



## 米國道路局で行つたコンクリート

### 舗装試験方法 (二)

久野重一郎

#### 7 撓みの計測

この研究で、撓みの計測には、クリノメータを使った。これは、道路局で特にこの研究のために設計したものであつた原理は、American society of Civil Engineers で、道路橋の試験に用ひたものと同一であつた (Public Roads, Dec., 1928)。

器械は、丈夫な鋼製のフレームが水平にあつて、その上面へ、極めて敏感なアルコール水準器 (spirit level) を取付けた。フレームの兩端には、1本づつの足が垂直についてゐる。足の片方は、固定の長さであるが、他方は、細かいネジで高さを調整されるやうになつてゐる。このネジによる足の長さの調節は、フレーム前面へ取付けられたダイヤル・ゲージによ

つて、讀取られる仕組みで、ダイヤル・ゲージは 0.025 mm 程度まで目盛られてゐる。クリノメータの2本の足を、夫々測點上へおいたとき、器械の位置が狂つてはいけないので、ワレームの中央から直角に、第3の足を突出し、先端を下へ曲げて、その高さを調整し得るやうに作つた。

撓みを測らうとする線上へ、25 cm の間隔で、鋪裝面へ孔をあけ、それへ眞鍮製の小さい圓筒を入れて、セメント・ペーストで固定した。圓筒の上面には、鉛直にあけた小孔と、狭い水平の溝とを作つた。溝の方向は、クリノメータを装置したとき、ワレームの長軸と溝とが平行になるやうに置いた。クリノメータの2本の足は、先端を尖らしてあつて、片方の足は、測點にある圓筒の小孔内へ入れ、他の足は、隣りの圓筒の溝の中へおいた。器械或はコンクリートが、伸縮するやうなことがあつても、溝上にある方の足が、極く僅か變位するだけであつて、この移動は、撓みの計測へ、少しも誤差を與へないのである。

クリノメータの足を測點上へ正しくおいた後、ネズをまはして、器械を正しく水平にした。水平になつたら、ダイヤルゲージの讀みをとる。次に、クリノメータを 25 cm 移動し、次の測點で同様のことをした。版が、荷重のため、或は反りのために撓みを生ずるならば、クリノメータの2本の足の相對的高さが變る筈であつて、この變化は、クリノメータを水平にするに要するネズの廻轉數の差として現はれることになり、従つて、撓みあるなしによつて、ダイヤル・ゲージの目盛の差を見ることになるのである。この作業は、測點列に沿ふての精密水準測量に外ならぬのである。

ダイヤル・ゲージは、最小目盛の 1/10 まで讀んだ。鋪裝とは獨立して路肩へ、いくつかのベンチマークを作り、それを以て、鋪裝表面の高さを測る基準とした。

## 8 温度の測定

荷重試験の殆どすべてに於て、版の反りの影響を最小にすることが、必要であつた。版の上へ、乾いた麥葉を 10 cm 内外も被せておき、更に日光が直射しないやうに日よけを設けることによつて、鋪裝版の上面と下面との温度差が、省略し得る程度になり、版の反りは、大變小さくなつて、應力に及ぼす反りの影響は、考へるに及ばぬことが分つた。それで、日よけと麥葉の作業は、全觀測を通じて行つた。

試験版の内部とその周圍に於ける温度及び湿度の影響については、鋪裝を作つた直後から、數年間、觀測をつづけて來てゐる。これは、次の 4 部からなる。

- (a) 温度觀測。
- (b) 湿度決定。
- (c) 温度湿度の變化による版の大きさ及び形状の變化を測ること。
- (d) これに伴ふ版の生ずる歪を測ること。

試験版を製作するとき、その中へ抵抗コイル巻線計を多數埋め込んだ。當初、十分だと考へた位置へ入れたわけであるが、この最初のものは、入れる範圍が不十分であることに、その後、氣がついた。また、數個の抵抗コイルは、どうしたわけか、うまく作用しなかつた。尚、作用するコイルもその働き具合を見ると、そこにタイム・ラグ (time lag) のあることが分つた。これは、今の目的に大變不都合なことであつた。

コンクリート中の温度を測るためには、他の方法を採用せねばならぬことに立至つたわけである。やむを得ず、計畫を

改めた。コンクリートの小さい版を2個別に作ることにしたのである。勿論、他の試験版と、同一の材料、同一の配合を使つた。この中へ、銅コンスタンタン・サーモカッツプルを、多数埋め込んで、温度を測らうとしたのである。この新しい版は、大きさが何れも1.2 m 平方であつて、厚さが、一方は、15 cm、他は23 cmであつた。サーモカッツプルは、すべて版の面積の中央へ入れた。コンクリートを打たない前に、まづ、路盤内へも、サーモカッツプルを埋め込んだ。その深さは路盤面から、50 mm の位置と、3 mm の位置を選んだ。次にコンクリートを打つときには、下から25 mmの間隔をおいて、サーモカッツプルを一つづつ埋め込んだ。版下面及び版上面へも入れたのである。2個の版とも、同様の方法で挿入した。これだけ多くのサーモカッツプルを用ひたから、版の上面と下面の温度差を知るだけでなく、版内部に於ける温度勾配を明かにすることができたわけである。

