[86] 偏心リング供試体による各種セメントのひびわれ発生試験

正会員 ○笠井芳夫 （日本大学）
正会員 横山 清 （ 同 ）
正会員 松井 勇 （ 同 ）

1. はじめ

コンクリートの乾燥収縮による初期ひびわれ性状を究明するため，コンクリートの初期材令における引張，収縮，ひびわれなどについて実験研究を行ってきた。[1)~3)] これによると，コンクリートの引張伸び能力は加水後約10時間までは強度発現の遅いセメントほど大きく，その後は強度発現の早いセメントほど大きかった。また，コンクリートの初期収縮はポルトランドセメントより混合セメントの方が大きい傾向を示している。このようにコンクリートの引張・収縮性状はセメントの種類によってかなり相異している。

本報告はセメントの乾燥収縮によるひびわれ性状を明らかにするため，偏心リング供試体を用いて各種セメントペーストのひびわれ発生試験を行った。この種の研究としては，モルタルやコンクリートについて同心円リング供試体によるものがあるが，[4)~5)] 本実験では偏心リング供試体によって，ひびわれを容易に発生させるとともに，ひびわれの発生位置を限定して，ひびわれの発生時間を自動的に測定した。

2. 実験方法

実験は表－1に示すように，偏心リングの最小厚さ，脱型時間，セメントの種類，水セメント比，前養生方法などを変えて行った。

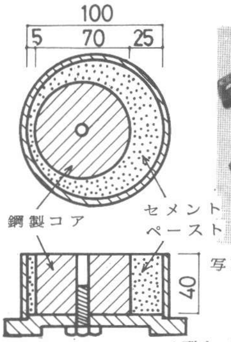
(1) 試験器具　ひびわれ発生用型わくを写真－1および図－1に示す。内径100 mm，高さ40mmの鋼製型わくと，直径70mm，高さ40mmの鋼製コアーとからなる。コアは型わく底板にボルトで固定する。

(2) 供試セメント　試験したセメントは8種類で，普通ポルトランドセメントは3銘柄を用いた。セメントの物理試験結果を表－2に示す。

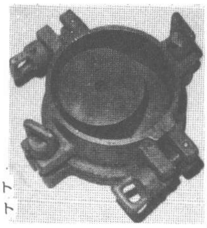
(3) セメントペーストの軟度　セメントペーストは標準軟度とし，水セメント比を表－2に示す。

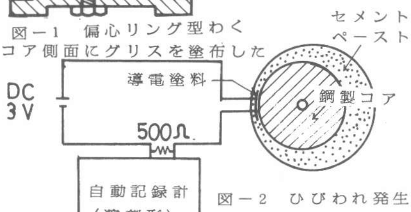
(4) 供試体の成形方法

偏心リング供試体はペーストを型わくに2層に分けて詰め，各層15回突いた後，フローテーブルで15回上下振



図－1 偏心リング型わく


写真－1 偏心リング型わく



図－2 ひびわれ発生時間測定方法

表－1 実験項目

	実験項目	使用セメント	前養生方法	ひびわれ試験時の供試体保存方法	測定項目
硬化初期のひびわれ試験	偏心リングの最少厚を変えた場合	普通P.C.	温度20°C型わく中24時間封かん養生	温度20°C 湿度80±3%	ひびわれ発生時間
	脱型時間を変えた場合	超早強P.C.	温度20°C 封かん養生	温度20°C 湿度80±3%	ひびわれ発生時間 脱型時強度 ひびわれ発生時強度 乾燥収縮 質量変化
	セメントの種類を変えた場合	表－2に示すセメント10種類	温度20°C型わく中24時間封かん養生	温度20°C 湿度80±3%	ひびわれ発生時間 ひびわれ発生時強度 乾燥収縮・質量変化
	水セメント比を変えた場合	超早強P.C. 普通P.C. 高炉C種	温度20°C型わく中24時間封かん養生	温度20°C 湿度80±3%	ひびわれ発生時間
硬化後のひびわれ試験	前養生を十分行った場合	早強P.C. 普通P.C. 高炉C種	24時間脱型後18日間80°C湿水中養生	温度20°C 湿度60% 保存箱中	ひびわれ発生時間 ひびわれ試験開始時強度・ひびわれ発生時強度・乾燥収縮 質量変化

