

アスファルト

第21巻 第117号 昭和53年10月発行

117

特集・「クラック」「わだち掘れ」に関する海外の研究

第I部	対象とした文献のリスト	2
第II部	対象とした各文献の概要	5
第III部	まとめと考察	
	1. アスファルト舗装の低温クラック	福手 勤 17
	2. アスファルト舗装の疲労クラック	田井文夫 24
	3. アスファルト舗装のわだち掘れ	山内幸夫 37
	4. 供用性・その他	阿部忠行 46

高見さんの急逝を悼む

南雲貞夫 58

★研究者のノートから★その6

アスファルト舗装の構造設計 における最近の動向(4)	阿部頼政 60
〈近況報告〉素人と玄人	松延正義 66
BLACK CHEMISTRY (5)	
メソカーボン・マイクロピーズ	山田泰弘 70
〈時事解説〉石油新税	石田正志 74
	ASPHALT 需給統計資料 78
	石油TOPICS 57

特集・「クラック」「わだち掘れ」に関する海外の研究

アスファルト舗装技術研究グループ・第1回研究報告

特集に当って

阿部 頼 政

日本アスファルト協会内に設置された「アスファルト舗装技術研究グループ」は、115号でも紹介したように、自主的にアスファルト舗装を勉強しようとする有志の集まりである。参加資格は特に設けておらず、官庁、民間、大学等種々の職場から参加しているが、すべて個人の自由意志によって行っている。したがって、各人が自由な立場で議論できる場であると言えよう。それぞれの職場にあまり迷惑とならないように研究会の開始時刻は5時半からとしている。

昭和52年11月に研究グループが発足して以来、もう1年になろうとしている。この間、月2回の定期的な研究会で出席者は常に10人を超えていた。メンバーの一人一人がそれぞれ忙しい立場にあり、閉会後の帰宅時刻が12時前後になる者も数人含まれていることを考えれば、その熱意のほどがおわかりいただけるかと思う。

本特集は、研究会でとりあげた論文、すなわち、“Proceedings of the Association of Asphalt Paving Technologists”(1970年以降)と“Highway Research Record”(No400以降、後にTransportation Research Record と名称変更される)の中

から「クラック」と「わだち掘れ」に関連した論文をとりまとめて報告するものである。

全体は、①対象とした文献のリスト②各文献の概要紹介、③課題別のまとめと三段階の構成をとっている。①は研究会で対象とした文献の単なるリストであるが、②は、各文献の担当者が簡単な内容紹介を行なったものである。さらに③では、以上の文献を「低温クラック」「疲労クラック」「わだち掘れ」に分類し、福手、田井、山内がそれぞれを担当して、整理と考察を行なった。これは、研究会の討議を参考にはしているが、3者が各々の見解でとりまとめたものであり、それぞれ一編の論文とでも称すべき性質のものであろう。上記の分類に入らない文献については同様の整理が無理なので阿部(忠)が簡単に総括した。

全体を通して何度か検討を加えたが、何といっても若輩者だけのグループであり、まだまだ不備な点が多いのではないかと恐れている。またその責任の一端が筆者にあることはいうまでもない。いくらかでも読者の参考になることを期待するとともに、諸先輩の御教示をお願いする次第である。

阿部 頼 政 日本大学理工学部
阿部 忠 行 東京都土木技術研究所
荒井 孝 雄 日本舗道技術研究所
安 崎 裕 建設省土木研究所舗装研究室
井上 武 美 日本舗道技術研究所
内田 淳 一 日本道路技術研究所
大 島 剛 大林道路技術研究所
太田 健 二 日瀝化学工業技術課
大坪 義 治 日瀝化学工業技術研究所
川野 敏 行 東亜道路総合技術研究所
木 村 剛 日本道路公団札幌建設局
小坂 寛 巳 首都高速道路公団第二建設部設計課

小 島 逸 平 建設省土木研究所舗装研究室
古 財 武 久 大成道路技術研究所
塩尻 謙 太郎 東亜道路工業総合技術研究所
関 根 幸 生 丸善石油研究所
田 井 文 夫 東京工業大学工学部土木教室
竹 下 洋 シェル石油技術研究所
林 誠 之 日本石油中央技術研究所
福 手 勤 運輸省港湾技術研究所
松 浦 精 一 日本道路技術研究所
山 内 幸 夫 日瀝化学工業技術研究所
渡 辺 暉 彦 長岡技術科学大学工学部

特集・第I部 対象とした文献

分類I 低温クラック

文献番号	論 文 名	著 者 名	書 名, P~P, 年
①	Grading of Asphalt Cements by Penetration or Viscosity at 77 F.	N.W. Mcleod	HRR Vol.404, P112~P120, 1972
②	Predicting Low-Temperature Cracking Frequency of Asphalt Concrete Pavements.	J.J. Hajek R.C.G. Haas	HRR Vol.407, P39~P54, 1972
③	Stiffness History of Asphalt Concrete Surfaces in Road.	M. Y. Shallin B. Frank McCullough	HRR Vol.466, P96~P112, 1973
④	Damage Model for Predicting Temperature Cracking in Flexible Pavements.	M.Y. Shahin B.F. McCullough	TRR Vol.521, P30~P46, 1974
⑤	Evaluation of Viscosity-Graded Asphalt Cements in Utah.	D.I. Anderson D.E. Peterson M. Wiley	TRR Vol.595, P9~P17, 1976
⑥	Flexural Stiffness Properties of Asphalt Concrete at Low Temperatures	E.O. Busby L.F. Rader	AAPT Vol.41, P163~P187, 1972
⑦	A Study of Transverse Cracking of Bituminous Pavements.	H.J. Fromm W.A. Phang	AAPT Vol.41, P383~P423, 1972
⑧	A 4-Year Survey of Low Temperature Transverse Cracking on Three Ontario Test Roads.	Norman W. Mcleod	AAPT Vol. 41, P424~P459, 1972
⑨	Stress Prediction and Low Temperature Fracture Susceptibility of Asphaltic Concrete Pavements.	J.T. Christison D.W. Murray K.O. Anderson	AAPT Vol. 41, P494~P523, 1972
⑩	Minimizing Cracking of Asphalt Concrete Pavements.	F.N. Finn K. Nair J. Hilliard	AAPT Vol.45, P492~P529, 1976
⑪	Evaluation of Air-Blown Asphalts to Reduce Thermal Cracking of Asphalt Pavements.	M.F. Clark R.W. Culley	AAPT Vol.45, P530~P551, 1976

分類II 疲労クラック

文献番号	論 文 名	著 者 名	書 名, P~P, 年
⑫	Results of Indirect Tensile Tests Related to Asphalt Fatigue.	G.W. Maupin, Jr.	HRR Vol. 404, P1~P7, 1972
⑬	Fatigue Crack Formation and Propagation in Pavements Containing Soil-Cement Bases.	P.C. Pretorius C.L. Monismith	HRR Vol. 407, P102~P115, 1972
⑭	Sensitivity Analysis to Determine the Relative Influence of Materials Characterization on a Fatigue-damage Model.	W. S. Smith K. Nair	AAPT Vol.466, P139~P152, 1973
⑮	Methods for Predicting Moduli and Fatigue Laws of Bituminous Road Mixes under Repeated Bending.	L. Francken J. Verstraeten	TRR Vol.515, P114~P123, 1974

分類番号	論文名	著者名	書名, P~P, 年
⑯	Improved Techniques for Prediction of Fatigue Life for Asphalt Concrete Pavements.	J.B. Rauhut W. J. Kenis W. R. Hudson	TRR Vol.602, P27~P32, 1976
⑰	Fatigue Criteria Development for Flexible Pavement Overlay Design	H.J. Treybig F.N. Finn B.F. McCullough	TRR Vol.602, P39~P42, 1976
⑱	The Effect of Rest Period on the Fatigue Performance of a Hot-Rolled Asphalt under Reversed Axial Loading.	K.D. Raithby A.B. Sterling	AAPT Vol.39, P134~P152, 1970
⑲	Behaviour of Bituminous Road Base Materials under Repeated Loading.	P. S. Pell J.M. Hanson	AAPT Vol.42, P200~P229, 1973
⑳	The Effect of Testing and Mix Variables on the Fatigue Performance of Bituminous Materials.	P. S. Pell K.E. Cooper	AAPT Vol.44, P1~P37, 1975
㉑	Practical Fatigue Characterization of Bituminous Mixes.	W. Van Dijk	AAPT Vol.44, P38~P74, 1975

分類Ⅲ わだち掘れ

文献番号	論文名	著者名	書名, P~P, 年
㉒	Permanent Deformation Characteristics of Subgrade Soils due to Repeated Loading.	C.L. Monismith N.Ogawa C.R. Freeme	TRR Vol.537, P2~P17, 1975
㉓	Improved Framework for Predicting Permanent Deformation in Asphalt Layers.	S.F. Brown	TRR Vol.537, P18~P30, 1975
㉔	Deformability of Flexible Pavements Subjected to Repeated Moving Loads.	C. Verga G. Battiato G. Ronca	TRR Vol.572, P97~P110, 1976
㉕	Rutting Prediction in Asphalt Concrete Pavements.	C.L. Monismith	TRR Vol.616, P2~P7, 1976
㉖	Rut Depth Prediction	C.L. Saraf W.S. Smith, F.N. Finn	TRR Vol.616, P9~P14, 1976
㉗	Practical Approach to the Prediction of Rutting in Asphalt Pavement : The Shell Method.	P.J. Van De Loo	TRR Vol.616, P15~P21, 1976
㉘	Laboratory Testing for Use in Prediction of Rutting in Asphalt Pavements.	S.F. Brown	TRR Vol.616, P22~P27, 1976
㉙	Rut Depth Prediction and Test Procedures for Pavement Deformation in Asphalt Pavements.	W.J. Kenis M.G. Sharma	TRR Vol.616, P28~P30, 1976
㉚	System for Summation of Load-Induced Pavement Strains to Produce a Rut Profile.	M.S. Snaith R.W. Kirwan	TRR Vol.616, P31~P33, 1976

文献番号	論文名	著者名	書名, P~P, 年
③①	Laboratory Verification of a Mechanistic Subgrade Rutting Model.	K. Majidzdeh S. Khedr H. Guirguis	TRR Vol.616, P34~P38, 1976
③②	Procedure for Predicting Rut Depths in Flexible Pavements.	F. Meyer, R. Haas M.W. W. Dharmawardene	TRR Vol.616, P38~P40, 1976
③③	Predicting Permanent Deformation of Asphalt Concrete from Creep Tests.	J, S. Lai W. L. Hufferd	TRR Vol.616, P41~P43, 1976
③④	Analysis of Subgrade Rutting in Flexible Airfield Pavements.	Y. T. Chow	TRR Vol.616, P44~P48, 1976
③⑤	Permanent Deformation in Asphalt Pavements can be Predicted.	J. Morris, R.C.G. Haas, P. Reilly, E. T. Hignell	AAPT Vol.43, P41~P76, 1974
③⑥	The Permanent Deformation Characteristics of a Dense Bitumen Macadam Subjected to Repeated Loading.	S. F. Brown M.S. Snaith	AAPT Vol.43, P224~P252, 1974
③⑦	The Correction of Rutting and Creep Tests on Asphalt Mixes.	J.F. Hills D. Brien P.J. Van de Loo	Inst. of Petrol.: Paper IP 74-001, 1974

分類Ⅳ 供用性・その他

文献番号	論文名	著者名	書名, P~P, 年
③⑧	Fracture (ultimate strength) Analyses of Asphalt Pavement Layers Resulting from Traffic Loading.	Y.M. Salam C.L. Monismith	HRR Vol.466, P127~P138, 1973
③⑨	Use of Condition Surveys in Pavement Distress and Performance Relationship.	B.F. McCullough P. Smith	TRR Vol.602, P24~P26, 1976
④⑩	Fracture Characteristics of Asphalt Concrete	Y. M. Salam C.L. Monismith	AAPT Vol.41, P215~P256, 1972
④⑪	Distress Characteristics of Asphalt Concrete Mixes.	C.L. Monismith Y.M. Salam	AAPT Vol.42, P320~P350, 1973
④⑫	Use of Bituminous Materials in North Dakota Test Road.	O. E. Manz	AAPT Vol.44, P143~P161, 1975
④⑬	Grading of Asphalt Cements by Viscosity.	E. Tons A. P. Chrith	AAPT Vol.44, P387~P415, 1975
④⑭	Analysis of Failure Modes and Related Required Properties of Asphalt-Treated Cold Mix Bases.	I. Ishai M. Herrin D.G. Leverenz	AAPT Vol. 44, P519~P536, 1975
④⑮	Direct Tension Test Results for Some Asphalt Concretes.	R.D. Pavlovich W. H. Goetz	AAPT Vol.45, P400~P428, 1976

特集・第II部 対象とした文献の概要紹介

1. 文献番号 2. 論文名(和文) 3. 研究目的 4. 研究方法 5. 結果 6. コメント

分類I 低温クラック

1. ①	[関根幸生]
2. 77°Fの針入度または粘度によるアスファルトセメントの分類	
3. 横断クラック防止の観点からのアスファルト選択の基準を知る。	
4. 実舗装の状態と実験室性状との対比。	
5. U.Sの半分及びカナダ全域の舗装平均温度である77°Fのpen又は粘度で分類することにより、横断クラック防止が可能。	
6. 著者は粘度分類に反対はしていない。140°Fでの粘度分類に反対している。ただし、寒冷地で横断クラックが最重要課題であること。市販アスファルトの加工範囲がいちじるしく広いという特殊事情が背景にある。	
1. ②	[塩尻謙太郎]
2. アスファルト舗装の低温クラック頻度数の予測	
3. 試験舗装の低温performanceから、低温クラック頻度数とクラック因子の関係を求め、新設舗装の低温クラック頻度数を予測する。	
4. 32ヶ所の試験舗装と低温クラック発生に影響するアスファルトのスティフネス、気象条件、舗装厚、路床の種類、供用年数の関係式を求めている。	
5. 関係式から、新設アスファルト舗装のcracking Indexが予測できる。	
6. 低温クラック発生の気象条件は-20°C以下であることを考慮すると、日本では、ほんの一部分に限定される。	
1. ③	[大坪義治]
2. 表層用アスファルトコンクリートのスティフネスの変化	
2. 温度変化やアスファルトの硬化によって生ずる、スティフネスの変化を予測するモデルを作成し、プログラム化する。	
4. Van der PoelのノモグラフをHeukelom, Klompが修正したものを対象にS, PI, R & B Loading Timeの関係式を導き、スティフネスを予測する時点のLoading Time, 針入度, 軟化点を予測して、スティフネス変化を推定する。	
5. 標準的な試料や環境の下で、載荷時間を予測するモデルとアスファルトの供用寿命(供用後の針入度, 軟化点から)を予測するモデルを得、それからスティフネスを予測するモデルをつくった。	
6. 予測方法としては納得のいく説明であるが、実際との比較がない。	
1. ④	[古財武久]
2. たわみ性舗装の温度クラックを予測するための破壊モデル	
3. 低温時におけるクラックと温度による疲労クラックについて、予測する方法と、OntarioとSte. Anneの試験道路の調査結果とを比較検討するのが目的である。	
4. 低温時におけるクラックと温度による疲労クラックについて、過去のデータから電算機を使用して統計的処理をおこなって予測する。その結果から予測式をもとめて、試験道路の調査結果に適応させ検討する。	
5. 本論文の温度によるクラックを予測する式は、OntarioとSte. Anne試験道路の調査結果にほぼ一致している。従って、舗装体にかかわる諸条件から温度の影響によって発生するクラックについての予測が可能となる。	
6. 手法としては参考になるが、温度条件が日本と大きく異なっているのでそのまま適用できないと考える。	

〔関根 幸生〕

- ⑤
- ユタ州における粘度分類アスファルトの評価
- 実用性能との対応のより優れたアスファルト性状のパラメーターを見出すこと。
アスファルトを粘度分類とすることの効果を知ること。
- sourceの異なるAC-6, AC-12の各2種, 合計4種のアスファルトで実舗装し, 66ヵ月間のパフォーマン
ス(縦/横クラック わだち)を観察し, 原アス及び時間を種々にかえ, TFO後の回収アスの性状
(Pen, Duct, Cannon, Cone Vis, 60°C Vis, 組成)との対応をとる。
- 横断クラックは, (1)低温域の感温性, (2)パラフィン, N基量と関係するが, 粘度級の影響はない。
すなわち, 粘度分級で横断クラックを予測できない。
Force Ductility Test と実用性能の相関は良好であった。
- 横断クラック重視。

〔林 誠之〕

- ⑥
- アスファルトコンクリートの低温時における曲げスティフネス特性
- 舗装体の低温クラック発生を防ぐため, アスコンの曲げスティフネス値を求め設計指針を得ること。
- アスコンの曲げ試験から曲げスティフネスを求める。
 - アスファルト : 40/50(AC-40), 85/100(AC-10), 200/300
 - 供 試 体 : 15" × 3½" × 3¼"
 - 試 験 条 件 : 0.02"/min(中央), 25°F, -5°F, -35°F
- 針入度約40~200のものについて, 上記温度での曲げスティフネスが求められている。
 - 60°Cの安定性の得られるかぎり柔らかいアスファルトが望ましい。
- 本報文によれば, 40/50使用の密粒アスコンの許容最低温度は-18°Cであり, 少なくとも関東以南では必配ないことになる。

〔井上 武美〕

- ⑦
- アスファルト舗装の横クラックの研究
- 交通載荷によらない低温での横方向クラックの問題を, クラック発生に及ぼす気象条件, 混合物条件
及びアスファルトの特性と組成条件のうち, 影響の大きい因子を指摘すること。
- オンタリオ州・北部・南部の数年経過の33現地を2カ年にわたって調査。
 - クラックと各種条件の測定値との要因分析。
 - 段階的回帰分析により, 州全体, 南部, 北部のモデル計算。
 - 線型複回帰分析により同様のモデルを計算。
- 影響大の因子は次のもの
 - 温度関係では……………粘度比, 凍結指数及びクリティカル温度
 - 混合物関係では……………はくり度, 空隙率及び粒度(#200通過量)
 - アスファルト関係では…回収アスの針入度, アスファルテン量
 - その他としては……………路盤材の粒度(#200と#4フルイ通過量)クラックコントロールには, 低温でも良好な流動抵抗を示し, 感温性の低いアスファルトの使用を推奨。
- わが国の場合, 北海道で最近になって耐わだちの関連で, 使用アスファルトが硬いものになってきた
為か, 低温ヒビワレの問題が言われるようになってきている。
この点の評価に当て参考になるのではないか。

〔荒井 孝雄〕

- ⑧
- オンタリオ試験道路における低温横クラック調査
- 低温クラック防止のため, 効率のよいアスファルト選定法を与えるための検討。その理論と根拠と手
順の展開等。
- PIの異なる3メーカーのアスファルト85/100級をオンタリオ3地区に施工し, 11年間の供用調査(ク
ラック数の調査), その解析を行なったもの。

5. 1. クラック発生数は、アスファルトの PNV(著者が提唱)指数と一致。
2. 舗装 2 in 下の最低温度における舗装スティフネスとクラック数は相関し、そのクリティカル・モジュラスは 10⁶ psi と推定。
3. クラック防止のため、アスファルト選定は 25°C 針入度、粘度および PNV を基本とするスペックを提唱。60°C 粘度に反論。
6. 低温クラック防止指向のため、高針入度使用傾向となり、高温流動防止指向のわが国の立場とは逆方向。

[井上 武美]

1. ⑨
2. アスファルトコンクリート舗装の応力予測と低温での破壊特性
3. アスファルト舗装の実際の温度履歴とクラック発生を観測結果から、弾性体及び粘弾性体の梁あるいは、版の何れかを仮定した場合が応力予測式に適合するかを検討する。
4. 西部カナダの Alberta と Manitoba の試験舗装区間の結果について、応力予測式
 - a) Pseudo-elastic Beam. b) Approximate Pseudo-elastic Slab. c) Visco-elastic Beam
 - d) Visco-elastic Slab. e) Approximate Visco-elastic Slab の何れが実測結果を適切に予測できるかを検討。

出力ゼロを舗装平均温度 30°F のときとして 1/2 in 深さの計算応力 \geq 低温引張破壊強度の時に破壊として検討している。
5. 応力予測式の適合性は、c) と d) が上・下限、a) \approx b) \approx e) でほぼ平均値となったので、簡単である事も含めて、a) 法が現段階では合理的な結果を与える。
6. 低温引張破壊強度を採取コアの割裂引張強度 (20 \sim -20°F, 0.06 in/分の試験条件) として採っているが、この点の妥当性が a) \sim e) の適合性に影響するとも考えられる。
低温クラックの発生機構検討には一読の必要があろう。

[田井 文夫]

1. ⑩
2. アスファルトコンクリート舗装のクラックを最小にするための検討
3. 設計者が早期ひびわれを最小にするのに使用する一連の勧告の作成。
4. 過去 10 年間の研究成果のとりまとめと電算シミュレーション。
5. 疲労クラック、低温クラック、リフレクションクラックについての一連の勧告を作成した。
6. 基礎資料として一読されたい。

[田井 文夫]

1. ⑪
2. アスファルト舗装の温度クラックを減少させるための、エア・ブローンアスファルトの評価
3. アスファルト舗装の温度クラックを減少させるためにエア・ブローンアスファルトの有効性を検討した。
4. 3 種類のアスファルトを用いて試験舗装を行った。
5. 供用 2 年後、重大なクラックは生じていない。
6. 今後の追跡調査、結果報告をまちたい。

分類 II 疲労クラック

1. ⑫
2. 間接引張試験によるアスファルト混合物の疲労性状
3. 4 種類のアスファルト混合物 (粒度は密粒アスコンでアスファルトの針入度を変化させたもの) について、疲労寿命、歪、スティフネスの相関関係を求めようとするものである。

[川野 敏行]

4. 〔疲労試験〕 ビーム下面の中央にストレインゲージを接着し、表面にクラックが入った時を破壊とした。なお温度は75°Fとした。
- 〔間接引張試験〕 マーシャル供試体を用いて、載荷速度1 in/min で引張歪、引張強度を求めた。
- $$\delta_{TF} = 2 P / \pi \cdot t \cdot d \quad (\delta_{TF}: \text{引張応力}, t: \text{供試体厚}, d: \text{供試体直径})$$
5. $N = K(1/\epsilon)^n \rightarrow K = 1.8 \times 10^{14} \sim 3.1 \times 10^{20}, n = 4.4 \sim 6.0$
- この結果は Santucci Schenidt の研究と一致。
- アスファルトのスティフネスが混合物のスティフネスに大きく依存する。

1. ⑬ [松浦精一]
2. ソイルセメント路盤上の舗装に生ずる疲労クラックの形式と伝播
3. ソイルセメント路盤上の舗装に生ずる疲労クラックの形成とその伝播過程の予測、並びに現場追跡調査による、この予測手法の妥当性の検討。
4. 有限要素法による解析。
Westergaard Corner Loading式 (近似評価)
5. 疲労クラック発生ならびにその伝播過程の予測結果と現場調査結果とがほぼ一致し、本手法の妥当性がうかがわれた。

1. ⑭ [内田淳一]
2. ある疲労破壊モデルにおいて、材料特性の相対影響度を定める感応度分析
3. アスファルト舗装の疲労に関する要因の種類とその変数の影響度を感応度分析により求めている。
4. 構造断面、使用材料特性、環境、施工、実験の誤差にわたる要因の感応度分析を行っている。
5. 疲労に影響する主要要因はアスファルト混合物の空隙率と疲労限界値の決定誤差である。
6. 改めてアスファルト混合物の空隙率が大事であることが、この分析結果からもうかがわれる。

1. ⑮ [田井文夫]
2. くり返し曲げをうけるアスファルト混合物のスティフネスと疲労法則の予測法
3. くり返し曲げをうけるアスファルト混合物のスティフネスと疲労法則の予測する式を示し、アスファルト選定の実際の基準を示す。
4. くり返し曲げ試験
5. スティフネスの予測式、疲労法則の予測式 (容積配合比率、アスファルテン量による) を示し、アスファルトの基準値を示した。
6. わが国のアスファルト物性は、著者らの示すアスファルト基準にほとんど含まれている。

1. ⑯ [木村剛也]
2. アスファルトコンクリート舗装における疲労寿命の改良された手法
3. ひびわれ破壊理論のMinerの仮定式を発展させ、舗装の破壊に対する温度の影響を考慮した舗装寿命の予測手法を確立する。
4. Minerの仮定式において、実験により決定される定数の温度変化の影響について検討し、疲労寿命の予測に利用する。
5. 1. AASHO道路試験結果の条件設定やシュミレーションができる。
2. 温度変化による破壊への寄与率が実験定数の検討により正確にできる。
3. 寿命理論における材料や応力の変動を確立概念で説明できる。
- 舗装破壊の予測が本改良方法により今後発展できるようになった。

〔井上 武美〕

1. ⑰
2. たわみ性舗装のオーバーレイ設計用の疲労基準の考え方
3. 新設ブーム(1950年後半～1960年代)時の舗装が、補修を要するようになってきたので、オーバーレイをする場合必要な合理的基準を提案する。
4. ●弾性論解析(ELSYM 5)により、最大引張歪を求める。
●現場調査(AASHO道路試験終了後、イリノイ州道路局が実態調査)により、上記弾性論解析に必要なデータの収集。
以上より、ひびわれ発生迄の作用歪と交通量の関係を27区間について求めた。
5. $N = 9.73 \times 10^{-15} \left(\frac{1}{\epsilon}\right)^{5.16}$ (N:ひびわれ発生迄の18kip軸重の通過回数, ϵ :作用歪)
この結果は、Monismithの室内疲労試験結果やCaliforniaの基準より危険側にある。
6. 既設舗装のひびわれ状況により、アスコンのEを
 $3.22 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$, $4,900 \text{ kg/cm}^2$ 及び $1,400 \text{ kg/cm}^2$ ($T=21.1^\circ\text{C}$)にとって、上記の関係が整理されている。

〔古財 武久〕

1. ⑱
2. 繰返し荷重において休止時間がホットロールドアスファルトの疲労寿命におよぼす影響について
3. ホットロールドアスファルトについて、連続繰返し荷重時と断続繰返し荷重時の疲労破壊回数を比較検討する目的である。
4. 応力制御方式の一軸繰返し荷重試験(圧縮・引張)でおこなう。条件は下記のとおり。
●温度 : 10°C , 24°C , 25°C
●サイクル数 : 2.5HZ, 16.7HZ, 25HZ
●応力 : 2.45 kg/cm^2 (25°C), 4.2 kg/cm^2 (24°C), 9.52 kg/cm^2 (10°C)
●供試体 : $7.5 \times 7.5 \times 22.5$ (cm)
5. 1. サイクル数が同一でも休止時間を長くした方が破壊までの荷重回数のはのびる。
2. 連続荷重に比較して断続荷重の方が疲労破壊回数のはのび、そののはのびは前者を1とすれば、後者は約5倍である。
6. 実際の道路では、荷重は断続的荷重の状態の場合が多いので、連続荷重よりも断続荷重の方がより現実的であるように考えられる。

〔阿部 頼政〕

1. ⑲
2. 繰返し荷重における路盤材の特性
3. 重交通、低速下におけるアスファルト系路盤材料の挙動を調べる。
4. 休止のある繰返し荷重試験
歪制御方式で、温度は $-10^\circ\text{C} \sim +40^\circ\text{C}$
5. サービス寿命(スティフネスが初期の60%にさがるまでの荷重回数)は、温度、バインダーの種類に影響されない。
6. 著者の別の論文では、温度が高ければ高いほど寿命は長いとある。試験法の影響が大きいのであろうか。

〔松浦 精一〕

1. ⑳
2. 歴青材料の疲労性状におよぼす試験方法ならびに混合物変数の影響
3. 歴青材料の疲労性状と混合物変数との相関関係を求め、また異った疲労試験方法(温度、拘束応力)が疲労性状(寿命)におよぼす影響を調べる。

試験方法	変数	出力
ねじり曲げ疲労試験 (応力制御)	バインダー量, バインダー タイプ, 骨材粒度, フィラ ータイプ, 拘束応力, 温度	破壊回数
スティフネス試験	" "	スティフネス(上記試験の補足)
くり返し三軸試験	拘束応力, 温度	初期歪, 破壊回数

5. 1. 疲労寿命はバインダー容積(V_B), バインダータイプ($T_{R\&B}$)とで次式で表わされ, 骨材タイプ, 粒度およびフィラー添加などの混合物変数はほとんど影響しない。
- $$\log N_{(\epsilon=10^{-4})} = 4.13 \log V_B + 6.95 \log T_{R\&B} - 11.13 \quad (R=0.936)$$
2. 温度と拘束応力は, 同一歪レベルで見ると疲労性状に対して独立している。
6. かなり思い切った結論であるが, この種の研究を行う上での実験要因の選定, ならびに結果を解析する上で有用。

〔山内 幸夫〕

1. ㉔
2. 歴青混合物の実用的疲労特性
3. 歴青混合物の疲労特性を設計に導入する為に, 車輪走行時の材料の疲労挙動を改良したホイール・トラッキング試験で調べる。
- 同時に, くり返し曲げ試験から消失エネルギーを計算し, 歴青混合物の疲労寿命を予測する。
4. ホイール・トラッキング試験は, 供試体をゴム版上に固定し, 供試体下面の歪を測定すると同時に, クラックの発達度合を写真にとり観察する。
- 歪は, 接地圧を変えて変化させ, 載荷回数を歪変化として処理する。
- 曲げ疲労試験は, 応力制御, 歪制御の2法を用いる。
5. 1. 消失エネルギーの概念を用いて疲労寿命の予測ができる。
2. ホイール・トラッキング試験により, クラックの発展過程を3つに分けることができる。
- ① N_1 stage(ヘアークラック) ② N_2 stage(クラック) ③ N_3 stage(破壊) となる。
- 又, 曲げ試験において応力制御による疲労寿命は N_1 stage, 歪制御は N_2 stageと一致し, たわみ性舗装の厚さ設計には歪制御の結果を用いる事を提案している。
6. 車輪走行下のクラック発展と曲げ疲労試験消失エネルギーとの結びつけが注目に値する。

分類Ⅲ わだち掘れ

1. ㉔
2. くり返し載荷による路床上の永久変形特性
3. くり返し交通荷重によってひき起される舗装の永久変形を路床の垂直圧縮歪で考察する一環として, 路床土の永久変形をくり返し三軸試験で求めたものである。
4. 試験はくり返し三軸試験を採用し, 軸方向, 半径方向の変位を測定する。
- 載荷方式……載荷時間 0.1秒, 1分間20回のくり返し載荷。
 - 荷重………次の通りに荷重を変化させる。
- ① 5→10→20psi ② 5→3→20psi ③ 10→5→3psi
- 供試体は, 径 2.8in, 高さ 6inに成型したもの。
5. 1. 永久歪と載荷回数は, $\epsilon^p = AN^b$ (ϵ^p = 永久歪, N = 載荷回数, A, b 定数)
- A は応力レベルに, b は土の種類に影響をうける。
2. 永久歪と応力は, $\Delta \delta_a = \epsilon_a^p / l + m \epsilon_a^p$ (δ_a = くり返し応力, ϵ_a^p = 一定載荷回数における永久歪)で示され, 広い範囲の応用レベルに適用できる。
3. 累積荷重について Time-hardening, Strain-hardening の概念で処理できる。
6. 踏床土の永久変形をとらえているが, 日本のわだち掘れに適用する場合, 絶対量の比較に問題を残す。

〔井上 武美〕

1. ㉔
2. アスファルト層の永久変形予測の改良についてのアプローチ
3. 永久変形の子測を弾性解析(線型あるいは非線型)や, くり返し三軸(又はクリープ)試験結果から求める場合, 実際の舗装で発生する引張応力を含む引張ゾーンをどう扱うかが, その予測精度に影響す

るのでこれを処理する方法論を検討する。

4. ●既往方法を評価して、主応力の関数であるが、軸方向に無関係な歪 Invariants を提唱。
●三次元応力システムとして、応力 Invariants を各種状況下で検討。
●現場での応力状況を BISTRO で構造分析して、各種舗装構造の引張ゾーン的位置を計算。
●アスコン層を数層に分割して、変形量を予測する考え。
5. ●応力 Invariants, 平均垂直応力と八面剪断応力を基礎として、室内試験の応力条件の設定の改良方向を示唆した。
●三軸試験固有の不利な点の数項を除去しうるアプローチを提案した。
●ここでの検討から求める応力条件から既往の設定応力条件を吟味するとオーダーは正しいと云える。
6. このアプローチでの室内試験予測と実測との適合性の結果が待たれる。
(アスファルト層の温度分布, 車輪走行位置の頻度も組み込んでいるため)

[田井 文夫]

1. ㊸
2. くり返し走行荷重をうけるアスファルト舗装の変形
3. くり返し走行荷重による粘弾性挙動の予測。
4. クリープ試験にもとづいた半無限アスコン層の理論解析。
5. 1. クリープ挙動の簡単な表示を得た。
2. 弾性理論では深いところの有効変形量を予測できないこと。
3. くり返し荷重の影響は静的なくり返しで表われないことを示した。
6. 理論解析と実験結果との比較, 多層系への展開が望まれる。

[山内 幸夫]

1. ㊹
2. アスファルト舗装におけるわだち掘れの予測
3. この報文は、わだち掘れを予測する上で多くの報文を参考とし、その概念を示したものである。基本概念は、設計上路床の垂直歪を許容値以下にする事。又、手法としてのくり返し三軸試験やクリープ試験から、わだち掘れ量を評価する事である。
4. 1. 路床の垂直歪
これについて Dorman. と Metcalf, Monismith, Hicks, Finn らや、空港において Witzak らが示しているが、環境条件を考慮しなければならないとしている。
2. くり返し荷重におけるわだち掘れの評価
5. 路床土について Monismith, 粒状材では Barksdale が、アスコンでは Morris, Monismith らが予測式を示し、又 Hill, Chomton Valayer はクリープ試験からの予測式を提案している。これらの予測式等は整理・単純化し、弾性又は粘弾性解析を行い、わだち掘れの予測をすることが必要であろう。
6. わだち掘れを考える上で、種々の文献が参照されているので、参考文献の項の利用は有用である。

[大坪 義治]

1. ㊺
2. わだち掘れの予測
3. 舗装の破壊形態の一つである、わだち掘れを路床の永久変形によるものとし、それを予測する。
4. AASHO ROAD TEST (4, 6ループ) のデータを対象に Dorman, Metcalf の提唱した δ , ω , ϵ とわだち掘れの関係を重回帰分析した。
5. インプットとして、18,000 lbf 軸重換算通過回数, 弾性解析によって得られる表面たわみ, アスコン層下面の垂直応力を与え、解析期間内のわだち率を算出し、交通量を乗じてわだち量とする。
6. AASHO ROAD TEST 以外の諸条件にまで予測式が適用できるか問題である。

<ol style="list-style-type: none"> 1. ㉗ 2. アスファルト舗装のわだち掘れ予測に対する実際的アプローチ 3. アスファルト層内の変形によって生ずるわだち掘れを予測する。 4. わだち掘れを層厚の減少としてとらえ、室内実験(クリープ試験)によった配合設計法が舗装の全体的なマネジメントシステムのサブシステムとして使えるかを説明している。 5. 実際の条件から構造設計をし、供用寿命とクリープ試験から、満足するアスファルト特性を推定し、BISARによる解析を行なって層厚減少を予測するシステムを、各種試験舗装に適用した結果、適合性が良かった。 6. この方法を使用するには、アスファルト混合物のクリープ特性を詳細に知る必要がある。 	〔大坪義治〕
<ol style="list-style-type: none"> 1. ㉘ 2. アスファルト舗装のわだち掘れ予測に使用するための室内試験 3. わだち掘れ予測として繰返し三軸試験、応力適用システム、荷重および変形測定について解説。 4. 現場的応力分析のためのパルス形、応力伝達方式。荷重時間とパルス間の休止時間などについて解説。 5. Nottinghamでの研究で、 <ol style="list-style-type: none"> 1. アスファルト材料や凝集性ソイルに関する永久歪試験では、休止時間はあまり重要でない。 2. 弾性解析では遅延弾性回復許容のため、休止時間は必要。 3. 粒状材に対しては一定サイクリングが適当。荷重サイクルがパルスタイムより重要。 6. くり返し三軸試験をアスファルト混合物に適用する研究は、わだち掘れ研究の一手法として、今後論議されるものと思われる。 	〔荒井孝雄〕
<ol style="list-style-type: none"> 1. ㉙ 2. アスファルト舗装のわだち掘れ予測と試験方法 3. VESYS IIMモデルの中に組み入れられたわだち掘れ予測サブシステムについて、その概要を述べるとともに、その有意性を検討している。 4. わだち掘れ予測サブシステムは、環境条件や交通条件を確率変数として取り扱い、混合物の性状を考慮しながら層理論を用いて求めるものであるが、それによる予測結果とペンシルバニア大学内の試験舗装での走行結果とを比較している。 また、混合物の材料特性についても試験方法を比較している。 5. <ol style="list-style-type: none"> 1. VESYS IIMのわだち掘れ量予測サブシステムの信頼性は高い。 2. 21°C(70°F)以上の場合、アスファルト混合物の変形特性は、くり返し試験の代用としてクリープ試験でも十分に把握できる。 6. 詳細なモデルの内容および現場試験の内容は不明。 	〔小坂寛己〕
<ol style="list-style-type: none"> 1. ㉚ 2. わだち掘れの原因となる舗装体の歪の総和を求めるシステム 3. わだち掘れ予測電算プログラムの適用性を検討する。 4. 実験から舗装材料の永久歪と応力、温度、荷重回数との関係を求め、弾性論を使用したFEMで応力を算出する。その応力によって永久歪を逐次計算し、累積する。 5. 適当な弾性係数を使えば、わだち掘れ予測は可能。 6. 実測との比較に乏しい。 	〔福手 勤〕
<ol style="list-style-type: none"> 1. ㉛ 2. 室内試験による路床のわだち掘れ解析 3. わだちモデルを作成し、その適用範囲および実証性を検討する。 $\epsilon_p/N = A(D, W)N^{-m}$ (ϵ_p: 永久歪, D: 応力, W: 含水比, A, m: わだち掘れ係数) 	〔阿部忠行〕

<p>4. 室内において、粒度、含水比、乾燥密度、動的載荷試験、一軸試験などを行い、わだち掘れ係数(A, m)と材料の動弾性係数(E*)および動載荷応力(δ_{app})との関係を求めた。</p> <p>5. 1. わだち掘れ係数は、動弾性係数と動的載荷応力の関数である。 2. m, Aは通常の土に対してほぼ一定。 3. $\log A/E^* \sim \log 1/E^*$は各載荷応力に応じて直線関係にある。</p> <p>6. モデルが単純なので設計に組み入れやすい。現場的検討が望まれる。</p>	
<p>1. ㉔</p> <p>2. たわみ性舗装のわだち掘れ深さの予測法</p> <p>3. わだち掘れを表わす簡単な計算式を示すこと。</p> <p>4. 弾性計算から舗装中の応力分布を求め、くり返し三軸試験から垂直残留歪の分布を求めてわだち掘れを推定した。それらのデータについて回帰分析を行なった。</p> <p>5. 舗装材料の弾性係数や交通量等からわだち掘れを推定する式を示した。</p> <p>6. 舗装材料の弾性係数の決定法が不明確。</p>	〔福手 勤〕
<p>1. ㉕</p> <p>2. クリープ試験による、アスファルトコンクリートの永久変形の予測について</p> <p>3. くり返し荷重によるアスファルト混合物の永久変形を簡単なクリープ試験で求めている。</p> <p>4. アスファルト混合物のクリープ挙動を線型粘弾性理論で予測するのは、小さな応力範囲でも不合理であるので、動的クリープ(一軸圧縮)試験から、永久変形量と載荷状態との関連について検討している。</p> <p>5. 1. 累積永久変形量は載荷時間に比例し、載荷休止時間が長い程累積永久変形量は小さい。 2. $\epsilon_p = A(a)(aT N)^a = A(a)(aT)^a (N)^a \dots\dots\dots$アスファルト量が多い場合 $\epsilon_p = A(\Delta t N)^a + \gamma (N)^b \dots\dots\dots$アスファルト量が少ない場合 ここで、aT: 載荷時間 N: 載荷回数</p>	〔小坂寛己〕
<p>1. ㉖</p> <p>2. 空港たわみ性舗装の路床におけるわだち掘れ解析</p> <p>3. 路床面に生じるわだち掘れ(永久変形)と舗装厚、路床土強度(CBRなど)、荷重強度およびくり返し載荷回数との相関を求め、舗装体の供用性について研究を行った。</p> <p>4. 路床土の室内くり返し試験、三軸、一軸試験。 理論解析には多層弾性理論電算プロ(BISTRO)を使用した。 飛行場で11種の舗装について実測を行った。</p> <p>5. CBR法で設計された舗装体の路床面における弾性歪は一定であり、路床強度や載荷重の大きさには依存しない。路床面のわだち掘れは路床強度に依存する。</p> <p>6. わが国の舗装設計法にも参考になる。</p>	〔阿部忠行〕
<p>1. ㉗</p> <p>2. アスファルト舗装の永久変形に関する予測</p> <p>3. 室内の3軸試験と現場での永久変形との対応性、特にわだち掘れとの関係について現場の観測結果とを対比させ、アスファルト舗装のわだち掘れを予測する。</p> <p>4. アスファルト舗装体が受ける静・動荷重時の力学的挙動を分析し、室内試験条件にシュミレートさせたプログラムを作成し動的くり返し三軸試験を行なった。</p> <p>5. (1) 広い範囲にわたって舗装材料の永久変性特性を測定する実験装置、およびその方法が把握できた。 (2) 引張り応力を受けやすいアスコン層のわだち掘れの横溝はテンションを受ける層の横方向の歪に左右される。 (3) アスコン層の永久変形特性は$\epsilon_p = f(\alpha_1, \alpha_3, T, N) \pm E$で表わされる。</p>	〔太田健二〕

- ここで ϵ_p :永久歪, α_1 :垂直応力, α_3 :水平応力, T:温度, N:くり返し回数, E:誤差
6. いわゆる“わだち掘れ”を対象としたものであり, わが国にみられる塑性流動(Plastic Deformation)には即応用は検討が必要と思われる。