サーモカッツプルは、更に、前からある等厚の版4個について、版の上面と下面へ装備した。

版の膨脹収縮測定に關係して、鋪裝版平均温度を推定しなくてはならぬ。これは、小版に於けるサーモカッツプル觀測の資料をもとにして出した。即ち、15 cm 厚さの試験版に於ける平均温度は、15 cm 厚さの小版中へ埋めたサーモカッツプル觀測の算術平均をとつた。23 cm 厚さの試験版の平均温度は、23 cm 小版の算術平均をとつた。15~23 cmの中間の厚さをもつ試験版の平均温度は、15 cm 小版と、23 cm 小版の値をもとにし、その中間は直線的變化をするものと假定した上で、補間法によつた。

#### 9 版の長さの變化の測定

版の寸法が、毎日どう變るか、1年にどう變るか、それを測つた。この測定は、温度及び濕度の1日の變化や1年の變

化によつて生ずる版寸法の變化の大きさを明かにするものであるし、尙また、目地の作り方によつて違ふであらうところの伸縮への抵抗を決定する方法にもなるわけである。

鋪裝版の長さの絶對的變化量を決定するには、鋪裝版端が、他の固定點に對して、どれだけ動くかを、マイクロメータで測つた。目地の設計から来る抵抗の度合を決めるには、目地に接する點の移動と、同じ版の自由縁に於ける移動とを比較した。

固定點は、地表下 1 m 以上深い所へ、重い基礎ブロックをおき、それへコンクリートの柱を立てて作つた。柱自體は、土壓による横の力を完全に防ぐやうに保護した。

マイクロメータは、特別なものを製作した。長さ 18 cm。検定した線膨脹係數は  $0.8 \times 10^{-6} / ^\circ$ 。この値から見ると、氣溫の變化範圍に對する長さの變化は微小であつて、本實驗の目的には、マイクロメータが 1 年を通して同じ長さだと考へて差支へない。

版表面へ鋼製の小柱を膠着させ、その上端へ、錆ない鋼で作つた圓錐形の測點を、水平にとりつけた。目地（又は版の縁）の片方へ 1 個づつを設け、相對する 2 測點の間隔は、約 18 cm であつた。この二つの測點標の尖頭間の距離を、マイクロメータで測つたわけである。

版に起る長さの變化については更に 3 個の電氣テレメータを使つて測つた。テレメータは、コンクリートを打つとき、3 個の版の夫々へ、一つづつ、版の厚さの中央で、版縱軸の線上へ挿入したのである。テレメータは、最初の期待ほどには動かなかつたけれども、溫度と濕度の兩方によつて起る伸については貴重な資料を提供した。（電氣テレメータについ

ては、Technologic Paper No. 247, U. S. Bureau of Standards)

## 10 反りに伴ふ版の作用

温度による反りの大きさにつき、3年間に亘り、多數の機會に觀測を行つた。1個の3×6m版の全面につき、反り面の形状を調べた。目地設計の違いによる自由反りへの抵抗の度合も、數個の點で研究をした。

反りの研究に必要な温度資料は、サーモカプセル装置から得たものを使った。反り面の形状は、數個の線上を、クリノメータで測つて、決定した。クリノメータによる反りの測定にあつたつては、路肩へ設けたベンチマークを固定點と考へた。3×6m版の全周に沿ふて讀みをとるには、相當の時間を要したため、その間に、版の形状が違つて来て、1周して初めの點へ返ると、そこに閉合誤差を生じた場合が、屢々あつた。このやうに長時間を要する測定には反りを生ずる條件が、あまり急激には變化しないやうな日時を選ばねばならぬことであつた。

鋪裝版の反りに伴ふコンクリート中の歪について、特別の注意を拂つた。また、鋪裝版に反りのあるときとないときの兩方につき、一定荷重により、一定の版中へ引起される相對的歪についても考慮した。數個の試験に對しては、わざと反りを生じさせるため、麥藁の被覆をとり、鋪裝を日光の直射下においた。

反りの試験は、その性質上、反りの完全な1サイクルの間、連續的に、温度と歪を廣範圍に亘り、觀測しなければならなかつた。それで、歪ゲージは半圓筒のカバーをかけて、直射日光を避けた。このカバーは、ゲージ附近の通風を妨げず、然かも熱を吸収せぬやうに作つた。このカバーの目的は、ゲージの温度を、鋪裝コンクリートの温度と同一に保たせることにあつたのである。

