

イノアック特材(株) 正会員 榎本晃司
 イノアック特材(株) ○正会員 小林圭司

1. はじめに

近年、軽量盛土材料を使用した盛土の施工が増加してきている。ここで発表する現場発泡ウレタン軽量盛土工法(R-PU R工法)とは、軽量盛土工法の一つであり、コンパクトな施工システム(2~4t車に搭載可能)を使用し、硬質ウレタン樹脂を現場で発泡させて軽量盛土体をつくる工法である。施工実績も年々増加している。(1999.10現在:約34,000m³、73件)

今回は、現場発泡ウレタン軽量盛土工法で標準的に使用する材料の特性(標準物性、一般特性、長期的な特性)及び環境に対する安全性のまとめとして報告する。

2. 工法概要

現場発泡ウレタン軽量盛土工法は、液状のウレタン樹脂を現場で30倍に発泡させて軽量盛土体を作る工法である。(写真-1参照) 本工法は、現場施工タイプであるため、現地盤に合わせた自由な形状に施工が可能で、工期の短縮、作業性の良さ、現場での廃材が出ない事などを特徴としている。その特徴から、軟弱地盤、急傾斜地の道路拡幅、橋台・カルバート等の構造物への荷重軽減、落石等の緩衝材、空洞充填などへの用途に対応が可能である。また施工設備も一式2~4t車へ搭載可能であり、材料も現場で発泡させるため、出来上がり体積の1/30を貯蔵すれば良いことから、施工・材料ヤードが少なく済むこと、耐薬品性に優れておりガソリン等の油類に侵されないこと、耐熱性が高いことなどの利点を持っている。

3. 材料特性¹⁾

3.1 一般物性

現場発泡ウレタン軽量盛土工法に使用するウレタンフォームの一般物性を表-1に示す。密度は33±3(kg/m³)と土砂に比べ約1/50と非常に軽く、圧縮強度は、1.2(kgf/cm²)以上許容圧縮応力度は、0.6(kgf/cm²)と盛土材として必要十分な強度を示し、十分使用可能である。また、硬質発泡ウレタンフォーム内部は、独立気泡で形成されているため、水が浸透しない等の特徴がある。

3.2 耐熱性・耐候性¹⁾

硬質発泡ウレタンフォームは、常時-70~+80℃温度範囲内で、3.1で説明した一般物性を確保することができ、温泉地等の地熱が高い地区、北海道などの寒冷地での使用も可能である。また、化学材質一般に言えることではあるが、長時間(2~3ヶ月)の紫外線照射は、ウレタンフォームの劣化につながるため、使用時に注意が必要である。しかし海外にて、紫外線が当たらない場所で25年間放置した硬質ウレタンの密度と圧縮強度を測定した結果、変化がなかったと報告されている。

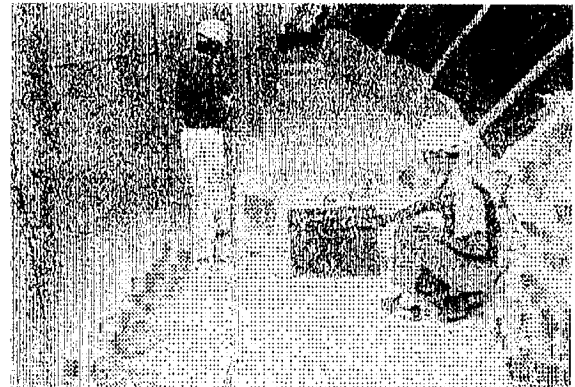


写真-1 施工状況

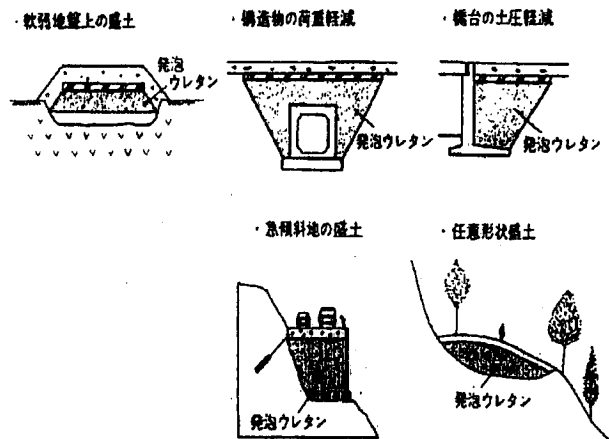


図-1 用途例

表-1 一般物性

種別 項目	試験方法	単位	標準値
密度	JIS A 9511	kg/m ³	33±3
圧縮強度	JIS A 9511	kgf/cm ²	1.2以上
許容圧縮応力度	JIS A 9511	kgf/cm ²	0.6
吸水量	JIS A 9511	g/100cm ²	2.0以下
難燃性	JIS A 9511		自己消火性

