

PC 桁橋並びに RC 桁橋の荷重分配と床版の曲げモーメント に関する模型による実験研究の報告

正員 北海道大学 工博 横 道 英 雄

準員 北海道大学大学院 (工学部) 栗 林 栄 一

目 次

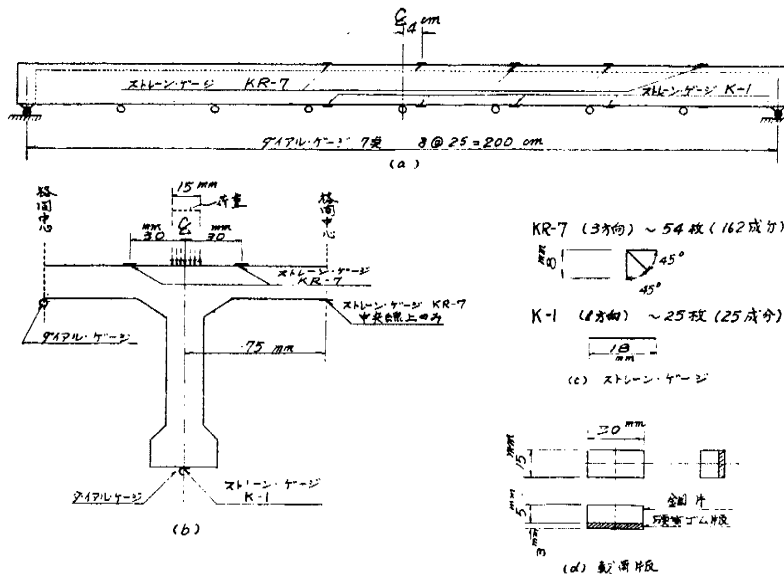
1. ま え が き	42
2. 実 験 要 領	43
(1) 使 用 器 具	43
(2) 実 験 方 法	43
3. 試験桁の計画と製作	44
(1) 試験桁の諸元	44
(2) 製 作 材 料	45
(3) 支 承 構 造	45
4. 荷重分配および床版の 曲げモーメントの計算	45
(1) 横 道 の 方 法	45
(2) Guyon-Massonnet の方法	47
5. 実 験 結 果	47
(1) 撓みの測定値	47
(2) 歪の測定値	47
6. 実験結果の考察	48
7. む す び	50

1. ま え が き

PC 桁橋および RC 桁橋では床版部の曲げ応力、特に
スパンに直角方向のそれが、量的に判然としていない。
従つて、荷重分配の方法もかなり不確実なものとなりが
ちで、一般には実用上の簡便さのみに重点が置かれた計
算法が使用されている。

しかし、将来、交通量の増加と車輛の大型化により、
橋梁の疲労の問題を伴つて、亀裂荷重、安全率などの
問題が切実なものとなつて来よう。また cost の面から
一次部材 (主桁) と二次部材 (床版、横桁) との balance
を、このような一体構造ではいかに処理するか、と云う
問題がきわめて重要であることは云うまでもない。一方、
横道は退般かかる構造物の荷重分配と床版の曲げモーメ
ントの計算法をを発表している。

このような観点から、本実験ではスパン 20 m、幅員
7.5 m の T 形桁橋の 1/10 scale model に相当するもの



図—1 ゲージ配置図

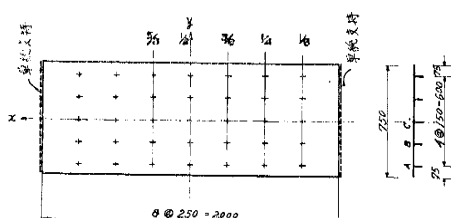


図-2 載荷点 (単位 mm)

二種を、モルタルで製作して、多角的に検討することにした。本報告は取りあえず、今までに判明した結果につき述べたものである。

2. 実験要領

(1) 使用器具

応力測定用	共和無線製	抵抗線歪計
Indicator		2 台
Switch box	24 点	1 台
	12 点	1 台

以上 36 成分測定可能である。従つて模型桁の有する最大成分数 187 を、場合によつて、5 または 10 群に分割して、成分数 5, 17, 30 あるいは 35 成分の 1 群または 2 群について同時測定を行うことになる。

撓み測定用

Dial Gage 1/100 mm 20 個

全測定点 41 点を 7 群に分けて、1 群を 5 点または 11 点とし、1 群または 2 群について同時測定を行うことになる。この外に支点の浮上、沈下を検出するために、4 個の Dial Gage を設置したが、実験の初期を除いてほとんど不動であつた。

