

[77] 膨張コンクリートを用いた鋼合成桁床版の力学的特性

正会員 ○辻 幸 和 (足利工業大学)

正会員 岡 村 甫 (東京大学)

1. まえがき

膨張コンクリートを鉄筋コンクリートばりに用いた場合の優れた力学的特性、膨張分布およびケミカルプレストレス等に関するこれまでの研究から、著者らはこれまで、鋼合成桁の鉄筋コンクリート床版を、膨張コンクリートを最も有効に利用できる分野の一つとして推奨してきた。これは、膨張コンクリートを利用することにより、コンクリートの収縮が鋼桁によって拘束される悪影響を軽減し、鋼合成桁床版の力学的特性を改善できるためである。さらに、床版では、コンクリートの膨張を二方向から十分に拘束することができるため、大きな膨張エネルギーを持つコンクリートの使用が可能なのためでもある。

このような考え方に従って、池田らによる小型の鋼合成桁床版、および、大川、藤田の床版等の実験結果がこれまでも報告され、膨張コンクリートの有用性が確認されている。

本研究では、道路橋の一部分を切出してモデル化した三主桁の鋼合成桁を、養生方法および床版の配筋等もできるだけ実際と類似させて作製し、その後載荷実験を行ってその力学的特性を普通コンクリートの場合と比較し、実際の鋼合成桁床版に膨張コンクリートを適用するに当たっての設計上の考え方および問題点の有無を検討したものである。

2. 試験の概要

実際の道路橋をモデル化して、図-1に断面諸元を示すように、3本のI形鋼の鋼桁上に、幅が275cm、長さが300cm、厚さが15cmの床版を、膨張コンクリートと普通コンクリートで打込んだ三主桁合成桁を作製した(それぞれCPおよびRCと略称する)。ずれ止めには、長さが130mm、径が19mmのスタッドジベルを、端面から85cmの区間では9cmピッチで、その他は13cmピッチでそれぞれ1列ずつ設けた。なお、横桁、横構あるいは対傾構等は用いなかった。

鉄筋はD13およびD10を用いた。降伏点はそれぞれ33.9kg/mm²および35.3kg/mm²、引張強さはそれぞれ50.8kg/mm²および52.5kg/mm²であった。主鉄筋は、図-1の配筋図に示すように、1本置きに中間主桁上および端桁上で折曲げた。また、各方向の鉄筋量は表-1に示すように、通常一般に用いられるものとした。

膨張コンクリートおよび普通コンクリートともレデーミクストコンクリートを用いた。配合を表-2に示す。鋼合成桁床版には、表-2に示す以上の膨張エネルギーをもつコンクリートの方が有効と考えられるが、安全をみて、土木学会標準「膨張コンクリートの拘束膨張および収縮試験方法」に定めるA法に準ずる一軸拘束供試体(標準一軸拘束供試体と略称する)による膨張率が約 400×10^{-6} で、自由膨張させたコンクリートの圧縮強度が、膨張材を用い

表-1 床版の鉄筋量

		主鉄筋 D13		配力鉄筋 D10	
		間隔 (cm)	主鉄筋比 (%)	間隔 (cm)	配力鉄筋比 (%)
床版中	上段	2.0	0.5.1	1.6	0.3.4
	下段	1.0	1.0.1	6	0.9.1
鋼桁上	上段	1.0	1.0.1	8	0.6.9
	下段	2.0	0.5.1	1.2	0.4.6

