け	重量(kg/m ³)	185	324	897	813	128
	CO ₂ 排出量(kg)	0	242.028	3.588	2.439	2.304

(3) 低炭素化に関わる取組

a) 概要

本工事では、すべての工事用電力に関西電力が供給する法人向け高圧業務電力の再生可能エネルギー由来の非化石証書の持つ環境価値を付加した電気料金メニューである再エネECOプラン⁷⁾を使用する。一般的な電気プランだと0.434kg-CO₂/kWhのCO₂排出係数がかかってくるが、実質的に再生可能エネルギー由来のCO₂フリー電気が供給されるのでCO₂排出係数をゼロとして算定できる。

(図-12)

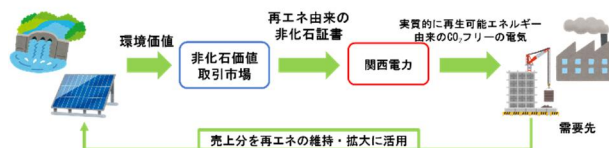


図-12 再エネECOプランイメージ⁷⁾

b) 再エネECOプラン使用効果の検証

今後工事終了までの合計使用電力量を集計し、一般的な電気プランの排出係数をかけてCO₂排出量を算出した上でCO₂削減量を検証予定である。

4. おわりに

2050年CNの実現に向け、6年後の2030年に温室効果ガスを2013年比で46%削減することが、我が国における脱

炭素社会に向けた直近の目標である。

インフラの施工段階におけるCO₂排出量は、我が国全体の約13%を占めるとともに、建設分野における脱炭素化に向けた取り組みは、決して十分とはいえないため、2030年目標達成に向け、建設業界の果たす役割は大きい。

本稿では、施工中の2件のTN工事において、実施した対策のCO₂削減効果や対策を実施する上での施工上の問題点等を取り纏めた。今後工事が進んでいく中で、工事全体のCO₂排出量も把握することで、どの部分のCO₂削減ポテンシャルが大きいのか、どの削減対策の有効性が高いか等も明らかになると思われる。

CNの実現に向けては、問題点等の改善のために、今後も試行工事の継続的な発注やTN工事以外への適用が発注者の取組として必要だと考える。

謝辞：本報告の作成にあたりご協力いただきました、熊野 1TN, 2TN 工事施工者のアイサワ工業株式会社、株式会社熊谷組ならびに関係の皆様には厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 国土交通省 国土交通グリーンチャレンジ (概要)
- 2) 国土交通省 脱炭素化に向けた取組 (令和5年2月16日)
- 3) (株)ダイセキ環境ソリューションのホームページ
- 4) 国土交通省 燃費基準達成建設機械認定制度について (概要)
- 5) (有)エコアースHP(<https://ecoeearth-web.com/>)
- 6) 日本フライアッシュ協会 HP(<https://www.japan-flyash.com/fquality.html>)
- 7) 関西電力(株)HP(<https://sol.kepco.jp/ecoplan/>)