

[64] 気中コンクリートの強度およびヤング係数に及ぼす含水分の影響

正会員 ○椎名 国雄 (東海大学工学部)

大藪 孝治 (東海大学工学部)

1. まえがき

ここでいう気中コンクリートとは、圧縮強度用試験体(φ10×20cm)で材令28日まで標準養生をしたのち、屋外、屋内または恒温恒湿室などの大気中に放置してあるもののことである。気中コンクリートを乾燥状態のまま試験する場合を乾試験とし、試験直前に水中に浸漬し吸水させたものについて試験する場合を湿試験とする。湿試験を行う場合の水中浸漬時間をここでは45~48時間とする。標準養生後、気中に移したコンクリートの乾試験強度は、標準養生終了直後に行った湿った状態での強度より大きく、乾燥による強度増加と説明されている。乾燥による強度増加は、気中にあったコンクリートを湿試験することで乾試験強度よりも小さいことから知られている。一方、ヤング係数については、乾試験による値と湿試験による値との相違は僅少であり、かつ、湿試験によるヤング係数は乾試験によるそれよりも大きい¹⁾。

このような現象は気中といっても屋内と屋外とは異なるであろうし、気中に放置されている期間の長短によっても変化すると思われる。気中コンクリートの強度やヤング係数がコンクリートの乾燥状態によって変化するのであれば、強度やヤング係数と含水分とはどのような関係にあるのであろうか。ここではコンクリートの含水分の単位として、含水率と相対湿度とを考えてみた。含水率は骨材の含水率と同様に、コンクリート供試体の表面および内部にある水の全重量の、絶乾状態にあるコンクリート重量に対する百分率とした。その際の絶乾状態とはコンクリートを105±5℃の定温器内で乾燥し、重量が変らなくなったときの重量とした。一方、相対湿度は、コンクリート供試体に予め設けた直径12mmの小空間の湿度を電気抵抗式湿度計(エース鋭感湿度計)で測定した値であり、この小空間は圧縮強度試験体とは別に、φ10×20cm円柱形供試体の長軸方向に、側面から小空間の中心の位置が1.5cmと5cmとなるように鉄筋を用いてコンクリートの硬化前に引抜いて設けた孔である。湿度測定時以外は孔の上下にゴム栓を施し、大気中の湿気と遮断して

図に用いた記号

記号	適用
○	W/C=51%
□	W/C=60%
+	W/C=69%
△	W/C=M60%

いる。ここでは、気中として屋外(屋上、神奈川県平塚市)、屋内(実験室内で冬期スチームが入る)および恒温恒湿室(20

表-1 コンクリートとモルタルの調合

種類	W/C (%)	スラン(%)	細骨材(%)	重量 (kg/m ³)				ポゾリス NO8 (g)
				水	セメント	砂	砂利	
コンクリート	51	18	42.0	173	338	752	1068	945.0
	60	18	44.0	172	285	823	1043	712.5
	69	18	46.8	180	259	860	1005	647.5
モルタル	60	-	-	286	476	1375	-	1190.0

表-2 コンクリートの打設月日(昭和57年)

種別	w/c (%)	放置場所	打設日			標準養生
			屋外	屋内	恒温恒湿	
コンクリート	51	6/30	7/2	7/26	8/24	
	60	7/21	7/23	8/2	8/24	
	69	7/28	7/30	8/30	9/8	
モルタル	60	8/4	8/6	9/6	9/8	

