

連続合成桁橋の立体解析

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

1) まえがき 板とBeam系の合成構造の立体解析法について、筆者の1人はすでにその理論と若干の構造例の応用例を示したが、今回、この立体解析法を用いて、完全合成および部分合成の連続合成桁橋の解析をおこない構造各部の応力を全時にかつ忠実に求めた。板の部分合成のような問題はOpen Formで扱うと混合境界値問題となり解析が困難となるが、本解法では容易に扱うことが出来る。

2) 解析方法

本解法は板の解と桁の解とを床板の下で適合させ連続合成桁橋を立体解析するものである。すなわち、(図-1)に示すように床板は連続系の場合にも分割せず、比較的細長い一枚の板として取扱ひ、かつ細部の応力を詳細に求めるために総和公式を用いて解を書き換へ、單綫数形で計算を行なう。さらに、合成面に作用する鉛直方向ならびに水平方向の不静定力の分布を矩形分布の集合形に仮定し、選点法を併用することによつて部分合成の場合の解析も容易に行なうことが出来る。

この解法についてはすでに前文1)で報告しているから詳細な説明は省略し、中間支承部の連続条件、部分合成構造の合成条件等と主として説明する。(図-2)に示すように非合成部分には水平せん断力が存在しない。この不静定力の分布を(図-4)のように分割して表示する。さらに合成条件は各分割区間の中心に採つた選点に於いて成立させる。この模様を示したのが(図-3)である。

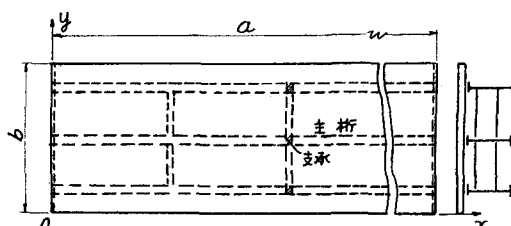


図-1

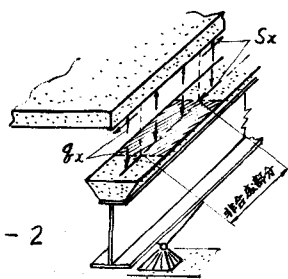
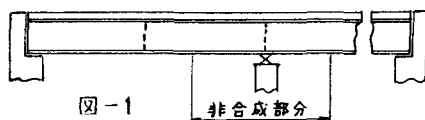


図-2

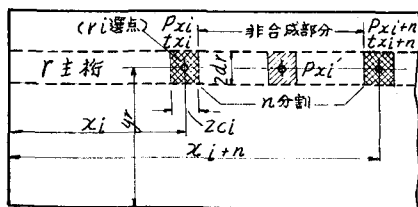


図-3

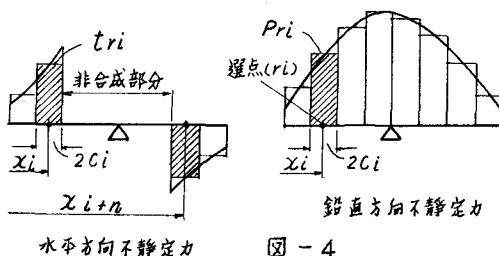


図-4

主桁本数、中間支承数、ならびに1主桁あたりの分割数をそれぞれ R, nR, N で示すと(図-3)を参照して、鉛直方向不静定力; $R \times N$, 水平方向不静定力; $R(N-nR)$, 選点数; $R \times N$ である。床板の境界条件は、端辺($x=0, x=a$)は単純支持辺、張出部の縁辺($y=0, y=b$)は自由辺、床板の周辺は開放面であるとする。床板の解式は前文に準じ、各不静定力(P_{ri}, t_{ri}) および作用荷重(q) による各選点(x_u, y_v) のたわみ W , ならびに下面の x 方向の歪 ε_x を次のように與える。

$$W(x_u, y_v) = \frac{16}{\pi^2 D} \sum_{r=1}^R \sum_{n=1}^{nR} \sum_{m=1}^M [\Phi_{mn}(y_v) \times \Psi_{mn}(g, P_{ri}, t_{ri})] \sin \alpha_m x_u \quad \text{————— 1)}$$

$$\varepsilon_x(x_u, y_v) = -\frac{16}{\pi^2 h E} \sum_{r=1}^R \sum_{n=1}^{nR} \sum_{m=1}^M [\Psi_{mn}(y_v) \times \Psi'_{mn}(t_{ri}) - \frac{g}{L} (1-L^2) \alpha_m^2 \Phi_{mn}(y_v) \times \Psi_{mn}(g, P_{ri}, t_{ri}) - \frac{1}{L} \Psi_{mn}(t_{ri}) \sin \beta_n y_v] \sin \alpha_m x_u \quad \text{————— 2)} \quad (\sum: \text{主桁についての総和を示す。})$$

