

## アンボンドPC桁の静的曲げ実験

樋 口 芳 朗\*  
 宮 本 征 夫\*\*  
 鳥 居 興 彦\*\*\*

### 1. ま え が き

ポストテンション方式のPC部材において、一般にPC鋼材はシーすに通され、PC鋼材とコンクリートとはシーすにグラウトを注入することにより一体化されている。シーすを用いることによるグラウト作業等の施工の複雑さをさけるために、シーすを使わずにPC鋼材とコンクリートとの付着を考えないアンボンドPC部材の力学的性質研究がアメリカ、イギリスで行なわれ<sup>1)~8)</sup>、わが国においても建築の分野で実用的な研究がなされている<sup>9)~11)</sup>。土木構造物においても、PC橋梁の横締めおよび鉛直締め<sup>12)</sup>、PCまくらぎ、PC方式の軌道スラブ等へ利用することが可能であると考えられる<sup>12),13)</sup>。アンボンドPC部材には、一般の付着ありのPC部材に比較して、静的な破壊強度の低下以外に、PC鋼材の腐食の問題、定着具をふくめての部材の疲労強度の問題等がある。

本報告は、PC鋼材の耐腐食性に注目して、PC鋼材（実験ではPC鋼棒を使用した）の表面に、アスファルトおよびエポキシ樹脂を塗布して、試験体を製作して静的曲げ実験を行ない、同様に製作したPC鋼材をシーすに通しグラウトを行なった試験体およびPC鋼材をシーすに通すがグラウトを行なわない試験体の試験結果とを実験的に比較したものである。なお、PC鋼材にエポキシ樹脂を塗布した試験体は、エポキシ樹脂の硬化材令を調節することにより、プレストレス導入時には付着がなく、一定時間を経過したのちに付着力が作用するように製作したものである。試験体の断面は3種類であり、同一断面をもつ桁をそれぞれBシリーズ、Cシリーズ、Dシリーズと名づける。各シリーズはPC鋼材の表面状態の違いにより4種類に分かれ、同一試験体が2本あるので1シリーズ8本、合計24本である。

\* 工博 国鉄鉄道技術研究所構造物研究室長  
 \*\* 国鉄鉄道技術研究所構造物研究室主任研究員  
 \*\*\* 国鉄新幹線建設局軌道課

### 2. 試 験 体

試験体の設計は、土木学会「プレストレスト コンクリート設計施工指針」および国鉄施設局・建設局・新幹線建設局編「建造物設計標準（プレストレスト コンクリート鉄道橋）」に従って行なった。設計条件を一括して示すと表-1のとおりである。試験体の寸法を図-1に示す。各シリーズのPC桁の断面諸定数および設計荷重作用時におけるコンクリートの曲げ応力度を示すと表-2のとおりである。

表-1 設計条件の一覧表

項目	内 容		
寸法	スパン 4.5 m, 全長 5.0 m, 長方形断面		
設計条件	単純支持形式, 集中荷重 2 点振分け形式, 載荷スパン 1.0 m		
設計荷重	Bシリーズ 7.2 t, Cシリーズ 4.0 t, Dシリーズ 2.5 t		
材 料 お よ び 許 容 応 力 度	$\sigma_{ck} = 400 \text{ kg/cm}^2, E_c = 350\,000 \text{ kg/cm}^2$		
	コ ン ク リ ー ト	許容曲げ圧縮応力度	部材圧縮部 $\sigma_{cac} = 140 \text{ kg/cm}^2$ 部材引張部 $\sigma_{cat} = 180 \text{ kg/cm}^2$
		許容曲げ引張応力度	全死荷重が作用する前 $\sigma_{cac}' = -15 \text{ kg/cm}^2$ 設計荷重が作用後 $\sigma_{cat}' = -5 \text{ kg/cm}^2$
	鋼 棒	許容斜め引張応力度	設計荷重作用時 $\sigma_{1a} = 9 \text{ kg/cm}^2$ 破壊安全度検討のとき 最大値 $\sigma_{1a \text{ max}} = 40 \text{ kg/cm}^2$ 許容値 $\sigma_{1a} = 20 \text{ kg/cm}^2$
			許容支圧応力度
	P C 鋼 棒	Bシリーズ $\phi 32$ , CおよびDシリーズ $2\phi 23$ , PC鋼棒 B種1号	
ヤング係数		$E_p = 2\,000\,000 \text{ kg/cm}^2$	
引張強度		$\sigma_{pu} = 11\,000 \text{ kg/cm}^2$	
降伏強度		$\sigma_{py} = 9\,500 \text{ kg/cm}^2$	
鋼 棒	有効断面積	Bシリーズ $789 \text{ mm}^2$ , CおよびDシリーズ $2 \times 405 = 810 \text{ mm}^2$	
	許容引張応力度	プレストレス導入中 $8\,600 \text{ kg/cm}^2$	
		プレストレス導入直後 $7\,700 \text{ kg/cm}^2$ 設計荷重作用時 $6\,600 \text{ kg/cm}^2$	

図-1 (a) 試験体の寸法 (B シリーズ)

