

V—5 コンクリートのひび割れ補修 —アクリル系樹脂による—

北海道工業大学 正会員 犬塚 雅生
 北海道立工業試験場 平野 徹
 北海道立工業試験場 長野 伸泰
 北海道工業大学 学生会員 前田 厚
 北海道工業大学 学生会員 畑村 邦昭

1 緒 言

コンクリートのひび割れ接着補修用樹脂としては、従来エポキシ樹脂が主に使用されている。エポキシ樹脂は多種多様なものが普及しており、コンクリートとの接着性にも優れている。しかし、一般に硬化速度が遅く、とくに低温下使用時の強度発現性に難点のあるものが多いとされている。

著者らは、ポリマーコンクリート（レジンコンクリートとも云う）用の結合剤として、グリセロールメタクリレートを含むアクリル系樹脂につき検討してきたが、¹⁾この樹脂は、硬化性が良く、低温硬化性にも優れ、かつ、コンクリートや鉄など他材料との接着性も優れていることから、本研究では、速硬化性のひび割れ接着補修用樹脂としての応用を試みた。

本報の内容は、接着剤として使用する樹脂液の配合選定と硬化特性評価ならびに、コンクリートのカッター切断面およびひび割れ破断面の接着試験からなっている。樹脂液の配合に当っては、接着補修用の樹脂液に必要な性質として、適当な粘性、使用前の貯蔵安定性、硬化特性、硬化樹脂の強度、収縮率、その他の物性などにつき検討した上で、樹脂液の組成配合を選定した。また、接着性については、この配合樹脂液を用い、乾燥および湿潤状態のコンクリート供試体の接着曲げ試験を行なって、接着特性を検討した。

2 実 験

表 1 アクリル系樹脂液の配合成分

アクリル系樹脂液	成分名	内 容	配合割合
アクリル系樹脂液	主成分	グリセロールメタクリレート 40% スチレン 60%	40 ~ 75 wt%
	収縮低減成分	スチレン-酢酸ビニルアロク共重合体 (スチレン90%)の30%スチレン溶液	15 ~ 30 wt%
	増粘成分	メタクリル系ポリマー 36% メタクリル系モノマー 64%	10 ~ 30 wt%
		微粒子状無水シリカ(アエロジル)	0 ~ 4 wt%(外割)

2.1 材 料

2.1.1 接着用樹脂液

表2のA,B,CおよびE液を使用した。

アクリル系樹脂液の硬化剤には、ベンゾイルパーオキシド、促進剤にはジメチルアニリンとジメチルパルトリジンの等量混合物を用いた。硬化条件は、可使時間が約20分となるように、20℃で硬化剤4%、促進剤0.5%、10℃で硬化剤5%、促進剤1.0%、5℃で硬化剤7%、促進剤1.0%とした。

2.1.2 コンクリート供試体

配合は、セメント（普通ポルトランドセメント）400kg、水セメント比 45%、粗骨材率 50%とした。ただし、粗骨材の最大粒径は、15mmである。

表 2 樹脂液の種類と配合

樹脂液	配 合				
	主成分	収縮低減成分	増粘成分	アエロジル	粘度(20℃)
A	45	25	30	0	55 cps
B	45	25	30	2	450 cps
C	45	25	30	3	4000 cps
E	中級注入用 エポキシ樹脂(主剤:硬化剤=2:1)				500 cps

2.2 試験方法

2.2.1 比重測定 JIS K 6833 の比重びん法による。

2.2.2 粘度測定 JIS K 6833 のB型回転式粘度計による。

2.2.3 硬化特性 可使時間は、樹脂液 25gに硬化剤・促進剤を加えてかく拌し、試験管中に移し、目刻で流動性のなくなるまでの時間を測定した。ゲル化時間および硬化時間は、可使時間測定に用いた樹脂液の一部をガラスにたらし、ガラス棒で0.6mmの厚さに引き伸ばし、それぞれのゲル化および硬化するまでの時間を測定した。

