

アスファルト廃材の土木材料への利用に関する研究

研究予算：運営費交付金

研究期間：平31～令3

担当チーム：寒地地盤チーム

研究担当者：畠山乃、林宏親、佐藤厚子、
大日向昭彦

【要旨】

道路舗装の修繕工事等で発生するアスファルト廃材は再資源化が義務づけられており、主に舗装材料へ再利用されているが地域によっては余剰となっている。このため、アスファルト廃材の舗装材料以外の土木材料への利用を検討した。本研究では盛土材への利用を検討するためアスファルト廃材の盛土実験を行った。その結果、夏期の気温上昇により盛土内温度が高まり、アスファルト廃材の加熱による細粒化が盛土の圧縮を招く一因であることを明らかにした。また、アスファルト廃材盛土の圧縮抑制方法を検討し、施工時の転圧回数を増加させることで圧縮を抑制できることが分かった。

キーワード：アスファルト廃材、土木材料、再資源化、再利用、盛土材

1. はじめに

道路舗装の修繕工事等で発生するアスファルト廃材は、「建設工事に係る資材の再資源化等に関する法律」により特定建設資材廃棄物に指定され再資源化が義務づけられており、主に舗装分野で再利用されているが地域によっては余剰となっている。このため当チームでは、アスファルト廃材の再利用範囲を拡大し盛土材等土木材料として有効利用することを検討しており¹⁾、アスファルト廃材による盛土実験では施工後に盛土の圧縮が確認された²⁾。

そこで本研究では、アスファルト廃材が圧縮性に影響を与える性質を明らかにするため、アスファルト廃

材の加熱による物性変化を室内試験で確認するとともに、舗装・路盤・路床を含めた実物大のアスファルト廃材盛土を施工し、盛土内温度等を計測し圧縮の原因を調査した。また、アスファルト廃材盛土の圧縮性を抑制する方法として、締め固めによる圧縮手法を検討するため現場において試験施工を行った。本報告はこれらをまとめたものである。

2. 研究方法

本研究では、以下の2.1節～2.3節の試験を行った。試験に使用したアスファルト廃材等の物性値を表-1に示す。

表-1 盛土材料の物性値

	アスファルト 廃材① ^{※1}	路床材 ^{※2}	路盤材 ^{※3}	アスファルト 廃材② ^{※4}
土粒子密度(g/cm ³)	2.50	2.74	2.77	2.51
自然含水比(%)	4.4	8.2	5.3	3.3
粒度	2mm以上(%)	81.3	69.8	87.7
	75μm～2mm(%)	18.3	26.1	10.7
	75μm以下(%)	0.4	4.1	1.6
コンシステンシー限界	N.P.	N.P.	N.P.	N.P.
地盤材料の分類記号	GS	GS	G-S	G-FS
最大乾燥密度(g/m ³)	1.67	1.96	2.19	1.76
最適含水比(%)	4.3	8.7	6.5	9.2

※1 2.1節の加熱アスファルト廃材の室内試験及び2.2節のアスファルト廃材による実物大盛土試験に使用したアスファルト廃材

※2 2.2節のアスファルト廃材による実物大盛土試験に使用した路床材

※3 2.2節のアスファルト廃材による実物大盛土試験に使用した路盤材

※4 2.3節のアスファルト廃材盛土の圧縮抑制方法の検討に使用したアスファルト廃材

2.1 加熱アスファルト廃材の室内試験方法

2.1.1 加熱アスファルト廃材の粒度試験方法

加熱によりアスファルト廃材の形状が変化するかを調べるため、加熱したアスファルト廃材の粒度試験を行った。試料は北海道内国道のアスファルト舗装修繕工事で発生した路面切削材を採取した。土の粒度試験(JIS A 1204:2020)により常温での試料の粒度分布を調べ初期値とした。次に、同試料を写真-1に示すようにバットに入れ40℃に設定した恒温器内で4週間養生した。その後試料を恒温器から取り出し、再度同試料の粒度試験を行った。加熱前(初期値)と加熱後(4週間後)の粒度分布を比較し、加熱によるアスファルト廃材の粒度分布の変化を調べた。

2.1.2 加熱アスファルト廃材の密度試験方法

加熱されたアスファルト廃材の物性変化を調べるため、20℃・40℃・60℃と異なる温度に設定したアスファルト廃材で供試体を作製し密度等を測定した。

1) 供試体の作製方法

供試体はマーシャル安定度試験³⁾に示す方法を準用し作製した(写真-2)。まず、アスファルト廃材を一定温度(20℃・40℃・60℃)に設定した恒温器に入れ12時間養生し、20℃・40℃・60℃それぞれの温度にした3種類のアスファルト廃材を準備した。次に、それぞれの温度のアスファルト廃材1kgを内径101.6mm、高さ88.9mmの円筒形モールドに入れ、質量4.5kgの重錘が45.7cmの高さからモールド内に自由落下する突固め装置で両面(上面と下面)50回ずつ締固め供試体を作製した。供試体は20℃・40℃・60℃それぞれの温度のものを3個ずつ作製した。

