

高炉スラグ微粉末を用いた 高耐久性PC構造物

会員会社

株式会社安部日鋼工業
オリエンタル白石株式会社
株式会社ピーエス三菱
株式会社IHIインフラ建設
前田製管株式会社
三井住友建設株式会社
日鉄高炉セメント株式会社
(エスメント関東株式会社)
(エスメント中部株式会社)

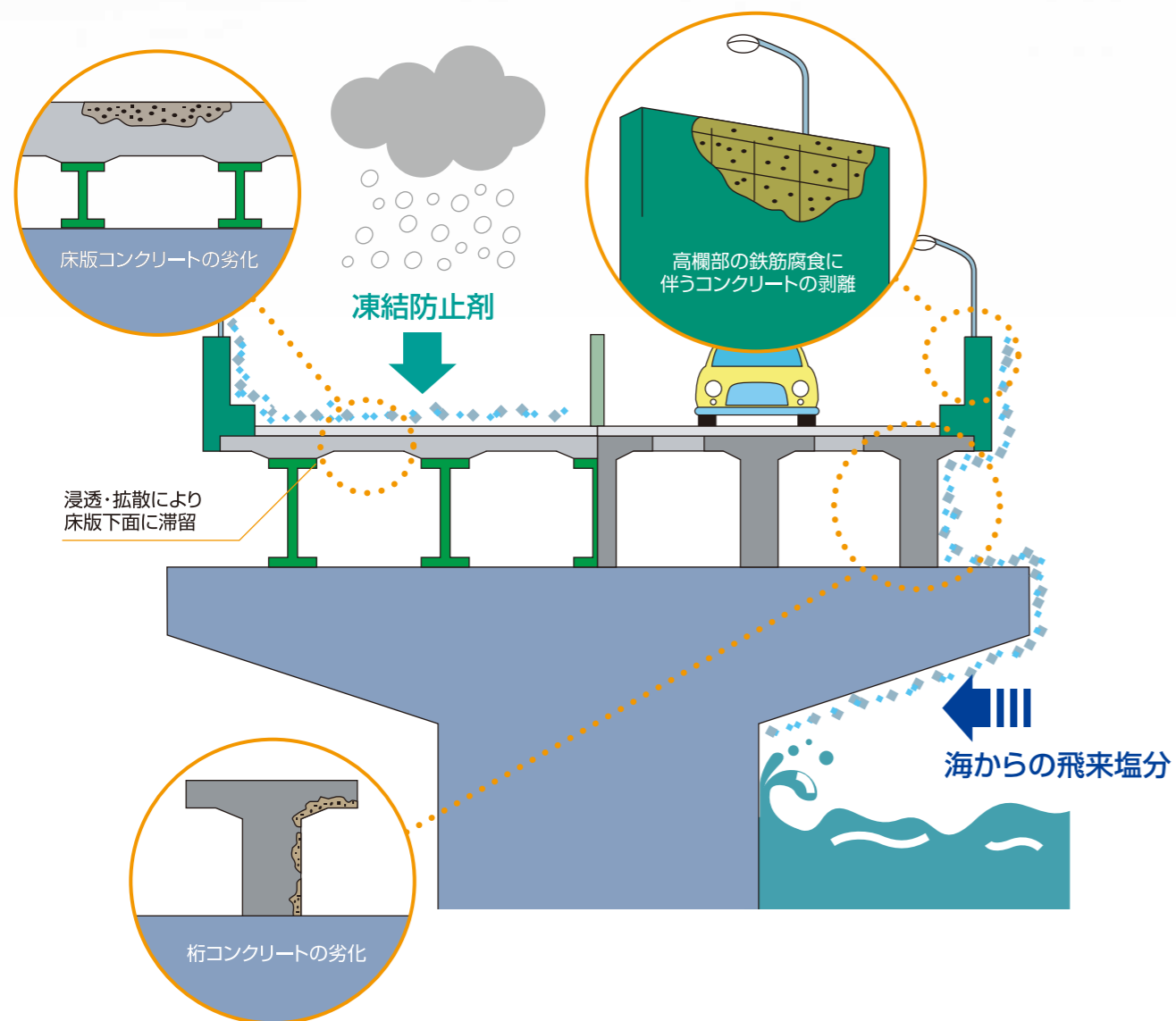


BSPC研究会 (高炉スラグ微粉末を用いた
高耐久性PC構造物研究会)
事務局
〒161-0033 東京都新宿区下落合2-3-18 SKビルS棟
(株)安部日鋼工業内 TEL03-5906-5621
<http://bspc-study.com/>

