

V-38 薬液注入工法に関する研究

セメント・スラグ・水ガラス三成分系による新しい注入工法

東京大学生産技術研究所 正員 丸 安 隆 和

新日本製鉄化学工業 K.K. 正員 ○ 阪 本 好 史

1 まえがき

現在使用されている注入工法は セメントを主体とする工法 と薬液注入工法 とに大別できる。セメント注入は 注入後の強度および経済性 の点で最も大きい役割を占めている。しかし凝固するまでの時間の長いこと、小さい間隙や砂層などには入り難いこと などの欠点がある。薬液注入は 透過性はよいが、強度が弱く、耐久性に乏しいこと、高価である点が難点である。セメントに水ガラスをまぜて行ういわゆる SW 工法は、セメントの透過性を助ける点で利用価値は高いが 凝結するまでの時間が短い、この調節に W/C を大きくすると強度が著しく低下する結果になる。

この研究は セメント・水ガラスによる注入を行う際、凝結時間の調節にスラグを用いることを提案したもので、これによると、固結後の強度はセメント単味の場合よりも強くなり 従来のセメント注入とくらべて経済的にも同じかそれ以下でできるという利点がある。

青函トンネルなど 今後でてくるであらう非常な高圧をうけるトンネルでは、従来のように掘削時に水をとおめるといふ目的だけでなく、注入後の地盤の強度を高め、ライニングの設計またはトンネルの耐久性に十分効果のある注入工法が必要となるが、この方法は、これらの目的に十分こたえられることができ新しい注入工法であるということができる。

2 本工法の特徴

この工法の特徴として、次のような点がある。

- (1) セメントとスラグ量の混合割合を変えることによって、ゲルタイムの調節ができる。
- (2) スラグの割合を多くすると強度がかわって大きくなる傾向を示し、容易に圧縮強度 σ_{cs} を 100 kg/cm^2 以上にすることが可能である。
- (3) スラグは海水に対する耐久性が強いので、注入した後も海水に対しては極めて安定性をもつことが考えられる。
- (4) 配合の調節はスラグ・セメントの割合だけを変えればよいので、操作が簡単である。
- (5) セメント水ガラスを用いる従来の方法に比べて、水ガラスの使用量が少なくてすみ経済的である。
- (6) スラグはセメントに比べて同価またはそれ以下と思われる点でも経済的である。

なおこれらの特徴の中で、注入作業の能率化はボーリング穿孔の速度に支配されるが、ゲルタイムを自由に調節できることは注入作業を能率化し、かつ効果的に行う上で極めて重要である。すなわち 1 本のボーリング孔で注入できる範囲を増大し、したがってボーリング孔の数を少なくすることができからである。また相当大きい安定した強度が得られることは、例へば北原氏の算式¹⁾

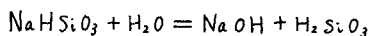
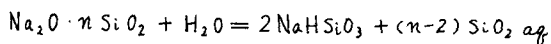
$$P_a = -C \cot \varphi + \frac{(P_R + C \cot \varphi)(1 - \sin \varphi)}{1 - (\alpha/R)^2 \sin \varphi}$$

(ただし、 α : 掘削半径、 R : 注入半径、 P_a : 支保圧力、 P_R : 注入域外圧、 φ : 内部摩擦角、 C : 粘着力)

によると、注入域の強度が向上することは支保圧力の低下に有効に働き、図-1に示すように ($\sigma_a/\sigma_{ca}=3$, $\varphi=30^\circ$, $P_R=30 \text{ kg/cm}^2$ とした時) 同じ R/a の場合には、岩盤圧縮強度 σ_{ca} が増すと P_a は一次的に減ずる。また広範囲に注入して、 σ_{ca} が 10 kg/cm^2 になった場合には P_a は 12.5 kg/cm^2 となって、 σ_{ca} が更に大きくできるならば、 P_a を一定とすると R/a は図-2に示すように小さくてよいことがわかる。

3. スラグの硬化とグラウトの特性

この工法に用いるスラグは、高炉スラグを溶融状態から水で急冷固化した いわゆる水滓の微粉碎したもので、大部分がガラス質で結晶学的に不安定な状態のものであるから、簡単な剝戦物によって Ca イオンを流出し、いわゆる潜在水硬性によって凝結および硬化の反応を示す。一方水ガラスはアルカリ珪酸塩またはアルカリ珪酸塩と珪酸の混合物で、ガラス状の溶融物であり、水中で次のように加水分解していると考えられている。



水溶液中の珪酸は糸状に連なった親水性分子コロイドで、負に荷電していて、これに酸や無機塩を加えると珪酸を析出する。セメントと水ガラス混合物のゲル化はセメントから供給される消石灰が反応して起るものである。またスラグから溶出した Ca^{2+} と NaOH から解離した OH^- で $\text{Ca}(\text{OH})_2$ を生じ、 Na^+ と $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の剝戦によってスラグからシリカゲルやアルミナゲルを生じ硬化が促進される。この点が水硬性をもたない石粉やフライアッシュを混入した場合と異なる。図-3に示したように、このグラウトのゲルタイムはスラグ置換率を増すと長くなり、その時のグラウトの強度はスラグ60%位までは大きい値を示している。

4. むすび

スラグ粉末の利用によって、グラウトの強度を保持しながらゲルタイムを調節できることがわかったので、この結果を現場において注入圧力または注入量と連動して配合を調節し、最も効果的な注入が行えるように自動化されたシステムを開発したいと考えている。

文献

1) 北原; 青函トンネル調査工事報告, 土木学会誌 56巻4号, PP. 2-8, 1971

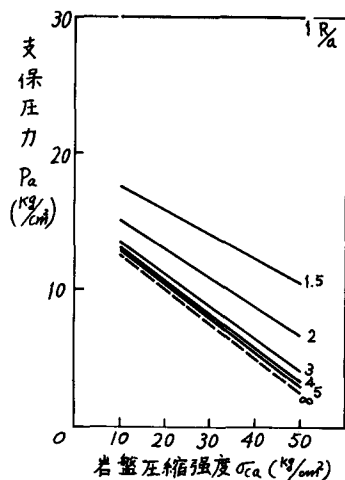


図-1 σ_{ca} と R/a および P_a

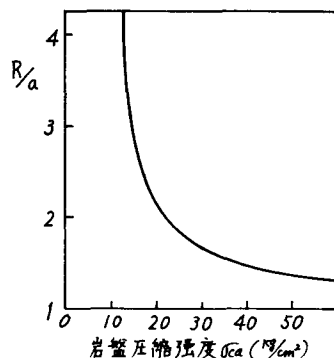


図-2 $P_a=125 \text{ kg/cm}^2$ に相当する R/a

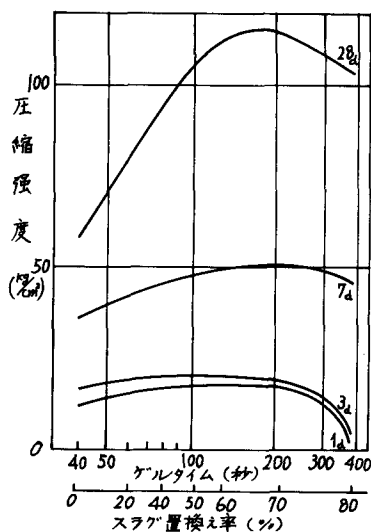


図-3 ゲルタイムと圧縮強度