

硬化作用のある混和材を混合させたベントナイトの性能に関する研究

群馬大学工学部 学生会員 ○嶋倉 ちづる

群馬大学大学院 正会員 半井 健一郎

群馬大学大学院 学生会員 齋藤 裕樹

1. はじめに

近年、放射性廃棄物処分施設の人工バリアにおいて、廃棄体支持や地下水浸入抑制等の目的で、ベントナイト系材料の使用が検討されている処分施設には、超長期の安定性が要求されているが、数千年から数万年の間に地下水がセメント系材料と接触して高アルカリ性になり、ベントナイトが変質し性能が低下する可能性がある。

本研究では、ベントナイトに各種の混和材を混合することで、高アルカリ性になった地下水と接触した場合でも、水和反応による浸透水の化学的な固定や、強度増加によってベントナイトの機能を向上させることを目的とした。そこで、硬化作用のある高炉スラグ微粉末（以下BS）やフライアッシュ（以下FA）をベントナイトに混合させ、浸入してくる地下水を想定した環境下に暴露することで、ベントナイトが硬化する可能性について検討するとともに、無混合のベントナイトとの比較を行った。供試体への影響は、圧縮強度試験、膨潤力測定、熱分析により検討した。

2. 実験概要

2.1 BS 混合供試体

ベントナイト（クニゲル V1）に比表面積 $4820\text{cm}^2/\text{g}$ と $8840\text{cm}^2/\text{g}$ のBSを混合させた供試体（以下BeBS4-W, BeBS8-W と称す）を作製した。供試体は 20°C 環境において、28日間の封緘養生後に水中養生を28日間行った。養生水にはイオン交換水を用いた。所定の試験材齢において、一軸圧縮強度試験、結合水量を測定するため

の熱分析、膨潤性能を評価するための膨潤力試験およびJIS A 6202 の拘束膨張試験をそれぞれ行った（表-1）。拘束膨潤試験では $39.5\times 39.5\times 135\text{mm}$ の角柱供試体を、それ以外の試験では $\phi 100\times 200\text{mm}$ の円柱供試体を用いた。

2.2 FA 混合供試体

ベントナイトにFAを混合させた供試体（以下BeFAと称す）を作製した。供試体はFAの反応を促進させるため、 40°C 環境において、28日間の水中養生を行なった。養生水は、イオン交換水および $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 飽和溶液とした。所定の試験材齢において、熱分析および膨潤力試験を行った（表-1）。なお、十分に硬化しなかったため、圧縮試験は行なわなかった。

2.3 ベントナイト単体供試体

比較のため、無混合のベントナイト単体供試体（以下Beと称す）を作製した。供試体は 20°C 環境下での28日間の封緘養生、または 40°C 環境下での $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 飽和溶液による水中養生を行った。所定の試験材齢において、一軸圧縮強度試験、熱分析、膨潤力試験を、行なった（表-1）。

3. 結果

3.1 圧縮強度試験結果

一軸圧縮強度試験の結果を図-1に示す。BS混合供試体ではベントナイト単体供試体よりも強度が大きく、水中養生によってさらに増加し、単体供試体の10倍以上の値となった。なお、混合したBSの比表面積が大きいものほど強度が大きくなった。

表-1 各供試体の概要と測定材齢

供試体	混和材種類	混和材混合率[%]	水中養生	測定材齢[日]			
				圧縮試験	熱分析	膨潤力	拘束膨潤力
BeBS4-W	高炉スラグ微粉末	30	イオン交換水	28, 56	28, 56	28, 56	28~51
BeBS8-W							
BeFA-W	フライアッシュ	30	イオン交換水	28, 56	28	28	
BeFA-CH			飽和CH溶液				
Be	なし	0	イオン交換水	28, 56	28	28	
Be-CH			飽和CH溶液				

キーワード ベントナイト 高炉スラグ微粉末 フライアッシュ 圧縮強度試験 膨潤力

連絡先 〒376-8515 群馬県桐生市天神町 1-5-1 群馬大学工学部 建設工学科

3.2 熱分析結果

図-2 に各供試体の結合水率と混合供試体の簡易反応率を示す。混和材混合供試体の結合水量は、ベントナイト含有量が 70%であることを考慮し、測定された強熱減量から単体ベントナイトの強熱減量の 70%を差し引いて求めた。 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 飽和溶液で養生させた供試体は、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の強熱減量分も差し引いた。混和材の簡易反応率は、BS の理論結合水率を 30%¹⁾、FA の理論結合水率を 10%²⁾として求めた。

図-2 より、BS 混合供試体では、28 日封緘養生の間に BS が反応し、水中養生を行うことでさらに反応が進行することが確認できた。これは、圧縮されたベントナイトの間隙水の pH が、BS の反応が起こる高い値になるためだと考えられる³⁾。FA 混合供試体は、イオン交換水による水中養生では結合水率は低かったが、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 飽和溶液での養生後には高い結合水率を示すことが確認できた。FA 混合供試体と Be 単体供試体の結合水率の値を比較すると、Be 単体供試体の結合水率の値の方が高くなっていることが確認できた。

