

INSEM 工法におけるフライアッシュの効果について

株式会社インボックス 秋山祥克 ○織田哲暢
京都府立大学大学院 松村和樹

1 はじめに

INSEM 工法は、砂防堰堤などを施工する際に発生する現地土砂をそのまま構造物の資材として活用しようとするもので、これまで構造の主体であったコンクリートの使用量が大幅に低減される他、建設残土の利活用、周辺環境への負荷低減、コスト縮減が可能とされている。

一方、INSEM 工法の品質は、構造上必要な強度を充足すること以上に、INSEM 材の耐久性確保に重点を置いた品質設定を行っている。

本研究は、INSEM 材の耐久性確保に寄与すると考えられるポズラン反応が期待できるフライアッシュ(以後 FA と称す)の INSEM への効果を検証するものである。

2 フライアッシュを活用する目的

FA の化学成分でその多くを占めるシリカ (SiO_2) アルミナ (Al_2O_3) などのガラス質が、セメントの水和反応により生成される水酸化カルシウム ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) と反応することにより、カルシウム・シリケート水和物を生成し硬化すると言われている。これがいわゆるポズラン反応と言い、非常にゆっくりした反応であることが特徴である¹⁾。

一方、INSEM 工法では、セメント水和反応が明瞭で、長期的なポズラン反応が期待できる強度領域を目標強度とすることで、INSEM 材の長期的な耐久性を確保しようとするものである。

よって、FA の混合によりポズラン反応の活性化が期待できれば、 σ_{28} の目標強度を引下げ、セメント量の低減を図ることも可能であると考えられる。

また、FA はコンクリート用フライアッシュの品質規格として、I～IV種に分類されており、通常、フライアッシュセメントやコンクリート用混和材に用いられる FA のほとんどは I 種及び II 種である。今回試験で使用する FA は強熱減量の値が大きいため、III種に分類される(表 1 参照)のものであり、その処分が難しいとされているものである。

本研究は、INSEM 材に III 種に分類される FA を混合することにより、ポズラン反応による長期強度を測定し、その効果を検証する。さらに、FA の効果が得られる条件を推定しようとするものである。

表 1 コンクリート用フライアッシュの品質規格

	フライアッシュ I 種	フライアッシュ II 種	フライアッシュ III 種	フライアッシュ IV 種
二酸化けい素 (%)	45.0以上	45.0以上	45.0以上	45.0以上
水分 (%)	1.0以下	1.0以下	1.0以下	1.0以下
強熱減量 (%)	3.0以下	5.0以下	8.0以下	5.0以下
密度 (g/cm ³)	1.95以上	1.95以上	1.95以上	1.95以上
比表面積 (m ² /g)	5000以上	2500以上	2500以上	1500以上
フロ一値比 (%)	105以上	95以上	85以上	75以上
活性度指数 (%)	材齢28日	90以上	80以上	60以上
	材齢91日	100以上	90以上	70以上

3 試験方法

表 2 に配合試験ケースを示す。固化材として高炉セメント 100%、並びに高炉セメント 80%フライアッシュ 20%を用いるケースにより、 σ_7 、 σ_{28} 、 σ_{91} 、 σ_{364} の 4 材齢分の供試体を作製し、圧縮強度を測定する。

試験を実施する土砂は、ポズラン反応の得られる条件としてセメント水和反応に着目し、一つは明瞭な水和反応により良好な強度が得られる母材としてクラッシュヤランを、もう一つは、砂質土砂であるものの、有機物によりセメント水和反応が阻害され、強度発現性が低い「有機土砂」の二種類(写真 1)を用いることとした。

なお、良好なセメント水和反応を得るためには、適切な水量が必要であるため、事前に各土砂の配合試験を実施し、各単位セメント量において、最大強度が得られる含水比を設定し、試験を行なった。

表 2 配合試験ケース

配合ケース	母材	セメント量 (kg/m ³)	セメント : FA
Case-1	クラッシュヤラン	100	100 : 0
Case-2	クラッシュヤラン	100	80 : 20
Case-3	有機土砂	250	100 : 0
Case-4	有機土砂	250	80 : 20

(セメントと FA の合計重量をセメント量として考えるものとする。)

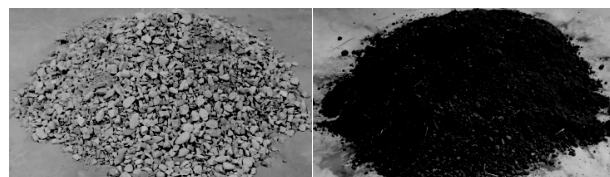


写真 1 左：クラッシュヤラン、右：有機土砂



写真 2 供試体 (左から case-1, 2, 3, 4)

