

東京大学生産技術研究所 正員 田村 重四郎  
 国鉄 東京第一工務局 正員 山口 良雄  
 国鉄 構造物設計事務所 ○正員 河田 博之

### 1. はじめに

軟弱な地盤中にシールドトンネルが構築される場合、トンネル軸方向の耐震性の検討が必要と思われる。その場合、(1)地盤条件が急変する部分(2)トンネルとたて坑の結合部(3)トンネルに縦断勾配がついている部分(4)トンネルが併設されている部分 等が特に問題となると思われる。本研究は上記の問題点について、トンネル・たて坑・地盤の振動性状を把握することを目的として、振動台上に3次元弾性模型を複製して振動実験を実施したものである。(1)と(2)の一部については前回報告したので、今回は(2)の一部と(3)、(4)について報告する。

### 2. 実験概要

実験は図-1に示す4ケースを実施した。No1とNo2は軟弱地盤中にたて坑が基礎形式で構築された場合で、No1はトンネルとたて坑の継手を剛結とし、No2は可動としてある。No3はトンネルに縦断勾配がついている場合で、勾配は現象を原理的によく把握できるように実際より非常に大きくつけてある。No4は硬軟地盤の境界部分を併設された2本のトンネルが貫通している場合で、併設トンネルの離隔距離はトンネルの径の $\frac{1}{2}$ である。

地盤の弾性係数及び単位体積重量は、沖積層で $600 \text{ kg/m}^2$ 、 $1.6 \text{ g/cm}^3$ とし、洪積層で $3,000 \text{ kg/m}^2$ 、 $1.8 \text{ g/cm}^3$ とした。また、シールドトンネルはセグメント外径 $9400 \text{ mm}$ 、セグメント厚 $400 \text{ mm}$ 、2次覆工厚 $350 \text{ mm}$ とした。

相似則は慣性力のみを考慮して定め、模型の縮尺は $\frac{1}{200}$ 、時間比は $0.217$ である。また、トンネルの剛性はセグメントの剛性低下を $60\%$ とみて計算し、トンネル模型はセグメント及び継手構造まで模型化することは不可能なため、一様な断面をもつ管とした。地盤材料としてはゼラチンを使用し、シールドトンネル及びたて坑材料としてはネオプレンゴムを使用した。

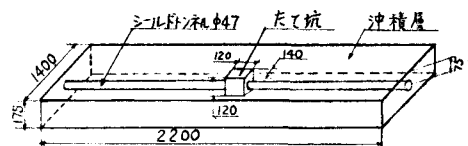
実験は、上記の各模型を振動台上にセットし、水平方向でトンネル軸方向及びトンネル軸直交方向に正弦波振動を与えて、各地盤の卓越振動状態におけるトンネル・たて坑・地盤の挙動を検討した。また、実地震波(Taft, El-centro)を入力して、模型の応答も調査した。振動台は電気油圧式で最大積載重量は $6 \text{ t}$ である。定常振動における変位の測定は前回同様写真と映画記録によって、また、地震波による応答は、地盤の表面及び内部にセットしたピックアップとトンネルやたて坑に貼付したひずみゲージならびに映画記録により測定した。

### 3. 実験結果

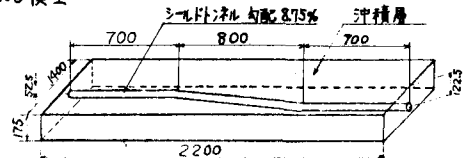
正弦波形の加振数を $0 \sim 17 \text{ Hz}$ まで変化させると、トンネル軸方向加振時及びトンネル軸直交方向加振時のいずれの場合も、特定の振動数で各模型の沖積層には卓越振動が発生した。各模型の卓越振動時の振動状態を検討した結果、以下の事が認められた。

図-1 模型の種類

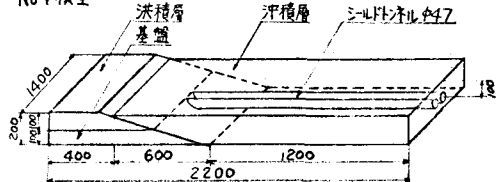
No1, No2模型 (No1---継手剛結, No2---継手可動)



No3模型



No4模型



(1) 軟弱な地盤中にたて坑がある場合 (No1 模型、No2 模型)

