地下連続壁におけるコンクリート側圧の測定

Lateral Presurre of Fresh Concrete in Diaphragm Wall

土橋 吉輝* 平野 舜一** Yoshiteru Dobashi Shunichi Hirano 大原 直* 平田 篤夫* Tadashi Ohara Atsuo Hirata

要 約

型枠の設計に用いるコンクリート側圧の算定は従来土木学会等の式で行われたが,地下 連続壁のようにコンクリート打設にトレミ工法を用いる場合は異なった性状を示すと考え られ,不明な点が多かった。

しかし,今回の実工事における測定により,ある程度定性的な傾向を把握することができた。すなわち,側圧はトレミ管から流出するコンクリートの流動圧の影響を多大に受け,その液体圧との比は最大1.72であった。

- 目 次
 - §1. はじめに
- §2. 測定方法
- §3. 測定結果
- §4. 考察
- §5. あとがき
- §1. はじめに

地下連続壁の施工において,継手部にインターロッキ ングパイプに代えて仕切材を用いる場合(本体利用や大 深度の場合),コンクリート打設時のコンクリート側圧の 評価が必要となる。

現在,型枠の設計に用いるコンクリート側圧の算定式 には土木学会⁽¹⁾,建築学会⁽²⁾などのものがあるが,これら は比較的コンクリートの打上がり高さが低く,スランプ の小さいものを対象としている。

地下連続壁の場合,打上がり高さが数 10m に達する ものが一般的である。また,通常スランプの大きいコン クリートをトレミ管で打設するが,その打上がり速度は かなり大きい。従って,地下連続壁のコンクリート側圧 の評価に土木学会等の式をそのまま適用することには問 題があると思われるが,これに関する研究⁽³⁾が少ないの が現状であり,データの蓄積が望まれていた。

幸いにも,東京電力株式会社発注の城東上野幹線第四

工区シールド立坑工事において,地下連続壁におけるコ ンクリート側圧の測定を行う機会を得たので,以下に考 察を加えてその測定結果を報告する。また,測定結果だ けであるがコンクリート打設後の温度上昇についても併 せて報告する。

なお,測定対象とした地下連続壁の規模は壁厚90cm, 深さ 44m, エレメント長 10m である。

§2. 測定方法

2-1 測定用機器

測定用センサの配置を Fig.1 に示す。なお,使用した 計器類は次のとおりである。

土庄計 BE-5KF, BE-10KF

温度計 BT-100B

測定器 UCAM-8BL, USB-50A

土圧計の取付方法を Fig.2 に示す。E1~E9 は静止圧 の測定を対象とし,E10,E11 は主働圧を対象とする。

2-2 測定

測定は自動計測で行い,打設開始から打設終了まで データのサンプリング間隔は標準10分とし,必要がある 場合は任意にデータを抽出した。

打設終了後は温度測定を主とするため3時間間隔とし、 打設終了後3日間連続測定した。

なお,コンクリート側圧の測定は泥水圧(安定液圧) 測定後,イニシャライズした状態からスタートした。

打設中のコンクリート天端の測定は検尺(界面計と検 尺テープを併用)と温度計によって行った。

^{*}技術研究部土木技術課

^{**}横浜(支)大和技研(出)副所長



Fig.1 土圧計及び温度計配置図 Arrangement of earth pressure cells and thermo-couples



Fig.2 土圧計取付方法 Installation of earth pressure cell

2-3 コンクリートの打設

コンクリートの打設形状は Fig.1 に示すとおりであ り、GL-13.5m までは3本のトレミ管を用い、それ以後 は1本のトレミ管で打設した。

打設は昭和57年7月2日に行い,約8時間を要した。 時間当りの打設量はコンクリート側圧に与える打上がり 速度の影響を調べる目的で平均5.4m³/h~平均100. 8m³/h (3m/h~11.2m/h)の範囲で3段階に変化させ た。

打設中のコンクリート天端は測定の目的から言えば、 できるだけ水平であることが望ましいが、エレメント長 が 10m と長く、トレミ管が 3本であるため、多小の凹凸 は避けられなかった。

Table1	コンクリート配合表					
	Mix proportion of concrete					

セメント (kg/㎡)	ז <i>י</i> ג (kg/m²)	細骨材 (kg/m³)		細骨材 粗骨材 (kg/m ³) (kg/m ³)		混和材 (g/㎡)
370	163	738		1,038		1,480
水セメント比	44.0%	細骨		材率		41.7%

但し,粗骨材最大寸法は25mm,混和材はプラストクリートを使 用。

使用したコンクリートの配合を Table 1 に示す。な お, スランプは18cm であり, 混和材にはプラストクリー トを使用した。

§3. 測定結果

3-1 泥水圧

泥水圧の測定結果を Fig.3 に示す。この結果, 泥水の 比重は1.12であり, 泥水管理試験結果と一致している。 また, この結果からは深さ方向のばらつきはほとんどみ られない。







