

論文 水中施工による鉛直打継目の付着強度

小原 孝之*1・鈴木 顕彰*2・舟橋 政司*3・三島 徹也*4

要旨：水中構造物の補修・補強する場合に既設コンクリート部材に水中不分離性コンクリートを打ち継いで、増厚する方法がある。このような場合の既設コンクリートと後打ち水中不分離性コンクリートによる鉛直打継目の付着強度を調べるため、水中施工により試験体を作製し、打ち継ぎ面の引張試験を行った。既設コンクリートの打継ぎ面処理方法をエアツールによる切削，サンドブラスト，ウォータージェットとしたが，いずれも高い付着強度を有することが確認された。

キーワード：水中施工，打継ぎ面処理，水中不分離性コンクリート，付着強度

1. はじめに

水中構造物の補修・補強する場合に，既設コンクリート部材に水中不分離性コンクリートを打ち継いで，増厚する方法がある。躯体が水中に位置する RC 橋脚の耐震補強工事では，橋脚周辺を仮設構造により締め切ってドライアップするのが一般的であるが，ドライアップにかかる建設コストが高額であるため，作業の大半を水中で行い，ドライアップを不用とする水中耐震補強工法が用いられる場合がある。本工法は，仮設構造を栈橋程度に簡略化し，仮設にかかる工費，工期の大幅なコストの縮減を実現するものであるが，既設コンクリートと水中施工による後打ちコンクリートとの一体性が問題となる。

一般に，RC 巻立工法に代表される橋脚の耐震補強においては，既設橋脚躯体コンクリートと補強部コンクリートとの一体性を確保することを目的として，既設橋脚躯体表面に適切な凹凸を設ける処理を行っている。施工方法としてはサンドブラストやウォータージェットによる打継ぎ面処理が一般的である。しかし，本工法では打継ぎ面処理および補強コンクリートの充填を水中で行うが，水中施工による打継ぎ面処

理の施工方法とその一体性に関する知見は少ない。そこで本研究では，水中における打継ぎ面処理の施工方法と適切に打継ぎ面処理された躯体に水中不分離性コンクリートを充填した場合の付着強度の関係を調べ，本工法における打継ぎ面処理方法を確立することを目的としている。

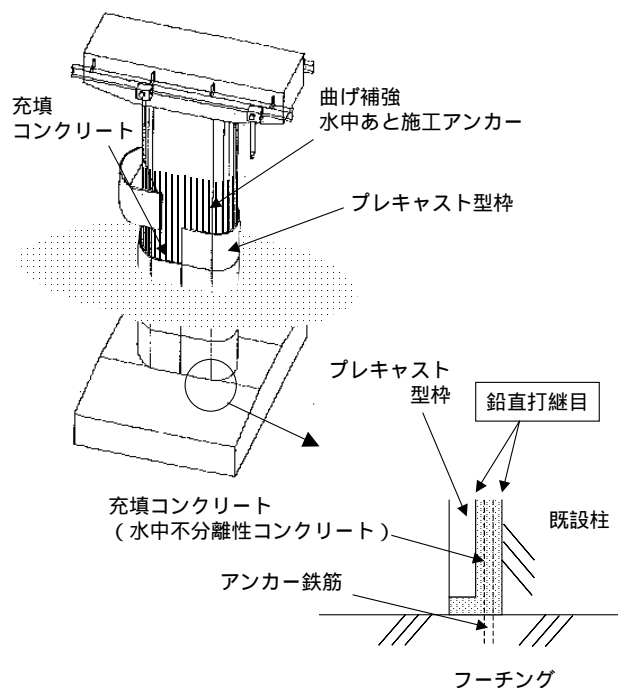


図 - 1 水中耐震補強工法の概要と鉛直打継目

- *1 前田建設工業(株) 技術研究所研究員 工修 (正会員)
- *2 前田建設工業(株) 技術研究所課長代理 工修 (正会員)
- *3 前田建設工業(株) 技術研究所課長 工修 (正会員)
- *4 前田建設工業(株) 技術研究所課長 工博 (正会員)

