

港湾技術資料

TECHNICAL NOTE OF
PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

No. 52 June 1968

空港舗装に関する調査研究（第6報）

空港瀝青舗装の舗装厚設計法に関する調査研究

.....須田 照

昭和43年6月

運輸省港湾技術研究所



空港瀝青舗装の舗装厚設計法に関する調査研究

目 次

要 旨

1. 序 論	6
2. C・B・R法	7
2-1 C・B・R法開発の過程	7
2-2 道路用C・B・R設計曲線の空港舗装への拡張	8
2-3 空港用, C・B・R室内試験法の開発	12
2-4 暫定設計曲線の検討	12
2-5 図解法による, 多車輪荷重に対する設計法の開発	12
2-6 C・B・R設計曲線の数式化の試みと繰り返し走行回数に対する検討	17
2-7 C・B・R設計曲線の基本形	21
2-8 C・B・R設計曲線の完全数式化その検討	21
2-9 数式による, 多車輪荷重に対する設計法の開発	29
2-10 C・B・R設計曲線の作成法	33
2-11 C・Eによる空軍飛行場設計規準	38
2-12 C・B・R設計法の問題点	63
3. L・C・N法	64
3-1 L・C・Nとは	64
3-2 L・C・Nを使用した舗装厚設計法	64
3-3 L・C・Nによる舗装厚設計法の問題点	64
4. フランス法	68
4-1 舗装厚設計法	68
4-2 フランス法の問題点	68
5. カナダ法	68
5-1 設計理論	68
5-2 カナダの設計規準	74
5-3 カナダ法の問題点	86
6. Navy 法	86
6-1 設計理論	86
6-2 計算例	88
6-3 試験舗装による理論舗装厚の補正	89
6-4 複車輪に対する考えかた	89
6-5 表層や上層路盤に対する考えかた	89
6-6 Navy 法の問題点	89

7. F・A・A法	90
7-1 設計法概要	90
7-2 路床土の分類	90
7-3 舗装の区域	90
7-4 舗装厚設計曲線	92
7-5 二層路床に対する下層路盤厚の修正	93
7-6 等価値による層構造の修正	93
7-7 F・A・A法の問題点	93
8. A・I法	101
8-1 設計法	101
8-2 舗装の区域	101
8-3 等価値による舗装厚の修正	101
8-4 A・I法の問題点	101
9. 結 論	101
参考文献	102

図 表 目 次 (図表の添字番号は引用した文献を表わす)

図-13)	道路舗装におけるC・B・R値と舗装厚の関係 (C・B・R法)	図-1918)	C・B・R公式と舗装厚設計曲線の比較図(C・B・R法)
図-24)	輪荷重下の剪断強度分布 (C・B・R法)	図-2019)	単車輪および複車輪による舗装内たわみの比較(理論) (C・B・R法)
図-34)	暫定空港挽性舗装設計曲線 (C・B・R法)	図-2119)	単車輪および複車輪による舗装内たわみ(粘土質シルト地盤) (C・B・R法)
表-111)	各所における空港舗装の実物走行試験結果 (C・B・R法)	図-2219)	単車輪および複車輪による舗装内たわみ(砂地盤) (C・B・R法)
図4-11)	暫定設計曲線と実物走行試験結果の比較(C・B・R法)	図-2319)	たわみ係数F (C・B・R法)
図-512)	B-29複車輪の荷重伝達状況模式図 (C・B・R法)	図-2419)	図解法と、理論によるE・S・W・Lを使用した設計曲線の比較 (C・B・R法)
図-612)	単車輪荷重と複車輪荷重による舗装内垂直応力と剪断応力 (C・B・R法)	表-920)	高いC・B・Rに対する舗装厚 (C・B・R法)
表-212)	単車輪と複車輪の計算諸元 (C・B・R法)	図-2520)	高いC・B・Rの下におけるC・B・R公式の修正 (C・B・R法)
図-712)	Stockton 試験滑走路による静止荷重と、路床面たわみとの関係 (C・B・R法)	図-2620)	カバレッジと舗装厚修正係数 (C・B・R法)
図-812)	Marietta 試験滑走路による 静止荷重と路床面たわみとの関係 (C・B・R法)	表-1020)	各点のたわみ係数計算例 (C・B・R法)
図-912)	Marietta 試験滑走路による 走行荷重と路床面たわみとの関係 (C・B・R法)	図-2720)	たわみ係数の選定例 (C・B・R法)
図-1012)	単車輪と複車輪における路床面たわみと舗装厚の関係 (C・B・R法)	表-1120)	E・S・W・Lの計算例 (C・B・R法)
図-1112)	B-29複車輪に対する設計曲線 (C・B・R法)	図-2820)	E・S・W・Lの図示例 (C・B・R法)
図-1212)	多車輪荷重に対する設計曲線 (C・B・R法)	表-1220)	舗装厚計算例 (C・B・R法)
表-315)	C・B・RとK値との関係 (C・B・R法)	図-2920)	C・B・R修正公式による計算図(C・B・R法)
図-1315)	理論式による設計曲線の検討 (C・B・R法)	図-3020)	C・B・R設計曲線例 (C・B・R法)
図-1415)	平均K値の妥当性の評価 (C・B・R法)	図-3121)	C・E規準の重荷重舗装区域 (C・B・R法)
表-416)	繰り返し走行回数(カバレッジ)と舗装の破壊一覧表 (C・B・R法)	図-3221)	C・E規準の軽荷重舗装区域 (C・B・R法)
図-1516)	カバレッジと舗装厚 (C・B・R法)	図-3321)	単車輪(タイヤ圧100psi)設計曲線 (C・B・R法)
図-1616)	タイヤ圧 100psi のC・B・R設計曲線(C・B・R法)	図-3421)	重荷重舗装曲線 (C・B・R法)
図-1716)	タイヤ圧 200psi のC・B・R設計曲線(C・B・R法)	図-3521)	単車輪(接地面積100in ²)設計曲線 (C・B・R法)
表-517)	C・B・RとD値との関係 (C・B・R法)	図-3621)	Twin-Twin Wheel, Bicycle Type (接地面積267in ² , 間隔37-62-37in) のA型舗装設計曲線 (C・B・R法)
表-618)	実物走行試験と舗装の破壊状況一覧表①(C・B・R法)	図-3721)	Twin-Twin wheel, Bicycle Type のB型, C型舗装設計曲線 (C・B・R法)
表-718)	実物走行試験と舗装の破壊状況一覧表②(C・B・R法)	図-3821)	Twin-Twin wheel, Bicycle Type のD型舗装設計曲線 (C・B・R法)
表-818)	実物走行試験と舗装の破壊状況一覧表③(C・B・R法)	図-3921)	Twin Wheel, Bicycle Type (接地面積267in ² , 間隔37in) のA型舗装設計曲線 (C・B・R法)
図-1818)	C・B・R公式と舗装の破壊比較図 (C・B・R法)	図-4021)	Twin Wheel, Bicycle Type のB型, C型舗装設計曲線 (C・B・R法)
		図-4121)	Twin-Tandem Wheel, Tricycle Type (接

- 地面積, 267in², 間隔 31in×63in) のA型舗装設計曲線 (C・B・R法)
- 図-422¹) Twin-Tandem Wheel, Tricycle Type のB型, C型舗装設計曲線 (C・B・R法)
- 図-432¹) Twin-Wheel, Tricycle Type (接地面積 267in², 間隔37in) のA型舗装設計曲線 (C・B・R法)
- 図-442¹) Twin-Wheel, Tricycle Type のB型, C型舗装設計曲線 (C・B・R法)
- 図-452⁴) DC-8のB型舗装厚設計曲線 (C・B・R法)
- 図-462⁴) B-707のB型舗装厚設計曲線 (C・B・R法)
- 図-472⁴) Conv.-880 のB型舗装厚設計曲線 (C・B・R法)
- 図-482¹) Twin-Twin Wheel, Bicycle Type のオーバーラン地区舗装設計曲線 (C・B・R法)
- 図-492¹) Twin Wheel, Bicycle Type のオーバーラン地区舗装設計曲線 (C・B・R法)
- 図-502¹) Twin-Tandem Wheel, Tricycle Type のオーバーラン地区舗装設計曲線 (C・B・R法)
- 図-512¹) Twin Wheel, Tricycle Type のオーバーラン地区舗装設計曲線 (C・B・R法)
- 図-522¹) Single-Wheel, Tricycle Type のオーバーラン地区舗装設計曲線 (C・B・R法)
- 表-132¹) 単車輪荷重に対する表層・基層 (Pavement), 上層路盤 (Base) 最小厚 (C・B・R法)
- 表-142¹) 多車輪荷重に対する表層・基層 (Pavement), 上層路盤 (Base) 最小厚 (C・B・R法)
- 図-532³) 載荷板の大きさと, 破壊荷重との関係 (L・C・N法)
- 図-542³) 航空機の標準L・C・N (L・C・N法)
- 図-552³) 航空機のL・C・N算定曲線 (L・C・N法)
- 図-562³) L・C・Nによる滑走路舗装厚設計曲線 (L・C・N法)
- 図-572⁷) 単車輪荷重に対する舗装厚設計曲線 (フランス法)
- 図-582⁷) 複車輪荷重の単車輪荷重への変換 (フランス法)
- 図-592⁷) 複々車輪荷重の単車輪荷重への変換 (フランス法)
- 図-602⁷) カペレージと修正係数 (フランス法)
- 図-612⁹) 舗装厚設計の仮定図 (カナダ法)
- 図-62¹) 凍結指数 (カナダ法)
- 図-632⁸) 凍結指数と, 舗装の必要最小厚 (カナダ法)
- 図-642⁸) 路床支持力の春季補正図 (カナダ法)
- 図-652⁸) 舗装厚係数K (カナダ法)
- 図-662⁹) K値を求めるための載荷試験結果(カナダ法)
- 表-152⁸) L・Q・P値 (カナダ法)
- 図-672⁸) 路床面に関する支持力換算図表 (カナダ法)
- 図-682⁸) たわみ性舗装面に関する支持力換算図表 (カナダ法)
- 図-692⁹) たわみ量の差異と支持力の関係 (カナダ法)
- 図-702⁹) 載荷板の差異と支持力の関係 (カナダ法)
- 図-712⁸) 舗装厚計算図表 (タイヤ圧 100psi) (カナダ法)
- 図-723⁰) 舗装厚計算図表 (タイヤ圧 200psi) (カナダ法)
- 図-732⁹) C・B・Rと路床支持力の関係 (カナダ法)
- 図-742⁹) 各国設計法における土の表示法の相互関係 (カナダ法)
- 図-753⁰) Burmister の沈下係数 (Navy法)
- 表-163¹) 路床土の分類 (F・A・A法)
- 表-173¹) 路床土の細分 (F・A・A法)
- 図-763¹) 舗装区域 (F・A・A法)
- 図-773¹) 単車輪荷重に対する舗装厚計算図表 (F・A・A法)
- 図-783¹) 複車輪荷重に対する舗装厚計算図表 (F・A・A法)
- 図-793¹) 複々車輪荷重 (dual-tandem) に対する舗装厚計算図表 (F・A・A法)
- 図-803¹) 複車輪に対する E・S・W・L の仮定 (F・A・A法)
- 図-813¹) 複々車輪に対する E・S・W・L の仮定 (F・A・A法)
- 図-823²) タイヤ圧 100psi の単車輪荷重に対する舗装厚計算図表 (A・I法)
- 図-833²) タイヤ圧 200psi の単車輪荷重に対する舗装厚計算図表 (A・I法)
- 図-843²) タイヤ圧 100psi の多車輪荷重に対する舗装厚計算図表 (A・I法)
- 図-853²) タイヤ圧 200psi の多車輪荷重に対する舗装厚計算図表 (A・I法)

INVESTIGATION ON THICKNESS DESIGN METHODS FOR BITUMINOUS AIRPORT PAVEMENT

— Studies on Airport Pavements (Sixth Report) —

by Hiroshi SUDA*

Synopsis

Literature survey was carried out on the thickness design methods for bituminous airport pavement. Studies were the wellknown methods published from seven organizations, that is, U. S. Corps of Engineers (C. B. R. Method), U. S. Navy, U. S. Federal Aviation Agency, Asphalt Institute of U. S. A., English Ministry of Public Building and Works (L. C. N. Method), Canadian Ministry of Transport (McLeod Method) and French Ministry of Transportation. Among these methods the C. B. R. Method seems most reliable since it has been developed based on sufficient field experiences and full scale proof tests far more than any other method. It is rather strange, however, that the total pavement thickness obtained by the method is constant irrespective of the C. B. R. values of pavement materials as far as the C. B. R. value of subgrade is maintained unchanged. It is considered more rational to modify the total pavement thickness based on the C. B. R. Method by introducing the concept of layer equivalency of pavement materials.

* Chief, Runway Laboratory, Soils Division.

空港舗装に関する調査研究（第6報）

空港瀝青舗装の舗装厚設計法に関する調査研究

須田 熈*

要 旨

現在、世界各国で使用されている、空港舗装の主要な舗装厚設計法について文献調査を行ない、検討を加えた。

調査の対象とした設計法は、C・B・R法（C・E法：米国陸軍工兵隊法）、L・C・N法（英国法）、フランス法、カナダ法（McLeod 法）、Navy 法（米国海軍法）、F・A・A法（米国連邦航空庁法）、A・I法（アスファルト協会法）の7つである。

その結果、各設計法には一長一短が見受けられるが、最も多くの実験の裏付けと、経験を有するC・B・R法が、現在の段階では、舗装厚の基本的な設計法として適しているとの結論を得た。

ただし、C・B・R法は、路床の強さによって、舗装構成材料の品質に関係なく、舗装厚は一定になるという欠点を有しているから、これに関しては、等価値などを考慮して、設計法を補足する必要があるであろう。

1. 序 論

現在わが国においては、空港瀝青舗装の舗装厚設計法として、主にC・B・R法とF・A・A法が使用されている。しかし、世界の主要な舗装厚設計法については、体系的な調査研究がなされておらず、今後わが国の舗装技術の向上を測るためにも、これらの詳細な検討が必要となっている。本報告書は、この観点と立って、7つの主要な設計法について、その詳細を調査し、検討を加えたものである。

空港の滑走路、誘導路、エプロンなどに使用される瀝青舗装の主要な舗装厚設計は、路床土の評価法により次のように分類される。

路床土をC・B・Rにより評価するもの：C・B・R法（C・E法、米国陸軍工兵隊法）、L・C・N法（英国法）、フランス法

路床土を平板支持力により評価するもの：カナダ法（McLeod 法）

路床土を粒度やコンシステンシーにより評価するもの：F・A・A法（米国連邦航空庁法）

路床土を弾性係数により評価するもの：Navy 法（米国海軍法）

上の三者を組合せたもの：A・I法（アスファルト協会法）

C・B・R法は、道路舗装での経験的設計法を、理論と大規模実験や現場観測により、空港舗装に拡張したものである。また、L・C・N法、フランス法、A・I法は、C・B・R法の亜流である。F・A・A法は経験的方法であり、Navy 法は、二層系の弾性論を設計に適用するものである。カナダ法は、平板載荷試験によるもので、その設計法はカナダの空港舗装の経験と現場測定により作られた。

ちなみに、世界各国で、いずれの設計法が使用されているかを次に紹介する。

日 本	： C・B・R法、F・A・A法
米 国	： C・B・R法、F・A・A法、Navy法
英 国	： L・C・N法
フ ラ ン ス	： フランス法
カ ナ ダ	： カナダ法
西 ド イ ツ	： L・C・N法
アイルランド	： F・A・A法を載荷試験により補正する。

* 土質部 滑走路研究室長

イ ラ ン: L・C・N法, F・A・A法
 イ ン ド: C・B・R法
 デ ン マ ー ク: L・C・N法
 中 国: F・A・A法
 ベ ル ギ ー: L・C・N法
 オーストリア: F・A・A法
 オーストラリア: L・C・N法
 ユーゴスラビア: L・C・N法
 イ タ リ ア: L・C・N法, F・A・A法
 オ ラ ン グ: 載荷試験による。
 ス イ ス: F・A・A法を載荷試験により補正する。
 フ ィ ン ラ ン ド: L・C・N法, F・A・A法を凍上を考慮して補正する。

これを見ても分かるように、米国、英国などの先進諸国で開発された設計法は、そのまま他の国々で使用されているが、どの先進国から最初に技術指導をうけたかによって、その国の設計法が決まっているようである。例えば、英国系の国ではL・C・N法、米国系の国では、F・A・A法やC・B・R法を用いている。しかし、L・C・N法による舗装厚設計法は、C・B・R法の航空機荷重をL・C・Nという無次元量に換算したに過ぎないから、基本的にはC・B・R法と考えて良いであろう。フランス法もまた同様である。従って、世界の大多数の国は、基本的には、米国防軍工兵隊の設計法を空港瀝性舗装の舗装厚決定に使用していると言えよう。

本報告書は、以下にC・B・R法、L・C・N法、フランス法、カナダ法、Navy法、F・A・A法、A・I法の順で空港瀝性舗装厚設計法の詳細を紹介し、検討して行く。なお各設計法の舗装材料および施工規定については、「空港瀝性舗装の材料および施工に関する調査研究」²²⁾において、別途詳しく報告するのでこれを参照されたい。

2. C・B・R法* (C・E法**：米国防軍工兵隊法)

2-1 C・B・R法、開発の過程²⁾

第二次大戦において、各種の飛行場を急いで建設しなければならなくなった米国防軍では、1940年11月下旬、陸軍の附属研究所である Corps of Engineer (以下C・Eと略す)に、飛行場舗装の設計基準を至急作るように命令した。

C・Eでは、先ず当時の道路舗装の設計法を調査したが、コンクリート舗装は、Westergaard 公式によるも

のが普遍的でありさして問題はないことが判明した。ところが、瀝青舗装には確固たる設計法がなく、多くの問題をはらんでいる状態であった。しかし、当時の設計法の一般的傾向としては、路床の支持力を目安として舗装厚を決めるのが普通であった。したがって、この方法では、瀝青舗装の強さと、路床の支持力をいかにして関連づけるかが問題であった。しかし、C・Eでは、各種の現場支持力試験を行なった結果次のような否定的な結論を得た。①満足すべき支持力試験法の開発は、設計法確立の緊急性を考えると時間的に不可能である。②現場の平板載荷試験の値は、撓み量その他の多くの要因により著しく変化する。③平板支持力の結果は、一般に舗装の下で変化する含水比状態の値を正確に表現しない。したがって、最悪の含水比状態での支持力値を求めなければならないが、その補正法が困難である。④平板載荷支持力試験の値は、弾性変形的なものを表すから、コンクリート舗装には適する。しかし、瀝青舗装は、塑性変形的なものによって破壊するから、平板載荷による支持力値を設計に用いるのは適切でない。このことは逆に、瀝青舗装には、剪断試験の適用が考えられることを示唆している。⑤繰返し荷重の下での路床や路盤の挙動は非常に入り組んだもので、単一の試験により理論的に舗装厚を決めるよりも、経験的な方法で設計法を決めるのが好ましい。

以上の結論にもとづいて、当時の各種の設計法を数ヶ月にわたり検討した結果、California Division of State Highway で使用している経験的設計法すなわち、C・B・R法を、空港の瀝青舗装の設計法にも適用することに決定した。その理由は①C・B・R法には長年月の実績が有り、舗装の挙動との関連がついている。②他の設計法よりも、迅速に空港に適用できそうである。③他の設計法に較べ論理的である。④他の二州でも同じような方法を使用している。⑤路床の強度係数が簡単に求まる。⑥路床係数(C・B・R)は将来の含水状態をも適切に表わす。

C・Eでは早速、C・B・R設計法について、講師を招いて短期間研修を行ない、その方法を習得した。次いで、道路用のC・B・R設計曲線を、自動車よりも輪荷重の大きい航空機用空港舗装に、弾性論を用いた外そう法によって拡張した。(2-2参照)。また、同時に、道路用の従来C・B・R試験法を簡便化して、空港用のC・B・R試験法を確立した。(2-3参照)。そして1946年

* C・B・R: California Bearing Ratio の略

** C・E: Corps of Engineer の略

には、空港舗装用の設計基準が、出版された。この間、これらの暫定設計曲線の良否を検討するため、数多くの現場実験と観測が行なわれ、その資料を検討した結果、暫定設計曲線は、若干修正される必要のあることを見出した。(2-4 参照)。以上の設計曲線は全て単車輪を対象としたものであるが1945年以降、多車輪系航空機に対する設計法が必要となり、研究の結果1950年までに図解法により、従来の設計曲線を使用して問題を解決できることが判明した。(2-5 参照)。一方、設計C・B・R曲線の数式化の試みもなされ、1950年には、同一接地圧の単車輪荷重の下での必要舗装厚設計法の数式化に成功した。(2-5 参照)。同時に繰り返し荷重に対する設計曲線の、信頼度の検討もなされ、1950年には、一応の完成を見た。(2-6 参照)。このようにして、1950年までには、修正をほどこされた空港瀝性舗装用のC・B・R設計曲線が完成したのである(2-7 参照)。

1950年以降には舗装厚の設計法に関連する研究は、主として、C・B・R設計曲線の数式化と、多車輪荷重設計法の数式化に集中され、1958年までにはこの問題の解決

を見た。(2-8, 2-9 参照)これにより、2-10に示す手順をふむことによって、あらゆる航空機に対するC・B・R設計曲線を描くことができるようになった。そして、1958年8月には、軍用空港の新らしい設計基準が発表された。(2-11参照)この設計基準は、その後、若干の修正が加えられ現在に至っている。

2-2~2-11では、以上述べて来た研究成果をとりまとめて紹介する。そして、2-12において、C・B・R設計法の問題点を考察する。

2-2 道路用C・B・R設計曲線の空港舗装への拡張^{3), 4)}

1928年から1929年にわたり、California Division of Highway では、この州の道路の研壞状況をくまなく調査した。その結果、舗装の破壞した原因は次の三種にしばられた。①建設後に路床が吸水し柔らかくなり、自動車荷重の影響により、路床材が側方に流動したことによるもの。②表層の下の材料が不等沈下したことによるもの。③自動車の繰り返し荷重により、表層の下の材料

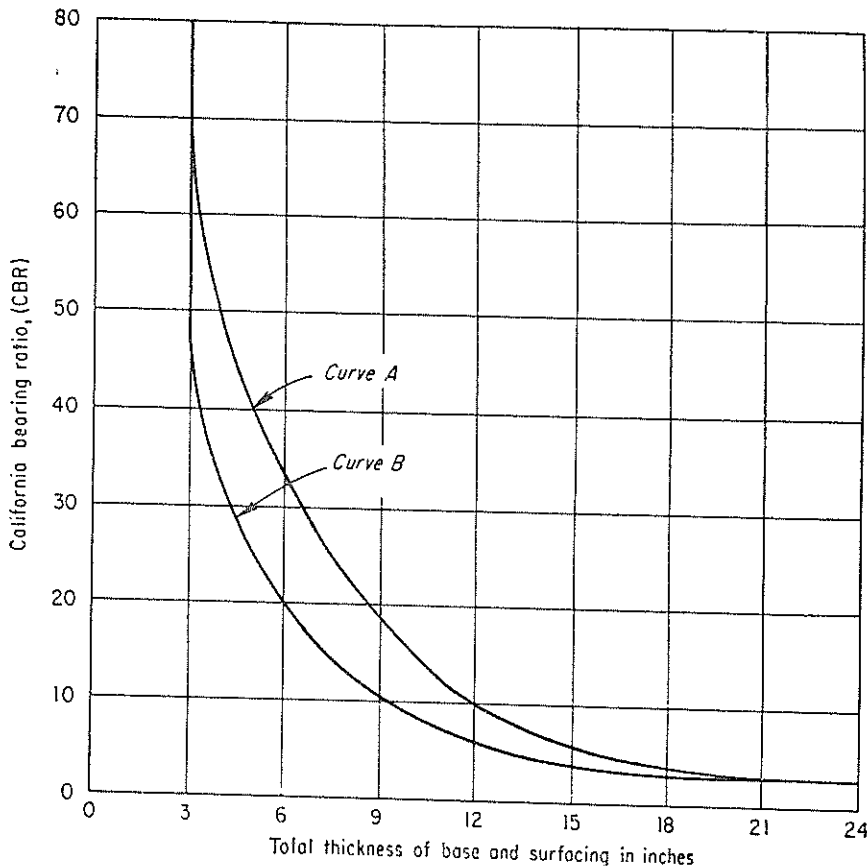


図-1 道路舗装におけるC・B・R値と舗装厚の関係 (C・B・R法)

が、表層の限界沈下量をこえたことによるもの。

これらは何れも路床や舗装構成材の締固め度や剪断強さと深い関係があると考えられたので、材料の締固め度や剪断強さを測る試験基準として、C・B・R試験法を1929年に開発した。この基準試験を尺度として、その後1942年までに道路舗装の挙動について調査が行なわれ、その結果、路床のC・B・Rと必要舗装全厚との間に、図-1³⁾に示すような関係を見出した。ここに Curve A は当時の平均的な交通状態のもとでの曲線であり、Curve B は軽交通状態に対応する曲線である。

二つの曲線の内、Curve A の方が信頼し得ると考えられたので、空港舗装への適用には、この曲線を使用することとした。Curve A は、9,000 Lb のトラック荷重に対応するものである。しかし、トラックのタイヤが10%以下の変位なのに対し、航空機のタイヤの変位は約35%であるので、与えられた荷重に対しては接地面積がトラックよりもかなり大きくなる。また、自動車の輪荷重に限られた狭い帯内を走るのに対し、航空機荷重は、舗装巾の中心まに50%が集中し、残りの50%は全幅に分布すると考えられる。この二つの理由により、トラ

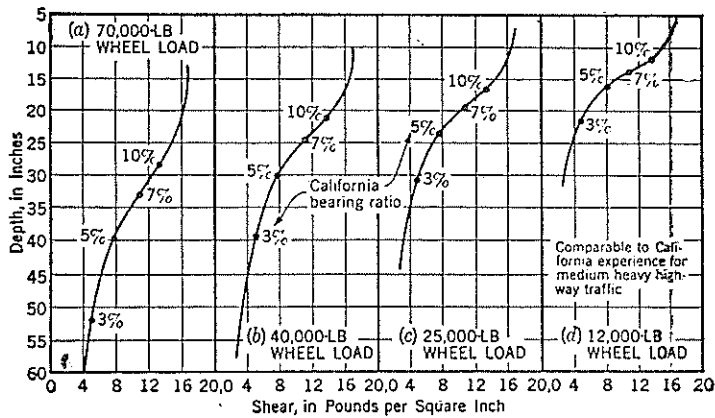


図-2 輪荷重下の剪断強度分布 (C・B・R法)

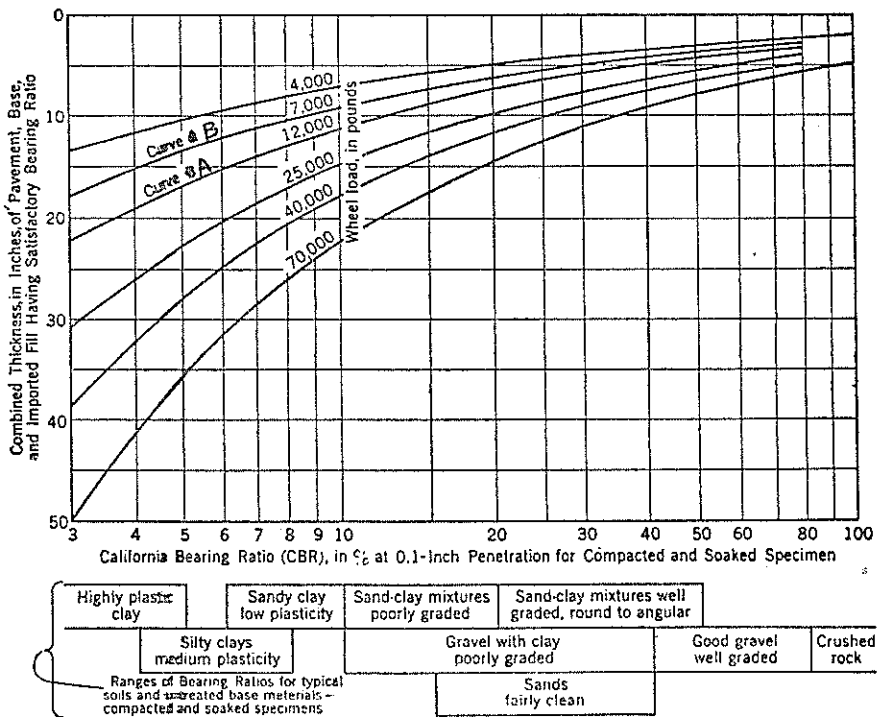


図-3 暫定空港撻性舗装設計曲線 (C・B・R法)

ック荷重 9,000Lb は、航空機荷重 12,000Lb に匹敵するものと決定した。同様に Curve B は 7,000Lb の航空機荷重に対応するものと評価した。

さて当時の航空機のタイヤ圧は 60psi が標準であり、B-17やB-24型爆撃機が広く使用されていたので、輪荷重は、25,000Lb, 40,000Lb 70,000Lb を選べば、全条件が満たされる。そこで先ず、これらの輪荷重を、タイヤ圧 60psi の円形等分布荷重と仮定し、弾性論による剪断強度計算図表⁵⁾を使用して、図-2⁴⁾のように、それぞれの輪荷重に対して、舗装厚と剪断強度の関係図を作成した。図中の実線が剪断強度の大きさを示す。図-1の Curve A は、図-2の(d)図に相当するものであるから、(d)図の剪断強度を示す曲線の上に、Curve A の C・B・R 3%, 5%, 7%, 10%の点に対応する舗装厚をプロットした。この操作により、各C・B・Rについて必要とされる、舗装厚の下での剪断強度が求まった。次

に 12,000 Lb よりも重い輪荷重の剪断強度分布を示す図-2 (a)(b)(c)の剪断強度曲線の上に、各C・B・Rに対応する剪断強度 (d)図と同じ剪断強度値)を示す点をプロットした。すなわち、自動車荷重によって路床面上に生ずる剪断強度と等しい剪断強度を航空機荷重に対しても取ろうというわけである。

このような手続きを経て、図-3⁴⁾に示すような暫定空港瀝青舗装設計曲線が生まれた。この曲線は、タイヤ圧 60psi 程度で、平均的な路床条件に対する設計曲線であるから、タイヤ圧や、舗装構造、排水条件、凍上条件、荷重の頻度などの変化により、20%までは、厚さを増減してよい。またこの設計に用いるC・B・Rは、ピストン貫入量 0.1 in の場合の値であるが、舗装厚 6 in 以下の場合には、最小C・B・Rを使用することになっている。なお図-3の下の土の分類は、大体の目安と考ええる。

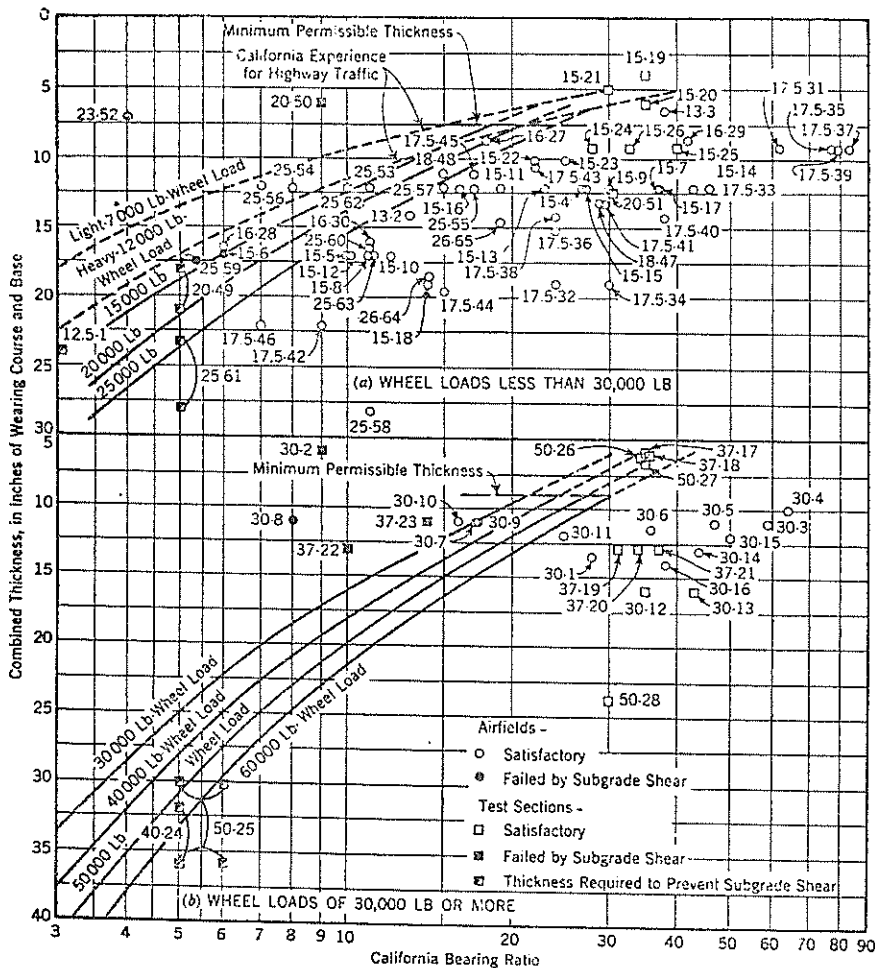


表-1 各所における空港舗装の実物走行試験結果 (C・B・R法)

Line	Army airfield	Facility*	Pit No.	SUBGRADE OR SUBBASE*							OVERLYING BASE*				SURFACE		TRAFFIC		Performance satisfaction factor†
				Type†	wl (%)	Ip (%)	CBR (%)	Type†	wl (%)	Ip (%)	CBR (%)	Thickness in inches	Type†	Thickness in inches	Total thickness in inches	Wheel load, in kips	Coverages		
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)		

(a) WHEEL LOADS LESS THAN 30,000 LB

1	Fargo, N. Dak.	Test section NE-SW	7	CH	70	55	3	SP	28	13	9	18.0-24.0	ac	6.0	12.0-30.0	12.5	1,470	Yes*
2	Florence, S. C.	Test section T-4	7	CL	70	44	10	GP	17	17	11.5	6.0	ac	2.5	14.0	14.0	3,134	Yes*
3	Fun-American	Test section NW-SE1	1	SC	NP	NP	27	GW	17	11	108	10.0	ac	2.0	12.0	15.0	4,051	Yes*
4		Test section NW-SE1	1	CH	70	44	10	GP	17	17	27-108	15.0	ac	2.0	17.0	15.0	11,258	Yes*
5		Test section NW-SE1	3	CH	70	44	10	GP	17	17	20-70	15.0	ac	2.0	17.0	15.0	3,938	No*
6		Test section NW-SE1	3	SC	NP	NP	37	GW	17	17	150	10.0	ac	2.0	12.0	15.0	11,258	Yes*
7		Test section NW-SE1	4	CH	70	44	11	GP	17	17	37-150	15.0	ac	2.0	17.0	15.0	11,258	Yes*
8	Bergstrom Field, Austin, Tex.	Test section NW-SE1	6	SC	NP	NP	30	GW	17	17	135	10.0	ac	2.0	12.0	15.0	11,258	Yes*
9		Test section NW-SE1	6	CH	70	44	12	GP	17	17	30-135	15.0	ac	2.0	17.0	15.0	11,258	Yes*
10		Test section T-4	7	CL	70	44	10	GP	17	17	150+	10.0	ac	2.0	12.0	15.0	3,908	Yes*
11		Test section T-1	7	CH	58	39	10	GP	17	17	10-150+	15.0	ac	2.0	17.0	15.0	23,700	Yes*
12		Test section West N-S	1	CH	71	37	23	GP	10	2	150+	9.0	ac	3.0	12.0	15.0	1,741	Yes*
13	Berry Field, Nashville, Tenn.	Test section West N-S	2	ML	37	11	43	GP	18	2	121	9.0	ac	3.0	12.0	15.0	1,741	Yes*
14		Test section West N-S	4	CH	41	20	27	GP	18	2	130	9.0	ac	3.0	12.0	15.0	1,741	Yes*
15		Test section West N-S	4	CH	61	29	16	GP	10	2	93	9.0	ac	3.0	12.0	15.0	1,741	Yes*
16		Test section T-4	2	CL	28	13	37	GP	25	9	88	8.5	ac	3.5	12.0	15.0	8,888	Yes*
17	Dodge City (Kana) airfield	Test section T-4	2	CL	37	32	14	GP	25	9	37-88	15.5	ac	3.5	19.0	15.0	8,888	Yes*
18		Test section T-4	2	CL	37	32	14	GP	25	9	150+	10.0	ac	1.5 and 3.0	4.0-12.0	15.0	3,500	Yes*
19		Test section T-4	2	CL	37	32	14	GP	25	9	60	1.0-10.5	ac	3.5	12.0	15.0	8,888	Yes*
20	Edgin, Fla.	Test section T-4	3	SC	NP	NP	35	nonp	NP	NP	3	6.0	sa	6.0	6.0	15.0	3,500	Yes*
21	Genier, New Hampshire	Test section T-4	3	SC	NP	NP	35	nonp	NP	NP	3	6.0	sa	6.0	6.0	15.0	3,500	Yes*
22		Test section T-4	3	SC	NP	NP	35	nonp	NP	NP	3	6.0	sa	6.0	6.0	15.0	3,500	Yes*
23	Lawson, Fort Benning, Ga.	Test section T-4	3	SC	NP	NP	35	nonp	NP	NP	3	6.0	sa	6.0	6.0	15.0	3,500	Yes*
24		Test section T-4	3	SC	NP	NP	35	nonp	NP	NP	3	6.0	sa	6.0	6.0	15.0	3,500	Yes*
25	Waterways Experiment Station, Vicksburg, Miss.	Test section T-4	3	SC	NP	NP	35	nonp	NP	NP	3	6.0	sa	6.0	6.0	15.0	3,500	Yes*
26		Test section T-4	3	SC	NP	NP	35	nonp	NP	NP	3	6.0	sa	6.0	6.0	15.0	3,500	Yes*
27		Test section T-4	3	SC	NP	NP	35	nonp	NP	NP	3	6.0	sa	6.0	6.0	15.0	3,500	Yes*
28	Rocky Ford (Colo.) Field; Auxiliary to the La Junta (Colo.) Field	Test section T-4	4	CL	39	14	28	GW	NP	NP	78	6.0	ac	3.0	9.0	15.0	3,500	Yes*
29		Test section T-4	4	CL	39	14	28	GW	NP	NP	78	6.0	ac	3.0	9.0	15.0	3,500	Yes*
30		Test section T-4	4	CL	39	14	28	GW	NP	NP	78	6.0	ac	3.0	9.0	15.0	3,500	Yes*
31		Test section T-4	4	CL	39	14	28	GW	NP	NP	78	6.0	ac	3.0	9.0	15.0	3,500	Yes*
32		Test section T-4	4	CL	39	14	28	GW	NP	NP	78	6.0	ac	3.0	9.0	15.0	3,500	Yes*
33		Test section T-4	4	CL	39	14	28	GW	NP	NP	78	6.0	ac	3.0	9.0	15.0	3,500	Yes*
34		Test section T-4	4	CL	39	14	28	GW	NP	NP	78	6.0	ac	3.0	9.0	15.0	3,500	Yes*
35		Test section T-4	4	CL	39	14	28	GW	NP	NP	78	6.0	ac	3.0	9.0	15.0	3,500	Yes*
36		Test section T-4	4	CL	39	14	28	GW	NP	NP	78	6.0	ac	3.0	9.0	15.0	3,500	Yes*
37	Douglas, Ariz.	Test section T-4	8	GP	50	24	24	GW	27	9	69-77	7.25	ac	1.75	9.0	17.5	3,134	Yes*
38		Test section T-4	8	GP	50	24	24	GW	27	9	69-77	7.25	ac	1.75	9.0	17.5	3,134	Yes*
39		Test section T-4	8	GP	50	24	24	GW	27	9	69-77	7.25	ac	1.75	9.0	17.5	3,134	Yes*
40		Test section T-4	8	GP	50	24	24	GW	27	9	69-77	7.25	ac	1.75	9.0	17.5	3,134	Yes*
41		Test section T-4	8	GP	50	24	24	GW	27	9	69-77	7.25	ac	1.75	9.0	17.5	3,134	Yes*
42		Test section T-4	8	GP	50	24	24	GW	27	9	69-77	7.25	ac	1.75	9.0	17.5	3,134	Yes*
43		Test section T-4	8	GP	50	24	24	GW	27	9	69-77	7.25	ac	1.75	9.0	17.5	3,134	Yes*
44	La Junta, Colo.	Test section T-4	11	GP	30	11	77	GW	27	9	86	7.0	ac	2.0	4.0	17.5	3,134	Yes*
45		Test section T-4	11	GP	30	11	77	GW	27	9	86	7.0	ac	2.0	4.0	17.5	3,134	Yes*
46		Test section T-4	11	GP	30	11	77	GW	27	9	86	7.0	ac	2.0	4.0	17.5	3,134	Yes*
47		Test section T-4	11	GP	30	11	77	GW	27	9	86	7.0	ac	2.0	4.0	17.5	3,134	Yes*
48		Test section T-4	11	GP	30	11	77	GW	27	9	86	7.0	ac	2.0	4.0	17.5	3,134	Yes*
49		Test section T-4	11	GP	30	11	77	GW	27	9	86	7.0	ac	2.0	4.0	17.5	3,134	Yes*
50		Test section T-4	11	GP	30	11	77	GW	27	9	86	7.0	ac	2.0	4.0	17.5	3,134	Yes*
51		Test section T-4	11	GP	30	11	77	GW	27	9	86	7.0	ac	2.0	4.0	17.5	3,134	Yes*
52		Test section T-4	11	GP	30	11	77	GW	27	9	86	7.0	ac	2.0	4.0	17.5	3,134	Yes*
53		Test section T-4	11	GP	30	11	77	GW	27	9	86	7.0	ac	2.0	4.0	17.5	3,134	Yes*
54		Test section T-4	11	GP	30	11	77	GW	27	9	86	7.0	ac	2.0	4.0	17.5	3,134	Yes*
55		Test section T-4	11	GP	30	11	77	GW	27	9	86	7.0	ac	2.0	4.0	17.5	3,134	Yes*
56		Test section T-4	11	GP	30	11	77	GW	27	9	86	7.0	ac	2.0	4.0	17.5	3,134	Yes*
57		Test section T-4	11	GP	30	11	77	GW	27	9	86	7.0	ac	2.0	4.0	17.5	3,134	Yes*
58		Test section T-4	11	GP	30	11	77	GW	27	9	86	7.0	ac	2.0	4.0	17.5	3,134	Yes*
59		Test section T-4	11	GP	30	11	77	GW	27	9	86	7.0	ac	2.0	4.0	17.5	3,134	Yes*
60		Test section T-4	11	GP	30	11	77	GW	27	9	86	7.0	ac	2.0	4.0	17.5	3,134	Yes*
61		Test section T-4	11	GP	30	11	77	GW	27	9	86	7.0	ac	2.0	4.0	17.5	3,134	Yes*
62		Test section T-4	11	GP	30	11	77	GW	27	9	86	7.0	ac	2.0	4.0	17.5	3,134	Yes*
63		Test section T-4	11	GP	30	11	77	GW	27	9	86	7.0	ac	2.0	4.0	17.5	3,134	Yes*
64		Test section T-4	11	GP	30	11	77	GW	27	9	86	7.0	ac	2.0	4.0	17.5	3,134	Yes*
65		Test section T-4	11	GP	30	11	77	GW	27	9	86	7.0	ac	2.0	4.0	17.5	3,134	Yes*

* Direction of runway, as "NW-SE1" is the north-west-south-east runway No. 1 and "West NS" is the west north-south runway; "T-1" is taxiway No. 1 and "T-G" is taxiway "G", etc. † NP denotes "nonplastic"; "nonplastic" is found in the soil; "in" is in the soil; "ac" is asphalt concrete; "cs" is choker; "ls" is layered base; "lr" is lime rock; "na" is sand and gravel; "sc" is soil cement; and "st" is surface treatment. ‡ Performance with respect to shear deformation. § A thickness of 21 in. was adequate to prevent subgrade shear. ¶ Layered base is the term applied to the base where there is an upper high-quality base and one or more subbases of lower quality. ** 3rd Street, Miami, Fla. †† Subgrade shear. ††† A minimum thickness of 4 in. was adequate to prevent subgrade shear. †††† A minimum thickness of 5 in. was adequate to prevent subgrade shear. ††††† These are item Nos. in Table 8. †††††† Columbia Army Air Base. ††††††† At Albuquerque, N. Mex. †††††††† At Shreveport, La. ††††††††† These are item Nos. in Table 4. †††††††††† A thickness of 18 in. to 21 in. was adequate to prevent subgrade shear. ††††††††††† Shear in sandy base material. †††††††††††† A minimum thickness of 12 in. was considerably more than adequate to prevent subgrade shear. ††††††††††††† Data not considered reliable since the CBR tests were made after a 7-month period of practically no traffic. †††††††††††††† A thickness of 23 in. to 28 in. was required to prevent subgrade shear. ††††††††††††††† A minimum thickness of 8 in. was adequate to prevent subgrade shear. †††††††††††††††† A thickness of 18 in. to 30 in. was required to prevent subgrade shear. ††††††††††††††††† A thickness of 21 in. was considerably more than adequate to prevent subgrade shear. (Table continued on next page)

Line	Army airfield	Facility*	Pit No.	SUBGRADE OR SUBBASE*							OVERLYING BASE*				SURFACE		TRAFFIC		Performance satisfaction factor†
				Type†	wl (%)	Ip (%)	CBR (%)	Type†	wl (%)	Ip (%)	CBR (%)	Thickness in inches	Type†	Thickness in inches	Total thickness in inches	Wheel load, in kips	Coverages		
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)		

(b) WHEEL LOADS OF 30,000 LB AND MORE (for Footnote, See Table 9(a))

2-3 空港用, C・B・R室内試験法の開発⁶⁾

当時道路で使用されていたC・B・R室内試験法では、モールド内の材料の締固めは、2,000 pis の静荷重で行ない最適含水比を見つけ、その含水比の下で作った試料に $12\frac{1}{4}$ Lb の荷重をかけ4日間浸水し、貫入試験を行なうというものであった。2,000pis の静荷重で締固めた材料は、道路の舗装に使用されている材料の締固め度に比較的良く一致するためであった。

しかし、普通の現場では、2,000psi の静荷重をかける装置がなく、この試験法は、現場向きではない。そこでC・Eでは、A・A・S・H・O (American Association of State Highway Officials) で使用されている動的締固め試験を基本にして、修正A・A・S・H・O試験法を開発し、これをC・B・R試験の材料の締固めに使用することとした。この試験法は、現在わが国で使用されているC・B・R試験方法 (JIS A 1211) とほぼ同じである。

2-4 暫定設計曲線の検討^{7) 8) 9) 10) 11)}

2-2で述べた設計曲線の良否を検討するために、実物走行試験が各所で行なわれた。その結果をとりまとめたのが表-1¹¹⁾である。この表の4~7欄までは路床条件、8~12欄までは路盤条件、13~14欄は表層厚、15欄は舗装全厚を示す。16欄は輪荷重の大きさ、17欄は、繰り返し走行回数、18欄はその時の舗装の満足すべき状態を可否で表わしている。

図-4¹¹⁾は、これらを図示したものであるが、図中の曲線は、図-3の暫定曲線を、若干修正 (実物走行試験の

結果により、高C・B・Rの下では、舗装厚をやや薄目にした。) したものである。各点の番号 (30-16など) の内最初の数は、車輪荷重 (Kips), 後の数字は表-1の1欄に示す試験番号である。図中の■印は、試験により必要舗装厚が明確に出たものであるから、これは設計曲線の上ののらなければならない。■や●印は、路床が剪断破壊したものであるから、より厚い舗装が必要であり、対応する設計曲線の上側に来るべきものである。□や○印は、破壊しなかったものであるから、設計曲線の下側に来るべきものである。また、図-4 (a) は輪荷重 30,000Lb 以下、(b) は 30,000Lb 以上のものである。

これらを考察すれば次のことが言えよう。①暫定設計曲線は、高C・B・Rの下では過大設計気味であるから、この範囲内では厚さを若干薄くできそうである。ただし図-4の点線で示した高C・B・Rの範囲では、剪断破壊以外の理由により、必要最小厚が決められそうである。②低C・B・Rに対しては、30,000Lb 以下の軽輪荷重の下では、設計曲線が正しい。しかし、30,000Lb 以上の重荷重に対しては試験結果と設計曲線は一致せず、特に50,000Lb, 60,000Lb に対しては舗装厚を4~5 in 増す必要がありそうである。

2-5 図解法による多車輪荷重に対する設計法の開発¹²⁾

以上述べて来た設計法は、単車輪荷重に対するものである。ところがB-29爆撃機は、複車輪 (Dual Wheel) を有しているため、新しい設計曲線開発の必要が生じた。

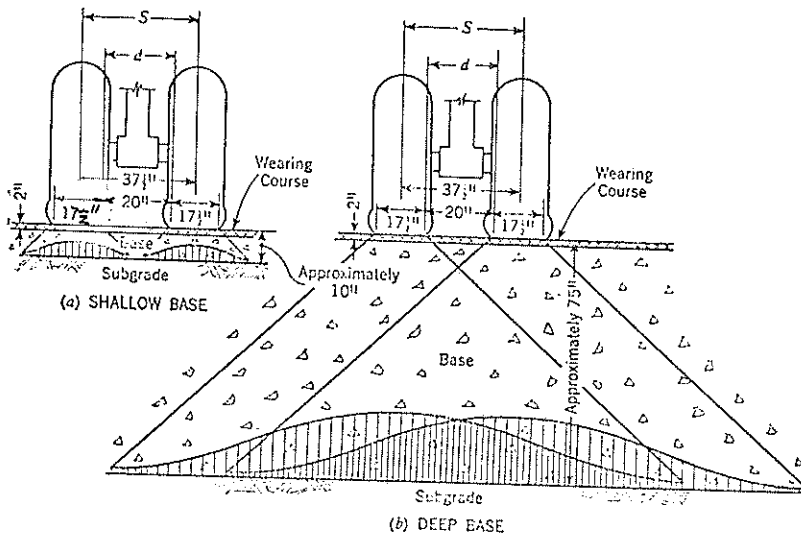


図-5 B-29複車輪の荷重伝達状況模式図 (C・B・R法)

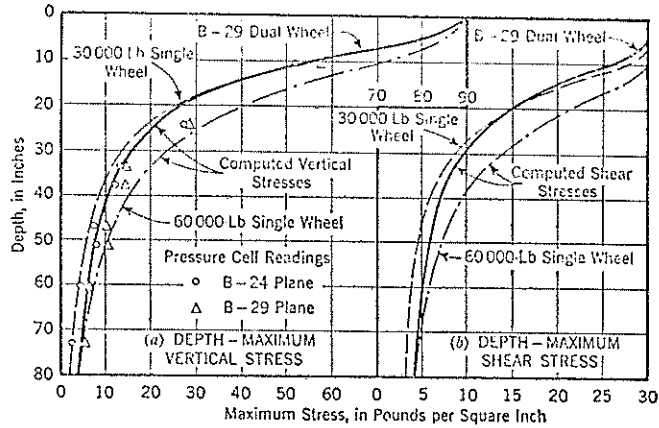


図-6 単車輪荷重と複車輪荷重による舗装内垂直応力と剪断応力 (C・B・R法)

WHEEL				ELLIPTICAL CONTACT SURFACE			
Type	Distance center to center (in.)	Plane	Load (lb)	Major axis (in.)	Minor axis (in.)	Area (sq in.)	Pressure (lb per sq in.)
Single.....	.....	B-24	30,000	27.12	15.73	335	89.55
Dual.....	37.0	B-29	30,000	27.12	15.73	670	89.55
Single.....	.....	.....	60,000	38.35	22.24	670	89.55

表-2 単車輪と複車輪の計算諸元 (C・B・R法)

