

重錘落下方式による自動締固めの検討

東京電力（株） 正会員 小野文彦

日本原燃（株） 正会員 庭瀬一仁

東電設計（株） 正会員 谷智之、伊達正浩

（株）間組 正会員○中越章雄、千々松正和

1. はじめに

現状考えられている余裕深度処分施設における低透水層のうち特に側部に当たる部分は施工空間が狭いため、ベントナイトを所要の密度に締固めるのが非常に難しいと考えられる。したがって、この部分はベントナイトブロックによる施工が候補として考えられるが、より合理的な施工方法として、限られた空間でも原位置での締固めが可能な重錘落下締固めの適用性について検討することとした。重錘落下締固めは、特に高レベル放射性廃棄物処分を対象とした既往の研究で検討されている¹⁾が、本検討では、余裕深度処分施設の建設を勘案し、締固め面積が 1m^2 の比較的大きな締固め面積を有する重錘を用意し、密度達成や効率等について検討した。

2. 試験の概要

重錘落下締固めは重錘を繰り返し落下させることで締固めを行う方法である。本検討では重錘の質量および落下高さを調節することにより単位締固めエネルギーを制御し締固めを実施した。重錘の大きさは $1\text{m}^2(1\text{m}\times 1\text{m})$ および $0.5\text{m}^2(1\text{m}\times 0.5\text{m})$ の締固め面積を有するものを用意した。型枠は高さ1mで剥離機構を備えたものであり、最大 1m^3 の立方体を締固めることが可能である（写真-1）。また、下部（締固め部）の形状を波形（突起型）とした重錘（ $1\text{m}\times 0.5\text{m}$ ）も用意した（写真-2）。密度管理は層厚管理で実施した。

試験条件は、表-1に示すとおり、含水比を4水準、単位締固めエネルギーを4水準設定した。取得データは、層厚、乾燥密度、型枠の剥離に要する力、重錘落下の際に生じる衝撃力とした。試験に使用した材料は、クニゲル V1 原鉱石を粒径20mm以下に粒度調整したものである^{2) 3)}。

3. 試験結果

W1～W4 は本装置を用いた場合の最適含水比を求めるために実施した。なお、単位締固めエネルギーは $0.15E_c$ とし、各層とも沈下が収束するまで締固めを実施した。ここで、乾燥密度が $1.6\text{Mg}/\text{m}^3$ に到達するまでの重錘落下回数が最も少なくなる含水比を最適含水比と定義した。試験の結果、最適含水比は19%に設定し、以降は含水比19%の材料を用いて試験を実施した。ET1、ET2 は単位締固めエネルギーおよび層厚の影響を把握するために実施した。その結果、既往の研究と同様、最終乾燥密度は単位締固めエネルギーが支配的であること⁴⁾、層厚が厚い場合、層内の上下方向での密度差が大きくなることが分かった¹⁾。施工した立方体ブロックの上下方向の密度分布の例（W2 ケース）を図-1に示す。またこの図には、沈下計測から



写真-1 重錘落下試験装置



写真-2 ヘッドに突起を与えた重錘

表-1 試験ケース

Case	含水比 (%)	単位締固めエネルギー (E_c)	層厚 (cm)	ヘッドタイプ	
				寸法	形状
W1	15	0.15	10	$1\text{m}\times 1\text{m}$	平坦
W2	18	0.15	10	$1\text{m}\times 1\text{m}$	平坦
W3	21	0.15	10	$1\text{m}\times 1\text{m}$	平坦
W4	24	0.15	10	$1\text{m}\times 1\text{m}$	平坦
ET1	Wopt	0.05→0.1→ 0.15→0.2	10	$1\text{m}\times 1\text{m}$	平坦
ET2	Wopt	0.05→0.1→ 0.15→0.2	15	$1\text{m}\times 1\text{m}$	平坦
HS1	Wopt	0.05→0.1→ 0.15→0.2	10	$1\text{m}\times 0.5\text{m}$	平坦
HT	Wopt	0.05→0.1→ 0.15→0.2	10→20	$1\text{m}\times 0.5\text{m}$	突起

