

炭酸化再生骨材を活用した CO₂削減型車道用コンクリート舗装の現場適用性の検討

日本道路 株式会社 ○弓木 宏之
大阪兵庫生コンクリート工業組合 船尾 孝好
株式会社 安藤・間 白岩 誠史

1. はじめに

近年、国際的な枠組みで「2050年カーボンニュートラル社会の実現」に向けた脱炭素化の技術開発が進んでいる。コンクリート分野においてもポルトランドセメントの使用量を低減させた低炭素型コンクリートや CO₂を吸収・固定するコンクリートの研究開発が活発に行われ、実用化されつつある。弊社では、NEDO グリーンイノベーション基金事業「CO₂を用いたコンクリート等製造技術開発 “CO₂を高度利用した CARBON POOL コンクリートの開発と舗装および構造物への実装”」の開発に参画している。具体的には、戻りコンクリートや残コンクリート（以下、戻りコン）を活用した粒状化再生骨材への CO₂固定化およびコンクリート舗装分野での利活用を目指し、CO₂固定化粒状化再生骨材（以下、CP 骨材）を用いた車道用コンクリートの開発を行っている。

本報では、生コン工場で発生する戻りコンを原料とした粒状化再生骨材の物性や CO₂固定量を確認するとともに、炭酸化再生骨材を用いた舗装用コンクリート（以下、低炭素型舗装コン）の試験施工結果および CO₂の削減効果について報告する。

2. 炭酸化再生骨材（CP 骨材）

CP 骨材は、生コン工場で発生する戻りコン塊をジョークラッシャーで破碎し、ふるい網により 20mm 以下の粗骨材と 5mm 以下の細骨材に分級した再生骨材 L に適合したものを原料に使用した。なお、分級後の再生粗骨材 L2005 は、強制炭酸化専用設備により高濃度の CO₂ 環境下で炭酸化養生したものを使用した。炭酸化前後の骨材物性値を表 1 に示す。炭酸化することで安定性が向上し、強制炭酸化による CO₂の固定量は 28.7kg-CO₂/t であった。また、再生細骨材は、大気曝露による自然炭酸化によって CO₂を固定し、CO₂固定量は 5.2kg-CO₂/t であった。

3. 試験練り

実証実験として、大阪・関西万博場内の「未来の都市」パビリオン外構での試験施工を実施した。また、低炭素型舗装コンの配合および品質については、試験施工に先立って出荷プラントでの実機試験練りを行い確認した。なお、比較のため普通骨材（以下、V 骨材）を使用した舗装コンクリートについても実施し、CP 骨材の配合では高炉セメント B 種を、V 骨材の配合では普通ポルトランドセメントを使用した。

3.1 フレッシュ性状試験結果

打設時期が夏季であることから、経時的なフレッシュ性状の変化を考慮して混和剤を選定し、スランプと空気量を管理指標に細骨材率 (s/a) を変化して配合調整を行った。s/a=26.3%の場合、空気量が小さいがフレッシュ性状については大きな問題はなかった。しかし、粗骨材量が過剰となり表面仕上げが困難になる可能性があるため、s/a を大きくしてモルタル比率を増加することとした。s/a=35.0%に増加することでハンドリング、表面仕上げが良好となることを確認し、示方配合とした。決定した配合を表 2 に示す。

決定した示方配合について、生コン運搬時間

表 1 CP 骨材の物性値

| | 表乾密度 (g/cm ³) | 吸水率 (%) | 実積率 (%) | すりへり 減量 (%) | 安定性 (%) | CO ₂ 固定量 (kg-CO ₂ /t) |
|-----|------------------------------|------------|------------|-------------------|------------|--|
| 固定前 | 2.29 | 8.54 | 61.0 | 30.4 | 41.2 | - |
| 固定後 | 2.31 | 7.29 | 60.9 | 30.7 | 19.7 | 28.7 |

表 2 コンクリート配合

| 骨材 | W/C (%) | s/a (%) | 単位量(kg/m ³) (Ad添加) | | | | |
|------------|------------|------------|--------------------------------|-----|-----|--------|----------|
| | | | N | BB | W | S | G |
| CP 骨材配合 | 40 | 35 | - | 413 | 162 | 476 | 979 |
| V骨材配合 | 40 | 41 | 413 | - | 165 | S1:486 | G1:509.5 |
| | | | | | | S2:217 | G2:509.5 |

表 3 スランプ経時変化

| 経過時間 (分) | 0 | 30 | 60 | 60 (Ad添加) |
|-----------|------|------|-----|-----------|
| スランプ (cm) | 15.0 | 17.5 | 6.5 | 16.0 |

を考慮してアジテータ車を用いた経時変化試験を最大1時間程度まで行い、可使時間を確認した。スランプ試験結果を表3に示す。本現場では、施工性を考慮して、スランプ目標値は15cmとしている。想定運搬時間30分まではコンシステンシが保持されたが、30~60分間で急激に低下することが分かった。そのため60分経過の段階で流動性を付与するための混和剤を現地で後添加することで、所要のスランプを確保できることを確認した。