2. 実験の方法と目的

本研究では、水中施工による各打継ぎ面処理方法で施工された躯体に水中不分離性コンクリートを鉛直に打ち継いだ場合の鉛直打継目の付着強度を調べ、水中施工による打継ぎ面処理方法と鉛直打継目の付着強度の関係を検討する。比較のため、気中施工による打継ぎ面処理と普通コンクリートを鉛直に打ち継いだ場合も検討に加える。

打継ぎ面処理の方法は、気中施工および水中施工によるサンドブラスト、潜水土がエアツール（圧縮空気を動力とするエアーツールカッター）によって研削をおこなう方法（以降、水中研削という）、水中施工によるウォータージェット（以降、水中ウォータージェットという）の3種類とし、これらの付着強度を比較検討することによって、気中施工と同等以上の性能を有する打継ぎ面処理工法を確立する。

3. 既設コンクリートの打継ぎ面処理

3.1 施工方法

(1) 試験体と打継面処理方法

試験体の概要を図-2および表-1に示す。本試験体を直立させた状態で打継ぎ面処理を施工し、水中施工においては、試験体を水槽中に浸水させて施工した。

(2) サンドブラスト

圧縮空気を動力として砂の粒子をコンクリート面に衝突させて研掃する方法である。本検討に用いたのは湿式サンドブラスト装置であり、気中施工では空気圧力を 0.45N/mm^2 (No.1)と 0.75N/mm^2 (No.2)とし、水中施工では 0.45N/mm^2 (No.4)とした。

(3) 水中研削

研削ブレード（写真-1）をセットしたエアーカーターにより既設コンクリートの表面を研削する方法である。施工は潜水土による潜水作業である。

(4) 水中ウォータージェット

本検討に用いたウォータージェットは研磨材混入水をポンプで加圧しノズルより噴出させるアプレシブジェットである。水中での施工は、自動でノズルを上下方向に扇動しながら水平移動させる移動装置（写真-2）により行い、遠隔操作により調整した。施工は、圧力 30N/mm^2 、研磨材量 0.2kg/min (No.5)と圧力 44N/mm^2 、研磨材量 0.8kg/min (No.6)の2仕様で行った。

表-1 各試験体の打継ぎ面処理施工仕様と結果

No.	表面処理方法	施工条件	はつり深さ(mm)			延長比	表面積比
			平均	最小	最大		
1	サンドブラスト	気中	0.51	0.00	1.84	1.01	1.02
2	研削		1.19	0.00	3.39	1.03	1.06
3	サンドブラスト	水中	0.58	0.00	1.70	1.01	1.02
4	ウォータージェット		0.64	0.00	2.90	1.02	1.04
5	研削		1.90	0.02	7.34	1.07	1.15
6	ウォータージェット		4.03	0.69	15.1	1.10	1.20

