

第3章 遠心成形されたレジコンクリート製品の品質改善

3.1 不具合の原因分析および本研究の目的

3.1.1 不具合の原因分析

図-1.5に示した原因別不良率は、共同研究先である(株)アソウレジコン社の平成13年度の実績である。年間生産量約5,000tの工場製品の製造直後の不良率が1.23%、ストックヤード保管中の不良率が1.42%、合計2.65%であった。不具合の原因の中でひび割れによる不具合が全体の約60%であることが判った。ひび割れの発生したREC製品を写真3-1に示す。この写真で示すように今回の研究の対象にする製品は、遠心成形で製造された製品である。このひび割れの入った製品から抜き取ったコアの断面写真を写真-3.2に示す。この写真からも明らかなように、管の内外面に材料分離が観察された。この材料分離による管内外の樹脂量の差が収縮量の差となり、この収縮量の差が製品の形状や鉄筋により拘束され、断面内部に引張り応力が発生する。この拘束応力が原因で、製品のひび割れとして顕在化すると推定される。

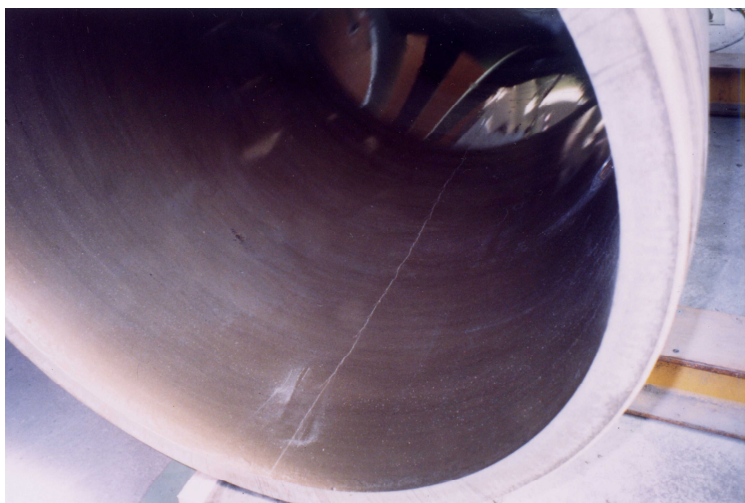


写真-3.1 REC製品のひび割れ



写真-3.2 コア断面写真

(1)コアの分析方法

- ・試験片 コアの内面，中央，外面から20×30×30mmの試験片を切り出す．
- ・強熱減量 試験片を105の乾燥機で24時間乾燥後，マッフル電気炉を用い350で1時間30分，625で2時間焼却した．その残差を0.088mmのフルイでふるい，網下を充填材とした．網上を5.0mmのフルイでふるい，網下を細骨材，網上を粗骨材とした．

(2)試験結果

試験結果を図-3.1に示す．

図-3.1に示されるように，管の内外に大きな材料分離が確認出来た．管の中央の材料組成は，示方配合とほぼ同じであった．細骨材は，内，外，中央において，極端な分離は示さなかった．

粗骨材は，管の内面では0%，管の外面では43%と示方配合の2倍の量を示した．また，粗骨材の移動と逆にペースト部分が粗骨材に置換されていることがわかった．ペーストの移動，つまり，結合材である樹脂の移動が確認出来た．示方配合に対し，外面で約半減，内面の樹脂量が示方配合の2倍に増加していることが判明した．

また，ここで，充填材と結合材の比率を確認した結果，各測定値とも示方配合の比率に一致し，RECの配合の中では，結合材と充填材は一体となって移動することがわかった．

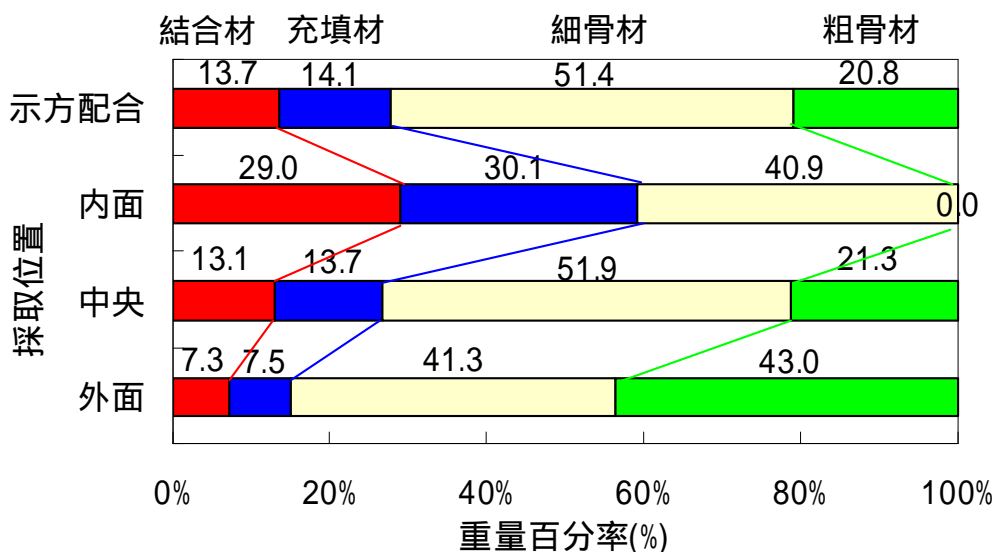


図-3.1 コアの分析結果

3.1.2 本研究の目的

従来セメントコンクリート製品の成形に遠心力締固めが採用される理由は，遠心力を利用してコンクリートを締固めることによって，コンクリート中の余剰水量を搾り出し，製品の水セメント比を下げることによって，密実で高強度，高耐久性のコンクリート製品を作り出すことにある．また，締固めを十分行うことによって，その後の製品移動が容易になり，成型機の稼働効率を上げることが出来る等，セメントコンクリートの分野では，遠心力締固めについて多くの研究成果^{1),2)}がある．

しかし，RECへの遠心力の利用については，清水氏³⁾が，REC成形にこの遠心力締固め方法を採用する目的は，「RECを構成するそれぞれの材料を，遠心力により均等に配置し成形肉厚を均一にする」ことであると指摘している．つまり，過剰な遠心力は，RECの構成材料の中の結合材となる

べき樹脂の密度が一番小さいことから、骨材間を結合すべき樹脂が搾り出されて製品断面内の内外樹脂量が大きく変化することになる。この樹脂量の差が、REC製品製造において不具合を引き出すものであると考えられる。

