

論文

[1070] FRPライニングのコンクリートひびわれに対する追従性

正会員 ○浦上良樹 (兵庫県姫路土木事務所)

泉谷辰雄 (ダイセル化学工業)

宮里亮次 ( 同 上 )

瀬尾健二 (姫路工業大学)

1. はじめに

兵庫県が施工している揖保川流域下水道の終末処理場では、一般家庭排水のほかに多数の皮革工場からの排水も受け入れるべく計画 (一部供用済) されている。従って処理場のコンクリート構造物は、主として $H_2S$ 発生による腐食対策として、気相部に対してはビニルエステル樹脂を液相部に対してはエポキシ樹脂を用いたFRPでライニングすることにした。

これらの樹脂塗工に際して、コンクリート構造物のスラブや打継ぎの近傍には若干のひびわれがあったので、この部分にはVハツリの後に弾性パテを埋めるなどの処置が考えられたが、新たに発生するコンクリートのひびわれに対して、樹脂塗膜がどの程度の追従性があるかを確認すべきであると考えた。

これまで、コンクリート面に塗工した樹脂がコンクリートのひびわれに対する追従性については、2~3の方法が紹介されているが〔1,2〕、その定量的評価は殆どなされていない。そこで、本報では安定した供試体の製作し易い熊谷組の伊藤らの方法〔3〕に準拠した試験を行い、上記の樹脂塗膜がコンクリートのひびわれに対する追従性の定量化について検討し、有用な結果を得たのでここに報告する。

2. 試験方法

2.1 試験概要

供試体は中心に異形鉄筋を有し、その両端を除いて周囲にコンクリートを打設した4角柱で、この鉄筋は中央部を切削により細くしてあり、そこに断面欠損用に黄銅製薄板を鉄筋に対して垂直に配置して、中央部からのひびわれを誘発し易い構造にしてある。

次に、コンクリートの表面2面に樹脂を塗工し、コンクリート面を含めた4面の中央部にそれぞれ歪ゲージと $\epsilon$ ゲージをとりつけ、各ゲージを8個の測定器に接続した後、鉄筋の両端を引張試験機にセットして上下に一定速度で引張り、コンクリートにひびわれを発生させると共に樹脂塗膜がどのような追従性を示すかを測定した。

2.2 試験供試体

中心部に長さ400mmの異形鉄筋D13を用い、その中央部の幅3mmを径5mmに切削し、その中央に厚み0.2mmの30mm角の黄銅板を配置し、これを囲んでコンクリ

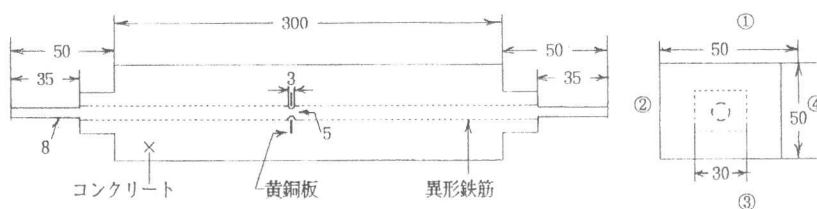


図-1 供試体の平面図と側面図

ートを50×50×300mmの寸法に打設した。作製した供試体の寸法を図-1に示す。

また、打設に用いたコンクリートは揖保川終末処理場のコンクリート構造物に用いられた配合組成と打設条件に則り、これを表-1に示す。

コンクリートは打設の24時間後に脱枠し、20±2℃の水中で28日間養生し、風乾して樹脂塗工に供した。

樹脂塗工は角柱の相対する2面(①, ③面)について、細骨材が露出するまでサンディングの後、高周波式水分計〔㈱ケット科学研究所HI500型〕で水分8%以下の条件で樹脂塗工を行い、塗工後は室温で約3週間の養生を行い、引張試験に供した。樹脂塗工の樹脂の種類と塗膜構成は、揖保川終末処理場で実施されるものと同様とし、これらを表-2に示す。