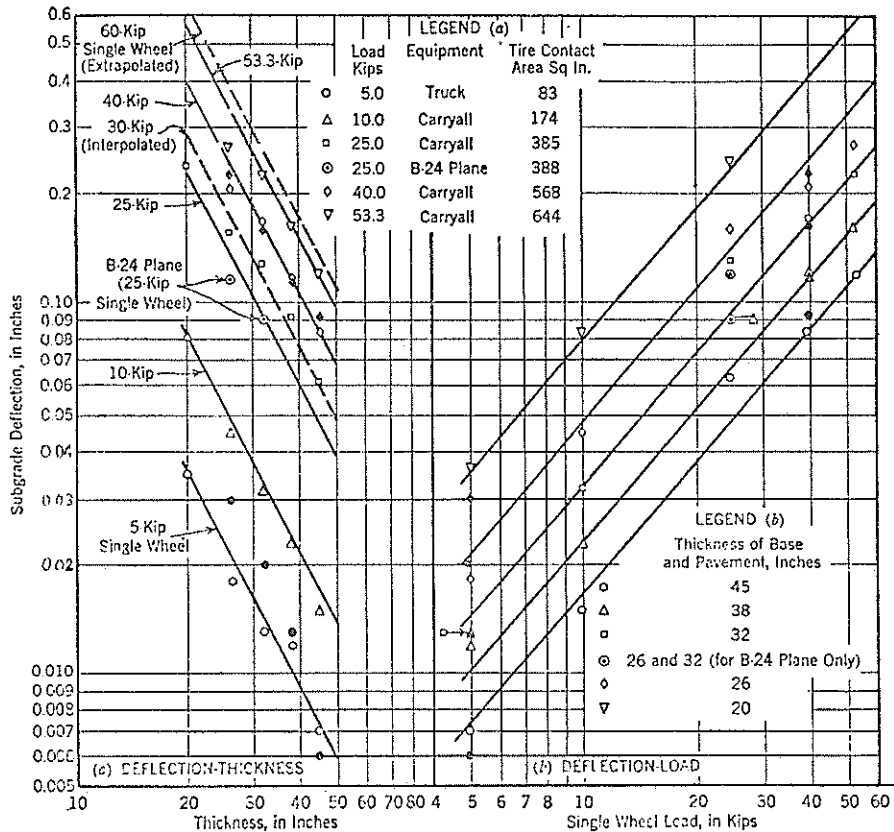


図-7 Stockton 試験滑走路による静止荷重と、路床面たわみとの関係 (C・B・R法)

先ず複車輪の荷重伝達が、舗装内でどのように行なわれるかを概略検討すると、図-5(12) のようになる。図-5(a)は、薄い舗装の場合で、路床面に伝達する荷重は、複車輪の各車輪が個々に作用するものと考えて良い。しかし(b)のように舗装が厚くなると、路床面では、複車輪の個々の輪荷重が合成されて、あたかも、ある大きさの単

車輪荷重が舗装面に加わっているのと同じようになる。

このような考察の下に、30,000Lbの単車輪荷重を有するB-24と、各車輪荷重30,000Lb、脚荷重60,000Lbの複車輪荷重を有するB-29および、60,000Lbの単車輪荷重の三者について、舗装内での垂直応力と剪断応力の試算をして、図-6(12)を得た。これらの車輪諸元を表-2(12)

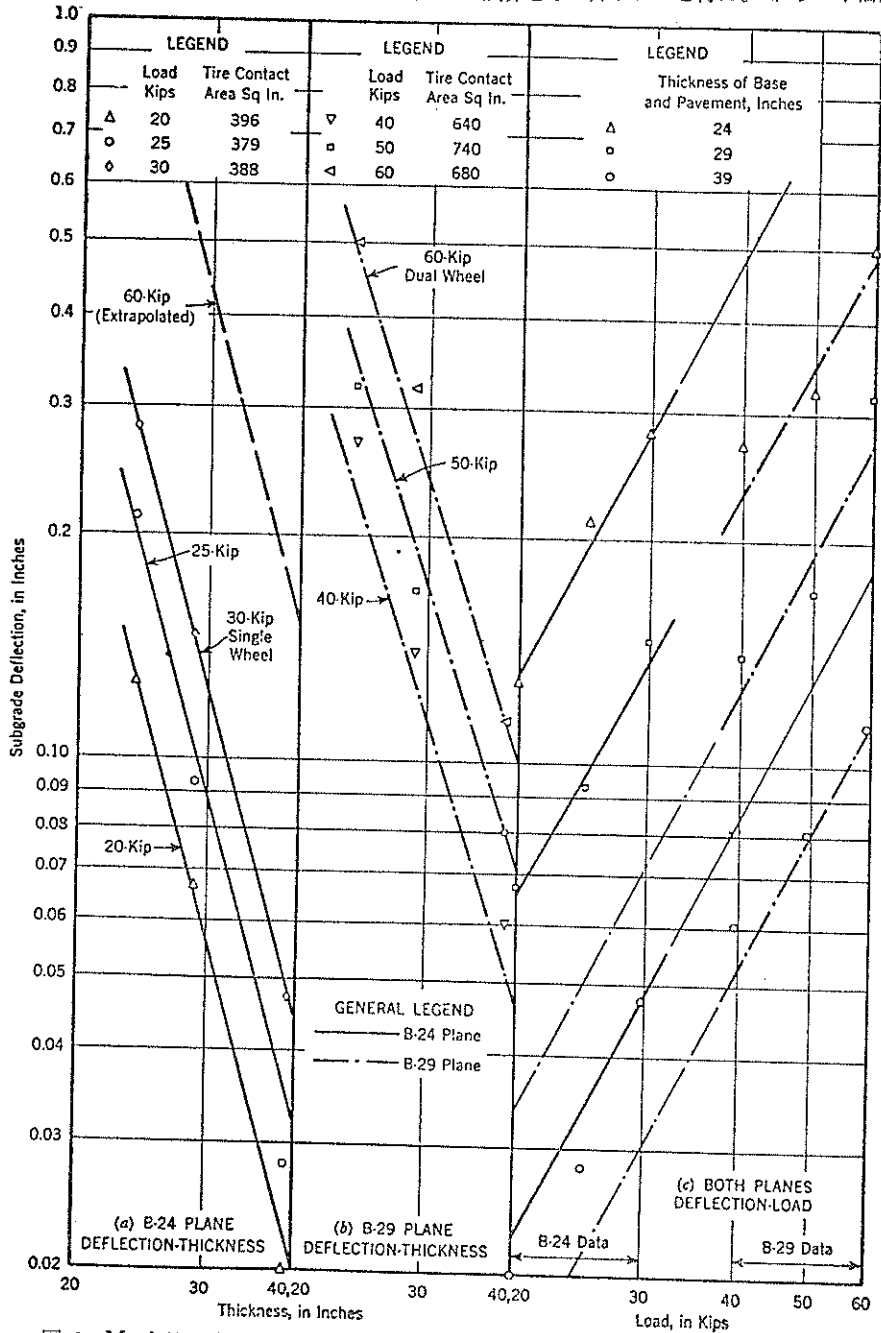


図-8 Marietta 試験滑走路による静止荷重と路床面たわみとの関係 (C·B·R法)

に示す。図中の太い実線がB-29、破線がB-24、一点鎖線が60,000Lb 単車輪の場合である。(a)図は、垂直応力分布を示し、(b)図は剪断応力分布を表わす。(a)図の中には、実測された垂直応力が、B-24で○印、B-29で△印をもって記入されている。図中の理論曲線は、参考文献¹³⁾による。これは一層系 Boussinesq 公式によって作成された応力の計算図表である。

さて、図-6を考察すると、浅い部分では、複車輪は各車輪が個々に単車輪として作用し、深くなると、複車輪の脚荷重と等しい単車輪荷重が作用するのと同じ状態

になっており、図-5での考察と一致する。

次に、参考文献⁷⁾での実物試験によって得られた、荷重と路床面のたわみとの関係を表わしたものが、図-7¹²⁾である。縦軸が路床面のたわみを、(a)図の横軸は舗装の厚さ、(b)図の横軸は単車輪荷重を示している。図中の各点印(○、△、□など)は、それぞれ(a)図では荷重の大きさ、(b)図では舗装の厚さを表わし、白印は、最初に作用された荷重での測定であり、黒印は477回の荷重走行の繰り返しがあつた後測定したものである。これによる①車輪の接地面積は、路床面のたわみにさして影響を

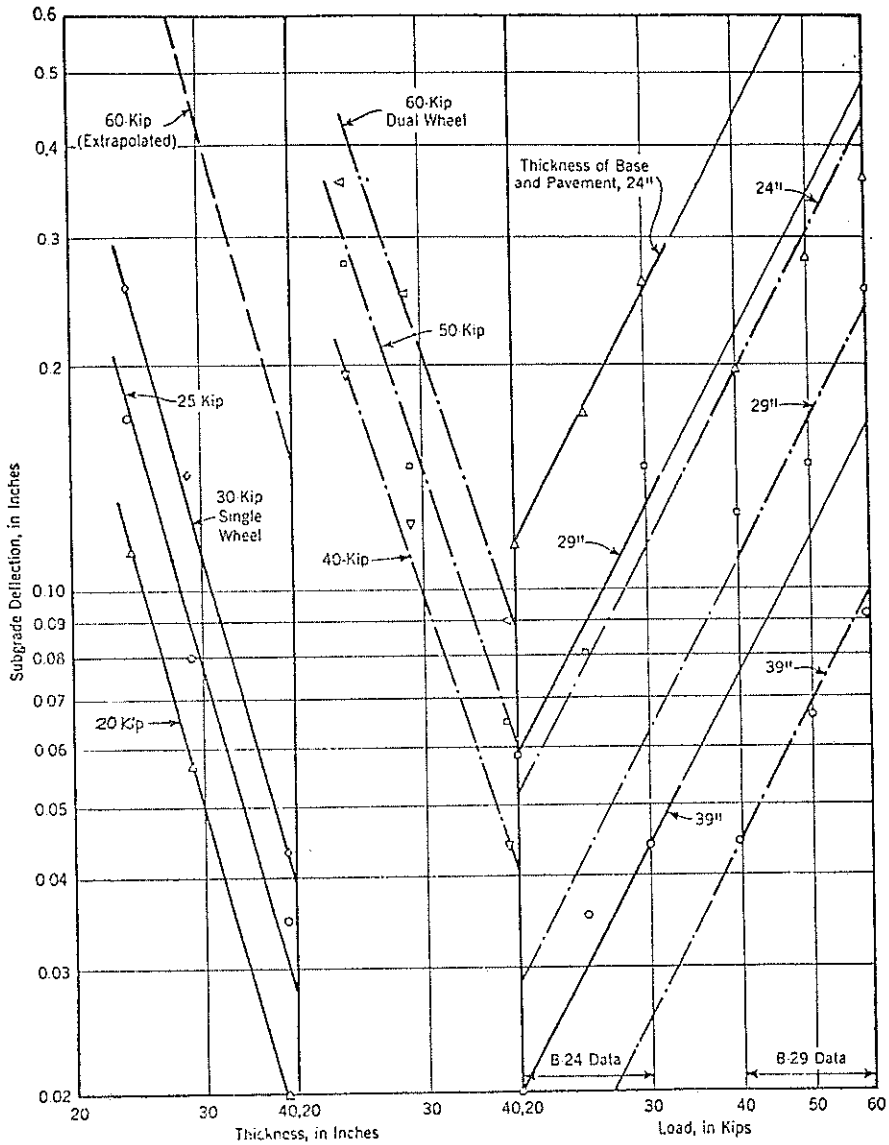


図-9 Marietta 試験滑走路による走行荷重と路床面たわみとの関係 (C・B・R法)

与えない。②路床面のたわみと舗装厚，路床面のたわみと車輪荷重の関係は，両対数上で直線となる。

同様に，参考文献⁹⁾での実物走行試験の結果が図-8(12) 図-9(12)のように整理された。図-8は静止荷重，図-9は走行荷重の結果である。この試験では，B-29の複車輪荷重も対象になり，図-7と併せて，60kpsの直線を図中に描くことが出来るようになった。

以上の考察をまとめたのが図-10(12)である。(a)図が走行荷重，(b)図が静止荷重であるが，ほとんど大差はない。この図によって，図-5，図-6における考察が明確に

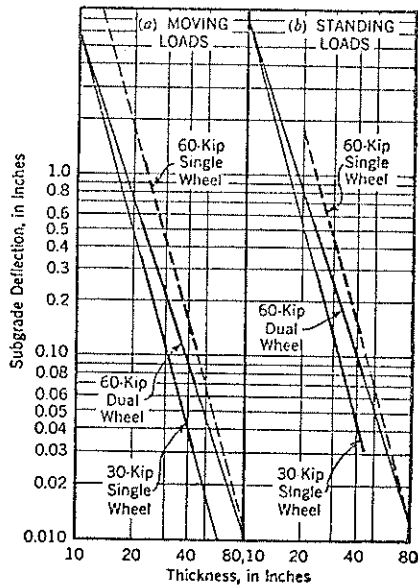


図-10 単車輪と複車輪における路床面たわみと舗装厚の関係 (C・B・R法)

数量化された。すなわち，60kipsの単車輪荷重と，60kipsの脚荷重をもつ複車輪荷重に対する路床面変位直線は，深さ75inで一致する。また，30kipsの単車輪荷重と，60kips脚荷重をもつ複車輪荷重のたわみ直線は，10inの深さで一致する。

さて，路床面たわみ量の一致する点75inと10inは，図-5において，それぞれ車輪中心間隔の2倍(2s)，および車輪純間隔の半分($\frac{d}{2}$)である。従って，複車輪の場合は，両対数上(車輪荷重と舗装厚)において，2P，2Sと $P, \frac{d}{2}$ 点(P:1輪荷重)を結ぶことにより，単車輪荷重に換算することが可能となったわけである。この方法と，従来の設計曲線とから，図-11(12)が作られた。図中点線の左端が $P, \frac{d}{2}$ 点，右端が2P，2S点である。また，上に述べたdは車輪の最小間隔，Sは最大間隔を表わすものであるから，複々車輪(Dual Tandem Wheel)の場合は，sは，前後の車輪の中心軸の対角線

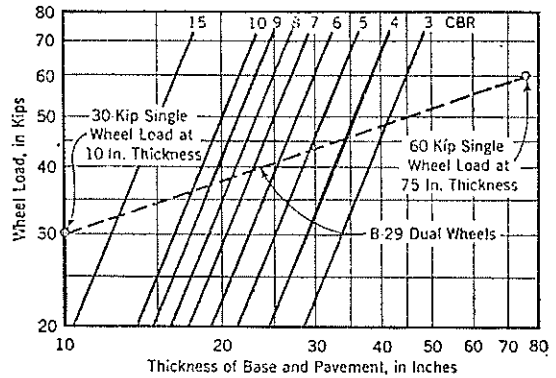


図-11 B-29複車輪に対する設計曲線 (C・B・R法)

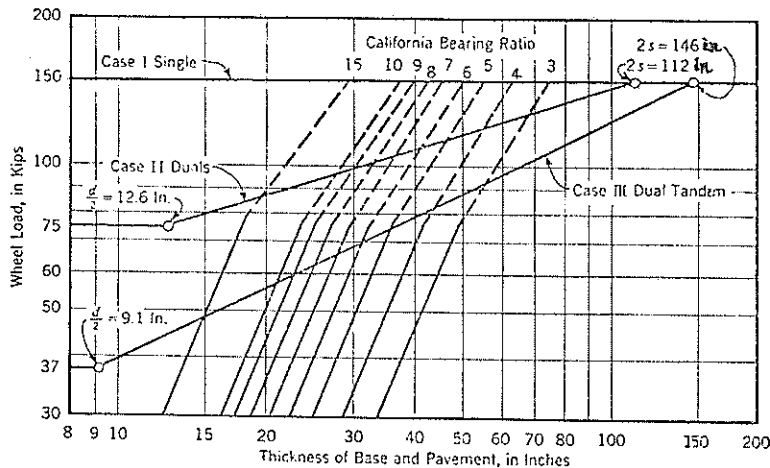
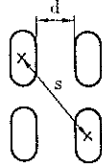


図-12 多車輪荷重に対する設計曲線 (C・B・R法)

の距離をとれば良い。これらの一例を図-12(2)に示す。図中のC・B・R曲線の点線部は、参考文献(14)にある150 kipsの設計曲線を使用して、実線の設計曲線を延長したものである。例えば40inの舗装厚の上にCase IIIに示す複々車輪がのっている場合、図より、この複々車輪は、78kipsの単車輪荷重に換算できる。

註) 複々車輪荷重



かくして、図解法とは言え、多車輪荷重の場合も簡単にこれを単車輪荷重に変換できることになった。そしてこのようにして換算した単車輪荷重によって、従来の単車輪用設計曲線の使用が可能となった。

2-6 C・B・R設計曲線の数式化の試みと¹⁵⁾ 繰り返し走行回数に対する検討¹⁶⁾

弾性論では、ある一定の接地圧の下においては、荷重の異なる円形等分布荷重によって生ずる、弾性体内の垂直応力が、両者共等しくなるような深さ z は、相似である。すなわち円形等分布荷重の半径を a とすれば

$$\frac{z_1}{a_1} = \frac{z_2}{a_2} = \frac{z_n}{a_n} = C(\text{一定}) \dots \dots \dots (2-6-1)$$

すなわち(2-6-1)式は同じ垂直応力を与える深さを表わし、換言すれば、その深さで必要とされるC・B・Rが等しくて良いことを表わしている。

(2-6-1)式は、接地圧 P を用いることにより次のよう

に変形される。

$$z = a \cdot c = \frac{c}{\pi P} \sqrt{P} = k \sqrt{P} \dots \dots (2-6-2)$$

P : 輪荷重 $=a^2\pi P$

したがって、従来の設計曲線から k の値を求めれば、その接地圧の下では、任意の輪荷重での設計曲線が求まるわけである。このようにして、参考文献(14)にのっている、5kipsから150kipsまでの輪荷重に対する設計曲線より、C・B・Rと k の関係を求めたのが表-3¹⁵⁾である。表中の200kipsの値は、1948年に行なわれたStockton No. 2 試験滑走路の走行試験結果より導かれたものである。表の右欄は各輪荷重に対する平均の k 値を示す。この k 値を用いて、式(2-6-2)より、設計曲線を描くと図-13¹⁵⁾のようになる。実線が当時のC・B・R設計曲線、破線が試験滑走路で求められた200kips輪荷重の設計曲線、点線が(2-6-2)による理論曲線である。さらに、この k 値の妥当性を評価するために、それまでに行なわれた各種走行試験の結果の舗装挙動と k 値とを比較したのが図-14¹⁵⁾である。図中の実線は表-3で求めた平均 k 値である。○、□印は、走行試験において破壊しなかった舗装、●、■印は路床の剪断破壊を起したものの、△印は、明確に分かった必要最小厚、×印は余り信用できない資料である。これによっても分かるように、式(2-6-2)と平均 k 値は妥当なものである。

一方、舗装厚は、輪荷重の大きさのみによって支配されるものではなく、同一点の繰り返し走行回数(以下カバレッジ(Coverage)と呼ぶ)によっても左右されることは明らかである。そこでC・Eでは、1950年に、それまでに行なわれた走行試験の資料を整理し、表-4を得た。表の(4)欄は試験舗装厚、(5)欄は破壊を起したカバレ

California bearing ratio	5 Kips		15 Kips		40 Kips		70 Kips		150 Kips		200 Kips		Average K
	z	K	z	K	z	K	z	K	z	K	z	K	
3	14.0	0.198	25.0	0.204	37.5	0.188	49.6	0.187	75.0	0.194	89.5	0.209	0.195
4	12.2	0.173	21.4	0.175	31.7	0.159	40.7	0.154	64.0	0.185	75.5	0.189	0.166
5	11.0	0.156	18.8	0.154	27.7	0.139	36.0	0.136	56.5	0.149	66.5	0.149	0.147
6	9.9	0.140	16.9	0.138	24.9	0.125	32.2	0.122	50.7	0.131	60.0	0.131	0.132
7	9.2	0.130	15.4	0.126	22.6	0.113	29.3	0.111	46.0	0.119	51.5	0.122	0.120
8	8.5	0.120	14.1	0.115	20.7	0.104	26.9	0.102	42.5	0.110	50.5	0.113	0.111
9	8.0	0.113	13.0	0.1016	19.2	0.096	25.0	0.094	39.8	0.103	47.0	0.105	0.103
10	7.5	0.106	12.1	0.099	17.9	0.090	23.3	0.088	37.3	0.096	44.4	0.099	0.096
15	5.4	0.076	8.9	0.073	16.4	0.067	17.9	0.068	29.0	0.075	35.0	0.078	0.073
20	.....	.....	6.7	0.055	10.6	0.053	14.7	0.056	25.0	0.065	28.8	0.061	0.059
30	.....	.....	.....	.....	6.9	0.035	10.5	0.040	19.5	0.050	20.9	0.047	0.043
40	.....	.....	.....	.....	4.4	0.022	7.6	0.029	16.5	0.043	16.3	0.036	0.033
50	.....	.....	.....	.....	.....	.....	5.6	0.021	14.0	0.036	13.3	0.030	0.029
60	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	12.5	0.032	11.2	0.025	0.020
70	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	9.5	0.021	0.021
80	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	8.3	0.019	0.019
90	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	7.4	0.017	0.017
100	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	6.5	0.015	0.015

表-3 C・B・RとK値との関係(C・B・R法)

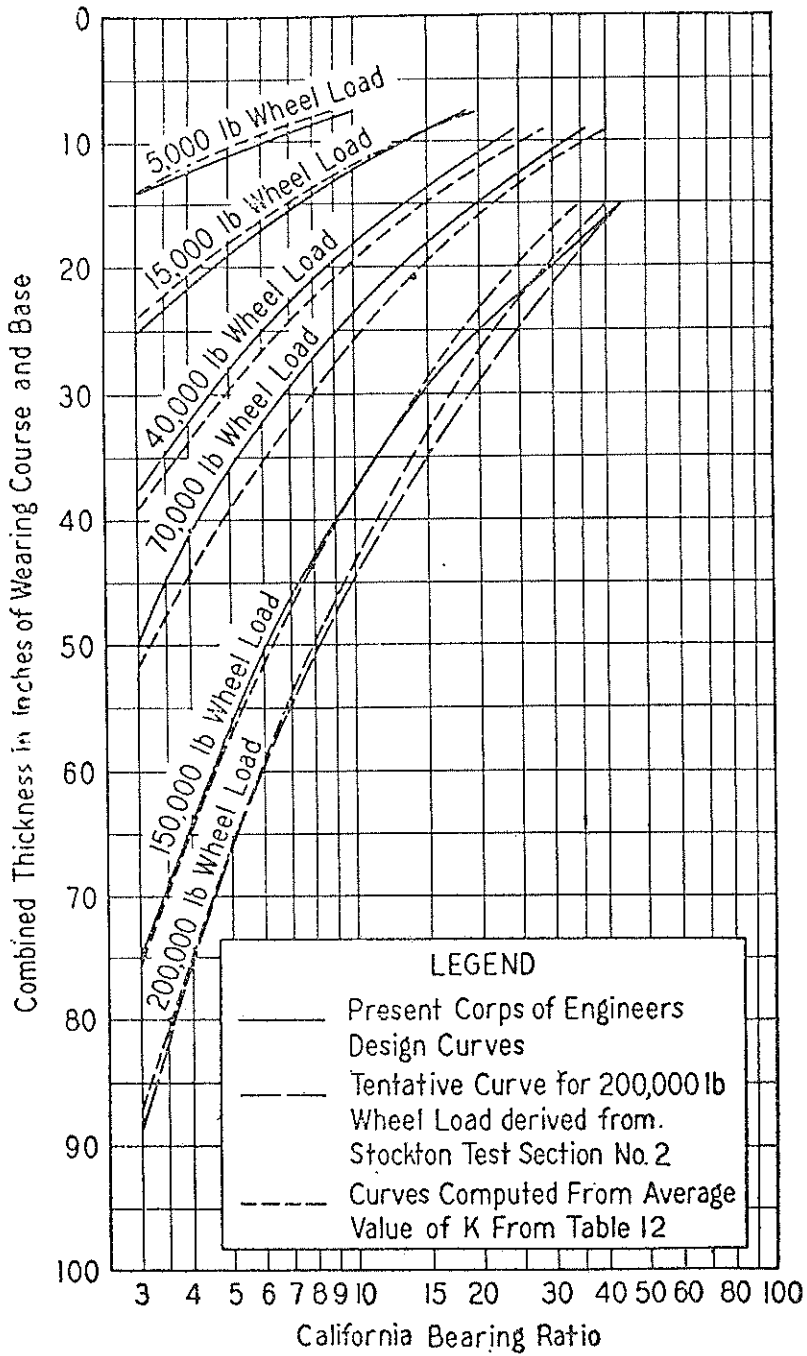


図-13 理論式による設計曲線の検討 (C B · R · 法)

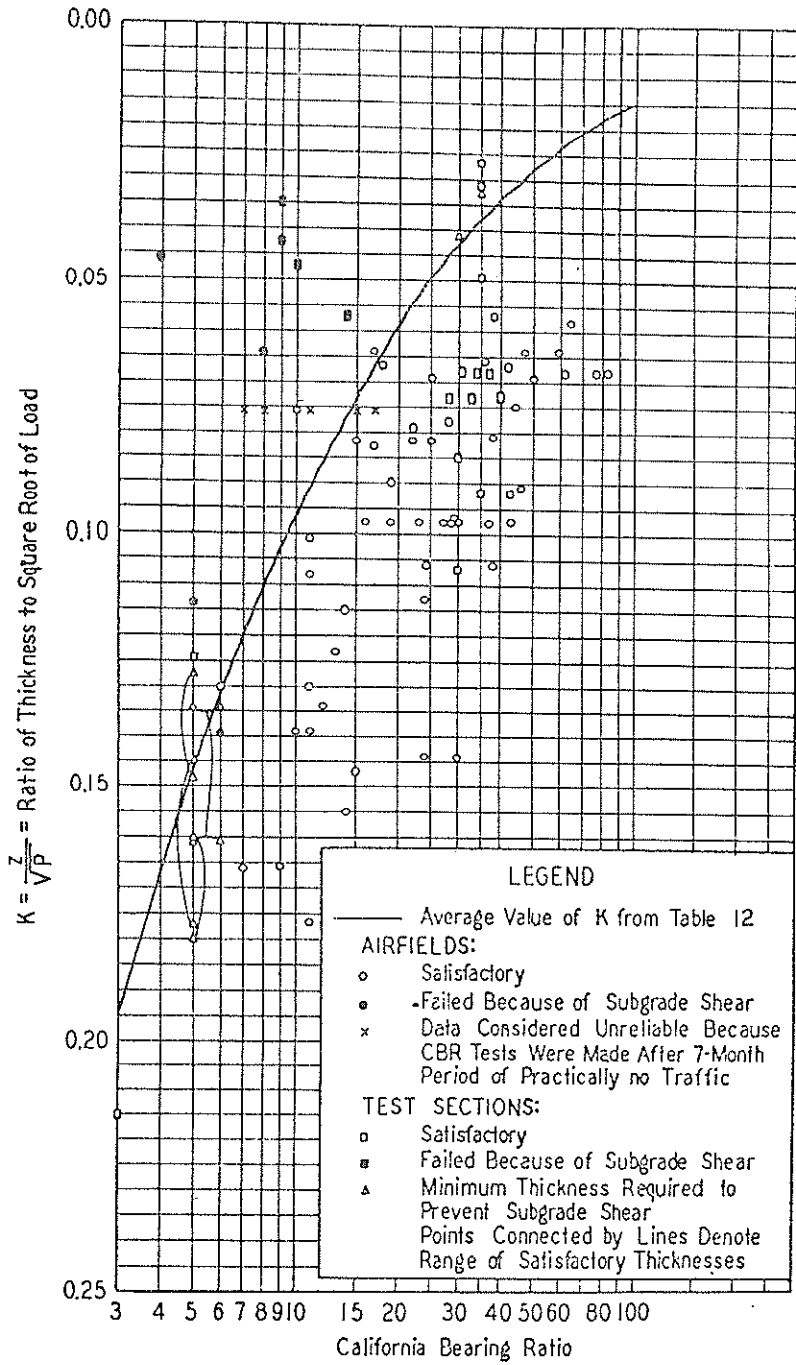


図-14 平均K値の妥当性の評価 (C・B・R法)

Line	Identification	Wheel load (lb)	Thickness (in.)	Coverages to produce failure	California bearing ratio	Design thickness (in.)	Percentage of design
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
(a) STOCKTON (CALIF.) SITE No. 1							
1	.....	25,000	12	200	5	23.5	51
2	.....		14.5	300	5	23.5	62
3	.....		18	500	5	23.5	77
4	.....		22	1,000	5	23.5	94
5	.....		24.5	2,000	5	23.5	104
6	.....	40,000	25	3,000	5	23.5	106
7	.....		20	200	5	28.5	70
8	.....		26.5	500	5	28.5	93
9	.....		31	1,000	5	28.5	109
10	.....		36	2,000	5	28.5	125
11	.....		38	3,000	5	28.5	133
(b) STOCKTON (CALIF.) SITE No. 2							
12	Item 1	200,000	39	150	6	60	65
13	Item 2a		44	1,700	9	48	92
14	Item 2b		46.5	2,000	10	45	103
15	Item 5a		18	10	14	37	49
16	Item 5b		20.5	60	16	34	60
17	Item 6		24.5	300	13	40	61
18	Item 7		30	1,500	13	40	75
19	Item 8		34	1,140	17	33	103
20	Item B		30	1,300	8	50	78
(c) BARKSDALE FIELD, LA.							
21	Item 5	20,000	10.5	250	5	21.5	48
22			13	500	5	21.5	60
23			15.5	1,000	5	21.5	73
24			17.5	3,000	5	21.5	81
25			18	5,000	5	21.5	84
26		50,000	17.5	200	5.5	29	61
27			20.5	500	5.5	29	71
28			24	1,000	5.5	29	82
29			26	3,000	5.5	29	90
30			26.5	5,000	5.5	29	92
(d) TEST SECTION: WATERWAYS EXPERIMENT STATION, VICKSBURG, MISS.							
31	Item 1	37,000	13	400	10	17.5	74
32	Item 302		11	100	14	14	78
33	Item 4*		13	About 400	13	15	87
34	Item 4*		16	Prior to 400	5	27	59
35	Item 49 ^c		16	About 350	4	31	52
36	Item 60 ^d		16	Prior to 260	2	45	36
(e) AIRFIELD AT MINDEN, NEV.							
37	NE-SW	25,000	18	385	5	23.5	77
(f) BENSFROM FIELD, AUSTIN, TEX.							
38	NW-SE*	15,000	17	358	6	17	100
(g) AIRFIELD AT BIRMINGHAM, ALA.							
39	NE-SW	23,000	7	194	4	26	27
* 1A-2-1, lane b. † 1A-2-1, lane c. ‡ 2A-2-1, lane c. § 3A-2-3, lane c. • Pit 3.							

表-4 繰り返し走行回数(カバレッジ)と舗装の破壊一覧表(C・B・R法)

ージ, (6)欄は路床のC・B・R, (7)欄は設計厚, (8)欄は, 設計厚と試験舗装厚との比を表わしている。この資料はさらに図-15(16)のようにとりまとめられた。以上の資料を4ヶ所の研究所で独立に検討した結果, カバレッジと舗装厚の関係を図中の実線で示すのが好ましいという点で一致した。横軸はカバレッジ, 縦軸は設計舗装厚の増減率を百分率で表わしている。また図の枠外下の各航空機の運航回数は, 左の行よりそれぞれ, 10, 1000, 2000のカバレッジをもたらす離発着回数である。なお図-15を見ても分かるように, C・B・R設計曲線は, カバレッジ5,000回に相当するものである。

2-7 C・R・B設計曲線の基本形(16)

以上述べて来たような調査, 研究を経て, 1950年に, タイヤ圧 100psi と, 200psi の単車輪荷重に対するC・B・R設計曲線が完成した。これを図-16(16), 図-17(16)に示す。図-16は, 暫定設計曲線に非常に近いが, 2-4の検討の結果(低C・B・Rの下では, 50kips, 60kipsの舗装厚を若干増す)も入れて, C・B・R <15の範囲内は2-6に述べた理論を使用して作成した設計曲線である。そして, これらの計算値はタイヤ圧 100psi に相当するものと考えられた。C・B・R >15では, 理論はあてはま

らなくなるので, 従来の経験的曲線を使用している。次に, 路床面上における剪断応力が, タイヤ圧 100psi の場合も 200psi の場合も等しいと仮定して, タイヤ圧 200psi の設計曲線を作成した。これが図-17である。しかしこれはC・B・R <15の範囲に限られており, C・B・R >15では, それまでに行なわれた高压タイヤ走行試験の結果を尊重して設計曲線を描いた。

これらの設計曲線は, 誘導路, エプロン, 滑走路の両端部などの舗装厚設計に適用し得るが, 滑走路の中心部では, 舗装厚を10%減じてても良いことになっている。

2-8 C・B・R設計曲線の完全数式化(17)とその検討(18)

2-6に述べたC・B・R曲線の理論式は, 輪荷重は変化させることができても, ある一定の接地圧で下でしか成立しない。しかし実際はタイヤ圧も変化する。そこで次のような手続きを経て, 1957年に, C・B・R設計曲線の完全数式化に成功した。

2-6で述べたように

$$h_t = k \sqrt{P} \dots\dots\dots (2-8-1)$$

- h_t : 舗装厚
- k : 一定値
- P : 輪荷重

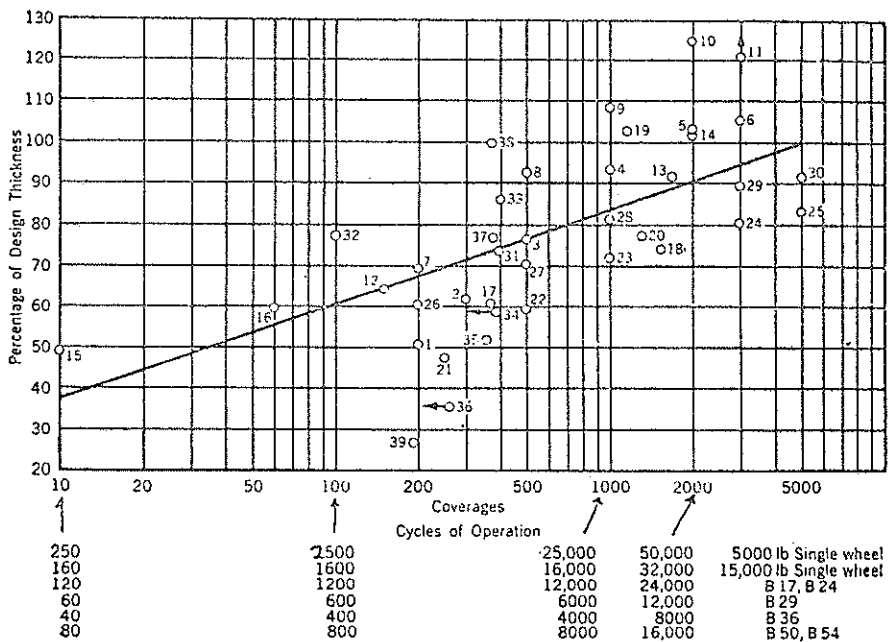


図-15 カバレッジと舗装厚 (C・B・R法)

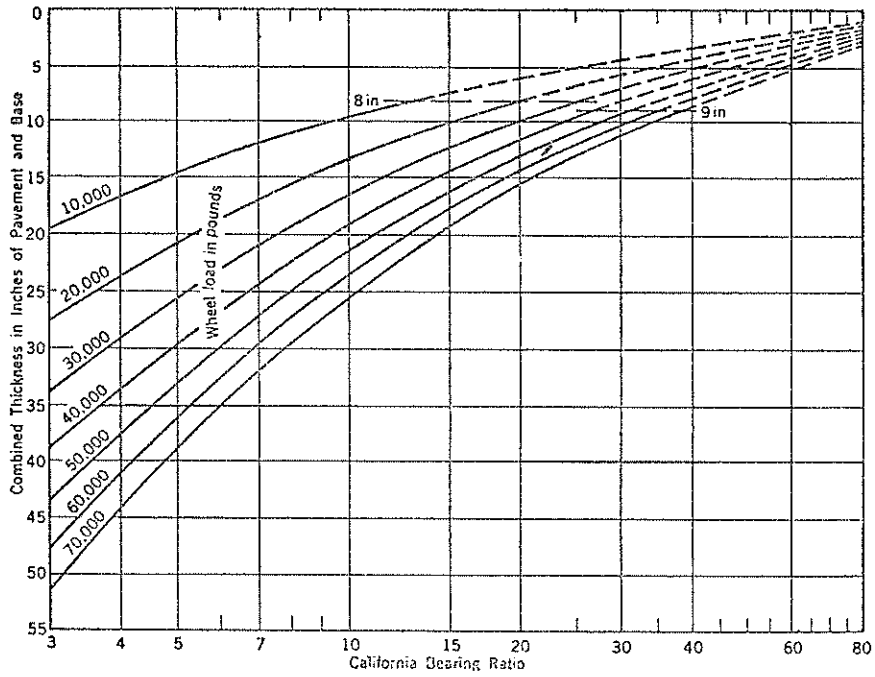


図-16 タイア圧 100psi のC・B・R設計曲線 (C・B・R法)

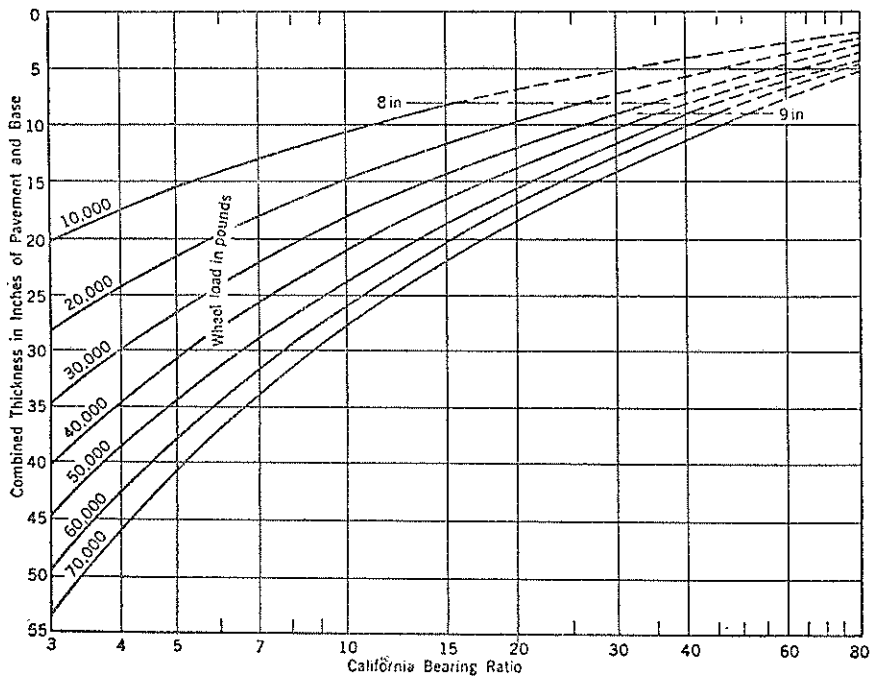


図-17 タイア圧 200psi のC・B・R設計曲線 (C・B・R法)

一方、円形等分布荷重の加わる弾性体の中でのたわみは(2-8-2)式で表わすことができる。

$$\rho = 1.5 \frac{p}{E} \times \frac{a^2}{\sqrt{a^2 + h_c^2}} \dots\dots\dots(2-8-2)$$

- ρ : たわみ
- E : 弾性係数
- p : 等分布荷重強度 (接地圧)
- a : 円の半径
- h_c : 深さ (舗装厚)

これは次のように変形される。

$$a^2 + h_c^2 = \left(\frac{1.5 \times P}{\rho \pi E} \right)^2 \dots\dots\dots(2-8-3)$$

(2-8-3)式において、輪荷重 P 、たわみ ρ を、一定とすれば

$$a^2 + h_c^2 = c' = \text{一定} \dots\dots\dots(2-8-4)$$

(2-8-1)式が荷重強度不変、輪荷重可変なのに対し、(2-8-4)式は、荷重強度可変、輪荷重不変の条件である。したがって、(2-8-1)式と(2-8-4)式を組み合わせることによって、 $C \cdot B \cdot R$ 公式が成立する。

さて(2-8-1)式において、荷重強度が一定で、輪荷重を P_a から P_b まで変化させると

$$\frac{h_{ta}}{(P_a)^{\frac{1}{2}}} = k = \frac{h_{tb}}{(P_b)^{\frac{1}{2}}} \text{であるから}$$

$$\frac{h_{tb}}{h_{ta}} = \left(\frac{P_b}{P_a} \right)^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots(2-8-5)$$

ただし $p_a = p_b$

次に、(2-8-4)式を用いて $P_b = P_c$ のまま p_b を p_c

まで変化させると

$$a_b^2 + h_{tc}^2 = c' = a_c^2 + h_{tc}^2$$

$$h_{tc} = \left(h_{tb}^2 + a_b^2 - a_c^2 \right)^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots(2-8-6)$$

(2-8-5)と(2-8-6)から

$$h_{tc}^2 = h_{ta}^2 \frac{P_b}{P_a} + a_b^2 - a_c^2 \dots\dots\dots(2-8-7)$$

$$h_{tc}^2 = h_{ta}^2 \frac{P_b}{P_a} + \frac{\pi p_a a_b b^2}{\pi p_b} - \frac{\pi p_c a_c^2}{\pi p_c}$$

$\pi \cdot p \cdot a^2 = P$ であるから

$$h_{tc}^2 = h_{ta}^2 \frac{P_b}{P_a} + \frac{P_b}{\pi p_b} - \frac{P_c}{\pi p_c}$$

一方 $p_a = p_b$, $P_b = P_c$ であるから

$$h_{tc}^2 = h_{ta}^2 \frac{P_c}{P_a} + \frac{P_c}{\pi} \left(\frac{1}{p_a} - \frac{1}{p_c} \right)$$

$$\frac{h_{ta}^2}{P_a} + \frac{1}{P_a \pi} = \frac{h_{tc}^2}{P_c} + \frac{1}{P_c \pi}$$

すなわち $p \approx \text{Const}$, $P \approx \text{Const}$ の一般的条件の下では次式が成立する。

$$\frac{h_t^2}{P} + \frac{1}{p\pi} = D = \text{一定} \dots\dots\dots(2-8-8)$$

(2-8-1)を(2-8-8)に代入すれば

$$D = k^2 + \frac{1}{p\pi} \dots\dots\dots(2-8-9)$$

$p = 100 \text{psi}$ における k は、すでに表-3で計算されている。

新しく、設計曲線を用いて、 k と D の値を計算すれば表-5¹⁷⁾のようになる。

そして $D \times C \cdot B \cdot R$ の値はほぼ一定値となり

CBR	Values of K		Values of K ²		Values of D = K ² + $\frac{1}{p\pi}$		Values of D × CBR	
	For 100-lb./sq. in. CBR curves	For 200-lb./sq. in. CBR curves	For 100-lb./sq. in. CBR curves	For 200-lb./sq. in. CBR curves	For 100-lb./sq. in. CBR curves	For 200-lb./sq. in. CBR curves	For 100-lb./sq. in. CBR curves	For 200-lb./sq. in. CBR curves
3	0.195	0.199	0.03803	0.03961	0.04121	0.04120	0.124	0.124
4	0.166	0.171	0.02755	0.02923	0.03073	0.03082	0.123	0.123
5	0.147	0.152	0.02161	0.02311	0.02479	0.02470	0.124	0.124
6	0.132	0.138	0.01742	0.01905	0.02060	0.02064	0.124	0.124
7	0.120	0.126	0.01440	0.01588	0.01758	0.01747	0.123	0.122
8	0.111	0.118	0.01232	0.01392	0.01550	0.01551	0.124	0.124
9	0.103	0.110	0.01060	0.01210	0.01378	0.01369	0.124	0.123
10	0.096	0.104	0.00921	0.01081	0.01239	0.01239	0.124	0.124
12	0.085	0.093	0.00723	0.00865	0.01041	0.01024	0.125	0.123
15	0.073	0.082	0.00533	0.00672	0.00851	0.00831	0.128	0.124
17	0.067	0.075	0.00449	0.00563	0.00767	0.00722	0.130	0.123
20	0.059	0.068	0.00348	0.00462	0.00666	0.00621	0.133	0.124

表-5 C・B・RとD値との関係(C・B・R法)

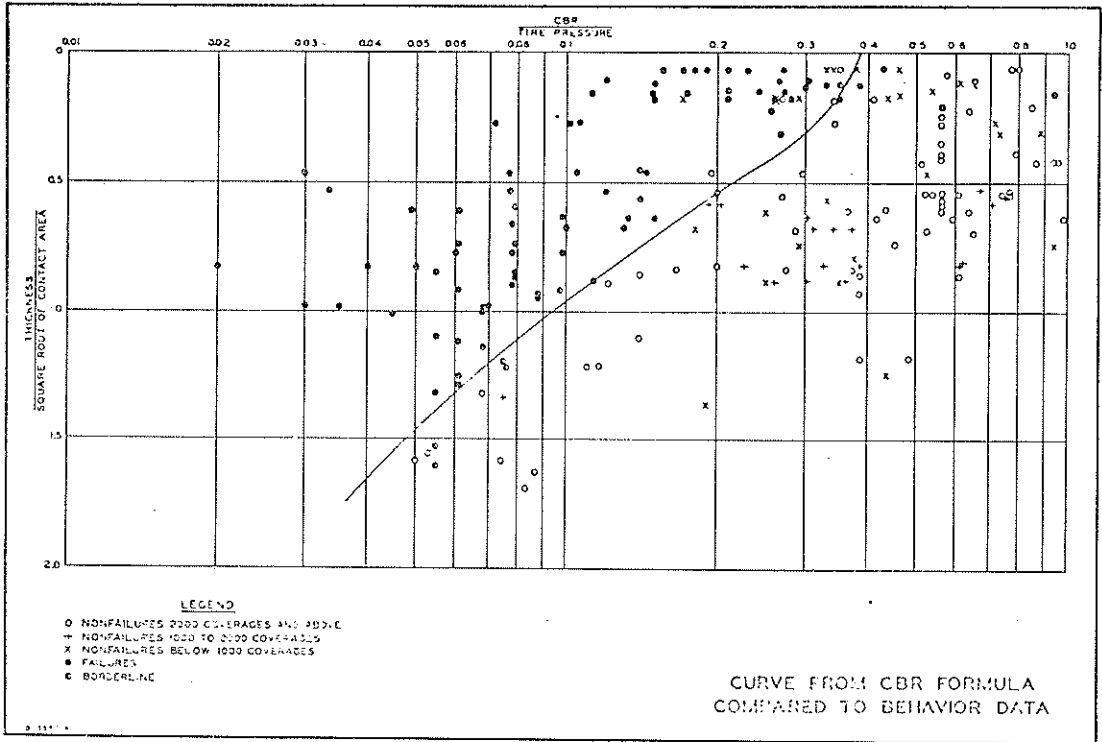


図-18 C・B・R公式と舗装の破壊比較図（C・B・R法）

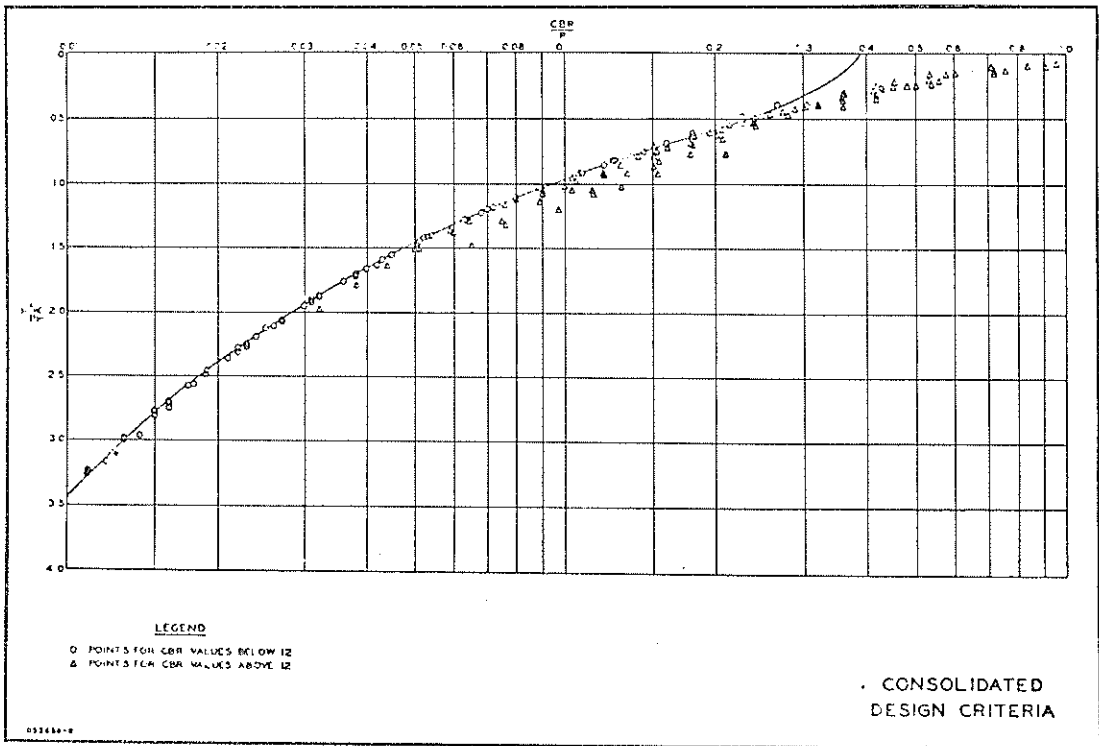


図-19 C・B・R公式と舗装厚設計曲線の比較図（C・B・R法）

Source of Data	Wheel Assembly	Contact Pressure or Inflation Pressure psi (p)	Contact Area Sq in. (A)	Equivalent Single Wheel Load kip (P)	Coverages	CR	Thickness in.	CR/p	t/√A	Behavior
Design of Upper Base Courses for High-pressure tires; Report No. 1, Base Course Requirements as Related to Contact Pressures, TM 3-373	Twin, 37 in. c-c	100	267	33.8	2,000	102	1	0.80	0.061	Satisfactory
				33.8	2,000	98	1	0.77	0.061	Satisfactory
				33.8	2,000	55	1	0.43	0.061	Failure
				51.2	40	73	1	0.35	0.061	Satisfactory
				51.2	40	65	1	0.34	0.061	Satisfactory
				51.2	40	51	1	0.27	0.061	Failure
		51.2	40	35	1	0.18	0.061	Failure		
		51.4	40	55	3	0.29	0.184	Satisfactory		
		51.4	40	41	3	0.22	0.184	Failure		
		51.4	40	33	3	0.17	0.184	Failure		
		51.2	800	89	1	0.46	0.061	Satisfactory		
		51.2	800	66	1	0.34	0.061	Failure		
	51.2	800	40	1	0.23	0.061	Failure			
	51.4	800	50	3	0.26	0.184	Satisfactory			
	51.4	2,000	79	3	0.41	0.184	Satisfactory			
	51.4	2,000	53	3	0.28	0.184	Failure			
	224	267	67.6	267	40	58	1	0.23	0.061	Failure
					40	49	1	0.19	0.061	Failure
					40	44	1	0.17	0.061	Failure
					40	41	1	0.16	0.061	Failure
					40	112	3	0.44	0.184	Satisfactory
					40	66	3	0.26	0.184	Failure
			40	38	3	0.15	0.184	Failure		
			800	83	1	0.23	0.061	Satisfactory		
2,000			68	1	0.35	0.061	Satisfactory			
2,000			40	1	0.16	0.061	Failure			
2,000			88	3	0.25	0.184	Failure			
2,000			85	3	0.34	0.184	Satisfactory			
2,000	68	3	0.27	0.184	Satisfactory					
Investigation of the Design and Control of Asphalt Paving Mixtures, TM 3-254	Single	54	278	15	3,500	20	9	0.52	0.54	Satisfactory
	Single	99	374	37	1,500	31	13	0.31	0.673	Satisfactory
	Twin, 37 in. c-c	118	329	38.7	1,500	35	16	0.20	0.88	Satisfactory
	Single	54	278	15	3,500	40	9	0.74	0.54	Satisfactory
	Single	99	374	37	1,500	34	13	0.34	0.673	Satisfactory
	Twin, 37 in. c-c	118	329	38.7	1,500	43	16	0.26	0.88	Satisfactory
	Single	54	278	15	3,500	33	9	0.61	0.54	Satisfactory
	Single	99	374	37	1,500	37	13	0.37	0.673	Satisfactory
	Twin, 37 in. c-c	118	329	38.7	1,500	31	16	0.26	0.80	Satisfactory
	Service Behavior Test Section, Barksdale Field, Louisiana	Single	54	278	15	3,500	29	9	0.54	0.54	Satisfactory
Twin, 37 in. c-c		118	329	38.7	666	41	16	0.35	0.88	Satisfactory
Twin, 37 in. c-c		118	329	38.7	666	30	16	0.25	0.88	Satisfactory
Single		99	374	37	100	33	11	0.33	0.569	Satisfactory
Single		99	374	37	100	24	11	0.14	0.569	Failure
Twin, 37 in. c-c		110	329	36.3	100	27	11	0.25	0.61	Satisfactory
Twin, 37 in. c-c		110	329	36.3	100	13	2	0.12	0.11	Failure
Single		99	374	37	400	10	13	0.18	0.673	Satisfactory
Single		99	374	37	400	10	13	0.10	0.673	Failure
Single		99	374	37	400	13	13	0.13	0.673	Failure
Single		99	374	37	400	5	16	0.05	0.828	Failure
Single		99	374	37	350	4	16	0.04	0.828	Failure
Single		99	374	37	250	2	16	0.02	0.828	Failure
Service Behavior Test Section, Barksdale Field, Louisiana		Single	63.6	314	20	250	5	10.5	0.079	0.59	Failure
	63.5	315	20	500	5	13	0.079	0.71	Failure	
	63.5	315	20	1,000	5	15.5	0.079	0.97	Failure	
	56.6	353	20	3,000	5	17.5	0.083	0.93	Failure	
	56.6	353	20	5,000	5	18	0.083	0.95	Failure	
	70.7	707	50	200	5.5	17.5	0.078	0.66	Failure	
	70.7	707	50	500	5.5	20.5	0.078	0.77	Failure	
	70.7	707	50	1,000	5.5	24	0.078	0.90	Failure	
	80.4	622	90	3,000	5.5	26	0.063	0.98	Failure	
	80.4	622	50	5,000	5.5	26.5	0.063	1.00	Failure	
Investigation of Effects of Traffic with High-pressure Tires on Asphalt Pavements, TM 3-312	Single	200	150	30	216	14	12	0.07	0.98	Failure
	200	150	30	178	7	12	0.035	0.98	Failure	
	200	150	30	178	7	12	0.035	0.98	Failure	
	200	150	30	203	6	12	0.03	0.95	Failure	
	Twin tandem, 31x63 in. c-c	200	150	36	32	36	1.5	0.150	0.122	Failure
	200	150	36	542	65	2	0.271	0.163	Failure	
	200	150	43.2	2,001	35	11	0.122	0.697	Satisfactory	
Design of Flexible Air-field Pavements for Multiple-wheel Landing Gear Assemblies; Report No. 1, Test Section with Lean Clay Subgrade, TM 3-349	Twin, 37 in. c-c	91	330	42.9	2,000	35	10	0.27	0.55	Satisfactory
	91	330	45.6	2,000	25	15	0.20	0.62	Satisfactory	
	91	330	48.6	2,000	20	20	0.24	1.10	Satisfactory	
	Twin tandem, 31x63 in. c-c	140	267	63.5	2,300	34	14	0.24	0.86	Satisfactory
	140	267	71.3	2,000	29	20	0.11	1.22	Satisfactory	
	140	267	77.5	2,000	22	26	0.074	1.59	Satisfactory	
	187	267	84.6	610	25	14	0.079	0.56	Failure	
	187	267	95.0	2,670	27	20	0.076	1.22	Failure	
	187	267	106.0	2,670	20	26	0.050	1.59	Satisfactory	
	187	267	109.5	328	11	10	0.049	0.61	Failure	
	187	267	63.5	2,000	21	15	0.077	0.56	Failure	
	187	267	68.0	2,000	30	20	0.117	1.22	Satisfactory	

