

アスファルト混合物の施工性能の定量評価 に関する一検討

はちや よしたか
八谷 好高*

空港で施工されたアスファルト舗装から採取したコア試料の締固め度に注目することにより、施工性能の定量化を図るとともに、コアの本数がその結果に及ぼす影響について検討した。

その結果、施工の優劣により舗装の性能が大きく変化し、疲労破壊回数を用いて定量的に表されること、疲労破壊回数は締固め度の変化に比較してより大きく変化することが分かった。また、コアの本数は施工性能の定量化に大きく影響し、本数が少ない場合は施工範囲全体の性能を必ずしも適確には表していない危険性のあることも分かった。

キーワード：アスファルト混合物、性能規定、締固め度、ベイファクター、疲労破壊回数

はじめに

社会基盤施設は、所定の期間性能が満足されるように設計・施工され、状況に応じて維持工事を適切に行うことにより、その性能が担保される。このうち、設計については性能規定型の方法もみられるが、施工については出来形、品質の規格値を全数満足しなければならないとする仕様規定型の方法が用いられている。

これは我が国の空港舗装工事に関しても当てはまり、性能規定型の設計に対して仕様規定型の施工が行われている。そのため、検査の結果は合格か不合格のどちらかであり、その中間的なものは通常はない。一方、米国においては、空港のみならず、道路の舗装工事においても、性能評価型の方法、すなわち施工性能に応じて工事費の支払い額が変わってくる方法が採用されている。

ここでは、空港アスファルト舗装のアスファルト混合物層の施工検査基準の一つである密度(具体的には締固め度で表現)を取り上げて、空港舗装工事(基本施設)の施工性能の定量化方法について考察した。

1. 施工管理データ

検討に用いたデータは、平成19～20年度に整備された空港の滑走路から採取されたコアのデータである^{1),2)}。コアは表層、基層ならびにアスファルト安定処理上層路盤のアスファルト混合物全層を貫通さ

せて30本採取したものである。アスファルト混合物層の締固め度はコア密度の基準密度に対する百分率として算出した。

空港舗装工事で用いられているアスファルト混合物に対する施工管理基準・規格値³⁾のうち品質に関するものは表-1に示すとおりであり、基準密度は工事開始後最初の2日間の午前・午後3個ずつ作製したマーシャル供試体の密度の平均値である。なお、今回採取したコアについては、この表に示す測定頻度に従ってはいない。

表-1 アスファルト混合物の品質管理基準・規格値

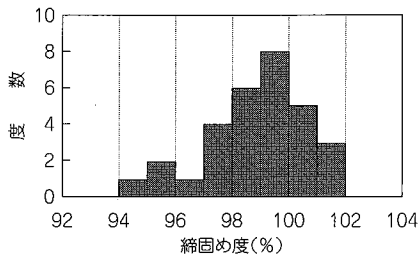
測定項目・試験	測定頻度	規格値・備考
打込み温度	1回/トラック	110℃以上
基準密度*	工事開始直後	—
マーシャル試験*	1回/日	安定度、フロー値、空隙率、飽和度
密度	1回/4,000m ²	基準密度の98%以上

*：各3個の平均値

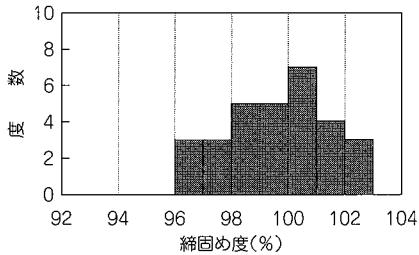
表層、基層、路盤のアスファルト混合物の密度の状況について図-1に示す。規格値である98%を満足しないコアの割合は、表層、基層、路盤のそれぞれで、27%、20%、17%となっていることから、コアを採取した範囲では全体的にみると施工は不十分と言わざるを得ない。表層の場合は、平均が98.9%で他に比べて小さく、標準偏差が1.83%と基層よりは大きい。これらのことから、表層については他に比べると品質の点で劣る傾向が見られるということになる。

