

論文 増粘剤系高流動コンクリート中におけるペースト・骨材界面性状

小野 賢太郎^{*1}・松本 典人^{*2}・服部 篤史^{*3}・宮川 豊章^{*4}

要旨:本研究においては、セルロース系増粘剤を用いた高流動コンクリート中におけるペーストの性状およびセメントペーストと骨材との界面性状について調べることを目的として、セメントペーストの微細構造について、普通セメントペーストと比べて検討を行った。その結果、セルロース系増粘剤を用いた高流動コンクリートの製造に用いる増粘剤(W×0.1~0.3%) および高性能 AE 減水剤(C×2.0%)の標準的な添加量の範囲内で、微細構造(微小硬度,細孔径分布)を含めて普通セメントペーストとは異なる硬化性状を示すことが明らかとなった。

キーワード:セルロース系増粘剤,遷移帯,微小硬度,毛細管空隙

1. はじめに

高流動コンクリートは様々な仕様のものが開発されており,中でも増粘剤を用いた「増粘剤系高流動コンクリート」は,増粘剤および高性能(AE)減水剤を適切に使用することにより高い流動性および分離抵抗性を比較的容易に確保することができること,また,粉体系高流動コンクリートに比べて使用材料および配合(水セメント比の設定など)が比較的広い範囲で製造でき,自己充填性が骨材の表面水率の変動などによって影響を受けにくい高流動コンクリートとして研究開発が進められており,実施工への適用例も増えつつある。

硬化コンクリートでは,構成する骨材とセメントペーストの境界部において,他の領域に比べて組織が疎で,粗大な毛細管空隙が多量に存在する遷移帯が形成される。この遷移帯は,コンクリートの強度だけでなくコンクリート中への気体,液体,イオンなどの浸透を容易にしコンクリート構造物の耐久性に大きな影響を与えることから,遷移帯の構造を調べることは硬化後の耐久性を評価する上で重要なことである。

本研究においては,セルロース系増粘剤を用いた高流動コンクリート中におけるセメントペ

ーストと骨材との界面性状について調べることを目的として,セメントペーストの微細構造について,普通セメントペーストと比べて検討した。

2. 実験概要

2.1 セメントペーストの使用材料

使用材料としては,セメントは普通ポルトランドセメント(比重 3.15,比表面積 3380cm²/g),増粘剤は低界面活性型水溶性セルロースエーテル(2%水溶液,粘度 10,000cp),高性能 AE 減水剤(記号:SP 剤)はポリカルボン酸系のものを用いた。

2.2 セメントペーストの実験要因

セメントペーストの配合を表-1 に示す。水セメント比(W/C)は45%,50%,55%の3種類とした。また,セルロース系増粘剤を用いた高流動コンクリートおよび水中不分離性コンクリートの一般的な配合を参考にして,増粘剤添加量を W×0.0%(通常のコンクリート),0.1,0.2,0.3%(増粘剤系高流動コンクリート),1.0%(水中不分離性コンクリート)の5種類,および増粘剤と高性能 AE 減水剤をそれぞれ添加量 W×0.2%,C×2.0%で併用した配合を設定した。

*1 京都大学大学院 工学研究科土木工学専攻 (正会員)

*2 東洋建設(株) 鳴尾研究所 材料研究室 (正会員)

*3 京都大学大学院 工学研究科土木工学専攻,工修 (正会員)

*4 京都大学大学院 工学研究科土木工学専攻,工博 (正会員)

表-1 ベーストの配合

配合 No.	記号	W/C (%)	増粘剤 (W×%)	*SP 剤 (C×%)
1	45VA00	45	—	—
2	45VA02	45	0.2	—
3	50VA00	50	—	—
4	50VA01	50	0.1	—
5	50VA02	50	0.2	—
6	50VA03	50	0.3	—
7	50VA10	50	1.0	—
8	50VA2SP20	50	0.2	2.0
9	55VA00	55	—	—
10	55VA02	55	0.2	—

2.3 セメントペーストの基本物性

セメントペーストの基本物性を調べるために表-2 に示す試験を行った。なお、いずれの試験および供試体作製時においても、高流動コンクリートが締固めを必要としないことを目的としたコンクリートであるために、突き棒を用いた締固めは行わなかった。

