

清水建設 正会員 金森洋史
 清水建設 松本信二
 清水建設 石川 登

1. はじめに

コンクリートのようなセメント系材料は、その大部分の原材料が月に存在していることなどから、本格的な月基地建設材料としての適用が有望である。既に、ACI(米国コンクリート学会)の月面コンクリート委員会などを中心として、材料や施工に関する多くの研究が進められている。これらの研究によれば、与圧された工場の中でプレキャストコンクリートを製造し、それを建設現場で組み立てるという方法が、月における最も現実的なコンクリートの適用方法であると考えられる¹⁾。しかしながら、この場合においてもコンクリートは長期的に月環境の影響を受けることになる。

筆者らは月環境の一つとして真空環境に着目し、それがモルタルやコンクリートの各種特性に及ぼす影響についての実験的な検討を行なった²⁾。本報告では、それらのうち材料の強度特性について述べる。

2. 実験方法

実験はモルタルおよびコンクリートの二種類の供試体について行なった。セメントには、普通ポルトランドセメント(比重=3.16、ブレン値=3180 cm²/g)を使用した。骨材は、モルタル供試体には豊浦標準砂(気乾比重=2.62、単位体積質量=2241 kg/m³)、コンクリート供試体には細骨材として大井川産の川砂(表乾比重=2.60、吸水率=1.37%、FM=2.91、単位容積質量=1807 kg/m³)、粗骨材として青梅産の硬質砂岩碎石(表乾比重=2.65、吸水率=0.63%、FM=6.78、単位容積質量=1600 kg/m³)を使用した。モルタル供試体(40x40x160 mm)の配合(S/C=2、W/C=65%)ならびに作製はJIS R 5201に準じた。コンクリートの配合は表-1に示すとおりで、供試体(φ100x200 mm)の作製はJIS A 1132に準じて行なった。

真空暴露条件を表-2に示す。真空暴露開始材令ならびに強度試験材令を実験の要因として変化させた。ただし、コンクリートの最長試験材令は182日とした。また、供試体数は各条件につき3本とした。

作製した供試体は、所定の暴露開始材令に達するまで20℃水中養生を行ない、その後鋼製の容器内で真空暴露した。所定の試験材令まで供試体を暴露した後、1気圧下で強度試験を行なった。モルタルの場合は圧縮および曲げ強度、コンクリートの場合は圧縮および割裂強度を測定した。

表-1 コンクリートの配合

粗骨材最大寸法(mm)	スラング(cm)	空気量(%)	W/C(%)	s/a(%)	単位量(kg/m ³)			
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G
20	8.0	2.0	55	50	195	355	874	891

ρ_C=3.15、ρ_S=2.60、ρ_G=2.65

3. 実験結果

図-1にモルタルの圧縮強度の変化を示す。真空暴露した供試体の圧縮強度は、暴露開始後しばらくしてその増加を停止し、その後はほぼ一定の値となった。このような強度の変化は、基本的にはセメントの水和の状態を反映したものと考えられるが、それ以外に乾燥効果の影響も確認された。この乾燥効果は、強度試験直前に乾燥させたコンクリート供試体が、湿潤状態のものよりも大きな圧縮強度を示すという現象と、基本的には同じ機構によって生じたものと考えられる。結果として、材令28日に真空暴露を開始した供試体のその後の圧縮強度は、水中養生

表-2 真空暴露条件

		試験材令(日)						
		1	3	7	28	91	182	364
真空暴露開始材令(日)	1	—	○	○	○	○	○	○
	3	—	—	○	○	○	○	○
	7	—	—	—	○	○	○	○
	28	—	—	—	—	○	○	○
	W*	○	○	○	○	○	○	○

