

論文 骨材の種類が電気炉酸化スラグ細骨材を用いた舗装用コンクリートの耐摩耗性に与える影響

橋本 親典*1・山中 啓資*2・渡辺 健*3・石丸 啓輔*4

要旨: 本研究は、碎石砕砂および山砂利山砂の細骨材に電気炉酸化スラグ細骨材を容積置換した舗装用コンクリートの耐摩耗性について検討した。耐摩耗性は、ドレッシングホイールの滑り作用によるアブレイジョン摩耗によって定量的評価を実施した。その結果、山砂利山砂の場合は、電気炉酸化スラグ細骨材を用いた舗装用コンクリートのアブレイジョン摩耗に対する抵抗性が向上し、弾性係数が増加し変形に対する抵抗性が大きく、舗装用コンクリートに適していることが明らかとなった。一方、碎石砕砂の場合は、電気炉酸化スラグ細骨材を置換することによって、強度が低下し耐摩耗性が低下した。

キーワード: 舗装コンクリート, 電気炉酸化スラグ細骨材, 山砂利山砂, 碎石砕砂, アブレイジョン摩耗

1. はじめに

コンクリート舗装は高耐久で、原材料が国内で入手可能であることから、関東大震災以降に道路で使用されるようになったが、工事費が安価で、施工後数時間で使用可能なアスファルト舗装が広く使われた。しかし、近年では、原油価格の高騰によりアスファルト材料の供給が不安定になることや、ライフサイクルコストの観点から、空港やトンネル内の舗装に限らず、一般道路への採用が再検討されており、今後、適用範囲が拡大することが予測される¹⁾。また、コンクリート舗装は路面の転がり抵抗が小さく、アスファルト舗装では路面の変形が大きいいため、転がり抵抗が大きくなり、コンクリート舗装は燃費が良いとされる。さらに、アスファルト舗装のように轍掘れすることがなく、路面温度の低減も図ることができ、種々の環境性能も満足する。加えて、舗装用コンクリートに産業副産物骨材を置換することにより、最終処分場の残余地不足を緩和するだけでなく、性状の向上も期待される。

本研究では、電気炉酸化スラグ細骨材（風砕スラグ）を置換した舗装用コンクリートに着目している。電気炉酸化スラグは、電気炉で鉄スクラップ等を熔融して粗鋼

を生産する際に副産物として得られ、酸化スラグと還元スラグを合わせて年間に合計 350 万 t 程度が生産されている。近年、酸化工程と還元工程が明確に区分されたことで、電気炉酸化スラグの有効利用が可能となった²⁾。特に、電気炉酸化スラグ細骨材は絶対密度が 3.52g/cm³ と高密度であり、碎石砕砂等の普通骨材と比較して硬質である。さらに、2003 年当初は、破碎スラグのみであったが、2011 年から、細骨材が真球に近い風砕スラグの製造技術が確立した。風砕スラグを混和することによって、同一スランプで単位水量の低減が可能になった。したがって、コンクリート用骨材への混合により、アブレイジョン摩耗の抵抗性が向上し、舗装の擦り減りの低減が期待される。しかながら、既往の研究では電気炉酸化スラグ細骨材を舗装用コンクリートに用いた場合の基礎的研究は実際されている事例が少ないのが現状である²⁾。

本研究では、舗装用コンクリートとして要求される耐摩耗性に着目し、電気炉酸化スラグ細骨材が舗装用コンクリートの骨材としての有効利用の可能性について検討した。本実験は 2 つのシリーズから構成される。

シリーズ 1 は、使用する骨材の種類が舗装用コンクリートに及ぼす影響を検討するため、徳島県産碎石砕砂と

表-1 使用材料物性値(シリーズ 1)

| 使用材料 | 記号 | 密度 (g/cm ³) | 物性値または成分 |
|---------------------|------|-------------------------|------------------------|
| 普通ポルトランドセメント | C | 3.16 | - |
| 阿波市場町産砕砂 | S1 | 2.57 | 吸水率: 1.77%, 粗粒率: 2.63 |
| 名古屋地区山砂 | S2 | 2.55 | 吸水率: 1.68%, 粗粒率: 2.58 |
| 電気炉酸化スラグ細骨材 | EFOS | 3.52 | 吸水率: 0.36%, 粗粒率: 3.23 |
| 板野町大坂産碎石 (最大寸法20mm) | G1 | 2.57 | 吸水率: 1.64%, 実積率: 59.4% |
| 名古屋地区山砂利 (最大寸法25mm) | G2 | 2.60 | 吸水率: 1.16%, 実積率: 62.2% |
| AE減水剤 | Ad1 | 1.06 | リグニンスルホン酸化合物とポリオール複合体 |
| AE剤 | Ad2 | 1.04 | アルキルエーテル系陰イオン界面活性剤 |

