懸濁重液の見掛け比粘度に関する 2, 3 の考察について—(2)

有 川 幸 久*

Studies on the Apparent Specific Viscosity of Heavy Suspensions

Yukihisa ARIKAWA

4. 測定結果および考察

4.1 測定結果

測定の結果、次の関係がえられた。すなわち珪砂単味の懸濁重液について、容積濃度と見掛け比粘度の関係を第2図に、同じく珪砂粒度と見掛け比粘度の関係を第6図に示す。頁岩単味の場合には、容積濃度と見掛け比粘度の関係を第3図に、同じく頁岩粒度と見掛け比粘度の関係を第7図に示す。パイライト・シンダーと珪砂の混合懸濁重液について、容積濃度と見掛け比粘度の関係を第4図に、同じく混合珪砂粒度と見掛け比粘度の関係を第8図に示す。さらに、パイライト・シンダーと頁岩の混合懸濁重液について、容積濃度と見掛け比粘度の関係を第5図に、同じく混合頁岩粒度と見掛け比粘度の関係を第9図に示す。なお、第5図の一部を拡大したものを第10図に示す。第10図はパイライト・シンダーと頁岩を混合した懸濁重液について、見掛け比粘度と許容汚染度の関係を示す。

4.1.1 容積濃度と見掛け比粘度

第3表に示す調整割合表によって調整した珪砂または頁岩単味の懸濁重液について、見掛け比粘度を測定した結果を示す第2図、第3図において、懸濁粒子の粒度が一定の場合には、各粒度についていずれも容積濃度が増大するとともに見掛け比粘度が上昇しており、しかも粒度が小さくなるほど容積濃度の増大とともに見掛け比粘度は急激に上昇する傾向を示している。とくに、頁岩の場合には、高見掛け比粘度のため測定が不可能の場合もある。さらに、珪砂または頁岩単味の懸濁重液の容積濃度と見掛け比粘度の関係を比較すれば、珪砂単味の場合たとえば容積濃度約15.5%、粒度 $-25+10\mu$ 、 $-10+2\mu$ 、 -2μ について見掛け比粘度は1.4~1.5であるが、頁岩単味の場合には容積濃度15.7%のとき $-100+150$

第2図 容積濃度と見掛け比粘度の関係
(珪砂単味の場合)

第3図 容積濃度と見掛け比粘度の関係
(頁岩単味の場合)

* 新潟ジプロ、建設部 部長付 工博

第4図 容積濃度と見掛け比粘度の関係
(重液材と珪砂混合の場合)

mesh, $-150+200$ mesh, $-200+250$ mesh について見掛け比粘度は3~12.3である。すなわち、同一容積濃度の場合には、頁岩は珪砂に比して粒度が大きいにもかかわらず極めて高い見掛け比粘度を示しており、いずれの容積濃度についても同様であることは第2図および第3図から明らかである。

さらに、パイライト・シンダーに珪砂または頁岩を混合した場合、容積濃度と見掛け比粘度の関係については第4図および第5図に示すように、見掛け比粘度曲線の形状は単味の場合と若干異なるが、容積濃度が大きくなるとともに見掛け比粘度は上昇し、しかも頁岩は珪砂に

比して、その上昇が急激であることは頁岩単味の場合とまったく同じ傾向を示している。

4.1.2 粒度と見掛け比粘度

第3表により調整した珪砂または頁岩単味の懸濁重液については第6図および第7図に示すように、容積濃度が一定の場合、各容積濃度についていずれも粒度が小さくするとともに見掛け比粘度が上昇している。すなわち、容積濃度が大きくなるほど、粒度が小さくなるとともに急激に見掛け比粘度が上昇する傾向にあり、とくに頁岩の場合にはその傾向が著しい。さらに、珪砂または頁岩による懸濁重液について粒度と見掛け比粘度を比較すれば、頁岩単味の場合たとえば粒度 $-250+325$ mesh, 容積濃度12.7%(R), 13.9%(S)の場合の見掛け比粘度は4~6であるが、珪砂単味の場合には $-250+325$ mesh, 容積濃度24.8%(P), 31.1%(Q)について見掛け比粘度は約1.5~1.8である。すなわち、同一粒度の場合には、頁岩は珪砂に比して容積濃度は小さくとも高い見掛け比粘度を示しており、いずれの粒度についても同様であることは第6図および第7図から明らかである。

