

(79) 側方流動対策を施した埋設管の挙動について

熊本大学工学部

正 員 秋吉 卓

八代工業高等専門学校

正 員 洲田 邦彦

鉄建建設

正 員 ○尻無濱昭三

1. まえがき 都市におけるライフラインとしての埋設管の安全性の確保がますます重要な課題になりつつある。とくに、地震時に地盤が液状化して、数mにも及び地盤の流動などが起こる場合は、埋設管路に、折損、引抜け・押込み、浮上・沈下などの被害が生じ、都市機能が著しく低下するため、何らかの事前の対策が望まれている。これまでのところ、その対策として、耐震継手や地盤改良などの工法が採用されつつあるが、これらの液状化対策工法の優劣や有効性については、実証された例は少なくいまだ模索の段階である。著者らは、地盤改良が困難な場合の補助的な手段として、主管と平行に補強用の管を結合する管体補強工法を提案しているが¹⁾、今回は、地盤改良による対策工法との比較や、屈曲した管路に補強工法を適用した例および地盤ばねが空間的に変化している場合の適用例について報告する。

2. 埋設管路モデルと解析手法の概要 提案する、補強された埋設管は図1のような概念であり、側方流動に対して、それぞれ主管の左右の補強用の連続管と、これらの管路を緊結する補強板とによって抵抗しようとするものである¹⁾。解析においては、埋設管の慣性力や減衰力の影響は小さいものとして無視し、外力は液状化時の側方流動による地盤の強制変形とし、管体は変形後も弾性範囲内にあるものとする。主管は、伸縮ばねと回転ばねによる継手で連結され、かつ各管体は地盤ばねにより支持される、弾性床上の梁でモデル化する。このような管路モデルにおいて、管軸方向および管軸直角方向の基礎方程式を解くことにより、側方流動に対する管路の応答を得るが、ここでは省略する。なお長い管路について数値誤差の累積を妨ぐため、修正伝達マトリックス法を用いている²⁾。

3. 解析結果と考察 本研究での解析用モデルは、図2に示すように、地盤の一部(100m)区間が液状化・流動化による大変位をすところ、(a)の直線管路および(b)の屈曲した管路がそれぞれ水平に埋設されているものである。主管は、口径500mmのダクトイル管、補強管は口径100mmの鋳鉄管、さらに補強板は500×500×10mmの鉄板を標準値として採用し、その諸元を表1に掲げた。液状化時の地盤のばね定数は、室内実験の結果等を参考に^{3),4)}、平常時の1%程度とし、バイリニア型の非線形特性を持たせ、降伏時の相対変位を1mmとした。継手は、S型(耐震継手)とGM型(ガス管継手)について考え、その諸元を表2に示しているが、その復元力特性は、S型は非常に剛で、GM型は極端に軟らかい特徴がある¹⁾。外力は液状化土の側方流動が図2のy軸方向に作用するものとし、最大2mの台形分布を考える。以下ではGM型継手を有する、補強された管路の効果について、検討する。

図3は、直線管路の応答を示したもので、(a),(b)および(c)はそれぞれ、主管の軸直角方向変位、継手回転角お

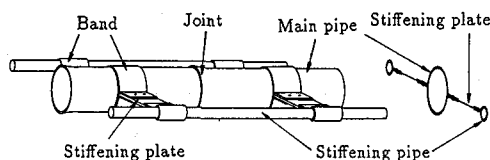


図1 提案する補強管路の概念図

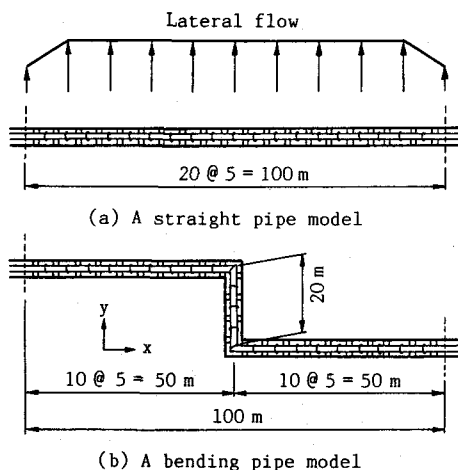


図2 解析用モデル(平面図)

