

一般財団法人新潟県建設技術センター

平成 29 年度 研究助成事業活動結果報告

品質基準を下回る再生骨材を使用した
再生アスコンの配合条件に関する事業

平成 30 年 3 月 31 日



長岡技術科学大学大学院
環境社会基盤工学専攻

高橋 修



1. はじめに

本報告書は、一般財団法人新潟県建設技術センターからの「平成 29 年度研究助成事業」に対する申請事業「品質基準を下回る再生骨材を使用した再生アスコンの配合条件に関する事業」の活動結果を報告するものである。先の「平成 27 年度研究助成事業」である「新潟県で排出されるアスファルト廃材の実状調査と有効利用に関する検討」¹⁾では、新潟県内のアスファルトコンクリート（アスコン）再生工場にアンケート調査を実施して各地区で排出されるアスファルト廃材の実状を調査するとともに、実際にアスコン再生骨材を入手して再生アスファルト混合物を製造して物性を評価した。そして、今後に向けた運用方法や想定される問題点について考察した。この事業により、新潟県内のアスコン再生骨材も品質が低下傾向にあり、近い将来に現行の品質基準を満足しないものの発生が想定された。再生アスファルト混合物の製造に使用できない再生骨材が多くなると、これまでの資材調達、資材運用に影響を及ぼすことが予想される。このような検討成果に基づいて、平成 29 年度の事業では、再生骨材の品質が更に低下して、基準を下回った場合の活用方法について検討した。

新潟県内の再生工場から再生骨材を入手して品質評価を行い、品質基準を下回るまで更に促進劣化を施して、検討用の再生骨材を準備した。現行の規定では、このような再生骨材は表・基層用の再生アスファルト混合物に使用することができないが、敢えて使用した場合のアスコン物性の違いについて着目し、その活用法の方向性について考察した。すなわち、品質基準を下回る再生骨材（規格外再生骨材）の混入率を変化させた再生アスファルト混合物を作製し、そのアスコン物性を新規にもものと比較することにより、混入の可否、可の場合の条件について検討した。

現行の規定²⁾によると、規格外再生骨材は上層路盤及び下層路盤の素材として活用することができるが、これまでの実績は多くない。そのため、実際に路盤に混入した場合の適用性や長期供用性が明らかになっていない。新規粒状材料と混合した場合に、最適含水比の決定が難しく、締固めも容易でないことが経験的に知られている。また、再生アスファルト安定処理路盤材料に使用する場合は、旧アスファルトの調整方法が基準を満足する再生骨材（規格内再生骨材）と同じでよいのか明確になっていない。これらのことから、規格外再生骨材であっても規格内再生骨材と同様に、何らかの調整を施して表・基層用の再生アスファルト混合物に使用することが求められるものと予想される。本事業は、このような事態を想定して、規格外再生骨材を表・基層用の再生アスファルト混合物に使用する場合の、仕様を検討するための基礎的研究という位置づけである。

本事業では、規格外再生骨材を運用する際の留意事項である混入率の限界、及び性能の評価法に関する知見を得ることが目的である。ここでは、再生アスコンに対して修正ロットマン試験、直接引張試験、及び曲げ疲労試験を実施し、規格外再生骨材の混入率と剥離抵抗性、変形抵抗性、疲労抵抗性の関係について検討した。

2. 使用した再生骨材と再生アスコン

2.1 規格内及び規格外再生骨材

本事業では、規格内及び規格外の 2 種類の再生骨材を用いて比較を行う。新潟県内のアス

表 2.1 再生骨材の物性及び旧アスファルトの性状

項目		規格内(未劣化)	規格外(劣化)	基準値
旧アスファルトの含有量 %		5.75		3.8 以上
旧アスファルトの性状	針入度 1/10 mm	15	14	20 以上
	圧裂係数 MPa/mm	1.41	2.36	1.70 以下
	軟化点 °C	65.5		---
骨材の微粒分量 %		3.8		5 以下

コン再生工場からアスコン再生骨材を入手し、その基本物性と旧アスファルトの性状、及び粒度を調べたところ、それぞれ表 2.1, 表 2.2 に示す結果であった。旧アスファルトの針入度は基準値を下回っているが、圧裂係数が基準値を満たしているため、この再生骨材は規格内再生骨材ということになる。

また骨材粒度としては、ふるい目の開きが 4.75 mm 以下の細粒分の割合が 75.5%、4.75 mm を超える粗粒分の割合が 24.5%であり、細粒分の割合が高い。実際に新規骨材と混合して合成粒度を組む際には、0~4.75 mm と 4.75~13.2 mm の粒径に分級しておき、それらを合体したものが

所定の混入率となるように調整した。分級せずにそのまま計量して混合してしまうと、供試体ごとにオリジナルの粒度と差異が生じてしまうからである。

規格外再生骨材は、上記の規格内再生骨材に加熱促進劣化を施すことによって製造した。加熱方法は、110°Cに設定した空気恒温槽の中に容器に収納した規格内再生骨材を 24 時間放置した。予備試験により、このような条件で規格内再生骨材を加熱すれば、圧裂係数が基準値を超えることを確認しておいた。加熱促進劣化を施した規格内再生骨材の旧アスファルトの性状も表 2.1 に示している。

