

報告 1 液エポキシ樹脂接着剤を用いたプレキャストコンクリートの接着強度

池田正志^{*1}・武田敏充^{*2}・小谷 洋^{*3}・辻 幸和^{*4}

要旨：プレキャストコンクリート部材の接合に用いる1液タイプのエポキシ樹脂系接着剤を用いたモルタルおよびコンクリートの接着強度を実験した結果を報告する。実験の要因は、接着圧、接着層の厚さ、接着面の水分、接着後の環境条件などであるが、接着面に水膜を残さなければ、接着層の厚さを0.2mmから0.6mmに変化させても、接着強度に変化が無く、オープンタイムも片面塗布でも温度が20℃で3時間は確保できることを確かめた。接着剤の粘度により異なるが、接着剤が接着面に十分に濡れる状態に接着圧を加えることにより、温水や海水に浸漬しても接着強度が低下することはないことも確かめた。

キーワード：接着剤、プレキャストコンクリートの接着、1液エポキシ樹脂、接着圧、環境条件

1. まえがき

プレキャストセグメント工法等のプレキャストコンクリート部材の接合には、従来2液エポキシ樹脂系接着剤が用いられてきた¹⁾。この接着剤は、使用時に主剤と硬化剤を混合する工程が必要で、大量に混合すると硬化発熱が顕著になり、可使時間の短縮することが懸念されている。

1液エポキシ樹脂接着剤は、大気中あるいはコンクリート中の水分と反応して硬化する湿気硬化タイプの構造用接着剤である。混合の工程が無いので、多量に使用する場合でも可使時間が変化しないなどの作業性に優れている。これまで、コンクリート用の接着剤として適用するに当たっての基礎研究結果を報告してきた^{2), 3)}。

本研究では、これらの研究に引き続いて、これまで検討していない1液エポキシ樹脂接着剤のモルタルとコンクリートの接着強度に関する実験結果を報告するものである。実験の要因は、接着面の水分、接着層の厚さ、接着圧、接着後の環境条件などである。

2. 1液エポキシ樹脂接着剤の品質

1液エポキシ樹脂接着剤の品質として、土木学会規準JSCE-H101により求めた試験値を表-1に示す。なお、JSCE-H101「プレキャストコンクリート用エポキシ樹脂系接着剤（橋げた用）品質規格（案）」は、2液エポキシ樹脂系接着剤を対象とするものである⁴⁾。

外観は白色のペースト状であり、粘度は低粘度タイプと高粘度タイプにより異なり、だれ最小厚さも粘度と同様である。なお粘度の測定には、BS型粘度計No. 6を用いた。

硬化した接着剤の品質のうち、引張せん断接着強さの試験値は示していない。この試験は、2枚の鋼板の間に接着剤を塗布して硬化させた後に引張試験を行って算出する方法であるが、1液エポキシ樹脂は水分と反応して硬化する特性を有しているため、試験が出来ない課題を残している。それ以外の硬化した品質については、いずれも、JSCE-H101に規定する品質を満足している。

*1 群馬大学技術官 工学部建設工学科（正会員）

*2 横浜ゴム㈱事業開発推進室

*3 横浜ゴム㈱事業開発推進室

*4 群馬大学教授 工学部建設工学科 工博（正会員）

表-1 1液エポキシ樹脂接着剤の品質

	品質項目	品質規格	試験値		備考
			低粘度	高粘度	
未硬化の接着剤	外 観		白色ペースト状		
	粘 度 (mPa・s)	$10^4 \sim 10^5$	1.2×10^5	4×10^5	JIS K 6833
	可使時間 (時間)	2 以上	4	4	20℃×60% RH
	だれ最小厚さ (mm)	0.3以上	0.8	1.0	
	比 重	1.1 ~ 1.7	1.60	1.33	JIS K 7112
硬化した接着剤	引張強さ (N/mm ²)	12.5以上	18.5	16.4	JIS 1号ダンベル
	圧縮強さ (N/mm ²)	50.0以上	75	112	20℃で養生
	引張せん断接着強さ (N/mm ²)	12.5以上	— *		20℃で養生
	接着強さ (N/mm ²)	6.0以上	8.9	9.2	JIS A 6024