表1 埋設管の諸元

	呼径 (mm)	外径 (mm)	管厚 (mm)	弾性定数 (kgf/cm ²)	単位体積重量 (gf/cm ³)
主 管	500	528	9.5	1.6×10^6	7.15
補強管	100	118	7.5	1.6×10^6	7.15
	縦 (mm)	横 (mm)	板厚 (mm)	弾性定数 (kgf/cm ²)	単位体積重量 (gf/cm ³)
補強板	500	500	10	1.6×10^6	7.15

表2 継手ばね定数の諸元

	回転ばね定数 (kgf・cm/°)	伸縮ばね定数 (kgf/cm)
S 型	8×10^5	5000
GM 型	500	2500

および継手伸縮量を、(d),(e)および(f)はそれぞれ、主管曲げ応力、主管せん断応力および補強管軸応力を表わしている。剛性の小さいGM継手では、単管の側方変位は、地盤の2mと同じ値となっており、そのため両端の固定部に近いところでは管路に大変形をもたらしている。それに対して、補強した管路では28cmであり、その液状化対策の効果が顕著に認められる。継手回転角および継手伸縮量は、上述の管体変位を反映したものであり、GM継手の単管の場合は、固定部に近い継手の回転角は 10° に達し、さらに継手の伸縮量も10cm程度にもなり、吸収能力を大きく越えており、明らかに破損の段階にあるのに対し、補強された管路では図上に表われない程その変形は小さく、その効果がきわめて顕著である。ところで、管体の最大曲げ応力は、当然両固定部に発生しており、単管の曲げ応力に対して、補強した管路では 800kgf/cm^2 と若干増えているが、十分許容範囲にある。またせん断応力は主管にはほとんど発生せず、考慮する必要がないことを示している。一方、補強管には、 800kgf/cm^2 前後の引張り軸応力が発生しているが、もともと施工し易さを考えて、補強管と補強板の大きさをひかえめなものにしていたもので、これらの改良により主管および補強部の応力などは相当低下させることは明らかである。

以上のような、管路の大変形を引き起こす側方流動そのものに対する対策としていくつかの工法が提案され、施工実績も増えつつあるが、それらの対策の有効性についての確証はなく、今後の課題であろう。そのような側方流動対策の1つとして、本研究の管体補強工法との比較のため、ここではシートパイル工法を取り上げる。文献5)のシートパイル工法に関する実験および解析結果より、シートパイルによって改良された地盤では側方流動による最大変位が無対策時の約1/4程度に低下する結果が得られている。そこで、地盤ばねはそのままとし、シートパイルによって改良された地盤を想定した、最大変位0.5mに対する単管の応答を求めたものが図4である。図4(a),(b),(c)はそれぞれ管変位、継手回転角、継手伸縮量を、(d),(e)はそれぞれ曲げ応力、せん断応力の分布を表わしている。(b),(c)の継手部の変位は、回転角、伸縮量ともに無対策の場合より小さくなるものの、回転角は許容値を越える応答値を示しており、管路の破壊を生じる可能性は依然として残されている。また(d),(e)の曲げとせん断応力は無対策の場合よりも小さくなり、応答値は許容範囲にある。

次に、地盤ばねが空間的に変動する場合の無対策の単管路および補強管路の最大応答を、地盤ばねの標準値に対する比に対して図示したものが図5である。(a)~(f)はそれぞれ主管変位、継手回転角、継手伸縮量、主管曲げ応力、主管せん断応力、補強管軸応力を表わしており、各図中の実線はGM型継手を、破線はS型継手を表わし、白印が補強された管路の応答を、また黒印は単管の応答をそれぞれ表わしている。(a),(b),(c)より、GM型継手の単管路における応答の最大値は地盤ばねが大なるほど低下するが、補強された管路では地盤ばねの変化に関わらず、その応答変位は小さくなっており、この図からも補強管路の顕著な効果が読み取れる。一

