

論文 フレッシュコンクリートの変形特性に及ぼす骨材の粒度構成の影響

桜井 邦昭*1・近松 竜一*2・入矢 桂史郎*3・十河 茂幸*4

要旨: 骨材はコンクリートの約70%を占める主要材料であるが、他の材料に比べ製造および貯蔵時に変動の生じ易い材料である。そこで、骨材の粒度構成がコンクリートの変形特性に与える影響を実験的に検討した。その結果、粗骨材中の10~5mm粒度の割合は変形性に大きく影響すること、および粗骨材中に過小粒を含む場合にそれを細骨材の一部として取り扱うと細骨材率を補正してもワーカブルな状態とするのが難しい場合もあること、などが明らかとなった。

キーワード: 細骨材, 粗骨材, 粒度, スランプ, プラスティシティー

1. はじめに

フレッシュコンクリートの変形特性は、スランプを評価指標とするコンシステンシーの他にポンパビリティや振動を加えた場合のプラスティシティーを含め、これらの要因を総合的に評価する必要がある¹⁾。

著者らは、これまでにスランプが同じでも水セメント比や単位水量の異なるコンクリートでは振動を与えた場合の変形特性が相違することを明らかにしており²⁾、振動締固め時の変形特性を「モビリティ」と称して、コンクリートのワーカビリティを表す指標の一つとして適切に評価すべきであることを提案している³⁾。

細骨材および粗骨材はコンクリートの体積の約70%を構成する主要材料である。そのため、骨材の密度、吸水率、粒度、微粒分量などの物理的性質がコンクリートの諸特性に与える影響は大きい。骨材粒度は、同じ山から採取される場合でもその製造および貯蔵・計量方法によりバラツキを生じ易い⁴⁾。そのため、骨材の粒度構成が変化したときのコンクリートの変形特性の違いを把握することは重要である。

そこで、本論文ではコンクリートの変形特性

に及ぼす骨材の粒度構成の影響を把握することを目的として、細骨材率、細骨材の5~2.5mmの割合、粗骨材の10~5mmの割合および粗骨材中の過小粒などがコンクリートの変形特性に与える影響について実験的に検討した。

2. 実験概要

骨材の粒度構成が変形特性に与える影響を検討するため、表-1に示すように細骨材率、骨材粒度などを変化させたコンクリートについて実験を行った。

細骨材は皆野町産砕砂(表乾密度2.66g/cm³, 吸水率1.41%, 実積率63.3%), 粗骨材は青海産碎石(表乾密度2.65g/cm³, 吸水率0.78%, 実積

表-1 実験の検討項目

実験シリーズ	検討項目	水準
(1)	単位水量	単位水量172~194kg/m ³
(2)	細骨材率	細骨材率40, 43, 45, 47, 50%
(3)	5~2.5mm粒度	細骨材中の5~2.5mm粒度の割合0, 9, 18, 29%
(4)	10~5mm粒度	粗骨材中の10~5mm粒度の割合0, 20, 35, 55, 75%
(5)	粗骨材中の過小粒	粗骨材中の5mm以下の過小粒の割合0, 10, 20, 30%

*1 榊大林組技術研究所 土木材料研究室 材料施工グループ 工修 (正会員)

*2 榊大林組技術研究所 土木材料研究室 材料施工グループ長 工修 (正会員)

*3 榊大林組技術研究所 土木材料研究室 室長 工博 (正会員)

*4 榊大林組技術研究所 副所長 工博 (正会員)

率 59.7%) を使用した。なお、表-1の(5)に示す粗骨材の過小粒の実験では細骨材に木更津産陸砂(表乾密度 2.60g/cm³, 吸水率 2.04%)を用いた。セメントは普通ポルトランドセメント(密度 3.16 g/cm³) を使用し、混和剤にはリグニン系の AE 減水剤を使用した。

実験に用いたコンクリートの基準配合を表-2に示す。水セメント比を 55%, 単位水量を 180kg/m³ とした。なお、空気量は 4.5±1%となるよう AE 助剤の添加量を変化させて調整した。

コンクリートの練混ぜは、二軸強制練りミキサ(公称容量: 60L)を使用した。練混ぜ量は 1バッチ当たり 40Lとした。練混ぜ方法は、粗骨材、細骨材、セメントの順に投入した後、空練りを 10秒間行い、あらかじめ混和剤を希釈した水を投入して 60秒間練り混ぜた。