表 2.2 再生骨材の粒度分布

ふるい目の開き mm	通過質量百分率%	密粒度 13 の粒度範囲
19.0	100	100
13.2	99.5	95~100
4.75	75.5	55~70
2.36	62.2	35~50
0.6	44.6	18~30
0.3	27.4	10~21
0.15	12.9	6~16
0.075	8.8	4~8

2.2 再生アスファルト混合物

本研究では、中央粒度を目標とした最大骨材粒径 13 mm の密粒度アスファルト混合物（密粒 13）を検討用の供試体とした。新規アスファルトバインダとしてストレートアスファルト 60/80（ストアス）を使用し、配合設計結果に基づいた設計アスファルト量で供試体を作製した。新規投入アスファルト量は再生骨材に含まれる旧アスファルト量を考慮し、供試体ごとの総アスファルト量が同じになるようにした。

表 2.3 各種供試体の合成骨材粒度

再生骨材配合率	通過質量百分率							
	0.075	0.15	0.3	0.6	2.36	4.75	13.2	19
R-0%	6	8.5	14.2	24.3	42.5	61.5	99.5	100
R-10%	6.8	9.2	15.2	25.3	41.4	63.5	99.6	100
R-20%	6.7	9.2	15.8	25.7	41	62.6	99.5	100
R-30%	5.6	8.4	15.9	26.6	42.7	63.2	99.5	100
R-40%	6.5	9.4	17.8	29.1	44.8	61.7	99.5	100
R-50%	7.3	10.1	18.7	29.9	42.9	60.3	99.5	100

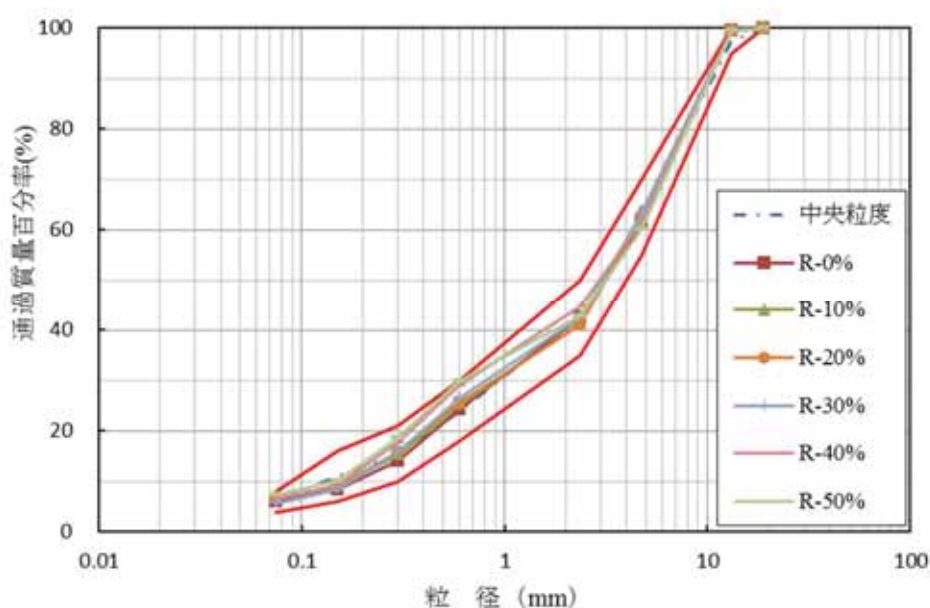


図 2.1 各供試体の粒度曲線

規格内及び規格外再生骨材の混入率を 0~50%の範囲で 10%毎に変化させ、新規混合物も含めてそれぞれ 6 種類のアスファルト混合物を配合した (合計 11 種類)。各アスファルト混合物の合成骨材粒度を表 2.3 及び図 2.1 に示す。上記のとおり再生骨材は細粒分が多いため、混入率の増加とともに 0.6 mm 以下の通過量が多くなっている。

