

運輸省港湾技術研究所

港湾技術研究所 報告

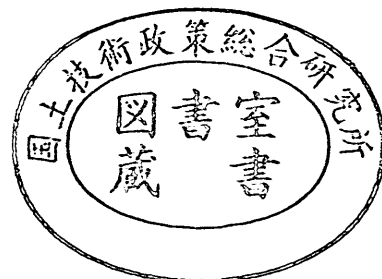
REPORT OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH
INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT

VOL. 14

NO. 2

JUNE 1975

NAGASE, YOKOSUKA, JAPAN



港湾技術研究所報告 (REPORT OF P.H.R.I)

第14巻 第2号 (Vol. 14, No. 2), 1975年6月 (June 1975)

目 次 (CONTENTS)

1. 備讃瀬戸における海底砂州, サンドウェーブの調査小 笹 博 昭..... 3
(Field Investigation of Submarine Banks and Large Sand Waves
.....Hiroaki OZASA)
2. 矩形断面浮体の波浪動揺に関する研究木 原 力, 轟 正 彦.....47
(Etude sur les Mouvement d'un Corps Flottant Rectangulaire dans la Houle
..... Tsutomu KIHARA and Masahiko TODOROKI)
3. 円形断面緊張繫留浮体の防波効果と繫留力
..... 木 原 力, 北 谷 高 雄, 轟 正 彦.....79
(A Study on the Function and Mooring Force of Floating Breakwaters with Circular
Cross SectionTsutomu KIHARA, Takao KITATANI and Masahiko TODOROKI)
4. 栈橋スラブ上のコンクリート舗装の収縮ひびわれと防止対策
..... 佐 藤 勝 久, 森 口 拓, 浅 島 豊 明, 洪 谷 英 男... 111
(Control of Shrinkage Cracking of Concrete Pavements on pier Slabs
.....Katsuhisa SATO, Hiraku MORIGUCHI, Toyoaki ASAJIMA and Hideo SHIBUYA)
5. 空港舗装路盤としてのコーラルリーフロックの評価 (第1報)
..... 佐 藤 勝 久, 福 手 勤, 浅 島 豊 明, 洪 谷 英 男... 139
(An Appraisal of Coral Reef Rock as the Base Course Material of Airport Pavements
(Ist Report)
..... Katsuhisa SATO, Tsutomu FUKUDE, Toyoaki ASAJIMA and Hideo SHIBUYA)

4. 棧橋スラブ上のコンクリート舗装の 収縮ひびわれと防止対策

佐藤勝久*, 森口 拓**, 浅島豊明***, 渋谷英男****

要 旨

千葉港のけい船棧橋スラブ上のコンクリート舗装に多数のひびわれが発生したので、その原因究明と防止対策につき研究を行なった。

ひびわれ発生コンクリート舗装と同じ構造を含めて、4種類の試験舗装を棧橋スラブ上に作り、温度、ひずみ、変位など多方面からの調査試験を実施した。これらの結果に基づき、舗装版内に生ずる温度応力、ひびわれ原因、その防止対策などを検討した。

その結果、ひびわれ発生原因は、舗装コンクリートの乾燥収縮と温度降下時の収縮が、舗装版が棧橋スラブと一体になっていることから拘束され、大きな引張応力を版内に生ぜしめたためであることが判明し、その防止には、棧橋スラブ上にポリエチレンシートなどの路盤紙を敷くか、適切な膨張セメントコンクリートを用いるとよいことも分かった。

* 土質部 滑走路研究室長
** 前土質部 滑走路研究室長
*** 前土質部 滑走路研究室
**** 土質部 滑走路研究室

4. Control of Shrinkage Cracking of Concrete Pavements on Pier Slabs

Katsuhisa SATO*

Hiraku MORIGUCHI**

Toyoaki ASAJIMA***

Hideo SHIBUYA****

Synopsis

Cracks have often occurred in the conventional concrete pavements (10cm thickness) on pier slabs. The purpose of this study is to find out the cause of the cracking and its control methods.

Four kinds of concrete test pavements are made on the concrete pier slabs of Chiba Port and various items such as temperature, strain and displacement are observed in these test pavements for one year.

From these results, the following conclusions are made clear.

- (1) Among the thermal stresses of conventional concrete pavements on pier slabs, end restraint stress is fairly large in spite of small internal and restrained warping stresses.
- (2) The cause of the cracking in the concrete pavement slabs is excessive tensile stress generated by reason that the shrinkage of concrete pavement due to drying and temperature descent is restrained by the pier concrete slab.
- (3) Two methods to control the shrinkage cracking are proved actually. One is to spread plastic sheet on pier slabs and another is to use adequate expansive cement concrete for pavement slabs.

* Chief of the Runways Laboratory, Soils Division

** Ex-Chief of the Runways Laboratory, Soils Division

*** Ex-Member of the Runways Laboratory, Soils Division

**** Member of the Runway Laboratory, Soils Division

目 次

要 旨	111
1. ま え が き	115
2. 試 験 舗 装	115
2.1 試験舗装の構造	115
2.2 試験舗装の施工	116
3. 試験および調査方法	117
3.1 使用コンクリートの供試体試験	117
3.2 試験舗装に関する試験および調査	118
4. 試験および調査結果	119
4.1 使用コンクリートの性質	119
4.2 ひびわれの進行状況	121
4.3 舗装版内の温度	123
4.4 舗装版内のひずみ	126
4.5 舗装版の変位	129
4.6 舗装目地幅の変化	130
5. 考 察	131
5.1 舗装版の温度応力	131
5.2 ひびわれ原因の検討	133
5.3 ひびわれの防止対策	135
6. 結 論	136
7. あ と が き	137
謝 辞	137
参 考 文 献	138

1. まえがき

けい船栈橋スラブ上には、交通荷重に平たんな走行面および荷重によるすり減りに十分抵抗できる面を提供するため、舗装が設けられる。この舗装には、セメントコンクリートあるいはアスファルトコンクリートが用いられ、通常その構成は図-1.1 のようである¹⁾。

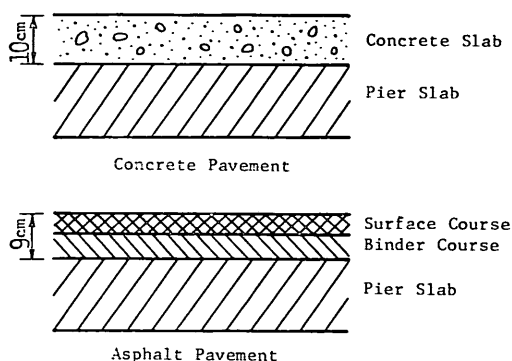


図-1.1 けい船栈橋上の舗装構造

コンクリート舗装の場合、栈橋スラブ上の舗装部分を栈橋スラブのコンクリートでスラブと一体に打って仕上げる1層式と、栈橋スラブのコンクリートが硬化してある期間置いてから舗装部分のコンクリートを打って仕上げる2層式とが考えられるが、1層式の場合水量の多い栈橋スラブのコンクリートを使うことと、連続打設で仕上げが困難なことから、収縮ひびわれが多く発生することが予想されるため、一般には2層式による舗装が行なわれる。

栈橋上の舗装は通常の舗装構造と異なり、剛性の大きなコンクリートスラブ上に設けられることと、環境条件の厳しい海域にあることから、通常の舗装構造とは別な問題が発生する。千葉港の栈橋スラブ上のコンクリート舗装に、交通開放前に多数のひびわれが生じたのもその1つで、一般のコンクリート舗装のひびわれ発生状況とはかなり異なったものであった。

このひびわれの発生にはその栈橋の特殊性も若干影響していることは考えられたが、多くの栈橋上のコンクリート舗装でも程度の差はあるこの種のひびわれがみられることと、今後の栈橋コンクリート舗装でも同様なひびわれが発生する恐れもあることから、同一港湾の栈橋スラブ上に試験舗装を製作し、ひびわれ原因の究明とその防止対策について研究を進めた。

問題になったコンクリート舗装のひびわれは交通荷重が設る前で、そのひびわれの発生は施工条件か環境条件

に基因することは明らかであったので、本研究の試験舗装でも1年間交通を制限して上記要因につき各種調査・試験を行なった。通常コンクリート舗装のひびわれ原因に考えられるものの中で、荷重要因を除いたほとんどすべてに対し、施工段階から検討が加えられ、それらの結果を通してひびわれの発生原因の究明がなされた。また、試験舗装では同時にこの種のひびわれの防止に有効と考えられるいくつかの対策も実施され、1年間にわたる供用成績の観察から、それらの効果の判定がなされた。

本報告書では、試験舗装の概要について述べたあと、今まではほとんど調査・試験などが行なわれなかった栈橋スラブ上のコンクリート舗装についての各種測定結果を示し、これらの結果からひびわれ原因を検討し、最後にこのようなひびわれの防止に有効な方法を提示した。

2. 試験舗装

2.1 試験舗装の構造

試験舗装は鋼管矢板栈橋のコンクリートスラブ上に、厚さ10cmで図-2.1に示す平面構成により製作された無筋コンクリート舗装である。路盤に相当する栈橋スラブを四辺固定の構造物と考え、弾性計算からその荷重一変位の関係を算出し、通常コンクリート舗装版の設計で問題にする路盤反力係数 K_{rs} 値を求めてみると、おおよそ $300,000\text{kg/cm}^3$ となり、舗装厚さは舗装版の曲げ強度よりも施工条件等の他の要素によって決定された。

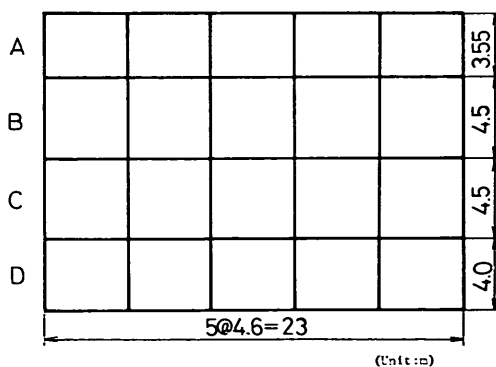


図-2.1 試験舗装の平面図

試験舗装は図-2.1に示すようにA, B, C, Dの4レーンに分けられ、各レーンは4.6mごとのカッター収縮目地により5区画に分けられた。試験舗装の外周には膨張目地を、各レーンの境界には施工目地を設けたが、カッター目地を含めて図-2.2にこれらの構造が示されている。今回の試験舗装では4種類のコンクリート舗装が舗設

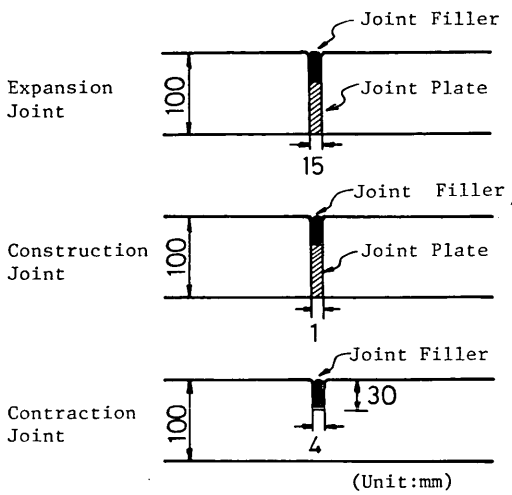


図-2.2 試験舗装の目地構造

されたが、それらはA, B, C, Dの4レーンに相当する。前述のように各レーンは構造的にほとんど同じで、4種類は材料と施工を変えたものである。すなわち、AおよびBレーンには普通ポルトランドセメントが、CおよびDレーンには膨張セメントが使われ、また施工上でA, CおよびDレーンで従来の栈橋スラブ上への直打ちが行

なわれたのに対し、Bレーンでは、栈橋スラブと舗装版の間に2枚のポリエチレンシート（一枚のポリエチレンシートの厚さ約0.05mm）が敷かれた。

2.2 試験舗装の施工

試験舗装の施工は一般のコンクリート舗装で行なわれている方法に準じ、特別な工法などは適用されていない。しかし、施工条件もひびわれ原因の1つになり得るものなので、以下その要点を列挙する。

舗装版コンクリート用骨材は材料試験によりその材質判定が行なわれたが、それらは表-2.1にとりまとめられている。表には土木学会のコンクリート標準示方書の規格値²⁾もあわせ示されているが、いずれもそれらを満足しており、表以外の項目についても特に問題はなく、使用に十分な材料と考えられた。

表-2.2は上記骨材を用いた各レーンの使用コンクリートの配合をまとめたもので、栈橋スラブ用コンクリートも併せ示している。舗装用の各コンクリートには、分散材としてポゾリス No. 5L が 3.3kg/m³ 混入されたほか、Cレーン用コンクリートには膨張材の小野田エクパンを9%、Dレーン用コンクリートには膨張材の電化CSAが11%加えられた。

以上のようなコンクリートを用いて栈橋スラブならび

表-2.1 舗装版コンクリート用骨材の材料試験結果

試験項目	試験法	試験値	規格値
細骨材の粘土塊含有量	土木学会規準「骨材中に含まれる粘土塊含有量の試験方法」	0.515%	<1.0%
粗骨材の粘土塊含有量	土木学会規準「骨材中に含まれる粘土塊含有量の試験方法」	0.17%	<0.25%
細骨材の洗い試験で失われるもの	JIS A 1103	2.55%	<3.0%
粗骨材の洗い試験で失われるもの	JIS A 1103	0.39%	<1.0%

表-2.2 使用コンクリートの配合

配合 No.	粗骨材の最大寸法 (mm)	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m ³)						スラブ (cm)	空気量 (%)	温度 (°C)
				水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤 (分散材)	混和材			
U	25	52.5	40.2	161	306	746	1330	0.122	—	14.2	3.3	
A	25	40.6	34.5	134	330	676	1304	3.3	—	3.3	3.0	
B	25	40.6	34.5	134	330	676	1304	3.3	—	3.3	3.0	
C	25	40.6	34.5	134	300	676	1304	3.3	30	3.3	3.0	
D	25	40.6	34.5	134	294	676	1304	3.3	36	2.0	3.9	

