

論文 表面形状を改善した砕砂の製造の安定性に関する基礎研究

池田 正志*¹・大河原 行省*²・辻 幸和*³

要旨：砕砂の表面形状を改善する高品質砕砂の製造システムの安定性を検討するため、製造システムを 150時間稼働させて3000 t の高品質砕砂を製造した間に生じた高品質砕砂製造機の円筒形ドラム内に詰めていた媒体石の粒度分布、高品質砕砂の物理的品質ならびに高品質砕砂を用いたモルタルのフロー値、ブリーディング率、圧縮強度および曲げ強度のそれぞれの変化を求めた。その結果から、媒体石の摩耗は各粒度ごとに均等に生じていること、150時間の稼働により製造された高品質砕砂の品質の変動は小さいことなどが明らかになった。

キーワード：砕砂、表面形状の改善、モルタル、フロー値、ブリーディング、強度

1. はじめに

砕砂の表面形状を改善した砕砂を、川砂と同様に細骨材として全量用いることができる高品質砕砂の製造システムを提案した[1]~[5]。このシステムの中核をなす装置は、高品質砕砂製造機である。その円筒形ドラム中には媒体石が積み重ねられており、回転している媒体石の間を砕砂が水と一緒に通過していく過程において、砕砂の角張りがとれて表面形状が改善される製造過程である。この改質処理の過程において、媒体石自体も摩耗することになり、同一の製造システムにおいても経時低下の生じることが懸念され、製造の安定性を確認することが必要となる。

本研究では、媒体石の摩耗程度の経時変化、ならびに砕砂の改質程度の経時変化を J I S の物理的品質だけでなくモルタルにより実験した結果も報告し、高品質砕砂の製造の安定性について検討する。

2. 実験の概要

砕砂の表面形状を改善する高品質砕砂の製造システムは、高品質砕砂製造機、砕砂水分分離装置、泥水処理装置および媒体石製造機とそれにより製造される媒体石よりなる。

高品質砕砂製造機は、このシステムの中核をなすもので、砕砂の表面形状を河川中を流下しながら川砂が生成される過程を模擬して改善するものである。

すなわち、図-1に示すように、

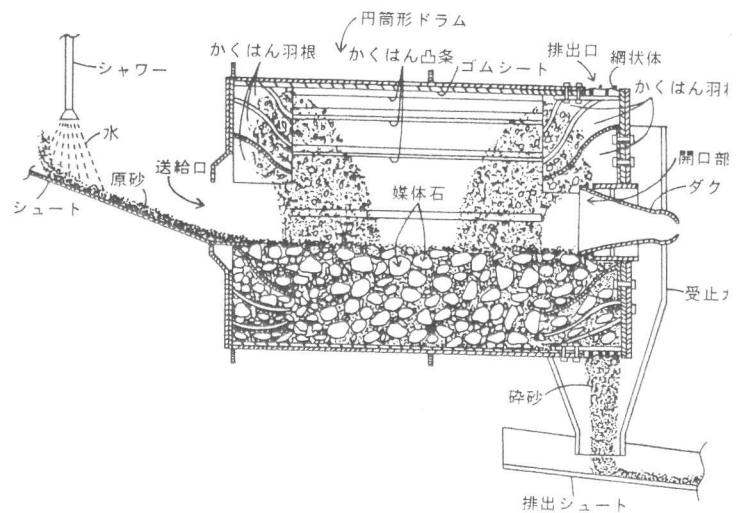


図-1 高品質砕砂製造機

- *1 群馬大学技術官 工学部(正会員)
- *2 ナカヤ実業(株) 開発部(正会員)
- *3 群馬大学教授 工学部建設工学科、工博(正会員)

