

山岳トンネルの断面形状に関する実験的考察

独立行政法人 土木研究所 正会員 ○森本智、日下敦、角湯克典

1. はじめに

近年、地山条件が不利な状況下でのトンネル施工が増加しており、その場合、リング効果を期待してインバートを設置しトンネル断面を閉合するなどの対策が行われている。しかし、インバートの設計については形状の違いによる影響や効果など不明な点が多い。本稿では、インバート部の形状を変化させたトンネル模型に対して、側方から過大な荷重が作用する場合を想定して実施した実験結果について報告するものである。

2. 実験の概要

本実験は、図-1 に示す二次元載荷試験装置を使用して行った。本装置は載荷板、載荷用油圧ジャッキなどから構成され、土槽は内寸 1,200mm、高さ 300mm の載荷板および固定板に囲まれている。土槽中央部にトンネル模型を設置し、その外側に模型地山を作製した。模型地山は、気乾状態の標準砂を用いて目標密度 1.40g/cm^3 程度となるよう空中落下させて作製した。図-2 にトンネル模型の寸法等を示す。トンネル模型はモルタルを用いて概ね 1/20 の大きさで作製し、形状は 2 車線トンネル断面を模擬し、アーチ部の半径 $R1$ を 300mm の単心円、インバート部の半径を 4 種類に変化させた。トンネル模型の厚さは 20mm、アーチからインバートへのすり付け部はなるべく滑らかになるようにし、すり付け増厚は施していない。実験は、側方から過大な荷重が作用する場合を想定し、トンネル模型に対して側面に位置する可動壁 1 面から載荷を行い、載荷を行わない固定板 3 面については外側に鋼製柱を設置し変位しない構造とした。なお、実験時の固定板の反力は載荷板の荷重値に対して 0.3 程度となっている。計測は図-1 に示す載荷板および固定板の荷重と変位、図-2 に示すトンネル模型の内空変位とひずみについて行った。また、供試体のひび割れについての観察も行った。実験ケースは、インバートの曲率を $R1$ に対して 2.0 とした形状を基本 (CASE1) とし、1.3 (CASE2)、1.1 (CASE3)、1.0 (CASE4) と変化させた計 4 ケースとした。

3. 実験結果

図-3 に載荷板に作用させた荷重と変位の関係を示す。基本となる CASE1 の最大荷重は 1,050kN であった。CASE2 は 1,192kN、CASE3 は 1,215kN、CASE4 は載荷装置の限界である 1,212kN まで達したため破壊に至る前に載荷を中止した。これらの結果から、形状が円形に近いほど耐力が高い結果となったが、その差はわずかであった。

