

鉄道貨物ヤードにおけるアスファルト舗装設計 に関する研究

上浦正樹¹・丸山暉彦²・姫野賢治³・阿部長門⁴

¹正会員 工修 日本貨物鉄道(株) 保全室 (〒100 東京都千代田区丸の内1-6-5)

²正会員 工博 長岡技術科学大学教授 建設系

³正会員 工博 北海道大学助教授 工学部

⁴正会員 工博 東亜道路工業(株) 技術研究所

本研究では、鉄道貨物ヤードにおけるアスファルト舗装の設計のため、輪荷重 40 tf の交通を包括する設計法を検討した。そのために米国アスファルト協会の破壊基準式を用い、多層弾性理論から許容載荷輪数を求め舗装構成厚を定めた。この設計法を適用した開粒型大粒径路盤舗装では良好な成果が得られた。

Key Words: container yard, elastic modulus, heavy weight traffic, multi-elastic theory, pavement structure design, open-graded large stone mixes

1. はじめに

現在 JR 貨物で所有している舗装は、アスファルト舗装が主体で約 300 万 m² に及んでいる。この主なものは、鉄道貨物ヤード内のコンテナを荷役するスペース（コンテナ用荷役ホーム）であり、このホームにおいて、トラックで持ち込まれたコンテナは、フォークリフトで取卸され貨車に積み込まれる。ここを主に使用するのは、線的交通（基本的には一方向の交通を意味する）である大型トラックと面的交通（旋回など平面上の交通を意味する）であるフォークリフトである。このような貨物設備に対する舗装の構造設計に関する手引きは、1970 年に国鉄において定められた¹⁾が、最大輪荷重が 20 tf と 10 tf の 2 種類のフォークリフトしか使用していなかったため、舗装構造の設計については、基本的にはアスファルト舗装要綱²⁾によっていた。このアスファルト舗装要綱の設計例では輪荷重として 0~8 tf を対象としている。（なお、1992 年に改訂となったアスファルト舗装要綱³⁾では輪荷重の範囲として制限はしていないが、代表値として 0.5 tf~15 tf が示されている。）

しかし最近の荷役の効率化と多様化に対応するため、JR 貨物では表-1 に示すように通常の道路舗装に比べ大きな輪荷重を持つ 12 フィート用フォークリフト（最大輪荷重 10.3 tf）からピギーバック用リーチスタッカー（最大輪荷重 39.6 tf）まで 4 種類の荷役機械を導入し、使用している。

よって、アスファルト舗装を敷設する場合に、これらの重輪荷重に耐えられる舗装の設計基準を、新たに作成

表-1 荷役機械

機 械 名	積 載 (tf)	種 別	輪 荷 重 (tf)	
			空 車	積 車
12ftフォークリフト	7.0	前 輪	4.2	10.3
		後 輪	3.8	1.2
20ftフォークリフト	15.0	前 輪	7.8	20.1
		後 輪	6.4	1.7
トップリフター (30ft フォークリフト)	24.0	前 輪	15.5	33.7
		後 輪	9.1	2.9
リーチスタッカー	20.0	前 輪	19.4	39.6
		後 輪	13.7	3.6

する必要が生じた。加えて、新設舗装の多くが旧施設を解体、撤去の後に敷設する必要がある、これらの廃材を活用できる新工法を取り入れた基準が求められた。一方、諸外国においても、輪荷重が 40 tf に達する重輪荷重に対するアスファルト舗装設計基準を策定した例はほとんどないのが実情である。

そこで本研究では、コンテナヤードにおける重輪荷重にも対応できるアスファルト舗装設計の基準を策定するため、多層弾性理論に基づく理論設計法によって検討し、さらにこの基準によって実際の施工を行い、この設計法の妥当性について検討を加えた。

2. 原理および既往の研究

諸外国のアスファルト設計指針として大きく経験的設計法と理論設計法に分けることができる。経験的設計法としては AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) 設計法⁴⁾、理論設計法としては米国アスファルト協会の設計法 (AI

表一 各設計法で適用している最大輪荷重

設計法	最大輪荷重
AASHO	6.8 (tf)
AI (MS-1)	単輪 10.9 複輪 17.5
AI (MS-23)	単輪 16.0 複輪 32.0
アスファルト舗装要綱 (日本)	* 15.0
空港アスファルト舗装設計要領 (日本)	23 (脚荷重 94)
	* 代表値

法)⁹⁾、ヨーロッパにおける Shell の設計法⁹⁾がある。以上の検討成果に基づき、本研究においては、鉄道ヤードのアスファルト舗装の設計法を確立するにあたり、以下の基本原理について検討した。

(1) 重輪荷重の評価

標準輪荷重は、1929年及び1942年に米国陸軍工兵隊 (Corps of Engineering, US Army) によって定められた、4, 7, 12, 25, 40, 70 kip が最初である。AASHO 設計法⁹⁾では 18 kip (18000 ポンド, 8.2 tf) を用いている。