*1 徳島大学大学院 先端技術科学教育部 社会産業理工学研究部 理工学域 教授 工博 (正会員)

*2 徳島大学大学院 先端技術科学教育部 知的力学システム工学専攻 博士前期課程 (学生会員)

*3 徳島大学大学院 先端技術科学教育部 社会産業理工学研究部 理工学域 準教授 博士(工学) (正会員)

*4 徳島大学 技術支援部 常三島技術部門 技術専門職員 (正会員)

表-2 使用材料物性値(シリーズ2)

| 使用材料 | 記号 | 密度 (g/cm ³) | 物性値または成分 |
|--------------------|------|-------------------------|------------------------|
| 普通ポルトランドセメント | C | 3.16 | - |
| 名古屋地区山砂 | S1 | 2.55 | 吸水率：1.68%，粗粒率：2.58 |
| 電気炉酸化スラグ細骨材 | EFOS | 3.52 | 吸水率：0.36%，粗粒率：3.23 |
| 名古屋地区山砂利（最大寸法25mm） | G | 2.60 | 吸水率：1.16%，実積率：62.2% |
| AE減水剤 | Ad1 | 1.06 | リグニンスルホン酸化合物とポリオールの複合体 |
| AE剤 | Ad2 | 1.04 | アルキルエーテル系陰イオン界面活性剤 |

表-3 配合表(シリーズ1)

| 配合名 | 空気量(%) | W/C(%) | s/a(%) | 単位量(kg/m ³) | | | | | | 添加量(C×%) | | SL(cm) | | | | | |
|-------|---------|--------|--------|-------------------------|-----|-----|-----|------|------|----------|------|--------|-----|------|-------|-------|---------|
| | | | | W | C | S | | | G | | Ad1 | | Ad2 | | | | |
| | | | | | | S1 | S2 | EFOS | G1 | G2 | | | | | | | |
| N1 | 4.5±1.5 | 40 | 37 | 140 | 350 | 663 | - | 0 | 1141 | - | 0.4 | 0.005 | - | | | | |
| 1-20 | | | | | | 530 | - | 187 | | | - | - | | | | | |
| 1-40 | | | | | | 398 | - | 374 | | | - | - | | | | | |
| 1-60 | | | | | | 265 | - | 562 | | | - | - | | | | | |
| N2 | | | | | | 664 | - | 0 | | | 1154 | - | | 0.4 | 0.005 | | |
| 2-20 | | | | | | 532 | - | 184 | | | | | | - | - | | |
| 2-40 | | | | | | 399 | - | 367 | | | | | | - | - | | |
| 2-60 | | | | | | 266 | - | 551 | | | | | | - | - | | |
| N3 | | | 40 | 165 | 413 | 410 | 400 | 673 | - | 0 | - | - | | 1029 | 0.4 | 0.005 | 5.0±1.5 |
| 3-30 | | | | | | | | 472 | - | 280 | | | | 1032 | - | - | |
| 3-50 | | | | | | | | 341 | - | 471 | | | | 1043 | - | - | |
| 3-100 | | | | | | | | 0 | - | 954 | | | | 1057 | - | - | |

名古屋地区山砂利山砂を用いた配合の比較実験を実施した。シリーズ2は、電気炉酸化スラグ細骨材の生産地である名古屋地区での舗装用コンクリートでの利用を想定し、耐摩耗性の定量的評価を実施した。

