

報告 各種表面含浸材を塗布したコンクリート床版と防水層の接着性状

原 健悟*1・岩渕 貴久*2・水牧 稔晶*3・遠藤 英一*3

要旨: 床版防水を施工するコンクリート床版は、工場で作製されるプレキャスト床版と現場で打設する場所打ち床版に大別され、コテ仕上げの際には、仕上げ補助剤を散布することが多い。また、防水層を施工するまでのコンクリート床版の存置期間が長い場合、劣化因子の侵入を低減するために、コンクリート床版上面に表面含浸材を塗布する場合がある。そこで、仕上げ補助剤と表面含浸材を塗布したコンクリート床版に、防水層を施工した場合の接着性状に及ぼす影響を検討した。その結果、コテ仕上げのみの試験体と比較して、接着性状は若干低下するものの、基準値を大きく上回ることがわかった。

キーワード: 床版防水層, 仕上げ補助剤, 表面含浸材, 引張接着試験, せん断接着試験

1. はじめに

近年、車両の大型化や交通量の増大に伴い、依然として道路橋床版の劣化・損傷が問題となっている。道路橋床版の劣化・損傷は、主に車両交通の繰返し荷重による疲労であり、雨水等が浸透すると劣化が促進するなどの悪影響を及ぼすことが知られている¹⁾。また、寒冷地等で凍結防止剤を散布している地域では、高濃度の塩化物イオンが含まれている融雪水が浸透すると、コンクリート床版の内部に配置されている鋼材（鉄筋・PC鋼材等）の腐食を促進し、悪影響を及ぼす²⁾。これらのことから、コンクリート床版の耐久性を確保するには、床版防水を確実に施工し、排水する必要がある³⁾。

床版防水を施工するコンクリート床版は、工場で作製されるプレキャスト床版と現場で打設する場所打ち床版に大別され、コテ仕上げの際には、仕上げ補助剤を散布することが多い。また、防水層を施工するまでのコンクリート床版の存置期間が長い場合、劣化因子の侵入を低減するために、コンクリート床版上面に表面含浸材を塗布する場合がある。

しかしながら、これら仕上げ補助剤と表面含浸材を塗

布したコンクリート床版に、防水層を施工した場合の接着性状に及ぼす影響は明らかではない。そこで、道路橋床版防水便覧⁴⁾に準拠し、初期性能負荷項目の「コンクリート床版の被膜養生剤の影響」および耐久性性能負荷項目の「設計耐用期間中の温度変化による伸縮」を確認することとした。実施した試験としては、床版防水層と床版および舗装との(1)引張接着性能、(2)せん断接着性能とした。

2. 実験概要

2.1 使用材料

(1) コンクリート

使用したコンクリートの配合を示す。設計基準強度は50N/mm²とし、早強セメントおよび早強セメントを高炉スラグ微粉末で50%置換した2種類とした。練り混ぜ水は上水道水を使用し、早強セメント（密度3.14g/cm³）の骨材としては、茨城県桜川市産砕砂（表乾密度2.63g/cm³，吸水率0.89%，粗粒率2.78），茨城県桜川市産砕石（表乾密度2.65g/cm³，吸水率0.70%，粗粒率6.65，最大寸法20mm）を用いた。高炉スラグ微粉末（密度2.91g/cm³，

表-1 配合（早強セメント）

配合条件				単位量(kg/m ³)				SP	AE
スランプ (cm)	空気量(%)	W/C(%)	s/a(%)	W	C	S	G	(C×%)	(C×%)
8.0±1.0	4.5±1.0	36.0	39.0	154	428	690	1079	0.40	0.0075

表-2 配合（早強セメント+高炉スラグ微粉末）

配合条件				単位量(kg/m ³)					SP	AE
スランプ (cm)	空気量(%)	W/B(%)	s/a(%)	W	C	BFS	S	G	(C×%)	(C×%)
15.0±1.0	4.5±0.5	33.7	41.0	150	223	223	736	1068	0.60	0.015

