

森の宮橋（鋼床板桁橋）の実験について

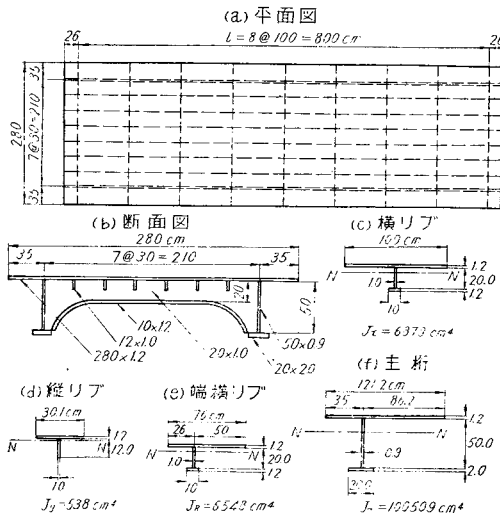
橋 善 雄\* 近 藤 和 夫\*\*  
小 松 定 夫\* 鏡 靖 司\*\*\*

1. ま え が き

長いスパンの橋梁の軽床構造として、また箱桁のスラブとして、最近鋼床板構造の利用がかなり注目されるようになった。本構造を用いた大阪市森の宮橋（図-1）の工場製作完了とともに、工場において載荷試験を行い、応力とタワミを測定し、その結果を W. Cornelius<sup>1)</sup>, G. Fischer<sup>2)</sup> らの在来の計算法による値と比較することによつて、この種の鋼床板桁橋の今後の設計に対する資料をうることを本実験の目的とした。

Cornelius の解法は周知のごとく、リブ付板を縦方向および横方向にそれぞれの曲げコワサを平均した異方性板とみなして解く方法である。Fischer の解法は二つから成り立っていて、第一は、リブ付板をそれぞれの横リブと無限に多くの縦リブの群とから成つている格子構造と考へて解き、横リブおよび縦リブの応力を求める方法である。第二は、横リブにおいて自由に回転できるが、沈下はしないように支承された縦リブを、弾性バリとした等方性連続板の応力を求める方法である。

図-1



2. 実験の概要

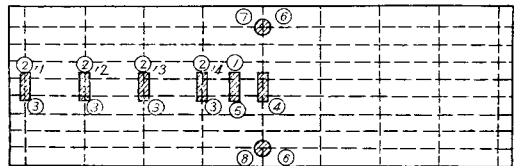
実験の種類、荷重位置を表-1、図-2に示す。実験2, 3, 4および5の実験用載荷板には20×50 cm（高

\* 正員 大阪市立大学理工学部  
\*\* 正員 大阪市土木局道路建設課  
\*\*\* 正員 松尾橋梁KK大阪支店

表-1 実験の種類

実験番号	荷重位置	実験の種類	実験の対象	備考
1	中央縦リブ間	鋼床板	板	特別の載荷板使用
2	各横リブ上	"	横リブおよび縦リブ	
3	端より4本の横リブ上	"	横リブの有効幅	筒状曲げを起させる
4	中央横リブ上	鋼床板桁	横リブ縦リブ主桁	
5	中央横リブ間	"	"	
6	両側主桁中央	"	主桁の有効幅	
7	片側主桁中央	"	偏心荷重によるネジリ	
8	反対側主桁中央	"	"	

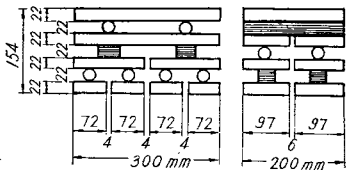
図-2 荷重位置



注: □および○ 荷重位置を示し、付記の数字は実験番号を示す。

図-3

さ20 cm)のカシの木を用い、ゴムパッキングを敷き、ストレインゲージ接着カ所に穴をあけた。実験



1には図-3のような特別の載荷板を用い、実験6, 7および8には、ストレインゲージを保護するために、図-4のような鋼製キャップを使用した。荷重は能力20 tのジャッキを写真-1のごとく載荷装置の桁との間に働かせ、その上にリング圧力計を載せて荷重の大きさを読んだ。荷

