# 画像処理によるパイプの曲げ変形挙動に関する検討

Study on bending properties of pipe by using digital image analysis

北海道大学工学部環境社会工学科	$\bigcirc$	学生員	岩本 太一	(Taichi Iwamoto)
北海道大学大学院工学院		学生員	寺田 豊	(Yutaka Terada)
北海道大学大学院工学院		学生員	伊原 かすみ	(Kasumi Ihara)
北海道大学大学院工学研究院		フェロー	蟹江 俊仁	(Shunji Kanie)

## 研究の背景と目的

地盤変動が頻発する地帯や断層を有する地帯,あるい は不連続永久凍土地帯にパイプラインを埋設する場合, 地盤の残留変位や凍上により大きな曲げ変形を受けるこ とが知られており、構造安定性の高いパイプラインが求 められてきた.そこで筆者らは,二重管構造のパイプに中 詰材(Core)を充填することで Brazier Effect と呼ばれる局 所的な破壊を抑え,フレキシブルな曲げ変形を実現する 中詰材充填パイプインパイプ(図1)の開発を進めてきた.

現在,変形測定法の代表的なものとしてひずみゲージ 測定法が挙げられる. 一般にひずみゲージは安価かつ高 精度にひずみを測定可能であることから構造等の応力, ひずみ測定に幅広く用いられており,筆者らも従来はパ イプの曲げ変形挙動をひずみゲージより評価していた. しかし、凍結砂を充填したパイプインパイプはひずみゲ ージの測定限界以上まで曲げ変形を許容し,データを取 りきれないほどの靱性を有していることが既往の研究よ り明らかになっている. また,ひずみゲージはゲージ貼り 付け部分の局所測定のみであり,広範囲のひずみ分布測 定には適していないことが問題となっている.一方,昨今 の画素分解能の向上により,デジタル画像処理によって 弾性域から塑性域まで一貫して精度の高い弾塑性挙動評 価が可能になってきている.こうした背景において,本研 究ではデジタル画像処理による新たな変形測定法を提案 する.基盤となる単管パイプの曲げ実験を行い,画像処理 による変形測定法をパイプのひずみ測定に用いる手法の 有用性を証明する.さらには中詰材とパイプの相互作用 によりもたらされるパイプの曲げ変形挙動を,画像処理 により包括的に評価することを目的とする.



図 1パイプインパイプ構造

### 2. デジタル画像処理による変形測定手法

本研究におけるデジタル画像処理による変形測定法 (以下画像処理法)は計測対象物に変位測定点として目印 となるシールを複数張り付け、固定したカメラで連続し て撮影を行う.撮影したデジタル画像におけるそれぞれ のシールの座標を画像の輝度分布より読み取り,曲線で フィッティングすることにより対象物表面の曲率を測定 する手法である.画像処理ソフト ImageJ を用いて撮影し たデジタル画像上にピクセル単位での座標(x, y)を設定 する. 図2に示すような1つのシールのみを含む解析領 域それぞれにおいて二値化の処理を行い,得られた図 3 の画像に対してシールの重心点の座標  $(x_p, y_p)$  を求める. この作業を測定点すべてに対して行う.そして,得られた 座標データをもとに式(1)に示した 4 次曲線でフィッテ ィングする.

$$y = a_1 x^4 + a_2 x^3 + a_3 x^2 + a_4 x + a_5$$
(1)

本研究では式(1)の 5 つの未定係数 (a1,a2,a3,a4,a5) は パイプ上のシールの重心点の座標  $(x_n, y_n) p=1~13$  合計 13 点を用いて最小二乗法により求める.

また式(1)を 2 回微分すると式(2)で示された曲率 C の二 次曲線が得られる.

$$C = -12a_1x^2 - 6a_2x - 2a_3 \tag{2}$$

なお、図4に示すキャリブレーションシートを撮影し、 ピクセル寸法とミリメートル寸法を正確に換算する.



