

コンクリート用粗骨材に関する基礎的実験

北海道大学工学部鉱山科大学院学生 井 上 裕

昨年夏季に糠平ダム、桂沢ダム、小河内ダム、佐久間ダム、秋葉ダムのダム建設工事現場より、そこで使用されているコンクリート用粗骨材の試料を載いて実験を行った。その結果の概略をここに述べる。

先ずこれらのダムで使用されているコンクリート用の粗骨材の岩種は、糠平ダムは普通輝石安山岩、桂沢ダムは、白堊紀砂岩、小河内ダムは硬砂岩であり、以上の3者はいずれも原石山より採取・生産された碎石である。之に対して、佐久間ダム及び秋葉ダムの粗骨材は天竜川より採取された川砂利である。従つて、岩種も多様であるが、代表的と見られるのは片麻岩、花崗片麻岩、硬砂岩、雲母砂岩等であると思われる。

又この他に、粘板岩、片岩、珪岩等も少量混入している。実験の都合上、佐久間ダムの粗骨材を分けて、片麻岩、花崗片麻岩等の片麻岩系の粗骨材を1組とし、硬砂岩、雲母砂岩等の砂岩系の粗骨材を1組とした。

秋葉ダムの粗骨材については、片麻岩、花崗片麻岩等の片麻岩系の粗骨材を1組とし、砂岩系の粗骨材については、試料の都合で実験出来なかつた。今、以上の6組の骨材の試料を適当に、A. B. C. D. E. F で表わす。この6組の試料について、

- (A) 比重および吸水量試験
- (B) スリヘリ試験
- (C) 耐久性試験
- (D) 圧縮強度試験

の4実験を行った。実験の要領は、日本セメント技術協会発行の、コンクリートパンフレット第18号「コンクリート用骨材」(改訂版)(昭和29年5月15日発行)に従つた。実験の結果は、次の通りである。

(A) 比重および吸水試験

これは、「粗骨材の比重および吸水量試験方法」(JIS A 1110)に従つて行つた。先ず粗骨材の中から粒度20mm~40mmを選び、これより4分法により試料を採取し、2回実験を行い、第1表の値を得た。

次に、D. E. F の比重および吸水量を測定した結果は第2表の通りである。

この場合は、1個約100g程度の粒に砕いたものを50

個とつて試料とした。

第 1 表

区 分	A	B	C	比 重	吸水率 (%)
A	3428	3475	2178	2.68	1.37
	3432	3480	2179	2.67	1.39
B	3494	3638	2197	2.52	4.12
	3465	3610	2167	2.50	4.15
C	3465	3509	2183	2.65	1.28
	3563	3609	2247	2.65	1.29

但し B = 表面乾燥飽和状態の試料の空気中重量 (g)

C = 試料の水中重量 (g)

A = 100~110°C の温度で定重量となるまで乾燥した後の試料の重量 (g)

第 2 表

区 分	A	B	C	比 重	吸水率 (%)
D	5085	5118	3177	2.63	0.65
E	5053	5073	3264	2.80	0.40
F	4967	4988	3101	2.65	0.42

このように比重の最大は E 骨材、最小は B 骨材であつた。

(B) スリヘリ試験

これは、現在日本工業規格として審議中の「ダブル試験機による粗骨材のスリヘリ試験方法」(途中案)に従つて行つた。ただ、試料はなるべく等形等大で、1個の重量が約100gとなるように砕いたものを全量約5kgとつて用いた。

この試料は写真1~6に示されるようなものである。試料を水洗し、1gまでその重量をはかり、6個の球と共にダブル試験機の円筒に入れ、フタを取り付け、毎分32回の回転速度で10,000回転させる。

試料を円筒から取り出し1.7mmフルイでふるう。

フルイに残つた試料を水で洗い、105~110°Cの温度で定重量となるまで乾燥し、1gまでその重量をはかる。

試験の結果を、次の式により求める。

$$\text{スリヘリ減量} = \frac{\text{スリヘリ損失重量}}{\text{試験前の試料の重量}} \times 100 \quad \%$$

ここに

$$\text{スリヘリ損失重量} = (\text{試験前の試料の重量}) - (\text{試験後} \\ 1.7 \text{ mm フルイに残った試験の} \\ \text{重量})$$

