

「風作用を受けるコンクリートの収縮特性に関する 実験的研究」

庄谷 征美・米谷 裕

EXPERIMENTAL STUDIES ON DRYING SHRINKAGE OF CONCRETE DUE TO WIND ACTION

by

Masami SHOYA, Hiroshi YONEYA

(昭和54年10月31日受理)

The shrinkage tests were performed by using two experimental blowers, and the stress analysis was made based on the diffusion theory proposed by Pickett.

Mortar and concrete prisms of $10 \times 10 \times 20$ cm having thirteen kinds of mix proportions were used as test specimens and three different velocities, 0, 8, 9 m/sec, were examined.

Results of the tests are summarized as follows;

Shrinkage was enhanced in a windy condition more rapidly than in a windless condition at the early age of drying. The rate of its increase was higher in concrete of rich mix than in lean mix, the final shrinkage value was expected to become larger in windy condition than in windless condition.

The loss of moisture was accelerated in the initial stage of drying as the wind velocity increased, and it was confirmed that the mechanism of the increase in shrinkage due to wind was closely related to that of moisture loss.

It was showed from the stress calculation that the time to reach the maximum shrinkage stress became shorter, and that the stress fell more rapidly from the maximum in a windy condition than in a windless condition.

Conclusively, prolonged wet curing and lowering the paste content are recognized effective in order to prevent the increasing trend of shrinkage and the development of shrinkage cracks by wind action.

1 はじめに

コンクリートの乾燥収縮は、コンクリートにひびわれを発生させる主要因と考えられる。これについては、収縮機構の理論および実験的検討^{(1),(2)}コンクリートを複合材料としてみた場合の複合機構^{(3),(4)}、さらには収縮に影響する配合など内的要因および温湿度などの外的要因などの諸点⁽⁵⁾について多くの研究報告がなされている。

この様に多面にわたる研究がなされ、その全貌が次第に明らかとなってきてはいるが、コンクリートの性能に多様性が要求されている現状からみて、この種の問題の検討をさらに進める意義は大きいと考

えられる。

コンクリートの収縮の主因は、コンクリート中の大小間隙に保有されている内部水分の逸散によるものであって、この観点からすると、乾燥を助長、促進する要因としての風作用にも看過できないものがあると思われる。風速を受ける場合のコンクリートの収縮性状については今までに系統だった研究例は少なく、天然の気象作用、とりわけ海洋構造物などのように厳しい風的作用を受けると考えられるコンクリート構造物のひびわれ等による機能低下の問題と関連して、風がコンクリートの収縮特性に及ぼす影響を調べることは十分に意義あることと思われる。

「風作用を受けるコンクリートの収縮特性に関する実験的研究」

本研究は、以上より、風速がコンクリートの収縮および重量変化に及ぼす影響を湿潤養生期間、骨材種別および配合などとの関連において把握しようとする事、内部収縮応力に与える風速の影響を明らかにすることを主目的とし、さらには、鉄筋による内部拘束を与えたコンクリートの収縮性状についても一部検討を加えたものである。

2 実 験

セメントは普通ポルトランドセメント、細骨材は陸砂と河口砂の混合洗い砂で比重2.57、吸水率2.20%、f.m. 2.65のものを、粗骨材は最大寸法25mm、比重2.58、吸水率1.98%の陸砂利A、最大寸法25mmおよび15mmで、比重2.58、吸水率2.56%の川砂利B、最大寸法15mm、比重2.54、吸水率2.80%の川砂利Cを使用した。なお、非造粒タイプのX社人工軽量細粗骨材も一部使用した。

使用した配合を表-1に示す。水セメント比を40~70%の間で変化させ、モルタル2種、25mm陸砂利Aコンクリート2種、25mm川砂利Bコンクリート2種、15mmBコンクリート3種および15mmCコンクリート2種、さらに2種軽量Xコンクリートの計13種である。目標のフロー、スランプ値は200および8cmとした。