2) 供試体の測定(高さ・密度・空隙率)

ノギスで供試体の高さと直径を測り計算で体積を求め、はかりで重量を計測し重量を体積で除すことで密度を求めた。続いて、アスファルト混合物の最大密度試験⁴⁾によりアスファルト廃材供試体の中に入った

く空隙がないと仮定した時の密度である最大密度を求め、供試体全体の体積に対しその中に含まれる空隙量の体積の比を百分率で表したものである空隙率を下記(1)式により算出した。20℃・40℃・60℃それぞれの温度のアスファルト廃材により作製した供試体の高さ・密度・空隙率は、いずれも同じ温度のアスファルト廃材で作製した3個の供試体の平均値である。

$$V = (1 - d/D) \times 100 \dots (1)$$

ここに、V：空隙率(%), d：アスファルト廃材の密度(g/cm³), D：アスファルト廃材の最大密度(g/cm³)

2.2 アスファルト廃材による実物大盛土試験方法

アスファルト廃材による盛土の盛土内温度と圧縮の関係を調べるため、寒地土木研究所苫小牧施工試験フィールドにおいて、アスファルト廃材、舗装路面から剥ぎ取ったアスファルト舗装版を最大粒径0.3mになるように破碎した材料(以下「アスファルト殻」と記す)、路床材、路盤材及び舗装で構成される図-1に示す試験盛土を造成した。盛土の施工は1層の仕上がり厚さが路体では0.3m、路床では0.2mになるようにバックホウで敷均し、盛土の施工管理基準である締固め度90%⁵⁾以上になるように運転質量550kgのハンドガイド式振動ローラでA・C箇所では6回、B・D・E箇所では8回転圧し締固めた。盛土内温度は、舗装上から深さ62cmの箇所温度センサーを設置し、1時間当たり1回の頻度で自動計測した。気温は苫小牧地点の気象庁アメダスデータ⁶⁾を取得した。盛土A～E各箇所の圧縮については、盛土内に設置した沈下板や盛土天端に設置したブロック板の高さを測量し、これらの差し引きにより圧縮量を求め、圧縮量を施工厚さで除し圧縮率を求めた。測量は盛土が完成した2019年12月から開始し月2回程度の頻度で2年間行った。



写真-1 アスファルト廃材の加熱状況



写真-2 供試体の作製状況

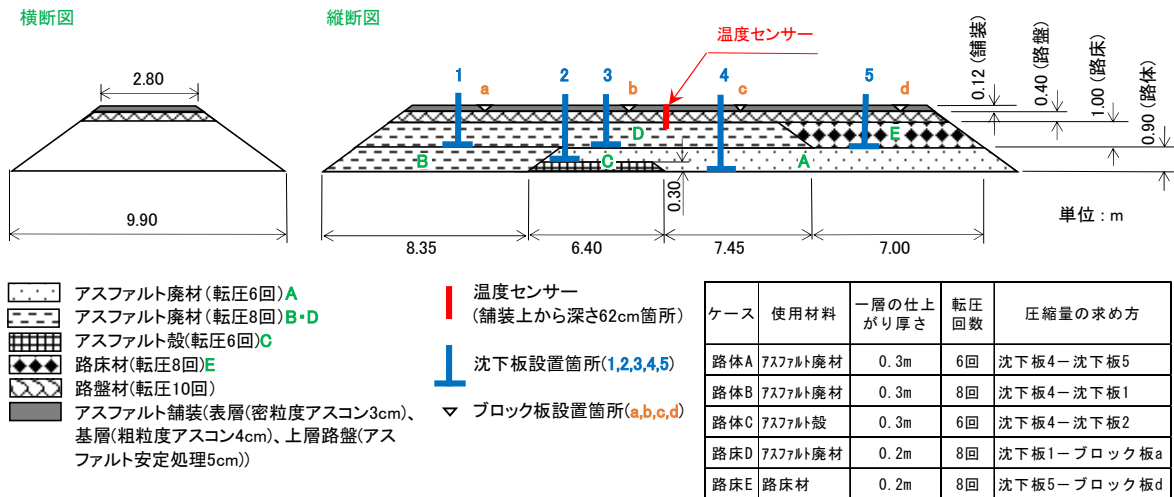


図-1 試験盛土概略図

2.3 アスファルト廃材盛土の圧縮抑制方法の検討

アスファルト廃材盛土の圧縮抑制方法を検討するため、通常の施工より締固め時の転圧回数を増加させて盛土を造成する試験施工を行った。図-2に示すように締固めのみで転圧を行わない転圧回数0回のA部、通常の転圧回数である6回のB部、通常より転圧回数を増加させ12回にしたC部、C部よりさらに転圧回数を増加させ18回にしたD部の4つのパターンに区分けし、A部・B部・C部・D部各箇所において施工時にアスファルト廃材盛土の現場乾燥密度や締固め度を測定するとともに施工時からの盛土圧縮率の経時変化を調べた。盛土には千歳空港滑走路のアスファルト舗装補修工事で発生した路面切削材を使用した。盛土の施工は1層当たりの仕上がり厚さが30cmになるように0.45m³級バックホウで敷均した後、3~4t級コンバインド式振動ローラで締固めた。アスファルト廃材の現場乾燥密度は、締固め後に盛土A部・B部・C部・D部それぞれ