そこで、本研究では、「ひび割れ対策」に関する研究の一環として、先のコア分析試験から得た知見をもとに、以下の検討を行うものである。

- (1) 充填材の密度差が材料分離、ひび割れ強度へ与える影響。
 - (2) 遠心成形時の加速度の大きさと材料分離の関係。
 - (3) 材料分離と製品のひび割れ強度との関係。
 - (4) 鉄筋の有無とひび割れ強度との関係。
- について、実験からそれらの関係を明らかにした。

3.2 実験概要

3.2.1 使用材料および配合

本実験の使用材料を表-3.1に、配合表を表-3.2に示す。また、充填材の検討に用いた2種類の材料の粒度分布を図-3.3に示す。

従来、収縮低減剤を用いて収縮による拘束応力などの低減を図っているが、本研究では、あえて材料分離による硬化収縮の影響を明確にするため、収縮低減剤を用いない配合を使用して、一連の検討を実施した。

表-3.1 使用材料

使用材料	種 類	絶乾密度	吸水率	樹脂吸着量
		(g/cm ³)	(%)	(%)
結合材	不飽和ポリエステル樹脂	1.12	-	-
充填材	スラグ粉末	3.35	-	37.8
	フライアッシュ	2.32	-	45.4
細骨材	5号ケイ砂	2.55	1.0	-
	3号ケイ砂	2.53	1.2	-
粗骨材	碎石 1005	2.64	0.8	-

表-3.2 配 合 (kg/m³)

種 類	結合材	充填材	5号ケイ砂	3号ケイ砂	粗骨材
スラグ粉末	290	432	543	539	440
フライアッシュ	290	299	543	539	440

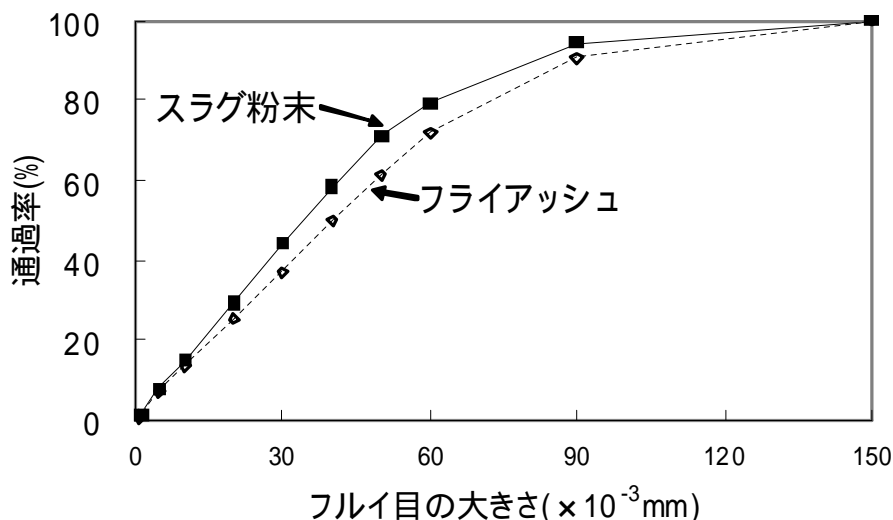


図-3.3 充填材の粒度分布

3.2.2 実験方法

(1) 混練

所要材料を計量し、ホバートミキサーで空練り1分間、別途計量した主剤と硬化剤を混合攪拌したものを添加し、2分間混練したRECを成形に供した。

(2) 成形

写真-3.2の小型製管機を用いて、各実験で指定される遠心力の大きさと時間で作製した。

供試体作製の手順を図-3.4に示す。手順は、低速で材料投入をおこない、所定の遠心力で10分間遠心力締固めを行った。その後、低速で1時間回転させながら室温で養生を行った。その後、各実験でしてされる養生条件で養生した。

ここで、遠心力 F は、重力の加速度 G の倍数で表示した。計算式は式(1)に示す

$$F = \frac{m(2\pi rn)^2}{r} \cdot \frac{1}{mG} = \frac{4\pi^2 n^2}{G} \quad (1)$$

F 遠心力 (G の倍数で示す)

G 重力の加速度 (980cm/s^2)

m 質量 (kg)

r 製品の回転半径 (cm)

n 回転数 (r.p.s)

(3) 供試体

本試験で用いた円筒供試体は、外径 200mm、長さ 300mm で管厚は 20mm と 25mm の2種類の型枠を用いた。

(4) 鉄筋

図-3.5に鉄筋配筋図を示す。ラセン筋の鉄筋比は、0.56%である。

(5) 養生

成形終了した供試体は、製管機から下ろし、型枠のまま 60 に設定した乾燥機で2時間養生した。養生終了後乾燥機から取り出し脱型した。脱型後 20 の試験室内で1週間養生した。

