

3. 事前検討

3.1 シリーズAの事前検討

(1) 概要

成田国際空港貨物地区のNC版を対象として、ウォータージェットシステムの運転条件を変化させて表面処理し、レーザ変位計により表面形状の測定を行った後、コア(φ10cm)を採取した。一部は、ウォータージェット処理後さらにショットブラスト処理を行ったほか、無処理のコアも採取した(以下、ウォータージェットをWJ、ショットブラストをSBと略す)。

その後、試験室内にて版表面側のコアに舗装用コンクリートを打継ぎ、28日間湿潤養生を行った後、直接引張りによる界面付着強度試験を行い、付着界面処理方法と付着強度の関係を調べた。

(2) 界面処理方法

付着界面の表面処理は、2003年1月7日にWJ処理を、1月8日にSB処理を行った。

テストヤード位置は、成田国際空港貨物地区のNC版(5×5m版、4枚)である(図-3.1.1参照)。

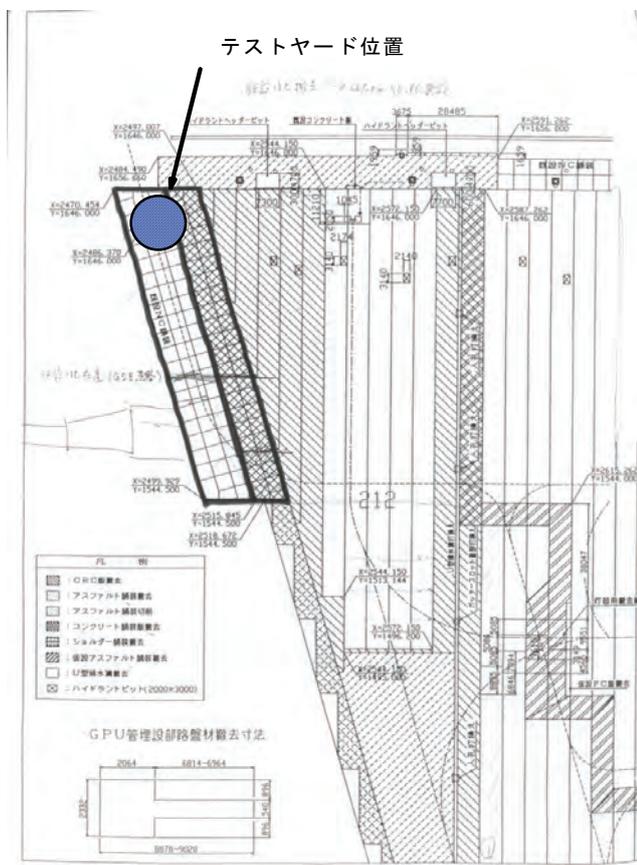


図-3.1.1 テストヤードの位置

テストヤードの割付を図-3.1.2に、WJ処理の運転条件を表-3.1.1に示す。ここで、WJシステムの運転条件は、WJの圧力、横行速度、ノズル回転数を一定として、ステップとスタンドオフ(図-3.1.3参照)を変化させて表面形状を変化させた。なお、①は成田国際空港のエプロン工事における運転条件例である。

各運転条件でWJ処理後にレーザ変位計(後述のニッケン(株)製)により測定した表面形状データから、斜長比と平均深さの測定結果を表-3.1.2に、表面処理後の表面状況写真を写真-3.1.1~3.1.8に示す。

ここで、斜長比とは各測定点の高低差から測定点間の距離を求め、その累積値(斜長)を測定長(解析対象データの水平延長)で除した値で、平均深さとは解析対象データの最高点と各測定点の差の平均値である。