なお、本論文は、参考文献³⁾と参考文献⁴⁾に発表した内容を取りまとめ、新たな知見を加えたものである。

2. 実験概要

2.1 使用材料

シリーズ1の使用材料の物性を表-1に示す。使用する骨材の種類が舗装用コンクリートに及ぼす影響を検討するために、細骨材には、徳島県阿波市市場町産砕砂と名古屋地区山砂、電気炉酸化スラグ細骨材(以下、EFOSと称する)を使用した。粗骨材には、板野町大坂産砕石(最大寸法20mm)と名古屋地区山砂利(最大寸法25mm)を使用した。

シリーズ2の使用材料の物性を表-2に示す。地産地消を目的とし、EFOSの生産地である名古屋地区での舗装用コンクリートでの利用を想定し、細骨材は名古屋地区山砂、EFOSを使用し、粗骨材は名古屋地区山砂利(最大寸法25mm)を使用した。

EFOSは、他のスラグと比較して絶乾密度が高く、本研究で用いたものは3.52g/cm³であった。これは、酸化カルシウム、酸化鉄、シリカ、アルミナを主成分としており、また鉄分の含有量が多いためである。以上から、硬

質性や耐久性に優れ、摩耗試験においては非常に有効な細骨材であることが考えられる。その一方で、密度が天然砂に対して相当に大きくなるので、配合設計やコンクリートの品質への影響に注意が必要である。また、急冷処理されたスラグ骨材は一般にガラス質であり、保水性が小さいことから、ブリーディングを生じやすい。このような傾向がある場合は、その抑制対策の検討が必要とされる。しかし、本研究において設計した各配合においては、EFOSの砂に対する容積置換率を100%とした場合でも、ブリーディングを確認しなかったため、材料の選定が適切であり、抑制策の検討の必要はなかった。

2.2 配合条件

表-3にシリーズ1の配合表を示す。

N1配合は、徳島県産の砕石砕砂を用いたものである。N1に対してEFOSを細骨材にそれぞれ20%、40%、60%容積置換したもの(配合名:1-20, 1-40, 1-60)の3水準とした。N2・N3配合は、名古屋産の山砂利山砂を用いたものである。N2に対してEFOSを細骨材にそれぞれ20%、

表-4 配合表(シリーズ2)

| 配合名 | 単位量 (kg/m ³) | | | | | | 添加量 (C×%) | |
|------|--------------------------|-----|-----|-----|------|------|-----------|------|
| | W/C | W | C | S | | G | Ad1 | Ad2 |
| | | | | S1 | EFOS | | | |
| N | 40 | 165 | 413 | 673 | - | 1029 | 0.225 | 0.96 |
| 30% | | 164 | 410 | 472 | 280 | 1032 | 0.22 | |
| 50% | | 160 | 400 | 341 | 471 | 1043 | - | |
| 100% | | 155 | 388 | - | 954 | 1057 | - | |

40%, 60%容積置換したもの(配合名: 2-20, 2-40, 2-60)の3水準, また N3 に対して EFOS を細骨材にそれぞれ30%, 50%, 100%容積置換したもの(配合名: 3-30, 3-50, 3-100)の3水準とした。なお, シリーズ1の N1 配合と N2 配合については, s/a を37%とし, 単位水量と単位セメント量を一定にしたため, 0 スランプとした。混和剤を添加しなかった配合に関しては, 混和剤を使用せずとも, 流動性を確保することができたと判断した。

表-4 にシリーズ2の配合表を示す。

N 配合は, 名古屋産の山砂利山砂を用いたもので, その他には EFOS を細骨材にそれぞれ30%, 50%, 100%容積置換したものとした。水セメント比一定のもと, 目標スランプ値を $5.0 \pm 1.5 \text{cm}$, 目標空気量 $4.5 \pm 1.5 (\%)$ とし, 全配合とも AE 剤を添加した。また, 練上がり温度 (C.T. (°C)) を約 20°C となるように調整した。作製した供試体はすべて水中養生を行った。

2.3 試験方法

(1) スランプ試験および空気量試験

スランプ試験を JIS A 1101, 空気量試験を JIS A 1128 に準拠して実施した。また, コンクリートの練上がり温度を測定した。目標スランプを設定していないシリーズ1の N1 配合は, スランプおよび空気量の試験を実施しなかった。

