

PC 桁橋の床版試験について

プレストレスト コンクリート工業協会 技術部会

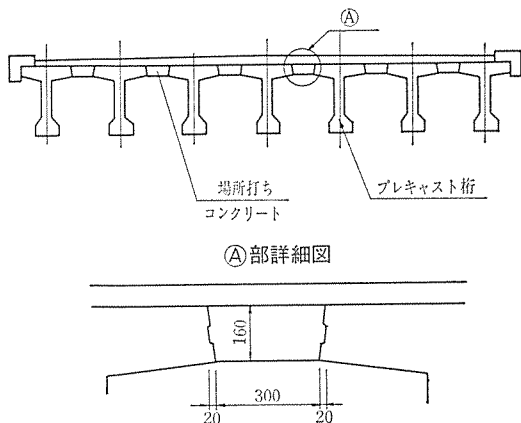
1. ま え が き

プレストレスト コンクリート工業協会では、JIS A 5316 桁橋用プレストレスト コンクリート橋桁の改正原案作成の委託を受けたが、原案作成委員会の審議にあたり、この橋桁を用いて橋梁を構成する場合の床版の目地の間隔、打継目の形状および桁より突出している鉄筋の有無について種々の討議が行なわれ、試験をして強度を確認した上で形状寸法を決定することになり、その際に実施した床版の破壊試験について、以下簡単に報告するものである。

2. 試験の概要

JIS A 5316 桁橋用プレストレスト コンクリート橋桁を用いて、橋梁を作るには、橋桁を製作工場より運搬し、橋台または橋脚上に並列に架設し、桁の上フランジ間の場所打ちコンクリートおよび横桁のコンクリートを施工してから、横方向にプレストレスを与えて一体とするのであるが、この場合、図-1 に示すように、床版の支間中央付近に場所打ちコンクリート部が生ずることになる。それで、床版の活荷重の影響の大きい部分に、打継目や場所打ちコンクリート等の構造上の問題になる部分があるので、今までもこのようなT型桁の床版の試験は各方面で数多く行なわれてきた。

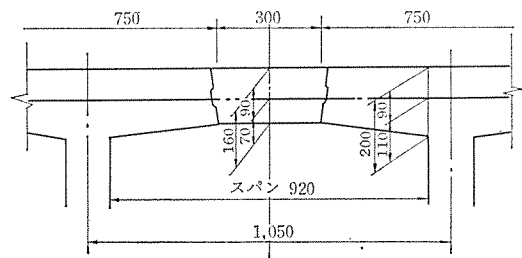
図-1 桁橋横断面図の一例



今回の JIS A 5316 の改正にあたり、建設省の土木構造物標準設計の中のポストテンション方式による PC 単純 T 桁橋の設計では、場所打ち床版内にプレキャスト桁の上フランジより鉄筋を突出しているが、JIS の橋桁はプレテンション方式の工場製品であるから、製作時および運搬時に桁から鉄筋が突出していることは、種々の不利益があるため、場所打ちコンクリート床版の幅の最大を 30 cm とし、プレキャスト桁との打継面を床版面に対して垂直ではなく、図-1 のように傾斜をもたせて、また凹凸をつけることにより、設計上考えている強度が十分に得られることを確めるために、この試験を実施した。

試験体を設計するにあたり考えた橋梁の床版は、JIS A 5316 の改正原案を参考とし、図-2 に示すような桁の上幅 75 cm、桁の中心間隔 105 cm、ウェブ幅 13 cm として、床版のスパンは 92 cm、厚さは支点上で 20 cm スパン中央で 16 cm、場所打ちコンクリートの部分の幅は 30 cm で、PC 鋼棒を床版上面より 9 cm の位置に 50 cm 間隔に配置してプレストレスを与える橋梁の床版を想定した。

図-2 床版寸法



床版の活荷重による床版スパン方向 (x 方向) の曲げモーメント M_{lx} は、日本道路協会制定のプレストレストコンクリート道路橋示方書 8.4 条に与えられている次式によって求めた。

$$M_{lx} = -(0.125 + 0.15l)P \dots\dots\dots \text{支点上}$$

$$M_{lx} = (0.1 + 0.75l)P \dots\dots\dots \text{スパン中央}$$

衝撃の影響はこの中に含まれている。

死荷重による床版のスパン方向の曲げモーメント M_{dx} は、鉄筋コンクリート道路橋示方書 5.3 条 5.3.2 に

与えられている次式によって求めた。

$$M_{dx} = -\frac{1}{10} W_d l^2 \dots \dots \text{支点上}$$

$$M_{dx} = \frac{1}{14} W_d l^2 \dots \dots \text{スパン中央}$$

この2つのモーメントを合計することにより、床版のスパン方向の曲げモーメント M_x を求めた。

次に床版のスパン中央におけるこれと直角方向 (y 方向) の曲げモーメントは活荷重については、プレストレストコンクリート道路橋示方書 8.4 条に与えられている次式によって求めた。

$$M_y = \alpha(0.1 + 0.075 l) P$$

ここに、 $\alpha = 0.66 \times 0.04 l$

M_x に対してはプレキャスト桁の上フランジを通して場合打ちコンクリート部分に PC 鋼材を配置してプレストレスを与え、設計荷重作用時にコンクリートに引張応力が生じないように、すなわち、フルプレストレッシングの設計をした。また、 M_y に対しては鉄筋コンクリートとして計算を行ない鉄筋を配置した。

