

本資料は 年 月 日付けで登録区分、  
変更する。

[技術情報室]

分置

# 緩衝材性能最適化に関する 方法論の基礎的研究 (要 約)

(動力炉・核燃料開発事業団 研究委託内容報告書)

1996年3月

株式会社 三菱総合研究所

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村大字村松4番地49  
核燃料サイクル開発機構  
技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:  
Technical Cooperation Section,  
Technology Management Division,  
Japan Nuclear Cycle Development Institute  
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1184  
Japan

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)

た第三者への開示又は内容漏洩がないよう管理して下さい。また今回の開示  
目的以外のことには使用しないよう特に注意して下さい。

This document is not intended for publication. No public reference  
nor disclosure to the third party should be made without prior  
written consent of Power Reactor and Nuclear Fuel Development  
Corporation.

本資料についての問い合わせは下記に願います。

〒107 東京都港区赤坂1-9-13

動力炉・核燃料開発事業団

技術協力部 技術管理室



# 緩衝材性能最適化に関する 方法論の基礎的研究

大久保博生\*

## 要 旨

前年度に試行した緩衝材機能の評価結果をもとに、まず、各評価指標の定量評価式を求めるため、ケイ砂混合率、含水比、締固め圧力の3変数を説明変数とする多変数回帰式の同定を試みた。その入力データとのフィッティング状況の検討を通じ、これらの定量評価式を組み込んだ緩衝材機能総合評価解析を試行した。

---

本報告書は、株式会社三菱総合研究所が動力炉・核燃料開発事業団の委託により実施した研究内容結果である。

契約番号：070D0389

事業団担当部課及び担当者：環境技術開発推進本部 処分研究グループ 担当役

梅木 博之 殿

\* 地球環境研究センター エネルギー・資源研究部



A Fundamental Study on Optimization  
for Performance of Buffer Material

Hiroo Ohkubo\*

Abstract

Based on the previous report of a preliminary assessment for performance of buffer material, we tackled a problem of identifying each quantitative assessment indicator by multivariate regression analysis where the contents of silica sand and water, and tightening pressure have been chosen as explanatory variables. Then, after a discussion on the data fitting goodness, an illustrated analysis on the total value of performance of buffer material using these regression equations has been made.

---

This report is the result of research conducted by Mitsubishi Research Institute, Inc. under contract with Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation.

Contract No.: 070D0389

Department, section, and the name of staff in charge:

Hiroyuki Umeki, Isolation System Research Program, Radioactive Waste Management Project, Environmental Technology Development Division

\* Energy and Natural Resources Dept., Research Center for Environment and Development.

# 目 次

	頁
まえがき .....	1
1. 多変数最適化フレームの作成 .....	3
2. 緩衝材の機能に関する諸データの検討 .....	5
3. 緩衝材の機能の最適化に関する解析評価の試行 .....	7
まとめ .....	13
参考文献 .....	15

# 表 目 次

	頁
表 1 緩衝材の機能に関する評価項目並びに測度 .....	3
表 2 多変量解析用同定式 .....	4
表 3 測定データ .....	6
表 4 最適ケイ砂混合率の変化(但し、締固め圧力 $P = 20\text{MPa}$ )* .....	1 1

# 目 次

	頁
図 1 (1) 各定量評価指標 $\alpha$ 値のケイ砂混合率依存特性 .....	8
図 1 (2) 各評価項目の効用値のケイ砂混合率依存特性 .....	9
図 2 総合評価値 $\Phi$ のケイ砂混合率依存特性 - 基準ケース .....	10
( $w = 10\%$ , $P = 20\text{MPa}$ , $w_i = 1/6$ ) -	

# まえがき

高レベル放射性廃棄物地層処分における人工バリアシステムを構成する緩衝材の候補材料として、現在ではベントナイトが有望視されている。しかし、ベントナイトのみで構成するよりもケイ砂を混合した方が、熱伝導性や経済性などの点で有利であるとも言われている。そこで、緩衝材の最適設計を行うためには、その機能、技術、経済性など複数の評価項目を総合的に検討することが必要であり、そのための方法論を確立していくことが重要である。

これまでに、ベントナイトにケイ砂を混合することによって変化し得る緩衝材の様々な特性を総合的に定量評価し、最適なケイ砂混合率を具体的に算定し得る予備的総合評価フレームを作成・試行した。その計算フレームでは、含水比、締固め圧力をパラメータとして扱い、ケイ砂混合率のみを最適化の対象としているなど、総合評価フレーム概念の基本的考え方を確認することを第一義と考えて評価式やデータの適用性などに関しては簡略化されたものとなっている。しかし、より一般には含水比や締固め圧力といった製造特性も制御変数に加え、また、データの不確実性について考慮しておくことが重要である。

そこで、本研究では、統計解析手法などのより一般化された計算方法を援用することにより、ケイ砂混合率、含水比、締固め圧力を同時に決定し得る多変数最適化フレームへの拡張を行う。さらに、適用データを整備・検討の上、改良された計算フレームによる具体的な解析を試みる。これによって、我が国の高レベル放射性廃棄物地層処分の人工バリアシステムにおける緩衝材の仕様の検討に資することとする。



## 1. 多変数最適化フレームの作成

前年度の報告書<sup>(5)</sup>では、効用関数法とAHP法を用いて、表1で設定した複数の定量的評価指標から構成される総合評価関数を構築するフレームを提案した。即ち、総合評価関数 $\Phi(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)$ は、定量的評価指標 $\alpha_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ )とその効用関数 $u_i(\alpha_i)$ 及び各評価項目の重要度 $w_i$ を用いて、

$$\Phi(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n) = \sum_{i=1}^n w_i u_i(\alpha_i) \quad \dots \dots (1)$$

$$\text{但し, } \sum_{i=1}^n w_i = 1, \quad w_i > 0 \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

となる。

さらに定量的評価指標 $\alpha_i$ は、独立パラメータ（ケイ砂混合率 $R_s$ 、含水比 $w$ 、温度 $T$ 、締め固め圧力 $P$ 等）の関数型となっている。

前年度は、各独立パラメータ（一変数）毎に他の変数を固定して評価指標の関数を求めたが、今回は、これらの変数を同時に含んだ多変数系の回帰式（表2参照）を求めるための方法を検討した。

表1 緩衝材の機能に関する評価項目並びに測度

評 価 項 目		測 度
機械的安定性		一軸圧縮強さ( $\sigma$ )
熱伝導性		熱伝導率( $\lambda$ )
(自己)シール性		平衡膨潤圧力( $P_s$ )
止水性	不飽和時	水分拡散係数( $D$ )
	飽和時	透水係数( $K$ )
化学的緩衝性		
核種吸着性		みかけの拡散係数( $D_a$ )
		遅延係数( $R$ )
		分配係数( $K_d$ )

表2 多変量解析用同定式

(1) 一軸圧縮強さ： $\sigma$

$$\sigma = a_0 + a_1 w + a_2 \rho_d + a_3 R_s + a_4 w \rho_d + a_5 R_s \rho_d + a_6 w R_s + a_7 w \rho_d R_s$$

(2) 熱伝導率： $\lambda$

$$\lambda = (1) \text{と同じ}$$

(3) 平衡膨潤圧力： $P_s$

$$\ln P_s = a_0 + a_1 R_s + a_2 \rho_d + a_3 R_s \rho_d + \ln(a_4 + a_5 w)$$

(但し、今回は、右辺の対数項を  $w = 0$  のまわりにテイラー展開した線形式を採用)

