

고유동콘크리트의 유동특성에 미치는 잔골재 및 굵은골재의 영향

Influence of the Fine and Coarse Aggregate on the Fluidity of High Flowing Concrete

○ 김 규 용* 이 정 율* 박 선 규*
Kim, Gyu-Yong Lee, Jung Youl Park, Sun-Gyu
정 하 선** 이 석 홍*** 손 영 현**** 김 무 한*****
Jung, Ha-Sun Lee, Suk-Hong Son, Young-Hyun Kim, Moo Han

Abstract

Aggregate as the component of High Flowing Concrete has much influence on the properties of High Flowing Concrete according to the quality and condition because the aggregate occupy a lot of concrete volume. The shape and size of aggregate affect a lot spatial passibility and fillingability. The segregation is easy to occur when the rate of Fine aggregate is low and it is difficult to take the required flowability when the rate of Fine aggregate is high so that Fluidity is much affected by aggregate factor.

In this study, therefore, we try to understand the various fluidity according to the fine aggregate of standard grade rang, the size of Coarse aggregate and the rate of fine aggregate to confirm the manufacturing possibility of High Flowing Concrete by examination on the influence of fresh state of high flowing concrete such as flowability, reinforcement passibility, fillingability, segregation resistance.

키워드 : 입도범위, 굵은골재 크기, 잔골재율, 유동특성,

Keywords : Grade Rang, Size of Coarse Aggregate, Rate of Fine Aggregate, Fluidity

1. 서 론

콘크리트의 구성재료로서 분산입자(分散粒子)인 골재는 골재의 치수, 형상, 강도, 흡수율등의 물리적 특성 등에 의해 콘크리트의 단위용적중량 탄성계수 및 체적변화에 관계할 뿐만아니라 화학적, 광물학적 성질에 있어서도 영향을 미치는 중요한 재료이다.

* 정회원, 충남대 건축공학과 대학원

** 정회원, 현대건설(주) 기술연구소, 이사·공학박사

*** 정회원, 현대건설(주) 기술연구소, 과장·공학박사

**** 정회원, 현대건설(주) 기술연구소, 연구원

***** 정회원, 충남대 건축공학과 교수·공학박사

특히, 고유동콘크리트의 경우 보통콘크리트보다 골재의 성질에 따른 영향을 매우 크게 받으며, 골재의 각종 물리적 성질 및 콘크리트의 배합수준에 따라 유동성, 충전성, 간극통과성, 재료분리저항성등에 직접적인 영향을 받는등 골재요인에 의한 고유동콘크리트의 유동특성은 크게 좌우된다.^{1),2),3)}

본 연구는 고유동콘크리트의 각종 유동특성에 미치는 골재의 요인을 잔골재의 조립율, 굵은골재 크기 및 잔골재율로 설정하여 이에 따른 영향 및 성상을 검토하여 각 요인간의 관계를 검토한 것이다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획 및 조합

본 실험계획 및 조합은 먼저 잔골재의 조립율에 따른 고유동콘크리트의 유동특성을 규명하기 위하여 표 1과 같이 물결합재비의 수준을 0.35, 잔골재로써 강모래, 플라이애쉬 대체율을 30%, 고성능AE감수제의 첨가량을 0.9% 고정하였으며, 강모래의 조립율의 수준을 2.0, 2.4, 2.8, 3.43의 4수준으로 설정하였다. 또한, 잔골재율 및 굵은골재의 최대크기에 따른 고유동콘크리트의 유동특성을 규명하기 위하여 잔골재로써 강모래, 굵은골재로써 갠자갈을 사용하여, 플라이애쉬 대체율을 30%, 고성능AE감수제의 첨가율은 예비실험을 통해 적정 첨가량 수준인 1.0%로 선정하고 굵은골재 20mm, 25mm에 대하여 각각 잔골재율을 0.48, 0.50, 0.52의 3수준으로 설정하여 골재요인에 따른 고유동콘크리트의 유동특성을 평가·분석하였다..

