

[70] コンクリートのクリープの予測に関する研究

正会員 阪田憲次 (岡山大学工学部)

1. 緒言

コンクリート構造の設計においては、限界状態設計法が、許容応力度設計法に代る新しい設計法として内外ともに定着しつつあるように思われる。この設計法においては、コンクリートの強度特性のみならず変形特性をも正しく把握しておくことが要求される。すなわち、使用限界状態の検討においてはひびわれやたわみが問題になるが、それらはクリープや乾燥収縮の正しい予測なしには解決できない。このような観点より、内外の設計規準等においてもなんらかの形でこの種のひずみを予測する手法を示している。

本研究は、種々のクリープひずみ予測式をとり上げ、その特長、適用性および問題点について論ずるものである。また、わが国の示方書および設計指針等に示されたクリープひずみの予測手法およびクリープ係数の妥当性について吟味するものである。

2. クリープひずみの予測手法

コンクリートのクリープひずみの予測手法は、従来より多数あるが、それらのうちの代表的なものは、Rüschの予測式〔1〕、Bažantの予測式〔2〕およびBransonの予測式〔3〕である。

Rüschの予測式は、CEB/FIPのモデルコード(1978)、ドイツ規格(DIN1045)、わが国の土木学会PC標準示方書(1978)および限界状態設計法指針(案)(1983)に採用され、広く普及した予測式である。

Bransonの予測式は、ACI-209委員会の予測式の基礎となったものである。なお、ACI-209委員会では、条件が複雑な場合には、適用範囲の広いBažantの予測式を用いるよう推奨している。

表-1は、これらの予測式ならびにCEB/FIP-70式および著者の提案した式〔4〕において採用されている主要な因子を一括して示したものである。

表-1より明らかなように、予測式によってとり上げている因子はかなり異なる。とくにBažantの予測式は、できる限り多くの要因の影響を考慮したものであり、かなり複雑である。それとは逆に、Rüschの予測式は、比較的簡単で実用性に富んだものである。なお、各予測式の詳細についてはそれぞれの文献を参照することとし、ここでは割愛する。

3. 設計におけるクリープの取扱いについての検討

わが国の土木学会限界状態設計法指針(案)においては、“コンクリートのクリープ係数は、構造物周辺の湿度、部材断面の形状寸法、コンクリートの配合、応力が作用するときのコンクリートの材令等の影響を考慮してこれを定めることを原則とする”と記されている。また、試験によらない場合には、上述のRüschの予測式を用いてクリープ係数を求めることを推奨している。さらに、プレストレストコンクリートに用いるクリープ係数を表-2のように与えている。なお、このような取扱いは、土木学会PC標準示方書および

表-1 各種予測式に用いられている因子

Factors	Rüsch	Bažant	CEB-78	CEB-70	ACI	Author
C		*		*		*
W						*
W/C		*		*		
S		*				
G		*				
S/a		*			*	
Comp.St.		*	*			*
Slump	*		*		*	
Air					*	
Shape		*				
V/S,A/u	*	*	*	*	*	*
Av.thi.					*	
Temp.	*	*	*	*		
R.H.	*	*	*	*	*	*
t ₀		*				
t'	*	*	*	*	*	*

Av.thi. : Average thickness
 R.H. : Relative Humidity
 t₀ : Age when drying starts
 t' : Age when loading starts

国鉄建造物設計標準（1983）においても同様である。

表-2 指針に示されたクリープ係数

荷重時材令	4~7日	14日	28日	3ヶ月	1年
屋外	2.8	2.5	2.2	1.9	1.4
屋内	4.3	3.6	3.1	2.4	1.6

指針の解説によれば、表-2のクリープ係数を算出するための条件は、表-3に示すようなものである。なお、部材の仮想厚さは、次式与えられる。

$$h_{tu} = \lambda A / u \dots (1)$$

ここに、A；部材断面積，u；周長，λ；環境条件に関する係数で、湿度70%および40%で、それぞれ3および2である。部材断面を正方形と仮定すると、その一辺は、屋外および屋内で、それぞれ、80cmおよび120cmとなる。

表-3 クリープ係数算出のための仮定

	温度	湿度	仮想厚さ	A/u=V/S	Slump
屋外	15℃	70%	60cm	20	8cm
屋内	20℃	40%	60cm	30	8cm

表-3によれば、対象とするコンクリートの性質としてはスランプしか示されておらずどのような配合かは明らかでない。

表-1からも明らかのように、Rüschの予測式では、スランプが同程度であれば配合および強度が異なっても、そのクリープ係数は同一である。ところが、他の予測式では配合および強度の影響を考慮しているものもある。この点について検討しておく必要がある。また、各予測式における荷重時材令の影響の評価についても検討する。