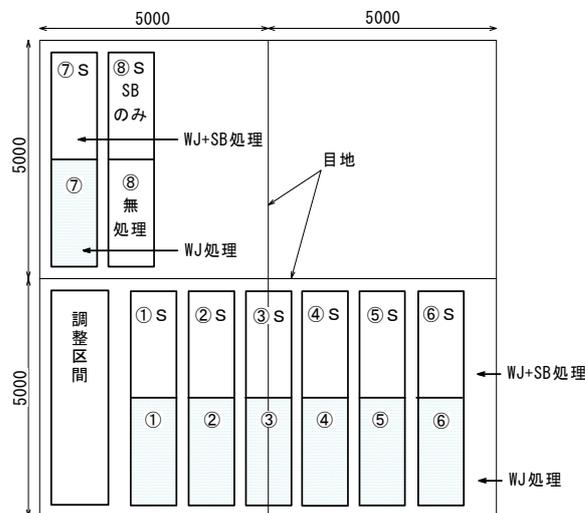


図-3.1.2 テストヤードの割付

表-3.1.1 WJシステムの運転条件

運転条件	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧
ステップ(mm)	23	45	70	45	70	95	58	WJ 無し
スタンドオフ(mm)	30	30	30	60	60	60	30	
ノズル圧力(MPa)	176.4	176.4	176.4	176.4	176.4	176.4	176.4	
横行速度(m/min)	19	19	19	19	19	19	19	
ノズル回転数(rpm)	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	

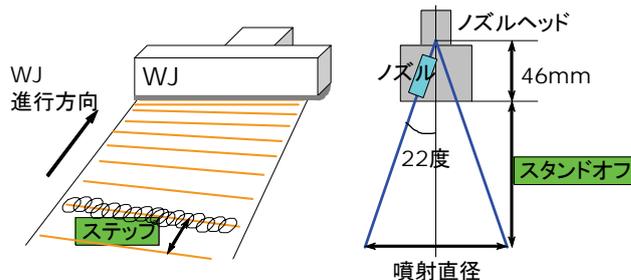


図-3.1.3 WJシステムのステップとスタンドオフ

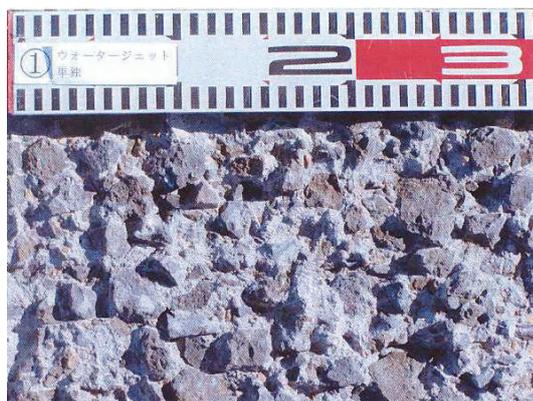
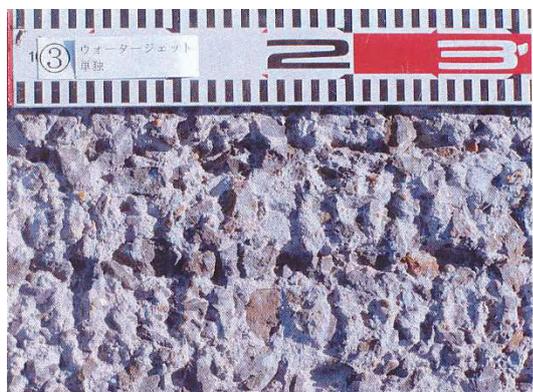


写真-3.1.1 ヤード① (左: WJのみ, 右: WJ+SB)



写真-3.1.2 ヤード② (左: WJのみ, 右: WJ+SB)



←すじ

←すじ

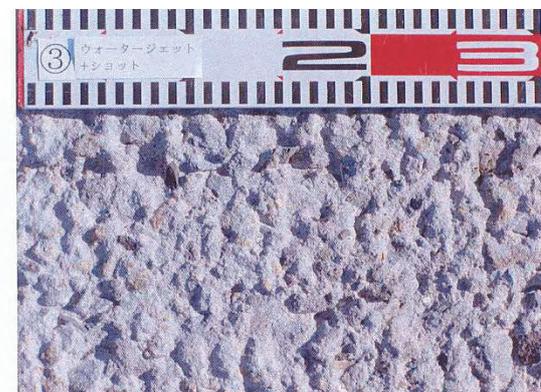


写真-3.1.3 ヤード③ (左: WJのみ, 右: WJ+SB)

