

(46) 大阪モノレールPC軌道桁製作
における出来形管理について

大阪高速鉄道(株) 浦田 隆司
(株)トーニチコンサルタント 正会員○新 照彰
オリエンタル建設(株) 正会員 西沢 利夫

1. はじめに

大阪モノレールは、平成2年6月1日に千里中央から南茨木の間約6.6kmが開通しており、現在、大阪国際空港まで約6.8kmの工事が進められている。今年度、南茨木から門真間約7.9kmの工事が着手され、さらに茨木市と箕面市にまたがって計画されている国際文化公園都市への主要アクセスとしても、モノレール計画が進められている状況である。

跨座型モノレールの標準軌道構造にはポストテンション方式のPC桁を橋梁構造で、かつそのままレールとして採用されている。このため路線の平面、縦断、横断(カント)線形の他に、桁の長期変形(コンクリートのクリープ、乾燥収縮による反り、短缩量)を予測した桁の製作、出来形管理の良否が車両の走行性を左右することとなり、特に高低狂い(桁の反りの誤差)が乗り心地に大きく影響を及ぼす。一方、PC軌道桁の製作は継続事業であるため、年間を通じて逐時行われている。したがって季節による軌道桁の固有反りを予測する事が重要な課題となった。

本稿は、昭和60年から製作開始された千里中央~万博公園間の桁の中で仮置き期間中での桁、約100本の変形を測定することによって、コンクリートの打設時期、温度及びコンクリートの材令等を要因とし、温度変動とコンクリート強度、クリープ進行度等の関係を分析、調査した。これらの結果に基づき桁製作指示書を検証し、PC軌道桁の出来形管理に反映させたもので、計測値の整理分析とその結果について報告するものである。

構造形式	フレシネー工法ポストテンションPC単純軌道桁	
橋長	20.000m	22.000m
桁長	19.970m	21.970m
支間	19.200m	21.200m
曲線半径	100 ~ ∞ m	
衝撃係数	$i = 20 / (50 + \ell)$ $\ell = \text{支間 (m)}$	

表-1 標準橋梁諸元

2. PC軌道桁製作概要

PC軌道桁の製作は作業順序に従った流れ方式をとっている。鉄筋加工場で鋼製台車上に鉄筋、PC鋼線を組み立て、コンクリート打設用の据付型枠(モールド装置)に移動する。この鋼製モールドの側面には、必要な所定の軌道線形を確保するため、片側15ヶのバーニヤ付きジャッキが取り付けられている。

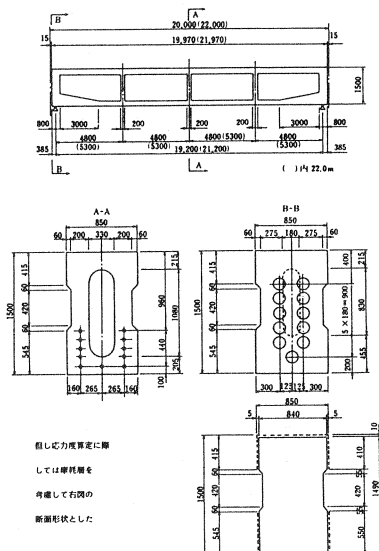


図-1 標準軌道桁一般図

図-2はPC軌道の建設作業段取フローを、桁製作に関する細目を右側の図-3に引き出して示す。表-2にコンクリート示方配合設計値と、示方書に基づいたコンクリート材料諸定数を表-3にまとめた。

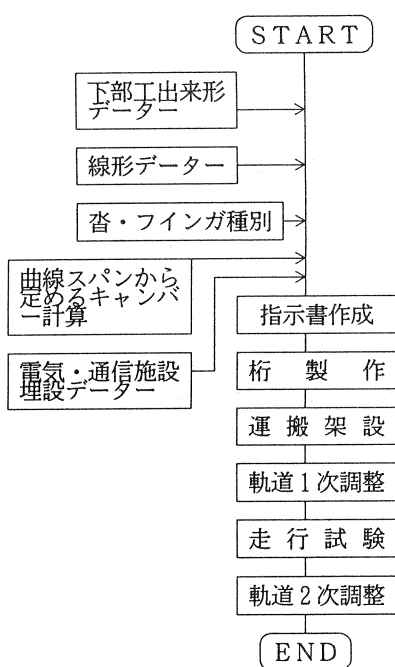


図-2 軌道建設フロー

作業	場所	仮定温度・湿度		コンクリート打設後の日数
①鉄筋組立	鉄筋組立場			
②型枠セット	モールド室			
③コンクリート打設	"	20 °C	70%	
④蒸気養生	"	60 °C	90%	1日目
⑤室内養生	室内養生室	20 °C	70%	2日目
⑥一次緊張	屋外台車上	"	"	3日目
⑦仮置き	仮置ヤード	"	"	
⑧二次緊張	"	"	"	10日目
⑨仮置き	"	"	"	
⑩桁架設	所定軌道位置	"	"	60日目(仮定)
⑪電気工事	"	"	"	

