

不飽和ポリエステルレジンコンクリートの力学的性質に及ぼす温度の影響

九州産業大学 正会員 山崎 竹博

1. まえがき

不飽和ポリエステルレジンコンクリートは耐水性、耐凍結融解性、耐化学薬品性に優れ、早期強度の得られる材料であるが、一方、強度やクリープ性状が温度に依存する性質をもつ。このようなレジンコンクリートの熱依存性については既報の研究報告が極めて少なく、定量的な結論が得られていない現状である。このような点から、本研究では強度および弾性係数の温度依存性について実験的考察を行なった。一般に、レジンコンクリートの強度の発現は樹脂の重合反応によるため、打設時および養生時の温度によって重合速度が異なり、また、重合の程度も異なることから、養生温度が高い程早期に高強度が得られる。よって、各温度での性質を比較する場合、本研究では常温打設された、材料温度 20°C の供試体の性質を基準とする。

2. 実験概要

結合材として用いた不飽和ポリエステル樹脂は嫌水性であるため、レジンコンクリートの強度を確保するには使用する骨材および微粒充填材の含水率と粗骨材で 0.1% 以下、細骨材で 0.3% 以下とする必要のあることが報告されている。本実験では図・1に示すように24時間乾燥した材料を密封して 20°C まで冷却し、打設後 20°C 恒温養生室で3日間養生した。その後、蒸気養生箱を用いて $20^{\circ}\text{C} \sim 60^{\circ}\text{C}$ の各温度で養生を行ない、強度および弾性係数試験を実施した。このとき、供試体の半分は再び 20°C に冷却して同様の試験を行ない、その値を比較の基準とした。供試体には $\phi 7.5 \times 15\text{ cm}$ 円柱供試体を用い、圧縮供試体には温度養生前にストレーンゲージを貼付し、ワックスで防水加工した後、発泡スチロール円筒で側面を被覆した。骨材には久山産角せん守山岩、志賀島産海砂および炭酸カルシウムを使用し、配合は単位レジン量 10% 、炭酸カルシウム量 120 PHR 、 $s/a = 36\%$ とした。また、試験中に供試体の温度低下をできるだけ少なくするため、前もってドライヤーおよび電熱器で載荷板を予熱しておき、周囲を布で覆った状態で試験を行なった。載荷速度は圧縮強度試験で $2.5 \sim 3.3\text{ KN/s}$ 、割裂強度試験で $0.25 \sim 0.33\text{ KN/s}$ とした。

3. 実験結果および考察

上記の方法により実施した実験の結果を表・1および表・2に示す。表・1は温度 $20^{\circ}\text{C} \sim 60^{\circ}\text{C}$ の時、表・2は温度 $20^{\circ}\text{C} \sim 60^{\circ}\text{C}$ で養生した後 20°C まで冷却した時の圧縮強度、引張強度、割線弾性係数を示したものである。

3. 実験結果および考察

強度試験には各々6本の供試体を用い、圧縮供試体の半数について弾性係数を測定した。試験は迅速に行なったが、弾性係数を測定した供試体では試験後の表面温度が最大 10% 程度低下し、高温にならないうちにその低下率は大きくなった。このような温度のばらつきが試験結果に及ぼす影響は小さく、その変動

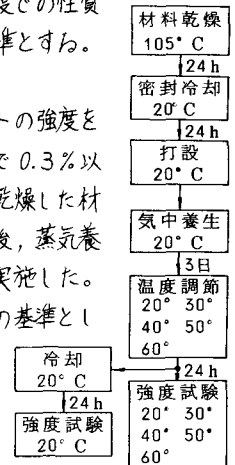


図-1 実験手順

表-1 各温度におけるレジンコンクリートの性質

打設日	7月23日	7月22日	7月24日	7月27日	8月2日	
圧縮強度 MPa	No	20℃	30℃	40℃	50℃	60℃
	1	85.8	80.9	75.7	79.7	76.7
	2	86.0	80.1	76.3	81.4	77.9
	3	89.6	82.5	76.0	79.9	79.2
	4	89.4	78.5	77.2	77.6	78.1
	5	87.2	78.3	78.8	75.7	77.6
	6	86.5	82.3	81.1	77.6	76.9
平均値	87.4	80.5	77.5	78.6	77.7	
強度比%	100	92	87	90	89	
変動係数%	5.4	2.1	2.5	2.4	1.0	
引張強度 MPa	1	9.67	7.68	7.38	8.40	7.12
	2	8.26	8.46	8.02	8.21	7.65
	3	9.43	8.62	7.62	8.68	8.52
	4	7.26	7.05	8.18	8.49	8.59
	5	9.49	8.26	8.23	8.12	9.29
	6	9.82	8.68	8.23	8.29	6.85
	平均値	9.00	8.12	7.95	8.37	8.01
強度比%	100	90	88	93	90	
変動係数%	10.3	7.2	4.2	2.2	10.8	
弾性係数 GPa	1	23.6	22.3	23.2	24.4	20.6
	2	26.8	21.0	21.9	23.8	20.6
	3	26.7	23.3	23.2	22.4	20.7
	平均値	25.7	22.2	22.7	23.5	20.6
	強度比%	100	87	89	92	80
	変動係数%	5.7	4.3	2.8	3.5	0.2

● $1\text{MPa} = 10.2\text{ Kg/cm}^2$ 、 $1\text{GPa} = 10200\text{ Kg/cm}^2$

係数は表・1 から圧縮強度で5%, 引張強度で10%程度であることが判る。これらの値は表・2に示す20°Cでの値とほぼ等しく、温度のはらつきによる強度への影響は顕著でない。

