

# 全断面TBMによる水圧鉄管路長大斜坑掘削

神流川発電所水圧鉄管路は、全長1400mのうち961mは、標高差714m、傾斜角48度、掘削径6.6mの斜坑となる。東京電力では、これまでの水圧鉄管路斜坑掘削に当たり、塩原発電所ではパイロットTBM工法、葛野川発電所ではパイロット・リーミングTBM工法を採用し、機械化による安全確保とコスト縮減を進めてきた。神流川発電所水圧鉄管路斜坑では、これまでの実績及び地質が比較的良好なことを踏まえ、下部より1工程で掘り上がる「全断面TBM工法」を採用し、更なる安全性向上とコスト縮減を図った。これらの東京電力における斜坑掘削の変遷は表-1に示すとおりである。

## 1. 施工設備

TBM施工設備の概要は表-2、図-1~4に示すとおりである。特徴的なのは、鋼製ライナーを吹付コンクリートとロックボルトでインバート部に固定する滑落防止システム、ロックボルト削孔用ドリルを用い、ドリルの削孔データ(削孔速度・打撃圧等から求めた打撃係数)およびスライム等から岩盤の性状を推定する前方探査システム、人員・機材運搬用のピンラック・ピニオンギア方式のインクライン設備である。

## 2. 施工実績

施工においては、前方探査結果・TBM掘進時機械データ(トルク、掘進速度等)・TBM開口部を利用した地質観察結果を総合して、地山性状に応じた支保パターン(吹付厚、ロックボルト長さ及び本数)を選定していった。

掘進実績は図-5に示すとおりである。大規模な弱層や大量湧水はなく、掘進速度は設計70m/月と、先行地点に比べ、約40%向上しており、最大月進は115.5m/月、平均月進は71m/月であった。

掘進精度は、方向制御システムにより斜坑中心軸線より上下±50mm以内、左右±50mmで管理してきており、貫通時は、斜坑中心線軸からのずれで上下33mm、左右21mmと満足できるものであった。

項目/地点	今市	塩原	葛野川	神流川			
初号機運開	1988年7月	1994年6月	1999年12月	2005年7月			
掘削内径・延長	φ6.7m×765m	φ7.5m×462m	φ7.0m×771m	φ6.6m×961m			
変形係数	2,000~3,500MPa	700~1,200MPa	900~5,100MPa	1,500~24,000MPa			
掘削工法	導坑	クライマー工法 [発破] (2.2m×2.2m)	切り上がりTBM工法 (φ2.3m)	切り上がりTBM工法 (φ2.7m)	切り上がり全断面TBM工法 (φ6.6m)		
	拡幅	NATM [発破] (馬蹄形 B=6.7m, h=7.0m)	NATM [発破] (馬蹄形 B=7.5m, h=7.8m)	切り下がり工法 (φ7.0m)			
掘削速度	導坑	73m/月 (最大91m/月)	68m/月 (最大104m/月)	115m/月 (最大166m/月)	平均52m/月	平均71m/月 (全断面)	
	拡幅	53m/月 (最大79m/月)	38m/月 (最大71m/月)	97m/月 (最大173m/月)			
施工方法							
	導坑 ①	切り上げ ②	導坑 ①	切り上げ ②	導坑 ①	切り上げ ②	全断面TBM

※変形係数は鉄管の設計変形係数範囲

表-1 水圧管路斜坑掘削技術の変遷

表-2 TBM主要諸元

項目	形状・寸法
型式	全地質対応型切り上がりTBM (フルシールド)
機体長	10.3m (全長50.3m)
本体重量	450t (後続台車含む全重量600t)
モーター出力	160kW×10台
カッタヘッドトルク	721t・m (常用:361t・m)
カッタヘッド回転数	0.4、2.1、4.3、5.2rpm (4段切換)
カッタ径・個数	17インチ×44個
フロントグリッパー押付力	2,500t
メイングリッパー押付力	5,400t
スラストジャッキ推力	2,180t (ラチスタイプ:全16本)
シールドジャッキ推力	3,280t (全26本)

