

鉄道橋におけるコンクリート桁の クリープ変形による補修について

中 原 繁 則*
金 森 真**

1. まえがき

コンクリート構造物のクリープ変形はすでによく知られている現象である。このクリープが問題として取り扱われていたのはプレストレストコンクリートのクリープ変形により生じるプレストレス力の減少についてである。現行の土木学会「プレストレストコンクリート標準示方書」のクリープに関する記述もそのような観点でまとめられていると思われる。

鉄道橋におけるコンクリート桁には、従来のバラストの上に軌道を敷設する方法（バラスト軌道）から、桁の上面にスラブを配置し軌道を敷設する方法（スラブ軌道）が多く用いられるようになってきた。このため、コンクリート桁のクリープ変形の影響が直接軌道におよぶため、列車の走行安全性や乗心地の面から軌道の保守、補修が行われる場合がある。これは、次のような理由によるものと考えられる。

- (a) コンクリート桁の、工事から使用開始までの時間が短い場合がある。
- (b) コンクリート桁とレールの上に砕石（バラスト）のないスラブ軌道が採用されている。
- (c) 列車の運行速度が高速である。

(a), (b) の理由によりコンクリート桁のクリープ変形が直接レール面の变形としてあらわれ、列車の走行安全性や乗心地から定められている保守計画目標値をこえ



* Shigenori NAKAHARA
国鉄構造物設計事務所
補佐



** Makoto KANAMORI
国鉄構造物設計事務所
主席

る変形が生じた場合に、その変形を補修する必要が生じる。今回、主として PC 桁のクリープ変形について述べる。

2. クリープについて

コンクリートに限らず、多くの物質は持続荷重による弾性ひずみとは別に時間とともにひずみが増大する現象があり、これをクリープひずみと呼んでおり、図-1 に示すように「フローひずみ」と「おくれ弾性ひずみ」からなっている¹⁾。現在までの研究では、クリープひずみは弾性ひずみに比例するものと考えられており、クリープ係数を用いて、次のように示される。

$$(\text{クリープひずみ}) = (\text{弾性ひずみ}) \times (\text{クリープ係数})$$

PC 構造の場合このクリープ係数は次式で示される。

$$\phi(t, t_0) = \phi_{d_0} \cdot \beta_d(t-t_0) + \phi_{f_0} [\beta_f(t) - \beta_f(t_0)]$$

ここに、

$\phi(t, t_0)$: 有効材令 t_0 に載荷されたコンクリートの有効材令 t におけるクリープ係数

ϕ_{d_0} : 遅れ弾性ひずみに対する基本クリープ係数

$\beta_d(t-t_0)$: 載荷後の有効経過日数 ($t-t_0$) に関する関数

ϕ_{f_0} : フローひずみに対する基本クリープ係数で環境条件に応じて決める

$\beta_f(t)$: コンクリートの有効材令 t および部材の仮想厚さに関する関数

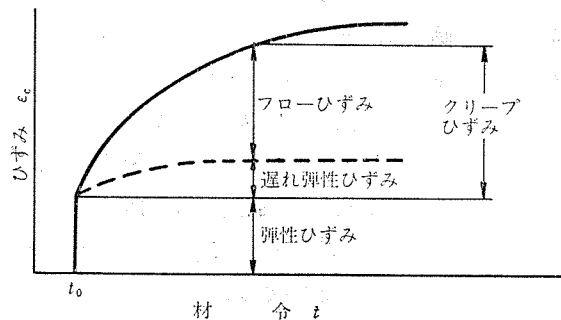


図-1 クリープひずみ

t_0, t : 載荷時および考えている時点でのコンクリートの有効材令(日)

これらの関数の詳細については文献 1) または 2) を参照されたい。これらは持続荷重についてのものであるが、列車の運行のような繰返し荷重によってもひずみの増大があるといわれている。

また、鉄筋コンクリート(RC) 桁においても、桁の上縁には大きな圧縮力が作用するためクリープによるたわみが増大する。ただし、RC 桁においてはひびわれの進展に伴う中立軸の移動によるたわみの増大もある。

