

## 未硬化高炉水砕スラグの静的および地震時土圧

山口大学工学部 正会員 白元珍 松田 博  
 鉄鋼スラグ協会 正会員 篠崎晴彦  
 山口大学大学院 学生員 橋口大輔 近藤政彦  
 山口県土木建築部 小島 磨

## 1. はじめに

銑鉄の製造過程で生産される高炉水砕スラグ(GBFS: Granulated Blast Furnace Slag)の粒度分布は海成の自然砂と類似し、均質で、大量に供給可能であり、軽量性、高強度および透水性に優れている他、水和反応によって硬化・強度発現する「潜在水硬性」を有している。この特性を岸壁裏込め材料として適用した場合、土圧軽減効果および液状化抵抗が期待できる<sup>1)</sup>ため、港湾工事コストの縮減が可能となる。ここでは、未硬化状態にある高炉水砕スラグについて静的および地震時土圧に関する土槽試験を実施し、豊浦砂の結果と比較・検討した。

表 1 試料の物理・力学特性

	$\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	$e_{max}$	$e_{min}$	$\phi$ (°)
豊浦砂	2.640	0.991	0.630	37.4
高炉水砕スラグ	2.643	1.51	1.033	37.0(Dr=25%) 39.5(Dr=50%)

## 2. 試料および実験装置

本研究で用いた試料は、高炉水砕スラグ(乾燥状態で2mmふるい通過試料)で、表 1 にその物理特性および内部摩擦角を示す。同表には豊浦砂の結果も示しているが、両試料ともに密度はほぼ同じであるが、高炉水砕

スラグの方が豊浦砂より最大・最小間隙比が大きい。これは、高炉水砕スラグが粒子内部に気泡を多く含むこと、角張った形状を有していることに起因している。図 1、図 2 は、高炉水砕スラグと豊浦砂について、粒経加積曲線と三軸試験結果を示したものである。三軸試験において拘束圧は、25、50、100、150kPa の4段階とした。また、実験に用いた土槽は軽金属板製で、深さ、幅、長さがそれぞれ50cm×50cm×100cmで、土槽の鉛直壁は、両端とも下端をヒンジとした可動壁となっており、一方の下端のヒンジは水平および鉛直方向ともロードセルで、上

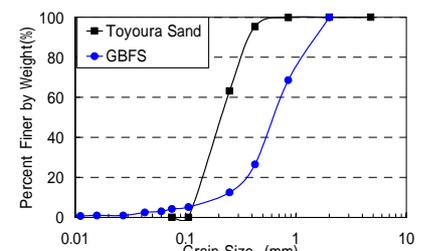


図 1 粒経加積曲線

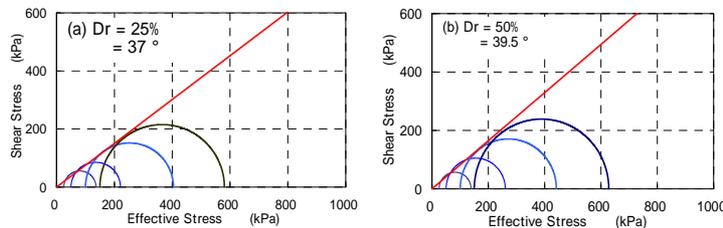


図 2 三軸圧縮試験結果(高炉水砕スラグ)

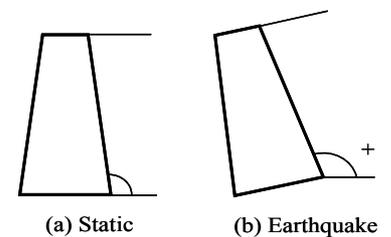


図 3 地震時土圧

端も水平方向にロードセルで支えられており、壁に作用する土圧合力の水平成分、鉛直成分(壁面摩擦)が測

定できるようになっている。また、壁面には、スラグ層表面から10、25、40cmの深さに土圧計を設置し、深さ方向の土圧分布も測定できるようになっている。さらに、ハンドルを回転することによって、壁底部を支点として、壁面を主動側、受働側に傾斜させることが可能である。

