

論文

[1034] 栃木産骨材を用いたコンクリートの性質について

正会員 依田 彰彦 (足利工業大学建築学科)

正会員 ○横室 隆 (足利工業大学建築学科)

1. はじめに

本実験研究は先に報告した[1]、[2]コンクリート用細骨材の諸性質の究明に引き続き、栃木県産砕石の品質及びそれを用いたコンクリートの性質を知ることを実施したものである。

栃木県は鬼怒川を有し、さらに県南の葛生・田沼を中心として我が国では、かなり多くのコンクリート用骨材を産出している。

栃木県産の砕石の岩質は石灰岩、硬砂岩、玄武岩等で、200m以上の深さの洪積世層から採取しているので全般に緻密で硬い。栃木県の全砕石業者46社から出荷する量は年間4500万トンといわれている。本研究では図-1に示す呼びかけに応じた20社から砕石の提供を受けた。

2. 栃木産砕石の品質

関連するJIS、BS等の方法により砕石の品質を試験し砂岩・斑岩等の鬼怒川砂利とも比較した。その結果を表-1及び2に示し以下に検討する。

a. 鬼怒川砂利を除いて20社の砕石の岩質の内訳は①12社が石灰岩質砕石で主要な成分はCaOである。なお、Na⑨はSiO₂が20%程度と多い。これは石灰岩とチャートとの間にけい灰石が生成された部分を採取したものと考えられる。⑩7社が硬砂岩質砕石で、主要な成分はSiO₂である。⑪1社が玄武岩質で、主要な成分はSiO₂である(表-1)。

b. モルタルパー法によるアルカリ反応性は表-1に示した通り、すべてが測定材令3ヵ月では0.012%以下、同6ヵ月では0.013%以下で、いずれも規定値よりかなり小さく無害と判定する。

c. 絶乾比重は、JASS 5の規定値2.5以上を、すべてが満足している。その上、岩質によって規則性がある。すなわち、玄武岩が最も大きく、以下石灰岩の2.74~2.61(平均2.69)、硬砂岩の2.65~2.50(平均2.62)、の順で、鬼怒川砂利が2.54で最も小さい(表-2)。

d. 吸水率は、JASS 5の規定値3.0%以下をすべてが満足している。その上、絶乾比重と同様、岩質によって規則性がある。すなわち、玄武岩が最も小さく、以下石灰岩の0.59~1.46%(平均0.99%)、硬砂岩の1.12~2.85%(平均1.44%)の順で、鬼怒川砂利が2.11%で最も大

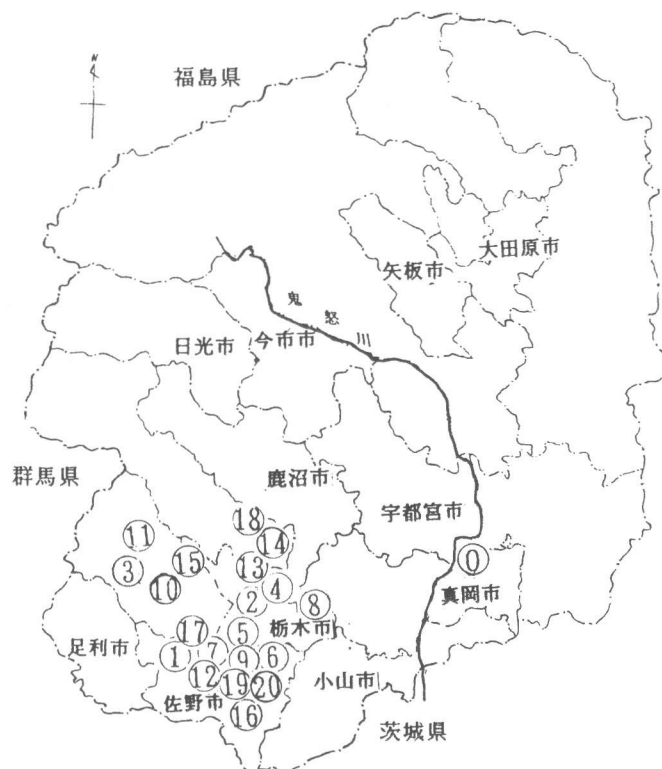


図-1 砕石を提供してくれた箇所

表-1 コンクリート用骨材の化学成分(単位%)