*1 オリエンタル白石（株） 技術研究所研究員 工修（正会員）

*2 オリエンタル白石（株） 福岡支店 施工・技術部課長

*3 オリエンタル白石（株） 大阪支店 施工・技術部課長

表-3 仕上げ補助剤, 表面含浸材および防水材

種類	名称	主成分	標準塗布量
無塗布	原状	—	—
仕上げ補助剤	補助剤 A	パラフィン系	100 ml/m ²
表面含浸材	含浸材 B	シラン・シロキサン系	200 ml/m ²
	含浸材 C	アルキルアルコキシシラン系	600 ml/m ²
	含浸材 D	ケイ酸リチウム系	100 ml/m ²
塗膜系床版防水層	塗膜 A	ポリウレタン系樹脂	1.5kg/m ²
	塗膜 B	ビニルウレタン系樹脂	1.0kg/m ²

比表面積 5760cm²/g) の骨材としては、福岡県朝倉産砕砂 (表乾密度 2.73g/cm³, 吸水率 1.25%, 粗粒率 2.73), 福岡県朝倉産砕石 (表乾密度 2.75g/cm³, 吸水率 0.53%, 粗粒率 6.79, 最大寸法 20mm) を用いた。混和剤としては、ポリカルボン酸系高性能 AE 減水剤およびポリオキシエチレン・アルキルエーテル硫酸塩系 AE 剤を用いた。

(2) 塗布材料

防水層を施工するコンクリートの表面状態としては、パラフィン系の仕上げ補助剤を散布し、コテ仕上げしたもの、各種表面含浸材 (シラン系 2 種類・ケイ酸リチウム系 1 種類) を塗布した試験体と、コテ仕上げのみの無塗布の試験体とした。

(3) 防水層

施工した防水層は、塗膜系床版防水層であり、ウレタン樹脂系の 2 種類とした。事項で示す試験は、舗装材まで施工した供試体を対象としているが、本報告では、舗装材で破壊すると、比較試験にならないため、プライマーおよび防水材までを施工した供試体とした。

2.2 試験方法

(1) 供試体の製作

供試体の製作は、道路橋床版防水便覧⁴⁾および JSCE-K 571-2010 含浸材の試験方法 (案)⁵⁾を参考に、所定の配合のコンクリートを使用し、引張接着試験用の供試体 (一辺の長さ 300mm の正方形, 厚さ 60mm) およびせん断試験用の供試体 (一辺の長さ 100mm の正方形, 厚さ 60mm) のコンクリート板を製作した。仕上げ補助剤の水準は、コンクリート表面仕上げ時に補助剤を散布し、コテ仕上げした。打設後は、供試体を温度 20±2℃, 相対湿度 80%以上の状態で 24 時間静置したのちに、脱型し、その後 6 日間、20±2℃の水中で養生した。水中養生後は、温度 20±2℃, 湿度 60±5%の環境下で 28 日間養生する。表面含浸材の水準は、28 日間の養生後に表面含浸材を塗布し、14 日間養生した。養生終了後にウレタン樹脂系のプライマーおよび防水層までを施工し供試体とした。

(2) 引張接着試験

コア Cutter を用い、φ100mm の切り込みをコンクリ

ート板に達するまで入れ、切り込みを入れた部分に φ100mm×t=16mm の鋼製の引張試験機治具を接着剤 (エポキシ樹脂) により防水材と接着した。供試体は、試験前に所定の温度の恒温槽に 6 時間以上静置し、恒温槽から供試体を取り出し、直ちに試験機に取付けた。載荷速度は、毎秒約 0.1N/mm²(0.785kN)とし、鉛直方向に接着界面または材料が破壊するまで載荷した。計測項目は、載荷荷重とし、最大荷重および破壊状況を記録した。また、試験は水準ごとに 4 箇所とした。