円筒形ドラムの内部かくはん室に、多数の媒体石を詰めた状態で、送給口から原砂と水を連続的に円筒形ドラムに送給する。そして、駆動装置により回転させている内部かくはん室において媒体石、原砂および水をかくはんして媒体石内で原砂の角張りを丸め、表面が研磨された高品質砕砂および水を円筒形ドラムの排出口より遠心力により排出させるように、設計、製作された装置である。本研究では、ドラムの直径が1.2mで、長さが2.0mまたは2.5mのものを、2台直列に配置して用いた。

砕砂は、表-1に示す2種類の岩質のものを異なる粉砂機を用いて製造したものを、表面形状の改質処理に供した。媒体石は、鳥取県八頭郡の結晶片岩を、図-2に示す媒体石製造機により、8時間ドラム内で回転させて角張りをとったものをふるいで粒度別に分け、その後は図-3に示す粒度分布となるように所定の割合で用いた。セメントは、普通ポルトランドセメントを用いた。

高品質砕砂製造システムとしては、2システムについて検討した。砕砂Aと砕砂Bをそれぞれ改質処理しているものである。媒体石の量は、高品質砕砂製造機のドラムの内周面直径の1/4の高さに相当する質量である、長さが2.0mの1号機に750kg、長さが2.5mの2号機に938kgをそれぞれ積み重ねた状態を初期値とした。

時間あたり20tで50時間、100時間および150時間高品質砕砂製造システムを稼働させ、それぞれ1000t、2000tおよび3000tの砕砂の表面形状を改質処理した時点に採取して、高品質砕砂のJISによる物理的品質とこれを用いたモルタルのフロー値、ブリーディング率、圧縮強度および曲げ強度を試験した。また、製造システムを止めて、1号機および2号機のドラム内の媒体石をそれぞれ取り出し、ふるい分け試験を行った。

3. 媒体石の粒度

各改質処理作業時間後における媒体石の粒度分布の変化を、図-4に示す。砕砂Aの製造システムでは、初期値に比べ表面形状の改質処理を50時間行った後の媒体石は、ふるい目80mmを通過する分量が95.0%から93.3%へと粗粒分が少し少なくなり、ふるい目13mmを通過する分量が0%から2.1%へと増加した。その後、100時間および150時間の改質処理を行うと、ふるい目13mmを通過する分量がそれぞれ3.3%および4.4%と増加したが、ふるい目40mm以上のふるいを通過する分量の減少は非常に少なく、粒度分布にはほとんど変化がなかった。砕砂Bの製造システム

