

報告 骨材粒度がコンクリートの諸物性に及ぼす影響

柏木 隆男*1・寺嶋 明彦*2・大橋正治*3

要旨：単位水量の減少をはかるための骨材粒度構成を検討するため、5mm 前後の中間粒度を省いたギャップ粒度を持つ細粗混合骨材、および、細粗骨材を単粒で組み合わせた場合のコンクリートの諸特性を把握する実験を行った。ギャップ粒度に関する実験では、粗骨材 1510 と細骨材 2.5mm 以下を組み合わせたものが、JIS 規定の連続粒度骨材よりも混合実積率が大きくなり、スランプ値も 7.5cm 大きい値となった。細粗骨材を単粒で組み合わせた実験では、細骨材 0.6~2.5mm が流動性、強度、乾燥収縮に好条件となり、0.6mm 未満の粒度がブリーディング量を少なくすることを確認した。

キーワード：骨材、粒度分布、粒径、混合実積率、骨材表面積

1. はじめに

骨材は、コンクリート中で約 70% の容積を占め、その粒度構成がコンクリートの流動性や分離抵抗性などのフレッシュ性状、および、強度や耐久性といった硬化後の性能に及ぼす影響は大きい。

しかし、生コン工場で使用する骨材は骨材事情の悪化や経済性から多産地化、多品種化しており¹⁾、それに伴うコンクリートの品質低下が懸念されている。

また、関西以西では、骨材事情が悪いため単位水量 185kg/m³ 以下のコンクリートを製造することが不可能な状態にある²⁾。

現在、骨材の生産は骨材を細骨材、粗骨材に大分けして行っており、かつ、細粗別々に標準粒度を規定しているので、それらの条件下で最適混合割合は検討できても最適混合粒度は検討できない。

このような状況下で、高品質コンクリートを得るためには、骨材に対しても現状とは異なる考えが必要と考える。

粗骨材を単一粒度で使用することによって連

続粒度に比べて表面積が小さくなるので、粗骨材に付着するモルタル量（ペースト量）が低減できる。また、連続粒度分布からある一定の粒度を省いて骨材間の摩擦抵抗を小さくすることで、流動性を上げることが考えられる。

本研究は、単位水量の減少をはかるための骨材粒度構成を検討するため、ギャップ粒度の実験と細粗骨材を単粒で組み合わせ各粒度の特性を把握する実験を行った。

2. ギャップ粒度骨材を用いた実験(実験 I)

2.1 実験概要

現在、建築用 JIS コンクリートの調査では、粗骨材は 2005 あるいは 2505 のもの、細骨材は 5mm 以下の連続粒度と規定されている。

一方、粗骨材と細骨材の混合実積率は、5mm 前後の中間粒度を省いたほうが大きくなることが予想される。

ここでは、中間粒度を省いたギャップ粒度と JIS に規定されている粒度範囲の骨材を用いたコンクリートのスランプおよび圧縮強度の比較実験を行った。

*1 (株)松村組 技術研究所 材料研究課 (正会員)

*2 (株)住若

*3 財)日本建築総合試験所 材料検査部 中央試験室 (正会員)

2.2 使用材料と供試粒度

セメントは、普通ポルトランドセメント、粗骨材は、兵庫県家島産砕石、細骨材は佐賀県唐津産海砂を使用した。混和剤は、高性能減水剤の標準型のものを用い、セメント量の0.7%添加した。

表-1に骨材の物性を、表-2に骨材の供試粒度を示す。表中の体積比表面積は、以下のように算定した。骨材群の粒子の形状を球と見なし、ふるい間の骨材群の平均直径をDとすると、体積Vおよび表面積Fは、 $V=\pi D^3/6$ 、 $F=\pi D^2$ となり、単位体積あたりの表面積を体積比表面積bとすると、 $b=F/V=6/D$ となる。

2.3 コンクリートの調合

コンクリートの調合を表-3に示す。3種類の骨材粒度構成（粗骨材 2005+細骨材 5mm 以下、粗骨材 2005+細骨材 2.5mm 以下、粗骨材 1510+細骨材 2.5mm 以下）と、3種類のs/aを組み合わせた9パラメーターについて実験を行った。

