

地中構造物の耐震設計方法としての 変位法に関して

On Seismic Deformation Method for Earthquake Resistant
Design of Underground Structures

田村 重四郎*

Choshiro TAMURA

1. ま え が き

構造物の耐震設計方法として、従来多用している震度法の外に近年、修正震度法、動的解析にもとづいた設計方法あるいは、これらを併せた設計方法が加わり、対象とするそれぞれの構造物の種類、重要性、規模等に対応して、選択、採用されることが定着したように思われる。今まで比較的耐震性の研究がおくっていた地中構造物に対して、最近変位法と呼ばれる新しい耐震設計方法が採用された。この方法が耐震設計方法の一つとして初めて用いられたのは昭和50年にできた土木学会の「沈埋トンネルの耐震設計指針(案)」である。この名称は他の分野にもあって名称自体極めて一般的な意味を含んでいるため大変まぎらわしいが、この設計方法の特色をよくあらわしているとして採用がきめられたのである。

この方法の基本概念は、構造物の耐震設計の基準を構造物が埋設されている地盤の地震時の変位におくことにあり、地震入力に対する構造物自体の慣性力にもとづく応答を基準として耐震設計を行う従来の設計方法の考え方は地震力の捉え方が全く異なっている。

この考え方が具体的に耐震設計手法にとり入れられたのは、1960年代の前半のBARTトンネルの設計が最初であると思われる。このトンネルの設計では地盤の地震時の変位をトンネル軸に沿う正弦波形と想定し、トンネル軸方向のトンネルの挙動を弾性床(地盤)上の梁とみなして、静力学的に解析している。その後パイプライン、トンネルなど地中構造物の耐震性が注目されるようになり、それまで比較的少なかったこれに関する研究でも地震観測、理論的研究、実験等が盛んに進められるようになり、ケーソンなど基礎構造物と地盤との相互作用に関する研究成果なども参考されて、この変位法ができ上がった。

設計方法が新しいことならびに地震時の地盤の変位が設計の基準になっていることにより、新しい問題が生まれており、今後とも出てくるであろうと考えられるが、敢て現時点で最近の研究成果をもとにこの課題についてふれてみた。

2. 設計上考慮される変位

地中構造物の耐震性は構造物そのものの耐震性及びこれと密接に関連する埋設地盤の地震時の安定性の両面から検討される必要がある。前者については、後述するように地中構造物は一般に地震時に自己振動するようなことはなく、構造物周辺地盤の地震時の変位に深く係わっているため、まず耐震性上考慮しなければならない地盤の変位が問題となる。

変位法で対象となる地盤の変位は構造物の耐震性に関係する変位であり単に地震動の変位の最大値ではない。それは構造物にひずみあるいは相対変位を発生させる地震時の地盤の変位であり、構造物の大きさの範囲において変位自体に大きなゆがみがある変位、換言すれば構造物の形状とも関連して構造物の関係する範囲内での地盤の変位の変化の度合が問題となることになる。従って設計の対象となる地盤の変位は構造物によって異なってくる。たとえば断面が比較的小さく長い構造物では、その軸線に沿う地震時の変位とその分布が対象であり、地中に巨大な空洞を構成する構造物ではその構造物周辺の地盤の変位及び分布が対象となる訳である。

3. 地震時の地表層の挙動について

地震時の地盤の挙動は過去数十年に亘って、地震学で主に地殻の挙動としてとらえられ、おびただしい研究が行われ詳細に検討されていて、小文の域をこえる課題である。そこでここでは表層地盤特に沖積地盤を対象として、地中構造物の耐震性に関係があるとみられる最近の地盤動の研究結果にふれることにする。

沖積地盤の地震時の挙動は、土そのものの力学的性質が複雑でしかも多様に富むため、定性的にさえ検討することが容易でなかったが、測定技術、測定機器の進歩、解析技術の発展によってこの10年間工学の視点からの研究が急速に進んで、かなり明らかになってきた。基盤における地震動の性質が与えられればある程度表層の地震動を実用的には算定できるような段階にいたっている。地中構造物の耐震設計で対象とするのは既述のように地盤内の立体的な変位の分布であり、多くの検討課題が残されているが、ここではまず基盤の地震動についてふれ

