

報告 ジェットスプレー工法を用いて塗膜形成した超速硬化性ポリウレタンのコンクリート表面被覆材の性質

牧 洋次^{*1}・福島 誠司^{*2}・笠井 哲郎^{*3}・魚本 健人^{*4}

要旨：ジェットスプレー工法を用いた表面被覆材(JPU)は、水蒸気透過性を有するため脱気層等を必要とせず、コンクリート構造物に対し、圧縮空気により直接ウレタン樹脂を噴射して密着させる防水工法として評価されている。この水蒸気透過性は、コンクリート中の水分または空気の熱膨張等による被覆層の膨れ、剥がれが生じにくい特性をもつ。本研究では、JPUのコンクリート表面被覆材としての基礎的性能として防水性、水蒸気透過性および中性化防止作用等について評価し、その有効性を明らかにした。

キーワード：ジェットスプレー工法、耐久性、表面被覆工法、水蒸気透過性

1. はじめに

一般のコンクリート用のポリウレタン樹脂の防水材は、塗膜後の防水材の硬化に多くの時間を要する。また、この防水材を用いた従来の工法は、水蒸気圧による膨れの発生を低減させるために脱気シートおよび脱気筒等を設置し、ハケまたはローラーを使用して防水材を塗膜した後、更に十分な厚みを形成させるために2層の塗膜作業を必要とする等、その作業工程は、塗膜の面積および作業員の人数に拘わらず防水材の塗膜形成から指触乾燥まで、少なくとも4日程度必要とする。

一方、コンクリート構造物にジェットスプレー工法¹⁾を用いて超速硬化性ポリウレタンを塗膜形成した材料（以下、JPUと称す）は、防水性でありながら、適度な水蒸気透過性があり、下地コンクリートからの水蒸気による被覆層の膨れや剥がれが生じ難い等の特性を有している。この特性は、乾湿が繰返される条件において、下地コンクリートを常に乾燥する方向に導くものであり、コンクリート内部の水分が原因で生じる凍結融解作用やアルカリシリカゲルの膨張

作用等に対するコンクリート構造物の耐久性向上が期待できる^{2)~5)}。

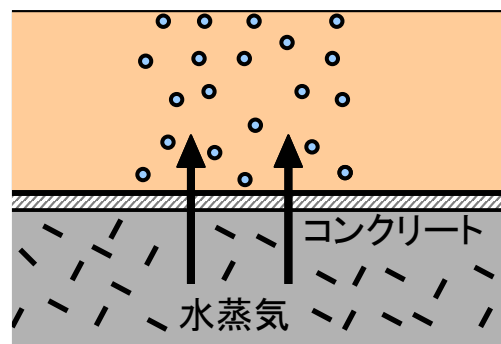


図-1 ジェットスプレー塗膜の断面図

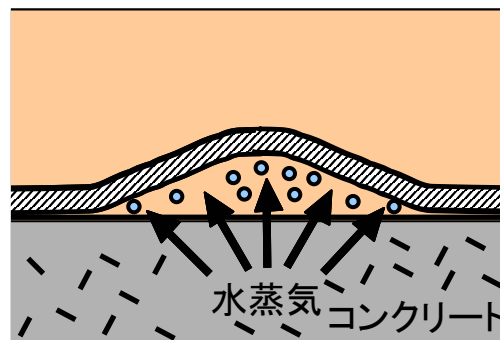


図-2 一般のウレタン樹脂の塗膜の断面図

*1 (株)カワタ化学 (正会員)

*2 東海大学大学院 工学研究科土木工学専攻 (正会員)

*3 東海大学 工学部土木工学科 教授 工博 (正会員)

*4 東京大学 生産技術研究所 教授 工博 (正会員)

