

## コンクリート用接着剤

泉 満 明\*

### はじめに

土木や建築の分野において、最近さかんにプレキャスト部材の組立工法によるコンクリート構造物の施工が行なわれてきている。これらは、工事の急速化、軽量化などを目的としているものであって、この場合に接着剤は不可欠のものとなっている。たとえば、カーテンウォール工法の場合のコーキング材がそれであり、これには耐水性、耐久性、接着性などのすぐれた合成樹脂接着剤が広く使用されている。これと同じものでは、プレハブ住宅などの部材の目地材などもある。土木の分野では、プレキャスト コンクリートのブロックの目地を接着剤で接合してプレストレスを与え、片持ばり形式に張り出し、プレストレス コンクリート橋を施工する方法が1963年にフランスのショワジール・ロワ橋において成功して以来さかんに海外および国内において採用されてきている。国内においては、1966年に完成した首都高速2号線の目黒架道橋が合成樹脂接着剤を目地の接合に使用した最初の例であって、重交通上の街路上で交通の支障を最小限にとどめ、短期間に架設を行なったものの例としてあげられる。

以上のようなプレキャスト部材の接合という目的以外に合成樹脂材料は土木、建築の分野において塗料、舗装、コンクリートの混和剤、防水処理用材、内装材、断熱吸音材など広く使用されてきている。この新材料は、新工法の採用とともに、その用途に適合してますますさかんに使用されることが予想される。

ここではまず、土木、建築の分野における合成樹脂材料の使用を接着という用途を主として述べてみたい。

### 1. 接着剤の種類

昔から土木、建築の工事に使用されてきた接着剤としては、ふのり、でんぷん、にかわ、うるし等がある。その他、広い意味での接着剤としては、ポルトランドセメント、アスファルト、タール、水ガラスなども考えられ

る。近年においては、石油化学工業の発展とともに、その生産物である合成樹脂系の接着剤の登場により、接着剤としての価値観も一変して、新しい性能を有する材料として、土木・建築の分野でそのすぐれた性質を十分に生かして使用が拡大されてきている。

合成樹脂系の接着剤に用いられている合成樹脂は、比較的分子量の小さい300程度から数万以上という大きなものまであり、通常高分子と呼ばれているものがほとんどである。これらは、糸状の分子であって、一次元の高分子と称せられている。これらの高分子を加熱するかあるいはこれらに触媒あるいは薬品を加えて化学反応を起こさせると、糸状の分子間に分子の架橋が行なわれ、三次元の高分子となる。この三次元の高分子は不溶性、不融性の安定な樹脂である。したがって、一般に合成樹脂による接着のおもな行程というのは、一次元の高分子を接着しようとする材料の間に塗付したのちに、これを三次元の高分子の樹脂に変えることで完了するものである。このように加熱あるいはこれと化学的に同じ作用をさせることによって硬化する合成樹脂を熱硬化性合成樹脂と呼ばれている。これに対して酢酸ビニルのように、加熱すると硬化せず、やわらかくなってプラスチックな状態となる合成樹脂を熱可塑性合成樹脂と呼んでいる。この合成樹脂は、溶液あるいは乳剤の状態で使用し、溶剤が蒸発し乾いて固化する、という過程によって接着が行なわれるものである。これらの樹脂のうち、土木・建築の分野においておもに用いられてきている合成樹脂を表一に示す。

表一に示す以外に、メラミン樹脂、キシレン樹脂、イソシアネート系樹脂など、さらに合成ゴム系接着剤として、スチレンブタジエンゴム、クロロプレンゴム(CR、ネオプレン)などがあり、接着剤としてすぐれた性質を有している。なお、合成ゴムは、アスベストなどと混合してシーリング材として使用される例が多い。

現時点においては、以上に述べた合成樹脂接着剤の中で、強度、耐久性、耐薬品性などの点からみてすぐれたものの一つであるエポキシ樹脂が高価であるにもかかわらず

\* 首都高速道路公園 桜木町工事事務所 工事第2課長

表一 土木・建築に用いられる接着剤用の合成樹脂

	樹脂	比重	強度 (kg/cm <sup>2</sup> )			特色	用途
			引張	圧縮	せん断		
熱硬化性樹脂	フェノール樹脂 (ベークライト)	1.25~1.45	250~650	800~2 500	70~150	耐水, 耐熱 (-50~150°C) 性安価	合板, 集成材, パーチクルボードなどの接着, シール材, コーキング材
	レゾルシン樹脂	1.25~1.45	250~650	800~2 500	70~150	耐水, 耐久性大	屋外用合板, 耐水合板の接着
	尿素樹脂	1.47~1.52	400~900	1 750~2 800	80~110	耐水, 耐熱性小	一般用合板, サンドイッチ板
	エポキシ樹脂	1.10~1.90	300~700	900~1 400	150~300	耐水, 耐薬品, 強度大, 高価	構造用接着, コーキング材, ライニング材, シーリング材, 注入材, 塗料
	不飽和ポリエステル樹脂	1.10~1.65	300~700	900~2 500	50~200	常温硬化, 耐薬品性やや小	構造用接着, コーキング材, ライニング材, 目地材, シーリング材, 注入材, 塗料
	フラン樹脂	1.75	200~300	700~ 900	—	耐薬品性大	コーキング材, ライニング材
熱可塑性樹脂	酢酸ビニル樹脂	1.18~1.20	350	—	—	膨潤性, 耐熱小	タイル, ポリウレタンフォームなどの接着, サンドイッチ板
	ポリビニルアルコール (PVA)		—	—	—	水溶性	左官用モルタル添加剤, 土壌安定剤
	ブチラール樹脂	1.05~	35~210	—	—	耐水性	フェノール樹脂と混用して構造用接着