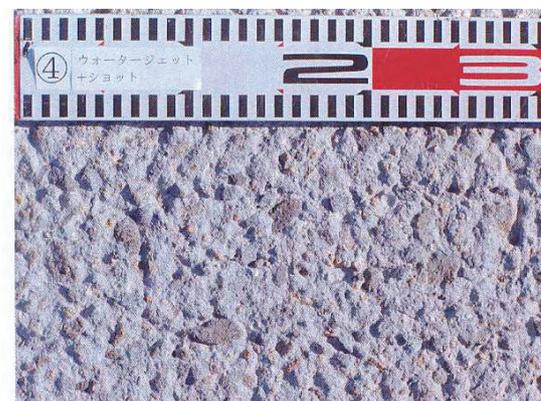


写真-3.1.4 ヤード④ (左: WJのみ, 右: WJ+SB)

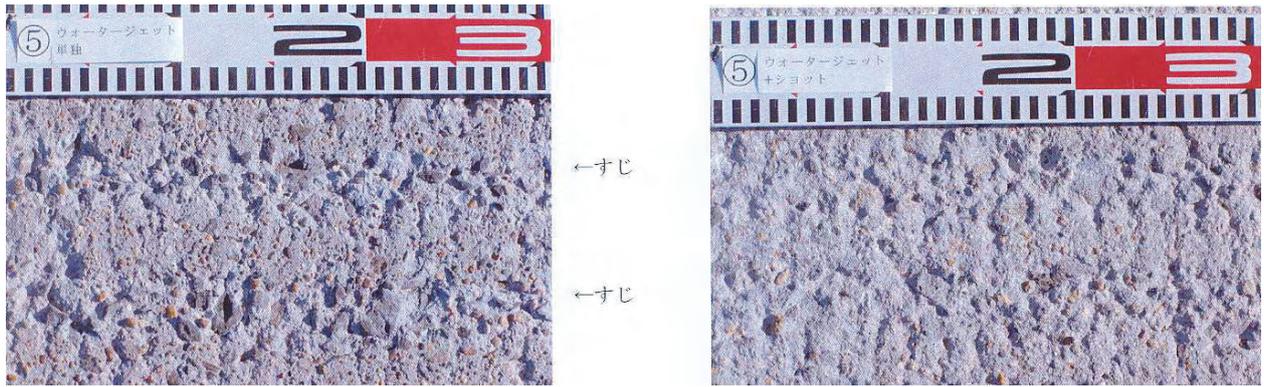


写真-3.1.5 ヤード⑤ (左: WJのみ, 右: WJ+SB)

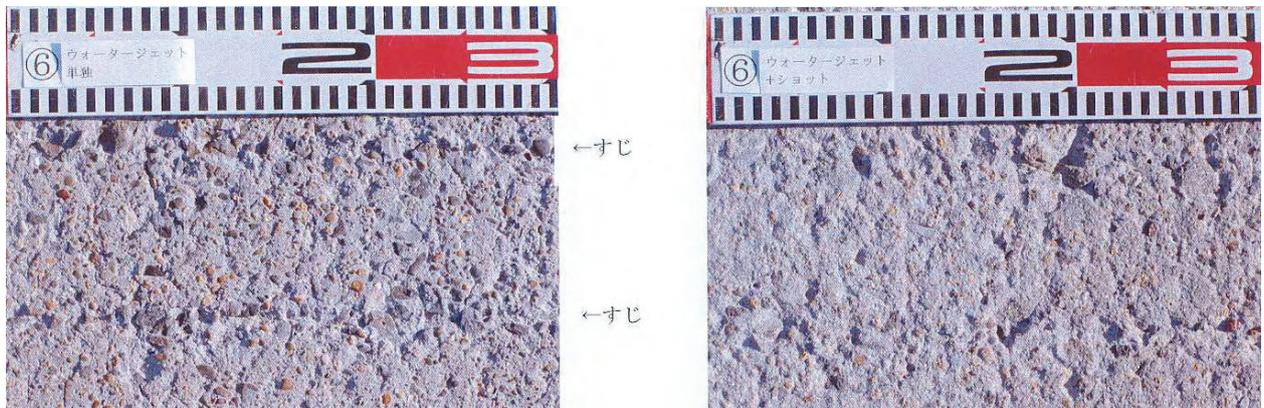


写真-3.1.6 ヤード⑥ (左: WJのみ, 右: WJ+SB)