尚、供試体は各種類ごとに試験の繰返し数n=3として合計15本を使用した。

### 2.3 測定機器

引張試験機は最大荷重5Tのインストロン型万能試験機を用い、引張速度は0.4mm/分の一定速度とした。歪ゲージは長さ30mmのものを、 $\pi$ ゲージは標点距離100mmのものを使用し、4個の歪測定器と4個の変位測定器は8点式の記録計に接続して、全ゲージの出力を記録させた。

これら測定機器のセット状況及び供試体にセンサー取り付け方法は、伊藤らの報告〔3〕と全く同様の要領で行った。

## 3. 測定値の整理方法

### 3.1 変位置量の選択

本測定では、万能試験機の引張速度が一定のため、変位置量として万能試験機の引張変位置量と $\pi$ ゲージから求められる2種類の変位置量が存在することになる。測定値から、この間の関係を模式的に示すと図-2の通りで、万能試験機荷重曲線(本来万能試験機に付属している測定器による)の立上がりに較べコンクリートの $\pi$ ゲージは常に遅れてスタートしたが、その原因はコンクリー

表-1 コンクリートの配合組成と打設条件

粗骨材の最大粒径 (mm)	スランブ (cm)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 S/a (%)	単 位 量 (kg/m <sup>3</sup> )			
				水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G
8	8	5.8	44.3	174	300	791	995

表-2 塗工した樹脂の種類と塗膜構成

種類	樹 脂 (主 レジン)	塗 膜 構 成	標 準 厚
A	ビニルエステル (ビスフェノール型)	プライマー 0.15kg/m <sup>2</sup> 主レジン 1.05kg/m <sup>2</sup> ガラスマット (450g/m <sup>2</sup> ) 1枚 サーフェスマット (30g/m <sup>2</sup> ) 1枚 トップコート 0.15kg/m <sup>2</sup>	1.3 mm
B	ビニルエステル (ビスフェノール型)	同 上	1.3 mm
C	ビニルエステル (ビスフェノール型)	プライマー 0.20kg/m <sup>2</sup> 主レジン 1.10kg/m <sup>2</sup> ガラスマット (450g/m <sup>2</sup> ) 1枚 サーフェスマット (30g/m <sup>2</sup> ) 1枚 トップコート 0.15kg/m <sup>2</sup>	1.3 mm
D	水系エポキシ	下塗り (モルタル) 1.00kg/m <sup>2</sup> 中塗り 0.25kg/m <sup>2</sup> 主レジン 0.30kg/m <sup>2</sup> ガラスクロス (200g/m <sup>2</sup> ) 1枚 上塗り, トップコート 0.50kg/m <sup>2</sup>	1.0 mm
E	無 溶 剤 型 エポキシ	プライマー 0.20kg/m <sup>2</sup> 主レジン 0.85kg/m <sup>2</sup> ガラスクロス (200g/m <sup>2</sup> ) 1枚 トップコート 0.15kg/m <sup>2</sup>	0.6 mm

注: トップコートは主レジンに数%のパラフィンが入っているものと考えてよい。

ト材の中央部分（ひびわれ発生部分）に歪が集中するため、その部分に貼り付けられた歪ゲージの応答はあっても、中央部分から離れて設置された $\pi$ ゲージでは検出の最下限に達していないためと考えられ、本報では以上の点から、変位量はコンクリートの $\pi$ ゲージでなく、万能試験機の引張変位量で把握することとし、これを横軸に選んだ。

### 3.2 歪曲線の選択

供試体にセットした4つの歪ゲージからは、塗膜、コンクリート各2本の歪曲線が得られるが、万能試験機に荷重がかかり始めた以降の状況を模式的に示すと、全て図-3のような曲線となり、塗膜とコンクリートの歪がセットになって、万能試験機にかかる荷重とほぼ同時に立上がり始める組と、やや遅れてスタートする組の2組に分れる。

