

# 論文 コンクリートの凍害を対象とした自然環境下における コンクリート温度に関する検討

松村光太郎\*<sup>1</sup>・浜 幸雄\*<sup>2</sup>・千歩 修\*<sup>3</sup>・富板 崇\*<sup>4</sup>

**要旨**：本研究では、コンクリートの凍害をコンクリート温度から検討することを目的として、まず札幌市における冬期間の暴露試験を行い、気温、風速、日射量などの気象因子から、方位、部位別のコンクリート温度を表示する実験式を導いた。そして、得られた実験式に、各都市における気象データを当てはめ、コンクリート温度を算出した。その結果、コンクリートが受ける凍結融解作用の厳しさは、方位、部位に関わらず、凍結持続を考慮した地域係数で表すことができ、また、より簡潔に地域の条件を表示する方法として、コンクリートの凍結融解作用の厳しさが、最低気温で表せることが判明した。

**キーワード**：凍害、コンクリート温度、気象因子、地域係数、暴露試験

## 1. はじめに

コンクリートの凍害、特に経年による劣化は、外的要因として、凍結時の最低温度および水分の影響が大きいと言われ、凍害に対して同程度の性能を持つコンクリートでも、地域や部材によって耐久性が異なってくる。

そのため、長谷川<sup>1)</sup>は、気温、日射量、降水量に関するデータを用いて全国各地の凍害危険度を算出し、凍害危険度分布図として地域を分類している。しかし、現在では統計的な気象データの入手が容易になり、設計者自らがコンクリートの凍害に対する耐久設計を行うことが可能であるため、1997年に改訂された JASS 5 26 節「凍結融解作用を受けるコンクリート」では、最低気温、部材条件などから、地域および部位の凍結融解作用の強さを算定する方法が示されている<sup>2)</sup>。また、著者らは、凍結融解促進試験の結果<sup>3)</sup>から、気象データを用いて全国の凍結融解作用の厳しさを算出し、凍害に対する耐用年数の推定方法を提案し、札幌市の15年間の暴

露試験結果と対応を図っている<sup>4)</sup>。

しかしながら、これらの中ではデータとして気温が取り扱われており、コンクリートの凍害で実際に問題となるコンクリート温度による検討は行われていない。

そこで、本研究では、まず札幌市における冬期間の暴露試験を行い、気温、風速、日射量などの気象因子から、方位、部位別のコンクリート温度を表示する実験式を導いた。そして、実験式を用いてコンクリートが受ける凍結融解作用を推定し、凍害に対する耐久設計に役立てようと考えた。

## 2. 実験計画および方法

### 2. 1 実験の概要

本研究では、冬期間の気象因子とコンクリート温度との関係を把握することを目的として、屋外暴露試験を行い、方位、部位別のコンクリート試験体の温度と、気象因子(温度、風速、日射量、積雪状態など)を同時に測定した。

\* 1 小山工業高等専門学校助手 建築学科 工修 (正会員)

\* 2 北海道大学大学院助手 工学研究科材料性能学分野 博士(工学) (正会員)

\* 3 北海道大学大学院助教授 工学研究科材料性能学分野 工博 (正会員)

\* 4 ウェザリングワークショップ 工博 (正会員)

## 2.2 コンクリートの物性

実験に用いたコンクリートの物性を、表-1に示す。コンクリートの使用材料は、普通ポルトランドセメント、細骨材に勇弘産陸砂(粗粒率2.78, 実積率71.5%, 表乾密度2.71g/cm<sup>3</sup>), 粗骨材に常盤産碎石(粗粒率6.71, 実積率56.5%, 表乾密度2.67g/cm<sup>3</sup>), 混和材料としてAE減水剤とAE調整剤を用いた。調合は、水セメント比65%, 目標空気量4.5%, スランプ18cmとした。試験体は、打込み後1日で脱型し、材齢14日まで20℃水中養生、以後20℃, 50% RHの気中養生を行い、材齢28日から暴露を開始した。

