

V-64 人工軽量骨材の強度推定法について

島取大学	正員	西 林 新 蔵
"	"	木 山 英 郎
"	"	阪 田 憲 次
"	"	○ 吉 川 敏 明

1. まえがき

骨材はコンクリートの全容積の約65～80%を占めるものであるから、その性質の良否は直接コンクリートの諸性質に大きな影響をおよぼすものと考えられている。土木学会示方書では、骨材は清浄、強硬、耐久적であり、粒形が球または立方形に近く、適当な粒度をもち、有機物、ゴミ、どのような有害量を含んではならないと規定している。すなわち、骨材そのものに対しては、強硬、耐久的という言葉でその性質が規定されている。強硬、すなわち骨材の強度について考えると、強硬な骨材を使用したコンクリートの強度は、主としてセメントペーストの強さによって支配されるが、セメントペーストの強さよりむしろ小さい骨材を用いると、コンクリートの強度は、二者の骨材の強度に支配されることがある。一方、骨材の耐久性について考えると、コンクリート中の弱い骨材が分解する場合、あるいは温度や湿度の変化、さらには過酷な気象条件(例えば凍結融解作用)などによって骨材に大きな容積変化を生ずるような場合には、コンクリートが浸蝕されたり、破壊されたりする。従って骨材は温度変化や乾湿の変化などの物理的風化作用に対して安定なものでなければならぬわけである。このように、コンクリートの強度や耐久性に直接または間接的な影響を与える骨材の強度、耐久性などの力学性質は、コンクリートに対するよう容易に求められることができないので、相対的な値を定量化して、そこから基本的な性質を判断しているに過ぎないのが現状である。骨材の強度は、BS 812、J連規格、アメリカ開拓局法などに規格化されている破砕試験によって間接的に求めるが、あるいはコンクリートの強度とモルタルの強度の比から骨材の強さを計算によって推定する方法などがあるが、直接試験から骨材の強さを求める方法は確立されていない。

著者らは、骨材の強度を直接求める方法として、受載荷圧裂試験を提案し、主として人工軽量骨材について、上記試験結果とBS試験の結果とを比較し若干の考察を加えた¹⁾。これによると、受載荷圧裂試験による引張強度は、非造粒型人工軽量骨材では種類による強度差はあまり大きくないが、造粒型骨材ではかなり大きく現われる。さらに吸水による強度減は、人工軽量骨材で、約25%、砕石で、約40%となり、かなり大きいことがわかった。また受載荷圧裂試験とBS破砕試験の結果と受載荷の影響の程度を検討すると、BS試験における受載荷の影響値は、載荷重10tで約30%、40tで約20%となる。これはBS容器中の骨材は、低載荷荷重において受接触の傾向が強く、従って圧裂による破砕の傾向が大きく現われるが、載荷重が増加するにつれて、破砕された骨材によって空気が埋められ、受載荷圧裂の効果が減少していくものと推定される。このように、受載荷圧裂試験とBS試験とでは、骨材に作用する荷重の状態が本質的に異なり、その結果の評価の仕方もおのづから異なるものと考えられる。

本文は、各骨材種類ごとに500個を選んで行なった実載荷圧裂試験の結果を粒径ごとに統計的に整理し、粒径と強度との関係、骨材の吸水による強度低下の関係を詳しく検討した結果、およびモルタルの強度とコンクリートの強度の比から推定した骨材強度について述べる。

2. 実載荷圧裂試験による骨材の強度分布について

前に得られた500個の引張強度を粒径1 mmごとに分割し、各粒径における確率密度分布からその中央値(平均値、最頻値)を求めて各粒径ごとの最頻強度と粒径との関係をプロットした。骨材の状態は絶乾状態と5日間吸水状態のものを選び、吸水による強度低下率をも検討することにした。上述した統計的处理によって得られた結果を図-1に示す。これによると、天然碎石、人工軽量骨材いずれも粒径が大きくなるに従って骨材の圧裂強度は低下し、人工軽量骨材においてはM、L、Uの低下率はほぼ同じ傾向を示している。さらに吸水による骨材の強度低下は、骨材の吸水率の絶対値とは関係なく、軽量骨材においては約10 %/cm³、碎石においては約100 kg/cm³となり、天然骨材の強度低下(絶対値の方がかなり大きい。これを強度低下率で考えると、人工軽量骨材B、M、Uで20~25%、Lで約10%、天然碎石で約35%となり、骨材の種類によって吸水による強度低下率がかなり異なる。

