論文　陸産系骨材の品質とそれを用いたコンクリートの強度・耐久性

依田　彰彦[*1]・横室　隆[*2]・小椋　由之[*3]・添田　悠介[*3]

要旨：栃木県内は那珂川，鬼怒川，荒川，蛇尾川，思川，小貝川など多くの河川を有するので各流域にわたって沖積された礫層に陸産系骨材が大量に埋蔵されている。

本試験研究はその中から任意に選んだ 12 種類の陸産系砂利・砂の品質とそれを用いたコンクリートのブリーディング量，圧縮強度，乾燥収縮率・質量減少率，相対動弾性係数について究明した。その結果，試験に供した骨材はコンクリート用骨材として使用できることが分かった。

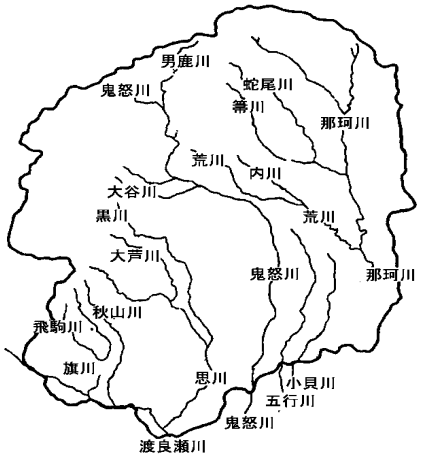
キーワード： 陸産系骨材，岩種割合，骨材品質，コンクリート，圧縮強度，耐久性

1.　はじめに

栃木県は，**図－１**に示す通り鬼怒川をはじめ，那珂川，荒川，箒川，蛇尾川，思川，小貝川，秋山川などを有して砂利・砂を，葛生地区などでは，砕石・砕砂を，大量に産出している。

本試験研究は，その中から任意に選んだ 12 種類の陸産系砂利・砂の品質とそれを用いたコンクリートの性質を知るために実施した。

本論文は，一部既発表したもの[2), 3)]にその後に試験をした多くの結果を含めて再検討し，とりまとめたものである。



図－１　栃木県内を流れる河川

2.　試験に供した試料

次の NO.1～12 のものである。これらの試料はそれぞれ流域の代表的な陸産系の砂利･砂を採取し，通常の方法によって縮分した。

No.1 那珂川流域産，No.2 蛇尾川流域産，No.3 荒川流域産，No.4 鬼怒川流域（下流）産，No.5 思川流域（上流）産，No.6 小貝川流域産，No.7 鬼怒川流域（上流）産，No.8 箒川流域産，No.9 鬼怒川流域（中流）産，NO.10 五行川流域産，No.11 秋山川流域産，No.12 思川流

表－１　陸砂利の岩種割合（%）

No.	流域	花こう岩	閃緑岩	橄欖岩	流紋岩	安山岩	玄武岩	砂岩	石英ひん岩	チャート	凝灰岩	他
1	那珂川	10	4	-	43	-	-	-	8	-	6	29
2	蛇尾川	61	-	-	-	-	-	10	-	-	-	29
3	荒川	8	-	-	10	30	-	7	8	21	6	10
4	鬼怒川	8	-	-	8	21	24	5	-	6	17	11
5	思　川	5	-	-	-	6	36	15	22	4	9	3
6	小貝川	-	-	7	10	54	2	7	-	4	6	10
7	鬼怒川	-	-	-	42	14	-	14	-	8	-	21
8	箒　川	3.6	-	-	82	12	-	2	-	-	-	-
9	鬼怒川	-	-	-	20	48	-	16	-	16	-	-
10	五行川	-	-	-	60	16	-	17	-	8	-	-
11	秋山川	-	-	-	4	-	-	21	-	76	-	-
12	思　川	-	-	-	19	7	-	32	-	33	-	9

*1 足利工業大学　工学部建築学科教授　工博　(正会員)
*2 足利工業大学　工学部建築学科助教授　博士（工学）　(正会員)
*3 足利工業大学大学院　工学研究科修士課程建築学専攻

