論文　細骨材の種類による高流動コンクリートの流動特性及びその評価に関する実験的研究

金 武 漢[*1]・洪 悅 郎[*2]・鎌田英治[*3]・金 圭 庸[*4]

要　旨：コンクリート構造體の品質に直接的に影響をあたえる高流動コンクリートの各種流動擧動は骨材の種類及び品質によって大きく影響され，これに關する研究が必要であると考えられる．本研究は基礎物性が異なる細骨材を3種類用いて，フライアッシュを各各の水準別に設定したフレッシュコンクリートの流動性，間隙通過性，充塡性，分離抵抗性などを相互比較・檢討・分析・評價したものである．

キーワード：高流動コンクリート，細骨材の基礎物性，流動性，間隙通過性，充塡性，分離抵抗性

1. はじめに

高流動コンクリートは締固めを必要とせずに複雑なかたわく内に密實に打設される流動特性を有しており，建設構造材料としてその需要してきた．しかし，このような高流動コンクリートの優れた流動特性を確保するためには，各種品質影響要因など究明すべき要因が多數存在する．その中で骨材の種類が高流動コンクリートの流動特性におよぼす影響は大きいと考えられる．

本研究は粗粒率，形狀，表面性狀などの基礎物性が異なる川砂，碎砂，海砂の3種類の細骨材を用い，フライアッシュの混入率を4水準に變化させて流動性，間隙通過性，分離抵抗性などを實驗的に相互比較・檢討・分析・評價したものである．

2. 實驗計劃及び方法

2.1 實驗計劃

本研究は細骨材の種類による高流動コンクリートの各種流動特性を相互比較・檢討・分析・評價するために表-1のように水結合材比0.35，細骨材種類を川砂，碎砂，海砂の3種類，フライアッシュ混入率を各細骨材の種類によって 15，30，45，60%に設定してフレッシュコンクリートの流動特性を流動性，間隙通過性，充塡性，分離抵抗性などの多角的な側面で把握して細骨材の種類による高流動コンクリートの特性を分析・評価する．

表-1　實驗要因及び水準

實驗要因	水　準
水結合材比	0.35
細骨材	・川砂 (River Sand) ・碎砂 (Crushed Sand) ・海砂 (Sea Sand)
FAの混入率 (%)	15，30，45，60
試驗項目	・スランプフロー (cm,) ・50cmスランプフロー時間(sec) ・Lフロー(cm)，Lフロー速度(cm/sec)， ・Vロート(sec)， ・ボックス充塡高(cm)，充塡時間(sec) ・粗骨材の重量比差測定

2.2 コンクリートの調合及び使用材料

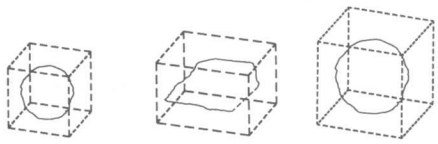
コンクリートの調合は表-2に示すように水結合材比を0.35と一定とし，各各の細骨材種類別にフライアッシュの混入率を15，30，45，60%に設定した．但，海砂でフライアッシュ混入率15%は除外した．コンクリートの目標スランプフロー 65±5cmとなるよう試し練りを行なって高性能AE減水劑の添加量を表2によ

＊1　大韓民國 忠南大學敎授 工科大學建築工學科，工博（正會員）
＊2　關東學院大學敎授 工學部建築工學科，工博（正會員）
＊3　北海道大學敎授 工學部建築工學科，工博（正會員）
＊4　大韓民國 忠南大學校大學院　建築工學科，博士課程

表-2．コンクリートの調合

細骨材の種類	水結合材比	FA混入率(%)	目標スランプフロー(cm)	s/a(%)	単位重量(kg/m³)					
					水	セメント	FA	細骨材	粗骨材	SP(%)
川砂 砕砂 海砂	0.35	15	65±5	52	175	425	75	864	800	1.5
		30				350	150	849	784	1.5
		45				275	225	833	771	1.8
		60				200	300	820	756	2.0

