

機関番号：17102

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2009～2010

課題番号：21760679

研究課題名 (和文) 放射性廃棄物処分におけるバリア層としての石炭灰の有効利用に関する研究

研究課題名 (英文) RESEARCH ON UTILIZATION OF FLYASH FOR BARRIER LAYER/BUFFER MATERIALS FOR RADIOACTIVE WASTE DISPOSAL

研究代表者

笹岡 孝司 (SASAKA TAKASHI)

九州大学・大学院工学研究院・助教

研究者番号：20444862

研究成果の概要 (和文)：

高レベル放射性廃棄物の緩衝材の設計要件に基づき、異なる産地・成分の石炭灰を用いて、粒径およびベントナイトの代替比率を変化させて各種基礎物性・性能試験を行い、バリア層の特性に及ぼす石炭灰自体の特性および代替比率の影響について検討した。また、数値解析による放射性核種の長期移動シミュレーションを行った。一連の実験および解析結果から、ベントナイト単体と比べ石炭灰でその一部を代替することにより、バリア層 (緩衝材) のシール特性に関しては若干の低下が認められるものの、代替比率が 30-40% 程度であれば低レベル放射性廃棄物処理場におけるバリア層として放射性核種の漏洩防止効果が期待できることがわかった。

研究成果の概要 (英文)：

A flyash-based barrier layer/cover system instead of bentonite-only one is proposed in this research. This paper describes the current system and technology for radioactive waste disposal and then proposes and discusses the applicability of flyash as a content of barrier layer/cover material based on the results of a series of laboratory tests and numerical analysis. The applicability of flyash to the contents of barrier layer/buffer for radioactive wastes was investigated in this research. From the results of a series of laboratory tests, it can be concluded that flyash has a great potential for use in them as the bentonite is substituted (substitution ratio: 30-40%).

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,300,000	690,000	2,990,000
2010年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・地球・資源システム工学

キーワード：資源開発、放射性廃棄物処分、石炭灰の有効利用

1. 研究開始当初の背景

現在わが国における石炭の発電電力構成比は約 25% を占め、石炭火力発電所における

石炭の消費量は毎年 7,500 万トンを超えている。これら石炭火力発電所から発生する石炭灰の量は、年間約 840 万トンに達している。

今後、新規石炭火力発電所の運転開始に伴い発生する石炭灰の量も増加し、2009年度にはその発生量が1,000万トンを超えるものと予測されている。このような状況下で、これまで石炭灰の有効利用の観点から、セメント用原料あるいは混和材として土木・建設・農業・水産分野を中心にその利用拡大の研究および事業化が行われてきたが、その利用率は未だ75%で残りの25%の石炭灰が灰捨場に埋め立て管理処分されているのが現状である。国土の狭いわが国では、大規模な灰捨場の確保が困難なこと、さらに前述のように石炭灰の発生量が増加の一途をたどっていることを考慮すると、これら大量の未利用石炭灰を積極的に利用する分野の開拓が急務である。さらに、発電用石炭の消費量が爆発的に増加している中国、インドおよび発展途上の国々の現状を考えると、わが国のみならず地球規模での環境を考慮した石炭灰の再資源化が急務といえる。

一方、総電力量のうち我が国ではその1/3、世界ではその1/10を供給している原子力発電についてみてみると、一時期欧州諸国を中心に縮小傾向にあったが、近年、エネルギー価格の高騰やエネルギー需要の急増に伴う安定供給問題ならびに地球環境問題に関する懸念の高まりから、原子力発電が見直され、特に中国をはじめとするアジア諸国では原子力発電の導入・拡大の動きが活発化している。このことは、原子力発電の原料となるウラン鉱石採掘時に生じるウラン残土や鉱滓、また原子力発電所から発生する低レベル～高レベル放射性廃棄物等、人間界から隔離すべき放射性物質が今後世界的規模で急増することを意味している。現在、これら放射性物質について、図1および図2に示すように様々な処分・隔離法が検討あるいは試験的に実施されており、人工バリアとしてベントナイトを主とするバリア層を形成する構想がある。しかしながら、近年良質なベントナイトを大量に確保することは難しくなっている。

