

論文 プライマーの性質と塗布量がウレタンゴム系塗膜防水層のコンクリートへの付着性能に及ぼす影響

塚越 雅幸*1・石山 航輔*2・山川 和輝*3・古澤 洋祐*4

要旨: コンクリートの表層品質と、プライマーの性質と塗布量が塗膜防水層の接着性に及ぼす影響について実験的に検討を行った。コンクリートは W/C=45, 65%の2水準を、プライマーは溶媒に対する固形分の量を35, 25, 15%の3水準用意した。建研式の付着力試験を行った結果、全体的にプライマーを塗布することで付着強度は無塗布と比べて増加した。特に、W/C=45%の場合、プライマーの固形分を少なくし低粘度にすることで、含浸しやすくなり付着強度の増加割合が高くなった。ただし W/C=65%の場合、コンクリートの空隙量が多く、標準的な塗布量以下の場合ではプライマー成分が不足し、付着強度の増加割合は小さくなった。

キーワード: W/C, プライマー, 浸透深さ, 防水層, 付着強度

1. はじめに

建築物の屋根・壁などに施工される防水層の材料の種類や工法は様々あるが、塗膜系防水層では、防水層の施工に先立ち、下地となるコンクリートに含浸系のプライマーが下地処理材として塗布される。プライマーは、コンクリート下地の表面の空隙を充填することで、防水層との密着性を向上させ、防水層とコンクリートとの付着力が高まり、供用期間中での防水層の剥離やふくれなどの不具合を防ぐ役割をもつ。

含浸系プライマーの現場での施工については、『建築工事標準仕様書・同解説 JASS8 防水工事』を参考に、施工面積あたりの塗布量で管理されており、メーカー等の仕様にもよるが市販のプライマーの塗布量は 200g/m² 程度が標準的とされている。また、防水層の接着力については『JISA6909:2014 建築用仕上塗材』を参照し、下地にはスレート板を用いた付着力試験が行われてきた。しかし、コンクリートの表層品質は、配(調)合や施工、環境条件などにより大きく異なることが知られている。さらに、コンクリート表層の空隙構造の粗密の違いによっては、含浸材の浸透性状が異なることも報告²⁾されている。プライマーの浸透性が下地コンクリートの条件によって異なる場合、防水層とコンクリートとの接着性にも影響を及ぼす可能性が考えられる。防水層の剥離やふくれは、美観性・耐久性を大きく損なう原因となり、適切な塗布条件の検討が急務である。

そこで本研究では、W/C を調整することで空隙構造の異なるコンクリートを下地部材として用いた。これにウレタン系プライマーの種類と塗布量を変えて塗布後、ウレタンゴム系塗膜防水層を施工し、その後の付着力への

影響を実験的に検討した。

2. 供試体の作製

2.1 下地コンクリート

(1) コンクリート下地の作製

下地コンクリートは 100×100×400mm の角柱形状とした。コンクリートの配(調)合は表-1 に示す通り W/C=45, 65%の2段階とした。コンクリート打込み翌日に脱型し 28 日間 23℃環境下で封緘養生し、その後、14 日間 23℃, 60%R.H.の実験室環境下で乾燥させた。なお、養生後のコンクリートの強度と総空隙率はアルキメデス法により、別途同条件で用意したφ100mm×高さ200mmの円柱コンクリート試験体を用いて、4 日間水中浸漬時の飽水水中質量、飽水水中質量と 4 日間の 105℃炉乾燥

表-1 コンクリートの配(調)合

W/C %	W	C	S	G	Ad
	kg/m ³				
45	185	411.1	673.3	1028.8	1.03
65	182	280.0	835.1	980.1	0.98

※ W:水道水, C:普通ポルトランドセメント
S:福岡県玄界灘産海砂, G:福岡県産砕石, Ad:AE減水剤



図-1 コンクリートの強度と総空隙率

*1 福岡大学 工学部建築学科准教授 博士(工学) (正会員)

