

I-536 シールドトンネルの免震構造に関する模型振動実験

（株）熊谷組技術研究所 正員 鈴木 猛康

1. まえがき

地盤条件の急変する場所では、地震時に局部的に大きなひずみが生じる。このような地盤急変部にトンネルが埋設された場合に、大地震時にトンネル周辺地盤から伝達される地盤変位を吸収するゾーン（以後中間層と呼ぶ）をトンネルと周辺地盤の間に設けることにより、トンネル本体に発生するひずみ（断面力）を低減させる免震構造を考えた。ここでは、本免震構造をシールドトンネルに適用した場合を想定し、免震構造の効果を確認するための模型振動実験を実施したので、その概要を簡単に報告する。

2. 模型概要

振動実験模型は、実地盤のせん断波速度 $V_s = 40\text{m/sec}$ 、実シールドトンネルの外径10mを想定し、相似率は長さ1/200、ヤング率1/140を目標にして製作した。図-1に実験に用いた模型型枠の構造とトンネル模型の配置を示す。図に示すように、左の斜面と右の水平部およびおよびその間の突起部よりなる基盤の起伏を有する基盤構造急変部に、軟弱な沖積地盤が堆積した表層地盤模型とする。模型地盤材料はアクリルアマイドゲルで、せん断波速度 $V_s = 400\text{cm/sec}$ とした。模型地盤の地表面近くにはゴム糸を格子状に張り、振動モードの目視（写真撮影）を可能にしている。また地表面上には、トンネル中心線上に加速度計を8個設置した。

トンネル模型は上記の相似率を考慮し、セグメントリングをポリエチレン製パイプ（外径50mm、内径42mm、長さ47mm、ヤング率 $E = 1500\text{kgf/cm}^2$ ）とし、継手部をネオプレンゴムパイプ（外径48mm、内径42mm、長さ3mm、ヤング率 $E = 40\text{kgf/cm}^2$ ）によってモデル化し、これらを交互に接着し製作した。このようなシールドトンネル模型とすると、継手の伸縮バネ定数に対するセグメントリングの伸縮バネ定数の比率は、継手をボルトと考えた場合の実シールドトンネルの比率 $\frac{\text{アクリルアマイドゲル } V_s = 4\text{m/sec}}$ にはほぼ一致する。さらに免震構造とする場合は、この模型の外周に、柔らかな合成ゴムシート（厚さ2mm、ヤング率8、16 kgf/cm^2 ）を接着し、中間層とした。図-2はトンネル模型の縦断面と、トンネル内の計測状況を示したものである。図に示すようにセグメント本体部のひずみを、ひずみゲージで、継手の相対変位を小型差動トランスで測定することにより、トンネルの変形を捉える。ひずみの測定は、トンネル1本につき5か所、10チャンネル（左右2点）で行い、継手の相対変位は8か所、16チャンネル（左右2点）で行った。

3. 実験方法

模型振動実験では、中間層で外周を覆わない従来構造のトンネル模型と、中間層で覆った免震構造トンネル模型を並列に地盤内に埋設して模型を製作し、これをモデルの一次共振振動数で正弦波加振をした時のトンネル内のひずみ、変位および地盤地表面の加速度を計測した。またその時の模型の振動モードをブレ写真によって記録した。なお、収録チャンネル数は、模型型枠底部の加速度

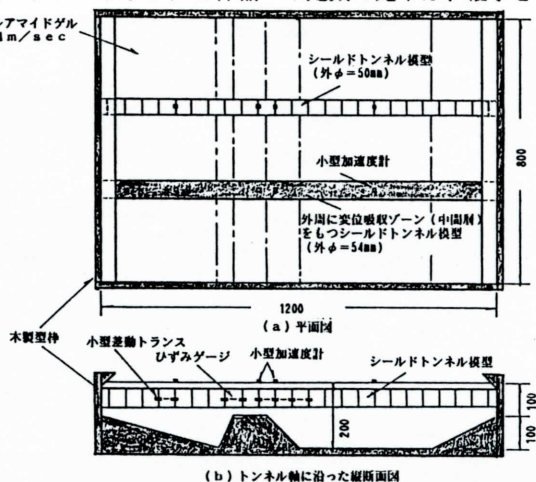


図-1 模型の構造とトンネルの配置

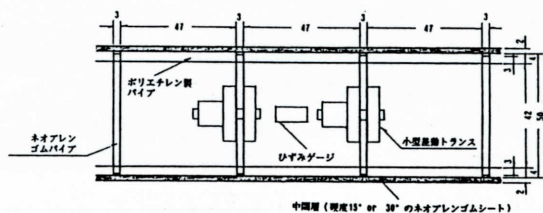


図-2 トンネル模型の縦断面図

と振動台の加速度を加え、合計62チャンネルである。

実験ケースはトンネルを含まない地盤のみの加振を行うケース(CASE-1)と、2本のトンネルを埋設したケース(CASE-2, 3)である。CASE-2と3は、中間層として採用した合成ゴムの種類が異なっている。なお、従来構造のトンネル模型と免震構造のトンネル模型の軸剛性の相違は、わずか約5%である。