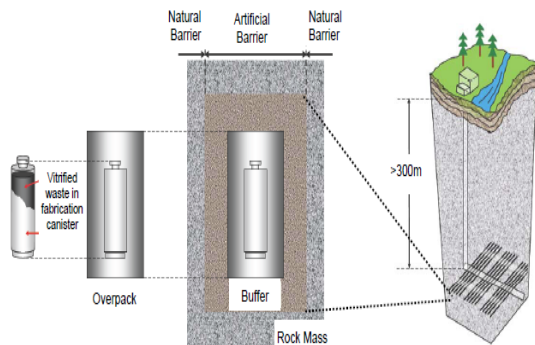


図1 高レベル放射性廃棄物の地層処分

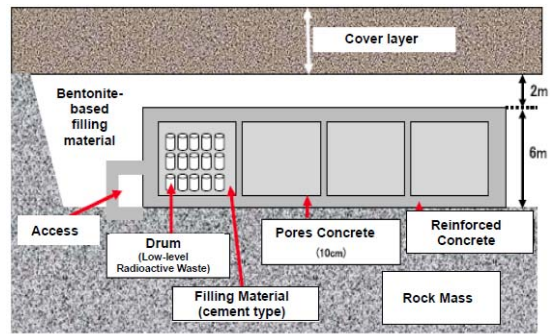


図2 低レベル放射性廃棄物埋設場

2. 研究の目的

放射性廃棄物処分においてバリア層に用いられるベントナイトを石炭灰で代替することが出来れば、石炭灰の新たな有効利用先となるだけでなく、ベントナイトの使用量を抑え、大幅なコスト削減も可能となることから、本研究では放射性廃棄物の処分・隔離時に形成されるバリア層に着目し、石炭灰によるベントナイト代替物のバリア層としての適用可否について検討するとともに、その適用条件（どの放射能レベルまで適用可能か等）および設計・施工指針の確立するための種々の知見を得ることを目的とする。

3. 研究の方法

放射性廃棄物の処分におけるバリア層の一部として石炭灰利用を実現するためには、現在ベントナイトベースで提案されている設計要件等に示されているように、放射性核種を人間の生活圏から隔離するための人口バリアとしての機能・条件を満たすことはもちろんのこと、これら機能を超長期的に維持し安全を保障出来るものでなくてはならない。そこで、まず石炭灰の成分、粒径、配合比率（代替比率）等によって、バリア層の物理的特性・化学的特性等にどのような影響を及ぼすのか定性的・定量的に評価し、バリア層の一部として用いる場合の石炭灰自体の特性および代替比率等の必要条件（限界条件）について検討を行った。次に、バリア層の超長期的安定・安全性について評価を行うため、一連の実験結果から緩衝材（バリア層）の水理パラメータを決定し、数値解析による放射性核種の長期移動シミュレーションを行い、各代替比率の緩衝材をバリア層として用いた場合の放射性核種の外界への漏洩防止効果について検討を行った。

4. 研究成果

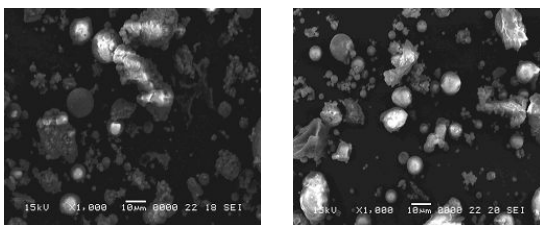
まず、高レベル放射性廃棄物の緩衝材の設計要件に基づき、異なる産地・成分の石炭灰

(フライアッシュ)を用いて、粒径およびベントナイトの代替比率を変化させて各種基礎物性・性能試験を行い、バリア層の特性に及ぼす石炭灰自体の特性および代替比率の影響について検討した。

4.1 フライアッシュおよびベントナイトの基礎物性試験

研究に用いたフライアッシュおよびベントナイトの基礎物性を把握するため、以下の試験を実施した。

- ・ X線回折装置 (XRD) による鉱物組成分析ならびに蛍光 X線解析装置 (XRF) による化学成分組成分析
- ・ SEM およびマイクロスコープを用いた構造および形状解析 (図 3 参照)
- ・ ポロシメーターを用いた空隙率と比表面積計測



(a)原粉 (b)Ⅱ種 (粉碎)

