

## 【ノート】

## 道路用細骨材の強硬さ試験方法の提案

A PROPOSAL OF TEST METHOD TO ESTIMATE THE HARDNESS  
PROPERTY OF FINE AGGREGATE IN ROAD CONSTRUCTION

井上 武 美\*

By Takemi INOUE

## 1. 目 的

最近の天然骨材資源の不足の趨勢は、特に細骨材の川砂の場合に顕著にみられる。そして、道路用細骨材（路盤材料の一部および表、基層アスファルト混合物の細骨材）として、天然砂としては山砂、海砂が、人工砂としてはスクリーニングスが川砂の不足を補ってきている。

また、産業廃棄物の有効利用や省資源という観点も含めて、高炉水滓や鋳物砂等の道路用細骨材への使用も検討されている現況である。

しかし、山砂、海砂、人工砂ともその使用にあたって、細骨材としての材質規定をみると、用途に応じた粒度以外は「清浄、強硬、耐久的」という精神規定的な表現となっており経験的、定性的判断とならざるを得ない。

それでも、清浄、耐久的については定量的に表現し得る試験方法（たとえば、洗い試験や安定性試験）もあり、また、それらの試験値と現場での供用成績などとの関連も認められているが、「強硬」に相当する試験方法は現在まで提案されていなかった。

このことは、川砂の入手が容易で、しかも材質的には天然に摩擦と破碎を十分受けた材料であったため、特に強硬さを問題とすることが少なかった事情もあったと考えられる。

しかし、上述のごとき状況から、川砂のような天然作用を受けていない天然砂や人工砂を使用しようとする場合には、当然「強硬」であることを定量的に示す試験方法が望まれる。強硬さは、摩擦し難くかつ破碎し難い特性で、現象としては、粒径、粒形および粒度の変化の少ないものといえよう。

したがって、細骨材の強硬さに問題のある材料を使用した弊害は、転圧、締固め、成形時、混合物製造時、および使用後の細粒化による性状悪化がいわれている。

この点から、本試験方法によった場合、従来使用されてきている細骨材の強硬さがどの程度であるかも検討してみた。

## 2. 試験方法の検討

骨材の強硬さ評価に該当する試験方法は、粗骨材については、ロサンゼルス法（ASTM C-131, JIS A 1121）、ドバル法（ASTM D-289, JIS A 1120）、衝撃・破碎・摩耗・研磨試験（BS-812）および原石の一軸圧縮試験（DIN-4226）等が規格化されてきているが、細骨材については、その規格試験方法がみあたらない。

## (1) 強硬さの現象

ここでは、細骨材に適用する試験機として、すりへりを主にした試験機と破碎を主にした試験機があるが現在ある機械の利用ということで、ドバル試験機（容器径 20 cm、容器深さ 34 cm 円筒が、回転軸に 30 度の傾斜角で取り付けられ、回転軸は、30 回転/分の回転をする）を選定した。試料量、球の径とその数、および試験時間を変化させて、摩擦と破碎作用を与え、強硬さに相当する現象を粒径、粒形変化から生じた粒度変化として、図-1 の例のごとく確認できた。すなわち、概念的には、摩擦現象は粒度変化として、試験前の各ふるい目の通過重量百分率が、ほぼ等量ずつ増加して、細粒径分が増加

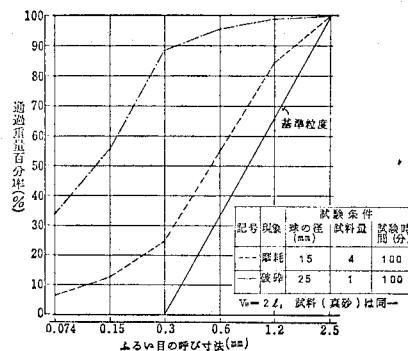


図-1 強硬さの粒度変化現象確認の例

すると考えられる。

したがって、図-1 の破線粒度現象は摩擦作用の、一点鎖線粒度現象は破碎作用の結果とみられる。

## (2) 試験の考え方

試料量は、試料のカサ容積 ( $V_S$ ) を球のカサ容積 ( $V_B$ )

