

経年の長いトンネル覆工コンクリートの表層劣化に関する検討

鉄道総合技術研究所 正会員 ○上田 洋
東日本旅客鉄道 正会員 松田芳範

1. はじめに

経年の長い鉄道トンネルでは、覆工コンクリートの表層が劣化により軟化を生じる例がしばしば見られる。筆者らは、その原因として、古くから知られている蒸気機関車の煤煙に起因した酸による影響の他に、セメント代用品と呼ばれるものが混和されたことに起因する劣化があることを明らかにした¹⁾。しかし、セメント代用品の使用を判別する手法は確立されていない。そこで、セメント代用品を混和したコンクリートの特徴を明らかにするとともに、セメント代用品の混和を判別する手法について検討した。

2. セメント代用品の特徴

セメント代用品²⁾とは厳密な名称ではないが、ここでは「潜在水硬性を有し、セメントの節約によるコスト低減を主目的として添加される混和材」と定義した。火山灰や珪藻土等がその代表的な材料で、主に大正期から昭和初期にかけてセメントにしばしば混和されており、セメントの置換率が50%以上に達することもあったと推定される。セメント代用品を多く混和したコンクリートでは、その表層が軟化を生じる(写真1参照)。珪藻土および火山灰を混和したコンクリート試験体(W/C=0.65, C:S:G=1:2:4(質量比))を作製して23ヵ月間屋外に暴露したところ、図1に示すように置換率が高いほど中性化の進行が速くなった。圧縮強度に及ぼす影響は、置換率が30%では小さいが置換率が50%以上になると強度低下を生じ、中性化によっても圧縮強度が低下することを報告している³⁾。セメント代用品を混和したコンクリートの劣化は、中性化に伴うコンクリートの軟化として顕在化する。現地調査では、大正期から昭和初期に建設されたトンネルで表層コンクリートが軟化し、かつ酸や硫酸塩による劣化⁴⁾ではないと判断された時に、セメント代用品の混和に起因した劣化の可能性があると考えるのが適切である。この劣化は、時間の経過とともにコンクリートの軟化が進行していくので、対策方法はその特徴を踏まえて選定する必要がある。

3. 判別方法の検討

本研究では、セメント代用品が50%程度以上混和され劣化への影響が大きいと考えられるコンクリートを判別する方法について検討し、図2に示す2段階で行うことを提案した。なお、セメント代用品はポズラン反応を生じるが、多量混和されたコンクリートでは未反応物質が多く残っていると考えた。

酸処理試験は、セメント代用品が酸に難溶である性質を利用したものである。骨材をなるべく除いて粉碎した試料をふるい分けして75~300 μ m粒群を抽出した試料(乾燥試料)を精秤



写真1 表層コンクリートの軟化

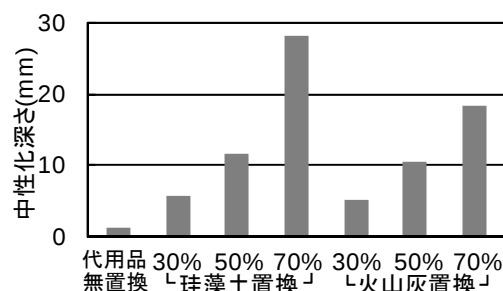


図1 23ヵ月間屋外暴露後の中性化深さ

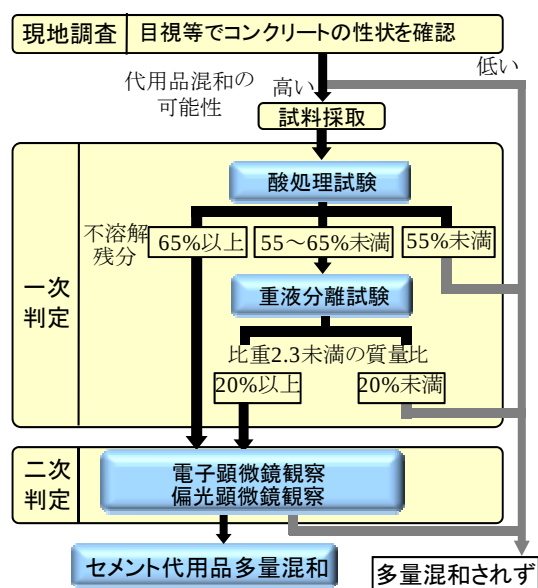


図2 判別試験の手順

キーワード コンクリート, トンネル, 劣化, 化学的侵食, セメント代用品

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (財)鉄道総合技術研究所 材料技術研究部(コンクリート材料) TEL042-573-7338

