特別応用研究報告 No. 14-0##

コンクリートの耐凍害性能に及ぼす 配合と製造方法の影響

2014年8月6日

岐阜大学大学院工学研究科博士前期課程 社会人プログラム 社会基盤工学専攻

1123121014 名知宣博

コンクリート2次製品に要求される性能には力学性能と耐久性能とがある。近年インフ ラの長寿命化が叫ばれる中で、特に耐久性能が高いコンクリート製品が求められている。 この研究においては、耐久性能の中でも寒冷地で問題になっている凍害に対してスポット をあて、コンクリートの耐凍害性能に及ぼす配合と製造方法の影響について調査した。

弊社では、遠心力製法によってヒューム管や円形側溝を流し込み製法によって集水桝や 境界ブロックを製造している。またレジンコンクリートにてマンホール、ヒューム管、景 観製品等を製造している。これらの製品は寒冷地へ出荷することも多く、耐凍害性能の高 い高耐久な製品が求められている。近年、寒冷地域の顧客より、コンクリート製の円形側 溝について、耐凍害性能の高い製品を求められることが多くなってきた。そこで、製造方 法と配合の違うコンクリートの凍結融解試験を行い耐凍害性能の違いを確認した。

一般的に、①微細な連続気泡エントレンドエアーが 4~6%あるコンクリート、②遠心力 製法で製造したコンクリート、③振動と圧縮力加えたゼロスランプの即時脱型コンクリー ト、④レジンコンクリートなどが凍害に強いと言われている。今回はこれらのコンクリー トの凍結融解試験を行い、耐凍害性能を確認した。また対比として、通常円形側溝で使用 されるプレーンコンクリートについても凍結融解試験を行い、耐凍害性能の確認を行なっ た。

その結果、相対動弾性係数と質量減少率から見て、遠心力製法で製造したコンクリート の耐凍害性が一番高いことがわかった。また AE コンクリートはプレーンコンクリートより 耐凍害性があり、両者ともセメント量が多く水セメント比が低いコンクリーの耐凍害性が 高いことがわかった。即時脱型製法のコンクリートでは、密度が高い密なコンクリートの 方が低いものより耐凍害性が高いことがわかった。レジンコンクリートの耐凍害性は高い が、劣化のメカニズムがセメントコンクリートと違うことが考えられた。



高山市内にて凍害により著しく劣化した円形側溝と原型をとどめない位に劣化した 境界ブロック(AEコンクリート流し込み製品と思われる。)

目次

1.	まえがき	 • -
1.	まんかさ	

2. 供試体の作製状況

2.1	遠心力供試体の作製状況 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
2.2	高強度 AE 供試体作絵状況 ······3
2.3	高強度プレーン供試体の作製状況 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・3
2.4	即時脱型供試体の作製状況 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
2.5	AE供試体の作製状況 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
2.6	プレーン供試体の作製状況 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・5
2.7	レジン供試体の作製状況 ・・・・・・5

4. 凍結融解試験

4.1	試験方法	7
4.2	計算方法	

5. たわみ振動の一次共鳴振動と相対動弾性係数

5.1	一次共鳴振動
5.2	一次共鳴振動とサイクル数の関係
5.3	一次共鳴振動の平均値とサイクル数の関係10
5.4	相対動弾性係数とサイクル数の関係 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・11
5.5	相対動弾性係数の平均値とサイクル数の関係 ・・・・・・・・・・・・・・・・12

6. 劣化の状況

6.1	遠心力コンクリート供試体(外側)表面の劣化状況 ・・・・・・・・・・・13
6.2	遠心力コンクリート供試体(内側)表面の劣化状況 ・・・・・・・・・・・・13
6.3	高強度 AE コンクリート供試体表面の劣化状況 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
6.4	高強度プレーンコンクリート供試体表面の劣化状況 ・・・・・・・・・・・15
6.5	即時脱型コンクリート供試体表面の劣化状況 ・・・・・・・・・・・・・・16
6.6	AEコンクリート供試体表面の劣化状況 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・17
6.7	プレーンコンクリート供試体表面の劣化状況 ・・・・・・・・・・・・・・・17
6.8	レジンコンクリート供試体表面の劣化状況 ・・・・・・・・・・・・・・・18

7.	耐久性指数
8. 8 1	質量変化 ····································
8.2	・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
8.3	
9.	密度とたわみ振動の一次共鳴振動の関係 ············24
10.	圧縮強度とたわみ振動の一次共鳴振動の関係 ············25
11.	あとがき ・・・・・28
	謝辞 ······29
	添付資料

1. まえがき

弊社では、遠心力製法によって円形側溝を製造している。一般的に遠心力製法で製造し た電柱などは凍結融解作用に高い抵抗性があるとされている。実際、日本で電柱が凍害に より劣化した報告例等は聞かない。また弊社でも遠心力製法で製造した製品が、凍害によ り劣化した例は過去にはない。しかし、実際に科学的見地に立った調査はしておらず、そ の効果は実証されていない。そこで、以下の7種類の試験体について凍結融解試験を行い、 耐凍害性能の対比を行った。

- ① 遠心力製法によって製造した円形側溝から切り出した高強度な供試体
- ② ①と同じ配合で流し込み製法によって製造し、エントレンドエアーが 4.5%の高強 度な AE コンクリート供試体(圧縮強度 43N/m)
- ③ ①と同じ配合で流し込み製法によって製造し、エントレンドエアーが 2.0%の高強 度なプレーンコンクリート供試体(圧縮強度 47N/m)
- ④ 振動と圧縮力を加え、ゼロスランプの即時脱型方式で製造したブロックから切り出した供試体(圧縮強度 44N/m)
- ⑤ 一般的な円形側溝を製造する時に流し込み製法で使用する配合で、エントレンドエ アーが 4.2%の AE コンクリート供試体(圧縮強度 30N/m²)
- ⑥ 一般的な円形側溝を製造する時に流し込み製法で使用する配合で、エントレンドエ アーが 1.8%のプレーンコンクリート供試体(圧縮強度 38N/m)
- ⑦ レジンコンクリート製供試体(圧縮強度 96N/m²)

2. 供試体の作製状況

2.1 遠心力供試体:遠心力製法によって製造した円形側溝から切り出した高強度な供 試体

図-1~6 に示すように、重力の 35 倍の遠心力を加えて製造した円形側溝 φ 400×2,500 か ら切り出し、4 面をカットし 2 面カット無しの供試体で 100×100×400mm の寸法に切り そろえた物を 4 本準備した。製品はフレッシュコンクリートを遠心力が加わった状態の形 枠に 2 回に分けて投入し成形し、常温から 3 時間で 65℃まで上げ、3 時間の蒸気養生後徐 冷した。A-1、A-2、A-3 は製品の外側から切り出した供試体で、遠心力の内側である内面 から切りだした供試体を A-4 とした。



図-1 円形側溝製造状況



図-2 円形側 ϕ 400 の製品写真



図-3 ワイヤーソーでの切り出し状況



図-4 遠心力製法切り出し面の状況



図-5 供試体A 切り出し場所のイメージ図



図-6 供試体 A-1、-2、-3 、-4

2.2 高強度 AE コンクリート供試体: 2.1 と同じ配合で流し込み製法によって製造しエン トレンドエアーが 4.5%の高強度な AE コンクリート供試体(圧縮強度 43N/m)

AE 剤を入れ、空気量 4%、W/C=32%、スランプ 4.0cm の固練りコンクリートを用い 作成した。常温から 3 時間で 65℃まで上げ 3 時間の蒸気養生後徐冷した。150×150× 530mm のモールドを利用し流し込み製法で製造した供試体から更に $100 \times 100 \times 400$ mm の寸法に切り出した物を供試体とした。これらの供試体は4面カット、2面カット無し面と なる。供試体番号は B-1、B-2、B-3(図-7)とした。

2.3 高強度プレーンコンクリート供試体:2.1 と同じ配合で流し込み製法によって製造し、 エントレンドエアーが2.0%の高強度なプレーンコンクリート供試体(圧縮強度47N/m²)

