

ルーズなアスファルト混合物のせん断挙動

室蘭工業大学 土木工学科 正員 新田 登
室蘭工業大学 土木工学科 学生員 ○ 石川 徹

I 緒言

アスファルト舗装の Performance を考える場合、設計、施工両面からの検討が必要であるが、施工面における情報は経験のみに基づいたものが多く、一般性を有するものが少ないように思われる。この事は施工性が現場の条件によって大きく影響をうけるため複雑なものであることを示すが、一方施工技術を確立するために影響要因を分離し、より基礎的な資料を積上げることの必要性を示すものと考えられる。このために、アスファルト混合物の混合、転圧等の諸機構の解明、並びにルーズでかつ低粘度混合物の力学性状の把握が必須の条件と考える。このようなことから、本報告においては、施工時の状態における混合物を対象として、その力学性質を試作した同軸2重円筒型せん断試験装置を用いて測定し、その応力-ひずみ曲線を解析することによって、高空隙率、低粘度というこの種の混合物の特性を力学定数によって説明すべく試みたものである。

II 実験要領

本装置の測定原理は回転粘度計と同様である。試料、実験条件、試験装置、測定方法は本年度の第30回年次学術講演会で発表されたものと同じであり、詳細はその論文を参照されたい。なお、試料、実験条件は表-1に示すとおりである。

実験試料	
サンドアスファルト配合混合物、バインダー含有量10%	
実験条件	
アスファルト粘度(ポアズ)	13.5, 50, 330
空隙率(%)	10 ~ 18
角ひずみ速度(rad/sec)	0.070, 0.012

表-1 実験試料、実験条件

III 実験結果及び考察

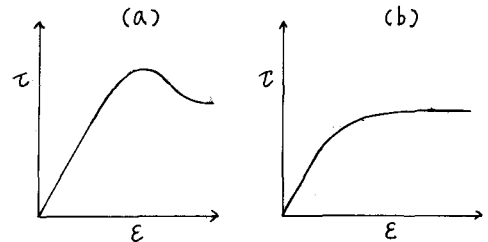
1 せん断応力-角ひずみ曲線

せん断応力-角ひずみ曲線の一般的な型は図-1に示すようであり、

(a) peakが顕著に出現する型

(b) 直線部分も比較的短かく顕著なpeakが出現しない型

の2種類に分類されるようである。

図-1 τ - ϵ 曲線の型

両タイプとも角ひずみの小さい領域では直線部分が存在し角ひずみが大きくなると共にこの直線から次第に逸脱するようにはり(a)ではpeakを経て応力が低下するのに対し(b)では、 ϵ の増加とともに次第に応力は一定値に漸近するようである。これらの傾向は、角ひずみ速度、空隙率、粘度によって変化し、表-2のように大別できる。

アスファルト粘度	角ひずみ速度	0.070 (rad/sec)	0.012 (rad/sec)
330 ポアズ	a	a	a
50 ポアズ	a	a	b
13.5 ポアズ	12%以下 a	b	b
	12%以上 b		

表-2 実験条件別の τ - ϵ 曲線の型
(ただし、空隙率10~18%に対して)

2) 弾性的領域

前述のせん断応力-角ひずみ曲線のうち直線部分が弾性的に挙動する領域と考え、その上限の応力とひず

みを比例限界応力 τ_E と比例限界ひずみ ε_E 、その比をせん断のステイフネス S_E と名付け、これら諸因子と実験条件との関係について検討する。

① 比例限界ひずみ ε_E について

角ひずみ速度、アスファルト粘度をパラメーターとし ε_E と空隙率との関係を図-2に示す。 $\log \varepsilon_E$ と空隙率の関係はある幅をもった直線的傾向がある。

