

石炭灰を利用した中詰土の品質についての一考察

齊藤 顕次*
Kenji Saito

平岡 博明**
Hiroaki Hiraoka

1. はじめに

石炭利用の増加に伴って膨大な量の石炭灰が発生することから、石炭灰の利用技術の開発が進められているが、現状ではまだ不十分であり、より一層の石炭灰利用を図ることが必要である。

本文は一般産業より発生する石炭灰（一般産業灰と称する）を土工材料として「プラットホーム」の中詰土に利用した例について述べたものである。

2. 中詰土の配合試験

中詰土は石炭灰（一般産業灰）に砂質土を混合して用いた。

石炭灰の化学組成を Table 1 に示す。本石炭灰はCaOの量が少なく、ポズラン反応による自硬性が極めて低いことを示している。

石炭灰と砂質土の粒度分布を Fig. 1 に示す。石炭

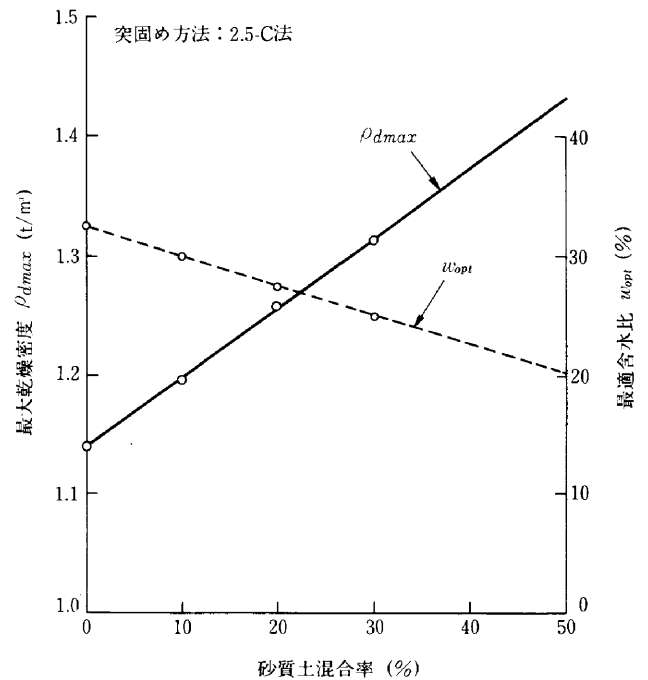


Fig.2 中詰土の最大乾燥密度、最適含水比の変化

灰は比重2.26、細砂分2%、シルト分77%、粘土分21%、の軽量・微粉の非塑性材料であり、砂質土は礫分30%、砂分63%、シルト分7%のシルト混じりの砂である。

砂質土の混合率による最大乾燥密度 ρ_{dmax} と最適含水比 w_{opt} (JIS A 1210, 2.5-C法による) の変化を Fig. 2 に示す。