* 水分と反応して硬化するため、鋼板の供試体では試験が不可能

3. 1液エポキシ樹脂接着剤の硬化のメカニズム

1液エポキシ樹脂接着剤は図-1に示すように、水が系中に入ることによりアミンが生成するため、結果的には2液エポキシ樹脂接着剤と一緒に硬化物が得られる。ただし、水に接するところだけが硬化するために、接着剤の厚みが厚いと中央部は硬化しないで最初は表面だけ硬化しているという場合もある。しかし最終的には、完全な硬化物になる。

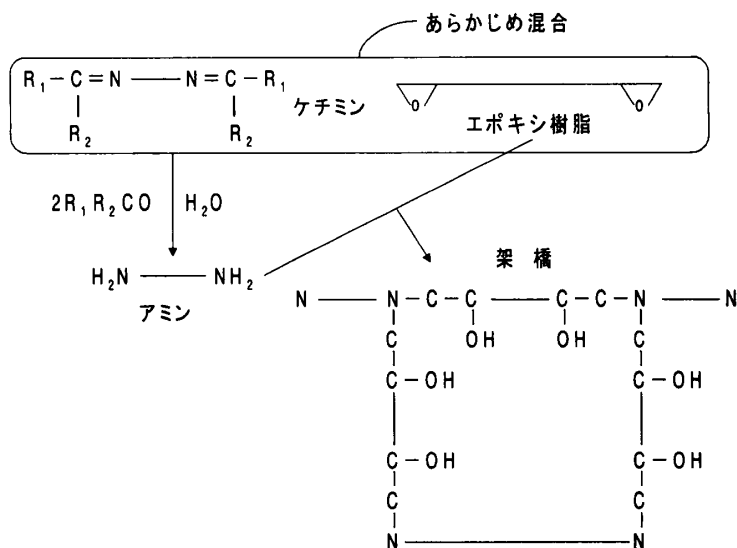


図-1 1液エポキシ樹脂接着剤の硬化のメカニズム

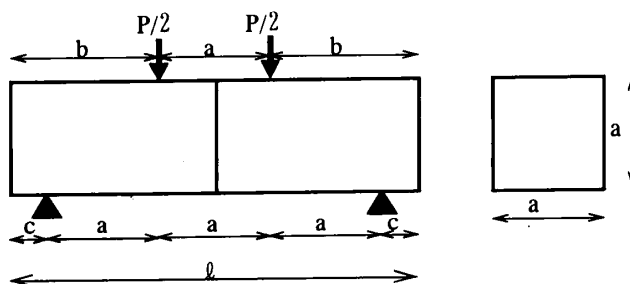
4. 実験の概要

モルタルは、JIS R 5201「セメントの物理試験方法」に準じて作製した断面が40×40mmで長さが80mmのものをを用いた。接着して長さが160mmの供試体に作製するものである。接着面を#80のサンドペーパーで削り、片面に1液エポキシ樹脂接着剤をはけで約1mm塗布した。オープンタイムを一般には2時間とり、一般には圧縮応力度にして0.2N/mm²の接着圧で締めつけて、所定の時間養生した。その後、図-2に

示すように、スパンが120mmの3等分点載荷により曲げ強度試験を行った。その時の曲げ強度を、接着強度と称する。そして、破断面の状況を記録した。

コンクリートとしては、断面が100×100mmで長さが200mmのもの、および断面が150×150mmで長さが250mmのものをそれぞれ用いた。2個の端面を接着して、長さがそれぞれ2倍の供試体を作製した。曲げ強度試験は、JIS A 1106に準じて、曲げモーメント一定区間をそれぞれ断面の高さとした、3等分点載荷とした。

モルタルは、水セメント比が65%，砂とセメントの質量比が2のものをを用いた。セメントは普通ポルトランドセメントを、砂はISO標準砂を用いた。コンクリートは、目標圧縮強度が 50N/mm^2 のものについて、水セメント比が39%，単位水量が 151kg/m^3 ，細骨材率が43%，粗骨材の最大寸法が20mmで、スランプが12.0cm，空気量が4.5%であった。



