

連続合成桁へのケミカルプレストレスの 適用に関する研究（第2報）

岡田 幸児¹⁾ 細見 雅生²⁾

合理化、省力化を実現させるための橋梁形式として少数主桁連続合成桁が注目されており、種々な改善案が提案されている。今回、膨張コンクリートを使用したケミカルプレストレスの適用を中心としたプレストレス導入の組合せを考え、その有効性について検討を行った。現場施工の膨張コンクリート使用によるケミカルプレストレスの導入は、施工管理と強度の評価が難しいとしてあまり使用されていないものと思われる。今回の報告は、このケミカルプレストレスを積極的に設計に取り入れようとするものである。

キーワード：ケミカルプレストレス，連続合成桁，膨張コンクリート

まえがき

合理化、省力化を実現するための橋梁形式として、少数主桁連続合成桁が注目されている。その理由として、少数主桁を用いた桁が経済的であることと、連続合成桁に対する考え方が変わりつつあることが挙げられる。従来から非合成桁も合成桁として挙動することが知られていたが、連続合成桁を非合成として扱うことが安全側の設計とされていた。しかし、最近では、設計の際に橋梁の構成要素を合理的に評価すべきであるという考え方に変わりつつある。

連続合成桁のコンクリート床版に橋軸方向プレストレスを導入する方法として、ジャッキアップダウンによる方法があるが、その効果が不明確なため、数値として評価せず、ひび割れ防止対策として扱われることが多い。また、ボックスカルバートなどのプレキャスト部材にプレストレスを導入する方法として膨張コンクリートによるケミカルプレストレスがあるが、連続合成桁に使用された事例は少ない。これは、現場施工の膨張コンクリートの使用によるケミカルプレストレスの導入

は、施工管理と強度の評価が難しいとされているためである。橋梁の床版コンクリートとして乾燥収縮の影響を小さくするための収縮補償として使用された例は多いが、プレストレス導入のための数値評価を検討した事例は少ない¹⁾。

そこで本研究では、連続合成桁の中間支点付近にプレストレスを導入することを目的として、ケミカルプレストレスを積極的に数値評価し、使用する検討を行うものである。今回、中間支点付近をモデル化した桁を製作し、養生、載荷実験を行い、ケミカルプレストレスの適用について実験的検討を行った。

1. 膨張コンクリートの基本配合

膨張コンクリートは、コンクリートに膨張材を混ぜることで、硬化後に体積膨張が生じるコンクリートである。膨張コンクリートは収縮補償コンクリートとケミカルプレストレスコンクリートに分けられ、後者の方がより大きな圧縮応力を発生する。使用される膨張材は、石灰系とCSA系に分けられ、石灰系の方がより大きな膨張を必要とする場合に適している²⁾。

1) 開発室 2) 開発室次長

膨張コンクリートの配合は必要とされるプレストレス量、現場の環境条件および材料特性を勘案して決定する必要がある。ここでは、膨張コンクリートの配合を決定するため配合試験を前もって行い³⁾、表-1のような配合を用いた。ここで、表中のExは膨張材を示す。このコンクリートは膨張率を 600×10^{-6} 、設計基準強度 40N/mm^2 を想定し、膨張材配合量を 55kg/m^3 、管理温度を $10^\circ\text{C} \sim 20^\circ\text{C}$ としている。

表-1 コンクリート配合

スラン プ(cm)	Air (%)	W/P (%)	s/a (%)	単位重量 (kg/m ³)						
				W	C	S	G	Ex	Pz70	Pz101
8±2.5	4.5 ±1.5	36.5	35	170	411	580	1106	55	1.49	3A [*]

*) Aは空気量 1%のAE剤単位量を示す。

2. ケミカルプレストレスの計算

設計時に用いるケミカルプレストレスおよび実験値と比較するための計算値の算出には、以下の式を使用する。桁との合成効果によるプレストレスの処理は、「膨張現象は乾燥収縮と正負逆な現象」と考え、道路橋示方書⁴⁾の乾燥収縮の計算方法を拡張してケミカルプレストレス量を算出した。以下に計算方法を示す。

鉄筋比に関わらず、単位体積あたりの膨張エネルギーがかわらないとして、拘束膨張試験で規定されている鉄筋比0.95%時の膨張率の条件から膨張エネルギーUを計算する^{5),6)}。

$$U = \frac{1}{2} \sigma_{cp} \epsilon$$

$$= \frac{1}{2} P_r E_s \epsilon^2 \quad (1)$$

ここに、

σ_{cp} : コンクリートのケミカルプレストレス量

P_r : 拘束鉄筋比(A_{st}/A_c)

E_s : 鉄筋のヤング係数

ϵ : 鉄筋の膨張ひずみ

A_{st} : 鉄筋断面積

A_c : コンクリート断面積

式(1)より、任意の鉄筋比における拘束鉄筋のケミカルプレストレイン ϵ_{sp} は、

$$\epsilon_{sp} = \sqrt{\frac{2U}{E_s P_r}} \quad (2)$$

式(1)、(2)より、コンクリートのケミカルプレストレス σ_{cp} は、

$$\sigma_{cp} = \sqrt{2UE_s P_r} \quad (3)$$

桁との合成効果を考慮して乾燥収縮と同様の式(4)を適用する。

$$\sigma_c = \frac{1}{n'} \left(\frac{P'}{A_v'} + \frac{M_v' y_v'}{I_v'} \right) + E_c' \epsilon + \frac{\Delta M_v' y_v'}{n' I_v'} \quad (4)$$