* 東京大学生産技術研究所 第1部

てみたい。

(1) 基盤の地震時挙動について

金井等は日立鉱山で地表から地下450mまで坑道を利用して地震観測を行った結果、岩盤表層の地震動の卓越周期及び増幅の大部分は地盤内の地震波の重複反射の現象によるものであり、振幅スペクトルの形状はあたかも一層の表層があるかの如き形状に類似していることを明らかにした。岡本・水越は須田貝地下発電所で地震観測した結果、38mの地下では、周期0.3~0.5秒の場合地表の45~50%の加速度の大きさになったことを示した。図1は岡本等が東京電力(株)鬼怒川発電所の堅坑で得た加速度の、地表から深さ67.2mまでの分布を時間を追ってならべたものである。岩盤中に僅か20~30cmの厚みで挟在する風化層(粘土層で図ではCGで示す)が加速度の深さに沿う分布に影響を与えていることがわかる。図2は加

速度記録より求めた周波数ごとの水平方向の最大加速度振幅を深さ方向に示した例である。そう大きくない地震の場合には表層の地震動は表面での反射として説明することができ、比較的周期の長い地震動の場合、表層部分で別の振動が卓越することがわかった。更に著者等はこれらの記録から、震源の位置に関係なく地震波動はほぼ鉛直の方向から入射していることを見出した。地表面に近づくに従って、岩盤の風化等により地震動の伝播速度が低下するため、地震波が地表面に近づくにつれ地表面に対し鉛直方向に向うためと思われる。但し震源がごく近くに位置する場合は入射方向は震源の位置に直接結びつくことになる。

地表面の地震動を考えると、その地点を含む周辺の地形もまた勘案する必要がある。サンフェルナンド地震の余震でPacoima Dam地点の河床と山頂とで得た加速度波

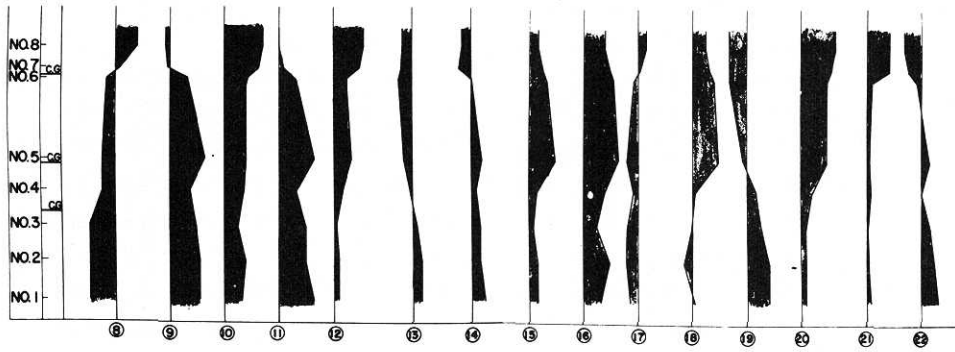


図1 岩盤における地震動の水平加速度の深さに沿う分布の時間的変化 (鬼怒川発電所)

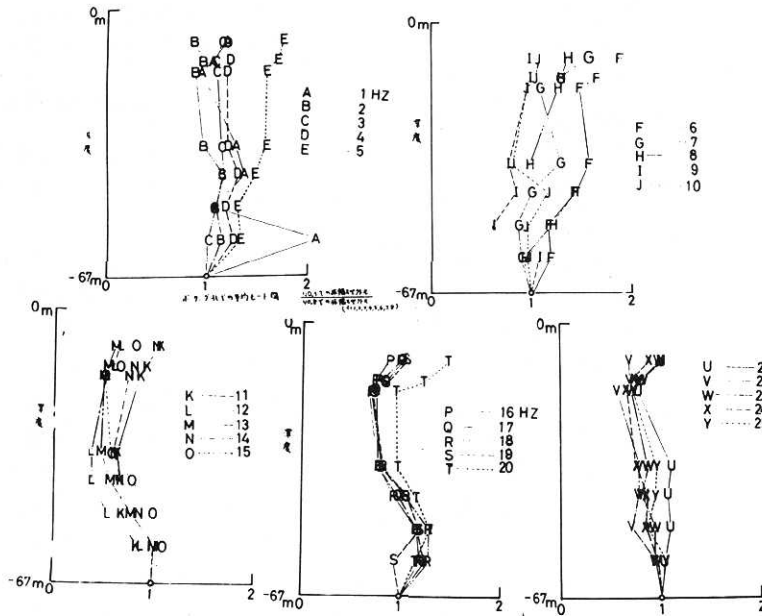


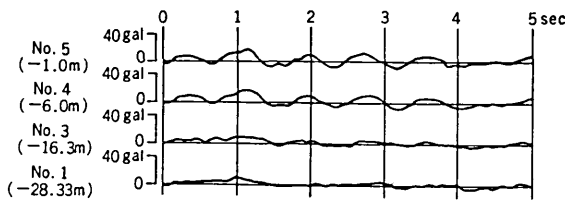
図2 岩盤における振動数毎の水平方向最大加速度の深さに沿う分布 (67.2m点の加速度を基準としている) (鬼怒川発電所)

