



87

新耐震設計法の開発
49-V-2(5)・土・報・委・3

土木研究所資料

※(その1)は土研資料番外 No.3

※(その2) " " No.9

第1036号(その3)

昭和49年度総合技術開発プロジェクト報告書

埋設管の耐震設計法

—地中管路の耐震設計法に関する調査結果(概要報告)—

昭和50年5月

建設省土木研究所

序 文

建設省においては、建設技術開発会議の答申に基づいて、昭和47年度から総合技術開発プロジェクトを設け、現在「新耐震設計法の開発」、「海洋構造物建設技術の開発」「新道路交通システムの開発」および「住宅性能総合評価システムの開発」に関する研究開発を実施しております。

このうち「新耐震設計法の開発」は、最近における地震学、地震工学分野の研究の進展、サンフェルナルド地震、マナグア地震等により震害の教訓等耐震技術の改良を促す各界の情勢に対応して、地震防災対策の一環として新しい耐震設計技術を緊急に開発することを目的としたものであります。その一環として、昭和47年度から昭和49年度までの3ケ年間、建設省土木研究所を通じて日本電気協会に地中埋設管の地震時の安全対策に関する調査研究を委託し、同協会内に「地中管路耐震技術委員会」を設立して、多方面からご検討を願ってまいりました。

この報告書は、上記委員会の昭和47、48年度の成果概要および49年度の成果をとりまとめたものであります。ここに示された成果は地中埋設管の耐震技術の向上に多大の貢献をするものと期待されます。

なお本報告書は概要報告であり、成果の詳細については別冊の詳細報告を参照されたい。

最後に上記委員会の活動にご協力いただいた委員長および委員各位、日本電気協会の担当者、その他関係各位に厚く御礼申し上げます。

昭和50年3月

建設省土木研究所長

川 上 賢 司

は し が き

わが国の地中には、それぞれの目的に応じて多種多様な埋設管が敷設され、いずれも重要な役割を果たしております。これらの地中埋設管は、一応地震時に於ける安全対策を考慮した設計・施工がなされているものの、耐震に関する分野には未解決の事項が多く、早急な解決が望まれると同時に今後の研究に多大の期待が寄せられている現状であります。

日本電気協会は、建設省土木研究所のご要望により当協会内に地中管路耐震技術委員会を設け、昭和47年度より3ヶ年間にわたり、建設省所管に係わる地中埋設管を対象とした地震時の安全対策を調査研究をしてまいりました。

本報告書は、昭和49年度調査結果をとりまとめたものでありますが、昭和47、48両年度の成果概要も包含しております。とりまとめにあたり委員長をはじめ委員各位の献身的な努力に敬意を表するとともに、本報告書が、わが国産業経済の伸展と保安確保のための一助ともなれば幸と存じます。

昭和50年3月

社団法人 日本電気協会
専務理事 大 島 五 郎

ま え が き

この報告書は、建設省土木研究所の委託により日本電気協会に設けられた地中管耐震技術委員会が昭和47年度より3ケ年にわたって地中管の耐震技術に関し審議してきた成果を取りまとめたものである。

この委員会では、初年度において、各種地中管の地震による変状の事例や地震に対する構造上の対策及び地震に対する保安及び運用上の対策等の調査を実施し、次年度以降のこの委員会の活動の基礎とした。次いで昭和48年度では、現在各分野において進められている地中管の耐震技術の研究開発の現状や将来計画等について調査し、それぞれの立場から意見の交換を行ない、管路の地震対策について検討を行った。昭和49年度においては、以上の調査結果を基にして、従来各分野でまちまちであった地中管の震害調査法、解析法、試験法等について、どの分野でも参考事例として共通に利用し得るようにまとめた。

地中管の耐震性の問題は、地震時の軟弱地盤の変状やそれによる管の挙動等に関係し今後の研究に期待される事柄が非常に多い。しかしながら、これらの調査活動を通じて意を強くすることは、近年各分野でこの方面の研究開発が意欲的に進められそれらの成果が実用面に着々と取り入れられていることでもあります。

地中管はガス、石油、電力等のエネルギー源や飲料水等の輸送機関として生活にかかせないものであり、今後益々多くなりつゝあります。従って地震に対して安全をはかるよう耐震設計や地震対策に今後より一層の進歩が望まれますが、この委員会が調査した結果がこの方面の進歩に多少なりとも役立てば幸いと思います。

最後にこの3ケ年間、この委員会に参加し熱心に調査活動に御協力して下さった委員各位、並びに協会の方々に深甚の謝意を表わす次第であります。

昭和50年3月

地中管路耐震技術委員会

委員長 高 橋 忠

目 次

序 文	(i)
はしがき	(iii)
まえがき	(v)
1 委員会の設置	1
2 委員名簿	2
3 委員会活動	5
4 審議成果の概要	6
4.1 昭和47年度成果の概要	6
4.2 昭和48年度成果の概要	11
4.3 昭和49年度成果の概要	13
5 結 論	15
5.1 地中管路耐震技術の発展の経緯	15
5.2 審議の成果	18
5.3 今後の問題点	19
6 参考文献（委員会の成果物）	19

1. 委員会の設置

地中管路の地震時の安全性の確保については、従来から各種の対策が研究され、実施に移されてきており、委託者側である建設省においても地中埋設管を用いた直轄事業ならびに道路・河川・海岸・公園の占用の許認可に係わる公共・公益事業など相互の間に大きな矛盾のない地震時安全対策を講じる努力を続けてきている。

しかしながら、この問題は多岐にわたり、解決には多方面の専門家の協力を得る必要があり、委託者である建設省土木研究所は電力中央研究所技術第2研究所および日本電気協会と協議し、日本電気協会に調査研究を委託し、同協会はこれをうけて地中管路耐震技術委員会を設置した。

本委員会は地中埋設管の地震時の安全対策について調査研究するために各分野の専門家によって構成し、必要とする調査・解析・試験を実施し、目的を達成するものとする。

委員会の内規はつぎに示すとうりである。

地中管路耐震技術委員会 内規

1. 委員会の目的

建設省土木研究所よりの依託を受け、建設省所管の事業および許認可の事務に係わる地中埋設管の地震時の安全対策について調査研究することを目的とする。

2. 委員会の任務

上記の目的を達成するために、文献・資料等に盛られている情報の収集整理、地震対策の実例の調査、耐震性能、保安対策等の向上に関する研究を実施し、年度毎にその結果を報告する。

