

背面水圧下での内防水の施工法に関する研究

——エポキシ樹脂系塗膜の接着性状について——

喜田大三 青山 幹
西村清一 住野正博
林好正 小川晴果

Studies on Waterproofing Work Influenced by Back Water Pressure

——Adhesive Property of Epoxy Resin Coating Film——

Daizo Kita Tsuyoshi Aoyama
Seiichi Nishimura Masahiro Sumino
Yoshimasa Hayashi Haruka Ogawa

Abstract

In underground structures it is not rare for concrete surfaces to show constant oozing of water or dampness. In such case, it is difficult to provide a perfect inner waterproofing layer because of defects such as insufficient adhesion and blistering resulting from back water pressure. In the investigations reported in this paper, the authors clarified through theoretical studies the performance required of such waterproofing layers and found there was a possibility of applying epoxy resin coatings for this purpose. Laboratory experiments were conducted to investigate the adhesion properties of these materials to concrete under back water pressure. It was found that an elastic asphalt-modified epoxy resin coating system using epoxy resin emulsion containing cement as a primer could be employed under the condition of back water pressure of 0.2 kgf/cm².

概 要

地下に構築される構造物において、地下外部水圧などの影響でコンクリート構造物内部表面に滲出水を示す部分ができることは、少なくない。このような下地面に対して内防水を施工することは極めて困難であり、背面水圧の影響で防水層に接着不良、ふくれ、剥離などを生じ実用に供しない。そこで本報では、机上での検討により当該下地面に適用する防水層に要求される性能を明確化し、エポキシ樹脂系塗膜防水工法に適用の可能性を見出した。また、背面水圧の作用する下地条件を想定した各種実験を通じて、その接着性状について検討を行なった。その結果、エポキシ樹脂エマルジョンにセメントを混入したプライマーとアスファルト変成弾性エポキシ樹脂を組み合わせた仕様によって、背面水圧0.2kgf/cm²の影響下でも、これに抗し得るだけの接着力を有する防水層の形成が可能であることが実験により確認された。

1. はじめに

地下に構築される土木あるいは建築構造物において、地下外部水圧などの影響でコンクリート構造物内部表面に定常的に滲出水圧を示す部分ができることは少なくない。

このような下地面に対して、内防水を施工するのは、非常に困難であり、背面水圧の影響で防水層に接着不良、ふくれ、はく離などの欠陥が随所に発生し、実用に供しない。

そのため、上記のような下地面に対して内防水を施工する必要にせまられた場合には、導水あるいは揚水などの手段を講ずるか、あるいは強制乾燥などの手段によって下地表層を一時的に乾燥させてから防水層を施工することが考えられるが、この種の工事には多大な設備と費用を必要とする問題点があった。

そこで本報では、現場において簡便かつ短期間の作業により、表面滲出水圧(水頭差2m程度)を有する下地に対しても欠陥のない高信頼性の内防水層を形成できる施工方法の提案を目的とした検討を行なった。

2. 防水工法選定上の基本的考え方

2.1. 要求される性能

前掲のような表面滲出水圧を有するコンクリートあるいはモルタル下地面に用いる防水材料に要求される性能としては、以下の各項があげられる。

(1) 接着性(施工時・施工後) 表面浸出水圧のある下地面に対しては、図-1に示すような背面水圧の作用した状態で防水層を施工せざるを得ない。このような背面水圧の作用した状態では下地面が部分的に湿潤状態となったり、または滲出水状態(ゆっくりと水が滲み出てくる状態)となっており、いずれも防水層の接着を阻害する要因となるばかりでなく、防水層を施すことによって逃げ場を失なった水分・湿分が防水層を押し上げる大きな力となって作用する。したがって、当該箇所に使用する防水層に第一に要求される性能としては、湿潤面に対しても接着し、かつ施工時の背面水圧に抗し得るだけの

初期接着性を有することが挙げられる。

さらに、防水層施工後、その裏面に背面水圧が長期にわたり継続的に作用することになり、施工後このような力に抵抗し得るだけの接着耐久性を有することが合わせて要求される。

