

応力緩和を考慮した直接引張試験による

各種アスコンのひび割れ抵抗性評価に関する研究

長岡技術科学大学大学院 建設工学専攻 交通工学研究室 小林 龍平
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

アスファルトコンクリート（アスコン）の主な破壊形態はひび割れである。アスコンのひび割れ抵抗性は、ひずみ速度が一定の曲げ試験や直接引張試験によって評価されている。しかしながら、実際の疲労ひび割れや温度ひび割れ、リフレクションクラックの発生プロセスでは変形作用が交番したり、休止したりすることから、アスコンのひび割れ抵抗性には応力緩和が影響するものと考えられる。アスコンは条件によって応力緩和が極めて大きい材料であるため、ひび割れ抵抗性への影響もかなり大きいものと予想される。また、我が国ではアスコンのバインダにストレートアスファルト（ストアス）に加えて各種のポリマー改質アスファルト（改質アス）が多用されていることから、アスコンのひび割れ抵抗性を適正に評価するためには、これらのバインダの違いに基づく応力緩和の差異を考慮して考察する必要がある。

本研究では、各種アスファルトバインダを使用したアスコンのひび割れ抵抗性を応力緩和の差異に着目して評価することを目的に、変形過程の異なる 2 種類の直接引張試験を実施して検討を行った。一つは、ひずみ速度を一定に供試体が破断するまで一様に引き伸ばす既往の直接引張試験である。もう一つは、定速度直接引張試験の変形過程において一定の変形割合（ひずみ増分割合）で休止期間を設け、段階的に供試体を引き伸ばす引張試験である。ここでは、温度ひび割れやリフレクションクラックを想定したひずみ速度の遅い条件とし、常温域（ $25^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ ）で上記の 2 つの試験を実施して、応力の変化に着目しながら破壊に至るまでのひずみ値を比較した。供試体として、ストアス、および性能が異なる 4 種類の改質アスを使用した密粒度アスコンを用意し、さらに骨材の最大粒径を変えたものも加えた。そして、2 種類の直接引張試験の結果をそれぞれ比較することにより、応力緩和の違いと破壊時ひずみの関係に着目して考察した。

2. 使用アスファルト混合物

試験に使用するアスファルト混合物の違いにより、応力緩和が破壊時ひずみに与える影響が異なることが予想される。アスファルトバインダによる比較を行うため、密粒度アスファルト混合物（13）（密粒 13）で、中央粒度を目標とした骨材粒度に対してストアス、ポリマー改質アスファルトⅡ型（改質Ⅱ型）、ポリマー改質アスファルトⅢ型（改質Ⅲ型）、ポリマー改質アスファルトⅣ型（改質Ⅳ型）、特殊アスファルト（特殊アス）を使用した 5 種類の混合物を用意した。設計アスファルト量はマーシャル安定度試験によって決定し、5.6%とした。

また、骨材配合による比較を行うため、密粒 13 と密粒度アスファルト混合物（20）（密粒 20）を作製した。密粒 13 は上記のストアスを使用したものを用意した。密粒 20 は中央粒度を目標とした骨材粒度に対してストアスを使用した混合物を作製した。設計アスファルト量はマーシャル安定度

試験によって決定し、5.0%とした。

3. 定速度直接引張試験によるひび割れ抵抗性の評価

3.1 試験概要

定速度引張試験は、プリズム状の供試体を定ひずみ速度で軸方向に引き延ばす方法で実施した。試験条件を表 3-1 に示す。変位速度は供試体と治具がはがれないように低めに設定し、温度は常温域の 3 水準とした。供試体を空気恒温槽で 5 時間以上養生した後、温度管理が可能な載荷装置で供試体に引張変形を与え、荷重と変位をモニタして試験を実施した。荷重がピークとなる状態を破壊と定義し、そのときの応力とひずみの値を破壊強度、破壊時ひずみとした。