No.	岩石名	ig.loss	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	p	アルカリシリカ反応性(%)	
									3カ月	6カ月
㊦	鬼怒川	2.0	90.7	2.9	2.6	0.9	0.1	0.033	0.004	0.005
①	硬砂岩	2.0	91.5	2.6	2.0	0.5	0.6	0.105	0.005	0.005
②	石灰岩	45.1	1.6	0.2	0.2	39.9	12.6	0.035	0.004	0.005
③	玄武岩	3.2	66.6	14.4	5.3	3.0	4.4	0.001	0.004	0.005
④	石灰岩	42.5	3.3	0.4	0.5	44.7	8.1	0.001	0.004	0.004
⑤	"	43.6	1.1	0.2	0.2	46.9	7.5	0.001	0.004	0.004
⑥	"	46.3	0.1	0.0	0.0	35.1	17.8	0.024	0.005	0.006
⑦	硬砂岩	3.3	88.6	2.8	2.3	1.6	0.6	0.039	0.003	0.004
⑧	石灰岩	43.1	4.0	0.7	0.3	44.5	6.8	0.006	0.005	0.005
⑨	"	43.6	2.5	0.6	0.2	46.3	6.1	0.026	0.004	0.004
⑩	"	43.5	4.3	0.3	0.1	40.1	11.2	0.015	0.004	0.005
⑪	硬砂岩	2.3	91.7	2.0	1.6	1.1	0.5	0.033	0.004	0.005
⑫	石灰岩	45.9	0.4	0.1	0.1	36.3	16.7	0.026	0.004	0.005
⑬	"	44.4	0.6	0.1	0.1	47.3	7.0	0.008	0.003	0.004
⑭	"	46.0	1.0	0.1	0.1	36.3	16.0	0.015	0.005	0.006
⑮	"	45.4	0.6	0.2	0.1	37.8	15.0	0.193	0.006	0.007
⑯	硬砂岩	1.6	91.4	1.8	1.2	1.6	0.2	0.031	0.004	0.005
⑰	"	2.1	88.1	2.9	2.8	1.1	0.9	0.045	0.005	0.006
⑱	"	2.7	90.7	2.3	1.8	1.3	0.4	0.030	0.004	0.005
⑲	石灰岩	34.9	20.1	0.8	0.4	42.4	0.8	0.020	0.005	0.006
⑳	硬砂岩	2.9	89.6	4.4	1.7	0.6	0.0	0.057	0.012	0.013

きい(表-2)。

e. 洗い損失量は、JASS 5の規定値 1.0%以下を、すべてが満足している。その上、No.㊦の砕石の0.97%を除き、他のすべては 0.5%以下と、かなり少ない。

f. 単位容積重量は、比較用のNo.㊦の鬼怒川砂利1.58kg/lに対し20社の砕石は1.69~1.47kg/l(平均1.57kg/l)である。また粒形の良否を示す実積率は、No.㊦の62.6%に対し、砕石は61.2~56.9%(平均58.8%)と、かなり良好な粒形をしているといえよう。

g. 破砕値は、比較用のNo.㊦の鬼怒川砂利15.4%に対し、20社の砕石は8.8~27.1%(平均 17.6%)と範囲が広い。そのうち、石灰岩質はNo.㊦より弱い、硬砂岩質はNo.㊦より強いものもあれば弱いものもある。また、すりへり減量は破砕値と近似した傾向が認められており、目標値40%以下を、すべてが満足している。

