

# フォームライト W (R-PUR 工法)

## —現場発泡ウレタン軽量盛土工法—

中村和弘・清水敦夫

R-PUR 工法（現場発泡ウレタン軽量盛土工法）とは、軽量性、耐圧縮性、耐油性、耐熱性、接着性等の特長を有する樹脂である硬質発泡ウレタンを使用し、現地にて約 30 倍に発泡硬化させ、超軽量盛土体を形成する工法である。平成 2 年に世界で初めて試験施工して以来、500 件以上、300,000 m<sup>3</sup> 以上の実績を有している。フォームライト W は、R-PUR 工法用に開発されたノンフロン材料であり、平成 13 年に建設技術審査証明を取得し、昨年には NETIS において設計比較対象技術に指定されている。本工法の特長、施工手順および環境負荷評価について紹介する。

キーワード：盛土、軽量盛土、ウレタン、現場施工、急傾斜地、拡幅、軟弱地盤、工期短縮、耐油性、耐震性、環境負荷評価、LCA

### 1. はじめに

1985 年、日本で初めて発泡スチロール（EPS）工法が用いられて以来、軽量盛土材料は軟弱地盤対策や構造物の荷重軽減を目的として、幅広く活用されている。

中でも発泡ウレタンは、EPS の特性である超軽量性、耐圧縮性に加えて、施工性の良さ、安定した盛土体形成および大幅な工期短縮などの特長を持つことから、急峻な地形と脆弱な地質の拡幅工事現場において、多く採用されている。施工状況を写真—1 に示す。



写真—1 施工状況

### 2. 材料特性

「フォームライト W」は、R-PUR 工法用に開発された材料である。代表的物性を表—1 に示す。

表—1 フォームライトWの代表的物性

項目	試験方法	物性値
密度	JIS A9511	36 ± 4 kg/m <sup>3</sup>
圧縮強さ	JIS A9511	120 kN/m <sup>2</sup> 以上
許容圧縮応力度	JIS A9511	60 kN/m <sup>2</sup>
吸水量	JIS A9511	2.0 g/100 cm <sup>2</sup> 以下
ポアソン比		0.05
燃焼性	JIS A9511	自己消火性
耐ガソリン性	目視	溶解せず

本材料は熱硬化性樹脂に分類される硬質ウレタンであり、水を発泡剤として使用したノンフロン材料である。耐熱性、耐薬品性に優れ、例えば地熱温度が高く酸性土壌である温泉地の盛土等にも使用可能など、幅広い用途に適用できる。また、耐油性にも優れ、道路上で発生する不慮の事故の際にも被害を最小限に食い止めることができる。

燃焼性については、材料特性として自己消火性を有しており、壁面を備えた構造物としては耐火試験において延焼しないことが確認されている<sup>1)</sup>。

材料の環境性については、環境省告示 13 号、および JWVA K 143 に準拠した溶出試験において、環境汚染物質の溶出はなく、安全性が確認されている<sup>2)</sup>。

### 3. 工法の特長と用途

R-PUR 工法は、小型の専用プラントを用いて現場にて2液の原料を混合攪拌し、約30倍に発泡硬化させて軽量盛土体を形成する工法であり、以下のような特長がある。

#### (1) 工期短縮

地山の掘削をほとんど必要とせず、中間床版、盛土背面の裏込めが不要なことや、ウレタン発泡の1日あたりの標準施工数量が118 m<sup>3</sup>であることから、従来技術より大幅な工期短縮が可能である。

#### (2) 施工性

現地形状に沿って発泡硬化するため、地山との一体性が良く、狭隘な地山形状、既設構造物の取り合い部、インフラストラクチャー等の地下埋設物などの複雑な形状にも対応できる。

また、使用原料は盛土体積の約1/30であり、専用プラントも4t車に積載可能なため、施工ヤードが非常にコンパクトであり、現道交通を開放しながら拡幅工事が可能である。

