

海水環境下での高炉水砕スラグの硬化促進法についての検討

関東学院大学

学生会員

○内山明日香

港湾空港技術研究所

国際会員

菊池喜昭

港湾空港技術研究所

正会員

中島研司

1. はじめに

これまでの研究で、人工海水と高炉スラグ微粉末（以下、スラグ微粉末と呼ぶ）の組み合わせは、高炉水砕スラグ（以下、水砕スラグと呼ぶ）の硬化促進に有効であることがわかっている¹⁾。本研究では、スラグ微粉末の添加率を変えた供試体について強度と pH の変化を測定し、スラグ微粉末の添加率が水砕スラグの硬化にどのような影響を及ぼすかを検討した。

2. 実験方法

実験に使用した水砕スラグの粒子密度 $\rho_s=2.787\text{g/cm}^3$ 、最大乾燥密度 $\rho_{\text{max}}=1.535\text{g/cm}^3$ 、最小乾燥密度 $\rho_{\text{min}}=1.200\text{g/cm}^3$ である。実験に使用した供試体の作製条件は、直径 5cm、高さ 10.5cm、相対密度 50%とした。人工海水の重量は水砕スラグの重量の 45%の重量とした。スラグ微粉末の重量は水砕スラグの重量の 10%, 8%, 6%, 4%, 2%の重量とした。供試体は直径 5cm、高さ 13.5cm のプラスチック容器に表-1 に示す所定量の材料を入れ密封し、全体が均質になるよう攪拌した後、高さを 10.5cm に調整して作製した。この時、約 30cm^3 の上澄み液が存在した。その後、水槽中で養生した。養生開始 21, 28, 44, 60, 90, 120, 180 日後に、自立する供試体は一軸圧縮試験、圧密圧力 $\sigma_c'=30\text{kPa}$ の三軸圧縮試験（CD 試験、CU 試験）を行った。pH は一軸圧縮試験で使用する供試体の上澄み液で測定した。なお、このようにして求めた pH と供試体内部の間隙水の pH とに差がないことを確認してある。

表-1 配合表（単位：g）

略 称	水砕スラグ	人工海水	スラグ微粉末
微粉末10%	277.70	124.97	27.77
微粉末 8%	277.70	124.97	22.22
微粉末 6%	277.70	124.97	16.66
微粉末 4%	277.70	124.97	11.11
微粉末 2%	277.70	124.97	5.55

3. 実験結果と考察

図-1 に一軸試験から求めた養生日数による各試験ケースの最大圧縮強度の変化を示す。養生日数が経つにつれ強度が高くなっており、スラグ微粉末の添加率が高いほど、硬化速度も早くなっている。昨年実施した実験結果で、真水に水砕スラグの 10%の重量のセメント

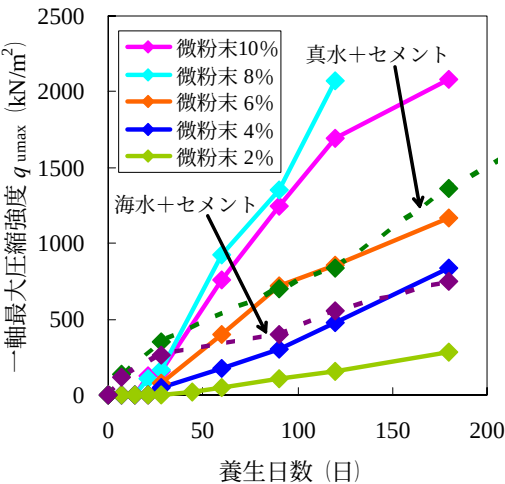


図-1 養生日数による最大圧縮強度の変化

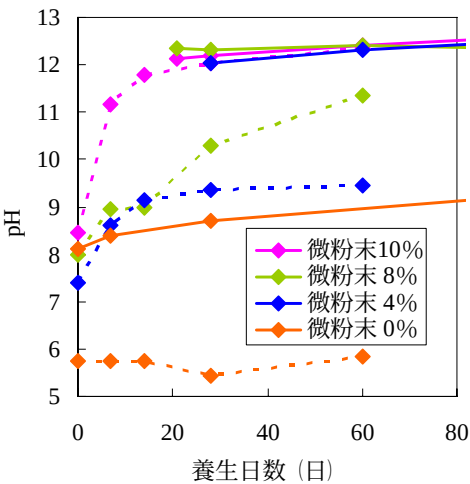


図-2 養生日数による pH の変化

を添加した場合は、養生日数が経つにつれ軸差応力が高くなっているが、養生日数 90 日以降ではセメントの同重量のスラグ微粉末を添加した方が高くなった。セメントを添加することによって、硬化が進むことはよく知られているが、特に海水環境下では、スラグ微粉末を添加することによって硬化が促進されることがわかる。

表-2 配合表（単位：g）

略 称	相馬珪砂 4号	人工海水	スラグ微粉末
微粉末10%	303.43	124.97	27.77
微粉末 8%	303.43	124.97	22.22
微粉末 4%	303.43	124.97	11.11
微粉末 0%	303.43	124.97	0.00

