

スラブ止めで床板と鋼桁が結合された 桁の実験的研究

京都大学

成岡昌夫

全上

平井一男

全上

清水久雄

1. はしがき 合成桁構造が設計にとり入れられる以前では、床板と鋼桁とは、たとえ両者の間にスラブ止めが存在しても、別個のものとして単独に計算され、両者の荷重に対する相互作用は全く無視されてきた。実際の構造物では、現在ではスラブ止めが用いられている。スラブ止めは **elastic connector** とまでゆかなくても、スラブと鋼桁との合成作用に多少とも貢献しているわけである。すなわち、首題のような桁は准合成桁あるいは不完全合成桁とも言いうる。

合成桁の発達以来多くの実験が合成桁についてなされてきたが、スラブ止め鋼桁のような准あるいは不完全合成桁については、あまり研究されていないようである。

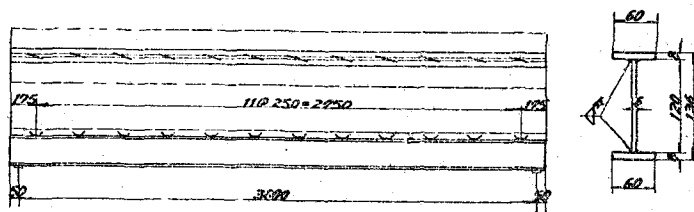
わが国では単純桁橋を合成あるいは合成格子構造にする例は多いが、桁橋を合成構造にしない場合には、スラブ止めで、床板と鋼桁とを結合している。またトラマ橋、アーチ橋などの床組は合成しない。

これらの点より、スラブ止め桁の性状を研究することは、構造力学的にも、また橋梁工学的にも大切なことであり、また興味あることである。

以上の見地より床板と鋼桁がスラブ止めで結合されたスラブ止め桁を製作して、断面に生ずる曲げモーメントが正あるいは負の場合の実験を行い、歪および撓みを測定した。ここでは、正の曲げモーメントの場合について報告したいと思う。

以下、ここではスラブ止め桁を不完全合成桁と呼ぶことにする。

2. 供試体の概要 不完全合成桁の概要を図-1に示す。主桁は2-FL、 60×8 、1-Web 120×6 よりなり、これに厚さ4cmのモルタル床板をのせてある。床板と鋼桁とは $\phi 3.2$ の鋼棒のスラブ止め(図-2)を25cm間隔に配置して、両者をとめてある。
- なお、このようなスラブ止めのズレ止めとしての性状をしらべるために、図-3のような供試体を製作した。



図一 I 供試体一般図

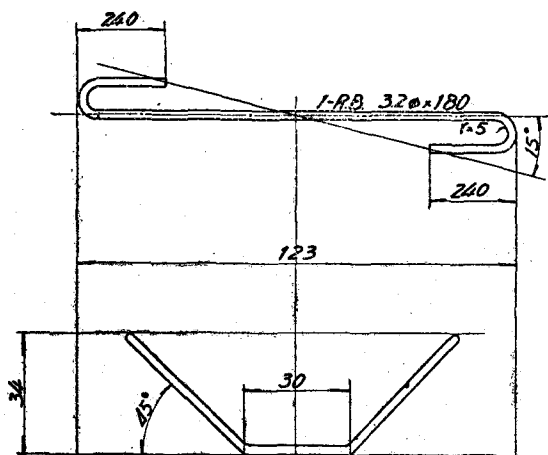
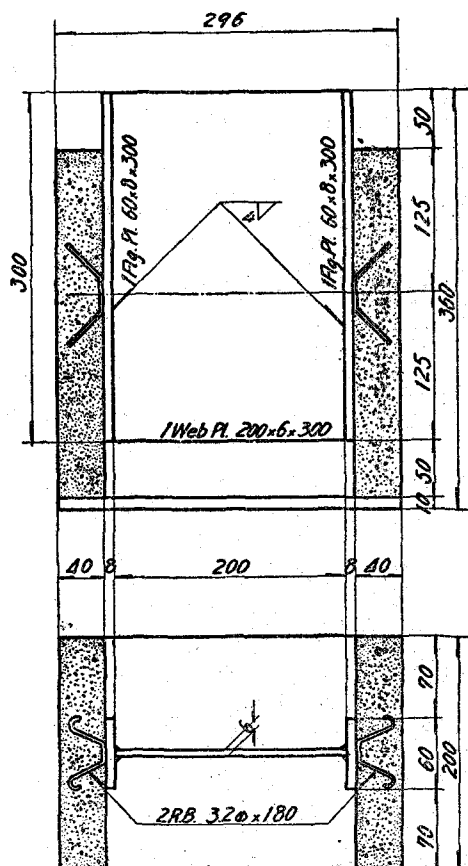


