

二層吹付けコンクリートの耐荷力に関する一考察

独立行政法人土木研究所 正会員 ○日下敦, 砂金伸治, 真下英人, 角湯克典

1. 緒言

山岳トンネルの建設コスト縮減の一方策として、セメントが必要な場所打ちコンクリートによる覆工を施工せず、吹付けコンクリートによって覆工を代替する方法が考えられる。その場合、支保工としての吹付け（一次吹付け）と覆工としての吹付け（二次吹付け）を分けて施工することになるが、層間に防水工を設置した場合等、層間の付着力が期待できず、二層の吹付けが合成ばりとならないケースがあると考えられる。本稿では、一次吹付けと二次吹付けの層間付着力が期待できない場合の支保工の挙動について実大規模の載荷実験を行った結果を報告する。

2. 重ねばりの線形ばり理論

図-1 に示すように、同一の弾性係数を有する二層の吹付けに軸力 N と曲げモーメント M が作用したとき、同一の曲率を持った重ねばりとして挙動すると仮定すると、 N は断面積比、 M は断面二次モーメント比に応じて各層が分担する。一方、二層の付着力が十分な場合は合成ばりとして一体となって挙動する。図-2 は、一次吹付け厚 $t_1 = 10$ cm、二次吹付け厚 $t_2 = 20$ cm としたときに、①重ねばりとして挙動する場合、②合成ばりとして挙動する場合、③一次吹付けの剛性が期待できず二次吹付けのみの剛性が有効な場合について、維ひずみの断面内の分布を例示したものである。 M, N ともに作用する場合に発生するひずみレベルは、②<①二次吹付け<③の順となり、 M が卓越する場合は①二次吹付け≒③となる。

3. 実験方法

図-3 に実験の概要を示す。供試体は外径 9.7 m の半円形で、トンネル軸方向長さ 1 m とした。ケース I は、一次吹付けと二次吹付けの層間付着力が期待できない場合を想定した二層構造となっており、10 cm 厚の外巻きコンクリートと 20 cm 厚の内巻きコンクリートの層間に二重のテフロンシートが設置されている。本稿では比較ケースとして、一次吹付けと二次吹付けの層間付着力が十分で両者が一体となり合成ばりとして挙動する場合を想定し、30 cm 厚の一体型コンクリートとしたケース II¹⁾、一次吹付けの剛性が期待できない場合を想定した 20 cm 厚のコンクリートのみのケース III²⁾の結果も併せて示す。コンクリートは全ケースとも呼び強度 18 N/mm² の場所打ちプレーンコンクリートであり、載荷時の物性値は表-1 のとおりである。

載荷装置には 10° ピッチでジャッキが配置されており、本実験では 10~70°、110~170° の 14 箇所のジ

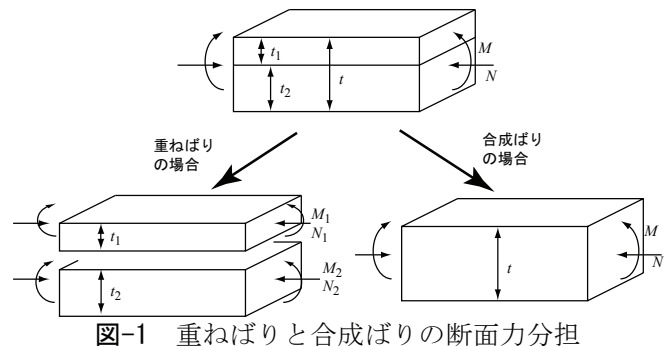


図-1 重ねばりと合成ばりの断面力分担

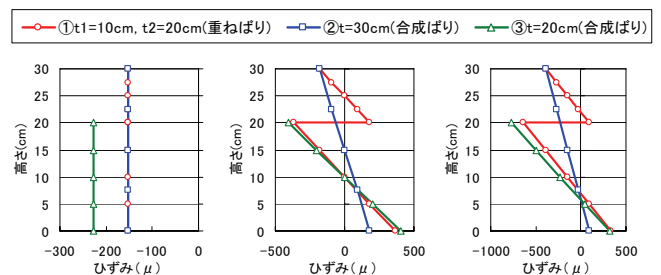
(a) N のみ作用 (b) M のみ作用 (c) M と N が作用

図-2 重ねばりと合成ばりの維ひずみ分布の例

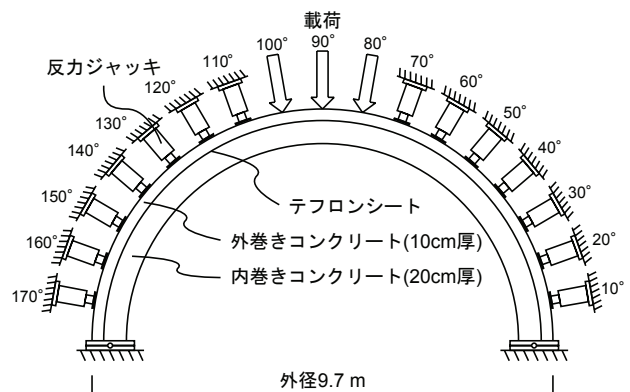


図-3 実験装置とケース I 供試体の概要

キーワード：山岳トンネル, 支保工, 覆工省略型トンネル, 耐荷力

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

ジャッキは地盤バネを模擬した反力ジャッキとして使用し、80～100° のジャッキから荷重を作用させた。なお、載荷制御方式については、ケース I および II は変位制御、ケース III は荷重制御である。また、本載荷形式は、地山の拘束がある状態で天端部に荷重が作用する場合を想定しており、天端部と肩部で曲げ圧縮破壊が発生することが想定される¹⁾。

