

天然ガス高圧貯蔵技術開発における実証試験結果 (光ファイバによる裏込めコンクリートのひび割れの計測結果の検討)

清水建設株式会社 正会員○若林 成樹 社団法人日本ガス協会 正会員 小松原 徹
清水建設株式会社 正会員 奥野 哲夫 清水建設株式会社 正会員 中谷 篤史
清水建設株式会社 正会員 岩城 英朗

1. はじめに： (社)日本ガス協会では、経済産業省より補助を受け、平成16年度より「次世代天然ガス高圧貯蔵技術開発事業」(ANGAS: Advanced Natural GAs Storage)を実施してきた。本事業では岐阜県飛騨市の神岡鉱山・茂住坑道内に図-1に示す鋼製ライニング式岩盤貯蔵施設を建設して実証試験¹⁾を実施した。貯槽の裏込めコンクリートは厚さ700mmで、貯蔵圧力作用時に発生するひび割れを細かく分散させる目的で貯槽側に被り100mmで鉄筋を配置している。ひび割れの分散性は気密材の疲労設計に大きく影響するため、本報では光ファイバセンサで裏込めコンクリートのひずみを測定し、ひび割れ位置や開口幅を検証した結果を報告する。

2. 光ファイバによるひずみ測定： 光ファイバセンサでひずみを測定するにはBOTDR方式(1m区間の平均ひずみを10cm間隔毎に測定)が普及しているが、室内試験²⁾の結果からひび割れの発生位置や開口幅を評価するには分解能が十分とは言えない。そのため本測定ではBOTDR方式より高分解能で高精度であるPPP-BOTDA方式³⁾(10cm区間の平均ひずみを5cm間隔毎に測定)を適用した。光ファイバセンサは裏込めコンクリートとの付着性を向上させるために被覆にエンボス(凹凸)加工を施したものを、図-1に示すように裏込めコンクリート内の水平断面と円筒断面において、岩盤表面と鉄筋沿いに計4測線に設置し、耐圧試験の2MPaピッチの昇圧毎に裏込めコンクリートのひずみを計測した。

3. ひび割れ発生位置・開口幅の推定方法： 一例として耐圧試験の2MPa载荷時にPPP-BOTDA方式で計測した裏込めコンクリートの水平断面(岩盤表面)のひずみ分布を図-2に示す。ひずみ分布には複数の明確なピークが現れており、発生したひび割れによる局所的なひずみ集中をとらえていると考えられる。裏込めコンクリートの引張り強度を勘案し、最大値が200 μ 以上のピークをひび割れ発生と判断することにした。148.5m付近を拡大するとピーク形状は概ねサイン波で近似できる。最大値の位置でひび割れが発生し、サイン波で囲まれる面積からひび割れ開口幅を算出した。低圧の载荷時から順にひび割れ発生位置を特定し、ひび割れによるひずみを差し引いていくことで時系列的に後から発生するひび割れの位置・開口幅を評価することが可能となる。

4. 耐圧試験時のひび割れ発生状況： 耐圧試験の2MPa、20MPa载荷時の裏込めコンクリートのひび割れ発生状況を図-3に示す。図のピーク位置がひび割れ発生位置を、高さが開口幅を示している。

2MPa载荷時、水平断面では岩盤表面、鉄筋沿いとも半球部で、円筒断面では岩盤表面は底部、鉄筋沿いでは左右下でひび割れが発生し始める。また、水平断面、円筒断面とも岩盤表面と鉄筋沿いではひび割れはほぼ同位置で発生しており、放射状にひび割れていると考えられる。