表－１ 被覆材の物性

被覆材の種類	記号	主成分	密度 (g/cm ³)	硬度 (度)	透湿度 (g/m ² 24h)	蒸気伝導率 (g mm/m ² ・h・mmHg)
超速硬化性ポリウレタン樹脂	JPU	4,4'-ジフェニメタンジイソシアネート	0.974	76	87.6	0.1436
一般のポリウレタン樹脂	PU	トリレンジイソシアネート	1.318	71	34.5	0.0563
柔軟型エポキシ樹脂	EP	-	1.30	-	7.0	0.0115

本研究は、JPU を被覆したコンクリート供試体を水中および気中または、これを繰返した条件で暴露し、供試体の質量および長さの経時変化の測定から、コンクリート構造物の耐久性向上を目的とした被覆材としての性能について検討を行った。また、ジェットスプレー工法を用いて、JPU を被覆したコンクリートの中性化の防止性能についても調べた。

2. ジェットスプレー工法

ジェットスプレー工法は、噴射直前に主剤(4,4'-ジフェニメタンジイソシアネート)と硬化剤(特殊混合レジン)を攪拌混合した超速硬化性ポリウレタンを圧縮空気により吹き付け、被覆面に塗膜形成する工法である。JPU は、防水性でありながら適度な蒸気拡散性の特徴を有し、コンクリート中の水蒸気による塗膜の膨れの発生を抑制できる。更に、超速硬化性であるため、垂直面や上向きの吹付けが可能であり、従来工法に比べ複雑な形状の構造物や大規模面積の施工に効果的である。主に、ビルや住宅の屋上などの防水工法に適用されている。図－１，２は、ジェットスプレー塗膜の断面および一般のウレタン樹脂の断面を模式的に示したものである。一般のウレタン樹脂の場合、下地コンクリートからの水蒸気圧によって塗膜の膨れが発生する可能性があるが、適度な水蒸気透過性を有するジェットスプレー塗膜は、塗膜の膨れを抑制できることを示している。

3. 実験概要

3.1 被覆材およびコンクリート供試体

被覆材は表－１に示す３種類を用いた。表には、JIS Z 0208 に準拠して測定した各被覆材の

表－２ コンクリートの使用材料

材料	種類	記号	物性および主成分
セメント	普通ポルトランドセメント	C	密度=3.16g/cm ³ 比表面積=3280cm ² /g
細骨材	大井川産 陸砂	S	表乾密度=2.58g/cm ³ 吸水率=2.40%
粗骨材	青梅産 碎石	G	表乾密度=2.60g/cm ³ 吸水率=0.60%、G _{max} =20mm
混和剤	AE減水剤	AER	リグニンスルホン酸化合物と ポリオールとの複合体
	AE剤	AE	アルキルアリルスルホン酸化合物

表－３ コンクリートの配合

W/C (%)	s/a (%)	スランブ 値(cm)	空気量 (%)	単位量(kg/m ³)					
				W	C	S	G	AER	AE
50	44	16.0	5.0	168	336	774	991	1.05	0.05

表－４ 各種コンクリートの被覆条件

コンクリートの種類	記号	被覆材 厚さ(mm)	被覆 方法	施工時間*
JPUを被覆したコンクリート	JPU1	2	吹付け	1日
JPUを被覆したコンクリート	JPU2	5		
PUを被覆したコンクリート	PU	1.5	手塗り	4日
EPを被覆したコンクリート	EP	0.4～0.6	手塗り	4日
被覆しないコンクリート	NC	-	-	-

*全面被覆に要した作業時間(湯き待ち時間を含む)

水蒸気透過性の指標となる透湿度および蒸気伝導率を示した。これより JPU の透湿度および蒸気伝導率は、PU の約 2.5 倍、EP の 10 倍程度と大きく、JPU の水蒸気透過性が他の被覆材より優れていることがわかる。

被覆対象のコンクリート供試体は、W/C=50%とし、普通ポルトランドセメントを用いて作製した。コンクリートの使用材料と配合条件を表－２，３に示す。コンクリートの練混ぜは、容量 100l のパン型強制練りミキサを用い、JIS に準じて行った。その後スランブ試験(JIS A 1101)および空気量試験(JIS A 1118)をそれぞれ行い、寸法 100×100×400mm の各種塗膜材の被覆対象用の供試体を作製した。