(3) せん断接着試験

100×100mm の供試体に、舗装材を施工していない



写真-1 引張接着試験状況



写真-2 せん断接着試験状況

表-4 引張接着性能の照査項目

項目	地域区分	合否判定の目安および基準値				試験方法
		温度条件	-30℃	+23℃	+50℃	
引張接着性	寒冷な地域 (北海道, 東北等)	温度条件	-30℃	+23℃	+50℃	防水便覧 [付録-1] 引張接着試験
		引張接着強度	1.2N/mm ² 以上	0.6N/mm ² 以上	0.07N/mm ² 以上	
	上記以外	温度条件	-10℃	+23℃	+50℃	
		引張接着強度	1.2N/mm ² 以上	0.6N/mm ² 以上	0.07N/mm ² 以上	

※引張接着性能試験結果は全ての試験結果が基準値を満足することにより適合するとみなす。

表-5 セン断接着性能の照査項目

項目	地域区分	合否判定の目安および基準値				試験方法
		温度条件	-30℃	+23℃	+50℃	
せん断接着性	寒冷な地域 (北海道, 東北等)	温度条件	-30℃	+23℃	+50℃	防水便覧 [付録-1] せん断試験
		せん断接着強度	0.8N/mm ² 以上	0.15N/mm ² 以上	0.01N/mm ² 以上	
		変位量	—	1.0mm 以上	—	
	上記以外	温度条件	-10℃	+23℃	+50℃	
		せん断接着強度	0.8N/mm ² 以上	0.15N/mm ² 以上	0.01N/mm ² 以上	
		変位量	0.5mm 以上	1.0mm 以上	—	

※せん断試験結果は全ての試験結果が基準値を満足することにより適合するとみなす。

表-6 実験要因

セメント	試験温度	種類	防水材
早強	-10±2℃ 23±2℃ 50±2℃	原状	塗膜 A
		補助剤 A	
		含浸材 B	
		含浸材 C	
高炉		含浸材 D	塗膜 A 塗膜 B
		原状	
		補助剤 A	

また、寒冷な地域以外について照査することとし、温度条件は-10℃、+23℃、+50℃とした。

2.4 実験要因

実験要因を表-6 に示す。早強セメントの配合では、コンクリートの表面状態の比較とし、全ての仕上げ補助剤および表面含浸材を散布または塗布し、防水材は塗膜 A を使用した。高炉スラグ微粉末で置換した配合では、防水材の比較とし、仕上げ補助剤 A のみとし、防水材は塗膜 A、B を使用した。

め、100×100mm×t=25mm の鋼製のせん断試験機治具を用い、治具に直接載荷した。試験前までは引張接着試験と同様な手順とした。載荷速度は、変位量を毎分 1mm とし、防水材との接着界面または材料が破壊するまで載荷した。計測項目は、載荷荷重および変位量とし、最大荷重、最大荷重時における変位量および破壊状況を記録した。また、供試体は水準ごとに 4 体とした。

2.3 照査項目

引張接着性能およびせん断性能の照査項目を表-4 および表-5 にそれぞれ示す。本報告では、防水材までの施工とし、舗装材を施工していないが、道路橋床版防水便覧⁴⁾の基本照査試験および構造物施工管理要領⁶⁾の性能照査試験に記載されている合否判定の目安と基準値を満足するかにより確認した。

3. 試験結果

3.1 コンクリートの表面状態の比較

(1) 引張接着試験

破壊形態および引張接着強度を表-7 と図-1 にそれぞれ示す。なお、実験結果は、4 箇所の平均値で表記している。破壊形態を比較すると、原状試験体は、-10℃において、コンクリートの破壊が生じており、接着性に優れていることがわかる。高温になると鋼製治具と床版防水層の界面の破壊へと移行し、接着に用いたエポキシ樹脂の影響が見られるが、含浸材 B は床版防水層とコンクリートの界面で破壊している。

しかしながら、図からわかるように全ての水準で、基準値を上回り、コンクリートの表面状態（仕上げ補助剤および表面含浸材）に関わらず十分な引張接着強度を有

表-7 引張接着試験破壊形態（早強）

種類	試験温度		
	-10℃	23℃	50℃
原状	BC70C30	AB100	AB90BC10
補助剤 A	BC100	AB70BC30	AB80BC20
含浸材 B	BC100	AB20BC80	AB20BC80
含浸材 C	AB10BC90	AB70BC30	AB80BC20
含浸材 D	AB10BC90	AB100	AB100

