

外水圧が作用する更生管の安全性検証

The Safety Verification of FRP Pipe affected by External Hydraulic Pressure

裕 昌也* ○ 間宮 聡* 毛利 栄征** 有吉 充*** 吉原 正博****
 Masaya Hazama Satoshi Mamiya, Yoshiyuki Mohri, Mitsuru Ariyoshi Masahiro Yoshihara,

1. はじめに

老朽化トンネルおよび農業用パイプライン等の既設管内に新管を挿入して更生する場合、地下水が内挿管(更生管)に直接作用する場がある。このため、更生管が外水圧により、内側に変形(座屈破壊)する事故が発生している。本報では、既設管の劣化が進行している更生管の外水圧に対する安全性を検討するため、更生管に外水圧が作用した際の拘束座屈試験を行った。

2. 試験方法

2.1 試験概要

拘束座屈試験の概要を図1に示す。供試管は、試験治具の端部縮付力による管体の影響を無くするため分割型とし、中央(管長400mm)部を計測用供試管とする。また、供試管の長手方向の形状を保持するため、管体の外周にラテックスメンブレンを被覆し、管周囲から外水圧を0.01MPa/minで負荷した。

2.2 供試管概要

供試管のモデルは3層構造になっている。(図2)更生管として内径150mm、管厚1.8mmのFRP管を用いた。更生管と既設管の間に充填する中込材は、実際の現場で用いられている滞水型エアミルクおよび超軽量型エアミルクを使用した。中込材の概要を表1に示す。既設管は鋼管(厚み2.3mm)を用い、老朽管を模擬した4分割管(管頂・管側・管底の4箇所)に幅5mmの隙間を管長手方向に設置)とした。既設管の周囲には砂(豊浦標準砂)の充填を行い、更生管の変形を拘束するものとした。また、更生管と中込材との間には0.15mmの隙間を設けている。

3. 試験結果

3.1 滞水型エアミルクによる座屈圧力の確認

中込材として、滞水型エアミルクを使用した結果を表2に示す。

供試管は0.53MPa(平均値)を最大圧力として、いずれも既設管および中込材に空隙を設けた箇所を起点に、更生管が管内面方向に変形し座屈する結果となった。更生管のひずみ分布および座屈変形開始後の管内変位分布図をそれぞれ図3および4に示す。

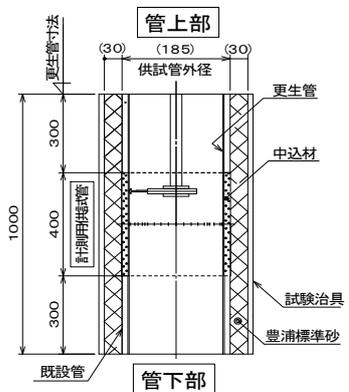


図1 拘束座屈試験概要図

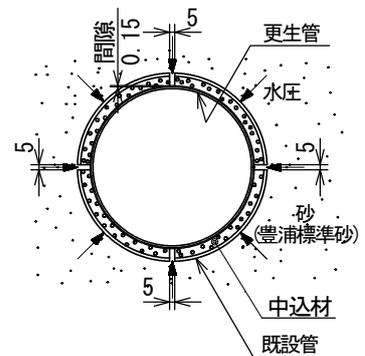


図2 拘束座屈試験モデル

表1 中込材概要

| 中込材種類 | 圧縮強度 N/mm ² | 比重 | 透水係数 cm/sec |
|-----------|---------------------------|---------|-----------------------|
| 滞水型エアミルク | 1.0以上 | 1.1±0.1 | 8.81×10 ⁻⁸ |
| 超軽量型エアミルク | 0.5以上 | 0.5±0.1 | 1.30×10 ⁻⁸ |

* 株式会社栗本鐵工所 Kurimoto Co.,LTD 改修工法, 管路, 外水圧
 ** 茨城大学 Ibaraki University
 *** 農村工学研究所 National Institute for Rural Engineering
 **** 住友大阪セメント株式会社 Sumitomo Osaka Cement Co.,LTD

表 2 滞水型エアミルクによる試験結果

| 中込材種類 | 砂の相対密度 % | 座屈圧力 MPa | |
|--------------|-------------|----------|------|
| | | 実験値 | 平均値 |
| 滞水型 エアミルク | 73 | 0.51 | 0.53 |
| | 77 | 0.53 | |
| | 55 | 0.54 | |