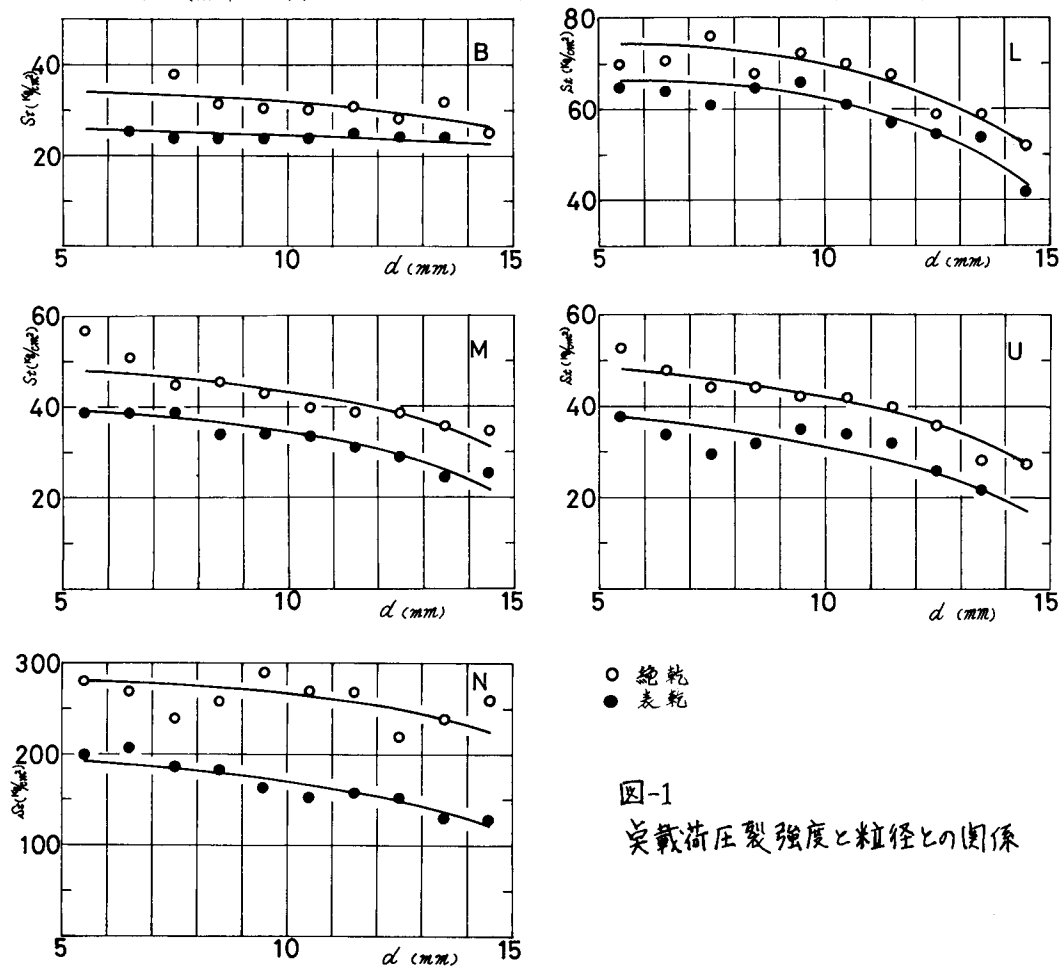


図-1
実載荷圧裂強度と粒径との関係

ることがわかる。図-1をみると、粒径 10mm における強度は粗骨材の強度のほぼ平均値を示している。従って、実載荷圧試験によって骨材の強度を求める際には、粒径 $10\pm 1\text{mm}$ の骨材を選んで試験を行なえば、骨材の種類による強度差が、かなり正確に推定できるものと考えられる。

