

## 小規模水利施設の長寿命化を実現する手法の確立 —信頼性設計法による鉄筋コンクリート開水路の破壊確率の算出—

地域環境科学科 准教授

石井 将幸

### 目 的

中山間地域で用いられている末端水路のほとんどは、鉄筋コンクリート製の開水路である。開水路は用水路と排水路の両方に使われており、農業と農家を中心とした農村社会における極めて重要な社会インフラとなっている。

他の社会インフラと同様、農業用開水路も高度成長期に集中的に整備された。そのため現在では、耐用期間を迎えつつあるものや、すでに耐用期間を過ぎたまま使われているものもみられる。鉄筋コンクリート構造物はその性質上、耐用期間を過ぎたことによって急激な劣化を生じることはない。しかしいつまでも使い続けることもできないため、適切な時期に補修・補強や改築を行うことが必要である。

補修・補強や改築を行ううえで最も重要なのは、その着手時期の見極めである。そのためには新設時の性能と現在の性能を把握し、将来どのように性能が低下していくかを予測しなければならない。そこで本課題では、鉄筋コンクリート開水路の新設時における強度を評価することを目的とし、これまでに実施してきた研究の成果を活用しつつ、信頼性設計法の一つであるモンテカルロ法を用いて水路の破壊確率を算出する試みを行った。

### 研究成果

信頼性設計法にはいくつかの手法があるが、具体的な破壊確率の算出には二次モーメント法や一次ガウス近似法と呼ばれる手法が用いられる。これらの手法によって、ある形状をした開水路の破壊確率として約0.3%という値が算出されていたが、その値の精度については疑問が持たれており、実際にはもっと破壊確率は小さいのではないかと推察されていた。

開水路で最も生じやすい破壊は、側壁基部の曲げ破壊である。開水路の多くは地中に埋め込まれているため、側壁には土圧と地下水圧が水平に作用している。これらの荷重によって側壁が水路内側へ倒れこむ形態の破壊が生じる確率が、開水路の破壊確率となる。

しかし側壁基部には側壁の自重も作用している。この自重を考慮したうえで破壊に対する耐力を算出する手法はすでに確立しているが、その式は複雑である。そのため、算出式を変動要因で微分することが必要な二次モーメント法や一次ガウス近似法は適用できない。側壁自重を無視した耐力算出式は微分が可能であることから、先に挙げた0.3%という値が算出されていた。

そこで複雑な式に適用可能な手法として、モンテカルロ法を用いることとした。この手法では、まず各種変動要因の平均値と標準偏差の値を求め、それらを踏まえた乱数を用いて変動要因の値を決める。そしてそれに基づいて施設が破壊されるかどうかを判定する。この計算を数多く繰り返し、破壊とされた回数を全試行回数で割ることで、破壊確率を求めることができる。

まず、乱数列のばらつきによる結果の差異を防ぐために必要な試行回数を求めたところ、10万回の計算が必要なことが分かった。そして対象とした水路の破壊確率が約0.1%と求められた。この値は側壁自重を無視した計算による値の約1/3であり、自重を適切に考慮することの重要性が明らかになった。

荷重を考慮した方が安全になるという結果の理由は、鉄筋コンクリート構造の設計で一般に行われて

いる鉄筋量の制限にある。普通、鉄筋を多く使用すれば構造物の耐力は増すが、開水路側壁のように曲げ破壊を生じる可能性のある構造物に多くの鉄筋を使用すると、ほとんど変形せずに突然破壊するようになる。これを避けるため、破壊前に大きく変形することができ、施設使用者が破壊の前兆をつかむことができるよう、鉄筋の量が制限されている。これにより、鉄筋には強度上の余裕が少なく、コンクリートには余裕が大きいのが普通である。曲げ破壊において鉄筋は引張で、コンクリートは圧縮で破壊するが、側壁自重は両者を圧縮する。そのため側壁自重を無視した過去の計算では、コンクリートの余裕をさらに大きく、鉄筋の余裕をさらに小さく評価していた。今回行った破壊確率の算出では、コンクリートと鉄筋の余裕を適切に評価することができているため、0.1%という破壊確率が正確な値であると言える。

### 社会への貢献

構造物の破壊確率を正確に求め、構造物が持つ安全性が適切なものであるかを評価する必要性は古くから指摘されてきた。しかし破壊確率の算出には様々な困難があるため、実現した例は極めて少ない。破壊確率の算出に不可欠な変動要因の平均値や標準偏差を求めて信頼性設計を実施する下地を整え、すべての荷重を考慮したうえで水路の破壊確率を算出した意義は大きい。これにより、施設の状態を作用力と耐力の比ではなく破壊確率で表現できるようになるため、水路を管理・利用している中山間地域の方々にわかりやすく説明できるようになる。これは中山間地域インフラの適切な維持管理と長寿命化を実現するうえで、重要な進歩であると考えている。

### 次年度に向けた検討状況

信頼性設計法では、破壊確率の他に感度係数と呼ばれる値が重要視されている。これは各変動要因が破壊に及ぼす影響の大小を表す数値である。影響が大きい変動要因に対しては慎重な管理が要求される一方、影響が小さいものについては管理を簡素化してコストや手間を縮減することができる。モンテカルロ法で感度係数を求める方法は明らかではないため、その手法を開発したいと考えている。

また様々な形状の水路に対して破壊確率を求めることで、幅広い状況の把握に努めたい。

### 公表論文

なし

### 学会発表等

1. 武田育郎・宗村広昭・佐藤裕和・野中資博・長東 勇・石井将幸・木原康孝・深田耕太郎：人口減少社会における水環境の創造，飯南第1回報告会（中山間フェア in い〜なん）

### 受賞等

農業農村工学会優秀論文賞

「現場打ち RC 開水路の施工精度に関する調査と分析，石井将幸・野中資博・吉岡裕次・沖田和土」

### 外部資金

なし