石炭灰と砂質土の混合割合を表す砂質土の混合率

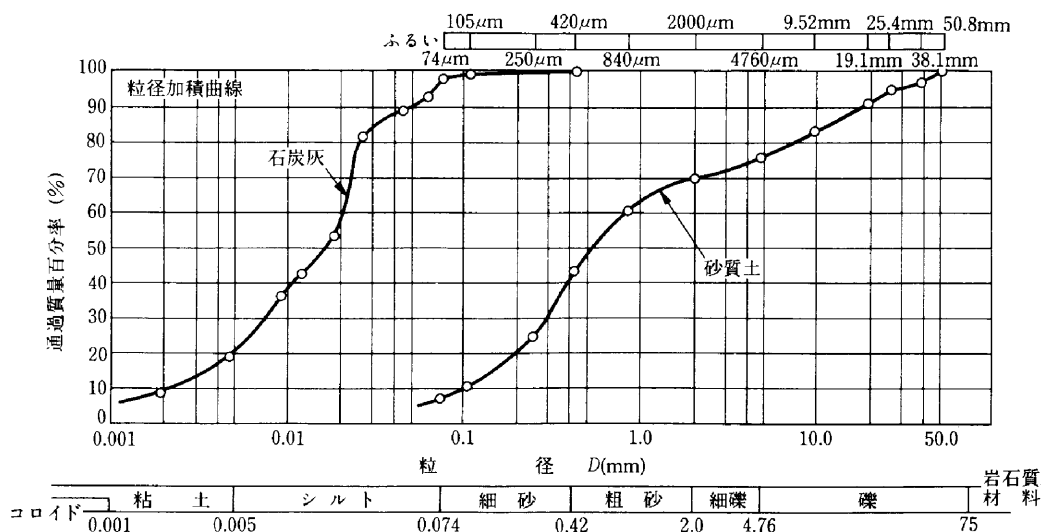


Fig.1 石炭灰と砂質土の粒度分布

*技術研究部技術研究所所長
**技術研究部技術研究所

Table 1 石炭灰の化学組成

項目	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	MgO	CaO	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃
含有量(%)	52.3	38.9	1.59	1.19	1.13	0.69	0.69	0.56	0.46	0.09

は石炭灰の乾燥重量に対する乾燥砂質土の重量百分率を示すものである。砂質土の混合率の増加に伴って ρ_{dmax} は増加し、 w_{opt} は減少する。

中詰土の一軸圧縮強さ q_u を Table 2, Fig. 3 に示す。一軸圧縮強さは各砂質土の混合率における $\rho_{dmax} \times 90\%$ 及び $\rho_{dmax} \times 80\%$ の密度について求めたもので、4.76mm以下の粒子を用い、 $\phi 5\text{cm} \times 10\text{cm}$ の供試体によるものである。

Table 2 中詰土の一軸圧縮試験結果

砂質土混合率 (%)	供試体乾燥密度 ρ_d (%)	供試体含水比 w (%)	一軸圧縮強さ (kgf/cm ²)	
			7日強度	28日強度
0	1.046	31.1	2.38	3.16
	0.921	31.1	1.46	1.38
10	1.094	28.1	3.09	3.52
	0.995	27.6	1.83	2.02
20	1.154	24.9	2.58	2.97
	1.054	25.0	1.29	1.28
30	1.195	23.1	2.46	2.90
	1.081	23.1	1.30	1.23

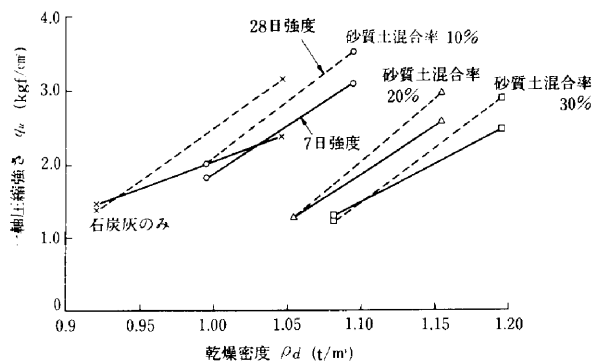


Fig.3 中詰土の一軸圧縮強さ

砂質土の混合率の増加に伴って一軸圧縮強さが減少する傾向を示している。中詰土の配合は土量バランスを考慮して砂質土を30%混合することにし、 $\rho_{dmax} \times 90\%$ 以上の締固め度を現場施工の管理目標に規定した。

砂質土の混合率30%に対する $\rho_{dmax} \times 90\%$ は $1.313 \text{ t/m}^3 \times 0.9 = 1.182 \text{ t/m}^3$ で、Fig. 3 より一軸圧縮強さは $q_u = 2.35 \text{ kg f/cm}^2$ になる。

砂質土混合率30%、乾燥密度 $\rho_d = 1.184 \text{ t/m}^3$ の中詰土の三軸圧縮試験(UU試験)の結果は、見掛けの粘着力 $C_u = 0.91 \text{ kg f/cm}^2$ 、せん断抵抗角 $\phi_u = 32.5^\circ$ である。この数値を用いて中詰土の極限支持力を計算すると「建築基礎構造設計基準・同解説」の支持力公式より 0.5m の正方形の載荷面積に対して 250 t/m^2 の極限支持力になる。

支持力公式より求めた極限支持力のほとんどは、見掛けの粘着力に支配される項によって得られたものである。

砂質土混合率0%すなわち石炭灰のみの三軸圧縮試験の結果は乾燥密度 $\rho_d = 1.140 \text{ t/m}^3$ で見掛けの粘着力 $C_u = 1.41 \text{ kg f/cm}^2$ 、せん断抵抗角 $\phi_u = 35.7^\circ$ である。