ここで、

σ_c : 膨張コンクリートによるクリープ応力度

n' : 膨張による応力度算出用ヤング係数比

P' : 膨張による仮想軸力

M_v' : 膨張による仮想モーメント

A_v' : n' を用いた換算合成断面積

I_v' : n' を用いた換算合成断面2次モーメント

y_v' : n' を用いた中立軸からの距離

E_c' : n' を用いたコンクリートヤング係数

ϵ : 膨張率

なお、この場合のクリープ係数 ϕ は乾燥収縮より膨張が早く始まるため、道路橋示方書の乾燥収縮の計算で用いる ϕ より大きな値になることが考えられるが、測定例がないため乾燥収縮の場合と同じ値 $\phi = 4$ を使用することとする。

また、ケミカルプレストレスによるクリープも考慮する。ここで、クリープ係数は $\phi = 2$ として計算する。プレストレスとしては、桁の拘束によるプレストレスを除いた値である式(3)による計算値を用いる。これは、桁の拘束による影響は乾燥収縮の場合と同様に考えて式(4)の膨張計算時に考慮されているものと考えているためである。

3. 載荷実験

(1) 実験概要

本実験では大支間の少数主桁連続合成桁の中間支点付近をモデル化し、膨張コンクリートによるケミカルプレストレスの効果およびケミカルプレストレスとジャッキ操作の併用効果を確認する。ここでジャッキ操作とは、コンクリート打設前に中間支点でジャッキアップを行い、打設後にジャッキダウンを行うことである(以後、ジャッキ操作と略す)。また、養生期間は1週間としている。膨張コンクリートとの比較のため、普通コンクリート床版の実験桁についても載荷実験を実施する。

以後、普通コンクリートをA桁、膨張コンクリートのみをB桁、膨張コンクリートとジャッキ操作の併用をC桁とする。

今回モデル化を行う際に想定した橋の規模は、最大支間が100m、主桁間隔が10mの2主桁連続合成桁である。図-1にモデル橋の一般図を示す。また、図-2に膨張コンクリートの施工範囲を示す。膨張コンクリートは床版に圧縮のプレストレスを与えるものであるから、荷重によりコンクリートに圧縮の生じる支間中央に膨張コンクリートを使用することは床版にとって不利となる。よって、桁に負の曲げモーメントが作用し、床版に引張が生じる範囲に膨張コンクリートを施工することを想定する。モデル橋については駒井技報 Vol.18³⁾で詳細な内容を報告している。

(2) 実験桁の諸元

実験桁の諸元はモデル橋との比較を考えて定めている。床版に関しては、床版厚および鉄筋比は

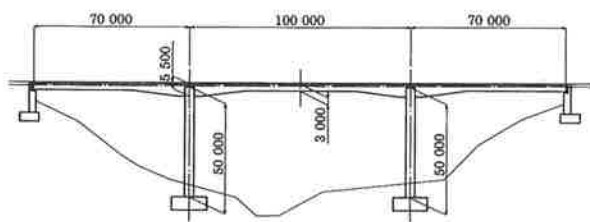


図-1 モデル橋一般図

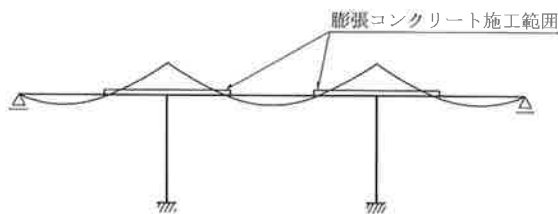
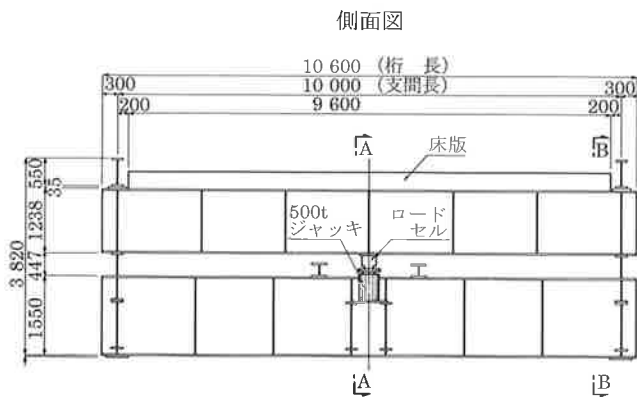
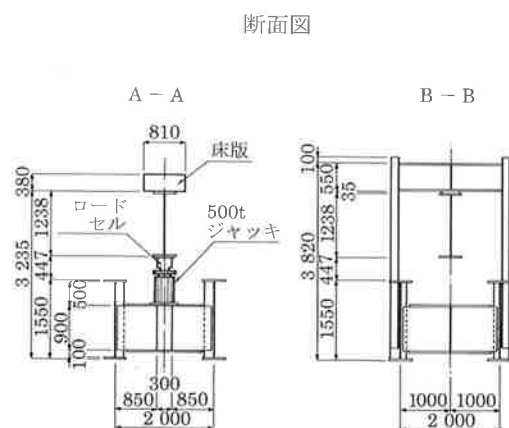


