

コンクリートの乾燥収縮ひびわれ発生条件に関する考察

九州大学工学部 正員 〇牧角龍憲
正員 徳光善治

1. まえがき

コンクリートの乾燥収縮ひびわれは、鉄筋コンクリート構造物に発生するひびわれの中で最も一般的なものであり、クレームの中核的存在である。しかしながら、未だその発生条件が定量的に明らかにされていないため、ひびわれ防止対策における確固たる方針が確立されていない現状である。そこで本研究は、外部拘束方法による乾燥収縮拘束試験の結果および他研究者の試験結果を合わせて、定量的な乾燥収縮ひびわれ発生条件について検討考察したものである。

2. 乾燥収縮ひびわれ発生時のひずみおよび応力

従来のひびわれ発生条件として、次のような条件がある。

① 収縮拘束により生じる引張ひずみ(以後 拘束ひずみとよぶ) ϵ_R がコンクリートの伸び能力以上となる、

② 自由収縮ひずみが 400×10^{-6} 以上となる²⁾

③ 収縮拘束により生じる引張応力(以後 収縮応力とよぶ) σ_c がコンクリートの引張強度以上となる。

① および ② の条件はひずみから定められたものであるが、① の条件における伸び能力はクリープひずみを含まため一定値とはいえず、また ② の条件では収縮を拘束する程度(以後拘束度とよぶ) R が考慮されてなく一般的とはいえない。また、③ の条件は、乾燥収縮ひびわれが引張持続荷重をうけて発生することを考慮すれば、荷重(引張)履歴の影響を無視したことになる。

表-1 に筆者が行なった乾燥収縮拘束試験の結果を示す；値はそれぞれひびわれ発生時の日数、自由収縮

表-1. 乾燥収縮ひびわれ発生時の諸数値

実験 No.	供試体 No.	t (日)	ϵ_f $\times 10^{-6}$	ϵ_s $\times 10^{-6}$	ϵ_R $\times 10^{-6}$	R %	σ_c kg/cm ²	F_c kg/cm ²	σ_c/F_c
I	1-13	131	802	500	302	37.7	18.6	30.3	.614
	1-16	67	659	344	315	47.8	19.3	27.8	.694
	1-19	27	396	178	218	55.1	14.1	24.4	.578
	1-22	25	374	146	228	61.0	15.5	24.1	.643
	1-25	18	305	92	213	69.8	12.6	22.9	.550
II	2-1	18	398	176	222	55.8	18.7	34.0	.550
	2-2	21	429	184	245	57.1	19.6	—	—
	3-1	20	428	193	235	54.9	20.6	33.6	.613
	3-2	28	503	207	296	58.8	22.0	33.8	.651
	7-1	19	385	164	221	57.4	17.5	30.9	.566
	7-2	33	464	222	242	52.2	23.6	30.9	.764
	14-1	16	356	179	177	49.7	18.1	32.9	.581
	14-2	26	426	208	218	51.2	22.2	32.5	.683
	28-1	23	411	218	193	47.0	23.2	30.9	.750
	28-2	31	452	222	230	50.9	23.6	38.2	.618
III	A-01	38	511	231	280	54.8	24.5	31.2	.785
	A-02	18	384	170	214	55.7	18.0	29.6	.608
	A-11	16	365	147	218	59.7	18.5	29.4	.629
	A-12	40	529	180	349	66.0	22.7	31.3	.725
	A-21	24	444	172	272	61.3	21.7	30.2	.719
	A-22	36	501	193	308	61.5	24.3	31.1	.781
	B-0	68	547	245	302	55.2	19.5	32.9	.593
	B-1	43	450	222	228	50.7	22.2	31.0	.716
	B-2	46	467	220	247	52.9	22.0	31.3	.703

ひずみ ϵ_f 、拘束収縮ひずみ ϵ_s 、拘束ひずみ ϵ_R 、拘束度 ($=\epsilon_f/\epsilon_s$) R 、収縮応力 σ_c 、割裂引張強度 F_c 、収縮応力/引張強度比 σ_c/F_c である。実験Ⅰ³⁾は拘束度を、実験Ⅱは養生日数を、実験Ⅲ⁴⁾は補強筋の有無をそれぞれ要因に行なうたものである。表に示されるように、自由収縮ひずみは拘束度によって大きく異なっており、また拘束ひずみも $170 \sim 350 \times 10^{-6}$ の範囲でばらついており、① および ② の条件ではひびわれ発生が論じられないことがわかる。次に収縮応力はいずれの場合も割裂引張強度をかなり下回っており、引張クリープの影響があることがうかがえる。

図-1～図-5は、外部拘束方法を用いて行なった他研究者の試験結果も含めて、ひびわれ発生時の諸数値の関係を示したものである。図-1 および 図-2 から、ひびわれ発生時の自由収縮ひずみおよび拘束ひずみは日数とともに増加し、一定の限界値はみられない。図-1 中の破線は①の条件を、一点鎖線は②の条件をもとに求めたものであるが、限界以下でひびわれが発生しているデータがかなりある。次に拘束度によってひびわれ発生日数が異なることを考慮して描いたのが図-3 および 図-4 である。図中に示す式は、引張破壊時の弾性ひずみを 100×10^{-6} 、自由収縮ひずみが 800×10^{-6} になる長期における伸び能力を 300×10^{-6} と仮定して求めたものであるが、ひびわれ発生限界をよく表わしていると考えられる。このことから、ひびわれ発生をひずみで制御する場合、拘束