供試体はすべて10×10×20cmの角柱状のものを使用し、同一試験条件で各2~4本を供試体数とした。

実験計画の概略を表-2に示した。この表よりわかるように、収縮量、重量測定を主に行い、全面乾燥および一面乾燥の2条件を採用した。

風速は図-1に示す送風装置により発生させた。送風装置は1m50cm程度の風洞部に回転する二段の円盤を設けたもので、これを2機、50%R.H.20°Cの恒温恒湿室に設置し実験を実施した。風速は8m/sec、

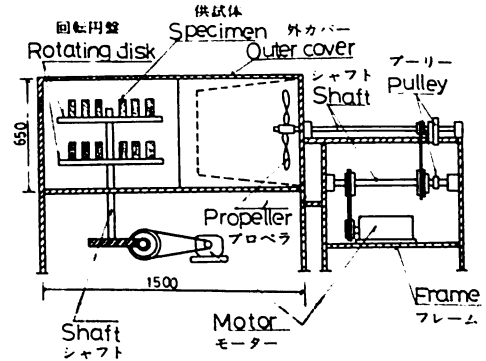


図-1 送風装置の略図

および9m/secに設定した。

長さ変化は、供試体表面ひずみとし、測定は $\frac{1}{1000}$ mm精度のコンタクト型ストレインゲージで行い、検長100mmとして、標点用チップとしては真鑄製チップを使用した。

収縮応力算定にあたり、収縮拡散特性値の評価が必要であるが、これは、一面乾燥体の半高位置のひずみが自由ひずみの平均値に理論的に等しいことを利用して、岡田ら⁽⁶⁾の方法で評価を行った。

収縮量Sおよび逸散水量W'のデータはすべて、次に示す双曲線形実験式により整理した。これは、tを日数として次のように表わされる。

$$S = \frac{t}{a+bt} \tag{1}$$

ここでa, bは実験定数で、1/bはSの最終値S_∞を示し、a/bはS_∞/2に達する日数Nを表わすことになる。(1)式の適用にあたり最小二乗法を用いた。

3 結果および解析

(1) 収縮量に及ぼす風速の影響

収縮量に及ぼす風の影響を諸々の点から検討した。表-3には、全収縮データと重量データを双曲線式で整理した結果を示した。図-2は、無風時の収縮

種別	最大寸法 (mm)	(フロー) スランプ	W/C 割合	単 位 量 (kg/m ³)			
				W	C	S	G
モルタル	—	(200)	40	280	700	1193	—
		(200)	60	280	467	1390	—
陸砂利 (A)	25	8.5	40	184	460	681	1006
		8.0	70	193	276	843	973
川砂利 (B)	25	7.5	40	172	430	652	1092
		8.5	60	178	297	760	1076
川砂利 (B)	15	8.0	40	189	473	745	895
		8.0	55	193	351	836	893
		9.0	70	197	281	912	862
川砂利 (C)	15	7.0	40	188	469	724	904
		8.5	60	194	323	838	891
軽 量 (X)	15	8.0	40	184	460	473	521
		7.0	60	190	317	549	514

表-1 使用配合

種別	W/C 割合	湿潤養生期間	試験項目および条件	風作用期間(日)	風速 (m/sec)	
モルタル	40, 60	7日	鉄筋による内部拘束、鉄筋比3種、収縮測定	0, 80	8	
コンクリート	陸砂利 25mm(A)	40, (70)	7, 15時間 1, 3, 7, 28日	全面乾燥, 収縮, 重量測定	0, 80	9
	川砂利 25mm(B)	40, 60	1, 7日	同 上	0, 25	8
	川砂利 15mm(B)	40, 55, 70	1, 7日	同 上	0, 5, 25, 50	9
	川砂利 15mm(C)	40, 60	7日	一面および全面乾燥, 収縮, 重量測定	0, 100	9
軽骨 (X)	40, 60	7日	同 上	0, 100	9	