試験は2回行い、その結果は第3表の通りである。

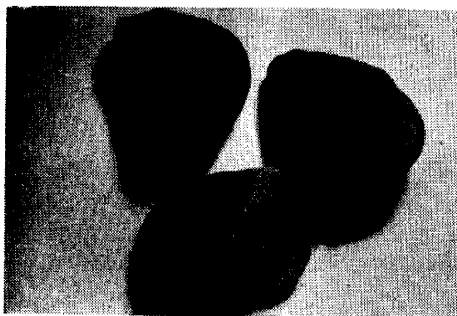
第 3 表

区 分	試験前の 試料重量 (g)	スリヘリ 損失重量 (g)	スリヘリ 減 量 (%)	摩耗係数
A	4989	139	2.79	14.35
	5035	139	2.76	14.49
B	4950	241	4.87	8.22
	5000	236	4.72	8.47
C	4983	188	3.77	10.60
	4975	167	3.36	11.92
D	5120	271	5.29	7.56
	5085	260	5.11	7.80
E	5001	148	2.96	13.51
	5053	132	2.61	15.32
F	4945	205	4.15	9.65
	5097	189	3.71	10.80

但し

$$\text{摩耗係数 (フレンチ係数)} = \frac{40}{\text{摩耗百分率}}$$

スリヘリ試験を受けた試料は、角がとれて丸味を帯びるが、その試料の中から数個をえらんでその様子を写したのが、写真1~6である。



写真— 1
A 骨材 スリヘリ試験結果



写真— 2
B 骨材 スリヘリ試験結果



写真— 3
C 骨材 スリヘリ試験結果



写真— 4
D 骨材 I スリトリ試験結果



写真— 5
E 骨材 II スリヘリ試験結果



写真一 6
F 骨材 I スリヘリ試験結果



写真一 7
A 骨材試料

(C) 耐久性試験

日本工業規格として、現在審議中の「骨材の安定性試験方法」(暫定案) (JIS A 1120) に従って実験を行った。コンクリート標準示方書によると、硫酸ナトリウム溶液による耐久性試験を 5 回繰返した場合の粗骨材の許容損失重量百分率は、一般で 12%, 最大で 15% である。6 組の試料について実験した結果は、第 4 表に示されるように、その損失重量百分率は許容範囲内にあった。次に実験の大略を述べると、

1. 試験用器具 骨材を入れる金網カゴは、試験溶液におかされないものでなければならないので、当実験ではホウロウびきの網カゴを使用した。この網目は骨材粒が実験中にこぼれ落ちないように十分こまかいものである。試験溶液を入れる容器もホウロウびきのもので、約 18ℓ の容量をもち、実験中異物が混入せぬようにふたがついている。

2. 試験溶液 25~30℃ の温度の水 1ℓ に、硫酸ナトリウム (無水) (Na_2SO_4) (1 級品) を約 350 g の割合で加え、よくかきまぜながらとかし、約 21℃ の温度になるまでひやす。溶液は、48 時間以上 21±1℃ に保つたのち試験に用いる。溶液は、約 14ℓ である。試験においては、溶液は 10 回以上繰返して用いてはならないと規定されてある。

3. 試料 試料は風化を受けていないと見做して、なるべく等形等大で 1 個の重量が約 100 g となるように砕く。砕いた粒を洗い 105~110℃ の温度で定重量となるまで乾燥したのち、5000±100 g をとって試料とする。試料は写真 7~12 に示されるようなものである。