既設部コンクリート強度： $f_c' = 44.8\text{N/mm}^2$

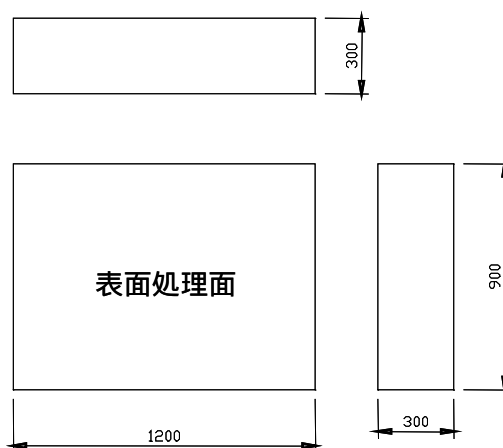


図-2 試験体の概要

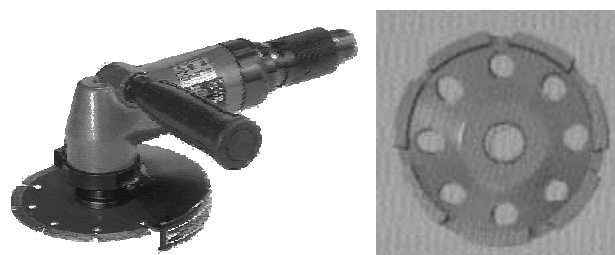


写真-1 エアーカーターおよび研削ブレード

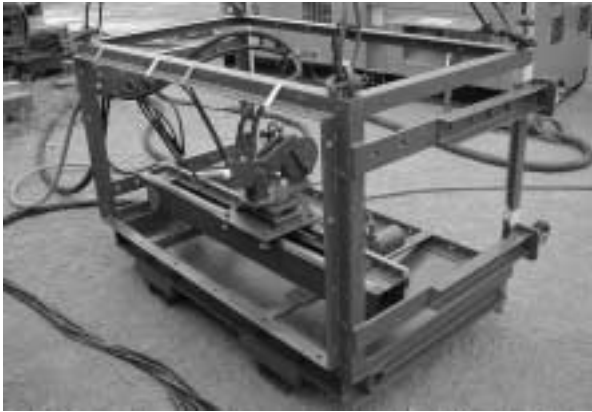


写真 - 2 ジェットノズルおよび移動装置

3.2 表面性状

打継ぎ面処理は No.1 ~ No.6 の 6 体の試験体について行った。施工結果を表 - 1 に示す。

(1) 表面性状

気中および水中施工サンドブラストにより打継ぎ面処理された面の形状は細骨材の高さ程度の凹凸が観察され、表面に粗骨材が点在して現れていた。気中施工に比較して水中施工の面の形状は凹凸のばらつきが観察された。水中研削により打継ぎ面処理された面の形状は全体的に滑らかであり、骨材表面も研掃されていた。水中ウォータージェットにより打継ぎ面処理された面の形状は粗骨材が剥き出しになり、粗骨材の高さ程度の凹凸が観察された。写真 - 3 ~ 写真 - 6 に打継ぎ面処理を行った面の形状を、図 - 3 ~ 図 - 5 には打継ぎ面処理面の断面の凹凸のトレースを示す。

(2) はつり深さ

表 - 1 中のはつり深さは、試験体の打継ぎ面処理面の鉛直および水平方向に 50mm ピッチの測定点を設けて基準面からのはつり深さをノギスにより測定したものである。サンドブラストおよび水中研削の間にははつり深さに大きな差異は見られないが、ウォータージェットによるはつり深さは比較的深く、No.6 では骨材が剥き出しになり形状があらわになるほどであった。

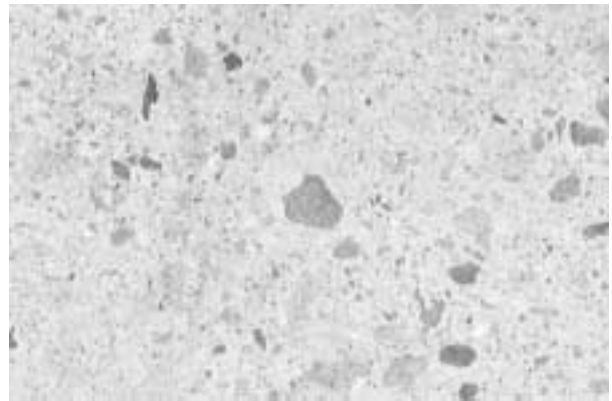


写真 - 3 サンドブラスト(No.1)



写真 - 4 水中サンドブラスト(No.4)



写真 - 5 水中研削(No.3)

