

## 更生管に適した強度解析手法に関する検討

Studies on method of strength analyses suitable for renovated RC culvert

○石井 将幸\*・野中 資博\*・渡辺 充彦\*\*・鈴木 隆善\*\*・伊藤 秀幸\*\*\*

ISHII Masayuki, NONAKA Tsuguhiko, WATANABE Mitsuhiko, SUZUKI Takayoshi, and ITO Hideyuki

### 1. はじめに

管更生工法は老朽化した管渠を補修するだけでなく、強度を向上させることもできる。しかし、更生管の強度を評価する方法はまだ完全には確立されておらず、既存手法のどれが適用可能であるかも明らかではない。さらには、更生を受ける既設管の劣化や損傷の状態、また更生後の用途や要求性能も様々であるため、最適な解析手法は事例によって異なってくると考えられる。そこで、本研究では更生を行った RC カルバートを対象として、フレーム解析と限界状態設計法による破壊荷重の算出を行い、その値を破壊解析の結果と比較するとともに、限界状態設計法と破壊解析のそれぞれが持つ長所と短所、また適用可能性について考察を行った。

### 2. 更生管の強度解析で考慮すべき事項

管更生工法では既設管内に各種の更生材を内巻きし、劣化した内面の保護や管厚の増大を図る。更生工法の種類によっては、更生材の厚さを場所によって変化させることができ、既設管の劣化状況や作用する荷重、あるいはコスト縮減など、目的に応じた更生を行うことが可能である。カルバートの更生においても、例えば内圧管転用のように荷重状態が更生前と大きく変化する場合などでは、頂版と底版の裏込め厚を変える場合がある。このような構造物に対しては、構造部位ごとに異なる断面量に対応が可能な、フレーム解析や数値解析などを用いる必要がある。

また類似した管渠であっても、内圧管とそうでないものでは、設計で想定すべき限界状態が異なってくる。内圧管からの漏水は、送水の損失に加えて圧力の大きな低下を生じるため、ひび割れ、特に貫通ひび割れの発生を限界状態とみなさなければならない。そのため、ひび割れが発生する荷重の大きさを正確に算出できる手法を用いる必要がある。一方、管内に水面が形成されて水圧が作用しないような場合には、ある程度の漏水を許容できると考えられ、ひび割れの発生ではなく断面が破壊されるような状態が限界状態となる。このような場合には、鉄筋が降伏した状態をきちんと考慮し、破壊形態と破壊荷重を正確に求めることが可能な手法を用いる必要がある。

### 3. 解析の手法、対象と結果

ここでは、状況に応じて最も適した解析手法を選ぶ基準を明らかにするための研究の一環として、カルバートが断面破壊に至る荷重の大きさを求めるために適した手法について検討する。用いた解析方法は、フレーム解析と限界状態設計法の組合せ、および破壊解析の2種類である。フレーム解析は弾性解析の一種で、構造物の緒元と荷重から、構造物の各部位に生じる軸力、せん断力、曲げモーメントなどの断面力を算出することができる。解析ではカルバートの各辺を線部材とみなし、断面積、弾性係数、断面二次モーメントなどの断面量を与える。RC 構造や更生管のような複合構造では、合成断面量を算出して与えなければならない。また限界状態設計法からは、断面の耐力が求められる。フレーム解析で得られた断面力と断面耐力を比較することで、破壊に至る荷重を求めることができる。なおひび割れの生じる荷重が必要な場合には、断面力の値から引張縁に生じる応力の大きさを求め、これを材料の引張強度と比べることによって、ひび割れ荷重が得られる<sup>1)</sup>。

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

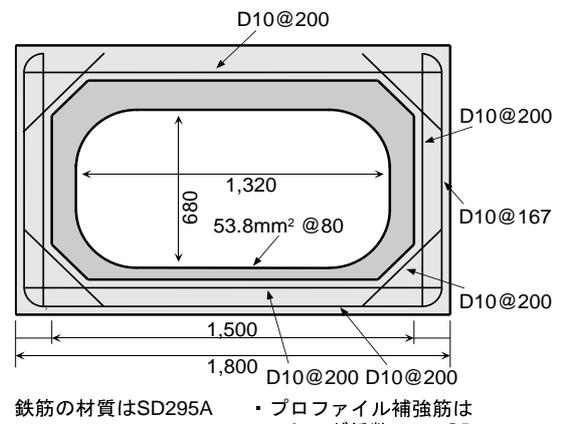
\*\*積水化学工業(株)；Sekisui Chemical Co.Ltd.