水セメント比 W/C=32%、スランプ 4.5cm の固練りプレーンコンクリートにより作成 した。常温から 3 時間で 65℃まで上げ 3 時間の蒸気養生後徐冷した。 150×150×530mm のモールドを利用し流し込み製法で製造した供試体から更に 100×100×400mm の寸法に 切り出した物を供試体とした。これらの供試体は 4 面カット、2 面カット無し面となる。① と同じフレッシュコンクリートで作成しているが、遠心力をかけない一般的な流し込み製 法の振動打設で作成した。AE 剤を入れない、プレーンコンクリートで空気量は 2.0%であ る。供試体番号は C-1、C-2、C-3(図-8)とした。



図-7 供試体 B-1、-2、-3



図-8 供試体 C-1、-2、-3

2.4 即時脱型コンクリート供試体:振動と圧縮力を加え、ゼロスランプの即時脱型方式で 製造したブロックから切り出した供試体(圧縮強度 44N/m)

420×280×350mm の寸法のスプリットンブロック(製品の正面を割肌にする積みブロック)の正面同士を接合させて製造した積みブロックを割る前の状態は、420×280×700mm の寸法(図-10)があり、中心部分に100×100×400mm を確保できる。そのうち下部の振動面から切り出した供試体を E-1 また上部のプレス面から切り出した供試体を E-2、E-3(図-11)とした。

供試体切出し図



図-9 供試体 E の切り出し状況図



図-10 供試体 E-1、-2、-3

2.5 AE コンクリート供試体:一般的な円形側溝を製造する時に流し込み製法で使用する配合で、エントレンドエアーが 4.2%の AE コンクリート供試体(圧縮強度 30N/m)

この供試体は、一般的な円形側溝を製造する時に使用する流し込み製法のAE コンクリートで作成した。常温から3時間で65℃まで上げ3時間の蒸気養生後徐冷した。W/C=50%、 エントレンドエアーが4%の供試体で寸法100×100×400mmとし、供試体番号を0-1、0-2、 0-3(図-11)とした。



図-11 供試体 O-1、-2、-3、

2.6 プレーンコンクリート供試体:一般的な円形側溝を製造する時に流し込み製法で使用 する配合で、エントレンドエアーが 1.8%のプレーンコンクリート供試体(圧縮強度 38N/ m²)

この供試体は一般的な円形側溝を製造する時に使用する流し込み製法のプレーンコ ンクリートで作成した。常温から3時間で65℃まで上げ3時間の蒸気養生後徐冷した。 W/C=50%、空気量1.8%の供試体で寸法100×100×400mmとし、供試体番号をP-1、 P-2、P-3(図-12)とした。



図-12 供試体 P-1、-2、-3

2.7 レジンコンクリート供試体:レジンコンクリート製供試体(圧縮強度 96N/m²)

弊社でマンホールやパイプに用いているレジンコンクリートをバケツに取り出し、振動 により打設した。寸法 100×100×400mm とし、供試体番号を R-1、R-2、R-3 (図-13) とし た。通常の製品は遠心力により製造しているが今回の供試体は流し込み製法である。

レジンコンクリートは不飽和ポリエステル樹脂と絶乾状態の骨材、砂、紛体を混ぜ合わ せ、硬化促進剤を加えて作成したコンクリートで、一般的なコンクリートのように水やセ メントは入っていない。圧縮、曲げ、引張強度が強く、酸に強いといった特徴がある。樹 脂は半透明なため、骨材や紛体そのものの色が供試体の色にでる。供試体が茶系なのは、 紛体のフェロニッケルスラグがこの色であることに影響されている。



図-13 供試体 R-1、-2、-3

3. 配合と圧縮強度

配合と圧縮強度をまとめて表-1に示す。

	供試体記号	А	В	С	Е	R	0	Р	
コンクリート利		プレーン	AEコン	プレーン	即脱	レジン	AEコン	プレーン	
製法		遠心力	流し込み	流し込み	即時脱型	流し込み	流し込み	流し込み	
最大骨材寸	法	(mm)	15	15	15	15	5	15	15
スランプ		(cm)	4.5	4	4.5	0	-	18	16.5
水セメント比	W/C	(%)	32.4	32.4	32.4	32	-	50	50
細骨材率 s	/a	(%)	47	47	47	49	-	47.1	47.1
空気量		(%)	-	4.5	2	-	_	4.2	1.8
	セメント C	(kg)	485	485	485	280	-	342	342
	水 W	(kg)	157	157	157	89	-	171	171
単位量	細骨材 S	(kg)	809	778	809	1010	-	837	873
(kg/m3)	粗骨材 G	(kg)	937	902	937	1045	-	940	940
	減水剤 Rg	(kg)	4.9	4.9	4.9	-	-	4.8	4.8
	AE剤	(kg)	-	0.03	-	-	-	0.09	-
	樹脂	(kg)					286		
レジン	砕石7号(5~2.5mm)	(kg)					473		
単位量	粗砂(2.5mm以下)	(kg)					462		
(kg/m3)	細砂5号珪砂(0.5mm)	(kg)					572		
	粉フェロニッケルスラグ	(kg)					407		
平均密度		(kg/m3)	2.48	2.31	2.35	2.31	2.25	2.32	2.36
平均圧縮強	度	(N/mm3)		42.5	47	44.1	96.2	30.3	37.5

表-1 配合と圧縮強度

圧縮強度は、R(レジンコンクリート)が一番強く 96.2(N/mm2)となった。次いで強度 が高い順にC(プレーンコンクリート W/C:32%)47.0(N/mm2)、E(即脱 W/C:32%)44.1 (N/mm2)、B(AE コンクリート W/C:32%)42.5(N/mm2)、P(プレーンコンクリート W/C: 50%)37.5(N/mm2)、0(AE コンクリート W/C:50%)30.3(N/mm2)となった。水セメン ト比が低い供試体の圧縮強度は高く、同じ水セメント比であればプレーンコンクリートの 方が AE コンクリートより高い強度となった。即時脱型供試体の圧縮強度は、セメント量が 280(kg/m3)と少ないにも拘わらず 44.1(N/mm2)と高い。

4. 凍結融解試験

4.1 試験方法

岐阜大学コンクリート工学実験室にて、凍結融解試験機を用い実験を行った。試験方法 は水中凍結融解試験 A法 JISA1148 に準じた。供試体寸法は100×100×400mm を使用し、 各種3個の供試体を用意した。容器は3mm 厚の水で供試体全面が覆われる様内面に突起を もつゴム製のものを用いた。凍結融解の1サイクルは供試体中心温度が5~-18℃に下がり、 また-18~5℃まで上がり、1サイクルの時間は4時間とした。測定項目は、各供試体のた わみ振動の一次共鳴振動数、及び質量とした。図-14 は岐阜大学実験室での凍結融解試験機 と試験の様子である。

測定間隔は、300 サイクルまでは30 サイクル毎、300 サイクル以上では60 サイクル毎で 600 サイクル迄を目標とし、A、B、C、E については、現在480 サイクルまでを測定し、R は 360 サイクル、0、P は240 サイクルまで測定した。P については60 サイクル終了後に一次 共鳴振動数が測定不能となり、質量のみ90 サイクルまで測定した。今後試験が必要と思わ れる試験体については、600 サイクルまで試験の予定である。



岐阜大学実験室の凍結融解試験機



たわみ振動試験機と供試体



試験機の内部(供試体の挿入状況)



たわみ振動の一次共鳴振動数測定状況

図-14 岐阜大学実験室での凍結融解試験状況

4.2 計算方法

(1)相対動弾性係数相対動弾性係数は、次の式によって算出し四捨五入により整数に丸める。

(3) 質量減少率

質量減少率は、	次の式によって算出し四捨五入により小数点以下1けたに丸める。
$W_n = \frac{W0 - Wn}{W0}$	••••••(式-3)
$ \mathcal{K}_n$: 凍結融解 n サイクル後の質量減少率(%)
Wn	: 凍結融解 n サイクル後の供試体の質量(g)
Wo	: 凍結融解 0 サイクルにおける供試体の質量(g)

5. たわみ振動の一次共鳴振動と相対動弾性係数

5.1 一次共鳴振動

各サイクルでのたわみ振動の一次共鳴振動数を表-2に示す。(単位は HZ)

