

偏心変断面板理論による沓をもつ連続張出し床板橋の立体解析

大阪工業大学

正員 岡村宏一

大阪設計コンサルタンツKK

正員 吉田公憲

同上

正員 ○ 進藤泰男

I) まえがき ; 張出床板橋の設計に当り、張出部の突縁効果がしばしば問題になっている。われわれはこの構造物の特性を厳密に究明するために偏心変断面板の曲げ理論¹⁾にもとづき、先に単純張出床板橋の立体解析²⁾を報告したが、今回この解法を連続張出床板橋に拡張し、厳密な立体解析をおこなうとともに、影響面自動製図機³⁾を用いて模形実験をおこなひ、この理論の妥当性を確認した。本解析法によればこの構造特有の力学的特性が詳細に評価される。本文では計算例と共に設計上考慮すべき点について述べる。

II) 解析方法

本構造物は曲げと同時に Scheibe 効果の存在する板(主板)と板(張出部)が偏心合成された形式であり、2次元弾性理論と平板理論を併用して厳密な解析をおこなうものである。すなわち板の微分方程式と Scheibe の応力関数を導入した適合条件式とを併用して板と板との偏心合成式を誘導する。沓をもつ連続張出床板橋は 図-1 に示す通りであって、実線部で偏心合成された3枚の板から形成されているものと考えられる。すなわち橋軸方向(x方向)には接合部をもうけず細長い1枚の板として解析する。

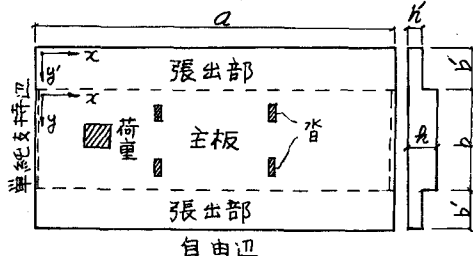


図-1

1) 板の微分方程式と Scheibe の応力関数を導入した適合条件式

板の釣合方程式ならびにその一般形は(1)(2)で示される。

$$\Delta \Delta w = \frac{P(x,y)}{D} \quad (1), \quad w = w_0 + \sum_m (A_m \sinh \alpha_m y + B_m \cosh \alpha_m y + C_m \alpha_m y \sinh \alpha_m y + D_m \alpha_m y \cosh \alpha_m y) \sin \alpha_m x \quad (2)$$

Scheibe の応力関数 ϕ を導入した適合条件式ならびに ϕ の一般形は(3)(4)で示される。

$$\Delta \Delta \phi = 0 \quad (3) \quad \phi = \sum_m \frac{1}{\alpha_m^2} (\bar{A}_m \sinh \alpha_m y + \bar{B}_m \cosh \alpha_m y + \bar{C}_m \alpha_m y \sinh \alpha_m y + \bar{D}_m \alpha_m y \cosh \alpha_m y) \sin \alpha_m x \quad (4)$$

ただし、 $w_0 = \frac{16}{\pi^2} \sum_m \sum_n \frac{L_{mn}}{m^2 n^2 (\alpha_m^2 + \beta_n^2)} \sin \alpha_m x \sin \beta_n y$, $\alpha_m = \frac{m\pi}{a}$, $\beta_n = \frac{n\pi}{b}$, $L_{mn} = \int_0^a \int_0^b p(x,y) \sin \alpha_m x \sin \beta_n y dx dy$; 荷重及沓位置, $(2a \times 2b)$; 荷重及沓の分布面積, D : 板の剛度 $(\frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)})$

h : 板厚, E : 弾性係数, $A_m, B_m, C_m, D_m, \bar{A}_m, \bar{B}_m, \bar{C}_m, \bar{D}_m$: 未知積分定数

2) 偏心水平せん断力、及び軸力の換算

主板と張出部との接合面には(図-2)に示すような偏心水平せん断力 T_x , 及び軸力 N_y が作用する。これを(図-3)に示すような中立軸縁辺に作用する水平せん断力、軸力、曲げモーメント、換算せん断力に置換する。

1) 岡村; 偏心変断面板ならびに板とはりとの完全合成構造物の曲げ理論; 土木学会関西支部学術講演会(543.5)

2) 岡村, 吉田, 進藤; 偏心変断面板理論による張出部の合成考慮した床板の立体解析; 土木学会年次学術講演会(543.10)

3) 山下, 波野, 岡村, 進藤; 影響面自動製図機による変則床板橋の設計; 土木学会関西支部学術講演会(543.5)

3) 張出部との接合面における拘束力

張出部との接合面における主板の拘束力歪をFourier級数に展開して次の様な基本形で表わす。(図-4参照)