(2) 不透水・不透湿性 いかに接着性が優れていても、多孔質な材質のものでは防水層としての機能を満足することはできない。背面水圧が作用した状態でも水分や湿気を透過しないだけの不透水性ならびに不透湿性が合わせて要求される。しかし、図-2に示すように不透水(不透湿)性の材料ほど背面水圧の影響を直に受けることになり、接着が困難となりふくれやはがれを生じやすくなる。

(3) 作業性 (1)および(2)の要求性能を満たすためには、連続的な防水(防湿)層を確実に施工する必要がある。したがって、出隅・入隅、各種取合いなどの複雑な部分でも施工が可能な材料や工法を選択する必要がある。

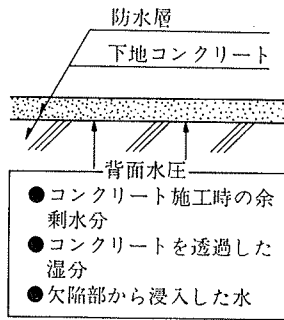
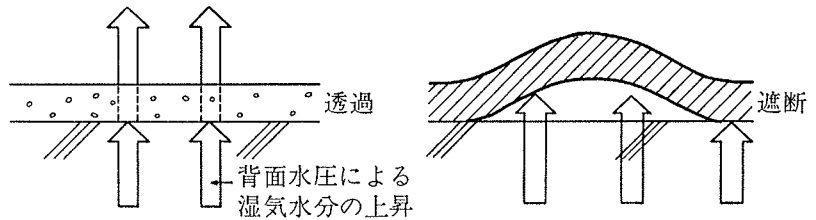


図-1 背面水圧の影響



a. 透水性の大きな材料

b. 不透水性の材料

図-2 材料の透水性(透湿性)の違いによる背面水圧の影響

(評価基準) ○:優れている, △:検討を要す, ×:不適

要求性能	工法名称	熱アスファルト防水	シート防水	FRP ^{*1} ライニング	モルタル防水		浸透性塗布防水	塗膜防水		複合防水		
					PCM ^{*2}	RM ^{*3}		ポリマーセメント系	エポキシ樹脂系	EPM/ ^{*4} PCM	ELC/ ^{*5} PCM	ELC/ ^{*5} RM
1. 湿潤面接着性		×	×	×	○	○	○	○	△	○	△~○	△~○
2. 不透水(不透湿)性		○	○	○	×~△	△	×	×~△	○	×~△	○	○
3. 作業性		×	×	×	○	△	○	○	○	○	△~○	△~○
4. 柔軟性		×	○	×	×	△	×	△	△*6	△	△~○	△~○
5. 強度		○	○	○	○	○	△	△~○	○	○	○	○
6. 補修性		×	×	×	△	×~△	○	○	○	△	×~△	×~△
総合評価		×	×	×	×	×~△	×	×~△	△	×	×~△	×~△

*1 不飽和ポリエステル樹脂をバインダーとしたFRP
 *2 PCM: ポリマーセメントモルタル
 *3 R M: レジンモルタル
 *4 EPM: エポキシ樹脂系ポリマーセメントモルタル(エポキシ樹脂エマルジョンの使用)
 *5 ELC: エポキシ樹脂系塗膜
 *6 特殊変成により柔軟性を付与することが可能

表-1 既往の資料に基づく各種防水工法選定の為の評価

(4) 柔軟性および強度 下地や各種の取合い部分の変位変形に対して、ある程度追従し得るだけの柔軟性を有することが必要である。しかし、低強度で柔軟な材料は施工後ふくれなどの欠陥を生じやすいので、強度と変形能の適切なバランスが重要となる。