表-2 ベーストの基本物性に関する試験

試験名	試験方法
0打フロー試験	JIS R 5201「セメントの物理試験」に準じて行った。
強さ試験	
凝結時間試験	
Jロート試験	JIS ロートをを用いて JSCE-F531-1994「PC グラウトの流動性試験方法」に準じて行った。
ブリーディング試験	JIS A 1123「PCグラウトのブリーディング率試験方法」に準じて行った。

2.4 微小硬度

40×40×160mm のセメントペースト中に粗骨材(兵庫県男鹿高産, 粒径=20mm 程度, 比重:2.61)を埋設して作製した供試体を材齢 1,4 週間標準養生した後, 図-1 に示すように, 粗骨材面が表れるように 40×40×20mm 程度に切断したものを試料とした。微小硬度の測定は, マイクロピッカース硬度計(荷重 3g)を用いて, 粗骨材の上部, 側部, 下部の硬化セメントペースト部のピ

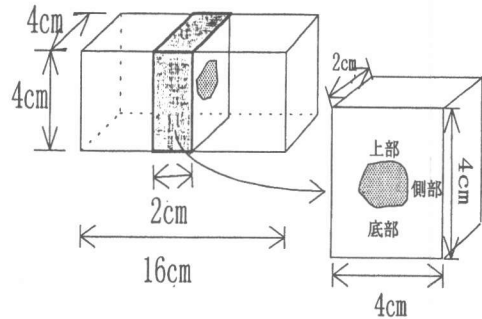


図-1 微小硬度の測定用試料の作製方法

ッカース硬度を粗骨材とペーストとの境界面から 100 μ m まで 10 μ m 間隔で測定した。なお, 同一測定位置におけるヴィッカース硬度の測定はそれぞれ 3 回行った。

2.5 細孔径分布

セメントペーストの 40×40×160mm の供試体を材齢 1,4 週間標準養生した後, 図-2 に示すように約 10×10×10mm の立方体に切断したものを試料とした。毛細管空隙量(細孔径 6nm~2 μ m)の測定は, 水銀圧入法により行った。

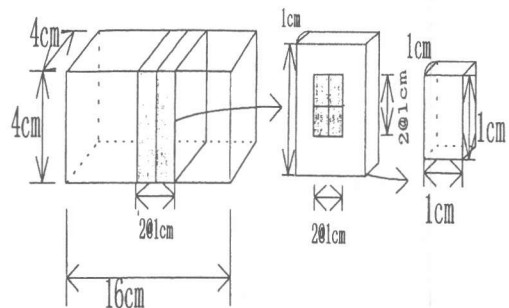


図-2 細孔径分布測定用試料の作製方法

2.6 空気量および気泡径の測定

画像解析による面積比法を用いて, W/C=50% の硬化セメントペーストの空気量および平均気泡径(気泡径約 6 μ m~1000 μ m)を調べた。測定用試料は, 材齢 4 週まで標準養生を行なった 40×40×160mm 供試体の中央部から厚さ 20mm の試料を切り出し, 切断面を研磨した後, 気泡に蛍光剤を充填したものをを用いた。なお, 平均気泡径は, 画像解析で測定した各気泡面積から気泡径を算出したものの平均値とした。

3. 実験結果および考察

3.1 セメントペーストのフレッシュ性状

フレッシュセメントペーストの基本物性を表-3に示す。増粘剤を添加したセメントペーストは、普通セメントペーストと比べて、増粘剤添加量が $W \times 0.1 \sim 0.3\%$ の範囲内で、0打フローが若干小さくなり、Jロート流下時間が長くなった。これは、セルロース系水溶性高分子の増粘剤が増粘作用および潤滑作用を有しており、その結果セメントペーストに材料分離防止効果およびセルフレベリング効果が付与されたためと考えられる¹⁾。増粘剤添加量が $W \times 1.0\%$ のセメントペーストは、Jロート流下時間が長くなっているが0打フローは大きくなっている。これは、増粘剤添加による増粘作用および潤滑作用の働きの助長されたことによるものと考えられる。増粘剤と高性能 AE 減水剤を併用したセメントペースト(50VA2SP20)は、増粘剤のみ添加したセメントペースト(50VA02)に比べて、0打フローが増大し、Jロート流下時間が大きく変化したことから材料分離傾向を示したのと考えられ、目視観察からもセメントの沈降が認められ若干分離傾向を示していることが確認できた。