形を比較した結果、山頂での増幅比は周波数に関係し、0.1～0.3秒で2.2～3倍になり、1.0秒ではほぼ1になることが認められている。表層の地震動に及ぼす地形の影響についてはこの地震を契機として研究が盛んに行われている。

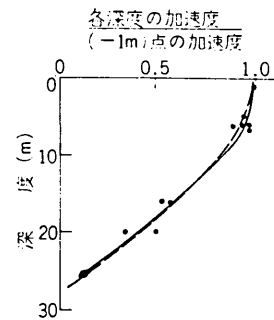
以上の事は岩盤の表層の挙動は、表層の動力学的性質に影響されること並びに地形の影響を受けることを示している。表面波の伝播については次の項にふれることにする。

(2) 地表層の地震時挙動について

表層地盤で深さ方向に複数の地震計を設置した地震観測が行われているが、それによれば一般の沖積地盤では地震時にその地盤状態に特有のせん断振動が卓越することが確められ解析されて、既に衆知となっている。図3



新潟地震の加速度記録



0.8秒前後の振動成分の加速度振幅の分布

図3 荒川河川敷における地震記録と深さ方向の分布

は荒川の河川敷において、記録した新潟地震の加速度波形である。表層中と砂礫層中にある最深点(28.3m)とで波形を比べると、明らかに0.77秒の振動が卓越していることがわかり、他の地震の記録も含めて深さ方向の分布を示した図3の右の図から加速度振幅のモードが正弦波形の $\frac{1}{4}$ 波長部分によく類似していることが認められる。また小規模の近地地震の場合、せん断二次振動または更に高次の振動が卓越してあらわれる。

一地点の深さ方向の特性はおおむね上述のようであるが、平面的な特性について次に述べる。安芸等は鎌倉において近地地震の3点観測を行い、比較的やわらかい表土上に地震計を置いた場合、震源から直接くる波によって観測点近くの地表に二次的に生じた毎秒数百メートルで伝播する局地的震動の一種の存在を認めている。これは海岸線に沿う崖に関係があるとみられている。小牧等はローム・砂・粘土などの薄い互層からなる地盤で、崖の近傍における振動特性を調べるため実験を行い、崖の線に直交方向に進行するSH波の性状を調査している。高橋・桜井等は松代群発地震の際、震央近傍の沖積地盤において深さ方向ならびに地表に測線を設置して同時観測を行うと共に地表面のひずみならびに埋設管のひずみの測定を行っている。その結果、通常の重複反射理論では説明できない遅

い速度で伝播する比較的高い振動数の表面波の存在を見出している。東京都江東地区で比較的一様な厚みの沖積地盤に500mの測線を設定して行った地震観測によれば、表層地盤の卓越振動とみられる0.8Hz前後の振動が毎秒2.6Km、2.9Kmまたはそれ以上の速度で震源方向に伝播することが認められた。土田等は東京国際空港の滑走路に沿い2,500mの測線を設け、地中にも地震計を設置して、立体的に同時観測を行い、M=6.3, 6.9, 5.8の地震に対し地震波動がそれぞれ毎秒2.6Km, 5.3Km, 4.4Kmで伝播することを認めた。嶋は1968年十勝沖地震の八戸港の地震記録を解析して、NS方向の主要動は群速度約2.8Km/secのLove波であることを指摘している。土岐はサンフェルナンド地震において、2地点で

得られた地震波形を分析し、周期1秒程度以上の波動の位相速度が周期に依存することを示した。鳥海は大阪平野で5測点で地震観測を行い、地盤状態に差があるに拘らず波形がかなり類似していることをみだし模型振動実験結果も併せて、平野の振動特性を考える必要のあることを指摘している。

