

# 碎石のスリヘリ減量に関する検討

荻野正二\*・横山茂樹\*\*

## Investigation of Resistance to Abrasion of Crushed Stone

Shōji OGINO and Shigeki YOKOYAMA

### Abstract

Resistance to abrasion of crushed stone by use of the Los Angeles machine, obtained in accordance with the designations of JIS and ASTM, diverges by gradings of test samples, even their original rocks are same, owing to variation of weight of the samples, number of steel spheres and number of revolutions.

Measurement of the abrasion of the crushed stone, therefore, should be performed fixing the grading and weight of the test samples, the weight of steel spheres and the number of revolutions of the Los Angeles machine.

Accordingly the authors have investigated the influence of these test conditions on the abrasion of the crushed stone, in order to obtain data for optimum test conditions.

### 1. 緒 言

碎石のコンクリート用粗骨材または道路舗装用材料としての適否を判定するための規準として、従来 JIS および ASTM に比重、吸水量、安定性およびスリヘリ減量の測定方法<sup>1)~4)</sup>と測定結果の許容範囲<sup>3)~8)</sup>が示されている。これらのうち、岩石の強度に最も関係の深い性質はスリヘリ減量である。スリヘリ減量の測定方法にはダブル試験機による方法とロサンゼルス試験機による方法とがあるが、コンクリート用碎石および道路用碎石に関する JIS には後者の方法が規定されているので、ここではロサンゼルス試験機によるスリヘリ減量のみを対象として考察を行なう。

### 2. ロサンゼルス試験機によるスリヘリ試験の問題点

ロサンゼルス試験機によるスリヘリ試験については、ASTM・C131に1½φ以下の粒度の細粒粗骨材に関して、また ASTM・C535に¾"以上の粗粒粗骨材に関して規定されており、また JIS A1121 には上記の ASTM の2つの規格を1つにまとめて、ほとんど同じ内容の規定が定められている。

碎石、[砂利等の骨材のスリヘリ試験の目的は、運

搬、貯蔵、混合等の際に生ずる細粒化や、岩石の強度に関連した品質を数量的に表わすことにあるとされている<sup>9)</sup>。砂利は種類の異なる岩石粒から構成されることが多いが、碎石はほとんど同一の原石を破碎して得られたものであり、また採掘の際の爆破や破碎設備、とくに衝撃型クラッシャによって岩石塊中に含まれる亀裂等の弱面での分離を生じている。したがって、碎石のスリヘリ試験は運搬や混合の際に生ずる細粒化の可能性について調べるよりも、むしろ強度に関連した石質を数量的に表示するための非整形岩石試験としての意義が主であると考えられる。このような非整形岩石試験としてのスリヘリ減量の測定においては、試料の碎石の粒度、鋼球数、回転回数等の試験条件をできるだけ単絶化することが望ましい。

現行の JIS および ASTM には、試験に供する粗骨材は、ふるい分け試験によって粒度構成を求め、Fig. 1 に折れ線で示す A~G の粒度のうち、粗骨材の粒度に最も近いものを選んでこれに一致するように試料の粒度を調整することが規定されている。しかし、実際には粗骨材の粒度構成には種々の場合があり、Fig. 1 の A~G のうちどれに最も近いかの決定が困難であることが少なくない。また、A, B, C, および D の粒度については、試料重量 5,000g, 回転回数 500, E, F および G の粒度では試料重量 10,000g, 回転回数

\* 資源工学科

\*\* 昭和鋳業(株)

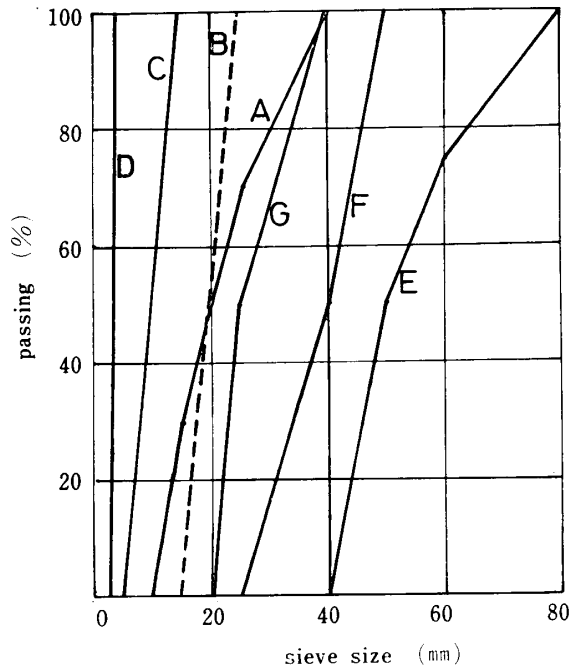


Fig. 1 Gradings of test samples specified by the standing designations

1,000とし、各粒度区分ごとに異なる個数の鋼球を使用することが規定されている。したがって、同一の岩石でも粒度区分によって求められるスリヘリ減量が相異なる結果となる<sup>10)</sup>。