表 3-1 定速度引張試験の条件

項目	試験条件
供試体寸法(mm)	40×40×240
試験温度(°C)	15, 25, 35
変位速度(mm/min)	1.0

3.2 試験結果

定速度直接引張試験で得られた破壊時ひずみの結果を示す。図 3-1 にアスファルトの種類による破壊時ひずみの比較、図 3-2 に骨材配合の種類による破壊時ひずみの比較を示す。図から温度によって破壊時ひずみは変化していることがわかる。35°Cになるほど破壊時ひずみは大きくなる傾向であった。また、改質Ⅲ型を使用した場合、他のアスファルトバインダを使用した場合より破壊時ひずみは大きい傾向であった。

図から温度によって破壊時ひずみが増加していることがわかった。また、密粒 20 より密粒 13 のほうが破壊時ひずみが増加している傾向があることがわかった。

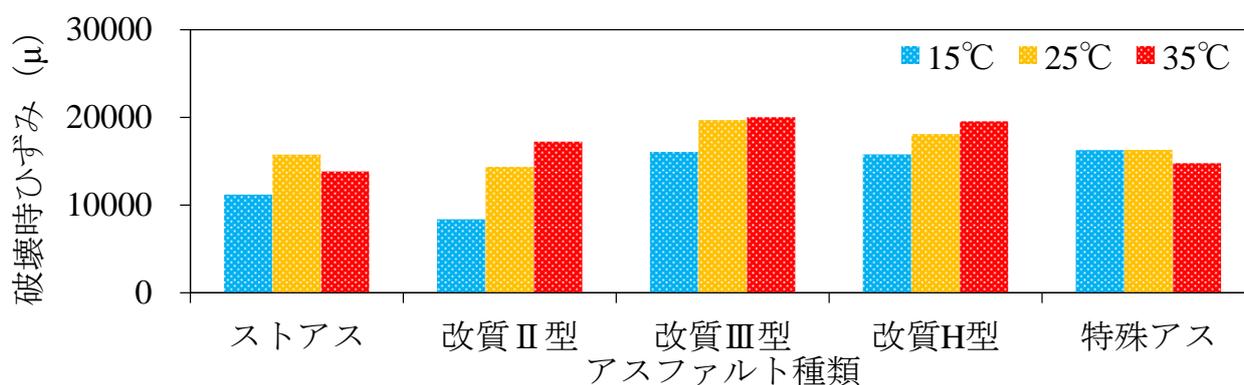


図 3-1 定速度直接引張試験の破壊時ひずみ (アスファルトごと)

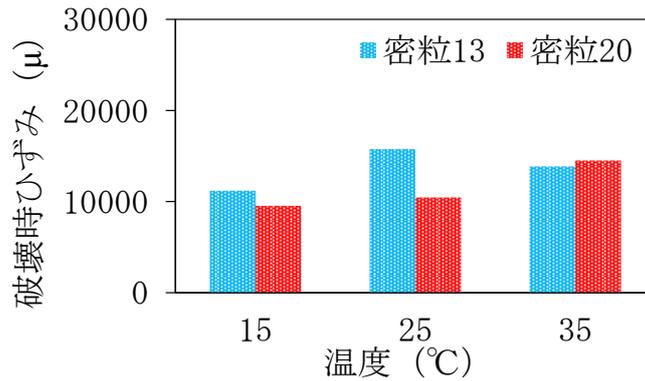


図 3-2 定速度直接引張試験の破壊時ひずみ (骨材配合ごと)

4. 繰返し直接引張試験によるひび割れ抵抗性の評価

4.1 試験概要

繰返し引張試験は、定速度引張試験と同様の方法で引張応力を発生させた。定速度引張試験で求めた各供試体の破壊時ひずみ ϵ_f に対する 10~70% (ひずみ増分割合) の変形を、保持時間を設けて、段階的にひずみを供試体に加え、その過程における荷重の推移を記録した。変形の保持時間は 30 分とし、その間に応力緩和を促し、載荷時の応力値が最大値の 1/2 まで低下した時点を破壊と定義した。図 4-1 に引張変形を段階的に増加させていった場合の応力変化のイメージを示し、表 4-1 に繰返し引張試験の条件を示す。試験温度は常温域の $25^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ とした。15°C と 35°C のひずみ増分割合は 30% とした