図-2 膨張コンクリート施工範囲



側面図



断面図

図-3 実験桁および載荷梁一般図

モデル橋に合わせてそれぞれ380mmおよび2%とし、床版の幅は有効幅内に収まるように設定した。桁断面に関しては、床版と鋼桁の断面2次モーメント比がモデル橋と実験桁で同じ程度になっている。図-3に実験桁および載荷梁の一般図を示す。

実験桁におけるコンクリートのプレストレス量の目標値はモデル橋との比較を考えて、ジャッキ操作、膨張コンクリートで各々 2.9N/mm^2 とする。これは、モデル橋中間支点上において、合成後死荷重ならびに活荷重による引張応力度を打ち消す値である。

上記の条件を用いて、コンクリート床版部の応力度を計算した結果を表-2に示す。ここで表中の有効プレストレスは、クリープによる減少量を加味したプレストレスである。また、各実験桁のM- ϕ 曲線を図-4に示す。ここでM- ϕ 曲線の計算ではコンクリートのひび割れ発生応力度を 2.5N/mm^2 とする。計算ではB桁において、ひび割れ発生モーメントがA桁の2倍程度まで増加する。

表-2 実験桁の床版応力度

コンクリート		(N/mm ²)		
		A桁	B桁	C桁
上 縁	プレストレス	0.00	-2.83	-7.95
	ク リ ー プ	0.00	0.47	2.83
	乾 燥 収 縮	0.54	0.54	0.54
	温 度 差 (+)	0.13	0.13	0.13
	〃 (-)	-0.13	-0.13	-0.13
	有効プレストレス	0.00	-2.36	-5.12
下 縁	プレストレス	0.00	-3.69	-5.24
	ク リ ー プ	0.00	0.94	0.55
	乾 燥 収 縮	0.96	0.96	0.96
	温 度 差 (+)	1.12	1.12	1.12
	〃 (-)	-1.12	-1.12	-1.12
	有効プレストレス	0.00	-2.75	-4.69

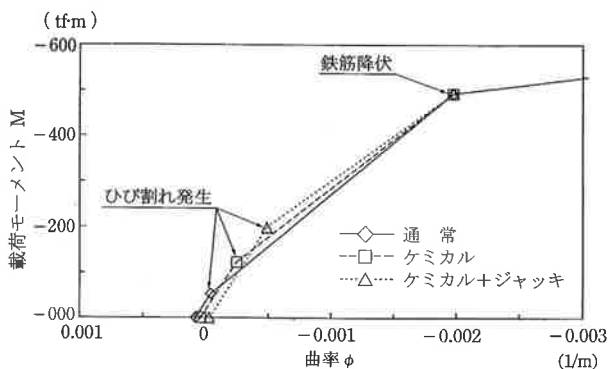


図-4 実験桁M-φ曲線

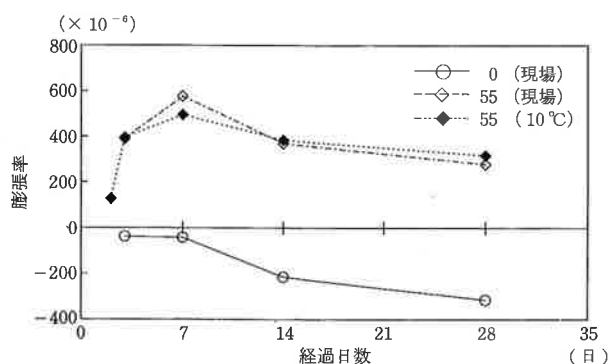


図-5 現場養生における膨張率

(3) 実験内容

実験は屋外に実験場を設けて実施した。実験桁の施工は、橋梁架設現場での施工を念頭に置いて行った。特にコンクリートの養生は、打設時期が冬季である2月上旬であったため、十分注意して行った。脱型まではコンクリート付近の温度をできるだけ10~20℃になるようにモニターしながら管理し、継続して散水を行った。主な計測内容は下記のとおりである。

1) コンクリート養生中

コンクリート養生中のクリープ、乾燥収縮、膨張率などの把握を目的として、コンクリート打設後1ヶ月間の連続計測を行った。計測項目は以下のとおりである。

コンクリートのひずみ、鉄筋のひずみ、鋼桁のひずみ、桁の変形量、反力

2) 荷重載荷時

載荷試験時(コンクリート打設28日経過後)に1)の計測項目以外にコンタクトゲージによるひずみ・ひび割れ幅計測を追加して行った。荷重の載荷は、コンクリートのひび割れ発生を確認しながら載荷し、桁の耐荷力が限界に達するまで行った。

