

フライアッシュ配合土の強度発現メカニズムの基礎研究

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強さを求めることを目的として、フライアッシュ配合土の強度発現メカニズムを明らかにし、その結果から固化材の決定とフライアッシュ配合土の評価を行う。

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。本試験では木更津産の山砂を使用し、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。フライアッシュはフライアッシュII種を使用する。実験から得られた山砂の物理的性質の結果を表1にまとめる。

表1 実験試料の物理的性質

試料	山砂(木更津)	山砂(君津)
土粒子密度 $[g/cm^3]$	2.65	2.68
自然含水比 $[\%]$	16.6	8.9
液性限界 $[\%]$	NP	NP
塑性限界 $[\%]$	NP	NP
礫分 $[\%]$	3.5	0.1
砂分 $[\%]$	85.1	94.0
シルト分 $[\%]$	6.6	1.6
粘土分 $[\%]$	4.8	4.3
均等係数 U_c	3.38	3.00
最適含水比 $w_{opt}[\%]$	15.5	19.3
最大乾燥密度 $\rho_{dmax}[g/cm^3]$	17.4	1.6

3. フライアッシュ配合土の一軸圧縮試験

3.1 供試体の作製

乾燥させた山砂、フライアッシュ、水を表2の割合でミキサーを用いて配合し、試料Aを作製する。試料Aはフライアッシュのみ配合している。表2は山砂を100とした時の質量比の値を示し、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を、モールドとランマーを用いて供試体を作製する。作製条件は地盤改良マニュアルに従い、モールドの直径が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3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、20℃の恒温槽で空気養生させる。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て全部で32ケースの供試体を作製する。

表2 各供試体の配合表 $[\%]$

試料	FA(II種)	生石灰	山砂	水
A	10	0	100(木更津)	15.5
B	10	10	100(君津)	19.3



写真1 供試体と一軸圧縮試験機

3.2 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。

3.3 試験結果

各ケースの供試体の、異常値を除いた平均一軸圧縮強さ q_u と養生日数のグラフを図1に示した。グラフは横ばいになっており、この結果から山砂にフライアッシュII種のみを配合させても、硬化作用は確認できないことがわかった。

キーワード フライアッシュ 山砂 一軸圧縮強さ ポズラン反応

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

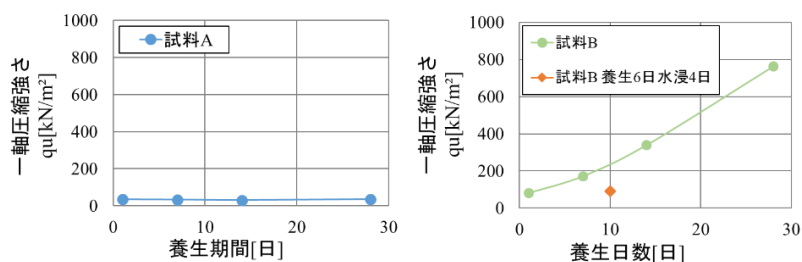


図1 一軸圧縮強さと養生期間の関係

表3 フライアッシュの化学成分分析[%]

成分	ig.loss	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃
割合	3.42	64.11	20.88	3.24	3.75	0.92
成分	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	Cl
割合	0.35	1.01	1.06	0.31	0.03	<0.001

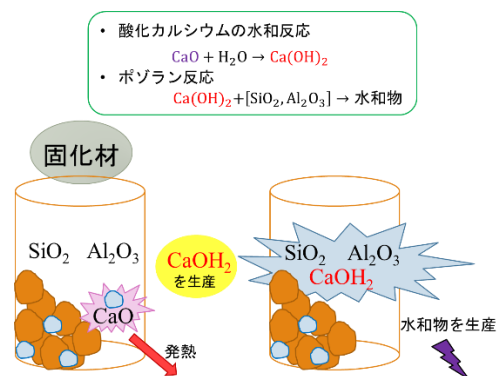


図2 硬化プロセス

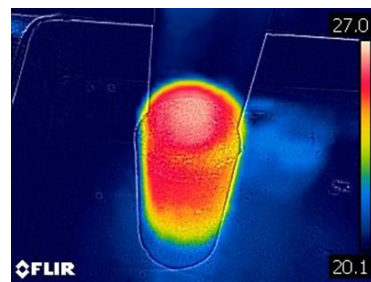


写真2 試料B配合直後の温度分布

3.4 解析

フライアッシュが硬化しない理由として、酸化カルシウムの水和反応と、ポゾラン反応の2つの反応式に注目し²⁾、2つの反応による供試体の硬化プロセスを図2に示した。図2より、供試体の硬化作用が働くためには、酸化カルシウム(CaO)が必要であることがわかった。次に、現在使用しているフライアッシュのCaOを調べるため、化学成分分析を委託した。試験方法は試料を105°Cで乾燥させた後、微粉碎と強熱減量を行い、その後に蛍光X線分析装置にて成分を測定した。表3にフライアッシュの化学成分分析の結果を示す。その結果、フライアッシュに含まれている酸化カルシウムは3.24%しか含まれていないことがわかった。

4. フライアッシュに生石灰を配合した土の一軸圧縮試験

4.1 供試体の作製

フライアッシュを配合した供試体のCaOの割合を増加させれば、供試体に硬化作用が確認できるのではないかと仮定した。よって表2に示すように、試料Aに生石灰10%を配合した試料Bを作製した。使用する山砂は、今後フライアッシュ配合土の研究を続けるうえで木更津産の山砂が不足すると考え、君津市内で購入した山砂を使用する。作製条件は変更しないが、最悪条件下を見通して空気養生6日水浸養生4日のケースも追加した。供試体を作製した直後、サーモグラフィーにより、発熱作用が確認された(写真2)。

4.2 試験結果

試料Bの供試体の一軸圧縮強さと養生期間の関係を図1に示した。この結果より、養生日数28日の一軸圧縮強さは763kN/m²という試料Aの20倍程度の高い値を得られた。また、水浸させた供試体も養生日数7日と比べ半分程度の強度を得られた。この結果より、試料Bの供試体は硬化作用を得たと考える。

5. まとめと今後の展開

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、フライアッシュと生石灰を配合した供試体は硬化作用が得られることがわかった。フライアッシュ配合土の強度発現メカニズムにおいて、CaOが大きな役割を果たすこともわかった。今後の研究を行う上で、CaOだけでなく水酸化カルシウム(Ca(OH)₂)を配合した時の供試体の硬化作用や、コンクリート用山砂を精製する際に排出される君津産の脱水ケーキを使用した供試体での実験で、同様の結果が得られるか確認する。

[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 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