域（中流）産

3. 岩種の鑑定

次の(1)～(4)に示す方法によって鉱物を専門とする研究者によって陸産系砂利の岩種判定を行った。その結果を**表－1**に示す。

(1) 試料は丸味を帯びていて新鮮面がでていないのでそれぞれの石を，すべて半分に割って新鮮面を出した。

(2) 割った岩石の新鮮面から大平田鉱山の標本（火成岩，変成岩，堆積岩併せて 100 種）と見比べて岩石名を判定した。

(3) 判定した試料をそれぞれの岩石別に分け質量を測定した。

(4) 河川流域別に秤量した質量から岩石の構成比（割合）を求めた。

4. 陸産系骨材の品質

4.1 試験の項目と方法

(1) 絶乾密度・吸水率

JIS A 1109 および JIS A 1110 によった。

(2) 粘土塊量

JIS A 1137 によった。

(3) 最大寸法・粗粒率

JIS A 1102 によった。

(4) アルカリシリカ反応性

JIS A 5308 附属書 8 のモルタルバー法によった。

4.2 結果と検討

試験結果を**表－2**に示し，以下に検討する。

(1) 陸産系砂利および砂の絶乾密度は 2.50～2.61g/cm³ で JIS A 5308（附属書１表１～２，以下略）の規定値（2.5g/cm³）を満足する。

(2) 陸産系砂利の吸水率は 2.9%以下で JIS A 5308 の規定値(3.0%以下)を，また陸産系砂は 2.9%以下で規定値（3.5%以下）を，それぞれ下廻る。

(3) 陸産系砂の粘土塊量は 0.25%以下で JIS A 5308 の規定値（0.25%以下）を，また，陸産系砂は，0.93%以下で規定値（1.0%以下）を，それぞれ下廻る。

(4) 陸産系砂利の最大寸法は 20，25㎜，陸産系砂の粗粒率は 2.40～3.27 である。

(5) アルカリシリカ反応性は陸産系砂利が６ヶ月間で＋0.027%未満(規定値＋0.100%未満)，陸産系砂が６ヶ月間で＋0.038％未満（同＋0.100%未満）なので無害と思われる。

(6) 以上を総じると陸産系骨材の品質は JIS A 5308 などの規定値を満足する。

表－２　陸産系骨材の品質

No.	流域	陸産系砂利						陸産系砂					
		絶乾密度 (g/cm³)	吸水率 (%)	粘土塊量 (%)	最大寸法 (mm)	アルカリシリカ反応性（%） ３ヶ月	アルカリシリカ反応性（%） ６ヶ月	絶乾密度 (g/cm³)	吸水率 (%)	粘土塊量 (%)	粗粒率 (f.m.)	アルカリシリカ反応性（%） ３ヶ月	アルカリシリカ反応性（%） ６ヶ月
1	那珂川	2.51	2.9	0.10	25	0.002	0.009	2.50	2.8	0.91	2.45	0.002	0.003
2	蛇尾川	2.54	2.6	0.20	25	0.001	0.007	2.56	1.5	0.90	2.40	0.001	0.007
3	荒　川	2.50	2.9	0.13	25	0.007	0.014	2.51	2.5	0.93	2.66	0.007	0.014
4	鬼怒川	2.58	1.8	0.04	25	0.018	0.027	2.57	1.7	0.54	3.03	0.018	0.027
5	思　川	2.56	2.3	0.25	20	0.008	0.013	2.55	1.5	0.56	2.81	0.008	0.013
6	小貝川	2.52	2.6	0.22	20	0.012	0.018	2.51	2.2	0.02	2.44	0.012	0.018
7	鬼怒川	2.50	2.6	0.25	25	0.008	0.009	2.54	2.0	0.36	3.27	0.006	0.019
8	箒　川	2.50	2.9	0.21	25	0.008	0.011	2.50	2.9	0.40	2.41	0.011	0.038
9	鬼怒川	2.53	1.8	0.19	25	0.001	0.004	2.51	2.2	0.09	2.92	0.007	0.038
10	五行川	2.53	2.0	0.18	25	0.007	0.010	2.52	1.8	0.27	3.09	0.008	0.034
11	秋山川	2.61	0.7	0.12	25	0.004	0.006	2.58	1.9	0.03	3.08	0.009	0.032
12	思　川	2.57	1.6	0.25	25	0.005	0.008	2.53	1.9	0.48	3.31	0.007	0.026
JIS A 5308 の規定値		2.5 以上	3.0 以下	0.25 以下	－	0.050 未満	0.100 未満	2.5 以上	3.5 以下	1.0 以下	－	0.050 未満	0.100 未満