3) 現場供試体試験

実際に屋外実験場(以後、「現場」と略す)で施工されたコンクリートの品質確認を行うため、供試体の採取および養生を行った。

4. 載荷実験結果

(1) 供試体の試験結果

実験結果のうち、現場養生における膨張率を図-5に示す。ここでは、現場養生による結果に加え、恒温室(10℃)による結果も示している。現場で

養生したのも、恒温室の結果とほぼ同程度の値が計測されている。現場では10℃程度の温度変化が生じているが、このような条件に対しても膨張率は期待した値になっていることが確認できる。また、28日の圧縮強度においても40.5N/mm²と強度低下は見られなかった。

以上の結果より、今回想定した膨張材配合量55kg/m³では極端な強度低下は起こさないこと、また、多少の温度変動があっても膨張率は確保されることが確認できた。

(2) 養生中の計測結果

今回の実験において実験桁を約1ヶ月測定したが、その結果の代表として、床版上側のひずみの推移を図-6に示す。また、床版上縁の膨張率計算結果を表-3に示す。図-6より計測値では各桁とも初期に膨張を示し、その後、乾燥収縮およびクリープにより、コンクリートのひずみが増加しているのが確認できる。A桁は普通コンクリートであるが、若干の膨張が確認できる。これはコンクリートを水中で養生すれば初期に100×10⁻⁶程度膨張するためであり、7日目までは温潤養生に近い状態であるためと考えられる。BおよびC桁は膨張コンクリートを使用しているため、300×10⁻⁶

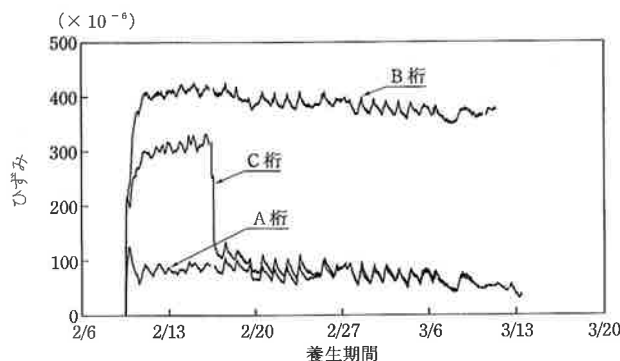


図-6 養生時の床版上側のひずみ

表-3 床版上縁の予定膨張率

計算条件	予定膨張率
鉄筋比2%時	412×10^{-6}
桁による拘束	-115×10^{-6}
合計	297×10^{-6}

鉄筋比0.95%時は 600×10^{-6} とする。

以上のひずみが計測されている。また、C桁はB桁よりも膨張率が若干少ない。C桁はジャッキ操作を行うためにB桁よりも高い位置で養生されており、平均で2~3℃程度B桁よりも低い温度であった。このため、C桁の膨張率が若干抑えられていたと考えられる。

また、C桁が途中でひずみが大きく変化しているのは、ジャッキダウンを行った所である。これにより、ケミカルプレストレスに加えジャッキダウンによるプレストレスが発生し、クリープひずみが増大し、ジャッキダウン後の膨張ひずみの減少量がB桁に比べ大きくなっている。

(3) 載荷実験の結果

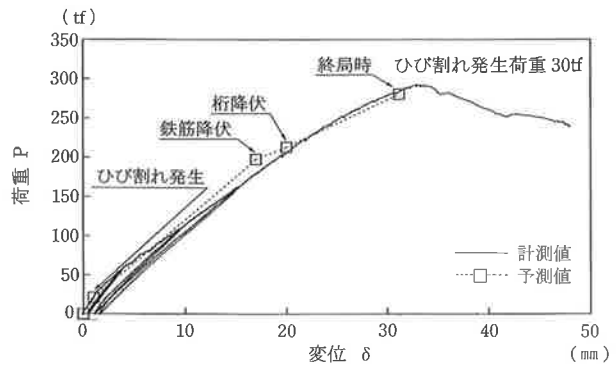
① P - δ 曲線

図-7(a)~(c)に載荷実験より得られたP - δ 曲線と計算による予測値を示す。まず、図-7(a)は普通コンクリートであるA桁の結果である。ひび割れ発生荷重は30tfであった。全体的に予測値よりも変形しているが、これはせん断変形の影響のためと考えられる。図-7(b)はケミカルプレストレスのみのB桁、図-7(c)はジャッキ操作を併用したC桁である。図-7より、それぞれ導入したプレストレスに応じてひび割れ発生荷重が増加していることが認められる。また、載荷と除荷を繰り返した結果、鋼桁が降伏していない場合でも除荷時の変位に差が出ている。これは、後述する内部応力の開放が原因であると考えられる。