		P0	P30	P60	P90	P120	P150	P180	P210	P240	P270	P300	P360	P420	P480
遠心力(外側)	A-1	2,312	2,314	2,317	2,328	2,328	2,333	2,328	2,336	2,336	2,336	2,343	2,402	2,344	2,334
遠心力(外側)	A-2	2,314	2,310	2,317	2,312	2,317	2,317	2,317	2,315	2,330	2,330	2,317	2,335	2,405	2,313
遠心力(外側)	A-3	2,314	2,324	2,333	2,333	2,338	2,338	2,338	2,338	2,341	2,345	2,341	2,338	2,328	2,335
遠心力(内面側)	A-4	2,352	2,352	2,364	2,364	2,359	2,359	2,354	2,362	2,362	2,349	2,355	2,325	2,421	2,256
AEコンw/c:32	B-1	2,108	2,107	2,115	2,121	2,124	2,115	2,119	2,138	2,131	2,131	2,135	2,140	2,131	2,133
AEコンw/c:32	B-2	2,085	2,086	2,099	2,095	2,101	2,115	2,096	2,105	2,118	2,114	2,105	2,099	2,087	2,093
AEコンw/c:32	B-3	2,091	2,101	2,096	2,106	2,101	2,124	2,096	2,096	2,119	2,119	2,094	2,121	2,115	2,101
プレーンw/c:32	C-1	2,213	2,218	2,219	2,222	2,236	2,221	2,236	2,236	2,257	2,223	2,207	2,186	2,144	2,084
プレーンw/c:32	C-2	2,187	2,184	2,192	2,196	2,197	2,197	2,197	2,241	2,248	2,208	2,218	2,214	2,249	2,218
プレーンw/c:32	C-3	2,201	2,218	2,236	2,222	2,221	2,226	2,231	2,231	2,231	2,222	2,238	2,195	2,163	2,056
即時脱型	E-1	2,177	2,177	2,147	2,129	2,124	2,108	2,077	2,049	2,017	2,025	2,056	1,991	1,928	
即時脱型	E-2	2,110	2,073	2,055	2,010	1,894	1,834	1,731	1,669	1,566					
即時脱型	E-3	2,138	2,124	2,080	2,042	1,974	1,928	1,839	1,768	1,670	1,548				
AEコンw/c:50	0-1	2,029	2,032	2,020	2,033	2,040	2,043	2,029	2,043	2,032					
AEコンw/c:50	0-2	2,051	2,046	2,055	2,059	2,063	2,067	2,054	2,072	2,072					
AEコンw/c:50	0-3	2,030	2,019	2,020	2,019	2,017	2,034	2,028	2,035	2,031					
プレーンw/c:50	P-1	2,123	1,777												
プレーンw/c:50	P-2	2,096	1,587												
プレーンw/c:50	P-3	2,118	1,804												
レジン	R-1	1,788	1,803	1,788	1,777	1,793	1,761	1,768	1,781	1,762	1,783	1,762	1,754		
レジン	R-2	1,829	1,851	1,819	1,814	1,828	1,826	1,828	1,807	1,814	1,807	1,772	1,776		
レジン	R-3	1,788	1,808	1,783	1,783	1,783	1,770	1,774	1,760	1,781	1,760	1,734	1,728		

表-2 たわみ振動の一次共鳴振動数

0 サイクル時点でのたわみ振動の一次共鳴振動数は、A (遠心力 W/C:32)、C (高強度プ レーン W/C:32)、B (高強度 AE コンクリート W/C:32)、E (即時脱型 W/C:32)、P (プレー ン W/C:50)、O (AE コンクリート W/C:50)、R (レジンコンクリート)の順で高い値であっ た。

7種類の供試体の一次共鳴振動とサイクル数の関係は種類ごとに同じ動きを示したが、 即時脱型供試体のみ供試体の採取場所により大きく違った。密度を比べると下部から切り 出した E-1 は 2.34 (g/c m³)、上部から切り出した E-2.3 は 2.29、2.30 (g/c m³)と密 度が低い。成形時に下部は詰まりが良いが上部は詰まりが悪いと思われる。

5.2 一次共鳴振動とサイクル数の関係

各サイクルでの一次共鳴振動を図-15に表す。



5.3 一次共鳴振動の平均とサイクル数の関係

各サイクルでの一次共鳴振動の3供試体の平均値を図-16に表す。



A遠心力(外側)と(内側)は420サイクルにて異なる特徴があったため別に示す。Eの 即時脱型製品は供試体の採取場所の違いにより異なる結果となった。上部(プレス面近く) から採取した供試体の一次共鳴振動の低下が激しく、下部(振動面近く)から採取した供 試体の一次共鳴振動の低下は比較的緩やかであった。P(プレーン W/C:50)は、3供試体 とも60サイクル終了時点で測定不能となった。また、30サイクル終了後には多量のポップ アウトが見られ、60サイクル後の打音検査は鈍い音がする状態であり、90サイクルでは測 定不能となり質量検査のみ行った

5.4 相対動弾性係数とサイクル数の関係



各サイクルでの相対動弾性係数を図-17に表す。

図-17 相対動弾性係数とサイクル数の関係

相対動弾性係数は (式-1) により求めた。JIS での一つの目安とされる 300 サイクル終了 時点で相対動弾性係数が 90%以上を保つ供試体は、A (遠心力 W/C:32)、C (高強度プレ ーン W/C:32)、B (高強度 AE コンクリート W/C:32)、O (AE コンクリート W/C:50)、 R (レジンコンクリート)であった。著しく低下したのは P (プレーン W/C:50) であった。 60 サイクル終了時に測定不可能であった為その時の相対動弾性係数は、50%以下であった と思われる。E (即時脱型 W/C:32) 上は 120 サイクルで 90%を下回り、240 サイクルで 60%前後になったが、E (即時脱型 W/C:32) 下は 180 サイクルまで 90%を保ち 240 サイ クルで 85%まで下がり、300 サイクルでは再び 90%近くまで回復した。

5.5 相対動弾性係数の平均とサイクル数の関係

各サイクルでの相対動弾性係数の3供試体の平均値を図-18に表す。



図-18 より、480 サイクル終了時点で 100%以上の値を保つのは A (遠心力外側 W/C:32) と B (高強度 AE コンクリート W/C:32) である。C (高強度プレーン W/C:32) は 360 サイ クル以降 100%を下回り 480 サイクルでは 93%となった。A (遠心力内側 W/C:32) は 360 サイクルで 98%に一旦落ち 420 サイクルで 106%と上がり 480 サイクルでは再び 92%に落 ちた。

6.劣化の状況

6.1 遠心力コンクリート供試体(外側)表面の劣化状況(A-1.2.3)



図-19 0~480 サイクルに至る表面の変化



図-20 480 サイクル後の角 (テパー) 部分の状況

遠心力供試体は、480 サイクル後もポップアウト等目立った劣化は見られず、表面は 綺麗であり、試験前と比べても大きな変化はないが遠心力外側角(テーパー)部分のペ ーストがはがれ、骨材の露出が見られる箇所がある。

6.2 遠心力コンクリート供試体(内側)表面の劣化状況(A-4)



図-21 0~480 サイクルまでの変化の状況写真



図-22 480 サイクル後の様子

0~480 サイクルまでの変遷を図-21 に示す。大きな 外観の変化は無いが、遠心力の内面セメントペースト 部に剥離が見られる。この円形側溝は、フレッシュコ ンクリートを遠心力が加わった状態の側枠に2回に分 けて投入し成形する為、同心円状に遠心力に従って密 度の大きい骨材は外側に小さなものは内側に集まりや すい。その為フレッシュコンクリートの一回目投入の 内側と二回目投入後の内面にセメントペーストの層が 出来る。



6.3 高強度 AE コンクリート供試体表面の劣化状況(B-1.2.3.)

