

住友金属 正員 山川純雄

住友金属 正員 ○後藤芳顕

1 まえがき

水平鋼管矢板構造は既設鉄道および道路下に地下道などを掘削する場合矢板を水平に用い、上載荷重を支持するものであるが、ここでは本構造について継手による横方向荷重分配作用を考慮した設計をおこなうための基礎的考察をおこなった。矢板両端を単純支持、ねじり固定としたパイプビーム構造を対象に、まずその支配パラメーターの影響について検討し、これをもとに荷重分担率表を用いた簡易計算法を示した。さらに本構造を鉄道線路下に用いた場合の走行列車荷重による動的増幅についても解析をおこなった。

2. 基礎式と支配パラメーター

鋼管矢板を弾性基礎上のはりとし、これが継手をモデル化した分布ばねを介して長さ方向に連結されていると考え、図-1に示すような座標系および各成分を用いて支配方程式¹⁾を表わす。つぎに両端境界条件を考慮し、変位、応力、荷重成分を $\sin$ 級数に展開すると各 $\sin \frac{k\pi z}{\ell}$ に対応した階差方程式が分離される。これから変位成分を消去し継手作用力成分で支配方程式を表わせば k 項に対して次式のようになる。

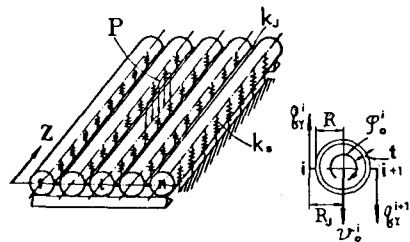


図-1 解析モデルと各成分

$$(1 - \frac{Cvk}{C\phi k}) \cdot q_{Yk}^{i+1} - 2 \cdot (1 + \frac{Cvk}{C\phi k} + \frac{Cvk}{2 \cdot KJ}) \cdot q_{Yk}^i + (1 - \frac{Cvk}{C\phi k}) \cdot q_{Yk}^{i-1} = -(Pk^i - Pk^{i-1}) \dots\dots\dots (1)$$

$$Cvk = EI \cdot (\frac{k\pi}{\ell})^4 + Ks, \quad C\phi k = GJ \cdot (\frac{k\pi}{\ell})^2 / R_J^2 \dots\dots\dots (2. a-b)$$

式(1)は二階の階差式であるので容易に解が得られる。 n 本矢板より成る構造の m 番目矢板に単位荷重が作用したとき、式(1)からわかるように $\frac{Ks}{KI \cdot (\frac{k\pi}{\ell})^4} \ll 1$, $\frac{t}{R} \ll 1$, $R \div R_J$ を考慮すれば支配パラメーターは次のようになる。

$$\frac{k \cdot R}{\ell}, \frac{KJ}{E} \cdot \frac{R}{t}, n, m, i \dots\dots\dots (3. a-e)$$

3. 変形特性と解析上の問題点

式(1)の解はパラメーター $\frac{k \cdot R}{\ell}$ により表-1に示すような三種類の变形様式に分類される。これは $\sin$ 級数で表わした各項に対応しているため実構造ではこのように明確な分類はできないが、荷重は $k=1$ 項が支配的で、構造としては $\frac{\ell}{R} > \pi \sqrt{1+\nu}$ であることから、变形様式は④のみであるといえる。理論解析では級数展開し重ね合わせの手法を採用しているため、各变形様式を扱うことになる。とくに⑥の様式は載荷矢板、隣接矢板以外は荷重に対し全く応答せず、始点入力による終点応答を利用して解く還元法¹⁾等の初期値問題的手法では解析不能となる。数値計算では⑥の近傍でも精度が劣化するため対策を要する。

表-1 変形様式

① $\frac{k \cdot R}{\ell} < \pi \sqrt{1+\nu}$	② $\frac{k \cdot R}{\ell} = \pi \sqrt{1+\nu}$	③ $\frac{k \cdot R}{\ell} > \pi \sqrt{1+\nu}$

(ν : ポアソン比)