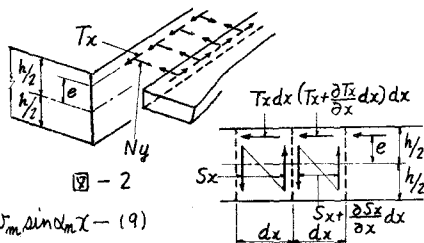


図-2

$$N_y = \sum_m N_m \sin \alpha_m x - (5) \quad T_x = \sum_m T_m \cos \alpha_m x - (6)$$

$$\bar{M}_y = \sum_m M_m \sin \alpha_m x - (7) \quad \bar{V}_y = \sum_m V_m \sin \alpha_m x - (8) \quad W = \sum_m w_m \sin \alpha_m x - (9)$$

$$\theta_y = \sum_m \theta_m \sin \alpha_m x - (10) \quad \varepsilon_x + \bar{\varepsilon}_x = \varepsilon_m \sin \alpha_m x - (11) \text{ 但し } \bar{\varepsilon}_x: \text{scheibeの軸歪}$$

(1)~(4)より誘導される拘束力、歪の一般形を用いて、接合面の任意点で成立つ関係式(15)~(11)中の係数 $N_m \sim \varepsilon_m$ を導くことが出来る。尚張出部についても同形の基本式を得る(係数 V'_m, w'_m, θ'_m)

4) 接合面における合成条件式

図-1を参照して

主板と張出部との接合面における合成条件式を示す。

$$N_m = 0 - (12) \text{ 接合面において直角方向の面内拘束を無視する。}$$

$$M_m = M'_m - (13) \text{ y方向曲げモーメントの連続条件、}$$

$$V_m = V'_m - (14) \text{ 換算せん断力の連続条件}$$

$$w_m = w'_m - (15) \text{ ねわみの連続条件, } \theta_m = \theta'_m - (16) \text{ ねわみ角の連続条件}$$

$$\varepsilon_m (x=e) = -\frac{T_m}{E A_0 \alpha_m} - (17) \text{ x方向歪と水平せん断力の連続条件}$$

ただし、実用上張出部のx方向軸力は一定とする。

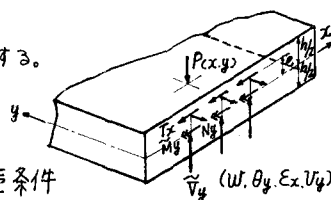


図-4

5) 支承(省)の連続条件式

図-1に示すようにスパン: a なる一連構造体として取扱っている故、支承点でねわみの条件式を立てる。 $W(x_i, y_i) = 0 - (18) \text{ 各支承上でねわみ } 0 \text{ なる条件}$

6) 対称条件式

図-1に示すような対称構造物については対称性を考慮して

次の対称条件式を用いる。

$$B_m = -\Gamma_m A_m - \Lambda_m C_m - (19) \quad \bar{B}_m = -\Gamma_m \bar{A}_m - \Lambda_m \bar{C}_m - (20)$$

$$D_m = -\frac{1}{\Gamma_m} C_m - (21) \quad \bar{D}_m = -\frac{1}{\Gamma_m} \bar{C}_m - (22)$$

$$\delta_m = \coth \lambda m \pi + \operatorname{cosech} \lambda m \pi, \quad \varepsilon_m = \coth \lambda m \pi - \operatorname{cosech} \lambda m \pi$$

$$\zeta_m = \lambda m \pi \operatorname{cosech} \lambda m \pi$$

$$\lambda = b/a$$

表-1

対称性	m	n	Γ_m	Λ_m
x方向正	1,3,5...	1,3,5...	δ_m	ζ_m
y方向正	...	...	δ_m	ζ_m
x方向逆	2,4,6...	1,3,5...	δ_m	ζ_m
y方向逆	...	...	δ_m	ζ_m
x方向正	1,3,5...	2,4,6...	ε_m	$-\zeta_m$
y方向正	...	...	ε_m	$-\zeta_m$
x方向逆	2,4,6...	2,4,6...	ε_m	$-\zeta_m$
y方向逆	...	...	ε_m	$-\zeta_m$

すなわち任意点荷重は表-1に示す4種類の対称荷重の重ね合せで表現することが出来る

7) 張出部自由辺における条件式

$$M_y'(y'=0) = 0 - (23)$$

$$V_y'(y'=0) = 0 - (24)$$

8) 未知積分定数及び省反力の決定

(2)及び(4)式で示される一般式において未知積分定数は、主板: $A_m, B_m, C_m, D_m, \bar{A}_m, \bar{B}_m, \bar{C}_m, \bar{D}_m$ 張出部: A'_m, B'_m, C'_m, D'_m の12ヶである。また省反力は未知量で(1ヶの数)である。一方条件式は合成条件式(12)~(17), 対称条件式(19)~(22), 張出部自由辺条件式(23)(24)及び支承連続条件式(18)(1ヶ)となり、未知積分定数及び省反力を決めることが出来る。

