

## ザイルネット構造の冷却塔への応用

“Die Anwendung von Seilnetzkonstruktion”  
zum Bau von Kühltürmen”

Jasch, E.

Der Bauingenieur, Vol. 49, No. 11, pp. 421~429  
November (1974)

### 1. 概 説

発電所の冷却には従来水が用いられてきた。しかし温排水による水温上昇や水汚染は生態系を損なう。のみならず電力需要の急増により冷却水の確保すら困難となりつつある現在、大規模の閉鎖式（乾式）冷却塔はきわめて重要なものとなっている。この方式では、冷却水は閉じた管路を循環し、外界との熱交換はその表面を通じて行われるため、水の消耗や環境破壊は少ないが、熱交換力が弱いので大型化が必要である。大型化はザイルネット構造の採用により可能となり割安となる。

### 2. ザイルネットの形式

ザイルネットの剛性は、主にザイルの曲率と初期張力それにザイルの断面剛性によって定まる。ザイルの曲率は荷重を有効に軸力に転換する鍵である。塔の中間部を絞って回転双曲面もしくは回転放物面とすることによって荷重の転換を有利にするとともに十分な初期張力を与えることができる。ネットの構成にはいくつかの案があるが、ザイルの規格の統一による製作・施工の便などを考慮して、水平面内（円）および鉛直面内（双曲線もしくは放物線）の曲線から構成することとした。表面の形成方法として、初期には、柔基礎上に膜を張り風力に耐えるに十分な張力を与えることが考えられていたが、フラッター振動を防ぐために要する膜の張力は非常に大きくなる。この制約はクリープによってさらに厳しくなるので、この方法は採用できない。また膜の耐久性も問題である。もう一つの方法は剛な板を用いるものである。この場合ネットに無理が生じないようにするため、屋根瓦と類似な構造で吊下げるよう

にする。重量と腐食の条件からアルミ板が採用された。空気の取入口のためには特別な構造は不要で、外板を外しておくだけでよい。

### 3. 構造解析

これは種々の荷重に対するザイルネットの解析および支柱・支圧リング・輻索・懸吊索など主要構造を結合した全体系の解析から成る。計算はすべて静的解析によった。荷重をザイル方向に分解し、まずネットの変形を無視して軸力を求める。次にこれを主構造系に加えて応力および変位を求める。以下この手順を繰り返す。主構造系の解析は、系の軸対称性を利用して中心軸を含む鉛直断面内で行った。その際支圧リングを水平面内で剛とみなすなどいくつかのモデル化を行った。断面力と変位は、通常の不静定解析（主に相反定理）によって求めた。

主荷重としては風荷重と初期張力を考慮し、温度条件は  $10^{\circ}\pm 20^{\circ}\text{C}$  を想定した。風荷重は DIN の規定による計算および風洞実験による静的解析によって定めるとともに、非対称な載荷の場合および突風についても検討を加えた。解析は初項 4 項までを用いるモード解析によった。

### 4. 施 工

支柱は水圧ジャッキで逐次持ち上げられる。比較的小規模な塔の場合には、支圧リングやザイルネットも並行して施工され、支柱の伸長につれて持ち上げられる。支柱が立ち上がった後でザイルを定着する。大型

