

配水管の耐震性評価に関する 実験及びシミュレーション解析

¹中野雅弘 ²堀田文夫 ²狭間祐二 ³谷 和弘 ³小柳 悟

¹正会員 フェロー・工博 NTT関西支社 (〒540 大阪府大阪市中央区馬場町3-15)

²塩化ビニル管・継手協会 (〒110 東京都台東区台東1-6-4)

³正会員 (株)建設技術研究所 東京支社 技術第7部 (〒103 東京都中央区日本橋本町4-9-11)

本稿は、兵庫県南部地震で被害を受けたライフラインのうち水道配水管である硬質塩化ビニル管を対象にして、とくに接合部の耐震性向上に関する調査研究を行ったなかの、現場管路実験の結果とそのシミュレーション解析についてとりまとめたものである。実験は、地盤変状を想定した引き抜き及び押し込み力に対する管軸方向の管体及び接合部の挙動を把握し、その耐震性を確認することを目的とした。また、解析は、管体及び接合部の非線形性ならびに地盤の弾塑性状態も考慮した2次元骨組み解析により実施した。実験の結果、想定した地割れや地盤流動などの地盤変状に対して管軸方向の耐震効果が発揮されることが把握された。また、シミュレーション解析においては、想定した基本条件を用いると比較的実測値に近い挙動を示すことが分かった。

key Words : Distributing pipe, Earthquake Resistance, Experiment, Simulation Analysis

1. はじめに

兵庫県南部地震によるライフラインへの被害は、電気、水道、ガスなど広範囲にわたるものであり、これらの被害形態は、地盤条件、設置位置、材料特性などに応じ様々であった。

本稿は、これらライフラインのうち水道配水管である硬質塩化ビニル管（以下塩ビ管）を対象にして、特に接合部の耐震性向上に関する調査研究を行ったなかの、現場実験の結果とそのシミュレーション解析についてとりまとめたものである。配水管の被害事例のうち、被害としては直管部、屈曲部及び分岐部を含めた接合部などに多く見られ、引き抜けなどを引き起こしたことが把握されている。また、破壊メカニズムについては明確ではないところもあるが、地盤流動や地割れなどの地盤変状が主因ではないかと推測した。

実験は、提案している接合部を用いた場合の地震時における挙動を把握し、その耐震性を確認することを目的としており、実際の配水管の設置状況に合わせた管の引き抜きと押し込みによる現場実験である。また、解析は、管体及び接合部の非線形特性ならびに地盤の弾塑性状態も考慮した2次元骨組み解析により実施した。

2. 実験

(1)実験概要

a)実験の目的

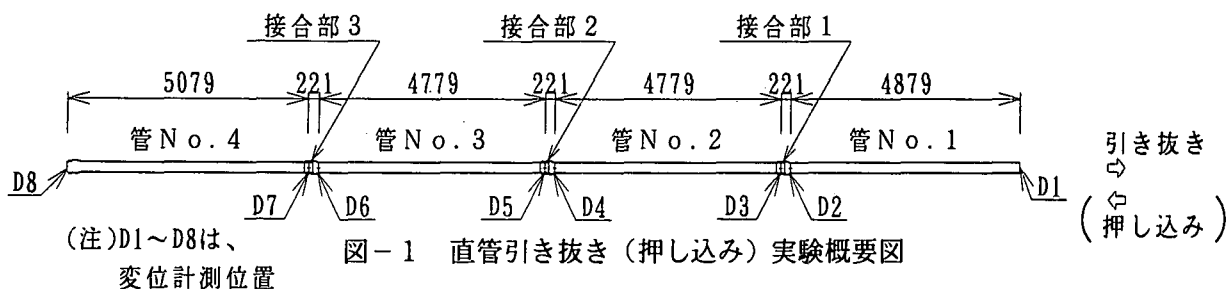
本実験は、主に以下の3点を把握することを目的としたものである。

- ・土中での接合部において力が良好に伝達されているか。
- ・離脱防止金具の阻止力が想定通り発揮されているか。
- ・地割れを引き抜き実験により評価できるか。

なお、実験における外力は、地震時に作用する外力のうち、地割れや地盤流動などの地盤変状を想定して設定した。また、地割れは既往の被害事例及び研究結果などにより20cmと想定した。従って、地割れ位置の片側の管路で10cm以上の変位を吸収できれば良い。

