

合成樹脂のコンクリートへの応用

丸 安 隆 和・小 林 一 輔

最近、橋梁・道路舗装・ダム、その他種々のコンクリート構造物に対し、合成樹脂を利用して効果をあげている。そしてその利用範囲は合成樹脂の特徴を生かして実に多方面におよんでおり、コンクリート構造物の施工や設計に大きい影響を与えつつある。本文はわが国におけるこれらの現状とその効果についての報告である。

1. は し が き

最近、合成樹脂の利用面が著しくひろがってきた。注型品はもちろん、塗料・接着剤・ガラス繊維などの補強材を使った強化プラスチックなど各種産業への応用は急速に拡大しつつあるが、ここ二三年來は土木や建築の分野にもいろいろな形で応用されるようになった。合成樹脂の利用により、とくにコンクリート構造物では、これまで考えられなかったような新しい施工方法や構造形式が可能になりつつある。これまでに実施されたもの、または今後実施されると考えられる応用例をあげれば、第 1 表のとおりで、だいたいにおいて接着剤として利用されている例が多いが、ライニング用塗料としてもかなり用いられている。

第 1 表 合成樹脂のコンクリートへの応用例

適用工法	使用方法	おもな使用樹脂	施工例(予想されるものを含む)
構造物の補修	充填・注入	エポキシ	ダム、橋梁などのひびわれ充填、隧道や水路などの漏水注入、コンクリート枕木修理
構造物の改修	接着	エポキシ	鉄道橋や護岸堤防のカサ上げ
防水、防蝕ライニング	塗布、吹付け	エポキシ	水槽、水路、化学・食品工場の諸施設、ヒューム管、護岸堤防
耐摩耗・すべり止め層の形成	吹付け・塗布	エポキシ ポリエステル	滑走路、道路舗装、ダムの水叩き、水門の床、ビルの床および階段、道路標識、モータプール
アンカーボルトの定着	接着	エポキシ ポリエステル	隧道支保工、各種構造物のカサ上げその他
プレキャストコンクリート製品の接合	接着	エポキシ	ヒューム管、コンクリートぐいの継手、地下ケーブル用暗渠のマンホール、ブロック継ぎ PC 桁、地下鉄構築床、プレハブ建築
鋼材とプレキャストコンクリート部の接合	接着	エポキシ	合成桁

2. コンクリート用合成樹脂

現在、コンクリートに用いられている合成樹脂は熱硬化性樹脂に属するエポキシ樹脂とポリエステル樹脂であるが、大半はエポキシ樹脂が使われている。エポキシ樹脂は二液重合によって硬化し、溶剤を使用しないので、使用にあたってガスを発生せず収縮が少ないことと、常温で硬化し加熱を要しないことなどのほかに、つぎのような性能を有しているため、コンクリート用合成樹脂としては、現在最も適しているものと考えられる。すなわち、1) 機械的強度、耐摩耗性、疲労強度が大きい、2)

接着圧や接着剤の厚みにより接着強度があまり影響を受けない。3) 他の樹脂に比較して水分による接着強度の低下が少ないことなどで、さらに耐水性、化学抵抗性が大きいので可撓性を与えることにより、防水、防蝕塗料として使用できる。また低粘度のものは注入や吹付けも可能である。

ただし耐熱性が他の建設材料に比較して、やや劣ることと、コストが高いことが欠点である。エポキシ樹脂は普通、硬化剤のほかに希釈剤、充填剤および可撓性付与剤など種々の添加剤を、目的に応じ配合比を変えて使用しているが、コンクリートに用いる場合も例外ではない。