注：配合 No. U, A, B, C & D は、さん橋スラブ、Aレーン、Bレーン、Cレーン & Dレーンのコンクリートを意味する。

棧橋スラブ上のコンクリート舗装の収縮ひびわれと防止対策

に各レーンが施工されたが、表-2.3にはコンクリート打設年月日とその時の気象条件が一括されている。本試験舗装は区域が狭いこともあって、舗装は棒状パイプレーターを除き、ほとんど人手によったが、十分な注意のもとに打込み、締固め、仕上げは行なわれた。養生は仕上げ後コンクリート面をビニールシートで覆い、ある程度硬化してからシートをとって麻袋を敷き、1日2回の散水養生により1週間湿潤状態を保つことにより行なわれ

表-2.3 コンクリート打設時の気象条件

打設場所	打設年月日	天気	気温 (°C)	風速 (m/sec)
さん橋スラブ	48年2月12日	晴	10	1~2
Aレーン	48年2月23日	晴	10	1~3
Bレーン	48年2月21日	晴	12	3
Cレーン	48年2月23日	晴	10	1~3
Dレーン	48年2月21日	晴	12	3

た。

この他コンクリート舗装では目地が大切である。膨張目地と施工目地はコンクリート打設時に所定の構造になるようにセットし、収縮目地は打込まれたコンクリートが硬化した後適当な時期にカッター切断を行ない作った。本試験舗装では全レーンとも一括して2月26日に目地が入れられたが、その時点ではどのレーンにもひびわれの発生は認められなかった。

3. 試験および調査方法

3.1 使用コンクリートの供試体試験

試験舗装に使用されたコンクリートは、普通ポルトランドセメントによるものと、膨張セメントによるものとに大別され、一般にこれら2種のコンクリートの間には大きな性質の差のあることが認められている³⁾。このような性質の差を試験舗装での試験および調査結果に反映

表-3.1 室内供試体用コンクリートの配合

コンクリートの種類	粗骨材の最大寸法 G _{max} (mm)	スランプ sl (cm)	空気量の範囲 A (%)	水セメント比 W/C+E _{exp} (%)	細骨材率 s/a (%)	単 位 量 (kg)					
						水 W	セメント C	膨張材 E _{exp.} Ad	細骨材 S	粗骨材 G	分散剤 (c.c)
plain	25	2.5±1	4±1	41.3	34.5	136	330	0	658	1254	825
Ex-3%	25	2.5±1	4±1	41.3	34.5	136	320	10	658	1254	800
Ex-9%	25	2.5±1	4±1	41.3	34.5	136	300	30	658	1254	750
Ex-15%	25	2.5±1	4±1	41.3	34.5	136	280	50	658	1254	700
C S A-5%	25	2.5±1	4±1	41.3	34.5	136	313	17	658	1254	782
C S A-11%	25	2.5±1	4±1	41.3	34.5	136	294	36	658	1254	735
C S A-17%	25	2.5±1	4±1	41.3	34.5	136	274	56	658	1254	685
Ex-9%-NonAE	25	2.5±1	4±1	46.4	36.5	153	300	30	709	1237	0
C S A-11%-NonAE	25	2.5±1	4±1	46.4	36.5	153	294	36	709	1237	0

させて解析を行なうため、供試体による室内および現場での試験が実施された。

各レーンに使用されたコンクリートを用いてφ15×30cmと15×15×53cmの供試体をいくつか作り、これらを現地に放置しながら各材令(28日, 3月, 6月, 1年)におけるコンクリートの圧縮強度ならびに弾性係数とポアソン比の測定および長さ変化率の測定を行なった。弾性係数とポアソン比の決定にはコンプレッソメーターを長さ変化の測定にはマイクロストレングージを用いた。

一方室内では、実際に試験舗装に使われたコンクリートの配合を考慮しつつ、膨張材や分散材の割合を種々変えた9種の配合のコンクリートに対し、10×10×40cmの供試体により自由膨張と拘束膨張の両条件下で長さ変

化率の動きを1年間にわたりみた。表-3.1が使用されたコンクリートの示方配合である。長さ変化の測定は、自由膨張試験の場合コンパレーター法により、拘束膨張試験の場合、図-3.1のような拘束鉄筋を埋込んだ供試体のPC鋼棒先端の長さを、図-3.2のようなダイヤルゲージ式長さ変化測定器を用いて求めることにより行なった。

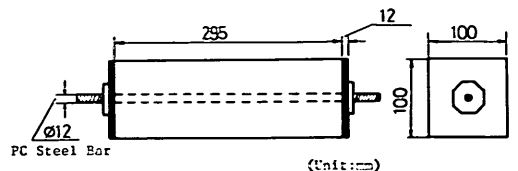


図-3.1 拘束鉄筋の略図

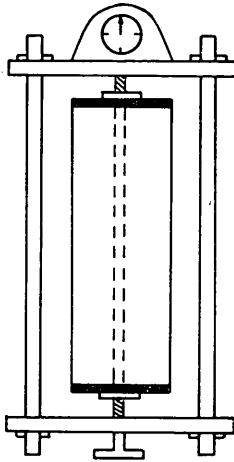


図-3.2 長さ変化測定器

3.2 試験舗装に関する試験および調査

試験舗装には1年間にわたり交通荷重を制限し、舗装の環境、主として気象条件の変化にともなう挙動を追跡した。舗装版の温度、ひずみ、変位などを測定するための観測用計器が各種設置されたが、それらは測定項目とともに表-3.2に一括されている。

これら計器の平面配置が図-3.3で、深さ方向の配置が図-3.4である。写真-3.1は継目計の設置状況を示している。これら計器のうち、温度計、埋込ひずみ計、継目計については、コンクリート打設直後より1年間連続して自動記録がとられた。また、舗装版変位については、A、Bレーンが測定対象で、図-3.5に示すような装置を取りつけ、標点間をノギスにより計測して求めた。

その他、全レーンにつきひびわれ調査が実施された。

表-3.2 測定項目と観測用計器

測定項目	測定箇所	使用計器	主な規格
舗装版内部の温度および気温	Aレーン	C・C熱電対式温度計 電子式自動平衡温度記録器	測定温度：-200～+250°C
舗装版内部のひずみ量	各レーン	ひずみゲージ式ひずみ計 自動平衡多点記録器	標点距離：8cm、測定ひずみ：±500×10 ⁻⁶ ゲージ抵抗：350Ω
目地幅の伸縮量	膨張目地 施工目地	ひずみゲージ式継目計 自動平衡多点記録器	標点距離：26cm、測定範囲：10mm ゲージ抵抗：350Ω
舗装版の変位量	A、Bレーン	変位計 ノギス	L型鋼と埋込型チップによるもの 最小読取値：1/50mm

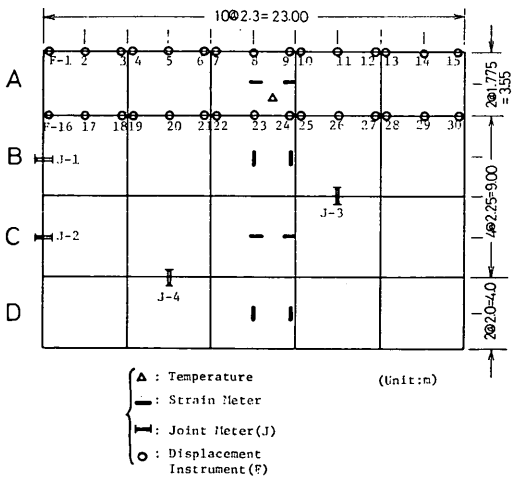


図-3.3 観測用計器の平面配置

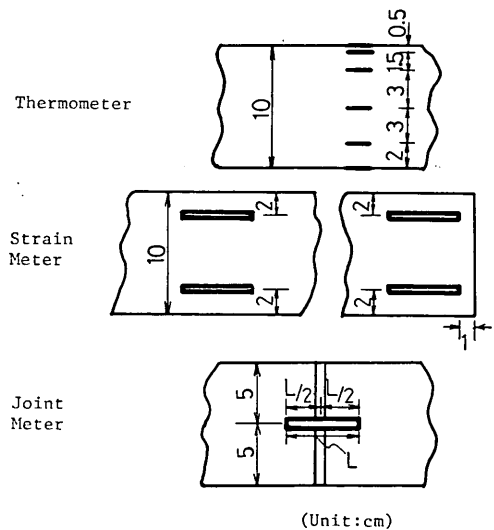


図-3.4 観測用計器の深さ方向の配置

栈橋スラブ上のコンクリート舗装の収縮ひびわれと防止対策

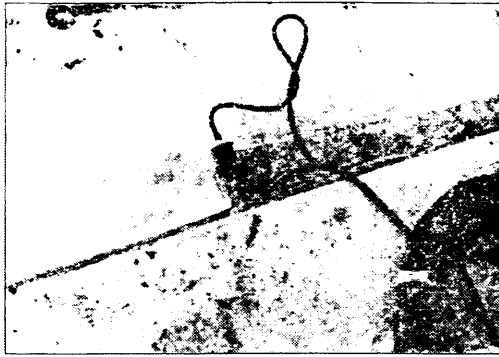


写真-3.1 継目計の設置状況

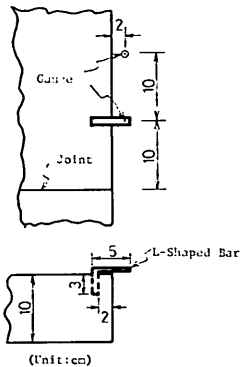


図-3.5 舗装版変位測定装置

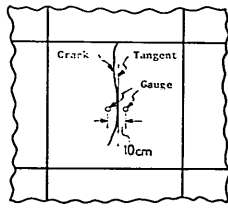


図-3.6 表面ひずみ計の設置図

養生終了後の舗装版を毎週月曜日にチェックし、ひびわれの進行状況を年間記録するものである。また、各舗装版に対して代表的なひびわれを1本選び、そのひびわれが発見された時点からのひびわれ幅の変化も測定された。これらには図-3.6のように表面ひずみ計の装置が舗装面に取り付けられ、マイクロストレングージによって計測が行なわれた。

以上の試験舗装に関する試験、調査のほか、従来の栈橋コンクリート舗装のひびわれ部からコアを採取してひびわれの発生、進行状況も調べた。コアの採取が行なわれた舗装は、試験舗装のAレーンとほぼ同様なものである。

4. 試験および調査結果

4.1 使用コンクリートの性質

現場の環境条件にできるだけあわせるため、試験舗装上に放置しておいた供試体を用い、使用コンクリートの圧縮強度、弾性係数、ポアソン比を求めた結果が、それぞれ図-4.1, 4.2, 4.3にまとめられている。いずれも材

令とともに増加傾向を示しているが、圧縮強度と弾性係数で影響が大きい。栈橋スラブ用コンクリートを除いた舗装用コンクリートでは、Dレーンのコンクリートが長期材令で非常に大きな圧縮強度を示している以外、特に顕著な相違はみられない。図-4.4は現場放置の供試体のひずみの年変化をまとめたもので、硬化収縮、乾燥収縮、温度による伸縮などの影響がすべて含まれたものであるため、通常同一条件下で行なう室内におけるコンクリートのひずみ特性とは大部様子が異なっている。全体的にみた場合、A、Bレーン用コンクリートの供試体の方が、C、Dレーン用コンクリートよりも収縮量大きいことが分る。

一方、室内の各種配合の供試体について長さ変化率(ひずみ)を測定した結果が図-4.5と図-4.6で、自由膨張と拘束膨張の場合が示されている。材令7日までの水中養生では、膨張材を混入しないものとエクспанを3%混入したものを除き、他はすべて膨張側にある。この水中養生以後の20°C、湿度50%の乾燥養生になると、エクспан15%のものCSA17%のものを除き、他は乾燥1週間ですべて収縮側に入る。

図-4.5と図-4.6をもとに普通ポルトランドセメントだけのコンクリートと膨張材を加えたコンクリートの膨張・収縮性状をみると、全体的には膨張材を用いたものの方が初期膨張量が大きく、収縮へ入っても同一レベルの収縮量になるまでの期間が長いといえるようだ。そし

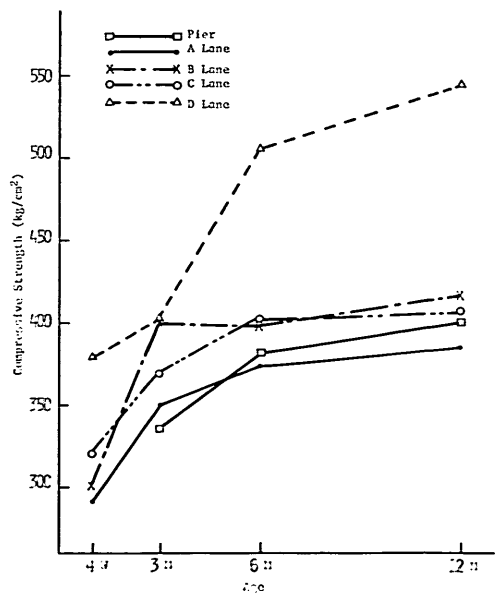


図-4.1 使用コンクリートの圧縮強度

てこの程度は膨張材の混和率に大きく影響されることも分かる。次に、自由供試体と拘束供試体の測定結果を比較してみると、当然のことながら自由供試体の方が膨張・収縮の割合が大きい。また、自由供試体の場合乾燥材令の進行とともに収縮量が增大するのに対し、拘束供試体は乾燥後5週間でほぼ安定した収縮性状になっている。