＊ 海砂の場合FA15%除外



a) 川 砂　　b) 砕 砂　　c) 海 砂

圖-2 細骨材の形状

うに決定した．

本實驗で使用した各種材料の物理的性質は表-3に，使用した骨材の粒度分布曲線は圖-1に示した．細骨材は川砂，砕砂，海砂で，各各の形状は圖-2で示すように川砂の場合粒経が小さく丸型で，砕砂の場合粒経が比較的大きく，粗くて扁平な形状で，海砂の場合形状は丸型であるが粒経が大きく，細粒分が相對的少になかった．粗骨材は最大粒経20mmである砕石骨材を使用して，セメントは普通ポルトランドセメント，混和材はフライアッシュ，混和剤はナフタレン系の高性能AE減水剤を使用した．

コンクリートの練混ぜは鋼制式パン型ミキサ(容量100ℓ)を使用して，練混ぜ方法は乾モルタル(セメント+細骨材)→流動化モルタル(水+高性能AE減水剤)→高流動コンクリート(粗骨材)の段階別に構成材料を分割投入する方法を採用して，總練混ぜ時間は210～270秒程度となった．

表-3 使用材料の 物理的性質

セメント		普通ポルトランドセメント 比重:3.15，比表面積:3,200cm²/g
細骨材	川砂	粒経:2.5mm，比重:2.57， 組粒率:2.64，實積率:62.1%
	砕砂	粒経:5mm，比重:2.58， 組粒率:2.87，實積率:64.1%
	海砂	粒経:5mm，比重:2.57， 組粒率:3.38，實積率:64.7%
粗骨材	砕石	粒経:20mm，比重:2.58， 組粒率:6.54，實積率:58.0%
混和材		フライアッシュ(ＦＡ) 比重:２．１，比表面積:４,050cm²/g
混和剤		高性能AE減水剤（ＳＰ）： ナフタレン系，比重1.10，液状.

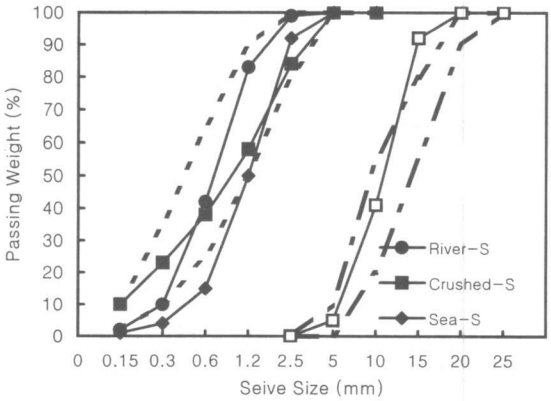


圖-1 骨材の粒度分布曲線

表-4 高流動コンクリートの試驗項目及び方法

試驗項目	試 驗 方 法
スランプフロー	スランプ試驗後コンクリートの廣がりを測定
スランプフロー速度	スランプフローが50cm，最終到達距離までの時間を測定
Vロート	ロート流下時間測定 Vロート試驗方法: 超流動コンクリート研究委員會報告書
Lフロー	各區間別及び最終到達時間測定 Lフロー試驗方法： 超流動コンクリート研究委員會報告書
ボックス充塡高	ボックス充塡高試驗方法: 超流動コンクリート研究委員會報告書
材料分離抵抗性	ボックス充塡高測定後ボックス投入口と排出口のコンクリートを採取して粗骨材量を測定した.

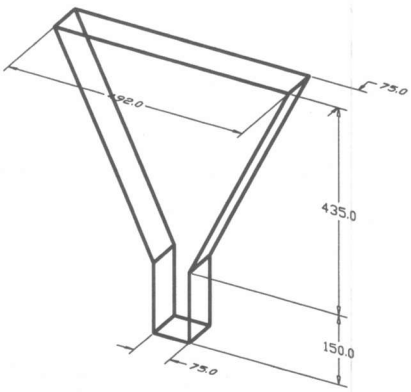


圖-3 V ロート 試驗器

2.3 試驗項目及び試驗方法

細骨材の種類による高流動コンクリ-トの流動性,間隙通過性,充塡性,材料分離抵抗性などを綜合的に分析・評價するために『JCI超流動コンクリ-ト研究委員會報告書』[1]及びその他の參考文獻[2],[3],[4],[5]を參照して流動性測定及び評價項目を表-4のように設定した. 圖-3にV ロ-ト試驗器, 圖-4に Lフロ-試驗器, 圖-5にボックス充塡試驗器の形狀寸法を示す. 材料分離抵抗性を測定するための試驗方法は,ボックス充塡驗器の投入口と排出口のコンクリ-トを採取して5mmふるいでふるい, 殘った粗骨材を表乾狀態にし, 各各の重量を測定して粗骨材重量比の差(粗骨材重量/コンクリ-ト重量×100(%))を下式で算出してコンクリ-トの材料分離抵抗性を評價した.