写真-1

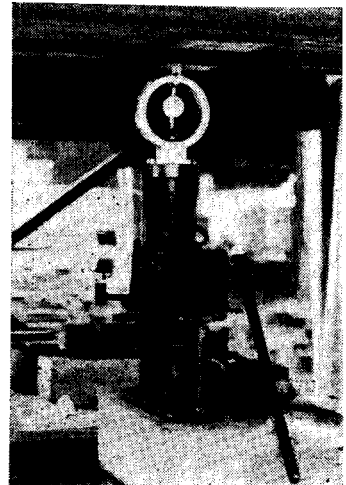
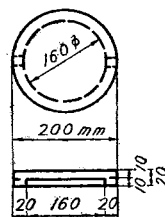


図-4



重の大きさは、実験 1 は 6t、他は 8t である。なおリング圧力計の精度は約 100 kg である。

ヒズミは Baldwin SR-4 strain indicator (3 台) で 124 点を、タワミは Dial gage で 55 点を測定した。ゲージはリブの下面に接着できるように、新興通信工業 KK 製の幅のせまい S 21 ( $l=8\text{ mm}$ ) を用いた。

### 3. 実験 1

この実験は、横リブおよび縦リブによって 4 辺に支承されている区域について、板の応力ならびにタワミを明らかにするために行ったものであつて、中央縦リブ間に  $P=6\text{ t}$  を作用せしめ、図-3 に示す特殊載荷板を用い、板に等分布荷重が働き、かつ載荷面も板と同じように変形できるようにした。実測値と計算値 (Fischer の方法による) との比較を図-4~8 に示した。

図-4 横リブ応力 ( $\text{kg/cm}^2$ )

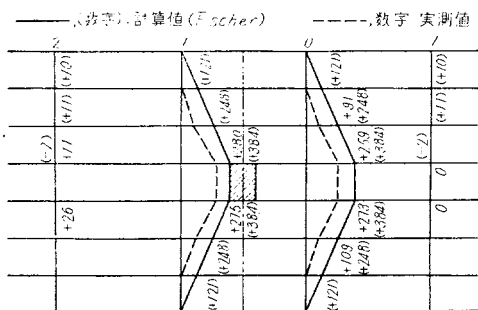


図-5 縦リブ応力

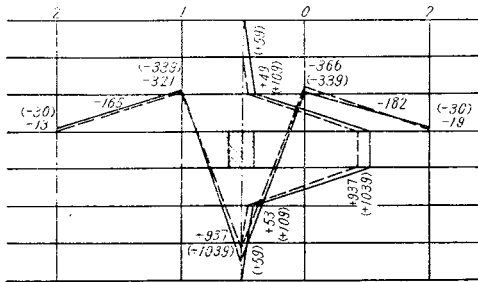


図-6 タワミ (単位: 1/100 mm)

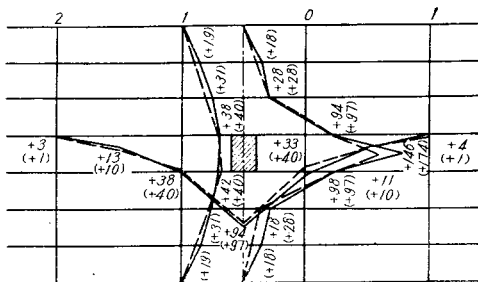


図-7 上板応力

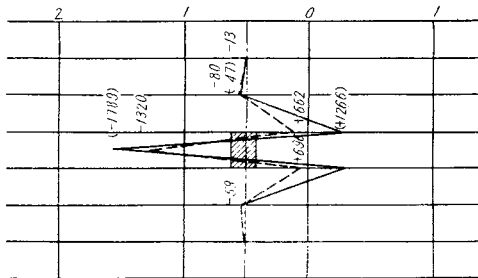
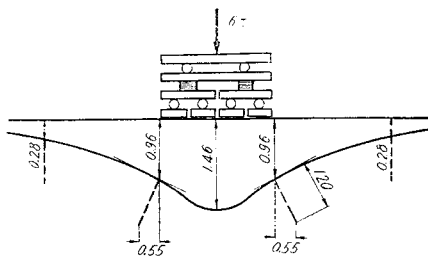


