

高炉セメントを使用したコンクリートの性質に および乾燥および湿潤のくり返し作用の影響

正 員 小 林 一 輔*

THE EFFECT OF ALTERNATE WETTING AND DRYING ON THE PROPERTIES OF PORTLAND BLAST-FURNACE CEMENT CONCRETES

By Kazusuke Kobayashi, C.E. Member

Synopsis : Experiments were carried out to study the effect of alternate wetting and drying, as well as of continuous drying, on the volume, weight, and dynamic Young's modulus of elasticity of portland blast-furnace cement concretes. Identical experiments were carried out with normal portland cement concretes so that the results for each type of cement used might be compared with one another. Two types of portland blast-furnace cement—one is of high slag content (65% slag by weight) and the other of low slag content (45% slag by weight)—were used in making concretes used in the experiments. The following results were obtained:

1. In drying shrinkage there was no difference between portland blast-furnace cement concretes and normal portland cement concretes, regardless of water-cement ratio, the length of curing period, and the amount of entrained air.

2. When stored in water, portland blast-furnace cement concretes showed a greater expansion than normal portland cement concretes.

3. The change in volume and weight of concretes caused by alternate wetting and drying had little relation to the type of cement used. In the change in dynamic Young's modulus of elasticity caused by the same process, however, the tendencies showed by portland blast-furnace cement concretes and normal portland cement concretes were markedly different from one another.

要 旨 本文は高炉セメントを用いたコンクリートが、(1) 連続乾燥された場合の容積変化、重量変化率、動弾性係数、(2) 乾燥および湿潤のくり返し作用を受けた場合の容積変化、重量変化率、動弾性係数について普通ポルトランドセメントを用いたコンクリートと比較実験を行なった結果について述べたものである。

用いた高炉セメントは高水滓高炉セメント（水滓混和率 65%）および低水滓高炉セメント（水滓混和率 45%）で、実験の結果からつぎのことが結論できる。

(1) 高炉系セメントを用いたコンクリートの乾燥収縮は水セメント比、養生期間、空気連行のいかんを問わず大体においてポルトランドセメントを用いた場合と変わらない。

(2) 高炉系セメントを用いたコンクリートは水中養生期間中の膨張が普通ポルトランドセメントを用いた場合よりもいちじるしい。

(3) 乾燥および湿潤のくり返し変化を受けた場合の容積変化および重量変化率の変化の様子はセメントによって顕著な差異が認められないが、動弾性係数の変化については、高炉系セメントを用いた場合と普通ポルトランドセメントを用いた場合では明らかに異なった傾向が認められる。

1. ま え が き

最近、高炉セメントの需要が急速に増加している。この理由については、価格の問題やセメント自体の性質などいろいろあげられようが、現実にこの高炉セメントを用いて構造物が作られつつある事実を無視することはできない。一方、高炉セメントを用いたコンクリートの性質についてはその一部は明らかにされつつあるが¹⁾、まだ十分究明されていない点も多くある。これらの点ができるだけ早急に明らかにされ、高炉セメントを使用する場合の適切な指針を与えることが必要であると考える。

ここではこれらの問題のうち、コンクリートが乾燥された場合の乾燥収縮その他の性質について調べるとともに、とくにコンクリート舗装で問題となる乾燥および湿潤のくり返し作用を受けたコンクリートの性質がどのように変化するかについて調べた結果について報告する。

2. 材料、配合および実験方法

(1) 材 料

使用した高炉セメントは八幡化学工業KKのもので、低水滓の所謂高炉セメントと高水滓の2種高炉セメントの2種類である。またこれらのセメントはいずれも分離粉砕方式によって製造されたものである。比較に用いた

* 東京大学生産技術研究所，第五部

表-1

試験項目 種別	比重	粉末度		凝結		安定性	曲げ強度 (kg/cm ²)			圧縮強度 (kg/cm ²)		
		ブレン (cm ² /g)	88μ (%)	始発 (時分)	終結 (時分)		3日	7日	28日	3日	7日	28日
普通ポルト 高 炉 2 種	3.15 3.02 2.99	3 120 3 830 3 950	2 3 0.7 0.6	2-00 3-15 4-15	3-00 4-20 5-45	完 完 完	32.5 25.2 24.0	51.1 38.0 37.5	69.4 63.6 55.9	123 74 74	226 157 165	391 377 371

表-2

種別	比重	吸水率 (%)	粗粒率	各フレイに留るものの重量百分率(%)											
				0.15	0.3	0.6	1.2	2.5	5	10	15	20	25	30	
細骨材	2.64	2.01	2.75	99	86	58	25	7	0	0	0	0	0	0	0
粗骨材	2.66	0.87	6.84	100	100	100	100	100	99	96	85	46	9	0	0

