

グラウトのコンシステンシー測定方法

樋 口 芳 朗*

1. 緒 言

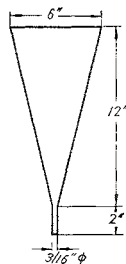
コンクリートのコンシステンシー測定方法についていろいろのものが考えられてきてはいるが、複雑な測定方法はたとえ原理的にすぐれていても結局現場で歓迎されず、簡易なスランプ試験が利用されているように、グラウトのコンシステンシー測定方法も一般的には簡易なロートによる測定方法に落ち着くのではないかと判断される。地盤注入、トンネル裏込めや軟弱路盤への注入、プレパクトコンクリート、プレストレストコンクリート導孔内への注入等、グラウトはいよいよ土木技術者にとって親しみのあるものとなってきたから、このグラウトのコンシステンシー測定方法についても、もつと関心が払われてよいと思われる。グラウトのコンシステンシー測定法の歴史を概観するにあたって筆者の推測をまじえた箇所のあること、筆者の主張を裏づけるためにはさらに広範な実験を必要とすること、等の理由から本文が必ずしも解説欄に値するものかどうか判らないが会員諸兄の卒直な御意見をいただければ幸いである。

2. 流動体のコンシステンシー測定方法の歴史

古来、流動体のコンシステンシー測定方法として行われてきたもののうちおもなものをあげると次のとおりである。

Funnel Viscosimeter として泥水などの粘性を測るために用いられているのはマーシュのロートと呼ばれるものであり、図-1 に示すような寸法とされている。米国石油協会では、このロートに 1500 cc の泥水を入れ、このうち 946 cc (1 クォート) が流出する時間 (流過時間、簡単にはフロータイムと呼ぶのが便利であろう。単にフローと呼ぶのは、ひろがりの長さで表わしたセメント試験のフローと混同してよくないと思われる) を測定している。従来わが国では、このロートに対して 500 cc の泥水を入れこれが全部出る時間、あるいは 1500 cc 入れて 1000 cc 出る時間が測定されていた。

図-1 マーシュのロート



プレパクト コンクリート社では周知のように図-2 のようなロートを用いており、これに 1725 cc のグラウ

トを入れ、フロータイム 16~22 秒のものが注入に適しているとしている (このロートをフローコーンと呼ぶのも混同しやすい点で適当とは思われない。第一この測定器の形は cone でなく funnel, ロートである)。

米国鉄道の軟弱路盤に対する注入実施にあたってはやはり最適の配合を定めるためにコンシステンシーを測る必要にせまられたようで、容量 3620 cc, 内径 1/2" の流出管を有するロートをえらんで実験を行なつたようであるが、実際にはあまり用いられなかつたらしい。

ドイツでは以前容量 1 l のロートから流過する時間でコンシステンシーを測つたこともあるようであるが (寸法などの詳細は不明), DIN 53211 には図-3 のようなロート状の小さい容器を規定し、この中に満たしたグラウトが 1 秒間に何 cc 流出するかということからコンシステンシーを定めようとしたこともある。ちよつと考えてみてもこのような面倒な測定方法が長続きするとも考えられないし、事実グラウトの測定方法としてはたちまち姿を消したようである。この存在意義は米国の測定方式と大巾に異なっているという点にしか見出すことができない。レオンハルトは径 5 mm の管を 30 有する長さ 500 mm の流過装置を提案し、一定圧のもとにある量のグラウトが流過する時間を測つた。この装置を用いるとより鋭敏な測定を行うことができるが清掃するのが面倒である。現在は Otto Graf 研究所でさらに研究した結果案出された沈下試験器(図-4)がプレストレストコンクリート導孔用グラウトのコンシステンシー測定用に用いられている。この装置においては、一定量のグラウトが、500 mm 沈下す

図-2 プレパクトコンクリート社のロート

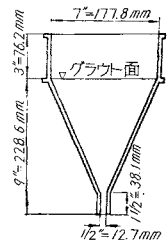


図-3 DIN 53211 のロート

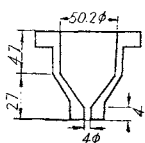
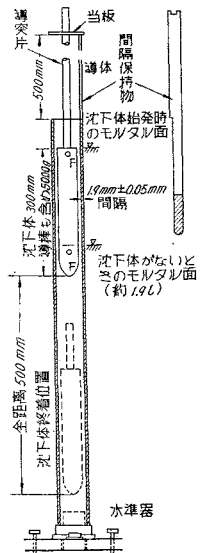


図-4 Graf の沈下試験器



*正員 国鉄鉄道技術研究所主任研究員, 構造物研究室

る所の重さ 500 g で直径 58.2 mm の沈下ピストンによつて 1.9 mm の輪状空間を通して圧出される。たしかにこのことによつてせまく長い導孔を通してグラウトが流れるのと似た状態をつくることができる。