第 2 表 市販コンクリート用樹脂の 1 例

工 法	製品記号	用 途	生樹脂と硬化剤の配合比	性 状
コンクリート接着・充填	# 101 A	一般接着用	7:3	パテ状
	101 B	速硬 "	9:1	"
	101 C	水中 "	2:1	"
新旧コンクリート打継ぎ(カサ上げ)	# 202 A	ハケ塗用	7:3	液 状
	" B	コテ塗用	7:3	水 飴 状
充填・接着	# 303	エポキシコンクリート用	7:3	水 飴 状
充 填	# 404	コンクリート製品用	7:3	パテ状
金属・コンクリート接着	# F C A	一般接着用	7:3	パテ状
	" B	速硬 "	9:1	"
	" C	水中 "	2:1	"
床 材	F No. 1	土木用	7:3	パテ状
	" No. 2	化学薬品用	7:3	
ライニング	L No. 1	塗料	2:1	液 状
	" No. 2	ハケ塗用	2:1	水 飴 状
	" No. 3	コテ塗用	2:1	"
グラウト注入	G AM	1 mm 以下のクラック用	7:3	液 状
	" CM	1 mm 以上の "	7:3	"
	" SM	3 mm 以上の "	7:3	"
	" SS	ジョイント・岩盤注入用	7:3	"
各種ボルトの埋込接着	A PD	乾燥面用		液 状 ガラス管封入
	" EW	湿潤面用		

第 2 表はわが国におけるコンクリート用エポキシ樹脂のメーカーが市販している製品をかかげたものであるが、用途に応じて、すでにこれだけの種類の配合樹脂が市場に出されていることは、コンクリートに対して、いかに合成樹脂がさかんに使用されるようになったかを知る一つの指標となるであろう。

3. エポキシ樹脂によるコンクリートの接着効果

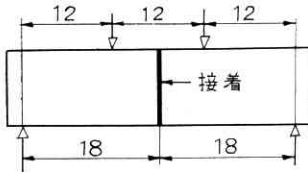
硬化したコンクリート相互の接合および硬化したコンクリートと、新しいコンクリートの打継ぎ接合にエポキ

シ樹脂を用いた場合の接着効果を調べるための実験を行った。

使用したエポキシ樹脂は市販のコンクリート接着用樹脂で、第2表における # 101Aである。樹脂自体の圧縮強度は2週間後で約 900 kg/cm²、曲げ強度は約 600 kg/cm² のものである。

(1) 硬化したコンクリート相互の接着強さ試験

試験方法は同時に製作した 10×10×20cm のコンクリート試験片2個を長手方向に接合して 10×10×40cm の



第1図

梁試験体を製作し、第1図に示すように三等分点二点荷重による曲げ試験を行なう。接着強さを調べた。実験結果は第3表に示すとおりである。破壊は接着後の経過時間が7

第3表

接着後の経過時間	非接着試験体の曲げ強度 (σ_1)	接着試験体の曲げ強度 (σ_2)	$\sigma_2/\sigma_1 \times 100$
8時間	47.3kg/cm ²	3.1kg/cm ²	7
24 "	51.4	27.0	53
7日間	53.1	41.3	78
14 "	49.4	47.0*	100

* コンクリート部分で破壊

日までは、いずれもコンクリートと接着剤との境界面で生じ、14日のものはコンクリート部分で破壊した(写真1参照)。以上の結果は樹脂が完全に硬化すれば強度上はコンクリート部材の接合に使用できることを示している。

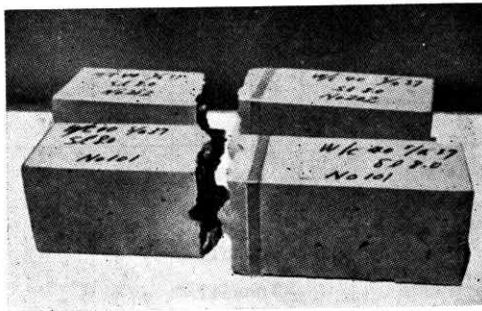
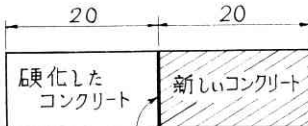


写真1

(2) 硬化したコンクリートに新しいコンクリートを打ち継いだ場合の接着強さ試験



第2図

実験は接着剤を用いて打ち継いだものと、接着剤なしで打ち継いだものとの比較を曲げ試験により行なった。すなわち

第2図に示すように、10×10×20 cm の硬化したコンクリートに、新しいコンクリートを打ち継いで10×10×40 cm の梁試験体をつくり、(1)の場合と同様な載荷方

