

高炉水砕スラグの土圧特性に及ぼす硬化の影響

山口大学大学院 学生会員 ○村岡賢二

山口大学 学生会員 近藤政彦、佐々木保彦

山口大学 正会員 松田博 全南大学 白元珍

鉄鋼スラグ協会 正会員 篠崎晴彦 山口県 立石典広

1. まえがき

豊浦砂など一般的な砂については、その土圧の基本的性質に関する多くの研究が行われているものの、リサイクル材料等については未解明な点も多い。そこで本研究においては、その土圧特性が十分解明されていない高炉水砕スラグについて土槽実験を行った。高炉水砕スラグは鉄鉄の製造過程で生産され、粒度分布が海成の自然砂と類似し、均質で大量に安定した供給が可能であり、天然砂と比較して軽量性、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・強度発現する性質「潜在水硬性」を有する材料である¹⁾。

2. 試料および試験装置

本研究では豊浦砂および高炉水砕スラグを用いた。各試料の物理特性および内部摩擦角を Table.1 に、また粒径加積曲線を Fig.1 に示す。なお、本研究で用いた高炉水砕スラグは 2004 年および 2006 年に製造されたものである。高炉水砕スラグと豊浦砂を比較すると密度はほぼ同じであるが、高炉水砕スラグが豊浦砂より最大・最小間隙比が大きくなっている。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。今回の試験で用いた土槽は軽金属板製で、長さ 1.0 m × 幅 0.5 m × 高さ 0.5 m 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、両下端のヒンジは水平および鉛直方向ともロードセルで、上端中央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、鉛直成分が測定できる。また、壁面には、スラグ層表面から 10、25、40 cm 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。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、壁面を主働側、受働側に傾斜させることが可能である。

3. 試験方法

実験においては、乾燥試料を用いて受働側変位を増加させた場合の土圧試験、固結途中の高炉水砕スラグを用いた場合の土圧試験を行った。乾燥試料の土槽への詰め方は、5 cm/層ごとに相対密度 ($D_r=25\%$) になるようにハンドスコップを用いて流し込むという方法を用いた。壁の移動は、可動壁の上支点(スラグ表面上 6.6 cm の位置)の水平変位が 2 mm となるまで壁を 0.01 mm/s の速度で主働側に移動し、同じ速度で受働側へ変位が 4 mm (最初の位置からの変位は 2 mm) となるまで移動させ、さらに、同じ速度で主働側に 2 mm 変位を与えて、初期の位置に戻した。実験では同様の操作を 3 サイクル繰返し行った。受働側変位を増加させた場合の土圧試験では、第 1 サイクル受働側最大変位を 2~5 mm として、第 2 サイクルの受働側最大変位を 5 mm とした。固結高炉水砕スラグでの土圧試験では、硬化促進のために、水酸化カルシウムを用いて pH を約 12 としたアルカリ水を試料に混ぜた後、14 日間養生させたのち、試験を行った。さらに、上載圧が土圧に及ぼす影響を調べるために、Fig.2 に示すように、裏込め土表面上に上載荷重 ($q=1.66 \text{ kN/m}^2$) を載荷した状態での試験も行った。

Table.1 試料の物理・力学特性

	$\rho_s (\text{g/cm}^3)$	$e_{\max}$	$e_{\min}$	$\phi (^{\circ})$
豊浦砂	2.645	0.973	2.645	37.2 ($D_r=50\%$)
高炉水砕スラグ(2004)	2.643	1.51	2.645	37.0 ($D_r=25\%$)
高炉水砕スラグ(2006)	2.683	2.645	2.645	36.0 ($D_r=25\%$)

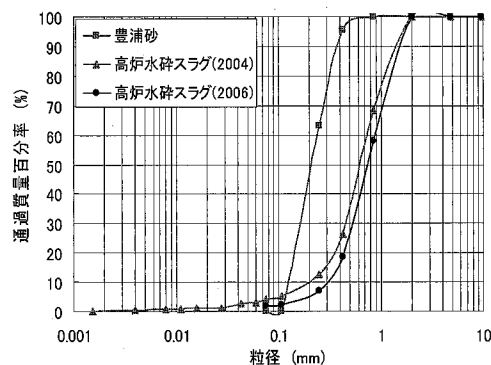


Fig.1 粒径加積曲線

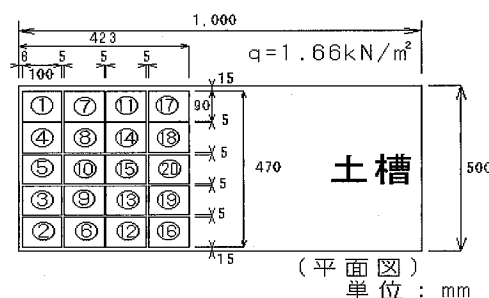


Fig.2 上載荷重説明図

4. 試験結果

Fig. 3 は、過去に圧縮履歴がある試料について、第2サイクルでの土圧特性を調べるため、第1サイクル受働側最大変位を2~5mmと変化させ、第2サイクル時の受働側最大変位を5mmとして得た結果を示す。図中において①は第1サイクル受働変位、②は相対密度である。これより、全ての圧縮履歴のある試料で、主働側2mmから受働側に向かう直後では小さな水平方向土圧を示しており、その後、第1サイクル受働変位が小さいものから土圧増加率が増加し、第1サイクルの水平方向土圧を超えた後は、土圧増加率が減少することがわかる。また、この場合の最大受働側変位である5mmでは、第1サイクル受働変位が大きなものほど、大きな水平方向土圧を示している。水平方向土圧の軌跡から、高炉水砕スラグは可動壁変位サイクルによる試料の乱れの影響が小さく、締固められるのに対し、豊浦砂では受働側水平方向土圧の増加が大きく、可動壁変位サイクルにより試料が乱されていると考えられる。また、壁面摩擦力は、両試料ともに第1サイクル受働変位に関係なく、壁面摩擦力の軌跡が上方に移動するという結果となった。