したがって、ロサンゼルス試験による碎石のスリヘリ試験においては、試料の粒度および重量、鋼球の個数および重量、試験機円筒の回転回数等の試験条件をできるだけ一定とし、単絶化することが望ましい。そこで、上記の各試験条件がスリヘリ減量におよぼす影響を3種類の碎石について実験的に検討し、最適試験条件について考察を行なった。

3. 試料

この実験に用いた試料は下記の3種類の碎石である。

- (1) 粘板岩 産地：山口県厚狭郡山陽町郡，新沖

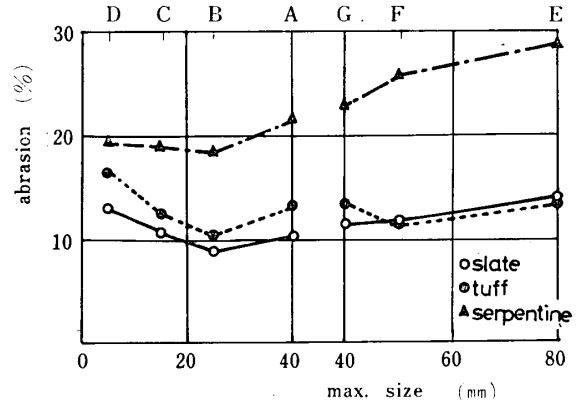


Fig. 2 Abrasion obtained by samples of each grading

産業(株)吉部田碎石場

- (2) 凝灰岩 産地：山口県厚狭郡山陽町松ヶ瀬  
横川碎石(株)厚狭碎石場

- (3) ジャ紋岩 産地：宇部市川上 金重碎石(株)碎石場

これらの碎石の原石について行なった物理的性質の測定結果を Table 1 に示す。

4. 現行規格の粒度区分とスリヘリ減量との関係

上記の粘板岩、凝灰岩およびジャ紋岩の各粒度の碎石を Fig. 1 に示すA, B, …… , Gの各粒度区分に一致するように配合して、それぞれについてスリヘリ減量の測定を行なった結果を Fig. 2 に示す。この図から明らかなように同一の岩石であっても、粒度区分によってスリヘリ減量はかなり大幅に変化し、最大値は凝灰岩ではD粒度、粘板岩およびジャ紋岩ではE粒度で得られ、最小値はすべてB粒度において得られた。スリヘリ減量の最大値と最小値との差は粘板岩では4.9%、凝灰岩では5.8%、ジャ紋岩では10.5%であった。この事実から、同一の岩石でも粒度区分によってスリヘリ減量の許容値を上回ることも下回ることもあり得ると考えられる。

Table 1 Physical properties of rock samples

| Rock                                      | slate | Tuff | Serpentine |
|---|-------|------|------------|
| Specific gravity                          | 2.71  | 2.70 | 2.57       |
| Absorption (%)                            | 0.67  | 0.56 | 1.90       |
| Shore hardness                            | 93    | 99   | 52         |
| Compressive Strength(kg/cm <sup>2</sup> ) | 3250  | 2100 | 1340       |
| Tensile strength(kg/cm <sup>2</sup> )     | 54.3  | 213  | 139        |

5. 粒度および回転回数とスリヘリ減量との関係

粘板岩、凝灰岩およびジャ紋岩の碎石をふるい分けてそれぞれ 100~80, 80~60, 60~50, 50~40, 40~30, 30~25, 25~20, 20~15および15~10mmの単一粒度とし、試料重量5,000g, 鋼球数12個として、試験

