

地表断層変位の作用を受ける橋梁添架管路の弾塑性変形挙動

筑波大学システム情報系 正会員 庄司学 東日本電信電話株式会社（前・筑波大学大学院）○松本拓郎

日本電信電話株式会社 正会員 奥津大

1. 目的

熊本地震では複数箇所では地表断層変位が発生した¹⁾²⁾。各種ライフラインの埋設管路の中にはこれらの地表断層変位によって被害が引き起こされたものもある。地表断層変位による埋設管路の被害に関しては多くの先行研究があげられるが³⁾、橋桁や橋台の地震応答との相互作用の考慮が必要となる橋梁添架管路に焦点を当てた研究はほぼ皆無である。本研究では、橋台背面盛土等の地盤埋設部を含む橋梁添架管路特有の境界条件を再現した有限要素 (FE) モデルを構築し、橋台背面盛土を表す地盤埋設部に断層変位が作用した際の橋梁添架管路の弾塑性変形挙動を明らかにする。

2. 橋梁添架管路システムの FE モデル

橋梁添架管路のFEモデルを図-1に示す。座標系は図1の3,000 mmの地盤埋設部右側面位置における管路中心を原点とし、 X 軸を管軸方向、 Y 軸を管軸直角方向、 Z 軸を鉛直方向と定義した。松本ら⁴⁾による解析結果を踏まえ、地盤埋設部からの架空部並びに橋桁添架部の管路3区間までをモデル化し、構造要素は地盤、鋼管、塩化ビニル管並びに継手となっている。鋼管は全長5,500 mmのうち、先述の3,000 mmが橋台背面盛土を表す地盤に埋設され、残りの2,500 mmが橋桁添架部の前の架空部となっている。橋桁添架部においては、1か所の特殊支持点並びに4か所の一般支持点で管路がPC桁のウェブ面に接続されている。管路の寸法や要素サイズについては典型的な通信用橋梁添架管路を参考に定めた。

荷重条件は、地盤埋設部の全ての外周節点に対して管軸直角方向に管路からみて右横ずれの地表断層変位を模擬した強制変位を最大800 mmまで作用させた。作用させた地表断層変位と管路システムの交差角は、管軸方向である X 軸から管軸直角方向である Y 軸に向かって強制変位方向までの反時計回りの角度と定義した。交差角 90° の場合を基本ケースとして、管路が圧縮応力場となる交差角 45° 並びに引張応力場となる交差角 135° の場合の解析を実施した。地盤埋設部の左側面断面は、法線方向である X 軸方向の変位を拘束した。PC桁への管路の添架において、特殊支持点は全方向の並進を拘束し、一般支持点は管軸直角方向と鉛直方向の並進を拘束する機能をそれぞれ有しており、以上の拘束条件を管路の外周節点に設定した。地盤埋設部における管路と地盤の間の接触条件は、接触判定された要素辺にばねを追加するペナルティ法によりモデル化し、管路と地盤の間に適切な摩擦係数を設定した。

以上のFEモデルに対して静的陰解法にて解析を実施した。線形方程式の解法は対角分解付き共役勾配法とし、幾何学的な非線形性を考慮する過程での非線形方程式の解法はBroyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno(BFGS)更新の弧長法とした。解析時間は5.0 s、ステップサイズは0.001 sである。

3. 地表断層変位の作用を受ける橋梁添架管路の弾塑性変形挙動

図-2より、地表断層変位を800 mmまで管軸直角方向である Y 軸方向に交差角 90° で作用させた場合、鋼管の地盤埋設部並びに鋼管の架空部で降伏点を超える大きなミーゼス応力がそれぞれ発生することが明らかとなった。橋桁に添架された塩化ビニル管については、特殊支持点を起点として地盤埋設部の地表断層変位が作用する左側で応力が大きく増加し、特殊支持点周りが弾塑性変形の変曲点になることが確認された。

以上の過程で、図-3より、鋼管の Y 軸方向に引張と圧縮の領域がそれぞれ生じ、特に圧縮側の局部座屈が起点となり Z 軸方向に断面が楕円化し始めることが明らかとなった。図-3の X - Y 平面の管路両側面で応力が大きく、 X - Z 平面の管頂並びに管底では応力が小さくなる。塩化ビニル管については、 Y 軸負側に凸となった左右非対称の断面形状で変形が進行し、 Y 軸負側で応力が大きく、 Y 軸正側で応力が小さくなる傾向が確認された。

図-4によれば、地表断層変位を200 mm作用させた場合において、 $X=0$ mmの地盤埋設部右側面近傍並びに $X=1,750$ mm付近で管路の変形が卓越し、曲げ変形が発生する。 $X=0$ mmにおいては、 Y 軸正側で引張となり Y 軸負側で圧縮となる。 $X=1,750$ mmにおいては、 Y 軸正側で圧縮となり Y 軸負側で引張となる。

管路が引張応力場となる交差角 135° の場合においては地表断層変位が150 mmとなると継手が完全に離脱した。管路が圧縮応力場となる交差角 45° の場合においては、地表断層変位が500 mmとなると、図-5のように継手部近傍において局部座屈に近い変形を示し、大きな応力を示した。

キーワード 熊本地震, 橋梁添架管路, 地表断層変位, 弾塑性変形挙動

連絡先 〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1 筑波大学システム情報系 TEL:029-853-6190

以上の解析結果において、塩化ビニル管と継手の間の離脱が地表断層変位の作用によって顕著に生じたことから、これらの構造要素間の摩擦係数を 0.3 から 0.9 に変化させ、解析並びに比較を行った。図-6 より、塩化ビニル管と継手の間の摩擦係数が 0.9 と大きくなるほど、塩化ビニル管の離脱が抑えられ、鋼管の離脱が進行する傾向が確認された。