(2) アブレイジョン摩耗試験

写真-1 に示す ASTM C779 を参考にしたアブレイジョン摩耗試験⁵⁾を実施した。ASTM C779 では, ドレッシングホイールを3体有するのに対して, 本試験装置は1体のみである。また, 本試験は主に表面のモルタルを摩耗させることが想定される。試験体は, シリーズ1では20日間, シリーズ2では14日間水中養生した円盤状(直径150mm, 高さ40mm)とした。これは, シリーズ2では材齢14日であっても結果に影響しなかったためである。また, 試験体ごとで表面の粗さに差異が生じないように, 試験体底面を試験面とした。試験の実施要領を以下に示す。

まず, 試験開始前の試験体の質量を小数点以下1桁まで測定し, その後ドレッシングホイールの回転速度を56rpm(rpm:1分間当たりの回転数)で時計回りに回転させ, 開始から90分(回転数:5040回)における試験体の質量を測定した。また, 試験の開始前には, ドレッシングホイールに潤滑剤を噴霧した後にウエスで軽く拭いた。装置を停止させた後には, 試験体表面に残った摩耗粉を拭き取った。結果の整理については, 試験前の質量(W_1)から各測定時間における試験体の質量を差し引いた値(W_2)を摩耗損失量とし, 以下の式(1)により摩耗損失率(%)を算出した。尚, 試験開始から30分および60分経過後の試験体の摩耗損失率を測定したが, 試験前と変化がなかつ

たため, 90分後のデータを採用した。

$$\text{摩耗損失率}(\%) = \frac{W_2}{W_1} \times 100 \quad (1)$$

また, コンクリートの擦り減りとは, コンクリート表面を移動する物質によって, コンクリートが継続的な外力を受け, その断面の一部が失われていく現象である。コンクリートの擦り減りには大きく分けて, アブレイジョン(切削)摩耗と表面疲労摩耗がある。アブレイジョン摩耗では, コンクリート表面を摩耗の原因となる物体が転がるほか, 滑ることによってコンクリートを損失させる摩耗である。砂礫によるダム・水路の摩耗, タイヤによる舗装路面の摩耗などはこれに該当する。以上の点から, 本研究においてはアブレイジョン摩耗を摩耗機構として扱うこととしている。一方, 表面疲労摩耗では, コンクリート表面に摩耗の原因となる物体が角度をなして衝突することにより, コンクリートを損失させる摩耗である。摩耗が進行すると穴を掘ったような形態となり, 堰堤のエプロン部や, 砂礫を含む波浪が作用する海岸構造物の擦り減りが, これに該当する。

擦り減りを受けるコンクリートでは, 表面に作用する継続的な外力によって表層のモルタル層の擦り減りが始まる。その後, 細骨材や粗骨材が露出し骨材自体の擦り減りが起こり, 同時に骨材を結合するモルタルの擦り減りが進行し, やがて骨材が剥離するようになる。骨材は, 一般にモルタルと比較して擦り減り抵抗性が大きい。そのため, 硬質な骨材が多く混入されているコンクリートほど, 擦り減り抵抗性は高くなる。

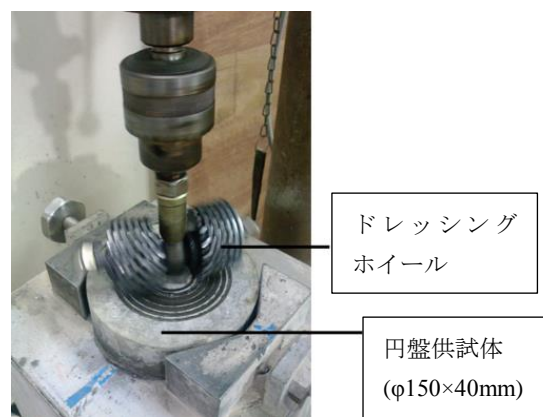


写真-1 アブレイジョン摩耗試験の概要

(3) 硬化コンクリートの各種試験

練上がり後のコンクリートで試験体を作製し, 圧縮強度試験を JIS A 1108, 曲げ強度試験を JIS A 1106, 引張強度を JIS A 1113, 静弾性係数試験を JIS A 1149 に準拠してそれぞれ実施した。試験体はいずれも材齢28日間水中養生を行った。

