

福岡大学 正員 大和竹史

1. まえがき

現在のところ、凍結融解作用に対するコンクリートの相対的耐乏性は室内凍結融解試験として判断しているようである。しかしながら、現場の気象条件と室内試験の条件に大きな違いがあるため室内試験の結果より現場の結果を推定することが正当であるか疑問が生じる。

現場における戶外曝露試験を実施し、室内試験結果との間にどの程度の相関性が存在するかが検討するのが本研究の主目的である。現在、戶外曝露試験よりまだ1ヶ年も経っていないので、本報告は中間報告にとどまらざるを得ない。

2. 試験概要

2.1 使用材料

使用したセメントはおもに普通ポルトランドセメント(N, 比重3.16)であるがその他に早強ポルトランドセメント(S, 比重3.13), フライアッシュセメントB種(F, 比重2.93)および高炉セメントB種(K, 比重3.03)を使用した。粗骨材は普通骨材としておもに角内石砕石(AM, 比重2.95, 吸水量0.97%)を使用した。その他に玄武岩(BA, 比重2.73, 吸水量0.68%), 安山岩(AN, 比重2.78, 吸水量0.43%), 石灰石(LI, 比重2.69, 吸水量0.44%), 蛇紋岩(SE, 比重3.06, 吸水量0.78%)を使用した。人工軽量骨材として造粒型(NL, 比重1.34, 1日吸水量7.53%)と非造粒型(比重1.41, 1日吸水量9.12%)をそれぞれ1種類づつ使用した。細骨材にはほとんどの配合に海砂(比重2.59, 吸水量1.83%, 粗粒率2.30)を使用した。減水剤としては減水剤のボゾリスNo.5L, サンフローS, チューポールC, マ

ジリン100, AE剤のボゾリスH, サンフローAE, チューポールAE, ビンゾールを使用した。

2.2 配合設計と供試体作製

室内試験と戶外曝露試験におけるコンクリートの配合設計は同一のものである。試験はシリーズIからVIIIよりなり、配合の種類は51種類である。シリーズIからIIIはそれぞれセメント、粗骨材、減水剤の種類、シリーズIVはまだ固まらないコンクリートの空気量、シリーズVは水セメント比、シリーズVIは練り

表-1 コンクリートの配合

シリーズ	コンクリートの種類	セメント (kg/m ³)	粗骨材 (kg/m ³)	スラック (mm)	空気量 (%)	水セメント比 (%)	粗骨材率 (%)	単 位 量 (kg/m ³)				
								水	セメント	細骨材	粗骨材	混和剤
I	N	20	55	41	46	40		161	350	707	1215	1.750
	S	"	93	62	"	"		159	347	696	1201	1.735
	F	"	95	50	43	"		149	346	702	1210	1.730
	K	"	68	29	45	"		160	345	712	1230	1.775
II	BA	40	82	29	45	36		155	344	658	1237	1.720
	BAN	"	74	17	49	"		166	338	660	1242	-
	AN	"	88	28	45	"		155	344	660	1259	1.720
	ANN	"	10.4	12	49	"		167	340	663	1270	-
	LI	"	11.0	2.9	45	"		155	344	658	1219	1.720
	LIN	"	12.0	1.5	49	"		166	338	663	1227	-
	SE	"	8.1	3.6	45	"		154	341	655	1374	1.705
	SEN	"	8.0	1.4	49	"		166	340	663	1395	-
IV	A-0	20	83	1.1	53	40		188	354	714	1219	-
	A-2	"	79	2.5	"	"		185	348	704	1203	0.0075
	A-3	"	12.5	4.5	"	"		178	335	695	1188	0.00504
	A-4	"	9.7	5.0	"	"		171	322	701	1198	0.00651
	A-6	"	13.5	6.0	"	"		173	325	688	1176	0.00976
	A-8	"	14.8	9.0	"	"		157	297	683	1166	0.0240
	A-10	"	14.6	9.5	"	"		160	303	672	1149	0.0300
V	2045	20	8.0	4.5	45	40		157	348	712	1218	1.740
	2053	"	9.2	4.6	53	42		159	300	761	1198	1.500
	2062	"	10.7	3.8	62	44		171	275	803	1162	1.375
	2070	"	14.8	4.2	70	45		175	250	821	1142	1.250