Fig.4 打上がり速度 Concreting speed at each depth

3-2 打上がり速度

コンクリートの打上がり速度を Fig.4 に示す。図中, ▲は温度計による測定結果であり、○は検尺によるもの である。

温度計による測定は泥水温度とコンクリート温度の差 (2~3℃)を利用したものであり、検尺は3測点の値 を単純平均したものである。Fig.4 に示すとおり両者の 測定結果はよく一致している。

この結果,打上がり速度は平均すると次のように整理 される。

GL-44.0m~GL-30.0m	R = 8.7 m/h		
GL-30.0m~GL-13.5m	R=11.2m/h		
GL-13.5m~GL-1.4m	R=3.0m/h		
R:	R:打上がり速度		

3-3 コンクリート側庄

コンクリート側圧の測定結果を Fig.5 に示す。これは 各測点がコンクリートをかぶってから側圧がピーク(最 大側圧)に達するまでの測定値をプロットしたものであ る。なお、コンクリート側圧は泥水圧測定後、イニシャ ライズして測定を開始したので、当然この結果には泥水 圧は含まれておらず、泥水中の増加圧のみである。泥水 中の仕切材の設計時に対象となるのはこの増加圧である。



Fig.5 各測点におけるコンクリート側圧の記録 Lateral pressure of fresh concrete at each pressure cell

従って、本文では以後この増加圧をコンクリート側圧と いう。

また、後に用いるコンクリートを液体と見なしたとき のコンクリート側圧(以下、単に「液体圧」という)の 計算には、コンクリートの見かけの単位体積重量 y=1. 18tf/m³{11.6kN/m³}(コンクリートの見かけの単位体 積重量 2.3tf/m³{22.5kN/m³}から泥水の単位体積重量 1.12tf/m³{10.9kN/m³}を差し引いた値)を用いる。 3-4 コンクリート温度

コンクリート打設後の各時刻におけるコンクリート温 度の測定結果を Fig.6 に示す。この結果についてはここ では考察を加えないが、前回の測定⁽⁴⁾に比べ最高上昇温 度が深さ方向にかなり差があることは興味深い。

§4.考察

コンクリート側圧に影響する主要因は打上がり速度, 温度,単位体積重量などが考えられる。泥水中のコンク リート側圧の場合,これらに加えてトレミ管の先端位置 やコンクリートの凝結時間などが主要因になると考えら れる。しかし,これらの要因が複雑に組み合わさって側 圧に影響を及ぼすため,ひとつの要因を抽出して,定量 的な評価を与えることは困難である。従って,ここでは 測定値を個々の要因ごとに整理して,それぞれについて 考察を加えることにする。

Fig.7 は測点1~6のコンクリート側圧と打上がり高



Fig.6 コンクリート打設後の各測点の温度の経時変化 Fresh concrete temperature change with the passage of time



Fig.7 コンクリート側圧と打上がり高さの関係 Reration between laeral pressure and concrete height

さの関係を示したものであり、各測点をコンクリートが 通過してから側圧が最大になるまでをプロットしている。

この図から、打上がり速度が側圧に与える影響を考え てみる。各測点の打上がり速度は E1~E3 が R=8.7m/ hであり、E4~E6 が R=11.2m/h である。打上がり高 さが 5m 程度までは、打上がり速度が大きい方が側圧が 大きくなる傾向を示すが、その差は小さく、この結果だ けでは必ずしも打上がり速度の影響があるとは言えない。 各測点における最大側王についても同様である。これは 比較する速度の差が小さいことと打上がり高さが増すに つれてトレミ管の水頭差が小さくなること(コンクリー トの流動圧が小さくなる)によると思われる。

Fig.5 において、E7~E9 は R=3.0m/h である。これ らと E1~E6 を比較すると明らかに打上がり速度の影響が認められる。しかし、地下連続壁の場合、水平断面 積にもよるが一般に打上がり速度は大きく、R=3.0m/h の結果はほとんど対象外と考えられ、むしろ、速度がさ らに大きい場合の影響が問題となろう。しかし、この測 定結果だけではこの影響を推定しえない。

次に、コンクリートを液体と見なしたときの液体圧と 実測値の関係をみると、打上がり高さ7m程度まで実測 値が液体圧を上廻る傾向にある。これはトレミ管から流 出するコンクリートの流動圧の影響によるものであり、 流動圧はトレミ管先端位置と測点の距離、トレミ管内の 水頭差、トレミ管本数・配置及び地下連続壁の水平断面 寸法などにより異なると考えられる。