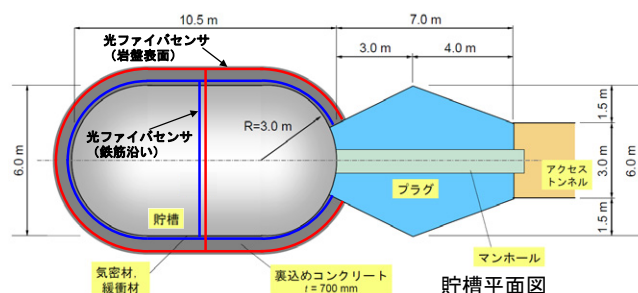


図-1 実証試験施設と光ファイバセンサの配置

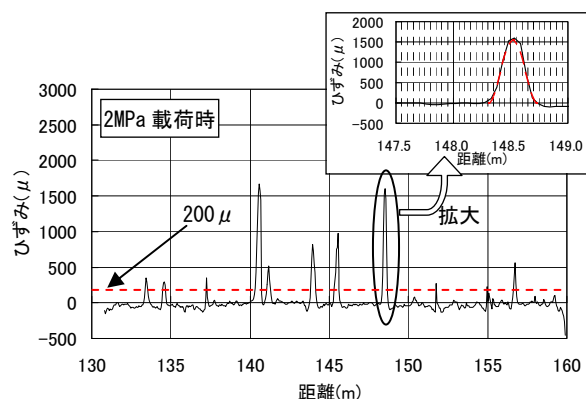


図-2 裏込めコンクリートのひずみ分布

キーワード：地下空洞、天然ガス高圧貯蔵、実証試験、光ファイバ、PPP-BOTDA方式、ひび割れ

連絡先：〒135-8530 東京都江東区越中島3-4-17 清水建設(株)技術研究所 TEL 03-3820-8396

載荷圧が増加するにつれ、ひび割れ本数・開口幅とも徐々に増加し、20MPa 載荷時には、水平断面のひび割れ本数、最大開口幅は岩盤表面で65本、1.05mm、鉄筋沿いで66本、1.48mmで、平均ひび割れ間隔は41~45cmとなった。また、円筒断面では開口幅の大きなひび割れが岩盤表面では底部に、鉄筋沿いでは左右下に集中している。ひび割れ本数、最大開口幅は岩盤表面で

70本、2.74mm、鉄筋沿いで76本、3.88mmとなり、平均ひび割れ間隔は26~33cmである。設計で想定した円筒断面での最大ひび割れ間隔は500mm、開口幅は1.6mmであり、光ファイバによる計測でひび割れは想定以下に分散されたが、底部の一部のひび割れは想定以上の開口幅を示すことが確認された。

5. ひび割れスケッチとの対比： 全試験終了後に円筒断面の底部の気密材を切断し、裏込めコンクリートのひび割れ発生状況をスケッチした⁴⁾。スケッチと光ファイバ計測によるひび割れ位置・開口幅を比較した結果を図-4に示す。裏込めコンクリート表面に近い鉄筋沿いの光ファイバセンサで計測されたひび割れ位置はスケッチと良く対応し、想定以上の開口幅を示すひび割れは帯状にくぼんだ箇所とほぼ一致している。図-5のように鉄筋より内側ではひび割れが分散するため、裏込めコンクリート表面での開口幅は光ファイバセンサでの測定値より小さいと考えられる。

6. おわりに： PPP-BOTDA 方式を用いて実証試験施設の裏込めコンクリートのひび割れ発生位置、開口幅の評価を行った。全試験終了後に観察したひび割れスケッチと良く対応しており、全線にわたってひずみ分布を測定できる光ファイバ計測はひび割れ発生状況のモニタリングに非常に有効な方法であることが得られた。

謝辞： 本技術開発内容は、東京瓦斯(株)、大阪瓦斯(株)、東邦瓦斯(株)、西部瓦斯(株)、北海道瓦斯(株)、帝国石油(株)、ならびに天然ガス高圧貯蔵技術開発共同企業体(清水建設(株)、(株)大林組、大成建設(株)、(株)IHI、三井造船(株)、三菱重工業(株))の関係各位にご協力を頂いた。ここに記して謝意を表します。

参考文献 1) 奥野 哲夫 他：天然ガス高圧貯蔵技術開発における小規模岩盤貯槽を用いた実証試験，第37回岩盤力学に関するシンポジウム講演集(CD-ROM)，pp.79-84，土木学会 岩盤力学委員会，2008.1. 2) 中谷篤史 他：光ファイバセンサー(PPP-BOTDA方式)によるコンクリートのひび割れ測定の実験的検討，土木学会第61回年次学術講演会，VI-128，2006.9. 3) ニューブレクス社，PPP-BOTDA 技術，<http://www.neubrex.jp/> 4) 新美勝之 他：天然ガス高圧貯蔵技術開発における実証試験結果(解体調査による裏込めコンクリートのひび割れの検討)，土木学会第63回年次学術講演会，III，2008.9. (投稿中)

