

軽量コンクリートを床版に用いた PC 合成桁の載荷試験

徳 光 善 治\* 村 上 義 彦\*\*  
石 川 達 夫\* 花 田 久\*\*

1. ま え が き

人工軽量骨材の開発にともなって高強度の軽量コンクリートが製作できるようになり、高圧縮力を受けるコンクリート部材へも軽量コンクリートが盛んに用いられてきている。こういった軽量コンクリートの利用の一つとして、高圧縮力すなわちプレストレスを受ける部材には従来の高強度の普通コンクリート、それに打継ぐ床版部には軽量コンクリートを用いる PC 合成桁の考え方があり、工場製作のプレキャスト桁を桁部に用いれば工期の短縮も期待でき、あわせて死荷重の軽減とあいまって良結果をうるのではないかと思われる。合成桁における問題点としては、桁部と床版部との結合の問題、乾燥収縮、クリープにもとづく両者の応力差の問題などがあるが、本報告は桁部に普通コンクリートの PC 桁を用い、それに床版部に軽量コンクリートを打継いで合成桁を製作して載荷試験を行ない、ひずみ測定、たわみ測定、桁部と床版部のずれ測定を行なった結果をまとめたものである。合成桁は 5 本製作し、これらを合成桁-1, 2, 3, 4, 5 とする。合成桁-1 は比較のため床版部に普通コンクリートを用いたものであり、合成桁-2, 3, 4, 5 は床版部に軽量コンクリートを用いたものである。

2. 使用材料

PC 桁部

セメント：早強ポルトランドセメント

細骨材：川砂

粗骨材：玉石砕石

床版部

セメント：早強ポルトランドセメント

細骨材：川砂

粗骨材：玉石砕石（合成桁-1）

：膨張頁岩、非造粒形（合成桁-2~5）

PC 鋼棒：2 種 SBPC 95  $\phi$  24 mm

これらの合成桁の種類およびコンクリートの示方配合

\* 九州大学工学部土木工学教室

\*\* 九州鋼弦コンクリート（株）

を表-1 および表-2 に示す。型わくの都合により全部の桁を 1 回に打つことができず 2 回に分けて打設した。桁製作時にコンクリート強度試験用テストピース ( $\phi 10 \times 20$  cm) を 12 本取り強度試験、弾性係数試験を行なった。これらの結果を表-3, 4 に示す。PC 桁は JIS A 5313 S 106 の型わくを用いることにし、その寸法、PC 鋼棒配置位置を図-1 に示す。桁中央断面の鋼棒図心位置、桁断面図心位置、床版図心位置にカールソノンひずみ計を埋設した。PC 桁はコンクリート打設後コテに

表-1 試験した合成桁の種類

桁番号	桁断面	桁の長さ (m)	床版の種類	PC 桁と床版とを結合する鉄筋比 (%)	備考
合成桁-1	JIS A 5313 S 106	6.5	普通コンクリート	0.15	載荷試験用
合成桁-2	〃	6.5	人工軽量骨材コンクリート	0.15	〃
合成桁-3	〃	6.5	人工軽量骨材コンクリート	0.30	〃
合成桁-4	〃	6.5	人工軽量骨材コンクリート	0.075	〃
合成桁-5	〃	1.0	人工軽量骨材コンクリート	0	乾燥収縮測定用

\* PC 桁と床版とを結合する鉄筋量を PC 桁と床版との接触するコンクリート断面積で除した値

表-2 コンクリート示方配合

桁の種類	粗骨材の最大寸法 (mm)	スラブ (cm)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				備考
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	
PC 桁部	20	3	38	40	190	500	653	1033	合成桁-1~5
普通コンクリート床版部	20	6	50	40	180	360	708	1121	合成桁-1
軽量コンクリート床版部	20	9	48	53	178	370	686	607	合成桁-2~5

表-3 コンクリート圧縮強度 ( $\phi 10 \times 20$  cm)

