

本資料は 200/年 月 日付けで登録区分、
変更する。

[技術情報室]

緩衝材特性に影響をおよぼす要因の検定

— 高レベル廃棄物処分における緩衝材の開発 —

1990年2月

動力炉・核燃料開発事業団
東海事業所

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)
2001

社 内 一 般
PNC 8410 90-005
1 9 9 0 年 2 月



緩衝材特性に影響をおよぼす要因の検定

雨宮 清* , 鈴木英明** , 柴田雅博*
広瀬 郁朗* , 石川博久* , 湯左泰久*
佐々木憲明*

要 旨

止水性、機械的安定性など多くの性能が要求される緩衝材の候補材料としては、Na-ベントナイトが有望と考えられ、これに製作性や熱伝導性を向上させる目的でケイ砂の混合も検討されている。

今回は、緩衝材の特性調査のための詳細なパラメータ試験に先立ち、Na-ベントナイトを主原料とし、これにケイ砂を混合した場合の緩衝材特性に影響をおよぼす要因を明らかにする試験を実施した。

試験は実験計画法に基づき行った。実験因子は（ケイ砂混合率）、（間隙率）、（含水比）、（ケイ砂粒度）とし2水準で、成型圧力、熱伝導率、一軸圧縮強度、ヤング率、透水係数を測定した。

その結果、（ケイ砂混合率）、（間隙率）、（含水比）は、緩衝材の製作性や熱的・機械的・水理的特性に有意な影響を与えること、（間隙率）と（ケイ砂混合率）および（含水比）との間に交互作用が存在することが明らかになった。

* 環境技術開発部 地層処分開発室

** 検査開発(株)

目 次

1. はじめに	1
2. 緩衝材の要求性能と特性値	2
3. 試験方法	3
3.1 取り上げた因子と試験の割り付け	3
3.2 材料と試験供試体作成	5
3.3 試験項目と方法	7
4. 試験結果および考察	9
4.1 締固め圧力	10
4.2 熱伝導率	14
4.3 一軸圧縮強度	18
4.4 ヤング率	21
4.5 透水係数	25
5. まとめ	27
引用文献	29
Appendix	31

1. はじめに

高レベル廃棄物地層処分における緩衝材には止水性，収着性，機械的安定性など多くの性能が要求される。このような緩衝材の主原料としては，Na-ベントナイトが有望と考えられ，これに，製作性や熱伝導性を向上させる目的でケイ砂の混合も検討されている。

動燃事業団では，緩衝材開発の一環として，要求性能を満足する緩衝材の原料，密度，さらにケイ砂を混合する場合その混合率等に関する研究を進めている。その研究フローは図1に示すとおりである。

今回は，緩衝材の基本特性調査のための詳細なパラメータ試験に先立ち，Na-ベントナイトを主原料とし，これにケイ砂を混合した緩衝材の特性に影響をおよぼす要因を明らかにする試験を実施した。

なお，試験は実験計画法に基づいて計画し，その結果の解析には分散分析手法を用いて統計的な評価を試みた。

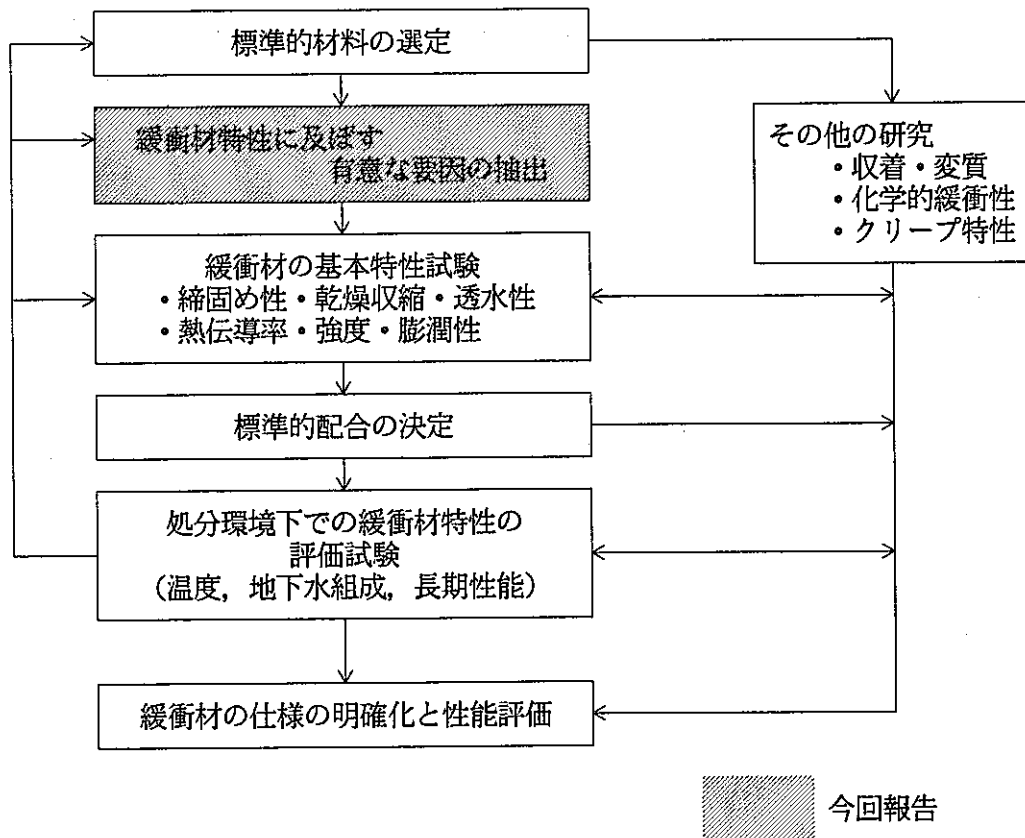


図-1 緩衝材の研究開発フロー

2. 緩衝材の要求性能と特性値

緩衝材に要求される性能とその指標となる特性値を整理した（表1参照）。

ベントナイトを主原料とし、ここに砂を添加した緩衝材では、膨潤圧力は緩衝材中の粘土密度に依存すること¹⁾、また陽イオン交換容量（CEC）も同様であること²⁾が報告されている。

つまり、シール性や収着性は緩衝材中のベントナイトの含有量に依存し、ケイ砂の混合やその粒度による影響は小さいと考えられた。よって、今回はこれ以外の機械的安定性、熱伝導性、止水性、製作性についての試験を行い、影響する要因を検討するものとした。

表1 緩衝材の要求性能と特性値

要求性能	特 性 値
機械的安定性	<u>一軸圧縮強度</u> , <u>ヤング率</u>
熱伝導性	<u>熱伝導率</u>
止水性	<u>透水係数</u>
シール性	膨潤量, 膨潤圧力
収着性	分配係数, C E C
製作性	<u>締固め圧力</u>

(注) 下線は今回測定した特性値

3. 試験方法

3.1 取り上げた因子と試験の割り付け

各特性に対する影響因子として次の4因子を考えた。

- ① ケイ砂混合率 (%) ……固相中のケイ砂の乾燥重量率
- ② 間隙率 (%) ……緩衝材中の隙間の体積率
- ③ 含水比 (%) ……固相に対する水の重量比
- ④ ケイ砂粒度 ……ベントナイトに混合するケイ砂の粒度

ただし、緩衝材特性のうちの透水係数は試料を水で飽和した後に測定するため、含水比は透水係数の試験因子から除いた。

試験の因子と水準を表2に、試験項目と因子の関係を表3に示す。

ここで、間隙率と含水比の水準は、圧縮成型体の製作が可能な範囲に設定した。

表2 試験の因子と水準

因子 \ 水準	1	2
A ケイ砂混合率 (%)	30	60
B 間隙率 (%)	45	28
C 含水比 (%)	8	15
D ケイ砂粒度	5号(細)	3号(粗)

*ケイ砂の粒度分布は
3.2章に示す。

表3 各特性値に対する試験因子

特性値	試験因子
① 締固め圧力	ケイ砂混合率, 間隙率, 含水比, ケイ砂粒度
② 熱伝導率	同上
③ 一軸圧縮強度	同上
④ ヤング率	同上
⑤ 透水係数	ケイ砂混合率, 間隙率, ケイ砂粒度

試験の割り付けは直交表に従った。4 因子の場合（表3 ①～④）はL27, 3 因子の場合（表3 ⑤）はL 8 の直交表に割り付け試験を行った。直交表をAppendix表A. 1, 2 に示す。今回の試験では、因子間の相互作用が明らかでないためすべての因子の組み合わせについて相互作用を検討した。

この直交表に基づき設定した試験供試体条件を表4, 5 に示す。

表4 試験供試体条件（4 因子）

サンプルNo.	ケイ砂混合率 (%)	間隙率 (%)	含水比 (%)	ケイ砂粒度	
				3 号	5 号
1	30	45	8		○
2	30	45	8	○	
3	30	45	15		○
4	30	45	15	○	
5	30	28	8		○
6	30	28	8	○	
7	30	28	15		○
8	30	28	15	○	
9	60	45	8		○
10	60	45	8	○	
11	60	45	15		○
12	60	45	15	○	
13	60	28	8		○
14	60	28	8	○	
15	60	28	15		○
16	60	28	15	○	

試験項目；締固め試験, 熱伝導率測定, 一軸圧縮試験

表5 試験供試体条件（3 因子）

サンプルNo.	ケイ砂混合率 (%)	間隙率 (%)	ケイ砂粒度	
			3 号	5 号
1	30	45		○
2	30	45	○	
3	30	28		○
4	30	28	○	
5	60	45		○
6	60	45	○	
7	60	28		○
8	60	28	○	