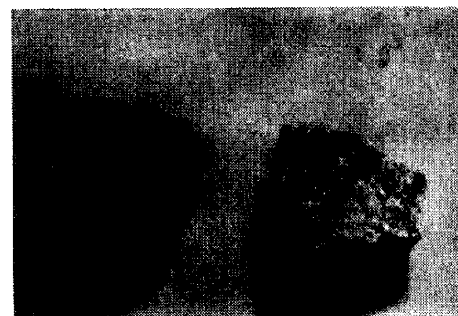
4. 試験方法 試料を前記のホウロウびきのカゴに入れ、試験溶液の中にひたす。この時溶液の表面が、試料の上面よりも 15 mm 高くなるようにし、溶液中の試料の温度を 21±1℃ に保つ。試料を溶液中にひたしておく時間は 16~18 時間であるが、当実験においては 17 時間とした。試料を溶液から取り出して、液がしたたらな



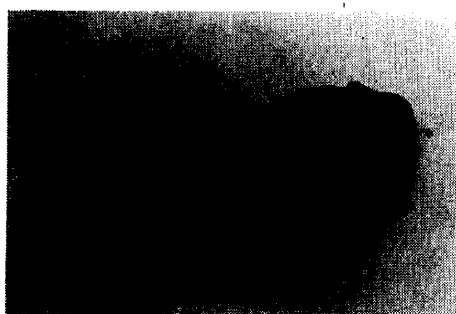
写真一 8
B 骨材試料



写真一 9
C 試料試料



写真一 10
D 骨材試料 I



写真—11
E 骨材試料 II



写真—12
F 骨材試料

くなつたのち 105~110℃ の温度で、重量がほぼ一定となるまで乾燥する。

当実験においては、乾燥時間を約 48 時間とした。

乾燥した試料を、室温までひやす。以上の操作を 5 回繰返す。次に試料を洗つた水に、少量の塩化バリウム (BaCl₂) 溶液を加えても白く濁らないようになるまで水で洗う。洗つた試料を 105~110℃ の温度で、重量が一定となるまで乾燥する。試料を軽く指でおして、試料の何個が、3 片以上に砕けるかを調べる。又粒の破壊状態を入念に観察する。損失重量百分率を求める。

$$\text{損失重量百分率} = \left(1 - \frac{\text{3 片以上に砕けた粒を除いたものの重量}}{\text{試験前の試料の重量}} \right) \times 100$$

5. 実験の結果は第 4 表の通りである。

第 4 表

区 分	試料重量 (g)	試料個数	試 験 結 果		損失重量 百 分 率
			A	B	
A	5050	50	0	5007	0.85
B	4948	50	0	4631	5.40
C	5020	50	3	4774	4.90
D	5050	50	1	4959	1.80
E	5000	50	0	4988	0.24
F	4967	50	0	4947	0.40

但し

A = 試験の結果、3 片以上に砕けた粒の数

B = 試験後の試料から、3 片以上に砕けた粒を除いた重量 (g)

6. 実験後の観察 実験終了後、異常が認められた個数ならびに、その破壊状態 (崩壊、割れ、はげおち、ひびわれ等) を調べた。

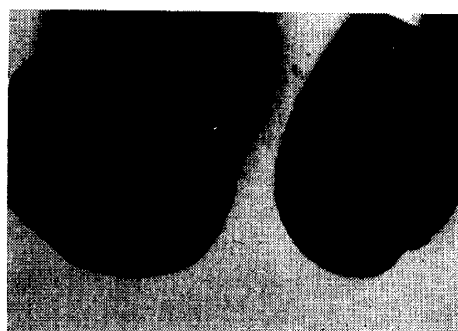
A 骨材 「割れ」、「はげおち」、其の他の変化は認められず、実験中の操作によつて、試料が少し丸味を帯びた程度である。耐久性のすぐれた骨材であると言う事が出来よう。

B 骨材 「はげおち」が著しく、ほとんど全部の粒が「はげおち」を示した。1, 2 個の粒についてはこの「はげおち」の作用が極度に進んでおり、外観上「ひび割れ」の様にも見受けられたが、この粒は軽く指でおした程度では割れなかつた。ハンマーで割つて、内部を観察したところ「はげおち」は、表面から約 5 mm 程度しか内部に及んでおらなかつた。

