

膨張セメントコンクリート舗装に関する研究

STUDIES ON EXPANSIVE CEMENT CONCRETE PAVEMENTS

長 滝 重 義*・米 山 紘 一**

By Shigeyoshi Nagataki and Koichi Yoneyama

1. 緒 言

セメントコンクリート舗装の欠点の一つは、コンクリートの収縮に基づくひびわれの発生が、舗装版の耐久性を著しく低下させることである。この欠点を是正するため、各種形式のセメントコンクリート舗装が実施されてきたが^{1),2)}、これらはいずれもコンクリートの収縮は防げないとの考えに立脚して、物理的な対処を講じたものである。

一方、近年、膨張セメントもしくは膨張性混和材料の開発製造が行なわれ^{3),4),5)}、この使用によってコンクリートの収縮を化学的に相殺したり、さらには積極的にコンクリートを膨張させ、その膨張を拘束することによって、コンクリート内に発生する圧縮応力（以下、これをセルフストレスと呼ぶ）を利用してセメントコンクリートの品質改善を図る試みが種々検討されるようになった^{6),7),8)}。この研究は当然のことながら舗装用コンクリートへの応用にまで発展し、いくつかの報告がなされている^{9),10),11)}。

しかしながら、わが国の膨張セメントもしくは膨張性混和材料のコンクリート舗装への既往の適用例は、いずれも鉄網コンクリート舗装であって、それらはコンクリート強度の弱い若材令における舗装版の収縮を防止できれば目地間隔を増大させることができるとの考えに立って実施されたものであり、舗装版にセルフストレスを導入することまでは考慮していない。そのため膨張性混和材料の使用量は比較的少なく、条件の有利な場合でも目地間隔を約 70 m 程度までしか許容し得ない状況であった。

本研究では、膨張セメントの特性を積極的に利用して、コンクリート舗装版にセルフストレスを導入するこ

とにより、従来の連続鉄筋コンクリート舗装（以下、これを CRC 舗装と呼ぶ）、およびプレストレストコンクリート舗装（以下、これを P C 舗装と呼ぶ）に残されていた問題点を解決し、特に P C 舗装においては目地間隔の増大化をも図ることを検討しようとした。すなわち、従来の CRC 舗装において、適切な設計・施工がなされた場合には、版中央部分に 1 m 弱の間隔に微細なひびわれが発生し、その安定性も良好であるが、ややもすると幅の大きなひびわれが数箇所に集中し、破壊に近い状態になることがある。また P C 鋼材のみを用いた P C 舗装においては、路盤摩擦によるプレストレスの損失が版中央部において大きく、ために多大の P C 鋼材を必要とし、経済性から 1 枚の P C 舗装版の長さに制約が生じること、あるいは初期ひびわれ防止のため仮緊張が不可欠であることなどが問題点として指摘されている。

膨張セメントあるいは膨張性混和材料の使用によって舗装版に発生するセルフストレスの水準および存在期間が十分であれば、上記の問題点の解決が可能であると推察して、この種の膨張セメントの特性を舗装用コンクリートに適用するための基礎研究および応用研究を行なったものである。

2. 使用材料

本研究において使用した諸材料の試験成績は次のようである。

(1) セメントおよび膨張性混和材料

セメントは電気化学工業（株）青海工場製の普通ポルトランドセメント、膨張性混和材料（以下、これを膨張材と呼ぶ）は同じく同工場製の膨張材（商標 デンカ CSA）を使用した。これらの物理的性質、ならびに化学成分は表-1 に示すようであった。

* 正会員 工博 東京工業大学助教授 工学部土木工学科

** 正会員 工博 新潟大学助教授 工学部土木工学科

表一 セメントおよび膨張性混和材料の試験成績

(1) 物理試験成績

| セメントおよび 膨張性混和材料 | 比 重 | 粉 末 度 | | 凝 結 | | | | | 安 定 性 | フ ロ ー 値 (mm) | 強 度 (kg/cm ²) | | | | | |
|--|-----------------------|------------------------|-------------------------------|-------------|------------|------------|--------------|--------------|-------|--------------------------|---------------------------|------|------|-----|-----|------|
| | | 88 μ 残 分 (%) | 比表面積 (cm ² /gr) | 温 度 (°C) | 湿 度 (%) | 水 量 (%) | 始 発 (時-分) | 終 結 (時-分) | | | 曲 げ | | | 圧 縮 | | |
| | | | | | | | | | | | 3 日 | 7 日 | 28 日 | 3 日 | 7 日 | 28 日 |
| 普通 ポルトランドセメント | 3.16 | 1.7 | 3 220 | 20.2 | 84 | 25.8 | 2-43 | 3-45 | 良 | 258 | 31.8 | 49.2 | 70.4 | 129 | 228 | 417 |
| 普通ポルトランド セメント 89% + 膨 張 材 11% | 3.13 (2.96) () | 5.2 (43.2) () | 3 080 (1 960) () | 20.0 | 85 | 25.8 | 2-48 | 3-45 | — | 248 | 19.9 | 34.9 | 55.0 | 101 | 170 | 282 |

(2) 化学試験成績

| セメントおよび 膨張性混和材料 | 化 学 成 分 (%) | | | | | | | | |
|--------------------|-------------|--------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|-----|-----------------|-------|
| | ig. loss | insol. | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | CaO | MgO | CO ₂ | Total |
| 普通ポルトランドセメント | 0.4 | 0.2 | 22.1 | 5.1 | 3.1 | 64.8 | 1.5 | 1.7 | 98.9 |
| 膨 張 材 | 0.4 | 1.4 | 3.3 | 12.5 | 1.3 | 53.0 | 0.5 | 27.2 | 99.6 |

(2) 骨 材

骨材は試験舗装、室内実験とも姫川産の細粗骨材を使用した。しかし、採取時期が異なったため、室内実験と現場実験の際では、その物理的性質がいくぶん相違した。表一2に骨材の試験成績を示す。

表一2 骨材の試験成績

(1) 室内実験用骨材

| 骨 材 | 最大寸法 (mm) | 比 重 | 粗 粒 率 | 単位容積重量 (kg/m ³) | |
|--------------|--------------|------|-------|--------------------------------|-------|
| 粗骨材 (姫川産) | P C 用 | 25 | 2.70 | 7.19 | 1 676 |
| | R C 用 | 40 | 2.70 | 7.36 | 1 776 |
| 細骨材 (姫川産) | — | 2.64 | 2.56 | — | |

(2) 現場試験用骨材

| 骨 材 | 最大寸法 (mm) | 比 重 | 粗 粒 率 | 単位容積重量 (kg/m ³) | |
|--------------|--------------|-----|-------|--------------------------------|-------|
| 粗骨材 (姫川産) | P C 用 | 25 | 2.66 | 7.16 | 1 668 |
| | CRC 用 | 40 | 2.66 | 7.39 | 1 690 |
| 細骨材 (姫川産) | P C 用 | — | 2.62 | 2.62 | 1 675 |
| | CRC 用 | — | 2.61 | 2.81 | 1 675 |

3. 舗装用膨張セメントコンクリートの基礎研究

(1) 膨張セメントコンクリートの特性

わが国で開発製造された膨張セメントあるいは膨張性混和材料のおもなものは、高硫酸塩系、石膏系、カルシウム・サルフォ・アルミネートクリンカー系の3種類に分類されるが、これらはいずれもエトリンガイトの生成に伴う膨張を利用するものである^{12),13)}。これら3種のうち、高硫酸塩系および石膏系のは、その物性からは膨張材というよりは、むしろひびわれ防止材、もしくは

は収縮低減材と呼ばれるに適したものであって、膨張量もあまり大きくなく、また膨張速度もゆるやかな性質を有している^{14),15)}。一方、カルシウム・サルフォ・アルミネートクリンカー系のは、使用量の多少によってひびわれ防止のための収縮低減を目的とすることもできるし、コンクリートにセルフストレスを導入することもできる点に特徴がある^{9),16),17),18)}。また前二者に比較してエトリンガイトの生成が急激であり、十分な給水養生を必要とする。

本研究はコンクリート舗装版にセルフストレスの導入を目的としたので、カルシウム・サルフォ・アルミネートクリンカー系の膨張材を使用した膨張セメントの適用性について検討することにした。

筆者らは、ここ数年この種の膨張セメントの一般的な使用を考え、実験的検討を行ってきたが、その研究成果の要約は次のようである^{17),18),19)}。

(i) ワーカビリチーおよび凝結硬化速度は、普通ポルトランドセメントの場合と変わらない。

(ii) 十分に膨張させるためには給水養生を必要とする。通常の養生温度においてこの条件が満たされた場合、材令約2週間で膨張の大半(60~80%)が達成される。

(iii) 無拘束状態においては、膨張材の使用量が増すにつれ、コンクリートの膨張量は指数関数的に増大するが、反面そのコンクリートの強度およびヤング率は極端に低下する。

