

VII-230

緩衝材原位置締固め工法に関する検討（その1）

東京電力㈱ 原子力技術部

正会員○出口 朗

東京電力㈱ 原子力技術部

増田 良一

(㈱間組 土木本部技術開発センター

正会員 トラン・デ・ユ・フィ・オ・ン

1.はじめに

高レベル放射性廃棄物（以下 HLW）の処分については、地層処分が最も好ましい処分方策として、国際的にも共通の考え方になっている。ガラス固化された HLW は金属製のオーバーバック及びベントナイト系材料（ベントナイト+ケイ砂混合材料）を用いた緩衝材から構成される人工バリア内に設置される（図-1）1）。緩衝材の設置方法としては、あらかじめ成形された圧縮ベントナイトブロックを積み上げる方式が考えられているが、岩盤とのすき間やブロック間の継ぎ目処理などの課題がある。これらの課題の解決策の一つとして緩衝材を現場で締固める方法（原位置締固め工法）が考えられる。本報告は、実規模での原位置締固め試験に先立ち、室内レベルの締固め試験により原位置締固めによる緩衝材施工の可能性の検討及び基礎データの取得を目的としたものである。

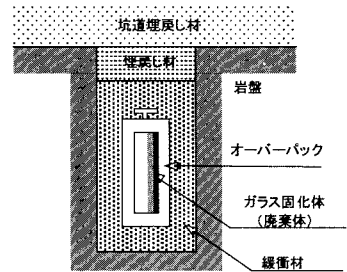


図-1 人工バリアシステム概念

2.試験条件

試験は、原位置締固めにおいて緩衝材要求性能を満たすために最適なケイ砂混合率、含水比並びに必要な締固めエネルギーを明らかにする目的で行った（表-1）。試験は締固め試験（地盤工学会規定 JSF T 711）、熱伝導率試験（QTM 法）を実施し、得られた結果と緩衝材要求性能（表-2 参照）を照査することで、要求性能を満たす緩衝材の仕様を検討した。

表-1 実施試験概要

項目	条件
試験項目	締固め試験、熱伝導試験
ベントナイト種類	クニゲル V1（国産）、Mx-80（米国産）
混合ケイ砂	クニゲル V1：ケイ砂（3+4+5+6+7）号 Mx-80：ケイ砂（3+4）号 （別途検討を行い選定したケイ砂最適配合）
ケイ砂混合率 Rs	0%（ベントナイト単体）、20%、30%、50%、67(70)%
締固めエネルギー	標準締固めエネルギー $E_c(5.625 \text{ kgf} \cdot \text{cm/cm}^3)$ に対して、1 E_c 、5 E_c 、10 E_c 、20 E_c
含水比	各試料について最適含水比付近で5段階設定
供試体寸法	直径 10cm、高さ 12.7cm

3.試験結果

図-2 に、最適含水比を与えた各試料についての締固め後の最大乾燥密度を示した。締固めエネルギーの増加に伴って最大乾燥密度は増加するものの、10 E_c を超えるとその増加量はいずれの試料においても小さくなっている。また、ケイ砂混合率については高い方が粒度分布が良くなり締固め性は向上する。同一のケイ砂混合率で比較すると、Mx-80 に比べクニゲル V1 の最大乾燥密度が高く、締固め性に優れる結果となった。これは、

表-2 緩衝材要求性能

項目	要求性能	評価方法
【熱伝導性】 ベントナイトの変質を避けるため、最大 100℃以上温度が上昇しないよう、所定の熱伝導性を持たせる必要がある。	熱伝導率 $\lambda(w=7\%) \geq 1.0 \text{ W/mK}$ (含水比 7%)	締固め試験結果（含水比と熱伝導率の関係）から、含水比が 1%減少すると熱伝導率は 0.06W/mK 低下するものと仮定。 $\lambda(w=7\%) = \lambda_o - 0.06(w_o - 7)$ (λ_o は w_o に対する実測値)
【止水性】 廃棄体からの地下水による核種の溶出・移行を抑制するため、廃棄体周辺に低透水領域を構築する。	透水係数 $k \leq 10^{-12} \text{ m/s}$	固有透過度 $K(\text{m}^2)$ は有効粘土密度 ρ_{db} との関係から算定。 2) $K = \exp(-2.1232 \rho_{db}^2 + 1.1447 \rho_{db} - 42.1)$ $P_{db} = Mb / (Vb + Va)$ (Mb: ベントナイト乾燥質量、Vb: ベントナイト容積、Va: 空隙容積) 透水係数 $k = K \rho g / \mu$ (ρ : 水の密度、 g : 重力加速度、 μ : 水の動粘性係数) Mx-80 は保守的にクニゲル V1 と同じ。
【自己シール性】 岩盤-緩衝材-廃棄体間に生じるすき間及び周辺岩盤の割れ目について、ベントナイトの膨潤による自己閉塞を期待している。	膨潤圧力 $P_s \geq 1.0 \text{ MPa}$ (隙間充填後)	クニゲル V1 の膨潤圧力 P_s は有効粘土密度 ρ_{db} との関係から算定。 3) $P_s = \exp(3.9688 \rho_{db}^2 - 7.7171 \rho_{db} + 2.3807)$ Mx-80 は、膨潤力の比から推定。 Mx-80: 22mg/2g クニゲル V1: 14mg/2g Mx-80 の膨潤圧力は、クニゲル V1 の $22 \div 14 = 1.57$ 倍。

