

温床線によるグラウトの養生について

宮 口 尹 秀*

1. まえがき

PC桁の製作が冬期にわたる場合、グラウトの養生をいかにしてやるかということは現場担当者が常に頭を悩ます問題である。たいてい桁全体をなんらかの方法で暖めて施工しているが、学会の指針どおり注入路の温度を一定期間5°C以上に保つことはなかなか困難で、凍結させない程度に養生するのがやっとというのが実状のようである。そしてもっと寒冷なところでは、冬期間のグラウト施工をあきらめている場合が多いのではないかとと思われる。

東北本線の複線化工事にともない黒磯—高久間に Dywidag 式 PC 工法による那珂川橋梁が作られた。この橋梁の製作も一部冬期間にわたり、連続桁の中央径間（支間 46 m, 箱型断面）は寒中グラウトを施工することになった。桁が大きいため桁全体を均等に暖めることはむずかしく、またやるにしても不経済なので、温床線を桁中に埋め込んでグラウト注入路だけを局部的に暖めることを試みた。

この報告は電熱養生にともなっておこなった温度測定結果をまとめ、電熱養生の設計、養生温度の管理、温床線の配置のしかたなどについて検討したものである。

2. 電熱養生の設計

橋梁架設地付近の過去3年間について、今回の施工予定期間に相等する期間の気温データによると、日平均気温は-1°C程度になると予想された。桁温はこれより若干下るといわれているが、温度をあまり上げ過ぎると温度応力が大きくなるので、外気温より10°C注入路の温度を上げることを設計目標とした。

温床線の本数の算定にはつぎの式(1)を使用した。

$$n = \frac{a \cdot l \cdot (T_0 - T)}{k} \dots\dots\dots(1)$$

上式において

- a : コンクリートの大気曝露表面積 (m²)
- l : 温度差 1°C あたりコンクリート面 1 m² より流出する熱量 (grcal/m²/h/°C)
- T : 外気温
- T₀ : 上昇せしむべき予定の温度
- k : 1 本の温床線が 1 時間に発生する熱量 (grcal/h)

* 国鉄盛岡工事局 技師

n : 所要温床線の組数

式(1)を使用するにあたって注意すべきことは、暖められる物質は内部も表面も均等に T₀ であると仮定している点で、実際には温床線の配置状態により、おのおの異なった温度分布となり、均等に暖められるということはありません。

比較のために、図-1 に示すごとく単位長のシリンダーの中央に熱源がある場合について考えると、つぎの式(2)が成り立つ。

$$Q = -2\pi K \frac{dt}{dr} \dots\dots\dots(2)$$

ここに Q : 熱源の発熱量 (cal/sec)
K : 熱伝導係数 (cal/cm/°C/sec)

式(2)を解くと

$$t = \frac{Q}{2\pi K} \log \frac{R}{r} + T \dots\dots\dots(3)$$

式(3)よりこの場合の温度分布は中心 (r=0) で無限大、表面 (r=R) では外気温 T に等しくなり、この間是对数関数的に変化することがわかる。内部の平均温度は式(3)を積分して計算すると式(4)のようになり、これより式(5)をうる。

$$\bar{t} = \left(\frac{Q}{4\pi K} + T \right) \dots\dots\dots(4)$$

$$\therefore Q = (\bar{t} - T) 4\pi K \dots\dots\dots(5)$$

式(5)よりシリンダーの中心に熱源のある場合平均温度を外気温より (t̄-T) だけ上げるに必要な発熱量 Q

図-1

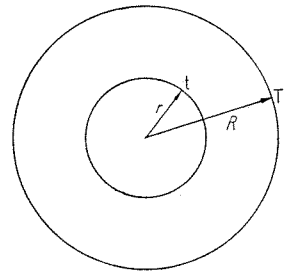
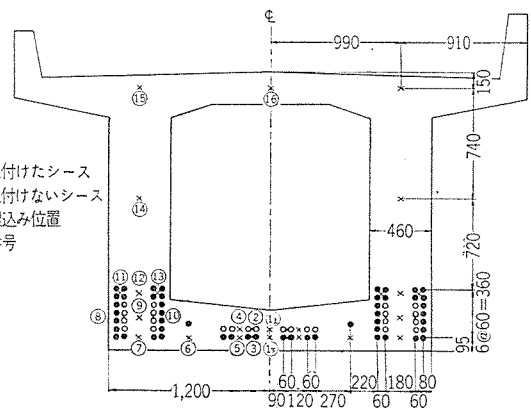