コンクリートの養生条件は、練混ぜ後、翌日脱型し、水中(20℃)養生をそれぞれ 52 日間(実

験結果 4.1 および 4.4), 14 日間(実験結果 4.2), 27 日間(実験結果 4.3 および 4.5) 行い, 更に気中(気温 20℃, 湿度 60%)養生をそれぞれ 1 日間(実験結果 4.3 および 4.5), 2 日間(実験結果 4.1, 4.2 および 4.4) 行った後, 各被覆材により被覆した。各種コンクリートの被覆条件を表 4 に示す。JPU を被膜したコンクリートの施工時間は他のものに比べ短い施工時間となった。

3.2 被覆供試体の暴露条件

屋内暴露条件は, 気中(気温 20℃, 湿度 60%)での暴露(暴露-1), 水中(20℃)での暴露(暴露-2), 水中(20℃)と気中(気温 40℃, 湿度 20%)を交互に繰り返す暴露(暴露-3)および高湿度から低湿度へ湿度を変化させた気中(20℃)暴露(暴露-4)とした。なお暴露-3 では, 7 日周期で水中-気中暴露を繰り返した。また, 暴露-4 の高湿度～低湿度は, 湿度 90%～30%の範囲とした。供試体の暴露開始は, 被覆後 1 日経過後から行った。

被覆材の種類の影響に関しては, 所定材齢で質量の測定を行った。また, JPU の被覆厚さの影響に関しては, 所定材齢で質量の測定および長さ変化率(JIS A 1129)の測定を JIS に準拠して行った。高湿度から低湿度へ湿度を変化させた気中暴露-4 における湿度の影響に関しては, 所定材齢で質量の測定を行った。

屋外暴露条件は, 東海大学内(平塚市)で, 風雨に曝されるコンクリート舗装面上に供試体を垂直に静置し, 所定の材齢で質量の測定を行った。測定期間は, 2005 年 9 月 20 日～2007 年 1 月 23 日で, この間の平塚市における 1mm 以上の降雨日数は 152 日であった。

JPU の中性化抵抗性に関しては, 中性化促進試験装置を用いて JIS A 1153 に準拠してコンクリート供試体の中性化を行った。中性化の促進期間は, 85 日とした。また, 中性化の評価試験は, JIS A 1152 に準拠にして, 供試体の曲げ破壊断面にフェノール・フタレン溶液を噴霧し, コンクリート表面から赤紫色に呈色した部分までの距離を測定した。