第4表

新しいコンクリートの材令	接着剤を用いない場合の曲げ強度	接着剤を用いた場合の曲げ強度
1週	12.3kg/cm ²	32.3kg/cm ²
2週	18.6	34.4
3週	23.3	38.6

法で試験を行なったものである。その結果は第4表に示すとおりで接着剤の効果が顕著にみられる。

(3) 接着後の温度および湿度変化が接着強さにおよぼす影響

硬化したコンクリート相互を接着したあと、温度や湿度変化をくり返して受けた場合、接着強さがどのように影響されるかを調べたものである。試験体の製作方法は(1)の場合と同様で、接着後 20°C の大気中に7日間保存したのち、つぎに示す5種類の露出条件にさらした。露出の方法は5時間だけ所定の露出条件にさらしたのち常温にもどして、24時間後にまた所定の露出条件にさらすといった方法をくり返し、7サイクル後に曲げ試験を行なって接着強さを調べた。

- 露出条件
- イ. -10°C (電気冷蔵庫)
 - ロ. 0°C (")
 - ハ. +20°C (水中)
 - ニ. +70°C (乾燥炉)
 - ホ. +100°C (沸騰水中)

なお一部の試験体は大気中で7日間保存後、ただちに曲げ試験を行ない、露出後の試験結果と比較した。その実験結果は第5表に示すとおりである。

第5表

露出条件	コンクリートの曲げ強さ	接着試験体の露出前の曲げ強度 (σ_1)	接着試験体の露出後の曲げ強度 (σ_2)	$\sigma_2/\sigma_1 \times 100$
-10°C	kg/cm ² 52.7	40.1kg/cm ²	41.9	104
0°C		43.0	46.9	109
+20°C (水中)		44.4	48.6	110
+70°C (乾燥炉)		40.1	7.5	19
+100°C (沸騰水中)		44.4	40.1	91

以上の結果をみると、7サイクルのくり返しではあるが、70°C の乾燥炉に入れた場合を除いては、種々の露出条件のくり返しにより、接着強さはほとんど影響を受けていないことがわかる。70°C の乾燥炉に入れた場合は、試験体3個のうち2個は5~6サイクルのくり返しを受けたあと、取扱い作業中に接着部分が離れてしまって試験ができなかった。

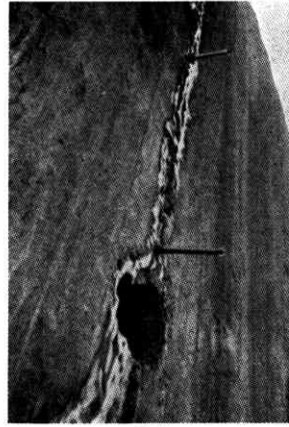
4. 種々の応用例

(1) 構造物の補修

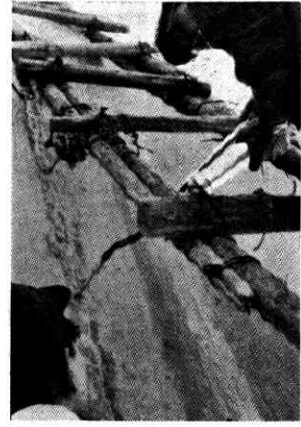
これまでコンクリート構造物にひびわれなどを生じた場合には、セメントミルクを注入したり、モルタルを詰めたりして修理していたが、乾燥したあと収縮するのであまり有効な補修はできず、場合によっては、その付近のコンクリートをすっかり削り取って、新しくコンクリートを打ち足すような方法が講じられていた。このよう



(a)



(b)



(c)