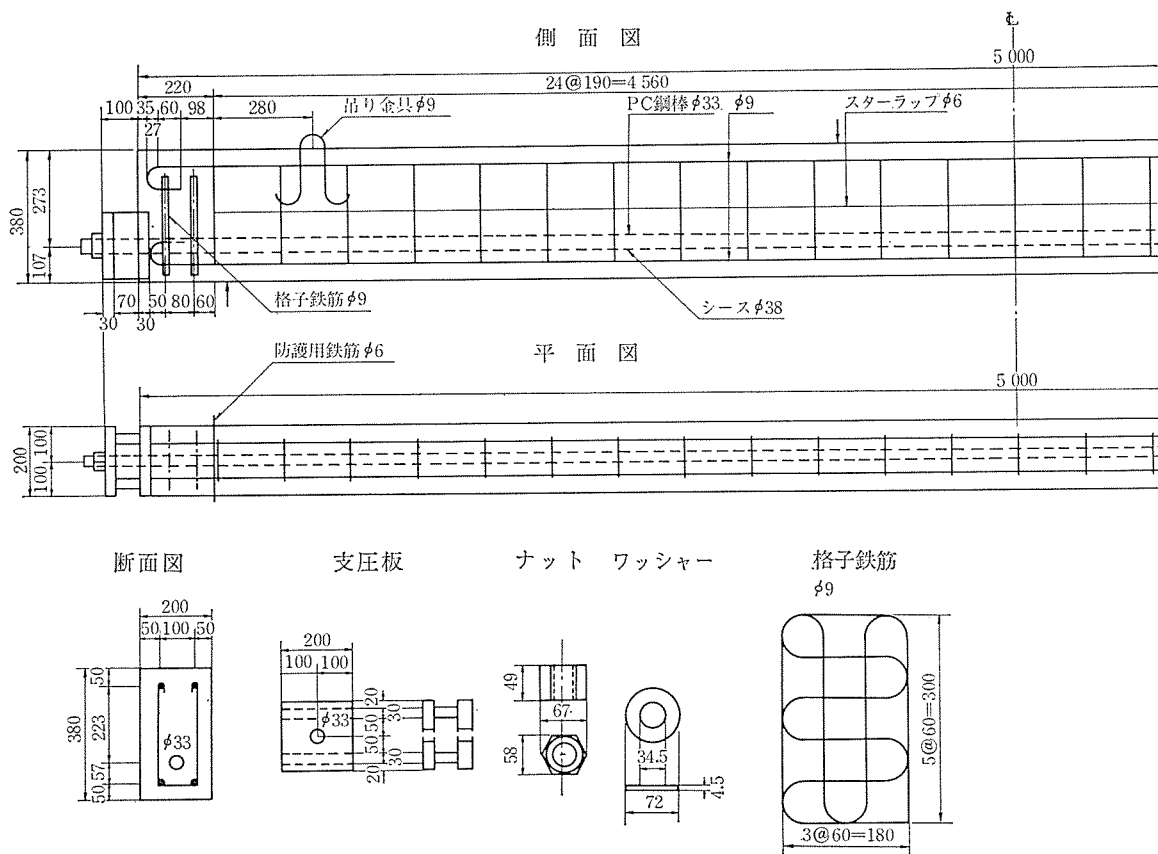


図-1 (b) 供試体の寸法 (C シリーズ)

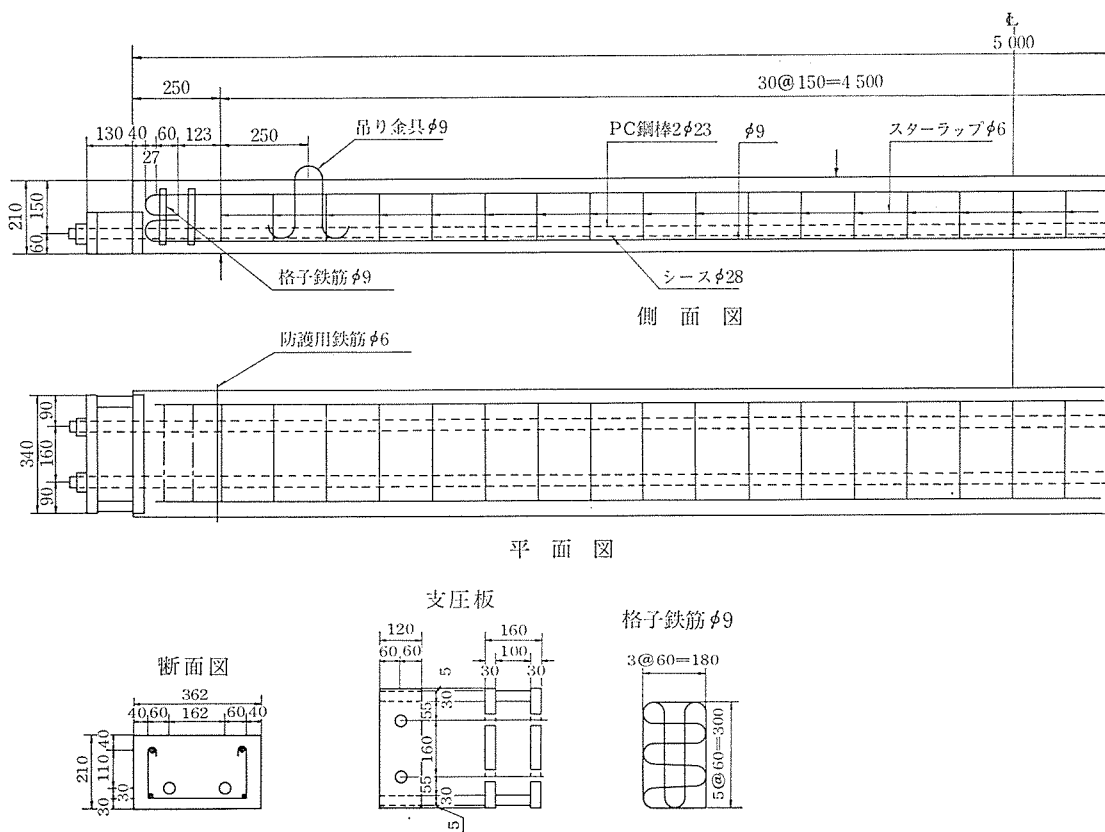


図-1 (c) 供試体の寸法 (D シリーズ)