表-6 実物走行試験と舗装の破壊状況一覧表① (C・B・R法)

Source of Data	Wheel Assembly	Contact Pressure or Inflation Pressure psi (p)	Contact Area sq in. (A)	Equivalent Single Wheel Load kip (P)	Coverages	CBR	Thickness in.	CBR/p	t/√A	Behavior
Report on Stockton Runway Test Section, Sept 1942	Single	65	385	25	200	4	12	0.061	0.61	Failure
		65	385	25	300	4	14.5	0.061	0.74	Failure
		65	385	25	500	4	18	0.061	0.92	Failure
		65	385	25	1,000	4	22	0.061	1.12	Failure
		65	385	25	2,000	4	24.5	0.061	1.25	Failure
		65	385	25	3,000	4	25.0	0.061	1.28	Failure
		72	556	40	200	4	20	0.055	0.65	Failure
		72	556	40	500	4	26	0.055	1.10	Failure
		72	556	40	1,000	4	31	0.055	1.32	Failure
		72	556	40	2,000	4	36	0.055	1.53	Borderline
72	556	40	3,000	4	38	0.055	1.61	Borderline		
Accelerated Traffic Test at Stockton Airfield, Stockton, California, Test No. 2	Single	133	1,501	200	150	6	39	0.045	1.01	Failure
		133	1,501	200	1,700	9	44	0.068	1.14	Failure
		133	1,501	200	2,000	10	46.5	0.075	1.20	Borderline
		133	1,501	200	2,000	9	51	0.068	1.32	Satisfactory
		133	1,501	200	2,000	7	60.5	0.053	1.56	Satisfactory
		133	1,501	200	10	14	18	0.105	0.46	Failure
		133	1,501	200	60	16	20.5	0.120	0.53	Failure
		133	1,501	200	360	13	24.5	0.098	0.63	Failure
		133	1,501	200	1,500	13	30	0.098	0.77	Failure
		133	1,501	200	800	15	34	0.113	0.88	Failure
		133	1,501	200	2,500	75	9.5	0.564	0.25	Satisfactory
		133	1,501	200	2,000	75	10.5	0.564	0.27	Satisfactory
		133	1,501	200	2,000	75	13.5	0.564	0.35	Satisfactory
		133	1,501	200	2,000	75	9.5	0.564	0.25	Satisfactory
		133	1,501	200	2,500	75	13.5	0.564	0.35	Satisfactory
		133	1,501	200	2,000	75	15	0.564	0.37	Satisfactory
		133	1,501	200	2,500	75	21	0.564	0.54	Satisfactory
		133	1,501	200	2,000	75	16	0.564	0.41	Satisfactory
		133	1,501	200	2,500	11	66	0.083	1.70	Satisfactory
		133	1,501	200	2,000	75	22	0.564	0.57	Satisfactory
133	1,501	200	1,150	10	52	0.075	1.34	Satisfactory		
133	1,501	200	1,300	6	30	0.060	0.77	Failure		
133	1,501	200	850	75	8	0.564	0.21	Failure		
133	1,501	200	2,000	85	9	0.639	0.23	Satisfactory		
133	1,501	200	2,000	75	23.5	0.564	0.61	Satisfactory		
133	1,501	200	2,000	85	23.5	0.639	0.61	Satisfactory		

Flexible Pavement Behavior Studies, Interior Report No. 2

Berry	Single	70	214	15	1,741	23	12	0.329	0.82	Satisfactory
		70	214	15	1,741	43	12	0.614	0.82	Satisfactory
		70	214	15	1,741	27	12	0.386	0.82	Satisfactory
		70	214	15	1,741	16	12	0.229	0.82	Satisfactory
Dodge	Single	66	226	15	4,344	17	4	0.256	0.226	Failure
Douglas	Single	67	260	17.5	284	27	20	0.435	1.24	Satisfactory
		67	260	17.5	3,380	24	19	0.387	1.18	Satisfactory
		67	260	17.5	3,380	30	19	0.484	1.18	Satisfactory
		67	260	17.5	3,380	24	15	0.387	0.928	Satisfactory
		67	260	17.5	3,380	24	14	0.387	0.866	Satisfactory
		67	260	17.5	3,380	38	14	0.612	0.866	Satisfactory
Jackson	Single	60	250	15	185	37	2	0.616	0.126	Satisfactory
		60	250	15	185	39	2	0.65	0.126	Satisfactory
Kirtland	Single	84	176	15	707	32	10.5	0.377	0.785	Satisfactory
		84	360	30	1,225	59	11	0.707	0.579	Satisfactory
		84	360	30	12,250	64	10	0.767	0.526	Satisfactory
		84	360	30	12,250	47	11	0.563	0.579	Satisfactory
84	360	30	12,250	36	11.5	0.432	0.605	Satisfactory		
Pueblo	Single	84	360	30	1,470	17	11	0.204	0.579	Satisfactory
		84	360	30	1,470	16	11	0.192	0.579	Satisfactory
		84	360	30	1,060	25	12	0.300	0.632	Satisfactory
Santa Fe	Single	42	360	15	696	28	10	0.672	0.526	Satisfactory
Tuma	Single	84	360	30	22,500	44	13	0.527	0.684	Satisfactory
		84	360	30	22,500	50	12	0.599	0.632	Satisfactory
		84	360	30	22,500	38	14	0.455	0.737	Satisfactory
Lawson	Single	60	250	15	3,475	22	9.5	0.367	0.601	Satisfactory
		60	250	15	3,475	25	10	0.417	0.632	Satisfactory
		60	250	15	3,760	8	10	0.133	0.632	Failure
		60	250	15	3,760	9	10	0.150	0.632	Failure
Condition Survey, Report No. 5, Eglin Air Force Base, Valparaiso, Fla., MP 4-3	Single	67	260	15	150	59	5	0.88	0.309	Satisfactory
		67	260	15	150	18	5	0.279	0.309	Failure
		67	260	15	150	49	5	0.73	0.309	Satisfactory
		67	260	15	910	63	12	0.910	0.745	Satisfactory
		67	260	15	910	20	12	0.299	0.745	Satisfactory

表-7 実物走行試験と舗装の破壊状況一覧表② (C・B・R法)

Source of Data	Wheel Assembly	Contact Pressure or Inflation Pressure psi (p)	Contact Area sq in. (A)	Equivalent Single Wheel Load kip (P)	Coverages	CBR	Thickness in.	CBR/p	t/\sqrt{A}	Behavior
Condition Survey; Report No. 7, Kirtland Air Force Base, Albuquerque, N. Mex., Surveys of 1945-1952, MP 4-3	Twin, 37 in. c-c	140	267	42.2	Cap.	48	2	0.303	0.122	Failure
		140	267	42.2	Cap.	103	2	0.652	0.122	Satisfactory
Condition Survey; Report No. 4, Ardmore Air Force Base, Ardmore, Okla., MP 4-3	Single	61	360	22	7,500	57	3	0.934	0.158	Borderline
Condition Survey; Report No. 3, Lawson Air Force Base, Ft. Benning, Ga., MP 4-3	Single	60	250	15	4,100	59	10	0.984	0.533	Satisfactory
		60	250	15	4,100	20	2	0.333	0.126	Borderline
		60	250	15	4,100	16	2	0.267	0.126	Failure
		60	250	15	4,100	21	2	0.350	0.126	Borderline
		60	250	15	2,700	18	2	0.300	0.126	Borderline
		60	250	15	2,700	23	2	0.384	0.126	Borderline
Unpublished data:		60	250	15	4,100	39	11	0.65	0.675	Satisfactory
Blythe	Single	69	360	25	3,380	60	8	0.869	0.421	Satisfactory
		69	360	25	3,380	65	8	0.942	0.421	Satisfactory
		69	360	25	3,380	66	8	0.956	0.421	Satisfactory
Gainesville	Single	69	360	25	2,310	6	32	0.687	1.63	Satisfactory
		69	360	25	578	13	26	0.189	1.37	Satisfactory
Field moisture: Keesler	Single	58	260	15	1,680	36	13	0.620	0.807	Satisfactory
		58	260	15	840	44	9	0.759	0.559	Satisfactory
Unpublished data: Las Vegas	Single	84	360	30	8,510	24	13	0.288	0.685	Satisfactory
		84	360	30	5,560	23	16	0.275	0.842	Satisfactory
		84	360	30	5,560	31	16	0.371	0.842	Satisfactory
		84	360	30	5,560	14	16	0.167	0.842	Satisfactory
		84	360	30	7,990	47	11	0.567	0.579	Satisfactory
Design of Upper Base Courses for High-pressure Tires, Report No. 2 (Unpublished)	Twin, 37 in. c-c	170	267	51.6	2,000	111	1.5	0.575	0.092	Satisfactory
		170	267	51.7	850	34	2.5	0.174	0.153	Failure
		170	267	51.7	850	105	2.5	0.538	0.153	Satisfactory
		170	267	51.7	700	29	2.5	0.149	0.153	Failure
		170	267	51.7	850	90	2.5	0.461	0.153	Satisfactory
		170	267	51.7	700	41	2.5	0.210	0.153	Borderline
		170	267	51.7	700	47	2.5	0.241	0.153	Failure
		170	267	51.7	50	22	2.5	0.113	0.153	Failure
		170	267	51.9	2,000	165+	3.5	0.249	0.214	Satisfactory
		170	267	52.2	500	21	4.5	0.107	0.275	Failure
		170	267	52.2	700	140+	4.5	0.177	0.275	Satisfactory
		170	267	52.2	60	14	4.5	0.072	0.275	Failure
		170	267	52.2	522	67	4.5	0.343	0.275	Satisfactory
		170	267	52.2	22	14	4.5	0.072	0.275	Failure
		170	267	52.2	40	20	4.5	0.162	0.275	Failure
		170	267	52.8	2,000	157+	6.5	0.794	0.398	Satisfactory
Single	300	200	60	800	150+	6.5	0.527	0.460	Satisfactory	
Twin, 37 in. c-c	170	267	53.3	2,000	103	7.5	0.516	0.459	Satisfactory	
Single	300	200	60	800	60	7.5	0.209	0.530	Borderline	
Twin, 37 in. c-c	170	267	53.3	800	29	7.5	0.145	0.459	Failure	
Single	300	200	60	2,000	59	7.5	0.295	0.459	Satisfactory	
Single	300	200	60	800	23	7.5	0.115	0.459	Failure	
Twin, 37 in. c-c	170	267	53.3	60	6	7.5	0.077	0.530	Failure	
Single	300	200	60	220	23	7.5	0.077	0.459	Failure	
Single	300	200	60	2,000	28	7.5	0.140	0.450	Borderline	
Single	300	200	60	700	10	7.5	0.033	0.530	Failure	

表-8 実物走行試験と舗装の破壊状況一覧表③ (C・B・R法)

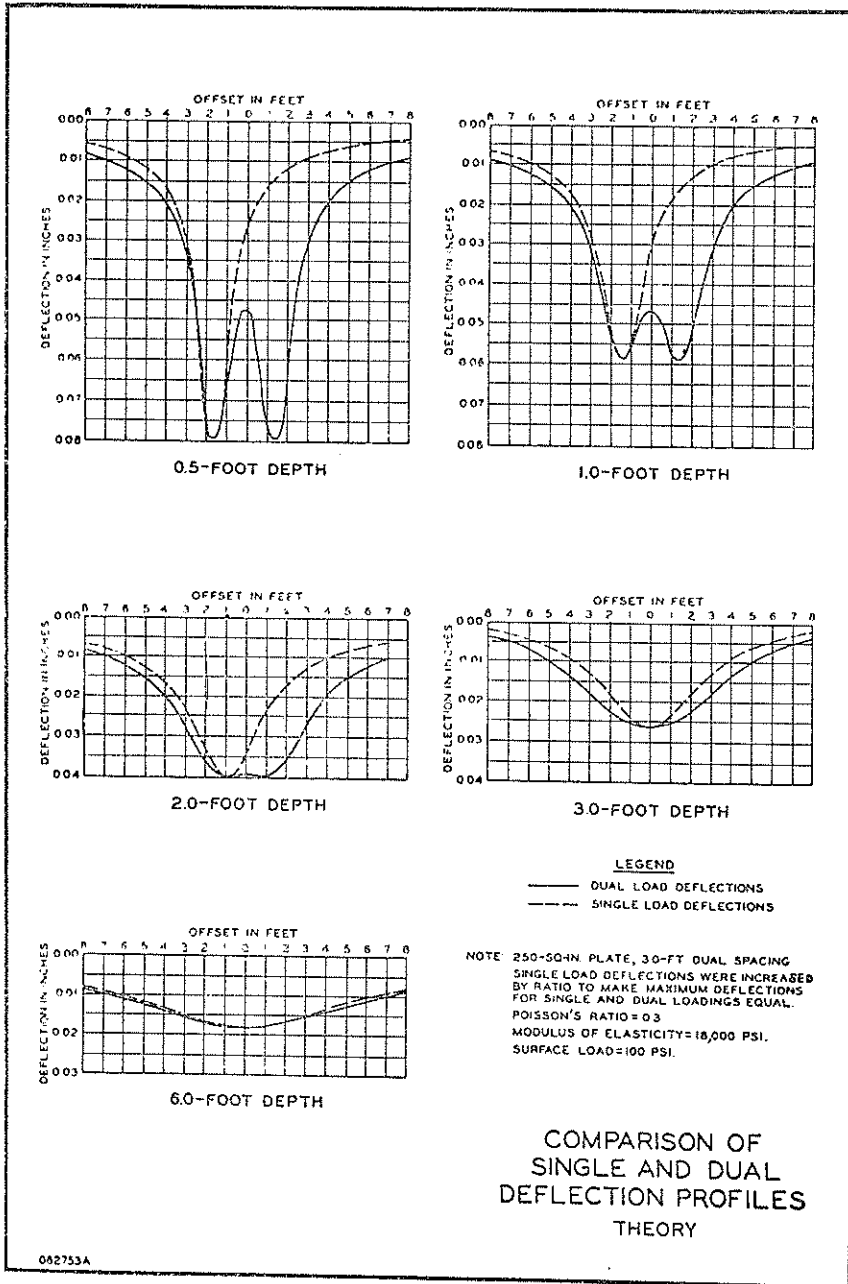


図-20 単車輪および復車輪による舗装内たわみの比較 (理論) (C・B・R法)

$D \times C \cdot B \cdot R = 0.1236$ または

$$D = \frac{1}{8.1 C \cdot B \cdot R} \dots\dots\dots(2-8-10)$$

(2-8-10) と (2-8-9), (2-8-1) を用いて

$$h_t = \sqrt{P \left[\frac{1}{8.1 C \cdot B \cdot R} - \frac{1}{Pr} \right]} \dots\dots(2-8-11)$$

ここに、 $C \cdot B \cdot R$ 曲線の完全数式化がなされた。しかし表-5を見て分るように、(2-8-11) 式は $C \cdot B \cdot R < 12$ の範囲で従来の設計曲線と良く一致する。

次に、この公式が、実際に適切なものであるかどうかの検討がなされた。このために、それまでに行なわれた、各種舗装厚に対する実物走行試験の結果が使用された。走行回数と舗装の破壊状況を表-6(18) ~ 8(18) に示す。また、これらを図示したのが図-18である。図中の実線は、 $C \cdot B \cdot R$ 公式から求まったものであり、横軸に $\frac{C \cdot B \cdot R}{P}$ 、縦軸に $\frac{t}{\sqrt{A}}$ がとってある。(P: タイヤ圧, t: 舗装厚, A: 車輪接地面積) 図を見ても分るように、舗装の破壊状況は、 $C \cdot B \cdot R$ 公式により明瞭に別けられている。すなわち、図中の○印は、2,000カバレッジまたはそれ以上のカバレッジでも舗装が破壊しなかったもの、+印は、1000~2000のカバレッジで破壊しなかったもの、●印は5000カバレッジ以下で破壊したもの、⊙印

は、破壊と非破壊の境界点のものである。このように、 $C \cdot B \cdot R$ 公式は妥当なものであることが判明した。

さらに、 $C \cdot B \cdot R$ 公式と、これまでで使用されていた舗装厚設計曲線を比較して見ると、図-19(18) のようになる。図中の実線は、 $C \cdot B \cdot R$ 公式より求まったものであり、○や△は、設計曲線をプロットしたものである。当然のことながら、各点は $C \cdot B \cdot R$ 公式の実線上にのる。○印は、 $C \cdot B \cdot R < 12$ 以下、△印は、 $C \cdot B \cdot R > 12$ 以上である。前にも述べたと同じように、 $C \cdot B \cdot R < 12$ 以下は、設計曲線は $C \cdot B \cdot R$ 公式に一致するが、12以上は、公式と、設計曲線はそれ程一致しないことが分る。特に、 $\frac{C \cdot B \cdot R}{P}$ が約 0.2 以上では、 $C \cdot B \cdot R$ 公式は適用できないと考えた方がいい。

2-9 数式による、多車輪荷重に対する設計法の開発¹⁴⁾

本来、 $C \cdot B \cdot R$ 公式は、単車輪荷重を対象として開発されて来たものであるが、多車輪荷重の場合には、2-5で述べたような図解法によって、多車輪を単車輪に換算することが行なわれて来た。しかし、 $C \cdot B \cdot R$ 設計曲線も数式化されるようになると、多車輪荷重の単車輪荷重へ

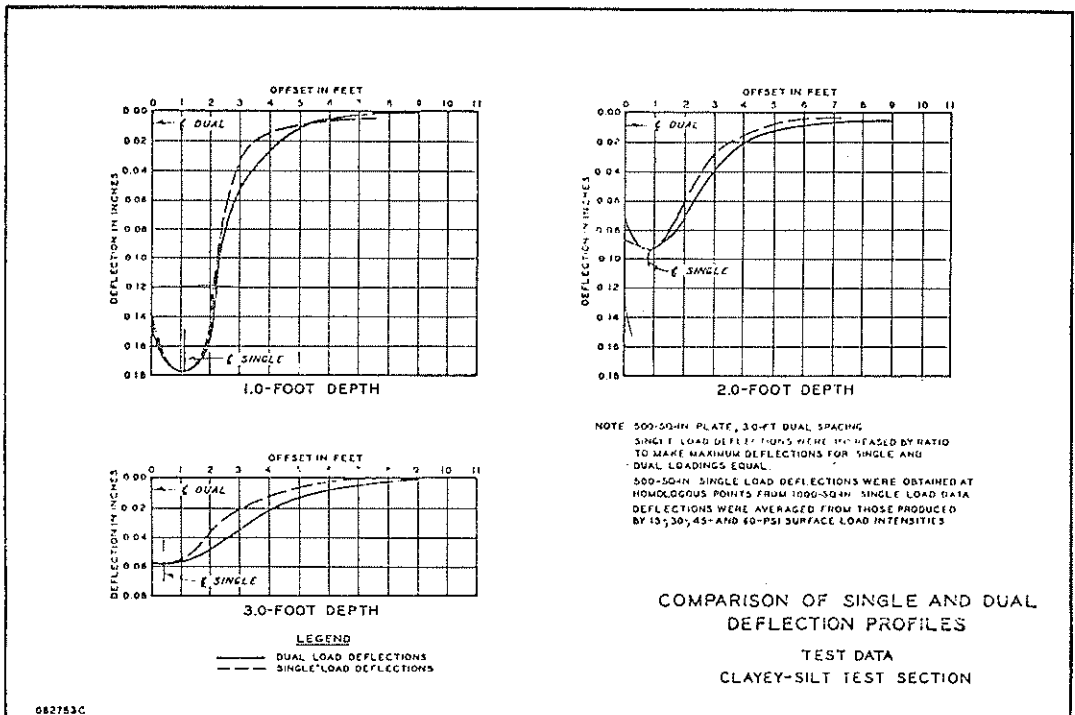


図-21 単車輪および複車輪による舗装内たわみ (粘土質シルト地盤) ($C \cdot B \cdot R$ 法)

の換算も、数式化する必要が生じた。換算された単車輪荷重を等価単車輪荷重 (Equivalent Single Wheel Load) と名づけ、今後、 $E \cdot S \cdot W \cdot L$ と略して呼ぶことにする。

多車輪荷重を $E \cdot S \cdot W \cdot L$ に換算するにあたって、問題となることは、換算した $E \cdot S \cdot W \cdot L$ の接地面積を、どのように決めるかである。そこで、弾性論を用いて、単車輪と複車輪の舗装内でのたわみを求めて見た。これを図-20¹⁹⁾ に示す。この計算では単車輪の接地面積は、複車輪の1輪接地面積に等しくとり、最大たわみ量も等しくなるようにしている。図を見ても分るように、深いところでは、両者共、たわみ曲線の形は一致する。これは、図解法の場合に、すでに考察されたところである。さらに、浅い部分で、両たわみ曲線を比較すると、たわみ曲線の形は、単車輪(点線)の方が、複車輪(実線)よりもやや急勾配かまたは一致している。このことは、単車輪の接地面積を、複車輪の輪接地面積に等しくとり、最大たわみ量を同じくするならば、この単車輪荷重は、複車輪荷重と等しいかまたはやや厳しいたわみを舗装内に生じせしめるということの意味している。したがって、 $E \cdot S \cdot W \cdot L$ の接地面積は、多車輪の1輪接地面積と等しくとって差し支かえない。これを粘土質シルト

地盤内で実験的に確かめたのが図-21¹⁹⁾ である。同様に、砂地盤での実験結果を図-22¹⁹⁾ に示す。これらの実験結果は、上に述べた理論をほぼ満足せしめている。

さて、 $E \cdot S \cdot W \cdot L$ の接地面積はこれで解決した。次に、 $E \cdot S \cdot W \cdot L$ への換算法が問題となる。

いま、単一の円形等分布荷重が加わる一層系弾性体の中のとわみ、 ω は次式で表わすことができる

$$\omega = \frac{P \cdot r \cdot F}{E_m} \dots\dots\dots(2-9-1)$$

P: 円形等分布荷重強度 (psi)

r: 円の半径 (in)

E_m : 弾性体の弾性係数 (psi)

F: 図-23¹⁹⁾ から求まるたわみ係数

サフィクス S と d で単輪および複輪を表示すれば、

$$\omega_s = \frac{P_s \cdot r_s \cdot F_s}{E_m}, \quad \omega_d = \frac{P_d \cdot r_d \cdot F_d}{E_m}$$

$E \cdot S \cdot W \cdot L$ は、たわみが等しいのであるから、 $\omega_s = \omega_d$ 、また接地面積は両者等しいのであるから、 $r_s = r_d$ 、したがって

$$\frac{P_s}{P_d} = \frac{F_d}{F_s} \dots\dots\dots(2-9-2)$$

次に、 P_s を $E \cdot S \cdot W \cdot L$ 、 P_d を多車輪系の脚荷重とすれば式 (2-9-2) より

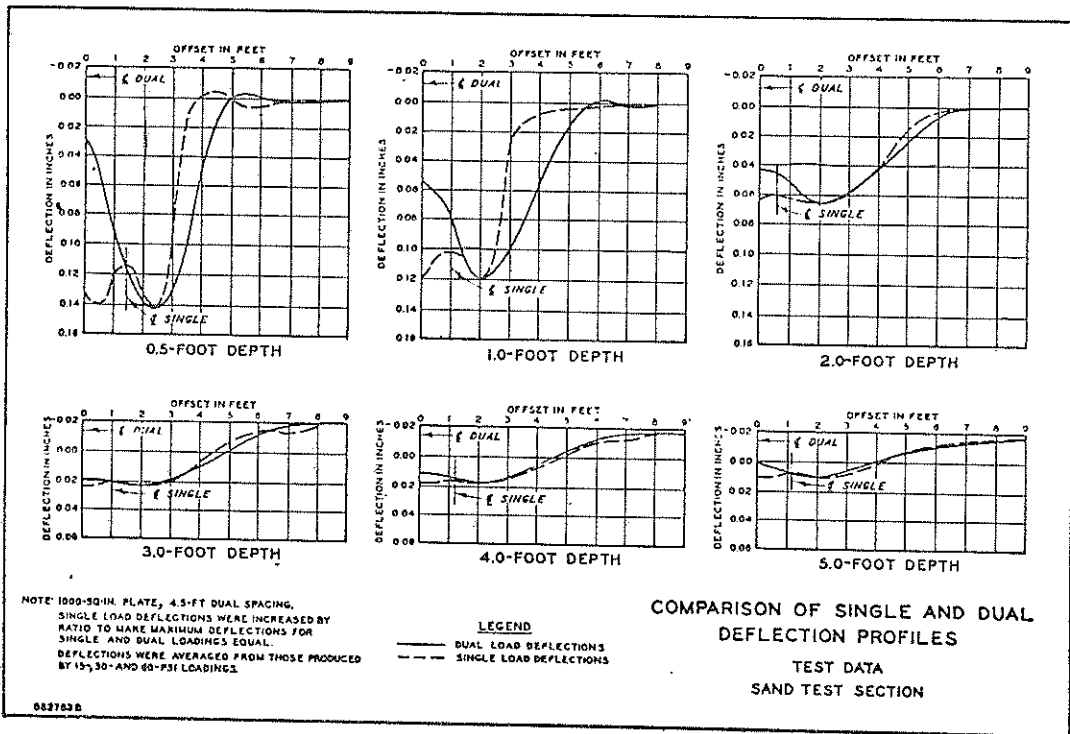


図-22 単車輪および複車輪による舗装内たわみ (砂地盤) (C・B・R法)

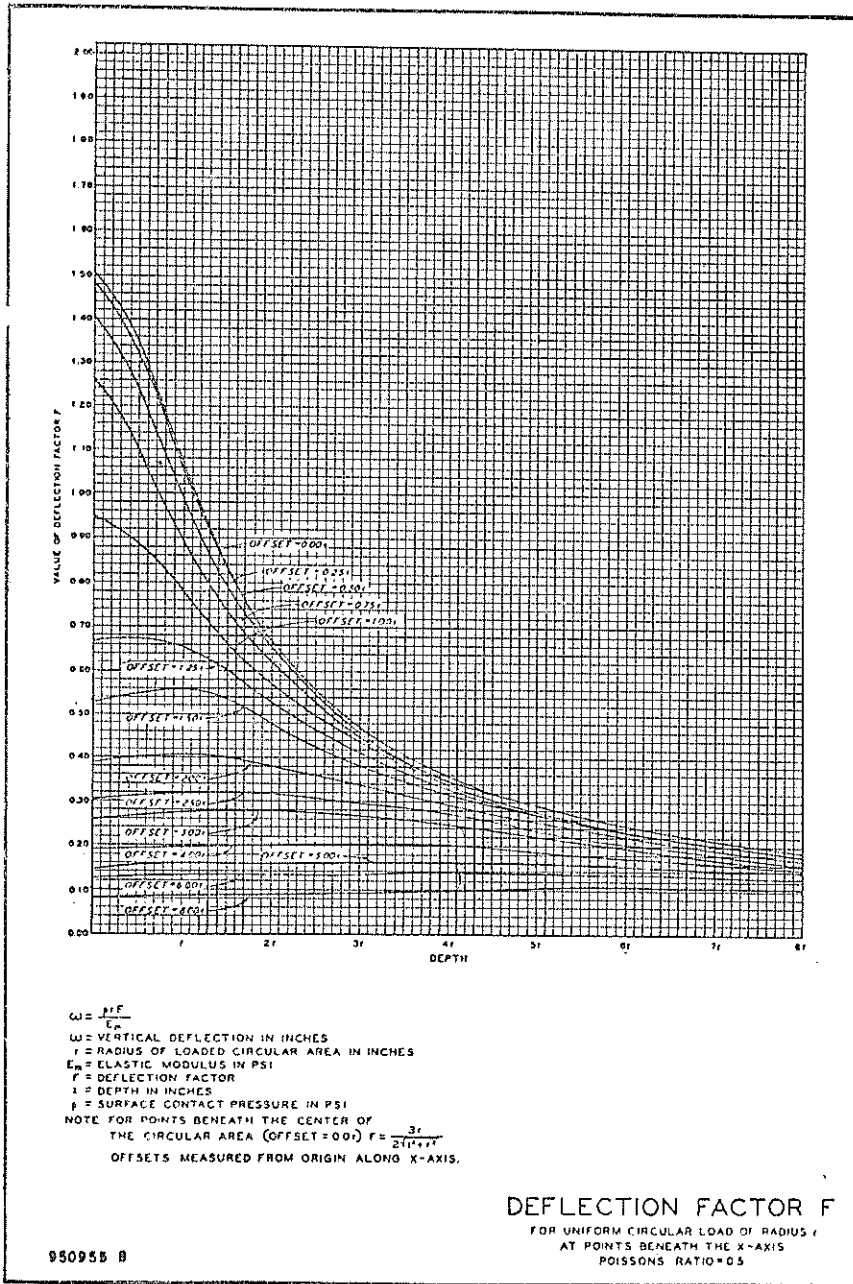


図-23 たわみ係数F (C・B・R法)

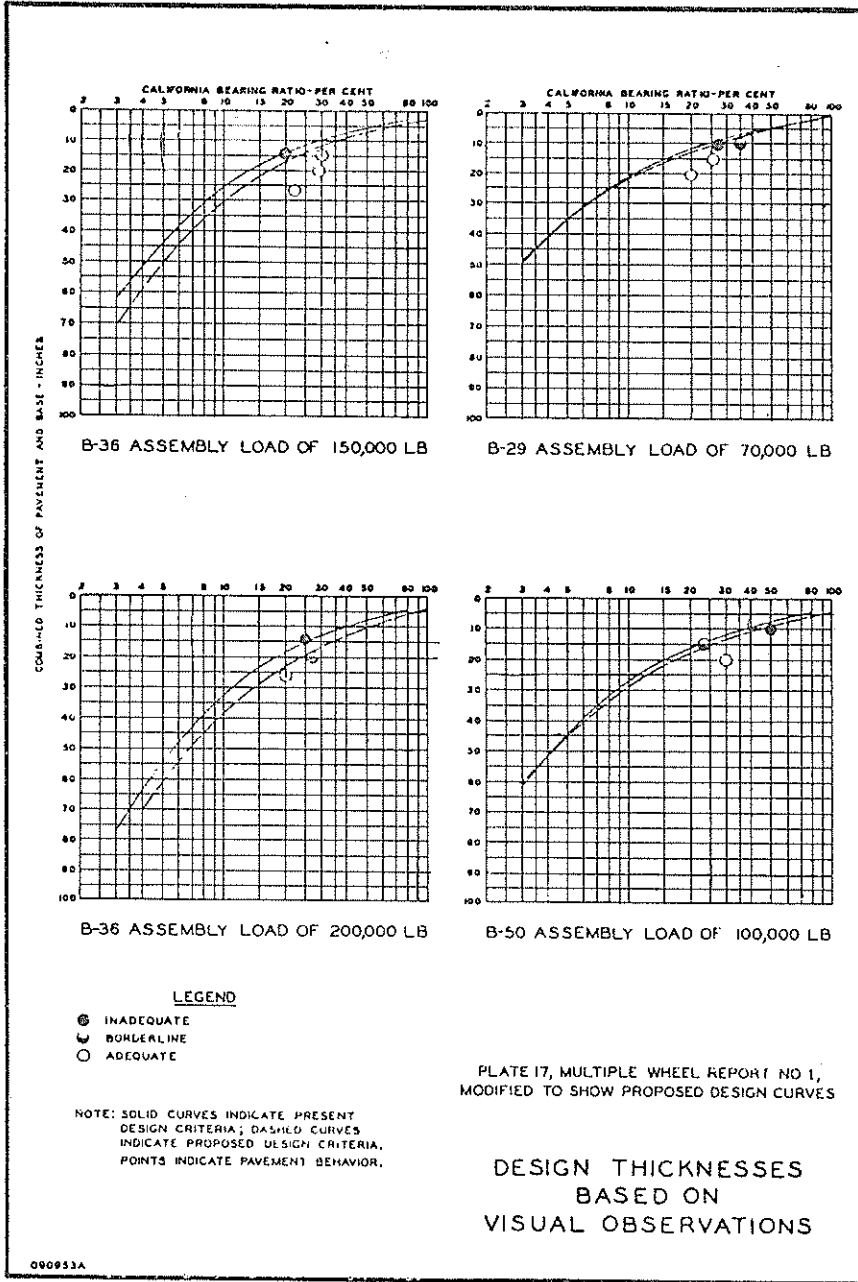


図-24 図解法と、理論によるE・S・W・Lを使用した設計曲線の比較 (C・B・R法)

$$P_s = \frac{1}{2} \cdot \frac{F_d}{F_s} \cdot P_d \text{ (複車輪の場合)} \dots (2-9-3)$$

$$P_s = \frac{1}{4} \cdot \frac{F_d}{F_s} \cdot P_d \text{ (複々車輪の場合)} \dots (2-9-4)$$

F_d は、多車輪の場合、各車輪によるたわみ係数を図-23によって重ね合せたものであって、それが最大になる点のたわみ係数を選べば良い。

さて、このようにして求めたE・S・W・Lを使用すれば、C・B・R公式より、数式によって、舗装厚の設計曲線を描くことができる。図-24¹⁹⁾では、図解法によって得られたE・S・W・Lを使用して作成した舗装厚設計曲線を実線で示し、理論法によるE・S・W・Lを使用した、設計曲線を破線で表わしている。これらの舗装において、2000回のカバレッジ走行試験を行なったが、その結果は、図中に、舗装が破壊しなかった点を○印で、破壊したものを●印で、境界点を⊖印で表わしている。これを見ても分かるように、理論法による設計曲線の方が図解

法によるものよりも良い結果を与えている。

2-10 C・B・R設計曲線の作成法²⁰⁾

以上述べて来たように、C・B・R設計曲線は数式化され、さらに、多車輪荷重への拡張も理論的に完成し、あらゆる航空機に対し、自由に設計曲線を描けるようになった。しかし、C・B・R設計公式は、高いC・B・Rの下では、経験的設計曲線に一致しない。C・Eでの経験によれば、高いC・B・Rの下での舗装厚は、表-9の値が適切であった。したがって、図-25²⁰⁾に示されるC・B・R公式(実線)は、高いC・B・Rの下では、表-9を参考にし、点線の曲線のように修正された。

次に、カバレッジに対する考え方であるが、これは、2-6「図-15」を元にすれば、図-26²⁰⁾のように表現することができる。すなわち、C・B・R公式より求まる舗装厚は、カバレッジ5,000回に相当する。さらに他のカバレッジに対しては次のような規準を決めている。

Single or Equivalent Single-Wheel Load, in pounds (1)	Tire Pressure, in pounds per Square Inches (2)	Pavement Thickness, in Inches	
		80-CBR base (3)	100-CBR base (4)
20,000	100	2	1 1/2
50,000	100	3	2
70,000	100	3 1/2	2 1/2
20,000	200	3	2
50,000	200	4	3
70,000	200	4 1/2	3 1/2

表-9 高いC・B・Rに対する舗装厚 (C・B・R法)

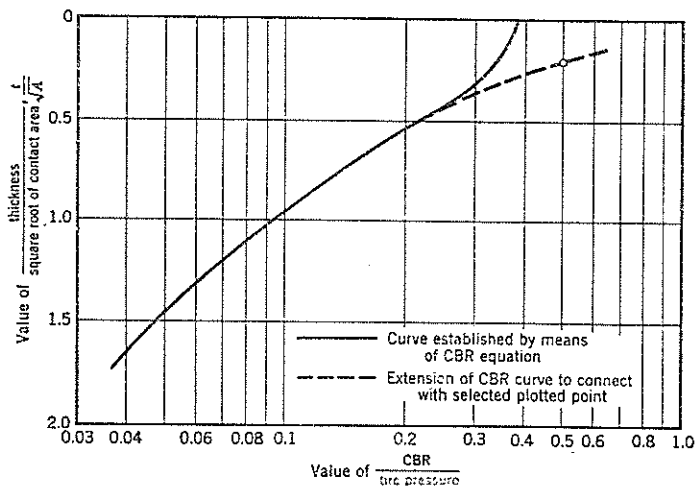


図-25 高いC・B・Rの下におけるC・B・R公式の修正 (C・B・R法)

① 非常に大きなチャンネルライゼーション (Channelization) をもたらすような離発着回数の場合は、25,000カバレッジをとること。

② 普通の離発着回数の場合は、5,000カバレッジが良い。

③ 海外基地において、数年間のみ、普通の状態で使用する場合、1,000カバレッジが良いが、米国内の永久飛行場におけるよりも幾分、維持補修が多くなる。

④ 海外基地において、数ヶ月間だけ、使用する場合は200カバレッジでよい。

⑤ 海外基地において、1～2週間の間だけ使用する場合は40カバレッジをとる。

⑥ 特別な軍事基地において1～2日間だけ、使用する

場合は8カバレッジをとる。

一般にカバレッジを決めるのは難かしいが、C・Eでは、次のような算定法を考えている。1例として、1車輪の接地巾12inを有する複車輪2脚型航空機が、75ft幅の誘導路を使用するものとする。普通の航空機では、誘導路巾の中心 $\frac{1}{3}$ 帯に、75%の交通量が集中すると考えて良い。この航空機の全接地幅は $12in \times 4 = 4ft$ であるから、75ft巾の $\frac{1}{3}$ すなわち、25ftの幅を、この車輪がくまなく通過するためには、 $25ft \div 4ft = 6\frac{1}{4}$ 回の走行回数が必要である。しかし、この中心帯の交通量は、全交通量の75%であるから、 $6\frac{1}{4} \div 0.75 = 8\frac{1}{3}$ 回の走行回数で1カバレッジとなる。

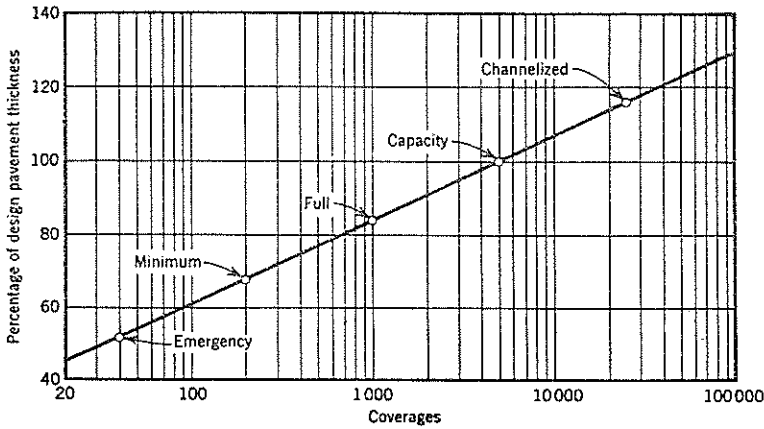


図-26 カバレッジと舗装厚修正係数 (C・B・R法)

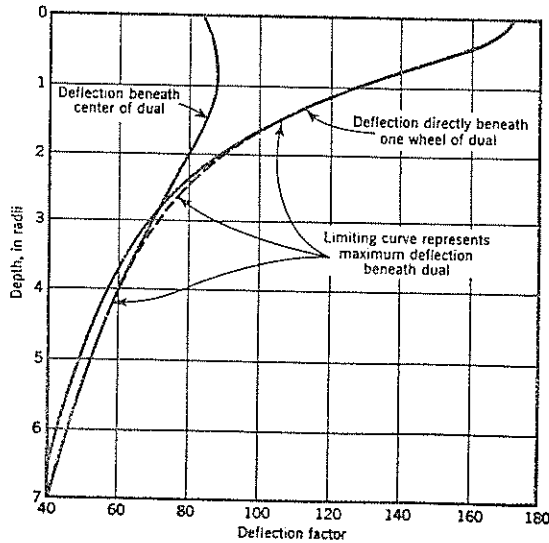


図-27 たわみ係数の選定例 (C・B・R法)

Depth ^a Radii (1)	Deflection Factors			Beneath One Wheel ^e (5)	Beneath Center of Dual ^f (6)
	Center ^b (2)	3.76-radii offset ^c (3)	1.88-radii offset ^d (4)		
0	1.50	0.21	0.42	1.71	0.81
1	1.06	0.22	0.44	1.28	0.88
2	0.67	0.22	0.40	0.89	0.80
3	0.47	0.22	0.35	0.69	0.70
4	0.36	0.21	0.30	0.57	0.60
5	0.29	0.20	0.26	0.49	0.52
6	0.25	0.18	0.23	0.43	0.46
7	0.21	0.17	0.20	0.38	0.40

^a Values of depth in terms of radius of the circular area equal to the tire contact area are selected for case in reading values from Fig. 8.

^b Values of deflection factor for points beneath the center of a circular load. Deflection factor is a dimensionless factor in the equation for deflection which is determined by the relative position of the load and the point at which deflection is being determined (see note on Fig. 8 and the Appendix).

^c Values of deflection factor at a distance from the center of the circular area equal to the spacing between the twin wheels being considered. This is a representation of the amount of deflection produced beneath the center of one wheel by the other wheel.

^d Values of deflection factor at a distance from the center of the circular area equal to one-half the spacing between the twin wheels being considered. This is a representation of the amount of deflection produced midway between the twin wheels by each of the wheels.

^e Sum of the deflection factors in columns (2) and (3). This is a representation of the amount of deflection produced beneath the center of each wheel of the twin assembly by both wheels.

^f Twice the deflection factor in column (4). This is a representation of the amount of deflection produced beneath a point midway between the wheels of the twin assembly by both wheels.

表-10 各点のたわみ係数計算例 (C・B・R法)

Depth ^a		Deflection Factor		Equivalent Single-Wheel Load in Percentage of Assembly Load ^d (5)
Radii (1)	Inches (2)	Maximum under single wheel ^b (3)	Maximum under dual wheels ^c (4)	
0	0	1.50	1.71	57.0
1	7.97	1.06	1.28	60.3
2	15.94	0.67	0.90	67.1
3	23.91	0.47	0.72	76.6
4	31.88	0.36	0.60	83.4
5	39.85	0.29	0.52	89.6
6	47.82	0.25	0.46	92.0
7	55.79	0.21	0.40	95.3

^a Depths from Table 2 but given both in radii of the equivalent circular area and in inches.

^b Largest deflection (in terms of deflection factor) occurring, at the depth indicated, beneath a single wheel similar to one of the twin wheels being considered.

^c Largest deflection (in terms of deflection factor) occurring, at the depth indicated, beneath the twin wheels being considered.

^d Equivalent single-wheel load expressed as a percent of the total load on the twin-wheel assembly. It is arrived at by dividing the load on a single wheel, which is necessary to produce a deflection factor equal to the maximum occurring under the twin wheels (for 0 depth in the table, this is $P \times \frac{1.71}{1.50}$), by the total twin-wheel assembly load, and converting this ratio to a percentage.

表-11 E・S・W・Lの計算例 (C・B・R法)

上に述べたような修正点を考慮して、 $C \cdot B \cdot R$ 公式による設計曲線の作成法について、その手順を以下に、説明する。そのために、次のような航空機荷重を想定する。すなわち、脚荷重 25,000Lb, 50,000Lb 75,000Lb で、1輪のタイヤ接地面積が、, タイヤとタイヤの中心間隔が 30in の複車輪に対する1000カバレージの舗装厚を求めて見よう。

① 接地面積を円形に直せば、その半径は $r = \sqrt{\frac{200}{\pi}}$ =7.97in となる。したがって、車輪中心間隔は、3.76r であり、両車輪の中心点と1車輪中心との間隔は、1.88r となる。

② 図-23を用いて、表-10²⁰) を作成する。(1)欄は深さ (r で表示)、(2)欄は、1車輪中心下のたわみ係数、(3)欄は、3.76r 離れた点でのたわみ係数(4)欄は同様に 1.88r 点のたわみ係数である。したがって、(2)欄と(3)欄を加えたものが1車輪中心下のたわみ係数となり (5)欄)、(4)欄を2倍したものが両車輪中心点下のたわみ係数となる (6)欄)。

③ これを図示すれば、図-27²⁰) のようになり、浅いところでは、1車輪中心下のたわみ係数が大きくなり、

深くなると、両車輪中心点下のたわみ係数の方が大きくなる。したがって、実際に使用するたわみ係数は、両曲線をすりつけた曲線(点線)とする。

④ 次に、深さを普通の値に直し、図-27を使用して表-11²⁰) を作成する。(3)欄は、単車輪のたわみ係数 (F_s) であり、(4)欄は、図-27の点線より、求まる複車輪のたわみ係数 (F_d) である。したがって、(1-9-3) 式より、 $E \cdot S \cdot W \cdot L$ と、複車輪脚荷重の比(百分率)をとれば、これは式(2-9-3)の $\frac{1}{2} \cdot \frac{F_d}{F_s} \times 100$ であるから、(5)欄が求まる。これを図示したのが図-28²⁰) である。縦軸には深さ(舗装厚)、横軸には、 $\frac{E \cdot S \cdot W \cdot L}{\text{複車輪脚荷重}}$ の百分率が示されている。

⑤ これらの結果を使用して、本計算に入る。すなわち、表-12²⁰) を作る。(1)欄は、求める1,000カバレージの舗装厚を任意に仮定したものである。ところが、前にも述べたように、 $C \cdot B \cdot R$ 公式は、カバレージ5,000に対するものであるから、1,000カバレージを5,000カバレージのレベルに直さなければならない。図-26より、1,000カバレージと5,000カバレージの比は0.84であるから、(1)欄を0.84で割ってやれば5,000カバレージのレベ

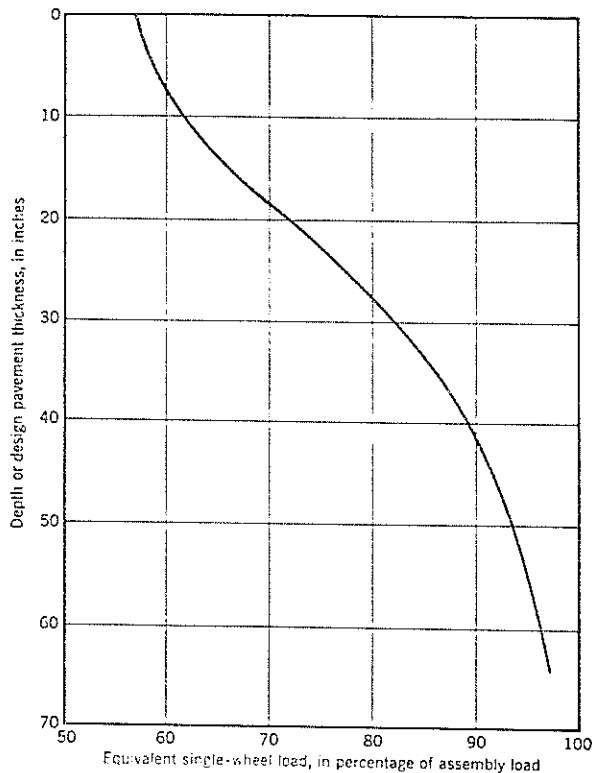


図-28 $E \cdot S \cdot W \cdot L$ の図示例 (C・B・R法)

1000-Cov Thickness ^a t in. (1)	5000-Cov Thickness ^b t' in. (2)	$\frac{t'}{\sqrt{A}}$ c (3)	$\frac{CBR^d}{p}$ (4)	Equiv Single- Wheel Load ^e %P (5)	CBR for Load Shown ^f		
					25,000 lb (6)	50,000 lb (7)	75,000 lb (8)
2	2.38	0.168	0.570	58.7	41.84	83.7	125.6
5	5.95	0.421	0.264	59.3	19.58	39.1	58.7
10	11.91	0.843	0.120	61.7	9.25	18.52	27.8
15	17.86	1.263	0.065	66.2	5.38	10.77	16.13
20	23.82	1.666	0.039	72.0	3.51	7.02	10.52
25	29.78	2.107	0.0255	77.4	2.47	4.93	7.40
30	35.7	2.528	0.0180	82.1		3.69	5.54
35	41.7	2.95	0.0135	86.2		2.91	4.36
40	47.6	3.37	0.0104	89.4			3.49
45	53.6	3.79	0.0082	91.2			2.80
50	59.5	4.21	0.0064	92.5			

^a Thickness values are selected to facilitate plotting of the final curve.

^b Since the basic pattern of the CBR relations as portrayed by the CRB equation is for a 5000-coverage level, the thicknesses selected for the desired coverage level must be converted to that for the 5000-coverage level. This is done by first determining from the curve in Fig. 3 that 1000-coverage thicknesses are 84% of those for 5000 coverages and then dividing all 1000-coverage thicknesses by 0.84 to obtain the 5000-coverage thicknesses indicated.

^c The 5000-coverage thicknesses are next divided by \sqrt{A} , or $\sqrt{200} = 14.14$, to get the values for $\frac{t'}{\sqrt{A}}$ listed.

^d Values from column (3) used to enter the curve of Fig. 6 lead to the values for $\frac{CBR}{p}$ listed.

^e Equivalent single-wheel load percentages were obtained from the curve in Fig. 5, using the thicknesses listed in column (1).

^f CBR values for final plotting were determined from the $\frac{CBR}{p}$ values in column (4) and the equivalent single-wheel load contact pressure. $CBR = \left(\frac{p}{p} \cdot CBR\right) \times p$ and $p = \frac{P}{A}$.

As an example for column 5; At a 2-in. depth, $p = \frac{25,000 \times 0.587}{200} = 73.4$ psi and $CBR = 0.570 \times 73.4 = 41.8$.