※破壊形態の分類

AB：鋼製治具と床版防水層の界面破壊

BC：床版防水層とコンクリートの界面破壊

C：コンクリートの破壊

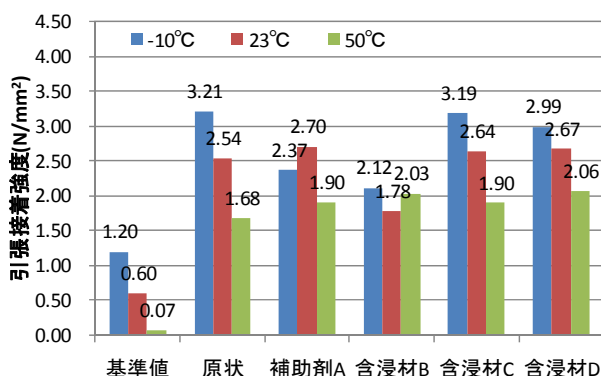


図-1 引張接着強度（早強）

していることがわかる。

また、原状試験体、含浸材 C および含浸材 D の引張接着強度は、エポキシ樹脂の影響もあるが、基準値と同様に、温度が高い程接着強度が小さくなる傾向にあったが、補助剤 A は-10℃で接着強度が低下し、含浸材 B は、温度の影響が小さかった。

(2) せん断接着試験

破壊形態、せん断接着強度およびせん断変形量をそれぞれ表-8、図-2 および図-3 に示す。なお、実験結果は、4 体の平均値で表記している。破壊形態は、引張接着試験と同様に低温時にはコンクリートの破壊が生じ、高温になると鋼製治具と床版防水層の界面の破壊へと移行し、接着に用いたエポキシ樹脂の影響が見られる。

表-8 せん断接着試験破壊形態（早強）

種類	試験温度		
	-10℃	23℃	50℃
原状	C100	AB50C50	AB40C60
補助剤 A	C100	AB70C30	AB20C80
含浸材 B	C100	AB40C60	AB40C60
含浸材 C	AB10C90	AB50C50	AB50C50
含浸材 D	C100	AB60C40	AB80C20

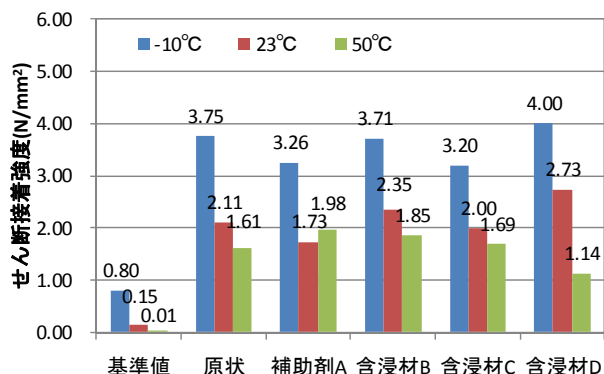


図-2 せん断接着強度（早強）

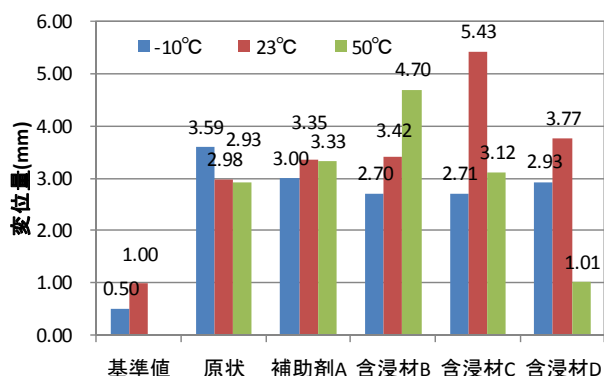


図-3 せん断変形量（早強）

しかしながら、全ての水準で、基準値を上回り、十分なせん断接着強度およびせん断変形追従性を有している。

せん断接着強度は、全ての水準において、エポキシ樹脂の影響もあるが、基準値と同様に、温度が高い程接着強度が小さくなる傾向にあったが、補助剤 A は、23℃の接着強度が若干低下した。

