

V-51 軽量コンクリートの乾燥収縮と拘束ひびわれ

鳥取大学 正員 工修 ○阪田 憲次
鳥取大学 正員 工博 木山 英郎
鳥取大学 正員 工博 西林 新蔵

1. はしがり

軽量コンクリートの乾燥収縮については、内外の多数の研究者によつて、種々の側面より研究され、その成果が報告されている。しかし、乾燥収縮とひびわれの関係についての検討を行つたものは少なく、西林¹⁾、塚山²⁾らの研究があるのみである。前者は引張りクリープと乾燥収縮とから「曲げ引張抵抗係数」を求めたものであり、後者は乾燥収縮から「ひびわれ指数」を算出している。

しかしながら、いずれの場合も実際のひびわれを観察し、それと対比で論じたものではない。

本研究は、拘束供試体に乾燥収縮によるひびわれを発生させ、それとは別に作成した無拘束の供試体で測定した乾燥収縮ひずみ、強度および弾性係数より、ひびわれに対する抵抗性を表わす指数を求め、さらに人工軽量骨材の吸水量、吸水状態、水セメント比および環境条件が、ひびわれに対する抵抗性におよぼす影響について論じたものである。また、それらが乾燥収縮、強度および弾性係数におよぼす影響についても検討を加えた。

2. 実験概要

本実験に使用した骨材は、天然骨材（吸水量：粗骨材；1.21%，細骨材；1.23%）、造粒型人工軽量骨材ライオナイト（吸水量：粗骨材；2.30%，細骨材；4.00%）および非造粒型人工軽量骨材宇都軽骨（吸水量：粗骨材13.0%，細骨材；11.5%）の3種類である。セメントは大阪社製普通ポルトランドセメントを用いた。その他の試験条件は、表-1に示す通りである。

表-2に実験に用いたコンクリート、モルタル、セメントペーストの配合を示す。コンクリートの配合は、単位セメント量と350 kg/m³（一定）とし、各水セメント比によつて単位水量を決め、さらにコンクリート中に占める粗骨材の体積と、水セメント比にかかわらず一定とし、残りを細骨材で占めるよう考慮した。モルタルおよびセメントペーストの配合は、上記コンクリート中のモルタルおよびセメントペーストの配合と、それぞれ同じ配合とした。

供試体は打設後24時間実験室中（室温）に放置し、脱型後たぐら

表-1 試験条件

供試体種別	セメントペースト(P) モルタル(M) コンクリート(C)
骨材の種類	天然骨材(N) ライオナイト(L) 宇都軽骨(U)
水セメント比	30...セメントペースト 40...モルタル 50...コンクリート 60...
骨材の吸水状態	絶乾(O) 気乾(M) 表乾(A)
環境条件(湿度)	90±5%(H) 50±5%(L) 温度は20℃とする。

表-2 配合表 ボリスNo.8
C×0.25%

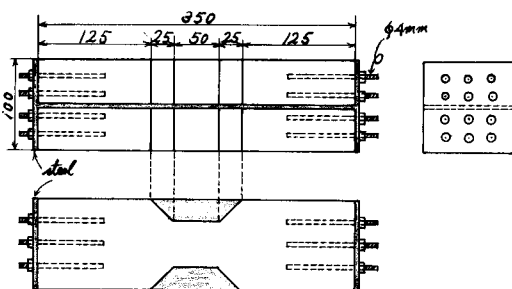
供試体	W/C	C	W	S/A	S	G
CN	40	350	140	44	860	1065
	50	"	175	43	771	"
	60	"	210	40	681	"
CLO	40	"	140	44	565	512
	50	"	175	43	525	"
	60	"	210	40	447	"
CLM	40	"	140	44	574	518
	50	"	175	43	516	"
	60	"	210	40	452	"
CLA	40	"	140	44	588	524
	50	"	175	43	527	"
	60	"	210	40	460	"
CUO	40	"	140	44	527	512
	50	"	175	43	473	"
	60	"	210	40	418	"
CUM	40	"	140	44	558	525
	50	"	175	43	500	"
	60	"	210	40	480	"
CUA	40	"	140	44	588	579
	50	"	175	43	527	"
	60	"	210	40	505	"
MN	40	576	231	1416		
	50	"	288	1270		
	60	"	346	1121		
MLO	40	"	231	929		
	50	"	288	833		
	60	"	346	736		
MLM	40	"	231	948		
	50	"	288	850		
	60	"	346	745		
MLA	40	"	231	966		
	50	"	288	866		
	60	"	346	758		
MUO	40	"	231	868		
	50	"	288	779		
	60	"	346	688		
MUM	40	"	231	918		
	50	"	288	824		
	60	"	346	725		
MUA	40	"	231	968		
	50	"	288	818		
	60	"	346	732		
P	30	1619	676			
	40	1367	546			
	50	1222	612			