表-12 舗装厚計算例 (C・B・R法)

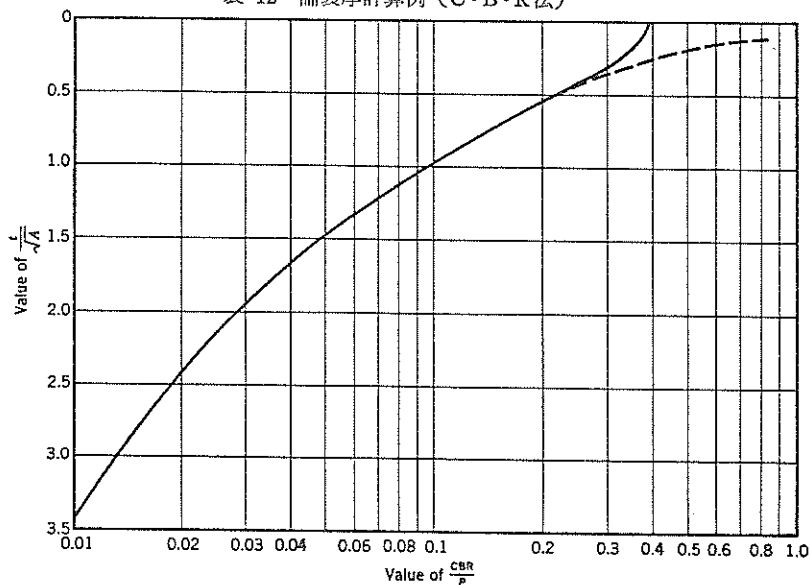


図-29 C・B・R修正公式による計算図 (C・B・R法)

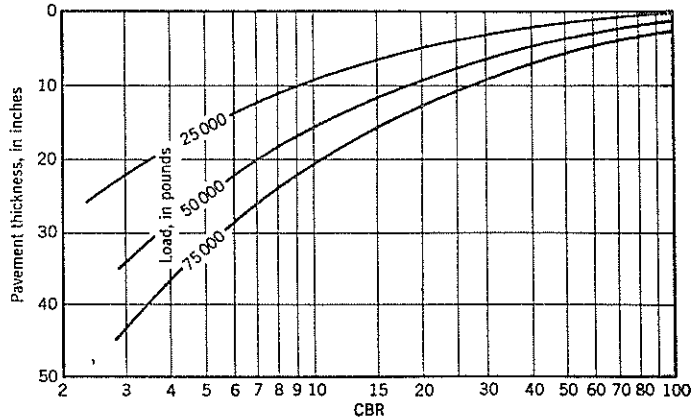


図-30 C・B・R設計曲線例 (C・B・R法)

ルになる。(2)欄)。(3)欄は(2)欄より求まる。(Aは、1車輪接地面積)次に高いC・B・Rの下で修正を施した、C・B・R公式(図-29²⁰)より、(3)欄に対する $\frac{C \cdot B \cdot R}{P}$ が求まる。(P:タイヤ圧=接地圧) $\frac{C \cdot B \cdot R}{P}$ の値は、C・B・R公式を変形した(2-10-1)式からも直接求まるが、 $\frac{t}{\sqrt{A}} < 0.5$ の範囲では、図-29の点線を使用して修正してやらなければならない。

$$\frac{t}{\sqrt{A}} = \sqrt{\frac{1}{8.1 \frac{C \cdot B \cdot R}{P}} - \frac{1}{\pi}} \dots\dots(2-10-1)$$

t: 舗装厚

(5)欄は、図-28から求まる、各舗装厚に対する $\frac{E \cdot S \cdot W \cdot L}{\text{複車輪脚荷重}}$ の比(百分率)であるが、この場合の $E \cdot S \cdot W \cdot L$ の計算に使用する舗装厚は、1000カバレッジの舗装厚でなければならないから注意を要する。次に(5)欄より、 $E \cdot S \cdot W \cdot L$ の接地圧Pが求まる。 $(P = \frac{E \cdot S \cdot W \cdot L}{A})$ したがって、(4)欄にPを乗ずることにより、各舗装厚に対する所要のC・B・Rが求まる。これが(6)(7)(8)欄である。

⑥ 表-12により、1000カバレッジの舗装厚(1)欄)に対して、各脚荷重に対する所要C・B・R((6)~(8)欄)を図示したのが図-30²⁰)である。これが、与えられた脚荷重に対する1000カバレッジのC・B・R舗装厚設計曲線となる。

2-11 C・Eによる空軍飛行場設計規準²¹)

C・Eの設計規準は、舗装の材料規定まで含むものであるが、材料規定については、別に報告するので、(参考文参考文献²²)ここでは主として舗装厚の設計規準を要

約する。

(1) 設計荷重

設計荷重は、次の四種に分ける。

重荷重舗装: 脚荷重 265kips, Twin-Twin Wheel, Bicycle-Type, ((3)参照) 各車輪接地面積 267in², 車輪中心間隔 37in, 複車輪中心間隔 62in の航空機を対象とする。ただし、格納庫の床や格納庫入口のエプロン(寒冷地で、航空機を燃料を積んだまま格納庫に入れる場合は除く)および、洗浄地区のA型、B型舗装((2)で述べる)では、脚荷重を160kipsにとつてよい。

軽荷重舗装: 脚荷重25kips, 単車輪, 接地面積100in², Tricycle-Type ((3)参照)の航空機を対象とする。ただし洗浄地区のC型舗装では、脚荷重を20kipsとするが、格納庫床や格納庫入口エプロンは、25kipsを対象とする。大航空機を収容できる大型格納庫では、もっと荷重を増してやるようにする。

ショルダー舗装: 脚荷重 10kips, タイヤ圧100psiの単車輪荷重とする。

プラスト地区: プラストに対し抵抗せしめる舗装においては、無荷重または、非常時着陸荷重を考える。

(2) 舗装区域

舗装区域は、A型、B型、C型、D型に分けられ、それぞれ、重荷重舗装、軽荷重舗装に対して、図-31²¹) (重荷重舗装)、図-32²¹) (軽荷重舗装)のように規定されている。なお、滑走路端部につづくオーバーラン区域は、非常時着陸のみを考慮すればよい。

(3) 設計曲線

C・E規準では、図-33²¹) ~ 52²¹) に示すように、各種の車輪配置を有する航空機に対して、舗装区域ごとに、

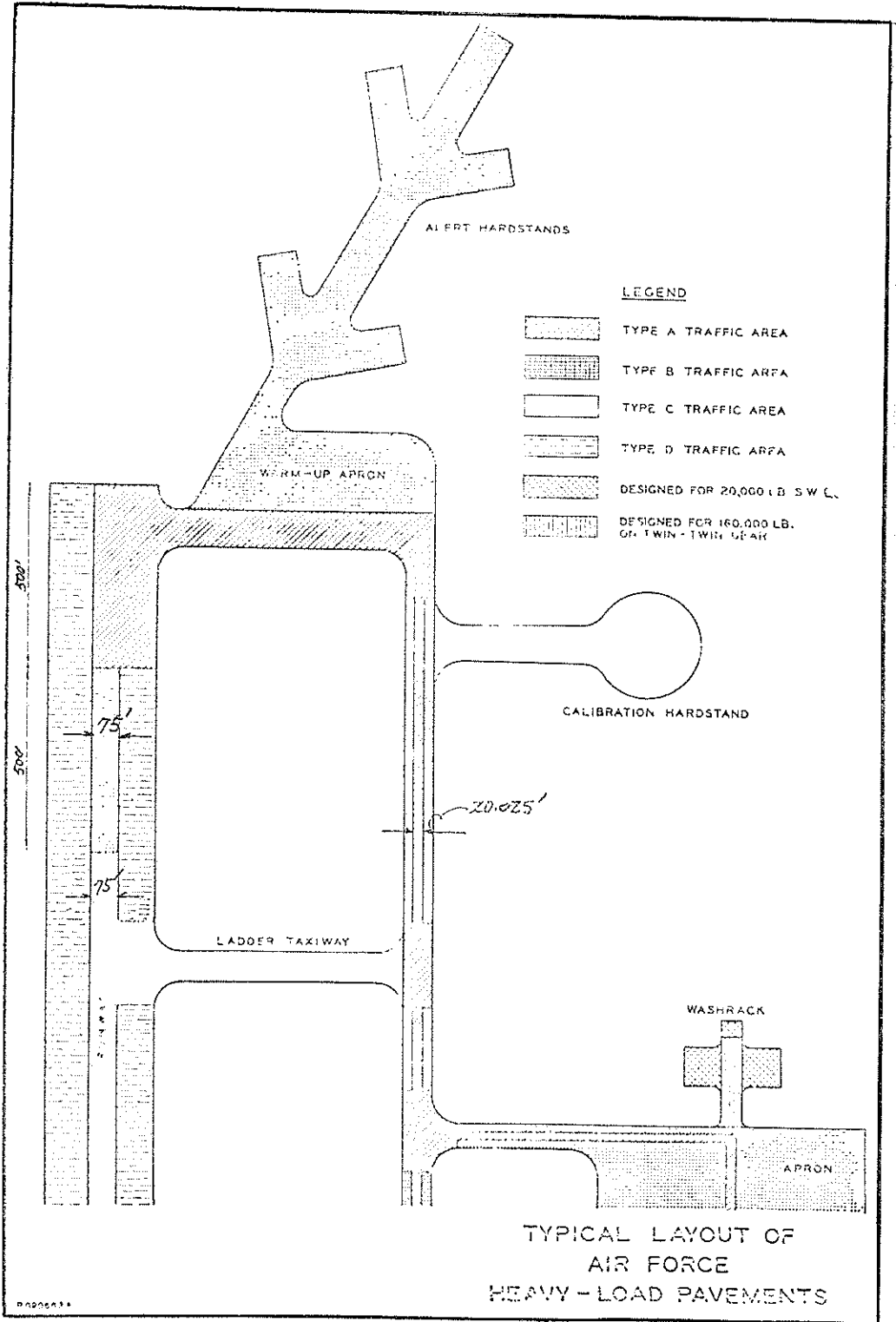


図-31 C・E規準の重荷重舗装区域 (C・B・R法)

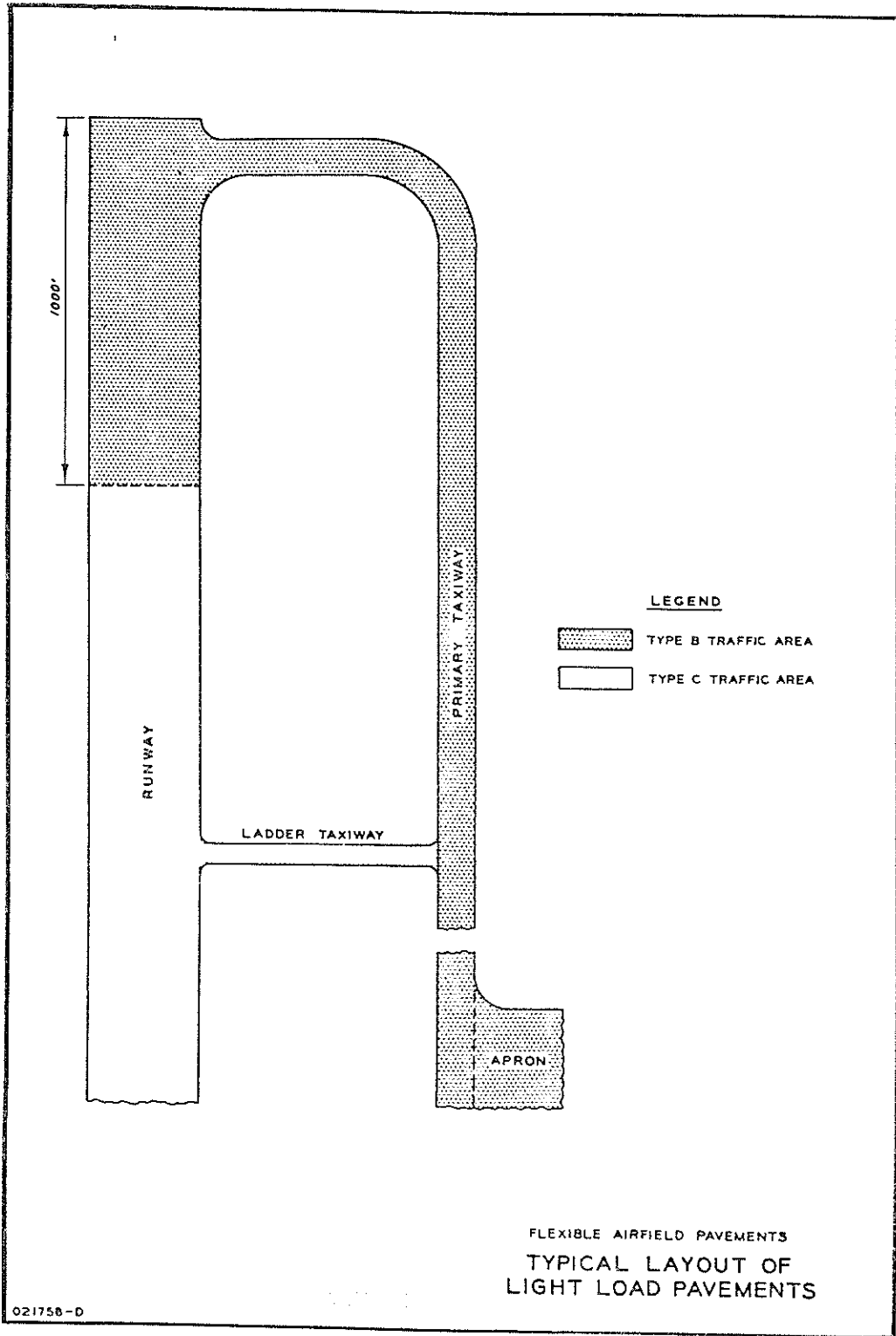
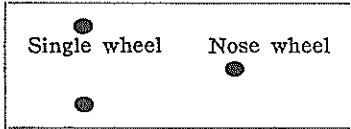
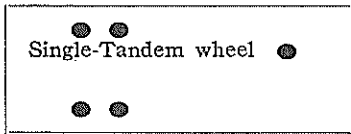


図-32 C・E規準の軽荷重舗装区域 (C・B・R法)

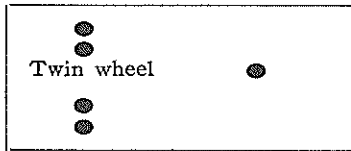
舗装厚設計曲線を作成している。(ただし図-47は参考文献²⁴⁾による) 図中のB型舗装が、C・B・R公式より求まる標準厚設計曲線(カバレッジ5000回)に相当するものであり、A型舗装は、B型舗装の10%前後の割り増しを考えている。これは航行機の集中走行による舗装のChannelizationを考慮したものである。またC型舗装は、B型舗装の設計曲線において、設計荷重をB型の75%として舗装厚を求める。なお図中の航空機の車輪配置の呼称は次のとおりである。



Single wheel, Tricycle Type



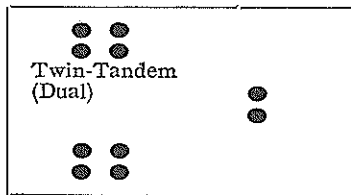
Single-Tandem, Tricycle Type



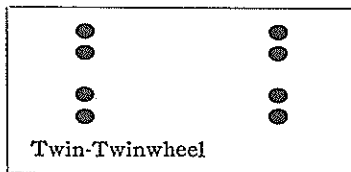
Twin wheel Tricycle Type
(B-727, DC-6, YS-11.)



Twin wheel, Bicycle Type
(B-47)



(Dual)
Twin-Tandem wheel, Tricycle Type
(DC-8, B-707)



Twin-Twin Wheel, Bicycle Type
(B-52)

(4) 表層基層と上層路盤厚

C・B・R公式または設計曲線により、路床上の舗装厚が求まるが、C・Eでは、表層・基層(表中では Pavement と表示してある)の最小厚さと、上層路盤(表中では Base と表示してある)の最小厚さを、各航空機に対して、表-132¹⁾、表-142¹⁾のように規定している。Pavement は瀝青混合物、Base は瀝青混合物または粒状材であるが、材料規定については、参考文献²²⁾において別に報告する。

(5) 締固め度と舗装厚の設計

C・Eでは、舗装に使用される材料の締固め度を規定するとともに、切土路床においても、舗装表面からの深さごとに必要な密度を決めている。したがって、C・B・R公式または設計曲線より求めた舗装厚が、路床の必要密度を満足させない場合は、路床をより以上に締固めるか、良質土に置き換えるか、あるいは所定の密度を満足せしめるように舗装厚を増してやらなければならない。必要締固め度については参考文献²²⁾で述べる。

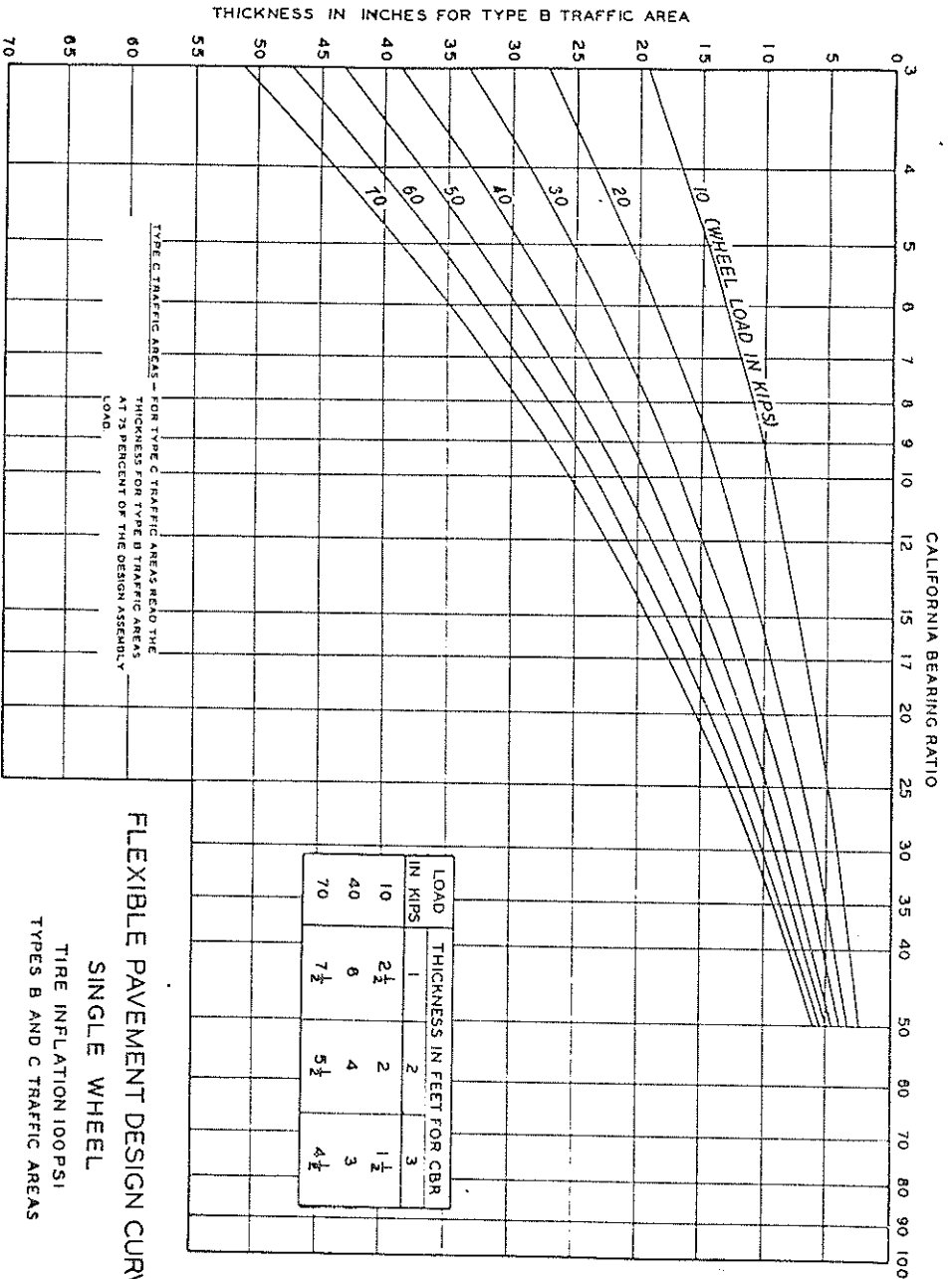
(6) 設計C・B・R

現場の土に手を加えないで、これをそのまま路床とする場合は、現場C・B・R試験または、乱されない試料を採取して来て室内C・B・R試験を行なう。現場の土が、年間を通じて最悪の含水状態にあると考えられる場合は、現場C・B・R試験により設計C・B・Rを決定する。もしも土が最悪の含水状態にない場合は、現場で、乱されない試料をC・B・Rモールドに採取して来て4日間水浸後に室内C・B・R試験を行なって設計C・B・Rを決定する。値がばらつく場合は、下位百分の値を設計C・B・Rとする。

現場で締固めを行なう場合には、4日間水浸の、乱された試料による室内C・B・R試験によって、設計C・B・Rを決定すればよい。この場合には、現場で考えられる施工含水比と締固め度の範囲内で試験を行ない、設計C・B・Rとしては、低目のものを選ぶべきである。C・B・R試験時に、土の粒子が、規定の締固めタンパーにより容易に破壊されるようならば、現場の締固め方法に対応させることを考慮に入れて、他の締固め方法を使用してもよい。また一般に粒状材の室内C・B・R試験は、原位置の値よりも高く出るから、粒度やアッターベルク限界などで補正してやる必要がある。

以上述べたC・B・R試験法は、わが国のJIS規定(JIS 1211)と同じであるが、水浸時やピストン貫入時の載荷重強度は、実際に、その土の上の舗装の荷重強度と等しくなるようにしなければならない。もしも仮

R050456-A

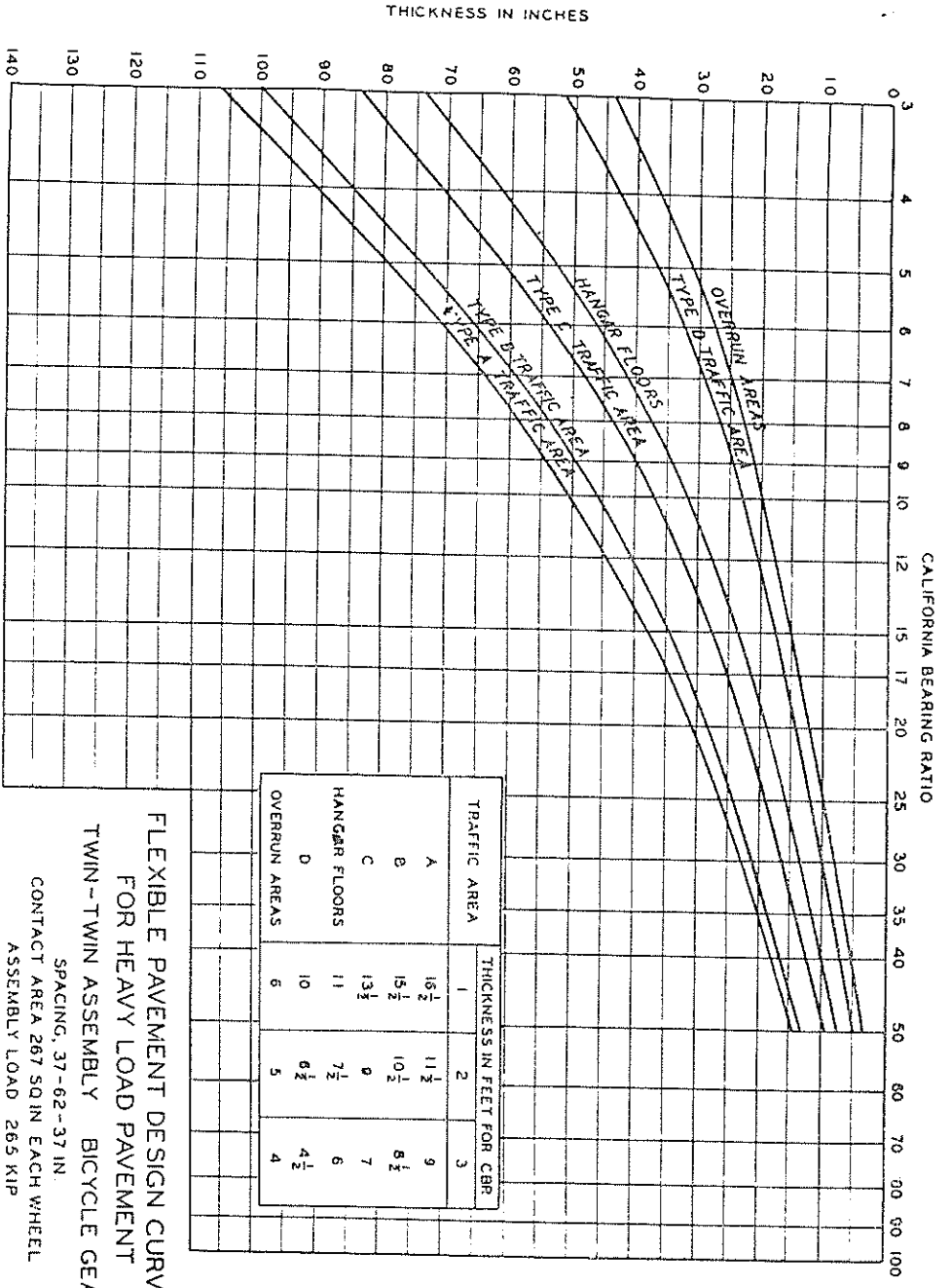


LOAD IN KIIPS	THICKNESS IN FEET FOR CBR		
	1	2	3
10	2½	2	1½
40	6	4	3
70	7½	5½	4½

FLEXIBLE PAVEMENT DESIGN CURVES
SINGLE WHEEL
TIRE INFLATION 100PSI
TYPES B AND C TRAFFIC AREAS

図-33 単車輪 (タイヤ圧100psi) 設計曲線 (C・B・R法)

040358-A



FLEXIBLE PAVEMENT DESIGN CURVES
 FOR HEAVY LOAD PAVEMENT
 TWIN-TWIN ASSEMBLY BICYCLE GEAR
 SPACING, 37-62-37 IN.
 CONTACT AREA 267 SQ IN EACH WHEEL
 ASSEMBLY LOAD 265 KIP

APRIL 1958

图-34 重荷重鋪裝曲線 (C·B·R法)

MO50450-B

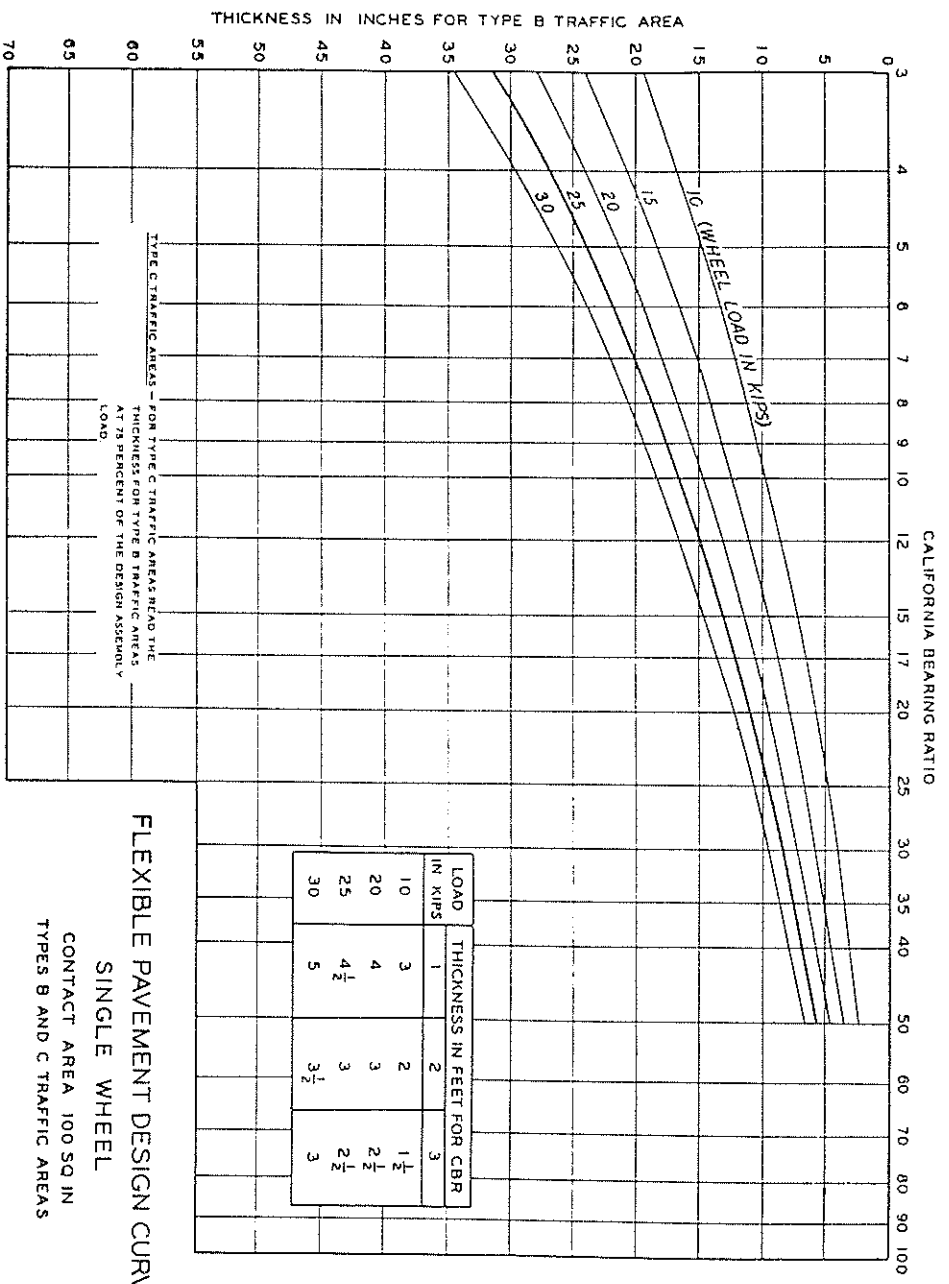
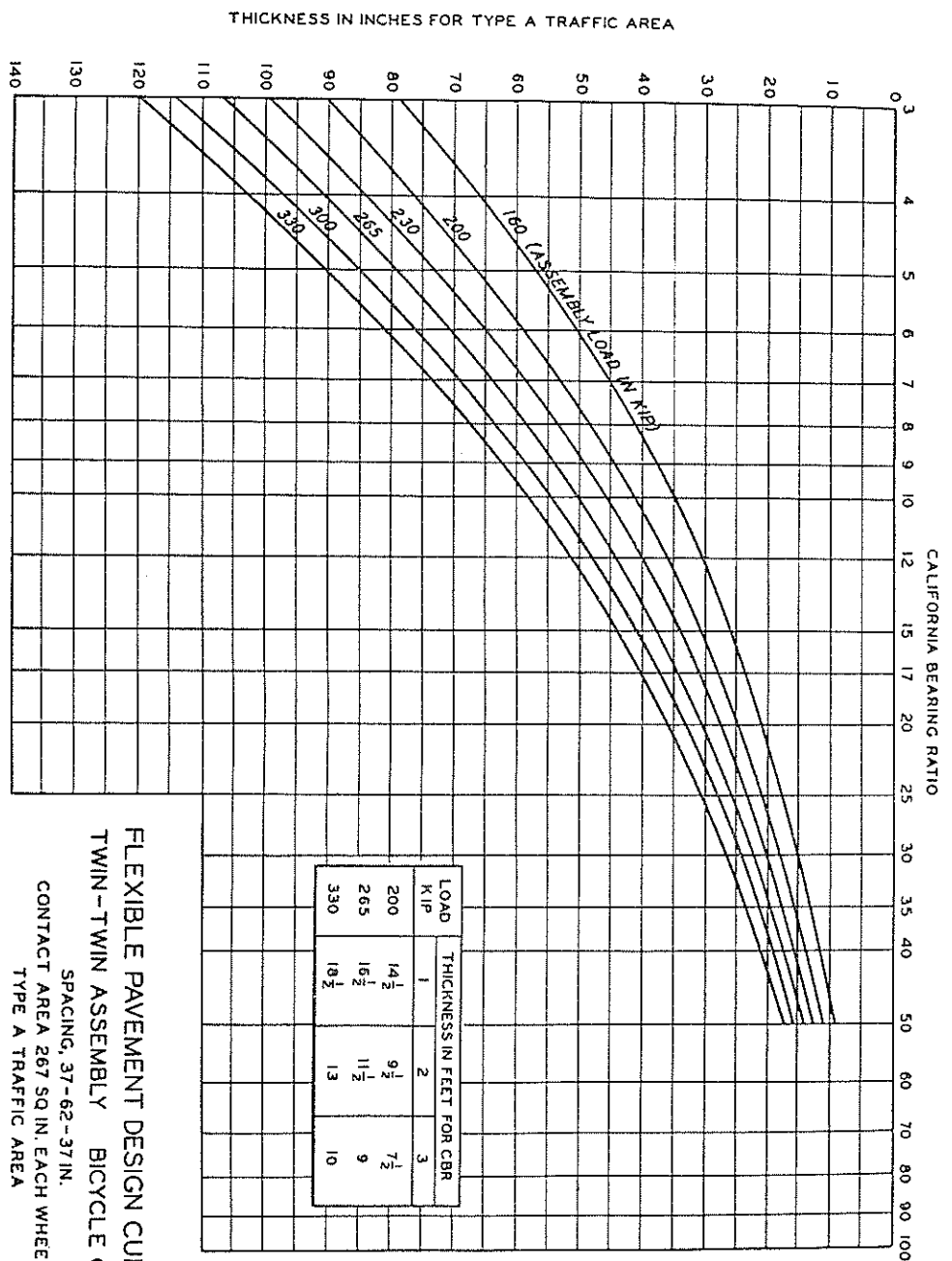


图-35 单车轴(接触面积100in²)设计曲线 (C·B·R法)

030350-E



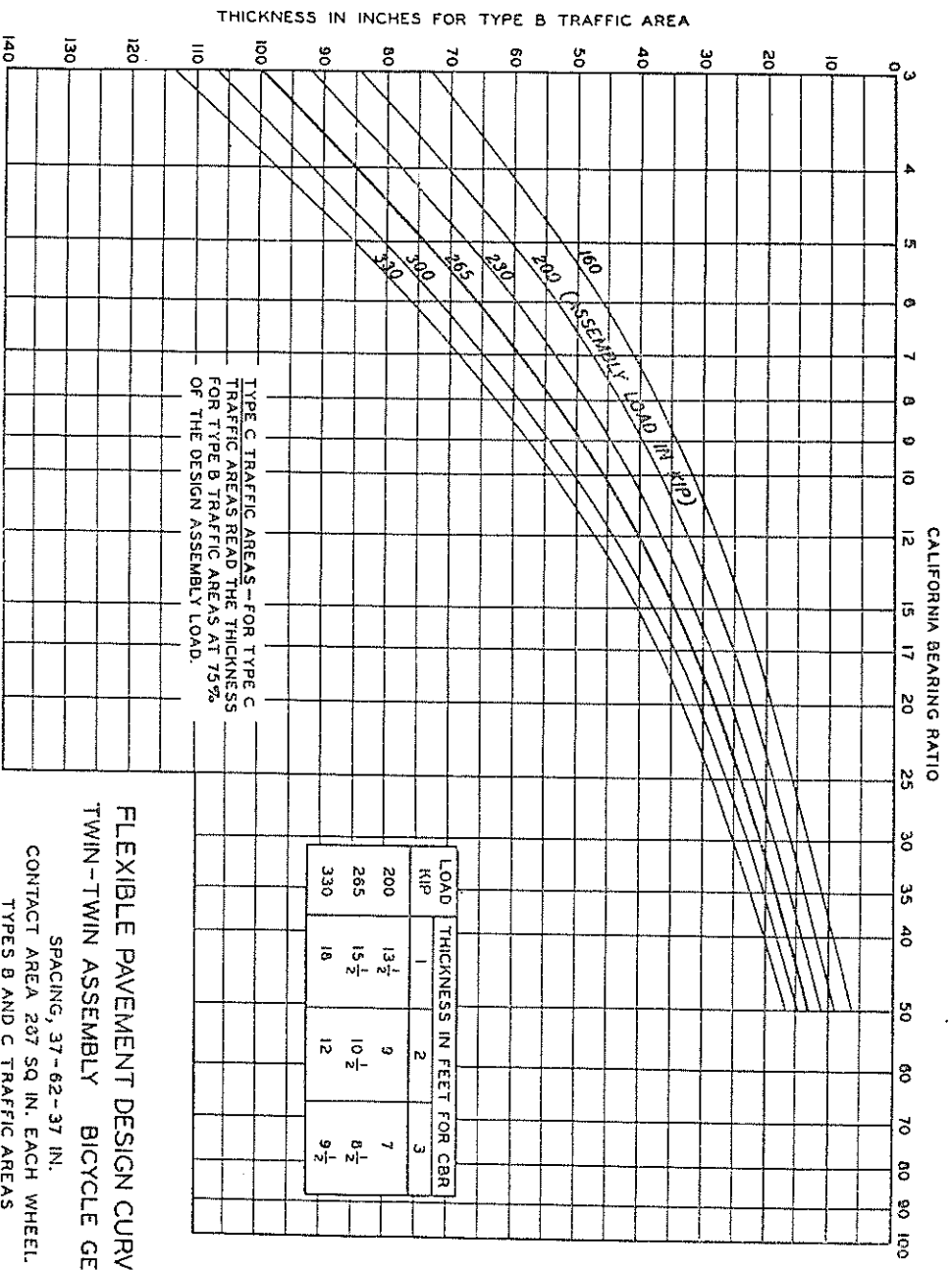
LOAD KIP	THICKNESS IN FEET FOR CBR		
	1	2	3
200	14 1/2	9 1/2	7 1/2
265	16 1/2	11 1/2	9
330	18 1/2	13	10

FLEXIBLE PAVEMENT DESIGN CURVES
TWIN-TWIN ASSEMBLY BICYCLE GEAR
 SPACING, 37-62-37IN.
 CONTACT AREA 267 SQ IN. EACH WHEEL
 TYPE A TRAFFIC AREA

MARCH 1959

图-36 V Twin-Twin Wheel, Bicycle Type (接地面積267in², 間隔37-62-37in) のA型舗装設計曲線 (C・B・R法)

030318-F



FLEXIBLE PAVEMENT DESIGN CURVES
TWIN-TWIN ASSEMBLY BICYCLE GEAR

SPACING, 37-62-37 IN.
 CONTACT AREA 207 SQ IN. EACH WHEEL.
 TYPES B AND C TRAFFIC AREAS

MARCH 1953

图-37 Twin-Twin wheel, Bicycle Type の B 型, C 型舗装設計曲線 (C・B・R 法)

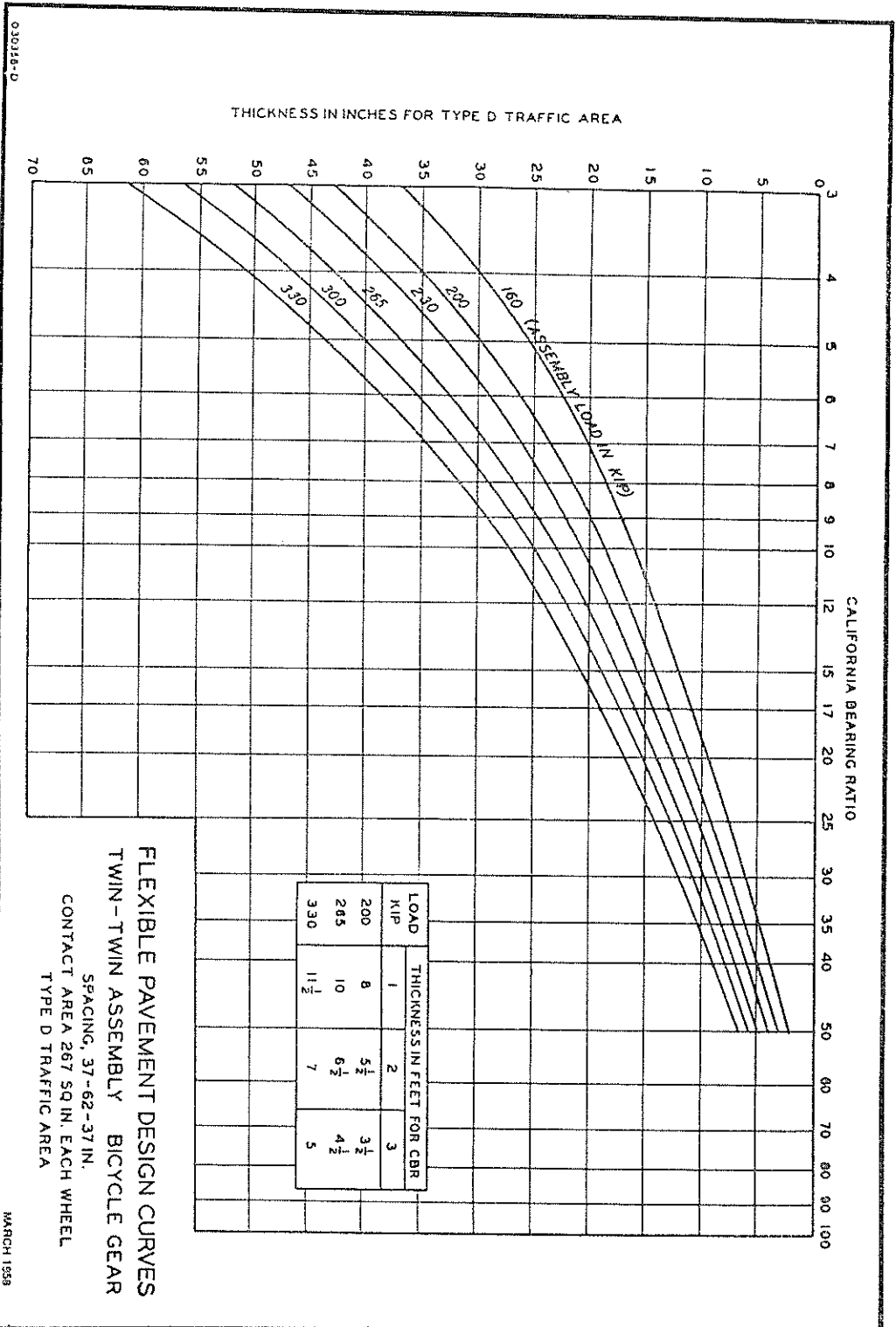


图-38 Twin-Twin wheel, Bicycle Type の D 型舗装設計曲線 (C·B·R法)

03018-D

MARCH 1958

021026-B

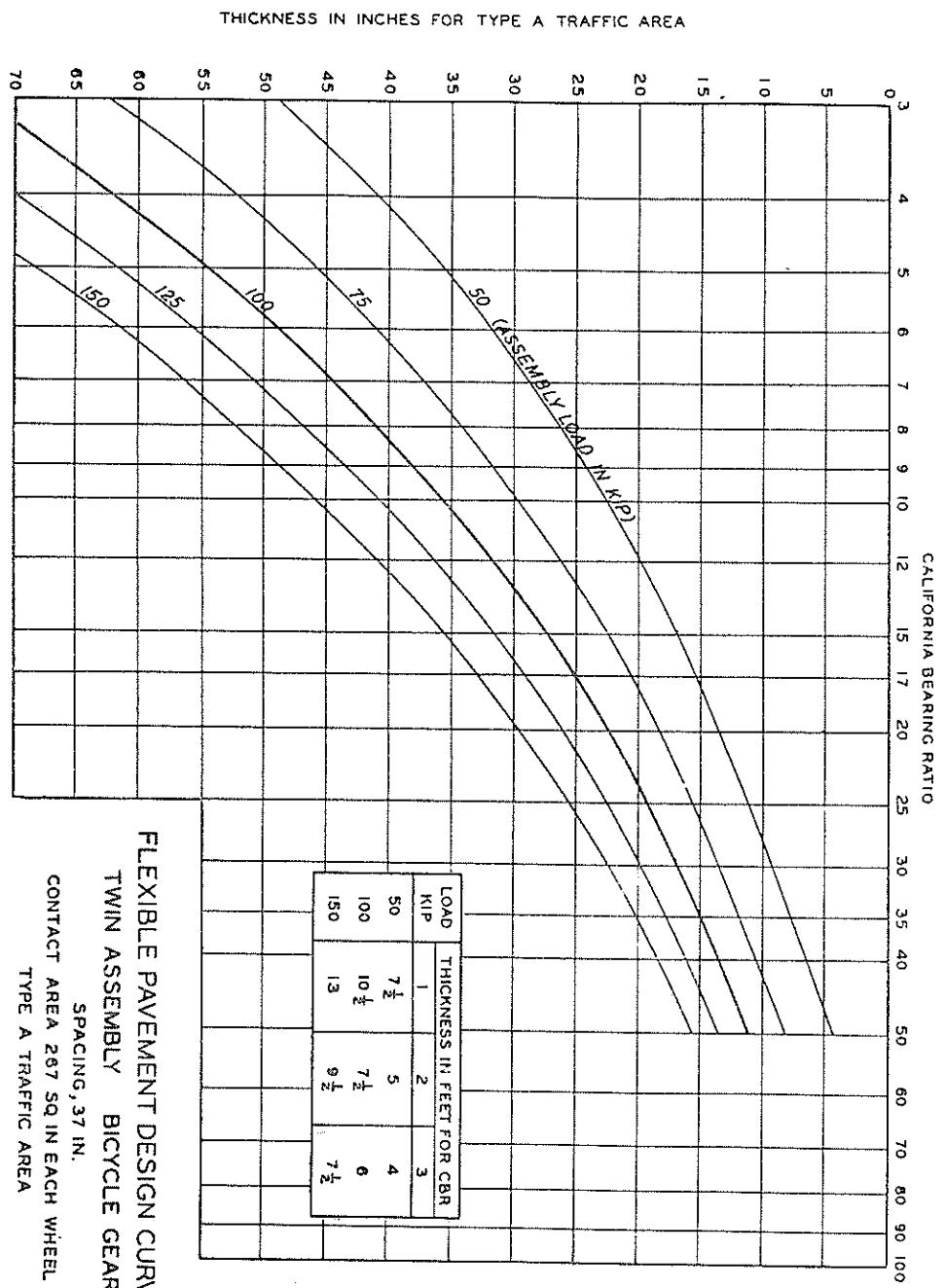


图-39 Twin Wheel, Bicycle Type (接地面積 267 in², 間隔 37 in) の A 型舗装設計曲線 (C·B·R 法)

FEBRUARY 1958

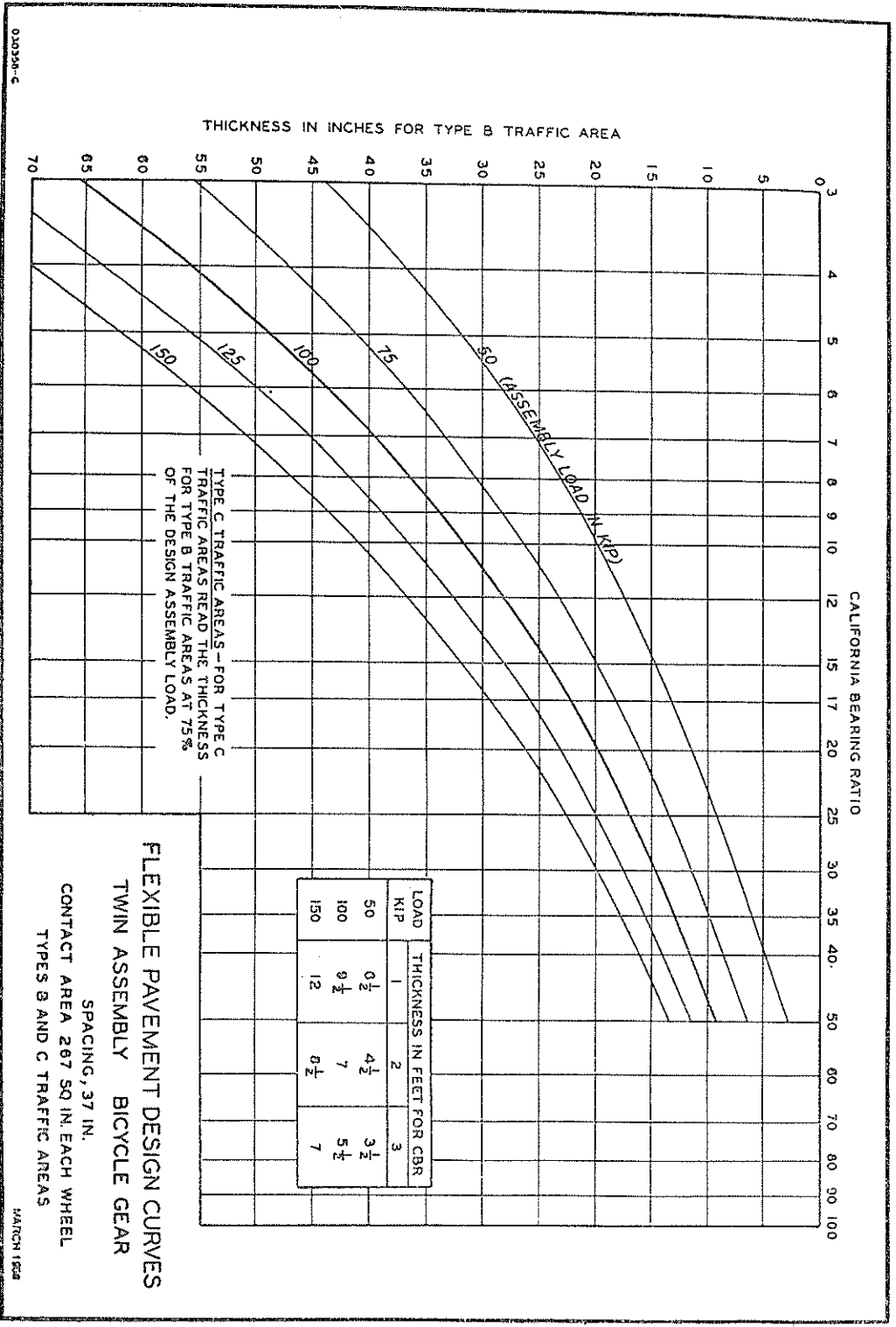
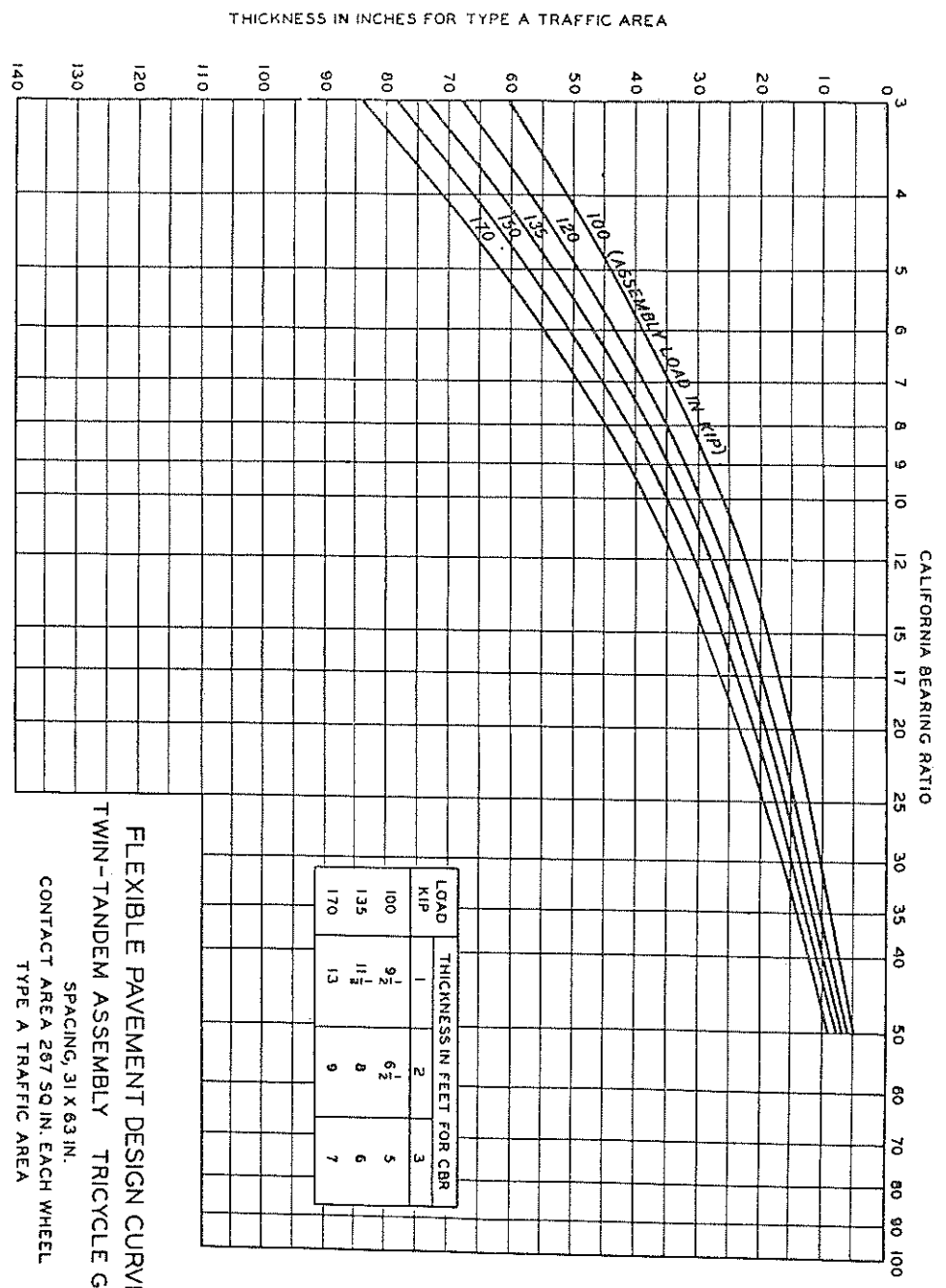


圖-40 Twin Wheel, Bicycle Type のB型, C型舗装設計曲線 (C・B・R法)

