

プラグコンクリートの水圧作用時における岩盤拘束効果の評価

大成建設 正会員 下野 正人 正会員 ○原 佑友

正会員 島屋 進

石油天然ガス・金属鉱物資源機構 正会員 前島 俊雄 山本 浩志

1. はじめに

LP ガス国家備蓄波方基地では、45 万 t の液化天然ガス (LPG) を水封式地下岩盤貯層方式により備蓄する計画である。プラグは、配管堅坑や作業トンネル等と岩盤貯槽を仕切る位置に設置される。プラグコンクリートは、坑道水没時において、構造上の安定性を確保しなくてはならない。本研究では、本設プラグコンクリートの仕様決定を目的に構築された試験コンクリートプラグ（以降、試験プラグ）を対象とし、所定の水圧荷重を作用させた際の耐圧試験時のコンクリート挙動から、プラグコンクリートと岩盤拘束について評価した結果を報告する。

2. プラグ耐圧試験

プラグ耐圧試験では図-1 に示すように 2 つのプラグを構築し、水室からプラグに水圧を作用させた。貯槽本体のプラグに作用する最大設計水圧は約 1.8MPa（水頭約 180m）と計画されているため、図-2 に示すように 0.6MPa を初期として段階的に 1.8MPa まで昇圧を行なった。

プラグ耐圧試験時のコンクリート内部の計器配置を図-3 に示す。応力計では、プラグ軸方向、断面水平方向等の応力を計測し、継目計では、岩盤とプラグの接触面の離れ量を計測した。プラグの外で、接触変位計によりプラグの押し出し変位を計測した。

3. 解析概要

3.1 解析モデル、物性値

解析モデルの作成では、実際の掘削形状は余掘り形状も複雑であり、そのままの形状でモデル化しても、解析結果の評価が難しいと考え、馬蹄形断面を等価円形断面と仮定した軸対称モデル（図-4）とした。岩盤とコンクリートの接触面は、ジョイント要素でモデル化した。

また、作用荷重の大きさを適切に評価するため、実際の掘削形状断面と等価断面積となるように設定した（図-5）。

コンクリートと岩盤の解析用物性値を表-2 に示す。コンクリートの弾性係数は、供試体による試験結果から推定し、貯槽周辺の岩盤は、Hv 級の良好な花崗岩として物性値を設定した。

表-2 解析用物性値

	単位体積重量	弾性係数	ポアソン比	せん断強度
	kN/m ³	GPa		MPa
コンクリート	23.5	33.4	0.2	--
岩盤 (Hv級)	27	30	0.25	$\tau = 0.85 + \sigma \tan 54^\circ$