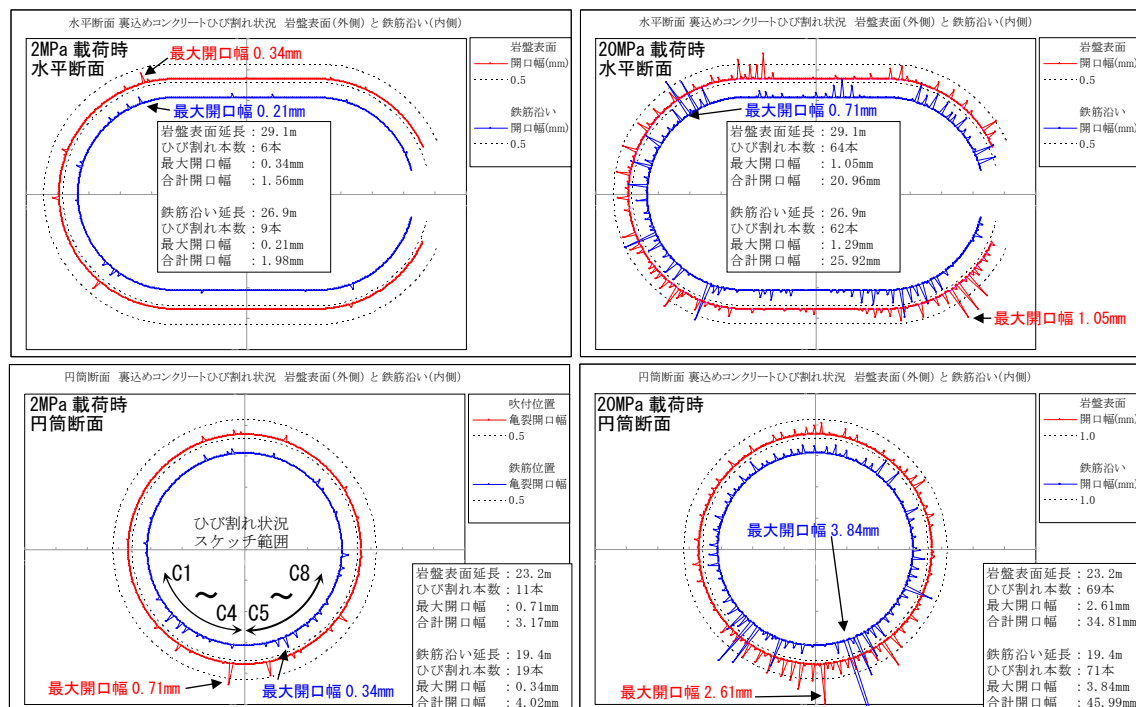


図-3 裏込めコンクリートのひび割れ発生状況 (2, 20MPa 載荷時)

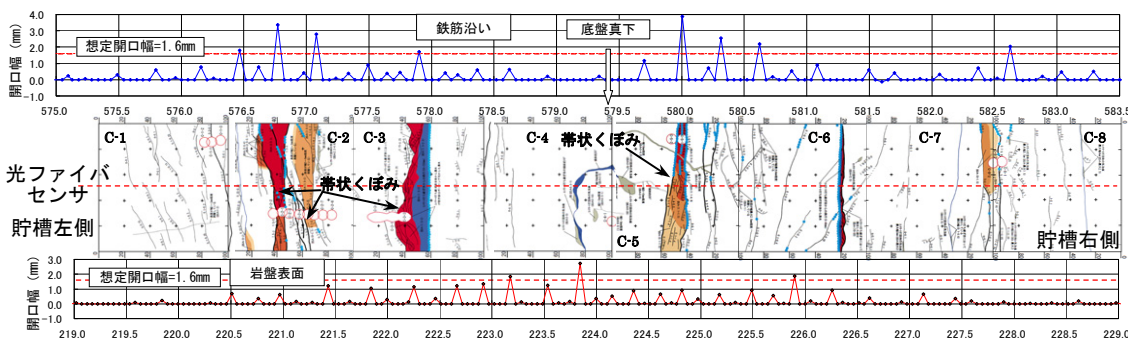


図-4 裏込めコンクリート内面のひび割れ状況と光ファイバ測定結果との比較

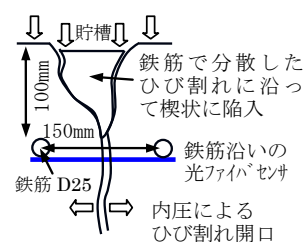


図-5 帯状くぼみの発生メカニズム