

清水建設 正員 小野 定
北海道大学 正員 藤田 嘉夫

1 はじめに

セメントの水和熱による温度ひびわれの制御は、コンクリート構造物の安全性および機能性を保証する上で重要な問題である。温度ひびわれ制御の検討において、温度ひびわれ発生の評価は重要な位置を占めていると思われる。従来、温度ひびわれ発生の評価には決定論的方法が多く使用されているが、ひびわれ発生は多くの要因を含む不確定現象と考えられることから、確率論的に評価するのが適当であると考えられる。

本研究はこのような基本概念に基づき、マスコンクリートの温度ひびわれ発生を確率論的に評価する方法について検討したものである。

2 組み合わせ法による温度ひびわれ発生の確率評価法

筆者の1人は、温度ひびわれ発生を評価するための指標として温度ひびわれ指数を定義し、この指数によりひびわれ発生を確率評価する温度ひびわれ指数法を提案¹⁾し、実構造物での温度ひびわれ発生データに基づいて、指数が正規分布に従う確率変数であることを確認して、図-1に示す温度ひびわれ発生確率図を与えている。同図でCRACK・Aは内部拘束による温度応力が主原因で、またCRACK・Bは外部拘束による温度応力が主原因で発生する温度ひびわれである。温度ひびわれ指数法の問題点の1つとして、図-1

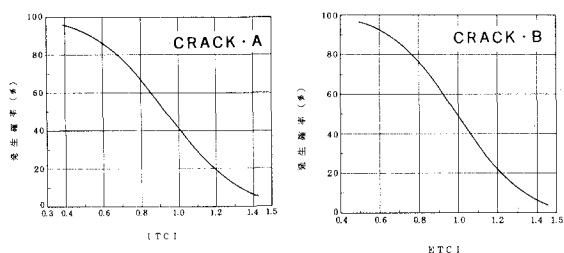


図-1 温度ひびわれ発生確率

に示した発生確率図が、温度ひびわれが発生しなかったデータを除いて作成されていることが挙げられる。このため、ある指数に対する温度ひびわれの発生確率がひびわれの発生しないデータからみてどの程度信頼できるのが評価することができない。このことは、特に発生確率から50%前後の領域における結果を判断する場合に重要となる。

図-2に示すように、任意の指数の範囲にはひびわれが発生したデータと発生しなかったデータが混在する。指数が同じであっても、設計条件、施工条件、環境条件などが異なるために、ひびわれが発生したりしなかったりすることが推察される。発生確率が大きい場合あるいは小さい場合には、ひびわれ発生有無の評価が比較的しやすいと考えられるので、ここでは発生確率が30~70%の範囲を対象にして評価法の検討を行った。

同一、あるいはある範囲の指数に対するひびわれ発生の事象は有、無の2つである。このことから、本研究では、判別分析により2つの事象を判別してみた。解析に使用したデータ数は、CRACK・Aが194個(有:38, 無:156), CRACK・Bが213個(有:99, 無:114)である。表-1に解析結果を示す。解析は、発生確率が小さい範囲(30~50%)と大きい範囲(50~70%)分けて行っている。

ITCI(CRACK・Aに対する指数)の場合には、 ΔT_s , max, DAYmax, Lおよびスランプの要因がある指数の範囲内におけるひびわれ有無を判別するための共通要因になっている。ETCI(CRACK・B)の場合には、 ΔT_m とLの2つが共通要因になっている。両者の場合とも、異なった要因の組み合わせによりひびわれ有無が判別