図-3 桁製作フロー

骨材の最大径	スランプ	空気量	水セメント比 (W/C)	細骨材率 (S/a)	設計基準強度
20mm	7±1.5cm	3±1%	3.9%	3.9%	δ_{cc} 45.0 kg/cm ²

単 位 量 (kg/m ³)				
水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤
166	425	681	1100	1.063

表-2 コンクリート示方配合

コンクリートの養生は、初期強度確保及び品質向上のために常圧蒸気養生を行っている。(図-4)

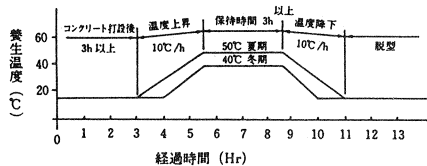


図-4 蒸気養生温度管理図

3. 変動の要因

前述のような施工手順に基づいて、反りの予測計算を行った結果を図-5に示す。品質管理に際し設計値と実測値の乖離には以下の要因が予測される。

- 1) クリープ進行度の予測誤差。
- 2) コンクリートのヤング係数の変動。
- 3) プレストレス量の変動。
- 4) 桁断面の製作誤差。
- 5) 材料による差(骨材の種別、セメントの種別、配合量、鉄筋量 etc)

4)については軌道としての寸法公差が抑えられており、その影響は少ない。3)については、各桁端部

時期	クリ-7係数	乾燥収縮度	コンクリート強度	弾性係数
t ₀ 2日	2.6	20 × 10 ⁻⁶	315 kg/cm ²	3.075 × 10 ⁵ kg/cm ²
t ₁ 10 "	2.08	19.3 "	385 "	3.425 "
t ₂ 60 "	1.47	17.4 "	450 "	3.75 "
t ₃ 180 "	1.08	15.1 "	450 "	3.75 "

表-3 コンクリート材料諸定数

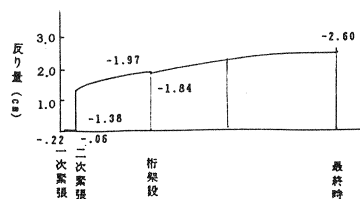


図-5 直線桁・橋長2.0mの桁のたわみ計算

で一定の緊張力を与えた設計を行い、桁長、曲線半径によるプレストレス量の影響を反り計算に反映し実態に合ったものとなっている。5)については、年間通じ同一配合、同一材料を使用するように配慮した。

1)、2)については季節的な環境条件の変化により大きく左右されると予想できたため、製作開始の初期の段階で実態調査を行い次期製作に反映していく必要があった。

4. 測定結果とその分析

季節変動の中で最も大きな要因は、コンクリートの打設温度及び、その養生環境である。今回、年間を通じて、打設温度とコンクリート10日目強度を調査した結果が図-6である。

コンクリート温度は、真夏で32°C、真冬で5°Cの範囲に σ_{10} は500~400kg/efm³の範囲に分布しこれらを一次回帰式で相関関係を求めると、相関係数Rは-0.69となった。これにより打設温度が低いほど、圧縮強度が上昇することが判明した。これは σ_{28} も同様の傾向であった。

コンクリート強度の変動によりプレストレスによる弾性変形が変動することは容易に予想でき、20m直線桁70本について2次緊張時の反りと温度の関係を調査した結果が図-7である。

温度が高いほど σ_{10} が低くなる傾向になり、実変形量が大きくなっており、R=0.44となった。気温(室温)とコンクリート温度は、夏季は同値であったがその他は気温より5°C程度高い傾向であった。

次にこれらの桁のクリープ進行度を知るために緊張後の実変形量を、製作月ごとに追跡調査を行った。緊張後の変形量の推移を見ると、冬期に打設した桁の10日目までの反り量は計算値と一致しているが、その後のクリープ変形が大きい。(図-8)反対に夏期のほうが弾性変形が大きい、その後のクリープ変形が少なく、結果的には夏期の方が全変形量は少ない。(図-9)春期についてはその中間値を示している。(図-10)

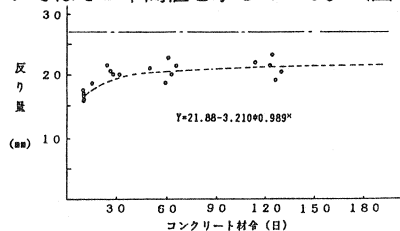


図-9 夏(8月)打設変形進行

夏季の打設後2日間の室内でのコンクリート温度は、硬化熱も加わり室内温度よりかなり上昇しているため7~8月の桁は、10日目までに急激なクリープ乾燥収縮が生じており、特に3日目までの間に著しい乾燥流動が起こっていると考えられる。この間の弾性変形は、無応力状態及び一次プレストレス状態で自重とほぼバランスしているため微小であり、したがってクリープ変形も生じない。10日以後は2次プレストレスが導入され弾性変形が大きく生じるが、クリープ係数が予測値の1/2以下となり、その後生じる変形が減少したため最終全変形が予測値を下回った。逆に冬期の場合、10日目までのクリープ進行は、外気によ