〔太田 健二〕

1. ㊸
2. くり返し载荷によるDense Bitumen Macadamの永久変形
3. アスファルト舗装の主たる破壊のモードは疲労によるクラックとわだち掘れであり, 前者については設計上の問題とし, 後者について動的三軸試験, ならびにクリープ試験を行ない, 永久変形に関する関係を求める。
4. 歪制御によるくり返し三軸試験(休止を入れる)と併行して一部クリープ試験を行ない, 永久変形と緩和のある変形に区分し検討を加えようとしている。
実験は, 主として三軸試験であり, 垂直応力, 温度, 拘束応力, 垂直応力パルスの周波数, 休止時間並びにバインダー量の6因子について, その関係を求めている。
5. (1) 温度の上昇, 垂直応力の増大は歪を増加させ, 拘束応力の増大は歪を減少させる。
(2) 動的試験と静的試験の結果には良い関連性が認められた。
(3) 混合物のスティフネスはバインダーのスティフネスをもって説明できる。
(4) 本研究のデータを舗装設計に応用すれば, わだち掘れ量を予測できる。
6. くり返し動的三軸試験については今後検討すべき実験処方と思われるが, 特に参考となる点は少ない。

〔関根 幸生〕

1. ㊹
2. アスファルト混合物におけるわだちとクリープ試験の関係
3. 実験室的わだち掘れ試験とクリープ試験を対比した。試験結果と現場との関連を検討して合理的技術基準での混合物の評価, 設計法を開発する。
4. (1) わだち掘れ試験
 - ① 回転式室内走行試験
 - ② ホイール・トラッキング類似試験
 (2) クリープ試験
混合物の定荷重クリープ試験, 著者考案法
5. 2つのわだち掘れ室内試験とクリープ試験は良く対応した。したがってクリープ試験でわだち掘れの予測可能。しかし, 現場とクリープとの対応は満足できなかった。
6. 今後クリープ特性と路面性状を定量的に調査すれば, 現場のわだち掘れをクリープ試験で予測できよう。

分類Ⅳ 供用性, その他

〔林 誠之〕

1. ㊺
2. 交通荷重によるアスファルト層の破壊について
3. 過大な単輪荷重および制動力(飛行機着陸時を想定)によるアスファルト表層の破壊解析。
4. アスコン, セメント処理の応力-歪曲線(実験結果), 舗装構成の各条件をインプットし, コンピューター(プログラムはHRR466のXS-47)で舗装体内部の歪, 応力分布を計算。

5. (1) 橋梁上のアスコン表層4"で桁の支持がrigid, flexibleについて
(2) 路床+セメント処理10"+アスコン8"について
(3) 路床+アスコン20"で接着層の接着が弱い場合としっかりした場合
の3ケースについてアスコン層の破壊寸前の歪, 応力分布が示されている。
6. 垂直応力に水平応力が加味されている点の特徴。
橋梁舗装, 空港舗装などに参考となろう。

[荒井 孝雄]

1. ㊸
2. 舗装破壊と供用性の関係
3. 舗装供用性に対する舗装破壊(distress)との間に良い相関がないことが, 舗装設計にとって不足な点であり, それらに関連つける手法について考え方を論じたもの。
4. Distress-Performance関係モデル
① Input →② Behavior →③ Distress → ④ Performance において ③ → ④に至る経路に, Distress 予測, 重みつき関数を導入する。
5. 上記. Distress予測重みつき関数を $DI = W_1F + W_2D_1 + W_3D_2$ で表わす。
6. 重みつき関数は新しい試みと思われる。メンテナンスまでを, システムに組入れている点が面白い。

[林 誠之]

1. ㊹
2. アスファルト混合物の破壊特性
3. ● 曲げあるいは引張強度試験で得られる破壊特性値から, 疲労寿命を予測する。
● 強さに及ぼす各因子の影響を求める。
4. 一軸試験 (直接引張)
曲げ試験 (4点曲げ, 0.5sec)
疲労試験 (240回/min, 0.25sec)
5. (1) 極限引張強さ, KICに及ぼすアスファルト, 骨材などの影響。
(2) 疲労応答で10°Fではノッチが深いほど短寿命, 68°Fでは影響少ない。
(3) 疲労寿命予測の例題あり。
6. 疲労寿命予測が目的だが, アスコンの実験データ不足で, 定量的予測は未完成といえる。

[阿部 頼政]

1. ㊺
2. アスファルト混合物の破壊特性
3. アスファルト混合物の破壊形態をまとめ, 現時点での対応策(研究手法)を検討する。
4. 他の研究者の既発表論文を参考にしながら, 著者らの破壊に対する考え方と対応策を明らかにする。
5. 一般に, 歪制御と応力制御の試験では, スティフネスの影響がほぼ正反対にあらわれるが, 著者らは, 前者が比較的アスファルト層の薄い(5 cm以下)舗装, 後者が厚い舗装(15cm以上)に対応するとしている。
6. 上記の結論の詳細はバックデータがほしい。非常に重要な問題と思われる。

[山内 幸夫]

1. ㊻
2. North Dakota試験道路における瀝青材料の効果
3. AASHOの行なった道路試験の地域性を求めるものとして行なったSatellite的な小規模の試験舗装での数種の路盤と表層の厚さの組合せから, 各層の強度係数を求めるものである。
4. 試験道路を72区分し, 表層のバインダーとして針入度120-150, カットバック3000, 路盤としてセメント処理, 乳剤処理, セメント石灰処理等を用いて, 表層路盤の組合せを, 2in-4in, 4in-4in, 2in-6in, 4in-6inとする。
調査項目として, ベンケルマンピームによるたわみ量, Roughness, クラック, わだち掘れ等。

5.
 1. 歴青路盤材はコスト的にも良い結果である。
 2. 厚い舗装は良い乗心地を示している。
 3. 針入度120-150の表層は120-150, 200-300の路盤を除いてクラックが多い。
 4. 4 inの表層は表面変位が大きい。
 5. 7%セメント, 2%石灰, 17%フライアッシュ路盤のクラックは似ている。
6. まだ供用1年後のデータであるので, 今後の経過に注目したい。

[阿部頼政]

1. ⑬
2. 粘度によるアスファルトの分類
3. 米国の大多数の州では60°C粘度を採用しているが, ミシガン州では年間平均路面温度が25°C以下である。それ故, もっと低温側でコンシステンシーをコントロールすべきである。
4.
 1. 60°C粘度と25°C針入度の関係
 2. 25°C粘度と25°C針入度の関係
 3. 25°C以下の粘度
5.
 1. 針入度と60°C粘度はバラツキの多い関係しか得られない。
 2. 25°C粘度の方が60°C粘度よりは望ましい。
粘度計としては, Cone-plate Viscometerが利用でき, Shear rateは $2 \times 10^{-2} \text{ sec}^{-1}$ が妥当。
 3. ガラス転移温度を Sisco の方法と結びつけ, 135°Cの粘度を知れば任意の Shear rateにおけるコンシステンシーがわかる。
6. 高温時のわだち掘れが問題となる日本とは大分事情が異なる。

[阿部頼政]

1. ⑭
2. 常温混合物路盤の破壊形態とその対策として要求される性質
3. アスファルト乳剤およびカットバックアスファルトによる安定処理路盤の破壊原因, 形態, 破壊防止に必要な材料的性質等の実態を知る。
4. 米国中西部の各州に対するアンケート調査結果からまとめる。
5. 下記の項目につき質問を發し, 回答を分類した。
 1. 主な破壊形態とその頻度
 2. クラックの原因と対策
 3. わだち等の変形の原因と対策
 4. すりへり等の原因と対策
6. 破壊の形態とその原因はある程度分類整理されたが, 対策は決め手がかめない。一方を改良しようとするれば, 他方が悪くなるというジレンマがつかまとう。なお, 破壊の様子も各州によってかなり異なる。

[松浦精一]

1. ⑮
2. 種々なアスファルトコンクリートを対象とした直接引張り試験結果
3.
 - アスファルトコンクリートの破断時歪に及ぼす混合物因子と環境因子の影響調査。
 - 直接引張テストと間接引張テストの相互関係を求める。
4. 円筒供試体による引張り試験で得られる破断時歪(限界歪)と各実験因子との関係を分散分析により評価。
実験因子——アスファルトタイプ(6種), 骨材粒度(3種), 試験温度(6種), 歪速度(4種)
5.
 1. 限界歪に対しては温度がもっとも有意。歪速度も有意であるが, 実用上の歪速度の変化に対しては $2 \sim 4^\circ\text{C}$ の温度変化と同等。
 2. 骨材粒度が細かいほど, 限界歪大。使用した範囲ではアスファルトの種類は有意ではない。
 3. Van der Poel nomographと骨材体積率から求めた混合物のスティフネスと実験値はかなり良く合う。
6. アスファルト量との関係が不明確で, また骨材粒度変化に対してアスファルト量を同一としている点にやや疑問あり。

分類Ⅰ アスファルト舗装の低温クラック

福 手 勤

1. まえがき

米国の北部やカナダなどのアスファルト舗装において、寒冷地という気象条件による舗装のクラックが以前から問題になっている。この中には路床土の凍結、融解を原因とするものもあるが、それ以外にアスファルトコンクリートの温度収縮が原因と考えられるクラックも多い。後者のタイプのクラックは一般に低温クラック(Low Temperature Cracking)とか温度クラック(Temperature Cracking)と呼ばれる。また舗装の横断方向に発生することが多いため、横断クラック(Transversers Cracking)と呼ばれることもある。

わが国においても、北海道で最近この低温クラックが問題になってきており、北海道大学、北海道開発局土木試験所を中心として調査研究が進められ、菅原¹⁾らによって総括的なとりまとめがなされている。

低温クラックが一度発生すれば、そこから水が浸入することによって支持力の低下を招いたり、クラックの部分が構造上の弱点となったりして舗装の破壊がさらに進行するため、^④低温クラック発生の起因・要因を明らかにしてクラックを防止していくことは非常に大切なことであろう。

本稿は、低温クラックのメカニズム、それに影響を及ぼす要因などを文献調査からとりまとめたものである。なお調査文献としては、アスファルト舗装技術研究グループで読み合わせをしたもの11編の他に、それらの理解を助けるために個人的に追加調査した数編(引用箇所には¹⁾のような書き方で示してある)を含むことを御諒解いただきたい。

2. 低温クラックの特長とそのメカニズム

アスファルト舗装における低温クラックの特長およびそのメカニズムとして考えられるもののうち、代表的な現象には次のようなものがある。

(1) 厳冬期における横断方向のクラックとして発生する。

アスファルト舗装の温度が低下すると、アスファルトコンクリートは収縮しようとする。しかしコンクリート舗装と違ってアスファルト舗装には収縮目地がなく、また路盤との間の摩擦抵抗も大きいいため、アスファルトコンクリートは自由に収縮できず、その中に引張り応力が生じることになる。

一方、アスファルトコンクリートには応力緩和と呼ばれる、一定歪を与えるとそれによって生じる応力は時間とともに減少していくという性質がある。通常温度範囲では、温度低下による引張り応力は、この応力緩和のために減少していき、クラックが問題となるような大きな応力は発生しない。

しかし温度が極端に低くなると応力は緩和しにくくなり、温度低下による応力の増加が応力緩和のスピードを超えて、アスファルトコンクリート中に応力が残留するようになる。この残留応力がアスファルトコンクリートの引張り強度を超える時にクラックが発生することになるものと考えられる。

(2) アスファルトコンクリートの表面からクラックが進行していく。^{1) 2)}

温度下降時におけるアスファルトコンクリートは表面温度の方が底面よりも低いいため、深さ方向の温度勾配によって図-1(a)のようにそろうとする。しかし実際の舗装では路盤とアスファルトコンクリート層は密着していたり、アスファルトコンクリートの自重のために自由にそることができず、その結果図-1(b)のように表面側に引張り応力、底面側に圧縮応力が発生することになる。³⁾このような応力と、(1)で説明したような温度低下によって生じる引張り応力が組み合わさると、表面側に大きな引張り応力を生じ、表面側からクラックが入りやすくなるものと考えられる。

註：第Ⅲ部の各論文中の文章の右肩にある^④は文献番号、¹⁾は筆者の参考文献番号

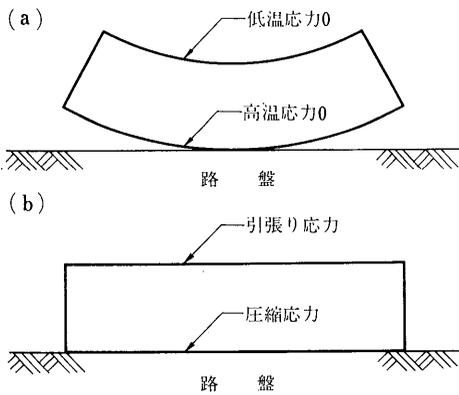


図-1 温度勾配による応力の発生

また、表面近くのアスファルトは内部のものに比較して老化が進み、^③クラックが入りやすい性質になっていることも一つの要因であろう。

(3) クラックは経年的に幅が広がり、その数も増加する。^{②③①)}

低温クラックが発生したアスファルトコンクリート層は、春になって膨張しようとするが、冬と違って温度も高いため路盤摩擦力で拘束されるうちに応力緩和されてしまい、クラックが閉じるに必要な力が生じるまでには至らない。しかし冬になれば再びアスファルトコンクリート層は収縮しようとし、路盤摩擦力が小さければ実際に収縮してクラック幅が広がることになる。^②また路盤摩擦力が大きければアスファルトコンクリートは収縮できず、(1)で述べたような理由で新しいクラックが発生しクラックの数が増加するのである。

以上のように、アスファルト舗装における低温クラックは、温度低下によるアスファルトコンクリートの収縮、応力緩和性状、路盤との摩擦力、温度の低下率、さらにはアスファルトの老化などが相互にからみ合った複雑な現象ということができよう。

3. 低温クラックに影響を及ぼす要因

試験舗装や室内試験から、低温クラックに影響のある要因がいくつか明らかにされている。これらの要因は必ずしも独立しておらず、互いに影響し合っているものも多いが、ここでは各研究者が挙げている要因を列挙していくことにする。

○冬季温度条件

冬季の温度が低いほど低温クラックは発生しやすい。^{④②①)}ある地域の冬季の気象条件を表わす指標としては凍結

指数がよく用いられる。^{②①)}また Hajek ら^④は、10年間で最も厳しかった冬の1月の時間気温で、ある温度よりも下がるのが1%しかないような温度を Winter Design Temperature と名づけて解析に利用している。Hajek ら^④や Fromm ら^②はこれらの温度条件を多変量解析の1変数として考慮し、低温クラック発生頻度の推定に利用している。

○交通量

菅原ら^{①)}によれば1日の交通量が1,000台未満と比較的少ない箇所にクラックの発生が多い。これは交通量が少ないと交通荷重によるニーディング作用に伴う表面の緻密化がそれほど期待できず、アスファルトの老化が進みやすいというのが一つの原因と考えられる。

さらに空港においては、道路以上に交通量の少ない舗装区域が多く存在するので、低温クラックの顕著なところがあるものと推定される。

○アスファルトおよびアスファルトコンクリートに関するもの

(1) 針入度

25°Cにおける針入度が小さいアスファルトを使った箇所ほどクラックが発生しやすい。^{②③②③}このことは多くの研究者によって示されている。これと関連して Mcleod^②は低温クラック防止の観点から、従来の60°Cにおける粘度よりも、25°Cにおける粘度または針入度を用いてアスファルトの分類をした方がよいと提案している。これは60°C粘度で分類すれば同じグレードのアスファルトとみなされても、低温クラックに関係深い25°Cの針入度には大きな幅があるからである。

(2) スティフネス

低温時のスティフネスが大きいほどクラックが発生しやすい。^{④②③}これは同じ熱歪に対しても、スティフネスが大きいほど、発生応力も大きくなるためである。またこれは、アスファルトの老化に伴って低温クラックが発生しやすくなるということの説明でもある。Mcleod^②によれば、表面から5 cmの深さにおけるアスファルトコンクリートのスティフネスを、20,000秒の載荷時間に示して Van der Poel のノモグラムから計算したところ、その値が70,000kg/cm²を超えるとクラックが発生しやすかったという。

また Busby ら^②は、低温クラックを防ぐ設計基準値としてアスファルトコンクリートの曲げスティフネスを17,500kg/cm²とし、スティフネスがこの限界値になる時の温度を室内曲げ試験の結果から推定している。

またスティフネスとは少し異なるが、アスファルトの

Force Ductility Test の結果が参考になるという報告もある。^⑤ この Force Ductility Test とは、ふつうの伸度試験で伸び量とともに変化する引張り力も同時に測定していくものである。これから得られる結果を、横軸に伸び、縦軸にそれに対応する引張り力としてプロットすると、**図-2**のような上に凸の曲線が得られる。この曲線が急勾配でとがった形を示せばそのアスファルトはもろいことになり、これを使った舗装は低温クラックに対して弱くなるといわれる。

(3) 感温性

アスファルトの感温性が大きいほどクラックが発生しやすい。感温性を表わす指標としてよく用いられるものには針入度指数PIがあるが、これ以外にFromm^⑥らによって、15°Cと135°Cそれぞれにおける粘度の比(Viscous Ratio)が用いられ、McLeod^⑦によって25°Cにおける針入度と135°Cにおける粘度の関数である、Pen Vis Numberが提案されている。このPen Vis Numberは多くのアスファルトではPIと同じ値をとる。しかしMcLeodが解析したオンタリオ試験舗装の低温クラックはPIではうまく表わせなかったにもかかわらず、Pen Vis Numberを用いればうまく説明できたという。

いずれにしても、この感温性という性質は低温クラックに関しては非常に重要な要因である。何故ならば常温あるいはそれ以上の温度範囲においてはアスファルトのコンシステンシーは比較的容易に得られるが、低温クラックが問題になるような温度範囲でのコンシステンシーに関しては、測定がむずかしいため、常温における性状と感温性とを組み合わせそれを推定しようとするからである。この意味からすれば、25°Cにおける針入度で低温クラックを議論するのは感温性に大きな差がない場合のみ可能といえよう。この点に関して、Burgess^ら²⁾は試験舗装の結果を解析して、針入度が300~400と大きくても感温性の小さなアスファルトを使用した箇所は、150~200で感温性の小さなものを使った箇所よりもクラック発生温度が高いという結果を得ている。またFromm^ら^⑥は、PIが大きく感温性が小さければ針入度85~100を用いても、針入度300~400を用いたものと同程度の耐低温クラック性状を示すと言っている。

以上のことから、針入度、スティフネス、感温性はそれぞれが独立しているのではなく、相互に関連し合って低温クラックの発生に影響を及ぼしているといえる。

(4) アスファルテン

アスファルト中のアスファルテンの量が少ないほどクラックの数は増加する。^⑧これはアスファルテンの量

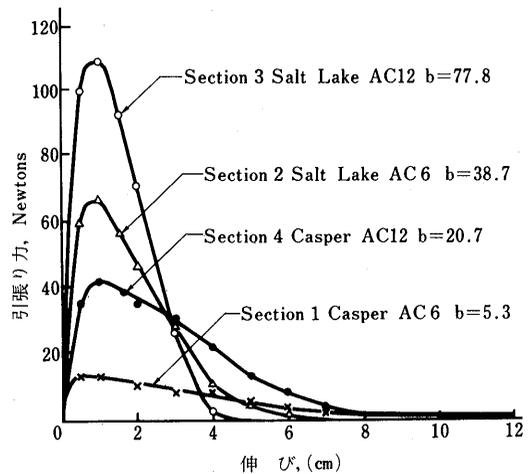


図-2 Force Ductility Test の結果

が少ないとそのアスファルトの感温性が大きくなることに基づいている。

(5) はく離率

アスファルトコンクリートのはく離率が大きいとクラックが発生しやすい。^⑨これは、はく離率が大きいということは骨材間の結合力が弱いことを意味しており、したがってアスファルトコンクリートの引張り強度が小さくなるからである。^⑩また、このはく離現象はアスファルトの老化とも密接な関係があるものと考えられる。

(6) 空げき率

空げき率が小さいほどクラックが発生しやすい。^⑪この点に関しては、ある範囲内では空げき率が小さければアスファルトコンクリートのスティフネスが大きくなるためと説明されている。^⑫しかしながらスティフネスは骨材体積率との関数なので、骨材粒度などの影響も強く受けるものと推定される。また空げき率が小さければ老化の程度は小さくなると言われているので、^⑬それらとの関係も重要になってくるものと考えられる。

(7) #200のふるい通過量

#200通過量が少ないとクラックの発生量が多くなる。^⑭これは、粒径74 μ 以下の粒子が少ないということはファイラーの量が少ないことを意味し、ファイラーが多い時と比較して感温性が大きくなる^⑮ためだと考えられる。さらに、細かい粒度の骨材が少ないと透水性の大きなアスファルト混合物となり、老化も進みやすくなるというのも一つの理由であろう。

また、ファイラーとしてアスベストを混入することも低温クラックを減少させるのに効果があるといわれている。^⑯

(8) アスファルトコンクリート層の厚さ

舗装のアスファルトコンクリート層の厚さがうすいほどクラックが発生しやすい。^{④①}たとえばある試験舗装で他の条件はすべて同一にして、厚さだけを10cmから25cmに変えたところ、低温クラックの数は半分になったという。また凍結指数が約1,000の地域における測定結果によれば、針入度85~100の同じアスファルトを使用しても、アスファルトコンクリート厚が5cmの舗装にはクラックが入ったが14cmの舗装には入らなかったという。^④

(9) 材令

材令の長い舗装ほど、発生しているクラック数も多い。^{④①}アスファルトの老化によるスティフネスの増加や熱応力による疲労のほか、低温に遭遇する機会も多いためであろう。

○路床・路盤の材料の影響

路床材料については Hajek ら^④、菅原ら^①によって、また路盤材料については Fromm ら^②によって論じられているが、アスファルトコンクリートに関連するものよりもその影響ははっきりしないようである。

まず Hajek ら^④は路床材料を粘土、ローム、砂の3つに分け、その上の舗装の低温クラックを解析したところ、Winter Design Temperatureが -40°C にもなるところでは、砂を路床にしている舗装にクラックが多いが、温度条件がそれほどきびしくないところでは顕著な差が現われなかったという。また菅原ら^①も、凍上を起こしにくい砂質土路床上でクラックが多いと指摘している。

また路盤材料に関しては、#200通過量(シルト分)が多いとクラックは少ないが、粘土成分が多いとクラックも多くなるという報告がある。^②またこれらの影響は顕著でない場合もあるという。いずれにしても、路盤材料の粒度が表面の横断クラックに影響を与えるのは、単に温度応力によるというよりも路盤の締固めに関連した交通荷重の効果によるところが大きいようである。^②

4. 低温クラックの室内試験による検討

3. では低温クラックの発生に影響を及ぼす要因を調べてきた。ここでは、それらの要因のうち、室内試験でコントロールしやすい温度とアスファルトコンクリートについての影響を検討するための実験法とその解析法を紹介する。

(1) 温度応力の発生とその大きさ

アスファルトコンクリートを考える時、その中に発生する温度応力は、材料の性質としての緩和弾性率またはスティフネスおよび熱膨脹係数また温度条件としての温度変化率などを用いて計算される。緩和弾性率を用いる粘弾性解析は Monismith ら,³⁾ Christison ら,^④ 重松ら⁶⁾によって行なわれ、またスティフネスを用いる Pseudo-Elastic Analysis (擬弾性解析) は Hills ら,⁷⁾ Burgess ら,²⁾ Christison ら,^④ Shahin ら^⑦らによって行なわれている。スティフネスを用いる計算法は応力緩和の効果を考慮することができないが、Christison ら^④によれば上記の二方法をはりやスラブに適用して実際の道路の低温クラックで検討したところ、はりとしての擬弾性計算は簡便で良い結果を与えたという。これは低温クラックが問題になるような低温領域においては、アスファルトコンクリートの応力緩和がそれほど期待できず、測定精度のことなどを考えると、擬弾性は計算でもよい近似を与えることができることを示唆している。

ところで、このような温度応力の計算に用いられるスティフネスの計算には、Van der Poel のノモグラフがよく利用される。ノモグラフの利用に際して載荷時間を仮定する必要があるが、温度変化による応力計算では、交通荷重による応力計算と違って載荷時間の物理的意味が明確でない。このため載荷時間として、Burgess ら²⁾は30分、Hills ら⁷⁾は1時間、また Christison ら^④は2時間を考えるなど、各研究者によって種々の値が取られている。ところが載荷時間が異なればスティフネスが変わり、また応力計算の時間間隔も変化するため、得られる温度応力も図-3のようにその影響を受けることになる。^④これらに対し、Shahin ら^⑦はこの点を合理的にしようと図-4に示すようにいろいろな載荷時間に対応するスティフネスを用いて応力を計算し、さらに室内試験からアスファルトコンクリートの供試体中に発生する温度応力を実測して両者の値が等しくなるような載荷時間を選んで解析に利用している。

次にアスファルトコンクリートの供試体に発生する温度応力は Monismith ら,³⁾ Tuckett ら,⁸⁾ 重松ら,⁶⁾ Shahin ら^⑦によって実測されている。図-5は Tuckett ら⁸⁾によって用いられた応力測定用の装置で、温度変化による供試体の歪を拘束し、生じた応力による金属棒の歪変化を読み取るようになっている。

重松ら⁶⁾はアスファルト量が多いと供試体中に発生する応力も大きいという結果を得ており、その理由として、アスファルト量が多いほど熱膨脹係数が大きくなるにもかかわらず緩和弾性率はそれほど小さくなら

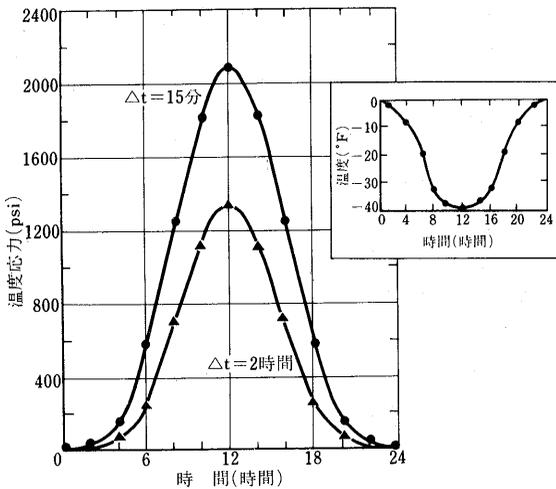


図-3 温度応力の計算に及ぼす時間間隔の影響

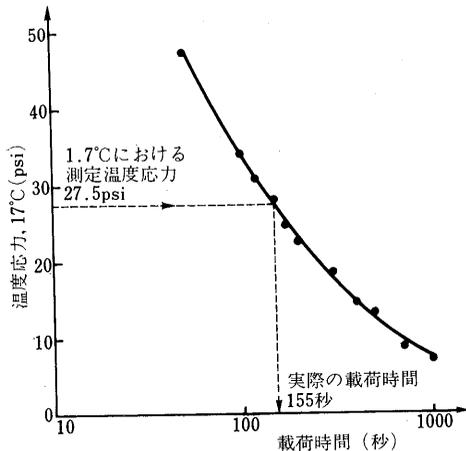


図-4 温度応力計算のための荷荷時間の推定

ないことを挙げている。また Tuckettら⁸⁾はアスファルト量が少ないほど温度応力は大きくなると言っている。これは周期的な温度変化によってアスファルトが老化しスティフネスが増加するため、アスファルト量が少ないほど老化しやすいのがその原因だとしている。

アスファルト量に関するこれら二つの実験結果は、一見異なるように見えるが、これは単一の温度応力と繰返し温度応力という実験条件の違いによるもので、本質的には矛盾するものではないと考えられる。

実際の舗装における、アスファルトコンクリート中に発生する温度応力は、路盤との間の摩擦性状に左右されることが予想されるので、詳細な議論のためにはこの方面からの研究も必要であろう。

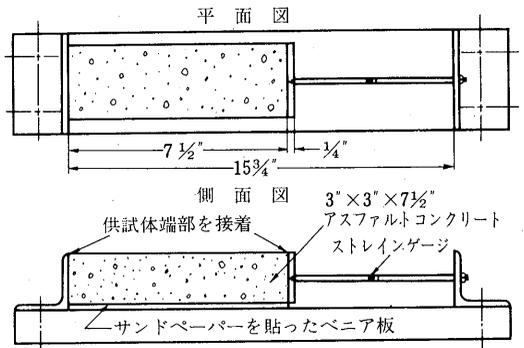


図-5 温度応力測定装置

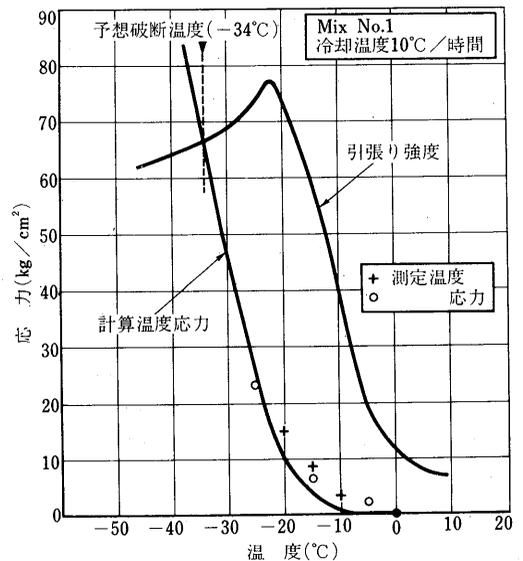


図-6 破断温度の推定

(2) アスファルトコンクリートの強度

低温クラックの解析に用いられるアスファルトコンクリートの強度は引張り試験⁶⁾や、Heukelom⁹⁾によって提案されているアスファルトのスティフネスと混合物の引張り強度の関係などから得られる。^{2) 7)} いろいろな温度での強度と、(1)で説明したような計算法から得られる発生温度応力とを、横軸に温度をとってプロットすると図-6のようになる。2つの曲線の交点、つまり強度と応力が等しくなるところでクラックが発生する。

ところでアスファルトコンクリートの強度が試験時の歪速度の影響を大きく受けることはよく知られている。熱応力に対応する歪速度は、熱膨脹係数と温度変化率から計算できるが、いまアスファルトコンクリートの熱膨脹係数を $2.2 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ 、温度変化率を 10°C/hr とすれば、²⁾ その歪速度は $220 \times 10^{-6} \text{ /hr} = 0.06 \times 10^{-6} \text{ /sec}$ と非常に小さくなる。引張り試験は通常もっと大きな

歪速度で行なわれているが、もしここで計算されたような歪速度で実験を行なえば強度～温度曲線は温度軸に沿って低温側に移動することになり、図-6の交点で表わされるクラック発生温度もいくらか低温側に移動することになる。このようなことから、実験的に強度～温度曲線を作る時は、歪速度に留意することも大切であると推定される。

またHeukelomのスティフネス～引張り強度の関係⁹⁾を用いる時も同様のことが言える。つまり Heukelomによればアスファルトコンクリートの引張り強度はアスファルトのスティフネスによって変化するが、そのスティフネスをノモグラムから読み取る時には載荷時間の影響を受けることになり、(1)で説明したことと同様の問題が強度に関してもあてはまることになる。

(3) 熱応力による疲労

(2)で示したのは単一の温度応力による破壊現象であるが、実際の舗装においてはそれほど大きくない温度応力が繰返して作用する疲労の効果もまた重要な要素である。熱応力による疲労現象については、Tuckettら⁸⁾によって実験的に確認され、またShahinら^⑩によって理論的に解析されている。

Tuckettらによる研究は、図-5に示した熱応力測定用の装置にアスファルトコンクリートの供試体をセットし、46°Cから-9°Cまでの温度変化を周期6時間で100サイクルまでかけたものである。この結果、熱作用の回数の増加とともに発生応力も増加し、途中でクラックが生じたものもあった。著者らはこれを熱応力による疲労のためだとしている。

またShahinら^⑩は、熱応力による疲労現象は一定応力による疲労というよりも一定歪による疲労だと述べて、マイナーの仮説を用いて理論的な解析を試みている。ここでマイナーの仮説とは、ある一定の歪レベル ϵ による構造物の疲労寿命を N とした時、 ϵ が n ($\leq N$)回作用した時の構造物のダメージは n/N で表わされ、いろいろな歪レベルに対応するこのダメージの総和が1になった時にその構造物は疲労破壊をするという仮説である。Shahinらはこの熱疲労によるクラックと、(2)で示した単一温度応力によるクラックの和が実際の舗装に発生するクラックの数であるとし、さらに確率、統計手法も利用することによって単位面積当たりのクラック長さを計算している。また、このようにして得られた値は、実際の舗装に発生したクラックの様子をよく表わしているとしている。

アスファルトコンクリートの熱応力による疲労現象はまだあまり研究されておらず今後の研究に負うとこ

ろが大きい。また、実際の舗装においては温度以外の複雑な環境条件によるアスファルトの老化も無視し得ないところであり、今後疲労の問題とともに解明していく必要があるものと考えられる。

5. あとがき

低温クラックについて文献調査を行なってきたが、考えられる要因のうち人為的なコントロールの容易なものはアスファルト層の厚さと使用アスファルトのタイプであろう。このうちアスファルトのタイプという面から見れば低温領域における粘度が小さく、しかも材令の増加に伴う老化の少ないアスファルトが基本的に望ましいことになる。

低温領域の粘度に関しては、一般に針入度が大きく感温性の小さなアスファルトを用いることによって満足される。また老化速度に関しては、Clarkら^⑪はエアブローンタイプのアスファルトを用いることによって老化速度が遅くなり、試験舗装の低温クラックに良い効果を与えていると報告している。ブローンタイプのアスファルトは一般に60°C粘度が大きくなり、わだち掘れ対策にも有効だといわれているので、わが国のような気象条件のもとでは、この方面からの検討の価値もありそうである。

また低温クラックと同様な原因で発生するといわれるものに、アスファルト舗装の目地切れ現象がある¹⁰⁾これは、低温クラックが発生する気象条件よりもかなり温暖な地域においてもひんぱんに見られる現象であるが、低温クラックの研究と類似の手法が利用できる部分もかなりあると思われる。

最後に、温度応力によるアスファルト舗装のクラックに関して、今後明らかにしていく必要があると思われる事項には、

- (1) 路盤によるアスファルトコンクリートの拘束の影響
- (2) アスファルトコンクリートの熱疲労および老化による性状の変化

などが挙げられる。その他にも今後検討すべきことはいくつかあるが、屋外舗装でのきめ細かな観察に期待する点も多いだけに、数多くの機関による調査報告が待たれるところである。

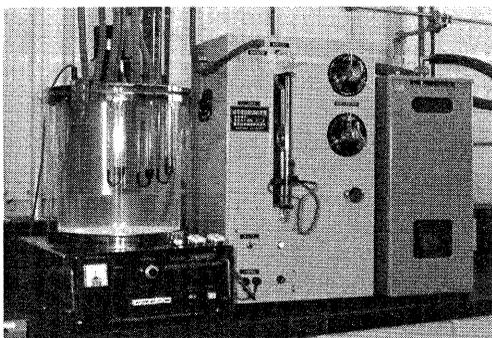
参考文献

- 1) 菅原照雄, 久保 宏, 森吉昭博: 寒冷地舗装に発生する横断方向のひび割れ, 道路, 1978年8月, pp. 37~40
- 2) Burgess, R. A., O. Kopuillet, F. D. Young: Ste.

- Anne Test Road —— Relationships between Predicted Fracture Temperature and Low Temperature Field Performance, AAPT, Vol. 40, 1971, pp. 148~193
- 3) Monismith, C. L., G. A. Secor, K. E. Secor : Temperature Induced Stresses and Deformations in Asphalt Concrete, AAPT, Vol.34, 1965 pp. 248~285.
4. 松野三朗, 山下弘美 編: 舗装技術の質疑応答, 第1巻, 建設図書, 1972年, pp. 77~82.
- 5) 日本道路協会編: 道路用語辞典, 丸善, 1977年, pp. 533
- 6) 重松和雄, 檜原 健, 内藤 匠: アスファルトフェーシング工法の開発研究(その4)——フィルダム表面アスファルト遮水壁の温度応力について——鹿島建設技術研究所年報, 第21号, 1973年, pp. 27~42.
- 7) Hills, J.F., D. Brien : The Fracture of Bitumens and Asphalt Mixes by Temperature Induced Stresses, AAPT, Vol. 35, 1966, pp. 292~306
- 8) Tuckett, G. M., G. M. Jones, G. Littlefield : The Effects of Mixture Variables on Thermally Induced Stresses in Asphaltic Concrete, AAPT, Vol. 39, 1970, pp. 703~744.
- 9) Heukelom, W. : Observations on the Rheology and Fracture of Bitumens and Asphalt Mixes, AAPT, Vol.35, pp. 358~399.
- 10) 森吉昭博, 堀尾哲一郎, 菅原照雄: アスファルト舗装の施工ジョイントに関する研究, 石油学会誌, 第16巻, 第8号, 1973, pp. 46~51.

