

トンネル監視員通路の塩害劣化の現状と評価

西日本高速道路エンジニアリング中国(株) 正会員 ○山内 健利, 正会員 大田 一成
西日本高速道路(株) 瀬戸口 雄二, 神木 克典

1. 背景と目的

中国地方の高速道路は建設後 10 年から 40 年経過し、コンクリート構造物は冬季の凍結防止剤散布による塩害が顕著であり、これらに対して様々な調査、試験及び評価・解析が行われ、塩害劣化の現状、原因及び対策工に関わる知見が蓄積されつつある。しかし、トンネル内コンクリート構造物についての劣化・損傷データ等の報告・知見は少ないのが現状である。このような背景から、本報告では平成 22 年度及び平成 29 年度に実施された中国地方のトンネル監視員通路（管理通路）縦壁の詳細調査結果を報告するものである。

2. 監視員通路の構造

監視員通路の標準的な構造を図-1 に示す。監視員通路は、鉄筋コンクリート製の縦壁内部に通信管や水道管が設置され中詰め砂により充填されている。この縦壁は、車道部を走行する車両の水しぶきやトンネル側壁からの漏水により劣化・損傷が進行するものと考えられる。なお、縦壁の補修工事を考えた場合、工費や工期面より縦壁内部の管路や砂の移設撤去を伴わない施工方法の検討が必要である。

3. 塩害劣化の現状

監視員通路縦壁の詳細調査は、中国地方の高速道路 3 路線、12 トンネルで外観変状調査、はつり調査、中性化試験、コンクリート粉採取（塩化物イオン濃度試験 57 箇所、229 試料）を実施した。なお、調査対象の縦壁は、建設後約 40 年経過した初期型（表面保護材なし）と建設後 20 年～30 年経過した中期型（表面保護材あり：タイル貼付）とに区分している。これらの変状の主要因は凍結防止剤による塩害と考えられるが、この凍結防止剤は中国地方の高速道路全体で過去 10 年間平均（平成 6 年～平成 15 年）17300t/年が散布されており、山間部に限定すると単位面積当たりの散布量は平均 $2.0\text{kg}/\text{m}^2$ 、最大で $2.6\text{kg}/\text{m}^2$ である。¹⁾ ここで、縦壁の外観変状を写真-1、写真-2 に示す。初期型縦壁の劣化状況は、内部鉄筋が激しく腐食（断面欠損あり）し、かぶりコンクリートの浮き、剥離が顕著であり、この変状はほぼトンネル全長にわたり確認されている。また、中期型縦壁の劣化状況は、初期型と異なり表面保護材の有無（脱落）により、劣化の顕著な区間と健全区間とに大別される。これらの相違は、表面保護材の有無による影響が大きく、内装改良や明度確保が主目的で施工されているものの、結果的に縦壁の保護に一定の役割を果たしていると考えられる。

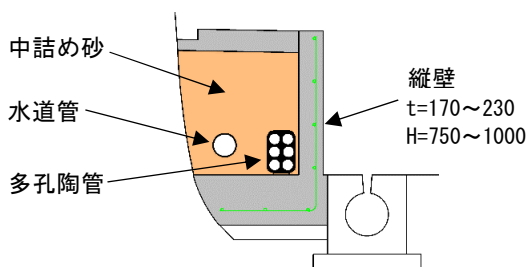


図-1 監視員通路の構造



写真-1 初期型の劣化状況



写真-2 中期型の劣化状況

4. 塩化物イオン濃度の分布と評価

4.1 初期型の塩化物イオン濃度の分布

縦壁より採取したコンクリート粉（15 箇所、69 試料）の塩化物イオン濃度試験結果を、図-2 に示す。試験結果は、ばらつきが多いものの概ね深度が深くなるとともに減少する傾向がある。表面から 10mm 位置の濃度が低いのは中性化による塩化物濃縮（中性化領域が 10mm～20mm）と表面水（漏水、車両の水しぶき等）

キーワード 監視員通路, 縦壁, 凍結防止剤, 塩害劣化, 塩化物イオン濃度

連絡先 〒733-0037 広島市西区西観音町 2-1 西日本高速道路エンジニアリング中国(株) TEL082-532-1433

に洗われたためと考えられる。このことより、塩化物は外部より浸入したこと、鉄筋位置（表面から 50mm）で $4.0\text{kg/m}^3 \sim 10.0\text{kg/m}^3$ の高濃度であること、壁厚中央 90mm においても腐食発生限界値 1.2kg/m^3 を超えていると言える。ここで、表面塩化物イオン濃度をフィック拡散方程式の一般解 式 (1) より推定した結果を 表-1 に示す。

フィックの拡散方程式の一般解

$$C(x,t) = C_0[1 - \text{erf}(x/(2 \cdot \sqrt{Dc \cdot t}))] + C_i \quad \text{式 (1)}$$

凍結防止剤の場合、散布期間が冬季に限定されているため差分法による塩分浸透解析が必要であるが朝倉らの報告²⁾によれば、実構造物の凍結防止剤の影響を一般解と差分法にて予測する場合、大きな相違はないとしている。