3. 修正ロットマン試験による剥離抵抗性の評価

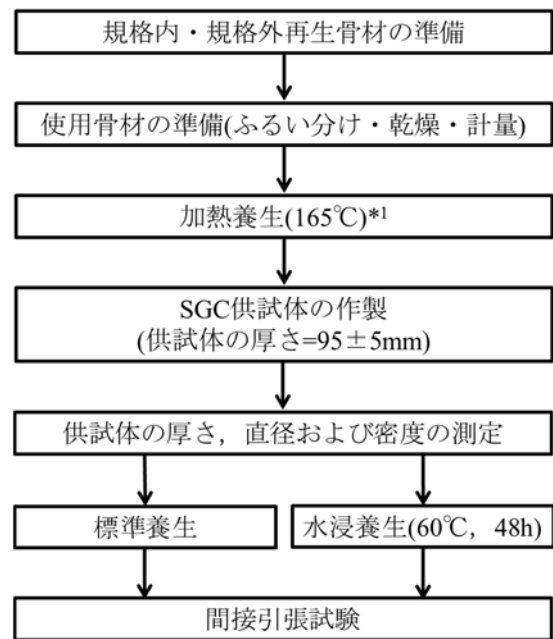
3.1 修正ロットマン試験の概要

修正ロットマン試験は、米国の AASHTO で規定されている評価手法で、水浸養生による調整を行った供試体とプレーンの供試体との間接引張強度比で剥離抵抗性を評価するものである。Superpave 配合設計法では、更に修正を加えた「AASHTO:T 283-03 Resistance of Compacted Asphalt Mixtures to Moisture-Induced Damage」³⁾という手続きで知られている。我が国では、これに近い評価方法として、水浸マーシャル安定度試験⁴⁾が運用されている。本事業では、米国の修正ロットマン試験に我が国の水浸マーシャル安定度試験の供試体調整を加味した方法で、各種アスコン供試体の剥離抵抗性を評価した。

本事業での修正ロットマン試験は、図 3.1 に示す手順で実施した。供試体の寸法は AASHTO T283-03 の基準に則り、直径 150 mm、高さ 95±5 mm とし、アスファルトミキサで材料を混合した後に Superpave Gyrotory Compactor (SGC) を使用して締固めを行った。締固めの回転数は、再生骨材の混入率がゼロ、すなわち新規アスファルト混合物を締め固めた場合に、空隙率が 7±0.5% となる 50 回と設定した。

AASHTO の修正ロットマン試験では、環境負荷を想定した水浸養生の条件を水温 60°C で水浸時間 24 時間と規定している。しかし本事業では、我が国での気象条件を試験結果に反映させるため、我が国の水浸マーシャル安定度試験に対する規定である 60°C で 48 時間という条件を採用した。また、間接引張試験を実施する前に供試体を試験温度に養生するための条件は、25°C の空气中で 2 時間の養生とした。

間接引張試験は載荷速度を 50 mm/分とし、最大荷重の値から間接引張強度を計算した。そして、水浸養生による調整を行った供試体とプレーンの供試体とによる間接引張強度の比をとって、各配合条件で比較した。写真 3.1、3.2 に試験の実施状況を示す。