표 1 실험계획 및 콘크리트 조합

물결합재비	FA 대체율 (M)	고성능AE 감수제 첨가율 (%)	단위 수량 (kg/m³)	굵은골재 최대크기 (mm)	조립율의 범위	잔골재율 (%)	절대용적 (ℓ/m³)				단위중량 (kg/m³)											
							C	FA	S	G	C	FA	S	G								
0.35	30	0.9	175	20	2.0	50	109	68	304	304	350	150	772	778								
					2.4																	
					2.8																	
					3.43																	
		1.0	175	20	48	109									70	291	315	350	150	739	806	
					50															303	303	770
			25	52	315															291	800	745
				48	291															315	739	825
	25	175	20	50	109		70	303	303	350	150	770	794									
				52								315	291	800						762		

2.2 사용재료

본 실험에 사용된 골재로서 잔골재는 충남 금강産 강모래를, 굵은골재는 대전産 20mm, 25mm의 갠자갈을 사용하였고, 골재의 물리적 성질을 표 2에 나타내었으며, KS 및 JIS에서 제시하고 있는 고성능콘크리트(HPC)용 잔·굵은골재의 품질규격을 만족하고 있다. 그림 1은 잔골재 및 굵은골재의 입도분포곡선을 나타낸 것으로 비교적 양호한 입도분포를 나타내고 있다.

표 3의 기타 사용재료의 물리적 성질에서, 시멘트는 국내 S사의 저열포틀랜드시멘트, 혼화제는 산업부산물인 보령화력발전소의 플라이애시를 사용하였고, 혼화제는 국내 K사의 폴리카르본산계 고성능AE감수제를 사용하였다

표 2 골재의 물리적 성질

구분	입경 (mm)	비중	흡수율 (%)	씻기 손실량 (%)	실적율 (%)	단위용적중량 (kg/ℓ)	
잔골재	시험치	2.5	2.54	1.66	0.9	64.17	1.63
	KS 및 JIS A 5308(잔골재 품질규격)	5	2.5이상 (절건)	3.0이하	3.0이하	-	-
굵은골재	시험치	20	2.56	1.88	0.1	58.20	1.49
	KS 및 JIS A 5308(굵은골재 품질규격)	20	2.5이상 (절건)	3.0이하	1.0이하	-	-

2.3 유동성 평가 및 비빔방법

굳지않은 콘크리트에서 고유동콘크리트의 유동특성을 파악하기 위하여 슬럼프-플로우, L-플로우, V로트 시험, L-간극 슬럼프시험 등 각종 평가항목⁴⁾을 설정하여 측정하였다.

콘크리트의 비빔은 100ℓ 강제식 펜타입믹서를 사용하여 건모르터(시멘트+플라이애시+잔골재)→유동화모르터(물+고성능AE감수제)→유동화콘크리트(굵은골재)의 단계별로 구성 재료를 분할투입하는 방법을 채용하였으며, 총 비빔시간은 210~270초가 소요되었다.

표 3 기타 사용재료의 물리적 성질

시멘트	저열포틀랜드시멘트 비중 : 3.20, 분말도 : 4,130 ^{cm²/g}
혼화재	플라이애시(FA) 비중 : 2.13, 분말도 : 3,228 ^{cm²/g} , 강열감량 : 2.44%
혼화재	고성능AE감수제 폴리카르본산계, 비중 : 1.20±0.05, 역상