式(1)の各表示は

$$\Phi_{mn}(y_v) = \sin \beta_m y_v + \frac{\beta_m^3 (2-\nu) \alpha_m^2 \beta_n}{\alpha_m^2 \beta_m} E_m(y_v), \quad \Psi_{mn}(y_v) = (\beta_m^2 + \nu \alpha_m^2) \sin \beta_n y_v - (1+\nu) \frac{\alpha_m \beta_m}{K_m} F_m(y_v)$$

$$E_m(y_v) = \left(\frac{1}{L_m} \sinh \alpha_m y_v - \cosh \alpha_m y_v \right) \left(\frac{2}{1-L} \Lambda_m \right) + \alpha_m y_v \sinh \alpha_m y_v - \frac{1}{L_m} \alpha_m y_v \cosh \alpha_m y_v - \Lambda_m \cosh \alpha_m y_v$$

$$F_m(y_v) = E_m(y_v) + \frac{4}{1-L^2} \left[\cosh \alpha_m y_v - \frac{1}{L_m} \sinh \alpha_m y_v \right], \quad \beta_m = -\frac{1}{L_m} \{ (3+\nu) - (1-\nu) \Lambda_m \}, \quad K_m = \frac{1}{L_m} (1+\Lambda_m)$$

$$\Psi_{mn}(g, P_{ri}, t_{ri}) = \frac{1}{mn(\alpha_m^2 + \beta_n^2)} \left\{ g_{mn} + (P_{ri} \sin \alpha_m x_i + \frac{g t_{ri}}{2} \alpha_m \cos \alpha_m x_i) \sin \alpha_m c_i \sin \beta_n y_r \sin \beta_n d_r \right\}$$

$$\Psi'_{mn}(t_{ri}) = \frac{1}{mn(\alpha_m^2 + \beta_n^2)} \left\{ \alpha_m \left(\frac{\beta_n^2}{\alpha_m^2} - \nu \right) t_{ri} \cos \alpha_m x_i \sin \alpha_m c_i \sin \beta_n y_r \sin \beta_n d_r \right\}$$

$$\Psi_{mn}(t_{ri}) = \frac{1}{mn \alpha_m} \left(\alpha t_{ri} \cos \alpha_m x_i \sin \alpha_m c_i \sin \beta_n d_r \sin \beta_n y_r, \quad \Lambda = b/a, \quad g_{mn}: \text{任意外荷重係数} \right)$$

なお、 L_m, Λ_m は対称性考慮した係数であり文献1)を参照されたい。3) 4) 式中、不静定力の係数は総和公式を用いて単級数に書き換え未知量と切離して個別に計算される。一方、不静定力(P_{ri}, t_{ri}) および支点反力(R_k) を受ける主桁選点(x_u) のたわみ $\bar{W}$ 主桁歪 $\bar{\varepsilon}_x$ は格子桁の解析により代数関数で容易に求められる。

桁と主桁の合成条件式および支点の条件式

平面保持の仮定のもとで板と主桁の接合部における合成条件はたわみ、および歪の連続である。又、部分合成桁の場合、非合成部分では、たわみのみ連続し、歪は不連続となる。たゞし、非合成部分の床板下面と主桁上縁の Total 変位は等しいものとする。これらの条件を細分割された各選点で成立さす。この場合、隣接する選点間の歪の積分値(変位)を適合さす。合成条件式は

$$W(x_u, y_v) = \bar{W}(x_u) \quad \text{————— 5)}$$

$$\left. \begin{aligned} \int_{x_u}^{x_{u+1}} \varepsilon_x dx &= \int_{x_u}^{x_{u+1}} \bar{\varepsilon}_x dx & (\text{合成区間}) \\ \int_{x_u}^{x(u+n)} \varepsilon_x dx &= \int_{x_u}^{x(u+n)} \bar{\varepsilon}_x dx & (\text{非合成区間}) \end{aligned} \right\} \quad \text{————— 6)}$$

