

【事業名・新技術の名称】

- (1) 補助事業の名称: 新甲佐発電所建設事業
- (2) 新技術の名称: 吹付けコンクリートの配合における低品質細骨材及びフライアッシュ原粉の利用
- (3) 事業期間: 平成25年度～平成26年度

【概要】

トンネル工事における吹付けコンクリートの材料は、セメント、水、細骨材(砂)、粗骨材(砕石)及び混和材で構成される。このうち、細骨材に低品質の海砂及び石炭火力発電所で発生する石炭灰のうちフライアッシュ原粉を吹付けコンクリートへ適用し、流動性改善効果を図り、はね返り率低減による施工性の向上、環境負荷低減及び石炭火力発電所灰捨場設備の延命化等を図った。

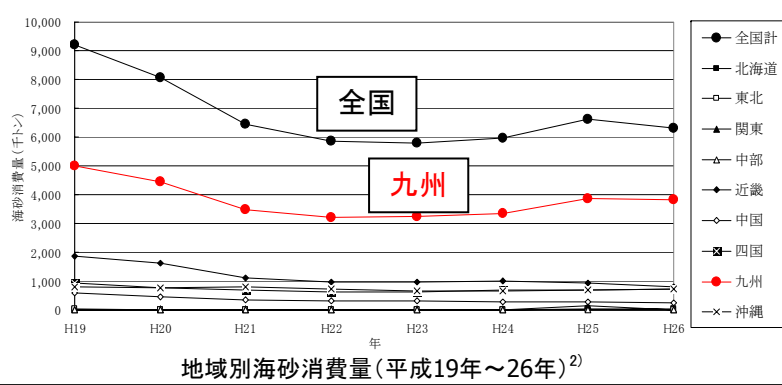
【細骨材について】

【背景】

近年、良質の河川産骨材が枯渇しており、海砂、山砂、砕砂等が細骨材の大部分を占めるようになってきている。西日本では、海砂の使用量が多く¹⁾²⁾、今後も引き続き使用されていく中で、低品質(密度が小さい、給水率が高い、貝がら混入量が多い)のものが含まれてくる可能性がある。

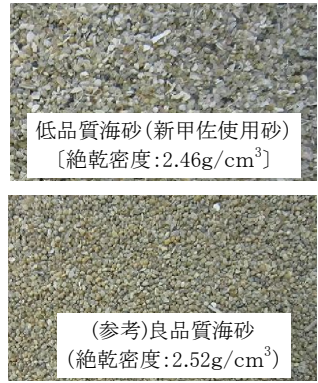
【課題】

細骨材に貝殻が多く含まれる場合、①コンクリートの流動性が悪くなり³⁾、施工性が低下する②流動性改善に伴い単位水量及び単位セメント量の増加等が懸念される



地域別海砂消費量(平成24年)

| 地域 | 海砂消費量(千トン) |
|-----|------------|
| 北海道 | - |
| 東北 | - |
| 関東 | - |
| 中部 | 10.7 |
| 近畿 | 983.3 |
| 中国 | 269.5 |
| 四国 | 695.5 |
| 九州 | 3,356.0 |
| 沖縄 | 652.1 |
| 全国計 | 5,967.1 |



【吹付け試験】

室内試験で決定した配合により、吹付け試験を実施し、FA原粉の配合の有無による施工性等の違いを検証した。

【試験方法】

吹付けコンクリート指針(案)記載の方法⁶⁾に則り、吹付け試験を実構造物(導水路トンネル)へ計5回実施した。計測内容は、はね返り率、粉塵量及び圧縮強度とした。

【試験結果】

- 吹付け時のはね返り率は、最大4.5%、平均1.7%の差で、FA原粉配合による優位性が認められた。
- 吹付け時の粉塵量差は最大0.12mg/m³と大きな差は見られなかったものの、FA原粉配合による優位性が認められた。
- 吹付けコンクリートの圧縮強度は、いずれも28日強度の基準値18N/mm²を満足する結果となった。また、長期強度(91日強度)についても、FA無に比べFA有の強度発現が大きくなった。

| 配合 | コンクリート配合 | | | | | | 水 (kg) |
|-----------------|------------|----------|----------|----------|-----------|--------------|--------|
| | 水セメント比 (%) | 細骨材率 (%) | 細骨材 (kg) | 粗骨材 (kg) | セメント (kg) | フライアッシュ (kg) | |
| ①FA未配合(以下、FA無) | 60% | 60% | 944 | 675 | 392 | 0 | 235 |
| ②FA原粉配合(以下、FA有) | 60% | 60% | 921 | 661 | 380 | 55 | 228 |

