

大型車両に対応した高耐久天然石ブロック舗装工法【インジェクト工法】 の開発と実用化について

大成ロテック(株)	正会員	○湯川	誠二郎
〃	正会員	平川	一成
〃	正会員	中塚	将志
〃	正会員	種綿	順一
〃	正会員	小栗	直幸

1. はじめに

わが国にとって観光は重要な成長分野であり，訪日観光および国内旅行の振興を図るためには各地域が魅力のある観光地を作り上げる必要がある．それらの観光地や景勝地では，魅力を高める方策の一つとして観光施設周辺や風景との調和の観点などから，車道に天然石ブロック舗装が適用されることがあるが，天然石ブロック舗装は，ブロック直下にセメントモルタルによる敷設層を設けた構造となっているものが多く，特に観光バスなどの大型車両の通行する車道や駐車場等に適用した場合，比較的早期に破損する場合がある¹⁾．

このような状況から著者らは，車道や駐車場に用いられる従来の一般的な天然石ブロック舗装（以下，従来型天然石ブロック舗装）の破損箇所を調査して破損の原因を推察し，その破損原因を取り除くことができる使用材料や施工方法について検討した．その結果，観光バスなどの大型車両の走行にも耐えうる高耐久な天然石ブロック舗装工法（以下，インジェクト工法）が開発できた．インジェクト工法は，これまでに観光地や景勝地を中心に約 700 箇所，総面積 20 万㎡を施工しており，破損も少なく良好な状態を維持している．

本稿では，従来型天然石ブロック舗装の破損の状況と原因を示した上で，開発したインジェクト工法の実用化へ向けた検討結果および適用事例について報告する．

2. 従来型天然石ブロック舗装の概要と破損原因の推定

2. 1 従来型天然石ブロック舗装の概要

従来型天然石ブロック舗装は，特に重厚な質感と落ち着いた色調や高級感等が期待できることから神社や仏閣の参道や歴史的な街並みなどの箇所への適用事例が多い．石材の形状は，約 90mm の立方体割石や 30～150mm 程度の整形石板などが多く使用されている．また，大型車両の交通量が多い場所の従来型天然石ブロック舗装の構造は，一般的に，碎石路盤，コンクリート版の基盤，敷きモルタルおよび天然石ブロックから構成されている．車道に適用した従来型天然石ブロック舗装の断面の一例を図-1 に示す．

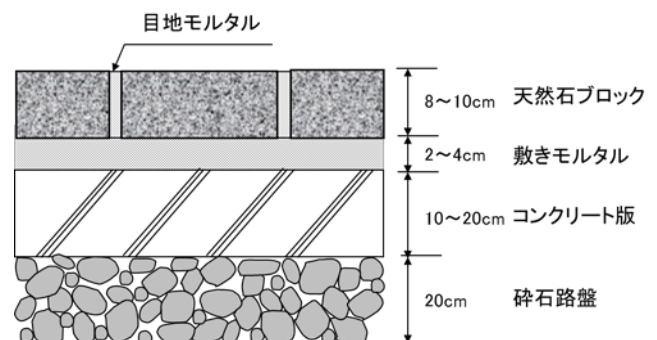


図-1 従来型天然石ブロック舗装の断面例

2. 2 破損形態と破損の状況

従来型天然石ブロック舗装の破損事例を調査した．その結果，破損の形態は，目地の破損を伴った天然石ブロックの①角欠け（写真-1），②割れ（写真-2），③陥没および沈下（写真-3）が多かった．また，その補修方法は，写真-4 に示すように破損した天然石ブロックを取り除き，アスファルト混合物などでパッチングされる事例が多く，美観が損なわれていた．

キーワード 天然石ブロック舗装，インジェクト工法，CAE グラウト，大型車両，車道

連絡先 〒365-0027 埼玉県鴻巣市上谷1 4 5 6 大成ロテック(株)技術研究所 TEL 048-541-6511



写真-1 ブロックの角欠け



写真-2 ブロックの割れ



写真-3 ブロックの沈下



写真-4 補修事例(黒い部分がパッチング)

