

アスファルト廃材の盛土材料としての
利用技術に関する研究

共同研究報告書

平成31年3月

国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所
一般財団法人札幌市下水道資源公社

Copyright © (2019) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Chief Executive of P.W.R.I.

この報告書は、国立研究開発法人土木研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、国立研究開発法人土木研究所理事長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

アスファルト廃材の盛土材料としての 利用技術に関する研究 共同研究報告書

国立研究開発法人土木研究所 寒地土木研究所
寒地基礎技術研究グループ 寒地地盤チーム

上席研究員 畠山 乃
総括主任研究員 林 宏親
主任研究員 佐藤 厚子
研究員 守田 穂人
前上席研究員 山梨 高裕^{※1}

一般財団法人札幌市下水道資源公社
道路事業課

道路事業係 山辺 俊明

※1：現 寒地土木研究所寒地保全技術研究グループ長

要旨

一般財団法人札幌市下水道資源公社では、資源の有効活用、自然環境の保護、廃棄物最終処分場の延命および不法投棄の防止などを目的として道路工事で発生するアスファルト廃材と建設発生土の再利用を進めている。これまで舗装用アスファルトとしてアスファルト廃材の再生利用を図ってきたが、土木材料としてのさらなる利用拡大を図るため、アスファルト廃材の有効利用方法を開発する必要がある。

そこで、これまで寒地土木研究所で検証したアスファルト廃材の室内試験および実物大盛土の試験施工を参照して、再生骨材Ⅰ型と再生土を用いた実物大の試験盛土を施工した。

その結果、再生骨材Ⅰ型および再生骨材Ⅰ型と再生土との混合土による盛土は施工性も良く土木材料としての適用性が確認できた。また、盛土の圧縮やひび割れを確認したが、その抑制方法についても確認できた。

キーワード：リサイクル、アスファルト廃材

目 次

1. はじめに	1
2. 試験方法	1
2-1 盛土材としての検討	2
2-2 アスファルト性状の確認	2
3. 試験結果	4
3-1 盛土材としての適用性	4
(1) 施工性	4
(2) 施工後の密度	4
(3) 盛土の高さの変化	5
(4) 盛土の強度の変化	6
(5) 盛土の変状	7
(6) 盛土内部の温度	9
(7) 凍上性判定試験の確認	11
3-2 アスファルトの性状と沈下量の関係性の把握	12
4. まとめ	14
5. おわりに	15

参考資料（共同研究関係論文）

1. はじめに

一般財団法人札幌市下水道資源公社では、資源の有効活用、自然環境の保護、廃棄物最終処分場の延命および不法投棄の防止などを目的として道路工事で発生するアスファルト廃材と建設発生土の再利用を進めている。これまで舗装用アスファルトとしてアスファルト廃材の再生利用を図ってきたが、土木材料としてのさらなる利用拡大を図るため、本研究ではアスファルト廃材の有効利用方法を開発することを目的としている。これらを達成するためには、基本的な物性値の確認、試験盛土による施工性および盛土の品質の確認が必要である。

アスファルト廃材の土木材料としての適用性を効率的、効果的に確認すべく、アスファルト廃材を用いた再生骨材の開発実績がある当公社と、アスファルト廃材の利用方法に関する豊富な知見、経年データの蓄積がある国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所で共同研究を行った。本文はこれらを報告するものである。

2. 試験方法

寒地土木研究所でこれまで実施したアスファルト廃材の現場試験施工¹⁾²⁾により、アスファルト廃材のみでは盛土高さの約10%の沈下の発生と盛土天端部にひび割れの発生を確認したが、土砂を混合することにより沈下量は3%程度でひび割れは発生しなかった。これより、変状が小さい盛土を施工するための最適な土砂混合率を求めるために、検討対象のアスファルト廃材に土砂の割合を変えて混合した。

室内試験および実物大の試験施工に用いたアスファルト廃材は、札幌市アスファルト再生プラント東工場で生産される再生骨材I型（以降、As廃材と称する）である。この材料は札幌市の道路工事で発生したアスファルトがらを解砕機で粉砕し0~40mmに粒度調整したものである。混合した土砂は、札幌市中沼路盤材リサイクルプラントで生産されている再生土（以降、再生土と称する）で札幌市内の工事現場の火山灰土と火山灰以外の発生土砂を洗浄して粗粒分を取り除きフィルタープレスした脱水ケーキを体積比1:1で混合したものである。これらの材料の基本物性値を表-1に示す。As廃材、再生土のいずれも自然含水比でのコーン指数は非常に大きく、このときの締固め度は、国土交通省北海道開発局の道路盛土、河川

表-1 アスファルト廃材と再生土の基本物性値

試料 No.		1	2
材料		As 廃材	再生土
土粒子密度 $\rho_s(\text{g/cm}^3)$		2.511	2.489
自然含水比 $w_n(\%)$		7.4	31.9
粒度特性	最大粒径(mm)	37.5	26.5
	2mm 以上(%)	85.4	19.0
	75 μm ~2mm(%)	14.4	36.0
	75 μm 以下(%)	0.2	45.0
コンシステンシー限界	液性限界 $w_L(\%)$	N.P.	59.7
	塑性限界 $w_P(\%)$	N.P.	31.2
地盤材料の分類記号		G-S	SFG
締固め特性	最大乾燥密度 $\rho_{dmax}(\text{g/cm}^3)$	1.842	1.376
	最適含水比 $w_{opt}(\%)$	11.8	29.5
トラフィカビリティ	コーン指数 $q_c(\text{kN/m}^2)$	貫入不可	貫入不可
	締固め度 (%)	96	100

堤防の基準値³⁾である締固め度 90%を十分満足している。

2-1 盛土材としての検討

平成 29 年 7 月下旬に中沼路盤材リサイクルプラント（北海道札幌市東区中沼町）において、As 廃材および As 廃材と再生土との混合土による試験盛土を施工した。盛土の変状を比較するため As 廃材と再生土の混合割合は、体積比で 1:0.25、1:0.5、1:0.75、1:1 とした。試験盛土の形状と計測の概略を図-1 に示す。過去に寒地土木研究所で実施したアスファルト廃材のみによる高さ 1.8m の盛土では、盛土施工完了後の平成 27 年 12 月上旬には大きな変状が発生しなかったが、翌年 5 月に大きな沈下およびひび割れなどの変状が発生したことから、本試験施工では盛土高さを 0.6、1.2、1.8、2.4m とした。As 廃材と再生土との混合土による盛土は高さ 1.8m とした。いずれの盛土もりの勾配は 1:1.5 である。過去のアスファルト廃材のみによる盛土は盛土内の温度が高くなった夏期に変状が発生したことから、盛土内の温度を高くしない対策として、As 廃材のみによる高さ 1.8m の盛土に再生土により厚さ 10、20、30cm の覆土と表面保護のため植生シートを施工した。この他に高さ 2.4m の盛土の一部に土木シートを施工した。

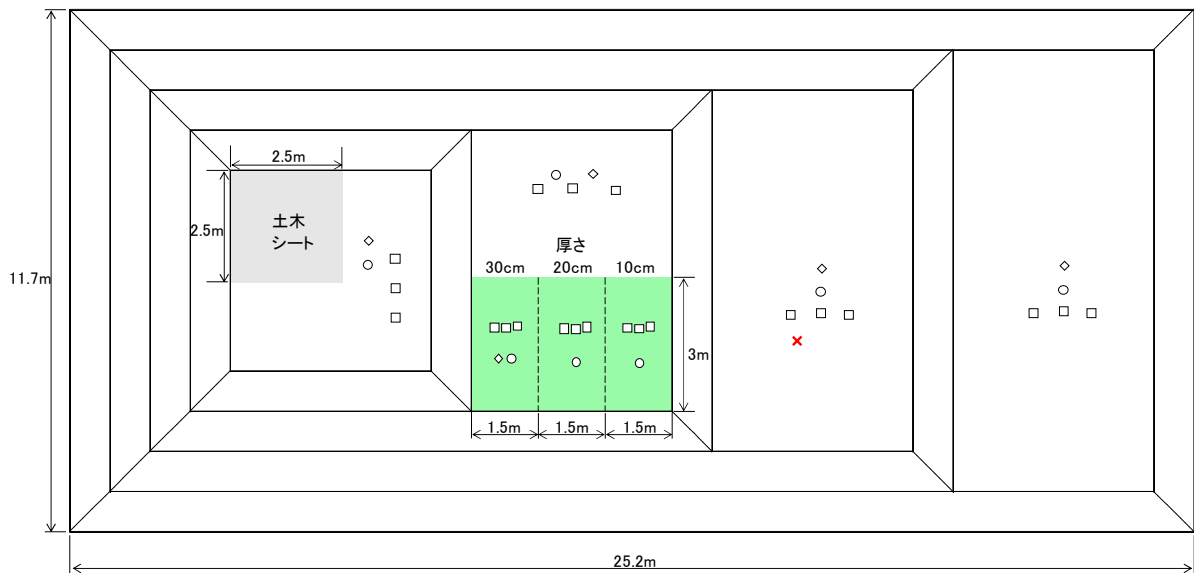
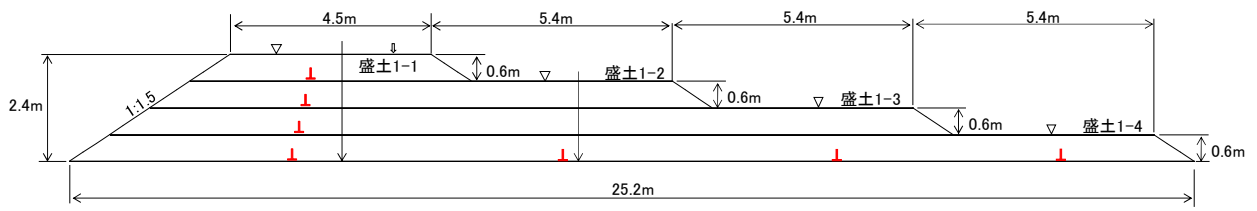
各盛土の品質管理は、盛土一層目の施工時に転圧回数を変えて衝撃加速度⁴⁾を求めこの関係から衝撃加速度が収束し始める値を品質管理値とし、各層ごとに品質管理値を満足していることを確認しながら行った。さらに盛土の完成面の密度を砂置換法により求め、締固め度を測定した。

盛土内の温度を盛土表面から 10cm ごとに正時に自動計測により測定した。また、盛土の変状として盛土の表面に設置したブロック板の高さと盛土底部および盛土内に設置した沈下板の高さを 1 か月に 2 回程度の割合で測定し、さらに盛土施工後 4 回、スウェーデン式サウンディング試験を行い盛土内の強度変化を求めた。

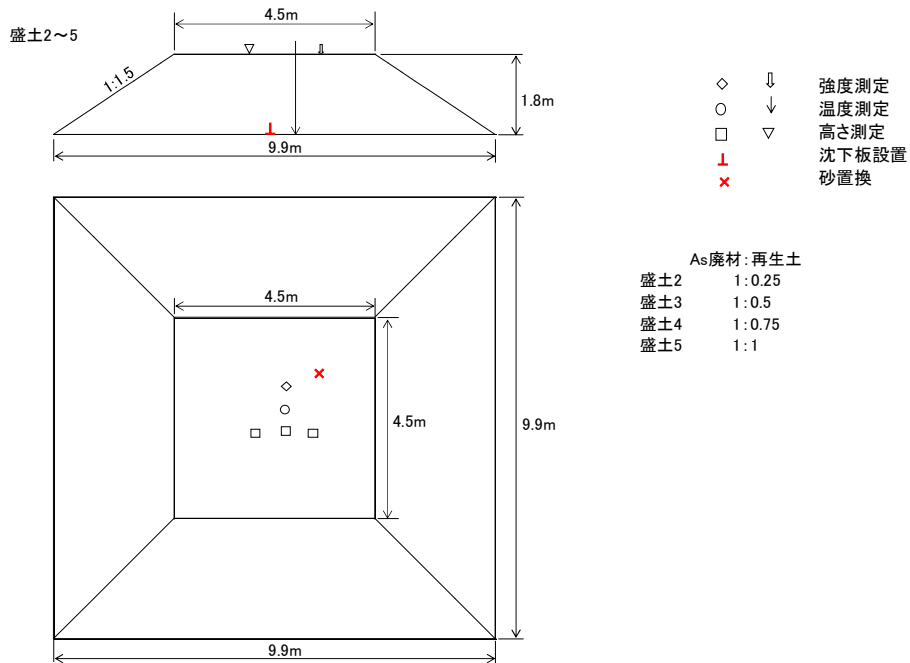
As 廃材について盛土材料の他に凍上抑制層用材料としての利用を検討するため、北海道開発局の基準⁵⁾と比較した。

2-2 アスファルト性状の確認

土砂盛土と比べ As 廃材を用いた盛土は温度上昇とともに沈下する傾向を平成 29 年度の観測からも確認できたため、As 廃材の表面に付着しているアスファルト成分を抽出し、針入度、軟化点、伸度を舗装調査・試験法便覧⁶⁾により測定し盛土沈下との関係性の把握を試みた。



a. As 廃材のみによる盛土



b. As 廃材と再生土との混合土による盛土

図-1 試験盛土の形状および計測の概略

3. 試験結果

3-1 盛土材としての適用性

(1) 施工性

As 廃材および As 廃材と再生土との混合土による盛土は日平均気温が 20℃以上の 7 月下旬に施工した。バックホウによる敷均しのあと 600kg のハンドガイドローラにより転圧した。写真-1 に As 廃材による盛土の転圧状況を示す。写真より、オーバーコンパクションは発生せず、十分な締固めができている様子が見える。すべての盛土で同様な転圧ができた。このことから、As 廃材および As 廃材と再生土との混合土は十分な施工性を確保できる材料であることを確認できた。ただし、北海道内の別の箇所での夏期の施工では、転圧回数を多くするとアスファルト成分が溶けて施工不良となった事例もあるので、注意が必要である。



写真-1 転圧状況

(2) 施工後の密度

盛土転圧後の密度を表-2 に示す。各盛土で密度は 3 点計測した。すべての盛土で締固め度は 100%を超えており、基準値である締固め度 90%を満足していた。As 廃材および As 廃材と再生土との混合土では良好な盛土を施工できたことから、これらの材料は締固め度管理の対象材料として活用可能であるといえる。

表-2 盛土の密度

No.	平均乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)	最大乾燥密度 ρ_{dmax} (g/cm ³)	締固め度 (%)
盛土 1	1.842	1.658	111
盛土 2	1.844	1.660	111
盛土 3	1.781	1.603	111
盛土 4	1.761	1.585	111
盛土 5	1.750	1.575	111

