

自然環境下におけるコンクリート内部の温度推定式について

正会員 ○鈴木 邦康* 正会員 桂 修***
同 濱 幸雄** 同 谷口 円***

コンクリート内部温度 積雪 熱収支式
暴露

1. はじめに

コンクリートの劣化予測や強度管理を行う上で、コンクリート内部の温度を把握することは極めて重要である。そのため、簡単かつ的確にコンクリート内部の温度を推定できる手法が必要である。これまでにコンクリート内部の温度を推定する手法としては、富板ら¹⁾による気象因子を用いた温度推定式(以下、富板式)がある。しかし、富板式では積雪の影響が考慮されておらず、様々な地域の気象条件に対する適用性も検証されていない。

そこで本報では、積雪を考慮したコンクリート内部の温度推定式を提案するとともに、自然環境下におけるコンクリート内部の温度測定結果と比較し、その適用性を検証した。

2. コンクリート内部温度推定式について

2.1 富板式¹⁾について

富板式は、茨城県つくば市で行われた暴露試験で、コンクリートの水平面および南垂直面の表面温度を測定し、これを気象因子の重回帰分析によって導かれた推定式である。富板式を以下に示す。

$$T_{CH} = 1.05T + 5.18S_H(1 - 0.0106W) + 0.592W - 1.17 \quad (1)$$

$$T_{CS90} = 1.09T + 3.62S_{90}(1 + 0.00146W_{<S>}) + 0.636W_{<S>} - 1.06 \quad (2)$$

ここに、T: 外気温(°C), S: 日射量(MJ/m²/hr)

W: 風速(m/s)

添字は、H: 水平面, S90: 南垂直面

2.2 熱収支式の提案

本報で提案する推定式は、日射エネルギー、熱伝達および熱貫流などの伝熱過程²⁾に着目し、コンクリート温度の毎時値をコンクリートおよび積雪面の熱収支により次のように表したものである。

$$Q_{(i-1)} + a_s \cdot J_i \cdot A = A(\theta_{si} - \theta_{oi})(K_o + K_i) + Q \quad (i=0, 1, \dots, n) \quad (3)$$

ここに、a_s: 日射面の日射吸収率, J: 日射量(W/m²)

Q: 固体の熱量(W), A: 日射面の面積(m²)

θ_s: 固体の温度(°C), θ_o: 外気温(°C)

K_o: 熱伝達率(W/m²·K), K: 熱貫流率(W/m²·K)

3. 実験計画および方法

表1に実験計画を示す。調査は、W/C=50%、目標スランプ18cmのnonAEコンクリートとした。調査および使用材料を表2に示す。

表1 実験計画

暴露地	想定部材	供試体寸法(cm)	測定項目	測定期間
札幌	南向き壁	10×20×20	温度	2004/10/16~2005/11/30
旭川	スラブ			2004/10/16~2005/10/24
室蘭				2004/10/16~2005/12/9

表2 調査および使用材料

目標スランプ (cm)	目標Air (%)	W/C (%)	単位水量 (kg/m ³)	単位容積重量 (kg/m ³)		
				セメント	細骨材	粗骨材
18	1	50	206	411	802	952
使用材料						
普通ポルトランドセメント (ρ=3.16)						
細骨材: 登別産陸砂 (表乾密度 2.69g/cm ³ , 粗粒率 2.70)						
粗骨材: 白老産砕石 (表乾密度 2.67g/cm ³ , 最大寸法 20mm)						