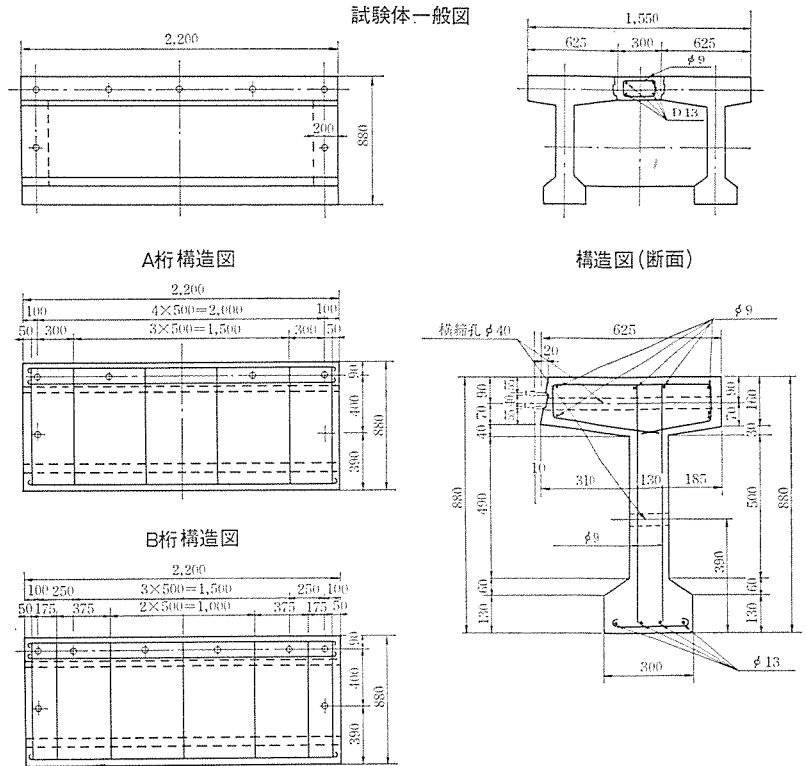
プレキャスト桁のコンクリートの強度は $\sigma_{ck} = 500 \text{ kg/cm}^2$ 、場所打ちコンクリートの強度は $\sigma_{ck} = 300 \text{ kg/cm}^2$ である。

試験としては、静的荷重の破壊試験を行ない、床版の設計スパンに対して、これと直角方向にスパンの2倍の長さの床版を作り、中央に集中荷重として荷重を与えて破壊した。試験体は載荷板の大きさの違い、横締め PC 鋼棒と載荷位置の違いで4通りを考え、5個について行った。

3. 試験体

試験体は床版の試験ではあるが、桁の上フランジとウェブの一体性をあわせて考慮するために、前述の橋梁の床版の1スパンを考えて、図-3のごとき鉄筋コンクリートの桁を10本製作し、2本ずつを桁間隔105cmにならべて上フランジの間の30cmの間げきに橋軸方向に異形丸鋼 D-13 を4本、および $\phi 9$ のフープ筋を50cm

図-3 試験体寸法



ピッチに配置して床版の間詰めコンクリートおよび横桁を打設したのち、PC 鋼棒 $\phi 24$ 第3種にてプレストレスを与え、グラウトを施工して試験体とした。

試験体の種類は、載荷点が PC 鋼棒の直上になるもの (A桁) および PC 鋼棒の間にくるもの (B桁) の2種類として、A桁を用いたもの2個、B桁を用いたもの3個を試験した。

使用したセメントはアサノベロセメントで、桁および場所打ちコンクリートの配合は表-1のとおりである。試験桁の製作は5本ずつを2回にわけて製作し、コンクリートを打設したのち、蒸気養生を行ない翌日脱型して取り出した。床版および横桁にプレストレスを与える PC 鋼棒に油圧ジャッキで与えた引張力は、1本あたり 32 t とした。ただし B桁 (載荷点の下に横締め鋼棒のない試験体) は、PC 鋼棒の本数が A桁より1本多いので、プレストレスを等しくするために、横桁上の床版の鋼棒2本はそれぞれ1本あたり 1/2 の 16 t で緊張した。プレストレッシングに際し、電気抵抗線ひずみ計を用いて、コンクリートのひずみを測定してプレストレスの確認を