(4) 水分拡散係数： $D$

$$\ln D = a_0 + a_1 w + a_2 \rho_d + a_3 R_s + a_4 w \rho_d + a_5 R_s \rho_d + a_6 w R_s + a_7 w \rho_d R_s$$

(5) 透水係数： $K$

$$\ln K = (4) \text{と同じ (但し、前年度検討のデータ群}^{(5)} \text{には } w \text{ 可変データがなく、} w = 10\% \text{ ケースのみ)}$$

(6) 見かけの拡散係数： $D_{a_i}$  ( $i$  : 核種)

$$\ln D_{a_i} = a_{0i} + a_{1i} \rho_d + a_{2i} R_s + a_{3i} \rho_d R_s$$

(7) 乾燥密度： $\rho_d$

$$\rho_d = a_0 + a_1 R_s + a_2 w + a_3 P + a_4 w^2 + a_5 w^3$$

## 2. 緩衝材の機能に関する諸データの検討

前年度の総合評価の試行に用いた評価指標（表1参照）は、基本的に、以下の諸量から構成されている。即ち、

- 1) 一軸圧縮強さ  $\sigma$
- 2) 熱伝導率  $\lambda$
- 3) 平衡膨潤圧力  $P_s$
- 4) 水分拡散係数  $D$
- 5) 透水係数  $K$
- 6) 見かけの拡散係数  $D_0$

他方、これらの諸量は、以下の変数と実験的に関係のあることが一変数系の統計解析により示されている<sup>(1)(2)(3)(4)</sup>。

- 1) 乾燥密度  $\rho_d$
- 2) ケイ砂混合率  $R_s$
- 3) 含水比  $w$
- 4) 締固め圧力  $P$

さらに、前年度の解析では、乾燥密度  $\rho_d$  は、 $R_s, w, P$  の関数としての構築を試みた<sup>(5)</sup>。

そこで、本年度は、第1章で検討した多変数最適化フレームに適合するようなデータ群の整理を表3のような形で整理した。

表 3 測定データ

定 量 評 価 指 標 (測 度)	説 明 数 変 数	$\rho_d$	$R_s$	w	P	図 表
		(g/cml)	(%)	(%)	(MPa)	デ ー タ

### 3. 緩衝材の機能の最適化に関する解析評価の試行

まず、表2の関数型と表3形式に整理されたデータに対し、各定量評価指標に関する多変量解析を試行した。

求められた各定量評価指標の推計式のうち、主に重相関係数の高さ、統計解析対象とした測定データ数の多さや、想定した関数型の一般化、などの観点より、試計算用の推計式を選定した。

今回の試計算では、機械的安定性の評価指標 $\alpha_i$ を一軸圧縮強さ $\sigma$  ( $0\text{MPa} \leq \sigma \leq 10\text{MPa}$ )に設定した点以外は、前年度の計算と同様の仮定を用いた。

まず、含水比 $w=10\%$ 、締固め圧力 $P=20\text{MPa}$ に固定したときのケイ砂混合率 $R_s$  ( $0\% \leq R_s \leq 40\%$ )での各定量評価指標 $\alpha_i$ 並びに効用値 $u_i$  ( $i=1 \sim 6$ )の変化特性を求めた。その結果をそれぞれ図1(1)(2)に示す。また、各評価項目の重みを均等化して与えたケース(基準ケース)での総合評価値 $\Phi$ のケイ砂混合率依存特性を図2に示す。

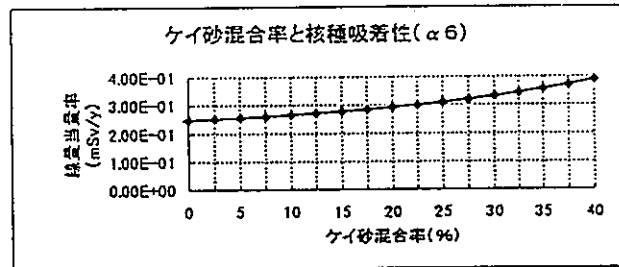
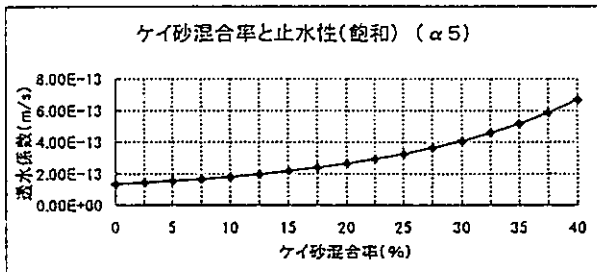
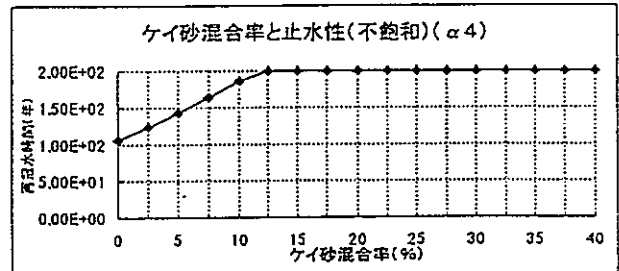
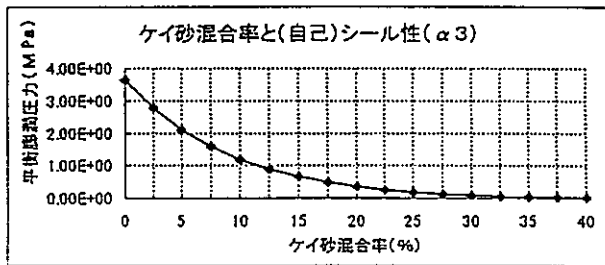
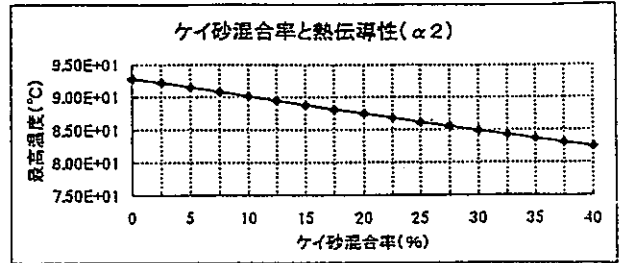
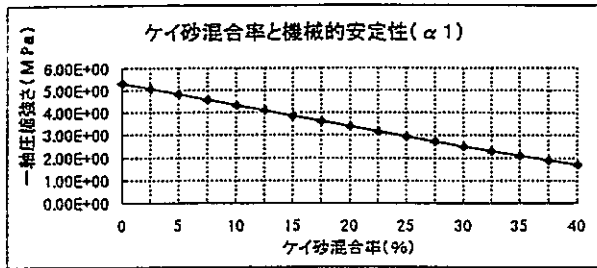