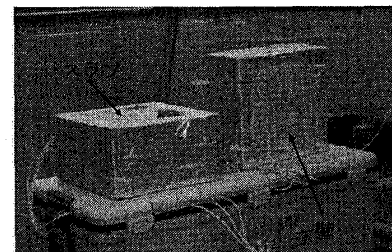


写真1 暴露状況

表3 実測温度と富板および熱収支推定温度の関係

暴露地	測定部材		壁部材				スラブ部材			
	推定方法		富板式		熱収支式		富板式		熱収支式	
	検証指数	相関係数	RMSE	相関係数	RMSE	相関係数	RMSE	相関係数	RMSE	
札幌	9~11月	0.939	3.04	0.971	2.28	0.925	4.87	0.971	3.78	
	12~3月	0.736	3.80	0.787	3.36	0.522	5.25	0.630	4.28	
	4~6月	0.929	3.02	0.982	1.94	0.941	5.43	0.995	3.62	
	7~8月	0.882	2.89	0.972	2.05	0.900	4.38	0.980	3.06	
	全期間	0.957	3.26	0.974	2.55	0.945	4.83	0.971	3.70	
	最低温度	0.978	2.38	0.983	1.70	0.967	2.68	0.973	2.60	
	最高温度	0.928	4.21	0.953	4.39	0.963	7.96	0.973	5.35	
旭川	9~11月	0.920	3.28	0.982	1.56	0.881	4.44	0.952	2.87	
	12~3月	0.774	4.77	0.929	2.47	0.692	5.42	0.842	3.33	
	4~6月	0.957	2.64	0.993	1.07	0.946	4.10	0.978	3.01	
	7~8月	0.930	2.27	0.988	0.97	0.857	4.54	0.931	3.28	
	全期間	0.959	3.58	0.989	1.75	0.944	4.77	0.975	3.17	
	最低温度	0.992	1.85	0.998	0.81	0.978	2.96	0.990	1.50	
	最高温度	0.922	3.13	0.981	2.34	0.960	7.61	0.969	4.64	
室蘭	9~11月	0.919	3.88	0.958	2.57	0.889	5.82	0.896	4.71	
	12~3月	0.653	4.18	0.731	3.82	0.707	5.35	0.765	3.68	
	4~6月	0.961	3.54	0.976	3.52	—	—	—	—	
	7~8月	0.883	2.88	0.957	2.46	0.688	5.28	0.527	6.92	
	全期間	0.942	3.82	0.962	3.13	0.924	5.43	0.921	4.91	
	最低温度	0.971	2.64	0.967	2.74	0.966	3.86	0.973	3.18	
	最高温度	0.900	2.62	0.912	4.94	0.956	7.32	0.968	4.22	

*-は温度センサの不具合による計測不能のためデータなし

Estimated Equation of Concrete Internal Temperature under Nature Environment

SUZUKI Kuniyasu, HAMA Yukio,
KATSURA Osamu and TANIGUCHI Madoka

写真 1 に示すように、実構造物を想定した南向き壁およびスラブ部材を札幌、旭川、室蘭の 3 地点で屋外暴露し、コンクリート内部の温度をコンクリート表面から 1cm の位置に埋設した高分子温度センサを用いて 1 時間ごとに測定した。

4. 実験結果および考察

気象庁のホームページ³⁾より入手した各暴露地の気象データを用いて、富板式および熱収支式によるコンクリート内部温度の毎時値を算出した。表 3 に実測温度と各推定温度の関係を示す。表中の RMSE は実測温度と推定温度の毎時値の誤差の自乗和をデータ数で除した値の平方根で、予測誤差の大きさを示す指標である。

全期間の実測温度と推定温度の対応を見ると、熱収支式は富板式より相関が高く、RMSE も小さくなっており非常に良い対応を示している。期間別に見ても、室蘭のスラブ部材の 7~8 月を除き、熱収支式の方が良い対応を示している。ただし、12~3 月の冬期においては両式ともに他の期間と比較して相関係数が小さく、RMSE も大きい。これは、富板式では積雪の影響が考慮されていないためであると考えられる。一方、熱収支式では積雪の影響を考慮しているものの、気象観測所と暴露地の積雪量に差があり、根雪になる 12 月頃までと雪解けが進む春先

に温度誤差が大きくなったためと考えられる。

図 1 に全期間における実測温度と推定温度の関係を示す。いずれの式も実測温度 0℃付近で推定温度との対応にばらつきが見られる。これは、凍結融解時の凝固熱および潜熱の影響が考慮されていないためであると思われる。

図 2 および図 3 に、日最低温度および日最高温度の実測温度と推定温度の対応を示す。富板式では日最低温度は実測温度と良い対応を示したが、日最高温度は RMSE が大きく若干のばらつきが見られる。これに対して、熱収支式では日最低温度および日最高温度ともに相関が高く、RMSE も小さく良い対応を示している。

5. まとめ

日射エネルギーおよび伝熱過程に着目し、積雪を考慮したコンクリート内部の温度推定式を提案した。本報で提案した熱収支式は、従来の富板式より実測温度との対応が良いことが確認された。