コンクリートの種類	3 日 (kg/cm <sup>2</sup> )	7 日 (kg/cm <sup>2</sup> )	28 日 (kg/cm <sup>2</sup> )	載荷試験日 (kg/cm <sup>2</sup> )
PC 桁部-1, 2	502	555	731	830
PC 桁部-3, 4, 5	352	367	494	579
普通コンクリート床版部	222	317	405	443
軽量コンクリート床版部	156	217	248	287

図-1 試 験 桁 寸 法

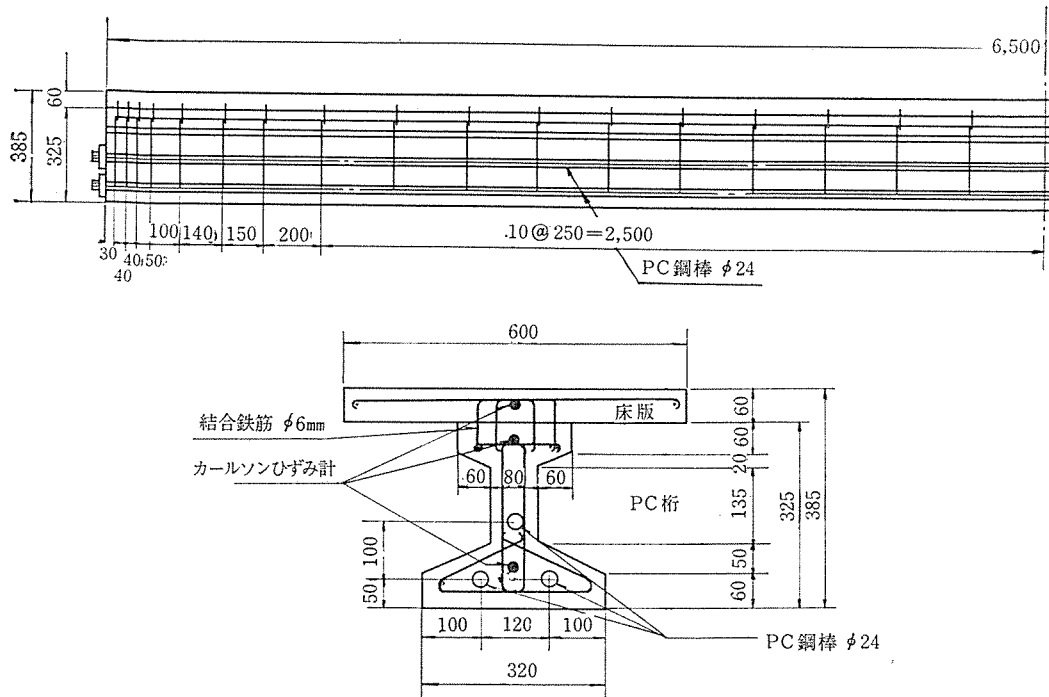
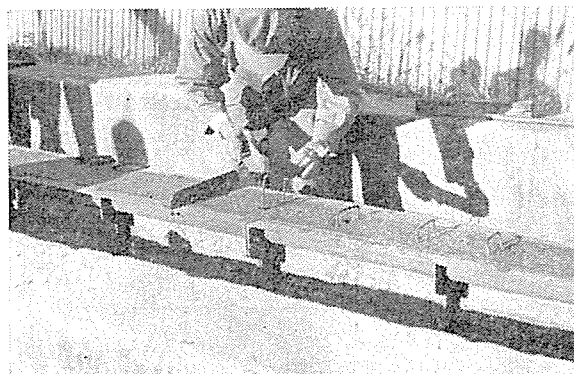


表-4 コンクリート弾性係数 (φ 10×20 cm)

材 令 コンクリ ートの種類	3日 ( $\times 10^5$ kg/ cm <sup>2</sup> )	7日 ( $\times 10^5$ kg/ cm <sup>2</sup> )	28日 ( $\times 10^5$ kg/ cm <sup>2</sup> )	載荷試験日 ( $\times 10^5$ kg/ cm <sup>2</sup> )
PC桁部-1, 2	2.31	2.80	2.93	3.18
PC桁部-3, 4, 5	—	2.23	2.58	2.85
普通コンクリート 床 版 部	1.42	1.86	2.12	2.38
軽量コンクリート 床 版 部	1.00	1.33	1.50	1.62

