

静的締固め工法の杭芯材としてのクリンカアッシュの適用性（その1）

～ 動的・静的締固め試験による締固め特性の確認～

大成建設株式会社

中部電力株式会社

基礎地盤コンサルタンツ株式会社

正会員○広重 敬嗣, 正会員 吉田 龍平

市橋 豊隆, 喜多 千砂子

正会員 萩原 協仁, 正会員 大久保 幸倫

1. はじめに

石炭火力発電所等より排出される石炭灰の再生利用が様々な分野で進められている。このうち、ボイラ底部で回収された溶結状の石炭灰を破砕機で破砕、粒の大きさを調整したクリンカアッシュ（CA）は、砂と同様の粒状材料であることから建設材料としても活用されている。地盤の締固め効果を用いた液状化対策工法であるサンドコンパクションパイル（SCP）の杭芯材としての利用もその一つである。今回、CA 自体の締固め特性を調べることを目的として、各種物理試験や動的、静的な方法による締固め試験を実施したので、以下に結果を報告する。

2. 物理試験結果

本検討では、同一の石炭火力発電所より排出された 2 種類の CA（CA①および CA②）の他、比較のため、通常の SCP 工法で使用される購入砂も用い、土粒子密度試験、粒度試験、最大・最小密度試験を実施した。各試験により得られた土粒子密度、平均粒径、最大・最小密度を表 1 に、粒径加積曲線を図 1 に示す。なお、今回使用した CA は礫分を最大で 50%程度有することから、最大密度試験は礫の最小密度・最大密度試験を適用した。

また、CA は多孔質の破砕性材料であるため、締固め特性の評価には粒子破砕に伴う粒径変化の影響を把握することが重要である。従って、原粒度での試験の他、最大密度試験および締固め試験実施後の材料に対しても試験を実施した。

表 1 の結果において、原粒度の CA①、CA②の粒子密度は購入砂よりもかなり小さいが、これは CA 粒子の内部に、外部と連結しない閉じた空隙が多数存在するためである。また、最大密度試験後および締固め試験後には CA①および CA②の土粒子密度はやや増加しており、図 1 の粒径加積曲線も左側にシフトしている。このことから、CA 粒子が締固めにより擦り潰され、粒子破砕を生じたことが確認できる。さらに、粒径加積曲線からは、CA①が 1Ec の締固めにより細粒化するが、5Ec 後は 1Ec 後と大きく変わらないのに対し、CA②の粒径分布は、原粒度と 1Ec 後では大差なく、5Ec 後にはやや細粒化している。すなわち、同じ CA であっても破砕のしやすさには差があり、締固め特性も材料毎にばらつきがあると推察される。

表 1 物理試験結果まとめ

試料名	粒子密度 ρ_s (g/cm ³)	平均粒径 D_{50} (mm)	最大密度 ρ_{dmax}	最小密度 ρ_{dmin}
CA	2.120	1.671	1.099	0.861
CA 最大密度試験後	2.157	1.276	-	-
CA 締固め試験後 1Ec	2.173	0.664	-	-
CA 締固め試験後 5Ec	2.233	0.628	-	-
CA	2.196	1.913	1.247	0.998
CA 最大密度試験後	2.178	1.933	-	-
CA 締固め試験後 1Ec	2.223	2.067	-	-
CA 締固め試験後 5Ec	2.277	1.486	-	-
購入砂	2.664	0.503	1.811	1.530
購入砂 最大密度試験後	2.653	0.529	-	-
購入砂 締固め試験後 1Ec	2.660	0.456	-	-
購入砂 締固め試験後 5Ec	2.631	0.497	-	-

