

住友金属工業(株)

正員 山川 純雄

同上

正員 ○尾西 正之

同上

正員 高瀬 幸紀

1. 緒言

鋼管矢板基礎は、継手を有する鋼管杭を円形、小判形、矩形等の形状に建込み、頭部の剛結および継手の処理を行なった基礎形式であり、基礎全体の曲げ剛性は頭部剛結および、継手処理による合成効果により、杭1本ずつの曲げ剛性が集合されたものより大きい。最近、工期短縮、省力化、立地条件等の理由により、この基礎形式が注目を浴びて来ているが、問題となっているのが、この継手の合成効果である。しかしながら、未だこの力学特性の解明はなされておらず、各方面で検討が行なわれているが、現行では、継手の合成効率を用いた簡単な式¹⁾を便宜的に用いて矢板基礎全体の曲げ剛性を評価し、設計がなされている。

ここでは、矢板式基礎の継手部に着目し、重ね矢板の曲げに対する継手の力学特性を、矢板相互間のせん断抵抗を考慮した理論式と、重ね矢板の曲げ試験結果から検討したものである。

2. 継手のせん断抵抗を考慮した重ね矢板の理論式

図1のように重ねたはりに中央集中荷重を載荷すると2つのはりの接触面間にまさつがないと仮定すると、おのおのはりは接触面ですべりを生じ、全く独立に曲げを受けるが、2つのはりの接触面が何らかの形で合成され滑動に対して抵抗する場合には、接触面にはせん断応力度 τ_{xy} が生ずる。これは n 本のはりを重ねた場合でも同じである。ここで矢板式基礎を継手部にせん断抵抗がある重ねばりとみなすと、まだ継手が滑動しない状態では、 n 本の重ねばりは完全合成ばりの挙動を呈し、重ねばり全体の曲げ剛性、 EI_T は式(1)であらわすことができる。

$$EI_T = E \left(\sum_{i=1}^n I_i + \sum_{i=1}^n A_i \cdot y_i^2 \right) \dots\dots\dots(1)$$

この場合矢板の継手間に発生するせん断応力度 τ_{xy} は矢板継手間の持つせん断強度と同等か、それより小さい。一方、曲げ荷重 P を増加していくと継手が滑動し始めるが、以後の矢板相互間のせん断応力度 τ_{xy} は継手間の持つせん断強度以上には増加しないと仮定すると、図2のごとく、 n 本の矢板を重ねたはりの任意の矢板の微小部分についての力のつり合い条件式($\sum N_i = 0$,

$\sum V_i = 0$, $\sum M_i = 0$)より

$$N_i - \tau_i \cdot b \cdot dx + \tau_{i+1} \cdot b \cdot dx - N_i - dN_i = 0$$

$$\therefore \frac{dN_i}{dx} = (\tau_{i+1} - \tau_i) \cdot b \dots\dots\dots(2)$$

$$Q_i - q \cdot dx - (Q_i + dQ_i) = 0$$

$$\therefore \frac{dQ_i}{dx} = -q \dots\dots\dots(3)$$

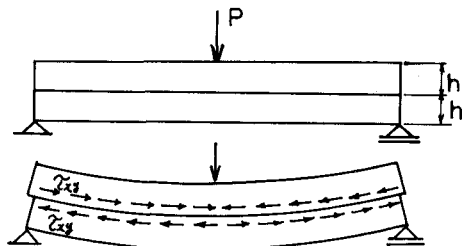


図1 重ねばりの接触面に働くせん断応力度

$$M_i - (M_i + dM_i) - (\tau_i + \tau_{i+1}) \cdot b \cdot dx \cdot \frac{d}{2} + Q_i \cdot dx - q \cdot dx \cdot \frac{dx}{2} = 0$$

ここで、 $q(dx^2/2)$ は高次の微小量であるので無視できるとすれば、

$$\therefore \frac{dM_i}{dx} = Q_i - (\tau_i + \tau_{i+1}) \cdot \frac{b \cdot d}{2} \dots\dots\dots(4)$$

以上の3式(2),(3),(4)が得られる。ただし、 b は矢板の継手のせん断抵抗幅、 d は矢板1本の断面高さである。ここでは、たわみと軸力による曲げモーメント増分は微小で無視しうるものとした。

