

岡山大学工学部 正員 河野伊一郎
岡山大学工学部 正員 遠藤 隆
笠岡工業高校 正員 ○宮田克己
岡山大学大学院 学生員 番場伸幸

1. まえがき

近年、各界において天然資源の枯渇がさげばれ、資源の節用が求められている。建設の分野においても盛土等の土工材料の入手確保が困難になってきている。一方、火力発電所から発生する産業廃棄物である石炭灰は、石油の代替エネルギーとしての需要増が明らかになり、大量に発生する石炭灰の処理、処分は、エネルギーの石炭化推進上、重要な課題である。その有効利用法は各方面で検討されているが、利用量はわずかであり、大部分は産業廃棄物として処分されているのが現況である。そこで、土の代替材料として、石炭灰の利用が注目されてきている。本報告は、石炭灰を土の代替材料として利用するに際して、その土質工学的性質を 2, 3 の実験によって検討した結果を示すものである。

2. 石炭灰の概要

現在、石炭火力発電所では、石炭の約 15~25% が石炭灰として産出されており、昭和70年には国内で約1000 万トンの発生量が予想されている。石炭灰は集塵箇所により、ボイラー底に落下したものをクリンカアッシュ（炉底灰）、煙道内で採取されたものをフライアッシュと呼んでおり、フライアッシュは粒径により、0.1mm 以下（粗粒灰）、0.05mm 以下（細粒灰）とする分類もある。これらの発生比率を後者で分類すると、クリンカ（約15%）、粗粒灰（約70%）、および細粒灰（約10%）である。本試験では、クリンカ、フライアッシュ共に2種類の試料を用いて行った。両試料は採取時期の違いにより、A、B 試料に分けた。

3. 土質工学的性質

石炭灰の物理・化学的性質として比重、粒度及びPHの各試験を行い、結果を表-1に示す。又力学的性質として締固め、透水、一面セン断及びCBRの各試験を行い、結果を図-1、図-2に示す。試験方法は「土質試験法」に準拠した。

4. 石炭灰の硬化特性

4-1. 硬化試験の条件 石炭灰の化学主成分は $SiO_2 \cdot Al_2O_3$ であり、水の存在下で凝結硬化する自硬性（ポゾラン作用）が確認されている。ポゾラン作用に最も影響を与える化学成分はCaOであり、石炭灰中のCaOの占める割合は10% 未満であるため、強度発現は緩慢である。そこで、フライアッシュ、クリンカ（共にB 試料）を用いて、1) 養生日数、2) アルカリ剤（消石灰）の添加率、3) 乾燥密度の3要素が石炭灰の強度発現に影響を及ぼすか一軸圧縮試験をJIS 1216 に準拠して行った。供試体の各条件を示すと、乾燥密度はフライアッシュに対して $\rho_d=1.388t/m^3$ （密詰め）、 $\rho_d=1.24t/m^3$ （中詰め）、 $\rho_d=1.10t/m^3$ （ゆる詰め）の3種類

表-1 石炭灰の性状

	Fly Ash -A	Fly Ash -B	Clinker -A	Clinker -B	River sand	Granite soil	slag	Standard sand
Gravel (over 2.0mm) (%)	0.0	0.0	3.3	24.2	13	39	12	—
Sand (74µm-2.0mm) (%)	15.5	9.9	86.8	65.0	87	61	88	100
Fines (under 74µm) (%)	80.3	83.1	9.2	6.6	—	—	—	—
Clay (under 5µm) (%)	4.2	7.0	0.7	4.2	—	—	—	—
D ₁₀ (mm)	0.041	0.046	0.69	0.64	0.88	2.0	1.3	0.25
D ₃₀ (mm)	0.029	0.042	0.34	0.17	0.54	0.90	0.84	0.22
D ₅₀ (mm)	0.020	0.032	0.090	0.060	0.28	0.27	0.42	0.17
U _c = D ₆₀ /D ₁₀	2.1	1.4	7.7	10.7	3.1	7.4	3.1	1.5
U _c = (D ₃₀) ^{1/2} / D ₁₀ · D ₆₀	1.0	1.2	1.9	0.8	1.2	1.5	1.3	1.1
Consistency	N.P							
Soil Classification	ML		S-M		SPu			
True specific gravity	—	—	—	—	2.640 ~2.680	2.650 ~2.680	2.530 ~2.690	—
Apparent specific gravity	2.173	2.249	1.971	2.140	2.520 ~2.610	—	2.180 ~2.320	2.770

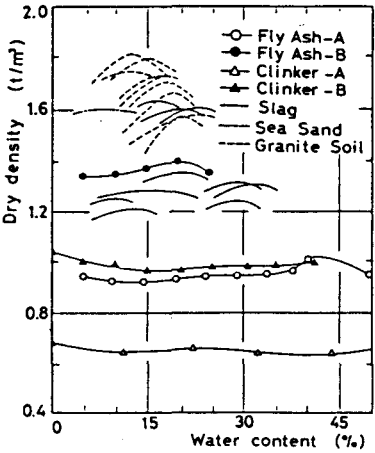


図-1 締固め曲線

とし、クリンカに対しては $p_d=1.00\text{t/m}^3$ のみとした。含水比は $w_{opt}=19\%$ (フライアッシュ), $W=10\%$ (クリンカ) に調整した。養生は恒温室 (20°C, 湿度60%) で所定の材令 (7, 14, 28 日) まで行った。