表-1 コンクリートの配合

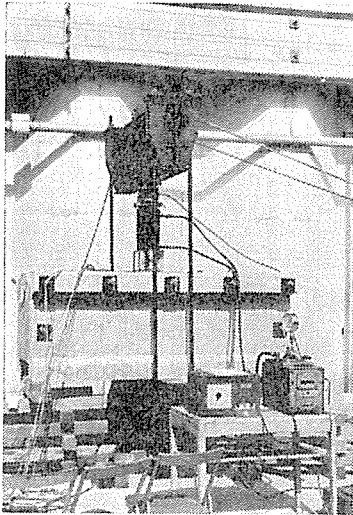
種別	コンクリート設計強度 (kg/cm ²)	組骨材の最大寸法 (mm)	スラブの範囲 (cm)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 S/a (%)	単位量 (kg/m ³)				
						水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤 プラスチックリート
桁	500	20	2~5	36.9	43.5	155	420	809	1092	2.0
場所打ち	300	25	7~9	65.7	46.0	184	280	874	1065	1.12

した。

4. 載荷装置および載荷

載荷装置は、写真-1 に示すように、試験体の中央に桁の軸線に直角に I 形鋼を通し、P C 鋼棒 4 本にて上部の I 形鋼と連結して 120 t 油圧ジャッキを用いて、鉄筋コンクリート製ブロックおよびゴム板（厚さ 10 mm）を介して床版に載荷した。

写真-1



載荷用コンクリートブロックの大きさと横締 P C 鋼棒の位置との関係は、図-4 のように、載荷板の大きさは示方書の後輪荷重の大きさ 50 cm × 20 cm と横幅を目地幅と等しくした 30 cm × 20 cm を用いた。

図-4 載荷板の大きさ

試験体番号	載荷板の大きさおよび位置
1 (B桁)	
2 (B桁)	
3 (B桁)	
4 (A桁)	
5 (A桁)	

載荷は3回行ない、1回目は設計荷重 11 t (静的載荷であるので衝撃を考慮した)、2回目は、ひびわれを肉眼で発見してから 2 t 上昇させた。3回目は破壊

まで連続的に荷重を上昇させた。荷重の段階は 1 回、2 回は 2 t おき、3 回目は 5 t おきに電気抵抗線ひずみ計でコンクリートのひずみを測定し、荷重の大きさはジャッキの作動油の油圧の圧力計および電氣的荷重計（ロードセル）で測定した。

5. 試験結果

(1) 概 要

5 個の試験体についての試験結果のうち、主要なものを一覧表として示すと、表-2 のとおりである。床版載荷点下の実応力は、それぞれの方向の電気抵抗線ひずみ計の読みに弾性係数を乗じて算出したものである。

ひびわれ発生荷重で小さいものもあるが、これはこのような橋梁の形式では、場所打ちコンクリートはプレキャスト桁の間に施工されるため床版下面の養生方法がむずかしく、場所打ちコンクリート部分の乾燥収縮や、プレキャスト桁の温度差による影響等で場所打ちの部分のコンクリートにひびわれが発生することがあるので、この試験体もあるいは施工時に小さなひびわれが入ってそれが載荷荷重により大きくなり、ひびわれとして発見されたものではないかと思う。

場所打ちコンクリート部分は、橋軸方向には鉄筋コンクリートであるため、電気抵抗線ひずみ計より測定された荷重-コンクリートのひずみ曲線の比例関係が成立しなくなる荷重は、表-3 のとおりで、プレストレスを与えてある橋軸直角方向に比して、かなり小さい値を示している。

(2) ひびわれの発生状況

ひびわれの発生は、すべて場所打ちコンクリートの部

表-2 試験結果一覧表

試験体番号	桁の種類	載荷板の大きさ (cm)	荷重 (t)	中央点下面の応力の変動幅 (kg/cm ²)				破壊または最大荷重 (t)	ひびわれ状況
				x 方向		y 方向			
				計算	実測	計算	実測		
1	B	50 × 20	0~11 0~14 破壊まで	44 56	47 50	30 39	14 18	80 (最大)	12 t で橋軸直角方向にひびわれ発生
2	B	30 × 20	0~11 0~22 破壊まで	44 87	27 59	30 61	14 11	76	20 t で橋軸直角方向にひびわれ発生
3	B	30 × 20	0~11 0~18 破壊まで	44 71	27 44	30 50	18 17	78	16 t で橋軸直角方向にひびわれ発生
4	A	50 × 20	0~11 0~18 破壊まで	44 71	27 63	30 50	33 93	80	16 t で橋軸直角方向にひびわれ発生
5	A	30 × 20	0~11 0~20 破壊まで	44 79	41 57	30 55	17 15	70 (最大)	8 t で橋軸直角方向にひびわれ発生

表-3

試験体 番号	荷重—ひずみ曲線の直線性 が成立しなくなる荷重 (t)	
	橋軸に直角方 向 (x 方向)	橋軸方向 (y 方向)
1	20~25	6~8
2	25~30	10~12
3	25~30	10~12
4	20~25	8~10
5	20~25	6~8