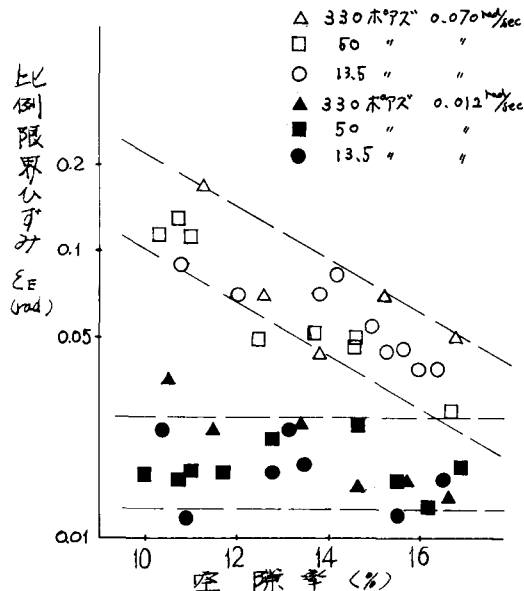


図-2 比例限界ひずみと空隙率

角ひずみ速度、 0.012 rad/sec の場合には、アスファルト粘度、空隙にはほとんど関係なく $\varepsilon_E = 1 \sim 3 \times 10^2$ とほぼ一定値をとるとしてよい。これに対して 0.07 rad/sec の場合には空隙率の影響が顕著であり、空隙率10~16%の6%の差に対して、 $\varepsilon_E = 3 \times 10^2 \sim 1.3 \times 10^3$ と1オーダーの変化を示すようである。またこの場合は、低速度に対してアスファルト粘度の影響があらわれ、特に空隙率が低下するにつれてその影響が大きくなることは興味深い事実である。したがってひずみの大きさから考えると、角ひずみ速度 0.070 rad/sec 、 0.012 rad/sec の場合でのこの種の混合物が弾性的に挙動するのは、それぞれ 10^1 、 10^2 程度までと言える。

次に ε_E と破壊時のひずみ ε_0 との比($\varepsilon_E/\varepsilon_0$)と空隙率の関係を図-3に示す。これによると角ひずみ速度、 0.012 rad/sec の場合、空隙率、アスファルト粘度に関係なく、 $\varepsilon_E/\varepsilon_0 = 0.15$ という一定の値をとる。また角ひ

ずみ速度 0.07 rad/sec の場合、空隙率の影響をうけ、空隙率が10%のとき $\varepsilon_E/\varepsilon_0 = 0.65$ 、18%のとき $\varepsilon_E/\varepsilon_0 = 0.3$ ぐらいである。

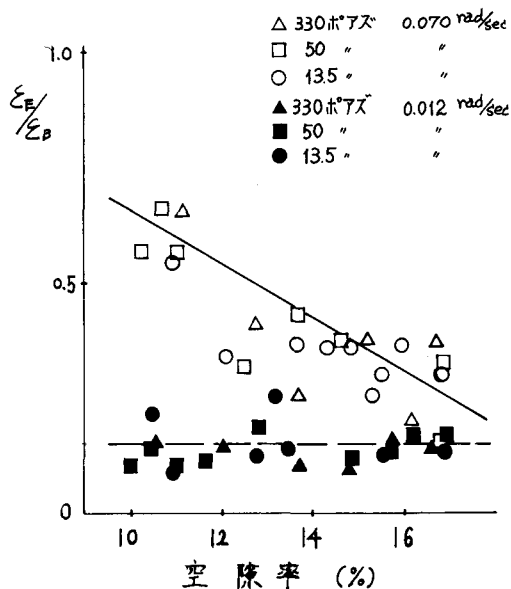


図-3 $\varepsilon_E/\varepsilon_0$ の値と空隙率の関係

2 比例限界応力 τ_E について

$\log \tau_E$ と空隙率の関係を図示すると、図-4のようになりほぼ直線と表わることができる。この勾配は表-3のごとくであり、これはアスファルト粘度に関係なく角ひずみ速度に依存するようである。角ひずみ速度 0.012 rad/sec の場合、 $\tau_E = 8 \times 10^{-3} \sim 2.0 \times 10^{-2}$ ぐらゐで変化し、 0.07 rad/sec の場合は $1.5 \times 10^{-2} \sim 1.0 \times 10^{-1}$ の範囲で変化している。 τ_E におけるアスファルト粘度の影響は図-4に示すようであり角ひずみ速度が大で、空隙率が小さくなると共に顕著に影響をうけるようである。また角ひずみ速度の影響については、アスファルト粘度が高いほど、かつ空隙率が小さいほど、 τ_E は角ひずみ速度の影響をうけるようである。

角ひずみ速度 (rad/sec)	アスファルト粘度 (ポアズ)		
	330	50	13.5
0.070	12.3×10^{-2}	12.3×10^{-2}	12.3×10^{-2}
0.012	4.0×10^{-2}	4.0×10^{-2}	4.0×10^{-2}

