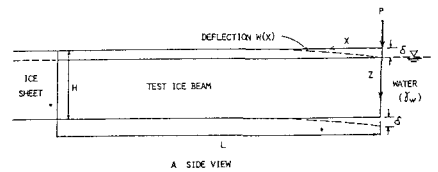


岩手大学 (学) ○小原 一哉
 " (学) 佐々木文夫
 " (正) 平山 健一

1 はじめに

氷圧力を受ける水理構造物の設計に必要な氷の力学的性質は、弾性理論に基づいて計算される曲げ強度 σ_b や、弾性係数 E などで示されるのが普通であるが、氷は必ずしも均一でなく、歪み速度が十分に大きく氷が弾性俵として取扱える場合がすべてではない。従ってこれらの諸量は、氷の力学的性質に関する指標と考えるべきであろう。弾性係数は通常、現場(弾性床上の)片持ち梁試験や、現場平板撓み試験、振動法、超音波の利用などによって測定されるが、いずれの場合にも電源などを必要とする計測器が必要であり、測定は簡単ではない。本報告では、現場片持ち梁曲げ強度試験の結果より弾性係数を計算する方法を提案している。

図-1

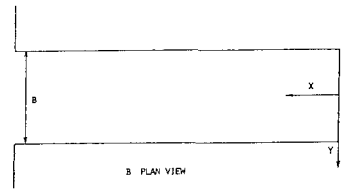


2 弾性床上の片持ち梁

図-1に示すような弾性床と考えられる浮いている状態にある片持ち梁の撓み曲線 $W(x)$ 、曲げモーメント $M(x)$ は、式(1)、(2)のようにならされる。

$$W(x) = \frac{P}{\gamma_w b L} 2\lambda L \left(\frac{\sinh \lambda(L-x) \cdot \cosh \lambda x}{\cosh^2 \lambda L + \cos^2 \lambda L} - \frac{\sin \lambda(L-x) \cosh \lambda x \cos \lambda L}{\cosh^2 \lambda L + \cos^2 \lambda L} \right) \quad (1)$$

$$M(x) = -\frac{PL}{\lambda L} \left(\frac{\cosh \lambda(L-x) \sin \lambda x \cdot \cosh \lambda L + \cos \lambda(1-x) \sinh \lambda x \cdot \cos \lambda L}{\cosh^2 \lambda L + \cos^2 \lambda L} \right) \quad (2)$$



このとき、梁の曲げ強度 σ_b は $\sigma_b = -6M(x)/b h^2$ (3)で与えられるが、浮力の影響を無視した見かけ上の曲げ強度 σ_b は $\sigma_b = 6PL/b h^2$ (4)である。よって(5)式が得られるが、 $0 < \lambda L < \pi/2$ の範囲で、0.5%以内の誤差で、(6)または(7)式の様に近似することができ、さらに (6)または(7)式は (8)または(9)式に書きかえることができる。片持ち梁試験において梁長を長くすると浮力のため見かけ上の曲げ強度 σ_b は大きくなるから、(8)、(9)式において、梁の寸法に関する諸量より求められる τ と σ_b を与えて、真の曲げ強度 σ_b と弾性係数 E を求めることができる。

$$\frac{\sigma_{sb}}{\sigma_b} = \frac{\lambda L \cdot (\cosh^2 \lambda L + \cos^2 \lambda L)}{\sinh \lambda L \cdot \cosh \lambda L + \sinh \lambda L \cdot \cos \lambda L} \quad (5)$$

$$\frac{\sigma_{sb}}{\sigma_b} = 1 + 0.3533(\lambda L)^4 + 0.0210(\lambda L)^8 \quad (6)$$

$$\frac{\sigma_{sb}}{\sigma_b} = 1 + 0.367(\lambda L)^4 \quad (7)$$

$$\frac{\sigma_{sb}}{\sigma_b} = 1 + \frac{1.06}{E} \cdot \tau + \frac{0.189}{E^2} \tau^2 \quad (8)$$

$$\frac{\sigma_{sb}}{\sigma_b} = 1 + \frac{1.1}{E} \tau \quad (9) \quad \tau = \gamma_w \cdot h \left(\frac{L}{h} \right)^4 \quad (10)$$