図 1 (1) 各定量評価指標  $\alpha$  値のケイ砂混合率依存特性

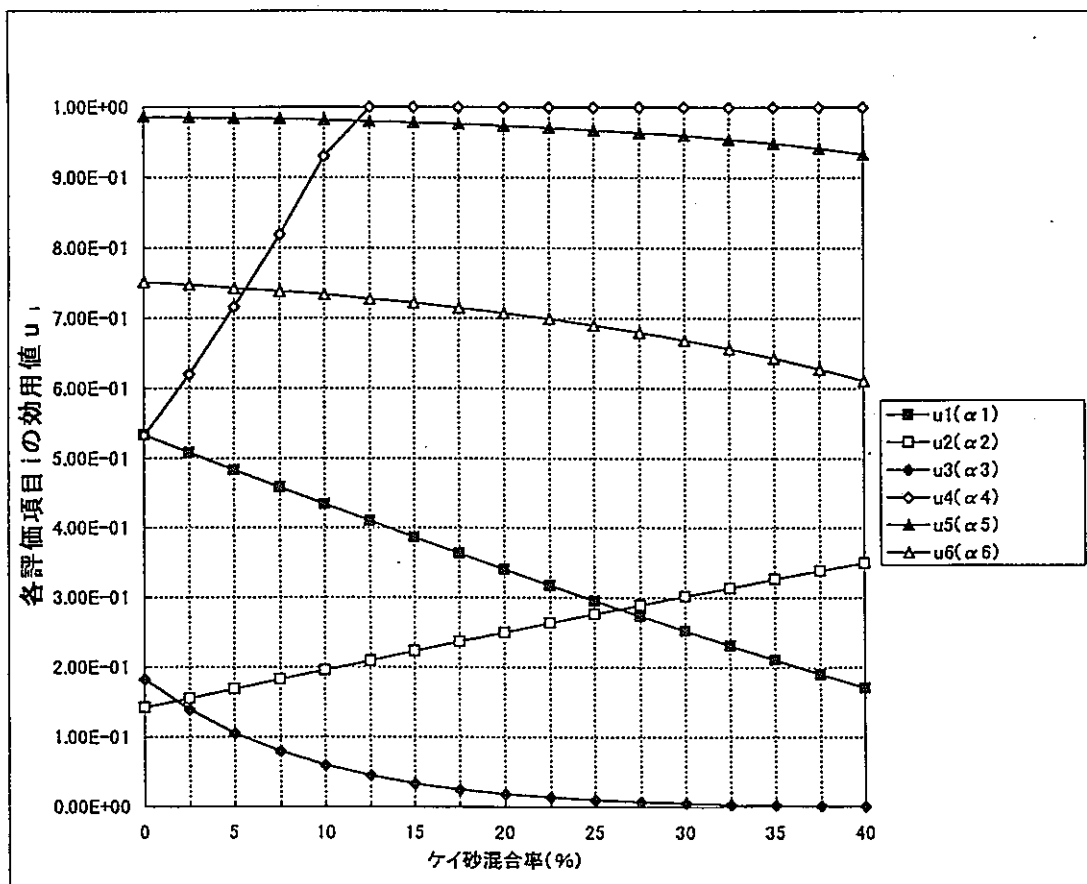


図 1 (2) 各評価項目の効用値のケイ砂混合率依存特性

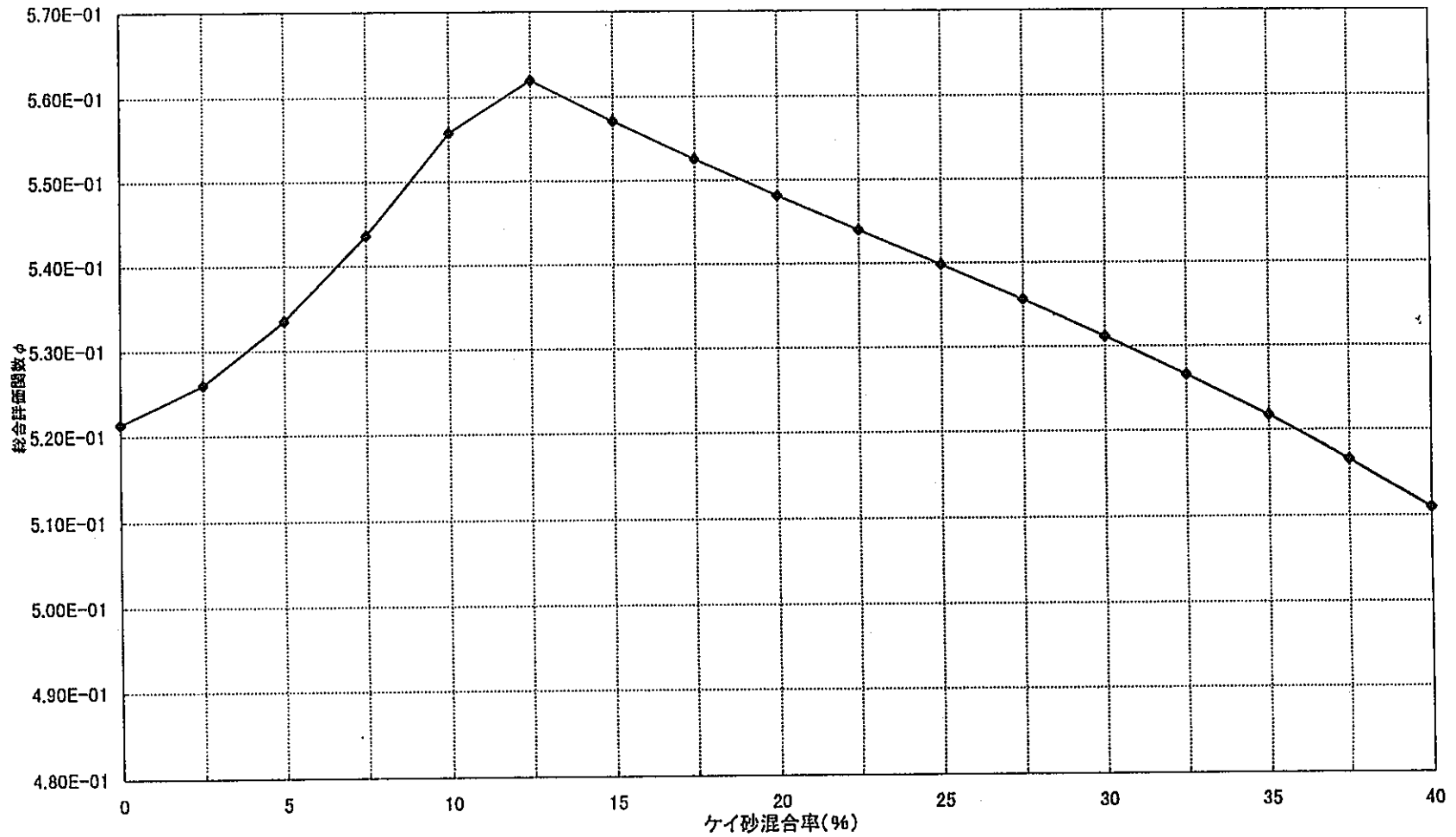


図2 総合評価値 $\phi$ のケイ砂混合率依存特性-基準ケース ( $w = 10\%$ ,  $P = 20\text{MPa}$ ,  $w_i = 1/6$ ) -



