

低炭素セメントを使用した半たわみ性舗装

村岡 克明・及川 義貴・小堺 規行

低炭素社会の実現に向けた取り組みは、建設分野でも色々行われている。近年では、公共工事にライフサイクルアセスメントを導入する動きもあり、グリーン購入法におけるグリーン調達も積極的に推進されている。

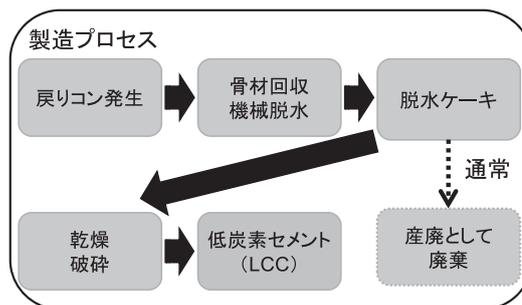
このような背景の中、従来技術より15%以上のCO₂排出量削減を達成した低炭素型の半たわみ性舗装を開発した。本開発は、再生した低炭素セメントを使用することやアスコンの中温化技術により材料のCO₂排出を抑制しつつ、かつ従来技術と同等の品質を有したものである。また、本開発は従来からの施工方法を見直し、施工の効率化により更なるCO₂排出削減を目指した。

キーワード：CO₂削減、低炭素セメント、半たわみ性舗装

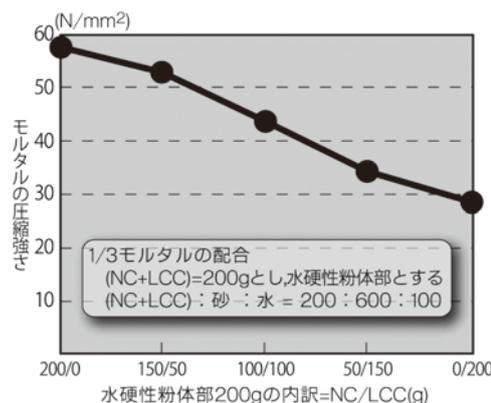
1. はじめに

構造物の環境配慮設計における温室効果ガスの排出量削減は低炭素社会の実現に向けた主要命題の一つであり、多様な取り組みがなされている。例えば、高炉スラグやフライアッシュのような副産物、即ちライフサイクルアセスメント上排出原単位の少ない材料を、原単位の大きいセメントと置換する方法が代表的である。しかし、舗装のように時間的制約の厳しい構造物の場合、これら潜在水硬性材料の大量使用は、機能を従来と同程度に保つことを要求するISOルールに準拠した削減主張とは言い難く、施工・供用上も困難が付きまとう。

本開発では産業廃棄物の一つである、生コン工場で発生する現場からの戻りコンクリートのスラッジケーキを再生した低炭素セメントを半たわみ性舗装の浸透用セメントミルク材の一部に用いると共に、基材となる開粒度アスコンに中温化技術を用い、舗装構造全体として15%以上の温室効果ガス削減を達成した低炭素半たわみ性舗装を開発したので、以下に報告する。



図一 製造プロセス



図二 LCC モルタルの圧縮強さ

2. 開発コンセプト

低炭素セメント（以下、LCCとする）とは、生コン工場に発生する戻りコンクリート起源のスラッジケーキを即日強制的にキルン乾燥し、一定の水和活性を維持したままセメントとして再生した材料である

（図一）。また、通常のセメントと比較して約1/2程度の「固まる力」を保持している点（図二）で高炉スラグやフライアッシュといった副産物由来の潜在水硬性材とは異なる。