に、乾燥収縮測定用供試体(10×10×40^{mm})に、ひずみ測定用のポイントゲージとはりつけた。その後すべての供試体と二組に分け、高温恒温室(90±5%, 20℃)、低温恒温室(50±5%, 20℃)にそれぞれ搬入した。

供試体数は、高温、低温恒温室に、拘束供試体、乾燥収縮測定用供試体とそれぞれ組ずつで、一配合につき合計6組ずつである。強度、弾性係数測定用供試体(10φ20^{mm} シリンダー供試体)は12本ずつ、合計24本である。

乾燥収縮ひずみの測定は、恒温室へ供試体を搬入した直後より開始した。なお、ひずみの測定にはフーゲンベルガー型ひずみ計(検長10インチ)を用いた。ひびわれ観察用の拘束供試体は、図-1に示すように、コンクリート(モルタル、セメントペースト)中にボルトを埋め込み、鋼製の型ワケにネットで固定して変形を拘束した。そして、乾燥収縮により発生する応力によって供試体中央部にひびわれが発生するよう考慮し、乾燥収縮測定用供試体と同様に保存してひびわれを観察し、1種類6面中3面にひびわれが発生した日をもって、ひびわれ発見日と定めた。また、シリンダー供試体も同様に保存し、打設後4週目とひびわれ発見日に、圧縮強度、引張強度(spilling test)、弾性係数を測定した。

図-1 拘束供試体 (単位:mm)



3. 実験結果と考察

実験は現在継続中で、表-2に示した全配合についての実験結果は講演会当日に発表することにし、本文では一部その結果が出たものについて述べる。

図-2～8は、乾燥収縮と時間の関係を示すものである。

測定開始後まだ十分に時間が経過していないものもあるため、即断することはできないが、従来より指摘されているように、乾燥収縮は供試体と環境との間の湿度勾配に起因するシーページ効果であるということがうかがわれる。すなわち、低温中に保存した供試体の乾燥収縮は、高温中のそれよりもはるかに大きい。さらに、水セメント比の異なるものほど乾燥収縮の最終値は大きくなるようである。

また、図-7、8によれば、骨材の吸水量の異なるものは、小なるものよりも、乾燥収縮量が若干大きくなるように思われる。すなわち、骨材の吸水量の異なるものでは、骨材中の水分が徐々に還散するため、初期の立ち上りは小さいが、収縮量の増加が持続し、最終的には吸水量の異なるものよりその収縮量が大きくなる。また、水セメント比の相異による収縮量の違いも、吸水量の異なる骨材を用いた供試体では、顕

図-2 乾燥収縮 (P-30, 40, 50)

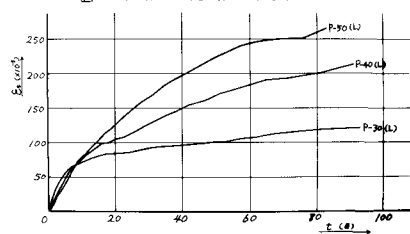
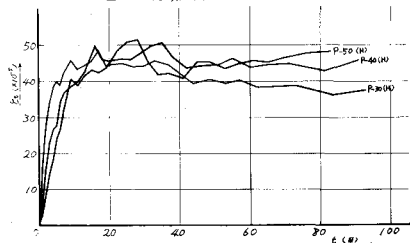


図-3 乾燥収縮 (P-30, 40, 50)



著がないようである。図-4、5のモルタルについても同様の傾向がみられる。

表-3は、強度、弾性係数の測定結果ならびに拘束ひびわれ実験の結果を一括して示したもので、空欄になっているところはまだ結果の出していないものである。

供試体打設後4週目に測定した強度、弾性係数については若干の例外はあるが、一般に水セメント比の小さなものほどその値が大になっている。また、この傾向は、低温中に保存した供試体よりも、高温中のものにおいて顕著である。これは低温中に保存した供試体では、強度が発現する時点の初期における供試体中の水分の逸散が大であるため、水和物が生成され、硬化する過程における水セメント比の影響が小さくなるためではないかと思われる。