2.2.4 硬化樹脂の物性測定

曲げ強度、曲げ弾性率 JIS K 7203 に準じた。

引張強度、引張弾性率、ポアソソン比 JIS K 7113 に準じた。

吸水率、可溶性 JIS K 7209 に準じた。

引張せん断強度 JIS K 6850 に準じた。

ロックウェル硬さ JIS K 7202 に準じた。

収縮率 200×100×10 mmの型枠中に厚さ3.5mm程度に樹脂液を入れ、24時間後の硬化体の長さ測定から求めた。

2.2.5 接着試験

被着体(36×36×160 mm)を半分に切断し、接着面にハケで樹脂液をぬり、接着し所定の時間毎に3等分点曲げ試験を行なった。なお、乾燥状態とは、被着体を110℃で5時間乾燥したものをデシケーターに入水空温にもとした後、試験を行う空温に放置した状態をいう。また、湿潤状態とは、被着体を試験水槽に一昼夜つけ、試験直前に水中から取り出し、被着面の水分を軽くふきとった状態をいう。

3 結果と考察

3.1 樹脂液の配合選定

主成分の40%グリセロールメタクリレート-60%スチレン溶液は、ポリマーコンクリート用結合剤として開発された樹脂である。主成分のみでは硬化収縮が4%もあり、また、粘度も5 cpsと低すぎるので、収縮低減成分と、増粘成分がそれぞれ配合された。そして表1に示した配合割合について検討し、硬化性、粘性、低収縮性分散安定性の点から選定を進め、表2の樹脂液Aの配合を決めた。Aに2次増粘剤のアエロジルを2および3%加えてそれぞれ樹脂液B・Cとした。これは表2に示される

3.2 樹脂液の特性

3.2.1 粘度特性

ひび割れ接着補修用樹脂に要求される基本的な性質の一つとして、ひび割れ幅に対応した適当な粘性があげられる。一般に、0.25mm以下の微細なひび割れには500 cps, 0.25~0.60mmには1000~3000 cps, 0.60~2.0mmには3000~7000 cps がよいとされている。配合樹脂液は、単量体を多く含むので図1に示すように

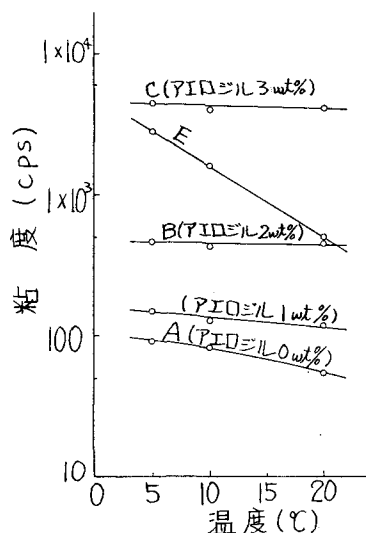


図1 粘度の温度依存性

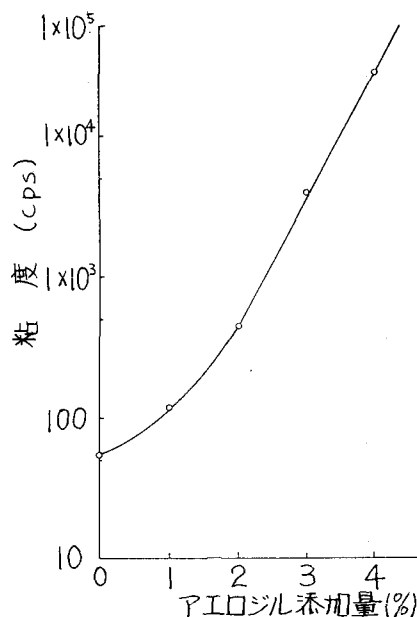


図2 アエロジル添加量と粘度(20℃)