h. 安定性は、目標値12%以下を、すべてが満足している。

i. 粒度分布は、JASS 5の規定値を、すべてが満足している。

j. 以上a.~i.を総じるといずれも規定値または目標値を満足する骨材といえよう。

3. 栃木産骨材を用いたコンクリートの性質

表-2 コンクリート用骨材の物理的品質

No	岩石名	絶乾	吸水率	洗 い	単位容積	実積率	破碎値	すりへり	安定性	ふるいを通るものの重量百分率(%)					最大 寸 法 (mm)
		比重	(%)	損失量 (%)	重 量 (kg/l)	(%)	(%)	(%)	(%)	ふるい目 (mm)					
										25	20	15	10	5	
①	鬼怒川	2.54	2.11	0.38	1.58	62.6	15.4	15.9	0.5	100	90	80	42	0	20
②	硬砂岩	2.65	1.22	0.18	1.47	56.6	16.3	16.9	0.5	100	92	54	25	0	20
③	石灰岩	2.69	1.03	0.30	1.54	58.0	20.2	11.4	0.4	100	95	81	21	0	20
④	玄武岩	2.92	0.32	0.13	1.69	58.0	10.2	10.2	0.3	100	96	69	21	0	20
⑤	石灰岩	2.70	0.98	0.26	1.56	61.2	20.6	21.2	0.8	100	100	87	33	0	20
⑥	〃	2.72	0.59	0.25	1.57	57.4	19.8	15.5	0.5	100	93	57	20	0	20
⑦	〃	2.70	0.91	0.32	1.59	60.4	26.7	27.7	1.6	100	99	82	36	0	20
⑧	硬砂岩	2.65	1.19	0.42	1.54	58.9	10.5	9.7	0.3	100	94	81	27	0	20
⑨	石灰岩	2.69	0.86	0.32	1.58	56.9	19.1	16.3	0.6	100	97	76	29	0	20
⑩	〃	2.67	1.02	0.37	1.58	59.2	18.3	15.1	0.5	100	90	67	22	0	20
⑪	〃	2.72	0.54	0.19	1.59	57.7	18.0	17.1	0.6	100	97	59	27	0	20
⑫	硬砂岩	2.61	1.28	0.31	1.55	59.0	9.7	10.1	0.4	100	95	81	25	0	20
⑬	石灰岩	2.71	1.45	0.34	1.57	57.9	22.6	22.7	0.9	100	99	90	29	0	20
⑭	〃	2.68	1.02	0.32	1.56	58.2	19.4	18.6	0.7	100	99	81	26	0	20
⑮	〃	2.74	0.60	0.48	1.63	60.2	18.6	19.0	0.7	100	90	60	24	0	20
⑯	〃	2.69	1.46	0.30	1.58	59.1	22.0	21.5	0.8	100	90	62	20	0	20
⑰	硬砂岩	2.65	1.12	0.29	1.56	60.0	8.8	8.4	0.3	100	90	48	23	0	20
⑱	〃	2.64	1.20	0.34	1.56	58.7	12.1	13.2	0.5	100	95	76	20	0	20
⑲	〃	2.64	1.23	0.13	1.59	59.5	10.7	9.3	0.3	100	92	66	23	0	20
⑳	石灰岩	2.61	1.44	0.25	1.54	58.2	20.9	21.9	0.8	100	99	88	34	0	20
㉑	硬砂岩	2.50	2.85	0.97	1.52	60.0	27.1	28.7	1.6	100	100	90	41	0	20
規 定 値					大きいほ		小さい			100	90		20	0	
また は		2.5<	<3.0	<1.0	ど望まし	55<	ほど望	<40	<12		~	—	~	~	—
目 標 値					い		ましい				100		55	10	

上記1.~2.の粗骨材をW/C 60%、スランプ 17 ± 2 cm、空気量 4 ± 1.5 %、単位水量同一のコンクリートのワーカビリティ、ブリージング量、圧縮強度、ヤング係数、ポロシティー、乾燥収縮率・重量減少率、凍結融解作用に対する抵抗性を究明するために、関連するJIS、ASTM等の方法により試験した。