1961年に示された AASHO 設計法では、AASHO 道路試験の結果に基づき輪荷重の大きさが舗装の破壊に与える影響は 4 乗に比例するとする経験則 (4 乗則) が示された。この成果は、アメリカや日本など多くの国に導入され現在に至っている。日本におけるアスファルト舗装要綱⁹⁾では設計に用いる標準の輪荷重を 5 tf と定め、他の輪荷重をこの輪荷重に換算するため、5 トン換算係数を定めている。輪荷重の適用範囲は明記されていないが、代表値として、0.5 tf~15 tf が示されている。

表一では、各設計法で適用している最大輪荷重を示している。ここでは AASHO 設計法と日本のアスファルト舗装要綱に加えて、重輪荷重の設計を対象としたものとして、日本の空港アスファルト舗装構造設計要領⁹⁾および米国アスファルト協会 (AI) が定めた設計法 (MS-23)⁹⁾に用いる。これらの設計法は、4 乗則を基本にしている。特に AI の設計法では、輪荷重の大きい分の割増係数をかけて舗装厚を設計しているが、4 乗則を使用している点は他と同じと考えられる。

以上から既往の研究では、重輪荷重の交通に対して理論設計法を実際の設計法に取り入れた事例は少ないことがわかる。

(2) 路床支持力の評価方法

路床の支持力の評価方法として、日本のアスファルト舗装要綱では CBR 法を用いている。AASHTO では、路床の支持力を路床土の繰返し三軸試験で測定される軸差応力 σ_a と復元可能な軸歪み ϵ_a の比 (σ_a/ϵ_a) により定義される復元弾性係数 (Resilient Modulus; M_r) を用いている。米国アスファルト協会 (AI) の設計法でも M_r

を導入しているが、安全率を見込むため道路の重要度に応じて重み付け係数 (設計パーセントイル値) を取り入れている。英国の設計法では平衡含水比で CBR を算定しているが、日本の CBR 法とは若干の違いがある。Shell の設計法では弾性係数 E を用いている。ここで、 M_r と E はともに設計 CBR を測定する場合に比べ、特殊な装置が必要であることから、次の関係式が求められている⁹⁾。

$$M_r \text{ または } E \text{ (MPa)} = 10 \times \text{CBR} \\ \text{(kgf/cm}^2\text{)} = 100 \times \text{CBR}$$

よって、本研究はこれらの成果を採用し、設計 CBR より路床の弾性係数を求めることとした。

3. 舗装の構造設計

(1) 「4 乗則」の適用と弾性理論の導入

AASHO 道路試験では、サービ指数 p を用いて路面状態を評価し、サービ指数 p が 2.5 となった状態を破壊と定義している¹⁰⁾。このサービ指数 p が 2.5 に至るまでの輪荷重通過回数より「4 乗則」が求められた¹¹⁾。

この道路試験では、最大軸重としてシングル軸で 13.6 tf であり、6.8 tf 以上の輪荷重に対して破壊に至る通過回数を求める場合は、外挿法によらざるを得ない。従って、輪荷重として 6.8 tf 以上の荷重では、この 4 乗則の適用の良否の検討が必要である。

一方「弾性理論」では、室内における繰返し載荷試験により、舗装材料の応力またはひずみと破壊に至る回数との関係を求めておく。次に舗装を弾性体と仮定し、表面に輪荷重が載荷された時の舗装内部に発生する応力またはひずみを、舗装厚ごとに多層弾性理論により算出する。この応力またはひずみから破壊に至る載荷回数を求める。この載荷回数と実際に舗装が受ける輪荷重通過回数を比較することによって、各輪荷重に対して必要な舗装厚を定めることができる⁹⁾。

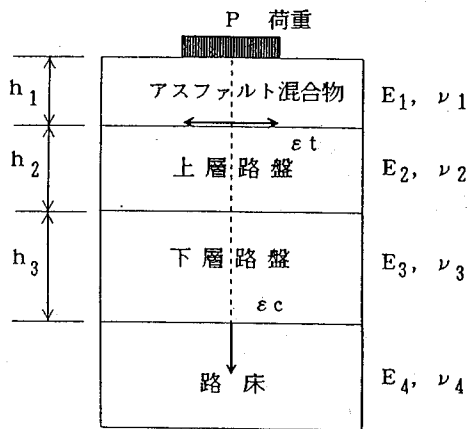
よって本研究では多層弾性理論を用いて、重輪荷重に対する設計法の検討をすることとした。

なお「 T_A 法」では舗装断面を決定するにあたり、舗装構成材の等値換算指数を用いている^{2),3)}。この T_A 設計法では新規の材料を導入する時には新たに等値換算係数を定めることが難しい。一方、多層弾性設計法では、室内試験および FWD などの非破壊試験結果から新規材料の弾性係数を求めることが可能である。