3.2 超軽量型エアミルクによる座屈圧力の確認

中込材として、超軽量型エアミルクを使用した結果を表 3 に示す。座屈圧力値に若干のバラツキは見られるが平均 0.54MPa となり、滞水型エアミルクの試験結果と概ね同等程度となった。更生管の座屈変形状況についても滞水型エアミルクの結果と同様であった。

表 3 超軽量型エアミルクによる試験結果

| 中込材種類 | 砂の相対密度 % | 座屈圧力 MPa | |
|---------------|-------------|----------|------|
| | | 実験値 | 平均値 |
| 超軽量型 エアミルク | 74 | 0.42 | 0.54 |
| | 68 | 0.65 | |

3.3 Amstutz 式との比較・検証

下記に示す Amstutz 式は、管の外周がコンクリートで拘束された状態で外水圧の作用を受けた場合の座屈圧力の算定式で、土地改良事業計画設計基準「水路トンネル」等で採用されている。トンネルの覆工コンクリート内部に微小な間隙を持って内張された鋼管の座屈理論式として提案されているが、本理論における仮定として、管の変形はコンクリートにより拘束され、かつ管とコンクリートの間隙による拘束低下を考慮している。

$$P_k = \frac{\sigma_N}{\frac{R}{t} \left(1 + 0.35 \cdot \frac{R}{t} \cdot \frac{\sigma_F - \sigma_N}{E_c^*} \right)}$$

P_k : 座屈圧力 (MPa) R : 管厚中心半径 (mm) t : 管厚 (mm)
 σ_N : 管に発生する直応力度 σ_F : 管の圧縮強度 (MPa)
 $E_c^* : E_c / (1 - \nu^2)$ E_c : 更生管圧縮弾性係数 ν : ポアソン比

Amstutz 式を用いて、本試験モデルの座屈圧力を算定した。表 2、3 の試験結果と併せて表 4 に示す。本試験結果では、いずれの中込材においても Amstutz 式から得られる理論値 (0.45MPa) と概ね一致する結果となり、中込材強度の違いによる影響は確認

表 4 実験値と理論値の比較

| 実験値 MPa | | 理論値 MPa |
|--------------|---------------|----------|
| 滞水型 エアミルク | 超軽量型 エアミルク | Amstutz式 |
| 0.53 | 0.54 | 0.45 |

されなかった。両者の相違については、Amstutz 式は、中込材の圧縮強度については考慮していないこと、拘束座屈試験における中込材と更生管の間隙や周辺地盤の扱いなどの影響が大きいと考える。

4. おわりに

本報では、拘束座屈試験結果を Amstutz の理論式を用いて比較・検証を行った。本試験結果は、中込材強度に関わらず、Amstutz 式より算出した理論値と概ね一致する結果となった。今後は、馬蹄形管に代表される非円形管についても検討していく。また、数値解析による検証を進めていくとともに、近年増加傾向にある管更生工事に対して適切な設計手法を提案していきたいと考える。

【参考文献】 間宮 小山 有吉 毛利 (2013) : 外水圧作用時における更生管の安全評価について

平成 25 年度農業土木学会大会講演会要旨集 762-763

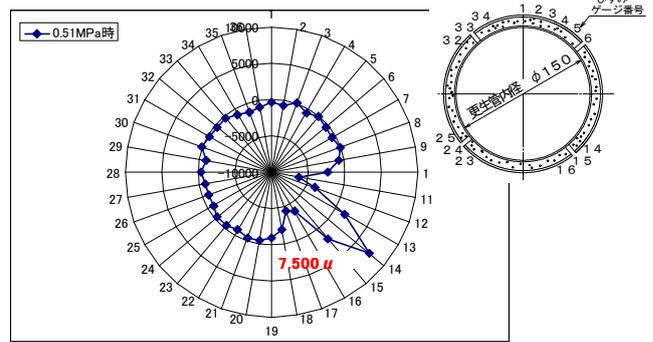


図 3 更生管ひずみ分布図

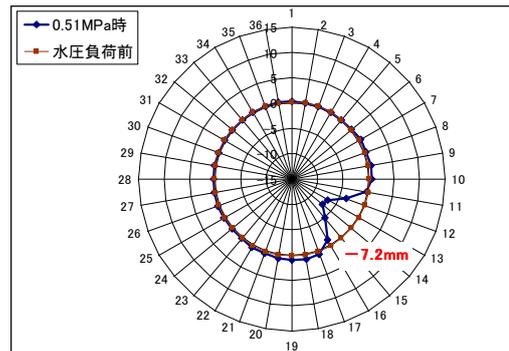


図 4 更生管変位分布図