

すこし軽い盛土材を使った すこし重い補強土壁

田中 弘子¹

¹東近江土木事務所 道路計画課

国道421号の佐目萱尾工区では、隣接する永源寺ダム湖側へ張り出すことにより現道を拡幅しているが、急峻な地形のため、補強土壁と重力式擁壁基礎の高さを合わせると全高が20mを超える箇所がある。そのため、盛土材に土砂を使用すると、擁壁に過大な土圧が発生する。その土圧の軽減を図るため、盛土材に廃ガラスピンを原材料としたリサイクル製品で、環境への配慮も可能な軽量材を採用したので、その経緯および施工について報告する。

キーワード ダム湖，補強土壁，土圧，軽量材，細粒化，リサイクル

1. はじめに

国道421号は、三重県桑名市の国道1号を起点とし、東近江地域を通過し、近江八幡市の国道8号を終点とする約70kmの幹線道路である。このうち、未改良区間である佐目萱尾工区（図1）は、永源寺ダム湖畔を通る約4.7kmの区間で、線形が悪く、道幅も狭いため渋滞が頻発しており、早期の改修が望まれている。佐目萱尾工区では、橋梁や現道拡幅により、永源寺ダム湖側へ道路を張り出す計画で整備を進めている。

整備区間は山間部のため、急峻な地形に適した構造で、ダム湖の貯水量への影響も考慮した計画とし、直壁構造の補強土壁を採用している。

本内容は、補強土壁の盛土が高い区間において、軽量盛土材を採用した経緯、施工方法について紹介する。

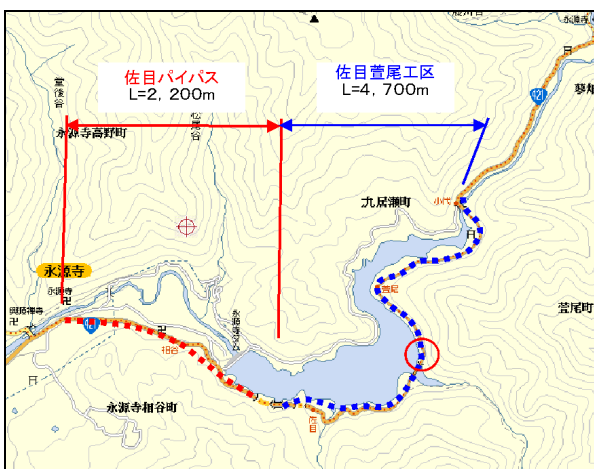


図-1 位置図

2. 軽量盛土材の採用経緯

(1) 補強土壁の採用

拡幅する道路の構造選定は、次の条件を踏まえて検討した。

- ・現道の迂回ルートはなく、現道交通を確保しながらの施工となり、掘削時にも5.0m以上の幅員を確保する。
- ・掘削範囲を最小限に抑えるように、盛土構造とする。
- ・永源寺ダムは農業用利水ダムであり、貯水量を極力減らさないような構造とする。
- ・永源寺ダム貯水域への張り出し幅を抑えるため、直壁構造を基本とする。
- ・最大盛土高さは10mを超える。

検討の結果、最大盛土高さが10mを超える直壁構造の擁壁で、採用が可能な形式は「補強土壁」であった。

次に、補強土壁の基礎形式の選定について、当区間は法面に岩が露頭しており、表-1の支持力が期待できるため、直接基礎とした。

当区間の谷部では、岩盤が風化して堆積したN値にバラツキがある崖錐堆積物が厚く分布しており、支持層はそれより下に分布する軟岩・中硬岩となるため、深い位置となる。ダム湖の常時満水位（270.0m）より支持層が深くなる区間は重力式基礎、ダム湖の常時満水位より浅くなる区間は布基礎とした。

当区間は、曲線箇所で見直ししていることから、ダム湖側への張り出し幅が広くなり、重力式基礎は最大9.0mの高さとなる。重力式基礎と補強土壁の高さを合わせると、全高が20.0mを超える箇所もあり、基礎に大きな土圧が作用することになる。