らず土木、建築の分野において広く使用されている。この樹脂は両端にエポキシ基を有するもので、分子量は300程度から2000程度以下で高分子ではない。この樹脂にアミン、ポリアミド、フタル酸無水物のような硬化剤を混ぜると三次元の構造になって硬化し、必ずしも加熱する必要がないこと、硬化剤あるいは添加剤の種類によって各種の用途に応じた性質が得られること、などのすぐれた性質を有している。

不飽和ポリエステル系樹脂も土木・建築において広く使用されているものの一つである。エポキシ樹脂と同様に硬化剤を加えると常温下で硬化するので、工事現場で使用するのに便利である。この樹脂はエポキシ樹脂に比較して安価であるので、コンクリート管の継手とか、コンクリート部材の構造用接合に多量使用されている。強度はエポキシ樹脂より低い、コンクリートの接着に使用するには十分な強度を有している、構造用の接着剤として採用することができるが、耐薬品性等に多少難点がある。

合成樹脂接着剤の分類としては、その機械的性質などの面からのものもあるが、エポキシ樹脂などのように耐久性、耐水性、耐薬品性など一般にすぐれている熱硬化性合成樹脂は、コンクリート部材の接着などの比較的大きな応力の作用する部分に使用するもので構造用接着剤\*

\* この分類は 井本、黄共著「接着の科学」岩波書店を参考とした。

と称され、熱可塑性合成樹脂や合成ゴムは、強度が低いこと、変形が大で耐熱性が劣ることなどのために大きな応力が作用する部分には使用されず、タイル等の接着に用いられる非構造用接着剤と称するものがある。

これらの構造用のものと非構造用のものとの互いの欠点を補うものとして、例えばニトリルゴム系とフェノール樹脂の混合使用が考えられており、効果をあげている。これが変性構造用接着剤と称されるもので、構造用の耐衝撃性を向上させたもので、すぐれた性質の接着剤といえるものである。

これまでに述べてきたように、合成樹脂系の接着剤は多種多様で、そのうえに各種の配合によって変性された多くの接着剤が市販されている。しかしながら、現在においては、万能なものではなく、使用の条件に適したものを十分検討のうえ採用しなければならない。土木あるいは建築の現場においては、その環境、施工方法の通常条件においては、エポキシ樹脂接着剤が構造用として有利な場合が多く、過去においてもその実績がもっとも多いものであろう。したがって、以下にはこの接着剤についてその詳細を述べていきたい。なお、合成樹脂接着剤の一般については、文献 1)などを参考にされたい。

## 2. エポキシ樹脂接着剤

土木・建築の分野でエポキシ樹脂の使用形態は表一1に示すように接着剤がそのおもなものであり、これに使

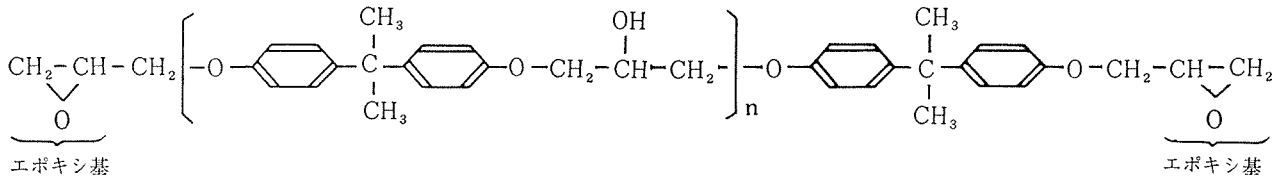


図-1 エポキシ樹脂

用されているエポキシ樹脂は、いわゆる“ビス・エポ型”が大部分を占め、その他少量の耐熱用の特殊なエポキシ樹脂が開発され生産されている。

この型のエポキシ樹脂は図-1に示すような構造で、縮合度（ $n$ 数）が0~0.2 接着剤用としては分子量350~400程度で液状のものか、固体状のものでも融点の比較的低い（ $<130^\circ\text{C}$ ）、分子量1000~3000、 $n=1\sim4$ 程度のもが多く使用されている。さらにこの構造から、熱に安定なベンゼン核を有するC-C結合と、薬品に安定なエーテル結合C-O-Cからなり、分子中には接着性を高めるOH基、末端には2個のエポキシ基を有することがわかり、接着剤として次の長所と短所がでてくる。

長所としては、

1) 万能接着性、2) 低圧硬化、3) 低収縮性、4) クリップ変形が小、5) 耐湿性・耐薬品性大、6) 電気絶縁性良好、7) 揮発性の溶剤を含まない、8) 耐疲労性大、9) 耐食性大、などがある。

短所としては、結晶性、極性の小さいプラスチック（シリコンおよびふっ素樹脂、アクリル、塩化ビニルなどの重合体など）、ポリスチレン樹脂、ゴムなどには接着しないが、適当な表面処理などにより接着性は改善できるものである。

コンクリート用の接着剤としては、上記の特徴のほかに、1) 機械的性質が優秀であること、2) 可撓性のよいもの、3) 耐摩耗性がすぐれていること、4) 各種の充てん材を多量に添加できること、5) 貯蔵安定性が高く、硬化剤を付加しなければ、気候温度に関係なく長期間の保存ができることも必要であり、この目的のために、エポキシ樹脂に硬化剤を添加するほかに、各種の充てん材を加えて、性質の改善を行なっている。

コンクリート用接着剤としてのエポキシ樹脂は上記の特徴の中で、使用目的によって必要とする性質が多少異なっているが、共通する性質も多いので、ここではプレキャストコンクリート用接着剤を中心にのべる。

