

住友金属工業(株) 正員 山本 親志
住友金属工業(株) 正員 ○ 江藤 道義
岡山大学工学部 正員 河野伊一郎

1、はじめに

軟質水砕スラグは、高炉より生成する 溶融スラグ (1400~1500℃) に圧力水を加え製造するものであり、その性状は、天然砂等と比べてきわめて均一である。このため、このような材料を土木用材として用いる際、その物理性状は、十分信頼ができる。本報告は、この物理性状を明らかにする事より、土木用材として軟質水砕スラグの評価を行なう。なお軟質水砕スラグは、住友金属工業(株)鹿島製鉄所のものを用いた。

2、軟質水砕スラグの化学成分

表-1 に示すように軟質水砕スラグは、天然のものとは比べて石灰分が多く、むしろセメントの成分に似ている。このため水砕スラグ特有の潜在水硬性の要因ともなっている。なお水砕スラグは、製造過程で1400~1500℃ の高温時を経ているため有機物を含有せず、また環境基準で制限されている有害物をも含まない。

表-1 各種材料の化学成分

項 目	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	FeO	MgO	S	MnO
(軟質)水砕スラグ	33.4	41.0	14.5	0.4	6.0	1.0	0.7
山 土	60.0	0.5	22.0	—	0.8	0.1	0.1
安 山 岩	60.0	6.0	17.0	3.0	3.0	0.2	1.0
普通セメント	22.0	65.0	5.5	3.0	1.4	1.0	—

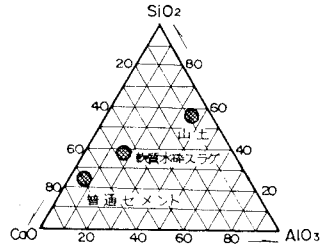


図-1 三成分系図における各試料の位置

3、軟質水砕スラグの土木力学特性

軟質水砕スラグの土木力学特性を表-2 に示す。表からも解るように単位体積重量が天然砂(千葉県、佐原産、富津産)の約7割であり軽量性に豊んでいる。また内部摩擦角も36°と高く、透水係数も $2 \times 10^{-1} \sim 5 \times 10^{-2} \text{ cm/sec}$ と良好である。軟質水砕スラグを護岸背面の裏込め材、軟弱地盤上の盛土材のような土木用材として用いた際、軽量性による土圧、沈下量の軽減、およびせん断抵抗力の大きい事による崩壊に対する防止、構造物に対して高い安全性を期待できる事が考えられる。路床材として用いた場合、軟質水砕スラグのそれは、CBR = 28%を得る事が出来る事より、路床として考えられる CBR 20%以上の値を示し、路盤厚を最小の厚さに仕上げる事ができる。また最適含水比が28.8%(JIS A 1210の12.2.b法)と比較的高い値を示すが、軟質水砕スラグは、どのような含水比でも($w=0 \sim 30\%$)最大乾燥密度の95%以上を得られる事から、含水管理に関して施工中に特に留意する必要のない材料と考えられる。また図-2 に示すように、粒度分布範囲は広く、均等係数 3.8、曲率係数1.1と、天然のものとは比べても分布の良い部類に属する材料と言える。

表-2 各種材料の土木力学特性

項 目	比重	密度 (t/m ³)	最適含水比 (%)	最大密度 (t/m ³)	均等係数	曲率係数	透水係数 (cm/sec)	CBR (%)	内部摩擦角 (°)
軟質水砕スラグ	2.74	1.19	28.8	1.30	3.8	1.1	6×10^{-2}	28	36.4
佐原産山砂	2.74	—	10.5	1.57	1.8	1.1	3×10^{-3}	14	—
富津産山砂	2.74	1.49	18.3	1.67	1.9	0.8	6×10^{-3}	9	—
標準豊浦砂	2.64	—	17.0	1.53	1.3	1.0	$2 \times 10^{-1} \sim 5 \times 10^{-2}$	—	34.5

注) 密度は JIS A 1109 のジキング法によった。

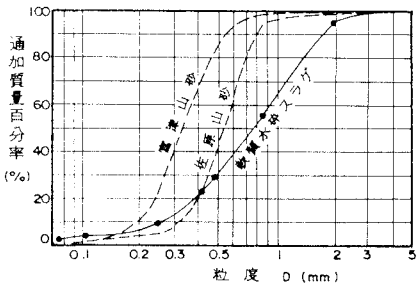


図-2 各種用材の粒度

4、硬化した軟質水砕スラグの土木力学特性

4-1 軸圧縮試験

水砕スラグは、その特徴として潜在水硬性のため硬化するがアルカリ刺激剤を添加する事により硬化が促進される。

図-3は、水砕スラグにアルカリ刺激剤(消石灰)を5%、10%添加したのち供試体を、JIS締固め試験(JISA 1210の1.2C法で、 $E_c = 5.6 \text{ cm kgf/cm}^2$ で求めた A_{max} の90%に密度を調整して20°Cの恒温槽で養生した一軸圧縮試験結果である。なお含水比は、最適含水比 w_{opt} で調合した。