試験項目；透水試験

3.2 材料と試験供試体作成

(1) 材 料

- ① ベントナイト …………… 山形県産Na-ベントナイト（製品名 クニゲルV1）
試験に供したベントナイトの品質試験結果をAppendix表A. 3に示す。
- ② ケイ砂 …………… 5号（細粒）および3号（粗粒）
ケイ砂の試験成績書を表A. 4, 5に、粒度分布を図1, 2に示す。

(2) 試験供試体

試験供試体の作成は次の手順で行った。まず、混合する粉末ベントナイトとケイ砂を秤量し、ケイ砂に必要量の水を添加する。このケイ砂に粉末ベントナイトを少量ずつ加えながら練りまぜを行う。次に、この材料を鉄製の成型金型内に充填し、20tonの一軸簡易プレス機により所定の間隙率（密度）にまで圧縮する。

試料形状は、締固め圧力、熱伝導率、一軸圧縮強度、ヤング率の測定では5×5×高さ10cmの角柱、透水係数の測定では直径5×高さ1cmの円柱とした。また、一軸圧縮試験は熱伝導率測定後の試料を用いて実施した。

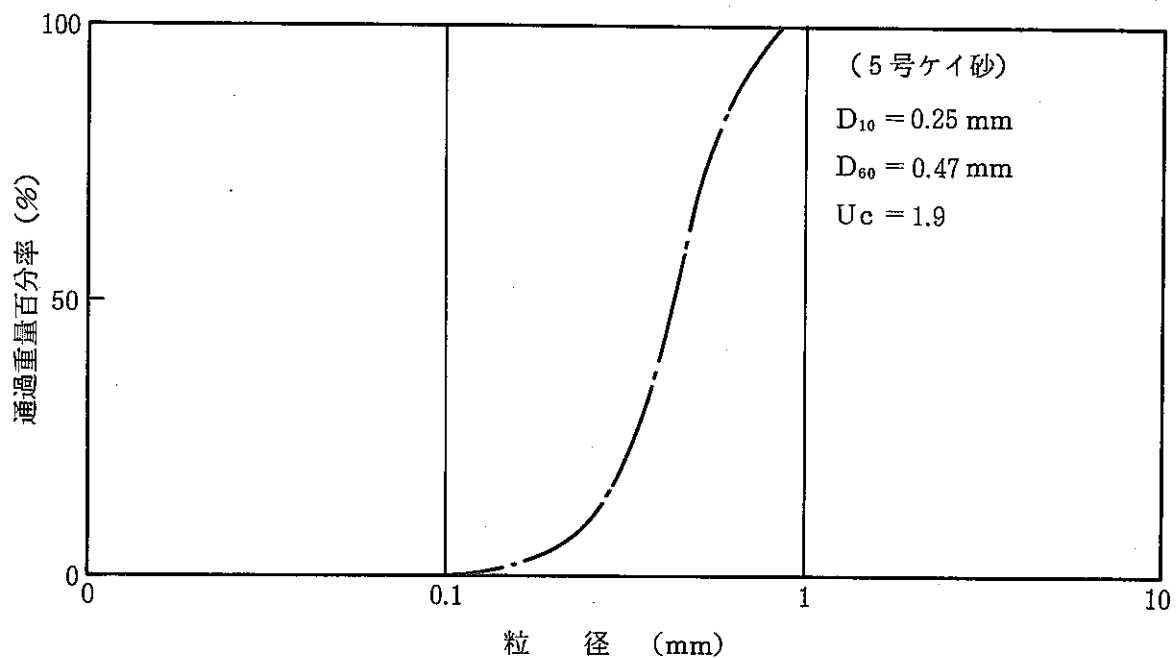


図2 ケイ砂の粒度分布 (5号ケイ砂)

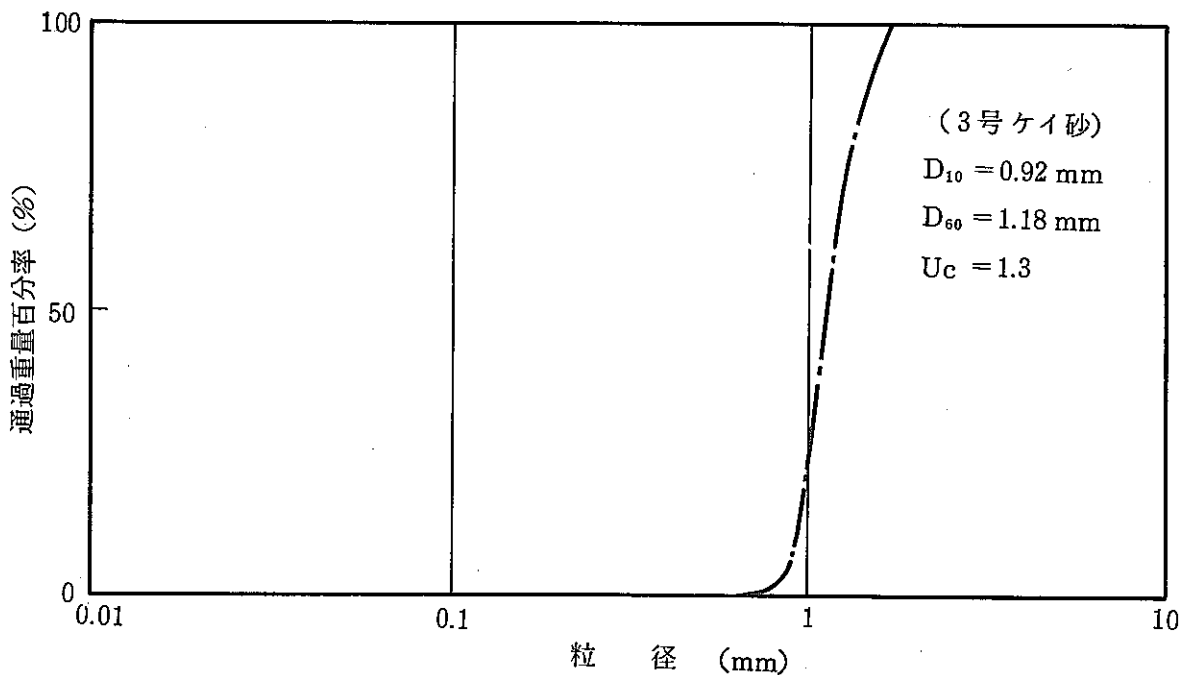


図3 ケイ砂の粒度分布 (3号ケイ砂)

3.3 試験項目と方法

試験はいずれも動燃東海事業所が保有する装置を用いて行った。試験項目と方法を表6にまとめて示す。また、熱伝導率測定と透水試験の原理をAppendix図A. 1, 2に示す。

表6 試験項目と測定方法

試験項目	得られる特性値	単位	n 数	試験方法	試験装置
締固め圧力測定	締固め圧力	kgf/cm ²	2	熱伝導率，一軸圧縮試験に供する試料を所定の間隙率まで圧縮する時の圧力を力計により測定する。	20ton 簡易耐圧試験機 (株丸井製)
熱伝導率測定	熱伝導率	kcal/mh°C	2	非定常熱線法 (Appendix 図A. 1 ⁴⁾ 参照)。 (JIS R2618に準拠) 試料の裏，表に対して測定。	QTM 迅速熱伝導率計 京都電子工業(株)製
一軸圧縮試験	一軸圧縮強度 ヤング率	kgf/cm ² kgf/cm ²	2	一定変位速度 (0.1mm/min) で，試料を圧縮し，応力～変形曲線から強度，ヤング率を求める。(JIS A1216に準拠)	オートグラフAG-10TB 島津製作所(株)製
透水試験	透水係数	cm/s	2	試料を水で飽和後に，3 kgf/cm ² の透水圧力で水を透過させる。透過量と時間との関係から透水係数を求める。 (Appendix 図A. 2 参照)	緩衝材透水試験装置 (株誠研舎製)

4. 試験結果および考察

各試験の結果を供試体作成条件とあわせ表7, 8に示す。表中の値は, 2回の測定の平均値である。

表7 締固め圧力, 熱伝導率測定, 一軸圧縮試験結果

サンプル No.	供 試 体 条 件				締固め 圧 力 (kgf/ cm ²)	熱伝導率* (kcal/m·h·°C)		一軸圧 縮強度 (kgf/ cm ²)	ヤング 率 (kgf/ cm ²)	乾 燥 密 度 (g/cm ³)
	ケイ砂混 合率(%)	間隙率 (%)	含水比 (%)	ケイ砂 粒 度		裏	表			
1	30	45	8	5号	31.5	0.488	0.513	3.45	8.08	1.49
2	30	45	8	3号	22.2	0.505	0.531	3.17	5.59	1.49
3	30	45	15	5号	15.9	0.876	0.943	4.32	5.72	1.49
4	30	45	15	3号	13.8	0.842	0.862	3.98	5.82	1.49
5	30	28	8	5号	336.0	1.054	1.088	42.01	62.34	1.95
6	30	28	8	3号	268.5	1.192	1.163	40.29	49.56	1.95
7	30	28	15	5号	125.1	1.822	1.832	31.16	37.12	1.95
8	30	28	15	3号	126.0	1.750	1.827	30.37	41.54	1.95
9	60	45	8	5号	3.9	0.619	0.633	0.68	1.62	1.46
10	60	45	8	3号	10.5	0.687	0.742	1.26	3.05	1.46
11	60	45	15	5号	3.0	0.975	1.118	1.27	1.34	1.46
12	60	45	15	3号	3.6	0.936	1.011	1.26	1.27	1.46
13	60	28	8	5号	85.2	1.459	1.592	10.56	22.75	1.92
14	60	28	8	3号	76.8	1.364	1.360	10.75	28.21	1.92
15	60	28	15	5号	27.3	2.353	1.973	6.65	6.53	1.92
16	60	28	15	3号	38.4	1.905	1.935	6.46	8.32	1.92

