

## コンクリート躯体温度に影響を及ぼす気象現象について

西松建設株式会社 正会員 西田徳行・潮田和司・椎名貴快  
東京電機大学 フェロー会員 松井邦人・学正会員 高橋誠二  
The University of Iowa T.F. Smith

## 1.はじめに

コンクリート構造物の耐久性を検討する上で、その環境条件は極めて重要である。自然環境下では、気温・湿度、日射および赤外放射などの気象要因がサイクル的に変化し、構造物表面や躯体内の温度および湿度に影響を与えている。しかしながら、気象現象を取り入れた構造物の性能評価は、依然、確立されていない。

本研究では輻射熱を考慮した解析手法を構築するため、コンクリート躯体温度に影響を及ぼすと考えられる気象因子に着目し、屋外にて実大モデル試験体の躯体温度と気象現象の測定を行った。ここでは、全天日射量、赤外放射量および降雨量などの計測データをもとに、今後の温度解析において問題となるアルベドと射出率について検討している。なお、躯体温度の検討については、文献<sup>1)</sup>を参照して頂きたい。

## 2. 輻射熱を考慮した温度解析

大気とコンクリート躯体の境界条件は次式で与えられる<sup>2)</sup>。 $q[W/m^2]$ は躯体表面における熱流入であり、対流熱伝達 $q_{con}[W/m^2]$ 、躯体内に伝達される全天日射量 $q_{sol}[W/m^2]$ 、躯体内に伝達される赤外放射量 $q_{sky}[W/m^2]$ および水分蒸発の気化熱による熱損失 $q_{evp}[W/m^2]$ の和となる。なお、本研究では気化熱の影響を無視しているため、その算定式は記述しない。

| 計測項目           | 計測計器    |
|----------------|---------|
| コンクリート温度 [°C]  | 熱電対     |
| 気温 (乾球温度) [°C] | 通風式温湿度計 |

$$q = q_{con} + q_{sol} + q_{sky} + q_{evp} \quad (1) \quad q_{con} = h_c (T_{air} - T_s) \quad (2)$$

$$q_{sol} = (1 - \alpha)S_0 \quad (3) \quad q_{sky} = \varepsilon\sigma(T_{sky}^4 - T_s^4) \quad (4)$$

$$T_{sky} = T_{air} \left[ 0.8 + \frac{T_{dp} - 273}{250} \right]^{0.25} \quad (5)$$

ここに、 $h_c[W/m^2C]$ は対流熱伝達率、 $T_s[^\circ C]$ はコンクリート表面温度、 $T_{air}[^\circ C]$ は気温、 $S_0[W/m^2]$ は全天日射量、 $\alpha$ はコンクリートのアルベド、 $\varepsilon$ はコンクリートの射出率、 $\sigma(=5.67 \times 10^{-8}[W/m^2K^4])$ はステファン・ボルツマン定数、 $T_{sky}[K]$ は天空温度、 $T_{dp}[K]$ は露点温度である。本研究では、気象因子の内、躯体温度に大きく影響を及ぼす全天日射と赤外放射について検討する。式(3)のアルベド $\alpha$ および式(4)の射出率は、素材や色によって異なるため、コンクリートの値を求める必要があるが、これらは次式から求められる。

$$\alpha = \frac{K \uparrow}{K \downarrow} \quad (6) \quad \varepsilon = \frac{E_m \uparrow - E_m \downarrow}{E_{bc} - E_m \downarrow} \quad (7) \quad E_{bc} = \sigma T_s^4 \quad (8)$$

ここに、 $K\downarrow$ は上からの全天日射量、 $K\uparrow$ は下からの全天日射量、 $E_m\downarrow$ は上からの赤外放射量、 $E_m\uparrow$ は下からの赤外放射量である(これらはコンクリート上での値)。

### 3. 実験概要

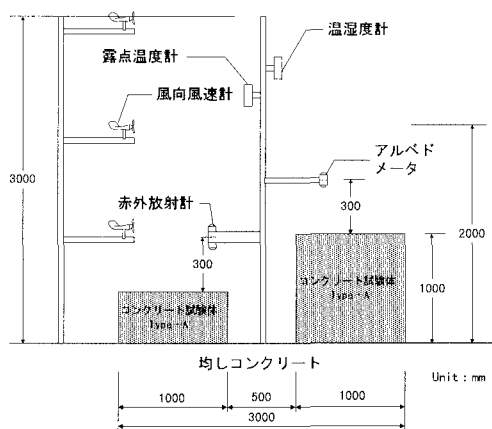
供試体作製には、スランプ 12cm、呼び強度 30N/mm<sup>2</sup>、最大粗骨材寸法 20mm のレデーミクストコンクリートを用いた。打設は 11 月 7 日午前 11 時に終了し、同時に計測始点とした。計測項目を表-1、実験概要図を図-1 に示す。気象に関する計測データは 6 秒間隔のスキャンを 30 分間隔で平均したもの、躯体温度データは 30 分間隔の測定値を出力している。なお、実際の現場においては、養生マットおよび散水など養生

**Keywords:** コンクリート温度, 気象現象, モデル実験, アルベド, 射出率

連絡先: 〒242-8520 神奈川県大和市下鶴間 2570-4 TEL:0462(75)1135, FAX:0462(75)6796

表一1 計測項目

| 計測項目                            | 計測計器     |
|---------------------------------|----------|
| コンクリート温度 [°C]                   | 熱電対      |
| 気温 (乾球温度) [°C]                  | 通風式温湿度計  |
| 相対湿度 [RH%]                      | 通風式温湿度計  |
| 露点温度 [°C]                       | 露点温度計    |
| 風向風速 [m/s]                      | 風向風速計    |
| 全天日射量 [W/m <sup>2</sup> ]       | アルベドメーター |
| 赤外放射量 [W/m <sup>2</sup> ]       | 赤外放射計    |
| コンクリート表面通過熱量[W/m <sup>2</sup> ] | 熱流計      |
| 降雨量 [mm]                        | 雨量計      |