表-4は、本研究で検討の対象としたコンクリートの配合、スランプ、空気量および4週圧縮強度を示したものである。表-4中の300/150供試体は、一般的なコンクリートの配合と考え、表-2のクリープ係数を算出するための対象となったコンクリートの配合と仮定する。また、このコンクリートを標準コンクリートとよぶ。標準コンクリート以外は、すべて著者の実験結果であり、グループAは普通コンクリートグループBは高強度コンクリートおよびグループCは低強度コンクリートとよぶことにする。

表-4 コンクリートの配合と諸性質

Specimens	C kg/m ³	W kg/m ³	W/C %	S kg/m ³	G kg/m ³	Slump cm	Air %	fc' kg/cm ²	
A	300/150	300	150	50	658	1189	7.7	5.2	400*
	420/210	420	210	50	720	973	10.4	1.4	360
	280/160	280	160	57	830	1093	4.5	1.1	338
	260/160	260	160	62	837	1103	5.2	1.0	306
	360/180	360	180	50	774	1009	12.5	1.0	389
	360/175	360	175	49	786	1009	10.9	-	392
	320/180	320	180	56	762	1055	10.0	-	337
	320/170	320	170	53	773	1070	9.2	-	376
320/165	320	165	52	778	1078	6.9	-	384	
B	460/180	460	180	39	742	978	11.7	0.3	535
	420/160	420	160	38	780	1027	4.0	1.1	569
	400/160	400	160	40	787	1036	2.4	1.7	524
C	260/170	260	170	65	826	1088	6.0	0.8	243
	280/180	280	180	64	807	1079	9.7	0.1	238

* estimated value

図-1および2は、それぞれ、屋外および屋内において、標準コンクリートを用い、荷重時材令がクリープ係数にどのように影響するかを示したものである。

各予測式によってクリープ係数そのものはかなり異なるが、荷重時材令が大きくなるほどクリープ係数が小さくなることは、いずれも同様である。しかし、その影響の程度は、Bažant式およびACI式とその他の予測式とは、若干異なる。また、その差は、環境の湿度が低い屋内において顕著である。

一方、Bažant式、Rüsch式およびCEB/FIP-78式によるクリープ係数はほぼ同程度であり、指針に示された値と大差はないが、ACI式およびCEB/FIP-70式によるクリープ係数はかなり小さい。とくに、ACI式による値は著しく小さい。

ACI-209委員会では、終局クリープ係数を次式で与えている。すなわち、

$$\phi_{\infty} = 2.35 \gamma_c \dots (2)$$

ここに、 γ_c は、補正係数の積であるこの γ_c は、標準状態において1であるので、通常の条件では、クリープ係数は、2.35以下である。また、ACI式においては、部材寸法の影響について、 $V/S = 38\text{mm}$ のときに補正係数が1となるよう定めている。したがって、本研究でとする $V/S = 200 \sim 300\text{mm}$ のときの補正係数は、0.677 ~ 0.688とわめて小さくなり、その結果クリープ係数が小さくなる。ACI式を用いる場合にわ、このような特徴よく理解しておく必要がある。

図-1および2は標準コンクリートについてのみ示したものである。したがって、もう少し広範囲のコンクリートについて考察する必要がある。

図-3および4は、表-4に示した種々の配合のコンクリートのクリープ係数と4週圧縮強度との関係を示したものである。なお、図-3および4はそれぞれ、荷重時材令が7日および28日である。

コンクリートの圧縮強度が200 ~ 400 kgf/cm^2 の範囲においては、いずれの予測式によるクリープ係数も、それぞれ一定で大差はない。しかし、予測式が異なれば予測されるクリープ係数はかなり異なる。Rüschの予測式による予測値および指針に示された値に比較し、Bažant式による予測値は若干大きく、CEB/FIP-70式による予測値は若干小さい。また、著者の式による予測値はかなり大きい。ACI式による予測値がかなり小さいことは、標準コンクリートの場合と同様である。