の箇所において「砂置換法による土の密度試験(JIS A 1214:2013)」により測定した。締固め度は、室内において「突固めによる土の締固め試験(JIS A1210:2020)」のB-c法によりアスファルト廃材の最大乾燥密度を求め、下記の式(2)により算出した。

$$\text{締固め度 } D_c(\%) = \rho_d / \rho_{dmax} \cdot \cdot (2)$$

ρ_d : 締固め後の現場乾燥密度

ρ_{dmax} : 室内締固め試験の最大乾燥密度

盛土圧縮率は盛土A部・B部・C部・D部各箇所盛土高さを測量し、盛土施工時の盛土高さとの差から圧縮量を求め、圧縮量を盛土施工厚さ(0.9m)で除し算出した。測量は2021年6月の盛土施工直後から開始し、月2回程度の頻度で2022年3月まで10カ月間行った。また、盛土天端から深さ50cmの箇所に温度センサーを設置し盛土内温度を計測した。

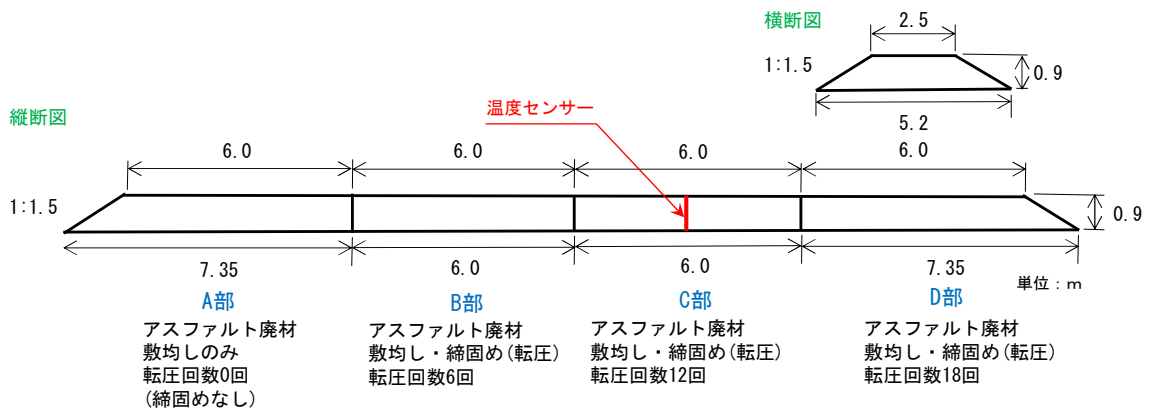


図-2 試験施工概略図

3. 研究結果

3.1 加熱アスファルト廃材の室内試験結果

3.1.1 加熱アスファルト廃材の粒度試験結果⁷⁾

図-3 に加熱前(初期値)と加熱後(4週間後)のアスファルト廃材の粒度加積曲線を示す。加熱前と加熱後の粒度分布を比較すると、目開き 19mm・9.5mm・4.75mm ふるいの通過割合がそれぞれ 93.8 から 96.0、68.7 から 70.5、43.8 から 44.5 へ上昇しており、加熱後に粒径 2mm 以上 19mm 未満の大きさのアスファルト廃材が増加していた。これは、骨材同士がアスファルトにより結合し粒径 19mm 以上 26.5mm 未満の大きさとなっていたアスファルト廃材が、加熱によりアスファルト廃材に含まれるアスファルトが軟化し、骨材同士を結合するアスファルトの接着強度が弱まったため、ごくわずかではあるが写真-3 のように破碎・細粒化したものと考えられる。今回の試験結果から、アスファルト廃材は加熱により細粒化する性質を有していることが分かった。

3.1.2 加熱アスファルト廃材の密度試験結果⁷⁾

図-4 及び写真-4 に試験結果を示す。図-4(左)に示す空隙率については、常温である 20℃では 21.8%、40℃では 20.2%、60℃では 16.5%となり温度が高いほど小さくなった。図-4(右)に示す密度については、20℃では 1.93g/cm³、40℃では 1.97g/cm³、60℃では 2.06g/cm³となり温度が高いほど大きくなった。写真-4 に示す供試体高さについては、20℃では 6.37cm、40℃では 6.22cm、60℃では 5.92cm となり、温度が高いアスファルト廃材のものほど低くなり圧縮された。同じ締固めエネルギーで突固め供試体を作製したにもかかわらず、温度により空隙率・密度・供試体高さともに明確な差異が生じた。これは、前項の 3.1.1 に示すように、アスファルト廃材は加熱により細粒化する性質を有しており加熱による温度上昇のみでは細粒化がごくわずかであったが、突固めによる締固め作用が加わることで細粒化が促進され、小粒径となった粒子が粒子間の空隙に入り込み充填されやすくなったため、40℃や 60