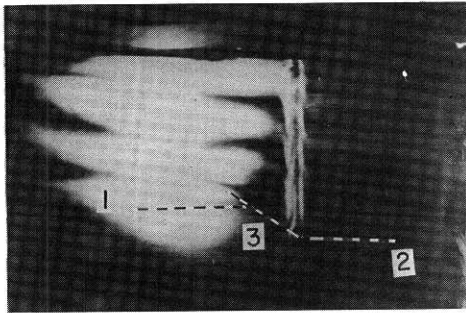
以上は主に地震観測結果から得られた平面的な地震波の伝播状況についてであるが、表層の地盤状態が変化している部分を定常的に加振した場合、局部的にあたかも波動が伝播しているようにみえる地盤の運動が模型振動実験でみられた。層厚の異なる2種の表層地盤を厚さが直線的に変化する区間(斜面部)で接続した二次元模型で、表層地盤の模型材料としてゼラチンゲルを用い基盤は剛体とした。この模型を振動台上において正弦波形で定常的に加振すると斜面部にこの現象がみられる。

これらのことを総合すると、表層地盤の地震動は基盤(岩盤)を伝播してくる地震波動とそれによって二次的に発生する表層地盤の震動とを合成したものと考えてよいようである。地殻という視点から見た場合表層地盤が非常に薄い層であることを考えればこのことはむしろ当然のことと思われる。

ここで表層地盤の動的性質が変化している場合や基盤

の形状が急変している場合、表層地盤の震動にどのような影響があるかが問題になる。

写真1は2種類の異なる弾性係数をもつゼラチンが平



面で接続している場合、この平面に直交方向からせん断変形を加えた場合の波面の状況を、光弾性実験方法により等色線稿でとらえたものである。ホイヘンスの原理にもとづく波面が発生しているのが認められている。それ故基盤と表層のインピーダンスに著しい差がある場合、ほぼ基盤面にそって波面をもつ波動が表層へ伝わるのが推測される。水平より比較的急傾斜した基盤(岩盤)上に水平に沖積地盤があるような場合、この境界部分の沖積層上で相対的に多くの震害があることがサンフェルナンド地震や最近では1976年のイタリア北部の地震などで認められている。これは境界付近で地震動が複雑であること、また両地盤でインピーダンス比に大差があって、地震動が増幅されるためと考えられる。このような地盤状態での地震観測も行われているのでその挙動は次第に明らかにされるであろう。

筆者はゼラチンゲルを地盤の模型材料とした各種の地盤状態の二次元または三次元模型を振動台上に据え正弦波及び実地震波形を入力として振動実験を行った。その結果イ) 変位波形では地盤の低次、特に一次のせん断一次振動が卓越してあらわれること、ロ) 既述のように表層地盤で厚みが直線的に変化する部分では、位相差によりあたかも伝播する波動のようにみられる卓越振動が発生すること、ハ) 二つの異なる地盤状態が接続する場合、振動数にもよるが一方の地盤の共振状態はその地盤の領域内にはほぼ限られること、ニ) 従って広い領域では地盤の振動状態は地盤状態や境界の条件に著しく影響され複雑になることなどがわかった。また地盤の変位応答は著者等の提案したモデルによって、かなりよくあらわすことができた。広い領域を表面波が伝播することについて土岐等は種々の性質の異なる地盤が連続している表層地盤表面に平行にSH波が伝播する場合を解析して、地盤状態が急激に変化する場合、軟質な地盤側で大きな振幅の増幅がおこることなど指摘している。

次に地震のマグニチュード、震央距離、振幅の関係について地震観測結果を紹介する。

図4は、京葉線多摩川トンネルで行っている地震観測結果の一部で、横軸は震央距離、縦軸はトンネル軸方向のトンネルの最大ひずみで、マグニチュードをパラメータ

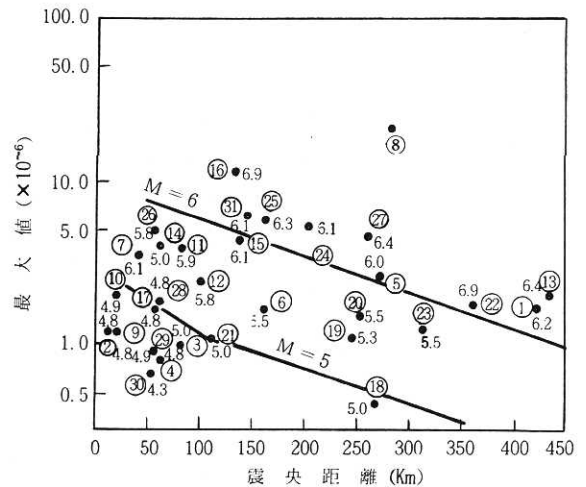
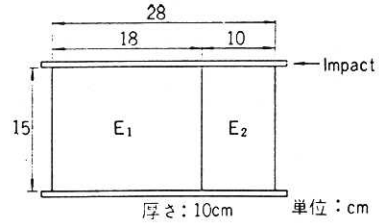


