

## 山砂を用いたフライアッシュ配合土の一軸圧縮強度特性

木更津工業高等専門学校 学生会員 ○夏井大介  
木更津工業高等専門学校 正会員 鬼塚信弘

### 1. まえがき

2011年3月11日、仙台市の東方沖70kmの太平洋の海底を震源とする東北地方太平洋沖地震が発生した。この地震により東京電力福島第一原子力発電所から大量の放射性物質が漏れる事故が発生し、原子力発電の稼働が徐々に停止していった。その代わりに火力発電の稼働が増え、産業廃棄物の一つであるフライアッシュの生産量が増加していった。そのため、今後さらなるフライアッシュの有効利用が求められる。本研究は、改良地盤の安定性の評価に利用される一軸圧縮試験を行い、フライアッシュを配合することにより、一軸圧縮強度が上昇する要因を考察したことを報告する。

### 2. 使用材料

改良土は通常、建設発生土を使用することが多いが、採取場所によっては土質が大きく異なる。本試験では木更津市内の山砂を購入し、これを発生土と見立てる。その山砂を5mmの金属製網ふるいでふるい、粒径5mm以下の通過試料を使用する。フライアッシュは青森県で排出されたフライアッシュB種の原粉を使用する。固化材は一般的にセメント系固化材として広く使われているため、高炉セメントB種を使用する。

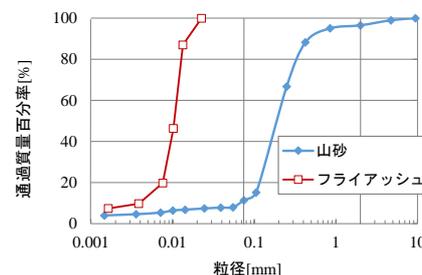


図1 粒径加積曲線

### 3. 使用試料の物理的性質

山砂とフライアッシュの物理的性質を図1、表1にまとめる。図1の粒度試験の結果を見ると、山砂の粒径は0.1~0.5mmの間に集中しており、フライアッシュの粒径はすべて0.02mm以下であった。均等係数はどちらも10以下なので、山砂とフライアッシュは分級されている試料だということがわかる。次にA-a法の締固め試験を行った結果、最適含水比 $w_{opt}$ が15.5%、最大乾燥密度 $\rho_{dmax}$ が1.74g/cm<sup>3</sup>ということがわかった。

表1 使用試料の物理的性質

試料	山砂	フライアッシュ
土粒子密度 [g/cm <sup>3</sup> ]	2.65	2.43
自然含水比 [%]	16.6	0.52
液性限界 [%]	NP	NP
塑性限界 [%]	NP	NP
礫分 [%]	3.5	0
砂分 [%]	85.1	0
シルト分 [%]	6.6	87.7
粘土分 [%]	4.8	12.3
均等係数 $U_c$	3.38	2.88
最適含水比 $w_{opt}$ [%]	15.5	-
最大乾燥密度 $\rho_{dmax}$ [g/cm <sup>3</sup> ]	1.74	-

### 4. 一軸圧縮試験

#### 4.1 供試体の作製

乾燥させた山砂、フライアッシュ、高炉スラグB種、蒸留水を表1の割合でミキサーを用いて配合し、試料A~Dを作製する。表2は山砂を100とした時の質量比の値を示し、蒸留水の量は締固め試験から求めた最適含水比 $w_{opt}$ を使用している。次に試料A~Dを、モールドとランマーを用いて供試体を作製する。モールドは中の直径が5cm、高さが10cmのものを使用し、ランマーは先端部の重さが1.5kgのものを使用する。モールドの中に試料を入れ、ランマーを30cmの高さから自由落下させ25回突き固める。突固めの層数が5層になるように行い、完成した供試体はラップで包装しバットに入れて空気養生させる。養生期間は1日、7日、14日、28日の4日間とし、試料と養生期間を替え全部で16ケースの供試体を作製する。

表2 各供試体の配合表 [%]

試料	山砂	フライアッシュ	高炉セメントB種	水
A	100	10	5	15.5
B	100	5	5	15.5
C	100	5	0	15.5
D	100	0	5	15.5

キーワード 石炭灰 一軸圧縮強さ ポゾラン反応 高炉セメントB種

連絡先 〒292-0041 千葉県木更津市清見台東2-11-1 木更津高専鬼塚研究室 TEL 0438-30-4161 E-mail : onizuka@kisarazu.ac.jp

### 4.2 試験方法

写真 1 のように、養生した供試体に一軸圧縮試験機を用いて、毎分 1%の圧縮ひずみが生じる割合で連続的に圧縮を加える。そして、最大圧縮応力である一軸圧縮強さ  $q_u$  を測定し、1 つのケースにつき 3 つの供試体を試験する。