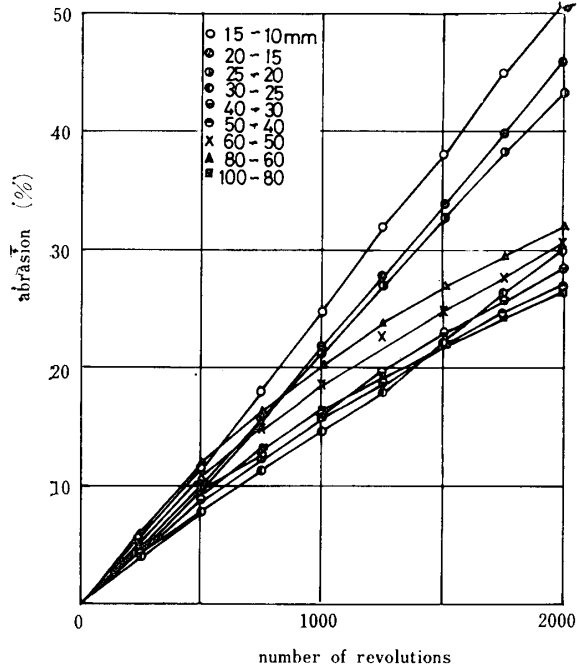


Fig. 3 Relation between number of revolutions and abrasion (slate)

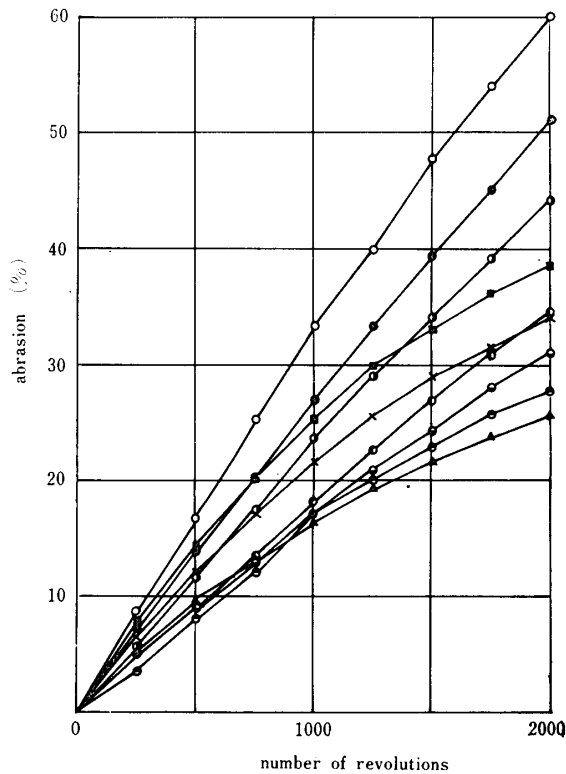


Fig. 4 Relation between number of revolutions and abrasion (tuff)

機の円筒が250回回転するごとのスリヘリ減量を2,000回転に達するまで測定した。

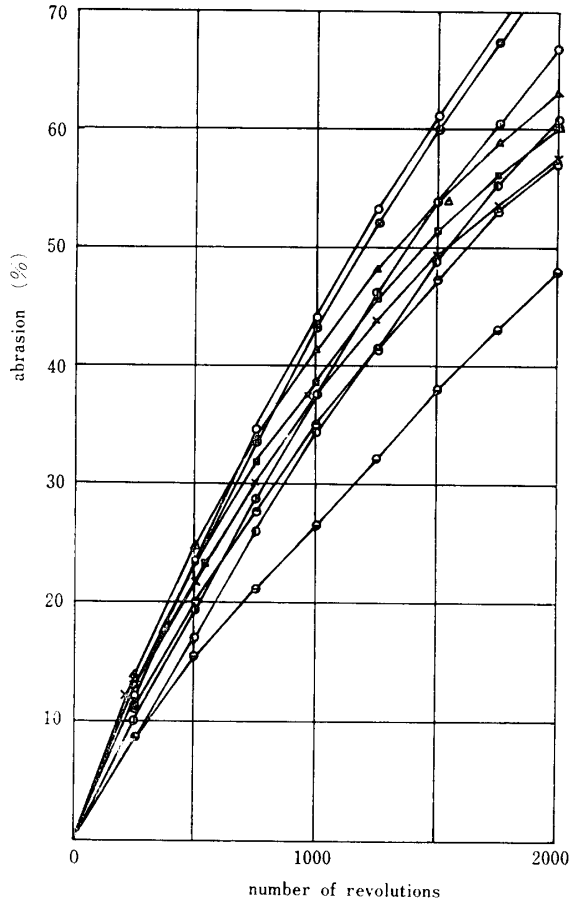


Fig. 5 Relation between number of revolutions and abrasion (serpentine)

Fig. 3は粘板岩の試料について得られた実験結果を、横軸に回転回数、縦軸にスリヘリ減量、粒度をパラメータとして示したものである。この図によれば、30mm以下の粒度の試料についてはスリヘリ減量はほぼ回転回数に比例して増加しているが、30mm以上の粒度については、回転回数の大きい範囲ではスリヘリ減量の増加率が減少していることが認められる。