3.1 使用材料

a. セメント：普通ポルトランドセメント(M社製品)、ig.loss 1.6%、MgO 1.7%、SO₃ 2.0%、R₂O 0.63%、Cl⁻ 0.006%、比重 3.16、材令28日圧縮強さ 428kgf/cm²

b. 細骨材：鬼怒川砂 f.m. 3.3、絶乾比重 2.56、吸水率 2.3%、単位容積重量 1.66kg/l

c. 粗骨材：表-1~2参照。

d. 水：足利工業大学の自家用水（飲料水）

e. 化学混和剤：主成分がリガニルホ酸化合物及びポリオール複合体のAE減水剤(Pz社製品)

f. 使用した材料の品質は、すべてJASS 5の規定値を満足している。

3.2 試験項目と方法

a. スランプ：JIS A 1101(コンクリートのスランプ試験方法)によった。コンクリートの温度は18~22℃。

b. 空気量：JIS A 1128 (まだ固まらないコンクリートの空気量の圧力による試験方法(空気室圧力

方法)) によった。コンクリートの温度は18~22℃。

c. 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タレリングしたときのくずれ方などによって判断した。

d. ブリージング量：JIS A 1123(コンクリートのブリージング試験方法)によった。フレッシュコンクリートの温度は18~22℃で、試験中の室温は20℃とした。

e. 圧縮強度：直径10cmの供試体を用い、JIS A 1108(コンクリートの圧縮強度試験方法)によった。養生は20℃水中とした。

f. ヤング係数：圧縮強度試験時にコンプレッソメーターを用いて歪を測定し、最大圧縮荷重の1/3の点におけるヤング係数を算出した。

g. 圧縮強度試験終了時に供試体表面のモルタルを塊状で採取し、37.5~750000Åの細孔半径を水銀圧入試験装置によって測定し、全細孔半径量(T.P.V.)を算出した。

h. 乾燥収縮率・重量減少率：長さはJIS A 1129(モルタル及びコンクリートの長さ変化試験試験方法)のコンパレータ方法によって乾燥収縮率を測定し、重量は0.1gまで測定できる天秤によって重量減少率を、それぞれ算出した。なお、基長は材令7日とした。供試体は20℃・60%室に保存した。