3.2 強度試験結果

決定配合にて曲げ供試体を作成して曲げ強度試験を行った。結果を図1に示す。本現場は、車両通行帯での使用目的としているため、設計基準曲げ強度を4.5MPaに設定しているが、CP骨材配合、V骨材配合ともに材齢7日の時点で目標強度を満足し、どちらの配合も28日までに10%程度強度増加することを確認した。

4. 試験施工

4.1 フレッシュ性状試験結果

CP骨材配合の舗装用コンクリートを打設する当日の最高気温が30℃に達することが想定されるため、現着時のスランプ目標値を15cmから20cmに変更して出荷することとした。また、V骨材配合は、事前の試験練りにてスランプロスが小さいことを確認していることから、スランプ目標値を15cmのままとした。本施工では、打設箇所の条件によりCP骨材配合はバックホウを用いた人力打設、V骨材配合はポンプ圧送による打設を行った。施工状況を写真1に示す。どちらもブリツスクリッドと高周波バイブレータを用いることで問題なく高温環境下での打設を完了した。

4.2 強度試験結果

出荷時に作成した供試体で確認した曲げ強度試験結果を図2に示す。CP骨材配合、V骨材配合ともに材齢7日で4.5MPaを満足しており、十分な強度発現性が認められた。CP骨材配合については7日から28日までに50%程度の強度増加を確認したが、V骨材配合より小さい強度を示した。このことは、骨材の強度やセメント種類の違いが影響している可能性が考えられる。

5. CO₂削減効果

CO₂排出量の計算に用いた使用材料の排出原単位を表4に示す。今回の施工に使用した配合における、CO₂排出量および、CO₂固定量から算出したCO₂削減量の試算結果を表5に示す。

CP骨材配合の舗装用コンクリートは、V骨材配合と比較して、-181.6 kg-CO₂/m³の削減量となった。

6. まとめ

CP骨材を用いた舗装用コンクリートに関する本検討の結果、以下のことが明らかとなった。

- 1) CP骨材を使用した舗装用コンクリートは、スランプロスが大きいため、配合設計時に配慮する必要がある。
- 2) 本検討におけるCP骨材を使用した舗装用コンクリートは、材齢7日で設計基準曲げ強度4.5MPaを満足した。
- 3) CP骨材を用いた舗装用コンクリートは、車道における設計基準強度を満足し、V骨材を用いる場合に比べてCO₂排出量を低減できる。

今後は、骨材によるCO₂の固定化に加えて、養生時のCO₂の固定化を検討していく。

この成果は、NEDO（国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構）の委託業務（JPNP21023）の結果得られたものです。関係各位に深く感謝いたします。

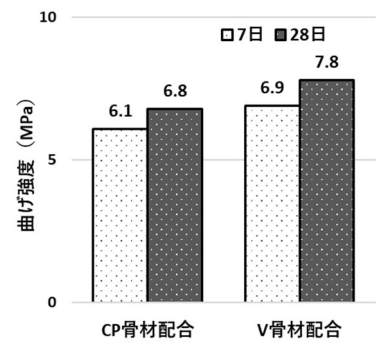


図1 試験練り強度試験結果



写真1 施工状況写真

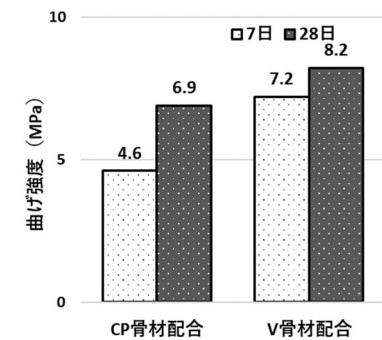


図2 試験施工強度試験結果

表4 排出原単位

| | 排出原単位 (kg-CO ₂ /t) | | | | |
|--------|-------------------------------|--------------|-------------|------------|--------|
| | 水 | 高炉セメント | CP骨材 (2005) | CP骨材 (細骨材) | 混和剤 |
| CP骨材配合 | 0.20 | 471.12 | -28.70 | -5.20 | 198.37 |
| V骨材配合 | 水 | 普通ポルトランドセメント | 砕石 (2005) | 砕石 (細骨材) | 混和剤 |
| | 0.20 | 806.51 | 7.09 | 7.09 | 198.37 |

表5 CO₂削減量

| | CO ₂ 排出量 (CO ₂ kg/m ³) | CO ₂ 排出量 (CO ₂ kg/m ³) | 合計 (CO ₂ kg/m ³) |
|--------|--|--|---|
| CP骨材配合 | 196.4 | -30.6 | 165.8 |
| V骨材配合 | 347.4 | 0.0 | 347.4 |