*1 過度の劣化を防ぐため、供試体作製の 3 時間前に開始

図 3.1 修正ロットマン試験の実施手順



写真 3.1 60°C水浸養生の実施状況



写真 3.2 間接引張試験の実施状況

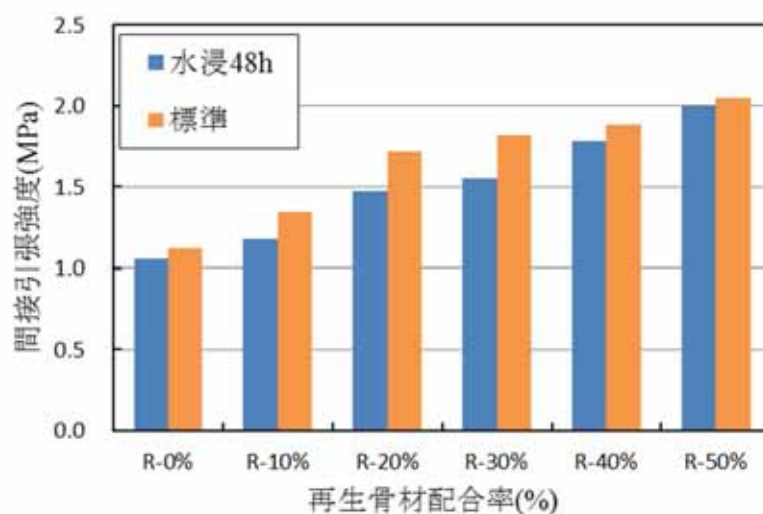


図 3.2 規格内再生骨材の混入率と再生アスコンの間接引張強度の関係

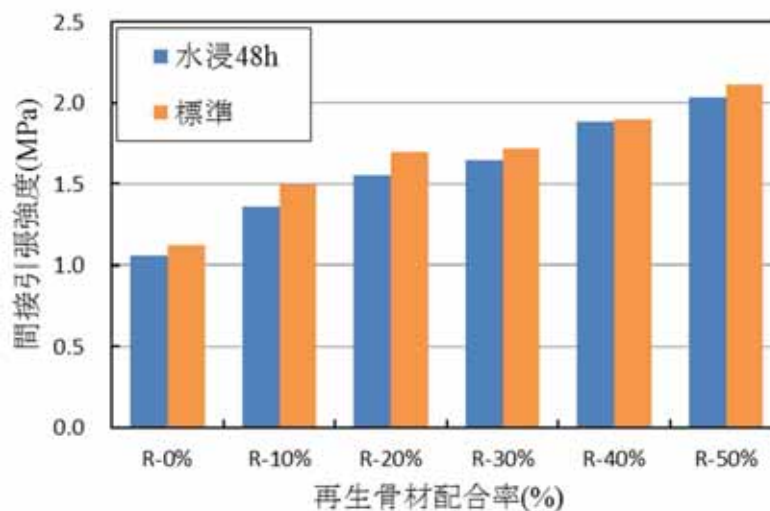


図 3.3 規格外再生骨材の混入率と再生アスコンの間接引張強度の関係

3.2 試験結果及び考察

規格内再生骨材を用いた再生アスコンの間接引張強度の結果を図 3.2 に、規格外再生骨材を用いた場合の結果を図 3.3 にそれぞれ示す。規格内及び規格外再生骨材を混入した再生アスコンのどちらにおいても、混入率の増加に伴って間接引張強度の値は大きくなっており、水浸養生を行うことにより強度は多少小さくなっている。再生骨材の混入率が高いほど間接引張強度が大きい要因として、再生骨材の表面に付着している旧アスファルトの影響により、新規骨材を使用しているものよりも締め固まりやすくなることが予想された。しかし、各供試体の密度と空隙率を比較してみたところ、このような傾向は確認できなかった。したがって、再生骨材の混入量が多いほど引張強度が大きいのは、劣化して硬くなった旧アスファルトの含有量が多くなることが主な理由と考えられる。

修正ロットマン試験によって得られた間接引張強度比の結果を図 3.4 に示す。間接引張強度比については、すべての配合条件で 0.8 を超える高い水準である。規格外再生骨材を混入

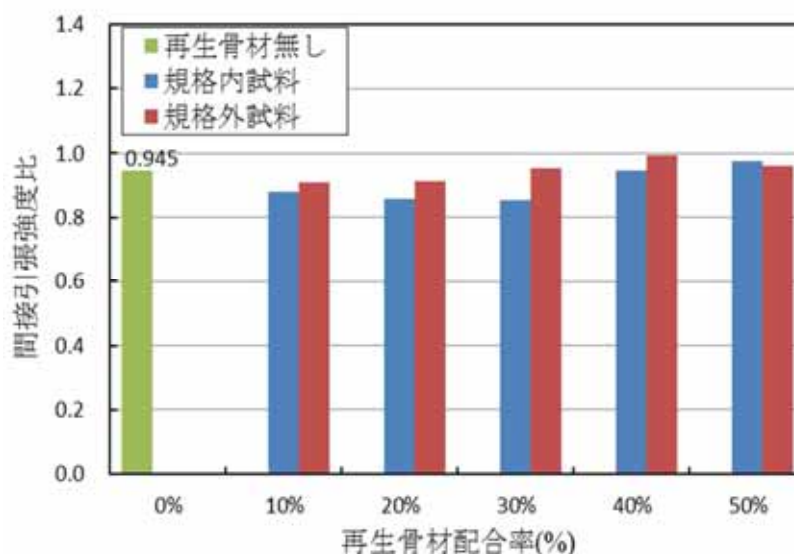


図 3.4 規格内及び規格外再生骨材を使用した再生アスコンの間接引張強度比の比較

した再生アスコンのほうが規格内再生骨材を混入したものよりも、全体的に間接引張強度比は高めの傾向である。規格内及び規格外再生骨材を混入したどちらの再生アスコンにおいても、再生骨材混入率の違いによる明確な差異は認められない。

以上の結果より、規格外再生骨材の配合は規格内再生骨材と比較しても、再生アスコンの剥離抵抗性に悪影響を及ぼすことはないといえる。一般的概念として、より品質が劣る規格外の再生骨材をより多く使用した条件のほうが、アスコンとしての力学性能は低いものと考えられるが、本試験での間接引張強度比に関してはそのような結果にならなかった。その要因としては、より硬い旧アスファルトの量が多いほど、新旧が混ざり合ったアスファルトバインダは硬くなること、再生骨材が多いほど細粒分が多くなって、締め固まりやすくなることが考えられる。

4. 直接引張試験によるひび割れ抵抗性の評価

再生アスコンに混入する再生骨材の旧アスファルトは、経年劣化によって硬化しているため、表・基層に使用する再生アスコンの物性としては、ひび割れに対する十分な抵抗性能が求められる。ここでのひび割れ抵抗性とは、車両荷重を支持して強度的に壊れないという意味ではなく、そもそも表・基層には構造体としての荷重支持機能が重視されていないことから、変形作用に対して柔軟に追従できるという意味である。本事業では、力学的に最もシンプルな直接引張試験によって、各種再生アスコンのひび割れ抵抗性を評価した。

