

세골재의 조립율에 따른 고유동콘크리트의 유동특성에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Fluidity of High Flowing Concrete according to the Fineness Modulus of Fine Aggregate

박유신* 강석표* 조성현* 최세진* 김규용* 김무한**
Park, Yoo-Shin Kang, Suk-Puo Cho, Sung-Hyun Choi, Se-Jin Kim, Gyu-Yong Kim, Moo-Han

ABSTRACT

In the mixing proportion of high flowing concrete we have to use quantity of power such as cement and superplasticizer, and increase the proportion of fine aggregate more than that of plain concrete to increase flowability and segregation resistance.

Therefore, the fresh state of high flowing concrete is largely affected by superplasticizer and change of grade · the percentage of surface water.

This study aims at development of self-filling up high flowing concrete without compaction, in case of using the fine aggregate of standard grade range, by examination on the influence of fresh state of high flowing concrete, and by understanding influence on various fluidity such as flowability, reinforcement passibility, fillingability, segregation resistance.

1. 서 론

고유동콘크리트는 자기충전성이 우수하여 다짐작업을 행하지 않고도 콘크리트의 타설이 가능하며, 프레쉬콘크리트의 성상과 충전도가 직접 경화콘크리트의 품질에 영향을 미치므로 타설전의 프레쉬콘크리트의 품질관리가 중요하다. 고유동콘크리트의 배합은 유동성과 재료분리저항성을 높이기 위해 종래의 배합에 비해 시멘트 등의 분체량과 고성능AE감수제의 사용량을 많게해야 하며, 또 잔골재율을 크게 설정하여야 한다. 따라서 이결과 고유동콘크리트의 프레쉬성상은 고성능AE감수제의 온도의존성에 의한 영향과, 골재의 입도·표면수율 변동의 영향을 종래보다 크게 받는다.

본 연구는 표준입도분포 범위내의 골재를 사용한 경우라도 골재입자의 분산거리나 페이스트 점성변화의 영향으로, 고성능콘크리트의 점성이나 슬럼프-플로우, V로트유하시간이 변화하기 때문에, 세골재 입도분포의 변화가 고유동콘크리트의 프레쉬성상에 미치는 영향에 관해 검토함으로써, 고유동콘크리트의 유동성, 점성, 재료분리저항성 등 각종 유동특성에 미치는 영향을 파악하여 이를 비교·분석함으로써 다짐이 필요없이 자기충전할 수 있는 고유동콘크리트를 개발하는데 그 목적이 있다

* 정회원, 충남대 건축공학과 대학원

** 정회원, 충남대 건축공학과 교수, 공학박사

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 표1과 같이 구성하여 본실험에 앞서 예비실험으로서 모르타시험을 통해 동일한 고성능감수제를 첨가하였을 때의 세골재의 조립율에 따른 유동성 및 간극통과성의 변화를 살펴보고 있으며, 고유동콘크리트의 각종 성상을 분석하기 위하여, 물결합재비의 수준을 0.35로 하고, 세골재로써 강모래, 플라이애쉬 대체율을 30%, AE제의 첨가율을 0.04%의 수준으로 고정하였으며, 강모래의 조립율의 수준을 2.0, 2.4, 2.8, 3.43의 4수준으로 설정하였다. 아직굳지않은 고유동콘크리트의 성상에서 공기량, 단위용적중량을 측정하였으며, 고유동콘크리트의 유동성을 평가하기 위해서 슬럼프, 슬럼프-플로우, L형 플로우 시험을 하였으며, 간극통과성, 충전성 및 재료분리저항성을 평가하기 위해서 L형 간극통과성, V로트시험 및 박스충전성시험 등을 행하여 비교·분석하였고, 경시에 따른 변화도 각종 콘시스턴시험평가방법에 의하여 실시하였다.