(3) 盛土の高さの変化

施工箇所の地盤は軟弱であることから盛土施工により地盤が沈下することが考えられる。そこで、沈下量として盛土の圧縮量を測定した。測定日とAs廃材のみの盛土の圧縮量を図-2に示す。平成29年11月までの初期沈下が大きく、その後は大きな変化がない状況となった。また、沈下率を沈下量÷盛土高さで定義すると表-3のように示される。最も圧縮した盛土であっても盛土高さ2.4mで沈下量4.8cmであった。表-3から盛土高さ2.4mの沈下率が他に比べ高いことがわかる。盛土高さが大きくなると沈下率は高くなることから、盛土高さを低くすることにより圧縮量を低減できると考えられる。

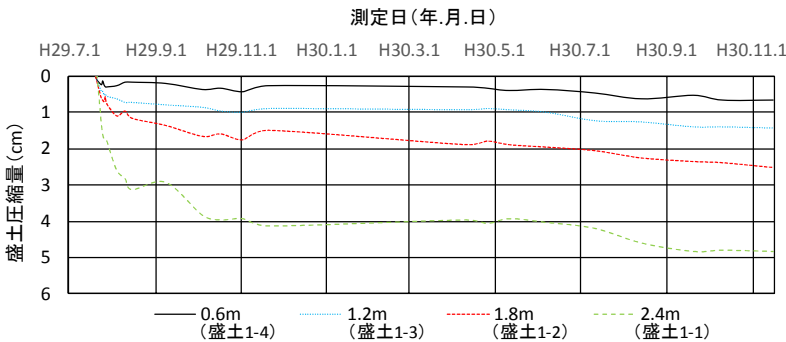


表-3 As 廃材のみの盛土の沈下率

盛土高さ (m)	沈下量 (cm)	沈下率 (%)
0.6	0.7	1.2
1.2	1.4	1.2
1.8	2.5	1.4
2.4	4.8	2.0

図-2 As廃材のみの盛土 (盛土1) の圧縮量

次にAs廃材と再生土との混合土による盛土の圧縮量を図-3に示す。比較としてAs廃材のみの盛土の圧縮量も記載する。平成29年の盛土施工後から平成30年11月までの圧縮量は小さくAs廃材のみの盛土の半分以下となっており、最大で1cmの圧縮量だった。今後、沈下の大きな進行はないとかがえる。また、再生土の混合割合が高いほど沈下量が小さかった。

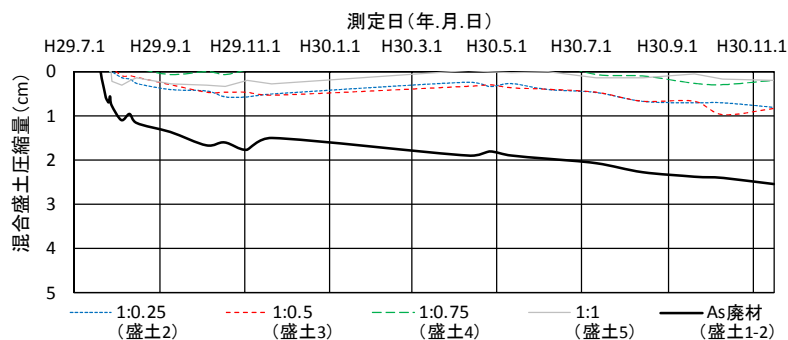


図-3 混合土による盛土の圧縮量

(4) 盛土の強度の変化

図-4に各盛土天端部の強度としての衝撃加速度を測定しその変化を示す。この図から、積雪前と融雪後で比較すると一様に衝撃加速度は減少したものの、その後の上昇も確認できた。これは、一般的な土砂盛土では盛土施工後放置すると風雨により露出部分の強度劣化が考えられるが、As廃材を用いた盛土はアスファルトの持つ性状に伴う現象（融解・固化）が盛土天端部で発生しているためと考えられる。

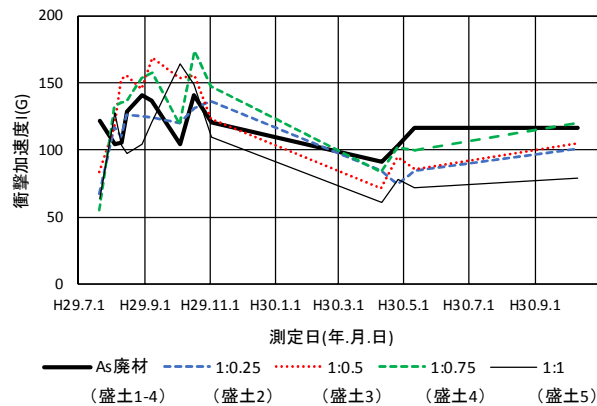


図-4 盛土表面の衝撃加速度の変化

図-5にAs廃材のみによる盛土のスウェーデン式サウンディング試験結果を示す。平成29年11月20日に増加した貫入量1mあたりの半回転数は、時間の経過とともに減少している傾向にあるが、貫入不可となる深さが徐々に上がっていることが確認できる。試験器具のロッド周辺摩擦の影響または盛土載荷にともなう最下層の支持力増加が考えられる。

計測開始から1年経過して、盛土の強度については大きな増減なく安定しているといえる。

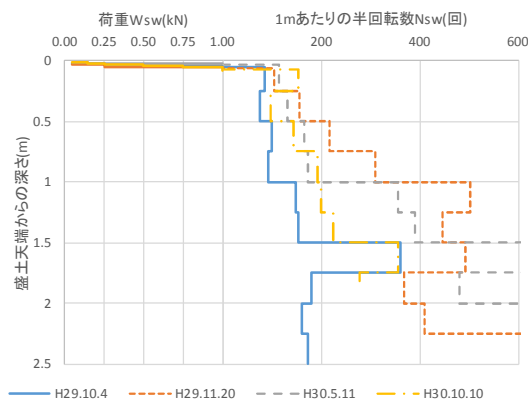


図-5 As 廃材のみの盛土のスウェーデン式サウンディング試験結果

(5) 盛土の変状

As 廃材による盛土の中で盛土高さ 1.8m と 2.4m の天端で、平成 29 年 7 月下旬の施工直後から写真-2 に示すようなひび割れが発生した。盛土のり面の変状がないことから、このひび割れは、盛土のすべり崩壊ではないことを確認している。ひび割れは、施工後 1 週間程度してから発生し、最終的に長さ 2~3m、深さ 10cm、幅 1cm となった。このひび割れは盛土のり肩から約 50cm の位置に発生し、11 月 2 日には幅と深さが小さくなり、さらに半年経過するとほぼ埋まった(写真-3)。盛土高さ 0.6、1.2m の As 廃材のみの盛土と As 廃材と再生土との混合土による盛土ではひび割れは発生しなかった。盛土高さを低くすることと再生土を混合することにより、盛土高さ 1.8m 以上の As 廃材のみによる盛土で発生したひび割れを抑制することができた。



写真-2 盛土天端の状況 (H29. 8. 4 撮影)



写真-3 盛土天端の状況 (H30. 6. 7 撮影)

ひび割れの発生と修復の過程については、以下のように考える。

a) ひび割れ発生の過程

図-6に示すとおり、盛土天端を中央部・のり肩部に分けると、中央部は直下に支持力のある材料があるため沈下のみとなるが、のり肩部は中央部に比べ転圧しづらく直下のり面も温度上昇により支持力が下がり、のり面側が自由となり流動を起こしやすいことから、のり肩部にひび割れが発生したと考えられる。なお、ひび割れが発生したのは南側のり肩部であった。また、盛高が高いとのり長も長くなり、のり肩部のひび割れを助長する要因となると考えられる。

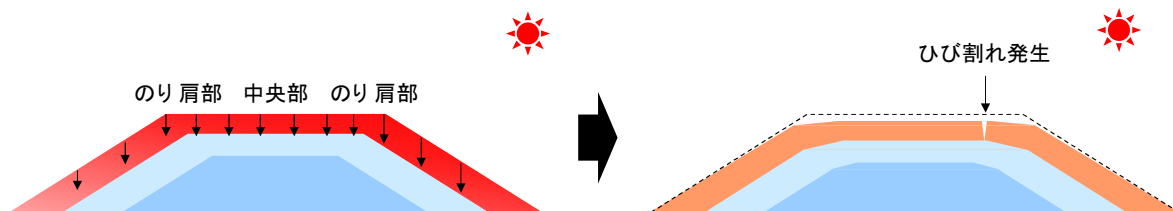


図-6 ひび割れ発生イメージ

さらに、夏期の天端温度は1日で20℃程度変動するため温度収縮についての検討を行った。一般的に温度収縮が発生した場合は延長直角方向にひび割れが発生することがわかっている⁷⁾。しかし、当現場では延長方向のひび割れであり、ひび割れ発生時期が寒冷期でないことから、温度収縮には該当しない。

b) ひび割れ修復の過程

図-7に示すように、発生したひび割れ部分は、アスファルトの硬化に伴い粘着力が弱まりひび部分が崩れたり、ひび割れ部分にごみやほこり、細粒分が入ったりすることにより埋まっていくと考えられる。

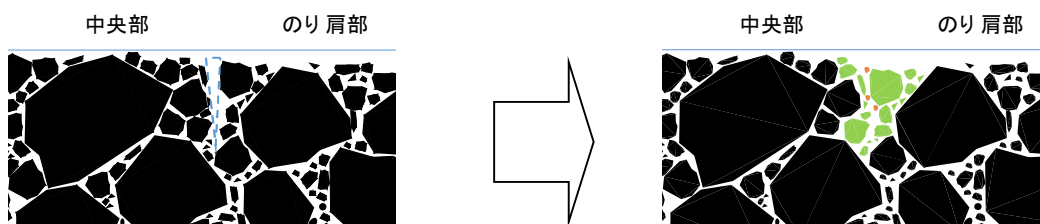


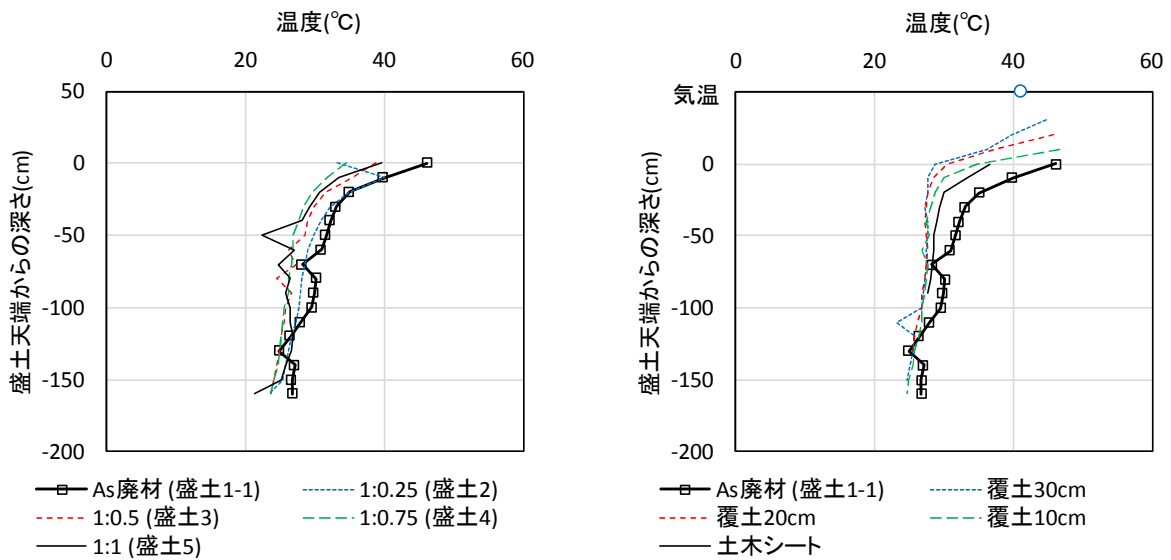
図-7 ひび割れ修復イメージ

なお、ひび割れについては天端の温度上昇に伴うものであり、盛土の上に路盤、舗装が施工された場合は温度上昇が発生せずひび割れ自体が発生しないと考えられる。

(6) 盛土内部の温度

盛土内部の温度として計測期間の中で最大の温度を盛土表面からの深さごとに求めた。図-8(a)は、As廃材およびAs廃材と再生土との混合土による盛土の温度変化を示したものである。温度が最大となった時期は深さごとに異なっているが、No. 5盛土以外はAs廃材のみの盛土よりも盛土内の温度が低い傾向がある。このことから、再生土を混合することにより、盛土内の温度上昇を抑制できるといえる。

また、図-8(b)は、土木シートや覆土をした場合のAs廃材による盛土内の最大の温度を盛土表面からの深さごとに示したものである。覆土や土木シートのある盛土が、As廃材のみの盛土内の温度よりも低くなっており、これらが盛土内の温度上昇を抑制したといえる。覆土の厚さによる盛土内の温度に大きな違いがないことから、盛土内の温度上昇は覆土10 cm程度、土木シートにより抑制できることが期待できる。



(a) As 廃材および As 廃材と再生土による盛土

(b) As 廃材および被覆による盛土

図-8 盛土内の温度分布

盛土の深さごとの温度の変化について、**図-9**に示す。この図は、測定期間中に最高気温を記録した平成29年8月6日とその前後の日の1時間ごとの温度を示している。天端温度は日照、気温に影響を受け大きく変化した。また、この日の最高温度ピークが天端は14時、天端から10cmは17時、天端から30cmは22時となっており、天端から深くなるとピーク時間が遅れることがわかる。この傾向は最高温度のみならず最低温度も同様で、どの時期でもどの混合割合でも同様の傾向だった。

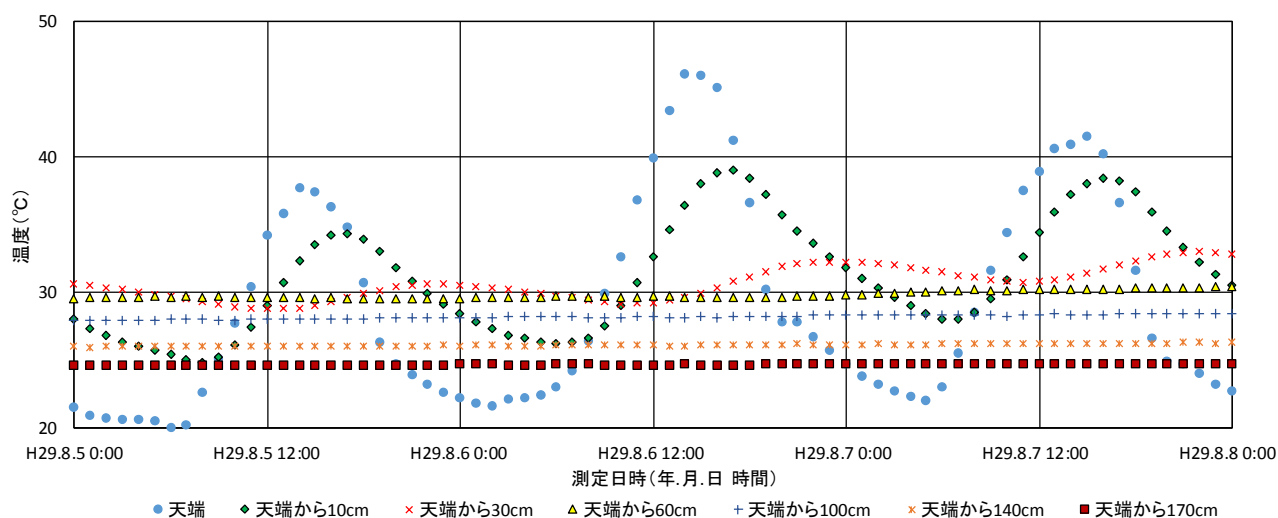


図-9 As 廃材のみの盛土の深さごとの温度の変化

(7) 凍上性判定試験の確認

As廃材について凍上性判定試験を行った。締固め度90%で供試体を作製した。試験結果を図-10に示す。凍上速度はほぼ0.0mm/hであり、非凍上性材料である。また、As廃材の粒径加積曲線を図-11に、凍上抑制層用材料としての規格値の比較を表-4に示す。凍上抑制層用粗粒材料の粒度範囲にある。また、4.75mm以下に対する0.075mm通過率は0.73%で、切込碎石を凍上抑制層用材料とする場合の規格値である15%以下で規格を満足している。これらのことから、今回計測したAs廃材は凍上抑制層に使用可能な材料であるといえる。なお、アスファルト廃材の種類によっては凍上抑制層用材料としての規格外となる場合もあるので、使用前には各種試験を行わなければならない。