表-3 $\log \tau_E$ -空隙率の勾配値

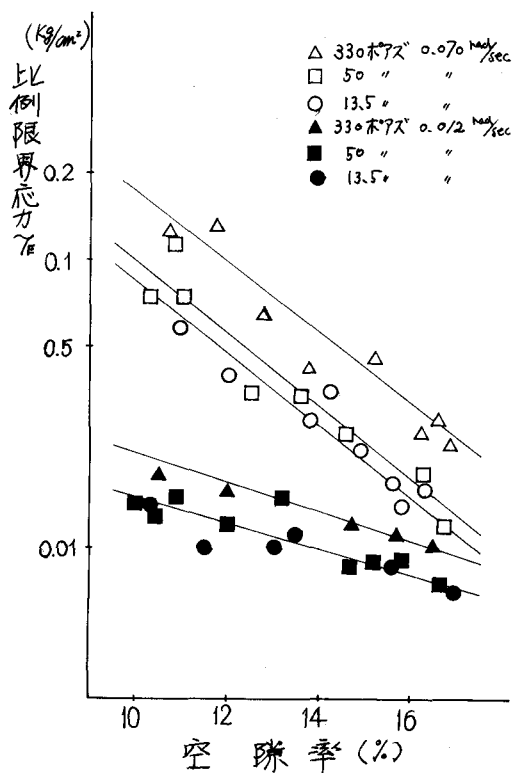


図-4 比例限界応力と空隙率

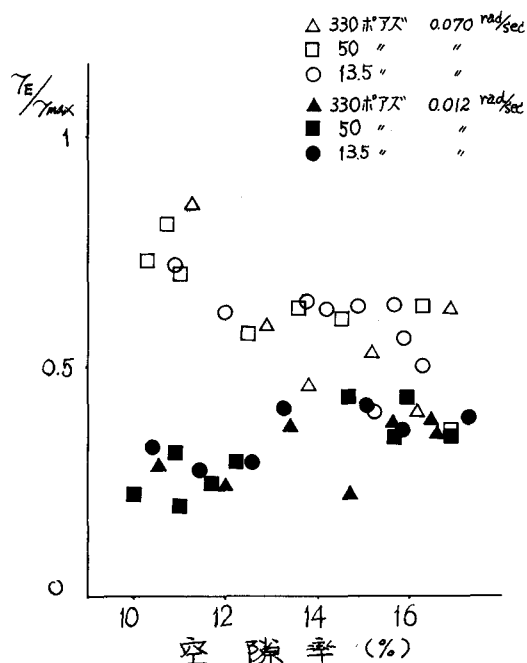


図-6 τ_E/τ_{max} 値と空隙率の関係

次に τ_E と破壊時のせん断応力 τ_{max} との比 (τ_E/τ_{max}) と空隙率の関係を図-6に示す。これによると角ひずみ速度によって傾向が異なり、空隙率が大きくなると $\tau_E/\tau_{max} = 0.5$ とほぼ一定になるが、空隙率が小さくなると角ひずみ速度 0.07 rad/sec の時、 $\tau_E/\tau_{max} = 0.75$ 、 0.012 rad/sec の時、 $\tau_E/\tau_{max} = 0.25$ となり角ひずみ速度の影響は顕著になる。コンクリートの場合、 $\tau_E/\tau_{max} = 0.3$ という報告があり、本実験の角ひずみ速度 0.012 rad/sec の場合と同じくらいの値である。

3 セン断のスタフネス、 SE_k について

$\log SE_k$ -空隙率の関係を図-7に示す。 SE_k は角ひずみ速度による影響がないようであり、主に空隙率の影響をうけ、空隙率の減少とともに増大し、10~16%の空隙率の差によって、約2倍程度変化している。またアスファルト粘度の影響については、角ひずみ速度が 0.012 rad/sec の場合に、明確にあらわれていないが、 0.07 rad/sec の場合には、若干その影響が見られるようである。