普通ポルトランドセメントは秩父セメントKKのものを使用した。これらのセメントの物理試験結果を表-1に示す。骨材はすべて荒川産のもので、その物理試験結果を表-2に示す。AE剤はダレックスを使用した。

(2) 配合

コンクリートはブレンコンクリートおよびAEコンクリートの2種、水セメント比は40%および50%の2種で、コンクリートの単位水量および絶対細骨材率はブレンコンクリート、AEコンクリートそれぞれの場合について水セメント比やセメントの種類に関係なく全部一定とした。これら単位水量および絶対細骨材率の値はブレンコンクリート、AEコンクリートいずれの場合も普通ポルトランドセメントを用いたコンクリートで水セメント比が40%の場合に約2cmのスランピングが得られるようにして決めたので、セメントの種類や水セメント比の値が上記の条件と異なった場合にはスランピングが多少変わっている。なおAEコンクリートの空気量は全部4.5±0.3%とした。コンクリートの配合を表-3に示す。

(3) 実験方法

a) 供試体の製作、養生および放置条件 供試体の製作はJIS A 1125-1957「モルタルおよびコンクリートの長さ変化試験方法」に準じて行なった。脱型後の養生条件は水中養生1週、2週、4週および水中養生を全く行

表-3

コンクリート	セメント	w/c (%)	スランピング (cm)	コンクリート 1m ³ 当り					絶対細骨材 (%)
				W (kg)	C (kg)	S (kg)	G (kg)	AEA (cc)	
ブレンコンクリート	普通ポルト	40	1.8	147	368	776	1 176	40	
	高 炉		2.4	”	”	774	1 167		
	2 種		2.6	”	”	771	1 165		
	普通ポルト	50	1.5	147	294	803	1 213		
	高 炉		1.9	”	”	800	1 207		
	2 種		2.7	”	”	797	1 205		
AEコンクリート	普通ポルト	40	2.5	132	330	681	1 224	62~105	
	高 炉		3.3	”	”	678	1 218	310~700	
	2 種		3.4	”	”	678	1 213	360~1800	
	普通ポルト	50	2.9	132	264	702	1 258	35~40	
	高 炉		5.1	”	”	700	1 253	115~140	
	2 種		7.5	”	”	700	1 245	115~200	

なわずに乾燥または乾燥および湿潤のくり返しを与えたものの4種である。

所定の養生を終えた供試体は連続乾燥の場合には、20°Cの恒温室内に特別に設計された棚ならべて乾燥させたので実験期間中湿度を一定に保つことはできなかったが、3種のセメントの乾燥収縮その他の性質は湿度に影響されずに比較できるように実験を行なった。

乾燥および湿潤のくり返し作用を与える場合は、所定の養生を終えた供試体をまず恒温室内の乾燥箱(JIS記載のもの、湿度は35±5%)に入れて1週間乾燥させたのちとりだし、つぎの1週間は20°Cの恒温水槽に浸して湿潤させ、乾湿くり返し1サイクルとした。

b) 容積変化、重量および動弾性係数の測定 容積変化の測定はJISの「コンパレータ方法」により行なった。測定は、連続乾燥の場合には脱型直後、水中養生1週、水中養生終了時、乾燥開始後1週、4週、8週、3カ月および6カ月で行ない、乾燥および湿潤のくり返し変化を与える場合には脱型直後、水中養生1週、水中養生終了時、各サイクルの乾燥終了時と湿潤終了時に行なった。なお長さ変化測定のさい同時に重量および動弾性係数を測定した。動弾性係数は縦振動法により求めた。

3. 高炉セメントを使用したコンクリートの性質におよぼす乾燥の影響

(1) 乾燥による容積変化

図-1~4は3種のセメントを用いたコンクリートの容積変化を示したものである。これらの図より全般的にいえることは、高炉系セメントを用いたコンクリートの乾燥収縮は水セメント比や養生条件、コンクリートに対する空気連行のいかに問わず大体において普通ポルトランドセメントの場合と変わらないことである。さらにくわしく検討すると、乾燥開始後1週間では高炉セメントの乾燥収縮が普通ポルトランドセメントを用いたものよりもやや大きくなる傾向がみられる。また水中養生期間が長くなり4週にも達すると高炉系セメントを用いたコンクリートの方が普通ポルトランドセメントを用いたものよりも乾燥収縮は小さくなるような傾向がみられ、この傾向はとくに2種高炉セメントの場合にいちじるしい。脱型直後乾燥の場合には水セメント比、コンクリートに対する空気連行のいかに問わず高炉系セメントの乾燥収縮が普通ポルトランドセメントの場合よりもやや小さい結果がでていますが、これはあとに述べる重量変化率および動弾性係数の測定結果からみて、セメントの水和反応の速度と関係があるように思われる。