*2 福岡大学 工学部建築学科 学部4年

*3 株式会社フジタ建設コンサルタント (正会員)

*4 AGC ポリマー建材 博士(工学)

した絶乾質量から測定した。

コンクリート試験体の圧縮強度と総空隙率の測定結果を図-1に示す。当然であるが、高W/Cのコンクリートの方が、粗な空隙となり強度も低く、W/C=65%の圧縮強度は30.9N/mm²、総空隙率は14.4%となり、W/C=45%では48.7N/mm²、13.9%となった。

(2) プライマー

プライマーには、次工程のウレタン防水材とウレタン結合により一体となることを意図し、含浸型のウレタン系プライマーを使用し、含浸をコントロールする意図で、プライマーの溶媒（酢酸エチル、トルエンが主成分）に対する溶質（ウレタン固形分）の割合が35%,25%,15%の3水準を用意した。以降プライマー名はプライマー-35、プライマー-25、プライマー-15とする。なお、使用したプライマーの粘度は図-2に示す通り、プライマー-35が13.5mPa・s、プライマー-25が9.1mPa・s、プライマー-15が4.7mPa・sと固形分が多いほど高粘度であった。

プライマーの揮発速度を、内径φ80mmのシャーレに各プライマー100, 200, 300g/m²ずつ塗布し23°C, 60%R.H.の実験室内で測定した結果を図-3に示す。プライマー中の揮発物質の割合はプライマー-35が33%、プライマー-25が46%、プライマー-15が51%であった。揮発速度は非常に早く、30分で65~70%が揮発した。また一般的に防水層の施工のタイミングとされる24時間後には、

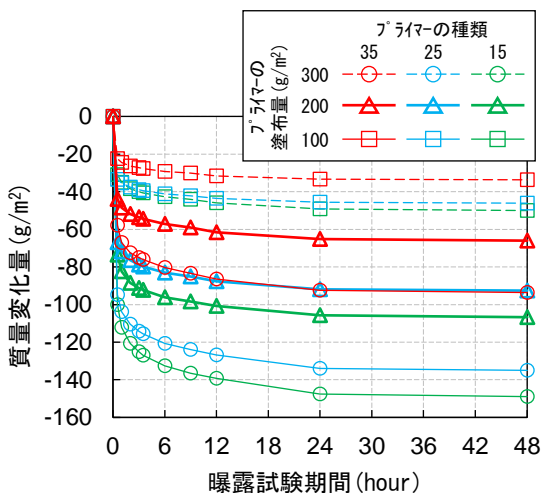
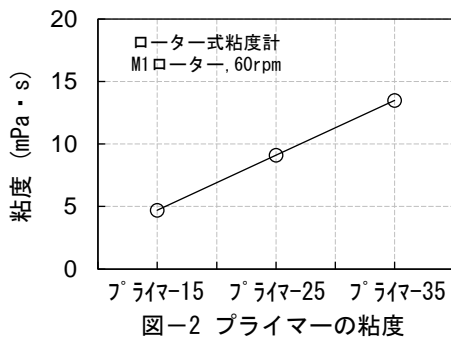


図-3 プライマーの揮発速度

ほぼ揮発は終了した。

上記のプライマーを、試験面となるコンクリート打込み時の型枠側面の1面に施工した。プライマー施工に先立ち、試験面は一度#400番のサンドペーパーにより表面を均一に研磨し、ブラシを用いて水で洗い流しを行った。半日乾燥させた後、試験面にプライマーを刷毛にて100, 200, 300g/m²ずつそれぞれ塗布した。比較のため、プライマー無塗布の試験体も用意した。なお、下地コンクリートは各水準で2体ずつ用意した。

2.2 防水材

防水材には、高強度形のウレタンゴム系塗膜防水材を用いて、超速硬化の吹付け工法にて防水層の施工を行った。使用した防水材の引張試験結果を、比較として手塗りで施工される高伸長形のウレタンゴム系塗膜防水材の結果と併記し図-4に示す。本実験に用いた超速硬化吹付け・ウレタンゴム系塗膜防水材は、非常にモジュラスの高い材質である。また、吹付け機を用い、極短時間で塗膜を形成させるため、防水材の成分が下地コンクリート表面の空隙に染み込む割合が少なくなり、機械的なアンカー効果による付着力は比較的低下すると考えられる工法・材種である。

