

複層吹付けコンクリート支保工の曲げ耐荷力特性に関する実験的研究

独立行政法人 土木研究所 正会員 ○水川雅之
 正会員 真下英人
 正会員 日下 敦

1. はじめに

覆工省略型トンネルを採用する場合、通常の支保工を採用してトンネルを掘削した後、変位収束後に覆工の代替として2次吹付けを施工するという構造が考えられる。このように吹付けコンクリートを2回に分けて施工すると、1層目と2層目の層間に境界面が発生し、層間の付着強度が大きく両者間でせん断力が伝達される場合には合成梁的な挙動をするが、層間の付着強度が小さく両者間でせん断力が伝達されない場合には重ね梁的な挙動をする。力学的には前者の合成梁構造が合理的であると考えられる。一方、層間付着強度は1層目と2層目の施工間隔の影響を受け、2層目の施工時期によっては合成梁として挙動するのに必要となる付着強度が得られず、重ね梁になってしまう可能性もあるが、それについて検討された例はほとんど無い。そこで、本研究では、覆工省略型トンネルの支保工が2層の吹付けコンクリートとなった場合を想定し、1層目と2層目の施工間隔が層間付着強度や支保工の曲げ耐力に及ぼす影響を検討するため、要素実験を行った。

2. 実験概要

本研究では、従来の支保工として設置される吹付けコンクリートを1層目、変位収束後に施工する吹付けコンクリートを2層目とし、図-1(a)に示す層間付着強度試験と、図-1(b)に示す吹付け2層構造の曲げ載荷実験を行った。供試体の作製は、施工中のトンネル内の側壁に木製型枠を立て掛け、トンネル施工で使われていた呼び強度 18(N/mm²)の吹付けコンクリートを吹付けた。手順としては先ず1層目を吹付けた後、コテ仕上げ等の表面処理は行わず、坑内に暴露したまま所定の期間養生後、2層目を吹付け養生後、切り出し成型した。実験ケースを表-1に示す。2層目の施工時期については、1層目の呼び強度が発現される前に2層目を施工する場合を想定したケース1、1層目の呼び強度が発現された後に2層目を施工する場合を想定したケース2とした。また、比較のために、層間に付着力を有しない場合を想定し、層間に防水シート(厚さ0.8mmのEVA樹脂+厚さ3.0mmの不織布)を挿入したケース3でも実験を行った。

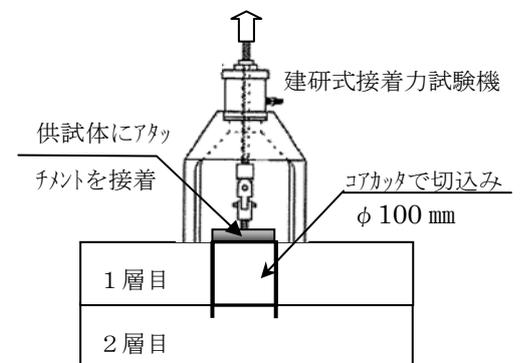
2. 実験結果

吹付け層間の付着強度試験の結果を表-2に示す。1層目と2層目の吹付けの施工間隔の違いによる層間付着強度の明確な差異は確認されなかった。

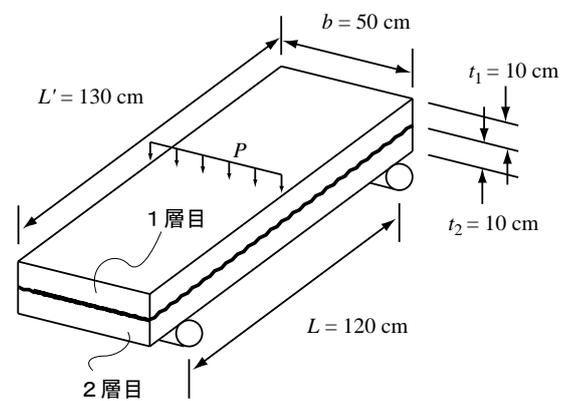
曲げ載荷時の損傷形態の概要図を図-2に、荷重-変位図を

キーワード：山岳トンネル、吹付けコンクリート、覆工省略型トンネル、シングルシェルトンネル

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



(a) 層間付着強度試験



(b) 曲げ載荷実験

図-1 実験概要

表-1 実験ケース

ケース	供試体厚(cm)		防水シート	施工間隔 (day)
	1層目	2層目		
1			無	2
2	10	10		
3			有	28

図-3 に示す. 1層目と2層目の層間に防水シートを挿入していないケース1, ケース2においては, 2層目の下面にひび割れが発生すると同時に最大荷重に達し, 直後に図-2(a)に示すような破断に至った. この2ケースでは1層目と2層目の吹付けの施工間隔を変化させて載荷したが, 両ケースとも合成梁的な破壊形態を示し, 吹付けの施工間隔による破壊モードの差異は確認されなかった. 一方, 層間に防水シートを挿入したケース3においては, まず, 1層目の下面から上面方向にひび割れが貫通し, その後2層目の下面にひび割れが発生すると同時に最大荷重に到達し, 直後に図-2(b)に示すような破断に至った. 層間付着力が無いこのケースの破壊形態は, 他ケースと異なる重ね梁的な破壊モードを示した.