Fig. 4は凝灰岩の試料について得られた実験結果を示す。この試料についても、粒度が大きい場合には回転回数の増加に伴うスリヘリ減量の増加率が小となっている。Fig. 5にジャ紋岩の試料について得られた実験結果を示す。この場合は各粒度ともスリヘリ減量が大きく、回転回数の増加に伴ってスリヘリ減量の増加率が低下していることが認められる。また粒度が大となるほどスリヘリ減量が減少する傾向は明らかではない。

粒度が小さい場合にスリヘリ減量が大きくなるのは、鋼球が落下する際の衝撃力によって粒子が破碎し、

1.7mm以下の粒度の破碎産物が生じやすいことによるものと考えられる。また、粒度の大きい範囲で回転回数が増加に伴ってスリヘリ減量の増加率が低下するのは、碎石の各粒子の角ばった部分が破碎されて次第に丸みをおび、破碎しにくくなることによるものと考えられる。2,000回転終了後の試料粒子の形状は、粒度の大きいものではこの傾向は顕著ではない。

ジャ紋岩の場合にすべての粒度において回転回数の増加に伴いスリヘリ減量の増加率が低下するのは、粉状の破碎産物が多く、これが鋼球の落下の際の衝撃力を緩和することによるものと考えられる。

粉状の破碎産物の緩衝作用がスリヘリ減量におよぼす影響を検討するために、10~15mmの粒度の粘板岩碎石の試料について、250回転ごとに1.7mm以下の破碎産物を除いてスリヘリ減量を測定した結果、2,000回転において、1.7mm以下の破碎産物を除かなかった場合のスリヘリ減量よりも5.6%大であった。

Fig. 6, Fig. 7およびFig. 8に粘板岩、凝灰岩およびジャ紋岩の試料について、粒度とスリヘリ減量との関係を示す。どの試料でも50~20mmの範囲内の粒度においてスリヘリ減量が増加している。スリヘリ減量の最大値は最小粒度15~10mmにおいて得られた。

最小粒度においてスリヘリ減量が著しく増加するのは、前述のように鋼球が落下する際の衝撃力により破碎しやすいことによるものと考えられる。粒度の増加に伴って、衝撃力に対する抵抗も増大し、スリヘリ減量は減少するが、粒度が50mmを越えると再びスリヘリ減量が増加するのは、各碎石粒の内部に亀裂等の弱

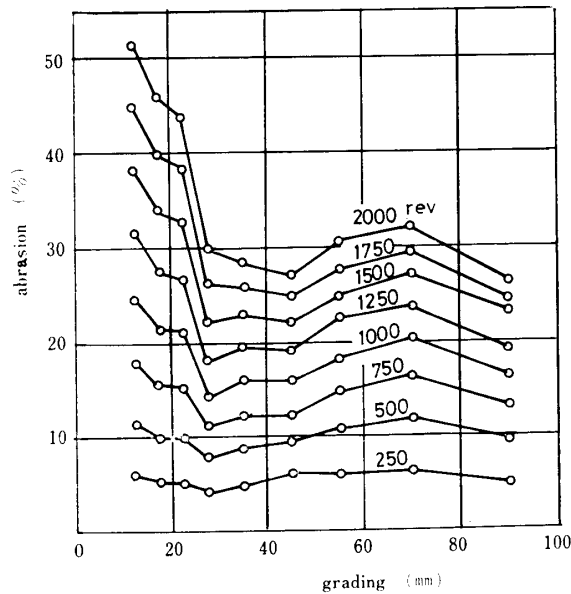


Fig. 6 Relation between grading and abrasion (slate)

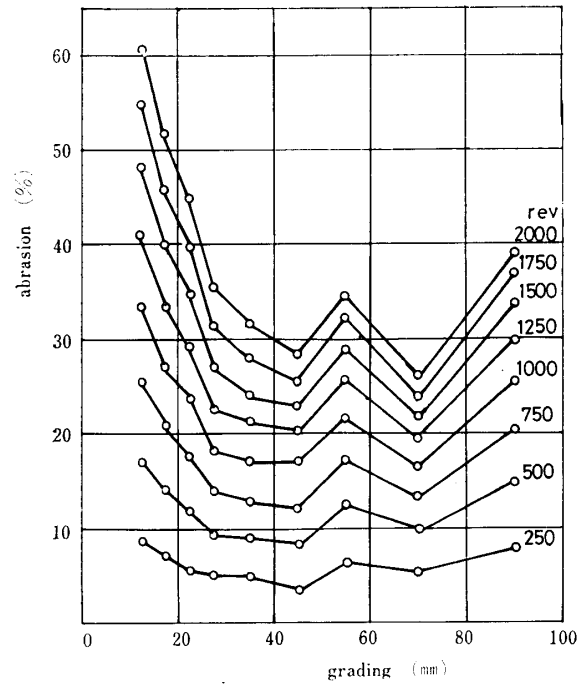


Fig. 7 Relation between grading and abrasion (tuff)