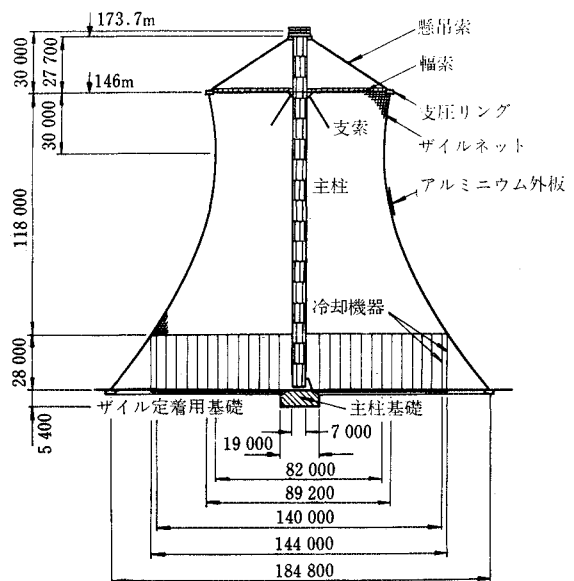


図-1

の塔では全体の重量が大きいので、まず主柱を立てた後で、その頂上から支圧リングやザイルネットを引き上げる方法をとらなければならない。

最近 Bochum において西ドイツ最大の高さ 146 m のザイルネット製冷却塔が建設されている。

(東京紡道：(株)長大橋設計センター)

### 地上オイルパイプラインの地震応答

“Seismic Behavior of Above-Ground Oil Pipelines”

Anderson, J.C., and Johnston, S.B.

Earthquake Engineering and Structural Dynamics

Vol. 3, pp. 319~336 (1975)

原油パイプラインは通常安全性等の理由から地中に建設されることが多いが、場合によっては地震地帯であっても図-1に示すように地上に作らざるをえないときもある。このようなとき、支点では熱によるパイプの伸縮を許すと同時に地震による慣性力に抵抗することが要求されるが、そのためにはパイプをジグザクに配置する一方、中間支承をスライド式にしてここで非線形摩擦力を利用する方法が有望である。本論文では、この非線形摩擦力がパイプの応力に静的・動的に及ぼす影響について論じ、他のパラメータの影響についても検討した。

解析は下記の条件に基づいて荷重増分法で行った。

(1) 系の質量は節点での集中質量に置換する。各質点は3自由度である。

(2) パイプの支承は図-2(a)で示されるような復元力特性をもち、すべり摩擦力以上の力が作用するとパイプと支承は相対的に移動する。

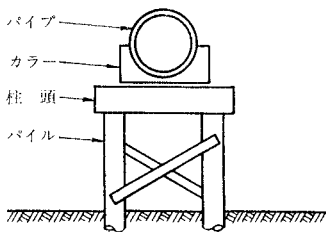


図-1 杭支承

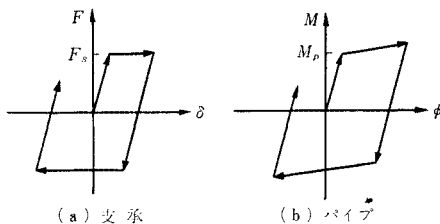


図-2 復元力特性

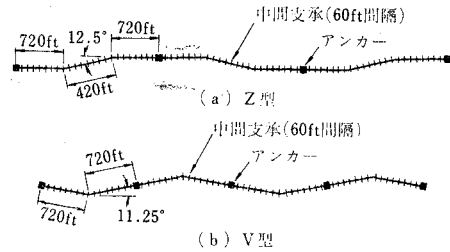


図-3 パイプラインの形状

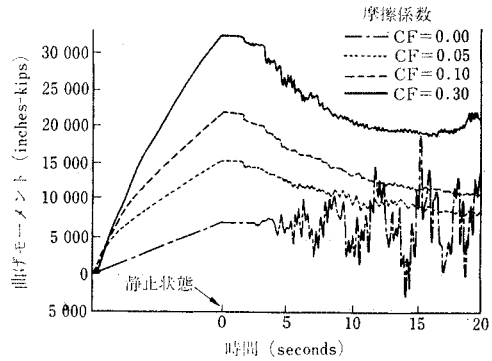


図-4 屈曲部の曲げモーメントに及ぼす摩擦の影響 ((B-1, Z型))

(3) パイプ自体も図-2(b)のようなバイリニアな特性をもつとし、その非弾性挙動は塑性ヒンジで代表させる。塑性ヒンジは作用モーメントが Tresca の降伏条件に従って決定した塑性モーメントを越えた場合に生じるものとした。