凝結時間は、増粘剤の添加により遅延する傾向が認められ、増粘剤添加量の増加に伴い凝結時間が長くなる傾向を示した。またブリーディングは増粘剤の添加により抑制される傾向が認められ、増粘剤の添加量の増加に伴いブリーディング率が低下している。これらは、既往の研究²⁾³⁾と同様の結果を示した。

表-3 セメントペーストのフレッシュ性状

配合	0打フロー (cm)	Jロート 流下時間 (sec)	ブリーディ ング率 (%)	凝結時間 (hr)	
				始発	終結
50VA00	22.2	15.3	5.4	3.5	9.5
50VA01	20.4	21.3	5.3	4.8	10.8
50VA02	20.3	29.5	2.9	6.3	11.2
50VA03	20.2	37.2	1.1	6.5	11.6
50VA10	26.4	1243	0.0	13.3	20.7
50VA2SP20	39.4	23.1	3.2	14.4	21.2

3.2 セメントペーストの空気量と強度

セメントペーストの空気量と強度特性を表-4に示す。

増粘剤を添加したセメントペーストは普通セメントペーストと比べて、硬化セメントペーストの空気量が増加し、平均の気泡径が大きくなる傾向を示すことが確認できた。これは、増粘剤の添加により、セメントペーストの粘性が高まったことから巻き込まれた空気量が多くなったためと考えられる。増粘剤添加量が $W \times 0.1 \sim 0.3\%$ の範囲内では圧縮強度が若干低下する傾向を示し、 $W \times 1.0\%$ の配合がいずれの材齢においても 20%程度低くなった。

増粘剤と高性能 AE 減水剤を併用したセメントペーストは、粘性が小さくなったことから空気量が減少したのと考えられる。

また、増粘剤と高性能 AE 減水剤を併用すると圧縮強度が高くなる傾向を示した。これは、高性能 AE 減水剤がセメント粒子の分散作用をもち水和反応をするセメントの表面積が高くなり、また空気量が減少したためと考えられる⁴⁾。

表-4 セメントペーストの強度特性、空気量および平均気泡径

配合	圧縮強度 (N/mm ²)		空気量 (%)	平均気泡径 (μm)
	1週	4週		
50VA00	28.9	40.0	0.34	24
50VA01	25.8	40.4	0.60	44
50VA02	25.1	39.4	1.50	53
50VA03	25.8	37.7	2.43	38
50VA10	20.6	31.7	3.40	94
50VA2SP20	34.5	48.2	0.23	16

3.3 微小硬度

W/C=50%の硬化セメントペーストの微小硬度の測定結果の一例を図-3に示す。ヴィッカーズ硬度が均等になるバルク部(セメントペーストの領域)に比べて小さい遷移帯領域は、普通セメントペーストが約 $50\mu\text{m}$ 、増粘剤添加量 $W \times 0.2\%$ 以上のセメントペーストでは遷移帯領域が明瞭には現れなかった。また、増粘剤を添加したセメントペーストは普通セメントペーストに比べて、遷移帯の影響を受けないバルク部の硬