* 水中養生供試体

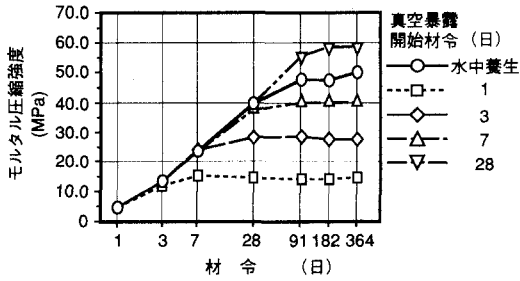


図-1 モルタル圧縮強度の経時変化

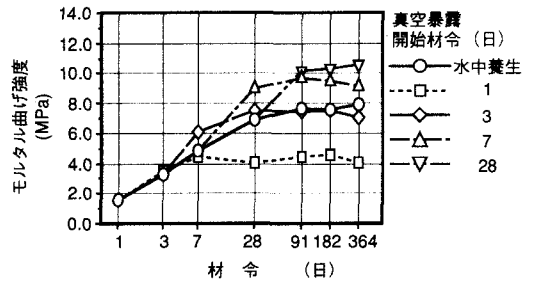


図-2 モルタル曲げ強度の経時変化

供試体のそれを上回った。

図-2は、同様にモルタルの曲げ強度の変化を示したものである。乾燥効果の影響は、圧縮強度の場合よりもさらに顕著となった。以上の結果から、標準砂を使用したモルタル供試体は、真空暴露に伴う顕著な乾燥収縮が発生したにもかかわらず²⁾、内部の欠陥はほとんど発生しなかったと考えられる。

図-3にコンクリートの圧縮強度の変化を示す。真空暴露初期の材令と圧縮強度の関係は、モルタルの場合と同様となり、コンクリートの圧縮強度も、セメントの水和および乾燥効果によって増加を示した。しかしながら、長期材令の圧縮強度はわずかに減少する傾向を示した。このような強度の減少は、コンクリート中のセメントマトリックスの乾燥収縮によって、骨材との界面付近に微小なひびわれが発生したために発生したと考えられる。

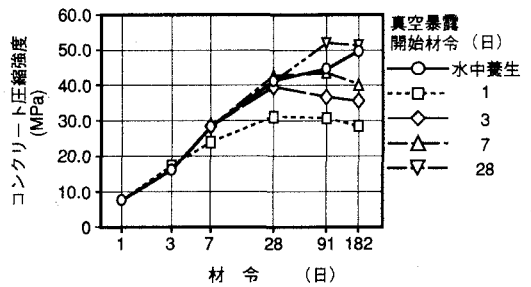


図-3 コンクリート圧縮強度の経時変化

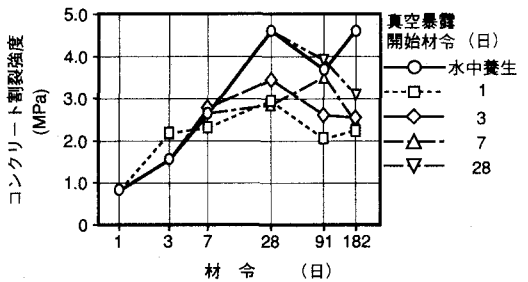


図-4 コンクリート割裂強度の経時変化

図-4は、コンクリートの割裂強度の変化を示したものである。長期材令における割裂強度の減少は、圧縮強度の場合よりもさらに顕著となった。以上の結果から、比較的大きな骨材を含むコンクリートには、真空暴露によって内部に欠陥が発生することが明らかとなった。

4. まとめ

本実験の結果は以下のようにまとめられる。1) 十分な前養生を行なえば、モルタルのように比較的均一で寸法の小さな部材を真空環境に暴露しても、内部に発生する欠陥は少なく、所要の強度を確保することができる。2) コンクリートのように、比較的大きな骨材を含む材料を真空暴露すると、急激な乾燥によって内部に欠陥が発生し、材令とともに強度が低下する。したがって、月でコンクリートを使用するためには、乾燥収縮に対する何らかの対策を講ずる必要がある。

[参考文献]

- 1) Kanamori, H. et al. "A Cost Study of Concrete Production on the Moon", Engineering, Construction and Operations in Space, ASCE, Albuquerque, April, 1990.
- 2) 金森, 松本, 石川 "真空環境下における硬化モルタルの質量変化ならびに収縮ひずみ性状", 土木学会第44回年次学術講演概要集, 1989.