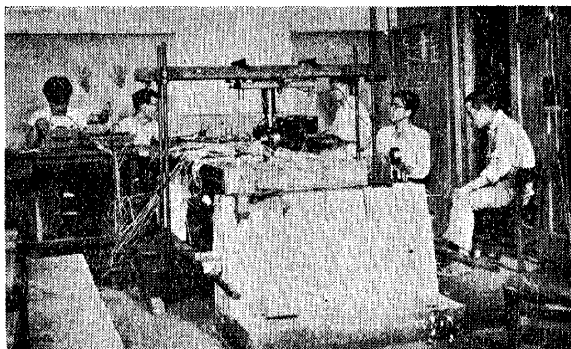


写真-1 歪の測定

(2) 実験方法

i) 載荷方法

写真-2 のごとく channel 2 個, round bar 4 本, angle

2 個および plate 1 枚よりなる枠を組み、上部の懸垂滑動鉤に、写真-3 のごとく oil-jack の plunger と proofing-ring を取付け、jack の作動により模型桁を加圧し、jack-plunger→angle→tension-bar と伝達された反力を、1 本は写真-1 の中央左部に見える模型桁支台側面部の突起に引掛つている beam 2 本を通じて、支台に吸収する。

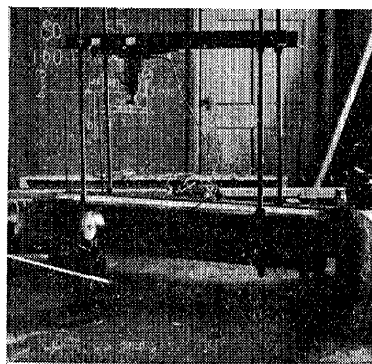


写真-2 荷重装置の主要部

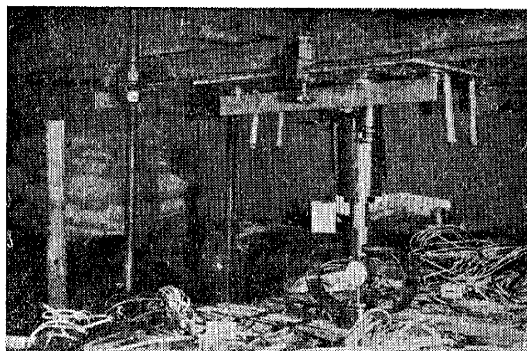


写真-3 載荷状況

載荷用枠	自重	150 kg	1 台
oil-jack	分離式	能力 10 t	1 台
proofing-ring	最大	500 kg	1 台

載荷可能空間

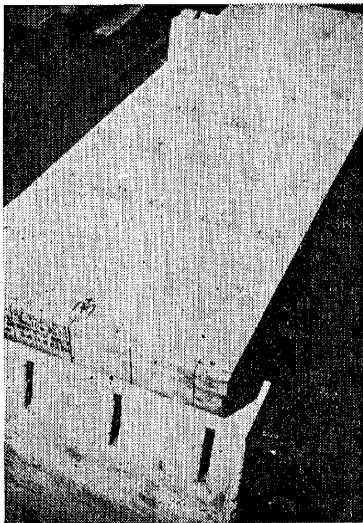
平面上	スパン方向	1.5 m
	同直角方向	1.2 m
上下方向		0.5 m

ii) 応力の測定

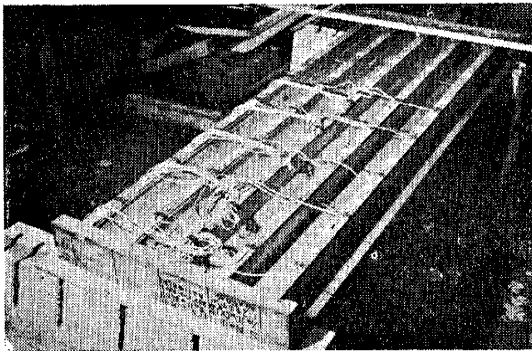
前記の抵抗線歪計を用いた。Strain Gage は K-1 (1 成分) および KR-7 (3 成分) を用いた。その配置を図-1 および写真-4, 5 に示す。