水セメント比は、高品質コンクリートとして位置付けるため、38%一定とした。

2.4 試験項目および試験方法

試験項目および試験方法を表-4に示す。

表-1 骨材の物性

骨材	粒度	実験Ⅰ		実験Ⅱ	
		絶乾密度	吸水率 (%)	絶乾密度	吸水率 (%)
粗骨材	2005	2.61	0.72	2.61	0.72
	1510				
細骨材	5mm 以下	2.53	1.35	2.56	1.51
	2.5mm 以下				

表-3 調合

No.	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)			
			水	セメント	粗骨材	細骨材
1	38	36	160	421	1137	623
2	38	39	164.5	433	1071	667
3	38	42	169	445	1005	709

表-4 試験項目および試験方法

試験項目		試験方法
骨材	混合実積率	JIS A 1104
	スランブ	JIS A 1101
フレッシュコンクリート	空気量	JIS A 1128
	コンクリート温度	アルコール棒状温度計
硬化コンクリート	圧縮強度	JIS A 1108(4W)

表-2 細骨材および粗骨材の供試粒度

実験名	骨材粒度	骨材粒度分布											体積比表面積 (cm ² /cm ³)	実積率 (%)
		25~20	20~15	15~10	10~5	5~2.5	2.5~1.2	1.2~0.6	0.6~0.3	0.3~0.15	0.15~0.075	0.075以下		
実験Ⅰ	5mm 以下					7.4%	17.9%	23.2%	35.1%	14.6%	1.8%	0.0%	117.80	60.2
	2.5mm 以下					0.0%	14.8%	29.3%	40.0%	14.1%	1.8%	0.0%	124.87	57.7
	2005	1.1%	10.8%	66.3%	21.1%	0.7%							5.38	58.2
	1510			100%									4.80	57.5
実験Ⅱ	5mm 以下				0.0%	7.0%	17.0%	25.0%	34.0%	16.0%	1.0%	0.0%	116.64	59.1
	2.5mm 以下				0.0%	0.0%	18.3%	26.9%	36.6%	17.2%	1.1%	0.0%	124.22	58.2
	0.15_0.3									100%			266.65	56.3
	0.3_0.6								100%				133.33	55.4
	0.6_1.2							100%					66.66	54.9
	1.2_2.5						100%						32.52	50.9
	2.5_5.0						100%						16.02	50.4
	5.0_10.0				100%								8.00	46.4
	2005	0.0%	20.0%	50.0%	30.0%	0.0%							5.49	58.0
	2015		100%										3.43	58.4
	1510			100%									4.80	56.8
	1005				100%								8.00	55.4

2.5 試験結果

試験結果を表-5に示す。

図-1に各粒度構成でのs/aとスランプの関係を示す。

混合実積率、スランプにおいて、いずれの粒度構成もs/a=39.1%のものが、最大となった。

特に、s/a=39.1%のスランプ値で、粗骨材1510+細骨材2.5mm以下のものが、JIS規定の連続粒度（粗骨材2005+細骨材5mm以下）よりも7.5cm大きい値となった。

次に混合実積率とスランプの関係を図-2に示す。混合実積率が大きくなるほど、スランプ値が大きくなった。

3. 単粒組み合わせ骨材を用いた実験(実験II)

3.1 実験概要

既往のコンクリートに関する実験は、連続粒度のなかで、ある粒度範囲を増減させて粒度の特性を見出そうとしており、粗骨材と細骨材の単粒の組み合わせで各粒度の特性を確認した実験は見当たらない。ここでは、骨材をJIS A 1102に規定されるふるいで分級し、分級した粗骨材および細骨材を単粒で組み合わせた実験を行った。

3.2 使用材料と供試粒度

セメントは、普通ポルトランドセメント、骨材は実験Iと同じ産地のものを使用し、骨材の物性および供試粒度は表-1、表-2に示したものである。混和剤は、高性能減水剤の標準型のものを用い、セメント量の1.0%添加し、空気量低減のため消泡剤を添加した。

3.3 コンクリートの調合

コンクリートの調合を表-6に、骨材粒度の組み合わせを表-7に示す。

表-6 コンクリートの調合

W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)			
		水	セメント	粗骨材	細骨材
38	39.1	164.5	433	1071	680