写真-1 P C 桁打設後結合鉄筋を埋め込む



170 kg, 単位水量 313 kg の配合のグラウチングを行なった。

表-5 試 験 日 程

昭和 42 年 10 月 25 日	PC桁-1, 2 のコンクリート打設
10 月 30 日	PC桁-1, 2 のプレストレス導入
11 月 3 日	PC桁-3, 4, 5 のコンクリート打設
11 月 7 日	PC桁-3, 4 のプレストレス導入
11 月 11 日	PC桁-1~5 に床版コンクリートを打設し合成桁とする。
12 月 26 日	合成桁-1 載荷試験
43 年 1 月 9 日	合成桁-2 載荷試験
1 月 11 日	合成桁-3 載荷試験
1 月 13 日	合成桁-4 載荷試験

### 3. クリープおよび乾燥収縮にもとづくプレストレスの減少

て荒仕上げを行なったのち、床版部と結合する鉄筋を埋めこんでいった。これを写真-1に示す。この鉄筋はφ6mmを用い、合成桁-1, 2に対しては、桁のスタップの位置にU型のものを埋め込み、合成桁-3に対してはW型、合成桁-4に対してはU型を用い桁-1, 2の埋め込み位置の一つとびに用いた。試験日程は表-5のとおりである。プレストレス導入時のPC鋼棒図心位置におけるひずみの測定値より、PC桁-1に導入されたプレストレスは35280kg、同様にPC桁-2には36440kg、PC桁-3, 4はともに40140kgであった。PC鋼棒緊張後単位セメント量500kg, 単位フライアッシュ量

コンクリートに持続載荷を続けるとひずみが時間とともに増大し、数年後にはひずみの進行は止まり定常状態になる。このひずみをクリープと呼ぶが、この期間にはコンクリートの乾燥収縮が同時に生じているからコンクリートのクリープだけを知るには載荷、非載荷の両試験体のひずみを比較しなければならない。本実験では、合成桁-5を乾燥収縮測定用とし、カーボンひずみ計によりひずみ量を求めクリープおよび乾燥収縮にもとづくプレストレスの減少量を求めてみた。合成桁-1, 2のひずみ測定結果を図-2, 3に示す。床版コンクリートを打継いでもPC桁のクリープ進行速度はほとんど変わら

図-2 合成桁-1 のカールソンひずみ計測定結果

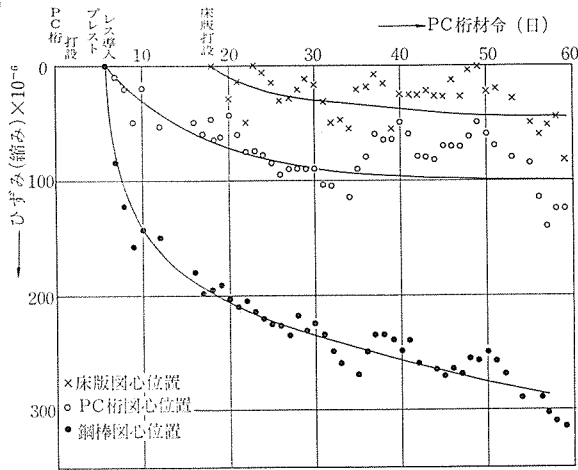
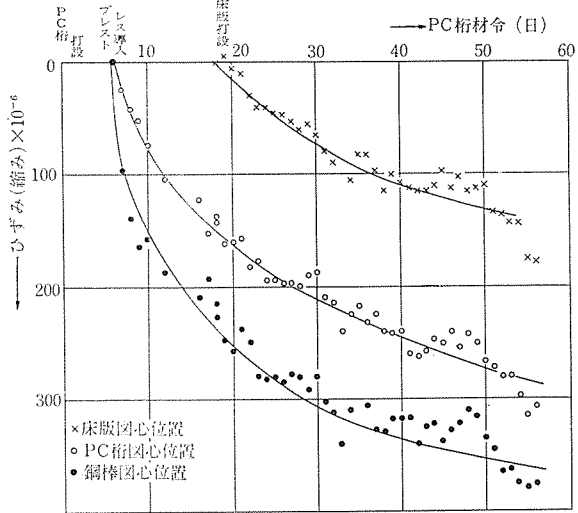


