

# 空港舗装工事の管理基準とその体系化について

## CONTROL CRITERIA OF AIRPORT PAVEMENT AND ITS SYSTEMATIZATION

阿部 洋一\*・室田 篤利\*\*

By Yoichi ABE and Atsutoshi MUROTA

It is generally known that there must be a theoretical correlation between the standards of costs, construction management, and test for the airport pavement. This paper attempts to propose the relevant standards of each element based upon the following work: 1) collection of actual data for the airport-pavement construction management at major airports, 2) statistical analysis of the data (i.e., study of normal distribution and calculation of standard deviation), and 3) definition of relevance for each standard.

### 1. 概 説

空港の舗装工事は近年空港整備事業の伸びに応じて大きく増大してきた。これに関連して、空港舗装の構造設計や維持・補修に関する基準等が整備、拡充され、空港土工事の標準仕様書、積算基準の整備とあいまって技術体系の一層の充実をみるにいたっている。

しかしながら、発注者と受注者の利害が微妙に絡む各種の管理基準値、すなわち積算基準値、施工管理基準値、検査基準値が時には曖昧に、時には杓子定規に、あるいは無理解なまま放置、誤用されている現実もある。このため、空港舗装工事の発注者と受注者の双方にとって管理基準が一方には安全側に偏し、一方には不利益に偏する可能性がある。

外国においては、検査基準とともに減額規程が用意されている国もあり、貸担保期間にもいろいろなものがあるようである。また、国によっては工期短縮とコストダウンを達成した工事に対し褒賞金を出す制度まである。

舗装工事材料は他の種々の工業分野における材料と異なり、均一性に欠け、その度合も大きいことから管理を

狭い範囲で精密に実施することは難しい。したがって、他の分野で確立した手法を導入するに際しても、対象としての空港舗装の特徴をつかみ、基本的な理論の応用の是非を実態に即して判断しなければならない。

ここで舗装工事管理のためのふさわしい管理手法の種類と選択理由を表-1に示す。

表の記述は一般的なものであるが、選定理由を明確にし、これを用いて論を進めるためにあえてのせた。

本報告の目的は、第一級の空港舗装工事において従来

表-1 舗装工事管理にふさわしい品質管理手法

区分	選定手法	理
全数検査 と 抜取検査	・舗装工事の検査対象には連続体がある・は大容積物のものが多く、破壊検査を必要とするものもあって全数検査は容易ではない。 ・舗装工事管理では次に示す抜取検査の条件を満足している。 1. 製品がロットとして処理できること。 2. 合格ロットの中にもある程度ならば不良品の混入を許せること。 3. サンプルの採取がランダムにできること。 4. 品質基準が明確であること。 5. 計量抜取検査ではロットの検査単位の特性値分布がはばわかつていること。	・計量検査では測点を多く必要とするが、舗装工事管理の場合多くの測点を取ることは困難である。
計量検査 と 計数検査	・舗装工事の試験結果はすべて客観的な計量値として表示される。	・舗装工事管理では、全数検査を必要とする選別型、連続生産に対して行われる連続生産型は不可能である。
抜取検査 の型	・舗装工事管理では、使用者(受注者)によって、検査基準をゆるくしたりきつくしたりする選別型は規格階では必要ないと考えられる。 ・舗装工事では、一般に「工事全体の平均が基準を満足している」とことよりも、「工事中の不良部分の割合が一定値以下である」ことが望ましいことが多い。	・舗装工事では、一般的に「工事全体の平均が基準を満足している」とことよりも、「工事中の不良部分の割合が一定値以下である」ことが望ましいことが多い。
不良率保証 と平均 値保証	・過去の舗装工事実績データが多く、信頼性の高い標準偏差が求められる。(表-5参照) ・舗装工事管理実績データのR管裡図によりばば全項目で品質が「管理状態」にあることが認められた。 ・測点をできるだけ少なくする必要があるため。	・不良率保証の方が出来上りの品質の分散が小さくなる可能性が高い。
標準偏差 既知と標 準偏差 未定	・過去の舗装工事実績データが多く、信頼性の高い標準偏差が求められる。(表-5参照) ・舗装工事管理実績データのR管裡図によりばば全項目で品質が「管理状態」にあることが認められた。	・過去の舗装工事実績データが多く、信頼性の高い標準偏差が求められる。(表-5参照)

\* 正会員 工修 新東京国際空港公团舗装工事課長 工事局  
(〒286-01 成田市三里塚御料牧場1-2)

\*\* 工修 三菱総合研究所副研究員 社会システム部  
(〒100 千代田区大手町2-3-6)

表-2 収集データと採取率

工事	工事面積(㎡)	データ採取面積(㎡)	データ採取率(%)
土工	4,375,118	3,789,018	86.6
舗装	1,800,058	1,567,781	87.1

よりほとんど別個に扱われてきた積算基準と施工管理基準、全く同意として扱われてきた施工管理基準と検査基準を、一貫性ある合理的なものとして再検討し、管理基準としての体系的整備を行い、実態データをもとに各種基準値を作成し実工事に応用することにある。

収集データは、新東京国際空港第一期工事の土工、舗装に関する各種管理試験データで、表-2に示すように90 % に近い採取率を示している。

## 2. 空港舗装工事の管理

空港舗装工事で現在行われている管理項目は表-3に示すように多岐にわたる。これらの管理項目は管理の効率化、省力化に向けて項目を減らす検討を進めている。そのためには因果関係で影響要素としての順位が下位のものから、代替規格等で実施の意味が薄れたものから、さらには試験実態での変動が小さい等で外しても工事に支障ないと判断されるもの等の順で少なくなっている。