iii) 撓みの測定

Dial Gage を使用した。その配置を図-1 に示す。



写真—4 床版のストレーン・ゲージ

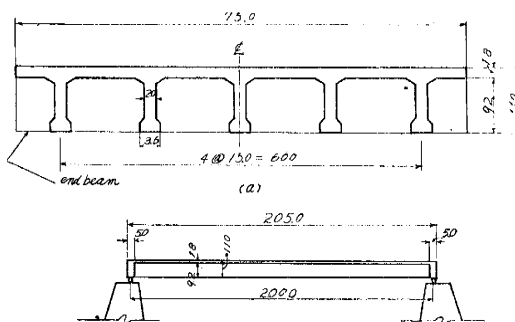


写真—5 主桁脚部のストレーン・ゲージ

3. 試験桁の計画と製作

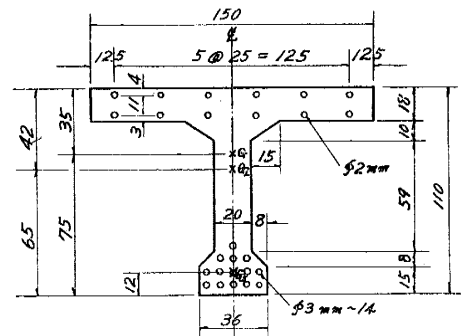
(1) 試験桁の諸元

スパン 20 m, 幅員 7.5 m の実在橋を想定し, 実例を参照して, 特に主桁数 5 本, 桁高全高 1.1 m を採用した。1/10 scale model の実験室的規模とし, 模型重量 140 kg とした。製作の都合上, 桁腹部の厚さがやや 1/10 を上廻る寸法となった。

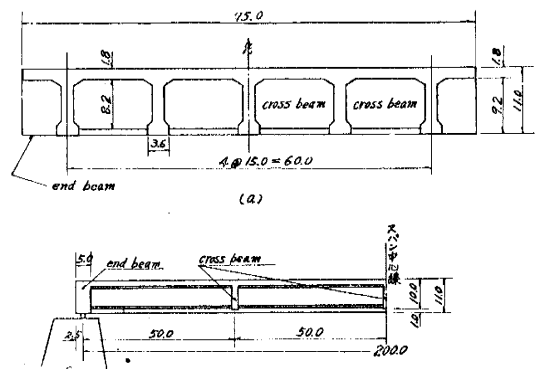


図—3 横桁を有せぬ型式の橋梁模式 (単位 cm)

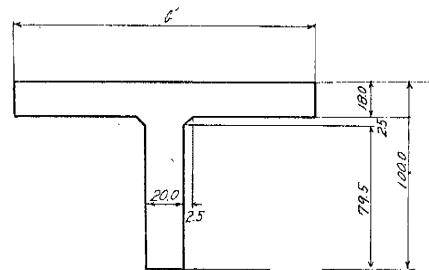
模型の種類は, 横桁を全く持たないものと, スパンを 4 分する 3 本の横桁をもつものの 2 種である。しかし, いずれも終端横桁を有している。図—3, 4, 5, 6 に一般図を示す。



図—4 主桁断面図 (単位 mm)



図—5 横桁を有する型式の橋梁模型 (単位 cm)



図—6 横桁断面図

主桁に関する諸元

桁 高	11 cm
腹 部 厚 さ	2 cm
床 版 厚 さ	1.8 cm
突縁有効巾	15 cm
引張主鉄筋 (スパン中央)	0.99 cm ²
断面積 純 断 面	50.0 cm ²
換算断面 (n=10)	62.0 cm ²

断面二次モーメント

純断面	607 cm ⁴
換算断面	950 cm ⁴

(2) 製作材料

i) モルタル

モルタル材料は次の仕様とした。

材料	性状	配合 (重量比)
セメント	早強	1
砂	最大寸法 3 mm	2
w/c	フロー=240	0.5
p/c	ポゾリス No. 5	0.005

硬化後の性質

実験期間を通じて、 $\phi 5 \times 10$ cm 円柱供試体および 4×16 cm 角柱供試体による試験結果は次のとおりである。

圧縮強度	437 kg/cm ²
引張強さ係数	23 kg/cm ²
初期弾性係数 (圧縮)	337 t/cm ²
終局歪 (圧縮)	2400×10^{-6}
ポアソン比	約 1/6
曲げ引張強度	65 kg/cm ²
初期曲げ引張弾性係数	316 t/cm ²
終局歪 (曲げ引張)	320×10^{-6}

ii) 軟鋼線材

実物桁の鉄筋代用として亜鉛引き鉄線 2 種

$\phi 3.04$ mm	(引張主鉄筋用)
$\phi 2.10$ mm	(床版および助筋用)