表－2　セメントの物理試験結果

セメントの種類	比重	粉末度	凝結			安定性	フロー値	圧縮強度 (Kg・f／cm²)			曲げ強度 (Kg・f／cm²)		
		比表面積 (cm²／g)	W／C (%)	始発 (h－m)	終結 (h－m)			3日	7日	28日	3日	7日	28日
普通P.C.(0)	3.17	3134	28	2－22	3－40	良	240	137	222	332	32.8	44.0	65.7
普通P.C.(A)	3.16	3244	28	2－20	3－21	良	243	152	240	371	34.1	49.7	64.7
普通P.C.(S)	3.18	3270	28	2－25	4－00	良	248	115	203	372	29.5	46.4	64.1
早強P.C.	3.13	4814	32	2－10	3－20	良	225	237	356	448	47.7	61.5	82.4
超早強P.C.	3.09	5314	34	1－52	3－01	良	215	326	371	448	58.4	75.7	76.7
中庸熱P.C.	3.22	3275	28	3－17	4－37	良	234	100	161	350	31.7	38.1	64.0
高炉 A種	3.11	4065	28	2－45	4－23	良	257	110	202	376	29.2	43.5	69.6
高炉 B種	3.06	4036	28	2－49	4－44	良	257	101	175	363	26.9	37.6	69.1
高炉 C種	3.03	4424	28	3－20	4－50	良	240	99	166	376	27.9	39.5	67.7
フライアッシュA種	3.04	3314	28	3－10	5－15	良	235	118	187	305	33.7	46.6	68.8

動を加えて成形した。強度および収縮用供試体は40×40×160 mm 型わくに2層に分けて詰め，突棒で15回突いて成型した。

(5)　前養生方法　硬化初期のひびわれ試験は供試体成形後，20°C室中で24時間封かん養生した。硬化後のひびわれ試験は24時間脱型後，18日間80℃の温水中で養生した。強度および収縮用供試体も同様に養生した。

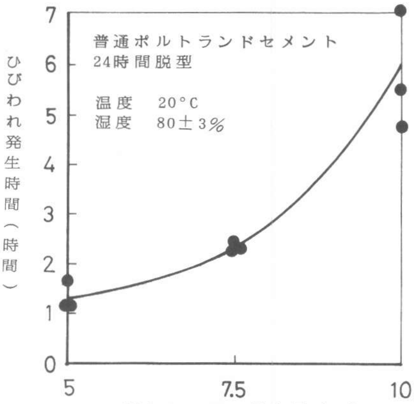
(6)　ひびわれ試験時の供試体の保存方法　硬化初期のひびわれ試験は前養生終了後，供試体を温度20℃，湿度80±3%の室中に保存した。強度および収縮用供試体も同様に養生した。硬化後のひびわれ試験は温度20℃，湿度60%の保存箱中に保存した。偏心リング供試体はコア中心部の穴に鉄筋を通し，セメントペーストの最小厚の部分を上にして横に保持した。

(7)　測定方法

i)　ひびわれ発生時間　ひびわれ発生時間の測定は図－2に示すように偏心リング供試体の最小厚部分に導電塗料を幅2 mm，長さ30 mmにわたり塗布し，この両端に電極を接触させた。セメントペーストにひびわれが発生すると導電塗料の塗膜が切れて，電流が流れなくなる。これを自動記録計で記録した。この方法は簡単で実用に供することができる。本報告においてひびわれ発生時間は脱型時を基準として求めた。

