

環剛性の低下が埋設管のたわみに与える影響について Influence of the decrease in ring stiffness on the buried pipe deflection

有吉 充

Mitsuru ARIYOSHI

1. はじめに

地中に埋設された農業用パイプは、地盤の不等沈下に伴う集中荷重によるひび割れや、クリープ特性等により、供用期間中に環剛性が低下する場合がある。環剛性の低下は埋設管の変形量の増加に繋がるが、埋設管の変形は地盤特性に影響を受けるため、その増加量はパイプ周辺の地盤特性により異なると考えられる。そこで、環剛性の低下が埋設管のたわみに与える影響を検討するため、模型実験を実施した。

2. 実験概要

2.1 供試管

供試管には、外径 224mm、管厚 11.4mm のポリエチレン管を用いた。ポリエチレン管はクリープによる変形量が大きく、载荷速度等の時間及び温度により環剛性（見かけの弾性係数）は異なる。管を一定の温度に保つため、管の内面にラバーヒーターを設置するとともに、鉛直たわみ量及び水平たわみ量を計測するため、管の内側に変位計を設置した(図 1)。

時間、温度及び環剛性の関係を調べるため、以下の手順により大気中で二点载荷試験を行った。

① 管を 20℃にする。② 20℃に保ったまま、管頂から速度 1mm/min で载荷し、直径の 2% (4.5mm) まで管をたわませる。③ ②の荷重及び温度を保ったまま、24 時間放置する。④ ②の荷重を保ったまま、温度を 40℃に上げて、24 時間放置する。なお、試験中は、たわみ量、荷重、温度を計測した。

鉛直たわみ率の推移を図 2 黒線で示す。管を 2%たわませて荷重を一定に保つと、たわみ率は、最初の 3 時間で 3.4% まで急激に増加し、その後も徐々に増加して、24 時間で 4.2% まで増加した。温度を 40℃に上げると、たわみ率は再度急激に増加し、24 時間後には 8.6% まで変形した。なお、2%たわませるのに必要な荷重は 3.3kN/m で、薄肉円環の荷重とたわみの関係から求められる弾性係数は 1.07GPa である。環剛性は、図 2 赤線で示すように、载荷直後を 1 とすると、3 時間後には 62% (弾性係数：0.66GPa)、24 時間後には 50% (0.54GPa)、48 時間後には 25% (0.26GPa) まで低下した。

2.2 埋設管の载荷実験

実験模型を図 3 に示す。長さ 1775mm、高さ 890mm、奥行 400mm の土槽を用いて、霞ヶ浦砂 (S-FG, $\rho_{dmax}=1.603\text{g/cm}^3$, $w=9.42\%$) 内に供試管を設置した。実験は地盤の密度を変更した 2 ケース行い、Case1 は締固め度 85%、Case2 は締固め度 80% とした。実験は下記の手順で行い、管の鉛直及び水平たわみ量を計測した。① 供試管の温度を 20℃にして、地表面に設置したエアバックにより、地表面全面から 50kPa を载荷する。② 温度及び荷重を一定に保った状態で、48 時間放置する。③ 荷重を一定に保ったまま、環剛性を低下させるため、ラバーヒーターの温度を 40℃に設定し、48 時間放置する。



図 1 供試管
pipe model

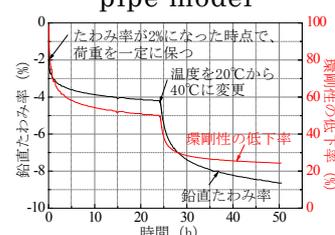


図 2 たわみ率及び環剛性の経時変化

Time history of deflection ratio and ring stiffness

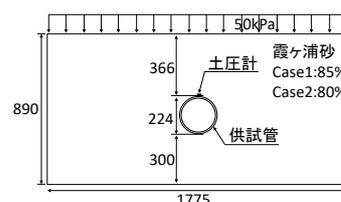


図 3 実験模型
Experimental model

3. 結果と考察

水平たわみ率及び鉛直たわみ率の経時変化を図 5 及び図 6 に示す。なお、図の縦軸は正が引張、負が圧縮であり、横軸は、管頂の土圧計にエアバックの圧力が伝達された時間を 0 とした。20℃における管のたわみ率は、気中での载荷試験（図 2）と同様に、载荷直後に大きく増加し、その後は徐々に増加した。環剛性の低下に伴って、たわみ率が増加したと考えられる。水平たわみ率は、Case1 では载荷直後に 0.47%，24 時間後に 0.70% で、0.23% 増加した。Case2 では载荷直後に 1.00%，24 時間後に 1.38% で、0.38% 増加しており、地盤密度の低い方がたわみの増加量も大きい。また、鉛直たわみ率は、Case1 では 24 時間後で 0.32%，Case2 では 0.48% 増加した。