LCCを使用することはセメントのリユースに近いリサイクルであると共に、硬化する力がセメント量削

減、即ちリデュースにも寄与することから、現在環境省が推進する3Rを達成する低炭素社会適合の新技术と言える。

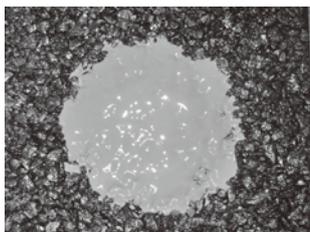
さらに基材となる開粒度アスコンに中温化技術を使用することで、複合的に舗装構造全体の温室効果ガスの削減を達成できることが大きな特徴となっている。実際ライフサイクル評価においても単なる温室効果ガス削減のみならず、廃棄物減量、省エネルギー化などの複合効果が得られており、数種の環境負荷を減らせることが分かっている。

このように、単に副産物の有効利用という観点だけでなく、建設業界に存在する多くの環境負荷要因を複合的に組み合わせて減らすという試みである点で、本開発は独自のコンセプトを有している。

3. CO₂ 排出量の削減量

(1) 半たわみ性舗装用プレミックス材製造時におけるCO₂ 排出量の削減

通常、半たわみ性舗装は、半たわみ性舗装用プレミックス材（以下、プレミックス材とする）を使用し、所定量の水を混合してセメントミルクを製造し、そのセメントミルクを基材となる空隙率の大きな開粒度アスコンに浸透させた舗装である（写真—1, 2）。また、プレミックス材は、普通セメント、フライアッシュや特殊添加剤等が配合されたものである。



写真—1 浸透用セメントミルクと基材アスコン



写真—2 半たわみ性舗装

そして、このプレミックス材の配合原料の内CO₂排出量が比較的多い普通セメント（約800 g-CO₂/kg）の配合量を減らし、CO₂排出量の少ないLCC（約100 g-CO₂/kg）に置き換えることで、プレミックス材製造時のCO₂排出量を減量させたものが、低炭素半たわみ性舗装に使用する低炭素プレミックス材となる。

この低炭素プレミックス材製造時におけるCO₂排出量および削減量は表—1に示すとおりである。なお、CO₂排出量の算出はISO14040に準拠し計算したものである。

表—1 プレミックス材（1 kg）製造時におけるCO₂ 排出量および削減量

項目	削減量および削減率
従来品	695 g-CO ₂ /kg
低炭素	608 g-CO ₂ /kg
削減量	87 g-CO ₂ /kg
削減率	12.5%

(2) 浸透用セメントミルク製造時におけるCO₂ 排出量の削減

このLCCを使用した低炭素プレミックス材は、比較的少量の水と混合しても、セメントミルクが分離しないことを確認している。

したがって、低炭素プレミックス材は、従来品に比べ水を多く混合することができ、同量のプレミックス材でもセメントミルクを多く製造することができる。言い換えると、単位面積当たりのプレミックス材使用量が少なくて済む。半たわみ性舗装1 m²に使用するセメントミルク12.6 l/m²を製造するために必要なプレミックス材量は、従来品が16,110 gであるのに対し、低炭素プレミックス材では14,616 gである。

セメントミルク製造時におけるCO₂排出量および削減量（プレミックス材製造時のCO₂排出量を含む）は表—2のとおりである。

表—2 セメントミルク（12.6 l/m²）製造時におけるCO₂ 排出量および削減量（プレミックス材製造時におけるCO₂ 排出量を含む）

項目	削減量および削減率
従来品	11,197 g-CO ₂ /m ²
低炭素	8,887 g-CO ₂ /m ²
削減量	2,310 g-CO ₂ /m ²
削減率	20.6%

(3) 半たわみ性舗装に用いる材料の製造時におけるCO₂ 排出量の削減

半たわみ性舗装は、浸透用セメントミルクと基材アスコンからできている。

そこで、基材に使用する開粒度アスコン製造時にお

表—3 セメントミルク、基材のアスコンおよび半たわみ性舗装材料製造時のCO₂ 排出量、削減量

項目	従来品	低炭素
開粒度アスコン（t = 50 mm）製造時のCO ₂ 排出量 g-CO ₂ /m ²	3,948	3,948
セメントミルク（12.6 L/m ² ）製造時のCO ₂ 排出量 g-CO ₂ /m ²	11,197	8,887
半たわみ性舗装に用いる材料製造時のCO ₂ 排出量 g-CO ₂ /m ²	15,145	12,835
削減率 %		15.3