また本研究では、工法決定の段階で材料費、工事費、発生土砂運搬費などの直接工事費が最小となるように経済性の検討をした。

(2) 米国アスファルト協会 (AI) 式の応用

本研究では、以上の検討により FWD のたわみから求



図一 舗装構造モデル (4層構造)

めた弾性係数 (あるいは室内試験による復元弾性係数) と多層弾性理論を利用した理論的設計法を用いる。

舗装構造のモデルとしては3層および4層構造 (図一) により検討を行った。設計断面の決定にあたっては、次に示す米国アスファルト協会 (AI) の破壊基準式を用いた⁵⁾。

$$Nt = 8.24 \times C \times 10^{-3} \times et^{-3.29} \times E^{-0.854} \quad (1)$$

$$Nc = 1.37 \times 10^{-9} \times ec^{-4.48} \quad (2)$$

ここで

Nt : アスファルト混合物層下面の引張りひずみに基づく許容荷輪数 (回)

Nc : 路床上面に発生する垂直圧縮ひずみに基づく許容荷輪数 (回)

et : アスファルト混合物層下面の引張りひずみ

ec : 路床上面に発生する垂直圧縮ひずみ

E : アスファルト混合物の弾性係数 (kgf/cm²)

C : アスファルトの容積率と空隙率から得られる定数 (表層・基層では $C=1$, 上層路盤安定処理を含む場合は $C=0.5$)

ただし、上層路盤に瀝青系安定処理層を用いている場合は、上層路盤層下面の水平引張りひずみを使用し、式 (3) を用いてアスファルト混合物層の平均弾性係数を求め、許容荷輪数 Nt を算定する。

$$E_{as(ave)} = \left(\frac{h_1 E_1^{1/3} + h_2 E_2^{1/3}}{h_1 + h_2} \right)^3 \quad (3)$$

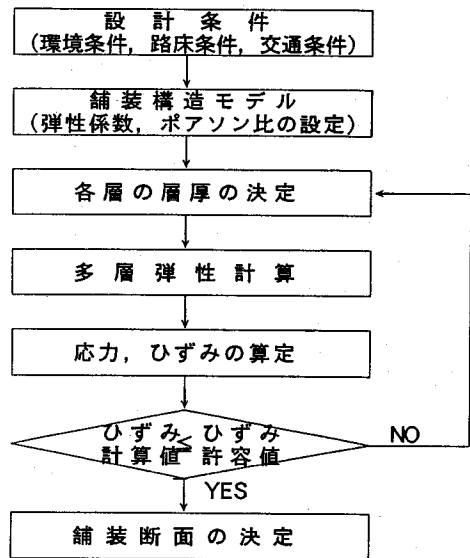
ここで

$E_{as(ave)}$: アスファルト混合物層の平均弾性係数 (kgf/cm²)

E_1, E_2 : 第1, 2層の弾性係数 (kgf/cm²)

h_1, h_2 : 第1, 2層の層厚 (cm)

多層弾性理論を用いる理論的設計法の一般的なフローチャートを図二に示す。



図二 理論設計法による舗装断面の決定法

(3) 構造設計の手順

コンテナ用荷役ホームの舗装の構造設計手順としては、12 ft フォークリフトの交通量 (N_{12})¹²⁾ と路床の設計 CBR (路床弾性係数 E_{so}) を用いて、アスファルト混合物層厚を選択し、12 ft フォークリフトの許容荷輪数 \geq 設計輪数となる路盤厚を求める方法である。

舗装体に生じる応力・ひずみの算定は多層弾性計算を使用するため、表一3に定める弾性係数、ポアソン比を用いる^{13), 14), 15)}。なお、表中の弾性係数の値は多数の比較的新しい路面状態の良好な舗装に対する FWD 測定結果から得られたものである。次に多層弾性計算を用いて、重輪荷重の舗装体に対する影響を評価するため、3層構造の舗装構成モデルでは、アスファルト混合物の層厚を 10, 15 cm の2通りについて、4層構造の舗装構成モデルではアスファルト混合物の層厚を 10, 15 cm, 上層路盤厚を 10, 15, 20 cm のいずれかとし、残った路盤層の層厚を 10~40 cm の範囲で変化させたときのひずみを算定した。表一4はそのうち4層構造モデルでアスファルト混合物の層厚を 15 cm, 上層路盤 (アスファルト安定処理) 厚を 10 cm, 下層路盤 (切込碎石) 厚を 25 cm, 路床の設計 CBR を 8 とした場合の結果である。この表一4より、路床上面に生じる圧縮ひずみによる許容荷輪数が、アスファルト混合物層下面の水平引張りひずみによる許容荷輪数よりも小さいことがわかる。この傾向は、荷輪重が大きい荷役機械ほど顕著である。