を用いた。

(3) 支承の構造

模型桁の end beam と支台間に回転を容易にするため丸鋼 $\phi 25$ mm をはさみ、図-7 および 写真-6 に見るような 4 本の旋着ボールト $\phi 9$ mm で締付け浮上りに備えた。

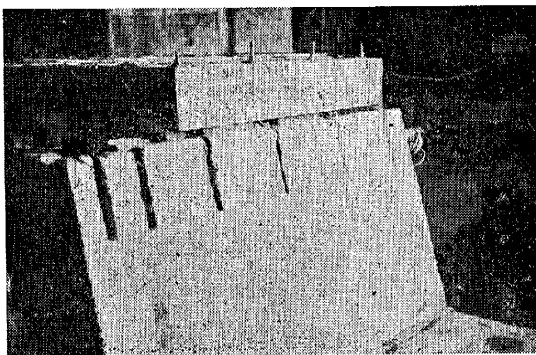


写真-6 支承構造

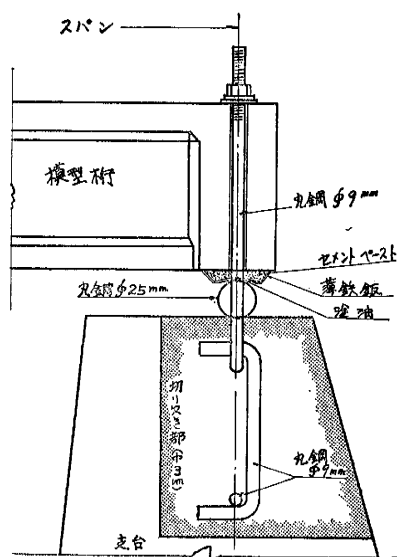


図-7

4. 荷重分配および床版の曲げモーメントの計算

(1) 横道の方法

横道の方法¹⁾によれば、桁橋の寸法形状および弾性率によつて与えられる 2 個のパラメーター α , β 並びに格間数 (または主桁本数) が与えられれば直ちに計算を行うことができる。本模型桁の横桁を有せざる type のものでは次のごとく与えられる。

$$\left. \begin{aligned} \alpha &= \frac{2E}{G} \cdot \frac{I}{I_t} \cdot \frac{L}{\lambda} \cdot k \cdot k' \\ \beta &= 2 \cdot \left(\frac{L}{\lambda} \right)^3 \cdot \frac{I}{I_0} \cdot (k \cdot k')^2 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(1)$$

式中

E : 横材のヤング率

G : 主桁の剪断弾性率 (モルタルでは約 $0.43 E$)

I : 横材の断面二次モーメント

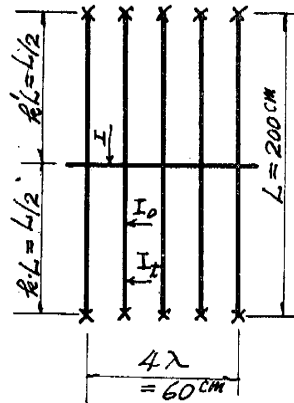


図-8

本模型では有効幅を次のごとく採つた。

$$b = \frac{2}{3} \cdot (\lambda + a) = \frac{2}{3} \cdot (15 + 3) = 12 \text{ cm}$$

ただし a : 載荷巾

従つて

$$I = \frac{1}{12} \times 12 \times 1.8^3 = 5.83 \text{ cm}^4$$

I_L : 主桁の振り断面二次モーメント

$$I_L = 0.309 \times 15 \times 1.8^3 + 0.275 \times 7.2 \times 2.0^3 + 0.217 \times 3.6 \times 2.0^3 = 49.1 \text{ cm}^4$$

I_0 : 主桁の断面二次モーメント

$$I_0 = \frac{1}{3} \cdot \{3.6 \times 7.48^3 + 15 \times 3.52^3 - 1.6 \times 5.48^3 - 13 \times 1.72^3\} = 607.1 \text{ cm}^4$$

