

V-60 ディビダーク式プレストレストコンクリート橋における コンクリートのクリープおよび乾燥収縮に関する研究

東北大学工学部	正 員	後藤孝正
鹿 島 建 設	正 員	百島祐信
東北大学工学部	正 員	○外門正直
東北大学大学院	学生員	大塚浩司

1. まえがき

一般に、プレストレストコンクリート橋においては、コンクリートのクリープ、乾燥収縮などがプレストレスの減少に大きな影響を与えるので、設計に際してはこれらの変形量の推定を正しく行なうことが重要である。特に、中央ヒンジ形式のディビダーク式PC橋の場合には、クリープ度、乾燥収縮度の推定値が正しくないと、有効プレストレスの計算が不正確になるばかりでなく、上越しの計算値が不適正になり、橋のレベルが正しく規定通りにならず、橋の美観や車輛走行時の乗心地がそこなわれるので、クリープ度、乾燥収縮度も正しく推定することが極めて重要である。

しかし、コンクリートのクリープ、乾燥収縮については、影響を与える要因が多いばかりでなく、これらが互に複雑にからみ合っており、特に、ディビダーク式PC橋の場合は、プレストレスを与えるときのコンクリートの材令がブロック毎に異なったり、施工中の各段階において、コンクリートのクリープの進行状況は非常に複雑であるため、設計の際にクリープ度および乾燥収縮度のそれぞれの値を適確に推定することは極めて難しい。

この研究は、ディビダーク式PC橋の設計に不可欠なコンクリートのクリープ度、乾燥収縮度、その他に関する資料を得るために、仙台市長町越路に架設された八木山橋について、実験的に研究を行ったものである。

2. 八木山橋の概要

主桁の構造：八木山橋は、中央径間84mの両側に16mの側径間をもつ3径間連続桁橋であって、中央径間の中央には鉛直方向のせん断力のみを伝えるヒンジをもっている。主桁断面は箱桁をなし、桁高は、橋台上で3m、橋脚上で4.4m、ヒンジ付近で1.6mである。（図-1参照）

施工方法：八木山橋の上部構造は、左岸側が1964年3月～7月、左岸側が1964年7月～10月にわたって架設された。側径間のコンクリートは支保工を設けて打設し、中央径間は左岸側、右岸側とも42mを14ブロック（1ブロック2.7m～3m）に分けて橋脚より張出し架設した。

3. 実験方法

1) 全ひずみおよび主桁の長さ変化 コンクリートの橋軸方向の全ひずみはカールソンひずみ計（CS-25C）を用いて測定した。カールソンひずみ計の設置位置は、右岸側では中央径間の1, 4, 8ブロックおよび側径間の上流側と下流側の腹部、左岸側では中央径間の1, 4, 8, 12ブロックおよび側径間の上流側と下流側の腹部であって、橋軸に関して打杯の位置である。（図-1参照）

主桁中央径間の長さ変化は、左岸側中央径間と右岸側中央径間との連絡後に、中央径間箱桁内部に

設置した橋軸方向の鋼棒によって測定した。

ii) 乾燥収縮 主桁コンクリートの乾燥収縮度は、主桁の腹部コンクリート中に、あらかじめ空洞を設け、空洞の中に無応力状態の円柱供試体（ $\phi 15 \times 30 \text{ cm}$ ）を置き、入口をモルタルで封じ、その供試体中に埋込んだカールソンひずみ計（CS-10 D）によって測定した。（図-2参照）このような状態の供試体は桁コンクリートの応力とは無関係であるが、乾燥状態はほぼ同等であると考えた。

iii) コンクリートの線膨張係数 全ひずみ度および乾燥収縮度を求める際にコンクリートの温度変化による伸縮を補正するためのコンクリートの線膨張係数は、円柱供試体（ $\phi 10 \times 20 \text{ cm}$ ）を用いて、供試体の温度変化と長さ変化との関係を調べこれを求めた。この際、乾燥収縮の影響を除くために、あらかじめ、 $110^\circ \pm 10^\circ$ の乾燥器に供試体を入れ、定重量になるまで乾燥したものをを用いた。

iv) コンクリートの弾性ひずみ 主桁コンクリートの弾性ひずみ度は、コンクリートの弾性係数とひずみ計設置位置の橋軸方向設計応力度とから求めた。コンクリートの弾性係数としては、標準養生した円柱供試体（ $\phi 15 \times 30 \text{ cm}$ ）による圧縮試験を行ない、応力-ひずみ線図をかき、圧縮応力度5割の点と原点とを結んだ割線より求めたものをを用いた。

v) クリープ クリープ度は次式より求めた。

$$\text{クリープ度} = \text{全ひずみ度} - \text{弾性ひずみ度} - \text{乾燥収縮度}$$

ただし、全ひずみ度は、前に述べたように、桁コンクリート中に橋軸方向に設置したカールソンひずみ計により実測した値である。弾性ひずみ度は、コンクリートの設計応力度とコンクリートの弾性係数とから求めた計算値である。乾燥収縮度は、主桁腹部コンクリート中空洞に密封された無応力状態の供試体中に埋込んだカールソンひずみ計によって実測した値である。

vi) たわみ 一般に、上越し量は、荷重、プレストレス、断面諸値、コンクリートの弾性係数、クリープ、乾燥収縮、橋脚の沈下などの値を用いて計算したたわみから定めるが、この計算たわみと比較するために主桁のたわみを実測した。