表-2 実験計画の概要

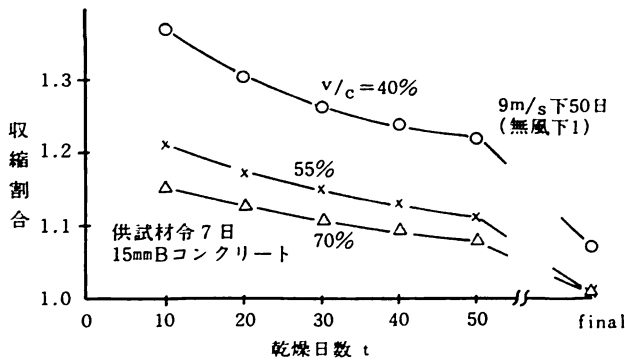


図-2 収縮割合と乾燥日数の関係

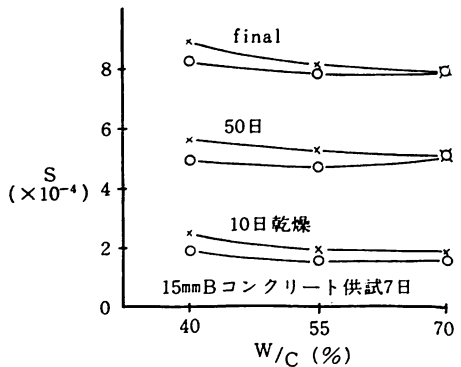


図-3 収縮量と水セメント比の関係

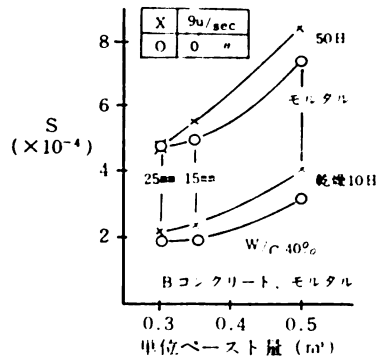


図-4 収縮量とペースト量の関係

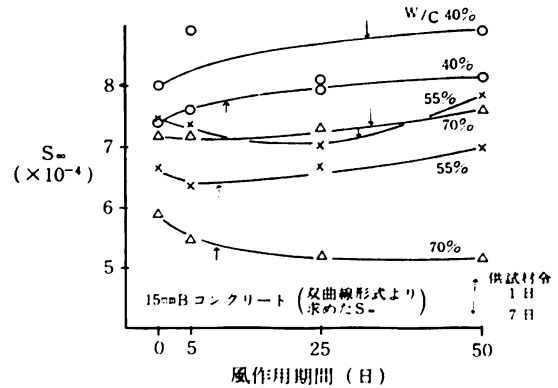


図 5 風作用期間と最終収縮量の関係

量を1とした場合の風速9m/sec下の収縮量の割合を乾燥日数との関係で示し、図-3は無風下および風速9m/sec下の収縮量と水セメント比の関係、図-4は収縮量とペースト量の間を、それぞれ乾燥日数をパラメーターとして表わしたものである。図-5には双曲線式より推定した最終収縮量 S_{∞} と受風日数の関係の水セメント比40、55、70%の供試材令1日および7日の15mmBコンクリートについて示してある。示されているように、風速を受けた場合のコンクリートの収縮量は乾燥の初期で無風時より4割近くも大きく表われる場合があり、この傾向は水セメント比の小さなペースト量の多い配合ほど著しくなる。全般的には、乾燥日数が増加するにつれ、この増大割合は減少し、水セメント比が60~70%の場合、最終的には無風下より収縮量が小さくなる傾向を示すことが認められた。この傾向は養生期間の短いものほど顕著であり、實際上十分に留意すべき事項と考えられる。図-3、図-4より、水セメント比の低下およびペースト量の増加に伴ない、風作用による収縮増大効果が明瞭となることがわかる。これは先と同様、若材令で風作用を受けた場合ほど著しくなる傾向も認められる。図-5より、受風期間が長いほど、水セメント比の小さな場合では最終収縮量が無風時のそれより大きくなり、逆に水

セメント比70%と大きな場合は、受風期間の増加に逆比例的に収縮量は無風時より低下することがわかる。養生期間が長くなると、受風期間の影響は少なくなるが、これは水和の増進により内部組織が緻密になるためと考えられる。