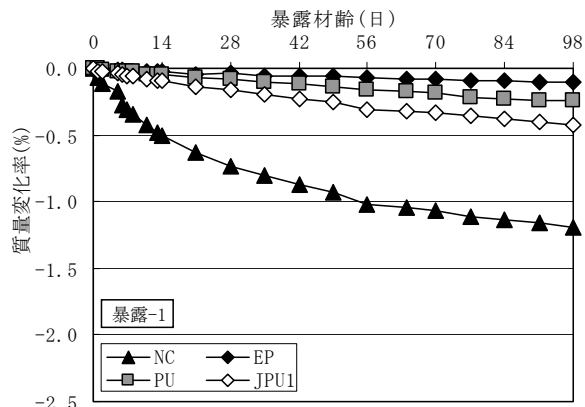


図-3 暴露-1 の暴露材齢と質量変化率の関係

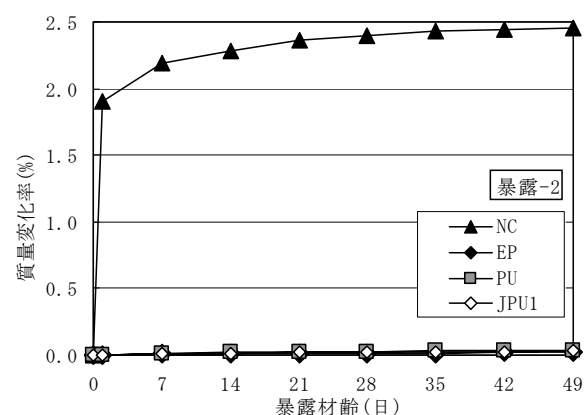


図-4 暴露-2 の暴露材齢と質量変化率の関係

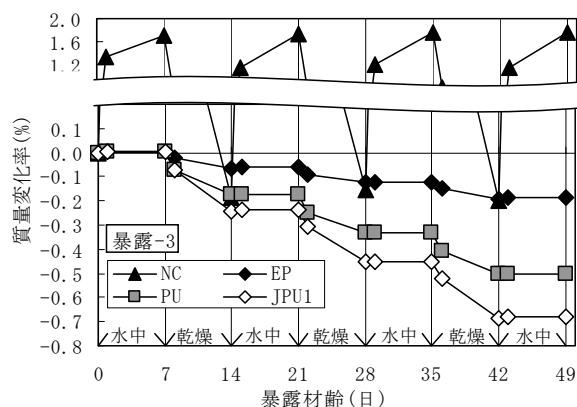


図-5 暴露-3 の暴露材齢と質量変化率の関係

4. 実験結果

4.1 防水性および水蒸気透過性に及ぼす被覆材の種類の影響

図-3 は, 各種被覆材を被覆したコンクリート供試体の気中暴露(暴露-1)による暴露材齢と質量変化率の関係を示したものである。図には, 被覆していないコンクリートの暴露材齢と質量

変化率の関係も示した。図より、被覆しなかった NC の質量変化率(乾燥)が最も大きかった。また JPU1 の供試体は、他の被覆したコンクリートと比較すると最も大きい質量変化率(乾燥)を示した。これは、コンクリートに JPU を被覆した場合において、被覆された内部コンクリートの水分が水蒸気となって外部へ逸散したため、質量変化がおきたものと考えられ、高い水蒸気透過性を示していることがわかる。

図-4 は、水中暴露(暴露-2)における暴露材齢と質量変化率の関係を示したものである。図には、被覆していないコンクリートの暴露材齢と質量変化率の関係も示した。図より、被覆しなかった NC の質量変化率(膨潤)が最も大きく、被覆したコンクリートと比較すると、どの供試体とも質量変化(膨潤)は殆どみられず、各種被覆材とも高い防水性を示した。

図-5 は、7 日周期で水中-気中暴露を繰返す暴露-3 の条件における暴露材齢と質量変化率の関係を示したものである。図より、暴露材齢に伴う質量変化率(乾燥)は、JPU1>PU>EP の順に大きくなっている。このことは、水蒸気透過性の高い JPU を被覆材に用いることで、内部コンクリートをより乾燥状態に保つことができることを示唆するものである。

4.2 防水性および水蒸気透過性に及ぼす JPU の被覆厚さの影響

図-6, 7 は、JPU の被覆厚さが異なる供試体の気中暴露(暴露-1)における、暴露材齢と供試体の質量変化率および長さ変化率をそれぞれ示したものである。図には、JPU を被覆していないコンクリートの暴露材齢における質量変化率および長さ変化率の関係も示した。

図-6 より、コンクリートに被覆した JPU の被覆厚さに関して比較すると、JPU1(厚さ 2mm)の場合の方が JPU2(厚さ 5mm)の場合より質量変化率(乾燥)が大きいが、その差は僅かであり、共に高い水蒸気透過性を示している。

