

窯業廃材を用いた水中不分離性気泡モルタルによる亜炭廃坑の充填

(株)フジタ 正会員 角 広幸, 岡野 幹雄, 時任 正人  
国土交通省中部地方整備局多治見工事事務所

1. はじめに

東海環状自動車道は名古屋市の周辺圏に位置する愛知・岐阜・三重3県の諸都市を環状に連絡し、名古屋圏の国幹道や自動車専用道路等と広域的なネットワークを形成する高規格幹線道路として計画され、2005年開通に向けて建設中の道路である。このうち岐阜県内の可児・御嵩区間には、昭和10年～30年代にかけて亜炭採掘が行われたため数キロメートルにわたって地下空洞が存在し、対策工として充填工事が検討された。厚さ0.5～3mの空洞が広域的に分布し、かつ水で満たされているため、計画路線範囲の限定的な注入、水環境への配慮、出来形管理、長距離圧送といった技術的課題がある。本稿では、これらの要求に対応できる方法の一つとして提案された水中不分離性気泡モルタル充填工法に関して有用性を検証するための試験を行ったので、得られた知見について報告する。

2. 工法概要

図1に工法概要を示す。空洞の細かな凹凸を隙間なく充填するには流動性のある材料が要求されるが、空洞が広く、傾斜しているため、端部を塞がなければ充填材が流れてしまい膨大なロスが発生し、道路の下だけを限定的に充填することはできない。流動性に優れ、かつ周囲に流れ出さないという相反する物性を可能にするため、気泡モルタルの気泡量を調整して単位容積重量を水と同じ1.0tf/m<sup>3</sup>に設定する。これにより重力と浮力がキャンセルされ、自重による流動は生じなくなる。この気泡モルタル(端部充填材)により端部を閉鎖した後、内部を流動性のある中詰充填材にて施工する。工法の特徴を列挙すれば、

- 1) 水中の単位容積重量を1.0tf/m<sup>3</sup>に調節した端部充填材と流動性のある中詰充填材の2配合を使用することで材料ロスを抑え、確実に空洞を充填する。
- 2) 水中での材料分離と水質汚濁を防止するために、水中不分離性混和剤を添加して品質を確保する。
- 3) 骨材としてこの地方の窯業関連の産業廃棄物である粘土キラ、砂キラを使用する。(前者は山砂利、後者は珪砂製造過程に発生する脱水ケーキ)

3. 充填材の特性

3.1. 充填材の配合

表1に端部充填材及び中詰充填材の基本配合を示す。ともに配合強度は0.4N/mm<sup>2</sup>、セメント量を増すことのみで2N/mm<sup>2</sup>程度まで対応可能である。図2は端部充填材中の各材料の体積割合を示しており、32%の気泡を混入して単位容積重量を1.05としたものを基本配合としている。充填材のフローは、実施工の長距離圧送、大量充填をふまえて端部充填材：150mm、中詰充填材：200mmとした。また、骨材としてキラを使用しているが、密度は2.65～2.68程度、含水比は30～35%程度である。平均粒径は、粘土キラ7.1μ、砂キラで17.1μと極めて細かい。シリカ分が多いとされているため、JISA5308に準じたアルカリシリカ反応性試験を実施して無害であることを確認した。

表1 充填材の基本配合

配合名称	含水比 %	水セメント比 %	セメント kg	水 kg	キラ kg	空気量 %	単位容積重量 t/m <sup>3</sup>	配合強度 N/mm <sup>2</sup>	JHフロー mm
端部充填材	80	274	170	467	413	32	1.05	0.4	150
中詰充填材	100	490	150	734	584	0	1.47	0.4	200

普通ポルトランドセメント、瀬戸産粘土キラ・砂キラ、セルロースエーテル系水中不分離性混和剤、アルキルエーテル系起泡剤

キーワード：気泡モルタル，水中不分離性混和剤，産業廃棄物，単位容積重量，超音波ソナー

〒243-0125 神奈川県厚木市小野 2025-1, TEL：046-250-7095, FAX：046-250-7139, E-Mail：sumi@fujita.co.jp

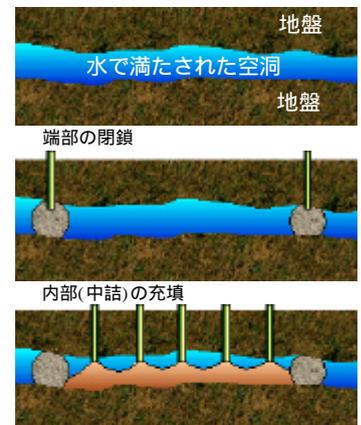


図1 工法概要図

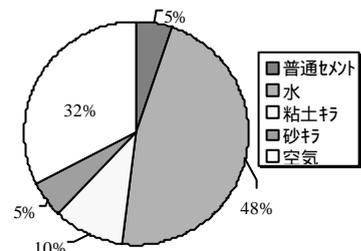


図2 体積比(端部充填材)

3.2. 端部充填材の流動特性

図3は2×8.5×0.15mの大型二次元水槽を用いた充填実験より得られた充填材の法面勾配と単位容積重量の関係を示しており、流動状況には単位容積重量の影響が大きいことが分かる。写真1に示すように単位容積重量を1.05 tf/m<sup>3</sup>に設定した場合の法面勾配は55度となり効果的に端部閉鎖が可能で材料ロスが極めて少ないといえる。

