

現場打ち RC 開水路の施工精度に関する現地調査と統計量の算出

Investigations for statistical parameters for construction accuracy
in cast-in-place RC open channels

○石井 将幸*・野中 資博*・吉岡 裕次**・川本 芳久**・沖田 和士**

ISHII Masayuki, NONAKA Tsuguhiro, YOSHIOKA Yuji, KAWAMOTO Yoshihisa, and OKITA Kazushi

1. はじめに

性能照査型設計法への移行が始まりつつある現在、信頼性設計法に理論背景を置いた限界状態設計法の実現が急がれている。土木学会によるコンクリート標準示方書には、限界状態設計法の手順とともに部分安全係数の値が示されているが、それらの値は信頼性設計法による検討を行って定められたものではない。示方書による手法が開水路をはじめとする水利施設に適しているかを確認するためには、レベル II 信頼性設計法による検証を行う必要がある。

レベル II 信頼性設計法では、材料物性、構造諸元や荷重を左右する各パラメータに対して、期待値と変動係数といった統計量が必要となる。そのような値を得る試みはいくつか行われているが、水路壁のような薄肉の面状構造物に対し、曲げ耐力を左右する有効高さの統計量を求めた事例はない。

そこで農林水産省農村振興局の性能規定化委員会構造分科会では、有効高さの統計量を求める目的で、全国の開水路において局部破壊調査を実施し、壁厚とかぶり厚の測定を行った。この調査は中国四国農政局土地改良技術事務所が主管、全国の土地改良技術事務所が実施し、結果の解析を島根大学が行ったものである。ここでは、この調査と解析によって得られた結果について報告する。

2. 現地調査の概要

有効高さとは、曲げを受ける RC 部材における圧縮縁から引張鉄筋の図心までの距離、と定義される。部材の曲げ耐力に大きな影響を持ち、施工精度の良否によるばらつきを示すと考えられる。そこで、現場において壁厚と鉄筋の純かぶりを測定して期待値と標準偏差を求め、それらより有効高さの期待値ならびに標準偏差を算出することとした。調査の対象は、取り壊しが予定されている全国 6 箇所の現場打ち RC 開水路とし、調査に先立ち設計図面の収集を行った。

かぶりの測定は局部破壊調査として鉄筋をはつり出し、水路の表面から鉄筋までの深さを計測することで実施した。その際に鉄筋の直径を測定することで、図心かぶりへの変換が可能になるようにしている。壁厚の測定は、はつり出しの際に壁体を貫通する穴を開けて行った現場と、水路の取り壊しの際に行った現場とがある。テーパがついて壁厚が高さによって異なる水路では、壁厚に加えて測定点の高さを必ず記録し、設計図面との比較が可能になるように配慮した。

3. 標本単位の決定と統計量の算出

信頼性解析で用いられる変動係数とは、標準偏差を期待値で割った値である。その算出に先立ち、まず標本から期待値と標準偏差を求めなければならないが、現場構造物を対象とした統計解析で問題となるのが、標本をどこまでまとめて扱うべきであるか、という点である。各地区で調査対象となった水路の設計断面や施工条件は様々であり、また同一現場内でもすべての標本を一括して扱うことが適切であるかは明らかではない。一括して扱えない標本をまとめて分散の値を計算すると、標本間の差が大きいことから過度に大きい標準偏差が得られてしまう。

そこで現地調査では、複数のバレルや右左岸両側の側壁など、対象となる壁体を分散させて局部破壊調査を行った。これは、壁体が異なってもほぼ同様のかぶりや壁厚になっているかを確認するためである。同様であれば一括した統計解析が可能であり、同様でなければ分割して扱わなければならない。これらを踏まえ、以下の手順による解析を行って標準偏差の値を得ることとした。

*島根大学生物資源科学部；Faculty of Life and Environmental Science, Shimane University.