*熱伝導率測定面の裏とはプレス金型の底面側
表とはプレス側を意味する

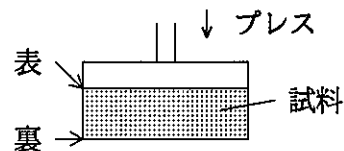


表 8 透水試験結果

サンプルNo.	供 試 体 条 件			透水係数 ($\times 10^{-10}$ cm/s)	乾燥密度 (g/cm ³)
	ケイ砂混合率 (%)	間隙率 (%)	ケイ砂粒度		
1	30	45	5 号	0.903	1.49
2	30	45	3 号	0.991	1.49
3	30	28	5 号	0.470	1.95
4	30	28	3 号	0.479	1.95
5	60	45	5 号	2.14	1.46
6	60	45	3 号	3.18	1.46
7	60	28	5 号	1.06	1.92
8	60	28	3 号	0.993	1.92

試験および分散分析の結果をまとめると以下のようなになる。

4.1 締固め圧力

締固め圧力は 3.0~336.0kgf/cm²の範囲となり、配合条件の違いにより緩衝材の製作性は大きく異なることが分かった。

締固め圧力の分散分析の結果を表 9 に示す。表中の*印は有意と判断される要因（ここでは有意水準が 5%以下のもの）を示している。

分散分析の結果、締固め圧力に影響を与える有意な要因は、（ケイ砂混合率）、（間隙率）、（含水比）であり、相互作用としては、（ケイ砂混合率） \times （間隙率）、（間隙率） \times （含水比）が有意であることが分かった。

次に、締固め圧力の母平均の推定値と 95%の信頼区間を図 4、5 に示す。ここで、図 4 は有意な因子の各水準に対する推定値を、図 5 は有意な相互作用を持つ因子を組み合わせた場合の値を示している（これらの図では、各水準の推定値を直線で結んでいるが、これはその値が直線的に変化すると意味しているものではない）。

図 4 から、本試験の範囲で緩衝材の締固め性（製作性）は、（ケイ砂混合率）、（含水比）、（間隙率）とも大きいほど良いこと、また図 5 から最も締固めにくい条件は（ケイ砂混合率）と（間隙率）が共に小さい場合であることが分かる。

また、表 9 の Fo（分散比）の値から分かるように、締固め圧力に対する主効果は、（間隙率）であるが、図 4 の推定値の各因子の水準による変化をみると緩衝材の締固め圧力に対しては、これら 3 つの因子ともに大きな影響を与えることが分かる。

表9 締固め圧力の分散分析結果

要因	平方和	自由度	分散	F ₀	確率
A	30607.50	1	30607.50	37.85*	0.002
B	58733.53	1	58733.53	72.64*	0.001
C	15964.32	1	15964.32	19.74*	0.007
D	214.62	1	214.62	0.27	0.631
AB	20692.83	1	20692.83	25.59*	0.005
AC	3875.06	1	3875.06	4.79	0.079
BC	12199.20	1	12199.20	15.09*	0.012
AD	592.92	1	592.92	0.73	0.435
BD	157.50	1	157.50	0.19	0.677
CD	792.42	1	792.42	0.98	0.370
誤差	4042.95	5	808.59		

A : ケイ砂混合率 B : 間隙率 C : 含水比 D : ケイ砂粒度

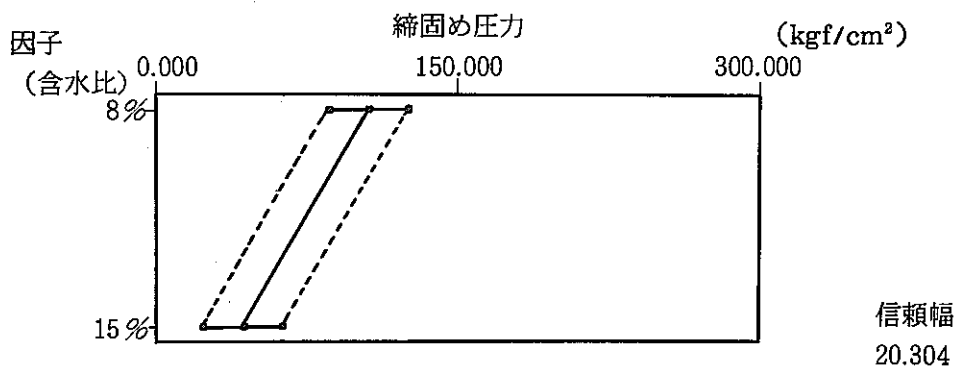
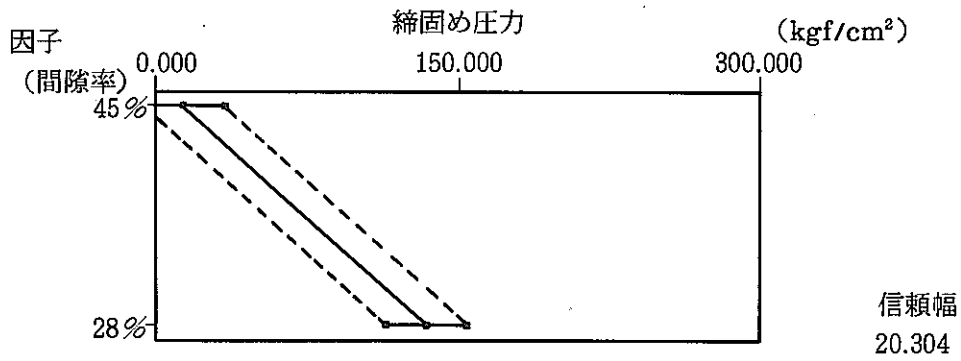
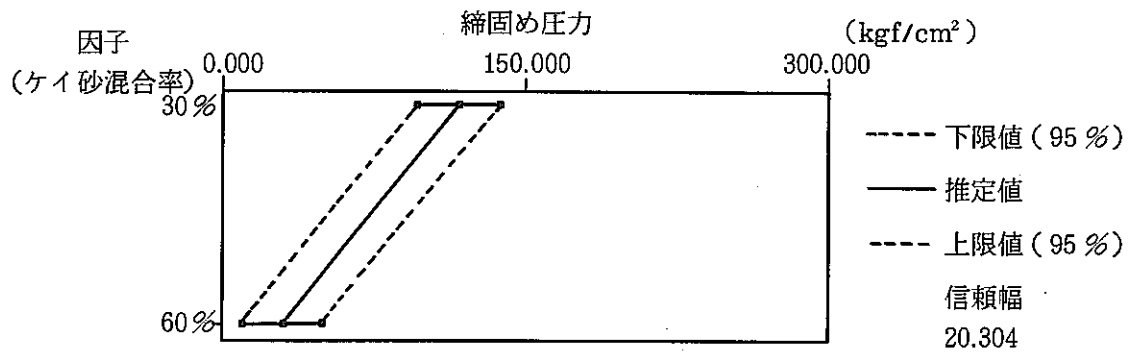


図4 締固め圧力の母平均の推定値 (有意な因子に対して)

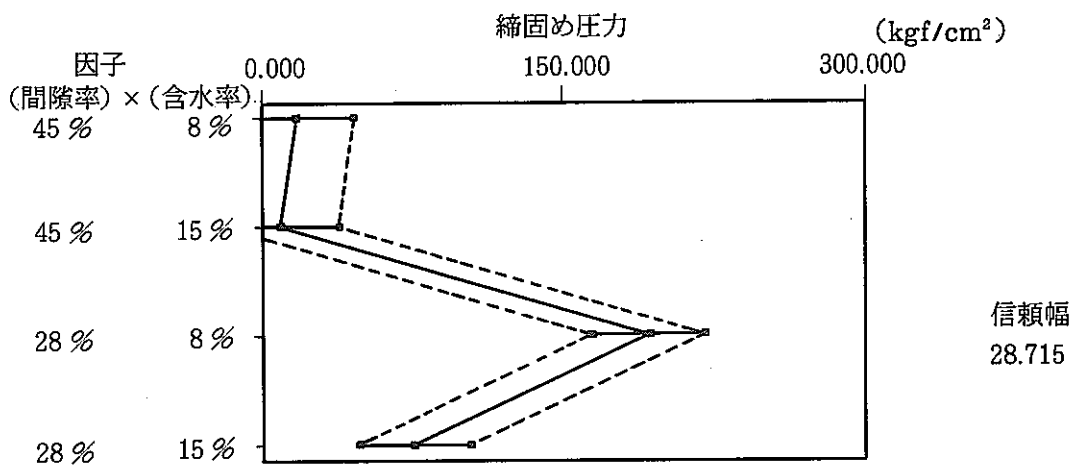
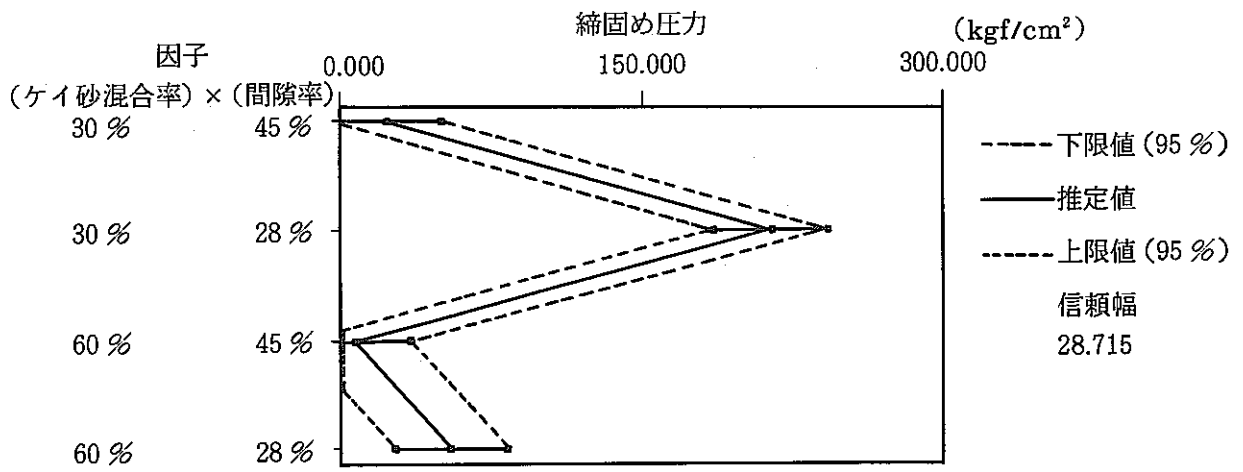