表-1 砕砂の種類と製造方式

砕砂名	産地	石質	粉砂機	分級方式
A	鳥取県八頭郡	結晶片岩	インペラー	湿式
B	鳥取県鳥取市	安山岩	ロッドミル	湿式

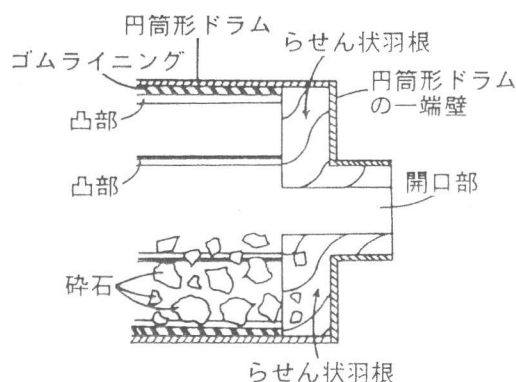


図-2 媒体石製造機の円筒形ドラムの内部

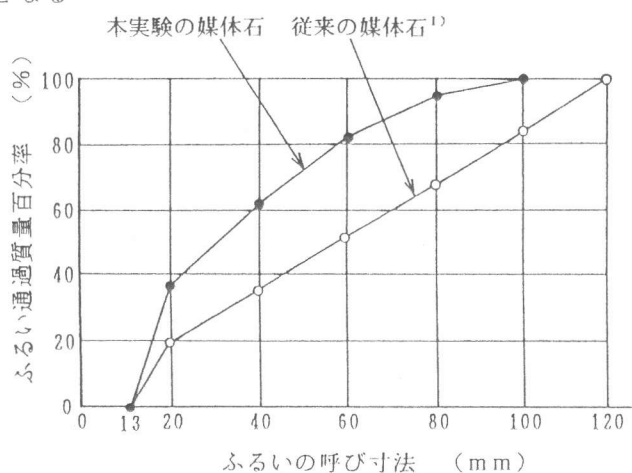


図-3 媒体石の粒度分布

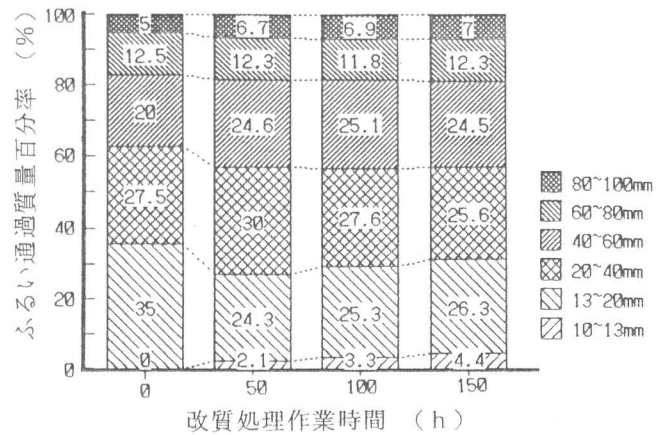
では、砕砂Aの製造システムで認められた50時間の改質処理を行った後の粒度分布の変化もなく、150時間の改質処理を行っても、媒体石の粒度分布は、初期値にほぼ等しい状態を保っている。ただし、このシステムでもふるい13mmを通過する分量は、砕砂表面形状の改質処理時間が長くなると多くなることが認められる。

図-5は、ドラム内に積み重ねられた媒体石の残留分の変化を示したものである。砕砂Aを改質処理した製造システムのほうが、砕砂Bを改質処理した製造システムに比べて、表面形状を改質処理する砕砂との混合における媒体石の摩耗量が多く、残留率で小さくなっている。また、改質処理時間の増加とともに、残留率は小さくなっているが、150時間の改質処理を行って約3000tの高品質砕砂を製造した後も、約60%の媒体石が残っていることを示している。砕砂Bの製造システムでも、媒体石の残留率は、改質処理時間が長くなると小さくなるが、150時間の改質処理を行った後も約65%となっており、砕砂Aとの差は、改質処理する砕砂の硬度等の品質の差を反映しているものである。

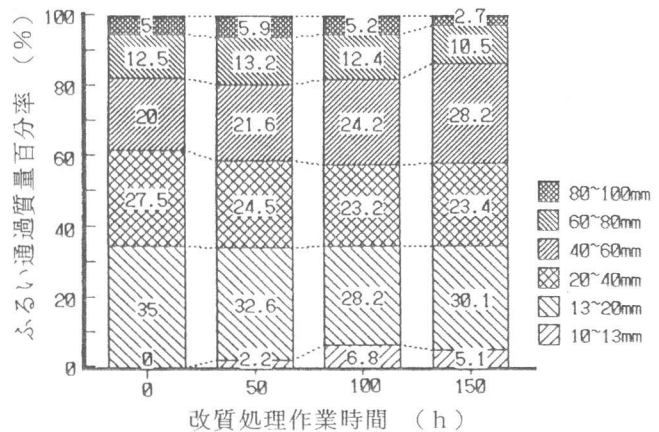
最適な媒体石の量は、ドラム内周面直径の1/5から1/3であることが知られているが、今回の実験は操作条件を厳しく設定して、改質処理により媒体石が摩耗して1/4以下となる場合を設定した。実際の操作においては、ドラム内周面直径の1/5から1/3の範囲に媒体石量になるように、媒体石を補給することになる。この場合、図-4から明らかになったように、媒体石は各粒度ごとにほぼ同じ速度で摩耗するため、補給する媒体石は、当初設定した、図-3に示した粒度分布あるいは図-4に示した初期値に相当する粒度分布のものであればよいことが示される。

