

地中埋設管に関するシンポジウムの報告

やま ぐち はく じゅ
山 口 柏 樹*

土質工学会調査部内に「地中埋設管研究委員会」が設けられ、いわゆる土と構造物の相互作用といった立場から埋設管の問題に取り組むこととなって約3年余を経た。この委員会の最終行事として「埋設管に関するシンポジウム」が昭和50年10月7日、虎の門のダイヤモンドホールで開催されたのであるが、当初の予想を大幅に上回る約250名の参加者があって、会はきわめて盛況の中に進められ無事終了することができたことは関係者の一人として大変きん快であり感謝にたえない。会場が手狭であったため椅子も不足し、お立ち願った方も少なからずあったが、この点に関しては本誌上を借りて深くおわび申し上げる次第である。

本シンポジウムには研究委員会を通じて得られた成果につきご苦勞願った委員諸氏が取りまとめた論文8編、会員諸氏からの投稿論文6編について説明討論が行なわれた。以下、その大要について報告したい。

埋設管研究委員会で、この3年間に引き上げ議論した報文、論文の中からいくつかの主要なものを分類整理した結果について沢口委員から報告があった。分類法は用途、計画、理論、実験、設計、施工、事故調査の7つに大分類し、これらはさらにいくつか細分類されているが、引用者に論文内容が一目では握される点、きわめて便利なものと思われる。宮島、宮内氏は埋設管のヒズミ（または応力）の測定精度が土圧値の測定に比べて良い点に注目し、ヒズミから外圧分布を推定する考え方を述べた。しかしこの方法でも直応力とセン断応力を分離して求めることはできず問題はなお今後に残されていることが指摘された。成田委員は地中埋設管と周辺土の相互作用をFEM解析した結果について報告した。弾性解析とダンカン法に基づく弾塑性解析のケースについて計算した結果、溝型剛性管といえども側方土圧がかなりのものとなる可能性があるようであるが、その値をいかにとつてよいかの結論は得られなかった。また、突出型タワミ性管での側方土圧は鉛直土圧と大差ない結果となったが、鉛直土圧については実測値よりやや少なめであり、側方土圧は実測値よりもやや過大となる傾向が認められた。またスベリの発生領域がマーストン・スパングラの仮定した鉛直領域と相当異なるものになったが、結論としてFEM解析の有用性が示唆されたとしている。

埋設管問題をFEM解析する点については関心はかなりあるようであり、自然地盤と埋戻し地盤間の相対スベリの取扱ひ方も、あるいは結果に響くかも知れぬとの意見が出された。福森、綿谷、小嶋氏は埋設導管が輪荷重によってたわむ時、頂部土圧はフレリヒ式によって近似してよいが、底面反力は断面剛性のため頂部土圧に等しくはならず、むしろ地盤反力係数を考えたバネ支承解析による地盤反力が働くものとした方が合理的であり、その結果、管応力は平滑化されると述べている。また実測に基づいてガス管の範囲($\text{dia}=15\sim50\text{ cm}$)について鉛直地盤反力係数は平板載荷による値とみてよく、管長が十分長い時には平板載荷試験により得られた k 値の45%とすればよいこと、および水平地盤反力係数は鉛直地盤反力係数とほぼ等しいことを示した。この論文に対する討議はなかったが、筆者はかなり重要な知見を与えたものと評価している。矢部委員は小口径管の破損は長さ方向の不均等支持に基づく曲げ破壊が卓越することに注目し、モデル実験を行なった結果について述べている。この実験において局部沈下の進行に対し土圧や曲げ応力が極大値をとる型ととらぬ型があること、大口径管ほど曲げ応力が同じ符号を持つ傾向があること、土圧が減るのに曲げ応力が増し続けるものがあること、あるいは同一条件で行なったにもかかわらず測定土圧のバラツキが相当あることなどが認められ埋設管の軸方向の挙動が複雑であるとしている。前記、宮島氏らの結論と同様、埋設管の測定土圧は信頼性が乏しいから応力測定または、これに代わるものとして管の変位の形状測定が望ましいとの見解が示されたわけである。西尾、吉越、渡辺委員は地中に固定された管に対し周辺土を落とし戸で下げ、土の変形の様相をX線により撮影し、発生するスベリ線の形状やその移り変わり方を示した。この論文ではマーストン・スパングラの突出公式値が、小口径管ほど大きな土圧を与えることを例示し、従来の考え方の矛盾を端的に示したと同時に、沈下のごく初期段階での荷重のピークに関しては、実測した等沈下面の位置の値を用いて不完全突出型で近似的に評価できるが、等沈下面を現実の設計問題として推定することはむずかしいから適用上大きな制約があると述べている。マーストン・スパングラ理論は歴史が古く、今日でも各方面で設計に利用されているのであるが、本実験や成田氏の前出の計算結果からみて、鉛直スベリ面の仮定に疑問が

* 工博 東京工業大学教授 工学部土木工学科
土質工学会地中埋設管研究委員会委員長

ニュース

出され、また今後、実際のスベリ面に沿うヒズミの実測資料などをもととして、いわゆるモビライズされたせん断抵抗を考えたものに発展させるべきだとの意見があった。西尾、高木、吉越氏は地震時に管と土がどのように接して動くかの問題を調べるためモデルならびに実物の管によって繰返し軸力を加えたときの管のヒズミを調べた結果を報告している。力と変形関係は非弾性でループを描き、土と管の間にスベリが起こるが限界スベリ量は 10~20 mm であった。