図 - 2 スラブ止め詳細図



図一 3 スラブ止め試験
用供試体

3. 不完全合成桁の載荷実験

図-1の桁をスパン3 mに支え、スパン中央より支点より30 cmの二個所に集中荷重を載荷して、荷重を順次あげて行つた。この試験桁はスパン3 m、幅30 cmであるので、京大工学研究所内の長柱試験機を利用した。従つて、荷重の精度は、著者らの従来の実験にくらべて高いはずである。

荷重4 tまでにおける、 $l/2$ 断面、 $l/4$ 断面の荷重-歪曲線を、図-4に示す。荷重4 tまでは大体直線関係にあるようである。

次に荷重2 tまでにおける、荷重-撓み曲線を、図-5に示す。さらに、荷重-ズレ曲線を、図-6に示す。

次に荷重を順次大きくしてその都度、歪、撓み、ズレを測定しながら、破壊に至らした。破壊荷重は、荷重の合計でそれぞれ6.0 t 6.15 tで、平均6.08 tであつた。

この破壊実験における荷重-歪、撓み、ズレ曲線を、図-7に示す

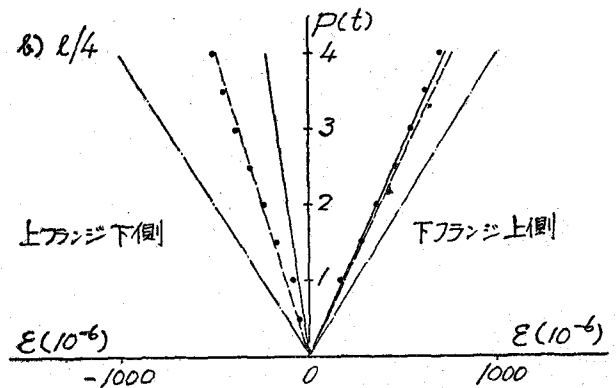
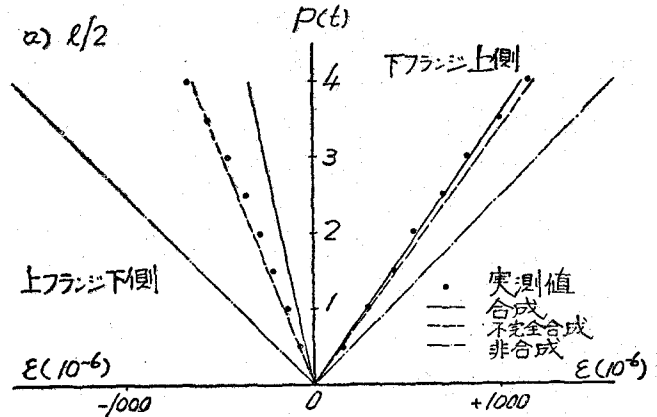