표1 실험계획 및 조합

W/B	시멘트 종류	조립율의 범위	SP 제첨가율 (%)	AE 제첨가율 (%)	FA 대체율 (%wt)	간극재율 (%v)	단위수량 (kg/m ³)	절대용적 (l/m ³)				단위중량 (kg/m ³)				측정항목	모르타 성상	콘크리트의 성상
								C	FA	S	G	C	FA	S	G			
0.35	H.B.C	2.0	0.9	0.04	30	50	175	109	68	304	304	350	150	772	778	유동성 : 슬럼프-플로우시험 플로우시험 간극통과성 : V로트시험 L형간극통과성(cm,sec.) 분리저항성 : L형간극통과성 (조골재중량비) V로트시험 충전성 : 박스충전성(cm,sec)	유동성 : 슬럼프-플로우(cm), L형플로우(cm) 간극통과성 : V로트(sec), L형간극통과성(cm,sec.) 분리저항성 : L형간극통과성 (조골재중량비) 충전성 : 박스충전성(cm,sec)	
		2.4																
		2.8																
		3.43																

* H.B.C : High Belite Cement, 고성능감수제 : 폴리카르본산계

2.2 사용재료 및 비빔방법

2.2.1 사용재료

골재로서 세골재는 충남 금강産의 강모래를 사용하였고, 조골재는 대전산 20mm 갠자갈을 사용하였다. 표2는 골재의 물리적 성질을, 표3은 골재의 채가름시험결과를 나타내고, 그림1은 골재의 입도분포곡선을 나타낸 것으로, 비교적 양호한 입도분포를 보이고 있다.

또한, 시멘트는 국내S사의 고유동시멘트, 혼화재료는 플라이애쉬, 혼화제는 폴리카르본산계 고성능감수제와 AE제를 사용하였다.

2.2.2 비빔방법

콘크리트의 비빔은 100ℓ 강제식 팬타입 믹서를 사용하여 건비빔과 모르타 비빔을 행한후, 골재를 투입하는 비빔방법을 실시하였다. 즉, 각 재료들이 균질하게 분산되도록 시멘트, 모래, 플라이애쉬를 투입하여 30초간 건비빔 한 후, 단위수량을 투입하여 60초간 비빔하였으며, 고성능감수제와 AE제를 첨가하여 60초간 비벼 유동화모르타를 만들었다. 그 후 조골재를 투입하여 60초간 비빔 후 슬럼프-플로우치를 측정하였으며, 총 비빔시간은 210초가 소요되었다.

표2 골재의 물리적 성질

구분	입경 (mm)	조립율 (F.M)	비중	흡수율 (%)	씻기손실량 (%)	실적율 (%)	단위용적중량 (kg/ℓ)	비고
세골재	2.5	2.0	2.54	1.66	0.9	61.98	1.63	강모래 (금강産)
		2.4				63.11		
		2.8				65.03		
		3.43				67.68		
조골재	20	6.61	2.56	1.88	0.1	58.30	1.49	갠자갈 (대전産)
KS 및 JIS A 5308 (세골재의 품질규준)	5	-	2.5이상 (절건)	3.0 이하	3.0 이하	-	-	-
KS 및 JIS A 5308 (조골재의 품질규준)	20	-	2.5이상 (절건)	3.0 이하	1.0 이하	-	-	-

표3 골재의 체가름 분석결과

세골재 체치수	FM	0.15	0.3	0.6	1.2	2.5	5.0	10
KS 및 JIS A 5308	-	2~10	10~35	25~65	50~90	80~100	90~100	100
세골재 통과율(%)	2.0	10	35	65	90	100	100	100
	2.4	8	25	50	80	96	100	100
	2.8	4	19	40	69	90	100	100
	3.43	2	10	25	50	80	100	100
조골재 체치수(20mm용)		2.5	5	10	15	20	25	
KS 및 JIS A 5308		0~5	0~10	20~55	55~80	90~100	100	
조골재 통과율(%)		0.3	4.14	36.19	84.13	98.04	99.90	

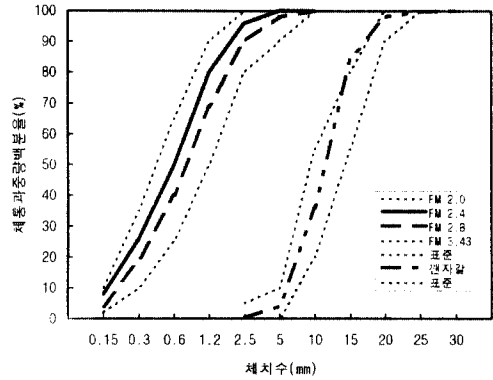


그림1 골재의 입도분포곡선

3. 실험결과와 분석 및 검토

3.1 세골재의 조립율에 따른 모르터의 유동성 및 간극 통과성 검토

그림2는 고성능감수제의 첨가량 1.2%를 동일하게 적용하여 세골재의 조립율에 따른 모르터의 유동성변화를 고찰한 것으로, 모르터 플로우치는 세골재의 조립율이 증가함에 따라 조립율 2.8까지는 증가하다가 세골재의 조립율 3.43의 경우에 다시 감소하는 경향을 보이고 있어, 세골재의 조립율 2.8인 경우 입도분포가 모르터 유동성에 상대적으로 유리한 것으로 나타났다.