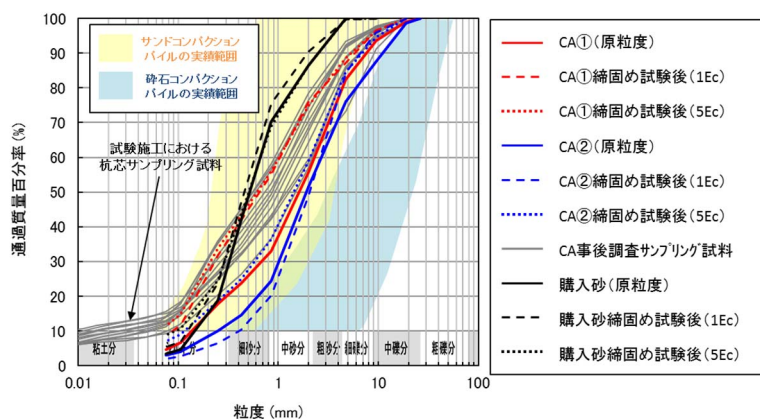


図 1 粒径加積曲線

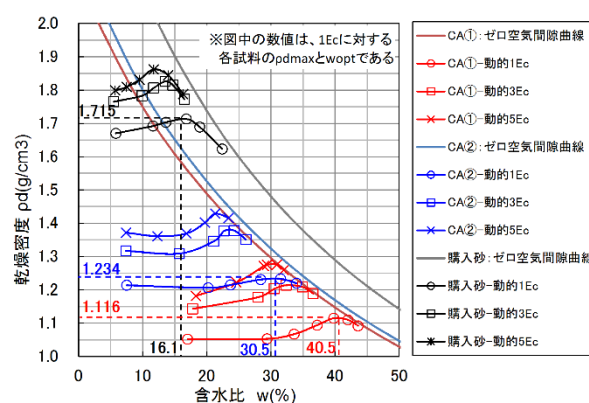


図 2 締固め曲線

キーワード サンドコンパクションパイル（SCP）、クリンカアッシュ、締固め

連絡先 〒470-2532 愛知県知多郡武豊町字竜宮 1-1 大成建設(株)名古屋支店土木作業所 TEL 0569-73-8600

3. 動的締固め試験結果

突き固めによる土の締固め試験（以下、動的締固めと呼ぶ）から得られた締固め曲線を図2に示す。試験方法はJIS A 1210に準じ、突き固め方法をA、試料の準備方法をc（湿潤法かつ非繰返し法）として、締固めエネルギーで1Ec（25回/層）、3Ec（75回/層）、5Ec（125回/層）の3ケースを実施した。CA①とCA②の結果より、5Ecまでの範囲においては締固めエネルギーを増加させると最大乾燥密度 ρ_{dmax} は増加する傾向を示し、さらに締固め曲線はいずれの締固めエネルギーでも比較的なだらかなことから、CAが含水比に左右されない締固め管理の容易な材料であることが分かる。ただし、SCP工法の原位置における締固めエネルギーについては諸説あるが、CA①では含水比40%程度以上、CA②では含水比30%程度以上になると、締固めエネルギーを1Ecより大きくしても乾燥密度が増加しない結果となっている点には注意を要する。

4. 動的締固めと静的締固めの比較

SCP工法においては、バイブロにより砂杭を振動圧入する動的工法と、砂杭を回転圧入する静的工法がある。両工法における締固めエネルギー（仕事量）と密度増大効果の関係を調べるため、動的締固め試験に加え、静的締固め試験も実施した。静的締固め試験は、内径100mm、内高127mm、容積1,000cm³のモールドに、漏斗を用いて各試料を緩く詰め、一軸圧縮試験機により圧縮した。静的仕事量の評価方法としては、佐藤ら¹⁾の研究と同様に、 $W = \int \epsilon_v \cdot \sigma_v$ で定義することとした。ここに、 W ：静的仕事量(kJ/m³)、 ϵ_v ：体積ひずみ、 σ_v ：载荷応力(kN/m²)である。なお、締固め方法の違いを評価するためには、静的締固め試験における $\sigma_v \sim \epsilon_v$ 関係より算出される静的仕事量と、動的締固め試験による動的締固めエネルギーを同じ水準で対比させなければならないため、静的締固め試験においては、動的締固め試験の1Ec後、5Ec後の試料と同じ湿潤密度となるまで圧縮载荷した。

