

キープロック落下に対する支保工の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 ○日下 敦, 真下 英人, 水川 雅之

1. はじめに

避難連絡坑や避難坑, 換気坑といった歩行者や車両の通行頻度が非常に低く断面積も小さいトンネルでは, 地山が良好であることを前提に, 覆工を打設しない, いわゆる覆工省略型トンネルを採用した事例が散見される¹⁾. 一般に, 良好な地山における吹付けコンクリートの主たる役割は不連続面に囲まれた岩塊(キープロック)の安定化であり, 耐力を支配する要因は地山と吹付けコンクリートの付着力であると考えられている²⁾. 一方, 地山の劣化等により将来的に付着力が失われる可能性があるが, それに対する力学的な安定性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, 吹付けコンクリートにキープロック落下による局所的な荷重が作用した場合を想定し, 付着力の差が支保工の耐荷力および破壊メカニズムに与える影響について知見を得ることを目的に, 要素実験を実施した.

2. 実験の概要

本研究では, 両端をロックボルトで固定された吹付けコンクリートに幅 60 cm の岩塊が落下した場合を想定し, 載荷実験を行った. 実験の概要を図-1 に示す. 本実験では比較的良好な地山で採用される標準支保パターン³⁾B を対象とし, 吹付けコンクリートを厚さ 5 cm の普通コンクリート平板で模擬した. 実験ケースを表-1 に示す. 付着力については, CI 等級の地山で測定された付着力(0.3 N/mm²程度)⁴⁾を念頭においたケース(付着力中), それよりも付着力が強いケース(付着力大), 地山の劣化等により付着力が期待できないケース(付着力小)の3パターンとした. また, 付着力大のパターンについては, 吹付けコンクリートを 10 cm に増厚したケースでも実験を行った.

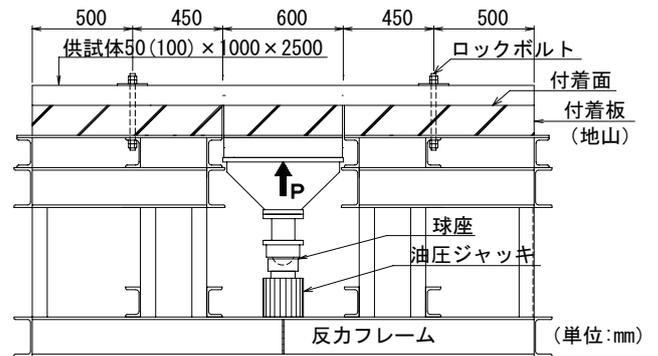


図-1 実験概要

表-1 実験ケース

ケース	付着力	付着板材料	付着強度 ^{※1)} (N/mm ²)	供試体厚 (cm)	圧縮強度 ^{※2)} (N/mm ²)
1	小	鋼板 (表面ショット プラスト処理)	<i>n. d.</i> ^{※3)}	5	18.9
2	中	普通コンクリート (付着板打設 3 日 後に供試体打設)	>0.12 ^{※4)}		21.3
3	大	普通コンクリート (付着板打設 5 時間 後に供試体打設)	0.61	10	20.7
4			0.67		

※1) 載荷終了後の供試体で健全と思われる部分をコアリング(直径103mm)し測定
 ※2) 円柱状管理供試体の一軸圧縮試験により測定
 ※3) コアリング中に供試体がはく離したため測定不能
 ※4) 付着強度測定中に供試体が破壊

なお, 付着力の管理は, 付着力大, 中のパターンについては付着板コンクリートと供試体コンクリートの打設間隔を調整することにより行い, 付着力小のパターンについては付着板に鋼板を使用することにより行った. また, 付着面の実際の付着強度は, 載荷終了後の供試体で健全だと思われる部分にコアカッターで切り込みを入れ, 供試体を引き抜くことにより測定した.

3. 実験結果と考察

載荷時の損傷形態の概念図を図-2 に, ジャッキの荷重-変位図を図-3 に示す. いずれの実験ケースにおいても, まず付着はがれが発生し, その後付着はがれの範囲がロックボルト位置まで広がり, 正曲げひび割れと負曲げひび割れの両方または一方が発生するとともに最大荷重に到達した. 本実験では付着力をパラメータとして載荷実験を行ったが, 全ケースで同様の曲げ

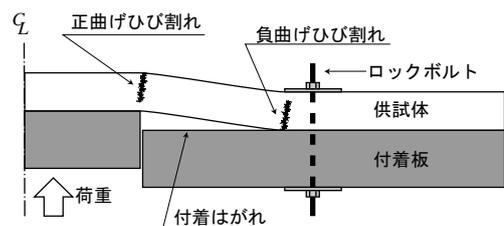


図-2 供試体の損傷概念

キーワード: 山岳トンネル, 吹付けコンクリート, 破壊モード, 覆工省略型トンネル
 連絡先: 〒305-0871 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