No1 模型、No2 模型とも加振方向に拘らず、地盤が1次卓越振動をしている時、たて坑周辺の地盤に変位の減少がみられる (図-2 参照)。これは、たて坑が浮基礎であるにも拘らず剛性が高いことと地盤の深さ方向の変位の分布によると思われる。また、たて坑は水平振動とともにロッキング振動もしていることがみとめられた。トンネル軸直交断面の地表の変位の分布を調べると、両模型ともトンネル軸方向加振の場合は、断面とたて坑の距離に拘らずトンネル直上近辺の地表で明らかに変位の減少がみとめられたが、トンネル軸直交方向加振の場合は、たて坑近辺の断面を除きトンネル直上近辺の地表の変位の低下はみとめ難く (図-3 参照)。これは、トンネル軸直交方向のトンネルの可撓性とトンネル軸方向の変形性の差によるものと思われる。

図-2 No1, No2 模型の たて坑中心を含むトンネル軸直交断面の地表の変位分布 (1次卓越振動時)

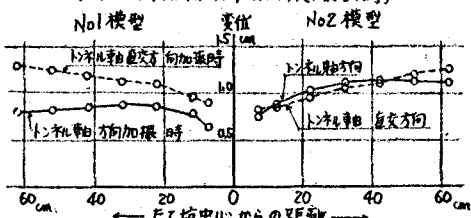
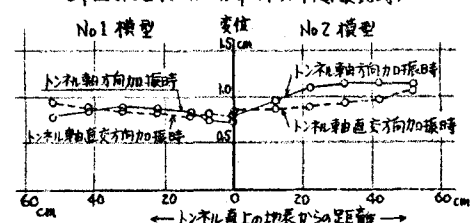


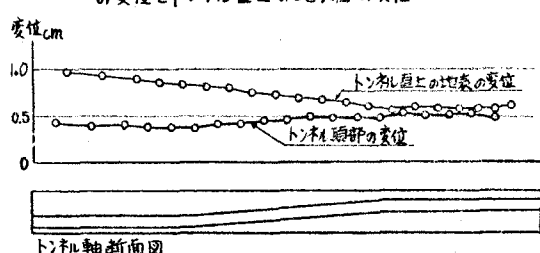
図-3 No1, No2 模型の たて坑から55cm離れたトンネル軸直交断面の地表の変位分布 (1次卓越振動時)



(2) トンネルに縦断勾配がついている場合 (No3 模型)

トンネル軸方向に地盤が1次卓越振動をしている時のトンネル頂部の変位とトンネル直上の地表の変位を図-4 に示す。これを見ると、トンネルの変位はトンネルが浅く構築された部分でわずかに大きくなっている。また、トンネル直上の地表の変位は、トンネルが浅く構築された部分で小さい値を示している。これは、トンネルの軸方向の剛性が大きく、トンネルは浅く構築された部分で地盤の動きに追随できないため、地盤の動きを拘束したものと思われる。なお、トンネル軸直交方向に地盤が1次卓越振動をしている時は、トンネルは地盤の動きによく追随して変位しているのがみとめられた。変位から換算されたトンネルの軸方向の歪は通常のトンネル勾配の場合は小さく、耐震上考慮する必要はないと考えられる。

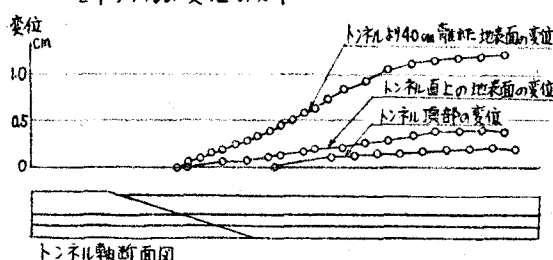
図-4 No3 模型のトンネル軸方向1次卓越振動時のトンネル頂部の変位とトンネル直上の地表の変位



(3) 硬軟地盤の境界部分にトンネルが併設されている場合 (No4 模型)

トンネル軸方向の1次卓越振動時のトンネル頂部の変位とトンネル直上の地表の変位ならびにトンネル軸から40cm離れたトンネル軸方向断面の地表の変位を図-5 に示す。これを見ると、トンネル直上の地表の変位は他の部分の地表の変位に比べてかなり小さくなっているが、これはトンネルの軸方向の変形性が低いことによる。また、トンネルは周辺地盤に押されて変位し、軸変形が生じた。トンネル軸直交方向の1次卓越振動時には、トンネルは地盤の動きによく追随し、地盤の変位分布の不均一性による曲げ変形ならびにねじり変形が生じていることが判った。

図-5 No4 模型のトンネル軸方向の1次卓越振動時の地盤とトンネルの変位の分布



以上、正弦波加振時の模型の振動状態について報告したが、この実験から地震時のシールドトンネルの挙動は地震時の地盤の変位の分布とトンネルの変形性によって説明できることがわかった。尚、今後は実地震波による応答の記録について解析をすすめるつもりである。