#### (1) プレキャスト コンクリート接着剤

プレキャスト コンクリート接着剤として要求される性質は、工業材料としてのもの、施工性の面、接着剤そのものの性質などの各要求が満たされる必要があるもので、

簡単に述べると次のようなものである。

保管が容易であること；接着剤の製造後、使用するまでの保管中に品質の変化しないもので、しかもこの保管条件がきびしくなく、長期間の保管が可能であること。

施工性の面から、

1) 常温硬化性で取扱いが容易であること；気温が5~35°Cの範囲内で安定した性質を有し、しかも多少の配合誤差が生じてもその性質に大きな差異が発生しないもの。

2) 配合、練り混ぜ作業が容易であること；配合および混合作業が容易で簡単であり、短時間に行なえ、しかも気泡の混入がなく行なえること。

3) 塗布作業が容易でしかも塗布後のだれが少ないこと；接着剤の粘度が適切であって、所要厚さで、欠膠部がなく、容易に塗布が行なえ、しかも塗布後にだれて薄い部分ができたり、あるいは十分な接着剤厚がとれず所要の強度が得られないことが発生しないこと。

4) 可使時間（pot life、諸強度および施工上より許される施工時間）が適切であること；接着作業完了前に硬化が始まっていると接着強度などが低下するので、作業は可使時間内に終わっていなければならない。しかしながら、可使時間は使用時の気温によって左右されるので、当該の作業時の気温と作業所要時間、可使時間の関係が適切でなければならない。さらに可使時間の調整が容易であること。

5) 接着面の処理が簡単であること；接合するコンクリート面の前処理が簡単であり、多少の湿潤状態でも接着効果に大きな差異が発生しないこと。

6) 作業方法の変化に対しての接着効果の影響が少ないこと；配合比、接着面の処理法、気温、接着圧力、湿度などの条件の変化によって、接着効果に大きな変化が発生しないこと。

7) 作業安全性の高いもの；不燃性が大で、引火性がなく、さらに人畜に有害でないもの。

硬化後の機械的性質

接着剤は材令7日で圧縮強さ $\geq 700 \text{ kg/cm}^2$ 、引張強さ $\geq 100 \text{ kg/cm}^2$ を満足するものであること；これらの強度は、PCブロック工法に使用されるコンクリートの材質はおよそ材令28日で圧縮強さ350~500  $\text{kg/cm}^2$ で、こ

の場合、曲げ引張強さは 40~70 kg/cm<sup>2</sup> となるので、接着剤の強さは母材以上とすればよいという理由による。

その他

使用上の目的からして、構造物の美観をそこなわない色彩であること、

以上がプレキャストブロック工法用接着剤として必要とされる性質のおもなものである。これらの品質規格については、PCブロック工法研究会の提案<sup>3)</sup>があり、またその後の工事経験から一部修正した提案<sup>4),5)</sup>がなされている。表-2 にこの新しい提案の一例を示す。

表-2 品質規格

品質項目		単位	試験条件	品質規格	
未硬化接着剤	外観	—	—	有害と認められる異物がないこと	
	粘度	CP	使用時温度	1~5×10 <sup>4</sup>	
	可使用時間	h	使用時温度	1~4	
	だれ最小厚さ	mm	使用時温度	0.3mm 以上	
硬化接着剤	引張強さ	常態	kg/cm <sup>2</sup>	材令7日 20±5°C	100 以上
		高温時	kg/cm <sup>2</sup>	材令14日 70±2°C	100 以上
			%	材令14日 70±2°C	80 以上
		水中硬化時	%	材令14日 20±5°C	70 以上
	圧縮強さ	kg/cm <sup>2</sup>	材令7日	700 以上	
	衝撃強さ	kg/cm <sup>2</sup>	材令7日 0±1°C	2 以上	
	接着強さ	kg/cm <sup>2</sup>	材令7日	60 以上	
	圧縮ヤング係数	kg/cm <sup>2</sup>	材令7日	10 000 以上	
	硬さ	—	材令7日	90 以上	
	熱膨張係数	—	材令7日	10 <sup>-4</sup> ~10 <sup>-6</sup>	
	収縮率	%	—	0.3 以下	
	吸水率	%	材令7日	0.3 以下	

前述の品質のうち、特に重要なものについて次にくわしく述べる。

(2) 可使用時間, 粘度

エポキシ樹脂接着剤の主剤と硬化剤を、混合かくはんすると化学反応により温度が上昇し始め、反応が進み、ゲル化が始まり、それが進行し、ある時間経過後完全に硬化

という過程をたどる。この過程で可使用時間とは混合かくはんしてから十分な接着強度が保証される範囲で圧着に必要なプレストレス完了までの時間である。可使用時間の測定には 図-2 (a) に示すガードナー乾燥時間測定器を使用する。これは、円型アルミ板の上に 0.5 mm 程度混合直後の接着剤を塗り、その面に 12 時間で1回転する針をまわし、図-2 (b) に示すような針跡から硬化過程の時間を測定する。可使用時間としては塗布直後からゲル化開始時間までの 70% を一般に使用している。

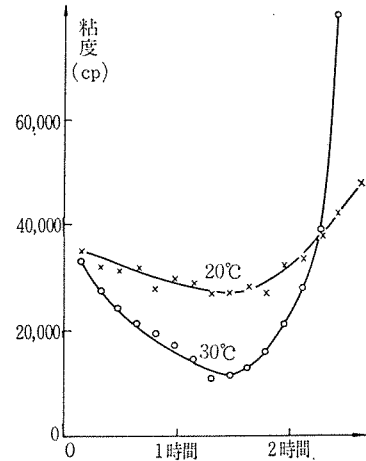


図-3 エポキシ樹脂の混合後の経過時間と粘度 (試料重量 1000 g)