日本アスファルト協会試験方法 JAA-001-1978. 石油アスファルト絶対粘度試験方法 Testing Method for Absolute Viscosity of Asphalt

- | | |
|--------------|-----------------------|
| 1. 適用範囲 | 5-1-1. 粘度計校正用標準液による方法 |
| 2. 試験方法の概要 | 5-1-2. 標準減圧毛管粘度計による方法 |
| 3. 用語の意味 | 6. 試料の準備 |
| 3-1. 絶対粘度 | 7. 操作 |
| 3-2. ニュートン流体 | 8. 計算および報告 |
| 4. 装置 | 9. 精度 |
| 4-1. 粘度計 | 9-1. くり返し精度 |
| 4-2. 温度計 | 9-2. 再現性 |
| 4-3. 恒温そう | |
| 4-4. 減圧装置 | |
| 4-5. 秒時計 | |
| 5. 校正 | |
| 5-1. 粘度計の校正 | |



中 中

アスファルト舗装要綱—昭和53年改訂版 7-6
特殊材料にセミブローンアスファルトの規格(表7-8)が掲載されております。表中に、
試験方法は、日本アスファルト協会試験法規格 JAA-001(石油アスファルト絶対粘度試験方法)による
とあります。

別項のとおり、本協会では、昨年より専門部会において、照合試験を行い、試験法を制定致しました。ご希望の方は、本協会までお申込み下さい。

実費頒価 300円 送料 100円

申込先 社団法人 日本アスファルト協会
東京都港区虎ノ門2丁目6番7号
〒105 電話 (03)502-3956

分類Ⅱ アスファルト舗装の疲労クラック

田井文夫

1. まえがき

アスファルト舗装の疲労破壊とは交通荷重のくり返し荷重によって生じるクラックによる破壊のことであり、1948年にHveem¹⁾が初めて指摘した。その後、多くの研究者がこの問題を舗装材料の配合設計および構造設計に組み入れるために努力してきている。

本文はアスファルト舗装技術研究グループでとりあげた論文のうち、特に重要と考えられるMonismithら、Pellら、Dijkらの研究を中心に、とりまとめたものである。また本文は、図-1のKasianchukら²⁾の開発した疲労破壊を最小にする設計サブシステムからみれば、①アスファルト混合物の疲労寿命に与える要因の影響、すなわち基本的な疲労性状に関する研究、②構造設計上の設計基準（一般に歪で示す）に関する研究、③疲労寿命の予測に関する研究について述べたものである（上記①、②、③は図-1の①、②、③に対応してい

る）。

Monismithら、Pellら、Dijkらの研究結果を要約すると次のようになる。

(1). Monismithらの研究^{3), ④, 7), 8)}

Monismithらは載荷方法（試験機の相違）によって同じ混合物でも疲労性状が異なること、厚いアスファルト層(6in.以上)には応力制御の結果が、薄い層(2in.以下)には歪制御の結果がそれぞれ適しており、前者はスティフネス（時間と温度の関数としての応力と歪の比）が増加するほど、後者は減少するほど疲労寿命（破壊までのくり返し回数で示す）が増加することを示した。

(2). Pellらの研究^{⑤, 4), 6), 9)}

Pellらは、疲労寿命（応力制御）は振動数の増加、温度の低下、軟化点の上昇とともに増加することを示し、バインダー量（容積%）と軟化点にもとづく室内

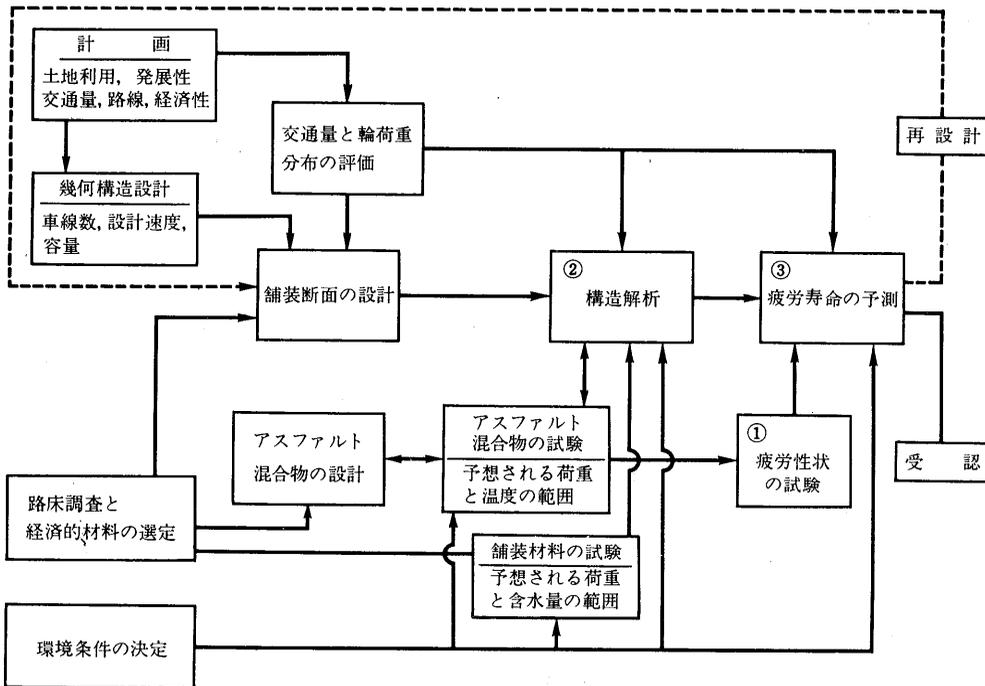


図-1 疲労サブシステムのブロックダイアグラム²⁾

疲労寿命の予測式を示した。

(3). Dijkらの研究^{⑩, 12)}

Dijkらは、実際の道路での条件にシミュレートしたホイールトラッキング試験(以下WTT)を開発し、WTTでみられたクラック伸長過程が実際のそれに似ていることや設計基準に歪制御の結果が適切なことを示した。また消失エネルギーの概念を利用すれば制御方式、温度、振動数、アスファルト針入度に左右されない各混合物に特有な関係として疲労性状を特性化できることを示した。(この結果はShellの設計方法¹³⁾にとり入れられている。)

主な研究者の研究結果は上記のとおりであるが、本文では、これらの内容を以下の項目に分けて考察することにする。

1). 疲労性状に影響を与える要因

疲労性状を支配する要因を荷重、環境、混合物の3つに分類し、各研究者が研究にとりあげている要因についてまとめて示す(2.参照)。

2). 試験方法と評価方法

各研究者が使用している試験方法(制御方式、載荷

方法など)と供試体の破壊基準(完全な破壊、クラックが表面を横切った時など)、すなわち疲労寿命の定義を示す(3.参照)。

3). 試験方法に関する問題

載荷方法の異なる結果の比較、制御方式と疲労寿命の関係、アスファルト層厚に関係つけた制御方式の選定方法、制御方式に左右されない消失エネルギーによる疲労性状の特性化について示す(上記Monismithらの研究、Dijkらの研究および4.参照)。

4). 疲労寿命に与える要因の影響

疲労寿命に与える要因の影響は、スティッフネスの増減でかなり説明できること、また主要な要因の変動幅とそれに対する疲労寿命の変動幅を示す。アスファルト針入度、アスファルト量、空隙率、温度、載荷および休止時間の影響が比較的大きいことを示す(5.参照)。

5). 疲労寿命の予測

室内疲労寿命予測方法として、バインダー量(容積%)と軟化点による方法と消失エネルギーによる方法について示す。現場疲労寿命の予測方法として、室内試験結果に不連続な荷重の載荷、歪の分布、温度変化

表-1 疲労要因、試験方法、疲労寿命の定義

要 因		要 因 の 変 動	Monismith ³⁾	Pellら ^{⑩)}	Pellら ^{⑪)}	Dijk ^{⑫)}	DiJk ¹²⁾	Raithbyら ^{⑬)}	Maupin ^{⑭)}	Venstraetenら ^{⑮)}	Jimenezら ¹⁰⁾
荷	載荷方法 (試験機種類)	ビームの曲げ	○(注-2)				○	○			
		回転片持ちばりの曲げ		○							
		片持ちばりの曲げ				※1	○(角れ台)			○(角れ台)	
		円板の曲げ									○
		円柱の引張り-圧縮			○				○		
		角柱の引張り-圧縮									
		版上のタイヤ走行					○				
重	制方式	応力制御	○	○		○	○	○	○	○	○
		歪制御									
		単一載荷	○	○	○		○	○	○	○	○
		複合載荷									
環	周囲環境	サイン波		○	○	○	○	○	○	○	○
		ブロック波	○								
		ハーバーサイン波									
		連続載荷(休止時間無)	振動数 低~高		○	○、*	○	○、-(注-2)		○	○
境	載荷時間	不連続載荷(載荷および休止時間)	休止時間 小~大	○			○	○、+			
		応力および歪レベル	高~低	+(注-2)	+	+	+	+	+	+	+
		温度	高~低			*		-	+		+
		水									
混	アスファルト	供用中の材料特性の変化	オリジナル~老化						-		
		針入度	高~低	+		*					+
		軟化点	低~高		+						
		アスファルテン量	低~高								+
合	骨	粒 度	密粒範囲内の上限~下限	* (注-2)							
		種 類	花こう岩~石灰岩~破碎した砂利	*							
			砕石~砂利		+						
		表面性状	スムース~ラフ	+							+
物	混合物	アスファルト量	低~高	+(最大値もつ)	+	+(最大値もつ)					
		空げき率	高~低	+	+						
		スティッフネス	低~高	+	+					-	
		疲労寿命(くり返し回数で示す)の定義(注-1)		A	A	C	※2	D	D	A	B

(注-1) 疲労寿命の定義のA~Eは次のとおりである。

A: 供試体が完全に破断したとき、 B: 供試体表面をクラックが横切ったとき、 C: スティッフネスが初期値の60%に低下したとき、 D: 応力(歪)が初期値の50%(2倍)に低下(増加)したとき、 E: たわみが急激に増加したとき(たわみ~くり返し回数の関係図から求める)。

(注-2) 表中の○印は各研究者が使用した試験方法を示す。+印、-印は、要因の変動に対し、疲労寿命がそれぞれ増加、および減少することを示す。また*印は、ほとんど影響されないことを示す。

の影響に対するそれぞれの補正係数を使用し、室内と現場を相関づける方法、合理的な疲労設計基準（疲労直線で示す）を開発し、温度変化の影響を考慮し、材料、歪の変化を確率論的にとらえる方法（開発中）について示す（6.参照）。

2. 疲労性状に影響を与える要因

混合物の疲労性状に影響を与える要因は非常に多いが、ここでは Monismithら⁸⁾の作成した要因一覧を参考に、これら要因を荷重、環境、混合物に分類して表-1に示す。

(1). 荷重要因

荷重要因には荷重方法、制御方式、荷重履歴、載荷時間、応力または歪レベルがある。制御方式は応力および歪制御の2方式であり、荷重方法はビームの曲げ、荷重履歴は単一載荷、応力波形はサイン波によるものが多く、載荷時間と応力または歪レベルを変化させて疲労性状を研究している。

(2). 環境要因

環境要因には温度、水、供用中の材料特性の変化がある。しかし、現状では温度の影響についての研究がほとんどである。

(3). 混合物要因

混合物要因にはアスファルト（針入度、軟化点、アスファルテン量）、骨材（粒度、タイプ、表面性状）、混合物（アスファルト量、空げき率、スティフネス）などがあり、各要因について研究が行なわれている。

3. 疲労試験方法と評価方法

各研究者の採用した試験方法および供試体の破壊基準（疲労寿命の定義）は2.の疲労要因とともに表-1の下欄に示す。研究者によって種々の試験方法、評価

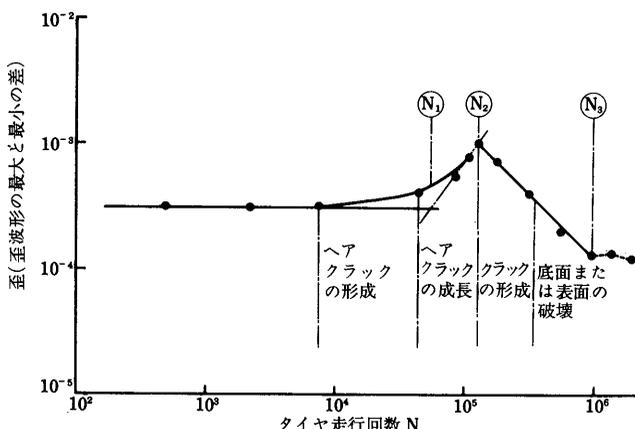


図-3 WTTによるクラック伸長過程^②

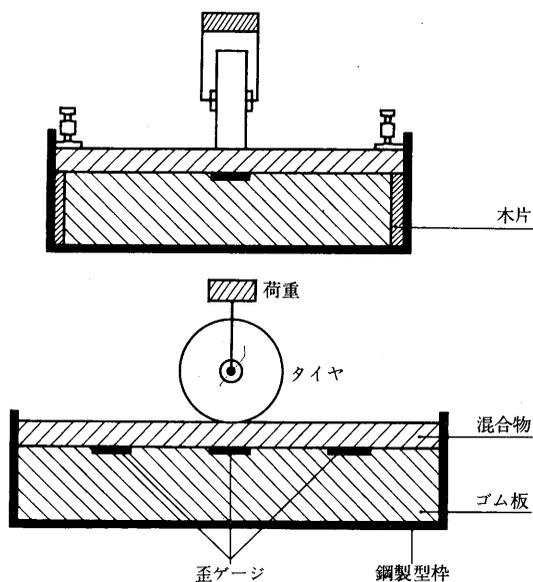


図-2 ホールトラッキング試験機^②

方法が使用されていることがわかる。

例えば、Monismithら³⁾、Pellら^④は、それぞれビームの曲げ、回転片持ちばりの曲げで実験を行っている。これに対し、Dijk^⑤は、前者らの結果は材料の相対的な疲労寿命の大小を示すが、現場における荷重状況下の疲労性状と関連づけられる結果は得がたいと考えた。そこで、実際の荷重状態にシミュレートさせたWTTを考案した(図-2)。疲労性状は供試体底面の歪ゲージで歪(歪波形の最大と最小の差)を測定し評価した。供試体のわだち部の上下面を白く塗り、定期的に観察(写真撮影)し、クラック伸長過程と歪の関係から疲労寿命を定義した(図-3)。すなわち、 N_1 段階前にヘアクラックが発生し、 $N_1 \sim N_2$ 段階の間でヘアクラックが徐々に成長し、 N_2 段階で本当のクラックとなり、 N_3 段階では底面または表面の全体的な破壊となる。また設計基準に組入れるには $N_1 \sim N_2$ 段階ではパフォーマンスにまだ影響を与えないと考えられるので、 N_2 段階を選定するのが实际的であるとしている。

4. 試験方法に関する問題

ここでは試験方法上の重要と考えられる問題点のうち、荷重方法と制御方式について述べることにしたい。

(1). 荷重方法

1). Monismithらの研究³⁾

MonismithらはPell⁴⁾の研究結果との比較を行った(図-4)。これは、ビームと回転

片持ちばりの曲げの比較である。Monismithらは統計的解析を行った結果、2つの疲労直線の傾きは等しいという仮定が有意水準95%で棄却されることを示し、疲労性状が載荷方法によって異なることを明らかにした。

2). Dijkの研究^②

DijkはWTTとビームの曲げ試験(応力および歪制御の両方)の結果を比較した(図-5)。両者の歪は定義が異なるので、スティフネスにもとづいて比較した。その結果、疲労寿命は応力制御では、ほぼクラック発生時点、歪制御では、ほぼ本当のクラックの形成の時点をそれぞれ表わし、後者は、疲労寿命の多くの部分がクラック伸長に費やされていることを示した。

(2). 制御方式

制御方式は疲労寿命に大きな影響を与えるといわれている。一般に、応力制御では混合物のスティフネスが増加するほど疲労寿命は増大し、歪制御では逆の結果となる(表-3)。したがって制御方式の選定は、ある制御方式で得た結果の適用方法とともに重要な問題となる。

この問題に対し、Hicks⁵⁾やMonismithら^④はアスファルト層厚に関係づけた制御方式の選定方法を示した。一方、Dijkら^{②,12)}は制御方式に左右されない消失エネルギーによる疲労性状の特性化を報告している。

1). アスファルト層厚と制御方式

Hicks⁵⁾は三層構造に弾性理論を適用し、次の結果を得た。表層底面の引張り歪は厚さ1inの場合、表層スティフネスにあまり影響されず(図-6)、一方、表層底面の引張り応力は厚い層になると比較的スティフネスに影響されない傾向にある(図-7)。この結果から、Hicksは薄いアスファルト層には歪制御が、厚い層には応力制御が適していると提案した。

また、Monismithら^④はHicksと同様に制御方式とアスファルト層厚およびスティフネスを関係づけ、次のような結論を導き出した。まず最初にMonismithらは(1)式で示すモードファクターMFを導入し、2つの制御方式の定量化を試みた。

$$MF = \frac{|A| - |B|}{|A| + |B|} \dots\dots(1)$$

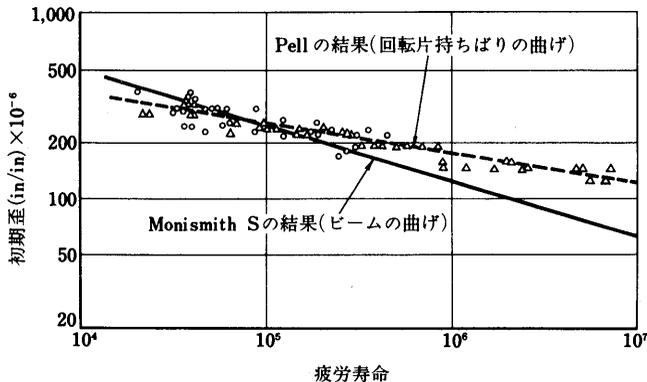


図-4 疲労寿命に与える載荷方法の影響³⁾

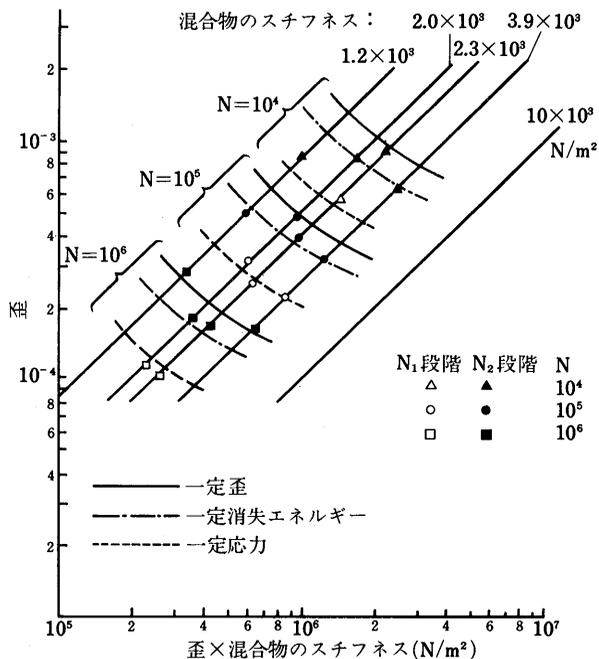


図-5 疲労寿命に与える載荷方法の影響^②

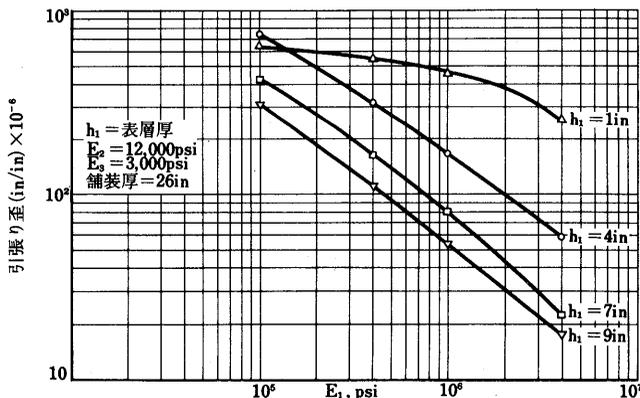


図-6 表層スティフネスおよび厚さと引張り歪の関係⁵⁾

ここに、A：スティフネスの減少C%による
応力の変化%

B：スティフネスの減少C%による
歪の変化%

C：スティフネスの減少%（任意の
一定な値とする）

(1)式からわかるように応力制御ではMF = -1, 歪制御ではMF = +1となる。次にアスファルト表層厚と、スティフネスの変化によるMFの変化を三層構造に弾性理論を適用して求めている。結果の一例を図-8に示す。MFは図-8より、表層厚およびスティフネスが小さくなると、MF = +1となり、歪制御となるのがわかる。一方、表層厚およびスティフネスが増加すると、MF = -1の方に、つまり、応力制御に近づいていくことがわかる。

さらに、路盤のスティフネスを変化させ、上記と同様な解析を行ない、路盤のスティフネスが大きくなると図-8中の3本の曲線がMF = +1の方にシフトすることを見いだした。これらの結果から、Monismithらは歪制御は、表層と路盤のスティフネス比がそれほど大きくなく、通常的环境条件下で2in.以下の薄い層に、一方応力制御はスティフネス比が大きく、通常的环境条件下で6in.以上の厚い層に適用するとよく、両者の中間的な層厚のものは中間的な方式が妥当という結論を導き出した。

2). 消失エネルギーによる疲労性状の特性化

Dijk^②の消失エネルギーの概念は次のとおりである。サイン波によるビームの曲げ疲労試験（応力および歪制御の両方）における消失エネルギー W_0 （1サイクル当り、単位体積当り）は(2)式となる。

$$W_0 = \pi \cdot \sigma_0 \cdot \epsilon_0 \cdot \sin \phi \quad \dots\dots\dots(2)$$

ここに、 σ_0 ：応力の振幅

ϵ_0 ：歪の振幅

ϕ ：応力と歪の間の位相角

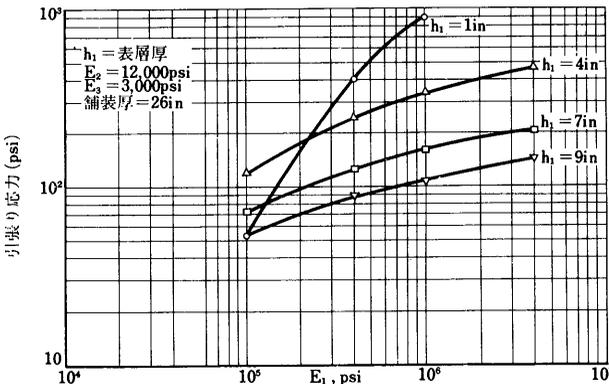


図-7 表層スティフネスおよび厚さと引張り応力の関係⁵⁾

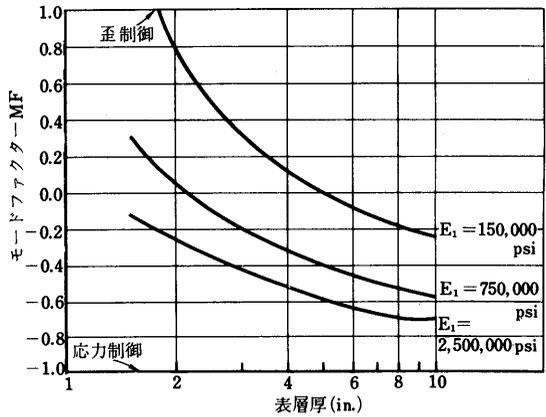


図-8 モードファクターと表層厚の関係^④
($E_2=10,000\text{psi}, E_3=4,000\text{psi}, h_1+h_2=28\text{in}$)

くり返し回数がある間隔に分け、間隔 N_i における消失エネルギー W_i は、応力、歪、位相角のそれぞれ平均値 $\bar{\sigma}_i, \bar{\epsilon}_i, \bar{\phi}_i$ を使用し(3)式となる。

$$W_i = \pi \cdot N_i \cdot \bar{\sigma}_i \cdot \bar{\epsilon}_i \cdot \sin \bar{\phi}_i \quad \dots\dots\dots(3)$$

したがって疲労寿命までの単位体積当りの消失エネルギー W_{fat} は(4)式となる。

$$W_{fat} = \sum_{i=1}^n W_i \quad \dots\dots\dots(4)$$

この W_{fat} と疲労寿命の関係は図-9のとおりであり、(5)式で表わされる。

$$W_{fat} = A N_{fat}^Z \quad \dots\dots\dots(5)$$

ここに、 N_{fat} ：疲労寿命

A, Z：混合物の定数

Dijkは(5)式の関係で制御方式、振動数、温度に左右されないうで疲労性状を特性化できることを示した。また、Dijkら¹²⁾は、世界各国の代表的なアスファルト混合物の疲労性状を消失エネルギーで特性化し、

(図-10、表-2)、疲労寿命までの消失エネルギーはエネルギーの供給速度に依存すること、すなわち1サイクル当りの消失エネルギーが多くなるほど疲労寿命が小さくなることを示した。

5. 疲労寿命と要因の影響

疲労寿命に影響を与える要因は表-1に示すように非常に多い。その中でも、疲労寿命に比較的大きな影響を与える要因は、載荷時間、温度、アスファルト針入度、アスファルト量、混合物の空隙率およびスティフネスである。

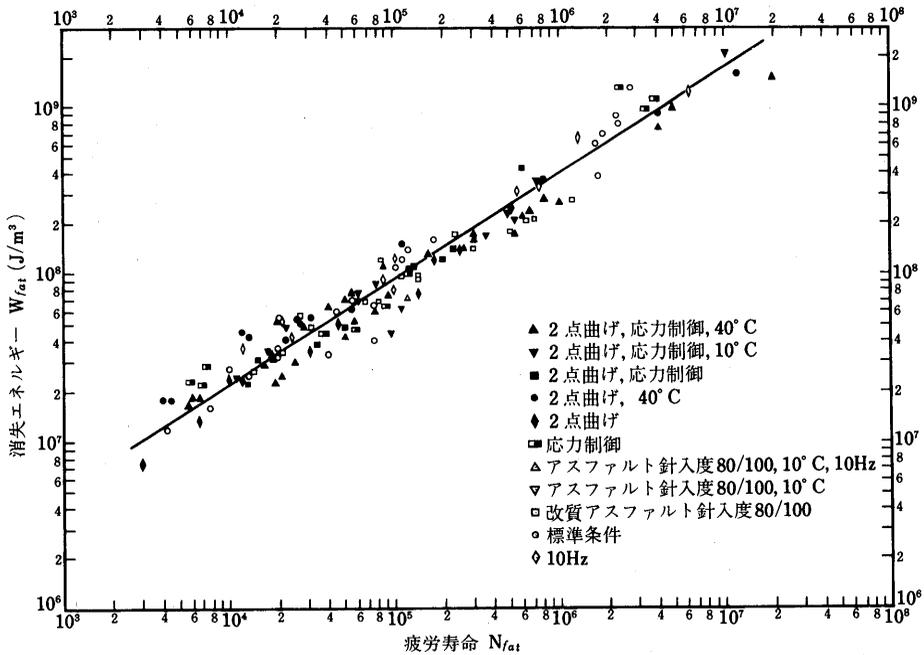


図-9 消失エネルギーと疲労寿命の関係^⑩ (標準条件は3点曲げ, 歪制御, 20°C, 50Hz, アスファルト針入度40/50, 他は図中に示す)

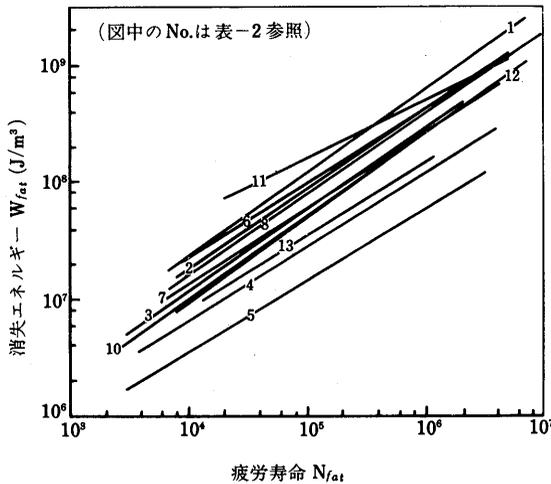


図-10 消失エネルギーと疲労寿命の関係¹²⁾

一般に各要因の疲労寿命への影響は次のような考え方で説明されている^⑩。要因が変化するとスティフネスも増減を生じる。次にスティフネスの増減は、引張り歪または応力の大きさに影響を与え、その結果、疲労寿命が増減する。

上記のようなスティフネスおよび疲労寿命への要因の影響は表-3に示すとおりであり、この表は配合設計の際の材料選定のおおよその目安を与える。すなわち、疲労問題からみて、2in.以下のアスファルト層は、

表-2 $W_{fat} = A N_{fat}^Z$ の混合物定数AとZ¹²⁾

混合物No.	A (J/m ²)	Z	混合物の種類
1	3.02×10 ⁴	0.718	アスファルトコンクリート(カリフォルニア州)
2	3.13×10 ⁴	0.691	リーンサンドアスファルト
3	1.88×10 ⁴	0.697	デンスピチュメンマカダム
4	1.81×10 ⁴	0.637	グラベルサンドアスファルト(オランダ)
5	1.28×10 ⁴	0.610	リーンピチュメンマカダム
6	6.46×10 ⁴	0.630	デンスアスファルトコンクリート
7	2.89×10 ⁴	0.662	デンスピチュメンマカダム
8	2.48×10 ⁴	0.699	ロードアスファルト(ベースコース用)
10	1.48×10 ⁵	0.706	グレイヴピチュメン(フランス)
11	4.68×10 ⁴	0.503	リッチサンドシート
12	1.20×10 ⁴	0.716	グラベルサンドアスファルト(オランダ)
13	2.14×10 ⁴	0.642	ピチュメンサンド(ベースコース用)

スティフネスの比較的低い混合物が望ましく、6in.以上の厚い層は、極端にブリットルとならない範囲でスティフネスの高い混合物が望ましいということになる^⑩。また5.1~5.3に示す研究結果にもとづいて作成した要因の変動幅とそれに対する疲労寿命の変動幅を表-4に示す。

荷重、環境および混合物要因の影響は以下のとおりである。

(1). 荷重要因の影響

1). 応力レベルおよび歪レベル

与えた応力（または歪）の増加は疲労寿命を減少させ、その間の関係は両対数軸上で直線関係となり、(6), (7)式で示される。この関係式は疲労特性の基本的な表示方法として使用されている。

$$N = k_1(1/\sigma)^{n_1} \dots\dots\dots(6)$$

または

$$N = k_2(1/\epsilon)^{n_2} \dots\dots\dots(7)$$

ここに、N：疲労寿命

σ ：与えた応力または生じた初期応力

ϵ ：与えた歪または生じた初期歪

k_1, k_2 ：定数（疲労直線の位置を決める）

n_1, n_2 ：疲労直線の傾き

2). 載荷時間

①. 連続載荷（休止時間無）

Pellら⁹⁾（応力制御，サイン波）は振動数80→2,500rpmの増加は、スティフネスの増加となり、疲労寿命が増加することを示した。

②. 不連続載荷（休止時間有）

Monismithら^{7),8)}（載荷時間 0.1sec）は、振動数3→30rpm（休止時間19.9→1.9sec）の増加に対し、疲労寿命は影響されないこと、また振動数30→100rpm（休止時間1.9→0.5sec）の増加に対し、疲労寿命は約20%減少すると報告している。

Raithbyら^⑧（応力制御，サイン波）は、載荷時

表-3 アスファルト混合物のスティフネスおよび疲労寿命に与える要因の影響^④

要 因	要因の変動	要因の変動による影響		
		スティフネス	応力制御の疲労寿命	歪制御の疲労寿命
アスファルト針入度	減 少	増 加	増 加	減 少
アスファルト量	増 加	増 加 ^(注-1)	増 加 ^(注-1)	増 加 ^(注-2)
骨材表面性状	ラフな表面や角ばり形状の増加	増 加	増 加	減 少
骨 材 粒 度	開粒～密粒	増 加	増 加	減 少 ^(注-4)
空 げ き 率	減 少	増 加	増 加	増 加 ^(注-4)
温 度	減 少	増 加 ^(注-3)	増 加	減 少

(注-1) 安定性からみて必要なアスファルト量より多いアスファルト量で最適となる。

(注-2) データ数が少ない。スティフネスの増加とアスファルトの歪の減少という相反する条件から推定される。

(注-3) 0℃以下の温度で上限値に近づく。

(注-4) データ数が少ない。

間0.4secで休止時間が0→0.8secに増加すると、疲労寿命が約5倍に増加することを見いだした。

Dijkら¹²⁾は、Raithbyらの研究に注目し、休止時間の影響について詳細な研究を行い、次の結果を得た。休止時間の増加とともに疲労寿命が連続載荷の場合の最大約10倍まで増加する(図-11)。その増加割合は、混合物のタイプ(密粒または開粒)や温度に依存する。Dijkらはこの結果を室内と現場疲労寿命を相関づけるのに使用している(6.参

表-4 疲労寿命と要因の影響

要 因	要 因 の 変 動	疲労寿命の変動	研 究 者	
載 荷 時 間	連 続 載 荷 80 ~ 2,500rpm	0.2 ~ 15×10 ⁴	Pellら ⁹⁾	
	不 連 続 載 荷 載荷時間 休止時間	0.04sec. 0~0.08sec.	4 ~ 16×10 ⁴	Raithbyら ^⑧
		0.4sec. 0~0.8sec.	1.9 ~ 9.2×10 ⁴	Raithbyら ^⑧
		0.025sec. 0~0.625sec.	26 ~ 215×10 ⁴	Dijkら ¹²⁾
温 度	0 ~ 30℃*	3 ~ 800×10 ⁴ *	Pellら ⁶⁾	
	30 ~ 0℃	0.1 ~ 800×10 ⁴	Pellら ⁹⁾	
アスファルト針入度	92 ~ 33	10 ~ 100×10 ⁴	Monismithら ³⁾	
	49 ~ 114 *	0.4 ~ 10×10 ⁴ *	Santuccuら ¹¹⁾	
アスファルト軟化点	43 ~ 58℃	1 ~ 10×10 ⁴	Pellら ^⑨	
骨 材 粒 度	密粒範囲の上限～下限	ほとんど影響されない	Monismithら ³⁾	
骨 材 タ イ プ	花こう岩～玄武岩	ほとんど影響されない	Monismithら ³⁾	
	碎石(As=4.7%)～砂利(As=5.0%)	9 ~ 100×10 ⁴	Pellら ^⑨	
骨 材 表 面 性 状	スムーズ～ラフな表面	2.4 ~ 4.3×10 ⁴	Monismithら ³⁾	
		0.3 ~ 2.3×10 ⁴	Jimenezら ¹⁰⁾	
アスファルト量	5.3 ~ 6.8 %	0.3 ~ 2×10 ⁴	Monismithら ³⁾	
	3.5 ~ 7.0 %	0.05 ~ 32×10 ⁴	Pellら ^⑨	
空 げ き 率	8 ~ 4 % (California密粒上限) (California密粒下限)	4 ~ 10×10 ⁴	Monismithら ³⁾	
		0.08 ~ 0.9×10 ⁴		
ス テ ィ フ ネ ス	10,500 ~ 35,000 kg/cm ²	1 ~ 100×10 ⁴	Monismithら ³⁾	

*印は歪制御の結果を示し、他は応力制御の結果である。

照)。

(2). 環境要因の影響

ここでは環境要因として温度の影響について述べる。Pellら⁹⁾は応力制御で温度の低下は疲労寿命を増加させ、ある範囲内の温度の影響は、スティフネスで説明できると報告している(図-12, 13)。温度の低下はスティフネスを増加させ、ある応力での歪を小さくさせ、結果的に疲労寿命は増加する。またPell⁴⁾は、上記と同じ荷重方法を使用した歪制御でも実験を行ない、疲労寿命は温度の上昇とともに増加することを示した(図-14)。

しかし、上述の2つの研究とは異なる荷重方法を使用したPellら¹⁹⁾の他の研究では、疲労寿命は温度に影響されないと報告している(図-15)。この一般的な傾向と一致しない結果について、Pellは次のように説明している。すなわち、この試験方法が振動数1Hz以下の非常に低速な繰り返し荷重であり、目視可能なクラックは発生せず、通常の疲労破壊とは実質的に異なった破壊のメカニズムを示しているためであるとしている。

(3). 混合物要因の影響

1). アスファルトのコンシステンシー

①. 針入度

Santucciら¹¹⁾は歪制御ではアスファルトの針入度が高くなると、スティフネスは減少し、疲労寿命は増加することを示した(図-16)。応力制御では逆である。

②. 軟化点

Pellら²⁰⁾(応力制御)は、種々の粒度とバインダーについて試験し、疲労寿命が軟化点とバインダー量に影響されるという結果を得た(図-17)。Pellはなぜ軟化点がという質問に対し、実験結果

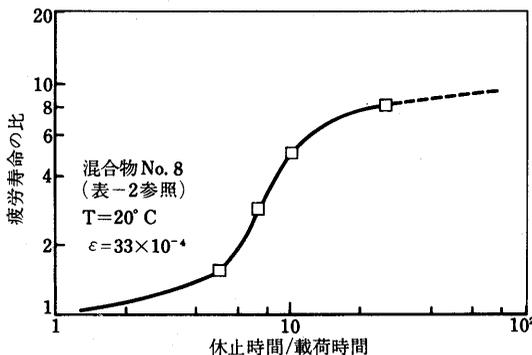


図-11 休止時間/荷重時間と疲労寿命比*の関係¹³⁾
* 休止時間 0 sec のときの疲労寿命を 1 とする。

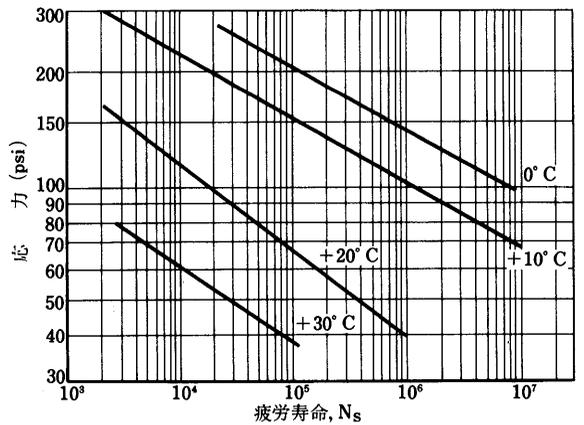


図-12 疲労寿命に与える温度の影響⁹⁾

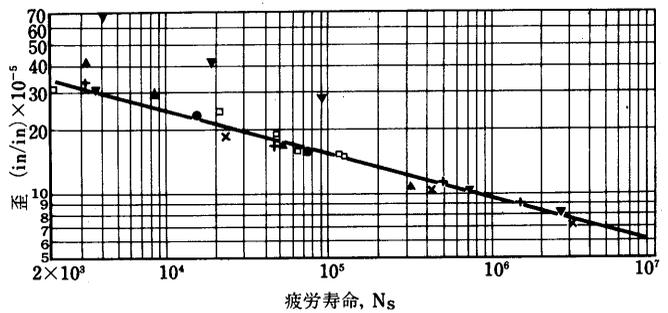


図-13 疲労寿命による温度の影響⁹⁾

試験シリーズ	F	G					試験シリーズ	P
温度, °C	+10	0	+10	+20	+30	振動数	変化さす	
記号	+	x	●	▲	▼	記号	□	

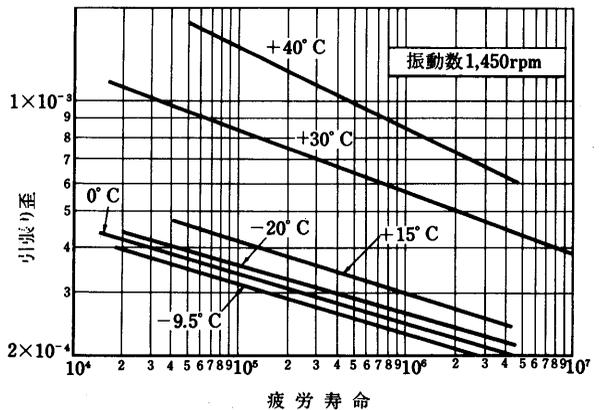


図-14 疲労寿命に与える温度の影響⁴⁾

の統計的解析から得られた実験的見解であり、その理由については説明できないと述べている。

2). アスファルト量

Monismithら³⁾やPellら²⁰⁾は応力制御で疲労寿命が最大となるアスファルト量のあることを示し、スティフネスの最大となるアスファルト量に、ほぼ一

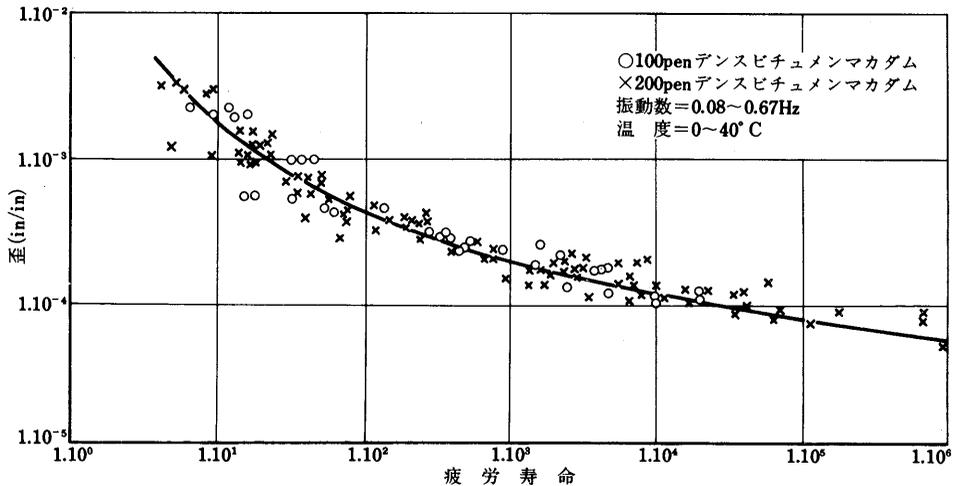


図-15 疲労寿命に与える温度と振動数の影響¹¹⁾

致していることを見いだした。また Pell⁶⁾ は歪制御でも試験を行ない、アスファルト量の増加が、スティフネスの減少を生じる範囲では、疲労寿命はアスファルト量の増加とともに増加するという結果を得た。

3). 骨材

①. 粒度

Monismith³⁾ は応力制御で密粒度範囲の上限, 中央, 下限粒度について試験し、骨材粒度の影響はほとんどないと報告している。なお、これはアスファルト量が同じで、空隙率が約1%異なる程度の混合物から得た結果である。

②. 種類

Monismith³⁾ は、応力制御で骨材の種類の影響を研究し、次の結果を得た。花こう岩と玄武岩をそれぞれ使用した混合物(スティフネスは、ほぼ同じで空隙率は約2%異なる)の疲労直線はほぼ同じである。しかし、Pell⁶⁾ は応力制御で砂利と碎石を比較し、砂利の方が締固め中の破碎が少なく、締固まりやすく、空隙率が低くなり、疲労寿命が増加すると報告している(図-18)。

③. 表面性状

Jimenez¹⁰⁾ は、骨材の表面性状は配合設計でアスファルト量を決定する上で重要な要因であると述べており、表面性状の異なる骨材について試験し、次の結果を得た。

表面のラフな骨材を使用した混合物はスムーズなものより多くのアスファルト量を必要とし、その結果、疲労寿命が長くなる(図-19)。

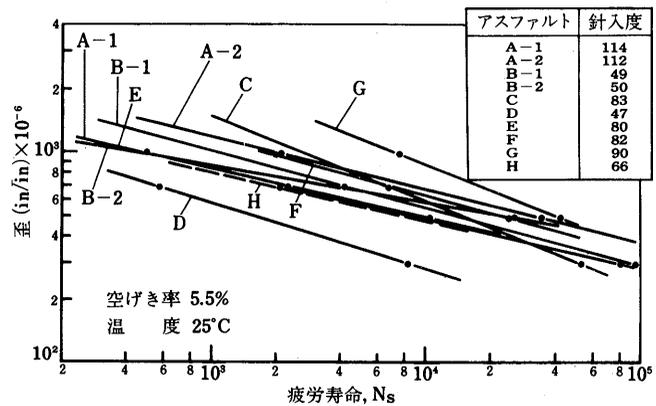


図-16 疲労寿命に与えるアスファルト針入度の影響¹²⁾

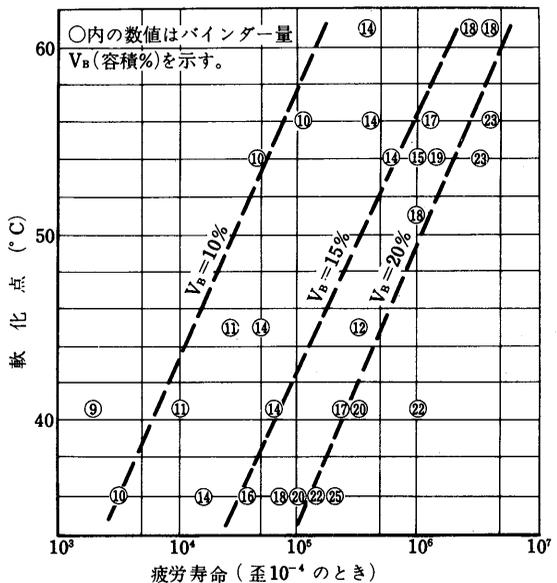


図-17 疲労寿命に与える軟化点の影響²⁰⁾

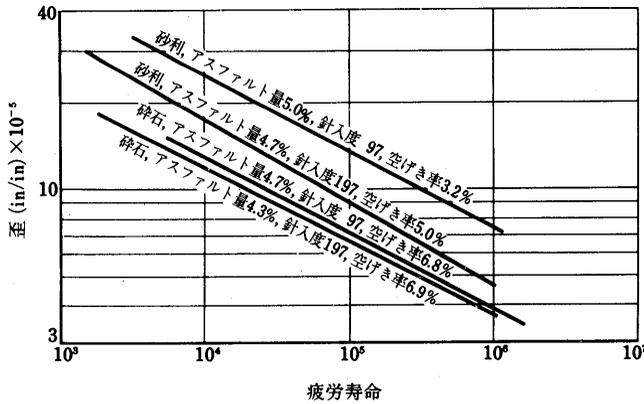


図-18 疲労寿命に与える骨材タイプの影響²⁰⁾

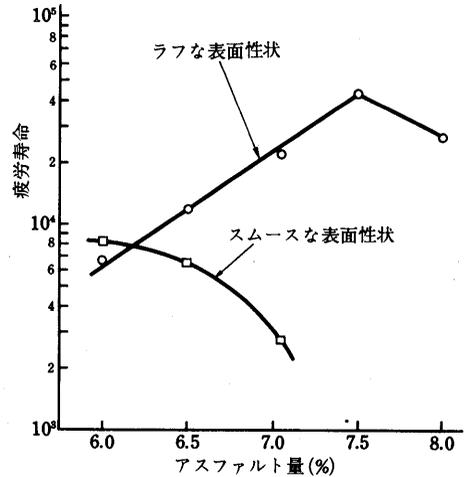


図-19 疲労寿命に与える骨材表面性状の影響¹⁰⁾

4). 空隙率

Monismithら³⁾, Pellら⁹⁾, Santucciら¹¹⁾は、空隙率が減少すると、疲労寿命が増加することを示した(図-20)。また混合物内の空隙の絶対量とともに空隙の大きさ、形状が疲労寿命に大きな影響を与えるとも述べている。³⁾

