

## V-138 真空中に暴露したコンクリートの物性について

清水建設（株）技術研究所 正会員 岡田武二

清水建設（株）技術研究所 正会員 橘 大介

## 1. まえがき

最近の宇宙開発に関わる調査研究によれば、月にはコンクリートに用いる大部分の材料が存在し、月の材料を用いて月面でコンクリートを製造することが可能であると言われている<sup>1)</sup>。月面でコンクリートを製造する場合、真空、低重力、高温および低温状態下にコンクリートがさらされるという特殊性がある。本研究は、これらの特殊性の中からコンクリートが真空中に暴露されることに着目し、コンクリートを大気圧中で練り混ぜた状態から真空中に暴露した場合に、コンクリートの物性にどのような影響を及ぼすかを実験により明らかにし、真空中でのプレキャスト板の製造（打設・養生）方法を検討したものである。

## 2. 実験概要

## 2. 1 使用材料およびコンクリート配合

使用材料は以下に示すとおりである。セメントは普通ポルトランドセメント（比重 3.16）、細骨材は石灰岩砕砂（表乾比重 2.63、吸水率 2.31%）、粗骨材は玄武岩砕石（ $G_{max}=20\text{mm}$ 、表乾比重 2.72、吸水率 1.46%）とし、混和剤にAE剤を用いた。次にコンクリート配合は、単位セメント量  $350\text{kg/m}^3$ 、水セメント比 55%、細骨材率 40%とし、スランプおよび空気量は各々  $10 \pm 2.5\text{cm}$ 、 $4 \pm 1\%$ とした。

## 2. 2 実験方法

コンクリートを真空中に暴露した場合のフレッシュコンクリートおよび硬化コンクリートの物性に関して以下に示す実験を行った。

■フレッシュコンクリートの試験： 大気中で練り混ぜたコンクリートを数個の $\phi 18 \times 12\text{cm}$ の円筒型容器に各々約 8cmまで詰めた後、これを真空容器に入れて真空ポンプ（真空度 0.01mmHg 仕様）で脱気した。約 3～4 分間で真空容器内圧力が 0mmHgになり、この状態を真空ポンプを稼働させた状態で30分間保持した。その後直ちに真空容器から試料を取り出し、大気中に練り置いたコンクリートとともに、スランプ、空気量、単位体積質量および逸散水量の測定を行った。

■硬化コンクリートの試験： 大気中で練り混ぜたコンクリートを $\phi 10 \times 20\text{cm}$ の型枠内に打設し、 $t$  時間恒温室（ $20 \pm 1^\circ\text{C}$ ）に置いた後（以下、この期間 $t$ を前養生時間という）、供試体を真空容器内に移して真空中で養生し、材令 7日で大気圧に戻し、大気中で養生した供試体とともに、単位体積質量、圧縮強度等の試験を行った。なお、前養生時間  $t$ は、0、4、11、24時間の 4水準とした。

## 3. 実験結果と考察

## 3. 1 真空中に暴露したフレッシュコンクリートの物性

表-1にフレッシュコンクリートの物性試験結果を示す。真空中に暴露したコンクリートは、大気中に放置したコンクリートに比較して、スランプおよび空気量が若干小さくなる傾向を示したが、単位体積質量の結果と同様にその差はわずかであった。

また、真空中に暴露したコンクリートの単位体積当りの逸散水量は  $1.7\text{kg/m}^3$  であり、大気中に放置したコンクリートの2倍程度になったが（単位水量の 1% 程度以下）、極めて少量であった。

表-1 フレッシュコンクリートの物性試験結果

| 種類          | フレッシュコンクリート<br>物性* | スランプ<br>(cm) | 空気量<br>(%) | 単位体積質量<br>( $\text{kg/m}^3$ ) | 逸散水量<br>( $\text{kg/m}^3$ ) |
|-------------|--------------------|--------------|------------|-------------------------------|-----------------------------|
| 練り上がりコンクリート |                    | 9.5          | 4.0        | 2351                          | —                           |
| 練り置きコンクリート  |                    | 5.0          | 3.1        | 2365                          | 1.0                         |
| 真空中暴露コンクリート |                    | 4.5          | 2.5        | 2388                          | 1.7                         |