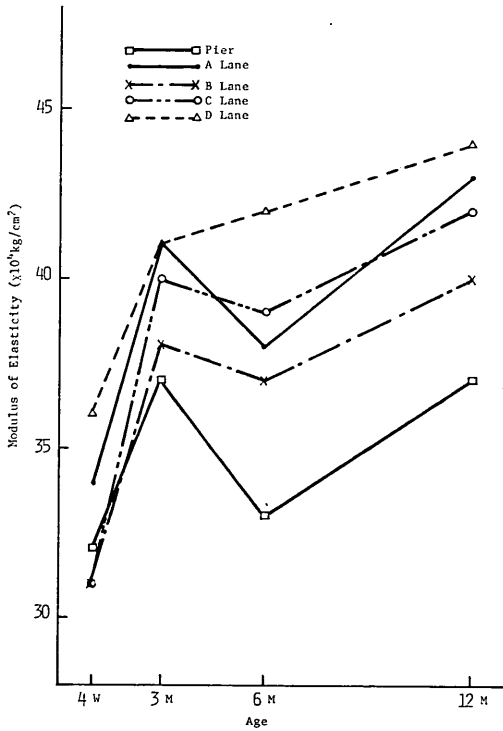


図-4.2 使用コンクリートの弾性係数

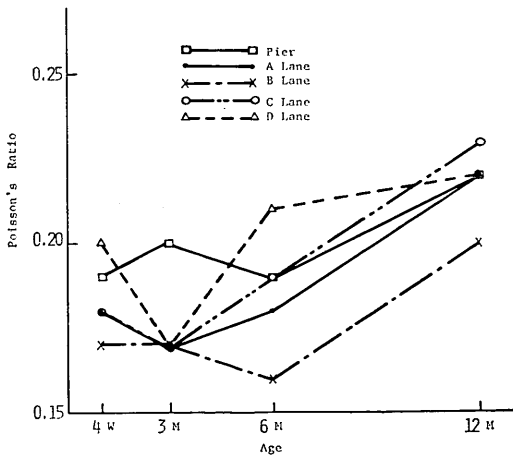


図-4.3 使用コンクリートのポアソン比

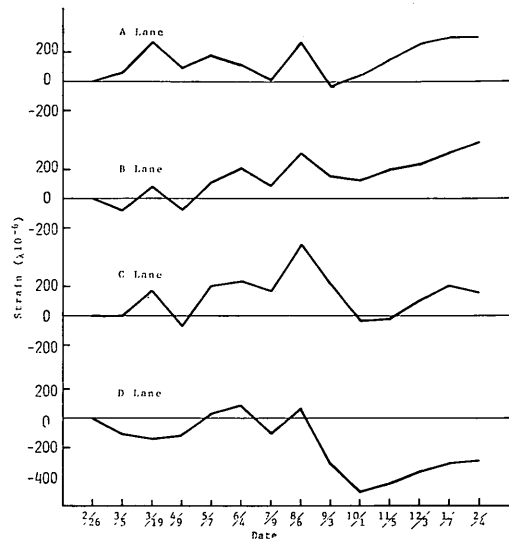


図-4.4 現場放置の供試体の長さ変化率(ひずみ)の年変化

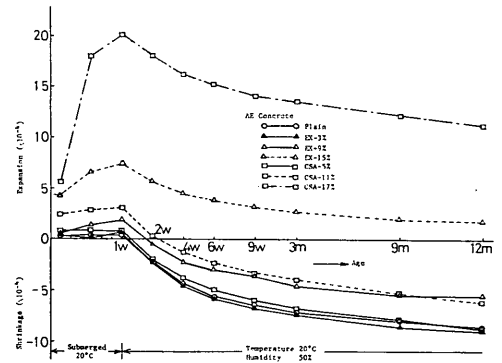


図-4.5 室内供試体の長さ変化率(ひずみ)の年変化(自由供試体)

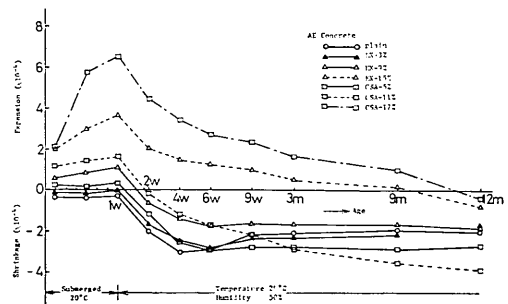


図-4.6 室内供試体の長さ変化率(ひずみ)の年変化(拘束供試体)

栈橋スラブ上のコンクリート舗装の収縮ひびわれと防止対策

4.2 ひびわれの進行状況

試験舗装のAレーンとはほぼ同様な材料・構造をもつ、昭和47年3月に施工された舗装区域において、そのひびわれ部からコアを採取した。それらの一部が写真-4.1～4.3である。写真-4.1は初期段階のひびわれを、写真-4.2はやや進行した状況を、写真-4.3は舗装版下面までひびわれが到達したものを示している。

図-4.7～4.11までは、試験舗装に対するひびわれ調査の一部である。試験舗装でひびわれが初めて観察されたのは舗設後約1.5ヶ月経た 昭和48年4月2日の調査で、Bレーンにおいてであった。しかし、以後Bレーンのひびわれは進行せず、1年間のひびわれ調査はほとんどがAレーンに対するものとなった。Aレーンに約1.5mのひびわれが1本初めて観察されたのが昭和48年4月9日

で、それから1週間後の4月16日の調査結果が図-4.7で、Aレーンのひびわれはかなり進行している。図-4.8

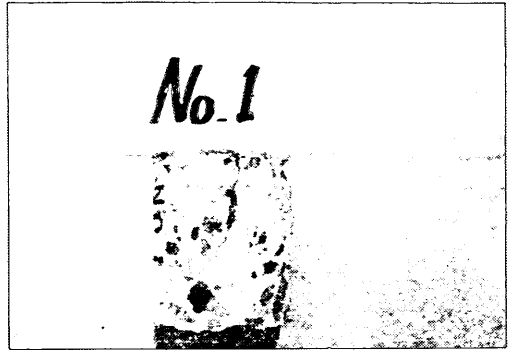


写真-4.2 ひびわれ部から採取したコア (2)

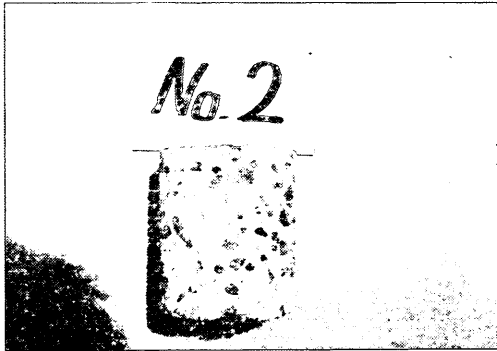


写真-4.1 ひびわれ部から採取したコア (1)

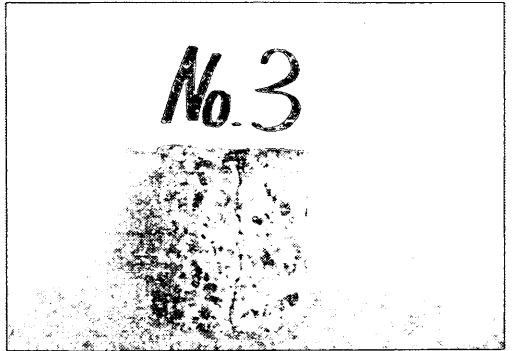


写真-4.3 ひびわれ部から採取したコア (3)

A					
B					
C					
D					

図-4.7 ひびわれ調査図 (施工後1.5ヶ月)

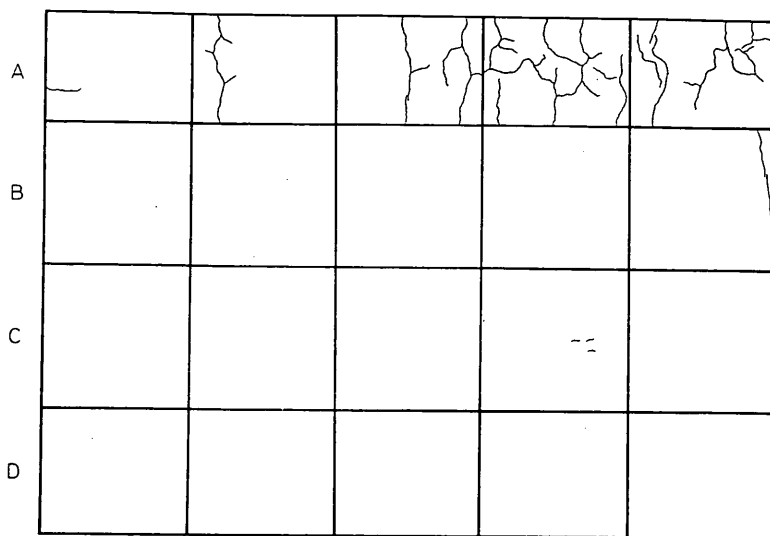


図-4.8 ひびわれ調査図（施工後2.5ヶ月）

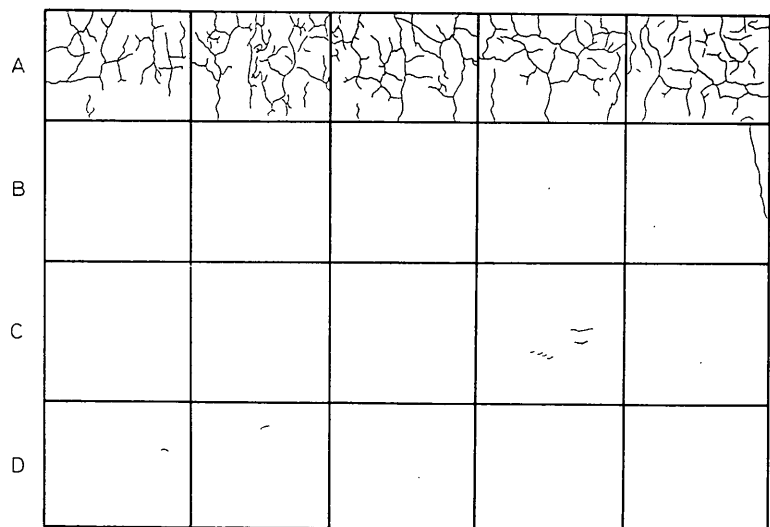


図-4.9 ひびわれ調査図（施工後4ヶ月）

は舗設後約2.5ヶ月の図-4.7から3週間たった5月7日のもので、Aレーンの全区画にひびわれが現われている。舗設後半年たった状況が図-4.10で、1年目のものが図-4.11である。Aレーン以外のレーンにも若干のひびわれがみられるが、それらは問題にならない程度のものであるので、以後ひびわれ調査結果はAレーンについてとりまとめる。

今まで述べてきたところと、図-4.10から図-4.11の間にあまり変化がないことから判断すると、Aレーンのひびわれは舗設後半年の間に急激に進行するものであることが分かる。この辺の状況を定量的に表わしたものが図-4.12で、ひびわれ係数は{ひびわれ総延長(cm)/調査面積(m²)}で定義されている。また、調査期間の最終にあたる図-4.11で見ると、ひびわれのパターンは大きな

栈橋スラブ上のコンクリート舗装の収縮ひびわれと防止対策

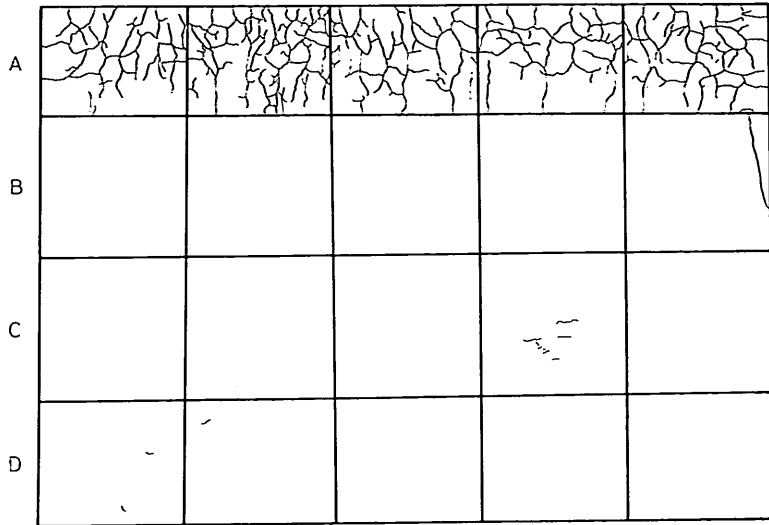


図-4.10 ひびわれ調査図（施工後6ヶ月）

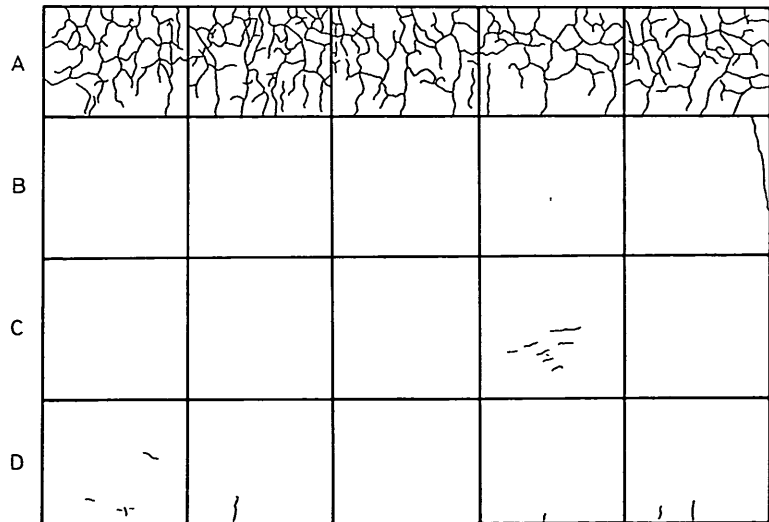


図-4.11 ひびわれ調査図（施工後1年）

亀甲状になっている。これらのひびわれの特徴は以後のひびわれ原因の検討に役立つものであろう。

この他、代表的なひびわれを選び出しひびわれ幅の年変化も測定されたが、その結果の一部が図-4.13で、いずれも夏場にひびわれが拡がり、冬に向って閉じてくる傾向を示している。この特徴は図-4.12でひびわれの進行が夏以降少なくなっているのと符号している。