もちろん、管理手法が有効に機能し、試験実施の意味が正しく評価されることが前提となる。

### 3. 収集データの整理と解析方針

### (1) 収集データの概要とロット

2. に述べた主旨で今回検討対象とした管理項目とデータ数は表-4に示すとおりである。表-3に比べ管理項目のいくつかは解析対象から外している。加えて、表-4のデータ数は統計処理上解析に耐え得るデータのみを記している。

データの整理と各管理項目の検討はロット単位で行うこととし、新ロット形成の基本原則を同一製造条件であることとした。品質管理（材料試験）は、材料の納品ご

表-4 層別試験項目別収集データ数

とに行われること、および納品に際し材料承認のため事前に何らかの試験実績を有していることから、同試験日のデータの集合体は最大ロット単位であることになる。

施工管理では、一般に1ロットの面積は1万m<sup>2</sup>以下となっている<sup>2)</sup>。

今回用いるデータにおいては、品質管理の場合は同一試験日を1ロットとみなし、施工管理の場合は空港がX-Y座標表示をしているため、1座標点として100m×100m=10 000 m<sup>2</sup>を同一ロットとみなすこととした。

## (2) 収集データの整理

収集データの2, 3の項目について整理したものが、図-1である。

図-1からわかるように、各データとも施工管理基準値を下回るもののがなく、基準値近傍にデータが集中するが分布のパターンにはおのおの特徴がある。

分布形状から判断して、不良データを想定した場合の補正要素はあるものの、ほぼ正規分布と考えて整理、解析してよいことがうかがえる。

### (3) 不良率推定方法

舗装のように多層構造からなり、しかも下層が終了し

表-3 空港舗装工事の管理項目の種類

品 質 管 理 項 目	
土工 山砂	粒度試験、塑性液性限界試験、修正CBR試験、吸水量試験
碎石	粒度試験、塑性液性限界試験、修正CBR試験、吸水量試験、ロスアンゼルスすりへり試験、比重
セメント	粒度試験、塑性液性限界試験、修正CBR試験、吸水量試験、ロスアンゼルスすりへり試験
安定処理	粒度試験、セメント試験、ブライムノート規格試験
アスファルト安定処理	粒度試験、塑性液性限界試験、修正CBR試験、吸水量試験、ロスアンゼルスすりへり試験
袋工	粒度試験、塑性液性限界試験、吸水量試験、ロスアンゼルスすりへり試験、比重、硫酸安定性試験、粘土含水量試験、半乾状試験、クリッピングス、フラーー密度試験、フライーラー强度試験、フライヤーT(No.200gass)、フライヤー試験、フライー浸水膨脹試験、フライヤー耐熱試験、タックコート規格試験、特殊アスファルトの一般性状試験、セイボルトフロール粘度試験、薄層、基層 リート 表層、基層 熱試験、タックコート規格試験、特殊アスファルトの一般性状試験、特殊アスファルトの崩化点試験、アスファルト加熱融解試験、ホットビンの骨材融解試験、ホットビンの粒度試験(合成樹脂)
セメント	物理試験、化学分析試験
コンクリート用砂	フライイ分試験、洗い試験、粘土塊含有量標準試験、吸水量試験、ロスアンゼルスすりへり試験、比重、単位容積重量試験、表面水試験、比貯2.0より小さい0.3フリルにとどまる兼定性試験、砂子含まれる石灰岩及び珪藻の量標準試験、不純物試験
コンクリート用砂	フライイ分試験、洗い試験、粘土塊含有量標準試験、吸水量試験、比重、単位容積重量試験、トウアリ試験、細骨の片材またはうすらべながら粒度試験

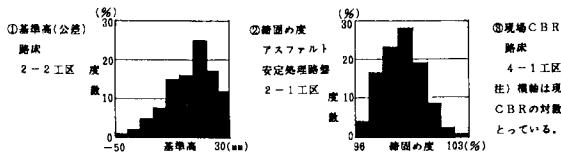


図-1 収集データの度数分布

た後でなければ上層が施工できないものは、施工管理で修正されたものが、検査でさらに修正されて合格となる。つまり、当初の不良箇所は施工管理で修正され不良データが破棄されて合格データに変わっていく。このため、不良データは入手することができない。検査試験データについても同様で、このような不良箇所の再施工、手直し部分のデータが合格値のみ残っているため、先に述べたデータの分布形状になっていると考えられる。本来舗装施設では不良データをゼロにすることはできず、不良データを有害量含まないよう管理するのが不良率保証の考え方である。したがって、保証される不良率は適切なものでなければならない。

不良率の推定は後述する手法に基づいて実施するが、この傍証資料として検査時の検査職員の野帳を参考にすることにした。検査野帳には検査区域の面積に対し手直し箇所が記載されており、この百分率をもって推定不良率の適性を工事実施面から判断することにしたのである。

#### (4) 計量規準型による標準偏差既知不良率保証の管理手法

舗装工事の抜取り検査では、建設省、道路公団をはじめほとんど正規分布を仮定した計量規準型を採用している<sup>2)~4)</sup>。標準偏差については、過去のデータより標準偏差が知れており、かつその変動が小さいという条件付きではあるが、“既知”とする場合が多い。一般に、標準偏差既知としてよいかどうかはR管理図を用いて判定している。

ロットの保証については、平均値を保証するものと不良率を保証する方式があるが、アスファルト舗装工事共通仕様書<sup>5)</sup>をはじめ不良率保証とする場合が多い。