## 2.3 暴露方法

暴露試験体は、図-1のような100×100×400mmの試験体を9本密着させた直方体形状で、札幌市北海道大学工学部、建築棟屋上(北緯43°04'03", 東経141°20'30")の高さ600mmの架台上に水平に設置した。コンクリート温度測定位置(深さ10mm, 30mm, 50mm, 100mm, 200mm)に銅-コンスタンタン熱電対を埋め込んでコンクリート温度を測定した。なお、なるべく温度ムラや多方向からの熱移動を少なくするために、垂直方向に間隙材として10mm厚の断熱材を挟んだ。また、同時に暴露期間の気象条件を把握するために、暴露地の近傍にて、気温、風向、風速、日射量、降水量、試験体上の積雪なども測定した。観測機器の仕様は、気象庁で使用しているものに準じた。

なお、測定期間は、1999年1月19日から3月31日までの71日間とした。

## 3 実験結果および考察

### 3.1 気象因子とコンクリート温度の関係

図-2に外気温と深さ10mmのコンクリート温度と測定結果の例を示す。日中のコンクリート

温度は、積雪の観測されなかった日の水平面、東面、南面、西面、隅角部で気温よりも高くなった。しかし、北面や積雪の観測された日の水平面では、気温と同等、あるいはそれ以下の温度となった。これは、日射の影響による温度上昇が顕著に現れたためと考えられる。また、積

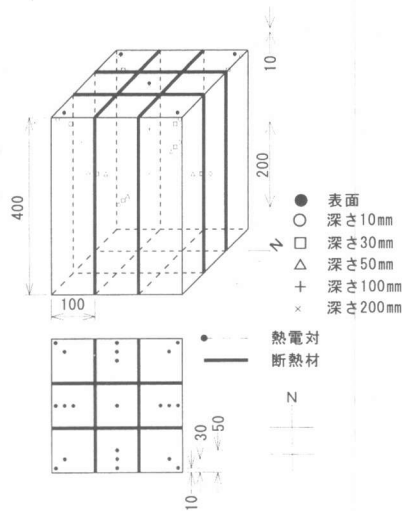


図-1 試験体形状

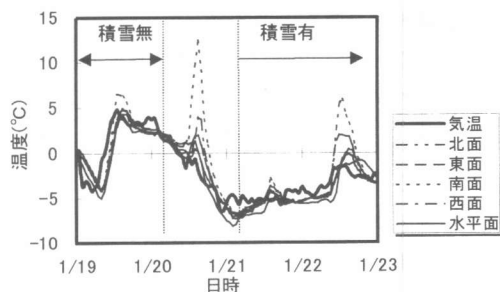


図-2 外気温とコンクリート温度

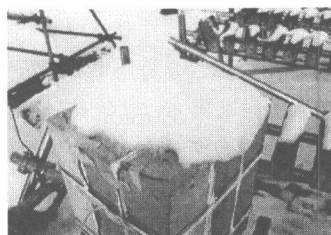


図-3 試験体上の積雪状態

表-1 コンクリートの物性

コンクリート	調合				フレッシュ性状		硬化性状			
	水セメント比	単位水量	細骨材率	目標空気量	混和剤	スランプ	空気量	1週強度	4週強度	耐久性指数
物性値	65%	178kg/m <sup>3</sup>	47.8%	4.5%	AE減水剤 AE調整剤	19cm	4.5%	13.1N/mm <sup>2</sup>	23.4N/mm <sup>2</sup>	98.2

表-2 日最低温度の極値と凍結融解回数

部位・方位	外気温	隅角部										
		水平面			北東		南東		南西		北西	
		10mm	100mm	200mm	10mm	30mm	10mm	30mm	10mm	30mm	10mm	30mm
日最低気温(温度)の極値(°C)	-15.1	-9.5	-11.1	-10.6	-18.1	-17.8	-15.8	-15.5	-17.0	-16.7	-18.8	-18.5
凍結総日数(日)	65	63	63	63	67	67	67	67	68	68	66	66
真冬日(凍結持続)日数(日)	39	37	36	33	16	16	7	8	12	14	22	23
凍結融解回数(日)	26	26	27	30	51	51	60	59	56	54	44	43