Fig.4 は、アルカリ水にて、養生、固結させた高炉水砕スラグ試料について上載圧を負荷して得た結果を示す。この試験では、高炉水砕スラグ(2006)を使用している。乾燥状態の試料では上載荷重により、水平方向土圧の増加、壁面摩擦力の増加がみられる。また、アルカリ材添加高炉水砕スラグについては、乾燥状態の試料と比較して、主働水平方向土圧の減少、受働側での著しい土圧の増加がみられる。アルカリ材添加高炉水砕スラグのみ湿潤状態となっており潜在水硬性による土圧軽減とは断定できない為、高炉水砕スラグの生産年度が異なる湿潤状態の高炉水砕スラグ(2004)とも比較を行った。なお、アルカリ材添加高炉水砕スラグは土槽に試料を詰めた直後、含水比は約15%あった。ただ、14日間の養生中に乾燥しないよう注意したが、含水比が試料上部で約6%まで低下していた。そこで、高炉水砕スラグ(2004)の含水比5%の試料と、15%の試料の結果をTable.2に示す。Table.2からアルカリ材添加高炉水砕スラグは上載荷重があるにも関わらず、主働土圧は湿潤状態高炉水砕スラグ(w=5%)に、受働側土圧は湿潤状態高炉水砕スラグ(w=15%)に近い値を示している。このことから、水による粘着力以外の、潜在水硬性による強度増加により、主働土圧は軽減、受働側土圧は増加したと考えられる。

5. まとめ

硬化途中にある高炉水砕スラグの土圧特性について調べた結果、潜在水硬性によって主働土圧の軽減を確認することができた。

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

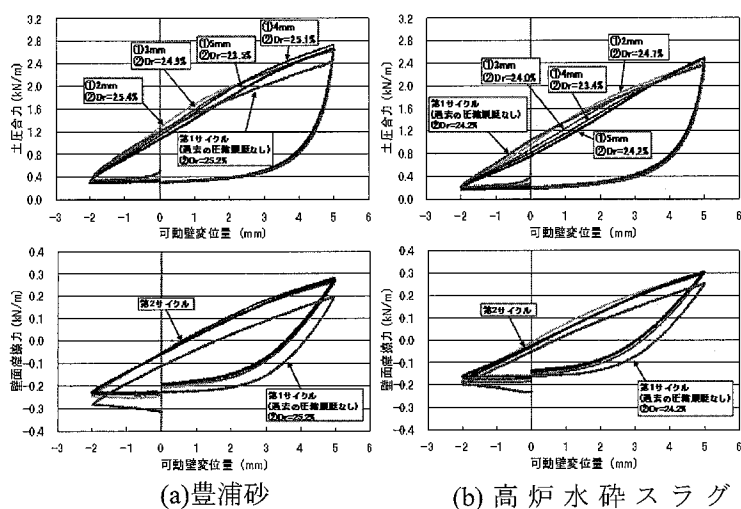


Fig. 3 壁変位が土圧に及ぼす影響(Dr=25%)

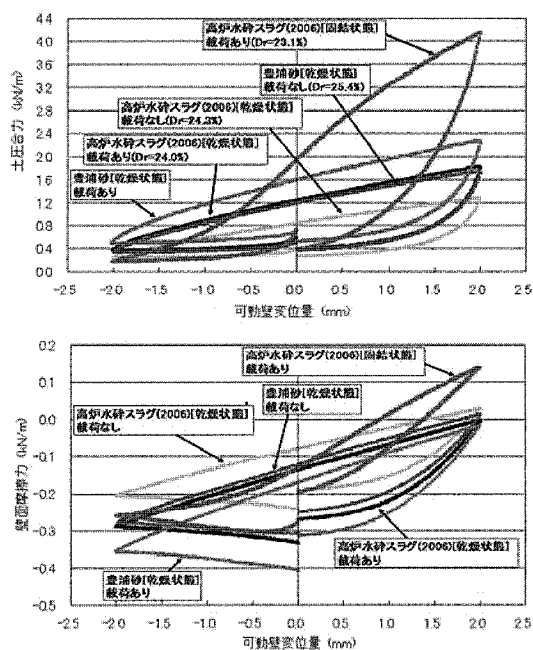


Fig. 4 硬化にともなう土圧の変化(Dr=25%)

Table.2 水平方向土圧の比較

	生産年度	含水比	上載荷重	水平方向土圧 (kN/m)	
				主働側2mm時	受働側2mm時
アルカリ材添加高炉水砕スラグ	2006	15%	○	0.181	4.129
湿潤高炉水砕スラグ	2004	15%	×	0.328	4.082
		5%	×	0.164	2.431