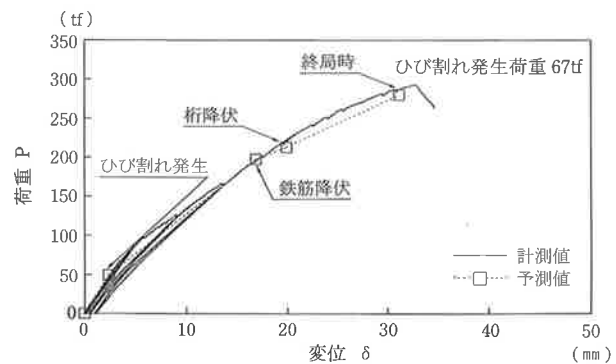
② P - ε 曲線

図-8(a)~(c)に載荷実験時の桁中央上縁鉄筋ひずみの状態を示す。また、同時に計算による予測値も示す。計算は以下の手順で行った。

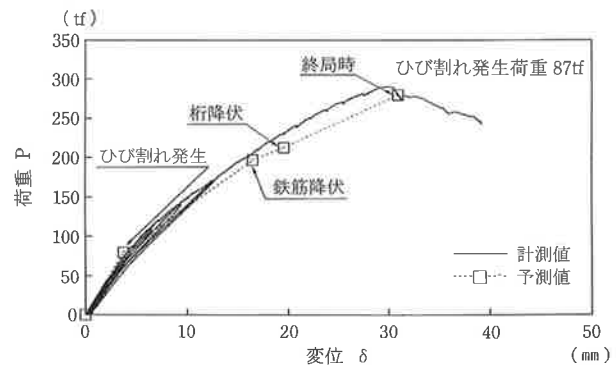
- i) ひび割れ発生までは「合成断面（桁+コンクリート）」として抵抗する。
- ii) ひび割れが発生したときには、ひび割れ発生断面に着目して、コンクリートは外力を分担しないが、鉄筋は外力を分担すると仮定し、「非合成断面（桁+鉄筋）における鉄筋ひずみ」の計算を行う。



(a) A 桁



(b) B 桁



(c) C 桁

図-7 荷重変位曲線

- iii) ひび割れ発生後は、コンクリートと鉄筋の付着が切れていくことにより、内力（乾燥収縮、クリープなど）が開放されていく。このとき、コンクリートはないものとし、鉄筋と桁は内力を保持しないとする（開放される内力はプレストレスも含んだ全てである）。ただし、ジャッキ操作による内力は、鉄筋とコンクリートの間で発生しているものではないことから、開放されないものとする。図-8では比較のための内力が開放されないケースも計算を行っている。
- iv) 荷重を除荷していき、コンクリートが再度接するようになると、合成断面に近い挙動を

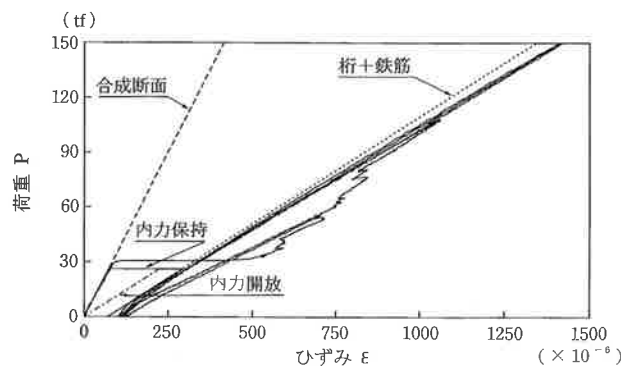
示す。計算では、ひび割れ発生前の合成状態においてコンクリートの応力度が0になる鉄筋ひずみを計算し、ひび割れ発生後の除荷時の鉄筋ひずみが上記の値と一致するときを再合成として計算している。

図-8(a)はA桁の結果である。ひび割れが発生するまでは、曲線の傾きは合成断面としての計算結果と一致している。そして、荷重を増加させ、ひび割れが発生したときに鉄筋のひずみが大きく増加するが、この原因として以下の2つが考えられる。

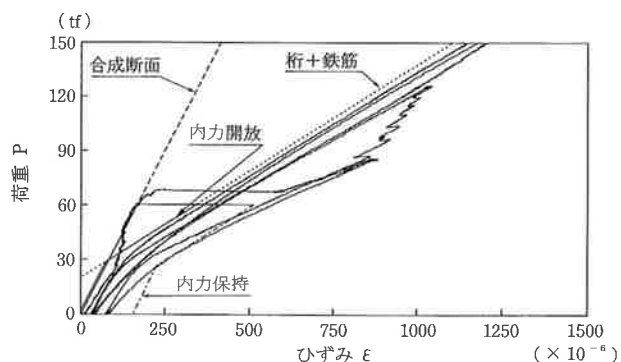
- ・コンクリートの負担していた力が、ひび割れが発生したことにより鉄筋に移行する。
- ・乾燥収縮による鉄筋の収縮が開放されたために、鉄筋ひずみが引張側にシフトする。

これらの理由により、ひび割れ発生時に引張方向にひずみがシフトすると考えられるため、荷重を完全に除荷しても、引張方向のひずみが残ることになる。また、ひび割れ発生時にはひび割れ部分にひずみが集中することになるため、桁全体を非合成断面とした場合よりも、大きなひずみが発生する。このひずみは、荷重が増加し、ひび割れ本数が増えるに従って分散され、非合成断面の計算結果に近づいていく。