i. 凍結融解作用に対する抵抗性：ASTM C 666(Resistance of Concrete to Rapid Freezing

表-3 練り混ぜたコンクリートの調合と実験結果

No	岩石名	W C (%)	ス ラ ン プ (cm)	空 気 量 (%)	S a (%)	単 位 水 量 (kg/m ³)	ワー カ ビ リ チ ー	ブリー ジ ン グ 量 (cc/cm ²)	乾燥収縮率(×10 ⁻⁴)				重量減少率(%)			相 対 動 弾 性 係 数 (300サイクル) (%)
									乾燥期間(日)				乾燥期間(日)			
									56	112	182	365	56	182	365	
①	鬼怒川	60	18.5	4.8	47.8	167	良	0.35	6.95	7.88	8.31	9.33	3.23	4.63	4.87	90
②	硬砂岩	60	18.0	4.5	52.8	167	良	0.34	5.99	6.62	7.29	8.10	2.68	3.55	3.82	93
③	石灰岩	60	18.0	5.3	51.6	167	良	0.37	5.06	5.32	5.42	5.95	2.79	3.76	4.07	97
④	玄武岩	60	18.5	5.0	51.6	167	良	0.41	5.04	6.50	7.44	7.54	2.68	3.61	3.88	98
⑤	石灰岩	60	17.0	4.5	48.9	167	良	0.42	4.87	4.99	5.22	5.87	3.03	3.89	4.18	94
⑥	〃	60	18.5	4.3	52.2	167	良	0.42	3.25	5.66	6.28	6.79	2.64	3.52	3.90	96
⑦	〃	60	17.0	4.9	49.6	167	良	0.49	3.02	5.13	6.18	6.39	2.75	3.53	3.90	94
⑧	硬砂岩	60	17.0	4.8	50.9	167	良	0.10	4.89	5.36	6.58	6.80	2.62	3.46	3.84	92
⑨	石灰岩	60	15.0	4.3	52.6	167	良	0.11	3.11	5.16	7.35	7.38	2.32	3.16	3.56	95
⑩	〃	60	18.0	4.0	50.6	167	良	0.48	4.55	6.16	6.66	6.69	3.00	3.86	4.14	94
⑪	〃	60	18.0	4.6	51.9	167	良	0.11	4.49	5.02	5.14	5.52	3.47	4.43	4.56	97
⑫	硬砂岩	60	18.0	4.6	50.8	167	良	0.20	6.17	6.24	8.55	8.67	3.13	4.11	4.53	88
⑬	石灰岩	60	18.0	4.7	51.8	167	良	0.28	5.30	5.10	6.50	6.88	3.25	4.15	4.56	90
⑭	〃	60	18.5	4.3	51.5	167	良	0.22	3.77	4.71	5.42	5.69	3.01	3.91	4.34	94
⑮	〃	60	17.5	4.9	49.8	167	良	0.20	4.42	4.55	4.63	5.32	3.29	3.78	4.17	93
⑯	〃	60	18.5	4.8	50.8	167	良	0.22	4.99	5.16	5.52	6.62	3.22	4.14	4.35	90
⑰	硬砂岩	60	19.0	4.8	49.9	167	良	0.25	4.71	5.92	7.30	7.60	2.31	3.38	3.82	96
⑱	〃	60	18.0	4.9	51.1	167	良	0.19	4.51	5.87	7.35	6.76	2.47	3.66	4.16	91
⑲	〃	60	18.0	4.9	50.4	167	良	0.22	2.79	2.94	3.43	5.62	2.44	3.57	4.09	89
⑳	石灰岩	60	18.0	4.9	51.5	167	良	0.14	3.24	5.29	5.44	6.44	2.79	3.94	4.42	89
㉑	硬砂岩	60	17.0	4.5	49.9	167	良	0.08	6.00	7.50	7.80	9.04	3.48	4.53	4.82	88
規定値 または目標値		—	17±2	4±1.5	—	185 >	良好の こと	0.5 >	比較用㉑より小さいことが望ましい							70 <