(iv) 膨張量および強度性状は拘束条件の影響を強く受け、養生初期の膨張過程において拘束程度が大きいくほど、膨張量は少なくなり、強度やヤング率の低下も少なくなる。

(v) 膨張過程終了後の乾燥収縮は、普通ポルトランドセメントの場合の収縮量と大差ない。

(vi) 膨張を拘束して得られるセルフストレスは、一

般に拘束量が大きいほど大きくなるが、乾燥後の有効プレストレスの残存にとっては拘束量が大きいことは必ずしも有効ではない。

(vii) 一般にセメント硬化体を初期材令において低強度に導く要因は、たとえばフライアッシュセメントとか中庸熟ポルトランドセメントのように初期硬化速度の遅いセメントを用いること、養生温度の低いこと、水・セメント比の大きいことなどの要因は、無拘束状態における膨張量を大きくする。逆にセメント硬化体を初期材令において、比較的高強度に導く要因は無拘束状態における膨張量を小さくするが、セルフストレスを導入するには有効である。

(viii) 材料分離、特に水分や膨張材の不均等な分布によって、コンクリート内部の各部の膨張量が異なる場合がある。たとえば、無拘束状態においてはブリージングの影響により、供試体上部の膨張量が大きくなり供試体にそり変形が生じる。

以上の検討からカルシウム・サルフォ・アルミネートクリンカー系の膨張セメントをコンクリート舗装に適用することの有用性を推察し、本研究を実施した。

(2) 舗装用膨張セメントコンクリートの基礎的性状

試験舗装の開始に先立ち、膨張材の適正混入量を決定するため、CRC 舗装ならびにPC舗装を対象とした膨張セメントコンクリートについて長さ変化、セルフストレス、および強度その他の力学的性状を調べるための室内実験を行ない、舗装用膨張セメントコンクリートの基礎的性状について実験的に検討した。

実験の対象としたコンクリートの標準配合は表-3に示すとおりであった。

表-3 コンクリートの標準配合 (PCおよびRC供試体用)

| 種類 | $\frac{W}{C+膨張材}$ (%) | W (kg/m ³) | C+膨張材 (kg/m ³) | S/a (%) | ポゾリス No.5L (g/m ³) | スランプ (cm) | 空気量 (%) |
|-----|--------------------------|---------------------------|-------------------------------|------------|--------------------------------------|--------------|------------|
| PC用 | 40.5 | 142 | 350 | 31 | 875 | 6 | 4 |
| RC用 | 42.0 | 136 | 324 | 30 | 810 | 6 | 4 |

注: 1) 空気量調節にはポゾリス用 AE 剤 No. 202 を使用した。
2) 膨張材の混入量は単位セメント量の内割で置換えた。

a) 長さ変化およびセルフストレス

長さ変化の測定試験は図-1に示すように、15×15×53 cm のはり形供試体を使用した。プレストレスを与える供試体 (以下 PC 供試体と呼ぶ) については、図-1(A) に示すようにアンカープレートを通じて PC 鋼棒で拘束した。また異形鉄筋で拘束する供試体 (以下 RC 供試体と呼ぶ) については (B) に示すように断面中央部に異形鉄筋を配置して膨張を拘束した。コンクリートの長さ変化の測定はカールソン型ひずみ計を用い、PC 鋼棒、異形鉄筋の長さ変化の測定はポリエステルスト

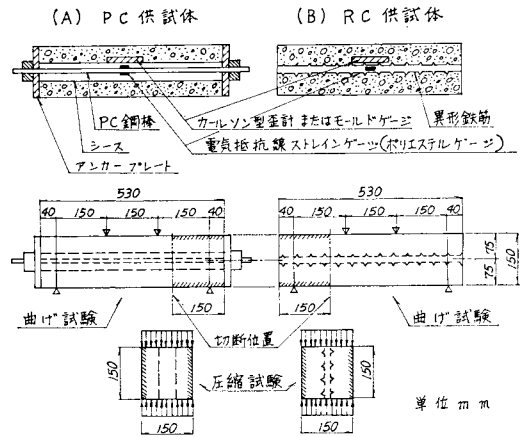


図-1 長さ変化、セルフストレス、および強度性状の測定に用いた供試体

インゲージで行なった。

長さ変化の測定にあたって実験の要因としたのは、膨張材の混入量、機械的プレストレス (0 の場合を含む)、拘束鉄筋比²⁰⁾、養生方法^{21), 22)} などである。

① 膨張材混入量の影響: 膨張材の混入量を変化させた場合の室内養生供試体の長さ変化の一例を示すと図-2 のようであった。すなわち、図-2 は φ12 mm の PC 鋼棒を用いて材令 2 日に 5 kg/cm² のプレストレスを与え、さらに材令 7 日にプレストレスを 25 kg/cm² に増加させた PC 供試体の長さ変化、および φ13 mm の異形鉄筋を配置した RC 供試体の長さ変化を示したものである。

図-2 によれば水中養生期間中は膨張材混入量の増加に伴って、供試体の膨張量が著しく増大することが示されている。しかしながら、材令 7 日以後 20°C、70% R.H. の条件で乾燥させるといずれの供試体も収縮に転

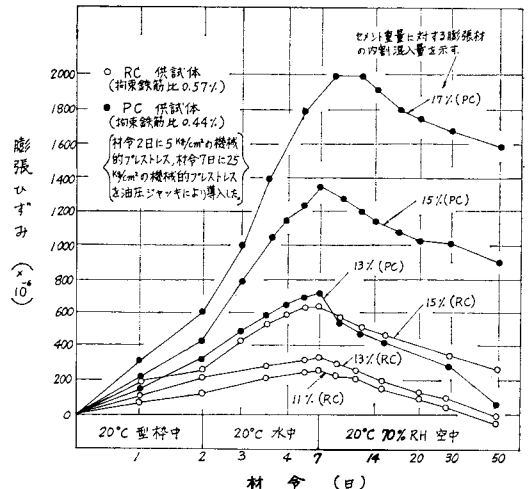


図-2 膨張材の混入量の相違がコンクリートの膨張ひずみにおよぼす影響

じ、水中養生期間中の膨張量の比較的少なかった膨張材混入量 11~13% の場合には、材令 40 日程度でほぼ原点に達している。このことは混入量が 11~13% 程度の場合には、室内条件でのセルフストレスの残存を期待できないことを示しており、セルフストレスを期待するには、少なくとも 15% 程度の混入量を要することを示すものと思われる。

② 機械的プレストレスの影響：機械的プレストレスの相違が膨張セメントコンクリートの長さ変化におよぼす影響を図-3 に示す。この試験は上記の試験結果を参照して、膨張材の混入量を 15% としたのについて行なった。

図-3 によれば材令 2 日に 5 kg/cm² のプレストレスを与え、以後材令 7 日まで水中養生した場合には、およそ 13 kg/cm² のプレストレス（機械的プレストレスを含む）が生じることが認められた。しかしながら、材令 7 日に 25 kg/cm²、および 50 kg/cm² にプレストレスを増加させ、以後 20°C、70% R.H. で乾燥養生させた場合には当然ながら収縮に転じ、膨張終了時点からの収縮量は、機械的プレストレスの大きいほど大きいこと、およびその収縮量は比較のために試験した普通コンクリートの収縮量と全く同一であることも認められた。このことは膨張セメントコンクリートが、膨張過程の終了時に載荷された場合には、その収縮量（乾燥収縮ひずみ+クリープひずみ）は普通コンクリートとほぼ同程度と考えてよいことを示すものである。

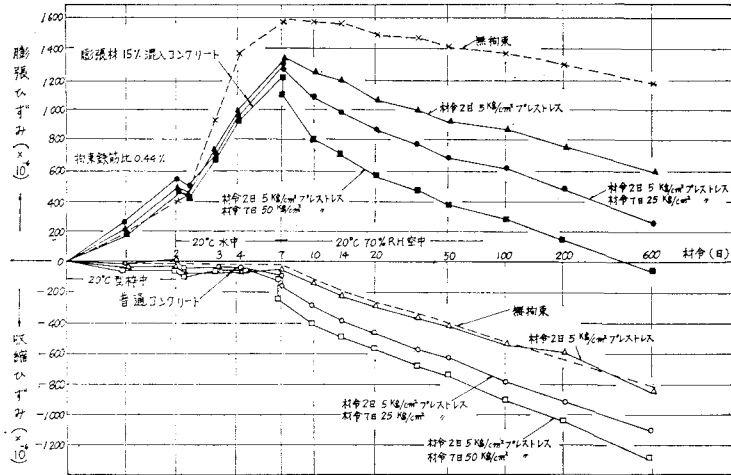


図-3 機械的プレストレスの相違がコンクリートの膨張ひずみにおよぼす影響 (各供試体とも φ12 mm (拘束鉄筋比 0.44%) の PC 鋼棒で拘束した)