図-8 (単位: mm)



### 4. 実験 2

端横リブの中央に  $P=8\text{ t}$  を載荷したときの実測値と、Cornelius の方法による計算値との比較を、図-9、10 に示す。Cornelius の直交異方性板理論による計算を行うに際し、ネジリコワサ  $H$  については、既往の実験結果等を参考とし、 $H=0.3\sqrt{B_x B_y}$  を用いた。また、端横リブより数えて、2 番目、3 番目および 4 番目の横

図-9 横リブ応力

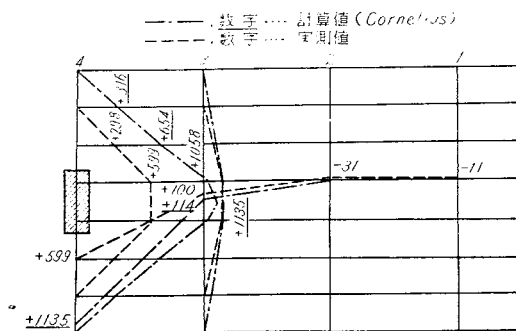
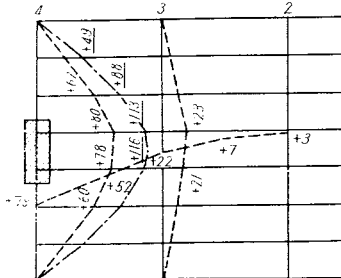


図-10 タワミ

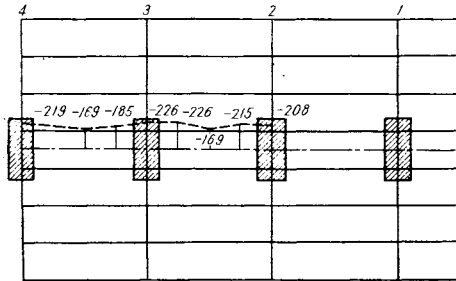


リブ上中央に、それぞれ  $P=8t$  を載荷した場合、荷重下の横リブ中央の応力実測値は、それぞれ  $495 \text{ kg/cm}^2$ 、 $527 \text{ kg/cm}^2$  および  $520 \text{ kg/cm}^2$  であった。

### 5. 実験 3

端より4本の各横リブ上に、端よりそれぞれ、6.5t、7t、7t、8tを同時に載荷した。この荷重の大きさは、これらの横リブ上に単独に単位荷重を載荷したとき、荷重下に生じるタワミの逆比を取つたものであつて、こうすることにより、各横リブに大体等しいタワミを与え、板に筒状曲げを起させることができた。端横リブから数えて、2番目と3番目の横リブの間のフランジについて、実測した応力の分布(図-11)から、横リブフランジの有効幅を算出すると、 $2\lambda=95.2 \text{ cm}$ 、すなわち横リブの間隔  $100 \text{ cm}$  の  $95.2\%$  となつた。従つて、本橋において実験値に対し、計算値を比較するにあたり、横リブフランジの有効幅として  $100 \text{ cm}$  すなわち  $100\%$  を仮定して計算値を算出したが、この仮定は不適當ではなかつたといえよう。

図-11 上板応力



### 6. 実験 4

Cornelius の直交異方性板理論による計算法に従う場合 ( $l=8 \text{ m}$ ) の縁桁の  $J_R$  については、実験6の結果により、DIN 1078(ドイツ合成桁設計基準)を用いて、主桁の有効幅を  $\lambda=86.2 \text{ cm}$  としたときの  $J=100509 \text{ cm}^4$  を用いた。また、Fischer の格子構造理論による計算法に従つて算出した、縦リブおよび上板の応力には、これらの部材が主桁作用をするときの応力を、さらに加算しなければならぬが、この応力の算出には上と同様の  $J$  の値を用いた。