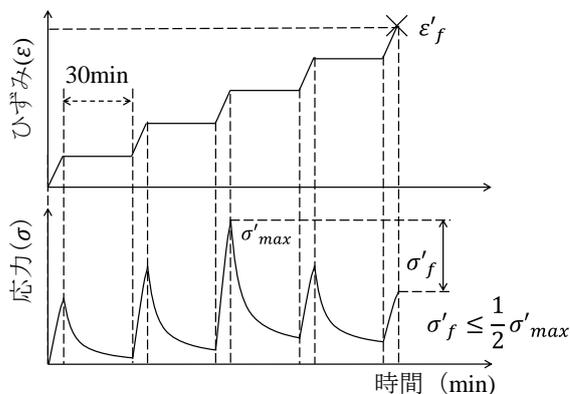


図 4-1 繰返し引張試験のイメージ

表 4-1 繰返し引張試験の条件

項目	試験条件
供試体寸法 (mm)	40×40×240
試験温度 (°C)	15, 25, 35
変位速度 (mm/min)	1.0
ひずみ増分割合 (%)	10, 30, 50, 70
変形の保持時間 (min)	30

4.2 試験結果

繰返し直接引張試験で得られた破壊時ひずみの結果を示す。図 4-2 にアスファルトの種類による破壊時ひずみの比較を示す。アスファルトの種類によるが、ひずみ増分割合が 70% のとき、破壊時ひずみはあまり大きくならない傾向がある。また、ひずみ増分割合が 30%、50% のとき、破壊時ひずみは大きい傾向がある。また、温度が変化した場合、35°C のときよりも 15°C、25°C のときのほうが、破壊時ひずみは大きい傾向であった。改質 III 型と改質 H 型は他のアスファルトを使用した場合と比べ破壊時ひずみが大きい。