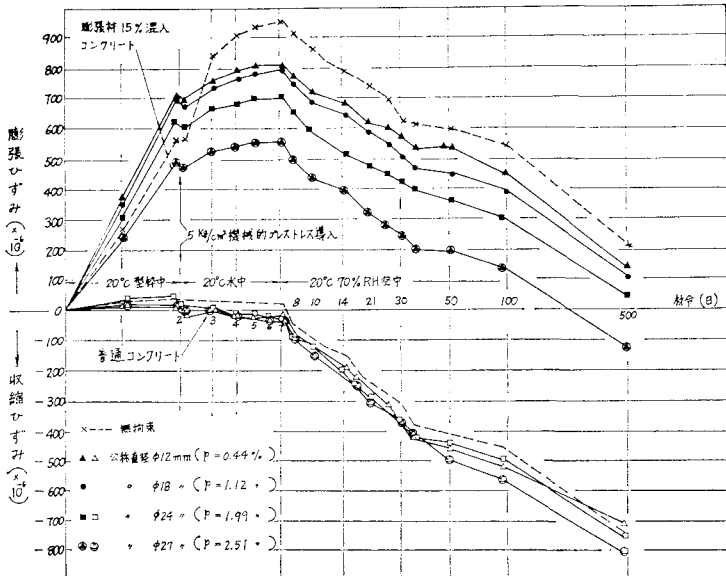


図-4 拘束鉄筋比の相違がコンクリートの膨張ひずみにおよぼす影響 (PC 供試体、室内養生)

③ 拘束鉄筋比の影響：PC 供試体および RC 供試体について、それぞれ鉄筋比を変化させて拘束した場合の長さ変化の測定結果は、図-4 ~ 6 に示すようであった。

まず室内で行なった試験結果 (図-4, 図-5 参照) によれば、水中養生期間最終日 (材令 7 日) までに生じる膨張セメントコンクリートの膨張量は、PC、RC 供試体とも拘束鉄筋比の大きいほど膨張量は少なくなることが示されている。しかしながら、供試体の膨張量と鉄筋比から算出されるセルフストレスは、鉄筋比が大きいほど大きく、RC 供試体の場合最大値で 15.5 kg/cm² のセルフストレスが導入されている。

一方、水中養生後供試体を乾燥させた場合には、各供試体ともほぼ等しい収縮量を示し、したがって拘束鉄筋比の大きい供試体ほど早い時期にセルフストレスが消失している。このことは鉄筋比をあまり大きくすることは、かえって早期にセルフストレスを減少させることになることを示唆するものであろう。

次に屋外試験の場合には (図-6 参照)、室内試験において見られたような収縮は全く認められず、材令 500 日以上を経過しても膨張量は減少せず、異形鉄筋を配置したものにあっては、むしろ膨張が進行する傾

向を示している。

なおPC供試体にあつては材令 545 日で PC 鋼棒をゆるめ、その際のコンクリートのひずみ変化から、導入されていたプレストレスを算出し、RC 供試体にあつては、膨張開始時から材令 538 日までのひずみ変化によって導入されていたセルフストレスを算出したところ表-4 に示すような結果を得た。この結果は現場養生の場合、拘束鉄筋比の増加にしたがい、セルフストレスも増大し、かつ長時間にわたってセルフストレスが存在することを示している。このことは膨張セメントコンクリートが拘束を受けた状態で湿潤養生に保たれた場合には、クリープによってセルフストレスが全部消失してしまうことはないことを明らかに示すものであり、湿潤養生に近い気象作用を受ける舗装用コンクリートにも適用の可能性があることを示すものと思われる。

b) 力学的性状

長さ変化およびセルフストレスの測定試験用の供試体を用いて強度試験、ヤング率試験を行なった。試験の方法はこれを短期材令(材令 14 日および 28 日)で行なう場合には、図-1 に示すように PC 鋼棒あるいは異形鉄筋を挿入したままの状態で曲げ試験を行ない、その後 図-1 に示す位置で切断し、得られた切片供試体について圧縮試験、ならびにヤング率試験を行なった。一方、長期材令で行なう場合には、曲げ試験を行わず、高さ 53 cm の供試体について圧縮試験、ヤング率試験のみを行なった。プレストレス解放時のひずみ変化を測定したため曲げ試験は実施できなかった。

実験の要因として膨張材の混入量、機械的プレストレス、拘束鉄筋比をとりあげた。

表-4 拘束鉄筋比と導入されたセルフストレス量との関係(現場養生)

(1) PC 供試体(材令 545 日)

—機械的プレストレス 5 kg/cm² を含む—

| PC 鋼棒公称径 (mm) | φ12 | φ18 | φ22 | φ27 | φ33 |
|-------------------------------|------|------|------|------|------|
| 拘束鉄筋比 (%) | 0.44 | 1.12 | 1.53 | 2.51 | 3.92 |
| セルフストレス (kg/cm ²) | 8.6 | 11.3 | 12.0 | 13.5 | 14.2 |

(2) RC 供試体(材令 538 日)

| 異形鉄筋公称径 (mm) | φ13 | φ19 | φ25 |
|-------------------------------|------|------|------|
| 拘束鉄筋比 (%) | 0.57 | 1.29 | 2.30 |
| セルフストレス (kg/cm ²) | 3.5 | 6.0 | 10.2 |

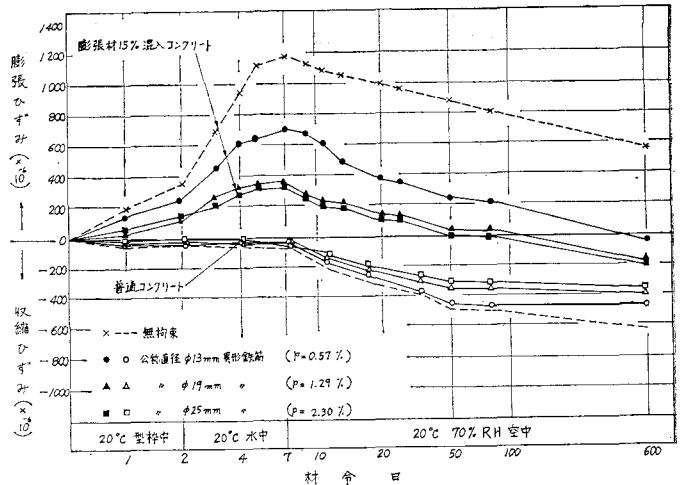


図-5 拘束鉄筋比の相違がコンクリートの膨張ひずみにおよぼす影響 (RC 供試体, 室内養生)

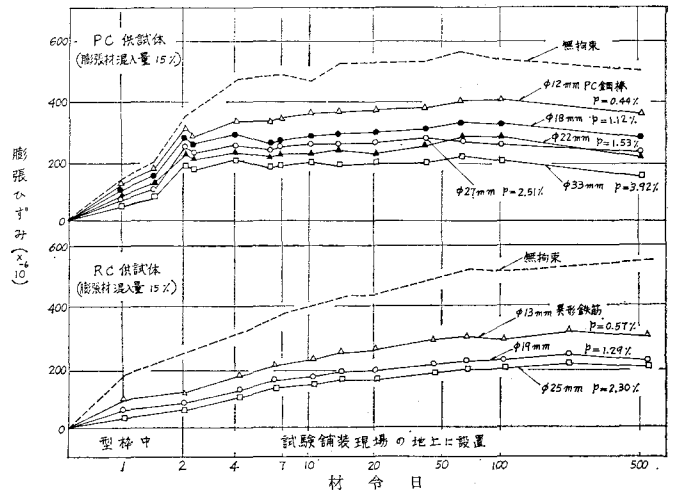
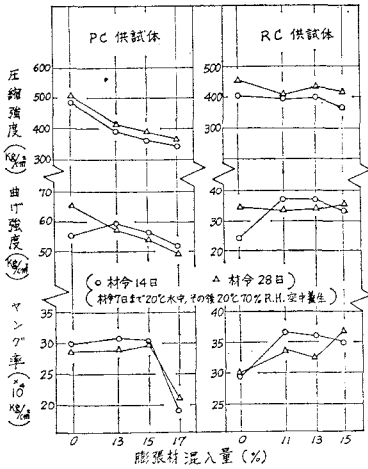


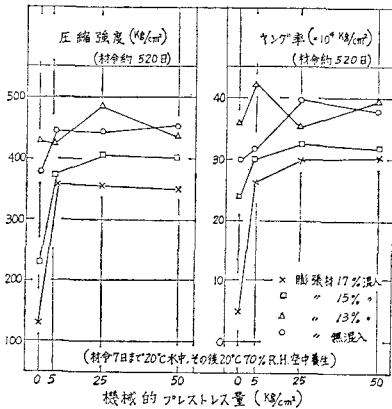
図-6 拘束鉄筋比の相違がコンクリートの膨張ひずみにおよぼす影響(現場養生)(温度変化の影響はカールソン型ひずみ計の第二次補正值で修正した)