表-1 支持地盤の種類と許容支持力度（常時値）

支持地盤の種類		許容支持力度 q _a (kN/m ² (tf/m ²))	一軸圧縮強度 q ^u (kN/m ²)
岩盤	亀裂の少ない均一な硬岩	1000(100)	10,000以上
	亀裂の多い硬岩	600(60)	10,000以上
	軟岩・土丹	300(30)	1,000以上

(2) 最大盛土高での安定検討

重力式基礎と補強土壁の組合せで、基礎の擁壁高が最も高くなる図-2の断面にて、重力式基礎の安定計算を行った。

設計条件として、コンクリートは（単位体積重量）=23.0kN/m³、裏込材（砕石）は =20.0kN/m³・（内部摩擦角）=35°、補強土壁の盛土材は =19.0kN/m³・=30°とする。支持力度に関しては、軟岩～中硬岩級の緑色岩を支持地盤とし、表-1より常時600kN/m²、地震時900kN/m²（常時の1.5倍）を許容支持力度とした。

計算結果は表-2のとおりで、滑動・転倒に対しては許容値の範囲内であったが、地盤反力に関して許容支持力度を上回った。

そこで、安定した構造とするため、地盤反力度を低減する対策が必要となった。

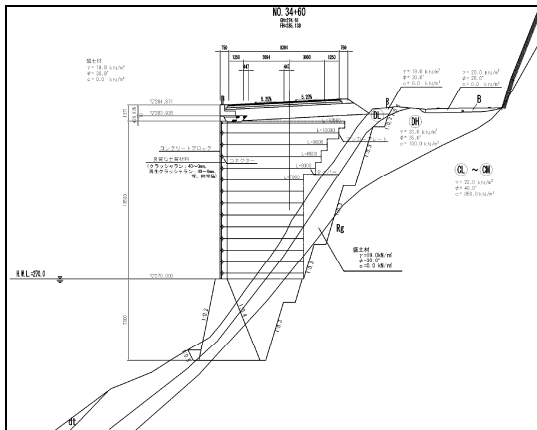


図-2 検討断面

表-3 擁壁工比較検討表

工法	第1案 補強土壁(テールアルメ)+ 軽量材	第2案 補強土壁(多数アンカ)+ 軽量材	第3案 補強土壁 + EPS	第4案 EPS
検討断面図				
工法概要	・盛土内に帯鋼や鉄筋などの補強材(メッシュ)を敷き込み、土とメッシュの摩擦抵抗により一体化した盛土体を形成する工法 ・適用高さは20m程度 ・盛土材に軽量材 =4.5kN/m ³ 使用(土砂の約1/4)	・盛土内の多数のアンカプレートにより疑似的な壁面が形成され、疑似壁と前面の壁面材に挟まれた盛土材が拘束されることにより安定を保つ工法 ・適用高さは20m程度 ・盛土材に軽量材 =4.5kN/m ³ 使用(土砂の約1/4)	・補強土壁とEPSを複合することで経済性を抑えつつ、軽量化を図る ・各工法箇所それぞれの特長となる	・大型の発泡スチロール(EPS)を盛土材料として積み重ねていくもので、材料の超軽量性、耐水性および自立性等の特徴を利用する工法 ・急峻地で層付け盛土等に用いることで、地山の切盛土量を減少させることができる ・適用高さ15m程度 ・単位体積重量は0.1~0.3kN/m ³ (土砂の約1/50~1/100)
経済性 (千円/m)	4,225 (1.08)	3,903 (1.00)	4,421 (1.13)	5,107 (1.31)
評価		(経済比較)		x

表-2 重力式基礎の安定計算結果

検討項目		常時		()内は許容値	
		計算結果	判定	計算結果	判定
滑動に対する安定	滑動安全率 F _s	2.964 (1.500)		1.986 (1.200)	
転倒に対する安定	偏心距離 e (m)	-0.536 (1.000)		0.150 (2.000)	
支持力度に対する安定	鉛直支持力度 q (kN/m ²)	861 (600)	x	824 (900)	