Cornelius による第一の計算法では、 $l=8 \text{ m}$  としたとき、桁方向の線荷重長が  $20 \text{ cm}$  であつて、スパンの長さにくらべて小さいため、曲げモーメント計算における級数の収束が悪いので、 $n \geq 15$  に対し、積分常数を一定とし、 $n=81$  まで計算した。タワミの計算においては、その級数の収束がよいので、 $n=7$  まで取つて十分であつた。

Cornelius による第二の計算法では、 $l=2.1 \text{ m}$  としたとき、線荷重長は  $50 \text{ cm}$  であつて、級数の収束がよいが、この場合の応力計算に、 $l=8 \text{ m}$  としたときの、主桁作用による応力を重ね合わせるとよい。

荷重の載つた横リブ中央(縦リブ位置)

図-12 横リブ応力

—— (数字) …… 計算値 (Fischer)  
 - - - - (数字) …… ” (Cornelius)  
 - · - · (数字) …… 実測値

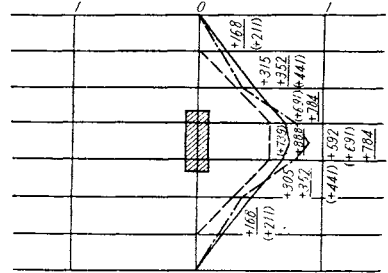


図-13 同上

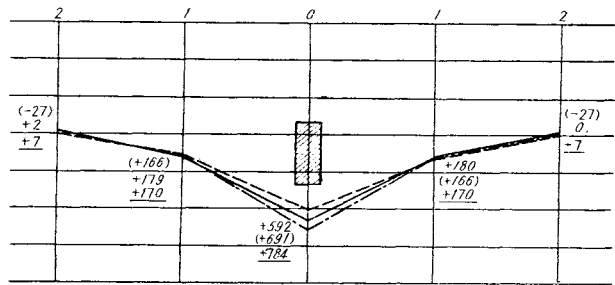


図-14 縦リブ応力

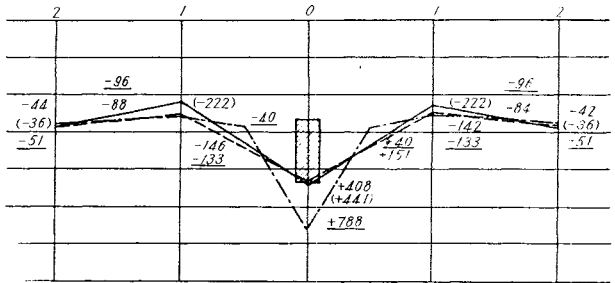
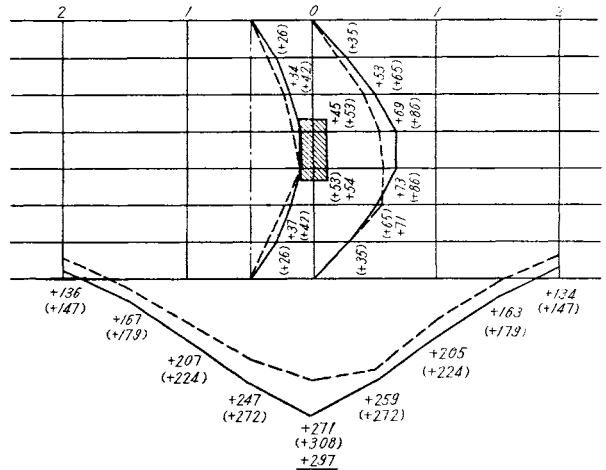