次に、基準ケース（ $w = 10\%$ 、 $P = 20\text{MPa}$ ；評価項目均等ウェイト）との比較を行うため、前年度に設定した2つのケース、即ち、熱伝導性重視ケース（ $w_2 = 2/7$ 、 $w_i = 1/7$ （ $i \neq 2$ ））と核種吸着性重視ケース（ $w_6 = 2/7$ 、 $w_i = 1/7$ （ $i \neq 6$ ））に対し、締固め圧力  $P = 20\text{MPa}$ において、含水比  $w$  を  $0\% \sim 20\%$ （ $2.5\%$ 刻み）の範囲で変化させ、最適ケイ砂混合率  $R_s^*$  とそれに対応する総合評価値  $\Phi^*$  のおよその値を表4にまとめて示した。基準ケースに比べ、核種吸着性を重視しても、含水比増加に伴う  $R_s^*$  低下への影響はあまり大きくないこと、他方、熱伝導性を重視すると、含水比が  $12.5\%$  前後以下ならば  $R_s^*$  への影響はあまり大きくないが含水比が  $15\%$  前後より大きくなると  $R_s^*$  の増加が明らかになってくること、などが示される。

表4 最適ケイ砂混合率の変化(但し、締固め圧力  $P = 20\text{MPa}$ )<sup>\*</sup>

含水比 $w$ (%)	基準ケース	熱伝導性重視ケース	核種吸着性重視ケース
0	0 (0.616)	0 (0.528)	0 (0.631)
2.5	0 (0.592)	0 (0.508)	0 (0.612)
5	0 (0.574)	0 (0.492)	0 (0.598)
7.5	0 (0.571)	0 (0.490)	0 (0.597)
10	12.5 (0.562) <sup>**</sup>	12.5 (0.512)	12.5 (0.586)
12.5	22.5 (0.544)	22.5 (0.516)	22.5 (0.567)
15	30 (0.514)	40 (0.505)	30 (0.536)
17.5	32.5~35 (0.513)	37.5~40 (0.511)	32.5 (0.532)
20	37.5 (0.512)	37.5~40 (0.514)	37.5 (0.527)

\* ( ) 内は最適ケイ砂混合率  $R^*$  における総合評価値  $\Phi^*$  の値

\*\* 図2の結果に対応したケース

## ま と め

前年度までに開発・検討した緩衝材総合評価フレームをもとに、以下の改良化等の検討を行った。

- 1) ケイ砂混合率、含水比、締固め圧力の3変数を同時に決定し得る多変数最適化フレームへの拡張
- 2) 緩衝材の機能に関する諸データの検討
- 3) 緩衝材の機能の最適化に関する解析評価の試行

今後は、含水比並びに締固め圧力の変化に対する測定データの充実のもとに、緩衝材性能の総合評価値を最大化する変数を直接求める非線形最適化計算コードの開発とそれに基づくケース・スタディによる緩衝材最適設計のためのより綿密な分析が望まれる。

## 参 考 文 献

(1) 動力炉・核燃料開発事業団

「緩衝材の特性試験(I)」 PNC TN 8410 92-057(1992).

(2) H. Sato et al.

「Effect of Dry Density on Diffusion of Some Radionuclides in Compacted Sodium Bentonite」 J. Nucl. Sci. Tech., 29(9), pp873-882(1992).

(3) H. Sato et al.

「Study on Retardation Mechanism of  $^3\text{H}$ ,  $^{99}\text{Tc}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{237}\text{Np}$  and  $^{241}\text{Am}$  in Compacted Sodium Bentonite」 Mat. Res. Soc. Symp. Proc., Vol.294, pp403-408(1993).

(4) 動力炉・核燃料開発事業団

「緩衝材の特性試験(II)」 PNC TN 8410 92-169(1992).

(5) (株)三菱総合研究所

「緩衝材性能に関する予備的評価フレームの試行」 動力炉・核燃料開発事業団 成果報告書 (1995).

A Fundamental Study on Optimization  
for Performance of Buffer Material

(Summary)

(REPORT ON RESULT OF PNC-COMMISSIONED RESEARCH)

March, 1996

Mitsubishi Research Institute, Inc.

This document is not intended for publication. No public reference nor disclosure to the third party should be made without prior written consent of Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation.

Please contact about this paper as follows below:  
Technical Evaluation and Patent Office, Technology Management  
Division, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation  
9-13, 1-chome, Akasaka , Minato-ku, Tokyo 107, Japan

A Fundamental Study on Optimization  
for Performance of Buffer Material

Hiroo Ohkubo\*

Abstract

Based on the previous report of a preliminary assessment for performance of buffer material, we tackled a problem of identifying each quantitative assessment indicator by multivariate regression analysis where the contents of silica sand and water, and tightening pressure have been chosen as explanatory variables. Then, after a discussion on the data fitting goodness, an illustrated analysis on the total value of performance of buffer material using these regression equations has been made.

---

This report is the result of research conducted by Mitsubishi Research Institute, Inc. under contract with Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation.

Contract No.:070D0389

Department, section, and the name of staff in charge:

Hiroyuki Umeki, Isolation System Research Program, Radioactive Waste Management Project, Environmental Technology Development Division

\* Energy and Natural Resources Dept., Research Center for Environment and Development.

# 緩衝材性能最適化に関する 方法論の基礎的研究

大久保博生\*

## 要 旨

前年度に試行した緩衝材機能の評価結果をもとに、まず、各評価指標の定量評価式を求めるため、ケイ砂混合率、含水比、締固め圧力の3変数を説明変数とする多変数回帰式の同定を試みた。その入力データとのフィッティング状況の検討を通じ、これらの定量評価式を組み込んだ緩衝材機能総合評価解析を試行した。

---

本報告書は、株式会社三菱総合研究所が動力炉・核燃料開発事業団の委託により実施した研究内容結果である。

契約番号：070D0389

事業団担当部課及び担当者：環境技術開発推進本部 処分研究グループ 担当役

梅木 博之 殿

\* 地球環境研究センター エネルギー・資源研究部

## TABLE OF CONTENTS

Foreword .....	1
1. Development of a Multivarite Optimization Framework .....	3
2. Discussion on the data Concerning Performance .....	6
of Buffer Material	
3. A Trial of Assessment on Optimization of Performance .....	8
of Buffer Material	
Afterword .....	1 5
References .....	1 7



## CONTENTS OF TABLES

Table 1	Items and Measures for Assessing Performance of Buffer Material	4
Table 2	Multivariate Regression Equations	5
Table 3	Experimental Data	7
Table 4	Variation of Optimum Content of Silica Sand (tightening pressure $P = 20\text{MPa}$ )*	13

CONTENTS OF FIGURES

Figure 1(1) Each Quantitative Indicator  $\alpha$  as the ..... 9  
Function of Content of Silica Sand

Figure 1(2) Utility Value of Each Assessment Item as the ..... 11  
Function of Content of Silica Sand

Figure 2 Total Value of Performance as the Function of ..... 12  
Content of Silica Sand - Base Case-  
( $w = 10\%$ ,  $P = 20\text{MPa}$ ,  $w_i = 1/6$ )

## Foreword

At present, sodium-bentonite is considered to be the most attractive buffer material in the engineered barrier system of HLW disposal. But, it is also said that the sodium bentonite mixed with silica sand could be better due to the improvement of heat conductivity and an economical point of view. Therefore, it is important to establish a methodology to evaluate the performance of buffer material from all the aspects of its function, technology, economics etc. in order to contribute to an optimal design of buffer material.

In the past tasks, a development of the preliminary total assessment framework and its illustrative calculation have been made to find an optimum condition for its content of silica sand by checking a tendency of changes of its various characteristics caused by increasing its content of silica sand. In that calculational frame, only a content of silica sand has been chosen as a control variable under the condition of keeping the other parameters such as content of water and tightening pressure unchanged, and the equations and data applicability used there have been simplified, since the previous study aimed at only tracing fundamentals of a concept of the developed total assessment framework. More generally, however, it is desirable to choose not only content of silica sand but also content of water and tightening pressure as control variables and to account for the uncertainty analysis.