(5) 補修性 不測の事態により万一、施工後漏水が発生しても部分補修が容易に行なえること。

2.2. 防水工法選定の為の評価

2.1. に示した要求性能に基づき、現在、机上で考え得る工法の評価を行なったものを表-1 に示す。

上記の評価結果から、現状の技術ではエポキシ樹脂系塗膜防水工法に適用可能性があると判断された。

同種の工法は、不透水（不透湿）性、作業性に優れており、かつ薄厚で補修も容易であるが、背面水圧の影響する下地面へ適用するに際しては、その接着性を高めることにより、ふくれやはがれに対する抵抗性を付与することが重要と考えられる。

2.3. 実験項目の選定

エポキシ樹脂系塗膜防水工法を表面滲出水圧（水頭差 2 m 程度）を有する下地面に適用するにあたり、その接着性状を確認するために以下に示す実験による検討を行なうこととした。

(1) 湿潤面に対する接着強度実験 市販の湿潤硬化型エポキシ樹脂を取り挙げ、湿潤コンクリート下地面に対する接着強度の比較・検討を行ない、材料の絞り込みを行なう。

(2) ふくれ抵抗実験 常時、湿気が上昇してくるコンクリート下地面に対する接着強度、ならびにふくれ抵抗性について比較・検討する。

(3) 滲出水面に対する接着強度実験(その1・その2) 滲出水を有する下地面に対する短期(その1)および長期(その2)接着性状の比較・検討を行なう。

3. 湿潤面に対する接着強度実験

3.1. 実験に取り挙げた仕様

市販の湿潤硬化型エポキシ樹脂 6 種を選択し、プライマーとの組み合わせから、表-2 に示す 9 種類の仕様を取り挙げた。このうち、A-2 および B-3 の仕様では、防水層あるいはプライマーにそれぞれ適量のセメントを混入したものを用いた。

3.2. 実験方法

コンクリート歩道板（300×300×50 mm）を図-3 (イ) に示す状態で 24 時間水中に浸漬した。さらに 24 時間、図-3 (ロ) に示すように全面吸水状態で水中に浸漬させた後、図-3 (ハ) に示す状態とし表面水を拭き取った後、直ちに表-2 に示した防水層を施した。

防水層の材令 1 日および 7 日を経過後に鋼製アタッチメント（40×40 mm）を貼り付け、万能試験機を用いて接着強度を求めた。

3.3. 実験結果および考察

実験結果を表-3 に示す。プライマーを使用しない仕様では、A-2（セメント混入型エポキシ樹脂塗膜）を除いて、材令 1 日で高い強度を示しても下地への接着力より防水層の凝集力が大きくなって材令 7 日では接着力が低下した。

これに対して、プライマーを使用した仕様では、材令 1 日および 7 日何れの材令においても良好な接着強度が

記号	プライマー			防水層			塗布方法	
	調合割合		*1 組成	調合割合		*1 組成	下塗	上塗
	主剤	硬化剤		主剤	硬化剤			
A-1	—	—	—	100	100	E.P.R.S.	—	コテ塗り
A-2	—	—	—	100	100	E.P.R.S. + セメント	—	コテ塗り
B-1	—	—	—	100	100	*2 E.P.R.S. 特殊変性	—	刷毛塗り
B-2	100	100	E.P.R.E.	100	100	*2 E.P.R.S. 特殊変性	刷毛塗り	刷毛塗り
B-3	100	100	E.P.R.E. + セメント	100	100	*2 E.P.R.S. 特殊変性	刷毛塗り	刷毛塗り
C	300	200	E.P.R.S.	100	100	E.P.R.S.	刷毛塗り	刷毛塗り
D	—	—	—	400	100	E.P.R.S.	—	コテ塗り
E	—	—	—	100	100	E.P.R.S.	—	コテ塗り
F	—	—	—	100	100	E.P.R.S.	—	刷毛塗り