P 集中荷重 b 梁幅 L 梁長 γ_w 水の単位体積重量 h 氷厚 E 弾性係数 $\lambda \cdot (3\gamma_w/Eh^3)^{1/4}$

3 模型実験用尿素水と小川原湖の淡水氷の弾性係数

岩手大学工学部低温実験室の模型実験用尿素水 および、小川原湖の湖水について前節で述べた方法を用いて弾性係数を求める。尿素水は、尿素肥料を用いた0.6%水溶液よりつくられた氷で、表層約5mmは結晶軸方向はランダムで、直径約1~2mmの結晶をもち、その下にはC-軸水平の柱状構造の下層を持つ。細かく均一な結晶径は、Seedingによって得られるものであり、結晶径は厚さと共に増加し、3cm厚では約3~4mm程度となる。

図-2には水槽内に形成された氷盤に、氷厚 h に対して梁長

7~20h、梁幅1~2hの梁を種々切り出して実施された片持梁試験より得られた見かけ上の曲げ強度 σ_b と E の関係が示されているが、氷盤が一定厚に達した後、低温室内の温度を上げて強度を落とした場合である。図中の直線は最小2乗法を用いてあてはめられ、これより $\sigma_b = 44 \text{ KPa}$, $E = 45 \text{ MPa}$ $E/\sigma_b = 1009$ が得られた。ほぼ同様の条件で作られた氷盤の強度は表-1のように与えられる。これらの値は、図-3のように、米国陸軍寒冷地研究所で、HIRAYAMA が、同じような条件下において現場平盤荷試験によって求めた E とほぼ同様であり、他の方法でも似た値が得られることを示している。

小川原湖は青森県東部下北半島に近く、面積66km²の湖で表層の塩分濃度は最大で1000ppm程度であるため、湖水は淡水氷としての構造を持っている。氷盤は、柱状構造をもつ最下層のうえに、気泡を多く含む雪氷が重なり層状となしている。

冬季は西風が強く、氷は風によって東岸に移動して湖岸に堆積する。図-4には、昭和59年1月24、25日の西岸における雪氷層のない比較的均一な氷盤の測定例が示されている。図より $\sigma_b = 580 \text{ KPa}$, $E = 1160 \text{ MPa}$ が求められた。

次に、全氷厚12cmのうち上層4cmが雪氷の氷盤での試験では、 $\sigma_b = 440 \text{ KPa}$, $E = 968 \text{ MPa}$ が求められた。このように電源などの得られない地点においても弾性係数を求めることが可能である。なお、荷重の測定には、スプリングを内蔵したPush-Pull scale (今田製作所製 Max Load 20kg) が用いられた。

4 あとがき

現場片持梁試験による弾性係数の測定には、氷質が試験を行う範囲で均一でなければならぬが、今回の試験では幸い曲げ強度のバラツキは割合少なかった。今後他の方法との比較などを実施する必要がある。

5 参考文献

- Hirayama, K "Properties of urea-doped ice in the CRREL test basin" CRREL Report No.8 3, 1983
 平山、大村 "小川原湖氷状調査報告書" 建設省高橋川総合開発工事事務所 昭和55.3

図-2

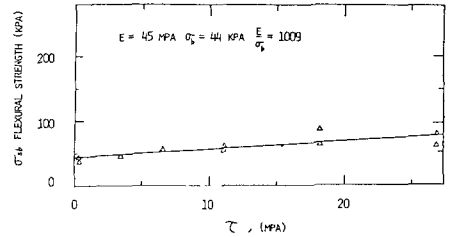


表-1

EXPERIMENT NO.	H (CM)	σ_b (KPA)	E (MPA)
831015	2.8	44	45
831017	2.8	46	43
831018	2.9	51	48
831108	2.9	57	56

図-3

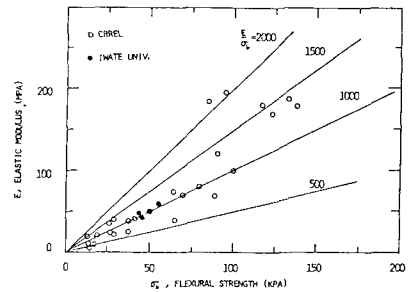


図-4