b)実験内容

図-1に示すように耐震接合部を有するロング受口RR管（内径100mm、長さ5m）を4本つないで、片側からジャッキにより引き抜く実験と押し込む実験を行った。土被りは一般的に採用されている1.2mであり、実際の埋設状況と同様の締め固めを行い、管を設置した。また、各載荷ステップごとに各管の受口側・差口側での管軸方向変位をワイヤー型変位計により計測した。



c)耐震接合部の構造

図-2に提案している耐震接合部の構造を示す。±75mmの伸縮性能を有し、さらに離脱防止金具により隣り合う箇所の管へ軸力を伝達できるような離脱阻止力を有している。この伸縮性能は、5m管であれば地盤ひずみ1.5%に対応している。想定している地割れに対しては、接合部2箇所に対応できれば良い。

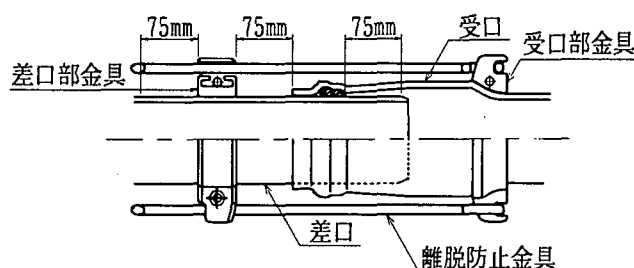


図-2 耐震接合部

(2)実験結果

a)引き抜き実験結果

図-3には、各接合部位置における隣り合う管の伸び量と載荷荷重の関係（例えば、D2-D3）を、図-4に載荷位置の管の変位と載荷荷重の関係を示した。

図-3によれば、いずれの接合部でも75mmの余裕量に達する前に荷重が増加している。これは、接合部のゴム輪部に砂が卡んで抵抗力が増えたためと考えられる。気中での同様の引き抜き実験では、余裕量がなくなるまでは緩やかな抵抗であった。

図-4をみると、初期載荷時では抵抗力が大きくなっているが、これをすぎると勾配はなだらかになっている。これは、管周辺地盤が静摩擦から動摩擦状態になり、抵抗が小さくなってきたものと思われる。また、勾配が途中で急増している箇所は、接合部の伸び余裕がなくなり離脱防止の阻止力が作用し始めたものである。最大載荷荷重は6.6tfでありその時の載荷点D1での変位量は370mmであった。この直後に急激に荷重が低下したため、実験を終了した。掘削して確認した結果、接合部1の離脱防止金具がずれており、ずれの量は100mm程度であった。