図4 トンネル軸方向の最大歪、震央距離とマグニチュードの関係 (京葉線多摩川トンネル)

として、両者の関係を直線であらわしたものである。記録された地震はマグニチュード4.8前後からウラジオ付近の地震で7.8のものまでであるが、この図では八丈島近傍で起こったM=7.3の地震がマグニチュードが最大の地震である。図中⊗は震源の深さが400kmで他の地震とくらべて深い。トンネルのひずみ波形では主として0.5~1.0Hzの振動成分が常に卓越している。そこで表層地盤とトンネルを一つの振動系とみなした場合、トンネルのひずみは基盤の地震動の振動成分の1~2secの部分の大きさをあらわす尺度と考えることができる。

図の直線群は次式で示される。

$$\log_{10} \sigma_m = 0.7M - \frac{\Delta}{450} - 3.2$$

M; マグニチュード

Δ; 震央距離 (Km)

σ_m; 最大歪 (x 10⁻⁶)

マグニチュードが6以上でこの直線にのらない点が二、三あったが、これらの地震はいずれも震源の深さが100kmまたはそれ以上であって、この場合震央距離の代りに

震源距離を用いるとこの関係はかなりよく合うことがわかっていて、 σ_m は地盤とトンネルの剛性の相対的關係に関連しているから、式の右辺の定数はそれぞれのトンネルにより異なる値になるが、 σ_m が変位に比例しているとすれば、変位の対数はマグニチュードの増加と共に増し、震央(震源)距離の増加と共に減少することが明瞭にあらわれている。距離の増加に伴う振幅の減少の割合が波動の周波数特性によって異なることは地震学で指摘されているところであるが、0.5~1.0 Hzの振動に対し定量的な一つの資料が示されたわけである。

地震動の最大加速度が震央距離によって急激に減少することと比較すると、震央距離によってこの範囲の周期の振動の振幅はそれ程大きな変化がないことがわかる。このことは地中構造物の耐震性を評価する上で重要な要素になる。

4. 地中構造物の地震時の挙動について

(1) 震害について

地中構造物の種類ごとに過去の震害例や地震時の挙動を調査、分析することは耐震性を検討する上での基本である。本邦においては古くよりトンネル・水道管・ガス管などが数多く震害を蒙っていて、被害の定性的な分析が行われてきた。今まではほぼ被害の現象面については調査が終わっているように思われる。地盤の良否と安定及び管の材質、導管の継目、他の構造とのつながり方法、分岐などの構造的な原因が挙げられ、材質ならびに構造上の諸点については多くの改良が行われ、耐震構造の上で大きな成果を挙げている。しかしながら地中構造物の耐震性に対しては、新潟地震の際の地中構造物の震害にみられるように、埋設地盤の安定は極めて重要であり、震害はこれらの要素が複雑に組み合った結果として発生するものと考えられる。

最近地中管路の震害を地盤状態と関連させて定量的に分析しようとする試みがなされている。久保・片山等は旧東京市内を1Kmの網目に区画して、関東地震における水道管の被害を統計的に調査した結果、区画の4隅の地盤の卓越振動数のちらばり——地震時の地盤動の不均一性——の大きさ及び河谷底地で腐蝕土等の地盤や緩い砂層よりなる沖積層などの地盤条件が震害の大きな要素であることを見出し、定量的にこれらの値を示した。震害の調査によって地震時の地盤の応答と震害の關係がしだいに明らかにされつつあるが、本邦のような軟弱な沖積層の多い地盤条件の下にあっては、地盤の流動化は検討を急がれる課題である。

(2) 地震時の挙動について

著者等は既に実在の沈埋トンネルの地震観測ならびに模型振動実験の結果を報告したが、ここではその概略を再録すると共に、その後地震観測で得られた結果ならびに模型実験の結果を加えて報告する。著者等が観測して

いるトンネルは多摩川河口を横断する国鉄京葉線の多摩川トンネル(前記報告では羽田トンネルと呼ぶ)である。路線上の地盤状態は河川中央部で約40m右岸で約10mの厚みの軟質な沖積層が表面を覆っていて、地震時の地盤の挙動もかなり場所により異なるものと予想された。ここに高さ約8m、幅約13mの卵形断面をもち、厚さ約1mのRCの長さ480mの複線式沈埋トンネルが、河床より僅か2m足らずの所に埋設されている。