(2) 乾燥による重量変化

図-5, 6は3種のセメントを用いたコンクリートの乾燥による重量変化を示したものである。これらの

図-1 プレーン コンクリート (水セメント比=40%) の長さ変化率

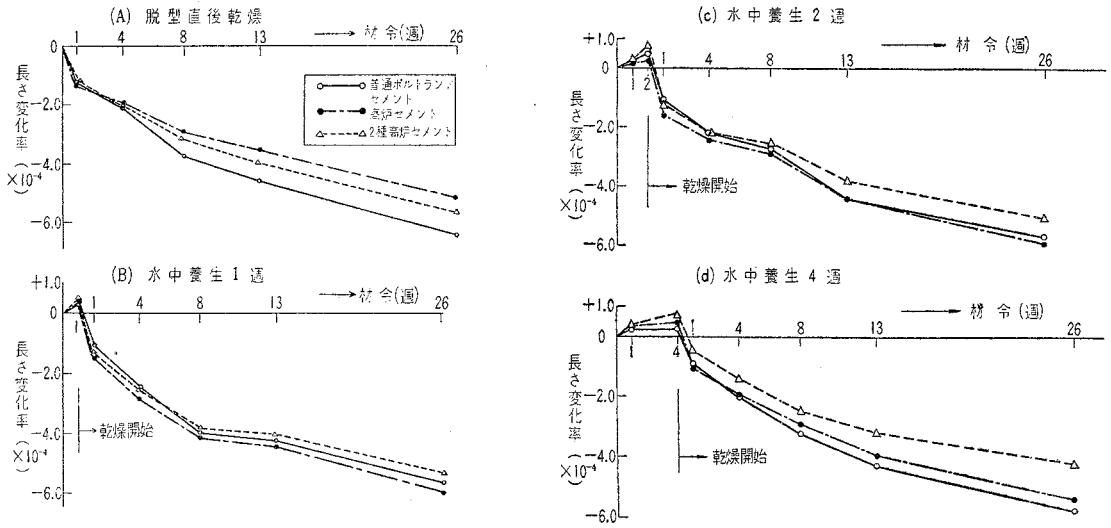
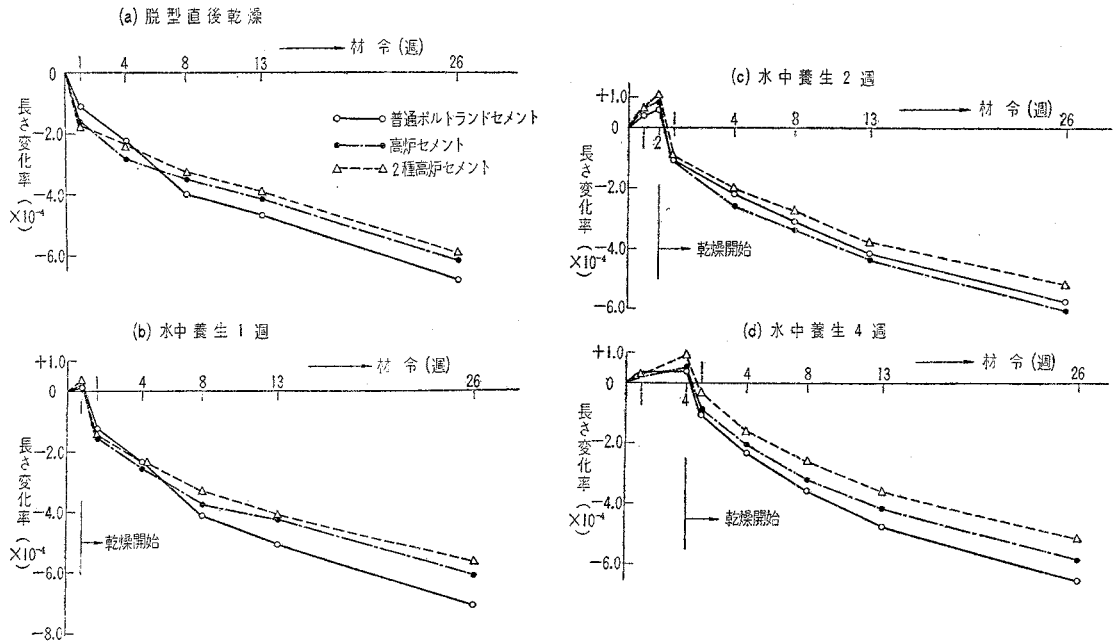