図-3 合成桁-2 のカールソンひずみ計測定結果



ず、この程度の大きさの床版では、プレストレストコンクリート道路橋示方書 12.4 にあるようにクリープによる応力の再分配を考慮しなくてもよさそうである。この結果、載荷試験日までに失われたプレストレスは合成桁-1 は 7 290 kg で導入プレストレスの 21%，合成桁-2 は 8 750 kg で 24%，合成桁-3, 4 は 7 580 kg で 19%であった。これを

$$\sigma_{p,\varphi} = \frac{E_p \varepsilon_s + n \varphi (\sigma_{cp,t} + \sigma_{cp,d})}{1 + n \frac{\sigma_{cp,t}}{\sigma_{p,t}} \left(1 + \frac{\varphi}{2}\right)}$$

の式により  $\varepsilon_s = 20 \times 10^{-5}$ ,  $\varphi = 2.0$ ,  $n = 5$  を代入して求めてみると  $\sigma_{p,\varphi} = 10.8 \text{ kg/mm}^2$  となり減少プレストレス  $4P = 10.8 \times 405 \times 3 = 13 120 \text{ kg}$  となる。PC 鋼棒緊張力を 1 本 15 t とし、3 本用いた。桁端より中央断面までの距離 3.25 m であり、摩擦係数  $\lambda = 0.003$  として

$$\sigma_{p,t} = \frac{\sigma_{p,ti}}{1 + \lambda l} = \frac{37}{1 + 0.003 \times 3.25} = 36.6 \text{ kg/mm}^2$$

$$P_t = 36.6 \times 405 \times 3 = 44 470 \text{ kg}$$

で計算上の減少量は 29% であり、コンクリートを打設してから載荷試験までの期間が短かったためか実測値は小さい値となっている。

#### 4. 載荷試験

(1) 載荷は 2 点載荷を行なうこととし、図-4 に示すような 3 つの載荷方法を取ることにした。まず載荷-I により載荷し、載荷重 2 t で測定装置の 0 セットを行ない、1 t ずつ増加し、9 t まで載荷重をふやす。途中

図-4 載荷方法

載荷番号	載荷位置 単位:m
I	
II	
III	

で曲げモーメントによる桁下縁の初きれつの発生を観測する。次に 2 t まで荷重を減じ再び 9 t まで増加させ、このとき再きれつの発生

に注意する。次に載荷-II, III を同様に行ない PC 桁と床版部のずれを観測する。最後に再び載荷-I を行ない破壊まで載荷する。以上の各載荷ごとにひずみ、たわみ、ずれを測定する。たわみ測定には 1/100 mm 目盛ダイヤルゲージ 7 台 (このうち 2 台は支承沈下測定用) を配置し、また PC 桁と床版部のずれは 1/1 000 mm 目盛ダイヤルゲージで測定した。これらの配置図を 図-5 に示す。中立軸位置決定、初きれつ、再きれつ測定用のワイヤーストレインゲージ (ゲージ長 67 mm) を 図-6 に示すように貼り、ひずみ測定を行なった。載荷装置を 図-7 に、そのときの写真を 写真-2 に示す。

