

論文 表面被覆を施したコンクリートの耐凍害性

城田常雄*1・堺 孝司*2・里 隆幸*3・高橋丞二*4

要旨：コンクリート供試体に2種類の表面被覆材を施し、土木学会基準の凍結融解試験、及び高温乾燥条件を組み込んだ新しい凍結融解試験を行い、表面被覆コンクリートの耐凍害性及び、コンクリートの内部ひび割れなどを想定した水みち（欠陥）を作製し、その影響を調べた。その結果、表面被覆材の種類、水みちの有無、コンクリートの水セメント比の違いによって供試体の挙動が異なることが判った。また、筆者等が考案した新しい凍結融解試験は、表面被覆した供試体に対し実環境をシミュレートできる試験方法であることが判った。

キーワード：凍害抑制、表面被覆材、コンクリート、凍結融解試験

1. はじめに

コンクリートの凍害は寒冷地に於ける典型的な劣化現象であり、凍害に対する適切な予防が、また劣化したものについては補修が必要となる。著者らは凍結融解作用を受けるコンクリートに対する表面被覆材の効果を明らかにするため、8種類の表面被覆材を検討してきており、これまでに厚膜柔軟型のエポキシ樹脂系塗料で表面からの水の進入を遮断することが有効であることを明らかにしてきた[1]。本研究は、構造上表面被覆不可能な部位から水分の侵入がある場合(アバット裏面の地山部分、橋脚の土中埋設部分、又は橋梁スラブ等)及び、ひび割れ等による水みちが有る場合を想定し、被覆したコンクリートの凍結融解作用下の挙動について検討したものである。

2. 実験概要

2.1 供試体

試験に用いたコンクリート供試体は、表-1に示す試験計画に基づき、10×10×40cmの型枠を用いて製作した。コンクリートの配合は、水セメント比を55%、70%、80%の3種類、スランブを ± 2.5 cm、空気量を 5 ± 1.0 %となるよ

表-1 試験計画

記号	被覆材	水セメント比	欠陥部
①-1	無塗装	55%	無し
①-2		70%	
①-3		80%	
②-1	厚膜柔軟型	55%	有り
②-2		70%	
②-3			
②-4		80%	
③-1	有機無機型	55%	有り
③-2		70%	
③-3			
③-4		80%	

表-2 塗装仕様

No.	②	③
仕様	厚膜柔軟型エポキシ樹脂塗料系	有機無機複合型水系被覆材
略称	厚膜柔軟型	有機無機型
プライマー	エポキシ樹脂プライマー	有機無機複合型水系被覆材
パテ	エポキシ樹脂パテ	有機無機複合型水系パテ
中塗	厚膜柔軟型エポキシ樹脂塗料中塗	有機無機複合型水系被覆材
上塗	柔軟型ポリウレタン樹脂塗料上塗	有機無機複合型水系被覆材
総膜厚	430 μ m	400 μ m

う決定した。使用材料は、セメントは普通ポルトランドセメント、細骨材は樽前産海砂、粗骨材は見晴産砕石を使用した。AE減水剤はリグニンスルホン酸系AE減水剤を用いた。供試体は打設後1日で脱型し、その後2週間20°Cの水中で養生した後、3時間程室内で乾燥させてから被覆材を塗布した。表面被覆材を1週間気中で乾燥した後、再び2週間水の中で養生を行った。塗装仕様は表

*1 大日本塗料（株）新規事業部（正会員）

*2 北海道開発局開発土木研究所構造部材料研究室室長、工博（正会員）

*3 大日本塗料（株）新規事業部（正会員）

*4 北海道開発局開発土木研究所構造部材料研究室

-2に示す通りである。表面被覆材は厚膜柔軟型エポキシ樹脂塗装系(以下厚膜柔軟型と略す)及び有機無機複合型水系被覆材(以下有機無機型と略す)の2種類を用いた。被覆方法は図-1に示す通り、試験中に供試体内部に水分を供給するため供試体端部の両小口は被覆せず、残りの4側面に表面被覆材を施した。また、実構造物のひび割れ

