

大深度垂直掘削工事における予測解析と現場計測管理

—— 島根原発所 3号機本館基礎掘削工事 (その2) ——

中国電力(株) 正会員 野口 雅之
 中国電力(株) 正会員 ○石森 慎一郎
 鹿島建設(株) 正会員 上田 幸夫
 中電技術コンサルタント(株) 正会員 岩田 直樹

1. はじめに

中国電力島根原子力発電所3号機建設の本館基礎掘削工事において、深度12~26mの垂直掘削を実施した。掘削工事に先立ち、掘削壁面の挙動を予測して土留工の安全性を確認するとともに、施工中の管理基準を設定することを目的として予測解析を行った。また、施工中は計測管理を行い、計測値と予測値をもとに、その後の土留工の安定性を予測しながら工事を進め、無事掘削工事を完了した。本稿では、予測解析と計測管理の現場管理への適用結果について報告を行う。

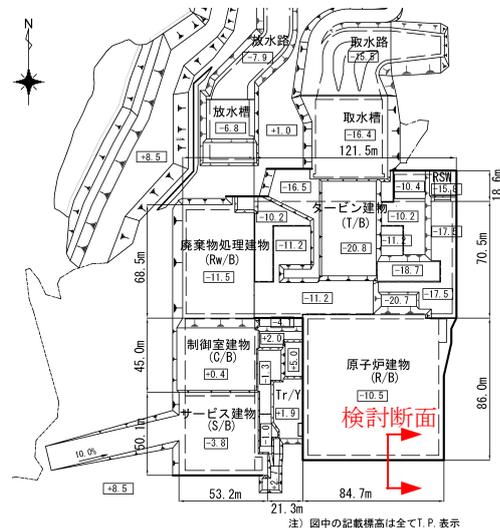


図-1 本館基礎掘削平面図

2. 予測解析の概要

岩盤が流れ目に分布しシームの一部が連続的に分布している、図-1及び図-2に示す原子炉建物南側の垂直掘削壁を対象に予測解析を行った。予測解析は母岩と節理を個別に設定し、変形の非線形性、破壊等を考慮できる複合降伏モデル¹⁾による等価連続体解析により行った。

解析モデルは、上部にC_M級凝灰角礫岩、下部にC_H級凝灰質頁岩が分布し、シーム及び岩相が8°の一様勾配で流れ目に分布する単純化した地盤モデルとし、解析用物性値は、母岩・節理ともに岩石試験結果より寸法効果を考慮して設定を行った。解析は自重計算による初期応力解析を行った後、掘削ステップとアンカー打設を考慮した逐次掘削解析を実施した。

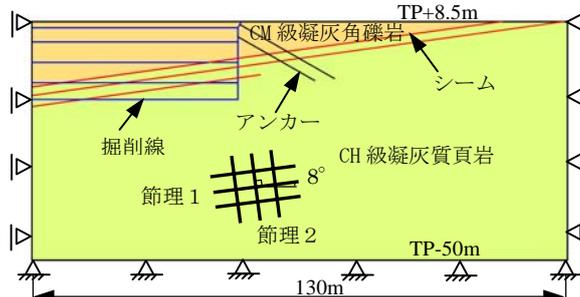


図-2 解析モデル図

掘削に伴う掘削壁面の水平変位の予測結果を図-3に示す。掘削壁面の変形は、アンカー打設時に背面へ倒れ込むように変形した後、2次掘削(T.P.-1.5m)以降に前面に大きくはらみ出すように変形し、掘削底面付近の応力集中により生じる局所的な抜け出しを除くと、掘削壁面は掘削完了時に11mm程度の水平変位が生じるものと予測された。なお、想定したシームについては、せん断もしくは引張破壊に達しておらず、シーム部分でのずれも生じない予測結果となった。