3. 委員会の存置期間

この委員会の存置期間は昭和47年度を初年度とする3カ年度以内とし、必要に応じて5カ年度まで延伸することができる。

4. 委員会の構成

- (1) この委員会は委員長および副委員長各1名ならびに30名内外の委員をもって構成し、主査および幹事若干名をおく。
- (2) 委員長および委員は、日本電気協会が委嘱する。主査および幹事は委員長が委員の中から指名する。
- (3) 委員長は委員会の運営を総理する。
- (4) 副委員長は委員長を補佐し審議にたずさわる。
- (5) 委員は委員会の審議にたずさわる。
- (6) 主査は委員長の同意のもとに分科会活動を進める。
- (7) 幹事は委員会の事務を掌る。
- (8) この委員会に分科会を設けることができる。

2. 委 員 名 簿

委員構成は下記のとおりである。ここには前委員も示している。

氏 名	所 属
委員長 高 橋 忠	電力中央研究所 技術第二研究所
副委員長 大久保 忠 良	建設省土木研究所 構造橋梁部
委 員 石 原 研 而	東京大学 工学部
“ 桜 井 彰 雄	電力中央研究所 技術第二研究所
“ 田 村 重四郎	東京大学 生産技術研究所
“ 土 田 肇	運輸省 港湾技術研究所
“ 藤 原 俊 郎	日本国有鉄道 鉄道技術研究所
“ 今 木 甚一郎	日本国有鉄道 建設局
“ 岡 田 宏	日本国有鉄道 建設局
“ 佐 藤 次 郎	東京都建設局 道路建設部
“ 重 松 悟 郎	中部電力(株) 工務室
“ 深 瀬 鋭次郎	日本電信電話公社 建設技術開発室
“ 杉 田 昭※	“ “
“ 関 正 炳	東京瓦斯(株) 供給幹線部
“ 大 沢 隆太郎	“ 供給幹線部 幹線技術課
“ 藁 谷 英治郎	“ 供給技術室
“ 土 田 孝※	“ “
“ 藤 波 富 次	東京電力(株) 工務部地中線課
“ 土 屋 貢一郎※	“ “
“ 永 井 重 成※	関東パイプライン(株) 技術部
“ 津 田 宏	関西電力(株) 工務部送電工事課
“ 長 浜 一 郎※	“ “
“ 細 田 三 朗	東京都水道局 経営管理室
“ 前 田 弘	東京電力(株) 技術開発研究所
“ 松 崎 茂 樹	東京都下水道局 計画部
“ 山 口 豊 生	新東京国際空港公団 施設部
“ 青 鹿 勝 之	日本鋼管(株) 第二重工設計部
“ 飯 田 毅	住友金属工業(株) 中央技術研究所
“ 斉 藤 進	三菱樹脂(株) パイプ本部
“ 小 嶋 俊 夫※	塩ビ管継手協会 技術部
“ 白 川 興 一	新日本製鉄(株) 相模原技術センター

氏 名	所 属
委員 成 田 園 郎	日本鋼管(株) 技術部
" 久 光 脩 文	住友金属工業(株) 中央技術研究所
" 平 島 徹	パイプラインエンジニアリング(株) 技術グループ
" 仁 木 彬 隆	日本鑄鉄管協会 技術専門委員会
" 宮 岡 正※	" "
" 北 修 貞 宗	久保田鉄工(株) 鉄管研究部
" 宮 島 信 雄	新日本製鉄(株) 相模原技術センター
" 宮 内 二 郎	" "
" 稲 葉 誠 一	科学技術庁 国立防災科学技術センター
" 古土井 光 昭	運輸省 港湾局 建設課
" 桜 井 正 憲	" " "
" 原 田 徳 治	資源エネルギー庁 公益事業部
" 高 木 徹 夫※	" "
" 高 橋 剛	" "
" 渡 辺 昭	" 石油部
" 古 川 政 吉※	" "
" 松 浦 実	自治省 消防庁 防災課
" 高 秀 秀 信	建設省 大臣官房 技術調査室
" 北 野 章※	" " "
" 亀 田 泰 武※	" 都市局 下水道事業課
" 岸 本 貞 男※	" 河川局 河川計画課
" 寺 田 章 次	" 道路局 路政課
" 鈴 木 道 雄※	" 関東地方建設局 企画部
" 岩 崎 敏 男	" 建築研究所 国際地震工学部
委員兼幹事 今 田 徹	" 土木研究所 道路部
" 立 石 俊 一※	" " "
" 水 谷 敏 則	" " "
" 山 村 和 也※	" " 機械施工部
" 矢 部 正 宏	" " "
" 駒 田 敬 一	" " 構造橋梁部
" 塩 井 幸 武※	" " "
" 栗 林 栄 一	" " "
" 川 島 一 彦	" " "
" 岩 楯 散 広	電力中央研究所 技術第二研究所
" 荒 木 洋	" "

氏 名	所 属
事 務 局 大 島 友三郎 " 荘 司 修	日本電気協会 技術基準部 " "

※ 前委員

3. 委員会活動

委員会の開催状況は以下のとおりである。

A 本委員会

第1回	47-11-30	活動方針と検討課題
第2回	48-3-9	47年度報告書審議
第3回	48-9-14	48年度活動方針
第4回	49-3-20	48年度報告書審議
第5回	50-1-13	49年度研究の進め方
第6回	50-3-20	49年度報告書審議

B 幹事会

第1回	47-12-21	耐震資料の収集と活動範囲
第2回	48-1-11	耐震関係収集資料の検討
第3回	48-2-15	報告書原案の検討
第4回	48-4-20	48年度調査研究の実施計画
第5回	48-10-9	〃 の活動計画
第6回	48-11-7	報告書の作成方針
第7回	48-12-5	〃
第8回	49-1-30	報告書案の検討
第9回	49-2-28	〃

C 研究会

第1回	48-5-23	耐震関係資料の検討
第2回	48-7-27	耐震研究報告
第3回	48-9-14	〃
第4回	48-10-9	〃
第5回	48-11-7	〃
第6回	48-12-5	〃
第7回	49-1-30	〃

D ワーキング・グループ

震害調査法W.G.	50-1-13
〃	50-1-31
〃	50-2-26
試験解析法W.G.	50-1-13
合同W.G.	50-3-5

4. 審議成果の概要

4.1 昭和47年度成果の概要

地中管路は、物質・エネルギー・情報などの移動・伝達に係わり、都市機能の血管、神経系ともいべき重要な構造物である。したがって、地震時においてもその機能に重大な損傷の生じないことが要求される。