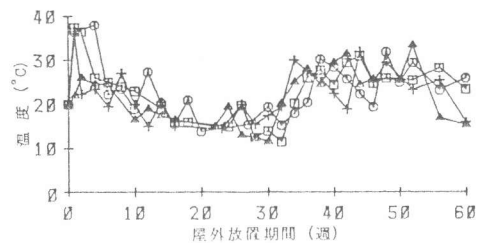


図-1 屋外供試体の温度の推移

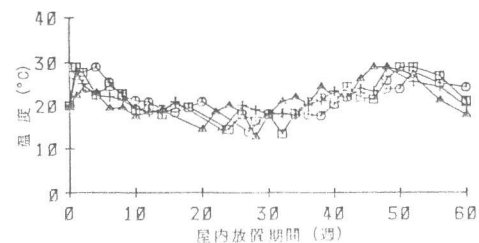


図-2 屋内供試体の温度の推移

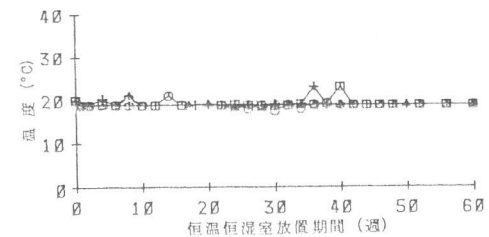


図-3 恒温恒湿室供試体の温度の推移

℃, 65%RH)を選び,標準養生材令28日以後気中に52週まで放置し,圧縮強度,ヤング係数および含水率を測定し,屋外,屋内,恒温恒湿室における相互の関連についての得た知見を報告する。

2. 実験方法

使用したコンクリートおよびモルタルの計画調合を表-1に示す。モルタルは粗骨材の影響を見るためのもので水セメント比はコンクリートと合わせてある。骨材は相模川産で細骨材は粗粒率2.88,粗骨材は玉石砕石を若干含んでおり粗粒率は6.55であった。供試体は昭和57年6月30日から同9月8日までに打設した(表-2参照)。長さ変化の測定には,100mmのコンタクトゲージを用い,湿度測定用供試体(側面から1.5cmの位置に小空間のあるものと5cmに小空間のあるもの)の側面に各3個所宛標点を接着した。ヤング係数の測定には左右にダイヤルゲージのついている間隔150mmのコンプレッソメーターを使用した。

圧縮強度およびヤング係数の測定は,標準養生材令28日およびこの日を気中放置の起点とした1,4,8,13,26および52週に行った。同一放置場所,同一放置期間の試験体は,乾試験用と湿試験用と各3本である。試験体の含水率を調べるため乾試験供試体は圧縮試験の前に,湿試験供試体は水中に浸漬する前後に重量を測定した。これらの供試体は圧縮試験終了後10.5±5℃の定温器に入れて重量がほぼ平衡になるまで(最低7日間)置いてから絶乾重量を測定した。

3. 実験結果

図-1~図-3に供試体の湿度を放置場所別に示す。屋外供試体は,湿度および湿度の測定に際し供試体を実験室に移動した。屋外供試体では夏季と冬季の温度差が27℃となり,屋内供試体のそれは16℃であった。

図-4~図-6に供試体に設けた小空間の相対湿度の推移を示す。屋外供試体は表面附近の湿度でも70%RHに下がることは珍しく,乾燥の進まないことが判る。屋内供試体の湿度は