022756-B



FLEXIBLE PAVEMENT DESIGN CURVES
 TWIN-TANDEM ASSEMBLY TRICYCLE GEAR
 SPACING, 31 X 63 IN.
 CONTACT AREA 287 SQ. IN. EACH WHEEL
 TYPE A TRAFFIC AREA

MARCH 1958

圖-41 Twin-Tandem Wheel, Tricycle Type (接地面積, 267in², 間隔 31in x 63in) のA型舗装設計曲線 (C・B・R法)

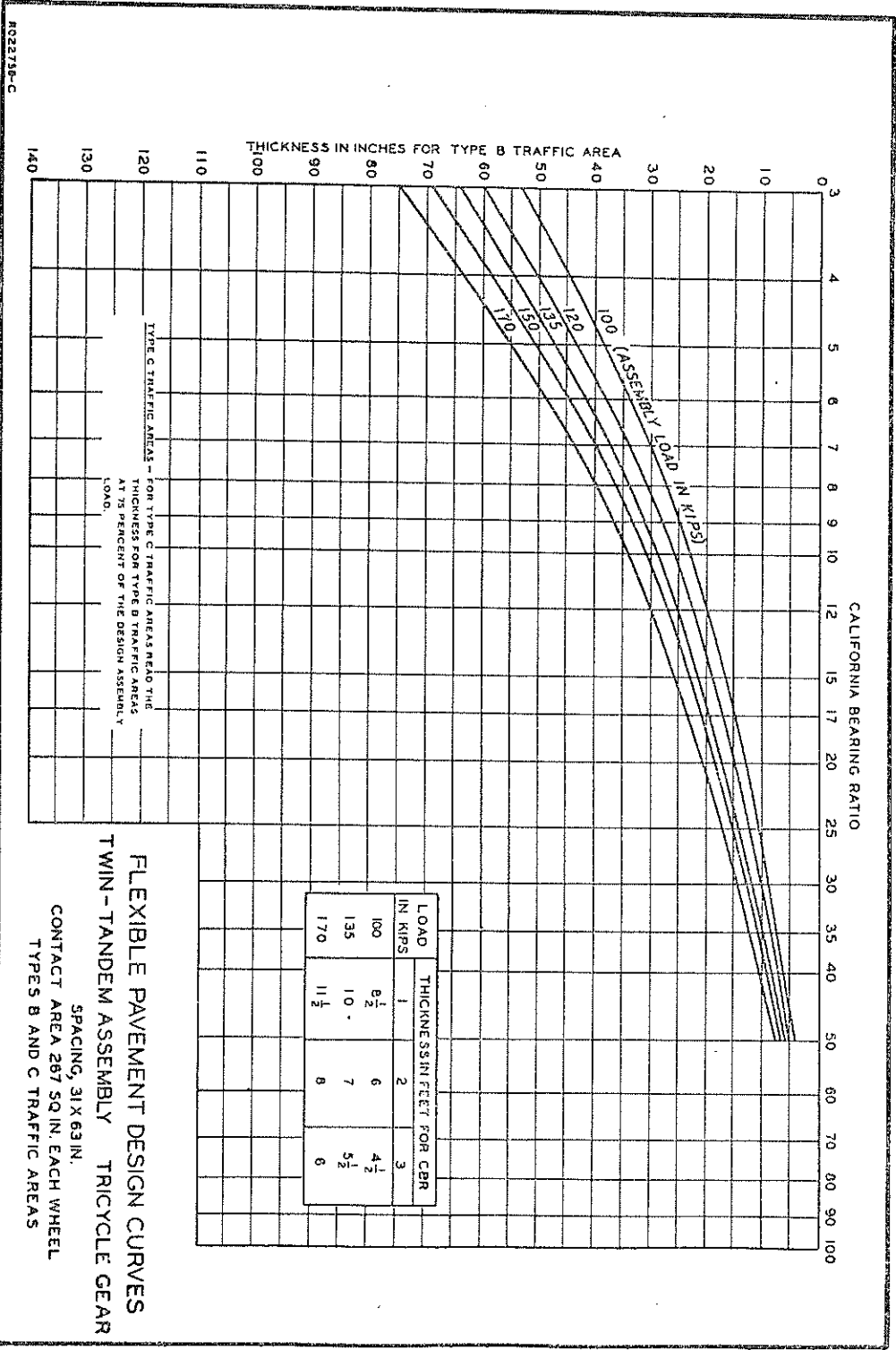
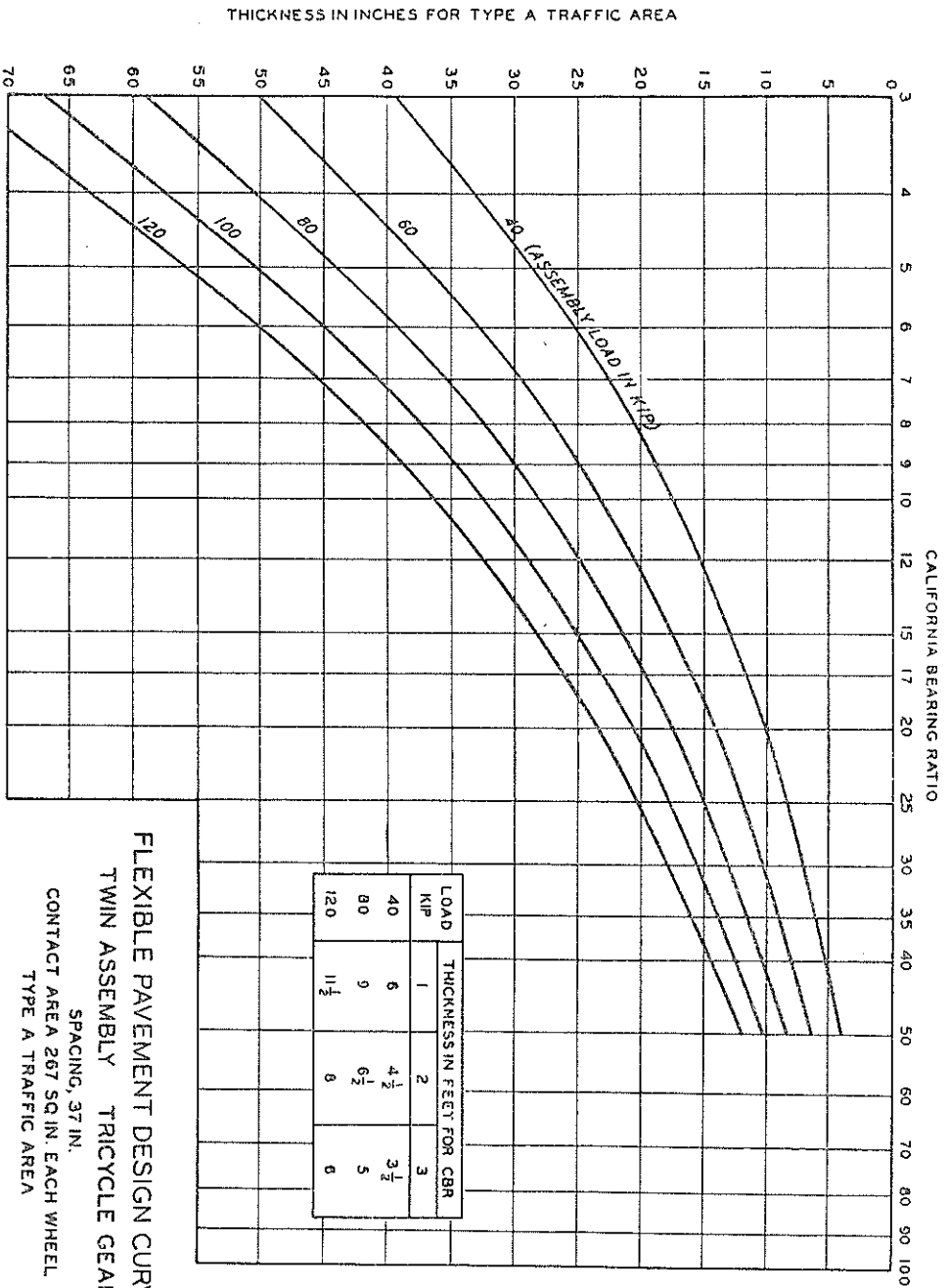


图-42 Twin-Tandem Wheel Tricycle Type B型 C型鋪裝設計曲線 (C·B·R法)



CS2756-C

MARCH 1959

图-43 Twin-Wheel, Tricycle Type (接触面积 267 in², 间隔 37 in) の A 型舗装設計曲線 (C·B·R 法)

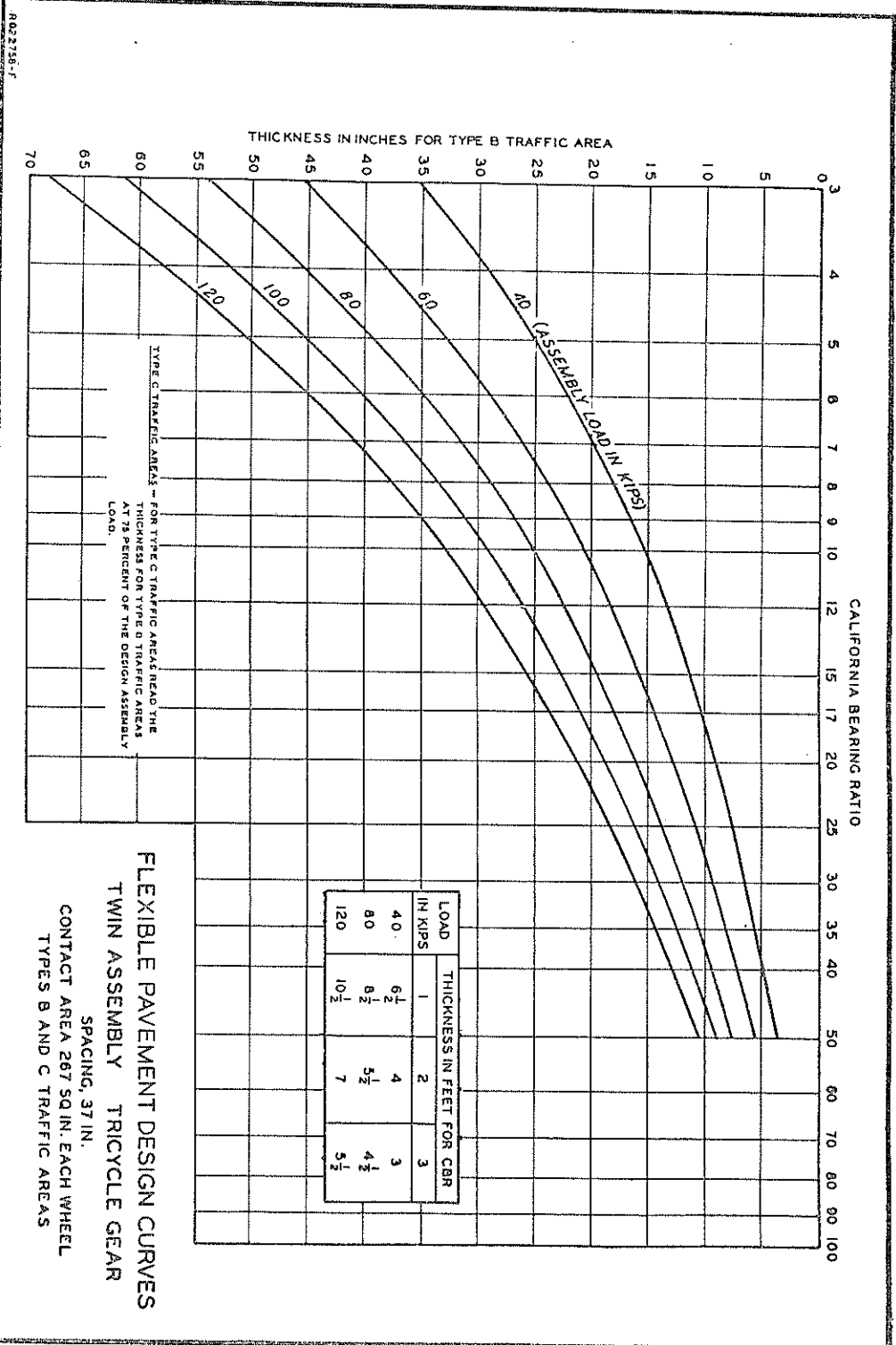


图-44 Twin-Wheel, Tricycle Type のB型, C型 舗装設計曲線 (C・B・R法)

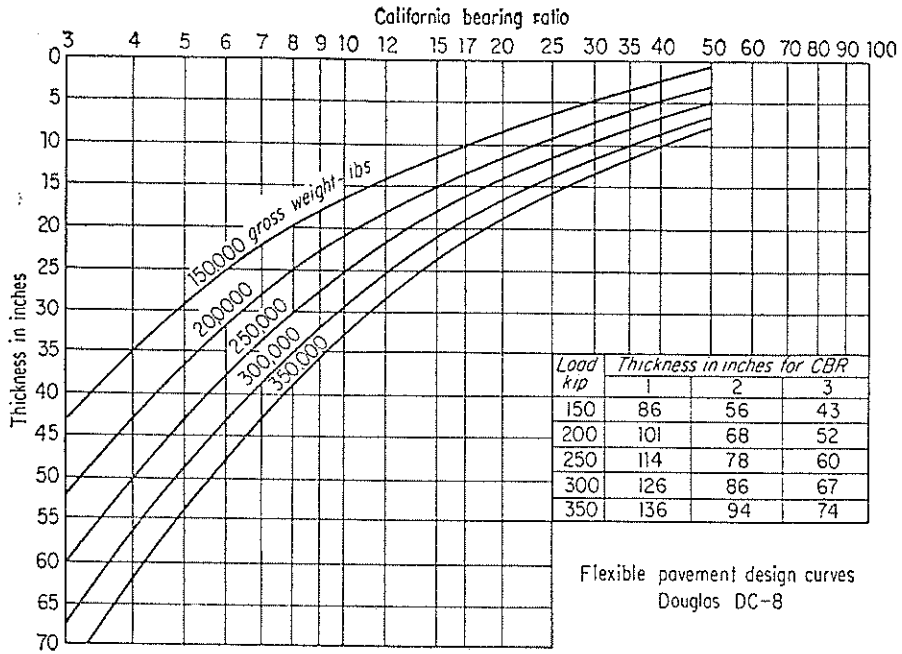


図-45 DC-8のB型舗装設計曲線 (C・B・R法)

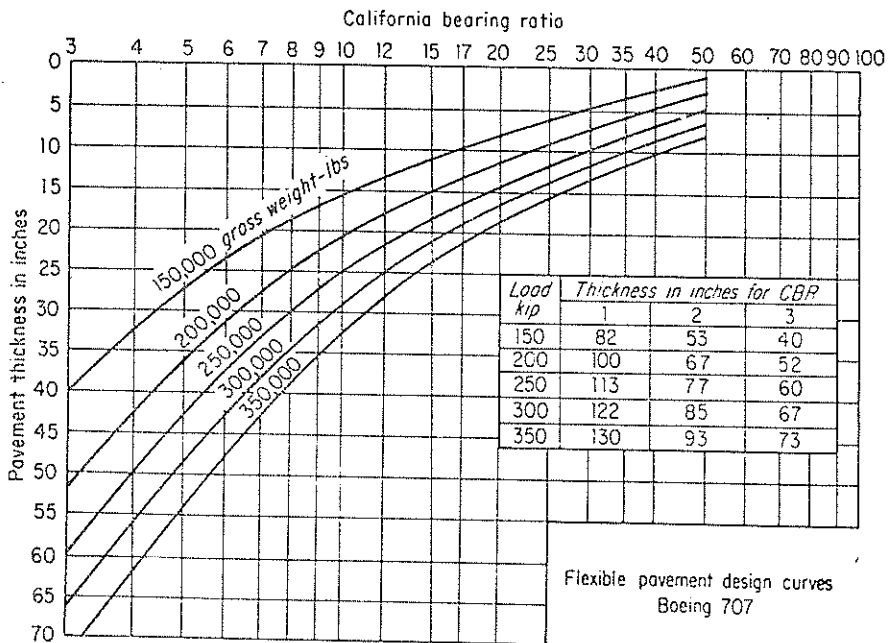


図-46 B-707のB型舗装設計曲線 (C・B・R法)

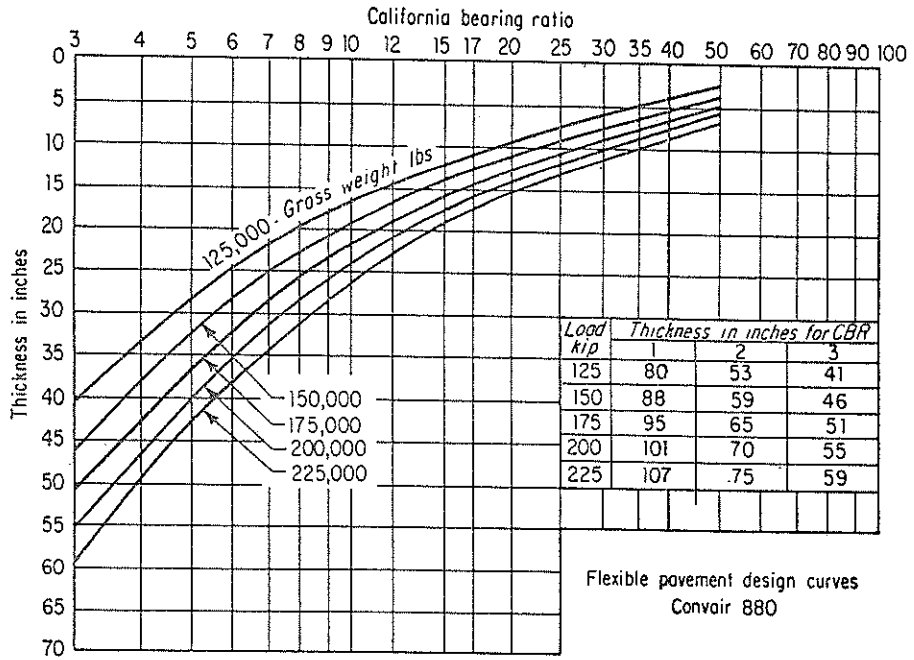
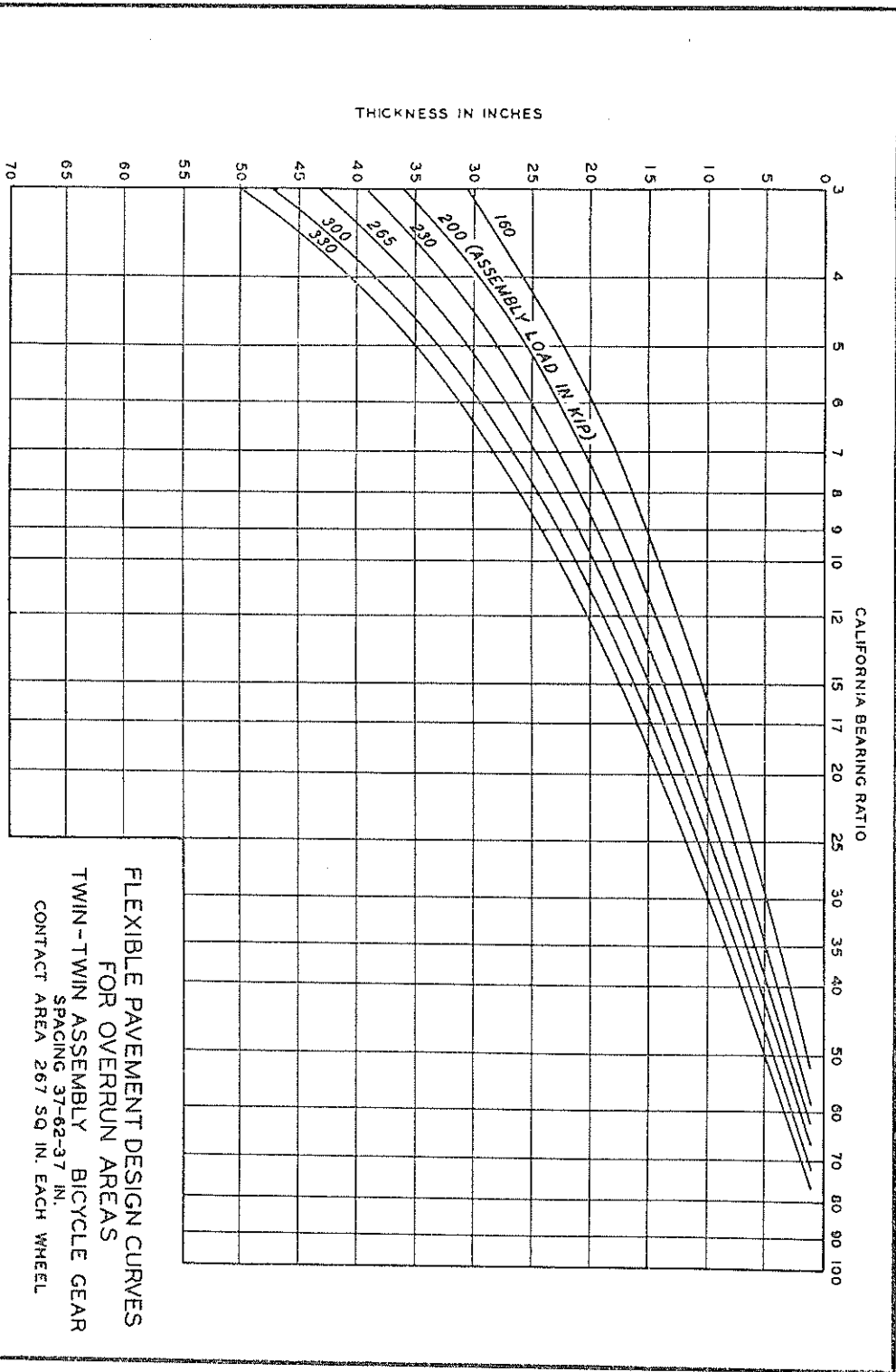


圖-47 Conv.-880 のB型舗装厚設計曲線 (C・B・R法)

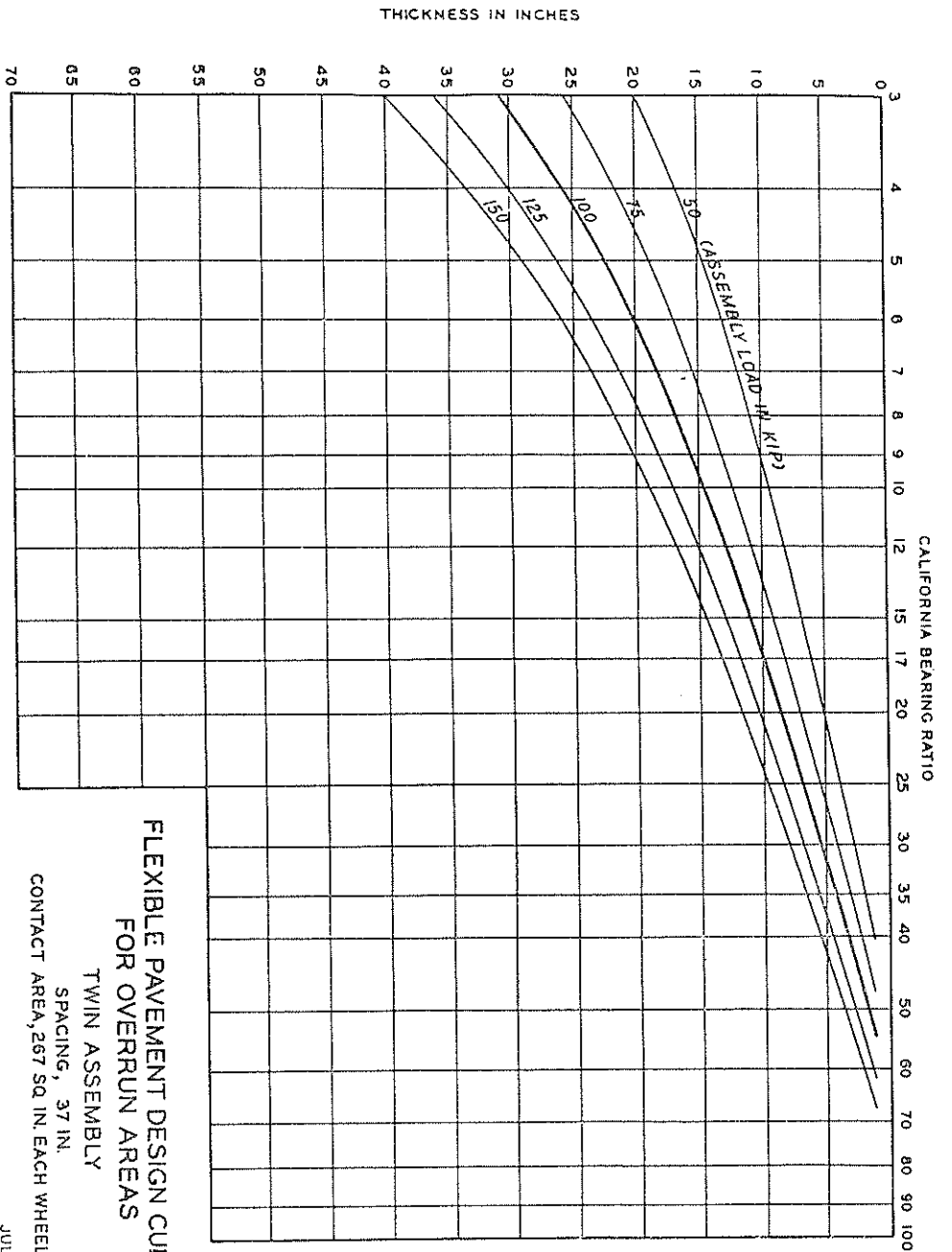


FLEXIBLE PAVEMENT DESIGN CURVES
 FOR OVERRUN AREAS
 TWIN-TWIN ASSEMBLY BICYCLE GEAR
 SPACING 37-62-37 IN.
 CONTACT AREA 267 SQ. IN. EACH WHEEL

022188-C

FEBRUARY 1958

図-48 Twin-Twin Wheel, Bicycle Type のオーバーラン地区舗装設計曲線 (C・B・R法)



FLEXIBLE PAVEMENT DESIGN CURVES
FOR OVERRUN AREAS
TWIN ASSEMBLY
SPACING, 37 IN.
CONTACT AREA, 267 SQ. IN. EACH WHEEL.

JULY 1956

図-49 Twin Wheel, Bicycle Type のオーバーラン地区舗装設計曲線 (C・B・R法)

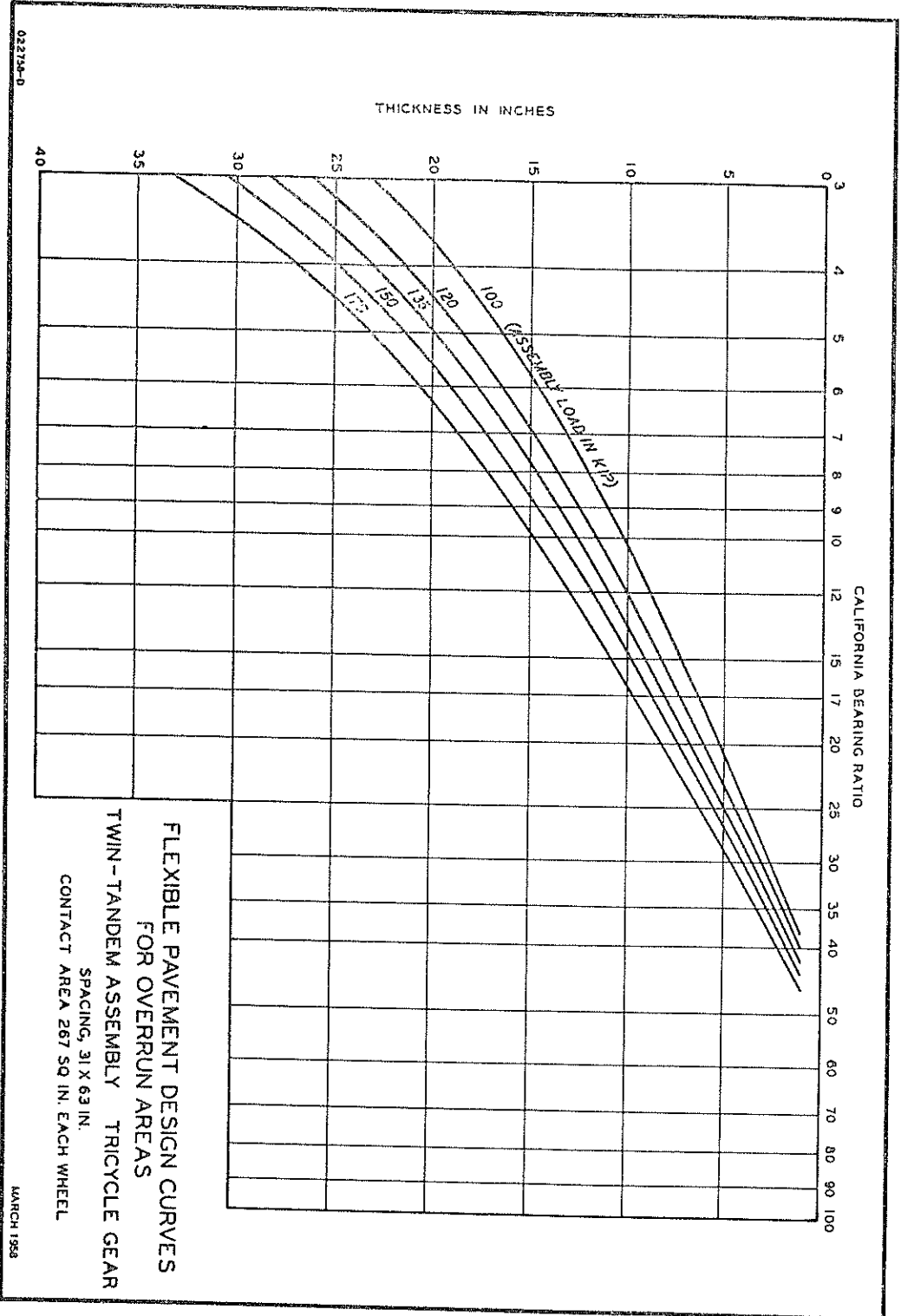


図-50 Twin-Tandem Wheel, Tricycle Type のオーバーラン地区舗装設計曲線 (C・B・R法)

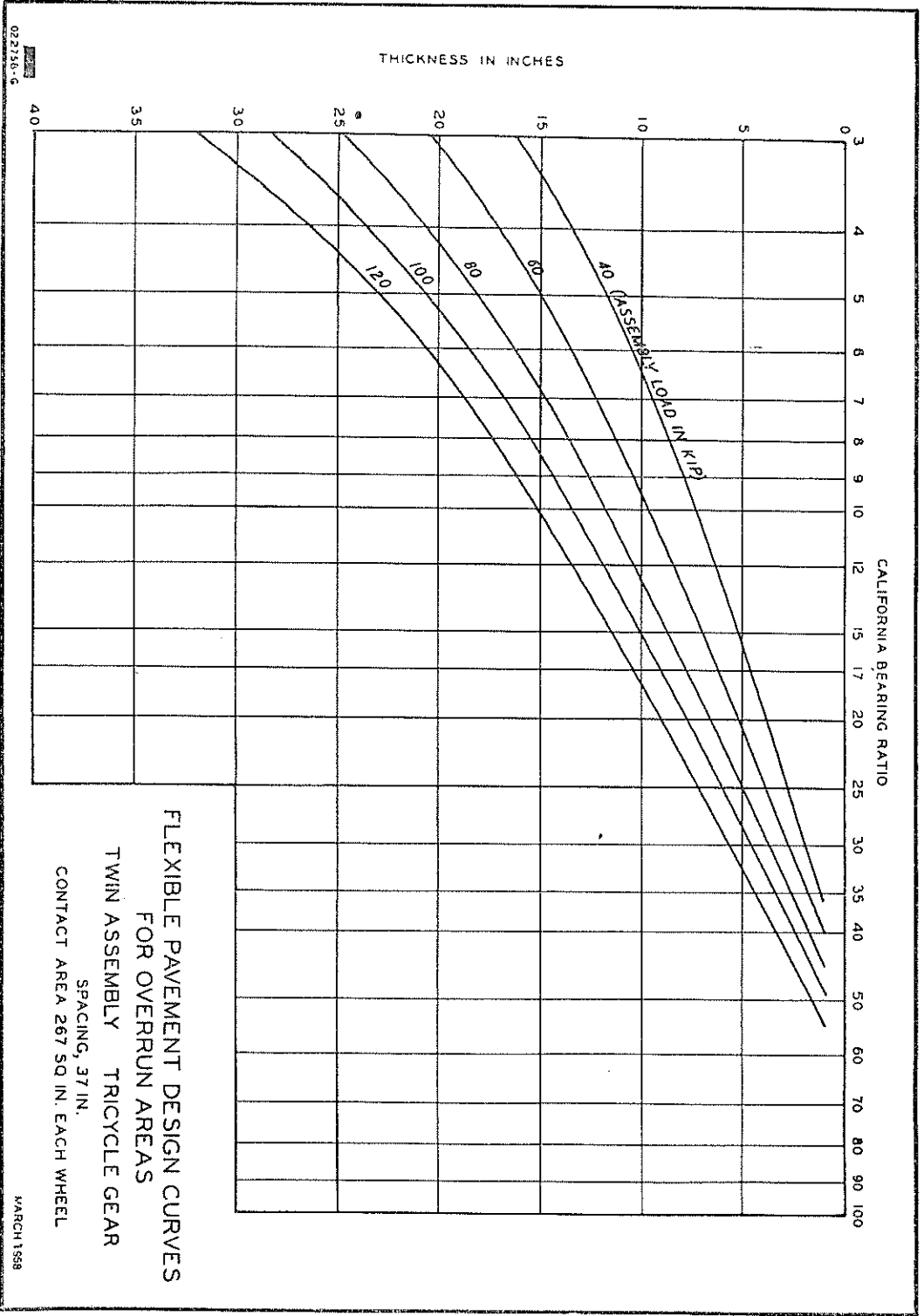
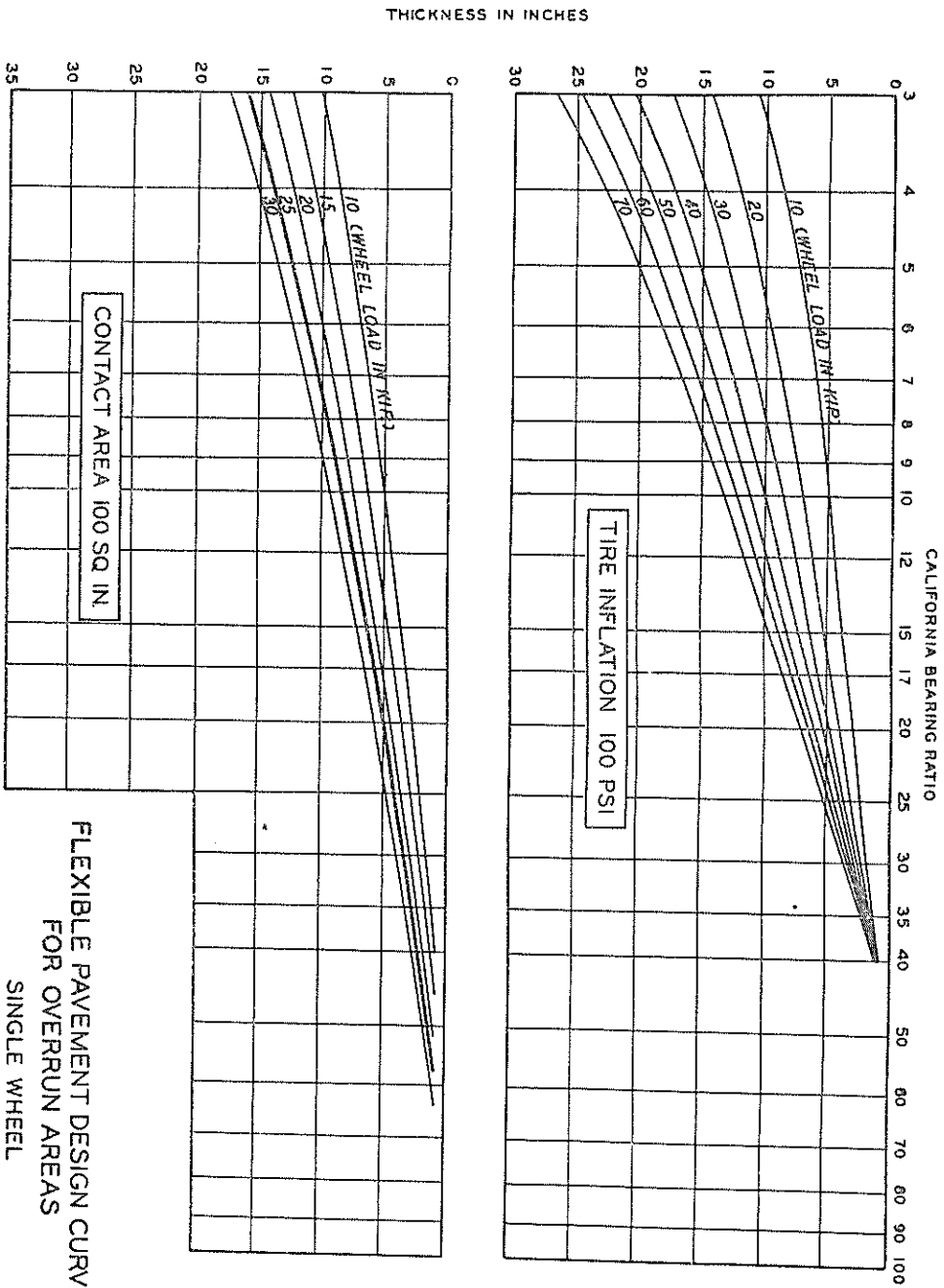


図-51 Twin Wheel, Tricycle Type のオーバーラン地区舗装設計曲線 (C・B・R法)



**FLEXIBLE PAVEMENT DESIGN CURVES
FOR OVERRUN AREAS
SINGLE WHEEL**

MAY 1956

図-52 Single-Wheel, Tricycle Type のオーバーラン地区舗装設計曲線 (C・B・R法)

SINGLE WHEEL
TIRE INFLATION, 100 PSI

LOAD KIPS	MINIMUM THICKNESS, IN.					
	80 CBR ¹			100 CBR		
	PAVEMENT	BASE	TOTAL	PAVEMENT	BASE	TOTAL
10	2	6	8	2	6	8
20	2	6	8	2	6	8
30	3	6	9	2	6	8
40	3	6	9	2	6	8
50	3	6	9	2	6	8
60	4	6	10	3	6	9
70	4	6	10	3	6	9

SINGLE WHEEL
CONTACT AREA, 100 SQ. IN. EACH WHEEL

LOAD KIPS	MINIMUM THICKNESS, IN.					
	80 CBR ¹			100 CBR		
	PAVEMENT	BASE	TOTAL	PAVEMENT	BASE	TOTAL
10	2	6	8	2	6	8
15	3	6	9	2	6	8
20	3	6	9	3	6	9
25	4	6	10	3	6	9
30	5	6	11	4	6	10

040358B

1. Florida limerock or stabilized aggregate permitted.

表-13 単車輪荷重に対する表層・基層 (Pavement), 上層路盤 (Base) 最小厚 (C・B・R法)

Heavy Load Design—Assembly Load, 265 kips
TWIN-TWIN ASSEMBLY, BICYCLE
SPACING, 31'-6" 31' IN. CENTER-TO-CENTER
CONTACT AREA, 267 SQ. IN. EACH WHEEL

TRAFFIC AREA	MINIMUM THICKNESS, IN. ¹					
	100-CBR BASE			80-CBR BASE ²		
	PAV	BASE	TOTAL	PAV	BASE	TOTAL
A	5	10	15	6	9	15
B	4	9	13	5	8	13
C	4	9	13	5	8	13
D	3	6	9	3	6	9
linear floors w/pt access aprons ³	3	6	9	3	6	9

TWIN-TWIN ASSEMBLY, BICYCLE
SPACING, 31'-6" 31' IN. CENTER-TO-CENTER
CONTACT AREA, 267 SQ. IN. EACH WHEEL

LOAD KIPS	MINIMUM THICKNESS, IN. ¹											
	TYPES B AND C TRAFFIC AREAS						TYPE A TRAFFIC AREAS					
	100-CBR BASE			80-CBR BASE ²			100-CBR BASE			80-CBR BASE ²		
	PAV	BASE	TOTAL	PAV	BASE	TOTAL	PAV	BASE	TOTAL	PAV	BASE	TOTAL
160	3	6	9	3	6	9	3	8	11	4	8	12
200	3	7	10	4	6	10	4	8	12	5	8	13
230	4	8	12	5	7	12	5	8	13	6	8	14
265	4	9	13	5	8	13	5	10	15	6	9	15
300	5	9	14	6	8	14	6	10	16	7	9	16
330	6	10	16	7	9	16	7	11	18	8	10	18

TWIN-TANDEM ASSEMBLY, TRICYCLE
SPACING, 31'-6" 31' IN. CENTER-TO-CENTER
CONTACT AREA, 267 SQ. IN. EACH WHEEL

LOAD KIPS	MINIMUM THICKNESS, IN. ¹											
	TYPES B AND C TRAFFIC AREAS						TYPE A TRAFFIC AREAS					
	100-CBR BASE			80-CBR BASE ⁴			100-CBR BASE			80-CBR BASE ²		
	PAV	BASE	TOTAL	PAV	BASE	TOTAL	PAV	BASE	TOTAL	PAV	BASE	TOTAL
100	2	6	8	3	6	9	2	6	8	3	6	9
120	3	6	9	3	6	9	3	6	9	3	6	9
135	3	6	9	3	6	9	3	6	9	3	6	9
150	3	6	9	3	6	9	3	6	9	4	6	10
170	3	6	9	3	6	9	3	6	9	4	6	10

1. These minimum thicknesses apply when layer directly under the base course has a design CBR of 50; when the underlying layer has a design CBR of 80 the minimum thickness of base course shall be 6 in.
2. Restricted to Florida liaserock except that stabilized aggregate will be permitted in Type D traffic areas.
3. Applicable in other than cold climates (see paragraph 4a).
4. Florida liaserock or stabilized aggregate permitted.

表-14 多車輪荷重に対する表面・基層 (Pavement), 上層路盤 (Base) 最小厚 (C·B·R法)

TWIN ASSEMBLY, BICYCLE
SPACING, 31' IN. CENTER-TO-CENTER
CONTACT AREA, 267 SQ. IN. EACH WHEEL

LOAD KIPS	MINIMUM THICKNESS, IN. ¹											
	TYPES B AND C TRAFFIC AREAS						TYPE A TRAFFIC AREAS					
	100-CBR BASE			80-CBR BASE ²			100-CBR BASE			80-CBR BASE ²		
	PAV	BASE	TOTAL	PAV	BASE	TOTAL	PAV	BASE	TOTAL	PAV	BASE	TOTAL
50	3	6	9	3	6	9	3	8	11	3	8	11
75	3	6	9	3	6	9	3	8	11	4	8	12
100	3	6	9	4	6	10	4	8	12	5	8	13
125	4	8	12	5	7	12	5	9	14	6	8	14
150	5	9	14	6	8	14	6	10	16	7	9	16

TWIN ASSEMBLY, TRICYCLE
SPACING, 31' IN. CENTER-TO-CENTER
CONTACT AREA, 267 SQ. IN. EACH WHEEL

LOAD KIPS	MINIMUM THICKNESS, IN. ¹											
	TYPES B AND C TRAFFIC AREAS						TYPE A TRAFFIC AREAS					
	100-CBR BASE			80-CBR BASE ⁴			100-CBR BASE			80-CBR BASE ²		
	PAV	BASE	TOTAL	PAV	BASE	TOTAL	PAV	BASE	TOTAL	PAV	BASE	TOTAL
40	2	6	8	2	6	8	2	6	8	3	6	9
60	3	6	9	3	6	9	3	6	9	3	6	9
80	3	6	9	3	6	9	3	6	9	4	6	10
100	3	6	9	4	6	10	4	6	10	5	6	11
120	3	7	10	4	6	10	5	7	12	6	6	12

040377C

定した荷重強度をかけたC・B・R試験結果を用いて、舗装厚を設計し、その設計舗装厚の荷重強度と、C・B・R試験時のそれとが異なるような場合は、両者がほぼ一致するまで(±5 Lb 以内) 試験を繰り返す。

2-12 C・B・R設計法の問題点

C・B・R設計法は、これまで述べて来たように、数多くの実験と長い経験を経て、完成された秀れた設計法ではあるが、路床のC・B・Rが決まれば、舗装構成材の材質に関係なく、舗装厚は一定になるという欠点を有して

いる。しかし近年、路盤などに、高品質の材料を使用した場合、舗装厚を薄くすることができるというAASHOの実験結果も出ており、構成材の優劣が舗装厚にも関係することは明らかなようである。すなわち、C・B・R法では、舗装の層構成を理論的に決めることができないため、経験公式の範ちゅうを脱し切れない。したがって今後、C・B・R設計法に望まれることは、舗装材の優劣を数量化し適確な層構成を行なえるよう設計法を改良することであろう。

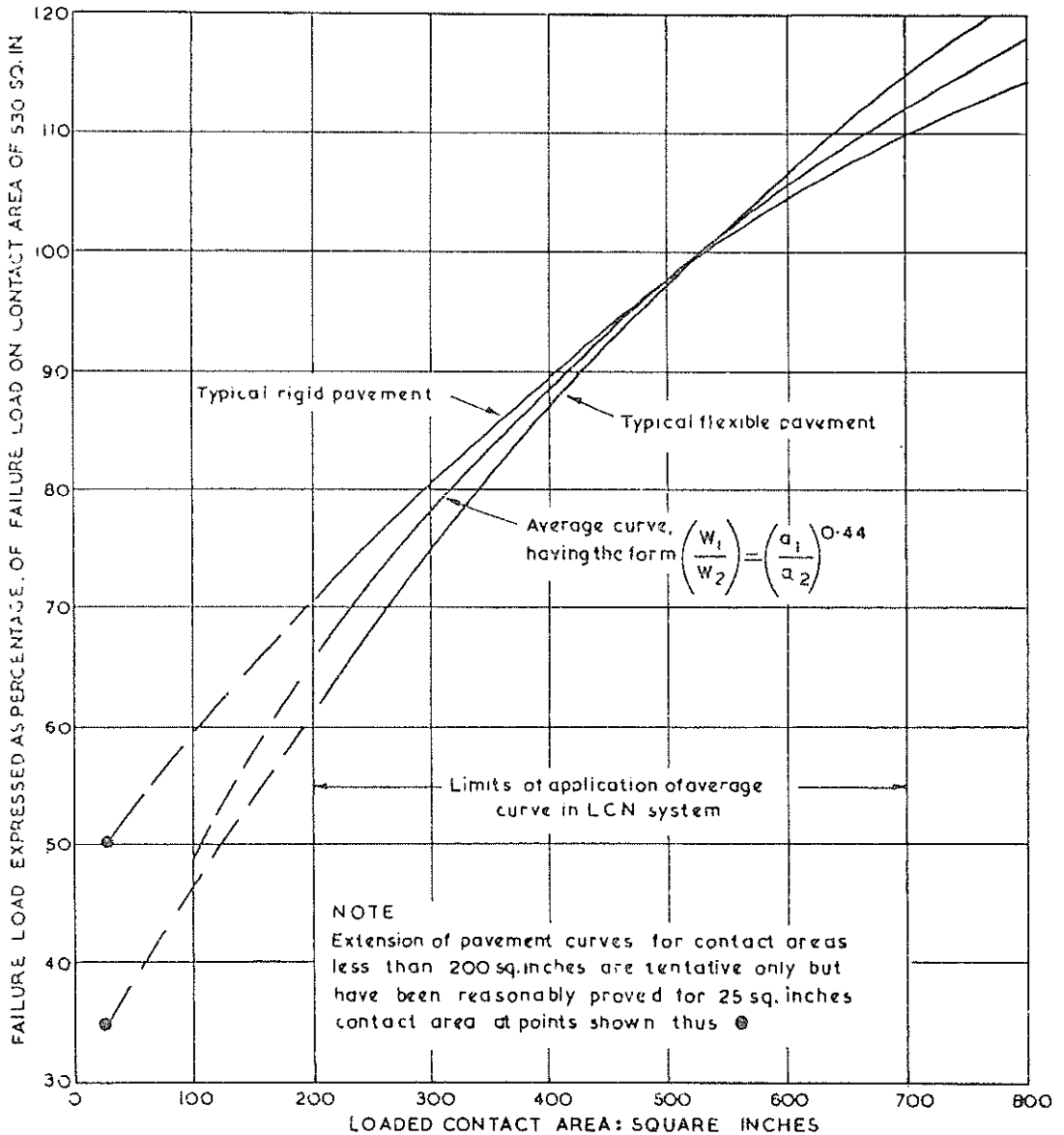


図-53 載荷板の大きさと、破壊荷重との関係 (L・C・N法)

3. L・C・N法* (英国法) 23), 24), 25), 26)

3-1 L・C・N

空港舗装の支持力と航空機荷重とを直接結びつける試みが、第二次大戦後英国においてなされた。すなわち従来の空港舗装においては、その表面において測定された支持力の評価は、なんら航空機荷重と結びつかなかったが、新しく英国で開発されたL・C・Nという数を使用することによって、舗装の支持力と航空機荷重の間に、明確な関係が見出せるようになった。

英国では、空港舗装において、数多くの平板載荷試験を実施した結果、図-53²³⁾のように、載荷面積と破壊荷重との間に、(3-1-1)式に示す相関関係が認められた。

$$\frac{W_1}{W_2} = \left(\frac{a_1}{a_2}\right)^{0.44} \dots \dots \dots (3-1-1)$$

W: 破壊荷重

a: 載荷面積

図-53の縦軸は、破壊荷重を、530in² 載荷板での破壊荷重の百分率で表わしたもので、横軸は、載荷面積(in²)である。図中には、剛性舗装の曲線と撓性舗装の曲線が示してあるほか、両者の平均的曲線として、(3-1-1)式を表わす曲線が描いてある。(3-1-1)式により、任意の載荷板同志の破壊荷重の関係が明らかになった。

次に、図-54²³⁾に示すように、航空機の大きさを考慮に入れて、全く任意に、しかも連続的に、L・C・Nを10から100まで、10間隔で決めた。横軸は 接地面積(in²) (E・S・W・L ÷ タイヤ圧) で、縦軸はE・S・W・L (等価単車輪荷重) (kips) である。このL・C・N値は標準L・C・Nと呼ばれている。式(3-1-1)において、任意の標準L・C・NのE・S・W・LをW₁、接地面積をa₁とすれば、W₂、a₂を有する航空機は、W₁、a₁を有する航空機と、同じ効果を舗装に与えることになるから、両者は等しいL・C・Nを有する航空機といえる。このようにして、標準L・C・Nと式(3-1-1)により、航空機のL・C・N曲線が描かれた。これを図-55²³⁾に示す。図の縦軸はタイヤ圧(psi)、横軸はE・S・W・L(kips)、図中の斜直線は、接地面積(in²)、曲線は、航空機のL・C・Nを示す。

このようにして、舗装に対する航空機のE・S・W・Lと、タイヤ圧が分かれば、航空機のL・C・Nは簡単に求めることができる。一方、舗装のL・C・Nは、直径18inの載荷板により、舗装に5回の繰り返し荷重をかけ、外そう法を用い、10,000回の繰り返し荷重に対して、舗装に0.2inの「累積沈下量+たわみ」を生じせしめる、荷

重を、舗装の支持力として、図-55より求める。

英国では、このようにして求めた舗装のL・C・Nと航空機のL・C・Nの間に、次のような基準を設定している。

- ① (航空機のL・C・N) < (舗装のL・C・N) × (1.1) の場合は制限なしの運航。
- ② (航空機のL・C・N) = (舗装のL・C・N) × (1.1 ~ 1.25) の場合は3000回までの運航。
- ③ (航空機のL・C・N) = (舗装のL・C・N) × (1.25 ~ 1.50) の場合は300回までの運航。
- ④ (航空機のL・C・N) = (舗装のL・C・N) × (1.50 ~ 2.00) の場合は限定使用。
- ⑤ (航空機のL・C・N) > (舗装のL・C・N) × (2.00) の場合は非常時のみの運航。

このように、L・C・N法は、本来、舗装のL・C・Nを載荷試験によって求め、航空機のL・C・Nと比較するものであるから、設計法というよりはむしろ既設舗装の強度評価法といった方がよい。

3-2 L・C・Nを使用した舗装厚設計法

英国では、L・C・Nを、舗装の強度評価法のみならず、舗装厚の設計法にも使用するために、次の手続きを経て、滑走路の舗装厚設計図表を作成した。

- ① 図-33に示すC・B・R法によるタイヤ圧100psiの単車輪荷重設計曲線を使用する。
- ② 図-33は、B型の舗装区域であり、滑走路の場合はC型の舗装区域を対象とすればよいから、荷重を75%に減少させて、図の設計曲線を使用する。
- ③ 例えば50kipsの設計曲線は $\frac{50}{0.75} = 67\text{kips}$ の輪荷重の航空機に対応するものである。タイヤ圧100psiと荷重67kipsは、図-55より、L・C・N = 65である。したがって、図-33の荷重50kipsの設計曲線は、L・C・N = 65の航空機に対応する滑走路の舗装厚曲線となる。