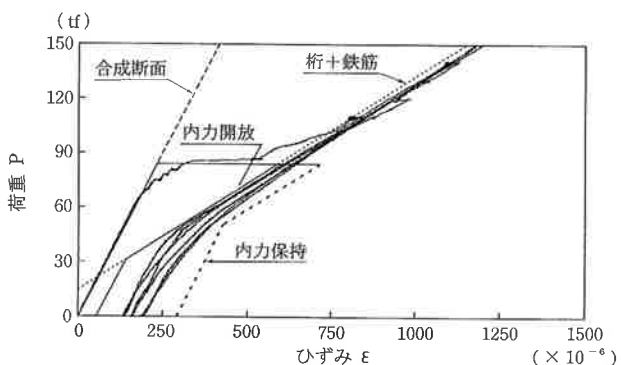
図-8(b)はB桁の結果である。曲線は、载荷を開始してしばらくは合成断面よりも緩い傾きを示し、その後ひずみは圧縮側に少しずつずれて合成断面の計算結果とほぼ同じ傾きになり、ひび割れが発生している。膨張コンクリートのみの桁では荷重レベルが低いときには、コンクリートより鉄筋の方がより多くの力を分担するという不完全な合成断面となっていると推察される。ひび割れ発生前のひずみの圧縮側へのずれは、ケミカルプレストレスにより与えられていた鉄筋の引張ひずみがマイクロクラックの発生により開放されたためではないかと推察される。ひび割れ発生時には、A桁と同様に各内力（乾燥収縮、クリープ、膨張）の開放、コンクリート負担分の鉄筋への移行およびひずみの集中により引張側へ大きくシフトする。その後ひび割れ本数の増加に伴い、集中したひずみが分散されつつ、内力が開放されていく。また、B桁は载荷と除荷を繰り返すに従い、除荷時の鉄筋に残留する引張ひずみが減少する傾向にある。これは、乾燥収縮およびクリープによる圧縮方向ひずみの開放量よりも、ケミカルプレストレスに



(a) A 桁



(b) B 桁



(c) C 桁

図-8 荷重ひずみ曲線

よる引張方向ひずみの開放量が大きいためと考えられる。このため、残留するひずみはA桁（普通コンクリート）に比べ小さくなる。ひび割れ発生後に荷重を除荷していく際、A桁よりも早い段階で非合成断面が再び合成断面として挙動する傾向が現れている。

図-8(c)のC桁は、膨張コンクリートとジャッキ操作の併用により最もプレストレスを導入した桁である。このため、ひび割れ発生荷重は他の桁よりも大きくなっている。ケミカルプレストレスの作用は鉄筋に引張力、コンクリートに圧縮力を発生させて釣り合っている状態である。これに対しジャッキ操作の作用は、コンクリート床版全体に

圧縮力を発生させる。鉄筋に対して両作用による力は打ち消し合う力であり、載荷前の初期段階には鉄筋のひずみは小さいものと考えられる。これにより、ジャッキ操作ではコンクリートがひび割れて内部応力が開放されても、鉄筋には圧縮方向のひずみは作用しないと考えられる。しかし、C桁にもケミカルプレストレスは使用されており、除荷していく際に早い段階で再び合成化していく傾向が現れており、桁に生じたひび割れがこの段階で再び閉じていると推察される。

③断面内のひずみの状態

図-9(a)~(c)はB桁の載荷時における桁中央断面内のひずみ状態を示したものである。まず、ひび割れが発生した時点(図-9(a))では、鉄筋が大きく非合成断面状態にシフトしていることがわかる。このとき、鋼桁におけるコンクリートのひび割れの影響は、桁全体に分散されるため合成断面と一致したものと推察される。載荷と除荷を繰り返し、ひび割れが進展してくると(図-9(b))、全体的に非合成断面にシフトしてくる。一致していない点は、コンクリートひずみ計であり、コンクリートのひび割れが進展し、応力を分担していないことが確認できる。また、図-8(b)より、コンクリートがひび割れを発生し、応力を分担しなくなっても、載荷荷重が小さい場合は荷重ひずみ曲線の勾配が合成断面の勾配になっている。これは、ひび割れが閉じて再度コンクリートが応力を分担するようになっているためと考えられる。これを断面状態で確認したのが図-9(c)である。計測値は合成断面の計算値と若干違った勾配を示すが、ほぼ一直線上であり、再合成していると考えられる。

