

粒度の異なる製鋼スラグの強度特性について

東洋建設(株) 正会員 鶴ヶ崎和博 小竹 望
 同上 正会員 手塚 隆 和田 眞郷
 同上 正会員 平田 昌史 ○金 夏永

1. はじめに

鉄鋼生産において生成するスラグのうち、製鋼過程で生成される製鋼スラグは緩い状態でも単位体積重量が比較的大きく、せん断強度が大きいという材料特性を一般的にもつことから¹⁾、筆者らは海面処分場の遮水工の被覆層に使用することを検討してきた²⁾。海域にて土質材料を使用する場合、粒径の大きい方が波浪などの影響に対して安定であることから、本検討では通常の粒度組成をもつスラグと比較的粒径の大きい粒子で構成されるスラグを試験対象とした。今回、その2種類の製鋼スラグの強度特性について報告する。

2. 試験方法

試験には細粒分を含む30mm以下試料(以下:試料)と50mm以下の礫分のみを選別した試料(同:試料)の2種類を用いた。粒度特性ならびに基本物性を図-1および表-1に示す。各試料は均等係数が異なり、それに伴って最大最小乾燥密度も異なった結果となった。なお各密度はASTM(D4253-83,D4254-83)を参考に、最小乾燥密度は直径300mm×高さ600mmの容器内に高さがゼロとなるように袋詰め試料を落下させ、その堆積高さから密度を算出した。引き続き表層に90kgの重錘を載せた後に下振式振動台を用いて、振幅 $0.33 \pm 0.05\text{mm}$ 、周波数60Hzの振動締固めを行い、その振動時間～乾燥密度関係の双曲線近似から最大乾燥密度を算出した。

強度試験は用いた試料の粒径サイズから、直径300mm×高さ600mmの供試体による大型三軸圧縮排水三軸圧縮試験を実施した。試験の手順としては、相対密度 $Dr=60\%$ で供試体を作製し、炭酸ガスの通気および脱気水通水の後に圧密を行った。その後、軸ひずみ速度 $0.2\%/分$ にて軸圧縮過程へと移行した。試験時の

有効側圧は50、100および200kPaとし、背圧は100kPaとした。また、試験時の最終軸ひずみは基本的には15%とし、試験後、試料については粒子破砕量確認のため再度ふるい分けを行った。なお、結果の整理においては各ケースとも、メンブレン貫入による体積変化の補正は行っていない。

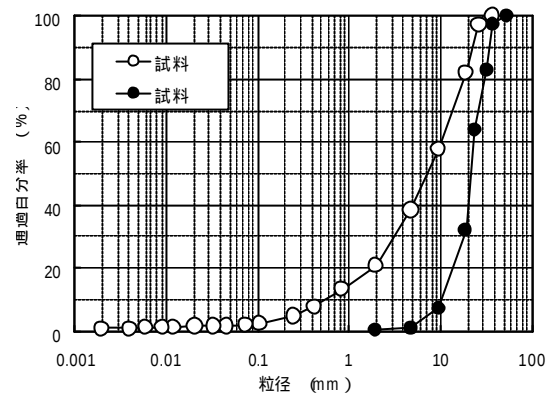
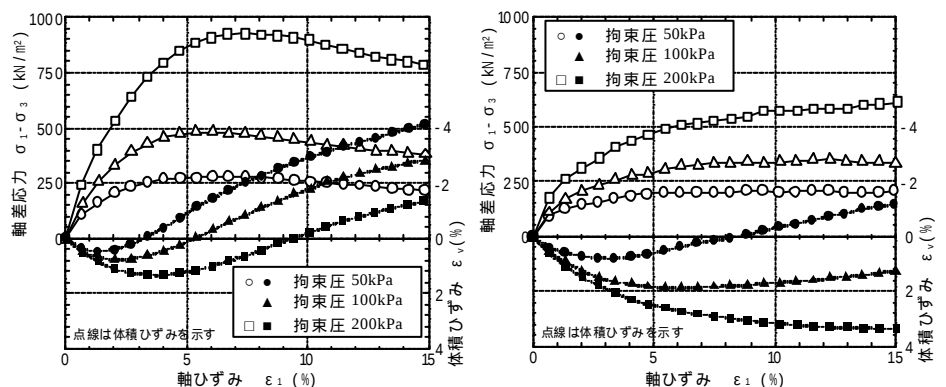


図-1 試料の粒径加積曲線

表-1 試料の基本物性

項目	単位	試料 (30mm以下)	試料 (50mm以下礫分)
表乾比重		—	2.990
絶乾比重		3.258	3.071
吸水率 (%)	(%)	—	1.330
均等係数 U_c		20	2
最大乾燥密度	g/cm^3	2.196	1.621
最小乾燥密度	g/cm^3	1.911	1.514



(1) 試料

(2) 試料

図-2 各試料の応力～ひずみ関係

キーワード：製鋼スラグ、大型三軸圧縮試験、せん断強度、ダイレイタンス、粒子破砕

連絡先：東洋建設 西宮市鳴尾浜 1-25-1 Tel：0798-43-5903 Fax：0798-40-0694

3. 実験結果

3.1 応力～ひずみ関係：図-2(1)，(2)に試験より得られた軸差応力，体積ひずみ～軸ひずみ関係を示す．図より試料 は全てのケースで明瞭なピークを示すとともに，体積ひずみは初期に圧縮するものの膨張傾向を示した．一方，試料 は低側圧下では試料 と同様に圧縮→膨張傾向を示すものの，側圧 200kPa では圧縮傾向しか示さなかった．各結果について，せん断抵抗角 ϕ_0 およびモール＝クーロン基準より算出される ϕ_d ， c_d を表-3 に示す．また ϕ_0 に関して，側圧との関係を図-3 に示す．これより試料 と を比較すると，同じ相対密度 ($Dr=60\%$) に調整したものの，それぞれ発揮される強度は異なり， ϕ_d および ϕ_0 ともに試料 が小さい結果となった．また，試料 および とも側圧の増加に伴い ϕ_0 は低下しており，せん断強度の側圧依存傾向を示した．