フランス*のエルミットは容量 1 l のガラスのロートを用い、これにグラウトを満し、そのうちの 500 cc が流出する時間を測定しコンシステンシーを測っている。さらに進んでこの装置に内径 20 mm の管をつけ、この管の傾斜を任意に変えることができるようにしたのちグラウトをロートに入れ、この上面を常に一定に保ちながらグラウトを流出させ、管の傾斜と流過速度との関係、とくにどの傾斜のときにグラウトが流れ出すかを測つた。エルミットの装置の詳細はわからないが、あるグラウトが摩擦抵抗に対して動き出そうとするときの最小圧力を測定できる点に特長を持つているものと思われる。

ソ連の BP 工法では 図-5 のようなロートを用いており、0.9 l のグラウト量の 1/3 が流出する時間を 8.5~9.5 秒でなければならないとしている (BP 工法で用いている細骨材の粒度は荒目であるが流出管の内径を 10 mm としていることに注意されたい)。ソ連の新しい工法である BH 工法では 図-6 のようなロートを用い、容量 1 l のメスシリンダーと組合わせて用いている。ロートには目盛りをしており、1/3 のグラウトが流出する時間でコンシステンシーを測っている。

回転運動に対するねじり抵抗を利用する方法も、スターマー粘度計など種々のものがあり、油脂などの粘性を求めるのに利用されている。グラウトに対して応用した例も米国陸軍省技術団の報告、フランスの論文その他に見られるし、実験室で連続的にグラウトの粘性の変化を見るには適していると思われるが、現場で用いるには不適と思われる。

以上にあげたもののほか、土質力学のせん断試験に類似した方法が試みられたこともあるし、筆者は有孔物体の沈下時間からグラウトのコンシステンシーを測ろうと試みつつある。またグラウトのひろがりによつてそのコンシステンシーを測る方法もあるようであるが、これらについてはとくに触れないことにする。

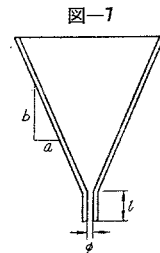
3. 標準試験方法制定にあつて検討すべき点

* 一応脱稿したのちフランスには Bachy のロートなるものがあり、流出管の径を 8~13 mm と変えグラウト 820 cc が流出する時間を測つていることを知つた。この種のロートは調べればもつと沢山あると思われる。

すでに御紹介したドイツの沈下試験器は、グラウトが 1.9 mm というせまい間げきを圧出されるときの抵抗が主体となつて測定値に表われてくるので、感度も鋭敏であるし、実際にグラウトが注入される状態を再現するという点ですぐれた方法であることは確かである。しかしロートを用いる場合に比べて測定が複雑なこと、測定を 3 回くり返し、2 回目と 3 回目の試験から求めた沈下時間の平均値をもつて測定値としているため測定に要する時間が長いこと (1 回目の試験値はややかけはなれた値を示す)、砂をふくむグラウトに対して適用することに疑問のあること、沈下試験器のもつ鋭敏な感度は必ずしも必要でないと思われること、等の諸点を考えると一般的なグラウトのコンシステンシー測定器として沈下試験器が適当であるとは思われぬ。従来よく用いられてきたロートの寸法を検討し、現場での使い方に工夫すれば十分役に立つものと判断される。流出管の径を小さくすることによつてグラウトの粘性をよりよく反映させるようにすること、グラウトの一定量が流過する時間を測定することにして粘性の大きいグラウトのコンシステンシーも測れるようにすること、ロート中に残留したグラウトの量からもグラウトの粘性や注入の難易等についての判断を下すこと等について具体的に検討すればよいと思われる。

4. 行なつた実験の概要**

ロートの寸法を次表のようにし(図-7 参照)、種々のグラウトを用いて実験を行なつた。



ϕ (mm)	12	9	10	11	12	13	12	12	12	12	8	8	8	4	4	4
b/a	24/9	20/9	20/9	20/9	20/9	20/9	18/9	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1
l (mm)	40	40	40	40	40	40	40	10	30	50	10	30	50	10	30	50
材 質	鉄	鉄	鉄	鉄	鉄	鉄	鉄	ガラス	ガラス	ガラス	ガラス	ガラス	ガラス	ガラス	ガラス	ガラス

鉄製ロートを用いて行なつた実験結果から代表的なものを示すと 図-8, 9, 10 のとおりである。

図-8, 9 は 20/9 ϕ 9, 10, 11, 12, 13 のロートとプレパクト社のロートを用い、砂の最大粒を 1.2 mm (FM = 2.13) として行なつた試験結果が示してある。ただしセメントは A 社の普通ポルトランドセメント、フライアッシュは B 社、砂は川砂を用い、分散剤としてはポゾリ