① 膨張材混入量の影響: 膨張材混入量を変化させた膨張セメントコンクリートの拘束条件下における強度試験結果の一例は 図-7 に示すようであった。

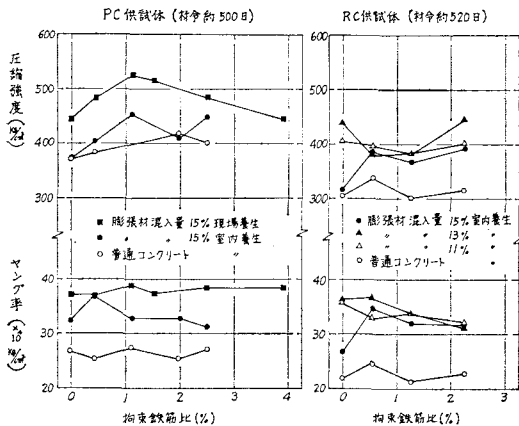
図-7 によれば PC 供試体の場合、17% まで混入量を増加しても、曲げ、圧縮強度とも十分な値を示しているが、ヤング率は 15% を越えると極端に低下している。また RC 供試体の場合は、混入量を 15% としても曲げ、圧縮強度、ヤング率とも十分な値を示している。これらの現象は膨張セメントコンクリートを無拘束で試験した場合の傾向とまったく相違し、膨張セメントコンクリートの膨張を拘束した場合には強度、ヤング率を低下させることなく膨張材の混入量を 15% 程度まで許せることを示している。



図一七 膨張材混入量と強度およびヤング率との関係 (RC供試体はφ13mmの異形鉄筋で拘束した。PC供試体はφ12mmのPC鋼棒で材令2日に5kg/cm²、材令7日に25kg/cm²のプレストレスを導入して拘束した)



図一八 機械的プレストレス量の相違が圧縮強度、ヤング率におよぼす影響 (PC供試体) (φ12mmのPC鋼棒で材令2日に5kg/cm²、材令7日に25kg/cm²ならびに50kg/cm²のプレストレスを導入して拘束したもの)



図一九 拘束鉄筋比の相違が圧縮強度、ヤング率におよぼす影響

② 機械的プレストレスの影響：PC供試体に対し機械的プレストレスを変化させたものについては、材令520日に強度試験を行なった(図一八参照)。

図一八によれば圧縮強度、ヤング率とも混入量の増加に伴って低下しているのは前述のとおりであるが、わずか5kg/cm²のプレストレスを導入したのものでも無拘束のものに比べ強度、ヤング率ともはるかに増加しており、17%混入量でも350kg/cm²以上の圧縮強度を示している。その反面25, 50kg/cm²の機械的プレストレスを増加しても強度、ヤング率には増加の傾向が認められない。材令2日に与えた5kg/cm²の機械的プレストレスは、その後の水中養生期間中に生じるセルフストレスと合わせると、およそ13kg/cm²に達するが、乾燥期間初期に急激に収縮することにより、以後の養生期間中にはきわめてわずかのプレストレスしか存在していないことが考えられる。したがって、初期に与えたわずかのプレストレスでも、強度およびヤング率の低下防止に効果のあったことは、養生初期の膨張過程における拘束が膨張セメントコンクリートの強度、ヤング率の増大にきわめて有効であることを示すものである。

③ 拘束鉄筋比の影響：PCおよびRC供試体に対し、拘束鉄筋比を変化させ、それぞれ室内養生および現場養生したものを材令約500日で圧縮試験およびヤング率試験を行なった(図一九参照)。

図一九によると拘束鉄筋比を増加しても圧縮強度、およびヤング率の増加は認められず、むしろRC供試体のヤング率のように拘束鉄筋比の増大によって、その値が減少しているものもあった。現場養生したものは室内養生したもの比べ、圧縮強度、ヤング率ともおよそ20%程度大きく、現場試験の養生条件の方が有利であったことを示している。

c) 耐摩耗性

膨張セメントを舗装に使用した場合の耐摩耗性を検討するため、JIS A 1451 床材料の摩耗試験方法によって膨張セメントコンクリートの摩耗試験を行なった。この試験方法は床材料を対象としたものではあるが、その機構からみてコンクリートの耐摩耗性をも十分に比較検討し得るものと考えられる。

試験体の寸法(厚さ35mm)による制約のため、粗骨材の最大寸法を20mmにおさえる必要があり、ために表一三に示す配合とはいくぶん相違する配合となったが、膨張材の混入量、養生方法、拘束の有無等の影響を調べるには十分であると考えられる。

図一十は試験結果の一例を示すものである。この図によれば次のことが認められる。

(i) 膨張材を混入したコンクリートは普通コンクリートより摩耗量が少ない。特に試験時まで水中養生した

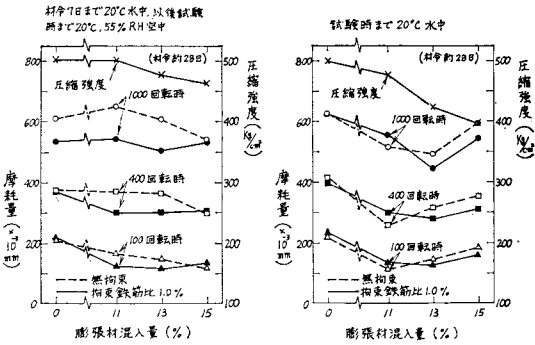


図-10 膨張材混入コンクリートの摩耗試験結果

4. 連続鉄筋コンクリート舗装への応用

(1) 試験舗装版の概要

昭和43年9月16日に新潟県青海町の電気化学工業(株)青海工場内の構内道路で、膨張材を混入したコンクリートを用いてCRC試験舗装を施工した。比較のために、同所において同年8月1日に普通コンクリートによるCRC試験舗装も施工した。

試験舗装版の構造は両者とも同一であり、図-11に示すごとく版長90m、版幅4m、版厚20cmであって、一端を自由端、他端をアンカーによる固定端とした。舗装版の縦方向には公称直径φ13mmの異形鉄筋を10cmピッチ(鉄筋比P=0.638%)に配置し、横方向には公称直径φ10mmの異形鉄筋を20cmピッチ(P=0.178%)に配置した。

路盤の支持力係数は平均で $K_{30}=20.3 \text{ kg/cm}^3$ であった。この路盤の上に海砂を約2cm厚に敷き、その上に路盤紙を敷いてコンクリートを打設した。コンクリート打設後4時間経過してから孔あきポリエチレンシートで

場合にこの傾向が著しく、混入量13%の場合に最小値を示した。

- (ii) 膨張材を混入した場合には拘束鉄筋の配置によって、膨張が拘束されたものの方が摩耗量が少ない。
- (iii) 圧縮強度と摩耗量との相関性は見られず、膨張材混入量の増加に伴って圧縮強度が低下しているにもかかわらず、摩耗量は増加しない。

上記の結果は膨張材を混入することによって耐摩耗性がよくなることを示しているが、その理由としてはセメント、水和ゲル等と膨張成分のエトリンガイトとが適度に噛み合さり、ねばりのあるコンクリートになっていること、膨張が鉄筋によって拘束され、コンクリートの組織が密実になっていることなどが考えられる。

基礎性状として上記のほか、コンクリートの乾燥に伴うそり現象なども検討したが、その結果については紙面の都合から省略する。

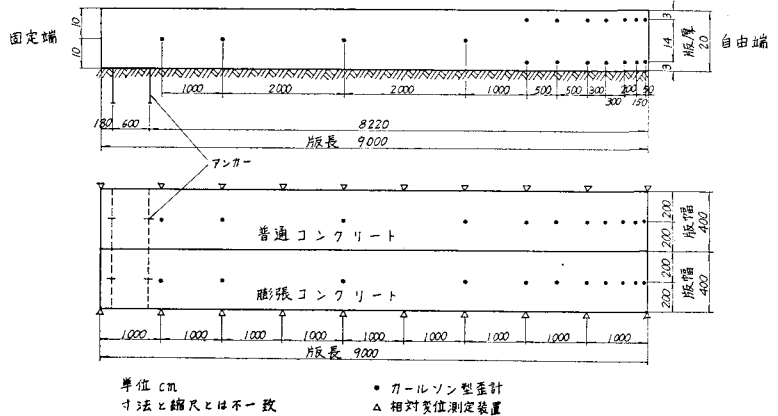


図-11 CRC試験舗装版の寸法と観測用計器類の配置

表-5 コンクリートの示方配合およびその試験結果(PCおよびCRC試験舗装用)