これは万能試験機に供試体を取付ける際の偏心により、よりはやく歪のかかる2面（先行するペア）において発生したひびわれ及び樹脂とコンクリート界面の剝離により、その反対の2面（後行するペア）の歪の緩和が生じ、解析に不都合な乱れが観測された。従って、この両組のデータを単純平均した曲線Mを求め、これを代表値として用いることはその物理的内容を損い適当でない判断し本報では万能試験機の荷重とほぼ同時に立上がる組をもって測定値とすることにした。

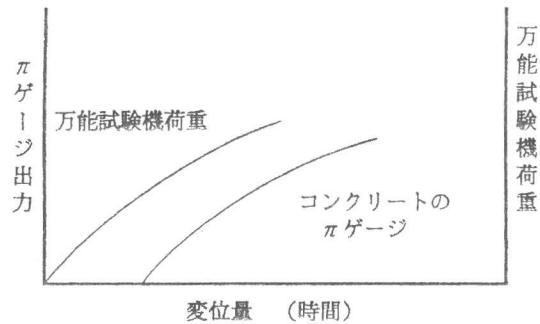


図-2 万能試験機と $\pi$ ゲージの関係

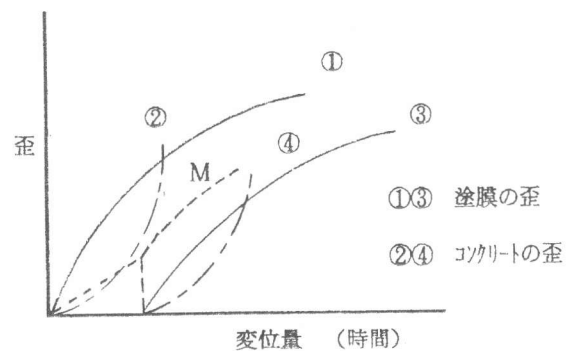


図-3 塗膜とコンクリートの歪の関係

## 4. 試験結果と考察

全供試体15本につき、万能試験機に荷重が発生した以降について、万能試験機引張変位量と万能試験機荷重曲線、万能試験機引張変位量と歪ゲージによる図-3の塗膜①面とコンクリート②面の歪曲線を求めた。このうち代表的な結果を図4-1~3を示す。

### 4.1 万能試験機荷重曲線

図-4の一点鎖線は万能試験機の荷重と引張変位量の関係で、鉄心の切断に伴う万能試験機の停止位置を×印で示した。

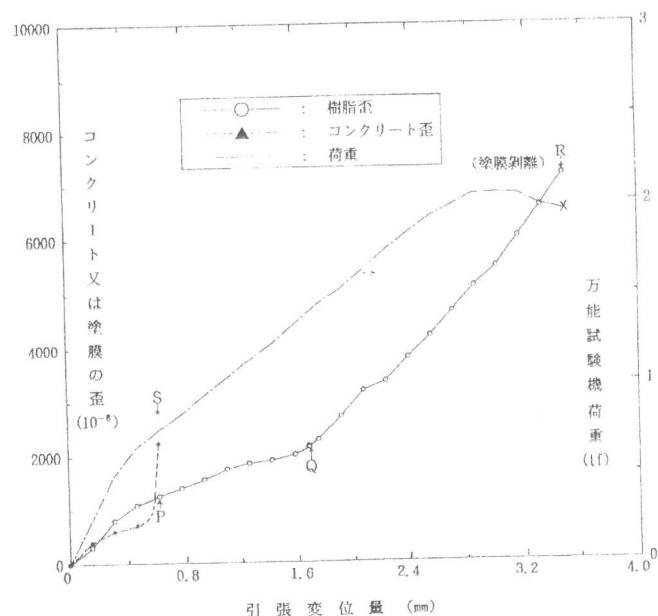


図-4.1 供試体B-1の歪・変位量・荷重曲線

殆どの曲線は単調に増加し最大値を経た後減少し始めて終わるが、供試体Dのみは全て階段状に2段に減少する曲線となった。Dは下塗りにプライマーでなくポリマーモルタルを用いているのが特徴みであるが、この曲線が特異な形状を示す理由は明らかでない。