4-2. 実験結果及び考察 実験結果を図-3に示す。フライアッシュの強度発現は顕著である。しかし、クリンカはどの条件でもさほど増加しない。これは発生過程の違いにより、化学成分、粒子形状が異なるため、硬化に必要なポズラン反応を起こす成分が少ないものと思われる。しかし、添加率 5, 10% は強度増加が認められ、長期材令での硬化が期待できると思われるが、本試験は短期材令であり明確に把握していない。フライアッシュは各条件共材令に伴い一様に強度増加の傾向にあるが、石灰無添加、ゆる詰め試料の強度はクリンカと同程度であり、早期発現には適度の締固めと石灰の添加が必要であると考えられる。しかし、石灰無添加、密詰め試料と石灰 10% 添加、密詰め試料の 2 供試体で材令 14 日以降の強度増加が認められない。その要因として、前者については、粒子単体のポズラン作用では限界があると思われる。後者については、材令 28 日強度が 10% 添加より 5% 添加試料の方が大きい値を示している。これは、初期強度発現には、添加量が有効に作用するが、添加量が多過ぎると、硬化反応に消費されて残った石灰が強度増加を阻害したためと考えられる。この事は最適添加率が存在する可能性を示すものと思われる。

5. まとめ
本報告は石炭灰を土の代替材料として利用するに際して、土質工学的性質を基礎実験により検討したものであり、その結果を要約して以下に述べる。

(1) 比重及び p_{dmax} が小さいため、軽量土工材料として、盛土材などに有効と思われる。(2) PH は、フライアッシュ (13.5), クリンカ (9.5) と高いが、時間と共に低下することが報告されている。(3) 締固め曲線が比較的平坦で、含水比による p_d の変化が少なく、施工時の品質管理が容易な材料である。(4) クリンカは大きな内部摩擦角を有し、水浸や密度の影響が小さい材料である。フライアッシュはクリンカに比べ内部摩擦角は大きくないが密度が大きいと 40° を起す値を有する。(5) 透水係数はクリンカ (10^{-3} オーダー), フライアッシュ ($10^{-4}\sim 10^{-5}$ オーダー) の値を有する。(6) 潜在水硬性はフライアッシュに顕著に現われ、強度発現が大きく、 p_d 、材令に比例して強度増加し、長期的増加の可能性はある。添加量については、強度に比例するとは限らず、最適添加率が存在すると思われる。(7) 吸水膨張率は 2% と小さく、CBR 値はクリンカ (71%), フライアッシュ (30~35%) と大きく路床材として十分支持力が期待できる。

以上の結果より、土工材料として十分利用可能な材料と思われる。今後の課題として盛土材、路床材、地盤改良材、裏込め材などの土工材料としての適性を確認する研究に加え、長期硬化特性の把握が必要である。

〈参考文献〉

- 1) 萩野, 能登, 島谷, 工藤: 産業発生材の有効利用に関する試験, 第17回土質工学会研究発表
- 2) 五十嵐, 喜多: 添加材混合による石炭灰の特性 (その1), 第19回土質工学会研究発表

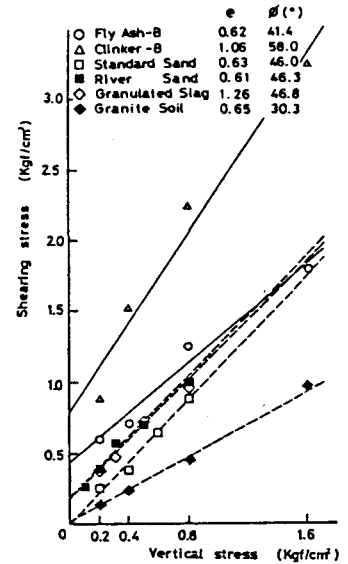


図-2 一面せん断試験結果

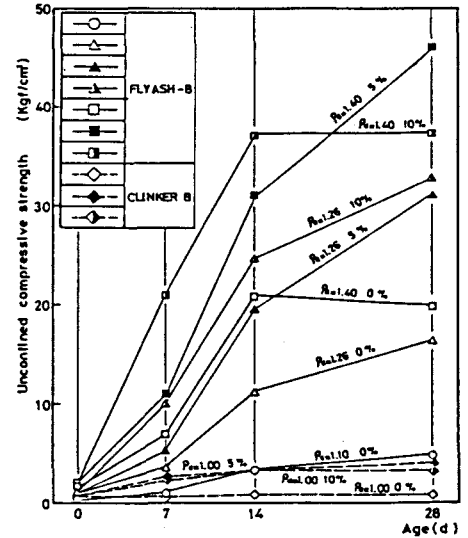


図-3 材令と p_d の関係