

清水建設株式会社 正員 小 野 定
清水建設株式会社 正員 〇名 倉 健 二
清水建設株式会社 正員 金 森 洋 史

1. 研究の目的

セメントの水和熱に起因する温度応力によるひびわれ（以下、温度ひびわれと称す）は、コンクリート構造物の安全性、機能性等の観点から、その発生を防止あるいは制御する必要性が認められる。特に、鉄筋コンクリート、鉄骨コンクリート等では、コンクリート内の鋼材の腐食原因となり、構造物の耐久性を低下させる一因ともなる。また貯水構造物では、温度ひびわれが漏水の主要原因となって機能上影響を及ぼしている例も見受けられる。

温度ひびわれの制御について検討を行う場合、温度ひびわれをどのような状態に制御するのか、それを判断するための特性値が必要になる。しかしながら、温度ひびわれについては一般のRCのように許容最大ひびわれ幅等の特性値が明確でないために、従来の特性値が多くの場合使用されている。

一般に、ひびわれの特性値としては、幅、長さ、深さ等が代表的なものであるが、ひびわれが構造物に及ぼす影響等について考察する場合には、これらの特性値では不十分な場合が見受けられる。本研究は、温度ひびわれ特性を明確にするための数量化について考察し、さらに、数量化した温度ひびわれの特性値と各種要因との関係について考察したものである。

2. 温度ひびわれの数量化

マスコンクリートの温度ひびわれを制御する場合に目安となる特性としては、幅および面積が代表的なものとして考えられる。前者は、漏水、鉄筋等の腐食等に強く関係し、また、後者は、美観あるいはひびわれの補修等に強く関係するものと考えられる。

(1) ひびわれ面積の数量化*)

ひびわれ面積の特性値としては、図-1に示し

たように、面積 $L \times H$ (m^2)のブロック内に発生した全ひびわれ面積($\sum A_i = \sum \bar{W}_i \times l_i$)をブロック面積で除した、単位面積当たりのひびわれ面積(UCA)で数量化した。

(2) ひびわれ幅の数量化

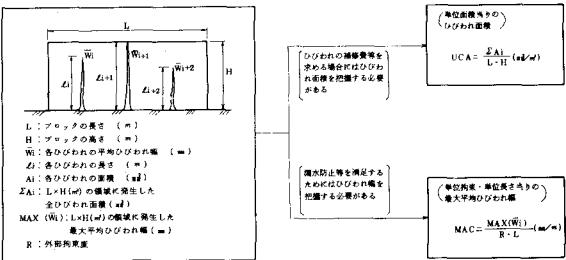


図-1 温度ひびわれの数量化

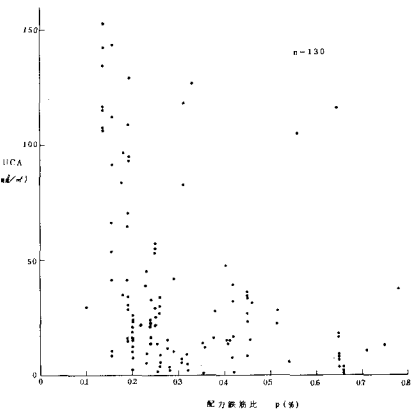


図-2 UCAと配筋鉄筋比との関係

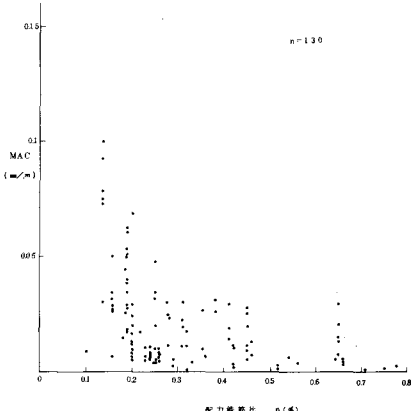


図-3 MACと配筋鉄筋比との関係

ひびわれ幅の表示法としては、最大、平均等がある。一般に、温度ひびわれの場合には、外部拘束度が大きいほど平均ひびわれ幅は小さくなる傾向が認められる。今、 $\Sigma \bar{W}_i = \alpha_c \Delta T L R$ (ここに、 α_c : コンクリートの線膨張係数、 ΔT : 温度降下量) と仮定する。