*1 E.P.R.E.: エポキシ樹脂エマルジョン, E.P.R.S.: エポキシ樹脂溶液
*2 アスファルト変成弾性エポキシ樹脂, 伸び率約50%

表-2 実験に取り挙げた仕様

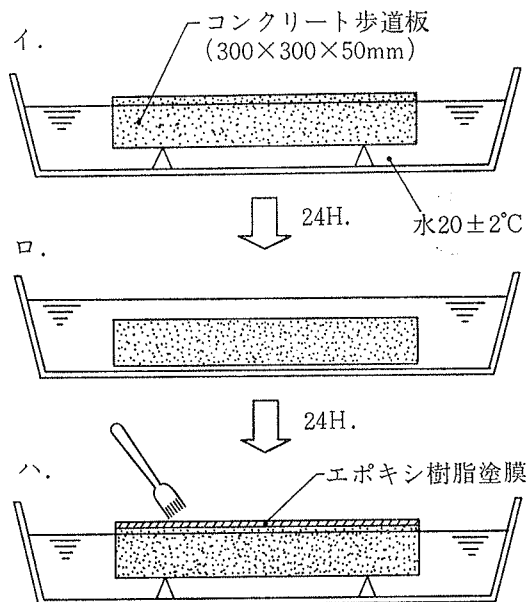


図-3 水中浸漬養生（概念図）

得られ、適切なプライマーの介在が防水層の接着性向上に有効であることが判明した。また、エポキシ樹脂エマルジョンをプライマーとして用いたB-2とB-3の仕様においては、いずれも良好な接着力が得られたが、プライマーにセメントを含まない前者の仕様では、材令の進行に伴い細かいふくれの発生が認められた。

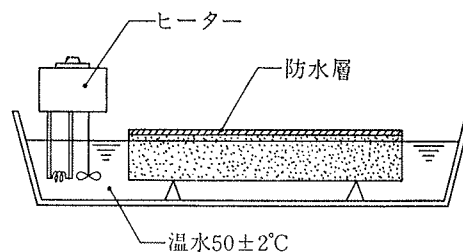


図-4 温水浸漬養生（概念図）

記号	材令1日		材令7日	
	接着強度 *1	破断状況 *2	接着強度 *1	破断状況 *2
A-1	14.2	接着破壊	5.3	接着破壊
A-2	18.7	凝集破壊	15.0	凝集破壊
B-1	4.4	接着破壊	6.7	接着破壊
B-2	15.5	凝集及び接着破壊	18.6	凝集及び接着破壊
B-3	14.7	凝集及び接着破壊	20.2	凝集及び接着破壊
C	12.4	凝集及び接着破壊	10.1	凝集及び接着破壊
D	13.2	接着破壊	6.1	接着破壊
E	7.8	接着破壊	3.6	接着破壊
F	7.7	接着破壊	3.7	接着破壊

*1 繰り返し数 n = 3

*2 凝集破壊：下地コンクリート母材凝集破壊

接着破壊：下地コンクリートと塗膜の界面での剥離

表-3 湿潤面に対する接着強度実験結果

4. ふくれ抵抗実験

4.1. 実験に取り挙げた仕様

3. (湿潤面に対する接着強度実験)により良好な結果の得られた、表-4に示す3種の仕様を選択した。

4.2. 実験方法

3.2.に準じて作成した供試体を防水層の材令1日経過後、図-4に示す状態で温水(50±2°C)中に浸漬し加熱した。そのままの状態では防水層の材令7日まで放置し、鋼製アタッチメント(40×40mm)を貼り付け、万能試験機を用いて接着強度を求めた。また、ふくれの発生状況については、目視による観察を行なった。

4.3. 実験結果および考察

実験結果を表-5に示す。A-2およびB-3の仕様では、温水浸漬後も良好な接着強度が得られ、かつ顕著なふくれの発生も認められず、下地からの湿気の上昇に対しても、これに抗し得るだけの十分な接着性を有していることが確認された。しかし、Cの仕様では、接着強

記号	組	成	備考
	プライマー	防水層	
A-2	—	セメント混入型 エポキシ樹脂溶液	コテ塗仕様 柔軟性無
B-3	セメント混入型 エポキシ樹脂エマルジョン	アスファルト変成 エポキシ樹脂溶液	刷毛塗仕様 柔軟性有(伸び率50%)
C	エポキシ樹脂溶液	エポキシ樹脂溶液	刷毛塗仕様 柔軟性無

