



骨材の性質に及ぼす粒子形状の影響 (一)

藤 井 眞 透

道路舗装及コンクリートは力學的に均等性を有するものと取扱つてゐるが、多くは不均質で粒狀體から成りその主體をなす骨材の影響は極めて顯著で、之らは主として粒子形状と粒度に基くものである。粒度に関しては従來幾多の研究が行はれたが粒子形状に関しては未だ定説なく、而して舗装が多年の經驗に基き多くは人工破砕せる碎石を用ふるは、一は粒子の稜角性を利用して嚙合作用を行はしめ、一は粒子表面の粒狀を利用して摩擦力を大にし同時に結合材の附着力を増大せしめたものである。従來天然砂利を用ひて充分なる効果を擧げ得ざりし經驗に鑑み、之ら粒子形状の特質を研究してみる。已往の經驗から粒子形状の特質を見れば凡そ次の如し。

(1) マカダ舗装は骨材の嚙合作用を充分ならしむる必要上碎石のみを用ひ、稜角を利用して嚙合はしむると同時に之が磨損して生ずる石粉の水硬性を利用して附着力を保持しめるものである。

(2) コンクリート骨材ではエプラムスの實驗結果は碎石の粒度係数の限度を砂利より 0.25% 少く定めた。尚碎石コンクリートは砂利のものに比し配合粒度に係らず、引張強さ曲げ強さ共に大にして壓縮強さに對する比を求めれば引張強さは 11.6% 大であり曲げ強さは約その半の 6.1% 大である。

(3) 瀝青混合物の經驗ではオーソソバインダーは碎石のみを用ひ、而して粒子表面の接觸面小で摩擦抵抗少く瀝青で此抵抗を實質的に増大し得ないから稜角磨損して安定を保たしむる爲に軟質瀝青を用ふる。粗粒瀝土は粗骨材が主體をなすから働合作用ある碎石を用ふべきであるが、細骨材の爲に移動抵抗大であるから砂利を用ひ得る。細粒瀝土は粗骨材が細粒材の爲に分離せられて働合作用をなす事が出来ない、只表面粗狀を呈せしむるのみであるから靱性硬度も必要としない。砂利も用ひらるゝが丸味の爲に移動抵抗少いから碎石を多く用ふる。シートラスフルトは細骨材のみで粒度に關してのみ規定し砂と碎石屑との選定は未だ解決されない。

以上粒子形狀に就てはハーコンソベルが degree of sphericity, degree of roundness, image of solid, シュエメルツエエルが Korn-index を定め Kubisch, gedrunnen, splittig, plattig を定めたに過ぎず、未だ定説がない。

1. 粒子の形狀示數

骨材粒子は何れも不規則の形狀を有し一定しないが、概して砂利は岩石が長年月に亘る氣象作用により崩壊し水流に伴つて粒子が互に摩擦を受け稜角が磨損し丸味を帯ぶるに至るもので、従て河川の下流に赴くに從ひ漸次その丸味度を増すものである。

碎石は石片が破砕機に於てその側面に加壓衝撃を受け砕破せられたものであるから一般に扁平、細長の形状を有し稜角に富み之を再破砕したものは之らの石片がその長邊の方向で破砕せらるゝから、邊長比が一に近似し立方形に接近するものでポルミル等により複段破砕した粒子は、碎石機的一段破砕したものに比し立方形である。

1. 粒子の大きさ

粒子の平均径はその三軸方向の長さを a, b, c とすれば次の如く定むる事が出来る。

(a) 粒子の俯瞰面の平均長 $d_m = (a+b)/2$

(b) 俯瞰面の長 a, b の矩形と等面積の方形の邊即 *Gutmann dia*, $d_m = \sqrt{ab}$

(c) 三軸の長の平均表 $d_m = (a+b+c)/3$

(d) 並行六面體 a, b, c と等表面積の正六面體の邊 $d_m = \frac{\sqrt{ab+bc+ca}}{3}$

(e) 並行六面體 a, b, c と等體積の邊即 *Persori dia* $d_m = \sqrt[3]{abc}$

(f) 並行六面體 a, b, c とその平均面積との比 $d_m = \frac{3abc}{(ab+bc+ca)}$

更に篩分析に用ふる通過篩と殘留篩との篩目の徑から粒子の平均径を次の如く定められる。

(g) 篩目の平均値、獨逸 *DIN* の規定 $d_m = (d_1+d_2)/2$

(h) 篩目の相乘積を篩目の平均値で除したるもの即 *Pöpel* 徑 $d_m = \frac{2d_1d_2}{d_1+d_2}$

(i) 篩目の面積の相乘積を篩目の平均値で除したるもの立方根即 *Andreasen dia* $d_m = \sqrt[3]{\frac{2d_1^2d_2^2}{d_1+d_2}}$