ンシート

- 3. 実験
- 3.1 実験方法

図 5 に本研究で用いた 4 点曲げ実験装置を示すパイ プが破壊に至るまで一定の載荷速度[1.0mm/min]で荷重 を与える.曲げモーメント M はロードセルによる荷重を 換算することで求める.パイプの軸方向中央に設置した ひずみゲージの値と画像処理法より曲率 C を求め、それ ぞれに関して M-C 関係を求める.

# 3.2 実験供試体

実験に使用した単管パイプの材質はアルミニウム合金 で全長 970[mm] 管厚 1[mm]外径 50[mm]である.中詰材 の有無による 2 種類のパイプを実験供試体とする.中詰 材としては乾燥状態の豊浦標準砂を用意する.中詰材を 充填する際にはソフトハンマーで叩き締め, 1.52[g/cm<sup>3</sup>] 程度の高い密度を保つようにする.パイプの載荷点での 潰れを回避するために剛部材として全長 321[mm]直径 46[mm]の木材を詰める.パイプ上に直径 5[mm]の黒いシ ールを等間隔一直線上に貼る.

# 3.3 カメラの撮影

使用したデジタルカメラ(Canon 製 EOS40D)は有効画 素数約 1010 万画素の高性能一眼レフカメラであり,本実 験では 10 秒間隔で撮影を行う.なお,撮影時のレンズから 対象となるパイプの表面までの撮影距離はおよそ 50[cm]である.撮影した画像の pixel サイズは 3888×2592 であり,単位 pixel あたりの大きさは 0.14[mm]程度である.

#### 4. パイプの曲げ実験結果と考察

中空単管はパイプ中央にて Brazier Effect により,砂詰 単管はパイプ中央にて断面軸方向の潰れにより破壊した.

図6と図7は中空,砂詰単管についての*M-C*関係およ びフィッティングした関数の二乗誤差を示す.画像処理 法によって算出した曲率は式(2)におけるパイプ中央部 分の曲率とする.二乗誤差は局部座屈発生までは非常に 小さくほぼ一定であり,パイプの曲げ変形挙動が4次曲 線でフィッティング可能であることがわかる.ひずみゲ ージと画像処理法により算出した*M-C*関係を比較する と,局部座屈発生までは互いに良い整合性を示し,画像処 理法の有用性が確認できる.また,パイプ中央部の断面の 楕円化の進行に伴い,同一曲げモーメントに対して画像 処理法が曲率をやや大きく評価していることもわかる.

図8と図9に中空,砂詰単管についての載荷開始後に おける,曲率分布の載荷点変位量 y[mm]における変化を 示す.y=18[mm]以前において,おおむね同様の曲率分布 である.y=9[mm]以前の弾性域では,場所による曲率変化 は確認できず,曲率は一様に増加する.y=9[mm]以降の塑 性域では,中央部の曲率が急激に上昇する.y=18[mm]以降 において,中空単管は断面の楕円化が進行し,y=21[mm]付 近で破壊した.一方,砂詰単管は y=28[mm]付近の大きい 曲率まで破壊しなかった.以上より中詰した砂がパイプ の曲げ剛性に寄与せず,断面の楕円化による局所的な破 壊を防ぎ,パイプ全体で曲げを許容したことがわかる.







図 9 砂詰単管 曲率の場所変化

#### 5. まとめと今後の展望

本研究では,単管パイプの曲げ変形挙動を画像処理法 により測定する手法の有用性を示した.画像処理法はひ ずみゲージ法と比較して,大きい変形を測定可能である ことに加え,撮影画像全体の曲率分布を求めることが可 能である.この性質より,パイプの破壊メカニズムを測定 できる可能性を持ち合わせている.

今後は,既往の研究によりひずみゲージの測定限界以 上まで曲げを許容することが明らかとなっている凍結砂 充填パイプインパイプの弾塑性挙動を,画像処理法を用 いて評価する.

#### 6. 参考文献

白石圭介:フレキシブルパイプインパイプの曲げ特性 に関する実験的検討,北海道大学大学院工学研究科寒冷 地建設工学講座構造システム研究室,2010