BSPC研究会

プレストレストコンクリート構造物(PC構造物)は、ひび割れを制御できることから、耐久性の高い構造物であるといえます。

しかし、近年、海岸近くの塩害や寒冷地で道路に散布される凍結防止剤などによるコンクリートの劣化現象が問題となっています。そして、耐久性の高いPC構造物も劣化することがわかってきました。



そこで……

高炉スラグ微粉末を用いた高耐久性PC構造物を開発しました。

高炉スラグ微粉末は、鉄を造るときに副産される高炉スラグを原料とした環境に優しい材料です。ここで提案する「高炉スラグ微粉末を用いた高耐久性PC構造物」は、一般的にPC構造物に用いられている早強セメントの50%を高炉スラグ微粉末6000 (cm²/g) に置換します。高炉スラグ微粉末を用いた高耐久性PC構造物は英語表記の頭文字を組み合わせ「BSPC」と略称します。

(Highly Durable **P**restressed **C**oncrete Structures with using Ground-granulated **B**last-furnace **S**lag)

特長



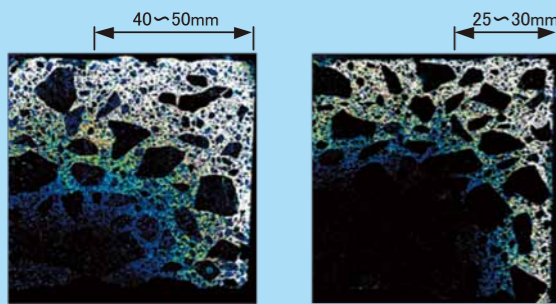


塩害に強い

海上部や海岸線付近では飛来塩分によってコンクリート中に塩分が蓄積し、鋼材を発錆させ耐力を低下させますが、高炉スラグ微粉末を混入することにより、塩分を表層部分で遮断し内部への拡散を抑制します。沖縄県北部沿岸部に架設された橋梁に関して実施している暴露試験の分析結果より、高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートは、早強セメントに対して塩分の浸透を抑制する性能に優れていることが確認されています。

暴露試験結果

沖縄県沿岸部に11年間暴露
(財)土木研究センターの暴露試験場にて実施)



写真の見方

電子線マイクロアナライザーによる写真です。白っぽくなっている部分が塩素イオンの浸透を表します。

参考：小島孝昭、豊福俊泰、小林一輔：塩害に対応した高耐久性PC構造物の建設と性能評価に関する研究、土木学会論文集、No802/V-69, pp235-253, 2005.

塩化物イオンの浸透深さ試算

	供用期間100年後の予測塩化物イオン浸透深さ
早強セメント	36mm
BSPC	20mm
BSPC / 早強セメント	55%

供用期間100年後の予測塩化物イオン浸透深さ

100年間供用した場合に、コンクリート中の塩化物イオン濃度が鋼材腐食発生限界濃度(BSPCは高炉セメントB種相当の値を適用しました)となる深さを左記の暴露試験結果より試算しました。

試算条件

塩化物イオンの拡散係数
早強セメント：0.221cm²/年、BSPC：0.110cm²/年

表面塩化物イオン濃度
13kg/m³(実測値の最大値は8.12kg/m³ですが、土木学会が示す飛沫帯の条件を適用しました。)