一方、圧縮強度が500 kgf/cm^2 以上になれば、その様相は若干異なったものになる。すなわち、Rüsch式やACI式は、表-1からも明らかのように、強度の影響を考慮したものでないため、高強度コンクリートのクリープ係数も普通コンクリートのそれと、他の条件が等しければ、ほぼ同一である。ところが、Bažant式、CEB/FIP-70式および著者の式は、コンクリート強度の影響を考慮したものであり、コンクリート強度によってクリープ係数が異なる。すなわち、図-3および4に示したように、Bažant式による予測値はコンクリート強度が大きくなるほど大きくなるが、CEB/FIP-70式および著者の式による予測値は、Bažantの予測値によるそれと逆の傾向を示す。両者の相違は、コンクリート強度がクリープにおよぼす影響のメカニズムの解釈の違いによるものと思われる。コンクリート強度が大きくなるのがクリープ変形を阻止するものとして作用すると考えれば、CEB/FIP-70式や著者の式のようになる。ところが、コンクリートが高強度となり富配合となってセメントペースト増え、それによってクリープが増大すると考えれば、Bažantの式のようになる。

どちらの考え方が妥当であるかは必ずしも明らかでなく、配合条件によっても異なるものと思われる。

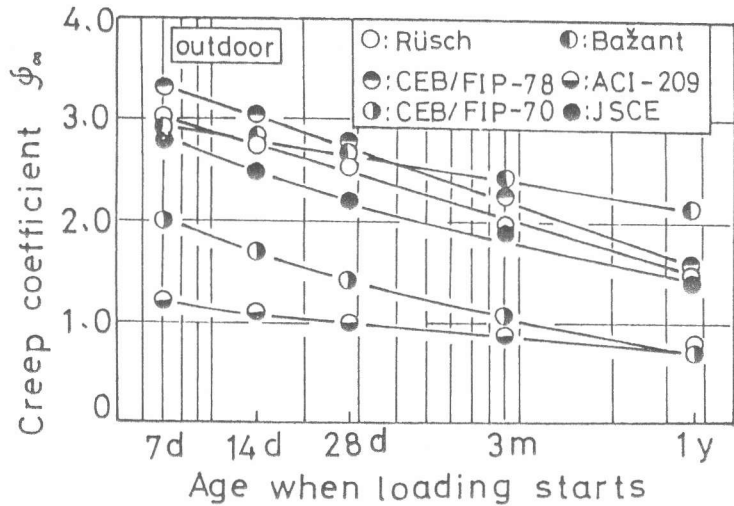


図-1 荷重時材令とクリープ係数（屋外）

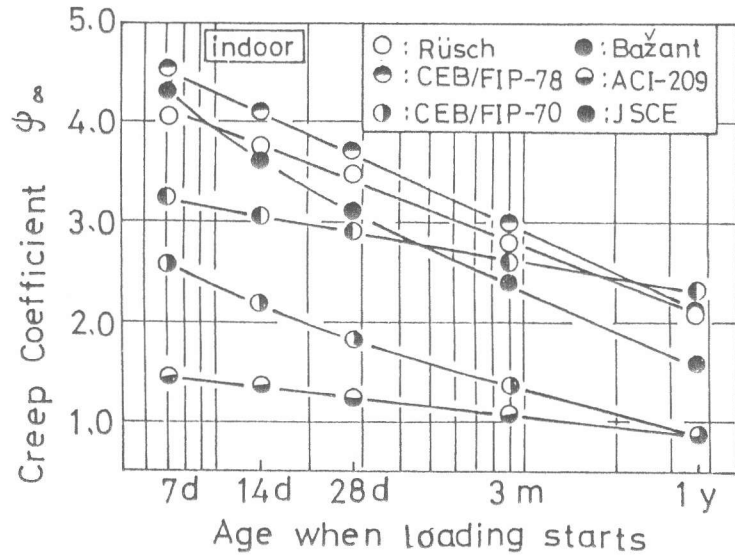


図-2 荷重時材令とクリープ係数（屋内）

図-5は、Bažant式におけるW/C、すなわち強度のクリープへの影響について示したものである〔5〕。強度が300 kgf/cm²以下の低強度コンクリートでは強度のクリープ阻止作用が小さいため、クリープは大きくなる。一方高強度となればセメントペーストが増加しクリープが大きくなる。Bažant式は、このような複雑なメカニズムを予測式に反映させたものである。

図-5には、著者の実験結果も示してあるが、強度が大なるほどクリープは小さくなる。したがって、簡単には強度が増大すればクリープは小さくになると考えてよいと思われる。いずれにしろ、予測式によってこのような相違があることに留意すべきである。