5. 陸産系骨材を用いたコンクリートの性質

表－2に示した品質を有する 12 種類の陸産系骨材を用いたコンクリートの基本的な性質を究明した。

5.1 使用材料

コンクリートの使用材料を以下に示す。

(1) セメント

(a)普通ポルトランドセメント，記号N（H 社製品）ig.loss 0.7%，MgO 1.5%，SO_3 2.0%，R_2O 0.63%，Cl^- 0.004%，密度 3.16g/cm^3，比表面積 3410cm^2/g，材齢 28 日圧縮強さ 58.2N/mm^2

(b)高炉セメントＡ種，記号 BA(Y 社製品)ig.loss 1.71%，MgO 2.81%，SO_3 2.02%，R_2O 0.56%，Cl^- 0.008%，密度 3.10g/cm^3，比表面積 3950cm^2/g，材齢 28 日圧縮強さ 60.2N/mm^2

(c)高炉セメントＢ種，記号 BB(Y 社製品)ig.loss 1.84%，MgO 3.60%，SO_3 1.94%，R_2O 0.52%，Cl^- 0.007%，密度 3.02g/cm^3，比表面積 4010cm^2/g，材齢 28 日圧縮強さ 57.7N/mm^2

(d)高炉セメントＣ種，記号 BC(Y 社製品)ig.loss 1.38%，MgO 4.62%，SO_3 1.89%，R_2O 0.47%，Cl^- 0.005%，密度 2.99g/cm^3，比表面積 4120cm^2/g，材齢 28 日圧縮強さ 50.0N/mm^2

(2) 水

上水道水(足利工業大学)

(3) 化学混和剤

リグニンスルホン酸化合物及びポリオール複合体の AE 減水剤標準形(Pz 社製品)

(4) 使用したコンクリート材料の品質

前述した陸産系骨材を含め，すべて JASS 5 の規定値を満足している。

5.2 試験項目と方法

(1) スランプ

JIS A 1101 によった。

(2) 空気量

JIS A 1128 によった。

(3) ワーカビリティー

スランプしたコンクリートの形状やこれを

表－3 W/C 60%のコンクリート試験結果

No	流域	セメント	スランプ (cm)	空気量 (%)	ワーカビリティー	最終ブリーディング量 (cm^3/cm^2)	ヤング係数 (kN/mm^2) 28 日	比ポアソン 28 日	乾燥収縮率 (×10^{-4}) 乾燥期間 182 日	質量減少率 (%) 乾燥期間 182 日	相対動弾性係数 (%) サイクル 100	相対動弾性係数 (%) サイクル 300
601	那珂川	N	17.0	5.5	良好	0.07	24.2	0.18	7.6	3.3	99	98
602	蛇尾川		16.0	4.2	良好	0.19	24.5	0.18	7.9	3.5	100	98
603	荒　川		18.0	5.2	良好	0.18	23.9	0.18	7.6	3.5	100	98
604	鬼怒川		21.0	4.3	良好	0.49	24.0	0.19	7.5	3.4	99	98
605	思　川		20.0	4.7	良好	0.27	23.5	0.19	7.5	3.5	99	97
606	小貝川		16.5	5.3	良好	0.10	24.5	0.18	6.7	3.3	99	98
607	鬼怒川		16.0	3.3	良好	0.07	23.9	0.18	7.6	3.5	98	97
608	箒　川		19.0	4.2	良好	0.18	23.3	0.19	7.9	3.6	98	96
609	鬼怒川		19.5	4.8	良好	0.34	23.8	0.18	7.5	3.2	98	96
610	五行川		19.0	4.8	良好	0.19	24.1	0.19	7.6	3.5	98	96
611	秋山川		21.0	4.8	良好	0.45	24.3	0.19	6.3	2.8	98	96
612	思　川		20.0	4.2	良好	0.41	23.5	0.18	7.2	3.1	98	96
613	秋山川	BA	19.5	4.7	良好	0.44	23.0	0.18	6.3	3.1	98	95
614	思　川		20.5	4.9	良好	0.45	23.2	0.18	6.5	3.0	97	95
615	秋山川	BB	20.5	4.0	良好	0.33	22.8	0.18	6.3	2.9	98	95
616	思　川		18.0	4.5	良好	0.34	23.4	0.18	5.9	2.8	98	96
617	秋山川	BC	18.0	4.3	良好	0.28	22.8	0.18	5.8	2.6	99	97
618	思　川		17.5	4.1	良好	0.26	22.0	0.18	5.8	2.7	98	96