原料を圧送するホースは90mあるため、施工現場から離れた位置に施工ヤードを設置することも可能である。

施工ヤード設置状況を写真-2に示す。



写真-2 施工ヤード設置状況

#### (3) 安定性

中間床版、盛土背面の裏込めが不要であり、均一な盛土体となる。また、地山、H鋼支柱、壁面材などの構造物と接着一体化するため、安定性が高い。

#### (4) 環境・安全

材料はノンフロンであり、発泡硬化後は環境汚染物

質の溶出もなく安全である。また、現場で発泡させることにより廃材ロスがほとんどないことや、重機作業が減少することから、騒音、振動が低減し、環境負荷も低減される。

#### (5) 経済性

材料は高価であるが、地山の掘削が最小限に抑えられることや工期短縮等により、トータルコストとしては従来技術と同等もしくは経済的である。

こうした特長から、急傾斜地の道路拡幅、橋台・カルバート等構造物への荷重軽減、軟弱地盤上の盛土、空洞充填などの幅広い用途に適用できる。

### 4. 施工手順

R-PUR 工法の急傾斜地での拡幅における代表的な施工断面(図-1)における施工フローを図-2に示す。

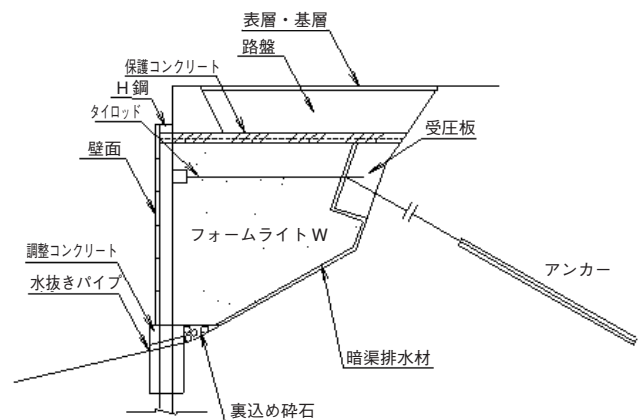


図-1 代表的な施工断面



図-2 施工フロー



足場工



アンカー工



杭打工



杭打工完成



調整コンクリート工



壁面材設置工



ウレタン発泡工



保護コンクリート工



竣工

写真-3 施工手順

施工手順を写真-3に示す。

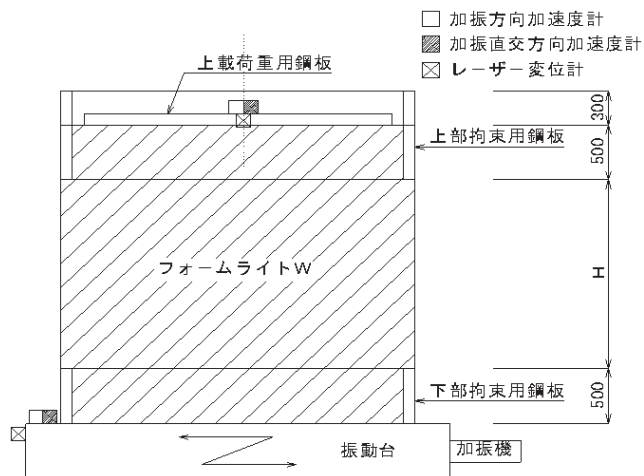
- ①作業足場等の仮設を行う。
- ②アンカーを設置する。(標準@8m)
- ③杭(H型支柱)を建て込む。(標準@2m)
- ④調整コンクリートを打設し、水抜きパイプを設置する。
- ⑤壁面材を設置する。
- ⑥壁面と地山法面との空間にウレタンを発泡充填させる。
- ⑦保護コンクリート、地覆コンクリート、舗装工など上部工を施工する。

## 5. 耐震性

### (1) 実物大振動台実験

軽量土の使用により構造物の基礎地盤に作用する常時の土圧とともに、地震時に生じる土圧も軽減できる。しかしながら、フォームライト W の密度は土の約 1/50 であるため、舗装等の上載荷重が相対的に過大なものとなり、いわゆるトップヘビー状態になる。このような特性から、その振動特性、地震時における安定性に対する基礎データの収集を目的として実物大振動台実験を行った<sup>3)</sup>。

高さ 6 m の供試体 (図-3) に荷重を載荷し、レベル 2 振動を与えると、供試体の取付け部で拘束板と供試体の間に剥離が見られたが、他の部位での損傷は見られずレベル 2 振動に対しても十分な耐力を有するこ



図—3 振動台実験供試体概略図

とが明らかとなった。

(2) 新潟県中越地震後調査

平成 16 年 10 月 26 日に発生した新潟県中越地震は、各種の社会基盤構造物に甚大な被害をもたらし、とりわけ山間部においては各所に法面崩壊を引き起こした。

新潟県における R-PUR 工法の施工実績は、平成 16 年 10 月までに 26 件、15,916 m<sup>3</sup> であり、特に震央に近い 2 現場について調査した結果、周辺地域の土羽盛土部が崩壊しているのに対して、路面および側壁等に変状が生じていないことから、地震に対して有効な工法であることが確認された<sup>4)</sup>。確認状況を写真—4 に示す。