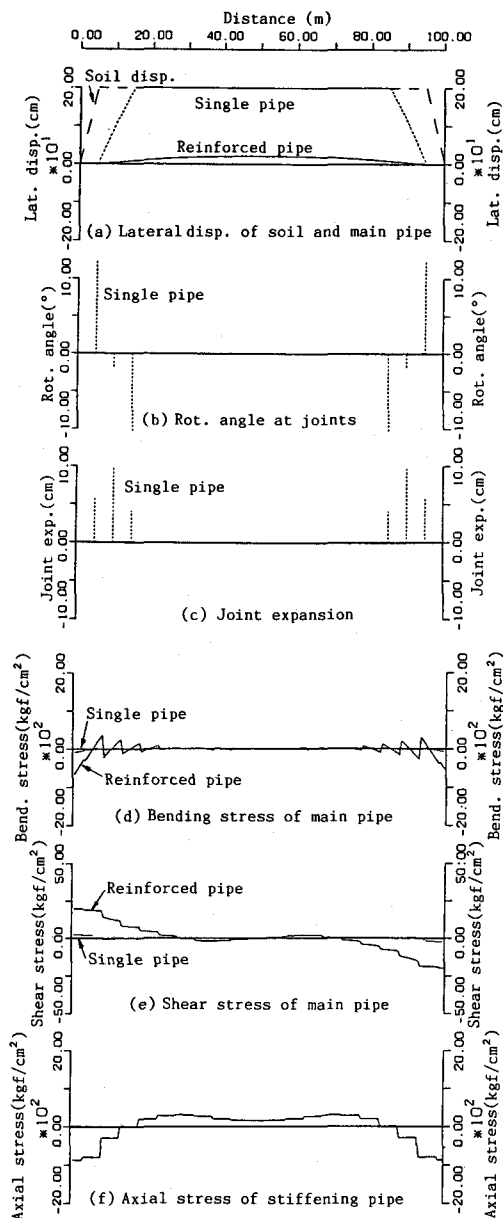


図3 側方流動による直管路の応答 (GM型継手)

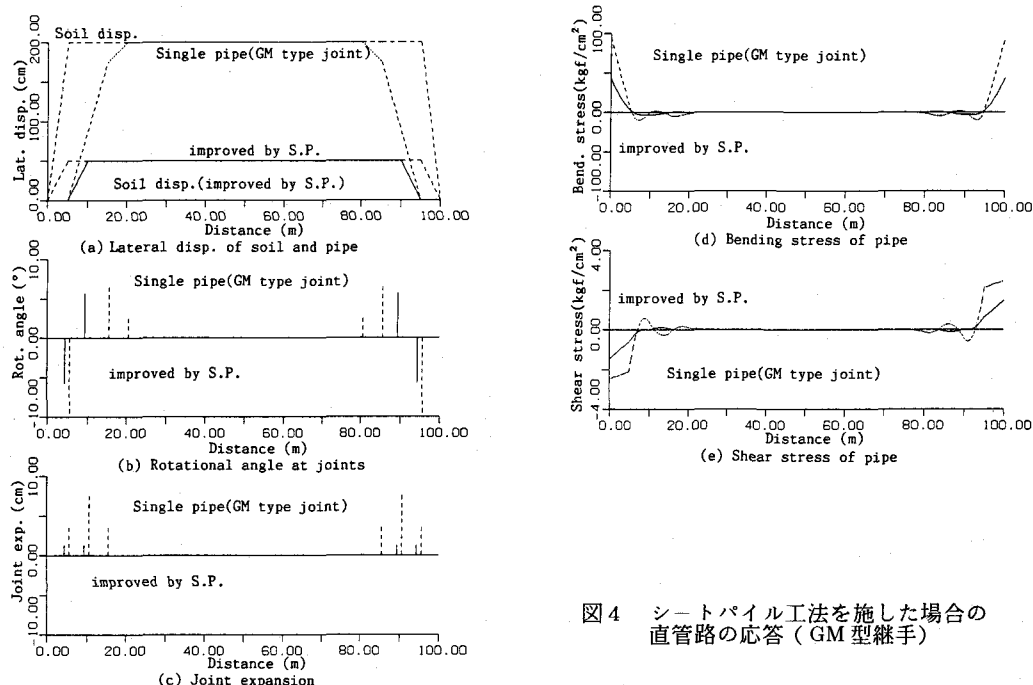


図4 シートパイル工法を施した場合の直管路の応答 (GM型継手)