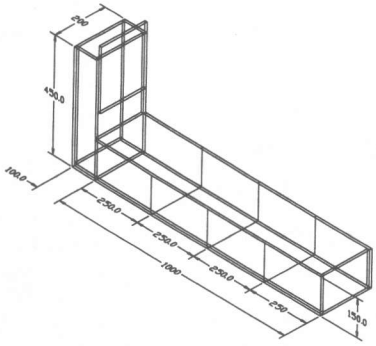


圖-4 Lフロ-試驗器

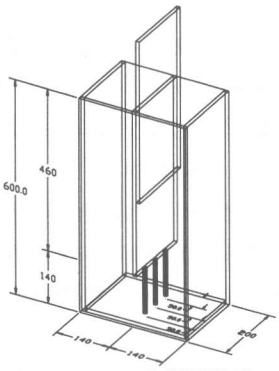


圖-5 ボックス充塡試驗器

粗骨材重量比差 (%) = 投入口の粗骨材比(%)
- 排出口の粗骨材比(%)

3. 試驗結果の分析及び檢討

3.1 流動特性に關する分析及び檢討

圖-6はフライアッシュ混入率とスランプフロ-の變化を示したもので,全體的にフライアッシュ混入率の增加によって高性能減水劑の添加率は各各1.5,1.5,1.8,2.0%にしてスランプフロ-の範圍は65～70cmの水準である.また,粗粒率が各各2.87,3.38で相對的に大きい碎砂と海砂の場合はフライアッシュ混入率の增加によってスランプフロ-値が增加する傾向をみせているが,粗粒率が2.64で相對的に小さい川砂の場合にはフライアッシュ混入率30%以後から高性能減水劑の添加率が增加にもかかわらずコンクリ-トの降伏値が增加してスランプフロ-が減少する傾向を現わしている.

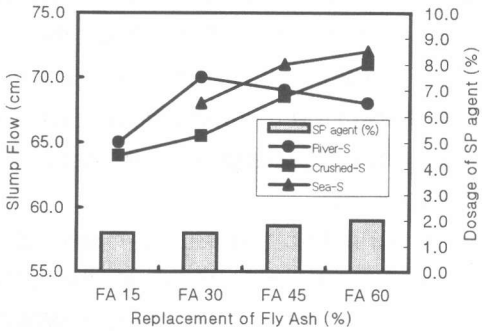


圖-6 フライアッシュ混入率とスランプフロ-の變化

圖-7は最終及び50cmスランプフロ-の停止時間の變化を示めしたものである.圖6のスランプフロ-の範圍にフライアッシュ混入率による50cmスランプフロ-の流動時間と最終スランプフロ-停止時間の傾向はフライアッシュ混入率が15%から30%まではスランプフロ-の停止時間が短くなるが, フライアッシュ混入率が30%以上になるとスランプフロ-の停止時間が長くなる傾向を示めしている. 細骨材の種類による50cmスランプフロ-の流動時間と最終スランプフロ-の停止時間は粗粒率が相對的に大きい海砂(3.38)の場合

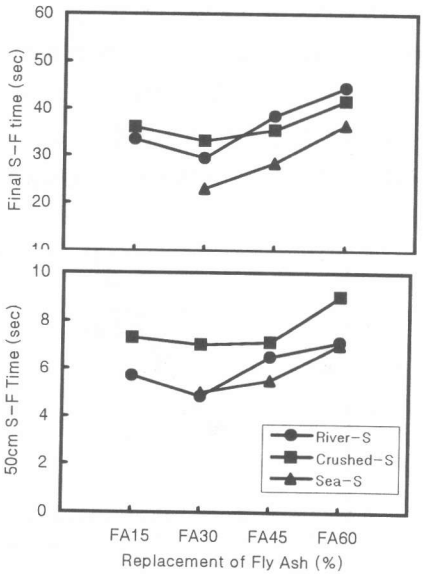


圖-7 最終及び50cmスランプフロ-停止時間の變化

に短くなり,粗粒率の水準が相對的に小さい川砂(2.64)と碎砂(2.87)の場合に長くなる.

