

1. まえがき

レジンコンクリートに使用される樹脂の主なものに、不飽和ポリエステルやエポキシ等がある。一般に、硬化収縮ひずみが大きいと言われる不飽和ポリエステル樹脂については、エポキシや反応性希釈剤、可塑剤との組み合わせにより、無収縮タイプのものが開発されている。しかし、その価格は、エポキシ樹脂のそれより1~2割安価ではあるが、従来の不飽和ポリエステル樹脂に比べ、3.5~4倍と、高価である。また、無収縮タイプのレジンコンクリートにも 1500×10^{-6} 程度、収縮ひずみの生じることが報告されており、レジンコンクリートを構造用材料として、実用化するための問題点は、硬化収縮ひずみの処置にあると言える。既報の研究結果では、不飽和ポリエステル樹脂を用いたレジンコンクリートの硬化収縮ひずみと残留応力の関係から、硬化初期の粘性流動が拘束されなければ、硬化時のひび割れは生じないことを述べた。ここでは、さらに、硬化収縮応力を受けるレジンコンクリートの、物理的性質の変化等について、実験および考察を行なった。

2. 実験目的

不飽和ポリエステルレジンコンクリートは、レジン量10%のもので、硬化時に 6000×10^{-6} 程度の硬化収縮ひずみを生じる。しかし、その約40%が強度発現直後までに生じ、粘性流動や残留ひずみ、および内部の鉄筋との間のすべり等を生じることになる。また、表-0に示すように、鉄筋による拘束が大きくなると、塑性変形が大きくなり、硬化後の残留応力が減少する結果も得られている。これらのことから、鉄筋で補強されたレジンコンクリートには、何らかの物理的性質の変化が生じていることが考えられる。

本実験では、これら硬化収縮によって惹起されるコンクリートの性質変化を調べる目的で、以下に述べる実験を行なった。

3. 実験概要

a) 使用材料：レジンには、リゴラック不飽和ポリエステル2260N、リゴラックスチレンモノマー、リゴラックコバルト、パーメックを使用した。微粒充填材としては、炭酸カルシウムを用い、細骨材には、志賀島産海砂を用いた。粗骨材は、久山産碎石を使用した。

b) 配合：レジンの配合は、ポリエステル：スチレン：コバルト：パーメック=100：6：0.5：0.7（重量比）とした。レジン量は、全重量の10%とし、細骨材率は36%とした。

c) 引抜試験：硬化収縮応力を受けるレジンコンクリートの付着状態を調べるため、特にすべりの影響を強く受けると考えられるはり端部の引抜試験を行なった。その方法として、図-1に示す硬化収縮応力測定後の供試体を、材端から5cmの位置で切断し、引抜試験を行なった。また、比較のため3本よりPC鋼線をφ7.5cm円柱供試体に埋め込み、引抜試験を行なった。

d) 曲げ試験：10×10×40cm円柱供試体図心に丸鋼を埋設し、図-2に示す方法で、曲げ試験を行なった。

e) 圧縮弾性係数試験：φ10×20cm円柱供試体の図心に、丸鋼を埋め込み、その圧縮弾性係数を測定した。

4. 実験結果および考察

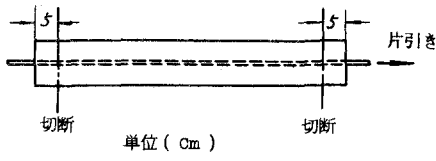


図-1 片引試験供試体作製図

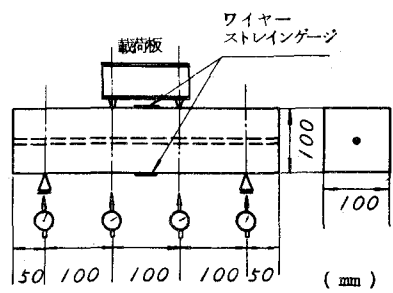


図-2 曲げ試験供試体

表-0 打設後72時間でのコンクリート残留応力(%)

種 類	鉄筋比%	残留応力(%)
丸鋼φ19 (フック付)	2.75	26.4
異形D19	2.43	24.2
溶接格子	ひび割れ発生	61.3
溶接なし	ひび割れなし	

表-1に、引抜試験結果を示す。これらの結果から、部材端部のコンクリート付着応力は、すべり始めで15%、0.1mmすべり量のときには20~25%の低下が見られる。また、PC鋼線の場合は、その表面が非常に滑らかであるのに対し、丸鋼の表面は、かなりさびていたため、粗い凹凸が生じていた。そのため、丸鋼の機械的付着力が、非常に大きくなり、引き抜けは、供試体の割裂か、鉄筋の降伏によって生じた。これらのことから、はり端部の付着力は、使用される鉄筋に、機械的付着力が期待される場合、その低下は考慮する必要はないと考えられる。