### 4.3 解析

1 つのケースの平均の一軸圧縮強さ  $q_u$  と養生日数のグラフを図 2 に示し、28 日後の供試体の圧縮応力と圧縮ひずみの関係を図 3 に示した。また、供試体の破壊した様子を写真 1 に示した。図 2 よりフライアッシュと高炉セメント B 種が共に配合されている試料 A, B は高い値を示した。フライアッシュのみ配合している試料 C は、高炉セメント B 種のみ配合している試料 D を上回った。

### 4.4 考察

最初に試料 A, B の結果を考察する。一般的にフライアッシュの成分のうち 8 割がシリカ( $\text{SiO}_2$ )とアルミナ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )であり、セメントに配合すると、ポルトランドセメントの水和の際に生成される水酸化カルシウム( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ )と反応する<sup>2)</sup>。この反応によって硬化する働きをポゾラン反応といい、化学反応式は式(1)、(2)に記される。試料 A, B の供試体は、ポゾラン反応によって一軸圧縮強さが上昇したと考える。次に試料 C, D を考察する。高炉セメント B 種はポルトランドセメントに高炉スラグ微粉末を 30~60%配合したものであり、アルカリ性物質や石膏の刺激により水和・硬化する潜在水硬性という性質を持っている。試料 D は潜在水硬性によって長期にわたり強度が増進する効果を持ち、日数が経過すると共に試料 C より強度が増すと予想したが、14 日を超えると試料 C が試料 D より強度が高くなる傾向を示した。この結果を考察すると、本試験で使用したフライアッシュの酸化カルシウム( $\text{CaO}$ )の含有量は、高かったのではないかと考える。通常フライアッシュの酸化カルシウムの含有量は 0.3~10.1%程度しか含有していないが<sup>2)</sup>、本試験に使用したフライアッシュは通常のフライアッシュよりも多くの酸化カルシウムを含有しており、フライアッシュ単体でポゾラン反応が起きたのではないかと考えた。

### 5. まとめ

本研究の結果より、山砂の改良効果による一軸圧縮強さについて、フライアッシュを配合した供試体は高炉セメント B 種を配合した供試体より上回った。そして、フライアッシュを配合した供試体の強度上昇の要因は、酸化カルシウム( $\text{CaO}$ )ではないかと考える。また、フライアッシュと高炉セメント B 種を共に配合した供試体は、ポゾラン反応によってさらなる強度が得られることがわかった。今後、本試験で使用した試料の成分分析を行い、化学組成を明らかにする必要がある。

#### 【参考文献】

- 1) 火力発電について 資源エネルギー庁 [http://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic\\_problem\\_committee/013/pdf/13-7.pdf](http://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_problem_committee/013/pdf/13-7.pdf) 2016.8.1
- 2) 日本フライアッシュ協会 <http://www.japan-flyash.com/fchemiphysi.html> 2016.7.20



写真1 養生期間7日後の供試体Aを破壊した様子

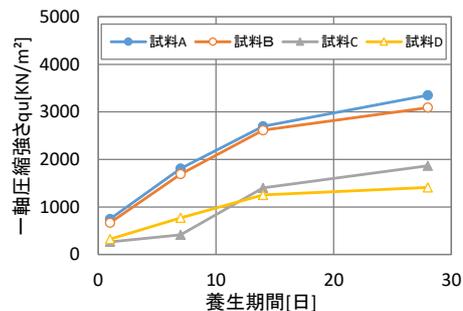


図2 一軸圧縮強さと養生期間の関係

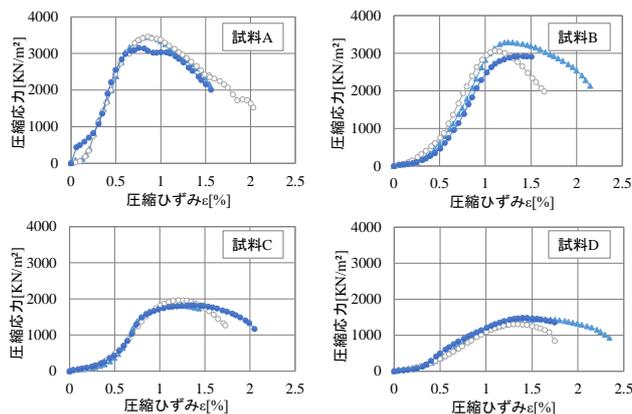


図3 28日後の供試体の圧縮応力と圧縮ひずみの関係

