高速道路トンネル覆工コンクリートの性状に関する一考察

中日本高速道路（株）　東京支社 保全・サービス事業部　渡邉　太一郎
中日本ハイウェイ・エンジニアリング東京（株）　土木技術部　正会員　大窪　克己　○正会員　笹本　直之
〃　〃　正会員　平野　紘司

1. はじめに

トンネル覆工コンクリート（以下、覆工）のはく落事故を受け、はく離・はく落抑制の目的で覆工に繊維を混入する仕様となり約20年が経つ。今回は、新東名高速道路（以下、新東名）のトンネルのひび割れと繊維種別・坑内環境の違いによるひび割れ状態について報告するものである。

2. 繊維混入の目的

無筋を基本とした構造の覆工は、閉合したひび割れの進行によりはく離・はく落が発生しやすく、はく落した場合はお客様への影響が大きい。中日本高速道路（株）は将来的なコンクリート片のはく落対策を目的に、覆工に繊維（1999年に鋼繊維、2003年に非鋼繊維）を混入することを要領に制定している。

3. 繊維種別による実態

開通前初期点検（実施年2008～2011年）と開通後詳細点検（実施年2014～2017年）の結果比較を行い、繊維の有無並びに種別の違いによるひび割れ発生の違いについて、以下に述べる。対象としたトンネルは、NATMで施工され、2012年に開通した新東名の内空断面積が約150m^{2}の3車線トンネルの71本の内、詳細点検が完了し延長1,000m以上の14本で、開通時点で覆工打設から2～13年が経過している。

対象とするひび割れは、C パターン（設計覆工厚＝400mm、覆工内補強鉄筋なし）で施工されたスパンとした。次に、「ひび割れ発生率」を定義する。まず、1 スパン（1 セントル分）に延長の半分以上の天端縦断方向のひび割れがある場合は、「ひび割れ発生」にカウントする。ひび割れ発生率（%）は、「ひび割れ発生スパン÷対象スパン」とする。なお、ひび割れ幅やひび割れ密度、天端縦断方向以外のひび割れなどは考慮しない。

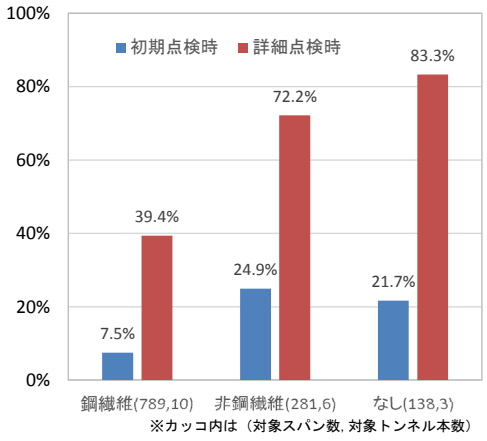


図-1　繊維種別ひび割れ発生率

図-1 に繊維種別によるひび割れ発生率を示す。繊維種別のカッコ内は、対象スパン数と対象トンネル本数を示す。トンネル本数の合計が 19 本なのは、一部のトンネルで繊維なしから鋼繊維への変更、または鋼繊維から非鋼繊維への変更による重複があるためである。

ひび割れ発生率は初期点検時に、鋼繊維が 7.5%、非鋼繊維が 24.9%、なしが 21.7%であった。詳細点検時は、鋼繊維が 39.4%、非鋼繊維が 72.2%、なしが 83.3%であった。覆工打設から数年が経過している初期点検と開通後の詳細点検を比較すると、繊維の有無や種別を問わず急増していることが確認できる。また、繊維の有無と種別によりひび割れ発生率は結果として差異があることを確認できた。

4. トンネル 3 等分によるひび割れ発生率

開通後のひび割れ発生率に変化がある原因を考察するために、**図-2** のようにトンネルの延長に対し、入口部・中間部・出口部と 3 等分し、C パターンのひび割れ発生率を比較する。3 等分の名称は、車両の進行方向を基準とするため、同名のトンネルで上下線がある場合は、同じ入口部でも隣接はしない。対象トンネルを延長 1,000m 以上としたのは、後述するが坑内環境が入口部と出口