図 3 SEM 画像

4.2 バリア層としての各種基礎特性および設計要件 (ベントナイトベース) との比較

石炭灰によるベントナイトの代替比率を変えて供試体を作製し、以下に示す一連の実験を実施した。

4.2.1 強度試験

図 4 に一軸圧縮試験結果を示す。この図からわかるように、フライアッシュのベントナイト代替割合の増加に伴い強度の向上が認

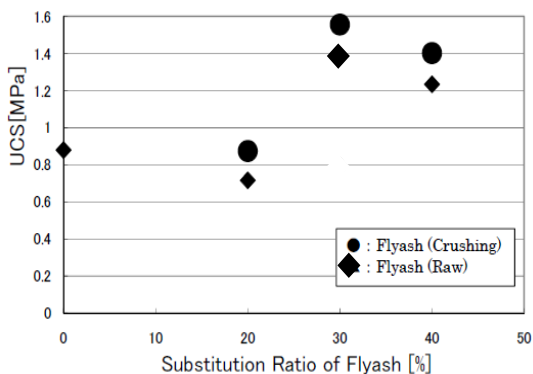


図 4 一軸圧縮強度とベントナイトーフライアッシュ代替率の関係

められた。さらに、フライアッシュの種類および粒径の強度に及ぼす影響はほとんど認められなかった。

以上の結果から、ベントナイトをフライアッシュで代替することで、設計要件以上の強度が確保されること分かった。

4.2.2 透水試験 (変水位透水試験)

不透水性は地下水の浸入及び放射性物質の漏洩を防ぐ上で重要な指標である。そこで、本研究では、変水位透水試験を実施した。(図 5 参照)



図 5 変水位透水試験

表 1 に実験結果を示す。ベントナイト単体試料と比較すると、フライアッシュによる一部代替試料には若干の遮水性の低下が認められる。これは、ベントナイトをフライアッシュで代替することでベントナイト粒子の膨潤による遮水特性が低下するためと考えられる。しかしながら、ベントナイトの半分をフライアッシュで代替しても十分な遮水性を保持していることが確認された。

表 1 変水位透水試験結果

Sample No.	Permeability k_{15}
① Bentonite only	7.4×10^{-10}
② Bentonite : Flyash(raw)=1 : 1	2.0×10^{-8}
③ Bentonite : Flyash(crushing)=1 : 1	1.0×10^{-8}

4.2.3 膨潤試験

ベントナイトは水を吸収して膨らむ (膨潤する) 性質がある。これは、生じた亀裂を膨潤に伴う体積膨張によって塞ぐという自己

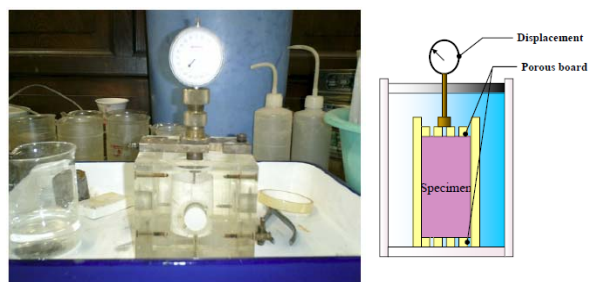


図 6 膨潤試験概要図

シール性にとって重要な指標でもあり、またそれは緩衝材の設計要件にも求められる。そこで、次に膨潤試験を実施した。(図6参照)

表2に膨潤試験結果を示す。この結果から、緩衝材の自己シール性となる膨潤特性は、ベントナイト含有量のみ依存し、ベントナイトをフライアッシュで代替することにより膨潤特性が低下することが明かとなった。このことから、代替比率を決定する際、膨潤特性の変化も十分考慮する必要がある。

表2 膨潤試験結果

Specimen No.	Original height [mm]	Vertical displacement [mm]	Swelling ratio [%]
Bentonite only	36	5.64	15.7
Bentonite : Flyash(raw)=1 : 1	46	4.63	10.1
Bentonite : Flyash(crushing)=1 : 1	38	3.88	10.3
Bentonite : Flyash(raw)=1 : 2	39	3.93	10.1
Bentonite : Flyash(raw)=1 : 5	40	4.21	10.5
Bentonite : Flyash(crushing)=1 : 5	38	4.02	10.6

4.2.4 熱伝導率試験

廃棄物定置後においてはガラス固化体の発熱にともなう温度上昇によるガラスの再結晶化や、緩衝材が熱によって変質することが懸念されるため、これら为了避免するには緩衝材の熱伝導率を把握する必要がある。そこで、本研究では、迅速熱伝導率計 QTM-500 を用いて、各配合における熱伝導率の違いを検討した。表3に試料番号と各配合比を示す。