表-4 実験に取り挙げた仕様

記号	防水層の仕様 *1		接着強度実験結果(材令7日) *2		ふくれ 観察結果
	プライマー	防水層	接着強度 (kgf/cm ²)	破断状況 *3	
A-2	—	E.P.R.S. + セメント	19.2	接着破壊	発生無
B-3	E.P.R.E. + セメント	E.P.R.S. アスファルト 変成	22.2	凝集破壊	発生無
C	E.P.R.S.	E.P.R.S.	3.7	接着破壊	発生無

*1 E.P.R.S.:エポキシ樹脂溶液 E.P.R.E.:エポキシ樹脂エマルジョン

*2 繰り返し数 n = 6

*3 凝集破壊:下地コンクリート母材凝集破壊
接着破壊:下地コンクリートと塗膜の接着界面での剥離

表-5 ふくれ抵抗実験結果

度が小さくプライマー(エポキシ樹脂溶液型)と下地コンクリートの界面ではく離を呈したため、プライマーの接着耐久性に問題があるものと判断された。

5. 滲出水面に対する接着強度実験(その1)

5.1. 実験に取り挙げた仕様

4.1.に準じ、表-4に示す3種類の仕様を選択した。

5.2. 実験方法

骨材(豊浦標準砂)/セメント比=3.0のモルタルをフロー値160±2となるように調整し、図-5に示すように中央にコーンを埋め込んだ状態で成型した。20±2°Cの条件下で湿布でくるんだまま48時間静置した後、コーンを抜き取り、さらに80±2°Cで恒重量となるまで乾燥させた。コーン埋込み部分以外を予め止水コーティングし、図-6に示す透水試験装置を用いて2.0kgf/cm²(水頭差2.0mに対し安全率10倍)の水圧を裏面より加えた。

モルタル供試体のコーン埋込部が滲出水状態(水がゆっくりと滲み出てくる状態)を呈した後、吸水性の脱脂綿の重量変化によりその滲出水量をチェックした。

つぎに、滲出水をウェスで拭き取り、直ちに市販の急結セメント系止水材を充填し、止水材の材令3時間後に、防水層をその上に施した。

水圧を加えたままの状態では24時間放置した後、供試体を透水試験装置から取り外し、鋼製アタッチメント(φ=20mm)を止水材処理部分に貼り付け、万能試験機を用いて接着強度を求めた。

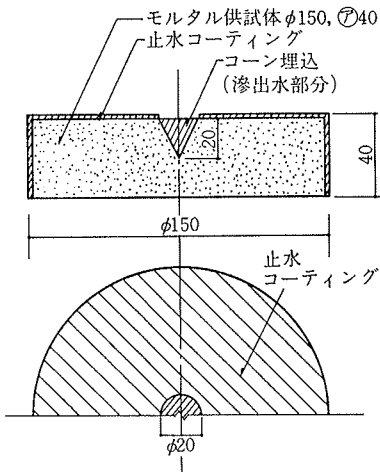


図-5 モルタル供試体の形状

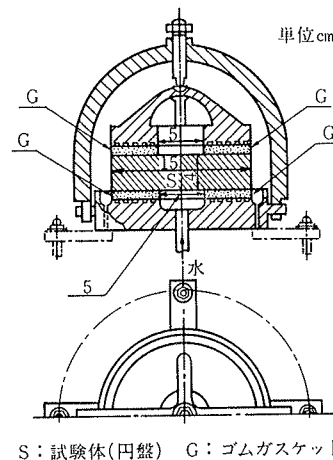


図-6 透水試験装置(その1)
S: 試験体(円盤) G: ゴムガスケット

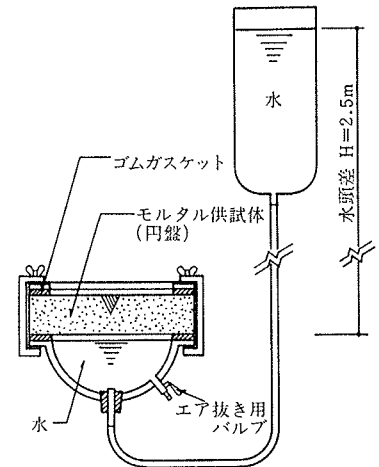


図-7 透水試験装置(その2)