\*\*\*松江工業高等専門学校；Matsue College of Technology. 更生管, 限界状態設計法, 破壊解析

破壊解析では、構造物が荷重を受けて変形し、ひび割れを生じて破壊に至るという過程を、詳細に解析することができる。しかしこの手法では、断面力や断面耐力の具体的な計算は行われないため、破壊やひび割れを生じない部分に、どの程度の安全性があるのかは明らかにならない。

解析対象とした更生管の概要を Fig.1 に示す。この更生管は、淡色で示したカルバートの内側に補強筋を備えたプロファイルで内管を構成し、カルバートと内管の空隙に濃色で示した裏込めモルタルを充填して一体化させたものである。プロファイル補強筋は裏込め部の内側表面に位置している。

この更生管に内水圧が均等に作用するものとして、まずフレーム解析で断面力を計算した。頂版、底版と側壁のそれぞれで異なる断面積と合成断面二次モーメントを計算し、隅角部の剛性が十分大きいものとしてモデル化を行った。このモデルで得られた軸力と曲げモーメントの値に基づき、コンクリート標準示方書 [ 構造性能照査編 ] の手順に従って求



コンクリート	圧縮強度：25.5MPa, 引張強度：1.64MPa ヤング係数：32.6GPa, ポアソン比：0.2
裏込めモルタル	圧縮強度：25.5MPa, 引張強度：2.32MPa ヤング係数：30.3GPa, ポアソン比：0.2

Fig.1 解析対象断面 Properties of renovated culvert

めた軸方向耐力と曲げ耐力の値から、破壊に至る内水圧の大きさを計算した。また破壊解析では、均等に作用する内水圧を徐々に大きくしながら解析を行い、鉄筋の降伏やコンクリートの圧壊が生じて計算が収束しなくなる内水圧の大きさを求め、その値を破壊水圧とした。

得られた破壊水圧は、フレーム解析と限界状態設計法では 0.214MPa、破壊解析では 0.285MPa となり、両者の間にはかなり大きい差が生じた。これは、限界状態設計法では部分安全係数とコンクリートの強度低減係数  $k_1$  で安全性の確保が行われており、破壊水圧が実際より小さく見積もられる一方、破壊解析ではそのような処置が行われていないためである。そこで、安全性確保を行わずに破壊水圧を求め直したところ、値は 0.239MPa と破壊解析の値より依然として小さくなった。内水圧によるカルバートの破壊では、破壊前に鉄筋が降伏して塑性ヒンジが発生し、曲げモーメントの再分配が起こって破壊が進んだ場所に作用する曲げモーメントが小さくなる。破壊解析ではこれが適切に考慮される一方、弾性解析であるフレーム解析では考慮することができず、破壊荷重を過小に評価する傾向がある。本研究における破壊水圧の差異も、これが原因であると考えられる。

#### 4. 強度解析に適した手法

設計を前提とした更生管の強度解析では、破壊荷重の計算そのものに加えて、適切な安全余裕の確保と既設管に生じた劣化や損傷の考慮が必要になる。安全余裕の確保については、安全側の結果に至る弾性解析と実績のある部分安全係数を用いる、フレーム解析と限界状態設計法による手法の方が現状では優れている。そのため通常の設計では、当面この方法を用いるべきであると考えられる。しかし、既設管の劣化・損傷が著しい場合や、破壊形態に関する詳細な検討が必要な場合には、これらを適切に考慮できる破壊解析を用いなければならない。破壊解析で安全余裕をどう評価し、どれくらいの余裕を付加するかについては、今後の検討が必要である。

#### 参考文献

1) 石井将幸・野中資博・鈴木隆善・渡辺充彦・福田宏樹：組合せ荷重下における更生管のひび割れ強度，平成 18 年度農業土木学会大会講演会講演要旨集，CD-ROM (2007)。