粘度変化の温度依存性が小さく、使用時の環境温度を気にしないで作業できる利点がある。粘度は増粘樹脂成分の増加によってある程度まで高めることができるが、樹脂の硬化収縮、硬化特性も大きく変化する。そこで、本実験では表2のごとく樹脂配合を一定とした上で、増粘については2次的にアエロジル（微粒子状無水シリカ）の添加によって行った。この結果は図2に示すように粘度55cpsの樹脂液Aは、アエロジルの添加量に伴って粘度が高まり、アエロジルの4wt%までの添加によって25000cpsまで増粘された。このアエロジルを添加した高粘度樹脂液は、チクソトロピーを示すのでひび割れの加圧注入時には流動して細部まで浸透しやすく、除圧すれば流動しづらいという補修用注入樹脂として好都合な性質をもつようになる。

3.2.2 樹脂液の硬化特性

樹脂液A,B,Cに硬化剤と促進剤を適量加えると、一定時間後にゲル化を起して硬化反応が進行する。各温度ごとに、硬化剤、促進剤の添加量を変えて行った硬化性試験の中から硬化状態の良好な樹脂を形成するときの添加量と可使時間の関係をX,Y,Z軸にとって三次元図にプロットすると、図3,4,5の傾斜曲面が与えられる。これらの曲面上から可使時間20分とする硬化剤、促進剤の適性の組合せ範囲を求め、温度との関係として現わしたものが図6である。A,B,C間には、アエロジルの添加量以外は樹脂配合に基本的な違いはないので、硬化特性の上でも大きな差異はないはずである。従って、図6を用い各温度との交点H20-P20, H10-P10, H5-P5などの組合せの硬化剤と促進剤を用いると、5℃～20℃の温度範囲で可使時間を約20分とする硬化特性を持たせることができる。同様にして可使時間30分あるいは40分の硬化条件を選ぶことも可能である。

表3のゲル化時間と硬化時間は、測定方法からみて接着試験など実際の使用状態に近い測定値を与えると考えられる。ゲル化時間は、30～40分が可使時間の約2倍、硬化時間は90～120分が可使時間の約5～7倍の測定値が得られた。これらの測定値から樹脂液A,B,Cは、Eに比べてゲル化時間、