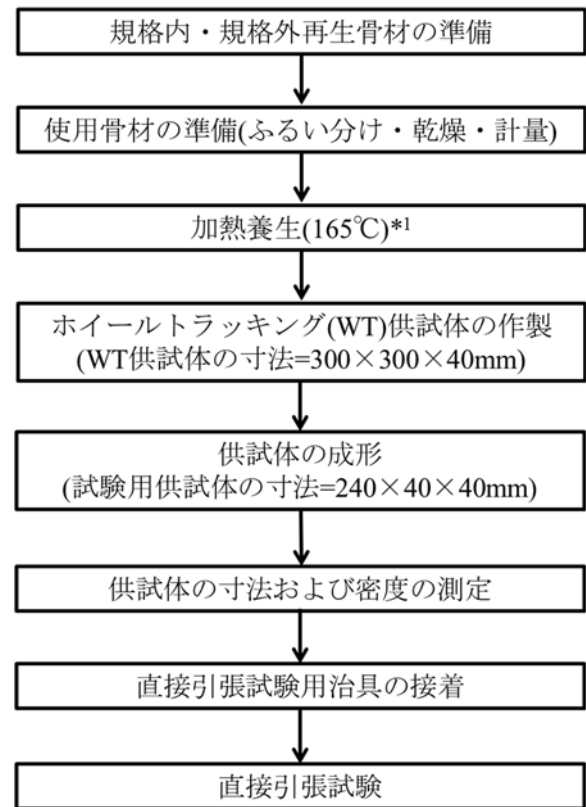
4.1 直接引張試験の概要

アスコンの引張作用に対する変形追従性、すなわち変形のしやすさを評価するためには、アスコン供試体に引張変形を与えて、破壊するまでにどれだけ変形できるかを計測する必要がある。各種再生アスコンの変形追従性を比較検討するため、ここでは直接引張試験を実施した。本試験は、供試体の長軸方向に強制的に引張変位を与え、その際の荷重をモニタする

評価法である。試験要領は単純であるが、標準化されている試験法ではない。しかしながら、研究レベルでは多くの実績があり、評価試験としての信頼性は問題ない。

本事業での直接引張試験の実施フローを図 4.1 に示す。アスコンの種類としては、表 2.3 に示した R-0%~R-30%の 4 とおりの配合で、再生アスコンは規格内及び規格外再生骨材を使用するので、合計 7 種類の密粒 13 ということになる。ホイールトラッキング試験の供試体を作製する要領で 300×300×40 mm のアスコブロックを作製し、それから 240×40×40 mm のプリズム状供試体を 6 本切り出した。なお、母体アスコブロックのローラコンパクタでの締固めは、再生骨材の混入率 0%の配合に対する基準密度での締固め回数を基準とし、全ての供試体で同一の締固め回数とした。

240×40×40 mm の供試体の両端面に、写真 4.1 に示すように引張用治具をエポキシ樹脂系接着剤で貼り付け、恒温槽内に試験温度で 5 時間以上養生した。その後、写真 4.2 に示すように一定の変位速度で供試体を軸方向に引き伸ばした。試験温度は 20℃、変位速度は 1.0 mm/分とした。試験データは、アウトプットである荷重値がピークとなる状態を破壊と定義し、破壊時の応力とひずみの値をそれぞれ破壊強度、破壊時ひずみとして整理した。



*1 過度の劣化を防ぐため、供試体作製の 3 時間前に開始

図 4.1 直接引張試験の実施手順



写真 4.1 直接引張試験用治具の接着状況



写真 4.2 直接引張試験の実施状況

4.2 試験結果及び考察

直接引張試験により得られた各アスコン供試体における破壊強度、破壊時ひずみの結果を図 4.2、図 4.3 にそれぞれ示す。破壊強度については、全節の間接引張試験の結果と同様な傾向で、規格外再生骨材を用いた再生アスコンのほうがすべての混入率において規格内再生骨材を用いたものよりも大きい値である。また、規格内と規格外のどちらの再生骨材を用いた再生アスコンとも、再生骨材の混入率が高いほど破壊強度は大きい。前節での考察と同様に、旧アスファルトの量と質が影響して、このような結果になったものと考えられる。再生骨材の違いによる結果の差が明確に表れているのは、引張作用のひずみ速度が関係しているものと予想される。間接引張試験と直接引張試験では引張作用の形態も供試体の形状寸法も異なっており、単純に比較はできないが、ここでの直接引張試験は変位速度がかなり遅い。そのため、破壊時の引張強度に明確な差が見られたものと考察される。

破壊時ひずみの結果は、破壊強度の結果と逆の傾向で、規格外再生骨材を用いた再生アスコンのほうが、すべての混入率において規格内再生骨材を用いたものよりも値が小さい。また、再生骨材の混入率が高いものほど、破壊時ひずみは低下する傾向にある。ただし、規格内再生骨材を 20%混入した再生アスコンの結果は、新規アスコンの場合と大きな差はなく、規格内再生骨材を 30%混入したものと明確な差が認められる。