みであるといえる。理論解析では級数展開し重ね合わせの手法を採用しているため、各变形様式を扱うことになる。とくに⑥の様式は載荷矢板、隣接矢板以外は荷重に対し全く応答せず、始点入力による終点応答を利用して解く還元法¹⁾等の初期値問題的手法では解析不能となる。数値計算では⑥の近傍でも精度が劣化するため対策を要する。

4. 継手の必要剛性

継手の必要剛性がどの程度であるかということのパラメーター $\frac{KJ \cdot R}{E \cdot t}$ を指標として検討する。図-2のように $\frac{KJ \cdot R}{E \cdot t}$ の増加に従い載荷矢板の分担率²⁾ η は減少し、ある値以上になれば η は継手を剛と考えた場合とほぼ同じ分担率となる。このような状態とみなせる最小剛性をもって必要剛性の下限とするのが合理的である。ここでは減少率も参考として η_R を継手完全剛のときの分担率として $\frac{\eta - \eta_R}{\eta_R} \leq 0.1$ を満足するものを必要剛

性とした。 $\sin$ 級数展開された荷重の二項目以降を省略したものに対して、図-3のように $\frac{L}{R}, \frac{KJ}{E} \cdot \frac{R}{t}$ を両軸に選び、施工可能性のある本数内で10本おきに矢板数を変化させ、また分担率の両極端ということで、端部および中央矢板に載荷した場合の最小必要剛性をプロットしてみた。これから最小必要剛性は上記パラメーターに関してほぼ一本の線で表わされ、 n, m にはほとんど影響されないことがわかる。

5. 荷重分担率表と簡易計算法

単一荷重による各矢板荷重分担率をあらかじめ種々のケースについて計算しておき、各支配パラメーターに関して整理し表を作成する。整理パラメーターとしては継手が必要剛性以上と考え、 $\frac{KJ}{E} \cdot \frac{R}{t}$ を除き、荷重を $\sin$ 級数第一項で近似すると最終的にはつぎのものになる。

$$L/R, m, n, i \cdots \cdots (4. a-d)$$

これらのパラメーターに関して、実構造の規模などを考えてまとめるが、その一例を表-2に示す。この表を用いれば、単一矢板に関する応力、変位を計算し分担率を乗ずるだけで、横方向荷重分配を考慮した計算が可能となる。

6. 走行列車荷重に対する動的応答解析

走行列車荷重を表-3に示す二自由度振動系が連行するものと考えてモデル化すると、支配方程式は次のようになる。

●矢板の運動方程式

$$-EI \cdot \frac{\partial^4 V_i}{\partial x^4} = q_y^i - q_y^{i+1} + K_1^i \cdot V_i^i - f^i + \rho A^i \cdot \frac{\partial^2 V_i^i}{\partial t^2} + C_1^i \cdot \frac{\partial V_i^i}{\partial t} \cdots \cdots (5)$$

$$-GJ \cdot \frac{\partial^2 \theta_i^i}{\partial x^2} = (q_y^i + q_y^{i+1}) \cdot R_j^i - \rho J^i \cdot \frac{\partial^2 \theta_i^i}{\partial t^2} - C_2^i \cdot \frac{\partial \theta_i^i}{\partial t} \cdots \cdots (6)$$

$$q_y^i = K_J (V_i^i - V_{i-1}^{i-1} - R_J \cdot (\theta_i^i + \theta_{i-1}^{i-1})) \cdots \cdots (7)$$

●走行列車の運動方程式

$$\rho c A c \cdot \ddot{D}_0 + 2 C c \cdot (\dot{D}_0 - \frac{\dot{D}_1 + \dot{D}_2}{2}) + 2 K c \cdot (D_0 - \frac{D_1 + D_2}{2}) = 0 \cdots \cdots (8)$$

$$\rho c J c \cdot \ddot{\theta}_0 + 2 C c \cdot \ell c^2 (\dot{\theta}_0 - \frac{\dot{D}_1 - \dot{D}_2}{2 \ell c}) + 2 K c \cdot \ell c^2 (\theta_0 - \frac{D_1 - D_2}{2 \ell c}) = 0 \cdots \cdots (9)$$