ASRに強い

アルカリシリカ反応(ASR)は、骨材に含まれる反応性シリカ鉱物とコンクリートの細孔溶液に含まれる水酸化アルカリの化学反応です。化学反応で生成された膨張性のアルカリシリカゲルは、コンクリートの膨張によるひび割れなどの劣化を生じます。高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートは、セメントの一部を高炉スラグ微粉末で置換することによる希釈効果に加えて、細孔溶液中からの水酸化アルカリが除去される効果や水分、アルカリイオンの移動速度が小さくなるなどの効果により、ASRの発生を抑制します。

アルカリ骨材反応抑制対策とBSPC

コンクリート中のアルカリ総量の抑制[試算例]

BSPCのアルカリ総量：2.2kg/m³ < 3.0 kg/m³

算出条件

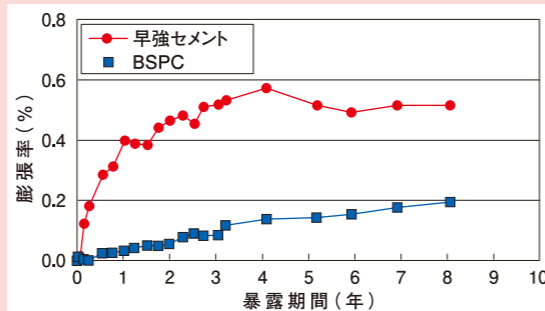
セメントの全アルカリ量：209kg/m³ × 0.53% = 1.11kg/m³
高炉スラグ微粉末6000の全アルカリ量：209kg/m³ × 0.49% = 1.02kg/m³
骨材(細骨材)の全アルカリ量：723kg/m³ × 0% = 0kg/m³
混和剤の全アルカリ量：2.30kg/m³ × 1.50% = 0.03kg/m³

抑制効果のある混合セメント等の使用

早強セメントの50%を高炉スラグ微粉末6000に置換したコンクリートにてアルカリ骨材反応抑制効果を確認しています。

PC梁試験体の促進暴露試験結果

膨張量測定結果



グラフの見方と試験条件

PC鋼材方向およびPC鋼材直角方向の平均膨張量を示します。著しい反応性を有する安山岩砕砂・砕石を用い、反応を促進させるために多量のアルカリ分を添加し、日当たりの良い屋外に暴露しました。

参考：菱田理希、古川柳太郎、尾花祥隆、鳥居和之：ASRによる劣化を生じたPC梁部材の耐荷力特性、コンクリート工学年次論文集、Vol.29, pp 1305-1310, 2007.

凍結防止剤に強い

塩化カルシウムやカルシウムマグネシウムアセテート等の凍結防止剤がコンクリートに侵入すると、コンクリート硬化体中の水酸化カルシウムが溶脱し劣化します。これに凍結融解作用が加わるとコンクリートの劣化は著しく進行します。これに対して、高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートは組織を緻密化させ、水酸化カルシウムの溶脱を抑制します。

凍結防止剤について 凍結防止剤は塩化ナトリウム (NaCl)、塩化カルシウム (CaCl₂)、カルシウムマグネシウムアセテート (CaMg (CH₃COO)₄) の3種類があります。

実験結果

凍結防止剤溶液に6ヶ月浸漬(日本材料学会委託研究結果)



環境に優しい

副産物の有効利用

高炉で鉄を製造する際に排出される副産物である高炉スラグ微粉末を有効利用したコンクリートです。また、高炉スラグ微粉末はエコマーク対象商品です。

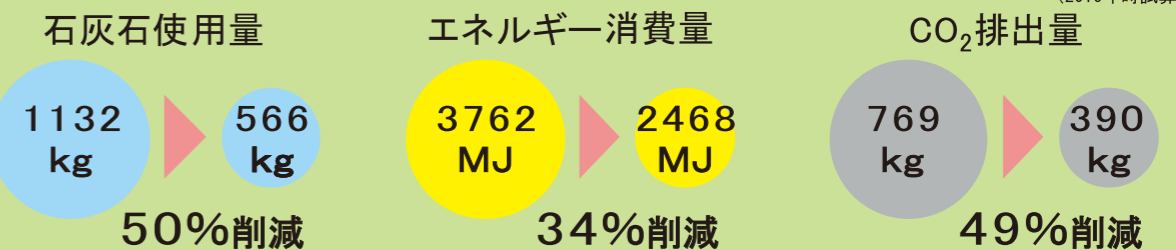
省資源・自然保護

高炉スラグ微粉末をセメントと置き換えることで、セメントの原料として使用する石灰石などの天然資源の量を減らすことができ、資源保護の観点から有効です。また、石灰石を用いないことより、山々を崩すことなく自然保護を推進することができます。