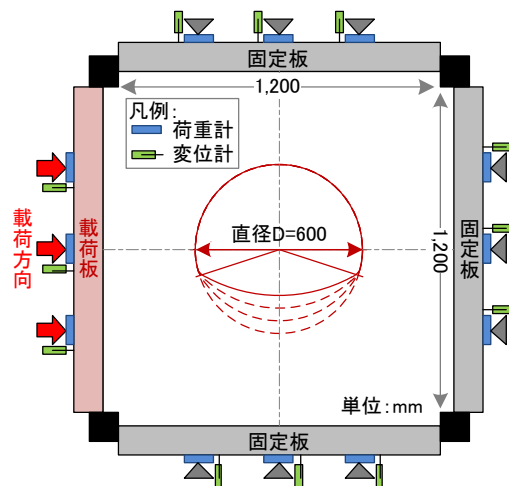


図-1 二次元載荷試験装置

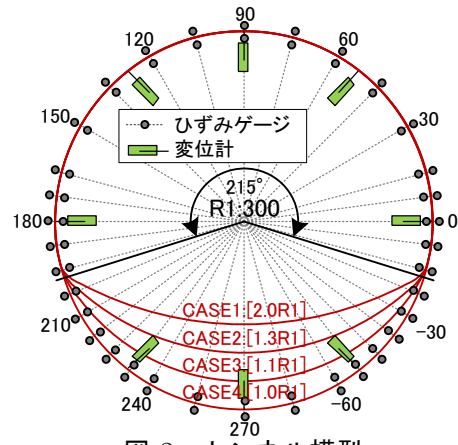


図-2 トンネル模型

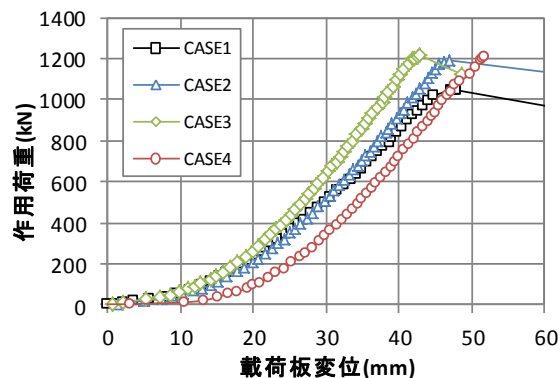


図-3 荷重と変位

キーワード：インバート、断面形状、側方荷重

連絡先：〒305-8516 つくば市南原 1-6(独)土木研究所 道路技術研究グループ(トンネル) TEL 029-879-6791

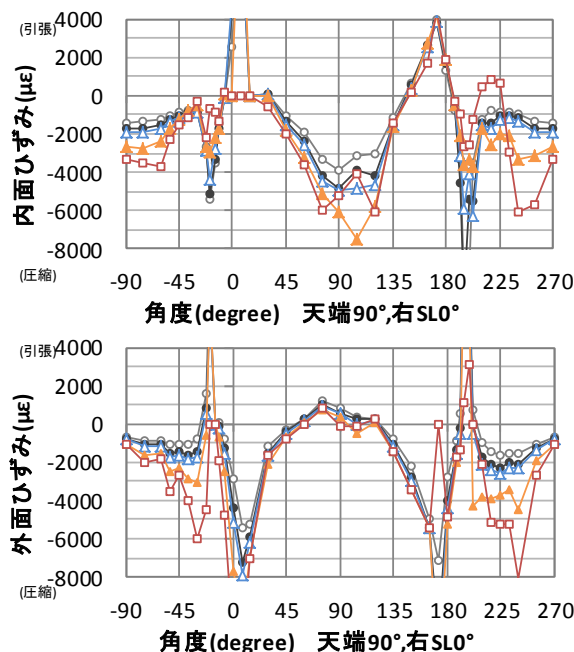
図-4にCASE1における代表的なひびわれ発生時の荷重における内面および外面のひずみ分布図を示す。観察された覆工内面に発生するひび割れは、荷重が40kNから200kN程度までに両側のSL付近(5~15度,170~175度)に発生し、その後、730kNから770kN程度までに両側のすりつけ部付近(-20度,195度)に発生した。この時点において断面に発生しているひずみは、SL付近は内面は引張り、外面は圧縮、すりつけ部付近は内面は圧縮、外面は引張りの大きな値が発生し、局所的に曲げの正負が反転していることがわかる。その後、960kN程度で左側の肩部(135度付近)からインバート部(225度付近)にかけて周方向にひび割れが発生し、1,000kN程度で周方向のひび割れがインバート中央部付近(270度)まで進展し破壊に至った。また、CASE2とCASE3のひび割れ観察の結果についても、CASE1とほぼ同様の発生状況となった。

図-5に荷重が300kNの段階における各ケースの内面と外面のひずみ分布図を示す。SL付近およびすりつけ部に着目すると、CASE1~CASE3では局所的に曲げの正負が反転し、ひずみの値はすりつけ部の内側においてCASE1が4,000 μ を超えているのに対し、CASE2が1,000 μ 程度、CASE3が200 μ 程度の圧縮ひずみであり小さくなる傾向にある。また、SL付近の外側においてCASE1が3,000 μ 程度であるのに対し、CASE2が2,000 μ 程度、CASE3が1,500 μ 程度の圧縮ひずみであり小さくなる傾向にあった。このことから、SL付近およびすりつけ部におけるひずみの発生については、形状による影響を受け、その値は、円形に近いほど小さくなる傾向にある。一方、CASE4は、このような局所的な曲げの正負の反転はみられず、ひずみ分布は比較的滑らかである。

アーチ部においては、各ケースとも天端(90度)付近の値が一番大きく、内面側で3,000 μ から2,000 μ 程度の圧縮ひずみが大差なく生じており形状による影響は小さい。また、インバート部においては、内面側でCASE4に一部4,000 μ 程度を示す値があるが、それ以外は1,500 μ 程度以下の圧縮ひずみとなっており、形状が円形に近づくほどその値は大きくなる傾向にあるものの、アーチ部と同様に形状による影響は小さいと考えられる。

4. まとめ

本検討では、側方から過大な荷重が作用する場合を想定し、インバート部の形状を変化させたトンネル模型に側方から载荷を行った。本実験の結果から、トンネル模型に発生したひずみ分布からインバートの形状は円形に近いほうが望ましい形状であることがわかった。一方で、加背を大きく出来ないなどの理由から形状を円形に近づけることができない場合は、SL付近およびすりつけ部において曲げ応力の正負が局所的に反転し大きな値となったことから、この箇所については、よりすりつけを滑らかにすることや部材を増厚するなどの対策が必要であると考えられる。今後は、今回実施していない荷重形態に対するインバート形状による影響などについて検討したいと考えている。



凡例	荷重(kN)	内面ひび割れの発生箇所
○	600	-
●	730	インバート (-20度)
△	770	インバート (195度)
▲	960	周方向(135度から225度)
□	1,050	最大荷重

図-4 ひずみ分布図(CASE1)

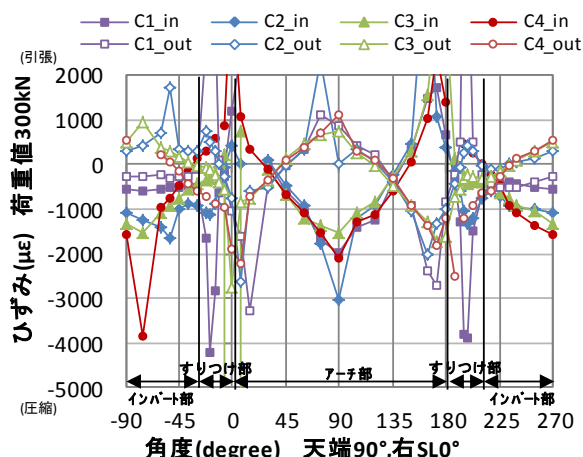


図-5 ひずみ分布図(CASE1~4)