混ぜ時の人工軽量骨材の吸水状態、シリーズⅣはセメント量の内割として混入するフライアッシュ混入率、以上の諸項目の耐久性に及ぼす影響を検討するもので、シリーズⅣは舗装コンクリート、ダムコンクリート、プレストレストコンクリートおよび建築用コンクリートの部類にはいるコンクリートならびに研砕コンクリートの耐久性を検討するものである。

表-2 コンクリートの強度

コンクリート種別	試体番号	材令 7 日		材令 28 日	
		圧縮強度(N/mm ²)	引張強度(N/mm ²)	圧縮強度(N/mm ²)	引張強度(N/mm ²)
I	N	37.0	30.1	48.3	35.5
	S	41.4	30.9	49.7	39.5
	F	31.3	23.8	43.4	29.4
	K	30.7	20.9	51.3	31.5
	BA	29.8	27.5	32.8	37.4
II	BAN	24.5	29.6	36.1	33.5
	AN	31.6	28.0	36.5	31.7
	ANN	27.3	29.5	37.3	29.4
	LI	33.3	24.1	39.2	31.4
	LIN	27.3	23.5	36.9	26.1
III	SE	30.9	28.1	33.6	30.1
	SEN	25.5	30.7	36.0	32.5
	A-0	25.3	23.6	35.5	26.5
	A-2	22.6	25.2	33.2	26.7
	A-3	19.1	19.5	27.6	28.8
IV	A-4	21.2	20.3	27.1	27.3
	A-6	19.3	21.3	21.1	29.3
	A-8	15.1	18.2	17.1	23.7
	A-10	16.6	19.7	18.9	26.8
	2045	32.3	28.2	41.8	31.3
V	2053	28.0	23.0	36.8	31.7
	2062	20.0	19.6	26.0	24.1
	2070	13.8	16.7	19.4	19.0

シリーズⅣおよびⅣを除く各シリーズでスランプと空気量はできるだけ一定になるようにした。コンクリートの配合試験は46年8月から9月にかけて行なった。表-1および表-2にコンクリートの配合強度を示す。断面の都合で一部のものを掲載した。

戶外曝露試験用供試体の作製は46年10月に行なった。供試体はφ15×30cmのシリンドーがおもであり

この他にφ10×20cm、φ20×40cm、φ30×60cmのシリンドーも作製した。供試体は打ち込み型に脱型し、約20℃の水中で材令28日まで養生した。室内試験用供試体の作製時期は必ずしも一定ではない。供試体の形状寸法はφ10×20cmのシリンドーとした。打ち込み後の脱型、養生は前記の要領と同様である。

2.3 室内試験方法

室内試験はASTM-C290の水中急速凍結融解試験方法に準じて行なった。凍結最低温度は-18℃、融解最高温度は4℃であり、1日に8サイクルの凍結融解を与えるものとする。供試体はビームが使用されるのが普通であるが戶外曝露試験にシリンドーを使用したのでφ10×20cmのシリンドーを1配合につき3本試験した。試験は材令28日より開始し、300サイクルで終了することにした。測定項目は寸法、重量および動弾性係数とする。測定時期は試験前、水中より取り出した直後と試験開始後104サイクルまで8サイクル毎に、それ以降は24サイクル毎に設けた。

2.4 戶外曝露試験方法

戶外曝露試験の現場は下釜ダムの上流側地床とダムスラストブロック上との二ヶ所である。上流側地床ではコンクリートブロック上と地面上に直接、供試体を立てて設置した。ブロック台上面のレベルは309.226mであるがこの地床はダム貯水位の変動により供試体が浸水したり露出したりする。また、スラストブロック上ではコンクリート台上の大气中と水槽中に供試体を設置した。大气中の供試体設置場所は直接、風雨にさらされる場所であり、水槽中には常に供試体を覆うだけの水を入れている。

供試体の設置は46年11月下旬で設置時のコンクリートの材令は配合の種類によりまちまちであり、40日前後である。上流側地床にはシリーズⅠからⅣまでの全シリーズの供試体を、スラストブロック上にはシリーズⅠ、Ⅱ、Ⅳ、Ⅴ、Ⅵの供試体を設置した。

