

1.はじめに

マスコンクリートの設計施工を行う場合、コンクリート打込み後の温度上昇を事前に的確に推定して、設計施工へ反映させることが、温度ひびわれ制御の基本となる。コンクリートの温度上昇を的確に推定するには、温度上昇に対する主要影響因子を把握しておくことが重要であるといった考えに基づいて、筆者はこれまで、コンクリートの熱特性値、コンクリートの断熱温度上昇特性、養生方法および期間、打設間隔等について検討を行ってきた。

本報告は、影響因子の一つとして外気温に着目して、外気温がコンクリートの内部温度および表面部の温度上昇量に及ぼす影響について検討したものである。検討は大型構造物の基礎スラブを対象にして行った。本報告における記号は右下に示す通りである。

2.数値計算の概要

地盤上に打込んだスラブを対象にして数値計算を行った。数値計算には2次元の非定常熱伝導式を有限差分法(FDM)で解析した数値解法を用いた。本解法の精度については、数現場の実測値により検証を行っている。表-1に各ケース共通の因子および水準を示し、また表-2には変化させた因子および水準を示した。コンクリートの断熱温度上昇は塚山氏の提案している方法により推定した。各打込み温度に対する断熱温度上昇式は次のようである。 $T_p=10^{\circ}\text{C}$: $Q(t)=35.1(1-e^{-0.446t})$, $T_p=20^{\circ}\text{C}$: $Q(t)=31.3(1-e^{-0.892t})$, $T_p=30^{\circ}\text{C}$: $Q(t)=29.9(1-e^{-1.338t})$,ここに、 t : 材令(日)

(記号の定義)

D : スラブ厚(m), T_a : 平均気温($^{\circ}\text{C}$), $T_{r,\max}$: 内部温度上昇量の最大値($^{\circ}\text{C}$), T_p : 打込み温度($^{\circ}\text{C}$), $T_{r,\max}$: 表面温度上昇量の最大値($^{\circ}\text{C}$), $T_{r,\max}$: 部材内平均温度上昇量の最大値($^{\circ}\text{C}$), ΔT_b : 部材内の最高温度と表面温度との差($^{\circ}\text{C}$)

表-1 計算因子および水準 (各ケース共通)

№	因子	単位	水準
1.	地盤の熱物性値		
	比熱	$^{\circ}\text{C}$	0.492
	熱伝導率	$\text{W/m}\cdot^{\circ}\text{C}$	1.225
2.	コンクリートの熱物性値		
	比熱	$^{\circ}\text{C}$	0.307
	熱伝導率	$\text{W/m}\cdot^{\circ}\text{C}$	1.798
3.	地盤温度	$^{\circ}\text{C}$	10 (15)
4.	コンクリートの打込み温度	$^{\circ}\text{C}$	23.66
5.	地盤	m	6.70
6.	セメントの種類		(普通ポルトランド)
7.	養生セメント量	kg/m^3	250
8.	熱伝導率	$\text{W/m}\cdot^{\circ}\text{C}$	20
9.	要わくの種類	(JIS A 74-A)	
	厚さ	mm	12
	熱伝導率	$\text{W/m}\cdot^{\circ}\text{C}$	58
	質量密度	kg/m^3	7
10.	リフト面の養生		なし
11.	時間(分)	hr	1
12.	距離(分)	m	0.50
13.	距離(分)	m	0.15

表-2 変化させた因子および水準

№	因子	単位	水準
1.	コンクリートの打込み温度	$^{\circ}\text{C}$	10, 20, 30
2.	スラブ厚	m	0.75, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0
3.	平均気温	$^{\circ}\text{C}$	-10, 0, 10, 20, 30

3.計算結果および考察

(1) 内部温度上昇量の最大値($T_{r,\max}$): 図-1は $T_{r,\max}$ と T_a との関係を示したものである。同図には $D=0.75\text{m}$, 2.0m の結果を示した。 T_p が低いほど T_a の影響が大きくなる傾向を示している。 $D=0.75\text{m}$ の場合には、 $T_{r,\max}$ は T_a の影響を一定程度受けているが、 $D=2.0\text{m}$ の場合にはその影響は小さくなっている。

$T_p=20^{\circ}\text{C}$ の場合、 $D=0.75\text{m}$ では T_a が -10°C から 30°C まで変化させた時、 $T_{r,\max}$ は約 4.5°C 変化しているが、 $D=2.0\text{m}$ では約 1°C 変化しているにすぎない。 D と $T_{r,\max}$ との関係を図-2に示す。同図から D の増大に伴ない $T_{r,\max}$ に及ぼす T_a の影響は減少することがわかり、 $D=3.0\text{m}$ 以上では T_a の影響は 1°C 以内になっている。図-3は T_p と $T_{r,\max}$ との関係を示したものである。 T_a が約 10°C 以下の場合には、 T_p の増大に伴って $T_{r,\max}$ が幾分約 1°C 以内増大する傾向が認められる。しかしながら、 T_a が 10°C 以上の場合には逆に T_p の増大に伴って $T_{r,\max}$ は減少して

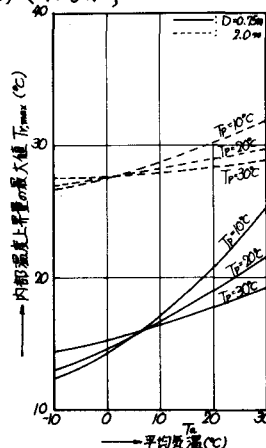


図-1 平均気温と内部温度上昇量の最大値との関係

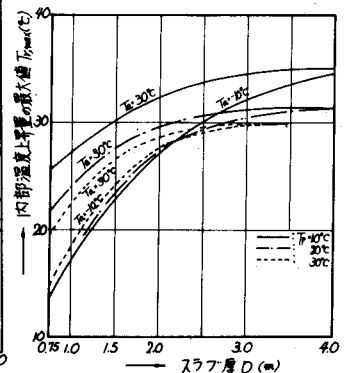


図-2 スラブ厚と内部温度上昇量の最大値との関係

いる。従来、 $T_a = T_p$ として扱われているが、実際の施工においては $T_a \neq T_p$ の場合があり、本報告のように扱えるのが適切であると考えられる。図-3における一実鎖線は $T_a = T_p$ とした場合の曲線である。