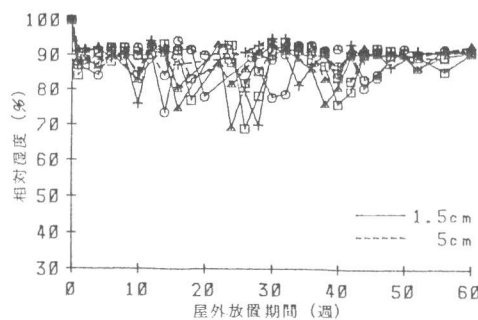


図-4 屋外供試体の内部湿度の推移

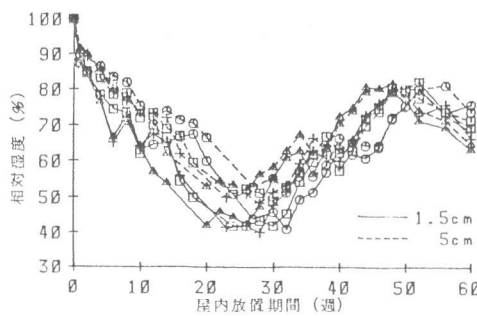


図-5 屋内供試体の内部湿度の推移

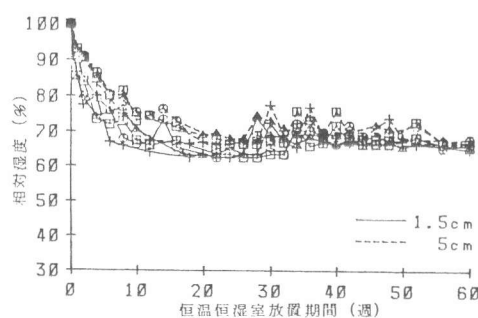


図-6 恒温恒湿室供試体の内部湿度の推移

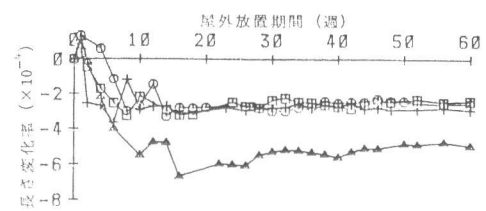


図-7 屋外供試体の長さ変化の推移

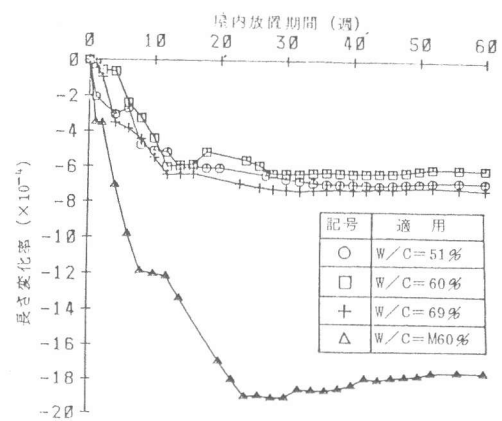


図-8 屋内供試体の長さ変化の推移

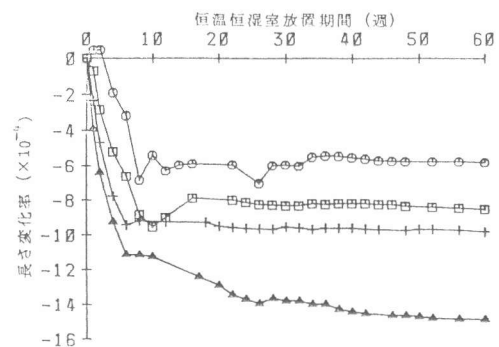


図-9 恒温恒湿室供試体の長さ変化の推移

屋内の湿度の変化に追従していることが判る。恒温恒湿室供試体の湿度は屋内供試体のそれよりも乾燥初期における低下が早かった。また、屋内、恒温恒湿室供試体も側面から中心に向かって1.5 cmの小空間と5 cmの小空間の湿度がほぼ同一となるまでに放置後40週を要している。図-7~図-9は供試体の長軸方向の長さ変化率である。長さ変化は供試体の相対湿度とも密接な関係があり、屋外では屋内や恒温恒湿室に比べて収縮が少なくなっている。また、コンクリートに比べてモルタルの収縮の大きいことが判る。

表-3は乾試験による圧縮強度である。屋外供試体の強度の増進に比べると屋内および恒温恒湿室供試体のそれは増進が少なく放置後13週までにはいずれも強度がピークに達し、以後低下していることが判る。屋内供試体ではピークに達してからの低下が顕著で、放置52週後は放置前の標準養生材令28日の値と近いことが判る。

