

N-59 コンクリート工事用樹脂の力学的性質に関する基礎的研究

京都大学 正員 工修 西林新蔵
 京都大学 学生員 小林和夫
 運輸省 正員 工修 西田幸男

わが国におけるコンクリート工事用樹脂は

表-1 樹脂モルタルの強度特性

初期には主としてライニング用として利用されてきたが、最近各種ファイラーと樹脂に混入したモルタルの形で接着剤、補修材、コンクリート舗装表面処理材などとしての利用が盛んになってきた。本研究はエポキシ樹脂とポリエステル樹脂を用いて樹脂モルタルを製作し、その強度特性、フリード特性を明らかにするため実施した。エポキシ樹脂はエビコート樹脂、ポリエステル樹脂はポリマーユグ2012と使用し、ファイラーは普通標準砂と相馬砂と1:1の割合でブレンドしたものを用いた。樹脂とファイラーの配合比は1:5, 1:6, 1:7(重量比)、強度試験の枝令は1, 3, 7, 14, 28, 91日の6枝令、養生は恒温湿(20±1°C, R.H. 90%)で行った。圧縮強度は5φ10cm, 曲げ強度は4×4

樹脂配合	配合比 (樹脂:ファイラー)	σ_c	σ_t	σ_b	σ_c/σ_t	E_c	E_t	ν_c
		kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²		kg/cm ²	kg/cm ²	
P-5	3	582	94	258	6.20	1.39	0.84	0.26
	7	611	115	265	5.50	1.63	1.33	0.32
	28	690	126	290	5.47	1.72	1.65	0.22
	91	721		296		1.86		0.26
P-6	3	575	84	225	6.85	1.58	1.26	0.19
	7	600	99	235	6.06	1.70	1.59	0.22
	28	675	114	270	5.93	1.84	1.90	0.21
	91	705		280		1.89		0.26
P-7	3	465	69	176	6.75	1.36	0.84	0.23
	7	500	84	210	5.95	1.53	1.30	0.23
	28	579	102	245	5.67	1.73	1.60	0.20
	91	595		254		1.78		0.38
E-5	3	612	133	225	4.60	1.54	0.96	0.33
	7	795	166	330	4.80	1.69	1.52	0.27
	28	925	196	385	4.71	1.84	1.97	0.28
	91	1041		385		2.10		0.28
E-6	3	612	133	275	4.60	1.51	1.06	0.29
	7	720	151	360	4.77	1.83	1.69	0.25
	28	890	176	392	5.05	2.06	2.06	0.24
	91	1000		392		2.20		0.24
E-7	3	540	101	225	5.35	1.39	0.80	0.30
	7	620	124	315	5.08	1.60	1.33	0.32
	28	695	134	367	5.19	1.72	1.81	0.26
	91	710		362		1.78		0.28

P: ポリエステル樹脂エン7V, E: エポキシ樹脂エン7N

x16cm, 引張強度は供試体長さ20cm, 断面(φ3cm)一定部分10cmの表断面供試体と夫々使用した。強度試験結果および特性を表-1に示す。これより σ_c , σ_t , σ_b ともに各配合で、EはPの約1.5倍の強度を示している。また、配合比による影響はEの方が受けやすく、特にE-7の強度の低下が著しい。これはエポキシ樹脂の粘度と関係し、粘度によって最適なファイラー粒度、配合比が決まえると思われる。 σ_t は σ_c の大约1/6でコンクリートに比するとかなり小さい。 E_c と E_t はほとんど差がなく大略1.5~2.0×10⁵kg/cm², ν は0.2~0.3である。

表-2 フリード係数

供試体	σ_c	$m \times 10^5$	n	$f_m \times 10^5$	$\eta_m \times 10^5$
(kg/cm ²)	(mm/kg)	(days)		(kg/cm ²)	(kg/cm ²)
CE-5-(20)	127.0	0.83	16.0	10.5	19.30
CE-5-(30)	192.1	0.85	12.5	16.3	15.90
CE-5-(40)	265.0	0.85	14.0	19.1	16.50
CP-5-(20)	119.1	1.5	11.5	17.9	7.66
CP-5-(30)	179.2	1.2	8.5	21.5	7.10
CP-5-(40)	239.5	1.3	12.0	31.1	9.22
CP-7-(20)	80.0	1.8	10.0	144	6.65
CP-7-(30)	120.0	2.4	10.0	288	4.17
CP-7-(40)	160.0	2.0	9.5	320	4.75
TE-5-(20)	36.3	2.7	20.5	98.0	7.60
TE-5-(30)	44.0	2.1	21.5	113.3	10.20
TE-5-(40)	72.5	1.8	19.0	131.0	10.55
TE-7-(20)	22.8	3.6	30.0	127.7	5.36
TE-7-(30)	34.3	4.5	28.0	154.0	6.23
TE-7-(40)	45.5	4.3	31.5	195.5	7.33
TP-5-(20)	24.9	2.0	27.0	49.8	13.50
TP-5-(30)	37.5	1.4	15.0	62.5	10.74
TP-5-(40)	49.8	1.4	11.5	84.6	8.24
TP-7-(20)	19.3	3.7	7.5	71.4	2.92