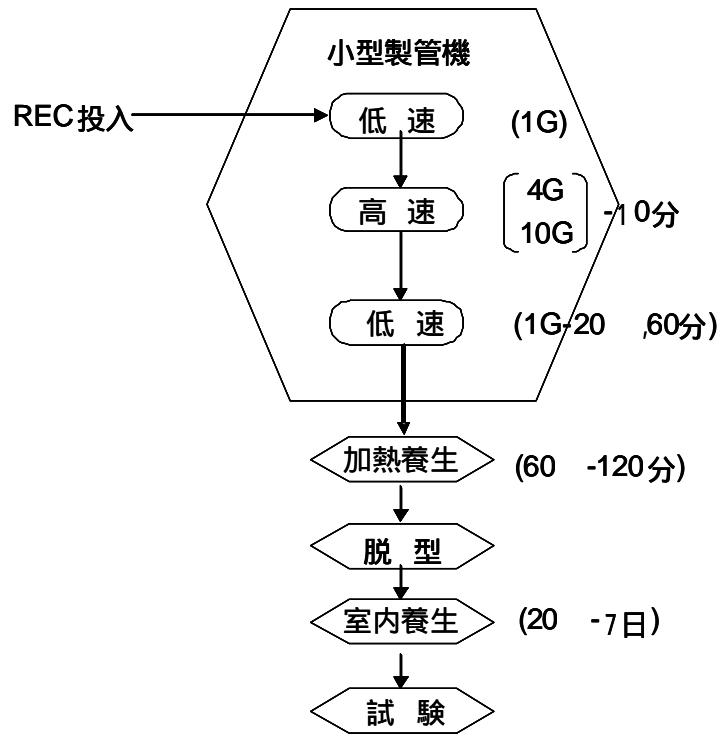


図-3.4 供試体作製手順

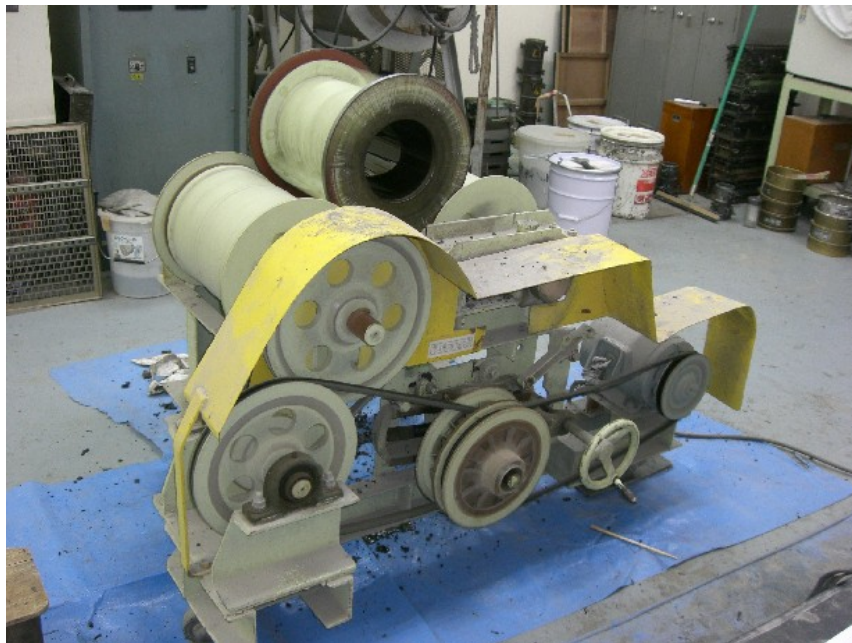


写真-3.2 小型製管機

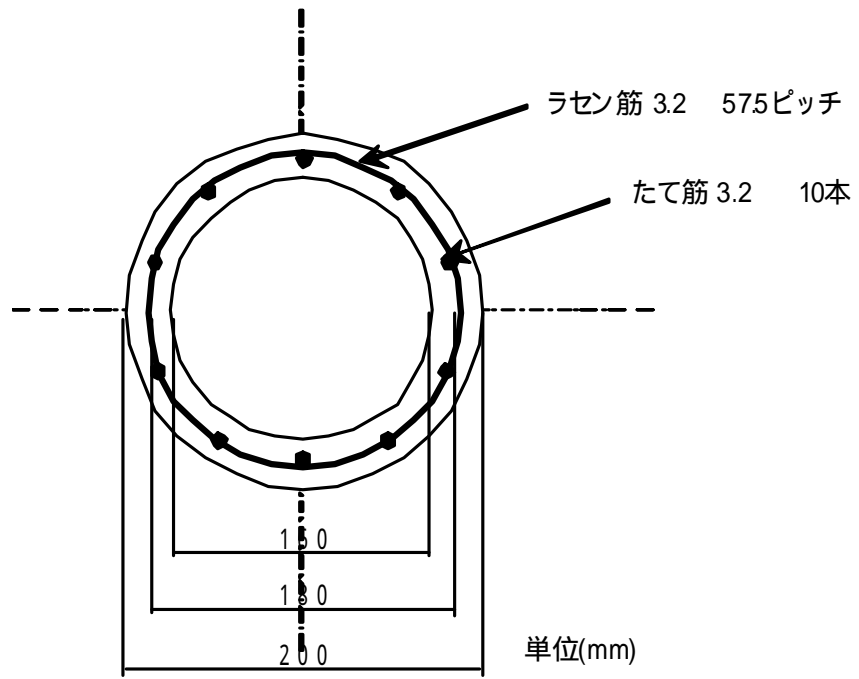


図-3.5 配筋図

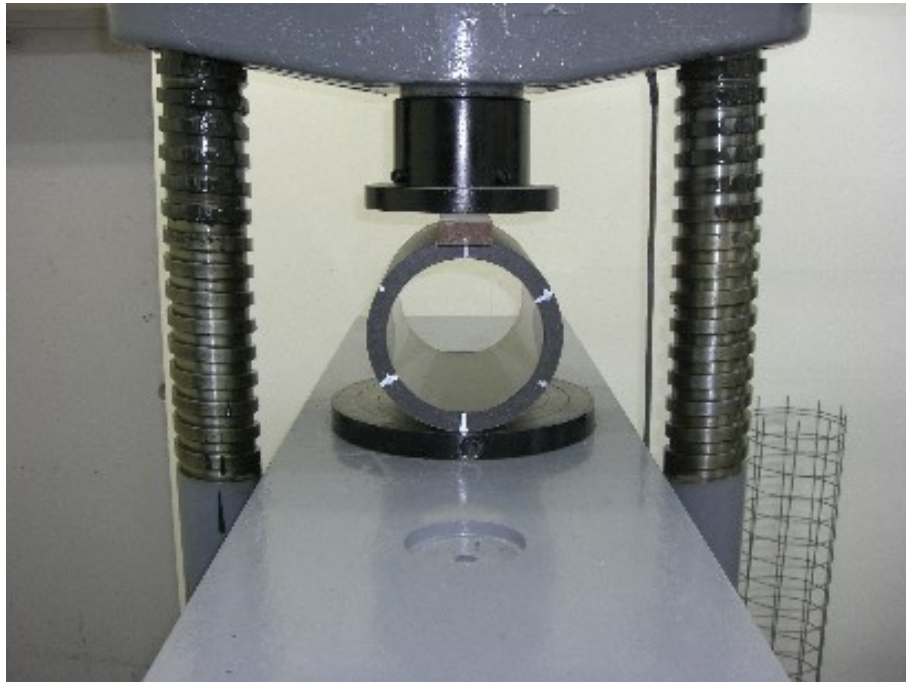


写真-3.3 外圧試験

(6) 強度試験

所定の養生を終了した供試体は、200kN 耐圧機を用いて外圧試験(写真-3.3)を行った。

ひび割れ荷重は、供試体に始めてひび割れが入った時の荷重である。ここで、鉄筋の有無によって管厚の異なる供試体を用いたため、ひび割れ応力度を求めてひび割れ強度とした。