キーワード 余裕深度処分施設、ベントナイト、締固め

*連絡先 〒110-0015 東京都台東区東上野 3-3-3 / TEL:03-4464-5182 / ttani@tepsco.co.jp / 谷 智之

想定される乾燥密度が 1.6Mg/m^3 に達するまでに要するトータルエネルギーを併記している。各層内の密度のばらつきは比較的小さいが、層が上部になるほど達成密度は小さくなる傾向になる。また、乾燥密度 1.6Mg/m^3 に達するまでに要する重錘落下回数は、層を重ねるごとに増加しており、垂直方向に層の厚みが増すほど、達成密度や効率が悪くなる傾向が認められる。これは、締固め時の底盤にあたる部分の弾性が層の厚みを増すほど低くなり、締固め性に影響を与えていることが原因と考えられる。ヘッド下部の形状を波形としたケース(HT ケース)の乾燥密度の垂直方向の分布および沈下計測から想定される乾燥密度が 1.6Mg/m^3 に達するまでに要するトータルエネルギーを図-2 に示す。このケースにおける達成密度は 1.7Mg/m^3 を超えており、非常に高い密度となっている。また、トータルエネルギーの観点でも低いエネルギーで乾燥密度 1.6Mg/m^3 に達している。更に、このケースでは層厚 10cm を 2 層施工した後、その上に 20cm の層厚での締固めを行なっているが、層厚を増加したにもかかわらず達成密度は同程度であり、層内の上下方向での密度差も小さいという結果が得られている。これは、ヘッド下部の形状を変えることで締固め効率が非常に良くなる可能性があることを示唆していると考えられる。ヘッド下部の形状が平坦な場合、締固めが進行すると底盤の弾性により重錘がバウンドする現象が観察されるが、ヘッド下部に突起をつけた場合は、底盤にヘッドが突き刺さる形でほとんどバウンドが見られなかったことから、後者の場合、締固めのエネルギーが分散せずに効率良くベントナイト層に伝わったことが締固め効率を良くする一つの原因として考えられる。

型枠の剥離に要する力は、最大 100kN 程度で実際の機器設計に当たっては特に問題がないことを確認した。一方、重錘落下時に発生する衝撃圧は側面で最大 3MPa 程度、底面で最大 5MPa 程度発生することが確認され、他の構造物に対する影響を無視することができないことがわかった。

4. まとめ

余裕深度処分施設に対応した重錘落下締固め試験を実施した。得られた知見を以下に示す。

- ・垂直方向に層厚が増していくと、達成する密度が低くなるとともに密度達成に必要な締固めエネルギーも増大し、締固め効率が悪くなる。
- ・ヘッド形状を波形にすることで、達成密度、締固め効率が非常に良くなる。
- ・型枠の剥離に要する力は、100kN 程度であり機器設計上の問題とはならない。
- ・重錘落下時に発生する衝撃厚は側部で最大 3MPa、底部で最大 5MPa であり、覆工その他構造物に対する影響を考慮する必要がある。

本研究は、電力共通研究として実施したものである。

【参考文献】1) 小野ら：緩衝材原位置締固め工法の検討 - 原位置締固め模擬試験 -、土木学会第 56 回年次学術講演会、CS1-006 (2001)、2) 雨宮ら：ベントナイト原鉱の締固め特性に関する検討 - 種々の材料に対する室内試験結果 -、土木学会第 58 回年次学術講演会、CS7-018 (2003)、3) 工藤ら：ベントナイト原鉱によるコンクリートピット内締固め試験、土木学会第 59 回年次学術講演会、投稿中 (2004)、4) 小野ら：緩衝材原位置締固め工法の検討 - 締固めエネルギーに関する考察 -、土木学会第 55 回年次学術講演会、CS-192 (2000)

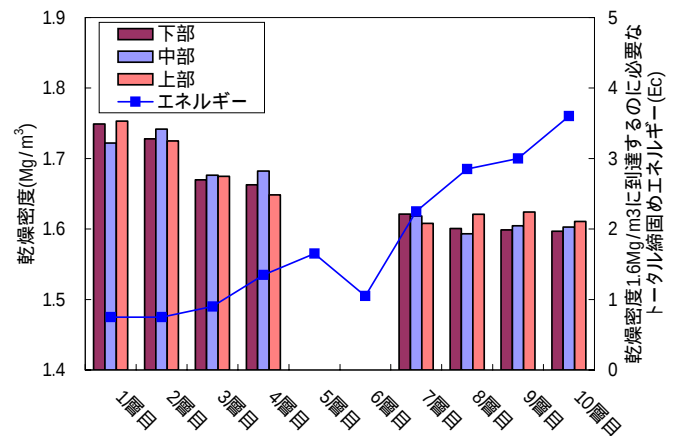


図-1 乾燥密度の分布(W2 ケース)

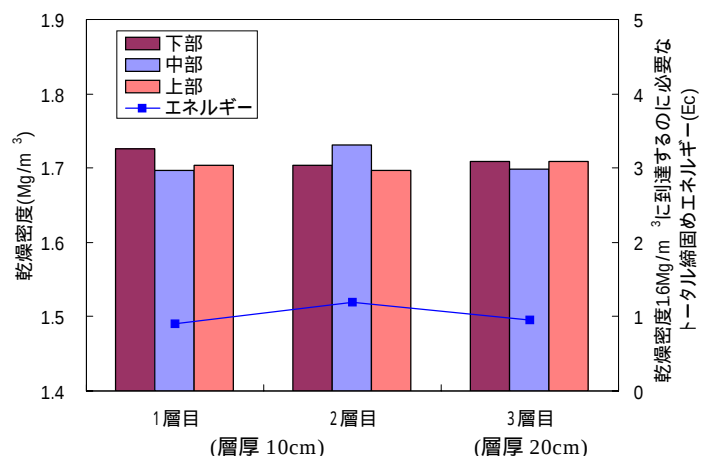


図-2 乾燥密度の分布(HT ケース)