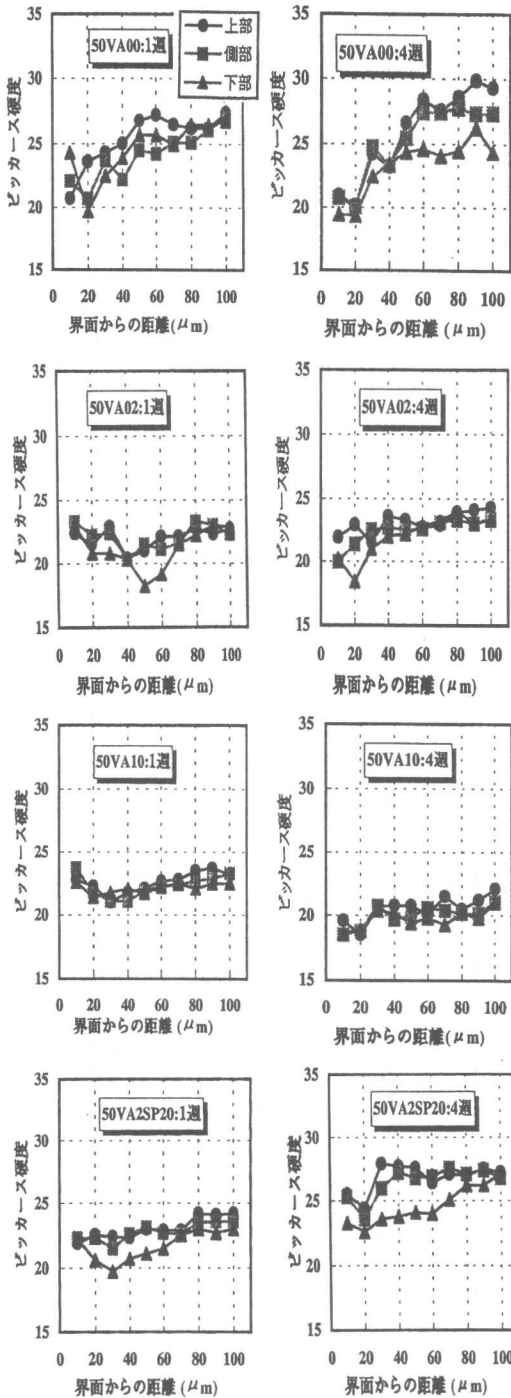


図-3 微小硬度測定結果の一例

化セメントペーストの微小硬度が若干低下する傾向を示し、増粘剤添加量の増加に伴いバルク部の硬化セメントペーストの微小硬度が低くな

る傾向を示した。この主たる要因は、増粘剤の増加に伴いブリーディングが抑制されセメントペーストの実質の水セメント比が大きくなった(配合上の水セメント比に近くなる)ためであり、増粘剤添加によって空気量が増加したことによる影響と考えられる。

一方、微小硬度の測定位置(上部・下部・側部)の相違については、どの場合でも下部の微小硬度が低くなる傾向を示した。これは、他の面と比べて粗骨材の下部にブリーディング水が溜まりポーラスな領域が形成されたためと考えられる。

増粘剤と高性能 AE 減水剤を併用したセメントペーストは、他のセメントペーストと比べて、材齢 4 週で上部および側部の遷移帯領域の幅が狭くなった。これは、高性能 AE 減水剤の添加によりセメント分散性が向上し水和組織が緻密になったためと考えられる。下部では、ブリーディングが生じたこと、フレッシュセメントペーストが若干分離傾向を示したことから骨材とセメントペーストの界面近傍に脆弱な領域が広がったものと考えられる。

図-4 に図-3 の結果より求めたセメントペーストのバルク部の同一測定位置における微小硬度の測定結果のばらつきを示す。増粘剤を添加したセメントペーストは普通セメントペーストに比べて、硬化セメントペーストの微小硬度の測定値のばらつきが小さくなり、より均質な硬化セメントペーストとなることが示唆された。この傾向は増粘剤添加量の増加に伴い顕著に現れている。これは、増粘剤の添加によりセメント

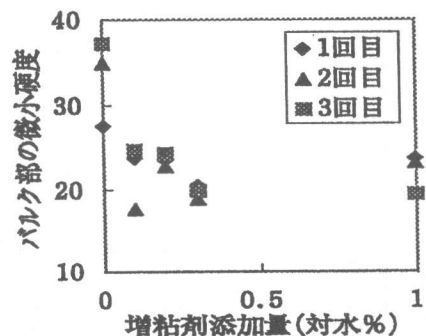


図-4 バルク部の同一測定位置における微小硬度の測定結果のばらつき

ペースト中の水の移動およびブリーディングが抑制されたためと考えられる。

図-5 に水セメント比の違いによるセメントペーストの微小硬度の違いを示す。骨材界面からの脆弱な遷移帯領域は、普通セメントペーストの場合、水セメント比の相違に関わらず骨材の上部および側部の遷移帯幅が60 μm 程度、下部の遷移帯幅が水セメント比の増加に伴い大きくなる傾向を示している。増粘剤添加量 $W \times 0.2\%$ のセメントペーストの場合、測定位置に関わらず $W/C=45\%$ の遷移帯幅が約50 μm 程度であり、 $W/C=50, 55\%$ では明瞭な遷移帯幅が認められず、水セメント比が大きくなるとバルク部分が界面近傍の領域と同様になった。

