

水が不要なルナコンクリートの基礎的研究

The physical property of water-less lunar concrete

北海道大学大学院工学院 ○学生員 増山遼太 (Ryota Masuyama)

北海道大学大学院工学院 正員 堀口敬 (Takashi Horiguchi)

1. まえがき

将来の宇宙開発において、期待される建設材料の一つにセメント系材料が挙げられる。既に報告されているように、宇宙環境下における種々の条件に対し、コンクリートが適していること¹⁾及び宇宙においてコンクリート材料を入手できる可能性が高いこと²⁾等がその理由として挙げられる。

真空環境下におけるコンクリートの適用性に関する研究は1980年代に始まっていて、セメント製造に関した反応論的研究やコンクリートを適用した構造物の設計論、真空環境下におけるコンクリートの物性に関する研究等が報告されている³⁾。

ところが、月をはじめとする宇宙環境では、水が大変貴重な存在であるため水を使用しないでコンクリートを製造することに多くの期待が注がれている⁴⁾。

そこで本研究では、月にも存在する硫黄に着目し、これを接合材として水を用いずに作製したルナコンクリートの力学的特性についての基礎的な研究を行った。

2. 実験概要

2.1 ルナコンクリートの配合

ルナコンクリートの代表的な配合を表1及び、表2に示す。本実験で用いる試験材料として、純硫黄と細骨材を用意した。配合は、接合材として用いる硫黄の含有量を変化させた。供試体は、40 x 40 x 160mmの角柱供試体を各シリーズ3本ずつ作製した。

加えて、粉体が与える強度への影響を調査するためにレゴリスの代替材としてフライアッシュを取り上げ、粉体の混入効果について併せて検討した。また、細骨材(a)とフライアッシュ(FA)を合わせた混合物に対するフライアッシュの混入率を $FA/(a+FA)$ で表示して比較を行った。

表1 ルナコンクリートの配合表(1)

硫黄含有率	30%	35%	40%	45%	50%	100%
硫黄(g)	628.52	723.05	814.97	904.4	991.44	1748.74
細骨材(g)	1466.56	1342.81	1222.46	1105.38	991.44	0

表2 ルナコンクリートの配合表(2)

FA / (a + FA) = 10%

FA / (a + FA) = 20%

	S	FA	a		S	FA	a
質量比(%)	35	6.5	58.5	質量比(%)	35	13	52
質量(g)	713.35	132.48	1192.31	質量(g)	703.91	261.45	1045.81

2.2 強度試験方法

本実験のルナコンクリートの圧縮・曲げ強度試験は JIS R 5201 セメントの物理試験方法⁵⁾ に準じて実施した。また、本文中の圧縮・曲げ強度は全て供試体3本の平均値である。

3. 実験結果と考察

3.1 圧縮強度

図1に純硫黄と細骨材によって作製された供試体を用いて行った圧縮試験結果について示す。これより、硫黄含有率45%までは含有率の増加とともに圧縮強度が増加することが分かり、45%で最大値を取る。この値は、従来の水硬性セメントコンクリートのものと同等の強度を示していることが分かる。また、硫黄含有率30%の供試体は、適切なワーカビリティの確保が難しく強度も低いものとなっている。一方、骨材を混入していない硫黄含有率100%の供試体も非常に脆く、空隙量が多いポーラスな構造となり、強度がさらに低下したものと考えられる。

3.2 曲げ強度

曲げ破壊試験結果を図2に示す。圧縮試験結果と同様に硫黄含有率の増加とともに曲げ強度は増加し、含有率45%

の際に最大強度を示す。圧縮強度と同様に、これ以上含有率を増加しても強度は逆に低下することが明らかとなった。

3.3 粉体の影響

前項の試験結果より硫黄含有率が45%の際に最大強度を示すことが分かったが、より小さい硫黄含有率でも十分な強度を示すことが望ましい。そこで、細骨材よりも粒度の小さいレゴリス（フライアッシュ）を粉体として混入することによる強度改善効果に関して検討した。