図-15 タワミ



の応力について比較すると、第一の計算法では  $1108 \text{ kg/cm}^2$ 、第二の計算法では  $784 \text{ kg/cm}^2$  で、これに対して実測値は  $592 \text{ kg/cm}^2$  であり、第二の方法の計算値が実測値に近い。中央縦リブについては、2つの計算法は  $728 \text{ kg/cm}^2$  と  $788 \text{ kg/cm}^2$  であまり差はない。それゆえ、第二の計算法の方が計算も簡単であり、実測値にも近いことになる。図-12~15には第二の計算法による値を示した。

## 7. 実験 5

実測値および各計算値との比較を図-16~20に示す。ただし Fischer の計算法によるときの縦リブの応力は、板としての応力と主桁としての応力を合計したもので、Cornelius の計算値は、板としての計算値 ( $l=2.1 \text{ m}$ ) と、桁としての計算値 ( $l=8 \text{ m}$ ) とを重ね合わせる計算法によつたものである。

図-16 横リブ応力

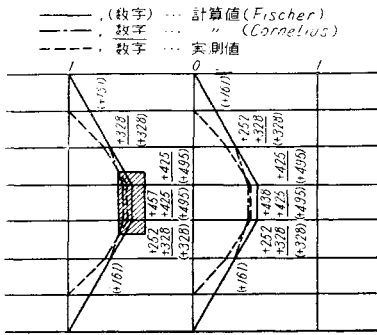


図-17 同上

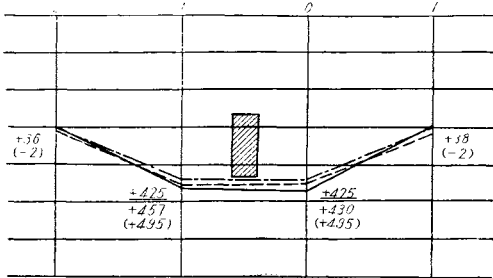


図-18 縦リブ応力

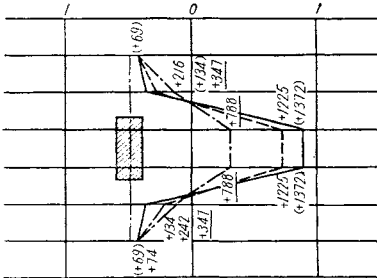


図-19 縦リブ応力

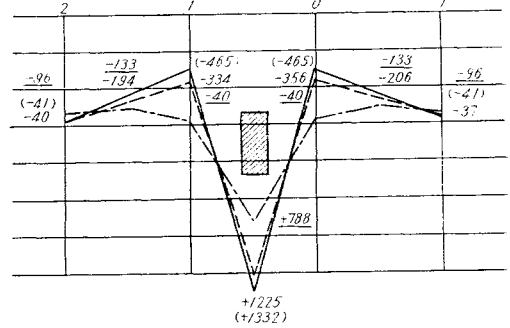
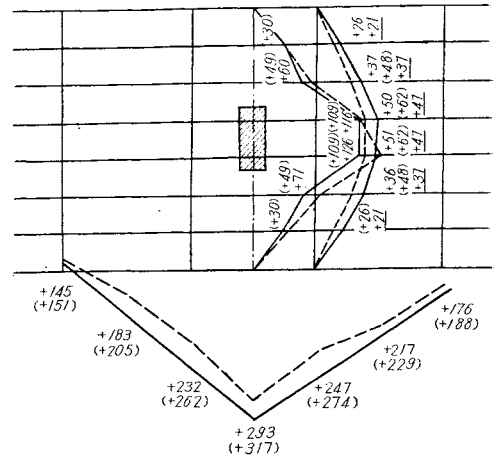


図-20 タワミ



## 8. 実験 6

この実験は、荷重を両側主桁中央に載荷し、上板の応力分布 (図-21) からこの場合の主桁の有効幅を求めようとしたものである。

図-21

縦リブ応力 (実測値) 上板応力 (計算値) 縦リブ応力 (計算値) 上板応力 (実測値)

