

ホタテ貝殻の強度特性と粒子破碎に関する基礎的研究

Fundamental Study on Strength Properties and Particle Breakage of the Scallop Shell

小林 薫^{*1}

Kaoru Kobayashi

小林 延房^{*3}

Nobufusa Kobayashi

中房 悟^{*2}

Satoru Nakafusa

森井 俊広^{*4}

Toshihiro Morii

松元 和伸^{*1}

Kazunobu Matsumoto

阪 絵梨子^{*4}

Eriko Saka

【キーワード】 盛土形式の処分施設 破碎した貝殻 強度特性 粒子破碎 キャピラリーバリア

1. はじめに

極低レベル放射性廃棄物（以下、 L_3 廃棄物と記す）の一つの可能性のある処分方式として、キャピラリーバリア機能をもつ底部集排水層（以下、CB 底部集排水層と記す）を導入した盛土形式の処分施設について検討している¹⁾。キャピラリーバリア（以下、CB と記す）の構造は、砂層とその下部に礫層を重ねた土層である。そのため、砂材が礫層の間に混入しやすく、長期供用時にCBの性能低下が懸念される。この課題に対し、筆者らは礫代替材として破碎貝殻を用いることで課題を解決できる可能性を見出した²⁾。一方、破碎貝殻の強度・変形特性などに関する調査研究はほとんど見られない。盛土底部のCB集排水層に破碎貝殻を使用する場合、盛土の安定性に及ぼす影響を定量的に評価するため、破碎貝殻の強度特性並びに盛土荷重などに伴う粒子破碎について明らかにしておくことが必要である。

本論文では、盛土形式の L_3 廃棄物処分施設のCB底部集排水層に破碎貝殻を利用することを目的に、破碎貝殻の基本的な強度特性と粒子破碎について明らかにする。強度特性は、三軸圧縮試験と定圧一面せん断試験を、粒子破碎は段階荷重による繰り返し圧縮試験を行った。これより、盛土形式の L_3 廃棄物処分施設におけるCB底部集排水層への破碎貝殻の適用性について検討を行う。

2. 盛土形式の L_3 廃棄物処分施設

わが国の原子力発電所解体時に発生する主にコンクリートや金属などの L_3 廃棄物の処分は、国の原子力安全委員会が定めた安全審査の基本的考え方によると、トレンチ処分することが基本となっている¹⁾。一方、 L_3 廃棄物処分施設に盛土形式を用いている海外事例³⁾を参考にすると、この形式がわが国でも成立するならば、地下水位が比較的高い場合でも処分施設の設置が可能となる。

スウェーデンでは、盛土形式の L_3 廃棄物処分を Forsmark, Ringhals および Oskarshamn の原子力発電所で実施している³⁾。本研究では、盛土形状が明確である Forsmark のサイト内に建設されている盛土形式による L_3 廃棄物処分施設を参考に検討を進めた。Forsmark にお

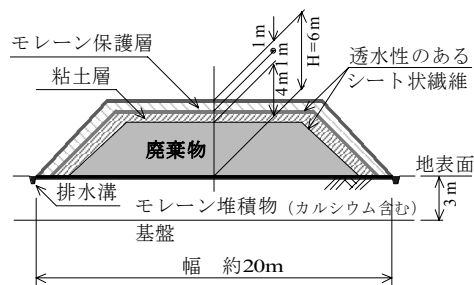


図-1 Forsmarkにおける盛土形式処分施設の断面³⁾

る盛土形式の L_3 廃棄物処分施設の断面を図-1に示す。盛土の中央部付近で、水平な地表面にCB底部集排水層を設置することを想定した場合、CB底部集排水層に作用する鉛直応力(p)は以下の通りである。

$$p = \gamma_{wa} \times H = 2 \sim 2.5 \text{ t/m}^3 \times 6 \text{ m} = 12 \sim 15 \text{ t/m}^2 \quad (1) \\ \approx 120 \sim 150 \text{ kPa}$$

