

剥落対策工としてのポリウレタ樹脂の性能評価

鉄道総合技術研究所 正会員 ○板谷 創平 野城 一栄 嶋本 敬介

1. はじめに

トンネルの剥落対策工として、繊維シート接着工やネット工など様々な対策が実施されているが、不陸への適合性や小片剥落など、一部に課題が残っている。そこで筆者らは、ポリウレタ樹脂を用いた吹付け型の剥落対策工を開発中である¹⁾。

ポリウレタ樹脂は、ポリイソシアネートとポリアミンとの化学反応によって形成される化合物であり、主な特徴として、 24N/mm^2 以上の高い引張強度でありながら、 200% 以上の伸び性能を有し、スプレーによる吹付け施工が可能であることが挙げられる。今回は、剥落対策工としての性能を確認するため、押抜き試験および建研式接着力試験を実施した。

2. 試験の実施条件

押抜き試験は、JSCE-K 533-2010 にのっとり実施した。押抜き試験の模式図を図-1 に示す。基盤は U 形ふた($400\times 600\times 60\text{mm}$)を使用した。

実施手順を表-1 に示す。Case1 を標準ケースとし、Case2, 3 はピックアップハンマーにより基盤表面に凹凸を施した。Case2 では1~2mm程度の凹凸を、Case3 では、骨材が露出する程度の大きな凹凸を施した(図-2)。Case5 では、漏水箇所での施工を想定し、基盤を24時間浸水させ、表面含水率の大きい状態とした。

各ケースともプライマー塗布後、ポリウレタ樹脂(TC-100)を1.4mmの厚みとなるよう吹付けにより施工した(図-3)。

Case4, 5 では、吹付け後に強制風化試験装置により「 -20°C で3時間」、「 50°C で3時間」、「 23°C で15時間」の温冷繰返しを60サイクル完了後に押抜き試験を実施した。ここで、Case4 ではひび割れ漏水部を想定するため、溝をあらかじめ入れた上で、背面(地山)側より60cmの水頭をかけた状態で温冷繰返しを実施した。なお、温冷繰返し60サイクル完了後、Case4, 5 ともに供試体表面に変状等は見られなかった。

最後に、押抜き試験実施後に押抜きの影響を受けていない部分で建研式接着力試験を1ケースにつき3箇所で行い、付着強度を測定するとともに、実際の塗膜の吹付け厚を計測した。

3. 試験結果

各ケースでの押抜き試験結果を図-4 に示す。载荷開始直後に一時的に荷重が大きくなるが、これは基盤の切込み部分が押抜かれることによるもので、直後に荷重は減少する。その後、塗膜の剥離に伴って荷重が増加する。なお、変位量5mmごと(変位量30mm以降は10mmごと)に観察のために载荷を一旦停止しているため、リラクセーションにより荷重が低下している。

Case4(背面漏水・温冷繰返し)を除き、円形に剥離していき、ある変位量で破断した。Case4については、破断せず、最後まで剥離が続いた。破断に伴い荷重は増加しなくなり、ケースによっては荷重が低下していることが分かる。いずれのケースにおいても、変位が10mm以上の範囲で最大荷重 1.5kN 以上が得られており、剥落防止対策としての性能を満足するとみなされた²⁾。実験終了時の状況を図-5 に示す。

次に、建研式接着力試験の結果を表-2 に示す。Case3(凹凸大)を除き、規定値である 1.5N/mm^2 を満たしており、剥落防止の性能を満たしていた。なお、破断面を確認したところ、全てのケースで母材が破壊していたことが確認された。また、吹付け厚もCase3を除き設計値の1.4mm以上であった。

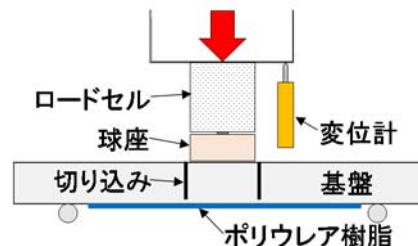


図-1 押抜き試験の模式図

表-1 実施手順

Case1	Case2	Case3	Case4	Case5		
	基盤に小凹凸を施す	基盤に大凹凸を施す		基盤を24時間浸水		
プライマー塗布						
ポリウレタ樹脂吹付け						
			温冷繰返し ※Case4は背面より漏水			
押抜き試験						
建研式接着力試験						



図-2 凹凸作成状況(Case3: 凹凸大)

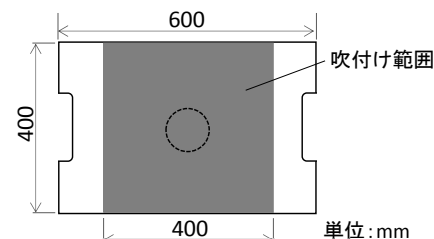


図-3 ポリウレタ樹脂の吹付け

キーワード 山岳トンネル, 覆工, ポリウレタ樹脂, 吹付け型剥落対策工, 押抜き試験

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町2-8-38 (公財)鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部(トシ研) TEL:042-573-7266