| 種類 | W C+X (%) | W (kg/m³) | C+X (kg/m³) | X C+X (%) | S/a (%) | ポ ズ リ ス No. 5L | 試 験 結 果 | | | | | | | | | | | | | |
|------------------|-----------------|--------------|----------------|-----------------|------------|----------------------------|------------------|--------------------|----------------------|----------|---------------|-----|-----|------|---------------|------|------|------|------|---|
| | | | | | | | スラン プ (cm) | 空 気 量 (%) | コンクリ ート温度 (°C) | 養生 方法 | 圧縮強度 (kg/cm²) | | | | 曲げ強度 (kg/cm²) | | | | | |
| | | | | | | | | | | | 2日 | 7日 | 28日 | 1.5年 | 2日 | 7日 | 28日 | 3月 | 1.5年 | |
| P C 用 | 普通 | 40.5 | 141.8 | 350 | 0 | 31.0 | (C+X) の25% | 4.0~12.5 平均 8.7 | 1.1~1.4 平均 1.2 | - | 標準 現場 | - | - | - | - | 43.8 | 56.7 | - | - | |
| | 膨張 | 40.5 | 141.8 | 350 | 15 | 32.2 | 〃 | 4.5~11.7 平均 7.2 | 3.6~4.6 平均 4.1 | 27 | 標準 現場 | 215 | 259 | - | - | 36.7 | 49.5 | - | - | |
| C R C 用 | 普通 | 42.0 | 136.0 | 324 | 0 | 31.4 | 〃 | 6.5~10.5 平均 8.2 | 3.0~3.9 平均 3.6 | 29 | 標準 現場 | - | 279 | 398 | 405 | - | 44.8 | 52.9 | - | - |
| | 膨張 | 42.0 | 136.0 | 324 | 15 | 31.8 | 〃 | 4.3~8.0 平均 6.1 | 3.0~4.0 平均 3.5 | 27 | 標準 現場 | - | - | 235 | 389 | 374 | - | 45.3 | - | - |

注) Xは膨張材を表わす。また空気量調節にはボズリス用AE剤No.114を使用した。

コンクリート表面を覆い散水養生した。その後シート上に砂をまき材令 14 日目で湿砂養生を行なった。

使用したセメント，膨張材，および骨材は表一1および表一2に示すとおりである。コンクリートの配合およびスランプ，強度等の試験結果は表一5に示すとおりである。

膨張材の混入量の設定に当たっては 3. (2) の基礎研究の成果を参照し，試験舗装であることも考慮して，強度などの力学的性質が満足される範囲内で最も大きな膨張量を示す混入量 15% を設定した。

舗装版に取付けた観測用計器の種類とその配置は図一11に示すごとくであって，カールソン型 ひずみ計にてコンクリート内部の温度とひずみを測定し，材令 2 日で型わくを取りはずすと同時に舗装版側面に取付けた変位測定装置にて舗装版と路盤との相対変位を測定した。

(2) 舗装版のひずみと変位

図一12 および 図一13 は CRC 試験舗装版の各断面に生じたひずみと路盤に対する相対変位を材令 2 日を基準にして示したものである。なお，この観測値は温度降下と乾燥収縮の両者の影響を含んでいるので付表に温度変化も記した。

図一12 および 図一13 に示されるように両舗装版とも不動点は自由端より約 70 m のところであり，このことは両試験舗装版とも大略 140 m の版長を有する CRC 舗装版の挙動を示していると考えてよいと思われる。なお，舗装版には 1/300 程度の縦断勾配があったが，ひびわれ発生に対して危険側になるよう自由端を低所に設定

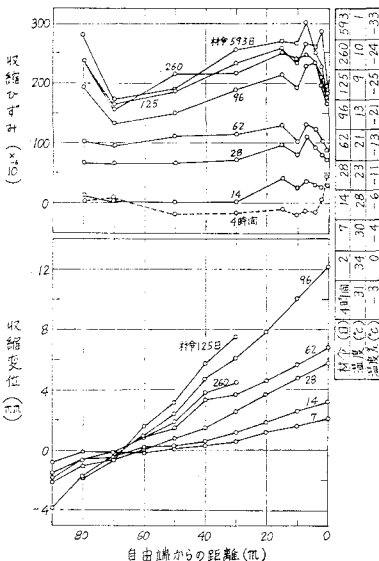
した。

まず 図一12 の普通コンクリート舗装版のひずみ分布についてみると，版全体を通じて温度降下ならびに乾燥により徐々に収縮が進行しており， $200 \times 10^{-6} \sim 300 \times 10^{-6}$ 程度の収縮ひずみが生じている。さらに詳細にこの図を検討すると，不動点と自由端部のひずみの差は全体としての収縮ひずみの増加に伴って増大しており，その分布はほぼ直線性を示している。ちなみに不動点と自由端部のひずみの差の最大値を求めると 130×10^{-6} 程度である。この値は路盤摩擦によって拘束されたひずみの最大値を示しており，路盤すべり摩擦係数を 0.8，コンクリートのヤング率を $3.0 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ と仮定し，弾性計算で得られる拘束ひずみの約 2.9 倍に相当する。これはコンクリートのクリープならびに路盤すべり摩擦係数が上記の仮定値と異なることの影響によるものと考えられる。なお，自由端部において収縮ひずみが局部的に小さくなる傾向にあったが，この原因は確かめられていない。

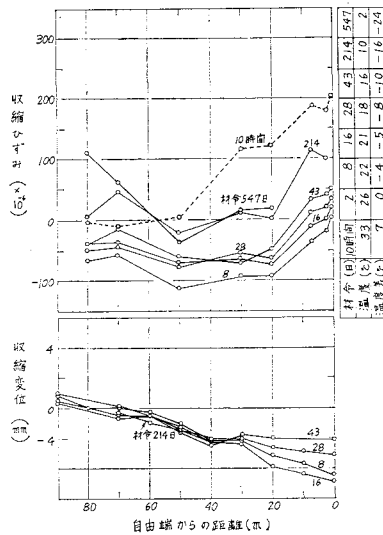
次に 図一13 の膨張コンクリート舗装版の場合には，舗装版の変形性状は普通コンクリート舗装版の場合と比較して相当に相違しており，コンクリート打設後相当量の温度降下があったにもかかわらず，打設後 10 時間を基準とした場合，舗装版の各断面のひずみはほとんど膨張ひずみであり，材令 2 日を基準とする変位も膨張変位であった。このことは膨張材使用による舗装版中央部の膨張ひずみが，路盤摩擦によって拘束されて生じる圧縮応力が，収縮ひずみを大きく相殺するため，これらの断面におけるコンクリートの温度降下や乾燥に伴う収縮ひずみを非常に鈍なものにしているものと思われる。

(3) 舗装版のセルフストレス

膨張コンクリートを用いた CRC 舗装版内に生じたセルフストレスを求めるにいくつかの方法が考えられるが，本研究では舗装版に生じるひずみ量から推定する方法によった。すなわち，舗装版の各断面における路盤摩擦と鉄筋の両者による拘束程度を再現するよう拘束比の異なる膨張コンクリート供試体を数本作製し，これらに生じるひずみとセルフストレスの関係を把握し，舗装版各断面のひずみをこの関係に適用することによ



図一12 普通コンクリートを用いた CRC 試験舗装版のひずみと変位 (材令 2 日を基準)



図一13 膨張コンクリートを用いた CRC 試験舗装版のひずみと変位 (材令 2 日を基準)

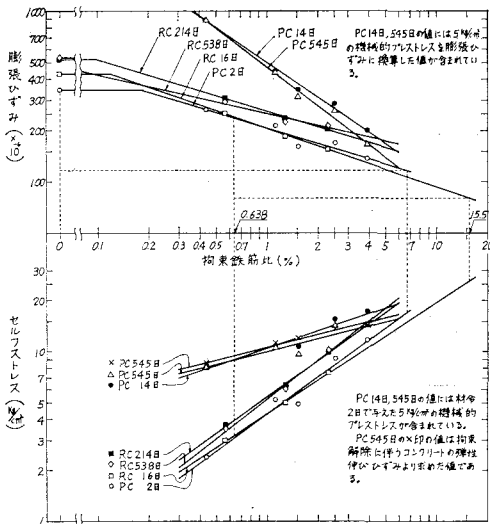


図-14 拘束鉄筋比が膨張ひずみおよびセルフストレスにおよぼす影響

って舗装版に生じるセルフストレスを推定することにしたのである。

まず材令 16 日におけるセルフストレスについてみると次のようである。

図-14 は異形鉄筋および P C 鋼棒によって拘束された膨張コンクリート供試体に生じる膨張ひずみとセルフストレスとの関係を拘束鉄筋比をパラメーターとして図示したものである。この図は図-6 に示した試験値に基づくものであり、拘束鉄筋比の大きい場合のデータが不足しているが、一応図に示すような関係があるものと推定できる。