防水層は、プライマー塗布後24時間養生した後に施工し、塗膜厚さ2.0±0.2mmを目標に、写真-1に示す通りスプレーによる吹付け法により、塗布量で塗膜厚さを管理し1週間養生した。以上、試験体の層構成について図-5に、試験体の種類を表-2に示す。

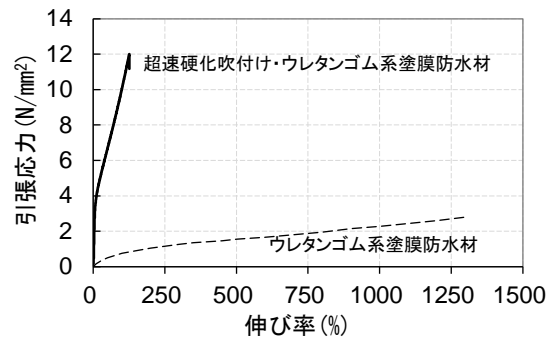


図-4 ウレタン系塗膜防水層の引張特性



写真-1 吹付け法による防水層の施工状況

3. 試験方法

3.1 プライマー塗布後のコンクリートの明度変化

プライマーの含浸状況と、塗布がコンクリート表層に及ぼす影響として、塗布前後での明度差を、色彩色差計によって測定した。測定範囲は各試験体表面φ1.0cmで任意の位置3点、2試験体の合計6点の平均である。測定は防水層施工直前に行った。

3.2 防水層の付着力試験

建研式接着強度試験によって防水層の付着強度を求めた。防水層表面を水洗いした後、40×40mmのアタッチメントをエポキシ樹脂にて接着固定した。エポキシ樹脂を1週間養生後、コンクリートカッターでアタッチメントの周り4辺に切り込みをいれ、毎秒0.1Nの載荷速度でアタッチメントを鉛直方向に引張り、付着力を測定した。測定前の測定治具全体の状況を写真-2に示す。試験は各試験体4か所ずつ、各水準で試験体2体の合計

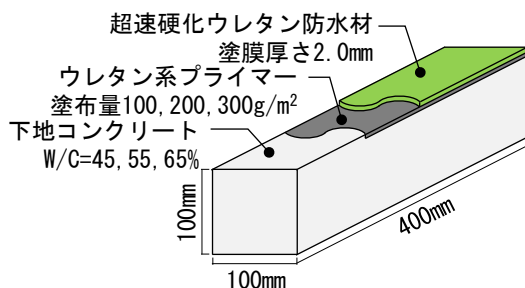
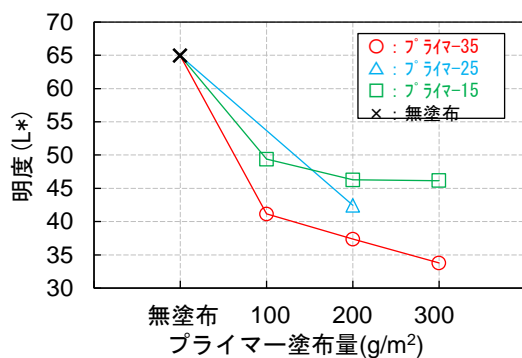


図-5 試験体の層構成

表-2 試験体の種類

種類	塗布量(g/m ²)	W/C(%)	
		45	65
無塗布		○	○
プライマー 35	100	○	○
	200	○	○
	300	○	○
プライマー 25	100	—	—
	200	○	○
	300	—	—
プライマー 15	100	○	○
	200	○	○
	300	○	○