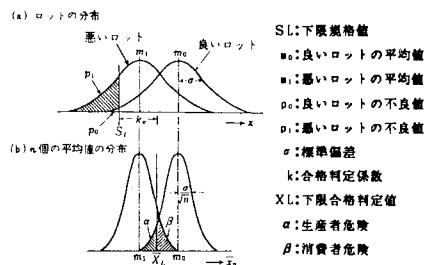


図-2 ロットの分布と平均値の分布（下限規格値が与えられた場合）

表-5 実測データの工区別統計量

試験項目	層	項目	工区別			
			第一工区	第二工区	第三工区	第四工区
厚さ (mm)	基層	アスコンサンプル数	200	68	200	200
		平均 値	6.17	6.14	5.18	5.13
		標準偏差	2.25	2.33	2.48	2.35
粒度 0.074mm	基層	アスコンサンプル数	100	100	100	—
		平均 値	4.74	4.76	4.58	—
		標準偏差	0.42	0.49	0.52	—
マーシャルアスコンサンプル数	—	サンプル数	30	35	18	47
基準値・安基層	—	平均 値	1011	1052	1043	1015
密度(Kg/m <sup>3</sup> )	—	標準偏差	38	77	100	78
締固め度	—	サンプル数	110	65	327	184
(%)	—	平均 値	97.9	98.4	97.3	98.8
山砂路盤	—	標準偏差	1.11	1.12	1.42	1.00

本報告では図-2に示すように、 $S_L$ を $P_0$ 、 $P_1$ の各不良率で下回るロットをおのおの良いロット、悪いロットとし、これに対し $n$ 個の抜取り試験の結果、 $\bar{X}_L$ を合格判定値とする計量規準型標準偏差既知不良率保証の手法によって解析を進めることにした。

この場合の合格判定値としては一般的な次式による<sup>6)</sup>。

$$\bar{X}_L = S_L + k \cdot \sigma \quad \dots \dots \dots (1)$$

#### 4. 解析

##### (1) 危険確率( $\alpha, \beta$ )と不良率( $P_0, P_1$ )の設定

JIS Z 5003には計量規準型1回抜取り検査の規定がある。この中で図-2の $\alpha, \beta$ に相当する生産者(受注者)危険、消費者(発注者)危険は $\alpha=0.05, \beta=0.10$ を基準としている。本報告でもこれによる。

次に図-2の不良率 $P_0, P_1$ については、生産者と消費者が合議のうえ管理項目の性質から判断して適当な数值を定めることとしている。

舗装工事の管理のための抜取り個数は少ない方が望ましい。したがって、合格判定に用いる抜取り個数は省力化を配慮し、合格判定係数の強化によりこれに対応させることにする。不良率設定にあたっては、舗装の構造が上になるほど良質で、施工精度が高くなることから、各層をその性格により3つに分類し各分類ごとに以下の考えにより、OC曲線を用いて表-6のように設定した。

層1においては、不良率10%のロットが合格する確率を50%とするOC曲線を用いた。

層2においては、不良率15%のロットが合格する確率を50%とするOC曲線を用いた。

層3においては、不良率20%のロットが合格する確率を50%とするOC曲線を用いた。

図-3は $n=10$ の場合の上記3種のOC曲線を示す。

表-6について、アスファルト舗装共通仕様書<sup>5)</sup>の検査基準と $n=10$ で対比すると、層1に相当するものの $P_0, P_1$ はおのおの5%, 25%になっており、層3に相当するものは7%, 30%になっている。使用材料の規格が相互に異なるので一律に論じられないが、総じて $P_0, P_1$ ともほぼ同様な数値となっているといえる。

表-6 層別不良率  $P_0$ ,  $P_1$  の設定

層	n	抜取り個数良いロットの不良率 $P_0$ (%)	悪いロットの不良率 $P_1$ (%)	合格判定係数 K
1 アスファルトコンクリート基層	3	0.4	1.7	1.70
	6	1.6	1.7	1.48
	10	3.0	1.7	1.36
2 セメント安定処理路盤	3	0.8	2.4	1.46
	6	2.8	2.4	1.24
	10	5.0	2.4	1.12
3 路床、路床	3	1.5	3.2	1.22
3 山砂路盤	6	4.8	3.2	1.00
	10	8.0	3.2	0.88

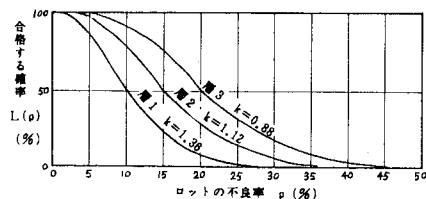


図-3 OC 曲線 (n=10 の場合)

## (2) 標準偏差

標準偏差は層別、管理項目別、ロット別に収集データを用いて算出する。先に述べたように、データは合格データのみであり取扱いにあたっては図-4に示すように、

- ① 不合格データを除いた分布
- ② 不合格データが合格データになって合格データ分布に追加された分布

のいずれかになっていると考えられる。したがって、図-4に示す点線のような実際の分布に対し図-1に示した分布からストレートに求まる標準偏差は小さくなっていると解釈される。そこで、管理基準作成にあたり図-4の点線分布をまず求め、その標準偏差を算出することにする。

実際の分布を求めるには、収集データから求めた度数分布を図-4のケースA、あるいはケースBとみなし、

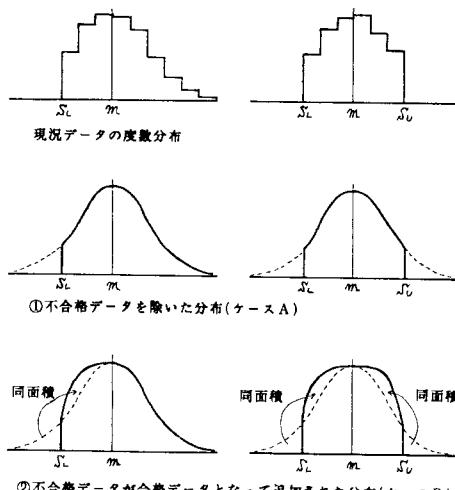


図-4 現況データの度数分布と理論分布（正規分布）

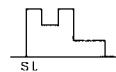


図-5 1ロットの度数分布例

その“実際の分布と考えられる分布”に最も近い理論分布（正規分布）を検索することが必要である。この方法として最小二乗法を用い、カイ二乗適合度検定によりその妥当性をチェックすることにした。