含浸材 B のせん断変形量は、基準値と同様に温度が高い程せん断変形量が大きくなる傾向であったが、原状試験体および補助剤 A は、温度の影響が小さく、含浸材 C および含浸材 D は 50℃で小さくなった。

(3) 引張接着強度とせん断接着強度

引張接着強度とせん断接着強度の関係を図-4 に示す。

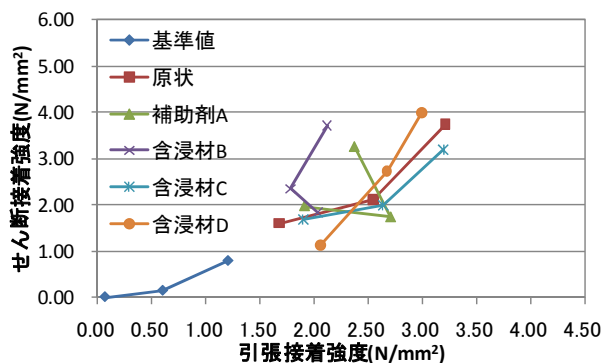


図-4 接着強度の関係（早強）

含浸材 C は、原状試験体と同様な傾向を示した。補助剤 A、含浸材 B および含浸材 D は、温度条件によって引張接着性能またはせん断接着性能が低下している。よって、引張接着強度およびせん断接着強度を考慮すると含浸材 C が接着性状に与える影響が最も小さいと考えられる。

3.2 防水材の比較

(1) 引張接着試験

破壊形態および引張接着強度を表-9 と図-5 にそれぞれ示す。破壊形態は、ほぼ床版防水層とコンクリートの界面であり、高温になると特に塗膜 B では、鋼製治具と床版防水層の界面の破壊へと移行している。

また、図より全ての水準で、基準値を上回り、コンクリートの表面状態(仕上げ補助剤)に関わらず十分な引張接着強度を有している。

塗膜 A の原状試験体以外の引張接着強度は、基準値と同様に、温度が高い程接着強度が小さくなる傾向にあり、塗膜 B の方が塗膜 A よりも温度の影響が大きい。

また、塗膜 A よりも塗膜 B の方が接着強度は大きくなった。

表-9 引張接着試験破壊形態 (高炉)

種類	試験温度		
	-10℃	23℃	50℃
原状	BC100	BC100	AB10BC100
補助剤 A	BC100	BC100	BC100
原状	BC100	BC100	AB10BC90
補助剤 A	BC100	BC100	AB80BC20

※ は塗膜 A, は塗膜 B

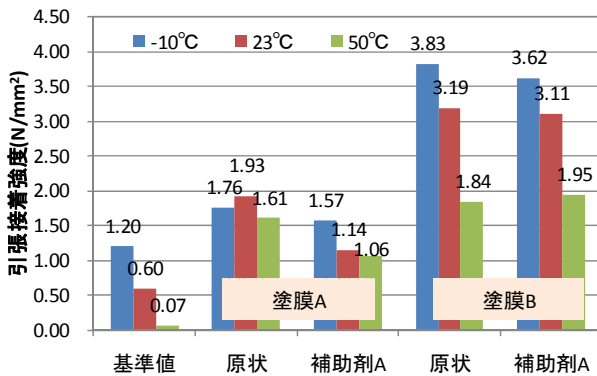


図-5 引張接着強度 (高炉)

(2) せん断接着試験

破壊形態、せん断接着強度およびせん断変形量をそれぞれ表-10, 図-6 および図-7 に示す。破壊形態を比較すると、低温時にはコンクリートの破壊が生じ、高温になると鋼製治具と床版防水層の界面の破壊へと移行している。また、引張接着試験と同様に、全ての水準で、