4 試験結果及び考察

(1) 強度に関する考察

クラッシュラン (単位セメント量 100kg/m^3) のケースは、表 3 に示すとおり、良好な強度が得られている。 σ_7 と σ_{28} の強度伸び率も良好である。FA のケースと比較すると、 σ_7 においては、セメント水和物による効果が高いと考えられ、セメントを FA に置換えた割合に応じて、FA のケースの強度は低く、 σ_{28} においては、FA によるポズラン反応により、強度がほぼ同じ値まで増加している。

一方、有機土砂 (単位セメント量 250kg/m^3) のケースでは、セメントのカルシウムが有機成分に収奪され、強度発現性が低い。また、FA のケースと比較しても、カルシウムが収奪されることから、ほとんどポズラン反応が活性化しないため、 σ_7 から σ_{28} においても、強度はほとんど伸びていないと考えられる。

表 3 配合試験結果

配合ケース	σ_7 (N/mm ²)	σ_{28} (N/mm ²)	強度 伸び率
Case-1	4.57	7.66	1.68
Case-2	3.37	7.47	2.22
Case-3	0.73	0.88	1.21
Case-4	0.52	0.58	1.12

(2) ポズラン反応に関する考察

図 1 は、セメント 100% のケースの σ_7 、 σ_{28} の強度を 100% として、FA の強度比率を示したものである。

このグラフから、クラッシュランのケースと有機土砂のケースは、全く異なる結果となっており、有機土砂の場合は、FA による効果は全く確認できない。

今後、さらに長期強度を測定することで、その差は明確に出るものと考えられるが、現段階で推測すれば、クラッシュランのケースは、明瞭なセメント水和反応が得られており、セメントから溶出された水酸化カルシウムと FA の主成分であるシリカとアルミナが反応しポズラン反応が活性化されたものと考えられる。

一方、母材に有機土砂を用いたケースでは、セメントのカルシウムが有機土砂に収奪されたため、セメン

ト水和反応が阻害されたため、初期強度も得られず、セメントから溶出される水酸化カルシウムが生成されないことからポズラン反応が得られていないものと考えられる。

これらの結果から考察すれば、FA によるポズラン効果を期待するためには、カルシウム収奪の少ない土砂、つまり、十分なセメント水和反応が十分得られる土砂である必要があると言えよう。

また、ポズラン反応は、非常に長期的な反応であることから、 σ_{28} において、明瞭な効果が確認されたクラッシュランのケースにおいては、今後 σ_{91} 、 σ_{364} を計測することで、セメント 100% のケースよりも強度が増加する可能性もあると考えられる。

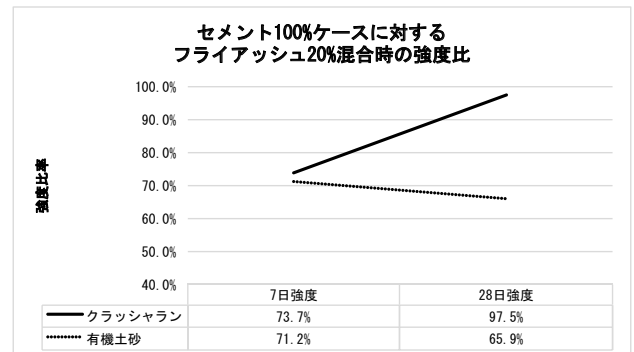


図 1 セメント 100% 混合ケースに対する
フライアッシュ 20% 混合ケースの強度比率

5 おわりに

クラッシュランのように、明瞭な水和反応が確認できる場合には、フライアッシュを固化材として混合することで長期的な圧縮強度の伸びが確認された。今回のようにフライアッシュの混合により長期的な圧縮強度の伸びが期待できるのであれば、INSEM 材に用いた場合の耐久性の確保に寄与できる。また、 σ_{28} 時点での目標強度の引き下げ、さらにはセメント量の低減にもつながると考えられる。

対して、今回の試験結果からは有機土砂のようにセメントのカルシウムを収奪する土砂において、明瞭な水和反応が確認できない場合にはフライアッシュを固化材として混合することによる強度の伸びは確認できなかった。しかしながら、収奪されるカルシウム分を製鋼スラグなどの他の混合物で補えば、少なくとも、ポズラン反応に必要なカルシウムの補完が可能となるため、ポズラン反応が期待できる可能性がある。その点については今後の課題としたい。

謝辞：フライアッシュをご提供下さった新日鉄住金 (株) 名古屋製鉄所に深く感謝の意を表します。

引用：1) 日本フライアッシュ協会, フライアッシュの化学・物理性質
参考文献：嶋丈示・秋山祥克・水山高久：有機質土を INSEM 材に活用するための改良手法, 平成 25 年度砂防学会研究発表会概要集