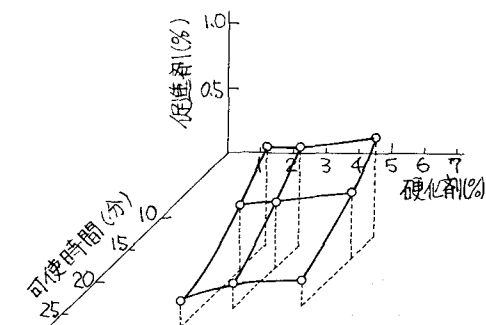


図3 硬化良好時の硬化剤、促進剤量と可使時間（A液20℃）

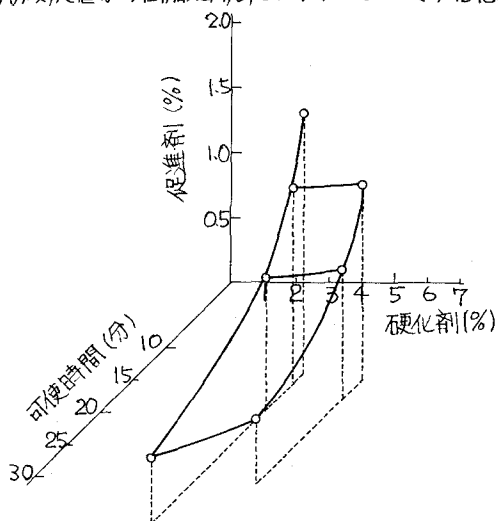


図4 硬化良好時の硬化剤、促進剤量と可使時間（A液10℃）

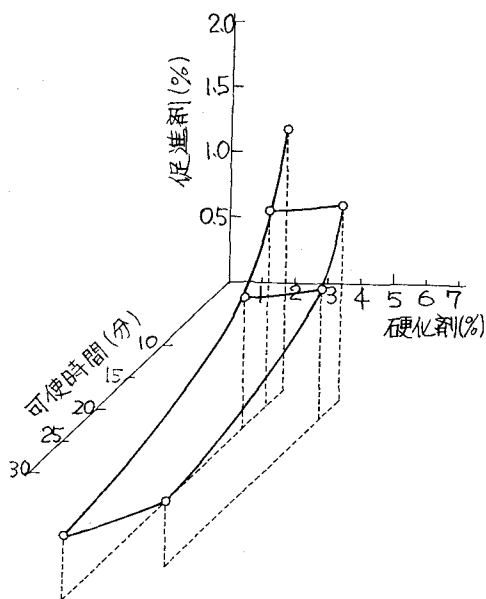


図5 硬化良好時の硬化剤、促進剤量と可使時間（A液5℃）

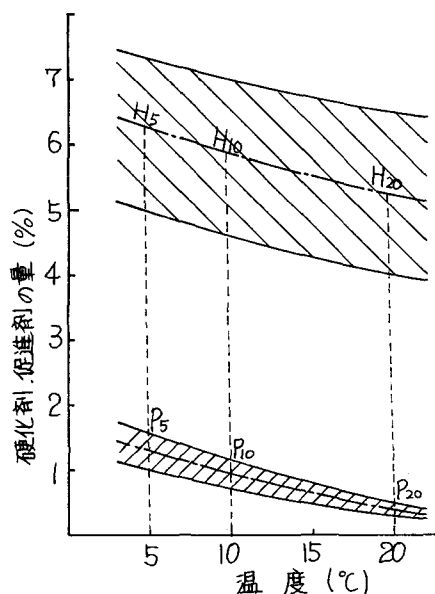


図6 可使時間約20分の時の硬化剤
促進剤使用範囲

硬化時間が短く比較的低温で硬化性
が優れており、ポリマーコンクリート用
配合樹脂(主成分40%グリセロールメタクリ

レート-60%スチレン)において認められた樹脂の硬化特性を示している。

3.2.3 樹脂の特性

樹脂の硬化前、硬化中の性質を表3の前段に示したとおりである。比重は1前後で、アエロシルの添加により
A<B<Cと若干大きくなる。

樹脂の硬化後の性質については、表3の後段に示したように強度、弾性率、接着性などからコンクリートの接
着補修用としては十分な性能を備えているものと考えられる。樹脂の硬化収縮は、低収縮剤の配合以外に硬化条
件も関係している。穏やかな硬化条件を適用すると、硬化時間は遅くなる反面、収縮率はより小さくなる傾向が
あるので接着性の点でよりよい結果を与えると考えられる。しかし、本実験では、速硬化性を重要視したために、
可使時間を約20分となるように硬化剤、促進剤の添加量を前述のように定めた。この場合、樹脂液A,B,Cの収縮
率は0.3~0.7%(20℃)である。

3.3 コンクリートの接着試験

3.3.1 乾燥供試体の接着性

図7,8,9に20,10,5℃におけるセメントコンクリート乾燥供試体の曲げ接着試験の結果を示す。樹脂液A,B
Cは約1~2時間後から強度が発現開始し、3~7時間後では相対曲げ強度(基準コンクリート 42.8 kgf/cm²)
は、ほぼ100%に達する。破断面の状態は、2時間後で部分母材破壊が見られ、24時間では、完全に母材破壊
することが認められた。アクリル系のA,B,C間では、強度の発現過程および最終的な接着性には差はないものと
判断され、また20℃~5℃の温度条件に対してはほぼ同等の早強性を示した。これは前述したように、樹脂液
の硬化特性をあらかじめ同等となるように設定したためで、接着性についても期待したとおりの結果が得られる
ことが明らかとなった。

