

【パネルディスカッション】「最近の大規模軟岩工事における地盤調査・試験とモデル化」

軟岩中の大規模地下タンク建設

清水建設(株) 伊東 亮治

1. はじめに

東京ガス(株)根岸工場では、比較的浅部から安定した泥岩いわゆる土丹層が分布しており、その土丹層の自立性に着目した堅型NATMがLNG地下タンクの建設に採用されている。図-1にLNGタンクに適用した堅型NATMの実績を示す。1995年に竣工した世界最大容量を有する20万kℓLNG地下タンクの建設では、掘削内径76m、深度57mという大規模軟岩掘削が行われ、ここでは、その20万kℓ地下タンクを中心に、根岸の堅型NATMの事例を紹介する。

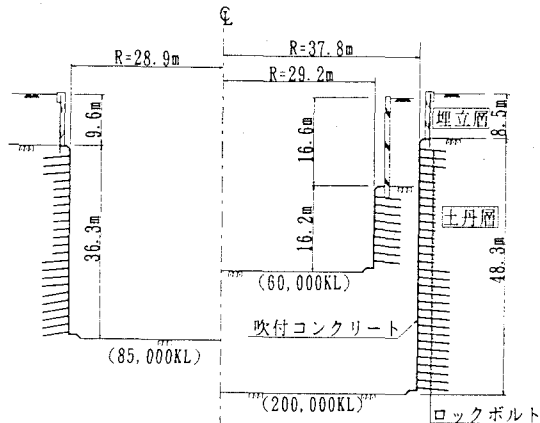


図-1 根岸地区における堅型NATM

2. 地盤調査・試験およびモデル化

土丹の物性評価において、①～⑥のような課題があり、調査・試験により基本的な特性を把握し、計測と解析を対比させながら、地山挙動を再現できるモデルを確立していった。全体フローを図-2に示す。

- ① 強度：自立高さ、緩み範囲、異方性等
- ② 劣化：スレーキング、吸水膨張
- ③ 連続性：不連続面、弱層等の有無
- ④ 変形：変形係数、弾性限界、ひずみ依存性
- ⑤ 透水：浸透流、被圧問題
- ⑥ その他：クリープ、初期応力

空洞の安定という面では、①～③が重要であり、 $q_u = 30\text{kgf/cm}^2$ 程度の地山の支持力をどこまで活用できるかがポイントであった。さらに、堅型NATMの大規模・大深度化に伴い塑性領域の拡大が懸念され、ロックボルトによる表層補強のみでなく、PSアンカーによる深部定着の必要性も議論の対象となり、緩み範囲の予測が課題であった。地山変形の予測という点では、③、④および⑥が重要であり、特にひずみレベルに応じた変形係数の設定が課題であった。

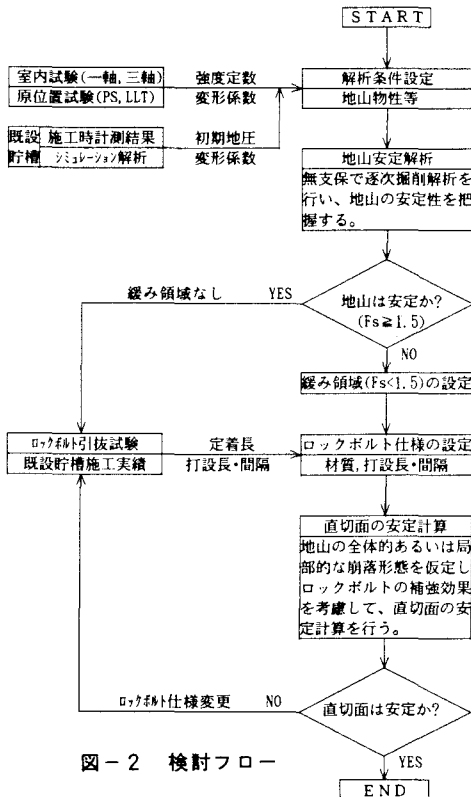
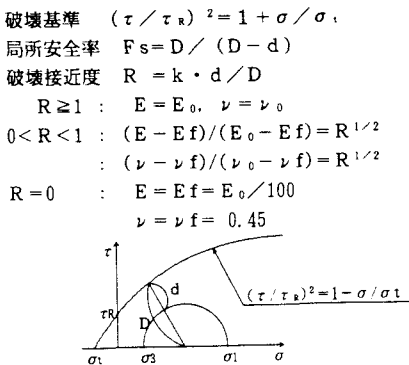