5). スティフネス

これまでは疲労要因の影響について要因ごとに主な研究結果を示しながら述べてきた。しかし、個々について分解した形で述べてきたので、全体としての疲労要因の位置づけに欠けている。そこで、ここでは要因の影響をスティフネスへの影響で表わした結果の一例としてMonismithら³⁾の結果を最初に紹介し、次にPellら²⁰⁾のスティフネスの影響に関する概念について述べ、疲労要因の影響のまとめをしたい。

Monismithら³⁾はアスファルト針入度の影響をスティフネスの変化として表わし、図-21、22の結果を得た。図-21より疲労寿命はスティフネスが増加すると増大することがわかる。また疲労直線の傾きもスティフネスにより変化することがわかる。

図-22は図-21の結果を歪と疲労寿命の関係として表わしたものであり、ある範囲のスティフネスに対し、単一な直線関係になることを示している。

Pellら²⁰⁾もMonismithらと同様に結果を歪と疲労寿命の関係として表わし、要因の変化による疲労寿命の変化について、次のような考え方を述べている(図-23)。

- ①. 図-23中のAはある試験条件下の疲労寿命である。
- ②. 上記①の試験条件に対し、応力レベルを低下させるか、温度を低下させるか、載荷条件を速く

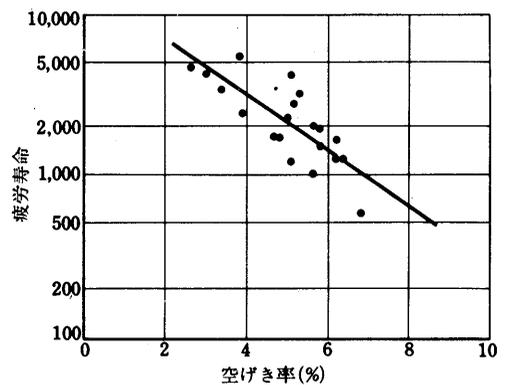


図-20 疲労寿命に与える空隙率の影響³⁾

すれば、スティフネスは増加する。このとき歪は減少し、Aは疲労直線上のBに移動し、疲労寿命は増加する。

- ③. 上記①の試験条件に対し、②とは逆の試験条件を与えたならば、スティフネスは減少し、AはCに移動し、疲労寿命は減少する。
- ④. 上記①の試験条件下でバインダージ量を変化させると、疲労直線Lの位置に影響を与え、AはDに移動する。すなわち、縦軸、横軸の両方向にAは移動する。

6. 疲労寿命の予測

(1). 室内疲労寿命の予測

室内疲労寿命の予測はその結果を直接現場疲労寿命の予測に結びつけられない。しかし、材料評価のための相対的な疲労寿命の大きさを推定するのに役立つと考えられるので以下に示す。

Pellら²⁰⁾は、歪が 10^{-4} における疲労寿命をバインダ

一の容積%(V_B)と軟化点($T_{R\&B}$)によって関係づけ、(8)式に示す予測式を示した。

$$\log N_{(e=10^{-4})} = 4.13 \log V_B + 6.95 \log T_{R\&B} - 11.13 \dots (8)$$

またVerstraetenら^⑩は混合物の容積配合比やアスファルト量により、Maupin^⑫は現場でも行なえるマーシャル供試体の間接引張試験から求めたスティフネスを使用して、それぞれ疲労寿命を予測する方法を報告している。

(2). 現場疲労寿命の予測

室内疲労試験と実際の現場の条件の相異点は、応力状態が異なること、载荷が不連続なこと、歪、温度、材料が変動すること、クラック伝播速度や疲労寿命の定義が異なることである。^{⑩, ⑫}このような点を考慮したDijkらとHudsonらの方法は次のとおりである。

1). Dijkらの方法^⑫

Dijkらは(9)式に示す消失エネルギーモデルによる室内疲労寿命の予測を最初行なった。

$$\epsilon_p = \left[\frac{A \cdot \psi}{\pi \cdot S \cdot \sin \phi_0} \right] N_{fat}^{\left(\frac{Z-1}{2}\right)} \dots (9)$$

ここに、 ψ : $W_{initial} / W_{fat}$

$$W_{initial} : \pi \cdot N_{fat} \cdot \sigma_0 \cdot \epsilon_0 \cdot \sin \phi_0$$

$$S : \sigma_0 / \epsilon_0$$

$\sigma_0, \epsilon_0, \phi_0$: 応力, 歪, 位相角の初期値

N_{fat} : 疲労寿命

W_{fat} : 疲労寿命までの消失エネルギー, (4)式で求める。

ϵ_p : 許容歪

(9)式より許容歪は求まり、この値は混合物のスティフネスと混合物の種類に依存する(図-24)。こうして求めた室内結果を実際の設計に適用する場合には、载荷の不連続性、歪の分布、温度の影響を考慮しなければならない。Dijkらはこれらの影響に対し、室内疲労寿命に適切な補正係数を適用する方法で対処している。その方法は以下のとおりである。

①. 不連続な载荷

図-11に示す結果から、室内疲労試験結果に対する補正係数を求める。その値は1~10である。

②. 歪の分布

歪の分布は荷重重量のちがいや荷重の横方向の分布によって生じる。荷重重量のちがいは標準輪荷重に換算することで解決できる。横方向の歪の分布の影響は、BISAR(コンピュータープログラム)で多くの舗装構造について解析し、次の結果

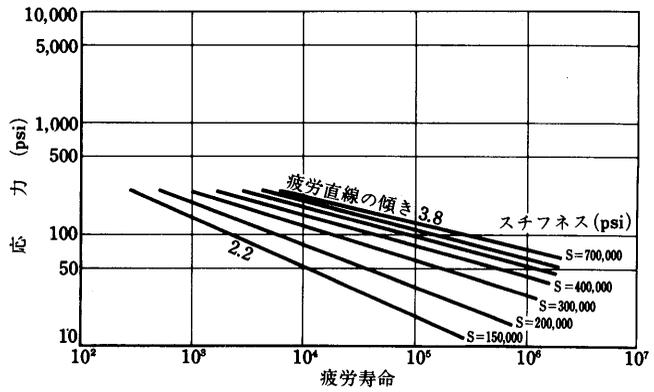


図-21 疲労寿命に与えるスティフネスの影響³⁾

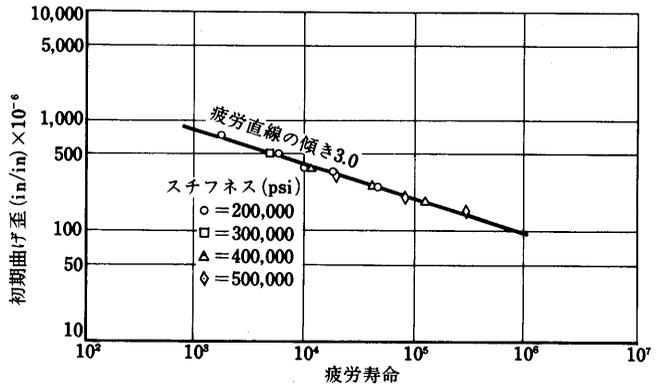


図-22 疲労寿命に与えるスティフネスの影響³⁾

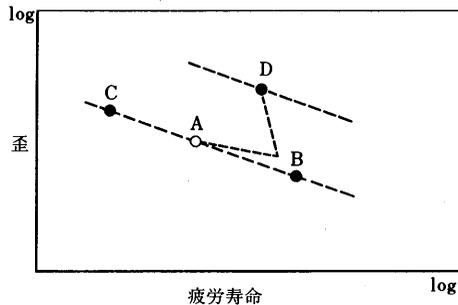


図-23 疲労寿命変化の概念図^⑩

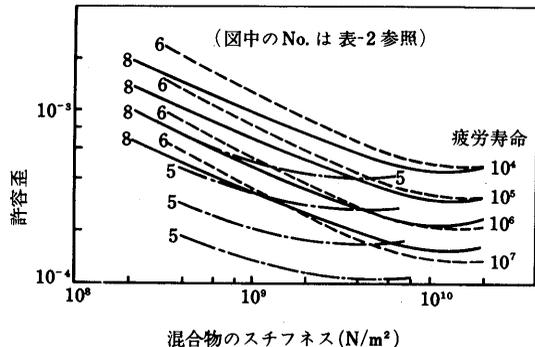


図-24 許容歪と混合物のスティフネスの関係^⑫

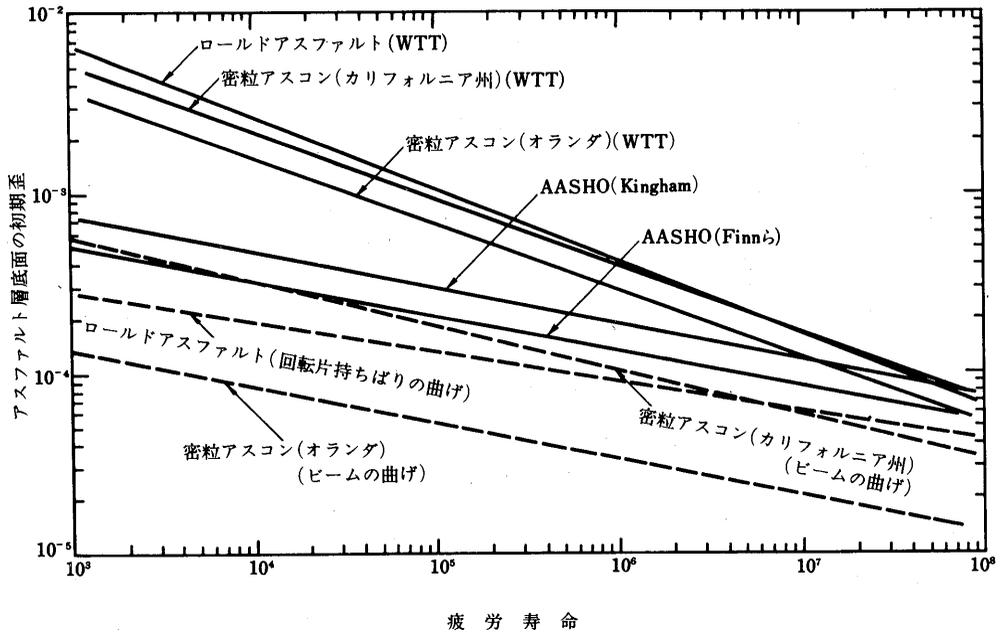


図-25 歪と疲労寿命の関係¹¹⁾

を得た。有効な複輪荷重数は、複輪荷重の総数の約40%となり、これは舗装の厚さ、温度、アスファルト層のスティフネスに左右されない。

③. 温度

気象表などの利用で最も入手しやすい月平均気温とアスファルト層内の温度を関係づけ、多くの舗装構造について、アスファルト層内の種々な位置および温度勾配におけるアスファルト層の歪を、BISARで計算している。その結果、舗装の寿命は、温度勾配の影響を考慮したスティフネスに関係づけられ、また舗装厚さやアスファルト層の温度に左右され、補正係数として1~2を得ている。

Dijkら¹²⁾の研究結果は、Shellの設計方法¹³⁾にとり入れられている。

2). Hudsonらの方法¹⁴⁾

Hudsonらは現場疲労寿命の予測方法確立のために、合理的な疲労設計基準の開発、温度の影響および材料や歪の変動を考慮することが必要と考えている。Hudsonらの考え方は次のとおりである。

①. 合理的な疲労設計基準の開発

AASHOの結果の解析やWTT(図-2)の使用を推奨し、今後もこの種の結果が必要なことを強調している。従来よりも合理的としているAASHOの疲労直線(舗装表面にクラックが現われたときを破壊としている)は図-25のとおりである。

②. 温度

(7)式の k_2 , n_2 は、従来同じ混合物については一定とされてきたが、温度の影響をうける。そこで標準温度21°Cに対し、温度の影響を検討し、次の結果を得た。温度変化に対し、 k_2 は大きく、 n_2 は小さく変化する。しかし、 n_2 は指数であり、小さな変動でも疲労寿命には大きな影響を与える。それゆえ、 k_2 , n_2 の温度の影響を十分考慮することが必要としている。

②. 材料や歪の変動

材料や歪の変動を考慮した確率論的な方法が必要としている。

7. あとがき

今まで示してきた研究結果をまとめると以下のとおりである。

- (1). 载荷方法が異なると、同じ混合物でも疲労性状が異なる。
- (2). 厚いアスファルト層(6in.以上)には応力制御の結果が、薄い層(2in.以下)には歪制御の結果が適しており、前者は高いスティフネスの混合物が、後者は低いスティフネスのものが一般に望ましい。
- (3). 消失エネルギーと疲労寿命の関係により、制御方式、温度に左右されないで疲労性状を特性化できる。
- (4). 疲労寿命は応力制御ではスティフネスが高くな

- るほど増加し、歪制御では逆の結果を一般に示す。
- (5). 疲労寿命に比較的大きな影響を与える要因は載荷時間、温度、アスファルト針入度、アスファルト量、空隙率、スティフネスである。
 - (6). 疲労寿命に与える要因の影響はスティフネスでかなり説明できる。
 - (7). 室内疲労寿命はバインダー容積%、軟化点、アスファルテン量などを用いて予測される。
 - (8). 室内疲労寿命と現場疲労寿命を直接相関づけることはかなりむずかしい。現場疲労寿命の予測方法としては、不連続な載荷、歪の分布、温度の影響を考慮し、室内試験結果に適切な補正係数を適用させる方法がある。一方、合理的な疲労設計基準の開発、温度の影響、材料や歪の変動を考慮した確率論的な方法という過程からなる予測方法も検討されている。

参考文献

- 1) F.N.Hveem ; Pavement deflections and fatigue failures, H.R.B. Bul. No. 114
- 2) D.A.Kasianchuk, C.L.Monismith and W.A. Garrison ; Asphalt concrete pavement design — A subsystem to consider the fatigue mode of distress, HRR No. 291
- 3) J.A.Epps and C.L.Monismith ; Influence of mixture variables on the flexural fatigue properties of asphalt concrete, AAPT Vol 38
- 4) P.S.Pell ; Fatigue of asphalt pavement mixes, Second International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavements, 1967
- 5) H.R.B. ; Factors involved in the design of asphaltic pavement surfaces, NCHRP Report No. 39
- 6) P.S.Pell ; Fatigue characteristics of bitumen and bituminous mixes, International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavements, 1962
- 7) C.L.Monismith, K.E.Secor, and E.W.Blackmer ; Asphalt mixture behaviour in repeated flexure, AAPT Vol. 30
- 8) J.A.Deacon and C.L.Monismith ; Laboratory flexural-fatigue testing of asphalt-concrete with emphasis compound-loading tests, HRR No. 158
- 9) P.S.Pell and I.F.Taylor ; Asphaltic road materials in fatigue, AAPT Vol. 38
- 10) R.F.Jimenez and B.M.Gallaway ; Preliminary report of an apparatus for the testing of asphaltic concrete diaphragms, AAPT Vol. 31
- 11) R.J.Schmidt and L.E.Santucci ; The effect of asphalt properties on the fatigue resistance of asphalt paving mixtures, AAPT Vol.38 project, AAPT Vol. 38
- 12) W.van Dijk and W.Visser ; The energy approach to fatigue for pavement design, paper presented at the annual meeting of the Association of Asphalt Pavement Technologists, 1977
- 13) A.I.M.Claessen, J.M.Edwards, P.Sommer and P.Uge ; Asphalt Pavement Design. The Shell Method, Proceedings of the Fourth International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavements, University of Michigan, 1977

☆

☆

☆

☆

☆

☆

☆

分類Ⅲ アスファルト舗装のわだち掘れ

山内 幸夫

1. はじめに

近年、アスファルト舗装におけるわだち掘れが問題となり、その対応策として種々の試みがなされている。

わが国のアスファルト舗装要綱では、設計アスファルト量を求めるに際し、アスファルト量を従来より少くするため75回突固めを採用している。また耐流動舗装用のアスファルトとして改質アスファルトの使用を推奨しているのも対応策の一つであろう。

一方、諸外国においてもアスファルト舗装のわだち掘れに対し、積極的な研究活動の成果が数多く報告されている。ここでは、それらの代表例をとり上げて紹介する。

ここでとり上げた文献を整理の都合上図-1に示すように大別した。

1つのグループは理論を主としたもので、路床の垂直圧縮歪とわだち掘れ量を関係づけ、路床の垂直圧縮歪から、わだち掘れ量を予測しようとするものである。

なお、路床の垂直圧縮歪は多層弾性理論（例えば、BISARの使用など）によって計算されている。

もう1つのグループは材料試験を主としたもので、試験法によって、クリープ試験と三軸試験に分けた。

とくに三軸試験ではさらに対象によって路床とアスファルト混合物に分けた。

以下、上記の分類にそって各文献を紹介していく。

2. 理論計算を主としたもの

ここで、とり上げる文献の内容はくり返し荷重によって生じるわだち掘れを路床面の垂直圧縮歪のみに注目して考察するものである。

Witczak¹⁾, Dorman²⁾, Monismith³⁾, Hicks³⁾らが求めた、路床の垂直圧縮歪と80kN (8.2t) 軸重通過回数との関係を表-1、図-2に示す。

以上のうち最初に路床の垂直圧縮歪と軸重通過回数との関係を示したのはDormanらであり、この時のわだち掘れ量の基準は13mmであった。

その後、Monismithらが10mmのわだち掘れ量に対し、またHicksらは、San Diegoの試験道路の結果から6mmのわだち掘れ量に対し、それぞれ路床の垂直圧縮歪と軸重通過回数との関係を示している。

さらにWitczakが空港舗装において両者の関係を示したが、これは道路舗装のものに比べて軸重通過回数の増加にともなう路床の垂直圧縮歪の増加が小さい。

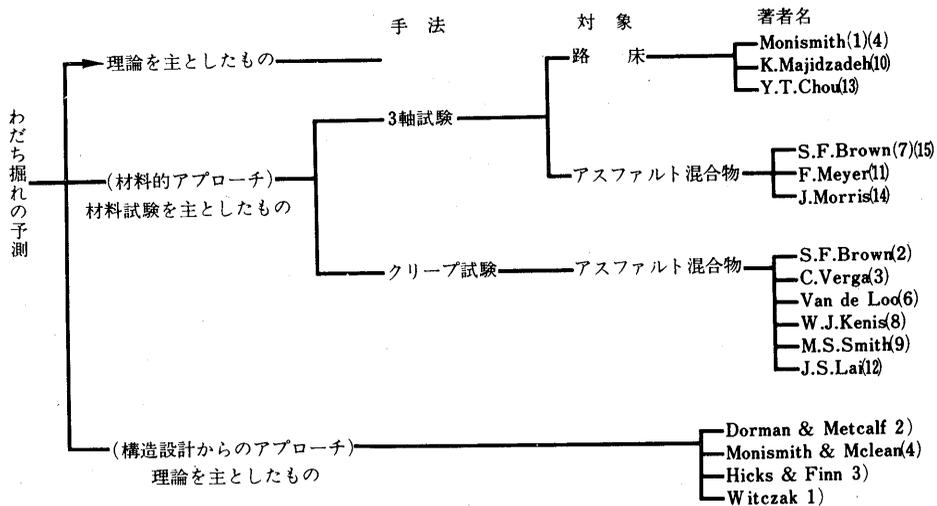


図-1 文献の分類

()は文献番号)は個人引用文献

なお、図-2は次のような意味をもつ。

例えば、Monismithらの関係を用いれば、80kN(8.2t)等値軸重通過数が100万回でわだち掘れ量を10mm以下にするには、路床面の垂直歪が500 μ (m/m)以下であるように舗装構造を設計すれば良いということである。

また、表-1、図-2から8.2t等値軸重100万回通過時点の路床の垂直圧縮歪とわだち掘れ量の関係を両対数上にプロットしたものを図-3に示す。ただし、Witczakの空港舗装のデータはのぞいた。図中の3点は独立した研究成果であるが直線的な関係を示している。このことから、わだち掘れ量の限界値の設定が異なっても、個々の式の妥当性がうかがわれる。

ここでわが国の道路維持修繕要綱(道路協会 昭和53年度版)から、わだち掘れの維持修繕を行なう目標値を参考とし、図-3から路床の垂直圧縮歪を求めたものを表-2に示す。

これによると、8.2t等値軸重通過回数100万回において、わだち掘れ量が維持修繕目標値以下であるようにするには、路床の垂直圧縮歪の目標値を次のように定めればよい。

- ① 自動車専用道路…………… 940 μ (m/m)
- ② 交通量の多い一般道路…1,500~3,500 μ (m/m)
- ③ 交通量の少ない一般道路…3,500~4,600 μ (m/m)

これらは一つの参考値となるであろう。

表-2 わだち掘れ量と路床の垂直圧縮歪

項目	わだち掘れ (mm)	路床の垂直圧縮歪 μ (m/m)
道路の種類		
自動車専用道路	15	9.4×10^2
交通量の多い一般道路	20~30	$1.5 \sim 3.5 \times 10^3$
交通量の少ない一般道路	30~35	$3.5 \sim 4.6 \times 10^3$

3. 材料試験を主としたもの

Monismith[®]は、くり返し荷重を受けたアスファルト舗装の永久変形について、応力(例えば輪荷重の大小)と永久歪(回復しない変形、結果としてわだち掘れに寄与する)との関係を次式で示している。

$$\epsilon_p = f(\sigma_{ij})$$

ここで ϵ_p : 永久歪 σ_{ij} : 応力の大きさ

この式は、アスファルト舗装の永久変形は、舗装に加えられる応力の大小に左右される事を意味している。

アスファルト舗装は一般に路床上に路盤、基層、表層の順に構成されており、個々の材料特性の異なる層の積み重ねである。

このように構成されたアスファルト舗装の永久変形

表-1 累積荷重に対する路床上の許容圧縮歪

累積荷重 kg/cm^2	路床上の圧縮歪(%)		
	国道	飛行場の舗装	
7.038			19.2×10^{-4}
70.38			16.8×10^{-4}
703.8	1.05×10^{-3}	8.0×10^{-4}	15.2×10^{-4}
7,038	6.5×10^{-4}	4.8×10^{-4}	14.6×10^{-4}
70,380	4.2×10^{-4}	2.9×10^{-4}	
703,800	2.6×10^{-4}	1.7×10^{-4}	

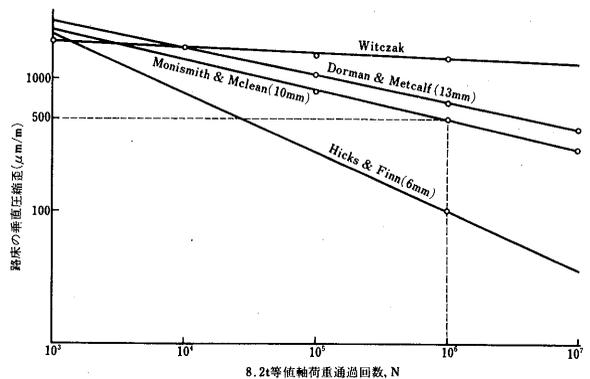


図-2 8.2t等値軸荷重交通通過回数と路床の垂直圧縮歪の関係

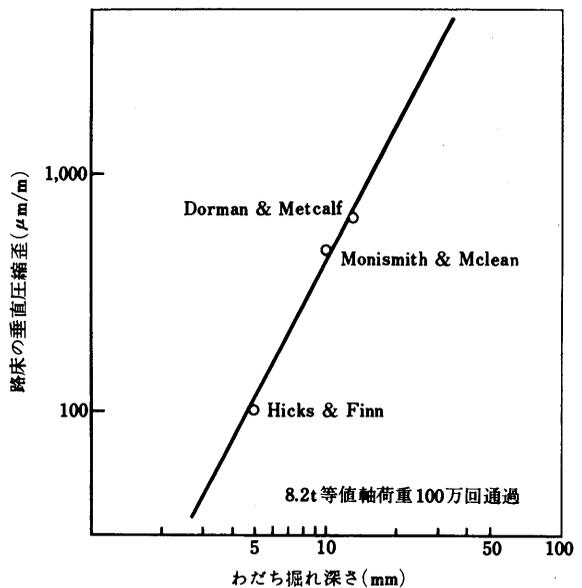


図-3 路床の垂直圧縮歪とわだち掘れ深さ

を Monismith らは舗装構成各層の永久変形の総和としてとらえ、その概念を次式および図-4 によって説明している。

$$\delta_i^p(x, y) = \sum_{i=1}^n (\epsilon_i^p \Delta Z_i)$$

δ_i^p : (x, y) 平面における i 地点のわだち掘れ
 ϵ_i^p : 深さ $[Z_i + (\Delta Z_i / 2)]$ における永久歪の平均
 ΔZ_i : i 層の深さ

ある地点 (深さ方向 i 地点) における永久変形は、永久歪の平均 (ϵ_i^p) と各層の厚さ (ΔZ_i) の積で示される。

ここで永久歪の平均 (ϵ_i^p) は、各層の中心部における歪を用い、アスファルト舗装の永久変形は、各層の厚さと永久歪の積を、構成層の数だけ合計したものと示されることになる。

1) 路床土に関するもの

路床土の永久変形の研究に関しては、くり返し三軸試験を用いているものが多い。

これらの文献は、応力とくり返し回数等の関数として、永久変形を求めるものである。

Monismith らは、路床土の含水量、乾燥密度、応力レベル、载荷回数等を考慮したくり返し三軸試験による研究を行ない永久変形と载荷回数との関係を示した。

すなわち $\epsilon_p = AN^b$

$$\Delta \sigma = \epsilon_p / (l + m \epsilon_p)$$

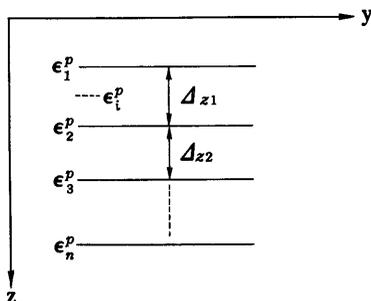
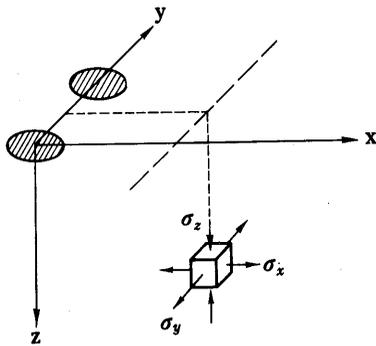


図-4 永久変位を予測するための舗装解析システム

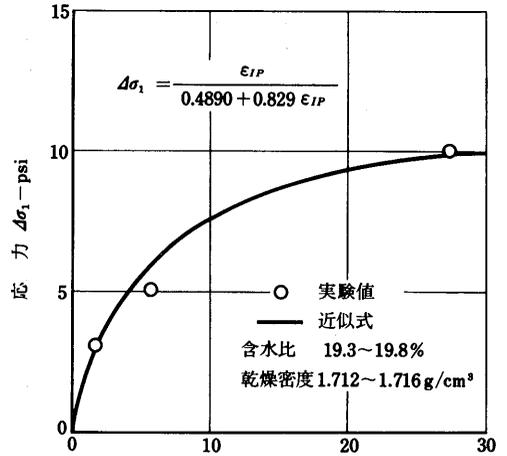


図-5 応力と永久歪の関係

ϵ_p : 永久歪

$\Delta \sigma$: 応力

N : 载荷回数

A, b, l, m は実験により決定する係数

ここにおいて b は土の種類に、 A は応力レベルと応力履歴に依存するとしている。実験結果の1例を図-5に示す。

この関係式は、実際路床に生じる小さい応力で実験が行なえない場合、有効な手段として用いることができる。

例えば、複輪荷重4.1tとし、アスファルト混合物の弾性係数を $7,000 \text{ kg/cm}^2$ ($10,0000 \text{ psi}$) $\sim 14,000 \text{ kg/cm}^2$ ($200,000 \text{ psi}$)、路床の弾性係数を $350 \sim 1,400 \text{ kg/cm}^2$ として二層系で弾性解析を行ない路床の垂直圧縮応力を求めると 0.35 kg/cm^2 (5 psi) $\sim 0.035 \text{ kg/cm}^2$ (0.5 psi) の値を得る。このような応力を用いての三軸試験は、応力レベルが小さいために、実験上好ましくないことから図-5のような関係を利用した方がよいとしている。

図-5から永久歪と応力の関係を見ると、ある程度の応力 (例えば $0.49 \sim 0.56 \text{ kg/cm}^2$ ($7 \sim 8 \text{ psi}$)) までは、永久歪に対する応力の変化の影響は小さいが、それ以上になると、応力の変化が路床の永久歪に与える影響は大きくなる。

このことは、アスファルト舗装の構造を設計する際に路床への伝播応力を十分に考慮しなければならないことを示していると思われる。

また K.Majidzadeh らは速度過程論 (Rate Process Theory) による分子変形 (molecular deformation) を基本概念としたわだち掘れのモデルを開発し、その後、修

正を加えて次式を導き出している。

なお、このモデルは、粘性土やシルト等の土に用いることができるとしている。^⑧

$$\epsilon_p/N = A(D, W)N^{-m}$$

ϵ_p : 永久歪

$A(D, W)$: $\log(\epsilon_p/N) - \log N$ の ϵ_p/N 軸の切片

m : $\log(\epsilon_p/N) - \log N$ の傾き

N : 荷重回数 D : 応力 W : 含水比

ここで A, m をわだち掘れ係数とし、これらの係数は E^* (動弾性係数) と σ_{app} (荷重応力) の関数であるので、 E^* を室内あるいは現場で求めれば、わだち掘れ量を推定できるとしている。

以上の研究は次のようにまとめることができよう。

路床の永久変形を求める場合は、荷重による路床の応力状態や荷重回数と路床土の性質 (例えば PI, 含水比, CBR) の関係を十分に把握する必要がある。

2) アスファルトコンクリートに関するもの

アスファルトコンクリートに関する研究手法としてくり返し三軸試験およびクリープ試験の結果を用いて、永久変形を求めるものが多い。

Morris^⑨らは、室内でのくり返し三軸試験と現場との対応を検討し、温度等を考慮して永久歪を次式のように示している。

$$\epsilon_p = f(\sigma_1, \sigma_3, T, N) \pm E$$

σ_1 : 垂直応力 σ_3 : 水平応力

T : 温度 N : 繰返し回数 E : 誤差

彼らは、Brampton試験道路における11½インチ(290 mm) のフルデプス舗装について解析を行った。その結

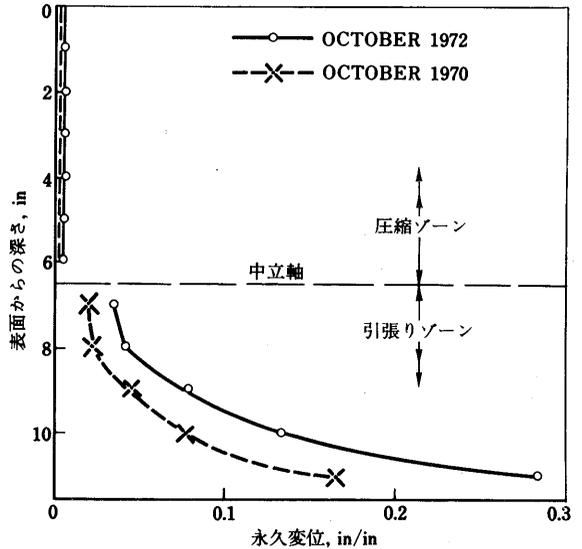


図-6 永久変位率の変化 —セクション3—
(アスファルトコンクリート層の厚さ29cm)

果を図-6に示す。アスコン層のわだち掘れは、アスファルト層の中立軸を境にして引張りを受ける側の歪に左右されると結論している。

Van de Loo^⑩は、わだち掘れを予測する方法について、クリープ試験を用いた手法を提案している。そのシステムは図-7に示すとおりである。

この考え方の特徴は、3章で述べたような、各層の永久変形の合計が、わだち掘れとして観察されるという点については否定していないが、舗装厚の設計を十分にすれば、アスファルト層以外の層の永久変形は防ぐことができると仮定し、アスファルト層の永久変形のみを求めている点にある。

本文献では、わだち掘れは、アスファルトのスティフネスのうち粘性流動の項に支配されるものとしている。これらの基礎として、アスファルトの粘度および混合物のクリープ性状を考えている。なお、本文献に関しては阿部の文献^⑪が詳しいので参照されたい。

M.S.Snaith^⑫は、わだち掘れの予測として路床土やアスファルトマカダム等で、くり返しクリープ試験を行なっている。そして、くり返しクリープ試験を簡略化するために、静的クリープ試験の結果を利用することを提案した。その場合、くり返しクリープ試験の応力の61%を静的試験には用いると良いとしている。

James S.Lai^⑬も、一軸クリープ試験から、わだち掘れ量の予測を試みている。その結果を図-8に示す。永久変形量は荷重時間に比例し、また、休止時間が長いほど累積永久変形量は小さいとしている。

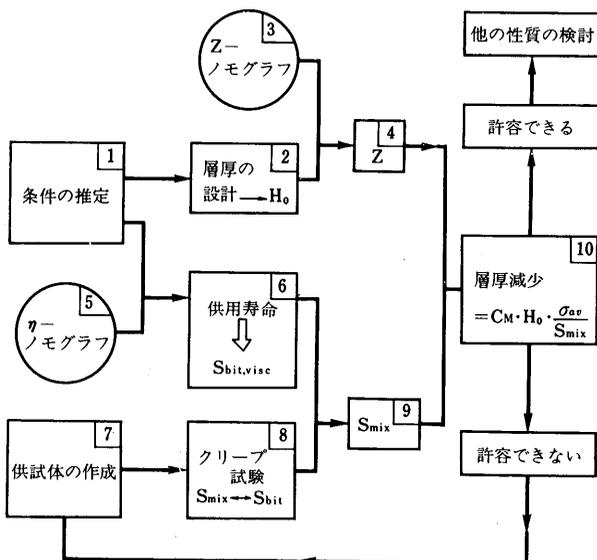


図-7 Van de Looらによるわだち掘れのサブシステム

J.F.Hills^⑧は、クリープ試験からわだち掘れの前測を試みている。その結果を図-9に示す。

これによれば、クリープ試験とわだち掘れ試験(Rutting Test)から求めた、 S_{bit} (アスファルトのスティフネス)と S_{mix} (混合物のスティフネス)は良い関連性を示しているため、室内クリープ試験で、わだち掘れの前測ができるとしている。

この文献の発展したものが、Van de Loos^⑨の報文であり、これについては後述する。

3) わだち掘れの前測式

Van de Loos^⑨は、わだち掘れを層厚の減少としてとらえている。このわだち掘れに関するシステムを図-7に示す。これは、永久変形によって生じるわだち掘れ量を、時間の関数として計算するものである。

第1に、交通量や輪荷重分布、気候条件を考慮し、路床面の圧縮歪とアスファルト層下面の引張り歪から、アスファルト層厚 H_0 を計算する。ここで計算に用いるアスファルト混合物の動弾性係数は、直接測定するか既存のデータから推定する。

舗装に生じるわだち掘れ量は、走行車輪によって生じる舗装内の平均応力による。この平均応力は、タイヤの接地圧とZ係数の積で示されるものであり、さらにZ係数は、タイヤの接地半径(R)とアスファルト層厚(H_0)との比(R/H_0)と、アスファルトの動弾性係数 E^* と路床の弾性係数 E_∞ の比、 E_∞/E_0 から求められる。

その一例を図-10に示す。このグラフからZが求められる。

ここで設計寿命を決定するわだち掘れ深さを材料特性に結びつけるために、図-11に示した粘度のノモグラフを用いる。

すなわち、温度の関数である粘度は、舗装の温度とPIが既知であれば、図-11から求めることができる。

わだち掘れは、アスファルトのスティフネスのうち非弾性分力($S_{bit, visc}$)のみの関数と仮定しているため、わだち掘れからみた舗装の供用寿命は次式で示される。

$$S_{bit, visc} = 3 / \sum (N_{t_0} / \eta)$$

N : 車輪通過回数

t_0 : 1輪通過の荷荷時間

η : アスファルトの粘度

ここでアスファルトの粘度は以下のように示される。

$$\eta = 1/3 \lim_{t \rightarrow \infty} S_{bit} t$$

一方、室内供試体を一軸クリープ試験で調べることで、 S_{mix} が S_{bit} の関数として求められる。

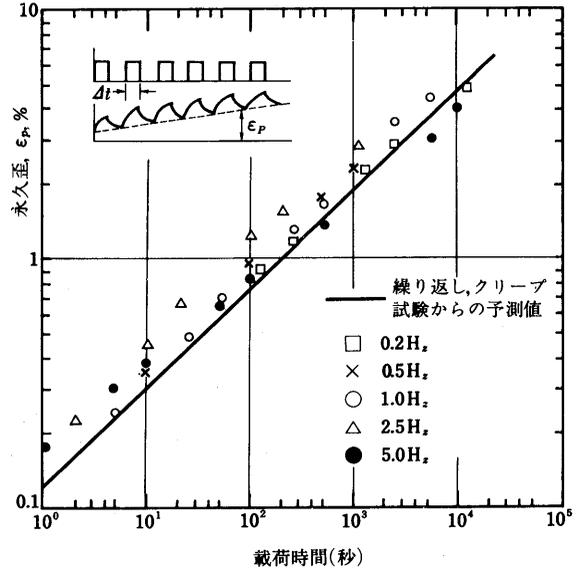


図-8 荷荷時間と永久歪の関係

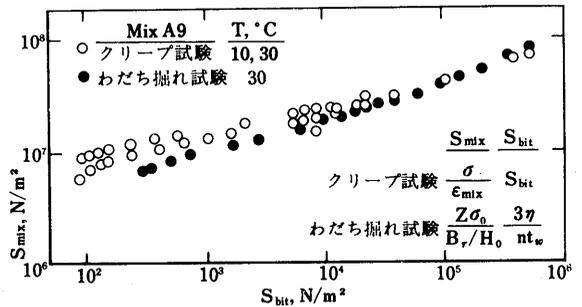


図-9 クリープ試験とわだち掘れ試験 (Hills, Brien, Van de Loosによる)

R = 荷重接地半径
 H_0 = アスファルト層厚
 E = アスファルト層の動弾性係数
 E_∞ = 路床の動弾性係数

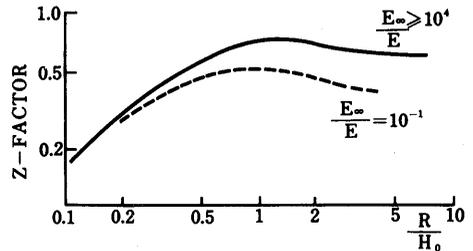


図-10 BISARを用いたZと R/H_0 の関係

$S_{bit, visc}$ をクリープ試験におけるアスファルトのスティフネス S_{bit} と等しくとり、 S_{mix} を求める。

以上の手順により、最後に層厚の減少が計算できることになる。

すなわち、

$$\text{層厚減少} = C_M H_o \sigma_{av} / S_{mix}$$

C_M : 動的影響の修正係数

σ_{av} : 走行荷重下の舗装内平均応力

$$\sigma_{av} = Z \sigma_o$$

σ_o : 接地応力 となる。

以上の手順により層厚減少を求めることができるが、舗装の平坦性に関連するものは層厚減少でなく、わだち掘れ深さである。(ここでは、わだち掘れ深さを側方隆起の最も高い点とわだち部の最も低い点との間の距離としている。)

使用後に圧密が起らないとすれば、永久変形で押しつけられた部分は側方隆起となる。Van de Loo らは多くの試験走路等の観察から、わだち掘れ深さは層厚減少の約1.5倍あるとしている。

以上述べた手順により層厚減少が求められるが、その値が目標値より大きいとすれば、混合物の組成等を変えてクリープ試験等をくり返すことにより、目標値に近づけなければならない。

図-12に Van de Loo らのわだち掘れの予測式から、計算されたプロフィールとオランダにおける道路において測定されたプロフィールを示す。

この結果から、Van de Loo は計算されたプロフィールの形は角がありシャープであるが、実測はなめらかな曲線となっており、わだち掘れ量も実測より小さいこと、これは測定時における輪荷重分布が予測より広く、ある点における通過交通台数が少ないことにより起るとしている²⁰。

しかしながら、この方法を各種試験走路に適用したところ、静的(クリープ試験)と動的(わだち掘れ試験)との修正係数である C_M 値(経験的に1~2である)を混合物により選べば、予測と実測の適合性は相当良いとしている²⁰。

C.L.Savafら²⁰は、わだち掘れを予測する方法として、AASHO 道路試験のループ4、6のデータを用いて考察を行なった。

混合交通は80 kN(8.2トン)の軸重換算を行ないRR(Rate of Rutting)を求めると次式のようになる。この式はアスコン厚(Ha)を6インチ(152mm)もしくは以下と、6インチ以上に分けている。

$$Ha \leq 6 \text{ インチ}$$

$$\log RR =$$

$$-5.617 + 4.343 \log d - 0.167 \log(N_{18}) - 1.118 \log \sigma_c$$

$$Ha > 6 \text{ インチ}$$

$$\log RR =$$

$$-1.173 + 0.717 \log d - 0.658 \log(N_{18}) + 0.666 \log \sigma_c$$

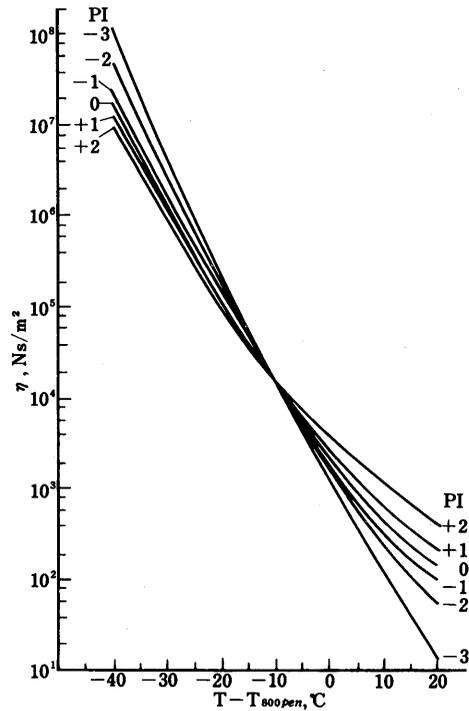


図-11 T-T_{800pen}とPIの関数と粘度

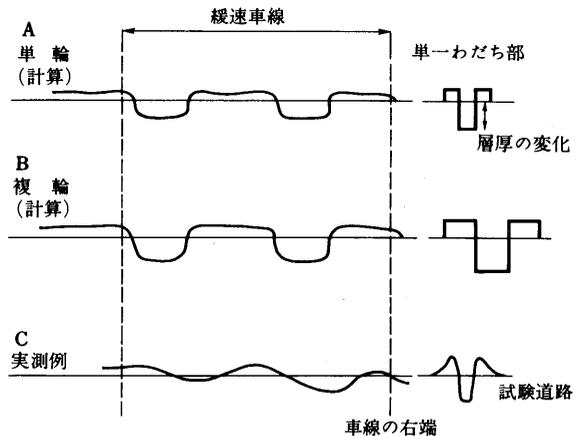


図-12 わだち掘れの子測形状と実際の形状の比較

RR(わだち掘れ割合): 単位 1×10^{-6} インチ/回数
(2.54×10^{-6} mm/回数)

d(表面変位): 単位 1×10^{-3} インチ(0.0254mm)

