

[86] エポキシ樹脂アンカーの引抜き耐力に及ぼす施工時の漏水の影響

正会員 ○ 三 浦 律 彦 (大林組技術研究所)

正会員 青 木 茂 (大林組技術研究所)

柿 塚 邦 宏 (大林組広島支店)

角 栄 (大林組広島支店)

1. ま え が き

近年、アンカー工法の1つとしてエポキシ樹脂を用いた後付けアンカーが一般によく用いられる。この工法はコンクリートのはつり出しや打継ぎ、鉄筋の連結等の大がかりな工事を必要とせず、比較的短期で載荷できるといいう特長がある。その反面、硬化過程における温度依存性や水の影響による耐力低下¹⁾といったエポキシ樹脂固有の性質が問題となる場合もある。このうち、前者に関しては樹脂の成分を調整することにより可使時間や硬化時間を制御することができるが、後者に関しては未解明の部分も多く研究事例も少ない。特に、漏水を伴うような環境下で施工した場合のエポキシ樹脂アンカーの耐力に関する研究は皆無である。そこで、まず硬化過程における水の影響を定量的に把握する目的で数種類のエポキシ樹脂を用いて比較試験を行なった。さらに、エポキシ樹脂アンカー施工時の環境条件の違いが引抜き耐力に及ぼす影響を把握する目的で現場実験を実施した。本報はこれらの結果に若干の考察を加えるものである。

2. 実 験 概 要

2.1 使用材料

実験に使用したエポキシ樹脂はいずれも2液混合型のもので、R社製のものを2種類(略号RS:夏期用とRW:冬期用)とK社製のものを1種類(略号K:通年タイプ)の合計3種類とした。表-1にエポキシ樹脂RSとKの物理性状の一例を示した。両者を比較すると、比重や粘度はKの方が大きく硬化収縮率や吸水率はRSの方が大きい。これは主として充てん材含有の有無や樹脂の成分の違いによるものと思われる。また、可使時間や硬化時間はRSの方が2倍近く長くになっているが、これはこの樹脂が夏期の工事に使えるように成分を調整してあるためと思われる。なお、RWはほぼ両者の中間的性状を示すものである。

2.2 試験項目

エポキシ樹脂の硬化性状に及ぼす水の影響を把握する目的で表-2に示すような各種試験を実施した。このうち①～③の室内試験は、樹脂の種類や接着時の環境条件の違いが各種物理性状や接着強度に及ぼす影響を調べるものである。また④の現場実験はこれらの結果と実際の現象を対応づけるための実験で、現場施工時の環境条件をモデル化して再現した。

表-1 エポキシ樹脂の物理性状の比較

比較項目	種 類	エポキシ樹脂RS		エポキシ樹脂K	
		主剤	硬化剤	主剤	硬化剤
混合重量比		2	1	4	1
外 観	(単体)	無色透明	淡 褐 色	乳 白 色	褐色透明
	(混合物)	緑黄色透明ペースト状		褐色系の乳白色ペースト状	
充てん材含有の有無		無		有	
比 重		1.13		1.28	
粘 度 (c P s)	10℃	3,150		14,900	
	20℃	1,100		5,400	
	30℃	435		3,700	
可使時間 (分)	樹脂単体 (20℃)	96		45	
	珪砂100%混入 (30℃)	51		18	
硬化速度 (ガードナー式薄層法・ 於20℃) (時間)	増粘時間	6~7		2	
	指触硬化時間	12		5	
	2次硬化時間	18以上		8~9	
硬化収縮率 (%)	樹脂単体 (20℃)	4.3		3.0	
	珪砂100%混入 (30℃)	3.5		1.6	
吸 水 率 (封金7日から7日間吸水)		0.70		0.23	