「はげおち」によつて粒の外側が弱れて脱落し、3 片以上に割れた粒が皆無であるにもかかわらず、損失重量百分率は、6 組の試料のうちで最も大きい 5.40% と云う値を示した。「はげおち」の模様を、写真 13, 14



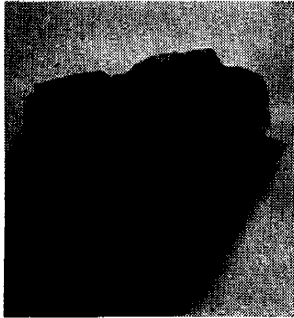
写真—13
B 骨材 耐久性試験結果



写真—14
B 骨材 耐久性試験結果

に示した。このように、損失重量百分率が大きな値を示したのは、この粗骨材が粗粒で脆く、又吸水率が大きいため、試験溶液がより容易に粒の内部に浸透し、破壊作用を強めたことが原因として考えらると思う。

C 骨 材 「はげおち」は認められず、「割れ」が著しく観られた。3 片以上に割れた粒は 3 個で、このうちの 1 個は、少なくとも 7 片以上に割れた。2 片に割れた粒は 1 個であつた。割れた粒を写真 15, 16 に示す。



写真—15
C 骨材 耐久性試験結果



写真—16
C 骨材 耐久性試験結果

これらの「割れ」は、実験がすむまでの間にすでに割れていた。このように「割れ」が著しい原因として次の事が考えられる。即ち、この骨材には 2 次的に生成された白色の膜状の炭酸塩が、写真でも見られるように有勢に発達しており、これが試験溶液の作用によりそこから割れると云う事が考えられ、又実際にこの事が認められた。写真 16 の右上の粒は、この膜に沿つて 2 片に割れたものである。B 骨材に次いで損失重量百分率の大きな骨材であり、耐久性がすぐれていないと云えない。

D 骨 材 「割れ」が認められた。3 片に割れた粒は 1 個で、他に 2 片に割れた粒は 3 個に達した。これらはいずれも、実験終了時にすでに割れてしまつていたものである。写真 17 は、割れた様子を写したものである。



写真—17
D 骨材 I 耐久性試験結果

E 骨 材 実験の結果、何の変化も認められず、損失重量百分率も 0.34% と、最も小さな値を示し、最も耐久性のある骨材であると云える。

F 骨 材 「はげおち」は観られず、2 片に「割れ」を示した粒が 1 個あつただけである。損失重量百分率も佐久間ダムの粗骨材に次いで小さく、耐久性のある優良な骨材であると云えよう。結論として B および C 骨材は、耐久性の点から望ましくない骨材であると云えよう。

(D) 圧 縮 試 験

骨材の中から適当なを選んで、1 辺が 5.0 cm の立方体をつくり、アムスラー試験機により圧縮試験を行つた。供試体は 4 個用意し、2 個を絶乾状態、2 個を表面乾燥飽和状態の下で試験する予定であつたが、時間の都合で試料は B 骨材の試料を除き、2 個だけしか用意出来なかつた。そのため、中には真の値よりかなり低いと思われる値が 2, 3 あるのは残念である。表面乾燥飽和状態の試片は、絶乾状態の試片よりも低い圧縮強度を示した。実験値は第 5 表の通りである。

第 5 表

区 分	耐 圧 強 度 kg/cm ²	
	絶 乾 状 態	表面乾燥飽和状態
A	2520	1120
B	1700	760
B	1790	990
C	3240	1540
D	2400	2020
E	2990	2600
F	1620	1380

