

# 論文 地下連続壁トレミーの圧力測定

岡田武二\*1・近藤 睦\*2・永島三雄\*3・平井孝典\*4

要旨 深度が地表面から-120mにも達する大深度地下連続壁をトレミー工法によって施工したが、1部のエレメントのコンクリート打設でトレミー内における閉塞現象が発生した。大深度地下連続壁の施工を円滑に行うためにも、トレミー閉塞の原因を解明するためにトレミーの圧力測定を実施した。本論文では、これら現場計測で得られた実測データに基づいて、高強度高流動コンクリートのトレミー内の流動時圧力分布の算定方法と脱水ろ過現象を誘起する圧力差について考察し、トレミー閉塞の可能性を論じた。

キーワード：地下連続壁、トレミー、閉塞、高強度高流動コンクリート、圧力分布

## 1. はじめに

LNG地下タンクの仮設山留め壁として使用する大深度地下連続壁（深度120m）の施工をスランプフロー60～70cmの高強度高流動コンクリートを用いてトレミー工法によって施工したが、1部のエレメントのコンクリート打設でトレミー内における閉塞現象が発生した。今後の大深度地下連続壁の施工を円滑に行うためにも、トレミー閉塞の機構（以下、メカニズムと称す）を解明することが必要である。地下連続壁のコンクリート打設は、トレミーで流動性の高いコンクリートを自重により圧入し、溝壁内安定液と置換するものである。トレミー内流動時におけるコンクリートは、一般に行われているコンクリートポンプ圧送と同様な流動状況となるものと考えられる。コンクリートポンプ圧送の場合、配管内におけるコンクリートの閉塞を生ずる原因としては、材料の分離および骨材相互のアーチング現象が考えられている。本工事の施工状況から推察するとトレミー内閉塞のメカニズムは、材料分離により配合の変化した部位が移動し、さらにトレミー内の圧力分布の変化に伴う管行き方向に生ずる水の分離が生じ、脱水固化した状態となり閉塞するものと想定された。

そこで、閉塞の原因を解明するために現場におけるトレミー内の圧力測定を実施した。本論文は、この現場計測で得られた実測データに基づいて、高強度高流動コンクリートのトレミー内流動時の圧力分布の算定方法と配合変化部位の圧力差について考察し、トレミー閉塞の可能性を論じたものである。

## 2. トレミー閉塞現象

閉塞現象はコンクリートを順調に投入中に突発的に生じ、トレミー内のコンクリート高さが急激に増加する。コンクリートの投入を中断してトレミーを引き上げてほとんどの場合コンクリートの固化部分が移動しない状態で存在した。その位置は地表面から-65～-105mの間に生じ

\*1 清水建設（株）技術研究所 部長、工博（正会員）

\*2 中部電力（株）浜岡原子力総合事務所

\*3 知多LNG地下式貯槽土木

清水・大林・鹿島・大成共同企業体 所長

\*4 清水建設（株）土木東京支店技術部 グループ長

ており、これらの内、地表面から-80m前後の深さに位置している固化部分が約半数であった。固化部分の長さは1~3mほどであり、その上部のコンクリートは正常なものと判断出来た。固化部分のコンクリートはスランプ0~15cm程度の硬さで様々であるが、その最下部には脱水された非常に硬いコンクリート層が生じているものが多かった。

本工事の地下連続壁に使用した高強度高流動コンクリートの設計基準強度は $370\text{kgf/cm}^2$ 、空気量は $2\pm 1\%$ 、スランプフローは $65\pm 5\text{cm}$ である。多量の連続打設となることから5箇所のレディミクストコンクリート工場（以下、プラントと称する）から供給した。代表的な例として、Oプラントで使用した材料および配合を表-1および表-2に示す。

トレミーが閉塞した時に、トレミーを引き上げながら閉塞箇所の上部トレミーのジョイント位置から採取したコンクリートの洗い分析試験の結果から粗骨材体積濃度を求めると約28~47Vol.%の範囲であった。平均値は38.7Vol.%（標準偏差は6.54Vol.%）であり、プラントの配合から粗骨材の比重を2.64として粗骨材体積濃度（Vol.%）を求めた36.7Vol.%とほぼ一致した。

脱水固化現象は粗骨材体積濃度が約41~47Vol.%程度の大きい部位で認められた。さらに、トレミー内コンクリートの落下高さが60m程度の場合に、コンクリートの投入量を約 $50\text{m}^3/\text{hr}$ 以下で打設する時には、粗骨材体積濃度が約41~47Vol.%程度の大きい部位が部分的に生じることが明らかとなり、この配合変化部位がトレミー内を下方へ移動する間に脱水ろ過現象が進行して閉塞に至ることが推察された。

### 3. トレミーにおける圧力分布の算定式

流動時におけるトレミー内の圧力分布は、コンクリートをポンプ圧送する場合で言えば高落差のある低い所へ圧送する特殊な条件下の場合となる。通常のポンプ圧送の圧力分布は圧送口で最大であり、先端部近傍では圧力が零となる。一方トレミーの圧力分布は投入口で圧力が零であり、先端部近傍でトレミー外の安定液圧力が保持されるものと考えられる。

図-1は地表面からの深さ119mの大深度地下連続壁の下部5mにコンクリートを打設した時の圧力状態の例を示している。トレミーの先端には、すでに圧入したコンクリートの圧力 $p_c = 1.2\text{kgf/cm}^2$ と安定液の圧力 $p_s = 12.4\text{kgf/cm}^2$ との和の $13.6\text{kgf/cm}^2$ の圧力が作用している。コンクリートの投入を中断すると、安定液の最下端からの高さ（以下、釣合い高さ $l_0$ と称する）約52mでコンクリートは静止するものと考えられる。さらに、コンクリートの投入を再開すると釣合い高さの上部にコンクリートが積み上がり、投入流量に見合ったコンクリート増加高さ $l_c$  mを保持しながら流動する。この $l_c$  mのコンクリートによる自重圧力が釣合い高さの位置に増加圧力として作用することになる。しかし実際には、コンクリートの流動によるすべり抵抗が作用するので圧力損失が生じ、圧力は点線のように低減するものと思われる。この低減割合は、コンクリートの使用材料、配合、トレミー径、投入量などによって変化する。

トレミー内におけるコンクリートの閉塞メカニズムを解明するためには、コンクリートのトレミー内の流動時の圧力分布を定量的に検討する必要がある。

ベルヌーイの定理のエネルギー保存則における水頭和は式(1)で表わせる。また、コンクリートの損失水頭 $h_e$ は式(2)で表わせる。式(2)を式(1)に代入して、両辺を $x$ で積分すると式(3)が得られる。図-1に示すように、圧力状態を $P_1$ 点を高さの基準点( $x=0$ )とし、 $P_2$ 点を安定液高さ $l_s$ の位置( $x=l_c+l_0$ )とすれば、 $p_1=0\text{kgf/cm}^2$ であり、 $P_1$ 点より $x$  m下の圧力 $p_x$ は、式(4)で算定出来る。また、 $P_2$ 点の圧力 $p_2$ は式(3)に $p_1=0$ 、 $x=l_c+l_0$ を代入して、式(5)で算