図5 縮固め圧力の母平均推定値
(有意な交互作用をもつ因子の組合せに対して)

4.2 熱伝導率

熱伝導率は試料の裏（成型金型の底面側）と表の両面から測定した。測定値は、試料の裏側で0.488～2.353kcal/mh°C，表側では0.513～1.973kcal/mh°Cの範囲となり，裏側が表側より小さい傾向を示した（表7参照）。

分散分析の結果を表10, 11に示す。ここでは，裏側，表側ともに分散比（ F_0 ）がほぼ同じ値となり，同様の結果が得られている。つまり，熱伝導率に影響を与える有意な要因は，（ケイ砂混合率），（間隙率），（含水比）であり，交互作用としては，（間隙率）×（含水比）が有意であることが分かった。

次に，熱伝導率の母平均の推定値と95%の信頼区間を図6, 7に示す（試料裏表ともに同じ傾向であるため，ここでは裏側についてのみ示した）。

図6から，本試験の範囲で緩衝材の熱伝導性は，（ケイ砂混合率），（含水比）が大きく，（間隙率）が小さいほど良いこと，またこのうち（間隙率）の影響が最も大きいことが分かる。さらに図7から，間隙率28%，含水比15%の時の熱伝導率は約2 kcal/mhr°Cの大きい値になると言えることが分かった。

表10 熱伝導率の分散分析結果（裏側）

要因	平方和	自由度	分散	F_0	確率
A	0.19	1	0.19	22.78*	0.006
B	3.08	1	3.08	361.98*	0.000
C	1.05	1	1.05	123.62*	0.000
D	0.02	1	0.02	1.82	0.234
AB	0.03	1	0.03	3.50	0.119
AC	0.00	1	0.00	0.02	0.872
BC	0.13	1	0.13	15.12*	0.012
AD	0.02	1	0.02	1.93	0.223
BD	0.01	1	0.01	1.58	0.264
CD	0.03	1	0.03	3.98	0.101
誤差	0.04	5	0.01		

A：ケイ砂混合率 B：間隙率 C：含水比 D：ケイ砂粒度

表11 熱伝導率の分散分結果 (表側)

要因	平方和	自由度	分散	F ₀	確率
A	0.17	1	0.17	22.81*	0.006
B	2.58	1	2.58	351.22*	0.000
C	0.92	1	0.92	126.00*	0.000
D	0.01	1	0.01	0.71	0.441
AB	0.01	1	0.01	0.76	0.426
AC	0.01	1	0.01	2.04	0.212
BC	0.05	1	0.05	7.10*	0.044
AD	0.01	1	0.01	0.79	0.418
BD	0.00	1	0.00	0.17	0.693
CD	0.00	1	0.00	0.25	0.641
誤差	0.04	5	0.01		

A : ケイ砂混合率 B : 間隙率 C : 含水比 D : ケイ砂粒度

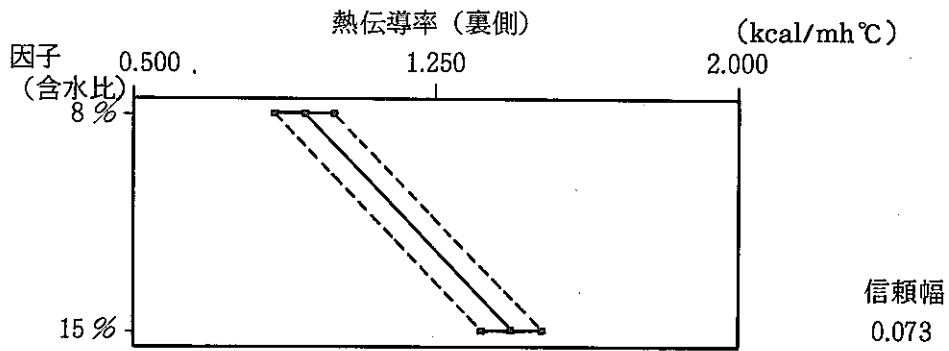
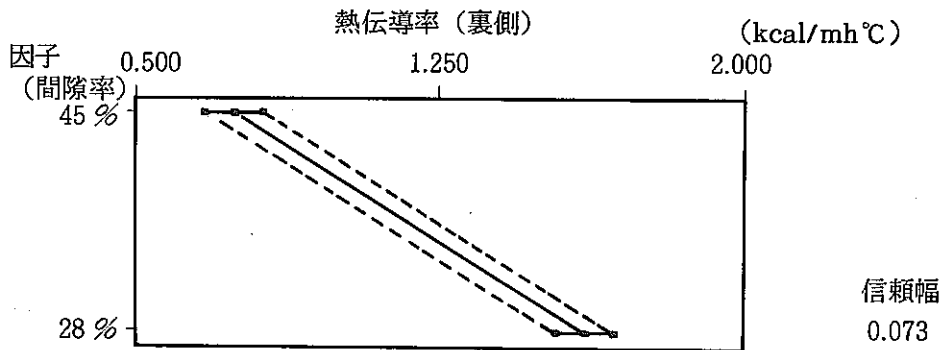
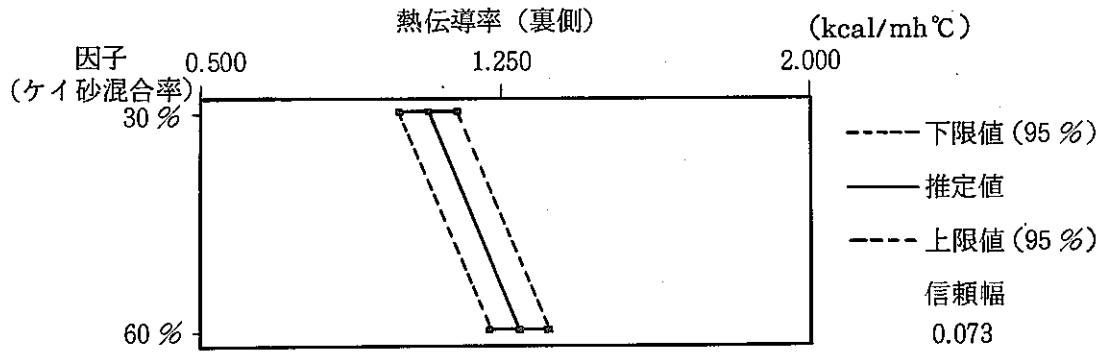


図 6 熱伝導率の母平均の推定値
(有意な因子に対して)

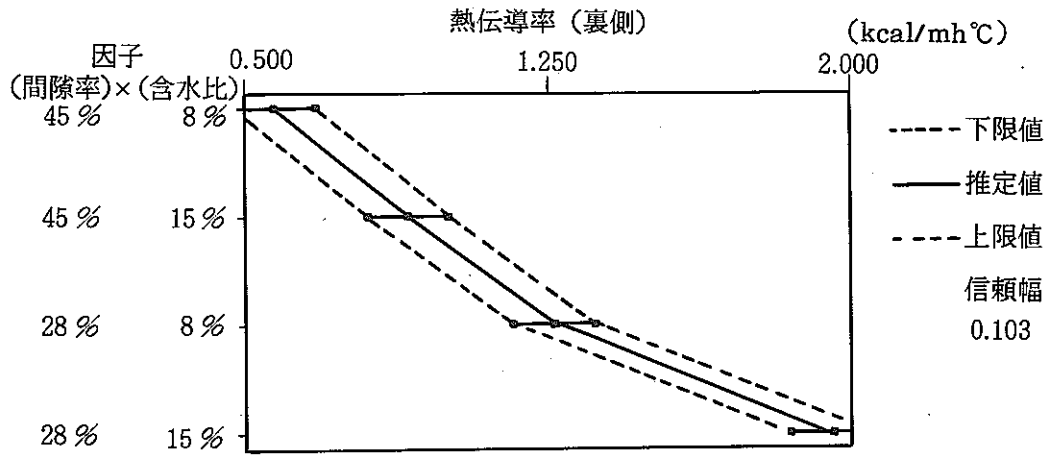


図7 熱伝導率の母平均の推定値
(有意な交互作用をもつ因子の組合せに対して)