キーワード：高レベル放射性廃棄物 緩衝材 ベントナイト 原位置締固め

連絡先：〒100-0011 東京都千代田区千代田 1-1-3 東京電力㈱原子力技術部 TEL:03-4216-4976 FAX:03-3596-8562

Mx-80 が粒径分布範囲が狭く、いわゆる「粒度分布が悪い」ことに加え、モンモリロナイト含有量が多いことに起因すると考えられる。

次に、緩衝材要求性能との照査を実施した。照査項目は緩衝材要求性能のうち重要であると考えられる熱伝導性（熱伝導率/含水比7%時）、止水性（透水係数）、自己シール性（膨潤圧力）とした。これらは、表-2 に示した評価式を用い、試験により測定した有効粘土密度及び熱伝導率から推定値として算定した値を使用した。

表-3 は緩衝材要求性能に対する各試料の照査結果である。熱伝導率はケイ砂混合率の高い試料の方が良い。Mx-80 は熱伝導率が低く、所定の要求性能確保には高いケイ砂混合比と締固めエネルギーを与える必要がある。透水係数については、両試料とも比較的容易に目標性能の確保が可能である。膨潤圧力については、5Ec 以上の締固めエネルギーとケイ砂混合率を下げることで要求性能を満足できる。

ケイ砂混合率に対して、透水係数、膨潤圧力と熱伝導率は逆の傾向にある。すべての要求性能を満たす条件としては、クニゲルV1 の場合でケイ砂混合率 20-30%、締固めエネルギー5Ec 以上、Mx-80 でケイ砂混合率 50%、締固めエネルギー20Ec との結果が得られた。Mx-80 は熱伝導率が低く、要求性能に適合する組合せ条件は限定されるが、要求性能や評価方法について原位置締固めを前提とした詳細な検討を行うことで要求性能に適合する仕様条件の拡大が期待される。

4.まとめ

今回の実験により、適切なケイ砂混合率、含水比及び締固めエネルギーを与えることで原位置締固め工法においても緩衝材の要求性能を確保できる見通しが得られた。今後は、透水係数、膨潤圧力等の実測及び原位置締固めを前提にした緩衝材要求性能の適性化、原位置における品質管理手法の検討、施工機械の検討・設計、原位置締固め試験、ブロック方式との比較検討を実施することで、緩衝材原位置締固め工法の適用性の検討を進めていく予定である。

参考文献 1)駒田ほか：高レベル放射性廃棄物処分の事業化技術，原子力学会誌（投稿中） 2)松本ほか：緩衝材の飽和透水係数，動燃技術資料 PNC TN8410 97-296(1997) 3)動力炉・核燃料開発事業団：地層処分研究開発第2 次取りまとめ第1 ドラフト，PNC TN1412 98-013(1998)

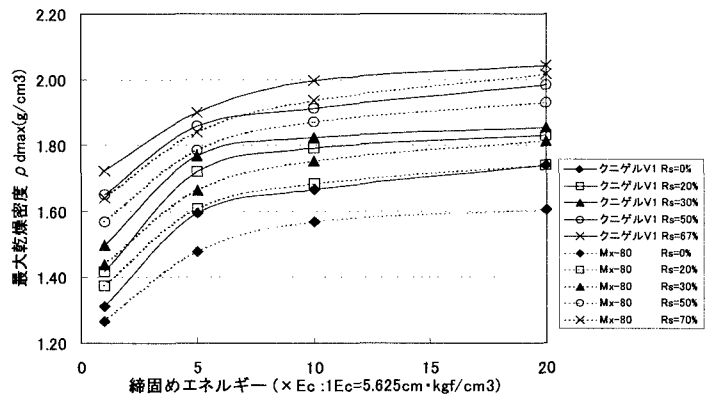


図-2 締固め試験結果（最大乾燥密度）

表-3 緩衝材要求性能照査結果

要求性能及び締固めエネルギー	クニゲルV1					Mx-80				
	ケイ砂混合率(Rs%)					ケイ砂混合率(Rs%)				
	0%	20%	30%	50%	67%	0%	20%	30%	50%	70%
熱伝導率λ(w=7%)≥1.0W/mK										
1Ec	0.0	0.5	0.4	1.2	1.4	-0.3	0.1	0.1	0.6	0.6
5Ec	0.5	1.0	1.3	1.5	1.4	0.1	0.4	0.6	0.9	1.0
10Ec	0.7	1.3	1.1	1.5	1.9	0.3	0.7	0.9	1.1	1.2
20Ec	0.7	1.2	1.2	1.9	1.9	0.3	0.7	0.9	1.3	1.5
透水係数κ≤1.0E-12m/s										
1Ec	5.9E-13	7.0E-13	7.5E-13	9.8E-13	1.9E-12	7.2E-13	8.5E-13	9.5E-13	1.3E-12	2.4E-12
5Ec	1.4E-13	1.6E-13	1.9E-13	3.6E-13	9.7E-13	2.7E-13	2.9E-13	3.4E-13	5.4E-13	1.3E-12
10Ec	9.4E-14	9.9E-14	1.4E-13	2.6E-13	5.8E-13	1.6E-13	1.9E-13	2.1E-13	3.4E-13	8.2E-13
20Ec	6.0E-14	8.0E-14	1.1E-13	1.7E-13	4.5E-13	1.3E-13	1.4E-13	1.5E-13	2.4E-13	5.2E-13
膨潤圧力Ps≥1.0MPa										
1Ec	0.40	0.36	0.35	0.31	0.25	0.57	0.52	0.50	0.44	0.41
5Ec	1.18	1.08	0.91	0.86	0.31	1.12	1.05	0.93	0.68	0.45
10Ec	1.72	1.64	1.22	0.71	0.40	1.67	1.46	1.56	0.94	0.54
20Ec	2.64	2.02	1.46	1.04	0.48	1.99	1.93	1.85	1.23	0.69

（白抜：不満足、黒塗り：他項目評価より不満足）