表-5 試験結果

骨材		s/a (%)	混合実積率 (%)	スランプ (cm)	空気量 (%)	コンクリート温度 (°C)	圧縮強度 (N/mm ²)
粗骨材	細骨材						
2005	5.0mm以下	36	70.9	9.0	1.3	19.0	72.3
		39	71.3	9.5	1.8	19.0	71.1
		42	69.9	5.0	2.4	19.0	75.8
	2.5mm以下	36	69.8	7.5	1.9	19.0	70.9
		39	73.3	10.5	2.2	19.0	71.6
		42	72.2	9.0	2.8	19.0	77.0
1510	2.5mm以下	36	73.2	11.5	1.8	19.0	63.7
		39	76.4	17.0	2.0	19.0	72.8
		42	72.6	14.5	2.1	19.0	68.6

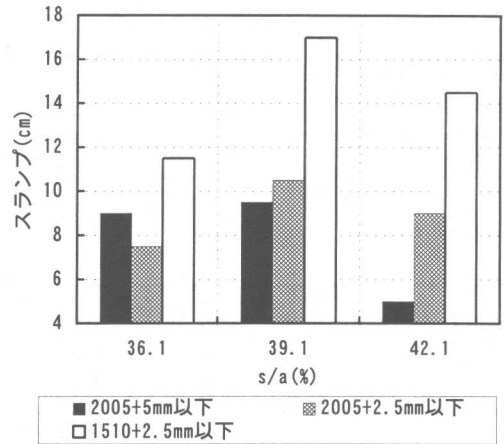


図-1 s/aとスランプの関係

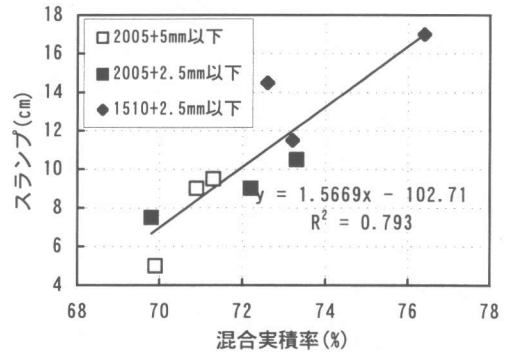


図-2 混合実積率とスランプの関係

表-7 骨材粒度の組み合わせ

		粗骨材粒度			
		2005	2015	1510	1005
細骨材 粒度	5mm以下	○			
	2.5mm以下			○	
	5 10			○	
	2.5 5		○	○	○
	1.2 2.5		○	○	○
	0.6 1.2		○	○	○
	0.3 0.6		○	○	○
	0.15 0.3		○	○	

表-8 試験項目および試験方法

試験項目		試験方法
骨材	混合実積率	JIS A 1104
	ろ-	JIS R 5201
	圧縮強度	φ50×100による(4W)
モルタル	長さ変化	JIS A 1129(26W)
	スランプ	JIS A 1101
フレッシュ コンクリート	空気量	JIS A 1128
	コンクリート温度	アルコール棒状温度計
	単位容積質量	JIS A 1128容器による
	ブリーディング	JIS A 1123
	凝結時間	JIS A 6204附属書1
硬化 コンクリート	圧縮強度	JIS A 1108(4W)
	静弾性係数	JIS原案
	長さ変化	JIS A 1129(26W)

表-9 モルタル試験結果

細骨材 粒度	粗骨材抜き			ウェットスクリーニング		
	ろ- (cm)	圧縮 強度 (N/mm ²)	長さ 変化 (×10 ⁻⁴)	ろ- (cm)	圧縮 強度 (N/mm ²)	長さ 変化 (×10 ⁻⁴)
5mm以下	24.2	73.3	-11.4	22.3	78.6	-11.4
2.5mm以下	23.7	78.6	-12.1	22.8	80.5	-11.5
5 10	22.1	57.0	-8.2	27.8	90.8	-18.5
2.5 5	21.5	66.8	-7.6	24.7	78.9	-8.7
1.2 2.5	21.2	63.3	-9.9	27.6	82.5	-10.7
0.6 1.2	22.4	71.0	-11.3	25.5	80.4	-11.1
0.3 0.6	19.0	67.2	-12.3	18.2	72.3	-12.1
0.15 0.3	14.9	63.3	-14.1	13.6	71.7	-13.1