図-2 プレーン コンクリート (水セメント比=50%) の長さ変化率



図をみてわかることは、プレーン コンクリート、AE コンクリートいずれの場合も、またいずれの水セメント比の場合にも共通してみられることであるが、脱型直後乾燥の場合は高炉系セメントの方が普通ポルトランドセメントにくらべて重量減少率が大きい、水中養生1週および2週の場合にはほぼ等しくなり、水中養生4週になると逆に高炉系セメントの重量減少率が普通ポルトランドセメントのものよりも小さくなることである。このことは高炉系セメントを用いてコンクリートを作る場合には十分に水中養生を行なうことが緻密な組織のコンクリートを得る上にいかに重要なことであることを示しているように思われる。

(3) 乾燥による動弾性係数の変化

図-7, 8 は3種のセメントを用いて作ったコンクリートの乾燥による動弾性係数の変化を示したものである。これらの図よりわかることは、大体どの条件の場合も乾燥開始4週後に動弾性係数は最大となり以後は徐々に低下している。この低下の割合は乾燥開始後6カ月までの間では、セメントによってとくに差がないようである。また3種のセメントを用いたコンクリートの動弾性係数の値を各養生条件の全乾燥期間を通じて比較すると、脱型直後乾燥の場合には高炉系セメントの動弾性係数は普通ポルトランドセメントにくらべて小さく、2種高炉セメントの場合がとくに小さい。しかし水中養生を行な