図3及び図4は、フライアッシュを混入していない供試体の試験結果と比較した相対圧縮・相対曲げ強度をそれぞれ示している。これより、硫黄含有率45%を除く供試体においてFA/(a+FA)が10%の時、強度改善効果が認められることが分かった。

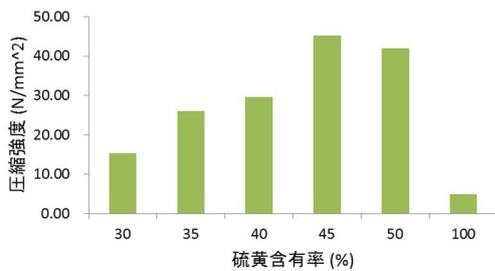


図1 圧縮強度と硫黄含有率

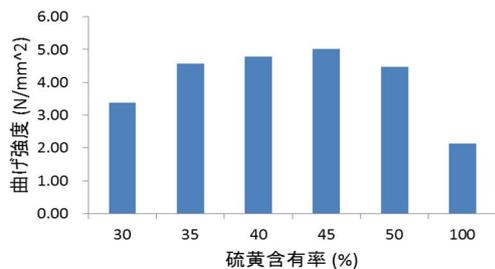


図2 曲げ強度と硫黄含有率

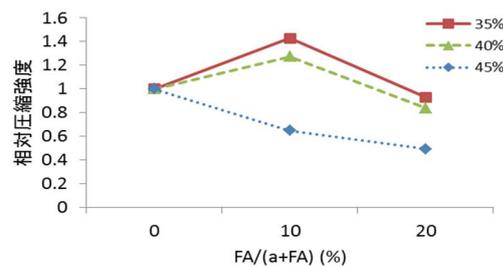


図3 フライアッシュの圧縮強度への影響

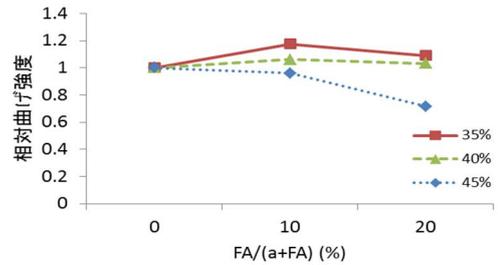


図4 フライアッシュの曲げ強度への影響

4. まとめ

本研究の結果をまとめると以下のようになる。

- 1) 接合材として硫黄を用いたルナコンクリートの製造が可能であることが確認された。
- 2) 圧縮・曲げ強度ともに硫黄含有率45%までは含有率の増加とともに強度が増加し、45%で最大強度を示すことが明らかとなった。
- 3) 硫黄含有率は45%以上増加しても強度増進効果は認められず、逆に大きく低下することが判明した。
- 4) レゴリスのような粒度の小さい粉体を骨材に対して適当な配合で用いることによって強度の増加を図ることができることが明らかとなった。
- 5) 今後は、粗骨材を用いた「コンクリート」への適用が求められる。

参考文献

- 1) T. Horiguchi et al. : Study on Lunar Cement Production Using Hokkaido Anorthite and Hokkaido Space Development Activities, SPACE V, American Society of Civil Engineers, pp. 621-629 (1996)
- 2) T. Horiguchi, and N. Saeki: Production and Hardened Properties of Lunar Simulant Concrete, The 1st Joint Symposium between Korea and Japan, July 1998
- 3) 迫井裕樹,堀口敬,志村和紀,佐伯昇: 高真空環境下におけるモルタルの物性変化に関する研究,土木学会北海道支部,論文報告集,第59号
- 4) Toutanji H, Glen-Loper B, Schrayshuen B.: Strength and durability performance of waterless lunar concrete. In: Proceedings: 43rd American Institute of Aeronautics and Astronautics (AIAA), Reno, NV; January 2005. P. 10-3.