3.3 耐薬品性¹⁾

現場発泡ウレタン軽量盛土工法に使用するウレタンフォームの耐薬品性を表-2に示す。硬質発泡ウレタンは、耐薬品性に優れており、ほとんどの薬品に侵されることはない。特に、ガソリン等の油類に溶けることがないことが大きな特徴と言える。

3.4 接着性¹⁾

硬質ウレタンフォームの接着性を表-3に示す。硬質ウレタンは自己接着力を有し、対象物に直接発泡させることにより接着剤を使用することなく、接着させることができる。また現時点で設計時には、接着力を考慮してはいないが、コンクリート等の構造物に強く接着するため、構造上安定すると言える。この点については今後、研究・実験を行い、数値化していく予定である。

4. 長期的な特性¹⁾

4.1 クリープ特性

現場発泡ウレタン軽量盛土工法に使用するウレタンフォームのクリープ特性を調べるため、2年間の長期クリープ試験を実施した。試験結果を図-2に示す。載荷重条件の決定は、硬質発泡ウレタンを道路の盛土体として使用し、上部路床の厚さを1m程度とすると積載荷重が0.2(kgf/cm²)程度となる事を考慮して、3段階に設定した。載荷重0.16(kgf/cm²)、0.32(kg/cm²)では、10週程度で、載荷重0.48(kgf/cm²)では、30週程度で歪みの増加がほぼ収束している。またクリープ歪みの最大値は1~2%程度である。

4.2 繰り返し載荷試験

現場発泡ウレタン軽量盛土工法に使用するウレタンフォームの繰り返し荷重に対する影響を明らかにするため動的繰り返し載荷試験を実施した。試験に使用した供試体は、実際の現場施工と同様に室内で発泡した硬質ウレタン盛土ブロックから、50×50×50(cm)のサイズで切り出したものを使用した。試験方法は、(財)鉄道総合研究所の大型圧縮試験機を用いた。供試体を試験機にセットした後、初期圧縮応力 σ_0 まで静的載荷する。その後、表-4の条件で圧縮応力幅、載荷周波数を設定し、繰り返し回数100万回まで連続載荷した。

試験結果を図-3に示す。同図は初期圧縮応力によって生じた圧縮歪みを零点とし、その後の繰り返し圧縮によって生じた増分歪み量を示している。両結果共に繰り返し載荷回数の増加に伴い、圧縮歪みも徐々に増加している。また増加傾向も類似している。繰り返し回数100万回時点の増加歪み量は、初期圧縮応力 $\sigma_0=0.175$ (kgf/cm²)の場合で0.189%、 $\sigma_0=0.300$ (kgf/cm²)の場合で、0.299%となっている。

また、試験期間中に生じるクリープ歪みの影響を調べるため、繰り返し載荷試験の初期圧縮応力 σ_0 に等しい荷重に

表-2 耐薬品性

薬品名	安定度	薬品名	安定性
ガソリン	○	50%カセイソーダ	○
ベンゼン	○	10%塩酸	○
トルエン	○	10%硫酸	○
キシレン	○	98%硫酸	×
28%アンモニア	○	8%次亜塩素酸	○