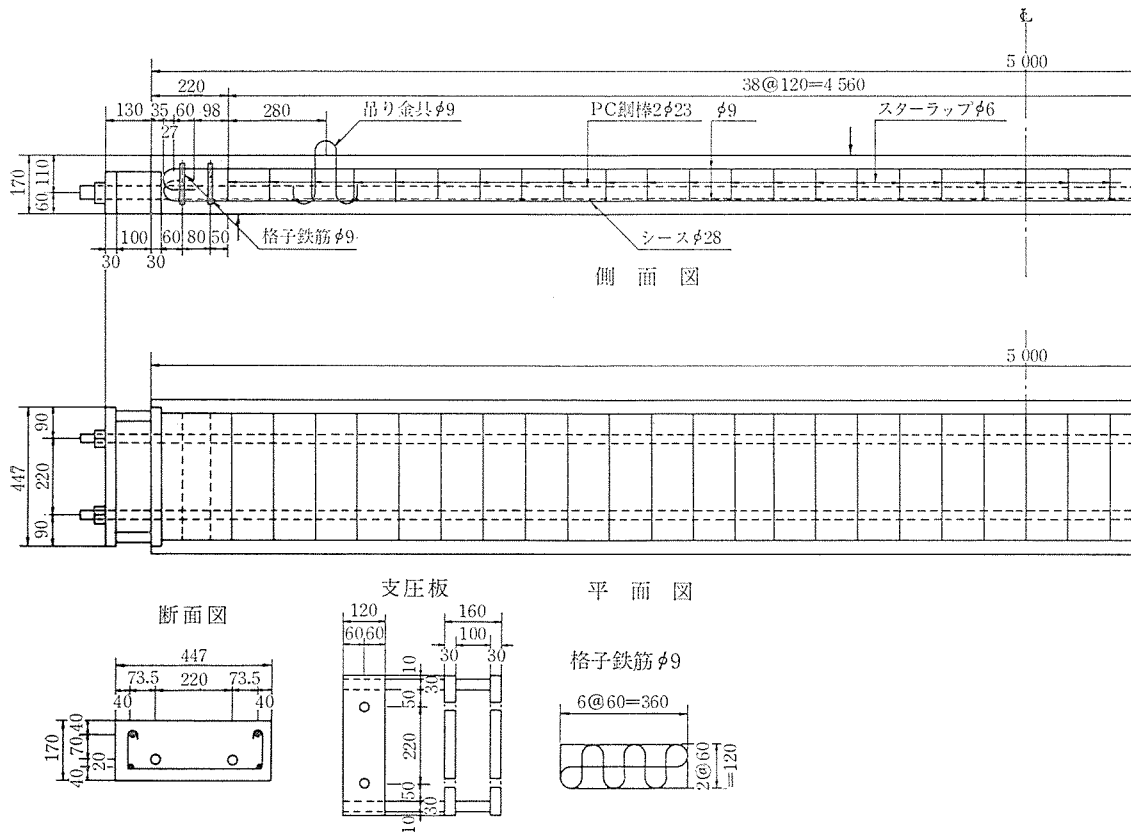


表-2 桁の断面諸定数と設計荷重作用時のコンクリートの曲げ応力度

断面諸定数	断面積 (cm <sup>2</sup> )	Bシリーズ桁	760	Cシリーズ桁	760	Dシリーズ桁	760
	図心位置 (上縁より) (cm)		19.35	10.72	8.61		
	図心軸まわりの断面2次モーメント (cm <sup>4</sup> )		93679	28364	18511		
設計荷重作用時における曲げ応力度	上縁 (kg/cm <sup>2</sup> )		121.1	131.6	135.5		
	下縁 (kg/cm <sup>2</sup> )		5.2	3.9	4.6		

表-3 使用材料

セメント	早強ポルトランドセメント, 比重 3.15
細骨材	相模川産, 比重 2.60, 粗粒率 2.86
粗骨材	相模川産, 比重 2.64, 粗粒率 7.09
エポキシ樹脂	成分-エビクロン, HY 908, エステルレジン, エロジール 使用法-各組成分の所定量を刷毛塗り
アスファルト	成分-ブロンアスファルト, プロセスオイル, 炭酸カルシウム, カーボン, 天然ゴム, 合成ゴム 使用法-上記混合物をガソリンおよび灯油の混合液でうすめ刷毛塗り

試験体の製作のために用いた材料の性質を表-3に、また使用コンクリートの配合を表-4に示す。コンクリート打ちは1回の打込みで2~4本の試験体を製作するように作業した。コンクリート打ちを終了した試験体は

表-4 コンクリートの配合

粗骨材の最大寸法 (mm)	スランプの範囲 (cm)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 S/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				
				水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤
25	5~7	43	38	174	405	686	1152	0

表-5 コンクリートの力学的性質

	圧縮強度 (kg/cm <sup>2</sup> )					曲げ強度 (kg/cm <sup>2</sup> )				弾性係数 ×10 <sup>3</sup> kg/cm <sup>2</sup>
	3日	7日	28日	導入時	試験時	3日	7日	28日	試験時	
Bシリーズ	396	388	452	372	462	52.5	58.1	50.4	48.8	3.01
Cシリーズ	407	462	505	467	505	52.5	53.9	51.9	57.2	3.36
Dシリーズ	426	489	518	490	493	51.7	51.1	47.4	46.1	2.71

約24時間の蒸気養生を行なったのちに脱型して取り出した。各材令における現場養生(蒸気養生後大気養生)のコンクリートの圧縮強度、弾性係数を示すと表-5のとおりである。ここで圧縮強度供試体としてはφ10cm×20cmの円柱供試体、曲げ強度試験供試体としては、10×10×40cmの直方体供試体を使用した。なお、弾性係数は、材令28日の現場養生供試体にストレインゲージを貼布してひずみ測定を行なった結果に基づき算出したものである。

プレストレスの導入は、センターホールジャッキを2台用い、両引きにより行ない、緊張力はジャッキの圧力計により測定した。緊張力は、Bシリーズ試験体については57.5t、CシリーズおよびDシリーズ試験体については62tである。プレストレスの導入時には、緊張管理および桁の力学的特性を把握するために、1) 緊張力の各段階におけるPC鋼棒のひずみ、および桁の-span中央のコンクリートの側面のひずみ、2) PC鋼棒の両端部における伸び、3) 桁のそり上り量、4) コンタクトゲージを使用することによる桁の-span中央のコンクリート側面位置の長期ひずみ、を測定した。ストレインゲージ貼布位置およびコンタクトゲージ測点位置を 図-2 に示す。

図-3~5 は緊張力とPC鋼棒のひずみとの関係の代表的な例を示したものである。図-3 はPC鋼棒にアスファルトを塗布した桁(C-1)、図-4 はPC鋼棒をシースに通した桁(C-5)、図-5 はPC鋼棒にエポキシ樹脂

図-2 プレストレス導入時におけるひずみ測定位置

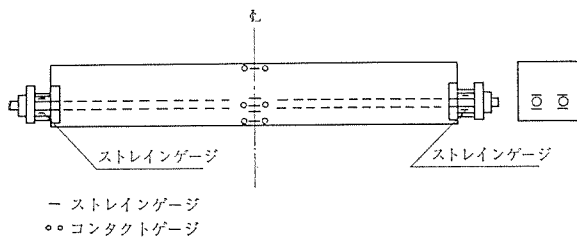


図-3 緊張力とPC鋼棒のひずみとの関係

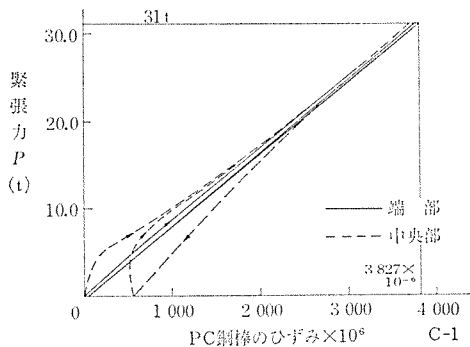


図-4 緊張力とPC鋼棒のひずみとの関係

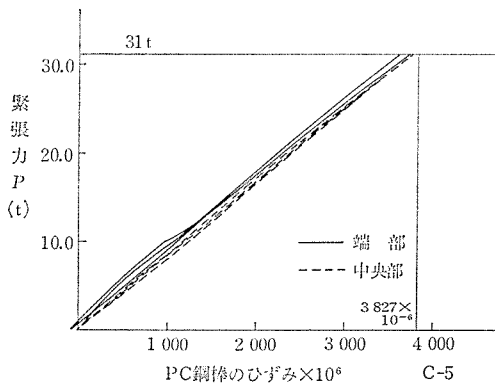
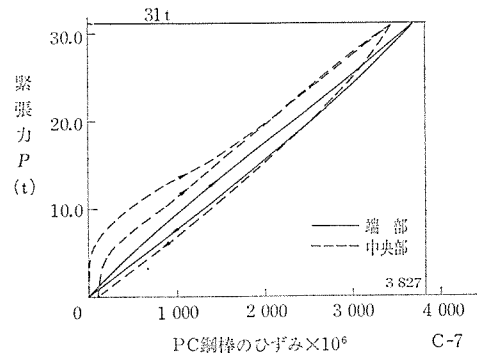