#### 4.2 コンクリートの歪曲線

コンクリートの歪曲線でSはそれまで漸増してきたコンクリート歪が急上昇を開始する点で、この点で露出コンクリート面にひび割れが発生したと見られる。

コンクリートにひびわれが発生するまでのコンクリートの伸びをS点までのコンクリートの変位量より求めると、いずれの供試体も歪量約 $1,000 \sim 4,000 \times 10^{-6}$ の範囲でひびわれが発生しているので、コンクリートの変位量 $\delta_c = \epsilon_c \cdot l$  ( $\epsilon_c$ :コンクリートの歪、 $l$ :歪ゲージの長さで本試験では30mm)の関係より $1 \sim 4 \times 10^{-3} \times 30 =$

0.03~0.12mmとなる。この時点では全ての塗膜は歪を増大中でコンクリートの伸びに追従している。

尚、供試体Dでは歪がいったん減少してから急上昇しており、また供試体Eでは可成りの引張変位量に達するまで歪が現れていないが、これらはコンクリート母材のバラツキ、供試体を万能試験機取付時の偏心、測定対象以外のコンクリート④面での部分的なひびわれなどの影響とみられる。

#### 4.3 塗膜の歪曲線

塗膜の歪曲線上のPは上述のSに対応する点で、露出コンクリート面にひびわれが発生した時の塗膜の歪を示す。しかし、Pにおいては必ずしも塗膜下地のコンクリートにひびわれが発生したとは考えがたく、塗膜の歪が急上昇を開始するQ点で塗膜下地のコンクリートにひびわれが発生したと考えられる。従って、後述のひびわれ追従性の算出においてはQ点を基準にとることにした。

