

岩盤内高圧気体貯蔵施設における耐圧プラグの形状検討

日本ガス協会 正会員 澤 一男
清水建設 正会員 ○新美勝之
清水建設 フェロー 石塚与志雄
清水建設 正会員 延藤 遵

1. はじめに

（社）日本ガス協会では、経済産業省より委託を受け、平成12年度より都市ガスの岩盤貯蔵技術調査事業を行っている。地下岩盤内に建設する高圧気体貯蔵施設では、貯槽部とアクセストンネルとの接続部に、耐圧プラグが設置される（図-1）。施設運用時には、耐圧プラグの貯槽側には高い貯蔵圧力が作用し、その圧力荷重は耐圧プラグから周辺岩盤に伝達され支持される。

本検討では、「せん断支持タイプ」と「アーチ構造タイプ」という、耐圧プラグ内部および周辺支持岩盤への荷重伝達機構に関する設計概念が異なる二種類の耐圧プラグ設計方法について検討を行った。

2. 耐圧プラグの設計概念

耐圧プラグは、国内でも既に石油地下備蓄基地や圧縮空気貯蔵発電施設などで施工されている。それらは、ダム仮排水路トンネルの閉塞工に基づいて設計されている。その設計概念は、耐圧プラグ前面に作用する圧力荷重を、耐圧プラグ側面のせん断抵抗によって周辺岩盤に伝達するという考え方である（図-2(a)）。この「せん断支持タイプ」の設計方法では、高圧気体貯蔵施設のような圧力荷重が大きい場合には、十分なせん断抵抗を得るためにプラグ側面の面積を増やす必要があり、その結果耐圧プラグの全長が非常に長くなってしまう。

一方、スウェーデンの原油備蓄施設などの耐圧プラグは、その内部に仮想的にアーチ構造が形成され、そのアーチ軸力により荷重が岩盤に直応力として伝達されるという考えのもとに設計されている（図-2(b)）。この「アーチ構造タイプ」の設計方法では、岩盤の支持力を積極的に利用することができ、耐圧プラグ自体がコンパクトで経済性に優れたものとなる。しかし、アーチ構造タイプは国内での建設実績がなく、設計方法も確立されていない。以下では、アーチ構造タイプの設計方法について検討するとともに、両タイプの比較を行う。

3. 設計上の検討項目と検討方法

耐圧プラグの設計においては、次の三点を検討する。

- (1) 軸方向力に対する安全性
- (2) 押し抜きせん断破壊に対する安全性
- (3) 耐圧プラグの滑動に対する剛体安定性

せん断支持タイプ耐圧プラグの設計は、まず軸圧縮に関し

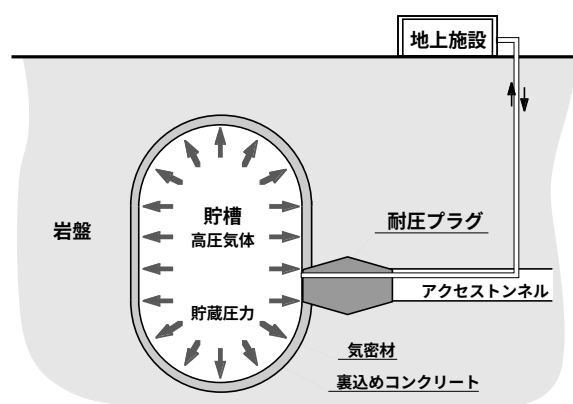
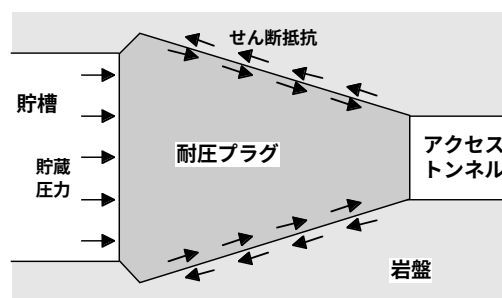
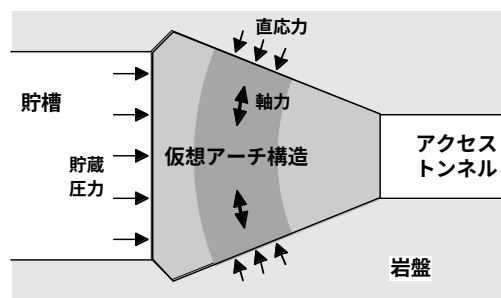


図-1 岩盤内高圧気体貯蔵施設



(a) せん断支持タイプ



(b) アーチ構造タイプ

図-2 耐圧プラグ荷重伝達機構の基本概念

キーワード：高圧気体貯蔵、耐圧プラグ、アーチ構造、限界状態設計法、局所安全率

連絡先：〒105-8007 東京都港区芝浦一丁目2番3号 シーバンスS館 TEL.03(5441)0592

て、設計貯蔵圧力に応じてプラグコンクリートの設計基準強度を設定し、次に滑動に関して、貯蔵圧力荷重に対する側面のせん断抵抗によりプラグ長を決定する。最後に、押し抜きせん断破壊に対する安全性を許容応力度法で確認する。

一方、アーチ構造タイプの耐圧プラグでは、耐圧プラグ内に仮想アーチ構造が形成されるため、プラグコンクリートに発生する応力分布は複雑になり、それを理論的に評価することは困難である。また周辺岩盤には、高い軸応力とせん断力が発生するため、岩盤のせん断破壊が懸念される。したがって、設計は、限界状態設計法に基づいて、FEM解析結果を用いて安全性の確認を行うこととした。設計において検討する限界状態と検討方法を表-1に示す。