図-5 緊張力とPC鋼棒のひずみとの関係



を塗布した桁(C-7)についての結果を示している。参考のために、緊張力31t(PC鋼棒1本につき)におけるPC鋼棒のひずみをヤング係数 $E_p=2000000\text{ kg/cm}^2$ と仮定して計算した値( $3.827 \times 10^{-6}$ )を示した。B、C、Dの各シリーズの間で若干の差はあるが、図-3~5に現われた傾向は、他のシリーズについてもほぼ同様に現われている。PC鋼材の緊張時における緊張力とPC鋼棒のひずみとの関係から次のようなことがいえる。

まず、PC鋼棒をシースに通した桁については、PC鋼棒とシースとの摩擦はほとんど0であり、したがって桁端部におけるPC鋼棒のひずみと桁中央部におけるひずみとはほぼ等しい。この場合にはまた緊張力とひずみとの関係は線形である。一方、PC鋼棒にアスファルトを塗布した桁およびエポキシ樹脂を塗布した桁については、PC鋼棒中央部のひずみは、PC鋼棒両端部のひずみより最大5%程度小さくなっているのが認められた。アスファルト塗布桁とエポキシ樹脂塗布桁とを比較すると、一般に後者のほうが前者よりも桁端部と中央部とのひずみの差は大きいようである。しかしながら、最大5%という差は比較的小さい値であり、アスファルト混合物の成分改良、あるいはエポキシ樹脂材料の改良をすることにより、この差はさらに小さくできるものと考えられるので、PC鋼棒を均等に緊張でき、桁に所定のプレストレスを与えることができると考えられる。図-6、7は、プレストレス導入時における緊張力とコンクリートひずみとの関係を示す代表例である。実線はコンクリートのヤング係数を $E_c=350000\text{ kg/cm}^2$ と仮定した場合のひずみ計算値を示したものであり、○および●は、ひずみの実測値である。ひずみの実測値と計算値とは、試験体の製作誤差、PC鋼棒位置の誤差、ストレインゲージ位置誤差等の影響により、必ずしもよい一致を示すとは限らないが、図-6、7に見られるように、ほぼ設計計算上の仮定を満足しているといつてよいであろう。

B-3、B-4、C-3、C-4、D-3、D-4の各桁についてはプレストレスを導入したのちに、セメントグラウトを注

図-6 プレストレス導入時におけるコンクリートのひずみ

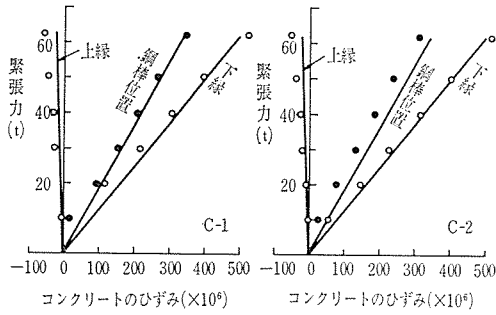


図-7 プレストレス導入時におけるコンクリートのひずみ

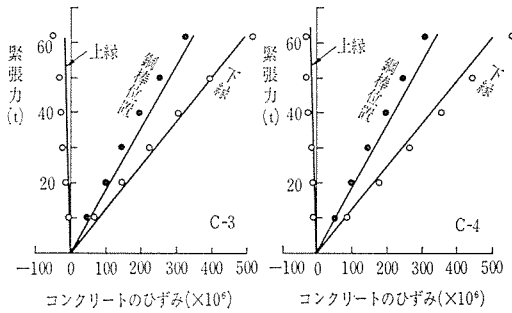


表-6 グラウトの配合

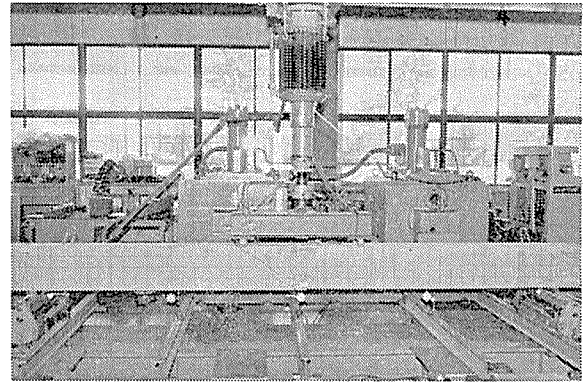
セメント (普通) (kg)	水 (kg)	フライ アッシュ (kg)	混和剤 ポソゾリス (g)	No. 8	アルミニ ウム粉 (g)
100	36	25	250		8

入した。グラウトの配合は表-6に示すとおりである。 $\phi 5 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$ の円柱供試体による圧縮強度は、材令28日で  $485 \text{ kg/cm}^2$ であった。なお、ここでは先に述べた測定項目 2), 3), 4) についての結果の記述を省略する。4) によるクリープ測定結果については、現在進めている実験の結果と合せて別の機会に報告したい。

### 3. 曲げ破壊実験

3シリーズ、24本のPC桁を、支点間隔 450 cm で単純支持し、荷重を支間中央で載荷スパン 100 cm で2点に振り分けて加えることにより静的曲げ破壊実験を行った。試験機は国鉄鉄道技術研究所のローゼンハウゼン型大型疲労試験機（静的試験最高荷重 150 t、動的試験最高荷重 100 t）を使用した。図-8は試験装置の全景を示す写真である。載荷試験は1試験体について3回繰り返して行った。第1回目の載荷試験では、荷重を設計活荷重（Bシリーズの場合 7.2 t、Cシリーズの場合 4 t、Dシリーズの場合 2.5 t）まで加えて0にもどし、第2回目の載荷試験では、最大ひびわれが、桁側面の下縁から 1/3 程度に達するまで荷重を上げて0にもどした。最後の第3回目の載荷試験において、桁が破壊するまで荷重を増加させた。各載荷試験において、各荷重段階にお