表-10 コンクリート試験結果

粗骨材 粒度	細骨材 粒度	骨材試験		フレッシュ試験					硬化試験			
		混合 実積率 (%)	スランプ (cm)	ろ- (cm)	空気量 (%)	コンクリート 温度 (°C)	単位容積 質量	ブリーディング 量 (cm ³ /cm ²)	圧縮強度 (N/mm ²)	静弾性 係数 (kN/mm ²)	単位容積 質量	長さ変化 (×10 ⁻⁴)
2005	5mm以下	73.7	12.5	23.0	2.5	18.5	2.37	0.02	74.8	38.9	2.39	-6.18
1510	2.5mm以下	74.4	17.0	30.3	2.6	18.5	2.36	0.05	75.0	39.6	2.39	-5.83
2015	2.5 5	62.9	**15.5	38.8	0.9	18.5	2.41	0.17	70.8	37.6	2.41	-4.94
	1.2 2.5	67.9	*19.5	45.3	1.4	18.0	2.39	0.37	74.0	39.5	2.42	-5.22
	0.6 1.2	72.1	14.5	23.8	3.0	18.0	2.36	0.06	72.7	36.2	2.39	-5.77
	0.3 0.6	73.5	4.5	20.5	3.5	18.0	2.34	0.03	70.0	37.4	2.36	-5.88
	0.15 0.3	74.6	1.0	20.0	5.4	18.5	2.28	0.02	63.0	34.9	2.31	-6.50
1510	5 10	55.0	**19.0	39.0	5.8	19.0	2.26	-	25.4	20.5	2.07	-5.63
	2.5 5	62.0	**18.0	40.5	1.5	19.0	2.39	0.24	48.2	32.3	2.31	-4.79
	1.2 2.5	66.0	*13.5	37.0	2.2	18.0	2.37	0.30	70.9	38.7	2.40	-5.04
	0.6 1.2	71.2	12.5	22.3	3.0	18.0	2.36	0.07	75.8	41.2	2.40	-5.73
	0.3 0.6	73.1	4.5	20.5	4.5	18.0	2.32	0.03	71.5	38.2	2.34	-6.17
1005	0.15 0.3	73.9	0.5	20.0	6.6	18.0	2.28	0.02	64.4	35.9	2.31	-6.88
	2.5 5	57.5	**19.0	38.3	12.0	18.0	2.13	0.00	30.6	29.0	2.15	-5.54
	1.2 2.5	62.0	**16.5	41.0	10.5	18.0	2.18	0.00	65.3	37.7	2.34	-5.29
	0.6 1.2	68.7	2.5	20.0	3.7	18.5	2.34	0.05	77.5	39.3	2.37	-5.92
	0.3 0.6	71.1	2.5	20.0	5.4	18.5	2.30	0.04	74.6	37.5	2.33	-6.43

スランブ列 ** : 分離、* : 分離気味

骨材に付着する表面水の影響をなくすため、気乾状態の骨材で実験を行った。また、密度および吸水率は、粗骨材、細骨材の粒度にかかわらず表-1に示す値を用い、有効吸水率を補正して、実験を行った。