トンネル内で軸線上に205mの測線を設定して、測線の両端を合わせて4点の測定で、トンネル両側壁のトンネル軸方向の地震時のひずみを観測した。参考にするため水平2成分の加速度計がこの測線上の2点に設置されている。

模型実験の結果を参照しつつ、ひずみ波形と加速度波形を調べると、次のことがほぼ明らかになってきた。i) トンネルはトンネル軸方向にもトンネル軸直交方向にも変形する。ii) 軸直交方向の変形については、トンネルのこの方向の可撓性により、一般に周辺地盤の変形曲線に対応して変位し変形するとみてよい。iii) 軸方向の変形については、変形に対するトンネルの剛性が土のそれに比して著しく高いため、トンネルは周辺地盤のごく局部的な変形には追従できず、比較的長い区間の地盤の平均的変位に対応して変位し変形する。iv) 地盤の変位応答には一次または低次のせん断振動が卓越してあらわれる。v) トンネルの質量にもとづく慣性力は無視してよい。一般に沈埋トンネルの横断面は水圧、土圧等の大きい常時荷重に対し設計されているため、過去の軟質地盤中の箱型構造の地下道の地震時の挙動などにみられるように、横断面の変形に対し高い剛性をもつとみられるためv)のように巨視的には梁とみなすことが可能になる。また実験の結果からすれば、通常地表面近くに埋設されるためトンネル近傍の地盤の変位は深さでそれ程変化せず、捩れに対する剛性も大きいため、トンネルの捩れ変形は起こりにくいようであるが、地盤条件によっては検討する必要がある。

衣浦港海底トンネル、東京港海底トンネル、扇島トンネル等で実施されている地震観測でもほぼ上述の如き結果が得られているが、地震によりトンネルの曲げ変形によるひずみが、軸方向の変形によるひずみと同等またはそれ以上に発生していることが報告されている。これは断面の形状と地盤の振動特性の関連を示すものであろう。

埋設した試験用模型パイプラインの振動実験でもパイプラインが地盤の挙動と同じように挙動することが認められている。

上述のことは地中の管状構造物の長さ方向の性状に関する知見であるが、横断方向の方向の挙動を次に述べることにする。図5はシールドトンネルの地震観測で得られた加速度とトンネル壁の歪みの記録である。図中No.1~12は歪記録でSV-A、SP-A、SA-Aはそれぞれ上下方

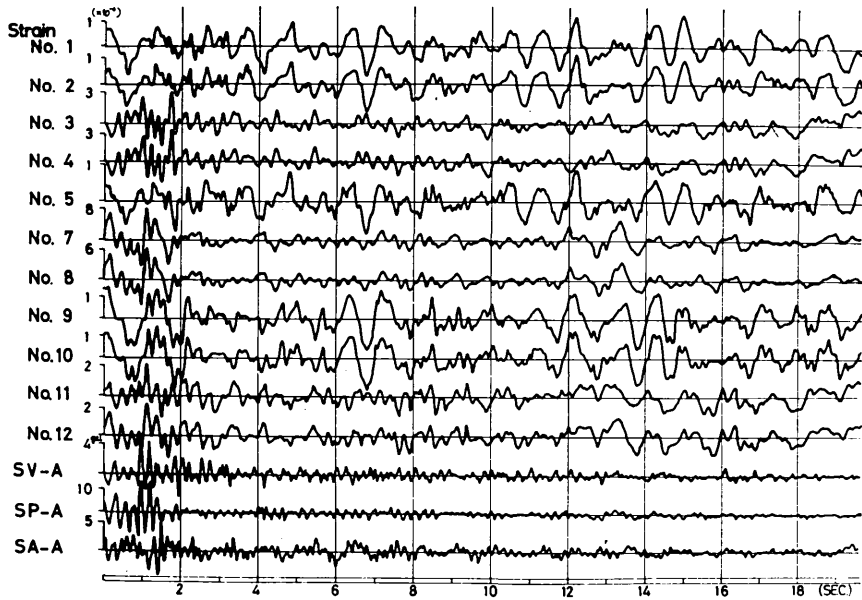


図5 シールドトンネルにおける地震記録 (1976年10月6日)