σ_c (アスコンの垂直圧縮応力): 単位 lb/ft²(4.88kg/cm²)

AASHO の道路から求められた予測式を Brampton 試験道路に適用した結果を表-3に示す。この結果、若干の調整を行なえば、他の条件下でも用いることができるとしている。

F. Meyerら²⁰は、各層の永久変形の合計が舗装表面で観察されるわだち掘れであるとし、次のような方法

表—3 わだち掘れの経年変化と予測値

Section No.	July 1967	Oct. 1967	April 1968	May 1968	Aug. 1968	Nov. 1968	April 1969	May 1970	May 1971	Aug. 1971	June 1972	June 1973	予 測 値	
													AASHOモデルによる予測	修正モデルによる予測
9	6.1	6.6	7.9	7.4	6.9	8.4	9.1	11.7	13.7	14.2			17.5	11.8
10	5.3	5.3	5.8	5.8	6.1	6.6	7.1	9.4	6.6	7.4	8.9		19.1	12.2
22	5.8	6.1	6.6	6.9	6.9	7.4	8.4	10.9	9.9				17.0	11.4
16	4.8	5.1	5.6	5.8	5.6	5.8	6.6	8.9	10.2	11.2	11.9	10.9	10.2	7.5
18	5.8	6.1	6.6	6.9	7.1	7.9	7.4	9.4	7.4	8.6	9.7		12.4	9.1
12	5.6	6.1	7.1	8.1	7.9	8.4	12.7						12.2	8.9
19	6.1	6.1	6.1	7.1	7.9	8.1	7.1	13.0					16.8	11.4
20	6.4	6.1	7.4	7.6	7.6	8.1	11.2	9.7					17.0	11.7
Equivalent loads	121	137	142	150	182	193	228	291	357	370	424	487	487	487

を提案している。まず第1のステップとして舗装を深さ方向に分け(例えば、アスファルト混合物、路盤、路床)、各層における応力を弾性計算により求める。

第2のステップとして、第1のステップで求められた応力を載荷応力とし、各層の材料を用いてくり返し三軸試験を行ない、各層の材料のあるくり返し回数における永久変形量を求める。

第3のステップとして、各層における永久変形量を合計することにより、ある載荷回数における舗装の永久変形量を求めることができる。この量がわだち掘れであるという考え方である。

推定する基本式は以下のとおりである。

$$\epsilon_p = f(\sigma_1, \sigma_3, T, D, A_v, N) \pm E$$

- ϵ_p : 永久変形
- σ_1 : 垂直応力 D : 密度
- σ_3 : 側方応力 A_v : 空隙
- T : 温度 N : 載荷回数

これから、実際のわだち掘れを推定する次式を提案した。

$$D = -1.0318 + 1.2067AT + 0.0803N - 2.3684 \ln AT + 0.1896 \ln(ATN) + 1.1639E, \ln AT - 0.0216EsN - 0.4114E_1 N \ln AT + 0.0456EsN \ln AT$$

- D : わだち掘れ AT : アスコンの厚さ
- E₁ : アスコン弾性係数 Es : 路床の弾性係数
- N : 80kN(8.2トン)軸重載荷回数

この予測式をBrampton, Ste Anne, San Diegoの試験道路に適用した。わだち掘れの予測と実測の結果を図-13に示す。

図-13から、この予測式を用いることにより、わだち掘れはある程度予測可能であるとしている。

しかしながら、3つの試験道路とも、わだち掘れ深さが1.5~2.0cmと小さいので問題は残るであろう。

M. S. Snaithら[®]は、クリープ試験から各材料の永久歪の実験式を求め、わだち掘れの予測に簡単な電算

プログラム(DEFPAV)が利用できることを示している。すなわち、実験から次式を求めた。

$$\text{路床材料: } \epsilon_n(\%) = [0.01042(\log N)^{1/2} \sigma]^{1.75}$$

デンスピチュエメンマカダム:

$$\epsilon_n(\%) = [0.00015(0.68 + 0.0008T^2 \log N)^{1.9} \sigma]^{1.75}$$

ϵ_n : 永久歪

N : 載荷回数

T : 温度(°C)

σ : 応力(kpa = 1.02 × 10⁻² kg/cm²)

次に、荷重直下の垂直応力を有限要素法を用いて、深さ方向に対して計算する。

有限要素法で計算される垂直応力は、電算プログラム DYNASTCO を用いて得たものである。このプログラムは、単輪荷重直下における四層系の舗装に対し、応力と弾性歪を計算できるものである。

計算された各層の応力を用いて、上記2式から各層の永久歪を求め合計する。この合計された永久歪が、わだち掘れとなって観察されるものである。

これらの結果を図-14に示す。

計算結果は試験舗装で得られた値よりも、小さかったが、有限要素法に用いる力学定数の値を適当に選ぶことにより、実測値に近づけることができている。

J. Morrisら[®]は、くり返し三軸試験の結果から、永久歪に対して予測式を示した。

この予測式は、アスファルト層に荷重がかかった場合、中立軸を境にして上部に圧縮、下部に引張り応力が働くことを基本とし、圧縮側と引張り側に分けて示している。

圧縮側

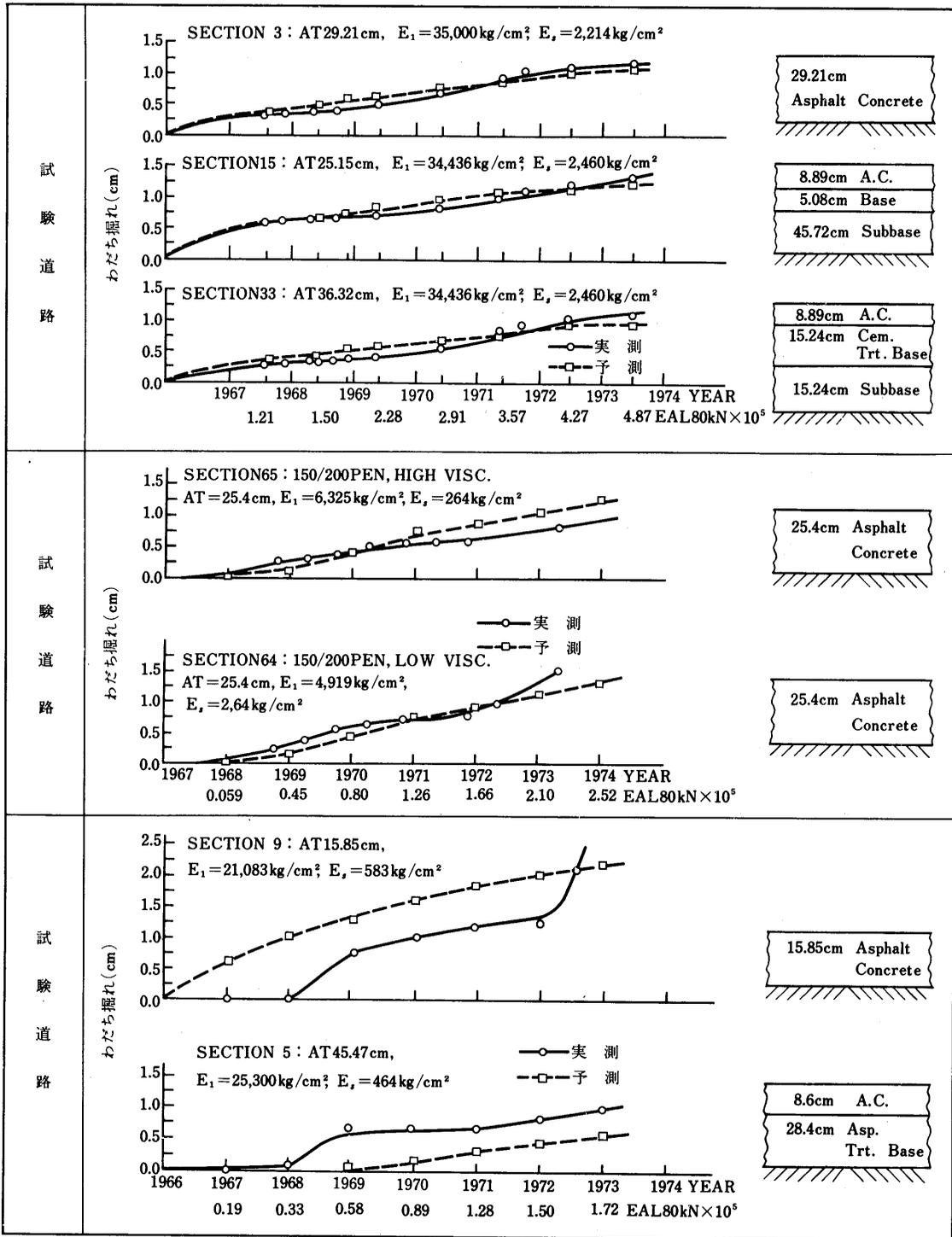
$$\ln \hat{X} = -1.7602 + 0.7000a - 1.4281b + 0.4539c - 0.6790bc$$

引張り側

$$\ln \hat{X} = 0.2777 + 0.7973a + 0.2638b + 0.6941c$$

\hat{X} : 永久歪

図-13 各試験舗装におけるわだち掘れの子測と実測との比較



a, b, c: 垂直応力, 水平応力, 温度に
対する統計学上の値で, +1または-1。

この予測式を Brampton 試験道路のアスコン厚29cmのフルデプスの場所に適用した結果を図-15に示す。

図-15から, 実測と予測が良い一致を示し, 予測式の有意性がうかがわれるとしている。^⑧

これらの予測式の基本となるものは, くり返し三軸試験やクリープ試験を用いて, 各層の材料の永久変形量を求め, それを合計してアスファルト層表面で観察されるわだち掘れ量を計算することである。

4. あとがき

今までアスファルト舗装のわだち掘れに関する報文の一部を紹介してきたが, その内容は以下ようになる。

- 1) 層弾性理論を用いて, 路床の垂直圧縮歪をある量以下になるように舗装構造を決定するもの。
- 2) 舗装を構成する各層の永久変形が合計されたものがわだち掘れになるので, 各層の材料特性を検討するもの。

1)の場合は計算により求めることができるが, 2)の場合, 各層の材料特性をくり返し三軸試験やクリープ試験で把握しなければならない。

これらの内容により, 数種類のわだち掘れに関する予測式が提案されているが, まだ実測との比較が乏しく, 今後, さらに修正が加えられていくものと考えられる。

したがって, 現時点において, どの予測式が優れているかの判断はつかないが, これらの予測式を日本に適用する場合, かなりの修正を, さらに加えなければ用いることはできないのではなからうか。

しかしながら, わが国においても, 現時点において提案されている予測式を基本とし, 数多くの現場データとの比較から予測式の適否を論じる必要がある。

いずれにせよ, 諸外国における永久変形の予測に対する試みは注目に値すると思う。

参考文献

1) M. Witzak "Design of Full-Depth Asphalt Air-field Pavements" Proc. 3rd International

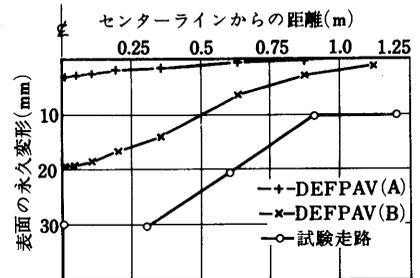
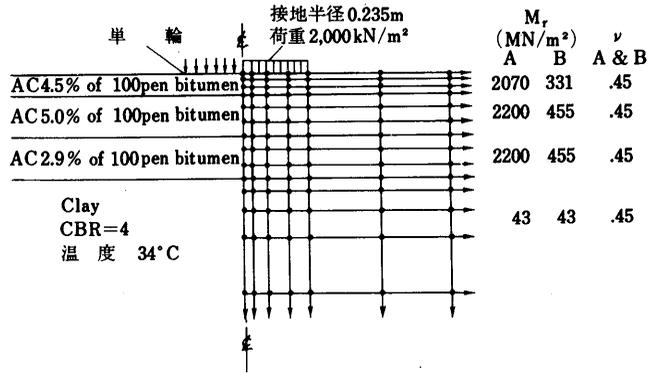


図-14 有限要素法を用いたアスコン層の解析

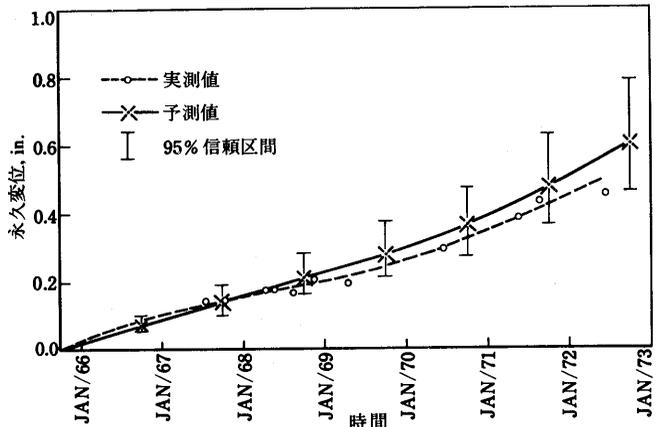


図-15 時間と永久変位との関係—セクション3—
(アスファルトコンクリート層の厚さ 29cm)

Conference. on the Structural Design of Asphalt Pavements 1972

- 2) Dorman "Design Curves for Flexible Pavements Based on Layered System Theory" HRR 71 1965
- 3) R.G.Hicks 他 "Prediction of Pavement Performance from Calculated Stress and Strains at the San Diego Test Road" AAPT 1974
- 4) 阿部頼政 アスファルト 116 日本アスファルト協会 p 14~23

分類Ⅳ 供用性・その他

阿部 忠行

1. はじめに

本章で取上げた文献は8編(文献番号⑳, ㉑, ㉒, ㉓, ㉔, ㉕, ㉖)であり, 前章までの3つの分類(わだち掘れ, 低温クラック, 疲労クラック)のカテゴリに組入れ難いものである。したがって, 前章までのような統一的主题が定まっていない。しかし, ここではこれらの文献を紹介するにあたって, 筆者は, 図-1に示すような舗装設計の流れに沿って各文献を位置づけながら紹介する。

① 舗装設計 (ブロック1)

材料特性, 荷重特性, 路床条件および環境条件などの設計条件を入力し舗装厚を仮定する。仮定断面に対して理論解析によって応力, 歪, 変位などの応答特性を把握する。次に供用という経時的要素を考慮した場合の応答特性として破壊モデル(クラックなどの予測), 変形モデル(わだち掘れなどの予測), あるいは快適性モデル(PSIなど)によって各々の因子に関する予測を行う。このブロックに関連する文献は, 入力に関する

もので C.L.Monismithら,^㉑E.Tonsら,^㉒R.D.Pavlovich^㉓らの研究があり, 理論解析及び応答特性に関するものには Y.M.Salam^㉔らの研究がある。

② 実態調査 (ブロック2)

ブロック1によって決定した断面で実際に供用した場合の挙動特性を実験的に調査検討するシステムである。ここではフルスケール実験の例について O.E.Manz^㉕らの研究を紹介する。

③ 解析手法 (ブロック3)

試験舗装や供用中の舗装を調査研究するには調査解析手法を定めなければならない。そして調査解析から得られた結果をもとに破損形態を分類し, その要因や原因および対処方法について解析する。破損形態分類の代表的な例を C.L.Monismithら,^㉑I.Iohaiら^㉖の研究によって紹介する。

④ 供用性と破損

分類解析した種々の破損(distress)と供用性(performance)との関係について現在の道路技術においては明確でない。これら両者の関係の定量化が必要であり, ないがしろにし得ないと主張しているのが F.McCullough^㉗らの研究である。

以下はこれまで述べてきたブロック順に従って各文献内容について紹介する。

2. アスファルトの分類^㉘

1) 概要

現在, 米国においては80%の州において, 60°C粘度によりアスファルトを分類しているが E.Tonsらは25°C粘度によって分類すべきであると主張している。その理由として著者らが研究対象にしているミシガン州の環境条件と25°C針入度との相関性の良さをあげている。

合衆国北部の同州では平均路面温度が25°C 或いはそれ以下であり, 冬期には-20°C以下になることも多い。このような条件下では低温クラックが舗装破壊の主形態となる。したがって, アスファルトの分類は高温領域のコントロールを主目的とした60°C粘度による分

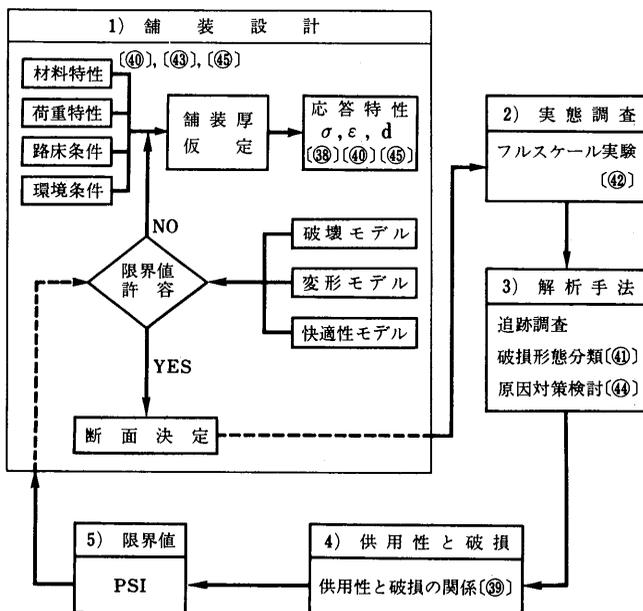


図-1 舗装設計の概念

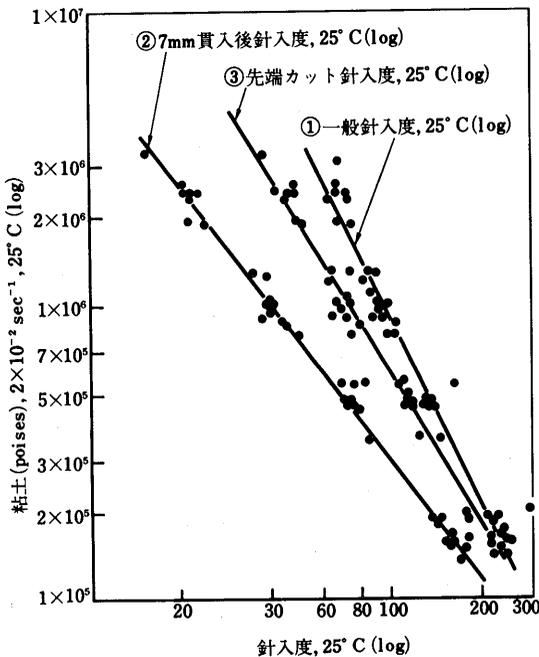
類よりも、25°C 或いはそれ以下の温度による粘度で分類する方法が合理的であるというものである。また25°C 針入度との相関性については次に述べるとおりである。

2) 各温度における粘度と針入度との関係

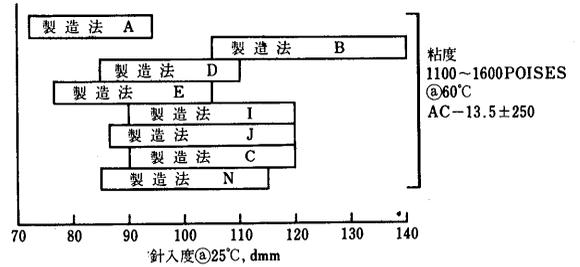
E. Tons らは60°C 粘度、25°C 粘度および25°C 以下の温度における粘度と25°C 針入度との相関を求めた。なお粘度の測定は円錐—平板型粘度計を用い、せん断速度を $2 \times 10^{-2} \text{ sec}^{-1}$ とした。また針入度試験精度の影響を検討するために次のような3種類の試験法を行った。

- ① 普通の試験方法
- ② あらかじめ針先を7 mm 貫入しておく方法
- ③ 針先の先端をカットし半球形にした針を使用する方法

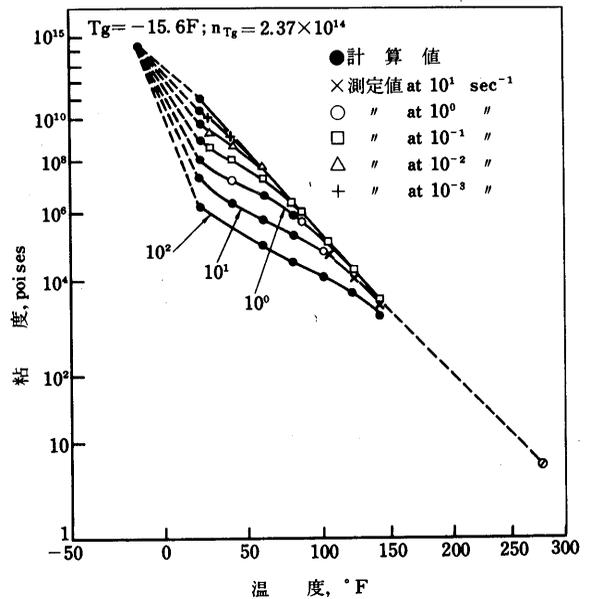
なお②の方法は、アスファルトの硬軟によって生じるせん断速度の変動を少なくすること、③の方法は種々のコンシステンシーのアスファルトに対して試験中のせん断速度の差異を少なくすることを目的としたものである。試験結果より得られた25°C 粘度と25°C 針入度の関係および60°C 粘度と25°C 針入度の関係は、それぞれ図—2、図—3に示すとおりである。この図によると60°C 粘度と25°C 針入度の関係は製造法によってかなりのバラツキがあるが、25°C 粘度と25°C 針入度の相関性はかなり高い。次にせん断速度を種々に変化させた時の粘度と温度の関係を図—4に示す。この図によってガラス転位点から135°C までの範囲における各温度とせん断速度にたいする粘度がわかる。



図—2 粘度～針入度(ミシガン州アスファルト43)



図—3 80/100針入度を得るための粘度



図—4 温度～粘度 (60/70針入度・ミシガンアスファルト-73B-1)

3) 結果

以上から次のようなことを結論としている。

- ① ミシガン州などのような舗装破損の形態で低温クラックが主問題となる地域ではアスファルトの分類を60°C 粘度でするよりも25°C 粘度でするべきである。
- ② 25°C 粘度の測定は、円錐—平板試験法によるのが良い。その時のせん断速度は $2 \times 10^{-2} \text{ sec}^{-1}$ が適当である。
- ③ 試験条件を3種類変化した針入度試験と粘度試験の結果から判断すると針入度試験でもせん断速度の差異が測定の精度に影響する。
- ④ ③の試験のうち、あらかじめ針を貫入(7 mm)しておいてから試験を行った針入度と粘度の関係が一番相関が高い。

- ⑤ ガラス転位温度における粘度と135℃における粘度を求めれば混合、舗設および供用中の任意の温度とせん断速度におけるコンシステンシーが求められる。

この文献の主張と同様に、N.W. McLeod¹⁾はカナダ全域や合衆国北部のような冬期低温地域ではアスファルトの分類を20℃で行うべきであるとしている。

以上は、低温クラックを抱えている地域における粘度のとらえ方である。高温時の流動について問題が多い日本では、逆に60℃粘度による分類が妥当であるとも言えよう。

3. 混合物の力学特性[®]

1) 概要

実験条件、材料を種々に変えて直接引張試験を行ない破断時の歪(限界歪)と種々の要因との関係を分散分析によって解析したR.D. Pavlonichらの研究を紹介する。

2) 実験

装置——実験装置は図—5に示すとおりである。

要因——限界歪に影響を与える要因として次の項目を設定した。

- ① アスファルトの種類 ② 骨材の種類
③ 温度および ④ 歪速度

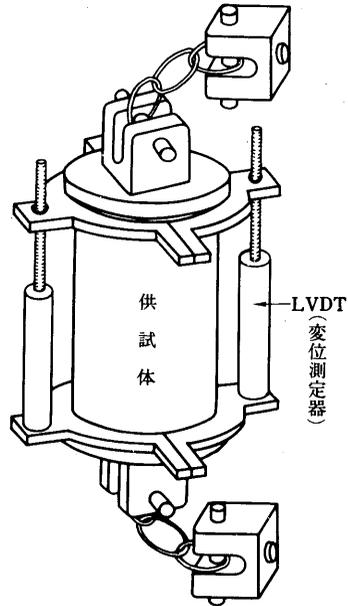
- ① アスファルトの種類は針入度60~70, 85~100, 120~150の3種類と粘度の高・低による全6種類。
② 骨材の種類は粒度分布によって粗粒度、密粒度および細粒度の3種類。
③ 温度は60℃, 42.5℃, 25℃, 7.5℃, -10℃, および-27.5℃の6種類。
④ 歪速度は車両の限界速度や飛行機の離着陸時の速度を仮定して、上限値 $159 \times 10^{-6} \cdot \text{sec}^{-1}$ とし、下限値は、長時間にわたる温度変化を想定して $0.6 \times 10^{-6} \cdot \text{sec}^{-1}$ とした。

これらの要因を全て組み合わせると、その組み合わせは1296通りになり、これらを全て実施するのは時間と費用がかかりすぎるので、次のような方法で簡素化した。

- ① 温度条件を25℃一定とし、アスファルト混合物の種類のみをかえてアスファルト混合物の種類の変化による影響を検討した。
② 次に①の結果について解析してアスファルトの種類の代表的なものを選定し、温度条件のみを変化させて温度による影響を検討した。
③ 最後に①, ②で欠落したものについて補足試験を実施した。

3) 結果

各要因の限界歪に対する相関性を実験結果ごとに分



図—5 実験装置

散分析表を作成して解析を行った。その結果次のような結論が得られた。

- ① 限界歪に対して最も影響の大きな要因は温度である。例えば60℃における限界歪は-27.5℃におけるときの300~500倍の値を示す。
② 粘弾性材料では当然であるが、せん断速度も限界歪に影響を及ぼす。しかし、実際の車両走行における速度範囲の変動は温度変化の2~3℃程度の変化に等しい量である。
③ 骨材粒度で細粒分が多いものが限界歪は大きな値を示す。
④ 本研究で採用したアスファルトの範囲では、アスファルトの種類の違いは限界歪にあまり影響を与えない。
⑤ 各アスファルト、温度、荷重時間および骨材体積に対するアスファルト混合物のスティフネスを実測したが、実測値とVan der Poelのノモグラフによって求めた値とはかなりの精度で一致した。

本研究は引張試験による限界歪に関するものであるが、同じように直接引張試験によって引張強度を求めたMonismithら[®]の研究成果を比較検討のため、付記する。

- ① 空隙量—空隙量が減少すると引張強度は増加する。
② 骨材粒度—一般的範囲では粒度が細くなるほど引張強度は増加する。

- ③ アスファルト量—引張強度が最大となる最適アスファルト量が存在する。

アスファルトコンクリート表層の破壊予測 (口の数字は破壊発生順位を示す)

4. 破壊の理論的解析^⑧

1) 概要

本文献はY.M.Salamらが交通荷重によって生じる破壊の発生位置を理論解析によって予測したものである。

2) 解析方法

交通荷重の一般的載荷状態を垂直荷重としてとらえ、飛行機着陸時や車両の制動時に生じる荷重を水平荷重としてとらえた。なお水平荷重は垂直荷重の $\frac{1}{2}$ とした。

ここで解析対象としたのは、次の

4 ケースについてである。

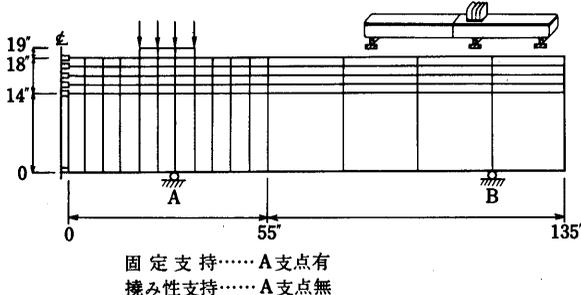
- ① 橋梁スラブ上のアスファルトコンクリート層……固定支持
- ② 橋梁スラブ上のアスファルトコンクリート層…撓み性支持

- ③ セメント処理混合物層上のアスファルトコンクリート層
- ④ 厚いアスファルトコンクリート層 (フルデプスタイプ)

解析方法は次のとおりである。最初にアスファルト混合物やセメント処理混合物の基本物理特性である、応力—歪関係を室内試験により求めておく。次に試験によって得られた物理定数を使って有限要素法により舗装体内部に生じる応力や歪分布および変位を計算する。なお計算条件は平面応力状態である。

3) 結果

床板上のアスファルトコンクリート層で撓み性支持では表面変位の最大値は0.22mmであったが、固定支持

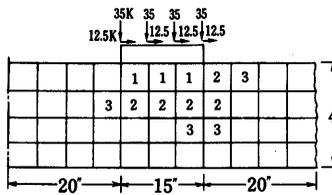


図—6 床版上舗装の有限要素法による解析

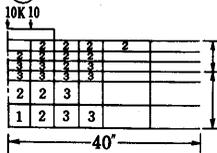
① 撓み性支持 4°C



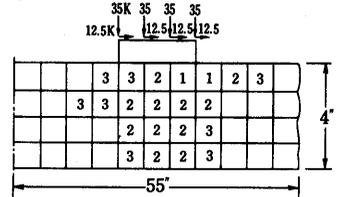
② 固定支持 21°C



③ セメント処理路盤

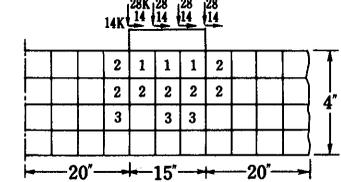


④ 撓み性支持 21°C



⑤ 固定支持 21°C

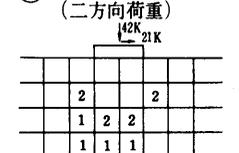
(床版との接着が弱い)



⑥ フルデプスタイプ (垂直荷重)



⑦ フルデプスタイプ (二方向荷重)



図—7 破壊発生予測

では非常に小さかった。破壊は撓み性支持では圧縮で生じる。一方、固定支持においては4°Cで引張、20°Cでは圧縮で破壊が生じる。また、床版との接着が弱い場合には圧縮と引張と混合した形で生じる。

次に各条件における破壊の生じ易い順位を示したのが図—7・①～⑦である。これらの図からわかるように①、④の撓み性支持では荷重載荷部の踵部に破壊が生じ易い。しかし、③、⑤の固定支持では荷重直下が一番危険である。また③のような路盤にセメント処理混合物を使用したタイプではセメント処理層下面に破壊が生じやすいことがわかる。これは、セメント処理層を用いた舗装において一般に見られるリフレクションクラックの危険性を証明していることになる。一方、④のようなアスファルト混合物の厚い層 (フルデプスタイプ) において垂直荷重載荷のみでは層下面および表面より $\frac{1}{4}$ 層厚の深さにも破壊しやすいところがある。しかし、⑦にみられるように同一構造でも2方向成分の荷重では層の最下面に弱点があることがわかる。

この文献の結果は実際のクラック発生機構との対照上非常に興味のあるデータである。しかし、計算過程における材料の物理定数や拘束条件など仮定のとり方によって計算結果はかなり異なってくるものと思われる。そのような点も考慮しながら

表—1 試験断面と構成

試験断面	(4") 路 盤	(2") 表 層
No.	構 成	構 成
①	セメント処理路盤(骨材+7%セメント)	加熱アスコン(針入度120-150)
②	セメント処理路盤(土+8%セメント)	" "
③	石灰及びフライアッシュ処理路盤(骨材+2%石灰+17%フライアッシュ)	" "
④	石灰及びセメント処理路盤(土+2%石灰+4%セメント)	" "
⑤	瀝青材路盤(骨材+6.5%アスファルト乳剤<CMS-25>)	" "
⑥	瀝青材路盤(骨材+6.4%アスファルト<120-150>)	" "
⑦	瀝青材路盤(骨材+6.6%アスファルト<200-300>)	" "
⑧	セメントコンクリート路盤(骨材+セメント<6袋>)	" "
⑨	セメントコンクリート路盤(骨材+セメント<4袋>)	" "
⑩	セメント処理路盤(骨材+7%セメント)	加熱アスコン(SC-3000)
⑪	セメント処理路盤(土+8%セメント)	" "
⑫	石灰及びフライアッシュ処理路盤(骨材+2%石灰+17%フライアッシュ)	" "
⑬	石灰及びセメント処理路盤(土+2%石灰+4%セメント)	" "
⑭	瀝青材路盤(骨材+6.5%アスファルト乳剤<CMS-25>)	" "
⑮	瀝青材路盤(骨材+6.4%アスファルト<120-150>)	" "
⑯	瀝青材路盤(骨材+6.6%アスファルト<200-300>)	" "
⑰	セメントコンクリート路盤(骨材+セメント<6袋>)	" "
⑱	セメントコンクリート路盤(骨材+セメント<4袋>)	" "
試験断面	(6") 路 盤	(2") 表 層
No.	構 成	構 成
⑲	セメント処理路盤(骨材+7%セメント)	加熱アスコン(針入度120-150)
⑳	セメント処理路盤(土+8%セメント)	" "
㉑	石灰及びフライアッシュ処理路盤(骨材+2%石灰+17%フライアッシュ)	" "
㉒	石灰及びセメント処理路盤(土+2%石灰+4%セメント)	" "
㉓	瀝青材路盤(骨材+6.5%アスファルト乳剤<CMS-25>)	" "
㉔	瀝青材路盤(骨材+6.4%アスファルト<120-150>)	" "
㉕	瀝青材路盤(骨材+6.6%アスファルト<200-300>)	" "
㉖	セメントコンクリート路盤(骨材+セメント<6袋>)	" "
㉗	セメントコンクリート路盤(骨材+セメント<4袋>)	" "
㉘	国際規格粒状路盤	" "
㉙	セメント処理路盤(骨材+7%セメント)	加熱アスコン(SC-3000)
㉚	セメント処理路盤(土+8%セメント)	" "
㉛	石灰及びフライアッシュ処理路盤(骨材+2%石灰+17%フライアッシュ)	" "
㉜	石灰及びセメント処理路盤(土+2%石灰+4%セメント)	" "
㉝	瀝青材路盤(骨材+6.5%アスファルト乳剤<CMS-25>)	" "
㉞	瀝青材路盤(骨材+6.4%アスファルト<120-150>)	" "
㉟	瀝青材路盤(骨材+6.6%アスファルト<200-300>)	" "
㊱	セメントコンクリート路盤(骨材+セメント<6袋>)	" "
㊲	セメントコンクリート路盤(骨材+セメント<4袋>)	" "
㊳	国際規格粒状路盤	" "
試験断面	(4") 路 盤	(4") 表 層
No.	構 成	構 成
㊴	セメント処理路盤(骨材+7%セメント)	加熱アスコン(針入度120-150)
㊵	セメント処理路盤(土+8%セメント)	" "
㊶	石灰及びフライアッシュ処理路盤(骨材+2%石灰+17%フライアッシュ)	" "
㊷	石灰及びセメント処理路盤(土+2%石灰+4%セメント)	" "
㊸	瀝青材路盤(骨材+6.5%アスファルト乳剤<CMS-25>)	" "
㊹	瀝青材路盤(骨材+6.4%アスファルト<120-150>)	" "
㊺	瀝青材路盤(骨材+6.6%アスファルト<200-300>)	" "
㊻	セメントコンクリート路盤(骨材+セメント<6袋>)	" "
㊼	セメントコンクリート路盤(骨材+セメント<4袋>)	" "
㊽	セメント処理路盤(骨材+7%セメント)	加熱アスコン(SC-3000)
㊾	セメント処理路盤(土+8%セメント)	" "
㊿	石灰及びフライアッシュ処理路盤(骨材+2%石灰+17%フライアッシュ)	" "
㉀	石灰及びセメント処理路盤(土+2%石灰+4%セメント)	" "
㉁	瀝青材路盤(骨材+6.5%アスファルト乳剤<CMS-25>)	" "
㉂	瀝青材路盤(骨材+6.4%アスファルト<120-150>)	" "
㉃	瀝青材路盤(骨材+6.6%アスファルト<200-300>)	" "
㉄	セメントコンクリート路盤(骨材+セメント<6袋>)	" "
㉅	セメントコンクリート路盤(骨材+セメント<4袋>)	" "
㉆	セメントコンクリート路盤(骨材+セメント<4袋>)	" "
試験断面	(6") 路 盤	(4") 表 層
No.	構 成	構 成
㉇	セメント処理路盤(骨材+7%セメント)	加熱アスコン(針入度120-150)
㉈	セメント処理路盤(土+8%セメント)	" "
㉉	石灰及びフライアッシュ処理路盤(骨材+2%石灰+17%フライアッシュ)	" "
㊱	石灰及びセメント処理路盤(土+2%石灰+4%セメント)	" "
㊲	瀝青材路盤(骨材+6.5%アスファルト乳剤<CMS-25>)	" "
㊳	瀝青材路盤(骨材+6.4%アスファルト<120-150>)	" "
㊴	瀝青材路盤(骨材+6.6%アスファルト<200-300>)	" "
㊵	セメントコンクリート路盤(骨材+セメント<6袋>)	" "
㊶	セメントコンクリート路盤(骨材+セメント<4袋>)	" "
㊷	国際規格粒状路盤	" "
㊸	セメント処理路盤(骨材+7%セメント)	加熱アスコン(SC-3000)
㊹	セメント処理路盤(土+8%セメント)	" "
㊺	石灰及びフライアッシュ処理路盤(骨材+2%石灰+17%フライアッシュ)	" "
㊻	石灰及びセメント処理路盤(土+2%石灰+4%セメント)	" "
㊼	瀝青材路盤(骨材+6.5%アスファルト乳剤<CMS-25>)	" "
㊽	瀝青材路盤(骨材+6.4%アスファルト<120-150>)	" "
㊾	瀝青材路盤(骨材+6.6%アスファルト<200-300>)	" "
㊿	セメントコンクリート路盤(骨材+セメント<6袋>)	" "
㉀	セメントコンクリート路盤(骨材+セメント<4袋>)	" "
㉁	国際規格粒状路盤	" "
㉂	国際規格粒状路盤	" "

ら今後現場調査のデータなどとの対応をみながら研究を進めて行く必要もあると思われる。

5. フルスケール実験^④

1) 概要

これまで述べてきたとおり、室内実験や理論解析などから舗装の破損に関する研究が行われているが、やはりAASHO道路試験にみられるようなフルスケールの試験舗装が有効であることは論をまたない。

ここで紹介する O.E. Manz の研究は AASHO の暫定設計指針²⁾で示された地域係数を考慮して、それぞれの地域に適した設計を行い検証するものである。

2) 試験舗装

施工規模は全長 6.50km, 1 断面の平均長は 152m, 幅は道路幅員の半分であり全断面数は76箇所である。舗装構造の詳細を表一1に示す。なお、舗装構造の分類は先ず路盤の種類によっている。

①セメント処理混合物, ②ソイルセメント, ③セメントおよび石灰で処理した土, ④貧配合コンクリート^④, ⑤貧配合コンクリート^⑤, ⑥アスファルトコンクリート, ⑦アスファルト乳剤処理, ⑧石灰およびフライアッシュ処理骨材, ⑨一般的規格の骨材である。

次に表層材のアスファルトは、針入度が 120 ~ 150 (25°C, 0.1mm)のストレートアスファルト AC120~150 と 60°C 粘度が 3000~6000cst のカットバックアスファルトの 2 種類である。

また厚さの組合せを(表層厚+路盤厚)で示すと次の 4 通りである。

① (102mm+51mm), ② (102mm+102mm), ③ (152mm+51mm) および, ④ (152mm+102mm) である。

3) 測定と結果

測定は次の項目について実施した。

①平坦性(わだち掘れも含む), ②たわみ性状, ③クラックパターン。

測定結果を解析して次の事がわかった。

① 瀝青材は舗装の路盤材として力学性, 経済性ともに非常に有効である。

② 剛性の高い材料を路盤に使用した時にクラックを最小にするためには, 表層に用いるアスファルトは,

表一2 アスファルト舗装の破損形態分類

破損形態	原因	直接原因	現象
破 壊 (クラック)	交通荷重載荷	くり返し交通荷重 水平力 (表面に作用する制動荷重) 過載荷重	疲 勞 すべり 縦・横クラック
	交通荷重無載荷	温度変化 含水量変化 処理剤の乾燥収縮 (セメント処理材)	横断クラック(一定間隔) 横断クラック(一定間隔) 横断クラック(一定間隔)
変 形 (永久変形)	交通荷重載荷	過載荷重 (特定箇所走行) くり返し載荷	塑性流動(或いはせん断流動) わだち掘れ(輪荷重によって 生じる小さな永久変 形が累積したもの)
	交通荷重無載荷	路床の膨脹 地盤の圧縮 凍上	乾燥或いは膨脹 沈下
崩 壊 (ラベリングなど)	交通荷重載荷	くり返し載荷	表面剝離
	交通荷重無載荷	環境の影響と混合物の設計 及び材料特性	水及び水蒸気によるスティフ ネスやすべり抵抗の減少

AC120~150に比べてSC3000の方が有効である。

③ しかし, SC3000は重車両が通過するところで, かつ気温の高いときには, わだち掘れの生じる危険性がある。

④ 1年後の調査結果では, 舗装厚が厚い方がサービス指数(PSI)が大きな値を示した。

6. 破損形態の分類^④

1) 概要

アスファルト舗装に生じる破損の種類は千差万別であり, それらを画一的に分類整理するのは非常に困難な事である。ここでは Monismithらによる分類を表一2に示す。

表一1によると舗装の破損^{*1}(distress)は3つの形態に大別される。クラックなどで代表される“破損”^{*2}(fracture), わだち掘れなどで代表される“変形”^{*3}(distortion), および材料物性的な“崩壊”^{*4}(disintegration)である。