次に、この i 番目の矢板 1 本を取り出して、その全長について、図 3 のように中央集中荷重の単純ばりの曲げについて考える。ここでは、(1) n 本の矢板には等しく曲げ荷重が作用する、すなわち、 i 番目の矢板には P/n の荷重が作用する ($Q_i = P/2n$)、(2) 中間分布荷重はない ($q=0$)、ものと仮定して、式 (4) を積分すると、

$$\begin{aligned} M_{ix} &= \int_0^x \left(-\frac{dM_i}{dx} \right) dx \\ &= Q_i x - (\tau_i + \tau_{i+1}) \frac{bd}{2} \cdot x \\ &= \frac{Px}{2n} \left\{ 1 - \frac{nbd}{p} (\tau_i + \tau_{i+1}) \right\} \dots\dots\dots (a) \end{aligned}$$

また、基礎微分方程式は

$$\frac{d^2y}{dx^2} = -\frac{M_i}{EI_i} \dots\dots\dots (b)$$

となる。ここで式 (a) を式 (b) に代入積分し、

境界条件

$$\left(-\frac{dy}{dx} \right)_{x=\ell/2} = 0, \quad (y_i)_{x=\ell/2} = 0$$

を考慮すると結局、任意点の曲げモーメント、軸力、たわみは次式で与えられる。

$$M_{ix} = \frac{px}{2n} \left\{ 1 - \frac{nbd(\tau_i + \tau_{i+1})}{p} \right\} \dots\dots\dots (5)$$

$$N_{ix} = (\tau_{i+1} - \tau_i) bx \dots\dots\dots (6)$$

$$\begin{aligned} y_{ix} &= \frac{p}{12nEI_i} x^3 - \frac{(\tau_i + \tau_{i+1})}{EI_i} bd \left\{ \frac{x^3}{12} \right. \\ &\quad \left. - \frac{\ell^2 x}{16} \right\} - \frac{p\ell^2 x}{16nEI_i} \dots\dots\dots (7) \end{aligned}$$

以上の式 (5)、(6)、(7) が重ね矢板に対する継手のせん断抵抗を考慮した解式である。これより支間、 $x = \ell/2$ の曲げモーメント、軸力、たわみは以下のとおりである。

$$(M_{ix})_{x=\ell/2} = \frac{p\ell}{4n} \left\{ 1 - \frac{nbd}{p} (\tau_i + \tau_{i+1}) \right\} \dots\dots\dots (8)$$

$$(N_{ix})_{x=\ell/2} = \frac{1}{2} (\tau_{i+1} - \tau_i) b \ell \dots\dots\dots (9)$$

$$(y_{ix})_{x=\ell/2} = \frac{p\ell^3}{48nEI_i} \left\{ 1 - \frac{nbd(\tau_i + \tau_{i+1})}{p} \right\} \dots\dots\dots (10)$$

式 (8) (10) における右辺 { } 内第 1 項は、矢板の継手がせん断抵抗を持たない、いわゆる独立した重ねばりの場合の曲げモーメントおよびたわみである。第 2 項は矢板継手間のせん断抵抗 (まさつ抵抗) による断面の曲げモーメントおよびたわみの減少量であり、これが継手の合成効果と言える。また式 (9) で与えられる軸力が発生するが、この軸力は n 本の矢板のうち上下両端の矢板では τ_i または τ_{i+1} が 0 となるため大きくなる。次に継手が滑動し始める限界荷重、 P_0 、は完全合成ばりと考えた任意の継手位置における公称せん断応力、 τ_i 、が継手のせん断強度、 τ_{cr} 、に等しいという条件、 $\tau_i = \tau_{cr}$ 、より求められる。すなわち、単純曲げ理論におけるせん断応力は、

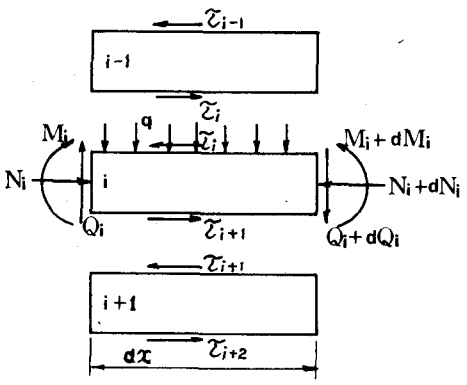


図 2 矢板要素の力のつり合い

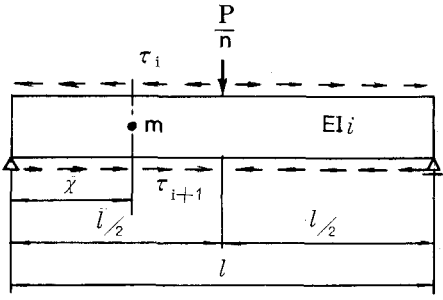


図 3 曲げを受ける i 番目の矢板

$$\tau_i = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i \cdot S_i}{I_T \cdot b} \dots\dots\dots (11)$$