方(d),(e)の曲げ応力とせん断応力は地盤ばねの増加に対してわずかながら増加する傾向にあり、また補強された管路が単管よりも大きくなっているが、応答値は許容できる範囲内にあり、管体補強工法による応力の増加はそれほど問題にはならないといえる。(f)の補強管の軸応力も地盤ばねの増加に対してわずかに増加する傾向を示している。

図6は、屈曲管路の応答を示したものである。伸縮継手以外の液状化対策をとらない単管の場合には、2mの地盤変形に対して、(a)の管変位は地盤変位に追従するのに対して、補強した管路では変形は小さくなめらかである。継手の回転角[(b)図]および継手伸縮量[(c)図]は、上述の管体変位を反映したものであり、単管路の場合は、液状化境界部に近い継手の回転角は 10° 、また継手の伸縮量は10cm程度に達し、屈曲管の場合も、伸縮継手だけでは側方流動に抗しきれないことがわかる。一方、補強された管路では図上に表われない程、継手部の変形が小さく、補強により、液状化時の管体および継手の変形を大幅に軽減する効果があることがわかる。さらに、図(d)より、単管では固定端部でやや大きな曲げ応力が発生し、その分布はなめらかであるのに対して、補強した管路では曲げ応力が補強管・補強板に分配されるので、主管の曲げ応力は複雑に変動するが、最大でも 800kgf/cm^2 程度の値である。また(e)より、管体のせん断応力は、単管・補強管ともきわめて小さく、主管では無視しうることを示している。一方、補強管は、曲げ変形に抵抗するため、図(f)では 1000kgf/cm^2 前後の引張り軸応力が発生しているが、補強管と補強板の大きさを改良することにより、主管および補強部の応力などを低下させるのは容易である。

4.まとめ 本研究では、側方流動という地盤の大変形に対する補助的な手段として、管体補強による対策工法を提案し、その有効性について検討した。その結果、提案する補強工法は、管路の変形を大幅に軽減する効果があること、また側方流動に対する対策としてシートパイル工法を用いた場合の単管の応答を調べた結果、継手の安全性に余裕があることなどを確認した。さらに、地盤ばねの変動する場合や、屈曲した管路への適用例についても検討し、管体補強工法の有用性を示した。

参考文献 1) 秋吉 卓・他3名: 第8回日本地震工学シンポジウム論文集, 1990. 2) 中村秀治: 土木学会論文報告集, 第289号, 1979. 3) 高田至郎: 昭和62年度科学研究費補助金(総合研究A, 代表 土岐憲三)研究成果報告書, 1988. 4) 秋吉 卓・他2名: 土木構造・材料論文集, 第5号, 九州橋梁・構造工学研究会, 1990. 5) 秋吉 卓・他2名: 第21回地震工学研究発表会講演集, 1991.