又、支点部において、不等変位が生じないものとするとき、支点条件式は次のようになる。

$$W(l_i, y_r) = \bar{W}(l_i) = 0 \quad \text{————— 7)}$$

5)~7)式を用いて合成部に生ずる不静定力および支点反力を定めることが出来る。なお部分合成の場合、弾性解析上の Singularity を持つので境界点近傍では分割を特に密にした。

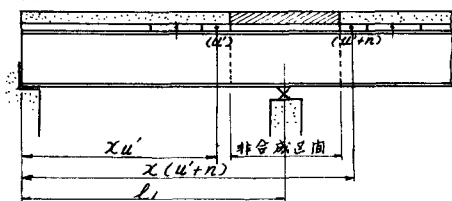


図 - 5

3) 計算例

本計算に用いた連続合成桁橋の構造諸元は図-6に示す通りであり、完全合成の場合と部分合成の場合について計算をおこなった。図に示す case 1 は完全合成の場合であって、径

向中央に部分荷重が対称に作用している。case 2 は同じ載荷状態で支床近傍(0.1a の範囲)を非合成として部分合成である。又 case 3 は主として床板の局部応力状態を調べるために示したものである。主桁と横桁との剛比 $J/I = 0.38$ 、 $D_b/E_I = 0.1655$ 、 $\rho_p/\gamma = 0.2$

計算結果について考察する。図7~10)は床板の断面力を表したものである。断面力は下図に示すように曲げモーメント M_x と軸力 N_x で示される。

$$\begin{array}{c} \text{断面力} \\ \text{= 曲げモーメント} + \text{軸力} \end{array}$$

図をみると床板の複雑な断面力が床板全面にわたって詳細に求まることが見える。曲げモーメントについて言えば床板および格子系の剛性、載荷位置、載荷面積、他の荷重の影響等すべての要素を含め各方向の値を求めることを示している。

載荷点附近のモーメント図 (図-10)

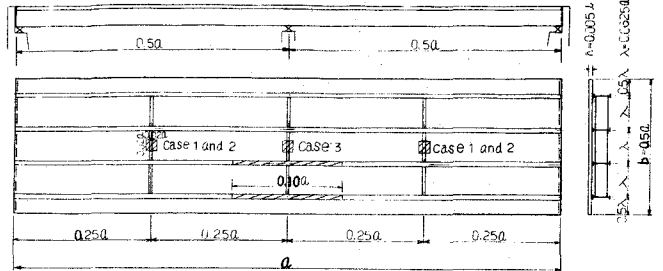
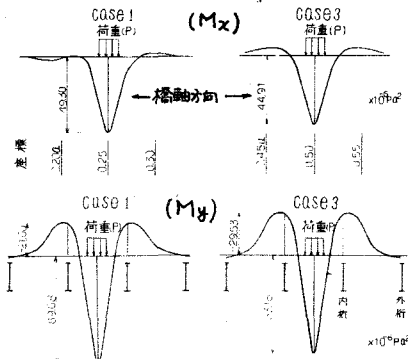


図-6

床版橋軸方向モーメント図(M_x)及び軸力図(N_x)

