

内圧管転用のために更生されたRCカルバートの破壊解析

Fracture analysis of renewed RC culvert under internal pressure

○石井 将幸*・野中 資博*・石黒 覚**・前田 弘司***
Masayuki ISHII, Tsuguhiko NONAKA, Satoru ISHIGURO, and Kouji MAEDA

1. はじめに

長期にわたって供用されてきた水利構造物の中には、経年劣化などにより維持や更新を必要とするものが生じており、またその数は今後急激に増大すると予想されている。そこで本研究では、製管工法によって更生されたRCカルバートの破壊解析を実施し、更生管の強度や内圧管転用の可能性などについて検討した。

2. 更生工法の概要

本研究で対象とした更生工法は、Fig.1 に示した一般に製管工法と呼ばれるものである。この工法では、劣化した既設管の内側にプロファイルと呼ぶ内管を設置し、両者の間に裏込めモルタルを充填して一体化させる¹⁾。プロファイルは塩化ビニールと補強用の裏筋で構成され、表面の粗度はコンクリートよりも小さい。そのため、更生後の通水面積は既設管より小さくなるものの、流下能力を低下させずに更生することが可能である。

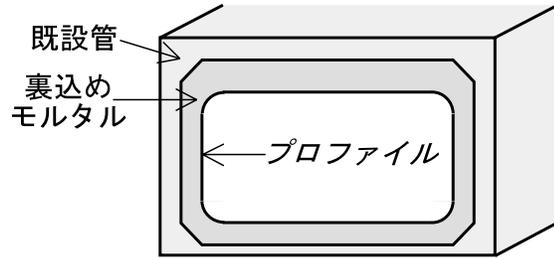


Fig.1 Schematic view of renewed culvert

更生管の強度は、既設管、裏込めモルタルとプロファイルが一体化することによって確保される。既設管の劣化が激しく、肉厚が減少しているような場合でも、プロファイルの種類、モルタルの種類と厚さを適切に選択することによって、既設管の新設時と同程度以上の強度を持たせることができる。また、外圧管を内圧管に転用するような場合に対しても、本工法の有用性が実証されつつある。

3. 材料試験

構造物の強度解析や破壊解析では、用いられる材料の正確な物性を解析条件として与えることが重要である。特に、新しい材料である裏込めモルタルの挙動を予測することが、正確な破壊解析を行ううえで不可欠であると予想された。そこで、既設管に用いるコンクリートに加え、モルタルの材料試験を行って解析に必要な物性値を求めた。得られた値を Table 1 に示す。なお、コンクリートの物性値の中で*印があるものは、実験ではなく標準示方書に従って求めた推定値である。

モルタルの圧縮強度はコンクリートとほぼ同じであるが、破壊時のひずみが非常に大きい。また破壊エネルギーはコンクリートの約 1/3、ヤング率は 1/7 程度となった。圧縮時にかなり大きいひずみに至るまで破壊しないのは、モルタルがポリマー分を多く含んでいるためであると考えられる。

Table1 Parameters obtained by experiments

既設管のコンクリート			
圧縮強度	40.5MPa	破壊時の圧縮ひずみ	0.00350*
引張強度	2.71MPa*	破壊エネルギー	151N/m
ヤング率	31.1GPa*		
裏込めモルタル			
圧縮強度	41.7MPa	破壊時の圧縮ひずみ	0.0121
引張強度	3.72MPa	破壊エネルギー	55N/m
ヤング率	4.31GPa		

*島根大学生物資源科学部； Faculty of Life and Environmental Science, Shimane University
**三重大学生物資源学部； Faculty of Bioresources, Mie University
***前田設計室； Maeda Design Laboratory

上記の値は3本ないし4本の供試体から求めた値の平均値であるが、コンクリートの破壊エネルギーを除いて、各供試体からほぼ同じような値が得られた。

4. 破壊解析と結果

実際に行われる模型試験に合わせ、Fig.2に示す断面を想定して解析条件を設定した。この断面の頂版外側には配筋がなく、内圧管として用いるためには頂版の曲げ耐力不足が懸念される。そのため、床版側の裏込め厚が45mmであるのに対し、頂版側を125mmと厚くして、耐力を増す設計となっている。十分な耐力が確保されていることを確認し、また解析の精度を検証する目的で、実験と解析の両方を実施した。