度を十分検討する必要があるといえる。図-5は、クリープを考慮してひびわれ発生時の応力比を示したものである。日数によらずほぼ一定の範囲内にばらついており、割裂引張強度のばらつきを考慮すれば σ_{ct}/f_t のばらつきは小さいといえる。このことから、 $\sigma_{ct} = 0.7 f_t$ をひびわれ発生条件式として提案する。

3. 乾燥収縮ひびわれ発生条件

以上述べてきたことをまとめて、次あげるひびわれ発生条件式を提案する。

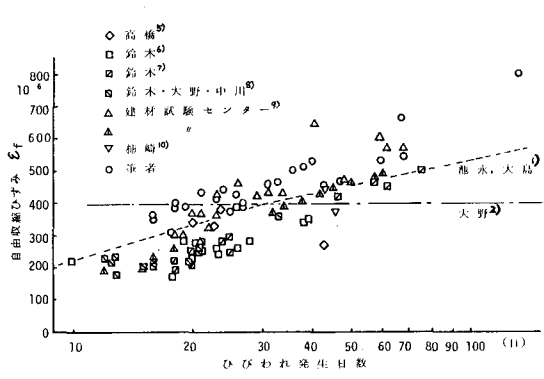


図-1 ひびわれ発生時の自由収縮ひずみ

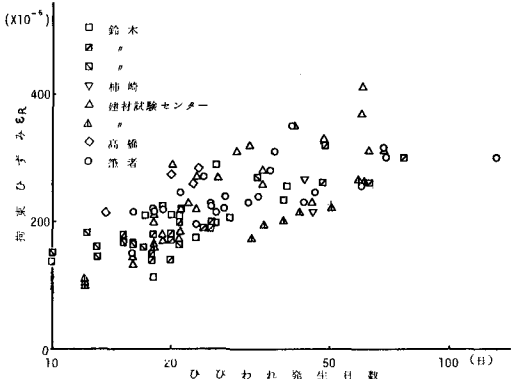


図-2 ひびわれ発生時の拘束ひずみ

収縮応力および補強筋の設計計算をするとき

$$\sigma_{ct} = 0.7 f_t \quad \text{--- (1)}$$

収縮目地などの拘束緩和や収縮ひずみからひびわれ制御を行なうとき

$$R = \left(\frac{2}{7} + \frac{71.4}{\epsilon_f} \right) \times 100 (\%) \quad \text{--- (2)}$$

参考文献： 1) 大島久次, 池永博哉, 建築学会論文報告集, No. 217, B6-49, 2) 大野和明, 北大研報 No. 9, B6-28, 3) 筆者; セメント技術年報 34, B6-58, 4) 筆者; コンクリート工学講演集 44 回, B5-7, 5) 高橋久雄, 長尾重博, 建築学会論文報告集, B5-55, 6) 鈴木計夫, 大野義雄, 中野隆夫; 建築学会論文報告集 B5-7, 7) 6) と同じ, B5-2, 8) 6) と同じ, B5-53, 9) 建材試験センター; ひびわれ防止実験報告 B5-6, 10) 柿崎正義; セメントコンクリート, No. 317, B6-48, 11) 廣根基文; 鉄筋コンクリートのひびわれ集, B5-54

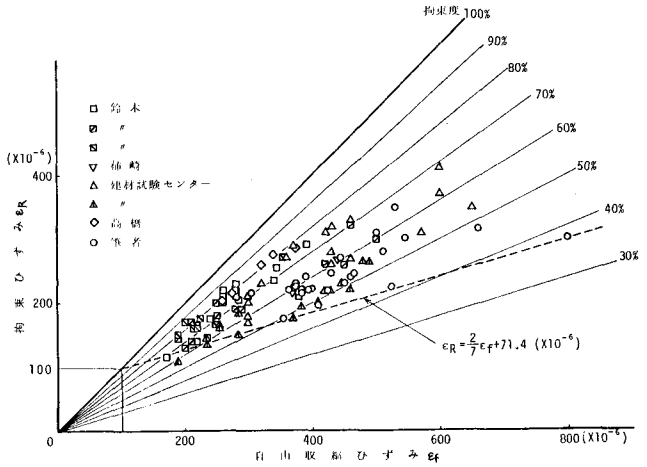


図-3 ひびわれ発生時の ϵ_f と ϵ_R の関係

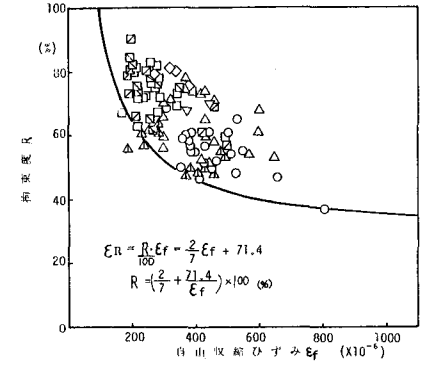


図-4 ひびわれ発生時の ϵ_f と R の関係

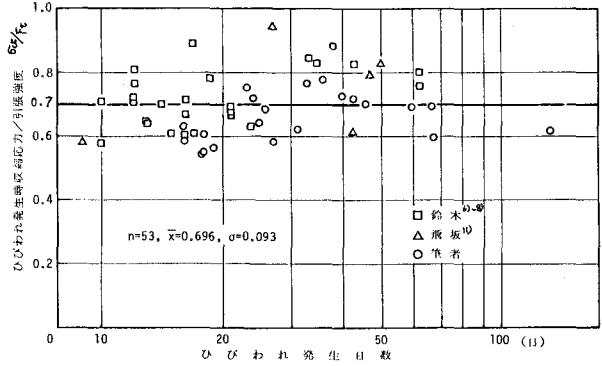


図-5 ひびわれ発生時の収縮応力/引張強度