つぎに拘束ひびわれ実験の結果について考察する。

ひびわれ発見日に測定した弾性係数(E_t)より、拘束供試体の断面縮小によるひずみ倍率： α (拘束供試体の縮小部のひずみが拘束工小でない供試体のひずみの何倍かを示す係数；計算式省略)を求め、ひびわれ発見日の乾燥収縮ひずみ(ϵ_t)より、次式によって拘束供試体中に発生している応力(σ)を求めた。

$$\sigma = E_t \epsilon = E_t \alpha \epsilon_t \quad \text{---- (1)}$$

さらに、ひびわれ発見日の強度(σ_c)との比(ひびわれに対する抵抗値)を求めた。

$$\sigma/\sigma_c = E_t \alpha \epsilon_t / \sigma_c \quad \text{---- (2)}$$

まずセメントペーストについて考察すると、引張強度との比で示したひびわれに対する抵抗値は、2.00～3.00の範囲にあるが、詳細にみれば、低温中に保存した供試体の抵抗値は、高温中に保存したものより小さくなっている。またこの二とは、強度として供試体間の変動の小さい圧縮強度との比で示した抵抗値において、より明らかである。これは低温中のものは内部構造がまだ十分に安定に對していない若残令(3日～5日)でひびわれが発生したのに対し、高温中のものは、残令がさらに進んだ後(10日～20日)であるため、内部構造のひびわれに対する抵抗値が大きくなった二とに起因するものと考えられる。

換言すれば、ひびわれの発生は、乾燥収縮により発生する応力と、そのときの引張強度(または圧縮強度)との対比により一意的に定まるものではなく、水和反応の進行段階による内部構造そのもののひびわれに対する抵抗性の相異に影響されるという二とが推察される。以上の二とは、残令28日における強度、弾性係数を用いて試算した、高温中に保存したP-30の

図-4 乾燥収縮 (MUA-40, 50, 60)

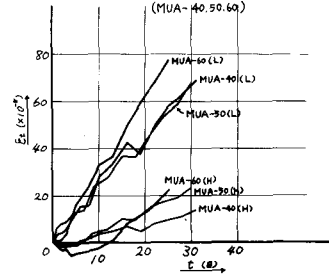


図-5 乾燥収縮 (MLA-40, 50, 60)

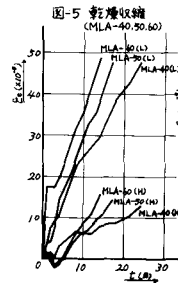


図-6 乾燥収縮 (MN-40, 50, 60)

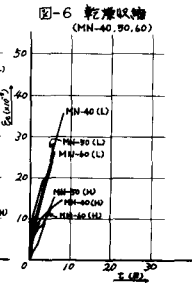


図-7 乾燥収縮 (CUA-40, 50, 60)

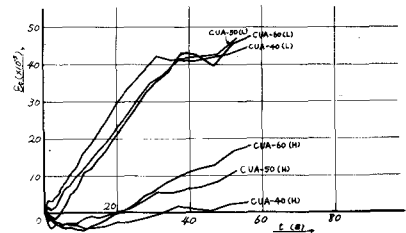
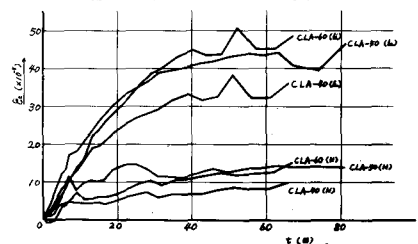


図-8 乾燥収縮 (CLA-40, 50, 60)



供試体の抵抗値が圧縮強度との比で0.14, 引張強度との比で2.30になっているが, まだひびわれを発生していないことからもうかがわれる。

つぎにモルタルについてみると, 軽量砂を用いたモルタルの抵抗値はコンクリートやセメントペーストの値に比べ, 一般に大きい。これはモルタルの乾燥収縮がコンクリートのそれよりも大きいから, 強度には差がなかったためであり, モルタルの強度の発現が, 初期においてコンクリートのそれよりもはやかったためではないかと思われる。

