

新形式プレキャストPC床版の実験的研究

AN EXPERIMENTAL STUDY ON A NEW TYPE PRECAST PC DECK SLAB

星 埜 正明*、大垣 賀津雄**、八部 順一***、長瀬 嘉理****
Masa-aki HOSHINO, Kazuo OHGAKI, Jun-ichi YABE and Yosimasa NAGASE

- * 工博 Dr.-Ing. 日本大学教授 理工学部交通土木工学科 (〒274 千葉県船橋市習志野台7-24-1)
** 工修 川崎重工業(株) 鉄鋼事業部 橋梁技術総括部 課長補佐 (〒136 東京都江東区南砂2-11-1)
*** 工修 川崎重工業(株) 鉄鋼事業部 橋梁技術総括部 課長 (〒136 東京都江東区南砂2-11-1)
**** 日本大学 理工学研究科 交通土木工学専攻 (〒274 千葉県船橋市習志野台7-24-1)

In recent years minimum cost of the bridge as a whole, rather than minimum weight of the steel, is considered more significant in Japan. This leads to the reduction of the number of girders aiming at lower labor cost. Because of less labor required in the construction site, smaller own weight and higher quality, precast prestressed concrete deck slabs are desirable for this type of plate girder bridge with fewer girders. In these circumstances a new type deck slab, in which precast concrete panels are joined by compressing the ribs arranged in both ends of the panels by means of prestressed short steel bars, was conceived. To investigate the static behavior including the ultimate load carrying capacity of this type of slab various experiments were carried out using almost full scale test models. In this paper the results of these experiments and FEM analysis will be presented.

Key Words : steel girder bridge, precast PC slab, full scale model tests

1. まえがき

近年、我が国で鋼道路橋建設技術に関して、合理化あるいは省力化の必要性が強調されている^{1),2)}。その具体的な動きの一つとして、多主桁に代わる少数主桁のプレートガーダー橋を挙げることができる。少数主桁橋の場合、必然的に主桁間隔が従来の多主桁橋よりも広くなり、荷重を直接支える床版も従来のRC床版とは異なった構造のものが要求される。その一つの解決策がPC床版で、少数主桁が以前より主流となっている欧州において広く使用されている³⁾。一方、先に述べたように、床版についても合理化、省力化が求められており、特に建設熟練者の不足、工期短縮あるいは木製型枠材の消費削減といったことを考えたとき、これが重要な課題であるということは自明である。合理化、省力化に対する一つの解答が床版のプレキャスト化である。

以上のことから、プレキャストPC床版が少数主桁プレートガーダー橋の床版として注目を集めており、近い将来、我が国において実際に実橋に採用される機運にある。なお、欧米や中国において、合成構造斜張橋でプレキャストPC床版はすでにかんがりの実績がある。プレ

キャスト床版の一つの技術的課題は、プレキャストパネル相互間の連結を力学および構造的にいかにより弱点とならないようにするかである。欧米ではいわゆるループ鉄

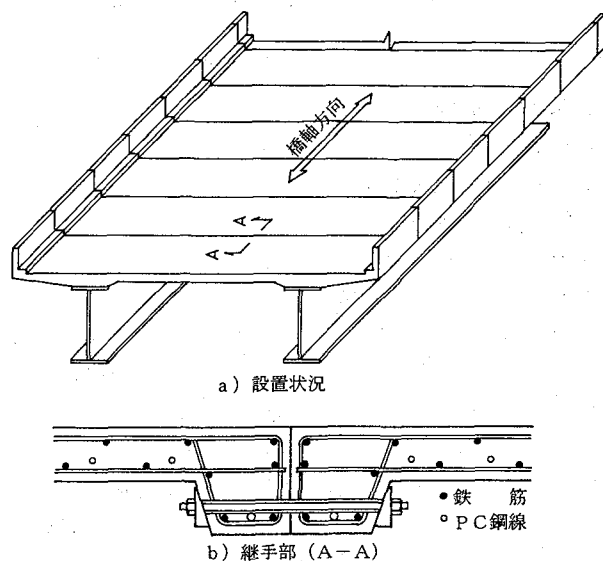


図-1 構造概要

筋継手が一般的に使用されているが、いくつかの問題点が指摘されている⁴⁾。また、この他にも、橋軸方向にP C鋼線を配置して一体化するという連結構造もあるが、現場での省力化あるいは経済性という点で問題が残る。

このような状況の下で、新しい形式のプレキャストP C床版を開発した。これは、図－1に示すような構造をしており、接合部にリブを設け、そのリブ同士をP C鋼棒により締め付ける構造となっている。こうすることにより、各プレキャストパネルを版として一体化し、せん断力と曲げモーメントの伝達を図るというものである。本床版の主要な特徴として以下のようなことを挙げることができる。

- ①弱点となり易い継手部にリブを設けることによって、補強効果が得られる。また、床版全体としての剛性も高くなる。
- ②リブで補強されているため、床版の厚さを薄くすることができ、全体としてのコンクリート使用量は増えない。
- ③ループ鉄筋継手に存在する損傷・漏水の原因となる間詰め部がない。
- ④継手部に配筋あるいはコンクリート打設をするというような煩雑な作業がない。
- ⑤現場でリブ同士をP C鋼棒で締め付ける必要があるが、技術的には比較的単純な作業である。
- ⑥部分的に取り換え可能である。

このような新形式のプレキャストP C床版を実橋で安全に使用するためにはいくつか検討すべきことがある。すなわち、継手部における各パネル間の力の伝達特性や破壊に至るまでの耐荷特性といった静的性状あるいは疲労強度などである。このうち、本研究では、前者の静的性状に着目して主として実験により検討を行った。本床版の設計方法を考える上でもこれらの実験は有意義である。疲労については今後さらに検討を進めていく予定である。実験はほぼ実物大の試験体を用いて全部で4種類のものを行った。

2. 実験の種類

実験は以下の4種類のものを行った。

- ①部分モデルせん断実験
- ②部分モデル曲げ実験
- ③全体モデル耐荷力実験 I
- ④全体モデル耐荷力実験 II

このうち①と②の実験は、各パネル間のせん断力と曲げモーメントの伝達特性を調べる目的で行ったもので、継手部を部分的に取り出した試験体を用いた。

③と④の全体モデル耐荷力実験は全体パネルを用いて実験を行った。③と④の違いはパネルの数と載荷点の位置である。③の実験では2枚のパネルを接合した試験体を用い、荷重は一方のパネルのリブ上に載荷した。これに対して、④の実験では3枚のパネルを接合した試験体

