

内面載荷法を適用したひび割れ RC 管の 3 次元 FEM 解析の検討 Issue extraction for 3D-FEM by internal loading method applied to cracked RC pipe

○大山幸輝* 兵頭正浩** 緒方英彦** 石井将幸***

Koki OYAMA* Masahiro HYODO** Hidehiko OGATA** Masayuki ISHII***

1. はじめに

埋設管の耐力評価手法として内面載荷法が提案されている。本手法では、図-1 に示すパンタジャッキ構造の装置を用いて管内面から鉛直荷重をし、微視的に管を楕円状に変形させ、鉛直荷重-水平変形量（断面内剛性）を評価する。本手法における評価基準としては図-2 に示すとおり、埋設管の劣化度合いに応じて領域分けされた機能診断評価図が検討されているが、閾値の設定が課題となっている。その閾値を検討するためには、管の劣化現象及び管内面からの局所載荷を考慮した解析モデルが必要となる。そこで本研究では、先行研究¹⁾にて検討された外圧試験によって複数の損傷（ひび割れ）ケースを付与された RC 管に対する内面載荷試験を対象に数値解析を実施し、実測値との比較評価を行った。

2. 試験方法および解析モデルの概要

本試験のフローは、図-3 に示すように、①外圧試験による損傷（ひび割れ荷重）の付与、②外圧荷重を除去後に内面載荷法による荷重-変形量の測定、を基本とし、複数の損傷ケースにおける RC 管の断面内剛性を評価した。

評価対象とした供試管は、RC 管の外圧 1 種管（口径 400mm, 有効長 2,430mm, 管厚 35mm）1 本である。管に付与する損傷は、JIS A 5372「プレキャスト鉄筋コンクリート製品」のひび割れ荷重 $F_c=21.6\text{kN/m}$ (52.5kN/本) を基準とした $0/3 F_c$ (内面載荷のみ), $3/3 F_c$, $3.5/3 F_c$, $4/3 F_c$ の 4 ケースを設定し、同じ管に対して①と②の試験を繰返し行った。外圧試験時には、差口から 45cm の位置で管の鉛直たわみを測定した。各 4 ケースにおける内面載荷法の測定位置は、差口 (0cm) を基準として 40cm 位置から 240cm 位置の間の計 6 点とした。その際、RC 管に与える最大変形量は片側 $30\mu\text{m}$ (両側 $60\mu\text{m}$) とした。

供試管の物性値は、健全状態の RC 管に対する内面載荷挙動を再現できることを確認しているものである (表-1)。コンクリートの材料モデルは破壊・塑性基準に基づいた構成則による分散ひび割れモデルとし、管の形状の対称性から 1/2 モデルとした。外圧試験-

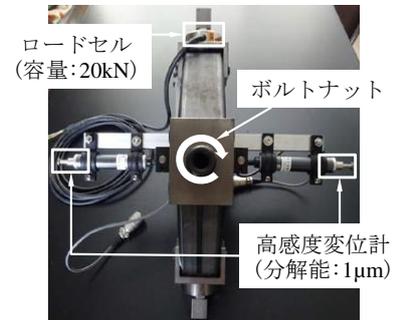
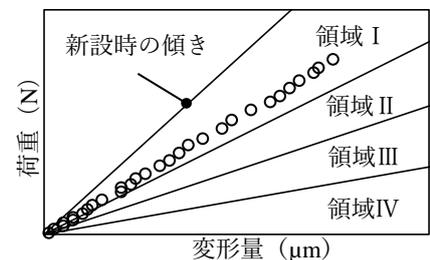


図-1 内面載荷装置の概略図



領域 I : 対策不要, 領域 II : 要観察, 領域 III : 要対策 (補修あるいは補強), 領域 IV : 改築

図-2 機能診断評価図

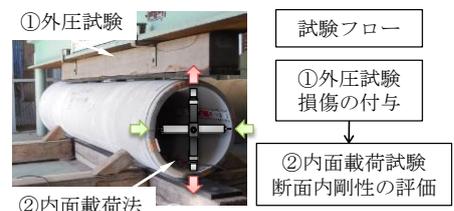


図-3 試験概略図及び簡易フロー

表-1 供試管の物性値

コンクリート	弾性係数 (MPa)	35,252
	ポアソン比	0.19
鉄筋	圧縮強度 (MPa)	56.7
	引張強度 (MPa)	3.40
鉄筋	弾性係数 (MPa)	210,000
	降伏強度 (MPa)	687.6

*鳥取大学大学院連合農学研究科, The United Graduate School of Agricultural Sciences, Tottori University, **鳥取大学農学部, Faculty of Agriculture, Tottori University, ***島根大学学術研究院, Academic Assembly, Shimane University, 外圧試験, ひび割れ, 荷重-たわみ関係, 3次元 FEM