表-2 各種試験項目および比較検討要因

実験シリーズ	試験項目	確 認 事 項	比 較 の 要 因	
			樹脂の種類	環境条件
室内試験	①鉄片を用いた樹脂の接着せん断強度試験	接着面における水分の有無が鉄片の接着せん断強度に及ぼす影響度の把握	RS, K	④気乾面接着 ⑤浸潤面接着 ⑥水中接着
	②接着モルタル供試体の曲げ強度試験	接着時の環境条件の違いがモルタルの接着強度に及ぼす影響度の把握	RS, K (×2:珪砂混入)	④気乾面接着 ⑤浸潤面接着 ⑥水中浸込み
	③接着コンクリート供試体の2面せん断強度試験	接着時の環境条件の違いがコンクリートの接着せん断強度に及ぼす影響度の把握	RS, RW, K	④気乾面接着 ⑤浸潤面接着 ⑥水中浸込み
現場実験	④エポキシ樹脂アンカーの現場引抜き試験	施工時の環境条件の違いがエポキシ樹脂アンカーの引抜き耐力に及ぼす影響度の把握	Kのみ	④気乾面接着 ⑤浸潤面接着 ⑥水中浸込み ⑦清掃不完全 ⑧漏水状態

2.3 試験方法

①鉄片を用いた樹脂の接着せん断強度試験

JIS K-6850 に準じて2枚の鉄片(100×25 mm, $t=1.6$ mm)を樹脂で接着させ(重ね長12.5 mm) 20℃材令7日で引張せん断試験を実施した。なお、接着・硬化時の環境条件として、④気乾面接着、⑤湿潤面接着、⑥水中接着(片面塗布後5時間水中放置しさらに塗布して接着)の3通りについて比較を行なった。

②接着モルタル供試体の曲げ強度試験

セメントの強さ試験(JIS R-5201)に準じて作成した標準モルタル(標準養生28日以上) 4×4×16 cmをダイヤモンドカッターで2分割し、気乾面接着のものは気中に3日間以上放置し、それぞれの環境条件下で接着・養生を行ない、材令7日で曲げ強度試験を実施した。接着・硬化時の環境条件としては、④気乾面接着(気中接着・気中養生)、⑤湿潤面接着(湿潤面接着・水中養生)、⑥水中流込み(水中流込み接着・水中養生)の3通りとし、④と⑥については4号珪砂を重量比で100%混入したものについても行なった。なお、接着面の樹脂の厚さは、気乾面接着と湿潤面接着では塗布厚、水中流込みでは5 mmとし、珪砂を混入したものでは10 mmとした。

③接着コンクリート供試体のせん断強度試験

JIS A-1132 に準じて作成した角柱コンクリート供試体10×10×40 cmをダイヤモンドカッターで3分割し、それぞれの環境条件下で接着・硬化させ、その後気中で養生して材令7日で載荷試験を行なった(図-1参照)。比較を行なった樹脂は、試験室の温度(20℃)を考慮して樹脂RW(冬期タイプ)を追加した3種類とした。また、環境条件は、④気乾面接着(気乾面接着・気中養生)、⑤湿潤面接着(湿潤面接着・気中養生)、⑥水中流込み(水中流込み接着・水中養生2日後、気中養生)の3通りとした。

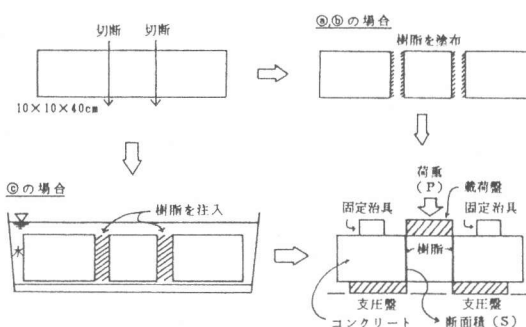


図-1 2面せん断試験用供試体作成手順

④エポキシ樹脂アンカーの引抜き試験

削孔面の状態を変えて施工した樹脂アンカーの引抜き試験を実施した。この場合の条件として③で検討した3種類(④, ⑤, ⑥)に、④清掃不完全(湿潤面に削孔時のノロが残存)、⑤漏水状態(削孔壁面から浸透水有り、図-2参照)を加えた5種類を設定し、比較を行なった。