図 4-3 に骨材配合による破壊時ひずみの比較を示す。ひずみ増分割合が変化した場合、密粒 13

のほうが密粒 20 より破壊時ひずみ大きい傾向であった。また、温度が変化した場合も、密粒 13のほうが密粒 20 より破壊時ひずみ大きい傾向であった。

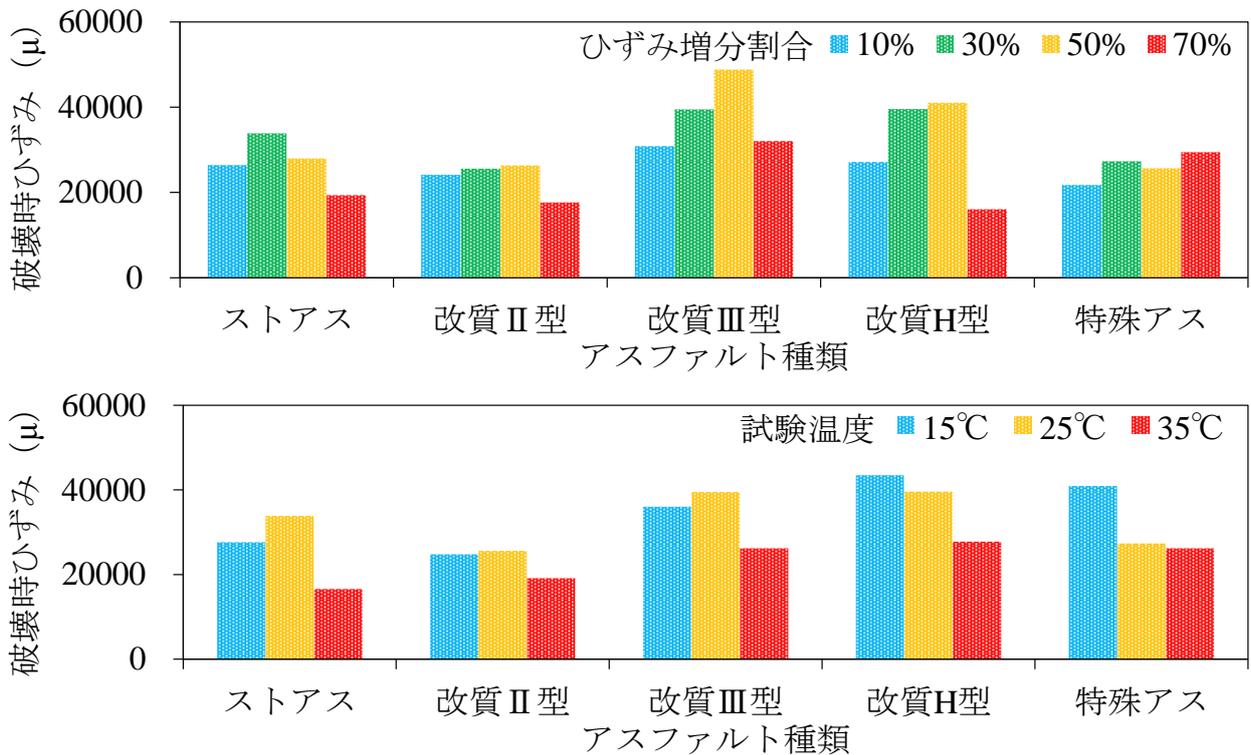


図 4-2 繰返し直接引張試験の破壊時ひずみ (上：ひずみ増分割合ごと，下：試験温度ごと)

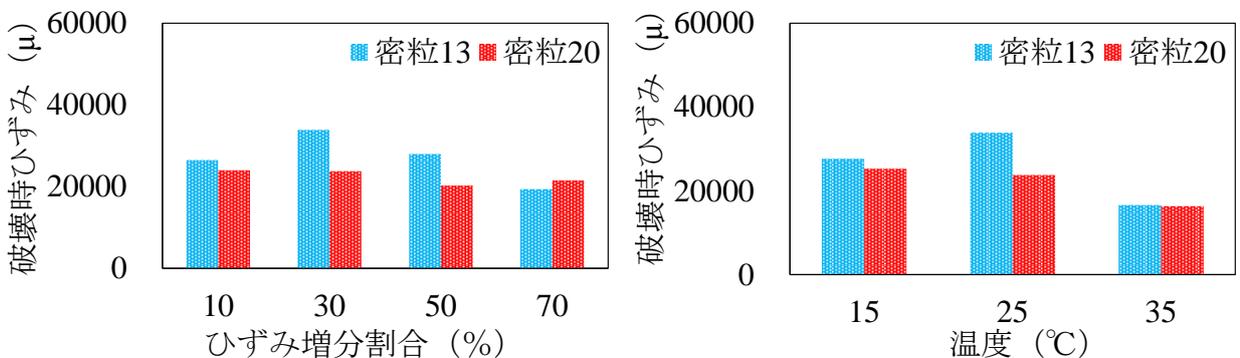


図 4-3 繰返し直接引張試験の破壊時ひずみ (左：ひずみ増分割合ごと，右：試験温度ごと)

5. 応力緩和を考慮したひび割れ抵抗性の評価

定速度直接引張試験の破壊時ひずみ (ϵ_f) と繰返し直接引張試験の破壊時ひずみ (ϵ'_f) を比較することで応力緩和性状の違いを評価した。試験条件としてひずみ増分割合と試験温度を変化させた場合、材料条件としてアスファルトと配合を変化させた場合の応力緩和とひび割れ抵抗性の関係について評価した。ひずみ増分割合は ϵ_f の10%、30%、50%、70%とした。評価値として各種条件ごとの ϵ'_f/ϵ_f を求め、どの程度破壊時ひずみが変わるか比較した。

2.1 試験条件の違いによるひび割れ抵抗性

図 5-1 にひずみ増分割合ごとの $\varepsilon'_f/\varepsilon_f$ の関係を示す。ひずみ増分割合を変化させた場合、応力緩和を伴う休止期間を設けることによりアスコンの破壊時ひずみは大きくなる傾向があった。しかしながら、改質 H 型のひずみ増分割合 70%の条件では $\varepsilon'_f/\varepsilon_f = 0.9$ となり、破壊時ひずみが大きくなりえない条件もある。ひずみ増分割合が小さい場合、残留応力は小さくなるため、破壊時ひずみが大きくなったものと考えられる。

