

限定充填工法による高速道路直下亜炭廃坑跡の安全対策

中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋（株） 正会員○日東 義仁
中日本高速道路（株） 正会員 平井 章一
中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋（株） 青山 裕志 松尾 貴之
飛島建設（株） 正会員 和田 幸二郎 正会員 宮沢 義博

1. はじめに

平成 16 年、中央自動車道瑞浪 IC 付近 313.8～313.9KP において、急激な路面の沈下が発生した。調査を実施し、高速道路の基礎地盤深くに、変状箇所を含む広い範囲で亜炭採掘跡の廃坑が存在していることが確認された。その後、地盤変状箇所を定期観測し、沈下が収束傾向を示したことで、亜炭空洞は路面下約 40m にも及ぶ深い位置にあることなどから、対策工事の実施には至らず、路面直下に亜炭廃坑が存在しているという大きなリスクを有したまま、供用が続けられてきた。一方、今後発生が想定される南海トラフ巨大地震により、亜炭廃坑が崩壊、落盤した場合には、路面の陥没や不同沈下の発生は否定できず、高速道路利用者に甚大な被害を与える可能性もあった。このような背景のもと、亜炭廃坑を埋め戻す対策工事として限定充填工法を用いた空洞充填工事が実施された。今回、無事に完了したこの対策工事について報告する。

2. 空洞充填工法の概要

空洞充填工法は昭和 50 年頃、亜炭産業の監督官庁であった旧名古屋通商産業局の主導で開発され、以来、多数の施工実績の積み重ねとともに技術の改良、改善が図られてきた工法である。今日では一般社団法人充填技術協会の管理のもと、同工法は確実な空洞対策技術として高い信頼を得ている。

砂利工場などで発生する脱水ケーキ等(粘土キラ、砂キラともよばれる)に固化材と水を練り混ぜて製造したスラリー状の充填材をボーリング孔（充填孔）から空洞内に注入し固化させる工法で、高い流動性で空洞内を均質に、また隅々まで充填できるのが特徴である。しかし、空洞は広く分布し、また亜炭層に沿って廃坑も傾斜していることから、高速道路直下の計画充填範囲より外側の空洞に大量に充填材が流出するロスの発生が想定されたため、図-1 のように充填工法のなかでも限定充填工法を採用してこれを防止することとした。限定充填工法は、最初に流動性を制御した端部充填材で対象範囲の境界線上に隔壁を形成し、その後、内側に流動性の高い中詰充填材を注入する工法であり、端部充填材は上記の配合材料にさらに水ガラスを添加し、そのゲル化作用で流動性を制御するものである。

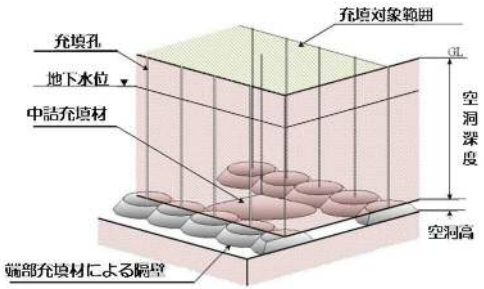


図-1 限定充填工法の概念図

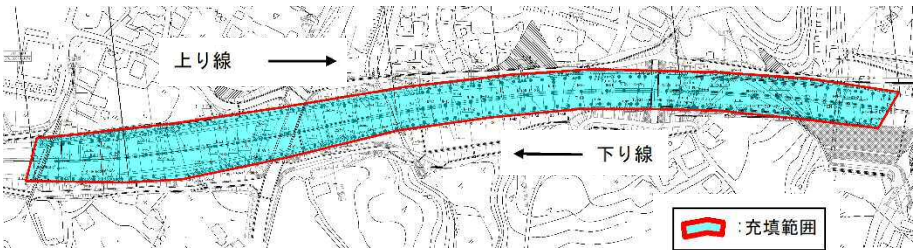


図-2 充填範囲平面図

3. 充填工事の概要

工事名：中央自動車道 瑞浪地区道路改良工事
発注者：中日本高速道路株式会社 名古屋支社
施工者：飛島建設株式会社 名古屋支店
工期：2018 年 2 月 21 日～2019 年 12 月 12 日
施工数量：端部充填材 21,992 m³、中詰充填材 2,654 m³
充填孔 144 箇所

表-1 充填材品質目標値

品質項目	目標値	備考
フロー値（P漏斗）	9～14秒	流動性充填材、限定充填中詰充填材
フロー値（テーブルフロー）	140mm～180mm	限定充填端部充填材
ブリーディング率	3%以下	
一軸圧縮強度	100kN/m ² 以上	標準養生28日、空洞内サンプル
有害物質分析	基準値以下	環境庁告示第46号