図-23 供試体 B 0~480 サイクルまでの変化の状況写真

30 サイクル目よりポップアウトが見られた。サイクル数が進むにつれて表面のポップア ウトやモルタル部の剥離が進行していき全体に広がっていった。480 サイクル終了後には全 体に骨材が露出した状態になった。試験の途中に供試体の印として黒マジックで記入した マークが消え、しばしば書きなおす必要があった。型枠底面より側面の方の劣化が進み、 供試体表面の状態が悪い。

- 6.4 高強度プレーンコンクリート供試体表面の劣化状況(C-1.2.3.)

図-24 供試体 C 0~480 サイクルまでの変化の状況

高強度プレーン供試体では、図-24の様に 30 サイクル目よりポップアウトが見られ、サ イクル数が進むにつれて表面のポップアウトモルタル部の剥離が進行していった。型枠底 面より側面の方の状態が悪い。サイクル数が増すにつれて、表面を覆っていたセメントペ ースト層が徐々にはがれ落ち骨材の露出面が大きくなっていったが、表面の剥離だけにと どまっている。表面の劣化状況は B (高強度 AE コンクリート W/C:32) より若干良い。

6.5 即時脱型コンクリートの表面の劣化状況



図-25 E供試体 0~300 サイクルまでの変化の状況写真

即時脱型製品は元々表面に凹凸がありざらついていたため、見かけ上あまり変化が無いように見えるが、30 サイクル目から細部での破壊が見られた。60 サイクル目からは角の欠損や骨材の抜け落ちが見られ、供試体が徐々に丸みを帯びていった。上部から切り出した供試体 E-2,3 は 240 サイクル付近では相対動弾性係数が 60%を下回っているため、破壊が深部にまで至っていたと考えられる。表面上も供試体 E-2,3 は下部から切り出した E-1 より劣化が早くひどく進行していった。E-1 は 420 サイクルまで相対動弾性係数が 78%と持ちこたえたが、480 サイクル時点で測定不可となり深部まで破壊に至ったと考えられる。図-25 に劣化の変遷を示す。

6.6 AE コンクリートの表面の劣化状況



図-26 O供試体 0~240 サイクルまでの変化の状況写真

30 サイクルで底面に目立った変化はないが、側面にはポップアウトが見られ、サイクル 数が増すにつれて全体的に表面を覆っていたセメントペースト層が徐々にはがれ落ち、骨 材の露出面が大きくなっていった。240 サイクル終了時で見かけ上凍害がかなり進行したよ うに見えるが、動弾性係数の変化はない為表面のはがれだけに止まっていると考えられる。 劣化の変遷を図-26 に示す。

6.7 プレーンコンクリートの表面の劣化状況



図-26 P供試体 0~90 サイクルまでの変化の状況

プレーン供試体は 30 サイクルで底面に目立った変化はないが、側面にはポップアウトが 見られた。しかし、この時の相対動弾性係数は全ての供試体ですでに 80%以下に落ちてお り P-2 は 61%となっていた。60 サイクルでは表面上凍害があまり進行しているように見え ないが一次共鳴振動の測定が出来ず、内部まで組織の破壊があったと思われる。90 サイク ルでは、劣化が激しく進行し大きな欠損も見られるようになった。また、打音検査を行っ たが、通常健全なコンクリートの音である高い「カンカン」と鳴る音は無く、低く鈍い音 がした。内部のコンクリートの結合力がかなり低下している状況であると考えられる。図-26 に 0~90 サイクルまでの変遷を示す。



6.8 R(レジンコンクリート)の表面の劣化状況

図-28 R 供試体 0~360 サイクルまでの変化の状況写真

レジンコンクリート供試体は、30 サイクルで数カ所のポップアウトが見られた。その時、 供試体容機にレジンコンクリートの未硬化部の珪砂と思われる砂が残っていたため、供試 体製造時に撹拌が不十分で、供試体内部に樹脂と混合していない砂や紛体のだまが残り、 そこに水が浸入し氷の膨張圧で破壊したと考えられる。しかし、その後 360 サイクルまで は最初のポップアウト部も広がらず表面的な劣化は無かった。図・28 に示すように 360 サイ クル終了後も 30 サイクルでのポップアウト以外の表面上の変化は無く劣化が見られない。 全ての供試体の中で一番綺麗な状態である。この供試体を作る時、実際レジンマンホール を製造しているミキサーから生レジンを落とし遠心力を加えないでモールドに投入して供 試体を作成したため、撹拌が不十分で未硬化部が残ったのではないかと思われる。

7. 耐久性指数

耐久性指数を(式-2)より求め表-3にまとめた。プレーンコンクリート W/C:50に ついては 240 サイクル時点での耐久性指数としている。

記号	種類	DF 耐久性指数	備考
А	遠心力(外側)	102	300 サイクル終了
A-4	遠心力 (内面側)	100	300 サイクル終了
В	高強度 AE コンw/c:32	102	300 サイクル終了
С	高強度プレーンw/c:32	102	300 サイクル終了
E-1	即時脱型下	89	300 サイクル終了
E-2.3	即時脱型上	42	300 サイクル終了
0	AE $\exists \mathbf{v} \mathbf{w} / \mathbf{c}$: 51	※ 101	240 サイクルまで
Р	プレーンw/c : 50	13	300 サイクル終了
0	レジンコンクリート	95	300 サイクル終了

表-3 耐久性指数

300 サイクル終了後の耐久性指数が 100 以上である種類は、遠心力製品、高強度 AE コンクリート、高強度プレーンコンクリートである。レジンコンクリートの耐久性指数 は、95 で若干の低下が見られる。即時脱型下部と上部の耐久性指数は大きく違いが見 られる。これは密度が下部では高いが上部では低くいといった、密度の違いからも推測 できるように、成形時の振動と圧縮力のかかり方が製品の上部と下部ではかなり違い、 セメントの結合力も下部では高く、上部では低くなっていたため下部の方が上部より耐 久性指数が高いと考えられる。