さらに、パイライト・シンダーに珪砂または頁岩を混合した場合については第8図および第9図に示すように、見掛け比粘度曲線の形状は単味の場合と異なるが、珪砂または頁岩の粒度が小さくなるとともに見掛け比粘度は上昇し、しかも頁岩は珪砂に比し、その上昇が急激であることは単味の場合と全く同じ傾向を示している。

4.1.3 臨界容積濃度および臨界粒度と見掛け比粘度

操業重液の見掛け比粘度は懸濁粒子の粒度、形状によって変わるが、とくに固形物の容積濃度に左右され、Hans Paul¹⁵⁾によると容積濃度約30%までは緩かに増大するが、約30%を過ぎると突然急激に増大するとしている。また、F. W. Mayer¹⁶⁾によると、固形物の臨界容積濃度は、原炭の粒度および重液材の粒度、粒度構成、粒子の形状によって異なるが、30~40%であって、

第5図 容積濃度と見掛け比粘度の関係
(重液材と頁岩混合の場合)

第6図 珪砂粒度と見掛け比粘度の関係
(珪砂単味の場合)

第7図 頁岩粒度と見掛け比粘度の関係
(頁岩単味の場合)

原炭が細かいほど小さくとしている。

本実験における臨界容積濃度は、懸濁粒子が硬であり、その粒度を一定にしており、かつ懸濁重液の比重を異にしているため、上記の場合とその様子が異なっている。

臨界容積濃度の求め方の例として、第3図において、見掛け比粘度曲線(a)上の容積濃度RおよびTにおいて切線を引き、両切線の交点a₁を求める。a₁点において∠θ

第8図 混合珪砂粒度と見掛け比粘度の関係

第9図 混合頁岩粒度と見掛け比粘度の関係

の二等分線を引き、さらにこの線に平行にa曲線へ切線を引き、切点a₂を求める。臨界点a₂から垂線を立て横軸との交点a₃から臨界容積濃度13.92%がえられる。第2図、第4図および第5図においても、各見掛け比粘度曲線から臨界容積を同様に求めることができる。

〔1〕 臨界容積濃度と見掛け比粘度

〔珪砂単味の懸濁重液に関する第2図において、粒度別の見掛け比粘度曲線の各臨界点を結べばほぼ直線となる。すなわち、臨界点の変化の傾向は直線的であり、臨界容積濃度は粒度が小さくなるとともに小さくなり、その臨界容積濃度に対する見掛け比粘度は大きくなることを示している。珪砂単味の場合の臨界容積濃度は22.4～27.6%であって、この場合の見掛け比粘度は1.58～1.84

であるが、頁岩単味の場合には臨界容積濃度は12.9～14.3%，見掛け比粘度は2.4～7.2である。

さらに、頁岩については、いずれの粒度についても見掛け比粘度曲線および見掛け比粘度の臨界点が1.80等見掛け比粘度線（ある現場の実際操作では見掛け比粘度を1.80と規定しているので、このように称しておく）以上にある。

(2) 臨界粒度と見掛け比粘度

珪砂単味の懸濁重液に関する第6図において、容積濃度が大きくなると、見掛け比粘度が上昇し、しかも各見掛け比粘度曲線上の臨界点（Q線上では b_2 点）において急上昇の傾向を示している。