(3) 地盤反力度の低減対策

基礎の高さと自重は比例し、高さを低くできれば地盤反力度も低減できる。しかし、支持層の位置から基礎の位置が決まっており、基礎の高さを低くすることはできず、基礎の形状変更はできない。そのため、地盤反力度を低減させるには、補強土壁の自重を軽くするしか方法がなく、補強土壁の部材は変更できないため、盛土材料を軽量化することで、土圧の軽減を図る必要がある。

盛土材料の軽量化の対応として、「補強土壁の盛土材を軽量材とする案」、「EPS（発泡スチロール）とする案」、「補強土壁+EPSの複合案」で比較検討した。（表-3参照）

軽量材の重さは土砂の約1/4、EPSの重さは土砂の約1/100であり、EPSは軽量性に非常に優れているが、経済性が劣っている。

施工性については、いずれも二次製品を使用するため優れているが、比較すると、複合案は異なる2工法を施工するため、少し劣る。

比較案の中で「補強土壁+軽量材」が経済性に優れているので、補強土壁の2つの工法「テールアルメ」と「多数アンカ」にて比較した。テールアルメは、盛土中に設置した帯鋼と盛土材の摩擦抵抗により安定を保つ工法である。多数アンカは、壁面材とアンカプレートの拘束効果により、盛土の安定を図る工法である。テールアルメの補強材の最小長は4.0mかつ壁面高さの0.4倍であるのに対し、多数アンカの補強材の最小長は2.5mと短い。そのため、多数アンカの方が掘削・盛土範囲を抑えることができ、表-3のとおり、経済性・施工性に一番優れている評価となったため、「補強土壁（多数アンカ）の盛土材を軽量材とする案」を採用した。

(4)軽量材の選定

軽量材の比較は、NETISに登録されている軽量盛土材のうち、補強土壁の盛土材として使用できる表4の3種類から選定した。

カルグリやカルストーン相当を想定し、単位体積重量が11kN/m3の場合の安定計算を行ったところ、支持力に関し、許容支持力を上回る結果となり、構造上アウトとなった。

そこで、単位体積重量が11kN/m3未満で一番軽量な「スーパーソルR」にて検討した。

表-4 軽量盛土材一覧表

登録名称	軽量盛土材 スーパーソルR	太平洋触ストーン (人工軽量盛土材)	触グリ
登録番号	OS-980235	CBK-040001-V	KT-010060-V
単位体積重量	4~5kN/m3	10~11kN/m3	11~12kN/m3
内部摩擦角	30度以上	42度	40度
製品概要	膨らみを粉砕・焼成発泡させて生成する人工の多孔質軽量盛土材	天然の岩石である膨張性頁岩を約1150℃で焼成・発泡させて製造する人工軽量盛土材	膨張頁岩を主原料とし、原料の一部に下水道汚泥等の焼却灰を使用し、約1100℃で高温焼成し粒度調整した人工軽量盛土材
製品写真			

補強土壁の盛土材を単位体積重量4.5kN/m3のスーパーソルRとした場合、表5に示すとおり、支持力に対する許容値は満足した。あとは浮力に関してだが、地震時で滑動に対する規格値を満足していないため、路床材を普通土からスーパーソルRに変更し、軽量化することで、表6のとおり安全率をクリアする結果となった。

表-5 路床材が普通土の場合の安定計算

検討項目		()内は許容値							
		常時		常時+浮力		地震時		地震時+浮力	
		計算結果	判定	計算結果	判定	計算結果	判定	計算結果	判定
滑動	滑動安全率 Fs	2.033 (1.500)		1.851 (1.500)		1.353 (1.200)		1.184 (1.200)	×
転倒	偏心距離 e (m)	0.603 (1.067)		0.643 (1.067)		1.228 (2.133)		1.436 (2.133)	
支持力	鉛直支持力 q (kN/m ²)	399 (600)		296 (600)		556 (900)		450 (900)	

表-6 路床材が軽量材の場合の安定計算

検討項目		()内は許容値							
		常時		常時+浮力		地震時		地震時+浮力	
		計算結果	判定	計算結果	判定	計算結果	判定	計算結果	判定
滑動	滑動安全率 Fs	2.113 (1.500)		1.936 (1.500)		1.392 (1.200)		1.217 (1.200)	
転倒	偏心距離 e (m)	0.597 (1.067)		0.637 (1.067)		1.215 (2.133)		1.429 (2.133)	
支持力	鉛直支持力 q (kN/m ²)	383 (600)		280 (600)		532 (900)		425 (900)	