各ケースにおける最大荷重を表-3 に示す. 表中には実験値に加え, 供試体を合成梁モデル, 重ね梁モデルと仮定した場合の理論値も示した. ここで, 理論値とは供試体を線形弾性材料と仮定した場合に, 供試体下面の応力が引張強度に達する時, すなわち供試体下面にひび割れが発生する時の荷重を求めている. 実験では供試体下面にひび割れが発生してから破断に至るまではほぼ同時だったことからこの値を理論上の最大荷重と考えた. 防水シートを挿入していないケース1, ケース2の最大荷重の実験値は, 1層目と2層目の吹付けの施工間隔に左右されず, いずれも合成梁の理論値と概ね一致している. ケース2の最大荷重がケース1の最大荷重よりも3割程度大きくなっているが, この違いは供試体の引張強度の違いによるもので, 吹付けの施工間隔の違いによる最大荷重の差異は本実験では確認されなかった. 一方, 層間に防水シートを挿入したケース3の最大荷重は, 防水シートを挿入していないケース1, ケース2の最大荷重の半分程度まで低下し, 重ね梁の理論値と概ね一致する結果となった.

3. まとめ

本研究では, 覆工省略型トンネルの支保工が2層の吹付けコンクリートとなった場合を想定し, 1層目と2層目の施工間隔が層間の付着強度や支保工の曲げ耐力に及ぼす影響について実験的に検討した. その結果, 28日以内程度の施工間隔では層間の付着強度は, 1層目と2層目の吹付け間隔に左右されず, とともに曲げが作用した場合には合成梁として挙動することが分かった. ただし, 層間に付着力を有しない場合には, 曲げが作用すると重ね梁として挙動するという結果となった.

今後, 覆工省略型トンネルの実現に向けては, 実際に想定されるトンネル荷重に対する耐力の評価や湧水対策・処理方法の立案など更なる検討が必要であり, これらは今後の課題であると考えられる.

表-2 付着強度試験結果

ケース	付着強度(N/mm ²)	
1	a	0.43
	b	0.92
	c	1.44
	平均	0.93
2	a	1.71
	b	1.04
	c	1.15
	平均	1.30

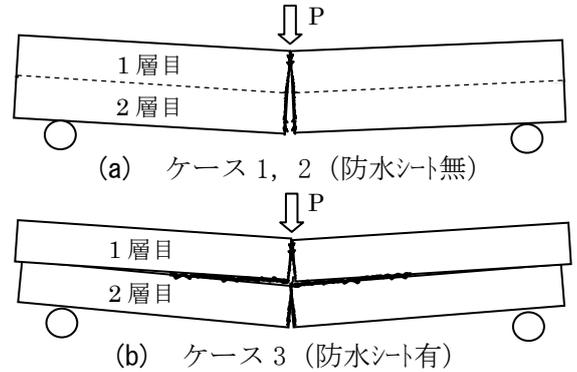


図-2 供試体の損傷概要

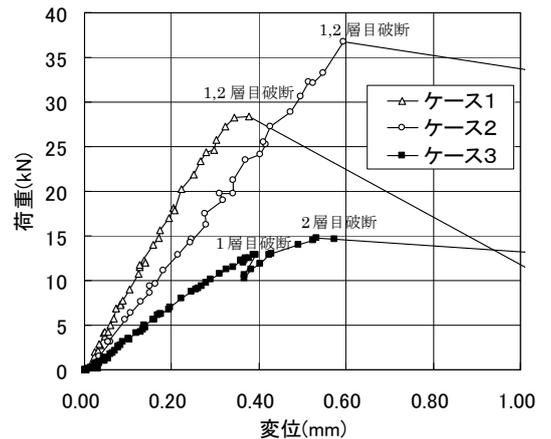


図-3 荷重-変位関係

表-3 各ケースの最大荷重

ケース	最大荷重			割裂引張強度 ^{※3} ft(N/mm ²)
	実験値 P(kN)	合成梁モデル理論値 ^{※1} P'(kN)	重ね梁モデル理論値 ^{※2} P''(kN)	
1	28.4	26.2	13.1	2.36
2	36.7	34.4	17.2	3.10
3	14.7	31.4	15.7	2.83

※1) $P' = 4 z ft / L = 0.0111 ft = 2P''$
 z : 合成梁の断面係数 $z = b(t_1 + t_2)^2 / 6 = 3.33 \times 10^{-3} (m^3)$
 L : スパン長 $L = 1.2(m)$
 t_1, t_2 : 1層目, 2層目の厚さ $t_1 = t_2 = 0.1(m)$
 b : 幅 $b = 0.5(m)$
 ※2) $P'' = 4 (z_1 + z_2) ft / L = 0.00555 ft = P' / 2$
 z_1 : 1層目の断面係数 $z_1 = b t_1^2 / 6 = 8.33 \times 10^{-4} (m^3)$
 z_2 : 2層目の断面係数 $z_2 = b t_2^2 / 6 = 8.33 \times 10^{-4} (m^3)$
 ※3) ft: 曲げ載荷日に実施した管理供試体の割裂引張試験から求めた引張強度