#### (2) 測定結果

合成桁-3 のひずみ測定値 (載荷-I) を、図-8 に示す。他の桁についても測定結果はほぼ同様である。床版部が普通コンクリートの場合、PC 桁コンクリートの弾性係数比を 0.75 とし、床版部が軽量コンクリートの場合を 0.5 として理論上の中立軸を計算し、ひずみの実測値より求めた中立軸と比較して表-6 に示すが、大体一致していると考えられる。図-8 において荷重 6 t より 7 t において下縁のひずみが急速に伸びている。このことはこの間で桁下縁にきれつが入ったことを意味している。きれつ発生を肉眼で探すことはきわめて困難である。ワイヤーストレインゲージの読みの異常振れのときを、きれつ発生と考えてよいと思う。ただ油圧ポンプの圧力計の読みがラフであるため正確な荷重を求めることは難しかった。初きれつ荷重は合成桁-1 では 6 t、桁-2 は 7 t、桁-3 は 7 t、桁-4 は 6 t であり、理論値はコンクリートの曲げ引張強度を  $50 \text{ kg/cm}^2$  として、それぞれ 7.6 t, 7.2 t, 8.1 t, 8.1 t であり少し違っている。これは有効プレストレスの見込み違い、曲げ引張強度の仮定違いなどが原因と考えられる。なお、初きれつ発生後、荷重を 0 に

図-5 ダイアルゲージ配置図

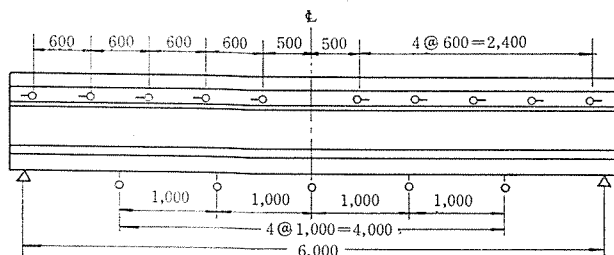


図-6 ワイヤーストレインゲージ貼付図

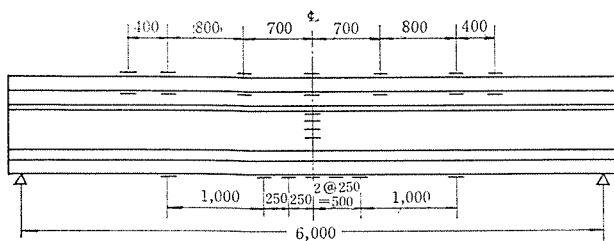


図-7 載荷試験装置

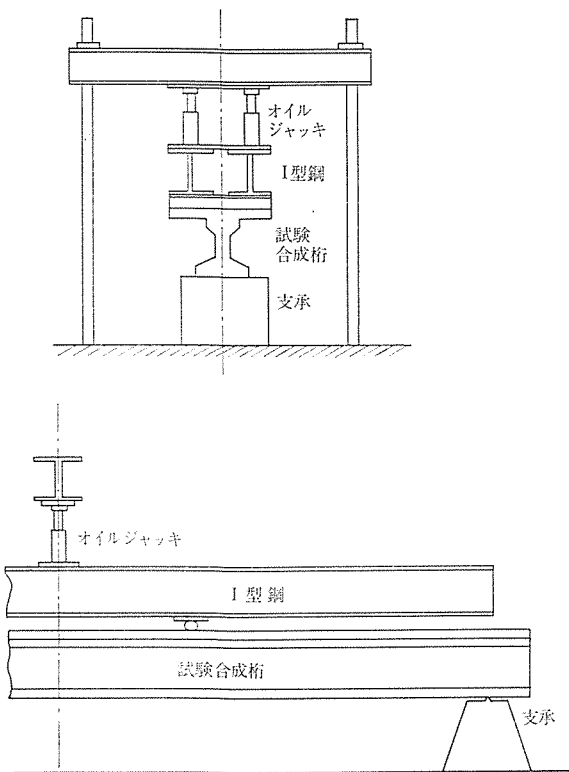
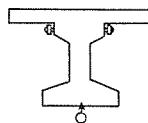
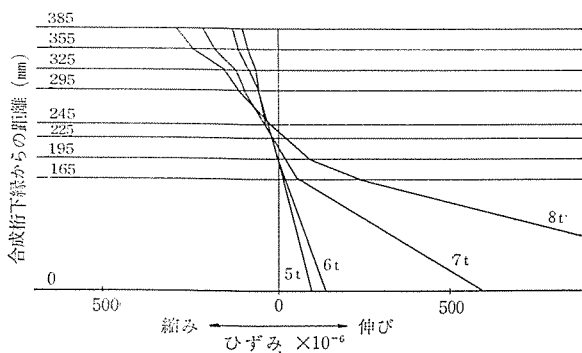
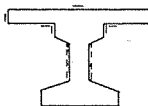