\* 練り置きおよび真空中暴露コンクリートの試験は練り上がり後2時間経過してから行った。

## 3. 2 前養生時間が硬化コンクリートの物性に及ぼす影響

材令 7日まで大気中で養生したコンクリートと前養生を 0～24時間した後真空中で養生したコンクリート

の単位体積質量と圧縮強度の試験結果を図-1、2に示す。前養生時間 $t=0$  および $t=4$  で真空中で養生したコンクリートは、大気中で養生したコンクリートと比較して、単位体積質量が約 10%前後低減し、圧縮強度が $1/3 \sim 1/5$  程度の極めて低強度のコンクリートになった。しかし、前養生時間 $t=11$ および $t=24$ になると、大気中で養生したコンクリートの単位体積質量および圧縮強度とほぼ同等になることが分かった。また、試験後、供試体を炉乾燥（105℃）して求めたコンクリートの含水量は、真空中に暴露することで、大気中で養生したコンクリートに比較して、前養生時間 $t=0$ 、4、11、24で各々69、37、31、25 $\text{kg/m}^3$  づつ少なくなった。なお、前養生時間 $t=11$ とした場合、コンクリート表面からブリージング水はなくなっており、圧縮強度も約10 $\text{kgf/cm}^2$  程度を有していたことから、コンクリートの凝結は既に終結していたと考えられる。次に、写真-1は、真空中に暴露した供試体の側表面部（ $t=4$ ）、写真-2は、顕微鏡により供試体水平切断面（ $t=0$ 、4、24および大気中養生）を写したものである。写真から明らかなように、前養生時間が短い場合、コンクリートは表面部で多数の亀裂を生じており、また内部は多孔質な状態を呈していることが分かる。以上の結果から、前養生時間の短いコンクリートを真空中に暴露すると、コンクリート中の水分の蒸発・拡散、空気泡の膨張・逸脱やそれらに伴ってコンクリートが開放面である上面に押し上げられて多孔質なものになるため、単位体積質量および圧縮強度の低下を引き起こすものと考えられる。

#### 4. まとめ

真空中におけるコンクリートの製造（打設・養生）方法に関して検討した結果、大気中で練り混ぜたコンクリートを真空中で30分程度で打設するならば、フレッシュコンクリートの物性にはほとんど影響を及ぼさないと考えられる。しかし、硬化コンクリートの諸物性、特に圧縮強度および透気性の観点から、加圧などによって体積膨張を押さえる手段等を講じない限り、真空中に暴露する前に半日程度以上（概ねコンクリートの凝結が終結する時間以上）の大気中での養生期間が必要であると考えられる。

#### 参考文献

- 1) T.D.Lin : Concrete for Lunar Base Construction, Concrete International, ACI, Vol.9, No.7, July, 1987, pp. 48 ~ 53

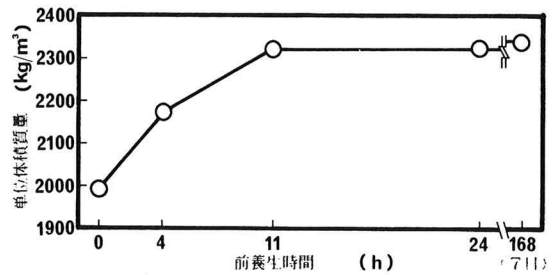


図-1 単位体積質量試験結果

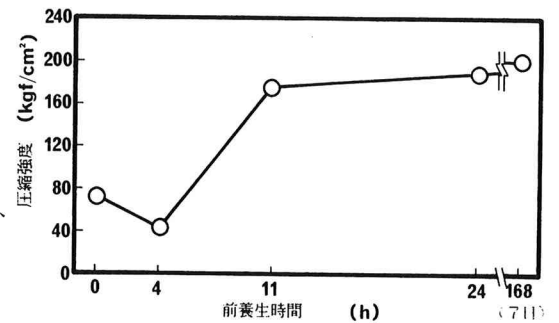


図-2 圧縮強度試験結果

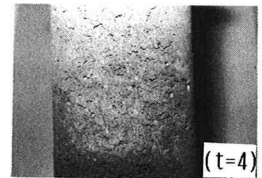


写真-1 真空暴露供試体側表面

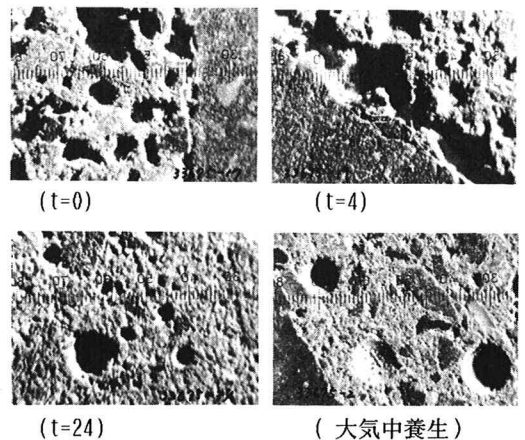


写真-2 供試体の切断面