表層のコア供試体の相対安定度(締固め度98%時の安定度(厚さによる補正済み)を1.0とした相対的

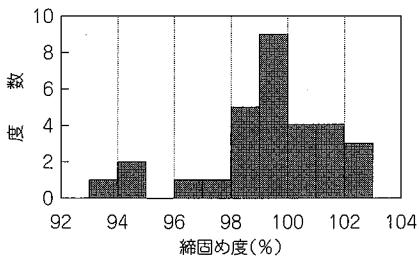
* (財)港湾空港建設技術サービスセンター 理事 工博



a)表層



b)基層



c)路盤

図-1 締固め度の状況

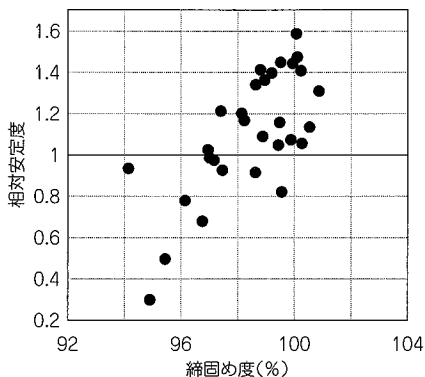


図-2 締固め度と相対安定度

表記)を締固め度に対してプロットしたものが図-2である。両者の間には比例関係があり、変動はやや大きいものの、締固め度が増加するにつれて相対安定度は増加していることが分かる。逆に言えば、規格値を満足するような高い安定度を得るためには十分な締固め度を確保する必要があることが確認された。

2. 米国の空港における舗装工事費の支払い基準

米国をはじめとする諸外国では、規格値を満たさない場合でも支払い額の減少はあるものの合格となったり、反対に品質がよければ支払い額が増加するという性能規定型施工評価システムが採用されている場合が多い。例えば、米国では、アスファルト舗装の性能向上や長寿命化は材料の製造ならびに施工の工程における変動を減少させることにより実現可能になるとして、品質管理と保証システムが導入されている。具体的な支払い額の調整は、完成物(舗装)の品質をペイファクターとして定量化することによって行われる。

米国の空港アスファルト舗装の表層工事の場合も、品質に応じて工事費の支払い額が調整されるようになっている。具体的には、支払い額はアスファルト混合物の密度(締固め度)と空隙率により計算されるペイファクターに応じて決定される⁴⁾。表-2は、締固め度の管理規定に使用されているような片側(下限側)規定方式の場合である。表中のLPF(Lot Pay Factor)は、当初の契約額に対する支払い額の割合、PWL(Percentage of material Within specification Limits)は測定値が規格値を満たしている割合、PD(Percent Defective)は規格値を満足しない割合である。これによると、支払い額は当初契約額の106%まで増額可能となるばかりか、PWLが55%の場合でもその工事は合格となる(ただし支払い額は減額される)など、施工性能は支払い額に直接反映されることとなり、このような方法の導入は発注者、受注者の両者にとって施工性能により留意するための動機づけとなっている。

表-2 支払い額の調整

PWL(%)	LPF(%)
96~100	106
90~95	PWL+10
75~89	0.5 PWL+55
55~74	1.4 PWL-12
55未満	やり直し(例外規定可能)

図-3はPWLとPDの説明図である。具体的には、コアの締固め度の測定値から施工部分全体の締固め度(母集団)を推定してPWLを計算する必要がある。PWLは、コアによる測定値の平均 \bar{X} 、標準偏差 S_n 、下限規格値 L を用いた品質指数 $Q_L(=(\bar{X}-L)/S_n)$ と標本数 n により計算できる。米国では、これが容易にできるように、別途用意された数表(表-3は

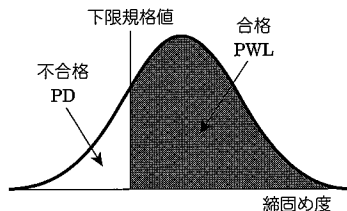


図-3 締固め度の度数分布とPWL, PD

表-3 品質指数 Q_L , 標本数 n と PWL の例

PWL	Q_L					
	$n=3$	$n=4$	$n=5$	$n=6$	$n=7$	$n=8$
99	1.1541	1.4700	1.6714	1.8008	1.8888	1.9520
98	1.1524	1.4400	1.6016	1.6982	1.7612	1.8053
97	1.1496	1.4100	1.5427	1.6181	1.6661	1.6993
96	1.1456	1.3800	1.4897	1.5497	1.5871	1.6127
95	1.1405	1.3500	1.4407	1.4887	1.5181	1.5381
94	1.1342	1.3200	1.3946	1.4329	1.4561	1.4717
93	1.1269	1.2900	1.3508	1.3810	1.3991	1.4112
92	1.1184	1.2600	1.3088	1.3323	1.3461	1.3554
91	1.1089	1.2300	1.2683	1.2860	1.2964	1.3032
90	1.0982	1.2000	1.2290	1.2419	1.2492	1.2541
...