部位・方位	垂直面											
	東面			南面			西面			北面		
	10mm	30mm	50mm	10mm	30mm	50mm	10mm	30mm	50mm	10mm	30mm	50mm
日最低気温(温度)の極値(°C)	-12.8	-12.6	-12.2	-10.7	-10.5	-10.3	-13.2	-13.0	-12.9	-13.1	-13.0	-13.0
凍結総日数(日)	64	64	64	62	62	62	64	63	64	65	64	65
真冬日(凍結持続)日数(日)	1	5	9	2	4	5	16	16	16	23	25	25
凍結融解回数(日)	63	59	55	60	58	57	48	47	48	42	39	40

雪の観測された水平面では、積雪による潜熱によって、積雪下の温度が0°C以上に上昇しないためと考えられる。夜間のコンクリート温度は、水平面や垂直面で気温と同等あるいは少し高い温度となったが、隅角部では、気温よりも低くなった。これは、隅角部では、積雪のあった日でも試験体上面の積雪が図-3に示すように円状になる場合が多く、積雪がほとんど無く、三方向から日射や風の影響およびを受け、放射冷却の影響をより強く受けるためと考えられる。

測定期間中の気温およびコンクリートの日最低気温(温度)の極値と凍結融解回数を表-2に示す。水平面は外気温と同等の凍結融解回数になった。垂直面は、日射を受ける面では日最高温度が高くなるため凍結融解回数が極端に多くなった。隅角部は、日最低温度の極値が外気温による日最低気温の極値よりも低く、凍結融解回数も多くなった。

深さ方向の違いによる日最低気温の極値の差は、水平面の深さ100mm, 200mmでは深さ10mmに対して大きく異なったが、他の部位, 方位では、深さ50mmまでそれほど差がみられなかった。そして、深さ10mmのコンクリート温度が最も凍害に対して厳しい結果となった。

なお、コンクリートの凍結温度は一般に-1°C程度といわれているため、外気温およびコンクリート温度の日最低温度が-1°Cになったときに凍結し、外気温およびコンクリートの日最高温度が0°Cで融解するものとして凍結融解回数を数えた。

### 3. 2 気象因子によるコンクリート温度の表示

コンクリート温度を気象因子によって表すことは、地域の気象データからコンクリート温度を推定することを可能とし、実構造物での凍結融解作用を知ることができる。そこで、コンクリート温度に影響を及ぼす気象因子として外気温、風速、日射による温度上昇および放射冷却による温度低下を考慮して、方位別コンクリート温度の日最高温度と日最低温度とを推定する回帰式[(1)式, (2)式]を重回帰分析によって誘導した。なお、降水量、風向(方位)を考慮した風速、および方位を考慮した日射量を加えた重回帰分析でも検討したが、誤差の減少、相関係数の増加はわずかであり、簡便性の観点から採用しなかった。表-3に回帰係数を示す。

$$T_{CHVD} = A_H + B_H \cdot ta_H + C_H \cdot Wd + D_H \cdot Sd \quad (1)$$

$$T_{CLVD} = A_L + B_L \cdot ta_L + C_L \cdot Wn + D_L \cdot Ci \quad (2)$$

ここに、 $T_{CHVD}$ : コンクリート日最高温度(°C)

$ta_H$ : 日最高気温(°C)

$Wd$ : 昼間平均風速(m/s)

$Sd$ : 日積算日射量(W/m<sup>2</sup>)

$T_{CLVD}$ : コンクリート日最低温度(°C)

$ta_L$ : 日最低気温(°C)