4. 砕砂の物理的品質

表面形状を改質処理した時間ごとに採取した高品質砕砂の比重、吸水率、単位容積質量、実積率、粒形判定実積率および洗い試験結果を、表-2に示す。なお、表-2には、改質処理を開始



(a) 砕砂A



(b) 砕砂B

図-4 改質処理過程による媒体石の粒度分布の変化

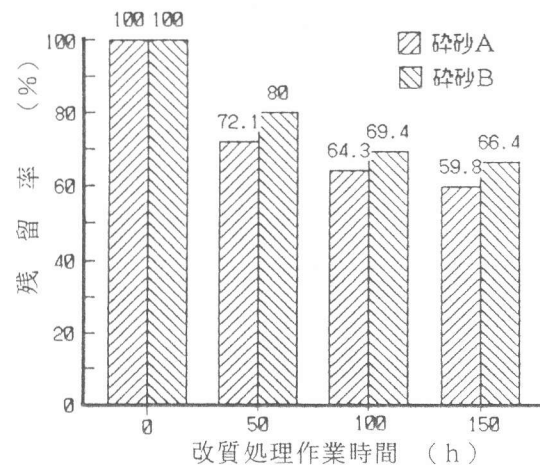


図-5 改質処理過程による媒体石の残留率

表-2 改質処理作業時間が異なる砕砂の品質

砕砂の種類	処理方法	表乾比重	絶乾比重	吸水率 (%)	単位容積質量 (kg/ℓ)	実積率 (%)	粒形判定実積率 (%)	洗い試験 (0.075mm) (%)	粗粒率	
砕砂 A	粒度調整砕砂	2.65	2.61	1.54	1.812	69.4	57.0	5.71	2.84	
	改質 処理 砕砂	0	2.68	2.65	1.16	1.822	68.8	57.6	6.10	2.85
		50h	2.69	2.65	1.42	1.869	70.5	57.1	6.03	2.83
		100h	2.69	2.65	1.43	1.892	71.4	56.4	6.02	2.84
		150h	2.68	2.65	1.53	1.840	69.4	57.6	6.08	2.84
砕砂 B	粒度調整砕砂	2.56	2.50	2.25	1.603	64.1	55.1	5.82	2.76	
	改質 処理 砕砂	0	2.58	2.53	1.78	1.716	67.8	56.7	6.13	2.77
		50h	2.58	2.53	2.14	1.735	68.8	56.2	6.07	2.78
		100h	2.58	2.52	2.21	1.737	68.9	54.7	6.27	2.76
		150h	2.57	2.51	2.29	1.725	68.7	55.5	6.12	2.76

した直後の改質処理した砕砂の粗粒率にほぼ等しくなるように粒度のみを調整した砕砂についても、比較のため示している。

既に報告したように[2][5]、表面形状を改質処理することにより、表乾比重と絶乾比重は増加し、吸水率は減少している。単位容積質量、実積率および粒形判定実積率については、少し異なる値も出たが、一般に改質処理により大きくなっており、砕砂の表面形状が改善されている。なお、75 μ mのふるい目を通過する砕砂の量は、改質処理により多くなっている。

このような砕砂の表面形状の改質処理効果は、処理作業を開始した時が著しいものの、処理作業を継続してその時間が50時間、100時間、150時間と長くなるほど、改質処理効果が減じるようである。これは、媒体石の摩耗の影響と考えられる。特に、吸水率にその現象が顕著に示されており、改質処理を行った砕砂の吸水率は、砕砂Aおよび砕砂Bのいずれについても、改質処理の開始時が大きく減少したものが、改質処理作業時間が長くなるにしたがって増加している。粒形判定実積率についても、同様な傾向が認められるものの、実験値のばらつきの範囲に含まれる程度と考えられる。単位容積質量と実積率は、実験値のばらつきの範囲に含まれている。なお、表乾比重、絶乾比重および75 μ mのふるい目を流失する砕砂の量については、改質処理作業時間の影響はほとんど認められない。