図-2

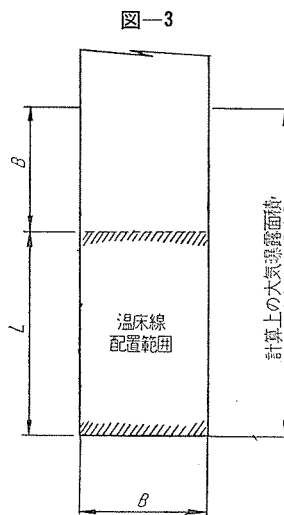


(すなわち温床線の数)はシリンダーの大きさに関係なく、熱伝導係数 K のみに関係することになる。

設計は図-2に示すような鋼棒配置断面について行なった。この断面は桁中央より約4mの位置であり、ちょうどウェブの鋼棒の曲げ上げ開始点にあたる。したがってウェブの鋼棒にとっては、この断面から桁の中央までは下縁のかぶりが一番小さく、養生条件としては最も悪いということになる。

図-2よりウェブの下部と底スラブ中央に鋼棒が集中しているの、この2つのグループにわけて所要本数を計算した。長さ20mで250Wの温床線の発熱量は215000 cal/hなので、これを使用すれば桁長1mにつき式(1)の $k=10750$ cal/hとなる。設計目標より $T_0 - T=10^{\circ}\text{C}$ であり、また $l=20000$ cal/m²/h/°Cが使われている。コンクリートの大気曝露表面積 a の算出にあたって、コンクリート中を伝導していく分については、図

図-3のように温床線を配置した部分 L より伝導幅 B だけ延長された部分より放熱されるものと仮定した。この結果、底スラブ、ウェブとも $a \approx 2\text{m}^2$ となったので、式(1)より $n=37$ 本と算出された。比較のため式(5)より必要本数を計算すると、 $K=2.5 \times 10^{-3}$ cal/cm²/°C/secとして $n=10$ 本となった。

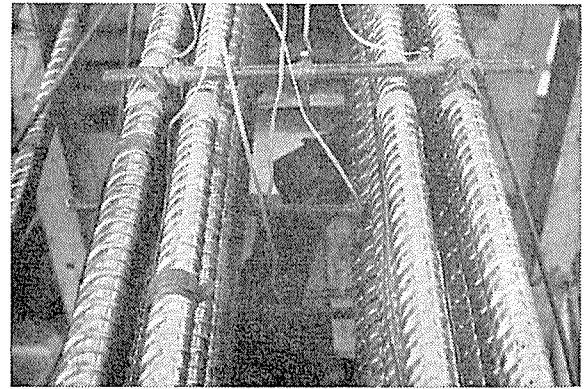


式(1)より算出した数は鋼棒の配置している範囲全体を均等に暖めるために必要なもので、実際には温床線は鋼棒に接近して入れられるので、図-2に示すようにウェブに20本ずつ、底スラブに10本の計50本の温床線を配置した。計算値では両者同じであるのに、このような配置としたのは、ウェブ部分には鋼棒が多いうえ、桁の表面近くに位置しているためである。ウェブ部分の温床線の配置は鋼棒全体を囲むように考慮した。また桁の端部になるにしたがって鋼棒が分散されるので、これらの位置でもできるだけすべての鋼棒がうまく養生されるように考えた。温床線は鋼棒のシースに沿わせて80cmピッチにビニールテープで固定して取付けた(写真-1)。