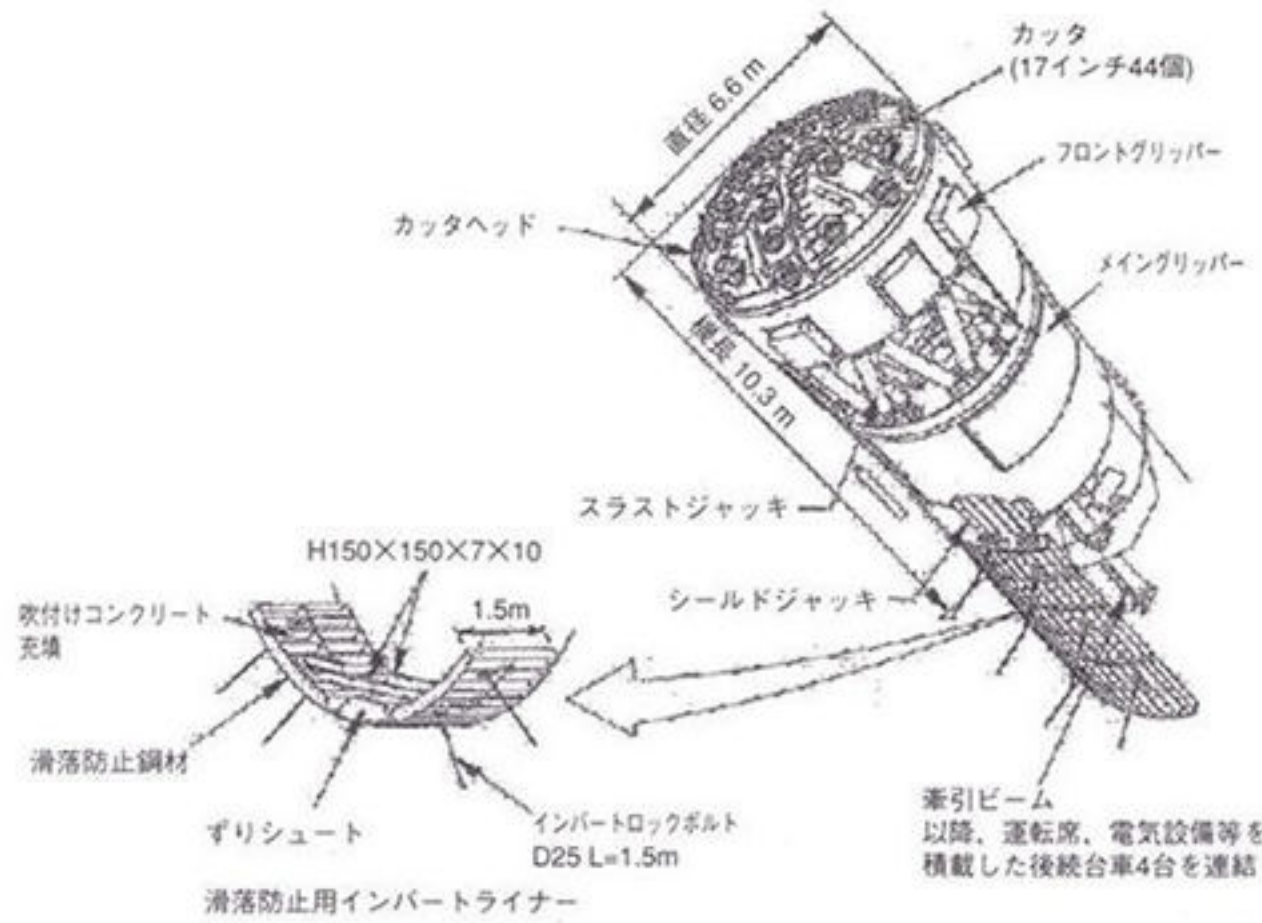


図-1 TBM本体構造図

