

III-B 211 薄い地中連続壁を用いた円筒土留の掘削安定性

大林組土木技術本部	正会員	白砂 健
東京ガスエンジニアリング設計部	正会員	高橋 行茂
東京ガス生産技術部	正会員	中野 正文
大林組土木本部	正会員	喜多 平明

1. はじめに

円筒形に地中連続壁（以下連壁と呼ぶ）を構築して内部を掘削する工法は、地盤の乱れを最少限に抑え、コンクリートの圧縮強度を利用する構造特性、そして無支保土留としての優れた施工性など合理的な土留工法である。LNG地下タンク建設において、薄い連壁を用いた円筒土留を採用し無事内部掘削を完了することが出来た。未経験の薄型連壁円筒土留において、掘削時安定性を評価すべく種々な検討を行ない現場での観察を踏まえて報告し、考察を加えたい。

2. 薄型連壁による大規模円筒土留

大深度、大口径円筒土留は、当初内側壁をあらかじめ施工する逆巻工法が多用されたが、今では一括掘削を行なうことが主流となっている。これは連壁施工技術における信頼性の飛躍的な発展と安定性評価の地道な努力に支えられている。8万kl容量のLNG地下タンク建設において、径約66m、深さ約31mの一括掘削を厚さ0.8mの連壁円筒土留によって完成した。この掘削規模としては連壁厚さが極めて薄いと認識であり、連壁円筒土留工法の新しい領域であった。土層構成と連壁形状を図-2に示す。内部掘削は沖積層砂層が主で下部は軟岩である。深さ65m程に未固結礫層があり、内部掘削時の盤ぶくれ対策のため止水壁として73mの深さの連壁を施工した。連壁は3ガット先行22パネル、1ガット後行22パネルの計44パネル、88多角形である。パネル間はカッティングジョイントを使用し、円形に近ずけるためテーパカッティングを採用した。コンクリート設計基準強度 450kgf/cm^2 、厚さ80cmで44枚の短冊が、コーピングを除いて横のつながりなしで掘削荷重に対抗した。

3. 土留壁の挙動

計測結果を図-4～図-6に示す。掘削深さが14mに達した段階でディープウェルにより外水位を約5m低下させた。これらの計測結果は、過去に観測された円筒土留壁の挙動と同様なものであり、連壁が薄いことによる特異な現象は観測されていない。当初推定された断面力と変位量よりも観測された値は小さく、安全側に推移していた。各図に示す様に、掘削時の作用荷重を低減することにより観測値をほぼ説明出来ることから、実際にも荷重が小さかったであろうと考えられる。円筒土留壁は円周方向軸力 $N\theta$ を連壁コンクリートが負担することによりその構造安定性が保たれるものであるが、観測結果には

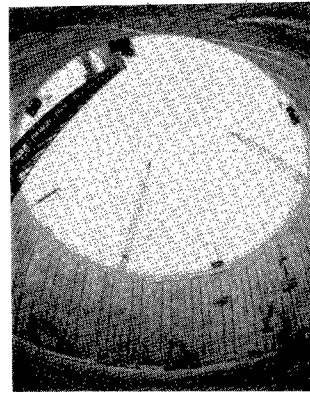


図-1 連壁円筒土留による掘削状況

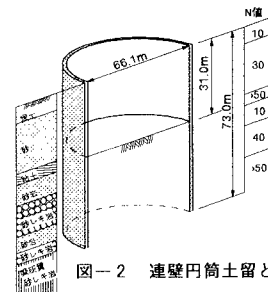


図-2 連壁円筒土留と土層

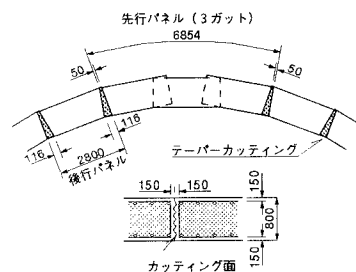


図-3 連壁パネル形状とカッティングジョイント

軸力の他に常に曲げモーメント M_θ が含まれている。今回も図-6に示す局所的 M_θ の発生が観測されている。全般的に見て、発生断面力が推定されたよりも小さく、線形範囲の挙動で収まったことは、薄い連壁であったにもかかわらず従来の経験と同様の挙動であることを意味する。極めて高い品質の連壁が施工されたこと、土質条件が有利であったことなどが結果的に大きな寄与であったことは明らかであるが、設計技術的には円筒土留連壁薄型化に資するべき課題が残った。