一方、材令 10 時間の観測値を基準として求めた膨張コンクリート舗装版のひずみ分布は図-15 に示すようである。この図によれば、版端部と不動点における膨張ひずみの差は 160×10^{-6} であるから、図-14 において舗装版の鉄筋比と同一の拘束鉄筋比 0.638% における膨張ひずみ (240×10^{-6}) より 160×10^{-6} だけ膨張ひずみの少ない拘束鉄筋比 15.5% が舗装版の不動

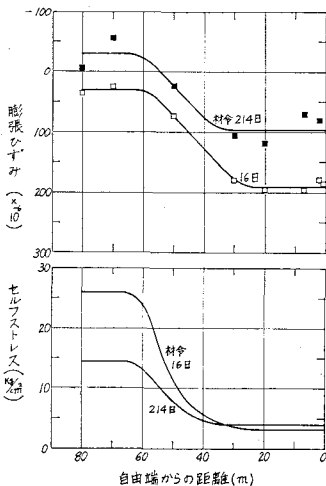


図-15 膨張コンクリートを用いた CRC 試験舗装版のひずみとセルフストレス (材令 10 時間を基準)

点における路盤摩擦と鉄筋による拘束状態を再現していると見なすことができる。したがって、図-14 においてこの拘束鉄筋比 15.5% におけるセルフストレスを求めると 26.0 kg/cm^2 となり、この値が材令 16 日における膨張コンクリート舗装版の不動点におけるセルフストレスであると推定される。

同様にして膨張コンクリート舗装版の材令 16 日および 214 日におけるセルフストレスの分布を求めると図-15 に示すようであった。この図は次のことを明りょうに示している。

(i) 自由端から 40 m 以内では鉄筋の拘束によるセルフストレス (今回の場合約 3.2 kg/cm^2) しか期待できない。

(ii) 路盤摩擦拘束力を受力とするセルフストレスの存在が期待できるのは自由端から 40 m 以上の位置である。

(iii) 短期材令においてはかなりの量のセルフストレスが存在しても長期材令では最高 15 kg/cm^2 程度のセルフストレスに減少する。

(4) ひびわれ発生の防止効果

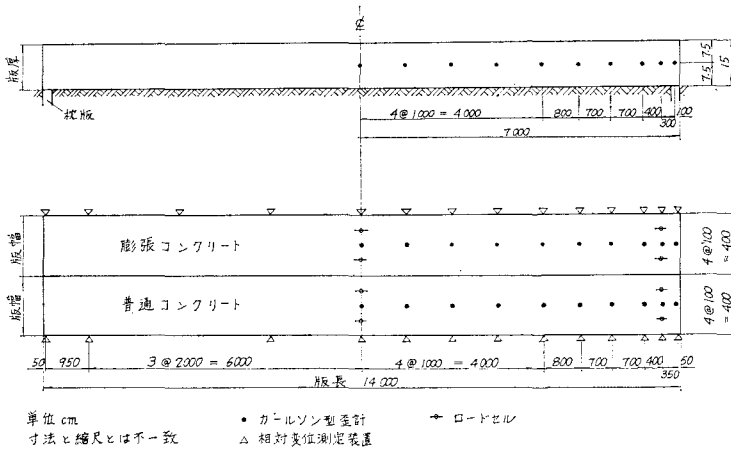
昭和 38 年 6 月に一級国道 4 号線福島県鏡石において施工された CRC 舗装 (版長 500 m, 版幅 4.5 m, 版厚 23 cm, 鉄筋比 0.6%, $\phi 13 \text{ mm}$ 異形鉄筋を使用) では、舗装版端よりこれに最も近いひびわれまでの距離は 15 ~ 50 m であった²³⁾。本研究における試験舗装が版長約 140 m の CRC 舗装を再現していること、および拘束鉄筋比が 0.638% であることを考えると、当然普通コンクリートを用いた試験舗装版にひびわれの発生することが予想される。事実普通コンクリート舗装版には、材令 56 日 (9 月 25 日) までに自由端より 65 m および 79 m の位置にひびわれが発生した。しかしながら、膨張コンクリート舗装版においては 3 年以上経過した現在においてもひびわれは発見されていない。このことから膨張コンクリートの使用がひびわれ発生防止に効果のあったことは明らかである。

5. プレストレストコンクリート舗装への応用

(1) 試験舗装版の概要

昭和 43 年 8 月 31 日に前記の CRC 舗装版と同場所において膨張材を混入したコンクリートによる P C 試験舗装を施工した。また比較のために普通コンクリートによる P C 試験舗装も同年 7 月 20 日に施工した。

舗装版の形式はポストテンション可動端方式であり、図-16 に示すように版長 140 m (このうち中央部 139 m



図—16 PC 試験舗装版の寸法と観測用計器類の配置

がプレストレス導入区間、両端部 0.5m ずつが後埋め区間) 版幅 4m、版厚 15cm である。膨張コンクリート舗装版、および普通コンクリート舗装版ともに、その版厚中央に P C 鋼 7 本より線 (0.929 cm²) を 15cm 間隔に配置し、本緊張時 P C 鋼より線を 1 本当たり 11.8t で緊張した。この緊張力は普通コンクリート舗装版のスパン中央部に 25 kg/cm² の有効プレストレスを、版端に 52.2 kg/cm² の初期プレストレスを導入するよう算出された値である。また横方向には公称直径 ϕ 10 mm の異形鉄筋を 20 cm 間隔にシース上に配置し、両版端部の下には枕版 (4.0×0.2×1.8 m) を設けた。路盤の支持力係数および路盤工は CRC 試験舗装の場合と同じであった。

P C 鋼より線の緊張に関しては、材令 2 日にスパン中央部に 5 kg/cm² のプレストレスが導入されるよう 6.03 t/本で仮緊張を行ない、その後膨張コンクリート舗装版については材令 7 日に、普通コンクリート舗装版については材令 9 日に、それぞれ上記所定の力で本緊張を行なった。またグラウト注入はいずれも材令 28 日に行なった。養生は CRC 試験舗装の場合とほとんど同じであるが、湿砂養生期間を本緊張時までとした。

使用したセメント、膨張材、および骨材は表—2、および表—3 に示すとおりである。コンクリートの配合、およびスランプ、強度等の試験結果は表—5 に示すとおりである。

舗装版に取付けた観測用計器の種類とその配置は図—16 に示すようであって、CRC 試験舗装の場合と同様に、カールソン型ひずみ計と変位測定装置を用いた。また舗装版に数か所欠損部を設け、その位置における P C 鋼より線にロードセルを取付け、緊張時の P C 鋼より線の応力を測定した。

(2) PC 鋼より線の応力

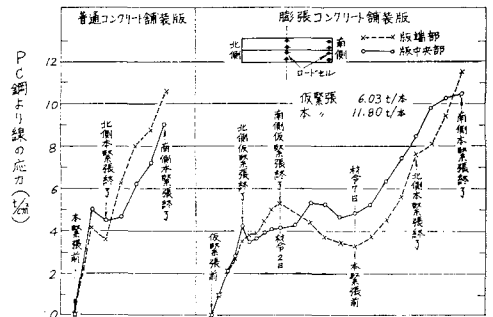
仮緊張開始から本緊張終了までの舗装版端部、および中央部における P C 鋼より線の応力測定結果を図—17 に示す。普通コンクリート舗装版については、仮緊張時にロードセルが不備であったため、これを取付けた P C 鋼より線のみは本緊張時に応力 0 から所定の P C 鋼より線まで緊張した。膨張コンクリート舗装版については、試験の範囲内で次のことが認められる。

(i) 仮緊張後から本緊張開始

時までの P C 鋼より線の応力は、版端部で応力の減少、版中央部で逆に応力の増大が認められ、しかも版端部より大きくなっており、膨張コンクリートの効果を示している。

(ii) 本緊張終了後、版中央部の P C 鋼より線の応力は版端部より 9% 少なく、普通コンクリート舗装版の場合の損失率 15% より少ない。

これらのことは本緊張開始時までの版中央部のコンクリートの膨張現象が、シース摩擦力を低減するのに、有効に働いたことを示すものと思われる。



図—17 仮緊張時および本緊張時の P C 鋼より線の応力

(3) 舗装版のひずみと変位

図—18 および 図—19 は、普通コンクリートおよび膨張コンクリート舗装版の各断面に生じたひずみ、ならびに路盤との相対変位を示したものであるが、これらの結果は材令 2 日を基準とした場合の仮緊張、本緊張、温度変化、乾燥収縮、クリープ等のすべての影響を含んだ値で示されている。

図—18 に示す普通コンクリート舗装版の場合、各断面の収縮ひずみの値は相当に大きい、スパン方向に大きな差異は認められない。たとえば、材令 93 日におい

てひずみの最大と最小の間には、仮緊張開始時を基準として考えると 120×10^{-6} 程度、本緊張終了時を基準として考えてもほぼ同様の値であり、これらの値は普通コンクリートによる CRC 試験舗装において観測された路盤摩擦による拘束ひずみの値と酷似している。

