I-642 地中管路地震時食い込み破壊の応答解析と被害予測に関する一考察

東邦ガス（株） 正 員 北野 哲司
神戸大学工学部 正 員 高田 至郎
大阪ガス（株） 正 員 小川 安雄

１．はじめに： 有継手地中管路の被害の多くは管本体よりも継手部に集中している。被害の中には継手に引張力が作用して一旦離脱し、さらに圧縮力により管路どうしが衝突し合い、互いに管が食い込んで行くような破壊が報告されている[1)]。そこで本研究では継手を有する管路に対し、ばね-質点モデルを用いてこの衝突・食い込み破壊を解析し、そのメカニズムを明らかにすると共に、破壊の被害予測に関して検討を行う。

２．解析モデル： 図１に本解析で用いたばね-質点モデルを示す。対象管路（M_p：管路質量）は、ねじ継手を有する80mmの鋼管（継手限界伸び量0.2cm）である。また継手・衝突ばね定数は継手が離脱するまでは、継手の伸縮特性を近似した値を使用し、離脱後は、衝突・食い込み現象を弾塑性有限要素法を用いてバイリニア型に設定した値を用いる。次に、対象地盤（M_p：地盤質量）は、部分液状化地盤（液状化が部分的に発生している、または液状化の範囲が十分広がっていない地盤）を想定して解析を行った。この部分液状化地盤に対して管軸方向のひずみが増大することは、実験的に明らかにされている。解析に使用した地盤は、日本海中部地震で液状化が発生した男鹿工業高校の地盤をモデルとして設定した。この地盤のモデル化手法としては、地盤をせん断一次振動と等価な一質点系と仮定し、有限要素法によるモード解析を行った結果から地盤質量，ばね定数，減衰係数を設定した。液状化による地盤の剛性の低下を表わすため、地盤質点間ばね定数，減衰係数が過剰間隙水圧比と比例関係にあると仮定し、液状化の程度により随時変化させて計算を行った[2)]。その他のばね定数，減衰係数は、線形として解析を行った。地震外力としては、日本海中部地震の際に秋田で観測された波形を用いて位相差入力とした。

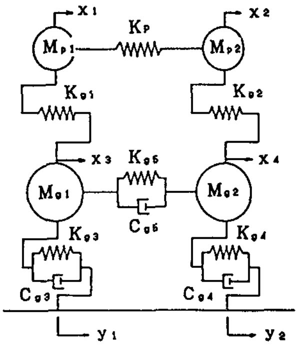
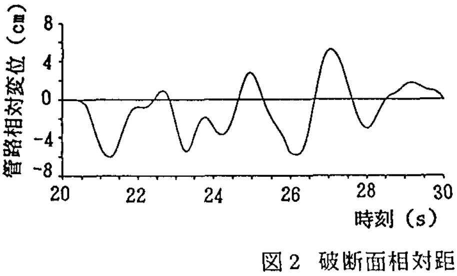


図１ 解析モデル

３．解析結果： 図２には、継手が破断してからの両管の相対変位（破断面相対距離）時刻歴と衝突時における衝突力時刻歴を示す。図から衝突現象は地震動開始から21.26 秒，25.98 秒後に起こり、食い込み量は、6.02cm（片側管路 3.01cm）となった。上記解析では、管路と地盤が滑らない状態を想定して解析を行ったが、滑りを考慮して、管体-地盤質点系ばね定数（K_{g1}, K_{g2}）を非線形として取り扱った（限界相対変位 0.3cm）場合は以下の通りである。図３に、ばねを非線形とした時の管体-地盤質点系ばねの履歴曲線を示す。図から管路が滑っていることがわかる。また、本解析では継手離脱（継手最大伸び量0.06cm）は見られなかった。



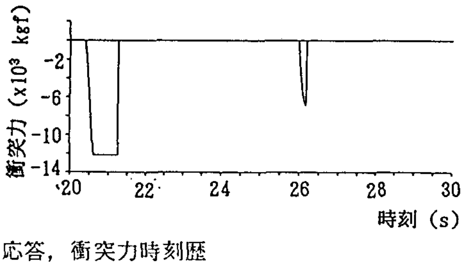


図２ 破断面相対距離応答，衝突力時刻歴

次に、食い込み破壊に関与していると考えられるパラメータと地盤の固有周期との関係を求めるため、表２に示すケースを解析した。今回は、紙面の関係上白丸印以外の結果については割愛する。