このようにして、図-56²³⁾が描かれた。かくして、航空機のL・C・Nが分かれば簡単に舗装厚が求まるようになった。

3-3 L・C・Nによる舗装厚設計法の問題点

航空機荷重と舗装の強さを、L・C・Nという一つの尺度で表現するという試みは、極めて優れた着想ではあるが、舗装厚設計法としては、次のような問題点が見受けられる。

* L・C・N: Load Classification Number の略

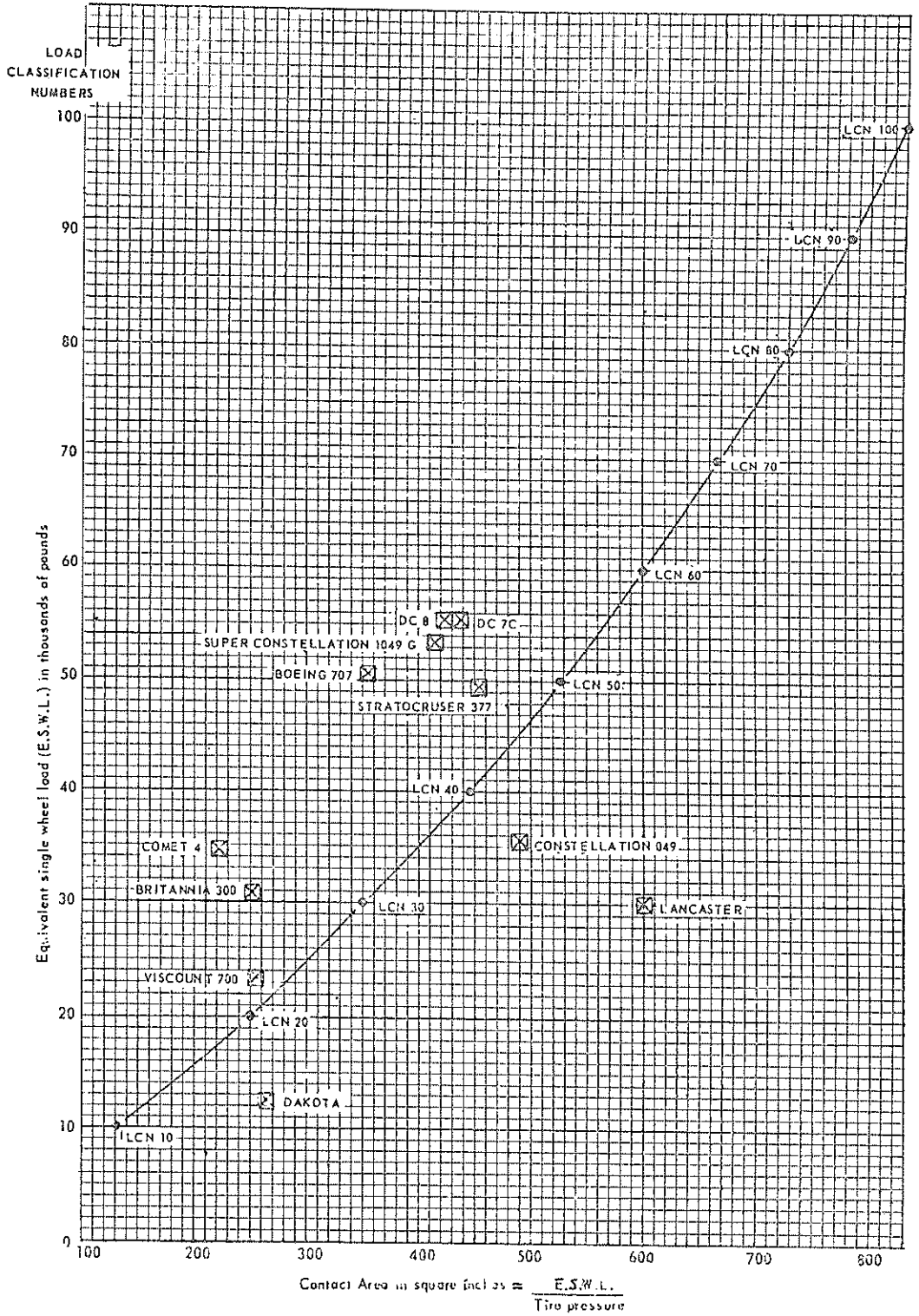


図-54 航空機の標準L・C・N (L・C・N法)

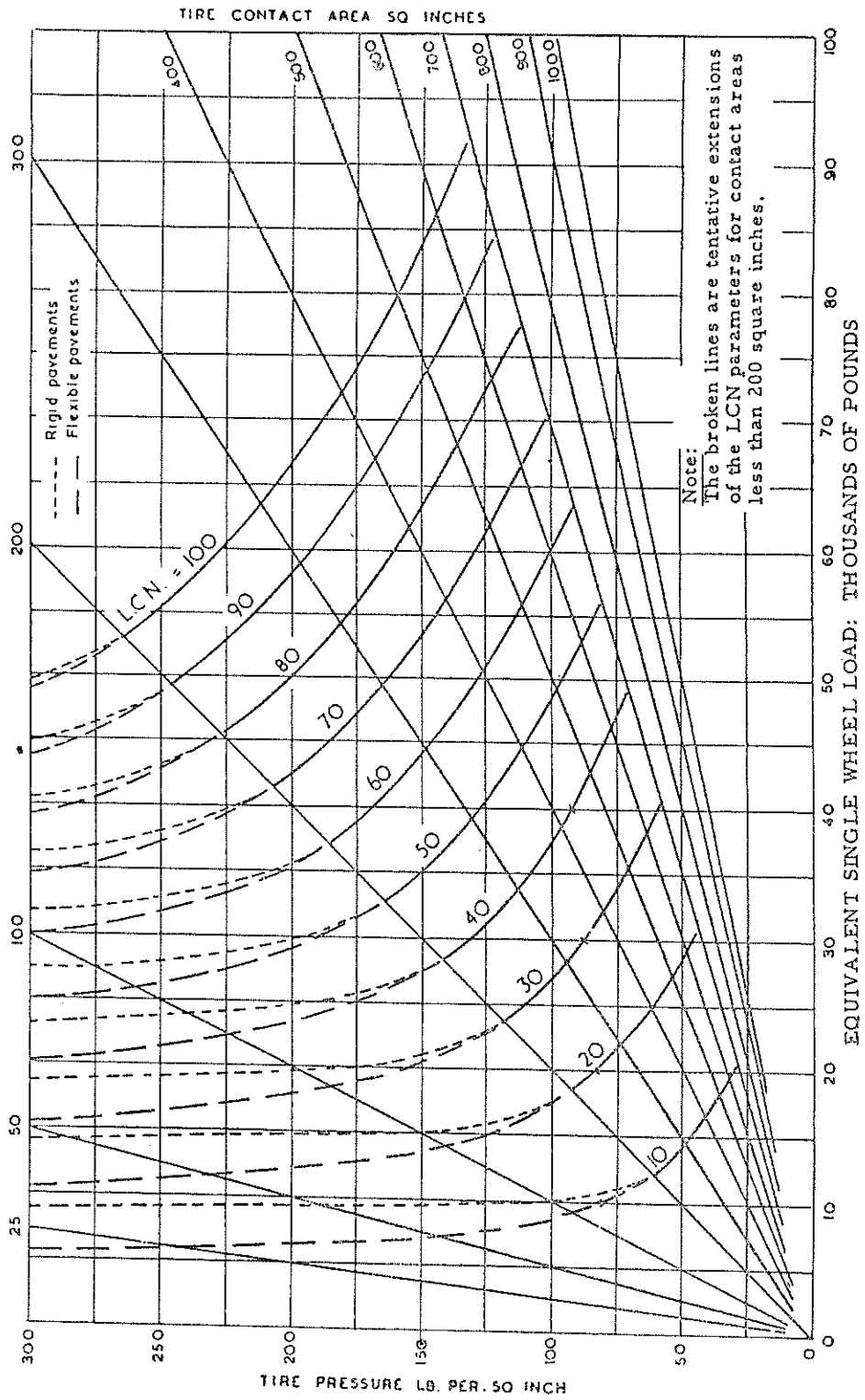


图-55 航空機のL·C·N算定曲線 (L·C·N法)

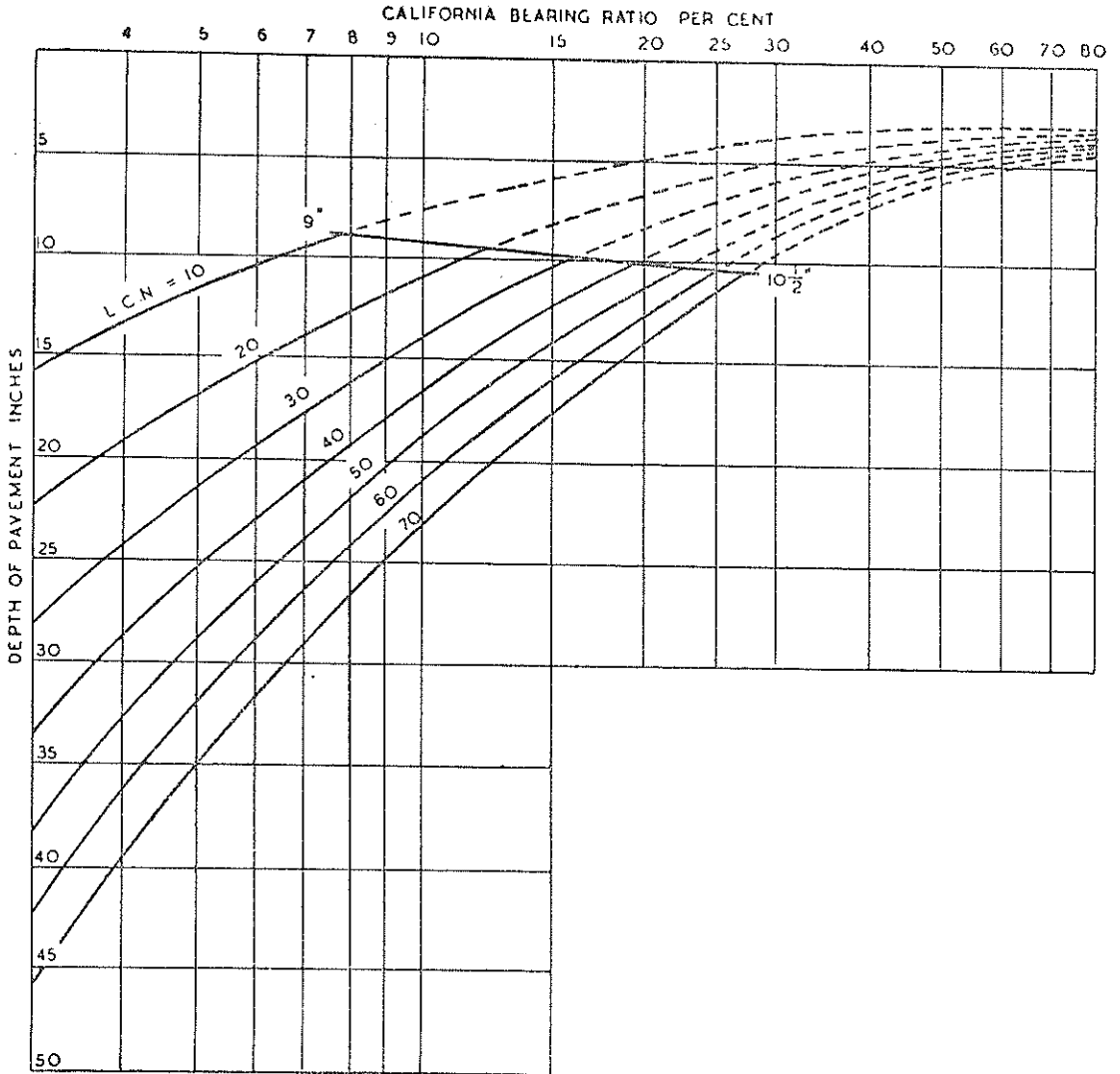


図-56 L・C・Nによる滑走路舗装厚設計曲線（L・C・N法）

- ① L・C・Nによる舗装厚設計曲線は、C・B・R設計曲線を写し換えたに過ぎない。航空機のL・C・Nは実験曲線により作られたものであるから、航空機の荷重を直接使用するC・B・R法に較べ、L・C・N曲線の精度の分だけ、設計の精度が落ちることになる。
- ② 単車輪荷重を対象とする場合は、L・C・N法も、C・B・R法も舗装厚に大差はないが、多車輪荷重の場合、L・C・N法では $\frac{E \cdot S \cdot W \cdot L}{\text{タイヤ圧}}$ を接地面積にとるように決めている。しかし、C・B・R法の章でも述べたように、E・S・W・Lは多車輪系の一車輪の

接地面積を有する場合に、多車輪と同じ効果を路床面に与えるものであるから、L・C・N法の接地面積の決めかたは、理論に矛盾している。例えばE・S・W・Lが50kipsで、一車輪接地面積200in²、タイヤ圧200psiの航空機を考えた場合、図-55より、L・C・N法ではL・C・N=80となるが、E・S・W・Lの理論からすれば、L・C・N=92とならなければならない。

- ③ 多層系舗装の場合、多車輪荷重のE・S・W・Lへの変換には問題が多い。したがって、このような場合は、航空機のL・C・Nを正しく表現することがで

きない。

このように、L・C・N法には、評価法、設計法とも、根本的なところに疑問点が存在する。

以上述べたように、L・C・N法には精度面および理論面に問題があり、L・C・Nの舗装厚設計法が、C・B・R法の設計曲線を使用する限り、C・B・R法より優れた設計法とはいえないであろう。

4. フランス法²⁷⁾

4-1 舗装厚設計法

フランスでは、C・B・R法を用いて、タイヤ圧9パール(1パール=1.02kg/cm²)の単車輪荷重に対する舗装厚の計算図表を作成した。(図-57²⁷⁾参照)複車輪や、複々車輪の場合は、図-58²⁷⁾、図-59²⁷⁾のように標準的な車輪配置に対して、単車輪荷重との関係曲線が作られている。(いずれもタイヤ圧9パール)。これらの単車輪荷重は、いわば、等価単車輪荷重(E・S・W・L)に相当するもので、多車輪の場合は、まず図-58または図-59から単車輪荷重を求め、これを図-57に適用して舗装厚を求める。最初に仮定した舗装厚と、[図-57から求まる舗装厚が一致しない場合は、一致するまで設計を繰り返す。車輪配置が、図-58、図-59と著しく異なる場合は、C・B・R法の章でも述べたような方法により、等価単車輪荷重を別に求めてやらなければならない。

次に、タイヤ圧が変わった場合はどうすればよいのか。タイヤ圧の影響は、舗装全厚に及ぶというよりもむしろ、表層付近に集中する。そこでフランスでは、タイヤ圧が増せば、次の表の割合で設計荷重を増すことになっている。

タイヤ圧	9パール	12	15	18	21	24	27
C・B・R							
3	10%以下						
5	10%以下						
10			10%	12%	14%	15%	16%
20		16%	24%	28%	31%	33%	35%

上に述べたように、フランス法は、C・B・R法を用いたものであるから、設計曲線は、繰り返し荷重のカバレッジ数5000回に相当する。フランスでは、空港舗装の耐用年数を10年間と決めて、この5000回のカバレッジ数に相当する1日の運行回数、交通分布も考慮して10回であるとしている。そして、輪荷重は繰り返し回数の対数の函数になるとして、図-60²⁷⁾のような関係を示してい

る。例えば、設計輪荷重に対応する航空機が1日100回運行するものとすれば、修正係数は0.8であるから許容輪荷重は、設計荷重の80%となることを示す。すなわち実際の設計輪荷重P'は、対象航空機輪荷重Pを0.8で除した値に修正してやる必要がある($P' = \frac{P}{0.8} = 1.25P$)。

同様に、1日の運行回数が1回ならば、設計輪荷重を $P' = \frac{P}{1.2}$ に減じてよい。

4-2 フランス法の問題点

フランス法には、主として次のような問題点が挙げられる。

- ① 基本設計曲線は、C・B・R法によるものであるが、車輪配置などには、標準型が決められており、これだけを使用する限りC・B・R法より精度的に落ちる。
- ② 標準タイヤ圧は9パールであり、それ以上になると表を使用して舗装厚を修正するが、その根拠が不明である。

このように、フランス法はC・B・R法と、ほとんど変わるところがないが、設計の標準化を考えすぎたために、かえってC・B・R法から設計の自由を奪い去ったかに見える。

5. カナダ法 (McLeod 法)^{1), 24), 28), 29)}

5-1 設計理論

McLeodは、路床の支持力と路盤上の支持力との間には、図-61²⁹⁾に示すような関係が成り立つものとして、舗装厚設計公式を誘導した。横軸にはたわみ量Nに対する路床の支持力、縦軸には、ある厚さの路盤上でのたわみ量Nに対する支持力が表わされている。支持力は、直径30inの載荷板で10回の繰り返し荷重をかけた場合のたわみ量Nに相当する荷重で表わす。P直線は、路床上に直接載荷板を置いた場合であり、Q, R, S直線は、それぞれt, 2t, 3tの厚さの粒状材を路床に敷いてその上に載荷板を置いた場合を示す。これらの仮定が妥当なものであるならば、

$$\frac{BJ}{AJ} = \frac{DK}{CK} = \frac{FL}{EL}$$

あるいは

$$\frac{P_1}{S} = \frac{P_2}{S_1} = \frac{P_3}{S_2} = \frac{P}{S_{n-1}} \dots \dots \dots (5-1-1)$$

S: 路床のみの場合の支持力

S₁: Sなる支持力の路床にtなる厚さの粒状路盤を置いた場合の路盤をも含めた路床としての支持

舗装厚 (CM)
 Epaisseur totale de la chaussée en cm (h)

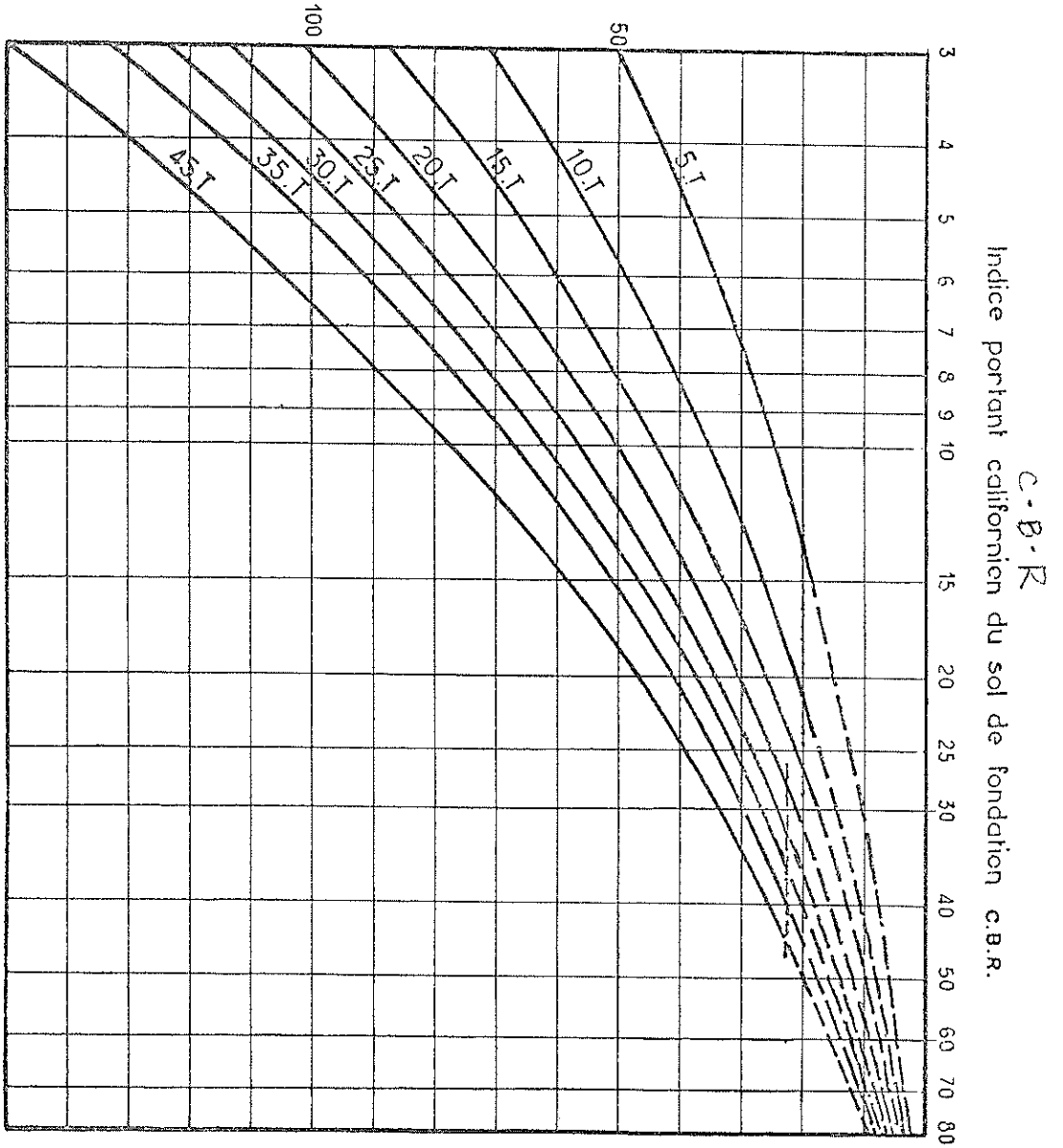


図-57 単車輪荷重に対する舗装厚設計曲線 (フランス法)

Charge admissible sur un jumelage type . en tonnes
許容複車輪脚荷重 (ton)

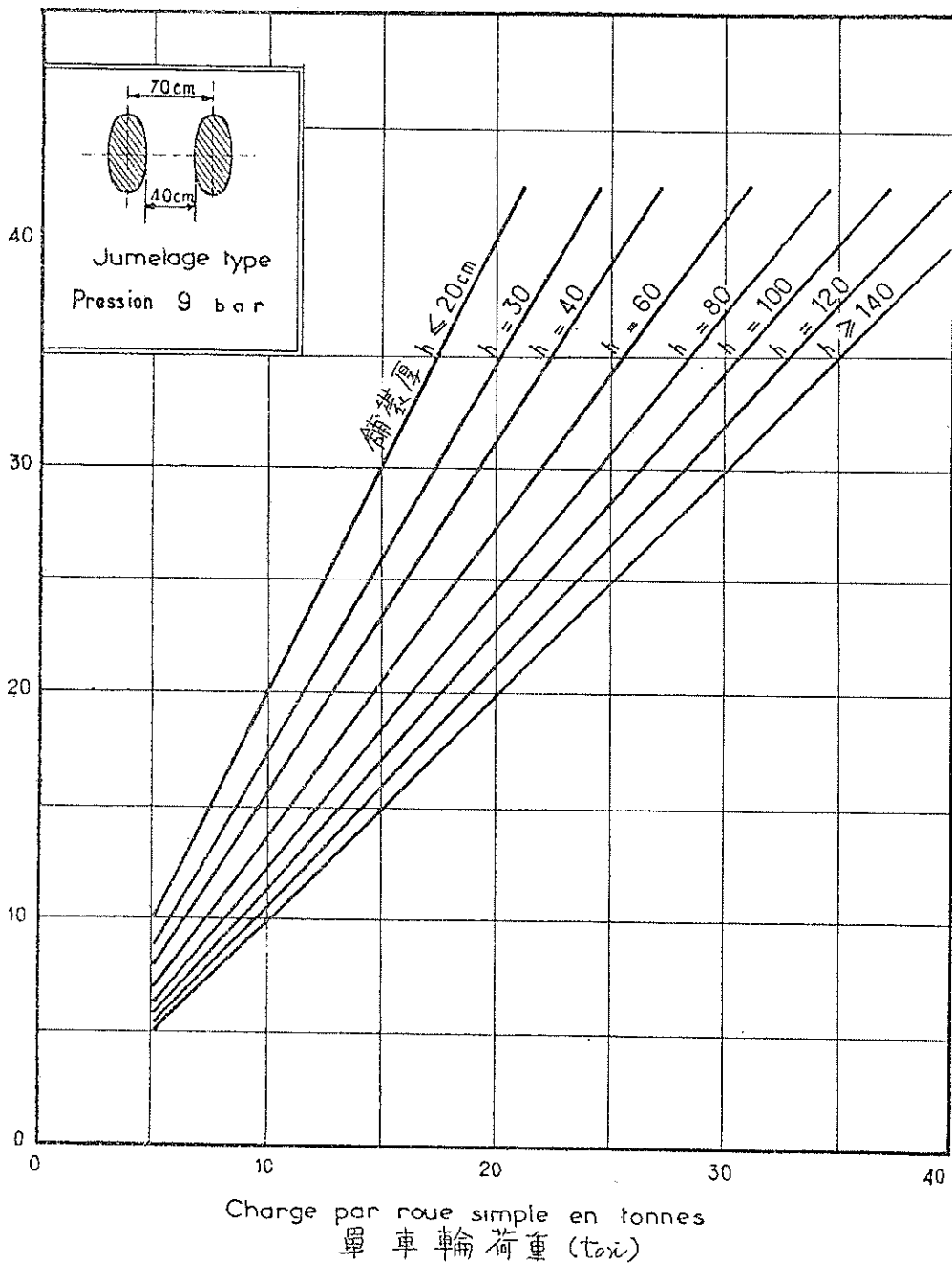


图-58 複車輪荷重の單車輪荷重への変換 (フランス法)

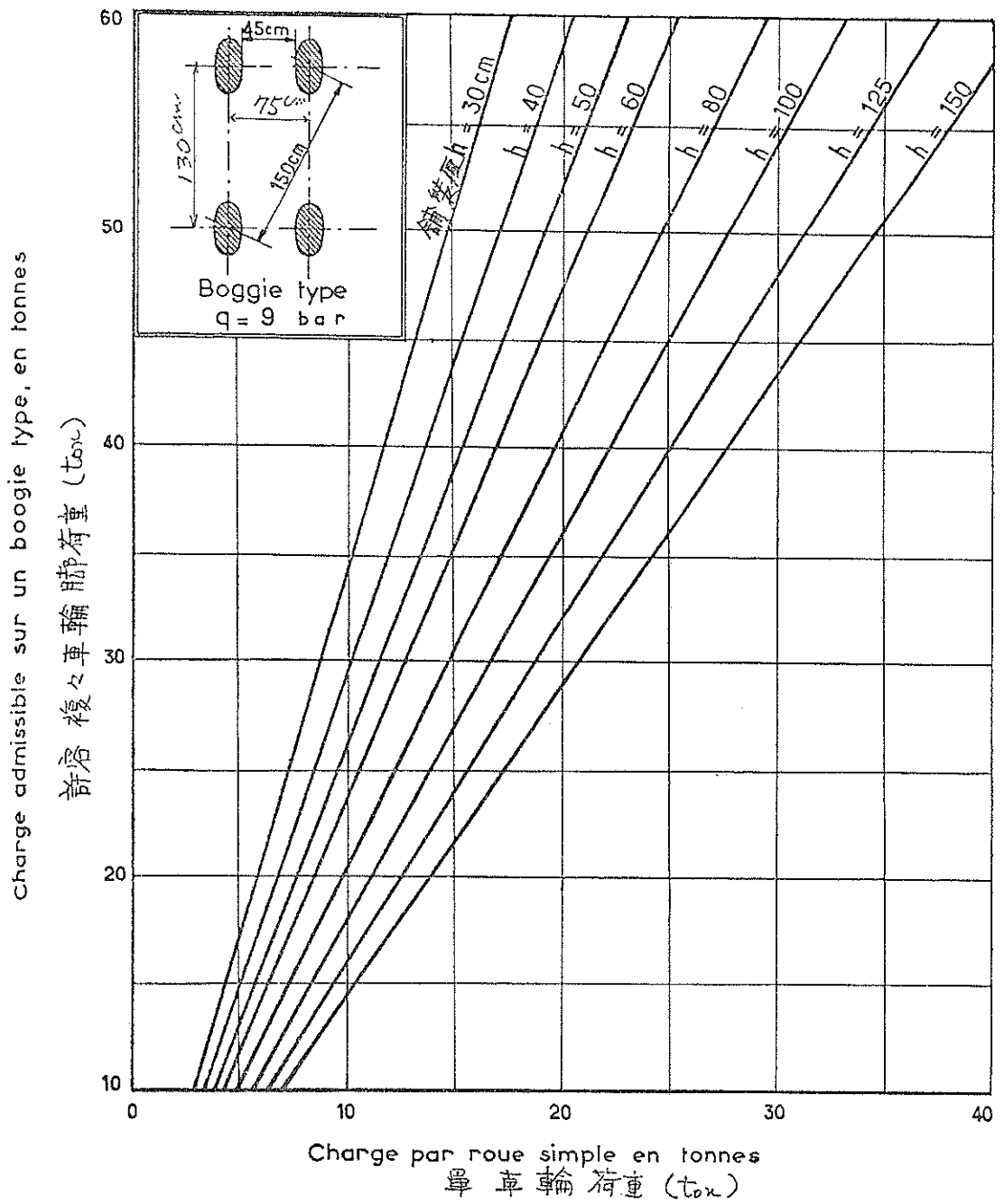
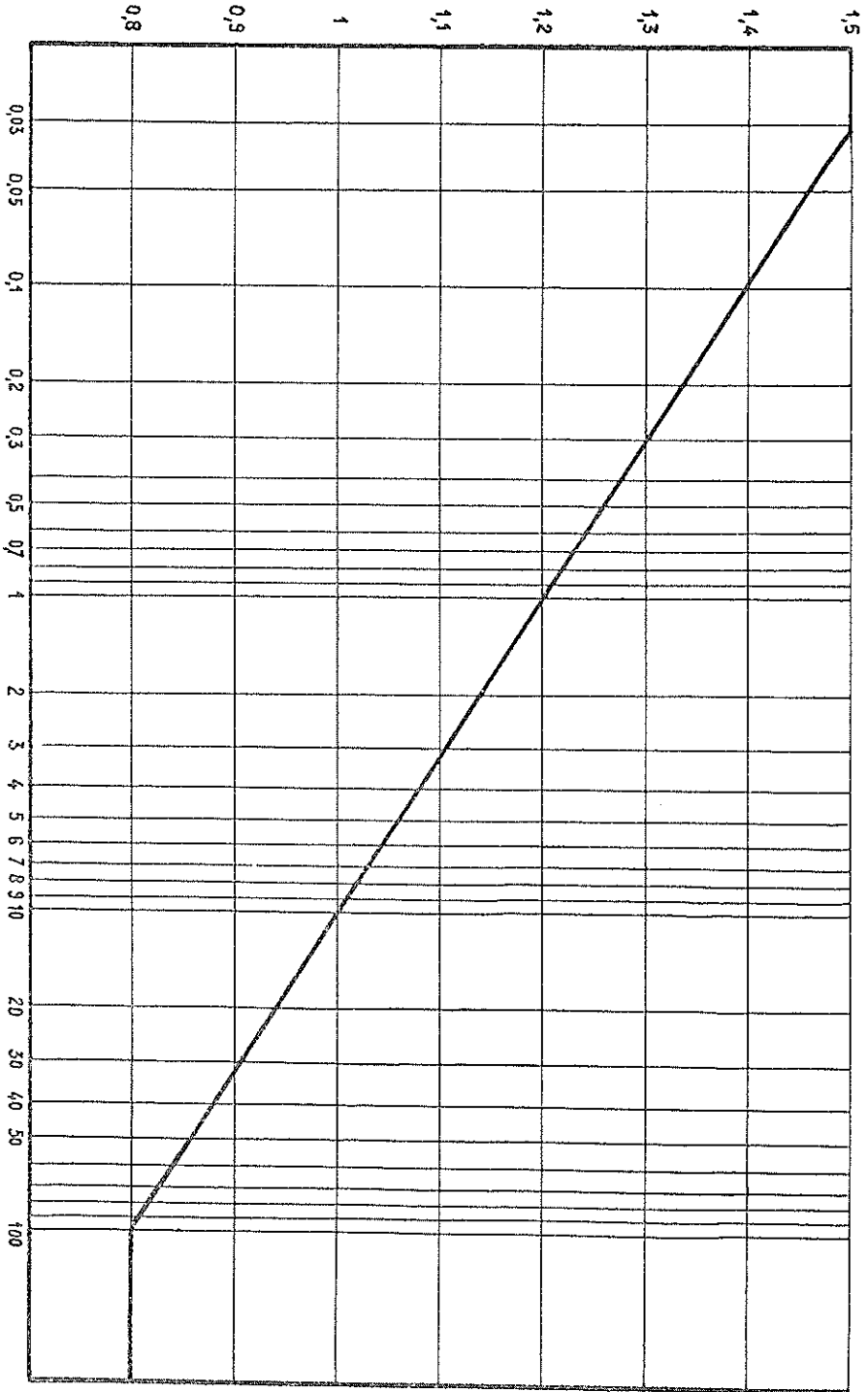


圖-59 複々車輪荷重の單車輪荷重への変換 (フランス法)

Coefficient de correction
修正係数



Moyenne du nombre de mouvements quotidiens
1日の遷行回数

図-60 カバレッジと修正係数(フランス法)

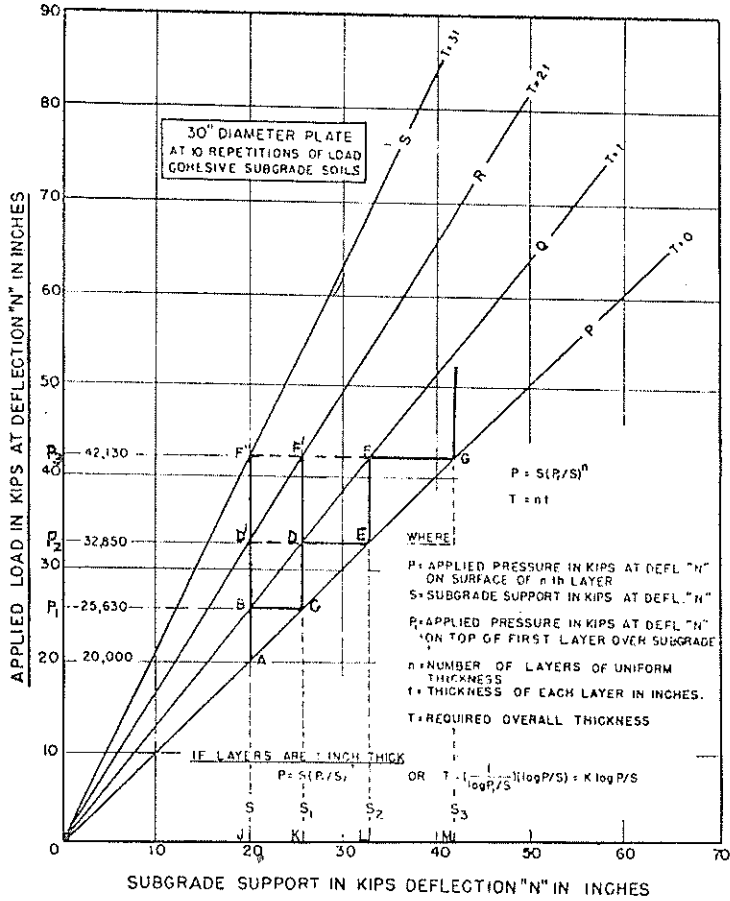


図-61 舗装厚設計の仮定図 (カナダ法)

力。

S_2 : S_1 なる支持力の路床上に t なる厚さの粒状路盤を置いた場合の路盤をも含めた路床としての支持力。

P_1 : 支持力 S の路床上に t なる厚さの粒状路盤を置いた場合の路盤上の支持力。

P_2 : 支持力 S の路床上に $2t$ なる厚さの粒状路盤を置いた場合の路盤上の支持力。

P_n : 支持力 S の路床上に nt なる厚さの粒状路盤を置いた場合の路盤上の支持力。

しかるに、 $P_1 = S_1$, $P_2 = S_2$, $P_3 = S_3$ であるから、

$$\frac{P_1}{S} = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_3}{P_2} = \frac{P_n}{P_{n-1}} = \frac{P}{P_{n-1}} \dots (5-1-2)$$

これより

$$P_2 = \frac{P_1^2}{S} \dots (5-1-3)$$

(5-1-3) を (5-1-2) に代入して、

$$\frac{P_3}{P_2} = \frac{P_3}{P_1^2/S} = \frac{P_1}{S}$$

または

$$P_3 = \left(\frac{P_1}{S}\right) \left(\frac{P_1^2}{S}\right)$$

両辺を S で割って

$$\frac{P_3}{S} = \left(\frac{P_1}{S}\right)^3$$

同様に

$$\frac{P_n}{S} = \left(\frac{P_1}{S}\right)^n$$

または

$$\frac{P}{S} = \frac{P_1^n}{S} \dots (5-1-4)$$

路床支持力 S の上に荷重 P を変えるのに必要な層厚 T

は、

$$T = nt \dots (5-1-5)$$

n : 層数

t : 各層厚

t = 1 in とおけば, (5-1-4) は次のように変形される。

$$\frac{P}{S} = \frac{P_1^t}{S} \dots\dots\dots(5-1-6)$$

または

$$T = \frac{1}{\log(P_1/S)} \cdot \log \frac{P}{S} \dots\dots\dots(5-1-7)$$

$\frac{1}{\log(P_1/S)}$ を舗装厚係数 K と定義すれば

$$T = K \log \frac{P}{S} \dots\dots\dots(5-1-8)$$

式 (5-1-8) が McLeod 法の設計公式であり, 作用荷重 P は, 円形等分布荷重と考える。また路床支持力 S は直径 30in の載荷板によって, 10回繰り返し荷重をかけ, たわみ量が 0.5in になる場合の荷重をもって, 標準支持力 (S₃₀) とし, (5-1-8) 式中の S は載荷試験によって得られた S₃₀ を, P に等しい直径の支持力に換算するほか, 滑走路では, 0.5in, 誘導路では 0.35in のたわみ量を持つ支持力に, さらに補正を行なったものである。これらの詳細については, 5-2 以下で述べる。

5-2 カナダの設計規準

(1) 凍結指数と舗装最小厚

カナダでは, 経験的に, 舗装厚の 1/2 の厚さだけ, 凍結

厚が減少するとしている。したがって, 舗装厚は, 少なくとも, この補正された凍結深さよりも深くなければならない。凍結指数とは, 図-62) のように, 1日の平均

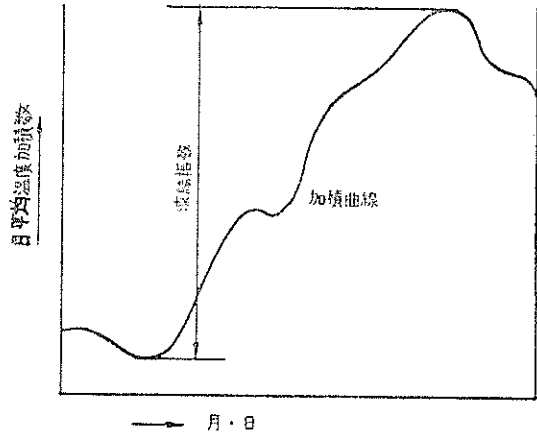


図-62 凍結指数 (カナダ法)

温度 (°F) と 32° F (0° C) との差を一年間加積した曲線の上限と下限の差で表わされるものである。32° F より温度が高い場合は, マイナス, 低い場合はプラスとして加積する。また路床が凍結し易い材料の場合は, 36

Minimum Depth of Frost Protection for Flexible and Rigid Pavements

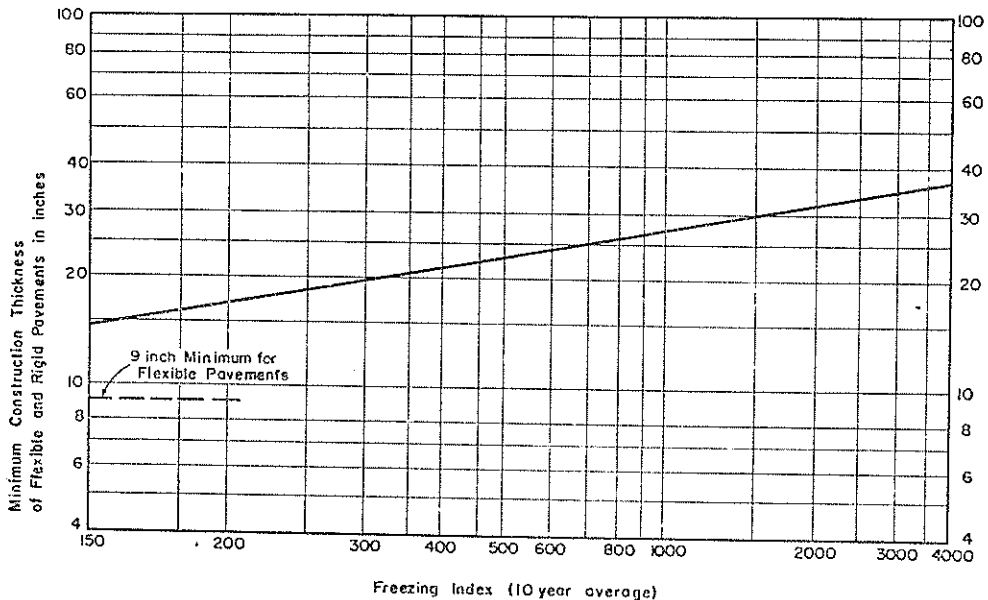


図-63 凍結指数と, 舗装の必要最小厚 (カナダ法)

UNITED STATES BUREAU OF SOILS CLASSIFICATION										
CLAY	SILT		VERY FINE SAND	FINE SAND	MEDIUM SAND	COARSE SAND	FINE GRAVEL	GRAVEL		
SIEVE SIZES			270-200-140		80	50	40	20	10	4 1/4 3/8 1/2 3/4 1 1/2

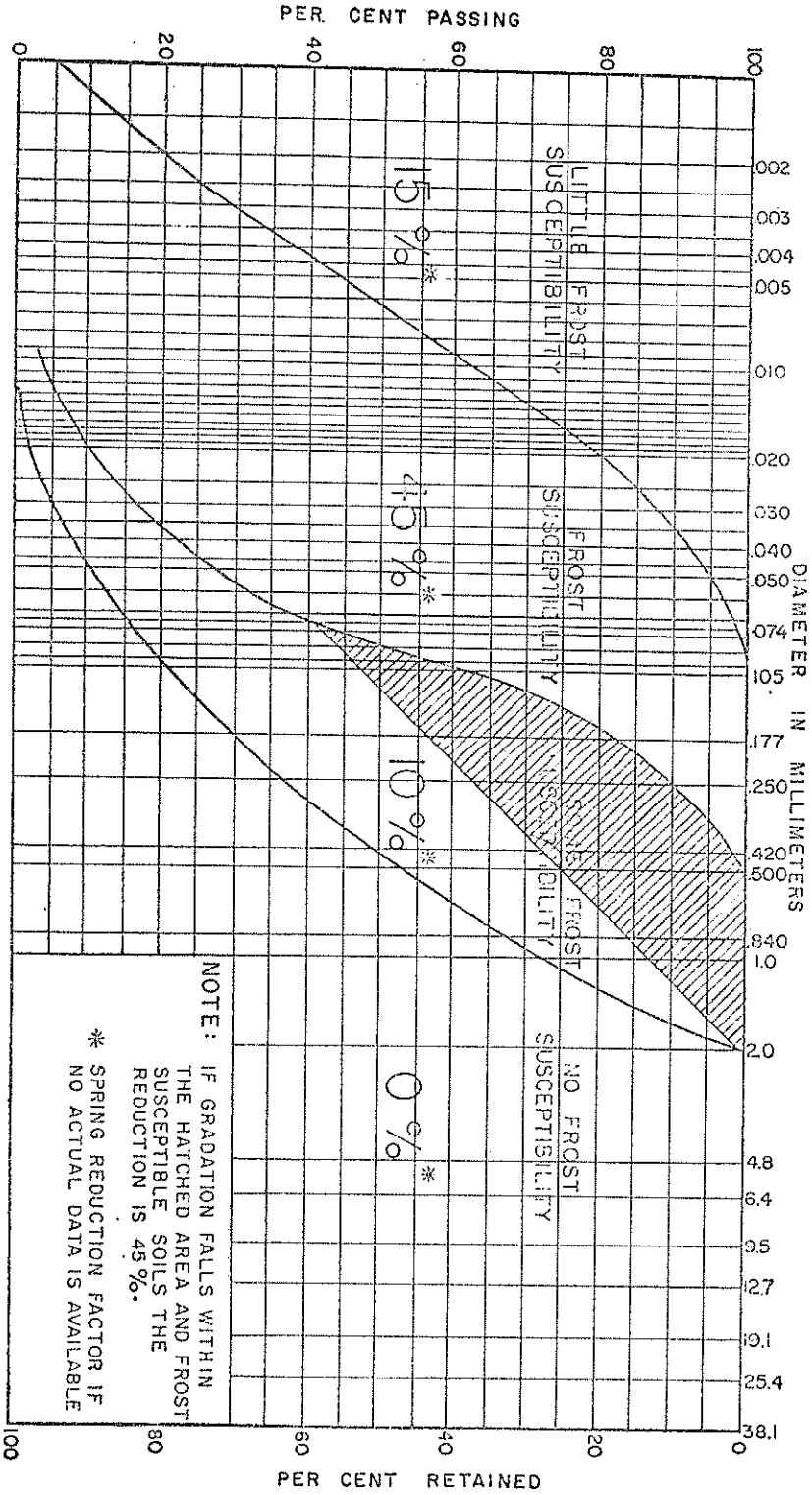


図-64 路床支持力の春季補正図 (カナダ法)

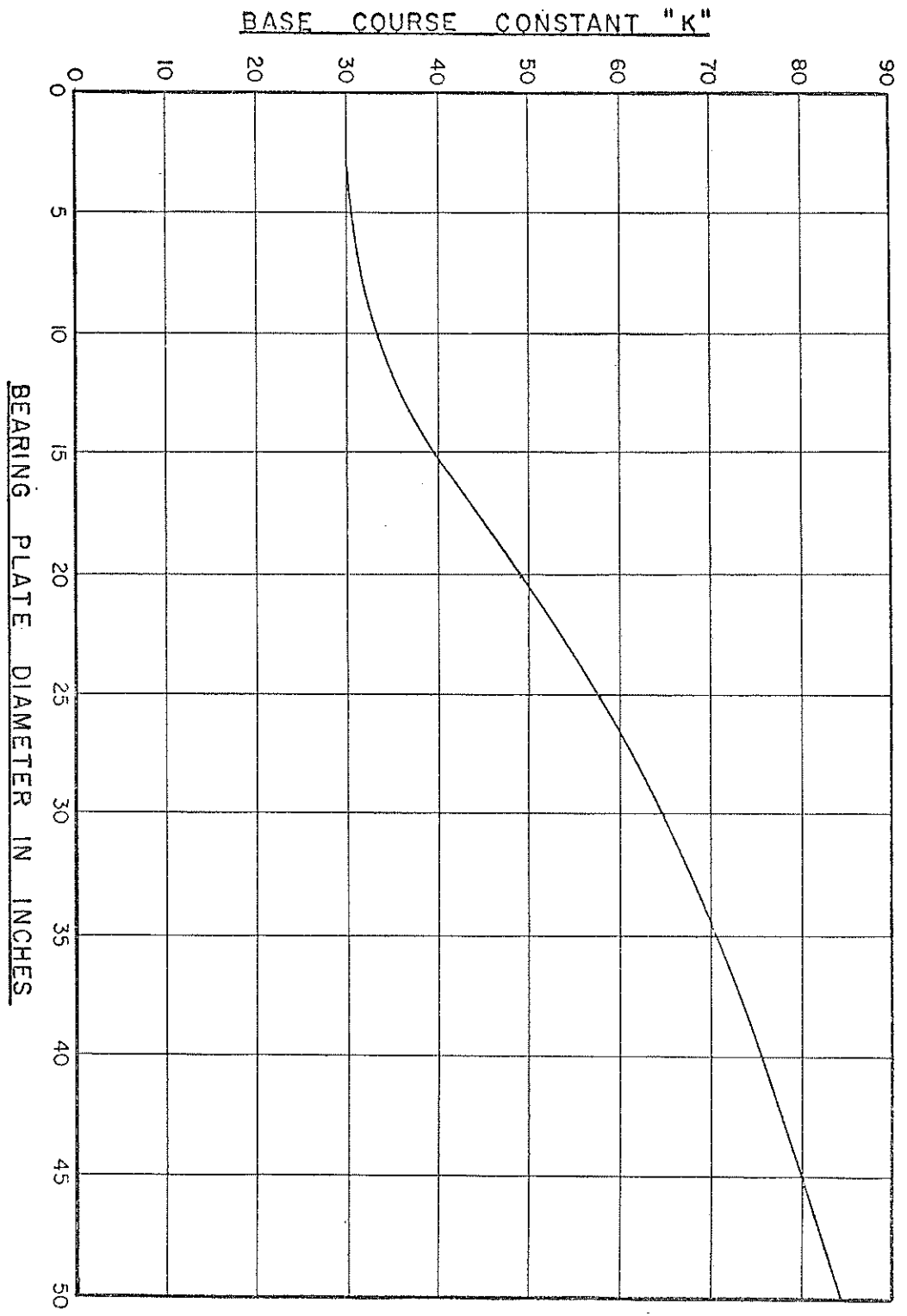
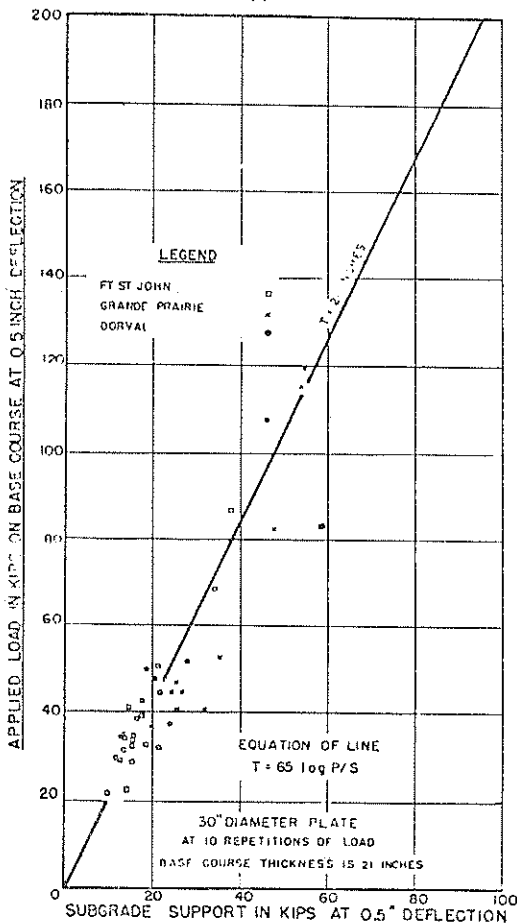
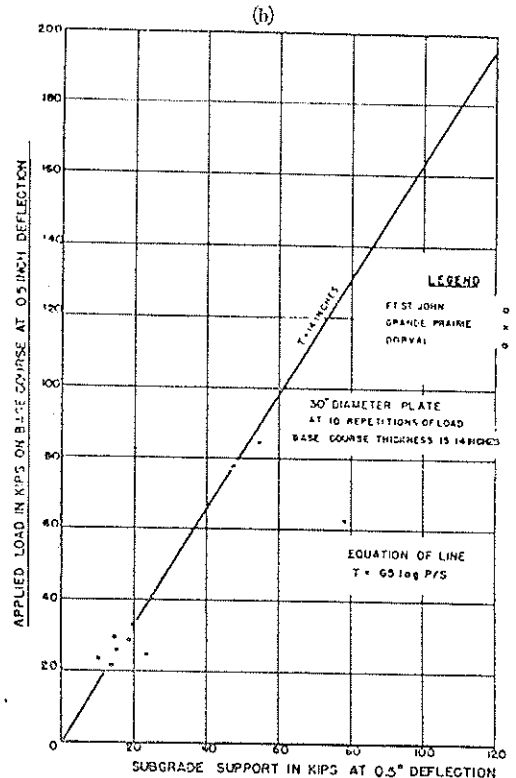
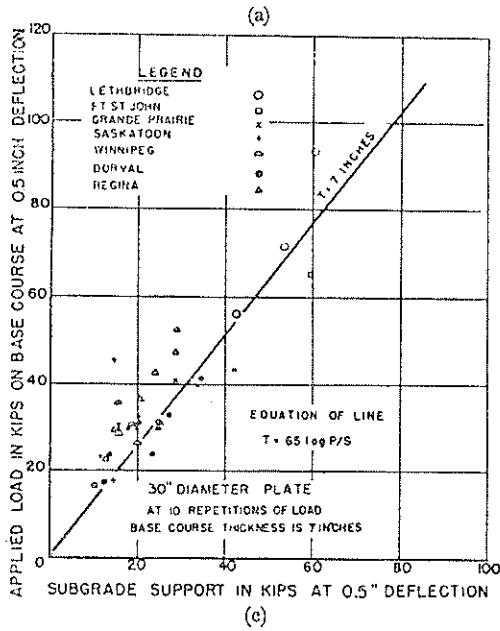