静的つり合い方程式は増分形式で次のように表わされる。

$$[K_i]\{du_i\} = \{F_i\} - \{R_i\}$$

ここに、 $[K_i]$  は剛性マトリックスでパイプの剛性マトリックスと支承の剛性マトリックスから成り、 $\{du_i\}$  は変位ベクトルの増分、 $\{F_i\}$  は荷重ベクトル、 $\{R_i\} = \sum_{r=0}^{i-1} [K_r]\{du_r\}$  である。

動的問題に対しては、減衰マトリックスが質量マトリックスと剛性マトリックスの線形結合で表わされるとすれば次式が成り立つ。

$$[M]\{\ddot{u}_i\} + \alpha[M]\{\dot{u}_i\} + \beta[K_i]\{du_i\} + [K_i]\{du_i\} = \{P_i\} - \{R_i\} - \{D_i\} + \{F_i\}$$

ここに、 $[M]$  は質量マトリックス、 $\alpha, \beta$  はスカラー、 $\{P_i\} = [K_s]\{r_g\}$ 、 $\{D_i\} = \beta \sum_{r=\lambda}^{i-1} [K_r]\{du_r\}$ 、 $[K_s]$  は支承の剛性マトリックス、 $\{r_g\}$  は地盤の変位ベクトル、 $\lambda$  は静的荷重増分の回数である。この方程式は微小時間増分に対して加速度一定として逐次積分法で解かれた。

対象としては主に 図-3 (a) のような Z 型を中心としたが、比較のため V 型についても解析した。ただし上式において  $\alpha=\beta=0$  としてエネルギーの散逸は摩擦力と塑性変形だけによるものとした。他の諸定数を以下に示す。

パイプの直径：48 in，肉厚：0.462 in，降伏強度：60 ksi，中間支承のばねの強さ：100 kips/in，アンカ一部のばねの強さ：200 kips/in

また静的な稼動中の状態については 2 ケース，入力地震波については 1940 年 El Centro (N-S 成分) と Jennings の人工地震 (B-1) の 2 ケース，地震波速度 (パイプライン方向) は 1 000 ft/sec，3 000 ft/sec， $\infty$  ft/sec の 3 ケースで，加速の方向もパイプラインの方向に一致させて解析した。

解析結果から次のことが明らかになった。

- 1) 形状の違いによる応答の差は少ない。
- 2) 図-4 は屈曲部での曲げモーメントの変動を示したのだが，稼動状態における静的曲げモーメントについては摩擦係数が大きいほど大きくなっており，摩擦係数がこれに大きな効果を与えることが理解できる。なおこの状態でもパイプは弾性範囲内にあった。一方，動的挙動については，摩擦化を考慮すると地震力の作用で稼動状態での曲げモーメントがかなり低下している。また曲げモーメントの応答振幅は，摩擦力を少しでも考慮すると著しく小さくなるのが分かる。
- 3) 地震波速度の違いについては，同位相で入力すると最終の応答変位が若干大き目になるが，実用上それほどの影響を及ぼさない。
- 4) 初期温度差，内圧等による静的稼動状態での応力状態を変化させても，動的応答の性状には明白な変化はみられない。
- 5) 特性の違った地震波を入力させても摩擦力の存在する場合は有意な差が現われない。

(森光康夫：鹿島建設 (株) 技術研究所)

### 粗斜面上における波のエネルギー逸散

"Energy Dissipation on a Rough Slope"

Madsen, O.S. and White, M.

Proc. of A.S.C.E.,

Vol. 102, No. WW 1,

pp. 31~47, February (1976)

本論文は，不浸透性の粗な斜面における波のエネルギー逸散を扱ったものである。ここでは微小振幅の長波を仮定し，また波は砕波しないものとする。すると 図-1 のような問題に対して，一定水深の領域 ( $x >$