図-8 合成桁-3 のひずみ測定結果 (載荷-I)



単位 mm



単位 mm

もどして再び載荷し、再きれつ発生を見出し有効プレストレスを算出しようとしたが、再きれつの確認は初きれつ確認よりも、もっと困難であって正確な値を見出すことはできなかった。

荷重の増加につれて桁下縁にまず曲げモーメントによるきれつがスパン中央部付近に約 30 cm 間隔で発生し、そのきれつは鉛直方向に上昇する。さらに載荷を続けると支承と載荷点の中間付近に斜引張応力によるきれつが発生する。荷重の増大とともに曲げモーメントによるきれつはほとんど床版下面にまで達し、斜引張きれつは多数発生し、そのきれつの幅は拡がり、長く延びて床版と桁との接合面まで達する。合成桁はいずれも斜引張きれつによって破壊した。とくに合成桁-1 では PC 桁と床版部の接合面に達した斜引張きれつが接合面に沿って発生し写真-3 で破壊した。このため他の桁に比べ

表-6 理論上および実測値より求めた合成桁上縁より中立軸までの距離

	合成桁-1 (cm)	合成桁-2 (cm)	合成桁-3 (cm)	合成桁-4 (cm)
理論上の中立軸	19.4	18.8	18.8	18.8
実測値より求めた中立軸	19.0	17.5	19.0	19.0

写真-2 載荷試験装置

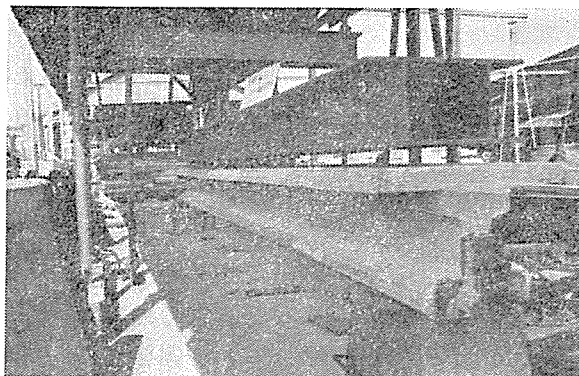


写真-3 斜引張きれつが伸びて PC 桁と床版の結合面にきれつが発生した (矢印) (合成桁-1)



写真-4 合成桁-1, PC 桁部の表面仕上げが良すぎて斜引張きれつが伸びてきて、床版部コンクリートときれいにはがれた  
(床版は普通コンクリート)

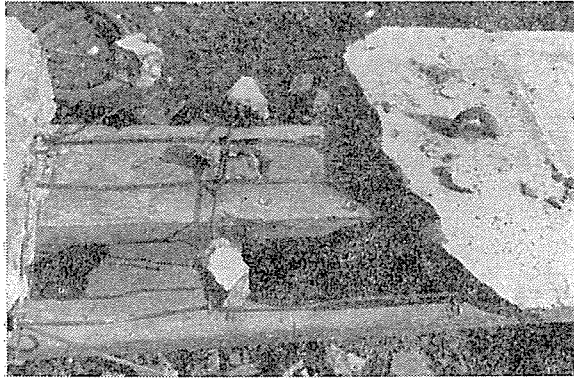
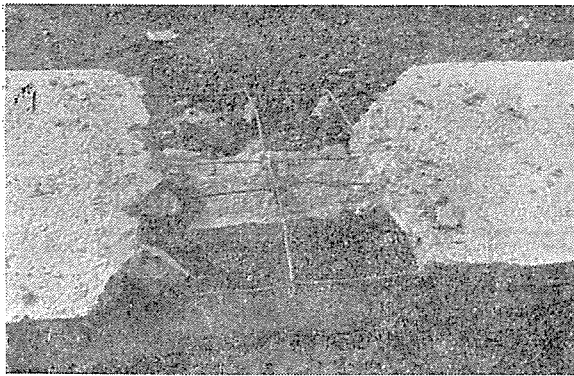