5.3. 実験結果および考察

実験結果を表-6に示す。A-2の仕様では、防水層に1~5mm径のクレーターを発生し、止水材と塗膜の界面で剥離したため、接着強度は得られなかった。本実験で想定したような滲出水の激しい下地面に対しては、止水材処理を施しても水分・湿分の透過を完全に遮断できないことがその原因と考えられる。

一方、B-3、ならびにCの仕様では、厳しい実験条件にもかかわらず、平均10kgf/cm²以上の接着強度が得られ、滲出水状態にある下地面に対しても適用し得るだけの初期接着性を有することが判明した。

記号	下地モルタルの状態				接着強度実験結果(材令1日)*2	
	乾燥時見掛比重	湧水量(C.C.) 30分	湧水量(C.C.) 60分	含水率*1 (%Vol.)	接着強度 (kgf/cm ²)	破断状況*3
A-2	1.77	1.3	2.3	22.6	0	接着破壊
B-3	1.79	1.0	1.7	21.3	10.9	凝集破壊及び接着破壊
C	1.81	0.9	1.6	21.8	10.9	凝集破壊及び接着破壊

*1 止水材処理直前の含水率
*2 繰り返し数 n=3
*3 凝集破壊: 止水材母材凝集破壊
接着破壊: 止水材と塗膜の接着界面での剥離

表-6 滲出水面に対する接着強度実験結果(その1)

6. 滲出水面に対する接着強度実験(その2)

6.1. 実験に取り挙げた仕様

前掲の4.および5.の実験結果、ならびに塗膜の柔軟性などを考慮した結果、最適と思われるB-3の仕様(プライマー: セメント混入型エポキシ樹脂エマルジョン、防水層: アスファルト変性弾性エポキシ樹脂溶液)を選択した。

6.2. 実験方法

図-7に示す透水試験装置を用い、5.2.に準じて作成したモルタル供試体の裏面より水圧0.2kgf/cm²(水頭差2mに相当)を加え、そのままの状態でも24時間放置し

た後、滲出水をウエスで拭き取り、直ちに急結セメント系止水材を充填した。止水材の材令3時間を経過後に防水層を施し、水圧をかけたままの状態でも3箇月間放置した後、供試体を透水試験装置から取り外し、5.2.に準じた方法で接着強度(繰り返し数 n=3)を求めた。また、ふくれの発生状況についても適宜、目視観察を行なった。

6.3. 実験結果および考察

3箇月後の接着強度実験の結果は、平均10kgf/cm²以上であり、何れも止水材の凝集破壊であった。また、防水層にふくれやピンホールの発生も認められず、水頭差2m程度であれば、滲出水のある下地面に対しても適切な止水処理を施すことにより、B-3の仕様で良好な接着耐久性を有する防水層の形成が可能であることが確認された。

7. まとめ

背面水圧の影響を受けるコンクリート下地面に適用する内防水に要求される性能を明確化するとともに、既往の知見・資料調査などにより各種防水工法の比較・検討を行ない、現状の技術ではエポキシ樹脂系塗膜防水工法に適用の可能性を見出した。

また、上記の工法を背面水圧(水頭差2m程度)の作用するコンクリート下地面に適用した場合の接着性状を確認するため、市販の湿潤硬化型エポキシ樹脂を取り挙げ各種実験検討を行ない、最適と思われる仕様を選択した。

その結果、セメント混入型エポキシ樹脂エマルジョンをプライマーとするアスファルト変性弾性エポキシ樹脂防水層の仕様で、背面水圧の影響下でもこれに抗し得るだけの良好な初期接着性ならびに接着耐久性を有する防水層の形成が可能であることが確認された。