コンクリートの各種試験項目を表-3に示す。各試験は表中に示す基準に準拠して行った。

表-2 コンクリートの基準配合

水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					AE減水剤 Ad
		水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G		
55.0	45.0	180	327	804	977	0.82	

表-3 コンクリートの試験項目および方法

試験項目	試験方法 (準拠規準)
スランブ	JIS A 1101-1998
振動台式コンシステンシー試験	JSCE-F501-1999 (沈下度)
スプレッド試験	DIN 1048
空気量	JIS A 1128-1999

表-4 単位水量を変化させた場合の試験結果

単位水量 (kg/m ³)	W/C (%)	ペースト 容積 (L/m ³)	骨材 容積 (L/m ³)	スランブ (cm)	スプレッド (cm)	沈下度 (sec)
172	55.0	269	686	5.5	38.5	22.2
175		276	679	6.5	39.5	13.3
180		283	672	11.5	42.5	8.3
192		302	653	17.0	49.0	7.4
194		306	649	17.5	53.0	5.8

3. 変形特性に及ぼす各種要因の検討

3.1 単位水量の影響

基準配合をもとに水セメント比一定で単位水量を変化させた場合のスランブ、スプレッド、沈下度の関係を表-4に示す。水セメント比を一定として単位水量を増加させた場合、スランブ、スプレッドは増大し、沈下度は低下する結果が得られた。これは、ペースト量の増加(骨材量の減少)により、骨材に付着・拘束されないペースト分が増加するためと考えられ、ペースト濃度が一定の場合、コンクリートの変形特性を左右する主たる要因がペースト量と骨材量の相対的な比率であることを示すものと考えられる。

3.2 細骨材率の影響

水セメント比、単位水量を一定として細骨材率を変化させた場合のコンクリートの変形特性の検討を行った。実験に用いた骨材の粒度分布を図-1に示す。スランブの状況を写真-1に、スランブ、スプレッドおよび沈下度の試験結果を図-2に示す。細骨材率が小さくなるとスランブは大きくなるが、プラスティシティーの悪い

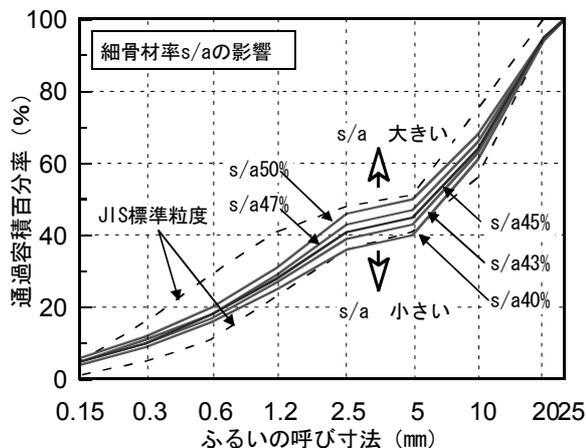


図-1 骨材の粒度分布(細骨材率変化)

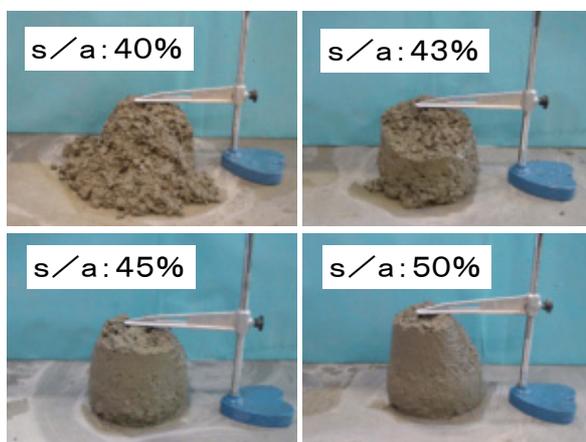


写真-1 スランブ状況(細骨材率変化)