ひび割れ時の応力度は、式(2)^{4),5)}を用いて、モーメントを計算し、式(3)を用い、供試体の破断面の断面係数で除して求めた。

$$M = 0.318rP + 0.239wr \quad (2)$$

$$\sigma = \frac{M}{Z} = \frac{0.318rP + 0.239wr}{t^2 / 6} \quad (3)$$

M ひび割れモーメント(kN・m)

P 単位長さ当りのひびわれ荷重(kN/m)

w 単位長さ当りの質量(kN/m)

r 管厚中心半径(m)

Z 断面一次モーメント(m³)

t 管の厚さ(m)

(7) 強熱減量

管体の内外からそれぞれ 10×15×15mm の大きさの試験片を切り出す。切り出した試験片を 100±5 で 1 日乾燥した。乾燥後、試験片を秤量し、マッフル電気炉を用いて 350 で 1 時間 30 分加熱、更に 625 で 2 時間加熱焼却した。加熱焼却後の試験片の残差を秤量し、式(4)を用い強熱減量を計算し、樹脂量とした。

$$ig.loss = (m_1 - m_2) / m_1 \times 100 \quad (4)$$

ここに、

$igloss$ 強熱減量(%)

m_1 加熱前の試験片の質量(g)

m_2 加熱後の試験片の残差質量(g)

3.3 充填材の密度変更による材料分離への影響

3.3.1 目的

レジンコンクリートの材料の中で、遠心力によって密度の最も小さい樹脂が内面に搾り出されるのは明らかである。ここでは、分離防止材として添加した充填材と樹脂が一体として挙動するとの仮定のもと、従来用いていたフライアッシュと比較し、密度の大きいスラグ粉末を用いて樹脂ペーストの密度を大きくすることにした。その結果、材料分離が低減できないかとの仮定のもとで検討を行った。そして、充填材の密度の差と材料分離との関係を実験によって確認した。充填材の密度が大きいほど、ペーストの密度が大きくなり骨材との密度差が減少されると仮定するものである。この観点から、表-3.2 の配合表で、充填材がスラグ粉末の場合のペースト密度は 1.81g/cm³ となる。一方、フライアッシュのペースト密度は 1.48 g/cm³ となり、両者に大きな密度差が生じることになる。

3.3.2 実験方法

実験条件を表-3.3に示す。この実験条件で作製した円筒供試体を用いて、外圧強度試験を実施し、ひび割れ応力度を求めた。強度試験後の切片から切り出したサンプルの強熱減量からRECの樹脂量を測定した。また、強熱減量の残差を0.15mmのフルイでふるって、網下重量と樹脂の比率から樹脂と充填材が一体化して移動することを考察した。

さらに、成形時の配合のRECをJIS R 5201に規定されるセメントモルタル型枠を用いて供試体を作製し、曲げ・圧縮強度試験を実施した。

表-3.3 実験条件

要因	水準	
充填材	スラグ粉末	フライアッシュ
遠心力(G)	4	10

3.3.3 実験結果

(1) 標準供試体強度

JIS R 5201に規定されるセメントモルタル型枠を用いて作製した供試体の曲げ、圧縮強度試験の結果を表-3.4に示した。その結果、フライアッシュに対しスラグ粉末を用いたRECの曲げ強度は18%、圧縮強度は12%の強度改善ができることがわかった。

(2) ひび割れ強度

充填材の種類によるひび割れ応力度試験の結果を表-3.5に示した。遠心力と充填材の種類を要因とする二元配置で分散分析を行った結果を表-3.6に示す。その結果、遠心力および充填材の種類による主効果について危険率1%で有意差が確認できた。両者間の交互作用については、有意差は確認できなかった。それぞれの主効果を、図-3.5、3.6に示した。

ひび割れ強度に対する影響は、遠心力を10Gから4Gと小さくすることによって、約 3N/mm^2 の改善が出来た。また、充填材をフライアッシュからスラグ粉末に変更することによって約 2N/mm^2 の強度改善が図れた。

表-3.4 標準供試体による強度試験結果

実験番号	充填材の種類	断面寸法(mm)		強度(N/mm^2)			
		幅	高さ	曲げ	圧縮	平均	
1	スラグ粉末	41.1	39.8	26.8	118	120	119
2		41.0	40.0	27.5	119	118	119
3		41.0	40.0	30.4	115	112	113
1	フライアッシュ	41.6	49.8	26.6	104	108	106
2		41.0	40.0	24.2	102	106	104
3		42.0	41.5	21.2	101	105	103

表-3.5 ひび割れ強度結果

充填材	遠心力	実験番号	質量	単位長さ当りの質量	外径	平均半径	管厚	ひび割れ荷重	モーメント	ひび割れ強度
	G		kg	kN/m						
スラッグ粉末	4	1	9.44	0.308	200	87.8	24.4	25.8	2.402	24.2
		2	9.45	0.309	200	87.8	24.5	26.7	2.484	24.8
		3	9.47	0.309	200	87.5	25.0	26.8	2.486	23.9
	10	1	9.29	0.303	200	87.8	24.3	25.1	2.354	23.9
		2	9.30	0.304	200	87.9	24.3	25.2	2.364	24.1
		3	9.28	0.303	200	87.9	24.2	24.9	2.337	23.9
フライアッシュ	4	1	8.82	0.288	200	87.8	24.4	24.5	2.297	23.2
		2	9.00	0.294	200	87.7	24.7	24.3	2.275	22.5
		3	8.79	0.287	200	87.6	24.9	23.8	2.225	22.0
	10	1	8.85	0.289	200	88.1	23.9	22.5	2.117	22.3
		2	8.91	0.291	200	87.8	24.3	22.4	2.102	21.3
		3	8.87	0.290	200	87.9	24.2	22.0	2.066	21.1

表-3.6 ひび割れ強度の分散分析表

要因	平方和	自由度	平均平方和	分散比	有意差
遠心力	25.2	1	25.2	39.9	p<0.01
充填材	9.4	1	9.4	9.4	p<0.01
交互作用	0.0	1	0.0	0.0	無
誤差	5.1	8	0.5		
計	39.7	11	-	-	