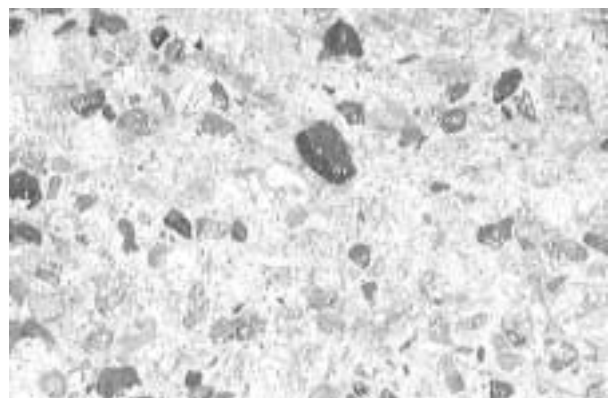


写真 - 6 水中ウォータージェット(No.6)

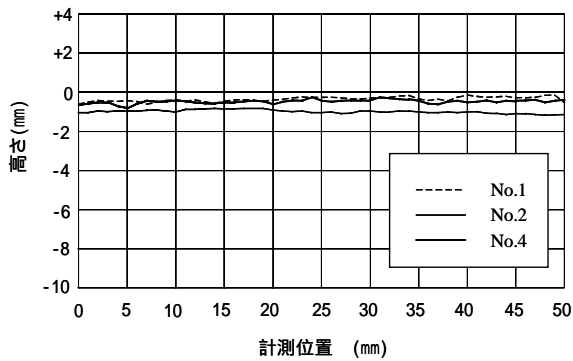


図 - 3 打継ぎ面処理面の形状 (サンドブラスト)

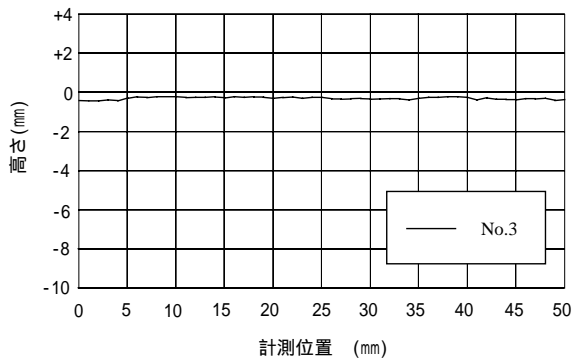


図 - 4 打継ぎ面処理面の形状 (水中研削)

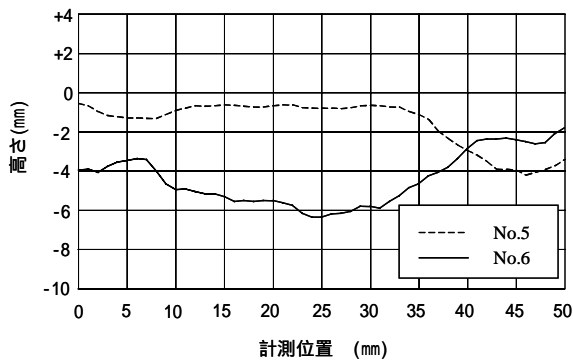


図 - 5 打継ぎ面処理面の形状 (ウォータージェット)

(3) 延長比と表面積比

表 - 1 中の延長比は図 - 3 ~ 図 - 5 に示す打継ぎ面処理断面の凹凸のトレースの延長を求め水平距離で除したものであり、求めた延長比を二乗して得られるのが表面積比である。延長比および表面積比は、はつり深さの深いウォータージェットによる場合がもっとも大きかった。

4. 鉛直打継目を有する後打ち部の施工

打継ぎ面処理を行った試験体 No.1 ~ No.6 に鉛直にコンクリートを打ち継いだ。No.1 および No.2 には気中施工により普通コンクリート

(H24-12-20) を No.3 ~ No.6 には水中施工により水中不分離性コンクリートを打ち継いだ。

普通コンクリートの施工では、2 層に分けて打重ね、バイブレーターによって締め固めた。水中不分離性コンクリートは、直径 100mm のトレミー管を用いて、筒先を常にコンクリート中に配置した状態で打設し、コンクリートを水中で自由落下させない方法とした。水中不分離性コンクリートの仕様と配合を以下に示す。