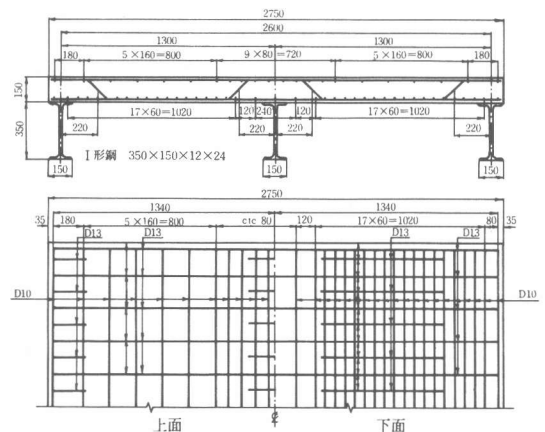


図-1 三主桁鋼合成桁床版の断面図および床版の配筋図

い通常のコンクリートとほぼ同程度になるように決めた。

実際の道路橋床版の養生方法に類似するように、戸外で打込み（RCは11月上旬、CPは12月上旬）、材令7日間濡れ布で床版上面を覆った。その後、底型枠を取りはずし、床版上面だけは材令21日まで湿布養生を継続した。その後濡れ布を取除き、雨露等を防ぐため上面をビニールシートで覆った。RCは材令1月で、また、CPは材令3月で載荷試験を行った。

載荷試験においては、図-2に示すように、主桁スパンを2.6m、床版スパンを1.3mとした。各主桁に2個ずつ合計6個のロードセルで鋼合成桁を支持した。なお、ロードセルと鋼桁との摩擦を防止するため、0.3mmのテフロンシートを用いた。

まず、上限荷重を10tとして、図-2に示す載荷位置IからVまでの載荷を行い、次に上限荷重を20t、30t、40tと順次引上げて、前記同様に繰返し載荷を行い、破壊に至らした。要した時間は1体あたり2日であった。載荷板は、幅×長さが15×20cm、厚さが3cmの鋼板に、厚さが15mmの硬質ゴムを介したものとした。

3. ケミカルプレストレスおよび膨張収縮性状

標準一軸拘束供試体を鋼合成桁床版と同様に戸外で湿潤養生した場合の膨張率を実線で、また、材令1日まで床版と同様にした後20℃の水中養生を行った場合を破線で図-3に示す。膨張の継続時間が従来の実験結果に比較して長く、材令14日でもまだ膨張率の増加が大きい。

鉄筋に貼付したワイヤストレインゲージより得た床版中央部分の主鉄筋の膨張率を、材令の経過とともにすべてプロットしたのが図-4である。上段および下段とも、膨張率の最大と最小の差が、各材令とも約 100×10^{-6} 以内にばらついている。このようなばらつきの程度は、配力鉄筋および鋼桁上の主鉄筋についてもほぼ同様であった。

図-5は、主桁方向の膨張率の時間的変化を、上段に配置した配力鉄筋と鋼桁上縁について示している。なお、鋼桁上と床版中央部分での床版の配力鉄筋比は異なるが（表-1参照）、配力鉄筋の膨張率は上段、下段とも両部分の間に差が認められずに鋼桁からの距離に無関係にほぼ一様な値を示したので、図-5に示した膨張率は上段配力鉄筋に貼付した21枚のワイヤストレインゲージの値を平均したものである。

膨張コンクリートを利用する場合、床版各方向に生ずる膨張分布およびケミカルプレストレスが推定できなければならない。

表-2 コンクリートの配合および載荷材令時における圧縮強度

	粗骨材の最大寸法 (mm)	スラブ (cm)	水結合材比 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m^3)				圧縮強度 (kg/cm^2)	
					水 W	セメント C	膨張材 E	細骨材 S		粗骨材 G
膨張コンクリート	2.5	7.4	4.8	3.8	169	302	5.0	707	1183	497
普通コンクリート	2.0	14.5	5.7	4.6	164	288	0	856	1023	331