図-7 は、図-6 の供試体の長さ変化率を示したものであるが、質量変化率にほぼ比例して

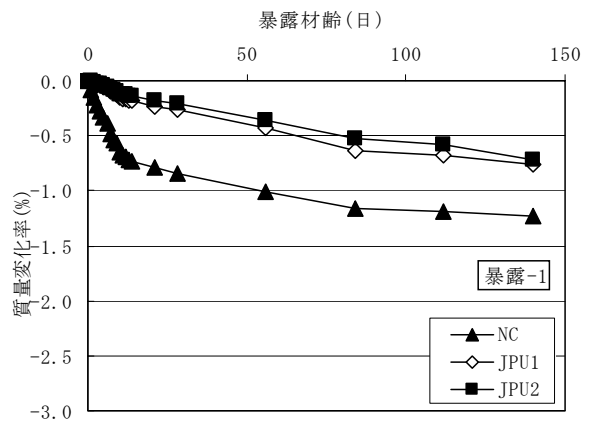


図-6 暴露-1 の暴露材齢と質量変化率の関係

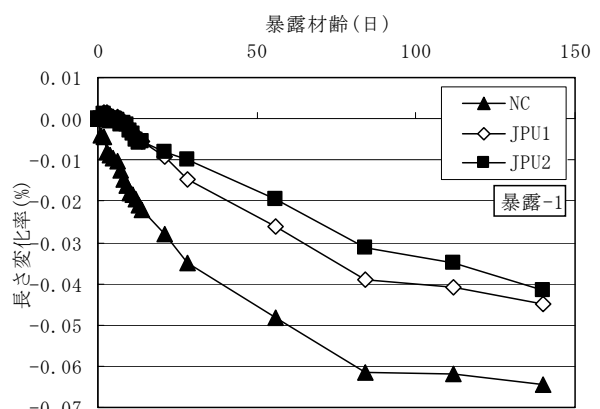


図-7 暴露-1 の暴露材齢と長さ変化率の関係

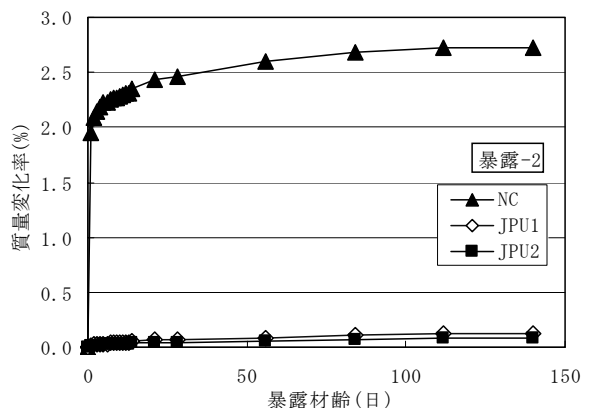


図-8 暴露-2 の暴露材齢と質量変化率の関係

乾燥収縮が生じている。コンクリートに被覆した JPU の被覆厚さに関しては、JPU1(厚さ 2mm)の場合の方が、JPU2(厚さ 5mm)の場合より長さ変化率(乾燥)が大きい、質量変化率と同様その差は僅かであった。

図-8, 9 は、JPU の被覆厚さが異なる供試体の水中暴露(暴露-2)における、暴露材齢と供

試体の質量変化率および長さ変化率をそれぞれ示したものである。

図-8および図-9より、JPU1（厚さ2mm）およびJPU2（厚さ5mm）とも水中暴露（暴露-2）による質量変化（膨潤）はほとんど無く、これに伴い長さ変化も殆ど生じておらず、高い防水性を示している。

以上より、本研究で示した被覆厚さ2-5mmの範囲では、防水性および水蒸気透過性に及ぼすJPUの被覆厚さの影響は非常に小さいものであると考えられる。

4.3 JPUを被覆したコンクリートの質量変化に及ぼす湿度の影響

図-10は、高湿度から低湿度へと湿度を変化させた暴露-4における、暴露材齢と供試体の質量変化率を示したものである。図には、高湿度から低湿度と推移する湿度の値も示した。図より、暴露材齢28日までの総乾燥量はNCよりJPU1の方が小さいにも拘わらず、暴露材齢28日以降における湿度90%～30%へ低下させた範囲では、暴露材齢と質量変化率（乾燥）の関係は、直線関係が得られ、JPU1の傾きはNCとほぼ同程度であり、JPU1のコンクリート内部からの水蒸気透過性が高いことが示されている。