図 5-2 に試験温度ごとの $\varepsilon'_f/\varepsilon_f$ の関係を示す。すべての試験温度で、 $\varepsilon'_f/\varepsilon_f > 1.0$ となり応力緩和の影響で破壊時ひずみが大きくなっている。しかしながら、試験温度 35℃の条件では破壊時ひずみがあまり大きくなりえない。これはアスファルトの感温性によって粘度が変化したため、破壊時ひずみが増えたといえる。温度が高いと粘度が低くなり、粘結力は低下する。そのため、破壊時ひずみはそれほど大きくなりなかったと考えられる。

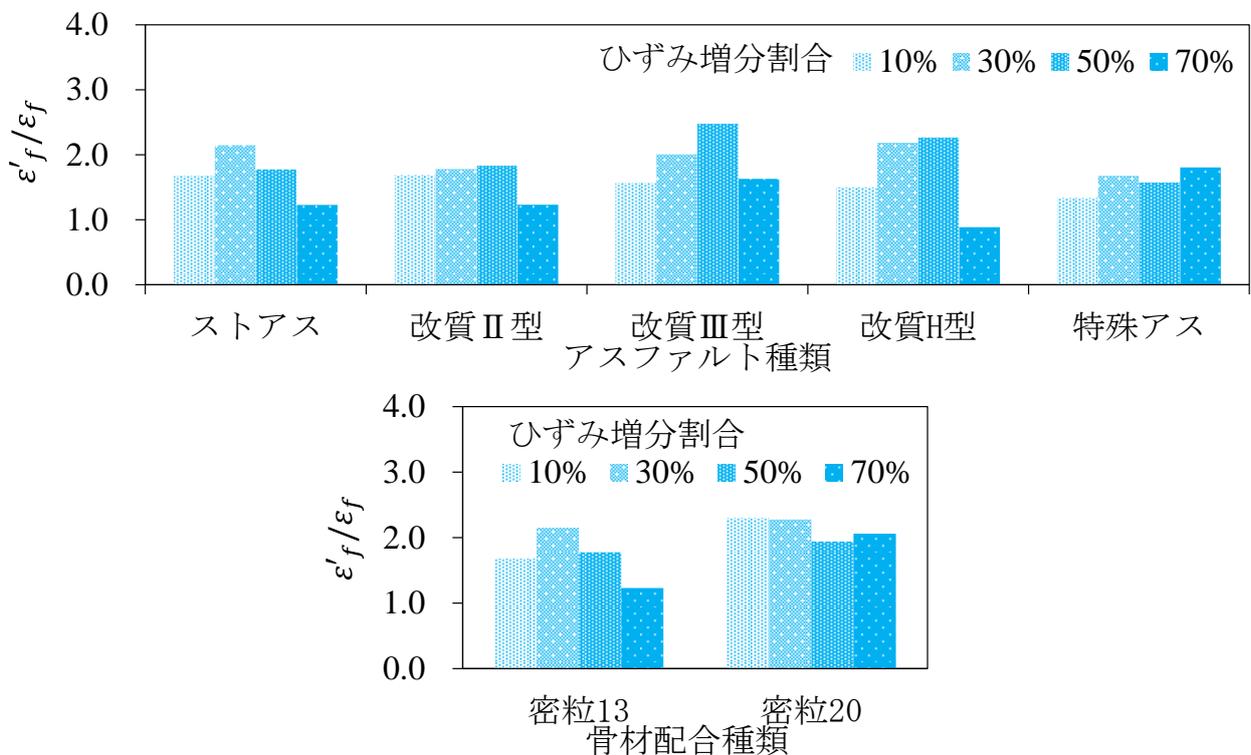
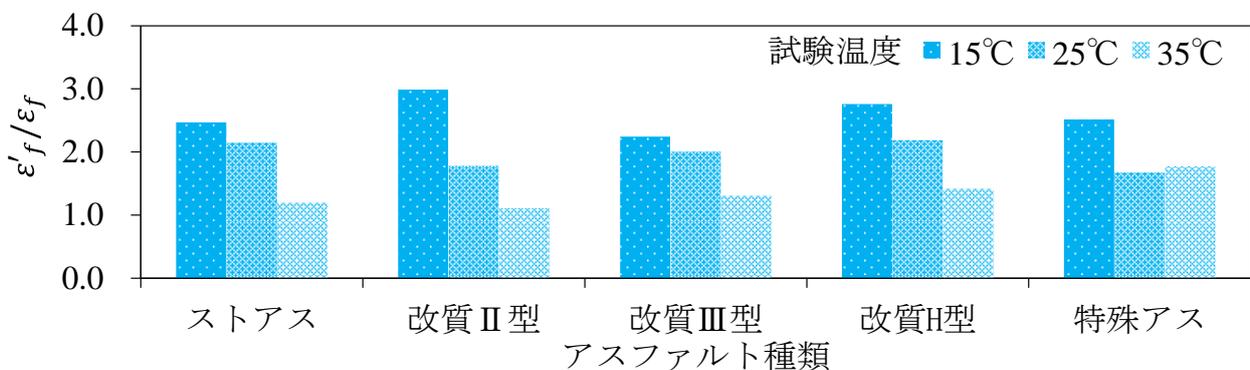