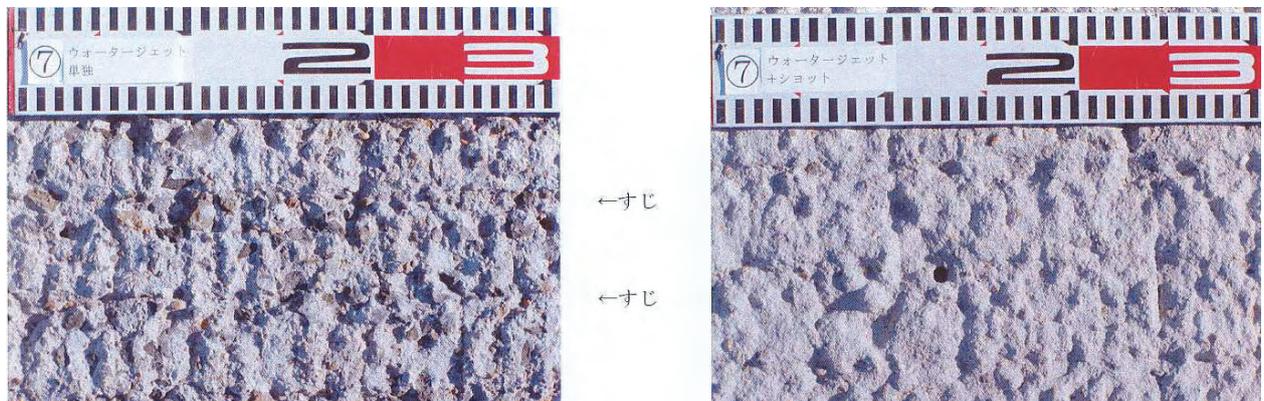


写真-3.1.7 ヤード⑦ (左: WJのみ, 右: WJ+SB)

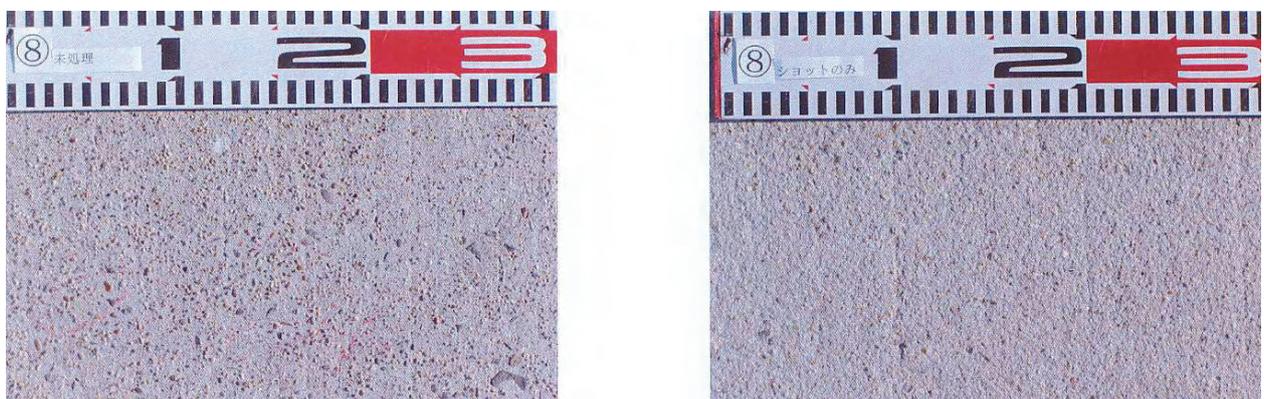


写真-3.1.8 ヤード⑧ (左: 無処理, 右: SBのみ)