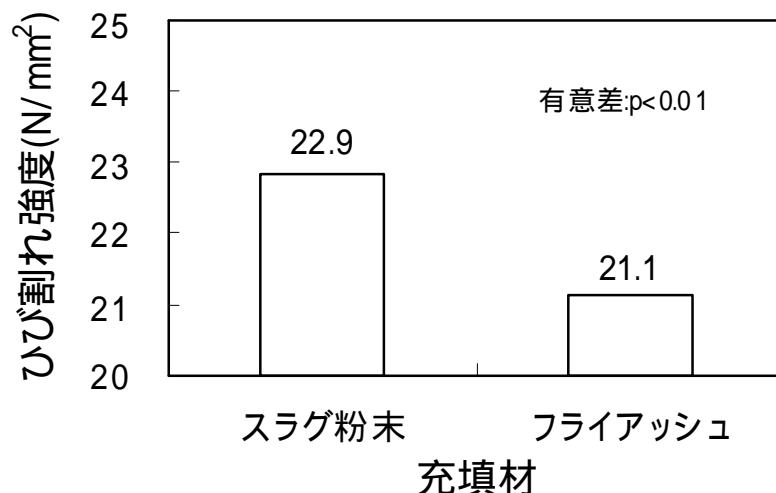


図-3.5 充填材の主効果

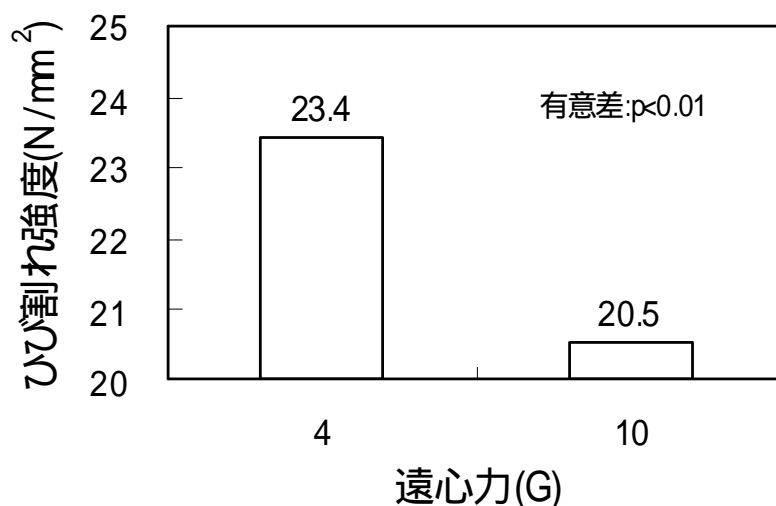


図-3.6 遠心力の主効果

(3) 強熱減量

強度試験後の切片から切り出した管体の内外面の樹脂量の差異を、強熱減量から測定定量して求めた。内外面の樹脂量の差を整理して表-3.7に示した。この樹脂量の差を、材料分離の指標とするものである。この内外面の樹脂量の差をひび割れ強度同様、遠心力と充填材の種類を要因とする二元配置で分散分析を行った。結果を表-3.8に示す。分散分析の結果、遠心力および充填材の種類による主効果において、危険率1%で有意差が確認できた。交互作用は確認できなかった。それぞれの主効果を図-3.7, 3.8に示す。

充填材をフライアッシュからスラグ粉末に変更することによって、強熱減量で約6%、単位樹脂量で約100kg/m³の材料分離を低減できることが確認できた。

表-3.7 樹脂量測定結果

充填材	遠心力 (G)	実験 番号	測定 位置	試料質量(g)		樹脂量 (%)	内外樹脂量 の差(%)
				強熱前	強熱後		
スラグ 粉末	10	1	内	8.900	7.353	17.4	8.3
			外	9.640	8.763	9.1	
		2	内	7.049	5.745	18.5	8.1
			外	10.425	9.450	9.4	
		3	内	9.966	8.123	18.5	9.5
			外	10.708	9.750	8.9	
	4	1	内	7.522	6.329	15.9	3.2
			外	9.321	8.145	12.5	
		2	内	6.453	5.533	14.3	2.7
			外	7.853	6.949	11.5	
		3	内	11.117	9.457	14.9	2.8
			外	8.994	7.900	12.2	
フライ ア ッシュ	10	1	内	9.153	7.120	22.2	12.9
			外	15.023	13.620	9.3	
		2	内	10.793	8.521	21.1	13.0
			外	15.958	14.666	8.1	
		3	内	11.067	8.751	20.9	12.7
			外	16.568	15.201	8.3	
	4	1	内	10.099	8.145	19.3	7.2
			外	16.292	14.321	12.1	
		2	内	11.209	9.156	18.3	6.4
			外	17.917	15.775	12.0	
		3	内	11.762	9.551	18.8	6.2
			外	17.169	14.998	12.6	

表-3.8 内外面の樹脂量差の分散分析表

要 因	平方和	自由度	平均平方和	分散比	有意差
遠心力	114.5	1	114.5	634.7	p<0.01
充填材	43.1	1	43.1	239.0	p<0.01
交互作用	0.0	1	0.0	0.1	無
誤差	1.4	8	0.2		
計	159.0	11	-	-	

