

塩水浸入阻止型地下ダム計画のための 塩水浸入予測解析と塩水管理に関する研究

学位論文内容の要旨

本論文は、米須地下ダムを例として、塩水浸入阻止型地下ダム計画のための塩水浸入解析と塩水管理について検討したものである。

農林水産省が南西諸島で国営かんがい排水事業により完成させた大規模な地下ダムは、米須地下ダムを除くと全て堰上げ型の地下ダムであり、米須地下ダムは本邦初の本格的な塩水浸入阻止型地下ダムである。米須地下ダムでは、止水壁建設後に東西の基盤の凹所に残留塩水塊が残った。残留塩水塊域の鉛直方向の電気伝導度は、 $5,000\ \mu\text{S}/\text{cm}$ 前後で大きく変曲し、下位に濃い塩水が存在することから、鉛直塩分濃度が $5,000\ \mu\text{S}/\text{cm}$ の水位を淡水と塩水塊の境界面とし、この水位を塩淡水境界位とした。締切後の塩淡水境界位は、西部で EL. -30.0m 、東部で EL. -40.0m の位置にある。米須地下ダムは、供用時に貯水位が海水面より大幅に低下するため、貯水位低下時には止水壁及び止水壁基礎部から新たな塩水が浸入し、貯水池内の残留塩水塊と合流して塩水塊が増大する。その塩水が取水井に引き寄せられ、灌漑用水の塩分濃度が許容塩分濃度 ($200\text{mg}/\ell$) を上回ることが危惧される。このため、飽和・不飽和浸透流モデル、密度を考慮した移流分散モデルを作成し、灌漑用水の塩分濃度を事前に予測すると共に、必要な対策を検討することとした。

移流分散モデルの基本理論である移流分散方程式には、計算の安定性に大きな影響を及ぼす移流項が含まれている。そのため、水槽模型実験による塩水濃度分布状況の再現計算の比較により、解析プログラムとして DTRANSU を選定した。更に、選定した DTRANSU による水槽模型実験を検証した結果、止水壁の越流状態の流速分布や拡散部分の広がりをも明瞭に再現でき、米須地下ダムの塩水浸入予測解析に適用できると判断した。また、移流分散方程式には分散項を含み、分散の効果は、物質が移流のみによって通常占有する領域を越えて広がるため、分散の特性を左右する縦分散長を適切に捉えることが重要となる。このため、米須地下ダムの取水井付近でトレーサー試験を行い、縦分散長を $1\sim 5\text{m}$ と推定した。更に、西部残留塩水塊域で揚水試験を行い、残留塩水塊域の電気伝導度の変化を解析し、残留塩水塊域の縦分散長は 1m と推定した。これらにより、取水井周辺の縦分散長は安全性を考慮して 5m とし、残留塩水塊付近の縦分散長は 1m 、取水井への影響度が低いことを考慮して上流域の縦分散長は 1m と推定した。

断面 2 次元水理モデルによる解析は、取水井近くの集中流を表現できず全体が平行流となるため、取水井近くの漏斗状水位低下による流速の増大は生じず、塩水の到達時間は実際よりも遅くなり、取水濃度は低めに計算される。このため、平面 2 次元モデルを用いて、取水井周りの漏斗状の水位

低下を考慮した場合と考慮しない場合について、塩水が取水井へ到達する過程を追った計算によってその差を求め、断面 2 次元水理モデルによる解析結果を補正した。

計画基準年で、止水壁等からの浸入塩水、残留塩水塊による取水井への影響、更に島尻層群泥岩に挟在する凝灰質砂層を通じた浸入塩水を加えた取水井への影響について検討を行った。

残留塩水塊が存在する箇所では、残留塩水塊の影響が大きく、締切後の塩淡水境界位のままで計画取水を行った場合、許容値を大幅に超えることが予測される。このため、西部及び東部残留塩水塊の塩水を除去し、残留塩水塊の塩淡水境界位を西部 EL. -35.0m、東部 EL. -43.5m まで下げる管理を行えば、計画基準年相当の渇水においても、残留塩水塊域近傍の取水井の取水塩分濃度は許容値を下回る。そこで、この水準を管理塩淡水境界位とし、本格的な灌漑期前に除塩して管理レベルまで低下させることとした。その除塩対象量は西部残留域で $Q=38,500\text{m}^3$ 、東部残留域で $Q=40,000\text{m}^3$ となる。