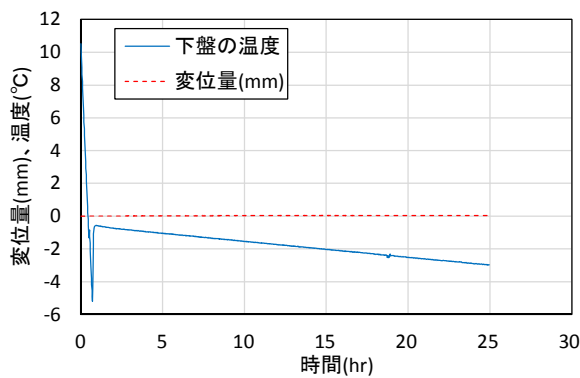


図-10 凍上試験結果

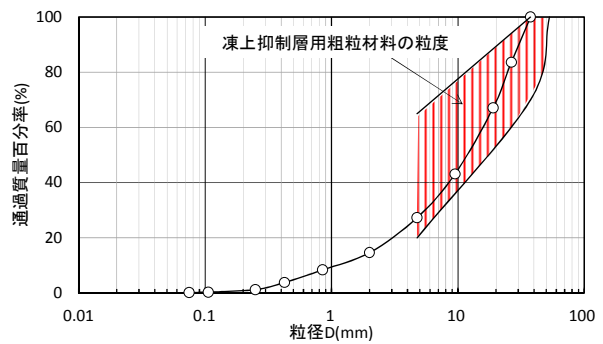


図-11 As廃材の粒度特性

表-4 凍上抑制層用材料としての規格値の比較

	As廃材	規格値
53mm(%)	100	100
4.75mm(%)	27.3	20~65
0.075mm(%)	0.2	-
4.75mm以下に対する 0.075mm通過率(%)	0.73	15以下
凍上速度(mm/h)	0.0	0.1以下

3-2 アスファルトの性状と沈下量の関係性の把握

As廃材を用いた盛土の沈下に対し、盛土の強度と温度の観測だけでは究明に至らなかったため、アスファルト成分の性状試験を行った。試験結果を図-12~15に示す。なお、比較対象として、寒地土木研究所の苫小牧施工試験フィールドの試験盛土で使用した試料のデータと新規アスファルトの規格値を掲載する。使用した試料は、苫小牧寒地試験道路の切削材（以降、苫小牧Asと称する）と新千歳空港滑走路の切削材（以降、千歳Asと称する）であり、諸元は表-5に示す。

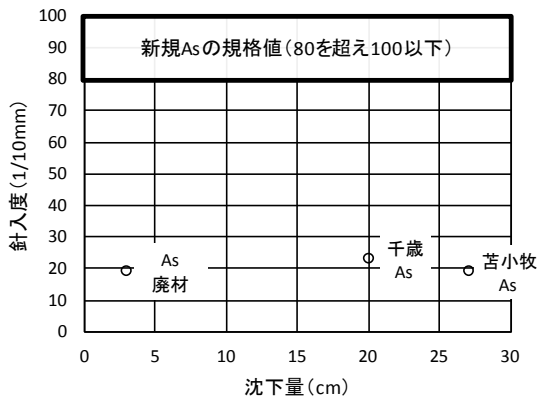


図-12 沈下量と針入度

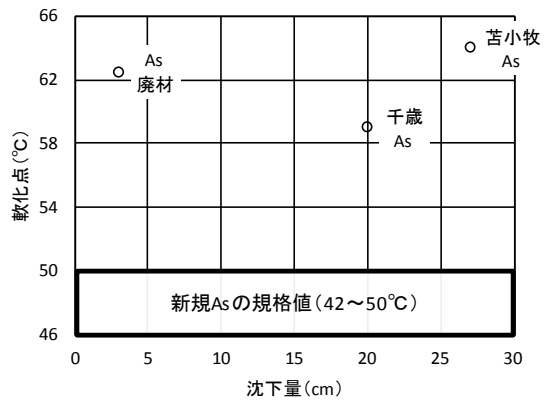


図-13 沈下量と軟化点

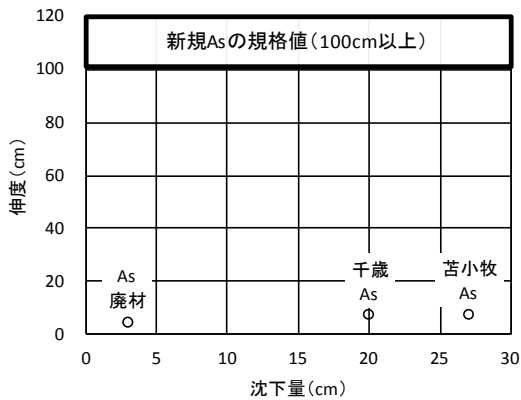


図-14 沈下量と伸度

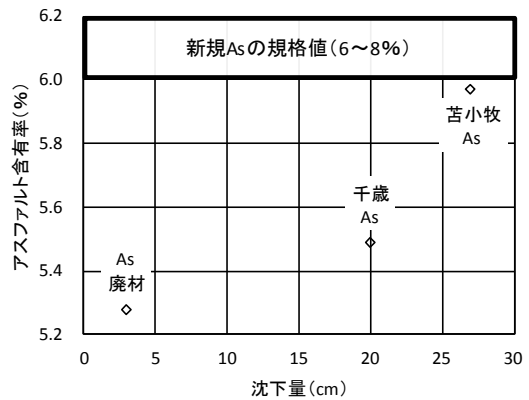


図-15 沈下量とアスファルト含有率

表-5 性状試験に使用したアスファルト廃材盛土の諸元

項目	単位	苫小牧As	千歳As	As廃材
盛土高さ	m	1.8	1.8	1.8
締固め度	%	95	101	111
最大沈下量	cm	27	20	3

針入度試験は、アスファルトの硬さを調べる試験で、針入度は舗装用石油アスファルトの品質規格の種類分けに使用されている。アスファルトが軟らかいと針入度が高くなる。このため、針入度が高いと沈下量が大きくなると考えたが、沈下量との関係は確認できなかった。

軟化点試験は、アスファルトが軟化する温度を調べる試験で、軟化点が低いと沈下量が大きくなると考えたが、軟化点と沈下量との関係は確認できなかった。

伸度試験は、アスファルトの延性を調べる試験で、伸度が高いと沈下量が大きくなると考えたが、沈下量との関係は確認できなかった。

以上の3つの性状試験からは、新規アスファルトと比較してわかるとおり、劣化した材料であることは確認できたが、沈下量との関係は確認できなかった。

一方、その性状による効果を発揮するためには骨材との相対量が必要と考え、アスファルト含有率を調べた。アスファルト含有率が高いと沈下量が大きい傾向は確認できたが、サンプル数が少なく断定までには至らなかった。

アスファルト性状試験は期待した結果にならなかったが、改めて表-5をみると、As廃材による盛土は苦小牧As、千歳As と比べ沈下量が少ないことと締固め度が高いことがわかる。アスファルト廃材を用いた盛土を施工する場合に沈下を抑制するには、よく締め固めることが重要であるといえる。

4. まとめ

本研究では、札幌市アスファルト再生プラント東工場で生産される再生骨材 I 型について、土木材料としての活用を目的として、実物大の試験盛土を施工し有効利用の可否を調べた。また、他のアスファルト切削材とともにアスファルト性状試験を実施し、盛土の沈下との関係性を調べた。本試験で使用した再生骨材 I 型と再生土のみに関することに限定されるが、次のことがわかった。

- (1) 再生骨材 I 型は盛土材として使用できる材料である。
- (2) 再生骨材 I 型による盛土は盛土高さが1.8m以上になるとひび割れや盛土の圧縮を発生する場合がある。これらの変状を抑制する方法として、盛土高さを小さくすること、土材料を混合することにより、変状を抑制できる可能性がある。盛土高さは1.2m以下、土材料との混合では体積比で再生骨材 I 型を1に対し再生土を0.25以上とすることでひび割れは発生しなかった。
- (3) 盛土の覆土や土木シートによる被覆は、再生骨材 I 型による盛土内の温度上昇を抑制できる。
- (4) 再生骨材 I 型は非凍上性材料であり凍上抑制層用材料として利用可能な材料である。
- (5) 天端のひび割れの発生は、日射・気温上昇によるのり肩部のアスファルトの流動化が要因で、修復は、ひび部分の崩れなどによって時間の経過とともに幅が狭まり埋まることが要因と考えられる。
- (6) 盛土内部の温度は深さ60cm程度以下になると時間変化がなくなり、温度のピークは時期や再生土混合割合を問わず上層より下層の方が遅い。
- (7) アスファルト性状およびアスファルト含有率とアスファルト廃材を用いた盛土の沈下量に明確な関係性は確認できない。

5. おわりに

本研究により、札幌市アスファルト再生プラント東工場で生産される再生骨材 I 型を用いた盛土は大きな沈下量に至っておらず、本施工の場合は盛土の上に路盤、舗装が施工され、盛土天端が露出されることがないことから、さらに沈下量は小さくなると考えられる。

【参考文献】

- 1) 佐藤厚子、横浜勝司：アスファルト廃材の地盤材料としての性質、第12回環境地盤工学シンポジウム発表論文集、pp. 47-52、2017.
- 2) 佐藤厚子、林憲裕、横浜勝司：発生材料による試験施工ーアスファルト廃材および高含水不良土ー、第60回（平成28年度）北海道開発技術研究発表会、2017. 2
- 3) 北海道開発局：道路・河川工事仕様書、p. 2-216、p. 2-220、2018. 5
- 4) 北海道開発局：道路・河川工事仕様書、pp. 4-39ー4-44、2018. 5
- 5) 北海道開発局：道路・河川工事仕様書、p. 3-37、2018. 5
- 6) 社団法人日本道路協会：舗装調査・試験法便覧、pp. [2]-113ー[2]-139、2007. 6
- 7) 丸山記美雄、星卓見、木村孝司：ひび割れ抑制シートの効果と適用方法に関する検討、第60回（平成28年度）北海道開発技術研究発表会、2017. 2

参考資料
(共同研究関係論文)

No.	著者名	論文タイトル	発表年月
1	佐藤厚子 山辺俊明 杉浦 肇	アスファルト廃材の有効利用を目的とした試験施工 (第 61 回 (平成 29 年度) 北海道開発技術研究発表会)	2018. 2
2	守田稷人 畠山 乃 佐藤厚子	アスファルト廃材を用いた盛土の沈下とアスファルト性状の関係について (地盤工学会北海道支部技術報告集第 59 号)	2019. 1
3	守田稷人 畠山 乃 佐藤厚子	アスファルト廃材を用いた盛土に関する研究について (第 62 回 (平成 30 年度) 北海道開発技術研究発表会)	2019. 2

アスファルト廃材の有効利用を目的とした 試験施工

土木研究所 寒地土木研究所 寒地地盤チーム ○佐藤 厚子
 札幌市下水道資源公社 道路事業課 山辺 俊明
 札幌市下水道資源公社 道路事業課 杉浦 肇

札幌市の道路の舗装補修工事にもない発生するアスファルト廃材を盛土材料として有効利用することを目的として実物大の試験盛土を施工した。その結果、アスファルト廃材は、一般的な方法で施工できること、短期間の計測ではあるが、アスファルト廃材のみでは若干の圧縮沈下が発生するものの土砂との混合や低盛土とすることにより沈下が抑制されること、時間の経過により盛土の強度が大きくなっていくことなどを確認した。

キーワード：アスファルト廃材、有効利用、盛土

1. はじめに

道路整備工事、上下水道工事にもないアスファルト廃材が発生する。札幌市下水道資源公社では、札幌市の公共工事で発生するアスファルト廃材を再生し、道路の舗装や仮復旧、仮設用として販売している。アスファルト廃材は、今後さらに増加することが予想されることから、アスファルト廃材の利用用途の拡大を目的として土木材料としての適用性の検討を行った。

土木材料として、盛土材および凍上抑制材としての利用を目的とし、これまで寒地土木研究所で検証した室内および実物大の試験施工¹⁾を参照して土木材料としての適用性を確認した。本文はこれらを紹介するものである。

骨材 I 型（以降As廃材と称する）である。この材料は札幌市の道路工事で発生したアスファルトがらを解砕機で粉砕し0~40mmにしたものである。混合した土砂は、札幌市中沼路盤材リサイクルプラントで生産されている再生土で札幌市内の工事現場の火山灰土と火山灰以外の発生土砂を洗浄して粗粒分を取り除きフィルタープレスした脱水ケーキを体積比1:1で混合したものである。これらの材料の基本物性値を表-1に示す。As廃材、再生土のいずれも自然含水比でのコーン指数は非常に大きく、このときの締固め度は国土交通省北海道開発局の道路盛土、河川堤防の基準値²⁾である締固め度90%を十分満足している。

表-1 アスファルト廃材と高含水比不良土の基本物性値

試料 No.		1	2
材料		As 廃材	再生土
土粒子密度 $\rho_s(\text{g}/\text{cm}^3)$		2.511	2.489
自然含水比 $w_t(\%)$		7.4	31.9
粒度特性	最大粒径(mm)	37.5	26.5
	2mm 以上(%)	85.4	19.0
	75 μm ~2mm(%)	14.4	36.0
	75 μm 以下(%)	0.2	45.0
コンシステンシー限界	液性限界 $w_L(\%)$	N.P.	59.7
	塑性限界 $w_P(\%)$	N.P.	31.2
地盤材料の分類記号		G-S	SFG
締め固め特性	最大乾燥密度 $\rho_{\text{max}}(\text{g}/\text{cm}^3)$	1.842	1.376
	最適含水比 $w_{\text{opt}}(\%)$	11.8	29.5
トラフィカビリティ	コーン指数 $q_u(\text{kN}/\text{m}^2)$	貫入不可	貫入不可
	締固め度 (%)	96	100