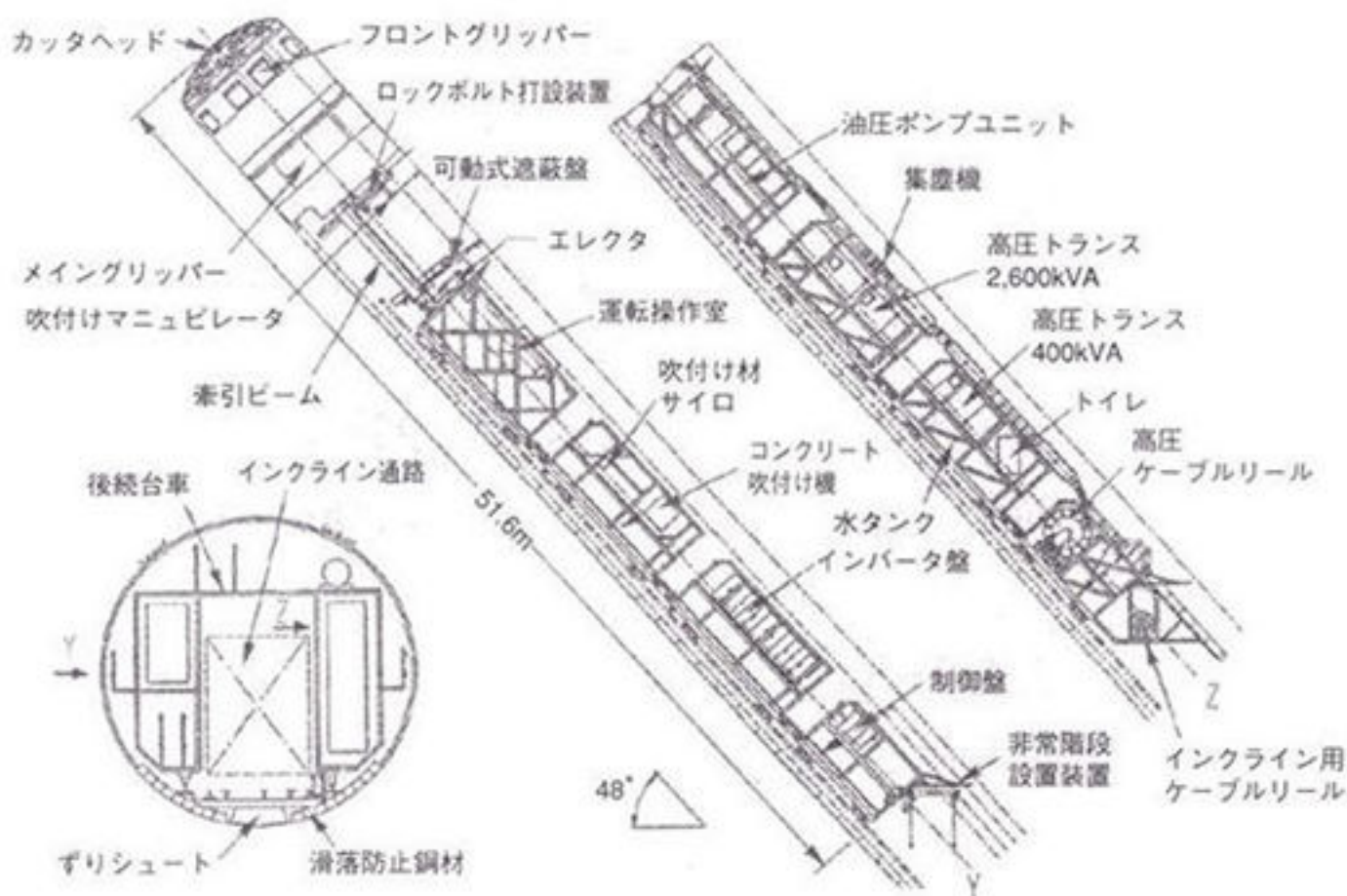


図-2 TBM全体全体構造図