供試体の名称	断面寸法 $a \times a$ (mm)	a (mm)	l (mm)	b (mm)	c (mm)	モルタル または コンクリート
M40	40×40	40	160	60	20	モルタル
C100	100×100	100	400	150	50	コンクリート
C150	150×150	150	500	175	25	

図－2 断面寸法が異なる供試体の荷重方法

5. 接着剤の粘度と温度の関係

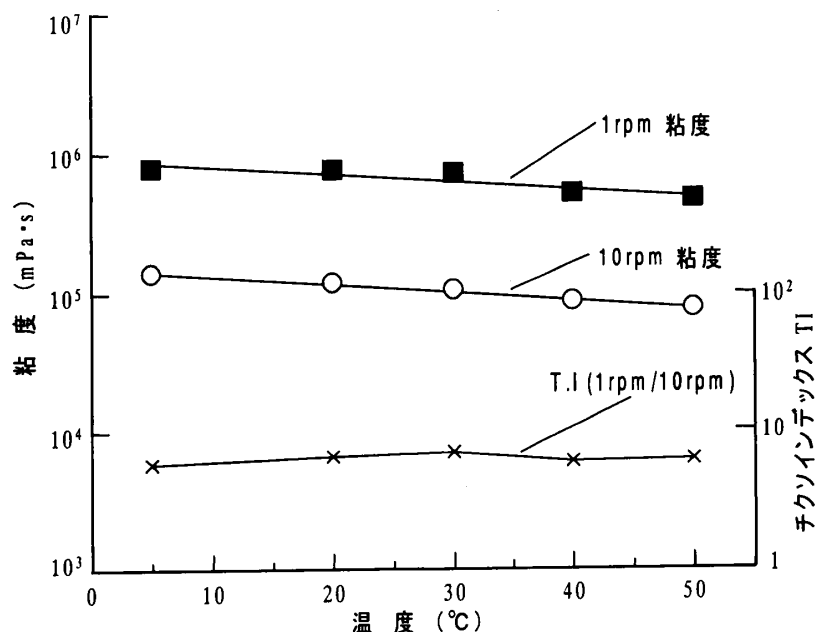
1 液エポキシ樹脂接着剤を5℃から50℃の恒温槽に24時間放置して所定の測定温度に調整した後、BS型粘度計No.7で粘度を測定した。図－3はその結果をプロットしたものである。BS型粘度計の測定回転数が1rpmの粘度と10rpmの粘度の比で表されるチクソインデックスもプロットしている。

温度が高くなるほど、測定回転数が1rpmの粘度と10rpmの粘度のいずれも小さ

くなる傾向があるが、5℃から30℃までの粘度の低下は小さいことが認められる。またチクソインデックスは、温度が5℃から50℃まで変化してもほぼ等しい値を示している。これらのことから、冬期から夏期のいずれの季節においても作業性の変化が少ないことが示された。

6. 接着面の水分の影響

接着面における水分の影響を検討するため、



図－3 1液エポキシ樹脂接着剤(低粘度タイプ)の粘度と温度の関係

モルタル供試体を24時間20℃の水中に浸漬した後、水中より取り出して、温度が20℃で湿度が60%RHの部屋において、①10分後、②20分後、③30分後、④タオルで拭いて、それぞれ接着剤を片面に塗布した後7日間養生した接着強度を、表－2に示す。この表には、接着面の破壊型式をその破断面積割合とともに示している。

十分に吸水させたモルタルでは、湿度が60%RHの部屋に水中から取り出して約30分以上放

置しないと、安定した接着強度が得られないことが認められる。また、取り出してタオルで表面を拭くだけでは、十分な接着強度が得られないことも明らかである。

接着面の表面に水の膜が存在した状態では、接着剤を塗布しても水の膜にはじかれてしまい、被着体に接着剤が濡れていかないと考えられる。十分な接着強度を得るためには、表面に水の膜が無くなるまで乾燥させることが必要である。

7. オープンタイムの影響

モルタルの接着面に約1mmの厚さで接着剤を塗布した後、温度が20℃、湿度が60%RHの部屋で30分から3時間まで放置させ、その後一方のモルタルの被着面を応力度0.2N/mm²で押し当てて、7日間養生した場合の接着強度を、図-4に示す。この図より、3時間放置してもほとんど接着強度は低下していない。すなわち、この結果は20℃の温度で接着剤を片面に塗布した場合でも、オープンタイムが3時間は取れることを示している。