圖-8はスランプフロ-の経時變化を示めしたものである. 全體的にフライアッユ混入率の增加によって高流動性の維持時間が長く現われて, 細骨材の種類によっては粗粒率が小さい順序である川砂,碎砂,海砂の順番に流動性維持時間が長くなって,スランプフロ-経時變化が小さくった. 從って高流動コンクリ-トの流動性維持時間確保において高性能減水劑の添加量の調節と骨材の種類によるフライアッユ混入率の適切な適用が必要であると考えられる.

また圖-9のスランプフロ-とスランプフロ-停止時間との關係で示めしたように流動時間が30秒を超過する範圍内では同一の流動時間においては粗粒率が小さい順序である川砂, 碎砂, 海砂の順序でスランプフロ-が相對的に大きく確保されることを示しており, 高流動コンクリ-トの流動性側面では粒形が丸みがあって粗粒率が比較的小さい川砂が有利であることが現われた.

圖-10はスランプフロ-とLフロ-の關係を示めしたもので,測定範圍はスランプフロ-40～70cmで各各Lフロ-を測定した.スランプフロ-40～70cmの範圍内では二次元方向で流動されるスランプフロ-より一次元方向に流動されるLフロ-の値が大きく確保される傾向を現わしている. また圖-11のスランプフロ-速度とLフロ-速度の關係ではスランプフロ-速度がLフロ-速度より多少大きく現われており, コンクリ-トの流動方向及び流動形態によって高流動コンクリ-トの流動時間及び流動速度が多少異なることを示唆している.