そのため、スーパーソルRは、補強土壁の盛土材と路床材に使用することとした。

なお、スーパーソルRの路床材としての適否については、他府県で使用実績があることや、一軸圧縮強度が2N/mm2(2000kN/m2)以上であり、軟岩・土丹以上の強度を有すること、CBR値が17%以上であり当工区的设计CBR8%を満足することから、路床材としての使用が可能と評価した。

スーパーソルRの施工範囲は、普通土による盛土の限界位置から決定し、重力式基礎で5.0mが支持地盤の支持力が不足するため、重力式基礎が5.0m以上となる範囲となった。

本工事では、スーパーソルRを約8,000m3と多量に使用するため、工場の生産能力や納期等を事前に確認した。その結果、体制は十分に整っており、採用可能な材料と判断した。

3. スーパーソルRの特徴

(1)製品の特性

スーパーソルRは、捨てられるガラスピンを原材料としたりサイクル製品である。原材料となるガラスは3色(白・茶・その他)で、色によって強度が異なるため、3色を均等に使用することにより製品の均一化を図っている。

ビール瓶大瓶(600g)を約415本使って1.0m3のスーパーソルRができあがる。本工事全体の材料使用量は、約332万本のビール瓶大瓶に相当する。ちなみに、私は1年間に大ピンを約700本消費するので、およそ4740年分の飲酒量に相当します。

スーパーソルRの製造は、ガラスピンを粉状になるまで粉砕し、発泡材を加えて約700~900℃で加熱して発泡する。板状に焼成したガラスを外気で冷やすと自然に割れ、75mm以下の塊の製品ができあがる。

材料の粒度は、礫分が90%以上で、礫状のリサイクル軽量盛土材とし、通常の土砂と同様の扱いで敷均し・締固めを行うことができるので、特別な機械は必要ない。

材料は、締固め後の透水係数が $1 \times 10^0 \sim 3 \times 10^{-2} \text{cm/s}$ と透水性が高く、水を含んでも土砂のようにぬかるむことなく、取り扱いやすい盛土材である。

また、現場では、補強領域内への雨水や湧水等の侵入を防止・排除するため、基盤排水層に透水性がよい砕石を使用している。

スーパーソルRは、環境基準値を守っており、環境にも優しく、安全な製品である。

a)単体の特性

絶乾密度：0.4~0.5g/cm3

吸水率：30%以下

一軸圧縮強さ：2N/mm2以上

b)締固め時の特性

最大乾燥密度：0.34~0.39g/cm3

最適含水比：10~30%

内部摩擦角：30°以上

c)土壌汚染に係る環境基準

カドミウム、鉛、砒素、セレン：0.01mg/以下

シアン化合物：0.1mg/以下

水銀：0.0005mg/以下

六価クロム：0.05mg/以下

ふっ素：0.8mg/以下

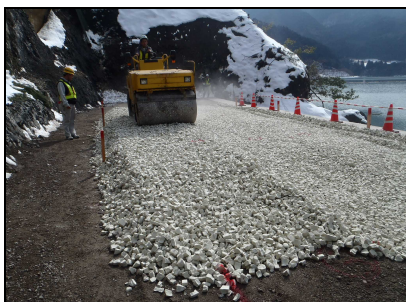
ほう素：1.0mg/以下

(2)試験施工

軽量材の敷均し・締固めにあたっては、締固め不足による不適切な施工を防ぐことや、過度な締固めにより細粒化が進むことによる重量の増加を防ぐ必要があり、適正な比重を確保することを目的とし、事前に試験施工を行い、施工機械の選定、転圧回数の決定および巻出し厚さの決定を行った。試験施工の状況は、図-3による。

試験方法としては、軽量材をバックホウにて30cmで巻出し敷均し、4t振動ローラーで2回、4回、10回の3通りで転圧を行い、それぞれの転圧後、現場密度試験および表面沈下量の測定を行った。