This year, a first step is to make an extension of the previous calculational framework to a multivariate optimization framework using more generalized statistical analysis tool to determine the optimum condition for contents of silica sand and water, and tightening pressure. And, after an arrangement of input data and a discussion of its applicability, a concrete analysis using the improved calculational frame will be tried. Through these efforts, this report aims to a contribution to designing a buffer material in the engineered barrier of HLW disposal in Japan.

## 1. Development of a Multivariate Optimization Framework

In the last year<sup>(5)</sup>, a frame has been proposed to construct an objective function composed of some quantitative indicators based on the utility analysis and AHP method, where the function expressing a total value of performance of buffer material, denoted as  $\Phi(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)$  of quantitative indicators  $\alpha_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ), can be given as

$$\Phi(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n) = \sum_{i=1}^n w_i u_i(\alpha_i) \quad \dots \dots (1)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{i=1}^n w_i = 1, \quad w_i > 0 \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

and a quantitative indicator  $\alpha_i$  is expressed as a function of independent variables such as content of silica sand  $R_s$ , content of water  $w$ , temperature  $T$ , and tightening pressure  $P$  etc..

Last year, each indicator has been quantified as a function of one variable with the other parameters fixed. This year, a method to get a regression equation including these variables explicitly (as shown in Table 2) has been discussed.

Table 1 Items and Measures for Assessing Performance of Buffer Material

assessment item		measure
mechanical stability		one dimensional compression strength ( $\sigma$ )
heat conductivity		rate of heat conduction ( $\lambda$ )
self-sealing ability		equilibrium swelling pressure ( $P_s$ )
resistance to water	non-saturation case	water diffusion coefficient (D)
	saturation case	hydraulic conductivity (K)
chemical buffer ability		
nuclide sorption		apparent diffusion coefficient (Da)
		retardation factor (R)
		distribution coefficient (Kd)

Table 2 Multivariate Regression Equations

(1) unconfined compression strength:  $\sigma$

$$\sigma = a_0 + a_1 w + a_2 \rho_d + a_3 R_s + a_4 w \rho_d + a_5 R_s \rho_d + a_6 w R_s + a_7 w \rho_d R_s$$

(2) rate of heat conduction:  $\lambda$

$$\lambda = \text{the same as eq. (1)}$$

(3) swelling pressure at saturation:  $P_s$

$$\ln P_s = a_0 + a_1 R_s + a_2 \rho_d + a_3 R_s \rho_d + \ln(a_4 + a_5 w)$$

(in this study, the logarithmic function in the right-hand side has been expanded at  $w = 0$  by Taylor series)

(4) water diffusion coefficient:  $D$

$$\ln D = a_0 + a_1 w + a_2 \rho_d + a_3 R_s + a_4 w \rho_d + a_5 R_s \rho_d + a_6 w R_s + a_7 w \rho_d R_s$$

(5) hydraulic conductivity:  $K$

$$\ln K = \text{the same as eq. (4)}$$

(limited to  $w = 10\%$  case because of lack of data on variational data of  $w$  as investigated in last year<sup>(5)</sup>)

(6) apparent diffusion coefficient:  $D_{a,i}$  ( $i$ : nuclide)

$$\ln D_{a,i} = a_{0i} + a_{1i} \rho_d + a_{2i} R_s + a_{3i} \rho_d R_s$$

(7) dry density:  $\rho_d$

$$\rho_d = a_0 + a_1 R_s + a_2 w + a_3 P + a_4 w^2 + a_5 w^3$$

## 2. Discussion on the data Concerning Performance of Buffer Material

The quantitative indicators used in the total assessment tried in the last year (see Table 1) have been composed of

- 1) unconfined compression strength  $\sigma$
- 2) rate of heat conduction  $\lambda$
- 3) swelling pressure at saturation  $P_s$ .
- 4) water diffusion coefficient  $D$
- 5) hydraulic conductivity  $K$ , and
- 6) apparent diffusion coefficient  $D_{..}$ .

It has been shown through the simple statistical analysis for experimental data that these quantities have been related to the variables such as

- 1) dry density  $\rho_d$
- 2) content of silica sand  $R_s$ .
- 3) content of water  $w$ , and
- 4) tightening pressure  $P$ .

Furthermore, since dry density  $\rho_d$  is related to the other three variables  $R_s$ ,  $w$  and  $P$ ,  $\rho_d$  has been constructed as a function of  $R_s$ ,  $w$  and  $P$  in the last year.

There, this year, an arrangement of input data has been made in the format as shown in Table 3 for the purpose of applying it to the multivariate optimization frame as discussed in Chap. 1.

Table 3 Experimental Data

explanatory variable quantitative indicator (measure)	$\rho_d$ (g/cm <sup>3</sup> )	R <sub>s</sub> (%)	w (%)	P (MPa)	source



### 3. A Trial of Assessment on Optimization of Performance of Buffer Material

In the first step, the multivariate regression analysis has been tried for each quantitative indicator, using the function assumed in Table 2 and the data arranged in Table 3. Then, the regression equation to be adopted for the illustrated calculation has been selected respectively for each indicator, considering the goodness of multiple correlation coefficient, number of available data and generalization of the assumed function.

In this illustrated calculation, the same assumptions as taken in last year<sup>(5)</sup> have been given except that unconfined compression strength  $\sigma$  itself ( $0 \text{ MPa} \leq \sigma \leq 10 \text{ MPa}$ ) has been set as an indicator of mechanical stability  $\alpha_1$ .

The quantitative indicator  $\alpha_i$  and its utility value  $u_i$  ( $i=1\sim 6$ ) as the function of content of silica sand  $R_s$  are represented in Figures 1 (1)(2). And, a total value of performance  $\Phi$  as the function of content of silica sand for the base case where the importance of each assessment item  $w_i$  ( $i=1\sim 6$ ) is equal to be  $1/6$  is shown in Figure 2.