| 試験日 | 配合 | 外気温 (°C) | はね返り試験 | | | 強度試験 | | | | 粉塵量 (mg/m ³) |
|-----------------|------|----------|-----------|------------|-----------|---------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| | | | 吹付け量 (kg) | はね返り量 (kg) | はね返り率 (%) | 24時間 (N/mm ²) | 7日 (N/mm ²) | 28日 (N/mm ²) | 91日 (N/mm ²) | |
| H26.5.27 (第1回) | ①FA無 | 23.0 | 1,327 | 264.3 | 16.6% | 20.4 | 21.8 | 27.0 | 31.3 | 2.97 |
| | ②FA有 | | 1,578 | 339.3 | 17.7% | 19.6 | 16.4 | 23.7 | 32.7 | 2.85 |
| H26.6.13 (第2回) | ①FA無 | 23.0 | 2,507 | 360.5 | 12.6% | - | - | - | - | 2.84 |
| | ②FA有 | | 2,986 | 383.5 | 11.4% | - | - | - | - | 2.79 |
| H26.9.22 (第3回) | ①FA無 | 21.5 | 2,787 | 434.0 | 13.5% | - | 15.0 | 19.9 | - | 2.83 |
| | ②FA有 | | 3,605 | 354.5 | 9.0% | - | 14.1 | 23.8 | - | 2.77 |
| H26.12.24 (第4回) | ①FA無 | 5.5 | 2,599 | 397.3 | 13.3% | - | 17.8 | 25.6 | - | 2.90 |
| | ②FA有 | | 2,851 | 356.1 | 11.1% | - | 19.7 | 27.3 | - | 2.82 |
| H27.2.17 (第5回) | ①FA無 | 9.0 | 2,156 | 170.7 | 7.3% | - | - | 22.0 | 26.2 | 2.95 |
| | ②FA有 | | 2,662 | 160.8 | 5.7% | - | - | 22.8 | 26.6 | 2.93 |
| 平均 | ①FA無 | - | - | - | 12.7% | - | 18.2 | 23.6 | 28.8 | 2.90 |
| | ②FA有 | - | - | - | 11.0% | - | 16.7 | 24.4 | 29.7 | 2.83 |



試験の準備状況



吹付け試験状況

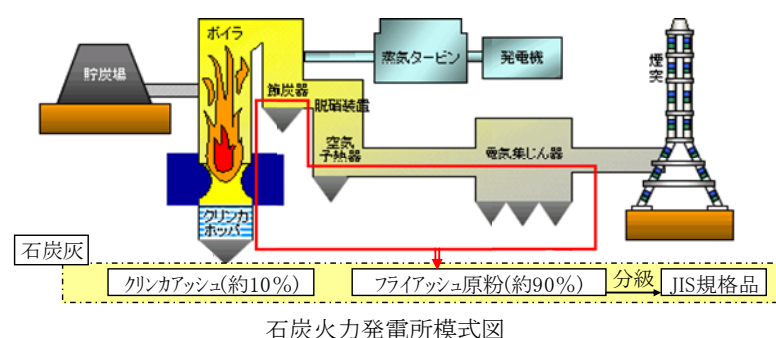
【フライアッシュについて】

【背景】

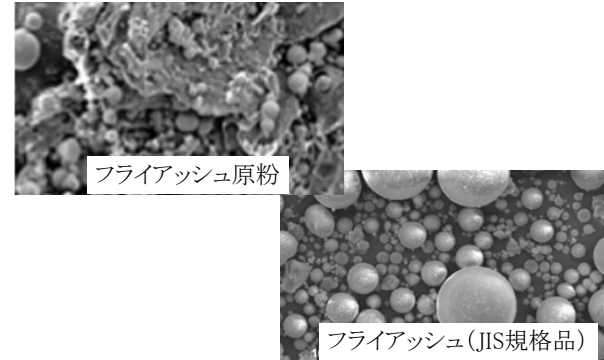
石炭火力発電所で発生する石炭灰のうちFAは、有効利用の一例としてコンクリートの材料に利用されている⁴⁾⁵⁾

【課題】

①JIS規格品に分類するにはコストが掛かる ②FAの未利用は、石炭火力発電所の灰捨場設備の拡大費用や焚き増し燃料費の増大等に繋がる



石炭火力発電所模式図



【室内試験】

FAについては、品質の変動による強度発現のばらつきが懸念されることから、FAをセメントの代替材(内割り置換)でなく、混和材としてコンクリート1m³に混入する方法を適用した。