4.3 一軸圧縮強度

一軸圧縮強度は、0.68～42.01kgf/cm²の範囲となった（表7参照）。

一軸圧縮強度の分散分析の結果を表12に示す。これから、一軸圧縮強度に影響を与える有意な要因は、（ケイ砂混合率）、（間隙率）、（含水比）であり、交互作用としては、（ケイ砂混合率）×（間隙率）、（間隙率）×（含水比）が有意であることが分かった。

また、母平均の推定値と95%の信頼区間を図8、9に示す。

図8から、本試験の範囲で緩衝材の一軸圧縮強度は、（ケイ砂混合率）、（間隙率）そして（含水比）が小さいほど大きいこと、またこのうち（間隙率）と（ケイ砂混合率）の影響が大きいことが分かる。さらに図9から、ケイ砂混合率30%間隙率28%の時、30kgf/cm²以上の一軸圧縮強度が得られることが分かった。

緩衝材のように粉体を圧縮成型する材料の強度は、その締固めエネルギーの大きさに影響を受ける。つまり締固めに大きな圧力を要する材料ほど強度は小さく傾向がある。今回の試験で、締固め圧力と一軸圧縮強度の分散分析結果が同じ傾向を示しているのはこのあらわれであり、緩衝材の機械的性質を考えると、土質材料のもつ基礎的な性質（例えば含水比の増加による強度低下など）とともに緩衝材の製作条件を十分検討する必要があると考えられる。

表12 一軸圧縮強度の分散分析結果

要因	平方和	自由度	分散	Fo	確率
A	899.34	1	899.34	370.66*	0.000
B	1579.51	1	1579.51	650.98*	0.000
C	44.48	1	44.48	18.33*	0.008
D	0.42	1	0.42	0.17	0.693
AB	610.63	1	610.63	251.67*	0.000
AC	8.21	1	8.21	3.38	0.124
BC	61.01	1	61.01	25.15*	0.005
AD	0.82	1	0.82	0.34	0.590
BD	0.34	1	0.34	0.14	0.721
CD	0.00	1	0.00	0.00	0.941
誤差	12.13	5	2.43		

A：ケイ砂混合率 B：間隙率 C：含水比 D：ケイ砂粒度

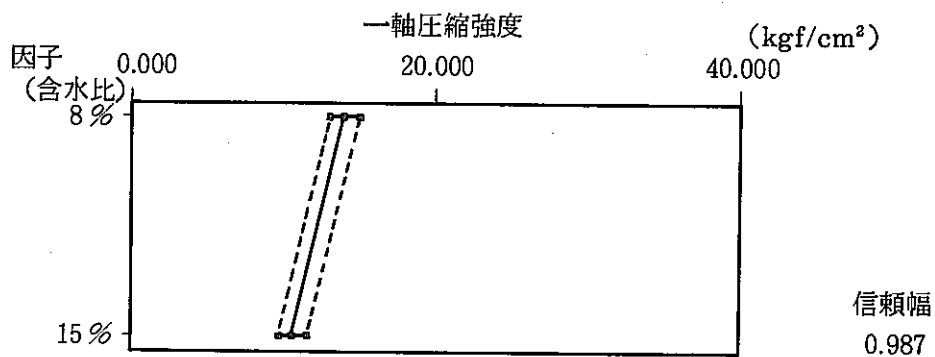
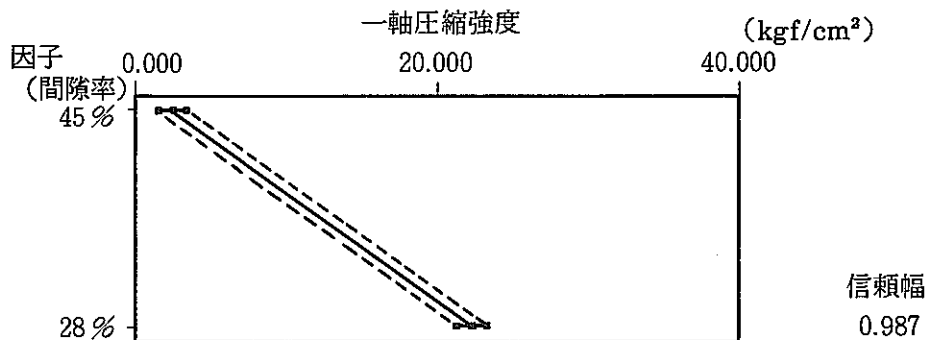
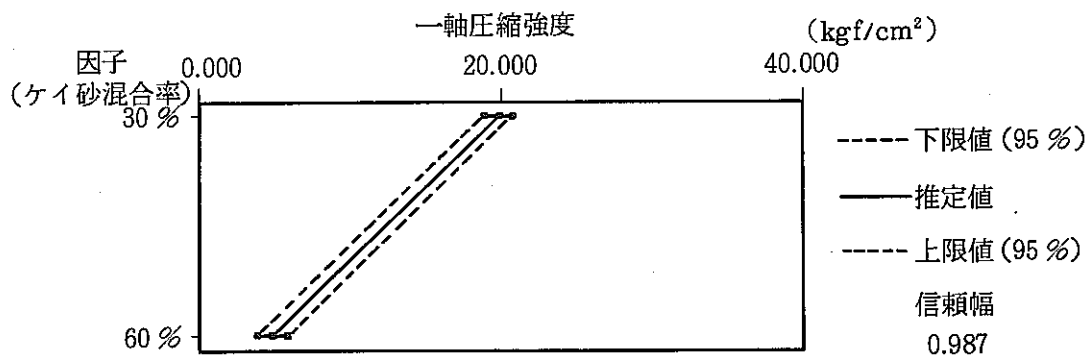


図8 一軸圧縮強度の母平均の推定値
(有意な因子に対して)

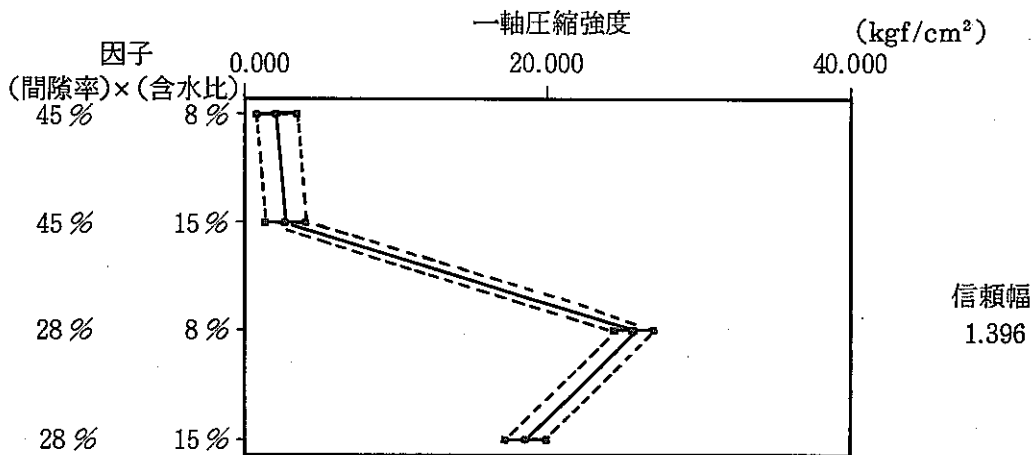
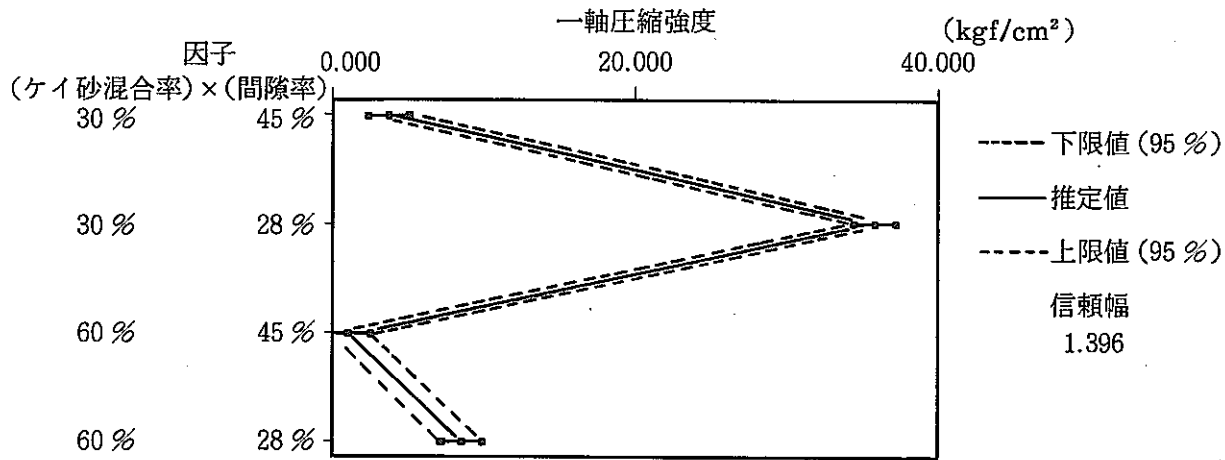