8. 接着層の厚さの影響

コンクリートの強度を30N/mm²から100N/mm²まで変化させた場合の接着強度を表-3に示す。所定の粒径のビーズを用いて接着層の厚さを0.2mm、0.4mm、0.6mmに変化させている。接着面は10cm×10cmで、その時の接着圧は0.2N/mm²である。そして、温度が20℃で湿度が55%RHの部屋で7日間養生させた。

この表から、接着層の厚さを変化させても、接着強度はほぼ等しくなっている。破壊は全て母材破壊であったため、接着強度はそれぞれの母材コンクリートの曲げ強度を示している。そ

表-2 接着面の湿潤程度と接着強度（低粘度タイプ）

試験条件	①	②	③	④
接着強度 (N/mm ²)	2.6	3.5	6.7	2.4
	BF3 AF97	BF3 AF97	BF45 AF55	AF100

BF:母材破壊 AF:界面剥離 記号の後の数値は破壊断面積率(%)

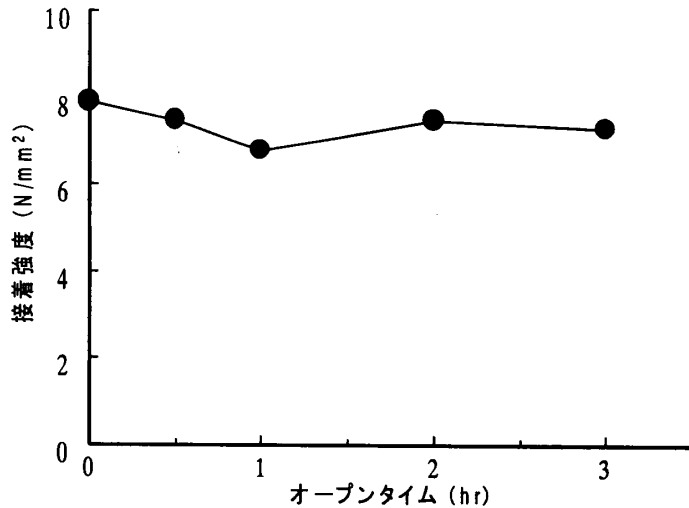


図-4 オープンタイムと接着強度（低粘度タイプ）

表-3 接着層の厚さと接着強度（低粘度タイプ）

接着層の厚さ (mm)	接 着 強 度 (N/mm ²)		
	コンクリートの圧縮強度 (N/mm ²)		
	30	50	100
0.2	4.3	6.3	7.6
0.4	4.6	7.0	—
0.6	4.7	6.3	—

の曲げ強度は、圧縮強度の増加に応じて大きくなっていることも確かめられた。

9. 接着圧の影響

図-5には、モルタルの接着時における圧縮応力度である接着圧が、接着強度に及ぼす影響を示す。モルタルの片面に厚さが約1mmになるように塗布した後、0.1N/mm²から2.0N/mm²の接着圧で約10秒間圧力を作用させた後、7日間養生した接着強度である。接着剤に高粘度タイプと低粘度タイプを用いた。

図-5より、高粘度タイプで0.1N/mm²の接着圧で接着したもののみが、接着強度が約70%

に低下していることが認められる。破壊状況もこの場合のみ、接着剤とモルタル間の界面剥離の占める面積が3体の平均で70%となった。他の供試体においては総てモルタルの母材破壊であった。

高粘度タイプの接着剤を用いる場合に、接着圧が 0.1N/mm^2 と小さいと、接着面に接着剤が十分に拡がらないで十分に濡れた状態にならなかったことが主原因と考えられる。