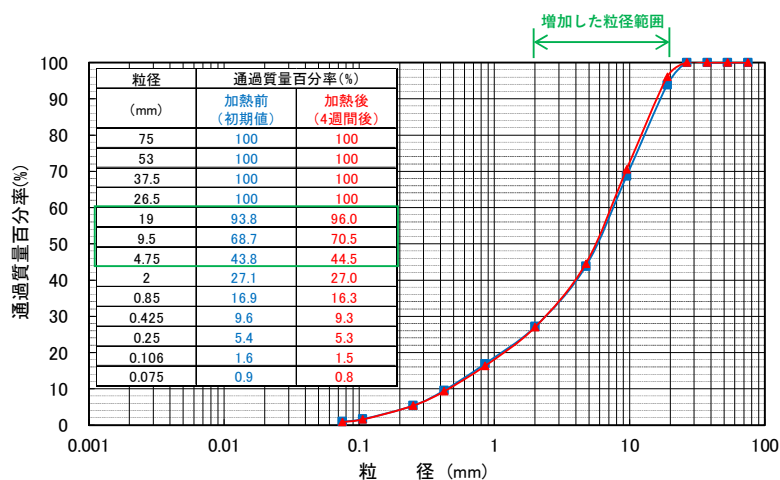


図-3 加熱前と加熱後のアスファルト廃材の粒度加積曲線



写真-3 加熱後のアスファルト廃材

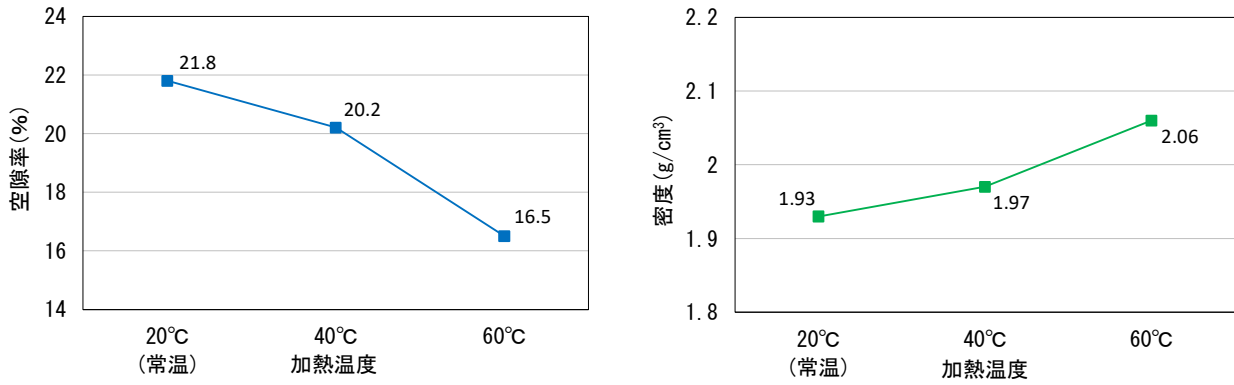


図-4 密度試験の結果 (左：空隙率, 右：密度)

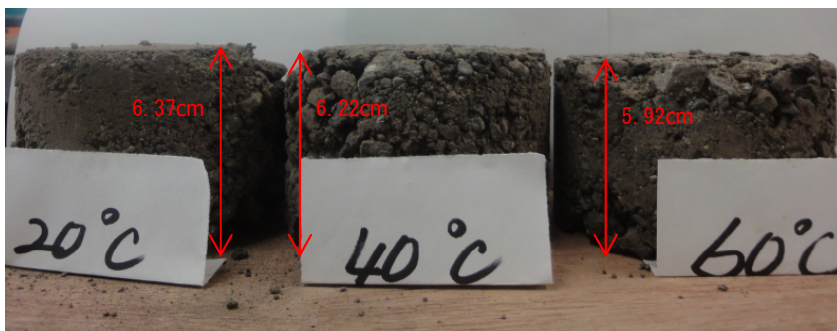


写真-4 アスファルト廃材供試体 (左：20°C, 中：40°C, 右：60°C)

°Cの温度が高いアスファルト廃材の供試体は空隙率が小さくなり密度が高まるとともに供試体高さが低くなり圧縮されたものと考えられる。

3.2 アスファルト廃材による実物大盛土試験結果⁷⁾

3.2.1 盛土内温度の計測結果

盛土施工後1年目の2020年の5月から10月の盛土内温度と気温を図-5に示す。盛土内温度は5月から6月上旬にかけて緩やかに上昇し6月中旬には20°C以上となり、6月末から7月初めにかけていったん20°C以

下に低下したものの8月下旬まで概ね20~25°Cの温度範囲を上下しながら推移した。9月以降は中旬にいったん20°C以上に上昇したものの緩やかに下降した。盛土内温度を全体的に見ると、昼間に上昇し夜間に下降する気温のような日変動は小さく、季節の変化とともに緩やかに上下に変化する傾向が確認され、6月から8月の夏期は昼夜を問わず概ね20°C以上を保持することが分かった。