L : スパン 200 cm

λ : 主桁間隔 13 cm (純間隔)

k, k' : 横材位置のスパンとの比 0.5

従つて

$$\alpha = \frac{2}{0.43} \times \frac{5.83}{49.1} \times \frac{200}{13} \times 0.5 \times 0.5 = 2.123$$

$$\beta = 2 \times \frac{5.83}{607.1} \times \left(\frac{200}{13}\right)^3 \times (0.5 \times 0.5)^2 = 4.337$$

表—1 スパン中央における床版の曲げモーメント影響線 (有効巾 12 cm)

y	曲 げ モ ー メ ン ト					
	M_{AB}	M_{BA}	M_{BC}	M_{CB}	M_D	M_E
-2.5	-0.056	-0.310	-0.123	-0.165	-0.183	-0.144
-2.0	0.208	-0.222	-0.027	-0.154	-0.007	-0.091
-1.0	-0.063	0.241	0.262	-0.070	0.227*	0.096
0	-0.075	0.046	-0.068	0.270	0.087	0.300†
1.0	-0.042	-0.028	-0.098	0.007	-0.015	0.101
2.0	-0.023	-0.027	-0.070	-0.053	-0.035	-0.046
2.5	-0.009	-0.022	-0.055	-0.076	-0.025	-0.062
					-0.016	-0.066

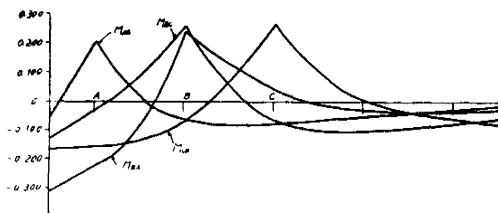
表中 * : D 点の値

† : E 点の値

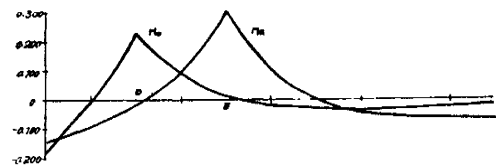
表—2 スパン中央における荷重分配係数 (橋みの影響線)

y	桁 A (耳桁)		桁 B (第一中桁)		桁 C (中央桁)	
	横 道	Guyon-Massonnet	横 道	Guyon-Massonnet	横 道	Guyon-Massonnet
-2.5	(3.74)	—	(1.06)	—	(0.32)	—
-2.0	2.80	4.09	1.55	1.84	0.56	0.56
-1.0	1.55	1.84	1.80	1.64	1.14	1.02
0	0.56	0.56	1.14	1.02	1.60	1.26
1.0	0.10	0.01	0.41	0.43	1.14	1.02
2.0	-0.01	-0.34	0.10	0.01	0.56	0.56
2.5	(-0.06)	—	(-0.05)	—	(0.32)	—
Σ	5.00	6.16	5.00	4.94	5.00	4.42

注 () 内の値は Σ に含まない。



図—9 $M_{AB}, M_{BA}, M_{BC}, M_{CB}$ —line



図—10 M_D, M_E —line

となる。

以上に従つて計算した曲げモーメントおよび荷重分配影響線値を表—1, 2 および図—9, 10 に示す。

(2) Guyon-Massonet の方法²⁾

本法ではパラメーター θ , α および主桁本数が与えられれば直ちに図表を利用して計算できる。

$$\theta = \frac{b}{2a} \sqrt{\frac{i}{j}}$$

$$\alpha = \frac{C_P/d + C_H/d'}{2\sqrt{i \cdot j}} \cdot \frac{1}{E}$$

式中

$2a$: スパン 200 cm

$2b$: 巾 60 cm

i : 単位巾当りの横方向断面二次モーメント

$$i = 607.1 \times 5/75 = 40.5 \text{ cm}^4/\text{cm}$$

j : 単位巾当りの軸方向断面二次モーメント

$$j = \frac{1}{12} \times 1.8^3 = 0.483 \text{ cm}^4/\text{cm}$$

C_P : 1本の主桁の捩り剛性

$$C_P = 49.12 \cdot G \text{ kg} \cdot \text{cm}^2 \quad \text{ただし } G: \text{kg/cm}^2$$

C_H : 1本の横桁の捩り剛性

$$C_H = 0.333 \times 1.8^3 \times 200 \times G = 1.944 \times 200 \times G \text{ kg} \cdot \text{cm}^2$$

d : 主桁間隔 15 cm

d' : 横 " 200 cm

従つて

$$\theta = \frac{30}{200} \times \sqrt{\frac{40.5}{0.483}} = 0.570$$

$$\alpha = \frac{49.12/15 + 1.944}{2 \times \sqrt{40.5 \times 0.483}} \times 0.43 = 0.252$$