参考文献

- 1) 富板崇ら：コンクリート供試体表面温度の気象因子による推定とその応用，自然環境とコンクリート性能評価に関するシンポジウム委員会報告・論文集，日本コンクリート工学協会，2005 年
- 2) 坂本守正ら：環境工学，朝倉書店
- 3) 気象庁ホームページ <http://www.data.kishou.go.jp/etrm/index.html>

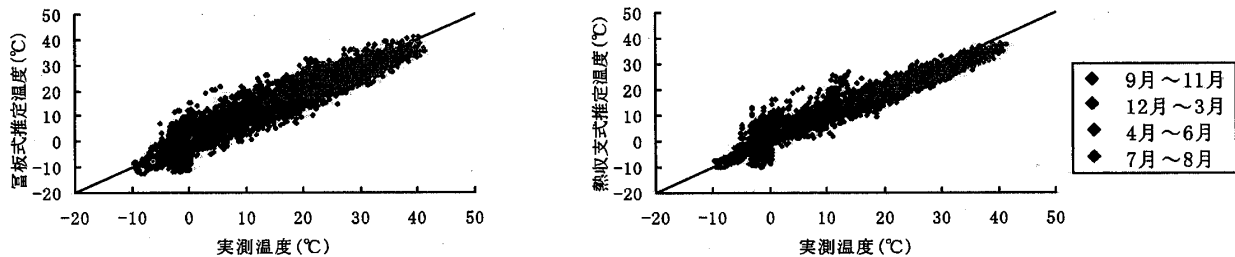


図 1 実測温度と富板式および熱収支式による推定温度の対応 (札幌・壁部材)

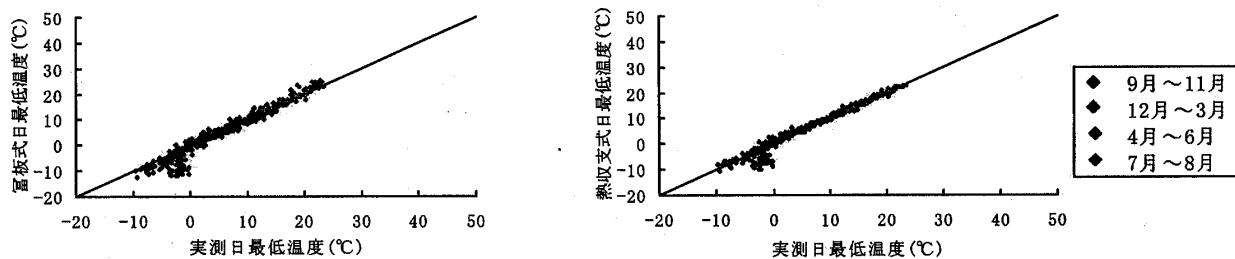


図 2 実測温度と富板式および熱収支式による日最低温度の対応 (札幌・壁部材)

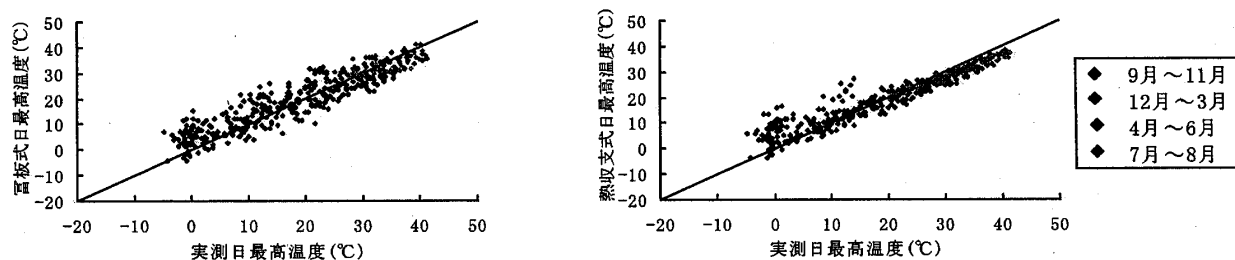


図 3 実測温度と富板式および熱収支式による日最高温度の対応 (札幌・壁部材)

* 室蘭工業大学助手・博士 (工学)
 ** 室蘭工業大学助教授・博士 (工学)
 *** 北海道立北方建築総合研究所

* Research Assoc., Muroran Institute of Technology, Dr. Eng
 ** Assoc. Prof., Muroran Institute of Technology, Dr. Eng
 *** Northern Regional Building Research Institute