削孔径は53 mmで、アンカーボルトはM30を使用し、埋込み深さを150 mm(5d)と定めた。

引抜きは図-3に示すようにセンターホールジャッキを用いて行ない、ダイヤルゲージをセットしてボルトの抜け出る変位を2 ton ビッチで破壊するまで計測した。

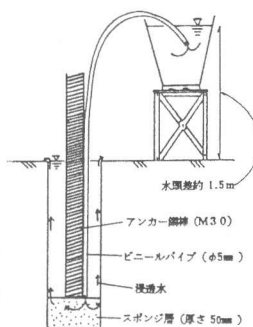


図-2 漏水状態の再現

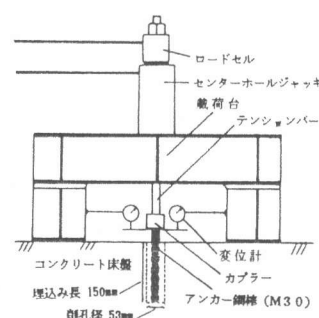


図-3 引抜き試験の方法

表-3 エポキシ樹脂単体の強度性状

種 類		エポキシ樹脂 RS	エポキシ樹脂 K
試験項目	圧縮強度		
	(Kg/cm ²)		
	材令3日・20℃	660	640
	材令7日・20℃	895	827
圧縮弾性率			
	($\times 10^{-4}$ Kg/cm ²)		
	材令3日・20℃	1.55	1.87
	材令7日・20℃	1.94	2.19
その他の強度	引張		
	(Kg/cm ²)	576	285
	曲げ		
	(Kg/cm ²)	806	466
材令7日(20℃)	シャルピー衝撃		
	(Kg・cm/cm ²)	7.9	2.0

④試験体の寸法および載荷速度はJIS K-6911に準じた。

3. 試験結果および考察

3.1 エポキシ樹脂の強度性状

室内試験①～③に先立ち、まずエポキシ樹脂単体の強度性状の比較を行なった。表-3にその結果の一例を示した。これより圧縮強度は樹脂RSもKもほぼ同等であるのに対し、引張、曲げ、それにシャルピー衝撃強度は樹脂RSの方がはるかに大きな値となった。なお、圧縮

弾性率は樹脂Kの方が少し大きな値となった。表には示していないが樹脂RWはRSとほぼ同様な結果であった。これらの原因は、主として充てん材含有の有無や主剤、硬化剤の成分の違いによると思われる。

3.2 エポキシ樹脂の接着強度に及ぼす水の影響

(1) 鉄片を用いた接着せん断強度試験の結果

試験結果を図-4に示した。気乾面接着では、表-3の結果と同様に樹脂RSの方が大きな値を示した。ところが、湿潤面接着や水中接着では逆にRSの方が著しい強度低下を示し、気乾面接着の場合の3割以下の値しか得られなかった。特に、湿潤面接着の強度低下がより著しくなっているが、これはRSの粘度や比重が小さいこと、それに樹脂の硬化速度の違い等により図-5に示すような一種のはじき現象が起きたためと思われる。

なお、水中接着の場合には鉄片に個々に塗ってから水につけている2層塗りのためその影響は小さくなる。

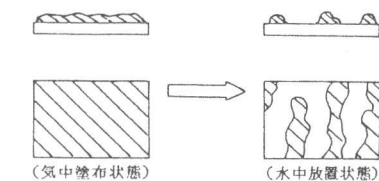


図-5 水中における樹脂のはじき現象

(2) 接着モルタル供試体の曲げ強度試験の結果

試験結果を図-6に示した。気乾面接着では樹脂の種類や珪砂混入の有無によらずほぼ等しい強度となった。この場合の破壊形態は、樹脂単体のものがすべてモルタル部での破壊であったのに対し、珪砂を混入したものでは樹脂部での破壊が3割程度含まれるという差が認められた。湿潤面接着ではやはりかなりの強度低下が認められ、樹脂Kでは6割程度に低下したのに対し、樹脂RSでは全く強度が得られず自然剝離を生じた。この原因は図-5に示したはじき現象や、樹脂の成分（アミン）の溶出などと思われる。