このときに作用した軸力は約4.5tf強と推定されたが、気中における最大阻止力の実験結果（約3.6tf）に対してやや大きめであるが、ほぼ同程度であることが把握され

た。また、37cmの変位を吸収できたため、想定した地割れ（片側10cm）に対しては十分効果が認められた。

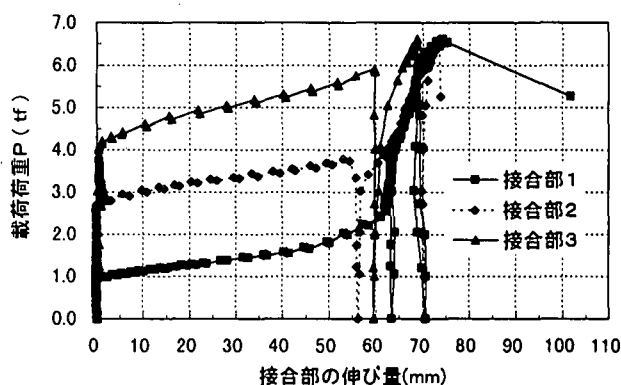


図-3 接合部の伸び量

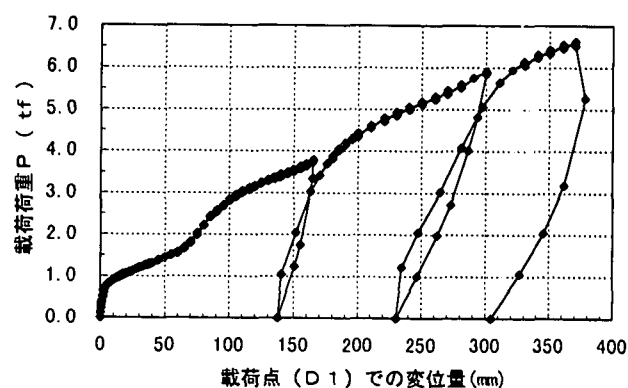


図-4 載荷荷重-変位曲線

b)押し込み実験結果

図-5には各接合部位置における隣り合う管の縮み量と載荷荷重の関係（例えば、D4-D5）を、図-6に載荷位置の管の変位と載荷荷重の関係を示した。

図-5によれば、いずれの接合部でも75mmの余裕量に達する前に荷重が増加している。このことは、引き抜き実験と同様の傾向である。なお、接合部1のデータは変位計断線のため得られなかった。

図-6をみると、ほぼ引き抜き実験と同様の傾向を示している。また、最大載荷荷重は6.7tfであり、その時の載荷点D1での最大変位量は、400mmである。この時点において4本の5m直管すべてが変位を始め、それ以上載荷荷重は上がらなかったため実験を終了した。

管を掘り出した状態をみると、接合部1の離脱防止金具がずれていた。

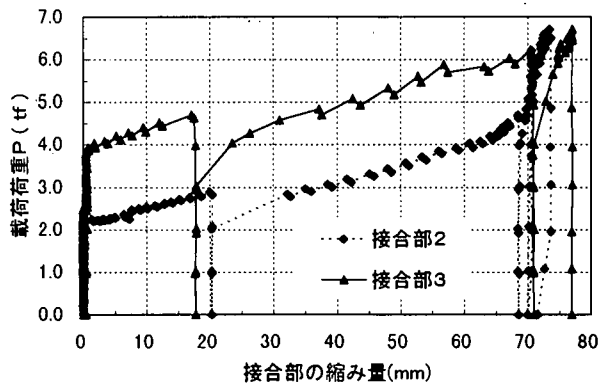


図-5 接合部の縮み量

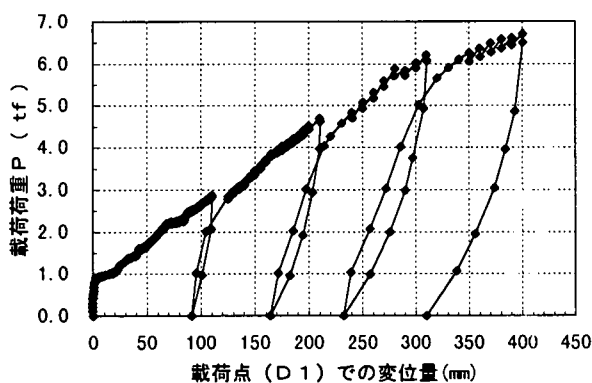


図-6 載荷荷重-変位曲線

(3) 考察

実験結果より以下のことが把握された。

① 載荷点に近い管から遠くの管に荷重が徐々に伝わっており、接合部の機能が十分発揮されながら良好に伝達されていることがわかる。

② 離脱防止金具による阻止力が、地中埋設状況であっても気中実験とほぼ同様の阻止力を有することが、押し込み、引き抜きの両実験において確認された。

3. 実験のシミュレーション解析

解析は、管体及び接合部の非線形性ならびに地盤の弾塑性状態も考慮した2次元骨組み解析により実施した。

(1) 解析条件

解析条件のうち代表的な項目のみ図-7～8にまとめた。

図-7は、接合部の伸縮特性を示したものである。また、図-8は、接合部の管軸方向地盤拘束力特性を示したものであるが、接合部は直管部と異なり膨らみがあるため、周面摩擦力が大きくなる。いずれも、実験データに基づき解析用にモデル化した。