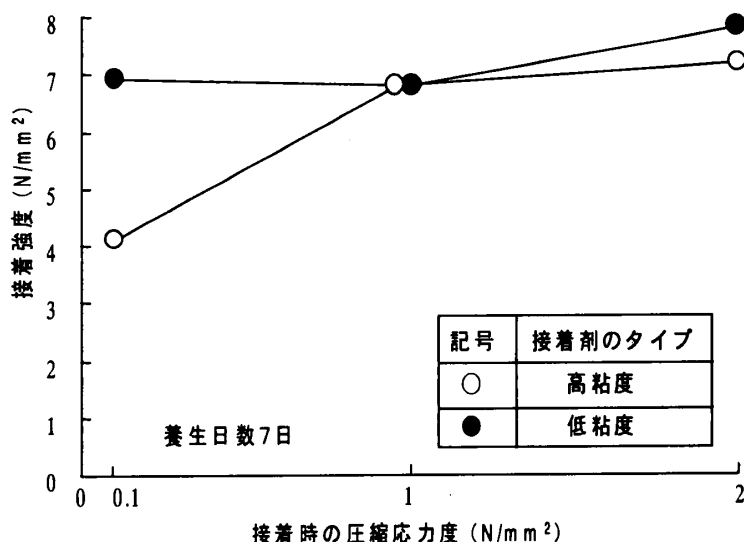


図-5 接着圧と接着強度

10. 温水と海水に浸漬した接着強度

図-5と同様に接着して、温度が 20°C で湿度が55%RHの部屋で7日間養生した後に、 60°C の温水に7日間浸漬した後の接着強度を、図-6に示す。高粘度タイプを用い 0.1N/mm^2 の接着圧で接着した場合が、接着剤とモルタルの界面破壊を生じて接着強度も著しく小さいことを除き、接着強度に大きな変化はない。なお低粘度タイプの接着剤を用いた場合、接着圧が大きいほど、接着強度は小さくなっている傾向が認めら

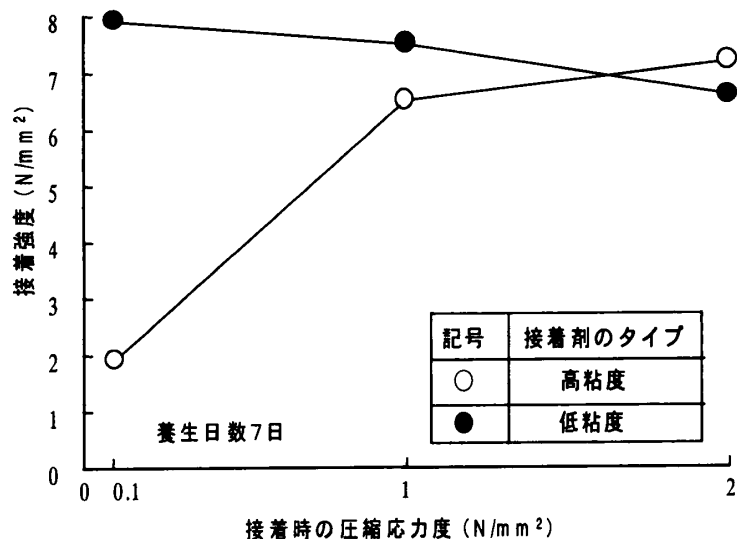


図-6 温水に浸漬した接着強度

れるが、いずれのモルタルも母材で破壊しており、モルタルの曲げ強度のばらつきと考えられる。

表-4には、図-5と同様に7日間温度が 20°C で湿度が55%RH

の部屋で養生した後に、 20°C 、 40°C および 60°C の海水に浸漬した場合の接着強度を示す。低粘度タイプを用いた場合である。

20°C の海水に45日間浸漬した場合のみ、接着

表-4 海水浸漬時の接着強度（低粘度タイプ）

浸漬期間 (日)	15	30	45
海水温度 ($^\circ\text{C}$)			
20	7.1 BF90 AF10	7.4 BF80 AF20	5.2 BF90 AF10
40	7.7 BF90 AF10	8.0 BF80 AF20	6.1 BF95 AF5
60	5.6 BF65 AF35	6.7 BF100	7.2 BF100

(単位: N/mm^2) BF:母材破壊 AF:界面破壊
記号の後の数値は破壊断面積率(%)

強度が少し小さくなっている。破壊は、モルタルの母材破壊の断面積が90%を占めていたこと、他の場合にもこのような破壊型式が認められていることから、温度が 60°C で45日間海水に浸漬