3. 実験結果および考察

3.1 フレッシュ性状

表-5 フレッシュ性状に関する結果

| シリーズ 1 | | シリーズ 2 | | | |
|--------|--------|--------|--------|--------|----------|
| 配合名 | SL(cm) | 配合名 | SL(cm) | Air(%) | C.T.(°C) |
| N3 | 13.5 | N | 5.5 | 4.0 | 19.5 |
| 3-30 | 2.5 | 30% | 6.0 | 6.0 | 21.5 |
| 3-50 | 5.5 | 50% | 5.0 | 4.8 | 19.3 |
| 3-100 | 5.0 | 100% | 9.5 | 5.2 | 18.3 |

表-5 にシリーズ 1 およびシリーズ 2 のフレッシュ性状を示す。シリーズ 2 の置換率 100%のものにおいては、EFOS の影響を強く受け、流動性が高くなり、目標スランプ値が得られなかった。換言すれば、EFOS の置換率が增加するに従い、単位水量が少ないにもかかわらず、スランプが増大するということである。今回の試験は、コンクリートの強度を同一にするために、単位水量と単位セメント量を一定にしたが、EFOS の表面性状によって、同一スランプに対して単位水量を減ずることができ、実際の舗装コンクリートへの適用を考えた場合、セメント量を減ずることができ、経済的な舗装コンクリートの製造が可能となると考えられる。

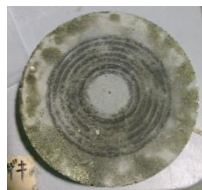
3.2 アブレイジョン摩耗試験

写真-2 に、シリーズ 1 の N1 配合の無添加と 60%置換した場合の摩耗試験終了後の摩耗面を示す。無添加および 60%置換の試験体ともに、ドレッシングホイールが接触している円周面に明確に溝が確認できる。摩耗損失率としては、円盤供試体の質量の変化から算出するため、1.0%以下の数値になる。しかしながら、長さ変化試験等のひずみと同様に、舗装コンクリート表面の耐摩耗性を十分に評価できる試験方法であると判断した。本実験は、すべての試験体は同一環境で養生して試験しており、水分状態の影響は受けにくいと考える。

図-1 と図-2 にシリーズ 1 の容積置換率毎の摩耗損失率を示す。N2 および 2-20 に関しては、試験機の都合上データが得られなかった。ゼロスランプコンクリートでは EFOS コンクリートに用いる骨材によって、擦り減り抵抗性が異なる結果になった。徳島産碎石砕砂を混入した N1 に対して 1-20、1-40 は EFOS の置換率の増加と



無添加



60%置換

写真-2 アブレイジョン摩耗試験体の状況

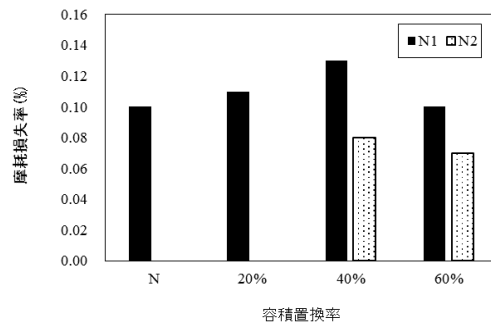


図-1 摩耗試験結果 (N1, N2) (シリーズ 1)

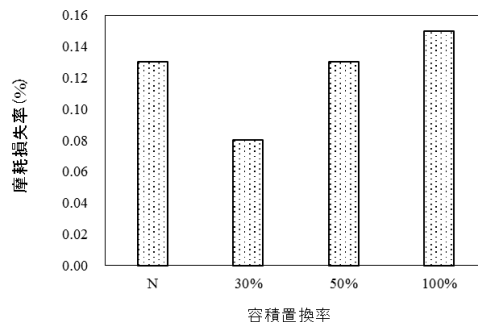


図-2 摩耗試験結果 (N3) (シリーズ 1)