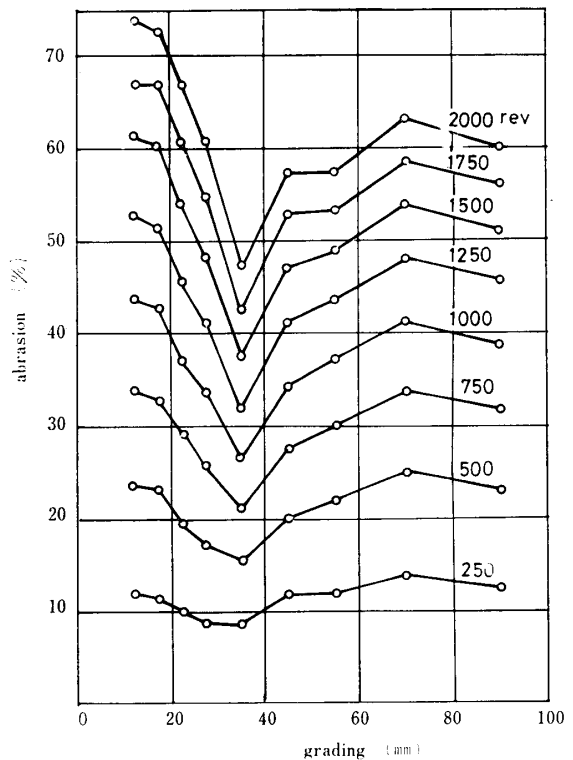


Fig. 8 Relation between grading and abrasion (serpentine)

面が含まれる確率が増し、鋼球の衝撃力によりこの弱面が分離し、細粒化しやすいことによるものと考えられる。また100~80mmの粒度においてスリヘリ減量

が減少しているのは、試料の碎石粒の個数が減少することによるものと考えられる。

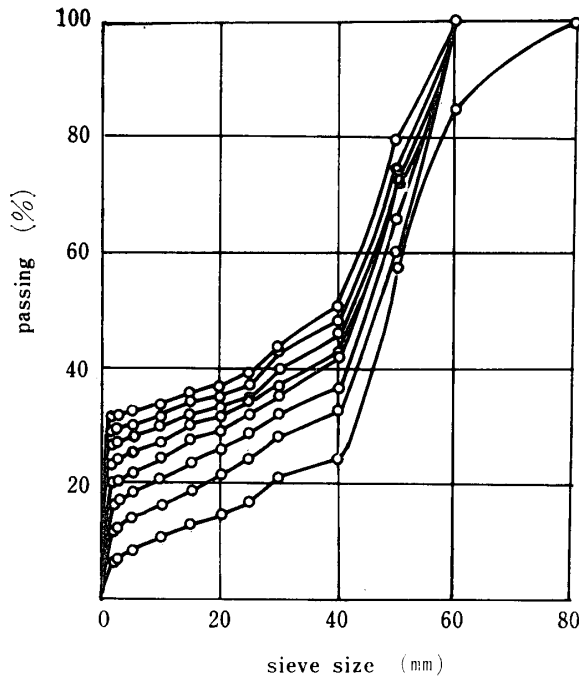


Fig. 9 Transition of grading distribution as number of revolutions increases (slate)

ロサンゼルス試験機の円筒を250回転させるごとに破碎を受けた試料を取り出して粒度分布を測定した。Fig. 9にその結果の1例として、粒度80~60mmの粘板岩の試料5,000gについて、鋼球12個を用いてスリヘリ試験を行なった場合の250回転ごとの粒度分布を示す。この図によれば、スリヘリ試験の初期の段階で原粒度が減少し、細度よりも粗粒の方が初期の粒度減少が大であることが認められる。

6. 鋼球数とスリヘリ減量との関係

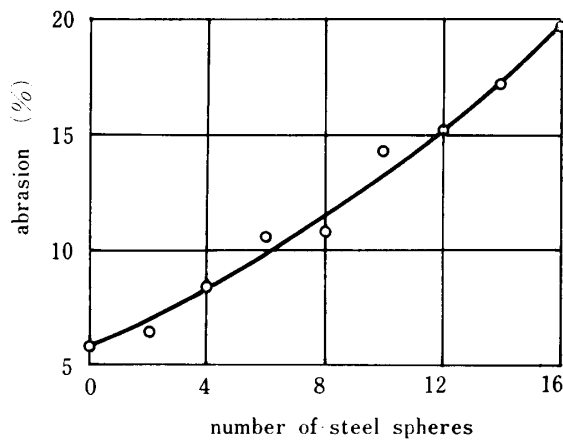


Fig. 10 Relation between number of steel spheres and abrasion (slate)