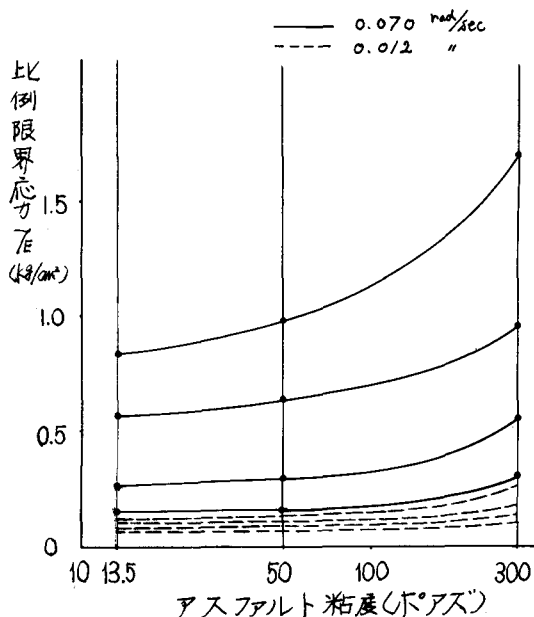


図-5 比例限界応力-アスファルト粘度曲線

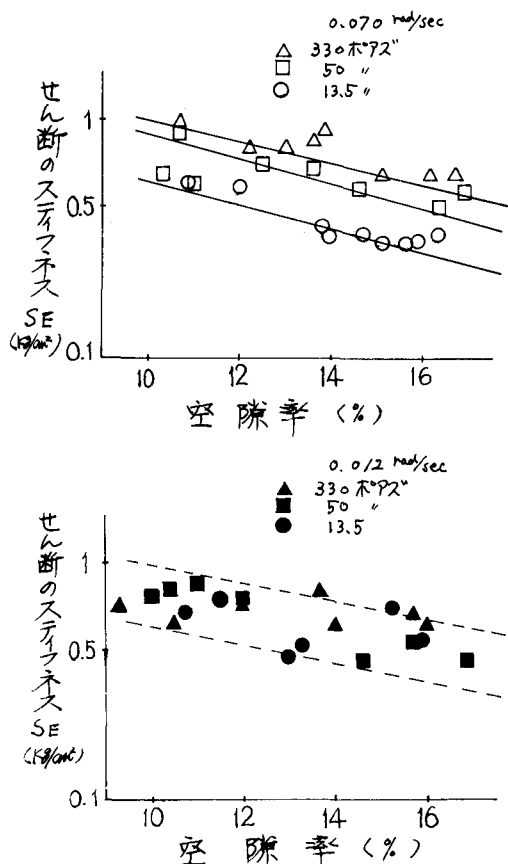


図-7 セン断の スティフネスと空隙率

せん断のスティフネス(変形係数)というものは、弾性領域での変形係数であることから、せん断弾性係数と同じであり、混合物の空隙率、粘度によって決定されると言えよう。弾性領域であるために、角ひずみ速度に関係しないという実験結果は当然なことであるが、 SE が τ/ϵ という比例限界ひずみと比例応力の比で表わされ、それらが角ひずみ速度に大きく依存しているにもかかわらず、 SE がある空隙率ある粘度で角ひずみ速度の大小に関係なく一定値をとるということは、比例限界ひずみに対する角ひずみ速度の影響の度合いと比例限界応力に対する角ひずみ速度の影響の度合いが同じ割合であるということである。せん断応力-角ひずみ曲線において、 SE という直線部分の勾配は、空隙率と粘度から一意的に決ってきて、角ひずみ速度の大小はその曲線の直線部分の長さで支配していると言え、角ひずみ速度が大きい場合は、直線部分が長くなり、

反め、弾性領域が小さく、角ひずみ速度が小さい場合には、弾性領域が大きくなるということが言えるだろう。

3) 破壊領域

1 破壊時のひずみ(ϵ_B)について

$\log \epsilon_B$ と空隙率の関係を図-8に示す。 ϵ_B はアスファルト粘度にあまり関係なく、主に空隙率の影響を受け、空隙率の減少につれて大きくなる。10~16%の空隙率の差に対して、角ひずみ速度が0.070 rad/secの場合 $\epsilon_B = 1.4 \sim 2.4 \times 10^{-1}$ (rad)の変化を示し、0.012 rad/secの場合は、 $\epsilon_B = 1.0 \sim 1.8 \times 10^{-1}$ (rad)の変化をしている。角ひずみ速度の影響については、小さいように思われる。

