

11. 気・液反応グラウト用混合機

三信建設工業(株)：*佐藤 武・工藤 公生

薬液注入工法は、1887年に水ガラスと塩化カルシウムによるヨーステン法がヨーロッパで発明されて以来、この百年間、建設工事において広く実用に供せられてきている。我が国では昭和30年代より実用が進んだが、特に地下水位が高く軟弱な地盤上に大都市が集中し、輸送網、上下水道網、通信網を完備するため絶え間ない建設を必要とし、その安全性、かつ迅速な施工のために、薬液注入工法は必要不可欠なものである。そして近年は厳しい公害規制と経済情勢の低迷から、効果のみならず安全性と経済性にも優れた技術の開発が要望されている。

炭酸ガスと水ガラスの反応による固結作用については、古くから鑄型の製造の際に使用する砂型の製造手段として、砂に水ガラスを浸み込ませてそれに炭酸ガスを送気する事により、砂を固化する方法で行われてきている。

水ガラスを使用し、その硬化剤として炭酸ガスを用いて砂を固化する手法は、見方を変えるとまさしく薬液注入工法による地盤改良と同じ考え方である。

又、水ガラスの固化は、水ガラス成分のアルカリ成分の中和によって起こるものであり、炭酸ガスはアルカリ排液等の処理システムの中で中和剤として使用されている。

これらのことから、炭酸ガスを硬化剤とする薬液注入材の開発が始まった。

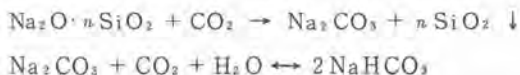
水ガラス系注入材の硬化剤として炭酸ガスを使用する利点は、大きく次のようなものがある。

- 1) 炭酸ガスは、他の硬化剤に比べ安価であり、経済的な工法である。
- 2) 炭酸ガスは、不純物が少なく（不純物は主として水分である）極めて安全性が高い。
- 3) 地中に未反応の炭酸ガスが残っても、固化した注入剤又は地下水に吸収されてしまい、硬化剤による地下への汚染がない。
- 4) 設備が簡単になる可能性をもっている。
- 5) 自動化、省力化が進む可能性がある。

炭酸ガスは、乾燥状態では一般に他の原素、化合物との化合、反応は不活性であるが、水溶液としてはそれが酸性を呈することにより多くの反応が行われる。

又、アルカリ性溶液には、非常に良く吸収、溶解される。

炭酸ガスと水ガラスの反応機構は、模式的に次のように表わされる。



酸化ナトリウムと二酸化炭素の比が炭酸ガスの中和作用により、ある限界値まで減ると、二酸化珪素（不溶性ゲル）が溶解の限界値に達し、析出（ゲル化）してくる。

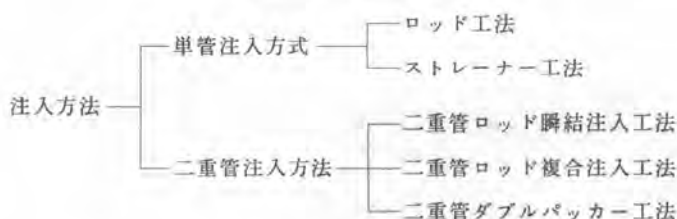
水ガラス系注入材の硬化剤として炭酸ガスを使用する場合の注入方法としては、次の4件が考えられる。

- 1) 水ガラスを地盤中に注入し、その後に炭酸ガスをふき込む。
- 2) 炭酸ガスを単体として送気し、ロッド先端にて混合する。
- 3) 炭酸ガスを水に溶解させ、炭酸水として送り、ロッド先端にて混合する。
- 4) 炭酸ガスと水ガラスを地上で反応させ、反応後に送る。

注入の確実性を考えると、1)の方法は満足な注入が十分にできるとはかぎらない。

水ガラスと炭酸ガスの反応を考えると、無機物質による単純な反応であるため反応速度は比較的速く起きると考えられ、ゲルタイムは瞬結型が適当であると考えられる。4)案についてはその点から調整が非常に困難である。3)、4)案については、プラントとして複雑になる可能性が大きく、又、送液時の炭酸ガスの分離、酸化などが考えられる。2)案については、フローの面で考えても単純であり、従来ある2重管ロッド瞬結注入工法を適用することにより可能である。

図-1 注入工法の分類



炭酸ガスの送気方法については、液化炭酸ガス充填容器の常温時の圧力が 60 kgf/cm^2 であるため、この圧力を利用している。つまり、注入時に送気のためのポンプ等を使用せず、ガスボンベ自体の持つ圧力によって送気を行うものである。

薬液の圧送については、従来では、主剤、硬化剤の2液を等量で送液するために、2連のプランジャーポンプを使用するのが最も一般的な方法であるが、この方法でも、硬化剤はガス体でボンベ自体の持つ圧力で送気するため、薬液を送液するポンプだけでよい。