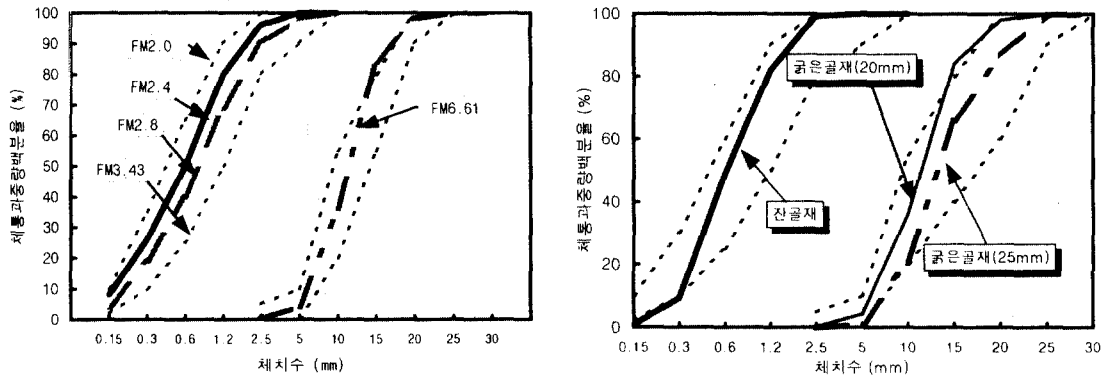


그림 1 골재의 입도분포 곡선

3. 실험결과의 분석 및 검토

3.1 잔골재의 조립율에 따른 실험결과의 분석 및 검토

3.1.1 유동성상의 검토

그림 2는 잔골재의 조립율에 따른 슬럼프-플로우 및 슬럼프-플로우 50cm도달속도의 관계를 나타낸 것으로 골재의 조립율이 증가함에 따라 함께 증가하는 경향을 보이고 있으며, 슬럼프-플로우 50cm도달속도는 대체적으로 증가하는 경향을 보이고 있다. 특히 조립율 2.0에서는 슬럼프-플로우50cm도달속도가 상대적으로 낮게 나타나고 있는데, 이는 잔골재의 조립율이 2.0인 경우 잔골재 중에 미립분을 많이 포함하고 있어 점성이 높으므로, 콘크리트의 유동속도를 저하시켰기 때문으로 사료된다.

3.1.2 간극통과성상의 검토

그림 3은 잔골재의 조립율에 따른 V로트 상대유하속도를 나타낸 것으로서, 잔골재의 조립율이 2.4와 2.8인 경우에 V로트유하속도가 각각 0.75와 0.74로써 일본콘크리트공학협회(JCI)의 초유동콘크리트 연구위원회에서 제안하고 있는 1±0.5의 범위에 만족하는 수준을 보이고 있다. 반면, 잔골재의 조립율 2.0과 3.43에서는 V로트 상대유하속도가 1±0.5의 범위를 벗어나고 있는데, 이는 잔골재의 조립율 2.0의 경우에는 잔골재 중에 미립분이 많이 포함되어 있어 점성이 높아 상대유하속도가 느려진 것으로 사료되며, 잔골재의 조립율 3.43의

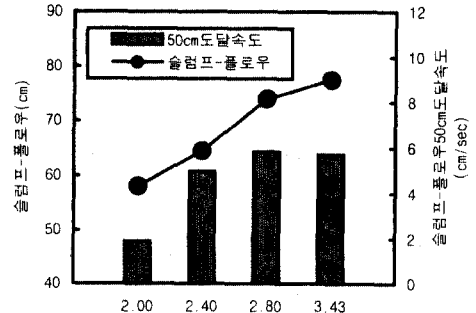


그림 2 잔골재의 조립율별 슬럼프-플로우 및 슬럼프-플로우50cm도달속도

경우에는 잔골재 중의 미립분이 감소함에 따라 모르터의 점성이 저하하고, 골재입자간에 마찰작용 및 맞물림현상 때문이라고 사료된다.

그림 4는 잔골재의 조립율별 L형 간극슬럼프와 L형 간극플로우의 성상을 나타낸 것으로서, L형간극슬럼프의 경우 잔골재의 조립율이 2.4인 경우에 L형 간극슬럼프가 28cm로 높게 나타나고 있으나 잔골재의 조립율이 3.43인 경우에는 간극을 거의 통과하지 못해 L형 간극슬럼프가 거의 나타나지 않고 있다. 또한, L형 간극플로우의 성상을 살펴보면 잔골재의 조립율 2.4 및 2.8인 경우에 상대적으로 양호한 성상을 나타내고 있으며, 잔골재의 조립율이 3.43인 경우에는 L형간극 플로우가 상대적으로 열악한 성상을 나타내고 있는데, 이는 L형간극 슬럼프와 마찬가지로 잔골재 중의 미립분이 감소하여 모르터의 점성이 저하하고 골재입자의 분산거리가 감소해서 간극 통과시 골재입자간에 마찰작용 및 맞물림작용 등으로 인해 폐색되었기 때문으로 사료된다.

3.1.3 분리저항성의 검토

그림 5는 잔골재의 조립율별 굵은골재 중량비차를 나타낸 것으로 조립율이 증가함에 따라 굵은골재의 중량비차도 증가하는 양상을 보이고 있다. 그러나, 조립율 3.43의 경우 유동성상 검토를 위한 슬럼프-플로우, L형 플로우에서는 간극과 같은 장애물이 없는 상태에서 콘크리트가 유동되었기 때문에 분리가능성을 관찰할 수 없었으나, L형 간극통과성이 매우 열악하여 콘크리트가 간극을 통과하지 못하고 폐색 및 재료분리가 성능을 보이고 있다.