各積分定数及び解法の詳細については参考文献1), 2)を参照されたい。

Ⅲ) 実験方法

実験装置は影響面自動製図機を用いた。この装置については文献⁴⁾に詳細に述べられているから参照されたい。Model板の材料には加工性、弾性性状、実験荷重の軽量化等を考慮して高純度のアルミ板を選んだ。実験荷重は弾性範囲内であつて測定に適した歪を発生させるために、主板内で8kg、張出部で2kgと定めた。支承条件は実橋及び理論解析条件に合せ、部分支承とし、板の浮き上りを防ぐためにpre-loadを載荷した。写真-1は装置全景である。

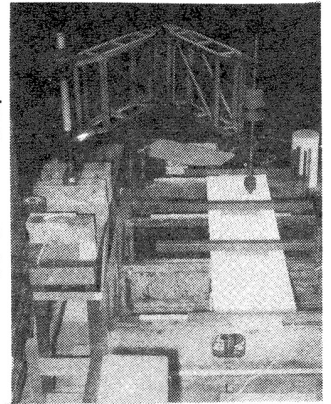


写真-1

Ⅳ) 計算例

連続張出床板橋の曲げならびに Schiele action を把握するための種々の荷重状態による計算をおこなった。その計算結果の一部を実験結果と対比して報告する。

寸法図及び荷重は、図-5に示す通りであつて、構造寸法は既存する実橋とは一致した3径

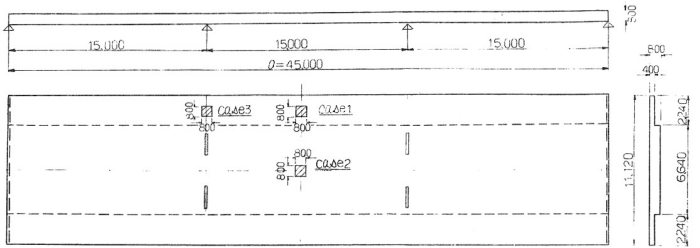


図-5

寸法図及び荷重は、図-5に示す通りであつて、構造寸法は既存する実橋とは一致した3径
は80cm×80cmの輪荷重(8)である。載荷

位置は図に示す3種類であつて、Case 1及びCase 2は床板全体の特性を調べるために才2
径中央部（張出部及び主板部）に載荷した。Case 3は主として張出部橋軸直角方向の曲
げモーメント(My)を調べるためにおこなつたものである。尚支承点の反力及び橋軸方向の
上面歪の影響面図を算出し、影響面自動製図機による同影響面図と比較検討をおこなつた。

図-6はCase 1, 2における
橋軸方向曲げモーメント(Mx)及

$$(\text{断面力}) = (\text{モーメント}) + (\text{軸力})$$

び軸力(Nx)の状態図である。こ
れによると張出部の偏心合
成の影響が顕著に現われ、
張出部との接合辺近傍には
大きな軸力が発生しており
方向中央(φ=1/2)に近づくに
したがって急減している。
張出部支承附近に発生する
軸引張力は設計上充分注意
して取扱ふ必要がある。又

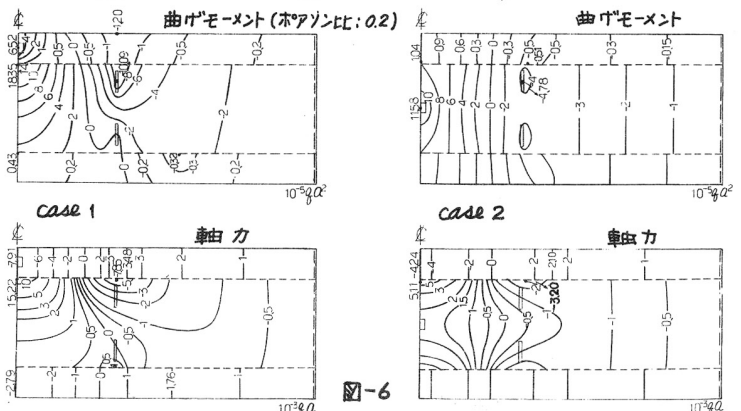


図-6

こゝから断面力は荷重の偏心状態によつて非常に異なつてゐる。張出部載荷(case 1)の場合
4) Okamura, Matsui: Automatic Recording Equipments for the Model Analysis of the Influence Surfaces of plate.
Proc. of the Sympo. on the New Idea in Structural Design (1963)