表-3 乾試験圧縮強度の放置場所別の推移

W/C (%)	材令28日 以後の 放置場所	標準養 生材令 28日	乾試験圧縮強度 (kg/cm ²)					
			放置期間 (週)					
			1	4	8	13	26	52
51	標準養生	267	305	338	362	386	403	397
		(100)	(114)	(127)	(136)	(145)	(151)	(149)
	屋外	294	300	367	403	402	444	424
		(100)	(102)	(125)	(137)	(137)	(151)	(144)
	屋内	288	355	363	394	364	356	332
		(100)	(123)	(126)	(137)	(127)	(124)	(115)
20℃ 65%RH	315	376	416	438	432	392	391	
	(100)	(120)	(132)	(139)	(137)	(125)	(124)	
60	標準養生	234	242	295	324	344	356	364
		(100)	(104)	(126)	(139)	(147)	(153)	(156)
	屋外	236	290	322	342	332	393	318
		(100)	(123)	(137)	(145)	(141)	(167)	(135)
	屋内	213	256	275	278	283	256	224
		(100)	(120)	(129)	(130)	(133)	(120)	(105)
20℃ 65%RH	227	304	306	291	284	298	268	
	(100)	(134)	(135)	(128)	(125)	(131)	(118)	
69	標準養生	176	186	217	238	261	273	296
		(100)	(106)	(123)	(136)	(148)	(155)	(168)
	屋外	192	208	269	282	282	297	284
		(100)	(108)	(140)	(147)	(147)	(155)	(148)
	屋内	195	218	239	250	233	235	192
		(100)	(112)	(123)	(128)	(119)	(121)	(98)
20℃ 65%RH	174	232	257	251	258	248	229	
	(100)	(133)	(147)	(144)	(148)	(143)	(132)	
モルタル	標準養生	302	326	375	421	452	475	509
		(100)	(108)	(124)	(139)	(150)	(157)	(168)
	屋外	291	331	408	434	427	446	450
		(100)	(114)	(140)	(149)	(147)	(153)	(155)
	屋内	319	361	423	420	424	402	331
		(100)	(113)	(132)	(131)	(133)	(126)	(104)
20℃ 65%RH	297	381	429	393	423	404	379	
	(100)	(128)	(145)	(132)	(142)	(136)	(127)	

() 内は標準養生材令28日の強度に対する百分率

表-4 湿試験圧縮強度の放置場所別の推移

W/C (%)	材令28日 以後の 放置場所	標準養 生材令 28日	湿試験圧縮強度 (kg/cm ²)					
			放置期間 (週)					
			1	4	8	13	26	52
51	屋外	294	292	317	390	372	372	370
		(100)	(99)	(108)	(133)	(127)	(127)	(126)
	屋内	288	320	314	336	315	312	271
		(100)	(111)	(109)	(117)	(109)	(108)	(94)
	20℃ 65%RH	315	333	376	362	337	308	301
		(100)	(106)	(120)	(115)	(107)	(98)	(96)
60	屋外	236	269	297	317	331	329	332
		(100)	(114)	(126)	(135)	(141)	(140)	(141)
	屋内	213	221	255	230	227	223	199
		(100)	(104)	(120)	(108)	(106)	(105)	(93)
	20℃ 65%RH	227	262	256	242	243	243	220
		(100)	(115)	(113)	(106)	(107)	(107)	(97)
69	屋外	192	215	248	267	246	263	242
		(100)	(112)	(129)	(139)	(128)	(132)	(126)
	屋内	195	207	210	202	195	178	166
		(100)	(106)	(108)	(104)	(100)	(91)	(85)
	20℃ 65%RH	174	223	199	212	198	195	189
		(100)	(128)	(114)	(122)	(113)	(112)	(108)
モルタル	屋外	291	297	355	366	403	387	379
		(100)	(102)	(122)	(126)	(139)	(133)	(130)
	屋内	319	341	373	360	354	316	282
		(100)	(107)	(117)	(113)	(111)	(99)	(88)
	20℃ 65%RH	297	331	339	323	344	323	302
		(100)	(111)	(114)	(109)	(116)	(109)	(102)