8. 質量変化

8.1 各サイクルでの質量変化

各サイクルでの質量変化の様子を表-4に示す。

-								
		P0	P30	P60	P90	P120	P150	P180
A-1	遠心力(外側)	9,943	9.962	9,968	9.973	9.975	9.978	9,984
A-2	遠心力(外側)	9 8 9 8	9,920	9 9 2 7	9,935	9 9 3 4	9,933	9 9 3 2
A-3	遠心力(外側)	9 7 5 8	9776	9784	9 7 9 0	9 7 9 2	9 7 9 3	9 7 9 2
A-4	遠心力(内面側)	9836	9 853	9 8 5 8	9 862	9863	9862	9857
<u>B-1</u>	高強度AFコン	9168	9 1 8 5	9 1 9 1	9 1 9 5	9 1 9 8	9 200	9 1 9 9
B-2	<u>高強度AFコン</u>	9 201	9212	9211	9212	9213	9211	9211
B-3	<u>高強度AF</u> コン	9274	9 2 8 9	9 2 9 7	9,309	9296	9 2 8 3	9276
C-1	高強度プレーン	9 4 5 9	9477	9 4 8 5	9 4 9 0	9 4 9 6	9 4 9 7	9 4 9 9
C-2	高強度プレーン	9 3 5 5	9369	9377	9 381	9387	9388	9 3 8 8
C-3	高強度プレーン	9 3 2 3	9,338	9345	9349	9 3 5 2	9354	9,356
F-1	<u>個税</u>	9351	9 384	9,370	9.348	9333	9315	9286
E-2	創脱	9139	9171	9 1 0 4	9 0 4 2	9.023	8,968	8,200
F-3	創税	9 1 5 9	9 1 9 1	9175	9144	9134	9 1 0 3	9.062
R-1		8879	8 883	8 8 8 4	8 882	8 880	8 8 8 1	8 882
R-2	レジン	9,093	9,000	9,098	9,099	9,000	9 101	9 1 0 0
R-3	レジン	9,000	9.028	9.028	9,000	9.028	9,030	9.028
0 - 1		9 1 9 6	9 207	9 2 2 3	9 2 3 1	9 2 2 2	9 204	9 1 8 0
0^{-2}		9,378	9395	9410	9 4 2 1	9418	9406	9,383
0 - 3	AFコン	9,206	9 2 2 8	9 2 4 5	9 2 5 8	9 2 5 4	9 2 3 5	9 205
<u>₽</u> −1	プレーン	9 3 3 3	9 3 4 9	9 3 3 9	9,213	0	0	0
P-2	プレーン	9 4 7 2	9 502	9,511	9 2 9 3	0	0	0
P-3	プレーン	9,533	9,551	9,557	9,435	0	0	0
		P210	P240	P270	P300	P360	P420	P480
A−1	遠心力(外側)	9.978	9.977	9,980	9,980	9.979	9.977	9.972
A−2	遠心力(外側)	9,933	9,930	9.928	9.926	9.924	9.917	9,903
A-3	遠心力(外側)	9,791	9,791	9.789	9,789	9.783	9,779	9.771
A-4	遠心力(内面側)	9,861	9,859	9,855	9,852	9,834	9,821	9,793
B-1	高強度 AEコン	9.200	9,200	9,197	9,197	9,190	9,180	9,169
B-2	高強度 AEコン	9,208	9,206	9,175	9,197	9,184	9,168	9,141
B-3	高強度AEコン	9,267	9,265	9,264	9,262	9,255	9,245	9,219
C-1	高強度プレーン	9,498	9,499	9,501	9,501	9,492	9,483	9,467
C-2	高強度プレーン	9,389	9,388	9,392	9,392	9,387	9,380	9,376
C-3	高強度プレーン	0.256						0.040
		9,300	<u>9,356</u>	<u>9,358</u>	9,357	<u>9,349</u>	<u>9,345</u>	9,342
		9,350	<u>9,356</u> 9,252	<u>9,358</u> 9,193	9,357 9,180	9,349 9,057	<u>9,345</u> 0	9,342
<u>E-1</u> E-2	間度及フレーン 側脱 側脱	9,350 9,264 8,896	9,356 9,252 8,859	9,358 9,193 8,784	9,357 9,180 0	9,349 9,057 0	9,345 0 0	<u>9,342</u> 0 0
E-1 E-2 E-3	<u> </u>	9,330 9,264 8,896 9,034	9,356 9,252 8,859 9,003	9,358 9,193 8,784 8,950	9,357 9,180 0 8,944	9,349 9,057 0 0	9,345 0 0 0	9,342 0 0 0
E-1 E-2 E-3 R-1	<u>側脱</u> <u>側脱</u> 側脱 レジン	9,330 9,264 8,896 9,034 8,887	9,356 9,252 8,859 9,003 8,887	9,358 9,193 8,784 8,950 8,883	9,357 9,180 0 8,944 8,883	9,349 9,057 0 0 8,890	9,345 0 0 0 0	9,342 0 0 0 0
E-1 E-2 E-3 R-1 R-2	<u>側脱</u> <u>側脱</u> <u>側脱</u> レジン レジン	9,330 9,264 8,896 9,034 8,887 9,103	9,356 9,252 8,859 9,003 8,887 9,103	9,358 9,193 8,784 8,950 8,883 9,103	9,357 9,180 0 8,944 8,883 9,102	9,349 9,057 0 0 8,890 9,109	9,345 0 0 0 0 0	9,342 0 0 0 0 0
E^{-1} E^{-2} E^{-3} R^{-1} R^{-2} R^{-3}	<u>側脱</u> 側脱 しジン レジン レジン	9,336 9,264 8,896 9,034 8,887 9,103 9,033	9,356 9,252 8,859 9,003 8,887 9,103 9,033	9,358 9,193 8,784 8,950 8,883 9,103 9,032	9,357 9,180 0 8,944 8,883 9,102 9,032	9,349 9,057 0 8,890 9,109 9,036	9,345 0 0 0 0 0 0 0	9,342 0 0 0 0 0 0
E-1 E-2 E-3 R-1 R-2 R-3 O-1	<u>側脱</u> 側脱 レジン レジン レジン AEコン	9,336 9,264 8,896 9,034 8,887 9,103 9,033 9,157	9,356 9,252 8,859 9,003 8,887 9,103 9,033 9,130	9,358 9,193 8,784 8,950 8,883 9,103 9,032 0	9,357 9,180 0 8,944 8,883 9,102 9,032 0	9,349 9,057 0 8,890 9,109 9,036 0	9,345 0 0 0 0 0 0 0 0	9,342 0 0 0 0 0 0 0
E-1 E-2 E-3 R-1 R-2 R-3 O-1 O-2	個脱 側脱 しジン レジン レジン AEコン AEコン	9,336 9,264 8,896 9,034 8,887 9,103 9,033 9,157 9,360	9,356 9,252 8,859 9,003 8,887 9,103 9,033 9,130 9,344	9,358 9,193 8,784 8,950 8,883 9,103 9,032 0 0	9,357 9,180 0 8,944 8,883 9,102 9,032 0 0	9,349 9,057 0 8,890 9,109 9,036 0 0	9,345 0 0 0 0 0 0 0 0 0	9,342 0 0 0 0 0 0 0 0
E-1 E-2 R-1 R-2 R-3 O-1 O-2 O-3	個脱 側脱 しジン レジン AEコン AEコン AEコン	9,336 9,264 8,896 9,034 8,887 9,103 9,103 9,103 9,157 9,360 9,183	9,356 9,252 8,859 9,003 8,887 9,103 9,033 9,130 9,344 9,162	9,358 9,193 8,784 8,950 8,883 9,103 9,032 0 0 0 0	9,357 9,180 0 8,944 8,883 9,102 9,032 0 0 0 0	9,349 9,057 0 0 8,890 9,109 9,036 0 0 0 0	9,345 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	9,342 0 0 0 0 0 0 0 0 0
E-1 E-2 R-1 R-2 R-3 O-1 O-2 O-3 P-1	個脱 側脱 しジン レジン AEコン AEコン AEコン フ レーン	9,336 9,264 8,896 9,034 8,887 9,103 9,033 9,103 9,157 9,360 9,183 0	9,356 9,252 8,859 9,003 8,887 9,103 9,103 9,130 9,344 9,162 0	9,358 9,193 8,784 8,950 8,883 9,103 9,032 0 0 0 0 0 0 0	9,357 9,180 0 8,944 8,883 9,102 9,032 0 0 0 0 0 0 0	9,349 9,057 0 0 8,890 9,109 9,036 0 0 0 0 0 0	9.345 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	9,342 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
E-1 E-2 E-3 R-1 R-2 R-3 O-1 O-2 O-3 P-1 P-2	個脱 側脱 しジン レジン AEコン AEコン AEコン AEコン プレーン プレーン プレーン	9,336 9,264 8,896 9,034 8,887 9,103 9,033 9,103 9,157 9,360 9,183 0 0	9,356 9,252 8,859 9,003 8,887 9,103 9,103 9,130 9,344 9,162 0 0	9,358 9,193 8,784 8,950 8,883 9,103 9,032 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	9,357 9,180 0 8,944 8,883 9,102 9,032 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	9,349 9,057 0 8,890 9,109 9,036 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	9.345 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	9,342 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

表-4 各サイクルでの質量変化

(図中の数値の単位は(g)、 P0は→0サイクルを同様に P480→480サイクルを表す。)



表4の各サイクルでの質量変化の様子をグラフにして図-29に表す。

図-29 各サイクルでの質量変化



図-30 各サイクルでの質量の平均値の変化

表-4 をグラフにし各サイクルでの質量変化を表したのが図-29 である。供試体の種類毎に 傾向が同じため3種類の供試体の質量の各サイクルでの平均値をとったグラフが図-30 であ る。式-3 より質量減少率を求めその平均値に示したのが図-31 である。

セメントコンクリート全ての供試体について言えることだが、質量は一度上昇した後低 下していく傾向がある。試験機の中で微量ではあるが、供試体の未水和のセメントが水和 反応を継続させながら質量を増加させつつ、繰り返しの凍害により表層から深部に水が行 き渡り、微量の水和反応がしだいに深部に至っていく過程と、供試体の隙間に時間の経過 とともに水が充填していく過程と、繰り返しの凍害によって表層部よりセメントペースト や骨材を剥離させ質量を減少させていく過程の3つの現象が起こっていたと考えられる。