計算値は、主桁のフランジ有効幅のとり方によつて異なってくるし、また、リブのついたフランジの有効幅に対し、明確な規定がない。元来、主桁に対するフランジの有効幅は、主桁の大きさ、フランジの厚さ、材料のポアソン比および主桁間隔の主桁スパンに対する比などによつて変化するものである。従つて、これらの諸要素を包含した理論解によることが望ましいが、ここでは一応実用的見地より、従来の DIN 1078 や Girkmann<sup>3)</sup> の与えた結果を利用することにする。

この2種の方法による有効幅をとり、主桁の断面2次

モーメントを計算する場合、それぞれリブを無視する場合とリブを考慮する場合について計算を行った。

以上の4組の  $J$  を用いた応力ならびにタワミの計算値と、実測値の比はいずれもあまり差がない。板の応力実測値から主桁フランジの有効幅を求めると、 $\lambda=85.2\text{ cm}$  となるので、計算に用いる有効幅は、DIN 1078 による計算値  $\lambda=105 \times 0.821=86.2\text{ cm}$  を採用することとした。この  $\lambda$  を用いて計算すると、 $J=100\,509\text{ cm}^4$  となる。

この場合の応力およびタワミの実測値との比較を表-2 に示す。タワミの計算値には、セン断力による影響  $0.44\text{ mm}$  を含んでいる。

表-2 桁中央の応力およびタワミ (実験 6)

上縁応力 $\sigma_o$ (kg/cm <sup>2</sup> )			下縁応力 $\sigma_u$ (kg/cm <sup>2</sup> )			タワミ (mm)		
実測値	計算値	比 (%)	実測値	計算値	比 (%)	実測値	計算値	比 (%)
-240	-255	94	541	615	88	4.05	4.48	90

### 9. 実験7および8

この場合の計算は H. Wagner の曲げネジリ理論を基礎とした土木学会論文集 25 号<sup>4)</sup> によることとする。ネジリ角  $\theta$  の実測値は  $2.17 \times 10^{-3}$  であつて、計算値に対する比は 101% であつた。曲げネジリコワサおよびセン断中心の位置は、Bleich<sup>5)</sup> の著書にある公式を利用した。

次にソリ関数  $W_s$  を求め、逆対称荷重の場合の曲げネジリによる応力  $\sigma_w$  を計算すると、実験 6 の対称荷重の実測値の 1/2 を  $\sigma_b$  とするとき、主桁および床板の応力は  $\sigma = \sigma_b + \sigma_w$  で与えられる。例えば荷重下  $\sigma_1 = -124 - 175 = -299\text{ kg/cm}^2$ 、反対側  $\sigma_2 = -116 + 175 = +59\text{ kg/cm}^2$  である。図-22~24 に示すように、実測値と計算値は、かなりよい一致を示している。

図-22 桁応力

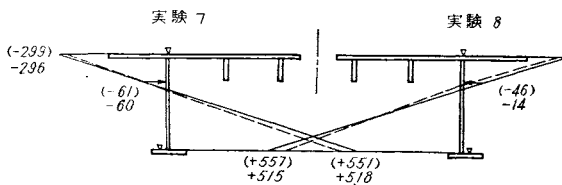


図-23 上板応力

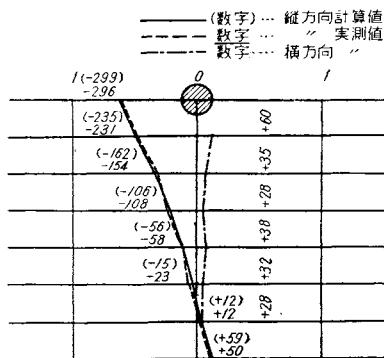
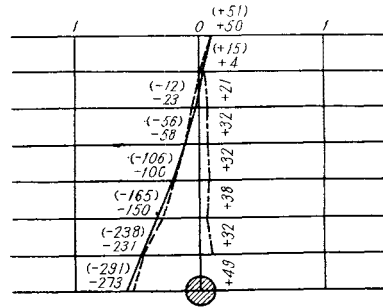