2. 試験方法

寒地土木研究所でこれまで実施した別の種類のアスファルト廃材の現場試験施工²⁾では、アスファルト廃材のみでは盛土高さの約10%の沈下の発生があり盛土天端部にひび割れが発生したが、土砂を混合することにより沈下量が3%程度でひび割れが発生しなかった。これより、変状が発生しない盛土を施工するための混合率を求めるために、検討対象のアスファルト廃材についても土砂を混合した。

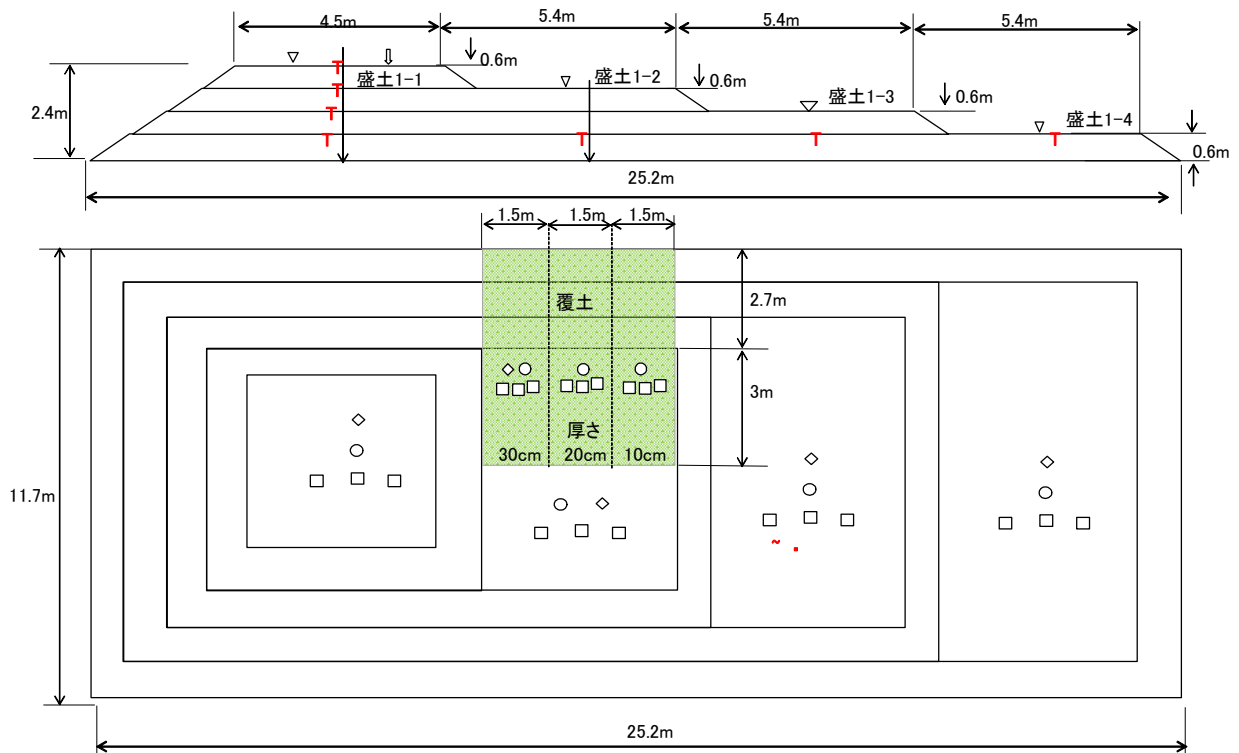
室内および試験施工に用いたアスファルト廃材は、札幌市アスファルト再生プラント東工場生産される再生

(1) 盛土材としての検討

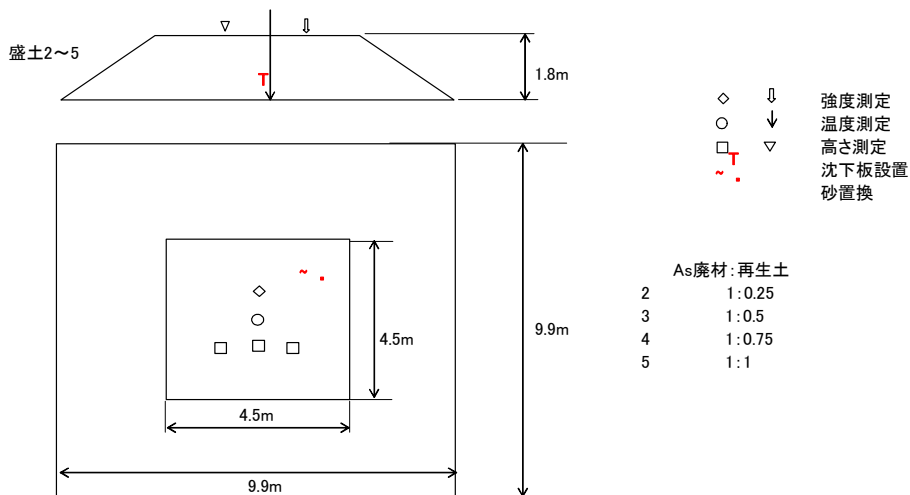
As廃材のみ、As廃材と再生土との混合土により中沼町路盤材リサイクルプラント（北海道札幌市東区中沼町）において試験盛土を施工した。盛土の変状を抑制するためのAs廃材と再生土の混合割合は、体積比で1:0.25、1:0.5、1:0.75、1:1とした。試験盛土の形状と計測の概略を図-1に示す。過去のAs廃材のみによる盛土は高さ1.8mの盛土で施工翌年の5月から沈下およびひび割れなどの

による盛土は高さ1.8mとした。いずれの盛土もりの勾配は1:1.5である。過去のAs廃材のみによる盛土は夏期に盛土内の温度が高くなった時期に変状が発生したことから、盛土内の温度を高くしない対策として、As廃材のみによる高さ1.8mの盛土に再生土により厚さ10、20、30cmの覆土と表面保護のため植生シートを施工した。この他に高さ2.4mの盛土の一部に土木シートを施工した。

各盛土の品質管理は、盛土一層目の施工時に転圧回数



a. アスファルト廃材のみによる盛土



b. アスファルト廃材と再生土による盛土

図-1 試験盛土の形状および計測の概略

変状が発生したことから、本試験施工では盛土高さを0.6、1.2、1.8、2.4mとした。As廃材と再生土との混合土

を変えて衝撃加速度^{a)}を求めこの関係から衝撃加速度が収束し始める値を品質管理値とし、各層ごとに品質管理

値を満足していることを確認しながら行った。さらに盛土の完成面の密度を砂置換法により求め、締固め度を測定した。

盛土内の温度を盛土表面から10cmごとに正時に自動計測により測定した。また、盛土の変状として盛土の表面に設置したブロック板の高さと盛土底部および盛土内に設置した沈下板の高さを1か月に2回程度の割合で測定した。また、盛土の強度の変化として盛土表面の衝撃加速度を1か月に2回程度の割合で測定し、あわせて盛土施工後2回、スウェーデン式サウンディング試験を行い盛土内の強度変化を求めた。

(2) 凍上抑制層としての検討

As廃材について盛土材料の他に凍上抑制層としての利用を検討するため、北海道開発局の基準⁹⁾と比較した。なお、安倍らはアスファルト廃材を北海道開発局の仕様書の40mm級切込砕石とした⁶⁾ことから本検討でも同様とした。

3. 試験結果

(1) 盛土材としての適用性

a) 施工性

As 廃材および As 廃材と再生土との混合土による盛土は気温が 20℃以上の 7 月下旬に施工した。バックホウによる敷きならしめと 600kg のハンドガイドローラにより転圧した。写真-1 に As 廃材による盛土の転圧状況を示す。写真より、オーバーコンパクションは発生せず、十分な締固めができていた様子が見える。すべての盛土で同様な転圧ができた。このことから、As 廃材および As 廃材と再生土との混合土は十分な施工性を確保できる材料であることを確認できた。



写真-1 転圧状況

b) 施工後の密度

盛土転圧後の密度を表-2に示す。各盛土で密度は3点

計測した。すべての盛土で締固め度は100%を超えており、基準値である締固め度 90%を満足していた。As廃材およびAs廃材と再生材との混合土では良好な盛土を施工できたことから、これらの材料は締固め度管理の対象材料として活用可能であるといえる。

表-2 盛土の密度

No.	平均乾燥密度 $\rho_d(\text{g/cm}^3)$	最大乾燥密度 $\rho_d(\text{g/cm}^3)$	締固め度 (%)
1	1.842	1.658	111
2	1.844	1.660	115
3	1.781	1.603	111
4	1.761	1.585	111
5	1.750	1.575	111

c) 盛土の高さの変化

施工箇所の地盤は軟弱であることから盛土施工により地盤が沈下することが考えられる。そこで、沈下量として盛土の圧縮量を測定した。測定日と As 廃材による盛土の圧縮量を図-2 に示す。盛土の圧縮量は盛土の高さが大きいほど大きくなっている。しかし、最も圧縮した盛土であっても 2.4m で 4cm であり、盛土高さの 1.5% 程度の圧縮量であった。盛土高さ 0.6、1.2m では圧縮量は盛土の高さの 1% 以下であった。盛土高さを低くすることにより圧縮量を低減できると考えられる。

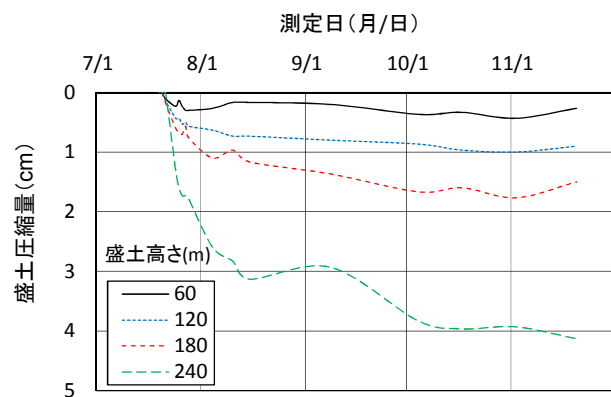


図-2 As廃材のみの盛土の圧縮量

次に測定日と As 廃材と再生土との混合土による盛土の圧縮量を図-3 に示す。再生土を混合することにより盛土の圧縮量は非常に小さく盛土の高さの 0.3% 程度であった。

しかし、筆者らの過去の調査では盛土の圧縮は 5 月下旬から 9 月中旬の間で発生しており、本試験施工は 7 月下旬からの期間であり圧縮の発生する期間が短かったことから最終的な圧縮量であるとは限らない。今後継続的

な調査を行って確認したい。

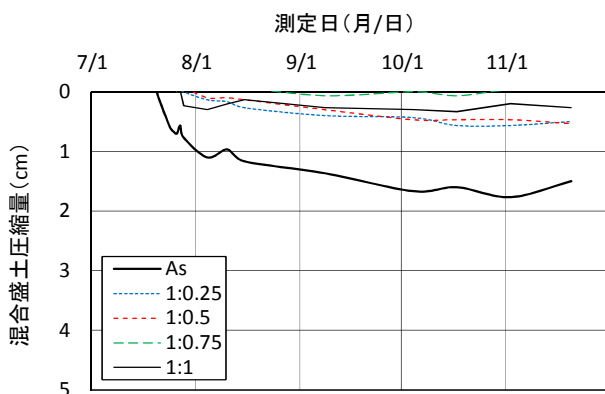


図-3 As廃材と再生土による盛土の圧縮量

d) 盛土の強度の変化

図-4に各盛土天端部の衝撃加速度の変化を示す。降雨後の衝撃加速度は若干小さくなるものの、全体的に施工からの時間の経過により衝撃加速度は大きくなる傾向が見られ、盛土表面の強度は増加している。今後積雪による強度の変化を確認する必要がある。

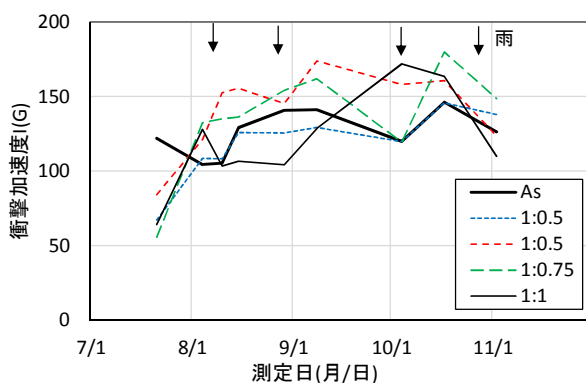


図-4 盛土表面の衝撃加速度の変化

図-5にAs廃材のみによる盛土のスウェーデン試験結果を示す。施工から約3か月後と4か月後のスウェーデン試験の結果であるが、時間経過により貫入量1mあたりの半回転数は増加しており、盛土の内部においても強度が増加していることがわかる。As廃材と再生土との混合土による盛土についても同様な傾向が見られ、本検討で使用したAs廃材も筆者らがこれまでに使用したAs廃材と同様に強度増加する材料であるといえる。

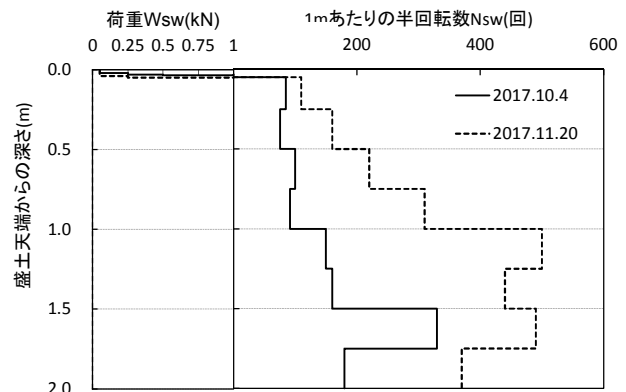


図-5 盛土のスウェーデン試験結果

e) 盛土の変状

As廃材による盛土の中で盛土高さ 1.8m と 2.4m の盛土には、施工直後から写真-2 に示すようなひび割れが発生した。盛土のり面の変状がないことから、このひび割れは、盛土のすべり崩壊ではないことを確認している。ひび割れは、施工後 1 週間程度してから発生し、最終的に長さ 2~3m、深さ 10cm、幅 1cm 程度となった。このひび割れは盛土のり肩から約 50cm の位置に発生し、11 月 2 日には幅と深さが小さくなった。盛土高さ 0.6、1.2m の As 廃材のみ盛土と As 廃材と再生土との混合土による盛土ではひび割れは発生しなかった。盛土高さを低くすることと再生土を混合することにより、盛土高さ 1.8m 以上の As 廃材のみによる盛土で発生したひび割れを抑制することができた。時間の経過とともにひび割れが小さくなったことから、今後継続的な調査を行いたい。

