

論文

[1119] FRP 塗工のためのコンクリート面下地調整の検討

浦上良樹*1・瀬尾健二*2・日下正広*3・高島昭治郎*4

1. はじめに

コンクリート面樹脂塗工は、従来から、防水・美観等の目的で土木・建築の分野で実施されてきた。特に最近は、塩害・アルカリ骨材反応・ H_2S による腐食等に対する防食対策、また都市空間、海岸等の景観化にも用いられ、その需要は拡大しつつある。

しかし、これらコンクリート面樹脂塗工については、いまだ、その技術体系も確立されず各現場において試行錯誤的に施行されている。樹脂の接着力確保に最も基本的と思われる「コンクリート面下地調整」に関しても、その仕様のほとんどはレイタンス、および異質物除去を指摘するにとどまり、コンクリートの表面性状にまで言及したものは見あたらない。

以前筆者の一人は、兵庫県が施工している揖保川流域下水事業において、皮革関連工場からの強腐食性水質の排水を受け入れるため防食対策の必要にせまられ、施設各槽の腐食環境に応じたFRP樹脂ライニングを施した。その際、本工事に先立ち、接着力向上を期待して試験的に下地調整を検討した。しかし後に示すように接着力の評価に問題があり、下地調整の効果を明らかにすることが出来なかった。しかしこれまでの経験から本工事においては、従来のレイタンスおよび異質物除去という仕様のみでは不十分と考え、下地調整として、コンクリート表面の細骨材の露出が認められる程度に研磨し、さらに高圧洗浄を行う方法を採用した^[1]。それ以来接着力の適正な評価法の必要性を持ち続けてきた。

最近筆者らはFRP樹脂ライニングの接着力評価には剥離試験が有効であることを示し、この試験で求められる剥離時の限界エネルギー解放率を用いればFRP樹脂ライニングの接着力を合理的に評価できることを明らかにした^{[2][3]}。

本報告ではこの方法を用いて接着力を評価し、コンクリート下地調整が接着力に大きく影響することを明らかにし、よりよい接着力を確保するためのより適切な下地調整の方法について検討したものである。

2. 実験

2.1 試験片

図-1に示した寸法のコンクリート試験片に、表-1に示した各条件(A:未処理、B:#400ペーパー仕上げ、C:表面より1mmをグラインダー研削除去、D:表面より2mmをグラインダー研削除去)の下地調整を行った。実験においては実用的な意味か

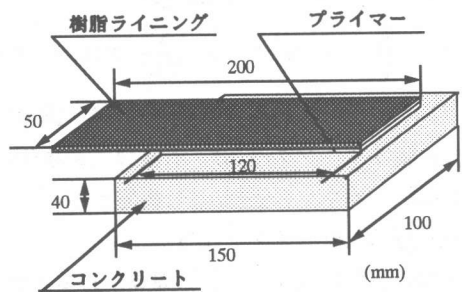


図-1 試験片

- * 1 兵庫県加古川土木事務所 (正会員)
- * 2 姫路工業大学教授 工学部機械工学科、工博
- * 3 姫路工業大学助手 工学部機械工学科、工修
- * 4 ダイセルテクノロジーサービス (株)

らグラインダー研削は最大2mmまでとした。そして各下地調整に対応した表面粗さを触針式表面粗さ測定器を用いてJIS B 0651により測定した。その後、表-1に示すFRP樹脂ライニングを塗工した。すなわち湿気硬化型ウレタン系プライマーを塗布し、乾燥後、ガラスマット3枚に樹脂を含浸させた構成のFRP樹脂ライニングを塗工した。方法の詳細は別報^[2]と同じである。なお、コンクリート試験片の配合と打設条件を表-2に示す。試験片は各下地調整に対して3本(n=3)づつ用意して実験に供した。

表-1 下地調整条件と樹脂ライニング

条件	下地調整	プライマー	樹脂ライニング
A	未処理	湿気硬化型	ビニルエステル
B	ペーパー(400番)仕上げ	ウレタン系	
C	表面より1mmグラインダー研削	プライマー	ガラス繊維
D	表面より2mmグラインダー研削		#450マット×3

表-2 コンクリートの配合と打設条件

粗骨材の最大粒径(mm)	スランブ(cm)	水セメント比(%)	細骨材率(%)	単位量(kg/m ³)			
				水	セメント	細骨材	粗骨材
8	8	58	44.3	174	300	791	995