エポキシ樹脂Eは強度発現開始に6時間以上要し、使用温度が5℃に低ると著しく強度発現速度が低下する。

表3 樹脂の特性

		A	B	C	E
硬 化 前	外 観	黄白色乳濁液	黄白色乳濁液	黄白色乳濁液	アンパ色透明液
	粘 度 (20℃)	55	450	4100	500
	比 重 (20℃)	0.998	1.010	1.015	1.100
中	可使時間	5℃	21'00"	20'00"	16'30"
		10℃	19'30"	18'00"	14'00"
		20℃	18'00"	17'00"	16'00"
後	硬化時間	5℃	36'00"	28'00"	29'00"
		10℃	34'00"	33'00"	29'00"
		20℃	40'00"	36'00"	30'00"
硬 化 後	硬化時間	5℃	1°54'00"	1°28'00"	1°30'00"
		10℃	1°40'00"	1°33'00"	1°26'00"
		20℃	2°05'00"	2°01'00"	1°19'00"
硬 化 後	曲げ強度 (kgf/cm ²)	720.6	691.3	574.2	240
	曲げ弾性率 (kgf/cm ²)	288×10 ⁴	277×10 ⁴	245×10 ⁴	6.5×10 ⁴
	引張強度 (kgf/cm ²)	308.7	343.7	346.6	140
硬 化 後	引張弾性率 (kgf/cm ²)	3.7×10 ⁴	4.2×10 ⁴	4.2×10 ⁴	6.4×10 ⁴
	引張せん断強度 (%)			119.8	183.3
	ポアソン比	0.42	0.42	0.40	
硬 化 後	吸水率 (%)	0.238	0.224	0.242	
	吸水率 (mg/m ²)	0.004	0.004	0.004	
	可容率 (%)	0.026	0.047	0.049	
硬 化 後	ロックウェル硬さ	78.5	75.0	65.5	
	コンクリートとの接着	母材破壊	母材破壊	母材破壊	母材破壊
	収縮率 (%)	0.67	0.69	0.35	0

3.3.2 湿潤供試体の接着性

図10,11,12に20,10,5℃におけるセメントコンクリート湿潤供試体の曲げ接着試験の結果を示す。アクリル系樹脂液A,B,C間では、5℃の時にB,Cが若干強度発現開始が遅れる他は大きな差はなく、良い強度発現性を示す。強度発現開始時間は1~2時間、相対曲げ強度100%到達時間は3~6時間(5℃のときは6~11時間)であり、破断面の完全母材破壊時間は24時間以内である。

このように、樹脂液A,B,Cを使用すると、供試体被着面が湿潤状態にあっても乾燥状態における同等の良好な接着性を示すことが判明した。一方Eは、強度発現開始時間は乾燥時とほぼ同じであるが、その後の強度増加速度が著しく遅く、湿潤面の接着には若干難点があると考えられる。

図13に、20℃における供試体被着面の湿潤状態と接着の相対曲げ強度の関係を示した。養生2時間では、供試体を水中より取り出し、表面付着水をぬぐって直ちに接着した場合、相対曲げ強度は約25%であるが、放置時間をおいた場合、接着性は増加して30分では100%に達する。また、養生4時間では直ちに接着した場合でも相対曲げ強度は100%を示す

接着試験の結果から、本研究に使用のアクリル系樹脂液は、接着強度の発現開始が早く、低温下における接着性に優れ、さらに湿潤面の接着も良好なことが明らかとなった。接着剤の使用に際しては移々の湿度条件、湿潤状態にある被着体を考慮しなければならぬので、このような特徴は実用上大きなメリットになると考えられる。また、早期に所要強度に達するので工期短縮、早期開放などにも効果があると考えられる。アクリル系の樹脂は一般に耐候性に優れていると云われるが、本研究で使用する樹脂の実用化をはかるには、今後、接着部の耐久性についての検討は、やはり欠かせないであろう。

3.3.3 ひび割れ破断面の接着

ひび割れ面に対する接着性を調べるために、曲げによる破断面の接着供試体およびカッター切断面の接着供試体(75×75×400mm)を作り、2等分点曲げ試験を行なった。クロスヘッド部には10×10×100mmの鉄製角柱を接着部分にそって当てがい、上から荷重を加えた。試験結果は表4に示すように、破断面およびカッター切断面の接着強度はともに基準コンクリート強度にまで回復しているが、破壊状態では、破断面接着供試体は接着層または接着面からの破壊もみられた。これは、破断面供試体には樹脂の浸透しない微細クラックが接着層近くに残っているためと考えられる。