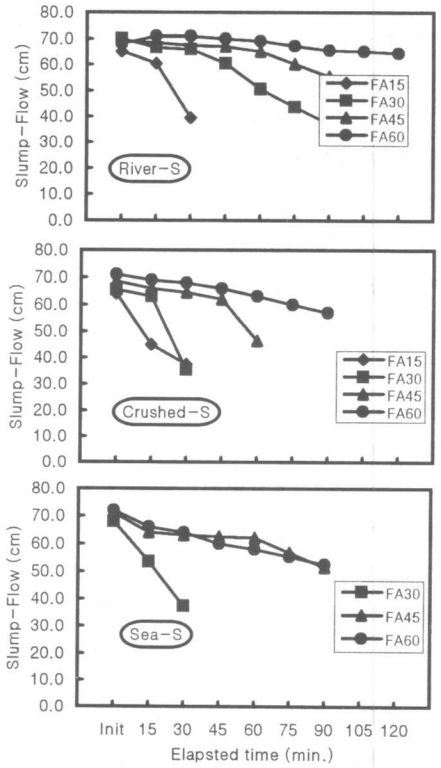


圖-8 スランプフロ-の経時變化

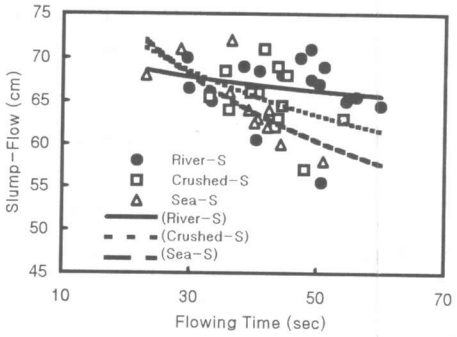


圖-9 スランプフロ-とスランプフロ-停止時間の關係

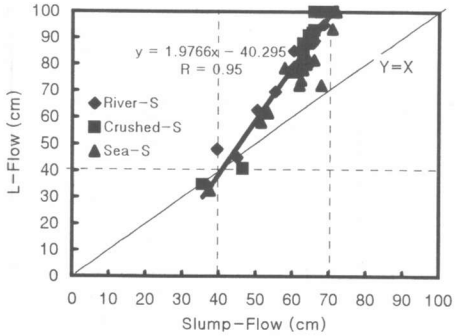


圖-10 スランプフロ-とLフロ-の關係

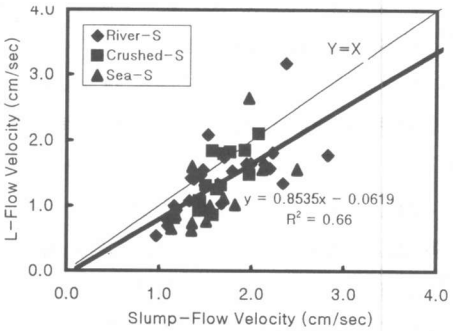


圖-11 スランプフロ-速度とLフロ-速度の關係

3.2 間隙通過性に關する分析及び検討

圖-12はコンクリ-トのスランブフロ-値が65±5cmの範圍内で細骨材の種類及びフライアッシュ混入率によるVロ-ト流下時間の變化を示したものである. 粗粒率が小さい川砂の場合Vロ-ト流下時間が5秒内外でもっとも速い水準をみせているが, 碎砂と海砂は川砂と比較してVロ-ト流下時間が相對的に長く現われた. またスランブフロ-とVロ-ト流下時間との關係を示した圖-13によると川砂の場合高流動コンクリ-トで要求されるスランブフロ-の流動領域とVロ-トの流下時間の領域に分布される測定値の頻度が比較的多く形成されるが, 碎砂と海砂の場合流動性の領域である50～70cm範圍のスランブフロ-値を確保してもVロ-トの適正流下時間である10±5秒の範圍[1][5]をはずれ, 間隙通過性が不良な領域に分布される測定値の頻度が多く現われている. これはVロ-トの流下時に粗粒率が大きく形狀が粗い骨材の場合骨材相互間の衝突及び摩擦現象に基因するためと考えられる. 從って高流動コンクリ-トの製造時に大きいスランブフロ-値の確保とばかりでなく骨材の形狀及び粗細粒度の分布による間隙通過性の確保に對する細心な注意が必要であると考えられる.

3.3 充塡性及び分離抵抗性に關する分析及び検討

圖-14は細骨材の種類及びフライアッシュ混入率によるボックス充塡高の變化を示めしたものである. 細骨材の形狀が扁平で粗粒率が相對的に大きい碎砂の場合, フライアッシュ混入率が低い水準においてはボックス充塡高さがたいへん低く現われるが, フライアッシュ混入率の增加によって充塡高さが高くなって充塡性が向上された. これはセメントより比重が小さいフライアッシュの混入率の增加によって單位微粉末容積が增加するためと考えられる. 圖-15は細骨材の種類及びフライアッシュ混入率によるボックス充塡時間を示したもので, 細骨材の種類による充塡時間は川砂の場合10～30秒, 碎砂の場合15～35秒, 海砂の場合30～45秒でフライアッシュ混入率による有意な差はみられな