水セメント比の小なる場合の風作用による、収縮増大傾向は逸散水量の増加に帰せられるものであり、逆に水セメント比の大なる場合における乾燥の進行に伴ない収縮の無風時よりの低下は、表面部の急激なる乾燥により、表面部が乾ききり、内部細隙からの水分の逸散が何らかの影響で妨げられる、あるいは遅延するか、表面部に目視できない微細なひび割れが発生したためかと推察される。この点はさらに十分な原因の追求を行う必要がある。

表-3の25mm陸砂利コンクリートの結果より、若材令時に風作用を受けた場合ほど逸散水量は増加し、それに伴ない、収縮量も若材令のものほど無風下の収縮量に比べ大きくなる傾向にある。ちなみに、材令1日では、 2×10^{-4} 程度の収縮量の差が認められている。これに対し同表に示された25mm川砂利コンクリートではこれ程の差はみられず、風作用を受ける場合に骨材の品質の選定も重要なポイントとなることを示していると思われる。

軽量コンクリートでは表-3にもみられるように

「風作用を受けるコンクリートの収縮特性に関する実験的研究」

表-3-1) 双曲線式による収縮値と逸散水量データの整理

種別	W/C (%)	養生期間	風速 (m/s)	S_{∞} ($\times 10^{-4}$)	N (日)	W'_{∞} (g)	W'_{∞} (%)	
川砂利 B	40	1 day	0	7.1	28.0	190.0	3.91	
			(8-25日)	7.2	23.8	196.3	4.09	
		7 "	0	7.8	28.9	167.4	3.46	
			(8-25日)	7.3	25.3	168.5	3.47	
	60	1 day	0	5.6	19.5	243.6	5.14	
			(8-25日)	5.6	24.4	242.1	5.13	
川砂利 B	40	1 day	0	6.6	22.4	216.0	4.55	
			(8-25日)	6.6	22.4	216.0	4.55	
			0	7.4	27.9	168.7	3.59	
			(9-5日)	7.7	25.4	173.8	3.74	
			(9-25日)	8.0	29.0	170.4	3.66	
			(9-50日)	8.1	25.4	175.7	3.72	
		7 "	0	8.0	46.7	142.2	3.03	
			(9-5日)	9.6	32.7	147.0	3.09	
			(9-25日)	7.4	32.5	143.0	3.04	
			(9-50日)	8.7	33.8	145.5	3.05	
			0	6.6	32.7	230.7	4.88	
			(9-5日)	6.2	28.2	241.2	5.03	
	55	1 day	(9-25日)	6.8	24.5	242.5	5.06	
			(9-50日)	7.0	27.9	242.4	5.14	
			0	7.4	34.8	215.9	4.62	
			(9-5日)	7.3	28.5	223.3	4.70	
			(9-25日)	6.9	30.2	228.0	4.76	
			(9-50日)	7.7	28.9	220.8	4.61	
		7 "	0	5.9	26.2	283.3	6.01	
			(9-5日)	5.4	21.6	300.2	6.38	
			(9-25日)	5.2	20.2	286.7	6.13	
			(9-50日)	5.6	21.5	294.6	6.24	
			0	7.2	29.0	262.6	5.66	
			(9-5日)	7.3	31.5	266.6	5.68	
70	1 day	(9-25日)	7.1	31.1	262.5	5.62		
		(9-50日)	7.7	26.9	258.6	5.64		
		0	9.9	21.5	172.7	3.9		
		(9-100日)	10.0	21.0	179.8	4.0		
		全面一面	0	6.9(3.4)	16.5	58.5	1.2	
		(9-100日)	7.7(3.6)	15.5	63.3	1.3		
	60	7 day	全面	0	11.1	24.4	242.6	5.5
			一面	(9-100日)	10.2	20.2	261.3	5.9
			全面	0	6.1(4.5)	16.5	98.3	2.0
			一面	(9-100日)	6.1(5.3)	19.0	99.7	2.1