以上に依つて計算された荷重分配係数を表—2 に示す。

5. 実験結果

(1) 撓みの測定値

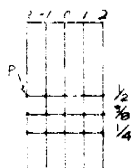
表—3, 4, 5 はスパン中央線上を荷重が移動した場合の横桁のない模型桁上 15 点の撓みを示すものである。表—6, 7 はそれぞれ 3/8, 1/4 線上を荷重が移動した場合のその線上 5 点の撓みを示すものである。いずれも荷重は 200 kg の場合の値である。

表—3 撓み測定値

載荷点: スパン中央, 耳桁上

$P=200 \text{ kg}$ (単位 $\frac{1}{100} \text{ mm}$)

測定	-2	-1	0	1	2
1/2 点	56	32	15	6	1
3/8 "	48	28	14	4	0.5
1/4 "	39	22	11	2	0

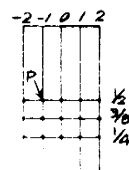


表—4 撓み測定値

載荷点: スパン中央, 第 1 中桁上

$P=200 \text{ kg}$ (単位 $\frac{1}{100} \text{ mm}$)

測点	-2	-1	0	1	2
1/2 点	32.5	33.5	22.5	14	8
3/8 "	30	28	19	11	6
1/4 "	24	21	14	8	4

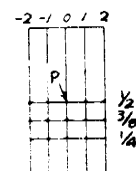


表—5 撓み測定値

載荷点: 桁中央点

$P=200 \text{ kg}$ (単位 $\frac{1}{100} \text{ mm}$)

測点	-2	-1	0	1	2
1/2 点	18	24	31	24	18
3/8 "	16	21	27	21	16
1/4 "	12	16	18	16	12

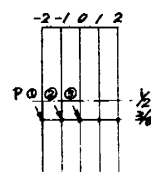


表—6 3/8 線上載荷時の撓み

載荷点: -2, -1, 0

$P=200 \text{ kg}$ (単位 $\frac{1}{100} \text{ mm}$)

載荷点	測 点				
	-2	1	0	1	2
-2 ①	52	31	16	6.5	1.5
-1 ②	31.5	32	23.5	14	8
0 ③	16.5	23.5	29.5	23.5	16.5

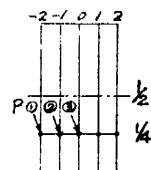


表—7 1/4 線上載荷時の撓み

載荷点: -2, -1, 0

$P=200 \text{ kg}$ (単位 $\frac{1}{100} \text{ mm}$)

載荷点	測点					
	-2	-1	0	1	2	
-2 ①	35	20	9.5	4	2	
-1 ②	21.5	21	16	9	5	
0 ③	10.5	17	20	17	10.5	



(2) 歪の測定値

横桁のない模型桁について、荷重 200 kg の場合、スパン中央線上, 3/8 線上および 1/4 線上を、それぞれ荷重が移動した場合の各線上の歪を表—8, 9, 10 に示す。

歪の成分は図—2 の記号に従つて suffix— x はスパン方向, y が同直角方向とする。

表-8 スパン中央線上の歪

載荷点: スパン中央線上

P=200 kg

 $\varepsilon \times 10^{-4}$

測 点	載 荷 点					
	歪 成 分			歪 成 分		
	ε_x	ε_y	ε_x	ε_y	ε_x	ε_y
K-1	1	110	45	19		
	2	48	65	40		
	3	20	38	80		
	4	10	15			
	5	5	2			
KR-7	6	-77	11	-45	10	-26
	7	-75	-12	-48	10	-26
	8	-55	46	-60	-58	-39
	9	-47	35	-54	-75	-39
	10	-23	31	-35	20	-40
	10	-20	20	-31	10	
	12	-16	14	-25	15	
	13	-12	7	-23	4	
	14	0	-3	-10	4	
	15	-2	-5	-10	-4	
	16	-40	-50	-40	44	-22
	17	-29	-40	-20	35	-35
	18	-15	-30	-19	10	
	19	0	7	-14	-5	