α_c は構造物の形状寸法等にはそれほど影響されないこと、また ΔT は壁厚、リフト高等が同一であればコンスタントと考えられるので、 $\alpha_c \Delta T = C_1$ とする。したがって、上式は、 $\Sigma \bar{W}_i = C_1 L R$ となる。

次に、ブロック長さ L に n 本のひびわれが発生したとすると、1 本当たりの平均ひびわれ幅 $\bar{W}_i$ を $\bar{W}_i = C_1 L R / n$ と仮定する。しかしながら、 n 個の平均ひびわれ幅 $\bar{W}_i$ にはバラツキがあるので、最大の平均ひびわれ幅 $\text{MAX}(\bar{W}_i)$ を導入して次のように数量化した。

単位拘束・単位長さ当たりの最大平均ひびわれ幅 (MAC) = $\text{MAX}(\bar{W}_i) / R L$

(3) 温度ひびわれ特性と各種要因との関係

温度ひびわれ特性を表わす特性値として数量化した、UCA および MAC と各種要因との単相関について検討した。表-1、図-1、および図-2 に解析結果を示す。解析した要因数は 31。解析に使用したデータ数は $n = 130$ である。UCA については、短辺長、配力鉄筋比、スランブ、打込み温度、温度差 ($\Delta T_{s, \text{max}}$) 等の単相関係数に有意性が認められ、また、MAC については、長辺長、外部拘束度、養生のパターン、壁厚等の単相関係数に有意性が認められる。

一般に、温度ひびわれの幅を制御するために鉄筋を配置する対策が採られているが、図-3 からわかるように、配力鉄筋比が大きくなると MAC は双曲線的に小さくなっており、ひびわれ幅を制御する対策として鉄筋量を増やすことが有効であることがわかる。しかしながら、単回帰分析の結果、MAC の制御対策として鉄筋量を増やす以外にも、いくつかの対策のあることが明らかになった。

3. 温度ひびわれ特性の解析

単回帰分析の結果、単相関係数に有意性が認められた要因をとり込んで、温度ひびわれ特性を統計手法により解析した。とり込んだ要因の中には、量的データと質的データとが混在しているので、数量化 I 類により解析した。表-2 に解析結果を示す。解析の結果、UCA の制御因子としては、配力鉄筋比、コントロールジョイント、スランブ、打込み温度、 $T_{s, r, \text{max}}$ 、 $\Delta T_{s, \text{max}}$ 、および ΔT_m が有効であり、また、MAC の制御因子としては、外部拘束度、配力鉄筋比、スランブ、単位セメント量、 ΔT_m が有効であることが認められた。