3. クリープによる軌道への影響

スラブ軌道を図-2 に示し、レール締結装置の一例を図-3 に示す。PC 桁を施工後レールの高さを設定するまでの変形量は、桁製作時の下げ越し量、路盤コンクリートによる高さ調整、レール底面の可変パッドにより調整する。しかし、レールの高さを設定後の桁のクリープ変形はそのままレールの高さの変形となる(図-4)。この変形量はレールの高さを設定した後の桁のクリープ変形量であるからレールの高さを設定時の桁コンクリートの材令、全静荷重作用時の桁の上縁と下縁コンクリート応力度の差の程度、桁の形状・寸法、外気温、湿度によ

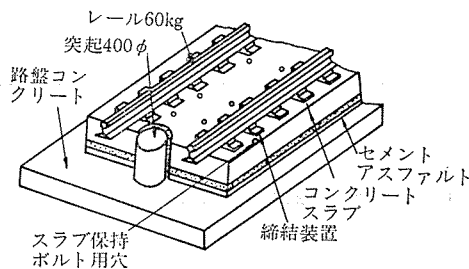


図-2 スラブ軌道の構造

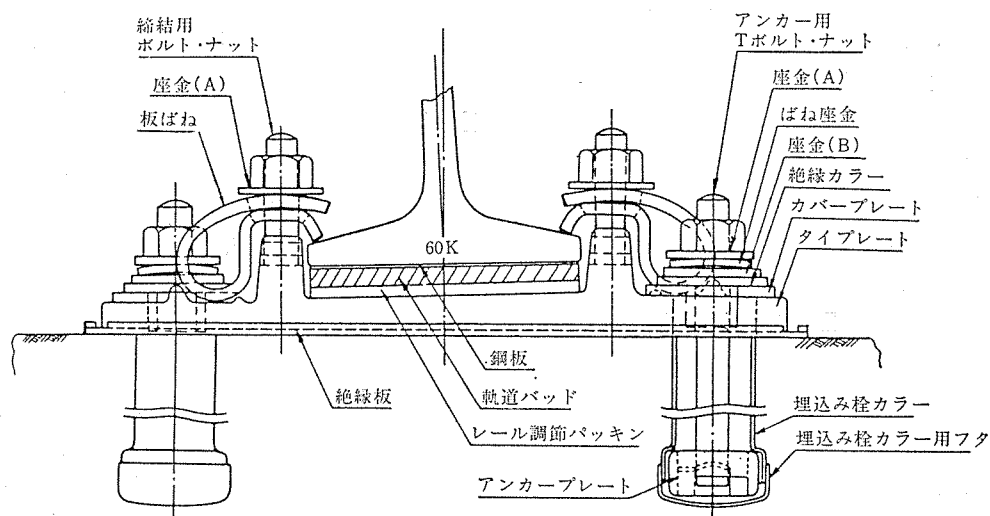


図-3 レール締結装置(直結8形)