注 1). (+) 引張, (-) 圧縮

2). 下線を施した値は荷重点下の値

表-9 3/8 線上の歪

載荷点: 3/8 線上

P=200 kg

 $\varepsilon \times 10^{-4}$

測 点	載 荷 点					
	歪 成 分			歪 成 分		
	ε_x	ε_y	ε_x	ε_y	ε_x	ε_y
K-1	21	88	45	29		
	22	35	62	34		
	23	15	40	70		
	24	6	21			
	25	1	5			

KR-7	26	-82	1	-40	11	-22	1
	27	-75	-20	-44	5	-23	2
	28	-52	44	-52	-65	-32	1
	29	-45	30	-50	-54	-35	5
	30	-29	24	-34	14	-47	-68
	31	-24	20	-31	19		
	32	-12	5	-21	16		
	33	-10	4	-19	5		
	34	-1	0	-4	2		
	35	-1	-2	-7	0		

表-10 1/4 線上の歪

載荷点: 1/4 線上

P=200 kg

 $\varepsilon \times 10^{-4}$

測 点	載 荷 点					
	歪 成 分			歪 成 分		
	ε_x	ε_y	ε_x	ε_y	ε_x	ε_y
K-1	41	63	24	13		
	42	24	60	29		
	43	20	50	~		
	44	2	2			
	45	0	2			
KR-7	46	-59	5	-33	1	-18
	47	-65	-10	-36	4	-22
	48	-36	31	-42	-56	-23
	49	-30	23	-43	-52	-35
	50	-19	20	-33	7	-40
	51	-15	17	-25	11	
	52	-4	5	-17	8	
	53	-4	3	-11	2	
	54	0	0	-1	-1	
	55	0	-1	-6	-1	

6. 実験結果の考察

表-11 および図-11, 12, 13 に示すごとく, このような横桁なしの型式でも荷重分配効果が, きわめてよいことが判る。Guyon-Massonnet の方法では, 耳桁が著しい負担増となつて不経済な設計となることはまぬがれない。反面中央桁は過小となつて, 危険側の誤差を伴うことになる。横道の方法は近似した値を示している。

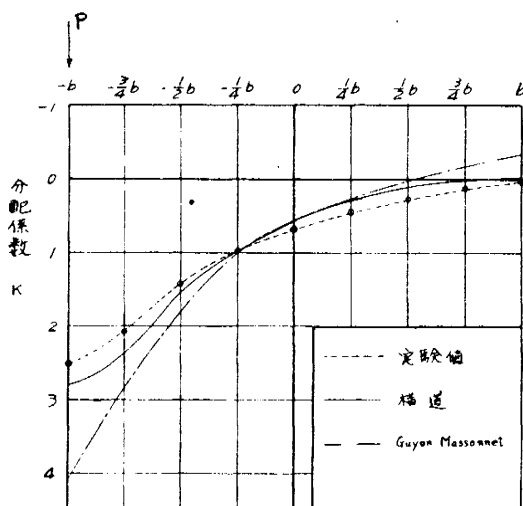
更にスパン中央に対する荷重分配率をスパン全長に亘

表—11 荷重線の異なる場合の荷重分配率の比較 (測定値)

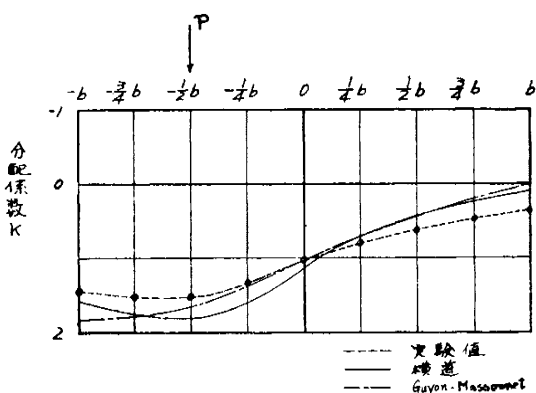
y	A (耳 桁)			B (第一中桁)			C (中央桁)		
	スパン 中 央	3/8 線上	1/4 線上	スパン 中 央	3/8 線上	1/4 線上	スパン 中 央	3/8 線上	1/4 線上
-2	2.52	2.43	2.42	1.46	1.45	1.49	0.81	0.75	0.72
-1	1.44	1.45	1.38	1.51	1.47	1.46	1.08	1.08	1.18
0	0.67	0.74	0.66	1.01	1.08	1.11	1.40	1.35	1.33
1	0.27	0.30	0.28	0.63	0.64	0.62	1.08	1.08	1.18
2	0.04	0.07	0.14	0.36	0.36	0.35	0.81	0.75	0.72
Σ	4.94	4.99	4.88	4.97	5.00	5.03	5.18	5.01	5.18