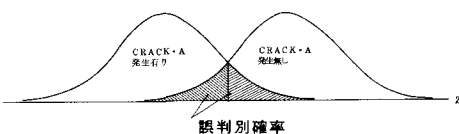


図-2

数を表-1に示した判別関数により、その指数に対するひびわれ有無を判別することができると考えられる。以上の結果に基づいて、次のような組み合わせ法による温度ひびわれ発生の評価法を提案する。温度ひびわれ指数法で求まる発生確率を誤判別確率により修正する。修正は、表-1に示した判別関数でひびわれ有と判別された場合には、 $(\text{発生確率}) \times (1 + \text{誤判別確率} / 100)$ で行い、ひびわれ無の場合には $(\text{発生確率}) \times (\text{誤判別確率} / 100)$ で行う。

表 - 2 評価法適合性検討に使用した諸条件

スラブ (㎝)	セメントの種類				打 設 時 期			Tp (℃)	r	部材厚 (m)	L (m)	R	△Ts, max (℃)	DAYmax (日)	p (%)	W/C (%)	△Tm ^t (℃)	誤判別 確率(%)	F 値	判別確 界 2σ	
	N	M	F	B	夏	秋	冬														
1	(ITC I 30～50%)										-7.2 ×10 ³		-1.5 ×10 ³	-4.8 ×10 ³					23.6	7.92	-19.0 ×10 ³
2	(ITC I 50～70%)									-5.3 ×10 ³	-2.0 ×10 ³	-4.6 ×10 ³	-1.7 ×10 ³	15.4 ×10 ³	-64.4 ×10 ³	-6.2 ×10 ³			7.9	9.44	52.0 ×10 ³
3	(ETC I 30～50%)									-26.2 ×10 ³		-2.0 ×10 ³				1.7 ×10 ³	-2.7 ×10 ³		28.8	6.99	51.6 ×10 ³
4	(ETC I 50～70%)											-1.3 ×10 ³					-9.4 ×10 ³		28.4	3.91	-21.2 ×10 ³
	—	-5.3 ×10 ³	6.9 ×10 ³	29.3 ×10 ³	-7.0 ×10 ³	-2.9 ×10 ³	-3.3 ×10 ³	6.3 ×10 ³	—	—	—	-1.3 ×10 ³	—	—	—	—	-9.4 ×10 ³	—	—	—	—

N：普通セメント、 M：中熱セメント、 F：フライアッシュセメント、 B：高炉セメント、 Tp：打込み温度、 r：断熱温度上昇実験定数、
L：ブロック長、 R：外側向東面、 △Ts, max：内部温度と表面温度の差の最大値、 DAYmax：内部温度が最大値を示した時刻、
p：鉄粉比、 W/C：水セメント比、 △Tm^t：温度降下量