4. 結語

わが国の示方書および指針等に示されたクリープの取扱いについて論じた。指針に示されたクリープ係数はほぼ妥当なものと思われる。しかし、強度が500kgf/cm²程度以上の高強度となれば若干小さくすべきである。また、それぞれの予測式の特性をよく把握した上で、Rüsch式以外の予測式も、条件によっては用いるべきである。

本研究は、著者に与えられた昭和57年科学研究費補助金（一般C）によって実施したものである。

参考文献

- 1) H.Rüsch und D.Jungwirth; Stahlbeton-Spann-
beton, Band 2, 1976
- 2) Z.P.Bažant and L.Panula; Structural Engin-
eering Report, No.78-3/640S, 1978
- 3) D.E.Branson; Deformation of Concrete St-
ructures, McGraw-Hill, Inc. 1977
- 4) 阪田、池田; 土木学会論文報告集、第340号
1983
- 5) 阪田; セメント・コンクリート、No.425、
1982

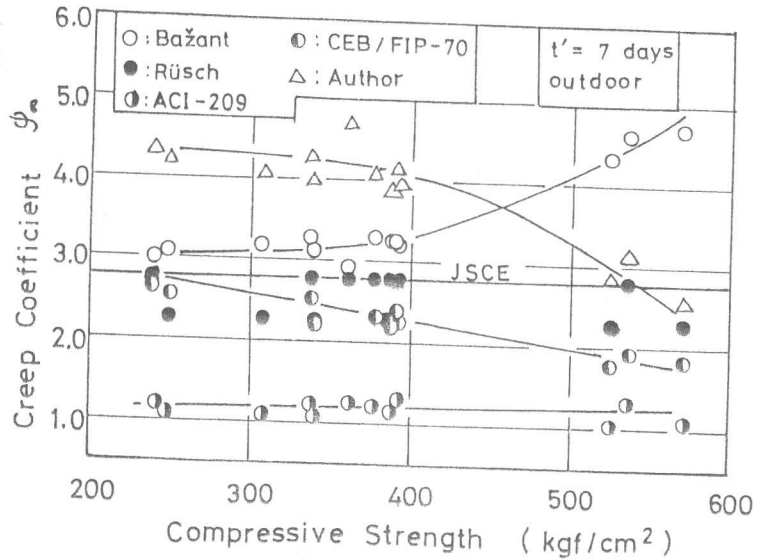


図-3 強度とクリープ係数

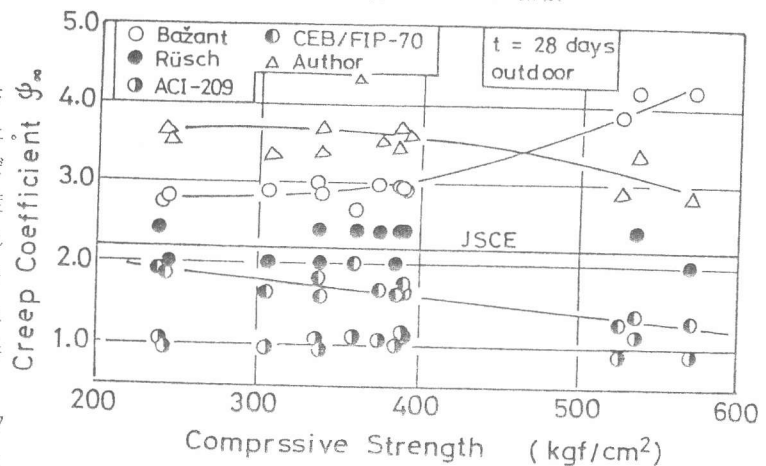


図-4 強度とクリープ係数

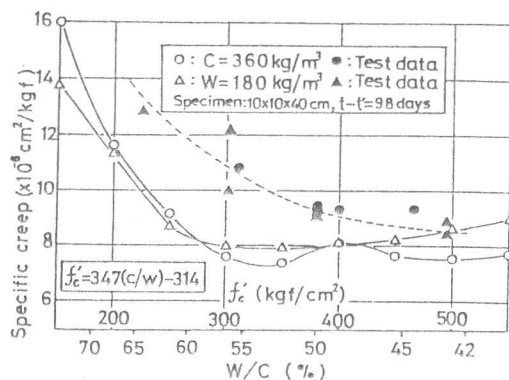


図-5 強度とクリープとの関係