絶乾状態の骨材について考えると、天然砕石は 250kg/m^3 、人工軽量石は 70kg/m^3 、M、Lは約 40kg/m^3 、Bは 30kg/m^3 となり、人工軽量骨材の強度は砕石のその $1/10\sim 1/3$ 程度と推定できる。

このように人工軽量骨材の圧縮強度は、天然普通骨材のそのよりかなり小さいために、モルタル強度の小さいコンクリートにおいては骨材の影響がかなり現われることが推察される。

3. モルタルとコンクリートの強度比から推定した骨材強度について

1967年に開催されたRILEM 軽量コンクリートの試験ならびに設計の方法に関するシンポジウムにおいて、M.H. Baché²⁾は、コンクリートの強度(σ_c)を支配する重要なパラメーターは、モルタルの強度(σ_m)、骨材の強度(σ_a)および粗骨材の絶対容積率(n)の3つであると仮定し、これらのパラメーターの間には

$$\sigma_c = f(\sigma_m, \sigma_a, n)$$

の関数関係が成り立ち、次元解析を行なって次に示すような近似式を提案した。

$$\sigma_c / \sigma_m = (\sigma_a / \sigma_m)^n, \quad \sigma_a = \sigma_m^{1/n} \sigma_c^{1-1/n}$$

$$(2 < \sigma_m / \sigma_a < 15, \quad 0 < n < 0.5)$$

上式において、 n はコンクリートの配合から決まり、 σ_c, σ_m は強度試験より求まるので、骨材強度は計算から推定できることになる。

このBachéの近似式に基づき、配合条件の異なるモルタルとコンクリートのそのその強度から、使用骨材の強度を推定することを試みた。基準とするモルタルには表乾状態の天然砂を用い、その水セメント比を40、45、50%に選んで配合を決定し、さらに対比コンクリートはモルタルに粗骨材容積率20、30、40%の表乾状態の粗骨材を混入することによって、そのその配合を決定した。本実験においては、天然砕石と造粒型人工軽量骨材(L)および非造粒型人工軽量骨材(B)を粗骨材に使用した。なおこれらの配合においては水セメント比に主眼をいたため、コンシステンシーの調整は行っていない。モルタルおよびコンクリートの配合表を表-1に示す。試験に用いた供試体は、今 $10 \times 20\text{cm}$ の円柱供試体で、検査日、14日、28日および91日において、圧縮強度、引張強度、ヤング係数を求めた。これらの強度のうち、検査28日までの引張強度から求めた骨材の推定強

表-1 配合表

	水セメント比 (%)	粗骨材容積率 (%)	水 (kg)	セメント (kg)	砂 (kg)	粗骨材 (kg)
L 402	40	20	180	450	1108	268
U 402	"	"	"	"	"	314
N 402	"	"	"	"	"	540
M 402	"	"	225	563	1383	"
L 403	"	30	180	450	847	402
U 403	"	"	"	"	"	471
N 403	"	"	"	"	"	810
M 403	"	"	257	644	1211	"
L 404	"	40	180	450	588	536
U 404	"	"	"	"	"	628
N 404	"	"	"	"	"	1080
M 404	"	"	301	752	882	"
L 452	45	20	203	450	1046	268
U 452	"	"	"	"	"	314
N 452	"	"	"	"	"	540
M 452	"	"	254	563	1308	"
L 453	"	30	203	450	787	402
U 453	"	"	"	"	"	471
N 453	"	"	"	"	"	810
M 453	"	"	290	644	1125	"
L 454	"	40	203	450	528	536
U 454	"	"	"	"	"	628
N 454	"	"	"	"	"	1080
M 454	"	"	339	752	882	"
L 502	50	20	225	450	889	268
U 502	"	"	"	"	"	314
N 502	"	"	"	"	"	540
M 502	"	"	281	563	1236	"
L 503	"	30	225	450	730	402
U 503	"	"	"	"	"	471
N 503	"	"	"	"	"	810
M 503	"	"	322	644	1044	"
L 504	"	40	225	450	471	536
U 504	"	"	"	"	"	628
N 504	"	"	"	"	"	1080
M 504	"	"	376	752	787	"