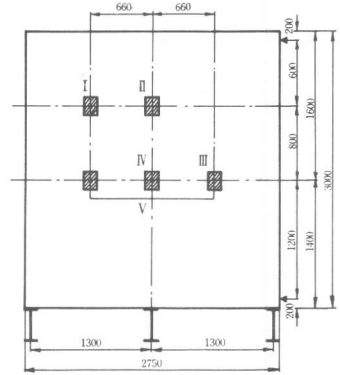


図-2 載荷試験における載荷位置

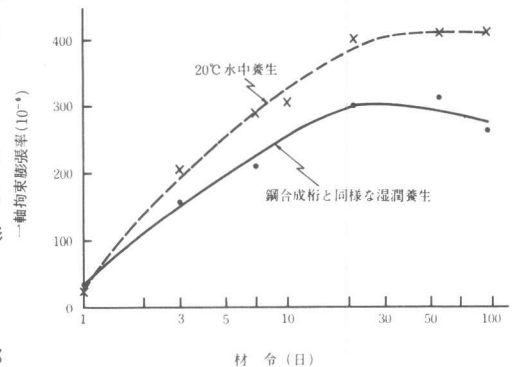


図-3 標準一軸拘束供試体の膨張率

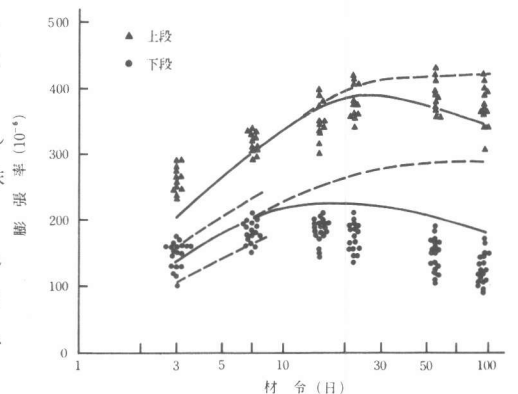


図-4 主鉄筋の膨張率の時間的変化

主桁直角方向の主鉄筋方向については、コンクリートの膨張はすべて鉄筋のみで拘束すると仮定して、すでに提案している仕事量の概念に基づく方法¹⁾により推定できる。図-4には、図-3の鋼桁と同様な養生方法による膨張率から算定した仕事量を用いて、材令3日から7日までの主鉄筋に生ずる膨張率の推定値を破線で示している。標準一軸拘束供試体は断面が10×10cmと鋼合成床版に比べて非常に小さい。したがって、今回のようにコンクリートの打込み、養生が冬期の場合には特に、基準とした標準一軸拘束供試体の膨張の発現速度が床版に比べて遅くなり、用いた仕事量の値が小さく、主鉄筋上段および下段の膨張率とも小さく推定される。20℃水中養生を行った標準一軸拘束供試体より求めた仕事量を用いて推定したものを実線で図-4に示しているが、実測値に近い値が得られている。底型枠として主鉄筋方向に幅が30cmのメタルフォームを並べて用いたが、適切な仕事量を用いて鉄筋の拘束のみを考慮した推定値は実測値とほぼ一致することを考えあわせると、主鉄筋方向については、型枠の拘束を無視し、鉄筋のみにより拘束されるとして仕事量の概念に基づく方法で、膨張分布およびケミカルプレストレスを計算して良いとの著者らの主張が確められた。

主桁方向についても、上述の方法に鋼桁の拘束をも考慮した方法により推定できる。図-5には、図-3の20℃水中養生より求めた仕事量を用いて求めた推定値を実線で示している。推定値は実測値に近い値を示している。

各方向の膨張分布およびケミカルプレストレスの推定には仕事量の概念に基づく方法を適用できることが確められたが、正確に推定するには、基準となる仕事量を求めることが今後の課題として残された。標準一軸拘束供試体では、実際の床版との温度履歴および水分の供給状態が異なるため、問題がある。特に、温度履歴は膨張率に大きな影響を与えることから、実物大での実験の蓄積が必要である。

材令7日に底型枠を取除いて床版下面を戸外に曝し、上面はそのまま21日まで湿潤養生を行い、その後戸外に放置した。乾燥収縮による収縮量を求めるには、これまでの方法を用いる。すなわち、図-3の膨張率から求めた仕事量を用いて推定した図-4および図-5の破線で示す膨張率から、収縮量を差引いたのが実線である。計算の基準となる乾燥収縮曲線は、Bazant等の提案式²⁾を用い、相対湿度は50%と仮定した。ヤング係数比を $n=21$ と仮定して、主鉄筋方向は従来の方法により³⁾、また、主桁方向は道路橋示方書に示されている方法により乾燥収縮量を計算した。基準とした仕事量および乾燥収縮曲線について今後検討しなければならないが、乾燥を受ける場合の膨張分布およびケミカルプレストレスの推定は、仕事量の概念に基づく乾燥をうけない値から、乾燥収縮による分を差引くことにより計算が可能であると思われる。