図-4.a 荷重-鋼材中の歪 ($l/2$, $l/4$ 断面) 曲線

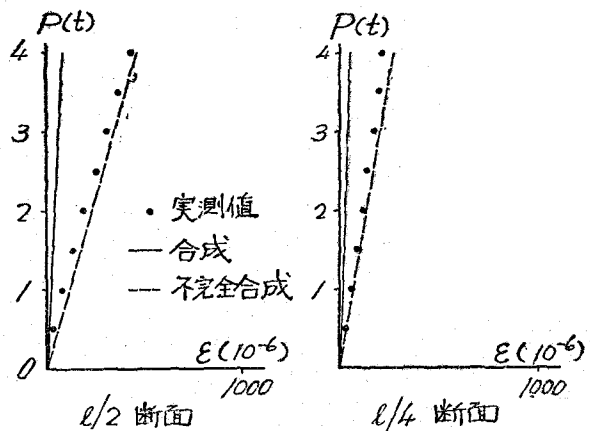


図-4.b 床板表面における荷重-歪曲線

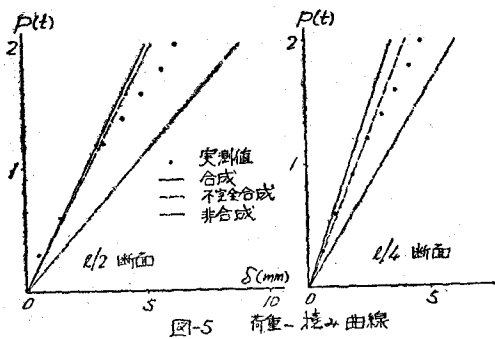


図-5 荷重-変位曲線

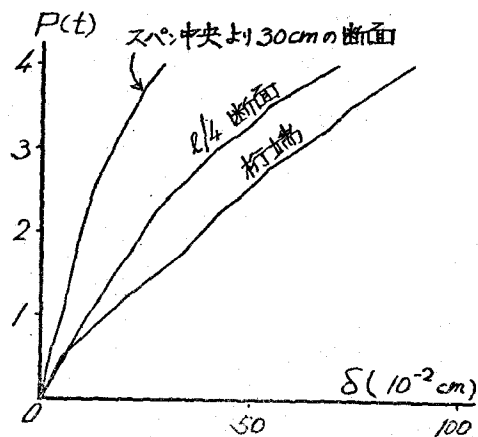


図-6 荷重-スリ曲線

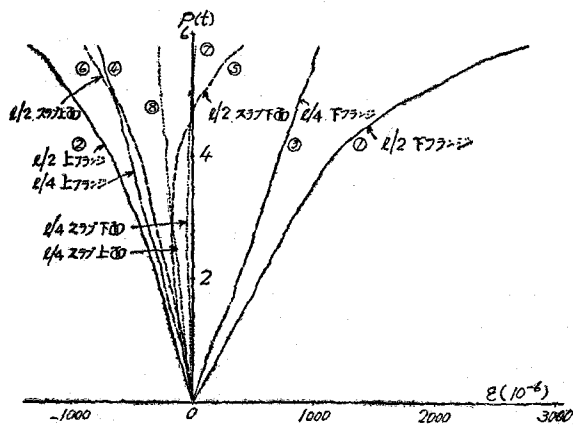


図-7a 荷重-変位曲線

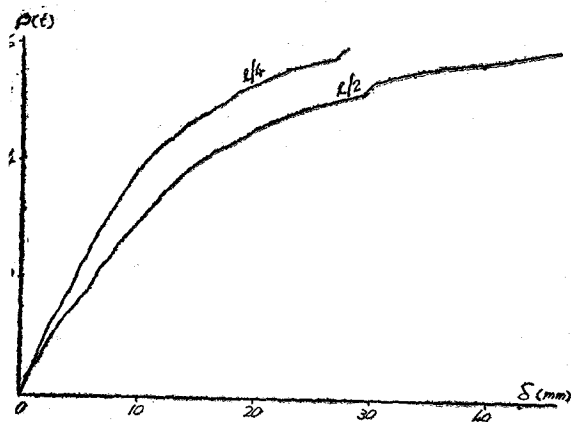


図-7b 荷重-変位曲線

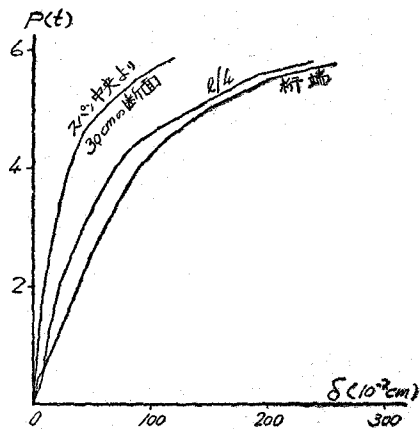
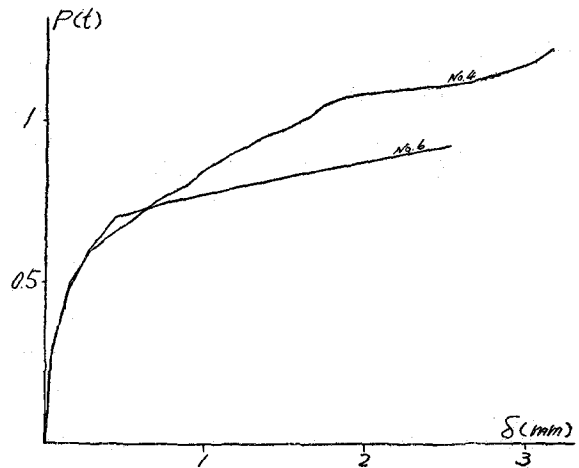