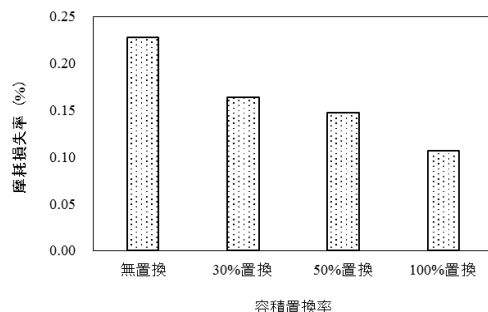


図-3 摩耗試験結果 (シリーズ 2)

ともに摩耗損失率は増加傾向にあった。名古屋産碎石山砂を混入した II-40、II-60 は、摩耗損失率が小さくなった。一方、有スランプコンクリートの N3 においては、3-30 において摩耗損失率が最も小さく、良好な擦り減り抵抗性を示した。コンクリートの摩耗機構は複雑であり、実際の現象は複数の作用が生じるとされる⁶⁾。本試験は、ドレッシングホイールの滑り作用により摩耗粉が発生するため、摩耗粉が押し込み作用を生じ、表面疲労摩耗も併発する可能性が示唆される。有スランプコンクリートでは、耐摩耗性を有する適切な配合が存在することが考えられる。

図-3 にシリーズ 2 の各種配合の摩耗損失率を示す。EFOS の置換率の増加に伴い、摩耗損失率が小さくなる傾向にあった。EFOS の置換率の増加により、コンクリートのアブレイジョン摩耗に対する抵抗性を増加させることができる。

図-2 および図-3 の結果の傾向が異なっているが、

摩耗機構が複雑であり、誤差が生じたと推察される。

3.3 圧縮強度試験および曲げ強度試験

シリーズ 1 の圧縮強度試験結果を図-4 と図-5 に示す。EFOS 無混入コンクリートは、W/C が一定であるため、同程度の強度が発現すると思われる。しかしながら、

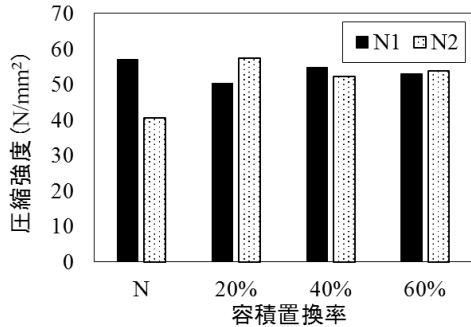


図-4 圧縮強度試験結果 (N1, N2) (シリーズ 1)

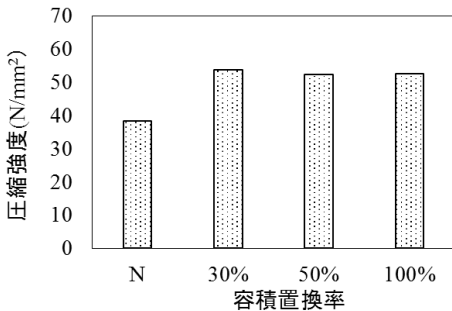


図-5 圧縮強度試験結果 (N3) (シリーズ 1)

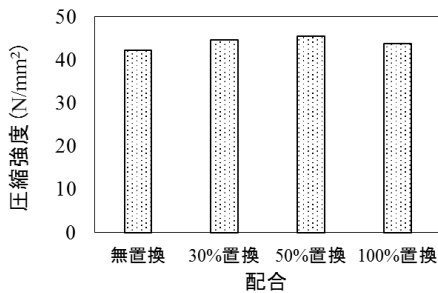


図-6 圧縮強度試験結果 (シリーズ 2)

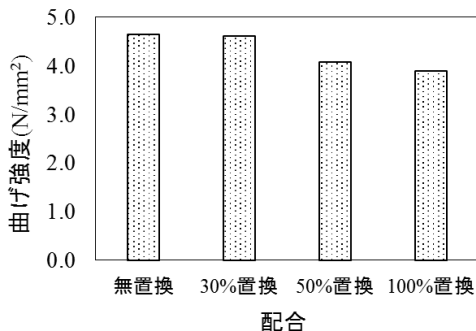


図-7 曲げ強度試験結果 (シリーズ 2)