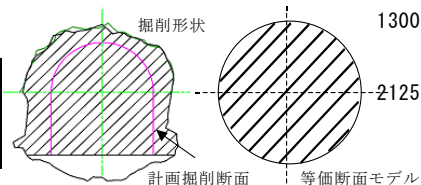


図-5 掘削形状と等価断面モデル

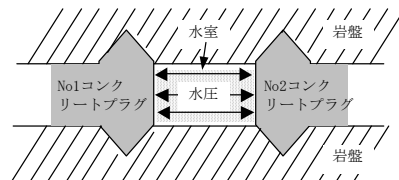


図-1 試験プラグ概念図

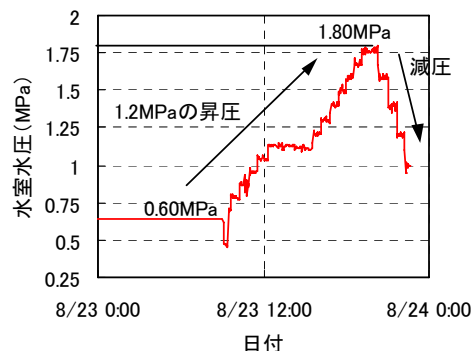


図-2 水室水圧の計測結果

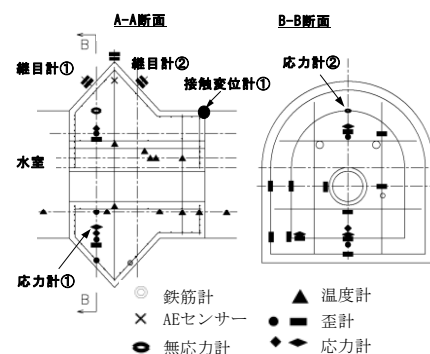


図-3 計器配置

表-1 計測結果のまとめ

計測計器	計測項目	単位	計測値	0.6MPaからの増分
応力計1	軸方向応力	mm	1.2	0.4
応力計2	周方向応力	mm	1.5	1.2
継目計1	岩盤との離れ量（水室側）	N/mm ²	0.32	0.18
継目計2	岩盤との離れ量（受圧側）	N/mm ²	0.06	0.01
接触変位計1	プラグの押し出し変位量	mm	0.05	0.05

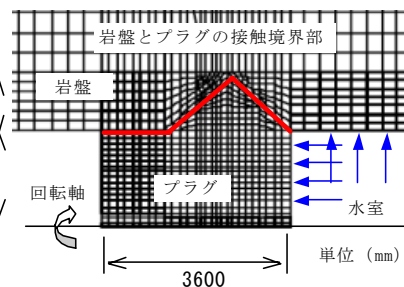


図-4 軸対称モデル図

キーワード 岩盤地下備蓄 プラグコンクリート 軸対称モデル 耐圧試験 岩盤拘束

連絡先 〒163-0606 東京都新宿区西新宿 1 丁目 25-1 大成建設株式会社 土木設計部 TEL03-5381-5296

3.2 解析ステップ

解析ステップは、STEP1 で試験プラグ設置深度である GL. -160m 相当の土被り荷重を作用させ、初期自重解析を行なった。STEP2 で坑道掘削（応力解放率100%）、STEP3 でプラグ構築および 1.8MPa の水圧作用とした。

4. 検討結果・考察

岩盤とプラグの接触面の計測結果を考慮し、境界条件の検討により計測変位の評価を行った。また、作用荷重の検討によりプラグに生じる応力の再現を試みた。耐圧試験では 0.6MPa から 1.8MPa まで昇圧を行なったが、変形や応力は弾性的な挙動を示したことから、増分量で計測と解析の評価を行った。

(1) 岩盤とプラグの接触面における境界条件の影響評価（図 6-a）

図-7 に示す継目計の計測結果より、1.8MPa 作用時に水圧作用側（継目計 1）での開き量が 0.18mm、受圧部側（継目計 2）で 0.0mm となった。当初予測解析では、岩盤とプラグが完全に固定された“岩着境界”と引張りやせん断に対しては抵抗することなく離れる“滑り境界”を検討していたが、計測結果を反映して受圧部のみを岩着境界とし、他の部分では滑り境界とした“受圧面岩着境界”の 3 ケースで比較を行なった。

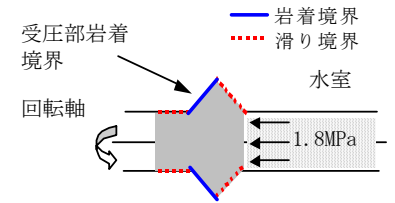
プラグの押し出し変位量（解析と計測）は、図-8 に示すとおり岩着境界と滑り境界の中間にあり、受圧面岩着境界ケースで、計測結果 0.05mm に対し 0.06mm とほぼ一致することがわかった。今回の検討では、複雑な境界や掘削形状を単純化したモデルであるが、受圧面を岩着境界とし、他の接触面を滑り境界とすることでプラグ挙動の再現に繋がることが示された。