内面載荷試験を解析するために作成したモデルを図-4に示す。数値解析には、3次元FEM解析プログラム(ATENA3D Ver 5.4.1)を用いた。

結果と考察

3.1 外圧試験における実測値と解析値の比較

①外圧試験による損傷(ひび割れ荷重)の付与の際に得られたRC管の荷重-たわみの関係を実測値と解析値ともに図-5に示す。外圧試験において初めてひび割れ(開口幅0.04mm)が確認されたのは $3.5/3F_c$ であり、差口側の内面管頂・底部の軸方向に発生し、受口にかけてひび割れが進展した。さらに、 $4/3F_c$ においては外面管側部において軸方向ひび割れが発生することを確認した。

荷重-たわみ関係を実測値と解析値で比較すると、 $3/3F_c$ 及び $3.5/3F_c$ では外圧荷重約50kN/本までの直線部における挙動及び直線から曲線に変化する点が両者でおおむね一致することを確認した。一方、 $4/3F_c$ では荷重-たわみ関係の差が大きくなり、本解析モデルでの再現が困難となった。この理由として、本研究で評価した供試管は1本のみであるため、ひび割れが発生した後の同一試験によるRC管の挙動は製品によってばらつきがあるものと考えられる。いずれにしても、実測値との誤差はあったものの、荷重条件ごとに荷重-たわみの勾配が低下する傾向については本モデルによって再現できると考えられた。

3.2 内面載荷試験における実測値と解析値の比較

②各外圧荷重を除去後に内面載荷法を適用した際のRC管の片側 $30\mu\text{m}$ 変形時に要した荷重と測定位置の関係を実測値と解析値ともに図-6に示す。先行研究¹⁾では、 $3.5/3F_c$ 、 $4/3F_c$ によって生じた管のひび割れの程度に応じて断面内剛性が低下することが、図-6に示した実測値から明らかになっている。しかし、解析値においては $0/3$ ~ $4/3F_c$ における断面内剛性がすべて同値を示した。そこで、本解析における4ケースの荷重条件だけでは、外圧試験によるRC管の断面内剛性の低下が再現可能かどうかの判断が困難となったため、同モデルの外圧荷重のケースに $5/3F_c$ を追加設定し、解析を実行した。その結果、図-5に示したとおり解析値 $5/3F_c$ における荷重-たわみの勾配はさらに低下し、軸方向の断面内剛性が低下する傾向が確認された(図-6)。

加えて、 $5/3F_c$ では受口側と比較して差口側において断面内剛性が低下しやすい傾向となり、これは初期ひび割れ時の実測値 $3.5/3F_c$ と同様であることを確認した。

参考文献：1) 兵頭正浩, 大山幸輝, 井川秀樹, 石井将幸, 下庄里奈, 緒方英彦(2018): 製品規格の変遷および製造業者の違いがRC管の断面内剛性に与える影響, 農業農村工学会論文集, 86(1), pp. I_19- I_25

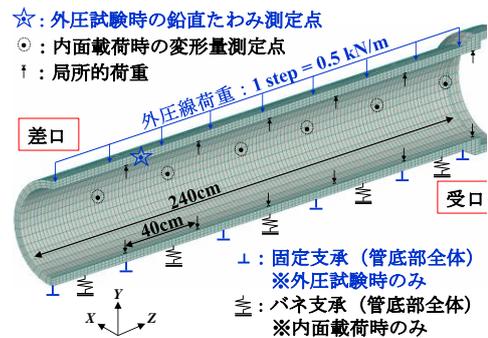


図-4 外圧試験-内面載荷モデル

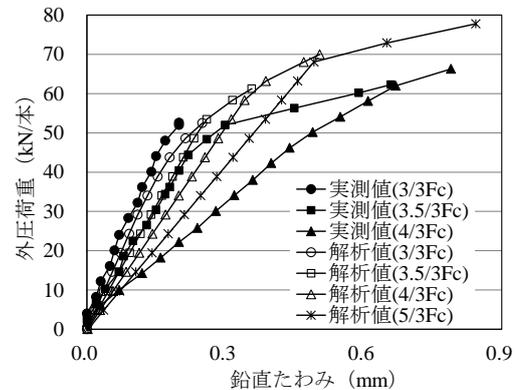


図-5 外圧線荷重-鉛直たわみの関係

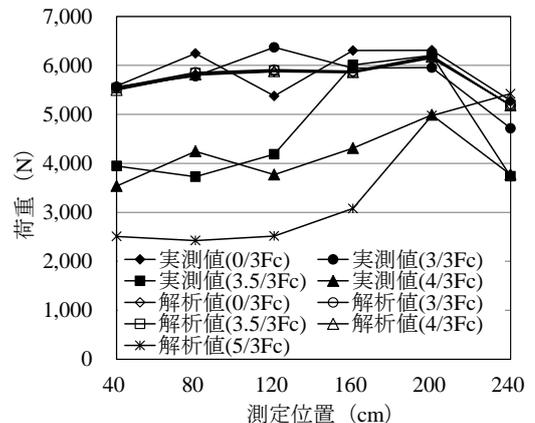


図-6 実測値と解析値におけるRC管の $30\mu\text{m}$ 変形時に要した荷重と測定位置の関係