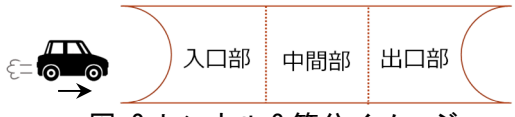


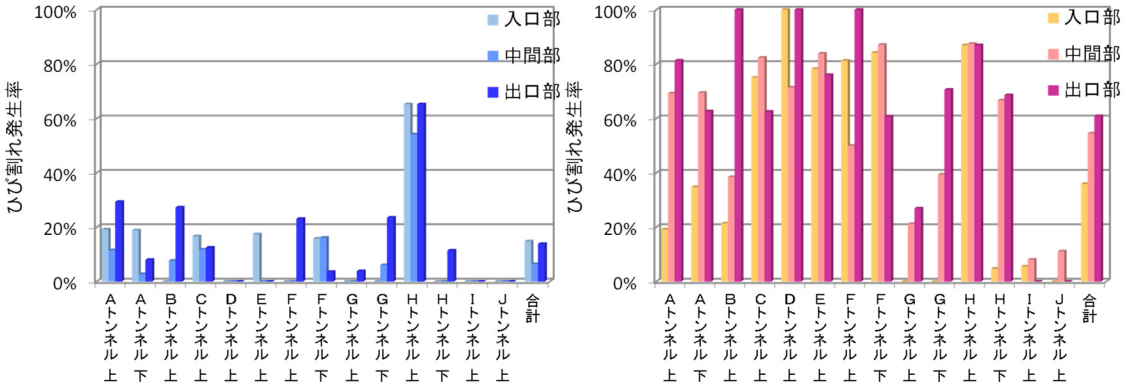
図-2 トンネル 3 等分イメージ

キーワード　：トンネル、ひび割れ、繊維補強コンクリート、湿度、乾燥収縮、維持管理
連　絡　先　：〒160-0023　東京都新宿区西新宿 1-23-7　中日本ﾊｲｳｪｲｴﾝｼﾞﾆｱﾘﾝｸﾞ東京㈱ TEL：03-5339-1721

© Japan Society of Civil Engineers

部で異なると考えられる延長であるためである。また、14 本のトンネルが、すべて静岡県内の同程度の標高にあるため、気象条件および交通量は似通っていると考え、比較が可能と考えた。

トンネル 3 等分のひび割れ発生率を**図-3** に示す。初期点検時はひび割れ発生率の合計で 8～15%と低く、特に中間部は低い傾向となっている。一方、詳細点検時は 3 等分の各部位で、42～64%と急増している。また、D トンネルのように初期点検では 0%だったものが、詳細点検では、71～100%となっているケースも見られた。



初期点検時　　詳細点検時

図-3　トンネル 3 等分のひび割れ発生率

5. ひび割れ発生率の考察

① 開通後にひび割れ発生率が急増し、かつ入口側よりも出口側の方が高い傾向にあるのは坑内環境（温度、湿度、風）の影響と考える。実際、延長 4,500m の A トンネル上り線の入口側坑口から 1,000m 地点と 4,000m 地点で 2018 年の 1 年間、温湿度を計測した。平均値は 1,000m 地点で 16℃、RH67%、4,000m 地点で 20℃、RH55%で、差は 4℃と RH12%であった。また、3,100m 地点の坑内平均風速は、6.4m/s であった。これは交通量 40 千台/日の交通換気力と車両の排熱が原因であり、道路トンネル特有であるといえる。

コンクリート標準示方書 [1]にもあるとおり、コンクリートの収縮ひずみは、相対湿度が低いほど大きくなり、収束するまで数十年かかる。また、風があることでコンクリート中の相対湿度が低下する報告 [2]があるように、一般的な屋外と比べて乾燥収縮を促す環境が道路トンネルにあることが分かる。

② 初期点検時にひび割れ発生率が低いのは、結露の影響があると考えている。結露は、工事関係者への聴取により、少なくとも開通までの数年は**写真-1** のように、6 月～9 月上旬（トンネルにより 5～10 月）にトンネル内で昼夜間を問わず発生していたことが確認できた。施工中のトンネル内は、年平均で坑内湿度は 60～70%との報告 [3]もある。一方、今回の対象トンネルは結露による覆工表面の湿潤状態の持続により、ひび割れ発生しにくい環境であったと考える。また、その期間の坑内の風はほぼ自然換気力のみである。

6. 一考察

対象とした新東名のトンネルは、覆工完成から開通までひび割れ発生しにくい環境であった可能性が高く、開通後の車両交通による坑内環境の変化がひび割れの発生に拍車をかけていることがデータにより確認できた。

実トンネルでは、ひび割れ発生位置や形状は多岐に及ぶ。天端の縦断方向を含む、これら外力以外が原因となるひび割れは、コンクリート材料や施工方法、覆工の形状など複数の条件が重なって発生すると考えられる。

繊維の混入については、はく落の可能性は少なくなるが、定期的な点検による診断と必要に応じて適切な処置が必要であると考える。

写真-1　覆工表面の結露

【参考文献】1)土木学会：2017 年制定　コンクリート標準示方書[設計編：標準]1 編　部材の構造解析　解 2.2.2
2)中村ら：コンクリート中の湿気移動解析に関する研究　土木学会第 59 回年次講演会（平成 16 年 9 月）
3)馬場ら：施工中のトンネル坑内環境と覆工コンクリートの湿度変化に関する研究　土木学会論文集 No.742 vl-60,27-35,2003.9

© Japan Society of Civil Engineers