図9 一軸圧縮強度の母平均の推定値
(有意な交互作用をもつ因子の組合せに対して)

4.4 ヤング率

ヤング率は、127～6234kgf/cm²の範囲となった（表7参照）。

ヤング率と一軸圧縮強度との関係を整理すると図10のようであり、両者には良い相関があることが分かる。このため、分散分析の結果もヤング率と一軸圧縮強度で同じ傾向となった。

つまり、表13に示すように、ヤング率に影響を与える有意な要因は、（ケイ砂混合率）、（間隙率）、（含水比）であり、交互作用としては、（ケイ砂混合率）×（間隙率）、（間隙率）×（含水比）が有意であることが分かった。

また、母平均の推定値と95%の信頼区間は図11、12に示すとおりで、ここでも一軸圧縮強度と同様に、（ケイ砂混合率）、（間隙率）そして（含水比）が小さいほどヤング率は大きいことが分かる。

表13 ヤング率の分散分析結果

要因	平方和	自由度	分散	F ₀	確率
A	1272.17	1	1272.17	84.26*	0.001
B	3132.92	1	3132.92	207.50*	0.000
C	338.10	1	338.10	22.39*	0.006
D	0.29	1	0.29	0.02	0.864
AB	713.02	1	713.02	47.23*	0.002
AC	0.49	1	0.49	0.03	0.839
BC	265.45	1	265.45	17.58*	0.009
AD	23.40	1	23.40	1.55	0.268
BD	0.00	1	0.00	0.00	0.944
CD	13.38	1	13.38	0.89	0.392
誤差	75.49	5	15.10		

A：ケイ砂混合率 B：間隙率 C：含水比 D：ケイ砂粒度

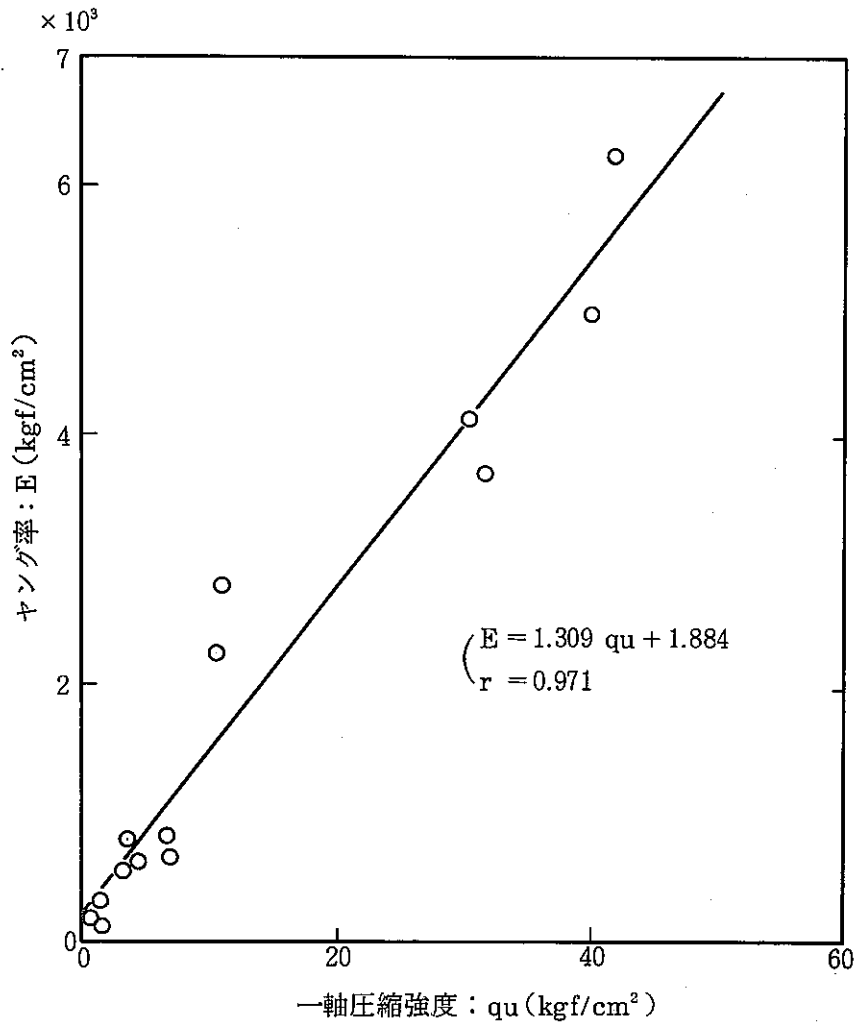


図10 一軸圧縮強度とヤング率の関係

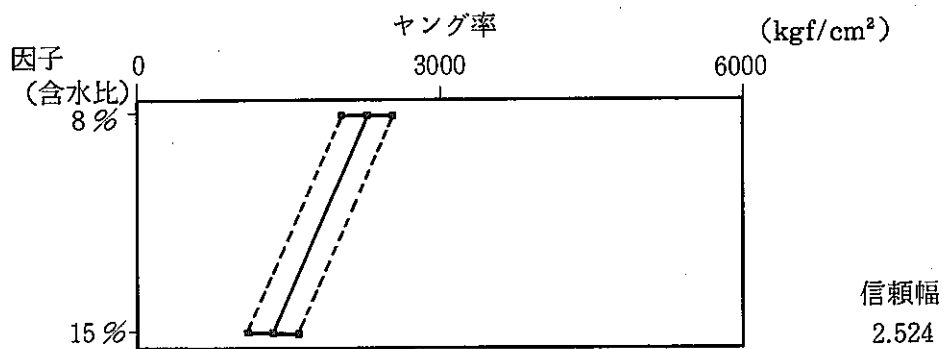
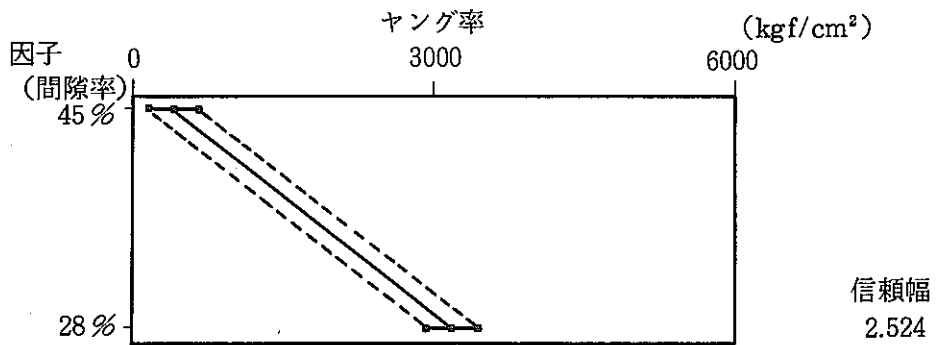
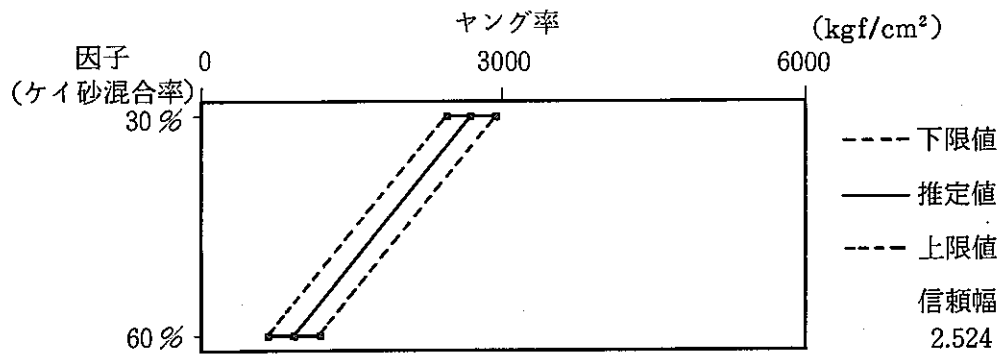


図 11 ヤング率の母平均の推定値
(有意な因子に対して)