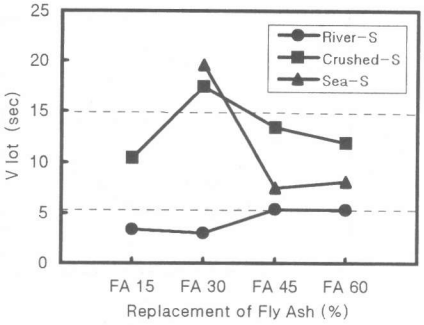


圖-12 細骨材及びフライアッシュ混入率によるVロ-ト

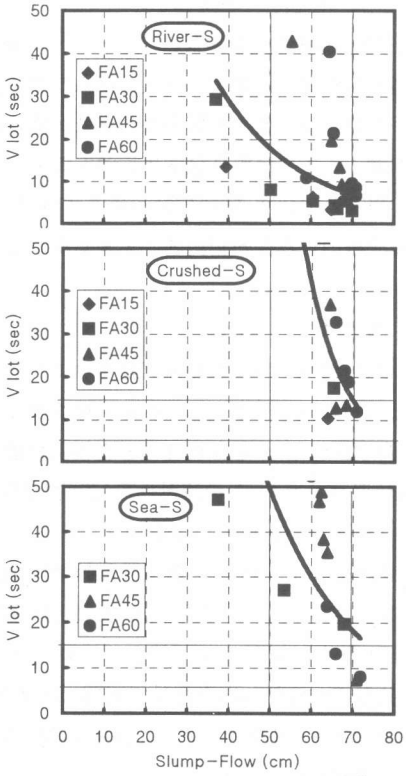


圖-13 スランブとVロ-トの關係

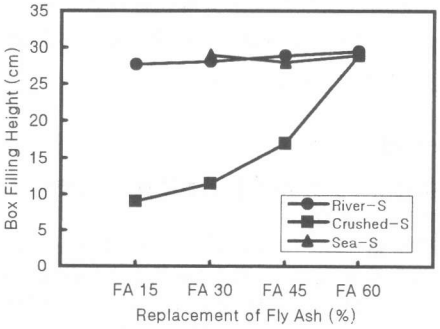


圖-14 細骨材の種類及びフライアッシュ混入率によるボックス充塡高

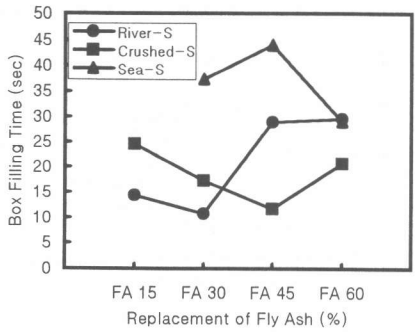


圖-15 細骨材の種類及びフライアッシュ混入率による充塡時間

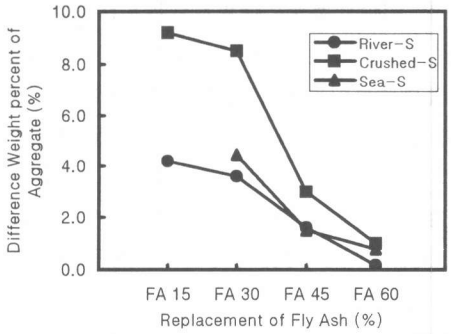


圖-16 細骨材の種類及びフライアッシュ混入率による粗骨材重量比差

い. 圖-16は細骨材の種類及びフライアッユ混入率によって粗骨材の重量比差を示したもので，ボックス充塡高さを測定した後ボックスの投入口と排出口でコンクリ-トを採取し粗骨材の重量を各各測定して，投入口の粗骨材重量比と排出口の粗骨材重量比の差を算出したものである．全體的にフライアッシュ混入率が低くなるほど粗骨材重量比差が大きくなり，フライアッシュ混入率が高くほど粗骨材重量比差が小さく現われている．特に碎砂の場合フライアッシュ混入率15%と30%で粗骨材重量比差が8%以上に現われ骨材分離の可能性が相對的に大きく現われた．

4. まとめ

高流動コンクリ-トの各種流動特性におよぼす細骨材の影響要因を實驗的に檢討するために基礎物性が異なる細骨材を川砂，碎砂，海砂別にフライアッシュ混入率を設定してフレッシュコンクリ-トの高流動性，間隙通過性，分離抵抗性などを相互比較・檢討・分析・評價した後次のような結論を得た．

1. 高流動コンクリ-トの流動性維持時間は粗粒率が小さい順序である川砂，碎砂，海砂の順番で高流動性維持時間が長くなり，またフライアッシュ混入率が增加するほど流動性維持時間が長くなる．從って高流動コンクリ-トの流動性維持時間確保をためには，細骨材種類による適切なフライアッシュ混入率の適用がコンクリ-トの調合設計時考慮されるべきであると考えられる．
2. 高流動コンクリ-トのスランプフロ-が大きく確保されてもVロ-トの流下時に粗粒率が大きく骨材の形狀が粗い骨材の場合骨材相互間の衝突と摩擦現象ために間隙通過性及び充塡性が不良になる可能性が大きく現われており，骨材の形狀及び粗細粒度の水準による間隙通過性及び充塡性の確保に細心な注意が必要である．
3. 高流動コンクリ-トの各種流動特性をはじめ充塡性及び材料分離抵抗性は骨材の粗粒率が小さく形狀が丸型な川砂を使用した場合が形狀が多少扁平し粗粒率が比較的大きい碎砂及び海砂の場合より良好な流動性狀を現われている．

參考文獻

1. 超流動コンクリ-ト研究委員會 ： 超流動コンクリ-ト研究委員會 論文報告集，日本コンクリ-ト工學協會，1993
2. 岡村 甫 ほか ： ハイパフオ-マンスコンクリ-ト，技術堂出版，1993
3. 顏蘇 榮治 ほか ： 細骨材の粗立率が高流動コンクリ-トのフレッシュ時の性狀におよぼす影響，コンクリ-ト工學年次論文集，Vol.18，No.1，PP125～128，1996
4. 岩井 信彰 ほか ： 高流動コンクリ-トのフレッシュ性狀に及ぼす骨材の形狀・寸法の影響，コンクリ-ト工學年次論文集，Vol.18，No.1，PP117～122，1996
5. 日本コンクリ-ト工學協會 ： コンクリ-トの技士研修テキスト，技報堂，1995