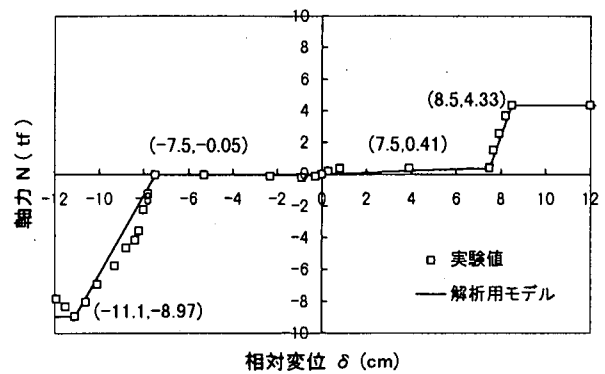


図-7 接合部伸縮特性

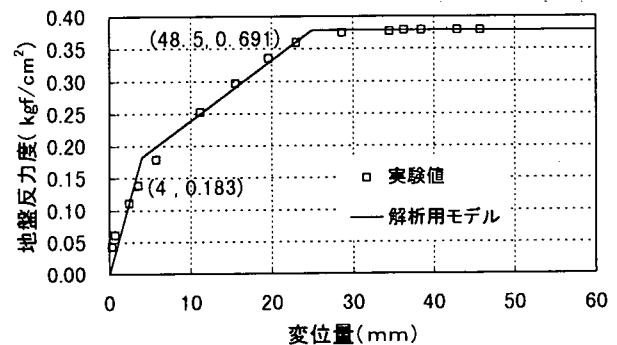


図-8 接合部管軸方向地盤拘束力特性

(2) 解析結果

a) 引抜き実験

図-9～10に実測値と解析値の比較図を示す。

図-9によれば、載荷荷重1.0tf付近まではほぼ実測値と同様であるが、この値以降は計算値の方が大きな値を示している。

図-10は、接合部の挙動を図化したものである。接合部1においては、実測値が伸び量60mmから抵抗しているのに対し、解析値では75mmから抵抗している。実験では、設置した時のずれや、砂かみなどの原因で抵抗が早まるなどの影響が考えられる。接合部2、3も同様の傾向がみられるが、いずれも伸び量が最大になる所までの挙動を把握出来ている。全体的にみると実験値と解析値はほぼ近似している。