流和剤 ポリスチレン
0.25%

度について若干の考察を加える。

表-2 実験結果 (kg/cm²)

各配合ごとに得られた結果を表示すると表-2に示ようになる。先ず標準モルタルの強度とコンクリートの強度の比、すなわち σ_m を比較すると、骨材の種類にかかわらず同一水セメント比においては、粗骨材量が増加するに従って強度比が小さくなる。すなわち、骨材量の多いコンクリートの強度はモルタルの強度に比して小さくなる。その割合は粗骨材の容積率にほぼ比例している。いま、表-2に示す引張強度に注目して、Bacheが提案した近似式に測定値を入れて骨材強度を推定すると、非造粒型人工軽量骨材Uの平均骨材推定強度は、23.4 kg/cm²、Lは27.4 kg/cm²、天然砕石 Naは29.4 kg/cm²となり、Uでは実載荷圧強度29.5 kg/cm²とほぼ等しい値が得られている。

しかし、実載荷圧強度の比較的大きいLでは約1/2、天然砕石では約1/5、の推定強度となり、Bacheの提案式を用いて骨材の強度を正確に推定できない。LとNaの平均骨材推定強度がほぼ等しくなっていることを考慮すると、骨材そのものの強度が大きい場合、Bacheの近似式から推定される強度は約30 kg/cm²と一定値になることが予想される。二つより、骨材の引張強度がモルタルの引張強度よりも小さい場合には、Bacheの近似式を用いて骨材強度はかなり正確に推定できるが、骨材強度がモルタルのそれよりも大きい場合には、近似式を構成している3つのパラメーター以外の要因がかなり支配的に影響するものと考えられる。コンクリートの引張試験における破壊の状況を観察すると、骨材の破壊よりもむしろモルタルと骨材との付着破壊の傾向が強い。

骨材強度の低いUにおいては、モルタルの強度が大きい、水セメント比の小さい場合、あるいは骨材令が進むに従って骨材破壊の様相が見られ、L、Naでは付着破壊の傾向が強く、この現象からもモルタルの強度とコンクリートの強度との比から骨材強度を正確に推定することが困難であることが伺われる。圧縮強度を基にした推定強度についてはまだ検討していないが、以前に行なった予備試験から、推定強度(σ_c)は骨材の圧裂強度(S_t)の約5倍の値となり、骨材の強度が小さくなるほど強度比(σ_c/S_t)が小さくなる傾向が見られた。長期試験における強度を考慮した場合あるいは圧縮強度、ヤング係数と骨材強度(推定強度と実載荷圧強度)との関係については、講演会当日説明する。

骨材強度の低いUにおいては、モルタルの強度が大きい、水セメント比の小さい場合、あるいは骨材令が進むに従って骨材破壊の様相が見られ、L、Naでは付着破壊の傾向が強く、この現象からもモルタルの強度とコンクリートの強度との比から骨材強度を正確に推定することが困難であることが伺われる。圧縮強度を基にした推定強度についてはまだ検討していないが、以前に行なった予備試験から、推定強度(σ_c)は骨材の圧裂強度(S_t)の約5倍の値となり、骨材の強度が小さくなるほど強度比(σ_c/S_t)が小さくなる傾向が見られた。長期試験における強度を考慮した場合あるいは圧縮強度、ヤング係数と骨材強度(推定強度と実載荷圧強度)との関係については、講演会当日説明する。