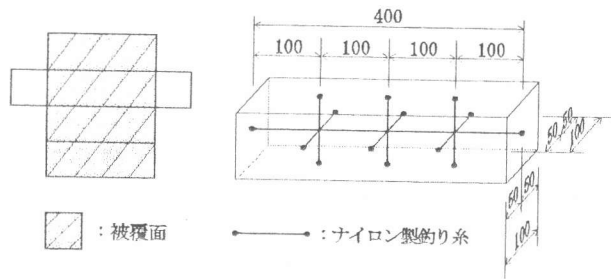


図-1 被覆方法及び欠陥部作成要領

などの欠陥部から水分の侵入がある場合を想定し、水セメント比55%のものについてのみ水道となるひび割れをモデル化した供試体も作製した。欠陥は、打設時に型枠内部に図-1に示すように釣り糸(ナイロン製、10号、 $\phi 0.52\text{mm}$)を張り、脱型時に引き抜くことによって設けた。

2. 2 試験方法

2. 2. 1 試験 I

前述のようにして作製した供試体を用いて、土木学会規準による凍結融解試験を行い、凍結融解試験後の供試体を用いて曲げ強度、折片圧縮強度及び被覆材の付着強度の測定を行った。凍結融解試験は土木学会規準の「コンクリート凍結融解試験方法 (JSCE-1986)」に準じて行い、約30サイクル毎に300サイクルまで外観観察、重量変化率及び相対動弾性係数の測定を行った。なお、動弾性係数は被覆材の上から測定しても測定値に影響が無いことを確認している。曲げ強度試験は、「コンクリートの曲げ試験方法 (JIS A 1127-1976)」により行った。なお被覆供試体については被覆材を剥離させた状態で試験を行った。折片圧縮強度の測定は「はりの折片によるコンクリートの圧縮強度試験方法 (JIS A 1114-1976)」により、曲げ強度試験により生じたすべての折片について行った。被覆材の付着強度の測定は、「建研式単軸引張試験方法」に準じて行った。

2. 2. 2 試験 II

実際のコンクリート構造物が置かれる環境条件では、凍結・融解以外に乾燥の条件も存在するため、試験 I に乾燥条件を加え新しい凍結融解試験とした。新しい凍結融解試験は(-18°C水中凍結時間2時間)~(5°C水中融解2時間)~(60°C、30%RH気中放置2時間)の条件で行い、試験 I と同様の観察と測定を行った。

3. 試験結果及び考察

3. 1 試験 I

3. 1. 1 外観観察

図-2に外観観察結果を示す。

無塗装供試体では、W/Cが55%のものでは300サイクル終了時点でも打設面に極く軽いスケーリングが生じただけであった。厚膜柔軟型を被覆した供試体では300サイクル終了時点でも塗膜に変化は生じなかった。有機無機型では、W/Cが55%のものが欠陥の有無にかかわら

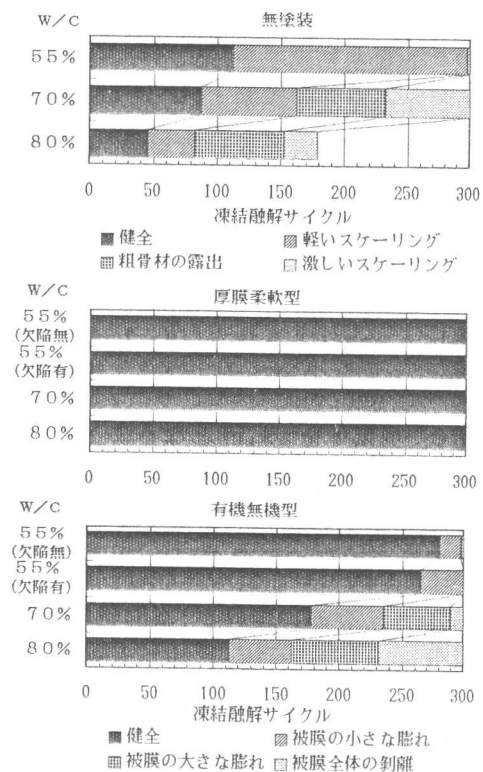


図-2 外観観察結果

ず200サイクル位から打設面の被膜に小さなふくれを生じた。W/Cが70%のものでは150サイクル位から小さなふくれを生じ、サイクルの進行に伴って次第に大きくなっていった。最終的には端部からの被覆の剥離と中央部のふくれは連続し、底面を除くすべての面で大きなふくれが生じた。W/Cが80%のものでも70%のものと同様に100サイクル位から小さなふくれを生じ230サイクルでは塗膜全体の剥離となった。W/Cが70%と80%のものでは被覆下のコンクリートには激しいスケーリングが生じており、剥離したモルタル分が砂状になり被覆材とコンクリート面の間に残っていた。