図-8 試験装置全景



ける次の項目について測定および観測を行なった。

#### (1) 桁のたわみ

スパン中央点、スパン 1/4 点、支点近傍位置（支承の中心から 12.5 cm の位置）の合計 5 か所に 1/100 mm ダイアルゲージをセットして桁のたわみを測定した。

#### (2) PC 鋼棒のひずみ

プレストレス導入時の測定に使用したストレインゲージをそのまま使用して、PC 鋼棒のひずみを測定した。

#### (3) コンクリート表面のひずみ

プレストレス導入時にコンクリートのひずみ測定を行なったときと同じ位置にストレインゲージを貼布し、コンクリートのひずみを測定した。また、コンクリートの曲げ圧縮破壊ひずみを測定するために、桁のスパン中央断面のコンクリート上面の2か所にストレインゲージを貼布し、ひずみ測定を行なった。さらに、第3回目の載荷試験では、第2回目の載荷試験の際に生じたひびわれの1つに、それをはさむようにしてストレインゲージを貼布し、ひびわれ再開におけるひずみ挙動を調べた。

#### (4) ひびわれの観測

桁の両側面で倍率3倍の拡大鏡を用いてひびわれの進行状態を観測した。

### 4. 実験結果と考察

実験結果を一覧表にして示すと、表-7のとおりである。ここで、ひびわれ荷重は後述するコンクリートの荷重-ひずみ曲線から推定した値である。以下に各測定項目について、実験結果およびその考察を述べる。

#### (1) 桁のたわみ

図-9~11は、各シリーズのアスファルト塗布の桁についての、荷重とスパン中央点のたわみの関係を示したものである。図-12~14は、B-1、C-1、D-1の各桁についてのたわみ分布を示したものである。参考のために弾性計算値を図示してある。実験を行なった24本の試験体について同様な図を書いて比較した結果、次のことがいえる。

図-9 荷重とスパン中央点のたわみとの関係

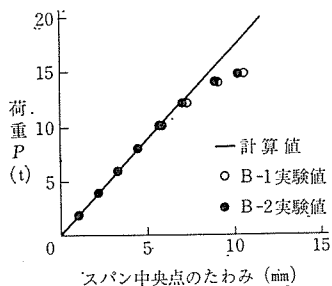


図-10 荷重とスパン中央点のたわみとの関係

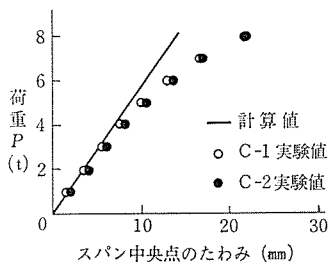
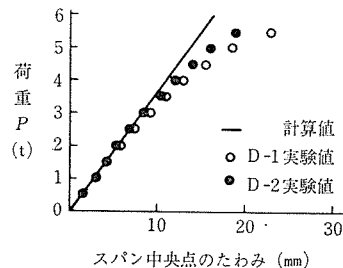


図-11 荷重とスパン中央点のたわみの関係



実-7 実験結果の一覧表

試験体番号	PC鋼棒の表面状態	破壊荷重 (t)	ひびわれ荷重 (t)	破壊曲げモーメント* (t・m)	ひびわれモーメント* (t・m)
B-1	アスファルト塗布	23.05	9.0	20.64	8.35
B-2	"	23.50	8.0	21.04	7.48
B-3	シーズありグラウトあり	25.25	10.6	22.57	9.75
B-4	"	25.00	10.1	22.35	9.31
B-5	シーズありグラウトなし	23.30	9.0	20.86	8.35
B-6	"	21.95	8.0	19.68	7.48
B-7	エポキシ樹脂塗布	23.65	9.2	21.17	8.53
B-8	"	23.90	9.0	21.39	8.35
C-1	アスファルト塗布	13.20	5.9	12.03	5.64
C-2	"	12.65	5.6	11.54	5.38
C-3	シーズありグラウトあり	14.80	5.1	13.43	4.94
C-4	"	12.75	5.4	11.63	5.20
C-5	シーズありグラウトなし	10.40	4.2	9.58	4.15
C-6	"	11.80	4.7	10.80	4.59
C-7	エポキシ樹脂塗布	12.50	4.0	11.41	3.98
C-8	"	12.50	3.6	11.41	3.63
D-1	アスファルト塗布	8.95	3.5	8.31	3.54
D-2	"	7.82	3.5	7.32	3.54
D-3	シーズありグラウトあり	8.95	2.5	8.31	2.66
D-4	"	9.25	3.4	8.57	3.45
D-5	シーズありグラウトなし	8.28	3.0	7.72	3.10
D-6	"	8.50	2.5	7.91	2.66
D-7	エポキシ樹脂塗布	8.98	3.7	8.33	3.72
D-8	"	9.82	3.4	9.07	3.45

\* 自重による曲げモーメント (0.475 t・m) を加えてある。

一般に、設計活荷重以下の荷重では、たわみは弾性計算値と比較的よく一致しているが、計算値との差が大きくなる荷重は各シリーズにより若干異なる。すなわち、BおよびDシリーズの桁のたわみは、設計活荷重の40%増の荷重まで計算値に近い値を示すが、Cシリーズの桁については、設計活荷重の25%増の荷重を過ぎるとたわみの値は計算値より大幅に大きくなる。たわみの実験値が弾性計算値から大きくはずれる荷重は、桁のひびわれ荷重に関係する。Cシリーズの桁はひびわれ荷重も比較的小さく、ひびわれ後のたわみ増加が著しくなったものと考えられる。同じシリーズの桁の中で、PC鋼棒の表面状態の異なる桁のたわみを比較すると、シーズありグラウトありの桁 (B-3, 4, C-3, 4, D-3, 4) が他の種類の桁に比しやや小さかったほかには顕著な差が見られ

図-12 桁のたわみ分布 (B-1)