注: x 方向 プレストレスを与えた版
 y 方向 鉄筋コンクリート版

分に橋軸直角方向に最初に発生し、その位置は荷重点の中央から橋軸方向に両側に約 10 cm の間に発生し、荷重が増すにつれて進行し、プレキャスト部分に入るのは荷重が、30 ~40 t になってからであり、橋軸方向にひび

われの発生したものは非常に少なく、ほとんどのひびわれが橋軸に直角の方向であった。打継目の位置に沿ってのひびわれは、まったく見られず、場所打ちコンクリート部に生じたひびわれは打継目で切れることなく、それを横切って、プレキャスト部、場所打ち部と連続している。

試験体のひびわれ発生状況は、図-5 に示すとおりである。

(3) 破壊の状況と荷重

破壊の状況は、いずれの試験体もひびわれが進行してプレキャスト部分に入り、また放射状のひびわれを生じ載荷荷重が 70 t くらいになるとプレキャスト桁の中央部に上フランジより下フランジに至るひびわれが発生して、完全に試験体を二分するようなひびわれになった。最初の 2 つの試験体については、桁が破壊すると危険であると考え、床版の上面にもひびわれが入り、コンクリートの変形が大となったときを最大荷重としたが、三番目の試験体より注意して荷重を上昇したら、最終的には押抜きせん断のような形で破壊したが、いずれの試験体においても、鉄筋および PC 鋼棒の破断したものはなかった。

破壊した床版の状態は、上面ではほとんど載荷版と同じ範囲のコンクリートが陥没しており、下面では橋軸直角方向 (x 方向) ではプレキャスト桁のウェブの取付部より、また橋軸方向 (y 方向) では、中心を含む約 1 ~ 1.20 m の部分のコンクリートがはく離している。プレキャスト部も場所打ち部も一体となって破壊した。写真-2 は上面、写真-3 は、下面の破壊の状況を示している。

6. 考 察

(1) コンクリートのひずみについて

試験体には電気抵抗線ひずみ計を貼布してコンクリートのひずみを測定したが、計算により求めたものと比較をするにあたり、モーメントの計算に有限要素法を用いて算出したので、試験には関係ないが簡単に紹介する。

床版の計算をするには、従来、Pucher, Bittner, Pigeaud などの図表を用いて計算を行なっているが、これらはほとんど最大曲げモーメントを求めることができるが、他の点について求めることはむずかしい。それで試験体について有限要素法で曲げモーメントを求めてみ

写真-2

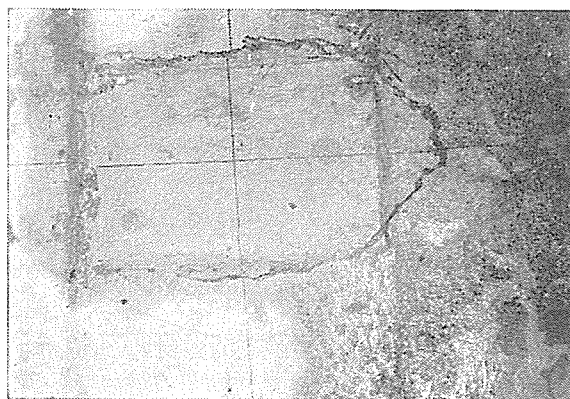


図-5 (a) ひびわれ状況図
試験体 No. 4 (上面)

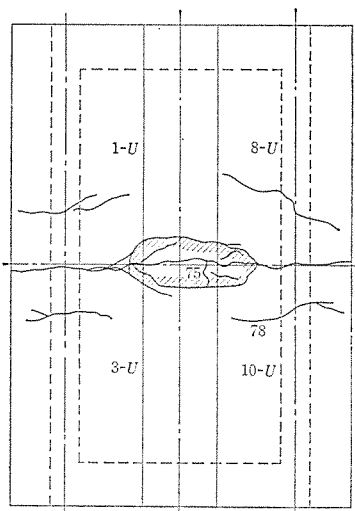


図-5 (b) ひびわれ状況図
試験体 No. 4 (下面)