名古屋産山砂利山砂の N2 と N3 は、山砂の影響で強度が 10N/mm^2 以上低くなった。N1 シリーズでは、どの配合とも 45N/mm^2 以上で差は見られなかった。これに対して、N2 シリーズでは 2-20, 2-40, 2-60 はそれぞれ強度が増加した。N3 シリーズでも、3-30, 3-50, 3-100 はそれぞれ強度が増加した。圧縮強度が増加したことから、EFOS と

名古屋産山砂利山砂は、適合性があると言える。

シリーズ 2 の圧縮強度試験結果を図-6 に示す。全ての配合で 40N/mm^2 以上の値となっており、N 配合と比較して、EFOS を混入した他の 3 配合は強度増加が確認できた。また、曲げ強度試験結果を図-7 に示す。

圧縮強度の傾向と異なり、EFOS の置換率が増加するに従い、若干低下する傾向が見られた。EFOS の置換率の増加に伴い、曲げ強度が増加すると想定したが、50% および 100% 置換と比較して無置換および 30% 置換が値は大きくなり、最大となる適切な配合が存在する可能性がある。

EFOS の混合による影響を捉え易くするため、表面性状の影響を受けにくい試験体底面で本試験を実施したが、実際の舗装コンクリートでは打設面が摩耗を受けるため、表面性状との関係についても今後検討する必要がある。

3.4 引張強度試験

引張強度試験結果を図-8 に示す。これも曲げ強度試験結果同様、圧縮強度の傾向と異なり、EFOS の置換率が増加するに従い、若干ではあるが、値が低下する傾向が見られた。また、50% および 100% 置換と比較して無置換および 30% 置換が値は大きくなり、これに関しても引張強度が最大となる適切な配合が存在すると考えられる。

3.5 静弾性係数試験

静弾性係数試験結果を図-9 に示す。予測値は、土木学会の示方書設計編の圧縮強度から推定する式を用いた。EFOS の置換率の増加に伴い、静弾性係数が増加し、その傾向は予測式以上であった。EFOS の混入により、通常のコンクリートより弾性係数が増加し変形に対する抵抗性が大きくなることが明らかになった。よって、舗装

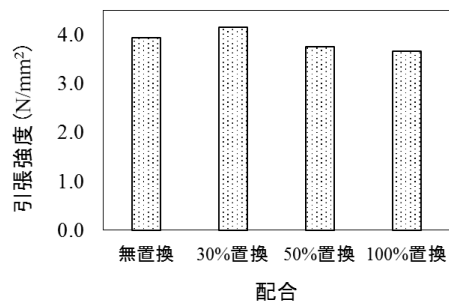


図-8 引張強度試験結果 (シリーズ 2)

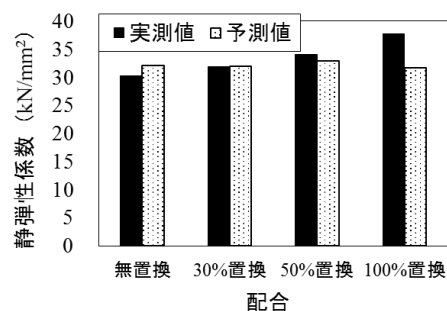


図-9 静弾性係数試験結果 (シリーズ 2)

用コンクリートに適していると考えられる。

4. 耐摩耗性能と各種強度との相関性

図-10に、無置換に対する各配合の摩耗損失率の比と無置換に対する各配合の圧縮強度の比の相関図を示す。グラフ上の1.0に3種類の凡例が重なっているが、この点が無置換を示す。配合N1の碎石砕砂の場合は、第2象限に分布している。これに対して、山砂利山砂の配合N3と第2シリーズのNは、第4象限に分布している。圧縮強度が増加するに従って、耐摩耗性が向上することを意味する。

図-11は、山砂利山砂の配合の圧縮強度、引張強度および曲げ強度に関して、図-10と同様に無置換に対する各配合の摩耗損失率の比と無置換に対する各配合の強度の比の相関図を示す。引張強度と曲げ強度のデータは、第3象限に分布している。強度が低下するにも関わらず耐摩耗性が向上することを意味する。電気炉酸化スラグ細骨材の形状が真球に近く、引張応力や曲げ応力に対しては骨材とペースト間の遷移帯が脆弱になるためと思われる。しかしながら、耐摩耗性に対しては、この遷移帯の脆弱層の影響は小さく、むしろ、圧縮応力状態に近くなり、耐摩耗性が向上したのと思われる。

