

石炭灰混合軟弱土の高炉スラグ及びセメント等による改良効果の研究

大永建設株式会社

○正会員 與那原 利行

琉球大学工学部環境建設工学科 正会員 原 久夫

株式会社沖縄環境分析センター 渡久地 博之

琉球大学工学部環境建設工学科 伊藤 洋平

琉球大学工学部環境建設工学科 岡田 亮

1. はじめに

沖縄県では、電力エネルギーの需要拡大により石炭火力発電所から排出される石炭燃焼灰(石炭灰)の量が増大している。また、本島の河口に位置する河床・海底域では豪雨時に農用地等から流出した土が堆積して軟弱な土層を形成している。このような背景から軟弱土に石炭灰を混合してスラグ及びセメント等で改良することを想定し、その効果を確認するために実験計画法、および、重回帰分析を適用した。

2. 軟弱土等の物理的特性と試験材料

軟弱土は沖縄本島中部に分布する赤土(土と称する)を2.0mmふるいにより選別した土を用いた。また、混合する石炭灰は本島内の金武火力発電所から排出された標準混合灰を使用した。なお、図-1に粒径加積曲線を示すが、石炭灰は5μm～75μm粒径のシルト分が90%以上となっており、一方の土はシルト分が62.5%、かつ、液性限界が $w_L=34\%$ の粘土となっている。また、図中の加積曲線から土と石炭灰は、ほぼ同様の分布形状を示していることが分かる。

改良に用いる固化材と添加剤は、固化材には高炉スラグ微粉末と普通ポルトランドセメントを、添加剤には結晶化促進剤としてのゲオドール剤を用いた。

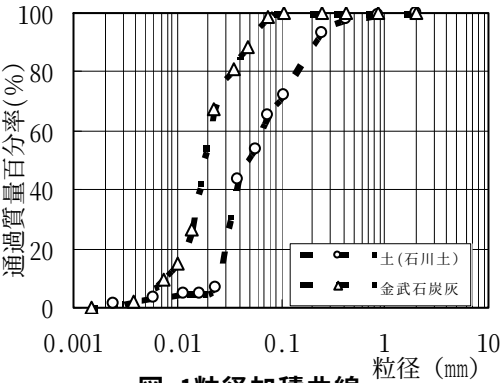


図-1粒径加積曲線

3. 試験計画および解析結果

3.1 試験計画

試験(実験)の計画では改良目標強度を $q_u=300\text{kN/m}^2$ に設定¹⁾した。また、実験では少ない回数で強度に対する要因の改良効果が算出できる実験計画法^{2) 3)}と重回帰分析³⁾を適用した。実験計画では、表-1に示す5つの因子(C , BF , F , G , w_1)を土の質量 m_c に対する比と設定したうえで、各因子を3水準型直交表²⁾の $L_{27}(3^{13})$ 表に割付ける計画とした。

3.2 実験データの解析

1) 実験計画法による解析

代表的な3つの因子が一軸圧縮強さ q_u に与える平均的な効果としての主効果を、次頁の図-2の(a)～(c)にグラフにて示す。図中の回帰直線勾配から養生期間4週目(●印)の q_u への主効果は、(a)のスラグが5つの因子中最も大きく、(b)のセメントと(c)の石炭灰はほぼ同一となっている。その理由として、前者はセメントによるアルカリ成分の作用によりスラグの潜在水効性が発揮されて水和反応が促進⁴⁾⁵⁾されたものと考え

表-1 試験条件一覧表

水準		1	2	3
要因	セメント C (%)	6	8	11
	スラグ BF (%)	2	8	14
	石炭灰 F (%)	20	60	100
	ゲオドール G (%)	0.50	0.67	0.83
	供試体含水比 w_1 (%)	115	120	125
	水・固体質量比 w^*_1 (%)	62.2～108.8	68.3～114.2	69.3～121.4
添加率の式				
$C=m_c/m_s$, $BF=m_{BF}/m_s$, $F=m_F/m_s$, $G=m_G/m_s$				
$w_1=m_w/m_s$, $w^*_1=m_w/(m_s+m_F+m_c+m_{BF})$				
m_s :土の質量, m_c :セメントの質量				
m_{BF} :スラグの質量, m_F :石炭灰の質量				
m_G :ゲオドールの質量				

る。また、後者は1週目(○印)の分散分析結果より一方の因子が他方の因子に影響を与える交互作用が確認されていることから近似した直線勾配を示している。

2) 重回帰分析による解析

養生期間1週目と4週目の改良土の一軸圧縮強度推定式を、重回帰分析により求めた結果として下記の(1)式と(2)式に示す。また、(1)式と(2)式の重決定係数 r^2 は $r^2 > 0.8$ 以上となり、推定式の相関性は良い結果となっている。

$$q_u'_{7}(\text{kN/m}^2) = 43.81C + 33.79BF + 2.57F - 6.38w_1 + 333.16 \cdots (1) \text{ 式}$$

$$q_u'_{28}(\text{kN/m}^2) = 50.07C + 121.23BF + 2.91F - 12.48w_1 + 71.30 \cdots (2) \text{ 式}$$

ここに、 C ：セメント添加率(%), BF ：スラグ添加率(%), F ：石炭灰添加率(%), w_1 ：供試体含水比(%)

