

III-B 268

地中加熱による石炭灰処分場の地盤改良に関する研究

—（その3） 灰種の違いが加熱効果に及ぼす影響—

前田建設工業（株） 正会員 ○藤山哲雄
同 上 正会員 石黒 健
同 上 正会員 嶋田三朗

1. はじめに 石炭火力発電所から排出される石炭灰の多くは海中に投棄処分されており、その埋め立て跡地の有効利用が課題となっている。筆者らは、既存の処分場を対象に、締固めやセメント添加等を行うことなく原位置地盤の改良を行う方法について検討し、「地盤の不飽和化+高温養生」により効率的に改良効果が得られることを報告している¹⁾。しかし、石炭灰の種類によってその工学的性質が顕著に異なることが従来から指摘されており²⁾、多種の灰が混在する原位置で加熱による地盤改良を行うに際しては、灰種の違いによる強度発現特性の変化を把握しておく必要がある。本文では、我が国のある石炭火力発電所で排出された石炭灰（新生灰）14種類について、加熱効果を確認した結果を報告する。

2. 実験に用いた試料及び実験方法 石炭灰の強度発現に対して灰の化学成分が大きく影響することが知られており、特にCaO含有率・酸性率・pHと強い相関を持つことが報告されている³⁾。今回調査を行った14種類の新生石炭灰の酸性率、CaO含有率、pHの一覧を表-1に、またCaO含有率～酸性率の相関を図-1に示す。なお表-1中の灰種名は石炭灰の産地名であり、酸性率の小さい順に1～14の番号をつけた。一般にCaO含有率が大きいほど、また酸性率が小さいほど、ポゾラン反応による水和物生成量が多く、これらが粒子間結合力を高めるため強度発現が大きい。この観点から今回の14種類の灰は大きく3種類に分類され、図-1中のイ、ロ、ハの順に強度発現が大きいと予想される。

これらの試料を含水比30%に加水後、乾燥密度1.0 (g/cm³)でφ5cm×H10cmの鋼製モールド内に締固めた供試体を作成し、常温（約15℃）および60℃の2種類の温度で1週間養生した後、さらに1日間水浸させた後に一軸圧縮試験を行った。水浸後の強度を調べたのは、飽和石炭灰地盤を地下水位低下などにより不飽和化したうえで加熱固化した後に、海水が再び浸透、回復した状態を想定したためである。

3. 実験結果及び考察 常温養生、および60℃養生後の一軸圧縮強度をCaO含有率に対して整理した結果を図-2に示す。常温養生、60℃養生供試体ともCaO含有率が大きいほど一軸圧縮強度が増加する傾向を示すことがわかる。強度0 (kgf/cm²)とは水浸後崩壊したものであり、CaO含有率が3%より小さいと加熱しても水浸後強度が発揮されないという結果になった。次に、常温→60℃の加熱によりどの程度強度が増加するか、常温養生の一軸圧縮強度と60℃養生の一軸圧縮強度を比較してみた（図-3）。図中には、表-1の石炭灰Aについて乾燥密度、養生日数、含水比といった養生条件を変えた場合の結果も併記した（◆印のプロット）。

表-1 灰種一覧

	灰種	酸性率	pH	CaO(%)
1	クインザム	4.06	12.8	10.83
2	マセグ'ル	4.36	13.4	10.02
3	大同	4.84	12	3.38
4	キャバ'ウエル	5.97	11.6	6.17
5	ドレイトン	6.37	12.5	3.81
6	石炭灰A	7.12	12.6	4.6
7	ピナクル	7.47	13.3	5.86
8	ニューランズ	7.93	13.1	5.52
9	マロポー	11.13	9.3	1.31
10	セドラム	12.31	11.7	1.27
11	ユーラン	12.77	5.7	0.88
12	石炭灰B	14.7	10.9	2.2
13	エベネザ	19.41	4.5	1.42
14	ブレアゾール	28.3	7.3	0.99