$Wn$ : 夜間平均風速(m/s)

$Ci$ : 晴天指数( $Sd$  / 大気外日積算日射量)

$A_H, A_L, B_H, B_L, C_H, C_L, D_H, D_L$ : 回帰係数

添字のVは方位を示し、Hは水平面、Xは東西面、Sは南面、Nは北面、Yは北側隅角、Zは南側隅角とする。

添字のDは深さを示す(単位: cm)。

表-3 式(1)式(2)の回帰係数

回帰係数	A <sub>H</sub>	B <sub>H</sub>	C <sub>H</sub>	D <sub>H</sub>	標準誤差	観測数	回帰係数	A <sub>L</sub>	B <sub>L</sub>	C <sub>L</sub>	D <sub>L</sub>	標準誤差	観測数
T <sub>C</sub> HH1	1.591	1.026	-0.113	0.062	2.13	23	T <sub>C</sub> LH1	1.601	0.790	-0.188	-1.727	1.88	23
T <sub>C</sub> HH10	1.796	0.915	-0.080	0.000	1.73	23	T <sub>C</sub> LH10	1.307	0.810	0.125	-1.432	1.27	23
T <sub>C</sub> HH20	2.697	0.799	-0.179	-0.019	1.62	23	T <sub>C</sub> LH20	1.421	0.848	0.163	-1.233	1.47	23
T <sub>C</sub> HX1	1.185	0.732	-0.467	0.514	1.93	142	T <sub>C</sub> LX1	-0.630	0.805	-0.121	1.551	1.14	142
T <sub>C</sub> HX3	0.947	0.737	-0.452	0.473	1.77	142	T <sub>C</sub> LX3	-0.695	0.788	-0.116	1.576	1.17	142
T <sub>C</sub> HX5	0.881	0.746	-0.444	0.453	1.74	142	T <sub>C</sub> LX5	-0.738	0.780	-0.114	1.593	1.18	142
T <sub>C</sub> HS1	3.372	0.767	-1.049	0.979	3.17	71	T <sub>C</sub> LS1	-0.251	0.790	-0.187	1.652	1.26	71
T <sub>C</sub> HS3	-0.126	0.777	-0.182	1.465	1.26	71	T <sub>C</sub> LS3	-0.126	0.777	-0.182	1.465	1.26	71
T <sub>C</sub> HS5	-0.222	0.763	-0.179	1.520	1.28	71	T <sub>C</sub> LS5	-0.222	0.763	-0.179	1.520	1.28	71
T <sub>C</sub> HN1	-1.926	0.792	-0.006	0.488	2.17	71	T <sub>C</sub> LN1	-0.799	0.762	-0.206	1.621	1.01	71
T <sub>C</sub> HN3	-1.768	0.788	-0.002	0.439	2.49	71	T <sub>C</sub> LN3	-0.799	0.759	-0.198	1.657	1.07	71
T <sub>C</sub> HN5	-1.778	0.787	-0.022	0.437	2.45	71	T <sub>C</sub> LN5	-0.758	0.760	-0.181	1.623	1.07	71
T <sub>C</sub> HY1	1.486	1.044	-0.477	0.306	1.78	142	T <sub>C</sub> LY1	-0.753	0.943	-0.268	1.098	1.42	142
T <sub>C</sub> HY3	1.375	1.041	-0.480	0.298	1.78	142	T <sub>C</sub> LY3	-0.685	0.928	-0.279	1.043	1.42	142
T <sub>C</sub> HZ1	2.962	1.007	-0.848	0.742	2.52	142	T <sub>C</sub> LZ1	-0.728	0.943	-0.109	0.754	1.43	142
T <sub>C</sub> HZ3	2.850	1.004	-0.851	0.734	2.54	142	T <sub>C</sub> LZ3	-0.660	0.928	-0.120	0.700	1.42	142