以上の結果を踏まえると、再生骨材の混入はアスコンが硬く締め固まる効果を有しているものの、変形作用に対しては脆く、変形し難くなる効果もあることが確認される。そのため、再生骨材の混入率の増加は、変形追従性の低下につながるものと考えられる。北陸地方では規格内再生骨材の混入率が 30%まで許容されている⁵⁾。この実態を鑑みると、引張作用に対する変形追従性(破壊時ひずみ)に基づいて、規格外再生骨材であってもより少量(10~20%)であれば、同程度の性能を担保することが可能で、再生アスコンとして表・基層にも活用できるものと考えられる。

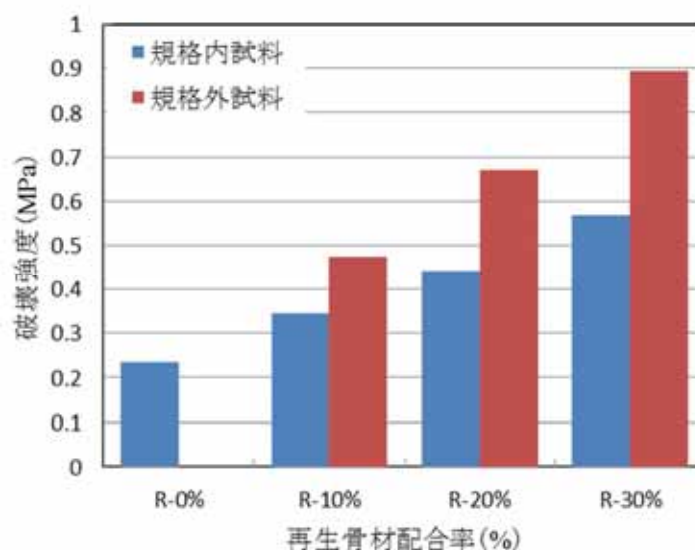


図 4.2 再生骨材の混入率と破壊強度の関係

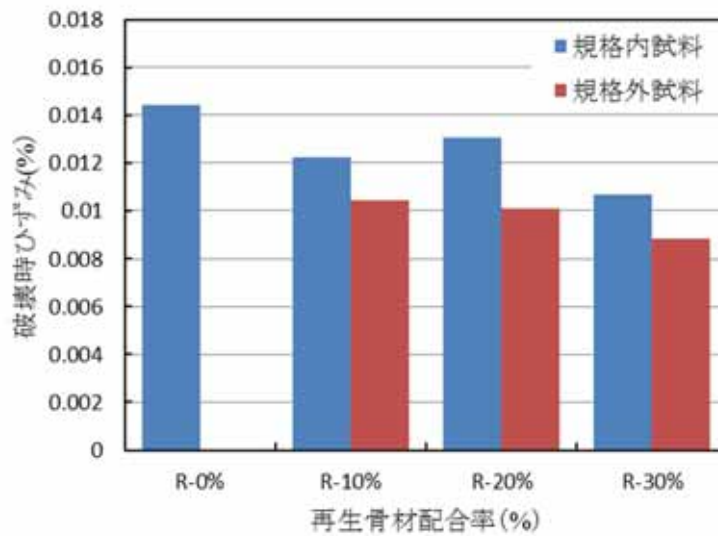


図 4.3 再生骨材の混入率と破壊時ひずみの関係

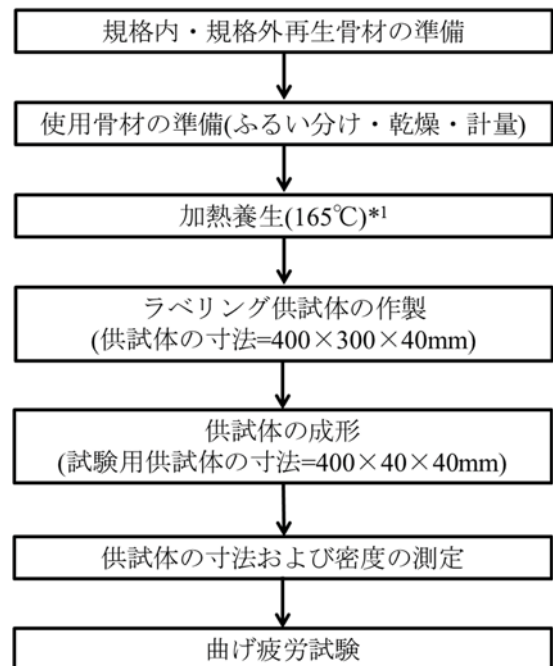
5. 曲げ疲労試験による疲労抵抗性の評価

前節の直接引張試験によるひび割れ抵抗性の評価において、再生骨材の混入率が高くなることと変形追従性の面で再生アスコンの性能が劣ってしまうことが確認された。直接引張試験は、単調に引き伸ばす変形作用によってアスコン供試体のひび割れ発生に対する潜在的な抵抗性を評価するものがあった。一般にアスコンに発生するひび割れは、微細ひび割れが発生するまでのステージとその微細ひび割れが進展して破断に至るまでのステージに分けて考えることができる。直接引張試験は主に前者のステージに関連する評価法であった。次の段階として、実際の現場における耐久性と関係深い曲げ疲労試験によって、各種再生アスコンのひび割れ抵抗性を評価した。

