

次に浄水経費の面では、今日の非常運営の状態から増補改良後の正常な運営に復帰した将来の状態を推定することは困難であるが、既往の実績と適当な仮定のもとに毎日の浄水作業費を見積つて表-7を得た。之によれば洗滌費に於ては大体 $(\beta + \theta) \approx 18\%$ 、総経費に於ては $0.54(\beta + \theta) = 10\%$ の節減率を示し、金額にして毎日 6 110 円の節約となり浄水原價に於て $1m^3$ 当り 4 銭の低落を示すものである。

表-7 毎日の浄水経費比較
Table 7. Economical comparison of daily purification cost.

種別	単一濾過法		二重濾過法	節減額
	現在	抗殊後		
事務費	14 290 ^円	16 330 ^円	16 330 ^円	0 ^円
洗滌費	17 800	24 210	19 780	4 430
消毒費	9 600	13 060	13 060	0
補修費	5 300	7 210	5 530	1 680
雑費	700	810	810	0
計	47 600	61 620	55 510	6 110
濾過水量	110 000 ^ℓ	150 300 ^ℓ	150 300 ^ℓ	
浄水原價 ($1m^3$ 当り)	43 ^銭	41 ^銭	37 ^銭	4 ^銭

今後のセメント注入の理論的傾向

正員 釘 宮 健 二*

ABOUT THE THEORETICAL INCLINATION OF FUTURE CEMENT GROUTING.

(JSCE May 1950)

Kenji Kugimiya, C.E. Member

Synopsis As an engineer of cement grouting work of new inclined shaft at Oyubari coal mine of Mitsubishi Mining company Ltd., I have summarized what I have felt and thought during the work on the subject "the theoretical inclination of cement grouting" getting hint from two opposite contradictory undercurrent thoughts on cement grouting, I have explained the difference of working method and thought etc which resulted from difference of purposes, classifying the cement grouting of stratum improvement and cement grouting as the waterproof method. Furthermore, as the point of progress of cement grouting, I have described about what I thought during the grouting work, and finally I have mentioned questions on work and basic data which are desirable.

要旨 三菱鉱業株式会社大夕張鉱業所新斜坑セメント注入工事の現場責任者として、工事担当中感じ又考えた事を今後のセメント注入の理論的傾向と題してまとめあげた。即ちセメント注入技術には主として運輸省指導者と鉱山界指導者との間に、大きく底に流れて居る2つの考え方の正逆があることから出発して、セメント注入技術の量より最大値を論ずるもの、即ち地質改良のセメント注入と、量より最小値を論ずるもの、即ち止水工法としてのセメント注入とに大別して、その施工目的から起る施工法、考え方の違い等に就いて記述した。更にセメント注入技術の進歩発展を希望する見地から注入中の難感として断片的に、注入ポンプの理想型、注入圧力-時間曲線の考察、湧水圧力、湧水量と注入圧力、注入容量との関係等、一切羽單位にセメント注入を考えた時の考え方に就いて記述し、最後に結言としてセメント注入の現場第一線だけでなく第二線で研究してほしい基礎研究に就いてその必要な理由を述べるつもりで言及した。

* 日本建機株式会社

I 緒言

土木学会誌 35 巻 4 号に発表した「大夕張鉱業所新斜坑セメント注入工事」は、現場のセメント注入のデータを基礎として、努めて客観的に記述したが、本文では現場担当の責任技術者としての立場から主観的に見たところを記述した。前記載の分と合せて判読して載きたい。