2.2 実験方法

図-2に示すように試験片を下部治具に、樹脂ライニングの端部を上部治具に固定する。そしてインストロン型万能試験機を用いて図-3に示すように一定速度(1mm/min)で上部治具を垂直方向に引張り、樹脂ライニングを剥離させる。なお、下部治具にはリニアウェイを用い水平方向の移動を自由にし、樹脂ライニングには垂直力のみが加わるようにした。

剥離中の剥離荷重、変位、き裂長さ及び剥離長さを連続的に測定し、樹脂ライニングの接着力を次式にて算定した限界エネルギー解放率(G_c 値)の形で求めた。

$$G_c = \left[1 + 4.56 \times \left(\frac{C}{d} \right)^{-1.65} \right] \times \frac{P^2 C^2}{2BEI} \quad (\text{N/m}) \quad \dots (1)$$

ここで、C:き裂長さ(m)、P:剥離荷重(N)
d:樹脂ライニング厚(m)、E:縦弾性係数(Pa)
B:樹脂ライニング幅(m)、I:樹脂ライニングの断面二次モーメント(m⁴)

なお、限界エネルギー解放率算定式の詳細については別報^[3]にて示している。

3. 実験結果

3.1 コンクリート面下地調整と表面性状および表面粗さの関係

下地調整の程度によるコンクリート表面の状態を写真-1(A)~(D)に示す。表面粗さの結果の一例を図-4に示す。未処理のA試験片ではレイタンスが残っている。ペーパー仕上げをしたB試験片では細骨材が大部分を占め、いわゆるセメントペーストと細骨材よりなるモルタル表面と

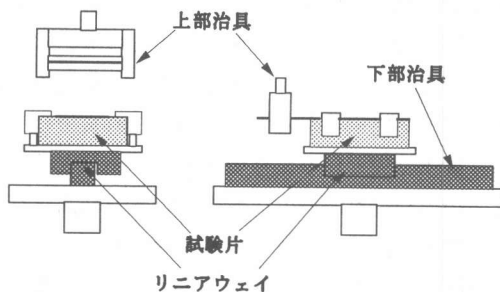


図-2 試験片セッティング図

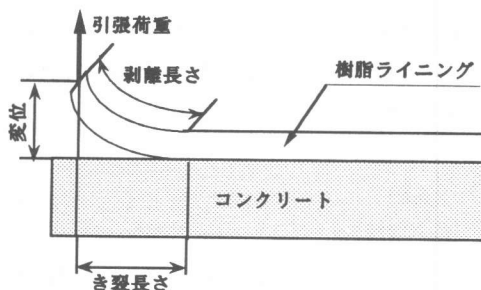


図-3 剥離実験模式図

なっている。C試験片ではモルタルの中に小さな粗骨材が露出した表面となっている。D試験片では大きな粗骨材が露出しこれがかなりの部分を占め、その間をモルタルが埋めている表面となっている。すなわちグラインダーによる研削を深くするとかなりの粗骨材が表面に露出した性状になっていることがわかる。また表面粗さをみると未処理よりもペーパー仕上げ処理を行ったほうが平均粗さの値（図-4中に示した数値）は小さくなるが、グラインダーの研削を行うと逆に粗くなることがわかる。特に図-4より2mm研削の場合 $100\mu\text{m}$ 程度の凹凸が多数出来ていることがわかる。

3. 2 剥離試験

3. 2. 1 荷重-変位曲線

代表的な荷重-変位曲線として条件Dの試験片(n=3)による結果を図-5に示した。樹脂ライニング端部を引き上げると、変位の増加と共に荷重がほぼ比例して増加し最大荷重値に達する。そしてこの荷重で樹脂ライニングが剥離はじめ、以後剥離の進行と共に荷重は多少の増減を示しながらも全体として減少していく。この荷重-変位の関係、特に最大荷重に関しては各試験片で多少バラツキがあることがわかる。しかしコンクリートのようないわゆる均一材質と考えられないような複合材の表面へ樹脂ライニングを接着しているという観点からは実験の再現性はまずまずと考えてよいであろう。

3. 2. 2 最大荷重値

各試験片(n=3)で得られた最大荷重値を樹脂ライニング幅50mmで除したものを表-3に示す。従来ピール試験における剥離強さといわれているものである。値はかなりばらついているがグラインダー研削した場合(C, D)が未処理(A)、ペーパー仕上げ(B)したものよりかなり高い値とな