() 内は標準養生材令28日の強度に対する百分率

表-5 乾試験ヤング係数の放置場所別の推移

W/C (%)	材令28日 以後の 放置場所	標準養 生材令 28日	乾試験によるヤング係数 ($\times 10^5$ kg/cm ²)					
			放置期間 (週)					
			1	4	8	13	26	52
51	標準養生	2.74	2.72	2.93	3.15	3.13	3.30	3.27
		(100)	(99)	(107)	(115)	(114)	(121)	(119)
	屋外	3.15	2.98	2.36	2.71	2.86	2.77	2.72
		(100)	(95)	(75)	(87)	(91)	(88)	(87)
	屋内	3.11	2.62	2.77	2.49	2.39	2.25	2.12
		(100)	(84)	(89)	(80)	(77)	(72)	(68)
20℃ 65%RH	2.94	2.66	2.58	2.46	2.43	2.27	2.27	
	(100)	(90)	(88)	(83)	(83)	(77)	(76)	
60	標準養生	2.43	2.70	2.88	2.88	2.99	3.11	3.14
		(100)	(111)	(119)	(119)	(123)	(128)	(129)
	屋外	2.59	2.26	2.49	2.70	2.63	2.39	2.39
		(100)	(87)	(96)	(105)	(102)	(92)	(92)
	屋内	2.49	2.55	2.11	2.23	2.04	1.67	1.77
		(100)	(103)	(85)	(90)	(82)	(67)	(71)
20℃ 65%RH	2.60	2.48	2.34	2.27	2.23	2.14	2.07	
	(100)	(95)	(90)	(87)	(86)	(82)	(79)	
69	標準養生	2.32	2.45	2.69	2.57	2.71	2.97	2.91
		(100)	(106)	(116)	(111)	(117)	(128)	(126)
	屋外	2.36	2.13	2.24	2.46	2.56	2.14	2.34
		(100)	(90)	(95)	(105)	(109)	(91)	(99)
	屋内	2.37	2.30	2.14	1.93	1.91	1.70	1.58
		(100)	(97)	(91)	(82)	(81)	(72)	(67)
20℃ 65%RH	2.40	2.11	1.98	1.95	1.88	1.83	1.69	
	(100)	(88)	(83)	(81)	(78)	(76)	(70)	
モルタル	標準養生	1.88	1.98	2.08	2.27	2.30	2.44	2.63
		(100)	(104)	(110)	(121)	(123)	(130)	(140)
	屋外	1.87	1.87	1.80	1.89	2.02	1.89	1.87
		(100)	(100)	(96)	(101)	(108)	(101)	(100)
	屋内	2.01	1.91	1.98	1.88	1.78	1.69	1.59
		(100)	(95)	(98)	(93)	(89)	(84)	(79)
20℃ 65%RH	1.85	1.88	1.83	1.86	1.85	1.81	1.77	
	(100)	(102)	(99)	(101)	(100)	(98)	(96)	

() 内は標準養生材令28日のヤング係数に対する百分率

表-6 湿試験ヤング係数の放置場所別の推移

W/C (%)	材令28日 以後の 放置場所	標準養 生材令 28日	湿試験によるヤング係数 ($\times 10^5$ kg/cm ²)					
			放置期間 (週)					
			1	4	8	13	26	52
51	屋外	3.13	3.16	2.68	2.86	2.95	2.97	2.87
		(100)	(101)	(86)	(91)	(94)	(95)	(92)
	屋内	3.11	2.75	2.80	2.77	2.46	2.34	2.22
		(100)	(89)	(90)	(89)	(79)	(75)	(71)
	20℃ 65%RH	2.94	2.85	2.70	2.60	2.63	2.33	2.50
		(100)	(97)	(92)	(88)	(90)	(79)	(85)
60	屋外	2.59	2.44	2.56	2.75	2.69	2.62	2.34
		(100)	(94)	(99)	(106)	(103)	(101)	(91)
	屋内	2.49	2.64	2.41	2.20	2.15	1.90	1.80
		(100)	(106)	(97)	(88)	(86)	(76)	(72)
	20℃ 65%RH	2.60	2.79	2.28	2.28	2.38	2.21	2.01
		(100)	(107)	(88)	(88)	(91)	(85)	(77)
69	屋外	2.36	2.33	2.47	2.55	2.58	2.41	2.35
		(100)	(99)	(105)	(108)	(110)	(102)	(100)
	屋内	2.37	2.46	2.29	2.21	2.12	1.76	1.61
		(100)	(104)	(97)	(93)	(90)	(75)	(68)
	20℃ 65%RH	2.40	2.23	2.15	2.02	1.92	1.72	1.66
		(100)	(93)	(90)	(84)	(80)	(72)	(69)
モルタル	屋外	1.08	1.83	1.97	2.08	2.06	1.86	1.84
		(100)	(98)	(105)	(111)	(110)	(99)	(99)
	屋内	2.01	2.01	1.98	1.91	1.73	1.65	1.58
		(100)	(100)	(98)	(90)	(86)	(82)	(78)
	20℃ 65%RH	1.85	1.89	1.86	1.68	1.69	1.71	1.73
		(100)	(102)	(101)	(91)	(91)	(92)	(94)