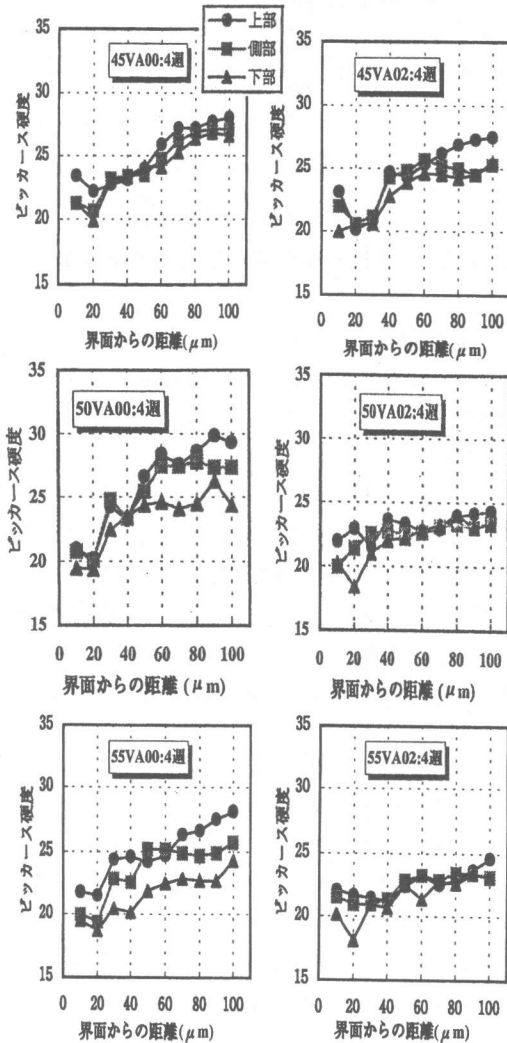


図-5 微小硬度測定結果の一例

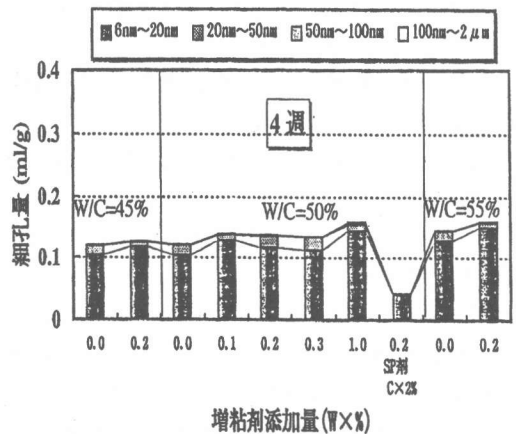
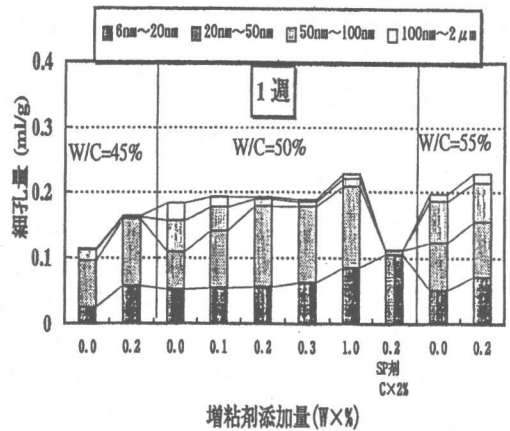


図-6 セメントペーストの細孔径分布

3.4 セメントペーストの細孔径分布

材齢1週および4週におけるセメントペーストの毛細管空隙量(細孔径 6nm \sim 2 μm)の細孔径分布を図-6に示す。増粘剤を添加したセメントペーストは普通ペーストに比べて、材齢1週の場合、細孔径 6nm \sim 2 μm の全毛細管空隙量が多く細孔径 50nm以下の比較的小さな細孔領域の割合が高くなる傾向を示した。増粘剤添加量の増加に伴いセメントペーストの凝結が遅延する傾向にあったことから、初期の水和の進行が普通セメントペーストと異なったためと考えられる。しかし、材齢4週の場合、細孔径 6nm \sim 2 μm の全毛細管空隙量がほぼ同等となり毛細管空隙量の分布に顕著な相違は認められなかった。したがって、増粘剤添加量の相違が長期的なセメントペーストの細孔構造に与える影響は少ないものと考えられる。いずれの場合も材齢1週か