※○印は試験を実施



(a) W/C=45%

8 試験の結果とその平均を結果として示す。なお、アタッチメントの個数の都合により、試験は1週間ごとに1試験体1か所ずつ合計4週間かけて行っている。そのため、付着力試験を行った防水層の養生期間は最短で2週間から最大5週間となっている。

3.3 プライマーの濃度分布の測定

プライマーの濃度分布を、近赤外分光法によって評価した。試験体表面および、深さ方向にみた表面付近の濃度として0.3mm位置と、内部の1.0mmまでそれぞれ掘削し、写真-3に示すようにφ6.0mmのプロープを測定面に押しあてて近赤外域である波長350~2500nmの範囲の吸光度を測定した。

4. 試験結果と考察

4.1 プライマーと塗布後のコンクリートの明度変化

プライマー塗布前後での、コンクリート表層の明度変化の測定結果を図-6に示す。プライマー無塗布のコンクリートについてはW/Cの違いによる明度差の差異はわずかであり、誤差の範囲内と考えられる。プライマーを塗布することでコンクリート表面が濡れ色となり、明度が低下することが確認された。

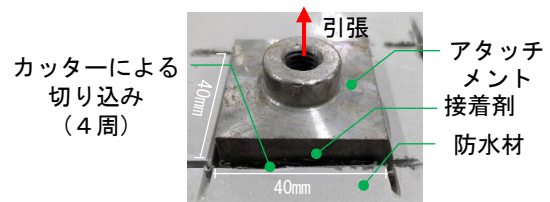
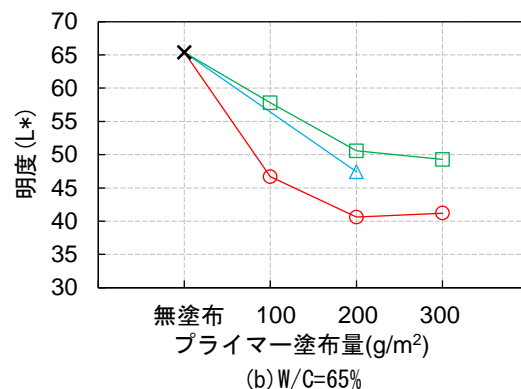


写真-2 付着力試験用治具の状況



写真-3 近赤外分光法での測定状況



(b) W/C=65%

図-6 プライマー塗布によるコンクリート表層の明度の変化

プライマーの塗布量の増加にともない、明度の変化量も大きくなる傾向にあった。これは、プライマーの固形分量が増加したことで、表層に付着するウレタン成分が増加したことに起因すると考えられる。

さらに、W/C=65%に比べて45%の方が明度の変化量は小さくなる傾向にあった。図-1に示す通り、W/C=65%の方がコンクリート内の総空隙率が大きいいため、プライマーがコンクリートの内部まで浸透しやすくなり、表層に残存するプライマー中のウレタン成分量が低下したこ

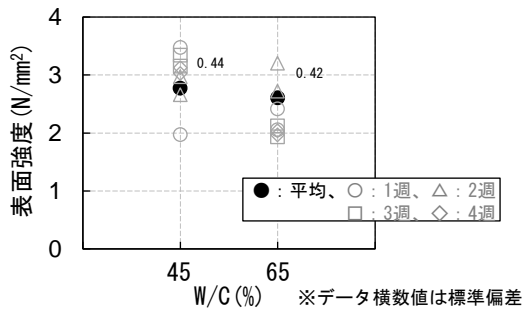


図-7 コンクリートの表面強度試験

とが、明度変化の抑制につながったと推測される。

4.2 防水層の付着力

付着力試験の測定結果として、コンクリートに直接アタッチメントを取り付けてコンクリートの表面強度を測定した結果を図-7に、防水層の付着力の測定結果を下地がスレートとコンクリートのものを合わせて図-8に示す。図-7よりコンクリートの表面強度はW/C=45%で2.77N/mm²、W/C=65%で2.60N/mm²と、総空隙率が低く圧縮強度が高いW/C=45%の方がわずかではあるが高い値となった。なお、表面強度試験後の試験体を観察すると、全ての試験体でコンクリート表層が全面破壊となっており、エポキシ樹脂の破壊や剥離は生じていなかった。