() 内は標準養生材令28日のヤング係数に対する百分率

屋外供試体の強度増加は、放置後13週までは標準養生よりも大きいですが、13週以後は楕ばいに近くなり、強度が増加する標準養生との差は次第に大きくなって行く。

表-4は湿試験による圧縮強度である。湿試験強度は同一放置期間の乾試験強度に比べて恒温恒湿室供試体ではおよそ20%、屋内供試体ではおよそ15%、屋外供試体ではおよそ10%低くなっている。放置後52週における恒温恒湿室供試体の値は放置前の標準養生材令28日の値にかなり近く、屋内供試体ではいずれも放置前の値を下回っている。屋外供試体の低下が少ないのは、屋外では比較的乾燥が進まず乾燥による見掛けの強度増加に代って、水和による強度増加が行われるためと思われる。

表-5は乾試験によるヤング係数である。放置後52週におけるヤング係数の値は、標準養生材令28日の値の屋内で約70%、恒温恒湿室で約80%、屋外では87~100%であった。またモルタルはコンクリートに比べてヤング係数の低下が少なかった。

表-6は湿試験によるヤング係数である。湿試験によるヤング係数は乾試験によるそれと同程度か僅かに大きいのであった。モルタルはコンクリートに比べて低下が少なく、これは粗骨材のないことで内部にマイクロクラックなどが生じにくいからと思われる。

表-7は乾試験供試体の、表-8は湿試験供試体の含水率である。含水率は屋内で約3%、恒温恒湿室で約4%、屋外供試体では5~6%になるようである。モルタルはこれらコンクリートに比べると約2%は高い。湿試験供試体では、標準養生の85~93%の水を吸水している。45~48時間吸水した含水量を飽和状態と考え、それぞれ気中コンクリートの含水量を除いた百分率で示した飽和度は、放置期間と含水分との関係をよく表わしている。

4. 結 論

気中コンクリートの乾燥による強度増進にはピークがあって含水率だけでは説明が困難で表面と内部との含水差(湿度差)を考慮することが必要である。

気中コンクリートの乾燥に伴うヤング係数の低下は、含水率やコンクリートの内部湿度の低下と関連づけての説明が可能であるが、吸水させた場合はヤング係数の増加が少なく含水分だけでは説明ができない劣化を含む。参考文献(一部既発表) 1) 推名: R.C造スラブは養生が大切, 建築文化, Vol.38, No.444, 1983, 10