ii)　強度試験　セメントペーストの強度試験は JIS A 5201 に準じ，脱型時およびひびわれ発生時に測定した。

iii)　自由収縮率および質量変化率　自由収縮率は JIS A 1129 のダイヤルゲージ法に準じ，併行して質量を測定した。

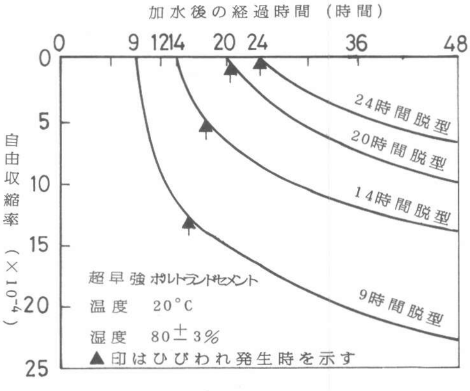


図－3　偏心リングの最小厚とひびわれ発生時間との関係

3. 結果および考察

3. 1. 硬化初期のひびわれ発生試験

(1)　偏心リングの最小厚さとひびわれ発生時間



図－4　脱型時間を変えた場合の自由収縮率

表－3　脱型時間を変えた場合の試験結果（超早強P.C.）

脱型時間（時間）	脱型時強度 (Kg・f／cm²)		ひびわれ発生時間	ひびわれ発生時強度 (Kg・f／cm²)	
	圧縮強度	曲げ強度	（時間－分）	圧縮強度	曲げ強度
9	81	21.9	6－36	230	25.2
14	305	23.5	3－18	331	26.8
20	397	29.0	0－27	405	30.0
24	438	33.4	0－09	438	34.0

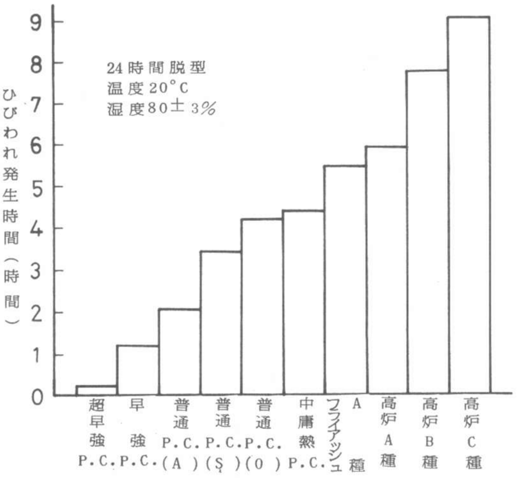
偏心リングの最小厚さとひびわれ発生時間との関係を図－３に示す。ひびわれ発生時間は最小厚さが薄くなるほど早くなり，バラッキも小さくなる。これは厚さが薄いほど収縮応力が集中するためである。以下に述べる結果は最小厚さを５ｍｍとして行ったものである。

(2)　脱型時間を変えた場合

脱型時間を変えた場合のひびわれ発生時間および強度を表－３，自由収縮率を図－４に示す。９時間脱型のひびわれ発生時間は約６時間30分，24時間脱型では約９分となり，早く脱型するほどひびわれ発生時間は遅くなっている。またひびわれ発生時の圧縮強度は，９時間脱型のものは約230 Kg･f/cm²，24時間脱型のものは約２倍の438 Kg･f/cm² となっており，ひびわれ発生時の強度も異なっている。９時間脱型の供試体はひびわれ発生時の収縮率が約 13×10^{-4} と他の脱型時間の供試体に比し大きいにもかかわらず，ひびわれ発生時間が遅くなっている。これはクリープによるものと考えられる。