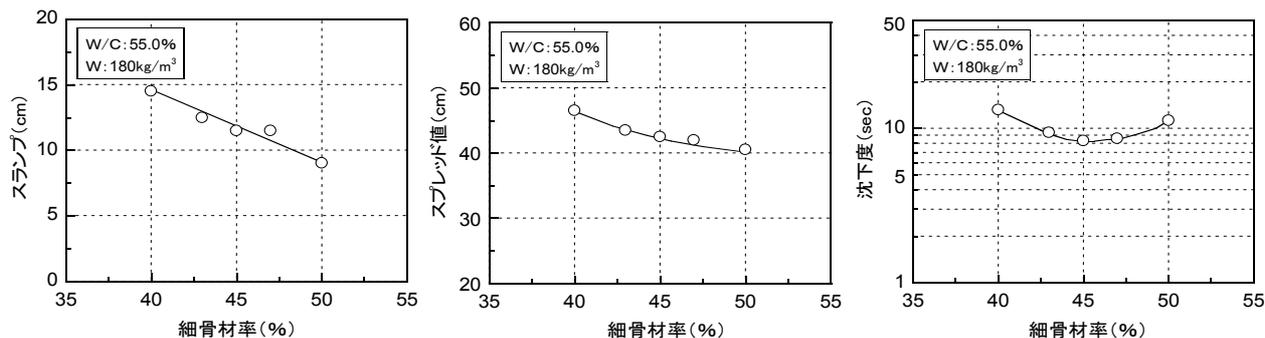


図-2 細骨材率を変化させた場合のスランブ、スプレッドおよび沈下度の変化

分離したコンクリートとなる。これは、細骨材率を小さくすることで相対的に骨材中の細粒分が不足し、大きな粒径の骨材が過度に多く存在するためと考えられる。一方、細骨材率を大きくさせるとスランブは小さくなるが、これは細骨材の割合が増加し骨材全体の表面積が大きくなり、骨材の表面に付着・拘束されるペースト分が増大するためと考えられる。

また、スランブおよびスプレッドは細骨材率の減少に伴って単調に増大する結果となり、この結果からコンクリートが分離し変形特性に劣ることを判断するのは難しい。このことは分離したコンクリートの変形性を評価するためには、別途、材料分離抵抗性を評価する指標が必要であることを示すものと考えられる。

一方、沈下度は、スランブ試験状況から最もワーカブルと判断される細骨材率 45%の場合に最小値を示している。一般に沈下度は硬練りコンクリートのコンシステンシーの評価指標として用いられているが、コンクリートの振動による変形特性の良否を表す指標としても有用であると考えられる。

3.3 細骨材中の5~2.5mm 粒度の影響

水セメント比および単位水量を一定として、細骨材の5~2.5mm 粒度の割合を0~27%の範囲で変化させた場合のコンクリートの変形特性について検討した。実験に用いた骨材の粒度分布を図-3に示す。なお、コンクリートの配合設計方法⁶⁾に準じ、細骨材の粗粒率の変化に対応して細骨材率を補正した。スランブ、スプレッドおよび沈下度の試験結果を表-5に、スランブの

表-5 骨材粒度とフレッシュ試験結果 (5~2.5mm 粒度変化)

名称	細骨材中の5~2.5mm 粒度の割合(%)	粗粒率F.M.		細骨材率 s/a (%)	スランブ (cm)	スプレッド (cm)	沈下度 (sec)
		細骨材	粗骨材				
S0	0	2.54	6.65	44.0	11.5	44.5	8.0
S9	9	2.74		45.0	11.5	42.5	8.3
S18	18	2.97		46.0	10.5	45.5	10.2
S27	27	3.19		47.0	8.0	43.5	10.3

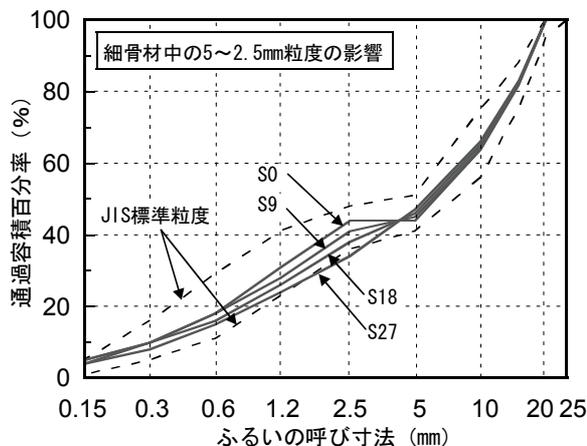


図-3 骨材の粒度分布(5~2.5mm 粒度変化)