これらの破損箇所を観察した結果、以下に示す状況であることを確認した。

- 1) 破損場所では、天然石ブロックの表面に敷きモルタルの砂が吹き出している。
- 2) 基盤のコンクリート版に破損が少ない場所でも、天然石ブロックに破損が生じている。
- 3) 基盤のコンクリート版上の敷きモルタル層が厚いほど、破壊が顕著である。

これらのことから筆者らは、従来型天然石ブロック舗装の破損は、敷きモルタル層に何らかの原因があるものと推察した²⁾。

2. 3 破損原因の推定

従来型天然石ブロック舗装の敷きモルタルには、施工性などを考慮して加水せずにセメントと砂を混合した“空練りモルタル”やセメントと砂に若干の水を加えた“ドライモルタル”が用いられることが多い³⁾。従来型天然石ブロック舗装の敷きモルタルは、その上に天然石ブロックを設置する際、高さ調整のためにブロックを打撃することで締め固まる。そのため敷き均された空練りモルタルやドライモルタルの量や打撃の回数により密度や強度にムラが生じ易く、このことが従来型ブロック舗装の破損の主要因であると考えた。また、敷きモルタルのセメント量や単位水量などの配合によっては、強度が不足し破損に至っている可能性も考えられた。

そこで、単位水量や単位セメント量を変化させたドライモルタルを用い、以下に示す手順で室内にて天然石ブロックの据え付けを行い、ドライモルタルの密度および圧縮強度のバラツキの程度を確認した。

- ①混合した各ドライモルタル層を、縦 30cm、横 30cm、高さ 10cm の鋼製型枠内に一定の厚さ(5.5cm)で敷き均す。
- ②敷き均したドライモルタル上に縦 30cm、横 30cm、高さ 5cm の天然石ブロックを設置し、ブロック表面と鋼製型枠の上部が同一高さとなるまでゴムハンマー等で叩いて押し込む。

- ③自然石ブロックを取り除き，温度 20℃，湿度 90%の環境下でドライモルタル層を 28 日間養生する．
- ④養生後，ドライモルタル層を取り出し，縦 4cm，横 5cm，高さ 5cm のテストピースに整形する．
- ⑤テストピースの密度は，重量をノギスで測定した寸法から算出した容積で除して求める．
- ⑥ドライモルタルの圧縮強度試験は，載荷速度 785N/sec で実施する．

試験に用いたドライモルタルの配合を表-1 に，試験結果を図-2 に示す．図より，各配合とも密度にバラツキがあり，それと相関して強度もバラついていることがわかった．これは，ドライモルタルの密度や強度は，配合の違いよりも施工方法（ブロック据え付けの際の打撃）に起因することを示していると考えられる．

このことから，一般的に用いられているドライモルタル層を有する従来型天然石ブロック舗装では，ドライモルタル層の密度や強度の不均一性が破損の主要因であり，従来の施工方法を採用した場合には，この不均一性を排除することは困難であると考えた．

したがって，耐久性の高い天然石ブロック舗装を構築するためには，密度や強度にバラツキを生じにくいブロック支持層の材料や施工方法を確立し，交通荷重を均一に支持することが可能な天然石ブロック舗装の構造を構築することが必要と考えた．

表-1 ドライモルタルの配合

モルタル 種類	単位量(kg/m ³)			備考
	セメント	水	砂	
No.1	615	40	1,968	セメント/砂=31.3% 水/セメント=6.5%
No.2	518	200	1,655	セメント/砂=31.3% 水/セメント=38.6%
No.3	518	181	1,719	セメント/砂=30.1% 水/セメント=34.9%
No.4	518	240	1,690	セメント/砂=30.7% 水/セメント=46.3%