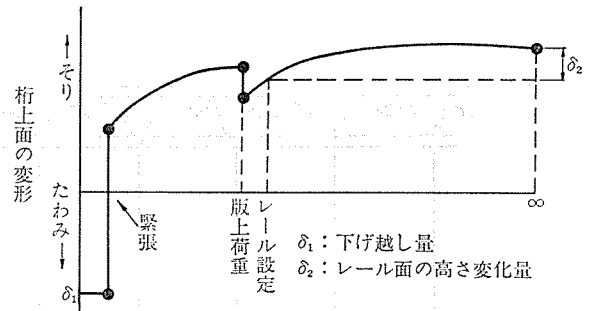
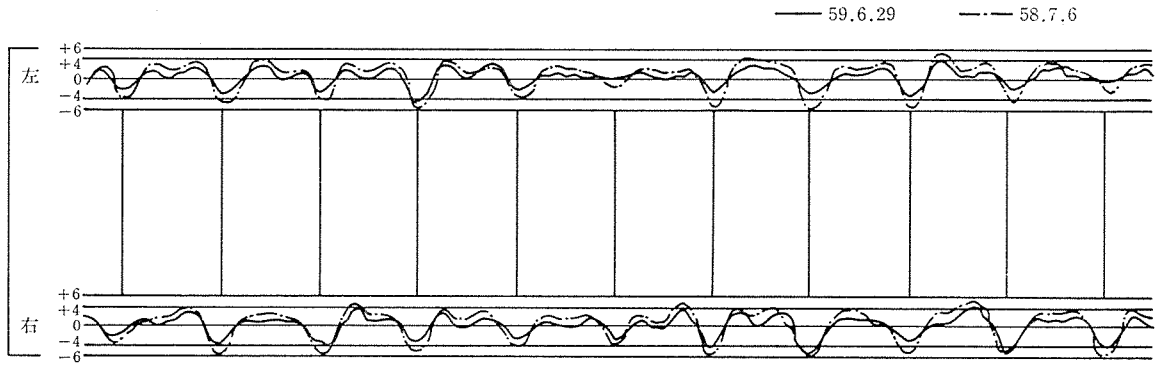


図-4 桁上面の変形の模式図

りその大きさは変わってくる。すなわち、桁のプレストレス導入後レールを敷設するまでの期間が短かった場合、クリープの大きな桁の場合、クリープの進行が比較的ゆっくり進む場合などは軌道敷設後、桁に大きなクリープ変形が生じ、軌道高さの修正が必要となる。

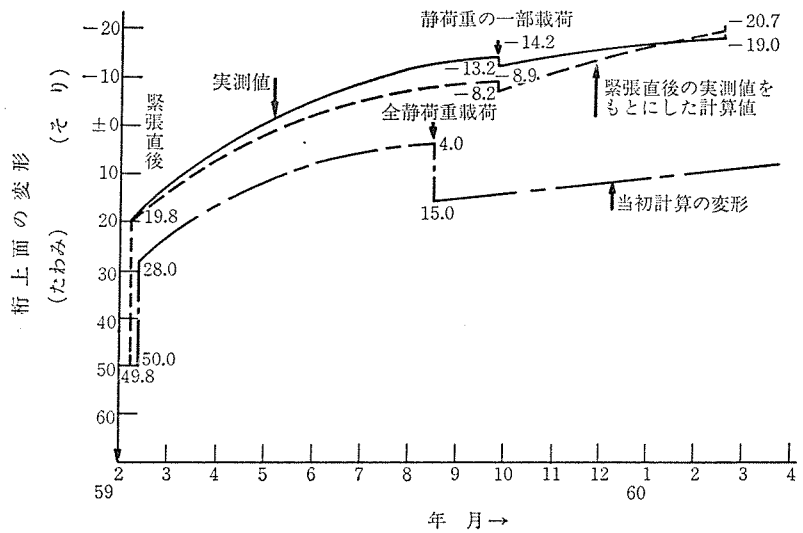
4. クリープ変形の測定

レール面の変形は、営業用列車が走行している状態と同様に高速で走行しながら、レール面の高さや左右の狂いを測定できる高速軌道検測車により動的にかつ連続的に測定している。この測定値をグラフにして、軌道の高さや左右の狂い、および、高さの狂いと列車の速度によって生じる上下動揺(加速度として表わされる)などがある値(保守計画目標値といっている)をこえると補修するようにしている。バラスト軌道の場合は列車の走行によりバラストがずれて高さや左右の狂いが累積し、補修することが多かったが、スラブ軌道の場合は桁の変形がなければ狂い量は少なく、保守量は少なくてすむ。しかし、クリープ変形や、地盤の変形に起因する構造物の変形はバラスト軌道の場合よりも直接、軌道への影響が生じる。図-5 に高速軌道検測車による測定例を示す。



図—5 レール面の高さ狂い量 (10 m 弦)