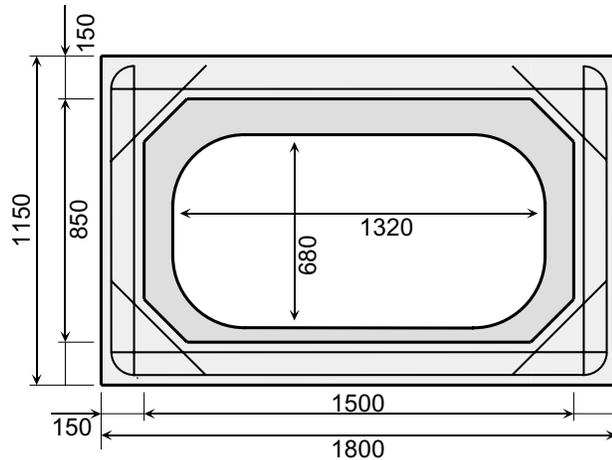


Fig.2 Dimensions of renewed section

支持条件は実験の形態に合わせ、床版の両端付近で支持する単純支承とした。考慮した荷重は自重と内水圧の2つであるが、内水圧については静水圧分布を考慮せず、管中央の高さにおける値を管内面の全体に与えた。これは、実構造の設計と解析に用いられる荷重設定²⁾に合わせたものである。内水圧をゼロから開始して徐々に増加させ、構造の破壊によって収束解が得られなくなった時点で解析を終了した。解析に用いたソフトウェアは、ATENA という市販の有限要素法破壊解析プログラムである。

解析においてひび割れの発生した部位、水圧とその後の進展状況を Table 2 に示す。ここで言う進展とは、ひび割れ発生後の水圧増加によって生じる亀裂の進展を指している。

Table2 Position of cracks caused by water pressure

亀裂発生部位	発生水圧	その後の進展状況
底版中央部外側	0.12MPa	徐々に進展
頂版中央部外側	0.17MPa	0.21MPa で一気に進展
側壁打継ぎ面	0.17MPa	徐々に進展

最も低い水圧でひび割れが発生したのは床版部、既設管の外側であった。床版には外筋が入っているため、既設管そのものの曲げ強度は頂版よりも強い。しかし裏込めが頂版よりも薄いことから、大きな引張応力が外側に生じてひび割れにつながったと考えられる。その後の亀裂進展は、引張筋の効果もあって比較的緩やかであった。

一方、頂版外側のひび割れ発生は床版より遅れるものの、水圧の増加によって一気に進展、内筋の深さにまで達するという結果となった。外筋のない既設管でも、内水圧に対する強度を更生によって向上させることが可能であるが、終局状態では破壊が脆性的に進行する危険性も認められる。水路の運用で生じる内水圧や水撃圧を正確に予測し、危険な断面とならないように配慮することが重要である。側壁では、既設管とモルタルの打継ぎ面でコンクリートのひび割れが生じた。終局ひずみの小さいコンクリートが、モルタルの大きな変形に追従できないことが原因であると考えられる。

5. 結論

製管工法で更生したRCカルバートを対象として、内水圧を负荷した状況における破壊解析を行った。材料試験を実施して求めた各定数に基づき、構造の各部にひび割れが生じる水圧を求めた。今後は実験と解析の結果を詳細に比較し、より精度の高い解析を可能とする方法を探りたい。

参考文献

- 1) 大迫健一ら：下水道管渠の老朽化分析と更生工法の開発・実用化に関する研究，下水道協会誌，Vol.38，No.462，pp.110-119，2001.
- 2) 農林水産省構造改善局：土地改良事業計画設計基準 設計「水路トンネル」技術書 基準書，p.323，1996.