表-7 乾試験供試体の放置場所別重量変化率の推移

W/C (%)	材令28日以後の放置場所	標準養生材令28日	乾試験供試体の重量変化率 (%)						
			放置期間 (週)						
			1	4	8	13	26	52	
51	標準養生	7.83	8.14	8.24	8.26	8.42	8.26	8.52	
		(100)	(100)	(105)	(106)	(108)	(106)	(109)	
	屋外	7.61	6.17	5.29	5.94	6.14	5.64	5.41	
		(100)	(81)	(70)	(78)	(81)	(74)	(71)	
	屋内	7.67	5.84	5.41	4.97	5.02	3.78	3.43	
		(100)	(76)	(71)	(65)	(65)	(49)	(45)	
	20°C 65%RH	8.07	6.13	5.33	4.96	5.32	4.33	4.22	
		(100)	(76)	(66)	(62)	(66)	(54)	(52)	
	60	標準養生	8.68	8.23	8.46	8.50	8.55	8.63	8.89
			(100)	(95)	(98)	(98)	(99)	(99)	(102)
屋外		7.99	5.36	6.09	5.61	6.81	4.96	6.82	
		(100)	(67)	(76)	(70)	(85)	(62)	(85)	
屋内		8.63	6.23	5.52	4.62	4.42	3.22	3.18	
		(100)	(72)	(64)	(54)	(51)	(37)	(37)	
20°C 65%RH		8.57	5.75	5.11	4.64	4.58	4.06	4.02	
		(100)	(67)	(60)	(54)	(53)	(48)	(47)	
69		標準養生	9.06	8.88	9.40	9.84	10.06	9.35	9.65
			(100)	(98)	(104)	(109)	(111)	(103)	(107)
	屋外	9.31	6.52	6.43	6.58	6.36	5.46	5.89	
		(100)	(70)	(69)	(71)	(68)	(59)	(63)	
	屋内	9.34	6.07	5.01	4.57	4.42	5.62	3.12	
		(100)	(65)	(54)	(49)	(47)	(60)	(33)	
	20°C 65%RH	8.93	6.07	4.16	4.69	4.47	4.25	3.86	
		(100)	(68)	(47)	(53)	(50)	(48)	(43)	
	モルタル	標準養生	13.74	13.26	13.80	13.61	14.34	13.58	13.78
			(100)	(97)	(100)	(99)	(104)	(98)	(100)
屋外		13.76	11.80	9.87	10.51	9.90	9.65	8.56	
		(100)	(86)	(72)	(76)	(72)	(70)	(62)	
屋内		13.63	10.73	8.75	7.65	7.10	6.01	5.56	
		(100)	(79)	(64)	(56)	(52)	(44)	(41)	
20°C 65%RH		13.38	9.97	8.95	8.40	7.80	6.97	6.48	
		(100)	(75)	(67)	(63)	(58)	(52)	(48)	

() 内は標準養生材令28日の含水率に対する百分率

表-8 湿試験供試体の放置場所別重量変化率の推移

W/C (%)	材令28日以後の放置場所	標準養生材令28日	湿試験供試体の重量変化率 (%)							
			放置期間 (週)							
			1	4	8	13	26	52		
51	屋外	48h水中飽和度	7.61	6.67	5.26	6.49	6.28	5.59	5.34	
		飽和度	-	7.25	6.86	7.04	7.61	6.83	6.58	
	屋内	48h水中飽和度	7.67	6.12	5.36	5.06	5.15	3.82	3.48	
		飽和度	-	6.80	6.94	6.93	7.47	7.06	6.93	
	20°C 65%RH	48h水中飽和度	8.07	6.43	5.55	5.08	4.82	4.27	4.11	
		飽和度	-	7.29	6.93	6.64	6.96	6.92	7.04	
	60	屋外	48h水中飽和度	7.99	5.73	6.21	6.02	5.88	5.34	5.96
			飽和度	-	7.49	7.59	6.90	7.18	6.88	6.73
		屋内	48h水中飽和度	8.63	6.54	5.18	4.50	4.37	3.38	3.37
			飽和度	-	8.04	7.50	7.13	7.40	7.53	7.70
20°C 65%RH		48h水中飽和度	8.57	6.39	5.28	4.67	5.00	4.17	3.92	
		飽和度	-	7.52	7.19	7.06	7.75	7.49	7.24	
69		屋外	48h水中飽和度	9.31	7.58	7.22	4.99	6.14	5.49	5.71
			飽和度	-	8.21	7.94	6.81	7.64	7.43	7.23
		屋内	48h水中飽和度	9.34	6.55	5.24	4.64	4.63	5.46	3.16
			飽和度	-	8.08	7.71	7.86	8.21	10.26	7.68
	20°C 65%RH	48h水中飽和度	8.93	6.60	5.09	4.69	4.53	4.27	3.86	
		飽和度	-	8.13	7.66	7.73	8.01	8.25	7.81	
	モルタル	屋外	48h水中飽和度	13.76	10.51	10.04	10.53	9.61	9.02	8.77
			飽和度	-	12.34	11.82	12.57	11.48	11.14	10.71
		屋内	48h水中飽和度	13.63	11.16	8.81	7.91	7.34	6.02	5.60
			飽和度	-	12.29	10.97	11.07	11.28	11.73	11.71
20°C 65%RH		48h水中飽和度	13.38	10.42	9.04	8.22	7.77	7.64	6.41	
		飽和度	-	11.96	11.88	11.69	12.08	12.01	11.91	

() 内は新中気率/48h水中含水率の百分率