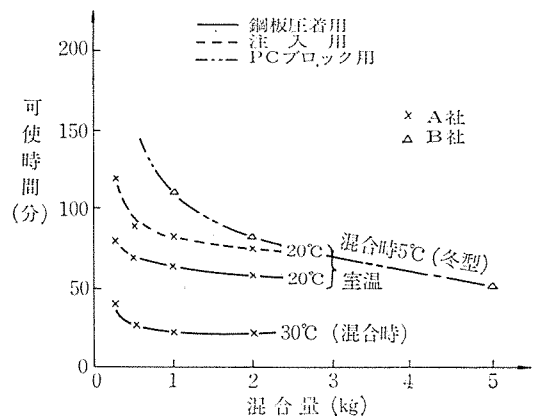


図-4 エポキシ樹脂の可使用時間と混合量の関係

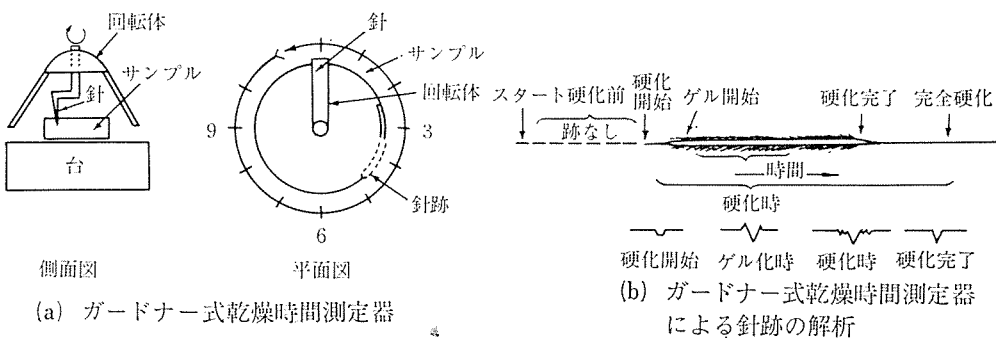


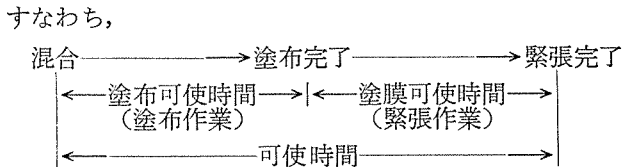
図-2

施工性に影響をおよぼすこの重要な性質について、さらにのべると、可使用時間と気温、混合量さらに粘度と温度との関係の一例は 図-3<sup>3),4)</sup> のようになる。これらの図と表-2 のそれぞれ所定の数値を比較することによ

プレストレスト コンクリートの現況と展望

り、エポキシ樹脂そのものの必要とする特性のほか、施工時の気温、硬化時の発熱量に関係ある混合量、さらに容器の形状などの管理が重要であることが明らかである。

なお、可使時間については、前述の定義がなされているが、PCブロック工法のように圧力をかけて接着することで塗布作業が不可能となってもその接着力に悪影響を与えない範囲まで、この時間を延長することができるもので、可使時間を次のように定義<sup>4)</sup>することも考えられる。



となる。これによって、夏季のような気温の高い場合にも施工が可能となることも考えられる。

(3) 各種強度

引張せん断強度、引張強度、圧縮強度、曲げ強度などは DIN などの規格による試験値であってエポキシ樹脂そのものの強度を表わすものである。この数値が補強あるいは目地の強度にどの程度の影響を与えるかを解明するのは困難である。これらのなかで、引張せん断、引張強度、圧縮強度などは、ある程度の力学的関連をつけられるものと思われるが、詳細については研究が進んでおらず不明である。

この原因の一つは、これらの数値の測定法にもあるものと思われる。特に樹脂のせん断あるいは接着強度については、曲げの影響などを除くために、その試験法の新しい形式が提案されており、その数値が実際の構造中における応力状態あるいは設計上の基本的な数値として十分に活用できるように試みられたものである。図-5にはCIBA社によって提案された樹脂のせん断試験法を示してあり、図-6<sup>4)</sup>には、接着強さをモルタルブロックに接着剤を塗付して純せん断状態でその数値を求めるもの

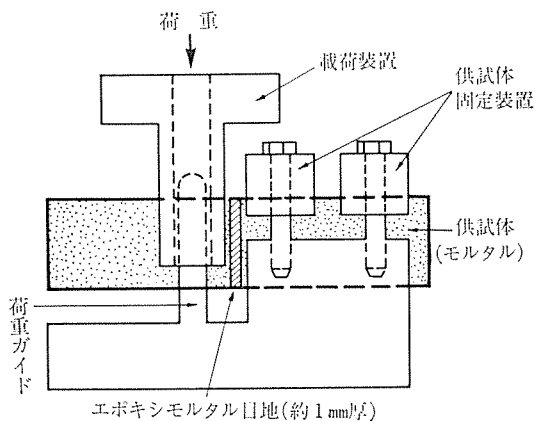


図-5 せん断強度測定装置<sup>5)</sup>

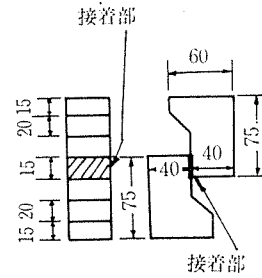


図-6 接着強さ用供試体<sup>5)</sup>

であり、多くの実験結果より提案され、接着強さを求めるには信頼のおけるものであろう。なお、表-2に示す数値は、この方法によって求める規格値である。他の強度も含めてこれらの機械的強度は主として樹脂そのものの品質管理あるいは保証といったものとして、現時点では総合的にその樹脂接着剤の品質を判断する資料と考えてよいものであろう。

(4) 弾性係数

コンクリートブロック用接着剤は、通常、目地の部分では厚さ0.5mm程度の状態となるので、ここの変形といったものは、部材全体に関する変形については無視できるので、エポキシ樹脂の弾性係数はあまり重要な力学的因子とは考えられていないが、目地部の接着剤がモルタル状のもので厚さが大きい場合には全体の変形に影響があるので重要な性質となる。さらに、鋼板あるいはFRPによる構造物の補強用の接着剤としては、補強後の部材の変形および補強効果に大きな影響を与える重要な性質の一つである。しかしながら、この数値は、同一品質のものでも、温度、荷重速度、変形速度などにより大きく変わるものであり、同一目的で開発されたものなかでもその値に相当の開きがあることに注意しなければならない。

弾性係数の数値の取り方としては種々のことが考えられるが、圧縮試験時に得られる応力-ひずみ曲線より図-7に示す方法により求めることが提案<sup>5)</sup>されている。