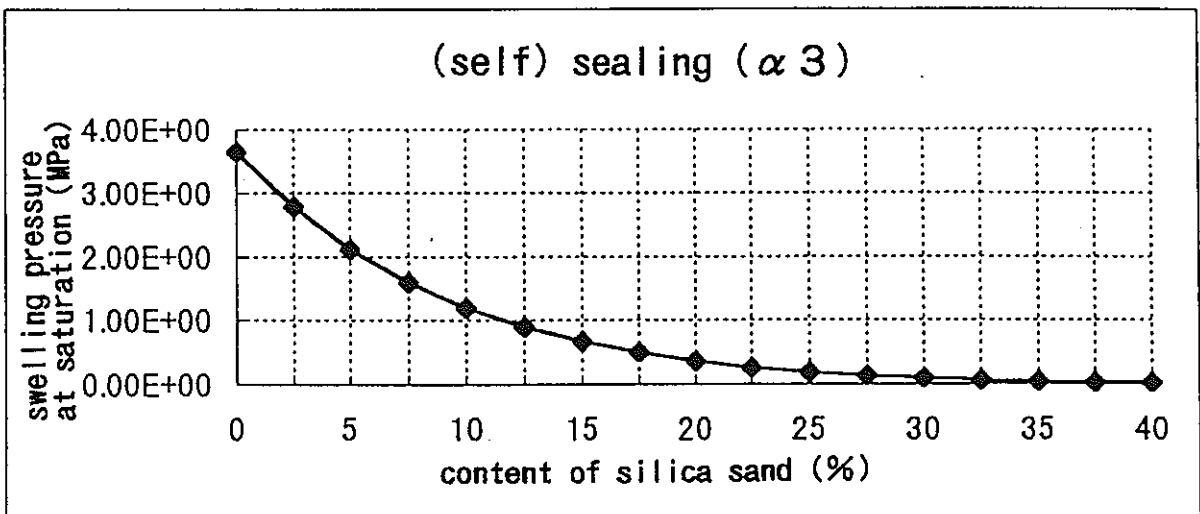
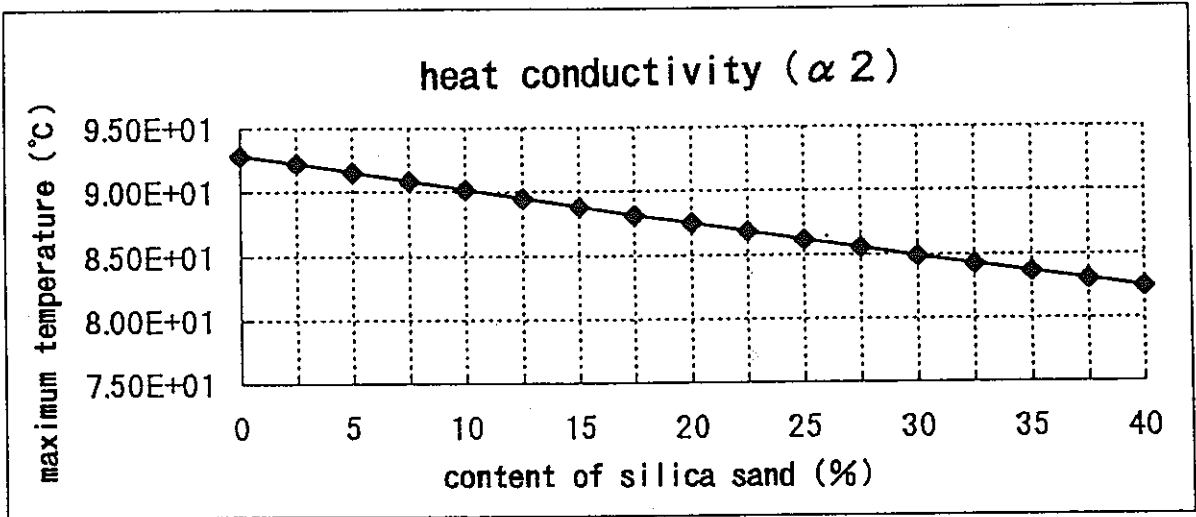
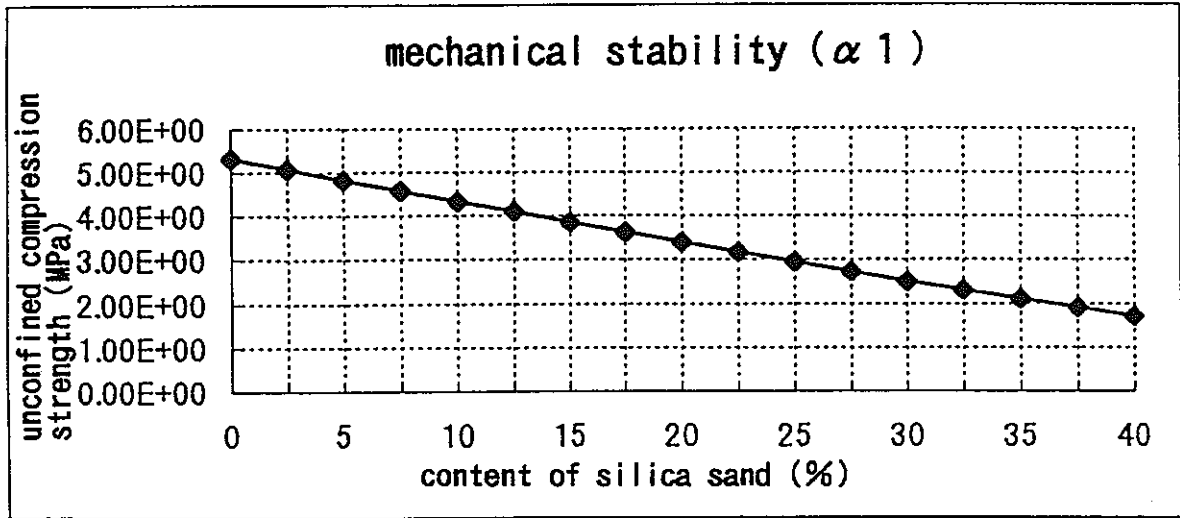


Figure 1(1) Each Quantitative Indicator  $\alpha$  as the Function of Content of Silica Sand