測定項目は供試体の寸法、重量、動弾性係数およびひずみである。寸法は径と高さをノギスで0.1mm

まで、重量はグラムまで測定した。ひずみはカールソン型ひずみ計をφ20×40cmのシリンダー中央部に埋設して測定した。

測定は46年12月、47年2月、4月、12月、48年4月、12月と49年以降は毎年、4月と12月に行なう。また、この地質における1日の最高および最低気温およびダム貯水水位を記録し、野外曝露試験の結果を検討する際の参考にする。

3. 室内試験結果

47年6月末現在で終了した室内試験はシリーズI（セメントの種類）、シリーズIV（空気量）およびシリーズVII（人工軽量骨材コンクリート）の計である。各シリーズにおけるコンクリートの耐圧性指数（D.F）と重量百分率を表-3に示す。耐圧性指数は次式で求める。重量百分率は試料28日の重

$$\text{耐圧性指数 (D.F)} = P \cdot N / M \quad (\%)$$

ここで P : 凍結融解のサイクル数がNのときの相対動弾性係数百分率

N : 相対動弾性係数が60%になったときの凍結融解のサイクル数、もし300回までに60%にならないときは300。

M : あらかじめ定められている凍結融解のサイクル数

量を100としてあらわしたものである。

シリーズIについてみると、早強ポルトランドセメント、フライアッシュセメントB種、高炉セメントB種でD.Fはほぼ等しく、普通ポルトランドセメントがやや低い値を示した。重量百分率が99%と非常に重量減少の少ない高炉セメントは観察したばかりでもはっきりと表面の劣化が他のセメントコンクリートに比べて少なかった。

シリーズIVではまだ固まらないコンクリートの空気量（目標値）が3%以上の場合、D.Fがすべて80%以上になったがNON AEコンクリートのA-0ではD.Fが26%で極端に小さくなっている。このように室内急速凍結融解試験ではAEコンクリートとNON AEコンクリートで耐久性に格段の差がある結果が得られた。重量百分率は98%から99%であり大差なかった。

シリーズVIIでは使用時の人工軽量骨材の吸水状態を変化させたコンクリートの耐圧性を比較検討するのが目的であるがまだ、絶乾状態の粗骨材を使用する場合の試験を行っていないので結論的なことは言えないが造粒型（NLS0, NLS1, NLS3）の方が非造粒型（SLS0, SLS1, SLS3）より耐圧性が大である傾向がでている。造粒型人工軽量骨材の1日吸水量は

表-3. 室内試験結果

7.53%、3日吸水量は8.69%である。一方、非造粒型人工軽量骨材の1日吸水量は9.12%、3日吸水量は11.29%である。1日吸水量、3日吸水量とも非造粒型人工軽量骨材の方が大きく、吸水量の大きい方が耐久性が劣る傾向が確かめられた。また、1日吸水量と3日吸水量の差の影響は造粒型人工軽量骨材の方にみられた。

4. 野外曝露試験結果

野外曝露試験はまだ、緒についたばかりであり、現場における測定は、スラストブロック上設置の供試体につい

シリーズ	コンクリートの種類	耐圧性指数(%)	重量百分率(%)
I	N	77	88
	S	83	91
	F	84	92
	K	84	99
IV	A-0	26	98(128c)
	A-3	84	98
	A-4	83	98
	A-6	90	99
	A-10	92	99
VII	SLS0	未	未
	SLS1	11	101(56c)
	SLS3	11	101(56c)
	NLS0	未	未
	NLS1	31	100(152c)
	NLS3	42	99(224c)

て、46年12月、47年2月、4月であり、上流地帯設置の供試体については47年1月に浸水したので測定は46年12月のみである。

種々のコンクリートに対する動弾性係数の変化を材令28日まで水中養生した後、測定した材令28日の値を100と表-4に示す。表-4には上流地帯に設置のシリーズIV、VIIIおよびVIIIの供試体の測定結果およびカルソン計器によるひずみ測定結果は省略した。表中でシリーズVの8045は粗骨材の最大寸法が80mmのコンクリートを40mmフィルでウエットスクリーニングして作製したφ15×30cmのシリンドラーの測定結果である。上流地帯ではコンクリート台と地面の上に供試体を設置したが今回の結果にはこれらを見越せず動弾性係数百分率を算出した。