表-3-2) 双曲線式による収縮値と逸散水量データの整理

種別	W/C (%)	養生期間	風速 (m/s)	S_{∞} ($\times 10^{-4}$)	N (日)	W'_{∞} (g)	W'_{∞} (%)	
陸砂利 (A)	40	7 hr	0	11.5(7.8)	15.7(12.1)	207.6(208.3)	4.34	
			(9-80日)	11.0(9.0)	12.6(10.1)	215.7(230.6)	4.81	
		15 "	0	11.5	28.0	160.6	3.30	
			(9-80日)	12.1	24.8	159.5	3.48	
		1 day	0	11.0	29.4	155.3	3.24	
			(9-80日)	12.3	30.3	167.2	3.45	
		3 "	0	11.0	38.1	142.4	3.02	
			(9-80日)	11.7	37.9	147.0	3.10	
		7 "	0	9.1(12.8)	38.7(24.7)	139.5(152.2)	2.90	
			(9-80日)	11.7(13.3)	41.2(24.3)	144.7(154.5)	3.07	
		28 "	0	8.7	47.5	137.8	2.79	
			(9-80日)	9.4	45.1	137.9	2.85	
軽量2種	40	7 day	0	13.1	38.4	240.7	5.19	
			(9-80日)	12.8	33.5	243.8	5.39	
			全面	0	1.3	232.3	1.20	
			一面	(9-100日)	1.9	228.2	7.60	
			全面	0	0.2	60.0	1.70	
			一面	(9-100日)	1.1	63.4	1.80	
	60	7 "	全面	0	3.9	336.5	11.00	
			一面	(9-100日)	4.0	330.0	10.90	
			全面	0	3.9	108.2	3.30	
			一面	(9-100日)	4.1	111.4	3.30	
			全面	0	15.8	22.8	180.5	4.10
			一面	(8-50日)	16.2	21.6	187.4	4.40
モルタル	40	7 "	0	12.7	28.0	159.0	3.57	
			(8-80日)	12.6	25.0	160.6	3.54	
			0	13.6	35.0	264.6	6.20	
	60	1 day	(8-50日)	12.9	33.7	262.0	6.30	
			0	13.6	29.7	262.2	5.96	
			(8-80日)	12.8	28.6	257.0	5.79	

水セメント比の小さな場合ほど風による影響が強く表われていると判断されるが、事例が少なく、今後の検討にまちたい。

(2) 重量変化特性および逸散水量と収縮量の関係

図-6には、収縮量 S と逸散水量 W' の関係の一例を、図-7には水分逸散速度 dW'/dt と逸散水量 W' の関係を、陸砂利コンクリートの場合についてそれぞれ示したものである。表-3よりも理解されるように、逸散水量は風作用により若材令の場合ほど著しく増加すること、水セメントが大なるほどこの傾向が明瞭になることがわかる。

図-6から認められるように、供試材令7時間、および1日では、風作用下の収縮量 S ~逸散水量 W' の関係は無風下のそれより分離し、同一逸散水量でも収縮量が小さく現われるような、通常の炉乾燥状態と同様な傾向にあることがわかる。又、この傾向は若材令のものほど著しくなる。図-7で材令7時間の水分逸散速度と逸散水量の関係を検討すると、木材等の乾燥でみられるような恒率、減率第一段、減率第二段の乾燥三段階が明らかに認められるに対し、材令28日の場合は、先の二段階は認められず、