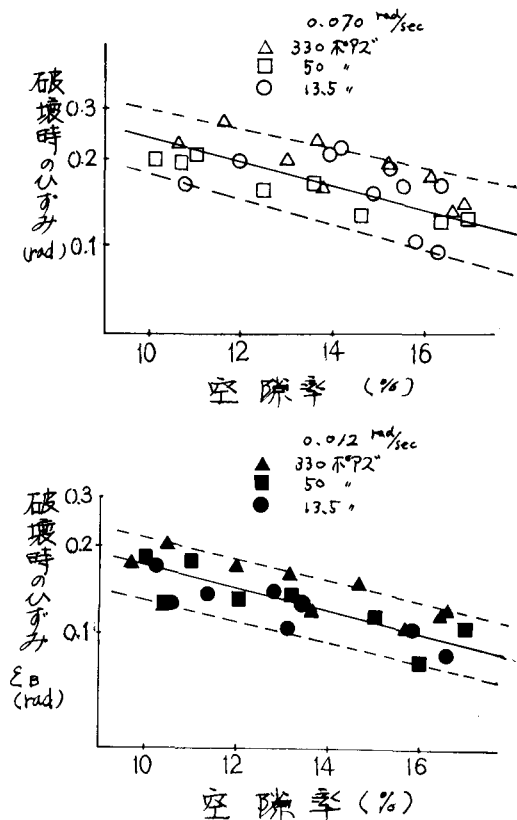


図-8 破壊時のひずみと空隙率の関係

2 セン断強度; γ_{max} について

せん断強度 γ_{max} に対する空隙率、アスファルト粘度、角ひずみ速度の影響は、(各実験条件におけるせん断強

角ひずみ 速度 (rad/sec)	アスファルト 粘度 (Pa)	空 隙 率 (%)			
		10	12	14	16
0.070	330	0.200	0.135	0.090	0.061
	50	0.112	0.075	0.051	0.035
	13.5	0.097	0.067	0.046	0.032
0.012	330	0.078	0.056	0.039	0.028
	50	0.054	0.038	0.028	0.020
	13.5	0.046	0.032	0.022	0.015

表-4 実験条件別のせん断強度

度は表-4に示すとおりである。)次のとおりである。

(1) せん断強度と空隙率

せん断強度の空隙率依存度は粘度の増大により若干小さくなるが、その程度はあまり大きくなく角ひずみ速度の影響が極めて顕著であるということが出来る。

(2) せん断強度とアスファルト粘度

角ひずみ速度が小さい場合は、粘度の影響は小さいが、角ひずみ速度が大きくなると影響が大きくなりかつ空隙率が小さくなると更に粘度の影響が顕著になる。

(3) せん断強度と角ひずみ速度

空隙率が小さくなるに伴い、またアスファルト粘度が大きくなるに伴い角ひずみ速度の影響が大きくなるということが出来る。

3 破壊時のスチフネス S_B について

(1) 破壊時のスチフネスと空隙率

$\log S_B$ と空隙率の関係を図-9に示す。 S_B は空隙率の減少につれて大きくなり、10~16%の6%の空隙率の差に対して、約2倍の変化を示しているが、角ひずみ速度が0.012 rad/sec の場合で、粘度が13.5ポアズの場合、 $S_B = 2.0 \sim 2.7 \times 10^{-1} \text{ kg/cm}^2$ だけしか変化を示さないことから、空隙率の影響は、角ひずみ速度が小さく、かつ、粘度が低い場合には、小さいと言える。

(2) 破壊時のスチフネスとアスファルト粘度

アスファルト粘度が高くなるにつれて S_B は増大するが、粘度14~330ポアズの変化に対しては、 S_B は約2倍の変化を示すが、角ひずみ速度が0.012 rad/sec で、高空隙率の場合には、粘度の影響はさめめて小さいと言える。

(3) 破壊時のスチフネスと角ひずみ速度

粘度が高い場合、あるいは空隙率が小さい場合は、角ひずみ速度0.012~0.070 rad/sec の範囲の変化で S_B は約2倍の変化を示すが、粘度が低い場合で空隙率が高い場合には、 S_B はあまり変化しない。