II 目的に依る2種類のセメント注入

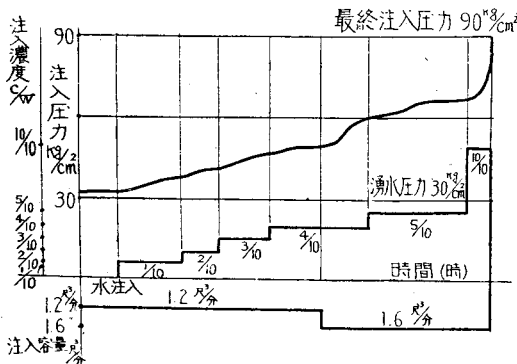
セメント注入は、崩壊性土砂のために掘進出来ない地山にセメント溶液を圧入し、地山に圧縮力を与える地質改良の場合と、湧水多量の際の止水工法として用いる時とで、その考え方、工法は全く異なる。但し通常施工されるセメント注入はこの両目的に用いられる場合が多い。この異なる点は地質改良の目的の注入ではセメント溶液は地山に依り濾過作用を受ける度合いが大きいので、これに適合した特性をセメント溶液に附與することが必要であり、止水目的のセメント注入では、セメント溶液は地山に対する滲透作用を大にすることが必要である。セメント注入工法は大ざかみに

述べると、地質改良の時は如何にして圧入セメント量を少なくするか問題となり、止水の時は如何にして圧入セメント量を大きくするか問題となる。

■ 地質改良のセメント注入

地質改良のセメント注入では、セメント溶液は細い目に入り、なるべく地山中に滲入しないことが望ましい。即ち最初濃度の薄いセメント溶液が細い目に入つて漸次濃度を濃くしてその細い目を大きくし、地山に圧縮力を與えて地質改良の目的を達する。地山中にセメント溶液が滲入した後は余分のセメント溶液は地質改良の目的に用いられ、そのために、濃いセメント溶液を用い、之でも不十分な時は粒度大なる火山灰とか岩粉とかをセメント溶液に混合し、或は單獨に用いることもある。更に不十分な時は馬糞や薬屑を用いる。注入機械も出来れば低容量から高容量に2-3段は切換えられる注入ポンプが必要になる。この時薄濃の操作より容量の低高の切換操作の方が注入圧力上昇に大きく響くことに注意する必要がある。地質改良のセメント注入では濃度も容量も注入の進行にしたがい濃高になるので、注入終了とするのは注入圧力のみによることになる。この注入最終圧力は、現場では数次の注入完了区域掘鑿の結果に依り決定すべきであるが、湧水があれば湧水圧力の3倍程度が適当と考えられる。注入は最初水注入（水洗い）から初まり、次第に濃度、容量を変化させて注入最終圧力に達し充分効果をあげると共に、能率よく終了させることが重要である。注入の容量、圧力の時間的変化を图示すると圖一1のようになる。

圖一1 地質改良セメント注入の良好なる状態
Fig. 1. In case of good condition of cement grouting



地質改良のセメント注入では、主動的に変化させ得るものは注入の容量と濃度である。先ず地山の目を洗つて最薄濃度のセメント溶液の流入をたすけるために水注入を0.5~1.時間実施する。その後 $1/30 \sim 1/10$ の濃度より開始し、同一濃度で30分以上注入を継続

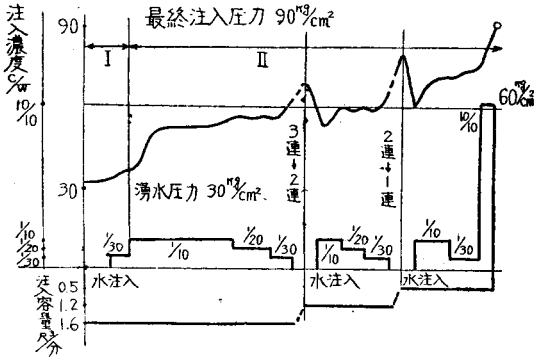
しても注入圧力上昇なき時は順次濃度をあげ、濃度を一段階あげても余り注入圧力が上昇しない時は更に容量を増す。最後に75kg/cm²注入圧力程度に達したら、濃度を急激に濃くして、締上げセメント注入を実施して注入を完了する。この型式のセメント注入は地山改良の外、大きな地山間隙や、断層帯の薄層がある時に、低注入圧力で注入が継続するようなところに用いることもある。この場合上の方針を根本にして注入するのが、結果より見ても、能率上より見ても効果がある。