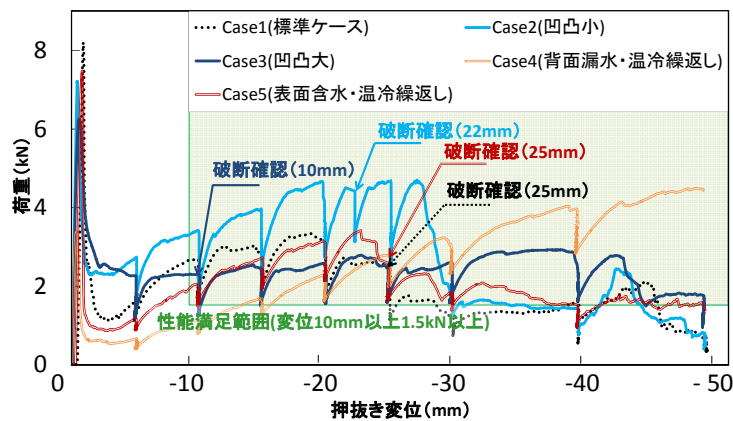


図-4 押抜き試験結果

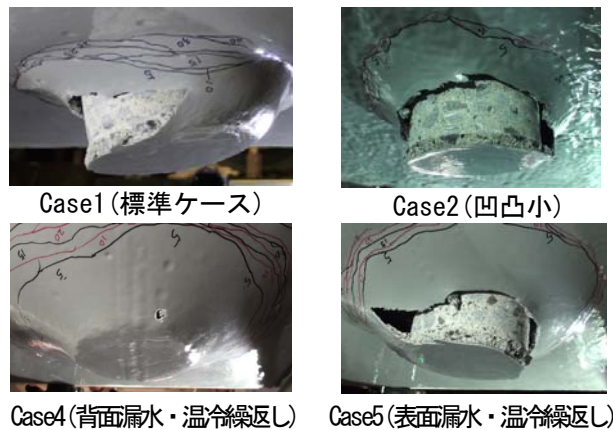


図-5 実験終了時の状況

4. 考察

押抜き試験の最大荷重とその時の変位量との関係を図-6 に示す。

標準ケース (Case1) と凹凸ケース (Case2, 3) に着目すると, 最大荷重は Case3 (凹凸大) < Case1 (標準ケース) < Case2 (凹凸小) となった。凹凸が存在することにより, 塗膜が表面にしっかりと食いつき, かつ付着面積が増大していることから, 見かけの付着力が向上していると考えられる。一方で, Case3 (凹凸大) の場合, 破壊形態は Case2 (凹凸小) と同様の破断モードであったものの, 表-2 より平均吹付け厚が小さくなっていることから, 局所的な薄膜部より破断し, 最大荷重が低下したものと考えられる。これらのことより, 凹凸の存在により見かけの付着力は向上するものの, 凹凸が大きくなると吹付け厚のバラつきが大きくなり耐荷力に影響を与えていることが推察される。

次に, 標準ケース (Case1) と温冷繰返しケース (Case4, 5) に着目すると, 最大荷重は Case1 (標準ケース) = Case5 (表面含水) < Case4 (背面漏水) となった。Case1, 5 の結果より, 温冷繰返しの影響は明確には見られず, ポリウレア樹脂の性能低下の程度は大きくはないと思われる。一方で, Case4 の破壊形態は剥離モードとなり, 最大荷重時の変位量も大きくなったことから, 背面漏水と温冷繰返しにより基盤母材が劣化し, 破壊したことにより塗膜の破断が回避され, 結果的に耐荷力が増加したことが考えられる。

参考として, ポリウレア樹脂の剥離荷重を繊維シートの算定式³⁾と同様に, 剥離長・変位量・樹脂のヤング率・吹付け厚より算定可能であるかを検討した。前提となる破壊形態は剥離モードであるので, 破断前に最大荷重が観測された Case1, 4, 5 の剥離荷重の計算値と実験値の関係を図-7 に示す。剥離形状が異なることもあり, 各ケースとも剥離荷重の計算値がより大きい結果となった。

5. まとめ

本稿では, ポリウレア樹脂によるトンネル剥落対策工の性能評価結果について報告した。本対策工は, 様々な条件下でトンネルの剥落対策工としての性能を概ね満足していることが確認された。今後は, 凹凸箇所への適切な施工方法や, 温冷繰返しに及ぼす影響に関する試験を実施予定である。

なお, 本研究は, 国土交通省の鉄道技術開発費補助金を受けて実施した。

参考文献

- 1) 伊藤直樹ほか: ポリウレア樹脂を用いた吹付け型剥落対策工の開発, 土木学会第 71 回年次学術講演会, 2016.9
- 2) 東日本高速道路株式会社ほか: 構造物施工管理要領, pp.2-322, 2013.7
- 3) 呉智深ほか: 連続繊維シートの貼付によるコンクリート片のはく落防止効果に関する実験的・解析的研究, 土木学会論文集, No.662, V-49, pp.45-58, 2000.11

表-2 建研式接着力試験結果

	平均付着強度 [N/mm ²]	平均吹付け厚 [mm]
Case1	2.65	1.7
Case2	2.18	1.6
Case3	1.31	1.3
Case4	1.80	1.6
Case5	2.01	1.6

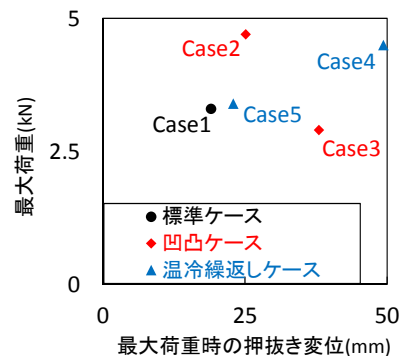


図-6 最大荷重と変位量

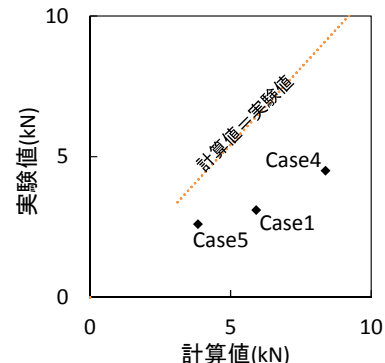


図-7 剥離荷重の計算値と実験値との関係