残留塩水塊は存在しないが、止水壁に近い箇所は、取水最高塩分濃度が許容値を超えると予想される。このため、浸入塩水の影響を受けない上流側取水井からの取水用水と合流させることで許容濃度以下となること、対象井の取水期間が3日間と短いことから、混合希釈管理することとした。

計画基準年以外の渇水年における塩水浸入解析を、最も残留塩水塊及び浸入塩水の影響を受ける箇所で行った。計画基準年に近い渇水年においては、取水塩分濃度は許容値以下であり、本格的な灌漑期前に除塩を行い、管理塩淡水境界位までに低下させる管理を行えば、灌漑用水の塩分濃度を許容値以下に維持できる。また、計画基準年を超える大きな渇水年では、取水制限をせずに貯水位を低下させると大量の塩水が浸入し、取水塩分濃度は許容値を大幅に超える。このため、米須地下ダムからの取水制限を行い、貯水位が計画最低貯水位(LWL. -11.6m)を絶対に越えない取水・貯水位管理を行う必要がある。

両残留塩水塊域の除塩対象量を、除塩期間を1ヵ月(平日実施)と推定して除塩施設の必要能力を計算し、両域に各3基の除塩井を設置した。西部残留塩水塊の長期除塩試験は、5日間(120時間)連続揚水、揚水停止2日間(48時間)を1スパンとした除塩を12回実施した。2ヵ月(8スパン)までの除塩で概ね管理塩淡水境界位の EL. -35.0m 以下になり、除塩効果が明瞭に現われた。しかし、除塩回数を重ねても電気伝導度の変化が小さい地点があるため、残留塩水塊域の全てで管理塩淡水境界位を満足するのではなく、全体を平均して管理塩淡水境界位を満足していることを確認して試験を終了した。計画では除塩期間を1ヵ月としていたが、西部残留域の除塩期間は約2ヵ月程度必要と考える。東部残留塩水塊の長期除塩試験は、全体的に効率よく除塩され、計画通りの1ヵ月(4スパン)の除塩により、西部と同様に全体を平均して管理塩淡水境界位(EL. -43.5m)にまで低下させた。

これらの成果に基づき、実際の管理に反映させるために、米須地下ダム塩水管理マニュアルを整備した。また、以上の調査、解析、対策などの一連の検討は、塩水浸入阻止型地下ダム計画の塩水浸入予測解析と塩水管理に関する基本的技術として位置づけることができ、今後の塩水浸入阻止型地下ダム等の事業計画樹立及び事業実施にあたって活用されるものである。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 長 澤 徹 明

副 査 教 授 長谷川 周 一

副 査 准教授 井 上 京

学 位 論 文 題 名

塩水浸入阻止型地下ダム計画のための 塩水浸入予測解析と塩水管理に関する研究

地下ダムの一形式である塩水浸入阻止型地下ダムは、止水壁設置後、基盤上に塩水塊が残留する場合があります、この挙動把握と管理対策が重要な課題となる。本研究は、沖縄県米須地下ダムを対象として残留塩水塊、及び塩水浸入の挙動を把握し、農業用水供用を目途としたダム管理に具体的な指針を与えることを目的としたものである。

米須地下ダムは供用時に貯水位が海水面より大幅に低下するため、貯水位低下時には止水壁及び止水壁基礎部から新たな塩水が浸入し、貯水池内の残留塩水塊と合流して塩水塊が増大する。その塩水が取水井に引き寄せられ、灌漑用水の塩分濃度が許容塩分濃度(200mg/l)を上回ることが危惧される。このため、飽和・不飽和浸透流モデル、密度を考慮した移流分散モデルを作成し、灌漑用水の塩分濃度を事前に予測すると共に、必要な対策を検討することとした。