*1, *2, *3, *4, これらの名称は本章のみにおける分類名称である。

2) 破壊と変形

破壊に対するアプローチはすでにかなり明らかにされている。例えば, 疲労特性についてみるとその特性は式(1), あるいは(2)によって表現される。すなわち, 実験定数である A, b, C, d を求めることによって破壊までの載荷回数 N_f が推定できる。そして, これらの推定値は, 実測値との適合が良い事が証明されていると本論文で述べている。

$$Nf = A \left(\frac{1}{\epsilon} \right)^b \dots\dots\dots(1)$$

$$Nf = C \left(\frac{1}{\sigma} \right)^d \dots\dots\dots(2)$$

ここで、 ϵ は引張歪、 σ は引張応力である。

一方、変形特性については未だそれほど明確になっていない。なお適用する実験はクリープ試験や三軸圧縮試験である。

また、これらの実験において応力制御型と歪制御型がある。それは次の関係式(3)のモード係数によって定義される。

$$NF = \frac{|A| - |B|}{|A| + |B|} \dots\dots\dots(3)$$

ここで、

NF = モード係数

A = スティフネスC%減少による
応力の減少率

B = スティフネスC%減少による歪の減少率(%)

C = スティフネスの減少率によって定まる係数

このモード係数は応力制御に対しては-1、歪制御に対しては+1となる。

表層の厚さと、モード係数の関係を図-8に示す。これによると、表層がうすいタイプの舗装では歪制御型であり、重交通道路や飛行場舗装のような表層が厚いタイプでは応力制御型であることがわかる。これら制御の型が異るとアスファルト混合物の特性の変化に伴うスティフネスの変化および疲労寿命も相違する。(表-3参照)

以上、本文献で述べられた形態分類によって、アスファルト舗装の破損が全て網羅されたわけではない。

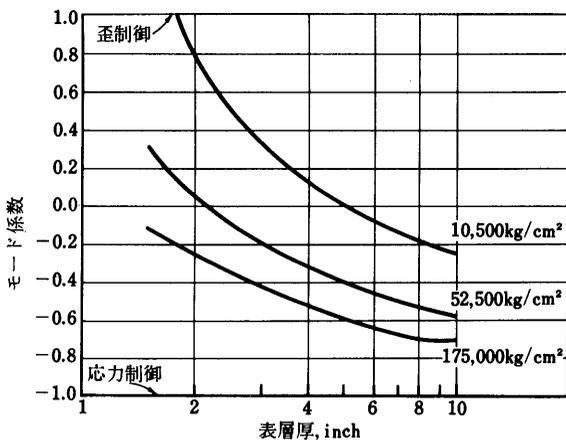


図-8 表層厚とモード係数の関係

($E_2 = 7000 \text{ kg/cm}^2$, $E_3 = 280 \text{ kg/cm}^2$, $h_1 + h_2 = 28 \text{ in}$)

表-3 アスファルト混合物のスティフネスと疲労寿命に影響を及ぼす因子

因子	因子の変動	因子変動の効果		
		スティフネス	応力制御による試験の疲労寿命	歪制御による試験の疲労寿命
アスファルトの針入度	減少	増加	増加	減少
アスファルト量	増加	増加 ¹	増加	増加 ²
骨材の種類	ラフな表面や角ばり形状の増加	増加	増加	減少
骨材の粒度	開粒~密粒	増加	増加	減少 ⁴
空気量	減少	増加	増加	増加 ⁴
温度	減少	増加 ³	増加	減少

1. 安定度試験における最適値に近づく
2. データ不足
3. 温度が0℃以下で上限に向う。
4. データ不足

しかし、一つの指針として非常に有効なものであろう。

また、舗装厚によって載荷モードが異なる事を式化した事は興味深い。

6. 破損形態の実態調査

1) 概要

ここでは、常温混合物路盤をもつ舗装の破損形態とその対策についてI. Iohaiらの研究を紹介する。

2) 調査方法

調査方法は、道路技術者や道路管理者に対するアンケート調査による。なお、対象とした地域は米国中西部各州(イリノイ、カンサス、インディアナ、ネブラスカ、ミシガン、ミネソタ、アイオワ、オハイオ)である。

表-4 常温混合物路盤の主な破損原因 (全ての破損原因を含む)

常温混合物路盤の破損原因	件数	比率(%)
高揮発性アスファルト量過多	74	26.0
設計・施工管理の不適	59	20.7
下層安定度不足	56	19.7
交通荷重の増加	26	9.1
構造欠陥(厚さ不足)	19	6.7
アスファルトの種類不適	13	4.6
アスファルト量不足	12	4.2
厳しい気象条件	11	3.9
骨材の不良	9	3.2
シール不足	6	2.1

但し、路盤の軟弱化や泥濘化による破損も含む。

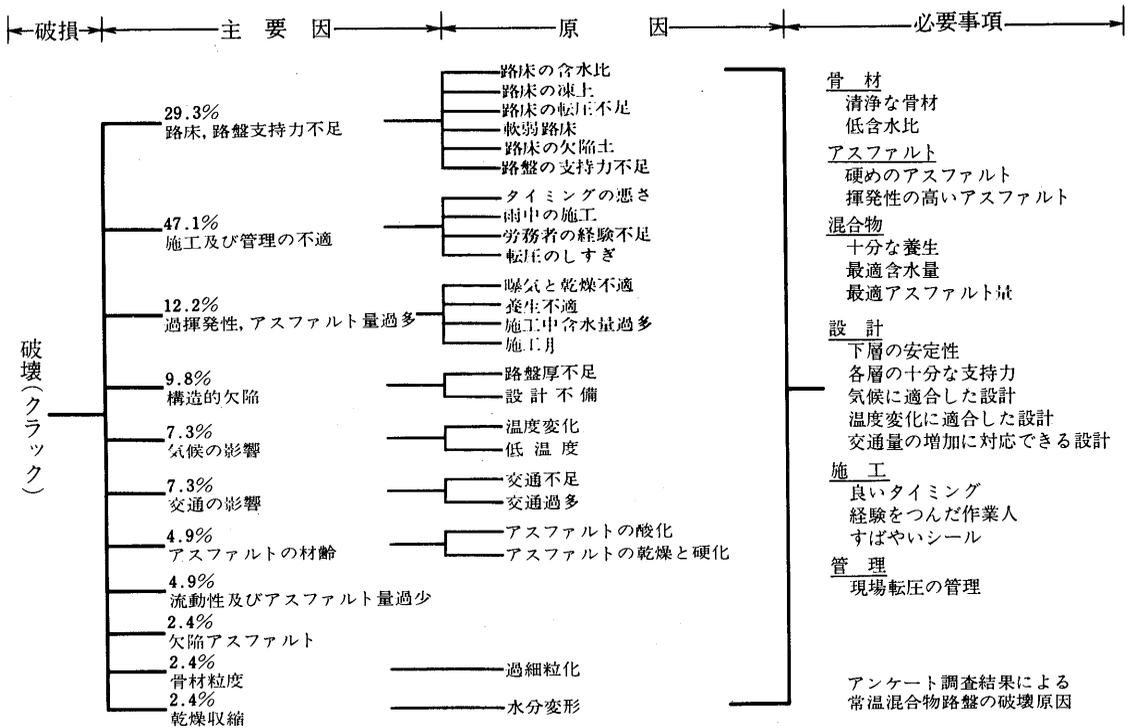


図-9 路盤の破壊原因

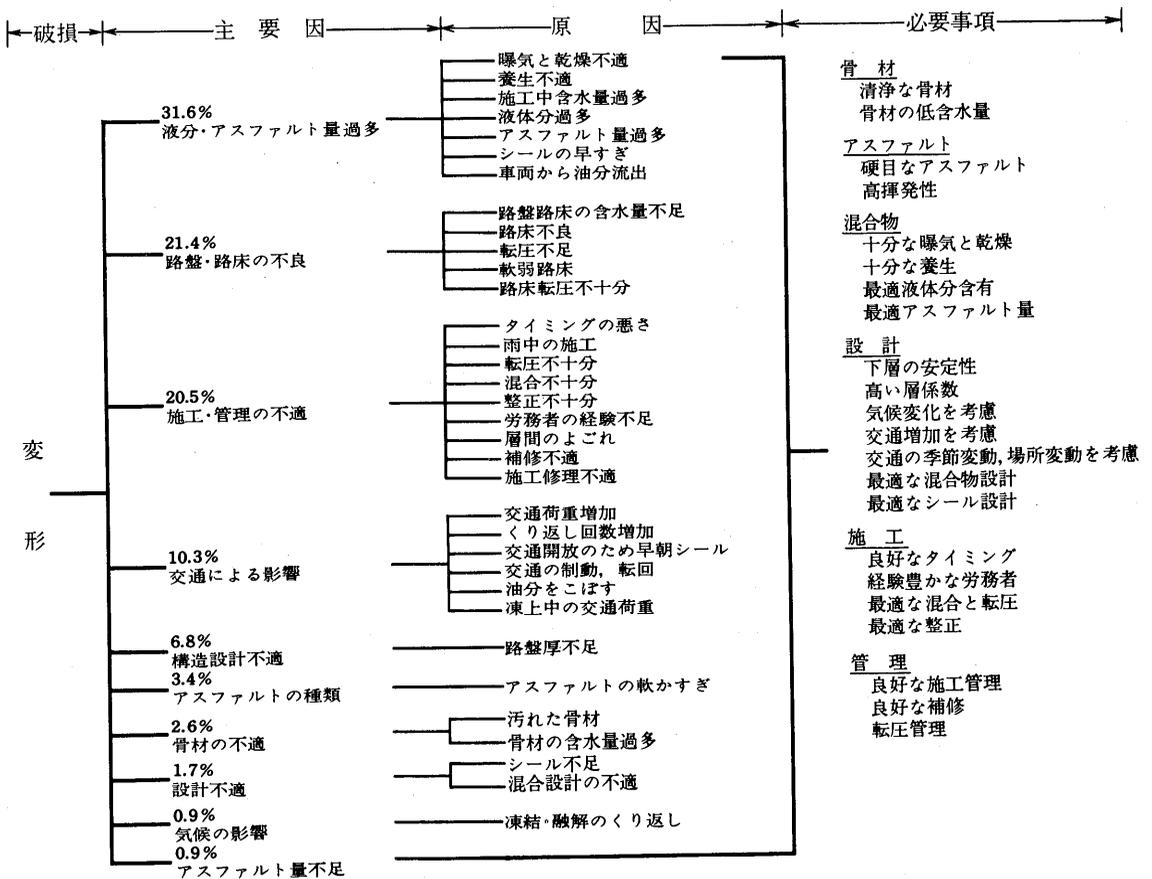


図-10 アンケート調査結果による常温混合物路盤の変形原因

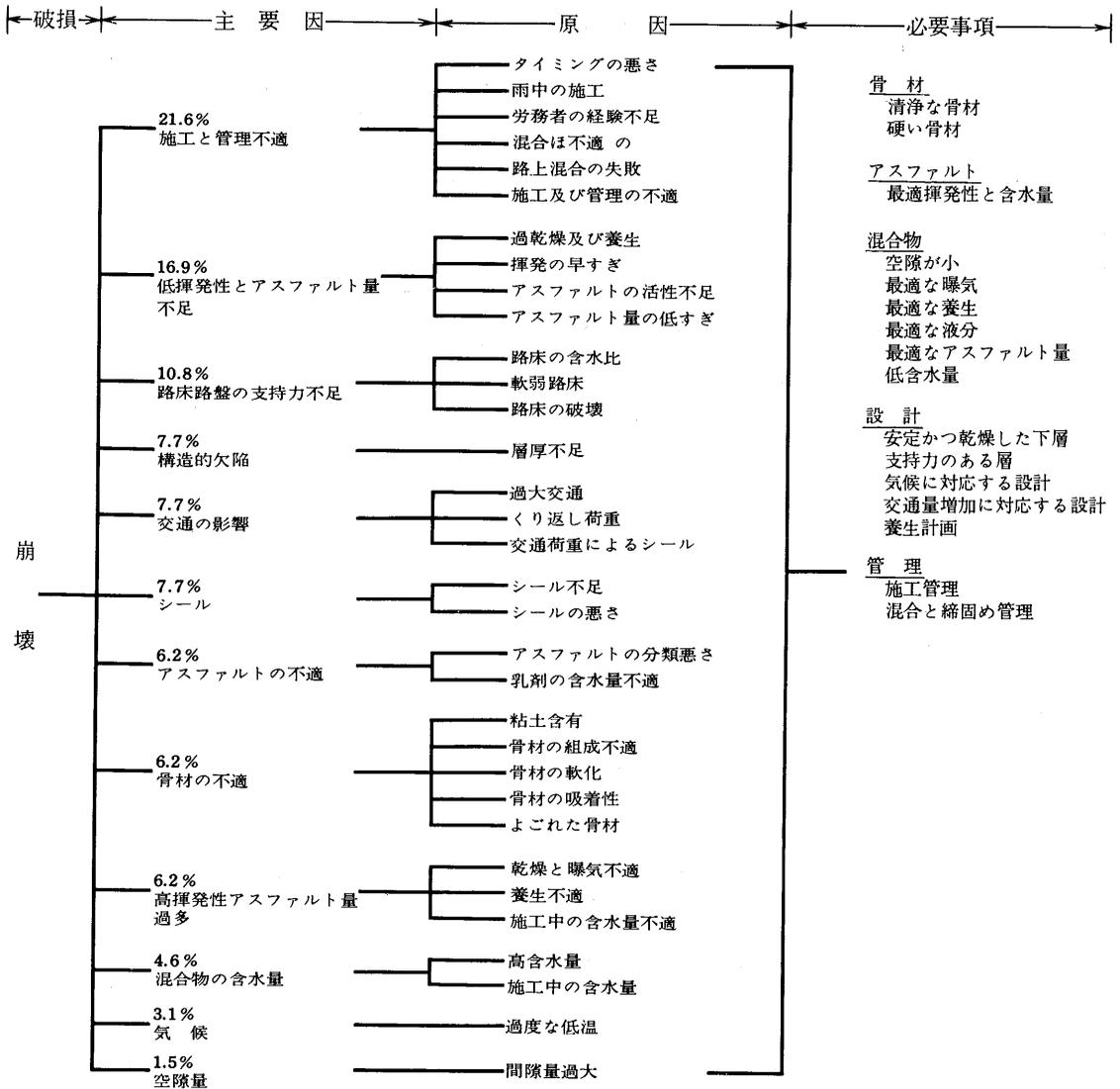


図-11 アンケート調査結果による常温混合物路盤の崩壊原因

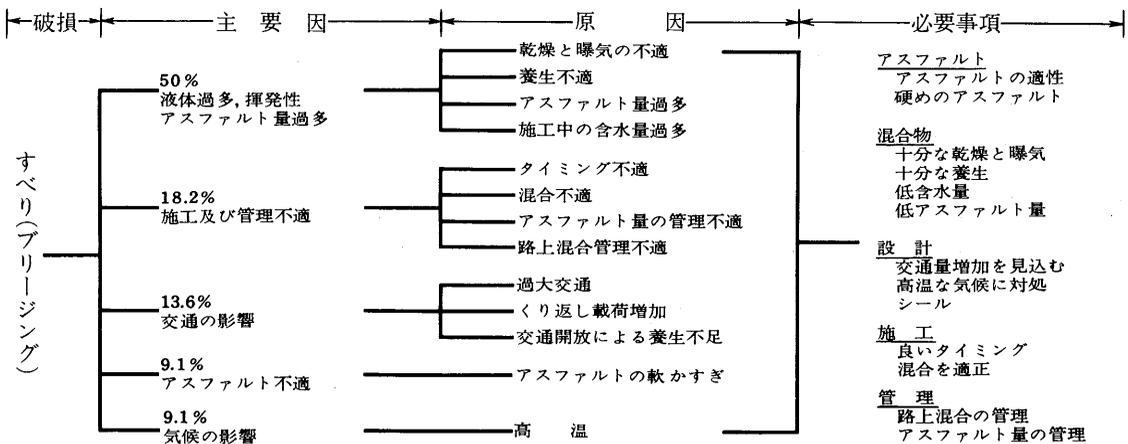


図-12 アンケート調査結果による常温混合物路盤の破壊原因

3) 結果

アンケート調査の回答数や調査規模を整理した結果を表-3に示す。この表によって、各州における常温混合物を路盤に用いた件数やプラント混合および現場混合の比率とともに施工規模がわかる。次に回答をもとに各破損形態別に要因の構成比率、要因および対策について整理分類した結果は図-9～図-12に示すとおりである。全体的な破損の原因について整理したのが表-4である。これらの結果から、破損の主原因はバインダーの揮発性が高すぎることで、アスファルト量の不適、施工や管理の不備および下層の支持力不足などが考えられる。

最後に破損原因の代表例としてアスファルト量と破損の関係について示したのが図-13である。これによるとアスファルト量を変化させるとある破損形態には有効であるが他の形態が悪化するという、いわゆるトレード・オフ関係があることがわかる。著者らは舗装設計にあたってはこのような関係を十分配慮して、それらの平衡を保つ事に心がける必要性を強調している。

本文献で対象としたのは常温混合物を路盤に使用した舗装という限定ではあるが、その調査方法およびまとめ方は他でも利用できる手法であり、一般的舗装にも準用しうるのであろう。

またアンケート調査による方法では被検者の特性が回答に反映するので、被検者の選定には十分留意する必要がある。

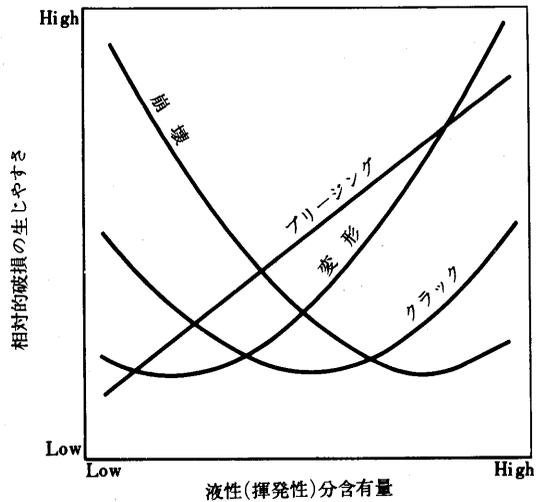


図-13 常温混合物における液体含有量と種々の破損傾向との関係

8. 供用性と舗装破損^⑧

1) 概要

これまでは、舗装の設計、実態調査、解析手法と述べてきたが、ここでは供用性と破損の関係についてのF. McCulloughらの研究を紹介する。本文献では、現在の道路技術において供用性と破損の関係が定量化されていないと強調している。そして、両者をもっと有機的に結びつける必要があるとも述べている。

2) 供用性と破損の関係

供用性と破損との関係を各サブシステムのモデルを使って示すと図-14のとおりである。この図によると、データの入力(1ブロック)から設計モデル(5ブロック)を経てサービス指数式(6ブロック)とともに供用性モデル(4ブロック)へと達する。一方、舗装の挙動、とくに力学的応答に目を向けると入力から解析モデル(7ブロック)とともに応答モデル(2ブロック)へ進み、次に破損モデルとともに破損モデル(3ブロック)へと至る。

しかし、ここで供用性モデル(4ブロック)へ進む経路が明確でない。(図中点線

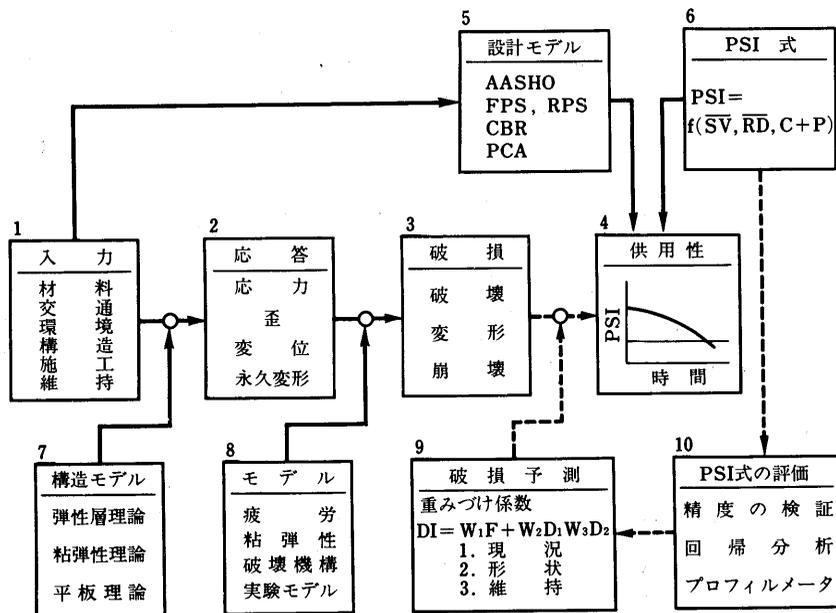


図-14 破損と供用性の関係

で表示)。この点線を実線にするためには、次のような経路が必要である。すなわちPSIを更に検証し、その成果として各因子に重み付けをした破損予測のモデル(9ブロック)を完成させ、このモデルを媒介させる必要がある。このようなことから供用性と破壊の関係を定量化するためには、舗装の現況における性能特性の把握と各因子の予測モデルの確立が重要であり、かつ急務である。

そして、同時に問題となるのは舗装の現況を正確に把握する調査手法であることも述べている。本文献では動的プロフィールメーターなどを紹介している。

このようにして、供用性と破損の関係が定量化できれば、舗装設計の概念が単に舗装厚を決定することではなく、維持補修計画をも含めたものとして機能することが出来る。

今後、舗装設計をシステムとしてとらえようとする時には、本文献で述べていることは必要不可欠であろう。

9. おわりに

以上、各文献を個々に紹介してきたが、最後に全体を通して、本章担当者の感想を述べさせていただく。

舗装技術に携わるものにとって、本章で取上げたアスファルトの分類、混合物の力学特性、破壊の理論解析、試験舗装、破損形態の分類、破損と供用性などは

どれをとっても難しい問題である。これらは一見単独の課題のように見えるが、舗装設計の流れの中で各々が関連しあっている。このような問題のなかで、とくに多くの研究者が、実供用した舗装の性能を評価する方法の確立を模索しているところである。そして、それらが確立すれば、より正確な舗装寿命の予測や目的に応じた限界値の設定がなされるであろう。

近年、舗装設計を従来のように断面的ではなく、総括的なシステムとしてとらえる機運がある。例えば米国で開発されたSAMP(System Analysis Method for Pavement)、FPS(Flexible Pavement System)、OPAC(the Ontario Pavement Analysis of Costs)、RPS(Rigid Pavement System)、VESYS(Viscoelastic System)など³⁾がその例である。

これらのシステムでは定められた設計条件を入力すればそのアウトプットとして供用寿命の予測から経済比較まで入手できる。しかし、その予測値と実測値の間にはまだ大きな隔たりがあるのが現況である。

そして、各サブシステムのより詳細な検討が要求され、かつそのような研究の重要性が改めて再認識されているのが現状である。

このようなことから、個々の課題のより詳細な研究とともに、それらを有機的に結びつけながら研究を進めて行く必要がある。

参考文献

- 1) Norman. W. Mcleod, GRADING ASFALT CEMENTS BY PENETRATION OR VISCOSITY 77F, HRR, Vol. 404, P. 110~112
- 2) AASHO INTERIM GUIDE FOR DESIGN OF PAVEMENT STRUCTURES 1972, American Association of State Highway Officials.
- 3) Ralph Hass and W. Ronald Hudson, PAVEMENT MANAGEMENT SYSTEMS, P. 385~423

☆

☆

☆

☆

☆

☆

☆

中国原油60年に総輸入の10%

通産、日中交流拡大策を固める

通産省は、日中平和友好条約締結の日中経済交流拡大策について検討してきたが、これまでにその具体策を固めた。それによると、昭和60年における中国原油引き取り量を同年の総原油輸入量の10%に当たる4,320万klとするとともに、懸案の金融決済問題では①輸銀を通じた外為会計資金の中国銀行への預け入れ②輸銀と外為銀行による中国銀行への協調融資③輸銀直接貸し付けの条件弾力化—などとなっている。とくに日中貿易拡大には原油輸入の拡大がもっとも現実性をもっているところから、これまでの60年時点3,000万トン構想からさらに進んで、「総輸入量の10%構想」を打ち出したことが注目されている。日中長期貿易取り決めでは、53年から8年間に、両国がそれぞれ百億ドル前後の輸出をし、同額の輸入をすることになっている。具体的には、

通産、石油の地下備蓄に本腰

通産省は石油備蓄の新たな手段として地下備蓄方式の実用化に本格的に取り組むことになり、来年度から2ヵ年計画で約50億円を投入、実証プラントの建設に着手する方針を固めた。従来の地上タンクを中心とした備蓄方式が環境、立地問題などでむずかしくなっていることも考慮し、欧米で一部実用化されている同方式について、一昨年来進めてきた検討結果をベースに具体化しようというもので、プラ

日本がプラント類や技術を輸出、その見返りに中国から原油、石炭を輸入する。

つまり、バーター取引的な様相が強いことと、中国側の資金事情から「日本が大量の原油を引き取ることによって、日本からの工業製品輸出も増大する」というわけだ。

このため、同省では今後の日中エネルギー問題の当面の展望目標として60年における中国原油引き取り量を総原油輸入量(4億3,200万kl=推定)の10%相当量とする方向に動きつつある。

ただ、現実の問題として、日中長期貿易取り決めでは、53年750万トン、その後次第に増えて57年1,500万トン、さらに60年で3,000万トンとの計画があるものの、57年時の1,500万トンのうち、380万トンはいまだに引き取り手が決まっていない。

〔日本工業新聞 8月14日〕

重質油分解装置のパイロットプラント

通産、4年計画で建設

通産省は来年度から4ヵ年計画で重質油分解装置のパイロットプラント建設に乗り出す方針を固めた。これは中国原油の引き取り増加など、こんご重質油の輸入量増大が見込まれるのに対応、早急に必要な分解処理技術を確立しておく必要があるため、計画によると、苫小牧東地区に約180億円を投入、日産百万バレル規模のプラントを建設する。重質油対策についてはこの3月に河本通産相の私的懇談会が設置され、検討が進められており、年末には最終報告がまとまる予定だが、同省はこの報告も踏まえ、技術開発を推進する一方、こんご需給両業界の受け入れ体制整備を積極的に進めていく方針である。

〔日刊工業新聞 8月18日〕

原油タンカー備蓄

1千万kl体制に

政府は16日までに原油のタンカー備蓄を新たに5百万kl分増加し、現在進めている5百万klのタンカー備蓄と合わせ、来年度までに1千万kl体制とする構想をまとめた。タンカー備蓄構想は国家備蓄の緊急措置として8月からスタート、本年中に5百万klの海上備蓄を実施するのがねらいだが、さらに5百万klふやすことにしたのは、海外からの原油買い付け量を増加することによって、黒字減らし対策に結びつけようというのが目的。

〔日刊工業新聞 8月17日〕

高見さんの急逝を悼む

南 雲 貞 夫

昭和53年9月9日午後0時51分、高見さんは亡くなられた。前日の8日には、改訂要綱の講習会の打合わせがあって、高見さんは道路協会の会議室で元気な声を張り上げておられたから、知らせを受けたときは一体どこの高見氏だろうかと一瞬信じる事ができなかった。

しかし、高見さんから日頃血圧が高めだとうかがっていたことや、酒、煙草をよくたしなまれる方だったことなどを思い合わせて、悲しいことだが、自分を納得させるのに、そう時間はかからなかった。

うかがうところによると、9日午前中の本社技術会議のさ中、気分の悪さを訴えられてから昏睡状態になり、急きょ、八重洲中央病院で手当てを受けられたが、その甲斐もなく同日正午過ぎ息を引き取られたとのことである。51才という惜しまれる若さで、またあまりにも突然のご不幸に御遺族の驚きと悲しみはいかばかりかと察せられる。

高見さんに初めてお会いしたのは、高見さ

んが昭和32年に埼玉県から道路局へ出向されて間もない頃で、道路協会へ行けば必ずといって良いほどお顔が見られた。昭和39年に国の補助事業として簡易舗装が発足し、同年、技術的な基準である簡易舗装要綱が作成されたが、高見さんはその完成に全力を傾注された。要綱が完成してからも簡易舗装という新しいタイプの舗装の成否については、特に意を払っておられて、現場の調査によく出歩かれたようである。

昭和40年には偶々九州一巡の調査に同行させて頂いた。簡易舗装の実際を見て勉強してほしいという御意向によるものであった。一週間以上に及ぶ長い行程を無事消化され、簡易舗装の予想以上の成功を殊のほか喜んでおられた。あの頃の元気な御様子が懐しく思い出される。この調査旅行では、さる著名な陶磁器の町で大皿の絵付けを試みた。高見さんは皿の真中に何やらチョコチョコと書かれると、後は黙って煙草をふかされるだけ、当方が画き終るのを辛抱強く待っておられた。そ



昭和39年6月 広島ゼミナール

故 高見 博氏略歴

昭和2年5月14日兵庫県に生る
23年3月 早稲田大学附属早稲田高等工学校土木科卒業
19年4月 東京都蒲田区役所
20年3月 防空統本部施設局
同年9月 内務省国土局
23年7月 埼玉県土木部
32年10月 建設省道路局
35年6月 同局地方道課舗装係長
46年8月 退官
同年9月 日本舗道株式会社 技術部次長
52年9月 営業部次長兼務
53年9月9日、心筋梗塞のため死亡。享年51才。



昭和43年12月
名古屋ゼミナール

のような印象とともに絵皿は今も残っている。

簡易舗装に関連しては、その後も全国の実態調査や試験舗装などで長い間色々とお指導を受け、取りまとめるには国内の雑誌への掲載や国際会議への報告のお手伝いをさせて頂いた。温厚な御人柄にまどわされるほどに、問題点への指摘は適確で手厳しかった。指摘を受けてはじめて、はっとさせられることが屢々であった。

高見さんはまた本誌編集委員のほか、日本道路協会はじめ各種委員会などの委員、幹事をつとめられた。会議の根まわし、意見の調整、とりまとめなどにはなくてはならない存在であった。また簡易舗装要綱のほかアスファルト舗装要綱、アスファルト舗装工事共通仕様書、アスファルト混合所便覧、道路維持修繕要綱などの基準類の作成改訂に果たした高見さんの役割りは非常に大きかった。

高見さんは最近、ほとんどゴルフをやっておられないようだった。それは御自分があまり上手でないからとよく言われていたように、パートナーへの迷惑を遠慮されてのことのよ

うに思われる。しかし、迷惑どころか高見さんのゴルフは楽しかったし、時折は素晴らしいパットを披露されたものである。もう一度御一緒させて頂きたかった。

亡くなられる数週間前のある編集委員会が終わってからだった。夜行で出かける列車の時間待ちに付合ってもらった。酒が入るほどに陽気になられ、話はずんで座はにぎやかさを増した。高見さんが休日には弁当をぶら下げて近くの高尾山に登るのだと楽しそうに話しておられたのも、そのような酒の席でだった。そういった御自身の健康に対する配慮も無くなってしまったとは、返す返すも残念でならない。

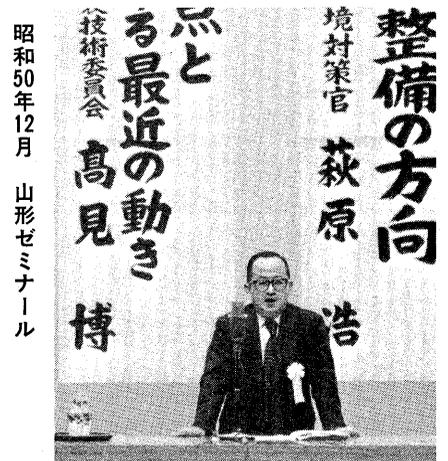
高見さんという舗装技術の分野でのよき先輩、よき仲間を失なった損失は、はかり知れないものがある。高見さんの跡を埋め合わせることはむずかしいが、舗装技術に対する高見さんの情熱のいくぶんなりとも今後を受継いで行くことができれば、それが何よりも高見さんへの供養になろうと信ずる。

謹んで御冥福をお祈りする。

高見博氏は、本協会創立以来20有余年本協会の事業すべてに参画され、ご指導をいただきました。

就中、本誌編集委員として「アスファルト」誌の企画発行にご尽力され、また、本協会主催のアスファルトゼミナールには、企画準備から、ときには講師として全国各地にご出張いただきました。

ここに在りし日の講師としての高見さんのご遺影をかかげ、ご追悼申し上げます。



アスファルト舗装の 構造設計における最近の動向(4)

阿部 頼 政*

1. はじめに

前回までで、シェルの設計法¹⁾に関する要点の紹介は、ほとんどすんだ。今回は特殊なケースとして、路床の弾性係数が季節によって変動する場合の計算法とフルデプスアスファルト舗装の設計法を考察するとともに、オーバーレイの設計法²⁾を簡単に紹介してしまいくくりとした。

2. 路床の弾性係数が変化する場合

路床の弾性係数は、アスファルト混合物の弾性係数ほど顕著ではないが、年間を通じて変化することはいうまでもない。舗装の破壊が特に春先に生じやすい原因は、路床の支持力が低下するためであろうと言われている。シェルの設計法では、このように最も弱いと思われる期間の弾性係数をもとにして設計すればよいとしながらも、特に弾性係数の変化を考慮する必要がある場合について、次のような方法を提案している。

いま、路床の弾性係数がそれぞれ異なる n 個の期間について舗装を設計するものとする。それぞれの期間における標準軸重の累積数を N_1, N_2, \dots, N_n とする。ここで、

$$N_{tot} = N_1 + N_2 + \dots + N_n \dots\dots\dots(1)$$

N_{tot} : 設計期間中の標準軸重累積数

n 個の期間について、それぞれの舗装厚は、各期間ごとの路床弾性係数、平均気温、載荷回数および混合物の種類から決定することができる。このうち、最も厚い舗装構造をストートにとり、この舗装構造について、 n 個の期間それぞれの条件に対応する寿命 (N_1', N_2', \dots, N_n') を求める。

累積ダメージ (cumulative damage) D_{tot} を次のようにして求める。

$$D_{tot} = \sum_{i=1}^n D_i = \sum_{i=1}^n \frac{N_i}{N_i'} \dots\dots\dots(2)$$

この D_{tot} は 1 より大きくなるので、次々と舗装厚を

厚くして D_{tot} が 1 になるまで計算を繰り返す。1 になったときの舗装厚が適切な舗装厚である。

著者ら¹⁾の説明は以上のように簡単なものであるが、一読しただけでは理解しにくいと思われるので、以下、筆者の推定を加えながらこの手法を考察してみよう。

いま、(1)式の N_1, N_2, \dots, N_n に対応して求められた各舗装厚のうち、 N_1 に対応する舗装厚 H_1 が最も薄く、 N_n に対応する舗装厚 H_n が最も厚いと仮定する。

最初のストートにとる仮の設計厚が H_n である。他の条件を同じにして H_1 のところに H_n を使用すれば、当然のことながら寿命は伸びて N_1' の交通量を通せることになる ($N_1' > N_1$)。他も同様である ($N_2' > N_2, N_3' > N_3, \dots$)。しかしこれらの比を合計した値は、1 より大きくなり、一般に次の式が成立する。

$$\frac{N_1}{N_1'} + \frac{N_2}{N_2'} + \dots + \frac{N_n}{N_n'} \geq 1 \dots\dots\dots(3)$$

ここで、設計厚を H_n より大きくしていくと各項はしだいに小さくなり、ある厚さ H_d になったとき、上式の左辺が 1 になるであろう。この H_d が求める設計厚である。

以上のように、個々のダメージを累積するという手法は路床土が変化する場合にかぎらず、舗装ではよく使用されるので、記憶にとどめておかれるとよいかと思う。

3. フルデプスアスファルト舗装

わが国では、4、5年前までフルデプス舗装の優劣がさかんに論じられ、日本アスファルト協会でも「フルデプス分科会」を設けて研究にあたっていた。しかし、石油ショック以来、アスファルトを大量に使用するフルデプス舗装はいつのまにか、敬遠されてしまった感がある。

この傾向は、諸外国でも同様らしく、著者ら¹⁾も、「アスファルトの値段が高くなったため、最近ではアスファルト層をできるだけ薄くしようとする傾向がある」と述べている。著者らは、アスファルト層をあまり薄くすることの危険性について述べると同時に、フルデ

* 日本大学理工学部助教授

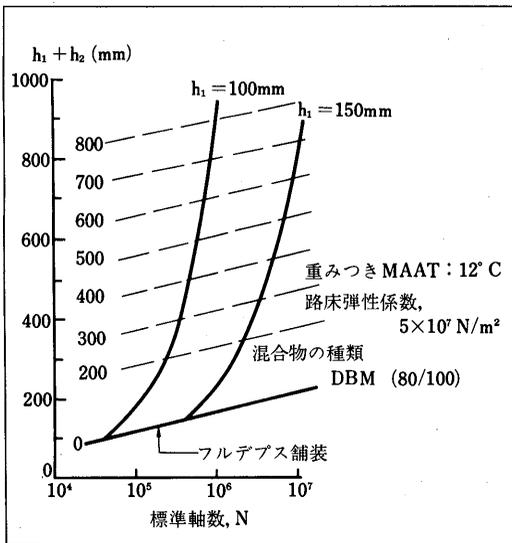


図-1 舗装厚に与える交通量の影響

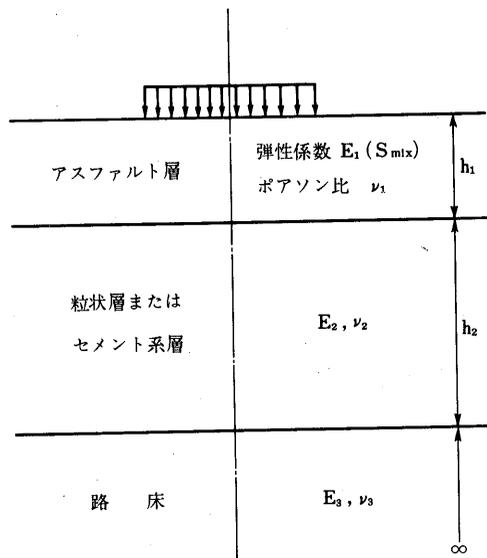


図-4 舗装のモデル

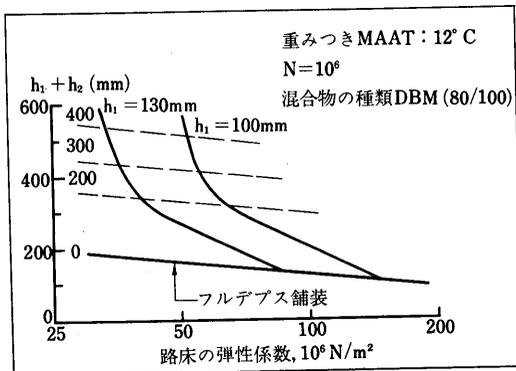


図-2 舗装厚に与える路床弾性係数の影響

プス舗装を特に推奨するわけではないとしながらも、一般的に言われている利点の他に、フルデプスには次のような特徴があるとしている。すなわち、図-1、図-2から明らかなように、薄いアスファルト層を持つ舗装と比較して、フルデプス舗装は、設計寿命や路床の弾性係数にあまり影響を受けない。これは、交通の質と量や、路床の弾性係数の推定にともなう精度から考えると、きわめて重要な意味を持つとするものである。

なお、フルデプス舗装が経済的と判断された場合は、図-3のような簡略化された設計曲線を使用すればよいとしている。

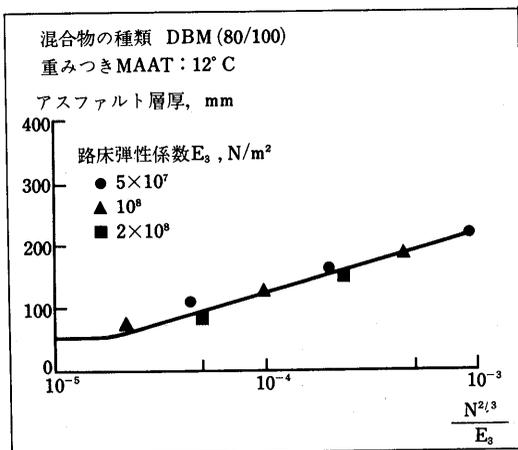


図-3 フルデプス舗装の代表的な設計曲線

4. 舗装の評価

アスファルト舗装の力学的特性を評価する手段としては古くからベルケルマンビームによるたわみ測定が利用されてきた。著者ら²⁾は、これにかわる新しいたわみ測定法として、FWD(Falling Weight Deflectometer)を開発し、測定の迅速化をはかるとともに、たわみ曲線の形状を考慮する指標をとり入れ、さらにFWDの測定値をオーバーレイの設計に利用する手法を示した。以下、この概要を紹介する。

(1). 基本的な考え方

アスファルト舗装は、図-4のように、多層からなる弾性体と仮定して取り扱う。これはシェルの設計法全体に使用されているモデルである。なお、簡単のためポアソン比は一定にしている。 $(\nu_1 = \nu_2 = \nu_3 = 0.35)$

FWDの载荷に対する舗装の応答は、最大たわみと、たわみ曲線の形状 (Deflection Bowl) でとらえるが、後者は、荷重から γ の距離にあるたわみ δ_r と荷重直下のたわみ δ_o との比 Q_r を指標をとっている。

$$Q_r = \frac{\delta_r}{\delta_o} \dots \dots \dots (4)$$

種々の E_2 , h_2 , E_3 および荷重に対応して、 E_1 , δ_o , Q_r , h_1 の間の関係を示すグラフがBISARの計算結果から準備されている (図-5)。したがって、たわみ測定から δ_o , Q_r の値が得られれば、次のような手順により必要とする未知数を決定することができる。

粒状路盤の弾性係数 E_2 は h_2 と E_3 より次の式から求める。

$$E_2 = k \cdot E_3 \dots \dots \dots (5)$$

ここで、 $k = 0.206 \times h_2^{0.45}$ ($2 < k < 4$, h_2 はmm単位)。

この関係式を使用すれば、 E_3 を固定することにより E_2 は自動的に求められる。

通常、 E_1 と h_2 は既知と見なせる。すなわち、 h_2 は、施工時の記録あるいはコアサンプリング等から推定できるし、 E_1 は図-6のような実験値から決定できるからである。以上の方法で E_1 , E_2 , h_2 , δ_o , Q_r が既知となり、オーバーレイに必要な値 h_1 , E_3 を決定することができる。