## 3. 静的および地震時土圧実験方法および結果

乾燥状態にある高炉水砕スラグを土槽に詰めるにあたっては、5cm/層ごとに所定の相対密度(Dr=15(±1)%, 25%, 55%)になるようにハンドスコップを用いて流し込んだ。その際、湿潤密度は豊浦砂においては  $\gamma = 13.4 \text{ kN/m}^3$ 、高炉水砕スラグでは、平均で  $\gamma = 10.6, 10.9, 11.5 \text{ kN/m}^3$  であった。地震時土圧試験の場合は、壁体と裏込め全体が重力と地震力とによって生じる合力の傾きだけ壁体が前方に傾いた状態を想定し、水平震度  $k_h=0.1$  ( $\theta=5.73^\circ$ ) について各相対密度別に実験を行った。地震時の土圧概念図を図 3 に示す。試料を詰めた後、地震時については、土槽を想定した水平震度になるように傾けてから、可動壁の上支点(スラグ表面上6.6cmの位置)の水平変位が2mmとなるまで壁を0.01mm/sの速度で、主動側に倒し、同じ速度で受働側へ変位が4mm(最初の位置からの変位は2mm)となるまで倒し、さらに、同じ速度で2mm主動側に動かして初期の位置に戻した。同様の操作を4サイクル繰返し行った。

図4は、豊浦砂および高炉水砕スラグ（ $Dr=25\%$ ）について、土圧合力と壁上端変位の関係を示したものである。同図より、高炉水砕スラグの方が主働・受働側ともに土圧が小さくなっているが、これは前述のように高炉水砕スラグの粒子内部に含まれる気泡により単位重量が小さくなったこと、および内部摩擦角の相違に起因していると考えられる。また、いずれの試料においても変位

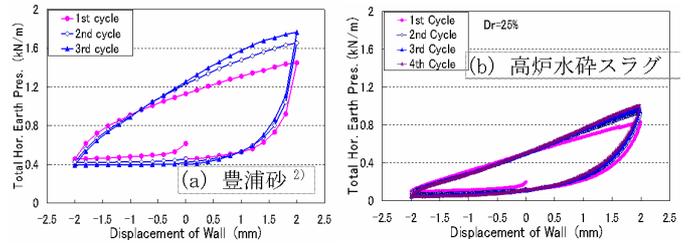


図4 土圧合力と壁の上端の変位の関係

サイクルが増加するに従って、主働土圧はやや小さくなるが、受働側土圧は大きくなる傾向を示している。これは、可動壁の変位サイクルによって壁近傍の粒子が次第に締め固められ、単位重量が大きくなるためと考えられる。また、主働側への変位量が0.8mm以上になると、土圧合力はほぼ一定値になり主働状態とみなせる土圧合力が得られている。