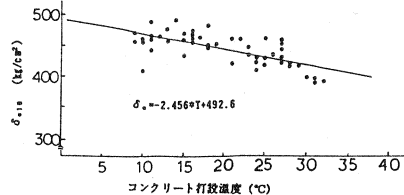


図-6 コンクリート打設温度と10日目強度の関係

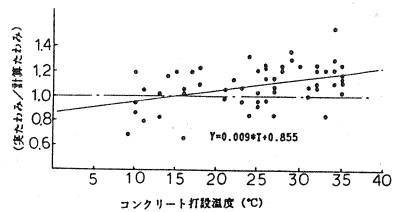


図-7 コンクリート打温度と2次緊張時の反り量

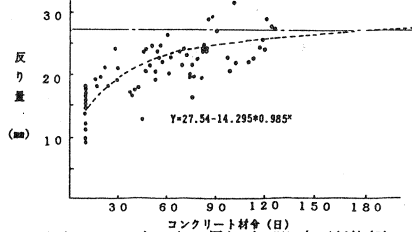


図-8 冬(2月)打設変形進行

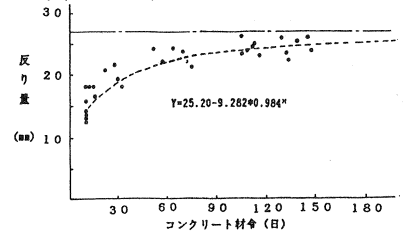


図-10 春(5月)打設変形進行

りコンクリートの養生温度が低下し、10日以後のクリープ変動は、予測値に近い値を示している。

5. 製作精度を上げるための対策

軌道桁の変形管理上有効な手段は絶対値を小さくおさえる事である。そのため材令3日目に自重に対処できる1次プレストレスを導入、10日目に2次プレストレスを導入している。これにより反り量は3日目に全緊張を行った場合の75%まで減少する。

コンクリート打設温度及び養生温度を年間通じ一定の環境にすれば、季節変動をおさえることができるが現実的に無理である。したがって実測結果に基づいた弾性変形量、クリープ進行度から季節変動を考慮した予測値を求めるのが現実的な対策となる。

反り測定値をもとに $f = K - a b^t$ で表される修正指数曲線を用い統計処理を行い、各時期の反り量及びクリープ進行を求めた結果を表-4、5に示す。

今後の桁製作に当たっては年間のコンクリート打設温度により3期に分割し、表-5で求めたクリープ進行を予測計算に反映する事により年間を通じて製作精度を上げることができる。

6. おわりに

①年間を通じてのコンクリート強度は打設時のコンクリート温度によって左右され温度が低いほどコンクリート強度が上昇し、弾性変形は減少する。

②クリープ変形は、弾性変形を生じる前のクリープ進行度が季節により大きく変化するため夏季では小さく、冬季では大きくなった。

③クリープ進行は早強セメントで蒸気養生した場合急激なものがあり、クリープ進行度算定に用いられる有効材令を求める式(1)において、クリープ進行度より逆算すると、夏期で $\alpha = 3.5$ 、冬期で $\alpha = 1.5$ 程度となっている。このため、蒸気養生を行うコンクリート製品について変形が問題となる場合、クリープ進行度を考慮する必要があると言える。

大阪モノレールは、今後長期にわたり工事が進行し継続的な製作が続けられる予定であり、今後桁の伸縮量についても、鉄筋拘束の影響を考慮した解析について調査を行う予定である。

最後に、本工事の桁製作にあたり多大な御指導、御尽力を頂いた関係各位、ならびに製作指示書により、日々精度確保に努力されている職場の方々へ深く感謝いたします。

<参考文献>

- 1) 日本道路協会：“道路橋標準示方書・同解説”昭和53年

単位(mm)

	10日目	90日目	180日目	∞
2, 3月	14.0	24.0	26.6	27.5
5月	14.4	23.0	24.6	25.2
8月	16.4	20.6	21.4	21.9
2~6月平均	15.0	22.5	24.4	25.7
計算値	13.7	21.2	25.0	27.1

注) 計算値はヤード内に仮置きした場合

表-4 測定結果による各時期のたわみ

時期	10日以前	10日~180日	180日~∞
2月(冬季)	0.67	1.84	0.09
5月(中間期)	0.96	1.56	0.08
8月(夏期)	1.56	0.99	0.05
計算値	0.52	1.00	1.08

表-5 たわみから求めたクリープ進行度

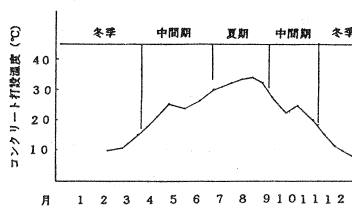


図-11 年間区分図

$$T = \alpha \sum (t + 10) \Delta t / 30 \dots (1)$$

T: 有効材令, α : 硬化速度に関する係数

Δt : 温度が t である日数, t : 温度 ($^{\circ}\text{C}$)