なお、桁コンクリートの弾性ひずみ度の計算には、供試体の圧縮試験によって求めた弾性係数を用いたが、この弾性係数の適否をチェックするために、完成後、載荷試験も行ない、弾性たわみを測定した。たわみおよび橋脚の沈下の測定は水準測量によった。

4. 実験結果および考察

図-1 八木山橋側面図およびひずみ計設置位置

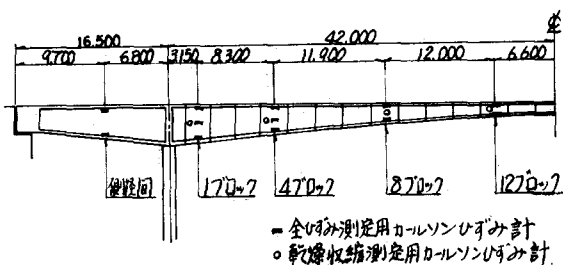
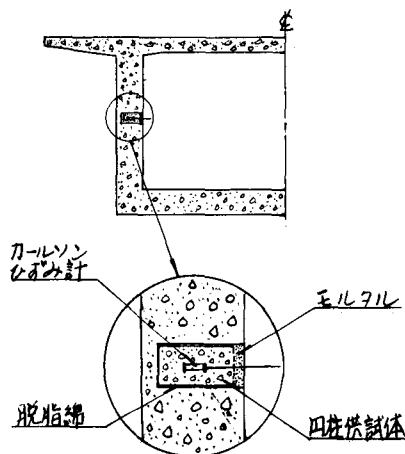


図-2 乾燥収縮測定用ひずみ計設置方法



全ひずみ測定用カールソンひずみ計および乾燥収縮測定用カールソンひずみ計によって実測した橋軸方向全ひずみ度および主桁コンクリートの乾燥収縮度の経年変化の一例を図示すれば、図-3 のようである。なお、図-3 には、全ひずみ度から弾性ひずみ度(計算値)を引いた値(すなわち、クリープ度+乾燥収縮度)をも示した。また、林令約5年での全ひずみ度、弾性ひずみ度(計算値)、乾燥収縮度、クリープ度、クリープ係数を示せば表-1 のようである。

カールソンひずみ計によって測定した全ひずみ度より弾性ひずみ度を引いた値(乾燥収縮度+クリープ度)は、弾性ひずみ度が計算値なので、実際の値と相違すること考えられるので、この点を検討するために、中央径間の左右が連絡された時点(1964年10月)から1969年3月までの期間における主桁の中央径間部分の長さ変化を測定した。その結果、左岸側で1.99cm(ひずみで 498×10^{-6})、右岸側で1.73cm(ひずみで 433×10^{-6})、平均

1.86cm(ひずみで 465×10^{-6})であった。また、カールソンひずみ計で測定した同じ期間の全ひずみ度より弾性ひずみ度を引いた値は、左岸側で平均 579×10^{-6} 、右岸側で平均 545×10^{-6} 、左右平均 562×10^{-6} となる。このことより、上記二つの方法によって測定した乾燥収縮度とクリープ度との和の値にはあまり差がないことがわかる。

主桁コンクリートの乾燥収縮は3~4年のかなり長期間にわたって徐々に行進するが、その進行は、一般的に言って、初期に大きく、また、夏季に大きく冬季に小さいことがわかった。コンクリートの乾燥収縮を論ずる場合、これに接する大気の相対湿度と関連させることが多いが、相対湿度より乾湿