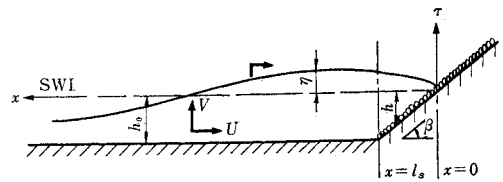


図-1

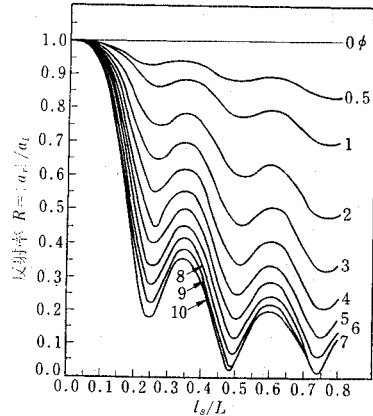


図-2 粗な斜面に対する反射率の予測

$l_s$ ) と水深の変化する領域 ( $x < l_s$ ) のそれぞれについて，次の 2 組の基礎方程式が得られる。

$$\begin{aligned} \partial \eta / \partial t + \partial h_0 U / \partial x &= 0, \\ \partial U / \partial t + g \eta / \partial x &= 0 \quad (x > l_s) \dots \dots \dots (1) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \partial \eta / \partial t + \partial h U / \partial x &= 0, \\ \partial U / \partial t + g \eta / \partial x + f_{sw} U &= 0 \quad (x < l_s) \dots \dots \dots (2) \end{aligned}$$

ここで式 (2) の後式の左辺第 3 項は斜面の摩擦による影響を表わす項であり，次のように求まる。斜面のせん断応力を  $\tau_b$  とすれば， $f_w$  を摩擦係数とし，次のように仮定する。

$$\tau_b = 1/2 \cdot \rho f_w |U| U \dots \dots \dots (3)$$

上式を線形化して，

$$(1/2 \cdot f_w |U| / h) \cdot U = f_{sw} U \dots \dots \dots (4)$$

等価粗度係数  $f_s$  を定めるには，Lorentz の等価仕事の原理  $\overline{\tau_b U} = f_s \rho \omega h \overline{U^2}$  より，

$$f_s = (f_w |A| / h_0 \tan \beta) \cdot F_s \dots \dots \dots (5)$$

式 (1)，(2) を，波が  $\omega = 2\pi/T$  の周期運動すると仮定して解き， $x = l_s$  においての波高および速度の連続性の条件を用いることにより  $f_s$  が陰に解かれる。なお， $f_s$  は常に  $\sqrt{1 - i f_s}$  の形で表われるので， $f_s$  の代りに，摩擦角  $\phi$  を式 (6) のように定義できる。

$$\tan 2\phi = f_s \dots \dots \dots (6)$$

この結果，図-2 のように反射率  $R$  が求まり，同様に，はいり高  $R_u (= |A|/2 a_i)$ ，摩擦定数  $F_s$  と  $l_s/L$ ， $\phi$  との関係が，それぞれ求まる。したがって

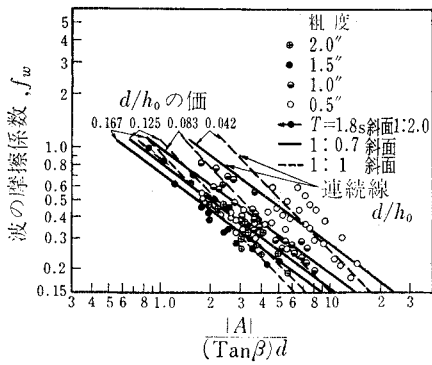


図-3 波の摩擦係数  $f_w$  の関係

$f_w$  が与えられれば、 $R_u-\phi$ 、 $F_s-\phi$  の関係より  $\phi$  が定まり、反射率が 図-2 より求まることになる。

また実験により反射率を求め、図-2 より  $\phi$  を決定すれば、 $|A|$ 、 $F_s$  が決定され  $f_w$  が求まる。また、 $f_w$  は次のような無次元量の関数として表わせるものと思われる。

$$f_w = f_w(d \tan \beta / |A|, d/h_0) \dots\dots\dots(7)$$

この関係により、実験値を整理したものが 図-3 である。図-3 より得られた  $f_w$  の実験式をもとにして粗な斜面に対する反射率の予測が与えられる。

(遠竹明弘：東京工業大学土木工学科)