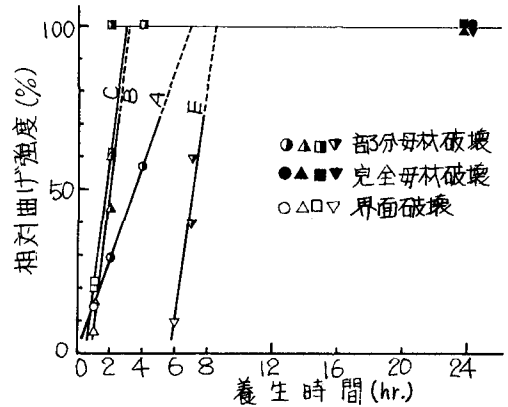


図7 相対曲げ強度と養生時間(乾燥20℃)

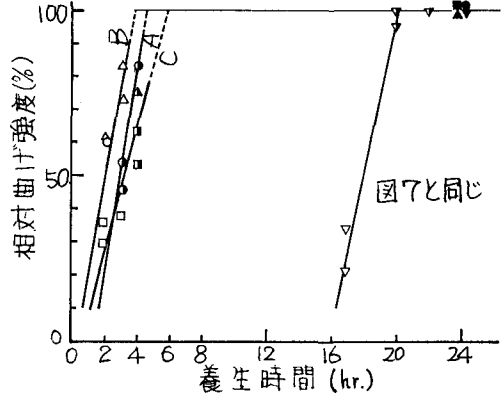


図8 相対曲げ強度と養生時間(乾燥10℃)

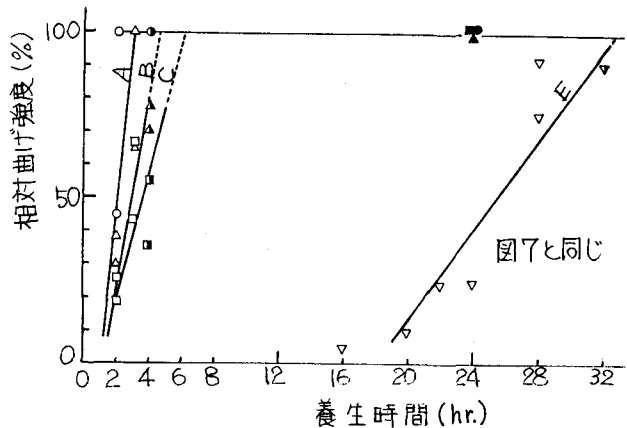


図9 相対曲げ強度と養生時間(乾燥5℃)

4 結 言

アクリル系樹脂によるコンクリートの接着について検討した結果は、以下のようにまとめられる。

アクリル系配合樹脂液の特徴

- 1) 粘度変化の温度依存性が小さい。
- 2) 温度変化に対して樹脂液の硬化特性(可使時間、ゲル化時間、硬化時間、強度発現開始時間)をほぼ一定とすることができる。(本実験の範囲 5~20℃)
- 3) 比較的低温領域においても硬化性が良好である。

アクリル系配合樹脂によるコンクリートの接着性

- 1) 接着強度の発現が早く、短時間で所要強度に達する。
- 2) 比較的低温においても早強性を示す。
- 3) 被着体の乾湿にかかわらず、湿潤面の接着性にも優れている。

本研究のアクリル系樹脂は、以上のような諸特性をもっているので、寒冷地における土木建設工事に使用する上で、作業性、強度発現性および湿潤接着性の点で望ましい性質を備えていると考えられる。

参考文献

- 1) 平野 徹, 長野伸泰ら, “グリセロールメタクリレート・スチレン系樹脂液を結合剤とするポリマーコンクリートの諸特性” 北海道立工業試験場報告 NO281 P155 (1982)