②表面温度上昇量の最大値($T_{s,r,max}$):図-4は T_a と $T_{s,r,max}$ との関係を示したものである。 T_a と $T_{s,r,max}$ との関係は直線関係で近似でき、 T_a の増大に伴って $T_{s,r,max}$ は増大している。さらに、 $T_{s,r,max}$ は図-5から明らかであるように D にはほとんど影響されず、 T_p が高いほど大きくなる傾向を示している。

③平均温度上昇量の最大値($T_{m,r,max}$):図-6は D と $T_{m,r,max}$ との関係を示したものである。この図から、 T_a が高くなるにしたがって、 $T_{m,r,max}$ が直線的に増加すること、さらに D が大きくなるほど $T_{m,r,max}$ の増加率は低下することがわかる。

④部材内の最高温度と表面温度との差(ΔT_s):図-7は T_a と ΔT_s との関係を示したものである。

T_a が高くなるほど ΔT_s は小さくなる傾向を示している。部材内の不均一な温度分布により生ずる表面ひびわれの発生を ΔT_s で判断できると仮定すれば、 T_a が高くなるほど表面ひびわれに対しては安全側になると考えられる。このことは、同じスラブ厚のマスコングリートと同じ T_p で打込んだ場合、外気温の高い時期に打込んだ方が表面ひびわれを制御するための養生が簡易で良いといったことを裏づけるものである。図-7における一実鎖線は、 $D=0.75$ mでの $T_p=10^\circ\text{C}$ 、 20°C の場合の結果を示したものである。 T_p が低いほど ΔT_s は小さくなっており、 10°C の T_p の変化に対応して ΔT_s は約 6°C 変化している。暑中におけるマスコングリートの温度ひびわれの制御対策の一つとして用いられているプレクーリングは、通常、外部拘束による温度ひびわれ制御を目的として実施されているが、表面ひびわれの制御対策としても有効な方法であると考えられる。

4. まとめ

マスコングリートの温度上昇に対する影響因子の一つとして外気温に着目して検討を加えた結果、次のことが明らかになった。

- ①内部温度上昇量の最大値は、スラブ厚が約 3.0 m以上になれば外気温の影響をほとんど受けなくなる。
- ②平均気温と表面温度上昇量の最大値との関係は直線関係で近似でき、平均気温の増大に伴って表面温度上昇量は増大する。
- ③コンクリートのプレクーリングは、表面ひびわれの制御対策の一つとして効果的な方法であると考えられる。(参考文献)小野:コンクリート打込み後の温度上昇の推定への電算機の利用,土木学会電算シンポジウム,1976.11,小野:マスコングリート打込み後の温度上昇に関する2,3の考察,コンクリート工学,1977.1,3 塚山:コンクリートの断熱温度上昇推定,建設年報,xxx

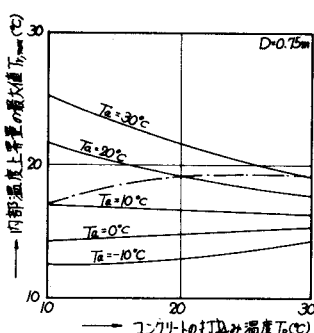


図-3 コンクリートの打込み温度と内部温度上昇量の最大値との関係

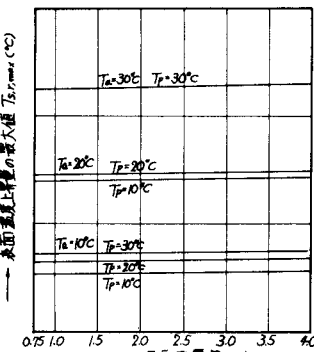


図-5 スラブ厚と表面温度上昇量の最大値との関係

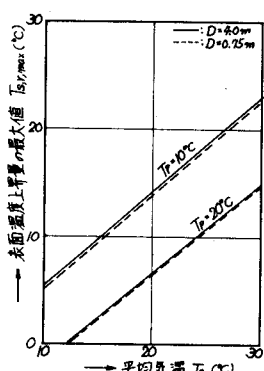


図-4 平均気温と表面温度上昇量の最大値との関係

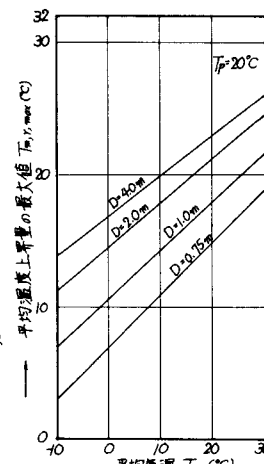


図-6 平均気温と平均温度上昇量の最大値との関係

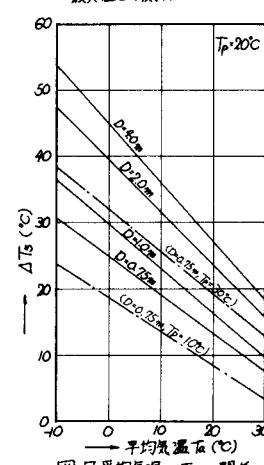


図-7 平均気温とΔTsとの関係