

第I部門 高レベル地震動を受ける有継手管路の損傷解析

神戸大学大学院自然科学研究科 学生員 ○田中 祐樹
 神戸大学工学部 フェロー 高田 至郎
 神戸大学工学部 正会員 鍛田 泰子

1. はじめに

地震時の管路被害予測には、一般に過去の地震被害に基づいて最大速度による経験的式が用いられている。兵庫県南部地震でも高レベルの地震波が観測されたが、100kine以上の地震動によって管路被害を受けた地域データは総じて少ない。そこで、本稿では個別要素法を用いて有継手管路系のモデル化を行ない、管種・継手による高レベル地震動域での管路の損傷傾向を解析的に分析した。

2. 解析手法と解析モデル

地震波動による継手損傷を解析するため、継手の抜け出し・破断、および損傷後の管路応答を表現できる DEM に基づいた管路解析手法¹⁾を用いて、波動入力による時刻歴解析を行った。解析モデルは管路全長を 100m、直管一本の長さを 4m として直列に継手で連結している。本研究で対象とした管路はダクタイル管 (DIP)、铸铁管 (CIP) 及び硬質塩化ビニル管 (PVC) である。管路口径は、一般的に多く使用される小口径管路の $\Phi 100\text{mm}$ とした。表 1 は本解析で用いた管種別の口径と管体特性を示している。管路端部の境界は、管路に局部的に曲げが発生することを防ぐため自由端とした。入力波動には兵庫県南部地震で観測された鷹取波の主要動 (40 秒) を用いた (図 1)。最大速度の振幅調整を行い、NS 成分を管軸方向に EW 成分を管軸直角方向に与えた。せん断波速度は 100m/s ²⁾ として管軸方向に伝播させた。地盤ばね特性は日本ガス協会の指針³⁾に基づいて管軸直角方向 (ゆるい普通土) と管軸方向のばねを設定した (表 2)。

DIP の継手は A・K・T 形を対象としており、引張特性には継手の滑りを考慮して SII 継手の離脱防止機構が働くまでの特性と継手にあるゴム輪の摩擦を考慮して設定した (図 2)。圧縮特性については、管路受口は曲げを受けながら高い荷重を受けると圧縮破壊が生じると考え、DIP、CIP は圧縮力 350kN、押込み量 10mm で破壊するとした (図 3)。CIP にはガス用印ろう継手 C 形を用いており、引張特性は実験結果により決定した (図 2)。PVC の継手は接着結合である TS 継手を用い、管体にひずみ 0.2%を生じさせる軸力で圧縮・引張破断するとした (図 4)。

表 1 管路諸元

管種	DIP	CIP	PVC
管の外径 (mm)	118	114	114
管厚 (mm)	6.0	4.5	7.1
弾性係数 (N/mm ²)	157,000	155,000	2,700
引張強度 (N/mm ²)	420	200	52
圧縮強度 (N/mm ²)	840	730	65

表 2 地盤ばね特性

管種	地盤ばね係数 k (N/cm ³)		降伏変位 (cm)
	管軸直角方向	管軸方向	
DIP	13.1	5.9	0.5
CIP	13.5	5.9	0.5
PVC	13.5	2.9	0.5

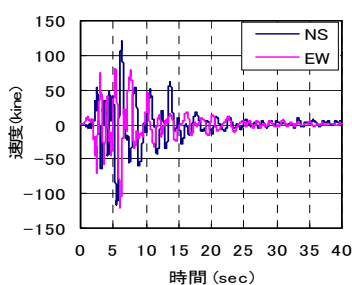


図 1 入力波形

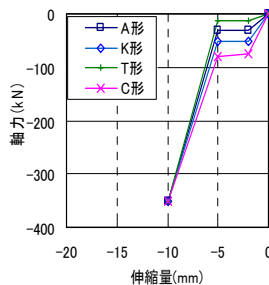


図 2 引張特性 (A, K, T, C)

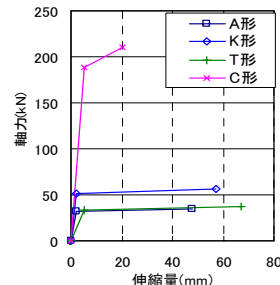


図 3 圧縮特性 (A, K, T, C)

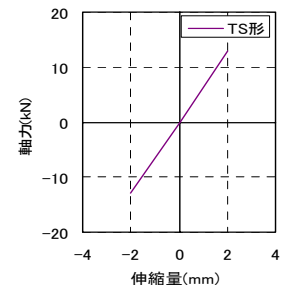


図 4 継手軸特性 (PVC-TS)