以上の方法により、単に従来使用されている二重管ロッド瞬結注入工法のシステムにおいて注入を行うと、水ガラスを確実にゲル化させることはできない。その理由としては、次の2つが考えられる。

- 1) 硬化剤が気体であるため、いわゆる注入圧力の変動によって圧送されている炭酸ガス量に変化し、常に一定量の炭酸ガスを供給することが困難である。このため、注入圧が上昇した場合、供給される量が減少し、ゲル化が行われなくなってくる。
- 2) 炭酸ガスと水ガラスが接触する部分がロッド先端であるため、混合時間が短く、十分な反応が行われていない。

問題点の1)については「カーボコントローラー」が開発された。これは、炭酸ガスを、注入圧力の変動にもかかわらず一定量の流量で送気できる装置である。

図-2のような容器の接続を考えた場合、上流側の圧力を一定と考えた時、下流側の圧力 P^1 が一定の時の流量に対して P^1 を徐々に上昇させると、それとともない流量は減少していく。これが問題となる現象である。次に図-3のように先細ノズルと容器の接続を考えた場合は、上流側の圧力 P^0 が P^1 に対し十分に大きい場合、ガス流量は P^1 を徐々に上昇させていくと、ある圧力までは P^1 の変化に影響されず一定の流量を保った状態となる。この一定の流量を臨界流量という。又、臨界流量を保つ P^1 の最大圧力を臨界圧力という。この状態は、ノズル出口の流速が音速になり、下流側の圧力の変化の信号が上流に伝わらないために起こる現象である。

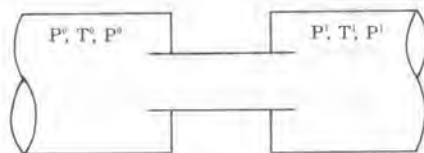


図-2

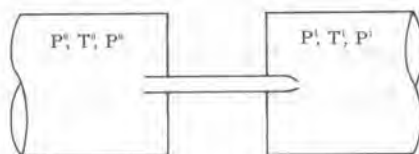


図-3

この現象を模式図で示すと、図-4 のようになる。この原理を応用することにより、「カーボコントローラー」システムが完成された。

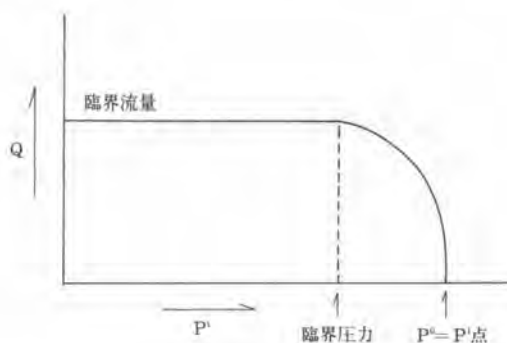


図-4

問題点2)については、反応効率を高めるために、邪魔板等を設けるなどの手法が考えられるが、この方法では経時とともにゲル物がスケールとして付着してゆき、邪魔板の効果が劣えていく等の問題がある。このため、ロッド先端部圧力混合室を設け、水ガラスと炭酸ガスの混合後の圧力と反応時間を十分に得られる特殊先端混合装置を開発した。

以上2点の開発が行われたことにより、数秒の時間で水ガラスをゲル化させることができる「カーボロック工法」として実用化が可能になった。

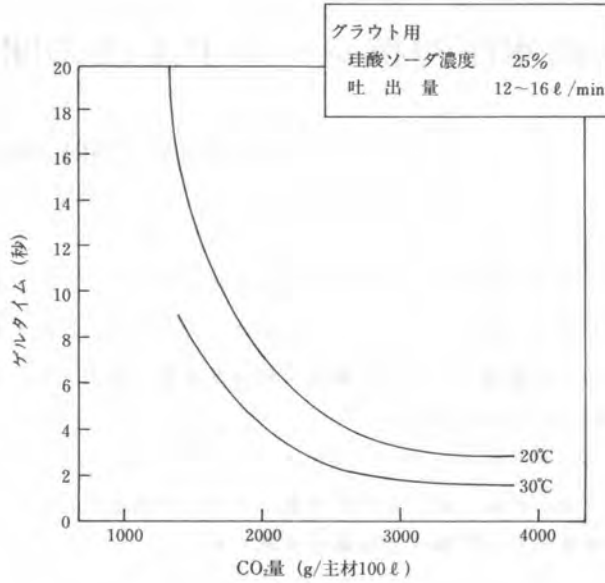


図-6 ゲルタイム

右の写真は、神奈川県下の下水道工事で、
φ1200の推進工事の時のものである。

当現場の地盤は地下水位が高く、土質はレキまじりの中砂層からなり、推進工事に際し山留鏡切りを実施するが、その際の応力開放、湧水に伴う土砂の崩壊の恐れが十分にあった。このため二重管瞬結工法によるカーボロック工法を使用し、鏡背面へ注入を行った。

その結果、鏡部は写真に示すように強固に固結され、無事に推進機の発進が行われた。