［注］18 調合とも細骨材率は 47.8%，単位水量は 167kg/m^3，化学混和剤量は 63cc/m^{3}である。

タッピングしたときのくずれ方などを目視によって判断した。

(4)　ブリーディング量

JIS A 1123 によった。

(5)　圧縮強度，ヤング係数・ポアソン比

直径 10cm・高さ 20cm の供試体を用い，圧縮強度は，JIS A 1108 によった。養生は 20℃水中。ヤング係数・ポアソン比は，圧縮強度試験時にコンプレッソメーターを用いて縦と横の歪を測定し，最大圧縮荷重の 1/3 の点における割線ヤング係数とポアソン比を算出した。

(6)　乾燥収縮率・質量減少率

長さは，JIS A 1129 のコンパレーター方法，質量は，0.1g まで測定できる天秤，によってそれぞれ測定し，乾燥収縮率と質量減少率を算出した。なお，測定において基準とした時点は材齢 7 日とした。供試体は 10×10×40cm の角柱状で初期養生実施後は 20℃・60%室に保存した。

(7)　凍結融解作用に対する抵抗性

ASTM C 666A 法によって 300 回までくり返したときの相対動弾性係数を算出した。

5.3　目標としたコンクリートの仕様

(1)　W/C

60%，50%，40%

(2)　スランプ

18.5±2.5cm

(3)　空気量

4.5±1.0%

5.4　コンクリートの練混ぜ

容量 100 リットルの強制撹拌ミキサを用い，JIS A 1138 によって練混ぜた。陸産系骨材は表乾状態にしたものを用いた。

5.5　結果と検討

試験の結果を**表－３～５**，**図－２**に示し，検

表－４　W/C 50%のコンクリート試験結果

No	流域	セメント	スランプ (cm)	空気量 (%)	ワーカビリティー	最終ブリーディング量 (cm³/cm²)	ヤング係数 (kN/mm²) 28 日	ポアソン比 28 日	乾燥収縮率 (×10⁻⁴) 乾燥期間 182 日	質量減少率 (%) 乾燥期間 182 日	相対動弾性係数 (%) サイクル 100	相対動弾性係数 (%) サイクル 300
501	那珂川	N	18.5	4.1	良好	0.16	28.7	0.19	7.1	3.1	99	94
502	蛇尾川		20.0	3.7	良好	0.38	29.2	0.19	7.7	3.2	98	94
503	荒　川		20.0	4.5	良好	0.13	29.5	0.20	6.1	3.2	98	93
504	鬼怒川		21.0	3.6	良好	0.29	28.8	0.20	6.1	2.9	98	91
505	思　川		19.0	4.1	良好	0.24	27.5	0.19	6.3	3.0	99	95
506	小貝川		20.0	3.8	良好	0.19	27.3	0.19	5.9	3.2	98	95
507	鬼怒川		21.0	3.8	良好	0.28	28.3	0.20	7.9	3.6	99	95
508	箒　川		20.5	4.6	良好	0.28	28.8	0.19	7.2	3.4	99	95
509	鬼怒川		20.5	4.5	良好	0.40	27.0	0.19	7.2	3.2	99	95
510	五行川		21.0	4.6	良好	0.36	28.8	0.19	7.2	3.3	99	95
511	秋山川		21.0	4.4	良好	0.40	28.6	0.20	5.8	2.7	99	95
512	思　川		21.0	4.6	良好	0.38	29.4	0.20	6.7	3.2	99	95
513	秋山川	BA	21.0	4.4	良好	0.47	29.4	0.20	5.8	2.8	99	95
514	思　川		21.0	4.2	良好	0.47	29.3	0.20	5.5	2.8	99	95
515	秋山川	BB	21.0	4.4	良好	0.47	27.7	0.19	5.9	2.8	99	95
516	思　川		18.5	4.9	良好	0.42	27.1	0.20	5.2	2.8	99	95
517	秋山川	BC	20.5	4.5	良好	0.36	26.4	0.19	5.3	2.5	99	95
518	思　川		19.0	4.6	良好	0.27	27.0	0.19	5.2	2.5	99	95

