

被災リスクを考慮した頭首工耐震補強の意志決定

Decision-making in earthquake resistance measures based on risk management

○田本 敏之*, 若林 孝*, 珠玖 隆行**

TAMOTO Toshiyuki, WAKABAYASHI Takashi and SHUKU Takayuki

1. はじめに

東日本大震災や部材劣化によるトンネル事故等を契機に、社会資本の耐震化対策、老朽化対策の実施等によるリスク管理の重要性が改めて認識されたところである。土地改良長期計画（平成24年3月閣議決定）では、「機能の監視・診断等によるリスク管理を行いつつ、劣化の状況に応じた補修・更新等を計画的に行うことにより、施設の長寿命化とライフサイクルコストの低減を図る戦略的な保全管理を推進する。」とされるなど、農業水利施設のストックマネジメントにおいても「リスク管理」の強化が求められている。

本稿では、耐震性能照査の結果、耐震補強が必要と判定された頭首工について、突発事故（破壊が生じうる規模の地震の発生）の発生確率と被災時の被害額から、リスク額を考慮したライフサイクルコスト（Life Cycle Cost, LCC）の比較を行うことにより、最もLCCで有利となる対策シナリオを選定した事例を報告する。

2. 耐震性能照査

対象となる頭首工は、重要度区分A種のフローティングタイプの頭首工であり、杭基礎により支持された構造である。施設機能診断調査の結果、堰柱の表面にアルカリ骨材反応によるものと考えられる亀甲状のひび割れが確認されているが、残存膨張性がないことから健全度S-3とされており、機能診断結果に基づく対策の目安は補修である。また、レベル2地震動において液状化が懸念されることから、耐震照査における土質定数を低減した。

耐震性能照査は、固有モード解析の結果、1次モードが卓越する結果（振り子のような単純な振動）となったことから、耐震設計及び頭首工の設計（土地改良基準^{2),3)}に従って、地震時保有水平耐力法（以下、保耐法とする）により、水平震度を漸増させて与えることで、損傷順序及び破壊形態の特定が可能なプッシュオーバー解析を実施した。

耐震性能照査の結果、常時及びレベル1地震動に対しては安全性が確保されるが、レベル2地震動に対しては安全性が確保されない結果となり、門柱・堰柱のせん断補強及び基礎の補強が必要であると判断された。耐震性能照査の結果を、Table 1に示す。

3. 対策工法及び被災によるリスクの検討

対策工法として、比較検討の結果、門柱・堰柱のせん断補強には、乾式吹付耐震補強工法（補強鉄筋+ポリマーセメントモルタル吹付け）を採用し、アルカリ骨材反応により劣化した表面のコンクリートをはつり取り、補強する計画とした。基礎の補強には、

Table 1 耐震性能照査結果
Result of seismic performance assessment

ケース No.	地震動	照査方向	慣性力の方向	結果	備考
1	レベル1	上下流方向	上流→下流	OK	
2			下流→上流	OK	
3		堰軸方向	堤防側→河川側	OK	
4	レベル2	上下流方向	上流→下流	OUT	
5			下流→上流	OUT	
6		堰軸方向	堤防側→河川側	OUT	
7			河川側→堤防側	OUT	
8	常時(湛水時)		—	OK	

*日化エンジニアリング株式会社 Nikka Engineering Co., Inc.

**岡山大学大学院 環境生命科学研究所 Graduate School of Environmental and Life Science, Okayama University

Key word: 頭首工, 耐震性能照査, リスク, スtockマネジメント

液状化対策効果も考慮し、地盤改良（浸透固化処理工法）を採用した。

被災によるリスクは、対象地震の発生確率に被害額を乗じて算出した。対象地震は、耐震性能照査の結果明らかになった、頭首工に損傷が発生する水平震度を有する地震とし、J-SHIS（地震ハザードステーション）のハザードカルテより、その発生確率を読み取り、その発生確率がポアソン分布に従うものとして年発生確率を算出した。このとき、J-SHISでは、工学的基盤面における最大速度が公開されていることから、「内閣府地震災害想定支援マニュアル（内閣府：2001）」により、表層の最大加速度に換算した。また、便宜上、対象地震が発生した場合には100%の確率で頭首工が被災すると仮定した。

被災時の被害額は、頭首工の再建設費と再建設期間の受益地の農産物減産被害を考慮した。この被害額に対象地震の年発生確率を乗じてリスク額とした。

4. リスク額を考慮した耐震補強の意志決定

対策の実施時期及び対策内容は、工事費にリスク額を加えたLCC比較により決定した。ここでは、補強及び改築を行った場合には、それ以降は被災のリスクが無くなることとして比較を行った。検討期間は50年とし、補修、補強及び改築の耐用年数は、それぞれ20年、40年、50年とした。5ケースについて比較した、LCC比較の結果をTable 2に示す。比較の結果、2回の補修を経て、補強を行う案が最も有利となった。

Table 2 リスク額を考慮したLCC比較
Comparison of LCC by risk cost

シナリオ No.	区 分	LCC (50年間)	順 位
1	改築(16)	421,878 千円	4 位
2	補強(1)⇒改築(41)	264,418 千円	3 位
3	補修(1)⇒改築(21)	443,993 千円	5 位
4	補修(1)⇒補強(21)	232,918 千円	2 位
5	補修(1)⇒補修(21)⇒補強(41)	217,110 千円	1 位 (採用)

※対策区分の()内の数字は対策年次を示す。

5. まとめ

本稿では、対策時期及び対策内容の意志決定手法として、最も評価の透明性が高い手法と考えられるLCC比較を採用した。結果として、耐震補強が必要であると判断された頭首工に対して、2回の補修を経て、耐震補強を行うシナリオを選定したが、この結果は、コスト縮減というメリットがある反面、長期間リスクを負い続けることを意味する。つまり、規模が大きい構造物や対象地震の発生確率が高い場合は、リスク額が大きくなることから、すぐに改築や補強を行う方が有利となることが考えられ、対策順序の決定に有効な手法であると考えられる。本手法を有効に活用するには、立場や価値観の異なる関係者に対して、円滑なリスクコミュニケーションにより合意形成を図っていくことが重要である。

■参考文献：1) 独立行政法人土木研究所 耐震研究グループ(2008)：土木研究所資料 地震時保有水平耐力法に基づく水門・堰の耐震性能照査に関する計算例，2) 社団法人農業農村工学会(2015)：土地改良事業設計指針 耐震設計，3) 社団法人農業農村工学会(2008)：土地改良事業計画設計基準および運用・解説 設計 頭首工基準，基準の運用，基準および運用の解説，技術書，4) 社団法人日本道路協会(2012)：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編，丸善出版，5) 農林水産省農村振興局(2015)：農業水利施設の機能保全の手引き。