一方、膨張コンクリート舗装版のスパン方向各断面における収縮ひずみは相当に相違し、たとえば上述と同程度の条件を有する材令 95 日において比較すると、版端部では普通コンクリート舗装版の場合と同程度の 580×10^{-6} もの収縮ひずみを示したにもかかわらず、版中央部では 240×10^{-6} 程度の収縮ひず

みしか示しておらず、各断面におけるひずみは版端からの距離が増すにつれ大幅に減少している。しかしながら、これを詳細に検討すると、版端部と版中央部の収縮ひずみの差異の最大の要因は、本緊張終了時までの両者の収縮ひずみの差 250×10^{-6} によるものであって、本緊張終了時を基準として、その後の収縮ひずみで比較する場合には、版端部で普通コンクリート舗装版と同程度の収縮ひずみ 290×10^{-6} を示し、版中央部ではなおこれより 90×10^{-6} 程度少ないひずみであった。

ひずみの積分として示される舗装版と路盤との相対変位のグラフからも、同様な傾向が認められる。すなわち舗装版全体にわたって収縮ひずみがほぼ等しい普通コンクリート舗装版にあっては、各断面の変位は版中央部からの距離が増すにつれ直線的に増大している。一方、膨張コンクリート舗装版にあっては、版中央部の膨張効果によって、各断面の変位は版中央部からの距離が増すにつれ放物線的に増大している。しかしながらその収縮変位量は、普通コンクリート舗装版に比べてかなり小さい。

このように膨張コンクリート舗装版の場合、本緊張までの期間において版中央部の収縮ひずみが版端部に比べて大幅に小さいことは、膨張材の混入による版中央部のコンクリートの膨張ひずみおよびセルフストレスの存在が乾燥、ならびに温度降下に伴う初期の収縮ひずみを相殺したことを意味している。

(4) 舗装版のセルフストレス

膨張コンクリート舗装版において材令 8 時間における

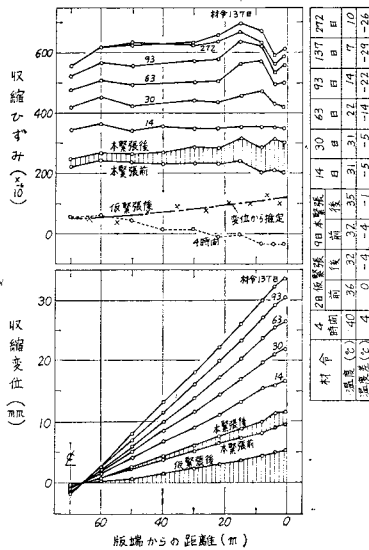


図-18 普通コンクリートを用いた PC 試験舗装版のひずみと変位 (材令 2 日の仮緊張前を基準)

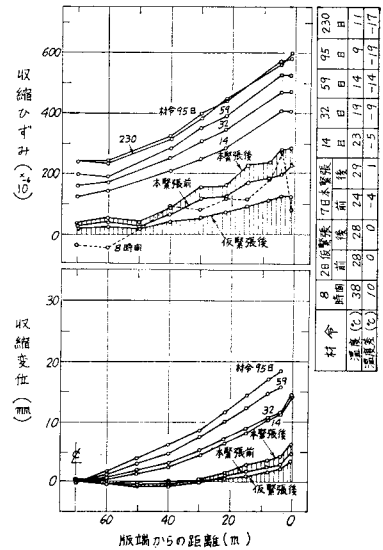


図-19 膨張コンクリートを用いた PC 試験舗装版のひずみと変位 (材令 2 日の仮緊張前を基準)

状態を基準にした場合、仮緊張開始時の版端部のひずみは 230×10^{-6} 程度膨張している。したがって、この時点における版中央部には 230×10^{-6} 程度の膨張ひずみが路盤摩擦によって拘束され、セルフストレスが生じていたものと考えられる。この版中央部に発生したセルフストレスは前章と同じ方法で図-14 により算出すると 17.0 kg/cm^2 となる。この値は通常の仮緊張により導入されるプレストレス量よりも大きく、初期ひびわれ発生の危険がなくなるので仮緊張は不要となることを示唆している。

仮緊張（版端に 26.7 kg/cm^2 の機械的プレストレスを導入）によって版中央部に導入された機械的プレストレスは、図-18、図-19 のひずみ量の変化から算出すると、普通コンクリート舗装版では約 6.5 kg/cm^2 、膨張コンクリート舗装版では約 5.4 kg/cm^2 であった。したがって、膨張コンクリート舗装版では、仮緊張終了時には版中央部に約 22.4 kg/cm^2 のプレストレス（セルフストレス+機械的プレストレス）が導入されたことになる。

この後、普通コンクリート舗装版の場合、本緊張開始時までの短期間に版中央部の収縮ひずみが増加し、版全体にわたってほぼ様なひずみ分布となった。これは路盤摩擦抵抗力の減少に伴って、プレストレスの均一化がかなり進行したことを示しているものと考えられる。

路盤摩擦抵抗力は、舗装版の第 1 回の変位によるものが最も大きく、舗装版を数回変位させた後は比較的低い値になると言われている²⁴⁾。事実、本試験舗装においても、仮緊張時の普通コンクリート舗装版における路盤すべり摩擦係数は 0.8 と算出され、設計時に仮定した値と

ほとんど一致したが、本緊張時にはこの値は0.4と算出され、仮緊張時の約1/2に減少していた。

これらのことはPC舗装の設計に際して、プレストレスの均一化を考慮すれば、一層経済的、かつ合理的なPC舗装の得られることを示唆しているものと思われる。

一方、膨張コンクリートを用いた本試験舗装版の場合には、仮緊張時においてすでにスパン方向のプレストレス（セルフストレス+機械的プレストレス）の均一化がなされていたので、普通コンクリート舗装版の場合に認められるような、プレストレスの均一化による版中央部の収縮ひずみの増加は認められなかった。

このことは、膨張コンクリートを用いたPC舗装の場合には、路盤摩擦抵抗力が大きければ大きいほど、路盤摩擦拘束によるセルフストレスが大きくなるため、路盤摩擦抵抗力の大小にかかわらず、機械的プレストレス導入時にかかなりプレストレスの均一化が起り、その後も版中央部コンクリートの膨張によって、普通コンクリート舗装版よりも速くプレストレスの均一化が完了することを示すものと考えられる。

本緊張によって版中央部に導入された機械的プレストレスの増加量は、普通コンクリート舗装版の場合約13.5 kg/cm²、膨張コンクリート舗装版の場合約14.5 kg/cm²と算出されるが、本緊張開始前における版中央部のプレストレスの的確な把握ができなかったため、版中央部の最終プレストレスは不明である。

(5) 有効プレストレス

材令約1年3か月経過した試験舗装版についてコンクリートの強度、およびヤング率試験、プレストレスの解放に伴うコンクリートの伸びひずみ、およびPC鋼より線の収縮ひずみを測定した結果、表一6に示す結果が得られた。これらの結果によれば次のことが認められる。

(i) 膨張コンクリートの強度およびヤング率は普通コンクリートと比較して版端部、版中央部いずれの場合にも同程度であった。

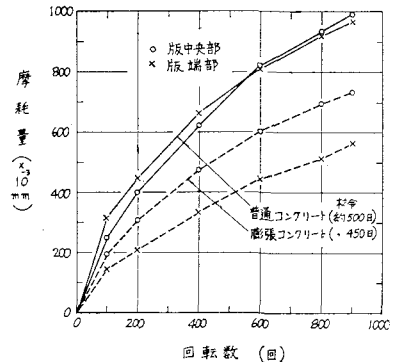
(ii) プレストレスの解放に伴うコンクリートの弾性伸びひずみについては、信頼性に欠ける点もあるが、普

通コンクリート舗装版の場合、版中央部の伸びひずみは版端部の93%であり、膨張コンクリート舗装版の場合は80%であった。これはいずれにしてもプレストレスの均一化が相当に進んでいることを示しているものと思われる。

(iii) PC鋼より線の有効応力については、版端部と版中央部における応力の平均値が、本緊張終了時の平均値とほぼ同じであり、普通コンクリート舗装版も膨張コンクリート舗装版も、本緊張終了後のプレストレスの損失が少なかったことを示しているものと思われる。

(6) 耐摩耗性

図一20はPC試験舗装版より切り出した試験片を、前述の摩耗試験機により耐摩耗性を試験した結果であ



図一20 PC試験舗装版より切り出したコンクリートの摩耗試験結果

る。試験片の切り出し箇所は普通コンクリートおよび膨張セメントコンクリート試験舗装版の版中央部と版端部の計4箇所である。試験結果によれば膨張セメントコンクリートの耐摩耗性は、普通コンクリートより悪くないこと、特に機械的プレストレス量の大きい版端部においてその傾向が著しいことが示されており、基礎実験の成果と一致する結果を得ている。