この液体圧と実測値の比 α (側圧増加係数) を Fig.8 に示す。測点によってかなりばらつきが見られるが,打 上がり高さ3m前後で α は最大を示し,その最大値は α_{max} =1.72である。なお、トレミ管の先端位置はコンク リート天端から下方約1.5m~5.0mの範囲にある。Fig. 7 あるいは Fig.8 の結果から、最大側圧に関する限り α =1.0としてよいと考えられる。すなわち、打上り高さ H=10.0mの場合で α =1.0とするとコンクリート側圧 は p=1.0× γ ×10.0=10 γ (tf/m²)となり、これは H= 3.0m、 α =1.72のときのコンクリート側圧 p=1.72× γ ×3.0=5.16 γ (tf/m²)より大きい。従って仕切材の設計 には H=10.0m、 α =1.0として求めたコンクリート側









圧を用いてよい。但し、これは最大側圧が打上がり高さ 10m以上で発生するとした場合で、10m以下の場合は適 用できなく α>1.0とする必要がある。

側圧の分布形状を問題とする場合はαを定量的に把 握する必要があるが、これを行うにはさらに多くのデー タが必要である。すなわち、流動圧は前述のように多く の要因に影響される。

今回の測定から得たコンクリート側圧の分布形状を Fig.9 に示す。図中,破線は各打上がり高さにおける液体 圧を示す。この図では、側圧の分布形状は各打上がり高 さにおける側圧が最大を示すまで三角形分布を示すと受 取れるが、これは各測点の間隔が大きいにもかかわらず 直線で結んだことによるもので、現実には Fig.8 に示し た結果から割増しが必要であり、上方にはらんだ形状を 示すと考えられる。

Fig.7 に示すように、側圧が最大になるのは打上がり 高さに注目すると H=10m 前後であるが、これを経過 時間の点からみてみる。

コンクリート側圧の経時変化を Fig.10 に示す。これ はコンクリートが各測点を通過してから側圧が最大を示 すまでをプロットしたものである。また、これに対応す るコンクリート温度の経時変化を Fig.11 に示す。この 結果から、最大側圧が生じる時間は各測点をコンクリー トが通過してから40~80分後であり、打上がり速度の大 きい E4~E6の方が打上がり速度の小さい E1~E3 に 比して早く最大側圧が生じていることが読み取れる。

これは2つの原因によると考えられる。すなわち,第 1は E4~E6 は打上がり速度が大で,コンクリートが早



Fig.10 コンクリート側圧の経時変化(E1~E6) Lateral pressure change with the passage of time



Fig.11 各測点におけるコンクリート通過後の温度変化 Temperature change of thermo-couple after covered with fresh concrete at each point

く上昇するため、トレミ管先端と測点の距離が大きくな ること及び深度が浅くなるためトレミ管内の水頭差が小 さくなることで流動圧の影響が小さくなることによる。 第2は先打ちしたコンクリートの水和熱により凝結時間 が早められることによると考えられる。しかし、Fig.11 から E1~E3 と E4~E6 の温度差は約0.5℃であるため、 各測点の凝結時間を測定していないので結論づけ難いが、 第2の影響は少ないと考えられ、この場合、第1の影響 が支配的であると考えられる。

仕切材の設計に用いる側圧は静止圧でよいと考えられ るが,現実には変位が生じるから,側圧は静止圧から主 働圧に変化する。参考のために静止圧と主働圧を比較し たものを Fig.12 に示す。



Fig.12 コンクリート内圧と壁面圧の比較 Comparison between static pressure and active pressure of fresh concrete

§5. あとがき

地下連続壁におけるコンクリート側王を定量的に評価 するにはさらに多くのデータを要するが,今回の測定結 果から得られたことを以下に整理して示す。

- (1) 最大側圧は打上がり高さ 10m 前後で生じ,ほぼ液体圧を示す。
- (2) 側王の分布形状は必ずしも三角形分布とならず、かなり、流動圧の影響を受ける。従って、トレミ管の先端位置が問題となる。
- (3) 打上がり速度が大きい場合,最大側圧に対する打上 がり速度の影響はほとんどなかった。
- (4) 最大側圧に達するまでの間は水和熱によるコンクリートの温度上昇はほとんどみられない。

最後に、本測定に御理解・御協力頂いた東京電力株式 会社及び東電花畑出張所の皆様に感謝の意を表するとと もに、この報告が仕切材の設計に少しでも参考になれば 幸いと存じます。

参考文献

- (1) 土木学会「コンクリート標準示方書」
- (2) 建築学会「建築工事標準仕様書, JASS 5, 鉄筋コン クリート工事」
- (3) OCW 特別研究グループ「OCW 特別研究 XI トレ
 ミ管で打設したコンクリートの側圧」(構奥村組技術研 究年報 No.5, 1979.8
- (4) 土橋,平野,萩谷「地下連続壁におけるコンクリートの温度上昇について」土木学会第37回年次講演会 1982.10