### 車輪とレールの衝突による衝撃音の発生

“Impact Noise Generation by Wheel and Rail Discontinuities”

V'er, I.L., Ventres, C.S. and Myles, M.M.  
Inter-Noise 75, Vol. 27, No. 29, pp. 77~84,  
August (1975)

鉄道による騒音レベルはレールと車輪の接触面の不連続点(継目, ポイント, 車輪のフラット)で発生する衝撃音によって決まる。本論文では、車輪とレールの機構の構造・運動学・動力学から衝撃音の発生を決める主な変数を明らかにする分析モデルを考え、そのモデルを検証するために模型・実物実験および車輪落下実験を行った。

模型実験(1/8モデル)では、車輪の中心から11.5 cmのところまで音を測定し、オシロスコープに表わした。その結果、段差をもったレール継目でのピーク衝撃音圧レベルと速度の関係は、ステップ・アップした継目では、速度が10倍になると音圧レベルは20 dB増加する直線的な関係であるが、ステップ・ダウンした継目では、ある限界速度(このモデルでは50 in/sec)以上になると音圧レベルは一定となることがわかった

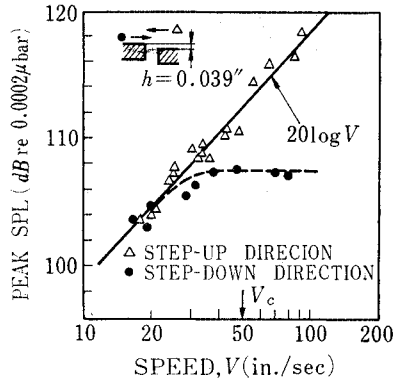


図-1

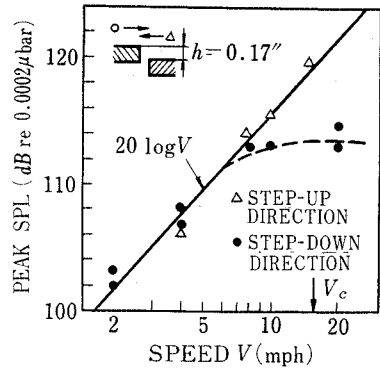


図-2

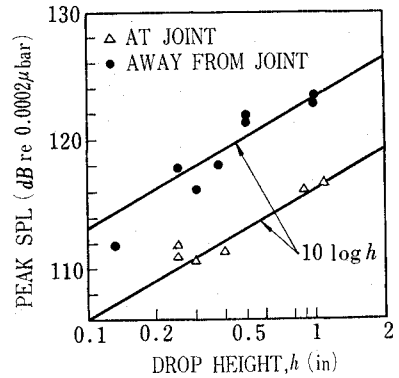


図-3

(図-1)。

実物実験では、模型と同様に車輪中心線より1 mのところまで衝撃音を測定した。結果は模型実験で得たものとほぼ同じものであり、また、この場合の限界速度は15.5 mph(約25 km/h)であった(図-2)。

車輪落下試験は回転音を除いて車輪とレールの衝撃音の発生を調べるため、継目付近とレール中点の2か所で行った。その結果、ピーク衝撃音圧レベルは落下高さの関数で、衝突直前の速度が落下の高さの平方

根に比例しているので、音圧レベルは落下高さが10倍になると10dB増加することが確認された(図-3)。

これらの実験結果より次のことが結論として得られた。

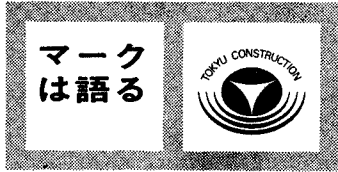
- 1) レール継目の段差はピーク衝撃音圧レベルにとって重要な因子である。
- 2) 限界速度以下では衝撃音は列車速度とともに増加する。