ここに

$$Q_i = \frac{P_o}{2n} \dots\dots\dots (12)$$

$$S_i = \sum_{n=1}^i A_i \cdot y_i \dots\dots\dots (13)$$

S_i : 考えている継手より外側にある部分の中立軸に対する断面一次モーメント。

より、限界荷重、 P_o 、は次式で与えられる。

$$P_o = \frac{2 \tau_{cr} I_T b}{S_i} \dots\dots\dots (14)$$

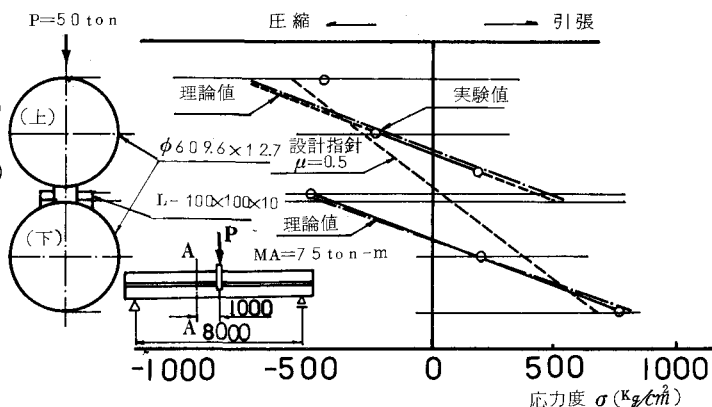


図4 L形継手の応力分布図(断面A-A)

なお継手の直接せん断試験によれば、継手のせん断強度 τ_{cr} の値は $3 \sim 5 \text{ Kg/cm}^2$ の範囲にある。

3. 曲げ試験結果

図4は曲げ試験による応力分布をあらわしたものであるが $P=50$ トンでは継手が滑動した後の応力分布を示している。上側のはりについては、圧縮縁の応力が、引張縁(継手部)よりも大きく、これは式(6)または(9)で与えられる軸力 N_i による圧縮応力が重畳される結果である。他方、下側のはりについては、引張軸力による引張応力成分の重畳により、引張側の応力が圧縮側よりも大きくなっている。また、はりの曲げひずみが同一断面内では直線分布を示すと仮定すると、上下のはりが分担している曲げモーメントはそれぞれの縁応力度から換算できるが、縁応力度から求めた上下のはり各々の曲げモーメントの和は、外力 P によって発生している曲げモーメントよりも小さい。これは式(5)または(8)で与えられた曲げモーメントの式における継手のせん断応力によって、逆向きのモーメントが発生するためと言える。図中参考のため、現行設計方法での継手効率 $\mu=0.5$ の場合の計算値および今回ここに誘導した理論値を示す。次に図5は中央点の荷重とたわみの関係を示すが、図中、実験値の他に完全合成($\mu=1$)の場合、現行設計方法の場合($\mu=0.5$)、重ねばりの場合($\mu=0$)、理論値と荷重の関係を示した。これより重ね矢板のたわみは、継手が滑動するまでは完全合成に近い挙動を示し、以後のたわみは継手の処理をしていない重ねばりのたわみ曲線とほぼ平行になり、継手の処理をしていない重ね矢板のたわみよりも小さい。これは継手滑動後のまさつ抵抗の効果と考えられる。

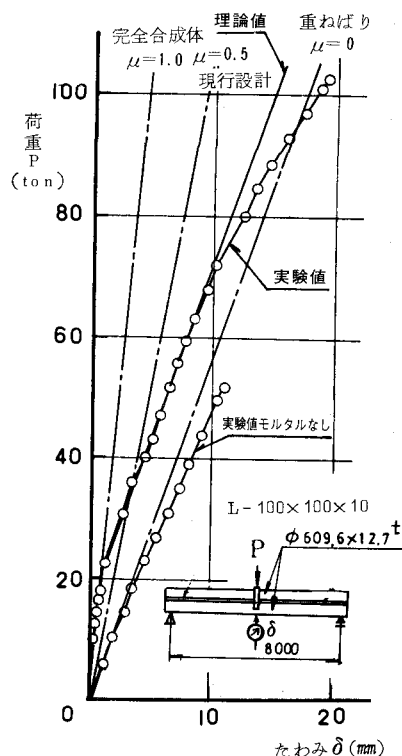


図5 荷重たわみ曲線(L形継手)

4. むすび

ここでは直線的に重ねられた矢板について、その継手の効果を理論と実際の両面から検討し、よく一致することを示した。しかし矢板が円形、小判形、矩形等に配列された場合の基礎の形状の影響は今後の課題である。

参考文献 1) 矢板式基礎研究委員会 矢板式基礎の設計と施工指針 昭和47年1月