

# 石炭灰を混合した軟弱土の改良効果に関する研究

大永建設株式会社環境事業部 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  
 琉球大学工学部環境建設工学科生 名嘉真 悠

## 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微粉炭燃焼灰(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な堆積土を改良する場合に石炭灰を混合することを想定し、かつ、軟弱土の改良効果を確認するために実験計画法、および、重回帰分析を用いた強度特性の解析を行った。

## 2. 試験に使用した材料

### (1) 軟弱土等の物理的特性

軟弱土は沖縄本島中・南部に分布する島尻泥岩強風化土を 2.0mm ふるいにより選別し、同ふるいを通過した土を用いた。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(湿粉)を使用した。なお、図-1に粒径加積曲線を示すが、5 $\mu$ m~75 $\mu$ m 粒径のシルト分が 90%以上となる粒度となっており、同図の分布曲線から強風化土と石炭灰は、ほぼ同様の分布形状を示していることが分かる。加えて、図中のポルトランドセメントの粒度分布と比較すると石炭灰は細かく、かつ、強風化土は 30 $\mu$ m 以下で粗い傾向にある。

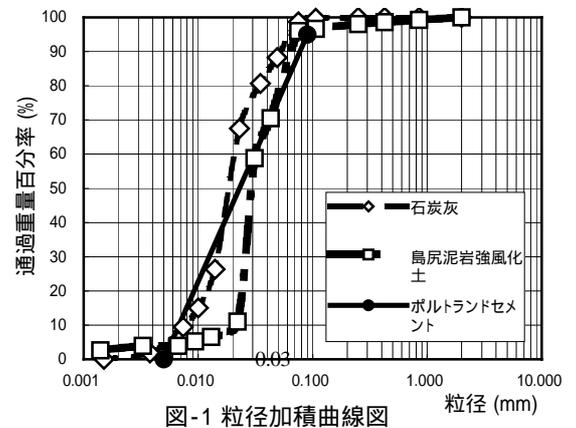


図-1 粒径加積曲線図

### (2) 固化材と添加剤

改良に用いる固化材には、水和物の生成反応による改良効果が大きく、かつ、低価格な普通ポルトランドセメントを用いた。また、ポルトランドセメントの粒度は図-1の実線で示すように 90 $\mu$ m ふるいをほぼ全量通過して 5 $\mu$ m 程度を最小とする直線的な分布<sup>1)</sup>で示される。なお、添加剤には木材等から抽出して作られたリグニンスルホン酸の液を用いているが、リグニンは木質内で他の繊維質成分を固定化することから改良土のバインダーの役割の可・否を確認するために添加した。

## 3. 試験計画および分析結果

### (1) 試験計画

試験(実験)の計画では改良土の効果を評価する場合、強度特性の評価尺度として一軸圧縮強度  $q_u$  250kN/m<sup>2</sup> 以上を確保する<sup>2)</sup>必要があることから、目標改良強度を  $q_u=300$ kN/m<sup>2</sup> に設定した。また、実験では少ない回数で強度に対する要因の重要度等が算出できる実験計画法<sup>3)4)</sup>と重回帰分析<sup>4)</sup>を適用した。実験計画法による試験計画では、表-1に示す三因子(3水準)C, F, R を土粒子成分の質量  $m_s$  に対する比とした。また、残りの一因子(3水準)  $w^*$  は添加水の質量  $m_w$  に対する  $m_s$  および、石炭灰質量  $m_f$  とセメント質量  $m_c$  の合計質量との比とし、四つの因子等を直交表の  $L_{27}(3^{13})$  表に割付ける計画とした。

表-1 試験条件一覧表

| 因子         | 水準1          | 水準2          | 水準3           |
|------------|--------------|--------------|---------------|
| セメント:C (%) | 6.7          | 16.7         | 26.7          |
| 石炭灰:F (%)  | 22.2         | 33.3         | 38.1          |
| リグニン:R (%) | 0.3          | 0.7          | 1.0           |
| $w^*$ (%)  | 70           | 75           | 80            |
| 含水比:w (%)  | 89.8 ~ 115.3 | 95.2 ~ 122.9 | 102.4 ~ 131.8 |

添加率の式  
 $C = m_c / m_s$  ,  $F = m_f / m_s$  ,  $R = m_r / m_s$   
 $w = m_w / m_s$  ,  $w^* = m_w / (m_s + m_f + m_c)$   
 $m_s$  : 土粒子質量 ,  $m_c$  : セメント質量  
 $m_f$  : 石炭灰質量 ,  $m_r$  : リグニン質量  
 $m_w$  : 水の質量

(2) 実験データの解析

1) 実験計画法による解析

一軸圧縮強度  $q_u$  の強度特性を図-2の(a)~(d)にグラフにて示す。図から  $q_u$  に与える効果は、(b)セメントが一番大きく (a)含水比にも効果が認められた。また、(d)リグニンにおいては僅かな効果しか期待できず、(c)石炭灰は負の効果になることがわかった。負の効果は、湿った石炭灰を再乾燥させて使用したこと、同灰の吸水効果による水和反応の障害<sup>5)</sup>が原因であると考えられる。なお、各因子間の交互作用は分散分析から無いことが確認されている。

