I-120　移動荷重を受ける変断面ばりの塑性設計に関する基礎的研究

日立造船技術研究所　正員　竹下治之

1. まえがき

構造物は崩壊を基準にして安全率を決定し，設計を行うのが最も合理的である。しかし現行の弾性設計によった場合は，崩壊に対する安全率が不明確であり，断面も非合理的である場合が多い。これは特に変断面を有する不静定構造物においては顕著である。したがって，本研究では対象構造物を変断面を有する3径間連続ばりにおき，塑性設計法の手法を用いて崩壊に対する安全率を明確にしたはり断面の最適化を行うことを目的とする。載荷重としては，集中荷重および分布荷重の2つを考えるが，本研究では特に移動荷重の取り扱い方を明確にする。さらに実在荷重に対するはり断面の検討を行い，弾性設計法および塑性設計法の相異点を明らかにし，構造物の合理的設計法への足掛りとする。

2. 解析方法

(1) 対象とするはり　図－1に示すよう3径間連続ばりとする。

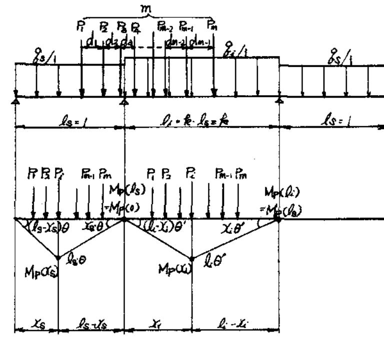
(2) 荷重　図－1に示すような等分布荷重および集中荷重とする。

(3) 全塑性モーメント M_p～はりの単位長さ当り重量 w に次式を仮定する。

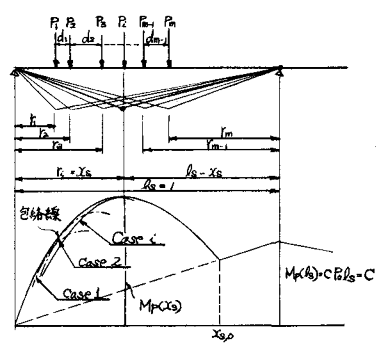
$$w = K\cdot(M_p)^n = K\cdot M_p + C_0$$

上式において，K，C_0＝定数，$n = 1.0$

(4) 崩壊形式　図－1に示すように，側径間においては2点，中央径間においては3点に塑性ヒンジが発生して崩壊するものと仮定する。集中荷重載荷の場合は，荷重位置に発生する塑性ヒンジの位置により図－2のように Case 1 より，Case i の崩壊形式が考えられる。



図－1



図－2

(5) 塑性モーメントの計算

図－2のような Case i の場合を考えると，塑性モーメント $M_p(x)$ は仮想変位の原理を応用して次のように求めることができる。

a) 側径間の場合

内力による仕事，$E_{int} = M_p(X_s)\cdot l_s\cdot\theta + M_p(l_s)\cdot X_s\cdot\theta$

外力による仕事，$E_{ext} = \begin{cases} \frac{1}{2} g_s\cdot l_s\cdot X_s(l_s - X_s)\theta & \text{(等分布荷重)} \\ \sum_{j=1}^{i} P_j r_j (l_s - X_s)\theta + \sum_{j=i+1}^{m} P_j r_j\cdot X_s\cdot\theta & \text{(集中荷重)} \end{cases}$

$E_{int} = E_{ext}$ より次式が成立する。

i) 等分布荷重；$M_p(X_s) = -\frac{1}{2} g_s\cdot X_s(X_s - 1 + 2C)$　ここに，$l_s = 1$，$M_p(l_s) = C\cdot g_s\cdot l_s^2 = C\cdot g_s$　（C＝定数）　－(1)

ii) 集中荷重　；$M_p(X_s) = \sum_{j=1}^{i} P_j r_j (1 - X_s) + \sum_{j=i+1}^{m} P_j r_j X_s - C\cdot X_s$　ここに，$l_s = 1$，$M_p(l_s) = C\cdot P_0\cdot l_s = C$　（$P_0 = 1$）　－(2)

b) 中央径間の場合

側径間の場合に較べ，内力による仕事 E_{int} が $M_p(0)\cdot(k - X_i)\theta' = M_p(l_i)(k - X_i)\theta'$ だけ増加するから次式が成立する。

i) 等分布荷重；$M_p(X_i) = -\frac{1}{2} g_i\cdot X_i(X_i - k) - C\cdot g_s$　ここに，$l_i = k$，$M_p(0) = M_p(l_i) = C\cdot g_s\cdot l_s^2 = C\cdot g_s$　－(3)

ii) 集中荷重　；$M_p(X_i) = \frac{1}{k}\left\{\sum_{j=1}^{i} P_j r_j (k - X_i) + \sum_{j=i+1}^{m} P_j r_j X_i\right\} - C$　ここに，$l_i = k$，$M_p(l_i) = C\cdot P_0\cdot l_s = C$　（$P_0 = 1$）　－(4)

定数 C を与えれば，(1)～(4)より塑性モーメント $M_p(x)$ は計算されるが，図－3のような崩壊を防ぐために，支点上付近で次のような補正（これを補正函数と名付ける）を考えた。

a) 側径間　i) 等分布荷重；$M_p(X_s) = -C\cdot g_s\cdot X_s/l_s = -C\cdot g_s\cdot X_s$　－(1)′

ii)集中荷重　; $M_p(x_s) = -C \cdot x_s/l_s = -C x_s$　　-(2)′

b)中央径間　i)等分布荷重 ; $M_p(x_i) = -C \cdot g_s(1 - x_i/l_i)$　　-(3)′

ii)集中荷重　; $M_p(x_i) = -C \cdot (1 - x_i/l_i)$　　-(4)′

又(3)よりはりの全径間の塑性モーメント分布図の面積をS，全重量Wとすれば，

$$W \backsim K' \times S + C'_0 = K'(2 \times S_s + S_i) + C'_0 \quad (K', C'_0 = \text{定数}) \qquad -(5)$$