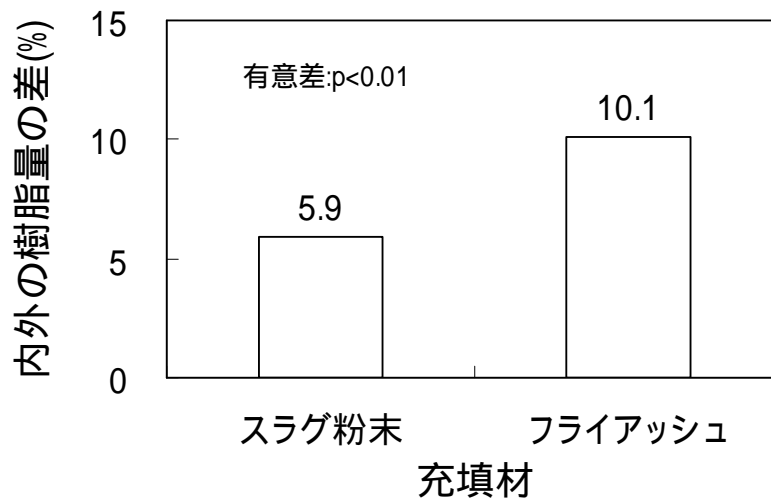


図-3.7 充填材の主効果

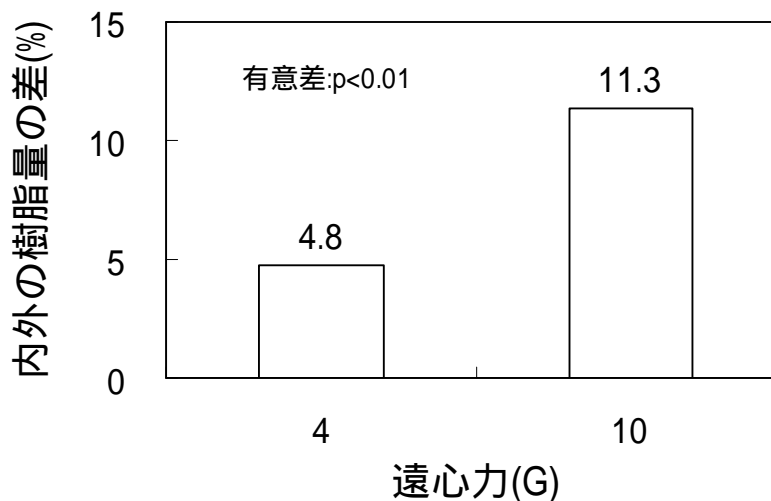


図-3.8 遠心力の主効果

(4) 材料分離後の樹脂と充填材の比率の確認

今回の検討の基本となる仮説は、「樹脂と充填材が一緒に移動する」ことである。樹脂量と骨材量を強熱減量測定後の残差を0.15mmのフルイでふるい網下を充填材とし、網上を細骨材および粗骨材に分類した。その結果を、表-3.9に示した。

また、強熱減量と0.15mm網下の比率を求めて、当初配合の樹脂とそれぞれの充填材との比率との比較を行った。その結果、スラグ粉末の樹脂との比率が1.49に対し、試験後の内外の比率が、1.43と1.44であった。また、フライアッシュは、示方配合時の比率が1.03に対し、試験後の内外の比率が1.00と1.04であった。この結果から、遠心力が4Gから10Gの範囲では、充填材と樹脂が一体となって移動することが判った。

表-3.9 樹脂と充填材の比率

充填材	測定位置	項目	質量	百分率 (%)	樹脂に対する比率
スラグ粉末	内	試料	101.284	100.0	-
		強熱減量	18.500	18.3	-
		0.15mm 網下	26.378	26.0	1.43
		0.15mm 網上	56.406	55.7	-
	外	試料	92.186	100.0	-
		強熱減量	8.734	9.5	-
		0.15mm 網下	12.620	13.7	1.44
		0.15mm 網上	70.832	76.8	-
フライアッシュ	内	試料	80.888	100.0	-
		強熱減量	17.320	21.4	-
		0.15mm 網下	17.345	21.4	1.00
		0.15mm 網上	46.223	57.1	-
	外	試料	89.405	100.0	-
		強熱減量	7.453	8.4	-
		0.15mm 網下	7.772	8.7	1.04
		0.15mm 網上	74.140	82.9	-

(5) 樹脂吸着量

RECの材料分離について検討するに当り、充填材のような微粉末は、樹脂の吸着性能が大きく影響するものである。

そこで、樹脂吸着量⁶⁾を測定した。樹脂吸着量は、充填材を約5gと10gを秤量し、ガラス板にのせ樹脂液をビュレットから滴下して良く練り込み、全体が硬いパテ状となって、ヘラでラセン状に伸展出来るようになるときの最低必要樹脂量を式(5)で求めた。結果を表-3.10に、その時の写真を写真-3.4に示す。

$$\text{樹脂吸着量} = \frac{\text{必要な樹脂の量 (m}^3\text{)}}{\text{充填材の試料質量 (g)}} \times 100 \quad (5)$$

表-3.10 樹脂吸着量

項目	スラグ粉末		フライアッシュ	
	試料(g)	5.025	10.122	4.017
樹脂(ml)	1.8	3.9	1.8	4.7
樹脂吸着量(%)	35.8	38.8	44.5	46.2

今回の試験結果は、スラグ粉末が37%、フライアッシュが45%であった。一般的にはフライアッシュの方の粒形がよく流動性が良いとされているが、フライアッシュが粗粒であることによ

て、顕微鏡写真(写真-3.5)で観察されるように、溶融による粒子の絡みが多く粒形が悪いためと思われる。フライアッシュの樹脂吸着量が大きいのは、この粒形が悪いことと密度が小さいことによる容積の増大によるものと考えられる。

