

木質バイオマス灰を用いた再生砕石の材料・溶出特性

福岡大学工学部 学生会員 中原 直弘 秋光 萌生
 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 FKG コーポレーション 福岡 大造 今國 宏則

1. はじめに 日本では、脱炭素社会・SDGsの実現のために全国に木質バイオマス発電所の建設が積極的に進められ稼働している。これらの発電所から排出される産業廃棄物である灰(ばいじん・燃えがら)は、年々排出・処分量が増加しており、処分場を持たない地域では社会問題となっている。そこで、本研究では、木質バイオマス灰に固化・処理・養生・解砕処理を施し、環境安全性に配慮した再生砕石を路盤材等の土木資材としての有効活用とすることを目的としている。本報告では、性状の異なる2種類のバイオマス灰との比較対象灰として石炭灰を用いて、粒度調整を行った再生砕石の強度・溶出特性について検討を行った。特に、初期固化処理土の強度、養生日数、バイオマス灰の違いと添加剤の影響について考察する。

2. 実験概要

2-1 実験試料 本研究で用いた灰は、九州各地の工場発電施設から発生する燃焼材の異なる2種類のバイオマス灰(AとB)と比較対象灰として石炭灰を用いた。表-1に物理特性を示す。

2-2 再生砕石の製造 本検討で実験に用いた再生砕石は、まず各灰に固化材、添加剤、薬剤と水を所定の配合条件(表-2)により混練し、再生砕石の基材となる初期固化処理材の作製を行う。ここで、固化材はスラグの潜在水硬性の発現により長期にわたり強度が増進させる。添加剤は、エトリンタイトの生成に寄与し、薬剤は、凝集力を強め、排水機能を有し、六価クロム等の重金属溶出量を抑える機能を有している。次に、この処理材を室温約20度一定の屋内にて2週間養生後、破碎・粒度調整し、再生砕石を作製している。再生砕石の粒度は、図-1に示す再生路盤材の粒度分布の中央値をとる値にて粒度調整を行い、実験に用いる再生砕石とした。CBR試験に用いた各灰種の再生砕石の締固め特性を表-3に示す。締固め後の粒度分布図では、バイオマス灰Aと石炭灰による再生砕石は、締固め時の破碎の影響により粒度分布範囲外に移動している。一方、バイオマス灰Bの再生砕石は、範囲内にあり、他2種類の再生砕石に比べ砕石の粒子強度が高いことがわかる。

2-3 実験方法

(a) 初期固化処理土の強度把握 初期固化処理材の強度を一軸圧縮試験により把握した。直径5cm、高さ10cmのモールド内に3層各25回、のタッピング法で供試体を作製し、作製した日からの養生日数(以降tbとする)を7日、14日、28日として一軸圧縮試験を行った。

(b) 再生砕石の強度把握 再生砕石の強度はCBR試験により把握をした。供試体の作製はE-c法を行い、直径15cm、高さ17.5cmのモールド内に3層各92回の突き固めにて作製する。供試体を作製した日からの養生日数(以降tとする)を7日、14日、28日とし、CBR試験を行った。

(c) 環境安全性の把握 再生砕石の環境安全性を把握するため環告46号試験による溶出試験を行った。対象とした重金属元素はカドミウム(Cd)、鉛(Pb)、六価クロム(Cr(VI))、セレン(Se)、フッ素(F)、ホウ素(B)、ヒ素(As)、水銀(Hg)の自然由来重金属とし、検体の作製には、2週間養生させ、固化・解砕処理を施した再生砕石を2mmのふるいに通過させたものを使用した。

表-1 各種灰の物理特性



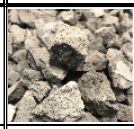


試料	バイオマス灰A	バイオマス灰B	石炭灰
写真			
燃焼材	木材、石炭	木材、PKS	石炭
初期含水比(%)	0.003	0.002	0.001

表-2 配合条件

	灰 (%)	固化剤 (%)	添加剤 (%)	薬剤 (%)	水 (%)
バイオマス灰A	100	40	0	0	55
バイオマス灰B	100	40	0	0 5	44
石炭灰	100	10	10	0	50

表-3 各種灰の再生砕石の締固め特性

試料	バイオマス灰A	バイオマス灰B		石炭灰
		薬剤=0%	薬剤=5%	
写真				
最適含水比 w _{opt} (%)	36.6	30.1	31.0	41.7
最大乾燥密度 ρ _{dmax} (Mg/m ³)	0.93	1.19	1.20	1.11