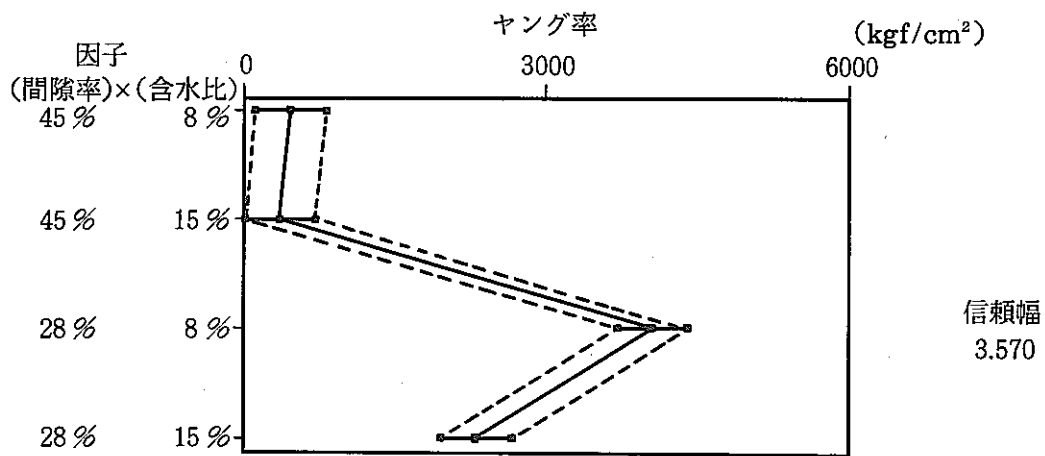
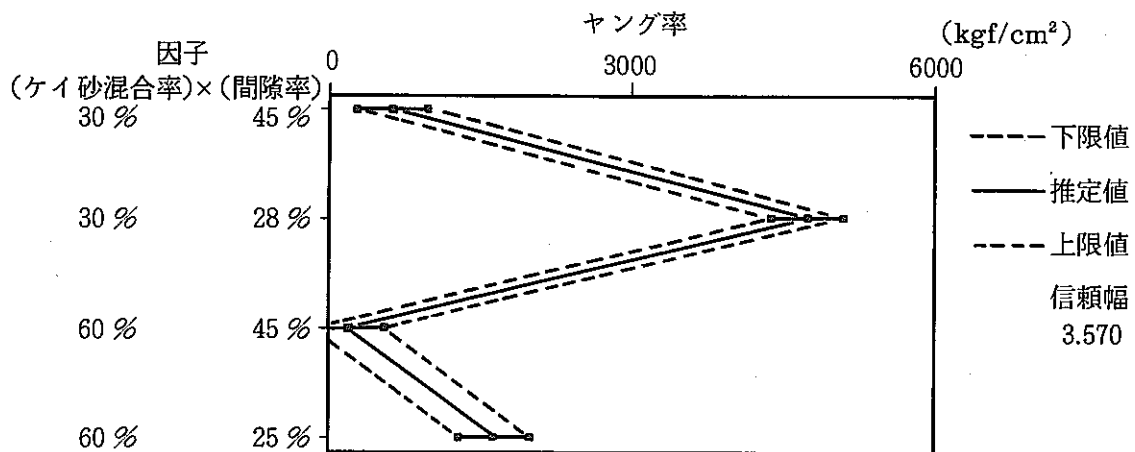


図12 ヤング率の母平均の推定値
(有意な交互作用をもつ因子の組合せに対して)

4.5 透水係数

透水試験は表5に示したように（含水比）を因子から除き、他の3因子の水準を変化させ実施した。その結果、透水係数の測定値は、 $0.470\sim 3.18\times 10^{-10}$ cm/sの範囲となった（表8参照）。

透水係数の分散分析の結果を表14に示す。これから、透水係数に影響を与える有意な要因は、（ケイ砂混合率）と（間隙率）であり、有意な交互作用はないことが分かる。

一般に透水係数は、材料の間隙率に大きく依存する。しかし、今回の分散分析では（間隙率）の有意水準は4.5%と大きく、（間隙率）は高度に有意とは言えない。これは、緩衝材の透水係数は固相中の粘土量に大きく依存するため、（間隙率）だけの要因効果は小さくなったものと考えられる。

次に、透水係数の母平均の推定値と95%の信頼区間を図13に示す。これから、本試験の範囲で緩衝材の透水係数は、（ケイ砂混合率）と（間隙率）が小さいほど小さいことが分かる。

表14 透水係数の分散分析結果

要因	平方和	自由度	分散	Fo	確率
A	2.57	1	2.57	22.50*	0.038
B	2.22	1	2.22	19.45*	0.045
D	0.14	1	0.14	1.26	0.380
AB	0.67	1	0.67	5.91	0.136
BD	0.18	1	0.18	1.54	0.341
誤差	0.23	2	0.11		

A：ケイ砂混合率 B：間隙率 C：含水比 D：ケイ砂粒度

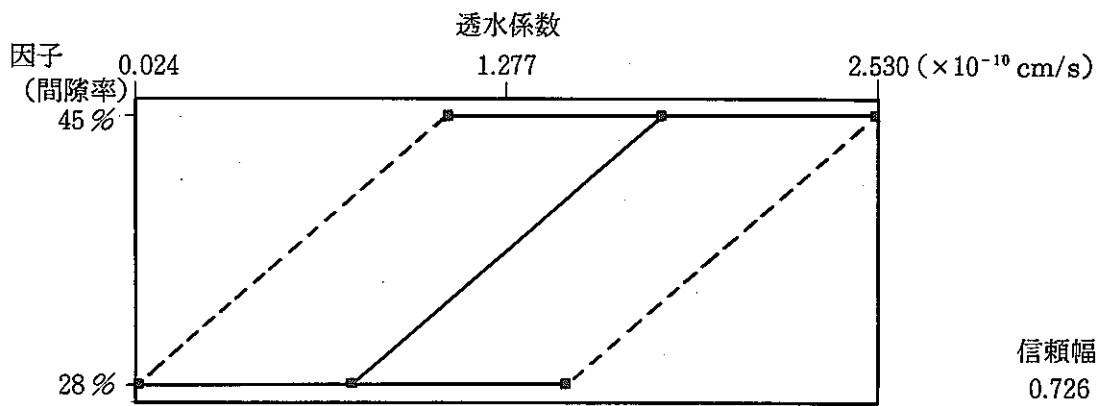
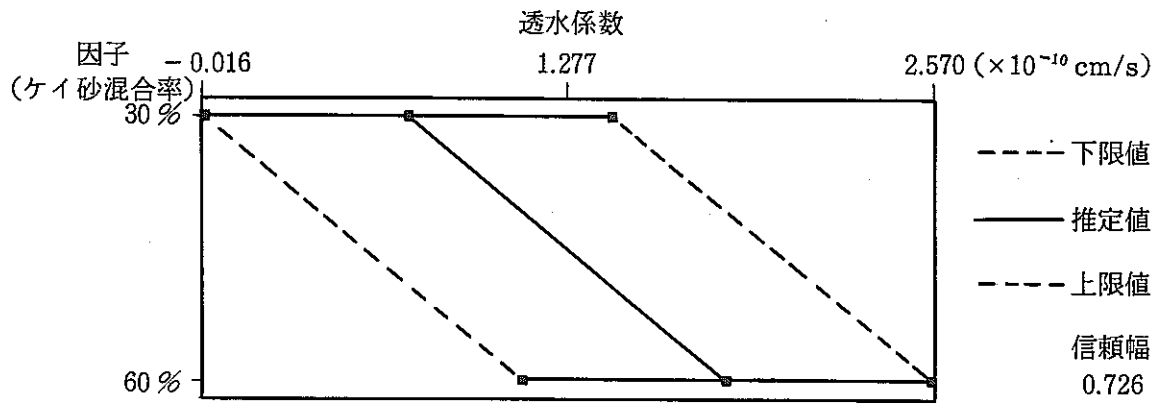


図 13 透水係数の母平均の推定値
(有意な因子に対して)

5. ま と め

以上の分散分析の結果をまとめて表15に示す。

表15 分散分析結果

要求性能	要因 特性値	因 子				交 互 作 用					
		(ケイ砂混合率)	(間隙率)	(含水比)	(ケイ粒砂度)	(ケイ砂混合率) × (間隙率)	(ケイ砂混合率) × (含水比)	(ケイ砂混合率) × (ケイ粒砂度)	(間隙率) × (含水比)	(間隙率) × (ケイ粒砂度)	(含水比) × (ケイ粒砂度)
製作性	締固め圧力	* ⊖	* ⊖	* ⊖		*			*		
熱伝導性	熱伝導率	* ⊕	* ⊖	* ⊕					*		
機械的	一軸圧縮強度	* ⊖	* ⊖	* ⊖		*			*		
安定性	ヤング率	* ⊖	* ⊖	* ⊖		*			*		
止水性	透水係数	* ⊕	* ⊕								

*有意 (有意水準 5 %以下)

; 実施せず

- ⊕ 因子の値が大きいほど特性値が大きい
- ⊖ 因子の値が小さいほど特性値が大きい

最後に、今回の試験の結論をまとめると以下のとおりとなる。

- ① (ケイ砂混合率), (間隙率), (含水比) は緩衝材の製作性, 熱伝導性, 機械的安定性, 止水性に影響を及ぼす有意な要因であり, 緩衝材の開発を進める時の重要なパラメータとなる。
- ② 交互作用としては, (ケイ砂混合率) × (間隙率), (間隙率) × (含水比) が重要である。今後パラメトリックな試験を進めるとき, 交互作用のある因子に対しては相互の影響を考慮し, 各要因の効果が正しく把握できる試験計画を立案する必要がある。

- ③ (ケイ砂粒度)は今回用いた材料の粒度範囲では緩衝材特性に影響を及ぼさない。今後仮に、シルトあるいは礫のような今回と粒度の異なる材料や、粒子が角張ったような材料を用いるときは再度検討する必要があると考えられる。

引用文献

- 1) Gray, M.N. et al., "The Influence of Sand Content on Swelling Pressures and Structure Developed in Statically Compacted Na-Bentonite", AECL-7825, 1984, 24p
- 2) 雨宮他 "高レベル放射性廃棄物における緩衝材の研究" 間組研究年報 1987 10p
- 3) 雨宮他 "ベントナイトの基本特性調査" 動燃技術資料 PNC SN8410 89-033 1989
- 4) "Kemtherm熱伝導率計" 京都電子工業(株)

その他参考とした文献

久米均編 "JUSE-QCASによる品質管理" 日科技連
武藤時宗 "実験計画法テキスト" 新技術社

Appendix

- 表A. 1 L_{16} の直交表
- A. 2 L_8 の直交表
- A. 3 クニゲルV 1の品質表
- A. 4 5号ケイ砂試験成績表
- A. 5 3号ケイ砂試験成績表