ここに，S_s；側径間の塑性モーメント分布図面積 $= \int_0^{l_s} |M_p(x_s)|\, dx_s$

S_i；中央径間の 〃 〃 〃 $= \int_0^{l_i} |M_p(x_i)|\, dx_i$

したがって，はりの全重量Wを最小にするためには(5)式を最小にするCを決定すればよい。　この(5)式を最小にするCが決定されるならば，塑性モーメントが(1)～(4)式および(1)′～(4)′式より決定される。　集中荷重載荷の場合は，このcase iの場合と同様の計算をCase IよりCase iまで行い，これらの包絡線を取って求める塑性モーメントを決定した。（図-2参照）

(6)塑性モーメントの分割　実在の構造物に合わし，次の検討を行うために図-4に示すように階段状の面積が最小になるように任意のN断面に分割した。

(7)崩壊形式の検討　階段状の分布図をもとに仮想変位の原理を応用して，崩壊形式の仮定の是非を検討した。

3. 計算および考察

1～5箇の等荷重列に対して塑性モーメントを計算した。　その結果を図-5，図-6に示す。　これらの結果より，ある荷重箇数，荷重間隔においては，これらの等荷重列は等価な1箇の集中荷重に置換しうることが解かる。　さらに，全径間長100ᵐの3径間連続ばりに鋼示9条のL荷重が載荷される場合に対して，塑性設計法により経済的スパン割を決定した。　これを図-7に示すが，これよりスパン割を1:1.2:1と決定した。　このスパン割の全径間長160ᵐの橋りように対し，図-8に示すような実在荷重を想定し，支配的荷重列を決定した。　その結果を図-9に示すが，Case Iの場合が支配的であるのが解かる。　また同図の破線はコンテナー荷重のみを1箇の荷重に置き換えたものであるが，不足分を適当な分布荷重で補うことにより，Case Iのような荷重列は鋼示9条のように，等価な線荷重および分布荷重に置換しうると考えられる。　Case Iの活荷重と $g = 2.325$ t/m の死荷重に対し，弾性および塑性モーメントの比較を行ったものが図-10である。　図より塑性設計法によった場合は，はり断面が均一化される傾向にあることが解かる。

参考文献　1)藤田，桐田，川井：塑性設計法

2)福本，伊藤：変断面はりの塑性設計に関する一考察，土木学会論文集 No.185

3) Baker; Plastic Behaviour and Design, The Steel Skeleton, Vol.2. Cambridge Univ. Press. 1965

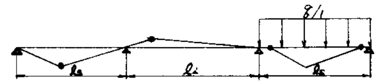


図-3

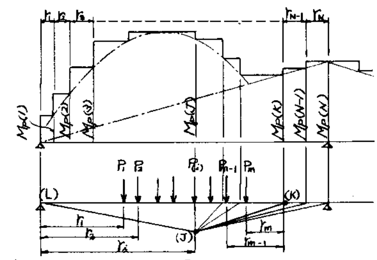


図-4

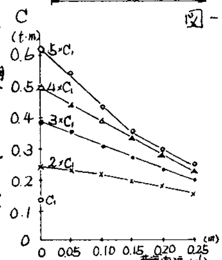


図-5

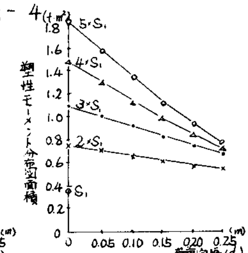


図-6

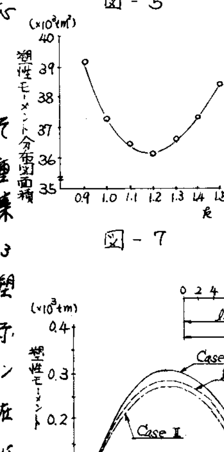


図-7

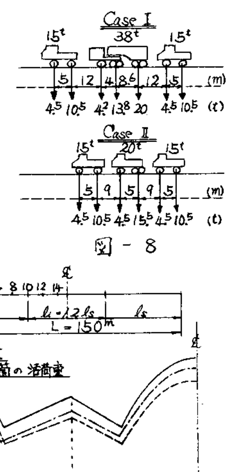


図-8

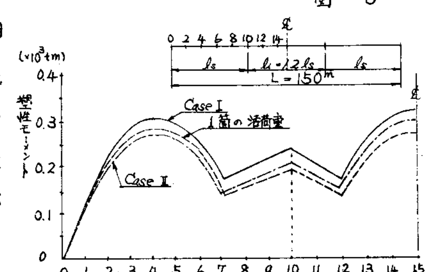


図-9

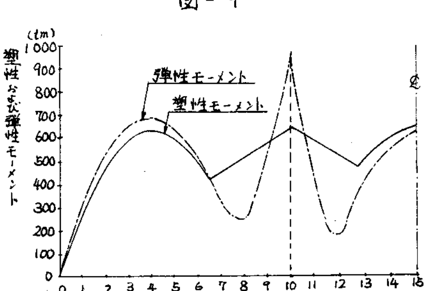


図-10