表-3.1.2 表面形状測定結果

運転条件	SB有無	表面形状	
		斜長比	平均深さ (mm)
①	SB無し	1.286	7.878
②		1.154	4.762
③		1.175	4.569
④		1.088	2.524
⑤		1.070	2.417
⑥		1.059	1.622
⑦		1.122	3.767
⑧		1.015	1.237
①	SB有り	1.177	7.238
②		1.109	3.569
③		1.121	3.721
④		1.072	2.316
⑤		1.059	1.873
⑥		1.043	1.869
⑦		1.073	3.154
⑧		1.014	0.877

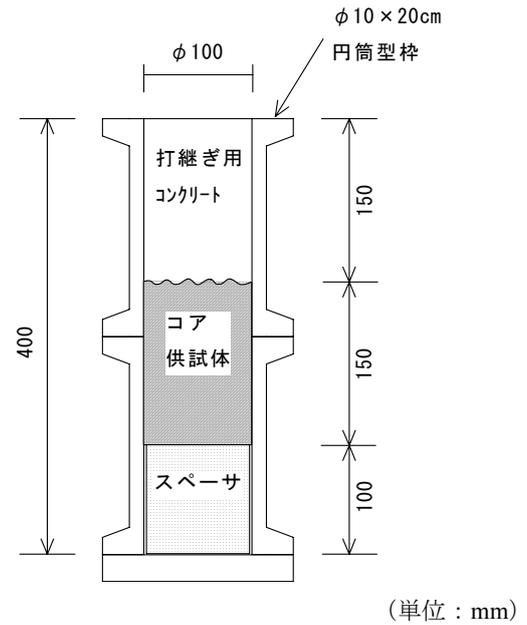


図-3.1.4 コア供試体の設置

(3) 付着強度試験方法

試験室内にて採取したコアにコンクリートを打継ぎ、直接引張りによる界面付着強度を求めた方法を以下に示す。

a) 供試体の寸法

付着強度試験に用いる供試体の寸法は、直径 10cm、高さ 30cm の円柱形とする。

b) 供試体の準備

- ①既設コンクリートから採取したコア供試体の表面を、たわし等により水洗いする。
- ②コア供試体は、高さが 15cm となるようにコアの底面側をカッタ切断する。
- ③カッタ切断した供試体は、水洗いした後、打継ぎ用コンクリートの打設まで養生室内（20℃、湿度 90% 以上）にて養生する。

c) 打継ぎコンクリートの打設準備

- ①コア供試体の打継ぎ面は、コンクリート打設前にエアブラストにより清掃する。
- ②コア供試体は、直径 10cm、高さ 20cm の 2 つ割りコンクリート円筒型枠を 2 段重ねし、図-3.1.4 に示すように底部に高さ 10cm のスペーサを置き、その上に設置する。

d) 打継ぎ用コンクリートの打設

- ①打継ぎ用コンクリートの練りまぜおよび打設は、試験室内で行う。
- ②コンクリートの練りまぜは、最大容量 0.1m³ の室内 2 軸パグミルミキサを用いて行う。1 回当たり練り量は、付着強度試験用供試体 16 個分と強度試験用供試体作製（曲げ強度用：15×15×53cm、3 本、引張強度用：φ10×30cm、3 本）に必要な量とする。
- ③コンクリートは、スランプ、空気量の確認を行った後、図-3.1.4 の型枠に 1 層で詰め、型枠中央部 1ヶ所を内部振動機により締め固める。内部振動機は、コンクリート中にゆっくり差し込み、十分締め固めた後、ゆっくり引き抜く。なお、コンクリート中への差し込み深さは、付着処理面から 2cm 程度上までとする。
- ④締め固めたコンクリート表面は、金ゴテで平面に仕上げられる。

e) 脱型および養生

- ①打継いだ供試体は、打設後 24 時間まで養生室内（20℃、湿度 90%以上）で養生をする。
- ②供試体の脱型は、打設の 24 時間以上経過後に行い、材齢 26 日まで標準養生（20℃水中）を行う。