ける CO₂ 排出量を算出し、既に求めたセメントミルク製造時における CO₂ 排出量と合計し、半たわみ性舗装に用いる材料の製造時における CO₂ 排出量および削減量を求めると、表—3 のとおりである。

(4) 中温化技術の適用による基材アスコンの CO₂ 排出量の削減

さらに、基材として使用する開粒度アスコンに中温化技術を適用し、製造温度を通常より 30℃ 低減することで、アスコン製造時における CO₂ 排出量が 3,776 g-CO₂/m² になる。

このため、中温化技術を適用した開粒度アスコンと低炭素プレミックス材を用いたセメントミルクを組み合わせて使用すると、材料の製造時における CO₂ 排出量は 12,663 g-CO₂/m² となり、従来品を用いた半たわみ性舗装に比べ、CO₂ 削減量は 2,482 g-CO₂/m²、CO₂ 削減率は 16.4% になる。

4. 低炭素プレミックス材の室内試験

低炭素プレミックス材は、従来品に使用されている普通セメントの一部を LCC に置き換えたものであり、所要の品質を満足するかについて確認するため、以下の室内試験を行った。

(1) 試験項目

室内試験は、低炭素性プレミックス材を使用した浸透用セメントミルクおよび半たわみ性舗装用混合物の性状試験とした。また、従来品についても同様の試験を行い比較することとした。試験項目を表—4 に示す。

表—4 室内試験の項目

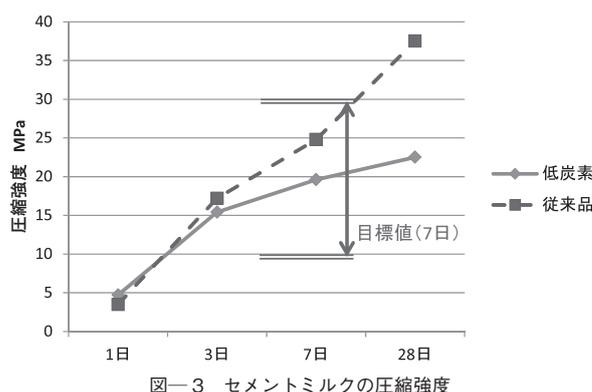
試験項目		試験方法
セメントミルク	フロー値 (sec)	舗装・調査試験法便覧 (C041) ¹⁾
	テーパー摩耗量 (g)	舗装・調査試験法便覧 (C011T) ¹⁾
	曲げ強度 (MPa)	舗装・調査試験法便覧 (C042) ¹⁾
	圧縮強度 (MPa)	JIS R 5201
半たわみ性混合物	曲げ強度 (MPa)	舗装・調査試験法便覧 (C043) ¹⁾
	破断ひずみ (× 10 ⁻³)	舗装・調査試験法便覧 (C043) ¹⁾

(2) 室内試験結果

試験結果の一覧を表—5 に示す。低炭素プレミックス材を使用したセメントミルクの圧縮強度は、従来

表—5 室内試験結果

項目	試験結果			
		LCC	従来品	
浸透用セメントミルクの性状	フロー値 (sec)	20℃	11.4	11.5
	テーパー摩耗量 (g)	7日	2,443	2,629
	曲げ強度 (MPa)	1日	1.3	1.2
		3日	4.2	3.9
		7日	5.1	5.4
		28日	5.9	6.1
	圧縮強度 (MPa)	1日	4.7	3.5
		3日	15.4	17.5
		7日	19.6	24.8
		28日	22.5	37.5
半たわみ性舗装の性状	曲げ強度 (MPa)	3日	1.6	1.3
		7日	1.8	1.8
		28日	2.5	2.2
	破断ひずみ (× 10 ⁻³)	3日	31	35
		7日	33	37
		28日	30	41