3.2 잔골재율 및 굵은골재의 최대크기에 따른 실험결과 분석 및 검토

3.2.1 유동특성의 검토

그림 6은 비빔직후의 슬럼프-플로우치를 나타낸 것으로, 굵은골재 크기에 따라서 유사하게 나타나고 있으며 잔골재율에 따른 변화는 잔골재율이 증가하면서 슬럼프-플로우치가 감소하는 경향을 보이고 있다.

그림 7의 슬럼프-플로우 50cm도달시간은 「建築工事標準仕様書・同解説(JASS 5 鐵筋コンクリート工事)」에서 규정하고 있는 슬럼프-플로우 50cm도달시간 3~8초 범위에 20mm와 25mm 모두 대체적으로 만족하고 있으며, 20mm보다 25mm가 도달시간이 빠르게 나타나고 있다. 잔골재율의 변화에 따라서는 잔골재율이 증가하면서 50cm도달시간은 증가하는 경향을 보이고 있다. 이와 같이 잔골재율이 증가하면서 유동성이 저하되는 것은, 잔골재율의 증가에 따른 모르터 용적의 증가와 콘크리트 중 굵은골재 용적의 감소로 점성이 증가했기 때문으로 사료되며, 이는 기존의 연구보고와 유사한 경향이다.³⁾

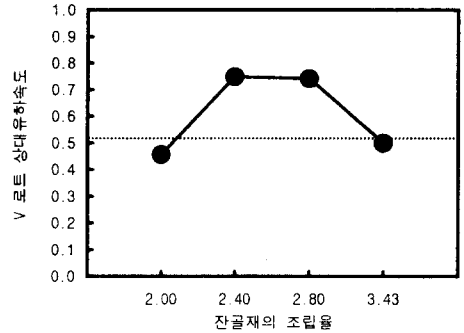


그림 3 잔골재 조립율별 V로트 상대유속도

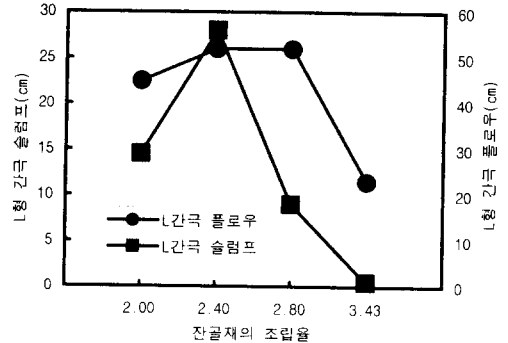


그림 4 L형간극플로우와 L형간극슬럼프의 성상

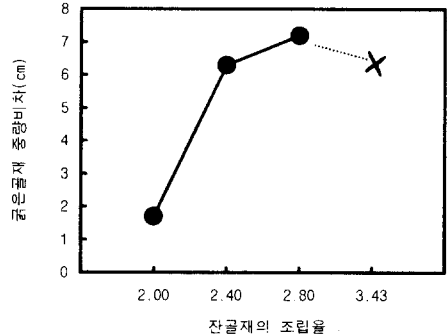


그림 5 L형간극통과성에 의한 굵은골재 중량비차

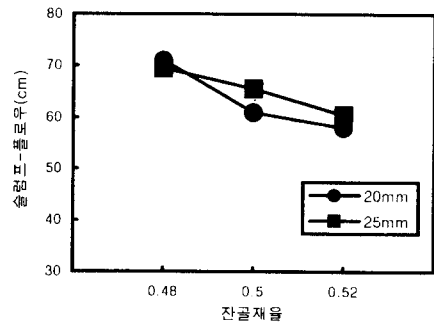


그림 6 굵은골재 크기 및 잔골재율에 따른 슬럼프-플로우치의 변화

그림 8은 L형 플로우 및 L형 플로우 각 구간 도달시간을 나타낸 것으로 굵은골재 크기에 따라서는 굵은골재 25mm가 20mm보다 같은 L형 플로우치에서 도달시간이 빠르게 나타나고 있으며, 잔골재율에 따른 변화는 L형 플로우 75cm구간 이상에서 동일한 유동성을 확보했을 때 잔골재율이 클수록 도달시간이 긴 것을 볼 수 있다.