を用い、荷重は中央パネルの中央に加えた。

全体モデルによる実験を2種類行ったのは以下の理由による。ここで検討しているプレキャストP C床版では、荷重がリブ上に載った場合とパネル中央に載った場合が最も条件が厳しく、しかも異なる破壊形態が生じると予想された。前者の場合は、パネル間のせん断力の伝達に対して最も厳しい状態となり、接合部ですべりが起こる可能性があるとともに、最終的にはリブ部で曲げ破壊が起こることが考えられた。一方、後者では接合部上面で開口が生じる可能性があるとともに、最終的には床版の押し抜きせん断破壊が起こると考えられた。

3. 使用材料

3.1 コンクリート

試験体の製作には早強ポルトランドセメント (JIS R 5210) を用いた。設計基準強度は500kgf/cm²である。部分モデルせん断実験と曲げ実験では 比較の意味でループ鉄筋継手についても実験を行ったが、その間詰め部コンクリートには普通ポルトランドセメントを用いた。設計基準強度は試験体と同じである。

材料試験としては各種のものを行ったが、ここでは圧縮強度試験 (JIS A 1108) と引張強度試験 (JIS A 1113) の結果についてのみ記す。なお、圧縮強度試験に際しては、供試体にひずみゲージを貼付してヤング係数も求めた。表－1に試験結果を示す。これらの値はいずれも各3～5供試体の平均値である。圧縮強度試験は材令1、2、7、28日でも行っているが、ここに掲げたのは実験時に合わせて行った試験の結果である。引張強度試験は実験終了後暫く経ってから1回だけ行った。

3.2 鉄筋およびP C鋼棒・鋼線

試験体には各種の鉄筋およびP C鋼棒・鋼線を用いた。表－2にこれらの鋼材の機械的性質を示す。これらはすべて出荷時の引張試験の結果である。

表－1 コンクリートの圧縮強度と引張強度

試験体の種類	記号	圧縮強度(kgf/cm ²)		引張強度(kgf/cm ²)		ヤング係数(kgf/cm ²)
		材令	強度	材令	強度	
せん断実験	SPC1-E1	54	810	--	--	3.7x10 ⁵
	SPC1-E2	49	680	--	--	3.7x10 ⁵
	SPC2-E1	53	600	--	--	3.7x10 ⁵
	SPC2-E2	48	750	--	--	3.8x10 ⁵
	SPC3-E1	42	780	--	--	3.7x10 ⁵
	SPC3-E2	55	730	--	--	3.8x10 ⁵
	SPC-D300	41	670	--	--	3.6x10 ⁵
	SRC-LOOP	42	780	--	--	3.7x10 ⁵
曲げ実験	BPC1	55	730	86	47	3.8x10 ⁵
	BPC2	54	810	85	49	3.7x10 ⁵
	BRC-LOOP	53	600	84	41	3.7x10 ⁵
間詰め部		40	640	71	39	3.5x10 ⁵
耐荷力実験Ⅰ	PLATE1	37	760	66	49	4.0x10 ⁵
耐荷力実験Ⅱ	PLATE2	35	670	68	62	3.8x10 ⁵

表－2 鉄筋、PC鋼棒、PC鋼線の機械的性質

鋼材の種類	降伏点 (kgf/mm ²)	引張強度 (kgf/mm ²)	摘 要
SD295 D10	41	60	B, P
SD345 D13	40	57	S, B, P
SD345 D16	39	55	S, B
SD345 D19	40	58	S, B
SBPR930/1080 φ17	107	116	P
SBPR930/1080 φ23	107	116	S, B
SWPR7B 11.1	177	197	P
SWPR19 17.8	180	200	P

S:せん断試験、 B:曲げ試験、 P:耐荷力実験

4. 部分モデルせん断実験

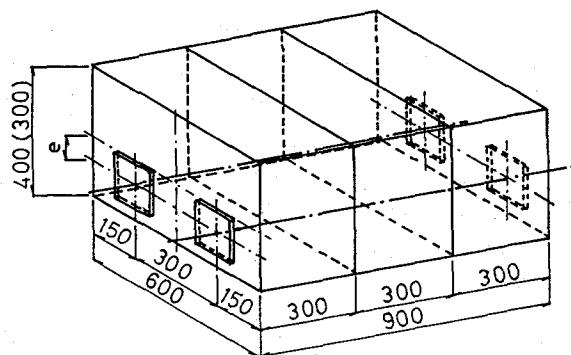
4.1 概要

部分モデルによるせん断実験は、プレキャストパネル継手部のみを部分的に取り出した実物相当の試験体を用い、継手部のせん断伝達特性を検討する目的で行ったものである。試験体は合計で8体製作した。このうち6体の試験体では、PC鋼棒のプレストレス力を3通り、PC鋼棒の配置位置を2通りに変化させた。残り2体は、比較のために、PC鋼棒を配置せずにループ鉄筋継手を用いた試験体と、これと同じ寸法でPC鋼棒を配置した試験体それぞれ1体づつである。これらの試験体を用いて2面まさつの押し抜きせん断実験を行った。

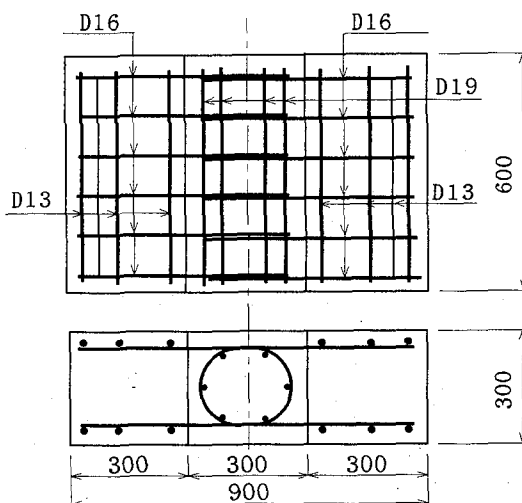
4.2 試験体

試験体の概観を図－2に示す。試験体は3つのブロックから成り、それらをPC鋼棒で締めることにより一体化している。各ブロック間の接合面はいわゆるドライになっており、樹脂あるいはモルタル等は使用していない。ただし、ループ継手試験体では2つのブロックの間に間詰めコンクリートを打設して一体化している（図－3）。