図-3 AE コンクリート (水セメント比=40%) の長さ変化率

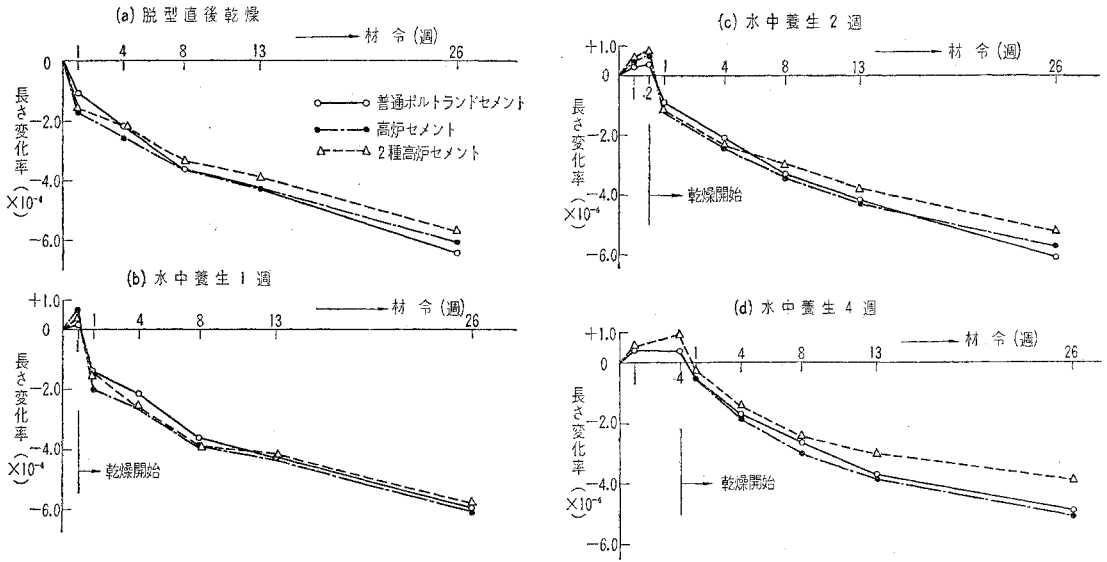


図-4 AE コンクリート (水セメント比=50%) の長さ変化率

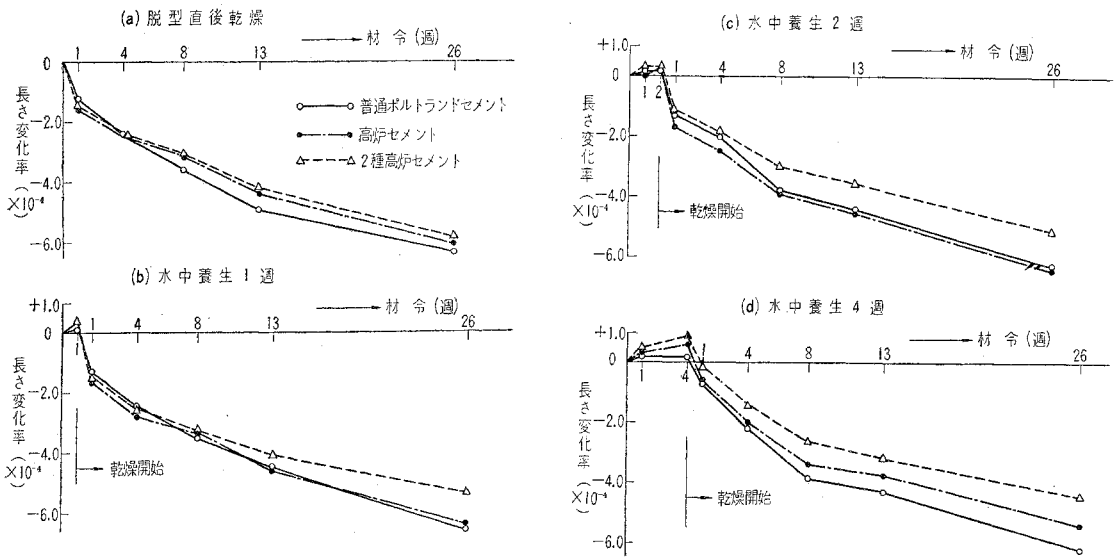


図-5 プレーン コンクリート (水セメン比=40%) の重量変化率

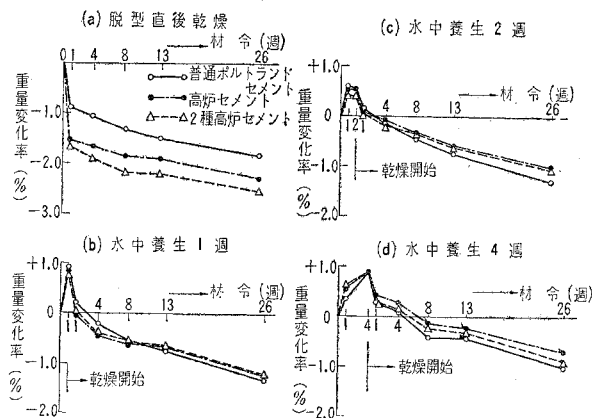


図-6 AE コンクリート (水セメント比=40%) の重量変化率

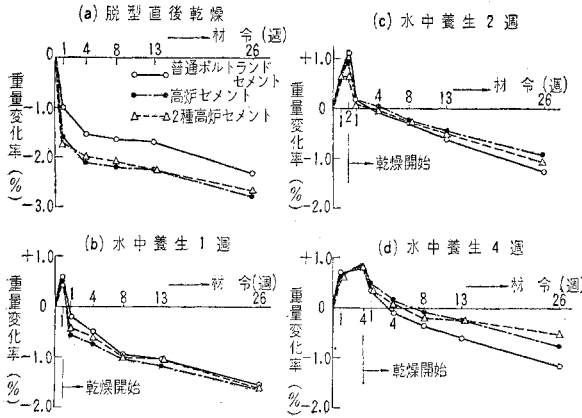


図-7 プレーン コンクリート (水セメント比=40%) の動弾性係数

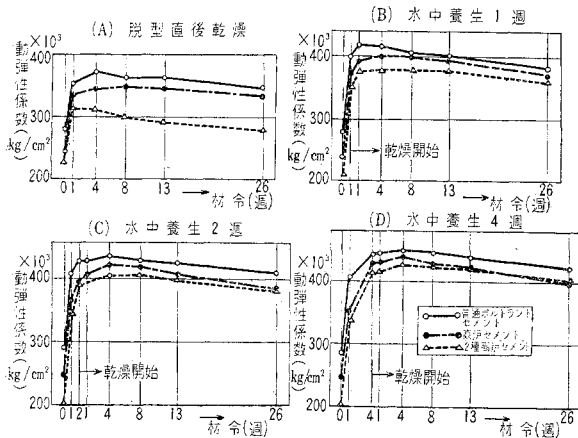
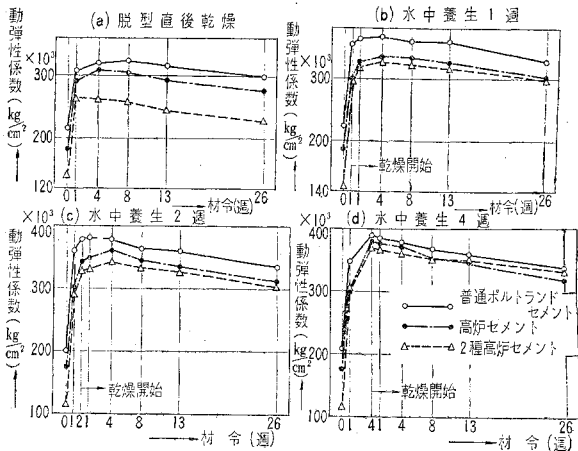