写真 2

にすると大がかりな足場をつくり、型枠をたてこみ、さらにコンクリートの練り混ぜや運搬の設備をととのえなければならぬので、かなりの工事になり、工費も大変なものになる。ところがこのようなひびわれの修理に、エポキシ樹脂を用いると、非常に簡単にしかも確実性のある補修ができるのである。すなわちエポキシ樹脂は無溶剤樹脂なので硬化後の収縮が小さく、その上コンクリートと強固に接着し、樹脂自体の機械的強度はコンクリートのそれを上回っているのだから、ただ単にひびわれを塞ぐだけでなく、構造物を補強することになるのである。

これまでにわが国でエポキシ樹脂がコンクリートに利用された例としては、構造物の補修に対するものが一番多く、ダムや橋梁（橋桁や橋脚支承部分）および道路舗装、水路などに生じたひびわれの修理に数多く使用され、経済性・迅速性・確実性の点で非常に効果をおさめている。

その修理方法は、ひびわれの状態によって異なり、ダムなどに生ずる比較的大きい幅のひびわれに対しては、パテ状の樹脂を充填するが、場合によっては低粘度の樹脂に砂や砂利などを混入した樹脂コンクリートを充填することもある。また橋桁・道路舗装・水路などに生ずる比較的小さい幅のひびわれに対しては、写真2に示すように、ひびわれに沿ってコンクリートの表層部をV字型に削って幅をひろげ、つぎに円錐状の注入孔をつくって注入パイプを立て、ほかに空気抜き用のパイプを同様にして立ててからパテ状の樹脂をV字型に削ったところ、およびパイプの周辺につめて、注入する樹脂がもれないようにしてから注入固結する。

また、最近の応用例としてはプレストレストコンクリート橋に生じたひびわれ補修のため、ひびわれを生じた面に鋼板をエポキシ樹脂ではりつけて補強するようなことも行なわれようとしており、実験の結果も良好であった。

(2) 構造物の打継ぎ・かさ上げ

防潮堤や鉄道橋のカサ上げや、その他すべてのコンクリート工事に伴う新旧コンクリートの打継ぎ施工にさいしては、これまで旧コンクリート面の弱い部分を十分に削りとってから、その上にセメントモルタルなどを敷いて、新しいコンクリートとの付着を増す方法がとられているが、それでも新旧コンクリートの打継目を完全に結合させて構造物を一体として働かせることは困難であった。

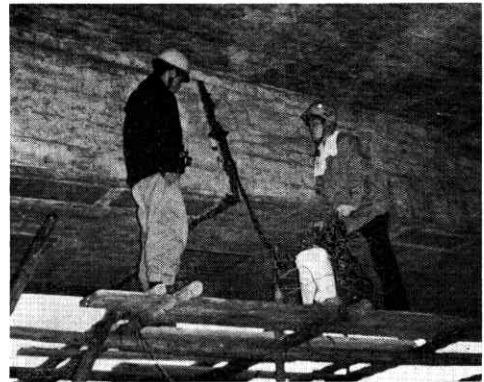


写真 3



写真 4



写真 5

とくに隧道の覆工のコンクリートや、地下鉄構築体のコンクリートでは、この打継目より漏水することもしばしばある。しかしながら硬化した旧コンクリート面にエポキシ樹脂を塗り、その上に新しいコンクリートを打ち継ぐと、その打継目は構造物の一体性からも水密性の上からも非常に確実なものとなる。写真4は防潮堤のカサ上げ工事を示したものであるが、このような場合には合成樹脂を用いることにより、信頼のおける工事ができるのである。

(3) 防水・防蝕・耐摩耗およびすべり止め層の形成

防水・防蝕・耐摩耗性が要求されるような構造物には表面を合成樹脂で、被覆することにより効果をあげている。

これまではアスファルトやコールタールピッチなどが用いられていたが、これらの材料は施工するさいに加熱を要すること、気象条件の影響を大きく受け、暑いときはとけ出し、寒いときはひびわれを生じやすいこと、他物の衝撃などによって害を受けやすいので、その上にモルタルやその他の材料で保護層をつくる必要があることなど欠点が多い上に、施工が面倒なので実際にはあまり用いられなかった。しかしながら合成樹脂はコストの点を除いて以上の欠点をすべて取り払った感がある。

