

一般演題8-3

高所ダム湖における大深度潜水作業

望月 徹¹⁾ 池田知純¹⁾ 三浦 卓²⁾
 森野利哉²⁾ 山崎 洋²⁾ 柳澤裕之¹⁾

1) 東京慈恵会医科大学 環境保健医学講座
 2) ジオテック株式会社

【目的】

新冠ダム湖における潜水作業では、潜水現場が標高390mの高所に位置すること、水深が45mに達すること、水温が7℃前後であることから高い減圧症リスクが予想された。加えて、作業現場での滞在が制限されるため、十分な高所順応時間を確保することができないこともリスクを増長すると考えられた。また、山中の現場から再圧医療機関への迅速な搬送も困難であることから、保守的な減圧方法が必要と考えた。そこで我々は、許容可能な減圧症リスクを1%以下とし、それに応じた方策を講じるとともに、減圧性気泡(以下、気泡)によってリスクの程度を評価した。

【方法】

潜水は、3種混合ガス(trimix)と酸素減圧を用いて実施した。減圧計算には、高気圧作業安全衛生規則によるZH-L16アルゴリズムを用いたが、当該アルゴリズムによる標高530mでの圧気トンネル工事では、作業圧力3.0~3.4気圧で5%の減圧症発症率が報告されており¹⁾、我々の許容範囲を超える恐れがあるため、規則に示された方法に準じて安全率1.25で換算したM値を用いて減圧計算を行った。高所では減圧の基準となる水面気圧が海面のそれより低いため補正が必要となる。補正方法には、最も保守的とされるCRE法を用いた。これは、海面と高所での気圧の比から潜水深度を修正するものである。実際の補正值はCRE法による米海軍海面等価深度表²⁾によった。また、低水温対策として温水潜水服を用いた。超音波ドップラー気泡検知は、浮上後30分~120分に立位安静時と膝屈伸運動後に前胸部肺動脈起始部を標的部位に実施し、Spencerスケールにより0~IVの5等級に分類して評価した。気泡による減圧症リスク評価は、先行研究³⁾を参考に、等級IIの気泡検知者が全体の50%以下であり、等級III及びIVが認められないことを基準とした。潜水プロファイルと水温は、腕時計型潜水記録計にて計測、記録した。

【結果】

調査は7/4-10/7のうち15日間に延べ101回実施した。被験者は21名の男性潜水者で、年齢(平均±SD):42±7(範囲:32-53)才、BMI:24.7±3.11(20.9-31.7)kg/m²であった。調査時の潜水深度は43.9±1.8(36.5-45.7)m、滞底時間は32.2±6.2(15.5-43.0)分、総潜水時間は108±27(36-161)分、最低水温は7.7±0.7(6.6-9.2)℃であった。また、現場水面の気圧は962±3hPa(958-968hPa)であった。調査期間中、軽微なものを含め減圧症の発症は認められなかった。気泡は41例(40.6%)で検知され、内訳は等級Iが33例(32.7%)、等級IIが8例(7.9%)であり、等級III、IVは検知されなかった(図1)。気泡は屈伸運動後に多く検知され、また浮上後60分付近に検知のピークがあった。平地から高所作業現場に到着後、実際に潜水作業を開始するまでの時間と気泡検知状況を見たところ、

潜水開始までの時間が短いほど気泡が検知される割合が高く、時間経過とともに減少する傾向が認められた(図2)。

【考察】

カナダDCIEMでは1726回の試験潜水で気泡調査を行い、等級II以下での減圧症発症率は1.1%であったことを報告している⁴⁾。今回の調査で検知された気泡のうち等級IIは7.9%であり、等級Iを含めた全ての検知気泡も50%を下回ることから、今回の潜水作業における減圧症発症リスクは1%以下であると推測でき、対策が有効に機能したものと評価できる。気泡検知者の割合は潜水開始時刻による変化が認められたが、これは高所移動に伴う環境圧力低下によるものと考えられる。レジャー潜水とは異なり、商業潜水では潜水効率が求められる。その観点からは、今回の減圧方法は保守的にすぎた可能性がある。M値換算に用いた安全率の設定並びに高所補正方法について検討を進め、安全性の確保と潜水効率の向上を図る予定である。

【謝辞】

今回の調査研究に際し、多大なるご協力を賜りました北海道電力株式会社静内水力センターご担当者様並びに潜水士の皆様に深謝申し上げます。

参考文献

- 1) Rugger M, Buhlmann AA, Vollm E: Decompression in tunnel construction using the hydroschild process. In: Jardine FM, McCallum RI, eds. Engineering and health in compressed air work. London; E & FN Spon, 1994; pp.319-327.
- 2) US Navy Diving Manual, Revision 6 change A, 2011.
- 3) Nishi RY, Eatock BC: The role of ultrasonic bubble detection in table validation. In: Schreiner ER, Hamilton RW, eds. Validation of decompression tables, Proceedings of 37th UHMS workshop. Bethesda MD, 1989; pp.133-137.
- 4) Nishi RY: Doppler and ultrasonic bubble detection. In: Bennett PB, Elliott DH, eds. Physiology and Medicine of Diving, 4th Ed. London; W.B. Saunders, 1993; pp.433-453.

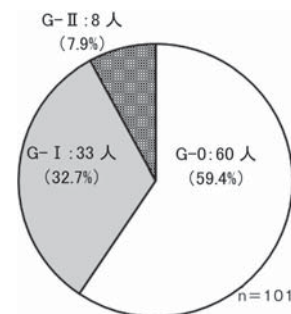


図1 検知気泡の状況

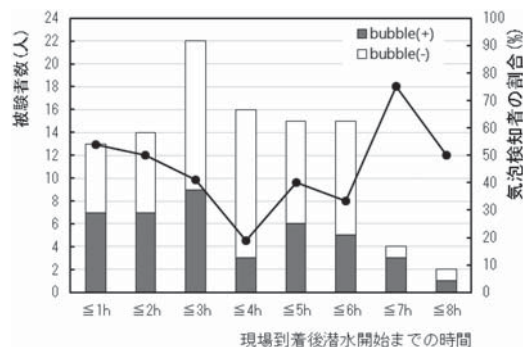


図2 現場到着後潜水開始までの時間と気泡検知状況