(2) 作用荷重の影響検討（図 6-b）

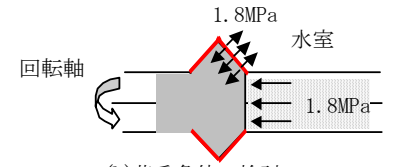
図-9 に応力計 2 の断面水平応力についての比較検討を行なった。計測では、1.2N/mm² の圧縮応力であるが、解析では 0.5N/mm² の圧縮応力であった。当初、解析では、水室側からプラグ軸方向にのみ水圧を作用させていたが、計測された 1.2N/mm² の応力は水室からの増分水圧と同程度であることから、水室からの水圧が岩盤（亀裂）を伝わり、プラグ拡幅部に作用した可能性が高いと考えた。そこで、プラグ拡幅部の水室側（ジョイント部）に 1.8MPa の水圧を作用させたケースを検討した。その結果 0.8N/mm² に増加し、計測値の大きさを再現するには到っていないが、プラグ拡幅部の水室側に水圧を作用させることで、応力の大きさも再現できる可能性が示された。また、押し出し変位量については図-10 に示すように、0.09mm 程度と、滑り境界よりも計測値に近く、受圧面を岩着境界とした場合にする方が挙動を再現できることが示された。

5. まとめ

今回の検討では、複雑な境界や掘削形状を単純化したモデルであるが、岩盤とプラグの受圧面を岩着境界とし、拡幅部（開口側）に水圧を作用させることで、計測挙動が再現できることが示唆された。本体プラグのうち配管堅坑プラグに代表される堅プラグは、形状が左右対称であり、軸対称モデルで十分評価することが可能であると考ええる。一方、頂設プラグに代表される水平プラグは馬蹄形であり、モデル化については検討の余地があると考ええる。今後、頂設プラグ等は試験プラグよりもボリュームで 15 倍程度も大きいことから、発生応力の評価向上を図るため、馬蹄形状を再現した 3 次元モデルによる検討も実施していく予定である。



(a) 境界条件の検討



(b) 荷重条件の検討

図-6 解析検討ケース

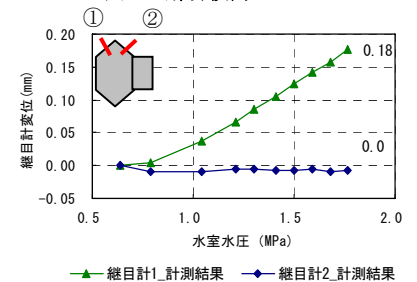


図-7 継目計の計測結果

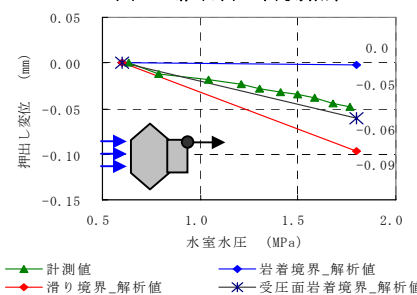


図-8 押し出し変位検討結果

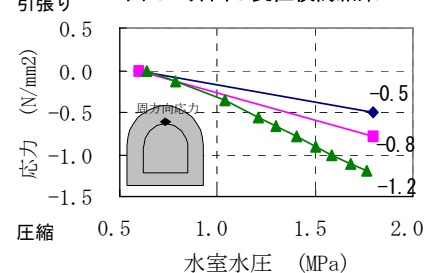


図-9 応力計2の検討結果

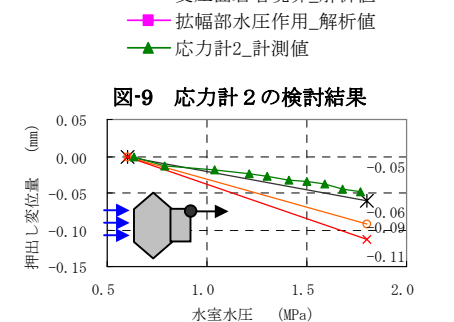


図-10 拡幅部水圧作用時の変位