- 図A. 1 非定常熱線法の原理
- A. 2 透水試験の原理

表A. 1 L_{16} の直交表

$L_{16} (2^{16})$

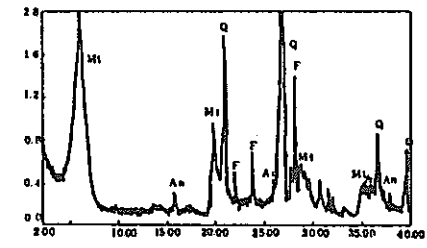
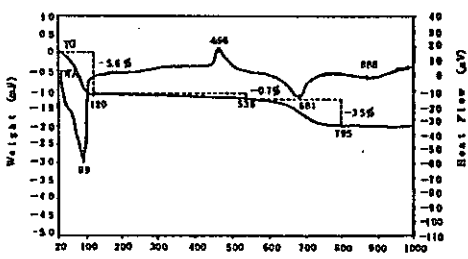
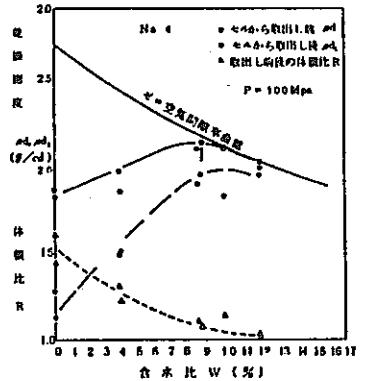
サンプルNo.	列 番														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2
3	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2
4	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1
5	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2
6	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1
7	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1
8	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2
9	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
10	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1
11	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
12	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	1	2	1	2
13	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1
14	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2
15	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2
16	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	2	1
	A	B	A *	C	A *	B *		D	A *	B *		C *			
			B		C	C			D	D		D			

表A. 2 L_8 の直交表

$L_8 (2^7)$

サンプルNo.	列 番						
	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2
	A	B	A *	C	A *	B *	
			B		C	C	

表A. 3 クニゲルV 1品質表³⁾

製品No.4		製品名 クニゲルV 1		メーカー クニミネ工業(株)		
産地: 山形県月布		型: Na		真比重	Gc	2.760 (15°C)
鉱床: 新第3紀中新世月布層(硬質頁岩)				pH		10.1
続成作用				CEC	meq/100g	68
鉱量: 1,700万ton		価格: 41,800円/ton (S63.11東京)		フロンター 吸着量 MB	mmol/100g	52
化学組成(%)				有機物量	ORG %	0.80
SiO ₂	69	Al ₂ O ₃	13	硫酸体分量 SO ₄ ²⁻	%	0.086
Fe ₂ O ₃	2.0	CaO	2.0	全体砂量 Total S	%	0.462
MgO	2.0	Na ₂ O	2.6	液性限界	W _L %	416.0
I.L	4.2			塑性限界	W _p %	20.9
その他	5.2			収縮限界	W _s %	10.6
X線回折:				塑性指数	I _p %	395.1
				流動指数	I _r %	45.0
示差熱分析:				クフネス指数	I _c	8.8
				収縮比	R	1.87
縮固め試験:				膨潤力	V, ml/2g	14
最大乾燥密度 ρ _{dmax} = 2.18g/cm ³				膨潤度	W _s g/g	9.33
最適含水比 w _{opt} = 8.6%				熱伝導率	λ w/m·°C	0.169
				水分拡散係数	D _w m ² /s	1.4 × 10 ⁻¹⁰ (乾燥密度 ρ _d = 1.2g/cm ³)

表A. 4 5号ケイ砂試験成績表



〒470-82
愛知県知多郡美浜町大字野間字新田5番地
株式会社 トウチュウ
TEL <05698> 7-0611 (代)

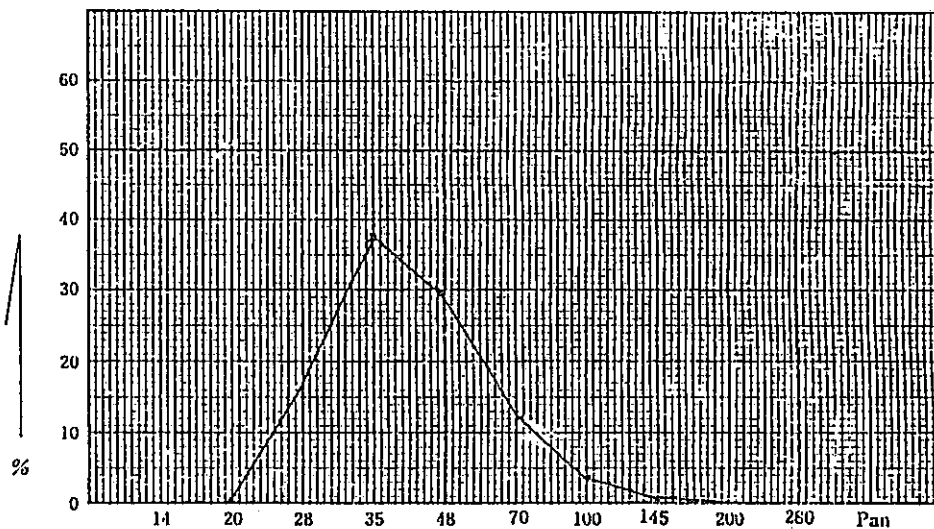
トウチュウ。珪砂性能表

御中
平成 / 年 8 月 2 日 株式会社 トウチュウ

砂名	110-1L5号	数量	32.79kg
製造年月日			

検査項目	単位	検査結果	検査項目	単位	検査結果
通気度			安息角		
充填密度	g/cc				

粒度分布




Mesh	20	28	35	48	70	100	145	200	250	Pan	(AFS)
110-1L5号	0.5	6.0	37.7	29.6	11.2	3.8	0.9	0.2			35.84

化学成分

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	I.L
110-1L5号	99.78	0.05	0.01		<0.01	0.01	0.01	0.03	0.12


表A. 5 3号ケイ砂試験成績表

試験成績表												1 年 5 月 15 日		
No.										産 地				
ニットウレン ケンリヨウ K. K. 殿										試 料 名		カンソウ 3 号 ケイシヤ		
化 学 分 析														
成分 試料・No	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	igloss		Total			
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	
	94.6	3.32	0.13											
粒 度 分 布														
試料・No	8 (2380)	10 (1680)	14 (1190)	20 (840)	28 (590)	35 (420)	48 (297)	65 (210)	100 (149)	150 (105)	200 (74)	270 (53)	Pan	Total
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
			38.4	59.6	1.7	0.2	0.1							100
粒 度 (ミクロン)				純 成 (還元・酸化)		比 重			耐 火 度	含 水 率				
<5	5~10	10~20	20<	呈 色	収 縮 率	カサ比重	見掛比重	真比重		%				
%	%	%	%		%									
備 考														


日本珪砂工業株式会社
愛知県瀬戸市瀬戸原田165番地



組 当 者



1.4. 2×50×50 MI

熱伝導率が既知のプローブを試料表面に押しあて一定熱量で試料を加熱しその温度上昇量を測定する。

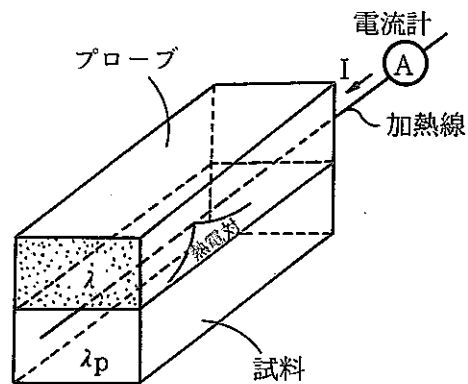
$$\lambda_p = K \cdot \frac{I^2 \ln(t_2/t_1)}{(T_2/T_1)} - H$$

ここで、

K, H: プローブによって定まる定数

I: 加熱線を通れる一定電流

t₂, t₁: サンプルング時間



図A.1 非定常熱線法の原理⁴⁾

飽和した試料に一定圧力で水を透過させ、次式のダルシー則から透水係数を求める。

$$Q = KiA$$

ここで、

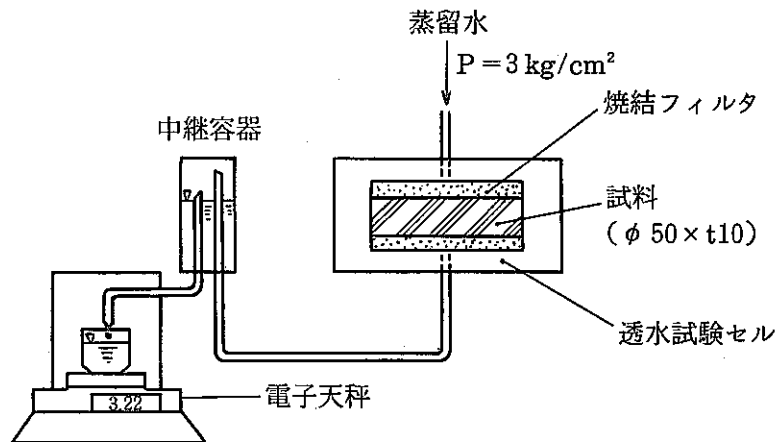
Q; 透水量 (m³/s)

K; 透水係数 (m/s)

i; 動水勾配

$$i = \frac{\text{透水圧 (mH}_2\text{O)}}{\text{試料厚さ (m)}}$$

A; 試料断面積 (m²)



図A.2 透水試験の原理