現場密度試験は、突砂法による砂置換法（250）とし、試験箇所は3点とした。それぞれの転圧回数の乾燥密度を測定し、現場乾燥密度 / 最大乾燥密度で締固め度を算出する。必要となる締固め度は、品質管理基準より95%であり、この品質管理規格値以上となる転圧回数を確認した。



転圧状況



密度計測



沈下量計測

図-3 試験施工の状況

試験結果は、図-4に示すとおりで、締固め度95%を満たすための転圧回数は8回であった。

表面沈下量の測定方法は、基準高さに水系を張り、それぞれの転圧後、基準高さからの下がりを確認する。1断面あたり3点で、3断面の沈下量を測定する。

図-5に表面沈下量測定結果を示す。30cmの巻出しで8

回転圧の場合、沈下量は5cmから6cmであり、仕上がり厚さ25cmから考えて、30cmの巻出し厚さが適切と考えられる。

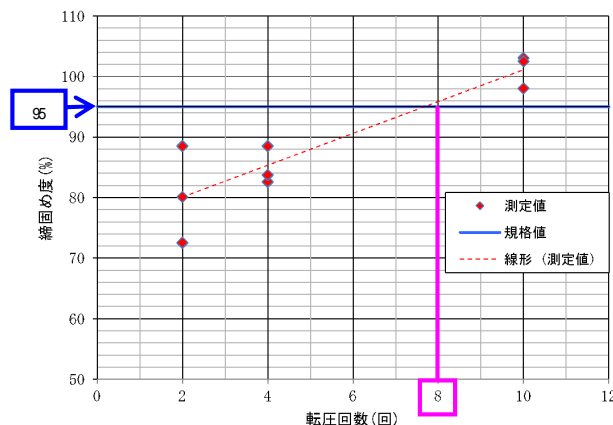


図-4 試験施工の結果（締固め度と転圧回数のグラフ）

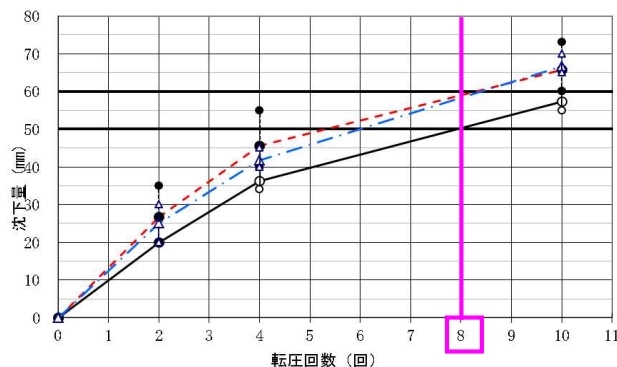


図-5 試験施工の結果（転圧回数と沈下量のグラフ）

試験施工の結果から、締固め度95%を満たすために、下記の条件にて現場の施工をすることとした。

転圧機械：4t 振動ローラー

転圧回数：8回

巻出し厚：30cm（仕上がり25cm）

(3)現場の管理

現場の施工管理は、通常の土砂と同様の扱いとなるが、軽量材は単体の粒子が大きく、重機による転圧により粒子が細粒化する。過度に締固めを行うと、細粒化が進み、軽量材による盛土の重量が重くなり、軽量材の特性を損なうことになる。そのため、現場での施工において、締固め度の管理が重要となってくる。

試験施工にて決定した巻出し厚、転圧機械、転圧回数により現地で施工し、適正に締固めの管理ができているか、確認した。これまでに実施した軽量材の現場密度試験の結果は、表-7のとおりであり、8回の転圧で現場密度95%を満たしており、施工条件は適正と考えられる。

また、現場は図-6に示すとおり、進入口が片側にしか設けられず、重機の走行が1方向に制約され、軽量材転

圧後も土砂や資材搬入で走行するため、締固めが大きくなる傾向があるが、過度な締固めとはなっていないことが確認できた。

表-7 現場密度試験結果一覧

試験箇所	締固め度	平均	規格値
4層目	95.56	95.89	95%以上
9層目	95.28		
18層目	96.67		
20層目	96.11		
25層目	95.83		