3.2.2 간극통과성상의 검토

그림 9는 굵은골재 크기 및 잔골재율에 따른 V로트 상대유속도를 나타낸 것이다. V로트 상대유속도는 굵은골재 25mm가 20mm보다 상대적으로 느리게 나타나고 있으며, 잔골재율에 따라서는 잔골재율이 증가할수록 V로트 상대유속도가 느리게 나타났다. 이는 굵은골재의 크기가 큰 경우, V로트 유하시에 골재 상호간의 간섭, 즉 마찰 및 맞물림작용에 의해 간극통과성이 상대적으로 불리하다는 기존의 연구보고⁵⁾과 일치하는 경향을 보이고 있다.

그림 10은 굵은골재 크기 및 잔골재율에 따른 L형 간극슬럼프치를 나타낸 것으로 굵은골재 크기에 따라서는 20mm의 경우가 25mm의 경우보다 L형 간극슬럼프치가 높게 나타나고 있으며, 잔골재율에 따른 변화는 잔골재율이 증가하면서 L형 간극슬럼프치는 감소하는 경향을 나타내고 있다. 이는 V로트 유하시험의 경우와 마찬가지로 굵은골재의 크기가 큰 경우, L형 간극 통과시에 골재 상호간의 간섭, 즉 마찰 및 맞물림작용의 영향에 따른 것으로 사료된다.