3. 温度測定計画と方法

以上のような設計で電熱養生をおこなうことになったが、実際にどの程度の温度になるかを調べ、設計よりいちじるしく上り過ぎる場合は適当に調節しなければなら

写真-1 温床線と熱電対の取付け状態



ない。また初めての試みなので、温床線の配置位置と断面内の温度分布の関係、温度上昇の状況、計算値と実測値との差などを検討するため、温度を測定することにした。

測定には銅コンスタンタン熱電対(φ0.65)を使用した。配置位置は図-2のとおりで設計断面の上流側と下流側に対称に合計31本を埋め込んだ。熱電対の取付けには組立用鉄筋を使用し、コンクリートの打設によって移動しないよう固定した(写真-1)。

測定は通電開始と同時にはじめ平衡状態になるまで続けることにした。また外気温としては桁外部とボックス断面内部の両方を測定することにした。

4. 測定結果

通電開始後の経過時間を横軸に、測定温度を縦軸に取り測定結果を示すと図-4(a),(b),(c)のごとくなる。測定値は上流側と下流側の平均値だが両者の差は大体1°C前後であった。通電は平衡状態に達してからも続行し、結局3昼夜71時間30分連続して行なった。最後の2測点はそれぞれ通電停止後1時間と7時間での測定結果である。測定中の外気温の平均は4.5°C、ボックス内温の平均は7.4°Cで、温床線による養生熱の発散でボックス内温は外気温より幾分上昇している。

図-4(a)は底スラブに配置したものを示す。温度は最初の8時間に急激に上昇し、それ以後はゆるやかに、大体34時間後に平衡状態に達している。平均状態での温度は平均13°Cで外気温との差は9°Cである。またこの辺でボックス内温と外気温との差も大体4°Cぐらいで一定になっている。

図-4(b)はウェブに配置したものを示す。底スラブのものと同じような上昇傾向を示しているが、底スラブのものより高温になっているため上昇勾配は大きい。34時間後に大体平衡状態に達しているが、まだ全般的に少し上昇傾向がうかがえる。平衡状態での平均温度は18°Cで外気温より14°C高い。通電停止後は最初の上

図-4 (a)

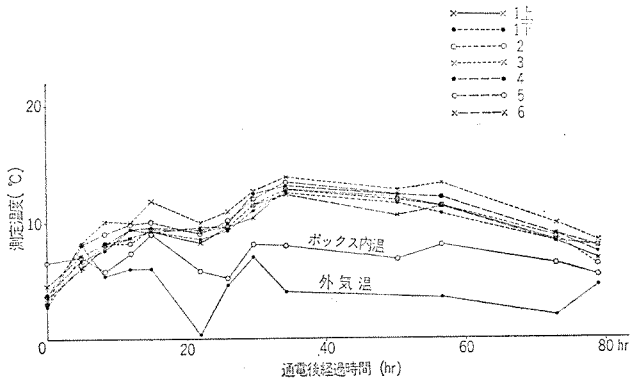


図-4 (b)

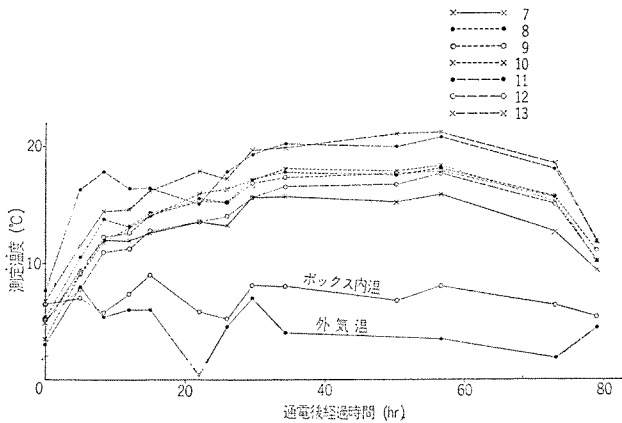
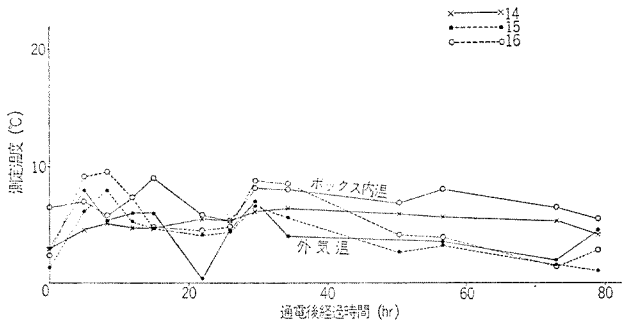