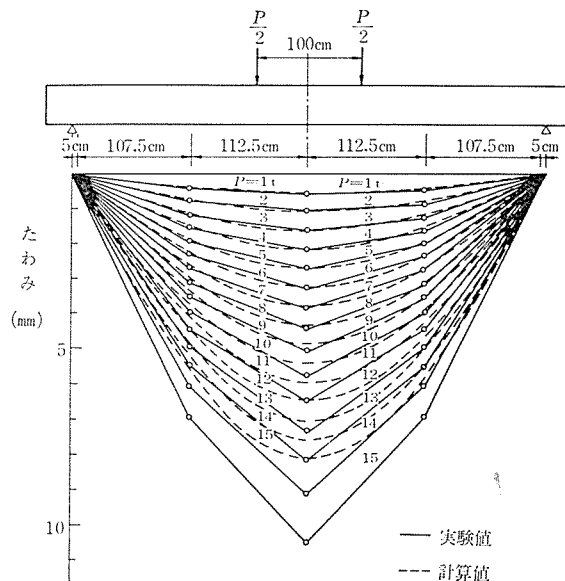
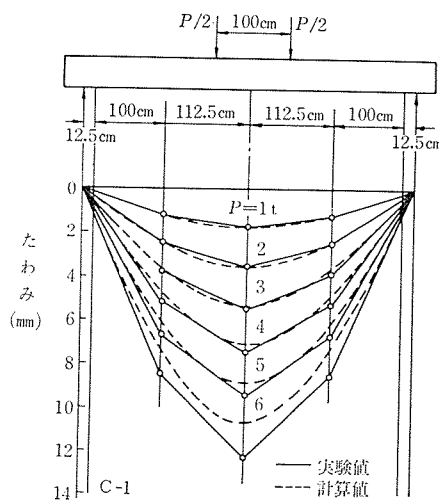


図-13 桁のたわみ分布 (C-1)

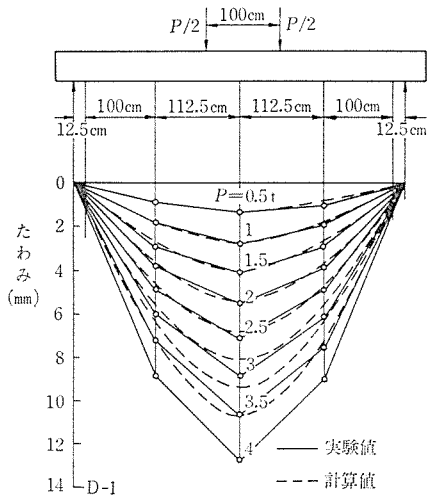


なかった。

(2) PC鋼棒のひずみ

PC鋼棒のひずみは、測定位置によってその挙動を異にする。図-15, 16は、荷重とPC鋼棒中央部のひずみとの関係を示す代表的な例である。図-15, 16にも見られるように、PC鋼棒端部のひずみは、荷重の小さい

図-14 桁のたわみ分布 (D-1)



間は直線的に増大し、桁にひびわれを発生したあとの数トンの間(Bシリーズでは約4t, Cシリーズでは約2t, Dシリーズでは約1.5t)に急激に増加し、その後は再び直線的に増大して破壊に至る。荷重-ひずみ曲線において、ひびわれ荷重以下の直線部に着目して、その勾配を比較すると、次のとおりである。各シリーズの桁について、P C鋼棒をシースに通し、グラウトを行なわない桁

図-15 荷重とP C鋼棒中央部のひずみとの関係 (C-3, C-4)

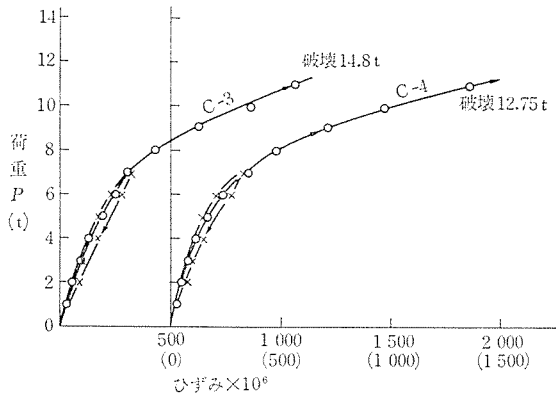
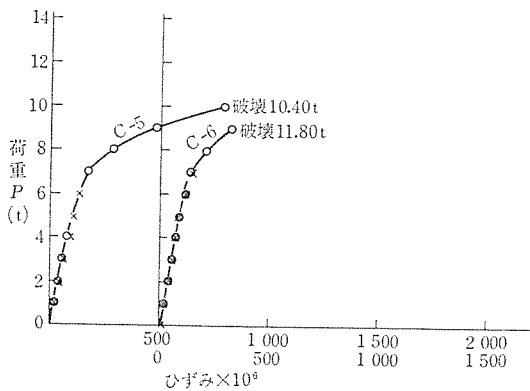


図-16 荷重とP C鋼棒中央部のひずみとの関係 (C-5, C-6)



(B-5, 6, C-5, 6, D-5, 6)の傾きが、他の桁のそれに比し著しく大きい。すなわち、コンクリートとP C鋼棒の付着がまったくない場合には、桁のスパン中央部のP C鋼棒のひずみは、他の桁の場合に比し比較的小さな増加を示している。P C鋼棒の表面状態の異なる他の桁について、同様な図から得られる傾きは、ほぼ等しい値である。また、図-17~19に示される、荷重とP C鋼棒両端部のひずみの関係からわかるように、P C鋼棒両端部のひずみは、P C鋼棒の表面状態の違いにより異なった挙動を示している。P C鋼棒とコンクリートとの付着力が十分にあると考えられる。シースあり、グラウトありの桁は、桁の破壊荷重近くに至るまでひずみをほとんど生じていないのに対し(図-19のD-4はグラウトの施

図-17 荷重とP C鋼棒両端部のひずみとの関係 (Bシリーズ)

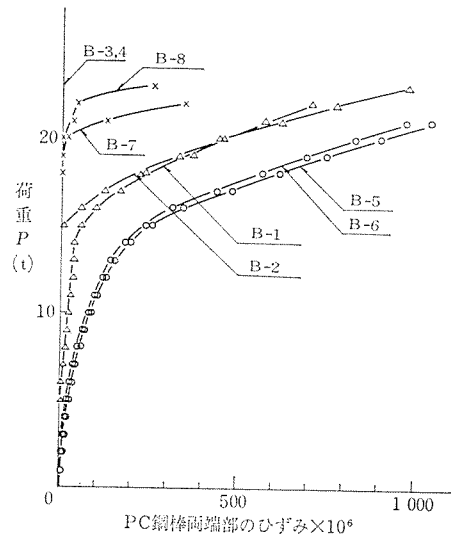


図-18 荷重とP C鋼棒両端部のひずみとの関係 (Cシリーズ)