これまでわが国で使用された例をあげると水槽・水路・ヒューム管・滑走路・道路舗装・モータプール、ダムの水叩き、水門の床などで今後この面では応用はますます盛んとなるように思われる。施工方法はまずコンクリート面の表面処理を行ない、そのあと樹脂を塗布あるいは吹付けにより被覆する。コンクリートの表面処理は、まだ十分硬化していない新しいコンクリートの場合は、湿砂吹付けなどにより表層の弱い部分を取り除くとともに粗面にして樹脂との接着を確実にするが、硬化した古いコンクリートの場合は、塩酸の溶液(10%)でコンクリート表面を処理したのち樹脂を接着させる。樹脂は防水・防蝕を主目的とする場合は液状に近いものが用いられ、耐摩耗を主目的とする場合はパテ状のものが多く用いら

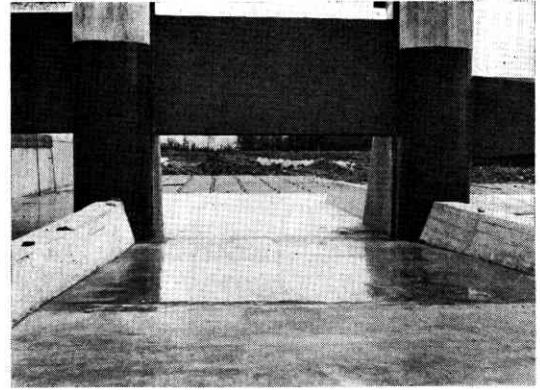
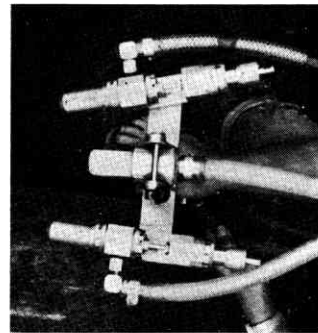
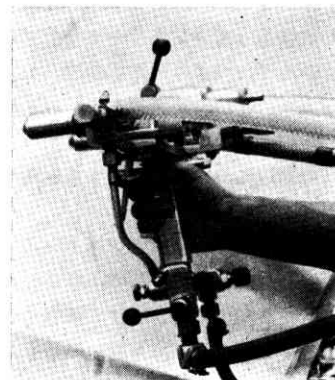


写真 6

れる。したがって施工方法も前者の場合には塗布とともに吹付けもできるわけで、最近ではプラスチック射出成型機を利用して吹付けを行ない、道路など広い面の施工に大きい偉力を発揮している。写真5は化学工場の苛性ソーダ槽における施工の状況を示したもので、耐蝕を目的としたものであり、写真6は北海道のある水門に施工された例で、耐摩耗と気象作用に対する耐久性を目的としたものである。なお道路関係の応用例では道路標識があり、名神高速道路などですでに使用されている。また高速道路の舗装面、建築物の階段や床などのすべり止めの目的に合成樹脂が使用されている。その施工方法はプラ



(a)



(b)

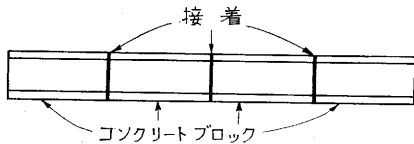
写真 7

スチック射出成型機を用い、吹付けによって行なわれる。

すなわち高圧により 2 本のノズルから樹脂と硬化剤を別々に吹き出させ、吹き出す途中で、混合させる。それと同時に別の吹出口より砂やガラス繊維を短く切断したものなどの充填剤を送り出して、樹脂混合物をつくり処理面に吹き付けて固着させるのである。写真 7 は吹付機の吹出口部分を示したもので、左右のノズルがそれぞれ樹脂と硬化剤用のもので中央の吹出口が充填剤を送り出すためのものである。吹付処理をされた面は充填剤により凸凹のある表面を形成し、すべり止めとなる。現在、名神高速道路や首都高速道路、さらにオリンピック屋内競技場などに使用されようとしておりすでに施工されているところも多い。