っている。各試験片の平均値を見ると、条件Cがもっとも高い値を示し未処理の2倍近い値とな

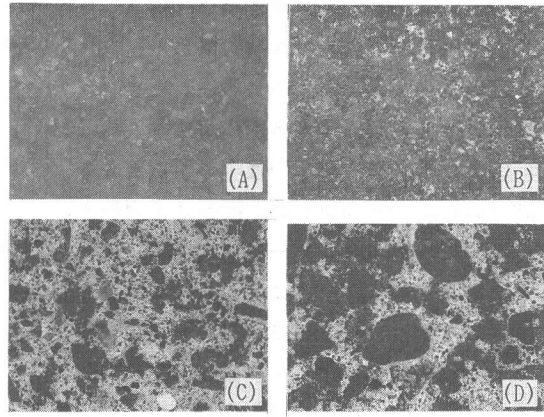


写真-1 コンクリート表面様相

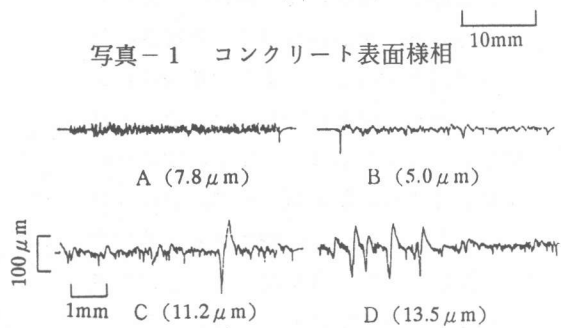


図-4 表面粗さ計測結果

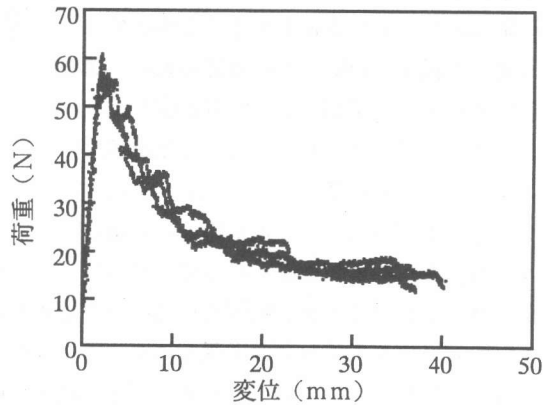


図-5 荷重-変位曲線 (D試験片)

表-3 剥離試験最大荷重値

(単位: N/mm)

条件	1	2	3	平均
A	0.73	0.58	0.65	0.64
B	0.95	1.04	0.80	0.93
C	1.14	1.11	1.19	1.15
D	1.09	1.14	1.22	1.14

っている。しかし最大荷重値は樹脂ライニングが剥離しはじめる時の接着力を評価しており、この値は試験片製作時の人為的な誤差に大きく影響される。このことから条件C、Dについてはほとんど差がないと考えられる。

3. 2. 3 限界エネルギー解放率 (G_c 値)

図-5より得られる剥離中の荷重とその時々々の樹脂ライニングの剥離長さを用いて、剥離中の限界エネルギー解放率 (G_c 値) を求めたものを図-6に示す。最大荷重に注目する限り、一本の試験片で一つのデータしか得られないが、 G_c 値は一本の試験片で剥離途中の種々の剥離長さに対応していくつものデータが得られる。算定された G_c 値は試験片により、また剥離長さによりかなりばらついてはいるが全体としては剥離長さによらずほぼ一定値を示すことがわかる。この G_c 値の個々の値がかなりばらつくことは一見、本試験による接着力評価の信頼性が低いように思える。しかし後に示すように下地調整した試験片の表面性状が全表面で均質でないことを考えるとむしろ、樹脂ライニング各部の真の接着力を正確に測定していると考えることが出来る。剥離中の種々の剥離長さに対応した G_c 値を試験片ごとの平均値として得た値を図-7に示す。条件A、Bの試験片では試験片ごとのバラツキが条件C、Dの場合に比べて大きいようである。また平均の G_c 値はA、B、C、Dの順に高くなっている。 G_c