### 3.3 コンクリート温度による ASTM 相当サイクル数の試算

気温、日射量、風速の気象データがある都市(全国64都市)について、式(1)、式(2)に気象データを代入し、凍害に対して最も厳しい条件の深さ10mmのコンクリート日最高温度と日最低温度を算出し、その結果から、ASTM 相当サイクル数<sup>4)</sup>を求めた。

ASTM 相当サイクル数とは、ある地域の気象条件および部材条件下でコンクリートが1冬期間に受ける凍結融解作用を、凍結融解促進試験の ASTM C-666 A 法の標準条件に相当するサイクル数で表す式(3)である。

なお、気象データは、気象庁提供の地域気象観測資料平年値<sup>5)</sup>(1979年から1990年までのアメダスデータ)の日別準平年値を用いた。

$$R_{s,p} = C \times F \times \sum \left( -\frac{ts}{18} \right)^\beta \quad (3)$$

ここに、R: ASTM 相当サイクル数

C: 養生条件

F: 凍結条件

ts: 凍結最低温度

β: 係数

添字 s は a または cv で、温度の種類を示し、a は気温、cv は方位別コンクリート温度、v は前述と同じ方位とする。

添字 p は、凍害劣化の過程を示し、90 は劣化の兆候が現れる過程、60 は劣化が明確に現れる過程とする。

表-3 に、凍結融解作用が算出された35都市における各方位、部位別日最低温度の極値、お

よび算出した一部の方位、部位(南面、北面、南側隅角)の ASTM 相当サイクル数を示す。

北海道のように真冬日の多い地域では、日射の影響を受ける南面や隅角部では、凍結持続日数が減少するため、ASTM 相当サイクル数が多くなる傾向にある。また、隅角部では気温よりもコンクリート温度が低下するため、ASTM 相当サイクル数はより多くなる。一方、稚内、寿都、浦河などの沿岸地域では、風速が大きく、温度低下が著しいため凍結持続日数があまり減少しない地域もみられる。日射の影響が少ない北面では、コンクリート温度がそれほど上昇せず、凍結持続日数が増加するため、ASTM 相当サイクル数が少なくなる。本州では、気温とコンクリート温度によるそれぞれの ASTM 相当サイクル数は、ほぼ同じとなったが、北面や隅角部は、コンクリート温度が気温よりも低下するため、気温で算出されない輪島、新潟、福井、舞鶴、彦根、奈良などでも ASTM 相当サイクル数が算出される。

凍結持続日数の多くなる方位では凍結融解回数が少なく、また凍害劣化に対する凍結持続の影響が少ないことから<sup>3)</sup>、日最低気温の年間極値が同じであっても ASTM 相当サイクル数は少なくなる。そこで、凍結融解総日数と凍結持続日数との影響を考慮した地域の凍結融解作用の厳しさを表す指標として、1冬期間の凍結融解総日数に対する凍結持続日数の割合で最低気温の年間極値を低減する地域係数が式(4)とし

表-3 気象データと年間 ASTM 相当サイクル数算出結果 (35都市)