これは 5 m ずつ 3 点を測定し、その両端 2 点を結ぶ線 (10 m 弦) からの中央の点の離れを連続的にプロットしたものである。この図には約 1 年間の軌道の狂いを実線と点線で示している。この区間は、桁長 20 m の PC 桁が連続しているところであり、クリープ変形による高さの狂いと推定される。この方法では、大きな変形がわからないので、連続する 5 点の測定値を使って 20 m の基準線 (20 m 弦) に対する中央の点の離れを計算して同時に表示している。理論的には何 m に対する値でも求めることができる。桁のたわみ量やそり量を測るには、その桁長にこの基準線の長さを合わせなければならない。これはなかなか大変であるので前述の 10 m と 20 m の測定値から異常な箇所を見いだして、その後は水準測量により静的なそりやたわみを測定したり、変位計により動的なたわみを測定している。また、RC 桁と PC 桁が交互に続く場合にたわんでいる桁とそっている桁が隣接するため特に大きな上下の動揺が測定される。PC 桁の場合、桁コンクリートの弾性係数、導入されるプレストレスの量、自重、版上荷重の大きさ等いずれも正確に把握するのはむずかしい。したがって、クリープによる変形を推定するには当初は計算によってもよいが、実際の変形量が測定されたら、その値を基礎にしてその先のクリープ変形を推定するのが合理的である。その例を図—6 に示す。図—6 において一点鎖線で示されたものは計算上の弾性変形およびクリープ変形で、自重以外の静荷重は一度に載荷されると考えている。破線で示したグラフは緊張直後の弾性変形をもとにして期間毎のクリープ係数を求めて変形を予想したものである。また、静荷重も実際の桁では段階を追って載荷されるので、実情に合わせて予想している。実



図—6 クリープ変形の推定

線は実測値を示す。

5. 補修方法

図—7 に PC 箱形桁 (桁長 40 m) で補修するまでの動的高さ狂いを示す。図—8 には別の PC I 形桁 (桁長 30 m) の 2 か月毎の高さ狂いの変化を示す。また、図—9 には RC 箱形桁の高さ狂いを示す。

これらのグラフに示した PC 桁のそりや、RC 桁のたわみによるレール面の狂いは補修しなければ乗心地を悪くする。これらの補修は、レール面を下げることは困難であるので、通常 図—10 に示すように低いところを高くして修正する。この高さ調整には 図—11 に示すように、締結装置と軌道スラブの間に絶縁調整板 (SMC) または調整鉄板を挿入して大まかな高さを決め (最大 19 mm) (写真—1)、締結装置とレール底面の間に可変パッドを入れて微調整を行う。可変パッドはレールを所定の高さにセットしてからレール下に袋を挿入し、その袋の中にポリモルタルを注入し、硬化させてレールを支持す