フリード試験は、配合比1:5, 1:7, 供試体寸法4φ30cm(圧縮), 4φ40cm(引張), 枝令14日で最終強度の20, 30, 40%の持続応力を載荷した。フリードひずみ時間曲線は双曲線および力学模型を用いて解析した。すなわち、双曲線は $f_t = m t / (n + t)$ と仮定し、係数 m , n は曲線から決めた(表-2)。 m は単位応力あた

1の極限フリー-7°のとき、 η はフリー-7°のときが f_m/c に対するまでの時間を表す。
 m は cm/kg の単位を持ち、樹脂モルタルの変形のしやすさに対する1つの目安となる。また、 η/m は Maxwell 要素のダッシュポットの粘性係数に相当するものと考えられる。

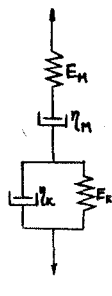


表-3 カサ模型常数

供試体	遅延弾性			粘性流動		
	T_K (days)	$E_K \times 10^4$ (kg/cm^2)	$\eta_M \times 10^5$ ($kg \cdot day/cm^2$)	T_M (days)	$E_M \times 10^4$ (kg/cm^2)	$\eta_K \times 10^5$ ($kg \cdot day/cm^2$)
CE-5-(20)	6.79	2.33	15.95	15.11	4.10	12.00
CE-5-(90)	4.68	2.63	11.83	19.32	3.32	58.00
CE-5-(40)	1.55	2.83	5.48	22.54	3.04	68.50
CP-5-(20)	3.60	1.32	4.72	15.90	1.95	31.00
CP-5-(90)	2.96	1.68	4.67	19.05	2.35	44.80
CP-5-(40)	2.62	1.85	4.95	23.89	1.83	43.40

カサ模型は図に示すように1つの Maxwell 要素と、1つの Kelvin 要素とを直列に結合したものと用い、M要素には樹脂の粘性流動による非可逆変形と、K要素には骨格構造の遅延弾性による可逆変形とをばめた。一般に図に示すカサ模型は Burgers 体と呼ばれるものであるが、樹脂モルタルの場合 M要素の粘性係数 η_M は時間とともに変化するため、一般の Burgers 体のレオロジー方程式を用いることはできない。従ってここでは Freundenthal, Roll 式并にコンクリートのフリー-7°解析に用いた式によって樹脂モルタルのフリー-7°解析を行う。すなわち一定荷重下の全変形は次式で表わされる。右辺第1項が M要素による変形、

$$\epsilon = \frac{\sigma_0}{E_M T_M} (1 - e^{-\frac{t}{T_M}}) + \frac{\sigma_0}{E_K} (1 - e^{-\frac{t}{T_K}})$$

第2項は K要素による変形である。

ここで $T_M = \eta_M / E_M$ (η_M は応力導入時の η_M の値)、 $T_K = \eta_K / E_K$ で定義される。

フリー-7°の時間曲線より E_M, η_M, E_K, η_K を求めるには種々の仮定が必要である。ここでは、時間的にも小さい間は K要素で表わされる遅延弾性による変形が支配的であり、それが大きくなるに従って M要素で表わされる粘性流動による変形が支配的になると仮定して各常数を求めた。その1例を表3に示す。表-3において CP-5-(20)はポリエスチル樹脂:ファイラーが1:5、導入圧縮応力は最終強度の20%と意味する。

本実験より樹脂モルタルの変形について明らかとなった項目をまとめると次のようになる。

- (1) ファイラーと樹脂との配合比が、樹脂モルタルのフリー-7°特性におよぼす影響は著しきものである。
- (2) 樹脂モルタルにおいては圧縮フリー-7°の方が引張フリー-7°より大で、 f_c/f_t はエポキシ樹脂モルタルで約0.75、ポリエスチル樹脂モルタルで約0.35である。
- (3) 樹脂の硬化速度は同一、同量の硬化剤を使用した場合、食配合ほど速くなる傾向がある。
- (4) 樹脂モルタルは一般に圧縮に対してより引張に対してより脆性(brittle)な性質を示す。
- (5) 完全に硬化していない樹脂モルタルに、一定軸応力を加えるとフリー-7°限が著しく低下することが予想される。
- (6) 樹脂モルタルの、一定軸応力下における局部破壊による塑性変形はコンクリートやソイルセメントに比べて現れにくいように推察される。
- (7) 樹脂モルタルのフリー-7°機構は、樹脂の粘性流動による塑性変形と骨格構造の遅延弾性で表わされ、高応力となるに従って局部破壊による塑性変形が大きく影響してくるようである。

その他の考察については講演会当日詳述する。