しかし、1ロットのデータ数は数個～10数個であり、図-5のような度数分布となり、このような度数分布から求める理論分布は信頼性が低い。そこで、本報告では理論分布を求める際にのみ、サンプル数を多くして工区全体の度数分布を用い、その結果をロット別標準偏差の修正、つまり、合格ロットのみの標準偏差から不合格ロットを含めた場合の標準偏差への修正に反映させることにした。

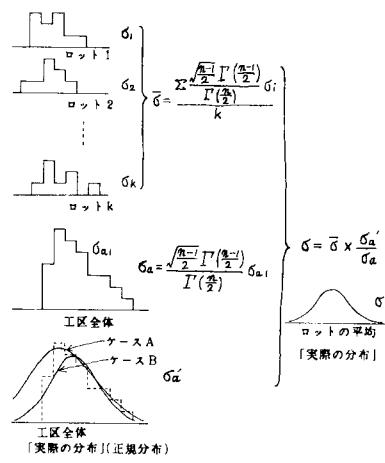
いま、すべてのロット内標準偏差の不偏推定量の平均を  $\bar{\sigma}$ 、工区全体の分布に関する標準偏差の不偏推定量を  $\sigma_a$ 、工区全体の分布から求めた理論分布の標準偏差を  $\sigma_a'$ としたとき、管理基準値設定のために用いた標準偏差  $\sigma$  は、

$$\sigma = \bar{\sigma} \times \frac{\sigma_a'}{\sigma_a} \quad (2)$$

により求めるものとする。これらの概念図を図-6に示す。

## (3) 正規性のチェック、分布形の修正

統計的品質管理手法を適用するには、適用しようとする品質特性、あるいは品質特性に何らかの変数変換を行ったものが、正規分布をしている必要がある<sup>6)</sup>。その正規性のチェックは先に述べたように工区全体の分布を用いて行う。収集データの分布が  $S_L$  付近に集中しており  $S_L$  未満にもデータがあると考えられる場合には、先

図-6  $\sigma$  の求め方の概念図

に述べた図-4のケースA、ケースBのおのおのについて分布形の修正を行い、両者の差異の検討を行う。

ケースAは正規分布の母数の推定で片側が切れた分布、または両側が切れた分布とみなす場合がこれにあたる。

ケースBについて下限規格がある場合の説明を加えると、収集データの分布の上限側は正規分布の形状に一致するものと考え分布の上端（最大値）を  $m_0 + 3\sigma_1$  と仮定する。 $\sigma_1$  は最初任意のものでよく、図-7に示す  $a$  と  $b$  の面積が等しくなるような正規分布形の適用による繰り返し計算を行い、最終的に  $a=b$  となったときの  $m_0$ 、 $\sigma$  をもってこの分布の平均値、標準偏差とするものである。

ケースAとケースBについて、平均と標準偏差の推定値にどれだけの差が出るかを標準正規分布  $N(0, 1)$  を用いて検討した。表-7は不良率をいろいろ変えた場合の両ケースの比較を示す。

標準正規分布の標準偏差1に対して、各ケースから求まる標準偏差を対比し、その差異を比較すると

$$\text{ケースA } 1/0.7067 = 1.415$$

$$\text{ケースB } 1/0.6821 = 1.466$$

$$(1.466 - 1.415) / 1.466 = 0.035$$

となり3.5%の差となる。後述する基準値設定に用いる桁数を配慮すると、両ケースの手法は標準偏差推定に関してはほぼ同様な結果とみてよい。

一方、平均値については、ケースAの方がケースBに比べて大きくなっている、不良率が大きいほど顕著である。これらのことから本報告では、収集データの性格から判断して解析手法としてケースBによる方が適切と判断し、これを用いることにした。

## 5. 項目別基準値の設定

### (1) 基準値の対応因子

工事仕様書に規定されている「施工管理基準」および

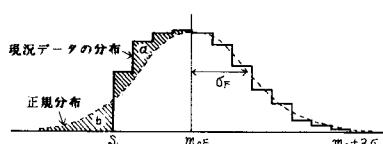


図-7 ケースBの考え方

表-7 各ケースの平均と標準偏差

不良率	ケースA		ケースB	
	平均	標準偏差	平均	標準偏差
1 %	0.0254	0.9893	0.0146	0.9714
2 %	0.0401	0.9550	0.0231	0.9571
5 %	0.1075	0.9005	0.0628	0.8997
10 %	0.1759	0.8552	0.1030	0.8496
15 %	0.2694	0.8027	0.1568	0.7899
20 %	0.3485	0.7650	0.1990	0.7470
30 %	0.4839	0.7076	0.2704	0.6821

「品質管理基準」は受注者が自主管理を行う際に用いる合格判定値であり、これを  $\bar{X}_L$  とする。

一方、「検査基準」は発注者が検査に用いる基準値であり、図-2に示した規格値および合格判定値を示すものとして、おのおの  $S_L$ 、 $\bar{X}'_L$  とする。検査対象の母集団の分布が完全にわかっている、完全な正規分布であれば、施工管理・品質管理基準と検査基準とは一致すべきである。しかし、検査対象の母集団の分布を完全に把握することは不可能であり、過去の実態データから求めた分布を母集団の分布と仮定して検査を行うことになる。

さて発注者は、良いロットから  $n$  個のサンプルを抜き取ったときの平均値  $\bar{x}$  が  $\bar{X}_L$  を下回る確率、すなわち、良いロットが不合格となる確率が5%となるような工事を期待していると考えてよい ( $\alpha=0.05$ )。受注者は当然  $\alpha$  をできるだけ小さくしようとして工事を行う。