図-65 鋪裝厚係數區 (カナダ法)

図-66 K値を求めるための載荷試験結果(カナダ法)



in の深さ(最終的路床面から)まで。凍結しない材料で置き換える。図-6328)は、凍結指数と必要舗装最小厚の関係を示したものである。

(2) 春における路床支持力の減少

春季の雪や氷の融解時期において、路床支持力は最も低くなる。この時に、平板載荷試験を実施すれば問題はないが、一般に平板載荷試験を行なうのは夏である。したがって、夏に求めた路床支持力は、土の種類により、次のように減少させてやらなければならない。

10年間の平均の凍結指数が500以上の場合。

- ① シルト質粘土、粘土：15%～45%を減少させる。
- ② シルト、非常に細かい砂または、凍害をうけ易いシルト砂の混合土：45%～50%を減少させる。
- ③ 中位や粗な砂：10%を減少させる。
- ④ 砂利：0%

図-6428)にはこれらの関係を示す。

また、地下水位が、舗装面から3ft またはより浅く存在する場合は、上記の支持力は、さらに各土共10%減じてやらなければならない。もしも舗装厚が凍結深さと等しいかまたはそれより厚い場合は、適宜、上記の値を減らすことができる。

(3) 設計公式

すでに5-1でも述べたように、設計公式としては次のものを使用する。

$$t = K \log \frac{P}{S} \dots \dots \dots (5-2-1)$$

t : 舗装厚 (in)

K : 載荷板の大きさで決まる、単位厚さ当りの舗装厚係数 (路盤反力係数とは違うから注意すること) (in)

P : 舗装面上に、作用する荷重で、単車輪の場合は、脚荷重そのものであり、多車輪の場合は、 $E \cdot S \cdot W \cdot L$ (等価単車荷重) となる (lb)。

S : 作用荷重Pと同じ接地面積を持つ、円形載荷板による路床の支持力 (lb)。

(4) Pに関する事項の決定法。

これは、航空機の荷重の諸元が分かれば、単車輪の場合は、接地面積Aと、脚荷重Pと、接地面積を円と仮定した場合の周返長ρがただちに求まる。多車輪の場合は、舗装厚を仮定してC・B・R法の章で述べたような、図解法によって、 $E \cdot S \cdot W \cdot L$ を求める。この場合の接地面積は

$$A = \frac{E \cdot S \cdot W \cdot L}{\text{タイヤ圧}} \text{より求まり、}$$

$$P = E \cdot S \cdot W \cdot L \text{である。}$$

(5) Kに関する事項の決定法。

(4)においてAが分かれば、これを円と仮定した場合の直径Dが求まる。そして、図-65²⁸⁾よりKの値を求める。

このKの値は、カナダの空港における数多くの載荷試験の結果から得られたものである。一例を挙げれば、図-66²⁹⁾に示すように、路盤厚を7in ((a)図)、14in ((b)図)、21in ((c)図)にして、路床の支持力と、路盤上での支持力を直径30inの載荷板で試験した結果、いずれも、K=65を得ている。

(6) Sに関する事項の決定法。

まず、路床面において直径30"の載荷板で、10回繰り返し荷重をかけ、0.5inの沈下量を示した時の荷重を求める(S₃₀)。ところが、載荷試験は1箇所だけで行なうのではなく、必ず同一の土で、4箇所以上試験を実施する。当然同じ性質を持つ路床でも、試験結果にはばらつきが生じる。カナダで多くの試験結果の統計の結果、これらのばらついた値の内、下からほぼ4分の1の点の値が、実際の航空機荷重の作用に対応するのに適した値であることが判明した表。-15²⁸⁾は、試験数が4箇所から49箇所まで

あった場合に、下から何番目の値を採用すればよいかを、L・Q・P Factor という名称 (lower quartile point factor) で表現したものである。例えば同一路床で、4箇所のS₃₀を求めた結果それぞれ25.3, 18.7, 23.4, 21.7kipsであったとしよう。

L・Q・P Factor は、表-15より1.5であるから下から1.5番目の値をとれば、 $S = \frac{18.7 + 21.7}{2} = 20.2 \text{ kips}$

となる。これがその路床のS₃₀値を代表すると考える。次に、春季の減少を考えなければならない。現地の土の状態より25%の減少率であったとすれば、S₃₀は更にS₃₀=20.2×0.75=15.2kipsとなる。載荷試験の結果は、この二段階によって補正されなければならない。

次に、設計公式に示すS値は、航空機荷重の接地面積を円と仮定した場合の円面積Aに対応する路床の支持力であるから、S₃₀をS_Aの値に換算しなければならない。図-67²⁸⁾は路床面での換算図表、図-68²⁸⁾は、舗装表面での換算図表である。横軸は、載荷面積と周長の比ρ/Aである。縦軸には0.2inの沈下に対応するS₃₀と、作用荷重の接地面積における支持力との比が示されている。カナダでは、滑走路は、沈下量を0.5in、誘導路は沈下量を0.35inをとって設計している。求める路床上のS_Aは図-67より直ちに得られる。

これらの支持力間の関係は、カナダの空港における数多くの載荷試験により得られた。その一例を図-69²⁹⁾、図-70²⁹⁾に示す。図-69の(a)図は直径30inの載荷板において、0.5inと0.6inのたわみ量を示す場合の支持力の関係、(b)図は、同様に、0.2inと0.3inのたわみ量を示す支持力の関係を表わしている。図-70の(a)図は、たわみ量0.5inの場合の直径30inと36inの載荷板の支持力の関係、(b)図はたわみ量0.2inの場合の直径30inと36inの載荷板の支持力の関係を表わしている。

(7) 設計例

今、 $E \cdot S \cdot W \cdot L = 55,000 \text{ lb}$ 、タイヤ圧(接地圧)=100 psiの航空機に対し、路床支持力が載荷試験の結果、L・Q・Pや春季の補正を行なってS₃₀=14,000lbが得られている場合、その撓性舗装厚を求めよう。

先ず図-67を使用するため、ρ/Aを求める。

$$\rho/A = \frac{\pi D}{\pi D^2} = 4/D \quad (D: \text{直径})$$

$$\text{接地面積 } A = \frac{55,000}{100} = 550 \text{ in}^2$$

$$\therefore D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = \sqrt{700} = 26.5 \text{ in}$$

$$\text{したがって } \rho/A = 4/D = \frac{4}{26.5} = 0.151$$

LOWER QUARTILE POINT

N ^o OF SAMPLES	L Q P FACTOR	N ^o OF SAMPLES	L Q P FACTOR
4	1.50	27	7.25
5	1.75	28	7.50
6	2.00	29	7.75
7	2.25	30	8.00
8	2.50	31	8.25
9	2.75	32	8.50
10	3.00	33	8.75
11	3.25	34	9.00
12	3.50	35	9.25
13	3.75	36	9.50
14	4.00	37	9.75
15	4.25	38	10.00
16	4.50	39	10.25
17	4.75	40	10.50
18	5.00	41	10.75
19	5.25	42	11.00
20	5.50	43	11.25
21	5.75	44	11.50
22	6.00	45	11.75
23	6.25	46	12.00
24	6.50	47	12.25
25	6.75	48	12.50
26	7.00	49	12.75

表-15 L・Q・P値 (カナダ法)

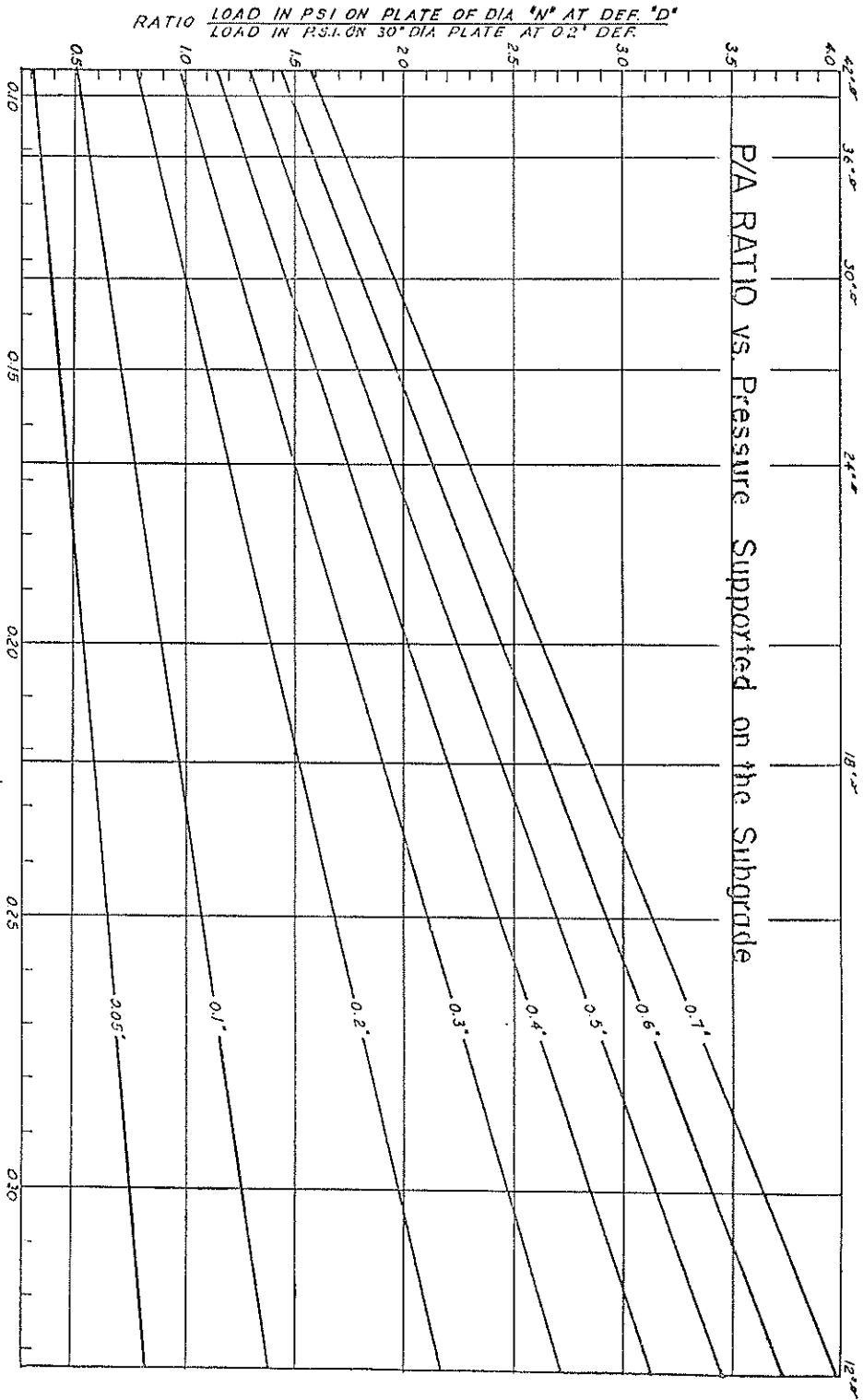


図-67 路床面に関する支持力換算図表 (カナダ法)

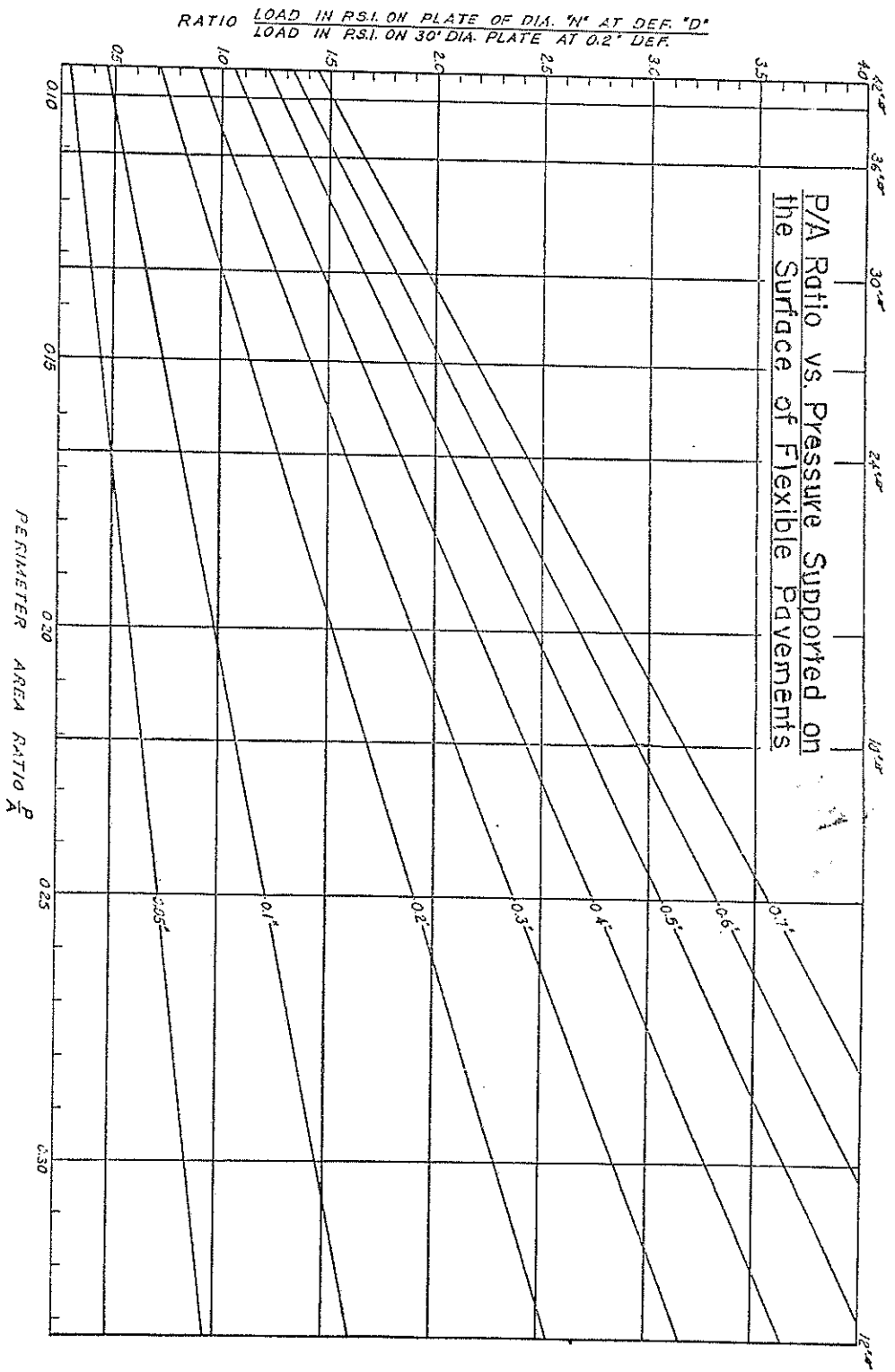


図-68 たわみ性舗装面に関する支持力換算図表 (カナダ法)

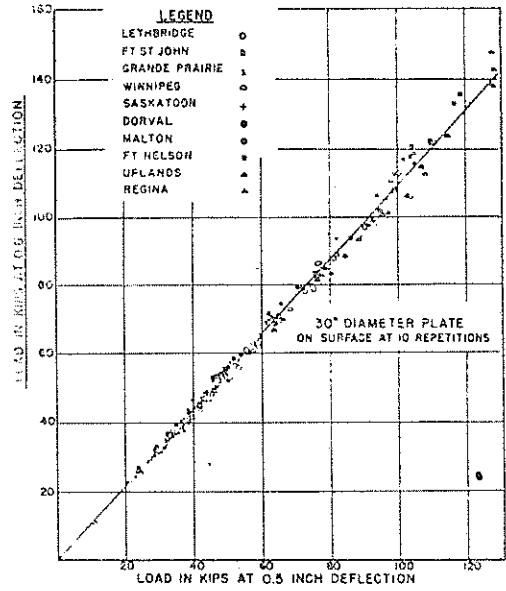
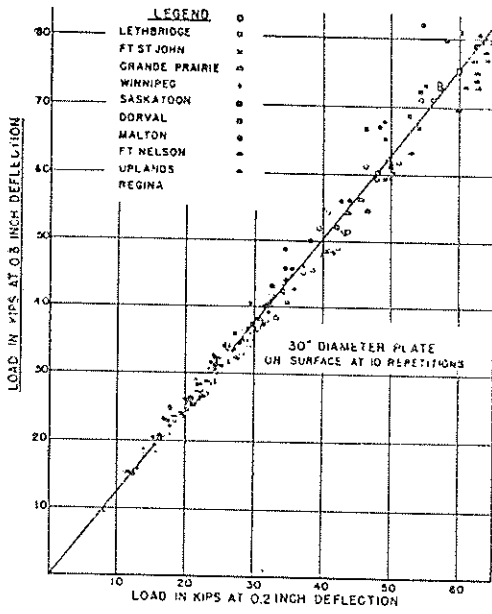


図-69 たわみ量の差異と支持力の関係 (カナダ法)

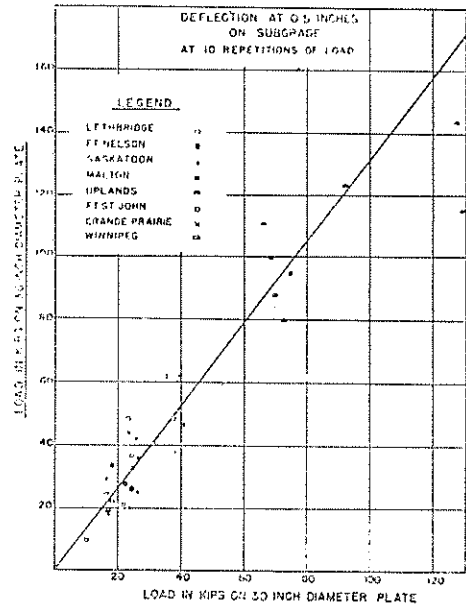
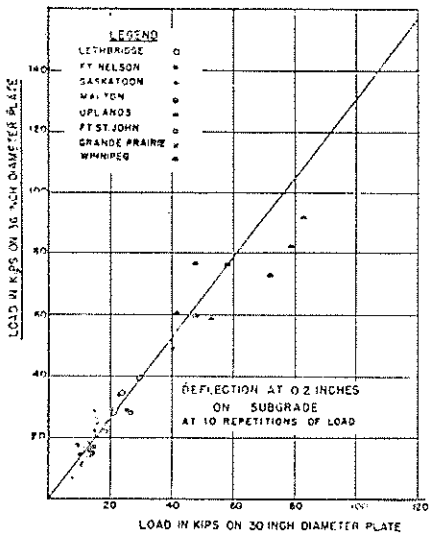


図-70 載荷板の差異と支持力の関係 (カナダ法)

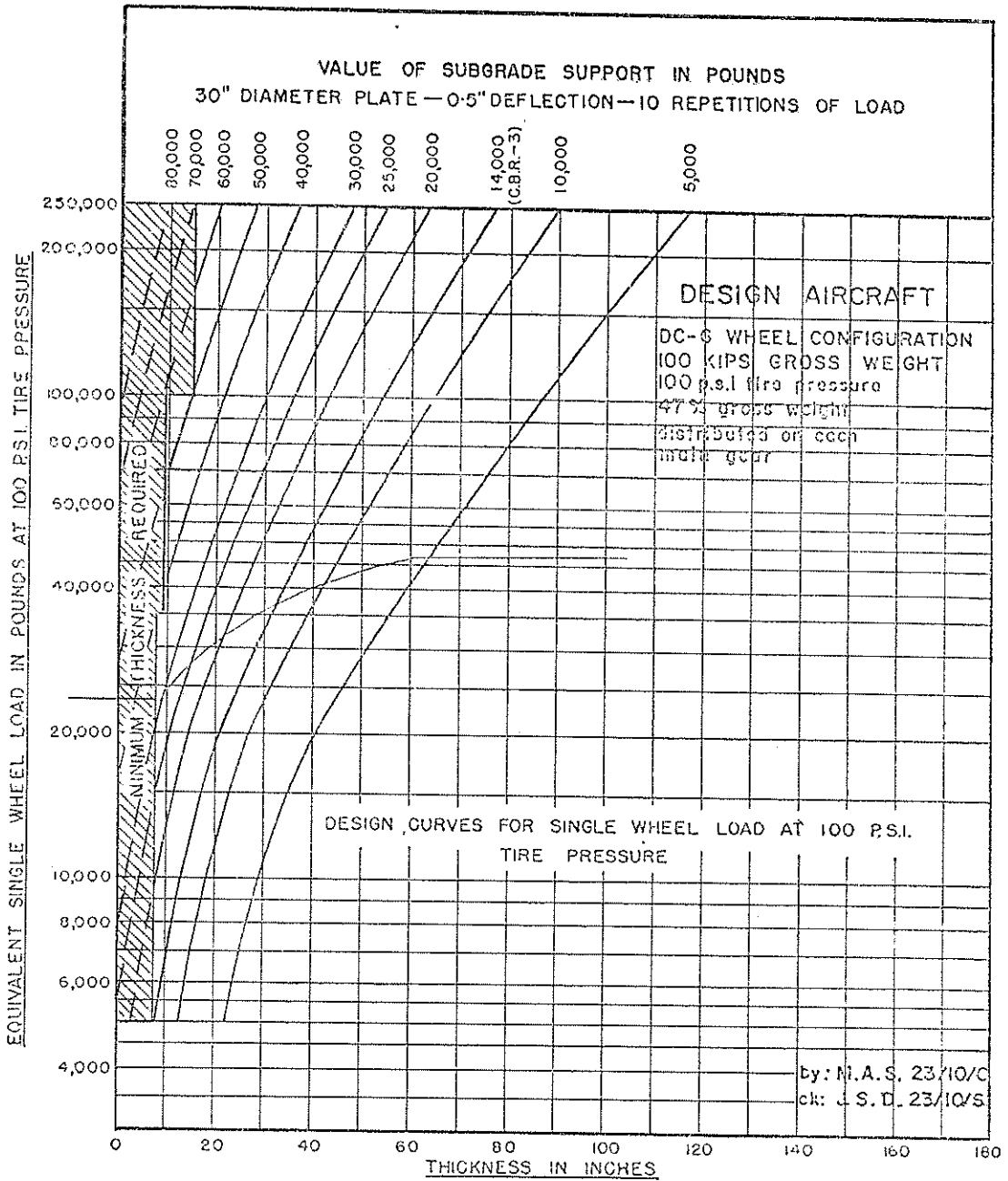


図-71 舗装厚計算図表 (タイヤ圧100psi) (カナダ法)

図-65 より $K=60$, 一方 S_{30} は直径 30in, たわみ量 0.5in のものであるから, これの ρ/A は 0.133 である。滑走路の設計では, 沈下量を 0.5in にすればよい。図-67 で横軸 0.151, 沈下量 0.5in に対応する縦軸の値は 1.79, また, 横軸 0.133, 沈下量 0.5in に対応する縦軸の値は 1.65 である。今求めたいのは, 550in² の接地面積の路床支持力である。 S_{30} を支持力強度に直せば, $\frac{14,000}{707} = 19.8\text{psi}$ 故に直径 26.5in の支持力は (S26.5)

$$S_{26.5} = 19.8 \times \frac{1.79}{1.65} \times 550 = 11,800\text{lb} \text{ となる。}$$

故に設計公式より舗装厚 t は $t = K \log \frac{P}{S} = 60 \log \frac{55,000}{11,800} = 40.1\text{in}$ となる。

(8) 計算図表

カナダでは, 上に述べた舗装厚公式を使用して計算図表を作成しているのので, これを図-71²⁸⁾ に紹介する。横軸は, 舗装厚, 縦軸は $E \cdot S \cdot W \cdot L$ で表示してある。ま

た各曲線は S_{30} (たわみ量 0.5in) の路床支持力値に対するものである。この図はタイヤ圧 100psi, たわみ量 0.5in のものであるから, タイヤ圧 100psi 以外のものには使えないし, また沈下量 0.5in 以外の場合は, 0.5in の沈下量に路床支持力を換算して使用しなければならない。多車輪の場合はこれを $E \cdot S \cdot W \cdot L$ に換算して縦軸を使用する。しかし図-71では, 横軸が普通の日盛なので, $E \cdot S \cdot W \cdot L$ での図解法の直線を書き直さなければならない。図-71 中の曲線 (「印) はこの書き直した曲線を示す。同様にタイヤ圧 200psi の計算図表を図-72³⁰⁾ に示す。

(9) 各層の等価値

以上の方法で求めた舗装厚は, 全て粒状材を使った場合の厚さである。したがって, 他の材料を使用する場合には, 次のように等価値を使って厚さを減少せしめる。

材料

等価値

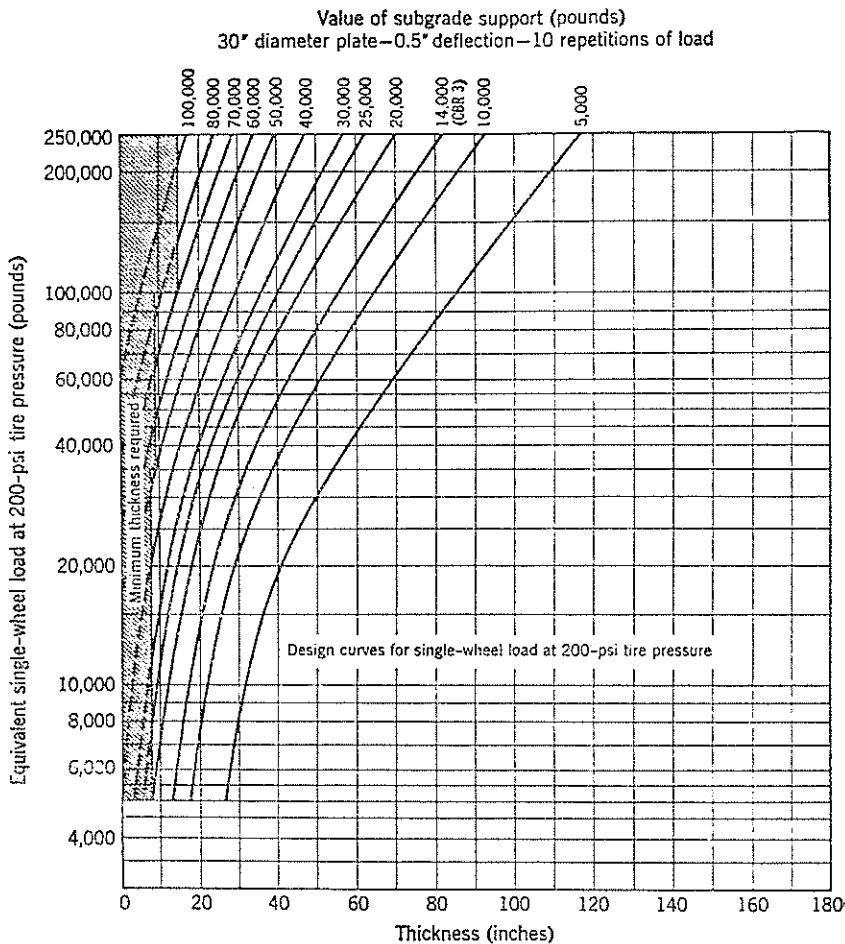
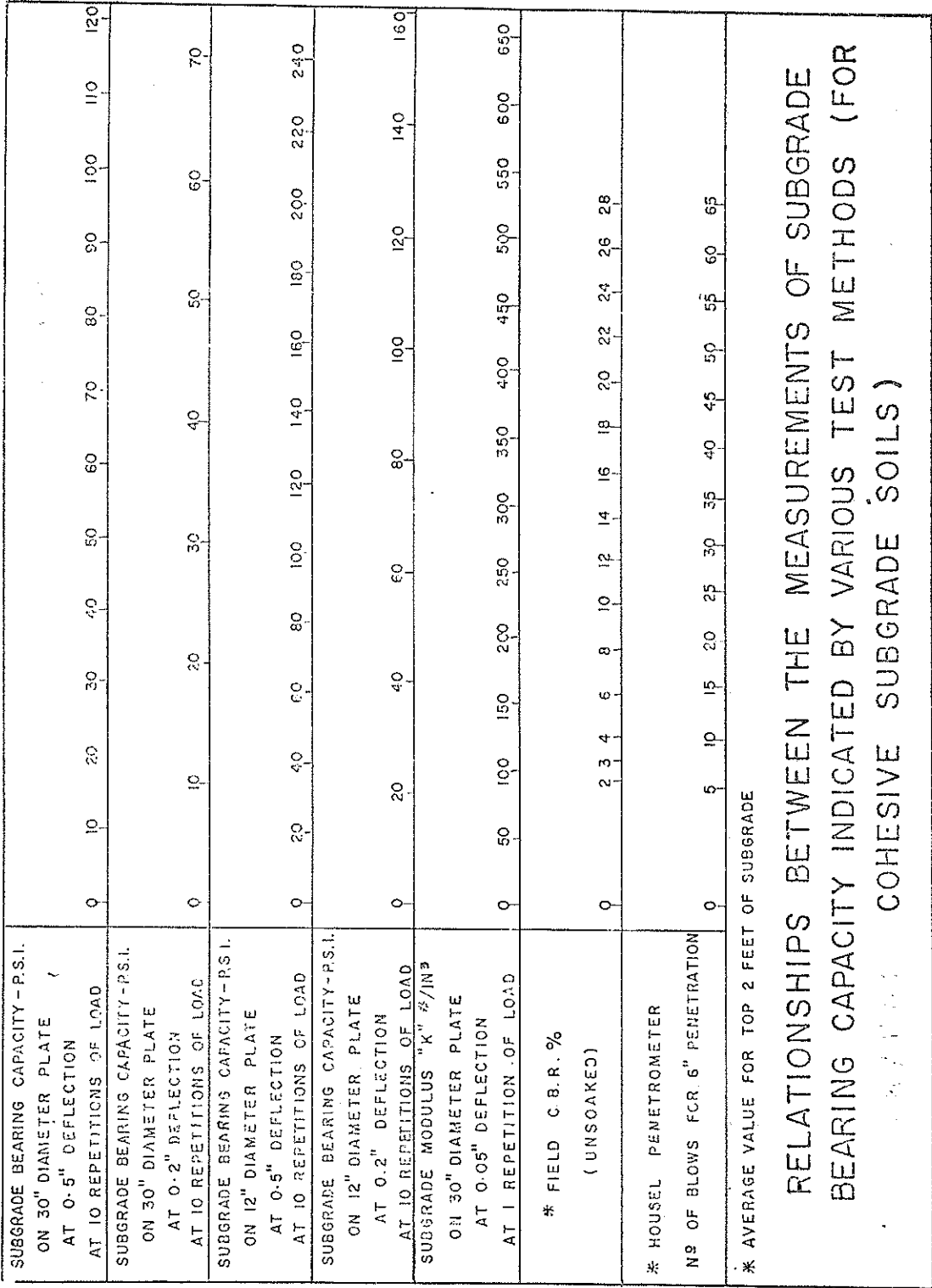


図-72 舗装厚計算図表 (タイヤ圧200psi) (カナダ法)



RELATIONSHIPS BETWEEN THE MEASUREMENTS OF SUBGRADE BEARING CAPACITY INDICATED BY VARIOUS TEST METHODS (FOR COHESIVE SUBGRADE SOILS)

ポルトランドセメントコンクリート	
(良好な状態)	3
同 上 (普通の状態)	2½
同 上 (悪い状態)	2
アスファルト・コンクリート (高品質)	2
アスファルト舗装	1½
水縮マカダム上層路盤	1½
碎石又は砕砂利上層路盤	1
粒状上層路盤	1

例えば、アスファルト舗装 3in を表層に使用する。設計厚は 30in であったとする。このアスファルト舗装は、上の等価値より $3in \times 1½ = 4.5in$ の粒状材に匹敵する。したがって、全舗装厚は $t = 30in + 3in - 4.5in = 28.5in$ で良い。

(10) 路床支持力と、他の試験法との関係。

現地において、どうしても載荷試験が不可能な場合は図-73⁽²⁸⁾、図-74⁽²⁸⁾を参考にして、路床支持力を決める。これは、土の分類法や C・B・R 値などと、カナダ法の路床支持力を関係づけたものである。

(11) 表層や上層路盤の最小厚

表層や上層路盤の最小厚は、次の値とする。

航空機タイヤ圧 (psi)

	100	100~149	150~200	200以上
アスファルト・コンクリート (in)	2½	3½	4	5
碎石又は砕砂利上層路盤 (in)	9	9	12	15

5-3 カナダ法の問題点

以上述べて来たように、カナダ法は、直径 30in の載荷板によって、路床の支持力を測定し、これを基礎にして舗装厚を計算するものであるが、主として次のような問題点を有している。

- ① カナダ法では舗装厚係数 K は載荷板の大きさによってのみ変わるものとしているが、わが国の実験などによれば粒状材でも、材料によっては K の値が異なって来るという結果が出ている。⁽³⁶⁾
- ② 多車輪の場合、接地面積 A は $\frac{E \cdot S \cdot W \cdot L}{\text{タイヤ圧}}$ としているが、これは、L・C・N 法と同じく E・S・W・L の理論に矛盾している。
- ③ カナダ法では、同じたわみ量に対して、1回、10回、100回、1000回の繰返し荷重を加えた場合の支持力比 (10回に対する支持力を1.00) をそれぞれ 1.15, 1.00, 0.89, 0.80 としているが、走行荷重のカバレージに対する考えかたは明確でない。

- ④ タナダ法は、カナダ以外では使用されておらず、評価資料に不足している。

このような理由から、カナダ法を、わが国の舗装設計法として使用するには、問題点が多い。

6. Navy 法 (米国海軍法) ^(30), 24)

6-1 設計理論

Navy 法は、Donald M. Burmister が開発した二層系の弾性論を利用して、舗装厚を設計するものである。

一般に、無限深さの一層系弾性体上に剛性円板により円形等分布載荷を行なった場合、円板の中心下のたわみ量 Δ は次式で表わされる。

$$\Delta = 1.18 \frac{P \cdot a}{E_2} \dots\dots\dots (6-1-1)$$

Δ : 円板中心下のたわみ量 (in)

P: 荷重強度 (lb/in²)

a: 円板の半径 (in)

E₂: 弾性体の弾性係数 (lb/in²)

ただし弾性体のポアソン比は 0.5 としている。

また等分布載荷によるたわみ性円板の中心下のたわみ量は (6-1-2) 式で表わされる。

$$\Delta = \frac{1.5 P \cdot a}{E_2} \dots\dots\dots (6-1-2)$$

さらに、弾性係数 E₂ の上に、弾性係数 E₁ の層が設けられる場合は、Burmister により、二層系弾性理論として扱われた。これによると、円板中心下のたわみ量はそれぞれ、(6-1-3)、(6-1-4) 式により表わされる。

$$\Delta = 1.18 \frac{P \cdot a}{E_2} \cdot F_2 \text{ (剛性円板)} \dots\dots (6-1-3)$$

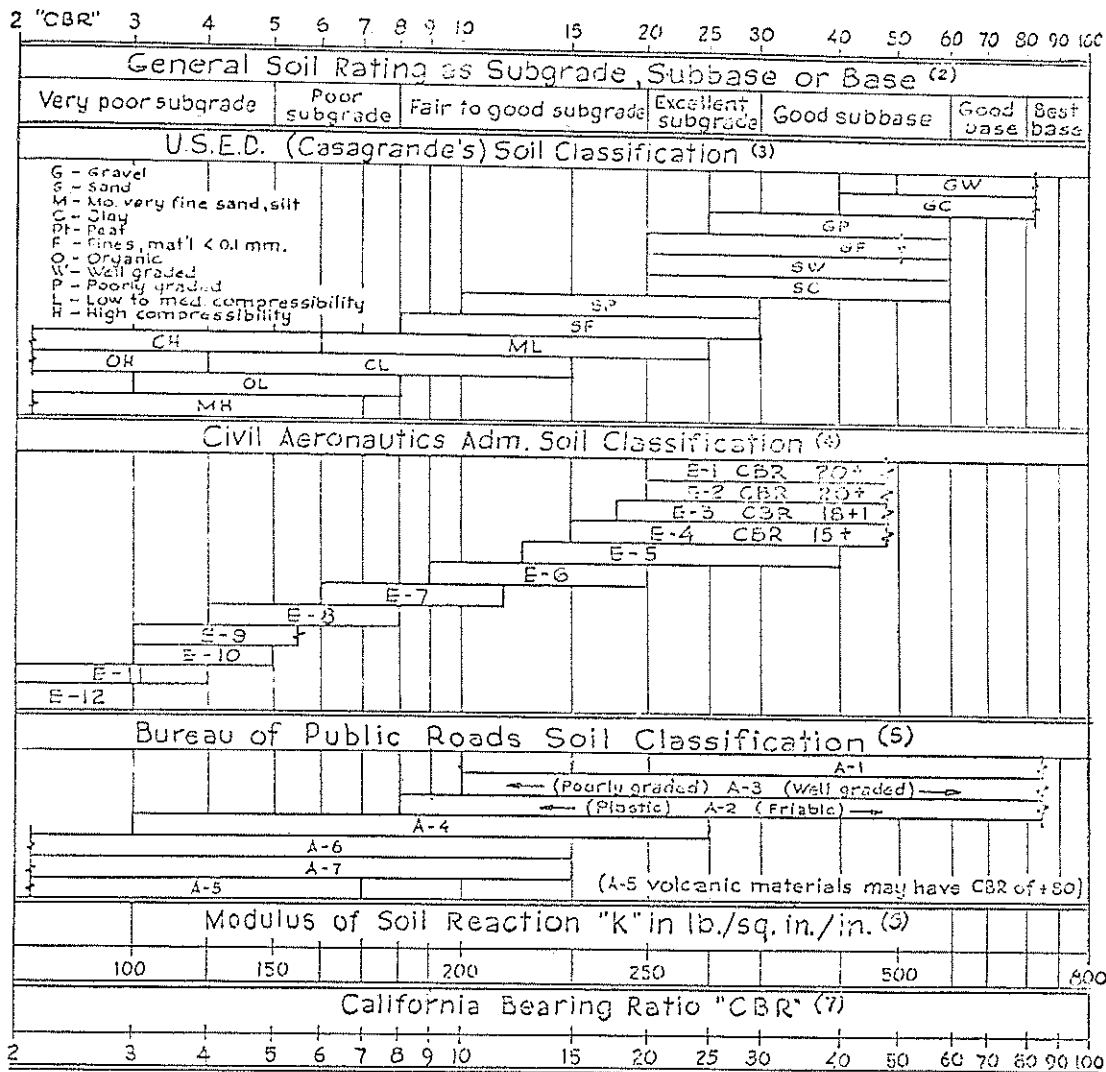
$$\Delta = 1.5 \frac{P \cdot a}{E} \cdot F_2 \text{ (たわみ性円板)} \dots\dots (6-1-4)$$

E₁: E₂ 上の層の弾性係数 (lb/in²)

F₂: 沈下係数

沈下係数については、Burmister により、図-75⁽³⁰⁾ のような、計算図表が作成されている。図中の曲線は E₂/E₁ を示す。縦軸は F₂、横軸は E₁ 層の厚さを、円板半径で表わしたものである。

舗装を設計する場合は、まず、路床上で直径 30in の平板を用いて載荷試験を行ない、0.2in のたわみ量に相当する P を求め、(6-1-1) 式より E₂ を算出する。次に、この路床上に、12in (やむを得ない場合は 6in) の厚さに少なくとも 15ft² の広さで上層路盤を設け、この上で、同様に載荷試験を行ない、(6-1-4) 式を満足するような F₂ を求め、図-75より、この F₂ に対応する E₂/E₁ を得



- (1) All interrelationships are very approximate. Actual tests are required to determine "CBR", "k", etc.
- (2) See "Foundations for Flexible Pavements" by O.J. Porter, 22nd Annual Meeting, Highway Research Board 1942, for basic idea.
- (3) Relationships from Engineering Manual, Chapter XX, March 1943, War Department, Office of Chief of Engineers. See also, "Soil Tests for Design of Runway Pavements" by Middlebrooks & Bertram, 22nd An. Mtg. H.R.B. 1942
- (4) CBR values estimated from old CAA classification system.
- (5) See item (3). A-6 and A-7 soils cut off at CBR-15, rather than 25 as indicated in Chapter XX.
- (6) See item (3). "k" is factor used in Westergaard's Analysis for thickness of portland cement concrete pavement.
- (7) See items (2) and (3).

図-74 各国設計法における土の表示法の相互関係 (カナダ法)

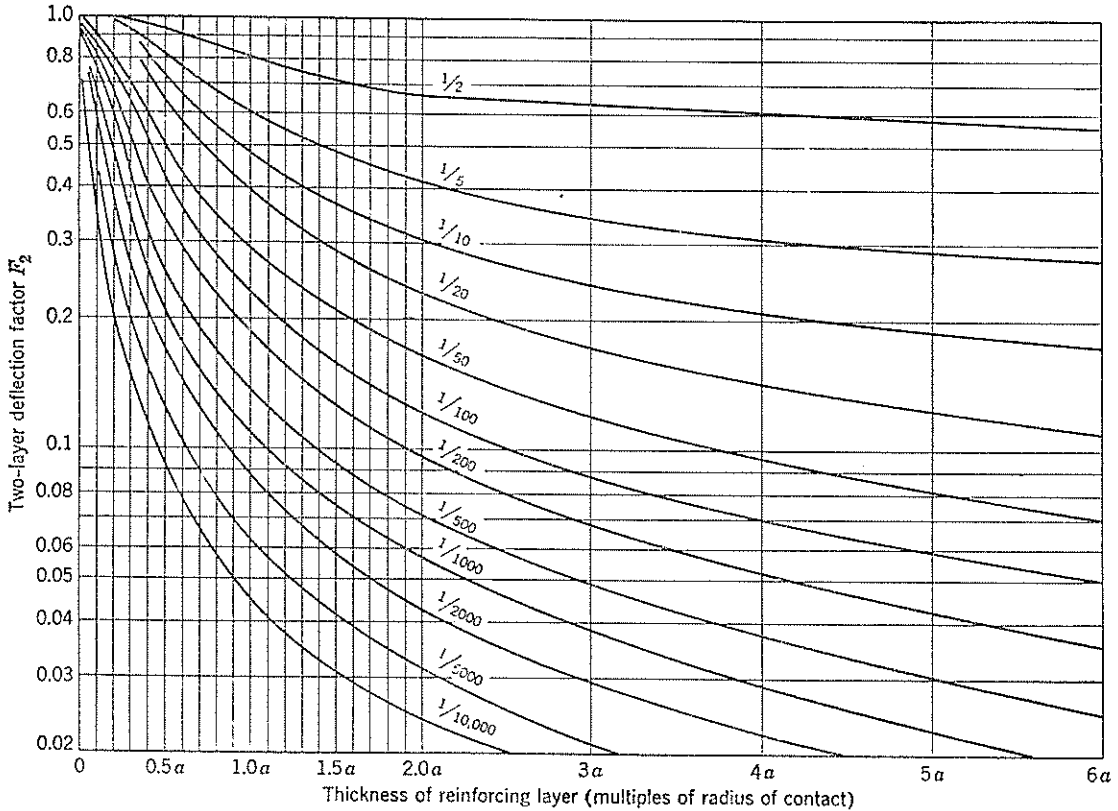


図-75 Burmister の沈下係数 (Navy法)

る。一方、舗装上加わる航空機荷重は近似的にたわみ性円板(タイヤ)と考えられるから、輪荷重を円形等分布荷重に置き換え、さらに舗装としての限界たわみ量をあらかじめ仮定して(Navy法では0.2in)、(6-1-4)式を用いて F_2 を求める。 $(E_2$ はすでに荷重試験によって得られている。)この舗装の E_2/E_1 は、荷重試験の結果より求まっているから、 E_2/E_1 の値と、舗装としての限界たわみ量から求めた F_2 を用いて、図-75より、必要な舗装厚を算出することができる。

6-2 計算例

粘土路床において直径30inの円板で荷重試験を行なった結果、0.2inのたわみ量に対する荷重強度はpsiであった。次に安定処理砂利路盤を6inの厚さに設け、その上で、同じような荷重試験を行なったところ、0.2inのたわみ量に対しては、40psiの荷重強度であった。

(6-1-1)式より

$$E_2 = \frac{1.18 \times 15 \times 15}{0.2} = 1330 \text{ psi}$$

路盤については(6-1-1)式より

$$F_2 = \frac{0.2 \times 1330}{1.18 \times 40 \times 15} = 0.376$$

図-75より、 $F_2 = 0.376$ に対応する E_2/E_1 は $1/300$ である。すなわち、 $E_1 = 399,000 \text{ psi}$ となる。

このような上層路盤上に、タイヤ圧100psi、輪荷重35,000lbの単車輪航空機がのる場合に必要な舗装厚を求めよう。接地面積は、近似的に円形と考えてさしつかえないから、

$$A = \frac{35,000}{100} = 350 \text{ in}^2$$

$$a = \sqrt{\frac{350}{3.141}} = 10.5 \text{ in}$$

舗装の限界たわみ量を0.2inと仮定すれば、(6-1-4)式より

$$F_2 = \frac{0.2 \times 1330}{1.5 \times 100 \times 10.5} = 0.169$$

$F_2 = 0.169$ および $E_2/E_1 = 1/300$ を用いて、図-75より、必要舗装厚は、 $1.1a$ であることが分る。したがって $1.1 \times 10.5 \text{ in} = 11.5 \text{ in}$ が求むる舗装厚となる。ただしこれらの計算には、表層の強さは考慮されていない。

6-3 試験舗装による理論舗装厚の補正

上に述べたような方法で算定された舗装厚は、あくまで便宜的な一計算法にしか過ぎないから、この舗装厚をも含めて、やや厚目および薄目の試験舗装を作り、実際に載荷試験（航空機の車輪に匹敵する大きさの載荷板と輪荷重）を行なって限界たわみ量を満足せしめる真の舗装厚を求めなければならない。

試験舗装の厚さは、理論値、理論値×1.5、理論値×%の三種類とし、それぞれ、典型的な盛土路床、切土路床、自然路床の上に作られなければならない。したがって最小9種の試験舗装が必要となる。試験舗装の路床や上層路盤の締固め度は、輪荷重 15,000lb 以下では、標準 AASHO 密度 (J I S A 1210 と同じ) の 95%、輪荷重がそれ以上になれば、修正 AASHO 密度 (J I S A 1211 の締固め法による密度) の 95% とする。

一般に、これらの試験舗装の下では、路床の含水状態が最悪のものであるとは限らないから、限界たわみ量は最悪の路床を想定して、次式のように修正する。

$$\Delta = \Delta_f \times \frac{q_{opt}}{q_{opt} + 2\%} \dots\dots\dots(6-3-1)$$

Δ: 修正された限界たわみ量

Δ_f: 試験舗装上で測定されたたわみ量

q_{opt}: 最適含水比で、最大密度の95%に締固めた路床土の一軸圧縮強度

q_{opt}+2%: 最適含水比+2%の含水比で、最大密度の95%に締固めた路床土の一軸圧縮強度

このようにして修正された限界たわみ量に対応する試験舗装厚が真の舗装厚となる。

6-4 複車輪に対する考えかた

これまで述べて来た方法は、総て単車輪に対するものである。複車輪荷重の場合、Navy 法では、次のようにして、等価単車輪荷重 (E・S・W・L) を決め、これを使用して、同様な設計を行なう。複車輪荷重を点荷重と考え、路床上で垂直応力が同じになるものを等価単車輪荷重とすれば、理論的に、次式が成立する。

$$P_1 = P + P \frac{Z^5}{R^5} \dots\dots\dots(6-4-1)$$

P₁: 等価単車輪荷重 (E・S・W・L)

P: 複車輪の内、1 輪の荷重

Z: 舗装の深さ

R: $= \sqrt{Z^2 + b^2}$

b: 荷重 (タイヤ) 間の距離

しかし経験的に、垂直応力の大きさは、舗装の深さの自乗に反比例するから、(6-4-1) 式は、次のように修正

して、使用し、E・S・W・L を算定する。

$$P_1 = P + P \frac{Z^2}{R^2} \dots\dots\dots(6-4-2)$$

6-5 表層や上層路盤に対する考えかた

以上のような方法には、表層に対する考えかたは含まれていなかった。一般に、粒状上層路盤 lin よりは、瀝青コンクリート表層 lin の方が、層構造としては優れている。しかし、これは、安全率と考え、Navy 法では、表層としては、次のような厚さだけ、瀝青コンクリートでもって、上層路盤を置き換えることに決め、全舗装厚は、減らさないようにしている。ただし、最小舗装厚は 1.5in とする。

輪荷重 (lb)	表層厚 (in)
15,000lb または以下 (上層路盤はソイルセメントまたはマカダム)	1.5
15,000lb または以下 (上層路盤は他の材料)	2.0
15,000~25,000lb	2.5
25,000~50,000lb	3.0
50,000lb または以上	4.0

また表層を作った舗装上で載荷試験をする必要はない。なお、上層路盤の材質は、タイヤ圧 150psi 以下のものに対しては C・B・R ≥ 60、150psi 以上では、C・B・R ≥ 80 とする。海軍法では、従来、下層路盤は考えなかったが、重荷重に対しては、近年これを考慮するようになって来ている。

6-6 Navy 法の問題点

Navy 法は、舗装の設計に弾性論を導入したという点では新しいものであるが、次のような問題点を有している。

- ① 現段階における弾性論では舗装の適確なたわみ量を算定することは難しい。したがって、Navy の理論式の精度は低い。
- ② Navy 法は二層系の弾性論を使用しているが、実際の舗装はより多層の構造である。したがって、このままでは多層系の舗装構造にこの方法を適用できない。
- ③ 繰り返し荷重に対する考えかたが入っていない。
- ④ 路盤の載荷試験が必要である。
- ⑤ 実物大の試験舗装と載荷試験が必要である。
- ⑥ 経験が少なく、評価資料に不足している。

したがって、Navy 法を、わが国の舗装設計法に使用することには問題が多い。

7. F・A・A法* (米連邦航空庁法) 1), 31)

7-1 設計法概要

F・A・Aでは、米国内での空港舗装を分析し、路床土と舗装厚の関係をまとめあげた。すなわち、路床土を、粒度、液性限界、塑性限界、排水状態、凍結状態などにより分類し、これらに対応する必要舗装厚を各航空機の車輪配置ごとに決めた。以下、その設計手順について説明する。

7-2 路床土の分類

舗装建設予定地で採取された路床土の試料について土質試験を行ない、表-16³¹⁾により路床土を分類する。表の第1欄は分類記号、第2欄はNo. 10フルイ(2mm)に残った試料の量(重量百分率%)、第3欄は、No. 10フルイを通過し、No. 60フルイ(0.25mm)に残った粗砂の量、第4欄は、No. 60フルイを通過し、No. 270フルイ(0.053mm)に残った細砂の量、第5欄は、No. 270フルイを通過するシルトや粘土の量であり、第6欄、第7欄は、それぞれ、液性限界、塑性限界を表わす。⊕記号は「以上」の意味で⊖記号は「以下」を意味する。こ

のようにして分類された土は、さらに、路床の排水状態と凍結状態によって、表-17³¹⁾のように細分される。瀝青舗装の設計には、表の分類記号のF記号を使用し、コンクリート舗装にはR記号を使用する。表の1欄は表-16で分類された路床土の記号で、E-13は路床土としては適さないものである。第2欄は排水状態がよく、凍結もない場合、第3欄は、排水が良く凍結もある場合、第4欄は排水状態が悪く凍結がない場合、第5欄は排水が悪く、凍結もある場合の細分記号を示している。

7-3 舗装の区域

F・A・A法の舗装厚設計曲線は、その舗装に作用する最大航空機荷重が、滑走路などの能力一杯の使用頻度で走行することを考慮に入れて作成したものである。一般に、F・A・A法では、舗装の区域は、厚さによってcritical areaとnoncritical areaの二種類に分割される。これを図-76³¹⁾に示す。

critical areaは、エプロン、誘導路(高速脱出誘導路を除く)滑走路端部であって、この場所では、最も重

*F・A・AはFederal Aviation Agencyの略。

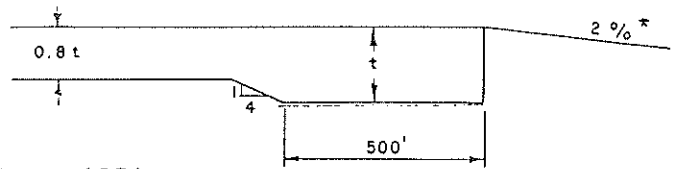
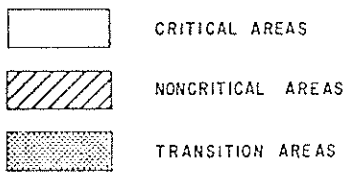
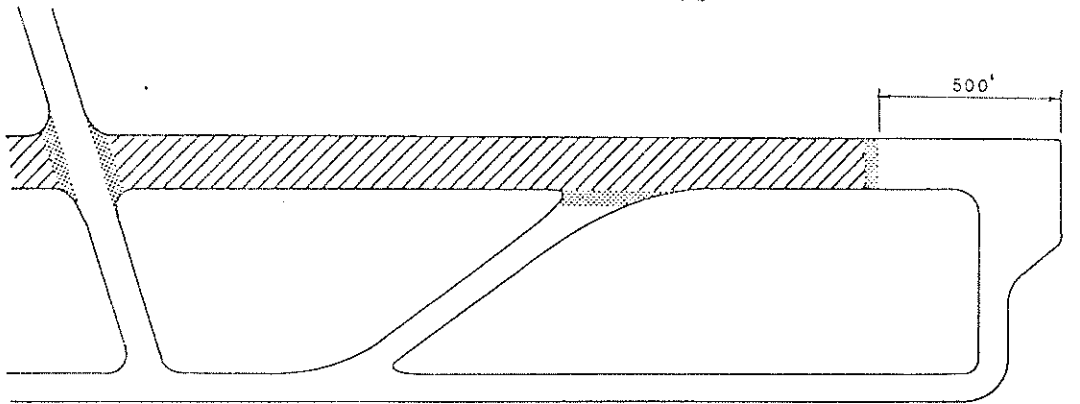
Soil group	Mechanical analysis				Liquid limit	Plasticity Index		
	Material retained on No. 10 sieve—percent ¹	Material finer than No. 10 sieve—percent						
		Coarse sand, passing No. 10; retained on No. 60	Fine sand, passing No. 60; retained on No. 270	Combined silt and clay; passing No. 270				
Granular	E-1	0-45	40+	60-	15-	25-	6-	
	E-2	0-45	15+	85-	25-	25-	6-	
	E-3	0-45	-----	-----	-----	25-	25-	6-
	E-4	0-45	-----	-----	-----	35-	35-	10-
	E-5	0-45	-----	-----	-----	45-	40-	15-
Fine grained	E-6	0-55	-----	-----	-----	45+	40-	10-
	E-7	0-55	-----	-----	-----	45+	50-	10-30
	E-8	0-55	-----	-----	-----	45+	60-	15-40
	E-9	0-55	-----	-----	-----	45+	40+	30-
	E-10	0-55	-----	-----	-----	45+	70-	20-50
	E-11	0-55	-----	-----	-----	45+	80-	30+
	E-12	0-55	-----	-----	-----	45+	80+	-----
	E-13	Muck and peat—field examination						

¹ If percentage of material retained on the No. 10 sieve exceeds that shown, the classification may be raised, provided such material is sound and fairly well graded.