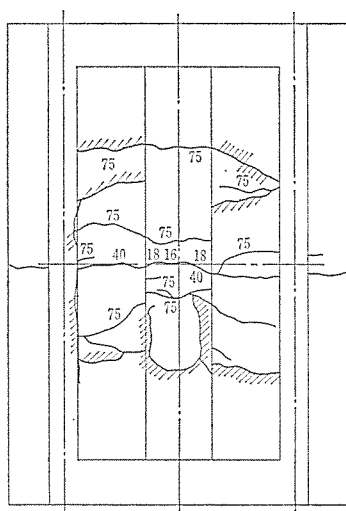


写真-3



図-6 床版厚, 格点位置, 格点番号

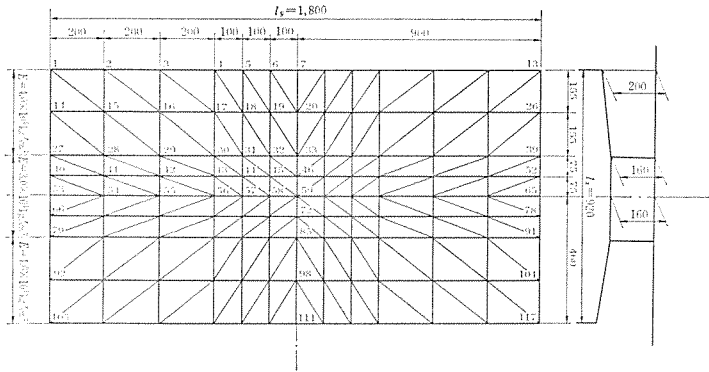


図-7 載荷荷重

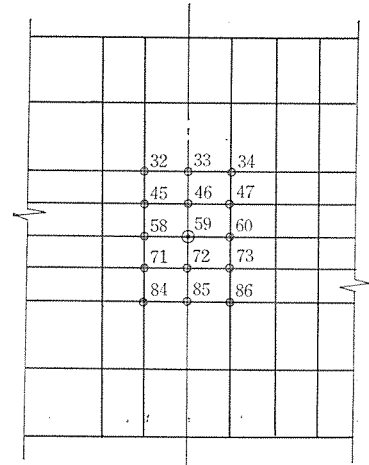
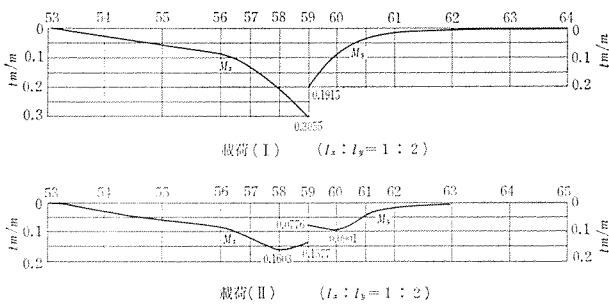


図-8 中心を含む線上の M_x, M_y (その 1)



- (1) 載荷(I)
1点集中: 格点59に1t
- (2) 載荷(II)
30cm×20cmの載荷板を考えて

格点 46, 59, 72に	1/8 t
格点 33, 45, 47, 58	
格点 60, 71, 73, 85に	1/16 t
格点 32, 34, 84, 86に	1/32 t

図-9 中心を含む線上の M_x, M_y (その 2)

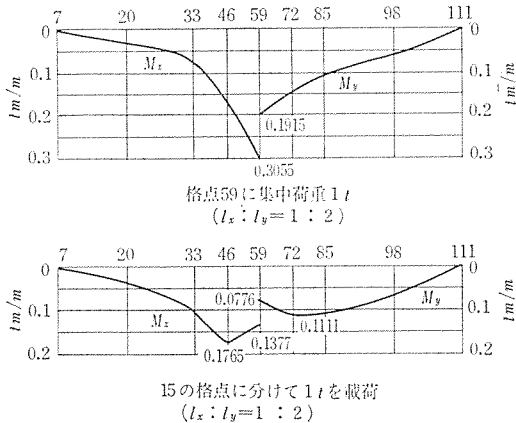
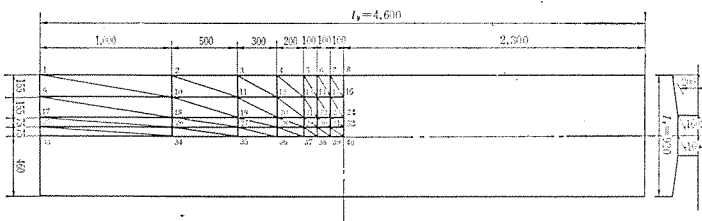


図-10 床版厚, 格点位置, 格点番号



た。電子計算機にそう入したデータは次のとおりである。

支承条件	4辺単純支承	
弾性係数	プレキャスト部	$E=4.0 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$
	場所打ち部	$E=3.0 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$
床版の寸法	$l_x=0.92 \text{ m}$	$l_y=1.8 \text{ m}$

各エレメントは、図-6のごとく三角形に分け、荷重は試験時と対応させるために、図-7のように中央の1点集中と15個の格点にそれぞれ図示のように荷重を与えて解いた。その中から中心を含む軸線上の M_x, M_y を図示したのが図-8, 9である。また実橋の場合は横桁間隔がもっと大となるので、 $l_x:l_y=1:5$ の場合として $l_x=0.92 \text{ m}$, $l_y=4.6 \text{ m}$ として解いたのが図-10~12である。この場合は床版の1/4を図-10のように三角形の要素にわけて、周辺の条件を与えて解いた。この結果からみると、 $l_x:l_y=1:2$ と $1:5$ とで曲げモーメントにはほとんど差異がない。今、Bittner, Pucher, Pigeaudなどで解いたのと上記の結果を表にまとめると表-4のとおりである。

