

石炭灰破碎材の地盤材料への適用性の検討

福岡大学大学院 学生会員 王 経緯
 福岡大学工学部 正会員 佐藤 研一 藤川 拓朗 古賀 千佳嗣
 株式会社福岡建設合材 福岡 大造
 前田道路株式会社 市岡 孝夫

1. はじめに 東日本大震災以降、全国の原子力発電所が停止を余儀なくされる中、石炭火力発電所の需要が高まり、副産物である石炭灰は、年間約 1200 万トンも排出されている¹⁾。この石炭灰の有効利用法として、石炭灰混合破碎材として土木資材化することが進んでいる。この材料の利用促進のために石炭エネルギーセンター(JCOAL)は、石炭灰混合材料の有効利用ガイドラインを発刊している²⁾。石炭灰混合材料は、主原料である石炭灰にセメント、石膏、添加材等を混合して製造されるものであり、製造方法の違いより、破碎材、造粒材、スラリー材、塑性材の 4 種類がある。本研究では、熊本県で道路の路盤材や住宅基礎の材料として製造販売されている破碎材に着目して、路盤材料としての基本的な特性を調べるとともに、特に住宅の基礎地盤材料としての液状化抵抗性に関して、①自硬性の影響、②締固め密度の影響について検討を行った結果について報告する。

2. 実験概要

2-1 実験材料 本試験は石炭灰混合破碎材と盛土材(砂質土)を用いた。表-1 に材料の物理特性を示す。写真-1 に石炭灰混合破碎材の外観、写真-2 に一般盛土材の外観を示す。図-1 に石炭灰混合破碎材と盛土材の粒径加積曲線を示す。ここで、石炭灰混合破碎材は、製紙工場の発電施設から排出された石炭灰に固化材、水を混合し、養生後、破碎されたものである。

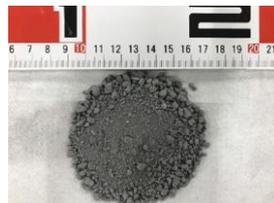


写真-1 石炭灰混合破碎材の外観



写真-2 一般盛土材の外観

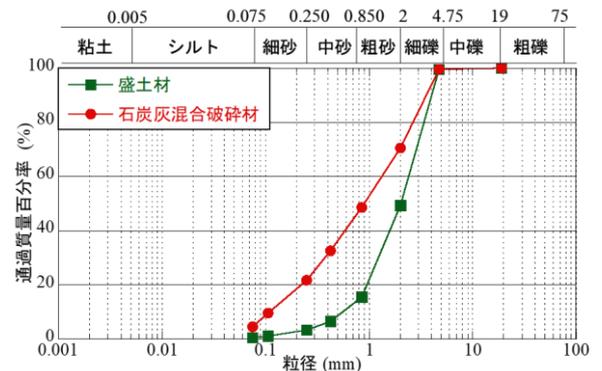


図-1 粒径加積曲線

表-1 材料の物理特性

試料	土粒子密度 ρ_s (g/cm ³)	均等係数	曲率係数
石炭灰混合破碎材	2.371	8.0	0.7
一般盛土材	2.634	4.1	1.1

表-2 修正 CBR 実験条件

試料	含水比	突き固め回数(回)	最大粒径(mm)	供試体個数(個)
石炭灰混合破碎材	最適含水比	17, 42, 92	4.5	3

2-2 実験方法 石炭灰混合破碎材を路盤材への適用性を検討するため、表-2 に示す条件にて締固め試験(JIS A 1210)、修正 CBR(JIS A 1211)試験を行った。また、住宅基礎地盤材料として締固めた石炭灰混合破碎材の強度特性を検討するため、コーン指数試験(JIS A 1228)を実施した。石炭灰混合破碎材を、最適含水比 $w_{opt}=38.5\%$ に調整後、均一に攪拌混合した後、直径 10cm、高さ 12.7cm のモールド内に 3 層、同一エネルギーで突き固めて供試体を作製している。コーン指数試験は、表-3 に示すように①破碎材の自硬性の影響を調べるために供試体を水中養生と空气中養生を行い、所定の養生日数経過後にコーン指数試験を行った。また、②締固め密度の影響を調べるために締固め度 $D_c=85, 87, 89, 91\%$ の 4 種の供試体密度で検討を行った。③石炭灰混合破碎材の比較材料として一般盛土材を用いて、最適含水比 $w_{opt}=10.5\%$ 、 $D_c=96\%$ に調整した供試体により検討した。

表-3 コーン指数試験条件

養生条件	養生時間 t (day)	温度 (°C)	含水比 (%)	締固め度 (%)
①自硬性(石炭灰混合破碎材)				
気中	0, 3, 7, 28, 91	20	38.5	91
水中	3, 7, 28, 91			
②密度の影響(石炭灰混合破碎材)				
気中	0, 3, 7, 28	20	38.5	85, 87, 89
水中	3, 7, 28			
③比較組(盛土材)				
気中	0	20	10.5	96

3. 実験結果及び考察

3-1 路盤材への適用性 図-2 に石炭灰混合破砕材の締固め試験修正 CBR 試験結果を示す。結果より、締固め度 95%の石炭灰混合破砕材の CBR 値は、42.4%を示しており、下層路盤材として利用できる品質基準(30%)を満たしている材料であることがわかる。