세골재의 조립율에 따른 모르터의 간극통과성을 나타낸 그림3에서 보는 바와 같이 세골재의 조립율이 증가함에 따라 조립율 2.0~2.8까지는 모르터 V로트유하시간이 감소하는 경향을 보이다가 조립율 3.43에서는 V로트유하시간이 다시 증가하는 경향을 나타낸다. 이는 세골재의 조립율별 모르터의 플로우치에서 나타난 현상과 동일하게 세골재의 조립율이 2.8인 경우에 입도분포가 비교적 양호하여 상대적으로 모르터 V로트유하시간이 낮게 나타난 것으로 사료된다.

3.2 굳지않은 고유동콘크리트의 실험결과와 분석 및 검토

3.2.1 공기량 및 단위용적중량의 변화

그림4는 비빔직후 공기량 및 단위용적중량의 변화를 나타낸 것으로, 공기량의 변화를 살펴보면 세골재의 조립율이 증가함에 따라 공기량은 5.1~3.0%로 대체적으로 감소하는 경향을 보이고 있는데, 이는 세골재의 조립율에 따른 공기량의 연행성에 대한 기존의 연구보고와 일치하는 경향을 보이고 있다. 단위용적중량은 조립율이 증가함에 따라 증가하는 경향을 보이고 있다.

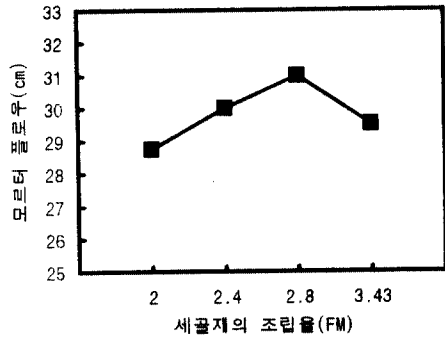


그림2 세골재의 조립율별 모르터의 플로우

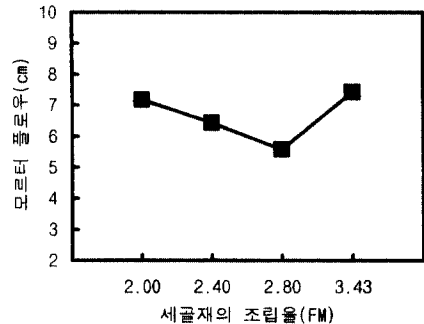


그림3 세골재의 조립율별 모르터의 V로트

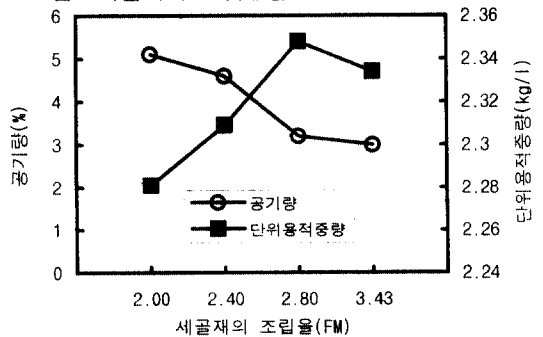


그림4 세골재의 조립율별 공기량 및 단위용적중량

3.2.2 유동성상의 검토

그림5에서 보는 바와같이 슬럼프-플로우는 세골재의 조립율이 증가함에 따라 함께 증가하는 경향을 보이고 있으며, 슬럼프-플로우 50cm도달속도는 대체적으로 증가하는 경향을 보이고 있다. 특히 조립율 2.0에서는 슬럼프-플로우 50cm도달속도가 상대적으로 낮게 나타나고 있는데, 이는 세골재의 조립율이 2.0인 경우 세골재 중에 미립분을 많이 포함하고 있어 점성이 높으므로, 콘크리트의 유동속도를 저하시켰기 때문으로 사료된다.