④ひび割れ進展状況

図-10に各桁の桁中央のひび割れ幅進展状況を示す。プレストレスの導入に従ってひび割れ発生荷重が増加していることが確認できるが、ひび割

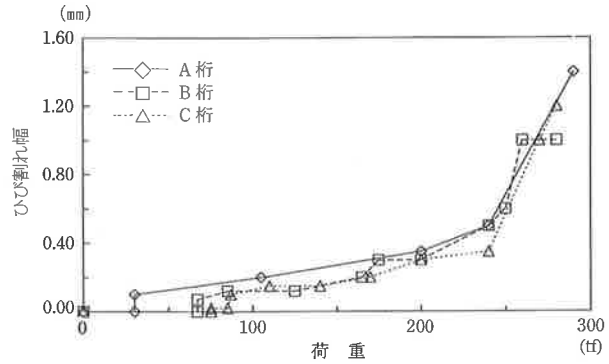


図-10 ひび割れ幅進展状況

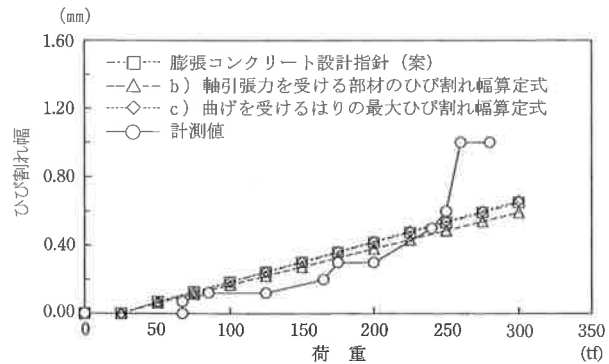


図-11 ひび割れ幅 (B桁)

れ発生後はどの桁もほぼ同様の勾配を示している。また、C桁はケミカルプレストレスに加えジャッキ操作を行っているが、B桁とひび割れ発生荷重以外はほぼ同じ傾向を示している。つまり、膨張コンクリートによるケミカルプレストレスは、ひび割れ幅の抑制に効果が認められるが、ジャッキ操作によるプレストレスは初期のひび割れ発生荷重を増加させるが、ひび割れ幅の抑制の点ではあまり効果がないといえる。

図-11はB桁のひび割れ幅と計算値を比較したものである。計算値は膨張コンクリート設計指針⁵⁾と日野らの式⁷⁾により計算を行った。また、ここでのひび割れ幅の計算には、最大ひび割れ間隔として計測値を適用し、乾燥収縮およびクリープなどによるひずみに対しては参考文献8をもとに、

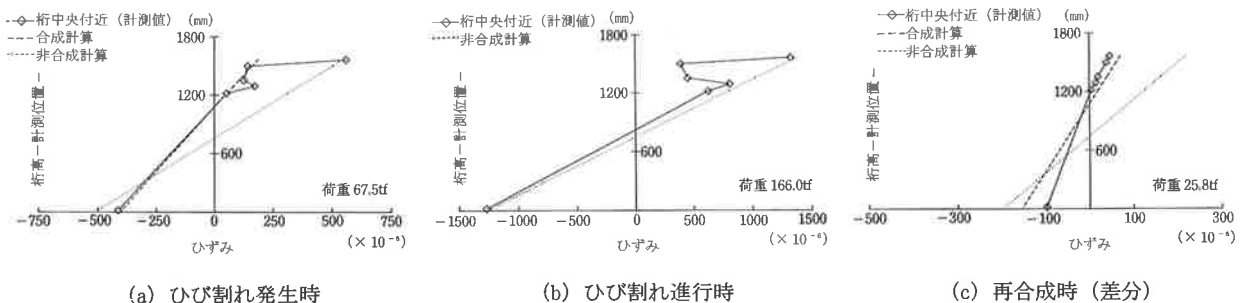


図-9 ひずみ分布 (B桁)

1ヶ月間分を見込むとして合成桁の計算から得られる値の50%を適用した。計算結果では、計測値は桁が降伏するまでは全ての計算式を下回るものの、軸引張を受ける部材の計算式に近い挙動を示している。これは鋼桁断面の中立軸から床版までの距離があるため、床版断面だけに注目した場合、引張軸力が作用した場合と同じような状態になっていると考えられる。

なお、今回のひび割れ発生間隔は最大で250mm程度であり、この間隔はジベルピッチとほぼ一致するものであった。

5. 長期計測実験

(1) 実験概要

膨張コンクリートによるケミカルプレストレスは、長期材齢におけるクリープおよび乾燥収縮によるプレストレスの損失が懸念される。著者らの計算(表-2)では、長期材齢においてもプレストレスが残存する結果を得ているが、これを実験的に確認する必要がある。そこで、長期間のプレストレスの損失を確認するために、载荷実験に続いて1999年10月から、連続合成桁の負曲げ部を想定した小型実験桁を用いて3年間の経時計測を開始した。桁は合計3体を製作し、膨張コンクリートのみでプレストレスを与えた桁1体と、ジャッキ操作と膨張コンクリートを併用した桁2体とした。プレストレスを併用した桁を2体製作するのは、1体を1年後に载荷試験を行い、3年後の結果と比較するためである。まだ、計測を開始して3ヶ月程度であるが、以下に打設後の計測結果の一部を紹介する。

(2) 実験桁の諸元

実験桁は長期の計測結果を測定するためのものであり、その寸法は前回の試験結果との対比も考えて決定した。実験桁の諸元を下記に示し、図-12に実験桁および支持桁の一般図を示す。

- 桁 高：600 mm
- 桁 長：2500 mm
- 支 間 長：2000 mm
- 床版断面：210 mm × 400 mm
- 膨張コンクリートの膨張率： 600×10^{-6}
- 導入ジャッキ量：桁中央 30tf