## 11 路盤に對する版壓力を測定することの困難

土壓セル9個を1團として、15 cm 及び 23 cm の等厚版の下へ挿入した。セルは、膜面を下方へ向け、路盤へ注意深く挿つた凹みへ入れた。凹みは、十分深くして、セルの背面が、路盤の表面と一様になるようにした。それから版のコンクリートをこのセルの上方へ打つたわけである。セルをコンクリート中へ旋着する装置は、行はなかつた。かうして、荷重が路盤へどう分布するかを資料を得ようとしたわけであつた。不幸にして、この目的の資料は、得られなかつたのである。それは、兩版とも、荷重試験を行ふに至らないうちに、セルが壓力を記録しなくなつて了つたからであつた。

版を作つて暫くの間は、セルが働いて居つた。この期間に得た記録から見ると、目中、版の反りにつれて、正常の變動があつた。數週間のうちに、セルは、壓力を記録しなくなつた。それは、版の下面と、セル背面とが離隔したためである。なぜ離れたかの理由は、セルの沈下によるか、或は路盤が膨れて、セル以外の部分が版を強く持ち上げたのであるからそれがよくわからなかつた。初め、セルは、コンクリート中へ少しも埋め込まなかつた。それは、版の曲げ強さを十分に保持させようと考へたからである。セルの背面へ旋着装置を附し、それが、版の強さを減らすことなしに、セルを版へ結びつけるようにしておけば、恐らくは、もつとよい結果になつたかも知れないと思はれるのである。但し、これとて、確實にさうだといへない。

## 12 補助試験

路盤上に横たはるコンクリート鋼裝版の構造學的的作用を理論的に考へる場合には、コンクリート及路盤に關する假定が必要である。もし版作用を實驗的に扱ふ場合には、コンクリート及び路盤の物理的性質に關する知識を要する。勿論、こ

ここで、実験から得られる確實な資料があれば、それは、どんな假定よりも優れたものである。かうした見解から補助試験を行った。その計畫を分類すれば次のやうである。

(a) コンクリート：—

1. 壓縮強さ、曲げ強さ。
2. 壓縮に於ける應力歪關係、曲げに於ける應力歪關係。
3. 含濕量が強さと弾性々質へ及ぼす影響。
4. 熱に對する性質。

(b) 路 盤：—

1. 版の水平移動に對する路盤の抵抗。
2. 撓みに對する路盤の抵抗、路盤反力を計算する試み。

補助試験として、上に一括したものの、大部分は、實は、版の研究とは獨立に、實驗室内で行はれたものである。

### 13 コンクリートの應力歪關係

壓縮及び曲げに對するコンクリートの極限強さを決定する試験を行った。これは、安全使用應力の限界を定めた目的からであつた。試験は、普通行はれてゐる方法を、十分丁寧にやつただけのこと、その結果は、すでに記した通りであつた。

壓縮及び曲げに伴ふコンクリートの應力歪關係は、大切な事柄であつた。それといふのは、版試験の解析へ、直接、こ



れを應用する必要があつたからである。十分に信頼することのできるやうな資料を得るために、試験の範圍及び精密さにつき、能ふ限りの努力をした。壓縮に對する應力歪關係は、切り取つたコアにつき、マルチンス鏡裝置で測つた。コアは小版からとつた。そして乾燥状態のものと同潤状態のものについて試験した。

曲げに對する應力歪關係は、鋸で切取つた梁について試験した。計器は、特にこの目的のために設計したものを使つたそれは、2個のフレームがあつて、これを、スパン中點の兩側へ、相當隔つた位置に於て、試験梁のまはりへ取付けた。このフレーム2個の間へ、歪ゲージを裝備した。梁の兩側面に於て、頂上附近と、底面近くへ、つけたわけである。各フレームは、梁の兩側面に於て夫々2點で梁と接觸してゐる。この接觸は、フレームの内側へ、釘状突起がとりつけてあるわけで、その反對側（フレームの外側）に於て、歪ゲージがフレームへ接觸させてあるのである。梁が曲ると、二つのフレーム間にある歪ゲージに、その部分の長さの變化が現はれるといふ仕組である。これは、梁の兩側で測られ、且つ張力部と壓力部として計測されるのである。荷重は、スパンの3等分點へ與へた。スパン中點の撓みは、梁の上面と下面とへ備へたダイヤル・ゲージで測つた。

曲げ試験體も、乾燥状態のものと、濕潤状態のものを使つた。版の含濕量の決定は、直接的な方法によつた。それは、試験用小版から碎いたコンクリート片を秤量乾燥するといふ方法なのであつた。