図-8では、防水層の養生1週間ごとに○、△、□、◇印で各2点ずつのデータを、平均を●印で示している。下地コンクリートに防水層を施工した試験体全体で、防水層の養生期間の違いによる付着強度の値は養生期間との関係はみられなかった。これより、接着性に及ぼす下地コンクリートの養生期間³⁾、および防水層の養生期間

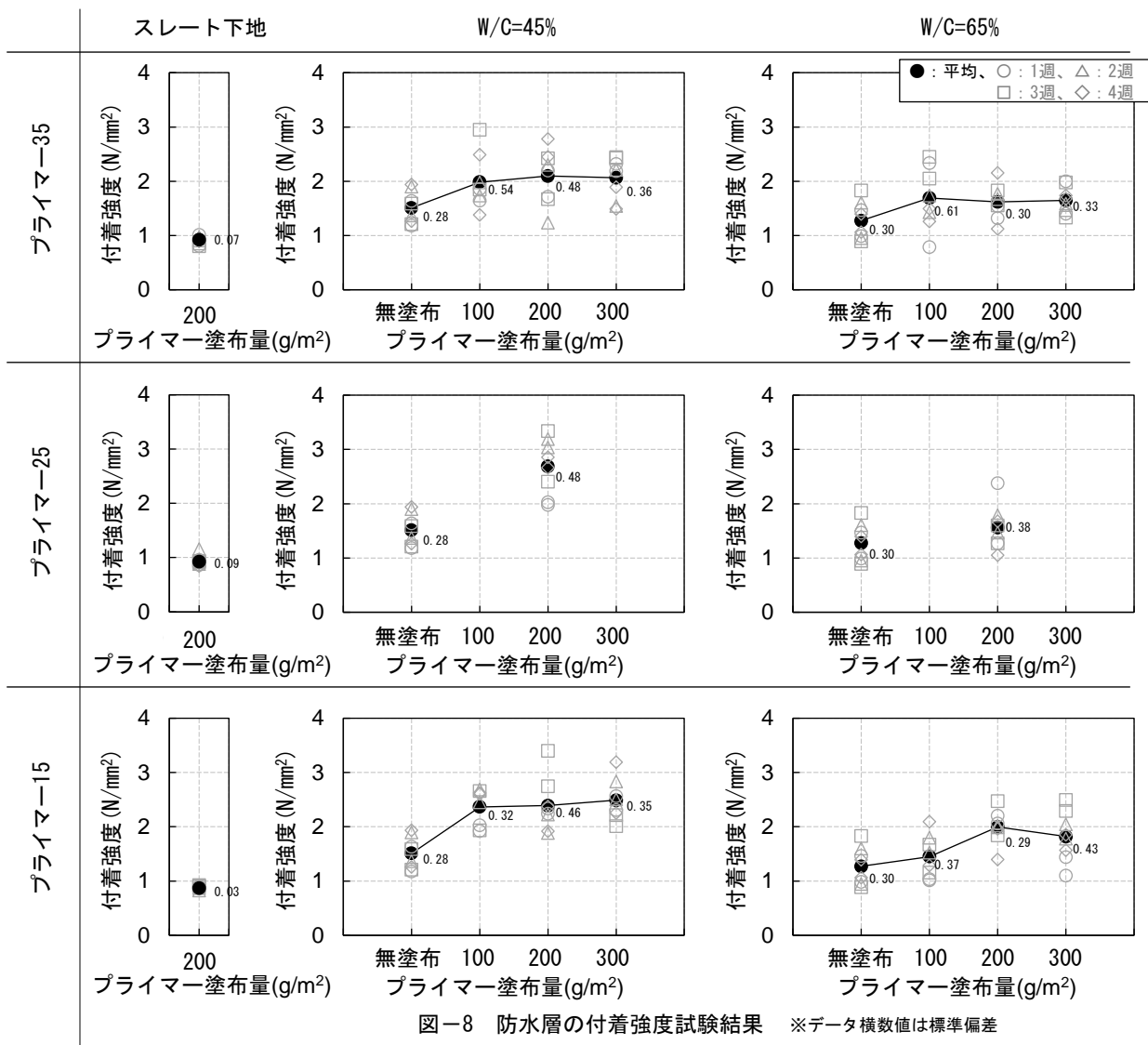


図-8 防水層の付着強度試験結果 ※データ横数値は標準偏差

は十分であったと考えられるため、全試験体の結果の平均値にて検討を行うこととした。なお、付着力試験全体の標準偏差は0.38であった。

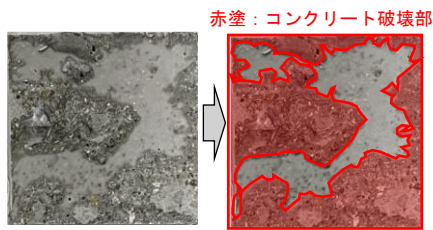
まず、JIS試験で用いるスレート板を下地に、プライマーの塗布量 200g/m² で防水層を施工した結果についてみると、プライマーの種類によらず 0.90±0.03N/mm² となった。この値は、下地がコンクリートの場合の最も付着力の低かったプライマー無塗布の W/C=65%のコンクリートの値である 1.27N/mm² よりも 0.3 N/mm² 以上小さい。付着力の評価としては安全側とはなっているものの、今回の測定条件の範囲ではプライマーの濃度の差については全く差が見られないため、プライマーの性能を適切に評価できていないケースがあるといえる。なお、破壊モードについてみると、全ての条件で下地のスレート表層全面に凝集破壊が生じているため、下地スレート表層の強度までしか測定できていないといえる。

下地コンクリートにプライマーを塗布することで、全ての条件で付着力は増加した。また、W/Cの違いについてみると、W/C=45%の付着強度の方が全体的にW/C=65%に比べて高い値となった。これは、下地コンク