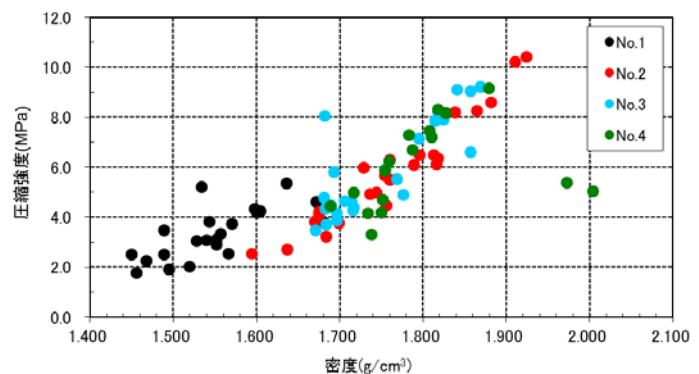


図-2 ドライモルタルの密度と圧縮強度の関係

3. 締め固めを必要としない天然石ブロック舗装の検討

3. 1 基本的な考え方

開発する技術は，ブロックの支持層が施工中に締め固まることによる密度の不均一性を回避することが求められる．そこで，ブロックの支持層を単粒度碎石にて骨格形成し，そこに流動性材料を注入して固結することで，均一な密度や強度を有する支持層を構築する方法について検討を行った．具体的には，図-3 に示すような施工手順により，目的を満足する支持層の構築が可能になると考えた．

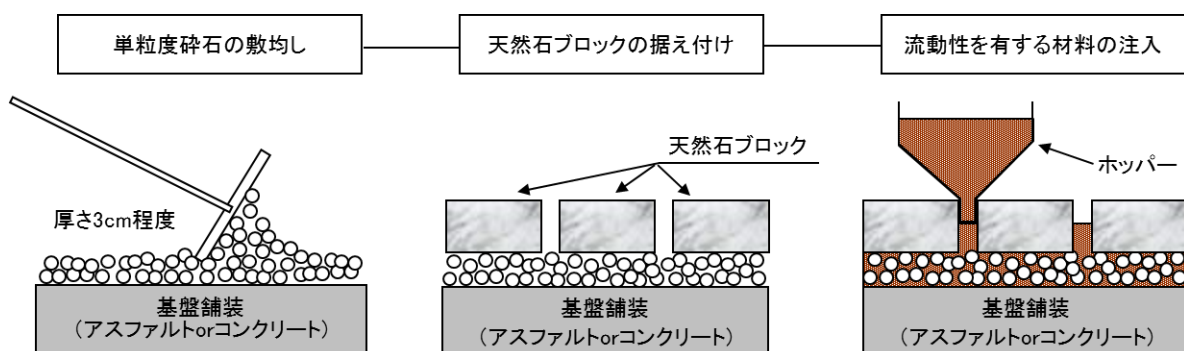


図-3 開発を目指した技術の構築方法の概念

また、ブロック支持層に流し込む材料としてセメントグラウトを用いた場合、その発生によりブロック支持層が破損することが考えられた。そのためブロックの支持層に流し込む材料としては、セメントグラウトに比べ剛性は低いものの、応力緩和性能に優れそり等が発生しにくい、セメントと砂およびアスファルト乳剤を混合した「セメント・アスファルト乳剤グラウト」（以下、CAE グラウト）を用いることとした。完成後の標準的な断面を図-4 に示す。

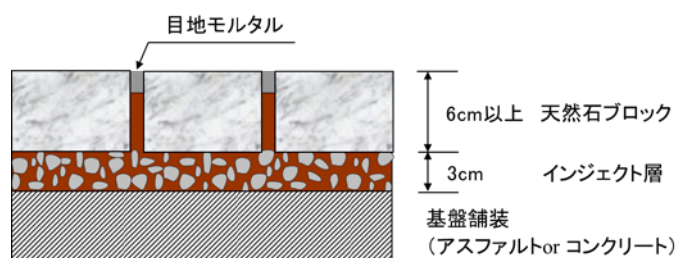


図-4 インジェクト工法の標準的な断面

3. 2 CAE グラウトの密度と強度のバラツキの確認

ドライモルタルと CAE グラウトの密度と圧縮強度の測定結果をプロットしたものを図-5 に示す。図からドライモルタルの密度の標準偏差は 0.122g/cm^3 であったのに対し、CAE グラウトは 0.027g/cm^3 となり、CAE グラウトはドライモルタルに比べ密度のバラツキが非常に小さいことが確認できた。また、CAE グラウトは良く締め固まったドライモルタルの密度と圧縮強度を有することが分かった。このことからインジェクト工法は、従来型天然石ブロック舗装に比べ高い耐久性が期待できると判断した。