表-2に示す曲げ試験結果では、残留応力を受ける供試体の曲げ強度が、残留応力を受けない場合の強度に比べ、20~30kg/cm²減少している。しかし、供試体に残留している応力(φ19mm 筋使用の場合26kg/cm²)を加味すれば、コンクリート自体の強度低下は、ほぼ無いと見なせる。また、荷重2tonでの曲率に全く変化が見られないことから、コンクリートの弾性係数にも変化のないことが推察される。ここで、曲率は、供試体上下縁に貼付したストレインゲージの測定値から算出したものである。

表-3に示す円柱供試体の圧縮弾性係数は、次式から算出した。

$$E_c = (P - A_s E_s \epsilon) / A_c \epsilon$$
ただし、P: 荷重, A_s, A_c: 鉄筋およびコンクリート断面積, E_s, E_c: 鉄筋およびコンクリートの弾性係数, ε: 測定ひずみ
それらの結果によくと、鉄筋を埋設した供試体の弾性係数は、鉄筋比によらず、無筋のそれより10~20%の低下を示している。以上の結果から、鉄筋で補強されたレジンコンクリートは、曲げ試験による弾性係数には低下は見られないが、圧縮試験による弾性係数には低下が見られることになる。これらのことから、硬化収縮ひずみによる弾性係数への影響は、鉄筋周囲の限られた範囲に生じると考えられる。因みに、φ19mm 鉄筋の周囲1cmで、コンクリート弾性係数が1/2に減少したと仮定すると、圧縮弾性係数は8%減少するが、曲げ曲率は0.1%弱の増加にしかならない。

5. むすび

これまでに行ってきた、硬化収縮に関する実験結果から、次のことが言える。レジンコンクリートを補強する場合、硬化初期の収縮による流動を防げないよう、十分な鉄筋間隔を確保すること、鉄筋の折り曲げや溶接は避けること、主鉄筋には十分なさぶりを考慮すること、引張強度から残留応力を差し引くことなどに注意しなければならない。

表-1 引抜試験結果

NO.	使用鉄筋	供試体高さ (cm)	すべり始め Z _{0.1} (%)	すべり0.1 Z _{0.1} (%)	すべり0.25 Z _{0.25} (%)	引抜荷重 kg
1	3本よりPC鋼線	5.3	91	141	153	2100
2		5.2	93	129	138	1900
3		5.2	102	162	179	2300
4		10.2	96	鋼線破断		
5		10.2	99			
6		10.1	92			
平均			96	144	157	
1	セメント	5.7	50	59	65	850
2		5.4	49	68	71	950
3		5.8	56	68	71	950
平均			52	65	69	
1	レジンコンクリート	φ12mm	5.1	48	91	供試体割裂
2		φ12mm	5.0	74	109	
3		φ19mm	5.1	—	—	
4		φ19mm	5.3	95	121	
5		φ22mm	4.9	94	124	
6		φ22mm	5.2	89	—	

表-2 鉄筋を有する角柱供試体の曲げ試験結果

NO.	曲率 (1/cm) ×10 ⁻⁶	最大荷重 ton	曲げ強度 kg/cm ²	最大引張 ひずみ ×10 ⁻⁶
1	43.5	4.83	147	1070
2	42.0	5.16	151	890
3	40.5	5.48	169	800
平均	42.0	5.16	156	920
1	42.5	4.37	130	—
2	40.0	4.70	133	590
3	37.0	4.67	138	440
平均	40.0	4.58	135	515
1	43.5	4.20	123	1020
2	41.5	4.00	118	—
3	40.9	4.02	118	680
平均	42.0	4.07	120	850
1	41.5	4.24	124	800
2	39.5	4.28	126	455
3	44.0	4.25	127	790
平均	41.7	4.26	126	682

注) 荷重2tonの曲率を示す。

表-3 埋込鉄筋を有する円柱供試体の弾性係数

NO.	無筋	φ6mm	φ12mm	φ19mm
1	2.1 ×10 ⁸	2.5 ×10 ⁸	2.6 ×10 ⁸	2.6 ×10 ⁸
2	2.9	2.1	1.8	2.0
3	2.5	2.2	2.0	2.3
4	2.9	2.7	2.0	2.8
5	3.0	2.6	2.0	2.5
6	2.5	2.3	2.3	1.9
平均	2.7	2.4	2.1	2.4
変動係数	12%	9%	12%	14%