IV 止水工法のセメント注入

止水工法のセメント注入では、セメント溶液は出来るだけ細い水路にまでも滲入し止水効果を挙げるのが望ましい。管又は地山中のセメント溶液中のセメント粒子は、粗いものは近くに、細いもの程遠くに運ばれて沈殿するので、この注入では粗い粒子に手近をふさがれ、止水効果も期待出来ないうちに、注入が終了することがないようにしなければならない。出来る丈効果的にセメント注入をするには、潤滑剤として水硝子を用いたり、セメント溶液の代りに薬液注入をしたりする。注入の進行につれて沈殿セメント量は明かにふえるので、早く沈殿したものから凝結作用を起すことも考えられる。何れにしてもセメントの滲入は時間の経過とともに、漸次困難になつて来る。このため注入の時用いる注入ポンプは大容量から小容量に2~3段、理想的に云えば、大容量から零容量まで連続的に変化し得るものが必要になる。濃度も時間の経過とともに滲透が悪くなるので、高濃度より低濃度のものへと変化させる必要がある。只最初濃度と容量を幾らにし、漸次これを変化させて行くかと云うことは、一つに現場の情況、注入孔の性質に依ること、簡単には決定出来ない。結局最初は容量も小さく、濃度も薄くして試験的に始め注入圧力を見ながら容量を成る可く大きく濃度も濃くし、その後注入圧力が上昇するにつれて容量、濃度を低下させる。最終注入圧力を如何に定めるかが問題であるが、細隙とセメント溶液との摩擦その他で湧水圧力の5倍は必要のようである。注入は地質改良の場合と全く同様に水注入（水洗い）から初め、最終圧力に達して終了する。地質改良のセメント注入は必要以上のものが入る傾向があるのに反し、止水工法の場合には必要量を入れるのに苦勞し、注入の操作も極めて変化に富み困難も少くない。これは地質改良のセメント注入では注入継続中に地山の状況が変化することもあるが、止水工法のセメント注入では地山の状況が変化することは望めないで途中で困難に遭遇せぬように如何に注入を継続することが重要で

ある。注入容量、濃度、圧力の時間的変化を示すと圖一2の様になる。

圖一2 止水セメント注入の代表的注入曲線圖
Fig. 2. Typical cement grouting curve of quick handling cement.



勿論現場に於て主動的に変化せしめ得る因子は注入容量と濃度だけで、注入圧力は従属的に変化する。図表の最終注入圧力は 90kg/cm² で、この値は湧水圧力 30kg/cm² の3倍にしか過ぎないが、普通止水工法の場合には少くとも湧水圧力の5倍の最終注入圧力が必要である。この場合は注入ポンプの許容最大注入圧力に押えられたためで、結果より見て圧力上昇の不足が明かである。湧水圧力 30kg/cm²、最終注入圧力 90kg/cm² の間で先づ $(90-30) \times \frac{1}{2} + 30 = 60$ kg/cm² の注入圧力程度で、大分の注入を終了するように方針を立てる。注入ポンプの注入容量 1.6 尺³/分 で適正な地山に於ける濃度を決定するため、圖一2 の1段階の注入をする。当初は水洗いを 0.5~1 時間実施する。1/30 の濃度では注入圧力は 40kg/cm² 程度しか昇らないので、30分継続後 1/10 の濃度にあげる。之で注入圧力が 50kg/cm² になったので、この地山に対する適正最大濃度は 1/10、ポンプの容量は 1.6 尺³/分 と決定される。以上の I 段階のセメント注入は、地質改良のセメント注入と同様である。II 段階のセメント注入は止水工法としての注入で、濃度も注入圧力を見ながらさげ大きく注入圧力を落す必要がある時には、注入容量を落す。現場の注入ポンプでは注入容量を落す操作が簡単に出来ず、最大 30 分間は注入ポンプの運転を中止しなければならぬので、注入中絶に依る注入圧力の不自然な上昇が起る。このため不自然な圧力上昇がもとに戻るまで約 30 分間は水注入を実施しなければならぬ。注入圧力が 70~75kg/cm² になつてしまつた後は止水効果を期待するため濃度を急激にあげて注入を完了する。この II の注入は現場能率上、時間的に見て極めてまずい方法である。この能率を考えて注入ポンプの容量、セメント溶液の濃度を幾らまで落し、他面ど