3.3 膨潤力測定結果

各供試体の膨潤力測定の結果を図-3 に示す。混合供試体の膨潤力は、供試体中のベントナイト含有割合が 70%であることを考慮し、Be 単体供試体の膨潤力の 70%の値と比較した。図-3 より、各供試体の膨潤力値は Be 単体の膨潤力値よりも低い値になることが確認できた。

3.4 BS 混合供試体の拘束膨潤試験結果

拘束膨張試験では、測定した長さ変化率から、膨張ひずみ ε_{ex} を求め、拘束条件下の供試体にかかる圧縮応力を算出した。BeBS8-W の膨張ひずみと圧縮応力の経時変化を図-4 に示す。水中養生中に膨張ひずみの増加が確認できた。この BeBS8-W 供試体は、3.3 に示した膨潤力は大きく低下していたが、硬化による膨潤力への影響は、拘束環境下では小さいと考えられる。自由状態の膨潤力の低下が一番大きかった BeBS8-W において、拘束環境下での膨張ひずみの確認が出来たことから、他の供試体においても、硬化による膨潤力への影響は、拘束環境下では小さいと期待される。

4. まとめ

本研究の範囲では次のことが示された。1)高炉スラグ微粉末をベントナイトに混合することで、圧縮強度が大きくなる。2)フライアッシュ混合供試体の硬化は、

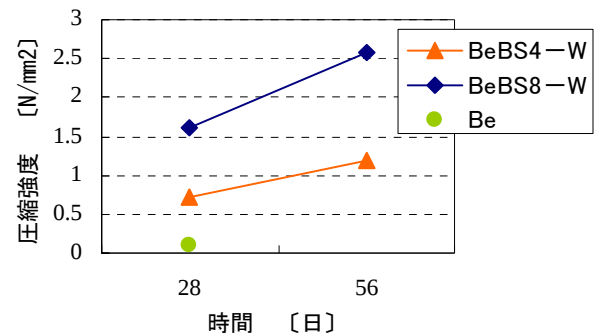


図-1 各供試体の圧縮強度

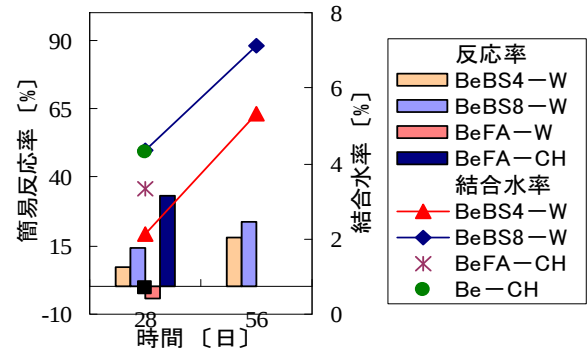


図-2 各供試体の結合水率と反応

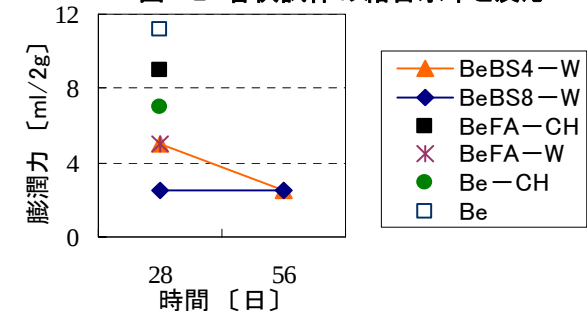


図-3 各供試体の膨潤力

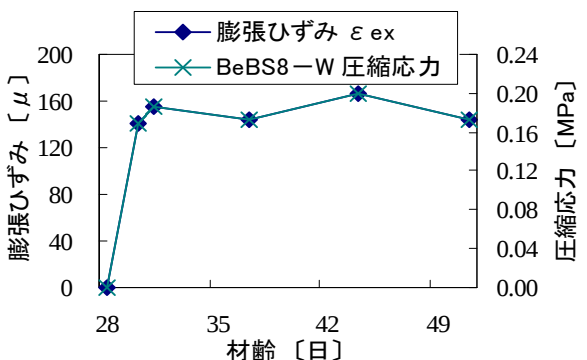


図-4 高炉スラグ微粉末混合供試体の膨張ひずみと圧縮応力

$\text{Ca}(\text{OH})_2$ 溶液中で起こる。

参考文献

- 1)土木学会:混和材料を使用したコンクリートの物性変化と性能評価研究小委員会(333 委員会)報告書ならびにシンポジウム講演概要集, p.153
- 2)笠井芳夫・坂井悦郎:新セメント・コンクリート用混和材料, 2007, pp.83-89
- 3)磯貝武司 他:圧縮ベントナイト中の間隙水測定の検討, 原子力バックエンド研究, Vol.11 No.1, (2004)