3.2 粒子破碎特性：試料 に関して試験後にふるい分けを実施し，試験中の粒子破碎について調査した．図-4，図-5 は破碎率 B_M ³⁾ および最小ふるい (2mm) 通過率³⁾ を側圧との関係で整理したものである．いずれの結果も，側圧の増加に伴う破碎率の増加傾向が認められ，側圧による強度の低下傾向は粒子破碎による可能性も考えられる．

3.3 破壊時のダイレイタンス特性：図-6 は各試験における破壊時の応力比 M (=軸差応力 q/p 平均主応力) とひずみ増分比 (=体積ひずみ増分 $d\varepsilon_v / d\varepsilon$ せん断ひずみ増分) の関係を示したものである．試料 と試料 でほぼ同一の直線で関係づけられ，同種の材料であれば，その特性は同じ傾向を示すものと考えられる．ただ，その位置関係は異なっており，試料 が上位に位置している．これより，試料 による強度の差はダイレイタンスの差であるといえる．また，側圧の増加に伴う ϕ_0 の低下についてもダイレイタンスの影響であることがわかる．

4. まとめ

今回，2種類の製鋼スラグを用いて，その強度特性について調査を行った．得られた主要な結論は以下である．

- (1) 細粒分を含む試料 (30mm 以下) と礫分試料 (50mm 以下) では，同一相対密度で細粒分を含む試料の方が強度は大きくなった．また各材料とも側圧増大に伴う強度の低下が見られた．これらの強度特性はダイレイタンス特性の影響によるものである．
- (2) 用いた試料のダイレイタンス特性は同一の直線で表される．

【参考文献】

- 1) (財) 沿岸開発技術研究センター・鉄鋼スラグ協会：港湾工事用製鋼スラグ利用手引書，200
- 2) 小竹望，山崎智弘，北浦良樹，近藤三樹郎：管理型海面処分場の表面遮水工における構成材料間のせん断特性，ジオシンセティックス論文集，Vol.17, pp.71-78, 2002.12.
- 3) 例えば，(社) 地盤工学会：ロックフィル材料の試験と設計強度，pp80-82，1982.10.

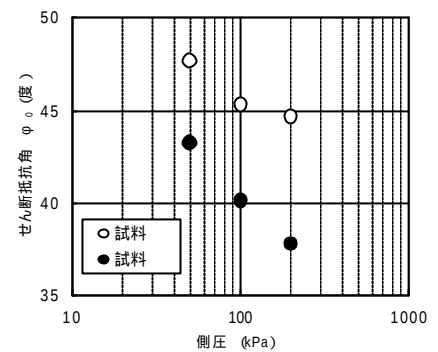


図-3 側圧と ϕ_0 の関係

表-3 各強度定数

試料	有効拘束圧 (kPa)	ϕ_0 (度)	c_d, ϕ_d
試料	50	47.7	$c_d = 12.2 \text{ kN/m}^2$ $\phi_d = 43.6^\circ$
	100	45.3	
	200	44.7	
試料	50	43.2	$c_d = 20.8 \text{ kN/m}^2$ $\phi_d = 35.5^\circ$
	100	40.1	
	200	37.8	

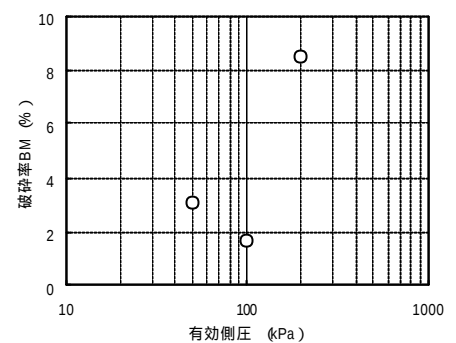


図-4 側圧と B_M (試料)

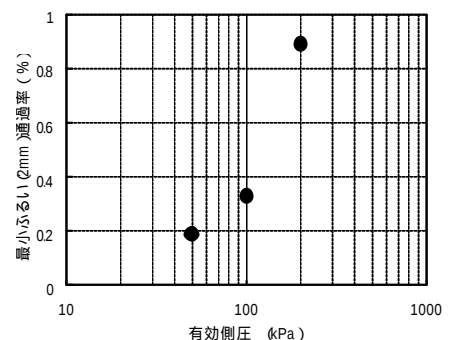


図-5 側圧と最小ふるい通過率

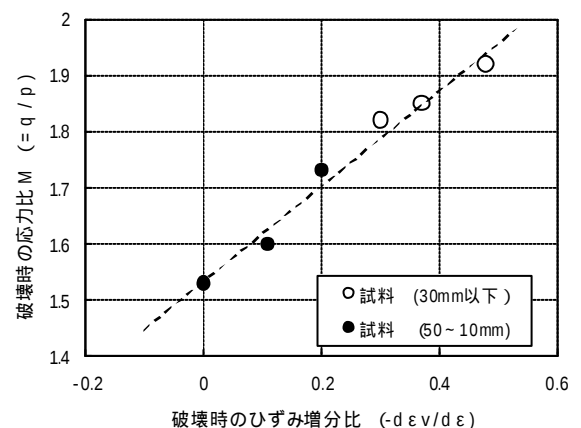


図-6 破壊時の応力比～ひずみ増分比関係