一例)を用いて計算できるようになっている。

一方、我が国の空港舗装の施工検査方法では、一般的に、コアによる測定値の全数が規格値以上であることをもって合格とされる。これはサンプリングによる標本に基づくものであるから、合格とされても、全体を表す母集団をみれば、規格値を満足しない部分もあり得、場合によっては不合格とされることになりかねない危険性もある。

3. 米国の方法による施工性能の評価

1.で記述した表層アスファルト混合物のコアの締固め度のデータに対して、米国の性能規定型施工評価システムを適用してみた。この方法は、本来同一ロット内から採取したコアに関して適用するものなので、厳密に言えば、今回のデータに適用することは適切ではない。

30個すべてのデータを対象として、締固め度の下限規格値を98%とした場合は、PWLは69%で、LPFは85%となった。すなわち、我が国の品質規定では棄却される工事が、米国では支払い額が15%の減額があるものの、工事自体は合格となることを意味している。

次に、対象となるデータ数を少なくした場合の支払い額について検討してみた。ここでは、全体データとしては30個あるうちの5個のデータを任意に選

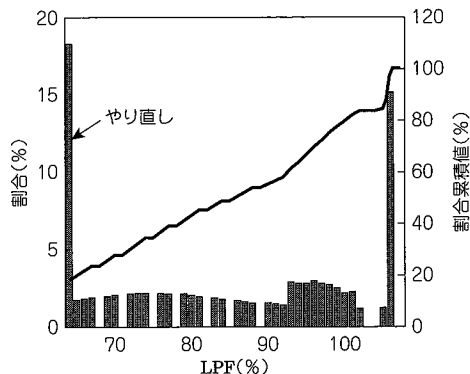


図-4 5個のデータを使用した場合のLPFの状況

んだ場合を想定した(14万通りほどの組み合わせになる)。その結果のヒストグラムを図-4に示す。これによれば、組み合わせ全体の15%程度で工事費として満額が支払われるものの、18%程度は不合格と、やり直しの事態となっていることが分かる。

2.で示したLPFを用いた米国の施工性能評価方法では、LPFは Q_L が同一の値であっても、データ数(標本数)によって異なった値となる。そこで、施工性能を適切に評価するうえで必要となる標本数を決定するための基礎資料を得ることを目的として、標本数が支払い額に及ぼす影響について検討した。

具体的には、上記の30個のデータから5個と10個を任意に取り出して、それらを一組のデータとして、LPFの平均値と母集団標準偏差を算出した。そして、これらの値を有する正規分布のデータを母集団と考え、90パーセンタイル(全データの上方から90%以上が含まれる値)、すなわち信頼度90%の値に注目して考察した。

その結果、標本数が10個になると、不合格、最高額支払いになるもの、すなわちLPFが65%に達しないもの、106%となるものは、それぞれ8%、3%程度となり、上記の標本数5個の場合よりもかなり小さくなることが分かった。また、LPFがこれ以外の65~105%となるものの割合は、標本数10個の場合には5個の場合よりも大きいものとなっている。以上は、LPFの累積値を示した図-5から明らかであり、標本数が少ないほど発注側、受注側にとってもリスクが高いものとなっている。