茲に a, b, c : 邊長, d_1, d_2 : 通過篩と殘留篩の目,

また粒子の大きさを異にする骨材の平均径は次の如く定められる。

(j) 粒子の長から $d_m = \frac{\sum nd^3}{\sum ni}$

(k) 同表面積から $d_m = \sqrt{\frac{\sum nd^3}{\sum ni}}$ 又は $\frac{\sum nd^2}{\sum nd}$

(l) 同體積から $d_m = \sqrt[3]{\frac{\sum nd^3}{\sum ni}}$ 又は $\frac{\sum nd^3}{\sum nd^2}$ $\sqrt[3]{\frac{\sum nd^3}{\sum ni}}$

粗骨材を標準篩で篩分けたものから代表的粒子 40 を選び、その邊長を測定し、之から平均径を算定すれば 1 表第 2 表の如し。

第 1 表 砂 利

篩目寸法 (mm)	篩目平均寸法 (mm)	粒子實測邊長 (mm)			粒子實測平均徑 (mm)							容積より 求めたる	
		a	b	c	$\frac{a+b}{2}$ (a)	\sqrt{ab} (b)	$\frac{a+b+c}{3}$ (c)	$\sqrt[3]{\frac{ab+ac+bc}{3}}$ (d)	$\sqrt[3]{\frac{abc}{e}}$ (e)	$\frac{3abc}{ab+ac+bc}$ (f)			
d_1	$\frac{d_1+d_2}{2}$	$\frac{2d_1 \times d_2}{d_1+d_2}$	a	b	c	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	徑	
31.75~25.40	28.575	28.382	28.267	45.5	33.2	21.5	39.35	38.91	33.40	32.71	31.94	30.53	29.75
25.40~19.05	22.225	21.920	21.829	39.7	26.4	18.4	33.05	32.33	28.17	27.50	26.89	25.71	25.50
19.05~12.70	15.875	15.449	15.280	32.3	21.9	14.0	27.10	26.70	22.73	22.18	21.63	0.59	18.80
12.70~6.35	9.525	8.804	8.467	18.5	13.0	8.7	15.75	15.81	13.40	13.26	13.04	12.60	10.40
6.35~4.76	5.555	5.481	5.441	11.3	7.4	5.1	9.35	9.16	7.93	7.74	7.59	7.29	6.60

粒子の實測邊長から算定した六種の平均径は、(a) が最も大で (b)、(c) の順に小となり (j) が最も小く表はさる。

的に數學は自明である。之を篩目から求めた三種の徑と比較すれば後者より何れも大なる事も明である。之を粒子の實測體積から之を球として考へた場合の徑と比較すると、之は篩目の算術平均値より少しく大であり、粒子の外接立方體の體積をその表面積で除したものとより少しく小であるが略近似してゐる。

第 2 表 碎 石

篩目寸法 (mm)	篩目平均寸法 (mm)	粒子實測邊長 (mm)			粒子實測平均徑 (mm)			容積より 求めたる (mm)					
		a	b	c	$\frac{a+b}{2}$	$\frac{a+b+c}{3}$	$\frac{a+ac+b}{3}$						
d_1	$\frac{d_1+d_2}{2}$	$\frac{3\sqrt{d_1^2 \times d_2^2}}{d_1+d_2}$	$\frac{2d_1 \times d_2}{d_1+d_2}$	$\frac{a+b}{2}$	$\frac{\sqrt{ab}}{2}$	$\frac{a+b+c}{3}$	$\frac{a+ac+b}{3}$	$\frac{3abc}{ab+ac+bc}$					
d_2	(7)			(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)				
31.75~25.40	28.575	28.382	27.267	46.2	32.6	21.5	39.40	38.96	33.43	32.58	31.64	29.83	27.8
25.40~19.05	22.225	21.920	21.829	42.5	28.3	17.5	35.40	34.81	29.43	28.57	27.66	25.93	20.4
19.05~12.70	15.875	15.449	15.280	36.1	22.5	12.8	29.30	28.72	23.80	22.91	21.90	20.02	17.6
12.70~6.35	9.525	8.804	8.467	20.2	12.5	7.5	16.35	15.99	13.40	13.00	12.65	11.99	10.3
6.35~4.76	5.555	5.481	5.441	12.6	7.5	4.3	10.05	9.80	8.13	7.82	7.48	6.83	5.8