図-7c 荷重-スリ曲線

4. スラブ止めの実験

スラブ止めの性状をしらべるために、一般の合成桁のズレ止めの試験の場合と全様な供試体をつくり、全様な方法で Push-out test を行つた。その試験の結果を図-8に示す。この結果から、曲線のほぼ直線間線を保つところの値を用いて modulus of shear connector を $k = 7.7 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$ と定めた。この値が後で不完全合成桁理論に用いられる。

図-8 スラブ止めの荷重-ズレ曲線



5. 不完全合成桁理論の適用

この理論は、かつて、N. M. Newmark が channel を利用した flexible なジベルを用いた合成桁の実験結果の解析に用いているが、著者らは、スラブ止め合成桁の解析に利用する。

この理論は、次のような4つの仮定を設けている。

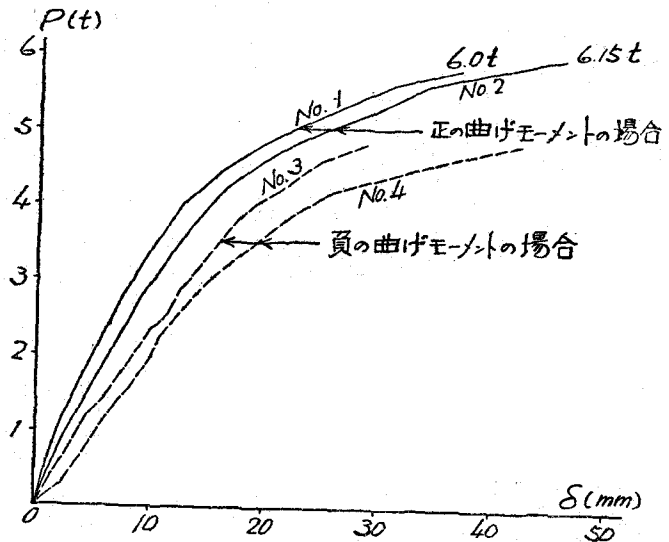


図- 荷重-滑み(中矢)曲線

- a) 床板と鋼桁との間の shear connector は、全長にそうて、連続的である。
 b) 床板、鋼桁の高さに沿う歪との分布は、直線的である。
 c) shear connector によつて許されるズレの量は、荷重に比例する。
 d) 床板と鋼桁は、常に、あらゆる点において、同一量だけ撓む。

また、次のような記号を用いる。

S(b)	床板(桁)の代表的記号
A	断面積
E	ヤング係数
I	慣性モーメント
ℓ	スパン
k	modulus of shear connector
P	集中荷重
Q	shear connector 左に働く荷重
S	shear connector の間隔
u	左支点より荷重の作用点までの距離
x	ひずみおよび撓みを求めようとする点の左支点よりの距離
y _b , y _s	鋼桁およびスラブの重心よりの距離
F	床板および鋼桁の重心に作用する力
M	曲げモーメント

以上のような記号を用いると、ひずみ ϵ および撓み y は、次のようになる。

$$\epsilon_s = \left(\frac{y_s}{\Sigma EI} - \frac{F}{F'} \frac{\overline{EA}z}{EI} \left(\frac{y_s z}{\Sigma EI} + \frac{1}{E_s A_s} \right) \right) M$$

$$\epsilon_b = \left(\frac{y_b}{\Sigma EI} - \frac{F}{F'} \frac{\overline{EA} \cdot z}{EI} \left(\frac{y_b z}{\Sigma EI} - \frac{1}{E_b A_b} \right) \right) M$$

$$y = \frac{P\ell^3}{EI} \left(1 - \frac{u}{\ell} \right) \frac{x}{\ell} \left\{ \frac{1}{6} \left[2 \frac{u}{\ell} - \left(\frac{u}{\ell} \right)^2 - \left(\frac{x}{\ell} \right)^2 \right] + \frac{\overline{EA} z^2}{\Sigma EI} \frac{C}{\pi^2} \frac{F}{F'} \right\}$$

