

自然的要因による重金属含有ズリに対する不溶化剤配合試験計画と試験結果

戸田建設(株) 正会員 ○横山 洋司
戸田建設(株) 非会員 野村 拓史

1. はじめに

本報文では、道央注水工馬追トンネル建設工事で発生した自然的要因による重金属含有ズリに対して実施した不溶化剤配合試験の計画と結果を報告する。馬追トンネルの地質は下流坑口より順に新第三紀馬追山層（凝灰角礫岩・凝灰岩・砂岩互層）と新第三紀川端層（砂岩）、第四紀洪積層（砂礫・粘性土）で構成されている（図-1）。調査・設計段階の調査ボーリングにより、馬追山層と川端層で砒素の土壌溶出量が指定基準値を超過（最大 0.044[mg/L]）していることが確認されている。

通常、不溶化处理計画において、不溶化剤添加量は調査段階での最大溶出量を基準とし、設定されることが一般的である。しかし、トンネル縦断方向において地山の重金属含有量は一律でないため、掘削区間毎に含有量に応じた添加量を設定して合理性・経済性を追求する計画とした。

先進ボーリングコアにて重金属判定（10m毎に5点法）を行い、10m区間毎の地山・砒素溶出量に応じた最適な添加量を設定し、不溶化混合処理を行う計画である。ここでは、掘削初期に現れる馬追山層について、不溶化剤添加量に対する砒素溶出量範囲を室内試験により求め、現場実証試験によって不溶化効果を確認した結果を以下に示す。

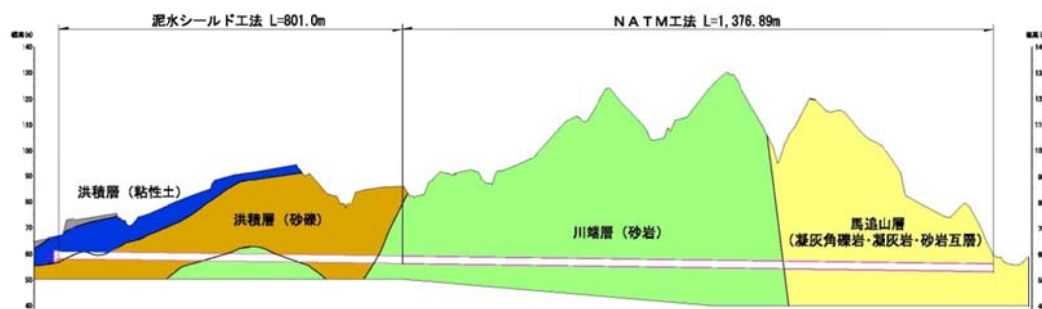


図-1：トンネル地質縦断図

2. 室内配合試験

馬追山層で基準値を超過したトンネルズリをサンプリングし、以下の2通りの手法で室内配合試験を実施した。①不溶化剤添加量と溶出量の関係から配合量算出、②繰り返し溶出試験¹⁾により得られる全溶出量（試料 1kg 当りの指定基準値を超過した溶出量累計）から配合量算出。

【トンネルズリ、不溶化剤の諸数値】

- ・砒素溶出量：0.017[mg/L]
- ・単位体積重量（乾燥）：1500[kg/m³]
- ・使用薬剤：カルシウム系不溶化剤（RE-II）
- ・使用薬剤の不溶化能力（全溶出量に対し必要な不溶化剤量）：100[mg/kg]

①不溶化剤添加量-溶出量試験

サンプルに対し、不溶化剤添加量（乾燥重量比）を 15、22.5、30 [kg/m³]とした時、砒素溶出量 0.017[mg/L]のズリを指定基準値以下にするために必要な配合量は図-2 より 15.3[kg/m³] となる。

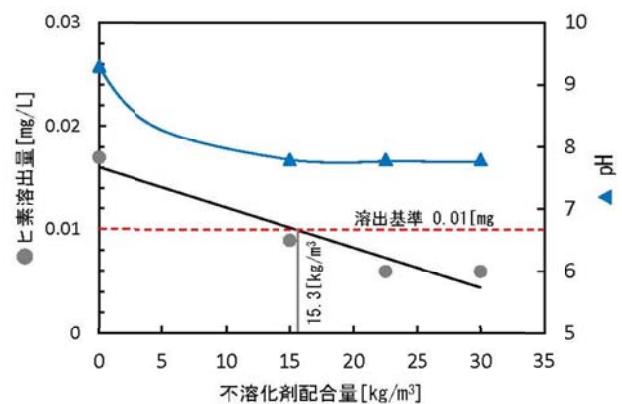


図-2：不溶化剤添加量-溶出量曲線

キーワード トンネル，自然的要因による重金属含有ズリ，不溶化处理

連絡先 〒060-8535 北海道札幌市中央区北3条東2丁目2番地 戸田建設(株)札幌支店 TEL 011-231-9600

②繰り返し溶出量試験

繰り返し溶出量試験から溶出量累計値は 1.18[mg/kg]となる。溶出量累計値は溶出濃度に地山固有の係数（以降固有値[L/kg]とする）を乗じた数値になると考えたものが式-(1)である。