3) 予測値と実測値の比較

一軸圧縮強度の予測値 q_u' と実測値 q_u の比較を図-3に示す。なお、図中には一方の変数値の分散等が他方の変数値に依存する可能性があることから確率・統計処理⁶⁾により求めた条件付標準偏差 $\pm S_{y|x}$ を破線で示している。さらに、4週目における $q_u' > 1,000 \text{ kN/m}^2$ 以上の高強度域ではバラツキが大きく、 $q_u' \leq 1,000 \text{ kN/m}^2$ 以内の中・低強度域においては、ほぼ $\pm S_{y|x}$ の範囲内にあることが分かる。よって、上記(1)・(2)の推定式は $q_u' \leq 1,000 \text{ kN/m}^2$ 以内で適用可能とする。

4. おわりに

石炭灰混合軟弱土にセメントを添加した場合、六価クロム(VI)が溶出することが確認⁷⁾されている。そのことから、今後の試験では六価クロム(VI)等の重金属溶出試験を行う必要がある。

参考文献

- 1) 松尾 稔, 他: 地盤環境工学の新しい視点 建設発生土類の有効活用, 技報堂出版, pp.104~133, 1999 年
- 2) 田口 玄一: 実験計画法 (上巻) 第3版, 丸善, 2000 年
- 3) 菅 民郎: Excel で学ぶ実験計画法 シックスシグマと重回帰分析, オーム社, pp.91~168, 2004 年
- 4) 土木学会コンクリート委員会: コンクリートライブラリー第86号 高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの施工指針(第1版), 土木学会編, 1996 年
- 5) 山田 順治, 他: わかりやすいセメントとコンクリートの知識, 鹿島出版会, pp.77~84, 1984 年
- 6) 伊藤学, 亀田弘行 訳: 土木・建築のための確率・統計の基礎, 丸善, 1996 年
- 7) 与那原利行, 原久夫: 石炭灰混合軟弱土のセメント固化材等による改良効果に関する研究, 第50回地盤工学シンポジウム論文集, pp.287-294, 2005 年

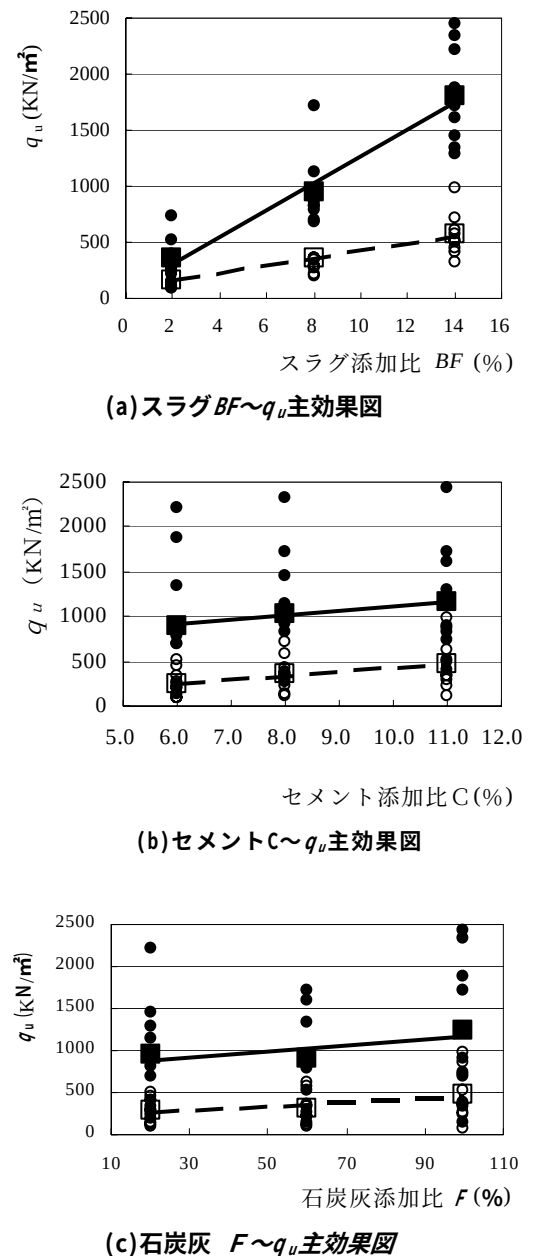


図-2 因子と一軸圧縮強度 q_u の主効果図

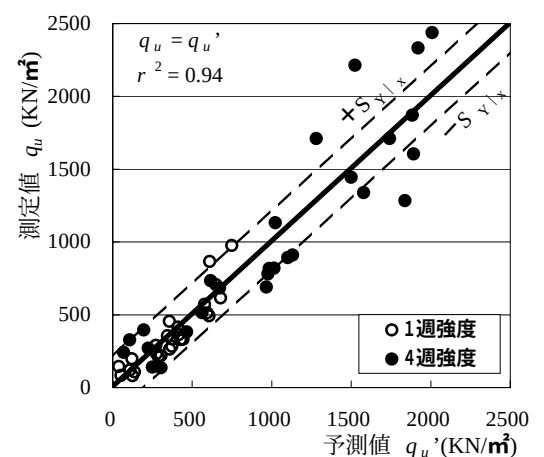


図-3 $q_u \sim q_u'$ 関係図