この試験で周辺土は砂質土であったが、非粘着性のものとしたときの見かけの摩擦係数は 1.5 以上のものがあったが、この原因として著者らの述べているダイレイタンスーによるものとするほか、粘着力の影響があるのではないかとの見解も出された。最近、簡便なシールド工法の一つとして推進工法が行なわれてきているが、その推進力の算定式が佐藤氏により提案された。推進抵抗の因子をあげて特性を論ずるとともに、経験的な知見をも加味して導いた推進力式は青森市で行なった現場データと良くフィットしたと述べている。しかし管と土との間にある限界スベリ量が広く認められている点からみてクーロン流の摩擦公式によるだけの議論で片付くのかといった疑問は解明されなかった。松尾、堀内委員は水道の配水管の破裂事故に対する名古屋市の調査例を統計的に分析し、要因をあげている。その結果として地盤の N 値と埋設深度が破壊事故の大きな要因であり、最適埋設深度の探求が、今後の課題となろうとしている。なお本文の資料の考え方として埋設深度の影響は、それが特定の値付近に多いことに起因するのではないかとの意見が表明された。中崎委員は埋設管周辺で工事を行なった場合、既設埋設管にどんな影響があったかの事例をいくつか報告している。現場の値としてシールドの掘進などにより埋設管の沈下が 30~50 mm であるとき破壊はなかった。また地盤凍結工法において 90 mm の上昇があったにもかかわらず管は安全であった例も示している。しかし地中の管がいかなる沈下をすれば危険であるかは、にわかに結論できないとしている。すなわち沈下そのものより角変形であって矢部氏らも述べているように管の軸方向の変形や応力の観測データの集積が急務であろう。これに関し、東京ガスでは 30 mm の沈下があった場合、管種変更などの処置をとる規定があることが紹介された。関連する問題としてシールドの前進に伴い近接するガス管の変形、応力あるいは地表面の沈下がいかに変化するかの高価な現場データが西尾、吉越、渡辺委員から紹介された。それによると路面と管の沈下はほぼ等しく、管の沈下が 180 mm に対し $1,600 \text{ kg/cm}^2$ の曲げ応力がでている。現場条件は、シールドの方向と管軸方向が平行している場合であるが、実際問題として両者が直交する場合の方が条件としてはきびしいのではないかとの意見が表明された。これも角変形

が大きい因子であるとする立場からの発言である。

房総導水路建設において補剛鋼管を施工した場合の問題点を丸山氏から発表された。ここで特に強調されたことは埋設管の耐荷力を増す施工管理ではなく、他の諸々の現場条件を踏まえて施工管理が単純であるような管設計法の確立が望まれるという点である。

わが国では埋設管の破局的応力が地震時に起こるとされている。すでに石油パイプライン法における技術規準で地震時の応力計算法が示されているが、管壁の摩擦特性が非弾性的であること（前述の高木氏の実験や後述の岩崎氏の実験例など参照）から非弾性計算による検討が必要であるとして宮島、宮内氏から、その解析結果が報告された。また、そのための簡便な計算法も、あわせて提示している。通常、設計で問題とされる地震規模において土の変位は限界スベリ量を大幅に越えると思われるので、このような非弾性解析が必要であることは首肯できる。ただし本計算では管の曲げ応力の影響について述べられていないのが残念である。討議において宮島氏から埋設管の動的解析を行ない等価粘性係数の考えで処理したところ、石油パイプライン技術規準による静的方法による値に比べ約 $1/4$ に下がるものもあるとの補足説明がなされた。いずれにしても今後、敷設される管の地震時応力の測定データを集めることが大切であるとの感を深くした。栗林、岩崎、川島氏は振動台上に砂層を設け、中にパイプを水平に入れて一端を固定し、振動台をパイプの軸方向に動かして摩擦力の変化を実測した結果を報告した。この場合、用いた砂は浅間山産の山砂であるが、限界スベリ量は 1~5 mm と小さく、動的繰返し時の低下が認められる。すなわち宮島氏のように弾塑性解析の必要性が、ここでも明らかになったといえよう。

以上、提出された各論文の主要な論点と、当日の討議の概要を述べたのであるが、従来土質力学の分野で、ややもすると等閑にされた埋設管の問題は意外に広く、かつむずかしい点が多いことが改めて痛感された。そして形式的とみられるマーストン・スパングラウの方法は再考の要があること、土圧値をうんぬんする前に管応力値を求めるのが合理的であること、埋設管が現場で受ける種々の影響については今後とも地道な計測が必要であること、特に許容変形角に抑える施工コントロールの確立が必要であること、また動的応力を推定するには弾塑性的考察が大切であることなどが結論として得られたように思われる。

最後に「地中埋設管研究委員会」の発足以来、長い間委員会の活動に協力せられた各委員諸氏、また有益な論文を投稿せられた会員諸氏、委員会の運営に、援助を致された学会当局の方々に心から謝辞を申し上げる次第である。

（原稿受理 1975. 10. 11）