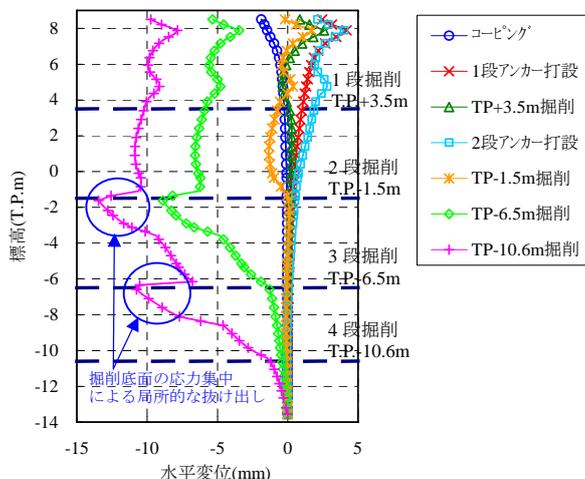


図-3 掘削壁変位の予測解析結果

また、予測解析より得られた掘削壁の変位をもとに算定したグラウンドアンカーの緊張力は、打設時の初期緊張力1,028kNに対して、掘削完了時に20%程度の増加が予測された。

3. 計測管理の概要

施工中の土留工の安全管理を目的として、表-1に示す計測内容により計測管理を実施した。特に、想定したシームが分布する原子炉建物南側の掘削壁面には、図-4に示す計測機器を配置した。

キーワード 垂直掘削, グラウンドアンカー, 計測管理, 有限要素法, 不連続面

連絡先 〒690-0324 松江市鹿島町片匂654-1 中国電力(株) 島根原子力建設所 第一土木課 TEL0852-82-3451

日常の管理は、土留工で最も重要な部材であるグラウンドアンカーの張力について、2段階の管理基準値を設けた管理を行った。1次管理基準値は、グラウンドアンカーの引き抜き試験における計画最大荷重の85%、2次管理基準値は、テンドン降伏荷重の90%に相当する計画最大荷重とした。

また、2次掘削(T.P.-1.5m)完了時点で、予測解析の妥当性を評価するとともに、壁面変位が急激に増加すると予測される3次掘削以降におけるアンカー張力を、計測値と予測解析より求まる張力増分をもとに想定し、掘削完了時のアンカー張力が2次管理基準値以下となることを確認し、以降は予測値と対比しながら工事を進めた。

4. 予測解析と計測管理結果の比較

図-5 に原子炉建物南側掘削壁の水平変位の計測結果、図-6 に掘削完了時の水平変位の予測値と計測値の比較を示す。ここで、計測値は1段アンカー打設直後からの変位を示す。掘削完了時の壁面変位は、計測値 12mm 程度に対して予測値 11mm とよく一致するとともに、変形モードも予測解析と同様に、掘削壁上部のアンカーによる背面の倒れ込みや T.P.-2m 付近で最大となるようなはらみ出し形状となった。ただし、計測結果においては、シーム付近や T.P.-6m~-8m 付近で比較的大きなズレを伴う変形が観測されており、予測解析では想定されていなかった局所的なシーム沿いのすべりや岩盤ブロックの抜け出しが生じた可能性が考えられる。なお掘削時の壁面変位には、掘削時の応力解放による変位の他に、発破振動に起因する変位が含まれている。

図-7 は掘削に伴うアンカー張力の予測値と計測値の比較を示す。計測値は初期緊張後に、1段アンカーでは40kN程度低下し、2段アンカーでは10kN程度低下する。これは地山の緩みやアンカー支圧板と地山のなじみによる影響と考えられる。また、T.P.+4m から T.P.+1m に掘削する際に張力の低下が見られるが、それ以降は掘削とともに張力は増加し、初期導入力の低下や T.P.+4m から T.P.+1m の張力の低下を除けば、増加の傾向は予測解析結果と同様の挙動となった。

