

カルシア人工石の発現強度に対する温度と材料の影響

五洋建設（株） 正会員 ○中島 健一，正会員 田中 裕一，正会員 川口 洋介
北海道開発局 函館開発建設部 工藤 博文，上杉 智

1. 目的

カルシア人工石は、浚渫土、転炉系製鋼スラグ、結合材(高炉セメントや高炉スラグ微粉末)等を混練し硬化後に破碎した石材代替品である。カルシア人工石は天然材と比較して求められるサイズ、重量の石材を製造でき、藻礁・漁礁、裏込石、被覆石等に使用することができる。また、コンクリートブロックと比較してCO₂排出量が少ない材料を使用しているため、カーボンニュートラルの観点から今後の活用が期待されている。

一方で、カルシア人工石の施工実績は少なく、特に冬季施工時の低温による強度への影響は明らかになっていない。そこで、函館港-10m 泊地浚渫工事において材料と温度条件を変えて配合試験を実施し、人工石の強度発現に対する影響を確認した。

2. 試験材料および方法

使用した浚渫土と製鋼スラグの材料性状をそれぞれ表-1、表-2に示す。浚渫土は函館港で採取を行い、含水比 150%に調整したものを使用した。浚渫土混合率は50vol%とし、これに転炉系製鋼スラグ（最大粒径 25mm 以下）、高炉セメント B 種あるいは高炉スラグ微粉末を強度指数 1.5 となる所定の比率で混合した。製鋼スラグは A～E の 5 種類を使用し、ABC はエージング材、DE は未エージング材である。

混合後の材料はプラスチックモールド（Φ100mm×H200mm）に充填し、室内 20℃と屋外の低温条件（平均 2.1℃）にて養生した。材齢 7 日、14 日、28 日に圧縮試験を行った。

3. 配合試験

配合試験の状況を写真-1 に、配合条件と試験結果を表-3 に示す。「カルシア人工石・カルシアブロック利用技術マニュアル（案）」¹⁾ や論文²⁾ では、カルシア人工石の発現強度は強度指数と相関が高いとされている。強度指数は、粉体と水の重量比であり（1）式で表される。

$$\text{強度指数} = (\text{BP}_w + 1.55\text{BB}_w) / \text{W}_w \quad (1)$$

BP_w : 高炉スラグ微粉末の重量 BB_w : 高炉セメントの重量 W_w : 浚渫土中の水分量の重量

表-3 配合条件と試験結果

CASE	条件		配合 (1m ³ 当たり)					試験結果				
	製鋼スラグ	養生温度	浚渫土 2.60g/cm ³ (kg)	高炉スラグ 微粉末 BP 2.91g/cm ³ (kg)	高炉セメント BB 3.05g/cm ³ (kg)	製鋼スラグ SS 表-2参照 (kg)	合計 (kg)	含水比 (%)	スラブ (cm)	圧縮強度 (N/mm ²)		
										σ7	σ14	σ28
1	A	低温	680	612	0	973	2265	144.6	5.3	0.0547	0.0567	0.0971
2	A	20℃	680	612	0	973	2265	143.9	3.0	計測不可	0.0605	0.662
3	B	低温	680	612	0	878	2170	155.7	2.0	1.96	5.64	8.28
4	C	低温	680	612	0	834	2126	152.2	3.1	2.05	3.73	7.37
5	D	低温	680	612	0	823	2115	145.4	1.6	3.65	6.13	7.57
6	E	低温	680	612	0	811	2103	141.3	2.1	1.04	6.59	9.52
7	A	低温	680	0	395	1245	2320	156.9	18.4	1.26	3.17	7.81
8	A	20℃	680	0	395	1245	2320	154.7	14.0	8.25	9.75	12.2

キーワード 浚渫土、人工石、製鋼スラグ、高炉スラグ微粉末、養生温度

連絡先 〒112-8576 東京都文京区後楽 2-2-8 五洋建設株式会社 環境事業部 TEL03-3817-7521

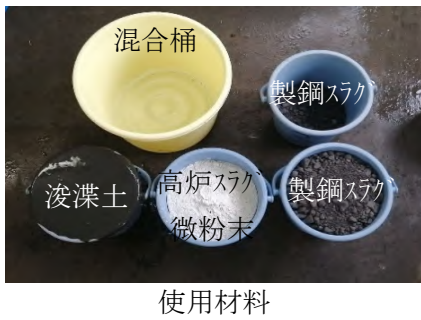


写真-1 配合試験状況

4. 試験結果の整理

強度の経時変化を図-1、図-2に示す。強度指数 1.5 に合わせたため、同様の強度発現を示すと考えられたが、高炉セメント添加で養生温度の低い CASE7 と f-CaO が低く pH の低い製鋼スラグ A を使用した CASE1 の発現強度が小さくなった。また、A 以外の製鋼スラグを使用した CASE2~6 は材齢 28 日の圧縮強度は $7.4\text{N/mm}^2 \sim 9.5\text{N/mm}^2$ となり、f-CaO の高い CASE6 が最も高い強度を示した。

