

高レベル放射性廃棄物の地層処分における緩衝材の静的締固め試験（その2）

清水建設株式会社
原子力発電環境整備機構

正会員
正会員

○竹内 伸光
高橋 拓麻

沖原 光信
山本 陽一

戸栗 智仁
北川 義人

1. はじめに

高レベル放射性廃棄物の地層処分における PEM 方式の緩衝材製作方法として、PEM 容器内での静的締固め方式が、効率性の観点から有力な候補と位置付けられる。そこで本試験では、PEM 容器と一体化させた緩衝材を模して、大型プレス機による締固め試験を行った。

本稿では、試料の違い、締固め厚さや直径比の違い等が締固め特性に与える影響について報告する。

2. 試験方法

試験条件を表 1 に示す。パラメータは試料、成形容器の内径、締固め厚さ/直径比 (H/D) とした。载荷条件に関する試験結果から、保持時間など载荷パターンが締固め性に及ぼす影響は小さいことが分かったことから、载荷条件は 1 段階プレス、保持時間は 5 分で設定した¹⁾。

3. 試験結果

(1) 成形圧力と直径(D)や締固め厚さ(H)の関係

図 1 に H/D と成形圧力の関係を示す。成形圧力は、クニゲル V1 に比べ、三川産ベントナイトと天竜は 5〜6 倍を必要とした。また全体的に、H/D が大きくなると成形圧力は増加する傾向を示した。

先行して実施した要素試験²⁾の結果 (D50) と比較すると、H/D が同じ場合クニゲル V1 では同程度の成形圧力であったが、三川産ベントナイトと天竜では差異があり傾向は異なる結果だった。

(2) 圧力除荷後の緩衝材の寸法変化

図 2 に H/D とリバウンド率 (リバウンド量/直径 D) の関係を示す。なお、圧力除荷後のベントナイトの体積膨張をリバウンドと呼ぶ。今回の試験では、全ての試験でリバウンドがみられた。リバウンド率は、高い成形圧力を要する三川産ベントナイトや天竜はクニゲル V1 に比べ大きかった。また全体的に、H/D が大きくなるとリバウンド率は低下する傾向を示した。

要素試験の結果と比較すると、H/D が同じ場合、クニゲル V1 や三川産ベントナイトではリバウンド率が大きく、天竜では小さかった。

(3) 密度とその分布

図 3 に成形圧力とリバウンド後の乾燥密度の関係を示す。今回の試験結果は、要素試験結果と比べると、三川産ベントナイトで乾燥密度がやや低い傾向がみられるものの概ね整合する。

表 1 試験条件

項目	内容
試料 (ベントナイト)	クニゲル V1 (クニミネ工業社製) 三川産ベントナイト (ホーゲン社製) 天竜 (関ベン鉱業社製)
配合	ベントナイト 100%
目標乾燥密度	1.6 Mg/m ³ (圧縮時)
含水比	20%±1%
製作方法	プレス機による静的締め固め
成形容器の内径	300.5 mm, 596.8 mm
締固め厚さ/直径比 (H/D)	D300.5 : 0.13, 0.43, 0.64, 1.00 D596.8 : 0.13, 0.43, 0.64
载荷条件	1 段階プレス, 保持時間 5 min