順	データ名	σ_{rms} [$\mu\text{g/s}$]	$\sigma_{\text{rms}}(\text{ノイズ})$ [$\mu\text{g/s}$]	$\sigma_{\text{rms}}(\text{ノイズ})$ [$\mu\text{g/s}$]	A(H)	B(H)	R	T_{max} [h]	T_{min} [h]	T_{eq} [h]	T_{p} [h]	$T_{\text{eq}}(\text{ノイズ})$ [h]	$T_{\text{max}}(\text{ノイズ})$ [h]	$T_{\text{min}}(\text{ノイズ})$ [h]	検出の有無	
1	A 現場 スラム 1 ラフト	1.0	$\frac{1}{0.00101}$ [0.00101]	$\frac{1}{0.00117}$ [0.00117]	($\times=0$) 1413	0.63	0.1	4.6	3.7	4.38	24	5	1985	5.25	3.78	無
2	A 現場 スラム 2 ラフト	1.0	$\frac{1}{0.00101}$ [0.00101]	$\frac{1}{0.00117}$ [0.00117]	($\times=0$) 1269	0.63	0.1	3.7	2.9	3.3	19	1.6	517	5.83	0.69	無
3	B 現場 スラム	1.14	$\frac{1}{0.00271}$ [0.00271]	$\frac{1}{0.00291}$ [0.00291]	($\times=0$) 1037	0.63	0.1	4.59	28.3	41.5	28.4	11.6	2210	7.60	3.16	無
4	C 現場 降塵	0.7	$\frac{1}{0.0137}$ [0.0137]	$\frac{1}{0.01418}$ [0.01418]	($\times=14$) 1292	0.63	0.77	10	10	14	8.5	27.1	35.3	0.77		有
5	D 現場 下床炭 1 ラフト	1.12	$\frac{1}{0.00261}$ [0.00261]	$\frac{1}{0.00261}$ [0.00261]	($\times=0$) 1290	0.63	0.1	4.6	28	41.5	26.1	5	1915	6.31	3.03	無
6	D 現場 下床炭 2 ラフト	1.12	$\frac{1}{0.00261}$ [0.00261]	$\frac{1}{0.00261}$ [0.00261]	($\times=14$) 1119	0.63	1.0	3.0	2.6	2.9	29	11	422	5.0	0.84	有
7	D 現場 降塵	1.12	$\frac{1}{0.00185}$ [0.00185]	$\frac{1}{0.00185}$ [0.00185]	($\times=14$) 985	0.63	0.85	3.1	2.9	3.1	1.6	45.6	6.9	0.66		有
8	D 現場 中床炭	1.12	$\frac{1}{0.00185}$ [0.00185]	$\frac{1}{0.00185}$ [0.00185]	($\times=0$) 853	0.63	0.4	1.8	1.8	1.8	31	1.0	657	5.6	1.17	無
9	D 現場 上床炭	1.12	$\frac{1}{0.00194}$ [0.00194]	$\frac{1}{0.00194}$ [0.00194]	($\times=0$) 1012	0.63	0.3	1.5	1.5	1.5	1.0	6	732	5.7	1.28	無

場：麻呂橋

表-2 に示した塚山氏の調査データ²⁾により、提案した評価法の適合性を検討した。No.2 のデータは、図-3 に示すように温度ひびわれが認められていないにもかかわらず、温度ひびわれ指数法では発生確率 6.4% と評価されている。今、セメントのタイプは N、打設時期春、 $L=4.55m$ 、 $\Delta T_m^t = 17.5^\circ C$ の条件で判別すると、 $Z=7.0 \times 10^{-3}$ となるので $CRACK \cdot B$ は発生しないと判定される。したがって、発生確率は $(6.4\%) \times 0.28 = 1.8\%$ と修正され、ひびわれ無の現象と良い対応を示す。同様に No.2 データの近傍の No.6 データについて検討してみる。セメントの種類は N、打設時期は夏、 $L=2.37m$ 、 $\Delta T_m^t = 18.5^\circ C$ であるので、 $Z=-28.7 \times 10^{-3}$ となり $CRACK \cdot B$ は発生は $(7.2\%) \times (1+0.284) = 9.2\%$ となりひびわれ有の現象と良い対応が評価法でよりの確に温度ひびわれの発生が評価できると考えられる。

(参考文献) 1) 小野定, 権田泰二: マスコンクリートの温度ひびわれ発生条件に関する考察, セメント技術年報 35, PP. 254 ~ 257, 昭和 56 年 2) 塚山隆一: マッシュな鉄筋コンクリートの温度上昇ならびに温度ひびわれに関する基礎研究, 東京大学学位論文, PP. 5 ~ 64, 昭和 49 年

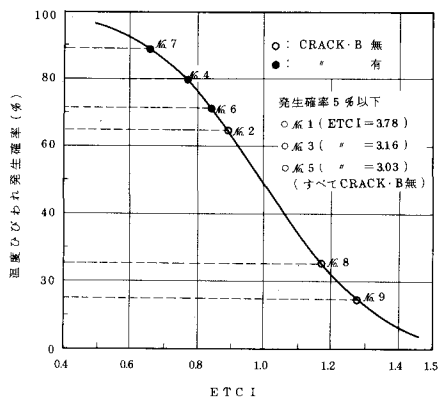


図-3 温度ひびわれ発生確率と
温度ひびわれ発生有無の対比