3. 1. 2 重量変化率及び相対動弾性係数

図-3に重量変化率及び相対動弾性係数の結果を示す。

重量変化率は、無塗装の貧配合の供試体で重量が大きく減少したもののW/Cが55%の無塗装や被覆供試体では重量に変化は生じなかった。しかし、有機無機型では剥離したモルタル分が被覆材との間に残っていたことからコンクリートの実際の重量変化率はもっと大きかったものと考えられる。

相対動弾性係数は、重量変化率と同様に無塗装の貧配合のもので大きく低下した。また無塗装のW/Cが55%のものと同様に有機無機型のW/Cが70%と80%で、動弾性係数にわずかな低下が見られた。厚膜柔軟型の供試体では動弾性係数の

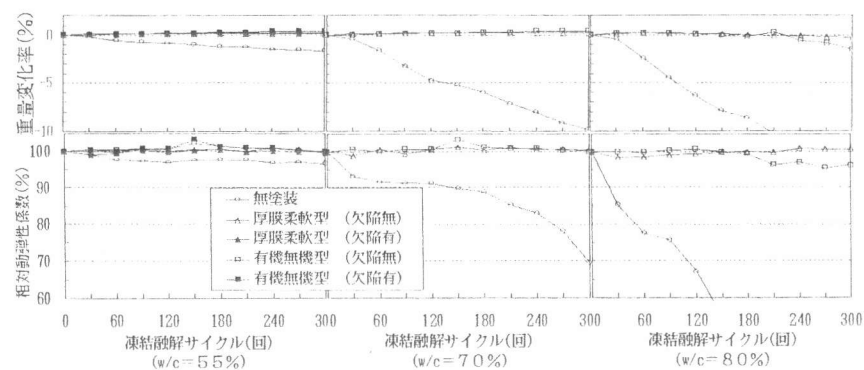


図-3 重量変化率及び相対動弾性係数測定結果

低下は全く見られなかった。この結果からは、何れの被覆材を用いた場合でも程度に差はあるもののコンクリートの凍害防止には有効であると考えられる。また、欠陥の影響はほとんど無かった。

3. 1. 3 曲げ強度及び折片圧縮強度

図-4、5に曲げ強度及び折片圧縮強度試験の結果を示す。

曲げ試験においては、W/Cが55%で、欠陥の無いものは、無塗装、被覆の何れの供試体も強度の低下は見られず、むしろ厚膜柔軟型では増加している。同じW/Cが55%のものでも欠陥部を設けたものは強度が僅かに低下した。W/Cが70%及び80%では、無塗装供試体の曲げ強度が6割以上低下していたのに比べて、被覆供試体の曲げ強度の低下は2割以下と少なく、厚膜柔軟型のW/Cが80%では僅かに増加している。

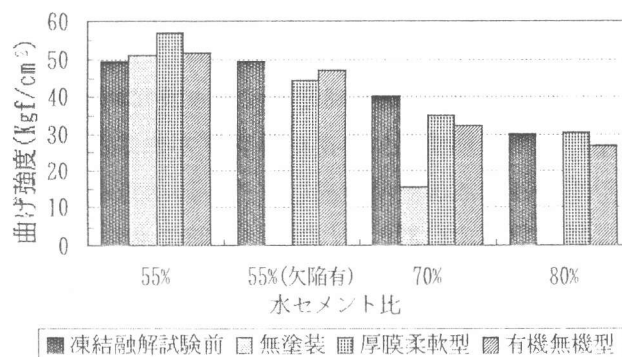


図-4 曲げ強度試験結果

折片圧縮試験においては、W/Cが55%のものでは厚膜柔軟型の欠陥無しで強度増加した他は何れの供試体も1割～2割程度圧縮強度が低下した。W/Cが70%及び80%のものでは何れの供試体も圧縮強度が低下したが、無塗装では圧縮強度が6割以上も低下したのに対し、厚膜柔軟型で2割以下、有

幾無機型で4割以下であった。このように、曲げ
 度や折片圧縮強度によって凍結融解作用に対
 する被覆材の効果を明らかにすることができた。
 これらの結果から、厚膜柔軟型が有機無機型よ
 りも凍害防止効果が優れていると考えられる。