#### 14 膨脹係數

コンクリートの線膨脹係數を測るため、次のやうなことをした。まづ、薄い鋼版で、直徑 30 cm 長さ 60 cm の籠を作つた。底及び頂上は、水密性にしてあつて、頂面の孔から、鋪裝版と同様の練りたてのコンクリートを投入し、コンクリ

ートが、上部に 1 cm 位の空隙を残すに至つたときハンダで上の孔を封じて了つた。これより先き、罐の縦軸の中央部へ、電氣テレメーターを挿入しておいた。

コンクリート中に最初存在した濕氣は、そのまま銅罐中に封入せられてあるわけである。コンクリートが硬化し、硬化熱が消散し去つた後に、封入したままの試験體を電氣的に絶縁した水浴中へおいた。この水槽内の温度は、正常氣温の範圍に於て、種々の温度階に保てるやうに設備した。

温度の變化に伴ふ長さの變化を、埋込んだテレメーターで測つた。これは、簡單である上に、満足し得る方法のやうであつた。コンクリートの量は、試験の目的に對し、十分に大きいものと思はれた。水密性の容器へ封入したため、普通に遭遇するところの温度變化による影響を、避けることができた。

### 15 版移動に對する路盤の抵抗

まづ、版の水平運動に對する路盤抵抗を測つた。1.2m 平方で、厚さ 15 cm の小版 4 個を作つた。これは、他の大きい試験版と同様の路盤上へおいた。この小版へ、極めて緩慢な水平運動を與へたわけである。それは前後の方向に動かすわけで移動の全量は、大版に起るべき 1 年間の伸縮量に、大體等しい値をとつた。水平運動を起すに要する推力、及びその推力による水平變位量は、版の移動が現はれ始めてから、豫定の全移動に達するまでの間、計測をした。

試験小版の前後端へは、固定物をおいた。一方の固定物と小版の間へは、

(1) 推力を與へるジャッキ。

(2) 推力の方向を調整するボールベアリング・プロック。

(3) 推力測定用のフレーム、ダイヤルゲージ附

の3装置をおいた。他の固定物と小版との間へは、水平移動量を計測するダイヤル・ゲージをおいた。ジャッキで推力を興へ、2個のダイヤル・ゲージの中の一方向で推力の大きさを見、他方で水平移動の量を讀むといふ仕組みである。

次に撓みに對する路盤抵抗を測つた。これは、圓形のベアリング・プレートに路盤上へおき、これについて荷重撓み試験を行つたのである。プレートの直徑は、

5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60, 90, 140, 210 cm

といふ11種を用ひた。最後の二つは、路盤上へ、コンクリートの圓版を作つた。他の9種は鋼版であつて、その下面へは約12mm厚さのモルタル層をおいた。このモルタル層と路盤との間へは、耐水紙を入れておいて、路盤の水分に變化を生ずることを防いだ。

荷重の興へ方は、鋪裝版の荷重試験と同様な方法で行つた。尤も、極く小さいベアリング・プレートの場合には、死荷重を用ひた。鉛直方向の變位は、クリノメータを用ひて、固定點との高さの差を測つた。測點は、大部分の試験では、ベアリング・プレートの圓周上、120°づつ離れた3點をとつた。鋪裝版に於ける撓みと大體同量の撓みか、起る程度の荷重を興へた。撓みの量は、例へば、次の程度であつた。

- |            |         |
|------------|---------|
| (a) 鋪裝版の隅角 | 1.2 mm  |
| (b) 版の縁    | 0.5 mm  |
| (c) 版の中央部  | 0.25 mm |

これは、版がオーバー・ストレッツスにならぬ程度の或る荷重に對する値であつた。實際の試験には、鉛直變位として、大體次の量を考へた。

0.125, 0.25, 0.50, 0.90, 1.25 mm

この撓み量の夫々に對し、數種の荷重を與へて見て、或る荷重を幾度與へても同一量の撓みを生ずるやうになるときを見出した。各荷重は載荷後5分間經過して讀みをとリ、直に荷重を除き、5分間放置してから、次階の試験に移つた。この試験を小版で行ふに當り、その路盤は、載荷した大きい鋪裝版の下にあると同様の條件に保つことが望しいと思はれた。このため、載荷方法や撓みの量などは、大阪試験になるべく正しく對應するやうに考へた。路盤中の含濕量は、試験を始める前と終つた後の2回に調べた。尙、日光の直射を避け、降雨をうけないやうに、方策を講じた。

附記。本文は、Public Roads, Vol. 16, No. 8によつた。尙、この研究結果によると、過去15年間行はれて來たところのコンクリート鋪裝設計法に、重要な變革を必要とすることが、明かになつた。