4.3 舗装版内の温度

舗装版内に生ずる温度応力の算定には、舗装版内の温度分布とその時間的変化を知る必要がある。試験舗装の4レーンは構造的にはほとんど同じなので、Aレーンについてだけ温度測定が行なわれた。1年間にわたる測定結果のうち代表的なものを選び以下に示す。

舗装版の温度の日変化は季節、天候によって異なる

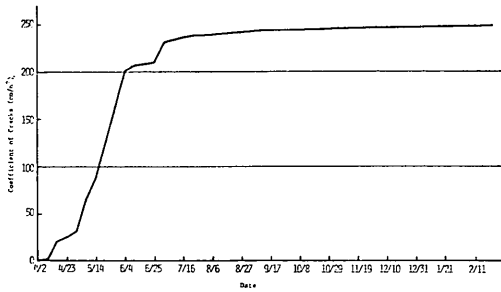


図-4.12 ひびわれ係数でみたひびわれの進行状況

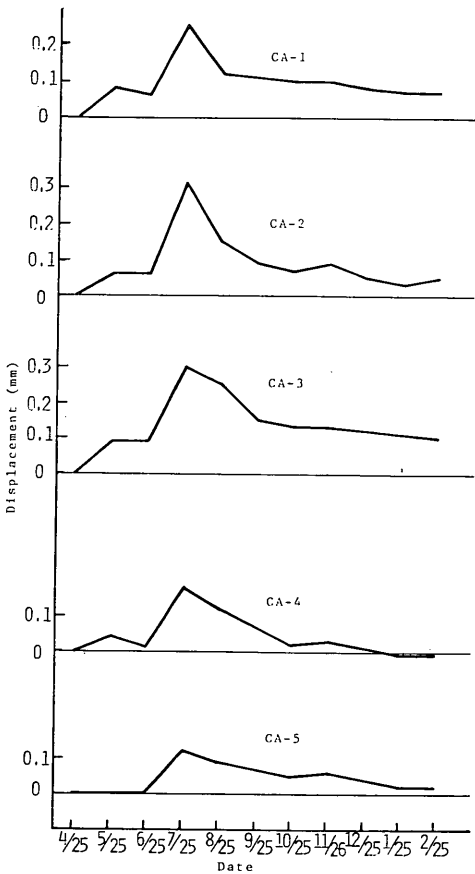


図-4.13 ひびわれ幅の年変化

が、晴天の場合は図-4.14や図-4.15のようなパターンを取る。日中に版表面の温度が高く、夜になると逆転し版底面の方が温度が高くなっている。図-4.16は舗装版の1日の平均温度を1年間にわたりプロットしたもので、版温度の年変化と考えられ、その振幅は33°Cであ

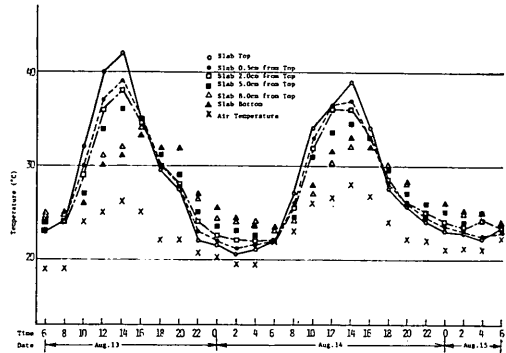


図-4.14 舗装版温度の日変化の測定例(夏)

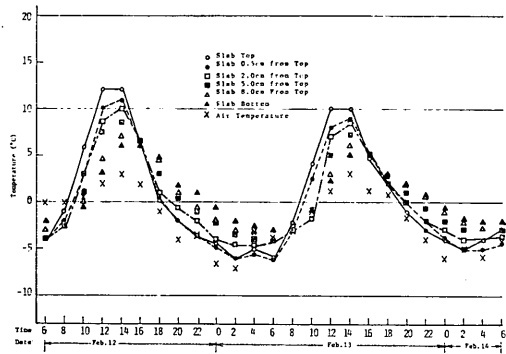


図-4.15 舗装版温度の日変化の測定例(冬)

る。

図-4.17と図-4.18は舗装版の深さ方向の温度分布の測定例で、それぞれ夏と冬のものである。これらの図も含めて測定結果を検討すると、舗装版内では深さ方向の温度分布はほぼ直線とみなせることが認められた。深さ方向の温度勾配は、季節、天候によって異なり定かなことは言えないが、概して夏の晴天の日に最も大きくなっているようだ。

以上舗装版内の温度分布の定性的な傾向をみてきたが、以下では若干定量的な傾向をみるため統計的な結果のいくつかを示す。図-4.19と図-4.20は、版の中心すなわち深さ5cmの点における日最低温度と日最高温度の度数分布で、陸上の舗装での測定結果⁴⁾に比べ、0度以下になる日最低温度の割合が大きく、日最高温度も全体的に低くなっている。図-4.21、4.22、4.23は舗装版の表面と底面の温度差に関するもので、図-4.21が温度差が0となる時刻の度数分布、図-4.22が正の最大となる時刻の度数分布、図-4.23が負の最大となる時刻の度数分布である。

栈橋スラブ上のコンクリート舗装の収縮ひびわれと防止対策

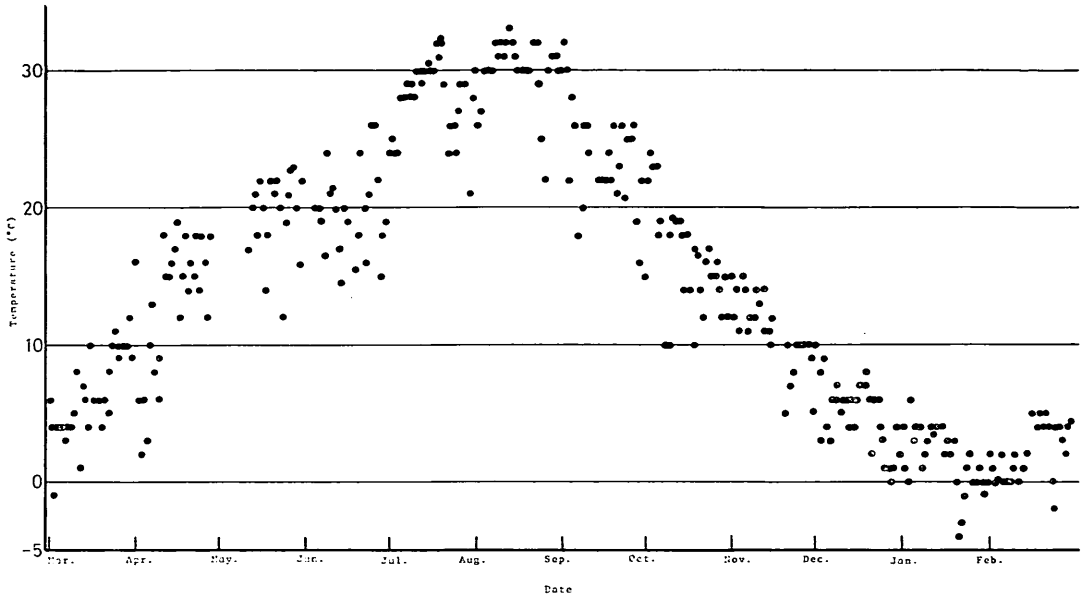


図-4.16 舗装版温度の年変化

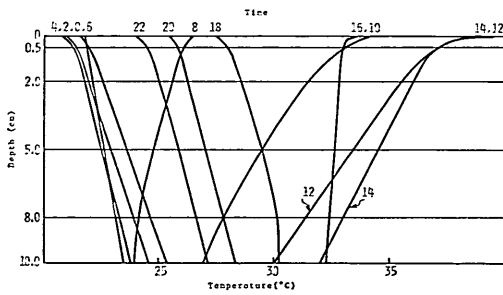


図-4.17 舗装版の深さ方向の温度分布の測定例(夏)

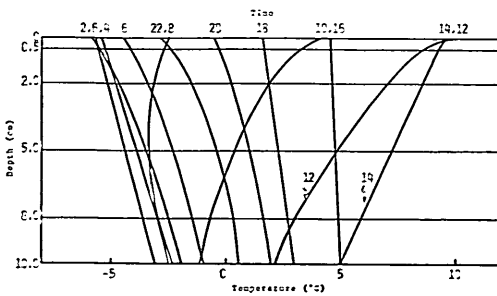


図-4.18 舗装版の深さ方向の温度分布の測定例(冬)

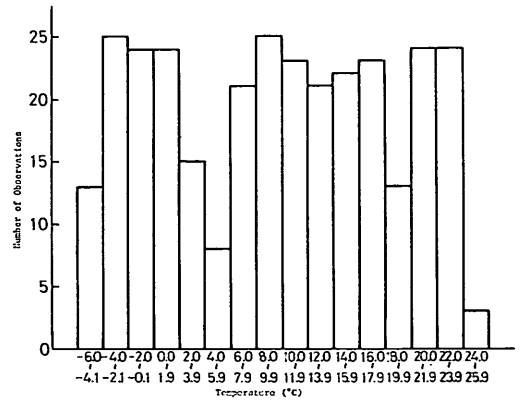


図-4.19 舗装版中心の日最低温度の度数分布

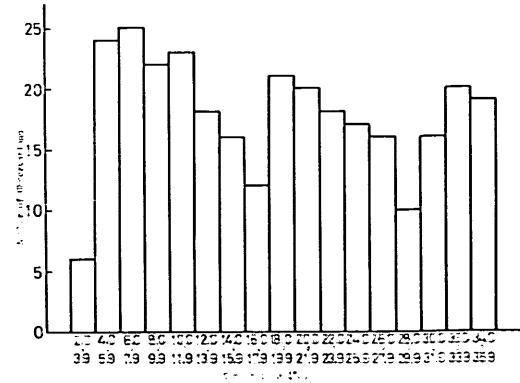


図-4.20 舗装版中心の日最高温度の度数分布

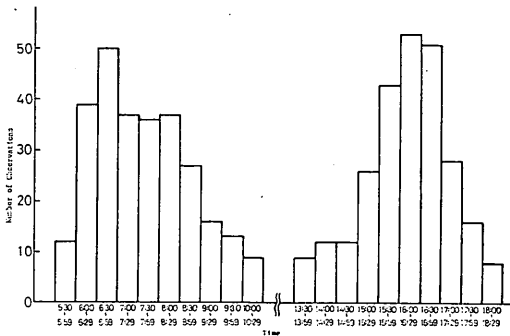


図-4.21 舗装版上下両面の温度差が0になる時刻の度数分布

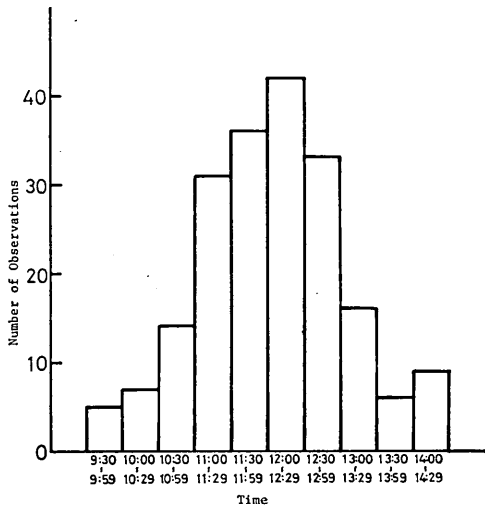


図-4.22 舗装版上下両面の温度差が正の最大となる時刻の度数分布

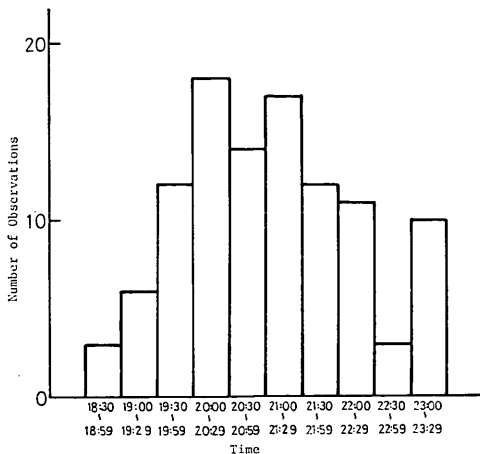


図-4.23 舗装版上下両面の温度差が負の最大となる時刻の度数分布

4.4 舗装版内のひずみ

舗装版内に生ずる温度応力を求めるには、4.3で述べた舗装版温度の測定結果が不可欠であるが、温度応力の内のそり拘束応力の算定には、舗装版内のひずみの測定結果も必要になる。この節では、A, B, C, Dの4レーンに埋込まれたひずみ計の記録をとりまとめて示す。このひずみの記録は、温度応力の算定以外にも直接的にひびわれの発生原因の検討にも役立つ。