以上により、路床の垂直圧縮ひずみに基づく許容荷輪数の方が小さいので、これに着目し、この許容荷輪数を舗装厚の設計に用いることとした。

表-3 舗装材料と材料係数

	材 料 名	ポアソン比 ν	弾性係数 E (kgf/cm ²)
表 基 層	アスファルト混合物	0.35	60000
上 層 路 盤	瀝青安定処理	0.38	30000
	セメント・アスファルト 乳剤安定処理	0.38	25000
	セメント安定処理	0.25	20000
	開粒型大粒径路盤	0.38	20000 *
	水硬性粒度調整 鉄鋼スラグ	0.30	15000
	粒度調整碎石	0.40	4000
下 層 路 盤	セメント安定処理	0.30	3000
	切込碎石	0.40	1300

*レジリエントモジュラス試験より定めた¹⁸⁾

表-4 各荷役機械によるひずみと許容載荷輪数

	設計 CBR 8		荷 役 機 械 の 種 類			
			12ft	20ft	30ft	スタッカ
前 軸	上層路盤	εt	105	141	199	222
	下 面	Nt	1575	542	191	134
	路 床	εc	329	540	844	913
	上 面	Nc	543	57	17	6
後 軸	上層路盤	εt	93	137	174	219
	下 面	Nt	2314	506	297	139
	路 床	εc	146	248	331	461
	上 面	Nc	20541	1896	526	119

注)
 εt ~ 引張りひずみ (10⁻⁶) Nt ~ 許容載荷輪数 (百万回)
 εc ~ 圧縮 ひずみ (10⁻⁶) Nc ~ 許容載荷輪数 (百万回)

路床の設計 CBR を 3 とし、設計 CBR が 4, 6, 8, 12 となるように、路床の安定処理厚を変化させた。また、それぞれの設計 CBR に対する舗装厚となるように、表基層厚を一定として上層路盤と下層路盤の厚さに定めた。この場合の直接工事費を算定し、設計 CBR 3 に対する工事費との比を求めたものが図-3 である。以上の結果から、設計 CBR を 6 以上確保すれば、設計 CBR が 3 の場合よりも直接工事費を十分小さくできることが分かる。

よって本研究においては、路床の設計 CBR は 6 以上とすることとした。

次に、路盤層厚を定めるため、米国アスファルト協会 (AI) の疲労破壊基準式を用いて許容載荷輪数を算定した。計算に使用した路盤層の層厚と 12 ft フォークリフト許容載荷輪数¹²⁾の関係から直線回帰を行い、路盤層の層厚を求める式(4)を導いた。

$$H_{base} = a \times \log N_{12} + b \quad (4)$$

ここで H_{base} : 路盤層の層厚 (cm)

N_{12} : 12 ft フォークリフト換算輪数 (千回)

a : 路盤厚算定式の傾き

b : 路盤厚算定式の切片

この層厚を求める層厚設計チャートとして 3 層構造モデルの例を図-4 に、4 層構造モデルの例を図-5 に示す。これらの図によれば、表基層の厚さと 12 ft フォークリフト許容載荷輪数を与えることで各路盤材料ごとの路

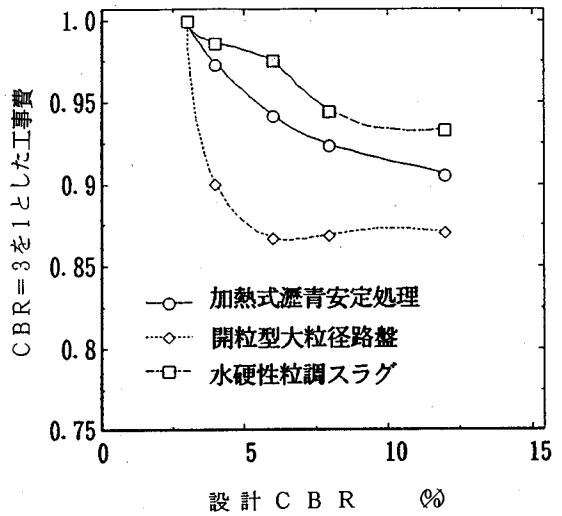


図-3 直接工事費の比較

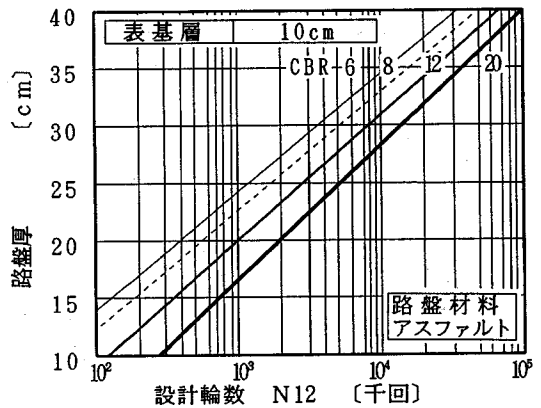


図-4 路盤厚の設計チャート (フルデプスアスファルト)