2) 重回帰分析による解析

重回帰分析により改良強度の推定式を求めた。推定式の構成を(1)式に示すが、同式での決定係数は  $R^2 = 0.86$  と高い値となった。よって、表-1の条件内では、同式による改良強度の推定が可能であると考えられる。また、(1)式における三つの要因 C, w, F の有意性の判定は、有意確率 P 値が有意水準 = 1% で有意となった。なお、リグニン添加率 R(%)の要因は P 値が = 5% においても有意でないことから推定式の対象外とした。

$$q_u' \text{ (kN/m}^2\text{)} = 16.9151C - 10.550w + 6.411F + 966.318 \dots\dots\dots (1) \text{ 式}$$

ここに、C：セメント添加率(%), w：含水比(%), F：石炭灰添加率(%)

3) 改良土の微量成分

セメント系固化材による改良土では、土壤環境基準値(0.05mg/L)を超える六価クロムの溶出が認められる場合がある<sup>1)</sup>ことから、環境庁告示第46号(平成3年)による溶出試験を行った。その結果、今回の改良土から基準値を超える 0.299mg/L の溶出値が検出された。

4. 結論

今回実施した軟弱土改良効果の試験結果をまとめると以下ようになる。

- (1) 軟弱度改良効果の重要度の順位は、データ単位の同一化により求めた標準偏重回帰分析<sup>4)</sup>の係数値( $S_C$ )から判断して、セメント( $S_C=1.318$ ), 含水比( $S_C = -1.003$ ), 石炭灰( $S_C=0.408$ )となった。
- (2) 湿った石炭灰を再乾燥させて使用した場合、添加率の増加に伴う強度特性は負の効果を示す。このことは、石炭灰のボゾラン反応の消失と先述した水和反応の障害などが原因と考える。
- (3) 改良後の供試体から土壤環境基準値(0.05mg/L)を超える六価クロムの溶出量 0.299mg/L の値が検出された。よって今後、軟弱土の改良試験を行う場合、六価クロムの溶出を基準値以内に抑える対策が必要になる。

5. おわりに

本報告は、琉球大学との産学共同研究として実施した予備試験結果を取りまとめたものである。今後、引き続き行う共同研究では、六価クロムの対策等を課題として試験を実施する予定でいる。

参考文献

- 1) セメント協会：セメント系固化材による地盤改良マニュアル 第3版, 技報堂出版, pp.19~60, 2003年
- 2) 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
- 3) 田口 玄一：実験計画法 (上巻) 第3版, 丸善, 平成12年
- 4) 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, 平成16年
- 5) 斎藤 直, 他：石炭灰を使った地盤改良材の改良特性 第34回地盤工学研究発表会, pp.931~932, 1999年

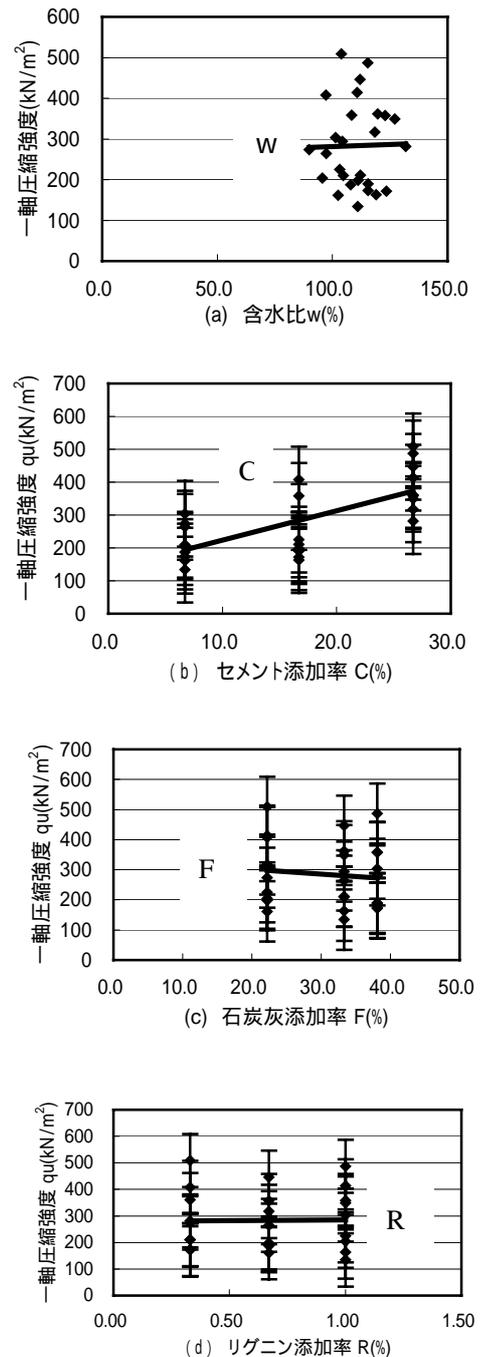


図-2 各種要因の一軸圧縮強度分布図