4. 力学的特性

コンクリート表面に貼ったワイヤストレーンゲージの急変点より求めた初期ひびわれ発生荷重を表-3に示す。ひびわれはまず主鉄筋直角方向に発生した。RCでは、すでに載荷前にコンクリート表面に細くて短い無方向性のいわゆる表面ひびわれが多数認められ、荷

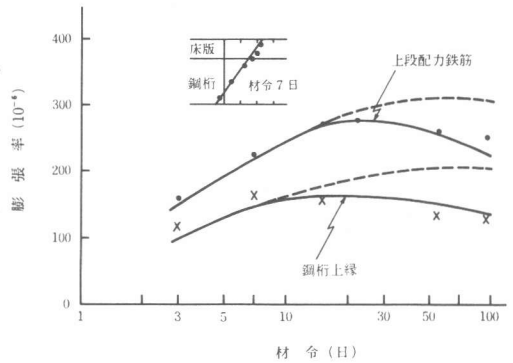


図-5 主桁方向の鉄筋と鋼桁の膨張率の時間的变化

表-3 ひびわれ発生荷重と押抜きせん断破壊荷重

載荷位置	ひびわれ荷重(t)		押抜きせん断破壊荷重 (t)			
	実測値		実測値		計算値 [※]	
	RC	CP	RC	CP	RC	CP
I	5	7.5	4.0	4.9	34.5	38.5
III	5	7	3.8	5.3		
V	5	7.5	3.9	4.5		

※角田らの計算式による($\sigma_{sy}=34.6 \text{ kg/ml}$)

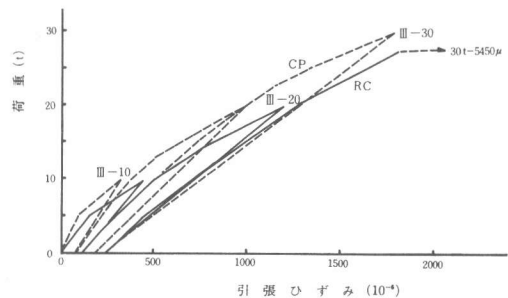


図-6 主鉄筋の引張ひずみと荷重との関係

重の増加とともにこれらのひびわれが発達して主鉄筋直角方向に卓越した。CPでは、このような表面ひびわれがほとんど認められなかった。また、表-3に示した荷重段階では目視によるひびわれの認定はできずに、それぞれ10tの荷重時にはじめてひびわれの発生を確認した。

表-3に示す荷重から、相対する2辺で単純支持された等方性単純支持版とし、ポアソン比を0.17と仮定して、床版下面主鉄筋方向のひびわれ発生時における載荷板中央の曲げモーメントを計算すると⁴⁾、RCでは、 $1.3^{t-m/m}$ に対してCPでは $2.0^{t-m/m}$ となる。載荷時において乾燥収縮による底版下面主鉄筋方向に生ずる引張応力度を、3に述べた方法により求めると、RCでは 2 kg/cm^2 、ケミカルプレストレスが 11 kg/cm^2 導入されているCPでは 4 kg/cm^2 となる。コンクリートの引張極限ひずみを、 200×10^{-6} 、引張側の応力-ひずみ曲線をHognestadと相似とし、また、引張強度を $f_t = 0.583 f_c^{2/3}$ と仮定し⁵⁾、乾燥収縮による引張応力度を考慮したひびわれ発生モーメントを求めると、RCでは $1.4^{t-m/m}$ に対し、CPでは $2.2^{t-m/m}$ と計算され、RC、CPとも実測値と良い一致を示した。したがって、膨張コンクリートを利用すると、ケミカルプレストレスに相当する分だけひびわれ発生荷重が増加すると考えて差支えないことが確められた。