4.2 表面塩化物イオン濃度と距離別の評価

表面塩化物イオン濃度と坑口からの距離の関係を、図-3 に示す。濃度分布は、はらつきが大きく相関関係が低いものの近似直線は坑口からの中央に向かってやや上向きの傾向があり、少なくとも坑口付近が多く、内部にいくに従って減少する傾向はなかった。トンネル側壁への凍結防止剤付着量は、(財)高速道路技術センター報告²⁾によると坑口から中央に向かって増加し、散布されない夏季にも微量ではあるが付着するとしている。

4.3 中期型の塩化物イオン濃度の分布

縦壁より採取したコンクリート粉（42 箇所、160 試料）の塩化物イオン濃度試験結果（表面より 10mm）は、初期型と異なり劣化部 $0.77\text{kg/m}^3 \sim 12.90\text{kg/m}^3$ （平均 6.70kg/m^3 ）、健全部 $0.27\text{kg/m}^3 \sim 4.18\text{kg/m}^3$ （平均 1.13kg/m^3 ）で表面保護材の脱落の有無により濃度の顕著な差が確認できた。また、距離別の評価についてはトンネル延長が 2000m 程度まではほぼ全長にわたり劣化傾向を示すが 4000m 超では坑口から 1000m 付近に劣化部が集中していた。なお、塩化物イオンの浸透解析は表面保護材の設置期間等不確定要素が多いため困難であり今後の検討課題となった。

5. まとめ

今回の調査・解析結果でトンネル内コンクリート構造物が極めて厳しい塩害環境下にあることが分かった。初期型の表面塩化物イオン濃度は、 $6.00\text{kg/m}^3 \sim 17.00\text{kg/m}^3$ と高濃度で、凍結防止剤の車両による引き込み現象と考えられるが、坑口からの距離による濃度差は少ない結果となった。中期型は表面保護材の脱落の有無が濃度差の大きな要因と考えられたが、トンネル延長が 2000m を超えると劣化部範囲が中央まで影響しないものと考えられた。なお、初期型の監視員通路は、現在までに 5 トンネルにおいて縦壁厚 230mm の内 150mm を切断・撤去し打ち換える補修工事が進められている。今後は、調査結果を踏まえ中期型の補修対策について検討する予定である。

参考文献

- 1) 日本道路公団中国支社：「中国支社管内平成 15 年度雪氷対策報告書作成業務 雪氷報告書」
- 2) 朝倉啓二, 林田宏, 田口史雄, 嶋田久俊：「凍結防止剤の散布期間を考慮したコンクリート部材の塩分浸透解析手法」平成 18 年度 土木学会北海道支部論文報告集 第 63 号
- 3) 財団法人高速道路技術センター：「平成 6 年度敦賀地区トンネルリフレッシュ計画検討 報告書」

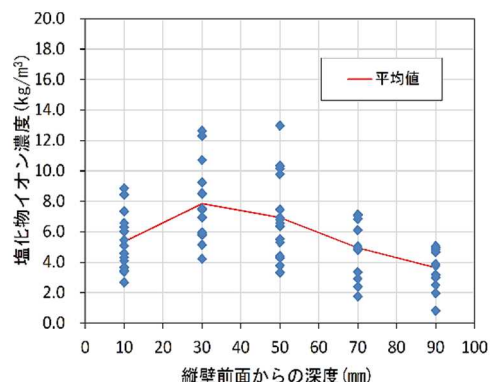


図-2 塩化物濃度分布(初期-深度別)

表-1 表面塩化物濃度の推定結果

試料 NO.	坑口からの距離 (m)	表面塩化物イオン濃度 $C_0(\text{kg/m}^3)$	見掛けの拡散係数 $Dc(\text{cm}^2/\text{年})$	初期塩化物イオン濃度 $C_i(\text{kg/m}^3)$
1	150	8.00	1.10	0.20
2	850	12.30	0.95	0.30
3	2100	9.30	1.30	0.30
4	120	11.05	1.10	0.50
5	940	11.50	1.00	0.60
6	1160	9.50	0.90	0.40
7	140	6.00	0.85	0.60
8	720	7.90	0.55	0.40
9	1050	12.00	1.50	0.70
10	70	11.00	1.50	0.80
11	420	16.00	1.30	0.30
12	740	7.40	1.50	0.30
13	10	8.00	0.90	0.60
14	560	17.00	0.90	0.60
15	890	15.00	1.30	0.60
平均		10.80	1.11	0.48

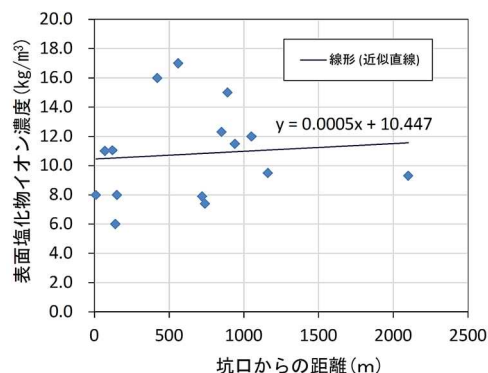


図-3 塩化物濃度分布(初期-距離別)