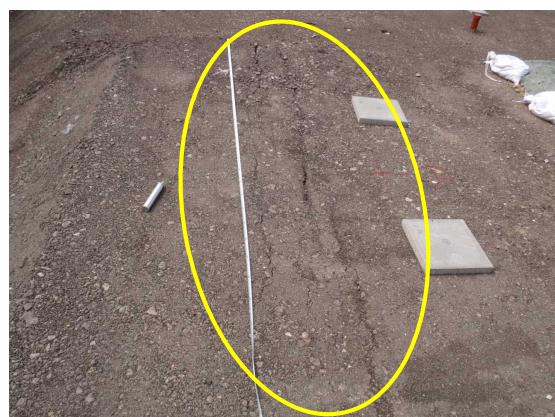


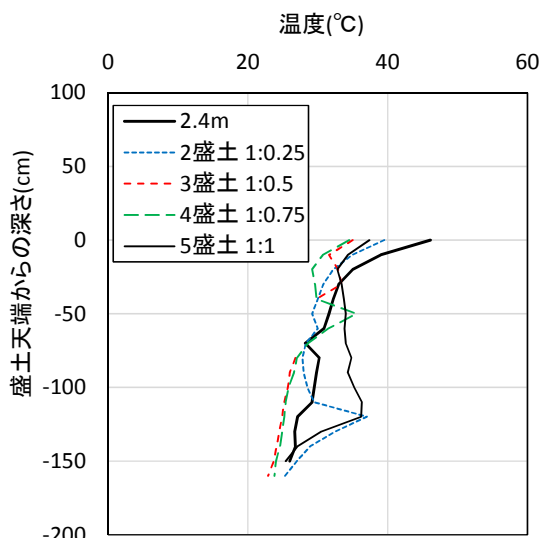
写真2 盛土天端の状況

f) 盛土内部の温度

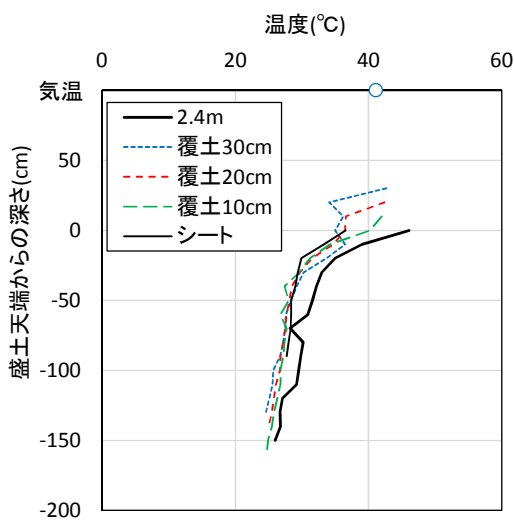
盛土内部の温度として計測期間の中で最大の温度を盛土表面からの深さごとに求めた。図-6(a)は、As廃材およ

びAs廃材と再生土との混合土による盛土の温度変化を示したものである。温度が最大となった時期は深さごとに異なっているが、No.5盛土以外はAs廃材のみの盛土よりも盛土内の温度が低い傾向がある。このことから、再生土を混合することにより、盛土内の温度上昇を抑制できるといえる。

また、図-6(b)は、土木シートや覆土をした場合のAs廃材による盛土内の最大の温度を盛土表面からの深さごとに示したものである。覆土や土木シートのある盛土が、As廃材のみの盛土内の温度よりも低くなっており、これらが盛土内の温度上昇を抑制したといえる。覆土の厚さによる盛土内の温度に大きな違いがないことから、盛土内の温度上昇は覆土10 cm程度、土木シートにより抑制できることが期待できる。



(a) As廃材のみおよびAs廃材と再生土による盛土



(b) As廃材のみおよび被覆による盛土

図-6 盛土内の温度分布

(2) 凍上抑制層としての検討

As廃材について凍上性判定試験を行った。締固め度90%で供試体を作製した。試験結果を図-7に示す。凍上速度はほぼ0.0mm/hであり、非凍上性材料である。また、As廃材の粒径加積曲線を図-8に、凍上抑制層としての規格値の比較を表-3に示す。凍上抑制層用粗粒材料の粒度範囲にある。また、4.75mm以下に対する0.075mm通過率は0.73%で、切込碎石を凍上抑制層とする場合の規格値である15%以下で規格を満足している。これらのことから、今回計測したAs廃材は凍上抑制層に使用可能な材料であるといえる。なお、As廃材の種類によっては凍上抑制層としての規格外となる場合もあるので、使用前には各種試験を行わなければならない。

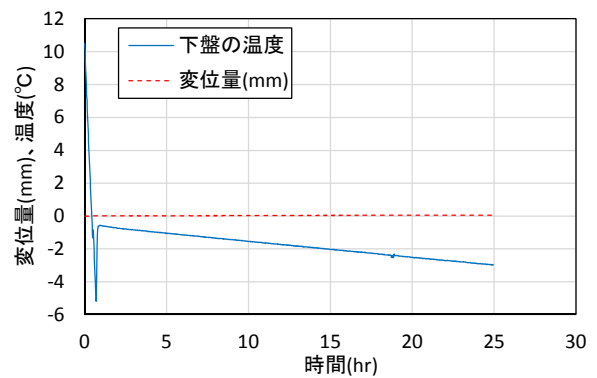


図-7 凍上試験結果

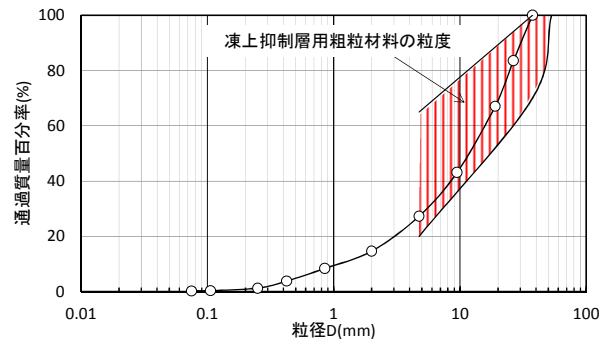


図-8 As廃材の粒度特性

表-3 凍上抑制層としての規格値の比較

	As廃材	規格値
53mm(%)	100	100
4.75mm(%)	273	20~65
0.075mm(%)	02	-
4.75mm以下に対する0.075mm通過率(%)	0.73	15以下
凍上速度(mm/h)	0	0.1以下

4. まとめ

本調査では、札幌市アスファルト再生プラント東工場で生産される再生骨材 I 型について土木材料としての活用を目的として、実物大の試験盛土を行い有効利用の可否を調べた。本試験で使用したAs廃材と再生土のみに関することに限定されること、および調査期間が短いため現時点の成果であるが、次のことがわかった。

(1)As廃材は盛土材として使用できる材料である。

(2)As廃材による盛土は盛土高さが1.8m以上になるとひび割れや盛土の圧縮を発生する可能性がある。これらの変状を抑制する方法として、盛土高さを小さくすること、土材料を混合することにより、変状を抑制できる可能性がある。盛土高さは1.2m以下、土材料との混合では体積比で25%程度以上である。

(3)盛土の覆土や土木シートによる被覆は、As廃材による盛土内の温度上昇を抑制できる。

(4)As廃材は非凍上性材料であり凍上抑制層として利用可能な材料である。

5. おわりに

本検討により、As 廃材の仮復旧、仮設用としての利用の他に盛土や凍上抑制層への利用の可能性を見いだした。今後さらに調査を進め、適用性を確実なものとしたいと考えている。

参考文献

- 1)佐藤厚子、横浜勝司：アスファルト廃材の地盤材料としての性質、第 12 回環境地盤シンポジウム発表論文集、pp.47-52、2017.
- 2)佐藤厚子、林憲裕、横浜勝司：発生材料による試験施工ーアスファルト廃材および高含水不良土ー、第 60 回（平成 28 年度）北海道開発技術研究発表会、2017.
- 3)公益社団法人地盤工学会：地盤調査の方法と解説、pp.770-789、2013.
- 4)北海道開発局：道路・河川工事仕様書、2-214、2017.
- 5)北海道開発局：道路・河川工事仕様書、北海道開発局独自 3-35-3-36、2017.
- 6)安倍隆二、高橋守人、早坂保則：寒冷地におけるアスファルト再生骨材の路盤材への適用に関する検討、土木学会舗装工学論文集第 4 巻、1999.
- 7)地盤工学会：地盤材料試験の方法と解説、p.246、2009.

アスファルト廃材を用いた盛土の沈下とアスファルト性状の関係について

(国研) 土木研究所 寒地土木研究所 正会員 ○守田 稷人
 同 正会員 畠山 乃
 同 国際会員 佐藤 厚子

1. はじめに

現在の土木工事では、建設廃棄物のリユース・リサイクルが積極的に推進されている。アスファルト舗装の補修により発生する切削材や破砕材についても、舗装の新設時や補修時に新材と混合することで、アスファルト廃材を適切に有効活用しており、再資源化率は 99.5% に達している¹⁾。しかし、一部地域によっては、切削材や破砕材の発生量が多く、中間処理施設での再生利用量が少ないため、各施設のストック量が増大している。そこで、アスファルト廃材を活用するひとつの方法として盛土材に利用する方法を検討してきた²⁾。アスファルト廃材を用いた盛土の試験施工を行ったところ、盛土が沈下する現象が確認された。本検討ではこの要因を明らかにするため、盛土の基本物性値の把握とアスファルト廃材に付着するアスファルトの性状試験を行った。

2. 調査方法

① 盛土の施工

盛土に用いたアスファルト（以下、As と称す）廃材の基本物性値を表-1 に示す。いずれも自然含水比状態のコーン指数は高く、十分な締固めが可能な材料³⁾である。これらの材料を用いて図-1 に示す断面で盛土を施工した。盛土高別の沈下状況を把握するため、札幌、稚内で沈下板を施工基面に設置し、高さ 0.6m、1.2m、1.8m、2.4m の盛土を施工した。盛土延長は苫小牧 As、千歳 As は 7.7m、札幌 As は 4.5m、稚内 As は 6.0m である。施工は、仕上がり厚を各層 30cm とするよう転圧した。

表-1 試験に用いたアスファルト廃材の基本物性値

試料名		苫小牧As	千歳As	札幌As	稚内As
土粒子密度 ρ_s (g/cm ³)		2.495	2.513	2.511	2.540
自然含水比 w_n (%)		4.3	3.3	7.4	2.9
粒度特性	2000 μ m ~ (%)	72.4	85.8	85.4	84.8
	75 ~ 2000 μ m (%)	27.5	9.1	14.4	14.7
	~ 75 μ m (%)	0.1	5.1	0.25	0.5
コンシステンシー限界	液性限界 w_L (%)	N.P.	N.P.	N.P.	N.P.
	塑性限界 w_P (%)	N.P.	N.P.	N.P.	N.P.
地盤材料の分類記号		G-S	G-FS	G-S	G-FS
最大乾燥密度 ρ_{dmax} (g/cm ³)		1.773	1.764	1.842	1.906
最適含水比 w_{opt} (%)		10.2	9.2	11.8	3.7
コーン指数 q_c (kN/m ²)		1351	貫入不可	貫入不可	1750

The relationship between settlement of embankment using asphalt waste and asphalt properties

Kakuto MORITA, Osamu HATAKEYAMA and Atsuko SATO

Civil Engineering Research Institute for Cold Region

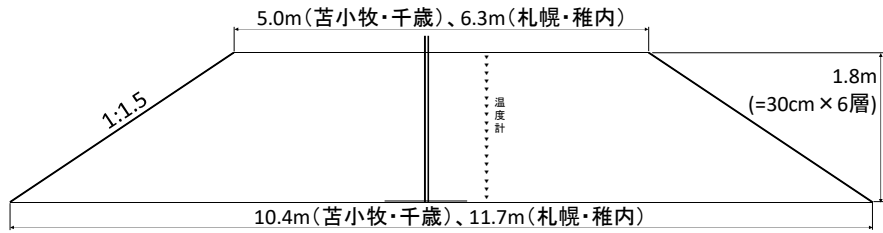


図-1 アスファルト廃材を用いた盛土の断面図 (H=1.8m の例)

②盛土の計測

各盛土について、盛土終了後1ヶ月間は10回/月程度、その後は1回/月以上の頻度で天端部の高さを3点ずつ計測した。また、盛土の中央部で表面から鉛直下方に10cm間隔に設置した温度計で1回/時間の頻度で温度を自動計測した。

③Asの性状の測定

As性状は、試験施工現場から採取した試料(切削材)からAsを回収し、針入度、軟化点、伸度を舗装調査・試験法便覧⁴⁾により測定した。

3. 試験結果

各盛土の経過日数、天端温度と沈下量を図-2、3に示す。苫小牧As廃材による盛土、千歳As廃材による盛土は、平成27年12月に施工後、沈下は10ヶ月ほどで収束した。天端温度の上昇とともに沈下量も大きくなる傾向となった。天端温度は4試料中、札幌As廃材による盛土がもっとも高く、稚内As廃材による盛土がもっとも低かった。札幌As廃材による盛土は平成29年7月、稚内As廃材による盛土は平成29年9月に施工後、ともに沈下は2ヶ月ほどで収束した。各盛土の最大沈下量は、苫小牧As廃材による盛土では27cm、千歳As廃材による盛土では20cmと大きかったのに対し、札幌As廃材による盛土では3cm、稚内As廃材による盛土では6cmと小さかった。

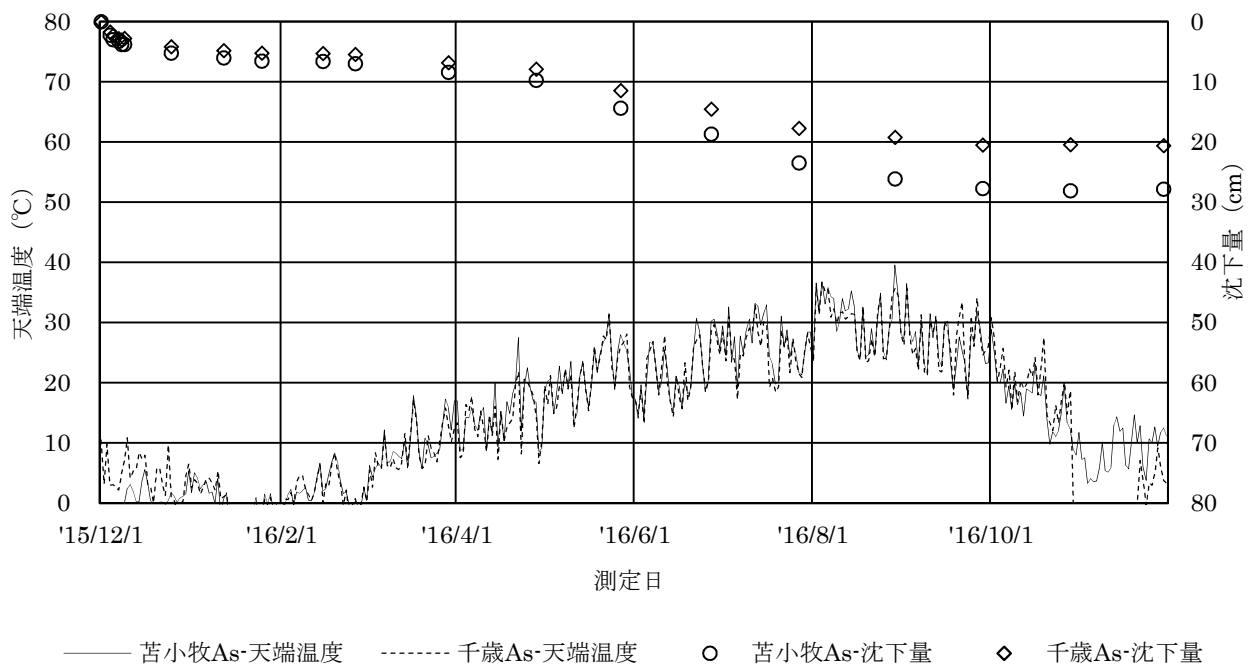


図-2 天端温度と沈下量 (苫小牧As、千歳As)