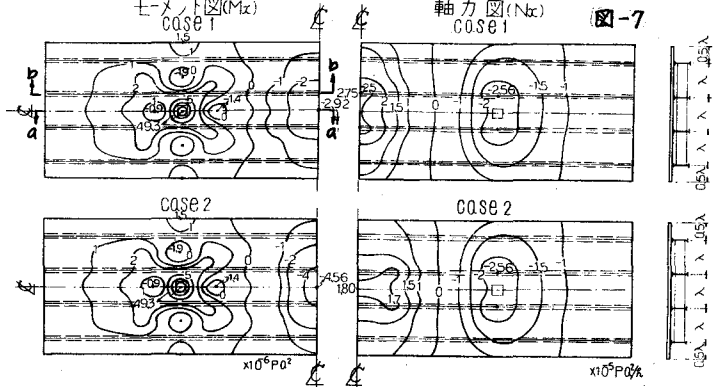


図-7

同支床附近の M_x , N_x 状態図

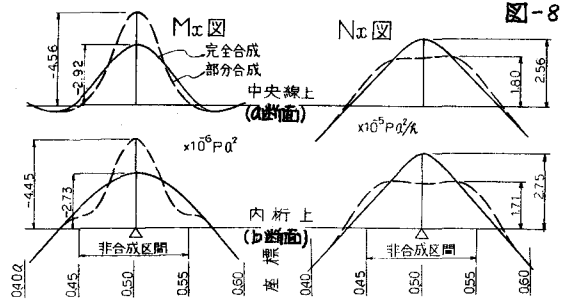


図-8

床版橋軸直角方向モーメント図(M_y) (載荷点附近)

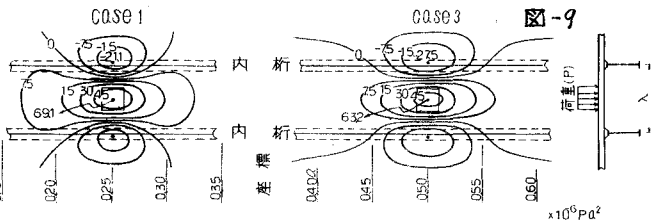


図-9

床版-主桁接合面における水平せん断力図

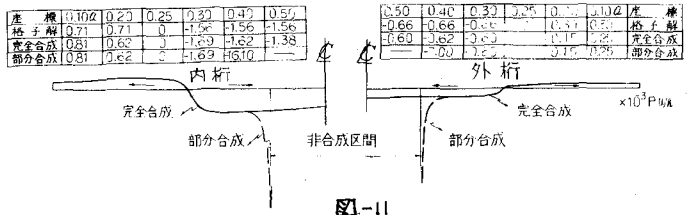
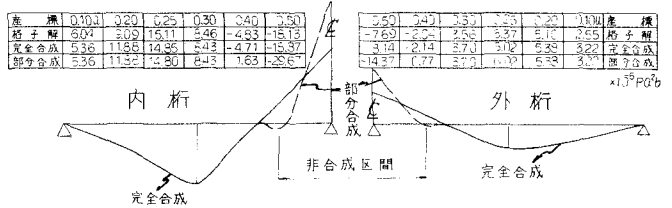


図-11

主桁の断面力図

モーメント図



軸力図

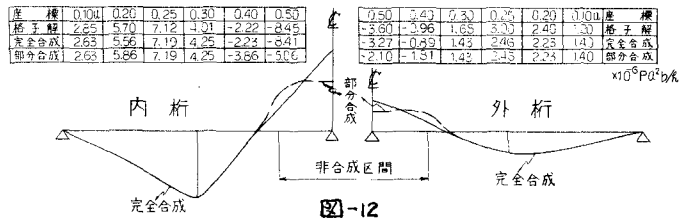


図-12

軸力についてみると、本解析は立体解析であり設計の観点からみれば荷重系が異なるが、荷重の如何に拘らず有効中等の仮定を導入することは一挙に忠実に解析できることが窺われる。

図-11は桁と床版との接合面に作用する水平せん断力の分布を示すものであり、本例では格子桁解法(完全合成)によるものと比較して10%程度の差異がみられる。部分合成の場合は境界点でせん断力が急増するが、これは本解析が弾性解析であるので当然の帰結である。図-12は鋼桁の断面力を格子解法(完全合成)によるものと比較したもので、本計算例では数%の範囲内で良好な一致を示すが荷重状態により異なってくると思われるので一概に云えない。

むすび 本解析の過程に於て、各部の断面力の諸値は充分な収束値を与えていることが確認された。本文に示したような立体解析を現行の設計法と対比させると荷重体系が異なるが、荷重の如何に拘らず、各部分の断面力がより合理的に詳細に評価される。今後、dataを蓄積することによってこの種の構造に対しより忠実な力学的評価を与え得ると思はれる。

1) 岡村: 板とBeam系の合成構造の立体解析法ならびに板と格子桁の合成による橋梁解析の応用 (工学会 543.10)