使用した試験体の一覧を表－3に示す。表に掲げた最初の6体（SPC1-E1～SPC3-E2）は寸法が同一である。その内3体はPC鋼棒を偏心無しに配置しており、他の3体はPC鋼棒を75mm偏心させて配置した。各3体でPC鋼棒のプレストレス力は変化させており、接合面の平均応力でそれぞれ10、20、30kgf/cm²となるようにした。ただし、30kgf/cm²の場合は、PC鋼棒の降伏点に近かった



図－2 試験体の概観（せん断実験）



図－3 ループ鉄筋継手試験体（せん断実験）

表－3 試験体一覧（せん断実験）

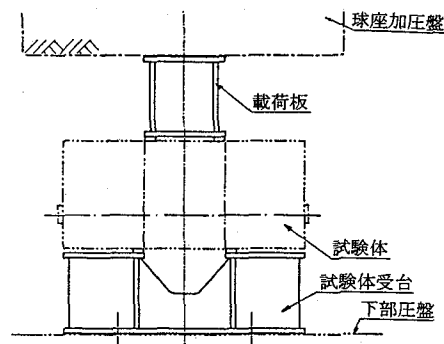
試験体	寸 法 mm	プレストレス力 tf	平均初期応力 kgf/cm ²	PC鋼棒の偏心 e mm
SPC1-E1	600x400x900	23.7	9.9	0
SPC2-E1	"	47.1	19.6	0
SPC3-E1	"	66.3	27.6	0
SPC1-E2	"	23.4	9.8	75
SPC2-E2	"	46.4	19.3	75
SPC3-E2	"	62.2	25.9	75
SPC-D300	600x300x900	37.7	20.9	0
SRC-LOOP	"	—	—	—

ため、これより若干小さめである。最後の2体（SPC-D300～SRC-LOOP）は上記の6体と寸法が異なる。これはループ鉄筋継手は等厚のRC版であり、床版厚がPC床版のリブ部の厚さより小さくなるからである。同じ寸法の試験体（SPC-D300）は、ループ鉄筋継手との比較を同じ条件にして行う目的で含めたものである。

4.3 載荷装置と測定項目

実験は図－4に示すような装置で行った。荷重は最大値に達するまで、漸増させた。ただし、継手部でずれが生じる前に、一度除荷を行った。

測定はPC鋼棒の張力、鉛直変位、継手部の開口幅、ひずみなどについて行った。



図－4 載荷装置（せん断実験）

4. 4 実験結果と考察

(1) 最大荷重

各試験体について、代表的な荷重と鉛直変位の関係を図-5、6に示す。支点の置かれている両側ブロックの鉛直変位は無視できる程小さいので、図示した鉛直変位は接合面のずれと考えてもよい。

図から、P C鋼棒を配置した試験体の荷重と鉛直変位の関係は全試験体で類似したものになっていることが認められる。すなわち、ある荷重に達するまでは荷重と鉛直変位の関係はほぼ直線的であり、その後は荷重の増加無しに変位のみが増し、接合面ですべりが生じていることが分かる。さらに載荷を続けると再び荷重は増加する。これは、P C鋼棒がシースと接触したことにより、P C鋼棒のせん断抵抗が働き始めたことを示している。したがって、これ以前のすべり量というのはP C鋼棒とシースの空きに依存し、P C鋼棒がシース中心からどの程度偏心して配置されていたかによって変わってくるものである。最大荷重に近づくと荷重の増加は緩やかになり、最終的には荷重は低下し始める。この時をもって耐力に達したとした。

ループ鉄筋継手を用いた試験体（SRC-LOOP）では、荷重-鉛直変位関係はやや異なる（図-6）。最終的には接合面ですべりが生じて最大荷重に達しているが、P C鋼棒を配置した試験体のように大きなすべりは起こっていない。ループ鉄筋とコンクリートは最初から完全に密着した状態にあることから、このことは当然といえば当然である。

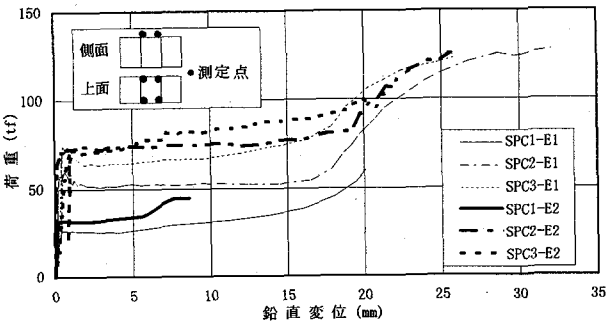


図-5 鉛直変位（せん断実験）

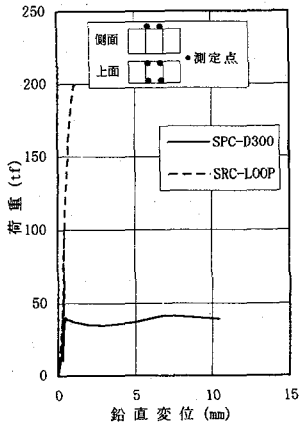


図-6 鉛直変位（せん断実験）

各試験体の最大荷重を表-4に示す。最初の試験体SPC1-E1では、慎重を期し、明確な荷重減少が起こる前に実験を終了したため、表に記してある最大荷重は若干低めの値である。表から、以下のようなことが分かる。

- ①一般に、プレストレス力の大きい試験体ほど最大荷重が大きい。これは、最大荷重が接合面のすべり耐力にP C鋼棒とコンクリート間の支圧耐力を加え合わせたものになっていると考えれば説明がつく。
- ②ただし、プレストレス力が最大の試験体SPC3は、試験体SPC2に比べ最大荷重はいくらか小さい。これはプレストレス力を与えた時に、P C鋼棒の応力がかかり高く、降伏域にすでに入っていたことが関係していると考えられる。
- ③P C鋼棒の偏心の有無は、最大荷重にはあまり影響していない。
- ④ループ鉄筋継手の最大荷重はP C鋼棒による継手に比べて明らかに大きい。