(4) プレキャストコンクリートの接合

この分野における応用は今後コンクリート構造物の製造方法が、しだいに場所打コンクリートによる方法から工場製品の組立による方式に移行する大勢を考えると、最も盛んになることが予想される。構造物の接合はもちろんのこと各種部材の継目部の充填接着などその応用範囲は非常に広い。現在のところは接着構造物の耐火性などの検討がまだ十分でないので、ヒューム管やパイルの接合、道路歩道板の継目充填程度にしか用いられていないが、実験・研究が進むにつれ、プレハブ建築への応用はもとより、第 3 図に示すようなブロック継ぎ PC 桁の製作も可能となってくる。すでに国鉄では第 3 図のよう

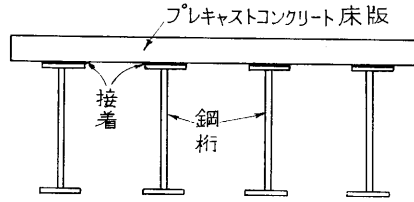


第 3 図

な PC 桁を製作して、静的および動的強度試験を行ない、当初から一本物として製作した桁にほとんど匹敵するような好成績が得られたと報告している。さらに地下鉄のコンクリート構築体をプレキャストコンクリート部材と合成樹脂によって製作することも検討されているが、もしこのような工法が実現すれば工期は著しく短縮され、工費の節約にもなり、しかも品質の一定した信頼のおける構造物ができるようになる。

(5) プレキャストコンクリート部材と鋼桁との接合

この分野の応用も (4) の場合と同様に今後の発展が期待され、とくにプレキャストコンクリート床版と鋼桁との接着による合成桁の製作は、従来の場所打コンクリートによる合成桁に比べて、施工の簡便、工期の短縮、寒冷期にも施工が可能であることなど、かずかずの利点があり、これからの合成桁はこのような形式のものになると考えられる(第 4 図参照)。その他の応用例としては



第 4 図

アンカーボルトの定着があり、隧道などの支保工、防潮堤のカサ上げ工事(写真 4 参照)、その他アンカーボルトを必要とする各種の工事に広く使用されている。その施工方法はガラス管に封入された樹脂(その内部に硬化剤が別のガラス管に二重に封入されている)をコンクリート(または岩盤)のボアホールに差し込み、アンカーボルトをその上から押し込んでガラス管をつき破り、樹脂と硬化剤を混合させることによりアンカーボルトを定着させるのである。

5. む す び

以上わが国における合成樹脂のコンクリートへの応用について述べたものであるが、今後はコンクリートに限らず建設工事全般にわたって合成樹脂の利用はますます拡大の一途をたどるように思われる。

現在、コンクリートに用いられている合成樹脂の大半を占めるエポキシ樹脂は、特許の関係で国内で生産することができず、米国よりの輸入に依存している事情もあって、価格の高いことが難点である。使用すれば良い結果が得られることがわかっていても、コストの関係で使用できないケースも多い。エポキシ樹脂に限らず以上に述べたような目的にかなうようなすぐれた合成樹脂が安価に供給されることが望まれる。最後に写真や資料などの提供をうけた KK ショーボンドのご厚意に謝意を表す次第である。

(1963 年 9 月 10 日受理)

参 考 文 献

大石・立川 「エポキシ樹脂」プラスチック材料講座 5
 ACI Committee 403 「Guide for Use of Epoxy Compounds with concrete」 ACI Journal sept. 1962
 星野・小林 「PC 橋のひびわれ補修にともなう実験」
 菅原・野口 「接着剤のブロック継ぎ PC 桁の試験」, コンクリート接着剤シンポジウム講演概要 (1962.4)

正 誤 表 (10月号)

ページ	段	行	種 別	正	誤
11	左	38	本 文	溶体化处理	溶体比処理
23	右	7	”	を原点とする…	を, 原点とする…
25	右	15	”	計算時間は	計算期間は