3.3 조립율, 잔골재율 및 골재치수의 관계

고유농콘크리트의 유동특성에 미치는 잔골재의 조립율, 잔골재율 및 굵은골재 최대치수의 관계를 나타낸 그림 11에서

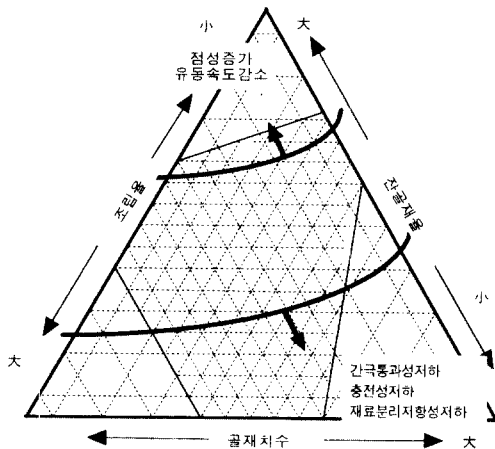


그림 11 조립율, 잔골재율 및 굵은골재 최대치수의 관계

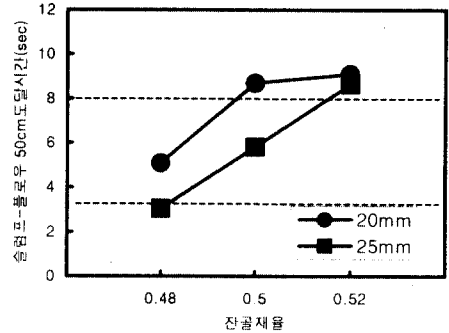


그림 7 굵은골재 크기 및 잔골재율에 따른 슬럼프-플로우 50cm도달시간

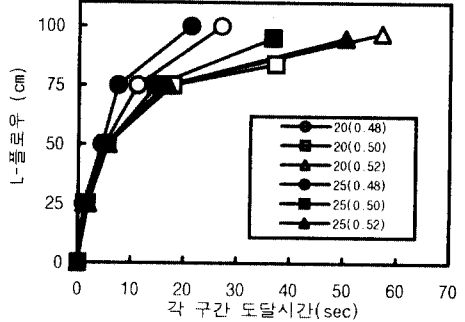


그림 8 굵은골재 크기 및 잔골재율에 따른 L형 플로우 및 L형 플로우 각 구간 도달시간

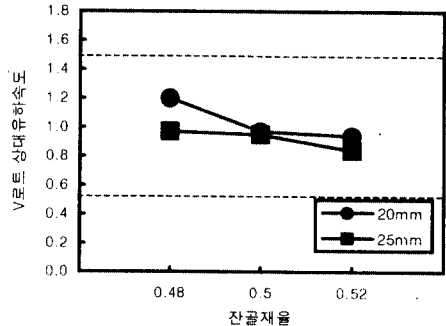


그림 9 굵은골재 크기 및 잔골재율에 따른 V로트 유하속도

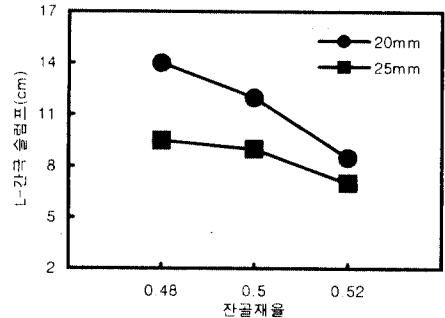


그림 10 굵은골재 크기 및 잔골재율에 따른 L형 간극슬럼프

알수 있는 바와같이 조립율이 작아지고 잔골재율이 커질수록 고유동콘크리트의 점성이 증가하게 되어 유동속도가 감소하게 된다. 또한 잔골재율이 작아지고 골재치수가 커질수록 고유동콘크리트의 간극통과성, 충전성, 재료분리저항성이 저하하는 영역이 존재함을 알 수 있다.

4. 결 론

고유동콘크리트의 유동특성에 미치는 잔골재 및 굵은골재의 영향을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 잔골재의 조립율에 따른 고유동콘크리트의 간극통과성, 충전성 및 재료분리저항성에서는 잔골재의 조립율 2.4의 경우 고유동특성이 상대적으로 양호하게 나타나고 있으나, 조립율 3.43의 경우 재료분리 경향이 상대적으로 높은 것으로 나타났다.
- (2) 슬럼프-플로우 50cm도달시간 및 L-플로우 각 구간 도달시간으로 살펴본 결과, 고유동콘크리트의 유동속도의 경우 대체적으로 굵은골재 20mm보다 25mm가 빠르게 나타나고 있으며, 잔골재율에 따른 변화는 잔골재율이 증가하면서 유동속도도 감소하는 경향을 보이고 있다.
- (3) V로트 상대유하속도로 살펴본 간극통과성상은 굵은골재 20mm가 25mm보다 V로트 상대유하속도가 다소 빠르게 나타나고 있는데, 이는 20mm가 골재 상호간의 간섭, 즉 마찰 및 맞물림작용의 영향을 25mm보다 덜 받았기 때문으로 사료되며, 잔골재율이 증가함에 따라 V로트 상대유하속도는 감소하는 경향을 보이고 있다.
- (4) 고유동콘크리트의 유동성, 간극통과성 및 충전성을 향상시키기 위해서는 적정수준의 조립율, 잔골재율이 확보되어야 할 것으로 사료된다.
- (5) 유동매트릭스내 골재입자의 유동거동이 고유동콘크리트의 유동특성에 상당한 영향을 미치고 있다고 볼 때, 잔골재 및 굵은골재의 입도 및 입형 상태가 골재상호간의 마찰작용 및 맞물림현상에 따른 고유동콘크리트의 유동특성에 미치는 영향에 관한 보다 심도 있는 연구가 요구된다.

감사의 글

본 연구는 충남대학교와 현대건설(주) 기술연구소의 산·학컨소시움에 의해 수행된 연구내용중 일부임을 밝히며, 본 연구를 위하여 협조해주신 현대건설(주) 관계자 여러분께 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

1. 岩崎 訓明 ; 콘크리트配合의原點, 세멘트콘크리트, No. 564, 1994. 4, pp. 20~27
2. 上河 茂幸ほか3 ; 高流動콘크리트의フレッシュ性狀に及ぼす骨材粒度の影響, 콘크리트年次論文報告集, Vol.17, No1, 1995, pp11~16.
3. 佐藤 正一ほか3; 細骨材の粒度の相違が高流動콘크리트の性狀に及ぼす影響について, 콘크리트年次論文報告集, Vol.17, No1, 1995, pp111~116.
4. 日本콘크리트工學協會, 超流動콘크리트研究委員會報告書(I), 1993. 5, pp. 12~56
5. 谷川 恭雄ほか2; 超流動콘크리트における粗骨材連行性に関するレオロジ-的考察, 超流動콘크리트に関するシンポジウム論文報告集, 1993, pp79~83.