f) 引張り試験用モールドの取り付け

- ①所定の養生を終了した供試体は、付着強度試験の 2 日前に養生水槽から取り出し、20℃、湿度 60%の恒

温恒湿室内で1日間保存する。

- ②恒温恒湿室内で供試体表面を自然乾燥させた後、**図-3.1.5**に示すように供試体をエポキシ樹脂（速硬型、可使用時間20～25分）を用いて引張試験用モールド（以下モールドという）に取り付ける。なお、供試体の接着部およびモールド内面は、接着前にアセトンで洗浄する。

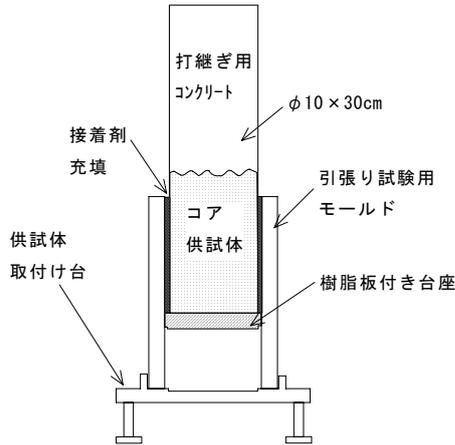


図-3.1.5 供試体の引張試験用モールドへの取付け

- ③使用するエポキシ樹脂は、コニシ（株）社製「ボンドクイックセット30」とする。
- ④供試体のモールドへの取付けは、取付け台にモールドをセットし、モールド内に必要量のエポキシ接着剤を流し込み、供試体をモールドの中心位置に埋込む。モールド内へ流し込むエポキシ接着剤量は、モールドに供試体を埋め込んだ時に、モールドと供試体の隙間から多少のエポキシ樹脂が溢れ出る量とする。
- ⑤エポキシ樹脂が硬化し、片側端面へのモールド取り付け終了後、上記と同様な操作で反対側（打継ぎ側）端面へのモールドの取り付けを行う。

g) 付着強度試験

- ①付着強度試験は、打継ぎ用コンクリートの打設後材齢28日で行う。
- ②付着強度試験用供試体は、**写真-3.1.9**に示すように引張り試験用モールドに荷重ピン、ボールジョイント、テンションロッド等を用いて万能材料試験機にセットする。
- ③荷重速度は、引張り応力の増加が毎秒0.029～0.034MPa程度とする。
- ④破壊後、破断面（**写真-3.1.10**参照）で互いに直交する2方向の直径を0.1mmまで測定し、また、破断位

置を記録する。

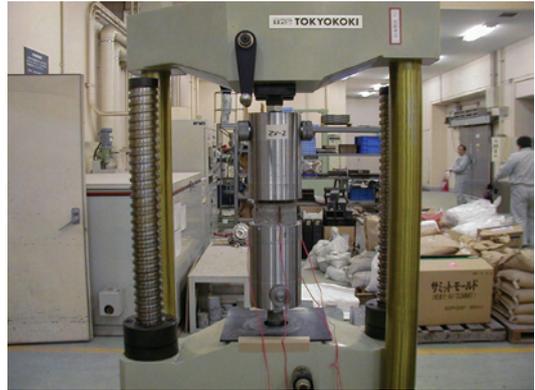


写真-3.1.9 付着強度試験状況



写真-3.1.10 破断面の状況

h) 付着強度試験結果の整理

- ①供試体の直径は、破断面で互いに直交する2方向の直径の平均とし、有効数字4桁に丸める。
- ②付着強度は、次式により算出し、有効数字3桁に丸める。

$$\sigma_b = P / (\pi d^2 / 4) \quad (3.1)$$

ここに、

σ_b : 付着強度 (MPa)

P : 最大荷重 (N)

d : 供試体直径 (mm)