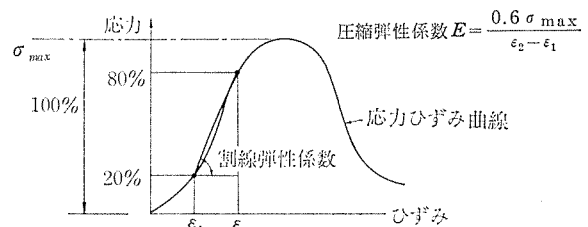


図-7

(5) 接着圧

プレキャストブロック工法あるいは鋼板による補強工法においては、塗布した樹脂を加圧状態で接着するのが一般的な工法である。この場合の接着圧と硬化後の強度

と曲げ剛性とは密接な関係があることが報告<sup>9)</sup>されている。この研究はプレキャストブロック工法用エポキシ樹脂接着剤を使用し、コンクリート供試体にこれを塗布し、P C鋼棒で圧着、硬化後、接着圧を0にして曲げ試験を行なったものである。この実験の結果、接着圧が10 kg/cm<sup>2</sup>程度であれば、ほぼ母材コンクリートと同程度(46.1 kg/cm<sup>2</sup>)の接着強度、接着圧が20~50 kg/cm<sup>2</sup>ではほとんど強度に変化がなく、母材強度の85~90%となる。しかしながら、100 kg/cm<sup>2</sup>になると2/3程度に強度が低下する。曲げ剛性は接着圧の増大とともに減少し、接着圧10~50 kg/cm<sup>2</sup>の供試体では、一体打ちの供試体の60%程度となり、100 kg/cm<sup>2</sup>の接着圧では、1/2以下となり、接着のメカニズムが変化するのではないかと考えられている。

プレキャストブロック工法で、連続桁あるいはラーメン構造の場合には、部材に与えるプレストレス力は段階的に行なわれるので、接着圧が過大になることは通常考えられないが、単純桁構造の場合には、接着圧については設計、施工上において十分注意が払われる必要がある。

その他の材料の性質として、硬度と圧縮強度との関連、収縮率、線膨張係数、衝撃係数、耐熱性、耐薬品性などは接着力あるいは目地の耐久性に影響を与えるであろうことはわかっているが、その詳細については不明である。

樹脂の老化については、使用地点に供試体を放置して4年程度の経過後の引張り、圧縮、曲げおよび引張せん断の強度について施工当初との比較によると、数値のばらつきが多く判断に苦しむが、この程度の経年では樹脂そのものについては影響がないといえよう。実際の使用状態は、この放置条件より樹脂の老化に対しては有利であると想定されるので、一応問題にすることはないと考えられる。

### 3. プレキャスト ブロック工法における施工要領

プレキャスト ブロック工法にエポキシ樹脂接着剤の目地を使用したP C橋の施工例も、わが国においてかなりの橋数になってきている。このような状勢のもとで、現場において安心して使用でき、さらに一定の性質を有する合成樹脂接着剤の供給されることが使用者側として大切であること、さらに、作業の標準化、現場における品質管理により所定の安全率を有する目地施工の行なえることが必要であることが痛感された。したがって、これらのことを実施するために、首都高速道路公団においては樹脂研究会が中心となって、

#### 1) エポキシ樹脂試験法<sup>9)</sup>

#### 2) 承認樹脂検査基準

#### 3) 各種工法に関する施工指針(たとえば、P Cブロック工法用エポキシ樹脂施工指針(暫定案))

上記3種類の基準を作成し、樹脂接着剤の管理を行なうことにしている。

1) は常温硬化型のエポキシ樹脂の試験方法を示すもので、JIS K 6911(熱硬化プラスチック一般試験法)を中心にASTM(アメリカ材料試験規格)およびJISの他の規格をもとに定めているものである。この試験法には、一応公団の土木構造物に適用される場合に必要とする性質に関する事項が規定されているが、特別な場合には別に定める必要がある。

2) は、当公団において使用するエポキシ樹脂は、メーカーから所定の品質、機械的性質を有するものの供給を受ける必要があるため、試験項目を使用目的に応じて適当に選択し、これに合格したものを使用するのを原則として規定したものである。なお、この試験は予備試験と本試験に分れており、予備試験で主要な項目について検討し採用の見通しを立ててから本試験を行なうという二本立てとなっている。したがって、施工に先立って承認されていないエポキシ樹脂は1)に規定されている方法で必要項目の試験を行ない承認されなければならない。その結果は所定の規格値を満足するとともに、その施工上の挙動も満足されることも検討しなければならないものである。

3) は、各工法に関して必要な施工上の事項と施工中の品質管理などの必要条項が示されている。

以上のものは、合成樹脂接着剤を使用する工法に共通のものである。ここでは、プレキャストブロック工法で施工する場合の施工指針の概要を紹介する。

#### (1) 材料および品質試験

エポキシ樹脂の品質規格は表-2とほぼ同じであるが、工事前にロットごとに抜取試験をすることになっている。一般に1ロットのエポキシ樹脂量は100~300 kg(主剤および硬化剤)であるので、各製品ごとに少なくとも1回は材料試験を行なって使用の可否のチェックをすることにしたものである。保存は冷暗所に密封保存し、製造後6か月以内に使用すること。硬化前の樹脂は一般に不安定な物質であり長期保存では変質する恐れがある。これは強度、作業性に悪影響を与えることになる。したがって、施工計画時に同工程を十分に検討し、樹脂の製造および搬入の時期あるいは施工時期が実工程と著しくずれないようにする必要がある。

品質に関する現場試験値は変動係数が大きく、平均値も承認試験時の数値より低い傾向にあるので、表-2に示すように余裕のある品質のものを使用している。可使

## プレストレスト コンクリートの現況と展望

時間は、冬期、夏期により非常に異なり、粘度も温度ばかりでなく施工法にもよるので十分に検討を加えておく必要がある。

### (2) 接着面（コンクリート面）の処理

PCブロックの接着面は、接着効果に悪影響をおよぼすもの（はく離剤、レイタンス、油脂、グリース、じんあい、さび等）を除去しなければならない。接着面が湿っている場合にはトーチランプなどで一様に加熱乾燥を行なう必要がある。