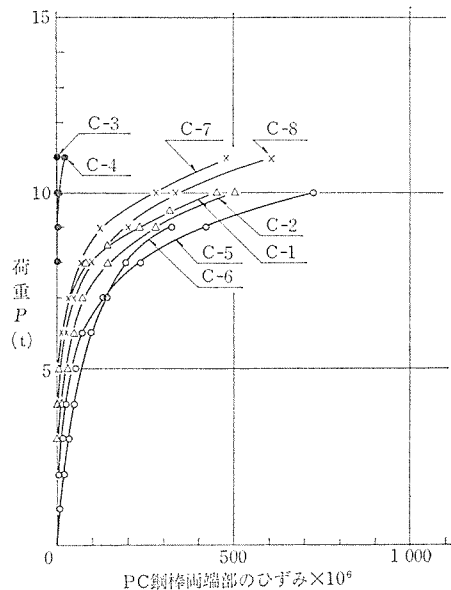
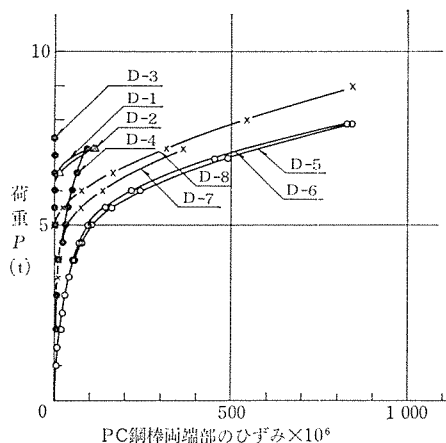


図-19 荷重とPC鋼棒両端部のひずみとの関係 (Dシリーズ)



工が不十分だったことによると思われる), シースあり, グラウトなしの桁は, 低い荷重段階からひずみを生じており, 破壊荷重に近づくにつれて顕著な増加傾向を示している。PC鋼棒にアスファルトを塗布した桁およびエポキシ樹脂を塗布した桁は, 前記の2種類の桁の中間的な傾向を示している。アスファルトおよびエポキシ樹脂の塗布材料については, その配合, 塗布の方法, 施工時の気温などの施工条件が, PC鋼棒のひずみ挙動に影響し, したがって, 桁の強度に関係してくることが考えられるので, 今後検討すべき事項のうちの1つである。表-8は設計活荷重におけるPC鋼棒のひずみを示したものである。PC鋼棒端部のひずみとスパン中央部のひずみとの比を見ると明らかなように, シースありグラウトなしの桁が50%前後の値を示しているが, C-2, D-4を除き, 他の桁は0かまたは比較的小さな値である。D-4についてはグラウトの不良であることが考えられ, C-2については, 第3回目の載荷時にでてきた値なので, これについては疲労試験等を行なうことにより, さらに検討を加える必要がある。総体的に, この実験の結果によると, 静的載荷試験における設計荷重以下の範囲では, PC鋼棒の表面にアスファルトまたはエポキシ樹脂を塗布しておけば, 載荷時のPC鋼棒のひずみ挙動はグラウトありの桁に近いことを示しているといえよう。

(3) コンクリートのひずみ

桁のスパン中央断面のコンクリートの側面下縁位置の荷重-ひずみ曲線の代表的な例を示すと 図-20 のとおりである。第2回目載荷では, 測定値は設計計算値に近い値を示している。図-20の2曲線はストレインゲージがひびわれをはさんだ場合(右側の図)とストレインゲージに近接した位置にひびわれを生じた場合(左側の図)を示す。この荷重-ひずみ曲線の曲率変化点の荷重を図上で破線で示したようにして求めた結果を, 表-7

表-8 設計荷重におけるPC鋼棒のひずみ

	PC鋼棒のひずみ						$\epsilon_e/\epsilon_m \times 100(\%)$		
	中央部 $\epsilon_m \times 10^6$			両端部 $\epsilon_e \times 10^6$			①	②	③
	① <sup>1)</sup>	② <sup>2)</sup>	③ <sup>3)</sup>	① <sup>1)</sup>	② <sup>2)</sup>	③ <sup>3)</sup>			
B-1	—	—	—	0	0	4	—	—	—
B-2	147	144	141	0	0	0	0	0	0
B-3	116	106	143	0	0	0	0	0	0
B-4	141	134	153	0	0	0	0	0	0
B-5	89	88	88	53	43	51	60	49	58
B-6	84	75	80	42	36	40	50	48	50
B-7	164	144	136	0	0	0	0	0	0
B-8	152	144	170	0	0	0	0	0	0
C-1	134	133	126	0	0	1	0	0	1
C-2	145	137	122	2	2	13	1	2	11
C-3	137	134	138	0	2	0	0	1	0
C-4	110	112	122	0	0	2	0	0	2
C-5	76	92	89	40	24	27	53	26	30
C-6	72	75	69	49	44	49	68	59	71
C-7	173	171	169	0	0	1	1	1	1
C-8	106	136	136	8	5	6	8	4	4
D-1	80	78	83	1	0	0	1	0	0
D-2	71	72	76	0	0	0	0	0	0
D-3	55	56	72	0	0	0	0	0	0
D-4	63	72	67	8	8	12	13	11	18
D-5	36	40	41	22	13	20	61	33	49
D-6	42	46	44	20	17	20	48	37	46
D-7	—	—	—	2	1	2	—	—	—
D-8	75	79	77	1	0	0	1	0	0

- 1) 1回目載荷における設計荷重時におけるひずみ
- 2) 2回目載荷における設計荷重時におけるひずみ (Bシリーズは7.0 tにおける値)
- 3) 3回目載荷における設計荷重時におけるひずみ (Bシリーズは7.0 tにおける値)

図-20 スパン中央断面側面下縁における荷重-ひずみ曲線

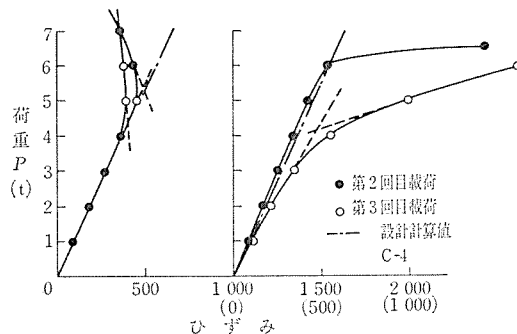


表-9 桁コンクリートの曲げ圧縮破壊ひずみ

試験体番号	曲げ圧縮破壊ひずみ (%)	試験体番号	曲げ圧縮破壊ひずみ (%)	試験体番号	曲げ圧縮破壊ひずみ (%)
B-1	0.338	C-1	0.376	D-1	0.282
B-2	0.228	C-2	0.367	D-2	0.215
B-3	0.296	C-3	0.452	D-3	0.297
B-4	0.329	C-4	0.400	D-4	0.332
B-5	0.360	C-5	0.389	D-5	0.358
B-6	0.274	C-6	0.288	D-6	0.330
B-7	0.295	C-7	0.340	D-7	0.215
B-8	0.233	C-8	0.272	D-8	0.251
平均値	0.294	平均値	0.360	平均値	0.285