4. 円筒土留の設計技術的考察

大規模円筒土留の設計は、壁体を円筒シェルとして土圧、水压を軸対称に、偏土圧や地震時荷重を非軸対称に作用させ、地盤が変形を拘束するところに地盤バネを入れて解析し（図-7）、壁体に発生する断面力（図-8）を求めて照査する手法によっている。解析例を図-9に示す。この設計手法では、まず主要な荷重である土圧、水压を適切に評価すべきである。土圧は静止土圧係数 K_0 を安全サイドに一義的に設定するが、連壁の薄型化とともに土圧を精度高く求めるべきであろう。今回の観測結果は深さとともに増加すると想定した土圧分布に疑問を示した。次に、連壁は円周方向圧縮力 N_θ を負担して安定を保つものの、床付近では N_θ が大きく変化するとともに鉛直方向曲げモーメント M_z が生ずる。剛性低下を考慮しない弾性許容応力レベルでの設計では鉛直配筋が計算上必要である。この結果、鉛直配筋が過密になりコンクリートの充填性に時として問題を生じている。不特定な過大荷重に薄い連壁が高軸力で対抗するような場合、終局耐力を評価して安全率を確保する設計手法が合理的であり、この時鉛直配筋の役割は異なってくる。一方、円筒土留の連壁施工では品質管理を極めて慎重に行なっているが、地中作業のことでありスライム巻き込みや不測の溝壁崩壊など欠陥を含む確率が常に存在する。円筒土留連壁の終局状態は恐らくジョイント部に起因すると考えられるが、構造的耐力評価は充分であるとは言えない。小規模な欠陥では周辺の応力再分配により安定が保たれるものと考えられ、設計的な裕度としてこの様な状況を見込むべきである。コンクリート強度を高め、鉄筋量を増せば単に円筒土留連壁の薄型化がはかれるとする考え方には注意が必要があると考えられる。

5. まとめ

LNG地下タンク建設に伴い、薄い連壁を用いた円筒土留で大規模掘削を無事完了した。薄い連壁の採用について考察し報告した。東京ガスエンジニアリング(株)新井仁氏、清水建設(株)黒田正信氏、鹿島建設(株)安永正道氏に貴重な助言をいただいたので末尾ながら謝意を表します。

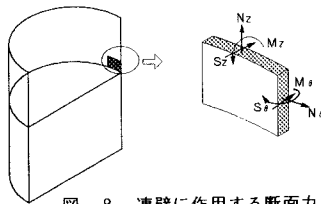


図-8 連壁に作用する断面力

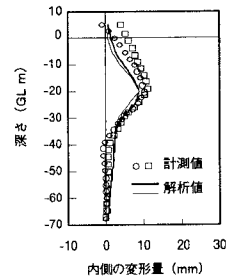


図-4 掘削完了時の連壁変形

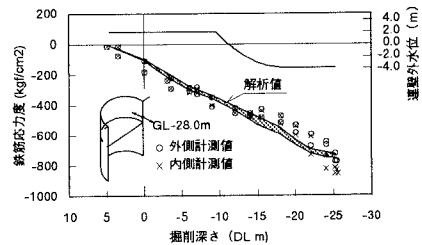


図-5 掘削床付近の円周方向鉄筋応力の変化

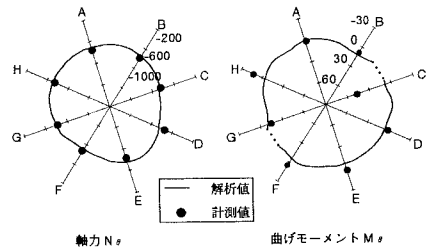


図-6 掘削完了時の円周方向断面力分布

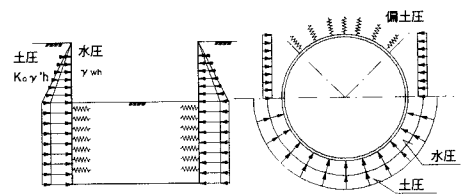


図-7 連壁円筒土留の設計方針

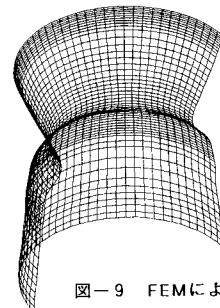


図-9 FEMによる解析結果