表 - 2 水中不分離性コンクリートの仕様

W / C (%)	S/a (%)	コンスタン	空気量 (%)
48	41	スタンプロー 65 ± 5cm	3.0

表 - 3 水中不分離性コンクリートの配合

水	セメント	細骨材	粗骨材	減水剤	高性能減水剤	増粘剤
250	521	582	869	5.21	13.0	2.50

セメント：早強ポルトランドセメント (kg/m³)
 細骨材：川砂
 粗骨材：碎石 Gmax=13mm
 増粘剤：主成分 - 水溶性セルロースエーテル
 高性能減水剤：主成分 - メラミンスルホン酸系化合物
 減水剤：主成分 - リグニンスルホン酸化合物 およびポリオール複合体

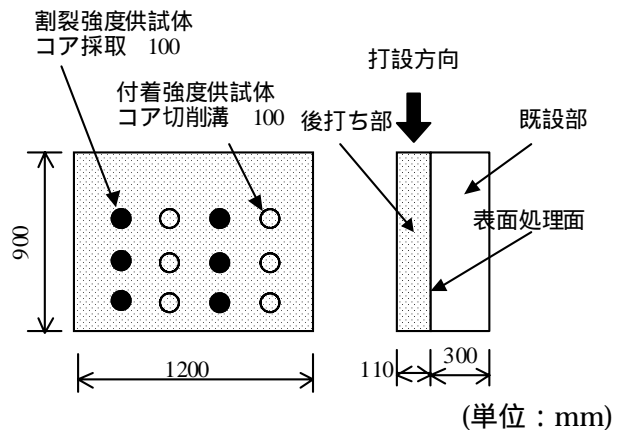


図 - 6 試験体の概要

5. 鉛直打継目の附着強度試験

図 - 6 に示すように、附着強度を求める試験位置において外径 100mm、深さ 135mm のコアボーリングを行い、図 - 7 に示すように附着試験治具を後打ちコンクリート表面に接着し、鉛直に引張力を作用させることによって破壊に至らしめた。実験結果を表 - 4 に示す。

気中施工した試験体 No.1, No.2 では 1 体を除く全ての試験体において鉛直打継目位置で破断する付着破壊で終局を迎えた。一方、水中施工により水中不分離性コンクリートを後打ちした No.3 においては鉛直打継目の付着破壊で終局を迎えたが No.4~No.6 においては後打ちコンクリートと載荷治具の接着面において後打ちコンクリートが薄くはがれる形で破断し、終局を迎える場合が多く見られた。

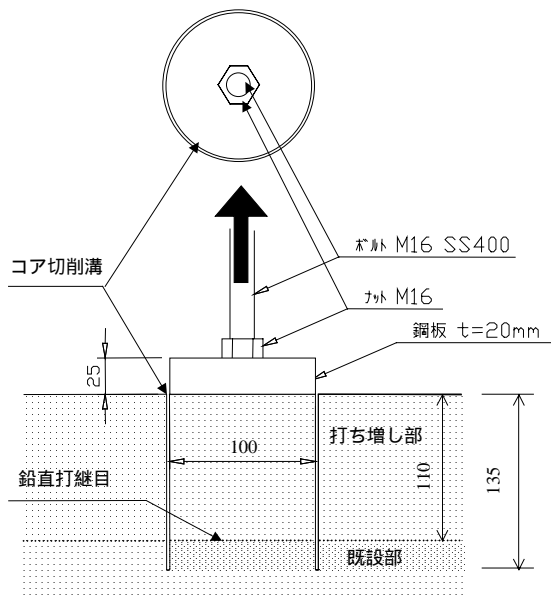


図 - 7 付着強度試験の概要

(1) 表面積比と付着強度の関係
 表面積比と付着強度の関係を図 - 8 および図 - 9 に示す。ここで、付着破壊以外で終局を迎えた結果については、それ以上の付着強度があることを示す意味で図中に矢印を加えた。表面積比と付着強度の間には一義的な関係を見出すことはできないが、気中施工試験体 No.1, No.2 に比較して水中施工試験体 No.4~No.6 の付着強度は打継ぎ面処理の方法によらず、高い傾向が見られる。以上より、水中不分離性コンクリートにより水中施工された鉛直打継目の付着強度は気中施工のそれより高いことがわかった。