\* 正会員 日本舗道(株)技術研究所

中の空隙量 ( $V_{B-V}$ ) に対する比 ( $V_S/V_{B-V}$ ) として変化させ、また球の径、試験時間も変化させて試験を実施した。

表-1 実験に使用した値の例

球 (耐摩耗陶器球, 日本化学陶業 (株) 製) のカサ容積を  $2l^*$  とした場合、球の径により、以下の数値を使用した。

球の径(平均) (mm)	50	25	15	備 考
球の総重量 (g)	3760	4310	4490	1個当りの平均重量 φ50 mm—188 g φ25 mm—30.9 g φ15 mm—6.8 g
球の個数 (個)	20	140	660	
球の空隙量 $V_{B-V}$ (cm <sup>3</sup> )	815	870	810	注水して求めた
試料カサ容積** $V_S$ (cm <sup>3</sup> )	1630	1740	1620	試料量 ( $V_S/V_{B-V}$ ) = 2 の場合を掲げた。
試料重量*** (g)	2155	2300	2140	

- \* 容積  $2l$  容器 (JIS A 1104 の容器) に球を充填した状態をカサ容積 ( $V_B$ )  $2l$  と称し、この状態での空隙量を球の空隙量 ( $V_{B-V}$ ) と称した。
- \*\* 試料のカサ容積も球と同様にして求めた場合を試料カサ容積 ( $V_S$ ) としている。
- \*\*\* 基準粒度とした真砂の単位容積重量 (容積  $2l$  円筒に装填して求めた値)  $1322 \text{ kg/m}^3$  を使用した。

結果は図-2 の例にみるごとくで、2. (1) の考え方から、試験時間の経過に伴い、粒度変化の現象だけを見ると、摩耗作用を受けたとみられる粒度から破砕作用を受けたとみられる粒度に推移している。本提案では、強硬さ評価をするに、現象的にみて摩耗作用と破砕作用をほぼ同程度受けた場合を試験方法と考えるようにしてみた。

図-2 の粒度変化の推移過程には、この強硬さに相当する現象発生試験時間があると想定し、その時間について以下のごとく考えてみた。

その時間は、すなわち、試験後粒度曲線にて 2.5 mm ふるい目の 100% と試験後粒度の 0.074 mm ふるい目の通過重量百分率の値を結んだ直線と試験後粒度曲線と

が作る面積のうち、直線が下側となって作る面積を  $A_1$ 、直線が上側にきて作る面積を  $A_2$  とし、この  $A_1$  と  $A_2$  が等しくなる場合である (図-2 参照)。

したがって、標準材料を選定し、この材料について、球の径別に  $A_1=A_2$  となる試料量と試験時間を求めておけば、この方法により各材料の強硬さ特性が判断できるようになる。

この考え方によれば、 $A_1 > A_2$  となる場合は、材質的に破砕し易い特性を、 $A_1 < A_2$  では、破砕傾向が少なく、摩耗が問題とされる特性を示すこととなる。

本提案で、真砂を標準材料として、試験前粒度を 2.5—1.2 mm, 1.2—0.6 mm および 0.6—0.3 mm 粒径群を等重量比として粒度構成した試料 (ここでは基準粒度と称した) について、球の径、試料量を変えて試験をした結果、 $A_1=A_2$  となる試験時間が図-3 のごとく求められた。

したがって、図-3 に示す球の径と試料量別の試験時間を道路用細骨材の強硬さ試験方法の各方法と考えた。

(3) 試験方法の吟味

本試験方法は真砂を標準材料と考えて求めたものである。真砂は愛知県瀬戸市産のもので、アスファルト混合

表-2 標準材料とした真砂の性状

愛知県瀬戸市産  
材料の固有粒度は

ふるい目の開き (mm)	10	5.0	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15	0.074
通過重量百分率 (%)	100	95.2	76.4	54.1	35.6	23.4	11.9	6.6

比重 (見掛) = 2.632

各粒径群では

粒径群 (mm)	2.5—1.2	1.2—0.6	0.6—0.3
比重 (見掛)	2.639	2.663	2.654
吸水量 (%)	2.5	2.6	2.4

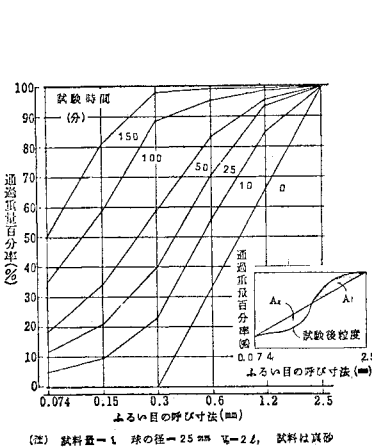


図-2 試験時間、試料量による現象変化の例

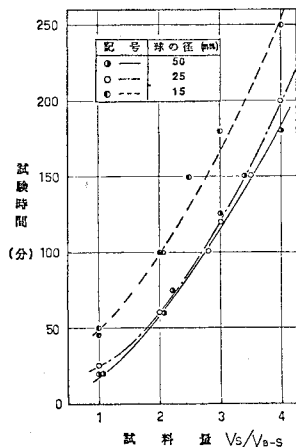


図-3 強硬さを求める試験時間 ( $V_B=2l$  の場合)

