

技術報文

現場発泡ウレタンによる空洞充填技術

アキレス（株）開発営業部 田中 弘栄

1. はじめに

近年、「笹子トンネル天井板崩落事故」等により、土木構造物の老朽化問題が注目されている。国土交通省によると、道路トンネルは全国に約 11,000 本あり、そのうち 2018 年 3 月現在約 20% ある建設後 50 年以上経過したトンネルが、5 年後には約 27%、15 年後には約 42% に急増する見込みであると予測している。(図-1) また、2016 年 11 月に発生した「博多駅前道路陥没事故」により、陥没事故の危険性が顕在化した。平成 29 年度の道路陥没件数は全国で 10,000 件以上報告されており、その要因は様々であるが、もっとも多い要因として道路側溝や管渠等の排水施設が挙げられている。(図-2) つまり老朽化した古い埋設物は、陥没のリスクを高める可能性があるということを示唆しているものとする。

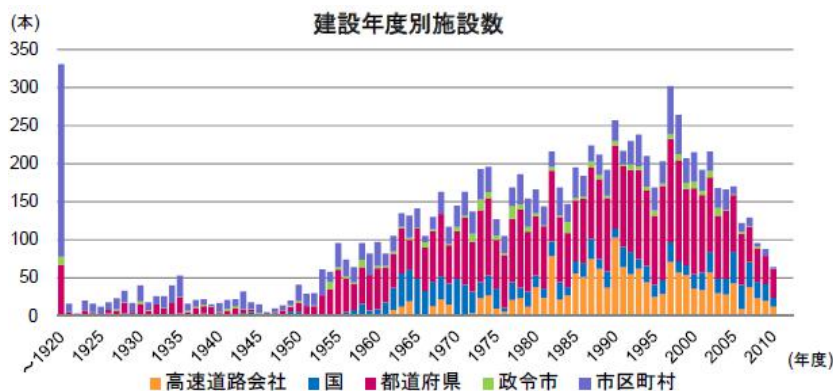


図-1 建設年度別トンネル本数¹⁾

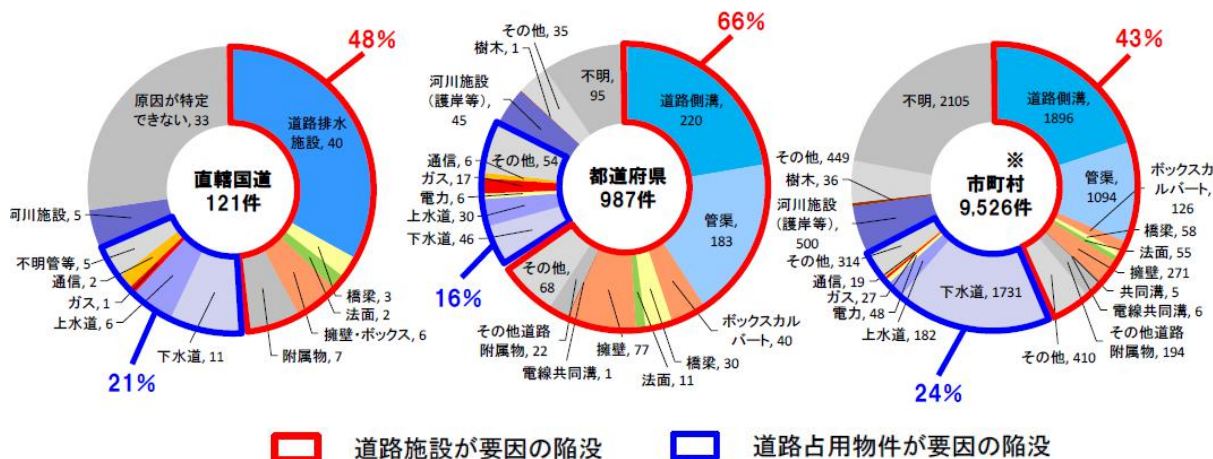


図-2 道路陥没件数と要因 (H29 年度)²⁾

2. 現場発泡ウレタンによる空洞充填技術

(1) Tn-p 工法 (トンネル裏込補修用ウレタン注入工法)

Tn-p 工法は、古いトンネルの覆工背面の空洞に発泡ウレタンを注入充填することで、トンネル

の損傷や災害を未然に防止する補修工法である。(図-3)



図-3 Tn-p 工法のイメージ

Tn-p 工法の主な特長は、①密度が約 30kg/m^3 (40 倍発泡の場合) と超軽量なため、覆工への荷重負荷を軽減できる ②注入設備がコンパクトで、注入材含め 4t トラック 1 台に積載が可能 (図-4) ③数分で固化するので、材料流出の危険性が少ない ④ノンフロン発泡で地球環境に配慮、などが挙げられる。とくに片側車線規制での工事 (写真-1) となることが多い道路トンネルの補修工事では、施工途中での坑内への材料供給が不要となるため、従来工法であるセメント系注入工法に比べ、安全性の向上を図ることができる。