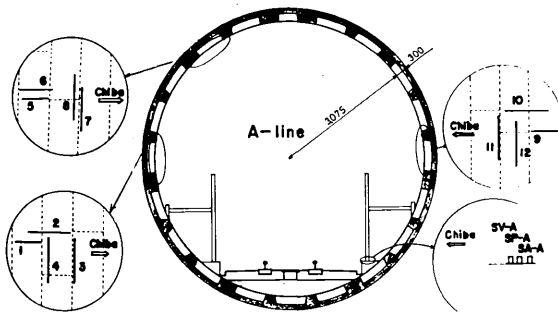


図6 シールドトンネルの地震観測における計器配置図
向, トンネル軸直交水平方向, 水平軸方向の加速度記録
であって, 記録の番号及び記号は図6の番号及び記号に
対応している。

シールドトンネルの断面は, 通常数枚の鋼またはRCのセグメントをボルトで接合したリングで, このリング (長さ80~90cm程度) をつないでトンネルを構成する。RCセグメントの厚さは30cm程度であり, この形式のトンネル断面はかなり可塑性に富んでいる。

観測結果はおおむね次のようで, 模型の振動実験で得られた結果と定性的によく一致していることが分かった。

- i) 軸方向の変形は沈埋トンネルの場合に類似している。
- ii) 横断面の変形は, 地盤の深さ方向の低次のせん断卓越振動モードに応じて変形する。

本形式のトンネルが一般に表層地盤の比較深い位置に建設されることを考慮すると, 地盤の地震時の応答変位の大きさより推定して, 沈埋トンネルの場合に比して軸方向のトンネルのひずみは小さくなり, 横断面内でのひずみが増すことが予想される所であり, 他の地震でもひずみ記録のNo.7とNo.8が他の部分のひずみに比して大きい事実はこのことを裏付けている。地震応答解析によっても

変位では地盤の一次または低次のせん断振動が卓越し, 算定された断面のひずみ分布も観測結果とよく合うことが認められた。また比較的深い位置にあるため, トンネル位置における地盤の回転角がトンネル軸にそって等しくないためトンネルに捩り変形が発生することが実験で観察されている。

以上はシールドトンネルの断面についてであるが, 大断面の空洞が地盤内に形成される場合, その規模が地盤内を伝播する地震動の波長に対応するような場合, 空洞の変形が増大することが推測されるので留意する必要がある。また断面の安定が周辺地盤の地震時の安定と直接結びつく場合, 周辺地盤の安定は特に重要である。

5. ま と め

以上, 変位法に関連して地中構造物の耐震性についてのべたが, その基本に地震時に地盤が安定していることがある。地盤の安定は構造物に直接接触している地盤の安定と構造物を含んだ広域地盤の安定の2種類に大別でき, 流動化や斜面の安定について多数の検討が進められているが, ここでのべることは筆者の域を超えるものである。新しく定められた地中構造物の耐震設計に関する法令, 指針では地盤の地震時の挙動に関して構造物の安全性の視点から, 設計上注意し検討すべき点が細かく指摘されている。地中構造物の合理的な耐震設計を行うためにはさらに研究を進めて行く必要がある。

おわりに当たり, 地中構造物の耐震性の研究に当り適切な助言を与えられた岡本舜三名誉教授, 主に地震観測に従事した加藤勝行助手ならびに地震観測の便をはかり, 関連資料を与えられた東京電力株式会社, 日本国有鉄道, 帝都高速度道路営団の諸賢に対し謝意を表します。

(1977年3月22日受理)