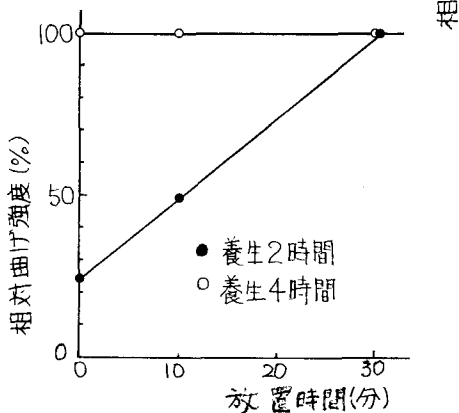


図13 湿潤状態変化と相対曲げ強度(A液, 20℃, 60RH)

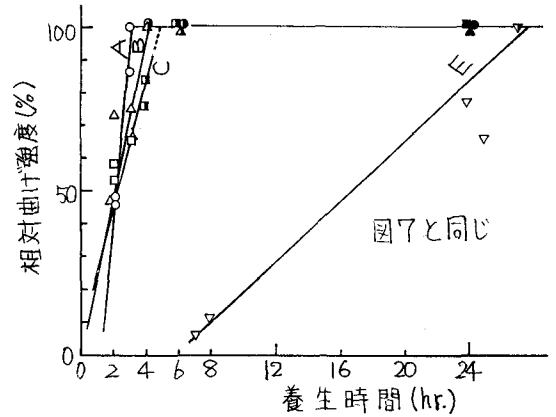


図10 相対曲げ強度と養生時間(湿潤20℃)

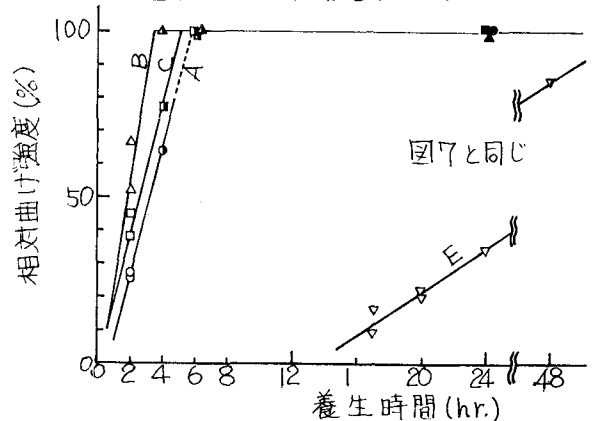


図11 相対曲げ強度と養生時間(湿潤10℃)

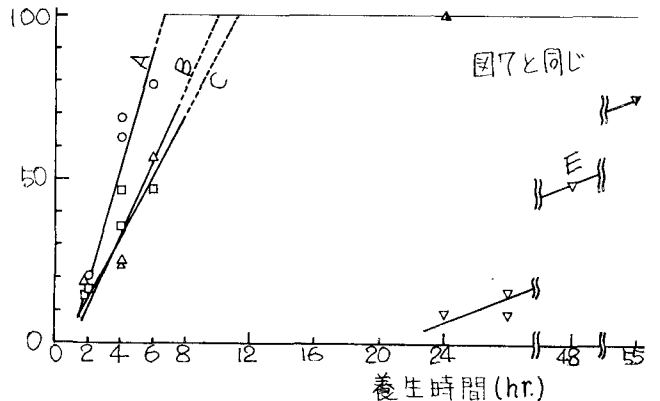


図12 相対曲げ強度と養生時間(湿潤5℃)

表4 曲げ破断面とカッター切断面の接着曲げ試験

接着面の状態	樹脂	曲げ強度 (Kg/cm ²)	相対曲げ強度 (%)	破壊状態
曲げ破断面	B	61.6	101.4	50% 母材破壊
	C	54.1	89.1	100% 母材破壊
カッター切断面	B	74.4	122.5	100% 母材破壊
	C	61.2	100.8	100% 母材破壊

(基準コンクリート曲げ強度 $\sigma_B = 60.7 \text{ Kg/cm}^2$)