4. アスファルト混合物の締固め度と疲労寿命

舗装の性能規定型設計法では、舗装施設に必要と

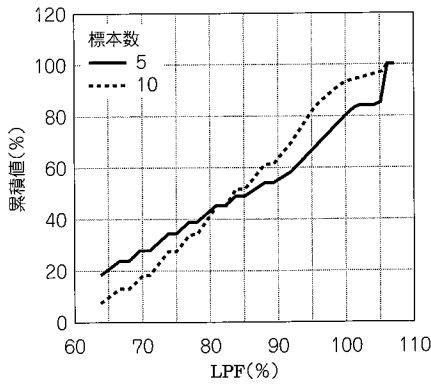


図-5 LPFの累積値

なる性能を選定し、その性能が満足されるように舗装の構造・材料を決定することが必要とされる。このことから、施工の性能評価についても、設計時に選定された性能に基づいてなされる必要があると考えることは妥当なものであろう。ここでは、性能として荷重支持性能を選定し、その照査項目としてアスファルト混合物の疲労ひび割れを、その内容として疲労度を用いた場合を対象に、施工の性能評価方法について検討した。

アスファルト混合物の疲労度は、次のように計算される。

- ① 締固め度からアスファルト混合物のスティフネス E^* を推定する。
- ② 得られたスティフネスを用いて航空機荷重が加わった場合のひずみ ϵ を計算する。
- ③ 得られたひずみに基づいてアスファルト混合物の疲労破壊式から疲労破壊回数を算定する。
- ④ 得られた疲労破壊回数に対する設計交通量の比率、すなわち疲労度を計算する。

このうち、スティフネスの推定にはマサチューセッツ大学の研究成果を、疲労破壊回数の算定には我が国の空港舗装構造設計に用いられている算定式を用いた。アスファルト混合物のひずみについては、上記空港舗装の設計例として用いられている場合(対象航空機は B777-300D)に対するものを GAMES により計算した。

図-6 は、アスファルト混合物の締固め度によるスティフネスと荷重載荷時の主ひずみの違いを示している。締固め度の低下につれて、スティフネスが減少し、これにより荷重載荷時の主ひずみが増加することが明らかになっている。

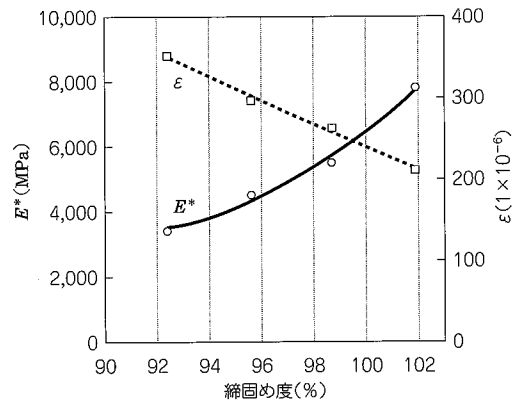


図-6 アスファルト混合物のスティフネスと主ひずみ

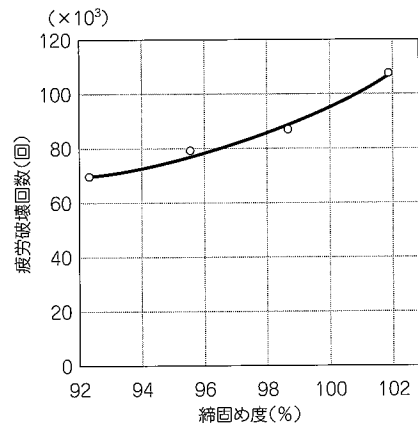


図-7 締固め度と疲労破壊回数

これらから図-7に示すように、疲労破壊回数は、締固め度によって変化し、締固め度が98%の場合は100%の場合に比べると90%程度まで、95%の場合は80%程度まで低下することが分かった。すなわち、締固め度に注目することによりアスファルト混合物の疲労度、ひいては舗装の荷重支持性能が評価できることが明らかになった。

5. 疲労破壊回数に注目した施工性能評価

4. で記述したアスファルト混合物の疲労破壊回数に基づく施工の性能評価方法を、1. で記述したコア(表層)のデータに適用してみた。

具体的には、一組5個のデータから平均値と標準偏差を算出して、母集団としてこれらの値を有する正規分布のものを考え、90パーセンタイルの疲労破壊回数を、締固め度98%の場合の疲労破壊回数に対する比率で表した。対象とするデータは、1. で示した30個すべての場合と締固め度98%以上となって