結 論

実験に用いた粗骨材の試料はいずれもダムコンクリー

ト用のものであるから、ここでダムコンクリート用粗骨材としての優劣を実験の結果得た値を基にして検討してみたいと思う。

重力式ダムにおいては、コンクリート用骨材として要求される重要な性質は、比重が大きいと云う事である。重力ダムコンクリート標準示方書には、コンクリート重量がある値以上でなければならないので、粗骨材の比重は2.60以上を標準とすると規定されてある。当実験の結果B骨材は比重が2回の平均で2.51と求められたが、この値は標準の値に達していない。次に、ダムは野外構築物であり、酷しい気象作用を直接に受けるので、ダムコンクリート用の骨材は、耐久性の大きなものでなければならない。吸水率も耐久性に関係がある。現在迄の多数の研究の結果によれば、コンクリートの耐久性と、骨材の耐久性試験による損失量との間には、確定的な関係は得られていないが、耐久的なコンクリートをつくるためには、使用する骨材が耐久的でなければならない事は当然である。3番目には、スリヘリ抵抗の大きな事が要求される。しかしダムは道路などとは異り、スリヘリ作用を受ける部分はその限られた部分であるので、スリヘリ抵抗の問題は耐久性の問題ほど重要とは認められない。最後に圧縮強度の大きな事が望まれる。石材として岩石を用いる場合は圧縮強度の問題は最も重大であるが、コンクリート用骨材として使用される時は、骨材はそれを用いてつくつたコンクリートの強度より、遙かに大きな強度をもっているものであつて、圧縮強度は石材におけるほどの重要をもっていない。又圧縮強度は、試験片の大きさ、加圧する面の状態、微細な割目の有無などによつても大きく変動し、真の値を求めることは極めて困難である。以上の観点から6組の粗骨材の試料の順位を考

えるならば、

1. E骨材
2. A骨材
3. F骨材
4. D骨材
5. C骨材
6. B骨材の順ですぐれていると思われる。

次にこの6組の粗骨材試料について比重、吸水率、耐久性、スリヘリ抵抗性の関係について調べてみた。例外はあるが、一般に比重の大きな骨材は吸水率が小さく、耐久性が大きいと云つて差支えはないと思われる。

又、比重の大きなものはスリヘリ抵抗性も大きい傾向にあるが、D骨材のように、比重が大きくとも、スリヘリ抵抗性が最も小さい値を示したような例外がある。

次に比重と、絶乾状態の試料の圧縮強度との関係については、比重が大きければ圧縮強度も大きな値を示す傾向にある。ただF骨材は例外で、圧縮強度は最も小さな値を示した。これは試料をとる時、原石が大きすぎて機械で切断するのが出来ないため、止むを得ずハンマーで打ち砕いた為に、強度が低下したのではないかと考えられる。表面乾燥飽和状態の試料の圧縮強度の実験値は実際より、ずっと小さな値を示していると思われるものが2,3あり、比重との関係は明らかでない。

以上で実験報告を終るが、当実験に際し色々御指導御鞭撻を仰いだ北海道大学工学部交通第2研究室、板倉教授、菅原助教授及び実験に当つて色々御世話戴いた研究室の皆様には深甚なる感謝の意を表す次第である。

又試料採取に当つて御協力を賜つた糠平ダム、桂沢ダム、小河内ダム、佐久間ダム、秋葉ダムの各建設現場の皆様には、厚く御礼申上げる次第である。

昭和31年度北海道内主要土木工事 (続)

札幌市 (工費1千万円以上)

工 事 名	工期	工 費 円	請 負 者	摘 要
大学南通(北8条線)街路舗装新設工事	自昭和31.7.20 至昭和31.10.24	13,070,000	道 路 工 業	延長503m舗装アスコン(竣工)
円山地区下水道築造工事その一	31.6.6 31.10.17	15,929,000	岩 田 建 設	延長1,447m (竣工)
札幌市第1期水道拡張事業 浄水場新設工事 その一	30.5.14 33.3.31	209,400,000	三井建設 札幌支店	原水量水室、混和池、凝集池、濾過池、その他附帯、電気、暖房設備
札幌市第1期水道拡張事業 浄水場新設工事 その二	31.9.1 32.6.30	20,980,000	三井建設 札幌支店	浄水井、排水調整池、排水管(施工中)