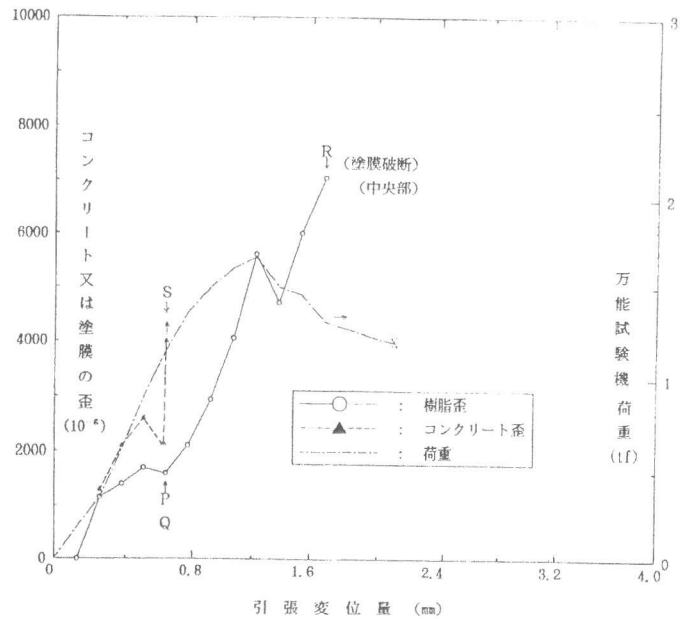


図-4.2 供試体D-1の歪・変位量・荷重曲線

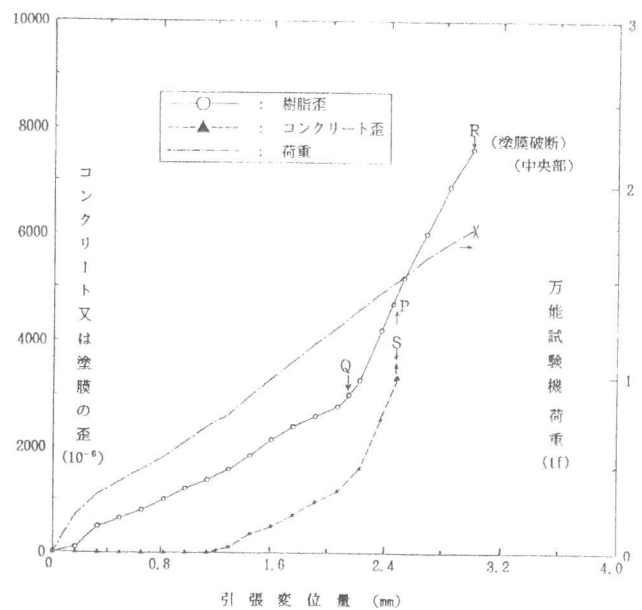


図-4.3 供試体E-1の歪・変位量・荷重曲線

R点は塗膜が剥離または破断した点で、塗膜の歪が最大に達した点であり、コンクリートのひびわれに対する追従性の限界を示している。尚、供試体Dの歪曲線では歪がいったん大きく減少している処があるが、これは測定対象以外の塗膜③面の部分的なひびわれの発生成長などによる、歪の一時的な減少によるものと考えられる。

#### 4.4 樹脂塗膜のコンクリートひびわれ追従性

以上の試験結果より、塗膜下地のコンクリートにひびわれが発生した後の樹脂塗膜の追従性WをQ及びR点における引張変位量の差R-Qとして全供試体について求め、同時に塗膜の変化状況を併せて表-3にまとめて示した。

表-3によれば、塗膜のひびわれ追従性は全般的にビニルエステル系がエポキシ系より高く、Cが最大で約1.7mm、Eが最小で約0.8mmとなった。

ひびわれ追従性には塗膜の膜厚と伸度が大きな影響を及ぼすことを京都大学の小林らが指摘しているが〔1〕、表-4に示した塗膜自体の力学特性のうち塗膜の引張強度はDがやや低く、また伸度はEがやや低い他は大きな差はみられなかった。

また、塗膜とコンクリート間の付着強度にも大きな差はみられなかった。

膜厚については、ビニルエステル系が標準膜厚1.3mm、エポキシ系は0.6~1.0mmであり、この効果がひびわれ追従性に影響していることは否めないが、今回の試験における塗膜及び塗工界面の破壊状況を観察すると、樹脂-コンクリート界面の部分剥離を伴い、その剥離部分の伸張及び破断が起る場合(供試体A, B, C)、また部分剥離を伴わず、ひびわれ発生部位で塗膜の伸張及び破断が起る場合(供試体D, E)の2つの状況がみられた。これは塗膜の材料特性と塗布界面の付着強度とのバランスにより規定されると考えられるが、現時点ではその原因は明らかでない。

表-3 各種塗膜のコンクリートひびわれ追従性

種類	供試体番号	R (mm)	Q (mm)	W (mm)	塗膜の変化状況	
					対象①面	非対象③面
A	A-1	3.58	2.00	1.58	剥離	剥離
	A-2	3.10	1.52	0.72	破断	剥離
	A-3	1.75	0.72	1.03	剥離	剥離
	平均			1.40		
B	B-1	3.42	1.68	1.74	剥離	剥離
	B-2	2.96	1.52	1.44	剥離	剥離
	B-3	1.50	0.80	0.70	剥離	剥離
	平均			1.29		
C	C-1	3.36	1.84	1.52	剥離	破断
	C-2	4.20	2.72	1.48	破断	剥離
	C-3	3.80	1.76	2.04	剥離	破断
	平均			1.68		
D	D-1	1.70	0.64	1.06	破断	破断
	D-2	2.40	1.36	1.04	破断	破断
	D-3	3.20	2.40	0.80	破断	破断
	平均			0.97		
E	E-1	3.05	2.16	0.89	破断	破断
	E-1	1.48	0.90	0.58	破断	破断
	E-1	2.61	1.76	0.85	破断	破断
	平均			0.77		

表-4 塗工塗膜の性能

種類	引張強度 (a) kgf/cm <sup>2</sup>	伸び (a) %	付着強度 (b) kgf/cm <sup>2</sup>
A	680	5.2	29.2
B	680	6.1	26.3
C	570	5.4	20.3
D (c)	490	5.8	24.4
E	610	4.0	28.5