の程度の細密さで注入を完結し止水効果を期待するかは、現場の状況、揚水ポンプの整備状況等より決定すべき、大きな問題だと考えられる。

V 地質改良と止水工法のためのセメント注入の比較

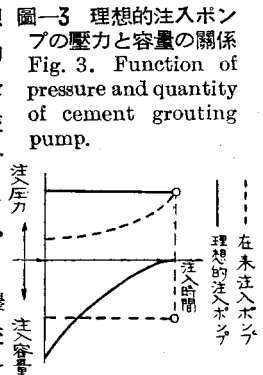
地質改良と止水工法のためのセメント注入は何れもセメント注入と云われているが、作用面より見ても差異があり、操作上より見ても正逆の濃度、容量の変化を必要とする。発展経過より見ると、隧道の水平坑道の掘さくを主とし湧水処理に比較的苦勞していない國鉄のセメント注入は、地質改良のセメント注入の考え方が大きく、斜坑、堅坑開鑿等で常に僅少な湧水でも問題となる鉱山界では、止水工法のセメント注入の考え方が大きい。天然地盤で湧水多量なところは岩石の割目、裂目又は断層等が発達して地山も悪い状況にあり、兩種の注入に於けるような状態である。即ちセメントが必要以上に多量圧入される時は地質改良のセメント注入と考え、最大量を規定すべく、又必要量のセメントが圧入困難な時は止水のための注入と考え、時間的には不利でも、入念に多量のセメントを圧入し得るように操作を変えることが必要である。只現場のセメント注入が地質改良的のものか、止水工法的のものかを、各注入孔毎に定むべきか、半ケ年とか1ケ年間の注入結果の平均から定むべきかは、大きな問題である。これは兩者の方針に根本的の違ひがあり、注入ポンプの操作も相違するからである。技術的に現場指導が適確に出来れば、前者の方法が良策であり、未熟なハンドルマンを用いるとすれば、後者の方法をとる。但し方針と正反対の状況が続く時は一時逆指導することも考えるべきである。

VI セメント注入の其他の雜感

a. 注入ポンプの理想型

止水工法のセメント注入には注入容量は高容量より低容量に、最後に零まで変化する注入ポンプが望ましいが、注入圧力は最初から最終注入圧力を示し、なるべく変化しないものが理想である。即ち在來の圧力可変、容量不変のポンプではなくて圧力不変、容量可変のものが止水効果を期待する注入には必要である。この関係は圖一3の如くである。

現在では注入容量及び濃度を操作して注入圧力を変化させ、最終圧力に達して

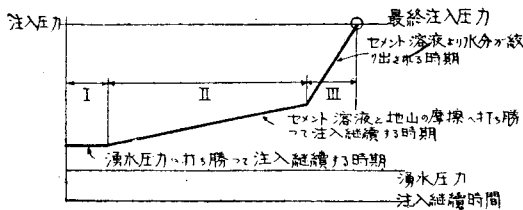


終るが、理想型の注入ポンプを用いれば、注入容量が零になつて注入を終る。尙この型式の注入ポンプは地質改良のセメント注入の際にも逆操作をするだけで極めて満足出来る結果を與えるものである。

b. 注入圧力-時間曲線について

地質改良及び止水工法何れのセメント注入の注入圧力-時間曲線も、湧水圧力に打ち勝つて注入圧力が上昇する時期、セメント溶液と地山との摩擦に打ち勝つて注入圧力が上昇する時期、セメント溶液中より水分が押し出される、即ち絞り出し注入圧力 (Squeeze Pressure) により注入圧力が上昇する時期の3段階に分けられる。地質改良の注入圧力-時間曲線では地山とセメント溶液の摩擦に打ち勝つて入る部分は少なく湧水圧力に打ち勝つて注入が継続する時期から絞り出しの注入圧力の時期に続く傾向が大きく、止水工法の場合は湧水圧力のみで打ち勝つ時期は短く、直ぐセメント溶液と地山との摩擦に打ち勝つ時期となり絞り出しの時期へ移行する。換言すれば圖-4 に於てⅠの時

圖-4 注入曲線の分析
Fig. 4. Analyses of cement grouting curve.