図-4.24~4.27は舗装版打設後約半月経過した(A, C

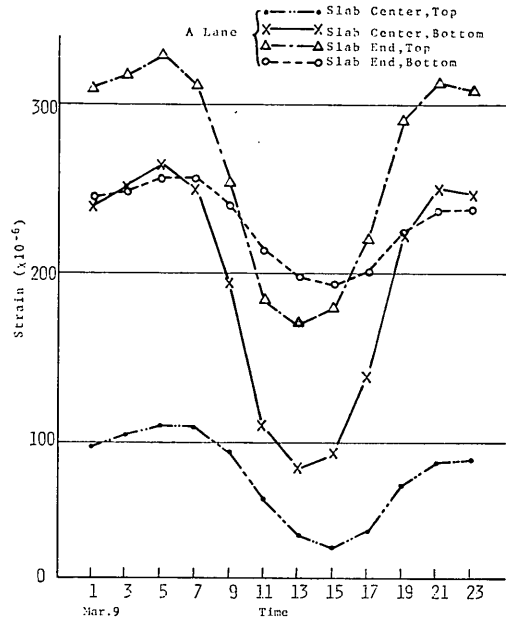


図-4.24 舗装版ひずみの測定例(Aレーン)

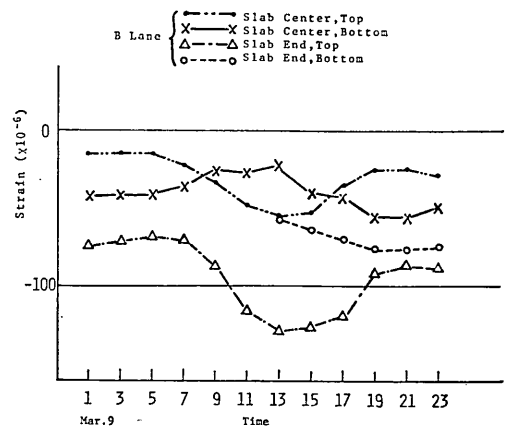


図-4.25 舗装版ひずみの測定例(Bレーン)

栈橋スラブ上のコンクリート舗装の収縮ひびわれと防止対策

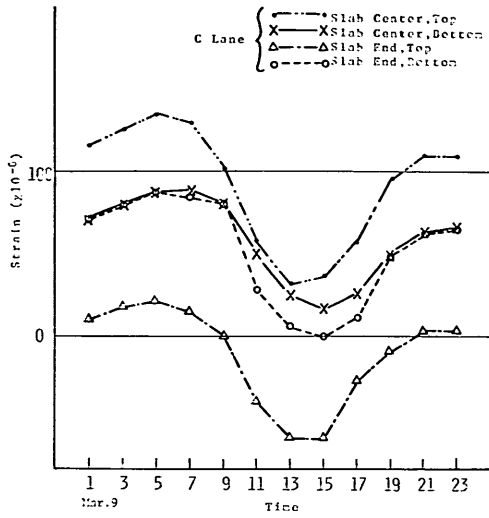


図-4.26 舗装版ひずみの測定例 (Cレーン)

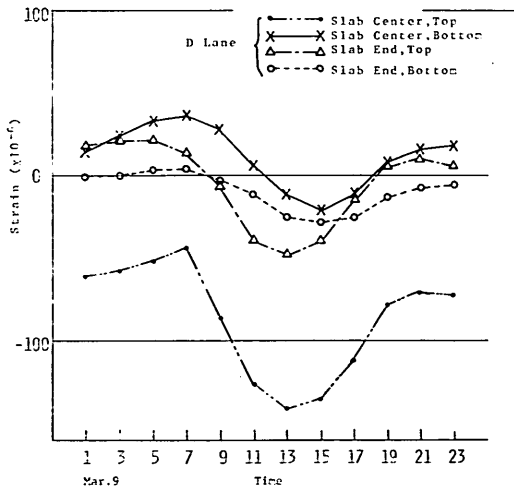


図-4.27 舗装版ひずみの測定例 (Dレーン)

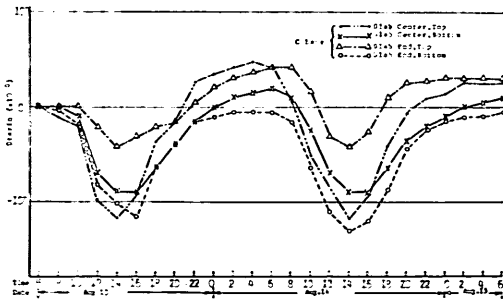


図-4.28 舗装版ひずみの日変化の測定例 (夏)

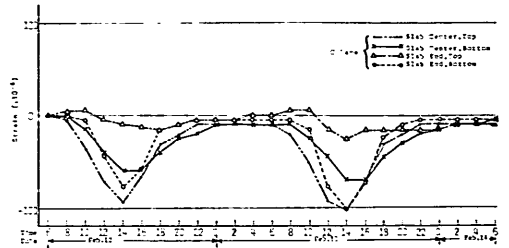


図-4.29 舗装版ひずみの日変化の測定例 (冬)

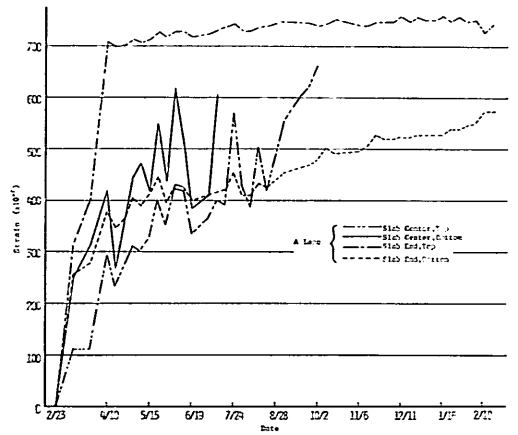


図-4.30 舗装版ひずみの年変化 (Aレーン)

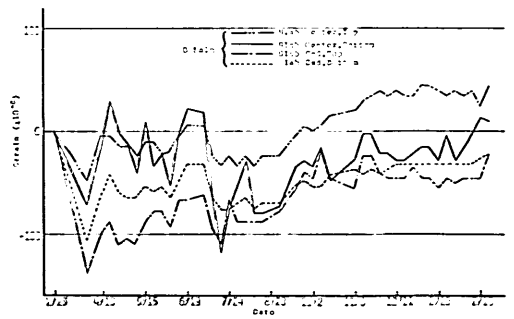


図-4.31 舗装版ひずみの年変化 (Bレーン)

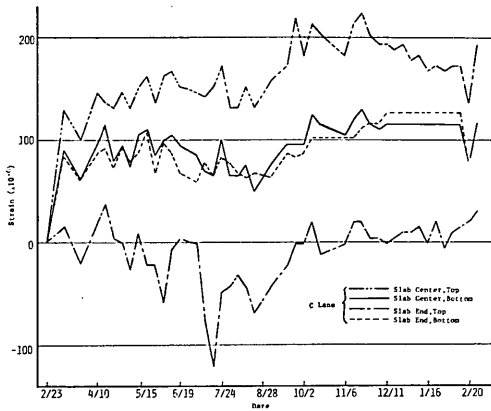


図-4.32 舗装版ひずみの年変化 (Cレーン)

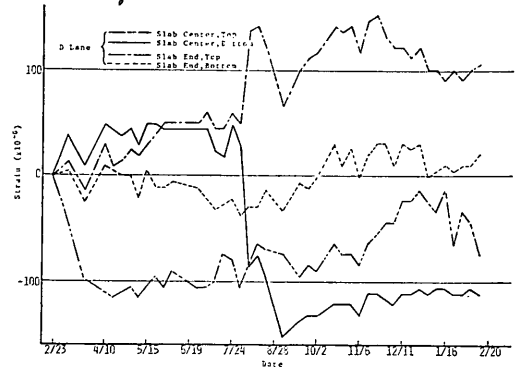


図-4.33 舗装版ひずみの年変化 (Dレーン)

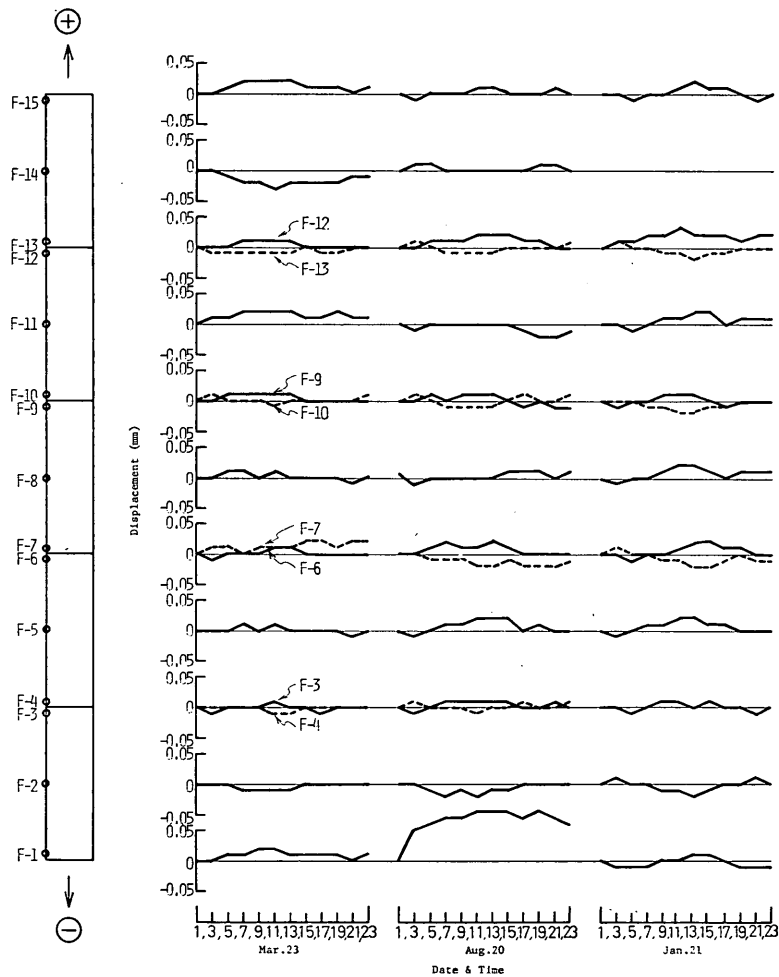


図-4.34 舗装版変位の日変化の測定例 (Aレーン)

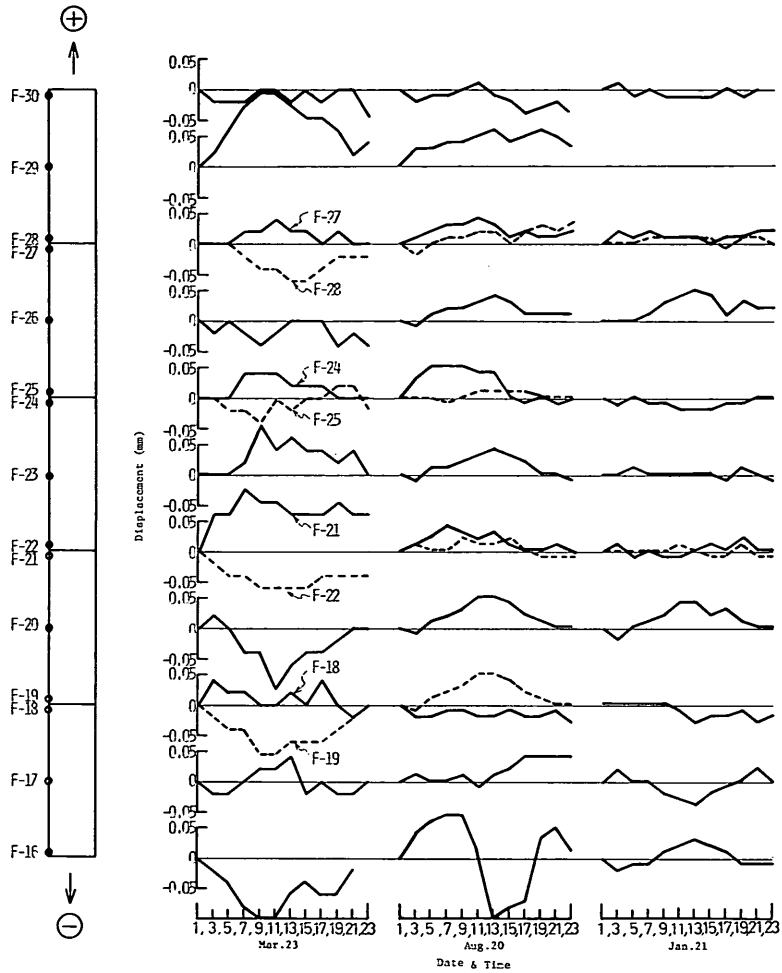


図-4.35 舗装版変位の月変化の測定例 (Bレーン)

レーンは14日, B, Dレーンは16日) 3月9日のひずみの日変化で, 施工時を基準にとったひずみ(累積ひずみ)でプロットしたものである。これから, Aレーンのひずみはすべて引張側で, その日変動は他のレーンに比べかなり大きいことと, これに対するB, C, Dレーンのひずみが全体的にAレーンのひずみより小さく, しかもかなりの時間は圧縮ひずみになっていることが認められた。

その拘束応力の年変化は一般に非常に小さく, 通常は日変化についてだけ考える。本試験舗装の場合も日変化だけを次章で解析するが, これには図-4.28や図-4.29に示すようなまとめ方が便利である。これらの図は朝6時のひずみを0と考えて以後2日間の変動で表わしたもので, Cレーンの夏と冬の様子に分かる。

一方, コンクリートのひびわれ発生の子測をひずみで行なうことがある。圧縮強度に比べかなり引張強度の小さいコンクリートでは, 引張ひずみが 4×10^{-4} 以上になるとひびわれが発生するといった研究もあり⁴⁾, 本試験舗装でも各ひずみ計につき累積ひずみを求めてみた。図-4.30~4.33がこれであり, 各レーンごとにとりまとめている。Aレーンではすべて引張で, しかも材令とともに増大し, かなり大きなひずみ量になっている。これに対し, B, C, Dレーンのひずみはせいぜい 2×10^{-4} 程度で, 引張, 圧縮の両方向を変動する形を示している。

