

アンカー・チェーンに働く力に関する研究(第2報)

大阪市立大学 工学部 正会員 永井 荘七郎
同 上 “ 倉田 克孝
大阪市 “ “ 伊藤 忠

一様流中でのアンカー・チェーンの形状およびチェーンの上、下端に働く張力に関しておこなった理論計算の結果と実験の結果とを比較検討した。

(計算式)

図-1 に示すように流速 U なる流れの中において釣合状態にあるアンカー・チェーンの形状、長さおよびチェーンの上、下端に働く張力を理論的に解析する場合に次のような仮定を設ける。

- (1) アンカー・チェーンは曲げ要素を受けない、またその伸びを考慮しない。
- (2) アンカー・チェーンの力学釣合状態は 1 平面 (2 次元) 内で表える。
- (3) 流れは流速 U なる水平な一様流である。
- (4) アンカー・チェーンの水底に種たわる部分は考えず、原点 O をチェーンの水底からの直上り点とする。
- (5) アンカー・チェーンの下端は固定されている。

このような仮定のもとに、釣合状態にあるチェーンの微小長さ dx に働く力の釣合の方程式を求めれば次式のようになる。

$$\left. \begin{aligned} dT - T \tan \theta \cdot d\theta + (\hat{P} \sin \theta \tan^2 \theta + \hat{Q}) dx &= 0 \\ dT + T \cot \theta \cdot d\theta - (\hat{P} \sin \theta - \hat{Q} \cos \theta + \sec \theta \cdot \operatorname{cosec} \theta) dx &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

ここで、

$T = T/\omega h$, $dT = dT/\omega h$, $\hat{P} = P/\omega h$, $\hat{Q} = Q/\omega h$ および $x = x/h$ は張力 T , 張力の増分 dT , チェーンの単位長さ h に働く抵抗 P (チェーンに直交方向) および座標 x の無次元量である。 θ はチェーンが水平となす角度、 ω はアンカー・チェーンの水中重量、 h は水深である。

(a) チェーンが接線方向に働く抵抗を無視した場合 ($\hat{P} \approx 0$, $\hat{Q} = 0$)

チェーンに直交方向に働く抵抗 $\hat{P}$ に比して接線方向に働く $\hat{Q}$ が小さく無視できる場合には、チェーンの上、下端に働く張力 T_s, T_B , チェーンの上、下端間の水平距離 $\hat{L} = L/h$ 、およびチェーンの長さ $\hat{S} = S/h$ は (1) 式を解いて次のように得られる。

$$\left. \begin{aligned} f(\theta) &= \left| \frac{\tan^2 \theta/2 - d_2}{\tan^2 \theta/2 - d_1} \right|^{1/\mu}, \quad d_1 = 2\hat{P} + \sqrt{4\hat{P}^2 + 1}, \quad d_2 = 2\hat{P} - \sqrt{4\hat{P}^2 + 1} \\ \mu &= \frac{1}{2} (d_1 - d_2) = \sqrt{4\hat{P}^2 + 1} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

とあれば,

$$\hat{T}_s = C \cdot f(\theta_s) \quad \hat{T}_B = \hat{T}_s - \hat{D} \quad \hat{L} = C \int_{\theta_B}^{\theta_s} f'(\theta) \cdot \cot \theta \, d\theta \quad \hat{S} = C \int_{\theta_B}^{\theta_s} f'(\theta) \cdot \operatorname{cosec} \theta \, d\theta$$

$$C = \frac{\hat{D}}{f(\theta_s) - f(\theta_B)} \quad \hat{D} = D/h \quad (3)$$

となる。

(計算値と実験値との比較; $\hat{Q} = 0$ の場合)

実験においては, チェーンの上, 下端間の鉛直距離 D は水深 h に等しく, $\hat{D} = D/h = 1.0$ となる。 $\hat{Q} = 0$ の場合には, (3) 式より $\hat{T}_s - \hat{T}_B = 1.0$ なる関係が成り立つ。実験値には多少のばらつきはあるが, 平均値 $[\hat{T}_s - \hat{T}_B]_{\text{mean}} = 1.018$ となり, 実験の範囲内では $\hat{Q} = 0$ とみなしてよいようである。 $\hat{Q} = 0$ の場合の $\hat{T}_s, \hat{T}_B, \hat{L}$ および $\hat{S}$ を (3) 式より計算した値と, 実験値とを比較した一例を表-1 に示す。表-1 から明らかなように, $\hat{T}_s, \hat{T}_B, \hat{L}$ および $\hat{S}$ に関して, 計算値と実験値とは比較的よく一致しており, 実験の範囲内では $\hat{Q} = 0$ とみなしてよいであろう。計算においてはチェーンに直角方向の抵抗係数 $[C_0]_n = 1.1$ にとった。

(計算式) (b) チェーンの接線方向に働く抵抗を考慮した場合 ($\hat{P} \neq 0, \hat{Q} \neq 0$)

チェーンの接線方向に働く抵抗を考慮した場合には, $\hat{T}_s, \hat{T}_B, \hat{S}$, および $\hat{L}$ は次のようになる。

$$\hat{T}_s = \hat{T}_B \cdot \exp[R(\theta_s)] \quad \hat{L} = \hat{T}_B \int_{\theta_B}^{\theta_s} \frac{\exp[R(\theta)]}{\hat{P} \sin \theta \tan \theta + 1} d\theta \quad \hat{S} = \hat{T}_B \int_{\theta_B}^{\theta_s} \frac{\exp[R(\theta)]}{\hat{P} \sin^2 \theta + \cos \theta} d\theta$$

$$\hat{T}_B = \frac{\hat{D}}{\int_{\theta_B}^{\theta_s} \frac{\exp[R(\theta)]}{\hat{P} \sin \theta + \cot \theta} d\theta} \quad R(\theta) = \int_{\theta_B}^{\theta} \frac{\sin \xi - \gamma \hat{P} \cos^2 \xi}{\hat{P} \sin^2 \xi + \cos \xi} d\xi \quad \gamma = \frac{\hat{Q}}{\hat{P}} \quad (4)$$

$\hat{Q} \neq 0$ の場合の計算値と実験値との比較については別の機会に報告したい。

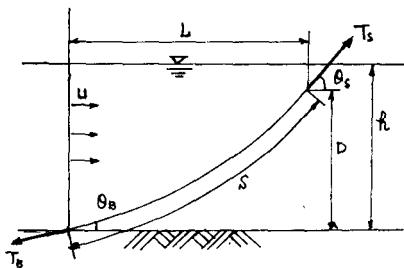


図-1 鉛直の状態にあるアンカーチェーン

表-1 計算値と実験値との比較

θ_s	θ_B	$\hat{T}_s$	$\hat{T}_B$	$\hat{L}$	$\hat{S}$				
85	5	1.38	1.40	0.38	0.32	0.57	0.66	1.24	1.20
71	17	1.84	1.62	0.84	0.54	0.84	0.77	1.36	1.20
71	32	2.04	2.27	1.04	1.08	0.70	0.83	1.24	1.20
63	31	2.59	2.81	1.59	1.73	0.87	0.88	1.34	1.20
73	5	1.71	1.73	0.71	0.65	0.92	0.91	1.44	1.24
64	4	2.08	2.16	1.08	1.08	1.22	1.36	1.66	1.61
61	0	2.24	2.22	1.24	1.35	1.41	1.70	1.82	1.95

(degree)

左側が計算値, 右側が実験値

$U = 37.0 \text{ cm/sec}$, $h = 50 \text{ cm}$, $\hat{P} = 0.320$