床版中央部分の載荷位置Ⅲ直下における主鉄筋の引張ひずみと、その位置Ⅲに上限荷重を10t、20t、30tと増加させて載荷した荷重との関係をプロットしたのが図-6である。同一荷重における鉄筋の引張ひずみは、RCに比べてCPの方が、大約膨張作用により主鉄筋に生じた引張ひずみの $150 \sim 200 \times 10^{-6}$ ほど小さくなっている。図-7は、載荷位置Ⅲの場合における下段の主鉄筋のひずみが桁軸直角方向にどのように分布するかを示した例である。この図からも、載荷点近傍の引張ひずみがRCに比べてCPの方が小さくなっている。ゲージとひびわれ相互の位置関係により、図-6および図-7のように明瞭に認められない場合もあるが、このことは主鉄筋および配力鉄筋についても一般に認められた。また図-6から、残留ひずみもCPの方が小さくなっていることは明瞭であって、これもケミカルプレストレスの効果である。

床版中央部分の載荷点直下のたわみの一例を図-8に示す。これまでの膨張コンクリートの効果から推測されるように、床版の剛性が大きく、たわみは小さくなることが確められた。

CPおよびRCとも荷重が30t程度になると荷重直下の鉄筋が降伏しはじめたが、荷重はまだ増加し、最終的には、いわゆる押抜きせん断破壊を生じた(表-3参照)。角田らの式⁶⁾による計算値も表-3に示しているが、圧縮強度の増加以上の破壊荷重の増加を示しており、ケミカルプレストレスの効果が示された。

5. あとがき

本研究は、昭和53年度文部省科学研究費補助金(試験研究(1))を受けて行ったものである。鉄筋コンクリート床版のRCは、鹿児島大学、松本進博士と共同して行った。共同研究の山崎淳・池田尚治・町田篤彦・松貝勇の各博士には、実験計画ととりまとめの段階で多くの有益な御助言を頂いた。また、実験の実施には、東京大学榎本松司技官に御援助頂いた。ここに厚くお礼申し上げる。

文献1) 辻幸和・前山光宏：膨張コンクリートを用いた部材における膨張分布の推定方法、セメント技術年報、1977年

2) Bazant and Panula: Practical Prediction of Time-Dependent Deformations of Concrete, Structural Eng. Report No 78-3 Northwestern Univ. March 1978

3) 福田武雄：鉄筋コンクリート理論、生産技術センター、1976年8月、pp. 485~492

4) Timoshenko and Krieger: Theory of Plates and Shells, 2nd ed. McGraw-Hill, 1959, pp. 158~161

5) 岡村甫：コンクリート構造の限界状態設計法、共立出版、1978年、p. 17

6) 角田与史雄他：鉄筋コンクリートスラブの押抜きせん断耐力に関する実験的研究、土木学会論文報告集、229号、1974年9月

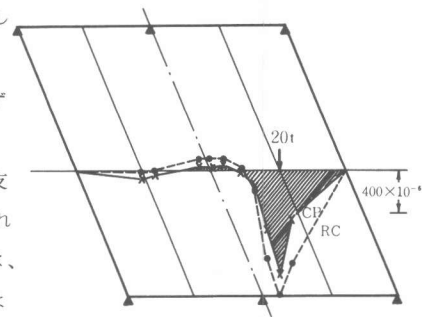


図-7 床版主鉄筋の引張ひずみの分布

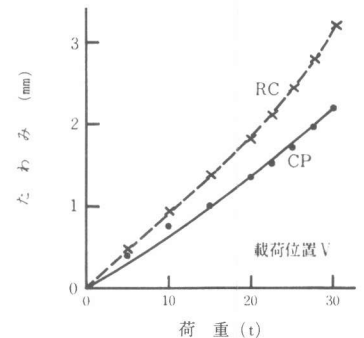


図-8 床版のたわみ