

損傷トンネル覆工に対する補強効果に関する実験的研究

(独)土木研究所 道路技術研究グループ(トンネル) 正会員 真下英人¹⁾, 砂金伸治¹⁾, 木谷努¹⁾, 日下敦¹⁾

1. はじめに

トンネルの効率的な維持管理を行うためには、変状が発生したトンネルに対して適切な補強工を選定し設計する手法を確立する必要がある。そこで、筆者らは、変状トンネル対策工の補強効果の把握を目的とした載荷実験を行っている。本報告では、そのうち、変状に対し内巻きコンクリートおよびH鋼による補強セントルにより補強した場合を想定した実大規模の覆工載荷実験について、その結果を報告するものである。

2. 実験概要

実験は、図-1 に示すように実大規模（外径 9.7m、厚さ 30cm、高さ 1m）の半円形覆工供試体に肩部の損傷を模擬したスリットを設け、供試体全周よりジャッキによる等方荷重を載荷するものである。これは、膨張性地山のような等方土圧が作用し、肩部にせん断破壊面が発生している状態を想定したものである。また、覆工内側には、ケース 1 では内巻きプレーンコンクリート（厚さ 12.5cm）、ケース 2 では H 鋼による補強セントル（H-150×150 c.t.c85cm）を配し補強した（図-2 参照）。

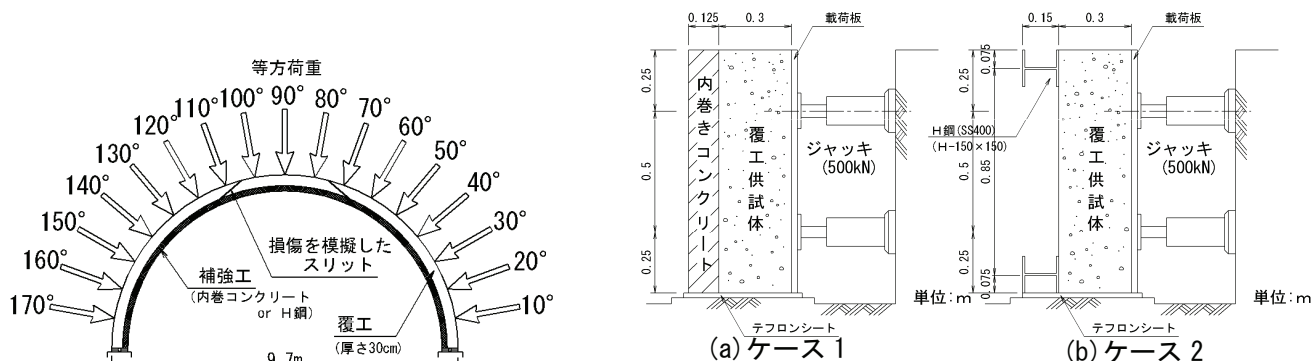


図-2 供試体断面図

表-1 に管理供試体の一軸圧縮試験から測定した実験に用いたコンクリートの物性値を示す。

また、写真-1 には供試体設置状況（ケース 2）を示す。

表-1 コンクリート物性値

実験ケース	1	1	2
使用用途	覆工	内巻き	覆工
コンクリート材齢(日)	32	15	28
弾性係数: $E(\text{kN/mm}^2)$	20.26	16.33	20.26
圧縮強度: $f_c(\text{N/mm}^2)$	25.37	19.88	22.26
ポアソン比: ν	0.15	0.15	0.175



写真-1 供試体設置状況(ケース 2)

3. 実験結果

3.1 荷重-変位関係とひび割れの進展

(1) ケース 1 について

図-3 にケース 1 の場合の荷重-変位関係を示す。これによると、最大荷重は、190kN 程度である。なお、この荷重は、ジャッキ 1 本当りの載荷面積を考慮すれば土荷重高さ 19m 程度に該当する。また、天端 90°の変位はスリットの端部にあたる 60°と 120°に比してあまり発生していないことが分かる。次に、表-2 に載荷過程での観察記録を示す。これによると、まず、天端付近の内巻きコンクリートにひび割れが発生し、その後、スリット付近の肩部で覆工および内巻

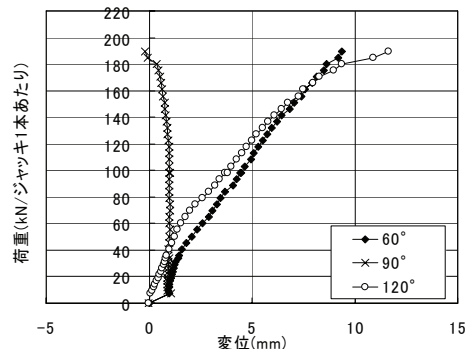


図-3 荷重-変位関係(ケース 1)

トンネル、変状対策、補強、内巻きコンクリート、補強セントル

¹⁾つくば市南原 1-6

TEL 029-879-6791 FAX 029-879-6796

きコンクリートにひび割れが発生する。そして、スリットより脚部側の 50°と 130°付近にひび割れが発生し、最終的にはスリット付近のひび割れが進展して最大荷重に達している。

(2) ケース 2 について

図-4 にケース 2 の場合の荷重-変位関係を示す。これによると、ケース 2 の場合は、やや左右非対称となっているものの、天端と肩部ではほぼ同程度の変位が発生していることが分かる。また、最大荷重は 200kN 程度であり、内巻きコンクリートの場合のケース 1 より最大荷重が若干増加