リート自体の表面強度が、付着試験結果にも表れているものと考えられる。

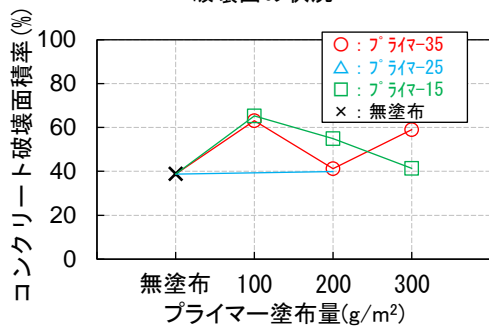
プライマーの塗布量の影響についてみると、W/C=65%でプライマー15を塗布した一部を除き、標準的な塗布量である 200g/m² と比べ 100g/m² と 300g/m² とで付着強度には大きな差は現れなかった。また、プライマーの固形分量の違いごとに強度を比較してみると、プライマー35の塗布量 200g/m² は、W/C=45%で無塗布と比べ 39%増加、W/C=65%では 25%増加となっている。一方、プライマー15の塗布量 200g/m² は、W/C=45%で 58%増加、W/C=65%では 57%増加となっており、プライマー15の方が、W/Cによらず付着強度の上昇割合が高い結果となった。

なお、破壊モードについては、全ての条件で、コンクリートの破壊と防水層と下地コンクリートの破壊が混在した。そこで、付着強度試験後の試験体の破壊モードについて、写真-4 に示す通り、アタッチメント側の破壊状況の観察結果より、コンクリートの破壊面積の割合を測定した結果を図-9 に示す。W/C=45%の試験体では、プライマーを塗布することで、無塗布の場合と比べコンクリートの破壊面積率は高くなった。これは、付着力の増加により防水層の剥離の割合が低下し、コンクリートからの破壊割合が高くなったものと考えられる。一方、W/C=65%では、ほぼ横ばいか若干の低下傾向にあった。これは、W/C=65%のコンクリートの表面強度が低く、コンクリートからの破壊割合が高いため、優位な差が見られなかったものと考えられる。