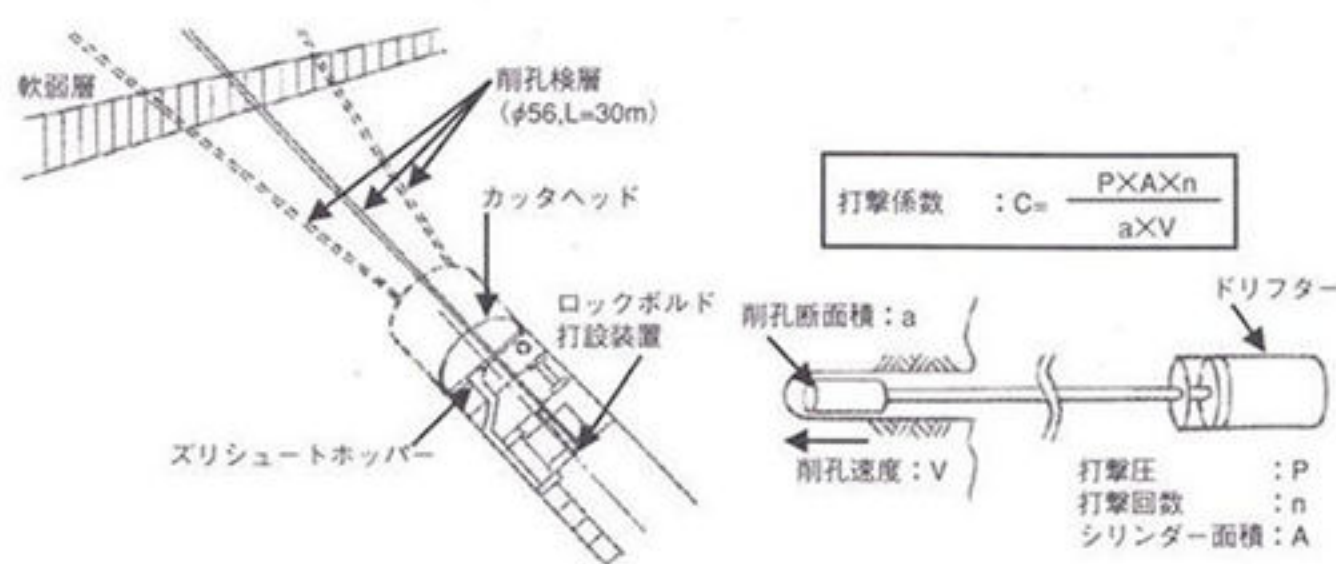
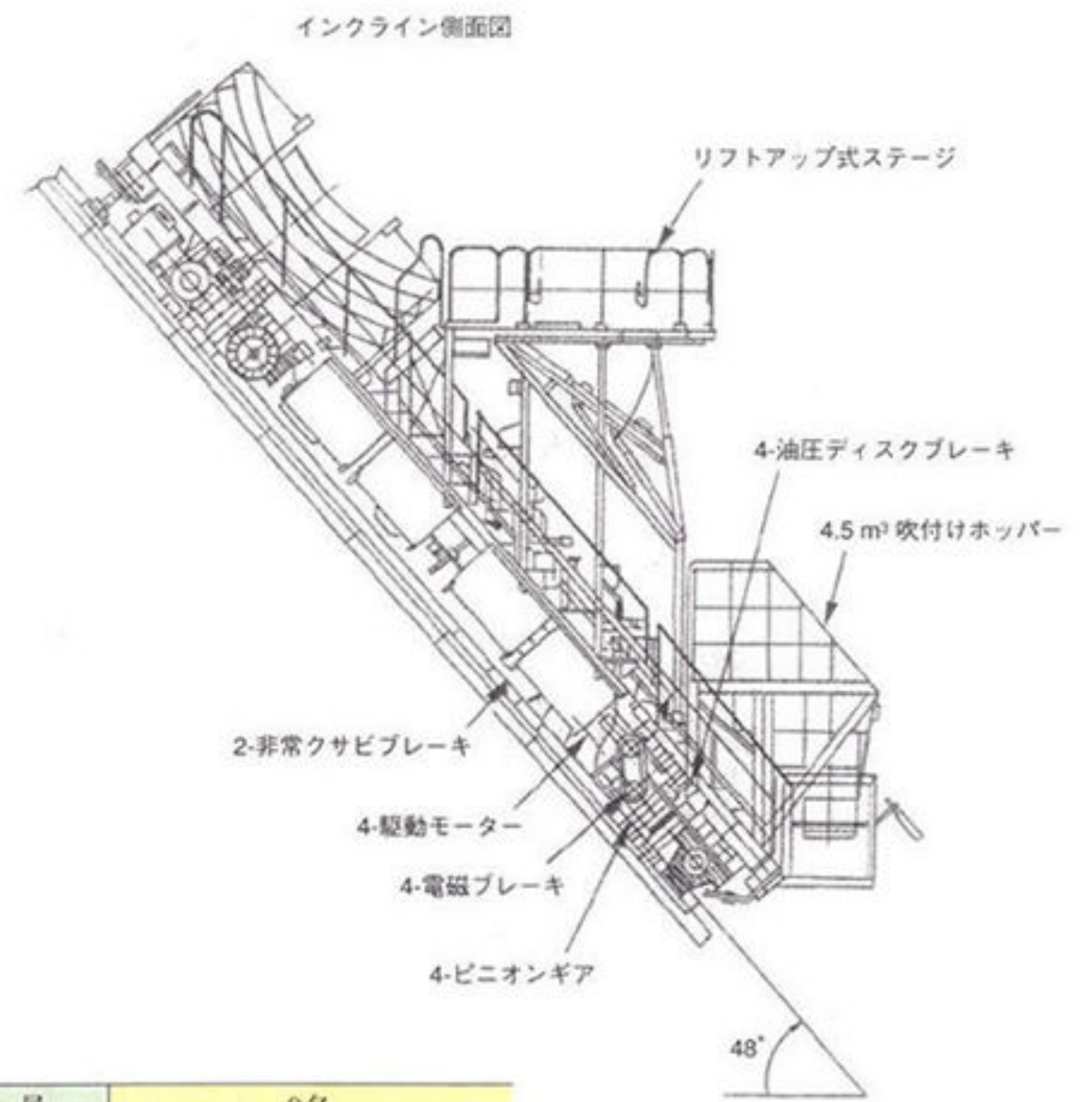