図 5-1 ひずみ増分割ごとの $\varepsilon'_f/\varepsilon_f$ の関係 (上：アスファルトごと，下：骨材配合ごと)



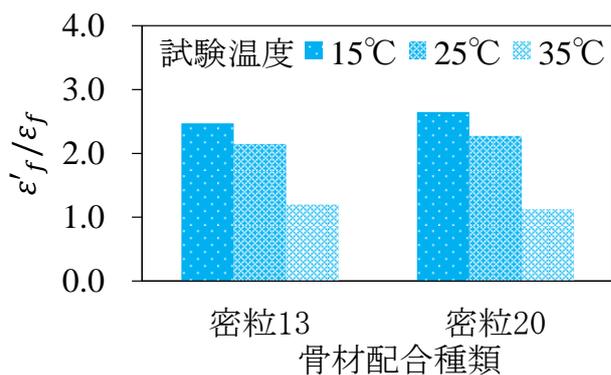


図 5-2 試験温度ごとの ϵ'_f/ϵ_f の関係 (左：アスファルトごと，右：骨材配合ごと)

2.2 材料条件の違いによるひび割れ抵抗性

図 5-3 に繰返し直接引張試験における応力緩和時間と破壊時ひずみの関係を示す。破壊時ひずみが全体的に最も大きい改質Ⅲ型は、応力緩和時間がストアスより長く、改質 H 型や特殊アスよりも短い。応力緩和時間が長いほど粘度の寄与が大きいことから、バインダによる粘度の違いが影響しているものと考えられる。応力緩和しやすいアスコンは、バインダの粘度が低く、粘結力も低いいため、破壊時ひずみは大きくなる。

図 5-4 に骨材配合が異なる場合の応力緩和時間と破壊時ひずみの関係を示す。応力緩和時間は密粒 13 と密粒 20 でほとんど差がないことがわかった。密粒 13 のほうが破壊時ひずみは大きい。これは骨材とバインダの付着面積の違いがひび割れ抵抗性に影響しているものと考えられる。骨材比表面積 (m^2/kg) は、密粒 13 は 5.66、密粒 20 は 5.08 である。密粒 13 のほうが骨材の付着面積は大きいことから、応力緩和の影響も把握力も大きいため、破壊時ひずみが大きいと考察される。