また、温度を 40℃に上げると鉛直たわみ率及び水平たわみ率は大きく変化した。ポリエチレン管は、温度を上げると、図 2 に示した剛性の低下とともに、管全体が熱膨張により膨らむ。剛性の低下のみが生じた場合、鉛直たわみ率は圧縮方向に増加し、水平たわみ率は引張方向に増加する。そのため、温度を変化させた直後に、鉛直たわみ率が引張方向に増加したのは、熱膨張によるものである。温度を変化させた直後は、剛性低下と熱膨張が同時に生じており、たわみ率の変化がどちらによるものかを厳密に評価できない。ここでは、鉛直たわみ率が引張方向に変形した時の、鉛直たわみ率の変化量と水平たわみ率の変化量の平均を熱膨張による変形として整理した。熱膨張による変形は、Case1 では 0.13%，Case2 では 0.19% で、他の変形は剛性低下によるものとして仮定すると、温度を 40℃に上げた後の環剛性の低下による水平たわみ率の増加量は、Case1 では 0.04%(0.17-0.13)，Case2 では 0.11% (0.30-0.19) と推定される。

実験結果及び土地改良事業計画設計基準パイプラインの構造設計手法で求めた水平たわみ率を表 1 に示す。実験の地盤密度は一般的な現場（締固め度平均 90%）より低いため、構造計算では地盤反力係数 e' に砂質土素掘り施工相当の 4,000kN/m² と軟弱地盤相当の 1,500kN/m² の 2 種類で試算した。管の弾性係数は環剛性 100%時を 1.07GPa とし、 $Wv=50kPa, \phi=30^\circ, F=1, 2\theta=90^\circ$ を用いた。実験での水平たわみ率は、環剛性 100%時に対して、50%に低下すると 1.4~1.5 倍、25%で 1.5~1.6 倍となった。構造計算では地盤反力係数が小さい方が、環剛性が低下した時のたわみ率の増加率が大きく、 $e'=1500$ の場合と実験のたわみ率の増加率は同程度であった。また、構造設計の試算値は、 $e'=4000$ の場合でも実験値より安全側であった。

4. おわりに

環剛性の低下が管のたわみに与える影響を検討した。実験及び構造設計手法による試算では、環剛性が 1/4(25%)まで低下した場合でも、たわみ率の増加は 1.3~1.7 倍程度であった。環剛性の低下がたわみに与える影響を明らかにするためには、パイプ周辺地盤の影響が大きいので、こうした模型実験に加えて実際の現場での計測が重要である。

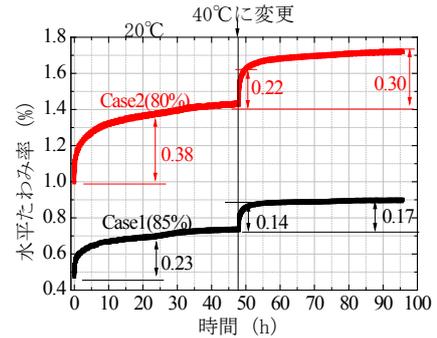


図 5 水平たわみ率の経時変化
Time history of horizontal deflection

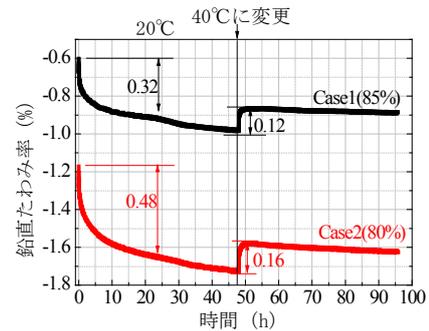


図 6 鉛直たわみ率の経時変化
Time history of vertical deflection

表 1 環剛性と水平たわみ率の関係
Relationship between ring stiffness and horizontal deflection ratio

	環剛性 100% (E=1.07GPa)	環剛性 50% (E=0.53GPa)	環剛性 25% (E=0.27GPa)
Case1	0.47	*0.70 (1.5)	**0.74 (1.6)
Case2	1.00	*1.38 (1.4)	**1.49 (1.5)
構造設計($e'=1500$)	2.43	3.35(1.4)	4.13(1.7)
構造設計($e'=4000$)	1.38	1.64(1.2)	1.81(1.3)

()は環剛性 100%時の水平たわみ率からの増加率

* は 20℃で 24 時間埋設した時のたわみ率

** は 40℃にした時の剛性低下によるたわみ率を*の値に加えた値