した場合でも、接着強度が低下することはほとんどないと考えられる。

11. 長期接着強度

図-5の場合と同様に接着したモルタルの接着強度と養生日数の関係を、図-7に示す。前述のように、高粘度タイプの接着時の圧縮応力度が 0.1N/mm^2 の場合は、養生日数が増加しても、接着強度は小さいままである。他のモルタルの接着強度は養生日数の増加とともにわずかではあるが増加している。図-7に示す値は、モルタル母材の曲げ強度の増加を示しており、接着強度はこれらの値以上を示すものである。

12. まとめ

従来の2液エポキシ樹脂系接着剤と異なる1液エポキシ樹脂接着剤を用いて接着したモルタルとコンクリートの接着強度を、曲げ強度試験により求めた。本実験の結果から、次のことがいえる。

- (1) 1液エポキシ樹脂接着剤の粘度は、温度が 5°C から 30°C まで変化しても、その変化量が小さい。
- (2) 20°C の温度下においては、オープンタイムの可使用時間が片面塗布する場合でも3時間は確保できる。
- (3) 接着面には表面に水膜が無くなるまで乾燥させた後、接着剤を塗布する必要がある。
- (4) 接着層の厚さは 0.2mm から 0.6mm まで変化しても、接着強度はほとんど一定である。
- (5) 高粘度タイプの接着剤を用いる場合は、接着時の圧縮応力度である接着圧が 0.1N/mm^2 では小さく、接着強度が小さくなる場合がある。接着剤のタイプにより異なるが、接着面

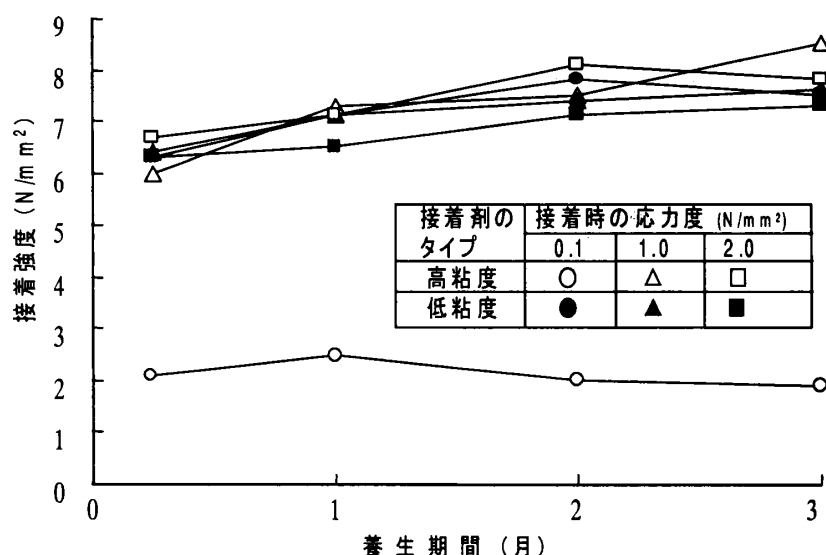


図-7 長期の接着強度

に接着剤が十分に濡れる状態となる接着圧が必要である。

- (6) 60°C の温水や海水に浸漬した場合でも、接着強度はほぼ一定で、低下は認められなかった。

参考文献

- 1) 松田哲夫・湯川保之・木水隆夫：内外ケーブル併用プレキャストセグメント橋の概要と破壊試験－松山自動車道 重信川高架橋－，プレストレストコンクリート，Vol. 38, No. 2, pp. 29～39, MAR.-APR. 1996
- 2) 池田正志・武田敏充・小谷洋・辻幸和：1液エポキシ樹脂接着剤を用いたコンクリートの接着強度，コンクリート工学年次論文報告集 Vol. 20-2, pp. 1267～1272, 1998.7
- 3) 池田正志・辻幸和・武田敏充・小谷洋：1液エポキシ樹脂接着剤によるプレキャストコンクリートの接着強度，第52回セメント技術大会講演要旨，pp. 436～437, 1998.5
- 4) JSCE-H 101-1993「プレキャストコンクリート用エポキシ樹脂系接着剤（橋げた用）品質規格（案）」，土木学会〔平成8年制定〕コンクリート標準示方書〔規準編〕，pp. 506～509, 1996.3