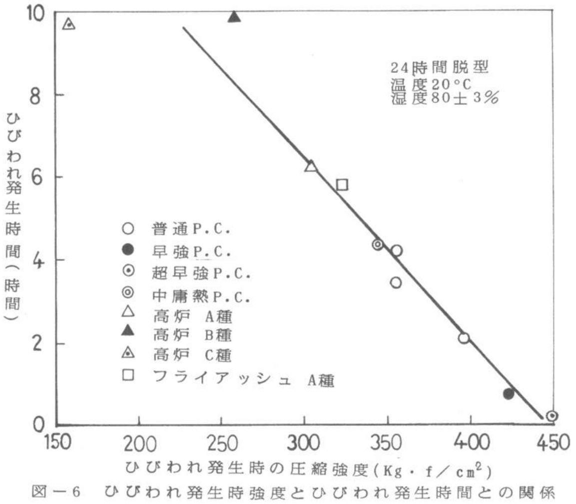
(3)　セメントの種類を変えた場合

セメントの種類とひびわれ発生時間との関係を図－５に示す。24時間で脱型した場合，超早強ポルトランドセメントは脱型後23 分でひびわれが発生した。普通ポルトランドセメントは銘柄によって異なるが２～４時間で，フライアッシュセメントＡ種は５時間50分，高炉セメントＣ種は９時間で，それぞれひびわれが発生した。24時間で脱型した場合は強度発現の遅いセメントほどひびわれ発生時間が遅くなっている。また普通ポルトランドセメント（Ａ社製）は他の２社に比し早くひびわれが発生しているが，表－１に示すように初期の強度発現が他の２社に比し若干早いためと思われる。



図－５　セメントの種類とひびわれ発生時間との関係

ひびわれ発生時の圧縮強度とひびわれ発生時間との関係を図－６に示す。高炉セメントのように強度発現の遅いセメントはひびわれ発生時間は遅く，発生時強度は小さい。また早強や超早強ポルトランドセメントのように強度発現の早いセメントはひびわれ発生時間が早く，発生時強度は大きい。ひびわれ発生時間と強度との関係はどのセメントもほぼ一直線上にプロットされている。



図－６　ひびわれ発生時強度とひびわれ発生時間との関係

脱型後の経過時間と自由収縮率および質量変化率との関係を図－７に例示する。ひびわれ発生時の収縮率は高炉セメント：約 5.5×10^{-4}，普通ポルトランドセメント：約 1×10^{-4}，超早強ポルトランドセメント：約 0.3×10^{-4} となっている。このようにひびわれ発生時の収縮率はセメントによって異なっており，強度発現の遅いセメントほどこの値は大きくなっている。これは強度発現の遅いセメントは水和が遅れるため，前養生中の収縮による引張応力がクリープによって緩和されているためであろう。これに対し早期強度の大きいセメントはクリープによる緩和が小さいため，脱型の際すでに相当の引張応力が発生しており，脱型直後にひびわれが発生するものと思われる。

(4)　水セメント比を変えた場合

水セメント比を変えた場合のひびわれ発生時間を図－８に示す。いずれのセメントも水セメント比が小さくな

るほどひびわれ発生時間は早くなっている。これは水セメント比の小さいものはセメント量が多いので収縮率が大きくなったためである。

3. 2. 硬化後のひびわれ発生試験

脱型後18日間80℃の温水中で養生を行って，十分硬化させたセメントペーストのひびわれ発生試験結果を表－4に示す。試験開始時の圧縮強度はどのセメントも大きい。この結果によると，ひびわれ発生時間は高炉セメントC種は平均1日と6時間，早強ポルトランドセメントは平均4日と6時間，普通ポルトランドセメントは平均7日と15時間となった。この結果は試験回数も少なく，更に繰返し試験を行う必要がある。