臨界粒度の求め方の例としては、第6図において、第3図の方法と同様にして臨界粒度がえられる。

これらの臨界点を結べば直線的に変化し、容積濃度が大きくなるとともに臨界粒度は大きくなり、さらに臨界粒度に対する見掛け比粘度が増大する。

また、珪砂単味の場合の臨界粒度は概ね $-37+25\mu\sim-10+2\mu$ で、このときの見掛け比粘度は1.42～2.02であるが、第7図に示すように、頁岩単味の場合には臨界粒度は $-150+200\text{ mesh}\sim-250+325\text{ mesh}$ 、見掛け比粘度は約3.7である。

さらに、頁岩については、臨界点が1.80等見掛け比粘度線以上にある。また、珪砂または頁岩とパイライト・シンダーを混合した場合については、第8図および第9図から、臨界粒度として珪砂混合の場合は概ね $-325+400\text{ mesh}\sim-25+10\mu$ 、頁岩混合の場合は概ね $-250+325\text{ mesh}\sim-37+25\mu$ である。

4.1.4 汚染物混入限界

硬は重液の安定剤としての役割よりも二次の見掛け比粘度上昇という悪影響をおよぼし、操作上支障を生ずるとともに分離精度の低下を招来する結果となるので、重液選炭においてとくに留意しなければならないのが汚染物の混入限界である。

本実験において、第4図および第8図から、懸濁重液比重1.70、見掛け比粘度1.80珪砂または頁岩とパイライト・シンダーの混合懸濁重液の汚染物混入限界を求めると、第6表に示すようである。

第6表の混入限界は汚染物の粒度別に求めたものであ

第6表 汚染物混入限界

汚染物の種類	混入限界 汚染物の粒度	混入限界（容積比）%									
		-100 +150 mesh	-150 +200	-200 +250	-250 +325	-325 +400	-37 +25 μ	-25 +10 μ	-10 +2 μ	-2	
珪砂		22.35	18.53	15.76	13.90	12.05	9.74	7.26	5.23	4.60	
頁岩		4.08	3.08	2.52	2.06	1.78	1.50	1.22	1.03	0.84	

る。珪砂については $-100+150\text{ mesh}\sim-2\mu$ のとき4.60～22.35%，頁岩については0.84～4.08%であり、頁岩の混入限界は珪砂の混入限界に比して著しく小さい。しかも、汚染物の粒度が小さくなるとともに混入限界が著しく小さくなる傾向を示している。実際には汚染物の粒度分布がかなり大きく、かつ均一ではないので、そのままの数字は採れないが、操作上の一指針になるものと考えられる。しかも、操業重液中に最も多く含まれている頁岩¹⁷⁾の混入限界が珪砂より低いことは、頁岩が重液選炭操作を困難なものにする可能性が極めて大きいことを示すものである。

4.1.5 懸濁重液の見掛け比粘度と許容汚染度

懸濁重液の見掛け比粘度を1.80とした場合、第4図および第10図に示すように、1.80等見掛け比粘度線を引き、粒度別見掛け比粘度線との交点から垂線を立て、横軸との交点の汚染目盛を読み取ると、見掛け比粘度1.80のときの粒度別許容汚染度がえられる。第7表に粒度別許容汚染度を示す。

第7表に示されるように、見掛け比粘度を1.80とした場合、汚染物としての珪砂および頁岩による許容汚染度を各々粒度別に比較すれば、いずれも粒度が細くなるとともに小さくなっている。しかも、頁岩の許容汚染度は珪砂に比して著しく小さく1/4.8～1/6.8である。

したがって、重液選炭の原炭中に頁岩を多量に含む場合には、頁岩は崩壊量が大きく、しかも崩壊物がさらに

第10図 見掛け比粘度と許容汚染度
（重液材と頁岩混合の場合）

第7表 粒度別許容汚染度

汚染物の種類 粒度区分	珪砂%(a)	頁岩%(b)	汚染度比 (b) (a)
－100+150 mesh	56.46	11.65	1/4.8
－150+200	48.48	8.95	1/5.4
－200+250	41.74	7.37	1/5.7
－250+325	37.83	5.92	1/6.4
－325+400 (37 μ)	33.04	5.00	1/6.6
－37+ 25 μ	28.50	4.21	1/6.8
－25+ 10	23.50	3.55	1/6.6
－10+ 2	19.25	3.16	1/6.1
－ 2	15.75	2.37	1/6.6