軽量材による盛土は、図-6のとおり、土砂による盛土と隣接している。軽量材は、締固め後も粒子間隙が大きいため、間隙内に土砂が混入する恐れがある。そのため、軽量材と土砂の境界は透水シートにて分離し、土砂の混入により盛土重量が重くならないよう対応した。軽量材の間隙内に細粒分が混入してしまうことは、現場密度試験でも同様であり、250の試験孔にビニール等を敷き、砂と軽量材を分離し、適切な結果を計測するように管理した。



図-6 軽量材施工状況

盛土材の品質について、材料の吸水率が高くなると、重量が重くなる。吸水率が基準の30%を超えると、計算上の盛土材の重量を超える。そのため、工場検査や抜取り試験にて、吸水率が30%以下であることを確認した。また、図-7のような異常発泡をしたものは、圧縮強度がばらつき、密度管理に影響が出るため、不良品のないことを確認した。

表-8 施工材料の品質結果一覧

検査項目	検査結果	規格値
絶乾密度	0.43	0.4 ~ 0.5g/cm ³
吸水率	6.33	30%以下
一軸圧縮強さ	6.46	2N/mm ² 以上
最大乾燥密度	0.357	0.34 ~ 0.39g/cm ³
最適含水比	10.3	10 ~ 30%
内部摩擦角	32.6	30°以上

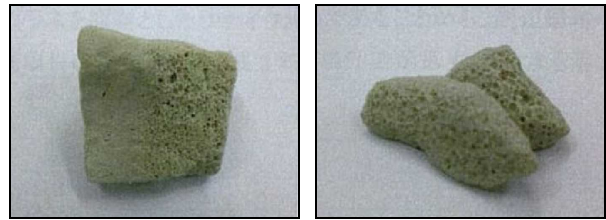


図-7 スーパーソルRの異常発泡事例

4. 考察

これまでに述べたように、スーパーソルRは、圧縮により材料を細粒化させることにより締固めていくものである。本工事では、補強土壁の盛土から路床までスーパーソルRを使用することから、供用開始後、交通荷重や舗装荷重などの上載荷重により、粒子の細粒化が進み、路面が沈下する可能性があるのではないかと考えられる。

図 8は、土質基礎工学ライブラリー36 土の締固めと管理からの抜粋で、振動ローラーなどの締固め効果と地表からの深さの関係を示している。一般のローラーでは、地表から60cmより深い位置では、締固めが有効に行えていない状態であることが解る。

供用後の繰り返し荷重を、振動ローラーで読み替えて考えると、路面から60cmより深い位置には、荷重の影響は出ないと想定される。

供用後の舗装構成は、表層5cm、基層5cm、上層路盤15cm、下層路盤15cm、合計で40cmのため、路面から60cmとは、路床の20cm分までが、影響を受けると想定される。

締固め密度が100%になったと仮定すると、およそ1.0cmの沈下が予想されるので、供用後、高さを測定し、経過観察をしていく必要があると考える。

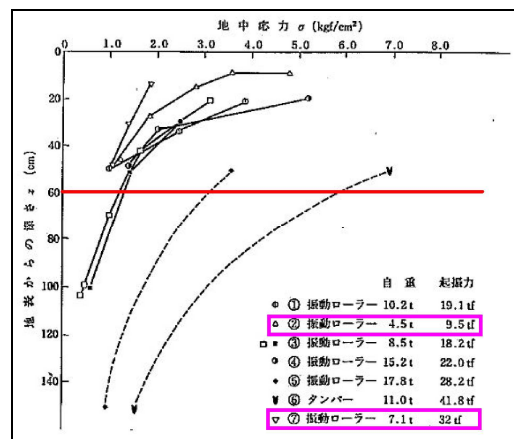


図-8 振動ローラーなど実測地中応力と深さの関係

参考文献

- 1)平成20年度第B2R2-2号 国道421号緊急地方道路整備設計委託報告書
- 2)道路土工 擁壁工指針 平成11年3月(社団法人日本道路協会)
- 3)土質基礎工学ライブラリー36 土の締固めと管理(土質工学会)