地中管路の地震時の安全対策については従来より研究が実施されているが、各種管路の利用目的によって当然その対策も異っている。一方、地中管路の地震時挙動の解明についても、地震時における地盤自身の挙動、地震波動伝播特性、地震時の地盤の歪と管路の歪の関係、管路線形の影響等々、研究の緒についたばかりである。

そこで、昭和47年度においては各種管路について、1) 施設の目的と構造概要、2) 過去の地震による変状の事例、3) 地震に対する構造上の対策、4) 地震に対する保安上の対策または運用上の対策を調査し、各種の研究・対策事例において相互の交流を計ると共に、次年度以降における委員会活動の基盤を求めることにした。

地中管路は、これを地震工学的にみれば、1) 地表面に沿って大きな拡がりを持つ構造物であること、2) 地中に埋設されていること、が橋梁、建築物などの地表に建設される構造物と大きく異なる点である。このため、埋設される地盤の地質・土質・地形などによって構造物各部で異なる地震力を受けることになり、画一的な設計が採り難い構造物といえよう。

また、地中に埋設されていることから、地震力のうち慣性力よりは地盤の変形——地盤の歪——にその耐震安全性が支配されることになる。このため、管路の抵抗力によって地震力に耐えるという設計法が採り難い構造でもある。

一方、各施設は複雑な構成をなしており、管路のみを採り上げてみても、歴史的経緯・利用目的などによって、震害に対する考え方、構造細目・使用材料などが異なるため、地震対策についても画一的にまとめることは困難である。

1) 施設の目的と構造概要

施設の目的と構造概要をまとめて表1-1に示した。この表を説明すれば以下のようである。

(1) 地中管路の目的

- a 単に内容物の機械的な保護に用いられるもの……電話地中管路、地中送電線の一部
- b 機械的な保護と共に、導管として用いられるもの……上水道、下水道、ガス導管、地中送電線の一部、石油パイプライン、用水路

(2) 内 容 物

- a 液 体
 - (a) 上水……上水道、用水路
 - (b) 下水……下水道
 - (c) 油（原油、重油、灯油、ガソリン、絶縁油）……石油パイプライン、地中送電線
- b 気 体

	上水道	下水道	ガス導管	電話地中管路	地中送電線		石油パイプライン	用水路
					POPケーブル用埋管	一般ケーブル用埋管		
設計荷重	鉛直土圧 水平土圧 活荷重(T=20) 地荷重(管重、水重) 温度応力 水圧	鉛直土圧(マースト式、ヤンセン式) 活荷重(T=20) 地震時荷重	内圧 土圧 管重、車輪荷重	自重 土圧、水圧 車輪荷重 地盤力 自重 管内面圧	熱応力 路面荷重 土圧 水圧 地盤力 自重 管内面圧	路面荷重 土圧 水圧 自重	(主荷重) 内圧、土圧、車輪荷重、自重、石油の重量 (従荷重) 温度変化、増進、不等沈下の影響、工事中の荷重ほか	鉛直土圧 水平土圧 活荷重(T=20) 地荷重(管重、水圧) 温度応力 水圧
内圧	管径によって 25kg/cm ² まで 水側圧55kg/cm ² が一般的 尚、地震時動水圧を加味することあり。	特殊な場合はふき考慮する必要無	高圧 10kg/cm ² 以上 中圧 1~10kg/cm ² 低圧 1kg/cm ² 以下(通常は0.01~0.02kg/cm ²)	なし	10~15kg/cm ²	なし		
埋設深さ	1.2m以上(最少0.6m)	最低1m	1.2m以上	主線管路: 1.2m以上 地下配線管路: 0.6m とう道: 1.2m以上	1.2m以上	1.2m以上	0.6~1.2m 非開削: 4m以上	開削: 0.6~1.2m 非開削: 4m以上
管径	供給水管(サービスマ) φ13~φ50mm 配水管 φ75~φ300mm 排水管 φ400~φ2,700mm 送水管 φ4,000mm 送水管 φ2,700mm	円形管(陶管、無筋コンクリート管) φ100~φ3,000mm 円形管(RC管) φ150~φ3,000mm 矩形管 1.0×0.84~5.2×5.2m 溝型型鋼 1.4×1.6~2.4×2.4m	高圧 φ600, 650, 750mm 中圧 φ100mm以上 低圧(支管) φ25~φ100mm	主要管路: φ75mm 地中配線管路: φ25~φ50mm とう道(円形): φ25~φ50mm (角形): 2.05×2.25m ~4.70×3.65m	φ250~φ300mm	φ100~φ300mm	開削: 2.1~4.3m トンネル掘: 2.8~4.3m セグメント型鋼管: φ13.5~φ35.6m	開削: 2.1~4.3m トンネル掘: 2.8~4.3m セグメント型鋼管: φ13.5~φ35.6m
内容物の性質	原水、浄水(厚生省令飲料適合) 工業用水(通産省令適合)	下水(汚水+雨水)汚水 雨水、処理水(排水汚染適合)	都市ガス	通信ケーブル	送電ケーブル 絶縁油	送電、配電、通信ケーブル	原油 製品 (ガソリン、灯油、軽油、重油)	用水
管材料	鋳鉄管、ダクタイル鋳鉄管、鋼管、無筋コンクリート管、RC管、コンクリート合成鋼管、石棉管、プラスチック管(塩ビ管、ポリエチレン管)鉛管、銅管	陶管、無筋コンクリート管、RC管、ソケット付きスパンパイプ(SPP管) ヒューム管、ロール転圧コンクリート管、RC管(シールド工法)塩化ビニール管	鋼管(高、中、低圧) ダクタイル鋳鉄管(中、低圧) 塩ビ管 塩ビ管 ポリエチレン管	管路: 鋼、ダクタイル鋳鉄、硬塩ビ管 とう道(円形): シールド工法材料、ヒューム管 (角形): 炭素コンクリート	鋼管 銅管 ヒューム管 硬塩ビ管 ポリエチレン管	鋼管 銅管 ヒューム管 硬塩ビ管 ポリエチレン管	鋼管	自然落下の場合: コンクリート管 圧力輸送の場合: ダクタイル鋳鉄管 鋼管、補剛鋼管、セグメント型鋼管、二重鋼管
継手構造	いんちう継手 (コーキングを要するもの) メカニカル継手 (ボルトを基にしたフレキシブルなもの) フランジ継手 ねじ継手 溶接継手 伸縮継手 可とう継手 (急角変位吸収用) 接合継手 継ぎ継手 (熱により継ぎ) 縦脱防止継手	ソケット継手 (モルタル、ゴムリング) パター継手 カッター継手 段付きいんちう継手 いんちう継手 (モルタル、ゴムリング)	いんちう継手 フランジ継手 ねじ継手 ガス型継手	鋼、ダクタイル鋳鉄: ねじ継手、伸縮継手併用 硬塩ビ: 接合槽によるソケット接続	スリーブをすみ内容接	ねじ継手 ソケット継手	溶接継手 伸縮継手	溶接継手 メカニカル継手
埋戻し	荒目砂、遮断砂用砂、埋戻用砂 良質土等により入念に突き固め 埋戻す。特に管径10cmまで 砂埋めと土質混和砂を要する に注意する。	荒目砂、遮断砂用砂、埋戻用砂 良質土等により入念に突き固め 埋戻す。	管径10cmまで砂その上は 充實土または埋戻し用砂で 突き固める。	砂 細土	良質砂を水締めした後 塩化により締め固め	同左	同左	開削: 上水道に同じ 非開削: セルタルまたは豆砂利
関係法令	水道法 工業用水道事業法 (水道施設基準解説)	下水道法	ガス事業法 道路法 (道路占用協定) (交通通信技術標準実施方法) (調査路路指示書、同時設計指針)	道路法 (道路占用協定) (電気通信技術標準実施方法)	電気事業法 (電気設備技術基準)	同左	石油パイプライン事業法 (石油パイプライン技術基準、石油設備内管技術基準) 高圧ガス取締法 鉱山保安法 ガス事業法 消防法	上水道に同じ