つて適用することは妥当性を欠かぬと、云い得よう。表—11 の測定値を比較すれば容易に判明する。

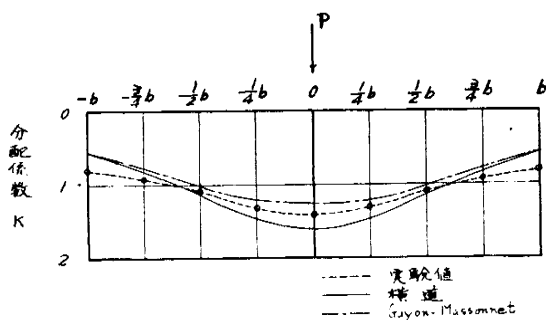
図—14, 15, 16 に横道式によって計算した、有効幅 12 cm に対するスパン中央の横方向の曲げモーメント図と、床版上面の横方向歪の値を比較したものを示してある。歪はそのまま曲げモーメントと考えてさしつかえない。横道の解法では、スパン方向の捩り抵抗が主桁位置に集中していると仮定しているために、同位置でのモーメントのギャップが大きくなる。しかし一般的傾向として、



図—11

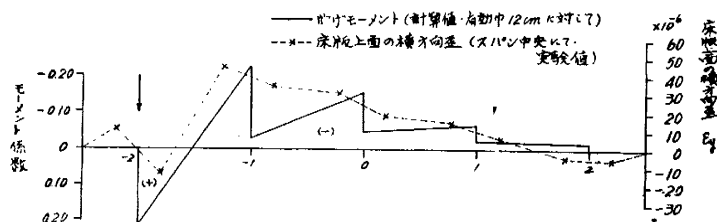


図—12

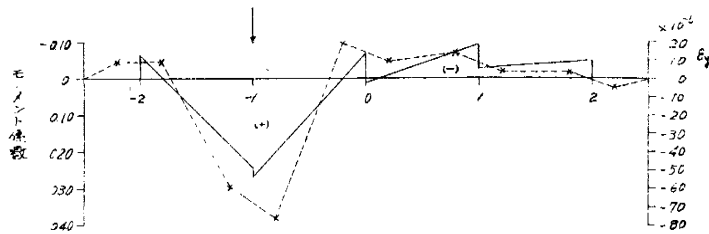


図—13

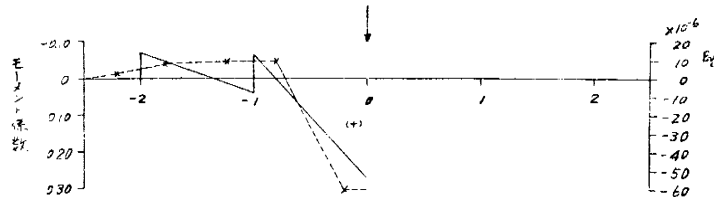
よい近似を示している。しかし版端付近でのモーメントの処理については、その困難性を示唆している。



図—14



図—15



図—16

7. む す び

以上横桁なしの型式の模型桁に関する実験について述べてきたが、横桁を有する型式のものについては後日まとめた結果を報告する予定である。

本実験を行うに当って、実験器材の提供を願った、北海道開発局土木試験所に対し、ここに記して感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

- 1) 土木学会：第12回年次学術講演会概要，p. 223，1957年6月。
- 2) Y. Guyon：“Calcul des ponts larges à poutres multiples solidarisees par des entretoises”。

Ann. Pts et Chaussées de France, 1946.

Massonnet：“Contribution au calcul des ponts à poutres multiples”. Ann. Trav. Publ. de Belgique, jun octobre et décembre 1950.

3) 其 の 他

横道英雄：鉄筋コンクリート橋。

応力測定技術研究会編：応力測定法。

A. M. Lount：“Prestressed Bridge Designed for Crane Load at Niagara River Weir” p. 533, A.C.I. Journal Nov. 1956, No. 5, Vol. 23.

Louis Balog：“Grid bridge design” p. 40, Civil Engineering Jan. 1957, Vol. p. 8.

桑原宏，小寺重郎：“モルタルT形ばりコンクリート実験”，土木学会誌 Vol. 37, No. 8, p. 364.