図-8 AE コンクリート (水セメント比=50%) の動弾性係数



いその期間が1週、2週と長くなるにしたがって3種のセメントの動弾性係数の差が縮まり、水中養生4週ではほとんど差がなくなる。これらの傾向は水セメント比やコンクリートに対する空気連行のいかんを問わずみられる。これは高炉系セメントの水和反応が普通ポルトランドセメントの場合よりも遅れるので、乾燥開始の時期が早いほど高炉系セメントの場合には、普通ポルトランドセメントの場合よりも水和反応が阻害される程度が大きいためと思われる。この場合、水浮混和率の高い2種高炉セメントの方がこの影響をより大きく受けることはもちろんである。

4. 高炉セメントを使用したコンクリートの性質におよぼす乾燥および湿潤のくり返し作用の影響

(1) 乾燥および湿潤のくり返し作用による容積変化

図-9~14は3種のセメントを用いたコンクリートの容積変化の様態を示したものである。これらの図からわかることは、1) どのセメントを用いた場合も乾燥と湿潤のくり返しを開始して数サイクルの後には長さ変化量はほぼ一定となり、その後のコンクリートの伸縮は可逆的に行なわれるようである。2) 水中養生を1週間行なったコンクリートの長さ変化率はセメントによってほとんど差がないが、4週間行なった場合には2種高炉セメントを用いたコンクリートの長さ変化率が他のセメントの場合よりも大きくなる。すなわち水中養生1週より4週までの間の膨張が他のセメントよりも大きい。図-9および図-14(いずれも水中養生4週)で2種高炉セメントの長さ変化率が膨張側に偏倚しているのはこの影響であろう。3) 2種高炉セメントを用いたコンクリートでは乾燥と湿潤のくり返しサイクルが進行するにつれて、その長さ変化率は次第に膨張側に偏倚する傾向がみられる。この傾向は水中養生期間、水セメント比、空気連行のいかんにかかわらずみられるようである。図-15、16は2種高炉セメントを用いたコンクリートの各乾燥時および湿潤時の長さ変化率の包絡線に相当するものを示したものであるが上記の傾向がよくうかがえると思う。普通ポルトランドセメントの場合には図-17、18に示すようにこのような傾向はあらわれていない。4) 各サイクルにおける乾燥時より湿潤時にいたる長さ変化量