期はセメント溶液と湧水とが置換する時期であり、Ⅱの時期はセメント溶液が滲透作用をして居る時期であり、Ⅲの時期はセメント溶液が濾過作用を受けている時期である。地質改良の注入に必要な時期はⅠとⅢの時期でⅡの時期は極力回避すべきであり、止水工法にはⅠとⅡの時期が必要でⅢは極力短く終了せしむべきである。この操作を主動的にするために、濃度と注入ポンプの容量を変化させることが必要である。注入ポンプの注入容量は、地質改良のセメント注入に於ては大容量になればなるほど能率もあがり、その最大値は注入ポンプの機能上より決定されるが、止水工法注入では地山の細隙にセメント溶液を入れるので、最大値は地山の情況に依り決定される。

c. 湧水圧力、湧水量と注入圧力、注入容量

地山よりの湧水圧力と湧水量とは地山の状況を明示するものであり、又注入ポンプ側の注入圧力と注入容量も地山の状況を明示するものである。常識的に考えると湧水圧力、湧水量と注入圧力、注入容量とは、地山の細隙の大いさ、量、地山の圧縮性を仲介として何

等かの関係があるように考えられる。然し現在のセメント注入では、この両数値の間の関連は注入圧力は湧水圧力の3 (地質改良) ~ 5 (止水工法) 倍を最終注入圧力とすべきであるという事だけで、湧水量と注入容量、湧水圧力と注入圧力の相互、又はこれらを総合したもの間にも、技術的な関係は何も見出されていない。地山の細隙の大いさ、量、地山の圧縮性、摩擦性が未知数である以上、これは当然であるが、今後何等かの関係を見出すように努力しなければならぬ。只注入開始の時に実施する水注入 (水洗い) は湧水圧力に単純に打ち勝つ水注入圧力を示し、細隙に比して容量が大き過ぎると、注入圧力が不自然に湧水圧力の2~3倍に上昇することから、注入圧力及び容量の吟味に相当有効な根拠を與えている。この考え方から現場に於て一時、水注入の注入圧力及び容量をとり、注入圧力の示度を標準として注入容量及び濃度を規正した時に比較的好的結果を得た。

d. 一切羽に於ける数孔のセメント注入

1つの切羽に数孔の注入孔を穿ち注入した結果について述べると、地質改良では各隣接注入孔へセメント溶液がまわる場合も多く注入順序が問題となり、各注入孔についても濃度、圧力等は注入順序に関連して変化させることになる。之に反して止水工法では注入孔一つ一つが独立して注入の特性を示し、1つの切羽としてのセメント注入の特色は余りなく、各注入孔の注入成果が問題となる。前者は各注入孔の関連に於て注入成果を考え、後者は各注入孔の單なる総和に於て注入成果を考慮することが良い。前者の場合の注入成果を示すと圖-5 のようになる。

圖-5 各注入孔に関連性がある場合のセメント量、濃度、壓力の關係

Fig 5. Relations between cement content, density, and pressure, varying at each grouting hole

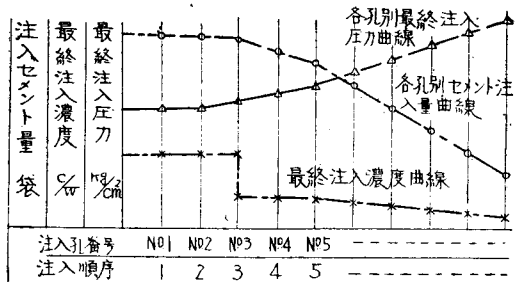


圖-5 で明瞭なように、最終注入圧力は注入孔順序につれてあがり、最終注入濃度は激次少くなるのに拘はらず、注入量は漸次少くなり、地質改良の目的を達して注入が完了しつゝあることを示している。このように前の注入孔よりの注入の結果が直に次の注入孔よ