図-3 前方探査システム概要



乗員	9名
全重量	31.5t
積載重量	12.2t
動力	60kWモーター×4台
電源	直流500V

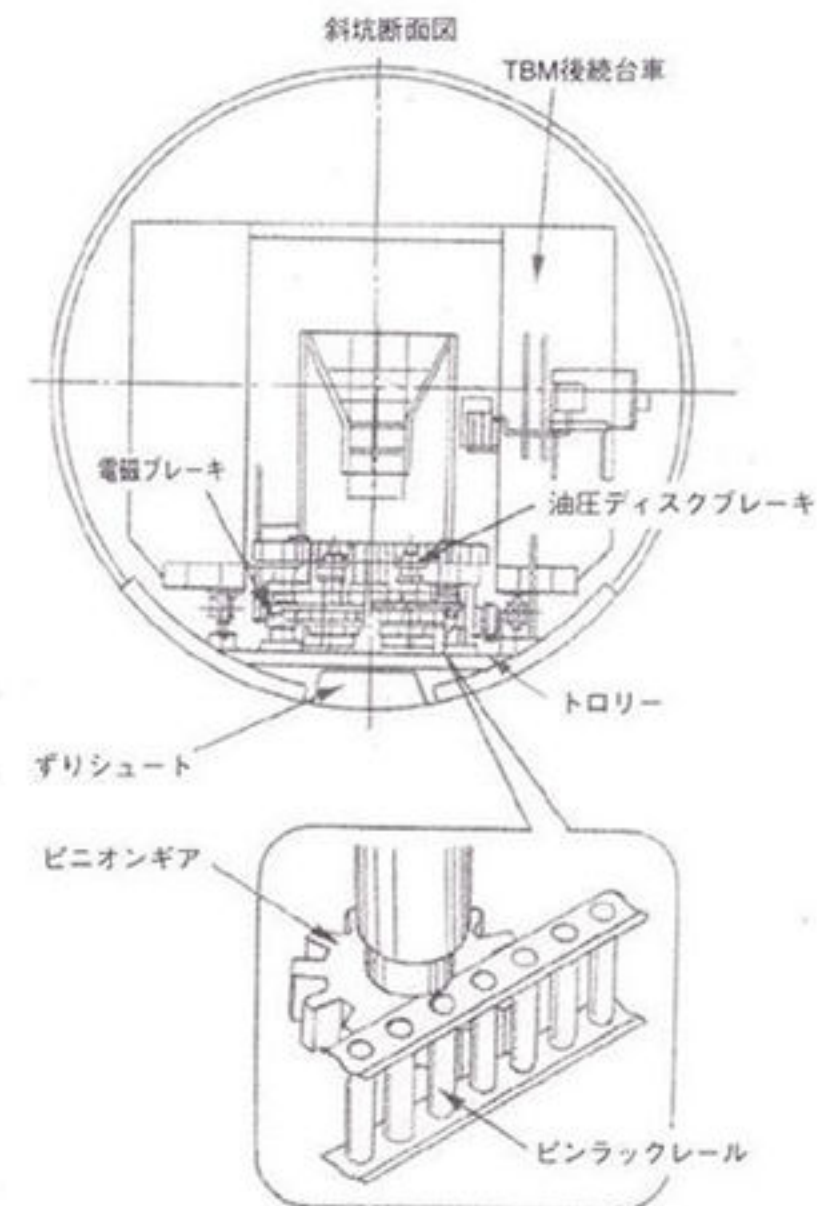


図-4 インクライン設備概要

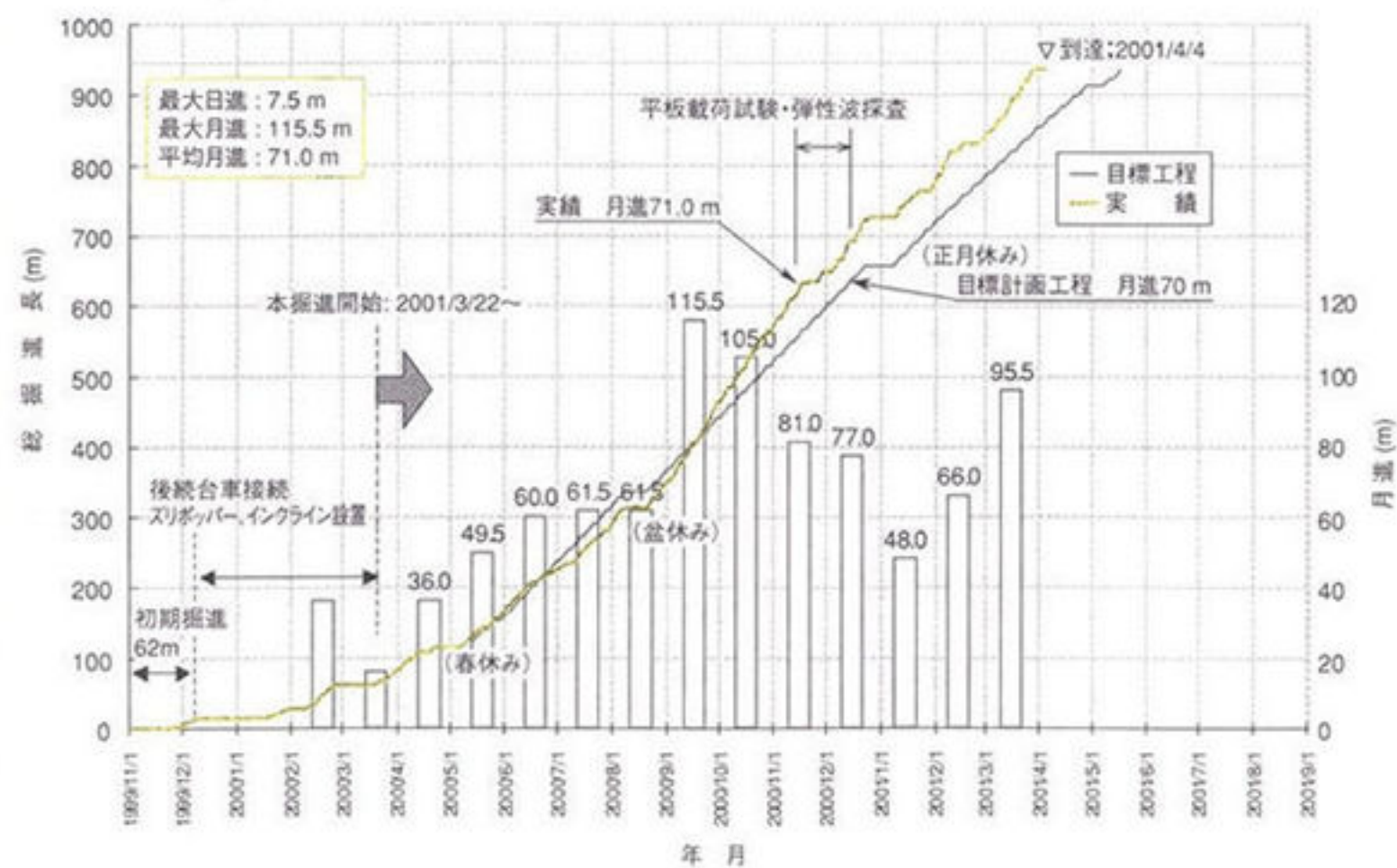


図-5 掘削工程の計画・実績

# 地下発電所空洞情報化設計施工

神流川発電所の地下発電所空洞は、長さ215.9m、高さ51.4m、幅33.0mで、最大断面積は約1,400m<sup>2</sup>の規模を有する卵形空洞であり、中古生層の堆積岩中の地下深部500mに位置する。この空洞の施工にあたっては、AE測定など新しい計測技術の採用、ITの高度化の活用等情報化設計施工を採用することにより支保の最適化を図った。発電所の掘削は1998年11月に頂設導坑の掘削から開始し、アーチ切掘削、ベンチ掘削と施工を進め2000年11月に全て完了した（図-1）。

## 1. 支保設計

地下発電所空洞の支保設計は、掘削前の調査により確実に予想される条件から設定される標準支保設計と、初期地圧の測定値のばらつき、放水路側側壁部に存在する不連続面の影響などの不確定要因により予測と異なる挙動が出現した場合、挙動を分析し支保パターンの変更を行う情報化設計施工とに分類した。掘削時の挙動予測解析には、歪み軟化モデルによる2次元FEM逐次掘削解析を適用した。この解析結果に基づき、応力集中領域にPSアンカーを重点配置することにより、掘削に起因するゆるみ領域の進展を積極的に抑制し、支保量の合理化を図った。