鋼球数がスリヘリ減量におよぼす影響を検討するために、粒度25~20mmの粘板岩碎石5,000gを試料として、回転回数を1,000回とし、JISおよびASTMに規定されている直径4.75cmの鋼球の個数を0~16に変化してスリヘリ減量を測定した。測定結果はFig. 10に示すようであって、鋼球数の増加に伴ってスリヘリ減量が増加し、鋼球1個についてのスリヘリ減量の増加は約0.89%であることが認められる。軟弱な岩石について得られた実験結果では、この値はさらに増加している。

7. 鋼球径とスリヘリ減量との関係

JISおよびASTMに規定されている寸法以外の寸法の鋼球を使用した場合のスリヘリ減量について検討するために、粘板岩およびジャ紋岩の碎石を試料として、種々の寸法の鋼球を使用してスリヘリ試験を行なった。試料の粒度は100~80, 80~60, 60~50, 50~40, 40~30, 30~25, 25~20, 20~15および15~10mmとし、試料重量は5,000g、回転回数は1,000回とした。使用した鋼球は宇部鉄工所製の6種類のボールミル用鋼球であって、その寸法、個数および重量はTable 2に示すようである。鋼球の個数は全重量がなるべく5,000gに近くなるような数とした。

Table 2 Size, number and weight of steel spheres

| Diameter (mm) | Number of steel spheres | Total weight (g) | Average weight (g) |
|---------------|-------------------------|------------------|--------------------|
| 25            | 82                      | 5006             | 61                 |
| 30            | 47                      | 5035             | 107                |
| 40            | 19                      | 4912             | 259                |
| 51            | 9                       | 4961             | 551                |
| 62            | 5                       | 4606             | 921                |
| 70            | 3                       | 4315             | 1438               |

鋼球の全重量は鋼球径によって異なるので、直径の異なる各鋼球によって得られたスリヘリ減量の値は鋼球の全重量に比例するものと仮定し、スリヘリ減量の各測定値を、鋼球の全重量が5,000gである場合のスリヘリ減量に換算した。Fig. 11およびFig. 12に粘板岩およびジャ紋岩の碎石の実験によって求められたスリヘリ減量を、上記のような方法で換算した値と鋼球径との関係を示す。これらの図から、鋼球の総重量が同じであっても、概ね、鋼球径の増加に伴ってスリ

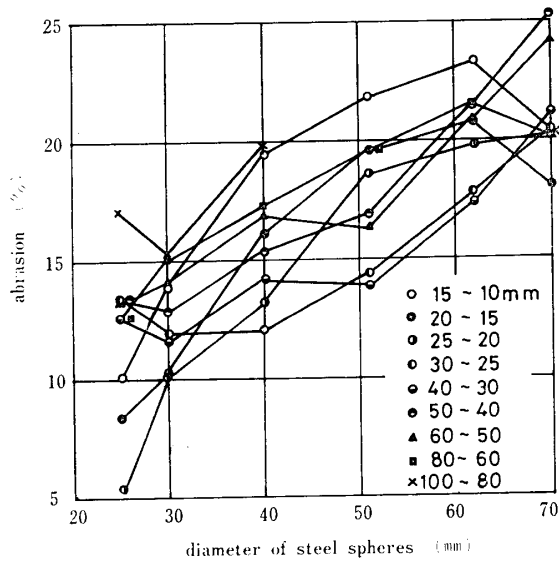


Fig. 11 Relation between size of steel spheres and abrasion (slate)

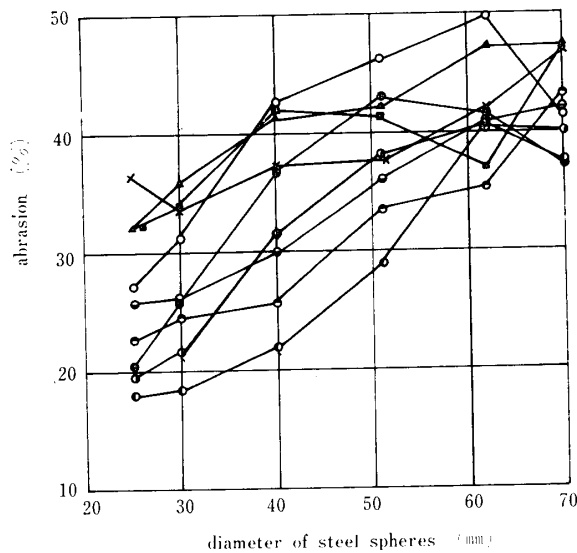


Fig. 12 Relation between size of steel spheres and abrasion (serpentine)