- (a) J I S K7054による値  
 (b) 別途コンクリート面に対して建研式引張試験器による値  
 (c) 表2の下塗り(モルタル)を除いた塗膜についての値

#### 4.5 測定曲線の再現性

今回の測定においては、前述した引張り荷重の偏心等の問題により、コンクリートに歪が観測される時点からひびわれが発生するまでの挙動については多少の偶発性が存在する。そこで塗膜下地のコンクリートにひびわれが発生した時の塗膜の歪量Q点を原点とし、Q点以後の塗膜の歪と万能試験機の変位量で示したコンクリートのひびわれ幅との関係のうち代表的な結果を図-5に示した。

この図では、塗膜の追従ひびわれ幅Wは、各曲線の右端で塗膜破断の生じた歪値における高さとして得られ、試験の再現性は比較的良好と考えられる。

また、図-5で $\delta c = \delta r (= \epsilon r \cdot l)$  ( $\delta r$ :塗膜の変位量、 $\epsilon r$ :塗膜の歪)の直線は、コンクリート面の変位量 $\delta c$ と塗膜の歪 $\epsilon r$ から換算した変位量 $\delta r$ が等しい場合を示しているが、今回検討した塗膜は全てこの直線より上部にあるので、塗膜がコンクリートのひびわれによる歪を吸収していると考えられる。

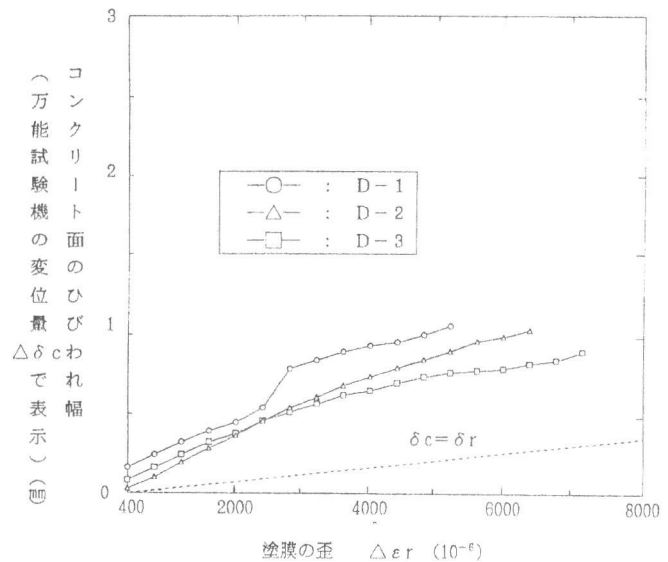


図-5 コンクリート面のひびわれ幅と塗膜の歪量

#### 5. おわりに

揖保川終末処理場のコンクリート構造物の防食対策として、コンクリートに5種類のFRPをライニングすることになり、本報ではこれら樹脂塗膜がコンクリートのひびわれに対する追従性について検討し、ビニルエステル系では約1.3~1.7mm、エポキシ系では約0.8~1.0mmなる結果を得た。

揖保川終末処理場のコンクリート構造物は打設後約1年以上を経過しており、コンクリートの硬化収縮や乾燥に伴うひびわれは既に出つくしていると思われるが、今後この構造物に貯水する場合や曝気攪拌を開始する場合に予想されるコンクリートのひびわれに対しては、地震等の不測の事態を除いて、塗工されるFRPライニングは追従性があるものと考えられる。

#### 参考文献

- 1) 小林和夫ほか：コンクリート表面樹脂ライニングのひびわれ追従性，セメント技術年報，Vol.40、pp.447-450、1986
- 2) 伊藤 洋ほか：コンクリート表面塗布材のひびわれ追従性評価に関する実験的研究，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.11-1、pp.761-764、1989
- 3) 伊藤 洋ほか：コンクリート表面各種塗布材のひびわれ追従挙動に関する研究，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.10-2、pp.281-286、1988