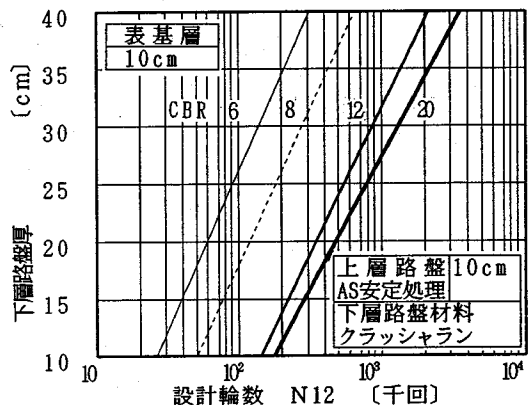
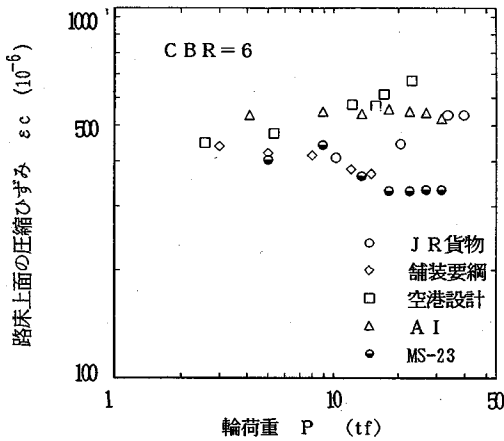
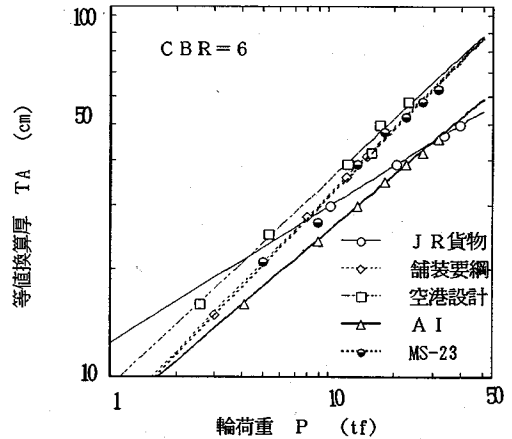


図-5 路盤厚の設計チャート (瀝青安定処理路盤)



図一六 各設計法における等価換算厚の比較



図一七 各設計法における路床上面の圧縮ひずみの比較

盤の厚さを算定することができる。

4. 本研究の適用

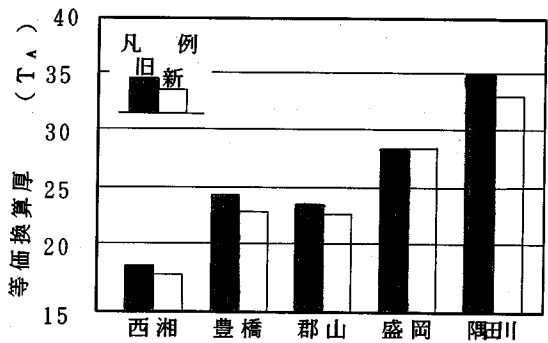
(1) 各設計法の比較

日本におけるアスファルト舗装要綱、空港アスファルト舗装構造設計要領、米国アスファルト協会(AI)のMS-1、重輪荷重のための設計法である米国アスファルト協会(AI)のMS-23と本設計法とを比較した。その条件としては、設計CBR 6 (路床弾性係数 600 kgf/cm^2)、輪荷重を $3 \sim 50 \text{ tf}$ の範囲で 100 万回載荷することとし、この時に必要な舗装厚を、等価換算厚 (T_A) により比較することとした。輪荷重と等価換算厚の関係を図一六に示す。また比較のために使用した路盤材料は、上層路盤にアスファルト安定処理したものと下層路盤にクラッシュランを用いた舗装で、路床上面の垂直圧縮ひずみにより検討を行った。輪荷重と路床上面の垂直圧縮ひずみの関係を図一七に示す。

これらの結果より、本設計法による舗装厚は他の設計法に比べ輪荷重が大きくなるに従い、小さくなることが明らかとなった。また図一七から、各設計法における路床上面に生じる圧縮ひずみは米国アスファルト協会(AI)の適用範囲である $2 \sim 9 \times 10^{-4}$ に含まれていることと、またどのような設計法においても輪荷重 P の変化に対し、路床上面に生じる圧縮歪みのレベルはほぼ同じであることがわかる。

以上により、本研究の設計法では他の設計法に比べ、 T_A が小さいものの路床上面の圧縮歪みレベルは、ほぼ同じであることから、この研究成果を実際の設計に適用しても問題がないことが明らかとなった。

次に、設計交通量の異なる6か所のホームを用い本研究で検討した新設計法と従来の T_A 設計法の舗装厚の比



図一八 新設計法と T_A 設計法の比較

較を行った。この関係を図一八に示す。本研究で提案した設計法と従来の T_A 設計法を T_A で比較すると、本研究の方が 0 から 1.2 cm 程度小さくなることから、経済的な設計法であることが判明した。

