

沈埋トンネルの耐震性に関する研究

トンネル工学委員会 沈埋トンネル耐震設計研究委員会

1. 研究委員会の設立とその背景

昭和 43 年度から 3 か年にわたって、土木学会は、建設省土木研究所の要請に応じて、沈埋トンネルの設計法と施工法に関する研究を行なった。本研究のために、学会に常置されているトンネル工学委員会の下部機構として発足させた委託研究のための沈埋トンネル小委員会を中心に審議を進め、その成果として沈埋トンネルの設計・施工に関する調査報告書を取りまとめ、昭和 46 年 3 月に「沈埋トンネル要覧」として公表した。

上述の報告書は、沈埋トンネルをはじめとして、軟質土層中に建設される各種のトンネル工法の沿革を追いつながり、今日における沈埋工法の位置づけをし、世界各国での沈埋工法によるトンネル建設の状況から、今後は、それが渡河・渡海の手段として橋とならびつつ将来性のある工法であることを提唱している。

このよのような従来の研究成果をうけるとともに、多方面での沈埋工法の採用の活発化に伴って、本工法の日本での合理的な適用への重要な一因子として耐震性に関する問題が関係者の間で議論のまこととなり、国内外を問わず、各種の耐震設計の理念が提案され、本工法による構造物の地震時の安全性について多大の関心が払われるに至ってきた。

提案されてきた耐震設計の理念は、既往の震害の事例ならびに各種の構造物の従来からの耐震設計法などを踏まえて考察を施した経験的な考え方から、解析および実験などの漸新な成果ならびに、観測上の事実などを集めた学理的な方法まで、幅広い知見にわたっている。

このような状況のもとにあって、これらの各種の理念を最も合理的に取り入れた沈埋トンネルの耐震設計法を確立することは、土木工学ならびに土木技術の分野に課せられた時代の要請であるといえよう。土木学会は、建設省土木研究所の要請に再び応えて、昭和 46 年度に埼玉大学岡本舜三教授を長とする「沈埋トンネル耐震設計研究委員会」を学会内に設立し、3 か年を充当して研究を進めることにした。また、昭和 47 年度には運輸省第二港湾建設局からの要請が加わり、土木学会は昭和 47 年度以降、両機関からの委託を合併して研究を進めるよ

う措置した。

本委員会は、この分野における工学および技術の専門家によって構成されており、審議の予定としては、昭和 47 年度上期に耐震設計指針第一次案を脱稿し、昭和 48 年度に最終案を提示することとしている。

効率的でかつ充実した審議を行なうために、本委員会は「地震動」、「地盤」、「構造」の 3 分科会を設けて精力的な研究を進めてきた。昭和 46 年度には 7 月以降、延べ 14 回の会議を開き、また現地視察を行ない、初年度ではあるが昭和 47 年 3 月に出された「沈埋トンネルの耐震性に関する調査研究報告書（昭和 46 年度）」にみられるとおりの多大の成果を生むことができた。

以下に、その研究の成果の概要を紹介するとともに、その成果の位置づけと今後の課題について意向を明らかにしたい。

2. 研究成果の概要

(1) 耐震設計上の問題点の抽出

沈埋トンネルは比較的軟質な水底の地盤中に浅く埋設され、その構造体の重量は排除された等体積の土の重量よりも軽く、かつ比較的長大であるという特殊性をもつ構造物であり、その使用目的は道路・鉄道などのほか下水道など公共性が強く、重要な施設である場合が多い。

したがって、一度、地震によって劇甚な被害を受けた場合、その被害が及ぼす影響は想像を越えるものがありまた復旧も容易ではないと思われる。

上述した構造の特殊性と被災に伴う影響度の大きさから、耐震設計上、次の 4 つの事項を重点的な課題として取り上げることとした。

- ① 設計に考慮すべき地震の規模と振動特性
- ② 地震時における地盤と沈埋トンネルの動的挙動
- ③ 沈埋トンネルの耐震安全度と耐震上必要とされる構造
- ④ 地震時における沈埋トンネルの緊急保安対策

(2) 地震動に関する研究成果

地震の強さの期待値は、耐震性を審議する場で必ず取

り上げる課題である。本研究では一例として東京湾の中央部を想定して100年間に1回は発生する地震規模の期待値を、過去の観測資料をもとにして求めた。半径が50 km, 100 km, 150 km の円に囲まれる地域では、その期待値をマグニチュードで表わすと次のとおりである。

茅ヶ崎・八王子・大宮・成田・片貝・鴨川・富津・城が島などを連ねる半径50 km の円内に発生した地震の記録から、100年間に発生すると期待される地震のマグニチュードは7.2である。伊東・三島・富士吉田・三峰山・足利・鹿島浦海岸・三原山などを連ねる半径の100 km 円では、そのマグニチュードは7.7となる。また、静岡・赤石山脈・軽井沢日光・大田原・日立・伊豆七島新島・石室崎などを連ねる半径150 km の円では、そのマグニチュードは8.2となる。