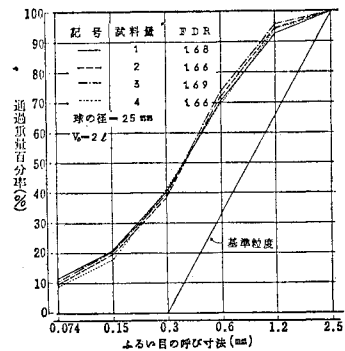
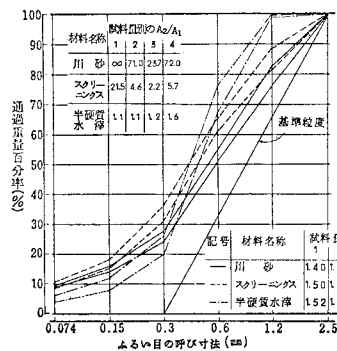


図-4 真砂の試験後粒度 ( $V_B=2l$  の場合)

物用細骨材として、一部に使用されている材料であること、また、粒径群間の鉱物組成や物理特性が、他の材料に比べて比較的同一とみなせること、また一般的に真砂は加熱アスファルト混合物用細骨材として、強硬さの点から、使用できる場合とできない場合とがあることなどを考慮して標準材料とした。

まず、図-3で球の径 25 mm、試料量 ( $V_S/V_{B-V}$ ) = 1, 2, 3 および 4 の場合の試験時間で、真砂の基準粒度からの試験後粒度は図-4 であった。図-4 から、試料量、球の径により図-3 の試験時間をとれば、同一の粒度現象で、 $A_1 \div A_2$  であることが再確認された。

次に、強硬さが定性的に優れていることがわかっていて、加熱アスファルト混合物用細骨材として使用されて



きた材料のうち、川砂、スクリーニングスおよび半硬質水滓について、図-4 と同一条件にて試験した結果は、図-5 である(粒度変化は範囲とし

て示した)。

いずれの場合も、 $A_1 < A_2$  であり、既述の仮定によれば、破碎よりも摩耗特性が支配的となり、しかも川砂→スクリーニングス→半硬質水滓の順に  $A_1$  が大きくなっていて、半硬質水滓、スクリーニングス、川砂の順で破碎され易い傾向を示している。

したがって、前述の現象評価の推論は、各細骨材の強硬特性を適切に示しているといえよう。

(4) 強硬さの評価値

a) 評価値の提案

基準粒度の試験後粒度にみられる粒度変化を定量的に表わす評価値としては、粒度全体を示す粗粒率の変化、単位容積重量の変化等が考えられるが、前者は道路用材料としてほとんどの場合に問題とされる 0.074 mm ふるいの粒度を無視していること、後者は材料の比重の差の影響を受けることから、本提案では、強硬さを定量的に示す評価値として、式(1)に示す  $F \cdot D \cdot R$  (Fineness Degree Ratio) を考えた。

$$F \cdot D \cdot R = \text{試験後の } F \cdot D / \text{試験前の } F \cdot D \dots (1)$$

ここで  $F \cdot D$  は試料の 2.5, 1.2, 0.6, 0.3, 0.15, 0.074 mm ふるいの通過重量百分率の和を示す。式(1)によれば、 $F \cdot D \cdot R$  が 1 に近い値であれば、強硬さに問題の少ない材質であることを、試験前粒度を基準粒度とすれば、 $F \cdot D \cdot R$  が 3 に近づく値であれば、強硬さに欠ける