現場施工時の中詰土について、4.76mm以下の粒子で、乾燥密度 $\rho_d = 1.337 \text{ t/m}^3$ の供試体を作成して三軸圧縮試験(UU試験)を実施したところ、見掛けの粘着力 $C_u = 0.14 \text{ kg f/cm}^2$ 、せん断抵抗角 $\phi_u = 31.8^\circ$ の数値が得られた。この中詰土の砂質土の混合率は30%以上と考えられる。砂質土の増加に伴って見掛けの粘着力は減少する。見掛けの粘着力が $0.14 / 0.91 = 1/6.5$ に低下することによって、現場施工の中詰土の極限支持力は計算上、 $250 \text{ t/m}^2 \times 1/6.5 = 38 \text{ t/m}^2$ に減少することになる。

3. 中詰土の現場施工

「プラットホーム」は幅10m、長さ30mで、中詰土を層厚100cmで、三層に分けて施工した。各層33点、合計99点の計測点で密度、含水比を測定した。

各層の乾燥密度による品質管理の結果を Table 3 に示す。

各層内の変動係数の大きさは、中詰土に与えられる締固めエネルギーの不均一性のほかに層内における砂質土の混合率のバラツキによっても影響を受ける。各層の変動係数が、ほぼ同じような値を示していることから各層とも同じような均一さで締固めエネルギーが与えられ、各層内の混合率のバラツキもほぼ同じであると判断される。各層間の平均値の差異は、締固めエネルギーの大きさ、砂質土の混合率

Table 3 No.1 プラットホームの品質管理(乾燥密度の測定)結果

No.1 プラットホーム第一層 (下層部)		1.401	1.393	1.449	1.390	1.457	1.407	1.399	1.529	1.448	1.431	1.447
標本平均	1.425 t/m ³	1.347	1.448	1.362	1.382	1.573	1.306	1.530	1.504	1.382	1.474	1.444
標本標準偏差	0.057 t/m ³	1.425	1.390	1.344	1.395	1.473	1.440	1.415	1.464	1.409	1.391	1.360
変動係数	4.0%	母平均不偏推定値 1.425t/m ³ 母標準偏差不偏推定値 0.059t/m ³										
No.1 プラットホーム第二層 (中層部)		1.339	1.351	1.425	1.393	1.443	1.331	1.410	1.516	1.479	1.465	1.373
標本平均	1.411 t/m ³	1.415	1.299	1.499	1.392	1.405	1.409	1.388	1.426	1.422	1.394	1.338
標本標準偏差	0.053 t/m ³	1.364	1.482	1.427	1.429	1.490	1.494	1.407	1.415	1.439	1.379	1.338
変動係数	3.8%	母平均不偏推定値 1.411t/m ³ 母標準偏差不偏推定値 0.055t/m ³										
No.1 プラットホーム第三層 (上層部)		1.559	1.560	1.582	1.565	1.494	1.452	1.512	1.531	1.451	1.589	1.490
標本平均	1.515 t/m ³	1.530	1.559	1.602	1.422	1.456	1.524	1.560	1.502	1.360	1.514	1.595
標本標準偏差	0.059 t/m ³	1.412	1.507	1.538	1.562	1.420	1.506	1.507	1.453	1.564	1.553	1.565
変動係数	3.9%	母平均不偏推定値 1.515t/m ³ 母標準偏差不偏推定値 0.061t/m ³										

及び含水比の相異によって生じるものと考える。

Fig. 4 は、Fig. 2 に示す ρ_{dmax} の直線関係を基に $\rho_{dmax} \times 0.9 \sim 1.2$ の範囲の直線関係を混合率80%まで延長し、各層の乾燥密度の最大値、最小値を図示したものである。

いま仮に各層の乾燥密度の最小値が、各層における砂質土の混合率30%で与えられるとすると、最小値は Fig. 4 の A, B, C で示される。この値が最大値に近づくためには、混合率・含水比を一定に保ち締固めエネルギーを増大させるか、締固めエネルギーを一定にして砂質土の混合率を増加させることが必要である。この場合、砂質土の混合率に対応して含水量の調節が必要になる。