ガス（都市ガス、天然ガスなど）……ガス導管

c 固 体

ケーブル……電話地中管路、地中送電線

d 混合物

スラリー、汚泥……下水道など

また内容物の化学的相違などによって

a 可燃性……油、ガス

b 難燃性……

c 不燃性……水

などに分類することができる。

(3) 設 計 荷 重

設計荷重については、内圧、土圧、自動車荷重、自重（内容物を含む）、地震荷重、不等沈下、浮力などに対処し、設計上不明な点に対しては構造細目でこれを考慮している。構造細目においては、フレキシビリティを基本的な考え方としている。

なお、特殊な荷重として熱応力が、地中送電線、石油パイプラインの一部（原油、重油）などの設計に考慮されている。内圧は、開水路、地中電話線のゲージ圧 0kg/cm^2 を例外として、 0.01kg/cm^2 （ガス、低圧管）から 70kg/cm^2 （石油パイプライン）まで、広範囲にわたっている。

(4) 管 路 材 料

管路材料についてみても、コンクリート系（洞道、ヒューム管、石綿管、RC管、PC管、陶管）鋼系（高圧配管）、铸铁系（高級铸铁管、ダクタイル铸铁管）、高分子系（塩ビ管、ポリエチレン管）の管路があり、高圧配管に鋼管が使用される他は、各々の管路の目的に応じて各材料が適所に使用されている。また、管路の発達の歴史的な経緯から、铸铁管、鉛管などが使用されている部分もある。

(5) 構 造 細 目

管路の径は10mm程度のサービス管から5m程度の洞道に至るまで各種の径が使用されている。

継手は、鋼管にあっては、高圧であることから、熔接が普通であるが、低圧の場合には、ネジ接合、機械継手が主であるが、古い配管にあっては、ソケット継手などが使用されている。また、弁などの接合部ではフランジ継手を使用されている。塩ビ管などでは、接着剤による接着が普通である。

(6) 埋 設 深 さ

埋設深さは、それぞれの基準に従って埋設されており、1.2m以上を原則としている。

2) 地震による変状の事例

震害事例については、次のように整理されよう

(1) 変 状 箇 所

a 管路の折損、弯曲、きれつ、浮上

小口径管（石綿セメント管、铸铁管、陶管など）では管周方向の折損が、中口径管（铸铁管、鉄筋コンクリート管など）では管軸方向のキレツが、鋼管、塩ビ管では弯曲が、中大口径管（鉄筋コンクリート管、プレストレストコンクリート管など）では浮上、回転などの現象がみられた。

b 継手部の破壊

铸铁管、石棉セメント管などの継手脱出、圧壊、鋼管のネジ部、ガス溶接部の切損、フランジ継手部の破損、ボルト切断、鉄筋コンクリート管カラー継手の破損、曲管部、T字管の圧壊、脱出などの現象がみられた。

c マンホール周辺の破壊

d 管路の立上り、構造物との出合箇所

(2) 配管と地震の方向性

一般性はないが、震央が近い場合（福井、サンフェルトナンド）は地震方向と平行した管路に、震央が遠い場合（関東、1968十勝沖）は地震方向と直交した管路に被害が多いという事例もあった。

(3) 地盤地形

一般に地層の変化点に被害が集中しており、軟弱地盤や地下水位の高い地点にも被害が多い。特に流砂現象の起きやすい地帯での被害は大きい。

(4) 破壊原因

- a 地盤変動（地すべり、陥没、隆起現象、地割れ）による土圧
- b 橋台の盛土箇所の陥没
- c 地盤の流動化
- d 腐食による強度低下（継手部ボルト、ネジ部）
- e 施工時の不良箇所（溶接、接着箇所、取扱いの不備、他の埋設物との接近）

3) 地震に対する構造上の対策

冒頭に述べたように、地中管路を含む施設を完全に耐震的にすることは、技術的にも経済的にもかなり難しい。したがって、地震対策には、1) しばしば起る地震に対してはこれの耐震性を十分確保し、2) 希に起る大地震に対しては、二次災害を防止すると共に緊急の用途は確保するための対策が必要となる。

各施設においては、過去の震害事例に応じ、構造上の地震対策を設計にとり入れ、その耐震性の向上を計っている。そこで、地中管路を剛構造にする考え方や、地震の変位に対して、ある程度順応性をもつ免震的（柔）構造にすることが妥当と考える例もあり、施設の必要度に応じて次のような具体的な対策がとられている。