그림6에서 보는 바와 같이 L-플로우 각 구간의 경우 세골재의 조립율이 증가할수록 대체적으로 유동속도 역시 증가하는 경향을 보이고 있는데, 이는 세골재의 조립율이 증가함에 따라 세골재 중의 미립분함유량이 상대적으로 적어 지므로 점성이 저하하고, 그에 반하여 유동성이 높게 나타났기 때문으로 사료된다.

3.2.3 간극통과성상의 검토

그림7은 세골재의 조립율에 따른 V로트상대유하속도를 나타낸 것으로서, 세골재의 조립율이 2.4와 2.8인 경우에 V로트유하속도가 각각 0.75와 0.74로써 일본콘크리트공학협회(JCI)의 초유동콘크리트 연구위원회에서 제안하고 있는 1 ± 0.5 의 범위에 만족하는 수준을 보이고 있다. 반면, 세골재의 조립율 2.0과 3.43에서는 V로트 상대유하속도가 1 ± 0.5 의 범위를 벗어나고 있는데, 이는 세골재의 조립율 2.0의 경우에는 세골재 중에 미립분이 많이 포함되어 있어 점성이 높아 상대유하속도가 느려진 것으로 사료되며, 세골재의 조립율 3.43의 경우에는 세골재 중의 미립분이 감소함에 따라 모르타의 점성이 저하하고, 골재입자간에 마찰작용 및 맞물림현상 때문이라고 사료된다.

그림8은 세골재의 조립율별 L형간극슬럼프와 L형간극플로우의 성상을 나타낸 것으로서, L형간극슬럼프의 경우 세골재의 조립율이 2.4인 경우에 L형간극슬럼프가 28cm로 높게 나타나고 있으나 세골재의 조립율이 3.43인 경우에는 간극을 거의 통과하지 못해 L형간극슬럼프가 거의 나타나지 않고 있다. 또한, L형간극 플로우의 성상을 살펴보면 세골재의 조립율 2.4 및 2.8인 경우에 상대적으로 양호한 성상을 나타내고 있으며, 세골재의 조립율이 3.43인 경우에는 L형간극 플로우가 상대적으로 열악한 성상을 나타내고 있는데, 이는 L형간극 슬럼프와 마찬가지로 세골재 중의 미립분이 감소하여 모르타의 점성이 저하하고 골재입자의 분산 거리가 감소해서 간극 통과시 골재입자간에 마찰작용 및 맞물림작용 등으로 인해 폐색되었기 때문으로 사료된다.