図-1 橋梁添架管路システムの FE モデル

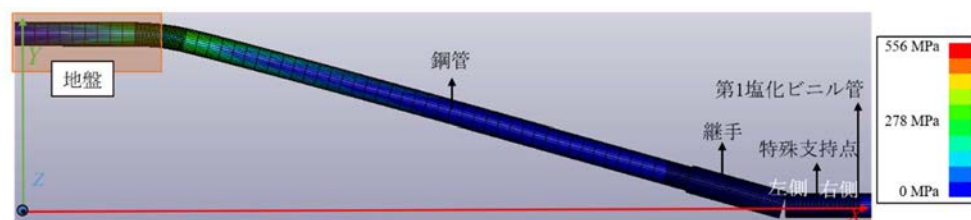


図-2 地表断層変位 700mm を作用させた場合の橋梁添架管路の弾塑性変形

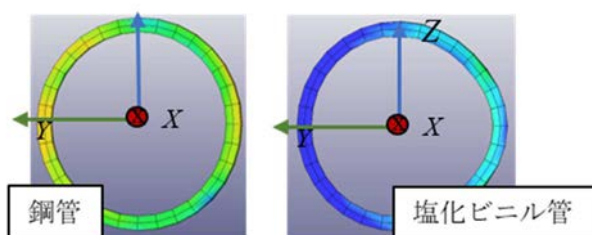


図-3 地表断層変位 600mm を作用させた場合の管路断面

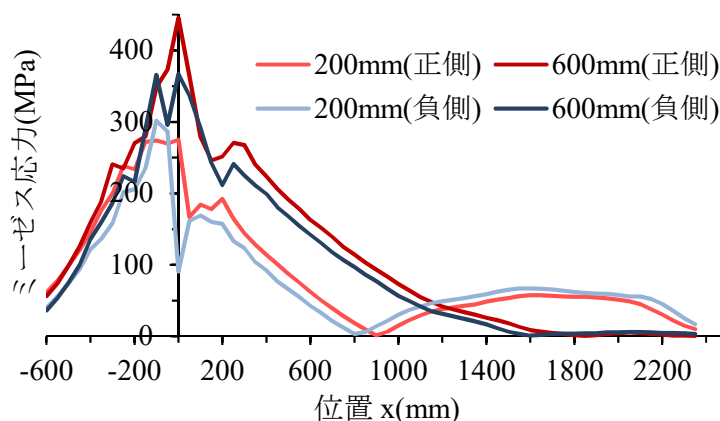


図-4 管軸方向の位置とミーゼス応力の関係

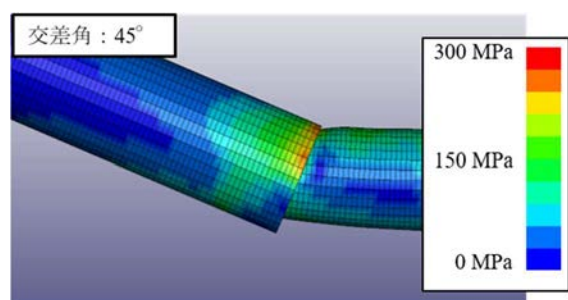


図-5 地表断層変位 600mm を作用させた場合の継手-塩化ビニル管部

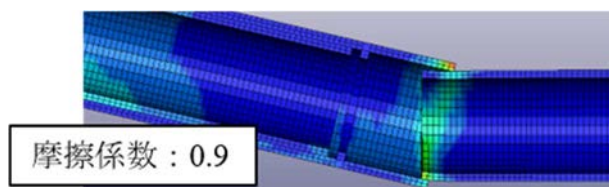


図-6 摩擦係数 0.9 における継手-塩化ビニル管部

謝辞

本研究は、日本電信電話株式会社と国立大学法人筑波大学の間の 2021 年度における「通信基盤設備の点検診断・被災予測手法の共同研究」の一環で実施されたものです。筑波大学西尾真由子先生やインフラ情報研究室のゼミ生からは分析方法に関する貴重な御助言をいただきました。関係各位の皆様へ心から厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 文部科学省：平成 28 年度熊本地震を踏まえた総合的な活断層調査 平成 28 年度成果報告書，3.1 章，
https://www.jishin.go.jp/main/chousakenkyuu/kumamoto_sogochousa/h28-h30/h28-h30kumamoto_sogochousa_3_1.pdf
(2021 年 3 月 30 日閲覧)
- 2) Shirahama, Y., Yoshimi, M., Awata, Y., Maruyama, T., Azuma, T., Miyashita, Y., Mori, H., Imanishi, K., Takeda, N., Ochi, T., Otsubo, M., Asahina, D., and Miyakawa, A.: Characteristics of the surface ruptures associated with the 2016 Kumamoto earthquake sequence, central Kyushu, Japan, *Earth, Planets and Space*, Vol.68, No.191, DOI 10.1186/s40623-016-0559-1, 2016.
- 3) 例えば, Takada, S., Hassani, N., and Fukuda, K.: A New Proposal for Simplified Design of Buried Steel Pipes Crossing Active Faults, *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, Vol. 30, No. 8, pp. 1243–1257, 2001.
- 4) 松本拓郎, 庄司学, 奥津大: 地表断層変位の作用を受ける通信用橋梁添架管路の FEM 解析, 第 12 回インフラ・ライフライン減災対策シンポジウム講演集, 土木学会, pp.220-223, 2022.