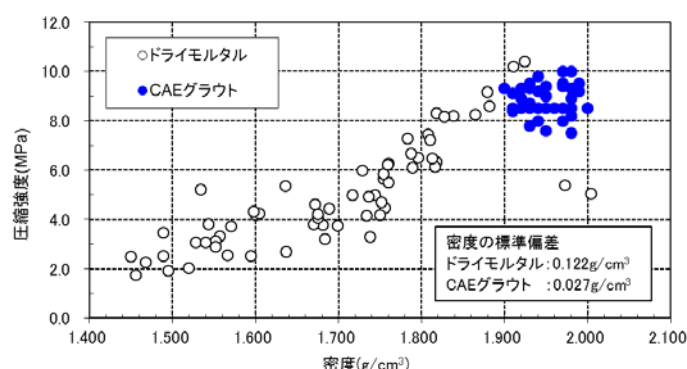


図-5 CAE モルタルの密度と圧縮強度の関係

3. 3 構内試験施工による施工性および CAE グラウトの充填性の確認

(1) 試験施工の概要

構内において小規模な試験施工を実施し、ブロックの据え付けや CAE グラウトの注入などの作業性、CAE グラウトの充填性を確認した。試験施工の概要を表-2 に示す。なお、観光地や景勝地は高台に存在することが比較的多く、それに伴い周辺の道路にも勾配がついていることが多い、このことを考慮し、当該試験施工では特に急勾配箇所の車道を想定し、縦断勾配約 9%の箇所で行った。試験施工の概要を表-3 に、試験施工箇所の状況を写真-5 に示す。

表-2 試験施工概要

試験施工数量	延長4.0m×幅2.0m＝8.0m ²
勾配	9.0%程度
使用ブロック寸法	400×400×80mm (2枚突合せで800mm)
インジェクト層	3.0cm
単粒度碎石	6号碎石 実積率50%程度



写真-5 急勾配箇所の試験施工

(2) 試験施工結果

試験施工の結果、比較的勾配のきつい箇所では、平たんな箇所に比べ、ブロックがズレ易かったが、単位時間当たりの敷設量（施工効率）は同程度であった。また、CAE グラウトの注入は、目地部に設置したホッパーを用いて行ったが、CAE グラウトを溢すことなく比較的容易に行えた。さらに、CAE グラウトを注入して硬化した後にブロックを撤去して CAE グラウトの充填状況を確認したが、CAE グラウトは単粒度碎石の間隙にしっかりと充填されていることを確認した（写真-6、写真-7 参照）。

以上の室内試験および構内試験施工の結果から、インジェクト工法は、実路においても施工ができ、耐久性の高い天然石ブロック舗装を構築することが可能と判断した。



写真-6 単粒度碎石の間隙



写真-7 CAE グラウトの充填状況

4. 施工事例

4. 1 長期の耐久性が確認された事例

当該箇所は、路線バスが通行する舗装計画交通量 N_4 の路線で平成 6 年に施工した⁴⁾。施工概要を表-3 に示す。施工断面を図-6 に示す。現在の路面の状況を写真-8 に示す。当該箇所は施工から約 20 年が経過しているが、ブロックの破損等は見られず良好な状態を維持している。

表-3 施工概要

舗装計画交通量 (台/日・方向)	100以上 250未満(N_4)
施工時期	平成6年11月～平成7年2月
施工規模	幅員6～8m・延長200m
自然石ブロックの寸法	縦30cm×横30cm×厚さ12cm
目地幅	15mm