ここで、 p :底部集排水砂層に作用する概算の垂直応力、 γ_{wa} :容器+廃棄物+覆土等により想定される荷重の平均的な単位体積重量、 H :盛土の高さである。

式(1)より算定される垂直応力を基に、繰り返し圧縮試験時に作用させる垂直応力は150 kPaを上回る200 kPaを基本とすると共に、鉛直応力の大きさの影響を検討するために100 kPaと400 kPaについても考慮した。

3. 試験概要

3.1 試料

試料は、実施工時に大量に入手が容易なホタテ貝を用いた。貝殻は、十分水洗いをし、80℃の乾燥炉で24時間乾燥させた後、貝殻の温度が常温になるのを待って小型粉砕機で破碎した。

試料の土質試験結果等を表-1に、粒径加積曲線を図-2に示す。なお、飽和透水係数 K_s は、相対密度 $D_r=60\%$ を目安に締固めた供試体(10cm×10cm)を作製した後、定水位透水試験で求めた。また、破碎貝殻は扁平粒子であるため、透水係数については前述の鉛直方向とともに、水平方向についても試験を行い異方性について把握した。

3.2 試験方法

本研究で実施した試験は、圧密排水(CD)三軸圧縮試

験 (JGS 0524-2009)⁴⁾と定圧一面せん断試験 (JGS 0561-2009)⁴⁾ および段階載荷による圧密試験方法⁴⁾ (JIS A 1217: 2009) を準用した繰り返し圧縮試験 (圧縮前後の粒度試験 (JIS A 1202: 2009)⁴⁾を含む) である。供試体は、各種試験共に相対密度 $Dr=60\%$ (乾燥密度 $\rho_d=0.994\text{g/cm}^3$) になるように締め固めて作製した。繰り返し圧縮試験では、供試体 (直径 10.0 cm, 高さ 12.73 cm) に各荷重 (100, 200 および 400 kPa) に関して載荷-除荷を 3 回繰り返し、その後粒度試験を行い粒子破碎の状況を確認した。

4. 試験結果と考察

4.1 強度特性

表-2には各試験で得られた強度定数を示す。比較のために CB に用いている均等係数 ($U_c=1.74$) の小さな硅砂 6 号¹⁾の CD 三軸圧縮試験結果も参考に示した。なお、硅砂 6 号の供試体は、締め固め度 $D_c=90\%$ (乾燥密度 $\rho_d=1.321\text{g/cm}^3$) に締め固めて作製した。

破碎貝殻の強度定数 (c' , ϕ') は、試験方法によって多少違いはあるものの、硅砂 6 号の強度定数に比較して大きな値が得られた。このことから、少なくとも CB 底部集排水層に用いる硅砂 6 号の強度定数より大きく、破碎貝殻が盛土の安定性を著しく低下させることはないことを確認した。

4.2 繰り返し圧縮試験後の粒子破碎

図-3には、試験前の粒度試験結果と各荷重に関して載荷-除荷を 3 回繰り返した後の粒度試験結果を重ねて示した。粒径 6 mm 以上において、繰り返し圧縮の影響で貝殻粒子がわずかであるが破碎して粒径が小さくなる傾向を示している。一方、粒径が 6 mm 未満の領域については、粒子破碎は見られない。この傾向は、本試験で実施した載荷重の範囲 (400 kPa 以下) では顕著な差はない。

5. まとめ

破碎貝殻の基本的な強度特性と粒子破碎について明らかにするため、三軸圧縮試験、定圧一面せん断試験および繰り返し圧縮試験を実施した。主な結果を以下に示す。

- (1) 破碎貝殻の強度定数 (c' , ϕ') は、硅砂 6 号の強度定数に比較して大きな値が得られた。よって、破碎貝殻は、盛土の安定性を著しく低下させることはないことから、CB 底部集排水層に適用できる。
- (2) 破碎貝殻の粒径 6 mm 以上においては、繰り返し圧縮の影響で貝殻が粒子破碎し、わずかであるが粒径が小さくなる傾向を示した。一方、粒径が 6 mm 未満の領域は、粒子破碎は見られない。この傾向は、本試験で実施した載荷重の範囲では顕著な違いはない。