ヘリ減量が増加する傾向が認められる。これは鋼球1個の落下によって碎石粒に加えられる衝撃力が鋼球の重量に比例するため、鋼球径が大きいほど碎石粒を破碎する効果が大であって、鋼球数が少なくても全体としての破碎量が増加することによると考えられる。

8. 偏平指数とスリヘリ減量との関係

碎石の各粒子の形状がスリヘリ減量におよぼす影響を検討するために、粒度40~25mmの粘板岩碎石を試料として、偏平指数とスリヘリ減量との関係を検討した。偏平指数は BS 812: 1967 に規定されている方法

によって測定した。この実験では偏平指数が0, 25, 50, 75および100%となるように調整した試料5,000gを用い、鋼球数12個、回転回数1,000回としてスリヘリ減量を測定した。実験結果は Fig. 13に示すようになって、偏平指数が100%である場合は偏平指数が0%の場合に比較して、スリヘリ減量は2.9%高いことが認められる。しかし、大ていの場合碎石の偏平指数は25%以下であるので、偏平指数がスリヘリ減量におよぼす影響はほとんど問題にしなくてもよい程度であると考えられる。

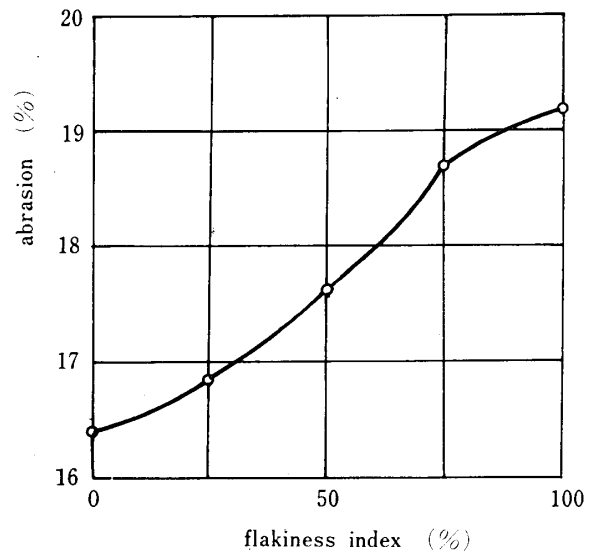


Fig. 13 Relation between flakiness index and abrasion (slate)

9. 試料重量とスリヘリ減量との関係

碎石試料の重量がスリヘリ減量におよぼす影響を検討するために、粒度25~20mmの粘板岩の碎石を試料として重量を2.5~15.0kgに変化し、鋼球数12、回転回数1,000回として実験を行なった。実験結果はFig. 14に示すようであって、概して試料重量の増加に伴ってスリヘリ減量が減少している。これは鋼球の個数および重量が一定であるため、鋼球によって破碎される量がほぼ一定していることによるものと考えられる。

10. 碎石粒のみによるスリヘリ試験

鋼球を使用しないで碎石粒のみによりスリヘリ減量を測定する場合の回転回数とスリヘリ減量との関係を検討するために、粘板岩、凝灰岩およびジャ紋岩の碎石を用いてスリヘリ試験を行なった。試料の粒度は80~60, 40~30および20~15mmとし試料重量5,000gとして250回転ごとに2,000回転に達するまでスリヘリ減

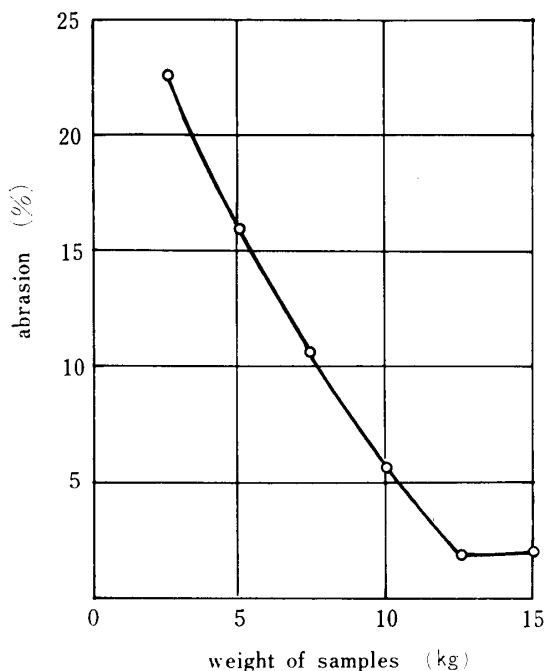


Fig. 14 Relation between weight of test samples and abrasion (slate)