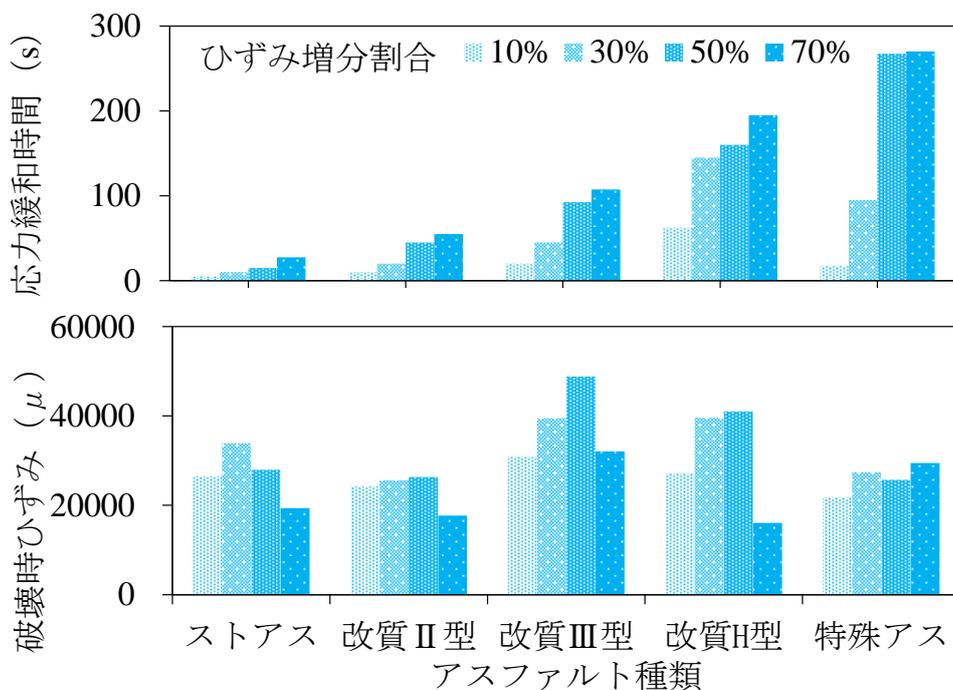


図 5-3 応力緩和時間と破壊時ひずみの関係 (アスファルトごと)

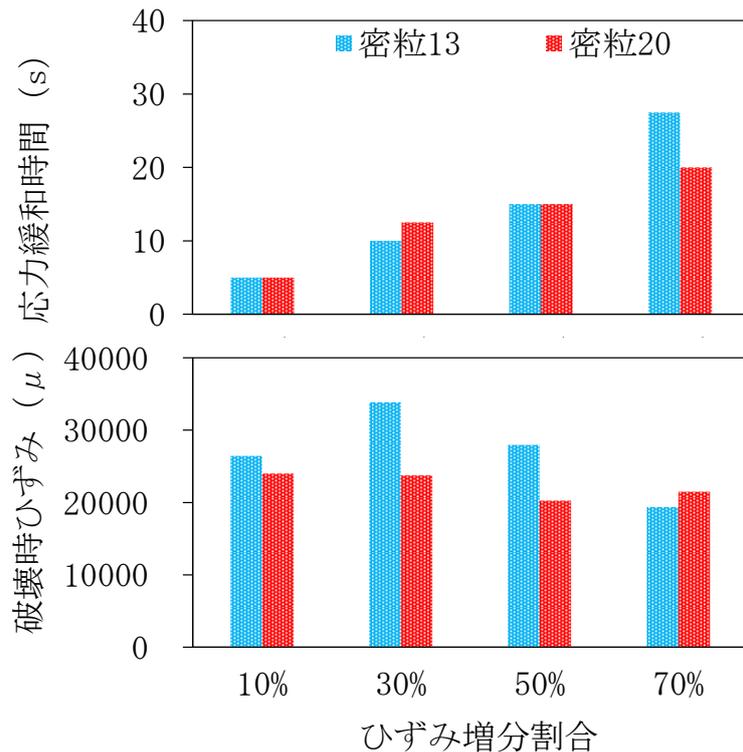


図5-4 応力緩和時間と破壊時ひずみの関係（骨材配合ごと）

4. まとめ

本研究では、定ひずみ速度の直接引張試験と応力緩和を考慮して休止期間を設けた繰返し直接引張試験を実施し、両者の結果を比較して、応力緩和を考慮した各種アスコンのひび割れ抵抗性を評価した。以下に本研究で得られた知見をまとめる。

- 1) アスコンは、変形過程において応力緩和を経たほうが破壊時ひずみは大きい。
- 2) 変形の程度（ひずみ増分割合）や温度によって、応力緩和の影響が異なる。ひずみ増分割合が小さい場合、破壊時ひずみは大きくなる。温度が変化するとバインダの粘度が変化するため、破壊時ひずみも変化する。
- 3) アスコンの応力緩和は、バインダの応力緩和性状に起因するものであるが、骨材配合によっても影響される。骨材配合より、バインダの付着面積や被膜厚さが異なるためと考えられる。