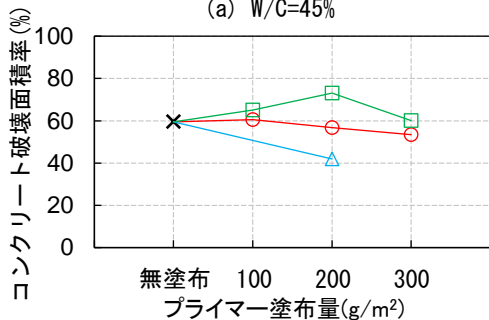


W/C=45%, プライマー35, 300g/m²

写真-4 付着試験後のアタッチメント側の破壊面の状況



(a) W/C=45%



(b) W/C=65%

図-9 付着試験時の下地コンクリートの破壊面率

4.3 プライマーの含浸深さ（吸光度）の測定結果

付着強度はプライマーの塗布量の影響を受けているが、必ずしもその塗布量や濃度と単純な比例関係にはないことが明らかとなった。そこで、近赤外分光法⁴⁾による結果のうち、プライマー35の塗布量の違いについて測定した結果の例を図-10 に示す。この結果より、プライマーの有無による違いをみると、プライマーを塗布した試験体では波長 2330nm 付近に大きなピークがみられた。そこで本研究では、プライマー成分が吸光したと考えられる 2330nm 位置の吸光度について、コンクリート単体の値をベース値として吸光度の差を求め、これを差吸光度と定義しプライマーの浸透状況を評価した結果を図-11 に示す。

表層についてみると、プライマー35が最も高い値となっており、塗布量の増加に従い差吸光度は高くなる傾向にある。ただし、プライマー15については、塗布量によらずほぼ横ばいとなっている。また、W/Cの違いについてみると、若干 W/C=65%の値が小さいが、概ね同様の値となっている。深さ 0.3mm についてみると、急激に差吸光度は小さくなり、特に W/C=65%ではほぼゼロとなっている。これは、プライマーも他の含浸系材料⁵⁾のよう

にコンクリート表面に塗布した際、表面から内部に向かって浸透するが、高 W/C のコンクリートは疎な空隙構造となるため、表面付近の空隙表面にプライマーが附着する量が多く、深部まで含浸できなかつたのではないかと考えられる。なお、W/C=45%の試験体では、若干ではあるがプライマー15の方がプライマー35に比べて高くなっている。これは、溶媒の割合が高いため、空隙内をより深くまでプライマーが浸透したためではないかと考えられる。なお、1.0mm位置での測定も行ったが、プライマー成分と思われるピークは確認できなかったため図中に結果を示していない。

以上の通り、プライマーの浸透状況は、塗布量と固形分量、さらに下地コンクリートの空隙構造によって異なることが明らかとなった。また、図-8と図-9より附着強度と破壊面積率についてみると、本研究での範囲では標準的な塗布量である200g/m²以上を塗布した場合は、

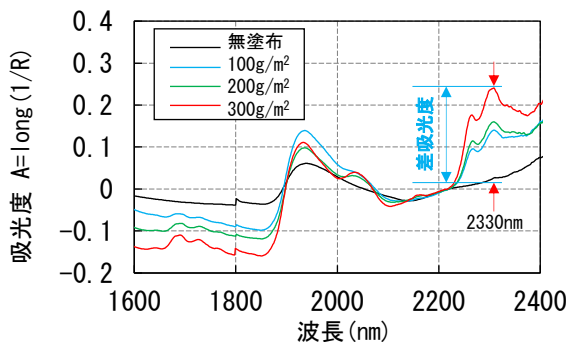


図-10 近赤外分光法での測定結果の1例
(プライマー35の塗布量の差の比較)