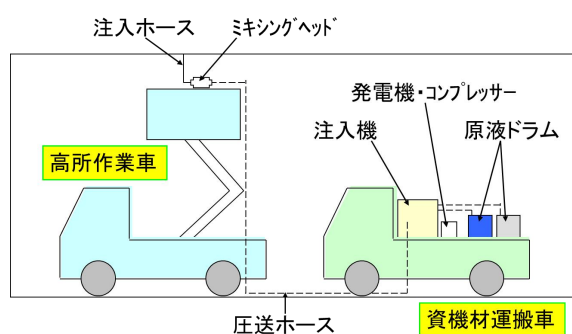


図-4 Tn-p 注入設備の概要



写真-1 片側車線規制での施工

(2) ウレタン LH 工法 (現場発泡ウレタン軽量盛土工法)

ウレタン LH 工法は、発泡ウレタンを用いた軽量盛土工法である。従来の軽量盛土工法である EPS 工法 (発泡スチロール土木工法) や FCB 工法 (気泡軽量混合土) に比べ、道路拡幅盛土での掘削量を低減することができ、プラントヤードも 20m^2 程度で対応できるため、とくに図-5 及び写真-2 のような狭隘な山岳道路の拡幅工事等の、従来工法では施工が非常に困難な箇所での適用が多い。また、ウレタン LH 工法で用いる発泡ウレタンは、密度が約 40kg/m^3 と土砂やコンクリートの $1/50$ 程度であり、数 10 秒で発泡固化しコンクリート等に接着するという特長を持つ材料である。

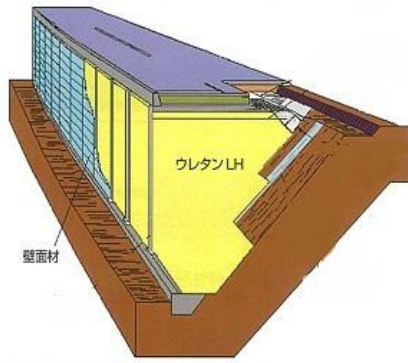


図-5 拡幅盛土のイメージ



写真-2 拡幅盛土での施工

(3) EPS 工法との組み合わせによる空洞閉塞工法

使用しなくなった函渠等の埋設構造物の撤去が困難で、老朽埋設物による将来的な陥没を防止するため、構造物内を埋め戻したいとの要望が多くなっている。その構造物の閉塞方法として、EPS 工法である程度の空間を埋め、構造物と EPS ブロックの隙間に現場発泡ウレタンを充填して空洞閉塞する工法を提案している。EPS 工法の大きい空間を埋める際の施工性と、あらゆる形状に追従できコンクリートに接着する現場発泡ウレタンの特長を活かした工法である。

3. 採用事例

(1) Tn-p 工法

a) トンネル背面の空洞充填

Tn-p 工法は、トンネル背面の空洞充填用に開発された工法であるため、施工実績の 8 割程度はトンネル背面の空洞充填が占める。道路トンネルの場合（NEXCO を除く）、「緩み土圧等の外力対策を目的とした注入なのか、空洞があっても長期間安定していた地山での、将来の突発性崩壊の防止を目的とした注入なのかなどの対策の目的を明確にし、個別に設計基準強度を設定する。³⁾」とされ、一般的に突発性崩壊対策の場合、40 倍発泡のウレタンが採用されている。一方、外力対策の場合や、鉄道トンネルや水路トンネル、NEXCO のトンネルでは、採用基準が異なるため、一般的に 40 倍発泡よりも高強度の発泡ウレタンが採用されることが多い。以下に Tn-p 工法に用いる発泡ウレタンの発泡倍率と密度、圧縮強度の規格値を示す。(表-1)

表-1 Tn-p 工法用ウレタンの物性値

項目	単位	40倍発泡	30倍発泡	20倍発泡	12倍発泡	8倍発泡
密度	kg/m ³	30±3	40±4	60±9	100±20	150±30
圧縮強度	N/mm ²	0.14以上	0.20以上	0.45以上	0.90以上	1.00以上

b) 港湾岸壁シートパイル背面の空洞充填

洗掘によって生じた港湾岸壁のシートパイル背面の空洞に、Tn-p 工法の 40 倍発泡ウレタンで空洞充填した事例がある。空洞の規模が小規模であったことと、短時間で固化する発泡ウレタンは、充填材が海へ流出する危険性が少ないことが評価され採用された。施工状況を写真-3 に示す。