表・1 から温度と強度の関係を見ると30°Cまでは温度の上昇とともに強度は低下するが、40°C~60°Cではほぼ一定強度となる。その傾向を20°Cの値に対する比として示せば図・2のように60°Cまでに10%の強度低下を生じることが判る。ここで、高温養生を行なった供試体では20°Cでの強度そのものが既に変化しているため

図・2に示す値は真の強度低下を示すものではない。そこで表・2から供試体の履歴温度と20°Cにおける強度との関係を履歴温度20°Cに対する比として示すと図・3のように履歴温度が高い供試体強度も高くなる。このことはまた、ほぼ重合反応が収束する材令3日まで常温養生を行なった場合でも、その後の高温養生による養生効果は十分に生ずることを意味している。

さて、レジンコンクリートの温度に伴う真の強度低下は、図・2に示す値を図・3の同一温度での値で除すことによって得られる。その結果、真の強度低下は図・4のように60°Cで20~30%にもなることが明らかとなった。次に、弾性係数と温度との関係についてみると図・2、3に示すようにその関係は強度と一致して変化することが判る。すなわち、温度上昇に伴ない弾性係数も低下する。これらの結果から、レジンコンクリートの圧縮強度と弾性係数の関係を調べると $E_c = 2870$ なる関係式が得られる。この関係は、既報(参考文献)の結果と重ね合わせることにより、材令3時間程度の低強度域から強度全域に渡って成立するものと考えて良い。また、最大圧縮荷重時の変形能力を同荷重時のひすみから調べた結果、供試体温度50°C以下では 6000×10^{-6} 以下であったが、60°Cでは 13000×10^{-6} にも達し、弾性係数の低下も大きくなった。

4. まとめ

以上の結果を整理すると、常温養生されたレジンコンクリートの強度および弾性係数は温度の上昇につれて低下し、その見掛け低下率は60°Cで10%程度であったが、真の低下率は20~30%となった。材令3日から高温養生を行なっても、その養生効果はあり、養生温度の上昇につれ強度も高くなる。このとき、強度と弾性係数は比例関係にあり $E_c = 2870$ で表わされる。脆度係数は高温時で平均9.7, 20°Cでは9.9となり大差なかった。

4. まとめ

以上の結果を整理すると、常温養生されたレジンコンクリートの強度および弾性係数は温度の上昇につれて低下し、その見掛け低下率は60°Cで10%程度であったが、真の低下率は20~30%となった。材令3日から高温養生を行なっても、その養生効果はあり、養生温度の上昇につれ強度も高くなる。このとき、強度と弾性係数は比例関係にあり $E_c = 2870$ で表わされる。脆度係数は高温時で平均9.7, 20°Cでは9.9となり大差なかった。

5. 参考文献 山崎博・宮川邦彦・渡辺明：補強されたレジンコンクリートの硬化収縮応力算定に関する研究、土木学会論文報告集、第318号、1982年2月

表-2 温度養生後20°Cに冷やした時の性質

打設日		7月23日	7月22日	7月24日	7月27日	8月2日
	No	20-20℃	30-20℃	40-20℃	50-20℃	60-20℃
圧縮強度 MPa	1	85.8	97.5	96.6	99.6	103.8
	2	86.0	92.0	98.2	100.8	108.7
	3	89.6	94.9	96.4	94.9	102.0
	4	89.4	96.6	97.8	101.7	108.9
	5	87.2	94.7	97.8	98.2	99.4
	6	86.5	96.9	97.9	100.3	106.8
平均値		87.4	95.5	97.5	99.3	105.0
強度比%		100	109	112	114	120
変動係数%		1.8	1.9	0.7	2.2	3.3
引張強度 MPa	1	9.67	9.21	10.39	9.90	9.62
	2	8.26	10.58	11.17	9.55	10.78
	3	9.43	9.52	8.82	9.02	11.37
	4	7.26	9.29	10.88	10.09	8.05
	5	9.49	8.02	10.49	9.68	11.37
	6	9.82	10.49	10.58	11.27	8.82
平均値		9.00	9.54	10.39	9.90	10.00
強度比%		100	106	115	110	111
変動係数%		10.3	9.1	7.2	7.0	12.7
弾性係数 GPa	1	23.6	26.0	30.3	27.0	29.9
	2	26.8	---	30.5	29.5	29.5
	3	26.7	28.5	26.7	29.0	30.0
平均値		25.7	27.2	29.1	28.5	29.8
強度比%		100	106	113	111	116
変動係数%		5.8	4.6	6.0	3.8	0.7

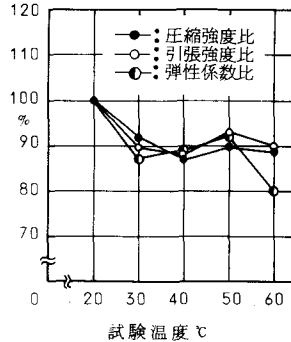


図-2 温度の異なる供試体の圧縮・引張強度、弾性係数の比

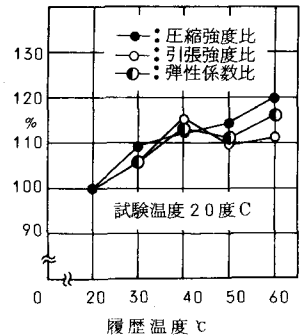


図-3 温度履歴を受ける供試体の圧縮・引張強度、弾性係数の比

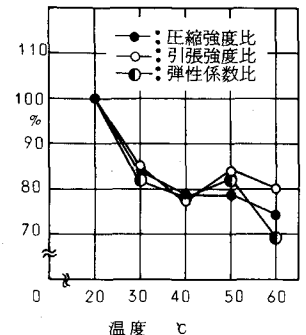


図-4 温度に伴う強度および弾性係数の20°Cに対する比