3-2 地盤材料としての適用性 図-3にコーン指数試験の結果に及ぼす自硬性の影響について示す。石炭灰混合破砕材は、破砕材中の固化材の影響により、養生

t=28 日まで養生時間が長くなるほど、養生方法に関係なく時間の経過とともにコーン指数が急増する傾向を示している。また、一般盛土材と比較すると気中養生 t=91 日にて約 12 倍の強度を有する材料であることが分かる。図-4(a), (b) に気中及び水中養生におけるコーン指数と締固め度の関係を示す。破砕材は、養生条件に関係なく、供試体密度に依存し、十分な締固めにより、養生に伴い大きな強度増加が見込める材料であることが分かる。また、最も低いコーン指数を示した締固め度 85%、水中養生 t=3 日の供試体においても 4.8MPa を示している。これは、第 2 種建設発生土(土質区分基準)として求められるコーン指数は 0.8MPa 以上であり、道路、河川築堤、土地造成等の土木工事に適用できる地盤材料であると言える。

3-3 液状化抵抗性 原らは、非塑性細粒分を多く含む砂質土砂を用いて、液状化強度とコーン指数相関は $R_{l20} = 0.013q_c + 0.068$ の関係があることを報告している³⁾。そこで、今回得られたコーン指数の結果から、供試体の液状化強度及び液状化安全率を予測した。図-5 に予測した液状化強度を示す。結果より、石炭灰混合破砕材を用いた供試体は、養生方法に関係なく、養生時間に伴う自硬性により、液状化強度が高くなる傾向が得られた。また、締固め度が高くなるほど、液状化抵抗強度が大きくなる傾向も確認できた。さらにこの破砕材は、締固め密度 85%以上、気中養生 t=28 日後には、液状化強度 0.6 以上を示すことから、住宅基礎地盤材料として十分な液状化強度を持つ材料であることも示された。

4. まとめ 今回の石炭灰混合破砕材は、十分に締固めを行うことにより下層路盤材として用いることができる。また、破砕材は、自硬性を有し、締固めることによってその効果がさらに発揮され、コーン指数が上昇することが確認された。また、地下水の影響を受けない住宅基礎材料として用いる場合、十分な液状化強度がある材料であることが明らかになった。

【参考文献】 1) 一般財団法人石炭エネルギーセンター：石炭灰混合材料有効利用ガイドライン、2018.2 2) 一般財団法人石炭エネルギーセンター：石炭灰全国実態調査報告書、2019.3 3) 原ら：三軸コーン貫入試験による非塑性細粒分を多く含む砂質土の液状化強度の評価、土木学会論文集, Vol.65, No.1, pp.172-179, 2009

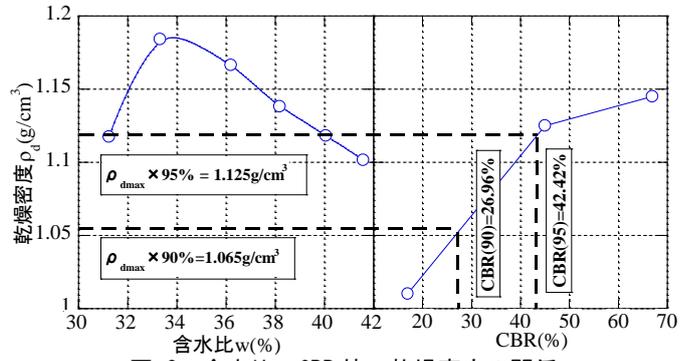


図-2 含水比-CBR 値-乾燥密度の関係

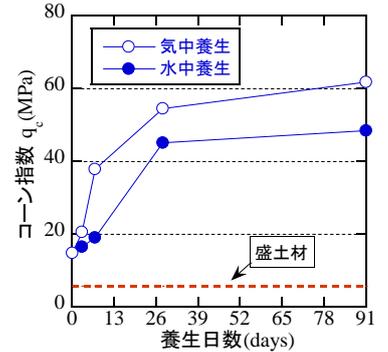


図-3 コーン指数に及ぼす自硬性の影響

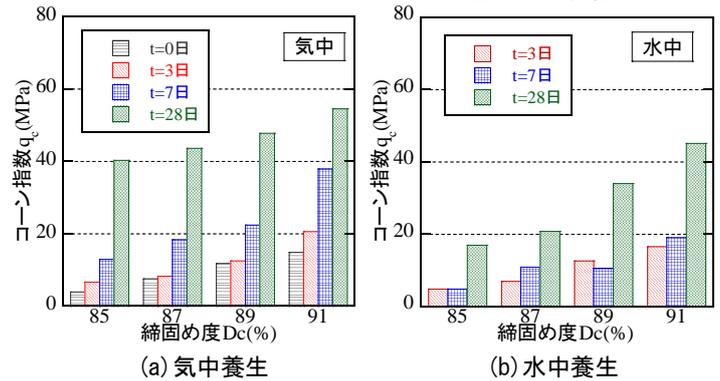


図-4 コーン指数に及ぼす締固め度の影響

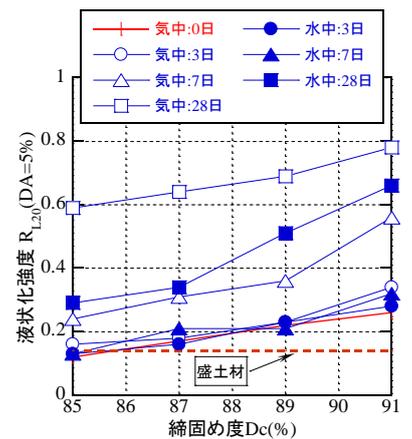


図-5 破砕材の予測した液状化強度