品と比べてやや低い値となった (図—3)。これは普通セメントの一部を強度で劣る LCC に置き換えているためと考えられる。しかしながら、目標としていた圧縮強度は 9.8 ~ 29.4 MPa (7日)²⁾ であり、試験結果は目標を満足する結果となった。また、フロー値や曲げ強度などの試験結果については、低炭素プレミックス材を使用したセメントミルクおよび半たわみ性舗装の性状は、従来品を使用した場合と比較してほぼ同等の結果であった。

これらの室内試験結果から、低炭素プレミックス材は従来品と遜色なく、十分な品質であることを確認した。

5. 試験施工

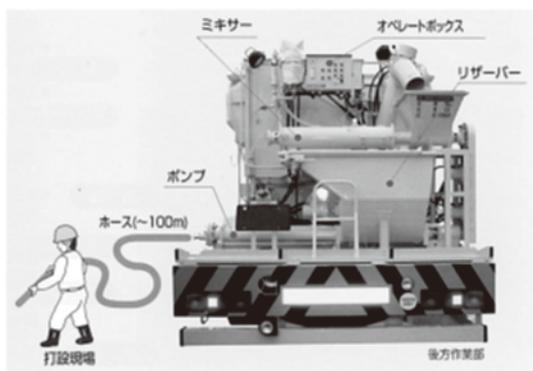
(1) 試験施工概要

基材には中温化技術を用いた開粒度アスコンを使用

し、浸透用セメントミルクには低炭素プレミックス材を使用し試験施工を行った。

なお中温化技術を用いた開粒度アスコンは、その製造温度が通常のアスコンよりも 30℃ 低減可能となり、製造時の CO₂ 排出量を削減できる。

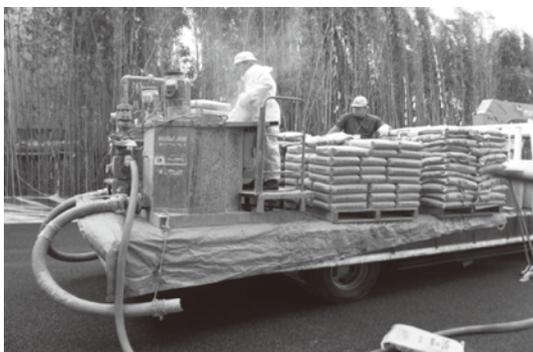
また、CO₂ 排出量削減を目指した施工の効率化を図るため、時間当たりの製造能力が高い連続鍊りローリー車(写真—3)を使用した。この連続鍊りローリー車は、ローリー内にあるプレミックス材をミキサーに送り、ミキサー内で水と混合してセメントミルクを製造し、そのセメントミルクがポンプで圧送されるしくみとなっている。



写真—3 連続鍊りローリー車

(2) 連続鍊りローリー車

従来の浸透用セメントミルクの製造は、2槽式グラウトミキサに計量した水を投入し、荷姿が 20 kg 袋のプレミックス材を人力投入する方法で行われていた(写真—4)。また、風の強い日にはプレミックス材が粉塵となって周辺に飛散するとともに、人力投入する作業員も粉塵にさらされる問題があった。



写真—4 従来の浸透用セメントミルクの製造

これに対し、本工事で導入した連続鍊りローリー車は人力による投入作業を伴わずに自動化された機械によるセメントミルクの製造ができるため、従来の製造方法よりも製造能力が向上する。一連の製造工程は機



写真—5 連続鍊りローリー車によるセメントミルクの製造

械内で行われることより粉塵発生が抑制され、作業環境の改善にも寄与する。さらに、人力作業がなくなるため作業の危険有害要因が少なくなり安全性も向上する(写真—5)。

(3) 施工結果

浸透用セメントミルクの注入については、連続鍊りローリー車を使用することによって、従来の製造方法に比べて連続、かつ安定した品質のセメントミルクが供給された。

① 安定した品質のセメントミルク

現場で製造したセメントミルクの性状試験の結果を表—6に示す。セメントミルクのフロー値は、3回測定し、それぞれ 10.1 秒、10.1 秒、10.2 秒と安定していた。