※○：無変化 ×：溶解

表-3 硬質ウレタンフォームの自己接着力

被着体	接着力(kgf/cm ²)
E P S	1.5
木(合板)	1.5
鉄板	2.0
亜鉛鉄板	2.0
F R P	1.5
コンクリート	2.5

※試験方法：ASTM D 1623-59T

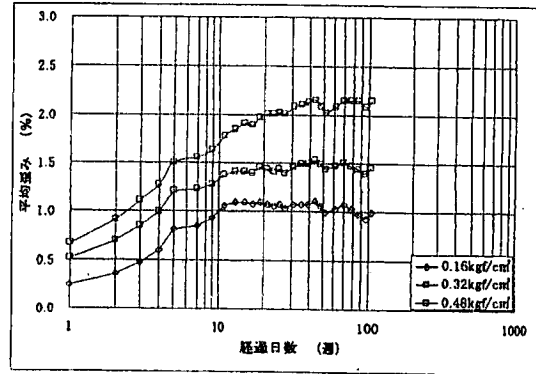


図-2 圧縮クリープ特性

表-4 載荷条件

No	載荷周波数	繰り返し載荷回数	初期圧縮応力 σ_0 (kgf/cm ²)	動的圧縮応力 $\Delta\sigma$ (kgf/cm ²)
1	5 Hz	100万回	0.175	±0.125
2			0.300	±0.100

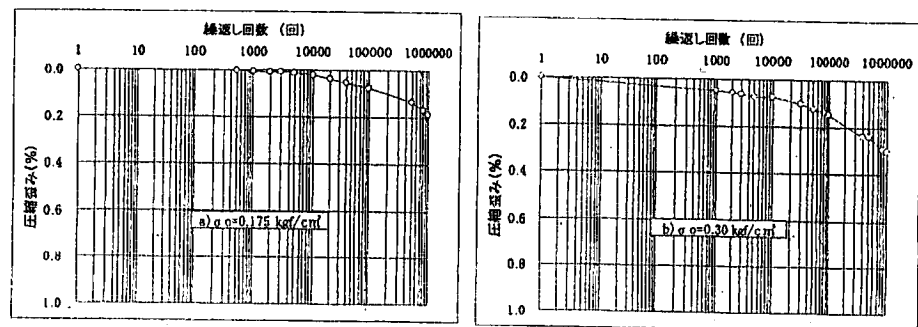


図-3 繰り返し載荷回数と圧縮歪みの関係

よるクリープ試験を実施した。その結果を図-4に示す。同図には、繰り返し载荷で生じた圧縮歪み量も合わせて示した。クリープ試験の結果に多少のバラツキがあるものの、両ケース共に繰り返し载荷により生じたと考えられていた圧縮歪みは、クリープによる歪み量と概ね一致している。このことから、繰り返し载荷による圧縮歪みの増分はほとんど無いと判断され、繰り返し载荷による硬質ウレタンへの影響は無いことが分かる。

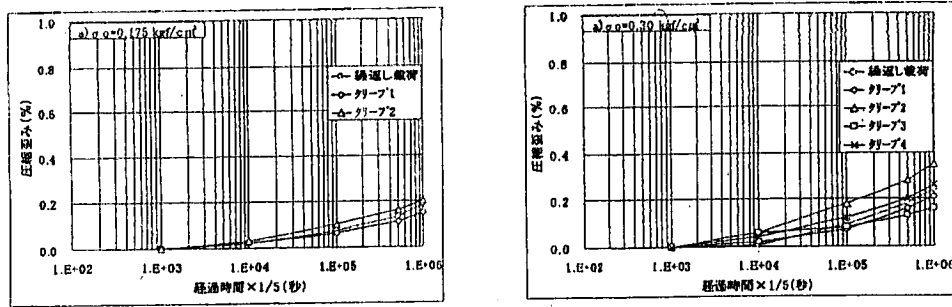


図-4 クリープ変形量並びに繰り返し载荷時の圧縮歪みと経過時間の関係

5. 環境に対する安全性

5.1 溶出試験

現場発泡ウレタン軽量盛土工法に使用する硬質ウレタンフォームに対して、重金属分析と日本水道協会規格(JWWA K 135)による溶出試験を実施し、地下水、湧水等にウレタンより有害物質が溶出しないかを確認する実験を行った。重金属分析は環境庁告示第13号に規定される方法に準じて行った。また、日本水道協会規格による溶出試験は、上水道に使用するパイプ類の内面に塗装する塗料の規格(JWWA K 135)を用いて、硬質ウレタンフォームの安全性を確認した。この2つの試験は、外部の準公共機関に依頼をして行った。

重金属分析の結果を表-5に示す。この分析結果から、硬質ウレタンフォームより抽出される水は、排水基準を十分下回るものであることが分かった。日本水道協会規格による結果を表-6に示す。この分析結果は、規格を十分下回るものであり、抽出される水に危険性がないことがわかる。