図-2 検討フロー

土丹の力学特性は、電力中央研究所により提案された破壊接近度による非線形手法を用いて表現し、掘削過程考慮した2次元軸対象FEM解析により地山挙動を予測した。破壊接近度Rに応じて、弾性係数Eは減少し、ポアソン比 ν は増加するという緩み現象を考慮し、局所安全率 $F_s < 1.5$ なる範囲を緩み領域として定義した。 $F_s < 1.5$ は、解析上は変形係数が減少する剛性低下範囲となるが、設計上は安全側に残留強度まで強度が低下した領域と仮定した。次に、緩み領域を包絡するすべり面を想定した極限つり合い法によるすべり解析により直切面の安定問題を検討した。その場合、ロックボルトは緩み領域より奥に定着させることを原則とし、緩み領域を健全な地山に固定させるように、ロックボルト配置(長さ、間隔)を決定した。



3. 解析と計測の対比

室内試験結果に基づいて地山挙動を的確に予測するには限界があり、計測結果をフィードバックして、適切な地盤モデルを設定していく必要がある。その結果、コア試料として把握されている土丹の物性と、地山全体規模の土丹層としての物性が対比でき、今後の室内試験結果の応用が容易となる。

根岸地区において、掘削中のタンクの計測結果に基づいて、岩盤定数をパラメーターとしてシミュレーション解析を行い、地山挙動を再現できるモデルを設定した。地山のひずみレベルに応じて変形係数を見直し、孔内水平載荷試験(除荷時)の変形係数Dbを解析定数として用いた。そして、初期応力が不明なことから、初期側圧係数 K_0 をパラメーターとして、地山変位に着目したシミュレーション解析を実施した。その解析モデルにより、次期タンク(20万k ℓ)の予測解析を行った結果、図-3に示すように地山変位の予測値は実測値とよく一致し、モデルの妥当性が検証できた。表-1に示す解析に用いた変形係数は一軸圧縮試験の E_{50} の約2倍、または動弾性係数Edの約1/2となっており、地山のひずみレベルに応じて適切な変形係数を設定することが重要であることを示している。

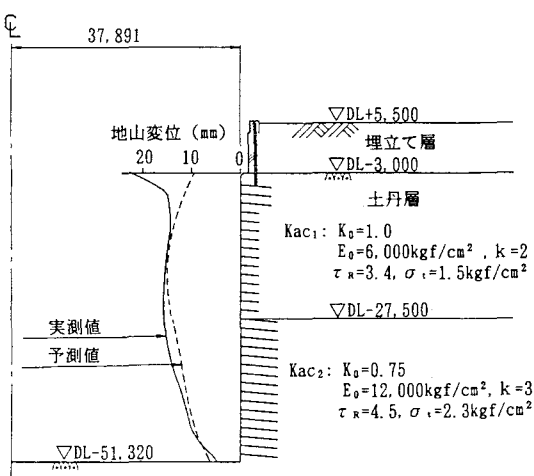


図-3 地山変位—解析と予測の対比

表-1 土丹の変形係数

土丹層	地山安定解析	弾性波探査	孔内載荷試験	一軸圧縮試験
	変形係数 E_0 (kgf/cm ²)	動弾性係数 E_d (kgf/cm ²)	除荷時変形係数 Db (kgf/cm ²)	変形係数 E_{50} (kgf/cm ²)
Kac1	6,000	9,900	—	3,000
Kac2	12,000	20,000~23,000	9,600~12,300	5,000~6,000

4. おわりに

亀裂等の影響が比較的少ない軟岩では、室内試験と現場挙動との対応が比較的容易であり、連続体としてモデル化が可能であることを示している。今後は、① 大空洞化に伴うアーチ効果 ② ロックボルト作用効果とそのモデル化 ③ 初期応力 の評価が課題であると考えている。