写真-5 合成桁-2, PC 桁部の表面仕上げが荒仕上げであると床版部コンクリートとの付着がよい  
(床版部は軽量コンクリート)



ると破壊荷重が小さくなっている。破壊荷重は合成桁-1で 17 t, 桁-2 で 19.8 t, 桁-3 で 21.5 t, 桁-4 で 18 tであった。鋼棒破断曲げ破壊略算式より破壊荷重を求めると 31 t であり, 斜引張破壊のため小さい値で破壊した。合成桁-1 は載荷試験後床版部コンクリートをはつって調べたところ 写真-4 に見られるように PC 桁表面の仕上げが良すぎたため, 写真-5 のように他の桁とは異なっており小さい破壊荷重になったものと考えられる。PC 桁と床版との相対ずれの測定結果の一例を 図-9~11 に示す。PC 桁と床版との接合面に働かせん断力によってこのずれが生じるとすれば, 支承と載荷点の間のせん断力はほぼ一定であると考えられるので, この間のずれ量は, 大体一定値を示めすものと思われる。そして載荷点内ではせん断力はほとんど 0 であるから相対ずれは生じないと思われる。ところが測定結果をみるとこの相対ずれは支承近くが小さく, 載荷点よりやや中央よりで最大となっている。この理由としては, このずれはせん断力だけではなく曲げモーメントや, たわみなどによっても生じているのではないかとと思われる。ずれの量は最大 0.03 mm 程度できわめて小さいもので, 結合鉄筋比による影響もほとんど表われなかった。桁中央点たわみ-

