

I-26

発泡ウレタン注入による岩盤亀裂接着工法の開発

ショーボンド建設(株)	○正 員	本山 圭祐
北海道開発局開発土木研究所	正 員	佐藤 昌志
北海道開発局開発土木研究所	正 員	中井 健司
ショーボンド建設(株)	正 員	温泉 重治
ショーボンド建設(株)	正 員	木下 昌樹

1. はじめに

岩盤の亀裂には表面に開口部を持つ開口亀裂と、内部に発達した潜在亀裂が存在するが、その亀裂内部へ雨水等が侵入し水圧、氷圧等が作用することにより劣化、風化が助長され岩盤の安定性が損なわれることが、大小規模の崩落に至る原因の1つとなっている。そこで崩落の危険性のある岩盤を、除去する工事を行う上で、施工時の安全性を確保する対策として、開口亀裂へ注入材を充填し、岩盤の安定を図る工法が有効と考えられる。

しかし、セメント系、エポキシ樹脂系接着材など、既存の注入材料を用いた場合、施工のための装備が大きく高所での作業が困難であったり、開口亀裂幅が広くなると注入を行うためにシール施工が必要になるなど施工上の制約が多い。このことから本稿は、施工時の装備が軽量、シール施工が不要でかつ、付着が期待できる発泡ウレタンに着目し、表面開口亀裂への充填材としての適用性について、検討した結果を報告する。

2. 実験概要

2-1 実験材料

実験に使用した岩盤は、積丹半島西部の神恵内地区より採取した水冷火砕岩である。注入材は、市販されている一液型発泡ウレタンで、イソシアネートとポリオールを成分とするプレミックスタイプのもので使用した。これは、空気中の水分に反応し発泡、硬化するもので、発泡倍率は約1.5倍～2.5倍、発泡後の密度は 23kgf/cm^3 である。

2-2 供試体

岩盤より $\phi 100\text{mm}$ のコア供試体を採取し引張試験用6体、せん断試験用6体、内乾燥状態供試体3体、湿潤状態供試体3体の計12体を作製した。(図-1) 供試体の作製にあたり、乾燥状態供試体については、接着面の汚れを落とした後、注入を行った。また、湿潤状態供試体については、岩盤片を水中養生後、表面が乾燥しないうちに注入を行った。尚、発泡ウレタン注入に際しては、発泡圧で供試体に変形が起きないように供試体を拘束し、注入幅10mmにて注入を行った。注入後の発泡ウレタンの養生は10時間以上とした。

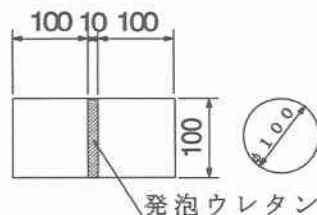


図-1 実験供試体(単位:mm)

Study on Development of Adhering Method for Fracture in Rock by Grouting Foamed Urethan
by Keisuke MOTOYAMA, Masashi SATO, Kenji NAKAI, Shigeji ONSSEN and Masaki KINOSHITA

2-3 実験方法

一軸引張試験は、供試体の両端に鋼板と鉄筋を溶接した器具を、エポキシ樹脂系接着材にて取り付け、一軸引張試験機により载荷を行い、供試体の引張強度を測定した。(写真-1)

せん断試験は、図-2に示す試験器具に供試体を曲げの影響がでないように設置し、圧縮試験機により载荷を行い、供試体のせん断強度を測定した。(写真-2)

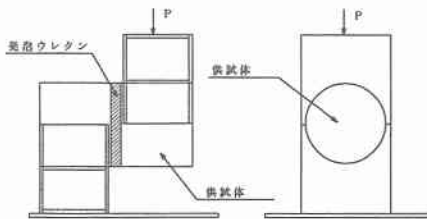


図-2 せん断試験器



写真-1 一軸引張試験载荷状況

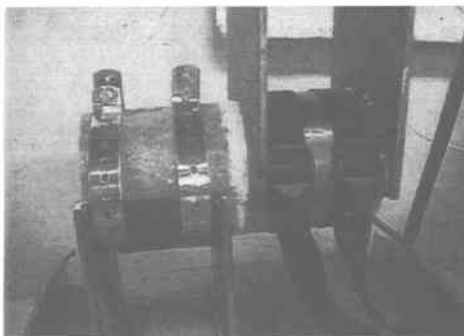


写真-2 せん断試験载荷状況

3. 実験結果および考察

3-1 一軸引張試験

引張試験の結果を表-1に示す。供試体の破断までの状況を比較すると、供試体 NO.1～3の乾燥状態で注入した供試体では、引張荷重が最大耐力を指した後、荷重が低下し変位のみが増加し破断に至った。破断は発泡ウレタンと岩の接着界面付近で発泡ウレタンが引き裂かれるような破断面となり、発泡ウレタンの凝集破壊となった。実験終了後の供試体の両破断面に発泡ウレタンが付着していたことから、凝集破壊であったことがうかがえる。

(写真-3) 同様に、供試体 NO.4～6の湿潤状態で注入した供試体では、破断までの状況は前者と同じであったが、破断は発泡ウレタンと岩との接着界面で亀裂が入る剥離状の破断性状となり、発泡ウレタンと岩の界面での破壊となった。供試体の破断面には発泡ウレタンが僅かに付着している程度であった。(写真-4)

引張強度の平均値は乾燥状態の供試体で、 1.3kgf/cm^2 、湿潤状態の供試体で、 1.2kgf/cm^2 となり僅かな差であった。この結果より破断の性状に違いがあるが、ウレタン注入部の引張強度は、岩盤表面の乾湿状態には左右されないと考えられる。