「仕様書に示された数値 ( $\bar{X}_L$ )」を、それにより求まる  $m_0$  を目標値とした施工を行えば検査にはほとんど合格することを保証する数値とみれば、受注者にとって不利となる可能性のある基準値の設定は避けるべきことになる。この意味で検査基準は、施工管理・品質管理基準に近似して、かつ、これら基準値を包含する数値として定義する。

すなわち、 $\bar{X}'_L \leq \bar{X}_L$  となるように  $\bar{X}'_L$  を設定する。上記主旨を反映させるためには“発注者が期待している工事の品質特性の分布”と“受注者が実際に進行する工事の品質特性の分布”とで、平均値あるいは標準偏差を変化させる必要がある。本報告では、実態分布から明らかになつた母集団の平均値を固定し、 $\alpha=0.05$  の場合は実態分布の  $\sigma$  をそのまま用い、 $\alpha$  が変化する場合は  $\sigma$  を若干大きめにとって、上記の主旨を反映させることにした。 $\sigma$  を固定し、平均値を変化させた場合についても、試算を行つた結果算出された基準値に大きな差は生じないことを確認している。いまここで、発注者が期待している工事の標準偏差を  $\sigma_1$ 、受注者が実際に進行する工事の品質特性のそれを  $\sigma_2$ 、「検査の際に合格とすべきロット」の標準偏差を  $\sigma_3$  とする。

以上の施工管理・品質管理基準 ( $\bar{X}_L$ ) と検査基準 ( $S_L$ 、 $\bar{X}'_L$ ) の関係を図示すると図-8のようになる。

本報告では、工事仕様書に規定されている  $\bar{X}'_L$ 、収集データから求めた  $\sigma_2$  を用いて、図-9に示すフローに従つて検査基準 ( $S_L$ 、 $\bar{X}'_L$ ) を求めた。

図-9の各段階、①～⑥の計算内容を以下に示す。

① 工事仕様書に規定されている  $\bar{X}_L$ 、収集データから求めた  $\sigma_2$  を用いて、 $\alpha \leq 0.05$  となるよう  $m_0$  を求めめる。

$$m_0 = \bar{X}_L + K_\alpha \frac{\sigma_2}{\sqrt{n}} \quad \dots \dots \dots (3)$$

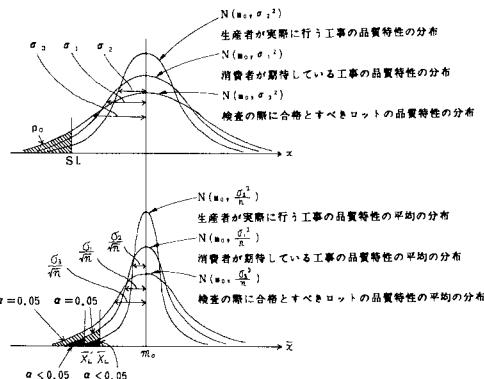


図-8 施工管理・品質管理基準 ( $X_L$ ) と検査基準 ( $S_L$ ,  $X'_L$ ) との関係

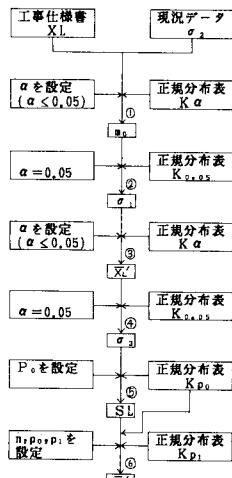


図-9 検査基準算定のフロー

②  $m_0$  を平均とし、 $\bar{X}_L$  を下回る部分 ( $\alpha$ ) が 0.05 となるような正規分布  $N(m_0, \sigma_1^2/n)$  を求め、 $\sigma_1$  を算出する。

$$\sigma_1 = \frac{\sqrt{n}}{K_{0.05}} (m_0 - \bar{X}_L) \dots (4)$$

③ 正規分布  $N(m_0, \sigma_1^2/n)$ において、 $\alpha \leq 0.05$  となるような  $\bar{X}'_L$  を求める。

$$\bar{X}'_L = m_0 - K_{\alpha} \frac{\sigma_1}{\sqrt{n}} \dots (5)$$

④  $m_0$  を平均とし、 $\bar{X}'_L$  を下回る部分 ( $\alpha$ ) が 0.05 となるような正規分布  $N(m_0, \sigma_2^2/n)$  を求め、 $\sigma_2$  を算出する。

$$\sigma_2 = \frac{\sqrt{n}}{K_{0.05}} (m_0 - \bar{X}'_L) \dots (6)$$

⑤ 正規分布  $N(m_0, \sigma_2^2)$ において、 $S_L$  を下回る部分が  $P_0$  となるような  $S_L$  を求める。

$$S_L = m_0 - K_{P_0} \cdot \sigma_2 \dots (7)$$

表-8 各基準値の内容

基準値	内 容	備 考
施工管理基準 品質管理基準	合格 判定値	工事仕様書に規定されている数字である。
	規格値	
検査基準	合格 判定値	$n = 3, 6, 10, \dots$ の各々について求められる。
	積算基準	合格ロットの平均値

⑥  $n$  を変化させた場合の  $P_0$ ,  $P_1$  を与え、各場合の  $\bar{X}'_L$  を求める。

$$\bar{X}'_L = S_L + k \cdot \sigma_3 \dots (8)$$

なお、積算基準の考え方には 2通りの方法が考えられる。1つは合格ロット全体の平均値としての  $m$  であり、もう1つは  $S_L$  を下回る不良率  $P_0$  のときの  $m_0$  である。