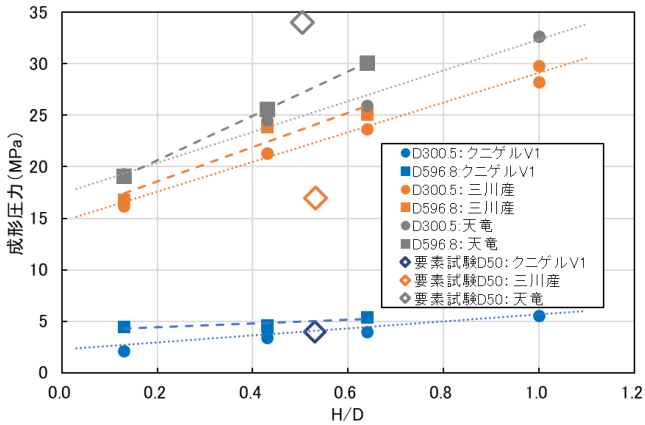


図 1 H/D と成形圧力の関係

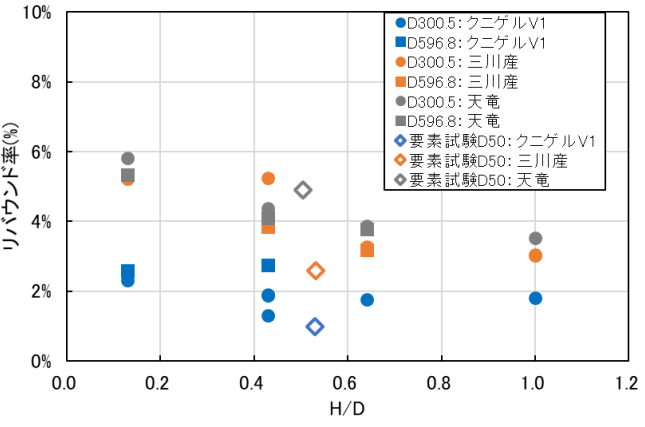


図 2 H/D とリバウンド率の関係

キーワード 放射性廃棄物, 地層処分, ベントナイト, 乾燥密度, 締固め性, PEM

連絡先 〒104-8370 東京都中央区京橋 2-16-1 清水建設㈱土木技術本部バックエンド技術部 TEL : 090-7899-3617

図 4 に H/D とブロック内の最大密度差の関係を示す。D300.5 は、材料にかかわらず、H/D が大きくなるとブロック内の最大密度差が大きくなる傾向を示した。特に、容器近傍で上方から下方に小さくなる傾向が顕著であった。D596.8 では、三川産ベントナイトと天竜では同様な傾向を示すものの、クニゲル V1 では H/D が小さくても密度差が大きいという結果を示した。

(4) 側圧 (側方土圧) の分布・残留圧力

図 5 に成形圧力と側圧の分布の例を示す。側圧は深度方向に成形圧力から概ね直線的に減少する傾向を示した。

図 6 に側圧の測定結果の例を示す。側圧は、同じ高さでは概ね同じ値を示した (側圧計③と③-2)。また、5 分保持後の残留側圧は、最大側圧や H、D などに関わらず 8 割程度であった。

(5) 適用限界の考察

今回使用したプレス機 (最大荷重 20,000 kN, 最大ストローク 1,700 mm) による緩衝材製作の適用限界を表 2 に示す。

適用限界の視点は、密度のばらつきの許容値とプレス機の仕様の限界である。密度のばらつきの許容値は 0.1 Mg/m³ と設定した。適用限界はクニゲル V1 ではプレス機の仕様の限界で決まり、H/D が増加すると密度差が大きくなる三川産ベントナイトと天竜では、1 層あたりの厚さに適用限界が発生する。

表-2 20,000 kN プレス機による緩衝材製作の適用限界

材料	適用限界寸法	
	直径 (mm)	厚さ (mm)
クニゲル V1	2,200 ^{※1}	850 ^{※2}
三川産ベントナイト	1,000 ^{※1}	280 ^{※3}
天竜	1,000 ^{※1}	320 ^{※3}

※1 プレス機の最大荷重による限界
※2 プレス機のストロークによる限界
※3 密度のばらつきの許容値による限界

また、実規模 PEM の緩衝材 (φ 2,260 mm) の製作には、クニゲル V1 では 40,000 kN 以上、三川産ベントナイトと天竜では 100,000 kN 以上、かつ PEM 容器 (高さ 3,356 mm) で締固め可能な 4 m 程度以上のストロークを持つプレス機が必要となる。

(6) その他

成形後に、ひび割れ、内部での剥離、過大なリバウンドがみられることがあった。載荷後にパンチを引き離す際、パンチと加圧面である試料との密着により、試料に引張り作用していることが原因と考えられた。そのため、ビニルシートによる縁切りを実施した結果、ひび割れなどの異常は激減し効果があることがわかった。