表-4 最大荷重（せん断実験）

試験体	PC鋼棒の偏心 e mm	プレストレス力 tf	最大荷重 tf
SPC1-E1	0	23.7	60
SPC2-E1	0	47.1	128
SPC3-E1	0	66.3	123
SPC1-E2	75	23.4	45
SPC2-E2	75	46.4	126
SPC3-E2	75	62.2	107
SPC-D300	0	37.7	42
SRC-LOOP	--	--	202

(2) すべり荷重と接合面のまさつ係数

各試験体のプレストレス力、すべり荷重、接合面のまさつ係数を表-5にまとめて示す。図-7にプレストレス力とすべり荷重の関係を示す。まさつ係数は、本実験が2面まさつであることを考慮して、すべり荷重の1/2とプレストレス力の比として求めた。これらの表と図から次のようなことが言える。

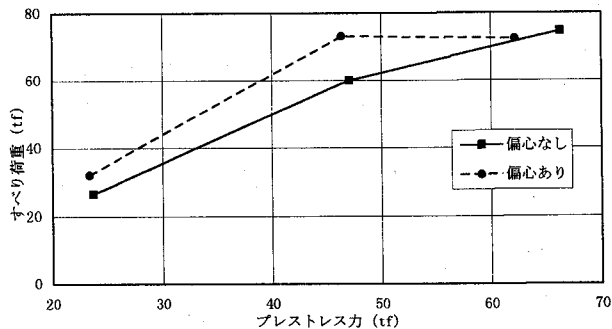
- ①一般にプレストレス力が大きいほどすべり荷重は大きい。
- ②偏心のある場合の方が無い場合よりすべり荷重は大きい傾向にあるが、その差は小さい。
- ③まさつ係数は0.53~0.79の間にある。
- ④すべり発生時の平均せん断応力は5kgf/cm²（SPC1-E1）~15kgf/cm²（SPC3-E1）程度である。

いま、すべりに対する設計の考え方について少し検討する。道路橋示方書⁵⁾によれば、輪荷重は橋軸直角方向に1mあるいは1.75m間隔で床版上に作用する。したがって、片側のリブに作用する設計輪荷重14tf（衝撃を含む）の1/2がパネル継手部を越えてもう一方のリブに伝達されるとし、幅1.375m、高さ0.4mの接合面の平均作用せん断応力を求めると、1.27kgf/cm²となる。実験結果か

ら接合面のまさつ係数は少なくとも0.5はあるとし、高力ボルトまさつ接合の場合と同様に、すべりに対する安全率を1.7とすれば、プレストレス力による接合面の必要平均応力は4.3kgf/cm²と計算できる。この値は、今回の実験で言えば、試験体SPC1-E1あるいはSPC1-E2の場合の約1/2に相当する。床版は輪荷重を直接支持する構造部材であることから安全率をもっと大きくとったとしても、すべりに対して十分設計可能であることが分かる。

表－5 すべり荷重とまさつ係数（せん断実験）

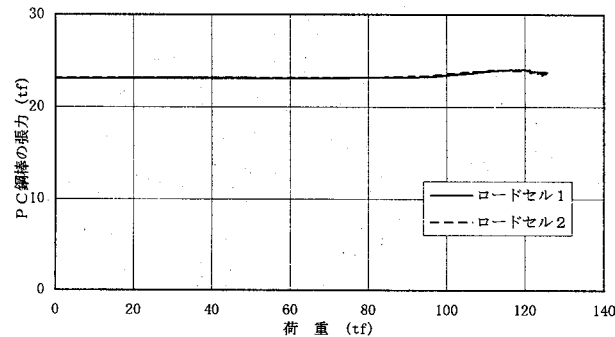
試験体	PC鋼棒の偏心 e mm	プレストレス力 tf	すべり荷重 tf	まさつ係数
SPC1-E1	0	23.7	26.6	0.56
SPC2-E1	0	47.1	60.0	0.64
SPC3-E1	0	66.3	74.6	0.56
SPC1-E2	75	23.4	32.2	0.69
SPC2-E2	75	46.4	73.2	0.79
SPC3-E2	75	62.2	72.4	0.58
SPC-D300	0	37.7	40.3	0.53



図－7 すべり荷重とプレストレス力（せん断実験）

(3) PC鋼棒の張力

図－8に、代表例として試験体SPC2-E2の荷重とPC鋼棒の張力の関係を示す。図から、PC鋼棒の張力は大きく変化はしない。特に、すべりが生じるまでは張力の変化は少なくほぼ一定とみなせる。



図－8 PC鋼棒の張力（せん断実験）

5. 部分モデル曲げ実験

5.1 概要

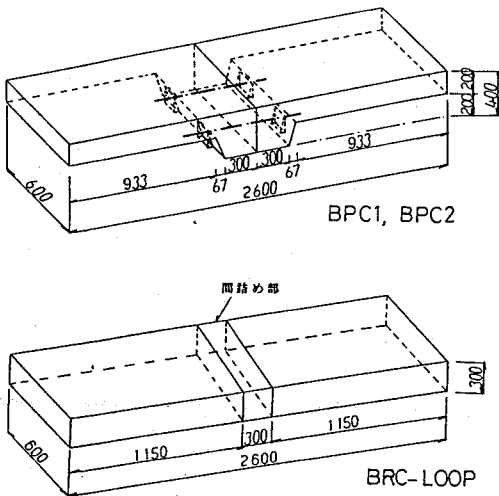
部分モデルによる継手部の曲げ実験は、継手部のみを部分的に取り出した実物相当の試験体を用い、曲げ伝達

特性を検討する目的で行ったものである。試験体は合計で3体製作した。このうち2体の試験体では、PC鋼棒により接合しているが、プレストレス力は2通りに変化させた。残り1体は、比較のために、PC鋼棒を配置せずにループ鉄筋継手を用いた試験体である。これらの試験体を用いて等曲げ実験を行った。

5.2 試験体

試験体の概観を図－9に示す。試験体は継手部を含む幅600mm、長さ2.6mのはり状のものである。試験体は2つのブロックから成り、リブ部をPC鋼棒で締めることにより一体化している。各ブロック間の接合面はいわゆるドライになっている。ただし、ループ鉄筋継手試験体では2つのブロックの間に間詰めコンクリートを打設して一体化している。