キーワード 高炉水砕スラグ、高炉スラグ微粉末、硬化、圧縮強度、残留内部摩擦角、相対密度

連絡先 〒236-8501 神奈川県横浜市金沢区六浦東 1-50-1 関東学院大学工学部 TEL 045-786-7148

海水中でのスラグ微粉末添加と水砕スラグの硬化反応の特徴を確認するために、供試体作製条件と同配合の人工海水とスラグ微粉末に相馬珪砂 4 号を配合した供試体を作製し、pH を測定した。相馬珪砂 4 号の粒子密度 $\rho_s=2.643\text{g/cm}^3$ ，最大乾燥密度 $\rho_{\max}=1.598\text{g/cm}^3$ ，最小乾燥密度 $\rho_{\min}=1.364\text{g/cm}^3$ である。供試体は直径 5cm，高さ 10.5cm，相対密度 50%を条件とした。測定ケースは 4 ケースとした（表-2）。水砕スラグの供試体作製方法と同じ方法で供試体を作製し、水槽中で養生した。養生開始 0，7，14，21，28，60 日目に pH を測定した。図-2 に各試験ケースの養生日数による pH の変化を示す。実線は、水砕スラグを配合した場合の pH と養生日数の関係を表しており、破線は、相馬珪砂 4 号を配合した場合の pH と養生日数の関係を表している。相馬珪砂 4 号を配合した場合は、スラグ微粉末の添加率によって pH の値は異なり、水砕スラグを配合した場合と比較すると pH の値は極めて低い。しかし、微粉末 4%と微粉末 8%と微粉末 10%は養生日数が経つにつれ徐々に増加し、微粉末 10%は養生日数 14 日目で、水砕スラグを配合した場合とほぼ同じ値となった。微粉末 0%は養生日数 60 日が経過しても pH の値の増加傾向は見られない。また、相馬珪砂 4 号と水砕スラグを配合した場合で、同じ養生日数、同じスラグ微粉末の添加率での pH を比較すると、配合物の違いで、pH の値が極端に違う。相馬珪砂 4 号を配合した場合は、養生日数 60 日が経過した頃に、初めて微粉末 10%の硬化の確認ができた。このことから、相馬珪砂 4 号とスラグ微粉末の組み合わせでも硬化させる効果は見られるが、水砕スラグとスラグ微粉末には反応が促進されるためか、はじめから pH が高くなり、硬化の促進が著しい。

図-3 に CD 試験から求めた各試験ケースの残留内部摩擦角 ϕ_{d0res} と q_{cd} の関係を示す。 ϕ_{d0res} は $\sin \phi_{d0res} = \{ (\sigma_1' - \sigma_3') / (\sigma_1' + \sigma_3') \}_{res}$ の式で定義した。最大軸差応力 $q_{\max}$ と残留強度 q_{res} の差である $q_{cd} = q_{\max} - q_{res}$ が大きいほど、 ϕ_{d0res} も大きくなる傾向にあった。この結果は、水砕スラグは硬化に伴い、固結強度を発現するだけでなく、摩擦性の強度も増加することを示している。図-4 に CD 試験から求めた各試験ケースの残留内部摩擦角 ϕ_{d0res} と相対密度 D_r の関係を示す。この結果によると、相対密度の増加に伴って ϕ_{d0res} が大きくなっているが、ばらつきがかなりある。相対密度は養生日数が増えるにつれて微増する傾向にあり、 q_{cd} の増加による ϕ_{d0res} の増加には、硬化に伴う析出物の影響もあるのではないかと考えられる。

4. 結論

今回の実験で、海水環境下におかれる水砕スラグでは、スラグ微粉末の添加率が低くても、スラグ微粉末を添加することによって、水砕スラグの硬化促進効果が十分にあることがわかった。また、水砕スラグは硬化すると、残留内部摩擦角が大きくなる特殊な材料である。これには、硬化した水砕スラグの相対密度増の影響も含まれていると考えられる。水砕スラグを配合した場合の pH は、スラグ微粉末の添加率が違っていても 12 付近で一定であるが、相馬珪砂 4 号を配合した場合の pH は、スラグ微粉末の添加率によって pH の値に差が出ていて一定ではない。このことは、海水環境下で水砕スラグとスラグ微粉末を混ぜることにより、硬化反応が促進されることを意味していると考えられる。

参考文献

- 1) 中島・菊池・水谷・村田：高炉水砕スラグ微粉末を添加した高炉水砕スラグの硬化現象，第 40 回地盤工学研究発表会，2005。

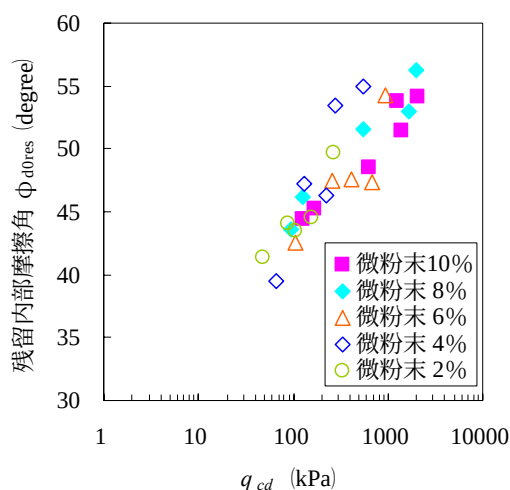


図-3 残留内部摩擦角と q_{cd} の関係

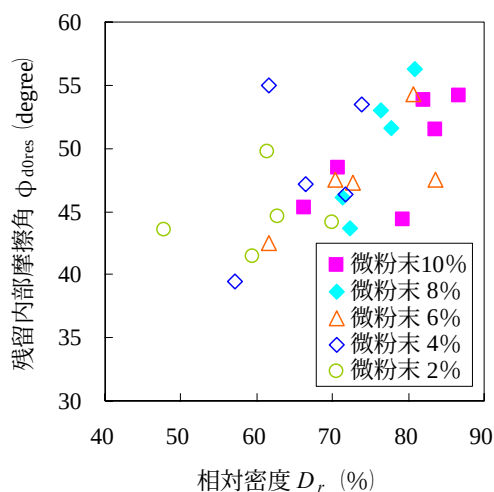


図-4 残留内部摩擦角と相対密度の関係