このマグニチュードの期待値を設計の中に取り入れる手順を求めていくのは、今後に課せられた重要な問題であるといえよう。

地震動の特性については、対象とする構造物が長大でかつ地中にあるから、その伝ばに関する特性を、水平方向に進む波動のほかに、鉛直方向に進む波動としても知っておく必要がある。そのために、地表および地中の2地点以上の地点間の波動伝ばの観測値の集積をはかるとともに、地盤の性質についても資料を求めた。この種の資料は、きわめて数少ないので、今後、観測点の増設に特段の努力が払われなければならないといえよう。

設計上考慮する地震動については、上述の研究成果ならびに資料をできる限り有効に用いて総合的に定めていくことが必要となろう。設計上考慮する指標としては、加速度と変位の両者を適当な方法と数値で指定することになる。

(3) 地盤に関する研究成果

沈埋トンネルに限らず、各種の構造物の耐震設計において、将来よりいっそう精密な現象の解明と、それが実際の設計に応用されるための解釈が求められているのが土および地盤に関する問題であろう。構造物を支持する地盤の地震時の挙動や構造物と地盤の相互作用などがそれに該当する。沈埋トンネルは、その大部分が地盤中に埋設されているから、この種の問題に直面せざるを得ない。地震時の地盤の挙動や地盤と構造物の相互作用などは、目下非常に活発に研究が行なわれているし、土の動的試験のための振動三軸圧縮試験装置などの関連試験装置も、開発から実務への応用に進みつつある。これらの最新の成果を活用するためには、沈埋トンネルの設計施工の実状を考慮し、さらに耐震設計につながる資料の集積を図り、それに対してくさず解釈の合理化と体系化を進めることが必要である。

これまでの作業で、地盤に関連して取り上げられた項目は3つに別けられる。その第一は、設計で考慮すべき地震動の特性を定めるために必要な地盤条件に関するものである。そのおもなものは、地層状態の把握や地震波動の伝ばおよび増幅などにかかわる事項で、すでに(2)地震動の項で触れたとおりである。

第二は、地震時における沈埋トンネル周辺の地盤の安定に関する問題である。まず、地震時の地盤の安定に関しては、沈埋トンネルが砂質地盤を通過する可能性の大きいこと、および、沈設後にその周囲を砂質土で埋戻すことが多いことから、砂質土の流動化について具体的な検討を進めている段階である。粘性土地盤についても、地震時の挙動を、いかなる尺度で把握するか検討中である。また、断層や地変に関係した問題は、断層や地変の越り方、その発生確率など、基本的なことから出発して、それが沈埋トンネルに及ぼす影響を明らかにするべく努力している。

第三は、沈埋トンネルの構造設計に必要な地盤条件に関するもので、たとえば、地盤反力係数やせん断抵抗に関する事項で、資料の集積をはかっている段階にある。

なにぶんにも、沈埋トンネルが他種構造物に被害を及ぼす程度の強い地震に遭遇した例はないので、その耐震性についての経験の積み上げはない。それだけに、他種の構造物についての被害経験と研究の成果を最大限に参照していくことが必要であり、地盤に関する事項については、定量的な面だけでは議論しつくし得ない点を考慮して、とくに被害経験によって理念と実状のずれを埋めていくことが必要となろう。

土および地盤に関しては、問題点の指摘にとどまったが、われわれが常日ごろ接している土は知り得ているようで、なお謎につつまれている事項が多いことを改めて認識させられた。

(4) 構造に関する研究成果

地中構造物に対する耐震基準としては、日本水道協会によって制定された「水道施設の耐震工法」がある。これに規定されている耐震工法は、① 基礎に力学的一様性を保たせる、② 連結部はくい違いを吸収させる構造とする、③ 土の荷重としての作用は土圧として評価する、などである。

一方、地中構造物の震害の事例は少なくないが、今日においても、上記のような対策を必然的に導くにたる震害の事例の系統的な分析は十分とはいえず、また、震害の記録も十分客観性のあるものとはいえない。したがって、今後この面での調査研究の充実が求められる。

今日までの沈埋トンネルの耐震設計は、大別して静的設計法と称すべき「震度法」による方法と、動的設計法

と称すべき「函体と地盤の動的挙動を算定して行なう方法」とがあり、日本における事例では両者を併用している。

動的設計法は、いわば、地盤に波動が発生したとき、函体が最も過酷な条件下に置かれる場合を想定して設計を行なうのであるが、一般に沈埋トンネルの函体は、比較的軟質な地盤中に敷設されるために、軟質な土層の地震時の動的性質を合理的に把握することの困難を伴い、一意的に解決を得ることは、今日の状況からは、かなりむずかしいといえよう。しかしながら、沈埋函の挙動を大局的に把握するうえでは、きわめて有効な方法であるといえよう。