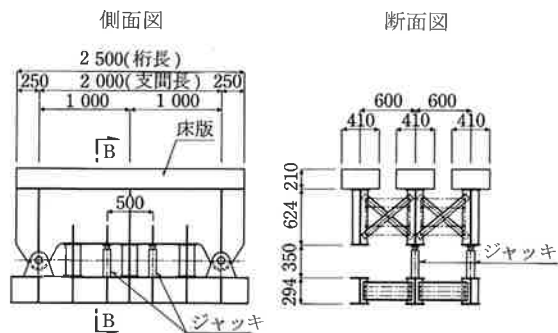


図-12 長期実験桁および支持桁一般図

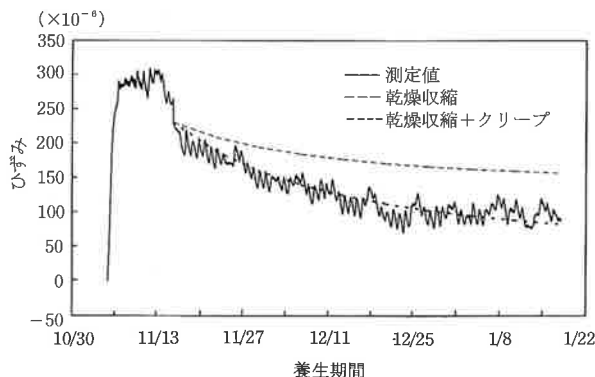


図-13 長期計測結果(床版上縁側)

(3) 計測結果

長期計測では、コンクリートのひずみをはじめ多種のデータを計測しているが、ここでは代表してコンクリート上縁付近のひずみの経時計測結果を図-13に示す。この桁は養生後10日程度でジャッキダウンを行い、膨張コンクリートとジャッキによるプレストレスを導入している。養生して1週間程度の予定膨張率は 300×10^{-6} 程度であり、近い値が測定されている。また、グラフ中の点線は一般的な式⁸⁾から、乾燥収縮($\phi=4, \epsilon_{\infty}=105 \times 10^{-6}$)とクリープ量($\phi=2, \epsilon_{\infty}=119 \times 10^{-6}$)を計算した結果であるが、測定結果とよく一致しており、 ϵ_{∞} と ϕ の仮定が適当であったと考えている。また、現段階での計測結果は著者らの計算値とほぼ一致しており、ケミカルプレストレスの効果は長時間経過しても有効であると考えている。今後、3年間計測を続け、膨張コンクリートの挙動を解明していく予定である。

6. 結論

本研究では連続合成桁の中間支点部を想定した実験桁を製作し、膨張コンクリートによるケミカ

ルプレストレスの適用性について検討し、以下の結論を得た。

- ① ケミカルプレストレスとジャッキ操作によるプレストレスでひび割れ荷重を活荷重合成時の荷重レベルまで上げられることが確認できた。
- ② ジャッキ操作とケミカルプレストレスの組合せは鉄筋に生じるひずみを打ち消し合い、プレストレスの効果を向上させる。
- ③ ケミカルプレストレスを使用した桁では、ひび割れ発生後に荷重を除荷する過程で、再度合成断面として機能する傾向が見られた。このことによりひび割れが発生した後も、荷重レベルが低い場合には再度合成断面として働くことが期待できる。
- ④ ケミカルプレストレスを導入した桁には、ひび割れ幅を小さくする効果がある。また、床版のひび割れ幅は、引張軸力に対するひび割れ算定式がより近い値を示す。
- ⑤ 長期計測実験の途中経過（材齢約3ヶ月）より、膨張コンクリートによるプレストレスは長時間経過しても有効であると推測される。

あとがき

連続合成桁へのケミカルプレストレスの適用について、基本的な特性を確認し、良好な結果を得ることができた。しかし、実用化にあたっては疲労、架設上の制約、ケミカルプレストレスに対する現場打設時期の影響などの課題を残している。これらの点について今後も継続して検討を進めることを考えている。

最後に、本研究を進めるにあたり、早稲田大学理工学部土木工学科 依田照彦教授に指導して頂きました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 増田 隆・岡 米男・木曾 茂：鋼橋における膨張コンクリート床版の特性，日本道路公団試験所報告，Vol.27，pp.45-59，1990.
- 2) 長瀧重義：コンクリートの高性能化，技報堂，pp.39-46，1997.11.
- 3) 細見雅生・岡田幸児・林 勝樹：少数主桁連続合成鉄桁の合理化に関する研究，駒井技報，

Vol.18，pp.12-18，1999.4.

- 4) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説（I 共通編・II 鋼橋編），1996.12.
- 5) 土木学会コンクリート委員会：膨張コンクリート設計施工指針—コンクリートライブラリー第75号—，1993.7.
- 6) 辻 幸和：コンクリートにおけるケミカルプレストレスの利用に関する基礎的研究，土木学会論文報告集，第235号，pp.111-124，1975.3.
- 7) 日野伸一・山田岳史・太田俊昭・太田貞次：鋼・コンクリート連続合成床版橋の中間支点部でのひび割れ特性，土木学会論文集，No.612/I-46，pp.153-163，1999.1.
- 8) 村田二郎：改訂新版・コンクリート技術100講，山海堂，pp.180-185，pp.194-197，1993.5.