5.1 曲げ疲労試験の実施要領

繰返し曲げ作用による疲労抵抗性の評価法は、我が国でも多くの実績があり、舗装調査・試験法便覧に標準化されている。本事業でも舗装調査・試験法便覧の仕様⁶⁾を遵守して曲げ疲労試験を実施した。この試験は供試体に繰返しひずみを強制的に与え、破壊に至るまでの荷回数によって疲労抵抗性の評価を行うものである。

試験の実施手順を図 5.1 に示す。供試体は先の直接引張試験と同様に、基準内及び基準



*1 過度の劣化を防ぐため、供試体作製の3時間前に開始

図 5.1 曲げ疲労試験の実施手順

表 5.1 曲げ疲労試験の条件

項目	条件
载荷方法	両端固定 2 点载荷
支間長	300 mm
供試体寸法	400×40×40 mm
制御方式	ひずみ制御
試験温度	20°C
载荷周波数	5Hz
载荷波形	sin 波
ひずみ振幅	300 μ



写真 5.1 曲げ疲労試験の実施状況

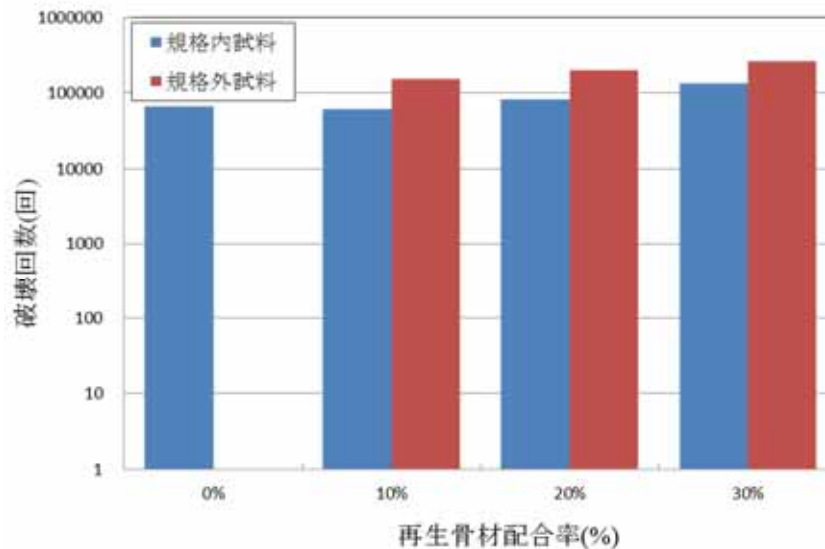


図 5.2 再生骨材の混入率と破壊回数(回)の関係

外再生骨材の混入率を 0～30%の範囲で変化させた再生アスコンを使用した。供試体の形状寸法は 400×40×40 mm であり、400×300×40 mm のラベリング試験用供試体から切り出した。繰返し载荷方法を含め、試験条件の詳細は表 5.1 に示すとおりであり、試験温度は直接引張試験と同じ 20°Cとした。試験では、繰返し载荷過程における応力値をモニタした。

試験結果の整理は、舗装調査・試験法便覧を参考に破壊回数を求め、さらにその前後における応力値の変化についても注目した。試験の実施状況を写真 5.1 に示す。

5.2 試験結果及び考察

曲げ疲労試験により得られた各種再生アスコンの破壊回数の結果を図 5.2 に示す。破壊回数の軸スケールが対数表示であることに注意すると、再生骨材の混入率の増加に伴って規格内及び規格外どちらの場合においても破壊回数の増加が認められる。また、規格外再生骨材を用いた再生アスコンのほうが、規格内再生骨材を使用したものよりも破壊回数が多い。