キーワード 空洞充填工法、限定充填工法、高速道路、亜炭廃坑

連絡先 〒460-0003 名古屋市中区錦一丁目5番11号 名古屋伊藤忠ビル9階 飛島建設㈱名古屋支店 TEL052-218-5760

当初、対象範囲は延長約 390m と想定していたが、空洞分布は延長 610m に渡る区間まで広がっていたため、対象範囲を拡大し、施工を行った。空洞深さは地表より約 40m、亜炭廃坑空洞高さは平均 1.3m、また空洞の傾斜は東西方向でほぼ水平、北から南に傾斜していた。充填孔の配置は、これまでの試験施工や施工実績から、上下線路肩部縦断方向に端部充填孔を 8m 間隔、中央部には中詰充填孔を 10～20m 間隔とした。また充填材の配合は、表-1 に示す品質目標値を満足するように事前に充填材の配合試験を行い決定した。決定配合を表-2 に示す。

4. 施工方法

充填孔の設置は、一部の箇所を除き、ロータリーパーカッションドリルを使用した。高速道路本線を交通規制しての作業は、交通渋滞等の影響が大きくなるため、図-3、図-4 に示すとおり、のり面へ足場を設置し、足場上から上り線側端部充填孔、下り線側端部充填孔、中央部中詰充填孔の 3 方向共、斜め削孔にて対応した。また、端部充填材はゲル化開始後、速やかに空洞内に送り出す必要があるため、脱水ケーキ、水ガラス、水を練り混ぜたスラリー(A液)と、セメントミルク(B液)を別々の配管で充填孔の位置まで圧送し、両液をスタティックミキサーで連続的にミキシングし、空洞内に注入する方法とした。図-5 に充填状況を示す。充填中は充填感知センサーを周囲の未充填の充填孔に挿入して、空洞内に注入した充填材の到達状況を把握した。また充填完了後に 12 箇所を確認ボーリングを行って充填材のコアを採取し、いずれの箇所においても空洞天盤に隙間がないこと、およびコアの一軸圧縮強度試験結果から目標強度を満足していることを確認した。

5. 地上構造物への影響対策

充填材を空洞内に注入する際の圧力上昇に伴い、上部地盤の緩んだ箇所からの充填材のリーク等、影響が想定される地上設備には、高速道路本線ガードレールへ連通管式変位計、跨道橋等の構造物には傾斜計を設置し、動態を監視しながら施工した。結果、影響を与えることなく無事施工を完了できた。

6. おわりに

本工事の成果をまとめると、以下のようになる。

端部充填材で対象範囲の外側空洞への充填材の流出ロスを防止でき、また高い流動性の中詰充填材で空洞内も均質に埋め戻すことができ、限定充填工法の確実な施工性があらためて示された。また、高速道路本線を規制することなく施工でき、今後、高速道路直下に不安定な空洞が発見された場合の安全対策として有効な工法であると考えられる。なお、施工にあたり、一般社団法人充填技術協会をはじめ関係各位に多大なるご指導・ご助言をいただきました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献 1) 空洞充填調査施工マニュアル(2016), 一般社団法人充填技術協会, 2016 年 5 月

表-2 配合表

材 料	中詰充填材	端部充填材
粘土キラ (kg)	260	240
砂キラ (kg)	260	240
特殊土用固化材 (kg)	70	90
特殊水ガラス (kg)	—	48.8
超遅延型減水剤 (kg)	0.18	0.27
水 (kg)	783	751



図-3 充填孔削孔状況

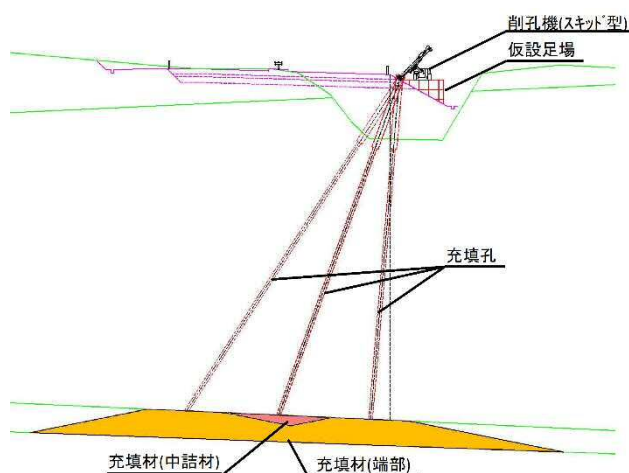


図-4 充填孔断面図



図-5 充填状況