圖一-1 實驗概要圖

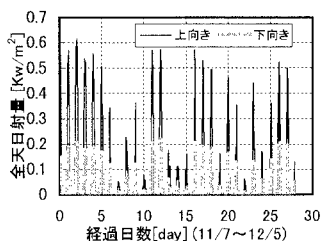


図-2 全天日射量測定結果

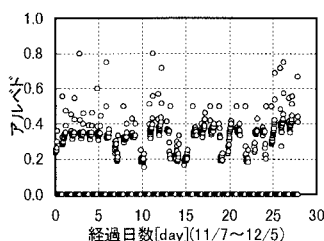


図-5 アルベドの経時変化

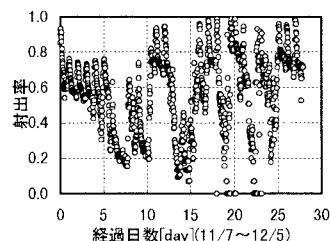


図-6 射出率の経時変化

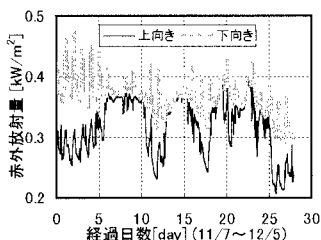


図-3 赤外放射量測定結果

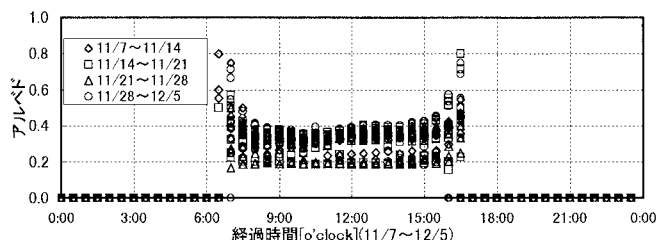


図-7 アルベドの日変化

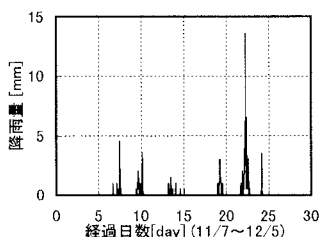


図-4 降雨量測定結果

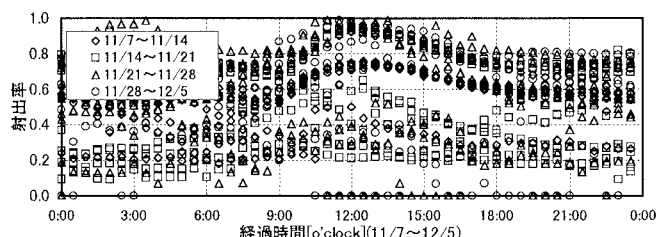


図-8 射出率の日変化

が行われるが、本実験では事後の検討を簡易にするため、コンクリート打込み後の養生を行っていない。

#### 4. 測定結果と考察

気象現象の測定結果として、図-2 に全天日射量、図-3 に赤外放射量、図-4 に降雨量を示す。なお、全天日射量は、上下方向に全天日射計が設置されたアルベドメーターから測定されたものである。また、図中の上向きは上空からの入射、下向きはコンクリート表面からの反射を意味する。全天日射および赤外放射は、上空の雲量の影響を受けることが知られている。本計測データでは、降雨(曇り)時の全天日射量が小さくなり、赤外放射量では上向きと下向きの値の差が小さくなる傾向が認められる。

図-5、図-6 にアルベドおよび射出率の経時変化を示す。これよりアルベドは、コンクリート打込み後の材齢 2 日程度までの若材齢時と降雨(曇り)時の値が小さくなる傾向が認められる。また、射出率も降雨(曇り)時の値が小さくなる傾向が認められるが、晴天時との値の差が大きいようである。次に、アルベドおよび射出率の日変化を図-7、図-8 に示す。アルベドの値は、朝夕の値が大きくなっているが、これは日射の入射角によって異なることが原因と考えられる。射出率については、晴天であった 11 月 7 日～14 日の値は比較的安定している。日中の値は夜間に比べて大きくなる傾向にある。降雨(曇り)時の値は、全体的なばらつきが大きいと言える。これは上空の雲量および天空温度の影響と考えられ、今後の検討が必要である。

#### 5. 本研究のまとめと今後の課題

輻射熱を考慮した温度解析手法を構築する際、大きな影響を及ぼす因子としてアルベドと射出率の検討を実測データを用いて行った。アルベドおよび射出率の値は、天候および日射の角度により変化し、そのばらつきは大きいため、適切なモデル化が必要であることが明らかになった。これらの因子については、天候および日射角の条件を詳細に整理し、検討することが今後の課題である。

**参考文献：**1)高橋誠二，他 4 名：コンクリート躯体温度に影響を及ぼす気象現象の影響評価，土木学会第 53 回年次学術講演会概要集，1998.10.投稿中。2)松井邦人，他 3 名：輻射熱の影響を考慮したマスコンクリートの温度解析，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.18，No.1，pp1281-1286，1996.7。