この2つに試験結果から、硬質発泡ウレタンから地下水等に有害物質が溶出する事がなく、危険性がないと判断される。

5.2 ノンフロン化硬質発泡ウレタン

現時点で、現場発泡ウレタン軽量盛土工法に使用している硬質ウレタンフォームは、発泡剤に代替フロン(HCFC-141b)を使用している。このフロンは、2004年までその使用が認められている。しかし、最近環境問題が取りだされてきているため、この工法に使用する硬質ウレタンフォームの発泡剤のノンフロン化を行う。そこで、まずノンフロン硬質ウレタンフォームを室内で施工現場と同様に発泡させ、一般物性を確認した。

その結果を表-7に示す。同結果より、発泡剤をノンフロンにした硬質ウレタンフォームは、現行のウレタンフォームの物性(表-1)と変わらない事が分かる。また、原料の配合としては発泡剤を変えているだけなので、硬質発泡ウレタンの一般特性に変化はなく、耐薬品性・耐熱性・接着性は変わらない。故に、この時点では、ノンフロン硬質ウレ

表-5 重金属分析結果

総理府令・排水基準			HM-6300N
有害物質名	基準値	単位	分析値
アルキル水銀化合物	検出されないこと		検出されず
水銀またはその化合物	< 0.005	mg/	< 0.0005
カドミウム又はその化合物	< 0.1	mg/	< 0.005
鉛又はその化合物	< 1.0	mg/	< 0.02
有機リン化合物	< 1.0	mg/	< 0.1
六価クロム化合物	< 0.5	mg/	< 0.04
ヒ素又はその化合物	< 0.5	mg/	< 0.01
シアン化合物	< 1.0	mg/	< 0.1
PCB	< 0.003	mg/	< 0.0005
トリクロロエチレン	< 0.3	mg/	< 0.002
テトラクロロエチレン	< 0.1	mg/	< 0.001
銅又はその化合物	< 3.0	mg/	0.04
亜鉛又はその化合物	< 5.0	mg/	0.05
ふっ化物	< 15.0	mg/	< 0.1

表-6 日本水道協会規格(JWWA A 135)による溶出試験結果

JWWA K 136による溶出試験			HM-6300N
試験項目	基準値	単位	分析値
濁度	< 0.5	度	< 0.1
色度	< 1.0	度	< 1.0
過マンガン酸カリウム消費量	< 2.0	mg/ℓ	1.5
残留塩素の減量	< 0.7	mg/ℓ	0.6
臭気	異常でない事		異常なし
味	異常でない事		異常なし
シアン	異常でない事		検出されず
フェノール酸	< 0.005	mg/ℓ	< 0.0025
エピクロロヒドリン	異常でない事		検出されず
アミン類	検出しない事		検出されず
トルエンジイソシアネート	検出しない事		検出されず

タンフォームは現場発泡ウレタン盛土工法の材料として使用が可能と判断でき、今後、長期的な特性の確認と現場でのテスト施工を行い、順次切り替えていく方向で検討を進めていく。

7. まとめ

現場発泡ウレタン軽量盛土工法に使用する硬質発泡ウレタンの特性のまとめと環境に対する安全性についての試験を実施した。

まとめとしては、①一般物性より、盛土材の使用には問題ないこと②クリープ試験より、圧縮応力の載荷試験によるクリープ歪みは、載荷後10～30週経過するとほぼ収束すること③100万回の繰り返し載荷試験の結果、繰り返し応力による硬質発泡ウレタンへの影響がないこと④溶出試験の結果、地下水等への有害物質が溶出する危険性がないこと⑤ノンフロンの硬質ウレタンフォームの一般物性が現行のものと同じであることが確認された。

また、本研究は、イノアックコーポレーション、(株)竹中土木、の協力で実施したものです。関係者諸氏に感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1)ウレタン土木技術研究会：現場発泡ウレタン軽量盛土工法 材料・施工マニュアル，1999.10

表-7 ノンフロンの硬質ウレタンフォームの一般物性

種別 項目	試験方法	単位	標準値
密度	JIS A 9511	kg/m ³	33 ± 3
圧縮強度	JIS A 9511	kgf/cm ²	1.2以上
吸水量	JIS A 9511	g/100cm ²	2.0以下
難燃性	JIS A 9511		自己消火性



写真-2 ノンフロンの硬質ウレタン実験状況