ただし

$$C = (s/k) (\pi^2 \overline{EA} \cdot \Sigma EI / \ell^2 \overline{EI})$$

$$\Sigma EI = E_s I_s + E_b I_b, \quad \overline{EI} = \Sigma EI + \overline{EA} \cdot z^2$$

$$1/\overline{EA} = 1/E_s A_s + 1/E_b A_b$$

$$F = (\overline{EA} \cdot Z / \overline{EI}) P l \left\{ \left(1 - \frac{u}{l}\right) \frac{x}{l} - \frac{\sqrt{c}}{\pi} \frac{\sinh \frac{\pi}{\sqrt{c}} \left(1 - \frac{u}{l}\right)}{\sinh \frac{\pi}{\sqrt{c}}} \cdot \sinh \left(\frac{\pi}{\sqrt{c}} \frac{x}{l} \right) \right\}$$

$$F' = F_{c=0} = (\overline{EA} \cdot Z / \overline{EI}) M$$

上式の c は、 $c=0$ が完全合成、 $c=\infty$ が非合成にあたる。この c の値は、本実験では、ズレ調査用の供試体を用いて実験的に決定した。すなわち、図-8より、 $k=7.7 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$ ときめると、 $c=0.2511005$ となる。

以上のようにして c が決定されると、上式に代入して、 ε_b 、 ε_s 、 y などを求めることができる。ここに、実測値と計算値を一括して示すと、次の表のようになる。

なお、図-4にもこれらの値を記入してある。

表 実測値と計算値との比較

区 分		ひ ず み (4t)						撓 み (1.2t)	
断 面		$l/2$			$l/4$			$l/2$	$l/4$
区 分		ε_u	ε_o	ε_c	ε_u	ε_o	ε_c	δ	δ
実 測 値		1145	-673	-428	709	-508	-217	321	251
計	合 成	1120	-345	-79	715	-216	-49	300	215
算	不完全合成	1190	-640	-460	760	-500	-270	320	250
値	非 合 成	1619	-1619		1012	-1012		536	369
全	合 成	102	195	543	99	235	444	107	117
上	不完全合成	97	105	93	93	102	80	100	100
比	非 合 成	71	42		70	50		60	68

表よりわかるように、 ε_u 、 ε_o 、 ε_c とも計算値に対する比が、不完全合成桁理

論による場合、もつとも好ましい値をとっている。

すなわち、スラブ止め桁に対して、従来、床板、鋼桁の相互作用を無視する計算方法をとってきたが、これでは、桁の真の性状を知ることにはできない。また、合成桁理論によることもできない。このような桁に対しては、不完全合成桁理論を適用することが好ましい。

6. 破壊荷重に対する考察 このような不完全合成桁の破壊荷重を得合成桁のそれと比較したいと思う。著者はさきに、この実験の供試体と全く同一断面の合成桁の実験を行つたことがある。この実験では中点集中荷重で、実験値として、破壊荷重 $P=6.85\text{ t}$ を得ている。しかるに、モルタルの破壊強度 $\sigma_c = 244\text{ kg/cm}^2$ 、鋼材の降伏点 $\sigma_y = 2900\text{ kg/cm}^2$ を用いて、抵抗モーメント 4.2 tm より、計算破壊荷重として、 $P=5.64\text{ t}$ を得ている。破壊荷重の実測値と計算値との比は 1.21 となつている。この実験では、載荷の方法が、前述のように、中点集中荷重となつているために、ここで論じようとする不完全合成桁の場合と少し異なる。従つて、さきの合成桁の実験も、不完全合成桁の場合のような二点集中荷重とすれば、 $P=7\text{ t}$ (理論値) $P=8.4\text{ t}$ (実測値) となつていたものとして、さしつかえないであろう。

さて、この不完全合成桁では、破壊荷重の実測値が、前述のように、 6.15 t である。この理論値は、次のように考えて計算する。すなわち、 $P=5.8\text{ t}$ における床板の上下両面の歪をしらべると、 $2:1$ の比になつている。従つて、破壊時には、中立軸がもう少し上にあがることが考えられるから、中立軸が中央にあるものとし、極限時において、スラブの $1/2$ が $\sigma_c = 244\text{ kg/cm}^2$ を発揮するものとすれば、 $\sigma_y = 2900\text{ kg/cm}^2$ を用いて、抵抗モーメントは 3.24 tm となる。これより、破壊計算荷重を出せば、 $P=5.4\text{ t}$ となる。すなわち破壊荷重の実測値と計算値との比は 122% となる。

この一連の実験における不完全合成桁と完全合成桁の実測破壊荷重の比は $6.08/8.4=72\%$ である。著者がさきに実施した、不完全合成格子桁と完全合成格子桁の破壊荷重の比は、 $50/70=72\%$ であることから、本実験のいろいろの値は一応信用できると思う。

なお、この実験は模型的なものであつて、これで不完全合成桁全般を律することはできない。著者らは、目下、実際に用いられている大きさの上フランジとスラブ止めを組みあわした不完全ジベルの Push out test を計画している。