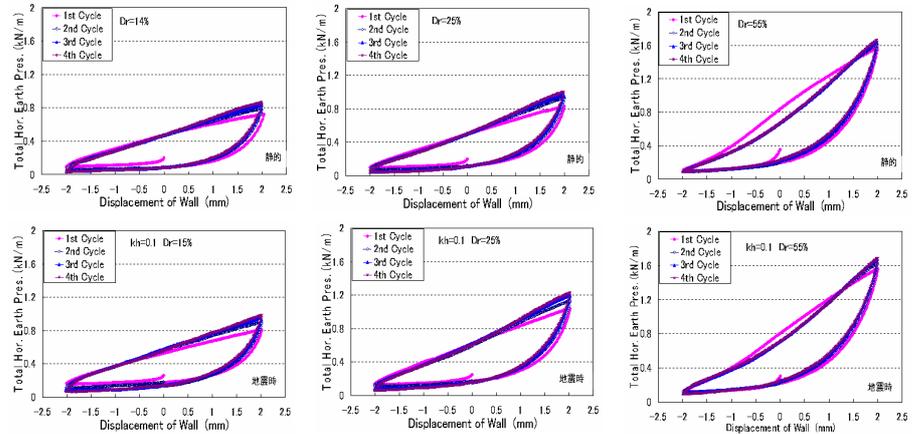


図5 静的および地震時の土圧合力

図5、6は、高炉水砕スラグの相対密度を15(±1)、25、55%として、4サイクル変位させた際の静的および地震時の土圧合力、壁面摩擦力と変位の関係を示したものである。図5より、相対密度が大きくなるに従って、静的および地震時の土圧合力も大きくなる。これは、相対密度が大きくなることで単位重量が大きくなり、また「タ-ロッキング」効果も発揮されたためである。また、比較的緩い状態の相対密度15(±1)%と25%では、静的および地震時ともにサイクル数が増すとともに土圧は主働状態では小さく、受働状態では大きくなり、これは、前述したように、緩い状態での可動壁の変位サイクルによって壁近傍の粒子が次第に締め固められたためと考えられる。また、水平震度 $k_h=0.1$ の場合が緩い状態では明らかに大きくなっており、 $Dr=55\%$ に対してもわずかながら大きくなっている。図6においては、静的および地震時ともに主働状態での壁面摩擦力は相対密度によらずほぼ同じ値になっているが、受働状態では相対密度が大きくなるにつれて増加している。しかし、静的状態と地震時いずれにおいてもその相違は顕著にみられない。

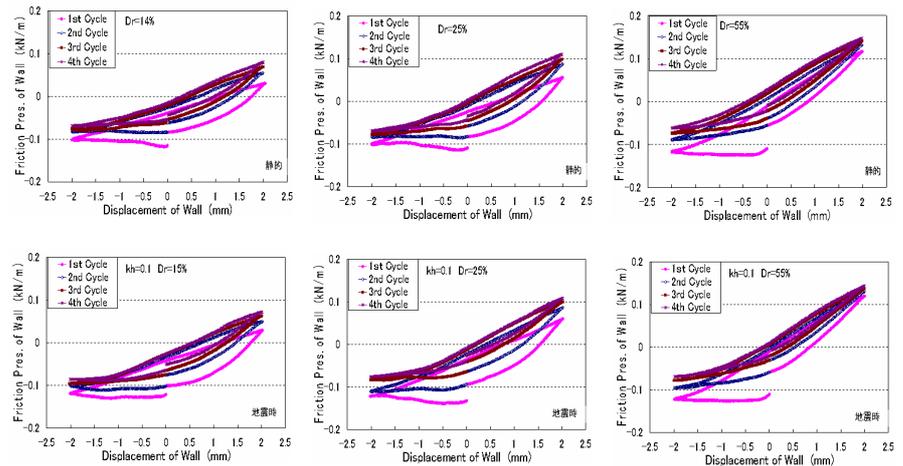


図6 静的および地震時の壁面摩擦力

4.まとめ

未硬化高炉水砕スラグを擁壁や岸壁の裏込め材料として用いる際に作用する静的および地震時土圧を調べるために土槽実験を行い、豊浦砂との比較・検討を行った結果、次のことが明らかになった。

#### 4.まとめ

未硬化高炉水砕スラグを擁壁や岸壁の裏込め材料として用いる際に作用する静的および地震時土圧を調べるために土槽実験を行い、豊浦砂との比較・検討を行った結果、次のことが明らかになった。

- (1)高炉水砕スラグが持つ軽量性・高強度のため、豊浦砂に比べて小さい土圧が得られた。
- (2)高炉水砕スラグ、豊浦砂ともに、変位サイクルが増すに従って、土圧合力は、主働状態では小さくなり受働状態では大きくなる。これは、可動壁の変位サイクルによって壁近傍の粒子が次第に締め固められるためと考えられる。
- (3)高炉水砕スラグの相対密度が増加することにより、静的および地震時の土圧合力、壁面摩擦力および水平土圧は大きくなる。

参考文献：1) (財)沿岸開発技術センター，鐵鋼スラグ協会：港湾工事用水砕スラグ利用手引書，1989。

2) 大原資生，松田博：岸壁に作用する地震時土圧の計算，土木学会論文集，第358号/ -3，pp.103-111，1985。