図-24 上板応力



### 10. 実験結果に対する考察

1) 実験 1 は、Fischer の弾性バリ上の連続板の計算法が大体妥当であることを示している。

2) 実験 2 と 4 を比較すると、この橋の場合、端横リブは、二辺単純支持の仮定による計算では中間横リブより大になるが、実測の結果同じ断面でよいことがわかる。

3) 横リブの応力およびタワミの、実測値の計算値に対する比が一般に小さいのは、計算値は中央断面と同じ等断面としているのに対し、実際は横リブの端部の断面が増大しているためである。

4) 実験 2 は 3 の予備実験として役立つ。実験 3 では 2 の結果から判断して、筒状曲げを起させるような荷重を載せて、横リブの有効幅を実測し  $95.2\text{ cm}$  を得たので、計算に用いる横リブの有効幅を  $100\text{ cm}$  とした仮定は、不適當でなかつたことを確かめ得た。

5) 実験 4 および 5 では、実験値を Cornelius および Fischer の計算値と比較した。Cornelius の直交異性板の計算法では  $H/\lambda/B_x B_y = 0.3$  としたが、 $8\text{ m}$  を桁方向としたときの荷重長が小さいため ( $20\text{ cm}$ )、また橋梁幅員がせまいために、モーメント計算における級数の収束が悪く、このような場合はこの方法は実用的な計算法ではないと考える。むしろ、 $2.1\text{ m}$  をスパンとする板としての計算値に、桁のフランジとしての計算値を加える計算法の方が簡単であり、かつ実測値に近い。

6) Cornelius の計算法は、縦リブについては実測値と相当な差を生じ、計算値が危険側になることがある。

7) 実験 4 および 5 の縦リブ応力については Fischer の格子構造理論の計算法が、かなり妥当な結果を示している。実験 5 の結果は、本橋梁が横リブと縦リブの強度に差があることを示している。実験 1, 4 および 5 を考えあわせると、Fischer の計算法は、荷重付近の応力状態を知るのに都合のよい計算法であることがわかる。

8) 実験 6 では、主桁のフランジ有効幅の実測値は  $85.2\text{ cm}$  で、この場合、DIN 1078 による値  $86.2\text{ cm}$  と大体一致している。タワミにおよぼすセン断力の影響は

約 10% あるので無視できない。

9) 実験 7 および 8 の計算法は、曲げネジリ理論によつたが、実測値は計算値とほとんど相等しい値を示している。本橋のように、橋長に比し幅員の小さい構造では、偏心載荷については、曲げネジリ理論によつて正確にその応力状態を明らかにすることができるし、かつそれが望ましい。

10) 以上、実際の鋼床板桁橋に対し、上述の計算方法が、実測値と比較してどの程度妥当な結果を与えるかを知り、設計上多くの参考資料をうることができた。

## 11. あとがき

以上に述べた計算については別の機会に発表すること

としたい。

本実験を行うに当たり、熱心な御協力を得た大阪市立大学岩村助手、当時学生河瀬、行松両君、大阪市岩淵常次郎、三輪利英両氏に深謝する次第である。

## 参考文献

- 1) W. Cornelius: Die Berechnung der ebenen Flächenträgerwerke mit Hilfe der Theorie der orthogonal-anisotropen Platte (Der Stahlbau, Heft 2,3 u. 4, 1952)
- 2) G. Fischer: Die Berechnung der Stahlfahrbahnplatte der Bürgermeister-Smidt-Brücke in Bremen (Der Stahlbau, Heft 11 u. 12, 1952)
- 3) W. Girkmann: Flächenträgerwerke, s. 116, 1954
- 4) 小西・小松・大橋: 合成箱桁橋の応力解析と設計計算法 (土木学会論文集第 25 号)
- 5) F. Bleich: Buckling Strength of Metal Structure, p. 123, 1952

## 書 評

### 農業土木ハンドブック

農業土木学会編 丸善 K K 刊

農業土木ハンドブックが昭和 6 年に出版されて以来、そのままであった本書が、戦後の国家経済の変遷と科学技術の進歩にともない、いつ改訂版が出るかと期待していた人々の一人である筆者は、この新書と第 11 版の旧書とを比較して『隔世の感とこれだ』と文句なしにいえる。これで実務にたずさわる人々に満足を与えること、大なるものと思う。