都市名	気温					南面					北面					南側隅角					
	極値	Dw	Df	R <sub>a90</sub>	R <sub>a60</sub>	極値	Dw	Df	R <sub>cS90</sub>	R <sub>cS60</sub>	極値	Dw	Df	R <sub>cN90</sub>	R <sub>cN60</sub>	極値	Dw	Df	R <sub>cY90</sub>	R <sub>cY60</sub>	
北海道	稚内	-8.9	123	88	3.8	9.0	-7.5	123	31	17.4	32.7	-7.9	135	114	1.6	4.4	-9.3	135	46	19.1	33.9
	北見枝幸	-11.6	141	93	7.2	15.0	-9.0	138	0	35.2	58.5	-9.3	145	116	2.8	6.9	-11.5	147	11	44.3	66.8
	留萌	-9.8	126	67	9.8	19.5	-8.5	130	25	22.3	40.1	-8.9	140	100	4.1	10.0	-10.3	137	34	25.9	43.3
	旭川	-13.9	149	87	12.9	23.3	-10.7	144	0	45.4	69.2	-10.9	151	106	5.9	12.9	-13.6	153	0	63.3	86.4
	網走	-11.8	140	86	8.5	17.2	-9.2	138	0	35.7	58.9	-9.5	145	107	3.8	9.4	-11.8	147	0	50.2	74.0
	札幌	-8.4	122	52	12.0	23.6	-6.4	111	0	21.5	40.4	-6.8	121	87	3.2	8.1	-8.5	128	0	32.4	54.2
	室蘭	-15.6	147	68	21.3	34.5	-11.8	141	0	48.0	70.6	-12.0	148	90	8.7	18.0	-15.1	152	0	67.6	89.0
	根室	-9.2	121	70	7.9	16.4	-7.3	120	0	25.6	46.0	-7.7	139	101	3.0	8.1	-9.4	138	0	37.1	60.1
	寿都	-5.4	105	49	6.7	15.5	-5.2	114	23	12.7	27.2	-5.7	124	97	2.0	5.6	-6.3	123	27	16.0	31.9
	室蘭	-5.3	100	46	5.8	13.9	-4.4	94	0	12.1	26.9	-4.9	103	86	1.2	3.4	-5.8	106	0	18.4	36.2
	浦河	-7.1	112	34	13.5	26.6	-5.8	111	0	19.3	37.9	-6.3	127	83	4.0	10.2	-7.5	126	0	27.8	49.2
	函館	-7.5	119	31	15.7	30.4	-5.8	108	0	18.9	37.0	-6.2	123	73	5.0	12.3	-7.7	128	0	28.7	50.3
本州	青森	-5.3	100	0	15.4	31.8	-4.2	91	0	11.3	25.5	-4.7	102	52	4.6	11.9	-5.7	108	0	18.0	35.9
	むつ	-6.6	132	8	21.1	41.6	-5.6	134	0	20.5	42.3	-6.1	152	63	9.8	23.3	-7.1	142	0	27.9	52.0
	八戸	-5.4	99	0	15.9	32.2	-4.4	95	0	12.3	27.2	-4.9	105	39	7.4	17.4	-5.9	109	0	18.9	37.1
	秋田	-3.3	76	0	8.1	19.6	-3.2	83	0	7.9	19.8	-3.7	94	45	4.0	10.9	-4.1	93	0	11.8	26.4
	盛岡	-6.9	109	0	22.0	40.5	-5.3	104	0	16.0	33.0	-5.8	118	40	9.6	21.7	-7.1	125	0	24.8	45.6
	宮古	-5.0	94	0	13.3	28.4	-3.6	82	0	8.4	20.5	-4.1	93	0	10.9	25.2	-5.2	103	0	15.2	31.7
	酒田	-2.0	45	0	2.8	8.5	-2.1	49	0	3.2	9.5	-2.7	67	0	5.4	14.6	-2.9	67	0	5.7	15.1
	山形	-4.6	90	0	11.7	25.9	-3.4	77	0	7.4	18.6	-3.8	91	18	7.2	18.0	-4.9	100	0	13.7	29.5
	仙台	-2.7	53	0	4.2	11.5	-2.2	50	0	3.3	9.7	-2.7	65	0	5.3	14.3	-3.3	67	0	6.5	16.3
	福島	-2.8	55	0	4.6	12.2	-2.0	44	0	2.8	8.5	-2.6	63	0	4.8	13.3	-3.2	72	0	6.6	16.8
	小名浜	-1.5	30	0	1.4	4.8	-0.9	0	0	0.0	0.0	-1.5	36	0	1.8	5.9	-2.0	41	0	2.6	7.8
	輪島	-0.6	0	0	0.0	0.0	-1.1	15	0	0.5	2.0	-1.7	44	0	2.4	7.6	-1.6	33	0	1.7	5.5
	新潟	-0.7	0	0	0.0	0.0	-1.1	14	0	0.5	1.9	-1.7	38	0	2.1	6.7	-1.6	33	0	1.8	5.7
	富山	-1.3	17	0	0.7	2.5	-0.9	0	0	0.0	0.0	-1.5	28	0	1.3	4.5	-1.8	35	0	1.9	6.1
	高田	-1.4	26	0	1.2	4.1	-1.2	19	0	0.8	2.8	-1.8	47	0	2.6	8.2	-2.0	49	0	3.0	9.2
	宇都宮	-4.3	84	0	10.2	23.3	-2.9	73	0	6.1	16.2	-3.4	83	0	8.3	20.5	-4.5	88	0	11.6	25.7
	福井	-0.6	0	0	0.0	0.0	-0.6	0	0	0.0	0.0	-1.1	12	0	0.5	1.7	-1.3	17	0	0.7	2.5
	松本	-6.4	111	0	20.0	38.7	-4.7	99	0	13.1	28.8	-5.1	111	0	16.0	33.9	-6.5	115	0	21.7	41.2
	前橋	-1.6	30	0	1.5	4.9	-1.1	16	0	0.6	2.2	-1.7	39	0	2.1	6.7	-2.1	42	0	2.8	8.2
	甲府	-3.5	63	0	6.1	15.3	-2.4	52	0	3.3	9.9	-2.9	65	0	5.2	14.1	-3.8	73	0	7.5	18.4
舞鶴	-0.6	0	0	0.0	0.0	-0.5	0	0	0.0	0.0	-1.1	7	0	0.3	1.0	-1.2	12	0	0.5	1.8	
彦根	-0.1	0	0	0.0	0.0	-0.2	0	0	0.0	0.0	-0.8	0	0	0.0	0.0	-0.9	0	0	0.0	0.0	
奈良	-0.8	0	0	0.0	0.0	-0.5	0	0	0.0	0.0	-1.1	8	0	0.3	1.1	-1.3	24	0	1.0	3.6	