**中国四国農政局土地改良技術事務所；Land Improvement Engineering Service Center, Chugoku-Shikoku Regional Agricultural Administration Office. 開水路，施工精度，有効高さ，信頼性解析

1. 標準偏差等の計算は最大でも現場単位とし、以下の手順により分割の要否を判断する。
2. 標本をバレル別、右左岸別など、2つのグループに分ける。
3. 2つのグループに対して、Welchのt検定による同一母集団の検定を行う。両グループが同一母集団に属するという結果が得られたならば、その現場における標本すべてを一括した標本単位として、属しないと判定された場合は、各グループを個別の標本単位として扱う。現地の状況から検定結果による分け方が適切ではないと判断される場合は、現地状況に基づく判断を優先する。
4. 決定された標本単位のそれぞれに対し、標準偏差の値を計算する。母集団の標準偏差を推定することが目的であるため、標準偏差は不偏分散の平方根とする。
5. すべての標本単位より得られた標準偏差から、全体としての標準偏差 σ を次式のように求める。 m は標本単位の数、 σ_i は i 番目の標本単位から得られた標準偏差である。 σ は各標本単位が標準偏差を σ_i とする正規分布に従うときに、全標本単位の平均値に従う分布の標準偏差である。

$$\sigma = \frac{1}{\sqrt{m}} \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \dots + \sigma_m^2}$$

6. かぶりの標準偏差 σ_c と壁厚の標準偏差 σ_w が得られたら、これらより有効高さの標準偏差 σ_d を $\sigma_d = \sqrt{\sigma_c^2 + \sigma_w^2}$ のように求める。これは、鉄筋位置と壁厚の変動を独立したものと考え、両変動の和を有効高さの変動とする考え方によるものである。

標準偏差の値は標本のみから求めることができるが、期待値の決定には設計図面との比較が必要となる。しかし今回の調査では、信頼できる設計図面が一部の現場についてしか得られなかった。そこで現時点においては、壁厚とかぶりの両方について、設計図面の値を期待値とみなすこととし、標準偏差のみについて計算を行った。

4. 結果と考察

A から F までの現場について同一母集団の判定を行った結果、現場 D のかぶりについては右岸と左岸で分けた扱いが必要であるとの結果が得られた。また現場 B においては、現地の状況から同様に右左岸を分けるべきであると判断された。以上に基づき、各標本単位について得られた壁厚とかぶりの標準偏差を示すと以下ようになる。なお A と B の現場では、有効な壁厚の値を得ることができなかった。

Table1 各現場におけるかぶりと壁厚の標準偏差 (mm)

| Standard deviations of reinforcement covering and wall thickness in each site (mm) | | | | | | | | |
|--|-------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|
| 標本単位 | 現場 A | B 右岸 | B 左岸 | 現場 C | D 右岸 | D 左岸 | 現場 E | 現場 F |
| かぶり | 7.695 | 10.046 | 10.232 | 10.577 | 12.271 | 8.044 | 8.201 | 12.850 |
| 壁厚 | — | — | — | 3.056 | 3.251 | | 1.838 | 4.886 |

Table2 全現場による壁厚の標準偏差 (mm)

Standard deviations of reinforcement covering and wall thickness considering all sites (mm)

| 対象 | かぶり | 壁厚 | 有効高さ |
|------|-------|------|-------|
| 標準偏差 | 10.15 | 3.43 | 10.71 |

かぶりの標準偏差は既往文献に¹⁾よる値である、6.5mm よりもかなり大きい値となっている。これはさほど大きな耐力が要求されず、鉄筋が細い上に配筋もまばらな開水路では、コンクリートの打ち込み時に鉄筋が動いてしまうことがあるためと考えられる。一方、壁厚の標準偏差はかぶりよりも非常に小さく、壁厚の施工精度がかぶりより高いことが示されている。有効高さの変動の多くは鉄筋位置の変動によることから、正確な鉄筋組み、セパレータやスペーサの適切な使用、ならびに鉄筋を動かさないようなコンクリートの打ち込みが、耐力を確保するうえで重要であると言える。

参考文献

1) 堀口潤一・一耕好充・山本正明：土質データーのばらつきと設計 5. 実際の構造物への適用，土と基礎，35(8)，75-82(1987).