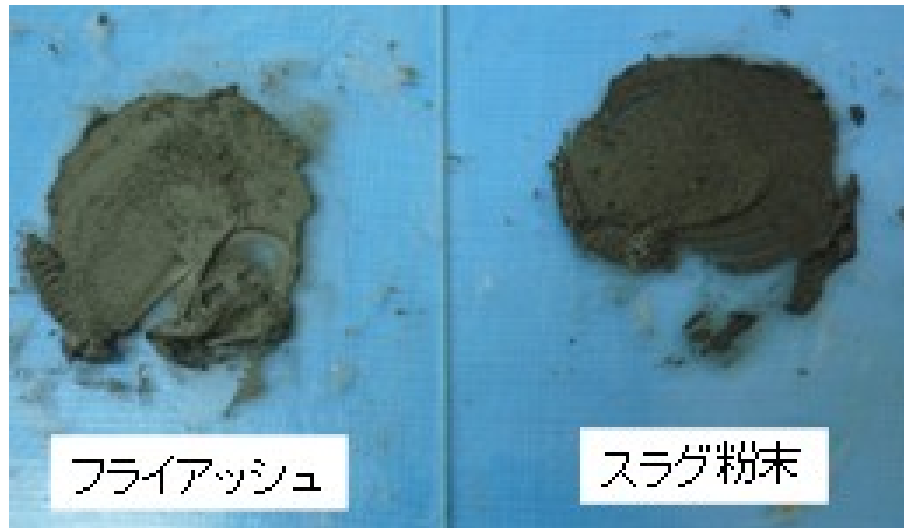


写真-3.4 樹脂吸着量試験

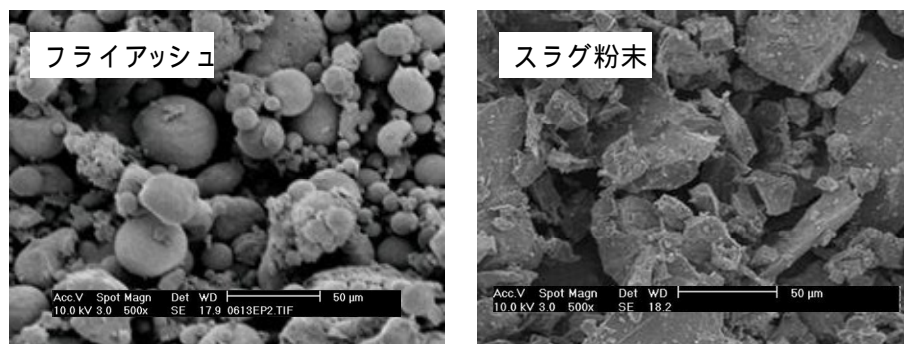


写真-3.5 充填材の顕微鏡写真

(6) 内外樹脂量の差とひび割れ強度の関係

内外樹脂量の差とひび割れ強度の関係を図-3.9に示した。

この図に示すように、充填材の種類がスラグ粉末とフライアッシュと共に、内外の樹脂量の差が大きくなると、ひび割れ強度が低下することが確認出来た。

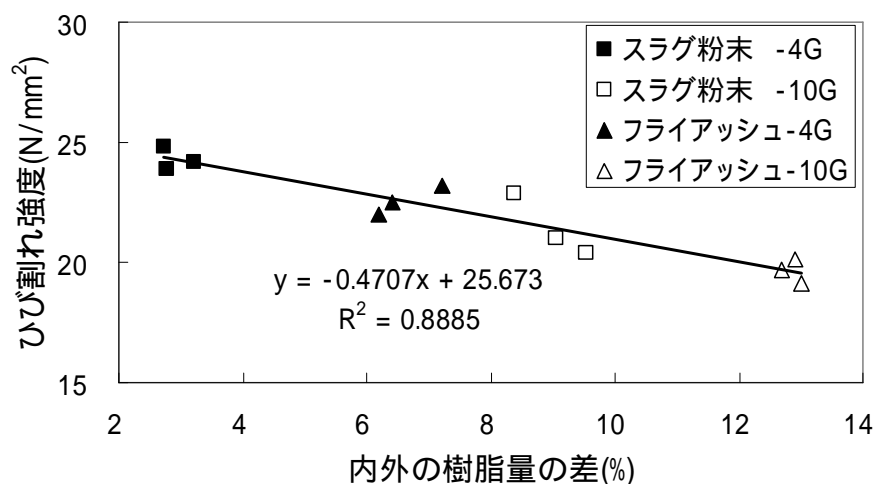


図-3.9 内外の樹脂量の差とひび割れ強度の関係

3.4 遠心力の大きさと材料分離と強度の関係

3.4.1 目的

この項では、遠心力の大きさと材料分離の関係、材料分離が製品強度に及ぼす影響について、また、補強鉄筋の有無による製品強度への影響を実験によって確認した。

3.4.2 実験方法

表-3.11 に示す実験条件で作製した円筒供試体について、ひび割れ強度試験を確認した。なお、充填材としては、スラグ粉末を使用した。

3.4.3 実験結果

ひび割れ応力度の測定結果を表-3.12 に、遠心力と鉄筋の有無の二元配置による分散分析の結果を表-3.13 に示す。

(1) 遠心力とひび割れ強度との関係

表-3.11 実験計画

要因	水準			
	有		無	
遠心力(G)	4	10	4	10

表-3.12 ひび割れ強度結果

鉄筋	遠心力	実験番号	質量	単位長さ当りの質量	外径	平均半径	管厚	ひび割れ荷重	モーメント	ひび割れ強度
	G		kg	kN/m						
無	10	1	9.40	0.307	200	88.0	24.0	23.5	2.193	22.9
		2	9.43	0.308	200	88.0	24.4	22.3	2.076	21.0
		3	9.47	0.309	200	87.0	25.0	23.0	2.134	20.4
	4	1	9.44	0.308	200	88.0	24.4	25.8	2.402	24.2
		2	9.45	0.309	200	88.0	24.5	26.7	2.484	24.8
		3	9.47	0.309	200	88.0	25.0	26.8	2.486	23.9
有	10	1	8.51	0.278	200	90.0	20.5	15.0	1.427	20.3
		2	8.30	0.271	200	90.0	20.2	14.7	1.402	20.7
		3	8.30	0.271	200	90.0	20.2	14.3	1.364	20.2
	4	1	8.40	0.274	200	90.0	20.3	17.0	1.619	23.5
		2	8.43	0.275	200	90.0	20.4	17.5	1.666	24.0
		3	8.28	0.270	200	90.0	20.1	16.5	1.574	23.3

表-3.13 分散分析結果

要因	平方和	自由度	平均平方和	分散比	有意差
遠心力	27.6	1	27.6	52.2	p<0.01
鉄筋の有無	2.3	1	2.3	4.3	無
交互作用	0.1	1	0.1	0.2	無
誤差	4.2	8	0.5		
計	34.2	11	-	-	

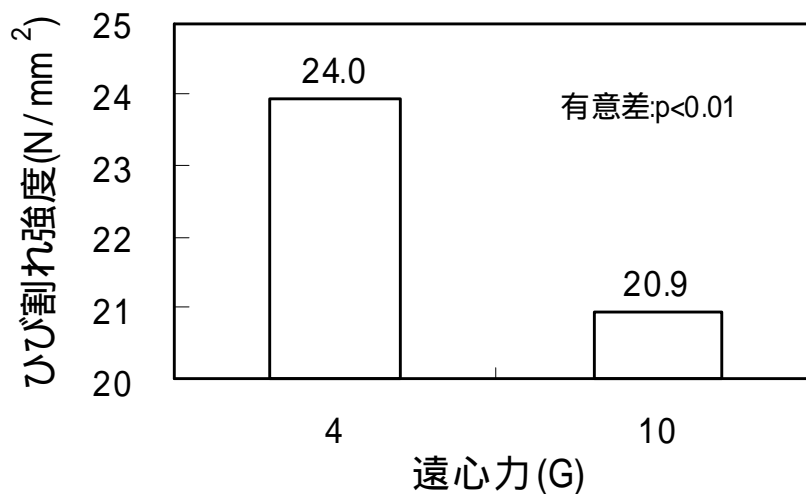


図-3.9 遠心力による主効果

分散分析の結果、遠心力の主効果について有意差が確認できた。遠心力による主効果のグラフを図-3.9に示す。先の充填材の試験結果同様、遠心力の主効果は遠心力を10Gから4Gに小さくすることによって、約3N/mm²の強度増進が確認できた。鉄筋の有無および交互作用については、有意差は確認できなかった。