3. 解析結果

管種・継手を組み合わせた 5 種類の管路系に、最大速度の最大振幅を 10kine から 170kine まで調整した 7 波をそれぞれ

れ入力して管路応答および継手の損傷について分析した。地震時の有継手管路の被害の多くは主に継手で発生しているため、管路の損傷程度として、解析モデルで設定した 24 個の継手の内、抜け・圧縮もしくは曲げで損傷した継手の比率を継手損傷率と定義し、これと入力地震動の最大速度との関係を求めた（図 5）。解析の結果、DIP（A、K、T 形）管路は、最大速度 90kine のケースで圧縮により最初の継手損傷が発生した。120kine のケースでは、最大速度を持つ波によって継手が損傷し、隣接しない継手で断続的に抜けの損傷が発生した。それ以上の高い地震動が作用すると、損傷時間や場所は入力ケースによって異なるが、傾向として連続して継手が抜け出し、継手損傷数が増えていくことがわかった。また K 形の継手損傷は線形的に増大し、一方 A 形と T 形の継手は横這いとなった。T 形継手は K 形継手より軸抵抗力は小さいが、67mm の余裕伸縮量を有しているため損傷数が抑えられている。CIP の C 形継手は 200kN 以上の高い軸抵抗力を有しているため損傷率は低く、120kine 以上の速度では損傷数は増えない。PVC の TS 形は他の継手に比べその軸特性および伸縮量は小さいが、管体に伸縮特性があるため 50kine までは損傷が発生しない結果となった。しかし、伸縮余裕量を持ち合わせていないために最大速度 120kine 以降ではすべての継手が損傷した。

次に最大速度と管路最大発生軸力との関係を図 6 に示す。図より最大速度 50kine 時に多くの管路系でほぼ最大値となり、それ以上の地震動が入力されても管軸力は大きくならないことがわかる。管路に作用する引張力に対して、管路は継手の変位で抵抗するために管体には大きな引張軸力は発生せず、圧縮の場合には管体も継手と同様に抵抗することになるため最大軸力が発生することになる。また 90kine 時に DIP（T 形継手）の軸力が低減しているのは、管路の継手で損傷したために軸力が伝達されなくなったためと考えられる。

さらに、継手損傷率（図 5）と発生管軸力（図 6）の最大管軸力に対する比率との平均値を管路損傷率として定義して、図 7 に管路損傷率と最大速度との関係を示した。いずれの管路系も最大速度に応じて管路損傷率が高くなるが、100～150kine の間で損傷率が頭打ちになり、それ以上の地震動では被害率は高くないことが分かった。この傾向は、兵庫県南部地震での実被害データに基づいて示されたねじ継手鋼管の被害予測曲線⁴⁾と同じ傾向にある。

本稿では、解析条件を任意的に設定したため、損傷率などの値は条件によって前後することが考えられる。しかし、管種・継手の特性を与えることで管路系の損傷傾向を相対的に評価することができた。また、高レベルの地震動になると、管路被害率はある損傷率以上に大きくならないことが解析で示された。

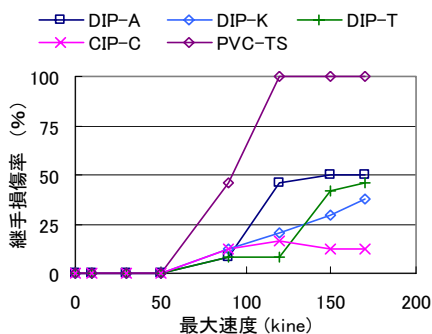


図 5 継手損傷傾向

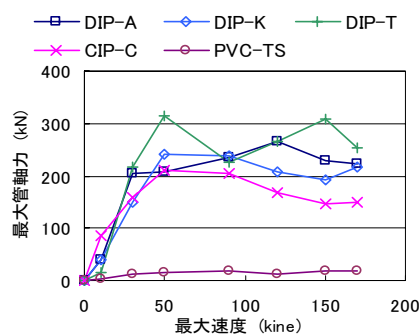


図 6 最大発生管軸力

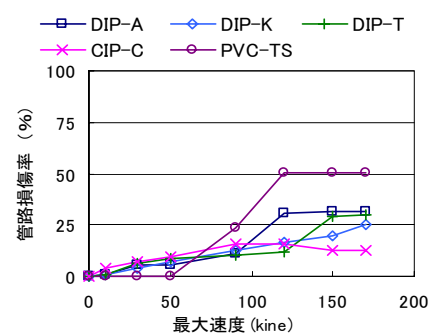


図 7 管路損傷傾向

4. まとめ

- ・ いずれの管路系もある最大速度に応じて管路損傷率が高くなるが、100～150kine の間で損傷率が頭打ちになり、それ以上の地震動でも被害率は高くないことが分かった。
- ・ 管種・継手の特性を与えることで管路系の損傷傾向を相対的に評価することができた。

参考文献

- 1) 高田至郎，ラダン・イワノフ，森田典和：DEM による地中継手管路の大変形解析，建設工学研究所論文報告集，第 45 号，pp.111-122，2003
- 2) 社団法人 日本水道協会：水道施設耐震工法指針・解説 1997 年版，1997
- 3) 社団法人 日本ガス協会 ガス工作物設置基準調査委員会：ガス導管耐震設計指針，1982
- 4) 細川直行，渡辺孝治，清水善久，小金丸健一，小川安雄，北野哲司，磯山龍二：地盤条件を考慮した大規模地震における低圧ガスねじ継手鋼管の被害率予測式の検討，第 26 回地震工学研究発表会講演論文集，pp. 1333 - 1336，2001