養生中の積算温度とカルシア人工石の圧縮強度の関係を図-3に示す。結合材として高炉セメント・高炉スラグ微粉末を使用した場合ともに積算温度と高い相関が得られた。

コンクリートでは積算温度と圧縮強さ q に以下の関係があることが報告されている。

$$q = A \cdot \log(M) + B, \quad M = \sum \{(t+10)T\} \quad (2)$$

q : 圧縮強度(N/mm^2) t : 養生温度($^{\circ}\text{C}$)

T : 養生期間(days) A : 傾き B : 切片

カルシア改質土では、(2)式の $(t+10)$ にあたる 10°C の温度補正を行わない方が決定係数 R^2 が大きくなるとの報告がある³⁾。

これに対し、カルシア人工石では、結合材として高炉セメント、高炉微粉末を使用した場合ともに 10°C の温度補正を行った場合に決定係数 R^2 が大きくなった。

5. まとめ

- ・ f-CaO や pH の低い製鋼スラグを使用した場合、発現強度が小さくなった。
- ・ 強度指数の計算式には、製鋼スラグは含まれないが、なんらかの補正が必要であることが示唆された。
- ・ カルシア人工石の強度を積算温度から推定する際に、養生温度に対して $+10^{\circ}\text{C}$ の補正を行った場合、高い相関が得られた。

参考文献

- 1) カルシア改質土研究会：カルシア人工石・カルシアブロック利用技術マニュアル,2017.
- 2) 辻匠・田中裕一・中川雅夫・野中宗一郎・長尾喬平・赤司有三・木曾英滋・田崎智晶：浚渫土人工石の材料特性と製造技術,土木学会論文集 B3(海洋開発),Vol71,No.2,pp.1173-1178,2015.
- 3) 田中裕一・野中宗一郎：カルシア改質土の養生温度の影響と改質材添加による効果,令和2年度土木学会全国大会第75回年次学術講演会,VI-67,2020.

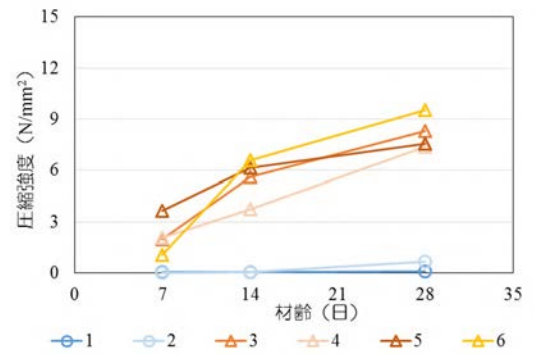


図-1 材齢と圧縮強度(高炉スラグ微粉末)

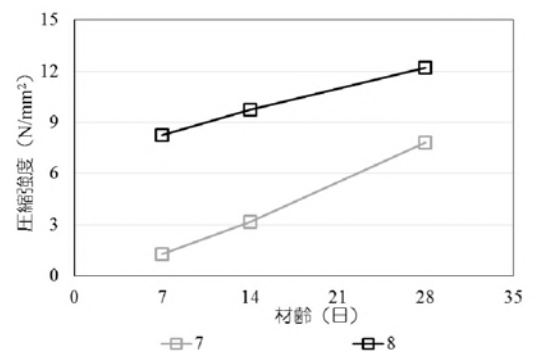


図-2 材齢と圧縮強度(高炉セメント)

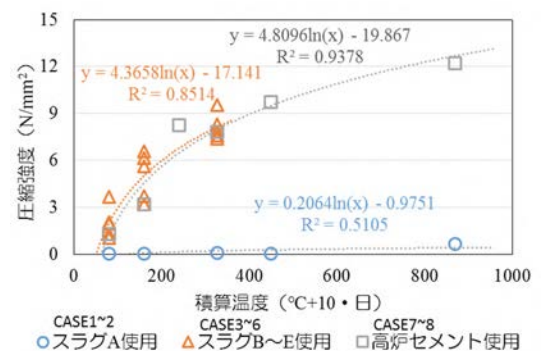


図-3 積算温度と圧縮強度