貯水条件下での樹脂アンカー施工に近い条件と思われる水中流込みでは、樹脂RSに珪砂を混入したもの以外はいずれも気乾面接着の3～4割程度まで強度が低下しており、エポキシ樹脂を水中で施工する場合にはかなりの強度低下が生じることを予想させる結果となった。

なお、樹脂RSに珪砂を混入したものでほとんど強度が出なかったのは、樹脂の比重や粘度が小さいため珪砂が沈降し、部分的に薄膜状態となって前述のはじき現象などが生じたためと思われる。

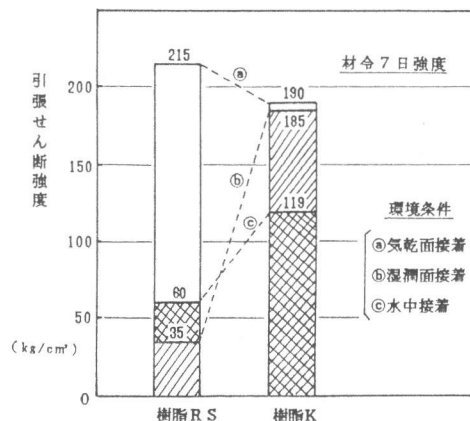


図-4 鉄片を用いた接着せん断強度

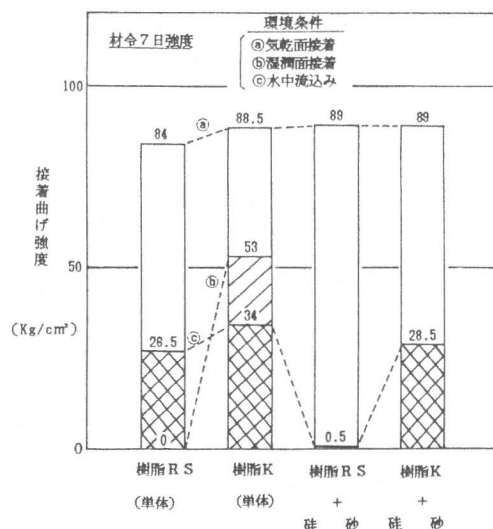


図-6 接着モルタル供試体の曲げ強度

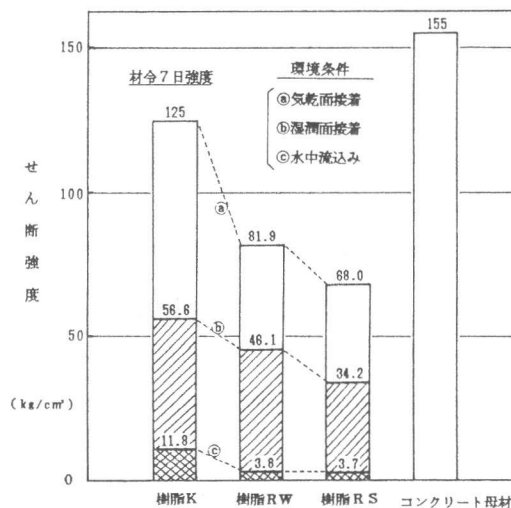


図-7 接着コンクリートのせん断強度

(3) 接着コンクリート供試体のせん断強度試験の結果

前述のモルタル供試体を用いた試験は接着面での曲げ引張強度試験であり、実際のアンカー引抜きとはかなり異なった応力状態での試験である。そこで、より実際に近い状態を再現するために、接着コンクリート供試体の2面せん断試験を実施した。その結果を図-7に示した。

接着モルタル供試体の曲げ強度試験の場合と異なり、気乾面接着のものでも樹脂の種類の差異が大きく現われているように見えるが、これは粘度が小さいため硬化前に樹脂が若干流出したりして接合が完全にできなかったためではないかと思われる。