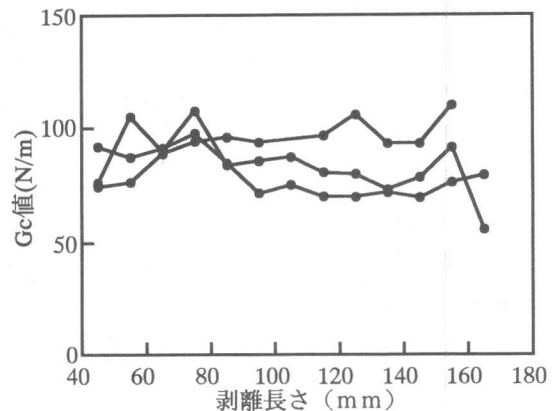


図-6 剥離途中に種々の剥離長さで得られた G_c 値 (D試験片)

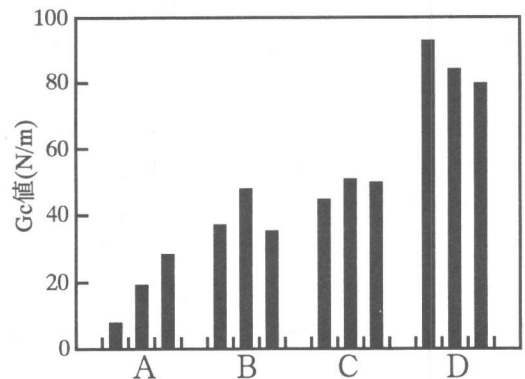


図-7 各試験片の平均 G_c 値

値が高いということは、物理的には剥離させるためにエネルギーが多く必要であることを意味している。いいかえるならば剥離しにくいということを示しており、すなわち接着力が強くなっていることを示している。これによれば下地調整Dの試験片で接着力はAの場合に比べて4倍以上強くなっていることがわかる。さらに最大荷重に注目した場合条件CとDでは差が見られなかったが G_c 値で接着力を評価すると条件Dは条件Cに比べて非常に高くなっている。以上のことからコンクリート表面への樹脂ライニングの施工においては下地調整が接着力に大きく影響することがわかる。そして実際の施工においては接着力という点では出来るならば条件Dの下地調整を行うのが望ましいであろう。

4. 考察

下地調整が接着力になぜこのように大きく影響するのかに関して写真-1に示したコンクリート表面性状と接着力という観点から次に考察する。

4. 1 従来の接着力評価との比較

表-4 建研式引張試験結果

下地処理	接着強度(MPa)	破断状況
未処理	2.36	コンクリート内破断
サンディング	2.83	コンクリート内破断

まずここで得られた実験結果を検討する前に、以前に筆者の一人が揖保川流域下水事業の防食塗工において試験塗工のために実施した試験結果について考察する。試験はコンクリート面の

下地調整として未処理の場合(条件A)とサンディング(本実験では条件Bに相当)の場合について行った。なお樹脂ライニングの施工条件は本試験の場合と全く同じであった。従来コンクリート面樹脂ライニングの接着力評価としては広く建研式引張試験が用いられていたため、その時はこの方法で行った。その結果を表-4に示す。これを見ると条件Aと条件Bでは接着力にやや差がみられるものの破壊はいずれもコンクリート内で生じ、いわゆるコンクリート面下地調整が接着力に影響を及ぼしているという明確な結果は得られていない。すなわち建研式引張試験では接着力が極端に弱くない限り破壊がコンクリート内で生じてしまうため下地調整の接着力に及ぼす影響は明らかにすることが出来なかった。

それに対し、本実験のようにG_c値で評価した場合では図-7に示すように下地調整の有無だけでなく下地調整の方法によっても接着力に差があらわれる。このことからG_c値による接着力評価が建研式による評価方法よりも有効であると考えられる。

4. 2 接着力と下地調整条件

各試験片の剥離した樹脂ライニングを写真-2(A)~(D)に示す。未処理のA試験片の場合、写真-1(A)よりわかるようにコンクリート表面はほこり、異物を取り除いただけであり、表面層に骨材の露出もなく、レイトンスもしくはセメントペーストに覆われている。また写真-2(A)でわかるように剥離した樹脂ライニング面はコンクリート面から付着したと思われる薄い層で覆われている。このことより樹脂ライニングはコンクリート表面のレイトンスもしくはセメントペーストのみとしか接着しておらず、この場合当然のことながら非常に弱い接着力しか得られなかったとも考えられる。