以上より、盛土形式の L₃ 廃棄物処分施設における底部集排水層へ破碎貝殻を適用しても、盛土安定性並びに粒子破碎に及ぼす影響はなく適用可能と判断できる。

表-1 破碎貝殻の土質試験結果

項目	単位	試験結果
貝殻粒子の密度 ρ_s	g/cm^3	2.671
自然含水比 W_n	%	0.3
最大粒径	mm	19.0
均等係数 U_c	-	14.0
曲率係数 U_c	-	1.48
50%粒径 D_{50}	mm	2.34
最小間隙比 e_{min}	-	0.763
最大間隙比 e_{max}	-	1.463
乾燥密度 ρ_d	g/cm^3	1.321
鉛直方向の透水係数 K_{sv}	m/s	3.85×10^{-3}
水平方向の透水係数 K_{sh}	m/s	4.10×10^{-3}

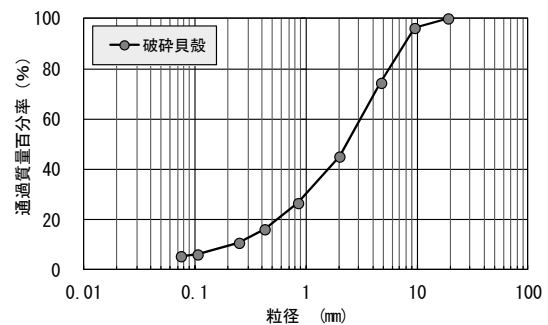


図-2 破碎貝殻の粒径加積曲線

表-2 破碎貝殻の強度定数

試料	試験方法	ϕ' (°)	c' (kN/m ²)
破碎貝殻	CD三軸圧縮試験	38.0	25.5
	一面せん断試験	41.1	22.5
(参考) 硅砂6号	CD三軸圧縮試験	32.0	0.3

注) 一面せん断試験の強度定数は、 ϕ および c である。

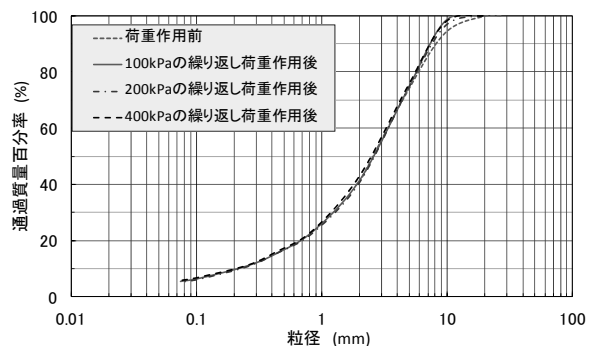


図-3 破碎貝殻の粒径加積曲線

【参考文献】

- 1) 中房 悟, 小林 薫, 松元和伸, 森井俊広: キャピラリーバリアを利用した盛土式廃棄物処分施設における底部集排水砂層の垂直応力下での排水に関する性能評価, 地盤工学ジャーナル, Vol.8, No.2, pp.197-207, 2013.
- 2) 小林 薫, 中房 悟, 西村友良, 森井俊広: 水産系副産物 (貝殻) の保水性に着目した土質代替材への利用に向けた基礎的研究, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol.67, No.2, pp. I-382- I-387, 2011.
- 3) 伊澤正明: 欧州放射性廃棄物調査団に参加して (その2), 電機, 9月号, pp.14-18, 2007.
- 4) 地盤工学会編: 地盤材料試験の方法と解説, pp. 579-583, pp. 666-671, pp. 462-468, pp. 97-99, 2009.