図-9 合成桁-4 (載荷-I) PC 桁と床版との相対ずれ量

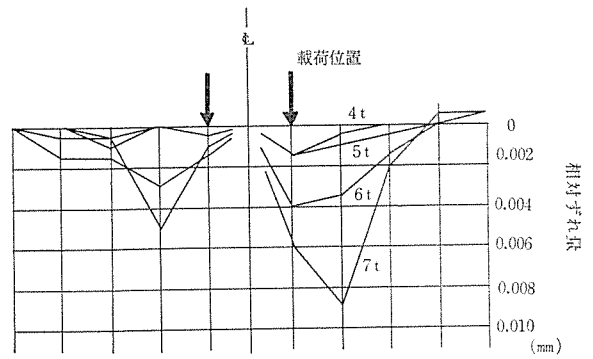


図-10 合成桁-4 (載荷-II) PC 桁と床版との相対ずれ量

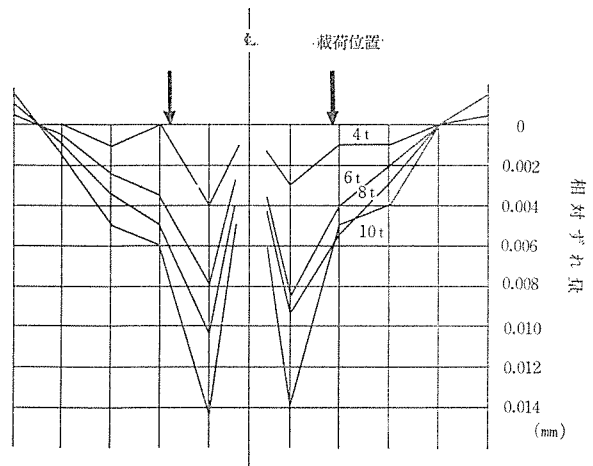


図-11 合成桁-4 (載荷-III) PC 桁と床版との相対ずれ量

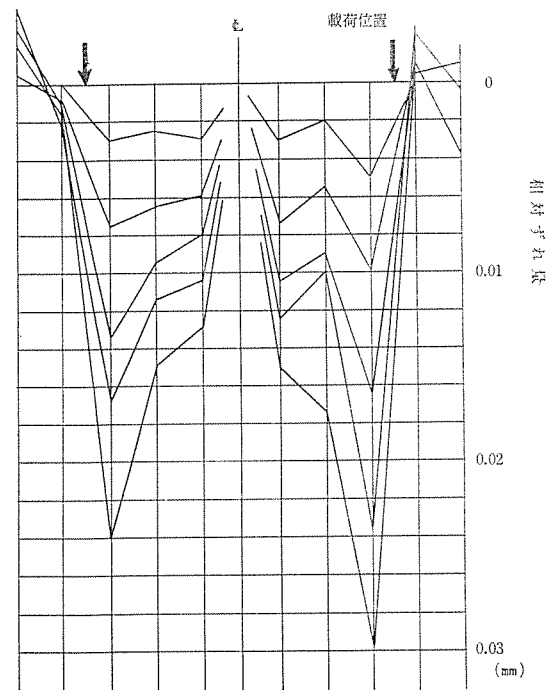
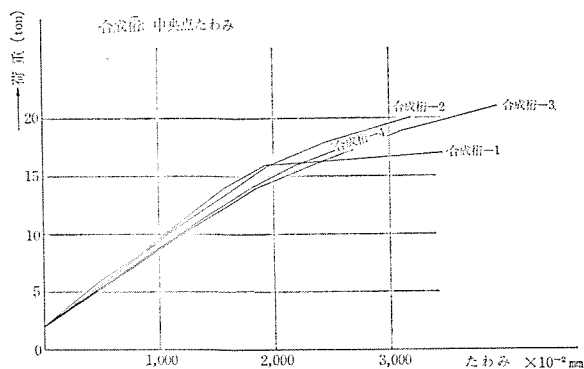


図-12 合成桁中央点たわみ-荷重曲線



荷重曲線を 図-12 に示す。きれつ発生まではたわみは載荷重にほとんど比例しているが、きれつ発生とともに次第に増加し、荷重 14t 付近で急激に大きくなっている。また床版部に軽量コンクリートを用いたことによるたわみの差はほとんど表われていない。

### 5. 考 察

本実験において普通コンクリートを床版に用いた場合と軽量コンクリートを床版に用いた合成桁の比較、また合成面における結合鉄筋の量による比較などを試みたのであるが、実験値は大体一致しており、とくに大きな相

異点は見い出せなかった。例えば中立軸位置は実測値で大体一致し、ひずみの測定値、たわみの測定値も大体一致している。

結合鉄筋については、PC桁表面を荒仕上げにしておけばスターラップを伸ばす程度の鉄筋量で合成作用は十分であろう。しかし合成効果には斜引張力によるきれつの与える影響が大であり、このきれつにより床版部が浮き上がろうとするから、この斜引張力に対してもう少し検討、考慮する必要がある。床版部を後から打継ぐことによるクリープおよび乾燥収縮の影響は、この場合ほとんど見られなかった。

### 6. あとがき

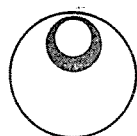
実験例が少なく満足できる結果をえられなかったし、動的載荷試験などの問題点は残っているが軽量コンクリートを用いてもとくに大きな差異が見られなかったという事は、軽量コンクリートを用いても十分その機能を発揮できるものと期待できると思われる。

本実験について九州鋼弦コンクリート(株)設計課の方々、九州大学工学部土木実験室の方々にお世話になりました。ここに記して厚く感謝いたします。

1969.4.1・受付

PC, RC, 発泡, プレハブ, ポール, パイル,  
ヒューム管, セグメント, 等. 各種工法鋼製型枠  
各種プラント関係, 各種産業機械関係, 一般製缶

企画・設計・製作・施工



株式会社 八千代製作所

本 社 東京都千代田区丸ノ内1丁目1番地  
電話 東京 (231) 7812・5081

工 場 千葉県八千代市大和田新田590番地  
電話 (0474) ⑧ 3125(代表)