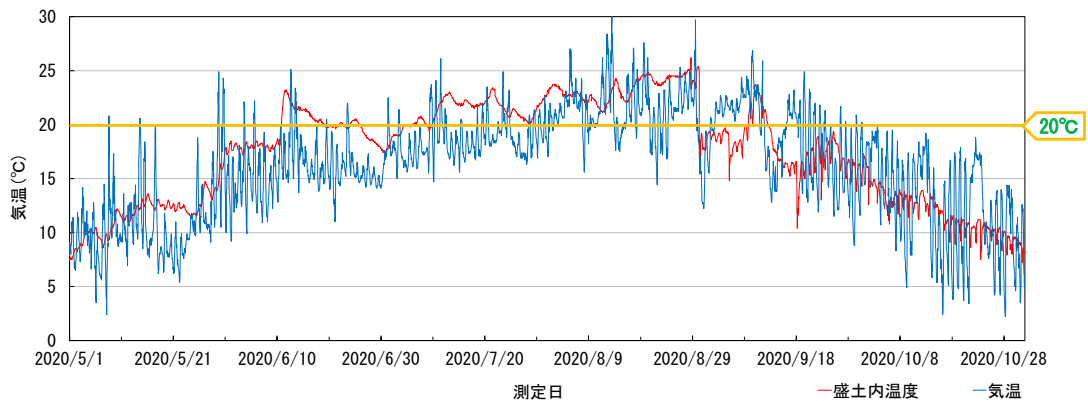


図-5 盛土内温度の計測結果(2020年5月~2020年10月)

3.2.2 盛土圧縮量の測定結果

図-6 に試験盛土各箇所(図-1 に示す試験盛土概略図の A~E 箇所)の圧縮量の測定結果を示す。路体 A(アスファルト廃材・転圧 6 回)及び路体 B(アスファルト廃材・転圧 8 回)については、どちらも盛土施工後緩やかに圧縮が進行し 2020 年 5 月時点では圧縮率が 4%であったが、6~8 月の 3 カ月間で急激に圧縮が進行し 9 月には 9%となった。しかし、それ以降は圧縮の進行が抑制され最終的な圧縮率は 10%であった。路体 C(アスファルト殻・転圧 6 回)については、施工後緩やかに圧縮が進行し 2020 年 5 月時点では圧縮率が 5%であったが、6~8 月の 3 カ月間で急激に圧縮が進行し 9 月には 11%となった。しかし、それ以降は圧縮の進行が抑制され最終的な圧縮率は 12%であった。路床 D(アスファルト廃材・転圧 8 回)については、盛土施工後緩やかに圧縮が進行し 2020 年 5 月時点の圧縮率は 5%であったが、6~8 月の 3 カ月間で急激に圧縮が進行し 9 月には 9%となった。しかし、それ以降は圧縮の進行が抑制され最終的な圧縮率は 11%であった。路床 E(路床材・転圧 8 回)については、盛土施工後緩やかに圧縮が進行し 2020 年 6 月には圧縮率が 1%となった。しかし、それ以降は大きな変化がなく最終的な圧縮率は 1%のままであった。以上の結果から、路床材による路床の圧縮率が 1%なのに対し、アスファルト廃材やアスファルト殻による路体及びアスファルト廃材による路床の圧縮率は、若干アスファルト殻による路体の圧縮率が大きいものの大きな差はなく、いずれも 10%程度とかなり大きい。盛土の圧縮時期については路床材

による路床を除き、施工後 1 年目の夏期にあたる 2020 年 6~8 月に集中している。盛土内温度の計測結果より、6~8 月の夏期は盛土内温度が 20℃以上に上昇するため、アスファルトが軟化し骨材同士を結合する接着強度が弱まりアスファルト廃材が破碎・細粒化しているものと考え、圧縮収束後(2020 年 9 月)の試料を採取し粒度試験により粒度分布を調べ、初期値である盛土造成時(2019 年 12 月)に採取した試料の粒度分布と比較した。粒度試験には、採取箇所による偏りが生じないようにアスファルト廃材盛土の任意の 3 箇所から採取した試料を混合したものを使用した。図-7 に盛土造成時(初期値)と圧縮収束後の試料の粒径加積曲線を示す。圧縮収束後の試料の粒径加積曲線は上方に移動しておりアスファルト廃材の細粒化が確認された。3.1.1 に示すように、加熱のみではアスファルト廃材の細粒化がごくわずかであったが、夏期の気温上昇によりアスファルト廃材が加熱され細粒化しやすい状態となっているところに盛土の自重が加わることで図-8 に示すように破碎・細粒化が促進され、小粒径となったアスファルト廃材が粒子間の空隙に充填されたため盛土が圧縮したものと考えられる。また、施工後 2 年目の夏期(2021 年 6~8 月)にも盛土内温度の上昇により同様の現象が起こればと思われたが、路体 A・路体 B・路体 C・路床 D いずれの箇所においても顕著な圧縮は発生しておらず、アスファルト廃材の加熱による細粒化が招く盛土の圧縮は施工後 1 年目の夏期で収束することが分かった。