使用した試験体の一覧を表－6に示す。接合の方法が異なるため、PC鋼棒を用いた試験体（BPC）とループ鉄筋継手を用いた試験体（BRC）では形状寸法が異なる。PC鋼棒のプレストレス力は2体（BPC1とBPC2）で変化させており、接合面の平均応力でそれぞれ10、20kgf/cm²となるようにした。



図－9 試験体の概観（曲げ実験）

表－6 試験体一覧（曲げ実験）

試験体	寸法 mm	プレストレス力 tf	平均初期応力 kgf/cm ²
BPC1	600x400x2600	24.2	10.1
BPC2	#	47.7	19.9
BRC-LOOP	600x300x2600	--	--

5.3 荷重装置と測定項目

実験は図－10に示すような装置で行った。荷重は最大値に達するまで、漸増させた。ただし、最大荷重の1/10と1/5程度の荷重で2度除荷を行った。

測定はPC鋼棒の張力、鉛直変位、コンクリートのひずみ、継手部の開口幅などについて行った。

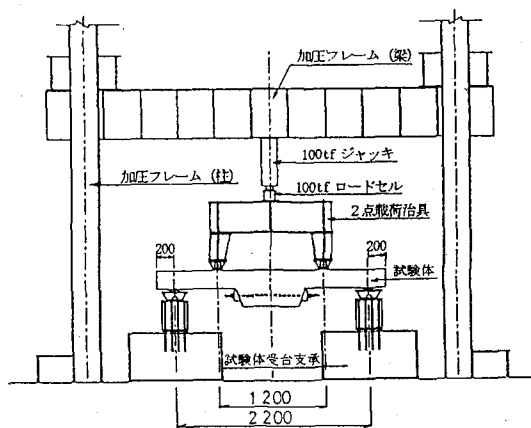


図-10 載荷装置（曲げ実験）

5.4 実験結果と考察

(1) 最大荷重

荷重は荷重が低下し始めるまで行った。この時点でいずれの試験体もはり上面、載荷点近傍でコンクリートの圧壊が認められた。本実験の試験体にはせん断補強鉄筋が入っていないため、支点と載荷点の間でせん断破壊が起こることも考えられたが、曲げ破壊が支配的であった。また、継手部が弱点となるということはなく、曲げモーメントの伝達には特に問題はなかった。

表-7に各試験体の最大荷重を示す。表には道路橋示方書⁵⁾に基づき求めた曲げ耐力から換算した計算値も入れている。P C鋼棒を配置した試験体2体の最大荷重はほぼ同じで50tf程度になっている。ループ鉄筋継手試験体の最大荷重はそれより若干大きい、差は小さい。ループ鉄筋継手試験体のはり高は300mmで、P C鋼棒を配置した試験体の破壊が生じた位置のはり高200mmに比べて大きいので、最大荷重もかなり大きくなるはずである。実験結果がそうっていないのは、コンクリートの圧縮強度が小さかったのと、引張鉄筋量が少なかったためである。

表-7 最大荷重（曲げ実験）

試験体	実験値(tf)	計算値(tf)
BPC1	49.3	47.8
BPC2	52.8	48.1
BRC-LOOP	57.5	45.6

(2) P C鋼棒の張力と継手部の開口

試験体BPC1とBPC2について、荷重とP C鋼棒の張力の関係を図-11に、荷重と継手部下面の開口量の関係を図-12に示す。試験体BPC1では、P C鋼棒の張力は当初ほとんど変化しないが、継手部の下部から開口が始まるとそれにつれて増加するのがよく分かる。ただし、最大荷重時でもP C鋼棒の応力は降伏点に達しておらず、継手部の断面は破壊に対してまだ余裕がある。前述したように、実際に破壊は継手部以外で生じている。

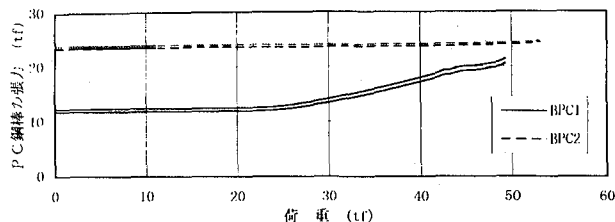


図-11 P C鋼棒の張力（曲げ実験）

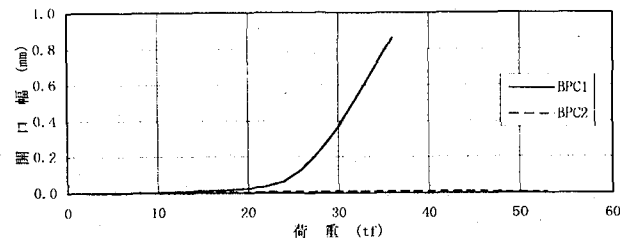


図-12 継手部下面の開口量（曲げ実験）

6. 全体モデル耐荷力実験 I

6.1 概要

全体モデル実験はプレキャストP Cパネル2枚あるいは3枚接合した版で行った。実験Iではパネル2枚である。パネルの縮尺は実物の3/4に相当している。荷重は片方のパネルのリブ上に載荷した。このような実験により版全体の静的性状を知ることができるとともに、特に、パネル間のせん断伝達とリブの曲げ耐力について有用な知見が得られる。

6.2 試験体

試験体の概観を図-13に示す。試験体は2つのパネルから成り、リブ部をP C鋼棒で締めることにより一体化している。各パネル間の接合面はいわゆるドライになっている。図-1に示すように、実際にはかなりの数のパネルが橋軸方向に連続して設置されて床版を形成するのであるが、実験では2パネルのみを取り出している。そのため、橋軸方向の連続性を考慮するために、試験体の両自由辺にはH形鋼を設置した。

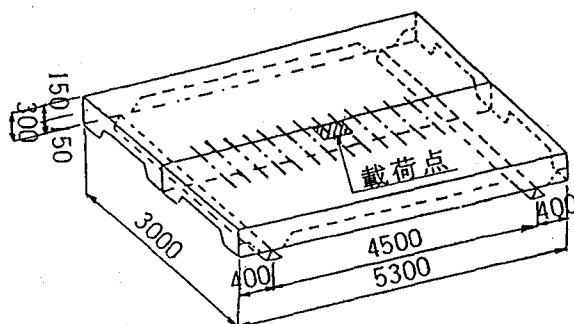


図-13 試験体の概観（耐荷力実験I）

6.3 載荷装置と測定項目

P C鋼棒のプレストレス力は9tfと17tfの2種類に変化させた。接合面の平均応力でそれぞれ10、19kgf/cm²である。その各々について弾性範囲内で載荷・除荷を行っ