5. まとめ

計測管理と予測解析結果を組合せ、土留工の安全性を予測・確認しながら工事を進め、安全に工事を終了することができた。この結果、予測解析をもとにした施工管理の有効性と、岩盤掘削解析における複合降伏モデルの妥当性を確認できた。今後の同種工事において、本工事の事例が参考となれば幸いである。

参考文献；1) 岩田直樹, 佐々木猛, 吉中龍之進：複合降伏モデルによる節理性岩盤の基礎掘削における解析的検討, 土木学会第60回年次学術講演会後援概要集, pp.689~690, 2005.9

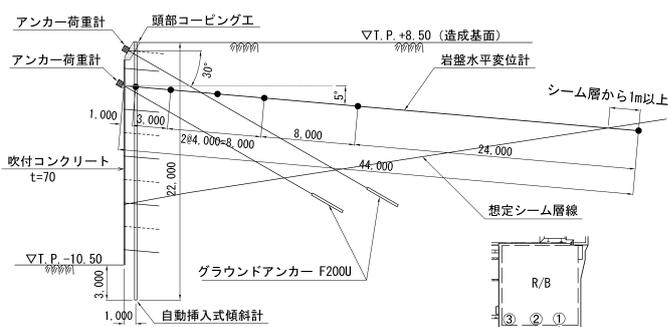


図-4 計測機器の断面配置図(原子炉建物南側)

表-1 計測機器と計測管理項目

対象	計測項目	計測機器	目的
グラウンドアンカー	アンカー張力	センターホール荷重計	掘削時におけるアンカー張力の管理
掘削面	水平変位	傾斜計(自動挿入式)	掘削時における掘削壁面の安全管理
岩盤	水平変位	岩盤水平変位計	掘削時における地山深部の挙動把握

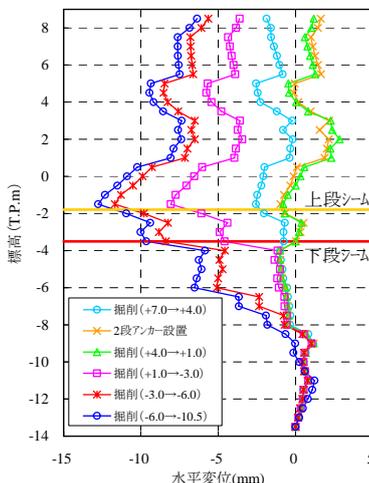


図-5 掘削壁変位の計測値

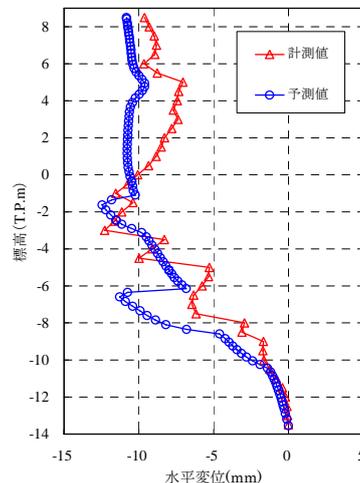


図-6 掘削完了時の変位比較

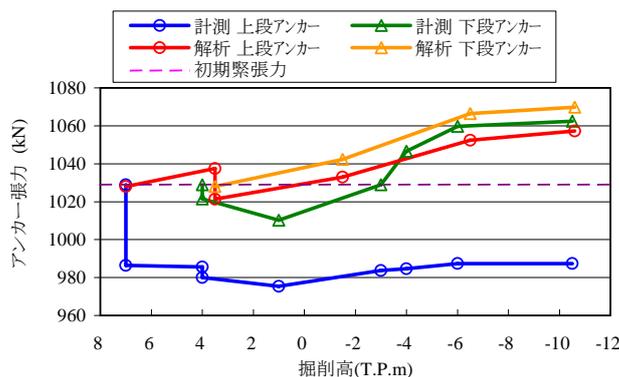


図-7 アンカー張力の予測値と計測値の比較