## 2. 情報化設計施工の方針

情報化設計施工における計測管理は、既施工箇所安定性および支保工の健全性を評価するとともに最適な施工方法を検討するための日常管理と、蓄積された計測データに基づき支保設計を検証し必要に応じて修正を行うステップ管理の2種類の管理を実施した。計測管理には岩盤変位計、PSアンカー荷重計を基本とした。さらに当地点では、情報化設計施工の新たな取り組みとして、AE測定の本格導入ならびに円錐孔底歪み法による岩盤内絶対応力測定の実施によりゆるみ領域の進展状況を直接評価した。

## 3. 情報化設計施工の実績

掘削完了時の最終支保パターンを図-2に、壁面変位ならびに岩盤内区間歪みの分布を図-3にそれぞれ示す。放水路側の局所的な区間歪みの発生箇所には、不連続面が存在し、岩盤は不連続面の影響を受けた挙動を示している。

また、ゆるみ領域について、掘削が空洞の半分（7ベンチ）まで達した時点で実施したステップ管理における予測解析と実測を比較したものを図-4に示す。PS工を重点配置するとともに不連続面挙動などの不確定要素を情報化設計施工により対処することにより、予測値と実測値は良く一致し、情報化設計施工の妥当性が確認できた。

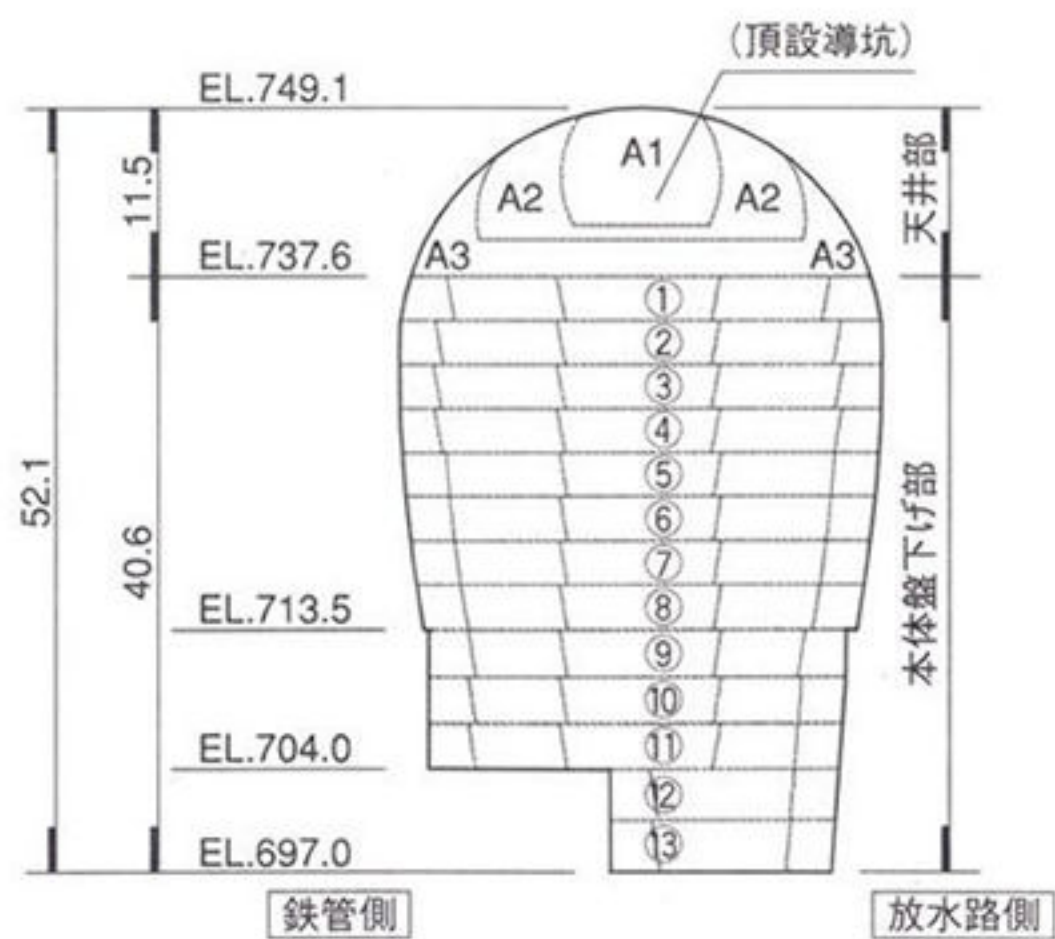


図-1 全体加背割

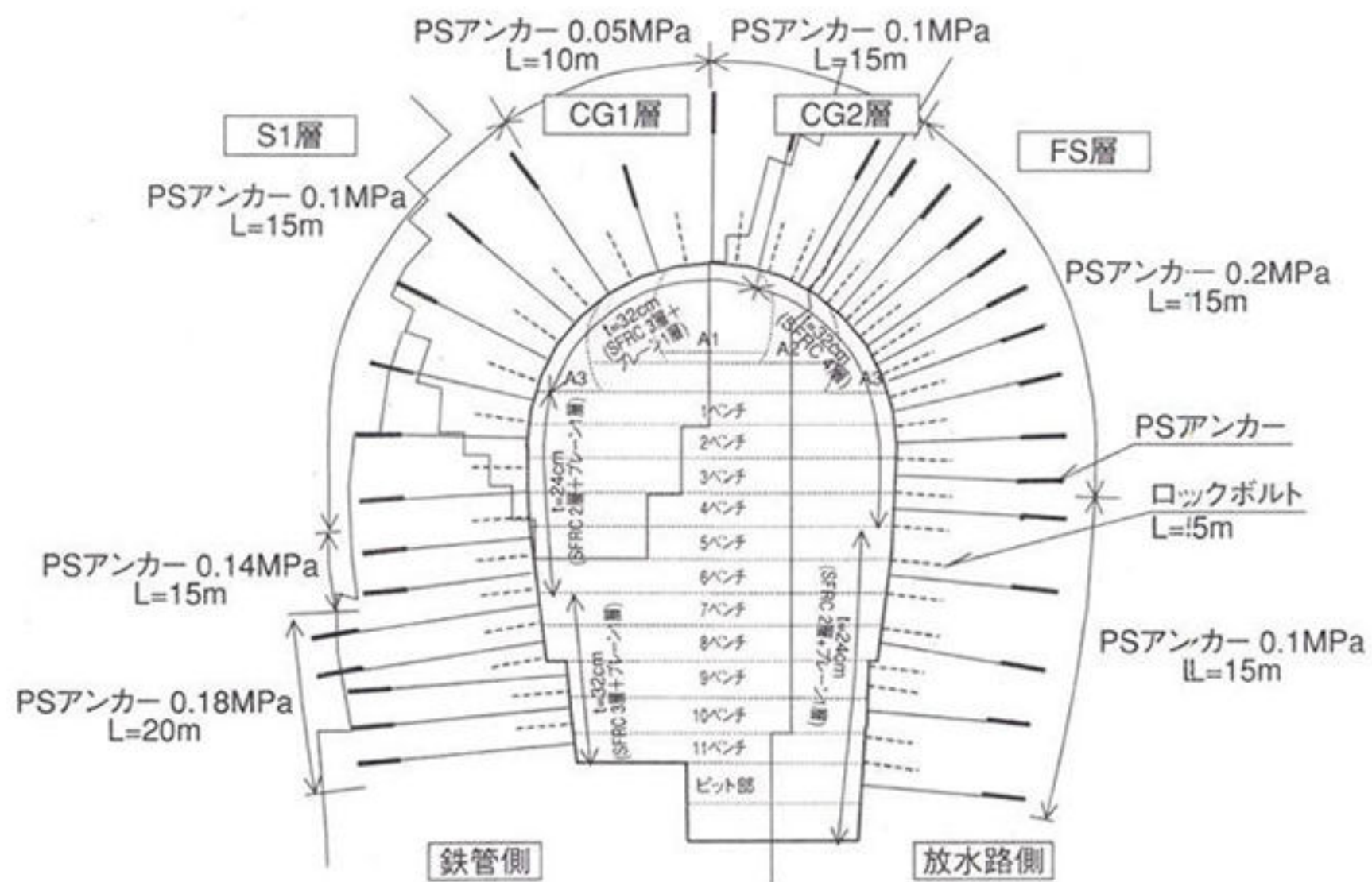


図-2 最終支保パターン

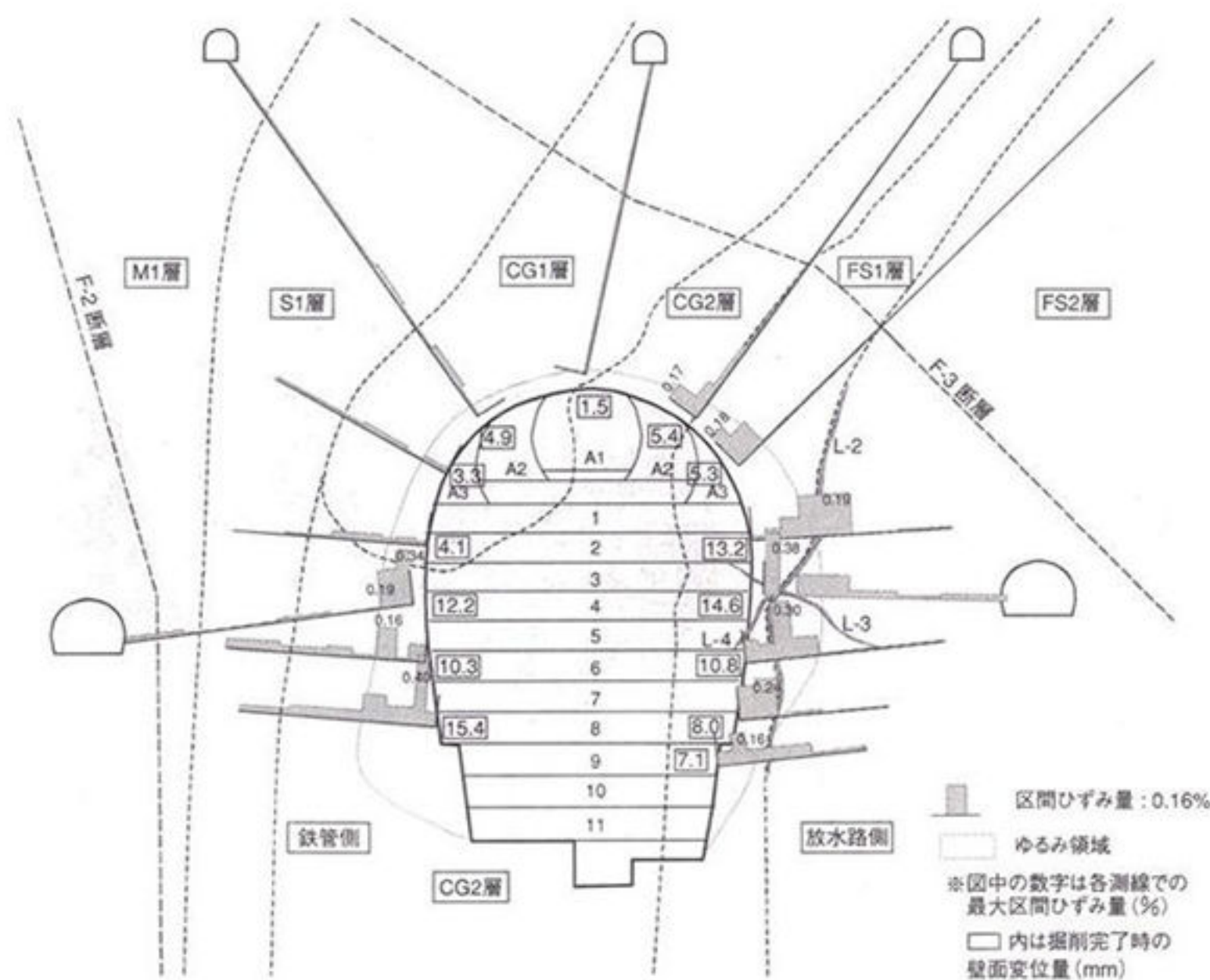


図-3 岩盤内区間歪みおよび壁面変位分布

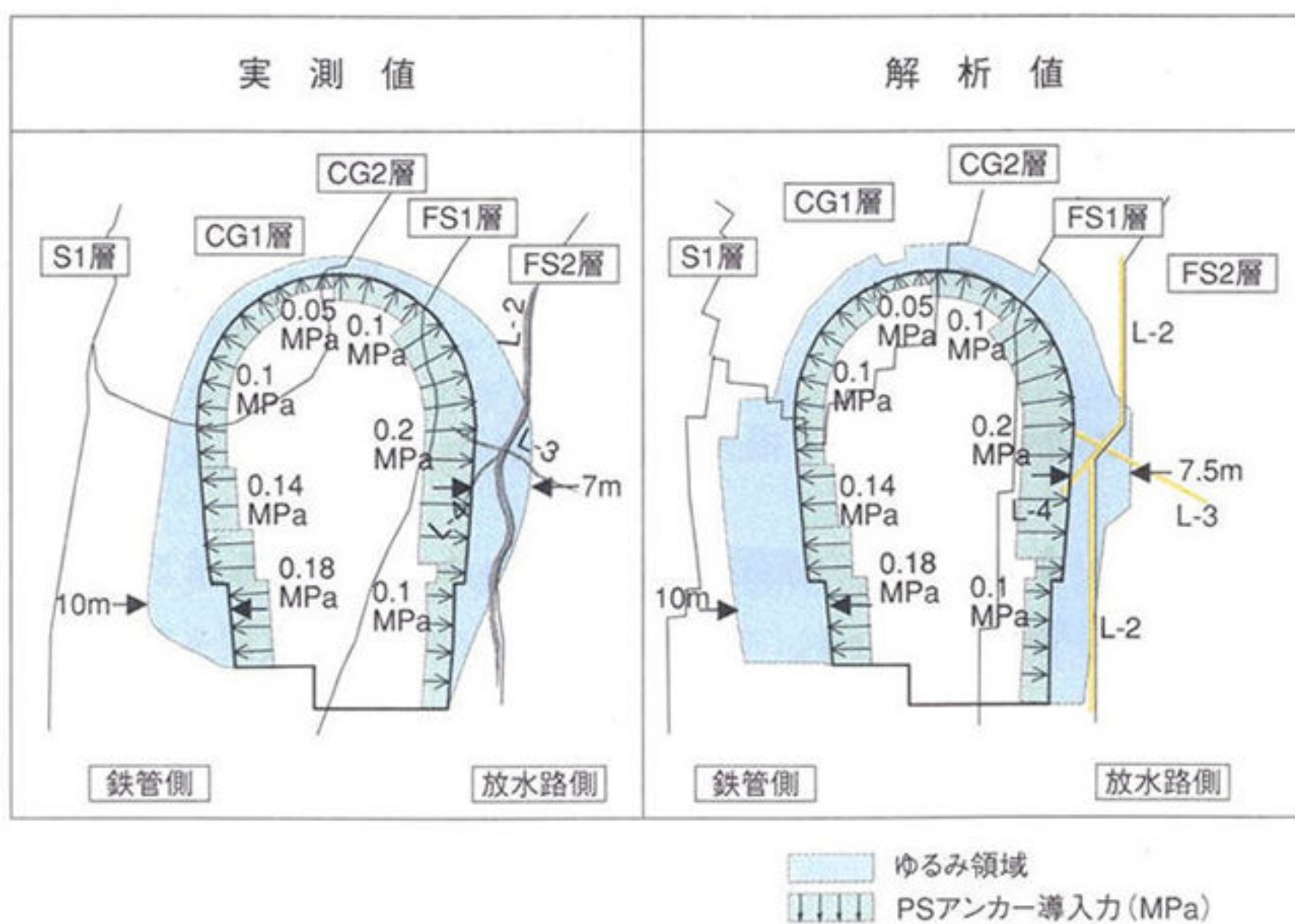


図-4 ゆるみ領域の実測と解析の比較