図-4 (c)



昇勾配と同様に急な下降勾配で温度が低下している。

図-4 (c) はウェブの中央と上スラブの温度測定結果を示す。図-4 (c) より上スラブの温度は外気温と同様の変化を示し、温床線の影響は直接に受けていないことがわかる。ただスラブ中央のものが少し高くなっているのはボックス内温による影響と考えられる。ウェブ中央に入れたものは温床線の影響を少し受けているためであろうか、上スラブのものよりやや高目となっている。

底スラブのものをさらにくわしく見ると、平衡状態に達した後は No. 3, 5, 4, 1上, 2, 1下 の順になっているが、最高と最低でも 2°C 程度しか差がなく、上段で

も下段でもシースの付近では大体同じように暖められている。

ウェブに入れたものでは、やはり温床線で囲まれている No. 11 と No. 13 が高く、外気温との差は 16°C にも達している。ついで No. 8, 9, 10 が高い。温床線群の中心にある No. 9 が周辺に配置した No. 8, 10 と大体等しいことは温床線群の内部は大体均等な温度に暖められていることを意味する。外気温との差は 14°C でウェブ部分の平均に等しい。No. 12 が No. 7 より高いのは、上方のかぶりの厚いこと、No. 12 の方がいくぶん温床線群の内部に入っていること、温床線がこの部分に一本多く入っていることから当然であろう。温床線群の一番下端に位置し、かぶりも薄い No. 7 でも外気温より 12°C 高く、底スラブのものより高温となっていることは、温床線群の影響がおよんでいることを示すものである。

5. 考察と結論

底スラブの熱電対は温床線一本ごとの影響を調べるために配置したものである。この結果は上述のごとく各測定値間にあまり差がなかった。1本の温床線を中心とした温度分布はシリンダーでなくても式(3)に似たかたちで中心から外縁に変化してゆくと考えられる。したがって温床線のかぶりが小さければ、中心のごく近くと離れた点とを比較しないかぎり $\log R/r$ の値に大差がないので温度差も少なくなる。底スラブに入れたものは、最小かぶり 95 mm に対し測定位置が中心より 30 mm, 60 mm, 90 mm 等で $\log R/r$ の値に大差がなかったので、上述のように測定位置によってあまり大差が出なかったのだと考えられる。

ウェブのものは温床線群の影響を調べるために配置したものである。この結果 30 cm 離れて2列にならんだ温床線群の中心部では均等に暖められていることがわかった。また両端部でも中心部より多少温度は低いが、グループによる効果は確認された。温床線列の間隔と長さとの関係によってその効果は変わってくると考えられるが、広い範囲を均等に暖めるのにこの方法は適しているように思われる。4本の温床線に囲まれた内部はもっと高温になると予想していたが、かぶりが小さいためそれほど上らなかった。

温床線群の影響により桁断面全体の温度分布がどのようになるかウェブの中央と上スラブで温度を測定した。この結果はウェブ中央で若干影響が認められるだけで、上スラブでは全然関係なく、大部分が温床線群のすぐ近くで大気中に放熱されていることがわかった。すなわち桁のように細長い物体の一部分を暖めると他の部分に伝

導される前に大部分の熱量が大気中に逃げ、局所的な温度上昇となる。

外気温より平均温度を 10°C 上昇することを目標に式 (1) で計算した本数は、底スラブ、ウェブとも 37 本であり、一方式 (5) より計算したものは 10 本であった。これに対し実際に使用した本数は底スラブに 10 本、ウェブに 20 本である。この結果、底スラブでは平衡状態に達した後の外気温との差は 9°C であり、ウェブ部分では 14°C であった。