4. むすび

セメントのひびわれ性状を試験するため，偏心リング供試体を用いてセメントペーストで実験研究した結果，本実験の範囲では次のことがいえる。

(1) ひびわれの自動測定方法は簡易で実用に供することができる。

(2) 硬化初期のひびわれ発生時間は脱型時強度の小さいセメント程遅かった。

(3) ひびわれ発生時間とひびわれ発生時強度との関係はセメントの種類にかかわらず同一直線で示された。

(4) 水セメント比の大きい程びびわれ発生時間は遅くなった。

(5) 十分に硬化した供試体のひびわれ発生時間はセメントによって異なる傾向を示した。

この実験はセメントのひびわれ性状を究明するために着手したが，コンクリートのひびわれと関係づけるためには，今後更に実験研究を続ける必要がある。

参考文献

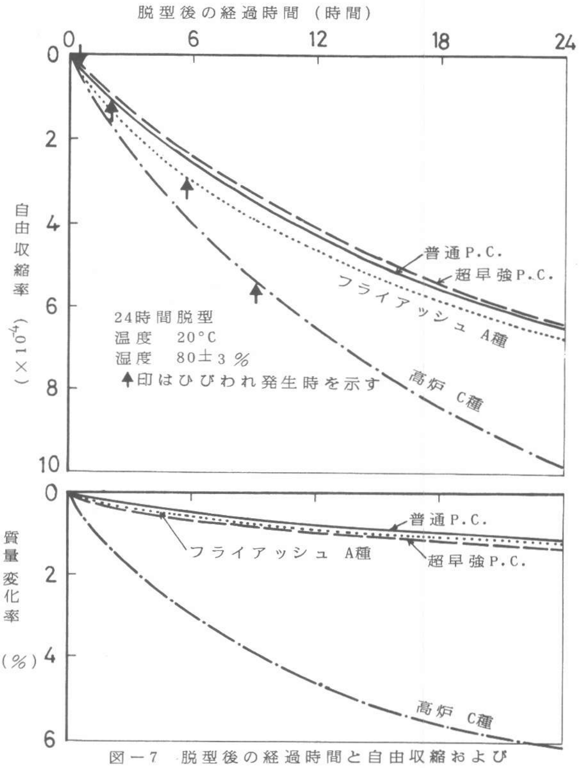
1) Y.KASAI,etal,Tensile Properties of Early-Age Concrete,Proceedings of the 1971 International Conference on Mechanical Behavior of Materials, Vol.IV,1972,PP.288－299。

2) 笠井芳夫，他，コンクリートの初期収縮に関する研究，日本建築学会関東支部研究報告集，1977，PP.309－312。

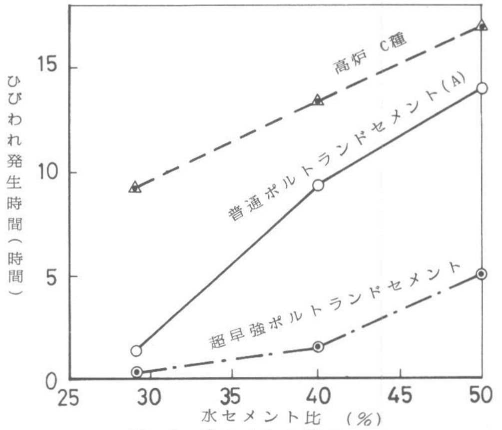
3) 笠井芳夫，他，コンクリートのひびわれに関する研究，セメント技術年報，XXXII，1978，PP.350－353。

4) 近藤 実，モルタルのひびわれ傾向における2，3の要因，セメント技術年報，XVI，1962，PP.200－205。

5) 六車熙，モルタル収縮ひびわれ試験におけるリング供試体について，セメント技術年報XVII，1963，PP.160－164。



図－7 脱型後の経過時間と自由収縮および質量変化率との関係



図－8 水セメント比とひびわれ発生時間との関係

表－4 硬化後のひびわれ発生試験結果

セメントの種類	No.	試験開始時強度(Kgf/cm²) 圧縮	曲げ	ひびわれ発生時間 (日—時—分)	ひびわれ発生時の強度 (Kg·f/cm²) 圧縮	曲げ
普通 P.C.	1	558	120	3－12－30	600	105
	2			5－ 4－40		
	3			14－4－40		
早強 P.C.	1	666	98.0	3－ 9－40	636	114
	2			4－ 3－40		
	3			5－ 4－40		
高炉 C種	1	660	122	1－ 5－10	711	128
	2			1－11－20		
	3			1－ 1－30		