$$M' = q_u(1 - \beta q_u) \dots\dots\dots(2)$$

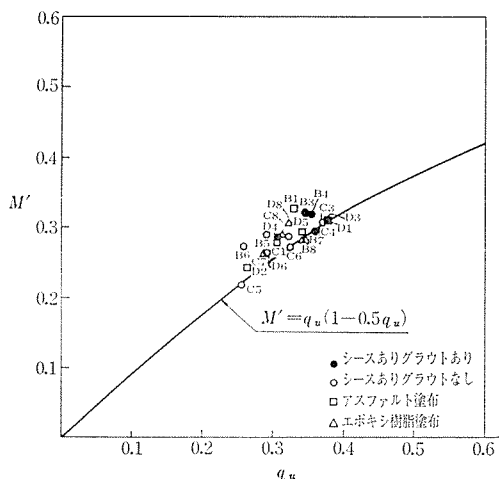
ここで、 $\frac{M}{bd_1^2\sigma_{cu}} = M'$ ,  $\frac{r\sigma_{su}}{\sigma_{cu}} = q_u$ ,  $\frac{r}{\alpha} = \beta \dots\dots(3)$

いま、図-23 の応力分布を長方形であると仮定すると、 $\alpha=1$ ,  $r=\frac{1}{2}$  であり、したがって、 $\beta=0.5$  となる。式(2)へ、 $\beta=0.5$  を代入して得られる

$$M' = q_u(1 - 0.5 q_u) \dots\dots\dots(4)$$

と、本実験で測定したP C鋼棒中央部のひずみから計算した  $q_u$  および実験値  $M'$  をプロットすると、図-24 のとおりである。これによると若干のばらつきはあるが、式(4)は、かなりよい近似を与えることがわかるであろう。したがって、P C鋼棒に作用する応力を推定することにより、アンボンドP C桁の破壊曲げモーメントを近似的に計算することが可能である。

図-24  $M'$  と  $q_u$  の関係



### 5. あとがき

この報告では、3種類の断面について、P C鋼材の表面状態を4種類選び、付着の程度の差と、桁の曲げ性状との関係を実験的に調べたものである。付着なしのP C桁の力学的性質に影響する要因としては、1) 試験直前のP C鋼材引張応力度、2) 鋼材断面積、3) スパン-桁高比、4) 導入緊張力等が考えられるが、この試験では3)のみをパラメータとしたものである。したがって、以下に述べる事項は、一般的なものではないことに注意されたい。実験結果を以下に箇状がきに示す。

1) P C鋼棒の表面状態の違いは、桁の破壊曲げモーメントに若干影響する。土木学会のプレストレストコンクリート設計施工指針に示される計算法に従って求めた破壊曲げモーメントを1とすると、P C鋼棒をシースに通しグラウトしない桁は、グラウトを行なった桁よりも9~21%の強度の低下を示した。これに対し、アスファルト塗布の桁の強度低下は7~9%、エポキシ樹脂塗布の桁の強度低下は0~10%であった。

2) 桁のひびわれ荷重には、一般に、P C鋼棒の表面状態の違いによる顕著な差は現われなかった。

3) 試験した桁のたわみは一般に、桁にひびわれを生ずるまでは実験値は弾性計算値とよく合っているが、ひびわれ荷重を越えると、そのたわみは急激に増大する。

4) P C鋼棒のひずみ測定値は、測定箇所により大きく異なっている。桁のスパン中央におけるひずみは、P C鋼棒の表面状態によることなく、荷重の増加につれて直線的に増大し、ひびわれ荷重近傍から曲線となる。これに対し、P C鋼棒端部のひずみは、P C鋼棒とコンクリートとの付着性に左右され、そのひずみの増大度はシースありグラウトなしの桁がもっとも大きく、シースありグラウトありの桁は、桁の破壊時にもほとんどひずみを生じなかった。アスファルト塗布の桁およびエポキシ樹脂塗布の桁は、前述の両者の中間の傾向を示した。

最後に、本実験の準備および測定に御協力をいただいた、鉄道技術研究所構造物研究室の方々に深甚なる謝意を表します。

### 参 考 文 献

- 1) N.H. Burns, et al: "Strength and Behavior of Prestressed Concrete Members With Unbonded Tendons", PCI Journal, Vol. 12, October, 1967, p. 14
- 2) E.G. Nawy, et al: "Moment-Rotation Relationships of Non-Bonded Post-Tensioned I-and T Beams", PCI Journal, Vol. 13, August, 1968, p. 40
- 3) "Non-bonded prestressing tendons", Concrete, Vol. 2, November, 1968, p. 451
- 4) ACI-ASCE Committee 423: "Tentative Recommendations for Concrete Members Prestressed with Unbonded Tendons", ACI Journal, Vol. 66, February 1969, p. 81
- 5) G.I.N. Rozvany et al: "Sudden Collapse of Unbonded Underprestressed Structures", ACI Journal, Vol. 66, February 1969, p. 129
- 6) F.N. Pannell: "The Ultimate Moment of Resistance of Unbonded Prestressed concrete beams", Magazine of Concrete Research, Vol. 21, March 1969, p. 43
- 7) K.B. Bondy: "Realistic Requirements For Unbonded Post-Tensioning Tendons", PCI Journal, Vol. 15, February 1970, p. 50.
- 8) A.H. Mattock, et al; "Comparative Study of Prestressed concrete Beams, With and Without Bond", ACI Journal, Vol. 68, February 1971, p. 116
- 9) 坂 静雄・六車 熙: 付着のないP C梁の曲げ破壊耐力, 日本建築学会論文報告集, 第60号, 昭和33年10月, p. 641
- 10) 六車 熙: Unbonded P C部材の利用に関する研究, 日本建築学会近畿支部研究報告集, 昭和43年5月, p. 77
- 11) 六車 熙ほか: ボンドなしP C部材の製作とその曲げ性質, 材料, 第20巻, 第208号, 昭和46年1月, p. 67
- 12) 猪股俊司: プレストレスト コンクリート桁に関する研究, 土木学会論文集, 第17号, 1953
- 13) 野口 功ほか: 瀬田川橋梁の設計と施工, プレストレスト コンクリート, Vol. 9, 1967年7月, p. 30

1972.7.5・受付