b) 押し込み実験

図-11～12に実測値と解析値の比較図を示す。

図-11によれば、載荷荷重1.5tf程度までは、ほぼ実験値と同様であるが、この値を越えると計算値の方が小さくなっている。

載荷荷重2.0tf及び3.5tf付近に変曲点があるが、これは接合部1、2、3がそれぞれ極限まで変位し、その後次の管に力が伝わっていることを示すものと思われる。

図-12は接合部の挙動を図化したものである。接合部1の挙動は実測値が得られていないので図示していない。接合部2、3については、実測値と解析値は比較的近似

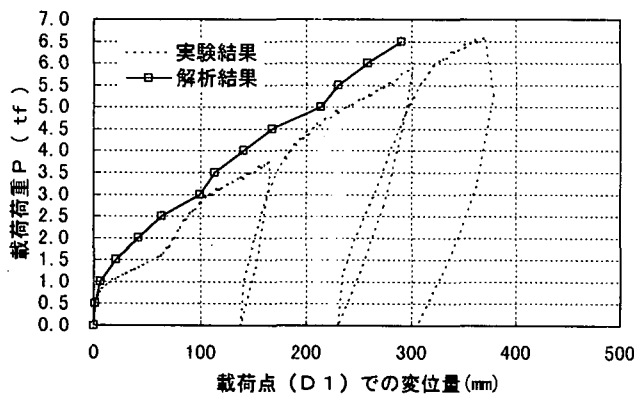


図-9 載荷荷重-変位曲線

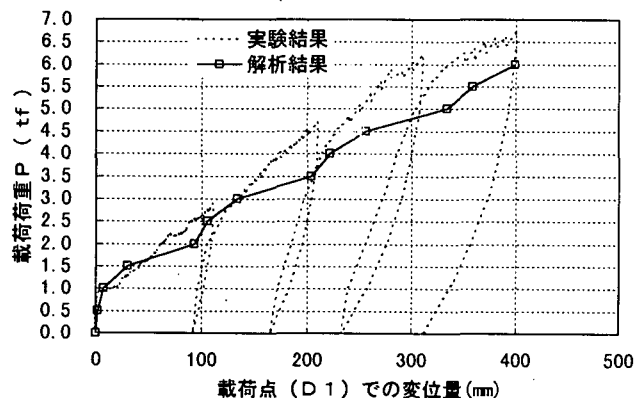


図-11 載荷荷重-変位曲線

している。解析値では、75mm付近から急激に抵抗が増加しているが、実測値ではゆるやかに増加している。実際に地盤に埋設して実験を行っているため、実測値にはゴム輪部の砂かみなどの影響が現れているものと思われる。解析では、接合部の縮み量の値が75mmになった時点で離脱防止金具の効果が現れることがよく分かる。

全体的にみると実測値と解析値はほぼ近似している。

5. まとめ

今回の報告をまとめると、次の内容に整理することができる。

- (1)引き抜きと押し込み実験の結果、接合部で力が良好に伝達されていることが確認された。
- (2)引き抜き実験の結果、想定した地割れに対して接合部が良好に機能することが確認された。
- (3)土中においても離脱防止金具の阻止力が汽中実験で想定していた阻止力程度に発揮できることが確認された。
- (4)実験のシミュレーション解析の結果、想定した基本条件を用いれば、比較的良く実験値と近似することが把握された。

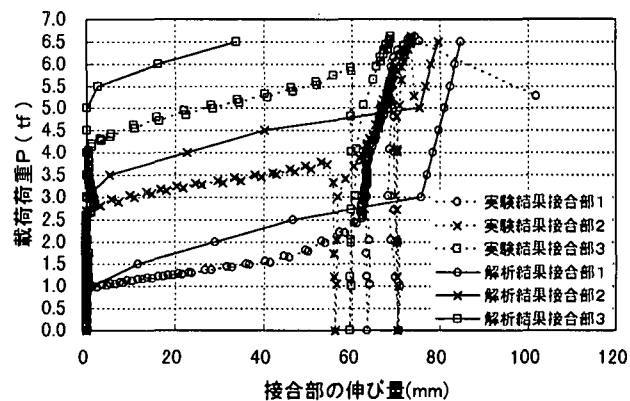


図-10 接合部の伸び量

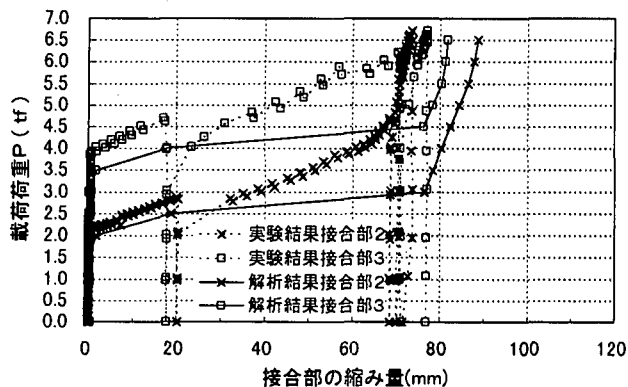


図-12 接合部の縮み量

6. おわりに

塩ビ管を用いた配水管についての耐震性検討の一つである実埋設状態での管の引抜き及び押し込み実験により、接合部の効果を把握することができた。また、実験結果のシミュレーション解析においても比較的实验値に近似することができた。今後は、類似実験例などをもとに検討を進めたいと考えている。

謝辞：本研究は平成8年度「地中管路の耐震性評価に関する研究委員会」（委員長：岩崎敏男（財）建設技術研究所 理事長）の指導のもとに行ったものであり、関係者の皆様に深く感謝する次第である。

参考文献

- 1)高田至郎著：「ライフライン地震工学」，共立出版（株）
- 2)中野，堀田，狭間，谷，岡部：「配水管の耐震性評価に関する実験」，地盤工学研究発表会 平成9年7月