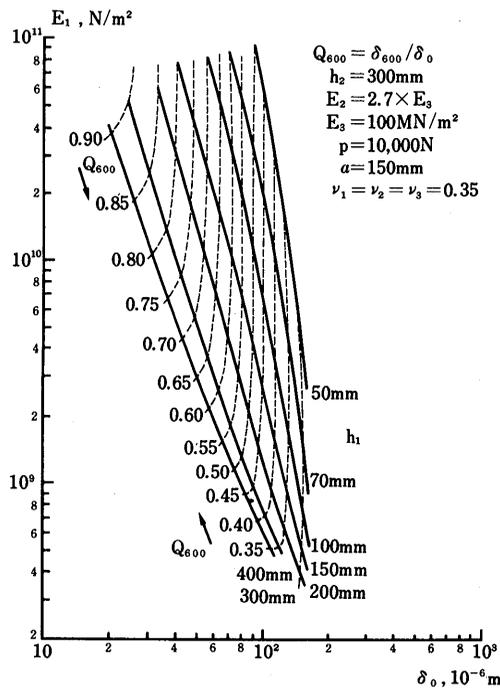


図-5 たわみの説明図

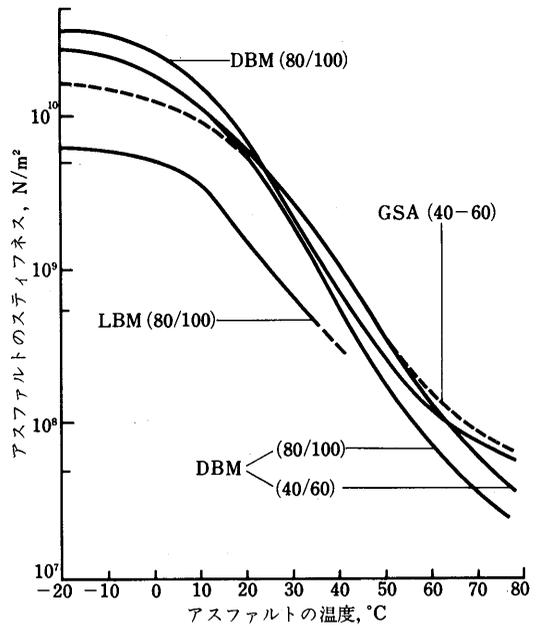


図-6 FWDの载荷条件に応じた各種混合物のスティフネス (20Hz)

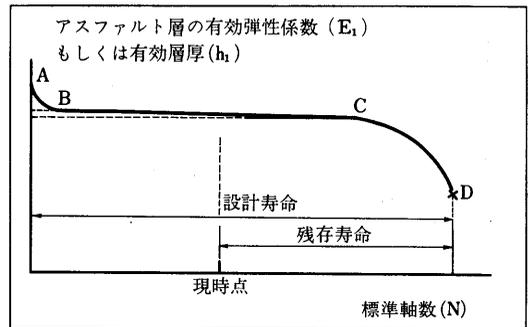


図-7 舗装寿命の概念図

なお、セメント系路盤についても述べられているが、ここでは省略する。

(2). たわみ測定法 FWDについて

FWDは、150kgの質量を、任意の高さからスプリングを介して直径 300mmの剛性板に落下させ、transducerにより電気的にたわみを測定するものである。これまでに行なわれた数多くの実験から、この方法によりたわみ曲線の形状が正確にとらえられることが判明している。また、測定値は、自動的に記録されるようになっている。

FWDによるたわみ測定の誤差は1地点につき5%、1区画につき10%~30%程度である。

(3). 残存寿命の決定

正常な舗装の残存寿命 (residual life) は、過去の交通履歴を知らなければ求めることができない。これは、図-7を用いて説明できる。図-7は、アスファルト層の有効弾性係数 (effective modulus) およびアスファルト層の有効厚 (effective layer thickness) を荷重の累積数 N の関数として示したものである。初期の低下 (A-B) のあと、弾性係数は徐々に低下していくが、その勾配はきわめて小さく (B-C)、C点に至って急激に低下する。これは室内実験の疲労特性に似ており、また現実の舗装のたわみ履歴も図-7のような傾向を示す。B-Cの期間中にたわみを測定しても、たわみは N に関係なくほぼ一定であるため、残存寿命を決定することができないわけである。なお、図-7で、有効なアスファルト層厚が N の増加につれて減少していくというのは奇異な感じを受けると思うが、これは、アスファルト層の価値が徐々に低下していくものと解釈すればよい。

残存寿命は、初期の設計寿命とこれまでに使用した期間 (いずれも N であらわしたもの) の差である。初期におけるアスファルト層の有効弾性係数の低下は比較的小さいから、たわみ測定から求めた E_1, h_1 の値を用いてシェルの設計曲線から設計寿命を求めることができる (図-8)。こうして求めた設計寿命とこれまでの交通量を比較すれば、現時点でオーバーレイを必要とするか否かの判定が可能になる。

5. オーバーレイの設計法

オーバーレイの設計にもシェルの設計曲線が使用できる。しかしながら、オーバーレイ後でも、最大歪は一般に下層 (在来の層) に生ずるため、在来層の疲労を考慮に入れる必要がある。これは次のような方法による。

在来舗装の設計寿命を N_{D1} 、これまでの交通量を N_{A1} (標準軸重にて) とすれば、相対的消費量は

$$N_{A1}/N_{D1}$$

であり、相対的残存量は

$$1 - N_{A1}/N_{D1}$$

となる。この残存寿命は、今後予想される交通量 N_{A2} に使用することができるから、新しい設計寿命 N は、次の式で示されるはずである。

$$N_{A2}/N_{D2} = 1 - N_{A1}/N_{D1} \dots \dots \dots (6)$$

または、

$$N_{D2} = N_{D1} \cdot N_{A2} / (N_{D1} - N_{A1}) \dots \dots \dots (7)$$

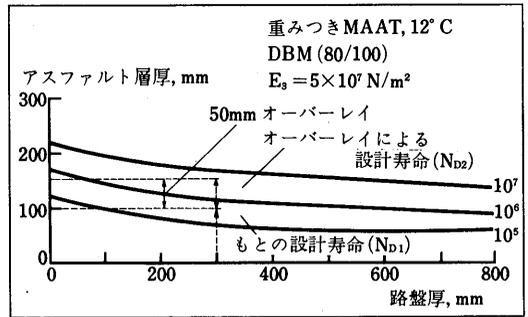


図-8 オーバーレイの設計法

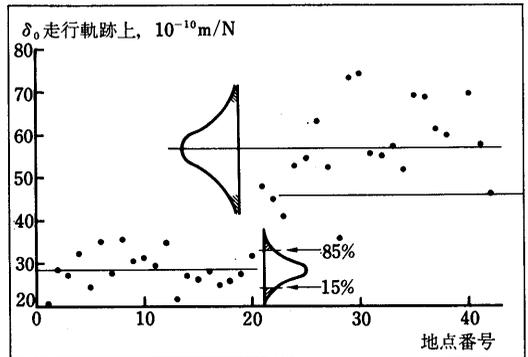


図-9 たわみ測定値

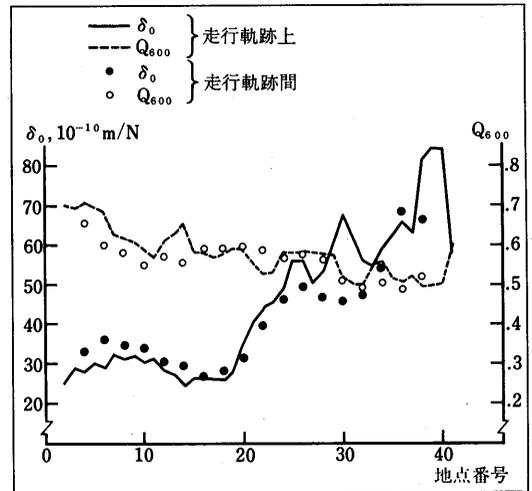


図-10 たわみ測定値(100m間隔)

オーバーレイに使用する混合物が在来層と同一種のものであれば、 N_{D2} に必要なオーバーレイ厚は、 N_{D1} を定めた設計曲線から直接求めることができる (図-8)。

以上に述べた、舗装の評価およびオーバーレイの設計法は、かなり抽象的なのでなかなか理解しにくいと思う。次に計算例を紹介して一助としたい。

6. 計算例

この例は、オランダのGelderlandにある地方道（S-7）で1976年4月に測定した結果に関するものである。

測定結果は図-9、図-10に示されているが、図-10の点は測定値3個の移動平均（3-point moving average, $(\delta_1 + \delta_2 + \delta_3)/3$, $(\delta_2 + \delta_3 + \delta_4)/3$, $(\delta_3 + \delta_4 + \delta_5)/3$, etcで示されている。

δ_0 と Q_r の限界値(critical value)は、求められたアスファルト層厚および路床の弾性係数とともに表-1にあげられている。表-1は、走行軌跡上(in wheel tracks)と走行軌跡間(between wheel tracks)に分けて測定値等が示してある。これは、交通荷重が数多く作用した部分とあまり作用しなかった部分を比較するためである。

表より、 δ_0 の大きなもの、たわみ比 Q_{600} の小さなものの組合せから、次の寿命が推定できる。

Section 1 (地点番号 1-20) : $N_{D1} = 2 \times 10^7$

Section 2 (地点番号 21-42) : $N_{D1} = 2 \times 10^6$

これまで80KNの通過軸数は次のようであったとする。

$$N = 1.1 \times 10^6$$

したがって、残存寿命は

$$\text{Section 1 : } N_{D1} - N_{A1} = 1.9 \times 10^7$$

$$\text{Section 2 : } N_{D1} - N_{A1} = 9 \times 10^5$$

図-8のような設計曲線を利用することにより、オーバーレイの設計厚は、表-2のように求められる。

表-2 Gelderland, Road S-7のオーバーレイ

これまでの交通量 : N_{A1}	1.1 × 10 ⁶			
今後の交通量 : N_{A2} 5年間	6.8 × 10 ⁵			
10年間	1.5 × 10 ⁶			
20年間	3.7 × 10 ⁶			
地点番号	1-20	21-42		
決定条件	h_1 mm	200	145	
	E_s MN/m ²	240	155	
当初の設計寿命 : N_{D1}		2 × 10 ⁷	2 × 10 ⁶	
残存寿命 : $N_{D1} - N_{A1}$		1.9 × 10 ⁶	9 × 10 ⁵	
		5年間	10年間	20年間
5, 10, 20年間にオーバーレイは必要か?	no	no	yes	yes
今後の設計寿命 :				
$N_{D2} = N_{D1} \times N_{A2} / (N_{D1} - N_{A1})$			3.3 × 10 ⁶	8.2 × 10 ⁶
N_{D2} に対するアスファルト層の			160	190
合計厚 : h_1' mm			160	190
オーバーレイ厚 : $h_0 = h_1' - h_1$ mm			(15)	45

表-1 Gelderland, Road S-7におけるたわみ測定

Position No.	1 - 20		21 - 42	
	走行軌跡上	走行軌跡間	走行軌跡上	走行軌跡間
$\delta_0, 10^{-10}$ m/N	28	31	56	53
$\delta_{0.85}, 10^{-10}$ m/N	4.1	4.3	10.5	13.8
Q_{600}	0.63	0.60	0.55	0.53
Q_r	0.066	0.058	0.057	0.075
$\delta_{0.85}, 10^{-10}$ m/N*	33		68	
$Q_{0.85}$	0.70		0.61	
h_1, mm	340		180	
$E_s, \text{MN/m}^2$	160		115	
N_{D1}	$\geq 10^8$		4×10^6	
$\delta_{0.15}, 10^{-10}$ m/N	24		46	
$Q_{0.15}$	0.56		0.49	
h_1, mm	265		175	
$E_s, \text{MN/m}^2$	340		230	
N_{D1}	1.2×10^8		8×10^6	
$\delta_{0.85}, 10^{-10}$ m/N	33	36	68	67
$Q_{0.85}$	0.56	0.54	0.49	0.45
h_1, mm	230	200	145	135
$E_s, \text{MN/m}^2$	260	240	155	185
N_{D1}	4×10^7	2×10^7	2×10^6	2×10^6
$\delta_{0.15}, 10^{-10}$ m/N	24		46	
$Q_{0.15}$	0.70		0.61	
h_1, mm	400		220	
$E_s, \text{MN/m}^2$	100		165	
N_{D1}	$\geq 10^8$		2×10^7	

* $\delta_{0.85}$ と $Q_{0.85}$ はそれぞれ δ_0 , Q_{600} の値のバラツキで85%を占める点を示す。(図-9参照)

7. まとめと感想

シェルの設計法で基本となる考え方は、弾性理論を利用してアスファルト層下面の引張歪と路床上面の垂直歪を規定し、これらが限界値を超えないように舗装厚を決定しようとするものである。前者がクラックの防止であり、後者が路床に起因するわだち掘れの防止であることは言うまでもない。以上のように、アスファルト層の引張歪と路床の圧縮歪を設計の基準にとるという考え方は、シェルだけではなく、多くの研究者によって採用されているものであるが、シェルの特徴は、これをきわめて広範囲の実験から裏付けしていることであろう。

次に温度の影響を数量化して設計にとり入れたことも重要な特徴としてあげられる。アスファルト層の力学特性が温度に大きく影響されることは舗装技術者の常識となっているが、この影響を設計にとり入れるのは、なかなか困難であった。シェルの提案している方法が完全なものとは言えないであろうが、今後この種の研究の基礎になるものと思われる。

温度の影響を考慮することにより、アスファルト層

の流動もかなり具体的に解析できるようになっている。今後、現場との対応がいかなるものか、さらに検討を加えていくものと思われるが、アスファルト層の流動に頭を痛めているわが国にとって、色々な意味で参考になるかと思う。

従来、舗装は経験工学的色彩が濃く、ともすれば理論的なアプローチは軽視されがちであった。弾性理論を一つの軸としたシェルの設計法がこれまでに充実してきたことは、その意味でも注目に値すると言えよう。

8. あとがき

これまで4回にわたり、シェルの設計法を紹介してきたが、まだまだ紹介しきれない部分がたくさんある。きわめて内容が豊富なのである。筆者の研究室では、卒業研究の学生4人が、7月からこの設計法にとりくんできたが、まだその全容及び計算法を完全には理解しきれないようである。図表等を含めたManualが約300頁からなるものであり、学生自身が英文に弱いためでもあろう。ただ、興味のある解析結果がぼつぼつ出はじめているので、いずれ機会を改めて紹介したいと思っている。

研究ノートも今回で6回目になった。当初、「将来は執筆者のグループをつくり……」と述べたがようやくその体制ができあがったようである。すなわち、本号の特集に紹介されている「アスファルト舗装技術研究グループ」である。次回からは、筆者を含めてこのグループのメンバーがノートを担当する予定である。そして、さらに将来のことになるが、一般からの応募原稿もとり入れて本欄を充実していきたいと考えている。

参考文献

- 1). A.I.M.Claessen, J.M.Edwards and Sommer, "Asphalt Pavement Design—The Shell Method" Proceedings of the Fourth International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavements, p.39~73, 1977
- 2). A.I.M.Claessen and R.Ditmarsch, "Pavement Evaluation and Overlay Design—The Shell Method," 同上, p.649~662
- 3). "Shell Pavement Design Manual" Shell International Petroleum Company Limited, London.

申込先 〒105 東京都港区虎ノ門2-6-7・日本アスファルト協会

『アスファルト・ポケットブック』1978年版

ポケットブック版・表紙ビニール製・本文85ページ・実費頒価 1部400円(送料実費は申込者負担)

主な内容

- | | |
|---------------------|------------------|
| ○石油アスファルトの生産実績 | ○道路の現況 |
| ○石油アスファルトの需要推移 | ○道路整備5ヵ年計画 |
| ○石油アスファルトの需要見通し | <u>参考資料</u> |
| ○石油アスファルトの製造及び流通 | ○石油供給計画 |
| ○石油アスファルトの生産場所及び油槽所 | ○OECD諸国のアスファルト需給 |
| ○石油アスファルトの製造原油 | ○主要諸国の道路事情 |
| ○石油アスファルトの品質規格 | ○データシート |
| ○石油アスファルトの用途 | ○住所録 |
| ○石油アスファルトの価格 | ○会員名簿 |
| ○道路投資額と石油アスファルト需要 | ○関連官庁・関連団体 |
| ○昭和52年度の道路予算 | |

素人と玄人

松延正義

表題の「素人と玄人」とは何だか、囲碁の本にでもありそうな題目ですが、文中の「素人」とは、一般大衆といった意味であり、「玄人」とは、その方面の行政に携わる公務員、例えば建設省でいえば「河川屋さん」「道路屋さん」、或いはもっと広い意味で、建設省の公務員、農林水産省の公務員といった意味と考えて下さい。

最近、牛肉の高値の問題が連日マスコミを賑わしており、高値追求のキャンペーン記事が、新聞紙上や週刊誌にも取り上げられ、国会でもその複雑な流通機構や、牛ころがしの実態が審議の対象になっています。なんでも小売値はオーストラリアの6倍、アメリカの3倍もするそうで、常日頃は食糧品の値段などにはとんと疎い私なども、時たま家内の買物のお供をして、肉屋の店頭に行きますと、ステーキ用100グラム600円、スキ焼用100グラム400円との正札が目につき、これでは「今晚スキ焼にしようや」とは気軽に声もかけられません。なにしろ1人当り200グラム食べれば、5人家族だと、肉の出費だけでも4,000円です。「これではめったにスキ焼にもありつけないや」と改めてその高値に吃驚するような次第です。

台所を預かる奥様方の怒りもこれでは当然で、巷の怒りを代弁し、新聞、週刊誌等でも「牛肉の高値問題を切る」といったテーマでキャンペーンをやっております。通常これらの記事では、生産から流通の段階を順を追ってたどり、どの段階でどの位のマージンがあるのかを解明し、その方面の行政担当官にも会って、その高値の原因を伺うというような筋書になっています。農林水産行政にはとんと素人の

私共には、何回記事を読んでも、その高値の理由が納得できませんが、その方面の行政の専門家(玄人)の話では、どうやらこういうことのようにです。「国内の肉牛生産農家を保護、育成し、牛肉の自給率を、或程度の水準に保つためには、現在位の価格になるのもやむを得ないことだ」

具体的に数字を挙げて、カクカクシカジカだから高値になるのもしょうがないのだといわれますと、なるほど仰ることの辻褄は合っているし、その道の玄人の云われることだから間違いは無いとは思いますが、だからといって、高い牛肉の価格が下る訳でもなく、何となく割り切れない、釈然としない、いらだたしさが込み上げてきます。

もっとも、農林水産省の立場からすれば、農政を担当するのがわが省で、農家の保護育成はあたり前だ、消費者物価の問題は、経済企画庁の役目だということかもしれません。しかし、私共一般大衆(素人)から考えると、国内の畜産農家の保護も必要だろうし、牛肉が安く消費者の手に渡るようにするのも前者と同様に、極めて重要なことのように考えられます。牛肉の生産対策の一面からのみもの考えることなく、もっと巾広く消費者対策も講じられないのだろうかという気がします。

素人の気持が玄人になかなか理解して貰えない一例でしょう。

なんだか、他省庁の悪口みたいになって申し訳ありませんが、話の譬として挙げたままで、別に他意はありません。

立場を替えて、私共が担当している、河川行政、道路行政の分野でも、時たまこれと似たケースがみ

うけられるようです。

一般私が勤務している事務所で、年一回の恒例の庶務課の旅行が企画され、私もこれに参加して2泊3日のバスツアーに行きました。他の職場の団体も同じバスに乗り合せ、車中ではお互い見知らぬ団体同志、唄など披露し合ううちに仲良くなり、2日目の晩は、宿泊地の温泉宿で懇親会が催されました。おきまりの唄や踊りで和やかに盃を酌み交しましたが、その時それ迄一度も会ったことのない見知らぬ人から盃を受け「今日は貴方が建設省の所長さんと知って、一言聞いて貰いたいことがある。よく聞いて下さい」とのことで、次のような話がありました。「実は、今年千代川の鮎が不漁で困っている。原因はいろいろあると思うが、建設省や県の河川改修のやり方も大きな原因だと思う。河川改修工事や、災害復旧工事で、川岸の木や竹が根こそぎ伐採され、古い石積護岸や捨石も撤去され、これに替ってコンクリートブロック護岸が施工され、河床もブルで敷き均されてしまう。これでは鮎の棲家が無くなってしまふ。コンクリートブロックの護岸には、鮎のえさである苔も付かないし、鮎の隠れる所もない。是非改修のやり方を考え直して貰えないだろうか。云々」その人は酒が回っているにしては真剣な眼差しで私の顔を見つめながら、こんこんと訴えられたものです。その方は「〇〇建築士会」の団体旅行のメンバーでしたから、おそらく趣味で鮎釣りを楽しまれる方でしょう。

その後、又似たような苦情が、今度は、「千代川内水面漁業協同組合」から寄せられました。内水面漁協の要望とあらば、放っとく訳にはいきません。と云いますのは、今度、国直轄の千代川改修事業と、鳥取県の身取港整備事業との合併で、かねてからも地元の懸案事項であった「千代川河口付替工事」に着手することになり、これに伴う漁業補償の問題で、内水面漁協との協議が始められていたからです。

余談ですが、この工事は、千代川が日本海に注ぐ河口で、現在大きく西に湾曲し、かつ日本海特有の

河口閉塞のため、河口部で疎通能力が著しく不足しているのを、現河道を東に800メートル付替え、導流堰を海に伸ばすことにより河口閉塞を防ぎ、疎通能力を高め、併せて現河道の跡地を鳥取港の整備にあてるといふ、永年の地元の夢が叶えられる大規模プロジェクトなのです。

内水面漁協との協議会では、河川改修のやり方についての苦情の外、河川の水質、工事の際の溜り水も問題にされ、これ等の問題をひっくるめて、魚族保存を真剣に考えてくれとの厳しい要求がありました。立場が立場だけに、もっぱら魚族保存の面からの施策が強力に要請されたのもいたし方のないことかも知れません。

こんなことがありまして、私としても河川行政には未だ一年半位の経験しかない半ば素人ながら、否、素人だからこそ抱えていた、常日頃の疑問を、その道のベテランである、事務所の技術の副所長、河川管理課長に質してみました。

「先日、旅先で見知らぬ人からこんな苦情を聞いた。内水面漁協との協議会でも似たような要望が出ている。私も河川には素人だが、現在の河川改修のやり方には、いささか疑問を憶える。将来、岸辺の木々が残らず伐採され、下流から上流迄延々と、コンクリートブロック護岸と、コンクリート張り護岸で、低水高水護岸が施工される様を想像すると、殺風景な光景が眼に映るようで、いささか肌寒い憶がする。こうなったら魚も棲めるどころじゃなく、第一自然景観も台無しだ。『うさぎ追いしかの山、小鮎釣りしかの川』の母なる千代川のイメージも無くなるよ。

(小学唱歌『故郷』の作曲者岡野貞一は鳥取市の出身で、この曲は、作曲者が子供の頃過した鳥取市を流れる千代川の支流袋川のイメージを作曲したものといわれている)勿論、洪水を安全に流下させるのが河川の第一番の役割だろうが、都市用水、農業用水を供給し、魚も棲めるようにし、野鳥も安心して遊べ、流域の住民には、水と緑の憩の場を提供し、美しい風景を供するのをも又、大切な役目ではないだろうか。こんなふうにと考えると、河道改修のやり方

も、もっと検討の余地があるんじゃないだろうか。川岸の緑、流れの淵や瀬をそのまま残す改修の方法、コンクリートブロック護岸の替りに石積護岸を施工し、その前には捨石を積む方法等が無いだろうか。……」

なにしろ、素人の発想ゆえ、随分、的外れの点もあつたかと思われませんが、彼等も「素人はしようがないなあ」といったような顔で、ニヤニヤ笑って聞いてくれました。

その時の、私の疑問なり提案なりに対する玄人の答を要約すれば、次のようになります。

「河あつての（洪水防禦が充分行われての）魚じゃないですか」「今からの子供は、少し殺風景でも、現在改修されているような河川が、河川のイメージとして定着しますよ」「岸辺の緑や、淵や瀬を残したまま改修をやるとなると、疎通能力が著しく悪くなり、その分だけ河道を広くとれば、膨大な工事費が必要になりますよ」「石積護岸はコンクリート護岸より高くつくし、今では割石もなかなか思うようにありませんよ」要するに「所長の言わんとするところは判らぬでもないが、それには非常にお金がかかるし、困難である。今の時点で、そこ迄考へる必要は無いのではないか」との感触でした。

その後、当地建の局長が替り、山根局長のあとに河川行政のベテランである笠原局長が新しく着任となり、挨拶まわりを兼ねて、鳥取工事事務所にみえました。その折、千代川を案内している車中で、「君、低水護岸に柳枝工をやったらどうか。魚の棲家にもなるし、春には新芽を吹いて河に彩りを添えるし、枝が大きくなったら、刈って柳行李の材料にすればよい。将来きっと柳行李が見直される時がくるよ」柳行李の件は、いささか、「風が吹けば桶屋が儲かる」の譬で、局長一流のユーモアでしょうが、我意を得たりと意を強くした次第です。早速、この件について検討を頼んだところ、「所長、あとの維持管理が大変ですよ。覚悟のうえでしょね」と釘をさされてしまいました。

ともかく、素人の私の考えは、永年その道に携わっているエキスパートの方々からすれば、見当違いの点多々あるのかも知れませんが、似たような考えの人が、素人には多いのも事実ですし、或いは、言っていることの百に一つくらい検討に値することがあるかも知れません。

今迄挙げた例は、謂わば私が無責任な素人の立場ばかりでしたが、逆に私が玄人の立場に立たされた場合にも同様な経験があります。

今から13年前、私が地建の道路計画課で係長として勤務していた頃の事です。

当時は、道路の改築といえば、一次改築が未だ全盛期の頃ですが、既にモータリゼーションの走りの時代で、国道の交通量も年毎に増加し、これに伴い、交通事故による死傷者も、無視できぬ数となり社会問題になりかけていました。

或日、国道2号沿の或る町の小学校のPTAの会長と先生方が、横断陸橋設置の陳情で本局に来られたことがあります。直接の担当者であった私の許にもわざわざ足を運ばれ、陳情されましたが、その要旨は「当校は国道2号に面して建っており、道路を隔てた集落からも生徒が通学しており、国道が通学路になっている。生徒の登下校時の横断が危険でしょうがない。ついては、国道の横断歩道個所に陸橋を2橋(700m離れて)設置していただけないだろうか」とのことでした。

横断陸橋は、東京オリンピックが開催された時から東京都で設置され始め、ぼちぼち地方にも普及しかけていた頃です。当時は「横断陸橋採択基準」なるものがあり、事故件数や事故率が一定に達しないと採択が難しいことになっていました。従って私も先生方に生徒数や事故件数を聴き「事故件数も少いようですね。これでは2個所は無理ですよ。1個所に絞って下さい」と事務的に言ったものです。先生方は「そう仰られても、2個所共生徒は是非渡らなければならないし、何とかならないでしょうか」と懇願されましたが、とうとう1橋にして貰いました。

今から考えると、どうしてあのようなことを言ったか、憶い出しても顔から火のするような恥ずかしい思いです。もっと先方の気持になって親身に聴いてあげられなかったか悔む次第です。先生方に見れば、未だ低学年の生徒も預り、毎日の登下校時が心配で心配でならず、又事故が起ってから設置したのでは遅過ぎると思われていたことでしょう。事故防止最優先の現在なら、すぐさま2橋でも設置するところです。もっとも当時は、増加する交通量に対処するため、車道の延伸拡巾に手一杯で、交通安全の確保が等閑視されていたことも事実です。歩道を狭めて車道を広げることも行われており、道路の改築の際、歩道を設置するのも難しい時代でした。

当時の道路改築の方針がどうであれ、陳情にみえた方々(素人)の心配を、相手の身になり真剣に考えていれば、時代の要請もいち早く察知できていたかもしれません。

幸い、時ならずして交通安全の確保が、道路行政の最重点項目になり、昭和41年度には「交通安全事業法」が制定され、この年を初年度とする「交通安全事業三ヵ年計画」が発足しました。その後、官民挙げての交通安全運動の結果、昭和45年の交通事故死者数16,765人をピークに、年々漸減に転じ、昭和51年には10,000人を割るに至ったのは誠に慶しい限りです。

昭和40年代中頃から、今度は道路の環境問題がクローズアップされるに至り、これ迄の道路整備のあり方について見直しも行われるようになりました。原点に立帰り、一体道路の機能とは何だろうかが問われるようになったのです。

「唯々単に車を通すばかりが能ではない。本来道路の機能にはもっといろいろあるはずだ。昔は、家の前の道路で子供達は、かくれんぼをしたり、毬蹴りなどして遊んだし、夏ともなると大人達は縁台を持ち出し、将棋に興じたり、涼んだりした(ひろば機能)、火事の延焼を防ぐのも道路だ、地震の際の避難路も道路だ(防災機能)、道路が無ければ店だって建てられない(アクセス機能)、電柱、水道管、ガス

管なども道路を占有している(サービス機能)」

なるほど、考えてみると実にいろいろな機能を有しているものです。今迄はこの中の一つの機能ばかりを重視し過ぎた。今後は、もっとバランス良く、全ての機能が程良く発揮できるよう整備を企てていこうという時代になっています。これも、素人の声(時代の要請)に謙虚に耳を傾けた結果がもたらしたものだと言えるかもしれません。昭和53年度から新に発足した「第8次道路整備五ヵ年計画」の立案に当っては、今迄例の無かった「道路行政への提言に関する調査」を広く国民各層にわたって行い、道路整備に関する意見を聴取し、5ヵ年計画の参考資料として、これら素人の声を計画に反映させていることは皆さん御承知のとおりです。

河川行政であれ、道路行政であれ、長年これにタッチしていると、時々の方針に慣れ親しみ、これを唯一無二のものに思い込み、或る固定観念でしか物が見えなくなり、ともすれば、ものごとの本質を見失う虞が無きにしもあらずのように思えます。当事者でない囲りの素人のほうが、存外卒直に物が観えることだってあり得ることです。ましてや行政の目的が国民のニーズに答え、これを具体化していくことにあるのであれば、私共素人も、時々素人に立寄り、虚心坦懐にものごとをみつめる機会を増すよう努力したいものです。

[筆者：鳥取工事事務所長]

♪♪♪♪♪

♪♪♪♪♪

メソカーボン・マイクロビーズについて

山田 泰 弘*

1. はじめに

アスファルトの工業への利用として、全般的なことはすでに本誌に紹介されており¹⁾、そこにも述べられているように、アスファルトが工業原料として重要な位置を占めようとしている。その中で、これから述べようとするメソカーボン・マイクロビーズについても簡単に触れられているので、ここでは主として、メソカーボン・マイクロビーズの性状、その利用とアスファルトを含めた石油、石炭工業で産み出される重質油分の炭素への移行過程で形成する炭素質メソフェースについても簡単に述べてみたい。

2. メソカーボン・マイクロビーズの性状²⁾

アスファルトを含めた重質油や有機化合物を約 350～500℃に加熱したとき、これらは熔隔し、液相状態となる場合には径約 1 μm 以下の小球体が生成する。この小球体(通常、メソフェース小球体と呼んでいる)は、光学的に異方性物質であり、その構造は図-1 に示すものである。すなわち、重質油中の芳香環よりなる高分子量の化合物が極に対して垂直方向にラメラを形成し、これが積層したものである。この構造は小球体内の微小部分を見た場合、黒鉛構造と類似の構造であり、したがって、黒鉛結晶の前駆体であるといわれている。この重質油をさらに加熱を続けると、この小球体は大

きく成長し、ついには、互いに合体して炭素となるが、このときメソフェース小球体は約 3～5 μm 以上成長しないものと、数 10 μm にまで成長するものがある。この違いは原料である重質油によって異なり、その例を図-2 に示した。

図-2 a) は前者の場合であり、原料はカフジ原油の減圧残油である。図-2 b) は後者の例であり、ナフサ熱分解時の副生タールである。この違いが生ずる原因は、①原料重質油の化学組成の違い、②原料中に含まれている炭化水素以外の他の物質の存在の有無、③小球体を生成するときの粘度や、はげしい攪拌の物理的要因一によるものとされているが、現在のところまだ十分な解答は得られていない。とくに、重質油中に μオーダー以下の微細粒子が存在する場合には、その量が数% 存在するだけで、図-2 b) の状態から図-2 a) の状態に変化する。このとき、微細粒子は小球体表面に存在する。アスファルトは原油の蒸留残油であるが、しばしば原油中に海水が混合する。このような場合、食塩が結晶化し残油中に存在するが、これが小球体の表面に付着して、上述と同様の現象を示す。しかし、図-2 a) の場合には他の理由によるものである。なおこれらのメソフェース小球体の生成状況の違いは、得られる炭素材の構造物性に大きな影響を与えるが、これについては文献を参照されたい。³⁾

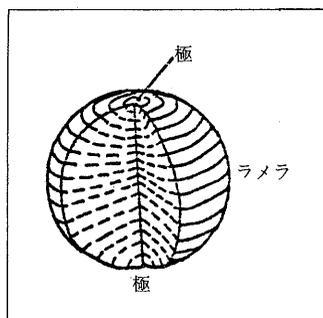
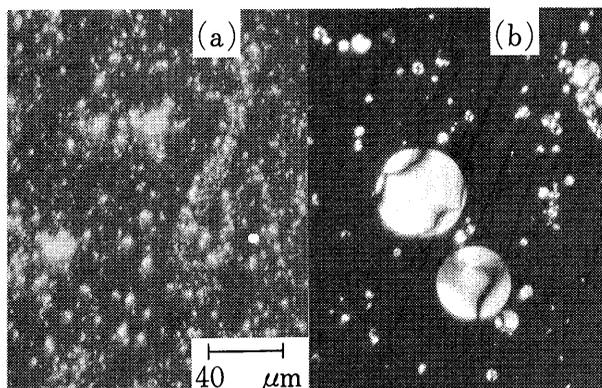


図-1 メソフェース小球体の構造



原料：カフジ減圧残油

ナフサタール

図-2 メソフェース小球体

*九州工業技術試験所

メソカーボン・マイクロビーズは上述の重質油を熱処理したときに生成するメソフェース小球体を小球体の状態で重質油中から分離したものである。したがって、その構造は図-1と同様である。図-3 a)にメソカーボンの外観の例を示す。これは図-2 a)のメソフェース小球体を分離して得たものである。径約3 μm の平滑な表面をもつ球体である。なお、重質油に微細結晶等の塊状物質が存在する場合には、前述の如くこれらの物質はメソフェース小球体表面にある。このような重質油の典型的なものはコールタールである。このタール中にはフリーカーボンと呼ばれる1 μm 以下の炭素に近い球状物があるが、これから得られるメソカーボンは図-3 b)に示すように、表面は平滑でなく、微細物で被われたものとなる。

メソカーボンは重質油を熱処理してメソフェース小球体を生成させ、これをキノリン、ニトロベンゼン、ピリジン等の有機試薬あるいはアントラセン油やクレオソート油等のコールタール系油、ナフサタール中の軽質油など芳香族炭化水素に溶解、分散させると、これらの溶剤に不溶分として得られる。メソカーボンの収率は重質油の種類、その熱処理条件によって異なるが、約5~20%程度である。

メソカーボンの一般的な性状は次のとおりである。すなわち、①黒鉛結晶類似の構造をもつ微細粒子である。②重質油中の高分子量化合物より成っている。③真比重は約1.2~1.4。④そのまま高温で焼成しても溶隔しない。また焼成による重量減少が少ない。⑤芳香族炭化水素中で熱処理すると熔隔する。

このような性質を応用した炭素材への利用を次に述べる。

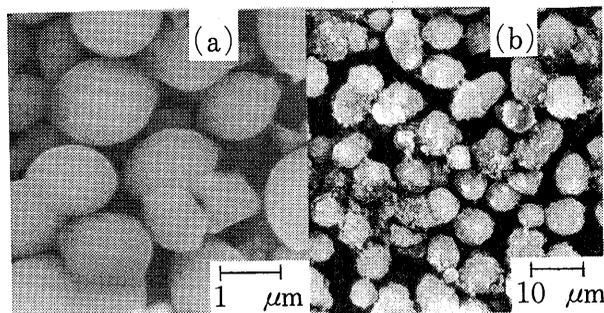
3. メソカーボン・マイクロビーズの炭素材への応用

3.1. 高密度等方性炭素材⁴⁾

前述のように、メソカーボンをそのまま加熱、焼成してもそれ自体は熔隔しない。しかし、炭化水素であるため、わずかな粘着性を有する。そのため、バインダーを用いずに加圧成型すると成型体が得られ、この成型体を焼成することにより、高密度・等方性炭素材が得られる。

ここでいう高密度等方性炭素材はかさ比重約1.7以上で、炭素材としては異方性をもたないが、それを構成している粒子は黒鉛結晶に近い構造で異方性をもつものである。つまり異方性をもつ粒子がランダムな方向に配向し、それが全体を構成しているものである。

このような炭素材は高温型原子炉用黒鉛材や放電加工用電極、メカニカルシールなどに用いられる。高密



原料：カフジ減圧残油

コールタールピッチ

図-3 メソカーボン・マイクロビーズ

度炭素材の代表的な製品としては、アメリカPOCO社のものがあるが、その製法は不明である。従来の高密度炭素材の一般的製法は、コークスを骨材とし、ピッチをバインダーとして混合、成型、焼成したもの（これは気孔が多く低密度である）に低粘度の高分子化合物あるいはピッチを加圧含浸させ再び焼成する。この操作をくりかえして高密度化するのである。この方法は操作が複雑であるばかりでなく、かなり高度の技術を要する。しかもコークスのような異方性をもつ粒子をランダムな方向になるようにすることは困難である。そのため、約10 μm まで微粉して成型することが試みられている。

メソカーボン・マイクロビーズを原料とする場合は上記のような複雑な方法でなく非常に簡単な方法である。その一例を次に記す。

メソカーボンをバインダーを用いずに室温または加熱(約150 $^{\circ}\text{C}$)下で約1,500 kg/cm^2 以上で加圧成型する。この成型体をコークス粉中に埋め込み約1,000 $^{\circ}\text{C}$ に焼成する。そして必要ならばさらに高温処理する。得られた炭素材の物性を表-1に示した。なお参考のためにPOCO社のものの値も示した。この物性からみてPOCO

表-1 炭素材の物性

特 性	メソカーボン・マイクロビーズ ¹⁾		POCO (DEP-1)
	1,000 $^{\circ}\text{C}$	2,800 $^{\circ}\text{C}$	
かさ密度	1.62	1.85	1.76
真比重(d_{40}^{20})	1.83	2.10	2.10
気孔率(%)	12.0	11.4	21.0
圧縮強度(kg/cm^2)	2,450	1,020	1,180
熱膨張係数 ($\sim 500^{\circ}\text{C}$, $\times 10^{-6}$)	5.3	5.1	
電気比抵抗($\Omega\cdot\text{cm}$)	7.6×10^{-2}	1.3×10^{-2}	
細孔容積(ml/g)	7.0×10^{-2}	6.9×10^{-2}	
細孔半径(Å)	2,060	1,980	

1) : 図3 a)のものを使用, 成型圧: 2,000 kg/cm^2

社のものに比べてまさるとも劣らないものといえよう。この炭素材の破断面を走査型電子顕微鏡で、その組織を偏光顕微鏡で観察すると、メソカーボン・マイクロビーズを原料とした炭素材の組織はPOCO社のものと全く異なることがわかる。前者ではメソカーボン・マイクロビーズの球形は保持されたままであり、その配向はランダムであることが認められ、後者では一定方向にラメラが配向した角ばった微細粒子がランダムに分散していることが認められる。

このように、メソカーボン・マイクロビーズを用いた場合、容易に高密度等方性炭素材が得られる理由として、炭素材として最も気孔を生成させる原因であるバインダーを用いないこと、ならびにメソカーボン・マイクロビーズが図-1に示した異方性をもつ構造であるが、その形状が球状であるため成型時に方向性が無いことの2つが考えられる。

3.2. 炭素電極用バインダーピッチの製造⁵⁾

一般に行なわれているバインダーピッチの製造はコールタールピッチを約400°Cで熱分解、熱重合反応を起こさせて固定炭素量(炭化歩留)の多いピッチに改質している。この方法によって得られるピッチは石炭

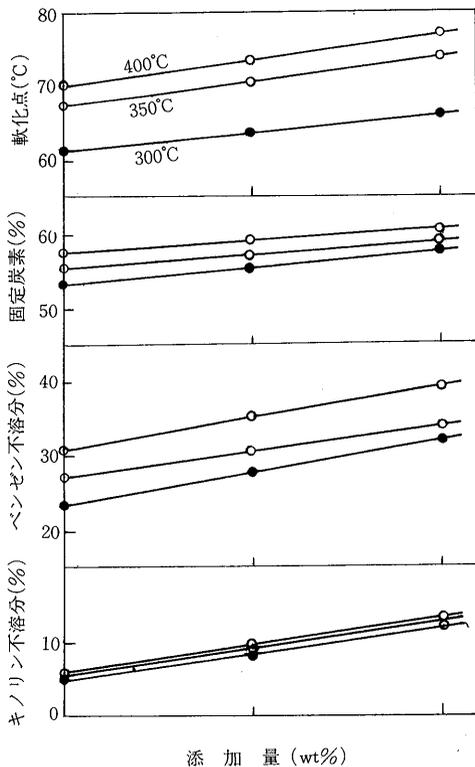


図-4 メソカーボン・マイクロビーズ添加法によって得たピッチの物性

の品質、コークス炉の操作条件、ピッチの熱処理条件によって左右され、一般には固定炭素量を多くしようとすると、軟化点が高くなり、使用上困難をきたす。ちなみに一般的なバインダーピッチの性状は、軟化点90°C、固定炭素量55~60%、ベンゼン不溶分30%、キノリン不溶分10%程度である。そして、この物性をもつピッチはピッチ中に光学的異方性小球体が発生しはじめた段階か、あるいはその直前の段階である。このようにバインダーピッチは光学的異方性小球体の存在あるいはその構成成分が多量に存在することが重要である。ここではメソカーボン・マイクロビーズを添加してストレートピッチを改質する方法を検討した結果について述べる。