4.5 舗装版の変位

前節では舗装版内に埋込まれたひずみ計によるコンクリート版の膨張・収縮特性をみたが, ここでは版全体がどのような動きをするかをA, Bレーンに設置された変

位計の観測から調べた結果を示す。

夜中の1時を基準に各舗装版の動きを24時間にわたりみたが、その例を図-4.34, 4.35に示す。図-4.34はAレーンについてのもので、施工後1ヶ月ならびに夏と冬の代表的な結果をとり上げてある。図-4.35はBレーンに対するもので、Aレーンと比較して全体的に舗装版の動きが大きい。

このような日々の記録をとりまとめ、1年間にわたり整理したものが図-4.36と図-4.37である。年間にわたってもAレーンの各区分の舗装版は動きが少なく、各版は下のスラブと密着していることが想像される。これに対してBレーンの舗装版はかなり大きな動きを示しており、版の自由性が保たれているようだ。

4.6 舗装目地幅の変化

試験舗装は無筋コンクリート舗装なので、収縮目地、膨張目地、施工目地などが設けられたが、これらの動きを知ることは、舗装の挙動を把握する上に役立つ。3.2で述べたように2ヶ所の膨張目地と2ヶ所の施工目地でその幅の変動を記録した。

図-4.38と図-4.39が目地幅の日変化の測定例で、それぞれ夏場の状況と冬場の状況が分かる。これらの図は朝6時を基準にとりそれ以降の動きを示したもので、施工直後からの累積の伸縮量を表わすものでない。目地幅

の累積の伸縮量は図-4.40で、1年間の記録である。

栈橋スラブと縁を切ったBレーンの膨張目地と栈橋スラブとかなり一体になっていると考えられるCレーンの膨張目地の動きを比較すると、若干Bレーンの方が大きいことがいずれの場合にも認められる。また膨張目地と縦施工目地の動きについては、前者の方がやはり若干大きくなっている。

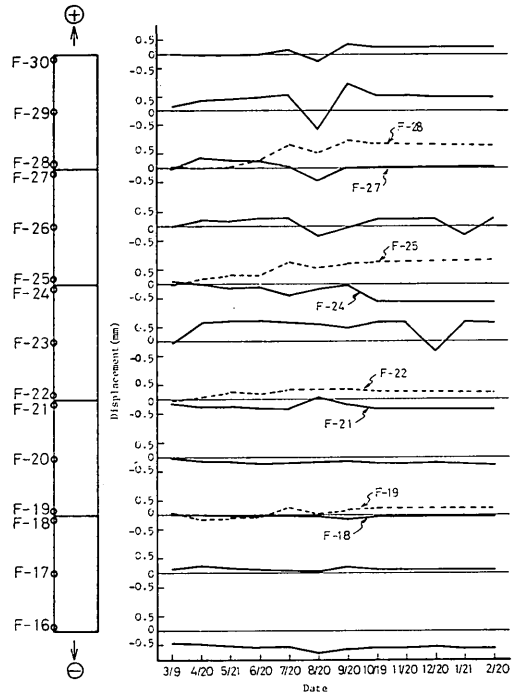


図-4.37 舗装版変位の年変化 (Bレーン)

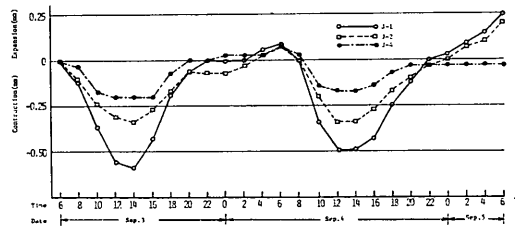


図-4.38 舗装目地幅の日変化の測定例 (夏)

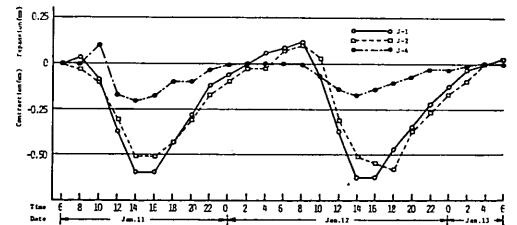


図-4.39 舗装目地幅の日変化の測定例 (冬)

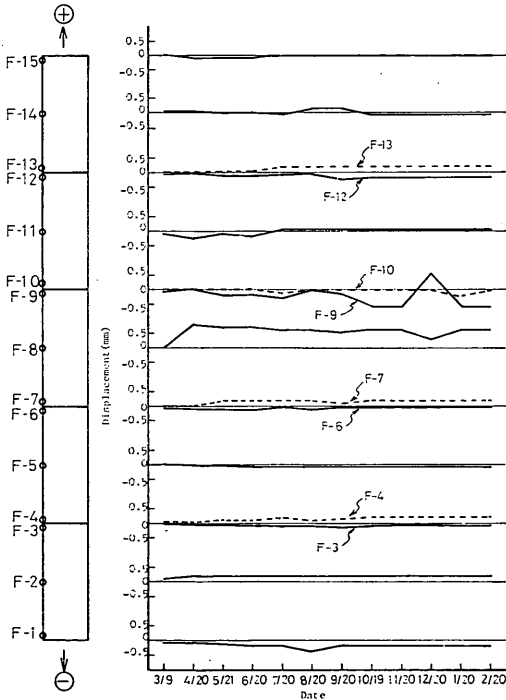


図-4.36 舗装版変位の年変化 (Aレーン)

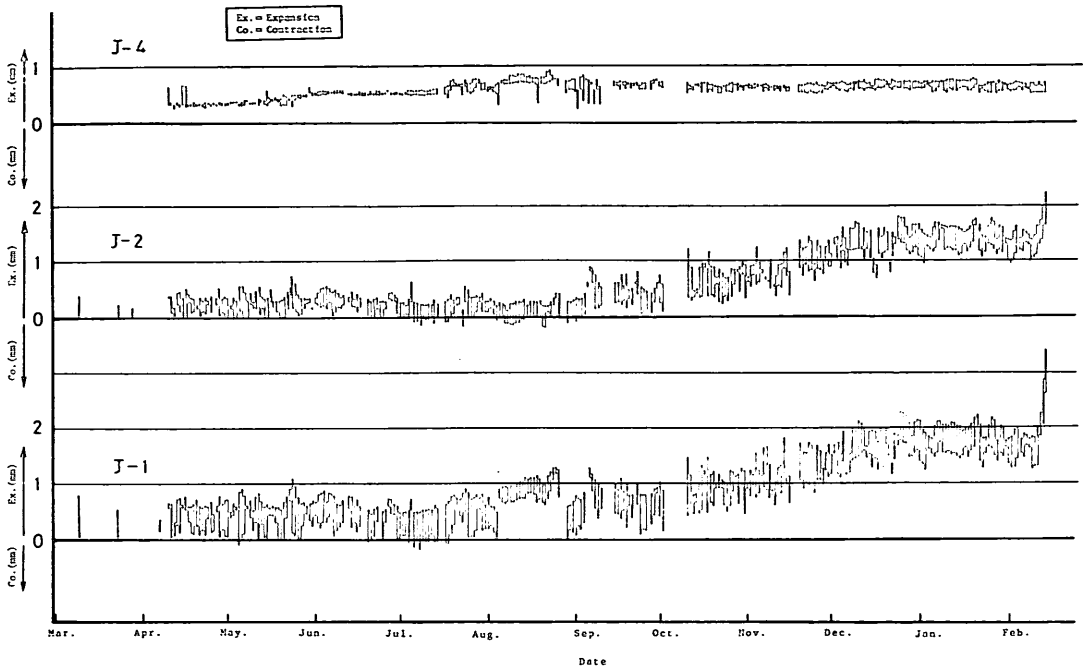


図-4.40 舗装目地幅の年変化

5. 考 察

5.1 舗装版の温度応力

コンクリート舗装版のひびわれ発生の原因は、一般的には材料の関係、施工の関係、設計の関係に分けられる。次節で詳しく述べるが、本試験舗装では材料、施工に特に問題になる点はみられず、ひびわれの発生原因は設計に関係したものと考えられる。設計の問題点としては、交通荷重による応力、温度応力、硬化あるいは乾燥による収縮時の応力などが主なものである。

本試験舗装は1年間交通が制限されていたので、交通荷重による応力は考慮から外し、他の設計関連項目について検討が加えられた。この節では、試験舗装での温度、ひずみ、変位などの測定結果をもとに、栈橋スラブ上に舗装された無筋コンクリート舗装版内に生ずる温度応力を考え、ひびわれ発生原因としての温度応力の可能性を探ることとする。

コンクリート版の温度応力には、版の深さ方向の温度変化が直線でないために生ずる内部応力(σ_i)、版の水平方向の移動が拘束されるために生ずる端部拘束応力(σ_e)、版の深さ方向の温度差のために生ずるそり拘束応力(σ_s)の3つが考えられる。実際にコンクリート版に生じている応力は、これら3つの応力が一体となったも

のであるが、一般には考えやすく3つの各々について算定し、それらを合成することによって温度応力を求める形をとる。

温度応力の計算式には、Thomlinson, Westergaard, Bradburyなどの提案したものがあるが、これらはいずれも版が完全に拘束されたものとして解いてあり、またThomlinsonの場合表面温度は正弦曲線で変化すると仮定している。これらの理論式と実際の状態の間の補正をする方法としては、版の拘束の程度を表わす拘束係数を理論式に掛けるのが一般的で、岩間はこの方法を用いて大々的に温度応力で観測し³⁾、道路コンクリート舗装の設計に採り入れる方法を確立した。本試験舗装の温度応力も、このような実績をふまえ、拘束係数による算定を行なうこととした。

Thomlinson法⁶⁾によれば、温度の年変化による内部応力は非常に小さいことが分かるので、温度の日変化についてだけ内部応力を求めてみた。内部応力の算定には岩間が考案した図解法³⁾(図-5.1参照)が便利なのでこれによったが、4.3の図-4.14, 4.15で示したように、版の厚さが10cmと薄い本試験舗装の場合には、深さ方向の温度分布もほぼ直線に近く、算定された内部応力も 3 kg/cm^2 を越えることはほとんどない。

次に、端部拘束応力であるが、これにはコンクリート

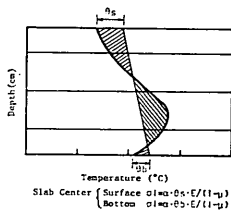


図-5.1 内部応力の図解法の説明図

版の下面と路盤（本試験舗装では栈橋スラブ）との摩擦によるものと、隣接版の拘束によるものがあり、これらを分離して考える場合もあるが、ここでは広義の端部拘束応力として一括して考えることにする。

広義端部拘束応力は、完全拘束の端部拘束応力の理論式に拘束係数を掛けて求める。端部拘束応力の理論式は、版の長手方向の中央で $E\alpha\theta/(1-\mu)$ 、版の縁部で $E\alpha\theta$ となり、 E はコンクリートの弾性係数、 μ コンクリートのポアソン比、 α はコンクリートの温度膨張係数、 θ はコンクリート版平均温度の変化量である。これに対し、拘束係数は次式によって計算され、完全拘束で 1.0、完全に拘束がない場合に 0 となる。

$$\frac{(\text{コンクリート} \times \text{めくら目}) - (\text{温度} 1^\circ\text{C} \text{ あたりの膨張係数} \times \text{地間隔})}{(\text{コンクリートの膨張係数} \times \text{めくら目地間隔})} - \frac{(\text{温度} 1^\circ\text{C} \text{ あたりの版伸縮量})}{(\text{コンクリートの膨張係数} \times \text{めくら目地間隔})}$$

本試験舗装の場合、各レーンの拘束状態は大きく 2 つに分けられる。すなわち、舗装版を直接栈橋スラブ上に打設した A、C、D レーンと、路盤紙を敷いて打設した B レーンである。この両者の代表が A レーンと B レーンで、それぞれ舗装版変位の測定が行なわれ、これらの結果から端部拘束係数の算定が試みられた。

4.5 で示した舗装版変位の測定結果からも分かるように、A レーンの舗装版の変位は極めて小さく、温度降下時の拘束係数でも平均で 0.6 もあった。A レーンのような舗装版は、下の栈橋スラブのコンクリートと付着し、かなり一体になった状況にあるようだ。これに対し、B レーンは栈橋スラブと分離しており、その温度降下時の拘束係数は平均的に 0.3 であった。

これらの拘束係数を用いて算定した広義端部拘束応力の例が図-5.2 あるいは図-5.3 や図-5.4 である。図-5.3 や図-5.4 の中には日変化の様子が示され、図-5.2 にはコンクリート打設後 28 日経過してから A レーンにひびわれが観察されその進行が顕著な 6 月までの各日の最大応力がプロットされている。年間を通じての広義端部拘束応力の大きさと頻度は、図-4.19、4.20 あるいは図-4.16 を利用して求めることができる。

温度応力の最後はそり拘束応力である。Thomlinson 法⁹⁾によれば、温度の年変化によるそり拘束応力は非常に小さいことが分かるので、温度の日変化についてのみ考える。