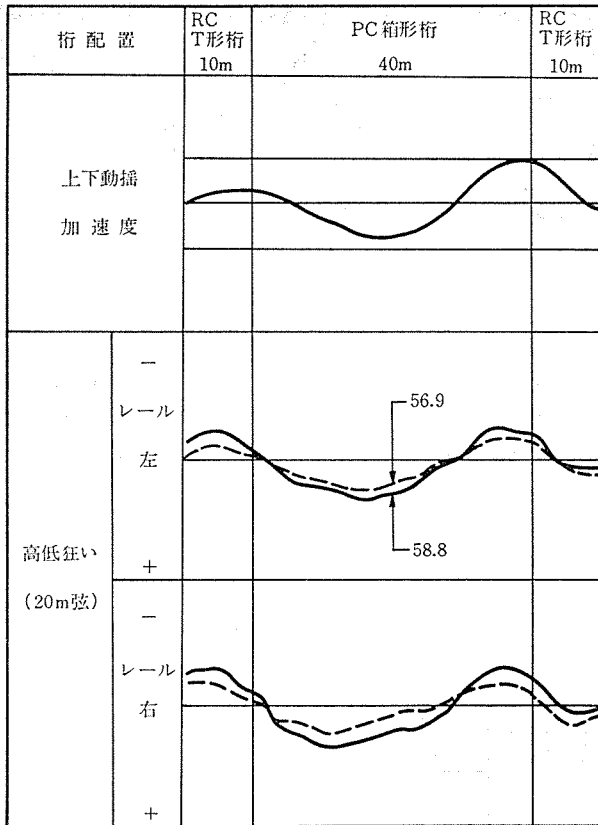


図-7 PC 箱形桁の動的狂い

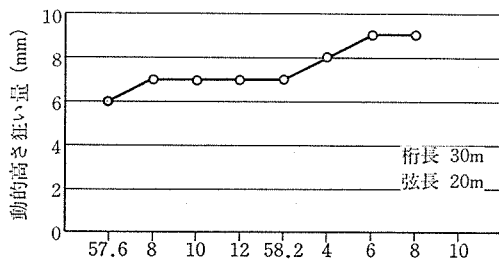


図-8 PC I 形桁の高さ狂いの例

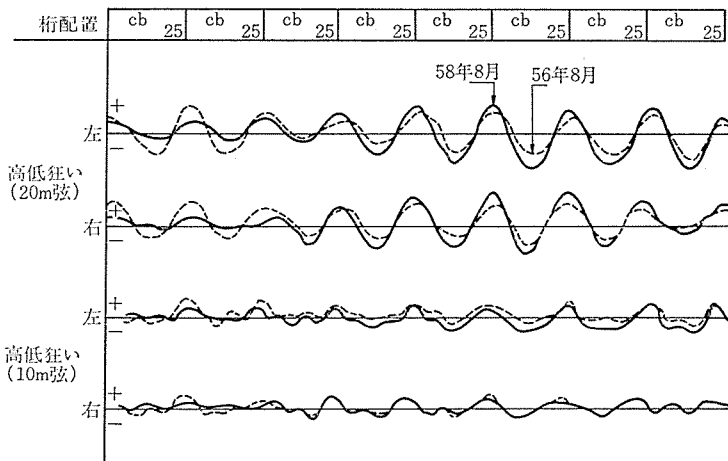


図-9 RC 箱形桁の高さ狂いの例 (桁長 25 m)

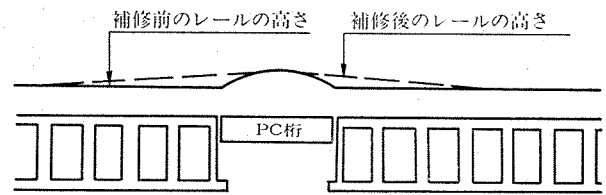
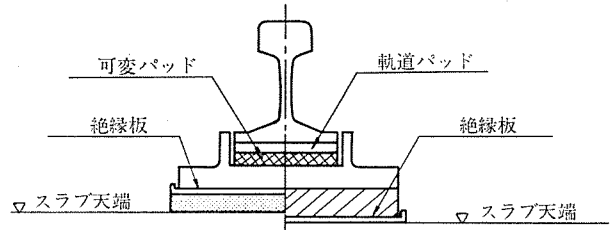


図-10 レール高さの補修



- 調整板 厚さ 5mm・10mm (絶縁調整板SMC 200×380mm)
- 調整鉄板 厚さ 16mm・19mm (SS-41 180×360mm)
- 可変パッド 10mm調整可能