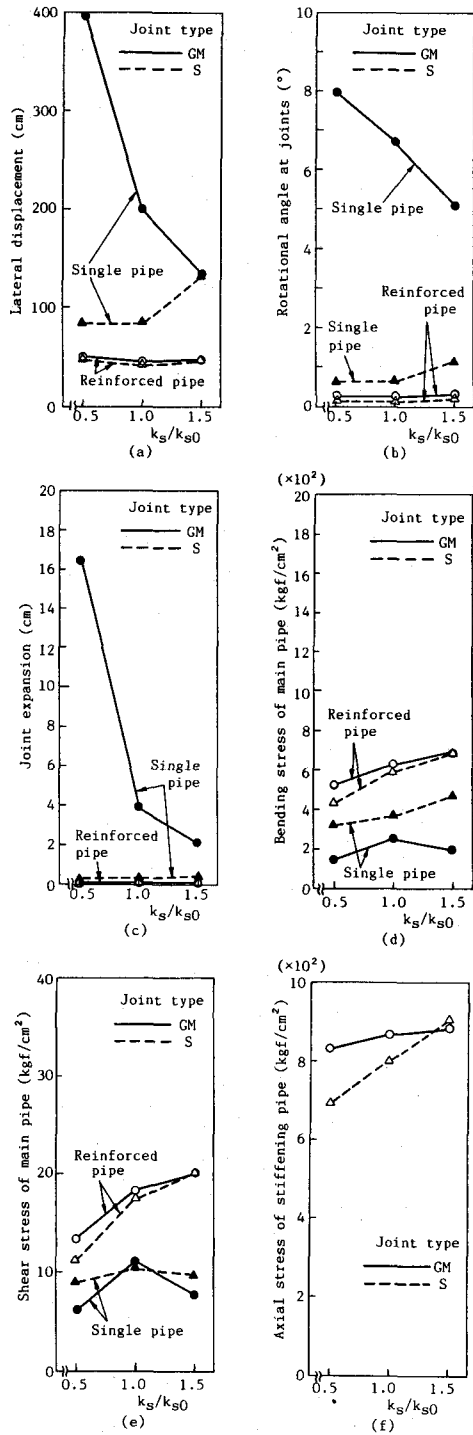


図5 地盤ばねの効果

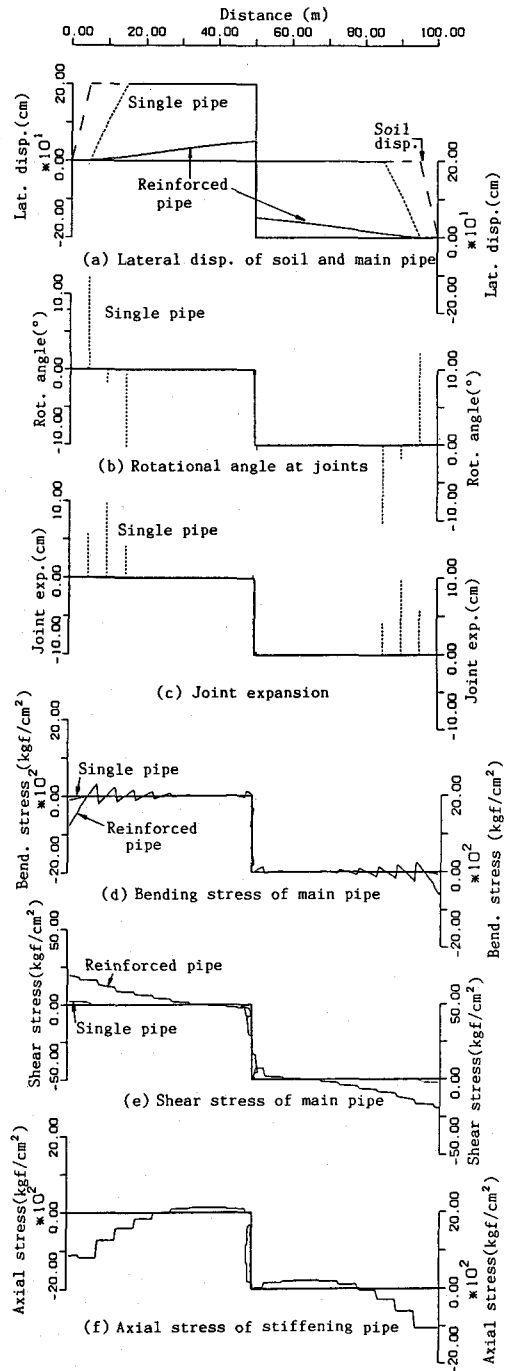


図6 側方流動による屈曲管路の応答 (GM型継手)