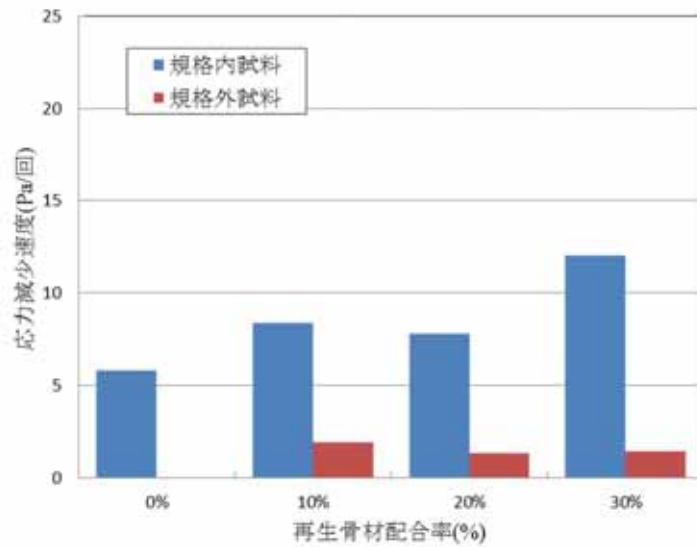


図 5.3 破壊前における再生骨材混入率と応力減少率の関係

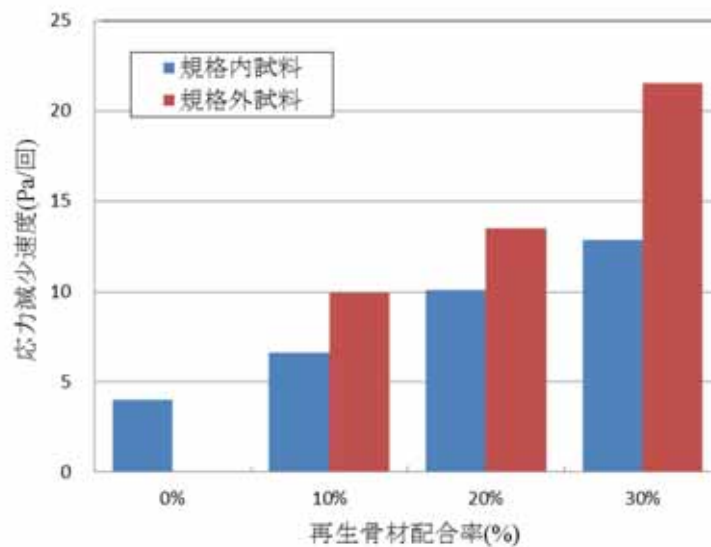


図 5.4 破壊後における再生骨材混入率と応力減少率の関係

これは、直接引張試験における破壊強度の増加と同様に、再生骨材に付着していた旧アスファルトが要因と考えられる。破壊に至るまでの応力は、事実、再生骨材の混入率が高いほど、規格内よりも規格外再生骨材を使用したもののほうが大きい値となっていた。

また、図 5.3 及び図 5.4 に破壊前後における応力減少率をそれぞれ示す。ここでの応力減少率とは、破壊点を求める際にその前後で設定する接線の傾きであり、1 サイクル当たりの応力の減少割合である。破壊前においては、規格外再生骨材を用いた供試体は応力減少率が小さいが、破壊後においては規格外再生骨材を用いたもののほうがかなり大きくなっている。すなわち、規格外再生骨材を混入した再生アスコンは、硬いことから微細ひび割れが生じるまでには多くの繰返し作用を要するが、微細ひび割れが生じた後には少ない繰返し作用でひび割れが進行している。このことから、規格外再生骨材を混入した再生アスコンは、脆性の

度合いが高いことが予想される。以上のことから、破壊回数については規格外再生骨材を混入した再生アスコンのほうが高いパフォーマンスを示したものの、一概に疲労抵抗性に優れているものとは判断できない。温度やひずみ振幅の条件を数多く変化させた追加試験が必要で、更なる検討が望まれる。

6. まとめ

本事業では、再生アスファルト混合物の性能評価として、修正ロットマン試験、直接引張試験、曲げ疲労試験を実施した。以下に、本事業によって得られた知見をまとめる。

- (1) 修正ロットマン試験において、規格内及び規格外再生骨材を混入した再生アスコンでは、間接引張強度比の値に大きな差異は認められなかった。規格外再生骨材を用いても、再生アスコンの骨材剥離については問題がない。
- (2) 再生骨材混入率の上昇に伴い、直接引張試験での破壊時ひずみは低下し、この傾向は規格外再生骨材を用いたものにおいて顕著であった。規格外再生骨材を 20%を超えて混入することは、変形追従性の観点から許容できない。
- (3) 疲労抵抗性については、規格外再生骨材を混入した再生アスコンのほうが破壊回数は大きい。しかしながら、破壊前後の応力値挙動において脆性が高い傾向が見られることから、破壊回数のみによる疲労抵抗性の評価は難しい。

参考文献

- 1) (一財)新潟県建設技術センター：平成 27 年度研究助成事業活動結果報告「新潟県で排出されるアスファルト廃材の実状調査と有効利用に関する検討」(長岡技術科学大学大学院 高橋修)，<http://www.niigata-ctc.or.jp/kyoryoku/jisseki/jisseki02.html>，2016.
- 2) (社)日本道路協会：舗装再生便覧(平成 22 年版)，pp.7-39，2010.
- 3) AASHTO : T 283-03 Resistance of Compacted Asphalt Mixtures to Moisture-Induced Damage, pp.T283-1-8, 2003.
- 4) (社)日本道路協会：舗装調査・試験法便覧 [第 3 分冊]，pp.[3]-5-16，2007
- 5) 国土交通省北陸地方整備局 設計要領(道路編)第 8 章，2012.
- 6) (社)日本道路協会：舗装調査・試験法便覧 [第 3 分冊]，pp.[3]-166-175，2007.