極値:最低温度(気温)の年間極値(°C)  
 Dw :凍結融解総日数(日)  
 Df :凍結持続日数(日)

て提案されている<sup>4)</sup>。

$$T = -ta_{min}(1 - \frac{Df}{Dw}) \quad (4)$$

ここに, T : 地域係数

ta<sub>min</sub> : 最低気温の年間極値(°C)

Df : 凍結持続日数(日)

Dw : 凍結融解総日数(日)

図-6に、地域係数と気温による ASTM 相当サイクル数との関係を、図-7に、式(4)の条件をコンクリート温度として算出した地域係数とコンクリート温度による ASTM 相当サイクル数との関係を示す。両者の関係は、気温、コンクリート温度とも同様の傾向を示し、また、コンクリート温度は、方位、部位に関係なく、同様の傾向で良い対応を示した。したがって、コンクリート温度による凍結融解作用の厳しさは、コンクリートの方位、部位に関係なく、

コンクリート温度で算出される最低温度の年間極値、凍結融解総日数、凍結持続日数を考慮した地域係数によって表すことができる。

図-8に、日最低気温の年間極値(ta<sub>min</sub>)と劣化の兆候が現れるコンクリート温度による ASTM 相当サイクル数(R<sub>cY90</sub>)を示す。日射によって凍結持続日数が減少する南側隅角や南面では、両者は非常に良い直線関係を示しているが、日射による融解がそれほど顕著でない水平面、東西面、北側隅角や、コンクリートの日最低温度が外気温より低下し、日射の影響がない北面などでは、両者の関係は悪い。

コンクリートの凍害に対する耐久設計を、なるべく簡便に行うには、入手の容易な統計的データを利用する方が良い。また、耐久設計を行う場合、一般的に、最も厳しい条件で設計されるべきである。コンクリート温度による ASTM