表-3 粗骨材の性状一覧

No.	産地等	比重 (見掛)	吸水量 (%)	粒度(通過重量百分率(%))							F·D·R	備考*	
				10	5	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15			0.074
1	士別市下士別天塩川下流	2.721	2.9		100.0	93.2	67.4	30.4	9.7	2.7	1.1	1.38	北海道川砂
2	釧路市大楽毛	2.629	4.3	100.0	98.1	93.8	81.2	50.9	21.6	5.5	2.2	1.43	北海道山砂
3	湧払郡厚真町厚真	2.630	1.3	97.9	93.9	85.0	71.3	47.0	21.4	4.0	0.6	1.37	北海道海砂
4	福島県南会津郡田島町大川	2.688	3.0	100.0	99.0	83.8	61.5	31.8	11.8	3.8	1.4	1.41	東北丘砂
5	宮城県柴田郡川崎町北川	2.657	3.7		100.0	98.8	89.3	61.2	30.6	13.0	5.7	1.46	東北山砂
6	千葉県富津市大佐和	2.717	1.5	100.0	87.1	71.3	58.6	42.8	22.9	3.9	0.7	1.43	関東山砂
7	茨城県新治郡新治村桜川	2.689	1.7	100.0	94.9	76.5	63.8	43.5	15.2	4.1	1.0	1.36	関東川砂
8	三重県員弁郡員弁町	2.649	2.2	100.0	98.7	87.4	77.4	55.3	21.0	6.7	2.7	1.44	中部山砂
9	豊橋市豊川豊川河口	2.704	1.8	100.0	99.5	97.7	93.4	77.8	39.3	9.3	2.8	1.50	中部丘砂
10	新潟県北蒲原郡横越村	2.665	1.8	100.0	99.3	94.6	85.8	48.8	10.0	1.4	0.3	1.28	北陸川砂
11	兵庫県宝塚市川面長尾山	2.669	2.3	100.0	99.8	93.8	71.9	46.3	30.1	17.0	8.5	1.47	近畿スクリーニングス
12	徳島県那賀郡那賀川河口	2.719	1.7	100.0	95.2	85.9	75.5	48.9	21.0	7.2	2.0	1.33	近畿川砂
13	広島県豊田郡安芸津町	2.642	1.4		100.0	98.0	74.8	45.5	27.5	14.0	6.2	1.37	中国スクリーニングス
14	愛媛県松山市沖	2.648	1.9	100.0	99.0	88.2	66.0	37.0	10.9	1.2	0.4	1.64	中国海砂
15	香川県丸亀市本島沖	2.638	1.4	100.0	97.4	81.2	63.8	40.6	11.2	2.7	1.4	1.56	四国海砂
16	香川県坂出市加茂町	2.811	3.5		100.0	95.6	65.4	40.1	27.9	19.6	13.7	1.39	四国スクリーニングス
17	福岡県東区多々良川	2.649	1.4	100.0	98.6	88.4	64.7	36.3	18.5	14.5	9.2	1.54	九州川砂
18	佐賀県唐津湾	2.663	1.0	100.0	98.9	93.9	77.1	40.1	13.3	2.6	1.3	1.49	九州海砂
19	メサライト	2.183	19.1	100.0	99.8	94.7	66.8	39.2	24.3	13.3	5.6	1.57	三井金属鉱業(株)軽量砂
20	山口県熊毛郡熊毛町	2.623	1.6	100.0	99.4	83.8	62.7	40.3	25.0	12.0	4.0	1.75	真砂

\* 備考には使用地域と川, 山, 海砂およびスクリーニングス等を記入した。なお丘砂は河川敷以遠から採取した場合を川砂と分けて示した。

材質であることを定量的に示し得る。

ここで、図-4 および 5 に試料量ごとに F・D・R を示したが、図-5 のいずれの材料とも加熱アスファルト混合物に使用されていること、これらの F・D・R が標準材料とした真砂の場合より小さい値となっていて、しかも強硬さに問題の少ない順に F・D・R が小となっていて、これは、式 (1) が定性的判断を定量化していることを示している。

**b) 評価値の検討**

F・D・R 評価値表現をとると、図-6 の例にみるごとく、F・D・R の対数が、ある試験時間内では、この時間増加に直線的に比例して増加する傾向が認められる。これは

$$\log F \cdot D \cdot R_t = \alpha t + C \dots \dots \dots (2)$$

と示せることになる (ここで F・D・R<sub>t</sub> は試験時間 t の F・D・R を示す)。ここで試験時間 t を 0 → T, T → 2T, 2T → 3T, ..., (n-1)T → nT というように T だけ増していくと T 時間の試験時間の増加は、log F・D・R の増加量でみると、式 (3) となる。

$$\log FD_{2T}/FD_T = \log FD_{3T}/FD_{2T} = \dots = \log FD_{nT}/FD_{(n-1)T} = \alpha T \dots \dots \dots (3)$$

