

九州大学 正員○牧角 龍憲
九州大学 正員 太田 俊昭
九州電力 郡山 貢一

1. まえがき

乾燥収縮ひびわれが発生するか否かを判断する場合、ひびわれに影響を及ぼすコンクリートの諸性質が時間とともに変動するため、発生日数も的確に推定できる手法を用いる必要がある。そこで本研究は、種々条件下で外的に線拘束された状態のコンクリートについて収縮応力解析を行い、それによるひびわれ発生日数の予測値を実験結果と比較することにより、乾燥収縮ひびわれの予測方法について検討したものである。

2. 収縮応力解析ならびに乾燥収縮ひびわれの予測方法

筆者らは、次式の段階的数値積分によって十分的確に収縮応力が推定できることを、既に報告している。

$$-\frac{A_c}{E_k A_k} \sigma_{ct,i} = \sum_{j=1}^i (\sigma_{ct,j} - \sigma_{ct,j-1}) \frac{1 + \phi_{i,j-1/2}}{E_{c,j-1/2}} + \epsilon_{f,i} \quad (\text{引張を正とする}) \quad \text{----- (1)}$$

$$\text{ただし、} E_{c,j-1/2} = E_{c,28} \{f(t_j) + f(t_{j-1})\} / 2 \quad \text{----- (2)}、\epsilon_{f,i} = t_i / (a + b t_i) \quad \text{----- (3)}$$

$$f(t_j) = \sqrt{0.671 \log(t_j) + 0.0304} \quad t_j \leq 28, \quad f(t_j) = \sqrt{t_j / (7.49 + 0.73 t_j)} \quad t_j > 28 \quad \text{----- (4)}$$

ここに、 $\sigma_{ct,i}$; 時間 t_i における収縮応力、 $\phi_{i,j}$; 時間 t_j において載荷された持続荷重による時間 t_i までのクリープ係数、 $\epsilon_{f,i}$; 時間 t_i におけるコンクリートの自由収縮ひずみ (a, b は実験定数)、 $E_{c,j}$; 時間 t_j におけるコンクリートの弾性係数、 $E_{c,28}$; 材令28日における弾性係数、 t' ; 材令(日)、 A_c, A_k ; コンクリートおよび拘束材の断面積、 E_k ; 拘束材の弾性係数 (本実験では 2.1×10^6 kgf/cm²)

また、コンクリートの引張強度を F_t として、ひびわれ発生条件式 $\sigma_{ct} = 0.7 F_t$ (5)を提案している。

そこで、(1)式によって各乾燥日数における収縮応力を算定し、(5)式の条件を満足する時点をひびわれ発生日数として予測し、実際に貫通ひびわれを発生させた実験結果と比較検討を行った。実験は、表-1に示す5要因で計23の条件下で行ったもので、ひびわれ発生日数は乾燥開始後2週間から4ヶ月の範囲にあり、ほぼ妥当な範囲にわたっていると考えられる。(1)式におけるクリープ係数には、これら種々要因の影響を適切に評価し、かつ簡便な関数式の形で提案されている阪田¹⁾およびACI-209委員会²⁾の予測式を用いた。

表-1 乾燥収縮拘束実験における実験条件

要因	Ac cm ²	Ak cm ²	S/V	ta 日	W/C %	単 位 量 kg/m ³				sl cm	Ec,28 ×10 ⁵ kgf/cm ²	Ft,28 kgf/cm ²	(3) 式の実験定数	
						C	W	S	G				a	b
拘束度	150	2.654	.333	2	50	332	166	743	1155	5.6	2.48	23.4	.0411	.00093
		4.022												
		5.67												
		7.602												
		9.818												
配合	250	12.32	.2	7	40	425	170	708	1118	9	3.02	30.0	.0317	.00128
					50	340	170	766	1142	10	2.62	27.4	.0234	.00136
					60	283	170	831	1121	8	2.67	25.3	.0236	.00116
					50	380	190	738	1078	17	2.97	28.0	.0299	.00128
													.0742	.00207
部材厚さ	300	30.94	.067	7	50	330	165	784	1149	10	2.80	27.5	.0630	.00187
	250	26.94	.080										.0521	.00170
	200	22.94	.1										.0446	.00149
	150	15.32	.133										.0371	.00135
	100	12.12	.2										.0203	.00133
養生日数	150	7.602	.333	2	50	328	164	786	1148	6	2.84	32.0	.0192	.00132
				3									.0132	.00159
				7									.0143	.00179
				14									.0123	.00188
				28									.0311	.00142
用心鉄筋	150	5.67	.333	2	50	324	1621	757	1199	4.5	2.82	29.4	.0311	.00142
		7.096								7	2.90	29.2	.0247	.00124
		7.602												
		9.028												