6. 結 論

近年開発製造が行なわれた膨張セメントを連続鉄筋コ

表一6 PC試験舗装版より切り出したコンクリート、PC鋼より線の試験結果 (材令約1年3か月)

| コンクリート | | 曲げ強度 (kg/cm ²) | 曲げヤング率 (×10 ⁵ kg/cm ²) | 圧縮強度 (kg/cm ²) | 圧縮ヤング率 (×10 ⁵ kg/cm ²) | PC鋼より線の応力 (kg/cm ²) | コンクリートの弾性伸びひずみ (×10 ⁻⁶) | コンクリートの有効応力 (kg/cm ²) |
|--------|-------|----------------------------|---|----------------------------|---|---------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
| 版中央部 | 膨張 | 49.0 | 2.82 | 630 | 3.16 | 9940 | 117* | 37* |
| | 普通 | 45.1 | 2.97 | 595 | 3.12 | 9210 | 167* | 52* |
| | 膨 / 普 | 1.09 | 0.95 | 1.06 | 1.01 | 1.08 | 0.70 | 0.71 |
| 版端部 | 膨張 | 47.9 | 2.86 | 583 | 3.46 | 12190 | 147* | 51* |
| | 普通 | 48.1 | 2.77 | 598 | 3.48 | 9910 | 180* | 63* |
| | 膨 / 普 | 1.00 | 1.03 | 0.97 | 0.99 | 1.23 | 0.82 | 0.81 |

*: 切断時のブレードの摩擦温度の影響があるので測定値、計算値の精度には問題がある。

ンクリート舗装およびプレストレストコンクリート舗装に応用して、これら舗装版の設計施工上残されているいくつかの問題点を解決するための基礎研究および応用研究を実験的に検討した。

実験の範囲内で次のことがいえると思われる。

(1) 膨張材を混入したコンクリートは、養生初期の膨張過程において拘束の程度が大きいかほどそのコンクリートの膨張量は小さい。しかしながらコンクリート内部に生じるセルフストレスは逆に大きくなり、強度やヤング率の低下は小さくなる。

舗装版のように比較的湿潤に近い養生を受ける場合には、乾燥やクリープによるコンクリートの収縮が少ないため、上記の関係は長期にわたって持続し、セルフストレスが消滅したり、著しい強度低下がおきたりすることはない。

(2) CRC 舗装版および P C 舗装版に膨張材を使用することによる効果は、総じてコンクリート強度の弱い早期材令における舗装版の収縮が防止され、ひびわれ発生に対して安全であること、早期材令において舗装版の膨張が路盤摩擦や鉄筋などによって拘束されてセルフストレスが生じ、これによって舗装版の耐力が高まること、長期材令においても早期材令において生じたセルフストレスがある程度持続するため、舗装版の耐力が高まることなどである。

(3) 版長 140 m 程度以上の CRC 舗装においては、膨張材の混入による舗装版の膨張を路盤摩擦で拘束することによって、早期材令の場合版中央部に 20 kg/cm^2 程度、長期材令の場合 10 kg/cm^2 程度のセルフストレスを導入することが可能である。また舗装版の膨張が鉄筋で拘束されて生じるセルフストレスは拘束鉄筋比が 0.64 % 程度の場合版長方向の全域にわたって $3 \sim 4 \text{ kg/cm}^2$ 程度であった。

(4) 鉄筋比が 0.64 % 程度であっても、膨張材を混入することによって、版長 140 m 程度のひびわれなしの CRC 舗装を造ることができる。したがって、この種の舗装においては幅の狭いひびわれが有害なひびわれに発達する危険性がなくなる。

(5) P C 舗装において膨張材を適切に混入すれば、路盤摩擦拘束によって緊張前の早期材令に版中央部に 20 kg/cm^2 程度のセルフストレスを導入することが可能である。このセルフストレスの存在は従来行なわれていた仮緊張を不要とする。

また、路盤摩擦拘束によるセルフストレスが低減しないうちに機械的プレストレスを導入すれば、従来問題とされていた路盤摩擦によるプレストレス損失をセルフストレスで補償することが可能である。これらは従来の版長の制約やプレストレス導入力もしくは P C 鋼材使用量

を緩和しうることを意味している。

(6) 普通コンクリートを用いた P C 舗装においても、プレストレスの均一化がかなり早い時期に生じることが認められた。今後この傾向が十分検討され設計に組入れることが可能となれば、普通コンクリートを用いた P C 舗装においても版長の制約やプレストレス導入力もしくは P C 鋼材使用量の緩和が期待できる。

(7) 膨張材を混入したコンクリートの耐摩耗性は、膨張材の混入量が内割りでセメント重量の 15% 程度以下であれば、膨張材無混入のコンクリートに比べ勝るとも劣らない。

最後に本研究の試験舗装の実施において、その施工ならびに観測に多大のご協力を載いた電気化学工業(株)、ピーエスコンクリート(株)の諸氏に厚くお礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 竹下春見・岩間 滋：道路舗装の設計，オーム社，1960. 1.
- 2) 岩間 滋・福田 正：コンクリート舗装の構造設計，理工図書，1962.10.
- 3) Lafuma, H.: Expansive cements, Proceedings of the Third International Symposium on the Chemistry of Cement (London, 1952) Cement and Concrete Association, London, pp. 581~597, 1954.
- 4) Klein, A. and G.E. Troxell: Studies of calcium sulfoaluminate admixtures for expansive cements, Proceedings, ASTM, Vol. 58, pp. 986~1008, 1958.
- 5) 電気化学工業(株)：無収縮セメント，特許出願公告，昭和42年-21840，1967.10.26.
- 6) Klein, A., T. Karby and M. Polivka: Properties of an expansive cement for chemical prestressing, Journal of the ACI, Vol. 58, No. 1, pp. 59~82, July, 1961.
- 7) Li, S.: Expansive cement concretes-a review, Journal of the ACI, Vol. 62, No. 6, pp. 689~706, June, 1965.
- 8) ACI Committee 223: Expansive cement concrete-present state of knowledge, Journal of the ACI, Vol. 67, No. 8, pp. 583~610, August, 1970.
- 9) 大成建設(株)技術研究所 CSA 研究グループ・電気化学工業(株) CSA 研究グループ：カルシウム・サルホ・アルミネートを混和した膨張セメントの研究，セメント・コンクリート，No. 215, 216, 1965-1, 2.
- 10) 益子真之・遠藤 靖・三宅信雄：膨張混和材を用いた連続コンクリート舗装版の設計・施工，コンクリートジャーナル，Vol. 6, No. 8, 1968.
- 11) 電気化学工業(株)：膨張性混和材を用いたコンクリート舗装について，社内資料，1967.7.
- 12) 西 忠雄：膨張セメント，セメント・コンクリート，No. 253, 1968.3.
- 13) 山根 昭：膨張剤および収縮低減材（鉄粉を含む），コンクリートジャーナル，Vol. 8, No. 3, 1970.
- 14) 原田 有・近藤連一・仕入豊和：低収縮セメントを用いたコンクリートの実験的研究，セメント技術年報，XIX, 1965.
- 15) 一家惟俊・関宮博史：無水石こうを主体としたコンクリートの収縮ひびわれ防止材，建築技術，No. 184, 1966. 11.

- 16) 西 忠雄・勝木政善：膨張性素材の混和材料としての性状，建築学会，昭和 40，42 年度大会学術講演要旨集，1965.10，1967.10.
- 17) 長滝重義・米山紘一：乾燥収縮防止材料の使用に関する基礎研究（第 1 報），東京工業大学土木工学科研究報告，No. 4，1968.1.
- 18) 長滝重義・米山紘一・飯田一彦：化学的プレストレスの導入に関する基礎研究，セメント技術年報，XXII，1968.
- 19) 長滝重義・米山紘一・後藤祐司・八巻光晴：拘束を受けた膨張セメントコンクリートの基礎的性状，セメント技術年報，XXIV，1970.
- 20) Bertero, V.V. and M. Polivka : Effect of degree of restraint on mechanical behavior of expansive concrete, Proceedings, ASTM, Vol. 64, pp. 797~815, 1964.
- 21) Klein, A. and V.V. Bertero : Effects of curing temperature and creep characteristics of expansive concretes, Proceedings, ASTM, Vol. 63, pp. 1008~1025, 1963.
- 22) Bertero, V.V. : Curing effects on expansion and mechanical behavior of expansive cement concrete, Journal of the ACI, Vol. 64, No. 2, pp. 84~96, February, 1967.
- 23) 月成 稔・飯島 尚：連続鉄筋コンクリート舗装の観測結果，土木技術資料，Vol. 9, No. 2, 1967.2.
- 24) 山家 馨・赤塚雄三・川口昌宏：プレストレスコンクリート舗装の設計法に関する調査研究，港湾技術資料，No. 51, 1968.6.

(1972.5.24・受付)