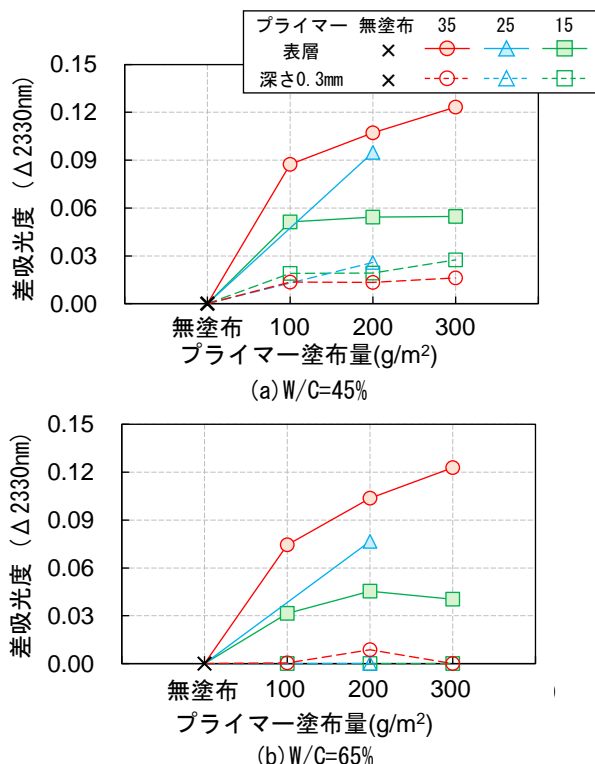


図-11 コンクリート表層と深さ0.3mm位置の差吸光度の測定結果

プライマー15、すなわち固形分量の割合の低いプライマーの附着強度が高く、破壊モードはコンクリートの凝集破壊の割合が高くなる傾向にあった。図-11よりW/C=45%の結果をみると、プライマー15の表層の値はプライマー35の半分程度であるが、0.3mm位置でのプライマー成分量は同程度かわずかに高い値となっている。これは、固形分量の割合が小さく粘性が低いプライマー15の方が、コンクリート内部に浸透しやすいためであると推測される。その結果、防水層とコンクリートとの接着強度の増加につながつたのではないかと考えられる。

5. 結論

低 W/C で圧縮強度の高いコンクリートの方が、防水層の附着強度は高くなる傾向にあった。

コンクリート表層から0.3mmの位置までの範囲で、プライマー成分が検出された。

固形分量を減らし低粘性にしたプライマーの方が、接着性が高くなる傾向にあった。ただし、高 W/C で空隙量の多いコンクリートの場合は、標準的なプライマーの塗布量である200g/m²以下では、附着強度の向上効果が小さくなった。

謝辞：本研究は株式会社フジタ建設コンサルタント山本晃臣氏に多大なご協力を頂きました。ここに記して感謝の意を申し上げます。

参考文献

- 1) 笠井芳夫, 松井勇, 青木敏雄, コンクリート短柱の簡易透気速度の経年変化, コンクリート工学年次論文集, Vol.8, pp.185-188, 1986.8
- 2) 浦川奈実, 塚越雅幸, 中山一秀, ケイ酸塩系含浸材の浸透及び吸水抑制効果に及ぼす素地モルタルの性質の影響 その3 水分移動予測シミュレーションによる含浸材の拡散係数の推定, 日本建築学会大会学術講演梗概集, CD-ROM, 2024.9
- 3) 湯浅昇, 松井勇, 逸見義男, 佐藤弘和, 仕上材のはがれに及ぼす下地コンクリートの含水率, 空隙構造の影響, コンクリート工学会年次論文集, Vol.18, No.1, pp.573-578, 1996.
- 4) 山本晃臣, 上田隆雄, 郡政人, 七澤章, 近赤外分光法による実構造物の塩害劣化診断方法の検討, コンクリート工学年次論文集, vol.31, No.1, pp.1744-1749, 2012.8
- 5) 樋原弘貴, 武若耕司, 松元淳一, 前田聡, ケイ酸質系表面含浸材の浸透深さと浸透域でのコンクリート品質改善に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.29, No.2, pp.547-552, 2009.7