3) 限界速度以上では、ステップ・アップ方向では、衝撃音は列車速度の増加とともに大きくなるが、ステップ・ダウン方向では一定となる。

4) 衝撃音の発生に関しては、車輪のフラットはフラット高さに等しい段差をもつステップ・ダウンのレール継目と同じ影響を与える。

5) 車輪・レールの不連続点でできる衝撃音の大きさ・スペクトルは車輪の落下試験から予想される。

(菅野光洋：国鉄東京第一工務局土木課)



### 東急建設株式会社

昭和47年に、ポスト車輪、大きく脱皮する東急グループとして、平がな「とうきゅう」の構想を打ち出し、東急

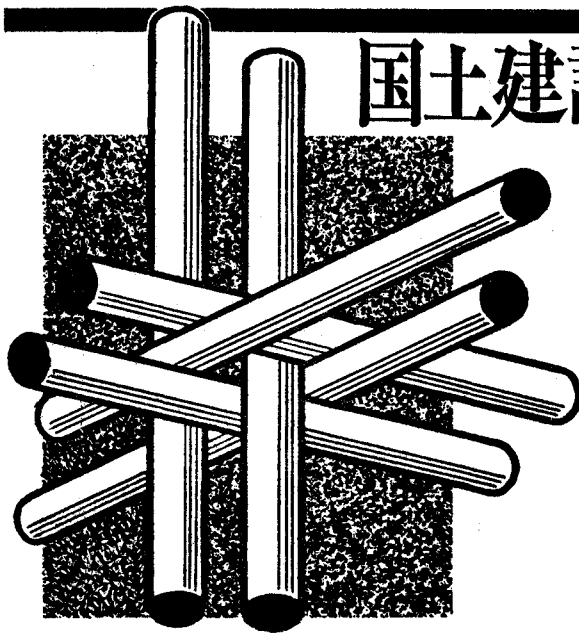
創立50周年記念事業の一つとして、東急グループ各社の社紋を統一することになり、昭和48年5月1日に新社紋として制定した。

全体が楕円をなしているのは、グローバル(世界的)な企業集団を目指す東急グループの意をこめて地球を表現したもので、白抜部は、TOKYUの頭文字「T」を図案化したものである。楕円とそれを支える三本の弓状の弧によって東急グループの4事業部門(開発、交通、流通、健康産業)を表わしている。楕円部

は、当社とそれを含む事業部門、弧の部は、それを支え、ともに伸びる他の3事業部門、弧が外側に向って広がっているさまは、限りない成長、拡大、発展を表わしている。また東急グループの各社を示す社名は楕円の上部に英文字で示される。当社の使用カラーは、緑色を使用している。

このマークは、社員章、名刺、その他当社の出版物などに使用している。

(高橋泰文・記)



# 国土建設はこのブレンで!

- コンクリートAE剤 **ヴィンソル**
- 型枠剥離剤 **パラット**
- コンクリート養生剤 **サンテックス**
- コンクリート減水剤 **マジマン**
- 強力接着剤 **エポロン**
- 白アリ用防衛防蟻剤 **アリリン**
- 止水板 **ポリピン**



## 山宗化学株式会社

本社 東京都中央区八丁堀2-25-5 電話(552)1261代  
 大阪営業所 大阪市西区江戸堀2-4-7 電話(443)3831代  
 福岡出張所 福岡市中央区白金2-13-2 電話(521)0931代

高松出張所 高松市錦町1-6-12 電話(51) 2127  
 広島出張所 広島市舟入幸町3-8 電話(91) 1560  
 和歌山出張所 和歌山市舟大工町30 電話(31) 7520  
 静岡出張所 静岡市春日町2-15 電話(54) 4824  
 富山出張所 富山市稲荷元町1-11-8 電話(31) 2511  
 仙台出張所 仙台市原町1-2-30 電話(56) 1918  
 札幌出張所 札幌市中央区北2条東1丁目 電話(261) 0511