### (3) 計量、混合、塗布および養生

1回の接着に用いる接着剤の量は、あらかじめ適切な量を計算しておかなければならない。計量は所定の量を正確に秤量して混合する。練混ぜは、ミキサで行ない、1回の混合量は可使時間内に使用できる量以下とする。主剤と硬化剤の配合は所定どおり正確に行なうべきであるが、通常  $\pm 3\sim 5\%$  程度の誤差では樹脂の性状に悪影響を与えない。公団の承認試験においてはこの辺のところも確かめており、この誤差に対して敏感な樹脂は現場施工用としては不向きである。

塗布厚さは 0.5 mm 程度が適当であり、塗布作業は練混ぜ後できるだけ早く行なうのがよく、粘度が高くなったりして作業が困難になるので、塗布可使時間内に行なうべきである。塗布後ブロックを接合しプレストレスを導入するまでの作業は、接着剤の可使時間内に完了しなければならない。可使時間を過ぎると、欠膠部が生じたり、接着剤の接着強度そのものが低下したり構造物に悪影響を与えるので、可使時間内に作業が完了することは厳守すべきである。

塗布作業は気温（接着面の温度）は夏型の接着剤を使用する場合は  $10\sim 30^{\circ}\text{C}$ 、冬型の場合は  $5\sim 15^{\circ}\text{C}$  を標準とするが、気温が  $10^{\circ}\text{C}$  以下の場合には加熱養生をすることが望ましいし、 $30^{\circ}\text{C}$  以上となる場合には作業を中止することがよい。夏型樹脂の温度と粘度との関係は、図—3 に示すように相当な変化を示す。一般的にいうと粘度が 10 000 cp 以下ではだれを起こしやすく、60 000 cp 以上では塗布作業が困難になる。このことは、承認樹脂の段階での試験で、この点についての検討は十分に行なわれるべきである。樹脂の種別によって粘度と温度の関係を十分に検討し、適切な樹脂の使用を誤らないようにすべきである。

### (4) 品質管理

エポキシ樹脂の基本的な性質はすでに承認試験で調べられているので、施工前に行なう試験は、現場に搬入された材料が公団が承認したものと同一のものであり、その使用目的にかなうものであることを確認するために行なうもので、施工前においては1ロットごとに表—2に

示す規格のうち特に重要な4項目について行なう。その項目は 1) 外観、2) 比重試験—液体および固体、3) 引張強度試験—常態、4) 圧縮強度試験、である。

施工中においては、施工中、養生中の温度の測定、1日1回以上、前記の4項目について試験を行なう。

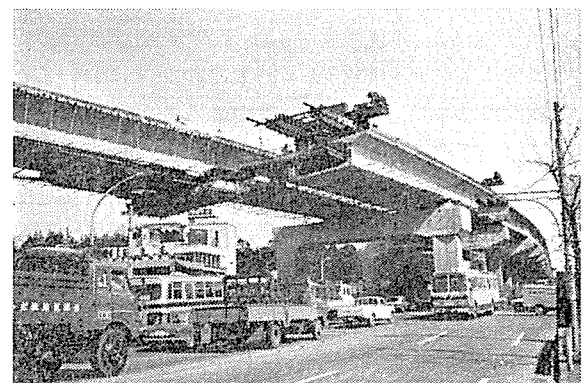
施工後においては、エポキシ樹脂の耐候性、疲労特性などについて未知の点が多く、このために1~15年にわたる長期管理用供試体を作成し、構造物と同じ条件の場所に保管しておかなければならない。試験項目は、1) 比重試験—固体、2) 引張試験、3) 圧縮試験であり、各項目に対する供試体数は5個とする。この試験は、構造物の安全性を確認するうえにも重要なものである。

これらの管理用試験結果は所定の記録表に記入のうえ竣功図書として保管し、将来の維持補修用の基本資料とする。

## 4. エポキシ樹脂の土木構造物への適用例

プレキャストブロック工法は 1947 年に建設されたエスブレイ橋がPCブロック工法の本格的な橋梁と考えてよいものであるが、当時はブロック間の目地はコンクリートあるいはモルタル目地であった。その後 1963 年に完成したショワジイ・ル・ロワ橋において、目地にエポキシ樹脂が始めて採用された。この樹脂は施工にさいして、フランスの建設省と施工業者およびテロソン・プロテクション・シミイク社の共同研究により開発されたプレキャストブロック工法に適したエポキシ樹脂で、これの採用により、この工法の急速施工の特長が著しく発揮されることになったのである。さらに完成後載荷実験などにより、この橋梁の挙動も確かめられ、フランス国内はもとよりこれらの実験と実績によりわが国を始めとして諸外国において急速に採用されるもととなったのである。

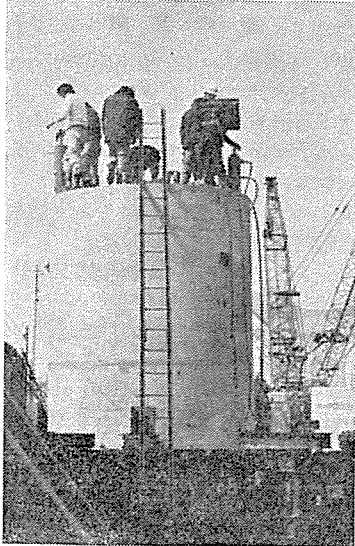
エポキシ樹脂を目地に用いたわが国最初の橋梁は首都高速2号線目黒架道橋であり、この成功によりその後数橋が施工された。写真—1 は首都高速3号Ⅱ期線に採用