4. おわりに

本検討の結果、緩衝材の静的締固めにおける厚さや直径、試料の違いによる成形圧力や密度への影響を把握し、静的締固めの適用限界についての技術的根拠を整備できた。

参考文献

- 1) 高橋他：高レベル放射性廃棄物の地層処分における緩衝材の静的締固め試験 (その 1)，第 78 回土木学会年次学術講演会，2023。
- 2) 山本他：国内産ベントナイトの静的締固め特性に関する試験検討，第 78 回土木学会年次学術講演会，2023。

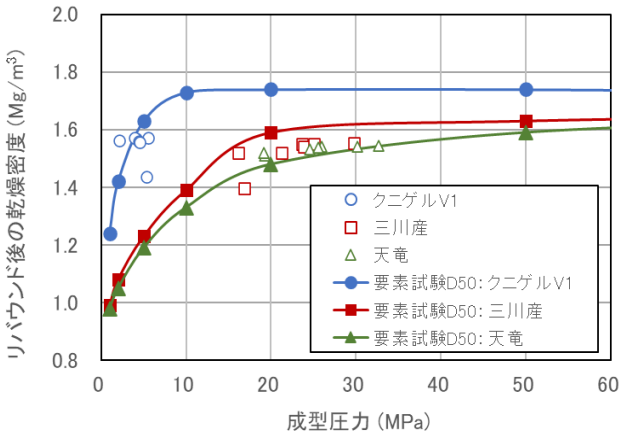


図 3 成形圧力とリバウンド後の乾燥密度の関係

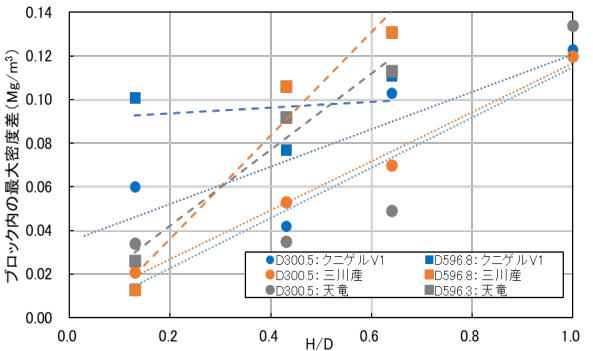


図 4 H/D とブロック内の最大密度差の関係

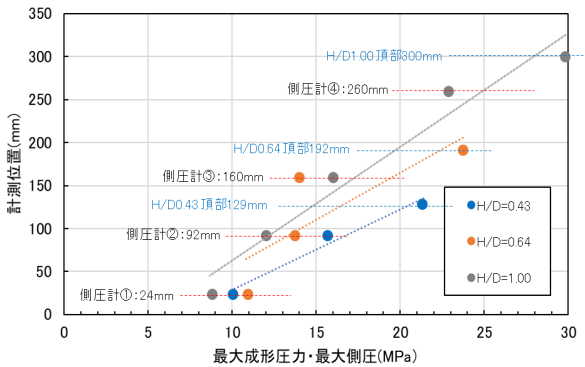


図 5 成形圧力と側圧の分布
三川産ベントナイト D300.5 の例

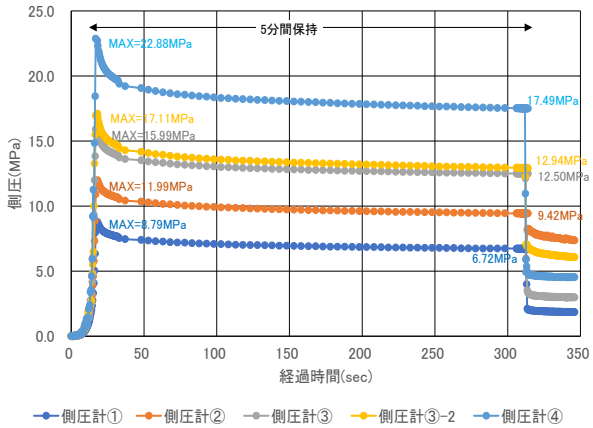


図 6 側圧測定結果
三川産ベントナイト D300.5, H/D=1.00 の例