5. モルタルによる砕砂の品質

砕砂の表面形状の改質処理効果を改質処理作業時間と関連させて検討する実験を、モルタルについても行った。砕砂を全量細骨材として用いたモルタルのフロー値、ブリーディング率、圧縮強度および曲げ強度を求めた。

モルタルの配合は、砕砂セメント比 S/Cを質量比で2.0と4.0とし、フロー値は、粒度のみを調整した砕砂を用いたモルタルについて、S/Cが2.0で210、S/Cが4.0で200を基準とした。水セメント比は、S/Cが2.0で55%、S/Cが4.0で80%であった。また、改質処理作業を開始した直後と、150時間処理を行った後の砕砂を用いたモルタルについては、水セメント比を4種類に変化させた。

モルタルは、JIS R 5201「セメントの物理試験方法」に従って造るとともに、フロー値と強度試験を行った。ブリーディング率は、土木学会規準「PCグラウト試験方法」に準じて試験した。

モルタルのフロー値を、粒度のみを調整した砕砂および改質処理作業時間を変えて採取した砕砂をそれぞれ用いたものについて示したのが図-6である。砕砂Aおよび砕砂Bについて、砕砂セメント比 S/Cが2.0および4.0のモルタルである。砕砂の表面形状を改質処理することにより、モルタルのフロー値が増加し、流動性が改善できることが確かめられた。また、改質処理作業を50時間、100時間、150時間行った後にそれぞれ採取した砕砂を用いて造ったモルタルのフロー