4. 実験結果とまとめ

写真-1は実験CASE-2のプレ写真で、モデルの1次振動モードを表している。トンネルの剛性が、地盤ゲルに比べて極めて高いために、トンネル(とくに併設トンネル)の影響が地盤全体に及び、写真の右中央部の振動振幅が小さくなっていることがわかる。1次共振振動数はCASE-1で5.7HZ、CASE-2および3で5.8HZであった。一方数値解析(田村モデル)では5.88HZである。

図-3に示すように、免震構造のトンネル(NO.1)で発生するトンネルひずみは、免震効果が現れて従来構造(NO.2)よりも小さくなることが確認された。

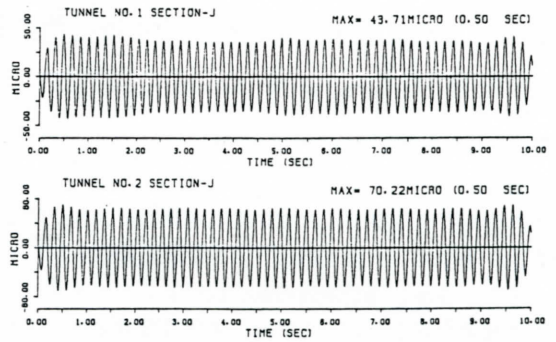


図-3 トンネルひずみ波形(NO.1; 免震構造)

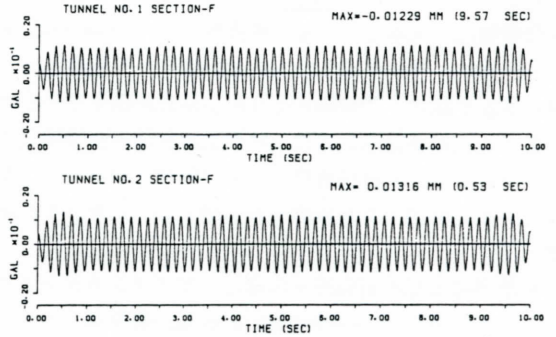


図-4 継手部相対変位波形(NO.1; 免震構造)

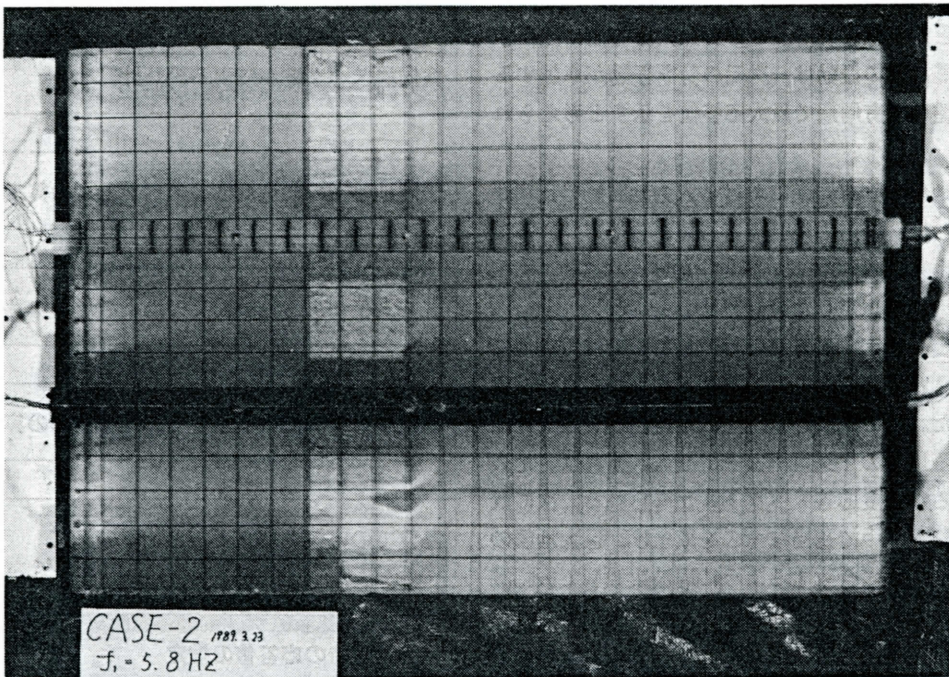


写真-1 模型振動実験プレ写真(CASE-2)