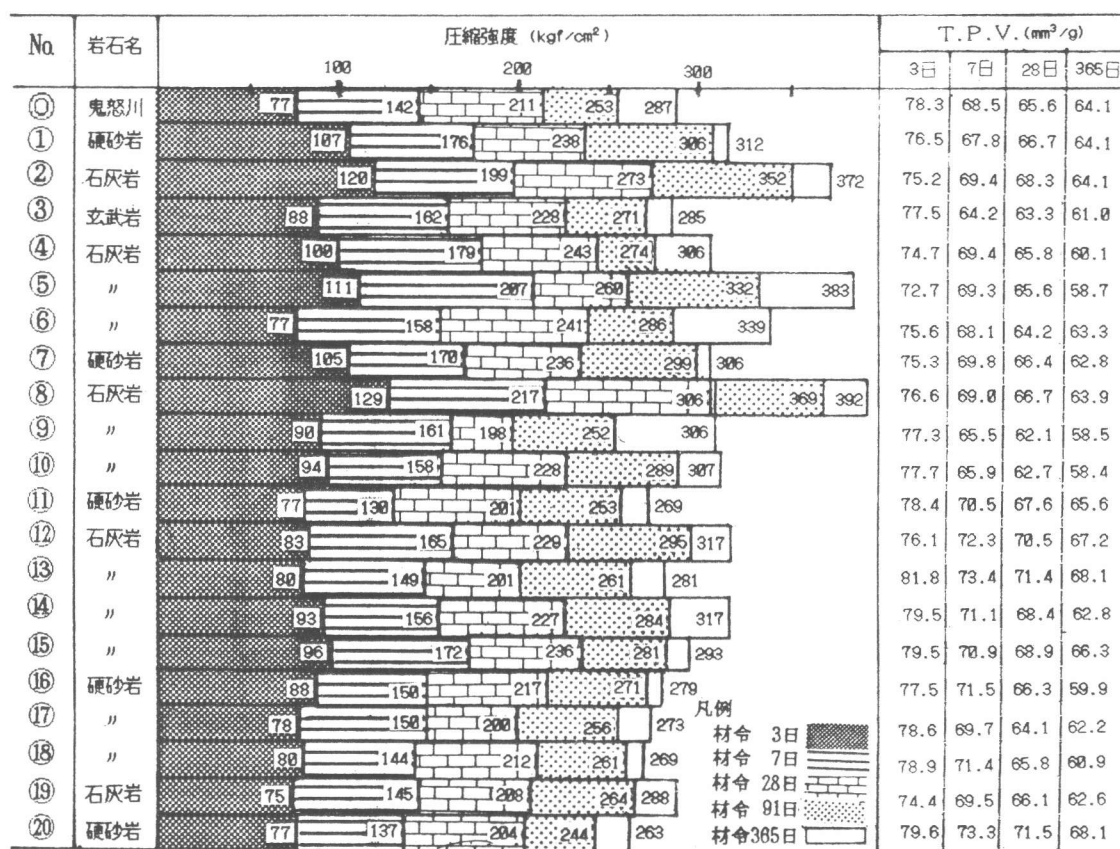


図-2 圧縮強度とT. P. V.

and Thawing)によって300回くり返したときの相対動弾性係数を算出した。

3.3 コンクリートの練り混ぜその他の試験条件

a. コンクリートはJIS A 1138(試験室におけるコンクリートの作り方)によって練り混ぜた。ミキサは容量100ℓの強制攪拌ミキサを用い、骨材は表乾状態とした。

b. 供試体はJIS A 1132(コンクリートの強度試験用供試体の作り方)に準じて作った。

c. 測定材令は『3.4 試験結果と検討』を参照されたい。

3.4 試験結果と検討

表-3及び図-2～3に示し、検討する。

a. フラッシュコンクリートすべての単位水量は167kg/m³と同一にしたのでNa◎の川砂利コンクリートと比較して碎石コンクリートの細骨材率は1.1～4.8%(平均3.2%)の範囲で大となった(表-3)。

b. フラッシュコンクリートは、すべて所定の範囲のスランプ及び空気量が得られ、ワーカビリティは良好であった。

c. フラッシュコンクリートのブリージング量は、0.10～0.49cc/cm³(平均0.11cc/cm³)で、1975年版 JASS 5 の目標性能値0.5cc/cm³をすべて下廻った(表-3)。

d. コンクリートの圧縮強度は◎鬼怒川砂利コンクリートと比較すると材令3日が77kgf/cm²に対し20種類の碎石コンクリートは75～120kgf/cm²(平均92kgf/cm²)、材令7日が142kgf/cm²に対し129～207kgf/cm²(平均164kgf/cm²)、材令28日が211kgf/cm²に対し198～306kgf/cm²(平均225kgf/cm²)、材令91日が253kgf/cm²に対し244～369kgf/cm²(平均285kgf/cm²)、材令365日が287kgf/cm²に対し263～392kgf/cm²(平均308kgf/cm²)で、碎石コンクリートの平均値はいずれの材令において川砂利コンクリートを上廻る。しかし碎石コンクリートを個々に見ると⑪と⑳の硬砂岩コンクリートは、い

ずれの材令に
おいて同程度
ないし若干小
さい。これは
碎石の比重が
小さく、吸水
率が大きいこ
とと、コンク
リート組織の
T.P.V.が大き
いことに起因
しよう。他は
材令によって、
1~6%の範囲
で若干小さい
場合が見られ
たが、総じて
大きいといえ