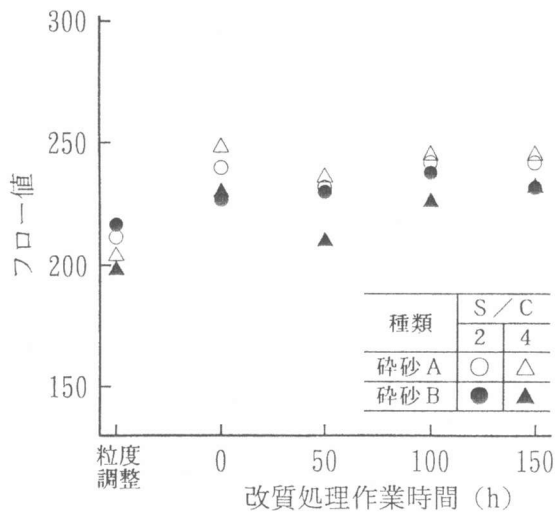


図-6 モルタルのフロー値と改質処理作業時間

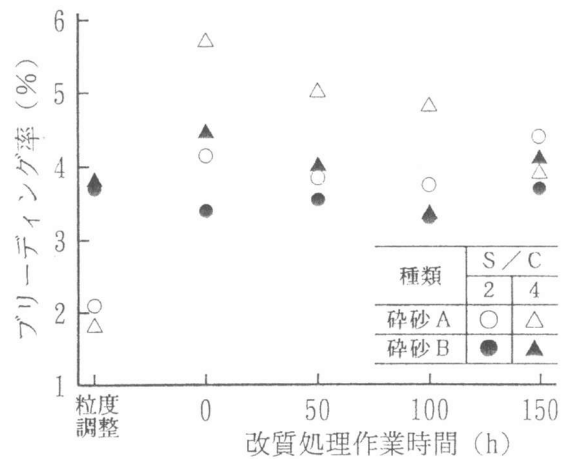


図-7 モルタルのブリーディング率と改質処理作業時間

値は、いずれの砕砂および配合についてもほとんど変化しておらず、改質処理作業時間との関連性も認められないといえよう。

図-7は、モルタルのブリーディング率を、図-6のフロー値と同様に示したものである。砕砂Aを用いたモルタルの場合は、表面形状を改質したことによりフロー値が増加したため、ブリーディング率が増加している。これに対して砕砂Bを用いたモルタルでは、改質処理によりフロー値は増加しているにもかかわらず、ブリーディング率は S/Cが 2.0で少し減少しているかあるいは S/Cが 4.0でわずかに増加しているにとどまっている。また、改質処理作業時間が増加すると、砕砂Aを用いた S/Cが 4.0の改質処理によりブリーディング率が著しく増加したモルタルの場合に、ブリーディング率が減少しているが、他の配合および砕砂のモルタルでは、改質処理時間が増加しても、ブリーディング率にもフロー値と同様にほとんど変化がないことも、図-7より認められる。

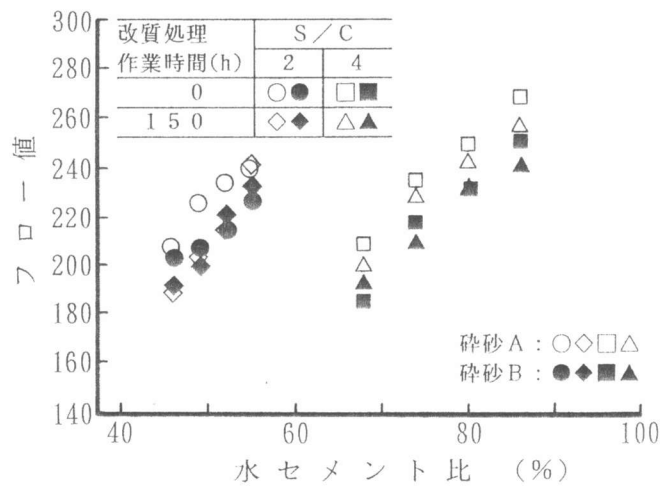


図-8 モルタルのフロー値と水セメント比の関係

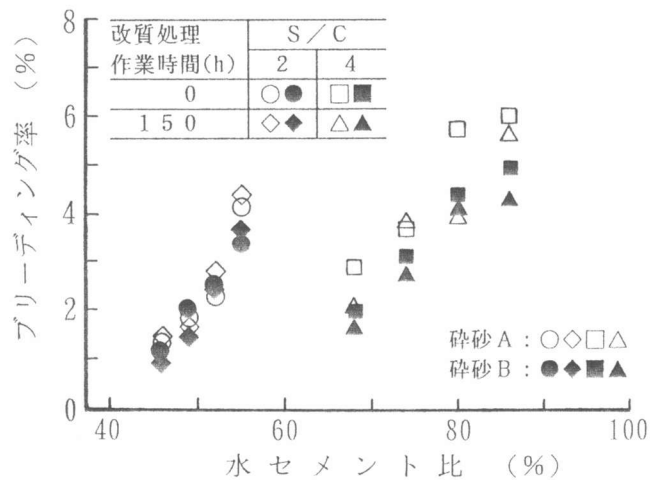


図-9 モルタルのブリーディング率と水セメント比の関係

図-8にはフロー値と水セメント比の

関係を、図-9にはブリーディング率と水セメント比の関係を、それぞれ砕砂の種類別に、改質処理作業時間をパラメータに示している。水セメント比が増加するとともに、フロー値とブリーディング率はいずれも増加しており、その増加の程度は、砕砂の種類と砕砂セメント比 S/Cによ

り異なる。砕砂Aを用いた砕砂セメント比 S/Cが 2.0のモルタルでは、改質処理開始時の砕砂を用いたモルタルのほうが、改質処理を 150時間行った後の砕砂を用いたものより少しフロー値が大きくなった。その場合を除き、改質処理作業時間を 150時間まで延長して、合計3000 t の高品質砕砂を製造して採取した砕砂は、改質処理作業を開始した時点の砕砂とモルタルの細骨材としてほぼ同じ品質を有していると考えられる。