4.4 屋外暴露試験

図-11は、屋外暴露における材齢と質量変化率の関係を示したものである。図より、暴露材齢80日までのNCは、降雨による質量増加が見られるが、JPU1およびJPU2ともに降雨による質量増加は見られず一義的に質量減少している。このことは、JPUが屋外暴露の条件下において、内部コンクリートを常に乾燥する方向に導くことを示すものである。

4.5 JPUの中性化抵抗性

図-12は、促進中性化における各コンクリートの中性化深さを示したものである。図より、NCの中性化深さは、促進期間85日で5.8mmであったが、JPU1では、ほとんど中性化は見られなかった。

図-13は、促進中性化におけるJPU1の曲げ

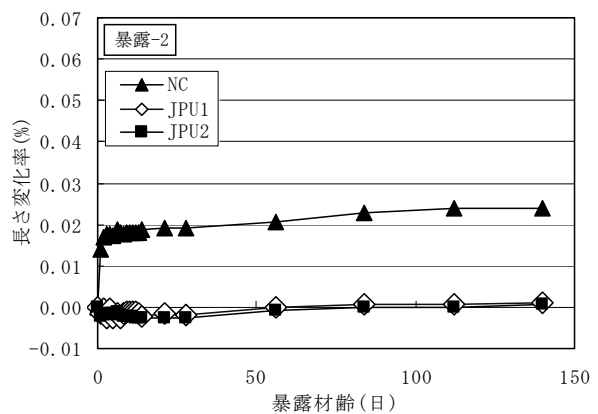


図-9 暴露-2の暴露材齢と長さ変化率の関係

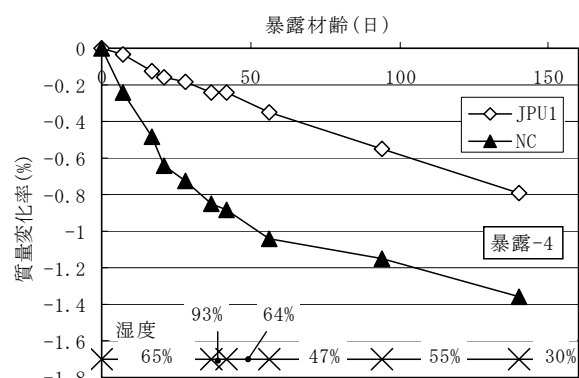


図-10 暴露-4の暴露材齢と質量変化率の関係

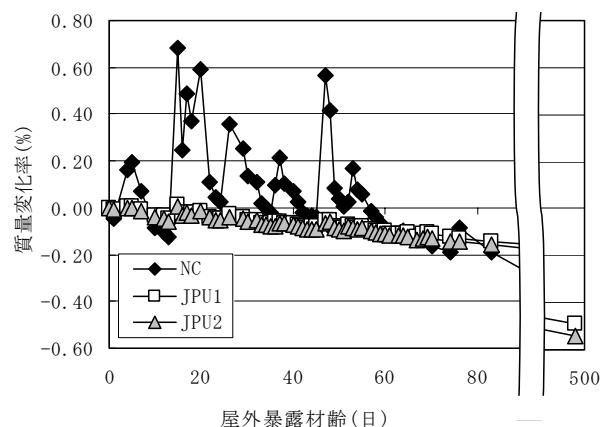


図-11 屋外暴露の暴露材齢と質量変化率の関係

破壊断面図を示したものである。図より、JPU1のコンクリート内部の中性化はほとんど確認できず、コンクリートに被覆したJPUが中性化の抵抗性に優れていることを示している。このことは、JPUは高い水蒸気透過性を有しているにも拘わらず、二酸化炭素を透過し難い性質であることを示唆している。