実際の施工では層内の締固めエネルギーの変動による密度の変化は一定レベル以上のエネルギーを与えることにより容易に解消するが、砂質土の混合率・含水比の変動による密度の変化はそのまま残るので、密度が増加する場合には Fig. 4 の右上り方向をたどる形で得られることになる。含水比の変化による乾燥密度の変化よりも、砂質土の混合率による変化の方が大きいと考えられるので、乾燥密度の最大値、最小値は混合率の変化に基づくものになり、この変化は中詰土の見掛けの粘着力の変化に結びつく。

Fig. 5 に各層の乾燥密度の平均値、標準偏差、最大最小値を示す。各層とも標準偏差は同じ程度の値を示しているが、平均値は第三層が一番大きい。

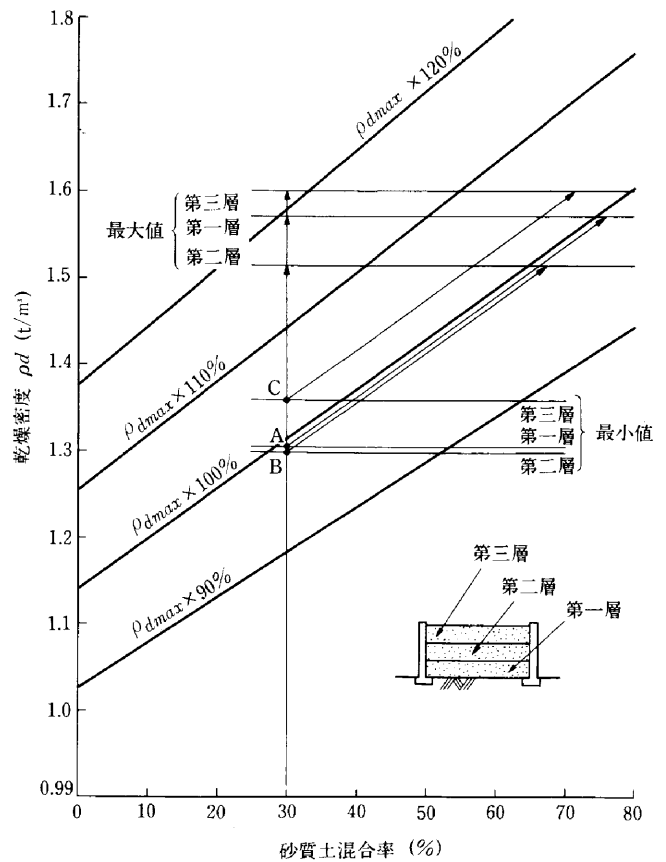


Fig.4 乾燥密度の最大・最小値と砂質土混合率の関係

第三層と他の層との乾燥密度の差異は、層間における砂質土の混合率の違いによるもので、第三層の砂質土の混合率が大きいことを示している。乾燥密

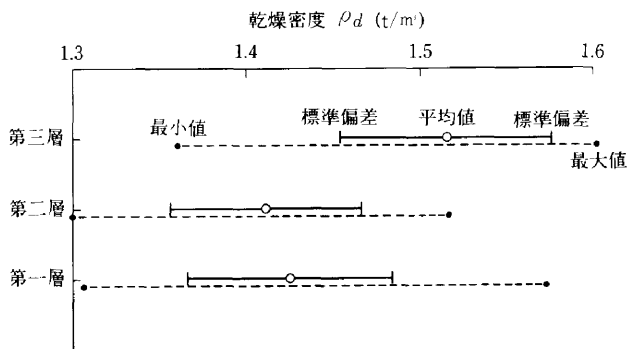


Fig.5 乾燥密度の統計量

度の差異が混合率によるのではなく、締固めエネルギーによるものとする、密度の差異が当然標準偏差の大きさにも表れてくることになる。

4. おわりに

本事例は、石炭灰を砂質土と混合して中詰土として利用したもので密度管理の測定値の変動から中詰土の砂質土混合率の変動について考察を試みた。砂質土の混合率の変動は中詰土のせん断強さに大きな影響を与えるので、石炭灰と砂質土との混合には混合率の変動に対する十分な配慮が必要である。

最後に、中部支店出光出張所の小林所長をはじめとする関係者各位の御協力に感謝します。