表-4の結果は供試体設置後5ヶ月までの結果であるから、設置箇所、使用材料、コンクリートの配合などの相違により、動弾性係数百分率に大きい相違は生じていないようである。動弾性係数は概ね増加に伴い増加しているものもある。表-5に47年1月の水位・気温を参考のため示す。

5. あとがき

戸外曝露試験はまだ1ヶ年に満たず、室内試験もすべてを終了していないので経過報告にとどめた。今後、この試験を続行するとともにさらに検討を加えてゆく所存である。

最後にあたり、本研究の戸外曝露試験場所の選定ならびに提供御終かいいただきました福岡大学坂宏教授、建設省下笠石原、弘工事事務所沢栄所長に厚謝礼申し上げます。また、本研究は昭和45年度吉田奨励金を授けられたもので心より感謝いたします。

表-4 戸外曝露試験結果

シリーズ	コンクリート の種類	スラストブロック							上流地点
		水槽中			大気中				
		46/12	47/1	47/4	46/12	47/2	47/4	46/12	
Ⅰ	N	93	106	98	93	101	97	93	
	S	95	107	99	98	107	103	88	
	F	96	108	98	96	105	102	95	
	K	91	102	97	91	101	98	92	
Ⅱ	BA	103	116	109	102	111	104	102	
	BAN	93	104	95	93	101	107	93	
	AN	104	116	104	105	112	123	103	
	ANN	94	104	94	94	102	112	93	
	LI	96	116	104	96	106	97	96	
	LIN	91	105	99	91	98	90	91	
	SE	100	115	104	101	109	121	99	
Ⅳ	SEN	91	108	97	92	100	112	88	
	A-0	92	102	97	94	102	99	93	
	A-2	91	101	98	91	99	94	94	
	A-3	90	101	94	91	99	98	95	
	A-4	91	102	97	92	99	92	90	
	A-6	89	106	96	89	97	98	92	
	A-8	92	101	98	91	99	99	94	
	A-10	91	102	98	91	99	99	94	
Ⅴ	2045	94	106	97	93	102	96	90	
	2053	95	109	100	96	108	100	95	
	2062	97	106	100	97	105	100	94	
	2070	95	105	101	96	104	100	94	
	4045	90	103	97	90	99	94	90	
	4053	92	103	96	91	99	95	91	
	4062	91	103	100	93	101	95	91	
	4070	91	104	99	91	98	94	92	
	8045	93	105	99	94	103	110	95	
	8053	89	100	93	94	102	96	93	
	8062	99	112	107	100	109	101	102	
Ⅵ	8070	100	112	105	86	93	88	100	
	SLO	100	108	102	100	105	105	99	
	SLSI	99	108	102	100	107	109	101	
	SLS3	98	107	101	98	105	104	100	
	NLO	99	106	106	98	103	103	98	
	NLSI	99	107	102	99	104	104	97	
	NLS3	99	107	101	103	103	103	98	

表-5 水位・気温記録

期日	貯水位 (m)	気温(°C)	
		最高	最低
1	308.995	8.5	1.2
2	309.240	8.5	-1.0
3	309.480	5.0	-3.5
4	309.710	13.0	-2.0
5	310.050	13.0	7.0
6	310.400	9.0	2.5
7	310.670	5.0	-1.5
8	310.915	8.2	-2.1
9	311.155	12.0	-1.5
10	311.390	12.0	0.0
11	311.870	8.0	5.5
12	312.620	7.5	5.0
13	313.120	7.5	4.0
14	313.500	7.0	-1.5
15	313.830	8.0	-1.0
16	314.160	5.0	1.5
17	314.455	4.5	-2.5
18	314.705	8.0	-3.0
19	314.955	10.0	-0.2
20	315.205	12.0	0.0
21	315.480	14.0	1.5
22	315.720	11.0	-1.0
23	315.950	10.5	-3.0
24	316.165	17.0	-1.0
25	316.730	17.0	-1.0
26	317.295	16.0	-2.5
27	317.750	4.0	-1.0
28	318.115	11.0	-4.0
29	318.450	5.0	-4.5
30	318.785	8.0	-3.0
31	319.100	11.0	0.0



写真

上流地帯における戸外曝露状況。