基準値を上回り、十分なせん断接着強度およびせん断変形追従性を有している。

せん断接着強度は、基準値と同様に、温度が高い程接着強度が小さくなる傾向にあった。また、-10℃および23℃では、塗膜 A よりも塗膜 B の方が接着強度は大きくなったが、50℃では塗膜 A の方が大きくなり、引張接着強度と同様に塗膜 B の方が温度条件の影響が大きい。

せん断変形量は、基準値では、温度が高い程せん断変形量が大きくなる傾向であったが、塗膜 A および塗膜 B では、50℃における変位量が最も小さくなった。

表-10 せん断接着試験破壊形態 (高炉)

種類	試験温度		
	-10℃	23℃	50℃
原状	C100	AB60C40	AB80C30
補助剤 A	C100	AB40C60	AB30C90
原状	BC100	AB60C50	AB100
補助剤 A	BC100	AB60C40	AB90C10

※ は塗膜 A, は塗膜 B

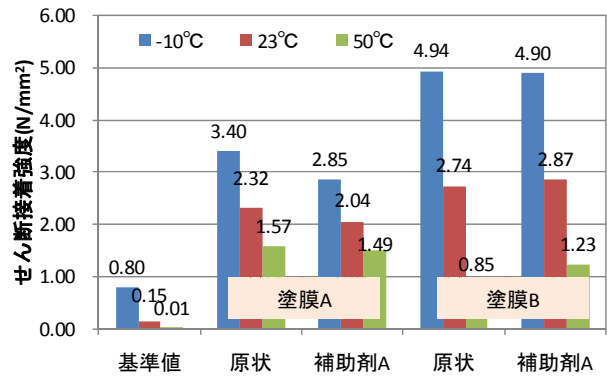


図-6 せん断接着強度 (高炉)

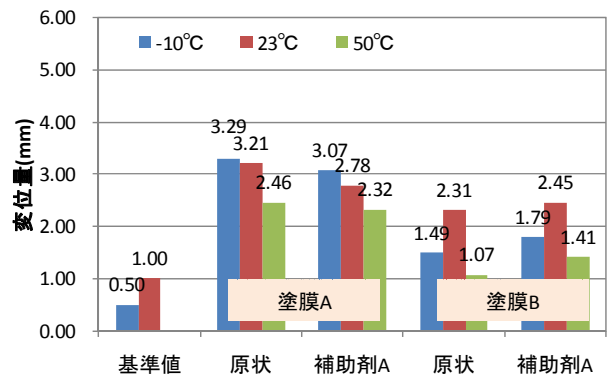


図-7 せん断変形量 (高炉)

(3) 引張接着強度とせん断接着強度

引張接着強度とせん断接着強度の関係を図-8 に示す。塗膜 A では、原状試験体と補助剤 A で傾向が異なったが、塗膜 B は、原状試験体と補助剤 A で同様な傾向を示した。このように塗膜材 A と塗膜材 B では、異なる傾向を示し、

防水材と仕上げ補助剤との相性もあると考えられる。

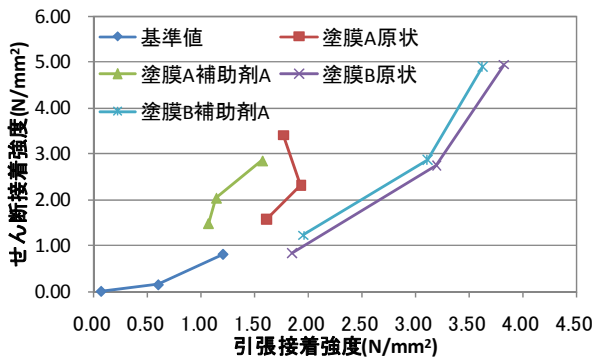


図-8 接着強度の関係 (高炉)