表-1 引張試験結果

供試体 番 号	供試体 タイプ	最大荷重 kgf	引張強度 kgf/cm^2
NO. 1	乾燥状態	107.5	1.4
NO. 2		111.8	1.4
NO. 3		80.5	1.0
平均 値			1.3
NO. 4	湿潤状態	87.5	1.1
NO. 5		91.2	1.2
NO. 6		91.8	1.2
平均 値			1.2

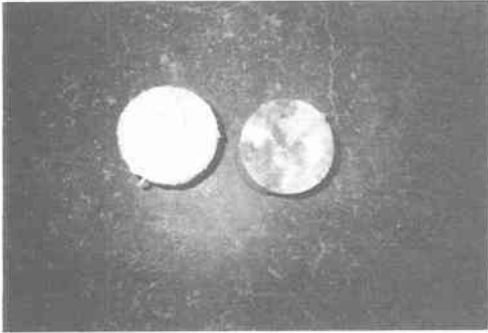


写真-3 乾燥状態供試体破断面（引張試験）

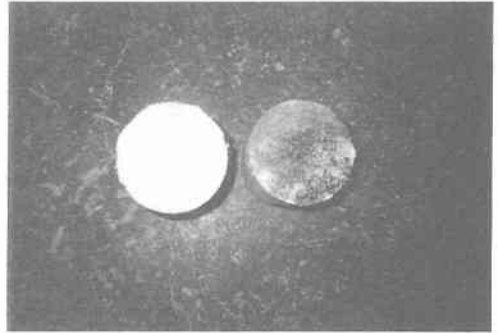


写真-4 湿潤状態供試体破断面（引張試験）

3-2 セン断試験

せん断試験の結果を表-2に示す。供試体の破断までの状況は、両供試体タイプ共に載荷を始めると、載荷方向に追従するように発泡ウレタンが変形し破断に至った。供試体の破断の状況は、供試体 NO.1～3の乾燥状態で注入した供試体では、発泡ウレタンと岩の接着界面付近で、発泡ウレタンが引き裂かれるように破断されていた。破断された供試体には、薄く発泡ウレタンが付着していた。（写真-5）同様に、供試体 NO.4～6の湿潤状態で注入した供試体も、発泡ウレタンと岩の接着界面で破断したが、破断面を観察すると載荷方向に滑るように破断された形跡があり、破断時に接着面が下方方向に引っ張られるように伸びた状態となっていた。（写真-6）

表-2 セン断試験結果

供試体 番 号	供試体 タイプ	最大荷重 kgf	せん断強度 kgf/cm ²
No. 1	乾燥状態	49.0	0.6
No. 2		38.8	0.5
No. 3		32.7	0.4
平 均 値			0.5
No. 4	湿潤状態	51.0	0.6
No. 5		32.7	0.4
No. 6		38.8	0.5
平 均 値			0.5

せん断強度の平均値は破断状態に違いがあるものの、両供試体タイプ共に 0.5kgf/cm^2 となり、ウレタン注入部のせん断強度においても岩盤の表面の乾湿の状態に左右されないと考えられる。



写真-5 乾燥状態供試体破断面（せん断試験）



写真-6 湿潤状態供試体破断面（せん断試験）

本実験とは別に大型岩盤供試体（5m³ 程度）に破碎材を用いて亀裂を発生させ、発泡ウレタンを注入し、その亀裂部からφ 100mm のコア削孔により供試体を採取した。また、注入幅は 10mm 程度の供試体を選定し、注入部が供試体中央となるように成型した後、引張試験、せん断試験を行った。その結果、引張強度が 3.6kgf/cm²、せん断強度が 1.6kgf/cm² となりコア採取後に注入をした供試体の計測結果を上回った。これは、本実験に用いた供試体の接着面はカッターにより切断したものであるが、実際に亀裂を発生させ注入を行った供試体の付着面には凹凸があり、接着面積の向上が得られたことから、前者と比較して引張、せん断強度に有利側の差が生まれたものと考えられる。このことから、実際の岩盤に注入した場合の引張、せん断強度は、本実験で得られた強度よりも大きくなると考えられる。

4. まとめ

本実験において発泡ウレタンの岩盤開口亀裂への注入材としての適用性について引張試験、せん断試験を行った結果、以下のことが明らかとなった。

- 1) 引張試験の結果から、乾燥状態供試体と湿潤状態供試体と比較した結果、引張強度は僅かな差であり、破断性状に違いがあるものの、ウレタン注入後における引張強度は岩盤の乾湿状態に左右されないと考えられる。
- 2) せん断試験の結果から、破断性状に違いがあるものの、せん断試験の平均値は、両供試体タイプ共に同一値となり、ウレタン注入部のせん断強度についても岩盤の乾湿状態に左右されることがないと考えられる。
- 3) 発泡ウレタンの破断形態は、載荷方向に追従するように変形し、引張試験では凝集破壊、せん断試験では界面破壊となる。

尚、発泡ウレタンを注入材として用いる場合、下記のこと注意到を要する。

- 1) 発泡ウレタンの注入を適用する箇所は、亀裂の幅が広い表面開口亀裂に適している。また、亀裂が内部で枝分かれしている亀裂には、充填が不可能なため、浸透性のある注入材を用いる等、他工法との併用が望ましい。
- 2) 発泡圧により岩盤の亀裂を進展させないように注入に際しては、亀裂の最深部から自由解放面に向けた施工を行うこと。
- 3) 仮設以外の目的で、使用する場合は、アンカーボルト工法、ロックボルト工法等、他工法と併用するのが望ましい。

発泡ウレタンを岩盤亀裂の注入材として適用するにあたり、施工時に生じる発泡圧が岩盤の安定性に与える影響、一定の強度を維持するために必要なウレタンの厚さ、ならび物性などについて、今後明らかにしていく必要があると考える。