しかし、受注者の不必要な工事実績でいくらでも変化する  $m$  を積算の基準にするのは望ましいことではなく、かつまた、 $m$  と  $m_0$  の間には受注者の施工技術に応じて無数の平均値が想定されることになる。

本報告では、工事の合理性から判断して  $m_0$  を採用するのが適当と考えた。

以上の基準値対応因子を整理すると表-8 のようになる。

### (2) 標準偏差の設定

4.(2)に述べた方法で標準偏差を算出する。いま、ロット別標準偏差の工区別平均を  $\bar{\sigma}$ 、工区別修正前の標準偏差を  $\sigma_a$ 、工区別修正後の標準偏差を  $\sigma'_a$  として、基準設定に用いる標準偏差  $\sigma$  を求める。 $\bar{\sigma}$ ,  $\sigma_a$ ,  $\sigma'_a$  はすべて工区別の値であるため、まず、各工区別に式(2)を用いて、修正済ロット別標準偏差の工区別平均  $\sigma_i$  を求める

$$\sigma_i = \bar{\sigma} \times \frac{\sigma'_a}{\sigma_a} \dots (9)$$

次に、 $\sigma_i$  を管理項目別および層別に全工区について集計し、平均値  $\sigma$  を求めた。この際、各  $\sigma_i$  は各工区のロット数によりその信頼性（分散）が異なるため、各工区ごとのロット数 ( $l$ ) を考慮し、式(10)を用いて求めた。

$$\sigma = \frac{\sum_{i=1}^n \sqrt{\frac{l-1}{2}} \Gamma\left(\frac{l-1}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{l}{2}\right)} \sigma_i \quad (n : \text{工区数}) \dots (10)$$

これによって求まる  $\sigma$  は表-9、表-10に示すとおりである。

### (3) 基準値の決定

以上の解析結果に基づいて、主要な項目について各基準値の体系的取りまとめをしたものが表-9 および表-10 である。表-9 は積算、施工管理、検査の各基準値が一貫して考慮される項目について示すものであり、表-10 は積算に直接関係しない項目について、施工管理と

表-9 基準値の算出（その1）

項目	層	$\bar{X}_t$	$\bar{X}_v$	$\sigma$	$m_{\alpha}(L_t)$	$m_{\alpha}(L_v)$	$m_a$	$SL$	$\bar{X}'_t$				$\bar{X}'_v$			
									$n=3$	$n=6$	$n=10$	$n=3$	$n=6$	$n=10$	$n=3$	$n=6$
地盤	路床	95	-	1.9	86.0	-	98.0	98.3	85.6	95.2	95.0	-	-	-	-	-
	砂利鋪装	95	-	8.8	86.4	-	98.4	91.0	85.7	94.6	94.4	-	-	-	-	-
	砂利鋪装	95	-	1.2	85.8	-	95.6	85.8	85.4	95.1	85.0	-	-	-	-	-
基礎	砂利鋪装	95	-	2.4	85.8	-	95.9	92.6	85.4	94.0	93.8	-	-	-	-	-
	砂利鋪装	95	-	1.7	85.9	-	95.9	85.4	85.6	95.2	85.0	-	-	-	-	-
	砂利鋪装	95	-	5.4	86.5	-	96.3	91.4	85.7	95.0	94.8	-	-	-	-	-
(%)	セメントコンクリート	96	-	1.8	86.6	-	98.1	91.1	89.5	92.1	95.0	-	-	-	-	-
	セメントコンクリート	96	-	1.8	87.2	-	97.8	91.8	89.8	95.9	95.5	-	-	-	-	-
	セメントコンクリート	96	-	1.6	86.5	-	96.5	94.8	89.3	96.1	96.0	-	-	-	-	-
(%)	アスコン表面	87	-	2.6	86.7	-	96.7	93.5	89.4	95.9	95.7	-	-	-	-	-
	アスコン表面	87	-	0.7	87.4	-	97.4	98.0	97.2	97.1	97.0	-	-	-	-	-
	アスコン表面	98	-	0.6	88.3	-	98.3	97.2	98.2	98.1	98.0	-	-	-	-	-
(mm)	基準高さ	路床	-50	30	20	-40	20	-10	-88	48	-43	-48	-50	23	28	30
	砂利鋪装	-40	30	13	-33	23	-5	-51	41	-38	-38	-40	26	26	30	38
	砂利鋪装	-15	15	18	-8	6	-1	-31	31	-9	-13	-15	9	13	15	20
(mm)	セメントコンクリート	500	-	36	-2	2	0	-53	53	-8	-16	-20	8	16	20	20

注) セメントコンクリートの曲げ強度、圧縮強度は直接検査基準に対応しないが、平均強度としての $\sigma$ を示す

表-10 基準値の算出（その2）

項目	層	$\bar{X}_t$	$\bar{X}_v$	$\sigma$	$S_c$	$S_v$	$\bar{X}'_t$				$\bar{X}'_v$				
							$n=3$	$n=6$	$n=10$	$n=3$	$n=6$	$n=10$	$n=3$	$n=6$	$n=10$
粒度	アスコン基層	-1.5	1.5	0.5	-2.2	2.2	-1.3	-1.4	-1.5	1.3	1.4	1.5	-	-	-
	アスコン基層	-1.5	1.5	1.0	-3.0	3.0	-1.3	-1.5	-1.8	1.3	1.5	1.6	-	-	-
	アスコン基層	-1.5	1.5	0.6	-2.3	2.3	-1.3	-1.4	-1.5	1.3	1.4	1.5	-	-	-
粒度	アスコン基層	-4	4	1.4	-5.3	5.9	-3.5	-3.8	-4.0	3.5	3.8	4.0	-	-	-
	アスコン基層	-4	4	2.8	-8.3	8.3	-3.3	-4.1	-4.4	3.5	4.1	4.4	-	-	-
	アスコン基層	-4	4	1.1	-5.5	5.5	-3.6	-3.9	-4.0	3.6	3.9	4.0	-	-	-
(kg)	マーシャル基準値	500	-	70	420	-	520	510	500	-	-	-	-	-	-
	修正トベカ	500	-	80	410	-	530	510	500	-	-	-	-	-	-
	アスコン基層	800	-	180	290	-	530	500	480	-	-	-	-	-	-
(kg)	アスコン表面	900	-	120	720	-	820	810	800	-	-	-	-	-	-
	アスコン表面	900	-	120	740	-	940	910	900	-	-	-	-	-	-
	アスコン表面	240	530	-	956	900	870	-	-	-	-	-	-	-	-