参 考 文 献

土木学会：沈埋トンネル耐震設計指針(案) 昭和50年3月
 T. R. Kuesel: Earthquake Design Criteria for Subways,
 Proc. of ASCE, 95, ST6, 1969
 岡本舜三, 加藤勝行, 伯野元彦: 地中構造物に働く地震力に関
 する研究, 土木学会論文集,
 92号, 1963
 那須信治: 隧道内及び地表における地震動の比較研究, BERI
 (東京大学地震研究所震報) Vol. 9, pp.454 ~ 472,
 1931
 金井清はか: 地下における地震動の観測結果第1報, BERI,
 Vol. 29, pp.107 ~ 113, 1951
 金井清はか: 地下における地震動の研究第2報, BERI, Vol.
 44, pp.609 ~ 643, 1966
 岡本舜三, 水越達雄: 地震時における地下発電所の震動, Ge-
 ologie und Bauwesen, 24巻, 2号,
 1958
 岡本舜三: 耐震工学, オーム社, 1971
 田村重四郎はか: 岩盤地帯での地震動の特性, 第4回世界地震
 工学会議, サンチャゴ, 1969
 田村重四郎はか: 岩地盤で実測された地震波の深さ方向の性
 質について, 第14回地震工学研究発表会, 土
 木学会, pp.85 ~ 88, 1976
 Mickey, W. V., はか: Amplification Studies of the Pacoi-
 ma Dam from Aftershocks of the
 San Fernando Earthquake, 第5回
 世界地震工学会議, ローマ, 1973
 Davis, L. L., はか: Observed Effects of Topography on
 Ground Motion, Bull. of Seis. Soc.
 of America, Vol. 63, No 1, pp.283 ~
 298, 1973
 安芸敬一はか: 近地地震波のスペクトル的研究(1), BERI,
 Vol. 36, pp. 71~ 98, 1958
 桜井彰雄はか: 松代地震を利用した超高压, 地中電線路埋設管
 の耐震研究, 電研, 土-67058, 1967
 田村重四郎はか: 軟弱地盤表面上の線上における地震動の特性

について, 土木学会第29回年次学術講演会,
 1974
 土田肇はか: Observation of Earthquake Response of Gro-
 und with Horizontal and Vertical Seismome-
 ter Arrays, 第4回日本地震工学シンポジウム,
 1975
 嶋悦三: 強震地動にみられる表面波成分, 第3回日本地震工学
 シンポジウム, 1970
 土岐憲三: 強震加速度記録による位相速度の検出, 第4回日本
 地震工学シンポジウム, 1975
 鳥海勲: 平野の地震動特性について, 第4回日本地震工学シン
 ポジウム, 1975
 土岐憲三: 表面波に対する表層地盤の不規則応答, 第13回地震
 工学研究発表会, 土木学会, 1974
 田村重四郎: 沈埋トンネルの耐震設計, 土木学会夏期講習会,
 1976
 久保度三郎はか: 地下埋設管震害の定量的解析, 第4回日本地
 震工学シンポジウム, 1975
 成田園郎: Study on Pipeline Failure due to Earthquake,
 日米科学協力セミナー, ライフライン系に重点をお
 いた地震工学研究講演論文集, 東京 1976
 田村重四郎はか: Dynamic Behavior of a Submerged Tun-
 nel during Earthquakes, 東京大学生産技
 術研究所報告 24巻5号, 1975
 土田肇はか: 衣浦港海底トンネル地震応答観測及び地震応答計
 算, 港湾技研資料, No 221, 1975
 首都高速道路協会: 東京港海底トンネル施工研究委員会報告書,
 1974
 那須信治はか: 扇島海底トンネル地震観測, 第14回地震工学研
 究発表会, 土木学会, 1976
 宮島信雄はか: 埋設鋼管における地震時挙動, 第14回地震工学
 研究発表会, 土木学会, 1976
 田村重四郎はか: 地中埋設管モデルの振動実態, 第14回地震工
 学研究発表会, 土木学会, 1976
 栗林栄一はか: 線状地中構造物の横断面の耐震安全性について
 第14回地震工学研究発表会, 土木学会, 1976

次 号 予 告 (6月号)

退官記念講演

ラジアルタービンの非定常流特性について 水 町 長 生

研究解説

ガス系における吸着剤粒子間の表面拡散と超ミクロ孔内の拡散のメカニズム { 茅 原 一 之
 鈴 河 基 邦 太 朗
 その(2) 超ミクロ孔内拡散について

研究速報

S-NおよびN-Nイリドを配位とする遷移金属錯体の合成とその配位状態 { 木 瀬 秀 夫
 遠 妹 尾 博 敬 学
 高 橋 伸 晃

機械構造物の定常応答曲線における近接共振点の処理方法について { 松 永 正 久
 秋 生 田 善 明

Crack Formation on Electro Plated ABS Plastics by Fatigue Tests { 明 智 清 明
 原 板 橋 善 四 郎
 正 善 四 郎 雄

抵抗焼結法によるWC-6%Co 合金超硬合金の作製の試み { 明 智 清 明
 原 板 橋 善 四 郎 雄

リモートセンシングデータのデジタル処理(第3報) { 村 井 俊 治
 建 河 隆 太 郎
 石 崎 和 明

多自由度系衝突振動の解析手法について(第2報) 藤 田 隆 史

同 上 (第3報) 藤 田 隆 史