さて新書の構成は旧書のそれとあまり変りないが、ウエイトの置き方と、諸事項が全く新しい構想のもとに増補改訂されており、各編の標題を列挙すれば次のとおりである。

1. 数学公式、数表、度量衡 2. 気象 3. 水文 4. 土壌 5. 構造力学 6. 水理 7. 測量 8. 土木地

質 9. コンクリート、鉄筋コンクリート 10. 基礎工および擁壁 11. 橋、アーチ 12. カンガイ、排水 13. ダム 14. 頭首工 15. 地下水工 16. 水路工 17. 農地整備、農地保全 18. 開墾 19. 干拓 20. ポンプ、原動機 21. 施工機械 22. 河海工 23. 発電水力 24. 各種材料、歩掛り表

以上旧書の 17 編から 24 編に変わり、例えば旧書の農業気象の部分で気象と水文に独立、貯水池の部分がダムとなつてロックフィルダムが増補、測量には写真測量が増補……、17, 21, 24 編は全く新しく取り入れられるなど、現在の農業土木技術の全容にわたつて項目を整備、約 50 名の各専門家によつて執筆され、用

語の統一、新かなづかい、当用漢字等に努力がはらわれ、各専門分野の精粹と最近の知見とが便利に利用しうるよう編集されている。

一方施工機械の部門には写真説明が望ましく、公式の検討あるいは工法の案出の資料として多くのなまの参考論文名も窓をいけばほしいところである。

本書はその 70% 近くが土木工学に属する部門が含まれているので、実務にたずさわる農業土木技術者のみならず、土木技術者にも便利な本である。

なお農業土木を勉強しようとする学生にもよい参考書であろう。

A 5 版 1112 ページ (1540 g) 上製、定価 2200 円、昭和 32 年 6 月 20 日全訂改版第一版発行。

## 学会備付図書(国内)一覽(20)

### I. 昭. 32. 6. ~7. 間に寄贈を受けた分

○昭. 31. 7. (梅雨) 阿賀野川洪水報告書(関東地建局) ○東京都建築材料検査所報告 III 昭 29 年度セメント・コンクリート・鋼材検査成績について ○同 IV 昭 30 年度検査成績について ○ニッケルとニッケル合金一耐蝕用機械装置設計への使用法—エフ エル ラクイ著 日本ニッケル インフォメーション センター訳 ○第 14 回 コンクリート講習会(土木)プリント 昭. 32. 7. 15~19 (日本セメント技術協会) ○鋼棒使用 PC 設計施工指針案および解説: 日本材料試験協会・PC 構造研究委員会 ○溶接技術ハンドブック: 工博 岡田 実(朝倉書店) ○河川総合開発調査実績概要 第 3 卷(建設省河川局開発課) ○メコン河下流域の水資源開発計画—ECAF 事務局案—科学技術庁資源局訳 ○モビクル—研究報告(港湾荷役機械化協会) ○端島護岸災害復

旧工事報告: 橋本正一 ○ワトキンス高速道路調査報告書の研究(日本道路公団) ○みちのはなし(同) ○第 1 回 都市計画講習会講義録(日本都市計画学会) ○鉄道技術研究所五十年史 ○私鉄高速運転調査報告(狭軌編)(私鉄経営者協会) ○農業土木ハンドブック: 農業土木学会(丸善) ○日本セメント K K 研究所要報 164 原子炉遮蔽用コンクリートの熱特性に関する研究 ○同 166 原子炉遮蔽用セメント・コンクリート ○財団法人 原子力研究所史(日本原子力研究所) ○研究参考文献集(1956 後期)(工業技術院資源技術試験所)

### II. 昭. 32. 6. ~7. 間に購入した分

○鋼道路橋設計示方書・同橋製作示方書 解説(日本道路協)

付記 学会備付図書(国内)一覽(19)は 42—6・p. 30 に掲載