検査の基準を示している。これにより、基準値の変更があった場合でも、表-6の層分類と $\bar{X}_t$ を変更することで容易に対応できることになる。なお、合格判定値については検査の省力化を目的として、抜取り個数10個の標準に対し6個、3個の場合の値も示した。本報告では、試料数を少なくすると、OC曲線の傾きが緩やかになり受注者危険、発注者危険がともに増大するので、発注者危険の増大を防止するため悪いロットの不良率を標準の10個に揃えることで表-6に示すように、合格判定係数を強化した。

表中の $\sigma$ は式(6)の $\sigma_3$ を示す。工事の性格等の変動条件による管理基準値の流動的対応が困難な実情であることに鑑み、ここでは変動要素としての $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $P_0$ 、 $P_1$ のうち、 $\alpha$ を小さく押された場合の下限値を求めた。これにつれて当然 $\beta$ は大きくなるが、 $\beta$ を段階的に抑制することでこの弊害を除くことができる。表中の $\sigma$

から $\bar{X}'_v$ までの欄の二段の数値は、上段が $\alpha=0.05$ 、下段が $\alpha=0.01$ の場合のおののの数値を示している。

$\alpha=0.05$ の場合の $\bar{X}'_t$ 、 $\bar{X}'_v$ はおののの $\bar{X}_t$ 、 $\bar{X}_v$ に一致し、検査基準と施工管理基準値が同値となる。 $\alpha=0.01$ は $\alpha$ の変化の下限値としての例示の意味をもち、両 $\alpha$ 値間での検査基準値の選択に日安を与えている。

#### (4) 他の機関での実態値および基準値との比較

建設省が取りまとめた大規模道路工事における表層、基層の実態調査<sup>7)</sup>と本調査との比較をしたもののが表-11である。本調査の実態データは大規模工事全体のそれ約1/2の値を示している。

また、表中( )の異常値を除いた値は本調査での $\alpha=0.01$ の場合の値にはほぼ近いことがわかる。この傾向は幹線高速道路舗装工事<sup>8)</sup>およびアスファルト舗装工事共通仕様書の検査基準における標準偏差についても同様である。

コンクリート舗装の曲げ強度については、セメントコンクリート舗装要綱<sup>9)</sup>では設計基準曲げ強度を下限規格値としているのに対し、本報告では合格判定値としている。これは仕様書に示す管理基準がすべて合格判定値としていることにレベルを揃えたこと、空港コンクリート舗装の応力強度に十分な検討をみていないこと等による。表中の下限規格値でみる限り、道路舗装の設計基準強度にはほぼ近い数値となっている。一方、米国内主要30空港についてのFAA(米国連邦航空局)のデータ解

表-11 大規模道路工事における標準偏差との比較

項目	厚さ	基層		表層	
		アスファルト固め度	粒度(%)	アスファルト固め度	粒度(%)
大規模道路工事(注1)	5.3 (5.3)	0.37 (0.29)	1.43 (1.32)	0.84 (0.78)	5.6 (4.3)
本調査(注2)	3 -6	0.13 ~0.26	0.7 ~1.4	0.5 ~2.8	3 ~-6
				0.19 ~-1.0	0.6 ~-1.2
				-0.38 ~-1.2	1.1 ~-2.2
				-1.2 ~-1.2	0.6 ~-1.2

注1) ( )は異常値を除いた場合の標準偏差を示す。

注2) 図-8、式(3)~(8)において、 $\alpha=0.05$ ~0.01とした場合の $\sigma$ を示す。 $\alpha=0.05$ の場合は $\sigma$ :(実測値)に一致する。

項目	層	$\bar{X}_t$	$\bar{X}_v$	$\sigma$	$m_{\alpha}(L_t)$	$m_{\alpha}(L_v)$	$m_a$	$SL$	$\bar{X}'_t$				$\bar{X}'_v$			
									$n=3$	$n=6$	$n=10$	$n=3$	$n=6$	$n=10$	$n=3$	$n=6$
(%)	アスファルト	-5	4	-3	3	0	-9.8	9.6	-3.6	-4.5	-5.0	3.6	4.5	5.0	5.0	5.0
	修正トベカ	-5	5	2	-4	4	0	-7.2	7.2	-4.3	-4.8	-5.0	4.3	4.8	5.0	5.0
	アスコン	-2.5	5	3	-5	6.5	1.26	-6.7	9.2	-1.5	-2.1	-2.9	4.0	4.8	5.0	5.0
(%)	アスコン表層	-2	4	0	-0.5	2.1	1.25	-11.9	14.4	-1.4	-2.4	-2.9	3.0	3.6	4.0	4.0
	アスコン表層	-2	4	0.3	1.7	1	-11.4	13.4	-0.3	-2.3	-2.8	2.9	3.4	4.0	4.0	4.0
	アスコン表層	-0.5	0.5	0.15	-0.4	0.4	0	-0.87	-0.43	-0.48	-0.52	-0.45	0.48	0.50	0.50	0.50
(%)	アスファルト	-0.3	0.3	0.30	-0.4	0.4	0	-0.89	-0.44	-0.45	-0.54	-0.44	0.50	0.54	0.54	0.54
	アスコン	-0.3	0.3	0.26	-0.2	0.2	0	-0.48	0.48	-0.26	-0.28	-0.32	0.28	0.36	0.36	0.36
	アスコン表層	-0.3	0.3	0.38	-0.2	0.2	0	-0.70	0.70	-0.25	-0.31	-0.34	0.25	0.34	0.34	0.34
(%)	セメントコンクリート	50	-	2.4	51.2	-	51.2	46.7	-	50.8	50.3	50.0	-	-	-	-
	セメントコンクリート	350	-	4.8	51.9	-	51.9	42.6	-	50.9	49.3	49.3	-	-	-	-
	セメントコンクリート	350	-	18	360	-	360	328	-	356	352	350	-	-	-	-
(kg)	砂利	36	36	3	365	365	365	294	345	345	345	345	-	-	-	-