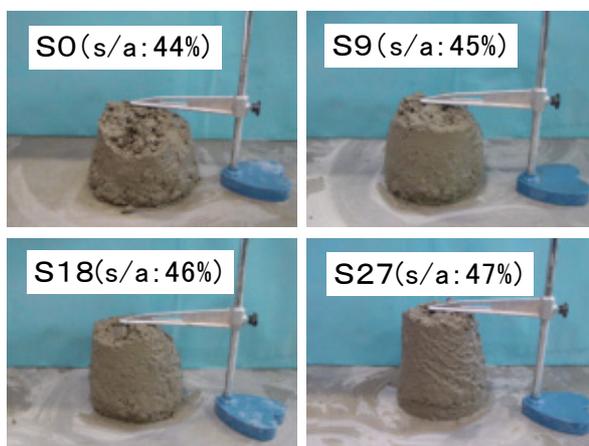


写真-2 スランブ状況(5~2.5mm 粒度変化)

状況を写真-2に示す。5~2.5mm 粒度の骨材が27%の場合のみスランプは若干低下しているが、その他の場合はほぼ一定値である。また、スプレッドおよび沈下度もほぼ一定値を示している。細骨材率を補正することで、細骨材の粗粒率の変化によらず同程度のスランプ値が得られるが、スランプ試験の状況からコンクリートの性状は相違していることがわかる。細骨材の粒度構成の違いによってコンクリートの変形特性に違いが生じることを示すものと考えられる。

3.4 粗骨材中の10~5mm 粒度の影響

水セメント、単位水量および細骨材率を一定として、粗骨材中の10~5mm 粒度の割合を0~75%の範囲で変化させた場合のコンクリートの変形特性について検討した。実験に用いた骨材の粒度分布を図-4に示す。スランプ、スプレッドおよび沈下度の試験結果を表-6に、スランプの状況を写真-3に示す。

粗骨材中の10~5mm 粒度の割合が20%程度以下では、スランプ、スプレッドおよび沈下度ともその値自体は等しいが、スランプ試験の状況よりプラスチックティーが低下し、骨材が分離したコンクリートになることが明白である。一方、10~5mm 粒度の割合が極端に増加するとスランプおよびスプレッドは低下し、沈下度は大きくなり、変形特性の劣るコンクリートとなることが認められる。

粗骨材は製造および貯蔵方法により粒度のバラツキが生じ易いため、粒径に応じて2ないし3分割して貯蔵・計量すべきであると指摘されている⁵⁾。本実験は極端に粒度構成を変動させた場合であるが、コンクリートの品質の安定化には貯蔵設備の分割化もしくは粒度調査の頻度の増加などが必要であると考えられる。

3.5 粗骨材中の過小粒の影響

粗骨材が5mm以下の過小粒を含む場合を想定し、過小粒を配合上考慮しない場合（過小粒を粗骨材の一部として取扱う場合）と、過小粒を考慮する場合（5mm 粒度以下の骨材を細骨材の一部として取扱う場合）、および過小粒を細骨材

表-6 骨材粒度とフレッシュ試験結果
(10~5mm 粒度の変化)

名称	粗骨材中の10~5mm 粒度の割合(%)	粗粒率F.M.		スランプ (cm)	スプレッド (cm)	沈下度 (sec)
		細骨材	粗骨材			
G0	0		7.00	13.0	49.5	8.2
G20	20	2.74	6.80	12.5	48.5	8.0
G35	35		6.65	11.5	42.5	8.3
G55	55		6.45	7.0	42.5	12.1
G75	75		6.25	5.5	40.0	17.7

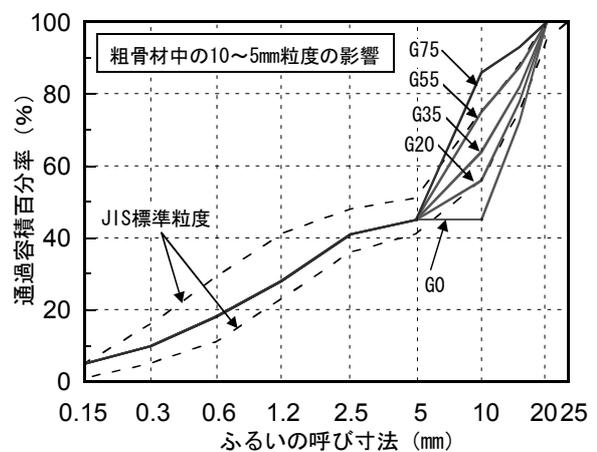


図-4 骨材の粒度分布(10~5mm 粒度変化)