写真—4 国道 290 号 R-PUR 工法現況

6. 環境負荷評価

LCA (ライフサイクルアセスメント) は構造物建設時から、維持、修繕を含めた廃棄段階までのサイク

ルを視野に入れた環境負荷評価の一手法である。

現場発泡ウレタンを用いた軽量盛土工法は道路工事において、他工法に比べ CO<sub>2</sub> 排出量が少ないことが報告されている<sup>5)</sup> (表—2)。

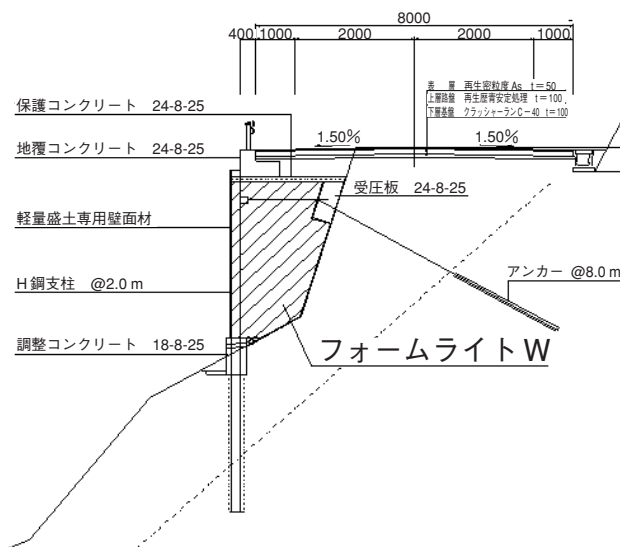
表—2 合計 CO<sub>2</sub> 排出量<sup>5)</sup> (kg-C)

工種	第1案	第2案	第3案
	逆T型擁壁工法	軽量盛土工法	補強土壁工法
材料①	3396	327.97	2601.47
	コンクリート	ウレタン	鋼版
材料②	113.97	327.13	585.25
機械	467.57	84.63	399.51
運搬	735.53	139.82	573.6
合計	4713.07	879.56	4159.83

\*材料①：主な材料

\*材料②：①以外の材料

また、R-PUR 工法施工時における環境負荷評価として、CO<sub>2</sub> や NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> の排出量のインベントリ分析を行った結果を示す<sup>6)</sup>。算出には図—4 の断面図を用いた。



図—4 標準断面図

各排出量の算出は、産業連関表を用いて算出された原単位および独立行政法人国立環境研究所地球環境センターより発行されたデータブック<sup>7)</sup> による原単位を採用した。各工種ごと 10 m 当たりの環境負荷を表—3 に示す。

CO<sub>2</sub> 排出量は温室効果ガス、NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> 排出量は大気汚染物質、酸性化影響物質として環境へ影響を与えている。

割合をみるとコンクリート工と R-PUR 工が各排出ガスのほとんどを占めており、単位体積あたりではコンクリート工の影響が大きいことが判る。

表—3 R-PUR 工法の環境負荷内訳

*表中の割合は (%)								
工種	単位	数量	CO <sub>2</sub> (t-C)	割合	NO <sub>x</sub> (kg)	割合	SO <sub>x</sub> (kg)	割合
土工	m <sup>3</sup>	4.79	1.243 × 10 <sup>-2</sup>	0.12	2.236 × 10 <sup>-2</sup>	0.03	2.110 × 10 <sup>-2</sup>	0.08
舗装工	m <sup>2</sup>	80.00	1.698 × 10 <sup>-1</sup>	1.58	1.270 × 10 <sup>0</sup>	1.95	1.148 × 10 <sup>0</sup>	4.16
コンクリート工	m <sup>3</sup>	20.01	3.925 × 10 <sup>0</sup>	36.45	2.840 × 10 <sup>1</sup>	43.48	4.268 × 10 <sup>0</sup>	15.45
壁面工	m <sup>2</sup>	45.00	2.089 × 10 <sup>0</sup>	19.40	1.452 × 10 <sup>1</sup>	22.23	5.860 × 10 <sup>0</sup>	21.21
アンカー工	m	8.75	9.370 × 10 <sup>-2</sup>	0.86	4.320 × 10 <sup>-1</sup>	0.66	1.753 × 10 <sup>-1</sup>	0.63
R-PUR 工	m <sup>3</sup>	84.80	4.479 × 10 <sup>0</sup>	41.59	2.067 × 10 <sup>1</sup>	31.65	1.616 × 10 <sup>1</sup>	58.47
合計			1.077 × 10 <sup>1</sup>		6.531 × 10 <sup>1</sup>		2.763 × 10 <sup>1</sup>	