［注］18 調合とも細骨材率は 44.7%，単位水量は 172kg/m³，化学混和剤量は 77cc/m³である。

表－5　W/C 40%のコンクリート試験結果

No	流域	セメント	スランプ (cm)	空気量 (%)	ワーカビリティー	最終ブリーディング量 (cm³/cm²)	ヤング係数 (kN/mm²) 28日	ポアソン比 28日	乾燥収縮率 (×10⁻⁴) 乾燥期間 182日	質量減少率 (%) 乾燥期間 182日	相対動弾性係数 (%) サイクル 100	相対動弾性係数 (%) サイクル 300
401	那珂川	N	16.0	4.1	良好	0.12	34.1	0.20	5.8	2.7	100	97
402	蛇尾川		16.0	4.2	良好	0.12	34.6	0.20	6.2	2.9	99	96
403	荒　川		16.5	4.0	良好	0.19	34.2	0.20	5.3	2.3	99	97
404	鬼怒川		20.5	4.1	良好	0.29	34.4	0.21	5.3	2.4	99	96
405	思　川		18.5	4.0	良好	0.20	33.6	0.21	5.8	2.8	99	96
406	小貝川		17.0	4.0	良好	0.10	33.5	0.20	5.4	2.8	99	98
407	鬼怒川		19.5	4.6	良好	0.20	34.1	0.20	7.1	3.1	99	96
408	箒　川		19.5	4.7	良好	0.21	33.3	0.20	7.0	2.7	99	96
409	鬼怒川		19.5	4.6	良好	0.29	35.0	0.21	6.7	2.6	99	96
410	五行川		19.5	4.5	良好	0.22	33.6	0.20	7.0	2.7	99	96
411	秋山川		20.0	4.5	良好	0.29	33.3	0.21	5.5	2.3	99	97
412	思　川		19.5	4.6	良好	0.25	34.1	0.21	6.2	2.4	99	96
413	秋山川	BA	18.5	4.5	良好	0.23	34.5	0.21	5.2	2.2	99	96
414	思　川		20.5	4.3	良好	0.37	34.5	0.21	5.1	2.1	99	96
415	秋山川	BB	20.5	4.0	良好	0.26	31.5	0.21	5.1	2.1	99	96
416	思　川		17.5	4.1	良好	0.25	31.5	0.21	5.3	2.1	99	96
417	秋山川	BC	18.5	4.3	良好	0.20	29.8	0.20	5.3	2.1	99	96
418	思　川		18.5	4.2	良好	0.16	28.9	0.20	5.1	2.0	99	96

［注］18 調合とも細骨材率は 41.6%，単位水量は 175kg/m³，化学混和剤量は 99cc/m³である。

討する。

(1)　ワーカビリティー

打ち込んだ 54 調合のコンクリートのワーカビリティーは，すべて良好であった。

(2)　最終ブリーディング量

フレッシュコンクリートの最終ブリーディング量は，54 調合のコンクリートとも，すべて JASS 5 で目標としている 0.5cm³/cm² [1)]を満足している。

(3)　圧縮強度

同一水セメント比の場合，骨材種類の差異よりセメント種類によって強度発現が若干異なる。すなわち，普通ポルトランドセメント(N)を基準にすると材齢 7 日では N を用いたコンクリートが最も大きく，以下 BA，BB，BC の順である。28 日，91 日ではNと BA が同程度で大きく，以下 BB，BC の順であるが，材齢が経過するほど，その差は小さくなる。参考のために材齢 28 日における圧縮強度と C/W との関係式（平均値）を算出すると式(1)～(4)の通りである。