(4) 付着強度試験用供試体の作製

表面処理後に採取したコアに舗装コンクリートを打ち継ぎ、付着強度試験用供試体を作製した。打継ぎ用舗装コンクリートは、目標スランプ6.5cm、目標空気量4.5%、設計基準曲げ強度を5.0MPaとした。使用材料は、普通ポルトランドセメント（密度；3.16g/cm³）、細骨材は鬼怒川産の陸砂（密度；2.58g/cm³、吸水率；2.55%）、粗骨材は秩父産の硬質砂岩碎石（密度；2.68g/cm³、吸水率；0.82%）およびAE減水剤である。表-3.1.3に打ち継ぎに用いたコンクリートの示方配合を示す。

なお、付着強度試験は3回に分けて供試体の作製および強度試験を実施した。すなわち、運転条件8種およびSB有無で16種類の付着処理した供試体を各1本ずつ作製し、材齢28日での付着強度試験を3回繰り返し、3本の平均を各付着処理方法の付着強度とした。

表-3.1.3 打継ぎ用舗装コンクリートの示方配合

粗骨材の最大寸法 (mm)	水セメント比 (W/C) (%)	単位粗骨材容積	単位量(kg/m ³)				
			水	セメント	細骨材	粗骨材	AE
			W	C	S	G	減水剤
20	45	0.73	160	356	620	1185	0.89

(5) 打継ぎ用コンクリートの性状

a) フレッシュコンクリートの性状

新旧付着試験で打継ぎに用いたコンクリートのフレッシュ性状は表-3.1.4に示すとおりである。

表-3.1.4 フレッシュコンクリートの性状

新旧打継ぎ用コンクリート		スランプ (cm)	空気量 (%)	温度 (°C)
実測値	1回目2/27	7.5	4.8	25 (室温)
	2回目3/3	6.0	4.4	
	3回目3/6	5.5	4.0	
目標値		6.5±1.5	4.5±1.0	—

b) 硬化コンクリートの性状

新旧付着試験で打継ぎに用いたコンクリートの材齢28日における硬化性状は表-3.1.5に示すとおりである。

表-3.1.5 硬化コンクリートの性状 (材齢28日)

試験日	強度 (MPa)		
	直接引張	割裂引張	曲げ
1回目 (02/03/27)	3.26	2.64	6.74
	2.61	4.24	6.24
	—	—	6.00
2回目 (02/03/31)	3.81	4.32	6.58
	3.82	2.98	6.26
	—	—	5.90
3回目 (02/04/03)	3.07	3.61	6.29
	3.29	3.00	5.95
	—	—	6.27
平均	3.31	3.47	6.25
標準偏差	0.46	0.70	0.28

(6) 付着強度試験結果

付着強度試験結果を表-3.1.6に、WJシステムの運転条件と付着強度の関係を図-3.1.6に示す。

表-3.1.6 付着強度試験結果

運転条件	付着強度 (MPa)			
	SB無し		SB有り	
①	2.62	2.15	3.19	2.86
	1.95		2.33	
	1.88		3.05	
②	2.52	2.35	2.55	2.49
	2.30		2.25	
	2.24		2.68	
③	2.28	2.16	2.50	2.53
	2.03		2.61	
	2.16		2.47	
④	2.34	2.62	3.02	2.50
	2.45		2.39	
	3.07		2.08	
⑤	1.40	1.87	2.65	2.35
	2.11		2.14	
	2.10		2.25	
⑥	1.82	1.74	2.12	2.04
	1.59		1.90	
	1.80		2.09	
⑦	1.85	2.28	2.91	2.54
	2.23		2.09	
	2.76		2.63	
⑧	1.17	1.23	2.63	2.39
	1.29		2.12	
	1.24		2.42	