底スラブの方は暖める物体の中心近くのみ発熱体を配置した場合で式 (5) による計算の仮定に近い。測定は比較的中心部のみでおこなっているため、断面全体の平均温度よりはかなり高い値であると思われるが、計算値の 10°C に対し実際が 9°C とうまく一致している。

ウェブの方は温床線群内部の温度は大体均等なので、式 (1) の計算仮定と合致している。それにもかかわらず計算による必要本数の約半分を使用し、設計の 10°C に対し実際は 14°C とかなり上まわった。この原因としてはコンクリート表面近くでは内部よりずっと温度が低いこと、計算のときコンクリート中を伝導して逃げる分については図-3 のように大気曝露表面積に置きかえて考えているが、この仮定が測定結果からもわかるように少し過大であったことによると思われる。

以上の考察より電熱養生の設計にあたっては、つぎのような方針でおこなうのが妥当であると思う。

(a) 断面の中心部にあるものを暖める場合は式 (5) で計算した本数が大体の目安となる。式 (5) は断面全体の平均温度に対する式であるが、実際に必要なのは中心部付近の平均温度だから、断面の形状が正方形に近くかぶり大きい場合は式 (3) より中心部の必要範囲に対する平均温度を計算し、使用本数を減らさなければならない。またこの測定の場合のように断面が扁平な長方形でかぶりの小さい場合は、全体をいくつかの正方形に近いセクションにわけて考えれば良いと思う。

(b) 断面を温床線群によって均等に暖める場合は、式 (1) の 1/2 とした次式の方が適当と思う。

$$n = \frac{a \cdot l \cdot (T_0 - T)}{2k} \dots\dots\dots (6)$$

またコンクリート中を伝導する分は、その幅だけ大気

放熱するものとして a を計算すれば十分だと思う。

(c) シースが断面内に分散されているときは、温床線列でこれらを囲むように配置するのが有利である。この際温床線列の間隔と長さの関係、各温床線間の離れなどについてはもっと研究してみる必要がある。

なお実際の施工にあたって温度管理をする場合、最初の時間くらいに急激に温度上昇するので、この間は細かく測定をして温度が上り過ぎないように注意しなければならない。もし予定より上り過ぎる場合は一定時隔で通電を中止するか、温床線の一部の通電を中止しなければならない。

6. あとがき

実際にグラウトを施工したのは 2 月の下旬だった。グラウト施工の数日前まで非常に冷え込んだが、グラウト施工時は比較的暖かだった。それでもときどき 0°C 近辺まで気温が下り、養生なしでは満足できない状態だったが、温床線を使用したお蔭で安心して施工することができた。

以上の測定結果は温床線埋め込みによりグラウト養生の可能であることを示めすが、これだけではまだ設計上不十分な点が多い。いましばらくこの養生法についての試験がおこなわれ、確実な結論をえて寒冷地のグラウト養生に、またコンクリート養生に、この方法が有効に用いられることが望まれる。この報告がその足がかりになれば願ってもない幸いである。

この方法の利点は施工が簡単で工費も安いことである。施工中面倒だったのは温床線の余長の処理ぐらいであった。この試験は Dywidag 式 P C 桁でおこなわれたが、フレッシュナーのように径の太いものにも同様に適用され得ると思われる。単位長さあたりの発熱量を大きくしたい場合は、温床線をラセン状にシースに巻き付けるなどの方法も考えられる。

最後にこの報告をまとめるにあたって指導して下さった大阪工事局土木課長 野口 功氏、温度測定およびデータ整理を手伝って貰った盛岡工事局 森口、竹原両職員、実際の施工にあたられた鹿島建設 K K の方々に感謝の意を表する次第である。

1964. 8. 31 ・ 受付

会員増加についてお願い

会員の数はその協会活動に反映するもので、増加すればそれだけ多くの便益が保証されています。現在の会員数は創立当時に比較すると約 4 倍の 1 200 名ですが、まだまだ開拓すべき分野が残されており、お知合の方を一人でも余計ご紹介下さい。事務局へお申出で下されば入会申込書はすぐお送りいたします。