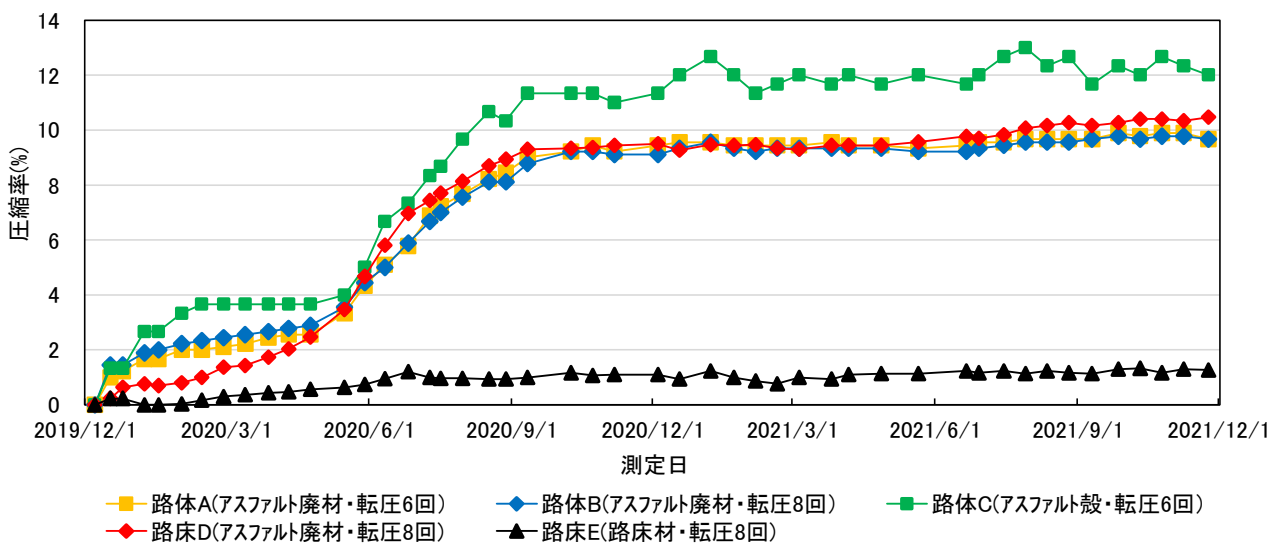


図-6 盛土圧縮量の測定結果

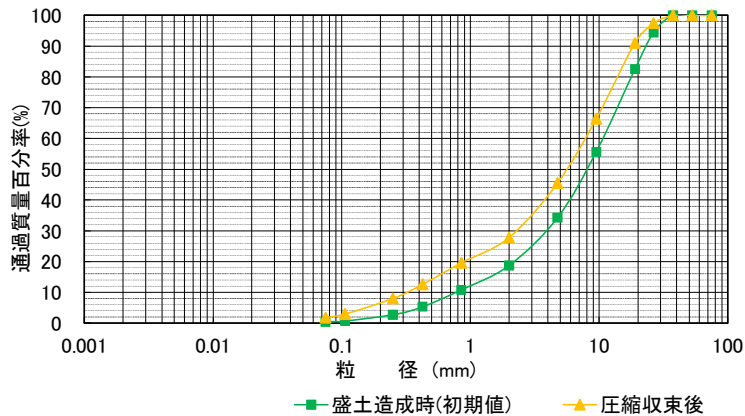


図-7 盛土造成時(初期値)と圧縮収束後の試料の粒径加積曲線

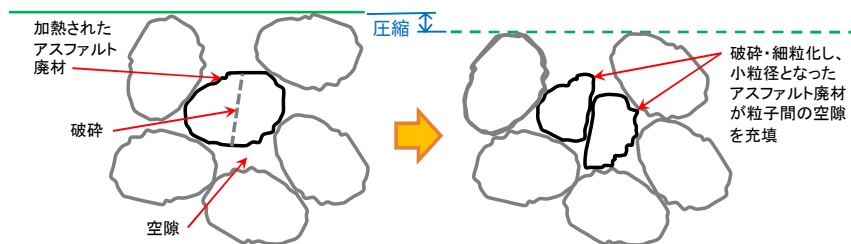


図-8 施工後1年目の夏期における盛土の圧縮メカニズム

3.3 アスファルト廃材盛土の圧縮抑制方法の検討結果

3.3.1 現場乾燥密度及び締固め度の測定結果

図-9(左)に現場乾燥密度、図-9(右)に締固め度の測定結果をそれぞれ示す。図-9(左)に示す現場乾燥密度については、転圧回数 0 回(締固めのみ)の A 部では 1.56 g/m^3 、転圧回数 6 回の B 部では 1.76 g/m^3 、転圧回数 12 回の C 部では 1.84 g/m^3 、転圧回数 18 回の D 部では 1.82 g/m^3 となった。また、図-9(右)に示す締固め度については、A 部(転圧回数 0 回)では 89%、B 部(転圧回数 6 回)では 101%、C 部(転圧回数 12 回)では