(2) 新路盤材料の導入

本研究の設計法によって実際に施工したもののうち、重軸重荷役機械であるリーチスタッカーを用いる荷役ホームのアスファルト舗装について示す。ここでは線路を一部撤去し、これに伴い発生する道床バラストを活用し、開粒度大粒径アスファルト混合物による路盤を構築し重軸重の交通に耐えられる舗装を敷設した。この路盤については、アメリカで重輪荷重に耐えられる舗装として施工例¹⁰⁾があるものの、日本において施工例がほとんどない。また使用する道床バラストの最大粒径は 53 mm であることから、アスファルト舗装要綱の基準から外れたものである。実際の設計、施工において粒状路盤として発生バラストを使用する場合、路盤材として十分な締固めが得られるように、他の粒度の碎石を加えて粒度を調整する必要がある。またこの路盤に使用する粒度とし

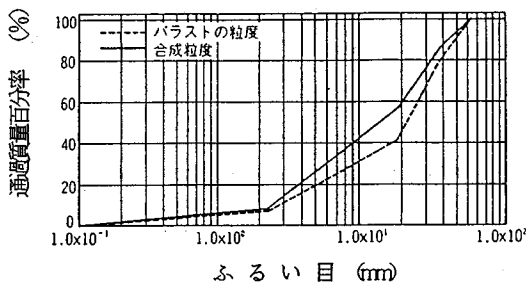


図-9 骨材の粒度曲線

てはダラストの使用量が多く、アスファルト乳剤との混合性もよく、かつ骨材と噛み合わせのよい開粒度とする必要がある。

開粒度大粒径アスファルト混合物の参考粒度としては、ASTM D 3515 およびテネシー州で行った施工例¹⁷⁾がある。これらを参考にして道床ダラストの補足骨材として5号碎石と6号碎石をそれぞれ20%、10%混合した。その粒度曲線を図-9に示す。

a) 室内試験¹⁸⁾

常温で安定処理を行うためのアスファルト乳剤としては次の条件を満たす必要がある。

- ①現場において特殊な装置を使用しなくても容易に骨材と混合できること。
- ②空隙率の大きな開粒度配合の骨材でも混合時にアスファルト乳剤が流下しないこと。
- ③骨材との接着性が優れていること。
- ④十分な厚さのアスファルト被膜が確保できること。

そこで、アスファルト乳剤量を3.5%、4.0%、4.5%、5.0%で混合性試験を実施した。この混合性試験はアスファルト乳剤と骨材の混合状態を、目視で観察し、混合性の良否を判断するものである。この結果4.5%付近で、ほぼ良好な混合性が得られることが分かった。

この混合物は路盤に使用するため拘束圧の作用した状態で繰り返し荷重をうける。よってこの材料の室内性状を評価する試験方法として動的三軸圧縮試験を行った。

この結果得られた主応力 θ ($=\sigma_1 + 2\sigma_3$) に対するアスファルト乳剤混合物 (混合率0%と3.5~5.0%) の Mr (σ_a/ϵ_a) の回帰直線を図-10に示す。また乳剤無添加のクラッシュラン(C-30)の結果も合わせて示す。この結果から開粒度大粒径アスファルト路盤の Mr はC-30に比較してかなり大きな値が得られた。

アスファルト乳剤量と Mr の関係を図-11に示す。一般の道路では主応力 θ は1~2 kgf/cm²であるが、リーチスタッカーの輪荷重40トンの場合では、主応力 θ は6 kgf/cm²と推定できる。そこで、本図より、主応力 θ が6 kgf/cm²の場合では、アスファルト乳剤量が4%付近で Mr が最大となり、この乳剤量がほぼ最適ア

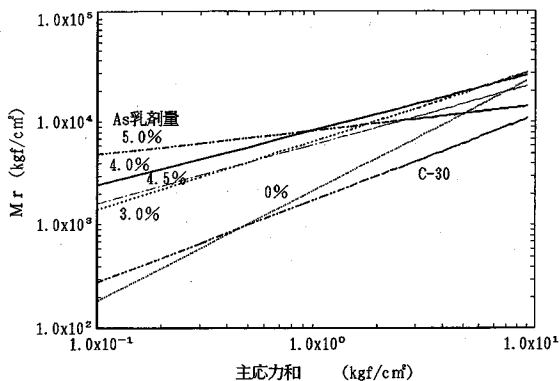


図-10 主応力 θ と Mr の関係

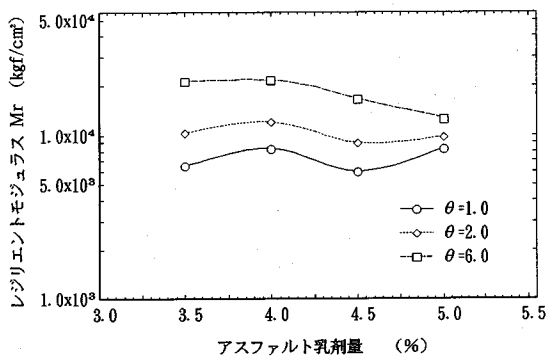


図-11 アスファルト乳剤量と Mr の関係

表-5 ホイールトラッキング試験結果

	アスファルト乳剤量		
	4.0%	4.5%	5.0%
(回/mm)	1710	1660	1800

スファルト量に相当するものと考えられる。この時の Mr は21,000 kgf/cm²程度であり、乳剤無添加の場合に比べ約5倍の Mr の値であった。これはアスファルト乳剤による安定処理に効果が現れること、また粒状材料(C-30)の場合に比べ大きな荷重分散があるからであろう。