た後、17tfのプレストレス力で破壊に至るまで荷重を加えた。実験は図-14に示すような装置で行った。

測定はP C鋼棒の張力、鉛直変位、コンクリートのひずみ、継手部の開口幅などについて行った。パネル下面のひび割れ状況の観察も実施した。

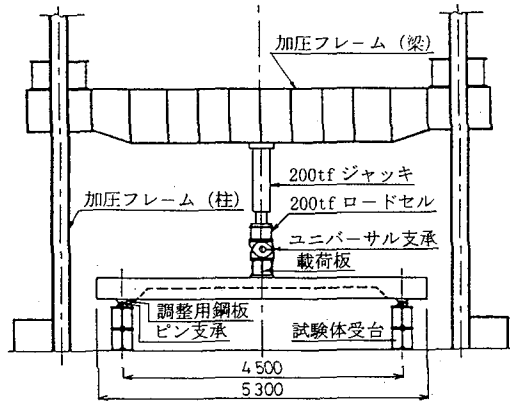


図-14 載荷装置 (耐荷力実験 I、II)

6.4 実験結果と考察

(1) 最大荷重

荷重は荷重が低下し始めるまで行った。この時点で荷重の載っている方のリブの曲げ破壊に伴う押し抜き破壊が生じた。表-8に最大荷重の実験値と計算値を示す。計算値は次のようにして求めた。まず、道路橋示方書に基⁵⁾づき曲げ耐力 M_U を計算する。このとき断面は床版とリブから成り立つT断面と考える。フランジの幅はパネル中心間距離の1.5mをとり、リブは2本分考慮する。次に、試験体を格子構造に置き換えて、実験と同じ載荷位置に単位荷重を載せ、リブ部に相当するT断面はりの最大曲げモーメント M_{max} を求める。 M_U と M_{max} を用いて最大荷重を算出する。

表-8 最大荷重 (耐荷力実験 I)

実験値(tf)	計算値(tf)
66.6	45.1

実験値はこのようにして求めた計算値に比べかなり大きい。これは、最大荷重に近くなると実際には荷重再分配作用があり、中央のリブから両側のリブへと力が流れるためと考えられる。図-17のひび割れ状況からもこのことは認められる。

実験では輪荷重に相当する集中荷重を一つだけ作用させているが、実際の床版の設計では輪荷重は幅員方向に4つ載せる必要がある。このときの設計曲げモーメントは輪荷重一つの場合の約2.2倍になる。したがって、最大荷重66.6tfを2.2で除して、さらに試験体の縮尺3/4を考慮すると、設計輪荷重14tf (衝撃を含む) に対応する本床版の最大荷重は54tfとなり、設計荷重の約3.8倍に相当する。

(2) P C鋼棒の張力と継手部のずれ

接合用P C鋼棒の張力は中央4本の鋼棒について測定したが、いずれも荷重50tf程度まではほとんど変化せず、それ以降若干増加傾向にある (図-15)。これは、次に述べるように、荷重50tf前後から継手部のずれが増加していることと対応している。

継手部のずれは、継手を挟んで隣接して配置した鉛直変位計の差として求めた。荷重とずれとの関係を図-16に示す。40tfまではずれはほとんど生じていないが、それ以降やや増加し、50tfを越えるときかなり大きくなる。最大荷重の66tfでは完全にすべりが生じている。

前述のように、実際の床版では、輪荷重が橋軸直角方向にいくつも載った状態が設計上リブ部の曲げに対して最も厳しくなり、今回の実験のように一つの集中荷重により破壊が起こるわけではない。したがって、実際には荷重は分散して作用することになるので、接合面のすべりに関しては、今回の実験より条件は著しく緩和される。このことを考慮すると、実際の床版では接合面のすべりはもっとずっと遅く起こるか、場合によってはリブ部の曲げ破壊が生じる前には起こらないと考えられる。

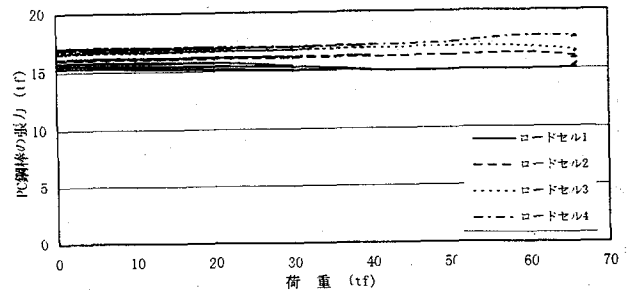


図-15 P C鋼棒の張力 (耐荷力実験 I)

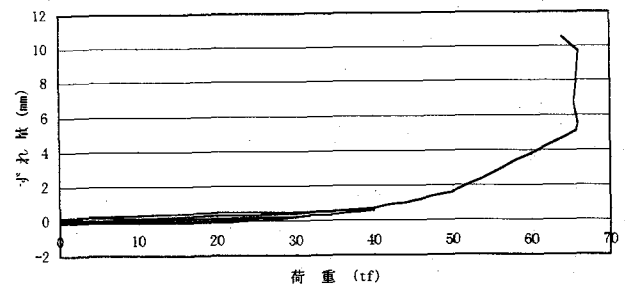


図-16 継手部のずれ (耐荷力実験 I)

(3) ひび割れ状況

荷重20tfで、リブ下縁に軸と直角方向に曲げひび割れが発生した。最大ひび割れ幅は0.06mmであった。30tfでは0.35mmに広がっていた。荷重の除荷後はひび割れ幅は小さくなるっており、この程度の値ではまだ鉄筋の腐食に対しては十分安全であると言える。図-17は実験終了後の床版下面のひび割れ状況を示している。載荷点を中心にしてほぼ対称にひび割れは生じており、パネル間の力の伝達が良好に行われていることを示している。