図-9~14 乾燥および湿潤のくり返しを受けたコンクリートの長さ変化率

図-9 プレーン コンクリート, w/c=40%, 水中養生4週

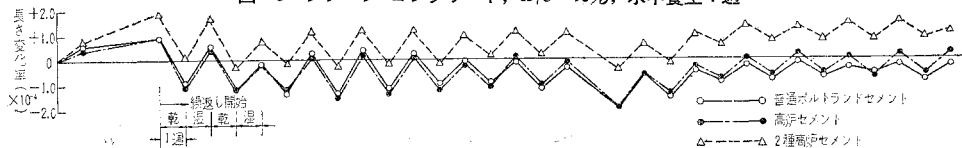


図-10 プレーン コンクリート, $w/c=50\%$, 水中養生1週



図-11 プレーン コンクリート, $w/c=40\%$, 水中養生1週

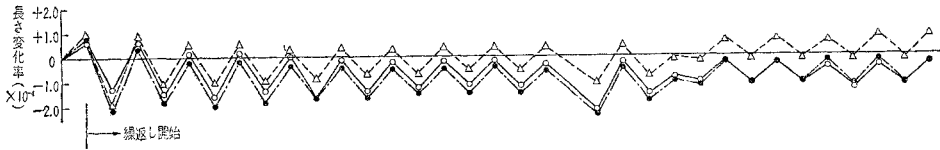


図-12 AE コンクリート, $w/c=40\%$, 水中養生1週



図-13 AE コンクリート, $w/c=50\%$, 水中養生1週



図-14 AE コンクリート, $w/c=40\%$, 水中養生4週

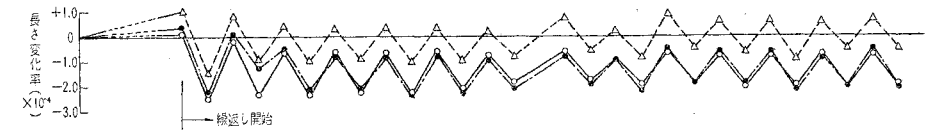


図-15

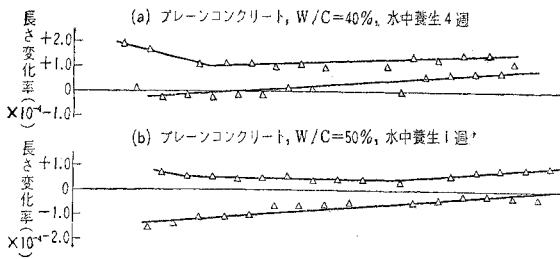


図-16

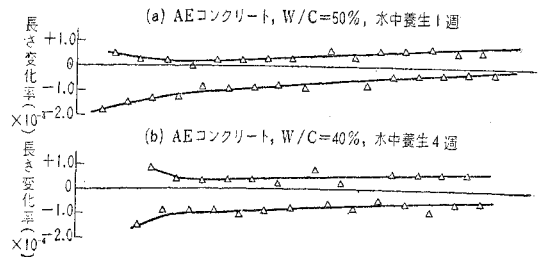


図-17

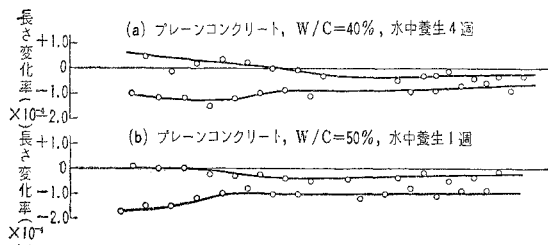
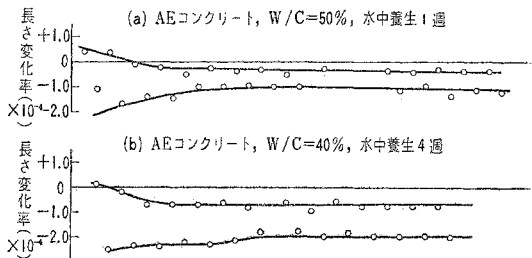


図-18



はセメントによって大きい差がないようである。

(2) 乾燥および湿潤のくり返し作用による重量変化

図-19, 20 は3種のセメントを用いたコンクリートの重量変化の様相を示したものである。これらの図からわかることは、各サイクルの乾燥と湿潤のくり返しによる重量変化率の値は、どの条件の場合もセメントによってほとんど差がなく、2~3 サイクル 後には変化量もほぼ一定になっていることがわかる。

(3) 乾燥および湿潤のくり返し作用による動弾性係数の変化

図-21~26 は3種のセメントを用いたコンクリートの動弾性係数が乾燥と湿潤のくり返し作用によってどのように変化するかを示したものである。これらの図よりわかることは、1) 動弾性係数の値は水中養生を4週行なった場合は養生終了時、水中養生1週の場合には約7~8週に相当するくり返しサイクルを受けたときに、ピークに達し、それ以後は乾燥および湿潤によって増減

するがその差はほぼ一定で、各乾燥時および湿潤時の動弾性係数の絶対値はサイクルが進行してもほとんど変化していない。2) 普通ポルトランドセメントを用いたコンクリートで非常に特徴的なことは、サイクルが進むにつれて乾燥時と湿潤時で動弾性係数の値に差がなくなってくることである。この傾向は大体乾湿のくり返し開始後5~6 サイクルになるとあらわれるようで、これ以後の普通ポルトランドセメントを用いたコンクリートの動弾性係数は乾燥湿潤によってほとんど影響されないようである。またこれらの傾向はこの実験で行なったりくり返しサイクルの範囲では高炉系セメントの場合にはほとんど認められない。