表—4 R-PUR 工法のエネルギー消費量<sup>8)</sup>

工種	単位	数量	エネルギー消費量	割合
土工	m <sup>3</sup>	4.79	1.814 × 10 <sup>5</sup>	0.16
舗装工	m <sup>2</sup>	80.00	6.140 × 10 <sup>6</sup>	5.46
コンクリート工	m <sup>3</sup>	20.01	2.557 × 10 <sup>7</sup>	22.74
壁面工	m <sup>2</sup>	45.00	1.904 × 10 <sup>7</sup>	16.94
アンカー工	m	8.75	1.534 × 10 <sup>6</sup>	1.36
R-PUR 工	m <sup>3</sup>	84.80	5.996 × 10 <sup>7</sup>	53.33
合計			1.124 × 10 <sup>8</sup>	

\*表中のエネルギー消費量は kcal, 割合は (%)

また、図—4 の断面を用いて各工種ごと 10 m あたりのエネルギー消費量を算出した結果を表—4 に示す<sup>8)</sup>。排出ガスと同様の結果が得られている。

したがって、急傾斜地の拡幅工事においては、掘削量を可能な限り減少し、排出量の多いコンクリート工の数量を増加させない範囲で軽量盛土体断面を小さくすることが環境負荷低減に最も効果的であるといえる。

LCA を実施する際、最も重要となるのは、維持・補修間隔の設定である。しかし、前述したように、R-PUR 工法で使用する硬質ウレタンは非常に優れた安定性を有しているため、維持・補修間隔を推定することは困難である。今後、総合的な LCA の評価方法の検討が課題である。

## 7. 今後の課題

R-PUR 工法は、日本の地形・地質に適した優れた軽量盛土工法として、平成 19 年 12 月までに 500 件以上、30 万 m<sup>3</sup> 以上の施工を実施しており、今後も急傾斜地の道路拡幅および新設工事を中心に採用が見込まれる。

ただし現状において以下のような課題がある。

- ①材料自体が石油製品であるため比較的高価である。また、杭・アンカーの設置コストの影響も大きい。今後は、杭・アンカーの不要な新構造の開発や、他

の安価な材料との併用等の技術開発が必要である。

- ②世界で初めて試験施工して以来、現在まで 18 年程度しか経過していないため、材料寿命が正確に評価できていない。今後、既設現場の追跡調査を継続することにより、材料の寿命が明らかとなり、維持・補修時期についても推定することが可能となる。

- ③リサイクルについては、現状のサーマルリサイクルに加えて、断熱材料もしくは土木構造物として再利用できるクローズドリサイクルの開発が望まれる。

こうした課題を解決することで、近い将来、用途が拡大し、採用増加が見込まれると思われる。 [J]C[M]A

### 《参考文献》

- 財団法人土木研究センター、建設技術審査証明報告書 土木材料・製品・技術(健技審証第 0112 号)現場発泡ウレタン軽量盛土材料「フォームライト W」、pp.27-28 (2006.12 更新)
- ウレタン土木技術研究会、「フォームライト W」材料・施工マニュアル第 3 版、pp.33-34 (2007.1)
- 中村和弘・榎本晃司・青木徹彦・三田部均：現場発泡ウレタン盛土の実物大振動台実験、土と基礎、51 [4]、pp.14-16 (2003.4)
- 中村和弘・三田部均・遠藤大輔：新潟県中越地震における現場発泡ウレタン盛土工法の調査報告、土木学会中部支部 研究発表会講演概要集、pp.543-544 (2006.3)
- 松本潤・多賀谷宏三：LCA による道路工事の環境影響評価、第 7 回高知県地盤工学研究会研究発表会講演要旨集 (2001.11)
- 中村和弘・三田部均：軽量盛土工法の環境負荷、土木学会四国支部第 10 回技術研究発表会 講演概要集、pp.384-385 (2004.5)
- 南齋規介・森口祐一・東野達：産業連関表による環境負荷原単位データブック、独立行政法人国立環境研究所地球環境センター、(2002.3)
- 中村和弘・三田部均：軽量盛土工法のエネルギー消費とリサイクル、土木学会四国支部 第 12 回技術研究発表会 講演概要集、pp.466-467 (2006.5)

### 【筆者紹介】

中村 和弘 (なかむら かずひろ)  
ウレタン土木技術研究会  
技術委員会委員長



清水 敦夫 (しみず あつお)  
ウレタン土木技術研究会  
技術委員