表3 各試料の配合比

No.	Bentonite (wt%)	Flyash (wt%)	Water Content (%)
① Bentonite only	100	0	5
② Bentonite+Flyash(raw)	80	20	5
③ Bentonite+Flyash(raw)	70	30	5
④ Bentonite+Flyash(raw)	60	40	5
⑤ Bentonite+Flyash(crushing)	80	20	5
⑥ Bentonite+Flyash(crushing)	70	30	5
⑦ Bentonite+Flyash(crushing)	60	40	5

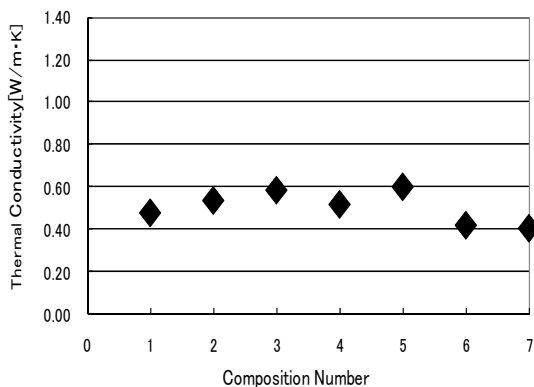


図7 熱伝導率測定結果

図7に熱伝導率測定結果を示す。この図より、ベントナイト単体試料に比べ、フライアッシュによる一部代替試料には熱伝導率の増加が認められ、フライアッシュの代替による機能向上が認められた。

4.2.5 pH計測

周辺岩盤とガラス固化体に直接接触する緩衝材の材料のpHおよび導電率を把握することは重要であることから、各配合比におけるpHを測定した。

図8にpH測定結果を示す。この図より、ベントナイトの一部をフライアッシュで代替しても、同程度のアルカリ性を示しておりその影響は認められなかった。

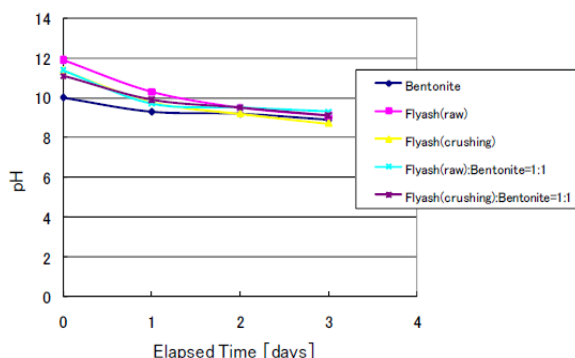


図8 pH計測結果

4.3 数値シミュレーションによるベントナイト-フライアッシュ緩衝材を用いたバリヤ層の長期安定性評価

一連の実験結果に基づき、フライアッシュによるベントナイトの代替比率を変えた各緩衝材の水理パラメータを決定し、これら緩衝材を低レベル放射性廃棄物処分場におけるバリヤ層および遮蔽壁として適用した場合の遮蔽効果について検討するため、浸透流・移流分散解析コードを用いて地下水を考慮した放射性核種の長期移動シミュレーションを行った。その結果、ベントナイト単体と比べフライアッシュでその一部を代替することにより、バリヤ層(緩衝材)のシール特性に関しては若干の低下が認められるものの、代替比率が30-40%程度であれば低レベル放射性廃棄物処理場におけるバリヤ層として放射性核種の漏洩防止効果が期待できることがわかった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計2件)

Yasuhiro Yoshida, Hideki Shimada, Takashi Sasaoka, Kikuo Matsui, Hideaki Nakagawa,

Yoshiaki Sakai, Jan Gottfried: Consumption of Coal and Utilization of Coal Ash in Japan, Proceedings of 13th Conference on Environment and Mineral Processing, Vol.1, pp.291-301, 2009

Takashi Sasaoka, Hideki Shimada, Kikuo Matsui: Study on utilization of flyash for barrier/buffer materials for radioactive waste disposal, Proceedings of International Conference of Mine Planning and Equipment Selection 2010, CD-ROM, 2010

〔学会発表〕（計1件）

Takashi Sasaoka, Hideki Shimada, Kikuo Matsui: Study on utilization of flyash for barrier/buffer materials for radioactive waste disposal, International Conference of Mine Planning and Equipment Selection 2010 (MPE S2010), Fremantle, 2010

6. 研究組織

(1) 研究代表者

笹岡 孝司 (SASAOKA TAKASHI)

九州大学・大学院工学研究院・助教

研究者番号：20444862