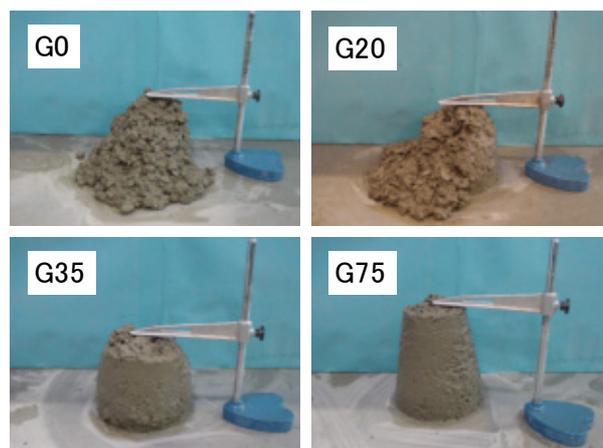


写真-3 スランプ状況(10~5mm 粒度変化)

の一部として考慮し、細骨材の粗粒率の変化に対応して細骨材率を補正した場合（細骨材の粗粒率が2.41から3.93へ変化したため、細骨材率を40%から47.5%へ補正）のフレッシュコンクリートの性状について検討した。

表-7 コンクリート配合およびフレッシュ性状試験結果(粗骨材に過小粒を含む場合)

過小粒		粗粒率(F.M.)		水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)						スラ ンプ (cm)	空気 量 (%)
補正の有無	混入率 (%)	粗骨材	細骨材			水 W	セメント C	細骨材		粗骨材			
				S	Gの過小粒			Gの過小粒	G				
基準	0	6.70	2.41	55.0	40.0	180	327	698	0	0	1068	11.5	4.7
過小粒を補正しない (粗骨材の一部として取 扱う場合)	10	6.61	2.41	55.0	40.0	180	327	698	0	107	960	11.0	4.8
	20	6.51						698	0	213	852	10.5	5.1
	30	6.42						698	0	319	745	9.0	5.3
過小粒を補正する (細骨材の一部として取 扱う場合)	10	6.70	2.92	55.0	40.0	180	327	592	107	0	1066	11.5	4.5
	20		3.43					487	213	0	1065	13.0	4.8
	30		3.93					382	319	0	1064	13.0	5.0
細骨材率を補正	30	6.70	3.93	55.0	47.5	180	327	453	379	0	934	11.5	4.7

基準:過小粒なし 補正なし:過小粒10% 補正なし:過小粒20% 補正なし:過小粒30%



s/a補正:過小粒30% 補正あり:過小粒10% 補正あり:過小粒20% 補正あり:過小粒30%



写真-4 スランプ状況(粗骨材に過小粒を含む場合)

コンクリートの配合は、表-7に示すように、単位水量、単位セメント量および細骨材率を一定とした。過小粒を粗骨材の一部として取扱う場合は過小粒を粗骨材に内割で置換させ、細骨材の一部として取扱う場合は細骨材に内割で置換した。実験に用いた骨材の粒度分布を図-5に、スランプ試験の状況を写真-4に示す。

過小粒を粗骨材の一部として取扱う場合、過小粒の混入率の増大に伴い、スランプが低下しコンシステンシーが増大する傾向となる。これは、粗骨材中の粗粒分が減少し細粒分が増加することで粗骨材全体としての表面積が増加するためと考えられる。一方、5mm以下の過小粒を細骨材として考慮した場合は、過小粒の混入率

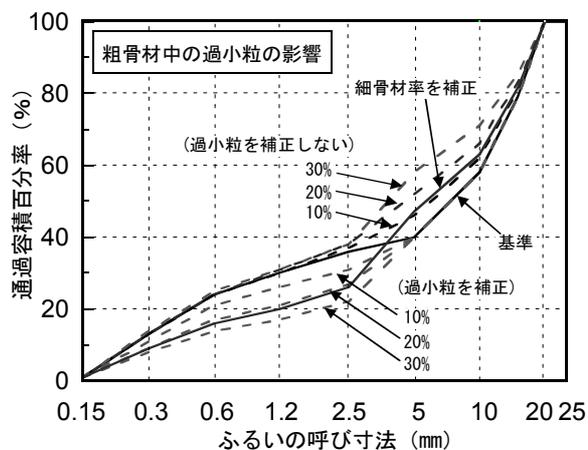


図-5 骨材の粒度分布骨材の粒度分布
(粗骨材に過小粒を含む場合)