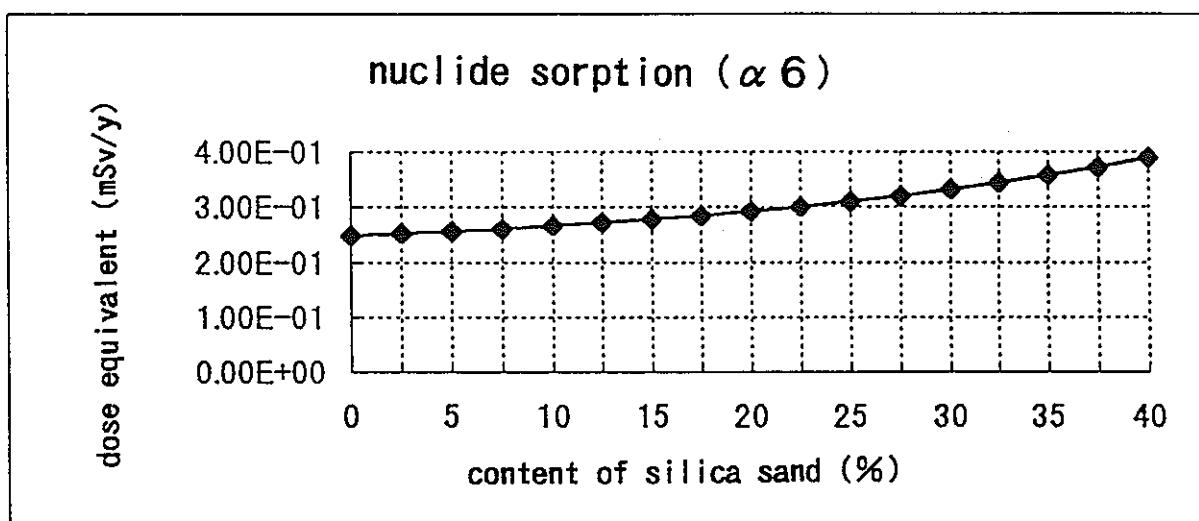
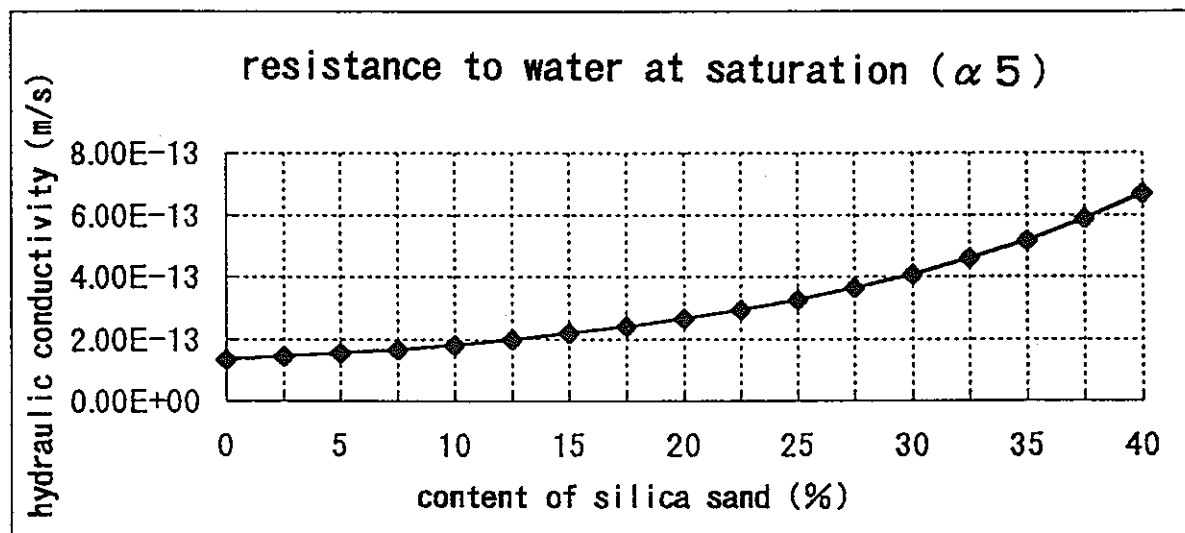
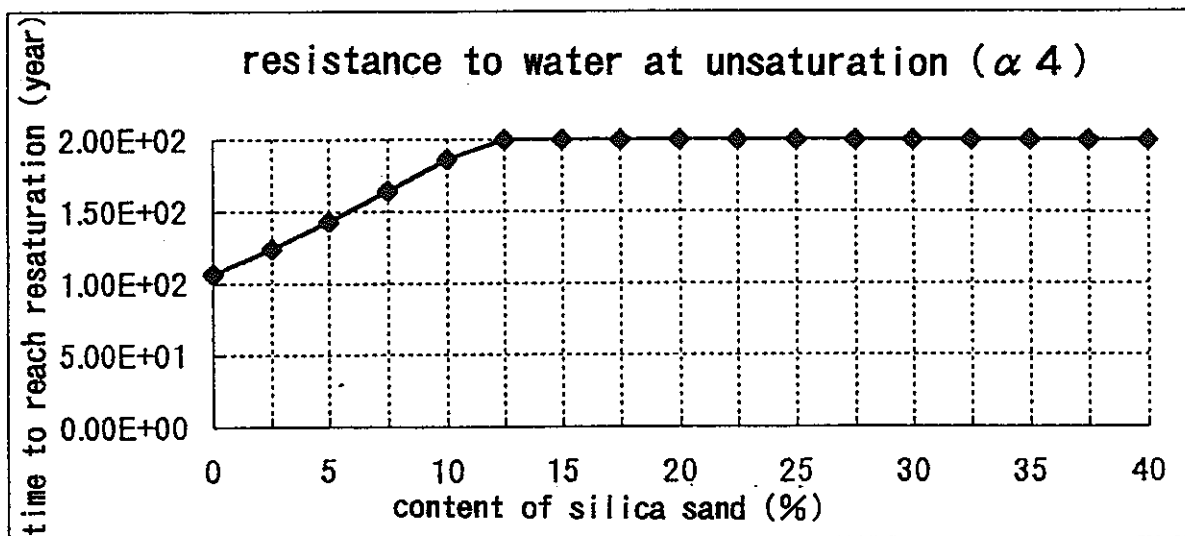


Figure 1(1) Each Quantitative Indicator  $\alpha$  as the Function of Content of Silica Sand

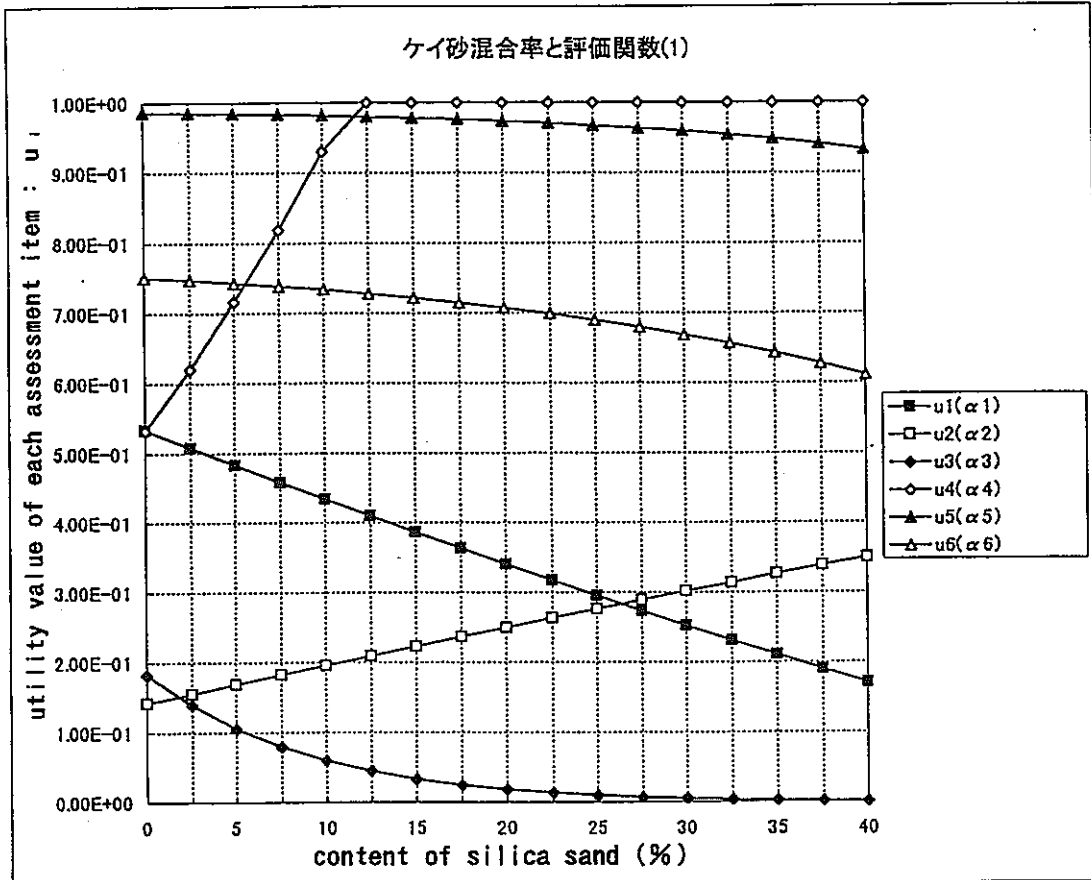


Figure 1(2) Utility Value of Each Assessment Item as the Function of Content of Silica Sand