このひび割れ強度の差が起こる原因は、遠心力の大きさによって管の内外面の樹脂量に差が生じ、その単位樹脂量の差が原因で、管の内外面に収縮の差が生じる。その収縮によって断面内に拘束応力が発生し、ひび割れ強度が低下すると考えられる。

表-3.7のスラグ粉末を用いた管内外の強熱減量から管内外の単位樹脂量を計算すると、遠心力の違いによって、それぞれ4Gで336 kg/m³および271kg/m³、10Gで405 kg/m³および205kg/m³になる。この単位樹脂量として、2.2(4)の養生条件で供試体を作製した場合の収縮量を図-2.28の計算フローを用いて算出した。その場合の管内外の収縮量は、それぞれ4Gで4.360×10⁻⁶、3.454×10⁻⁶、10Gで5.344×10⁻⁶、2.576×10⁻⁶となった。この収縮量の差が原因で管体の断面内に発生する拘束応力度に差が生じ、ひび割れ強度の差として顕在化するものと考えられる。

(2) 鉄筋の有無によるひび割れ強度の差

表-3.13の結果から、鉄筋比0.56%の鉄筋を配した供試体と鉄筋を入れてない供試体のひび割れ応力度について、有意差は確認できなかった。

そもそも鉄筋による拘束で、RECに拘束応力が発生し、その引張応力によって、外圧強度試験時のひび割れ応力度に影響を及ぼし、強度に差が生じると考えられる。

先に計算した収縮量を用いて鉄筋拘束による拘束応力を計算した。計算は、岡田ら⁷⁾の式(5)を用いて計算した。また、式中寄与率は林ら⁸⁾の提案する0.3を用いた。

$$\sigma_t = \left(\frac{1}{A_c} + \frac{e \cdot y}{I} \right) \cdot \frac{E_c \cdot A_c \cdot E_s \cdot A_s}{E_c \cdot A_c + E_s \cdot A_s} \cdot \varepsilon_R \cdot \beta \quad (5)$$

ここで、

- σ_t 拘束応力度 (N/mm²)
- A_s 鉄筋の断面積 (mm²)
- E_s 鉄筋の弾性係数 (kN/mm²)
- A_c レジンコンクリートの断面積 (mm²)
- E_c レジンコンクリートの弾性係数 (kN/mm²)
- ε_R レジンコンクリート長さ変化 (×10⁻⁶)
- β 寄与率(0.3)
- e 中立軸から補強材までの距離(mm)
- I 換算断面二次モーメント(mm³)
- y 中立軸から下縁までの距離(mm)

遠心力が4Gの場合、管内面の収縮量4.360×10⁻⁶を鉄筋で拘束することによる拘束応力は2.7N/mm²となり、10Gで収縮量が5.344×10⁻⁶の場合は、拘束応力は3.4N/mm²となった。

3.5 まとめ

(1) 遠心力の影響

遠心力を10Gから4Gに変更することによって、ひび割れ応力度への好結果が確認できた。ひび割れ応力度で約3N/mm²の強度改善が認められた。また、その原因と考えられる管体の内外面の材料分離の差は、強熱減量で6%、単位樹脂量で100kg/m³の差が確認できた。

(2) 充填材の密度差による材料分離への影響

充填材を密度2.31g/cm³のフライアッシュから3.35g/cm³のslag粉末へ変更することにより、樹脂ペーストの密度を1.48g/cm³から1.81g/cm³に大きくでき、材料分離の低減が図られた。その結果、材料分離において、強熱減量で約3%、単位樹脂量で50~60kg/m³の材料分離が改善でき、ひび割れ強度で約3N/mm²が改善できた。

(3) 充填材と樹脂はRECの中で、一体となって挙動することが確認できた。

この結果を製造工程にフィードバックすることにより、REC製品の不良率を図-3-10に示すように、重量百分率で0.51%までに改善することができた。

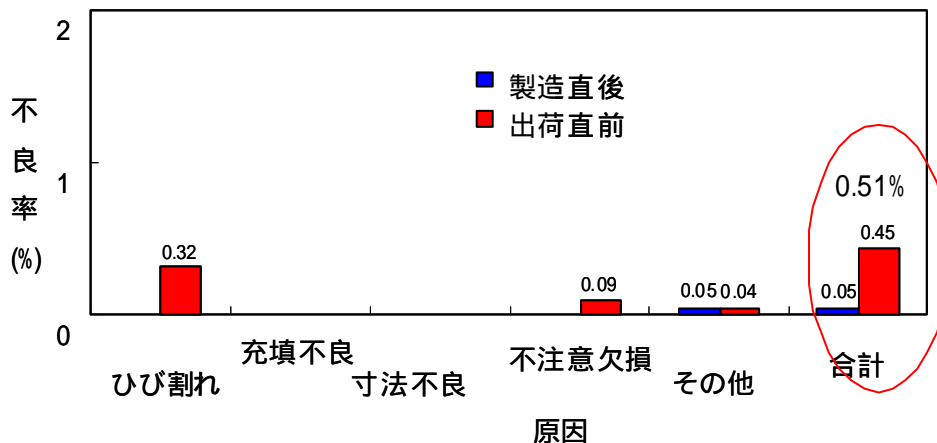


図-3.10 REC製品の不良率

参考文献

- 1) 岡田清・小林和夫・岡村為信：遠心力締め固め効果に関する要因実験，セメント・コンクリート論文集，Vo.122，pp. 281-287，1968
- 2) 田口堅一他：実験計画法による遠心力締め固め軽量コンクリート，セメント・コンクリート論文集，Vo.123，pp. 502-507，1969
- 3) 清水茂夫：実用レジンコンクリート：山海堂，pp.109-112，1986.2
- 4) 杉木六郎：遠心力鉄筋コンクリート（ヒューム管），セメント協会，1957
- 5) 技術資料：ヒューム管設計施工便覧，全国ヒューム管協会，1997.5.1
- 6) 清水茂夫：実用レジンコンクリート：山海堂，pp.145-146，1986.2
- 7) 岡田聖，小林和夫，矢村潔，平井正樹：レジンコンクリートの補強に関する2・3の実験，セメント技術年報，，pp.502-506，1968
- 8) 林富士夫，小柳冶，大野定俊，村井信夫：RECの収縮性状と補強筋による拘束応力の発現，コンクリート工学年次講演論文集，pp.241-244，1980