また、コンクリート舗装の研究事例はあまりなく、本研究自体が工学的に有用なデータであると考えられる。

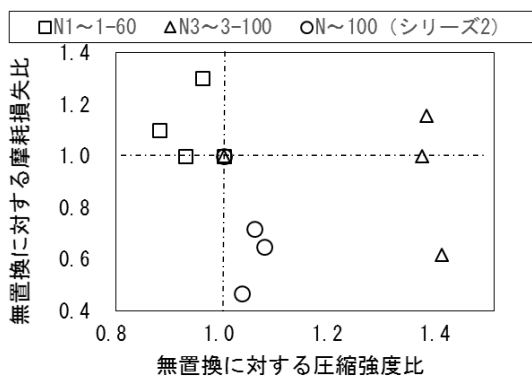


図-10 無置換を基準としたときの各配合の摩耗損失率比と圧縮強度比の相関

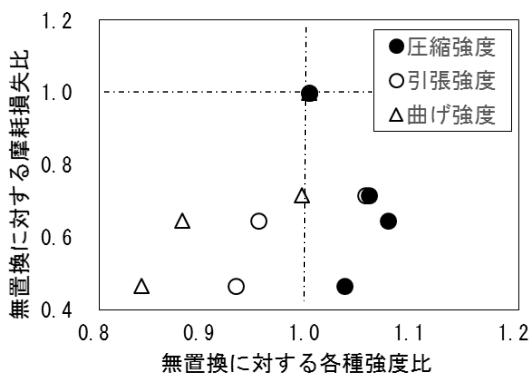


図-11 シリーズ2の無置換に対する各配合の摩耗損失率比と無置換に対する各種強度比の相関

5. まとめ

本研究では、EFOSを混入した舗装用コンクリートのアブレイジョン摩耗への抵抗性および硬化特性に関する実験的検討を行った。以下に、本研究の範囲で得られた結果を示す。

- (1) 異なる産地の細骨材に関係なく、EFOSを細骨材に容積置換することによって、スランプ一定で単位水量を減じることができる。
- (2) 山砂利山砂の骨材に対しては、アブレイジョン摩耗試験に関しては、EFOSの置換率の増加に伴い、擦り減りが小さくなった。
- (3) 碎石砕砂の骨材に対しては、EFOSの置換率の増加に伴い、強度が低下し、擦り減りが増加した。
- (4) 山砂利山砂の骨材に対しては、EFOSを混入することにより、変形に対する抵抗性が増加する。
- (5) 山砂利山砂の骨材に対しては、EFOSを細骨材に容積置換することによって、圧縮強度と引張・曲げ強度に対する効果は正反対である。

謝辞

本研究を実施するにあたり、名古屋地区の山砂利山砂および電気炉酸化スラグ細骨材を、(株)星野産商から提供を頂きました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) (社)セメント協会編：コンクリート舗装 新時代，第1版第1刷，2011.12
- 2) 土木学会編：電気炉酸化スラグ骨材を用いたコンクリートの設計・施工指針(案)，コンクリートライブラリー110，pp.2-3，2003.1
- 3) 山中啓資，橋本親典，渡辺健，石丸啓輔：電気炉酸化スラグ細骨材を混入した舗装用コンクリートの耐摩耗性の評価，--- jsce7-023-2018 ---，土木学会四国支部技術研究発表会講演概要集，Vol.24，2018.5
- 4) 山中啓資，橋本親典，渡辺健，石丸啓輔：電気炉酸化スラグ細骨材を混入した舗装用コンクリートの耐摩耗性の評価，土木学会年次学術講演会講演概要集，Vol.73，pp.601-602，2018.8
- 5) 山田悠二，稲葉諒，橋本親典，渡辺健：フェロニッケルスラグ骨材を混合した舗装用スリップフォームコンクリートの施工性能および硬化特性の評価，コンクリート工学年次論文集，Vol.38，No1，pp.1660-1661，2016
- 6) 堀口敬：コンクリートの摩耗に関する研究の現状，コンクリート工学，Vol.31，No.10，pp.7-27，1993.10