- a 軟弱地盤と、堅硬地盤の変化点等地盤状況が急変する場所には、変位の吸収、軸応力の緩和等のため、伸縮継手、可とう継手を設けたり、曲げ管を利用し撓み性を高めたり、二重管にして補強する。
- b 地盤の流動化対策として、このような地点を回避するか、また基礎を均等にするなど、支持方法に配慮がなされている。
- c 地震時軸方向力や地盤変動に対処するため、機械的強度が高く、撓み性の大きい鋼管、ダクティル铸铁管等の展延性に富む材料を使用する。軟弱地盤等の地盤条件の悪い地点では特にその傾向が強い。

4) 地震に対する保安上の対策または運用上の対策

地中管路の地震対策は、構造上の配慮による耐震性の向上と共に、保安上または運用上の対策が設計の一部として、または設計上のバックアップシステムとして考慮されている。

保安上または運用上の、地震対策の基本的な考え方は、 1) 震害の波及を防止し、二次災害を防ぐこと、 2) 緊急の用途を確保すると共に、早急に復旧することにある。

このため以下のような体制が作られている。

(1) 予 防 対 策

- a 災害対策組織の存置と震害予測に基づく災害対策訓練
- b 二次災害防止対策
- c 他機関、他都市、関係業界との協調および資機材の備蓄、融通体制
- d 情報連絡網の整備
- e 需要家への広報活動

(2) 復 旧 体 制

- a 緊急対策、優先度の高い所、災害拡大防止効果の高い所、復旧効果の高い所
- b 応急対策
 - (a) 通信・連絡ルート確保
 - (b) 復旧資材の確保・輸送
 - (c) 復旧要員の確保
 - (d) 輸送路の確認と確保
 - (e) 官公庁、報道機関、需要家等への広報活動
- c 恒 久 復 旧
 - (a) 被害状況調査
 - (b) 改良点の検討
 - (c) 復旧資料の作成

4.2 昭和48年度成果の概要

昭和47年度委員会活動として各種地中管路の現行の地震対策を調査し、1)施設の目的と構造概要、2)過去の地震による変状の事例、3)地震に対する構造上の対策、4)地震に対する保安上の対策および運用上の対策、についてこれを報告した。

地中管路の地震時安全対策については従来より各方面で研究・実施されているが、各種管路の利用目的によって当然その対策も異なるため、各個に報告されており、これらを総合的にまとめた昭和47年度報告書は、各関係機関・企業・業界における知見の紹介・情報の交換として、地中管路の耐震設計技術の向上および発展の方向づけに大いに役立ったものと考えられる。

昭和48年度委員会活動は、このような情報交換・新知見の紹介を目的として研究会を開催し、共通の問題に対する技術の交換・向上を計ると共に、各種管路にまたがる問題について地震時保安対策の検討を行なったものである。

1) 地中管路の耐震設計

各種地中管路に共通する項目を選び、地中管路の地震時挙動を地盤震動との相関より検討し、その耐震設計の考え方について考察したものである。

(1) 地中管路の地震時挙動

- a. 現在までの各種観測・実験・理論的考察によれば、地中管路の地震時挙動は表層地盤の局所的な震動特性により支配され、したがって地中管路の地震時挙動を把握するためには表層地盤の震動特性を知ることが先決問題である。
- b. 地中管路の耐震性に関係する地震波動の主な位相は、1)表面波、2)S波位相でも地盤が不均一である場所(地下の層が傾斜している所など)、3)特別な部分ではS波位相(立上り部、大口径管路)などである。したがって、問題に応じ、3つの位相について耐震性を検討する必要がある。
- c. 地中管路の地震時挙動を考察するとき、第一近似としては、管路のひずみが地盤のひずみに等しいとするモデル化が考えられ、第二近似としては、弾性床上のはり、第三近似は強地震時には、特に管路軸方向には、周囲地盤と管路とがすべりを生じ、摩擦拘束をうけるモデルが考えられる。
- d. 第一近似として地盤の歪に視点を置いて耐震性を考察しても、その主要な要因を失うことがない。地盤の歪に立脚すると、歪 ε に関係する主要な物理量は、地震動の速度 V 、その地盤のせん断波速度 v であり、近似的取扱いとして次式で与えられる。

$$\varepsilon = \frac{V}{v}$$

- e. 地震時の歪に立脚すると、地中管路の地震時の歪は、地盤変形がどうであれ、軸方向歪が優越する。

(2) 地中管路の耐震設計

地震時の地盤の歪に立脚して地中管路の耐震性を考慮すれば、その設計の基本理念として変形で拘束が与えられる構造物設計、すなわち、免震的な立場による設計が必要である。免震設計の基本は、1)ルート選定によって地盤の悪い場所をさける、2)地盤の歪を管路に伝えない構造、3)保安対策を樹てるなどである。免震設計の手続きは、以下のようになろう。

a. 施設の利用目的による耐震設計の評価

設計地震動に対しては均質な耐震性を有すること、設計地震動をこえる地震（地震対策検討用地震）に対しては、速やかな修復が行なえるよう、技術評価・システム評価作業を行なっておく。

b. ルート選定

ルート選定は、表層地盤のせん断波速度・その層厚と共に、管路材料の選択がパラメーターとなる。もし、ルート上の地点でこのパラメーターより定まる地震動（保障する地震動）が設計地震動より下廻るならば、ルートの再選定もしくは管材料の再選択が必要となる。

c. 構造対策

さらに、これらで対処できないときは、共同溝・さや管の利用、伸縮継手の採用など構造上対処する必要がある。

d. 施設のシステム対策

地中管路の耐震設計は以上のようにして行ないうるが、地盤の局所性に支配され易いことなどから、實際上管路全体に均質な耐震性を持たせ難いこと、設計地震動をこえる地震動にも対処できること、のために、設計のバックアップシステムとして、保安または運用上の地震対策を講じておくことが要請される。

2) 地中管路の地震時保安対策

保安・運用上の対策としては、昭和47年度報告に詳細報告した所であるが、前年度報告の補遺・補足として、1)耐震工法・資材対策、2)施設計画、3)システム対策、4)耐震研究の現状と計画について報告し、本報告における地中管路の耐震設計の完備化を計ったものである。

最近における地中管路の耐震研究の進展に対応し、順次成果が設計にとり入れられていると共に、設計地震動をこえる地震に対してもバックアップシステムを用意し、これらの地震対策が耐震設計の一部として考慮されるようになった。