今、試験体の床版中央の下面の電気抵抗線ひずみ計の $P=11 \text{ t}$ までのひずみ ϵ_x, ϵ_y を試験体ごとにまとめたのが表-5で、 ϵ_y/ϵ_x は $0.29 \sim 0.63$ である。ひずみがモーメントに比例するとすればこの比はモーメントの比を示すことになり、表-4の $M_y/M_x=0.549 \sim 0.727$ と比較すると少し小さいようであるが、ひずみ計が載荷点直下であるのと、載荷板の下には1cmのゴム板であったので、それに拘束される場合も考えられる。

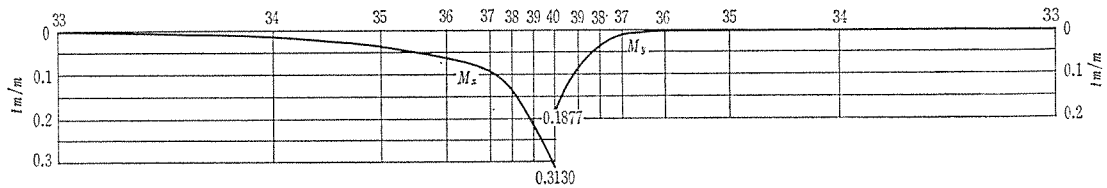
床版の上面および下面には図-13のように電気抵抗線ひずみ計を貼布してコンクリート表面のひずみを測定したが、載荷により床版上面が圧縮ひずみ、下面が引張ひずみになったのは図中 ←○→ 印の点、すなわち、場所打ちコンクリートの中心線上の x 方向のひずみ ϵ_x のみで、他のひずみはみな上面が引張ひずみ、下面が圧縮ひ

表-4 床版の中央に 11 t を載荷したときのモーメント表

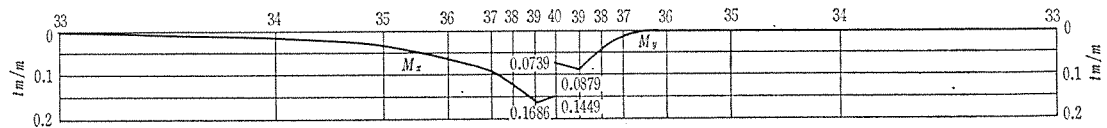
	計 算 方 法	M_x	(tm/m)	M_y	(tm/m)	$M_y : M_x$	備 考
1	中央に集中荷重 11 t	0.3055×11	3.361	0.1915×11	2.107	0.627	有限要素法により求めたもの 同 上
2	15 の格点に 11 t を分散	0.1765×11	1.942	0.1111×11	1.222	0.629	
3	E. Bittner (4 辺単純)	0.1214×11 0.1478×11	1.335 1.626	0.0778×11 0.0894×11	0.856 0.983	0.641 0.605	
4	同 上 (2 辺単純)	0.1251×11	1.376	0.0751×11 0.0865×11	0.826 0.952	0.600	
5	同 上 (2 辺固定)	0.0690×11	0.759	0.0502×11 0.0604×11	0.552 0.664	0.727	
6	A. Pucher (2 辺単純)	0.1274×11 0.1541×11	1.401 1.695	0.0727×11 0.0846×11	0.800 0.931	0.571 0.549	
7	同 上 (2 辺固定)	0.0681×11 0.0897×11	0.749 0.987	0.0484×11 0.0564×11	0.532 0.620	0.710 0.628	
8	Pigeaud	0.1337×11 0.1604×11	1.471 1.764	0.0963×11 0.1111×11	1.059 1.222	0.720 0.693	
9	同 上 (固定度 0.8)	0.1337×11×0.8 0.1604×11×0.8	1.177 1.412	0.0963×11×0.8 0.1111×11×0.8	0.847 0.977	0.720 0.693	
10	P C 道 示	0.1257×11	1.383	0.08799×11	0.968	0.700	

注：載荷板の大きさを考慮するときは上段が 50 cm×20 cm，下段が 30 cm×20 cm を示す。
 $I_x : I_y = 1 : 2$

図-11 中心を含む線上の M_x, M_y (その1)



格点40に集中荷重 1t ($I_x : I_y = 1 : 5$)



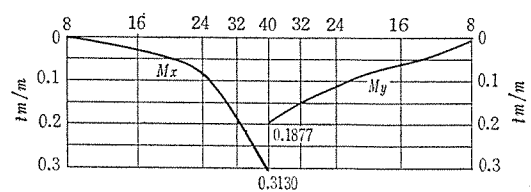
15 の格点に分けて 1t を載荷, ($I_x : I_y = 1 : 5$)