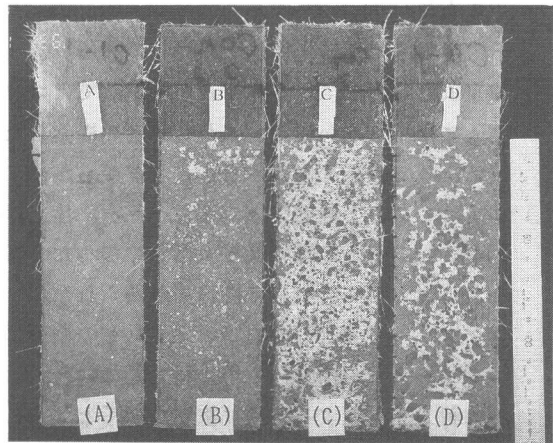


写真-2 剥離した樹脂ライニングの剥離面様相

次にペーパー仕上げしたB試験片では写真-1(B)に示すようにレイトンス層は除かれ細骨材とセメントペーストの混在したいわゆるモルタル性状となっている。そして剥離した樹脂ライニング面にはセメントペーストと細骨材が薄い状態で付いている。このことよりB試験片では剥離がモルタル層の表面で生じ、この場合の接着力はコンクリート表面のモルタル層の結合力を示していると考えられる。

C試験片では表面は小さな粗骨材と細骨材が混在している。そして剥離した樹脂ライニングには多くの細骨材が付着していることがわかる。C試験片では図-4より分かるように表面粗さはB試験片より粗く、そのためプライマーはコンクリート表面により深く侵入している。その結果、剥離時に細骨材がより多く樹脂ライニングについたものと思われる。したがってこの場合の接着

力は細骨材を比較的深くコンクリート表面から引き剥すときの力を評価していると考えられ、そのためB試験片より接着力は高くなったものと考えられる。

さらにD試験片ではC試験片に比べてかなり大きい径の粗骨材が表面に現れ、その占める面積も非常に大きくなっている。そして剥離した樹脂ライニング面には細骨材が比較的少ししか付着していない。しかし写真では見にくいが付着した部分の厚みは非常に厚くいわゆるコンクリートの細骨部がより深く削り取られて樹脂ライニングに付着している。したがってD試験片の接着力は、「粗骨材表面と樹脂ライニングに生じる非常に強い結合力」、および表面粗さが粗く非常に深くまでプライマーが侵入したため、「細骨材を深い部分で削り取るに必要な力」の和となっているので非常に高い値となったものと考えられる。なおグラインダー研削が2mm以上でさらに接着力の向上が望めそうであるが、現実的な下地調整ということになるとこの程度が限界かとも思える。

以上のことよりコンクリートと樹脂ライニングの接着力は表面の粗さのみならずコンクリート表面の性状と非常に強く関係していることが理解できる。すなわちコンクリート表面層の成分（セメントペースト・細骨材・粗骨材）間の結合力およびその成分割合と用いたプライマーの性質が接着力を支配する非常に重要な因子となることが分かる。今後接着力に及ぼすこれらの因子の影響を定量的に解明する必要があるだろう。

5. まとめ

本研究で得られた結果は以下の通りである。

- 1) 従来より行われている建研式引張試験ではコンクリート面下地調整の接着力に及ぼす影響は明確にはできなかった。しかし筆者の提案したG_c値を用いることによって接着力は下地調整によって大きく影響されることが明らかになった。
- 2) 本実験では、下地調整未処理、ペーパー仕上げ、グラインダーでコンクリート表面から1mm研削、2mm研削の順で接着力は強くなった。特にグラインダーで2mm研削の場合、未処理の場合に対して4倍以上の接着力が得られた。
- 3) コンクリート面上への樹脂ライニングの施工においては、コンクリート表面層の成分（セメントペースト・細骨材・粗骨材）間の結合力およびその成分割合と用いたプライマーの性質が接着力を支配する非常に重要な因子となることがわかった。

タキロン（株）の中尾氏、昭和高分子（株）の前田氏には本研究に終始御協力いただいた。実験にあたっては姫路工業大学学生平井氏の援助を得た。また本研究の一部は文部省の科学研究費の試験研究（B）の補助金でおこなった。記して感謝致します。

参考文献

- 1) 浦上良樹：コンクリートの表面加工（下地調整）、接着の技術、Vol.10、No.1、pp.54-58、1990
- 2) 浦上良樹ほか：コンクリート面FRPライニングの接着強度、材料、Vol.41、No.467、pp.1305-1310、1992
- 3) 浦上良樹ほか：コンクリート面FRPライニングの接着強度（2）、第36回日本学術会議材料研究連合講演会前刷集、pp.125-126、1992.9