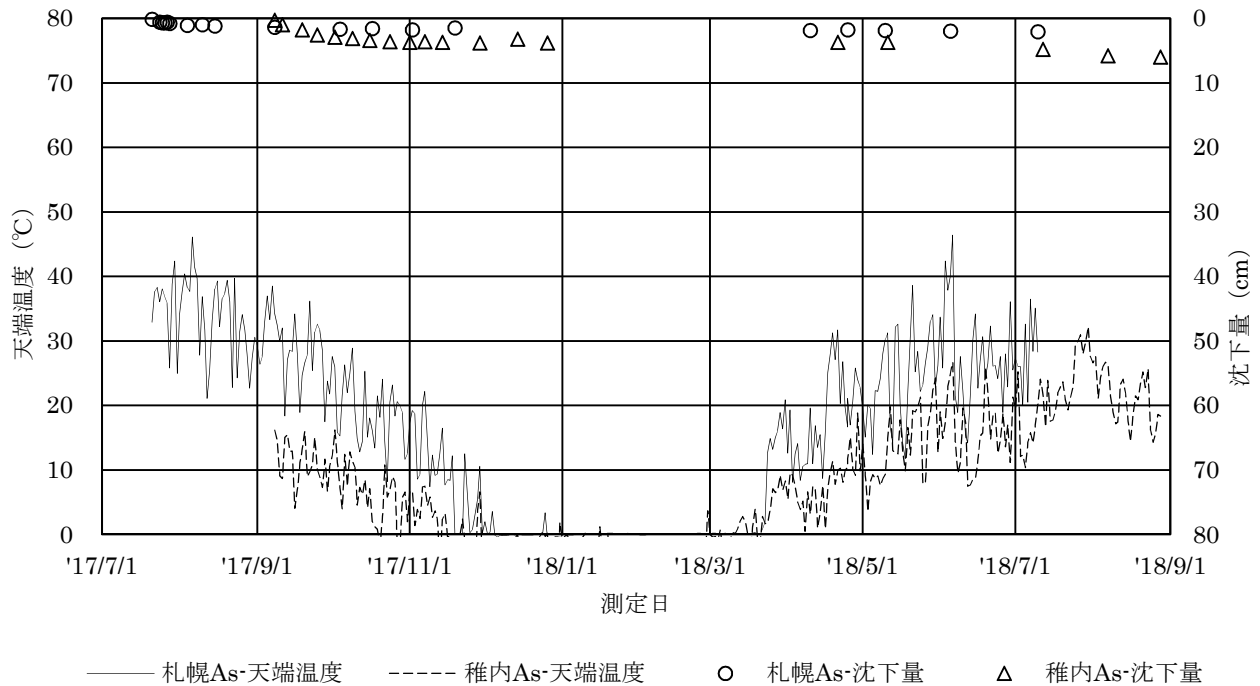


図-3 天端温度と沈下量（札幌 As、稚内 As）

札幌 As 廃材による盛土内の温度を、図-4 に示す。天端（0cm）温度は気温・日照により時間毎に大きく変化した。また、表面から深くなるにしたがい時間毎の変化が小さくなった。また、上層の最大温度になる時間より下層の最大温度となる時間が遅くなった。例えば、8月6日の最大温度は、天端温度が14時に対し天端から10cmが17時、天端から30cmが22時であり、この傾向は他の時期、他の試料でも同様であった。

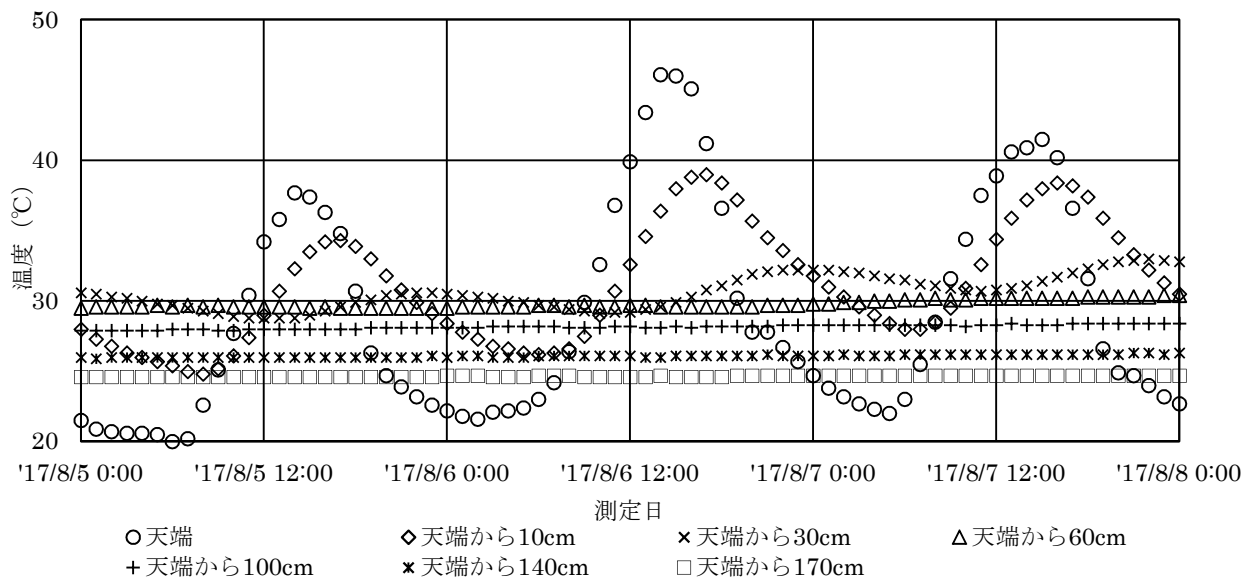


図-4 アスファルト廃材による盛土の深さ毎の温度の変化（札幌 As 廃材の例）

As 廃材による盛土の諸元と最大沈下量を表-2 に示す。締固め度は札幌 As 廃材による盛土がもっとも高く、苫小牧 As 廃材による盛土、稚内 As 廃材による盛土が低かったが、全ての盛土で盛土の管理基準値である締固め度 90%⁵⁾を上回っており盛土としての基準は十分満足している。次に天端温度 30℃以上となる頻度は、札幌 As 廃材による盛土がもっとも高く、稚内 As 廃材による盛土がもっとも低かった。切削前の舗装供用期間は、千歳 As 廃材による盛土がもっとも短かった。

表-2 アスファルト廃材による盛土の諸元と最大沈下量

項目	単位	苫小牧As	千歳As	札幌As	稚内As
盛土高さ	m	1.8	1.8	2.4	2.4
締固め度	%	95	101	111	96
最大沈下量	cm	27	20	5	11
最大粒径	mm	26.5	37.5	37.5	37.5
天端温度30℃以上の頻度 ^{※1}	回	227	212	400	77
切削前の舗装供用期間	年	16 ^{※2}	11	-	22

※1 測定頻度は1回/時間で、測定期間は盛土施工完了後1年間とした。

※2 苫小牧の切削前の舗装供用期間については、公共道路や空港と異なり試験関係車両のみ走行する極めて輪荷重の少ない環境であることに考慮が必要である。

盛土高 H=0.6、1.2、1.8、2.4m にて施工した札幌 As 廃材による盛土、稚内 As 廃材による盛土の沈下量を図-5 に示す。札幌 As 廃材による盛土の最大沈下量は盛土高 H=0.6、1.2、1.8、2.4m でそれぞれ 0.7cm、1.4cm、2.5cm、4.8cm で、沈下率（沈下量/盛土高）はそれぞれ 1.2%、1.2%、1.4%、2% だった。

稚内 As 廃材による盛土の最大沈下量は盛土高 H=0.6、1.2、1.8、2.4m でそれぞれ 1.4cm、4.1cm、5.7cm、11.4cm で、沈下率はそれぞれ 2.3%、3.4%、3.2%、4.8% だった。これより、盛土高が大きくなると沈下率は高くなるとともに、盛土自重の大きさは As 廃材による盛土の沈下に影響を与えられらる。

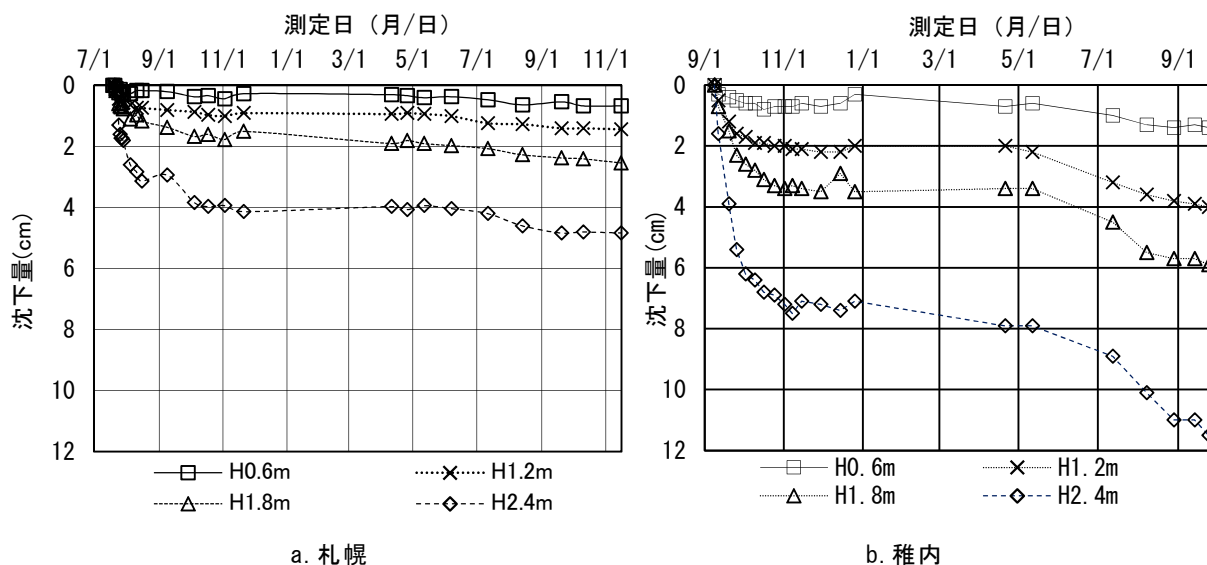


図-5 盛土高別沈下量の変化

締固め度をもっとも高い札幌 As 廃材による盛土ではもっとも沈下量が小さく、締固め度が低い苫小牧 As 廃材による盛土の沈下量が大きいため、締固め度は As 廃材による盛土の沈下量に影響を与えられらる。

一般土砂の施工では、締固めた盛土の沈下率は、15m 程度の盛土高さにおいて施工後に生じる残留沈下量で 0.2~1% 程度といわれており⁹⁾、これと比較すると今回試験した As 廃材による盛土の最大沈下量は締固め度 95% の場合で 27cm（沈下率 15%）でありかなり大きい。

As 廃材は温度により変状する⁷⁾とされている。天端の温度が 30℃ 以上となる頻度について、沈下量と比較した。同程度の締固め度である苫小牧 As 廃材による盛土と稚内 As 廃材による盛土では、稚内 As 廃材によ

る盛土の沈下量が小さいことから、天端の温度が 30℃以上となる頻度が As 廃材による盛土の沈下量に影響を与える可能性がある。

As は、天然材料が古来より接着剤、防水材として利用されており、近年では原油を蒸留して製造される石油 As が道路舗装に多く利用されている。特徴としては、常温では固体、半固体、粘性の高い液体で、熱を加えると容易に軟化する。また、時間経過や使用環境に伴い劣化し硬化する特性がある。⁸⁾

As の性状と As 廃材による盛土の沈下量との関係を明らかにするため、As の性状試験を行った。

比較対象として新規 As の規格値とともに As 廃材による盛土の沈下量と各測定値の関係を図-6～9 に示す。なお、新規 As の規格値はストレートアスファルト 80-100⁹⁾であり、As 含有率の規格値は切削材を考慮して北海道内の国道で表層に多く使用される密粒度アスコン 13F とした。