室内配合試験の結果、現場に適用する基本配合は、FA混入量が多く、セメント量が少なくできる水セメント比60%のFA原粉配合とした。

吹付けコンクリート配合条件

| 項目 | 設定値 |
|------------------------|---------------------|
| 設計基準強度 σ ₂₈ | 18N/mm ² |
| ペーコンクリート目標強度 | 36N/mm ² |
| 粗骨材最大寸法 | 13mm |
| スランブ(室内試験の場合) | 10±2.5cm (10±1cm) |
| 水セメント比 | 60%、55% |

室内試験時材料品質

| 使用材料 | 種類 | 材料品質 |
|------|-----------------|--|
| 細骨材 | 海砂 | 表乾密度:2.53g/cm ³ 、絶対密度:2.46g/cm ³ 吸水率:2.81%、貝がら混入率:20.5% |
| 粗骨材 | 6号砕石(13~5mm) | 表乾密度:2.72g/cm ³ 、絶対密度:2.70g/cm ³ 吸水率:0.66% |
| セメント | 普通ポルトランドセメント | 密度:3.16g/cm ³ 、比表面積:3.250cm ² /g |
| FA | JIS II種灰(峇北PS産) | 密度:2.27g/cm ³ 、フロー値比:106% ブレン値:3.970cm ² /g |
| | 原粉(峇北PS産) | 密度:2.17g/cm ³ 、フロー値比:96% ブレン値:3.050cm ² /g |

室内配合試験結果(基本配合)

| 水セメント比 | 配合 | コンクリート配合(kg/m ³) | | | | | 圧縮強度(N/mm ²) | |
|--------|----------|------------------------------|------|----|-----|-----|--------------------------|------|
| | | 水 | セメント | FA | 細骨材 | 粗骨材 | 7日 | 28日 |
| 60% | FA原粉配合 | 228 | 380 | 55 | 921 | 661 | 27.6 | 38.7 |
| | FAJIS灰配合 | 228 | 380 | 55 | 923 | 661 | 28.5 | 40.8 |
| | FA未配合 | 235 | 392 | 0 | 944 | 675 | 26.3 | 35.7 |
| 55% | FA原粉配合 | 223 | 405 | 50 | 865 | 718 | 31.5 | 44.3 |
| | FAJIS灰配合 | 223 | 405 | 50 | 868 | 718 | 32.3 | 45.6 |
| | FA未配合 | 229 | 416 | 0 | 886 | 732 | 31.4 | 41 |

【評価】

新甲佐発電所新設工事のうち新設導水路トンネル工事(トンネル断面:2R=3.1m、延長:2,351m)において、吹付けコンクリートに低品質細骨材及びフライアッシュ原粉を適用した効果を以下に示す。

【経済性】

- コンクリート吹付け時のはね返り率低減による材料費(セメント、細骨材、粗骨材)の削減
- 産廃(FA処理量)の減少に伴う石炭火力発電所灰捨場設備の延命化及び焚き増し不要による発電費用の削減

【工期】

- はね返り率低減により、吹付け時間、はね返りコンクリート処理時間の短縮

【安全性】

- 施工時の粉じん低減により作業環境の改善、作業員への健康被害の抑制
- ポズラン反応による長期的な強度増進や耐久性の向上

【環境負荷】

- はね返り率低減による産業廃棄物(はね返りコンクリート)の削減
- はね返り率低減による天然資源(砂)の保護
- はね返り率低減によるセメント使用量の削減に伴い製造時のCO₂排出量の削減
- 石炭火力発電所で発生するフライアッシュの有効利用

【参考文献】

- 1) 独立行政法人産業技術総合研究所地圏資源環境部門:平成16年度骨材資源調査報告書-九州・沖縄地方各県の骨材資源- 2005.3
- 2) 経済産業省製造産業局住宅産業窯業建材課:生コンクリート統計年報
- 3) 山内匡, 清宮理, 横田季彦, 八木展彦:ホタテ貝殻を細骨材として活用したコンクリートの基本的性質 コンクリート工学年次論文集, Vol.28, No.1, 2006
- 4) 佐々木剛, 松田敦夫, 榎原豊博:石炭灰原粉を用いた乾式吹付けコンクリートの現場施工 土木学会第56回年次学術講演会V-247, 2001.10
- 5) 山崎泰典, 松田敦夫, 斎藤直:石炭灰原粉を用いた湿式吹付けコンクリートの現場施工 土木学会第58回年次学術講演会VI-051, 2003.9
- 6) (社)土木学会:吹付けコンクリート指針(案)[トンネル編]

※なお、本記載内容は、電力土木技術協会発行「電力土木2015.11」から抜粋したものである。