3.4 試験項目および試験方法

試験項目および試験方法を表-8に示す。

モルタル試験は、粗骨材を抜いた調合のものとコンクリートを5mmふるいでウェットスクリーニングしたものについて行った。

3.5 試験結果

モルタルの試験結果を表-9に、コンクリートの試験結果を表-10に示す。

(1) 混合実積率

混合実積率と骨材表面積の関係を図-4に示す。単粒を組み合わせたものは、表-1に示す粗骨材および細骨材それぞれの実積率を反

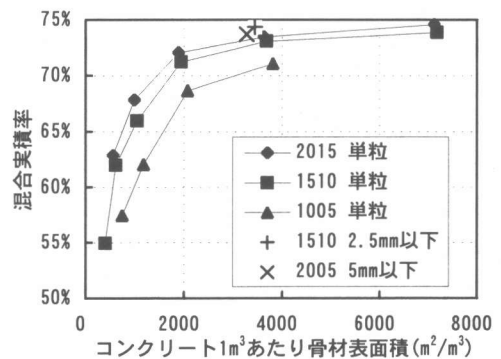


図-4 混合実積率と骨材表面積の関係

映した値となり、粗骨材の粒度の大きいものほど、また細骨材の粒度の小さいものほど混合実積率は大きくなった。

同一骨材表面積では、単粒を組み合わせたものより連続粒度、連続粒度よりギャップ粒度の方が混合実積率が大きくなった。

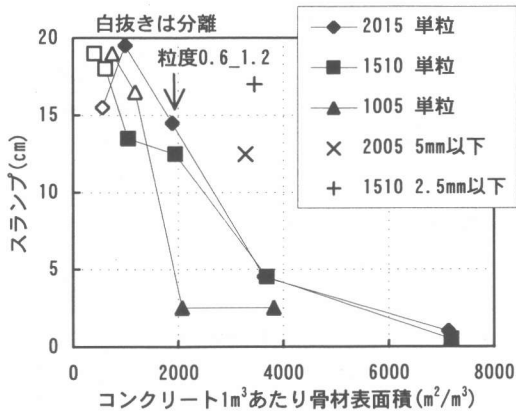


図-5 骨材表面積とスランプの関係

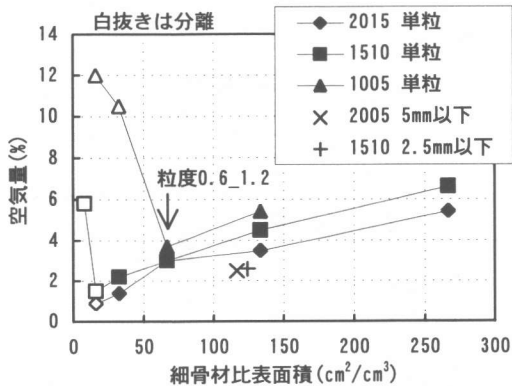


図-7 細骨材比表面積と空気量の関係

(2) フレッシュコンクリート

表-9の5~10mmのウェットスクリーニングモルタルは分離されたペーストであり、図-10、図-12中のモルタルは、粗骨材抜きのモルタルのことである。

図-5に骨材表面積とスランプの関係を、図-6に細骨材比表面積とモルタルフローとの関係を示す。

骨材表面積が大きくなるにしたがってスランプが小さくなっている。図-6のフロー値が細骨材粒度0.6~1.2mmで最大値であるが、粗骨材2015および1510と組み合わせたものは、スランプでは1.2~2.5mmで最大となっている。細骨材粒度1.2~2.5mmによって、流動性が良くなっていると言える。