意味で載せた。

から $\bar{X}'_v$ までの欄の二段の数値は、上段が $\alpha=0.05$ 、下段が $\alpha=0.01$ の場合のおののの数値を示している。

$\alpha=0.05$ の場合の $\bar{X}'_t$ 、 $\bar{X}'_v$ はおののの $\bar{X}_t$ 、 $\bar{X}_v$ に一致し、検査基準と施工管理基準値が同値となる。 $\alpha=0.01$ は $\alpha$ の変化の下限値としての例示の意味をもち、両 $\alpha$ 値間での検査基準値の選択に日安を与えている。

#### (4) 他の機関での実態値および基準値との比較

建設省が取りまとめた大規模道路工事における表層、基層の実態調査<sup>7)</sup>と本調査との比較をしたもののが表-11である。本調査の実態データは大規模工事全体のそれ約1/2の値を示している。

また、表中( )の異常値を除いた値は本調査での $\alpha=0.01$ の場合の値にはほぼ近いことがわかる。この傾向は幹線高速道路舗装工事<sup>8)</sup>およびアスファルト舗装工事共通仕様書の検査基準における標準偏差についても同様である。

コンクリート舗装の曲げ強度については、セメントコンクリート舗装要綱<sup>9)</sup>では設計基準曲げ強度を下限規格値としているのに対し、本報告では合格判定値としている。これは仕様書に示す管理基準がすべて合格判定値としていることにレベルを揃えたこと、空港コンクリート舗装の応力強度に十分な検討をみていないこと等による。表中の下限規格値でみる限り、道路舗装の設計基準強度にはほぼ近い数値となっている。一方、米国内主要30空港についてのFAA(米国連邦航空局)のデータ解

析<sup>10)</sup>によれば、設計基準曲げ強度  $\sigma_{28}=49 \text{ kgf/cm}^2$  に対し平均強度  $53.6 \text{ kgf/cm}^2$ 、標準偏差  $4.3 \text{ kgf/cm}^2$  を報告している。本調査結果の上段は平均強度で約  $2 \text{ kgf/cm}^2$  低く、標準偏差で約  $1/2$  になり、下段は平均強度で同値、標準偏差でほとんど等しい値になっていることがわかる。

## 6. まとめ

基準値の設定に関する前提のまとめとしては次のようになる。

(1) 同様な取扱いができる層別の不良率設定に、合格確率  $L$  ( $P$ ) を  $50\%$  とすることで整合性を図ったこと、

(2) 実態データの分布修正に独自な解析手法を取り入れ実態データを有効に活用したこと、

(3) 一貫性ある基準値のための対応因子を合理的に設定したこと、

(4) 実態データの特徴 ( $m$  の変動幅が小さく、 $\sigma$  が小さい) より、積算基準としての性格から、平均値を固定し標準偏差を変化させる解析法を採用したこと。

その結果として、

(5) 工事管理に合理性をもつ基準値を用意できたこと、

(6) 基準値設定にあたり、生産者危険に幅をもたすことでの独自な基準体系選択の余地を残したこと、

(7) 他の機関との比較をすることで、空港舗装工事管理の特徴を定量的に把握し得たこと、である。

## 7. あとがき

本調査では不良データがなく、不良率設定に不確定要

素があることや、基準値設定の際の生産者危険に選択の余地を残したものの、空港舗装工事の管理に合理性を与えることができると言える。これをもとに実工事への応用を図るとともに、上記の点を実工事を通じてさらに改良することでより的確な工事管理を実現できるものと考える。

最後に、データ収集にご協力いただいた新東京国際空港公団工事局の浦井、林両舗装工事課長（当時）ならびに監督員の方々、データの収集、整理、解析にご協力いただいた日本工営(株)の佐伯、安藤両氏、(株)三菱総合研究所の青木氏に感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 朝香鉄一：品質管理講座／抜取検査、日本規格協会、1968.
- 2) (社)日本道路協会：アスファルト舗装要綱、1960.
- 3) 尾坂芳夫：コンクリートライブラー第18号／現場コンクリートの品質管理と品質検査、(社)土木学会、1968.
- 4) 松野三朗：講座・アスファルト舗装16回～21回舗装、建設図書、1969.
- 5) (社)日本道路協会：アスファルト舗装工事共通仕様書(I)および(II)、1970.
- 6) たとえば、遠藤 靖・斎藤安司：道路舗装の品質管理、鹿島出版会、1973.
- 7) 南雲貞夫：品質管理と検査の今後の方向、アスファルト第19巻104号、(社)日本アスファルト協会、1976.
- 8) 6)に同じ、p.142.
- 9) (社)日本道路協会：セメントコンクリート舗装要綱、1982.
- 10) E. Ray Brown : Statistical quality control procedures for airport pavement materials, FAA Report No. FAA-RD-73-199, 1975.

(1984.6.12・受付)