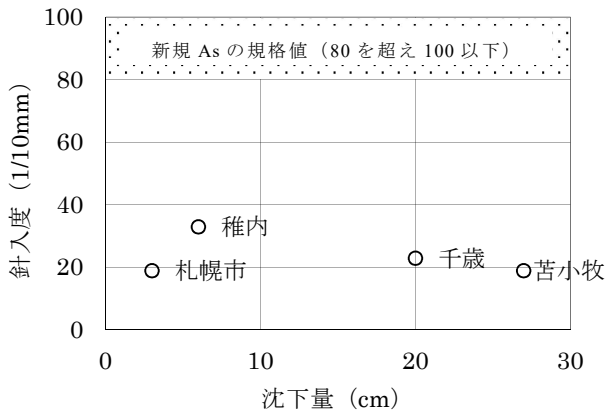


図-6 沈下量と針入度

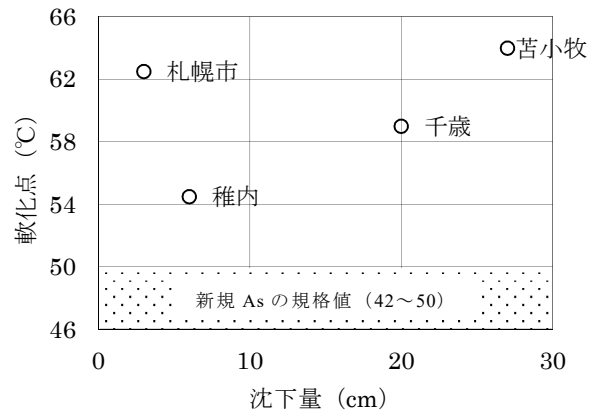


図-7 沈下量と軟化点

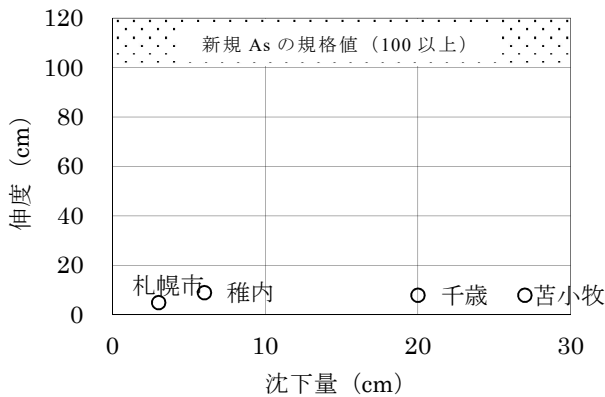


図-8 沈下量と伸度

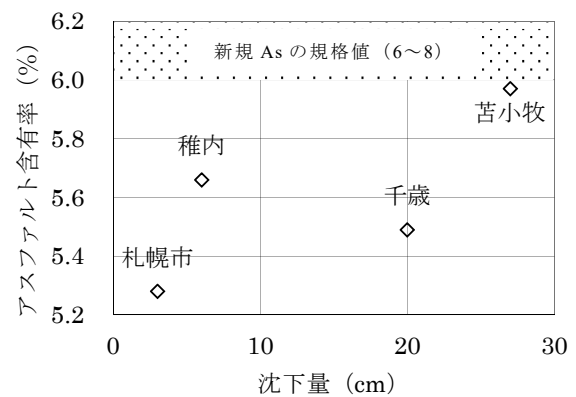


図-9 沈下量とアスファルト含有率

針入度試験は As の硬さを調べる試験で、針入度は舗装用石油 As (ストレートアスファルト) の品質規格の種類分けに使用されている。As が硬いと針入度が低く、As が軟らかいと針入度が高くなる。このため、針入度が高いと沈下量が大きくなると考えた。試験結果を示した図-6 では、新規 As に比べいずれも低く、硬化していることが確認できたが、針入度と沈下量の関係は確認できなかった。

軟化点試験は As が軟化する温度を調べる試験で、軟化点が低いと沈下量が大きくなると考えた。試験結果を示した図-7 では、新規 As に比べいずれも高く、劣化していることが確認できたが、軟化点と沈下量との関係は確認できなかった。

伸度試験は As の延性を調べる試験で、伸度が高いと沈下量が大きくなると考えた。試験結果を示した図-8 では、新規 As に比べいずれも低く、劣化していることが確認できたが、伸度と沈下量との関係は確認できなかった。

一方、各試験により As の性状確認はできたが、その性状による効果を発揮するためには As 廃材に含まれ

る As 含有率が重要と考えた。As 含有率の試験結果を示した図-9 では、苫小牧 As で 6%程度と 4 試料中もっとも高いことが確認できた。本試料は、比較的 As 量が多い配合が用いられる表層のみを切削した材料であったことから、As 含有率が高かったものと伺える。As 含有率が高いと沈下量も大きくなる傾向は確認できたが、サンプル数が少ないことや、締固め度等 As 含有率以外の要因が否定できないことから、As 含有率と沈下量の関係は確認できなかった。

4. まとめ

これまでの検討結果から、次のことがわかった。

- ①締固め度が高いと、As 盛土の沈下量は小さくなる。
- ②As 盛土の天端温度が 30℃以上となる頻度が低いと、As 盛土の沈下量は小さくなる。
- ③As 盛土の温度のピークは、時期や材料を問わず、上層より下層の方が遅い。
- ④盛土高が大きくなると沈下率は高くなるとともに、盛土自重の大きさは As 廃材による盛土の沈下に影響を与える。
- ⑤As 性状および As 含有率と As 廃材による盛土の沈下量に明確な関係性は確認できない。

5. おわりに

本検討により As 廃材による盛土の沈下に影響を及ぼす要因について、As 廃材に付着する As の性状や含有率よりも、天端温度や締固め度が As 廃材による盛土の沈下量に大きく影響すると考えられる。このため、路体盛土として使用する場合は、直射日光を避け温度上昇を抑制することや、施工時に締固め度を高くすることで沈下量を抑制できると考える。なお、今回の試験施工は、As 廃材による盛土を暴露させた条件としたが、実施工の場合には盛土の上に路盤、As 舗装が施工され暴露することはない。このため、大きな温度変化は発生せず沈下量は抑制できると考えられる。

今後は、As 廃材による盛土の上に路盤、As 舗装を施工し、さらに輪荷重をかけた状態における As 廃材による盛土の形状変化を確認したい。

謝辞：アスファルト廃材を用いた盛土の試験施工に際し、(一財)札幌市下水道資源公社と北海道開発局稚内開発建設部稚内港湾事務所に尽力頂きました。記して謝意を表します。

【参考文献】

- 1) 国土交通省：平成 24 年度建設副産物実態調査結果参考資料，p.参考 1-1，2014.3
- 2) 佐藤厚子、林憲裕、横浜勝司：アスファルト廃材の盛土材料としての性質，地盤工学会北海道支部技術報告集第 56 号，pp.119-124，2016.
- 3) 社団法人日本道路協会：道路土工要綱（平成 21 年度版），p.287，2009.
- 4) 社団法人日本道路協会：舗装調査・試験法便覧，pp. [2] -113- [2] -139，2007.6
- 5) 北海道開発局：道路・河川工事仕様書，p.2-220，2018.4
- 6) 社団法人地盤工学会：盛土の調査・設計から施工まで「第一回改訂版」，p.137，1990.
- 7) 佐藤厚子、林憲裕、横浜勝司：発生材料による試験施工ーアスファルト廃材および高含水不良土ー，第 60 回（平成 28 年度）北海道開発技術研究発表会，2016.
- 8) 谷口豊明、伊藤達也：アスファルトの劣化，ASPHALT Vol.33 No.164，p.67，1990.
- 9) 社団法人日本道路協会：舗装施工便覧（平成 18 年度版），p.19，2006.

アスファルト廃材を用いた盛土に関する研究 について

寒地土木研究所 寒地地盤チーム ○守田 穂人
畠山 乃
佐藤 厚子

アスファルト舗装の補修工事に伴い発生する廃材は再資源化が義務づけられており、再生加熱アスファルト合材等に再利用されているが、地域によっては廃材が余剰になっていることがある。

本研究では、アスファルト廃材単体及び土砂等の混合材料を用いた盛土の試験施工を行い、沈下計測、アスファルトの性状試験、層別密度試験を実施した。盛土として良好な結果を得たため、報告するものである。

キーワード：リサイクル

1. はじめに

現在の土木工事では、建設廃棄物のリユース・リサイクルが積極的に推進されている。アスファルト舗装の補修により発生する切削材や破砕材（アスファルト廃材）についても、舗装の新設時や補修時に新材と混合することで、適切に有効活用しており、再資源化率は99.5%に達している¹⁾。しかし、一部地域によっては、切削材や破砕材の発生量が使用量よりも多く、各施設のストック量が増大することがある。そこで、アスファルト廃材を活用するひとつの方法として盛土材に利用する方法を検討してきた²⁾。アスファルト廃材を用いた盛土の試験施工を行ったところ、盛土が沈下する現象が確認された。この要因を明らかにするため、盛土の基本物性値の把握とアスファルト廃材に付着するアスファルトの性状試験、

層別密度試験等を行った。

2. 調査方法

(1) 盛土の施工

アスファルト（以下、Asと称す）廃材を盛土材に利用することを目的として、As廃材のみ、As廃材と不良土との混合材料、工事現場の発生土との混合材料での盛土を施工した。盛土に用いたAs廃材、不良土、発生土の基本物性値を表-1に示す。苫小牧As廃材、千歳As廃材、札幌As廃材、稚内As廃材はいずれも自然含水比状態のコーン指数は高く、十分な締固めが可能な材料³⁾である。不良土1は自然含水比が68.7%の高含水比土であり、コーン指数が57kN/m²で盛土に適さない。発生土1は、

表-1 アスファルト廃材と混合材料の基本物性値

試料名	苫小牧As廃材	千歳As廃材	不良土1	札幌As廃材	発生土1	稚内As廃材	発生土2	不良土2	
土粒子密度 ρ_s (g/cm ³)	2.495	2.513	2.722	2.511	2.489	2.540	2.648	1.949	
自然含水比 w_n (%)	4.3	3.3	68.7	7.4	31.9	2.9	23.6	44.5	
粒度特性	2000 μ m～ (%)	72.4	85.8	32.2	85.4	19	84.8	9.7	-
	75～2000 μ m(%)	27.5	9.1	50.1	14.4	36	14.7	79.6	-
	～75 μ m(%)	0.1	5.1	17.7	0.25	45	0.5	10.7	-
コンシステンシー限界	液性限界 w_L (%)	N.P.	N.P.	97	N.P.	59.7	N.P.	N.P.	-
	塑性限界 w_P (%)	N.P.	N.P.	59.8	N.P.	31.2	N.P.	N.P.	-
地盤材料の分類記号	G-S	G-FS	SFG	G-S	SFG	G-FS	FG	Pt	
最大乾燥密度 ρ_{dmax} (g/cm ³)	1.773	1.764	1.007	1.842	1.376	1.906	1.512	0.562	
最適含水比 w_{opt} (%)	10.2	9.2	49.1	11.8	29.5	3.7	18.6	79	
コーン指数 q_c (kN/m ²)	1351	貫入不可	57	貫入不可	貫入不可	1750	852	31	

火山灰土と火山灰以外の発生土砂を洗浄して粗粒分を取り除きフィルタープレスし脱水した再生土である。発生土2は砂質土である。不良土2は自然含水比445%の泥炭で、コーン指数31kN/m²で盛土に適さない。各As廃材と不良土、発生土の混合比率と盛土の高さを表-2に示す。苫小牧施工区のNo.1の混合は、あらかじめ室内試験によりトラフィカビリティの確保できる混合比率を求めたところ4:3であった。なお、千歳As廃材は、敷均しのみで転圧を伴わない盛土も施工した。

これらの材料を用いて図-1に示す形状で盛土を施工した。苫小牧施工区では、盛土が沈下しないよう基礎材として砂利を厚さ50cmで敷設した上に盛土を施工した。札幌、稚内施工区では、地盤が軟弱であり盛土施工により地盤沈下が懸念されたことから、地盤沈下と盛土体の沈下を区別するため沈下板を設置した。

As廃材と不良土または発生土との混合に使用した機械は、千歳As廃材、札幌As廃材はバックホウを、稚内As廃材はロータリー式スタビライザーを使用した。いずれも団塊になることのない様、丁寧に攪拌した。苫小牧As廃材による盛土、千歳As廃材による盛土は11月に、札幌As廃材による盛土は7月に、稚内As廃材による盛土は9月に施工した。

(2) 試験方法

a) 盛土の沈下計測

各盛土の変状を調べるため、盛土天端にコンクリート版を1箇所につき3枚設置し高さを測定した。測定頻度は1回以上月とした。

b) 盛土の温度計測

盛土天端から深さ10cmずつ計器を設置し、1時間ごとに盛土天端および盛土内の温度を測定した。

c) 盛土の密度計測と開削調査

苫小牧、札幌、稚内施工区で盛土施工時に盛土の密度を測定した。また、苫小牧施工区では盛土を開削し表面から30cmごとに密度、強度として衝撃加速度⁴⁾、含水状態を調べた。

d) Asの性状試験

土砂盛土と比べAs廃材を用いた盛土は温度上昇とともに沈下する傾向を過年度の検討⁴⁾により確認したこと

表-2 As廃材と不良土、発生土との混合比率と盛高

苫小牧施工区			稚内施工区		
No.	混合比率	盛高	No.	混合比率	盛高
	As : 不良土1			As : 発生土2 : 不良土2	
1	4(千歳As) : 3	1.8m	1	As 廃材のみ	0.6、1.2、1.8、2.4m
2	苫小牧As廃材のみ	1.8m	2-1	4 : 1 : -	1.2m
3	千歳As廃材のみ	1.8m	2-2	4 : 2 : -	1.2m
4	千歳As廃材のみ(転圧なし)	1.8m	2-3	4 : 3 : -	1.2m
札幌施工区			2-4	4 : 4 : -	1.2m
No.	混合比率	盛高	3-1	4 : - : 0.5	1.2m
	As : 発生土1		3-2	4 : - : 1.0	1.2m
1	As 廃材のみ	0.6、1.2、1.8、2.4m	3-3	4 : - : 1.5	1.2m
2	4 : 1	1.8m	3-4	4 : - : 2.0	1.2m
3	4 : 2	1.8m	※混合比は体積比である。		
4	4 : 3	1.8m			
5	4 : 4	1.8m			

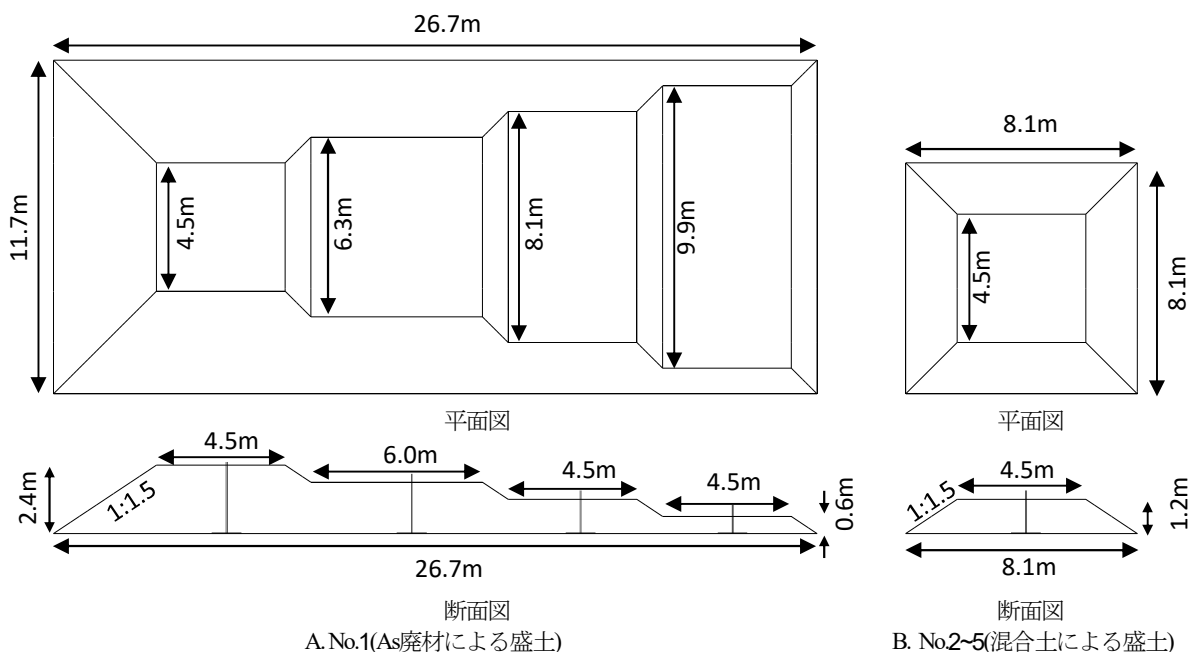


図-1 盛土の形状 (稚内施工区の例)