※ 石炭灰A、Bについては産地名不明
酸性率の定義は文献²⁾参照

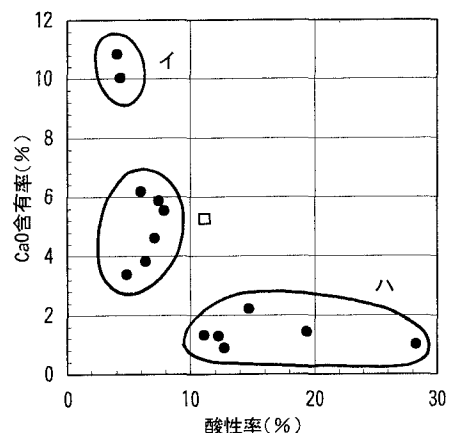


図-1 CaO含有率と酸性率の関係

これをみると、 qu （常温）： qu （60℃）は概ね1：2～1：5の範囲でばらついていることがわかる。乾燥密度・養生日数・含水状態を種々変えた石炭灰Aがほぼ1本のラインに乗っていることを考えると、加熱による強度増加率は他の養生条件よりむしろ灰種によって異なるようである。また、常温養生では強度発現しないものが、60℃養生によって0.5 (kgf/cm²)以上の強度を発現する場合がいくつか見受けられる。図-2中には、液状化抵抗の目安となる一軸圧縮強度0.5 (kgf/cm²)を示した。CaO含有率3%以上に限定すれば、常温養生では半数以上の灰種が0.5 (kgf/cm²)以下なのにに対し、加熱によりほとんどが0.5 (kgf/cm²)をクリアしていることがわかる。石炭灰は非塑性のシルト粒径で液状化に対する抵抗性が懸念されるが、CaO含有率が3%以上であればほとんどの灰種に対し60℃という比較的低い加熱で液状化抵抗性を確保できることがわかる。次に、一軸圧縮強度をpHに対して整理した結果を図-4に示す。pHが大きいほど一軸圧縮強度が大きくなる傾向を示し、pHが11より小さいと強度発現しないことがわかる。片岡らもpH値11以上が土工材料としての適用性の一応の目安となることを指摘しているが³⁾、この値が加熱効果を発揮するしきい値と合致しているのも興味深い。一般に化学組成分析に比べpH測定は容易なため、pH値により加熱効果のある程度の予測、あるいはこれから新規に造成される処分場に対してはpH値によって施工管理を行くことができよう。

5. おわりに 14種類の石炭灰を用いて、灰種の違いが加熱効果に及ぼす影響について検討した。その結果、①CaO含有率3%以下あるいはpH値11以下では加熱効果が発揮されないこと、②それらを越えるものについては、加熱によりほとんどの灰種が液状化抵抗性は確保できること、③加熱による強度増加率は灰種によって2倍～5倍程度の幅があること、④計測の比較的容易なpH値によりある程度の加熱効果の予測ができる可能性があること、などがわかった。今回は新生灰試料について調査を行ったが、長期水浸放置されている既成灰は、ボゾラン反応が進行し、新生灰ほど加熱効果が期待できない可能性がある。今後は、現地採取試料について加熱効果を確認していきたい。

〈参考文献〉 1) 石黒他：地中加熱による石炭灰処分場の地盤改良に関する研究 - (その1) 加熱を受けた石炭灰の一軸圧縮強度特性 -、第50回土木学会年講、1995年 2) 片岡他：締固めた石炭灰の強度特性、第26回土質工学会年講、1991年 3) 片岡他：貯蔵した石炭灰の化学・強度特性 (その1 石炭灰のpH変化)、第30回土質工学会年講、1995年

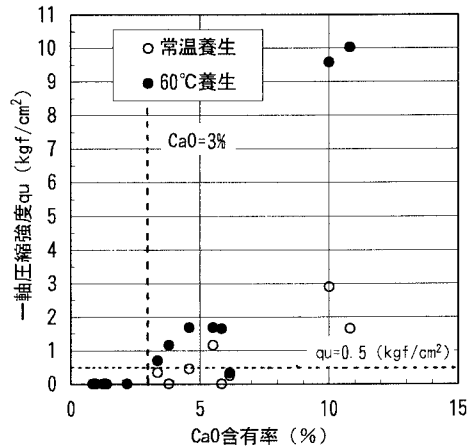


図-2 CaO含有率と一軸圧縮強度の関係

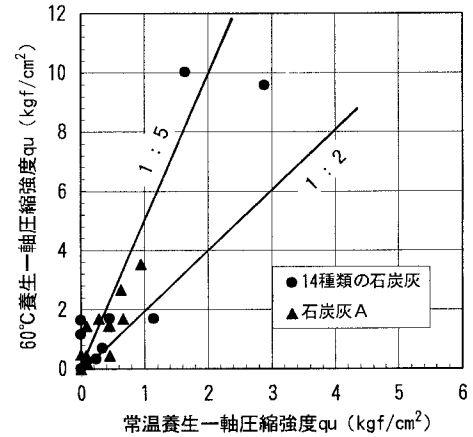


図-3 常温養生と60℃養生の一軸圧縮強度の比較

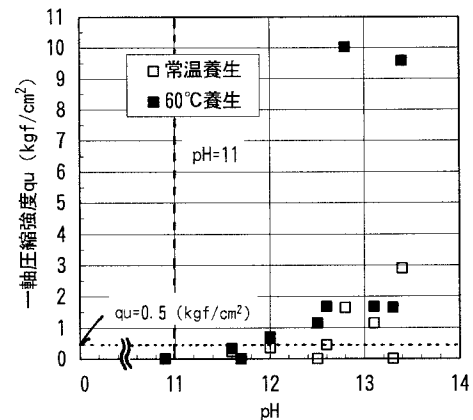


図-4 pHと一軸圧縮強度の関係