微細粒子に崩壊する可能性が大きいので、第7表(b)に示す2～12程度の許容率を超過する可能性は大きく、硬として頁岩を含む場合は重液選炭操業の困難性は一層大きくなることが考えられる。

4.1.6 懸濁重液の見掛け比粘度の許容限界と 固形物の容積濃度および汚染物粒度

(1) 懸濁重液の見掛け比粘度の許容限界と固形物の容積濃度

珪砂単味による懸濁重液の見掛け比粘度の許容限界を1.80とした場合、第2図に示すように1.80等見掛け比粘度線を引き、粒度別見掛け比粘度曲線との各交点より横軸に垂線を引けば、1.80等見掛け比粘度の許容限界における容積濃度が求められる。すなわち、－250+325 mesh の場合容積濃度は約32%、－325+400 mesh の場合31%、－37+25 μ の場合29.5%、－25+10 μ の場合27.5%、－10+2 μ の場合25.6%、－2 μ の場合21.9%であり、粒度が小さくなるとともに許容容積濃度は小さくなっている。

(2) 懸濁重液の見掛け比粘度の許容限界と汚染物粒度
操業重液に最も条件の近いと考えられるパイライト・シンダーと頁岩の混合懸濁重液に関する第9図において、臨界点が1.80等見掛け比粘度線以下であれば好都合であるが、いずれも同線以上にある。しかし、臨界点における臨界粒度より小さい粒度の汚染物を除去すれば、見掛け比粘度は臨界点の見掛け比粘度まで急速に低下し（この傾向は容積濃度が大きいほど著しい）、臨界点以下においては徐々に見掛け比粘度が低下して、1.80等見掛け比粘度線へ近づくことになる。

以上、(1)および(2)は頁岩単味の場合（第7図）、珪砂とパイライト・シンダー混合の場合（第8図）においても同じ傾向を示している。

4.2 考 察

硬の微細粒子の容積濃度および粒度と懸濁重液の見掛け比粘度の関係を求めた実験の結果から、まず第一に、

珪砂と頁岩による懸濁重液の見掛け比粘度上昇の程度は、第2図～第5図に示されているように、珪砂の場合は懸濁重液の見掛け比粘度の上昇は頁岩に比して小さいが、頁岩の場合は著しく大きいことが認められる。このことから見掛け比粘度の上昇の程度は、硬の種類によって著しい相違のあることが明らかに認められた。しかも、頁岩の場合には、容積濃度が大きくなり、また粒度が小さくなるほど見掛け比粘度の増大は急激となる傾向が明らかに認められた。

臨界容積濃度と見掛け比粘度の関係については、第2図～第5図に示されているように、頁岩は珪砂に比して臨界容積濃度が小さいにもかかわらず見掛け比粘度が著しく大きいことは、頁岩が操業重液の汚染物となる可能性が極めて大きいことを示すもので、注目すべき事柄であると考えられる。

さらに、臨界粒度と見掛け比粘度の関係については、第6図～第9図に示されているように、頁岩は珪砂に比して、臨界粒度が大きいにもかかわらず見掛け比粘度が大きい。このことから頁岩の粒度が見掛け比粘度におよぼす影響の大きいことを明らかに示している。

硬の混入限界については第6表に示されているように、頁岩は珪砂に比して著しく小さい。しかも、汚染物としての硬の粒度が小さくなるとともに、混入限界が著しく小さくなる傾向が認められる。このことから操業重液中に最も多く含まれている頁岩の混入限界のため、重液選炭操業を困難にする可能性が極めて大きいことが認められた。

見掛け比粘度を1.80としたときの許容汚染度と見掛け比粘度の関係は、粒度別に第7表に示されているように、珪砂の許容汚染度に比して頁岩は著しく小さいので、微細粒子を多く含む頁岩によって重液選炭操業の困難性は一層大きくなることが認められた。