さらに舗装体の流動変形は表層だけでなく下層部分の性状にも影響されることがあるため、10 cm厚の型枠を用いて作成した供試体によるホイールトラッキング試験による検討も行った。この結果を表-5に示す。アスファルト乳剤4~5%の範囲において動的安定度(DS)は、ほぼ1500回/mm以上を示し、アスファルト乳剤量を変えてもDSはほとんど差がない。このDSに関しては、アスファルト乳剤量の変化よりも骨材の噛み合わせが大きく関与していると思われる。それゆえに、開粒度大粒径アスファルト混合物を路盤として利用した場合(以下で

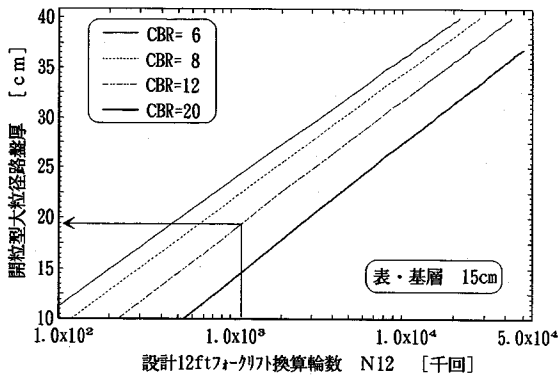


図-12 開粒型大粒径路盤厚の設計チャート

は開粒型大粒径路盤と略す)に、十分な流動抵抗性が得られるものと考えられる。

b) 設計および施工

JR 貨物における新座貨物ターミナル駅のリーチスタッカーを使用する荷役ホームに対し、本研究の設計法を用いて設計し、施工した。本施工箇所の設計交通量は、10年間で12ftフォークリフト換算では、1100千回である。開粒型大粒径路盤の設計手順を図-12に示す。この設計チャートによれば、設計交通量を与えることで各設計CBRに対する路盤厚が定まる。よってそれぞれの舗装構成による直接工事費を求め、最も経済的なものを採用する。ここでは、設計CBRが12、表基層が15cmで、大粒径路盤厚は19.3cmのものが最も経済的であった。これにより、路盤層厚を20cmとした。

施工段階において、路盤の築造に対する転圧終了後の現場密度をRI密度計により測定した結果、室内作製の供試体密度よりやや大きく2.007~2.038g/cm³の値であり、締固め度が98%以上となり、現場において十分な締固めが得られたことが明らかとなった。

c) 追跡調査

施工完成直後から供用後2年間の供用性の低下について追跡調査をするため、リーチスタッカーの作業をしている箇所をFWDによって載荷してたわみ測定を行った。そのうち、載荷板直下のたわみD0はいずれの地点でも0.2mm以下で小さく、舗装体として良好な支持力を有している。また、たわみ測定結果から算定した各層の弾性係数を表-6に示す。施工直後より供用1年以降で交通荷重による締固めにより各層の弾性係数が増加している。一般に、FWD測定結果から得られている弾性係数は粒度調整砕石で3000~6000kgf/cm²、クラッシュランは1000~2000kgf/cm²¹⁹⁾である。これらの材料の弾性係数を比較すると、開粒型大粒径路盤の弾性係数はかなり大きな値である。これは大粒径骨材の使用とアスファルト乳剤を導入した効果と判断でき、大粒径路盤は十分な

表-6 各層の弾性係数の推定値

	ポアソン比 ν	層厚 (cm)	弾性係数 (kgf/cm ²)			
			直後 H4.1	1年後 H4.11	15年後 H5.7	2年後 H5.11
表層	0.35	5	79000	95000	85000	74000
基層	0.35	10	61000	68000	81000	62000
路盤	0.38	20	16000	25000	27000	26000
路上部	0.45	50	3800	3900	3000	3500
床下部	0.45	∞	3900	4000	3200	3800

荷重支持力(荷重分散)を有していることが明らかとなった。

よって本研究で提案した設計法で舗装断面を決定し、施工および供用性の追跡調査を行った結果は、良好であることが明らかとなった。以上の検討結果より、本研究で提案して設計法をコンテナ用荷役ホームの舗装設計に適用することの妥当性が確認された。