図-11 レールの高さの扛上方法

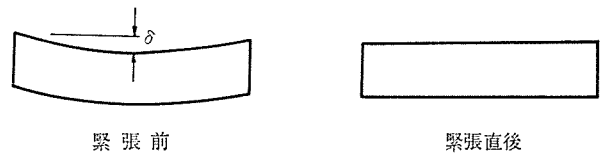


図-12 従来の下げ越し量

るものである (写真-2)。

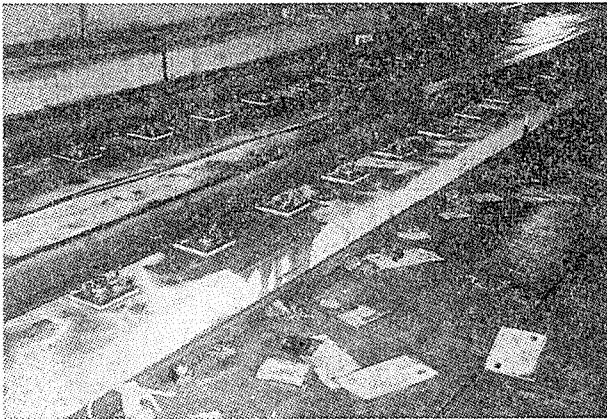
6. クリープ変形対策

(1) 桁製作時の配慮

従来でも PC 桁はプレストレス導入による弾性変形 (そり) に相当する程度の下げ越しを行って桁を製作している (図-12)。これをさらに、ある程度のクリープ変形量を見込んで下げ越しておき、レールの高さも下げ越しておく (図-13) を参照して、 δ_2 がたわみの保守整備基準におさまっており、 δ_3 も、基準内であればレール敷設後、クリープによるレールレベルの修正は必要ない。しかし実際には他の要因でレールレベルの修正を行う必要が生じてくるので、 δ_3 が基準内であることは必ずしも必要なことではなく、当初の δ_2 を小さくする方がよい場合も多い。

(2) 設計上の配慮

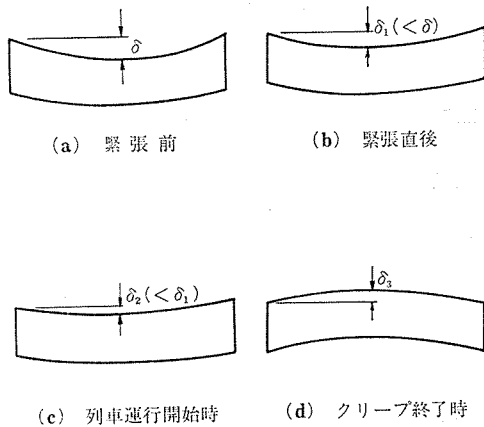
プレストレスや自重、静荷重による弾性変形



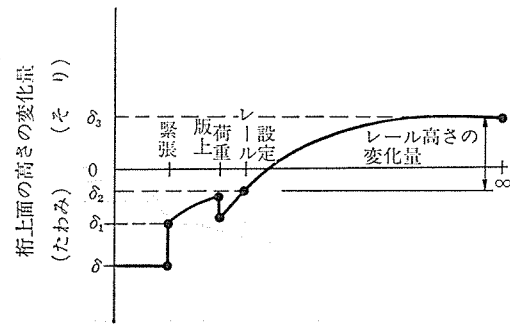
写真—1 絶縁調整板の挿入



写真—2 可変パッドへのポリモルタル注入



図—13 桁の下げ越しとレール高さの変化



を下げ越しにより吸収できれば、設計上の配慮でその後のクリープ変形によるそりをなくすことができる（クリープによる単なる桁の短縮は生じる）。クリープによるそりは、桁の上縁と下縁の弾性短縮量が同じでないために生じるので、全静荷重作用時に桁の上縁と下縁のコンクリートの圧縮応力度が等しくなるように設計すればよい。このためには現在の桁高より大きな桁高を必要とする。これでは PC 桁のメリットを失うことになる。そこで同程度の桁高でその条件を達成するには、PC 鋼材を減らし、代わりに鉄筋を入れて PRC 桁とすることである。ただし、そりやたわみをなくすことは計算上可能なのであって実際には多少のそりやたわみは生じる。しかし、一定量以内におさまれば、これらの変形に対する補修を必要としないので十分目的を達することができる。

7. あとがき

プレストレスの長期にわたる減少量は測定も困難で、計算値と実際の照合はむずかしい。しかし、変形については測定が可能である。最近実施している測定の結果から、現在提案されているクリープ係数とは多少違った面があるように思われるので検討を進めている。

最後に資料の提供をいただいた関係の皆様へ厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 土木学会：プレストレスコンクリート標準示方書，技報堂（1978 年）
- 2) H. リュッシュ，D. ユンクビルト（百島祐信訳）：コンクリート構造物のクリープと乾燥収縮，鹿島出版会（1976 年）