4. 実験結果

図-4 に実験で得られた荷重-変位関係を示す。ここに、荷重は天端部 (80～100°) ジャッキの載荷荷重の平均値であり、変位は 90° の供試体内面の半径方向変位である。いずれのケースも変位 40 mm 程度で最大荷重に到達した。最大荷重時のひずみ分布は図-5 のとおりであり、天端部と肩部 2 箇所の計 3 箇所曲げ圧縮破壊が生じることで構造全体の破壊に至った。ケース I は、曲げによる圧縮破壊が生じる本載荷形式においては、ケース II よりもケース III に近い挙動を示すと思われたが、最大荷重はケース II と同等であった。

図-6 は、載荷初期の荷重 40 kN/本における天端部と肩部のひずみ分布を示したものである。ここに示すように、ケース I は重ねばりとして挙動し、圧縮側のひずみレベルはケース II < ケース I 内巻き < ケース III の順で、図-2(c) と同様のひずみモードとなった。しかし、荷重が増大すると、天端部と肩部で曲げ引張りひび割れが発生するなどの非線形挙動が現れるとともに、図-7 に示すようにケース I 内巻きの圧縮ひずみレベルはケース II に近いものとなった。その結果として、最大荷重はケース I と II ではほぼ同等の値になったものと考えられる。

5. 結言

限られた条件下での載荷実験ではあるが、以上の結果から、一次吹きと二次吹きの層間付着力が期待できない場合は、吹付けは重ねばりとなり、作用荷重が小さいときは初等はり理論と概ね同様の挙動を示すことが分かった。ただし、本実験の載荷形式の場合、荷重が増大して非線形挙動が発現すると、発生するひずみレベルは合成ばりと同等のものとなり、構造全体では合成ばりに近い耐荷力を有することが分かった。

参考文献

- 1) 真下英人, 日下敦, 砂金伸治, 木谷努, 海瀬忍: トンネル覆工の破壊メカニズムと補強材の効果に関する実験的研究, 土木学会論文集 F, Vol.64, No.3, pp.311-326, 2008.
- 2) 国土交通省土木研究所, 日本道路公団試験研究所: トンネル覆工の薄肉化に関する共同研究報告書, 共同研究報告書, 第 275 号, 2001.

表-1 供試体の物性値

ケース		厚さ (cm)	一軸圧縮強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)	ポアソン比	材齢 (日)
I	外巻き	10	20.73	20.14	0.19	17
	内巻き	20	15.63	17.97	0.16	24
II		30	30.27	23.47	0.18	15
III		20	20.05	14.43	0.14	13

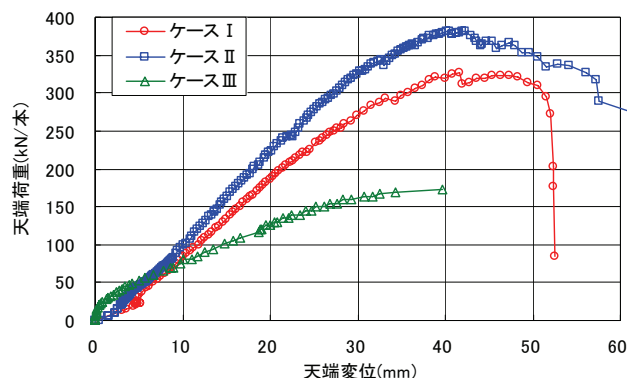


図-4 天端部の荷重-変位図

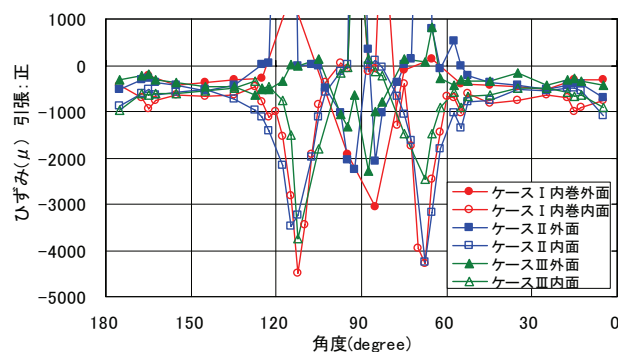


図-5 最大荷重時のひずみ分布

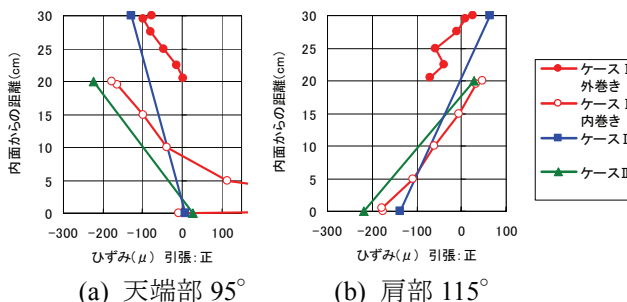


図-6 荷重 40 kN/本における断面方向ひずみ分布

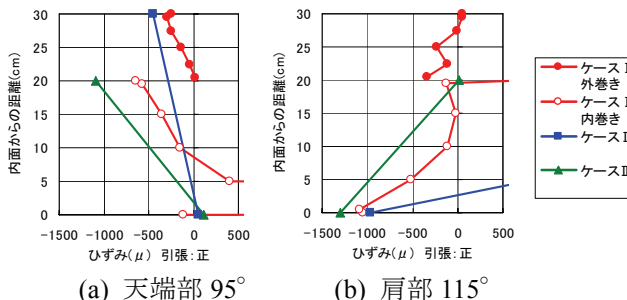


図-7 荷重 150 kN/本における断面方向ひずみ分布