いる22個の場合の2通りである(データの組合わせ数は、前者で前述のとおり14万通りほど、後方で2.6万通りほどである)。

疲労破壊回数として締固め度98%のものに対する比率(百分率)をデータの組合わせごとに算出し、全組合わせに対する割合をまとめたものを図-8に示す。これによると、30個のデータを対象にした場合では最小82%、最大111%、平均94%程度となっていることが分かる。また、規定に合格した22個のみを対象とした場合では最小96%、最大112%、平均103%程度と、平均値は30個の全データを使用したときよりも10ポイント程度増加していることも分かる。

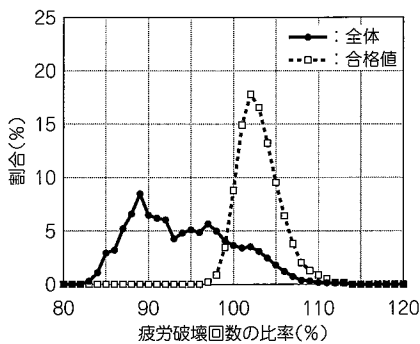


図-8 疲労破壊回数比率の割合(全体と合格値)

標本数による性能の違いを調べることを目的として、規格値を満足する22個のデータから5個、10個を取り出して計算した場合の疲労破壊回数比率について検討した。結果を図-9に示す。これより、標本数が増えるにつれて疲労破壊回数比率の分散が小さくなり、施工性能の判定精度も向上することが明らかであり、検査に使用する標本数を適切に定めることの重要性が分かる。

6. まとめ

アスファルト舗装に用いられる表層アスファルト混合物の締固め度を取り上げて、施工性能の定量化について検討するとともに、標本数が施工性能の判定結果に及ぼす影響について検討した。その結果、次のような知見が得られた。

- (1)アスファルト混合物の施工性能は、舗装の荷重支持性能の一つである疲労ひび割れの照査方法である、疲労破壊回数により定量化可能である。
- (2)アスファルト混合物の疲労破壊回数と締固め度間の関係を用いることにより、施工の性能を締固め

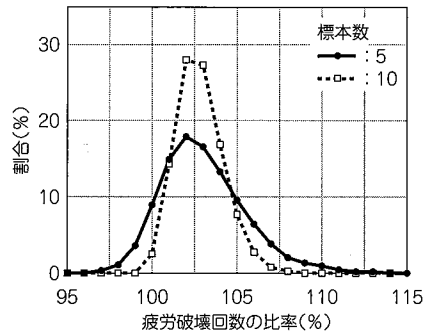


図-9 疲労破壊回数比率の割合(標本数の違い)

度により定量化可能である。締固め度に応じて疲労破壊回数は変化するが、その程度は締固め度の変化より大きい。

(3)アスファルト混合物の施工性能を判定する際に標本数が大きく影響する状況として、今回使用した実測データに基づく結果では、工事費支払い額割合でみれば、標本数を5、10個とした場合、それぞれの不合格率は18%、8%と大きく異なっている。

(4)実測データがすべて規格合格値であったとしても、標本数が少なければ、その結果は母集団全体としての性能を必ずしも適確に表していない危険性のあることが推定される。

今後は、ここで示した方法を用いることにより、アスファルト混合物の締固め度の合格判定値、試験頻度といった施工管理・検査方法について調査研究を進めて行くこととしたい。

問合わせ先

〒100-0013 東京都千代田区霞が関3丁目3番1号
 (財)港湾空港建設技術サービスセンター
 建設マネジメント研究所 八谷 好高
 TEL : 03-3503-2803 FAX : 03-5512-7515
 E-mail : hachiya@scopenet.or.jp

【参考文献】

- 1)兵頭武志, 北落謙太郎, 八谷好高:アスファルト舗装表層の施工性能に関する一検討, 土木学会第65回年次学術講演会, V-001(2010)
- 2)八谷好高, 北落謙太郎, 渡邊 隆:加熱アスファルト混合物の施工性能の定量的評価に関する一検討, 土木学会第66回年次学術講演会, V-393(2011)
- 3)国土交通省航空局(監修):空港土木工事共通仕様書,(財)港湾空港建設技術サービスセンター(2011)
- 4)Federal Aviation Administration: Standards for Specifying Construction of Airports, AC 150/5370-10E(2009)