$$N：F_{28}=31.88\ C/W-26.93(N/mm^2) \quad (1)$$

$$BA：F_{28}=35.35\ C/W-33.57(N/mm^2) \quad (2)$$

$$BB：F_{28}=24.66\ C/W-16.48(N/mm^2) \quad (3)$$

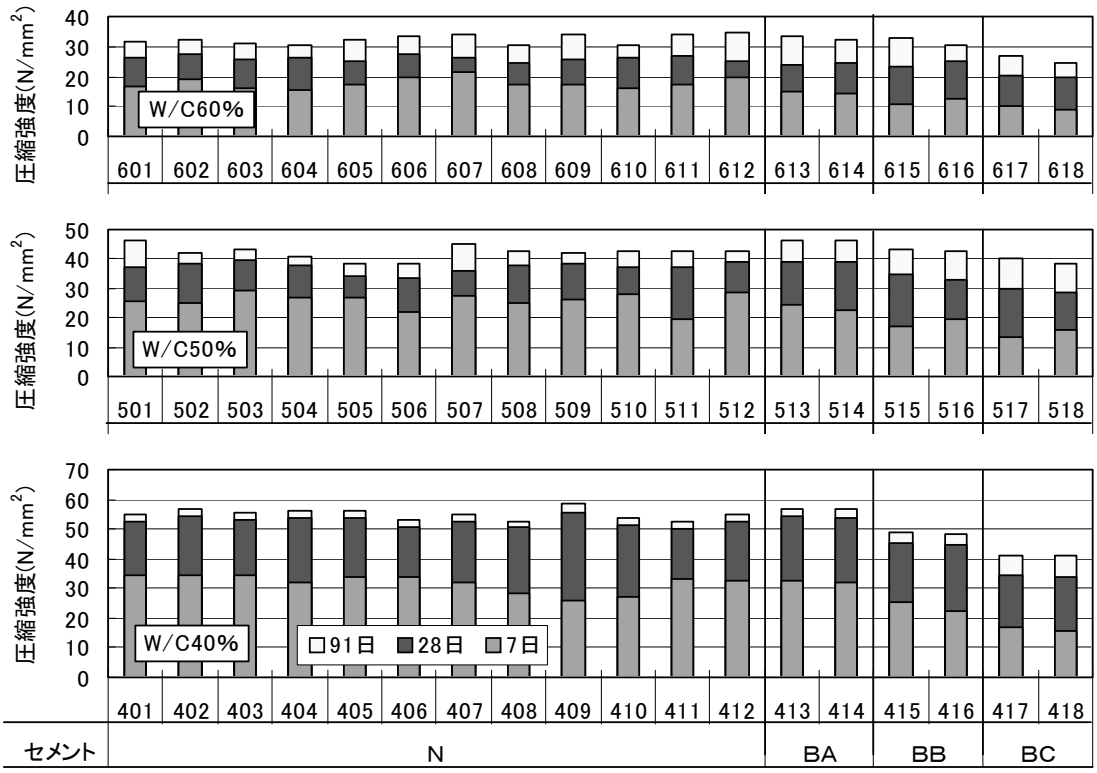
$$BC：F_{28}=16.38\ C/W-\ 5.79(N/mm^2) \quad (4)$$

ここに

F_{28}：材齢 28 日における圧縮強度(N/mm²)

C/W：セメント水比

セメントNを用いたコンクリートは骨材を 12 種類用いたので，ばらつきを示す材齢 28 日の標準偏差・変動係数を求めた。その結果，W/C60 %が 0.81N/mm²・3.1 %，W/C50 %が 1.67N/mm²・4.5%，W/C40%が 1.55N/mm²・2.9%である。ヤング係数は，材齢 28 日の場合，日本建築学会鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（1999）の提唱式（5.1）式にほぼ合致する。ポアソン比は，材齢 28 日で 0.18～0.21 である。



図－２　コンクリートの圧縮強度

(4)　乾燥収縮率・質量減少率

乾燥収縮率は，乾燥期間 182 日で JASS 5 の参考値(8×10^{-4})[1)]をすべて下廻っている。W/C 別では大きいほど若干大きい。質量減少率は，3.6～2.0%の範囲で W/C の大きい方が若干大きい。

(5)　相対動弾性係数

300 サイクルでは，いずれも 91%以上で JASS 5 の参考値(70%)[1)]を大きく上廻っている。

6.　結論

栃木県には大量の陸産系骨材が埋蔵されている。その品質とそれを用いたコンクリートの性質について究明して，次のような結論を得た。

(1) 陸産系骨材の品質は，JASS 5 や JIS A 5308 の規定値を満足する。

(2) モルタルバー法によって測定した陸産系骨材のアルカリシリカ反応は，無害である。

(3) 陸産系の砂利および砂を用いた各種セメントコンクリートの強度・耐久性は，従来より報告されている河川の砂利および砂を用いたコンクリート[1)]と同程度である。

(4) 以上(1)～(3)を総じると今回試験研究した 12 種類の陸産系骨材は，コンクリート用骨材として使用できるものと考える。

本試験研究に供した 12 種類の陸産系骨材は栃木県陸砂利採取業組合より提出された。また，岩種の判定は井上秀雄博士らにお願いした。ここに付記して謝意を表する。

参考文献

1)日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説（JASS 5 鉄筋コンクリート工事），1975

2)依田彰彦，横室　隆：陸産系骨材の品質とそれを用いたコンクリートの性質，セメント・コンクリート論文集，No.53，pp.947-952，1999

3)依田彰彦，横室　隆：陸産骨材の品質とそれを用いたコンクリートの性質（その１－２ 陸産骨材の品質，陸産骨材を用いたコンクリートの性質），日本建築学会大会学術講演梗概集（関東），pp.3-6，2001