106%、D 部(転圧回数 18 回)では 104%となった。現場乾燥密度と締固め度どちらも転圧回数の増加にともない大きくなる傾向を示した。これらの結果から、アスファルト廃材は一般的な土砂と同じように転圧回数の増加により現場乾燥密度や締固め度が大きくなる材料であることが分かった。また、転圧回数 18 回の現場乾燥密度 (1.82 g/m^3) や締固め度 (104%) は、転圧回数 12 回の現場乾燥密度 (1.84 g/m^3) や締固め度 (106%) よりやや小さくなっており、一般的な土砂と同じように乾燥密度や締固め度には上限がある。

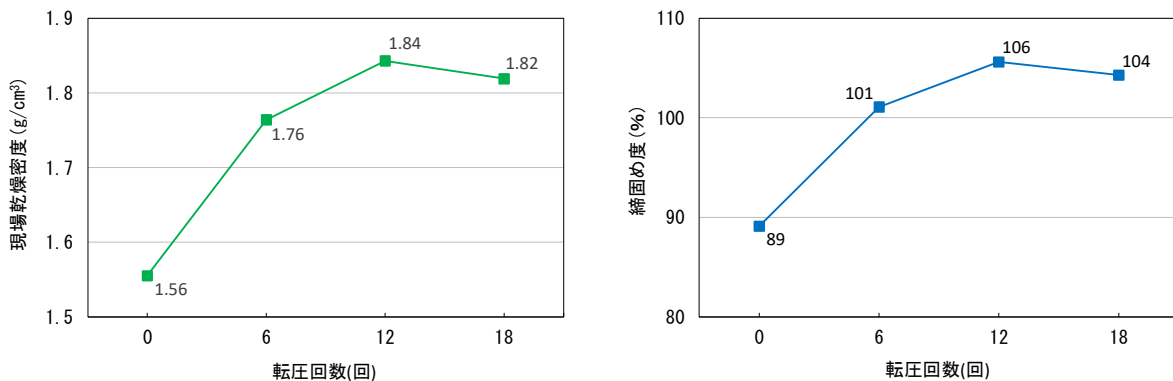


図-9 現場乾燥密度(左)と締固め度(右)の測定結果

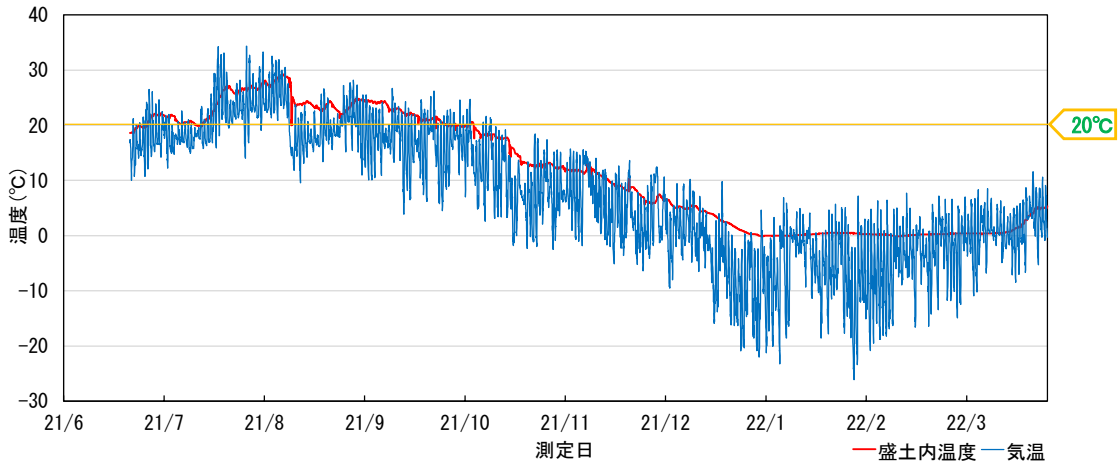


図-10 盛土内温度の計測結果

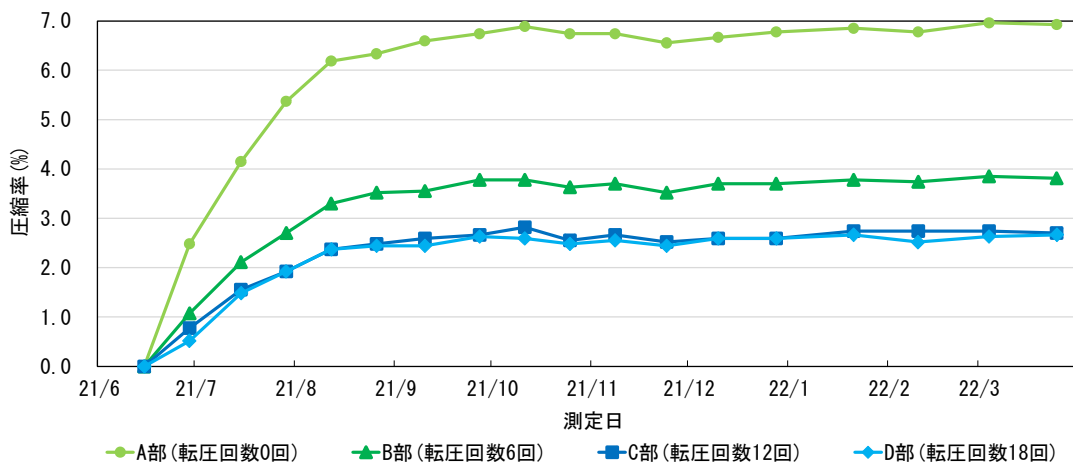


図-11 盛土圧縮率の測定結果

3.3.2 盛土内温度及び盛土圧縮率の測定結果

図-10 に盛土内温度の計測結果を示す。盛土施工直後から徐々に温度が上昇し6月下旬には20°Cを超え、7月下旬から8月上旬に掛けては25°C以上の高温を保持した。その後徐々に温度が下降し9月下旬までは20°Cを上回っていたが、10月以降は20°Cを下回った。図-11 に盛土圧縮率の測定結果を示す。転圧回数0回(敷均しのみ)のA部は、盛土施工直後から圧縮率が上昇し9月には6.7%となった。しかし、10月以降は圧縮率の上昇が抑制され最終的な圧縮率(2022年3月)は6.9%であった。転圧回数6回のB部は、盛土施工直後から圧縮率が上昇し9月には3.8%となった。しかし、10月以降は圧縮率の上昇が抑制され最終的な圧縮率は3.8%のままであった。転圧回数12回のC部及び転圧回数18回のD部は、盛土施工直後から圧縮率が上昇し9月にはそれぞれ2.7%・2.6%となった。しかし、10月以降は圧縮率の上昇が抑制され最終的な圧縮率は2.7%であった。A部・B部・C部・D部いずれの箇所にも

おいても9月までは圧縮率の上昇が確認されたが、10月以降は圧縮率の上昇が抑制された。これは、9月までは盛土内温度が20°C以上となりアスファルトの軟化により骨材同士を結合する接着強度が弱まりアスファルト廃材が細粒化しやすい条件になっていたため、細粒化が盛土の圧縮を招いたものの、10月以降は盛土内温度が20°C以下となり細粒化しやすい条件になっていないため、アスファルト廃材の細粒化が起これず盛土の圧縮が生じなかったものと考えられる。A部・B部・C部・D部各箇所の最終的な盛土の圧縮率は、A部では6.9%、B部では3.8%、C部及びD部では2.7%となっており、転圧回数が多い箇所ほど圧縮率が小さくなる傾向を示した。

今回の試験施工の結果から、アスファルト廃材盛土の圧縮は、施工時の転圧回数を増加させることで抑制できることが分かった。ただし、C部及びD部の圧縮率は同じ2.7%となっており、転圧回数を増加させ盛土の圧縮を抑制する方法には限界がある。

4. まとめ

本研究で得られた成果は、以下のとおりである。