破壊形態を示し、付着力による破壊モードの差異は確認されなかった。

各ケースにおける最大荷重を表-2に示す。供試体厚5 cmのケースを比較すると、付着力が小さくなるにつれて最大荷重も減少しており、キープロック落下に対する耐荷力は付着力の影響が大きいことが分かる。いま、付着はがれが生じた区間のモデルを図-4のように考え、付着はがれがロックボルトまで到達している(L = 450 mm)とすると、厚さ5 cmの供試体の縁応力が引張強度(概ね 1.7 N/mm²)に達する曲げモーメントが発生するのは、初等弾性は理論によると P = 6.3 kN のときである。実験における最大荷重はいずれのケースにおいても 6.3 kN を超えており、載荷荷重を付着力で負担していることが窺える。

一方、付着力が同程度で供試体厚さの異なるケース3とケース4を比較すると、最大荷重は同程度であった。前述のはり理論と同様に供試体厚10 cmの場合のひび割れ発生荷重を算定すると P = 25 kN となる。付着力大のケースの最大荷重はいずれも 25 kN を超えており、他のケースと同様に最大荷重は付着力により決定されていると考えられる。すなわち、付着力がある程度期待できる場合に付着はがれを生じるような大きな荷重が作用すると、厚さ10 cm程度のプレーンコンクリートでは付着はがれに伴って発生するモーメントに抵抗できず、付着はがれと同時に曲げひび割れを生じ、破壊に至ると考えられる。なお、最大荷重後の挙動を比較すると、図-3に示すように供試体厚が大きい方が残存強度が大きい傾向が見られた。

4. おわりに

本研究では、覆工省略型トンネルにおける将来的な力学的安定性について、地山と吹付けコンクリートの付着力をパラメータとして、キープロック落下を想定した要素実験を行った。本実験の結果から、厚さ5 cmの吹付けコンクリートではキープロックの落下に対して、付着力の強弱に関わらず曲げ破壊モードを示すが、耐荷力は付着強度に左右されることが分かった。このことから、覆工省略型トンネルを採用する場合は、経年劣化により地山と吹付けコンクリートの付着力が低下した場合の対策を検討し、その力学的な安定性について検証する必要があると考えられる。また、付着力がある程度期待できる場合においては、吹付けコンクリートを5 cmから10 cmに増厚しても破壊モードおよび耐荷力に大きな変化が生じる可能性が低いことがわかった。ただし、吹付けコンクリートに作用している軸力や、三次元的な付着力、岩塊が落下する事による衝撃等が、破壊モードや耐荷力に対して何らかの影響を及ぼす可能性があり、今後の検討課題であると考えられる。

参考文献

- 1) JTA 支保幹事会：吹付けコンクリート・ロックボルトに関する Q&A(1)，トンネルと地下，Vol.31，No.8，pp.77-87，2000年。
- 2) 水谷敏則ほか：吹付けコンクリート薄肉覆工の支持機構に関する実験報告(1)，土木研究所資料，No. 2049，1984年。
- 3) (社)日本道路協会：道路トンネル技術基準(構造編)・同解説，丸善，2003年。
- 4) 三谷浩二ほか：崩壊事例に基づいた吹付けコンクリートの曲げ破壊検証実験，土木学会論文集，No.736/III-63，pp.249-259，2003年。

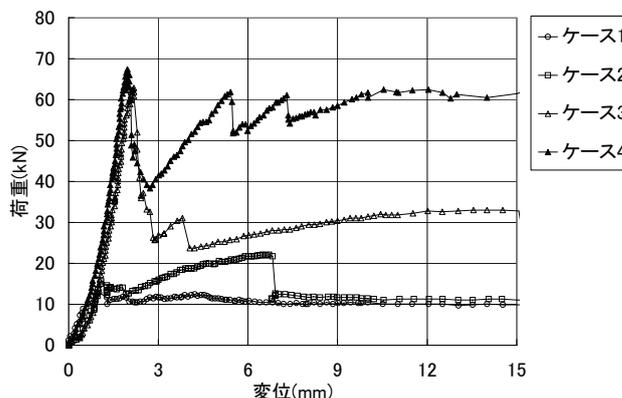


図-3 ジャッキの荷重-変位関係

表-2 各ケースの最大荷重

ケース	付着力	供試体厚(cm)	最大荷重(kN)
1	小	5	12.9
2	中		22.1
3	大	10	62.8
4			67.4

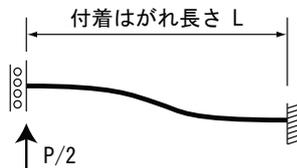


図-4 付着はがれが生じた区間のはりモデル