また、第2図に示されるように、懸濁粒子の粒度が小さくなるとともに許容容積濃度は小さくなることが認められる。したがって、汚染粒子が小さいほど容積濃度は小さくても許容限界をこえるので、重液選炭操業においてはできる限り微細粒子を除去することが必要であることが明らかになった。しかも、操業重液の条件に最も近いと考えられるパイライト・シンダーと頁岩の混合懸濁重液に関しては、第9図に示されるように臨界点における臨界粒度より小さい粒度の汚染物を除去すれば、見掛け比粘度は臨界点の見掛け比粘度まで急速に低下し、臨界点以下においては徐々に見掛け比粘度が低下して、1.80等見掛け比粘度線へ近づくことが明瞭になった。

5. 結 言

珪砂または頁岩単味の懸濁重液およびパイライト・シ

ンダーと珪砂または頁岩の混合懸濁重液について、見掛け比粘度を測定した結果を検討し、えられた結果を要約すれば、次のようである。

(1) 粒度区分 $-100+150$ mesh, $-150+200$ mesh, $-200+250$ mesh, $-250+325$ mesh, $-325+400$ mesh, $-37+25\mu$, $-25+10\mu$, $-10+2\mu$, -2μ の珪砂または頁岩をそれぞれ容積濃度12.4~31.1%, 12.7~19.0%で調整した懸濁重液について、見掛け比粘度を測定した結果、粒度が一定のときには容積濃度が大きいほど、また容積濃度が一定のときには、粒度が小さくなるほど懸濁重液の見掛け比粘度は増加の傾向を示すことが認められた。しかも、頁岩の場合には見掛け比粘度の上昇は急激である。

(2) 平均粒径 0.07 mm のパイライト・シンダーと上記粒度区分の珪砂または頁岩の混合懸濁重液について、固形物の容積濃度をそれぞれ19.8~32.7%, 21.7~28.2%としたときの見掛け比粘度を測定した結果、固形物の容積濃度が大きくなるとともに見掛け比粘度が増加する。また、固形物の粒度が小さくなるとともに見掛け比粘度が大きくなる。しかも、頁岩混合の場合には見掛け比粘度の上昇は急激である。この傾向は珪砂または頁岩単味の場合の傾向と同じである。

(3) 臨界容積濃度と見掛け比粘度の関係については、珪砂単味のとき臨界容積濃度は22.4~27.6%, このときの見掛け比粘度は1.58~1.84であるが、頁岩単味のときには12.9~14.3%, その見掛け比粘度は2.4~7.2である。すなわち、頁岩は珪砂に比し、臨界容積濃度が小さいにもかかわらず見掛け比粘度が極めて大きいことは、頁岩が操業重液の汚染物となる可能性が極めて大きいことから重要な事柄である。

(4) 臨界粒度と見掛け比粘度の関係については、珪砂単味のとき臨界粒度は $-37+25\mu$ ~ $-10+2\mu$ で、このときの見掛け比粘度は1.42~2.02であるが、頁岩単味の場合には $-150+200$ mesh~ $-250+325$ mesh, 見掛け比粘度は約3.7である。すなわち、頁岩は臨界粒度が大きいにもかかわらず見掛け比粘度が大きい。このことは操業重液の見掛け比粘度へおよぼす頁岩の粒度の影響が大きいことを意味している。

(5) 硬は懸濁重液の安定の役割よりも二次的見掛け比粘度上昇という悪影響をおよぼす。この汚染物の混入限界を汚染物の粒度別に本実験結果から求めると、珪砂については $-100+150$ mesh~ $+2\mu$ のとき4.60~22.35%, 頁岩については0.84~4.08%であり、頁岩の混入限界は砂珪に比して著しく小さい。しかも、汚染物の粒状が小さくなるとともに混入限界が著しく小さくなる傾向を示している。すなわち、操業重液中に最も多く含まれている頁岩の混入限界が珪砂より低いことは、重液選炭