消石灰5%添加のものは、材令90日で $q_u = 5 \text{ kgf/cm}^2$ 、10%添加のものは、同材令で $q_u = 12 \text{ kgf/cm}^2$ を示した。

一方無添加の場合、室内の無拘束の養生では、ほとんど硬化せず、材令90日でも $q_u = 0.04 \text{ kgf/cm}^2$ であつた。その際、圧縮ひずみは、 $\epsilon = 1.0 \sim 1.5(\%)$ とほぼ一定であつた。

また一軸圧縮強度(q_u)と粘着力(C_d)との関係は $C_d = \frac{1}{2} \sim \frac{1}{3} q_u$ の関係にあつた。

4-2 三軸圧縮試験

一軸圧縮試験と同様に供試体を作成した。図-5の実線は、消石灰10%添加、材令90日のもので、すでに硬化している軟質水砕スラグのものである。

一方破線は、無添加の粒状体の軟質水砕スラグのものであり、硬化水砕スラグは、軸ひずみ率 $\epsilon \div 2 \sim 3\%$ で応力のピークがあらわれており、ピーク時の体積変化率 ϵ_v はいずれの拘束圧 σ_3 でも $\epsilon_v = 1\%$ と収縮側(+)にあるが、軸ひずみが進行すると σ_3 が低い場合ダイレタンシーにより、 ϵ_v は膨張側(-)に移行している。又無添加の粒状体のものは、応力ピークが無く ϵ_v は全て収縮側(+)である。硬化水砕スラグは、応力ピークが現われた後、平衡状態に近づいているが、 $\epsilon \div 15\%$ のせん断応力は、無添加の粒状スラグよりも、大きな値を常に示す。図中の応力～ひずみ曲線の平衡状態に近い部分の主応力差($\sigma_1 - \sigma_3$)は、 $\sigma_3 = 1 \text{ kgf/cm}^2$ のとき 9.7 kgf/cm^2 、 $\sigma_3 = 2 \text{ kgf/cm}^2$ のとき 11.0 kgf/cm^2 であり、 $\sigma_3 = 3 \text{ kgf/cm}^2$ のとき 19.0 kgf/cm^2 となる。この値を用いて強度定数(残留強度として)を求めると、 $\phi_{\text{dr}} = 36.4^\circ$ (最大強度でも $\phi_{\text{dr}} = 36.4^\circ$)、 $C_{\text{dr}} = 1.69 \text{ kgf/cm}^2$ (最大強度では $C_d = 2.38 \text{ kgf/cm}^2$)となり、残留強度では ϕ_{dr} は、ほとんど変わらず、 C_d のみが低下している。なおさらに軸圧縮を続ける事が出来るのならば、硬化水砕スラグのせん断応力は、粒状スラグのそれと一致するものと考えられる。

5、あとがき

今回の研究報告は、硬化水砕スラグと粒状スラグの土木力学特性に重点をおいたが、今後は硬化する要因についての研究を行なつてゆきたいと、考えている。

又本研究を遂行するにあたり、種々の御援助を賜つた梶谷調査工事㈱の関係各位に対して感謝の意を表します。

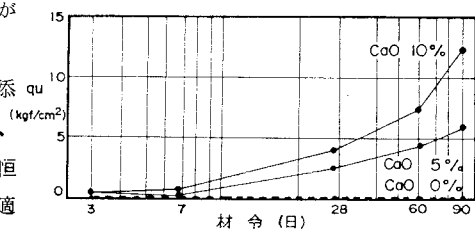


図-3 一軸圧縮強度 q_u と材令

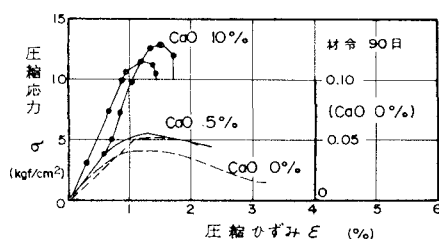


図-4 一軸圧縮 応力～ひずみ曲線

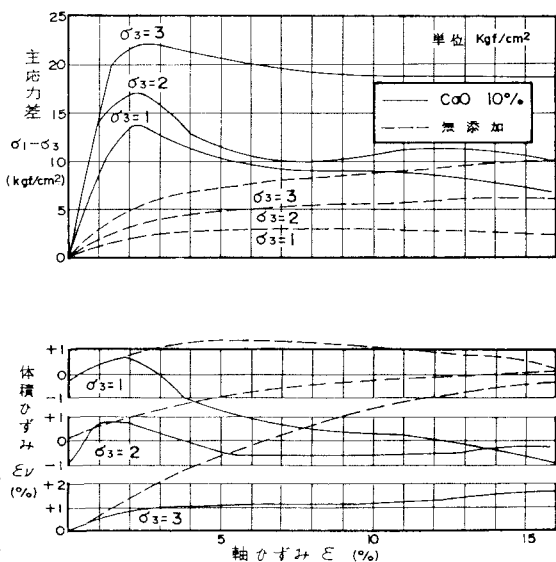


図-5 三軸圧縮試験の軸圧縮過程