写真—1 プレキャストブロック工法によるPC連続曲線橋の施工

されたもので、重交通の街路の交差点上を曲線桁で計画されたものである。この橋の工法上の特徴は、曲線橋を片持工法で架設したもので、施工中のたわみの管理が相当にむずかしいものであったことである。その他の施工は一般に行なわれているものとほぼ同一である。

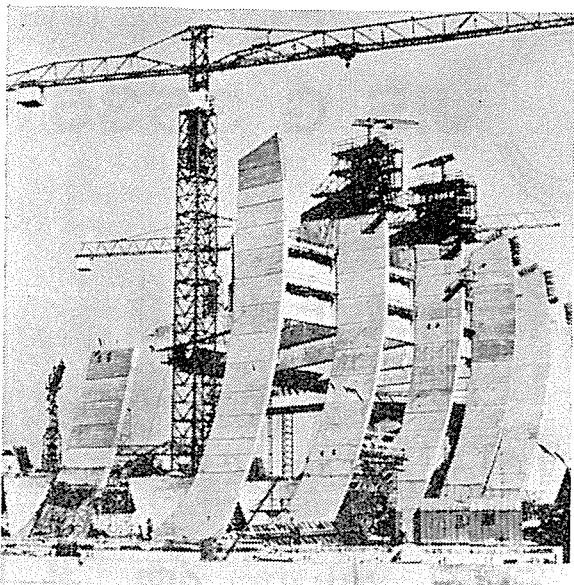
写真—2 の例は首都高速 5 号Ⅱ期線に採用された P C



写真—2 P C ウェルの施工

ウェルであり、 $\phi 2.98\text{ m}$ 、1 ブロックの長さ  $2.43\text{ m}$ 、ウェルの全長は  $21.87\text{ m}$  であり、目地にはエポキシ樹脂を使用している。このウェルも工事の省力化、品質の向上、工期の短縮を図りその目的を達したものである。

写真—3 は、エポキシ樹脂目地の発祥の地であるフラ



写真—3 施工中の新プリンス公園競技場（パリ）

ンスにおいて、大規模にエポキシ樹脂接着剤をプレキャストコンクリート目地に採用し、施工された構造物の一つである。この接着剤はアラルダイトを基本としたウタ

レップと称されるエポキシ樹脂モルタルであり、チバガイギー社の関連会社のプロシヤル社から供給されたアラルダイトを使用してラボラトリエウイットウィラ社が製造したものである。これは、速硬化性でこて塗りされ、あらゆる外的条件のもとで、きわめてすぐれた施工性があるとされている。

その他多くの施工例があるが、これについては文献 3) などに示されているので参考にされたい。

## む す び

コンクリート用接着剤としてのエポキシ樹脂についておもにプレキャストブロック工法に関する使用法の概略を述べてきた。この樹脂は強力な接着性を十二分に活用されて、さらに新旧コンクリートの接合、穴のてん充、パッチング、すべり止め舗装、耐摩耗防止、水密性および防水、化学抵抗被膜、ひびわれおよび目地のシール、グラウトなどとしても使用されている。しかしながら、合成樹脂のコンクリート構造物に対する利用の歴史は浅く、研究、開発が進められなければならない課題は多い。これらを列記すると次のようになる。

### (1) 材質の問題

老化、疲労などの接着強度の耐久性についての研究、さらに、使用目的によっては、低クリープ性、耐高温性などの性質が要求される。

上記のことを一応満たす一例として、以下に示すエポキシ樹脂は従来のもより、機械的強度、高温性能がよく、室温でよく反応し、さらにクリープ変形が非常に少なく、耐水性が大であるもので CIBA 社の技師によって示されたもののひとつである。このおもな性質は、粘度  $1500\text{ cp}$  ( $25^{\circ}\text{C}$ )、圧縮強度  $1200\text{ kg/cm}^2$  (DIN 1164)、曲げ引張強度  $410\text{ kg/cm}^2$ 、圧縮弾性係数  $165000\text{ kg/cm}^2$ 、 $70^{\circ}\text{C}$  における圧縮強度  $830\text{ kg/cm}^2$ 、曲げ引張強度  $250\text{ kg/cm}^2$ 、 $400\text{ kg/cm}^2$  の応力のもとで  $20^{\circ}\text{C}$  の場合の 1000 日経過後のクリープ変形は約 0.45% 等で耐水性も良好であるが可使時間が 30 分弱であるのが欠点である。作業方法によっては使用可能であろうが、この点の改良が今後の課題であろう。

### (2) 施工の簡易性

1 液性エポキシ樹脂接着剤、気象条件、施工条件の変化に対しての性能の変動が少ない樹脂接着剤、人畜に対してまったく無害なものなどの開発。

通常の施工において使用する合成樹脂接着剤は、使用前に主剤と硬化を混合して使用する 2 液性であるが、この混合作業が不用となれば、現場における作業が相当に簡便化されるし、作業上の誤りもなくなる。この目的で開発されたものが 1 液性のものであって、1 液性化す



る方法としては<sup>2)</sup>

- a) 低温貯蔵法（ドライアイスなどを使用）
- b) ミクロカプセル化法（ゼラチンなどのミクロカプセル中に硬化剤を封入し、圧着または加熱により硬化剤を放出させて反応）
- c) 潜在性硬化剤法（一定温度以上で活性化する熱反応性硬化剤をあらかじめ混合しておく）
- d) その他（モレキュラーシーブ法、湿気硬化法、自己硬化性エポキシ）

がある。この1液性の長所としては、硬化剤の秤量、混合、可使時間の問題なし、待ち時間半永久的、短所としては、貯蔵条件に敏感（湿気、加熱厳禁—密栓、冷暗所貯蔵）であることである。この方法のなかには、実用化されているものもあるが、研究段階のものが大半であり、土木、建築の現場での作業の簡便性を考慮して貯蔵条件の厳しくない、信頼の高いこの形式の合成樹脂接着剤の実用化が望まれるものである。