一方, 造粒型骨材を用いたコンクリート(CLA)と非造粒型骨材を用いた(CUA)を比較してみると, CUAシリーズの供試体では, 低温中に保存したものはひびわれがひびわれが発生しているが, CLAシリーズの供試体はまだひびわれを発生していない。

図-4, 5により乾燥収縮を比較しても大差はなく, 表-3の σ_{28} にも差がない。さらに2で述べたごとく, 単位セメント量, 単位水量, 粗骨材の体積率も同一である。したがって両者間の相違は骨材の吸水量のみである。よって, CLAシリーズとCUAシリーズで上述のような相違が出た原因は, 骨材中の自由水の挙動にあることが推察されるが, その機構については現在のとおり明らかでない。この点に関しては, 継続して行なう乾燥状態, 気乾状態の骨材を用いた実験の結果を考慮し, 検討を加えることにしたい。このような現象はモルタルにおいてもみられるようである。

以上, 現在までの結果の出たものについて簡単に述べたが, この種の実験においては, 乾燥収縮が進行する過程と強度が発現する過程とが同時に起るため, 前述したごとく, 乾燥収縮量の多寡のみにより論じることはできない。また, ひびわれに対する抵抗値は, 供試体の拘束の程度, 伸び能力, 引張りクリープ等の影響を考慮して求めなければならない。とくに, 若齢令における引張りクリープの影響は大きいと思われる。とららについては今後引き続き検討を行なうことにしたい。

参考文献

- 1) 西林, 梅本, 「コンクリートの引張クリープに関する実験」セメント技術年報XVI, 1962
- 2) 塚山, 「各種セメントを用いたコンクリートの乾燥収縮および乾燥による強度変化」, コンクリートジャーナル, Vol. 8, No. 6, June, 1970

表-3 実験結果

供試体	σ_{28} (MPa)	σ_{28} (MPa)	E_{28} ($\times 10^4$)	σ_c (MPa)	σ_c (MPa)	E_c ($\times 10^4$)	E_c ($\times 10^4$)	α	E ($\times 10^4$)	σ	σ/σ_c (comp)	σ/σ_c (tens)
P-30 L	553	214	1.04	459	246	1.98	41.6	0.83	38.5	62.3	0.15	2.78
P-30 H	649	325	2.27									
P-40 L	253	167	1.04	257	136	1.37	30.9	1.00	30.5	44.8	0.16	2.07
P-40 H	381	213	1.92	321	239	1.80	44.1	0.87	40.1	72.2	0.22	3.02
P-50 L	131	126	0.94	144	119	1.02	25.5	1.14	28.1	23.7	0.21	2.50
P-50 H	234	175	1.22	180	194	1.91	37.8	0.89	37.4	52.7	0.30	2.72
MUA L	185	182	1.29	221	172	1.29	27.9	1.06	28.5	38.2	0.19	2.22
-40 H	349	280	1.77									
MUA L	248	148	1.49	261	118	1.53	36.9	0.95	35.1	42.7	0.21	4.55
-50 H	397	268	1.86									
MUA L	198	153	1.26	179	135	1.23	43.1	0.95	40.9	62.6	0.35	4.68
-60 H	276	205	1.64									
MLA L	289	214	1.41									
-40 H	322	239	1.56									
MLA L	212	170	1.21									
-50 H	291	235	1.55									
MLA L	179	177	1.17	164	140	1.26	48.8	1.04	50.8	68.0	0.39	4.57
-60 H	229	209	1.43									
MN L												
-40 H												
MN L				216	144	2.34	24.8	0.78	19.3	43.2	0.20	3.00
-50 H												
MN L				179	154	2.04	26.1	0.82	21.4	43.7	0.24	2.84
-60 H												
CUA L	232	217	1.32	224	214	1.31	22.9	1.02	23.4	30.7	0.14	1.43
-40 H	252	219	1.75									
CUA L	126	121	0.95	130	159	1.06	21.6	1.10	23.8	26.4	0.20	1.66
-50 H	182	185	1.32									
CUA L	137	117	1.20	150	132	1.11	23.9	1.12	25.6	27.1	0.18	2.05
-60 H	188	246	1.39									
CLA L	219	189	1.60									
-40 H	238	266	2.24									
CLA L	100	124	1.29									
-50 H	216	206	1.71									
CLA L	100	140	1.29									
-60 H	153	188	1.74									

写真-拘束供試体のひびわれ