りの注入成果に影響を及ぼすことは、止水工法の注入では期待出来ない。然し理想としては止水工法の注入でもこの結果を得ることが望ましい。勿論この差異の根本原因は地山状況の差異にあり、又吾々のセメント注入技術が地質改良でも止水工法でも同一水準のためであることは云う迄もない。このセメント注入の有効範囲は、地山条件にもよるが、注入ポンプの原動機の出力に影響される。(大夕張の場合は2.50mと仮定し、実施結果よりも大きな誤差は出なかつた。)出力即ち馬力は注入圧力と容量との相乗積となる。即ち地山条件に依り注入容量を落した場合にそれだけ注入圧力を上昇させなければ、同様な注入成果は期待出来ない。之に反して注入容量に余り制約を受けない注入では、出来る寸注入容量を増大して注入圧力をさげても所期の成果をおさめることが出来る。

Ⅶ 結 言

セメント注入工法は現在、坑道又は隧道掘鑿中の地質改良とか、止水目的が最大であるが、鉱山界に於ては水よりも扱い難い坑内瓦斯の湧水防止に用いたり、土木界に於ては構造物の保護又は一步進んで改良工法としての使用まで発展して來ている。何れにせよ他工法に比すると、セメント注入工法は機械に依存する度合が多く、又可成り優秀な成果を期待出来るから、現在行われてゐる或る種の工法はセメント注入に変えた方が有利なことが多い。このためにはセメント注入技術を尙一層研究し、特に注入工法の信頼性を向上しな

ければならない。そのためには第一に、現在の注入ポンプの圧力可変、容量不変のものを成る可く圧力不変容量可変の理想型に近づけ、注入容量を3~5段に切換えられる様に改造することである。第二には計器類の整備である。現在は圧力計を使用しているのみであるが、容量計、電流計等は必ず取り付けねばならない。配管の観点よりは、現状よりもより一層安全かつ迅速な取り付け、取り外しの出来る、ゴムホースとか鉄管、コック類の小物を改良考案することである。使用セメント溶液の観点よりは、地質改良の目的に対してはセメント粒子に注入中より密接な結合をもたせるため凝結硬化の時間的に早いセメントを用いることや更に熔融アスファルトの注入の応用、又止水工法の注入では、粒子の細いセメント、凝結硬化の時間的に早いセメントを用いるとか、更に化学溶液を潤滑剤或は注入剤として用いる珪化法の方向に進むべきである。現在「セメント注入技術は客観性に乏しく全く主観的なものである」等の議論が出て來る根本は混合液の水理学的な考え方の裏付けがないため、このためには混合液のレイノルズ数、混合液の流れる時の摩擦係数、粘性度、沈澱具合等の基礎数値を適確に把握する必要がある。以上現場の体験を基礎としてこの論説をまとめたが、この研究実施に当り國鉄の加納儉二氏、小田仁氏、坂本貞雄氏、小竹秀雄氏、三菱鉱業の星野茂樹氏、西島直克氏から技術的の御指導の厚かつたことを附記して筆を擱く。

薄層流に関する研究〔第1報〕(要旨)

正員 工学博士 石原藤次郎*
准員 岩垣雄一**
准員 合田健***

STUDIES ON THE THIN SHEET FLOW [1st. REPORT] (ABSTRACT)

(JSCE May 1950)

Dr. Eng. Tojiro Ishihara, C.E. Member, Yuichi Iwagaki, C.E. Assoc. Member
& Takeshi Goda, C.E. Assoc. Member

薄層流に関する研究の第1報として、椀板で作られた滑面の木製水樋(幅40cm、深さ19cmの矩形断面)を用いて実験した結果であつて、層流から乱流に遷移するときの流速分布の変化の仕方、Chézy constant及び摩擦抵抗係数と Reynolds 数の関係、遷移領域の決定などについて詳細に実験し、緩勾配の場合の平均流速公式を求めた。その結論について述べると、

- (i) 流速分布はほぼ管路における法則に従う。
- (ii) 勾配が急な場合(0.02以上)は全く別個の流況を呈する。
- (iii) Chézy 公式の常数 C は $\sqrt{gR} R/\nu$ 又は $U_m R/\nu$ の函数であつて、緩勾配の場合(0.01以下)には実験式として

$$C = \sqrt{g} (5.75 \log \frac{\sqrt{gR} R}{\nu} - 3.6), \quad \sqrt{gR} R/\nu > 100$$

.....乱流領域

* 京都大学教授, ** 同文部教官, *** 同大学院特別研究生