3.2 コンクリート種類の比較

コンクリート種類の違いによる、引張およびせん断接着強度の比較をそれぞれ図-9および図-10に示す。なお、試験時のコンクリート強度は70MPaとほぼ同等であった。原状試験体の-10℃の引張接着強度を比較すると、高炉スラグ微粉末で置換した試験体では、早強セメントと比較して低下している。原状試験体では仕上げ補助剤を散布していないため、セメントの種類の影響よりも、防水層の施工による影響が大きいと考えられる。また、引張接着強度は高炉スラグの方が、全体的に低下し、せん断接着強度は、セメントの種類による影響は小さい。

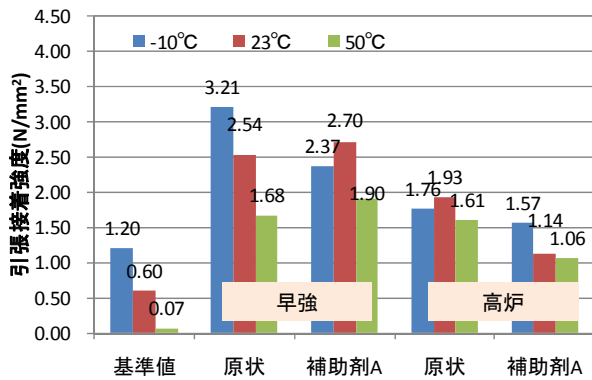


図-9 引張接着強度 (塗膜 A : 早強と高炉)

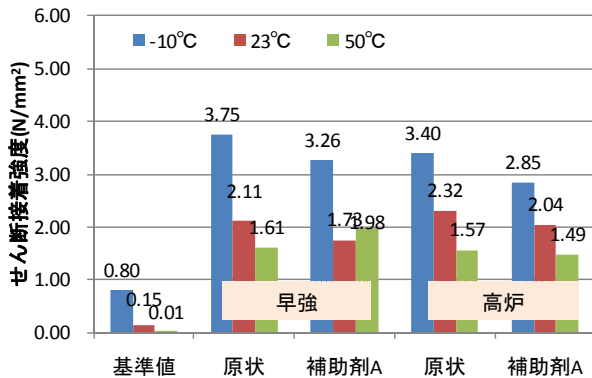


図-10 せん断接着強度 (塗膜 A : 早強・高炉)

せん断接着強度は、セメントの種類による影響は小さい。

5. まとめ

仕上げ補助剤および各種表面含浸材を使用した、コンクリート床版と防水層との接着性状試験から、舗装材を施工していない今回の試験条件の範囲では、以下の知見が得られた。

- (1) 仕上げ補助剤および各種表面含浸材を散布または塗布するなど、コンクリートの表面状態が異なっても、接着性能が低下するものもあるが、基準値を大きく上回り、要求性能を満足している。
- (2) 本試験で使用した防水材は、塗膜 B の方が接着強度は高い傾向にあったが、どちらの防水材も基準値を上回り、要求性能を満足している。
- (3) 接着性能は、防水層の施工による影響を受ける。
- (4) セメントの種類により、接着性能は異なる傾向を示す。

参考文献

- 1) 松井繁之：移動荷重を受ける道路橋 RC 床版の疲労強度と水の影響について，コンクリート工学年次論文集，Vol.9, No.2, pp.627-632, 1987
- 2) 石川裕一，青山實伸，倉戸伸浩，西尾守広：劣化した道路鋼橋 RC 床版の凍結防止剤による塩分浸透特性，コンクリート工学年次論文集，Vol.32, No.2, pp.1393-1398, 2010
- 3) 松井隆行，長谷俊彦：床版防水による PC 予防保全，プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集，Vol.19, pp.221-224, 2010
- 4) 社団法人日本道路協会：道路橋床版防水便覧，pp.21-38, 2007
- 5) 土木学会：コンクリート標準示方書 [基準編] 土木学会および関連基準，pp.412-420, 2010
- 6) 東日本高速道路株式会社・中日本高速道路株式会社・西日本高速道路株式会社：構造物施工管理要領，pp.2-277-2-297, 2010