●列車輪重

$$f_1 = \frac{1}{2} (\rho c A c \cdot \ddot{D}_0 - \rho c A c \cdot \ddot{D}_0 - \frac{\rho c J c}{\ell c} \cdot \ddot{\theta}_0) \cdots 0, f_2 = \frac{1}{2} (\rho c A c \cdot \ddot{D}_0 - \rho c A c \cdot \ddot{D}_0 + \frac{\rho c J c}{\ell c} \cdot \ddot{\theta}_0) \cdots 0$$

本構造は時間ごとに振動系が変化するため通常の直接積分法を用いたのでは膨大な計算となる。ここではまず矢板構造のみモーダルアナリシスにより寄与率の少い高次モードを無視し、つぎに移動振動系を付加して全体の解析は直接積分法によった。例として通常の規模である矢板連結長約6m、スパン長1.5mの構造に、矢板1000φ×12tを使用した場合について計算し、6番矢板スパン中央の応答変位を図-4に示した。

なおここでは列車荷重として表-3に示すものが矢板スパン中央を5両連行するものとし、変位に関する初期値はすべて零とした。また減衰定数は矢板構造の全モードについて0.03とし7次まで考慮した。

7. 参考文献

- 1) 山川, 尾西, 後藤: 第32回年次講演会概要集 I - 56
- 2) 日下部, 斎藤, 高瀬: " I - 57

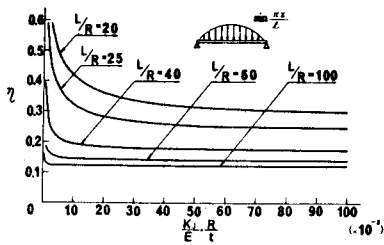


図-2 継手剛性と荷重分担率

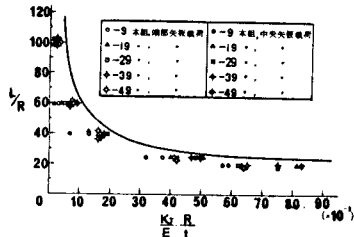


図-3 継手の最小必要剛性

表-2 荷重分担率表

***** N=20 N=10 *****									
L/R 10 20 3 70 80 90 100									
NO.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	.001	.012	.025	.044	.045	.046	.047		
2	.001	.014	.027	.045	.046	.047	.047		
3	.002	.017	.030	.045	.047	.047	.048		
4	.005	.023	.034	.047	.048	.048	.049		
5	.010	.031	.041	.049	.049	.049	.050		
6	.020	.044	.050	.051	.051	.051	.051		
7	.043	.063	.062	.054	.053	.053	.052		
8	.092	.090	.078	.058	.056	.055	.054		
9	.194	.129	.098	.062	.059	.057	.056		
10	.264	.152	.109	.064	.061	.059	.057		
11	.194	.129	.097	.062	.059	.057	.056		
12	.092	.090	.077	.057	.056	.054	.054		
13	.043	.053	.061	.053	.053	.052	.052		
14	.020	.044	.049	.050	.050	.050	.050		
15	.010	.051	.047	.047	.048	.048	.049		
16	.005	.022	.03	.045	.046	.047	.047		
17	.002	.015	.02	.043	.045	.046	.046		
18	.001	.012	.02	.042	.044	.045	.045		
19	.001	.010	.02	.041	.043	.044	.045		
20	.000	.008	.02	.041	.043	.044	.045		

表-3 列車荷重

$\rho c g (\%)$	$A c (cm)$	$J c (cm^4)$	$\ell c (cm)$
3 5.7	1400	2.30×10^8	700
$\ell_0 (cm)$	$K c (kg/cm)$	減衰定数	$Ve (km/hr)$
200	680	0.06	90

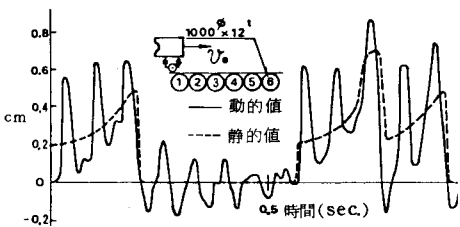


図-4 6番矢板スパン中央応答変位