2. 粒子の形状示數

粒子の形状を表示する數値として次のものを定め碎石、砂利との各寸法の粒子に就て之を測定した。

(1) 容積係數及球形率

容積係數は粒子の體積を實測し之と三邊の長を等しくする直六面體の體積との比で表す。

$$K = V/abc$$

V : 實體積 K : 容積係数

球形率は粒子の體積と、之と三邊の長を等しくする橢圓體の體積との比で表はす。

$$R = \frac{6V}{(abc)^{1/3}}$$

砂利は丸味を有し橢圓體に近似するから球形率著しく大で 1.3 に達し、直方體に近似するものもある。容積係数も大で最高 0.68 平均 0.49 に達し碎石の平均値 0.36 に比し著しく大でその比は 1.36 に達する。

(2) 細長率 index of elongation

粒子の最小邊と最長邊との長の比で表す。

$$e = a/o \quad e : \text{細長率}$$

碎石は極めて大で最大値 6 以上に達し平均 2.8 である。砂利は最大値 3 を超ゆるものもあるも平均値 2.2 で碎石との比は 1.27 である。

碎石の細長率は一段破碎を受けたものの特質を示し複段破碎を受けたものは之より砂利に近似する。

(3) 扁平率 index of flatness

粒子の最大斷面積と最小邊長との比で表す。粒子の最安定なる位置に於ける厚を示すものである。

$$f = ab/e \quad f : \text{扁平率}$$

扁平率の單位は mm で表すから各寸法のものに就き各異なるが碎石に對する砂利の比は何れも一以上であつて、粒徑小な

るに従い増加する。従て碎石は粒径小なるもの程扁平なるを示して、それ一段破碎を受けた碎石の特質である。

(4) 方形率 index of square.

粒子の最長邊と中邊との比で表し、粒子の最も安定なる位置に於ける俯瞰面の形状を表す。

$$s = a/b$$

s : 方形率

方形率は細長率扁平率程著しく相違を示さないが碎石が砂利に比し大であり最大 3.0 平均 1.7, 砂利は最大 2.0 平均 1.4 に過ぎない。

3. 砂利と碎石との形状示数の比較

各寸法のものに篩分けた碎石と砂利につき形状示数の平均値を求むれば第3表第4表の如し。

第 3 表 砂 利 の 形 状 示 数

篩 目 寸 法 (mm)	邊 長 (cm)			實測容積 (cc)	不 同 性	容積係數 (K)	球 形 率 (R)	細 長 率 (e)	方 形 率 (s)	扁 平 率 (f)(mm)
	a	b	c							
31.75~25.40	4.55	3.32	2.15	15.68	0.236	0.493	0.941	2.19	1.37	73.07
25.40~19.05	3.97	2.64	1.84	9.90	0.285	0.514	0.981	2.20	1.52	58.76
19.05~12.70	3.23	2.19	1.40	5.02	0.359	0.501	0.957	2.35	1.48	51.84
12.70~6.35	1.85	1.30	0.87	1.02	0.348	0.469	0.897	2.19	1.44	29.23
6.35~4.76	1.13	0.74	0.51	0.21	0.314	0.474	0.906	2.30	1.54	16.66
平 均					0.309	0.490	0.936	2.25	1.47	45.91

第 4 表 碎 石 の 形 状 示 数

篩目寸法 (mm)	邊長 (cm)			實測容積 (cc)	不同性	容積係 (K)	球形率 (R)	細長率 (G)	方形率 (S)	扁平率 (f)(mm)
	a	b	c							
31.75~25.40	4.62	3.26	2.15	12.95	0.299	0.428	0.817	2.39	1.42	78.28
25.40~19.05	4.25	2.83	1.75	7.64	0.330	0.366	0.699	2.53	1.49	73.80
19.05~12.70	5.61	2.25	1.28	3.66	0.343	0.356	0.680	3.03	1.64	68.07
12.70~6.35	2.02	1.25	0.75	0.68	0.450	0.329	0.638	2.88	1.65	35.75
6.35~4.76	1.26	0.75	0.43	0.13	0.429	0.327	0.625	3.15	1.69	24.43
平均					0.370	0.361	0.692	2.80	1.57	56.08

一段破碎の碎石は砂利に比し形状不規則なるを示しその比は球形率 1.35 細長率 1.24 扁平率 1.22 方形率 1.07 であつた。粒子の平均値、之と最小邊及最小邊との差を求め、之らの極値と平均邊長との比を骨材粒子の形状不同性を表はすものとして求むれば前記同様に碎石と砂利との特質を表す。

一般に碎石は邊長の變化大であり、均一性を缺くを明に示してゐる。第 5 表に示すが如し。

第 5 表 形状不同率

	砂 利			碎 石		
	a	b	c	a	b	c
不 同 率	0.344	0.220	.363	0.375	0.276	0.459
平 均	0.309			0.370		

碎石と砂利との不同率の比は 1.20 であり、三邊に就て考ふれば最小邊 c の變化最も大で中邊の變化最も小である。