各試料の静的締固め試験による $\sigma_v \sim \epsilon_v$ 関係を図3に示す。また、動的締固め試験と静的締固め試験による、動的締固めエネルギーEcと静的仕事量Wの対比を表2に示す。本結果より、同じ密度増大効果を得るための動的Ecと静的Wは1:1で対応せず、動的Ec/静的W=0.88となったCA②の1Ecケースを除くすべてのケースでEc>Wとなり、Ec/W=1.53~1.73となることが確認された。この結果は、図4に示す佐藤ら¹⁾によるまさ土を用いた検討結果(Ec/W=1.41~1.93)とも合致しており、CAと同じく破碎性を有するまさ土と同様の傾向が得られたことは興味深い結果と言える。また、動的締固め試験においては1Ecと5Ecで5倍のエネルギー差を作用させているのに対し、同じ湿潤密度を得るための静的仕事量は、CA試料で2.9~4.4倍と差が小さい。これは、図2のCAの締固め曲線において、1Ecと3Ecの最大乾燥密度 ρ_{dmax} の差に比べて3Ecと5Ecの差が小さくなっていることから言えるように、CAに対する動的締固めエネルギーとしては5Ec程度で概ね頭打ちとなることが推察される。

5. まとめ

CAに対する各種試験を実施した結果、CAが締固めに適した材料であることを確認した。また、動的締固め試験と静的締固め試験から、両締固め方法でエネルギー（仕事量）の評価結果が異なることも確認された。CAの締固め特性の解明には、締固めに伴う破碎現象と細粒化に着目したさらなる検討が必要であると考えられる。

参考文献

- 1) 佐藤ら：様々な粒度分布をもつまさ土の締固めエネルギーと一次元圧縮特性，第37回地盤工学研究発表会，2002。

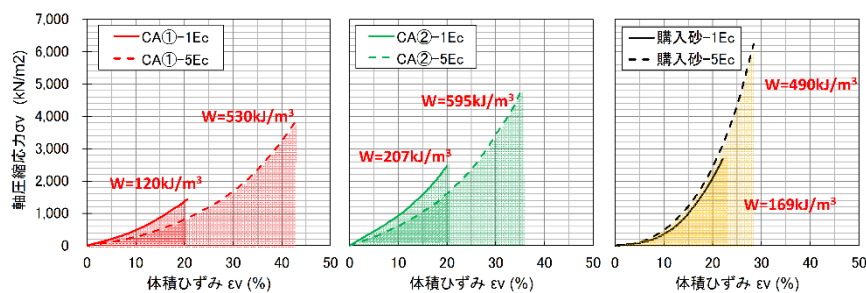


図3 各試料における静的締固め試験の結果（ $\sigma_v \sim \epsilon_v$ 関係）

表2 締固めエネルギー（仕事量）の比較

	動的締固め Ec		静的締固め W		動的 / 静的 Ec / W
	kJ/m ³	比率	kJ/m ³	比率	
CA①	1Ec 183	5	120	4.4	1.53
	5Ec 917		530		1.73
CA②	1Ec 183	5	207	2.9	0.88
	5Ec 917		595		1.54
購入砂	1Ec 183	5	169	2.9	1.08
	5Ec 917		490		1.87

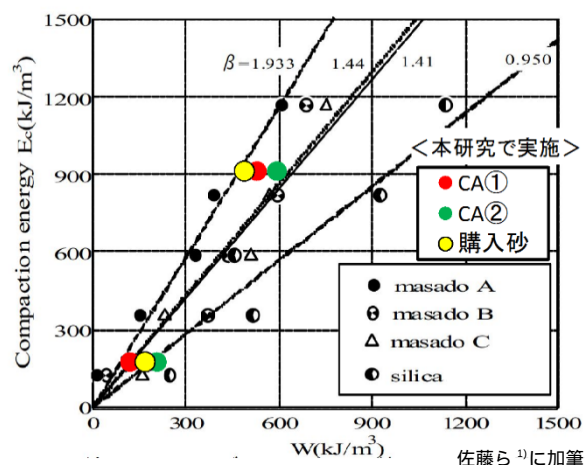


図4 動的締固めエネルギーと静的仕事量の関係