4. 形状検討例

両タイプの設計を比較するために、表-2に示す条件に基づいて、耐圧プラグを試設計した。せん断支持タイプでは、耐圧プラグが46mと非常に長くなった（図-3）。一方、アーチ構造耐圧プラグでは、基本形状を図-4に示すように設定し、軸対称FEM解析結果に基づいて表-1に示した項目を検討した。解析で得られた主応力ベクトルを図-5に、周辺岩盤の局所安全率を図-6に示す。検討の結果、表-1の項目に対して、アーチ構造タイプ耐圧プラグの安全性を確認した。

5. おわりに

「アーチ構造タイプ」耐圧プラグの設計方法について検討し、従来の「せん断支持タイプ」との比較を行った。試設計の結果、アーチ構造タイプの設計によると、せん断支持タイプの場合の3分の1以下のプラグ長でも成立することを確認した。今後は、貯槽面での気密構造や施工性、経済性なども考慮した、最適な耐圧プラグ形状について検討する。

表-1 アーチ支持タイプ耐圧プラグの設計検討項目

	区分	安全性検討項目	検討方法（照査項目）
終局限界状態	断面破壊の終局限界状態	軸方向力	設計圧縮強度と設計圧縮応力度を比較
		押抜きせん断	設計せん断伝達耐力と設計せん断力を比較
	剛体安定の終局限界状態	周辺支持岩盤の安定性	支持岩盤の想定滑り線の開始位置付近での岩盤のせん断破壊の有無を確認
疲労限界状態	—	軸方向力疲労	設計圧縮疲労強度と設計変動圧縮応力度を比較
		押抜きせん断疲労	設計せん断伝達疲労耐力と設計変動せん断力を比較

表-2 設計条件

貯槽	半径	11.1 m	岩盤 (健全部)	粘着力	3.0 N/mm ²
	最大貯蔵圧力	12 MPa		内部摩擦角	45°
コンクリート	設計基準強度	30 N/mm ²		変形係数	8.0 kN/mm ²
	許容せん断応力度	1.0 N/mm ²		ポアソン比	0.4

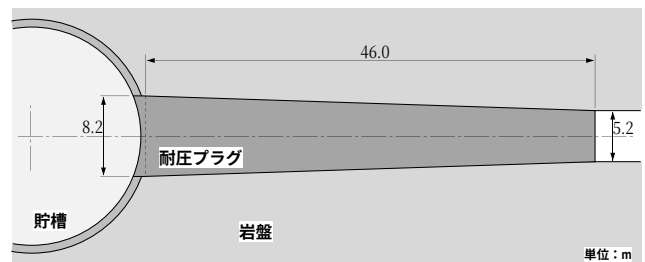


図-3 せん断支持タイプ耐圧プラグ設計例

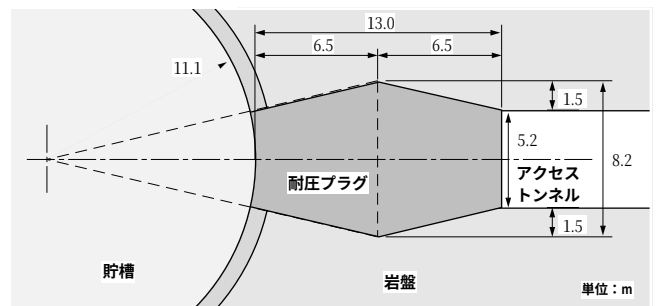


図-4 アーチ構造タイプ耐圧プラグ設計例

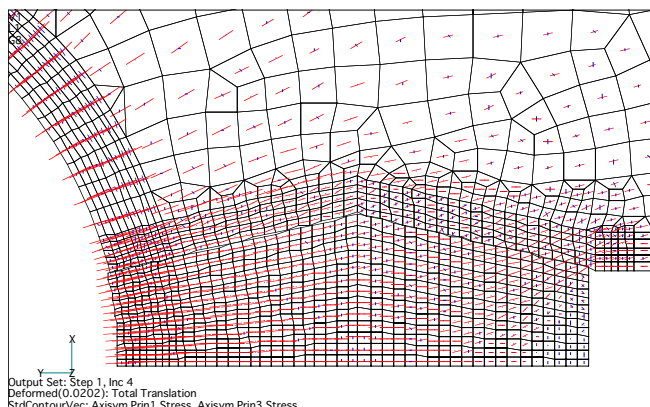


図-5 耐圧プラグ内部の主応力ベクトル

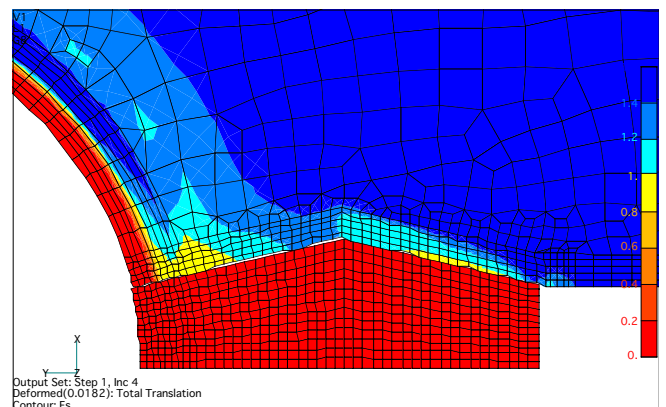


図-6 周辺岩盤の局所安全率分布