3. 1. 4 被覆材の付着強度

図-6に付着強度試験の結果を示す。

厚膜柔軟型では、底面と比較して打設面での付
 着強度がやや低い値を示したが、ほとんどがコ
 ンクリート部で破壊しており、良好な結果を示
 した。ただ、W/Cが55%の欠陥部有りのものだけ
 が塗膜とコンクリートの界面で破壊した。これ
 に対して、有機無機型では打設面で、何れもコ
 ンクリートと塗膜の界面でスケーリングを生じ
 ており付着強度が0となった。また、底面におい
 ても付着強度は小さく、ほとんどがコンクリート
 と塗膜の界面で剥離あるいは塗膜内部で破壊
 した。何れの被覆材の場合も、付着強度は欠陥
 有りものが欠陥の無いものに比較して小さい
 直を示しており、水みちの存在が被覆材の付着
 力の低下の原因になると考えられる。これら
 の結果からも厚膜柔軟型が有機無機型よりも
 凍害防止効果が優れていると考えられる。

3. 2 試験II

3. 2. 1 外観観察

図-7に外観観察結果を示す。

無塗装供試体では、W/Cが55%のものでは試
 験Iの結果とほぼ同様に300サイクル終了時点
 でも打設面に極く軽いスケーリングが生じた
 だけであった。

厚膜柔軟型では300サイクル終了時でも水セ
 メント比、欠陥の有無に関わらず外観上塗膜
 に変化は生じなかった。

有機無機型では、W/Cが55%のものが欠陥の
 有無にかかわらず250サイクル付近まで健全で
 100サイクル付近で大きなふくれを生じた。W
 /Cが70%及び80%のものは、270サイクル位から
 塗膜の剥離を生じた。