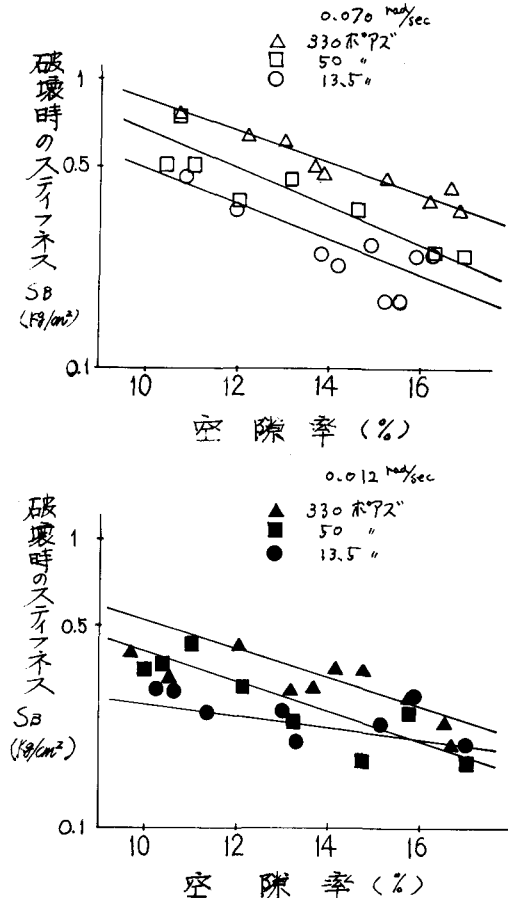


図-9 破壊時のせん断スチフネスと空隙率の関係

IV 結 論

以上の結果より次のことが結論できる。

1 同軸2重円筒型せん断試験装置を用いることにより、施工時のごときルーズな、かつ低粘度のアスファルト混合物の力学的特性を評価することが可能である。

2 せん断応力-角ひずみ曲線を描くことにより、弾性的に挙動する領域、および破壊領域に分けて、力学的性質を検討することができそうである。

3 弾性的特質を示す角ひずみの範囲は、角ひずみ速度が0.012 rad/sec の場合は、 $1 \sim 3 \times 10^{-2} (\text{rad})$

までであり、空隙率、アスファルト粘度によって大きく変化はないようである。また 0.070 rad/sec の場合は空隙率、粘度に大きく影響され、その範囲は $3 \times 10^{-2} \sim 1.3 \times 10^{-1} (\text{rad})$ までである。

4 弾性的性質を示す範囲での限界の応力は、角ひずみ速度に大きく影響され、角ひずみ速度が 0.070 rad/sec の場合は、空隙率、アスファルト粘度の影響も大きく、 0.012 rad/sec の場合、それらの影響はきわめて小さい。

5 弾性的に挙動する領域でのスラフネスは、変形速度に影響されず、同配合の混合物に対しては、空隙率とアスファルト粘度の影響をうける。

6 破壊領域において、破壊時のひずみは、アスファルト粘度に関係がなく、主に空隙率の影響をうけ、角ひずみ速度の影響は小さいようである。

7 セン断強度に対して、空隙率の影響は角ひずみ速度が大きい場合に顕著であり、アスファルト粘度の影響は角ひずみ速度が大きく、かつ空隙率が小さい場合に現れる。

8 破壊時のスラフネスは、空隙率が小さいほど、アスファルト粘度が高いほど、又角ひずみ速度が大きいほど大きくなる。

9 セン断応力-角ひずみ曲線における直線部分の長さに対しては、角ひずみ速度が支配的因子であり、角ひずみ速度が大きいほど長くなる。

10 破壊領域において、高粘度、低空隙率で角ひずみ速度が大きい場合、この種の混合物は脆性的性質を示し、並に低粘度、高空隙率で角ひずみ速度が小さい場合、混合物は塑性的性質を示すようである。この様に締め固め時のごとき次第に空隙率が減少していく過程において、締め固め抵抗を与える力学的特性というものはかなり複雑に変化することとするものである。この面における基礎的な研究の重要性を示すものである。今後さらに、粗骨材量の問題、角ひずみ速度等の問題を含めて検討して行く予定である。

新田 登、石川 敏(土木学会 第30回年次講演会発表)

参考文献

1. 「アスファルト舗装の弾正性状について」新田 登(石和学会誌第16巻第6号発表)
2. 「ルーズなアスファルト混合物のせん断試験」