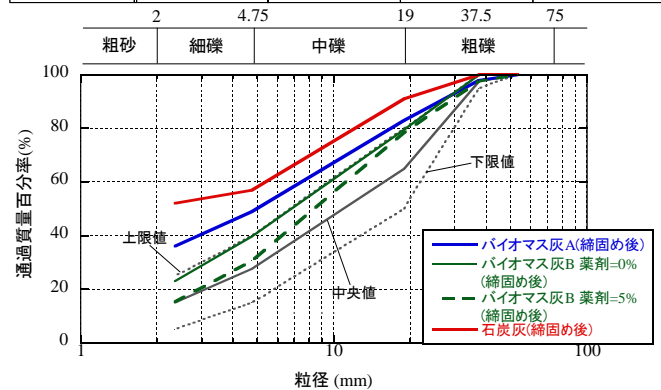


図-1 粒度分布図 (RC-40)

3. 実験結果

3-1 初期固化処理土の強度把握 養生日数と一軸圧縮強さの関係を図-2 に示す。どの灰種も養生日数の経過に伴い、一軸圧縮強さが増加し、2 週間程度で強度増加が一定値を示してことがわかる。また、灰種の違いによって一軸圧縮強さの値に大きな差が表れた。また、各灰の処理土の供試体乾燥密度の大きい灰種ほど一軸圧縮強さが大きい。しかし、バイオマス灰 B においては、薬剤の有無で乾燥密度に大きな差は無く、薬剤添加の強度に及ぼす影響が大きいことが分かる。また、バイオマス灰種 A と B 処理土の強度には灰種の違いの影響が表れており、発電所での燃焼物の影響が大きいことがわかる。

3-2 再生砕石の強度特性 各灰による再生砕石の養生日数 t と CBR 値の関係を図-3(a) ~ (c) に示す。どの灰種も養生日数の経過に伴い、CBR 値は増加傾向を示している。また、その増加傾向は、破碎直後から t=28 日までの灰種によって異なっていることが分かる。図-1 において締固め時に粒子破碎が生じるバイオマス灰 A と石炭灰の再生砕石については、養生に伴う強度増加はバイオマス灰 B と比較すると養生にともなう CBR 値の強度増加が小さいことがわかる。一方、締固め時に粒子破碎が生じず、路盤材の粒度範囲内にあるバイオマス B による再生砕石は、破碎締固め直後から 28 日養生で大きく強度増加をしていることがわかる。しかし、薬剤の添加は、破碎締固め後の再生砕石の強度増加の割合を減少させている。すなわち、バイオマス灰から製造された再生砕石を路盤材等で用いる時には、灰の種類 (燃焼物の違い)、添加剤・薬剤の添加、破碎・締固め時の粒子破碎の状況および養生に伴う強度発現の状況をしっかり把握する必要があることが示された。次に、初期固化処理土の養生 28 日強度と 14 日 CBR 値の相関を図-4 に示す。この結果より、初期固化処理土の一軸圧縮強さの大きい灰種ほど、砕石の CBR 値が高い傾向にあり、両者には相関性があることを示唆している。また、処理土の一軸圧縮強度から再生砕石の CBR 値を予測できる可能性も示された。

3-2 再生砕石の環境安全性 実験に用いたバイオマス灰、石炭灰および各再生砕石の溶出試験結果を表-4 に示す。各灰の再生砕石は、固化・解砕処理を施すことにより、重金属溶出量が抑えられていることがわかる。しかし、バイオマス A と石炭灰の再生砕石は六価クロム Cr(VI)の溶出量が基準値を超えており、石炭灰の溶出量が増加した原因としては、十分な固化処理がなされず、灰の溶出に加え、固化材からの溶出も影響しているものと推測される。また、両者の灰は共にフッ素(F)の溶出量が多く見られた。これは、両者の発電の燃焼材に石炭灰が混焼されていることによるものと推測される。一方、バイオマス B においては、薬剤の添加に関係なく、再生砕石からの溶出は見られなかった。CBR 試験の結果を見ると、締固められた再生砕石は養生に伴いさらに強度増加を示すことから、溶出結果も変化していくことが予想される。また、石炭灰混合材料の環境安全性評価法³⁾にまとめられている利用用途に応じて、あり姿を用いた溶出特性の把握も必要であると考えられる。今後は、バイオマス灰の混焼物を考慮した初期固化処理土の混合時に加える薬剤・添加剤および初期養生の手法について、さらなる検討が必要であるといえる。