静的設計法は、一般に動的設計法と併用されており、函体自身の安全性を検討し、壁厚や鉄筋量を検討するためには有効な方法であるといえるが、構造各部の力学的な相互の影響性を検討するためには、必ずしも十分な方法であるとはいえない。

沈埋トンネルの耐震性を検討するための地震応答解析法については、現在、大別して2種の方法がある。その一つは電子計算機内に地盤と構造体を模擬した力学系を組み込んで、地震動の波形を数値化して与えて応答を知るといふ計算による方法があり、実用化への努力が各所で行なわれている。他の一つは、実験による方法で、実在する地盤に構造体の原理的な模型を設け、地中爆破などによって振動外力を加えて応答を知る方法と、地盤も構造体も相似律のもとに縮尺模型化して、振動台上に設置して加振し、応答を知る二方法があり、いずれも手法開発の途上にあるといえよう。

構造体の安全度については、現在のところ土木学会のコンクリート標準示方書によっている。一方、地盤の安

全度については判断の基準が明確ではない。

3. 研究成果の位置づけと今後の課題

以上に述べてきたように、地震動に関しては大局的な見地からの地震の期待値と地震動の特性にかかわる資料の集積が図られつつあり、今後の進展を期待しう。しかしながら、地中ならびに地表における強震時の波動の観測点が稀少である点については、今後、観測網が充実され、ここで得られるであろう仮説が検証されることを強く望むものである。また、地震の期待値については、河角マップによる期待値で十分とはいえず、今後、全国を統括する適当な二、三の機関によって、きめ細かい期待値図の作成を進めるよう要望したい。

地盤に関しての問題点は、第一点は地震時の地盤の安定問題、第二点は地震時における地盤の剛さと強さの評価の問題であり、いずれについても解決の見通しは持っているが、今後より忠実度の高い予測法あるいは測定法が提案されることを望んでやまない。

構造体に関しては、地震動および地盤に関する成果を受けて、現行の各種の設計理念から選ばれた妥当な設計法と合理的に結びつく根拠を求めようと図っているものであり、現在の知識の水準から十分に成算のある事柄である。しかしながら、構造細部については、類推の域にとどまる事項もあり、今後の研究開発によって合理化が促進されることを期待したい。また、沈埋トンネル供用後における地震時の緊急保安対策については、今後の課題として検討していきたい。

(委員長・岡本舜三/執筆・田村重四郎+栗林栄一+土田 肇)

土木学会トンネル工学委員会・沈埋トンネル小委員会 編集

沈埋トンネル要覧

B 5 188 ページ
2 000 円 (〒 140 円)

申込先：〒 160 東京都新宿区四谷1丁目 土木学会刊行物頒布係または書店

Tel. 351-4131 (直) 振替 東京 16828

昭和 43 年度から 45 年度にわたって建設省土木研究所より土木学会が委託をうけた「沈埋トンネルの設計・施工法に関する調査」に対する報告書を要覧の形にとりまとめたもので、委託先のご厚意により小部数を再印刷した。歴史の浅い沈埋トンネル工法への指針として類書がない貴重な成果で再版不能のため至急お申込みのこと。

主 要 目 次

第1編 総 論	1.1 水底トンネル建設工法概説	1.2 沈埋トンネル概説		
	1.3 沈埋工法の2大方式			
第2編 計画と調査	2.1 予備検討	2.2 調査	2.3 計画	
第3編 設 計	3.1 沈埋かんの設計	3.2 取付部の設計		
第4編 施 工	4.1 沈埋かんの製作	4.2 トレンチ	4.3 基礎工	4.4 沈設・接合作業
	4.5 埋戻しと内部仕上げ			

ポゾリスコンクリートの耐久性

コンクリートの耐久性はコンクリートの諸性質上極めて重要な性質であります。凍結融解に対する耐久性、酸・アルカリ・塩類等の化学的浸蝕、磨耗及び中性化に対する抵抗力等、ポゾリスの各種類はいずれも大きな耐久性を示します。ポゾリスは、最高の均質性と作業の容易性を提供する最良のコンクリート混和剤です



セメント分散剤
ポゾリス
コンクリート減水剤

標準型 / 遅延型 / 早強型

ポゾリス物産株式会社

- 東京都港区六本木 3-16-26 ☎582-8811
- 大阪市東区北浜 3-7 (広銀ビル) ☎202-3294
- 名古屋市中区新栄町 1-6 (朝日生命館) ☎262-3661
- 仙台市東二番丁 6-8 (富士ビル) ☎24-1631
- 広島市八丁堀 1-2-2 (築地ビル) ☎21-5571
- 福岡市中央区天神 1-10-17 (西日本ビル) ☎75-7471
- 札幌市北三条西 3-1-44 (札幌富士ビル) ☎251-2691
- 新潟県頸城郡中郷村 (日曹二本木工場) ☎025574-2511
- 高岡・千葉・高松