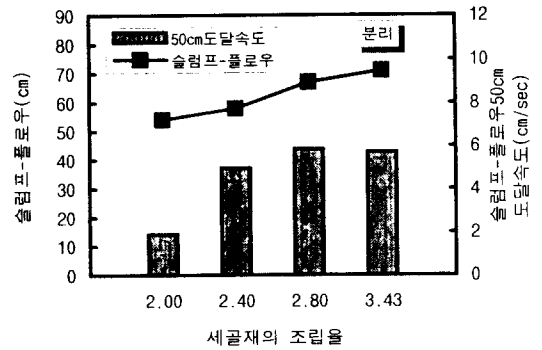


그림5 세골재의 조립율별 슬럼프-플로우 및 슬럼프-플로우50cm도달속도

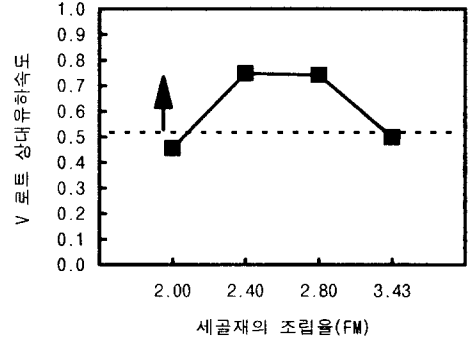


그림6 세골재의 조립율별 L플로우 각 구간 도달속도

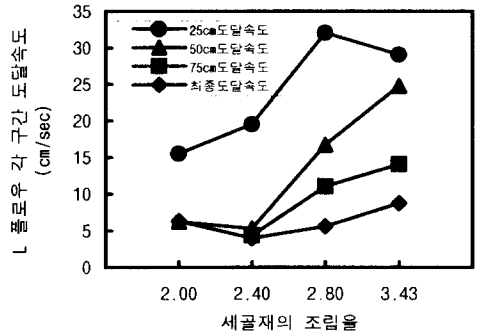


그림7 세골재 조립율별 V로트 상대유하속도

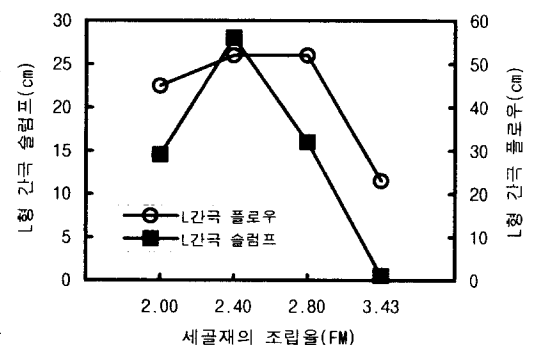


그림8 L형간극플로우와 L형간극슬럼프의 성상

3.2.4 분리저항성의 검토

그림9에서 보는 바와같이 세골재의 조립율이 증가함에 따라 조골재의 중량비차도 증가하는 양상을 보이고 있다. 그러나, 조립율 3.43의 경우 유동성상 검토를 위한 슬럼프-플로우, L형플로우에서는 간극과 같은 장애물이 없는 상태에서 콘크리트가 유동되었기 때문에 분리가능성을 관찰할 수 없었으나, L형간극통과성이 매우 열악하여 콘크리트가 간극을 통과하지 못하고 폐색 및 재료분리가능성을 보이고 있다.

3.2.5 박스충전성의 검토

그림10에 나타난 바와같이 세골재의 조립율이 2.4일 때 박스충전성 낙하높이차가 가장 작게 나타나고 있는데, 이는 세골재의 조립율이 2.4일 때 입도분포가 비교적 양호하여 박스충전성 시험기의 간극을 잘 통과하였기 때문으로 사료된다. 반대로 세골재의 조립율 3.43에서는 박스충전성의 낙하높이차가 크게 나타나고 있는데, 이는 그림9의 조골재중량비차에서의 경향과 유사하게 세골재의 조립율 3.43의 경우 상대적으로 간극통과성이 열악하게 나타나 박스충전성 시험기의 간극을 거의 통과하지 못했기 때문으로 사료된다.

3.3 각종 유동특성 시험치간의 관계 분석 및 검토

3.3.1 슬럼프-플로우와 L형간극슬럼프의 관계

그림11은 슬럼프-플로우와 L형간극슬럼프와의 관계를 나타낸 것으로서 슬럼프-플로우는 조립율이 증가함에 따라 증가하나 L형간극슬럼프는 조립율 2.4에서 양호한 값을 나타내고 그 외의 조립율에서는 다소 열악한 값을 나타낸다. 특히 조립율 3.43의 경우 슬럼프-플로우가 가장 높은 값임에도 불구하고 L형간극슬럼프는 거의 0에 가까운 값을 나타내고 있다. 즉, 유동성이 우수하다고 반드시 간극통과성이 우수한 것은 아니다.

3.3.2 슬럼프-플로우와 조골재중량비차의 관계

슬럼프-플로우와 조골재중량비차와의 관계를 나타낸 그림12에서 보는 바와 같이, 세골재의 조립율이 증가함에 따라 슬럼프-플로우는 증가하며, 이에 따라 조골재중량비차도 증가하고 있다. 그러나, 세골재의 조립율 3.43의 경우에는 재료분리로 인해 페이스트만이 간극을 통과하여 조골재중량비차를 구할 수 없었다. 여기서, 조립율이 증가함에 따라 유동성은 증가하나 재료분리저항성은 열악해짐을 알 수 있다.