レジンコンクリートの質量変化は、若干の上昇はあるが非常に少ない。レジンコンクリ ートには水和反応はないことを考えると、他のセメントコンクリート供試体に比べ質量の 上昇が微量であることは理解できる。供試体の隙間に時間の経過とともに水が充填してい く過程のみが起こっていたと考えられる。

A (遠心力外側 W/C:32)、B (高強度 AE コンクリート W/C:32)、C (高強度プレーン W/C:32)の質量は、緩やかに上がり後半に下がり、ほぼ同じような動きを示す。O (AE コンクリート)は、他と比べ質量が急に上がりそして急に下がった。P (プレーンコンクリ ート W/C:50)の質量については 60 サイクルまでは上がり、その後急激に下がった。E (即 時脱型下部)の質量は 30 サイクルで上がりその後徐々に下がり続け 360 サイクルで一次共 鳴振動の測定が不能となり終了した。E (即時脱型上部)は、30 サイクルで上がりその後 急激に下がり続け、270 サイクルで一次共鳴振動の測定が不能となり終了した。R (レジン コンクリート)は、ほぼ一定で若干増加した。



8.2 各サイクルでの質量減少率の平均値

図-31 各サイクルでの質量減少率の平均値

8.3 質量変化の最高値と最低値の差(300 サイクルまで)

300 サイクルまでの最大質量から最終の質量の差を最大質量で除したものを質量減少率 とした。これは一度上昇した最高質量から最終の質量を引き、失った質量の割合を求めた もので、供試体からはがれ落ちたペーストや骨材の量の割合を示しているため、おおよそ 供試体の外観変化に値すると思われる。

外観上劣化が激しい即脱製品の質量減少率が一番大きく、次にプレーンコンクリート、 (W/C:50)次にAEコンクリート(W/C:50)となっている。

300 サイクルまでの質量変化率のグラフを図-32 に表す。O-1~3 までは 240 サイクルで の値とした。外観上変化のないレジンコンクリートや遠心力(外側)の質量減少率は小さ い。相対動弾性係数での低下がない AE コンクリート W/C:50 や AE コンクリート W/C: 32 は、プレーンコンクリート W/C:32 や遠心力供試体より表面のセメントペーストや細骨 材等のはがれにより、質量減少率が大きく外観が悪くなっている。



図-32 質量変化の最高値と最低値の差(300 サイクルまで)

9. 密度と0サイクル時の一次共鳴振動数の関係

密度と 0 サイクル時の一次共鳴振動数には、相関関係があるのではないかと考え、それ ぞれの供試体の密度と 0 サイクル時の一次共鳴振動数の関係を調査した。それぞれの供試 体の質量、密度、0 サイクル時の一次共鳴振動の関係を表-6 にし表した。

記号	種類	質量	平均重 量	参考密 度	平均密 度	0 サイクル の1次共 鳴振動	 0 サイクル の1次共鳴 振動平均
		(g)	(g)	(g/c m³)	(g/c m³)	(hz)	(hz)
A-1	遠心力(外側)	9,942.8		2.49		2,312	
A-2	遠心力(外側)	9,897.6		2.48		2,314	
A-3	遠心力(外側)	9,757.5	9,866	2.45	2.47	2,314	2,313
A-4	遠心力(内面側)	9,836.3	9,836	2.47	2.47	2,352	2,352
B-1	AE コン(4%)	9,168.3		2.29		2,108	
В-2	AE コン(4%)	9,201.0		2.30		2,085	
В-3	AE コン(4%)	9,273.6	9,214	2.32	2.30	2,091	2,095
C-1	プレーン	9,459.0		2.36		2,213	
C-2	プレーン	9,355.1		2.34		2,187	
C-3	プレーン	9,323.3	9,379	2.33	2.34	2,201	2,200
E-1	即時脱型下部	9,350.9		2.34		2,177	
E-2	即時脱型上部	9,139.2		2.29		2,110	
E-3	即時脱型上部	9,158.5	9,216	2.30	2.31	2,138	2,142
O-1	AE コン(4.2%)	9,196.3		2.30		2,029	
O-2	AE コン(4.2%)	9,378.3		2.34		2,051	
O-3	AE コン(4.2%)	9,206.1	9,260	2.30	2.32	2,030	2,037
P-1	プレーン	9,333.0		2.33		2,123	
P-2	プレーン	9,472.0		2.37		2,096	
P−3	プレーン	9,533.3	9,446	2.38	2.36	2,118	2,112
R-1	レジン	8,883.0		2.22		1803	
R-2	レジン	9,098.9		2.27		1854	
R-3	レジン	9,027.7	9,003	2.26	2.25	1806	1,821

表-6 密度と0サイクル時の一次共鳴振動数

平均密度の高い順に A (遠心力外側 W/C:32) が 2.47、P (プレーンコンクリート W/C: 50) が 2.36、C (高強度プレーン W/C:32) と E (即時脱型下部) が同じで 2.34、O (AE コ ンクリート) が 2.32、B (高強度 AE コンクリート W/C:32) が 2.30、E (即時脱型上部) が 2.31、R (レジンコンクリート) が 2.25 となった。密度と O サイクル時の一次共鳴振動関 係のグラフを図-33 に表す。レジンコンクリートは相関関係が低いようであったため、セメ ントコンクリートのみで関係を表したのが図-34 である。





図-34 密度と0サイクル時の一次共鳴振動関係(セメントコンクリートのみ)

密度と0サイクル時の一次共鳴振動には相関関係があると思われ、今回の相関は0.86となった。セメントコンクリートでは、密度が高いほど一次共鳴振動数は高いと言える。グラフを見るとW/C:32とW/C:50を分けるとより相関関係が表れるようである為図を2つに分けた。W/C:32を図-35、W/C:50を図-36に示す。





セメントコンクリート W/C: 32 については 0.95 とかなり高い相関関係が見られ、密度 が高いほど一次共鳴振動数は高いことがわかった。製法が遠心力と即時脱型と流し込みと 変わっていてもこの関係が見られた。

セメントコンクリート W/C:50 については 0.75 とある程度の相関関係が見られ、密度 が高いほど一次共鳴振動数は高いことがわかった。

10. 圧縮強度と0サイクル時の一次共鳴振動の関係

一般に密度が高いコンクリートほど圧縮強度が高い傾向にあるが、密度とたわみ振動 の一時共鳴振動数に相関関係があるように、圧縮強度とたわみ振動の一次共鳴振動数に も相関関係があるのではないかと考え、セメントコンクリートのみの関係を表-7 に示し た。表-7 をグラフに表したのが図-37 である。図-37 より W/C:50 と W/C:32 では傾向 が違うように見えた。遠心力供試体の圧縮強度が未測定のため、一時共鳴振動と圧縮強 度にきれいな相関関係があるとすると遠心力供試体の一次共鳴振動は 2,313hz である ため、圧縮強度は 51~52N/m2 程度と予測したが、遠心力供試体の圧縮強度について は後日試験予定である。

記 号	供試体の種類	平均重量	平均密度	0 サイクルの一次 共鳴振動の平均	圧縮強度
		(g)	(g∕c m³)	(hz)	(N/m ²)
А	遠心力 w/c:32(外側)	9,866	2.47	2,313	
В	AE コン w/c:32	9,274	2.32	2,091	42.5
С	プレーン w/c:32	9,323	2.33	2,201	47.0
Е	即時脱型 w∕c∶32	9,216	2.30	2,142	44.1
R	レジン	9,028	2.26	1806	96.2
0	AE コン w/c:50	9,206	2.30	2,030	30.3
Р	プレ ーン w∕c∶50	9,533	2.38	2,118	37.5

表-7 圧縮強度と一次共鳴振動数の関係



11. あとがき

凍害の進行程度を表す指標には、相対動弾性係数と耐久性指数と質量減少率があり、相 対動弾性係数は、供試体の深部までの健全度と関連している。質量減少率は、まさしく供 試体からセメントペーストや骨材がはがれ落ちていく量を表すが、コンクリートでは未水 和のセメントの水和が進み一度は質量が増加する傾向がある。一度上昇した最高質量から 最終の質量を引き、失った質量の割合を求めたものを質量減少率とした。供試体からはが れ落ちたペーストや骨材の量の割合を示しているため、おおよそ供試体の外観変化に値す ると思われる。