合成樹脂接着剤はわれわれ建設技術者が使い慣れた材料とその性質が相当に異なっており、これを十二分に駆使するためには、接着剤の性質をよく把握する必要がある。これをおこたると、接着剤使用上の要点である適材適


所が実行できず失敗することがあり、慎重な検討と十分な施工管理が必要である。コンクリートというすばらしい材料と合成樹脂との適切な組合せによって、新しいコンクリート構造形式あるいは施工法の開発が今後ますます進められるものであろう。その際にこの小文がなんらかのお役に立つことがあれば幸いとするとところである。

参 考 文 献

- 1) 西沢紀昭：コンクリート工事用接着剤，セメント協会，コンクリートパンフレット 80 号
- 2) 橋本邦之：エポキシ樹脂，日刊工業新聞社
- 3) プレキャストブロック工法施工マニュアル，プレストレストコンクリート技術協会
- 4) 池田哲夫：プレキャストコンクリート接着剤の品質，第10回日本道路会議論文集
- 5) PCブロック工法用エポキシ樹脂施工指針（暫定案），首都高速道路公団工務部
- 6) 津野和男：高速道路構造物における最近の話題—軽量コンクリートおよび樹脂の利用—
- 7) Guidelines for testing Araldite epoxy resin-based structural adhesives and mortars. CIBA-GEIGY
- 8) 岡田，ほか：PCブロック工法における樹脂接着について，土木学会第26回年次学術講演会講演概要集
- 9) 泉，宝来：エポキシ樹脂の検査基準について，首都高速道路公団技報第5号

1973.6.20・受付

**東京製網製品**



PPC

JIS G 3536

鋼線・鋼より線  
BBR工法鋼線  
多層鋼より線 (19~127本より)

製造元 東京製網  
発売元

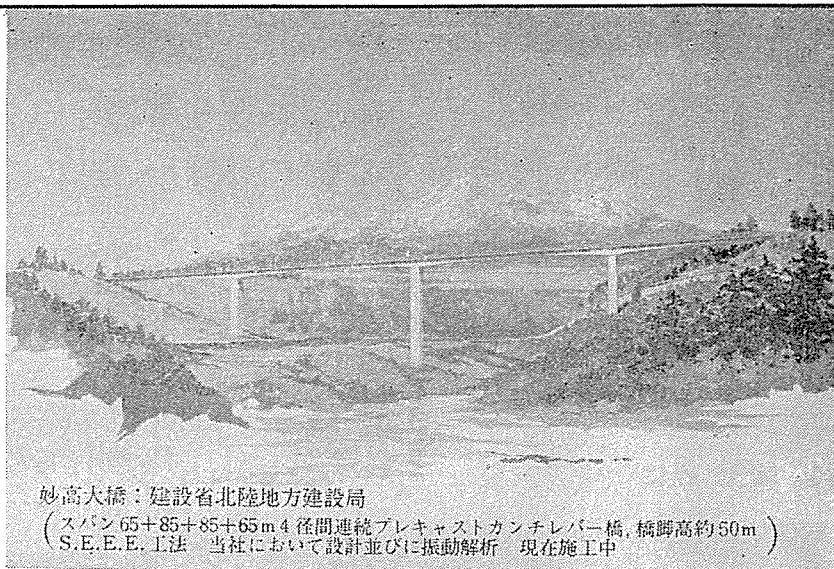
東京都中央区日本橋室町2丁目8番地 古河ビル四階  
電話 (211) 2851 (大代表)

• 技術提携会社

フランス、S.E.E.E 社  
G. T. M. 社

• 関連会社

アメリカ、STRESSTEEL社



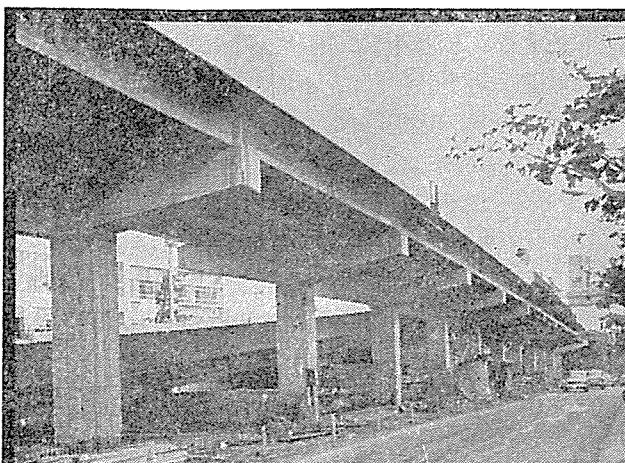
妙高大橋：建設省北陸地方建設局  
(スパン65+85+85+65m4径間連続プレキャストカンチレバー橋、橋脚高約50m)  
S.E.E.E.工法 当社において設計並びに振動解析 現在施工中

取締役会長	加藤三重次
取締役社長	巽千代造
取締役技術部長	上野博
取締役設計部長	森元峯夫
技術顧問	山内一郎



# 新構造技術株式会社

本社 東京都新宿区内藤町1番地(渋谷ビル) ▼ 160 電話 (03)(354) 3851番(代表)  
工場 神奈川県厚木市戸田長淵2514番 ▼ 243 電話 (0462)(22) 2199・3418番  
大阪事務所 大阪市西区靱本町2-86(西本町ビル) ▼ 550 電話 (06) (443) 7 6 6 5番



首都高速度道路高架橋

プレストレスト  
コンクリート  
建設工事 フレシナー工法  
MDC工法  
設計・施工  
部 材  
製造・販売

# 豊田コンクリート株式会社

取締役社長 西田 赫

本社 愛知県豊田市トヨタ町6 電話 0565 (2) 1818(代)  
名古屋販売本部 名古屋市中村区笹島町1-221-2 電話 052 (581) 7501(代)  
東京販売本部 東京都港区西新橋2-16-1 電話 03 (436) 5461~3  
工場 豊田第一工場、豊田第二工場、海老名工場