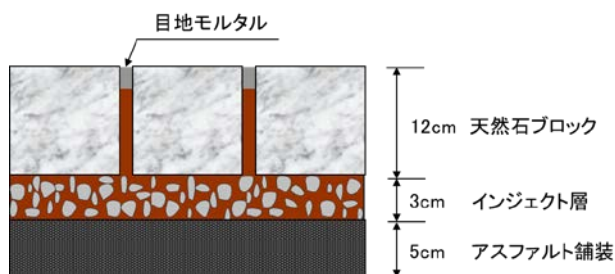


図-6 施工断面



写真-8 施工後 20 年が経過した舗装の状況

4. 2 積雪寒冷地域での施工事例

当該箇所は、観光バスや路線バスが 100 台/日程度通行する北海道の温泉観光地である。施工概要を表-4 に、施工断面を図-7 に示す（写真-9 参照）。積雪寒冷地のブロック舗装は、除雪作業や融雪水の再凍結などにより、比較的早期に破損することがあるが⁵⁾、インジェクト工法は、施工から 3 冬経過後でも、良好な状態を維持している⁶⁾。

表-4 施工概要

舗装計画交通量 (台/日・方向)	100以上 250未満(N ₄)
施工時期	平成24年10月～平成24年11月
施工規模	325m ²
自然石ブロックの寸法	縦53.8cm×横29cm×厚さ8cm
目地幅	10mm

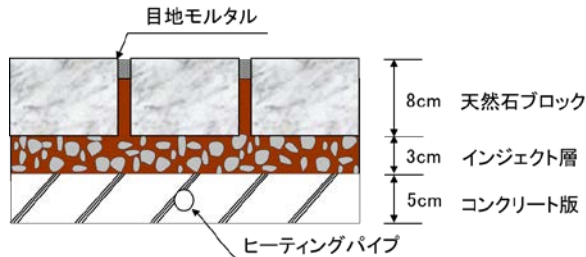


図-7 施工断面



写真-9 積雪寒冷地域での供用状況

5. まとめ

- (1) ドライモルタル層を支持層とする従来型天然石ブロック舗装は、天然石ブロック据え付けの際の高さ調整によりドライモルタル層が締め固まるため、ドライモルタル層の密度や強度のバラツキが大きく、このことが破損の主要因であると考えられる。
- (2) ブロックの支持層の骨格を単粒度碎石で形成し、天然石ブロックを据え付け高さ調整した後に、CAE グラウトを注入することで、密度と強度が均一であり、大型車両が通行可能なブロックの支持層が構築できる。
- (3) 開発したインジェクト工法は、観光バスなどの大型車が通行する箇所において、施工から20年以上が経過した現在箇所でも破損は僅少で良好な状態を維持しており、耐久性に優れている。
- (4) インジェクト工法は、大型車が通行する積雪寒冷地域の道路においても適用が可能である。

6. おわりに

インジェクト工法は、従来のドライモルタルを用いた施工法の問題点を解決した工法であり、観光バスなどの大型車両が通行する車道舗装へ天然石ブロック舗装を適用する際に有効な施工方法の一つである。本稿で報告した施工事例以外にも、大型フェリーが寄港しコンテナの荷卸しがある港の岸壁の舗装へ適用した事例⁷⁾ などがあり、より重荷重が作用する箇所においても高い耐久性を有することを確認している。

今後も目的に応じた施工方法の検討等を実施して、長期の供用性、耐久性について確認する予定である。

参考文献

- 1) (社)土木学会：舗装工学ライブラリー 5 街路における景観舗装—考え方と事例—, 2007.2, p.14
- 2) 木下ほか：新しい車道用ブロック舗装工法の開発, 道路建設, 1997.10
- 3) 小林恒己, 多田宏行, 藤田晃弘：修景石材と舗装, 技報堂出版, 1994.1
- 4) 但馬ほか：自然石舗装の車道への適用例, 第21回日本道路会議論文集, 1995, pp.554-555.
- 5) 福島, 松田, 石田：景観機能からみた積雪寒冷地の舗装に関する一考察, 平成23年度国土交通省 国土技術研究会, 2011.10
- 6) 中西ほか：寒冷地における車道用自然石ブロック舗装の耐久性—3 冬経過した自然石ブロック舗装の調査結果—, 第31回日本道路会議論文集, 2015(投稿中)
- 7) 田辺ほか：岸壁(杭栈橋)への自然石舗装の適用, 第25回日本道路会議論文集, 2003, pp.133-134.