4. まとめ 1)初期固化処理土と再生砕石の強度特性には灰種と養生日数の影響が大きいことが示唆された。2)再生砕石の強度と初期固化処理土の強度には相関性があることが示唆された。3)再生砕石の環境安全性では、固化処理を施すことで重金属溶出量を抑えられ、溶出量は燃焼材の種類に影響されることが示唆された。

【参考文献】1) 一般社団法人 日本有機資源協会 一般社団法人木質バイオマスエネルギー協会：国産バイオマス発電所導入見通し,pp.3,2021 2) 長田ら：工場発電施設から発生する各種灰を用いた再生砕石の基本特性の把握, 令和3年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, pp.367-368,2022. 3) 公益社団法人 土木学会：石炭灰混合材料を地盤・土構造物に利用するための技術指針(案), コンクリートライブラリー159, pp.1-131, 2021.

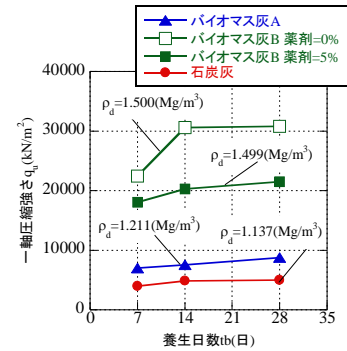
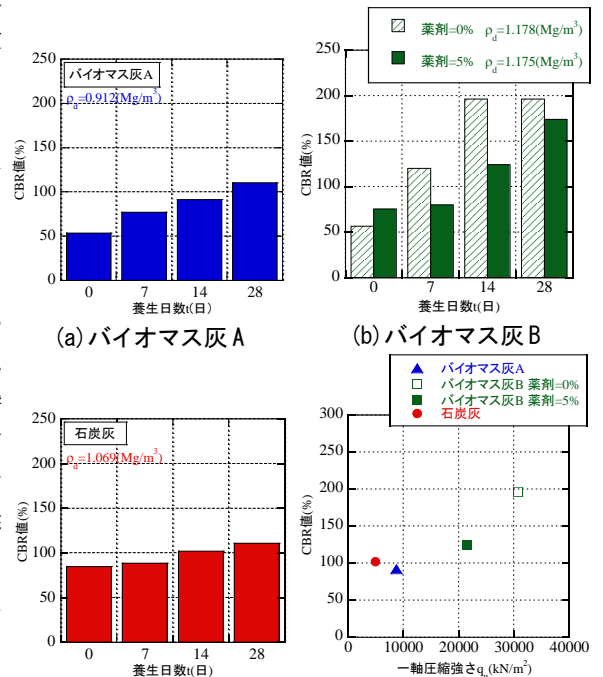


図-2 養生日数 tb と一軸圧縮強さの関係



(a) バイオマス灰 A

(b) バイオマス灰 B

(c) 石炭灰

図-3 養生日数 t と

CBR 値の関係

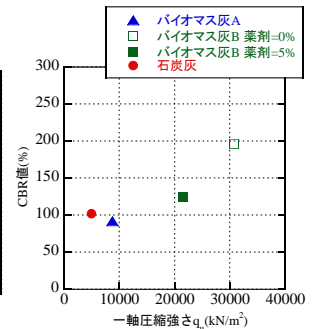


図-4 一軸圧縮強さと

CBR 値の関係

表-4 ばいじんと再生砕石の溶出試験結果

試料名	pH	Cd mg/L	Pb mg/L	Cr(VI) mg/L	Se mg/L	F mg/L	B mg/L
基準値	-	0.003以下	0.01以下	0.05以下	0.01以下	0.8以下	1以下
バイオマスA	12.2	N.D.	0.01	0.34	N.D.	3.4	0.11
バイオマスA再生砕石	12.0	N.D.	N.D.	0.14	N.D.	0.61	N.D.
バイオマスB	12.6	N.D.	N.D.	0.16	N.D.	0.72	0.16
バイオマスB再生砕石 薬剤=0%	12.7	N.D.	N.D.	0.03	-	0.34	N.D.
バイオマスB再生砕石 薬剤=5%	12.1	N.D.	N.D.	0.03	N.D.	0.24	N.D.
石炭灰	11.6	N.D.	N.D.	0.04	0.11	2.5	2.3
石炭灰再生砕石	10.7	N.D.	N.D.	0.07	N.D.	0.18	0.05