〈参考文献〉 1) 吉川, 阪田, 木山, 西林「軽量コンクリートの安定性試験と強度変化に関わる三つの考察」第25回年次講演会講演集 2) M.H. Bache: Strength of Structural Lightweight Aggregate Concrete, Proc. of RILEM Symp. on Testing and Design method of Lightweight Aggregate Concrete, March, 1967

配合	モルタルの強度	コンクリートの強度		モルタルの強度		σ_m		骨材の強度		実載荷圧強度
		引張	圧縮	引張	圧縮	引張	圧縮	引張	圧縮	
L402	7	32.3	374	29.9	389	1.08	0.96	44.0	320	58.1
	14	33.8	447	35.1	442	0.96	1.01	29.1	468	
	28	43.2	458	43.1	493	1.00	0.93	43.6	341	
L404	7	31.8	311	40.7	393	0.78	0.79	22.0	217	58.1
	14	34.8	369	40.4	500	0.86	0.74	27.8	234	
	28	33.6	474	41.1	533	0.82	0.89	24.8	398	
L502	7	22.4	199	26.3	258	0.85	0.77	11.8	70	58.1
	14	29.9	296	34.0	351	0.88	0.84	17.9	150	
	28	34.7	360	37.0	448	0.94	0.80	26.9	150	
L503	7	29.4	257	24.2	275	1.21	0.91	46.3	203	58.1
	14	30.0	347	33.4	373	0.90	0.93	33.4	291	
	28	32.6	366	32.6	442	1.00	0.83	32.6	236	
L504	7	22.6	199	30.3	280	0.75	0.71	14.6	119	58.1
	14	28.1	334	35.0	380	0.80	0.86	20.2	266	
	28	28.7	371	38.0	431	0.76	0.77	18.8	251	
U402	7	32.6	308	29.9	389	1.09	0.79	46.1	121	29.5
	14	33.8	362	35.1	442	0.96	0.82	29.1	163	
	28	33.0	413	43.1	493	0.77	0.84	11.3	203	
U404	7	31.4	303	40.7	393	0.77	0.77	21.3	204	29.5
	14	33.1	313	40.4	500	0.82	0.64	24.5	161	
	28	33.4	343	41.1	533	0.81	0.64	24.5	177	
U502	7	26.2	218	26.3	258	1.00	0.83	25.8	104	29.5
	14	31.8	304	34.0	351	0.94	0.87	24.3	171	
	28	31.8	333	37.0	448	0.86	0.74	17.4	102	
U503	7	24.0	232	24.2	275	0.99	0.84	23.6	156	29.5
	14	28.8	271	33.4	373	0.86	0.73	20.4	128	
	28	30.4	273	32.6	442	0.93	0.62	25.8	89	
U504	7	24.6	202	30.3	280	0.81	0.72	18.0	124	29.5
	14	28.8	239	35.0	389	0.74	0.61	16.3	115	
	28	30.8	287	38.0	431	0.81	0.60	22.5	132	
Na02	7	30.6	342	29.9	389	1.02	0.88	33.6	204	15.3
	14	38.5	461	35.1	442	1.10	1.04	55.8	546	
	28	34.8	489	43.1	493	0.81	0.99	14.8	473	
Na04	7	32.9	384	40.7	393	0.81	0.97	23.9	368	15.3
	14	40.0	475	40.4	500	0.99	0.95	39.4	440	
	28	44.0	519	41.1	533	1.07	0.97	48.7	499	
N502	7	23.6	237	26.3	258	0.90	0.92	15.3	169	15.3
	14	31.7	345	34.0	351	0.93	0.93	24.0	322	
	28	34.6	399	37.0	448	0.94	0.89	26.5	251	
N503	7	24.5	255	24.2	275	1.01	0.93	25.2	214	15.3
	14	29.0	306	33.4	373	0.87	0.92	20.9	192	
	28	37.1	378	32.6	442	1.14	0.86	50.2	262	
N504	7	23.4	158	30.3	280	0.77	0.56	15.9	67	15.3
	14	24.8	222	35.0	389	0.85	0.57	23.4	96	
	28	32.0	285	38.0	431	0.84	0.59	24.7	130	