表—6 試験施工でのセメントミルクの性状試験結果

項目	結果	
	フロー値 (sec)	1 回目
	2 回目	10.1
	3 回目	10.2
	平均	10.1
曲げ強度：7 日 (MPa)	①	5.4
	②	5.3
	③	5.3
	平均	5.3
圧縮強度：7 日 (MPa)	①	23.0
	②	24.1
	③	23.7
	平均	23.6

またセメントミルクの曲げ強度(7日)は、目標の 2.0 MPa 以上²⁾ に対し、平均 5.3 MPa であり、圧縮強度(7日)は目標の 9.8 ~ 29.4 MPa に対し 23.6 MPa であった。

連続鍊りローリー車で製造した浸透用セメントミルクは、流動性の変動が小さく安定した品質で、かつ曲げ強度および圧縮強度も目標性状を十分に満たすことが確認できた。

②施工量の向上

製造作業の省力化と注入工の施工性が大幅に向上し、時間当たりの注入面積が約 300～400 m² が可能であり、施工量が従来浸透方法の約 1.5 倍に向上した。

③浸透作業の負担軽減

連続鍊りローリー車を使用することにより、セメントミルクを所定の箇所に適正量を配置できるようになったため、セメントミルクを敷き広げる作業の負担が軽減されるのに加え、均一に路面に浸透させることが可能であった（写真—6）。



写真—6 浸透作業

(4) CO₂ の削減量

本現場のように、中温化技術を使用した低炭素アスファルト混合物と LCC を配合した低炭素プレミックス材を使用した低炭素半たわみ舗装を 1,000 m² 施工した場合、セメントミルク製造時における CO₂ 削減量は、表—2、3 より 2,310 kg-CO₂ (2,310 g-CO₂/m² × 1,000 m²/1,000,000) となる。この CO₂ 削減量はガソリン燃焼に起因する CO₂ 排出量に換算すると 996 ℓ (2,310 kg-CO₂ / 2.32 kg-CO₂/ℓ) に相当する。

6. まとめ

この低炭素半たわみ性舗装は、材料では LCC を使用することによりプレミックス材製造時およびセメントミルク製造時の CO₂ 排出量を従来よりも約 20% 削減させることができた。また、基材に中温化技術を用

いた開粒度アスコンを使用することにより舗装体全体としては 16.4% 削減することができた。セメントミルクとしての品質は、室内および現場においても満足していた。

連続鍊りローリー車を使用したセメントミルクの浸透作業は施工性が向上し、施工量を増大させることができるため、施工においても更なる CO₂ 排出量削減が期待できることがわかった。

7. おわりに

温室効果ガスである CO₂ 排出量を削減することが社会の命題となる中、現場で使用されなかった戻りコンクリートの処理については建設業界が抱える大きな問題のひとつとなっている。本開発は戻りコンクリートを再生することにより廃棄物を減らし、材料として再利用するため、CO₂ 排出量の削減に寄与できる技術だと考えている。

今後は、半たわみ性舗装だけではなく、この LCC の可能性を検討し、低炭素社会の実現に貢献していく所存である。

JICMA

《参考文献》

- 1) (株)日本道路協会：舗装・調査試験法便覧 第3分冊, pp.351-354,385-394, 2007
- 2) (株)日本道路協会：舗装施工便覧, pp.203, 2006

【筆者紹介】



村岡 克明 (むらおか かつあき)
(株)NIPPO
生産技術機械部 生産技術グループ
特殊工法担当課長



及川 義貴 (おいかわ よしき)
(株)NIPPO
研究開発本部 技術研究所 研究第二グループ
副主任研究員



小堺 規行 (こさかい のりゆき)
住友大阪セメント(株)
建材事業部 新規事業グループ
担当部長