から、As廃材の骨材表面に付着しているAs成分を抽出し、針入度試験、軟化点試験、伸度試験を実施し、劣化の程度を測定した。

3. 試験結果

(1) 施工性（盛土施工時の状況）

As廃材単体盛土については、どの施工区でも十分な締固めができた。

苫小牧施工区の不良土1は千歳As廃材と混合することでコーン指数は474kN/m²となり、十分な締固めができた。

稚内施工区のコーン指数31kN/m²の不良土2は、稚内As廃材との混合により混合後の含水比は10%程度まで低下しコーン指数は1200kN/m²以上となりトラフィカビリティが十分確保できる材料に改良できた。

(2) As廃材による盛土の天端の沈下量

a) 苫小牧As廃材、千歳As廃材

約3ヶ年に渡り観測したAs廃材による盛土の沈下量を図-2に示す。最初の年の夏期での沈下量が大きく、その後は冬期に隆起が確認されたものの、沈下がこれ以上進むことはないことがわかった。また、千歳As廃材と高含水比不良土の混合土による盛土の最大沈下量が7cmで最も小さく、他のAs廃材による盛土の最大沈下量の1/3から1/4程度に抑えられた。

b) 札幌As廃材

沈下量を図-3に示す。As廃材による盛土で最大沈下量2.5cm、全ての混合土による盛土で最大沈下量1cm未満となり、発生土1との混合が沈下抑制に大きな効果がある。また、苫小牧As廃材、千歳As廃材と比べ札幌As廃材による盛土の最大沈下量が小さかった。これは、札幌As廃材による盛土の締固め度が111%とかなり高かったことが要因と考えられる。さらに、混合土においては、発生土1の混合比率が高い方（As廃材の混合比率が低い方）が沈下量が小さいことが確認された。施工直後の夏期の沈下量は大きいですが、その後の沈下は小さく2度目の夏期での沈下も0.5cm程度と小さいことから、沈下が収束したと判断できる。

c) 稚内As廃材

稚内施工区の沈下量を図-4に示す。As廃材による盛土で最大沈下量4cm程度、発生土2との混合土による盛土で最大沈下量2.3cm、不良土2との混合土による盛土で最大沈下量3.2cmであり、苫小牧As廃材、千歳As廃材と比べAs廃材による盛土の最大沈下量が小さかった。発生土2との混合土による盛土では、As廃材の混合比率が低いほど沈下量が小さく、発生土2の混合により盛土の沈下抑制に効果があったといえる。一方、不良土2との混合土による盛土では、As廃材の混合比率が高いほど沈

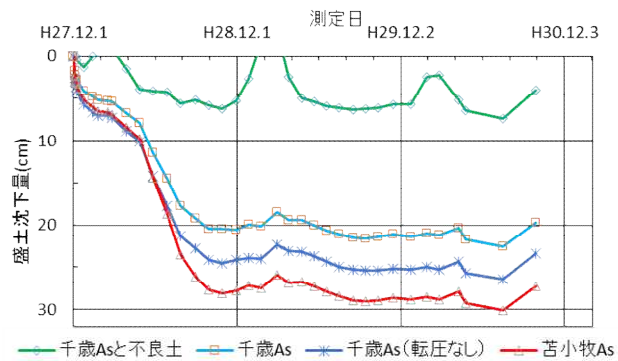


図-2 盛土沈下量（苫小牧As、千歳As）

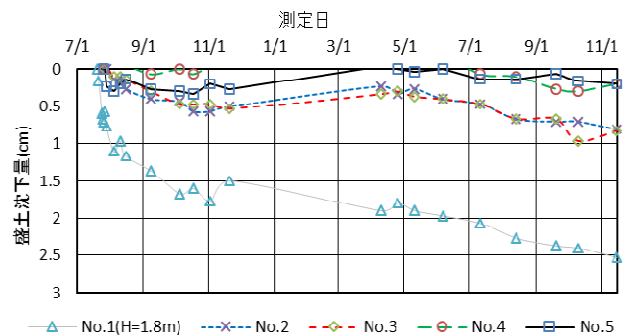


図-3 盛土沈下量（札幌As）

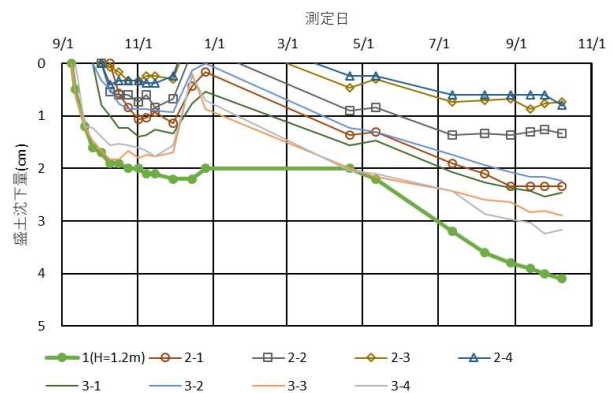


図-4 盛土沈下量（稚内As）

下量が小さかった。これは、泥炭が有機質で空隙が大きいため、泥炭の圧縮沈下の影響が大きかったものと考えられる。

(3) 盛土の変状（のり面の変状および天端のひび割れ）

As廃材を用いた盛土、As廃材と混合材料との混合盛土とものにり面崩壊やのり面侵食、すべり破壊などは発生しなかったため、盛土体としての安定性は十分確保しているといえる。過去の調査⁹⁾から、As廃材を用いた盛土のみならずAs廃材と混合材料との混合盛土において、施工直後に天端のり肩部に写真-1に示す様な部分的なひ



写真-1 盛土天端のひび割れ発生状況の例 (札幌施工区)

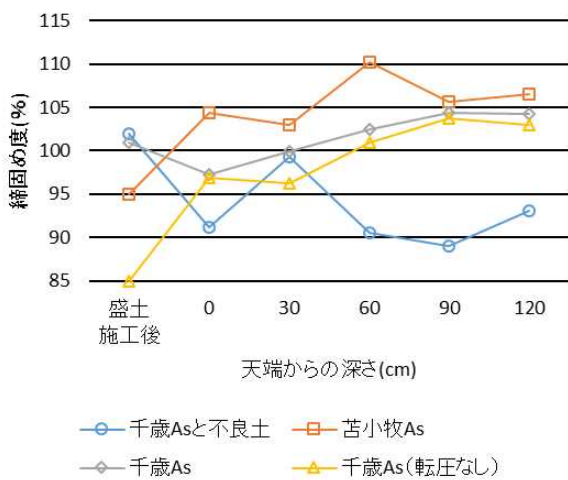


図-5 開削時の締固め度 (苫小牧As、千歳As)

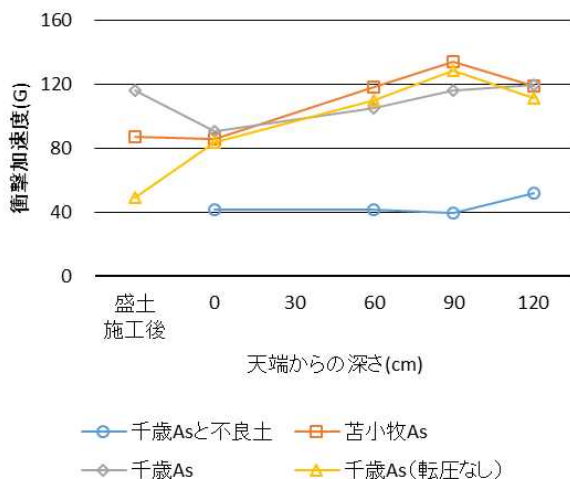


図-6 開削時の衝撃加速度 (苫小牧As、千歳As)

ひ割れが発生したが、時間経過とともに埋まった。これは、のり肩部は中央部に比べ一方が自由端となり流動を

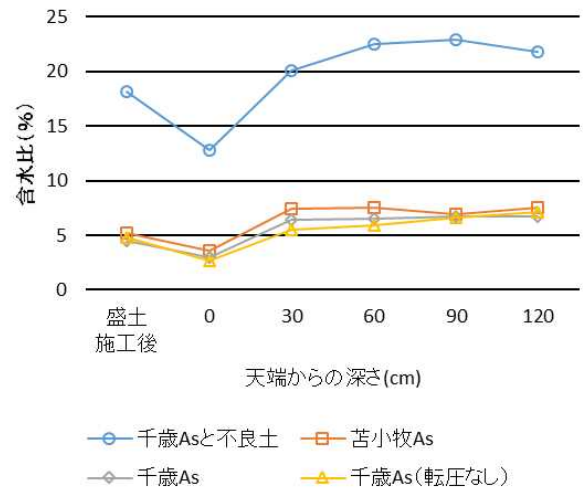


図-7 開削時の含水比 (苫小牧As、千歳As)

起こしやすくなるひび割れが発生し、その後ひび割れ部分が崩れることにより埋まっていくためと考えられる。

(4) 時間経過した盛土の締固め度、衝撃加速度、含水比

苫小牧施工区において施工から3年経過した盛土の締固め度を図-5に示す。千歳As廃材と不良土の混合盛土は深さ30cmの締固め度が大きいが高さによる締固め度の差はほとんどなかった。一方、As廃材単体盛土は深くなるにしたがい締固め度が高くなる傾向を確認した。

表面からの深さと衝撃加速度の関係を図-6に示す。千歳As廃材と不良土の混合盛土はどの深さでもほぼ一定値だったが、As廃材単体盛土は種類に関わらず表面から深くなるにしたがい大きくなる傾向となることを確認した。

さらに密度試験で採取した試料の含水比を図-7に示す。千歳As廃材と不良土の混合盛土は、3年経過しても含水比は高い状態であった。また、盛土内部の含水比は表面からの深さに関わらずほぼ一定であり、いずれのAs廃材も天端が盛土内部より若干小さいことがわかった。

(5) Asの性状試験

As廃材単体盛土の内、1.8m盛土の諸元とAs性状を表-3に示す。締固め度は札幌As廃材が最も高く最大沈下量も3cmと最も小さいことから、十分な締固めを行えば沈下量は小さくなることが伺える。また、同程度の締固め度である苫小牧As廃材による盛土と稚内As廃材による盛土を比較すると30°C以上の頻度が高い苫小牧As廃材による盛土の方が沈下量が大きく、天端温度が高い方が沈下量が大きくなることが伺える。苫小牧As廃材による盛土の沈下量は27cmで盛土高さの15%であったことから、苫小牧As廃材のAs成分が他のAs廃材と異なる性状かを確認するため、性状試験を行った。

表-3 As廃材による盛土の諸元とAs性状

項目	単位	苫小牧As	千歳As	札幌As	稚内As	規格値
締固め度	%	95	101	111	96	90以上 ^{※2}
最大沈下量	cm	27	20	3	6	-
天端温度30℃以上の頻度 ^{※1}	回	227	212	400	77	-
針入度	1/10mm	19	23	19	33	20以上 ^{※3}
軟化点	℃	64.0	59.0	62.5	54.5	-
伸度	cm	8	8	5	9	-
As含有率	%	5.97	5.49	5.28	5.66	3.8以上 ^{※3}

※1 測定頻度は1回/時間で、測定期間は盛土施工完了後1年間とした。

※2 道路・河川工事仕様書の管理値⁶⁾とした。

※3 アスファルトコンクリート再生骨材の品質⁷⁾によった。

積雪寒冷地域で使用するストレートアスファルト80-100の規格値⁸⁾は、針入度：80を超え100以下、軟化点：42～50℃、伸度：100以上、であり、いずれも規格値をはずれていることから劣化が進んでいることがわかる。しかし、アスファルトコンクリート再生骨材の品質のAs含有率は、いずれも規格値を満足する値となり、アスファルトコンクリート再生骨材の品質を満たす性状であったことから、再生骨材としての利用は可能なAs廃材であることは確認できた。

4. まとめ

これまでの試験結果から、次のことがわかった。

- ①本試験施工で使用した全ての混合材料について、As廃材単体による盛土より混合材による盛土の方が沈下量が小さくなり、沈下抑制効果がある。
- ②締固め度が高いと沈下量が小さい。
- ③天端温度が30℃以上となる頻度が高いと、沈下量が大きいの。
- ④盛土施工後に発生する天端のひび割れは、時間経過とともに埋まる。

⑤As廃材盛土の内部は3年経過しても安定している。

5. おわりに

本調査により、As廃材を用いた盛土は、盛土の安定性は十分であり、As廃材を盛土に利用することができるといえる。一般土砂と比較して大きな沈下が発生することが確認されているため、今後沈下の要因となる物性値がないか確認する必要がある。また、本試験施工ではAs廃材を暴露させた条件としたが実施施工の場合には盛土の上に路盤、As舗装が施工され暴露することはない。このため、大きな温度変化は発生せず沈下は抑制できると考えられることから、これについても確認したい。さらに、As廃材と発生材との混合により、これらの材料の有効活用が可能となる。

謝辞：アスファルト廃材を用いた盛土の試験施工に際し、(一財)札幌市下水道資源公社と北海道開発局稚内開発建設部稚内港湾事務所にご尽力頂きました。記して謝意を表します。

参考文献

- 1)国土交通省：平成24年度建設副産物実態調査結果参考資料、2014.3
- 2)佐藤厚子、林憲裕、横浜勝司：アスファルト廃材の盛土材料としての性質、地盤工学会北海道支部技術報告集第56号、pp.119-124、2016.
- 3)公益社団法人日本道路協会：道路土工要綱(平成21年度版)、p.287、2009.
- 4)北海道開発局：道路・河川工事仕様書、p.4-39、2018.4
- 5)佐藤厚子、林憲裕、横浜勝司：発生材料による試験施工-アスファルト廃材および高含水比不良土-、第60回(平成28年度)北海道開発技術研究発表会
- 6)北海道開発局：道路・河川工事仕様書、p.2-220、2018.4
- 7)公益社団法人日本道路協会：舗装再生便覧(平成22年度版)、p.11、2010.11.
- 8)社団法人日本道路協会：舗装施工便覧(平成18年度版)、p.19、2006.2.

共同研究報告書
COOPERATIVE RESEARCH REPORT of P.W.R.I.
No.507 March 2019

編集・発行 ©国立研究開発法人土木研究所

本資料の転載・複写の問い合わせは

国立研究開発法人土木研究所
寒地土木研究所 寒地技術推進室

〒062-8602 北海道札幌市豊平区平岸1条3丁目1番34号 電話 011-590-4046