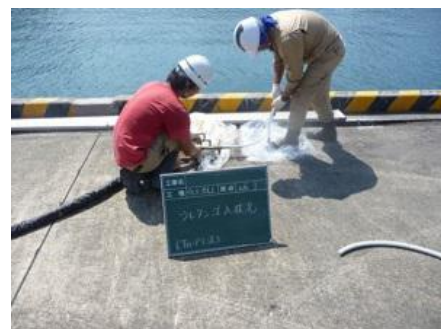


写真-3 港湾岸壁の空洞充填

c) 中空床版橋のボイド管充填

中空床版橋の床版打ち替え工事にて、空洞となっているボイド管内に発泡ウレタンを注入充填する事例が近年多くなっている。古い中空床版橋は、建設時にコンクリート打設による浮力によりボイド管が浮き上がっていることがある。ボイド管が浮き上がった状態で床版を打ち替えるため、ボイド管の上部を一切断する部ことになり、新たなコンクリートを打設する際にボイド管内へのコンクリートの流入を防止するため、埋設型枠として軽量の発泡ウレタンを注入充填する工事である。将来的な雨水の流入も抑制できるため、橋梁の長寿命化にも貢献できる工法である。施工状況を写真-4 に示す。



写真-4 中空床版橋のボイド管充填

(2) ウレタン LH 工法

先にも述べたとおりウレタン LH 工法の採用事例は、道路盛土としての採用が最も多いが、橋梁の桁下空洞を埋める工事で採用される事例がある。ウレタンは、桁下の複雑な形状にも追従でき、接着性もあるため、桁下から吹き付けることで桁への密着充填が可能となる。(図-6) したがって、橋梁の切り回しや交通規制が不要となり、工費削減と工期短縮を実現することができる。とくに水量が少ない橋梁では、桁下に水を流すための管渠やカルバートを設置し、その他の空洞はすべてウレタンで充填することにより、橋梁を盛土化して橋梁点検の対象外とすることができる。その需要が高まっている。また、橋梁の長寿命化を図るため、桁をウレタンで支えることにより、桁及び橋台、橋脚への負荷を軽減する工事でも採用されている。施工状況を図-6、写真-5、写真-6 に示す。

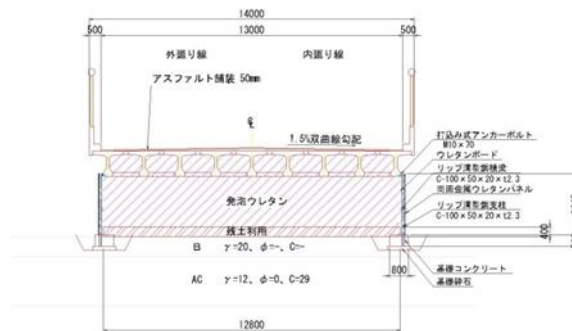


図-6 桁下充填の断面図



写真-5 桁下へのウレタン充填



写真-6 ウレタン充填後

(3) EPS 工法との組み合わせによる空洞閉塞工法

高規格道路を建設中に地下から古い函渠が出てきたため、その函渠を現場発泡ウレタンと EPS ブロックを併用して閉塞した事例を紹介する。現場は計画面から数 10m の崖下であり、重機等が進入できないため、人力で施工できる本工法が採用された。発泡ウレタンのプラント及び材料は、2tトラックに車載して崖上の仮設駐車場に配置し、100m 圧送ホースを崖下まで伸ばして施工した。施工状況を写真-7、写真-8 に示す。



写真-7 充填施工前



写真-8 EPS+ウレタン充填

4. まとめ

当社は、瞬足等の子供用シューズのメーカーとしてご存知の方もいると思うが、シューズ部門の売上比率は 16.3% (2018 年度実績) である。その他、ゴムボートやエアータント、車の内装材 (合成皮革等)、農業用ビニールハウス等の塩ビフィルム、建築用断熱材、壁紙、マットレス等の軟質ウレタン、半導体等の帯電防止材料等、多岐にわたる。これらのプラスチック加工技術を融合させ、事業部横断型の主にインフラ分野への商品開発を担う部署として、開発営業部は 2014 年に発足した。インフラ分野において、発泡ウレタンと EPS ブロック (発泡スチロール) を展開する国内唯一のメーカーとして様々な提案を行っている。とくに発泡ウレタンについては、注入タイプ (Tn-p 工法) と吹付けタイプ (ウレタン LH 工法) を現場条件に合わせて提案を行い、ウレタンボードを組み合わせることもある。今後、ますます建設業従事者の減少が見込まれるなか、これらの技術を組み合わせる等、様々なソリューションを提供していきたいと考えている。

参考文献

- 1) 国土交通省「道路構造物の現状 (トンネル)」2013 年 4 月
- 2) 国土交通省「道路の陥没発生件数とその要因 (29 年度)」2018 年
- 3) (財)日本道路協会「道路トンネル維持管理便覧」2015 年 6 月.