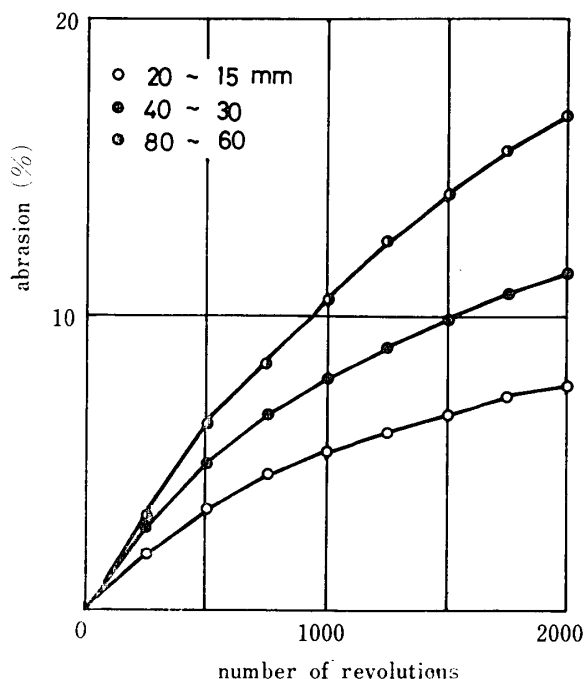


Fig. 15 Abrasion obtained by abrasion test using no steel sphere

量の測定を行なった。Fig. 15に粘板岩の砕石について得られた測定結果を示す。この図によれば、砕石粒のみによる自生粉砕は、鋼球を用いた場合と比較して、試料の粒度によるスリヘリ減量の差異が大きいくことが認められ、また粒度が大であるほどスリヘリ減量も大となることが認められる。さらに、回転回数の増加に伴ってスリヘリ減量の増加率が減少しており、粒

度が小であるほどこの傾向が顕著である。これは、砕石粒の角ばった部分等の破碎されやす部分脱落するに伴って、次第に安定した形となり、粒度が小さいほど落下の際の自重による衝撃力が低下することによるものと考えられる。

11. 総括

ロサンゼルス試験機による砕石のスリヘリ試験の諸条件がスリヘリ減量におよぼす影響を実験的に検討しつぎの結果をえた。

- 1) 現行規格によるスリヘリ試験では、同一の岩石であっても粒度区分によってスリヘリ減量が異なり、本実験に使用した試料については、最大値と最小値の差は10.5%であった。
- 2) 比較的強度の高い細粒の砕石のスリヘリ減量はほぼ回転回数に比例して増加するが、粗粒の砕石や軟弱な砕石では、回転回数が増加するとスリヘリ減量の増加率が低下する。粒度とスリヘリ減量との関係については、最小粒度15~10mmにおいてスリヘリ減量が最大となり、最小値は50~20mmの範囲の粒度において得られた。
- 3) 使用する鋼球の数が増加すればスリヘリ減量が増加し、直径4.75cmの鋼球については鋼球1個の増加についてスリヘリ減量は0.87%増加した。
- 4) 鋼球の全重量が一定である場合、概して鋼球径が大であるほど高いスリヘリ減量が得られた。
- 5) 通常の砕石では、粒子の偏平指数がスリヘリ減量におよぼす影響は無視できる程度であった。
- 6) 他の条件が一定であれば概して試料の重量が増加すればスリヘリ減量は減少した。
- 7) 砕石粒のみによるスリヘリ試験では、粒度が大であるほどスリヘリ減量が大きく、粒度の差異によるスリヘリ減量の差異は鋼球を使用する場合に比べて大であった。

参考文献

- 1) JIS A 1121 (1954)
- 2) JIS A 1120 (1954)
- 3) ASTM Designation, C 131 (1966)
- 4) ASTM Designation, C 535 (1965)
- 5) JIS A 5005 (1965)
- 6) JIS A 5001 (1970)
- 7) ASTM Designation, C 33 (1967)
- 8) ASTM Designation, D 692 (1963)
- 9) D. O. Woolf : ACI Journal, Proceedings, 58, 513 (1961)
- 10) 奥田徹, 中野毅弘 : 電力中央研究所技術研究報告, 17, 1 (1967)