システム対策については、各企業・機関で行ないうる地震対策を有効・適切なものとするために、より高所でのシステム対策が今後検討される必要があろう。

3) 地中管路の材料

地中管路の耐震設計のうち、管の材料について述べたものである。また、利用面を考慮し、その挙動・耐力を設計面に反映し易くするため、その製法についても検討した。

地中管路の耐震設計には、すでに述べたように管材料の選択および構造上の対策（継手、線形の利用）がその手続の内容となる。鋼管材は、そのじん性・延性によってまた線形のもつ変位吸収能力によって、地震時の地盤の歪に対応できるものと期待されており、そのため鋼材料の機械的性質、溶接強度、管体の破壊挙動について報告した。

铸铁管材については、現在のダクタイル铸铁管の機械的性質および耐震継手の性能とそれらの管路設計への適用例を示した。また、これら管路の大ひずみ時における挙動実験結果について報告した。

硬質塩化ビニール管材は、近年開発された材料であって、本年より委員会で採り上げた材料である。本材は弾性率が低いことから耐震的に有利な面が考えられるが、口径が大きくなるとシェルの性質を帯びるため150mm以下の配管が主なものとなっている。本材料についての機械的性質、継

手強度について述べた。また、新材料であるため震害事例も少ないが、新潟地震・十勝沖地震・八丈島地震の例について報告した。

4. 3 昭和49年度成果の概要

本年度は最終年度に当るので過去2カ年間に研究審議した成果を検討し、それらを総括するために地中管路の震害調査法、埋設管の応力解析法および試験法について審議した。また振動実験を実施し、応力解析法および試験法の合理性について検討を加えた。

1) 震害調査法

応急措置と恒久復旧措置のために実施される地震災害直後の震害調査法を標準化し、あわせて震害形態の統一的な整理分類を可能とし、地中管路の耐震技術の向上に寄与するために震害調査法を提案した。

内容構成は調査の態勢、調査項目、報告書作成、調査例の4つの項から成っており、調査例では地中管路の用途別に6種に区分し、上水道、下水道、都市ガス、電話、送電、石油・天然ガスとし、また異種のものとして外国の事例を加えた。

2) 解析法

地中埋設管の応力解析法としては現在のところ石油パイプライン事業法に準拠する方法およびそれを補完する石油パイプライン地震対策要綱・同解説(日本道路協会)による方法が知られている。これらは、準線型解析法と云うべき解析法で、地震時における地盤の動的挙動が地盤の歪の大きさに依存するいわゆる歪依存性は考慮されているが、地盤と導管の接面に相対変位が生じるものではないと云う前提のもとに行なう解析法であり、比較的に固結度の高い均一な地盤に対しては合理的な解析法であるとされている。ここでは準線型的な解析法を弾性解析法と称し、導管と地盤の接面全部に相対変位が生じるとした方法を塑性解析法、両者の混合法さらに接面の一部に相対変位が生じるとした厳密な方法を提案した。

また不均一な地盤中の導管の応力解析法、継手または接合部(溶接部は除く)の応力解析法の他周辺地盤の円形はり、専用橋上の導管の応力の解析法を示した。

さらに地震および地震動の特性についても言及している。

3) 試験法

地中埋設管の動的耐力および変形性能に関する試験法は未だ確立の途上にある事柄である。しかしながら調査試験・測定すべき主要な事項については他種構造物の調査・試験・測定項目とほぼ同じとみてよいであろう。

ここでは、地盤の調査法、室内試験法、現場試験法に区分し、それぞれ静的試験法、動的試験法を呈示し、具体的な条件または数値を示すと共に適用例を示した。

さらに現場試験法では地震観測についても言及している。

4) 振動実験

地中埋設管の応力解析において導管と地盤の接面における相対変位は重要な意味をもつものである。本実験では外径25cm、長さ12mの鋼管を振動台上の砂槽に表面から1.2m、2.5m、3.5mの深さに施工管理を入念に行なって埋没し、鋼管の一端を大地に固定し、砂槽に25mmまでの振幅を与えて加振した。

実験の結果は、深部ほど管と土との接面に相対変位が生じるに要する限界軸力は大きく、加振状態によってその軸力の大きさは変わり、軸力はまた固定端で最大となり自由端で最小となると言うことが明かにされた。

実験の結果によれば、導管と地盤の接面に相対変位が生じうことは追認し得たが、地震時の導管応力の解析に用いるために限定すべき条件については更に今後究明しなければならないものと考えられる。

5. 結 論

地中管路は、古くはポンペイの遺跡、ローマの上水道などに見られるような一般に直径が大きく石積み構造のものが挙げられようが、19世紀中頃アメリカ合衆国で石油井掘削に成功して以来の石油需要を満すための移送手段として用いられてきた石油パイプラインが地中管路技術において、延長、内圧、流量の点で先端技術として脚光をあびてきた。

きわめて効率のよい石油パイプラインは一度、事故を招けば多大の損害を被うことにも通じる。わが国においても1960年代に入ると共に石油の需要は大幅に増加し、石油パイプラインの必要も高まってきた。1933年のローングビーチ地震における導管の損傷、1969年のアラスカ地震における工場内設備ラインの損傷の事例もあり、地盤沈下などと共に地震の及ぼす影響について十分の配慮が望まれ、昭和47年石油パイプライン事業法制定にともなって地震対策に関する技術基準が定められた。

この技術基準が定められる前には、地中管路に関する耐震基準は制定されてはいなかった。しかしながら、上下水道、都市ガス、電話、送電、天然ガスおよびそれらの管材のメーカーの各分野では地震対策に関して、施設の耐震性と運用の面から多大の努力を払って調査研究に尽力してきており、前述の技術基準の制定に寄与するところはきわめて大きいものがあつた。

地中管路の耐震技術は単に施設の耐震性を確保する技術にとどまらず施設の運用面、云いかえれば、震災時にこれらのエネルギー、情報、水の循環に係わる重要な動脈の機能の確保を図るための運用の技術につながるものであり、技術開発の必要性は多言要しない事柄であると云えよう。

本委員会は、このような状況の下において地中管路の耐震技術を集約し、再びそれを細分化することによって、異なる目的で設置される地中管路網の技術水準の向上と安全面の充実を図らんとして慎重な審議を重ねてきた。