3. 解析結果および考察

図-1に、阪田のクリープ予測式を用いて算定した収縮応力解析結果と測定値の比較を示すが、比較的良く推定できることがわかる。図にみられる解析値が大きな傾向は、応力の大きさあるいは各要因によらずほぼ一定であることから、クリープ予測式に含まれていない要因（材料等）の影響と考えられる。そこで、クリープと乾燥収縮がほぼ一定の比率で変化することを考慮して、阪田が同様に提案する自由収縮ひずみの予測値と実験値の比率を求め、その比率で補正したクリープ係数を用いた解析結果を図-2に示す。図からの確に推定できることが認められ、弾性係数等の諸物性あるいはクリープ予測式のばらつき等を考慮すれば非常に精度が高いと考えられる。また、ACI-209 委員会の予測式においても同様であった。

この手法を用いて予測したひびわれ発生日数と実験値を比較して、図-3および図-4に示す。このとき、強度変動の影響を考慮して、収縮応力と引張強度の比が0.8 となる時点（範囲の上限）もあわせて示しているが、いずれの場合も実験値に近い値を予測しており、本解析方法は乾燥収縮ひびわれを予測するに適切であると考えられる。

参考文献：1) 阪田憲次：コンクリートの乾燥収縮およびクリープの予測に関する研究，第40回セメント技術大会，1986．2) ACI-209 委員会：Prediction of Creep, Shrinkage and Temperature Effects in Concrete Structures, ACI MANUAL OF CONCRETE PRACTICE, 1985

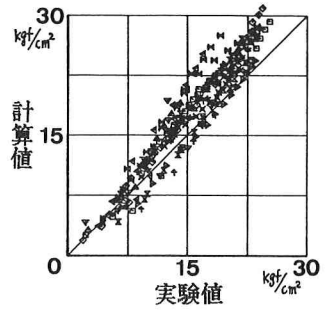


図-1 収縮応力解析結果

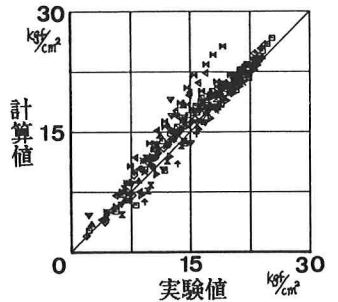


図-2 補正したクリープ係数を用いた収縮応力解析結果

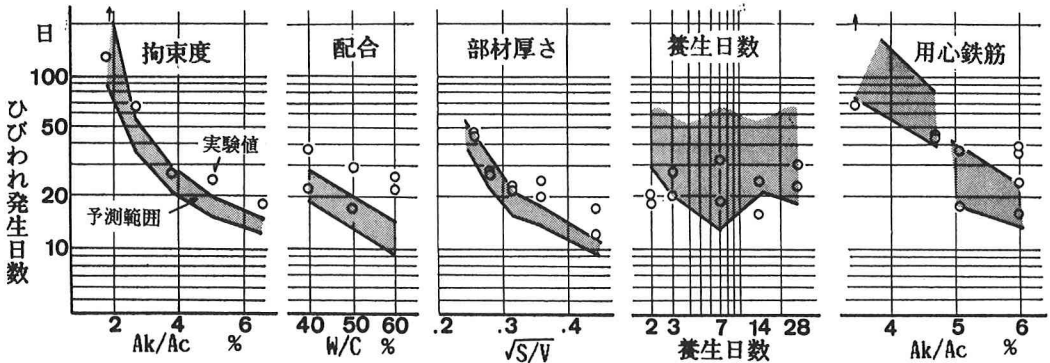


図-3 乾燥収縮ひびわれ発生日数の予測値（阪田のクリープ予測式を用いた場合）

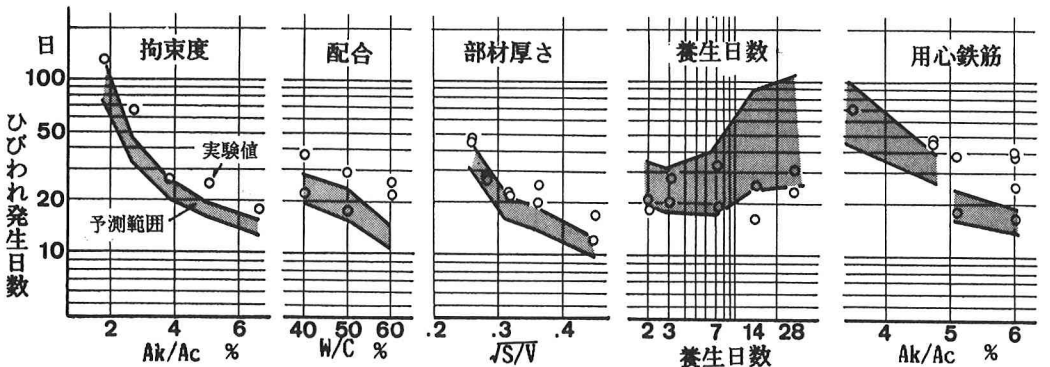


図-4 乾燥収縮ひびわれ発生日数の予測値（ACI-209委員会のクリープ予測式を用いた場合）