全ての指標から見て、遠心力製法で製造したコンクリートの耐凍害性が一番高いことが わかった。遠心力製法で製造したコンクリートは、水セメント比が低く、セメント量が多 く、遠心力で十分な締固めをし、余剰水を取り除くなど、緻密で結合力の高い高強度なコ ンクリートであるがゆえ、耐凍害性が高いと考えられる。ただし遠心力の内側では、セメ ントペースト層が残り、遠心力の外側より耐凍害性が低いと考えられる。AE コンクリート は、プレーンコンクリートより耐凍害性があり、両者ともセメント量が多く水セメント比 が低くいコンクリーの耐凍害性が高いことがわかった。しかし、AE コンクリートは相対動 弾性係数の低下は起こりにくいが、質量減少率は大きく、外観が早く悪くなっていく。表 面上劣化が進むが、コンクリート内部では微細な気泡が水の凍結時の圧力をうまく逃がし、 深部の劣化までには至らない。即時脱型製法のコンクリートでは、密度が高い密なコンク リートの方が低いものより耐凍害性が高いことがわかった。レジンコンクリートの質量減 少率は極めて少なく、表面上の劣化は無く耐凍害性は高い。レジンコンクリートの相対動 弾性係数の 5%の低下は、内部の水が凍って圧力上昇により起こる劣化のメカニズムとは違 い、結合剤である樹脂の温度の急激な上昇下降による劣化ではないかと思われ、セメント コンクリートの劣化のメカニズムと違うことが考えられた。

今後の予定は、240 サイクルで一時終了していた AE コンクリートの供試体の凍結融解の 試験を 300 サイクルまで行い、他の供試体については 480 サイクルまで終了しているが、 600 サイクルまでの試験が必要か良く検討し決定していきたい。

28

謝辞

今回の凍結融解試験は、私にとって初めての経験であり、指導教官の岐阜大学工学部長、 社会基盤工学、六郷恵哲教授と浅野幸男教授のご指導とご協力を得てはじめて試験を行う ことができたことに感謝致します。一緒に凍結融解の試験を行った社会人ドクター新家一 秀様には様々なアドバイスを頂き、大学院2年生 田代恭平君、学部生4年生 林大智君 には毎回試験に協力してもらいスムーズに試験を進行することが出来ました。ここに感謝 の意を表します。

また、勤務先である株式会社東海ヒューム管の酒井田社長には社会人過程での在職中の 学生活動についてご理解を頂き、ありがとうございました。技術部の森本さんには、毎回 の試験を手伝って頂きありがとうございました。

添付資料

配合と圧縮強度の詳細

① 遠心力製法 A-1、A-2、A-3、A-4 と③流し込み製法にて製造した高強度な供試体 C-1、
 C-2、C-3の配合

	上一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一												
採取日	平成 26	年 3月	17日	材齢14	В		スランブ値	4.5					
試験日	平成 26	年 3月	31日				ワーカビリティ	(良)) ·	悪)			
供試体	φ100×h	200(mm)					練り混ぜ時間	180秒)				
示方配合													
		最大骨材	スランブの	水セメント									
		寸法	範囲	結合材比	細骨材率	エア量			単位量 k	(g/m3			
Gmax		Gmax	sl	w/(C+Ex)	s/a		セメント	水	細骨材	粗骨材	減水剤	AE剤	
適用範囲 mm			cm	%	%	%	С	W	S	G	Rg		
箱形ヒュー	ム管ゆ150	15	5±2	32.4%	47%	2.0	485	157	809	937	4.85	0	
試験結果	供試体重量	荷重	強度	平均強度	備考								
	(g)	(KN)	(N∕mπ)	(N/mmů)									
1				(147 0007									
	3,698	391	49.8	(147 000)	フレッシュコ	ロンクリート							
2	3,698 3,687	391 351	49.8 44.7		フレッシュ= 練りあがり?	レクリート 温度	10.0	°C					
2	3,698 3,687 3,688	391 351 356	49.8 44.7 45.3	47.0	フレッシュニ 練りあがり) コンクリート	コンクリート 温度 の塩化物量	10.0	℃ kg/mi	(規定値0.3	Bkg/ml以下)		
2 3 4	3,698 3,687 3,688 3,667	391 351 356 360	49.8 44.7 45.3 45.8	47.0	フレッシュニ 練りあがり; コンクリート 養生方法	ルクリート 温度 の塩化物量 : 65℃±5℃で	10.0 0.059 3時間蒸気養生	℃ kg/m් E(20℃/時間	(規定値0.3 以内の上昇	Bkg/㎡以下))		
2 3 4 5	3,698 3,687 3,688 3,667 3,701	391 351 356 360 386	49.8 44.7 45.3 45.8 49.1	47.0	フレッシュニ 練りあがり コンクリート 養生方法 凍結融解	レクリート 温度 の塩化物量 : 65℃±5℃で 試験用供試体	10.0 0.059 3時間蒸気養生 C−1, C−2, C	℃ kg/㎡ _(20℃/時間 -3	(規定値0.3 以内の上昇 A=1,A=2 ,	Bkg/㎡以下) , A-3, A-4) ,の供試体	は更に遠	

② AE コンクリートで製造した高強度供試体 W/C=32% B-1,B-2,B-3

					圧縮強	度試験記録	表					
採取日	平成 26	年 3月	20日	材齢14	Β		スランブ値	4				
試験日	平成 26	年 4月	3日				ワーカビリティ	((良)	• 3	悪)		
供試体	φ100×h	200(mm)					練り混ぜ時間	180秒)			
示方配合												
		最大骨材	スランブの	水セメント								
	寸法 範囲 結合材比 細骨材率 エア星 単位星 kg/							.g/m3				
Gmax		Gmax	sl	w/(C+Ex)	s/a		セメント	水	細骨材	粗骨材	減水剤	AE剤
適用範囲 mm			cm	%	%	%	С	W	S	G	Rg	
箱形ヒュー	ム管ゆ150	15	5±2	32.4%	47%	4.5±1.5	485	157	778	902	4.85	0.03
試験結果	供試体重量	荷重	強度	平均強度	備考							
	(g)	(KN)	(N/mn)́)	(N∕mn)̇́								
1	3,624	356	45.3		フレッシュコ	コンクリート						
2	3,612	339	43.2		練りあがりネ	練りあがり温度		°C				
3	3,617	328	41.8	425	コンクリートの塩化物量		0.046	kg∕mื	(規定値0.3	ikg/㎡以下)	
4	3,624	324	41.3	42.0	養生方法 : 65℃±5℃で3		3時間蒸気養生	E(20℃/時間	以内の上昇	.)		
5	3,626	328	41.8		凍結融解	試験用供試体日	B-1, B-2, B-3	3				
6	3,611	326	41.5		密度	2.30)					

④ 即時脱型製品 E-1、E-2、E-3の配合

						伍 度試験記録表							
採取日	平成 26	年 4月 1	15日	材齢28	B		スランブ値	0					
試験日 3	平成 26	年 5月 7	7日				ワーカビリティ	(良	• <u> </u>	5.)			
供試体	φ100×h	200(mm)					練り混ぜ時間						
示方配合													
		最大骨材	スランブの	水セメント									
		寸法	範囲	結合材比	細骨材率	エア量			単位量 k	g/m3			
Gmax sl				w/(C+Ex)	s/a		セメント	水	細骨材	粗骨材	減水剤	AE剤	
適用	mm	cm	%	%	%	С	W	S	G	AD 30s			
寒冷地	用製品	15	0	32.0%	49.0% 280 89 1010 1045								
試験結果	供試体重量	荷重	強度	平均強度	備考								
	(g)	(KN)	(N/mm)	(N∕mn)́)									
1		349	44.4		即時脱型式	代成形機にて、振動とつ	ルスにより成れ	毝した積みブロ	ック(スプリ・	ットンブロック	7)		
2		360	45.8		から切り出	した。							
3		330	42.0	44.1	切出した位置により、同じブロックのなかでも上面より下面の方が密になり、密度が高い。								
				44.1									
					凍結融解	試験用供試体 E−1、	E-2、E-3						
					密度	下部 E-1、2.33 上部	<u>BE-2、2.28 上</u>	部E-3、2.29					