この式 (3) の真数は、式 (1) の定義から F・D・R である。したがって、実験式 (2) の成立する範囲で、FD<sub>0</sub> と FD<sub>nT</sub> を限定し、試験時間 T を一定にとると F・D・R = 10<sup>αT</sup> = const. となる。このことは、材質試験として基準粒度について提案してきた本方法が、F・D・R 評価値表現をとることで、固有の粒度をもつ細骨材の品質試験として適用できることを示している。

図-7 に真砂の場合の T=60 分にとった αT を、球の径と試料量ごとに示した。また式 (2), (3) が認められる限度に相当する FD<sub>0</sub> と FD<sub>nT</sub> の粒度を試料量 = 2 の場合だけ図-8 に示した。

以上のことを再確認するため、図-8 の上、下限および中央粒度に作った真砂について、試験時間 60 分、球の径 25 mm の結果を図-7 に \* 印で示した。

しかし粒径ごとの材質の不均一性によるためか、得ら

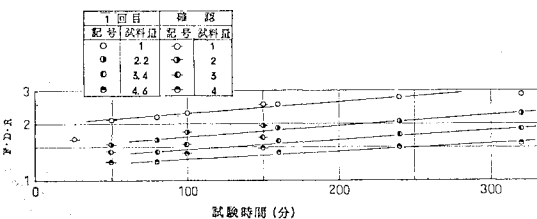


図-6 log F・D・R-試験時間の関係 (球の径 5 mm, V<sub>B</sub>=2L の場合)

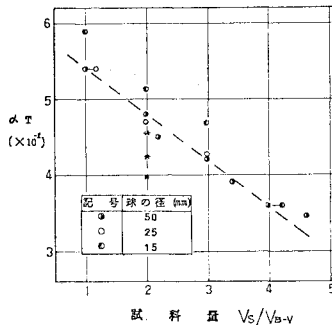


図-7 試料量による αT (V<sub>B</sub>=2L で試験時間 T=60 分の場合)

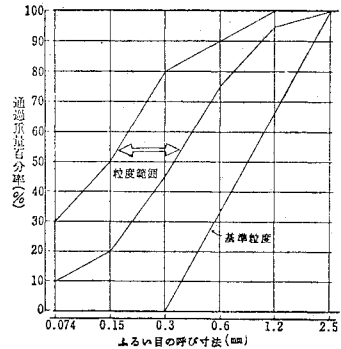


図-8 FD<sub>0</sub> と FD<sub>nT</sub> の限定粒度範囲 (試料量=2 の場合)

れた数値には、多少のばらつきが認められた。

**3. 提案する試験方法**

いままでの結果から、道路用細骨材の強硬さ試験には、球の径、試料量および試験時間は、任意に選定できるが、目的とした簡易、迅速さ、さらには試験結果の適合性などを考慮して、3.(1) に示す方法を提案する。

**(1) 提案する試験方法**

試料を基準粒度とする材質試験方法を提案し、試験方法は以下のごとくとする。

試験機: 'ダブル試験機

球: 径 25 mm の耐摩耗陶器球をカサ容積で 2L

試料: 試料量は絶乾状態の試料を球間間隙の 2 倍のカサ容積粒度は基準粒度 (2.5/1.2:1.2/0.6:0.6)/0.3=1:1:1 重量比)

試験時間: 60 分

評価値: F・D・R

なお、基準粒度以外の方法として、F・D が 350~450 の範囲では、2.(4) b) の考え方によって、強硬さ試験ができる。

**(2) 使用実績のある細骨材の強硬さ**

3.(1) にて提案した道路用細骨材の強硬さ試験を、各地から集めた細骨材について材質試験を実施した。この F・D・R 評価値を、材料性状のうち比重、吸水量および固有粒度とあわせて、表-3 に一覧した (表-3 で No. 1~19 は加熱アスファルト混合物用細骨材, No. 20 は路盤用細骨材である)。この結果、加熱アスファルト混合物用細骨材として使用されている細骨材の強硬さ、すなわち F・D・R は 1.28~1.64 の範囲にあることがわかる。

**4. まとめ**

ダブル試験機と陶器球を使用した試験により、定性的かつ精神的材質規定であった道路用細骨材の強硬さを定量的に評価できる試験方法を提案した。

(1975.12.15・受付)