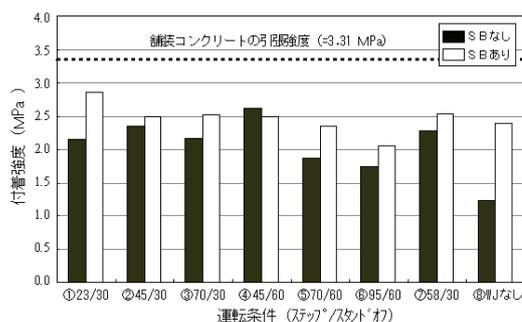


図-3.1.6 WJシステムの運転条件と付着強度の関係

図-3.1.6から、付着強度はWJシステムの運転条件によって異なり、スタンドオフが30mm (運転条件①～③、⑦) の場合は60mm (運転条件④～⑥) の場合より付着強度が高かった。一方、ステップ間隔が大きくなると付着強度は小さくなる傾向が見られるものの、スタンドオフが30mmの場合だけで見ると、ステップ間隔(23～70mm)が付着強度に及ぼす影響は明確でなかった。ま

た、運転条件の④を除いて SB 無しに比べて SB 有りのほうが付着強度は大きい傾向にあることがわかる。

次に、表面形状値として求めた斜長比と付着強度の関係を図-3.1.7 に、平均深さと付着強度の関係を図-3.1.8 に示す。

図から付着強度は、斜長比が大きくなるほど、また、平均深さが大きくなるほど増大する傾向が見られる。

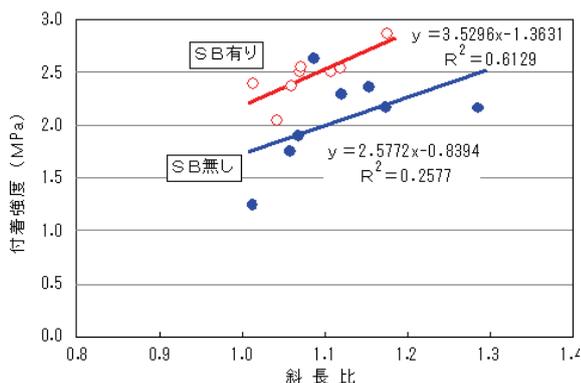


図-3.1.7 斜長比と付着強度の関係

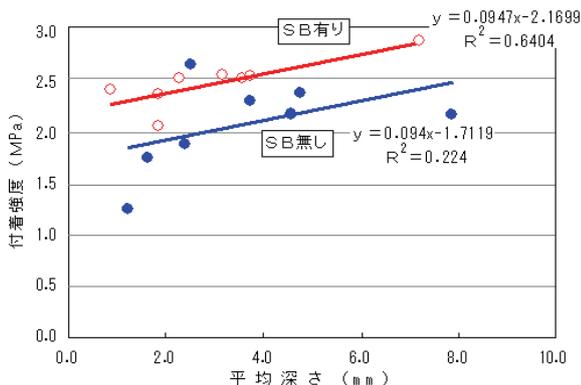


図-3.1.8 平均深さと付着強度の関係

(7) 界面処理方法と付着強度試験のまとめ

①WJ 処理の運転条件が付着強度に及ぼす影響については、スタンドオフが 30mm のほうが 60mm の場合より付着強度が高く、ステップ間隔が大きくなると付着強度が小さくなる傾向が見られた。

②表面形状値として求めた斜長比と平均深さとも、表面形状値が大きいほど付着強度も大きくなる傾向を示した。これは、WJ システムによる表面処理により表面に適度な凹凸（マクロ的なテクスチャ）が形成されたためと考えられる。

③WJ 処理のみに比べて SB 有りのほうが付着強度は大きい傾向を示した。これは WJ システムによる凹凸面をさらにショットブラスト処理することにより、

表面にマクロ的なテクスチャとミクロ的なテクスチャが形成され、複合的に付着強度が向上したためと推測される。

④SB 有りに比べて WJ 処理のみの表面形状値(斜長比ならびに平均深さ)と付着強度の相関は低かった ($R^2=0.22\sim0.26$)。これは、界面に垂直に载荷する引張付着試験では、WJ 処理のような凹凸の大きな界面の付着強度を十分に評価できていないためと推測される。

以上から、表面形状値と直接引張試験による付着強度は一定の傾向を示すものの、WJ システムのように凹凸の大きな路面は、せん断強度など水平方向の付着性能についても評価する必要があるものと考えられる。