図-3. 全ひずみ、乾燥収縮、乾燥収縮+クリープの経年変化の一例

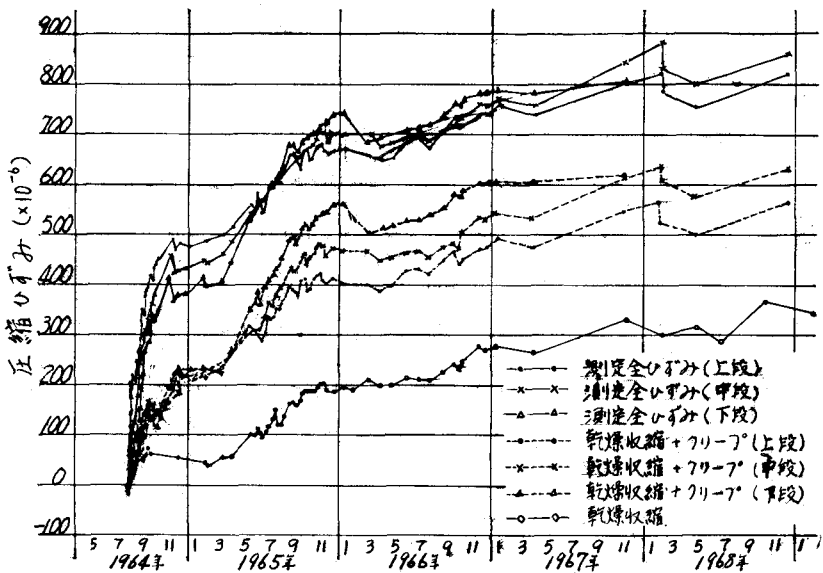


表-1 林令5年での全ひずみ度、弾性ひずみ度、乾燥収縮度、クリープ度、クリープ係数

測定位置			全ひずみ ($\times 10^{-6}$)	弾性ひずみ ($\times 10^{-6}$)	乾燥収縮 ($\times 10^{-6}$)	クリープ ($\times 10^{-6}$)	クリープ係数
右岸	127007	上	911	238	—	277	1.24
		中	925	223	396	306	1.37
		下	1034	196	—	462	2.36
	47007	上	785	210	—	—	—
		中	890	203	—	—	—
		下	915	220	—	—	—
	87007	上	591	174	—	175	1.01
		中	—	—	242	—	—
		下	956	160	—	554	3.46
	17007	上	830	247	—	232	0.94
		中	892	230	351	312	1.36
		下	915	199	—	365	1.83
左岸	47007	上	—	213	—	—	—
		中	884	204	535	145	0.68
		下	—	205	—	—	—
	87007	上	790	188	—	181	0.96
		中	—	—	421	—	—
		下	1112	167	—	522	3.13
	127007	上	623	20	—	143	2.04
		中	—	—	410	—	—
		下	632	27	—	195	2.22

計における示度の差の方が関係が深く、後者をいれれば夏季と冬季とにおける乾燥収縮の進行割合の相違とある程度説明できる。

主桁コンクリートの乾燥収縮は、一般に、材令約4年でほぼ落ち着き、大略定常となった。その値は、材令約5年で、左岸側において中央径間平均 430×10^{-6} 、右岸側において中央径間平均 320×10^{-6} であった。主桁コンクリートの実際の乾燥収縮の値は、鉄筋ヤシースの存在の影響でいくぶん異なった値となると考えられ、また、プレストレスの減少に影響するのは、プレストレス導入前の分をさし引いたものである。これらのことを考慮しても、本実験で得られた乾燥収縮の値は、土木学会PC設計施工指針に規定されている値 (150×10^{-6}) よりも相当大きな値であると認められる。

これらの理由として考えられることは次のようである。本橋のような箱桁断面で、内部と外部と空気が流通できるような構造になっている場合は、一般に、箱桁内部からの水分の放出がかなり大きいと考えられる。特に、左岸側ではスパン中央ヒンジ部分だけでなく、アバウト部分にも小さな開口部があるために、右岸側に比べて乾燥収縮の値が大きくなったと考えられる。したがって、箱桁構造のPC構造物では密閉構造とすべきであると考えられる。

主桁打設に用いたコンクリートで作った円柱供試体 ($\phi 15 \times 30\text{cm}$) を標準養生し、圧縮試験によって測定したコンクリートの静弾性係数は、材令90日で、設計計算に用いた値とほぼ同値の平均 3.5×10^5 となった。なお、本橋完成の約5年後に載荷試験を行ない、弾性にわみを測定した結果より推定した主桁コンクリートの弾性係数は 3.53×10^5 であった。

主桁腹部コンクリート中に橋軸方向に設置したカールソンひずみ計により全ひずみ度を測定し、この全ひずみ度より計算弾性ひずみ度および無応力状態の供試体より求めた乾燥収縮度を引いた値をフリース度とすると、次のようなことが言える。

フリースの進行は、一般に、季節の影響をあまり受けないものようで、左岸、右岸ともプレストレス導入後6ヶ月以内に急激にフリースが進行し、材令約2年で右岸側、左岸側ともほぼ落ち着き、それ以後のフリースの増加は極めて小さかった。材令約5年でのフリースの値は、中央径間において左岸側で平均 274×10^{-6} 、右岸側で平均 374×10^{-6} であった。これらの値は大略終局値に近いものと考えられる。

フリース度と弾性ひずみ度とから求めたフリース係数は、材令約5年で、中央径間ヒンジ付近のブロックを除くと、 $\varphi = 1.4 \sim 2.2$ であり、平均1.8程度となった。中央径間ヒンジ付近のブロックでは、 $\varphi = 4.6$ であったが、これは若い材令で大きいプレストレスを導入するためと思われる。したがって、ヒンジ付近のブロックではフリース係数を小さくして設計するか、グラウトの時期を遅くするかなどの設計施工上の配慮が必要と思われる。

橋の実測にわみより橋脚の沈下による橋桁回転の影響を補正したものは、中央ヒンジ付近で予想よりかなり大きかった。これは中央ヒンジ付近のブロックでは、若い材令で大きなプレストレスを導入するためフリースがかなり大きくなったこと、乾燥収縮が予想以上に大きくなったことなどにより、プレストレスの減少がかなり大きくなったためと考えられる。