5.1 地中管路耐震技術の発展の経緯

1) わが国の地震と地中管路

1923年関東地震の際に水道管、都市ガス供給システムに被害があり、一般構造物とともに耐震性向上が論議された。この時代は铸铁管を主としていたが、震害の経験に基づいて管路の設置場所、地盤、埋設深さ等が検討され、また、たわみ性継手、耐震継手という名称での管路に対するたわみ性の導入が提唱された。

その後1943年鳥取地震、1944年東南海地震、1945年三河地震、1946年南海地震、1948年福井地震その他の地震で水道を主とする管路の被害があつたが、主要な地震が戦争中及び直後に集中したため、被害の解析と対策の樹立は関係者の努力にかかわらず進まなかつた。

1950年代のいくつかの地震の後、1964年新潟地震は、このように低迷していたわが国の地中管路耐震技術に対する緯大な警鐘となつた。後に述べるように、この地震による震害を契機としてこの種技術は急速な展開を見せることとなつた。関東地震の記憶及び記録もかなり忘れられていたが、新潟地震によって見直され新たな評価を受けるようになった。

この間の地中管路耐震技術は、主として上水道関係を中心に進められ、これに都市ガスがからみ

一方、管は铸铁管が中心であった。このことは、計画、地震時の調査、応急復旧等のあらゆる面について言える。

2) 外国の地震と地中管路

水道や都市ガスは主要な都市に集中し、一方石油や天然ガスの輸送パイプラインは産出地、製油所、消費地等に設置されている。これらが地震地帯に設置されていると地中管路の地震による被害が発生することがある。

たまたま発生した地震の際に、地中管路の被害が発生することはあるが、これを解析したり、報告や勧告の形で対策を提示している例は少ない。それは、わが国でも同様であるが、同一地域に大きな地震が一世代の間に繰り返し起こることが少ないからであると考えられる。

その中で、米国カリフォルニア州では、1906年サンフランシスコ地震の後、同州南部で1933年Long Beach地震、1952年Kern County地震、1971年San Fernando地震が19年の間隔で相次いで発生しており、それぞれ地中管路に影響及び被害が発生している。この間の経験の積み重ねは大きな価値を有すると見られるが、1971年San Fernando地震までは断片的な情報を除いてわが国に知られるところが少なく、わが国の地中管路耐震技術に寄与することがなかった。

3) 地震と技術基準

地震多発地域に設置される地中管路は、何かの形で地震を考えに入れて建設されている。しかし、技術基準となると、地震の影響を考慮せよというような抽象的な規定や地上管を対象とした建築基準法的な考え方以外はあまり見られない。石油パイプライン事業法関係の省令及び告示に示された耐震設計の考え方は画期的なものであったといえることができる。

地中管路の耐震性を向上させようとする場合、直接に地震を設計等で考慮する行き方と、管路の材料、構造、施工等の水準を高めて、強度、延性、じん性、たわみ性等を優れたものとする行き方がある。石油パイプライン事業法の省令、告示は前者に重点をおいているが、後者についても細かく規定している。

4) 新潟地震と地中管路

1964年新潟地震では、水道、都市ガス、工業用天然ガス、石油、電力、通信等の地中管路に大小の被害が発生した。このため、緊急生活対策、応急復旧、恒久復旧の実施と、設計、施工条件の見直しが本格的に行われるようになった。

地震の被害統計のみでなく、各種の解析が行われ、多くの報告や報文が出版された。このような技術的検討の盛り上がりは、地震対策、耐震設計に多くの刺激を与えた。

一方において、わが国の地中管路は、水道、都市ガス中心の構成から1960年前後の新潟、秋田付近の石油及び天然ガスパイプライン、1962年の頸城～東京天然ガスパイプラインを通じて輸送パイプライン時代を迎えようとしていた。1965年の科学技術庁資源調査会第16号「工業都市建設におけるパイプライン網の整備に関する勧告」及び1966年同会調査報告「パイプラインによる石油輸送の近代化に関する調査報告」はその先駆をなすものであり、新東京国際空港、関東パイプライン、国鉄パイプライン等の石油パイプライン、特に後二者のような公認輸送網としての石油パイプラインはこれらの報告に集約されて多くの研究検討の結果といえる。

このような危険物輸送パイプラインの構想は、新潟地震と相まって地中管路の地震問題の重要性

を明らかにすることとなった。

5) サンフェルナンド地震と地中管路

1971年サンフェルナンド地震では、各種の地中管路に大小の被害が発生し、その中には直管や分岐、レジューサの座屈等、地震による被害の特殊な激しさを示したのもあった。この地震の一般情報及び地中管路の被害情報は多く発表されており、わが国からの現地訪問者も多く、わが国でパイプライン建設が問題化したこと、京浜地区の地震の可能性について論議が高まったこととあいまってわが国の地中管路地震対策に大きな影響を与えた。

6) 地中管路地震対策の具体的検討

関東地震及び1940年代の地震等の経験から、水道、都市ガス等の管路については、設置条件材料及び継手等について次のような対策が考えられ、一部実行されてきた。

- (a) 安定な場所を選んで設置すること
- (b) ねずみ鋳鉄管からダクタイル鋳鉄管や鋼管への材料変更
- (c) 溶接継手の採用及び品質向上
- (d) メカニカル継手の採用及び改良
- (e) たわみ性の付与

一方、天然ガス等の高圧ガスパイプライン、石油パイプライン等では、溶接を主用するとともに地震による地変の影響をできるだけ避けるような計画、設置上の配慮が行われてきた。

これらの検討は方向として間違っていないが、今日のように地震を直接の対象として正面から取り組むという姿勢にはなっていなかった。

地震対策が極めて具体的な形で検討されるようになったのは、空港に対する航空機燃料輸送パイプラインや鉄道、タンクローリー等に代わる石油製品輸送パイプラインが話題に上ってからである。

まず、1967年3月に、財団法人高速道路調査会新空港パイプライン特別研究部会がまとめた"新東京国際空港における航空燃料輸送パイプラインの敷設とその保安に関する調査研究報告"では、調査研究の主要4項目のひとつに"導管の耐震設計と施工方式"を取り上げ、本文第2章をこれにあてている。その内容は水平震度を条件にとり、材料、サポート、バルブ類、二次被害、たわみ性等を規定し、また、著しい軟弱地盤の盛土した通路に沿って設置する場合には架空管を推奨している。また、曲り管の組合せによるたわみ性の重要性を強調している。