表-5 載荷点下のコンクリートのひずみ

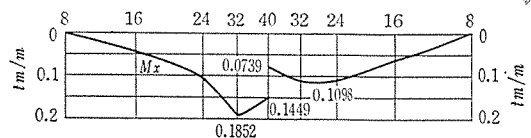
試験体番号	P=11 t のコンクリートのひずみ		ϵ_y / ϵ_x
	ϵ_x	ϵ_y	
1	155×10^{-6}	45×10^{-6}	0.29
2	90×10^{-6}	45×10^{-6}	0.50
3	95×10^{-6}	60×10^{-6}	0.63
4	95×10^{-6}	55×10^{-6}	0.58
5	130×10^{-6}	60×10^{-6}	0.46

ずみとなった。これについてはプレキャスト桁のフランジ部は固定板として考えらばうなずけるが、場所打ち部の y 方向のひずみ ϵ_y がそのようになったのには次のようなことが考えられる。測点が載荷点に近かったために荷重による曲げのひずみではなく、集中荷重のための局部応力によるひずみによるものか、あるいは、載荷の方法(プレキャスト桁の中央に荷重の反力をとったこと)が

図-12 中心を含む線上の M_x, M_y (その2)



載荷 (I) ($I_x : I_y = 1 : 5$)



載荷 (II) ($I_x : I_y = 1 : 5$)

影響したとも思われるが、原因はわからない。図-14 および 図-15 は、そのひずみの状況をあらわしたものである。

(2) ひびわれおよび破壊の状況について

試験体に発生したひびわれは、はじめに場所打ち部に橋軸直角方向(x方向)にあらわれ、それが打継目で切れることなく荷重の上昇とともに、プレキャスト部に進行しているから、この試験体のように設計された床版は

図-13 電気抵抗線ひずみ計の位置とひずみ測定方向(載荷点部は下面のみ)

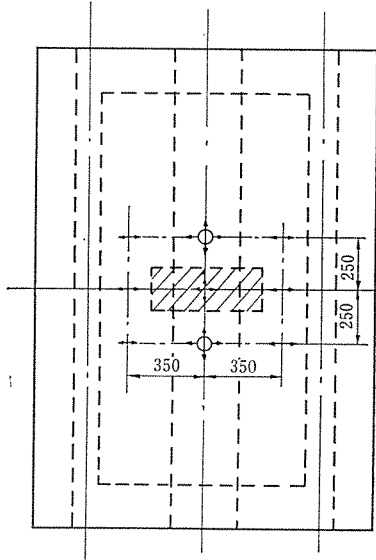


図-14 試験体 No. 4 電気抵抗線ひずみ計の読み(x方向のひずみ ϵ_x)

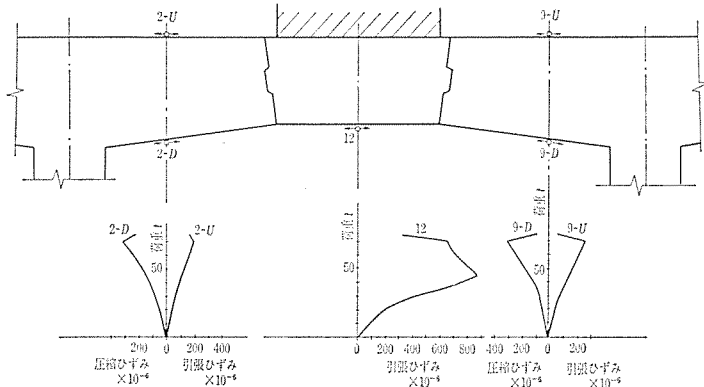
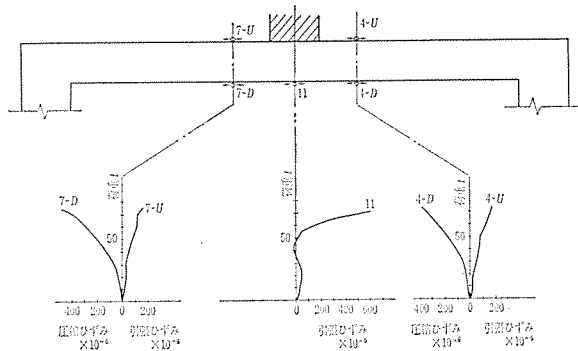


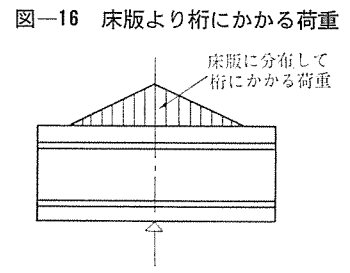
図-15 試験体 No. 2 電気抵抗線ひずみ計の読み(y方向のひずみ ϵ_y)



プレキャスト部と場所打ち部は完全に一体となって働いていることがわかる。また、今回の試験でのひびわれの発生状況および進行状況は、建設省の標準設計作成に際して土木研究所で実施されたPC橋床版のくり返し載荷試験¹⁾の結果とまったく同様である。