写真 - 7 付着強度試験載荷状況

表 - 4 付着強度試験結果

No.	表面処理方法	施工条件	はつり深さ (mm)	表面積比	材令 7 日				材令 28 日					
					後打ち部		終局強度 f_u		破断* 位置	後打ち部		終局強度 f_u		破断* 位置
					f_c'	f_t	平均			f_c'	f_t	平均		
1	サドプラスト	気中	0.51	1.02	24.6	2.29	0.79	0.73	付着面	41.3	3.01	1.15	1.47	付着面
							1.07					1.87		
							0.72					1.38		
2			1.19	1.06		2.43	1.09	0.97	付着面			1.26	1.33	付着面
							0.92					1.23		
							0.90					1.50		
3	研削	水中	0.58	1.02	25.2 (30.1)	2.43	2.53	2.13	付着面	46.0 (49.7)	2.55	3.12	2.98	付着面
							1.86					2.93		
							1.98					2.88		
4	サドプラスト		0.64	1.04		2.42	2.13	2.00	付着面		2.55	2.52	2.69	接着面
							1.96					2.79		
							1.92					2.75		
5	ウォータージェット		1.90	1.15	30.6 (32.5)	2.55	1.86	1.69	接着面	45.6 (49.5)	2.62	2.43	2.84	接着面
							1.48					3.09		
							1.72					3.00		
6			4.03	1.20	30.8 (35.0)	2.20	1.95	1.91	接着面	44.6 (48.7)	2.99	2.77	2.71	接着面
							1.89					2.42		
							1.89					2.94		

* : 付着面 - 既設部と後打ち部の鉛直打継目, 接着面 - 後打ち部コンクリートと引張治具の接着面, 既設部 - 既設コンクリート部
 f_c' : コンクリート圧縮強度 (N/mm^2), 水中不分離性コンクリートは水中採取供試体の値, () 内の値が気中採取供試体
 f_t : 採取コア供試体による割裂強度 (N/mm^2)
 既設部のコンクリート強度は $58.0N/mm^2$ (材令7日), $64.9N/mm^2$ (材令28日)

(2) 付着強度と割裂強度の比

付着強度とコア採取供試体の割裂強度の比を示したのが表 - 5 と図 - 10 である。気中施工した No.1, No.2 においては強度比が 0.32 ~ 0.44 であるが, 水中施工した No.3 ~ No.6 においては 0.66 ~ 1.17 と高い値を示し, ばらつきはあるものの, 割裂強度とほぼ同等の付着強度を有していることがわかった。

既往の研究¹⁾から, 一般的な打継目の付着強度は供試体割裂強度の 60%程度であることが知られている。図 - 1 には, 強度比 60%の値を図示した。図から, 気中施工した No.1, No.2 は強度比 60%に満たなかったが, 水中施工した No.3 ~ No.6 においてはいずれも 60%を上回り, 一般的な打継目以上の付着強度を有していることがわかった。これは, 今回用いた水中不分離性コンクリートが高い充填性とノンブリージング性を有することによるものと考えられるが, 詳細は不明であり, さらなる検討を要する。