このときには、かなりの技術的討論は行われたが、具体的なラインについての試算や試設計についての検討は実施されなかった。この点は新空港パイプラインの実施設計にまで持ち越されたわけである。

新空港パイプラインの建設が遅延しているうちに、関東パイプライン及び国鉄の石油製品輸送パイプラインの計画が発表され、政府は石油パイプライン事業法を制定してこのような公認輸送網であるパイプラインを規制することとなった。通産省は1966年から総合エネルギー調査会で検討し、1970年には特部委員会を設けて審議し法制の必要性を結論づけた。一方、国鉄は1965年から調査を進め、1970年に運輸省は国鉄のパイプライン輸送事業を承認した。このふたつの動きが1972年6月石油パイプライン対策法としてまとめられ、技術上の基準を定める省令は同年12月、告示は翌年9月に公布された。

石油パイプライン事業法制定以前にも、例えば国鉄パイプラインに関して土木学会で検討が行わ

れたが、サンフェルナンド地震の詳細も入手される前であり、新しい設計の考え方を打ち出すには至らなかった。討論の過程では、一様地盤に設置された部分よりも、地盤急変部、支持急変部、構造不連続部及び弱点部に配慮する必要が強調された。土木学会はこれらの検討結果を1970年に報告書としてまとめた。

一方、通産省の石油パイプラインの保安の検討は、1969年に米国石油協会（API）や米国国家規格協会（ANSI）の規格基準を参考として石油パイプライン保安管理基準案が提案され、その後の検討を経て1971年に石油流通体制適正化委員会でとりまとめられたが、この中には地震に関する具体的な問題までは規定されていなかった。また、消防審議会は、1971年11月に石油パイプラインに関する答申を出したが、これは石油パイプラインの保安対策の基本方針を示すものであった。

この間、1972年5月には、日本道路協会の土工委員会に石油パイプライン小委員会が設置され、道路下に埋設される石油パイプラインの技術基準が検討された。その際、地震対策に関しては特別に地震対策分科会が設置され、石油パイプラインの地震対策を検討することとなった。この分科会は関係方面の研究者、技術者を集めて地震動、地盤、耐震設計、地震時安全対策等を検討した。地中管路の被害についても報告を集めて調査、検討を行った。これらの結果は1979年3月に「石油パイプラインの地震対策に関する調査報告」としてまとめられた。

石油パイプライン事業法に関しては、1972年8月に関係4省の通信協議会が設置され、技術基準制定のために9月に石油パイプライン技術基準検討専門委員会が発足し、50回以上の審議を経て、1973年9月までに結論を出し、これが1972年12月公布の省令及び1973年9月の告示のもととなっている。

地震対策に関しても慎重に検討され、前述の道路協会土工委員会石油パイプライン小委員会地震対策分科会の耐震設計の考え方を基本とする設計方針が省令、告示に取り入れられた。このほか感震器及び強震計の設置、地震の際の緊急停止システム等も取り入れられており、世界でもまれな地中管路の耐震設計及び地震対策基準となっている。

しかし、地震の問題は、地震被害の経験記録、地下埋設構造物の地震対策に関する研究が不十分の現在、完璧な基準は存在しえず、前述の道路協会報告書の序に述べられているようによくわからない点を安全側に回避する方針が取られてきた。更に、管路の構造や寸法についても十分広い範囲のデータが得られていないので、今後の検討によって修正すべき点があることは、専門委員会の議論でも出たところである。従って、本委員会の活動は今後の適切な地震対策に極めて有益と考えられる。

7) 個々の研究と総会

47～49年度報告書に引用されているように、地中管路の地震対策については、不十分とはいえ、多くの組織、研究者、技術者の貴重な努力が積み重ねられ、今日の技術の根底となっている。今後共このような努力が続けられることを期待するとともに、この分野における発表と討論の場が明確化して、切磋琢磨による技術の進歩を期待したい。

5.2 審議の成果

地中管路は目的に応じてそれぞれ工法、材種、構造、設計が異なり、またそれぞれの歴史的背

景も異なり、一挙に設計基準、運用基準の統一を強いることには無理があると云えよう。

しかしながら過去に地震災害の経験をもち、今後も地震に遭遇するであろうことは否定できないので、技術水準の向上のためには被害の形態および対策について共通に検討しうよう図ることが必要であると考えられる。

また設計、施工に関しては、共通の理念を打ち固めることが必要であると考えられる。

本委員会は、過去3カ年にわたる研究審議の結果をつぎに示す3つの調査、解析、試験法としてまとめた。

震害調査法

解析法

試験法

これらは必要に応じて改訂すべきものと考えられるが現状においては地中管路に関しては最も確かな耐震技術の指針であると考えよう。

5.3 今後の問題点

今回の審議の成果を踏み台として地中管路に対する共通な耐震設計基準の創設が望まれるところであり、更に施設の管理・運用面においても地震対策に関する事項の整備を図ることが期待される。

6. 参考文献（委員会の成果物）

- 1) 建設省土木研究所「埋設管の耐震設計法－地中管路の地震対策に関する調査結果」
土木研究所資料1036号（その1）、昭和48年3月
- 2) 建設省土木研究所「埋設管の耐震設計法－地中管路の地震対策に関する調査結果」
土木研究所資料1036号（その2）、昭和49年3月
- 3) 建設省土木研究所「埋設管の耐震設計法－地中管路の地震対策に関する調査結果
（概要報告）」
土木研究所資料1036号（その3）、昭和50年5月
- 4) 建設省土木研究所「埋設管の耐震設計法－地中管路の地震対策に関する調査結果
（詳細報告）」
土木研究所資料1037号、昭和50年5月

昭和49年度総合技術開発
プロジェクト報告書

埋設管の耐震設計法

(地中管路の地震対策に関する調査結果)

土研資料第1036号(その3)
昭和50年3月(1975)

土木研究所

キーワード 埋設管, 耐震設計法

要旨 地中埋設管の地震対策に関する調査結果の概要を
とりまとめたものである。

郵便はがき

十円切手
は
い
つ
て
下
さ

2 8 0 - □ □

建設省土木研究所
振動研究室 御中

千葉県千葉市穴川
四丁目十二番五二号

No. 87

No. _____

配布先氏名

配布先住所

昭和49年度総合技術開発プロジェクト報告書
土木研究所資料第1036号（その3）

埋設管の耐震設計法 部

上記のとおり受領しました。

所 属（住所）

氏 名

印