5. 結 論

本実験の範囲でつぎのことがいえると思う。

(1) 高炉系セメントを用いたコンクリートの乾燥収縮は養生条件、水セメント比、コンクリートに対する空気連行のいかんを問わず大体において普通ポルトランド

図-19, 20 乾燥および湿潤のくり返し作用を受けたコンクリートの重量変化率

図-19 プレーン コンクリート, $w/c=40$, 水中養生4週

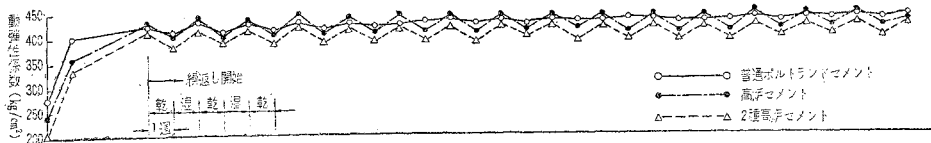


図-20 AE コンクリート, $w/c=40$ %, 水中養生1週

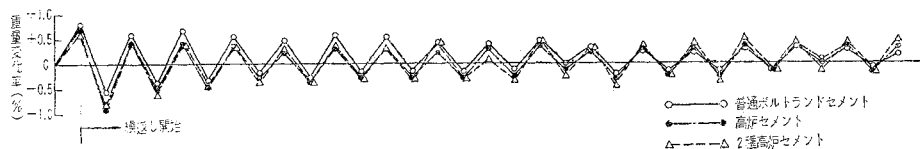


図-21~26 乾燥および湿潤のくり返しを受けたコンクリートの動弾性係数

図-21 プレーン コンクリート, $w/c=40$ %, 水中養生4週



図-22 プレーンコンクリート, $w/c=50$ %, 水中養生1週

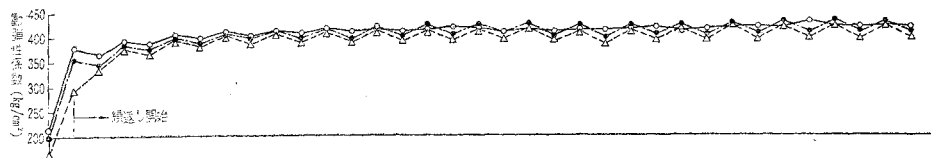


図-23 プレーン コンクリート, $w/c=40$ %, 水中養生1週

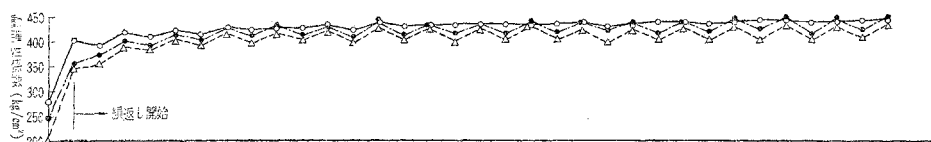
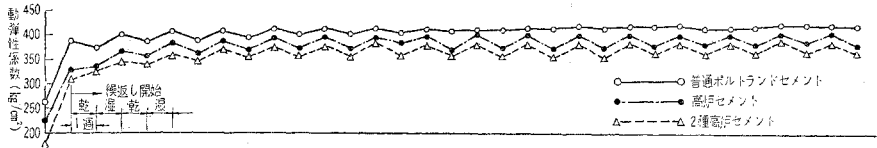
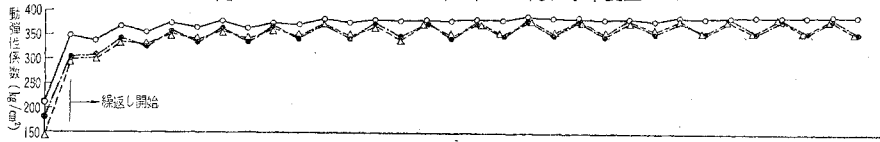
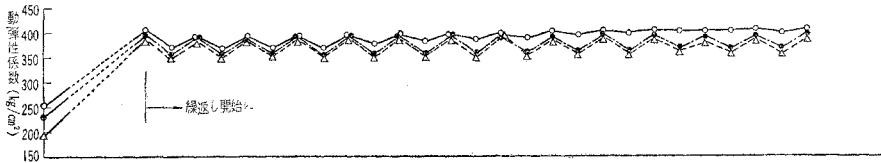


図-24 AE コンクリート, $w/c=40\%$, 水中養生1週図-25 AE コンクリート, $w/c=50\%$, 水中養生1週図-26 AE コンクリート, $w/c=40\%$, 水中養生4週

セメントを用いた場合と変わらない。

(2) 水中養生期間が長くなるにつれて、高炉系セメントを用いたコンクリートの乾燥収縮は普通ポルトランドセメントを用いた場合よりも小さくなる傾向がみられる。この傾向はとくに高水洋の2種高炉セメントの場合に顕著である。

(3) 高炉系セメントのうちでもとくに2種高炉セメントは水中養生期間中の膨張量が普通ポルトランドセメントにくらべて大きい。この傾向は水中養生1週後にいちじるしい。

(4) 乾燥および湿潤のくり返し作用を受けたコンクリートの性質は、容積変化および重量変化の点ではセメントによってとくにいちじるしい差はないようであるが、動弾性係数の変化の模様はセメントによってはっきりした差が認められる。すなわち普通ポルトランドセ

メントを用いたコンクリートでは、乾燥と湿潤のくり返しサイクルの進行とともに、各乾燥時および湿潤時の動弾性係数の値の差がなくなってゆくことで、高炉系セメントの場合にはこのような傾向はみられない。

なおこの実験からも高炉セメントを用いてコンクリートを作る場合には養生を十分に行なうことが非常に大切であることがわかった。このことはすでに報告した²⁾のであるがあらためて強調したい。

最後に本研究の実施に当たり、終始御指導を賜わった丸安隆和先生に厚く御礼申上げるとともに、実験に協力された当所の伊藤利治技官、武藤隼彦研究生および宮崎恒氏(現在都交通局)に感謝の意を表する。なお文部省科学研究費の補助を得たことを付記する次第である。

参考文献

- 1) 2) たとえば 丸安, 水野, 小林: 高炉セメントの使用法に関する研究 土木学会論文集 65号・別冊(3-1)

(原稿受付: 1960.7.6)