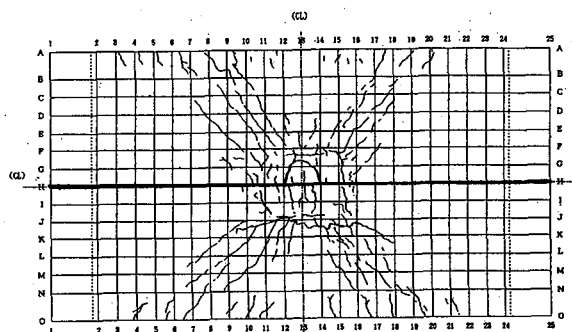


図-17 ひび割れ状況(耐荷力実験Ⅰ)

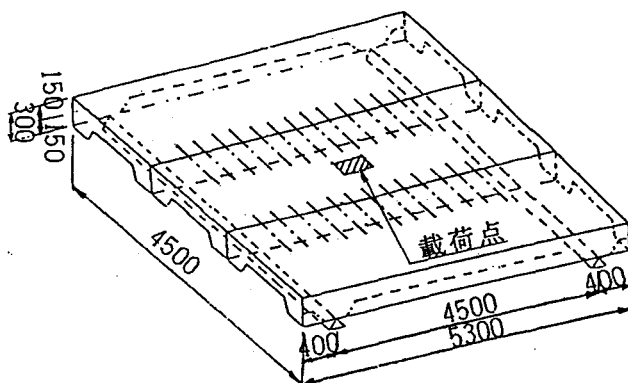


図-19 試験体の概観(耐荷力実験Ⅱ)

(4) コンクリートの応力

コンクリートの応力は多くの位置で測定しているが、ここでは代表的な断面での応力分布を示す(図-18)。図にはFEMおよび格子桁による弾性解析値も記入してある。実験値と解析値は一般によく合っている。

荷重が30tfを越えるあたりから、载荷されている側のリブの応力が非载荷側のリブの応力よりかなり大きくなってきており、継手部を通じてのパネル間の力の伝達がいづらか低下しているようにみえる。

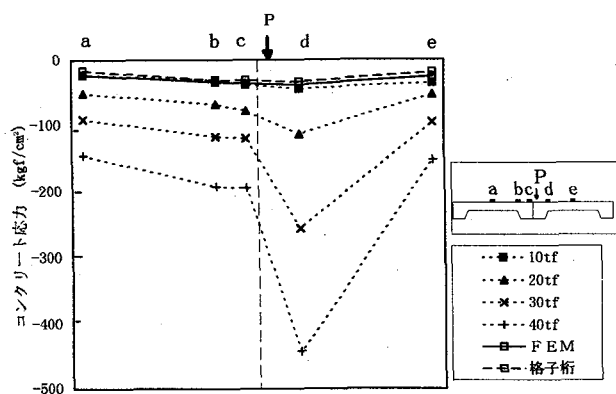


図-18 中央断面におけるコンクリート応力の分布(耐荷力実験Ⅰ)

内で载荷・除荷を行った後、17tfのプレストレス力で破壊に至るまで荷重を加えた。载荷装置および測定項目は実験Ⅰと同様である

7.4 実験結果と考察

(1) 最大荷重

载荷は床版が破壊するまで行った。破壊は载荷点直下の押し抜きせん断破壊であった。表-9に最大荷重の実験値と計算値を示す。計算値は前田・松井の提案式⁶⁾を準用して求めた。この場合、破壊せん断面は、破壊状況の観察から、橋軸方向では20°、橋軸直角方向では10°と仮定した。

このようにして求めた計算値と実験値は比較的良好に合っている。試験体の縮尺3/4を考慮すると、設計輪荷重14tf(衝撃を含む)に対応する本床版の最大押し抜きせん断荷重は136tfとなり、設計輪荷重の約10倍に相当する。

表-9 最大荷重(耐荷力実験Ⅱ)

実験値(tf)	計算値(tf)
76.7	67.5

(2) PC鋼棒の張力と継手部のずれ

接合用PC鋼棒の張力は中央の鋼棒について4カ所で測定したが、いずれも破壊荷重に至るまでほとんど変化しない。継手部のずれも最大で0.06mmと小さく、実質的にはずれは生じていなかった。継手部の開口もほとんど認められなかったが、これは接合用PC鋼棒のプレストレス力と载荷荷重による正の曲げモーメントのためである。正の曲げモーメントにより、上面はむしろ閉じる方向であった。

(3) ひび割れ状況

荷重17tfで、リブ下縁と载荷点直下にひび割れが発生した。最大ひび割れ幅は0.04mmであった。30tfでは0.08mmに広がっていた。荷重の除荷後はひび割れ幅は小さくなっており、この程度の値ではまだ鉄筋の腐食に対しては十分安全であると言える。図-20は実験終了後の床版下面のひび割れ状況を示している。载荷点を中心にしてほぼ対称にひび割れは生じている。リブとリブの間

7. 全体モデル耐荷力実験Ⅱ

7.1 概要

全体モデル耐荷力実験ⅡではプレキャストPCパネルを3枚接合した版で行った。荷重は中央パネルの中央に加えた。このような実験により版全体の静的性状を知ることができるとともに、特に、パネル間の曲げモーメント伝達と床版の押し抜きせん断耐力について有用な知見が得られる。

7.2 試験体

試験体の概観を図-19に示す。試験体は3つのパネルから成り、リブ部をPC鋼棒で締めることにより一体化している。実験Ⅰと同様に橋軸方向の連続性を考慮するために、試験体の両自由端にはH形鋼を設置した。

7.3 载荷装置と測定項目

PC鋼棒のプレストレス力は実験Ⅰと同様に9tfと17tfの2種類に変化させた。その各々について弾性範囲

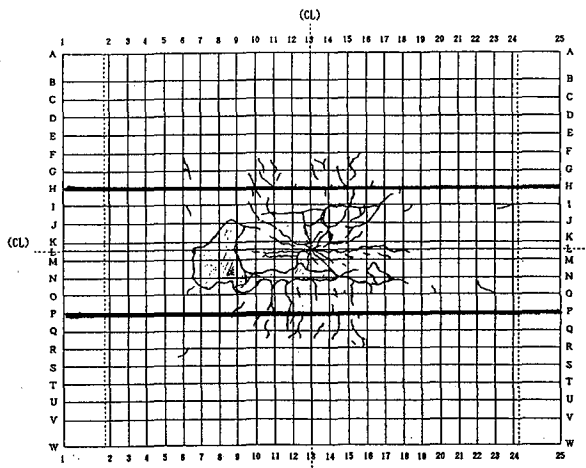


図-20 ひび割れ状況 (耐荷力実験Ⅱ)