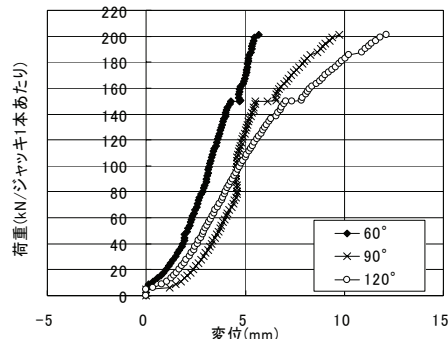


図-4 荷重-変位関係(ケース 2)

している。表-3 にケース 2 の場合のひび割れ観察結果を示す。これによると、まず天端付近でひび割れが発生し、その後、スリットより脚部側の肩部でひび割れが発生し進展する。そして、H 鋼の間で周方向（トンネル断面方向）にひび割れが発生し進展し、最終的には 0°～50° の範囲で 10° ピッチに高さ方向（トンネル軸方向）ひび割れが発生し最大荷重に達している。

3.2 最終状態と破壊形態

図-5 にケース 1 の最終状態図を示す。これによると、内巻きコンクリートと覆工の両者においてスリットの端部にひび割れが集中していることが分かる。このことから、ケース 1 の場合には、スリット部が押し抜けられ、それに対して内巻きコンクリートが抵抗できなくなってせん断破壊し最大荷重に達しているものと考えられる。

図-6 にケース 2 の最終状態図を示す。これによると表-3 と合わせて、0°～50° は内側が引張り、80°～90° は外側が引張りとなる曲げが作用し複数の断面でひび割れが発生していることが分かる。また、別途測定した覆工のひずみは圧縮破壊する程度のもではなく、目視観察の結果、曲げによるひび割れは貫通していた。このことから、複数の断面でひび割れが貫通し覆工構造全体が不安定となることで最大荷重に達したものと推測される。また、ケース 2 では、最大荷重に達する前にトンネル周方向（横断方向）のひび割れがほぼ全周にわたって発生していることが特徴的である。このことの原因は明確ではないものの、覆工が H 鋼を支点とする梁のように挙動し周方向のひび割れが発生した可能性も考えられ、その場合には、H 鋼の軸方向ピッチに対しても考慮する必要があると言える。

表-2 ひび割れ観察結果（ケース 1）

荷重(kN)	観察結果
9.6	80° 付近で内巻きコンクリートにひび割れ
55.2	58° 付近で内巻きコンクリートにひび割れ
64.8	58° 付近で覆工にスリット端部を基点とするひび割れ
74.4	122.5° 付近で覆工にスリット端部を基点とするひび割れ発生
170.4	51° 付近と 131° 付近の覆工にひび割れ発生
180.0	(安全のためひび割れ観察終了)
189.6	122.5° 付近で覆工と内巻きコンクリートの接点においてひび割れが進展、大音とともに荷重が低下する。

表-3 ひび割れ観察結果(ケース 2)

荷重(kN)	観察結果
35.3	82° 付近で覆工外側にひび割れ
65.8	50° 付近で覆工内側にひび割れ
70.7	130° 付近で覆工内側にひび割れ
80.3	50° 付近、130° 付近のひび割れが進展
99.1	50° 付近のひび割れがほぼ貫通
113.3	86° 付近で覆工外側にひび割れ発生
118.1	130° 付近のひび割れがほぼ貫通
145.3	60° 付近で H 鋼の間に周方向のひび割れ発生
150.0	内側 33°～50° の範囲で H 鋼の間のひび割れが進展
150.1	大音とともに周方向ひび割れが 0°～120° に進展
150.2	再度、大音とともに周方向のひび割れが 0°～175° に進展
201.2	大音を発生し荷重が低下する。内面 0°～50° の範囲に 10° ピッチでひび割れが発生

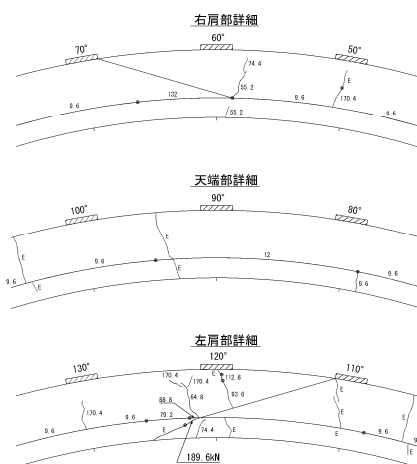


図-5 最終状態図(ケース 1)

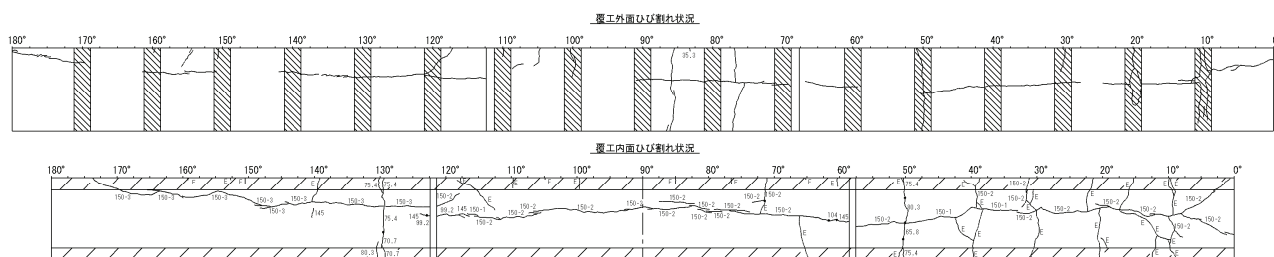


図-6 最終状態図(ケース 2)

5. まとめ

内巻きコンクリートおよび H 鋼による補強セントルにより補強した場合を想定した実大規模の覆工載荷実験を実施した。両者は、耐荷力自体に大きな違いが見られなかったが、破壊形態には大きな違いが見られた。