ら4週にかけて水和反応の進行により細孔領域が小さい領域へと移行し、細孔径50nm以下の毛細管空隙量が95%以上を占めた。また、水セメント比が大きくなるに伴い全細孔量が増加していることがわかる。

増粘剤と高性能AE減水剤を併用すると毛細管空隙量が著しく減少し、細孔径が6nm~20nmの小さい領域の毛細管空隙量が90%以上を占めた。この傾向は、材齢4週においてさらに顕著に表れている。これは、高性能AE減水剤がセメントの分散作用を持つことから、水和反応をするセメントの表面積が多くなり、より密実なセメントペーストとなるためと考えられる。

3.5 微小硬度、毛細管空隙量および圧縮強度の関係

硬化セメントペーストのバルク部分の微小硬度、毛細管空隙量(細孔径6nm~2μm)およびセメントペーストの圧縮強度(材齢1,4週)の関係を図-7,8に示す。

圧縮強度と細孔径6nm~2μmの毛細管空隙量との間に相関があるとの報告⁵⁾があり、本実験でも両者の間に高い相関関係が認められた。圧縮強度とバルク部の微小硬度の間にも相関関係が認められた。

4. まとめ

本実験結果から分かったことを以下に示す。

- (1) 増粘剤を添加したセメントペーストは普通セメントペーストに比べてフレッシュ性状が異なることがわかった。
- (2) 増粘剤を添加したセメントペーストは、添加量の増加に伴い明瞭な遷移帯がなくなり、バルク部の微小硬度が均一になることから、増粘剤の添加によりセメントペーストが均質になると考えられた。
- (3) 増粘剤を添加したセメントペーストは普通セメントペーストに比べて、細孔径6nm~2μmの毛細管空隙量が若干大きくなる傾向を示したが、増粘剤添加量 $W \times 0.1 \sim 0.3\%$ の範囲内では顕著な差は認められなかった。

今後、増粘剤系高流動コンクリートの硬化後の物質透過性などの耐久性に与える影響について検討を行う必要があると考えられる。

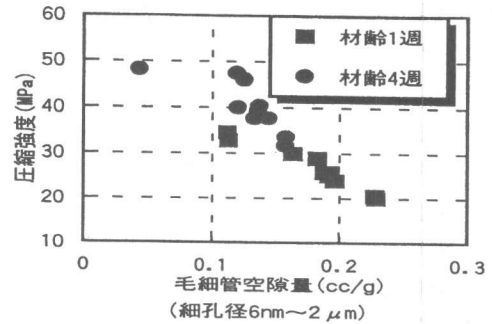


図-7 毛細管空隙量(細孔径6nm~2μm)と圧縮強度の関係

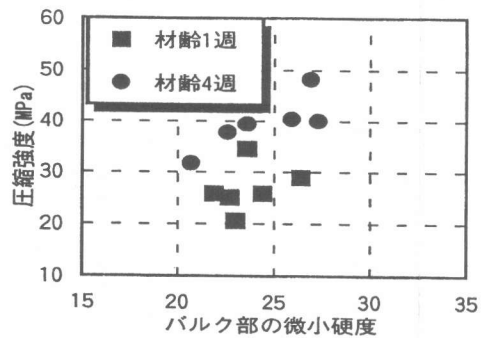


図-8 バルク部の微小硬度と圧縮強度の関係

参考文献

- 1) 水中不分離性コンクリート設計施工指針(案), 土木学会コンクリートライブラリー 74, pp.57-60, 1991
- 2) 阿部保彦, 柿崎正義, 早川和良, 山川 勉: セルロース系分離低減剤を用いた高流動コンクリートの調合物性に関する研究, 第1回超流動コンクリートに関するシンポジウム論文報告集, pp.71-78, 1993.5
- 3) 佐野清史, 守分敏郎, 濱崎勝利, 福手 勤: 増粘剤を用いた省力化施工コンクリートの諸特性, 第1回超流動コンクリートに関するシンポジウム論文報告集, pp.63-70, 1993.5
- 4) 高性能 AE 減水剤を用いたコンクリート施工指針(案), 土木学会コンクリートライブラリー 74, pp.57-60, 1991
- 5) 菅谷秀幸: 骨材-セメントペースト界面, セメント・コンクリート, No.567, pp.46-47, 1994