荷重近傍には局部曲げの影響が大きく表われている。図-7 は中央断面($x=0$)における床板上下面の歪(ϵ_x)及び中立軸を示したものであって張出部の突縁効果が一様であることがよくわかる。図-8 は張出部の橋軸直角方向曲げモーメント(M_y)状態を示したもので、Case 1 の場合主板の縦曲げの影響によって $M_{y\max}$ は Case 3 の 80% 程度に減少している。

表-2 は各荷重 Case における最大曲げモーメントと軸力を示したものである。

	Case 1	Case 2	Case 3
主板 $M_{x\max}$	18.35	11.58	—
同一点の N_x	15.22	1.68	—
主板 $M_{x\min}$	-10.09	-4.78	—
同一点の N_x	-2.48	-1.00	—
張出部 $M_{x\max}$	6.52	1.04	—
同一点の N_x	-7.92	-4.24	—
張出部 $M_{x\min}$	-1.20	-0.51	—
同一点の N_x	3.40	2.05	—
張出部 $M_{y\min}$	-2.50	—	-8.91

(単位): 曲げモーメント: $10^5 \text{ kg} \cdot \text{cm}^2$

表-2 軸力: 10^3 kg

この表でも示されているように張出部載荷の場合張出部 $M_{x\max}$ は非常に大きく $|M_{y\min}|$ の 70% 以上になっている。図-9、図-10 は支承梁の反力及び橋軸方向上面歪(ϵ_u)の影響面図を実験結果と比較したものであり、理論解と実験解は非常によく一致している。これは偏心変断面板理論による立体解析の妥当性を示すものである。なお、影響面自動算図機が高精度であることは既に証明されている。

V) 結論

本立体解析によって連続張出床板橋の力学的特性をかぶり究明する

ことが出来た。特に張出部の偏心合成により発生する軸力、張出部局部曲げの影響等は設計上充分な考慮を拂うべきものと思われる。

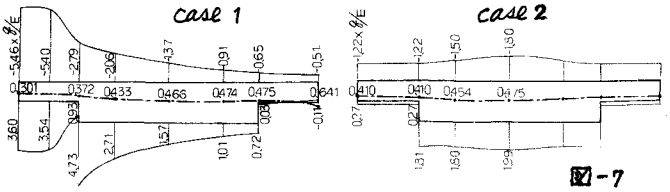


図-7

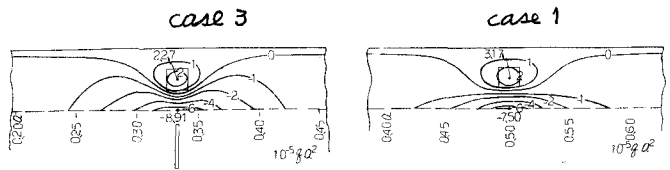
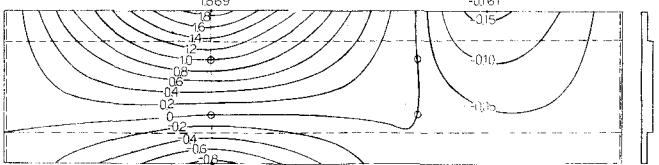


図-8

理論値



実験値

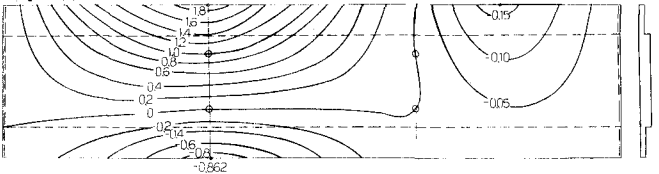
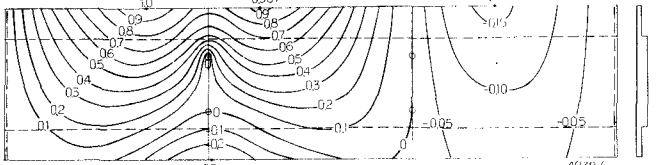


図-9

理論値



実験値

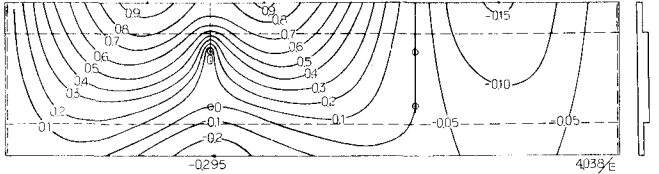


図-10