以上の結果を試験Iの結果と比較すると、
 無塗装系では試験Iの条件の方が供試体に劣

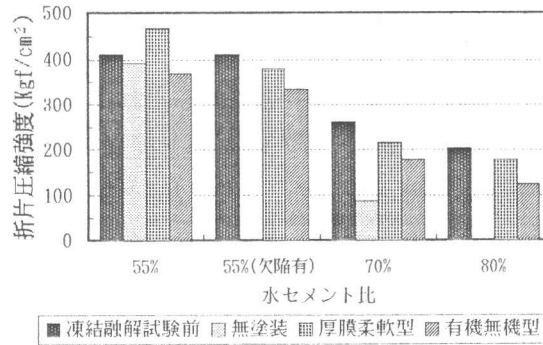


図-5 折片圧縮試験結果

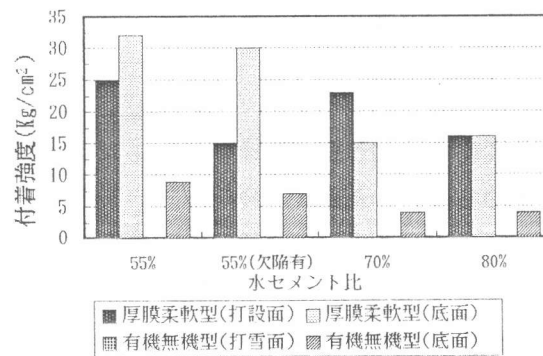


図-6 付着強度試験結果

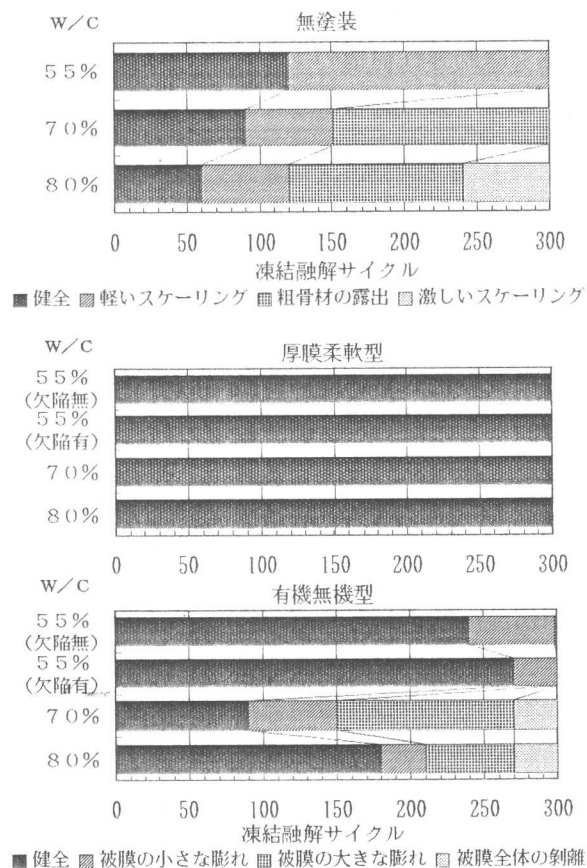


図-7 外観観察結果

化を生じさせやすかったが、表面被覆した系、特に接着力の弱い有機無機型で55%及び70%のものは試験Ⅱの方がフクレの発生が早いことが判る。これは、高温・乾燥条件により内部蒸気圧が上がるのが原因と思われる。ただし、接着力の強い厚膜柔軟型には乾湿の有無による外観上の差違を起こさせるものではなかった。

3. 2. 2 重量変化率及び相対動弾性係数

図-8に重量変化率及び相対動弾性係数の結果を示す。

無塗装系の場合、W/Cが55%のものはほとんど重量変化は生じなかった。しかし、70%、80%とW/Cが大きくなるほど重

量の減少が著しかった。厚膜柔軟型及び有機無機型の場合、W/Cが80%のもののみ重量減少を生じた。その他は増減が無いか若干の増量が認められた。また、W/Cが55%の欠陥の有無による影響はほとんど認められなかった。

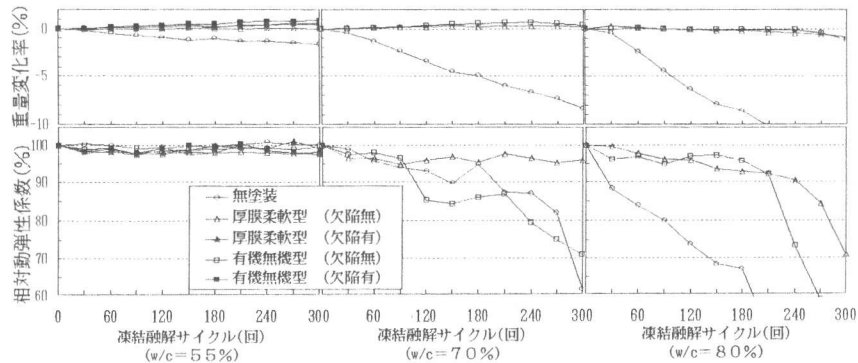


図-8 重量変化率及び相対動弾性係数測定結果

相対動弾性係数は、無塗装系及び有機無機型では、W/Cが70%、80%の場合に減少傾向が認められた。それに対し、厚膜柔軟型はW/Cが80%の場合のみ相対動弾性係数の減少傾向が見られた。また、欠陥の有無による影響はほとんど認められなかった。

無塗装系においては試験Ⅱに組み込まれている高温乾燥条件(60℃、30%RH×2時間)は、凍結融解過程で吸水した供試体中の水分を供試体外部に逸散させる働きと、セメントの水和反応を促進させる働きが有る。すなわち、前者では凍結融解試験時の供試体中の水分の絶対量が試験Ⅰより少なくなり、その結果、凍結による膨張圧も小さくなって劣化速度を小さくしているものと考えられる。また、後者ではセメントの水和反応の進行により供試体の強度が大きくなって、相対動弾性係数を増加させているものと考えられる。このことは、後に述べる曲げ強度及び折片圧縮強度の測定結果において、凍結融解試験後の強度が、特にW/Cの低い供試体で試験前の強度よりも大きくなっていることから推察できる。表面被覆した場合、高温乾燥条件は、塗膜にふくれを発生させることが考えられる。有機無機型では、接着強度が低いいため、先ず塗膜のふくれが発生し、塗膜の付着力がほとんど無くなった段階から、特に水セメント比の高い供試体において凍結融解作用によるコンクリートの重量減少及び相対動弾性係数の低下が顕著に現れたものと考えられる。一方、膜厚柔軟型では後の付着強度の所でも述べる様に、付着強度が高いため有機無機型に視られるような塗膜のふくれや、ふくれに起因する重量の低下と動弾性係数の低下が生じなかったものと考えられる。