これらのことより、ジェットスプレー工法を

用いて塗膜した JPU の中性化抵抗性は、良好であることが明らかとなった。

5. まとめ

ジェットスプレー工法を用いて超速硬化性ポリウレタンを塗膜形成したコンクリートの基礎物性について実験的検討を行った結果、本研究の範囲内で以下の結論が得られた。

- (1) 本研究で示した JPU 材料をコンクリート用被覆材として用いることにより、その防水性と高い水蒸気透過性により、乾湿が繰返される条件において内部コンクリートを乾燥方向に導く特性を有する。
- (2) ジェットスプレー工法を用いて塗膜した JPU は、高い水蒸気透過性を有しているにも拘わらず、二酸化炭素は透過し難い性質があり、その中性化抵抗性は良好であった。

以上のことから、ジェットスプレー工法を用いて超速硬化性ポリウレタンを塗膜形成したコンクリート構造物の耐久性の向上が期待できると考えられる。

参考文献

- 1) 笠井哲郎ほか:ジェットスプレー工法を用いて塗膜形成した超速硬化性ポリウレタンのコンクリート用被覆材としての性能, 土木学会年次学術講演会 (CD-ROM), 部門 5, Vol.61, pp.9-10, 2006
- 2) 井戸功誠, 友清剛, 繪鳩武史, 河合康統, :新材料を用いたコンクリート構造物の補修方法に関する性能評価試験, コンクリート工学年次論文集, Vol.25, No.1, pp.1571-1576, 2003
- 3) 北山良, 片平博, 渡辺博志:外来塩に対する鉄筋コンクリートのひび割れ補修効果の実験的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.27, No.1, pp.1543-1548, 2005
- 4) 今野拓也, 細田暁, 小林薫, 松田芳範, :コンクリート表面含浸材の吸水抑止性能に及ぼす施工条件の影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.28, No.1, pp.1733-1738, 2006

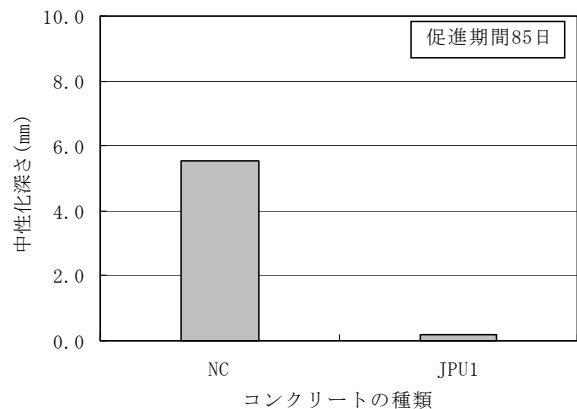


図-12 各コンクリートの中性化深さ

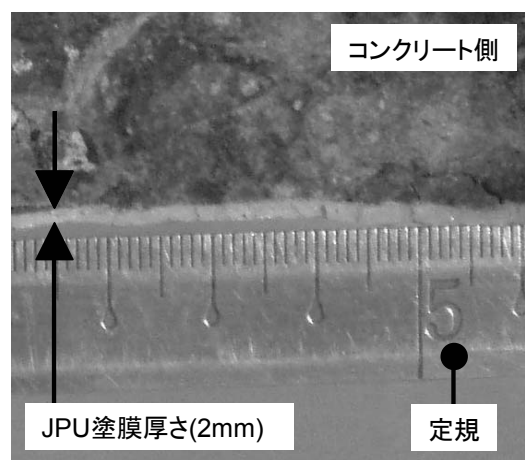


図-13 促進中性化試験後の JPU1 の断面図

- 5) 槇島修, 魚本健人:断面修復材の品質と耐久性に関する一考察, コンクリート工学年次論文集, Vol.28, No.1, pp.1751-1756, 2006