相当サイクル数が最も多い条件は南側隅角であり、この条件は、最低気温の年間極値と直線関係にある。したがって、凍害に対する耐久設計は、入手が容易な最低気温の年間極値から、南側隅角の凍結融解作用の厳しさを算出して行うのが適切と考えられる。

また、その場合、凍結融解作用の厳しさは、最低気温の年間極値で表現できる。

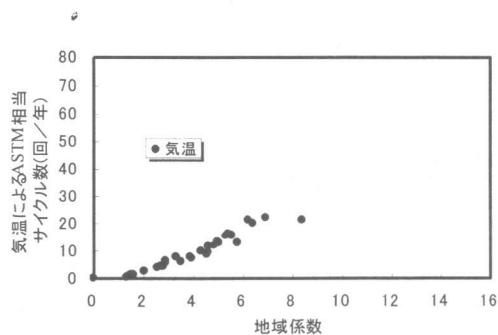


図-6 気温による地域係数と気温によるASTM相当サイクル数との関係

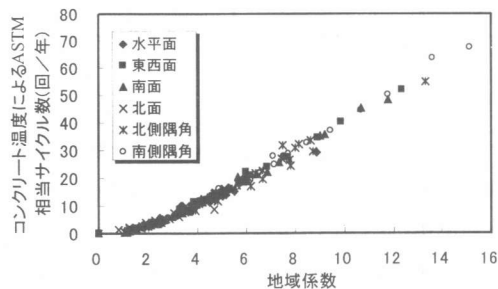


図-7 コンクリート温度による地域係数とASTM相当サイクル数との関係

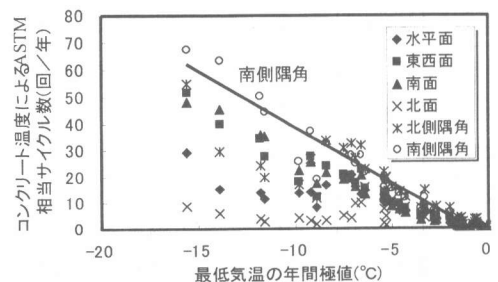


図-8 日最低気温の年間極値とコンクリート温度によるASTM相当サイクル数との関係

#### 4. まとめ

本研究の成果を以下に示す。

1) コンクリート温度は、方位により差があり、真冬の多い地域では、日射の受ける方位、部位では、日最高温度が気温よりも高くなり、また、北面および隅角部では、日最低温度が気温よりも低下する。

2) 方位別のコンクリート温度を、気象因子(気温、風速、日射量)から表す実験式を誘導した。

3) 凍結融解作用の厳しさの地域性は、コンクリートの方位、部位に関わらず、コンクリート温度による最低温度の年間極値と、凍結融解総日数、凍結持続日数を考慮したコンクリート温度による地域係数[式(4)]で表現できる。

4) 凍結融解作用の最も厳しい南側隅角の条件が、最低気温の年間極値に対応していることから、最低気温の年間極値を用いることにより、コンクリートの凍害に対する耐久設計を簡便に行うことが可能である。

#### 謝辞

東北大学大学院 三橋博三教授、同大学院生 岩上真也氏には、暴露試験の貴重なご意見をいただいた。ここに謝意を表す。

#### 参考文献

- 1) 長谷川寿夫、コンクリートの凍害に対する外的要因の研究、北海道大学学位論文、1974
- 2) 日本建築学会、建築工事標準仕様書・同解説書 JASS 5 鉄筋コンクリート工事、日本建築学会、1997
- 3) 田畑雅幸、コンクリートの凍害における環境条件の影響に関する研究、北海道大学学位論文、1986
- 4) 浜幸雄・松村光太郎・富板崇・田畑雅幸・鎌田英治、気象因子を考慮したコンクリートの凍害劣化予測、日本建築学会構造系論文集、No. 521, pp. 9~16, 1999. 9
- 5) 気象庁、気象庁観測平年値、CD-ROM, 1996