5. まとめ

本研究をまとめると以下ようになる。

- 1) 輪荷重40tfとなる重輪荷重の交通を包括するコンテナ用荷役ホームに対するアスファルト舗装の舗装構造の設計において、多層弾性理論およびAIの破壊基準式に基づく設計法を確立した。
- 2) 従来の舗装構成層の等値換算係数を用いる設計方法では新規の材料を導入する時の等値換算係数の決定が困難である。本研究では多層弾性理論で得られる舗装構成材料の弾性係数を用いて新材料の導入を可能とした。
- 3) 舗装断面決定の段階で材料費、工事費、発生土砂運搬費などの直接工事費が最小となるように舗装構成を選ぶことが可能になった。
- 4) 路床の支持力が小さな場合にその地盤上に舗装を行うと工事費は高くなるため、路床に安定処理をして構築することとし、路床の設計CBR6以上を確保することとした。
- 5) 新規材料として、鉄道道床から発生する廃用バラストに5号砕石、6号砕石を加えて粒度調整し、アスファルト乳剤を添加した開粒型大粒径アスファルト安定処理路盤を重輪荷重用の舗装に適用した結果、良好な結果が得られた。
- 6) 本研究で提案した設計法をコンテナ用荷役ホームの舗装構造設計に適用することの妥当性が確認できた。

参考文献

- 1) (社)土木学会：国鉄貨物設備アスファルト舗装設計に関する研究報告書，1970。
- 2) (社)日本道路協会：アスファルト舗装要綱，p.190，p.18，1967。
- 3) (社)日本道路協会：アスファルト舗装要綱，pp.18-20，

- 1994.
- 4) (社)セメント協会：舗装に関する AASHTO 指針，1990.
 - 5) *The Asphalt Institute (USA)* : Research and Development of The Asphalt Institute's Thickness Design Manual (MS-1) Ninth Edition, pp.7-13, 1982.
 - 6) *Shell International Petroleum Company* : Shell Pavement Design Manual, 1978.
 - 7) 運輸省航空局：空港アスファルト舗装構造設計要領空港振興財団，p.45, 1990.
 - 8) *The Asphalt Institute (USA)* : Thickness Design Asphalt Pavements for Heavy Wheel Loads Manual Series, No. 23, pp.22-23, 1986.
 - 9) アスファルト舗装技術研究グループ：アスファルト舗装技術の変遷，諸外国の技術との比較検討 アスファルト 155, 1988.
 - 10) (社)セメント協会：AASHTO の道路試験 (再版)，pp. 79-93, 1978.
 - 11) 竹下春見：アスファルト舗装に関する対数グラフの応用，道路建設，Vol. 9, pp.726-731, 1965.
 - 12) 上浦正樹：理論設計法に基づいた「鉄道貨物アスファルト舗装設計基準」の改正，舗装，No. 28, Vol. 6, pp.27-31, 1993.
 - 13) 丸山暉彦，姫野賢治，林 正則：FWD による舗装診断システム，舗装，No. 23, Vol. 11, pp.16-20, 1988.
 - 14) 三宅克哉，丸山暉彦，林 正則：路盤層及び安定処理層の弾性係数，土木学会第 45 回年次学術講演会，V-36, pp. 98-99, 1990.
 - 15) 雑賀義夫，広津英三郎，田中秀明，丸山暉彦：FWD による再生 CAE 路盤の弾性係数の評価，土木学会第 47 回年次学術講演会，V-15, pp.62-63, 1992.
 - 16) 全米アスファルト舗装協会：大粒径混合物：歴史的考察，日本道路舗装建設業協会，1990.
 - 17) 全米アスファルト舗装協会：テネシー州とインディアナ州における開粒度の“大粒径混合物”の施工，日本道路舗装建設業協会，1990.
 - 18) 雑賀義夫，大手一信，植村 正：大粒径常温混合物瀝青安定処理を用いた耐重荷重舗装の開発 道路建設，No. 547, pp.56-62, 1993.
 - 19) 丸山暉彦，姫野賢治，後藤 徹，土屋雷蔵，阿部長門，林 正則：FWD における舗装の非破壊試験に関する研究 長岡技術科学大学，研究報告，第 10 号，pp.119-126, 1988.

(1994.4.28 受付)

THE ASPHALT PAVEMENT STRUCTURAL DESIGN FOR RAILWAY CONTAINER YARDS

Masaki KAMIURA, Teruhiko MARUYAMA, Kenzi HIMENO
and Nagato ABE

This paper concerns the development of the pavement structural design in the railway container yards where the heavy weight machines for loading works (forklift, reach stacker and so on). The wheel load of the loading machine is far much more heavier than that of the common car or truck. It is difficult to design the asphalt pavement thickness for such the heavy weight machine by using the common standards.

In this study the multi-elastic layer theory and the design criteria developed by Asphalt Institute in USA were introduced to develop the thickness design for such heavy weight machines. Then it has been able to design the thickness for the machines having from the common weight wheel load to the heavy one as much as about 40 tonne.

The good result has been got in the application of this study on some yard pavements by using upgraded large stone and asphalt emulsion stabilized base.