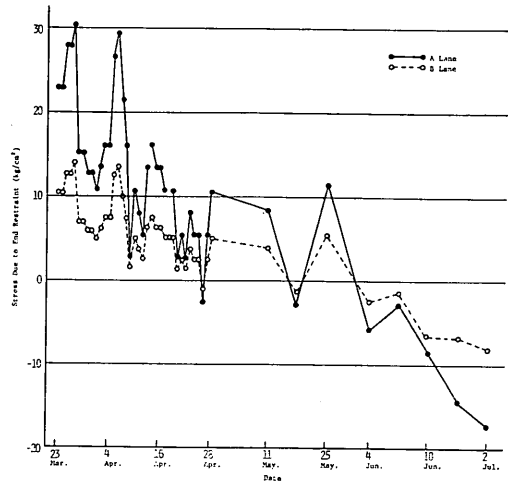


図-5.2 日最大端部拘束応力の変動（3月～6月）

そり拘束応力の算定も、完全に拘束された場合の理論式にそり拘束係数を掛ける方法によった。理論式としては Westergaard のもの⁷⁾を採用したので、版中央で $0.5E\alpha\theta'/(1-\mu)$ 、版の縁部で $0.5E\alpha\theta'$ で表わされる。ここに、 E 、 α 、 μ は端部拘束応力の場合と同じ記号で、 θ' が表面温度と底面温度の差である。そり拘束係数は、舗装版の上下両面のひずみを測定し、それを使ってコンクリート版のそりを計算し、次式により計算した。

$$\frac{(\text{コンクリート版の温度差から計算した自由なそり}) - (\text{コンクリート版上下両面のひずみの実測値から計算したそり})}{(\text{コンクリート版の温度差から計算した自由なそり})}$$

実測値に基づくそり拘束係数は一定にはでてこないが年間の平均は各レーンごとに表-5.1 のようである。A レーンの計算はすべて 1.0 以上となり不自然なので示されていない。C、D レーンは舗装版が下の栈橋コンクリートに付着してかなり大きな拘束係数を示しているが、B レーンは路盤紙の効果で拘束係数が C、D レーンの半分位である。

表-5.1 そりの実測から求めたコンクリート舗装版のそり拘束係数

		レーン名			
		A	B	C	D
そり拘束係数	正の温度差	*	0.29	0.63	0.44
	負の温度差	*	0.20	0.54	0.40

表-5.1 の値を用いてそり拘束応力を算定するが、A レーンについては、使用セメントは違うが C、D レーンと

栈橋スラブ上のコンクリート舗装の収縮ひびわれと防止対策

表-5.2 各月の最大そり拘束応力

レーン名	A	B	C	D
48. 3/ 3	10.6	4.5	9.7	7.9
3/10	10.6	4.5	9.7	7.9
3/17	12.0	5.0	10.9	8.9
3/24	10.6	4.5	9.7	7.9
4/ 1	14.0	5.9	13.1	10.3
4/ 8	14.0	5.9	13.1	10.3
4/19	11.9	5.1	11.5	8.8
5/21	17.7	7.6	16.8	13.0
6/24	15.9	6.9	15.3	11.7
7/ 4	15.8	6.7	15.0	11.3
8/14	14.3	6.2	13.8	10.3
9/ 4	*	*	*	*
10/12	*	*	*	*
11/ 7	11.7	5.1	11.4	8.4
12/ 3	8.5	3.7	8.3	6.0
49. 1/11	9.3	4.1	9.2	6.7
2/13	13.7	6.1	13.6	9.8

単位: (kg/cm²)

構造、施工は同じなので、概略同程度のそり拘束係数を持つと考え計算を進めた。各月で舗装版上下面の温度差が最も大きくなる日を選び、各レーンごとのそり拘束応力を求めたものが表-5.2である。表からそり拘束応力は夏場に大きく、冬場に小さくなる事が分かる。また、各日で最大そり拘束応力が発生する時刻は、図-4.22や図-4.23から理解される。

以上栈橋スラブ上のコンクリート舗装版内に生ずる各温度応力の概略について述べてきたが、ではそれらを合成したもののはどのようなになるであろうか。一年間にわたる測定結果をもとに日々の合成温度応力が求まるが、コンクリート舗装版中央底面について、その代表例が図-5.3と図-5.4である。A、Bレーンとも同様なパターンをとり、夜間に端部拘束による引張応力が大きく、昼間はそり拘束による引張応力が大きい。夜間の端部拘束引張応力はそり拘束応力が圧縮であるので、若干緩和される方向にあり、昼間のそり拘束引張応力は内部応力が圧縮で同様に若干緩和される。

このような合成応力の傾向はほぼ年間にわたっていえるが、絶対的な値は季節によって大幅に異なり、その検討には図-4.19~4.23などの温度の統計を用いて行なう。図-5.3と図-5.4は、Aレーンのひびわれが発生する10日程前の記録で、ほぼこの季節の代表的な例といえる。この例などから、この季節の最大引張応力は夜間に生

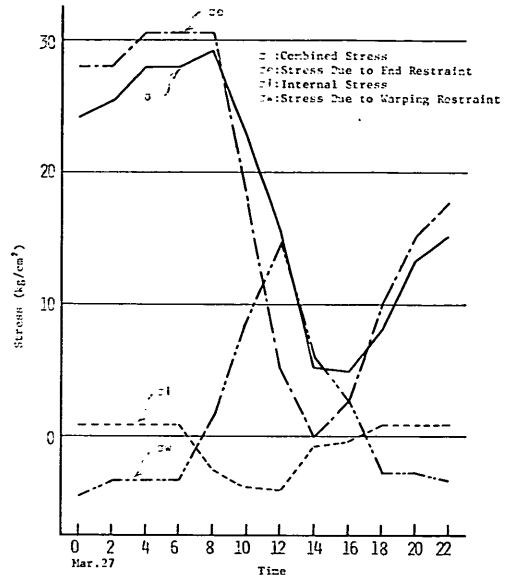


図-5.3 Aレーン合成温度応力の日変化の例 (3月27日)

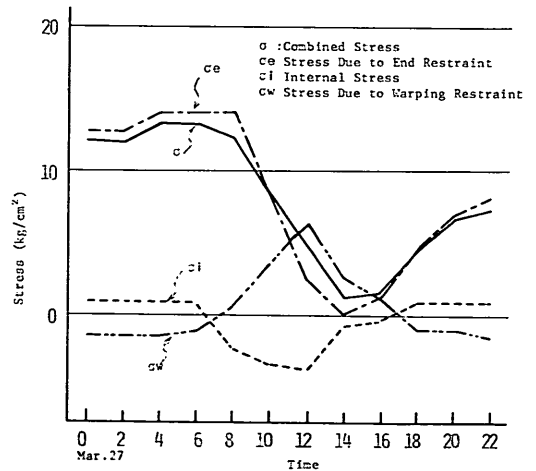


図-5.4 Bレーン合成温度応力の日変化の例 (3月27日)

じ、その絶対的な値はAレーンで30kg/cm²近く、Bレーンでその半分の15kg/cm²近くにあることが分かる。

5.2 ひびわれ原因の検討

コンクリート舗装のひびわれの原因は、前節でも述べたように材料、施工あるいは設計に関連するものに分けられるが、具体的には使用材料、配合、施工などが不良、荷重による過大な応力、路床、路盤の支持力の不足や不均一、目地の不良、コンクリート面の急激な乾燥、

乾燥・温度変化などによるコンクリートの体積変化が外的あるいは内的に拘束されて生じた過大な応力などが考えられる。

本節では以下において、今回問題になった栈橋スラブ上のコンクリート舗装のひびわれ発生原因を検討していくが、問題になったひびわれは交通開放前で、試験舗装の区域も1年間の交通制限がなされていたことと、堅固なコンクリート栈橋上の舗装ということから、検討要因として荷重や路床、路盤に関連するものをはずすことができる。

他の項目のうちまず第1に考える必要があるのは材料である。これに関連する試験結果等は2.2で示してあるが、骨材中の粘土等の有害物の含有量、単位セメント量、スランプなどのひびわれ発生に関係すると考えられる項目のいずれにおいても、一般の舗装用コンクリートの基準を満足しており問題はない。

同様に施工についても2.2にあらましが示されているが、これらも通常問題が生じないであろうと考えられる方法によっており問題はない。表-2.3に示すように舗装コンクリート打設時の気象条件もまあまあ良好で、気温が高かったり風の強いときにみられるプラスチックひびわれもなく、養生も十分なものと考えられ、めくら目地切断時にひびわれの発生もみられなかった。

このように材料や施工に問題がなく、全レーンともコンクリート打設後1ヶ月以上もひびわれは発生していない。試験舗装で初めてのひびわれが観察されたのは、舗設後約1.5ヶ月経た時点にBレーンであったが、以後Bレーンのひびわれは進行せず、ひびわれが大々的に発生したのはAレーンであった。Aレーンのひびわれは、図-4.12からも分かるように、コンクリート打設後約1.5ヶ月経た時点から発生しだし、それ以後約3ヶ月で急激に発達し、全体の90%以上にもなっている。

この発生時期ならびに進行状況は、今回のひびわれ発生原因の範囲をかなり狭めるのに役立つものである。初期ひびわれでなくある程度以上の材令でのひびわれということから、ひびわれ原因としては構造的な問題か乾燥あるいは温度変化などによる過大な応力の2つに絞られてくる⁹⁾。このうち構造的な原因は、前述のように交通荷重が制限されていたことから、問題になる点としては環境条件の変化に対応できない構造的欠陥があったかどうかで、今回のひびわれに関連しては、すべてが環境条件とコンクリート版の相互関係に焦点が集まる。

この内温度変化によってコンクリート版に生ずる応力(温度応力)については前節で示した。内部応力は極め

て小さく、そり拘束応力も夏場に10数 kg/cm^2 を記録する以外10 kg/cm^2 前後で、これがひびわれの直接原因とは考えられない。これらに対し、端部拘束応力はかなり大きく、栈橋スラブの拘束が大きいAレーンでは、図-5.3に示したようにひびわれ発生までに30 kg/cm^2 を越えていることが予想され、1つの大きなひびわれ原因になり得るものと考えられた。しかし、舗設後初期のコンクリート強度の小さい間にひびわれが発生せず、かなりの期間経てコンクリート強度もかなり大きくなってからひびわれが発生しだしたことは、以後のひびわれ発達時期の端部拘束応力がほとんど圧縮になっていることと併せて、この端部拘束応力がひびわれ原因の中心ではないことを意味しているものであろう。

では今回のひびわれの主要原因はなにであろうか。コンクリート版に大きな引縮応力を生じさせる他の環境関連要因に、コンクリートの乾燥収縮がある。試験舗装の施工ならびに養生には問題がなく、初期の乾燥収縮ひびわれの発生はみられていないので、ここでいう乾燥収縮は材料ならびに気象などに関係した長期にわたるものである。乾燥収縮が何らかの拘束によって抑制されると内部に引張応力が生じ、応力が限界を越えるとひびわれが発生する。

このようなひびわれの発生条件は、(自由収縮率 \geq 塑性ひずみ+塑性ひずみ+拘束緩和率)で表わされ、文献4)によれば普通コンクリートでは約 4×10^{-4} のひずみが限度(限界収縮率)である。4.4の図-4.30~4.33は各レーンの舗装版の1年間にわたる累積ひずみを表わしているが、Aレーンのひずみが極めて大きくひびわれ発生がみられた4月前半には 4×10^{-4} 程度のひずみを記録している。このことは、前述の限界収縮率との関係において良い符号を示しているものといえよう。これに対し、膨張セメントを用いたC、Dレーンでは、全体的にひずみは小さく、引張ひずみもせいぜい 2×10^{-4} 程度なのでひびわれの発生はみられない。

図-4.30から分かるように、ひびわれの発生があったAレーンのひずみは材令とともに増加しており、コンクリート版打設後1.5ヶ月が特に急激で、以後は漸増になる。これは供試体による室内試験の図-4.5や図-4.6と傾向が同じであり、室内試験の長さ変化がコンクリートの乾燥収縮によるものであることを考えあわせると、Aレーンのひずみの増加はコンクリートの乾燥収縮が中心になっていることは確実といえそうだ。しかも温度が高く版が膨張する夏場でも引張ひずみの増加がみられることは、温度変化によるひずみの増加でなく乾燥収縮によ

るものであることをより一層裏付けるものであろう。

以上述べてきたことをまとめると、試験舗装のAレーンのひびわれは、打込まれたコンクリートの長期にわたる乾燥収縮が、棧橋スラブとコンクリート版が一体になっていることで抑制され、大きな引張応力が版に生じたことが中心となり、併せて版の大きな拘束から生じた温度応力、特に端部拘束応力が付加されて急激に発達していったものと結論された。このプロセスはまた、本研究を始めるきっかけになった棧橋スラブ上のコンクリート舗装のひびわれの発生原因ともいいかえられて、他の港湾の棧橋上のコンクリート舗装にみられるひびわれのいくつかにも適用されうるものでもある。

このように問題になった棧橋スラブ上のコンクリート舗装のひびわれとそれに類似のひびわれの原因はかなり明らかになったが、では何故この港湾の棧橋上のコンクリート舗装に特に顕著にひびわれが発生したのであろうか。これの明確な理由は定かにならなかったが、その一因としてこの棧橋スラブが海面に近くあり周囲を遮蔽されているという特殊な状況が影響していると考えられた。

この特殊性によって、棧橋スラブは下から水分の補給を十分に受けて全体的に湿潤になり、これからスラブに接するコンクリート舗装版下面もかなり湿潤状態になっていることが想定され、風が強く乾燥が激しい舗装表面との間に通常以上の乾湿の差が作られていたと推定される。この乾燥程度の差が舗装版の上下面のひずみの差となって表われ、舗装版下面のスラブによる拘束とあいまって大きなそり応力を付加し、ひびわれを促進していったのであろう。

5.3 ひびわれの防止対策

前節までの議論はひびわれが何故発生し発達したかということであったが、ではどのようにしたらこの種のひびわれを防ぐことができるであろうか。これには材料の面と構造の面とからの対策が考えられる。本研究の試験舗装でもいくつかの対策が試みられ、その効果が明らかにされた。

試験舗装を始めるきっかけとなった棧橋スラブ上のコンクリート舗装のひびわれのパターンが亀甲状であったことから、このひびわれは収縮性のものであると推定し、そのようなひびわれの防止に有効と考えられるいくつかの試験舗装も同時に作った。まず第1に構造上の工夫として、コンクリート舗装版の拘束をできるだけ小さくし、版が収縮するとき版内に生ずる引張応力を小さくするために、棧橋スラブと舗装版との間に路盤紙を入れ