*) 西田正之：場所打ち張出式 PC 鉄道橋の打継目付近に生ずるひびわれに関する研究，鉄道技術研究報告，1979 年 3 月

表-1

番号	変数	UCA	MAC
1	短辺長 L (m)	0.0720	-0.2455**
2	短辺長 H (m)	-0.2006**	-0.1851**
3	コントロールジョイントの割合 ρ (%)	-0.0195	-0.1979**
4	R (短)	0.1015	-0.2338**
5	R (中)	0.1185	-0.2246**
6	R (長)	0.1160	-0.2061*
7	配力鉄筋比 P (%)	-0.3223**	-0.3034**
8	コントロールジョイントの有無	-0.2534**	-0.3577
9	打込み温度 T_p (°C)	-0.0159	-0.0298
10	セメントの割合	0.4350**	0.1866**
11	スランブ (mm)	0.2306**	0.3307**
12	セメント比 W/C (%)	-0.1305	-0.0783
13	単位セメント量 (kg/m³)	0.1329	0.2606**
14	打込み温度 T_p (°C)	0.2606**	0.3933**
15	打継目	-0.2180**	-0.2084**
16	養生のパターン	-0.1047	-0.2555**
17	Q_m (°C)	-0.1290	-0.1083
18	r	0.0005	0.0150
19	$T_{s, \text{max}}$ (°C)	0.3893**	0.0787
20	$\Delta T_{s, \text{max}}$ (°C)	0.2606**	-0.0771
21	ΔT_m (短)	0.3392**	0.2046**
22	ΔT_m (中)	0.3100**	-0.0387
23	ΔT_m (長)	0.2824**	0.0938
24	ΔT_m (短)	0.3272**	0.2059*
25	ΔT_m (中)	0.4318**	0.2140**
26	ΔT_m (長)	-0.1199	-0.1919
27	ΔT_m (短)	-0.1927*	0.2480**
28	ΔT_m (中)	-0.1102	-0.2030
29	ΔT_m (長)	-0.1128	-0.0291
30	養生期間 (日)	0.0347	-0.0278
31	UCA (mm)	1.0000	0.5782
32	MAC (mm)	0.5782	1.0000
33	壁厚 W (mm)	0.0326	-0.2932**

(注) $n = 130$

$r(128.005) = 0.1726$
 $r(128.001) = 0.2251$

表-2 数量化 I 類による解析結果

	UCA (mm)	MAC (mm)
x_1	短辺長 L (m)	長辺長 H (m)
x_2	配力鉄筋比 P (%)	短辺長 H (m)
x_3	コントロールジョイントの割合 ρ (%)	外部拘束度 (短) R (短)
x_4	スランブ (mm)	配力鉄筋比 P (%)
x_5	打込み温度 T_p (°C)	スランブ (mm)
x_6	打継目長さ: 1, 短辺: 0	単位セメント量 U (kg/m³)
x_7	ρ (%)	打継目長さ: 1, 短辺: 0
x_8	ρ (%)	R (短): 0
x_9	表面温度上昇量の最大値 $T_{s, r, \text{max}}$ (°C)	ρ (%)
x_{10}	内部温度最大値と表面との温度差 $\Delta T_{s, \text{max}}$ (°C)	温度降下量 (短) ΔT_m (短) (°C)
x_{11}	温度降下量 (短) ΔT_m (短) (°C)	壁厚 W (mm)

UCA = $-4.440 - 0.52 \cdot x_1 - 1.008 \cdot x_2 - 5.472 \cdot x_3$
 $+ 3.52 \cdot x_4 + 0.17 \cdot x_5 + 0.81 \cdot x_6 - 2.630 \cdot x_7$
 $- 1.837 \cdot x_8 + 0.82 \cdot x_9 + 1.88 \cdot x_{10} + 0.78 \cdot x_{11}$

単相関係数 0.718 $F(11, 118; 0.05) = 1.87$
 決定率 0.515 $F(11, 118; 0.01) = 2.42$
 F 値 11.41**
 $t(118; 0.05) = 1.981$
 サンプル数 130 $t(118; 0.01) = 2.618$
 自由度 118

MAC = $-5.62 \times 10^{-4} - 2.19 \times 10^{-3} \cdot x_1 - 5.48 \times 10^{-4} \cdot x_2$
 $- 1.77 \times 10^{-3} \cdot x_3 - 2.44 \times 10^{-3} \cdot x_4 + 1.54 \times 10^{-3} \cdot x_5$
 $+ 7.00 \times 10^{-3} \cdot x_6 + 8.13 \times 10^{-3} \cdot x_7 - 3.71 \times 10^{-3} \cdot x_8$
 $- 6.21 \times 10^{-3} \cdot x_9 + 3.31 \times 10^{-3} \cdot x_{10} - 3.18 \times 10^{-3} \cdot x_{11}$

単相関係数 0.592 $F(11, 118; 0.05) = 1.87$
 決定率 0.351 $F(11, 118; 0.01) = 2.42$
 F 値 5.79**
 $t(118; 0.05) = 1.981$
 サンプル数 130 $t(118; 0.01) = 2.618$
 自由度 118