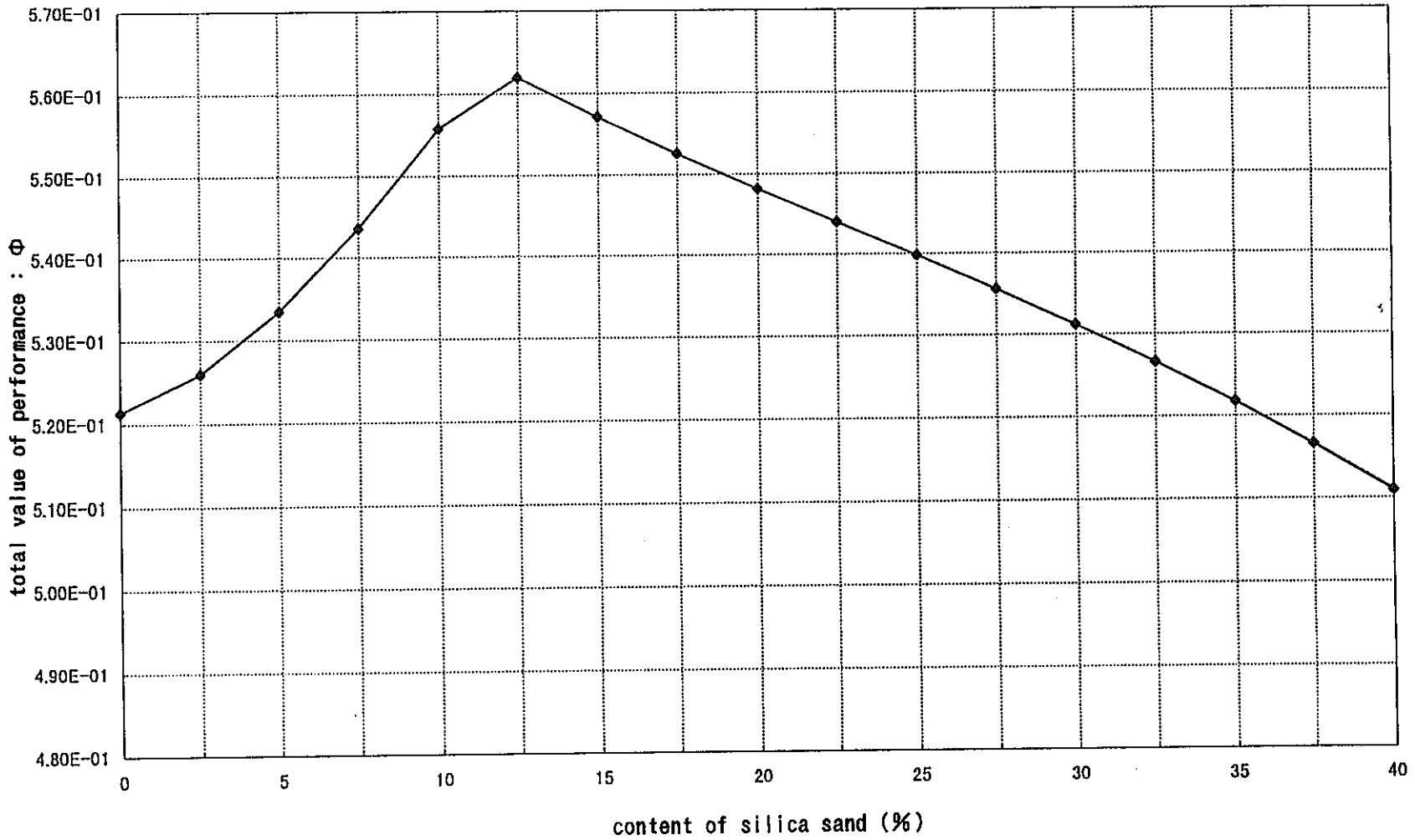


Figure 2 Total Value of Performance as the Function of Content of Silica Sand - Base Case-  
( $w = 10\%$ ,  $P = 20\text{MPa}$ ,  $w_i = 1/6$ )

A case study has been done to compare two cases of high importance for heat conductivity ( $w_2=2/7$ ,  $w_i=1/7$  ( $i \neq 2$ )) and high importance for nuclide sorption ( $w_6=2/7$ ,  $w_i=1/7$  ( $i \neq 6$ )) with base case, when content of water is changed between 0 % and 20% (2.5% stepwise) at  $P = 20\text{MPa}$ .

Table 4 shows a variation of optimum content of silica sand  $R_s^*$  to maximize the total value of performance  $\Phi$  and  $\Phi^*$  at  $R_s = R_s^*$ . It suggests that

- (i) even if the importance for nuclide sorption is increased, a decrease of  $R_s^*$  with content of water increasing is not so large
- (ii) when the importance for heat conductivity is increased, an increase of  $R_s^*$  becomes clear for the range of content of water larger than about 15% while it is not so clear for the range of content of water less than about 12.5%.

Table 4 Variation of Optimum Content of Silica Sand  
(tightening pressure  $P = 20\text{MPa}$ )<sup>\*</sup>

content of water w (%)	base case	high importance for heat conductivity	high importance for nuclide sorption
0	0 (0.616)	0 (0.528)	0 (0.631)
2.5	0 (0.592)	0 (0.508)	0 (0.612)
5	0 (0.574)	0 (0.492)	0 (0.598)
7.5	0 (0.571)	0 (0.490)	0 (0.597)
10	12.5 (0.562)**	12.5 (0.512)	12.5 (0.586)
12.5	22.5 (0.544)	22.5 (0.516)	22.5 (0.567)
15	30 (0.514)	40 (0.505)	30 (0.536)
17.5	32.5~35(0.513)	37.5~40(0.511)	32.5 (0.532)
20	37.5 (0.512)	37.5~40(0.514)	37.5 (0.527)

\* Figure in parenthesis denotes total value of performance  $\Phi^*$  at optimum content of silica sand  $R_s^*$ .

\*\* This corresponds to the case of Fig.2.

## Afterword

Based on the total assessment framework on buffer material developed and discussed in these years, this year, the discussion has been focused on

- 1) an extension of the previous framework to a multivariate optimization framework to find an optimum condition with three variables such as contents of silica sand and water, and tightening pressure
- 2) a discussion on the input data concerning the performance of buffer material, and
- 3) a trial of analysis and evaluation on optimization of the performance of buffer material.

The next matter will be to get more data on content of water and tightening pressure, and to discuss on how to apply a nonlinear optimization technique to a process of determining three variables so as to maximize a total value of the performance of buffer material, followed by a case study and more detailed analysis contributing to an optimal design of buffer material.

## References

- (1) PNC  
「Experiment on the Performance of Buffer Material (I)」  
PNC TN 8410 92-057(1992).
- (2) H. Sato et al.  
「Effect of Dry Density on Diffusion of Some Radionuclides in  
Compacted Sodium Bentonite」 J. Nucl. Sci. Tech., 29(9),  
pp873-882(1992).
- (3) H. Sato et al.  
「Study on Retardation Mechanism of  $^3\text{H}$ ,  $^{99}\text{Tc}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{237}\text{Np}$  and  $^{241}\text{Am}$   
in Compacted Sodium Bentonite」 Mat. Res. Soc. Symp. Proc., Vol.294,  
pp403-408(1993).
- (4) PNC  
「Experiment on the Performance of Buffer Material (II)」  
PNC TN 8410 92-169(1992).
- (5) MRI  
「A Trial on the Preliminary Assessment Framework for Performance of  
Buffer Material」 Report on Result of PNC - Commissioned Research  
(1995).