の増大に伴いスランプは若干増加するが、材料

分離が生じプラスティシティーが不足したコンクリートへと変化する。これは、粗骨材中の過小粒を細骨材の一部として補正すると、本来の細骨材の量が減少し、細骨材中の 2.5mm 以下の細粒の割合が低下するためと考えられる。また、これらの結果は、5~2.5mm 粒度の細骨材より 2.5mm 以下の細粒分の細骨材がコンクリートのワーカビリティの改善に寄与することを示すものと考えられる。

過小粒の混入による細骨材の粗粒率の変化に応じて細骨材率を補正させた場合、スランプは同程度の値が得られているが、細粒分が不足した分離気味のコンクリートとなっている。

一般にコンクリートの示方配合は 5mm ふるいを通す骨材の全量を細骨材、留まる骨材の全量を粗骨材として明記することとされており、実際の製造に用いる粗骨材中に 5mm 以下の骨材が存在する場合は、それを考慮し現場配合に修正することとされている⁶⁾。

本実験は極端な例であるが、粗骨材の過小粒を細骨材の一部として取扱うことによりプラスティシティーの悪い分離したコンクリートとなるため、過小粒を用いる場合はコンクリート中の骨材全体の粒度構成がどのように変化するかを調査する必要があるものと考えられる。

また、粗粒率の変化に応じて細骨材率を調整した場合であってもワーカブルなコンクリートが得られない場合もあることを考慮すると、粗骨材に含まれる過小粒の量の変動を適切に管理するとともに、必要に応じて、示方配合の変更や粗骨材中の過小粒を取り除く、などの配慮が必要であると考えられる。

4. まとめ

細骨材率、細骨材の 5~2.5mm の割合、粗骨材の 10~5mm の割合および粗骨材中の過小粒などがコンクリートの変形特性に与える影響について実験的に検討した結果、得られた知見を以下に示す。

(1) コンクリートの振動による変形特性は、水セ

メント比が一定の場合、水量(ペースト量)と骨材量の相対的な比率により左右される。

- (2) 細骨材中の 5~2.5mm 粒度の割合が変化する場合、適切に細骨材率を補正してもコンクリートの性状は変化する。
- (3) 粗骨材中の 10~5mm 粒度の骨材が増減することでコンクリートの性状は大きく変化する。特に、この範囲の粒度が減少すると、当初より 5~2.5mm 粒度も少ないため、極端な不連続粒度の骨材となり、材料分離が顕著で変形性に劣るコンクリートとなる。
- (4) 粗骨材が 5mm 以下の過小粒を含む場合、この過小粒を従来の手法通りに細骨材の一部として補正すると骨材全体の 2.5mm 以下の細粒分が不足し、プラスティシティーが不足したコンクリートとなる。また、細骨材率を適切に補正しても、過小粒の混入量が多い場合にはワーカブルなコンクリートは得られない。そのため、粗骨材に含まれる過小粒の変動を管理し、その都度適切な対策を講じる必要がある。

参考文献

- 1) フレッシュコンクリートのコンシステンシー評価に関する技術の現状と課題(Ⅱ), 土木学会コンクリート技術シリーズ 54
- 2) 近松竜一他:フレッシュコンクリートの間隙通過性に関する一考察, 土木学会第 50 回年次学術講演会概要集, V-498, 1995.9
- 3) 十河茂幸他:フレッシュコンクリートのモビリティの定量化に関する一提案, 土木学会第 52 回年次学術講演会概要集, V-117, 1997.9
- 4) 吉兼亨他:骨材の粒度分離がコンクリートの配合に及ぼす影響と分離防止について, 骨材の品質と有効利用に関するシンポジウム論文集, pp.63-72, 2005.12
- 5) 吉兼亨:良いコンクリートの原点, セメントジャーナル社, 2004
- 6) 土木学会:コンクリート標準示方書・施工編【2002年制定】