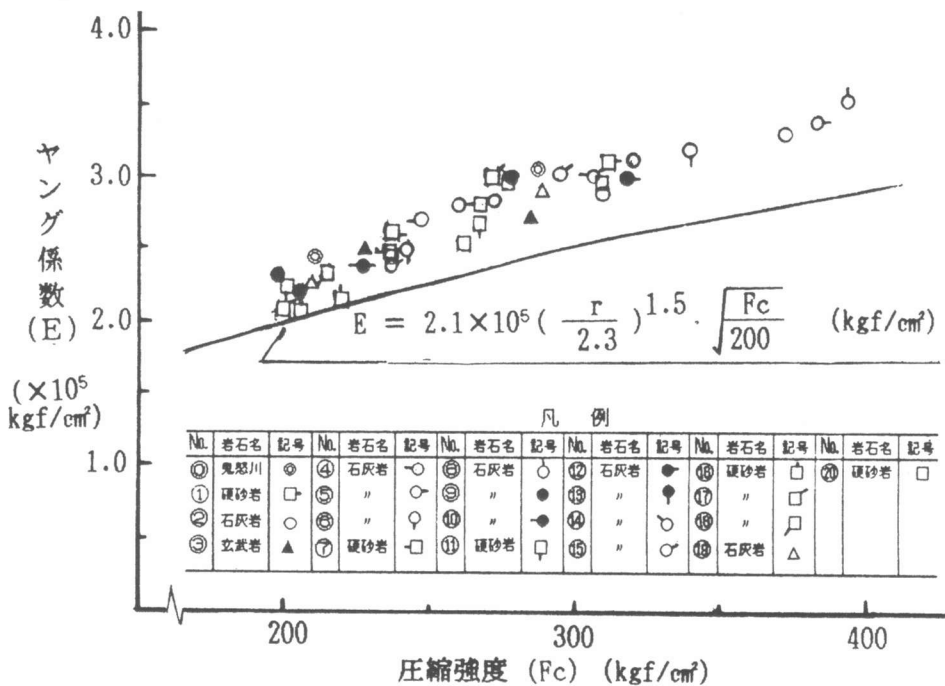


図-3 圧縮強度とヤング係数の関係

よう。なお、12種類の石灰岩と 7種類の硬砂岩では前者が大きい。しかし、前者は大小の幅も大きい(図-2)。バラツキを示す標準偏差は、いずれも17.1kgf/cm²以下であったことを付記する。

e. ヤング係数は図-3に示した通り、いずれの骨材を用いたコンクリートも日本建築学会鉄筋コンクリート構造計算規準に示されている式 ($E = 2.1 \times 10^5 \times (\frac{\gamma}{2.3})^{1.5} \times \sqrt{\frac{F_c}{200}}$ kgf/cm²) を満たしている。

f. 乾燥収縮率は、いずれの碎石コンクリートも⑩鬼怒川砂利コンクリートのそれより小さい。とくに石灰岩質碎石を用いたコンクリートは小さい。これは2.d.に述べた通り石灰岩質碎石の吸水率が最も小さいためと考える。重量変化率は乾燥収縮率の傾向を裏付ける結果を得た(表-3)。

g. 凍結融解作用による相対動弾性係数は目標値70%を大きく上廻っている(表-3)。

4. むすび

本実験研究から、栃木産骨材は良好な品質を有し、それを用いたコンクリートの諸性質は、すこぶるよく、コンクリート用骨材として十分適していることが明確となった。。

〔謝辞〕本研究は栃木県碎石工業組合をはじめ、多くの方々の協力を得て実施したもので、ここに深甚の謝意を表す。

参考文献

- [1] 依田彰彦、横室 隆、土沢 清；葛生産骨材を用いたコンクリートの諸性質について、第8回コンクリート工学年次講演会論文集 1986
- [2] 横室 隆、依田彰彦；栃木県南産骨材のアリカリ反応について、日本建築学会大会学術講演梗概集(関東)、昭和63年10月