使用時期の異なる樹脂RSとRWを比べてみると、少し温度の影響が現われ、どの環境条件のものでも後者の方がやや高い強度となっている。しかし、水中流込みの場合では樹脂RS、RWとも 4 kg/cm^2 程度の値しか得られておらず、樹脂Kの1/3以下となっており、樹脂自体の湿潤面接着特性の優劣を示す結果となっている。この結果から単純に判断すると、水中施工時の強度は気中施工時の1割程度しか得られないことになるが、この結果はあくまでも平滑な平面接着の場合のせん断強度であり、実際のアンカー引抜き時の状態とは異なることを注意しなければならない。つまり、実際の樹脂アンカーでは削孔面に凹凸があることや、引抜き時の樹脂の変形により半径方向に直応力が作用するため、水中施工した場合でも引抜き耐力はもっと大きな値になるとと思われる。

3.3 漏水がエポキシ樹脂アンカーの耐力に及ぼす影響

前述した室内試験の結果より、樹脂の硬化過程で接着面に水が存在するような場合には接着強度がかなり低下すること、また低下の程度は樹脂の種類によってかなり異なることが明らかになった。しかし、これらの要因が実際のアンカー施工時にどの程度の悪影響を及ぼすかについては不明の点が多い。そこで、現場での樹脂アンカーの引抜き試験を実施した。

図-8は載荷時の荷重と変位の関係の一例を示したもので、④では22 tonかけても健全だが、著しい漏水が認められた⑤では10 tonで破壊しており変位も他のものに比べてかなり大きくなっている。載荷時の状況から判断すると、この場合は小さな荷重でも抜け出ているようだった。そこで、コアを抜いてみると、写真-1に示すように樹脂とコンクリートの接着強度がほとんど無いことが確認され、このような過酷な環境条件下でエポキシ樹脂を使用することには問題が有ることが明らかになった。

それ以外の環境条件のものでは、④が14 ton程度とやや小さく、孔内の清掃の重要性を示す結果となっている。なお、⑥や⑦の結果は予想以上に良好であるが、これは樹脂Kの優れた湿潤面接着特性や、削孔面の若干の凹凸によるものと思われる。

4. ま と め

以上の結果から明らかになったことをまとめると次のようになる。

- (1) 一般にエポキシ樹脂を水の存在下で接着・硬化させると、接着強度は乾燥状態のものに比べて低下し、その程度は樹脂の種類によってかなり異なる。
- (2) 削孔内面の清掃や乾燥が不十分であれば、エポキシ樹脂アンカーの耐力は2~4割程度低下する。
- (3) エポキシ樹脂の水中施工は十分可能であるが、漏水下での施工にはほとんど適さない。

末筆ながら実験の計画ならびに実施にあたり御協力頂いたコニシ(株)大阪研究所の皆様にご礼申し上げます。

〔参考文献〕1) 村松、宋：エポキシ樹脂アンカーの引張り強さに関する実験的研究，第6回コンクリート工学年

次講演会論文集，pp. 389~392，1984.6

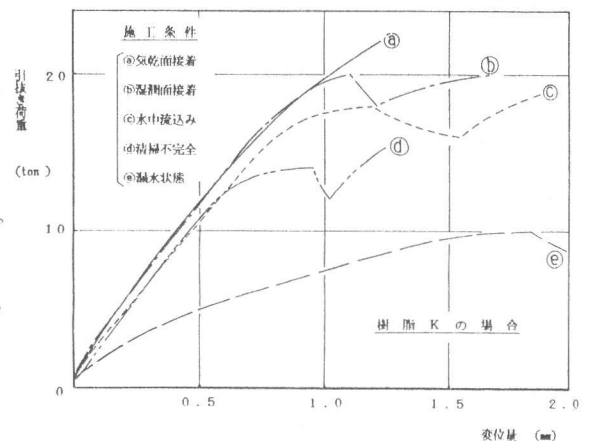


図-8 アンカー引抜き時の荷重と変位の関係

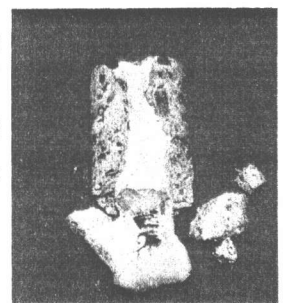


写真-1 ⑤の破断面