ケース１では、波動入力相対時間差の影響を調べるために５種類の時間差を用いた。解析結果を図４に示す。時間差が大きくなり、かつ地盤の固有周期の値が小さくなると継手が破断しやすく、また、食い込みやすくなる。

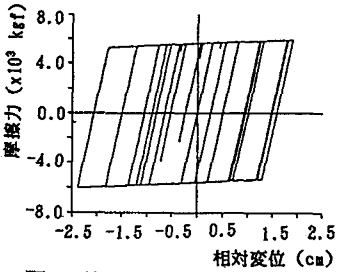


図３　管路-地盤ばね履歴曲線

表１　解析ケース

		パラメータ１	パラメータ２
ケース１	○	地盤固有周期	地震動入力遅れ時間
ケース２		地盤固有周期	液状化の度合
ケース３		地盤固有周期	継手種類
ケース４		地盤固有周期	左右地盤固有周期
ケース５		地盤固有周期	地盤質量の寄与度

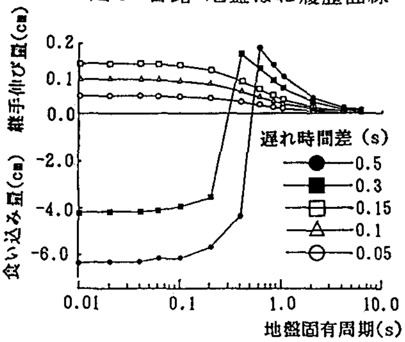


図４　地盤固有周期と継手破断面変位の関係（遅れ時間差の影響）

４．被害予測：　図５は、上述の解析結果をもとにした被害予測フローを示す。表１の各パラメータが独立な正規分布に従う確率変数であると仮定し、２次元標準正規分布を用いて被害予測を行った。ここで、ねじ継手鋼管で液状化が発生した場合の被害予測分布を図６に示す。液状化の有無，地震動遅れ時間を変化させて統計計算を行うことにより被害予測が可能となる。

５．まとめ：　本研究で得られた知見は、以下のようにまとめられる。

（１）食い込み破壊は、直管部のみの配管では起りにくい。すなわち直管路の場合、地盤との相対変位がある限界を越えると滑りが発生し管路への強制力が低下するためである。そのため、マンホールのように振動方向に対して直交方向の構造物やＴ字管，曲管のような滑りを阻止する構造物がある場合に上記現象が発生しうると思われる。

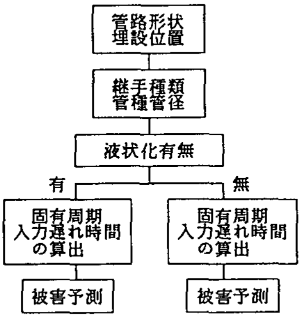


図５　被害予測フロー

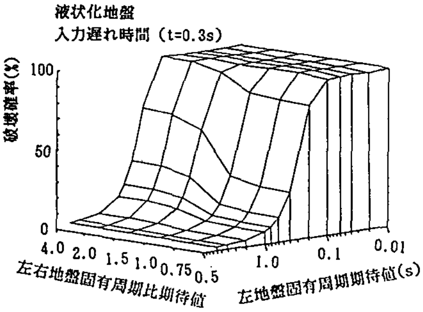


図６　被害確率分布

（２）液状化の度合については非液状化地盤に対しても食い込み破壊が生じる可能性はあるが、完全液状化状態へと移行するにつれて発生する可能性は高くなる。

（３）地盤の質量が減少すれば食い込み破壊が生じる可能性が低くなる、すなわち、管体質量のみでは食い込み破壊は生じにくく地盤質量が寄与していると言える。

（４）ある地盤に対し地盤条件より地盤の固有周期，地震波遅れ時間，液状化の有無，埋設位置等を算出し、地盤の固有周期が正規分布形状に従うと仮定した時、動的解析結果とその正規分布を合わすことにより食い込み破壊の被害予測が可能になる。

参考文献：１）高田至郎，北野哲司：建設工学研究所報告書 平成３年度、pp.10-25、1991.3.
２）高田至郎，永井淳一：液状化地盤の動的剛性および減衰特性、建設工学研究所、第29号、pp.53-72、1987.12.