粗骨材1005と組み合わせたものは、何れも

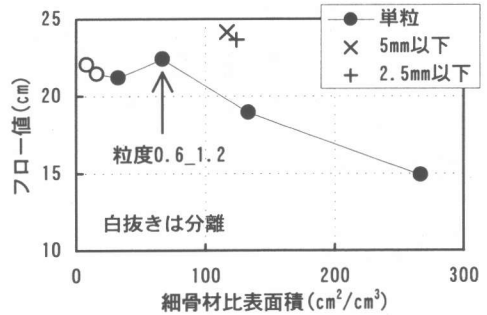


図-6 細骨材比表面積とモルタルフローの関係

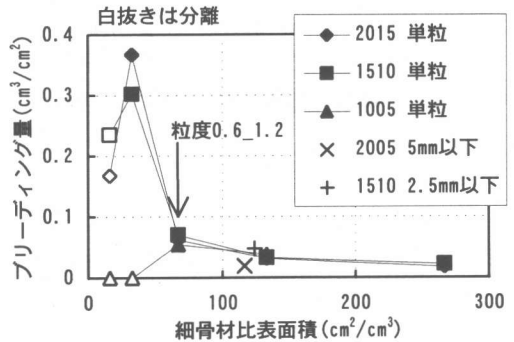


図-8 細骨材比表面積とブリーディング量

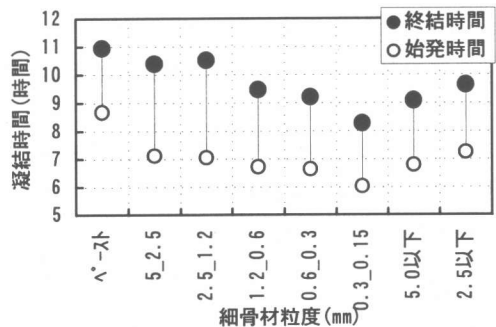


図-9 細骨材粒度と凝結時間の関係

流動性を阻害している。

図-7に細骨材比表面積と空気量の関係を示す。比表面積が大きくなるほど、言い換えれば粒度が小さくなるほど空気量が多くなった。

図-8に細骨材比表面積とブリーディング量との関係を示す。細骨材粒度0.6mm程度以下からブリーディング量を抑える効果があると考えられる。

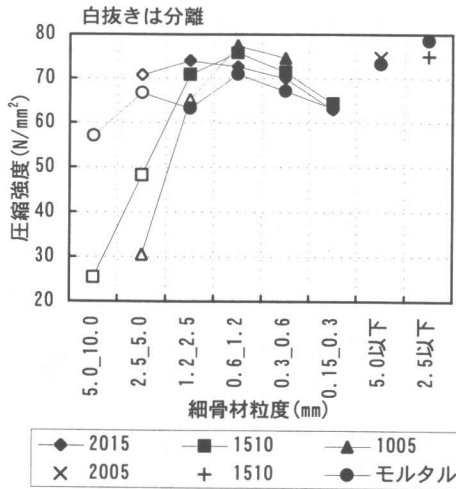


図-10 細骨材粒度と圧縮強度の関係

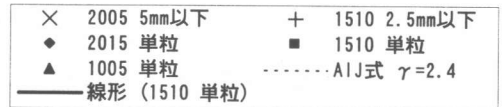
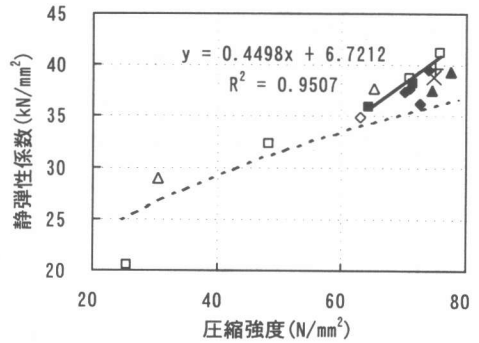


図-11 圧縮強度と静弾性係数の関係

(3) 硬化コンクリート

図-10 に細骨材粒度と4週圧縮強度の関係を、図-11 に4週圧縮強度と静弾性係数の関係を示す。フレッシュ時の分離や空気量の影響を受けているが、粗骨材 2015 では細骨材 1.2~2.5mm, 粗骨材 1510 では細骨材 0.6~1.2mm が最大値になっており、粒度の組み合わせによる強度増加も伺える。また、図-11 より粗骨材 1510 のものが静弾性係数が安定して高いことを確認した。

図-12 に細骨材粒度と乾燥収縮の関係を示す。細骨材および粗骨材の粒度が小さいほど収縮率が大きくなった。

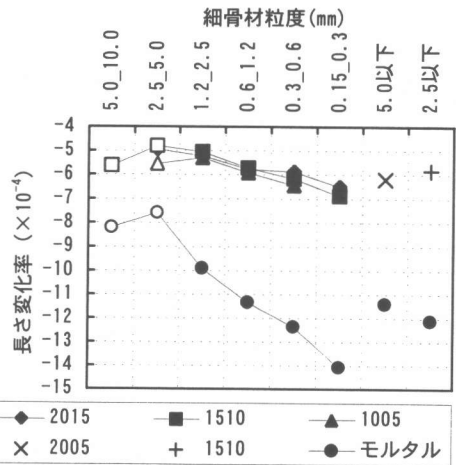


図-12 細骨材粒度と乾燥収縮

4. まとめ

今回の実験結果から以下のことが確認された。

- ①粗骨材 1510 と細骨材 2.5mm 以下を組み合わせたものが、JIS 規定の連続粒度より、混合実積率を大きくすることができ、スランプ値も 7.5cm 大きい値となった。
- ②細骨材粒度 1.2~2.5mm によって、流動性が良くなる。
- ③細骨材粒度 0.6mm 程度以下からブリーディング量を抑える効果がある。
- ④粗骨材 1510 のものの静弾性係数が安定して高い。

謝辞

本報告に対して、ご指導いただきました京都大学名誉教授六車熙博士に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 吉兼亨：生コンクリート工場における骨材対策の現状、コンクリート工学, pp81~87, Vol. 34, No. 7, 1996. 7
- 2) 高橋久雄ほか：骨材粒度構成がコンクリートの流動性に及ぼす影響に関する検討（その1 全国のコンクリート用骨材調査結果概要）、日本建築学会大会学術講演梗概集, pp71~72, 1982. 7