モルタルの圧縮強度を図-10に示す。砕砂Aおよび砕砂Bをそれぞれ用いた場合について、砕砂セメント比 S/Cが 2.0と 4.0、材齢が 7日と28日に変化した場合である。既に報告したように[5]、表面形状を改質処理した砕砂を用いても、粗粒率をほぼ等しくなるように粒度調整した砕砂を用いた場合とほぼ等しい圧縮強度を示している。

そして、改質処理時間を増加して 150時間まで延長して採取した砕砂Aおよび砕砂Bを用いても、圧縮強度にはほとんど変化が認められない。このことは、モルタルの曲げ強度についても等しく認められた。

6. まとめ

砕砂の表面形状を改善して細骨材に砕砂のみを全量用いることができる高品質砕砂の製造システムの安定性を、製造した高品質砕砂の物理的品質および高品質砕砂を全量用いたモルタルの品質より実験的に検討した。本研究から、次のことがいえる。

- 1) 高品質砕砂製造機の円筒形ドラム中に詰めている媒体石は、砕砂の表面形状の改質処理作業により摩耗するが、その摩耗程度は各粒度ではほぼ一様となった。そのため媒体石の補給は、当初設定した粒度分布のものを用いればよい。
- 2) 高品質砕砂の製造システムを 150時間稼働させて3000 t の高品質砕砂を製造しても、その後採取した砕砂の品質は、砕砂を用いて造ったモルタルのフロー値、ブリーディング率や強度から、製造初期のものとはほぼ等しくなった。なお、砕砂の J I S による物理的品質は、改質処理作業時間が長くなると、改善効果が減じる結果となっており、モルタルの品質と異なっている。この点については、今後研究を進めていきたい。

参考文献

- 1) 池田正志・大河原行省・辻幸和・田澤栄一：表面形状を改善した砕砂を用いたコンクリートの性状，コンクリート工学年次論文報告集，第15巻 第1号，pp. 251～256，1993。
- 2) 大河原行省・池田正志・辻幸和：高品質砕砂の製造と利用に関する研究，セメント・コンクリート論文集，No. 47，pp. 160～165，1993。
- 3) Y. Ogawara, M. Ikeda, Y. Tsuji and E. Tazawa : Production and Utilization of High-quality Sand for Concrete by Improving Surface Configuration, 37th Proceedings of the Japan Congress on Materials Research, pp.107～110,1993.
- 4) 池田正志・大河原行省・辻幸和・田澤栄一：砕砂の表面形状がフレッシュコンクリートの諸性状に及ぼす影響，コンクリート工学年次論文報告集，第16巻 第1号，pp. 325～328，1994。
- 5) 大河原行省・辻幸和・池田正志・田澤栄一：高品質砕砂の製造に関する基礎研究，コンクリート工学論文集，Vol. 6, No. 1, 1995。

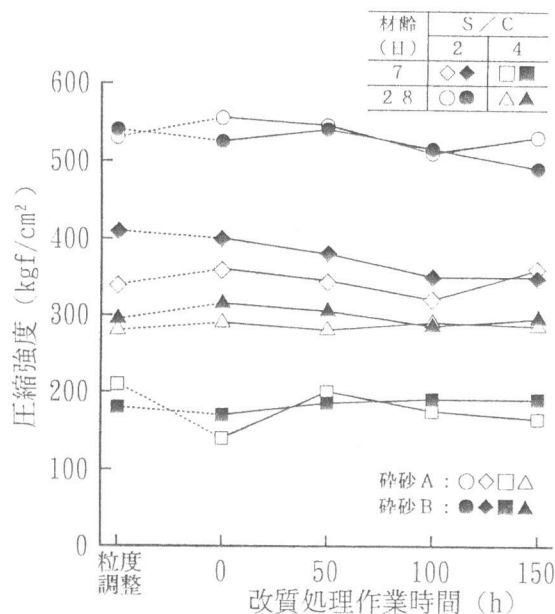


図-10 モルタルの圧縮強度と改質処理作業時間