また、70tぐらいでプレキャスト

桁を二分するようなひびわれが上フランジ外側より発生してウェブを通り下まで進んだが、これはこの試験で用いた載荷装置の影響ではないかと思われる。載荷の方向が床版の中央に1点載荷をするので、桁下縁の中央でI形鋼により反力をとったが、実際は床版の中央に加えられた荷重が床版に分布して桁に対しては、図-16のような荷重となっており、荷重の増大とともにそのモーメントが大きくなり、この曲げモーメントにより、ひびわれを生じたと思われる。前のひずみの項で述べた場所打ち部分の中心線上の上面のy方向のひずみが引張ひずみであるのも、この影響があるものと思われる。



破壊の状況は、押抜きせん断のような形で破壊したが、これは建設省で行なわれた車道用プレキャストRC床版の破壊試験²⁾と比べて、30×20cm載荷板の周囲に対するせん断力として570~800kg/cmで、ほとんど同様の値である。

試験体の全部が破壊が押抜きせん断であったので、このようなスパンが小さく、また床版厚の厚い床版を設計するには、曲げモーメントのみではなく、押抜きせん断を考慮する必要があると思う。

7. あとがき

この試験は、JIS A 5316の改正にあたって床版設計のための強度の確認を行なうために実施されたもので、短期間の間に結論を出すために床版の打継ぎ部および突出し鉄筋の有無の強度に対する影響、すなわち、破壊時まで床版が一体として働くかを確認するのが主目的としたため、他の項目については、試験前の検討不足のために必ずしも十分な資料が求められなかったが、今後この形式の橋梁が多くなれば、各種の試験も数多く行なわれ、設計に必要な多くの資料が得られることと考えられる。

(文責・荘田)

参考文献

- 1) 国広・白鳥：“PC橋床版のくり返し載荷試験”，土木技術資料，pp. 10~16，1969年4月
- 2) 多田・太田：“車道用プレキャストRC床版の破壊試験”，土木技術資料，pp. 29~33，1965年4月
- 3) 西野・柳田：“床版折曲げ鉄筋に対する2,3の考察”，橋梁と基礎，pp. 12~16，1969年8月

1970.6.2・受付



プレストレスト・コンクリート

○各種構造物の設計・施工

BBRV, フレシナー, MDC, SEEE工法

○セメント二次製品の製造・販売

PC製品(桁, ハリ, 版類, マクラギ)

ポール

パイル(PC, RC)

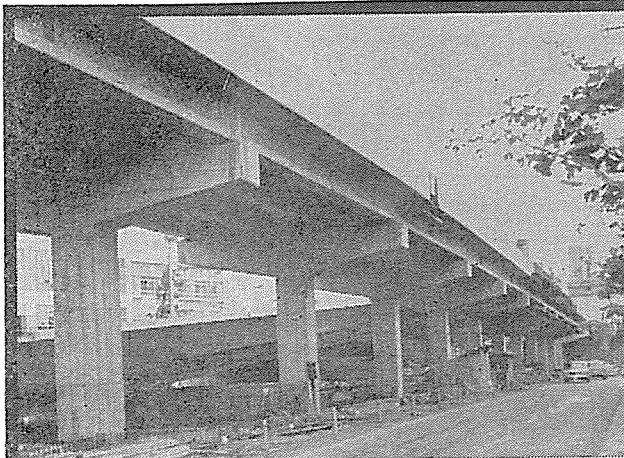
ブロック類

帝都高速交通営団 5号線長島町工区
延長 643m 複線



北海道ピー・エス・コンクリート株式会社

本社・東京営業所	東京都豊島区北大塚1丁目16番6号(大塚ビル)	電話 東京(918)6171(代)
札幌営業所	札幌市北三条西4丁目(第一生命ビル)	電話 札幌(24)5121
大阪営業所	大阪市北区万才町43番地(浪速ビル東館)	電話 大阪(361)0995~6
福岡営業所	福岡市大名1丁目1番3号(石井ビル)	電話 福岡(75)3646
仙台事務所	仙台市本町1丁目1番8号(日本オフィスビル)	電話 仙台(25)4756
名古屋事務所	名古屋市中区錦3丁目23番31号(栄町ビル)	電話 名古屋(961)8780
美唄工場	美唄市字美唄1453の65	電話 美唄4305~6
幌別工場	北海道幌別郡登別町字千歳	電話 幌別2221
掛川工場	静岡県掛川市富部	電話 掛川(2)7171(代)



首都高速度道路高架橋

プレストレスト コンクリート 建設工事 フレシナー工法 MDC工法

設計・施工
部 材
製造・販売

豊田コンクリート株式会社

取締役社長 西田 赫

本 社	愛知県豊田市トヨタ町6	電話 0565 (2) 1818(代)
名古屋営業所	名古屋市中村区笹島町1-221-2	電話 052 (581) 7501(代)
販売本部販売部	東京都港区西新橋2-16-1 全国タバコセンタービル2階	電話 03 (436) 5461~3
工 場	豊田工場・海老名工場	