したのち 0.2mol/dm^3 の塩酸に懸濁し、吸引ろ過後の残渣を乾燥後に精秤して、酸不溶解残分 $(=(\text{残渣中の試料質量})/(\text{試験開始時の試料質量}) \times 100(\%))$ を求めた。測定結果を図 3 に示す。セメントペーストが全て酸に溶解するのに対し、珪藻土や火山灰の酸不溶解残分は多い。セメント代用品を用いた試験体では、置換率が高いほど酸不溶解残分が多くなる。測定値は粉碎試料への骨材混入率に影響されるが、一般的なコンクリートでは、高強度コンクリートを除きその値は多い時で 60～65%程度であったことから、酸不溶解残分が 65%を超える試料では、セメント代用品が混和されている可能性が高い。この試験は一次判定であることから、判定漏れを避けるため下限を 55%とし、55%と 65%の 2 段階で判定することとした。

重液分離試験は、セメント代用品の密度が軽い性質を利用したものである。重液には 1,1,2,2-テトラブロモエタンとアセトンの混合溶液を用い、比重を 2.3 とした。測定は、酸不溶解残分として得られた乾燥試料を精秤後に重液とともに分液ロートに入れて攪拌した後、沈殿物質を含む溶液と上澄みに浮遊した物質を含む溶液とをそれぞれ採取して吸引ろ過し、残渣を 110°C で乾燥した後にそれぞれ精秤して、上澄みに浮遊した物質の比率を求めた。測定結果を表 1 に示す。珪藻土と細骨材を等量混合した試料では、理論値の 50%に対し測定結果は 51%となり、理論値に近い値が得られた。珪藻土を混合したコンクリートでは、上澄み液に浮遊した物質の比が高い。ここでは、判定漏れを避けるため比重 2.3 未満の物質の質量比が 20%以上の時に二次判定を行うこととした。

二次判定では、重液分離試験で上澄みに浮遊した物質を電子顕微鏡にて観察するとともに、偏光顕微鏡観察を行い、セメントマトリックス中にセメント代用品とみられる物質の存在を調べることにした(図 4 参照)。

4. まとめ

トンネル覆工コンクリートの表層が軟化する原因の一つである、コンクリートへのセメント代用品の混和を判別する手法について検討した結果を以下にまとめる。

- (1)大正期から昭和初期に建設されたトンネルで表層コンクリートが軟化し、かつ酸や硫酸塩による劣化ではないと判断された時には、コンクリートへのセメント代用品の混和に起因した劣化の可能性がある。
- (2)セメント代用品の混和を判別する手法として、2 段階の判定により行うことを提案した。一次判定には、採取試料の酸処理試験および必要に応じて重液分離試験を行い、二次判定には電子顕微鏡観察と偏光顕微鏡観察を行う手法が有効である。

今後は、本研究をもとにして経年の長いコンクリート構造物の適切な維持管理に繋がたいと考える。

参考文献

- 1)上田洋, 西尾壮平, 松田芳範: セメント代用品を使用した覆工コンクリートの劣化に関する研究, トンネル工学論文集, Vol.15, pp.99-105, 2005
- 2)長屋修吉: セメントの代用品に就て, 業務研究資料, 鉄道院総裁官房研究所, Vol.5, No.6, pp.1235-1248, 1917
- 3)西尾壮平, 上田洋, 佐々木孝彦, 松田芳範: セメントの代用品として珪藻土を混合したコンクリートの性状, 第 59 回セメント技術大会講演要旨, pp.250-251, 2005
- 4)上田洋, 松田芳範, 西尾壮平, 佐々木孝彦: トンネル覆工コンクリートの劣化について, コンクリート工学年次論文集, Vol.26, No.1, pp.759-764, 2004

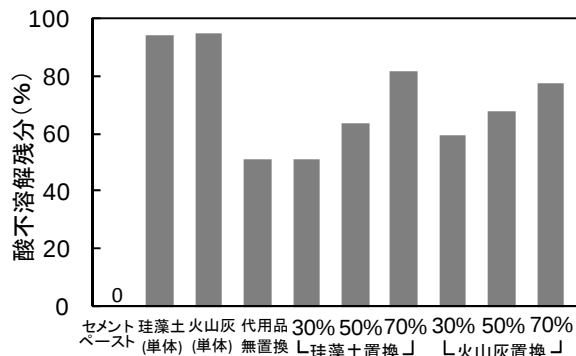


図 3 試験体の酸不溶解残分

表 1 重液分離試験結果

配合名	上澄み液に浮遊した物質の質量比 (%)
珪藻土+細骨材(等量混合)	51.0
代用品無置換	0.9
珪藻土(50%置換)	35.2
珪藻土(70%置換)	38.9

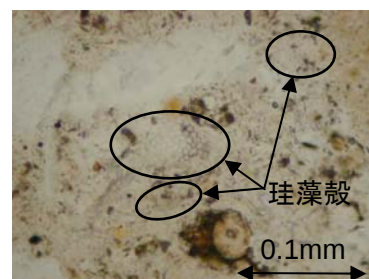


図 4 珪藻土混合コンクリートの偏光顕微鏡による観察例