操業を困難にする可能性が大きいものと考えられる。

(6) 懸濁重液の見掛け比粘度と許容汚染度については、珪砂または頁岩単味の懸濁重液において、見掛け比粘度を1.80としたときの許容汚染度を汚染物の粒度別に求めると、いずれも粒度が小さくなるとともに許容汚染度が小さくなる。しかも、両者の許容汚染度を粒度別に比較した汚染度比を求めると、頁岩は珪砂の1/4.8~1/6.8で著しく小さい。

(7) 懸濁重液の見掛け比粘度の許容限界と固形物の容積濃度については、珪砂単味の懸濁重液、珪砂または頁岩とパイライト・シンダーの混合懸濁重液に関しては、懸濁粒子の粒度が小さくなるとともに許容容積濃度は小さくなることが認められた。

(8) 懸濁重液の見掛け比粘度の許容限界と汚染物粒度の関係については、操業重液の条件に最も近いパイライト・シンダーと頁岩の混合懸濁重液では、臨界点が1.80等見掛け比粘度線以上にある。しかし、臨界点における臨界粒度より小さい粒度の汚染物を除去すれば、見掛け比粘度は臨界点の見掛け比粘度まで急速に低下し、臨界点以下においては徐々に見掛け比粘度が低下して1.80等見掛け比粘度線へ近づくことが明らかになった。実験から臨界粒度は概ね $-250+325$ mesh~ $-37+25\mu$ であることが認められた。

(9) 以上のように実験結果から、容積濃度が一定のときには、粒度が小さくなるとともに懸濁重液の見掛け比粘度が大きくなることを確認した。この場合いずれも懸濁粒子の粒度が揃っている。しかし、実際の操業重液においては汚染物は崩壊粒子であるので、粒度分布をもっている。それで崩壊粒子の代表粒径とみなせば、代表粒径が小さくなるとともに見掛け比粘度が増大することになる。

したがって、パイライト・シンダーを用いた重液中における炭質頁岩または頁岩の崩壊実験¹⁸⁾において、崩壊粒子が小さくなるとともに重液の見掛け比粘度が増大の傾向を示すことは、本実験から明確に認められた。

(10) 硬のうちでとくに頁岩が崩壊すれば、より細かい微細粒子をより多く生成し、重液の見掛け比粘度に著しい影響をおよぼすことが明らかになった。

謝 記

本研究については、終始御指導をいただいた京都大学向井滋教授に深甚なる感謝の意を表す。

参 考 文 献

- 1) 有川幸久：選炭，第18巻，第94号，11~19頁，1968
- 2) 角田貞治：九州炭鉱技術連盟会誌，第8巻，第2号，2~6頁，昭和29年
- 3) 有川幸久：選炭，第12巻，第60号，15~24頁，1962

- 4) 有川幸久：選炭，第12巻，第60号，15～24頁，1962
- 5) 角田貞治：九州炭鉱技術連盟会誌，第8巻，第7号，247～251頁，昭和30年
- 6) 角田貞治：同上
- 7) 3) に同じ
- 8) A. F. Taggart : Handbook of Mineral Dressing, 19～146頁，1948
- 9) 3) に同じ
- 10) 川田裕郎：粘度，83～85頁，昭和35年2月
- 11) 第6回全国選炭大会検討会資料：重液の汚染と粘度（其の1），23頁，昭和35年10月
- 12) P. J. Vanderwalt, A.M. Fourie : 選炭，第21巻，71～72頁，1955（第2回国際選炭会議論文抄録集）
- 13) 川田裕郎：粘度，85～87頁，昭和35年2月
- 14) 中久木潔，村岡徹介：重液選炭，38～39頁，昭和26年
- 15) Hans Paul : Glückauf (日本版)，第7巻，第2号146～164頁，1958
- 16) F. W. Mayer : Glückauf, 37/38, s. 1031/1039, 1955
- 17) 福岡鉱山保安監督部：ボタ山崩壊とその防止法，10～11頁，1959
- 18) 1) に同じ