て縁を切る方法を採用した。これがBレーンである。また別の方法として、硬化あるいは乾燥によって収縮するコンクリートを、材料の面から膨張あるいは収縮量の小さいものにし、版内に発生する引張応力度を遙減する工夫がある⁹⁾。これがC、Dレーンに試みられた膨張コンクリートである。

通常の普通コンクリートを用いたAレーンも含めてこれら試験舗装の舗設後1年の状況は図-4.11である。これからも分かるように、Aレーンにはきわめて多数のひびわれが入ったにもかかわらず、B、C、Dレーンにはほとんど問題になるようなひびわれの発生はみられず、当初の予想に近いひびわれ防止効果が確認された。

前節で詳しく述べたように、Aレーンのひびわれ発生は長期にわたるコンクリートの乾燥収縮とそれに付随した舗装版上下方向の湿度差によるそり応力ならびに温度降下にもなるコンクリート舗装版内部に生ずる温度応力がもとで、収縮性のひびわれという当初の予想と一致した。したがってその防止対策を試みた試験舗装も妥当なものとなったわけで、以下ではそれぞれのひびわれ防止効果のよってくる理由などを考えてみることにする。

Bレーンはポリエチレンの路盤紙により棧橋スラブと縁が切れているので、温度あるいは湿度の差による応力はAレーンに比べて小さい。端部あるいはそりに対するBレーンの舗装版の拘束の程度は、Aレーンの半分以下で、ひびわれの発生に問題になるような温度応力は、年間を通じて生じない。また、防湿性の高いポリエチレンシートは舗装版への棧橋スラブからの水分の補給をたち、舗装版上下面の乾湿の差を小さくしているものとも考えられ、この面からのひびわれの恐れも少ない。

しかし、この場合棧橋スラブと舗装版が一体となっていないので、荷重支持という点では不利になり、次式によるチェックが必要となる。

$$\sigma = \frac{6M}{h^2} \cdot \frac{E_2 I_2}{E_1 I_1 + E_2 I_2} < \sigma_{ba}$$

ここに σ : 舗装版に生ずる最大引張応力

M : 最大曲げモーメント

E_1 : 棧橋スラブのコンクリートの弾性係数

E_2 : 舗装版コンクリートの弾性係数

I_1 : 棧橋スラブの断面2次モーメント

I_2 : 舗装版の断面2次モーメント

h : 舗装版の厚さ

σ_{ba} : コンクリートの許容曲げ強度

これは簡単のために単純支持の2枚重ねの版として解いたもので、今 $E_1 = 250,000 \text{ kg/cm}^2$, $E_2 = 300,000 \text{ kg/cm}^2$

cm², $h=10\text{cm}$, 栈橋スラブの厚さ $=25\text{cm}$, $\sigma_{ba}=45\text{kg/cm}^2$ とすると, 単位幅当り M は $10^4\text{kg}\cdot\text{cm}$ 以下でなければならない。

次に, 構造上はAレーンと同じであるが, 舗装コンクリートに膨張材を加えたものを用いた C, Dレーンについて考えてみる。図-4.24~4.33 などの例からも分かるように, 膨張コンクリートを用いた C, Dレーンのひずみは, Aレーンのそれに比べかなり小さくなっている。図-4.5と図-4.6が室内での普通コンクリートと膨張コンクリートの膨張・収縮特性の比較で, 種々の要因が混合する現場の測定はこのように明確にはいかないが, Aレーンと C, Dレーンとの間に明らかな差の存在することは認められる。

この差のよってくるところは, 今までの研究や実績によれば, C, Dレーンの舗装用コンクリートに混入された膨張材の働きである¹⁰⁾。Cレーンの小野田エクспанやDレーンの電気CSAのような膨張材は, コンクリートの凝結・硬化時やそれ以後に体積膨張を引き起こし, 図-5.5のように全体的にコンクリート中に生ずるひずみを小さくする。試験舗装での実測結果の差は, この辺の働きが表われたものと考えられ, これによって, C, Dレーンのコンクリート中に生じている引張応力はAレーンのそれに比べかなり小さなものになっていることが想定される。

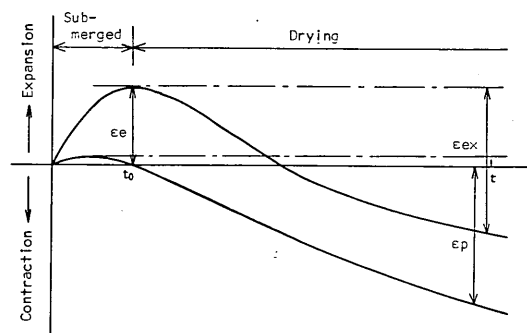


図-5.5 普通コンクリートと膨張コンクリートの膨張・収縮特性の比較

この他, 膨張コンクリートが鉄筋その他の働きにより膨張が拘束されれば, 一種のプレストレスによる圧縮応力がコンクリート内部に生じ, 荷重その他によりコンクリート内に生ずる引張応力度を逡減する。試験舗装の場合鉄筋は入っていないが, 5.1でも考慮したようにA, C, Dレーンの舗装版は下の栈橋スラブとかなり一体になっており, 若干膨張ひずみがみられる C, Dレーンに

ついては, この拘束が一種のプレストレスを舗装版に導入している可能性はある。

C, Dレーンの試験舗装にひびわれ防止効果が認められるのは, ここで説明した2つの働きが相加されたものと考えられるが, それらの効果はどの程度であろうか。一般的には膨張コンクリートの引張応力度逡減効果は次式のように書け¹⁰⁾, 第1項が収縮率が小さいことによる分, 第2項がプレストレスによる分である。

$$\Delta\sigma = \Delta\varepsilon \cdot E_c \alpha + \varepsilon_c' E_s \cdot p \cdot \beta$$

ここに $\Delta\sigma$: 逡減された引張応力度

$\Delta\varepsilon$: 普通コンクリートと膨張コンクリートの収縮率の差

E_c' : クリープを考慮したコンクリートの弾性係数

α : 拘束率

ε_c' : 拘束状態下の膨張率

E_s : 鉄筋の弾性係数

p : 拘束率に相当する鉄筋比

β : クリープによるプレストレス損失係数

今, Aレーンにひびわれが生じた4月初旬をとってA, Cレーンのひずみを比べると, 図-4.30と図-4.32から平均的にみて両者に約200マイクロの差があることが分かる。 $E_c' = \frac{1}{2} E_c = 150000\text{kg/cm}^2$, $\alpha = 0.6$ と仮定して収縮率が小さいことによる引張応力度の減少分を計算すると約 18kg/cm^2 となる。これに対し, この時期のプレストレスはひずみが収縮なので問題にならないが, 年間では膨張ひずみになっている時もあり, 若干は期待できるようだ。このプレストレス量は種々の条件がはっきりしないためつかめないが, 今までの経験によれば, それは数 kg/cm^2 のオーダーである¹⁰⁾。

これらのことから推察していくと, 本試験舗装の膨張コンクリートは, 硬化, 乾燥, 温度などで舗装版に生ずる収縮ひずみのレベルを下げ, 版内に発生する引張応力度をコンクリートの引張強度以下に下げ, 時にはプレストレスの働きも加えて, ひびわれの防止効果を発揮したのと考えられる。この方法は下の栈橋と一体になっているのでBレーンのような荷重による応力のチェックは不要であり, このような荷重による問題がある場合には有効なものといえよう。

6. 結 論

以上試験舗装の製作から調査・試験の内容と結果, それらに基づくひびわれ発生原因の検討, そのひびわれの防止対策などについて順を追って述べてきた。本研究の

範囲から以下とりまとめるような結論が得られたものと考える。

- (1) 棧橋スラブ上の厚さ 10cm のコンクリート舗装内の温度については、深さ方向の温度分布はほぼ直線であることと、舗装表面の温度変化は Thomlinson の正弦曲線の仮定に合わないこと、および同一地域の陸上の舗装に比べ全体的に低めの温度になることなどが判明した。
- (2) 硬化収縮、乾燥収縮、温度・湿度による伸縮などの影響が複雑にからみ合う現場舗設のコンクリートのひずみは、ばらつきも大きく一定条件下で行なう室内試験のそれとは大分異なるが、相対的にみれば膨張コンクリートを用いた C, D レーンのひずみは、普通コンクリートを用いた A レーンのひずみよりかなり小さい。
- (3) A, B レーンのコンクリート舗装版の動きから、A レーンのように棧橋スラブ上に直接打ったコンクリート版は下のスラブと一体になり、かなり大きい拘束（端部拘束係数 0.6, そり拘束係数 0.5 前後）を受けていることが分かった。一方、路盤紙を敷いた B レーンのような構造では、下のスラブからの拘束は直接打ったものの約半分程になっていることも分かった。
- (4) 厚さ 10cm の棧橋スラブ上のコンクリート舗装版内に生ずる温度応力をまとめると以下ようになる。
 - (i) 内部応力は全レーン同じで 3kg/cm^2 を越えることはほとんどない。
 - (ii) そり拘束応力は版厚が薄いことから小さく、拘束の大きい A, C, D レーンでも最も大きくなる夏場に 10kg/cm^2 、通常は 10kg/cm^2 前後である。拘束が小さい B レーンになると、A, C, D レーンの半分以下になる。
 - (iii) 端部拘束応力はかなり大きくなり、拘束の大きい A, C, D レーンでは、舗設後 1 ヶ月以内に 30kg/cm^2 近くになることが予想された。これに対し、拘束が小さい B レーンではその半分程である。
 - (iv) 以上 3 種の温度応力を合成すると、夜間は端部拘束応力とそり拘束応力が、昼間はそり拘束応力と内部応力が反対符号になり、若干発生引張応力を緩和する。
- (5) 多数のひびわれの発生がみられた A レーンのひびわれ原因は、舗装コンクリートの長期にわたる乾燥収縮と温度変化にともなう収縮が、棧橋スラブから拘束され、舗装版内に大きな引張応力が生じたためと考えられた。
- (6) このような収縮ひびわれを防止する対策としては、

路盤紙などによって棧橋スラブと舗装版の縁を切る方法と、膨張コンクリートなどによって舗装コンクリートの絶対的な収縮量を減少させる方法が行なわれ、その効果が実証された。

7. あとがき

港湾地域には臨港道路、エプロン、コンテナヤードなどかなりの面積に及ぶ舗装区域があり、通常の道路などに比べそれぞれ特種性を持つ。海に接しているため環境条件が厳しく、それにとまなう舗装の破壊が多くみられる。今回そのような問題点の 1 つについてかなり突っ込んだ探求を試み、ある程度の成果を得たものと思っている。しかし、防波堤や岸壁などに比べその破壊が致命的になることがまれな舗装構造については、今まであまり調査・研究は行なわれておらず、他に数多くの問題が未解決のまま残されている。

近年、荷役機械が大型化して港湾地域の舗装の破壊の進行は速い。また、港湾機能の多様化と取扱い貨物量の増大は荷役の効率化を要求し、舗装の平たん性の改善とコンテナヤードのような広大な舗装の必要性を高めている。その他近年の環境問題とも関連して美しい港湾へのイメージアップの必要性もあり、今まで以上に舗装への配慮が要求される。

前途のように港湾地域の舗装は従来あまり関心を持たれず、調査・研究も多くない。しかし、諸般の情勢はその必要性を高めてきており、耐久性、安定性の大きい舗装の建設のためには、今後多方面から問題点の解決に取り組んでいく必要がある。この小研究がそのような意味において何らかのきっかけになり得れば幸いである。

謝 辞

本研究は第 2 港湾建設局の依頼により実施したもので、試験舗装の製作ならびに現地観測は千葉港工事々務所が、解析に必要な計算の一部は横浜調査設計事務所が担当した。終始熱意を持って事に当られた関係各位に対し、ここに深く感謝申し上げる。

また、試験結果のとりまとめならびに本報告書の作成に当り種々有益な御教示を頂いた材料土工研究室の関博室長には厚く御礼申し上げる次第である。

最後に、試験舗装の製作ならびに現地観測を請負い熱心に仕事を遂行した東亜建設工業株式会社と、膨張コンクリートの室内試験の実施とその取りまとめに当たった小野田セメント株式会社に対し、併せて謝意を表したい。

(1975年 3月31日受付)

参 考 文 献

- 1) 運輸省港湾局調査設計標準作成委員会：エプロン舗装（けい船岸）設計基準（案），昭和46年10月。
- 2) 土木学会：昭和49年度版コンクリート標準示方書解説，土木学会，昭和49年9月，pp.312~314。
- 3) 長滝重義訳：膨張セメントコンクリートの現況(3)，コンクリートジャーナル，Vol.10，No.3，March 1972。
- 4) 西忠雄：建築物におけるコンクリートのひびわれ，コンクリートジャーナル，Vol.11，No.9，Sept. 1973，pp.1~4。
- 5) 岩間滋：コンクリート舗装の構造設計に関する実験的研究，土木学会，コンクリートライブラリー第12号，1965年1月。
- 6) Thomlinson J.: Temperature Variations and Consequent Stresses Produced by Daily and Seasonal Temperature Cycles in Concrete Slabs, Concrete and Constructional Engineering, Vol. 35, No.6, June 1940.
- 7) Westergaard H. M.: Analysis of Stresses in Concrete Roads Caused by Variations of Temperature, Public Road, Vol. 8, No. 3, May 1927.
- 8) 野尻陽一：ひびわれの調査方法，コンクリートジャーナル，Vol.11，No.9，Sept. 1973，pp.100~104。
- 9) 長滝重義，米山紘一；膨張セメントコンクリート舗装に関する研究，土木学会論文報告集，第206号，1972年10月。
- 10) 一家惟俊：膨張材によるひびわれの制御，コンクリートジャーナル，Vol.11，No.9，Sept. 1973，pp.70~75。