すなわち、ストレートピッチにメソカーボン・マイクロビーズを適量(約10%以内)添加し、これを攪拌しながら、300~400°Cで加熱混合する。この方法によって得られたピッチの物性を図-4に示す。メソカーボン・マイクロビーズの添加量が多くなるにしたがって、いずれの値も増加するが、この方法の特徴的なことは軟化点と固定炭素量の関係である。すなわち、従来の熱改質法では固定炭素量を5%増加させると軟化点は約20°C上昇するが、本法ではメソカーボン・マイクロビーズの添加量が10wt%の場合でも軟化点の上昇は7°Cと低い。すなわち、固定炭素量に比べて軟化点の低いピッチが得られることになる。そして、メソカーボン・マイクロビーズの添加量、熱処理条件を適切に選ぶことにより、バインダーピッチとして適切なピッチが容易に得られる。

一方、メソカーボンの粘結性は当然のことながら、メソフェース自体も持っているものである。そこで、メソフェースをバインダーとすることが考えられる。⁶⁾

重質油にコークスを加えて熱処理すると、コークス表面にメソフェースが形成する。これを重質油から分離するとメソフェースが表面に付着したコークスが得られる。そして、これをそのまま加圧成型し、焼成することにより炭素材が得られる。コークスとバインダーピッチから製造される炭素材の物性はピッチの性状で大きく影響されるが、この方法では重質油の種類によらず、ほとんど同様な物性をもつ炭素材が得られる。

3.3. その他の利用

メソカーボンをそのまま加熱した場合には熔隔することがないので、これを焼成することにより、炭素質または黒鉛質の微細粒子となる。これは充填材として使用し得る。しかも、焼成温度によって抵抗値が変わるのでこの点を利用した抵抗体の製造も可能であろう。

一方、メソカーボン・マイクロビーズは図-3b)に示したように、重質油中に存在する微細物質はその表面に付着する。さらに、重質油中に含まれる有機金属錯体であるバナジウム、ニッケルのポルフィリン化合物も初期に生成したメソフェース小球体中に高濃度に濃縮される。⁷⁾その分析例を表-2に示した。これらのことは重質油中の不純物をメソフェース小球体を製造することにより、残渣の重質油は一種の精製工程を亘たことになる。

4. おわりに

アスファルトの工業的利用の1つとしてメソカーボン・マイクロビーズについて述べた。これはアスファルトを炭素材原料として利用する1つの方法にすぎない。

硫黄や金属類の不純物を多く含む大部分のアスファルトは、そのまま炭素源として使用することは困難であり、何らかの手を加える必要がある。

いずれにしても、アスファルトは炭化水素源であることに間違いない。この貴重な資源を有効に利用する

表-2 メソカーボン・マイクロビーズ中の金属の含有量 (ppm)

	V	Ni	Fe	Cu
原料重質油	297	122	19	0.5
メソカーボン・マイクロビーズ	2,060	766	569	17.2

ことは今後の重要な課題であろう。

最後に本稿はまとまりのないものになった。詳細は文献を参照して下さい。

文献

- 1) 飯島博, アスファルト, 18(100), 80(1975)
- 2) Y. Yamada et al, Carbon, 12, 307(1974)
- 3) 本田英昌, 石油誌, 13, 934(1970), 真田雄三, 石油誌, 15, 182(1972)
- 4) 山田泰弘ほか, 炭素, No88, 2(1977)
- 5) 筒井博ほか, 炭素, No84, 14(1976)
- 6) 梶谷正俊ほか, 炭素, No86, 93(1976)
- 7) 今村健ほか, 石油誌, 18, 776(1975)

第36回アスファルトゼミナール(京都市)開催延期のお知らせ

- ★本誌第116号に京都市における秋期ゼミナールを今年の11月17日開催することを予告致しました。
 - ★参加を予定され、愉しみにお待ちになっていらっしゃる方々には、誠に申し訳ございませんが、諸般の都合により、**来年2月9日(金)に延期の止むなきに至りました。**深くお詫び申し上げます。
 - ★開催月日の延期のみにて、**開催地の京都市は予定通り、変更致しません。**
 - ★詳細は、改めてお知らせ致しますが、概要は前号予告の下記のとおりでございます。
- 予定を変更していただき、是非ご参加下さいますようお願い申し上げます。

〈開催概要〉

開催月日 昭和54年2月9日(金) 9:30~16:30

開催場所 京都市 京都産業会館シルクホール

- ★これからの道路整備の動向 建設省道路局
- ★アスファルトの需給動向と流通 本会調査委員会
- ★パネルディスカッション

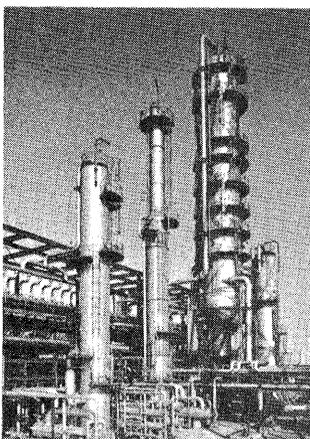
最近の舗装材料・施工について

~わだち掘れ・ひびわれ等を中心に~

メンバー 建設省・土研・地建関係者

時事解説

石油新税 について



石田正志

東亜燃料工業(株)企画一課

原油および輸入石油製品に新たな税金が課せられることとなった。6月1日以降、保税地域から引き取られる原油および輸入石油製品に適用されている石油新税がそれである。以下、この石油新税創設の背景、新税の概要、ならびに新税のもつ意味等について述べてみたい。

1. エネルギー政策推進のための財源ネックが発端

エネルギーの安定確保が、今後の日本経済の成長に必要な不可欠な条件であるとの認識のもとに、一昨年末以来、政府、民間双方で鋭意総合エネルギー政策の検討が続けられ、その結果、エネルギー対策の柱として、①石油の安定確保、②代替エネルギーの開発と導入の促進、③省エネルギーの推進、の三つを押し進めるとのコンセンサスが形成されつつあるのは周知のとおりである。

ところで、エネルギー政策の推進にあたっての問題点は、膨大な資金需要に対する財政的裏付けであり、特に一昨年末の原油関税引き上げ問題以降、石油政策財源を如何に確保するかが論議的となった。

当初より、通産省では、財源問題についての検討を続けていたが、昨年末に至って、大蔵省から税制調査会の場において、消費税の形をとる石油新税構想が打ちだされた。そこで、直接影響を受ける石油業界から、消費税とはいえ価格転嫁の保証が無いこと、価格転嫁できない場合、業界として負担しきれないこと、新税が目的税ではなく一般財源に一旦繰り入れられるため、全額石油対策に使われるという保証が無い等の理由で、強力な反対運動が展開されたが、石油対策に優先的に使用するという事で最終的な決着をみた。

2. 新税の特徴は3つの点

新税の概要は、表1「石油税法のあらまし」に掲げたとおりであるが、いくつかの特徴点および問題点がある。

第一は、内国消費税であることである。このため、輸入原油、輸入石油製品のみならず、国内原油についても課税対象となる。また、輸入原油および輸入石油製品については、保税地域からの引き取りの時が課税時

表 2 石炭・石油特別会計収支

(単位：億円)

項 目	52 年 度 予 算 額	53 年 度 予 算 額	備 考
歳 入	1,880	2,940	(原油関税¥110/kℓ引下げ 新設石油税収を一般会計から繰入れ 1,295億円)
歳 出	1,880	2,940	
(石油勘定)	681	1,657	53年/52年 2.43倍
(石炭勘定)	1,199	1,283	" 1.07倍
収 支	0	0	

表 1 石油税法のあらまし

1. 課税物件

原油及び輸入石油製品(第2条,第9条)

2. 納税義務者

国産原油は採取者,輸入原油及び輸入石油製品については,保税地域から引き取る者が納税義務者。(第4条)

3. 課税標準

国産原油は移出価格,輸入原油はCIF価格+関税,輸入石油製品はCIF価格+関税に所要の調整(付加価値分を考慮し,一定率を控除する)を加えたものが課税標準となる。(第8条)

4. 税 率

3.5%の従価税(第9条)

5. 申告及び納付

国産原油は移出した月の翌月末日までに申告納付。輸入原油と輸入石油製品は原則として引き取りの際に申告納付とする。ただし,国税庁長官の承認を受けた者は引き取った月の翌月末日までに申告納付することができる特例がある。(第13条~第17条)

6. 納付期限の延長

担保を提供した場合には次の期間納付期限延長の適用が受けられる。国産原油は2月以内。輸入原油と輸入石油製品は3月以内ただし,申告納付の特例を受ける者については2月以内。(第18条)

7. その他

納税地,記帳義務その他所要の規定が設けられている。

8. 施行期日

公布の日(昭和53年4月18日)から施行し,昭和53年6月1日以後に移出又は保税地域から引き取られるものから適用される。

9. 関係法律の改正

租税特別措置法を改正し,輸入石油製品のうち,石化用及びアンモニア用ナフサと農林漁業用免税A重油については,昭和54年3月末まで石油税を免除している。

点となり,この面では関税と似ているが,申告納付等の手続きは,ガソリン税と同様に納付期限の延長の規定を設けている。また,納税簡便化のために,各工場における保税地域からの引取り分を1ヵ月単位にまとめ,本社で一括して申告納付する特例を認めているのも従来に無い特徴である。

第二の特徴点は,従価税であることである。従価税の適用例としては,過去昭和36年まで原油関税が従価税で行われていた例があるが,当時の輸入量に比べ,現在の輸入量は,7~8倍に増加していることから,課税評価の手续が,非常に煩雑になることが予想される。特に課税基準となる(CIF+関税)の中で,フレートについては,各社とも余剰船腹をかかえている現実に照して種々の問題がある。

第三に,国産ナフサと輸入ナフサの課税上のアンバランスの問題があげられる。国産ナフサについては,原油の輸入段階で石油税が課税されるが,輸入ナフサについては,租税特別措置法の改正によって,昭和54年3月末までは,石油税が免除されている。このことは,国産と輸入ナフサとの価格差を更に広げることになり,石油化学業界での輸入ナフサ問題に複雑さを増している。

3. 53年度石油財源は52年度の2.43倍

石油政策のための財源は,従来から「石炭及び石油対策特別会計(以下,石特会計と略す)」の石油勘定から歳出されている。一方,歳入面は,従来原重油関税に限定されていたが,今回の石油税の新設に伴い,一般会計に組み込まれる石油税収相当額を限度として,一般会計からも石特会計石油勘定へ財源を繰入れることが可能となった。表2に示すように,53年度の石特会計の歳入は,一般会計からの新設石油税収繰入れ額1,295億円を含め合計2,940億円と見込まれている。53年度石油税収見込額が1,620億円(平年度ベース2,170

表3 石 特 会 計

(単位：億円)

項 目	52年度予算	53年度予算	備 考
(1) 石油備蓄増強	204	336	
① 共同備蓄会社出資	(96)	(193)	{ 5プロジェクト 土地代×1/2 (東新潟, 西海, 東苫, 志布志) 的山などを想定
② 利子補給金	(104)	(140)	4.5%→5%
③ その他	(4)	(3)	地下備蓄技術調査
(2) 新規施策	—	733	
① 公団国家備蓄	—	(299)	{ 第1プロジェクト—土地及び設計 第2・第3 " —土地手当
② 立地促進交付金	—	(154)	{ 新規—800円/kl 既 存—1千万円～1億5千万円 L P G —360円/トン タンカー備蓄—100円/kl
③ タンカー備蓄	—	(261)	用船料, 保険料, 利子補給
④ その他	—	(19)	{ ガソリンスタンド経営安定基金 11億円等
(3) 石油探鉱開発	449	450	{ 公団投隔資比率の拡充 国内大陸棚 70→80% 海外開発 50→70%
(4) 構造改善対策費	(探鉱投隔資 規模 600億 円の内数)	100	{ コンビナート・リファイナリー等 の構造改善
(5) その他	28	38	{ 揮発油業者, 潤滑油業者経営安定 化基金, 重油分解調査等
合 計	681	1,657	

億円)であるので、繰入れ額との差 325億円は、いわば、一般会計への貸しであり、必要とあれば次年度以降石油勘定に繰入れが可能とされている。この結果、53年度の石油勘定の歳出は、52年度に比べ、2.43倍の1,657億円に達しており、石油政策の根本的強化が図られようとしている。

表3に石特会計のうちの石油勘定についての明細を掲げたが、特に備蓄関係の予算に重点が置かれた配分となっているのが特徴である。

4. 目立つ数々の新規施策

政府は、「輸入石油の確保」「石油備蓄の強化」「石油開発の促進」を軸とする石油施策を展開するため、本年度より数々の新規施策を打ち出している。

輸入石油の確保関係では、自主開発原油、中国原油、

D-D原油、G-G原油等のいわゆる政策原油引取り強化を図っている。このうち自主開発原油については53年度2,700万klの引取りを目標としており、各社に対する引取り要請を行う一方、カフジ、バスラ・ヘビー原油に対する関税の軽減措置を図っている。また、中国原油引取り増大のための対処策としての重質油分解設備の技術的可能性に関する研究に着手している。

石油備蓄の強化に関しては、従来の民間備蓄(90日備蓄)に加え、石油公団による国家備蓄の実施(国家備蓄の基地完成まではとりあえずタンカー備蓄にて実施)、備蓄立地交付金の新設等の新施策を推進することになっている。

この他、石油開発の促進に関しても、国の内外における石油探鉱活動に対する石油公団の投隔資比率が拡充されている。

昭和53年度日本アスファルト協会論文賞・原稿募集

本協会は、アスファルトの製造・品質・利用等の技術の進歩改善に寄与することを目的として、日本アスファルト協会論文賞を制定し、別記のとおり原稿を募集しております。

奮ってご応募下さいますようお願い申し上げます。

なお応募原稿の他に、「アスファルト」誌に掲載された論文をも本論文賞の選考対象とすることに致します。

募 集 要 領

1. 昭和53年度・研究論文主題
『アスファルトならびにアスファルトの利用技術に関する研究』(註)既発表, 未発表を問わない。
2. 原稿枚数 本文 400字詰 30枚以内(表・図などの添付資料は枚数外)
3. 応募締切日 昭和54年3月末日
4. 送り先 (社)日本アスファルト協会論文賞係
5. 賞 入選第1席 1篇 賞状, 賞状額, 副賞10万円
入選第2席 1篇 賞状, 副賞5万円
佳 作 若干 賞状, 副賞 1篇 2万円
6. 発表(予定) 本協会「アスファルト」誌 第120号(5月)
7. 論文賞選考委員
委員長 谷 藤 正 三 本協会名誉会長
委員 多 田 宏 行 建設省道路局国道第一課長
南 雲 貞 夫 建設省土木研究所舗装研究室長
武 藤 喜 一 郎 本協会企画委員長
真 柴 和 昌 本協会技術委員長

社団法人 日本アスファルト協会

〒105 東京都港区虎ノ門2-6-7 和孝第10ビル
電話 東京 03(502) 3956

昭和52年度 日本アスファルト協会論文賞発表

昭和52年度日本アスファルト協会論文賞は、選考委員会において、応募原稿ならびに本誌第112号より第115号に掲載発表された論文を選考対象として慎重に審議致しました。

この結果、昭和52年度の論文賞は

入選第1席	1篇
入選第2席	1篇
佳 作	若干
ともに該当論文ナシ	

厳選の結果、真に残念ながら、以上のとおりであります。次年度を期待致します。

昭和52年9月

日本アスファルト協会論文賞選考委員会

<石油アスファルト需給統計資料>

表-1 昭和53年度4～8月石油アスファルト需給総括表

(単位：t)

月別	区分 品種別	月初在庫	生産	前年同月比	輸入	内需	前年同月比	輸出	月末在庫
4	ストレート	274,034	454,191	118.0%	10	430,792	109.5%	0	296,891
	工業用		28,743	142.6%		28,743	142.6%		
	ブローン	12,537	24,770	128.8%	0	23,958	111.7%	0	14,659
	合計	286,571	507,704	117.3%	10	483,493	111.1%	0	311,550
5	ストレート	296,891	429,551	131.9%	10	376,582	123.1%	0	350,761
	工業用		13,458	99.3%		13,458	99.3%		
	ブローン	14,559	25,718	105.8%	0	24,923	118.0%	78	14,512
	合計	311,550	468,727	128.9%	10	414,963	121.8%	78	365,273
6	ストレート	350,761	289,056	102.3%	0	349,025	116.0%	0	287,454
	工業用		21,631	142.8%		21,631	142.8%		
	ブローン	14,512	22,584	98.2%	0	24,431	112.0%	0	16,079
	合計	365,273	333,271	109.7%	0	395,087	117.0%	0	303,533
7	ストレート	287,454	428,687	109.8%	0	440,028	119.6%	0	275,996
	工業用		24,622	98.9%		24,622	99.9%		
	ブローン	16,079	24,009	128.3%	0	23,905	107.9%	0	16,135
	合計	303,533	477,318	110.0%	0	488,555	117.7%	0	292,131
8	ストレート	275,576	392,735	123.1%	0	381,760	115.4%	0	286,100
	工業用		22,298	116.7%		22,298	116.7%		
	ブローン	16,711	24,156	109.9%	0	23,201	112.4%	25	17,505
	合計	291,711	439,189	122.0%	0	427,259	115.3%	25	303,605

- (注) (1) 4～7月確報, 8月速報
 (2) 工業用ストレートアスファルト, ブローンアスファルトは日本アスファルト協会調べ
 (3) (合計) - {(ブローン) + (工業用)} = (ストレート)

表-2 昭和53年度4～8月実績

(単位：千t)

53年度 月次	内 需 量					構 成 比					対 前 年 度 比				
	ストレート・アスファルト			ブローン アス ファルト	合計	ストレート・アスファルト			ブロー ンア ス ファ ルト	合計	ストレート・アスファルト			ブロー ンア ス ファ ルト	合計
	一般用	工業用	計			一般用	工業用	計			一般用	工業用	計		
4	431	28	459	24	483	89.1	5.9	95.0	5.0	100.0	109.5	142.6	110.9	111.7	111.1
5	377	13	390	25	415	90.8	3.2	94.0	6.0	100.0	123.1	99.3	122.3	118.0	121.8
6	349	22	371	24	395	88.3	5.5	93.8	6.2	100.0	116.0	142.8	125.0	112.0	117.0
4～6	1,157	63	1,220	73	1,293	89.4	4.9	94.3	5.7	100.0	115.7	128.6	116.3	114.1	116.2
7	440	25	465	24	489	90.1	5.0	95.1	4.9	100.0	119.6	99.9	124.4	108.1	117.7
8	382	22	404	23	427	89.1	5.3	94.4	5.6	100.0	115.4	116.7	115.4	112.4	115.3

- (注) (1) 4～7月は確報, 8月は, 石油製品需給統計速報による。
 ただし, 工業用及びブローンアスファルトは日本アスファルト協会調べ。

表-3 昭和52年度石油アスファルト需給総括表

単位：t

月	区分 品種別	月初在庫	生産	前年同月比	輸 入	内 需	前年同月比	輸 出	月末在庫
4	ストレー 一般用	239,696	393,510	105.3%	13	393,507	118.1%	0	240,183
	工業用	-	20,152	143.5%	0	20,152	143.5%	0	-
	ブローン	16,448	19,236	88.1%	0	21,457	100.9%	0	14,678
	合 計	256,144	432,898	105.7%	13	435,116	118.1%	0	254,861
5	ストレー 一般用	240,183	325,750	112.2%	0	305,948	117.7%	0	260,941
	工業用	-	13,551	109.2%	0	13,551	109.2%	0	-
	ブローン	14,678	24,305	120.7%	0	21,117	112.4%	0	17,623
	合 計	254,861	363,606	112.6%	0	340,616	117.0%	0	278,564
6	ストレー 一般用	260,941	264,598	94.1%	0	300,781	106.4%	0	223,814
	工業用	-	15,146	126.5%	0	15,146	126.5%	0	-
	ブローン	17,623	24,048	141.4%	0	21,809	108.9%	0	21,044
	合 計	278,564	303,792	98.0%	0	337,736	107.3%	0	244,858
7	ストレー 一般用	223,814	390,255	126.3%	0	367,862	107.6%	0	247,294
	工業用	-	24,899	130.2%	0	24,899	130.2%	0	-
	ブローン	21,044	18,718	96.9%	0	22,163	99.7%	0	17,972
	合 計	244,858	433,872	124.9%	0	414,924	108.3%	0	265,266
8	ストレー 一般用	247,294	319,017	97.3%	0	330,808	115.1%	0	239,352
	工業用	-	19,105	108.8%	0	19,105	108.8%	0	-
	ブローン	17,972	21,984	99.5%	0	20,636	102.3%	0	17,265
	合 計	265,266	360,106	98.0%	0	370,549	114.0%	0	256,617
9	ストレー 一般用	239,352	346,482	113.1%	0	376,776	117.8%	0	209,620
	工業用	-	20,487	117.3%	0	20,487	117.3%	0	-
	ブローン	17,265	23,139	100.4%	0	23,763	110.7%	0	17,251
	合 計	256,617	390,108	112.4%	0	421,026	117.4%	0	226,871
上 期	ストレー 一般用	239,696	2,039,612	108.0%	13	2,075,682	113.7%	0	209,620
	工業用	-	113,340	122.4%	0	113,340	122.4%	0	-
	ブローン	16,448	131,430	106.5%	0	130,945	105.6%	0	17,251
	合 計	256,144	2,284,382	108.6%	13	2,319,967	113.6%	0	226,871
10	ストレー 一般用	209,620	394,237	114.2%	0	406,271	122.8%	0	199,785
	工業用	-	19,145	76.5%	0	19,145	76.5%	0	-
	ブローン	17,251	24,235	108.5%	0	25,653	114.4%	78	13,861
	合 計	226,871	437,617	119.0%	0	451,069	119.2%	78	213,646
11	ストレー 一般用	199,785	410,219	120.9%	0	405,500	113.6%	0	204,572
	工業用	-	19,583	113.1%	0	19,583	113.1%	0	-
	ブローン	13,861	25,109	102.8%	0	25,915	108.0%	300	13,110
	合 計	213,646	454,911	119.4%	0	450,998	113.3%	300	217,682
12	ストレー 一般用	204,572	393,640	142.4%	0	406,290	125.5%	0	191,645
	工業用	-	21,783	95.4%	0	21,783	95.4%	0	-
	ブローン	13,110	24,318	95.4%	0	25,528	113.4%	40	12,816
	合 計	217,682	439,741	135.4%	0	453,601	122.9%	40	204,461
1	ストレー 一般用	191,034	272,852	124.9%	0	196,542	107.6%	0	267,167
	工業用	-	20,467	121.6%	0	20,467	121.6%	0	-
	ブローン	22,816	24,361	115.9%	0	23,889	109.1%	0	13,761
	合 計	203,850	317,680	123.9%	0	240,898	108.8%	0	280,928
2	ストレー 一般用	267,167	296,737	115.5%	0	259,751	116.4%	0	303,983
	工業用	-	19,063	115.2%	0	19,063	115.2%	0	-
	ブローン	13,761	26,635	117.8%	0	27,527	123.2%	0	13,402
	合 計	280,928	342,435	115.7%	0	306,341	116.9%	0	317,385
3	ストレー 一般用	303,983	462,283	121.0%	0	492,432	127.8%	0	276,033
	工業用	-	21,601	121.7%	0	21,601	121.7%	0	-
	ブローン	13,402	27,142	111.0%	0	28,307	106.0%	0	12,537
	合 計	317,385	511,026	120.5%	0	542,340	126.2%	0	288,570
下 期	ストレー 一般用	209,620	2,229,968	124.3%	0	2,166,786	120.2%	0	276,033
	工業用	-	121,642	103.5%	0	121,642	104.6%	0	-
	ブローン	17,251	151,800	108.2%	0	156,819	112.1%	418	12,537
	合 計	226,871	2,503,410	122.1%	0	2,445,247	118.8%	418	288,570
年 度	ストレー 一般用	239,696	4,269,580	116.0%	13	4,242,468	117.0%	0	276,033
	工業用	-	234,982	112.5%	0	234,982	112.5%	0	-
	ブローン	16,448	283,230	107.4%	0	287,764	109.1%	418	12,537
	合 計	256,144	4,787,792	115.2%	13	4,765,214	116.2%	418	288,570

(注) ① 内需量合計：通産省エネルギー統計月報・ブローンアスファルト：アス協出荷形態別実績表
工業用ストレーアスファルト：アス協針入度別アスファルト販売実績表
一般用ストレーアスファルト：内需量合計-(ブローンアスファルト+工業用ストレーアスファルト)
② 月初在庫・月末在庫のうち販売業者の数値は一般用ストレーアスファルトとして算出しています。
③ ロス・その他でバランスしない。

社団法人 日本アスファルト協会会員

社名	住所	電話
〔メーカー〕		
アジア石油株式会社	(100) 東京都千代田区内幸町2-1-1	03 (506) 5 6 4 9
大協石油株式会社	(104) 東京都中央区八重州5-1-1	03 (274) 5 2 1 1
エッソスタンダード石油株式会社	(107) 東京都港区赤坂5-3-3	03 (584) 6 2 1 1
富士興産株式会社	(100) 東京都千代田区永田町2-4-3	03 (580) 3 5 7 1
富士興産アスファルト株式会社	(100) 東京都千代田区永田町2-4-3	03 (580) 0 7 2 1
富士石油株式会社	(100) 東京都千代田区大手町1-2-3	03 (211) 6 5 3 1
出光興産株式会社	(100) 東京都千代田区丸の内3-1-1	03 (213) 3 1 1 1
鹿島石油株式会社	(102) 東京都千代田区紀尾井町3	03 (265) 0 4 1 1
興亜石油株式会社	(100) 東京都千代田区大手町2-6-2	03 (270) 7 6 5 1
共同石油株式会社	(100) 東京都千代田区永田町2-11-2	03 (580) 3 7 1 1
極東石油工業株式会社	(100) 東京都千代田区大手町1-7-2	03 (270) 0 8 4 1
丸善石油株式会社	(100) 東京都千代田区大手町1-5-3	03 (213) 6 1 1 1
三菱石油株式会社	(105) 東京都港区虎ノ門1-2-4	03 (501) 3 3 1 1
モービル石油株式会社	(100) 東京都千代田区大手町1-7-2	03 (244) 4 3 5 9
日本鉱業株式会社	(107) 東京都港区虎ノ門2-10-1	03 (582) 2 1 1 1
日本石油株式会社	(105) 東京都港区西新橋1-3-12	03 (502) 1 1 1 1
日本石油精製株式会社	(105) 東京都港区西新橋1-3-12	03 (502) 1 1 1 1
三共油化工業株式会社	(100) 東京都千代田区丸の内1-4-2	03 (284) 1 9 1 1
西部石油株式会社	(100) 東京都千代田区丸の内1-2-1	03 (216) 6 7 8 1
シェル石油株式会社	(100) 東京都千代田区霞が関3-2-5	03 (580) 0 1 1 1
昭和石油株式会社	(100) 東京都千代田区丸の内2-7-3	03 (231) 0 3 1 1
昭和四日市石油株式会社	(100) 東京都千代田区有楽町1-11	03 (211) 1 4 1 1
東亜燃料工業株式会社	(100) 東京都千代田区一ツ橋1-1-1	03 (213) 2 2 1 1
東北石油株式会社	(983) 宮城県仙台市中野字高松238	02236 (5) 8 1 4 1

社団法人 日本アスファルト協会 会員

社 名	住 所	電 話
〔ディーラー〕		
● 北 海 道		
アサヒレキセイ(株)札幌支店	(060) 札幌市中央区大通西10-4	011 (281) 3 9 0 6 大 協
中西瀝青(株)札幌出張所	(060) 札幌市中央区北2条西2	011 (231) 2 8 9 5 日 石
(株)南部商会札幌出張所	(060) 札幌市中央区北2条西2-15	011 (231) 7 5 8 7 日 石
株式会社 ロード資材	(060) 札幌市中央区北1条西10-1-11	011 (281) 3 9 7 6 丸 善
(株)沢田商行 北海道出張所	(060) 札幌市中央区北2条西3	011 (221) 5 8 6 1 丸 善
東光商事(株)札幌営業所	(060) 札幌市中央区南大通り西7	011 (261) 7 9 5 7 三 石
(株)トアス札幌営業所	(060) 札幌市中央区北2条西2	011 (281) 2 3 6 1 共 石
葛井石油株式会社	(060) 札幌市中央区北5条西21-411	011 (643) 6 1 1 1 丸 善
● 東 北		
アサヒレキセイ(株)仙台支店	(980) 宮城県仙台市中央3-3-3	0222 (66) 1 1 0 1 大 協
株式会社 亀井商店	(980-91)宮城県仙台市国分町3-1-18	0222 (64) 6 0 7 7 日 石
宮城石油販売株式会社	(980) 宮城県仙台市東7番丁102	0222 (57) 1 2 3 1 三 石
中西瀝青(株)仙台営業所	(980) 宮城県仙台市中央2-1-30	0222 (23) 4 8 6 6 日 石
(株)南部商会仙台出張所	(980) 宮城県仙台市中央2-1-17	0222 (23) 1 0 1 1 日 石
有限会社 男鹿興業社	(010-05)秋田県男鹿市船川港船川字化世沢178	01852 (4) 3293 共 石
菱油販売(株)仙台支店	(980) 宮城県仙台市国分町3-1-1	0222 (25) 1 4 9 1 三 石
正興産業(株)仙台営業所	(980) 宮城県仙台市国分町3-3-3	0222 (63) 0 6 7 9 三 石
竹中産業(株)新潟営業所	(950) 新潟市東大通1-4-2	0252 (46) 2 7 7 0 シェル
常盤商事(株)仙台支店	(980) 宮城県仙台市上杉1-8-19	0222 (24) 1 1 5 1 三 石
● 関 東		
アサヒレキセイ株式会社	(104) 東京都中央区八丁堀3-3-5	03 (551) 8 0 1 1 大 協
アスファルト産業株式会社	(104) 東京都中央区八丁堀4-4-13	03 (553) 3 0 0 1 シェル
富士鉱油株式会社	(105) 東京都港区新橋4-26-5	03 (432) 2 8 9 1 丸 善
富士石油販売株式会社	(103) 東京都中央区日本橋2-13-12	03 (274) 2 0 6 1 共 石
富士油業(株)東京支店	(106) 東京都港区西麻布1-8-7	03 (478) 3 5 0 1 富士アス
伊藤忠燃料株式会社	(160) 東京都新宿区新宿3-4-7	03 (347) 3 9 6 1 共 石
関東アスファルト株式会社	(336) 浦和市岸町4-26-19	0488 (22) 0 1 6 1 シェル
株式会社 木畑商会	(104) 東京都中央区八丁堀4-2-2	03 (552) 3 1 9 1 共 石
国光商事株式会社	(165) 東京都中野区東中野1-7-1	03 (363) 8 2 3 1 出 光
極東資材株式会社	(105) 東京都港区新橋2-3-5	03 (504) 1 5 2 8 三 石
丸紅石油株式会社	(102) 東京都千代田区九段北1-13-5	03 (230) 1 1 5 2 モービル
三菱商事株式会社	(100) 東京都千代田区丸の内2-6-3	03 (210) 6 2 9 0 三 石
三井物産石油販売株式会社	(100) 東京都千代田区内幸町2-1-1	03 (504) 2 2 7 1 極 東石
中西瀝青株式会社	(103) 東京都中央区八重洲1-2-1	03 (272) 3 4 7 1 日 石
株式会社 南部商会	(100) 東京都千代田区丸の内3-4-2	03 (212) 3 0 2 1 日 石
日東石油販売株式会社	(104) 東京都中央区新川2-8-3	03 (551) 6 1 0 1 シェル
日東商事株式会社	(170) 東京都豊島区巢鴨3-39-4	03 (915) 7 1 5 1 昭 石
瀝青販売株式会社	(103) 東京都中央区日本橋2-16-3	03 (271) 7 6 9 1 出 光
菱東石油販売株式会社	(101) 東京都千代田区外神田6-15-11	03 (833) 0 6 1 1 三 石
菱洋通商株式会社	(104) 東京都中央区銀座4-2-14	03 (564) 1 3 2 1 三 石
菱油販売株式会社	(160) 東京都新宿区西新宿1-20-2	03 (348) 6 2 4 1 三 石
三徳商事(株)東京営業所	(101) 東京都千代田区岩本町1-3-7	03 (861) 5 4 5 5 昭 石
株式会社 沢田商行	(104) 東京都中央区入船町1-7-2	03 (551) 7 1 3 1 丸 善

社団法人 日本アスファルト協会 会員

社 名	住 所	電 話	
新日本商事株式会社	(101) 東京都千代田区神田錦町2-7	03 (294) 3 9 6 1	昭 石
昭和石油アスファルト株式会社	(140) 東京都品川区南大井1-7-4	03 (761) 4 2 7 1	昭 石
住商石油株式会社	(160-91) 東京都新宿区西新宿2-6-1	03 (344) 6 3 1 1	出 光
大洋商運株式会社	(103) 東京都中央区日本橋本町3-7	03 (245) 1 6 3 2	三 石
竹中産業株式会社	(101) 東京都千代田区鍛冶町1-5-5	03 (251) 0 1 8 5	シ ョ ル
東光商事株式会社	(104) 東京都中央区京橋1-6	03 (274) 2 7 5 1	三 石
株式会社 トーアス	(100) 東京都千代田区内幸町2-1-1	03 (501) 7 0 8 1	共 石
東京富士興産販売株式会社	(105) 東京都港区虎ノ門1-13-4	03 (591) 3 4 0 1	富士アス
東京レキセイ株式会社	(150) 東京都渋谷区恵比寿南2-3-15	03 (719) 0 3 4 5	富士アス
東生商事株式会社	(150) 東京都渋谷区渋谷町2-19-18	03 (409) 3 8 0 1	三共・出光
東新瀝青株式会社	(103) 東京都中央区日本橋2-13-5	03 (273) 3 5 5 1	日 石
東洋国際石油株式会社	(104) 東京都中央区八丁堀3-3-5	03 (552) 8 1 5 1	大 協
東和産業株式会社	(170) 東京都豊島区巢鴨1-19-14	03 (944) 4 1 7 1	共 石
梅本石油株式会社	(162) 東京都新宿区新小川町2-10	03 (269) 7 5 4 1	丸 善
宇野建材株式会社	(241) 横浜市旭区笹野台168-4	045 (391) 6 1 8 1	三 石
ユニ石油株式会社	(100) 東京都千代田区霞ヶ関1-4-1	03 (503) 4 0 2 1	シ ョ ル
渡辺油化興業株式会社	(107) 東京都港区赤坂3-21-21	03 (582) 6 4 1 1	昭 石
横浜アスファルト販売株式会社	(220) 横浜市西区高島2-12-12	045 (441) 9 3 3 1	エ ッ ソ
● 中 部			
アサヒレキセイ(株)名古屋支店	(466) 名古屋市昭和区塩付通4-9	052 (851) 1 1 1 1	大 協
千代田石油株式会社	(460) 名古屋市中区栄1-24-21	052 (201) 7 7 0 1	丸 善
丸 福 石 油	(933) 富山県高岡市美幸町2-1-28	0766 (22) 2 8 6 0	シ ョ ル
松村物産株式会社	(920) 石川県金沢市広岡町ト25	0762 (21) 6 1 2 1	三 石
名古屋富士興産販売(株)	(451) 名古屋市西区庭町2-38	052 (521) 9 3 9 1	富士アス
中西瀝青(株)名古屋営業所	(460) 名古屋市中区錦町1-20-6	052 (211) 5 0 1 1	日 石
三徳商事(株)名古屋営業所	(453) 名古屋市中村区則武1-10-6	052 (452) 2 7 8 1	昭 石
株式会社 三油商会	(460) 名古屋市中区丸の内2-1-5	052 (231) 7 7 2 1	大 協
株式会社 沢田商行	(454) 名古屋市中川区富川町1-1	052 (361) 7 1 5 1	丸 善
新東亜交易(株)名古屋支店	(450) 名古屋市中村区名駅3-28-12	052 (561) 3 5 1 4	三 石
静岡鉱油株式会社	(424) 静岡県清水市袖師町1575	0543 (66) 1 1 9 5	モービル
竹中産業(株)福井営業所	(910) 福井市大手2-4-26	0776 (22) 1 5 6 5	シ ョ ル
株式会社 田中石油店	(910) 福井市毛矢2-9-1	0776 (35) 1 7 2 1	昭 石
● 近 畿			
赤馬瀝青工業株式会社	(531) 大阪市大淀区中津3-10-4-304	06 (374) 2 2 7 1	モービル
アサヒレキセイ(株)大阪支店	(550) 大阪市西区南堀江4-17-18	06 (538) 2 7 3 1	大 協
千代田瀝青株式会社	(530) 大阪市北区東天満2-8-8	06 (358) 5 5 3 1	三 石
富士アスファルト販売株式会社	(550) 大阪市西区京町堀3-20	06 (441) 5 1 5 9	富士アス
平井商事株式会社	(542) 大阪市南区長堀橋筋1-43	06 (252) 5 8 5 6	富士アス
関西舗材株式会社	(541) 大阪市東区横堀4-43	06 (271) 2 5 6 1	シ ョ ル
木曾通産(株)大阪支店	(550) 大阪市西区九条南4-11-12	06 (581) 7 2 1 6	大 協
北坂石油株式会社	(590) 大阪府堺市戒島町5丁32	0722 (32) 6 5 8 5	シ ョ ル
株式会社 松宮物産	(522) 滋賀県彦根市幸町32	07492 (3) 1 6 0 8	シ ョ ル
丸和鉱油株式会社	(532) 大阪市淀川区塚本2-14-17	06 (301) 8 0 7 3	丸 善
三菱商事(株)大阪支社	(530) 大阪市北区堂島浜通1-15-1	06 (343) 1 1 1 1	三 石

社団法人 日本アスファルト協会 会員

社名	住所	電話番号	備考
中西瀝青(株)大阪営業所	(532) 大阪市淀川区西中島3-18-21	06 (303) 0 2 0 1	日 石
大阪アスファルト株式会社	(531) 大阪市大淀区豊崎5-8-2	06 (372) 0 0 3 1	富士アス
株式会社 菱 芳 砒 産	(671-11) 姫路市広畑区西夢前台7-140	0792 (39) 1 3 4 4	共 石
菱油販売(株)大阪支店	(541) 大阪市東区北浜5-11	06 (202) 5 3 7 1	三 石
三徳商事株式会社	(532) 大阪市淀川区新高4-1-3	06 (394) 1 5 5 1	昭 石
(株) 沢田商行大阪支店	(542) 大阪市南区鰻谷西之町50	06 (251) 1 9 2 2	丸 善
正興産業株式会社	(662) 兵庫県西宮市久保町2-1	0793 (34) 3 3 2 3	三 石
(株) シェル石油大阪発売所	(530) 大阪市北区堂島浜通1-25-1	06 (343) 0 4 4 1	シ ョ ー ル
梅本石油(株)大阪営業所	(550) 大阪市西区新町1-12-23	06 (351) 9 0 6 4	丸 善
山文商事株式会社	(550) 大阪市西区土佐堀通1-13	06 (443) 1 1 3 1	日 石
横田瀝青興業株式会社	(672) 姫路市飾磨南細江995	0792 (33) 0 5 5 5	共 石
アサヒレキセイ(株)広島支店	(730) 広島市中区中町5-9	0822 (44) 6 2 6 2	大 協
富士商株式会社	(756) 山口県小野田市稻荷町6539	08368 (3) 3 2 1 0	シ ョ ー ル
中国富士アスファルト株式会社	(711) 岡山県倉敷市児島味野浜の宮4051	0864 (73) 0 3 5 0	富士アス
● 四 国 ・ 九 州			
アサヒレキセイ(株)九州支店	(810) 福岡市中央区鳥飼1-3-52	092 (77) 7 4 3 6	大 協
畑 礦 油 株 式 会 社	(804) 北九州市戸畑区牧山新町1-40	093 (871) 3 6 2 5	丸 善
平和石油(株)高松支店	(760) 高松市番町5-6-26	0878 (31) 7 2 5 5	シ ョ ー ル
今別府産業株式会社	(890) 鹿児島市新栄町15-7	0992 (56) 4 1 1 1	共 石
入交産業株式会社	(780) 高知市大川筋1-1-1	0888 (22) 2 1 4 1	シ ョ ー ル
伊藤忠燃料(株)福岡支店	(812) 福岡市博多区博多駅前3-2-8	092 (444) 8 3 5 3	共 石
株式会社 カ ン タ	(892) 鹿児島市住吉町1-3	0992 (24) 5 1 1 1	シ ョ ー ル
丸 菱 株 式 会 社	(812) 福岡市博多区博多駅前1-9-3	092 (43) 7 5 6 1	シ ョ ー ル
中西瀝青(株)福岡出張所	(810) 福岡市中央区天神4-1-18	092 (771) 6 8 8 1	日 石
(株) 南部商会福岡出張所	(810) 福岡市中央区舞鶴1-1-5	092 (721) 4 8 3 8	日 石
西岡商事株式会社	(764) 香川県多度津町新町125-2	08773 (2) 3 4 3 5	三 石
菱油販売(株)九州支店	(805) 北九州市八幡東区山王1-17-11	093 (661) 4 8 6 8	三 石
三協商事株式会社	(770) 徳島市万代町5-8	0886 (53) 5 1 3 1	富士アス
三陽アスファルト株式会社	(815) 福岡市南区上盤瀬町55	092 (541) 7 6 1 5	富士アス
(株) シェル石油徳島発売所	(770) 徳島市中州町1-10	0886 (22) 0 2 0 1	シ ョ ー ル

☆編集委員☆

阿部頼政	高見 博	藤井治芳
石動谷英二	多田宏行	松野三朗
加藤兼次郎	田中 宏	真柴和昌
黒崎 勲	南雲貞夫	武藤喜一郎
酒井敏雄	萩原 浩	

アスファルト 第117号

昭和53年10月発行

社団法人 日本アスファルト協会

〒105 東京都港区虎ノ門2-6-7 TEL 03-502-3956

本誌広告一手取扱 株式会社 広業社

〒104 東京都中央区銀座8-2-9 TEL 03-571-0997(代)

ASPHALT

Vol. 21 No. 117 OCTOBER 1978

Published by

THE JAPAN ASPHALT ASSOCIATION