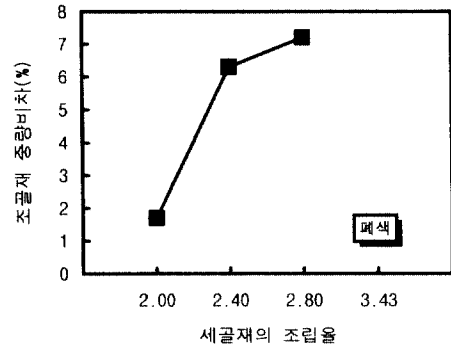


그림9 L형간극통과성에 의한 조골재 중량비차

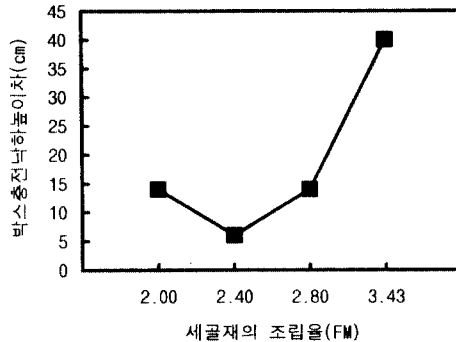


그림10 세골재의 조립율별 박스충전성 낙하높이차

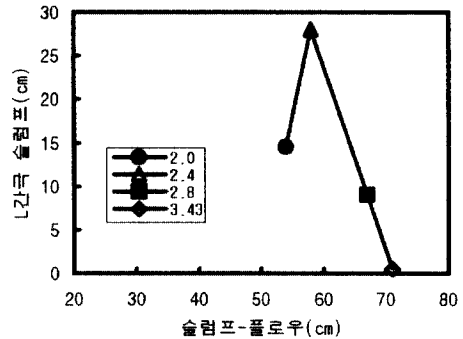


그림11 슬럼프-플로우와 L형간극슬럼프와의 관계

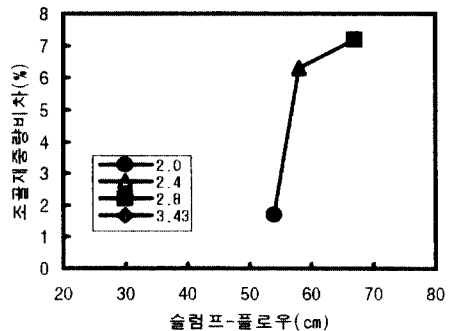


그림12 슬럼프-플로우와 조골재중량비차와의 관계

4. 결 론

세골재의 조립율에 따른 고유동콘크리트의 각종 유동특성에 대한 실험·실증적인 검토를 행한 후 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 고성능AE감수제의 동일 첨가시 세골재의 조립율이 증가함에 따라 공기량은 대체적으로 감소하는 경향을 보이고 있어 고유동콘크리트의 공기량 확보에 따른 AE제의 효율적인 사용이 요구된다.
- 2) 세골재의 조립율에 따른 모르타의 유동성 및 간극통과성의 결과로부터 세골재의 조립율 2.8의 경우 유동성 및 간극통과성이 상대적으로 양호한 것으로 나타났다. 콘크리트의 성상에서는 간극통과성, 충전성 및 재료분리저항성에서는 세골재의 조립율 2.4의 경우 고유동특성이 상대적으로 양호하게 나타나고 있으나, 조립율 3.43의 경우 재료분리 경향이 상대적으로 높은 것으로 나타났다.
- 3) 유동매트릭스내 골재입자의 유동거동이 고유동콘크리트의 유동특성에 상당한 영향을 미치고 있다고 볼 때, 세·조골재의 조립율 및 입도분포 상태가 골재상호간의 마찰작용 및 맞물림현상에 따른 고유동콘크리트의 유동특성에 미치는 영향에 관한 보다 심도있는 연구가 요구된다.

참고 문헌

1. 超流動コンクリート研究委員會；コンクリートシンポジウム 論文報告集, 日本コンクリート工學協會, 1993.5.21
2. 檀垣 誠ほか5；フローイングコンクリート關する實驗研究, 日本建築學會大會學術講演梗概集, 1995.8, pp. 271~272
3. 淺井 洋ほか3；高流動コンクリートのフレツシュ性狀に關する基礎的研究, 콘크리트工學年次論文報告集, Vol. 16. No.1, 1995, pp.119~124.
4. 岡村甫・前川宏・小澤一雅；ハイパフォーマンスコンクリート, 技報堂出版株式會社, 1993. 9, pp. 35~43
5. 岩崎訓明；コンクリート配合の原點, セメントコンクリート, No. 564, 1994. 4, pp. 20~27
6. 日本コンクリート工學協會 編；フレッシュコンクリートの舉動研究委員會報告, 1990. 3