省エネルギー・地球温暖化防止

高炉スラグ微粉末は、副産された水砕スラグを乾燥・粉砕して製造するため、セメントのような焼成工程がなく、燃焼用のエネルギーが削減できます。また、同時にCO₂の発生が大幅に抑制されます。

セメント1tのうち50%を高炉スラグ微粉末に置き換えたときの削減効果 (2016年時試算)



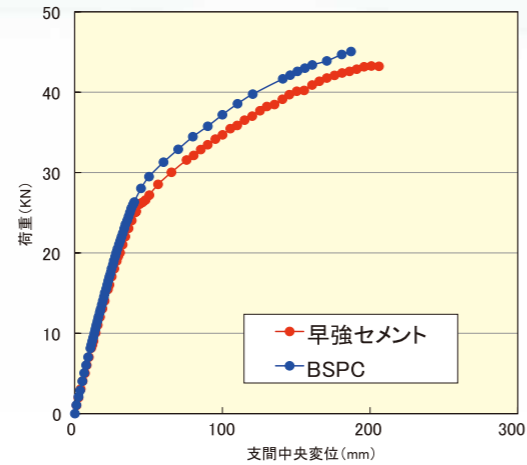
基本性能

実大桁による破壊試験を実施し、従来のコンクリートと同等以上の耐力を有することを確認しました。
各種物性値も従来のコンクリートと同等であることを実験により確認しています。

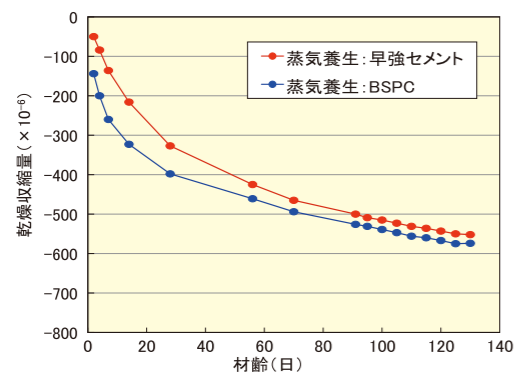
●破壊状況



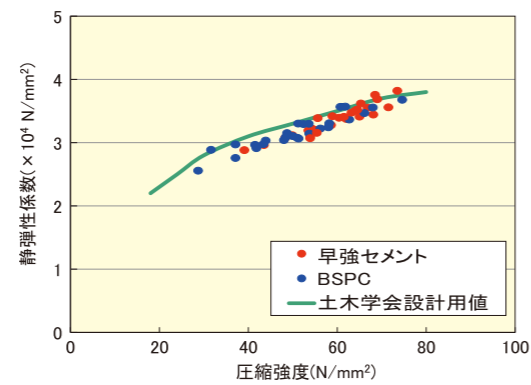
●載荷荷重と変位



●乾燥収縮



●静弾性係数



●クリープ

配合	材齢(日)	7	28	91
早強セメント		1.3	1.6	1.7
BSPC		1.1	1.4	1.6

記号の説明

早強セメント：早強ポルトランドセメント
BSPC：早強ポルトランドセメント＋
高炉スラグ微粉末6000 (50%置換)

施工実績



プレテンション方式中空床版橋
沿岸部の塩害対策



ポストテンション方式単純T桁橋(プレキャストセグメント)
凍結防止による劣化対策



プレテンション方式3径間連結T桁橋
沿岸部の塩害対策



プレキャストPC床版
耐久性向上
(凍害・凍結防止剤・ASRIによる劣化予防対策)



ポストテンション方式プレキャスト下水処理槽
沿岸部の塩害対策



ポストテンション方式単純T桁橋(プレキャストセグメント)
沿岸部の塩害対策