⑤一般的な円形側溝を製造する時に使用する配合でW/C=50% AE コンクリート供試体(空気量 4.2%)

採取日 平成 26年 5月 31日 材齢16 日 スランブ値 18 試験日 平成 26年 6月 16日 70-カビリティ (日 プーカビリティ (日 フーカビリティ (日 供試体 0100×h200(mm) 水セント 線リ混ぜ時間 180秒 示方配合 最大骨材 寸法 スランブの 範囲 水セント 結合材比 細骨材率 エア量 単位量 kg/m3 適用範囲 mm cm % % C W S G Rg 適用範囲 mm cm % % C W S G Rg 運家冷地用製品 15 16±2 50.0% 47.1% 4.2 342 171 837 940 4.79 0.0		上一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一													
tkk日 平成 26年 6月 16日 ワーカビリティ ((良)・悪) tkt体 φ100×h200(mm) 示方配合	採取日	平成 2	6年	5月	31日	材齢16	Β		スランブ値						
供試体 φ100×h200(mm) 線り混ぜ時間 180秒 示方配合 設大骨材 寸法 スランプの 範囲 水セ火ント 結合材比 エア量 単位量 生火ント kg/m3 適用範囲 mm cm % % 0 W S G Rg 変清地用製品 15 16±2 50.0% 47.1% 4.2 342 171 837 940 4.79 0.0 試験結果 供試体重量 荷重 強度 平均強度 備考	試験日	平成 2	平成 26年 6月 16日 ワ・		ワーカビリティ	((1)). j	悪)							
示方配合 最大骨材 寸法 スランプの 範囲 水セメント 結合材比 エア量 単位量 kg/m3 適用範囲 mm cm % % セメント 水 細骨材 租骨材 減水剤 AE剤 適用範囲 mm cm % % C W S G Rg 寒冷地用製品 15 16±2 50.0% 47.1% 4.2 342 171 837 940 4.79 0.0 試験結果<	供試体 φ100×h200(mm)								練り混ぜ時間	180秒)				
最大骨材 寸法 スランプの 範囲 水セパント 結合材比 エア量 単位量 kg/m3 適用範囲 mm cm s/a セメント 水 細骨材 粗骨材 減水剤 AE剤 適用範囲 mm cm % % C W S G Rg 寒冷地用製品 15 16±2 50.0% 47.1% 4.2 342 171 837 940 4.79 0.0 試験結果 供試体重量 荷重 強度 平均強度 備考 </td <td>示方配合</td> <td>ì</td> <td></td>	示方配合	ì													
寸法 範囲 結合材比 細骨材率 エア量 単位量 kg/m3 適用範囲 mm csl w/(C+Ex) s/a セメント 水 細骨材 粗骨材 減水剤 AE剤 適用範囲 mm cm % % % C W S G Rg 寒冷地用製品 15 16±2 50.0% 47.1% 4.2 342 171 837 940 4.79 0.0 試験結果<			最	大骨材	スランブの	水セメント								_	
Gmax sl w/(C+Ex) s/a セメント 水 細骨材 粗骨材 減水剤 AE剤 適用範囲 mm cm % % % C W S G Rg 寒冷地用製品 15 16±2 50.0% 47.1% 4.2 342 171 837 940 4.79 0.0 試験結果 供試体重量 荷重 強度 平均強度 備考				寸法	範囲	結合材比	細骨材率	エア量			単位量 k	<u>.g/m3</u>			
適用範囲 nm cm % % % C W S G Rg 寒冷地用製品 15 16±2 50.0% 47.1% 4.2 342 171 837 940 4.79 0.0 試験結果 供試体重量 荷重 強度 平均強度 備考				Gmax	sl	w/(C+Ex)	s/a		セメント	水	細骨材	粗骨材	減水剤	AE剤	
寒冷地用製品 15 16±2 50.0% 47.1% 4.2 342 171 837 940 4.79 0.0 試験結果 供試体重量 荷重 強度 平均強度 備考	適用範囲			mm	cm	%	%	%	C	W	S	G	Rg		
試験結果 供試体重量 荷重 強度 平均強度 備考	寒冷地	寒冷地用製品 15		15	16±2	50.0%	47.1%	4.2	342	171	837	940	4.79	0.086	
	試驗結果	供試体重	₽	荷重	強度	平均強度	備考								
(g) (KN) (N/må) (N/må)		(g)		(KN)	(N/mm)	(N/mm)	inia (y								
1 3,582.1 242 30.8 フレッシュコンクリート	1	3,582.1		242	30.8		フレッシュコ	コンクリート							
2 3,576.1 234 29.8 練りあがり温度 19.0℃	2	3,576.1		234	29.8		練りあがり;	温度	19.0	°C					
						30.3	コンクリートの塩化物量		0.041	kg∕m [†]	(規定値0.3	lkg/㎡以下)		
							養生方法	: 65℃±5℃で	3時間蒸気養生	Ė(20℃/時間	以内の上昇	.)			
凍結融解試験用供試体 O-1, O-2, O-3							凍結融解	試験用供試体	0-1, 0-2, 0)-3					
密度 2.28							密度	2.28							

⑥ 一般的な円形側溝を製造する時に使用する配合で W/C=50%、のプレーンコンク リート供試体

	上述"一些"。一些"一些",在"你们的问题",在"你们的问题",在"你们的问题",在"你们的问题",在"你们的问题",我们就能能能能能能能能能能能能能能能能能能能												
採取日	平成 26	年 6月 2	28	材齢16	В		スランブ値	16.5					
試験日	平成 26	年 6月 1	6日				ワーカビリティ	(良)•	悪)			
供試体	φ100×h	200(mm)					練り混ぜ時間	180秒)				
示方配合													
		最大骨材	スランブの	水セメント									
		寸法	範囲	結合材比	細骨材率	エア量			<u>単位量 k</u>	.g/m3			
Gmax st			sl	w/(C+Ex)	s/a		セメント	水	細骨材	粗骨材	減水剤	AE剤	
適用	範囲	mm	cm	%	%	%	С	W	S	G	Rg		
寒冷地	用製品	15	16±2	50.0%	47.1%	1.8	342	171	837	940	4.79	0	
					144 44								
試験結果	供試体重重	荷重	強度	半均強度	備考								
	(g)	(KN)	(N/mm)	(N/mmُ)									
1	3,633.3	301	38.3		フレッシュコ	コンクリート							
2	3,616.3	284	36.2		練りあがり	温度	21.0	°C					
3	3,646.6	298	37.9	375	コンクリート	の塩化物量	0.039	kg∕m′	(規定値0.3	kg/m"以下)		
				37.5	養生方法	: 65℃±5℃で	3時間蒸気養生	E(20℃/時間	以内の上昇	.)			
					凍結融解	試験用供試体	P-1, P-2, P	-3					
					密度	2.31							

⑦ レジンコンクリート供試体

					圧縮強	度試験記録	表						
採取日	平成 26	年 5月 1	9日	材齢 1	B								
試験日	平成 26	年 5月 2	20日										
供試体	φ75×h1	50(mm)											
示方配合													
		最大骨材											
適田	節囲	寸法	気泪		単位量 kg/m3								
	∓ G2⊡	Gmax		樹脂		砕石7号	粗砂	5号けい砂	粉	体			
		mm		不飽和ボ	リエステル	(5~2.5mm)	(2.5mm以下)	細砂	フェロニッケ	ルスラグ			
レジン管	【小径】	5	23.5°C	2.	86	473	462	572	40)7			
試験結果	供試体重量	荷重	強度	平均強度	備考								
	(g)	(KN)	(N/mnů)	(N/mm²)									
1	1,448.8	421	95.3	96.2	脱型後80℃	こ乾燥状態で4時	間強制養生。						
2	1,423.0	429	97.1	00.2	レジンコン	クリート							
					凍結融解	試験用供試体	R-1、R-2、R	-3					
					密度	R-1 2.22 R-2	2.27 R-3 2.	26					