3. 2. 3 曲げ強度及び折片圧縮強度

図-9、10に曲げ強度及び折片圧縮強度試験の結果を示す。

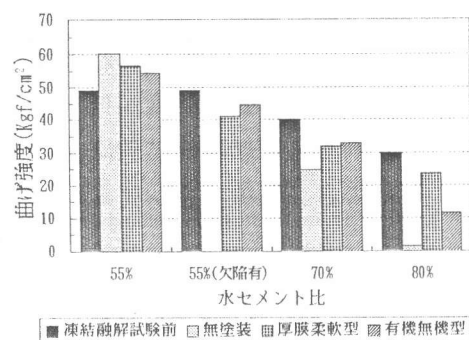


図-9 曲げ強度試験結果

曲げ強度は、W/Cが55%の欠陥無しのもは1~2割増加を示した。欠陥を設けたものは、1~2割低下した。厚膜柔軟型はW/Cが80%でも曲げ強度は2割程度しか低下していないが、有機無機型で6割程度、無塗装で9割以上低下した。

折片圧縮強度は、W/Cが55%の欠陥無しのものでは厚膜柔軟型と無塗装のみ2割以上増加を示した。有機無機型は殆ど変化が見られなかった。欠陥を設けたものは、厚膜柔軟型、有機無機型共に1割程度低下した。W/Cが80%では厚膜柔軟型が1割強の低下であるのに対し、有機無機型で4割、無塗装で6割以上低下した。

試験Ⅰの結果と比較すると、試験Ⅱは、無塗装供試体には劣化を促進させる効果が小さいが、被覆したものは厳しい試験条件となることが明らかとなった。

3. 2. 4 被覆材の付着強度

図-11に付着強度試験結果を示す。

厚膜柔軟型では、打設面の付着強度は、底面のそれよりやや低い値を示したが、両者共にコンクリート部での凝集破壊であることから付着性は良好と言える。試験Ⅰの供試体と比べるとW/Cが55%で欠陥無しのもはほとんど同じ付着力を示したが、その他の供試体は低い値となった。

有機無機型では何れも被覆材とコンクリートの界面にスケーリングが生じており、W/C=55%以外のものは全て付着強度が0となった。破壊はコンクリートの表層で生じたものがほとんどであった。また、何れの被覆材でも欠陥が有る方が欠陥の無いものより付着強度は小さい値を示しており、欠陥の存在が塗膜の付着性を低下させることが明らかとなった。

4. まとめ

- (1) 厚膜柔軟型エポキシ樹脂被覆材を施したコンクリートは、被覆面以外からの水分の供給があっても凍害を受けにくい。
- (2) 有機無機複合型の水系被覆材を施したコンクリートは、凍結融解作用による動弾性係数の低下は少ないが、貧配合の場合、表面にスケーリングを生じて断面が欠損し、曲げ強度や圧縮強度が大きく低下するとともに、被覆材の剥離を生じることがある。
- (3) コンクリート内部に水みちとなる欠陥がある場合でも、コンクリートの水セメント比が55%程度の品質であれば耐凍害性に影響は少ないが、被覆材の種類によっては、欠陥部で被覆材の付着強度が低下することがある。
- (4) 新しい凍結融解試験は、コンクリート表面の被覆材にふくれ等の劣化を生じさせることができ、実環境をシミュレートできる試験法である。

参考文献

- 1) 里 隆幸、堺 孝司、熊谷政行、辻敏幹：表面被覆によるコンクリートの凍害抑制に関する研究、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.16、No.1、pp561~566、1994.9

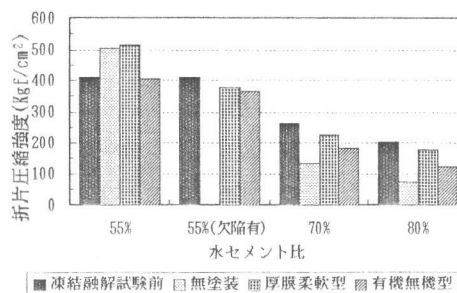


図-10 折片圧縮強度試験結果

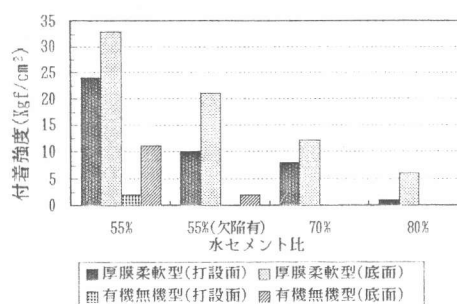


図-11 付着強度試験結果