6. まとめ

本検討の範囲内で得られた結論を以下に示す。

- (1) 鉛直打継目の打継ぎ面処理方法として, 気中・水中施工サンドブラストと水中研削, 水中施工ウォータージェットについて比較したが, はつり深さ, 比表面積が大きかったのは水中施工ウォータージェットであった。
- (2) 打継ぎ面処理を行った鉛直打継目のコンクリートの付着強度を測定する引張試験を行ったが, 水中施工による水中不分離性コンクリートの付着強度は打継ぎ面処理方法によらず大きく, 一般的な打継目の付着強度以上の性能を有していることがわかった。

参考文献

- 1) 飯島・大塚・佐藤・原：打継目におけるせん断伝達耐力の評価について, コンクリート工学年次論文報告集, Vo12, No.2, pp.311-314, 1990

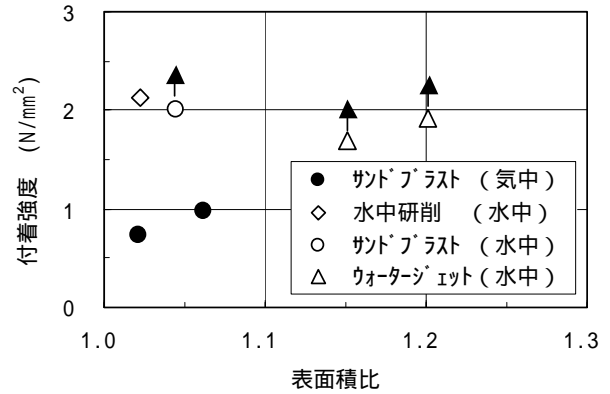


図 - 8 表面積比と付着強度の関係 材令 7 日

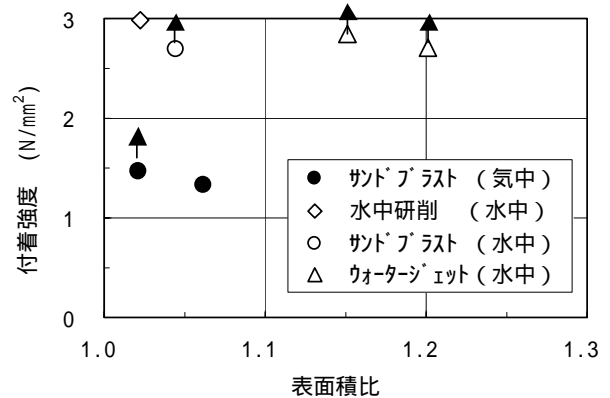


図 - 9 表面積比と付着強度の関係 材令 28 日

表 - 5 付着強度と割裂強度の比

No.	表面処理方法	施工条件	表面積比	f_b / f_t	
				材令7日	材令28日
1	サンドブラスト	気中	1.02	0.32	0.49 以上
2	ブラスト		1.06	0.40	0.44
3	研削	水中	1.02	0.87	1.17
4	サンドブラスト		1.04	0.83 以上	1.05 以上
5	ウォーター		1.15	0.66 以上	1.08 以上
6	ジェット		1.20	0.87 以上	0.91 以上

f_b : 付着強度, f_t : コア採取供試体より得た割裂強度

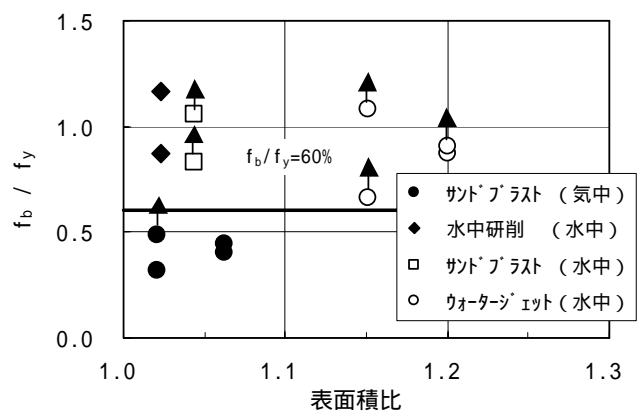


図 - 10 付着強度と割裂強度の比