表-16 路床土の分類 (F・A・A法)

Soil group	Subgrade class			
	Good drainage		Poor drainage	
	No frost	Severe frost	No frost	Severe frost
E-1	Fa or Ra	Fa or Ra	Fa or Ra	Fa or Ra.
E-2	Fa or Ra	Fa or Ra	F1 or Ra.	F2 or Ra.
E-3	F1 or Ra	F1 or Ra	F2 or Ra.	F2 or Ra.
E-4	F1 or Ra	F1 or Ra	F2 or Rb.	F3 or Rb.
E-5	F1 or Ra	F2 or Rb.	F3 or Rb.	F4 or Rb.
E-6	F2 or Rb.	F3 or Rb.	F4 or Rb.	F5 or Rc.
E-7	F3 or Rb.	F4 or Rb.	F5 or Rb.	F6 or Rc.
E-8	F4 or Rb.	F5 or Rc.	F6 or Rc.	F7 or Rd.
E-9	F5 or Rc.	F6 or Rc.	F7 or Rc.	F8 or Rd.
E-10	F5 or Rc.	F6 or Rc.	F7 or Rc.	F8 or Rd.
E-11	F6 or Rd.	F7 or Rd.	F8 or Rd.	F9 or Re.
E-12	F7 or Rd.	F8 or Re.	F9 or Re.	F10 or Re.
E-13	Not suitable for subgrade			

表-17 路床土の細分 (F・A・A法)



TRANSITION AREA

* MAXIMUM

† TOTAL THICKNESS OF FLEXIBLE PAVEMENT
OR CONCRETE THICKNESS OF RIGID PAVEMENT.

図-76 舗装区域 (F・A・A法)

い荷重状態や、徐行荷重、静止荷重、channelizationが考えられるから、他の区域 (noncritical area) より厚くしなければならない。高速脱出誘導路では、航空機は離陸重量よりもかなり軽いから、舗装厚は、この軽減荷重を使用して、critical area の設計曲線より求める。

航空機荷重が変わらない場所、例えば、blast pads、誘導路やエプロンのショルダー、また建物に接近したターミナルエプロンの一部などは、工事用の車や燃料車、除雪車、荷物運搬車などの荷重を適宜考慮すればよい。

7-4 舗装厚設計曲線

従来のF・A・A法では、多車輪荷重の場合には、これを

図解法によってE・S・W・Lに換算してやる方法をとっていた。しかし、この方法は、地方の技術者に対して設計を誤らせる結果を数多くもたらしたので、F・A・Aでは、新しくきわめて簡明な計算図を三種類作成した。これを図-7731)、図-7831)、図-7931)に示す。すなわち、それぞれ、単車輪、複車輪、複々車輪 (dual-tandem) に対する舗装厚設計曲線である。図の縦軸は航空機総重量 (kips)、上の横軸は noncritical area に対する舗装厚 (in)、下の横軸は critical area に対する舗装厚、図中の右よりの斜めの実線は、上層路盤厚 (in) (上段が critical、下段が noncritical) を示している。例えば、図-79 において、航空機総重量 320kips、路床土の分類

NONCRITICAL AREAS - TOTAL PAVEMENT THICKNESS - INCHES

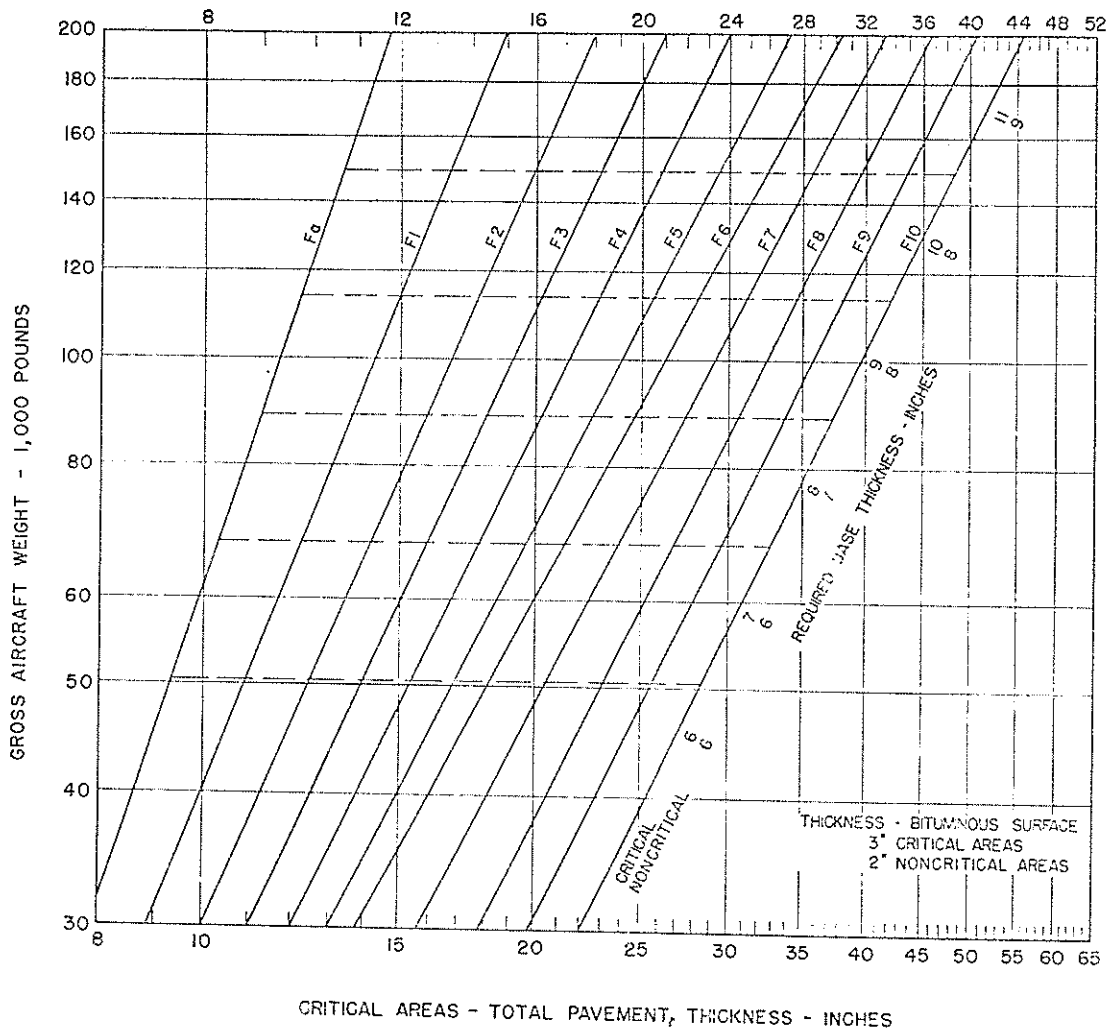


図-77 単車輪荷重に対する舗装厚計算図表 (F・A・A法)

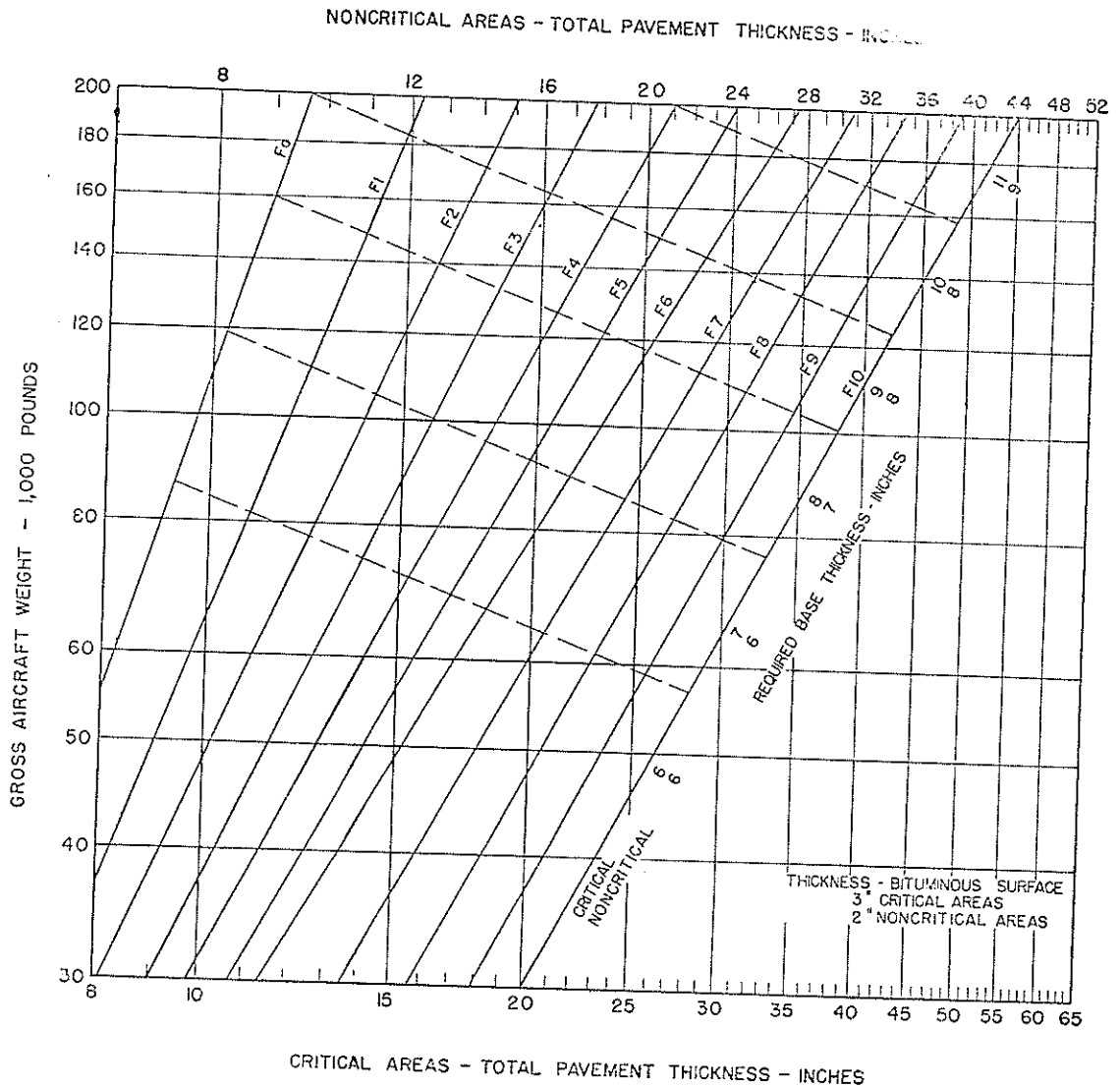


図-78 複車輪荷重に対する舗装厚計算図表 (F・A・A法)

をF-9とすれば、critical areaの舗装厚は42in、上層路盤厚は、F-9と総重量の交点から、点線に平行に右下にもって行くと、11.7inとなる。また表層厚は図の右隅の数字よりcriticalでは3inである。したがって下層路盤厚は、

$$42 - (11.7 + 3) = 27.3 \text{ in となる。}$$

これらの計算図では、E・S・W・Lは全く関係ないが、その理由は、図-80³¹⁾、図-81³¹⁾に示すように、あらかじめ航空機総重量ごとに、E・S・W・Lを仮定してしまっているからである。図-80は複車輪のE・S・W・Lの仮定、図-81は複々車輪に対するE・S・W・Lの仮定を表わ

している。

7-5 二層路床に対する下層路盤厚の修正

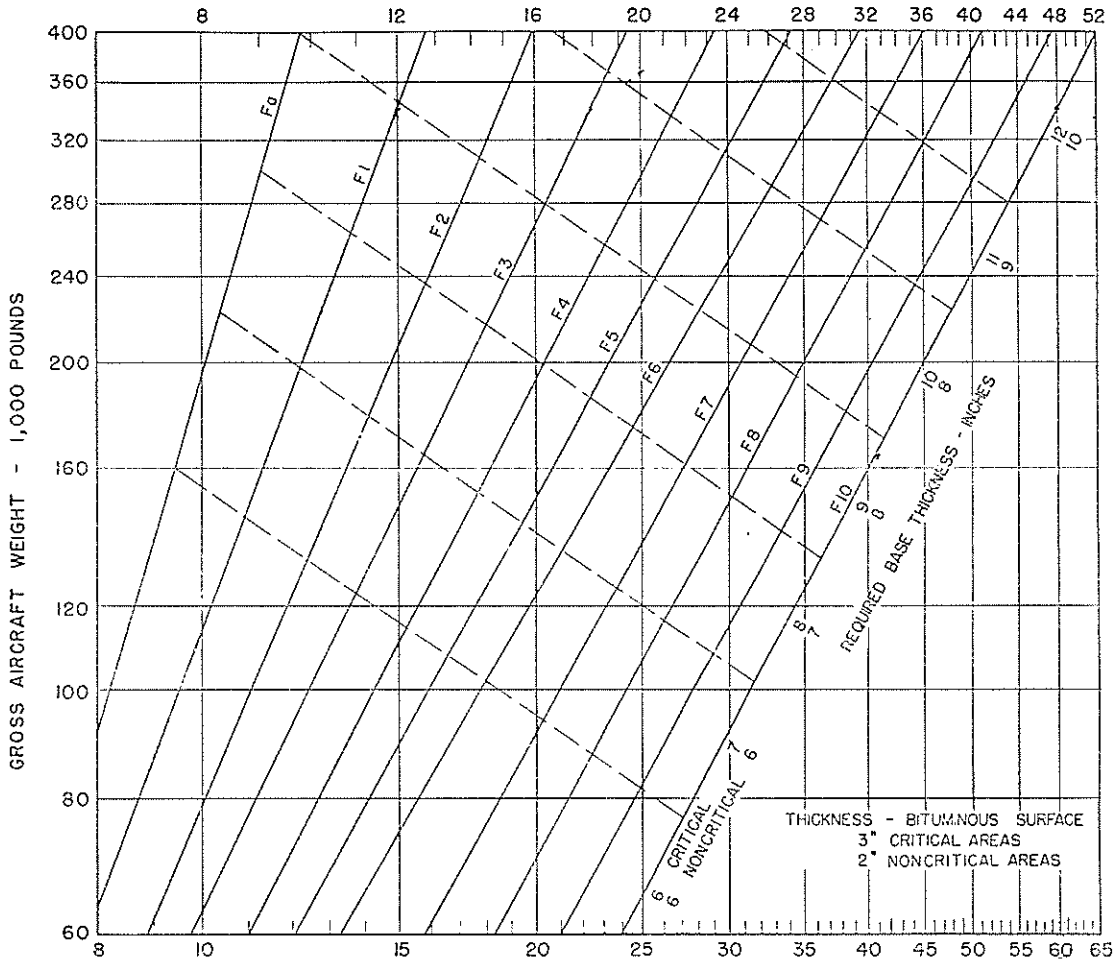
もしも、路床の上部に、下の路床よりも強い土が薄い層をなしている場合は、この上部路床の支持力効果を考えて、次式により下層路盤厚を修正する。

$$Z = y - \frac{t(y-X)}{X+y} \dots\dots\dots(7-5-1)$$

Z: 修正された下層路盤厚。

X: 上部の強い路床土によって算出される下層路盤厚。

NONCRITICAL AREAS - TOTAL PAVEMENT THICKNESS - INCHES



CRITICAL AREAS - TOTAL PAVEMENT THICKNESS - INCHES

図-79 複々車輪荷重 (dual-tandem) に対する舗装厚計算図表 (F・A・A法)

y: 下部の路床土によって算出される下層路盤厚。
t: 上部の強い路床土の厚さ。

最小厚は 4in, セメント処理上層路盤の最小厚は 6in とする。

7-6 等価値による層構造の修正

F・A・A法の材料および施工規定については、参考文献22)で別途報告するが、上層路盤に、瀝青コンクリート、セメント処理などの材料を使用した場合は、これらの層厚1.0inは、マダムやアスファルト乳剤などの材料による層厚1.5inに相当すると考えてよい。ただし、この等価値を使用して上層路盤で減じた厚さは、下層路盤を同量だけ厚くして補足する。また、瀝青上層路盤の

7-7 F・A・A法の問題点

F・A・A法は全く経験的な方法であり、次のような問題点を有している。

- ① 設計の精度が低い。すなわち、車輪配置寸法などの影響が出て来ない。
- ② 路床土の分類は、きわめて大まかであり、強さを示す分類項目はない。したがって、わが国の土質にも、この分類があてはまるかどうか疑わしい。

SINGLE WHEEL LOAD - 1000 LBS.

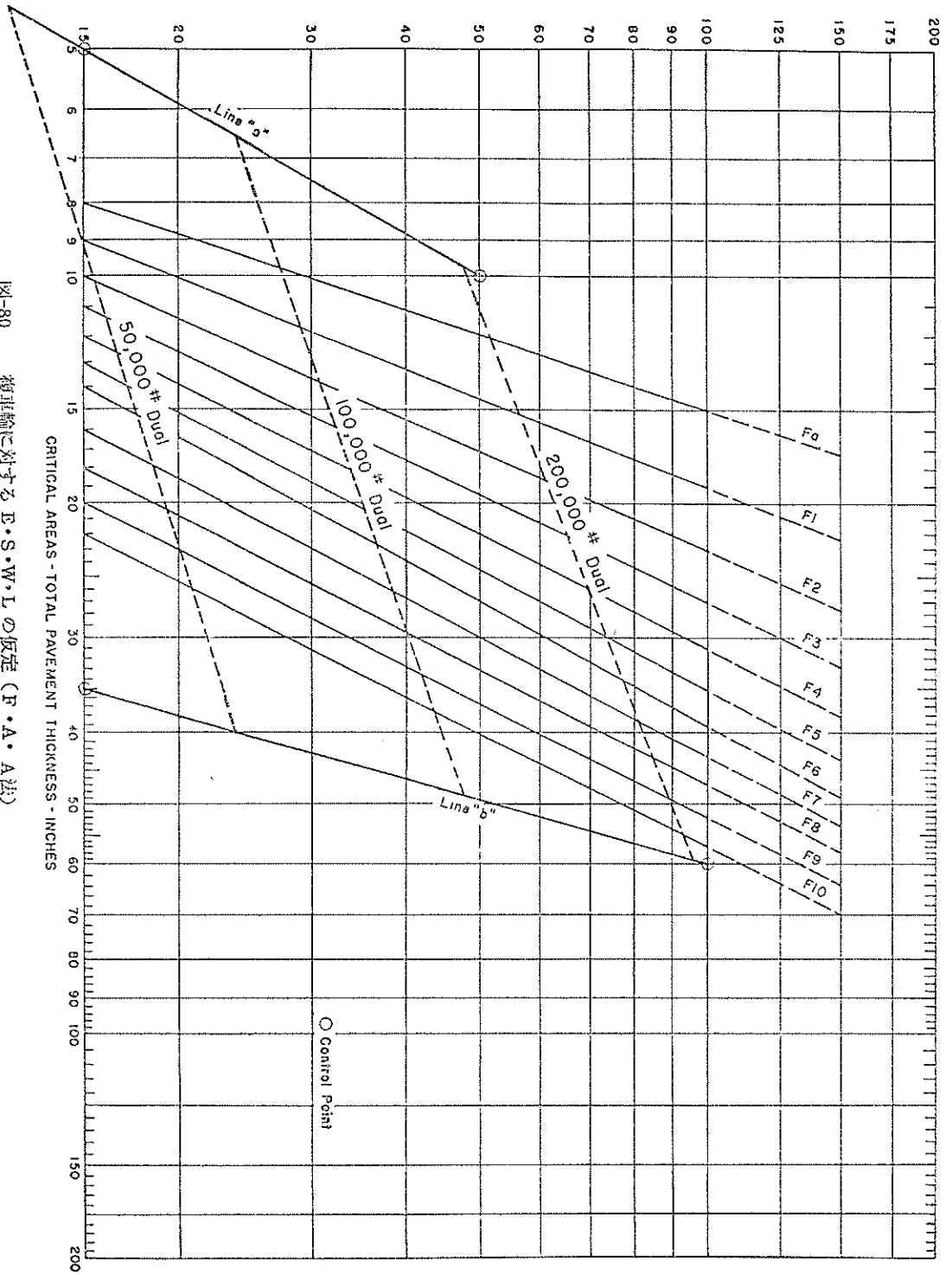


図-80 複車輪に対する E·S·W·L の仮定 (F·A·A 法)

SINGLE WHEEL LOAD - 1000 LBS.

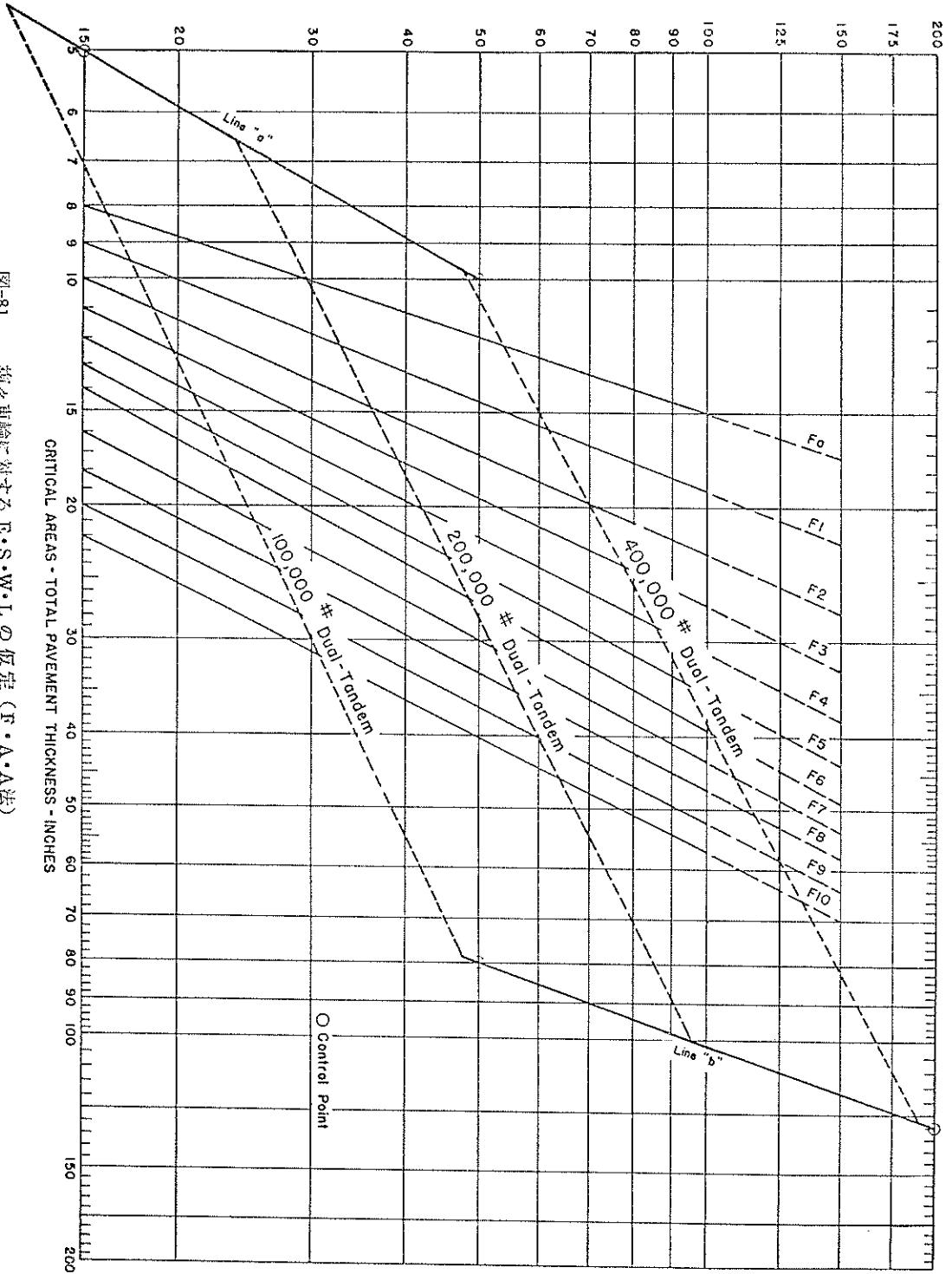


図-81 複々車輪に対する E·S·W·I の仮定 (F·A·A法)

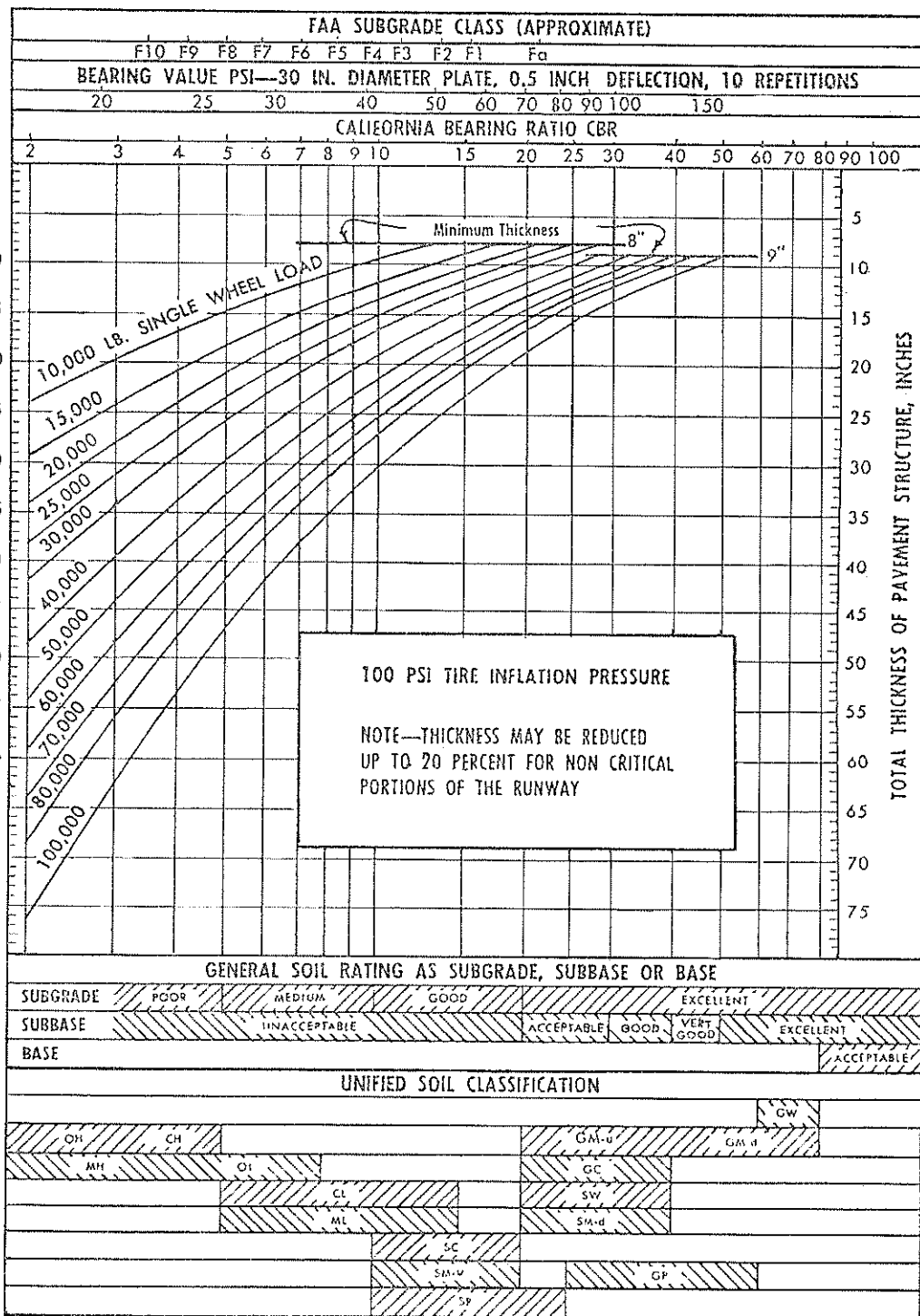


図-82 タイヤ圧 100psi の単車輪荷重に対する舗装厚計算図表 (A・I法)

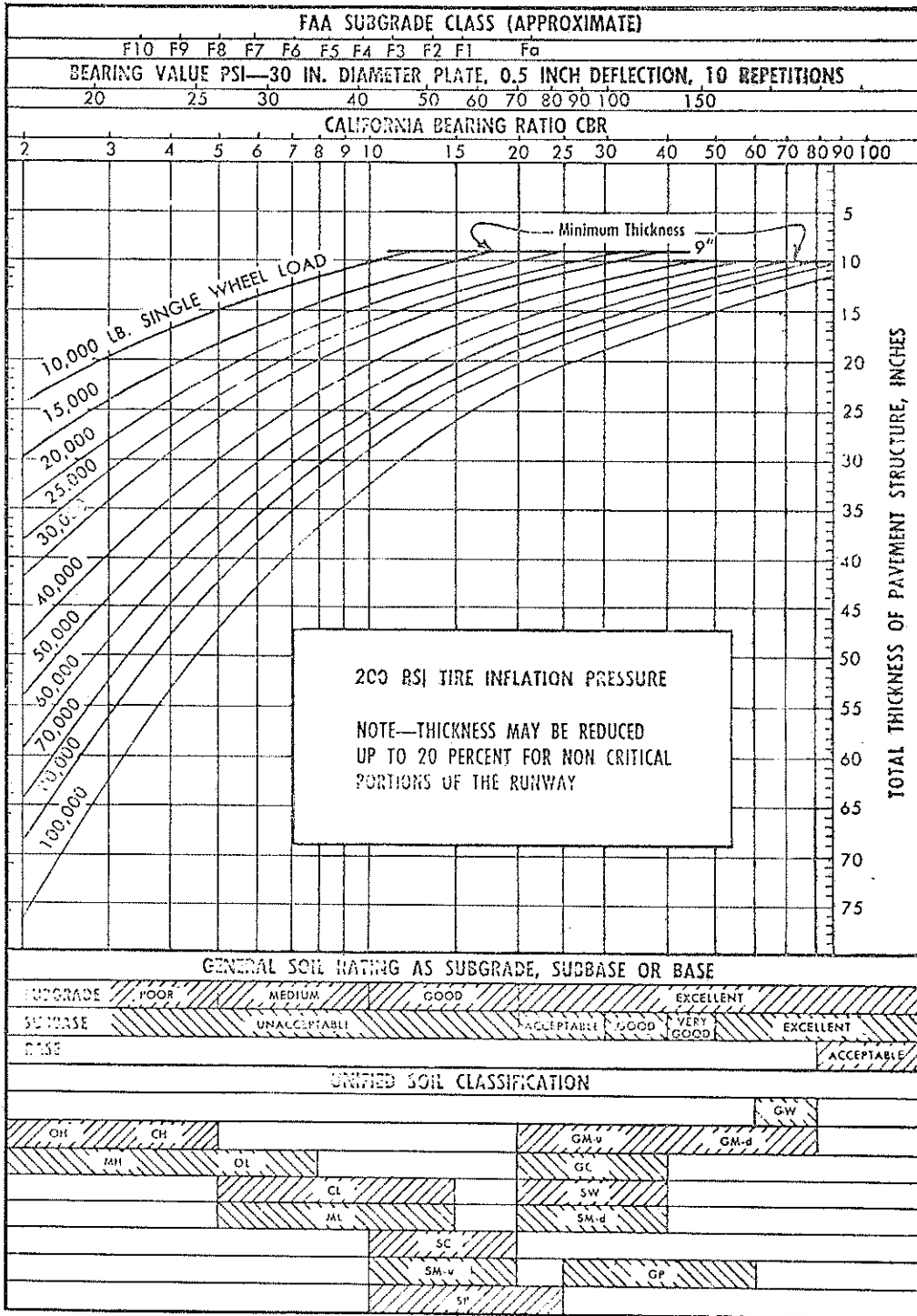


図-83 タイヤ圧 200psi の単車輪荷重に対する舗装厚計算図表 (A・I)

EQUIVALENT SINGLE WHEEL LOAD IN KIPS AT 100 PSI TIRE PRESSURE

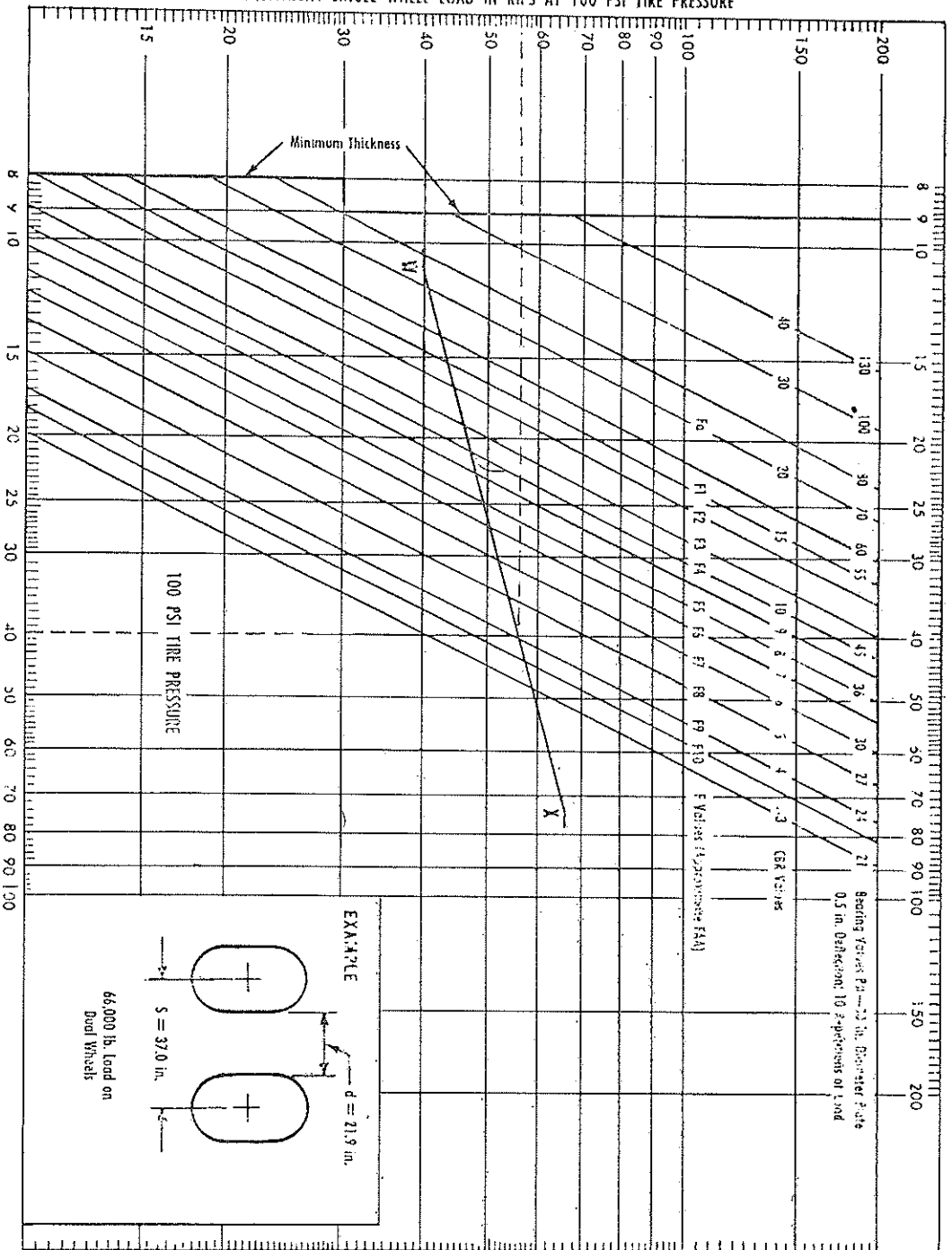


図-84 タイヤ圧 100psi の多車輪荷重に対する舗装厚計算図表 (A・I 法)

EQUIVALENT SINGLE WHEEL LOAD IN KIIPS AT 200 PSI TIRE PRESSURE

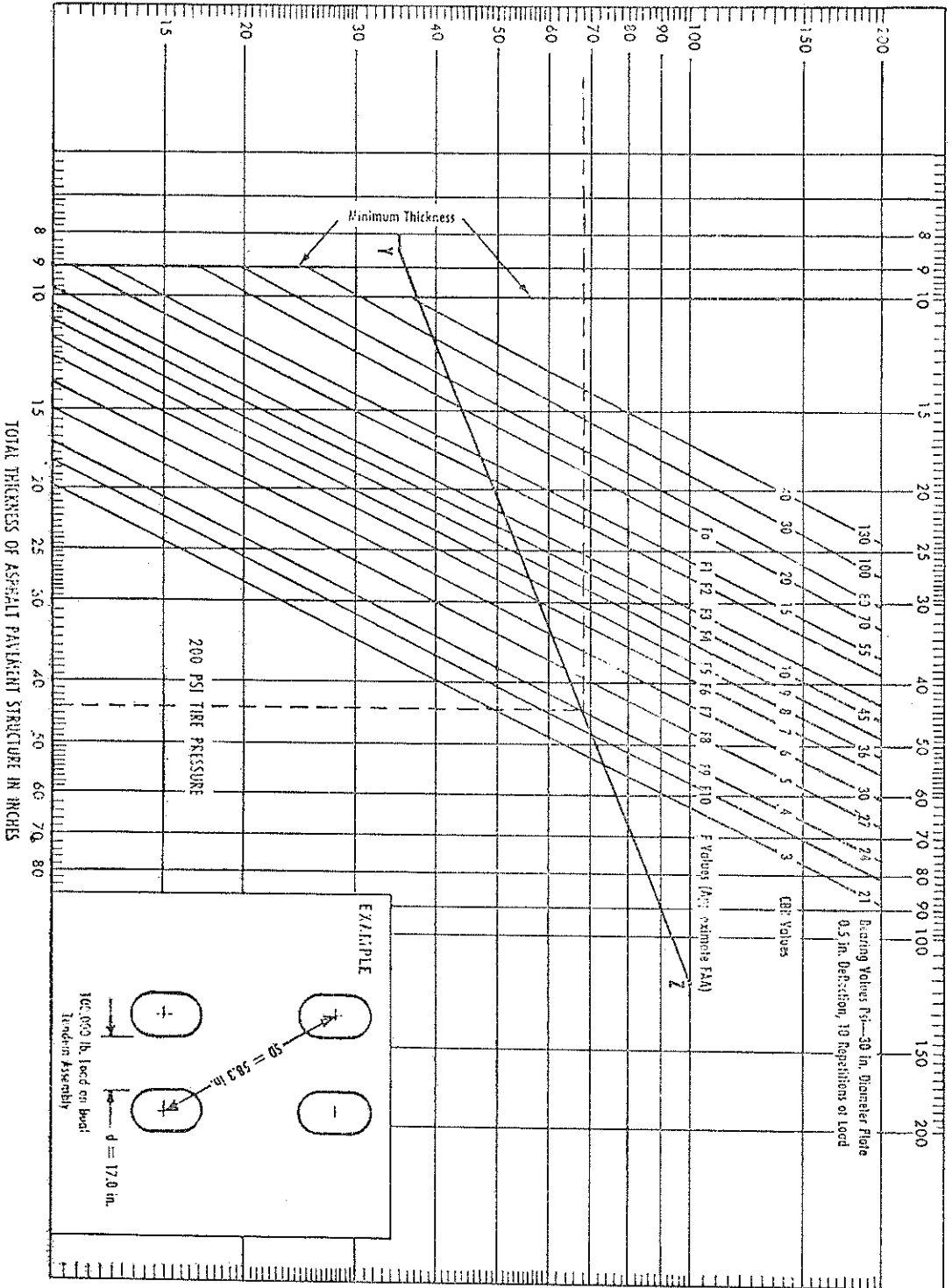


图-85 タイヤ圧 200psi の多車輪荷重に対する舗装厚計算図表 (A・I法)

③ この方法は、米国では、主として、予算の算定に使用され、実際の工事では、余り使用されていない。

④ この方法は、全く経験的な方法ではあるが、その設計法の作成根拠が明確でない。

これらの理由により、F・A・A法をわが国の舗装設計法に使用するには問題点が多い。

8. A・I法* (アスファルト協会法)³²⁾

8-1 設計法

A・Iでは、C・B・R法、カナダ法、F・A・A法の三者を組み合わせて設計図表を作成した。単車輪荷重でタイヤ圧 100psi に対するものを図-82³²⁾に、200psi に対するものを図-83³²⁾に示す。図の上欄には、F・A・Aの路床土分類、カナダ法の支持力値、C・B・R法のC・B・Rが記されている。縦軸は、舗装厚 (in)、図中の曲線は輪荷重 (lb)を示す。また下欄は、一般的な路床土や路盤の表示および、土の統一分類法を表わしている。

また、多車輪荷重になった場合は図解法により、E・S・W・Lとこれに対する舗装厚を求めることができる。タイヤ圧 100psi のものを図-84³²⁾に、200psi のものを図-85³²⁾に示す。図の縦軸は E・S・W・L (kips)、横軸は舗装の厚さ (in)、図中の斜めの設計直線は、それぞれカナダ法の支持力、C・B・R、F・A・A分類と関係づけられたものである。またX-Wで表わされる直線は、C・B・R法の章でも述べたように、図解法によるE・S・W・Lの求めかたの一例を示したものである。右欄にこの例に使用した車輪の配置や荷重が記されている。

8-2 舗装の区域

A・I法では、舗装の区域を critical area と、noncritical area の二つに分けている。critical area は、エプロン、誘導路、hardstands、滑走路端部(輸送機用空港では 1000ft、軽飛行機の空港や小空港では 500ft)であって、図-82~図-85で求まる舗装厚は、この区域を対象としたものである。noncritical area では、critical area の舗装厚を、最大20%まで減らしてよい。

8-3 等価値による舗装厚の修正

A・I法における舗装材料や施行の規定については参

考文献 22) で別に報告するが、A・I法では、アスファルト上層路盤を作る場合、その等価値を次のように決めている。

小民間空港(滑走路長4500ftまたは以下)において、最大輪荷重 15,000lb を越えない場合は、粒状上層路盤厚 2in に対して、アスファルト上層路盤厚は 1in である。滑走路長 4,500ft をこえる総ての空港では、粒状上層路盤厚 1.5in に対して、アスファルト上層路盤厚は 1in とする。

これらの等価値は、A・S・A・H・Oの道路試験の結果を参考にし、重荷重の場合は安全側を考慮して、等価値を 1.5 としたものである。

8-4 A・I法の問題点

A・I法は、C・B・R法、カナダ法、F・A・A法の三者を組み合わせたものであるが、次のような問題点を有している。

- ① 三設計法の組み合わせの理論的根拠が明確でない。
- ② 設計の精度がおちる。
- ③ カバレッジに対する考えかたが不明確である。
- ④ 使用実績が明確でない。

これらの理由により、A・I法をわが国の舗装設計法として使用するには問題点が多い。

9. 結 論

現在世界各国で使用されている7つの主要な設計法について、これまで検討を加えて来たが、その中で、最も使用実績と経験があり、また数多くの実物大実験の裏付けを持ち、かつ論理が明確、妥当であり、舗装厚の算定法が数式化(普遍化)されているものは、C・B・R法以外にない。ただし、C・B・R法の最大の弱点は、舗装の厚さは、構成材料に関係なく、路床土の強さによって一定であるということである。したがって、この弱点は、層の等価値などにより、補足されるべきであろう。

C・B・R法は、全く経験公式によるものであるが、弾性理論などによる合理的設計法が完成されていない現段階では、空港瀝青舗装の設計法としてC・B・R法を、多少補正して使用するのが最も妥当であろう。

*A・Iは Asphalt Institute の略。

参 考 文 献

- 1) 倉田進, 須田熙: 「米国およびカナダにおける空港土木の現況」, 運輸省港湾技術研究所, 1967年1月, 52 pp, 附図附表(別冊) 144 pp.
- 2) Gayle McFadden, Thomas B. Pringle: 「Development and Scope of Investigation」 A. S. C. E., Transactions, Vol 115, 1950, pp 456~460.
- 3) O. J. Porter: 「Development of Original Method for Highway Design」 A. S. C. E., Transactions, Vol 115, 1950, pp 461~467
- 4) T. A. Middlebrooks, G. E. Bertram: 「Adaptation to the Design of Airfield Pavement」, A. S. C. E., Transaction, Vol 115, 1950, pp 468~471
- 5) Leo Jürgenson: 「Application of Elastic Theory and Plasticity to Foundation Problems」 Boston Soc. of Civ. Engrs., July, 1934, 242 pp
- 6) William H. Jervis, Joseph B. Enstis: 「Accepted Procedure for the C. B. R Test」 A. S. C. E., Vol 115, 1950, pp 472~484.
- 7) O. J. Porter: 「Test Section No. 1, Stockton Field, California」, A. S. C. E., Transaction, Vol 115 1950, pp 485~494.
- 8) Ralph Hansen: 「Service Behavior Tests, Barksdale Field, Shreveport, LA.」, A. S. C. E., Transaction, Vol 115, 1950, pp 495~505
- 9) John M. Griffith: 「Wheel Load Tests, Marietta, GA」, A. S. C. E., Transaction, Vol 115, 1950, pp 506~519.
- 10) J. F. Redus: 「Other Accelerated Traffic Tests」, A. S. C. E., Transaction, Vol 115, 1950, pp 520~525.
- 11) C. R. Foster: 「Design Curve for Single Wheel Load」, A. S. C. E., Transaction, Vol 115, 1950, pp 526~533.
- 12) W. K. Boyd, C. R. Foster: 「Design Curves for Very Heavy Multiple wheel Assemblies」, A. S. C. E., Transaction, Vol 115, 1950, pp 534~546.
- 13) Nathan M. Newmark: 「Influenc Charts for Computation of Stresses in elastic Foundation」 Univ. of Illinois Bulletin, Vol 40, No. 12, Nov. 10, 1942.
- 14) 「Airfield Pavement Design」, Engineering Manual for War Department Construction, Office of Chf. of Engrs., U. S. Army, July, 1946.
- 15) S. M. Fergus: 「Discussion for Flexible Pavement」 A. S. C. E., Transaction, Vol 115, 1950, pp 563~567
- 16) Gayle Me Fadden 他: 「Discussion for Flexible Pavement」, A. S. C. E., Transaction, Vol 115, 1950, pp 575~589
- 17) W. J. Turnbull, R. G. Ahlvin: 「Mathematical Expression of the C. B. R Relations」, Proc., 4th, International Confence on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 1957, pp 178~180
- 18) R. G. Ahlvin: 「Consolidated CBR Criteria」, A. S. C. E, Vol 84, No. SM 4, Oct. 1958, Part 1, pp 1825-1~1825-16.
- 19) C. R. Foster, R. G. Ahlvin」, A. S. C. E., Vol 84, No. S. M 2, May 1958, Part 1, pp 1647-1~1647-12.
- 20) R. G. Ahlvin: 「Flexible Pavement Design Criteria」, A. S. C. E, Vol 88, No. AT 1, Aug. 1962, pp 15~33.
- 21) 「Flexible Airfield Pavements」, Department of the Army, Technical Manual TM 5-824-2 (Copy of EM 1110-45-302, including Change 1~5.), Headquarters, Department of the Army, Aug. 1958, 228 pp.
- 22) 須田熙: 「空港瀝青舗装の材料および施工に関する調査研究」, 運輸省港湾技術研究所, 港湾技研資料, No. 53, 1968年6月.
- 23) 「Aerodrome Manual Part 2.-Aerodrome Physical Characteristics」, International Civil Aviation Organization, Second Edition, 1965, pp2-81~2-160.
- 24) Horonjeff: 「Planning and Design of Airport」, McGraw-Hill, 1962, 464 pp.
- 25) 材鋼太郎, 武田昭: 「L. C. N. 方式による滑走路強度の評価について」, 運輸省航空局資料, 27 pp.
- 26) 「大阪国際空港 L. C. N. 試験報告書」, 運輸省第三港湾建設局神戸調査設計事務所, 昭和41年5月, 122 pp.
- 27) 「Exposant la Methode Francaise de Determination de la Resistance des Chaussees d'Aerodromes」, Ministere de L' Equipement, France, 1966, 23 pp.
- 28) 「Pavement Design and Construction Manual

- Section I.], Department of Transport, CANADA, Dec. 1963, 77 pp., Feb. 1964, 98 pp,
- 29) Norman W. Mcleod: 「Airport Runway Evaluation in CANADA」, Highway Reserch Report No. 48, Highway Reserch Board, 1947.
- 30) E. J. Yoder: 「Principle of Pavement Design」, John Wiley & Sons, INC., Aug, 1965, 569 pp,
- 31) 「Airport Paving」, Federal Aviation Agency, June 1964, 80 pp,
- 32) 「Asphalt Pavements for Airports」, The Asphalt Institute, Manual Series No. 11 (MS-11), 1st Edition, June, 1963, 126 pp,
- 33) 「空港の計画と設計」, 第三港湾建設局神戸調査設計事務所, 1967年。
- 34) 「新東京国際空港の舗装に関する研究」中間報告, 土木学会空港舗装研究委員会, 昭和42年10月, 50 pp,
- 35) 「滑走路用舗装構造の設計法に関する研究」, 北海道大学工学部土木工学科交通材料学研究室, 188 pp.
- 36) 「土質工学ハンドブック」, 土質工学会編, 技報堂, 昭和40年, 1317 pp.
- 37) 「土木工学ハンドブック」, 土木学会編, 技報堂, 昭和38年, 2673 pp.
- 38) 「土質試験法」, 土質工学会, 昭和39年, 566 pp.
- 39) 「土質調査法」, 土質工学会, 昭和39年, 438 pp.
- 40) 竹下春見: 「新編道路工学」, 金原出版 KK, 昭和41年, 276 pp.
- 41) 「AASHO 道路試験」, 日本セメント技術協会, 昭和41年, 246 pp.
- 42) 「アスファルト舗装要綱」, 日本道路協会, 昭和42年, 167 pp.
- 43) 「新東京国際空港 舗装厚設計試算」, 新東京国際空港公団工務部, 昭和42年5月, 34 pp.

(原稿受付: 1963年3月28日)

港湾技研資料 No. 52

1968年6月

編集兼発行人 運輸省港湾技術研究所

発行所 運輸省港湾技研研究所
横須賀市長瀬3丁目1番1号

印刷所 大洋印刷産業株式会社
東京都千代田区丸の内2-20-1