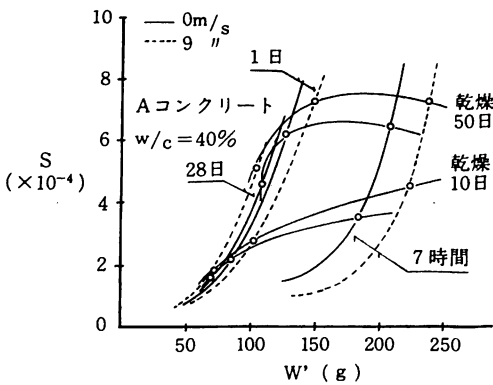


図-6 収縮と逸散水量の関係

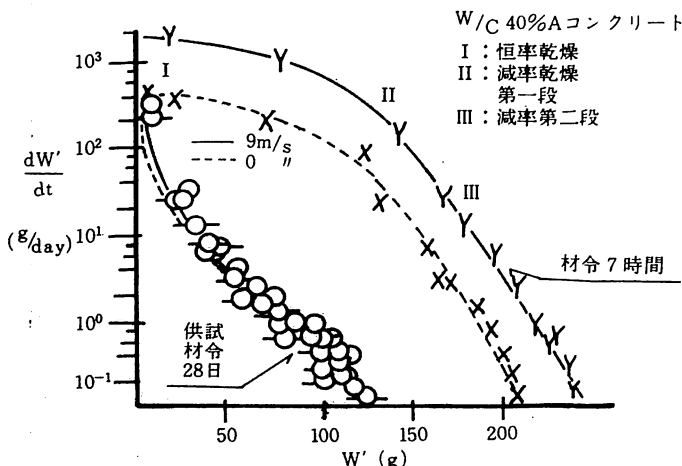


図-7 水分逸散と逸散水量の関係

乾燥から即座に減率第二段のいわゆる拡散による水分逸散が卓越する乾燥状態が現われている。このように、養生期間の長短により水分逸散の形態が異なることが理解できる。材令7時間9 m/sec下の恒率乾燥時では無風下の約3倍の水分逸散速度となり、また、風速下では恒率乾燥から比較的速やかに減率乾燥に移行しており、この事は、拡散による水分の逸散期が速く現われることを示していると考えられ、収縮の初期での促進状態を説明するものと思われる。

風作用時の収縮機構を明らかにするには、さらに詳しい収縮~水分逸散特性の検討が必要であろう。

(3) 内部拘束鉄筋を有するコンクリートの収縮性状について

図-8に、モルタル中に異形鉄筋を埋設した場合の10×10×20cm角柱の収縮ひずみの実測結果の一例を示した。鉄筋比は0, 1.27% (D10), 2.87% (D19)の三種とし、供試体寸法の小さなことから、定着長については特別の考慮を払っていないので厳密な拘束状態とはいえないが、風作用による影響を観察するには有効と考え上記鉄筋比を用い検討したものである。

これによると、風作用により無風の場合に比べ収縮量は鉄筋の有無に関係なく増大すること、鉄筋比0%の場合を基本として、図-9に示す拘束率を用いて拘束の程度を求めてみると、無風時の方がやや拘束率が大となるような傾向にはあるが、風作用を受ける場合とそれほど大差ない結果となっていることが認められる。従って、風作用下においても無風下と同様の内部拘束を受けると考えてよく、場合によってはひびわれなどの面で危険側の場合も考えられる。

なお、上記結果は水セメント比40%の場合について言及したもので、W/C 60%モルタルでは急激な乾燥によって付着破壊をおこしたためか、風作用下の拘束率が極端に低下した。現在鉄筋径を小さくし、本数を多くした場合の追試を行なっているので、機会を得て結論を下したいと考えている。

(4) 風作用下における収縮応力発現特性

風作用下におけるコンクリートに発生する収縮応力の傾向を検討するため、Pickettの提唱した収縮拡散理論を用い、自由収縮量より弾性解法により収縮応力の算定を試みた⁽⁷⁾。

一面乾燥体に関する自由ひずみ S の拡散方程式の

直接の風を避けることにあるが、これが不可能な場合の対策として、配合上はなるべくペースト量を抑制し、最大寸法を大きくとること、良質の骨材を選定使用すること、初期養生を十分に行うことなどが指摘できる。

参 考 文 献

- 1) 近藤 実, セメント技術年報 XI (1957), XII (1958)
- 2) Powers, T. C., Journal of A. C. I. 18(1947)
- 3) 大野和男, 北大研究報告 9号 (1953)
- 4) Pickett, G., Journal of A. C. I. 52, No. 5 (1956)
- 5) Lyse. I., Magazine of Concrete Research, 11, No. 33 (1959); Journal of A. C. I., 56 (1960)
- 6) 岡田 清, 川村満紀, 土木学会論文報告集, 142号 (1967)
- 7) Pickett, G., Journal of A. C. I., 17, No 3, No. 4 (1946)
- 8) 庄谷征美, 材料28巻, 第305号 (1979)
- 9) Shoya, M., Tokuda, H., Proc. of International Conference on Materials of Construction for Developing Countries, Vol 1 (1978)