の床版部にリブと平行、つまり、プレキャスト床版のP C鋼線と平行にひび割れが入っている。リブ下縁に曲げひび割れが入っているが、実験Ⅰに比べ数も少ないし、幅も小さい。これは、リブに作用する曲げは実験Ⅱの場合の方が実験Ⅰの場合よりも小さいことと対応している。

(4) コンクリートの応力

コンクリートの応力は多くの位置で測定しているが、ここでは代表的な断面での応力分布を示す (図-21)。図にはFEMおよび格子桁による弾性解析値も記入してある。実験値と解析値は一般によく合っている。また、隣接するリブの応力はほぼ等しくなっており、リブ間のせん断力の伝達是完全であり、継手部でずれが生じていないことと対応している。

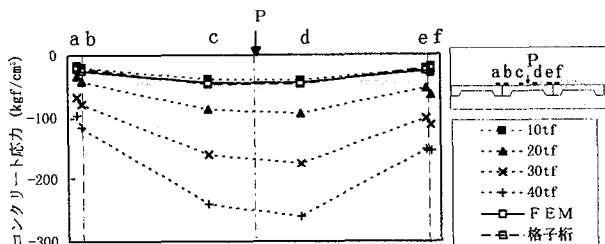


図-21 中央断面におけるコンクリート応力の分布 (耐荷力実験Ⅱ)

8. まとめ

本研究では、新しい形式のプレキャストP C床版についていくつかの実験を行い、その静的性状について検討を行った。本実験の範囲内では、本床版の静的耐荷力については特に問題は認められず、設計荷重に対しても十分安全に設計可能であることが分かった。この他、実験から種々の興味ある結果が得られたが、それらをまとめると以下ようになる。

(1) 部分モデルせん断実験

- ①接合面のまさつ係数は0.53~0.79の間にある。
- ②接合用P C鋼棒の偏心の有無は最大荷重およびすべ

り荷重に対して大きな影響はない。

- ③せん断力の伝達あるいは接合面のすべりに関して、ループ鉄筋継手に比べれば、P C鋼棒のプレストレス力による接合は劣るが、十分安全に設計可能と考えられる。

- ④P C鋼棒の張力は最大荷重に至るまでほとんど変化しない。

(2) 部分モデル曲げ実験

- ①継手部の曲げモーメントの伝達に関しては、本床版は特に問題は認められない。
- ②接合用P C鋼棒の張力は継目部が開くまでは、ほぼ一定であるが、開口し始めると徐々に増大する。
- ③破壊はリブ部以外の箇所でもコンクリートの圧壊により生じる。

(3) 全体モデル耐荷力実験Ⅰ (リブ部直上に載荷)

- ①破壊は載荷されているリブ部の曲げ破壊であった。最大荷重は設計荷重に対して十分大きかった。
- ②最大荷重は計算値に比べてかなり大きかった。これは計算では考慮されていない荷重の再分配作用が実際にはあるためと考えられる。
- ③接合用P C鋼棒の張力の変化は破壊まで小さい。
- ④継手部のずれは最大荷重の60%まではほとんど生ぜず、75%を越えるころから大きくなる。最大荷重時には完全にすべっている。このことに対応して、リブの曲げ応力も載荷されている側で大きくなっている。
- ⑤今回の実験では、一つの集中荷重を作用させているため、前述のように、リブ部の曲げ破壊が起こるかなり以前から継目部のずれが認められている。しかしながら、設計で想定しているような輪荷重の載荷状態を考慮すると、継目部のずれはもっとずっと遅く、あるいは場合によっては曲げ破壊が生じるまで起こらないことも考えられる。
- ⑥最大荷重の45%程度の荷重でも最大ひび割れ幅は十分小さかった。

- ⑦FEMあるいは格子桁による弾性解析は、試験体にひび割れが入るまでは実験値と比較的よく合っていた。

(4) 全体モデル耐荷力実験Ⅱ (パネル中央に載荷)

- ①破壊は押し抜きせん断破壊であった。
- ②実験より得られた最大荷重は計算値とよく合っていたが、前者がいくらか高めであった。設計輪荷重に対しては十分大きかった。
- ③接合用P C鋼棒の張力は最大荷重に至るまではほぼ一定であった。継手部接合面のすべりも認められなかった。
- ④継手部上面で開口は起こらず、むしろ閉じる方向であった。
- ⑤最大荷重の40%程度の荷重でも最大ひび割れ幅は十分小さかった。

⑥FEMあるいは格子桁による弾性解析は、試験体にひび割れが入るまでは実験値と比較的よく合っていた。

今後の課題としては以下のような項目が挙げられる。

- ①合理的な設計法の確立。
- ②適切な接合用P C鋼棒の配置とプレストレス力の大きさの決定。
- ③疲労強度の検討。
- ④鋼桁との接合方法。
- ⑤プレキャストパネル継目部の接合面処理方法。
- ⑥現場での接合用P C鋼棒のプレストレス導入方法。
- ⑦接合用P C鋼棒の防錆など耐久性の確保。

謝辞：実験およびFEM解析、格子桁解析に際して、第一著者の研究室に所属する大学院および学部学生の多大な助力を得た。記して謝意を表するものである。

参考文献

- 1) (財) 高速道路調査会：橋梁の単純化に関する調査検討報告書、1993
- 2) 山縣 敬二：省力化に対応した橋梁構造、JSSC、No. 13、pp. 2-11、1994
- 3) Petersen, C : Stahlbau、Vieweg、pp.1095-1096、1990
- 4) 中井 博（編）：プレキャスト床版合成桁橋の設計・施工、森北出版、pp. 7-9、1988
- 5) 道路協会：道路橋示方書（Ⅰ 共通編、Ⅱ 鋼橋編）、丸善、1994
- 6) 前田 幸雄、松井 繁之：鉄筋コンクリート床版の押し抜きせん断耐荷力の評価式、土木学会論文報告集、No. 384/V-1、pp. 133-141、1984

(1996年9月6日 受付)