移流分散モデルの移流分散方程式には、計算の安定性に影響を及ぼす移流項が含まれている。水槽模型実験による塩水濃度分布状況の再現計算の比較により、解析プログラムとして DTRANSU を選定した。更に、選定した DTRANSU による水槽模型実験を検証した結果、流速分布や拡散部分の広がりをも明瞭に再現でき、米須地下ダムの塩水浸入予測解析に適用できると判断された。また、移流分散方程式には分散項を含み、分散の特性を左右する縦分散長を適切に捉えることが重要となる。このため、米須地下ダムの取水井付近でトレーサー試験、残留塩水塊域で揚水試験を行い、取水井周辺の縦分散長は安全性を考慮して 5m とし、残留塩水塊付近の縦分散長は 1m、取水井への影響度が低いことを考慮して上流域の縦分散長を 1m と推定した。

計画基準年で、止水壁等からの浸入塩水、残留塩水塊による取水井への影響、更に島尻層群泥岩に挟在する凝灰質砂層を通じた浸入塩水を加えた取水井への影響について、断面 2 次元水理モデルにより検討を行った。残留塩水塊が存在する箇所では、残留塩水塊の影響が大きく、締切り後の塩淡水境界位のままで計画取水を行った場合、許容値を大幅に超えることが予測される。このため、残留塩水塊の塩水を除去し、塩淡水境界位を西部 EL.-35.0m、東部 EL.-43.5m まで下げることによって、計画基準年相当の渇水においても、残留塩水塊域近傍の取水井の取水塩分濃度を許容値以下にすることができた。そこで、こ

の水準を管理塩淡境界位とし、本格的な灌漑期前に除塩して管理レベルまで低下させることとした。その除塩対象量は西部残留域で $Q=38,500\text{m}^3$ 、東部残留域で $Q=40,000\text{m}^3$ となる。

残留塩水塊が存在しなくとも、止水壁に近い箇所では、取水最高塩分濃度が許容値を超えることが予想された。この場合には、浸入塩水の影響を受けない上流側取水井からの取水用水と合流させることで許容濃度以下とすることができることから、混合希釈管理することで農業用水に供用できることを確認した。

計画基準年以外の渇水年における塩水浸入解析を、最も残留塩水塊及び浸入塩水の影響を受ける箇所で行った。計画基準年に近い渇水年においては、取水塩分濃度は許容値以下であり、本格的な灌漑期前に除塩を行い、管理塩淡境界位までに低下させる管理を行えば、灌漑用水の塩分濃度を許容値以下に維持できる。また、計画基準年を超える渇水年では、取水制限をせずに貯水位を低下させると大量の塩水が浸入し、取水塩分濃度は許容値を大幅に超える。このため、米須地下ダムからの取水制限を行い、貯水位が計画最低貯水位 (LWL. - 11.6m) を絶対に越えない取水・貯水位管理を行う必要があることを指摘した。

残留塩水塊域に設置した東西各 3 基の除塩井による長期除塩試験の結果、西部残留塩水塊では、5 日間 (120 時間) 連続揚水～揚水停止 2 日間 (48 時間) を 1 スパンとした 2 ヶ月 (8 スパン) の除塩で、全体を平均して管理塩淡境界位 (EL. - 35.0m) を満足することを確認した。また、東部残留塩水塊の長期除塩試験では、計画通りの 1 ヶ月 (4 スパン) の除塩により、西部と同様に全体を平均して管理塩淡境界位 (EL. - 43.5m) にまで低下させることができた。

これらの一連の研究成果は、米須地下ダム塩水管理マニュアルとして実際の管理に反映させると共に、塩水浸入阻止型地下ダム計画の塩水浸入予測解析と塩水管理に関する基本的技術として位置づけられ、今後の同形式地下ダム事業計画樹立及び事業実施に活用されるものと期待される。よって審査員一同は、名和規夫が博士 (農学) の学位を受けるに十分な資格を有するものと認めた。