** 鉄道技術研究所速報 No. 59-222 昭 34.7

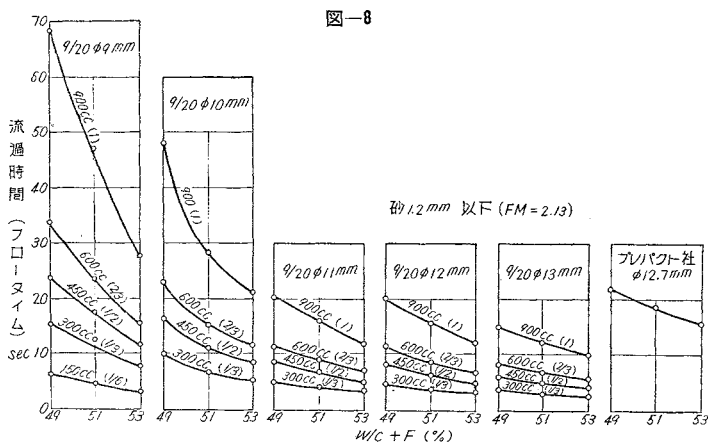


図-8

結論は次のとおりである。すなわち、流出管の内径が小さくなるほどグラウトの粘性の変化を鋭敏に反映することは前の場合と変らなかつたが、流速は流出管の内径が9mmのとき最初の方が小さいという奇妙な現象を生じた(このことは砂の最大粒を5mmとした場合はもつと顕著に見受けられた)。これは砂の大きい粒が分離を起こしロートの下部において流出抵抗の大きい部分を形成したからではないかと思われ、見方によってはグラウトが注入に適するかどうかを判定する一資料を提供しているといえる。

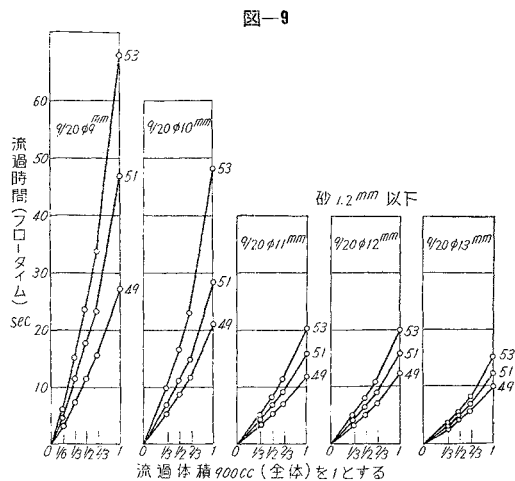


図-9

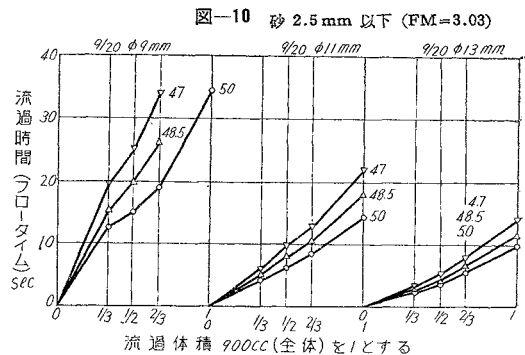


図-10 砂 2.5mm 以下 (FM=3.03)

ス No. 8 を $(C+F) \times 0.25\%$ 用いた。配合は $C:F:S=3:1:4$ とし $w/c+F$ を変化させて、グラウトのコンシステンシーがプレパクト社のロートで大体 16~22 秒の範囲にあるよう 3 種の水量をとつた。

この実験結果から得られるおもな結論は次のとおりである。すなわち、流出管の内径が小さくなるほどグラウトの粘性の変化を鋭敏に反映すること、流速は最初大きくだんだん小さくなること、流過時間はプレパクト社のロートを用いた場合と比較して、内径 9mm で 600cc (2/3) 流過する時間は粘性の大きいとき相当大きく、粘性の小さいときはほぼ同じ値を示すこと、内径 9mm で 450cc (1/2) 流過する時間は粘性の大きいときほぼ同じ値を示し、粘性の小さいとき相当小さい値を示すこと等である。

図-10 は 20/9φ9, 11, 13 とプレパクト社のロートを用い、砂の最大粒を 2.5mm (FM=3.03) として行なつた試験結果を示してある。材料、試験方法等は前に述べたものと同様にした。この実験結果から得られるおもな

5. 結 言

その他いろいろ行なつた実験結果を総合すると、2.5mm をこえる粗粒グラウトの場合を除き、流出管の内径を 9~11mm として流過体積が 1/2~2/3 のときの流過時間を測るのがグラウトの粘性を適当に反映するし、また注入可能な範囲で粘性が大きく全量が流過しないグラウトのコンシステンシーを測るのにも適当であること、流出管の長さはあまり短かいと流過状態が不安定になるし、あまり長すぎるとグラウトの粘性の変化を鋭敏に反映はするが清掃に困難を覚えるので 40mm 程度とするのが適当と思われること、ロートの傾斜はゆるやかなほどヘッドの変化が小さいわけであるが、あまり重要な問題とは思われず、2 程度にしておけばよいと思われること、グラウトの採取量は 900~1000cc 程度でも一応十分と思われること、等の結論を下せると思われた。

無理をしてまで外国のまねから遠ざかろうと努めることが常にそうあるべきことであるとは筆者も思わない。しかしすべてのものがメートル制に切りかえられた今日グラウトのコンシステンシーを測るロートの寸法だけをインチシステムのまま放置することはいささかきびしいことであり、できるだけ早くロートの標準寸法を制定すべきであると思われる。