$$\text{砒素溶出量累計値 } 1.18[\text{mg/kg}] = \text{砒素溶出量 } 0.017[\text{mg/L}] \times \text{固有値 } 69.4 [\text{L/kg}] \cdots \text{式-(1)}$$

そして、砒素溶出量 0.017[mg/L]のズリ 1.0[m³]を指定基準値以下にするために必要な配合量は $1.18[\text{mg/kg}] \times 1500[\text{kg/m}^3] / 100[\text{mg/kg}] = 17.7[\text{kg/m}^3]$ である。

③不溶化剤配合量-溶出量許容範囲の算出

表-1 配合量-溶出量許容範囲

配合量[kg/m ³]	適用溶出量範囲[mg/L]
30	0.011~0.023
40	0.024~0.030
50	0.031~0.038
60	0.039~0.046

①、②で個別に求めた配合量がほぼ同じ値になっていることから、算出値の妥当性が確認され、ここでは安全側である②の値（17.7g[kg/m³]）を採用した。次に、不溶化剤配合量毎の適用溶出量範囲を求める。また、現場施工条件により以下の最低添加量及び安全率を設定する。

- ・混合機（自走式土質改良機）の攪拌性能から最低配合量：30[kg/m³]
- ・セメント固化材安定処理の（現場/室内）比²⁾を準用し現場混合での安全率：1.25

以上から式-(2)を用いて配合量 30~60[kg/m³]の砒素溶出量許容範囲を求めた（表-1）

$$\text{配合量}[\text{kg/m}^3] = \text{砒素溶出量}[\text{mg/L}] \times \text{固有値}[\text{L/kg}]$$

$$\times (\text{単位体積重量}[\text{kg/m}^3] / \text{不溶化能力}[\text{mg/kg}]) \times \text{安全率} \cdots \text{式-(2)}$$

3. 不溶化効果の検証

現場実機試験により、混合機械の攪拌性能及び不溶化効果の検証を行った。

①混合機キャリブレーション

不溶化剤の添加量及び発生土の供給量について、混合機表示値との事前キャリブレーションを実施。

②不溶化混合処理（写真-1）

トンネルズリは掘削工法が機械掘削であるため、砂礫状となる。混合機への投入はバックホウを使用。（発生土の砒素溶出量 0.017[mg/L]、設計配合量 30 [kg/m³]



写真-1：不溶化混合処理（自走式土質改良機）

③攪拌性能確認試験

混合機により不溶化剤が適切に混合されていることを確認する。不溶化剤（RE-II型）の配合量と電気伝導率は比例関係にあるため、電気伝導率測定から配合量を推定する。

測定結果は以下となる。

- ・トンネルズリ：0.216[mS/cm]
- ・不溶化混合ズリ：1.063[mS/cm]

図-3 より不溶化剤の混合量は 29.8[kg/m³] となり、最低添加率 30kg/m³ での混合機攪拌性能は十分であることが確認できた。

④不溶化確認試験

不溶化混合ズリについて確認試験を行った結果、砒素溶出量 0.002~0.004[mg/L]となり、計画配合量に対する不溶化効果が検証された。

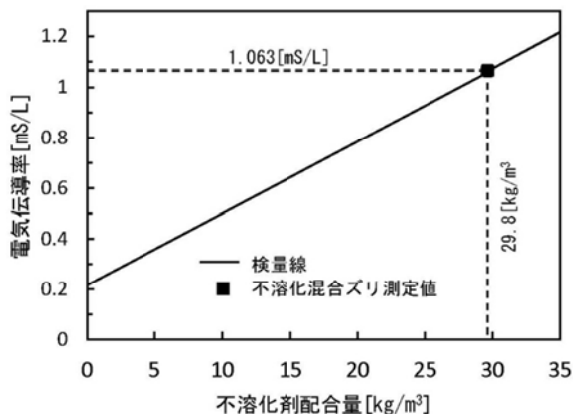


図-3：配合量と電気伝導率との関係

参考文献

- 1) （独）土木研究所他：建設工事における自然由来の重金属汚染対応マニュアル（暫定版）,2007
- 2) （社）セメント協会：セメント系固化材による地盤改良マニュアル第3版