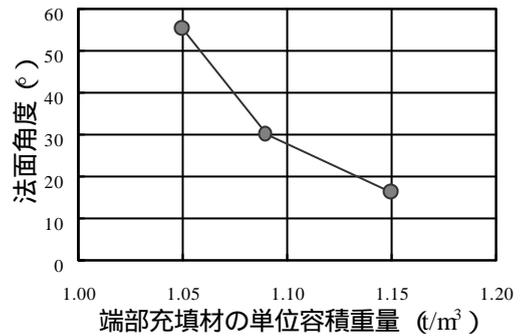


図3 勾配と単位容積重量の関係

3.3. 水圧に伴う端部充填材の単位容積重量の変化

気泡は圧縮性を有するため水圧を受けると縮み、充填材の単位容積重量が大きくなる。図4に圧力容器を用いて行った実験より得られた単位容積重量と圧力との関係を示す。試料は圧力0.3N/mm<sup>2</sup>を受けた状態で単位容積重量1.05tf/m<sup>3</sup>を目標とした。実験値はJISA1116重量法及びボイルの法則を組合わせて計算した値とよく一致しており、水圧に応じて気泡を割増して混入すれば良いことを確認した。



写真1 大型二次元水槽による流動実験

4. 試験施工

東海環状自動車道本線が計画されている約2600m<sup>2</sup>(66×40m)の区域を利用して試験施工を行った。図5は超音波ソナー(空洞探査器)の計測結果より作成した施工区域の空洞推定平面図である。濃い灰色で塗られた領域は残柱を表している。地表面から13m前後に空洞が存在し、平均空洞厚は0.95m(最大2.15m)であった。施工境界内側に沿って端部を施工後、中詰充填を行った。図中の薄い灰色は端部充填による完全充填範囲をハッチングは流動範囲を表す。施工機器としてモノポンプ、気泡製造装置等を使用した。水圧下における端部充填材の単位容積重量の管理値は1.0~1.2 tf/m<sup>3</sup>とし、圧送中のモルタルに気泡を合流させ流量管理により調節を行った。充填完了までに要したボリュームは3103m<sup>3</sup>であった(端部:2316m<sup>3</sup>,中詰:787m<sup>3</sup>)。充填確認のボーリング結果は良好であり、施工区域をほぼ完全に充填できた。施工後材齢1年のコアの強度は、28日強度0.4N/mm<sup>2</sup>から40~50%増しており充填材の耐久性も問題ないことを確認した。

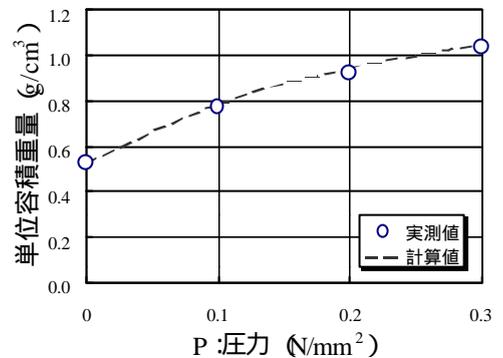


図4 単位容積重量と圧力との関係

図6にコア採取した端部充填材の深度と単位容積重量の関係を示す。深度によって単位容積重量にばらつきがあるが、モルタルと気泡流量の管理精度の影響が大きいと予想され、互いの流量をフィードバックするシステムを構築することで安定した管理が行えるものと考えている。なお、確認ボーリングより採取したコアの単位容積重量の平均値は1.14 tf/m<sup>3</sup>であった。図4を参考にすれば充填材の勾配は20°前後となるが、超音波ソナーを用いた端部充填材の勾配測定結果も同様であった。

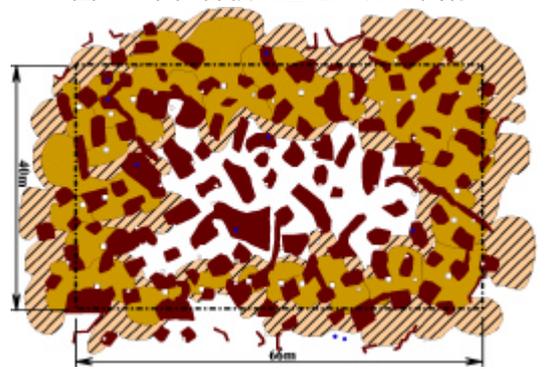


図5 充填範囲の空洞平面図

5. まとめ

本報では面的に広く分布する水で満たされた空洞の充填を限定範囲に行うために、水と同等の比重に設定した水中不分離性気泡モルタルを用いるという合理的かつ環境に配慮した充填工法の有用性を示した。材料の耐久性についても確認できたことから、廃坑の充填以外の適応分野についても検討していきたい。

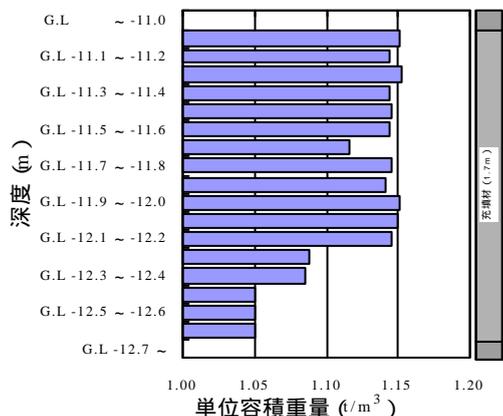


図6 深度と単位容積重量の関係