- 1) アスファルト廃材は加熱により破碎・細粒化する性質を有しており、アスファルト廃材で盛土を造成した場合、夏期の気温上昇により盛土内温度が高まり、アスファルト廃材の加熱による細粒化が盛土の圧縮を招く一因であることを明らかにした。
- 2) アスファルト廃材盛土の圧縮抑制方法を検討するため、通常の施工より締固め時の転圧回数を増加させた試験施工を行った結果、施工時の転圧回数を増加させることで盛土の圧縮を抑制できることが分かった。

参考文献

- 1) 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, No.56, pp.119-124, 2016.

- 2) 守田穂人, 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, No.59, pp.117-122, 2019.
- 3) 社団法人日本道路協会: 舗装調査・試験法便覧, pp. [3]-5 - [3] -17, 2019.
- 4) 社団法人日本道路協会: 舗装調査・試験法便覧, pp. [4]-309 - [4] -317, 2019.
- 5) 北海道開発局: 道路・河川工事仕様書, p.2-229, 2021.
- 6) 気象庁: 過去の気象データ検索
<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/>
- 7) 大日向昭彦, 林宏親, 佐藤厚子: アスファルト廃材を用いた盛土の圧縮と温度の関係について, 地盤工学会北海道支部技術報告集, No.62, pp.45-50, 2022.

RESEARCH ON THE USE OF ASPHALT WASTE FOR CIVIL ENGINEERING MATERIALS

Research Period: FY2019-2021

Research Team: Geotechnical Research Team, Cold-Region
Construction Engineering Research Group

Author: HATAKEYAMA Osamu

HAYASHI Hirochika

SATO Atsuko

OBINATA Akihiko

Abstract: This study examined the reuse of asphalt waste as a civil engineering material such as embankment material. Embankment experiment using asphalt waste was conducted. As a result, it was revealed that the fine granulation of asphalt waste due to heating in summer is one of the causes of compression of the embankment. This compression can suppress by increasing the number of compactions in construction.

Keywords: asphalt waste, civil engineering materials, recycling, reuse, embankment material