

## 第一章 水及び液體の性質

### [1] 液體の性質

(1) 液體の一般的性質 (General properties of liquids) 完全なる液體 (Perfect liquid) は如何なる場合に於ても應剪力及び應張力を受くる能はず、従て自ら一定の形狀を保ち得ない。水、石油、アルコール等の實在の液體は必ず多少の粘性を有し、相接する面の兩側の部分が相對速度 (Relative velocity) を有する場合は多少の應剪力が作用する。且表面張力を有するを以て、雨滴、露滴等の如く自らある形狀を保ち得る場合もある。液體の分子が相接し連続して運動する場合を流動、流れ (Flow)、水の場合は特に水流 (Flow of water) と言ひ、流動する水を流水 (Flowing water) と稱する。完全液體の流動に於ては抵抗を受けざるを以て仕事を要せず、従て勢力消耗もなく、静止せる液體が運動を始むるも單に位置の勢力 (Potential energy) が運動の勢力 (Kinetic energy) に變ずるに過ぎざるが、實在の液體の流動に於ては粘性に因る抵抗力に對して仕事 (Work) を爲すを以て必ず勢力の消耗を伴ふ。

(2) 液體の重要な物理的性質 (Important physical properties of liquids) 18°C に於ける種々の液體の重要な諸性質は下の如し。

| 液體 (Liquids)             | アルコール   | メチール    | ガソリン    | ベンゼン    | 水       | グリセリン   | 水銀      |
|--------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 比重 (Specific gravity)    | 0.791   | 0.80    | 0.7     | 0.881   | 0.999   | 1.26    | 13.55   |
| 膨脹率 (Coef. of expansion) | 0.00110 | 0.00112 | 0.00085 | 0.00124 | 0.00013 | 0.00050 | 0.00018 |
| 氷點, 固化點 (Freezing point) | -110°C  | -95°    | -40°    | +5.°5   | 0°      | -20°    | -38.°8  |

### [2] 水の性質

(1) 水の温度と比重との關係 水は固體の如く、略一定の體積を有するも温度に依て多少の膨脹收縮を爲し、4°C に於て最大比量を有し温度之より上下すれば體積を増し比重は減ずる。但し固化して氷となれば普通の固體の如く温度下るに従ひ收縮して比重は大となる。雪は氷の一種なるも積れる状態に於ても空隙大にして單位體積の重量は水より著しく小である。一般に比重を表はす數値は密度を表はす數値と同一である。水の比重と温度の關係は

| 状態     | 氷     |       |       | 水     |       |       |       |       |       |       |       | 積雪    |         |         |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|---------|
|        | 温度 °C | -20   | -10   | 0     | 0     | 4     | 10    | 15    | 20    | 30    | 50    | 100   | 乾       | 濕       |
| 比重又は密度 | .9403 | .9186 | .9167 | .9999 | 1.000 | .9997 | .9991 | .9982 | .9957 | .9881 | .9584 | .9584 | .12~.20 | .20~.30 |

水の比重は上表の如く一定せずと雖も、普通水理學上の計算には常に一定なるものと假定し、單位體積の重

量を次の如くとする。

|                                |                   |
|--------------------------------|-------------------|
| 1 立方米...m <sup>3</sup> ..につき   | 1000 kg=1 噸 (ton) |
| 1 立... (10 cm) <sup>3</sup> ,, | 1 ,,              |
| 1 立方呎... (ft) <sup>3</sup> ,,  | 62.4 呎又は 1/36 噸   |
| 1 立方尺 ,,                       | 1/36 噸            |

海水の如く多量の鹽類を溶解するもの、泥土の浮遊する濁水等に於ては比重 1 より大にして、洪水の河水は 1.01 に達する例もある。

(2) 自然水の温度 (Temperature of natural water) 湖沼貯水池等の深き水域に於ては、水面より 15~30 m 以下は温度の變化小にして 4~10°C 位、水面の一日の變化は暑期程大なるも變化の範圍は 5~8°C 位である。

第 1 表 種々の水深に於ける一年間の水温變化 °C (Wörther 湖, 1890)

|           | 1月  | 2月  | 3月  | 4月  | 5月  | 6月  | 7月  | 8月  | 9月  | 10月 | 11月 | 12月 |
|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 水面        | 3.0 | 2.8 | 4.0 | 9   | 17  | 20  | 23  | 23  | 18  | 17  | 10  | 5   |
| 水面より 10 m | 3.3 | 3.7 | 4.0 | 8   | 9   | 10  | 13  | 18  | 18  | 15  | 8   | 5   |
| 20 m      | 3.4 | 3.5 | 3.8 | 5   | 5   | 6   | 6.5 | 6.5 | 6.5 | 7   | 7   | 5   |
| 30 m      | 3.5 | 3.4 | 3.8 | 4.0 | 4.5 | 4.9 | 5.2 | 5.2 | 5.3 | 5.5 | 5   | 5   |
| 40 m      | 3.7 | 3.6 | 3.9 | 4.0 | 4.2 | 4.3 | 4.7 | 4.7 | 4.7 | 4.8 | 4.8 | 5   |
| 50 m      | 4.1 | 4.1 | 4.1 | 4.1 | 4.2 | —   | —   | —   | —   | 4.4 | 4.4 | 4.5 |

第 2 表 各月水面水温 °C

| 湖 沼     | 1月  | 2月  | 3月  | 4月  | 5月   | 6月   | 7月   | 8月   | 9月   | 10月  | 11月  | 12月 | 年平均   |
|---------|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|-----|-------|
| Mälär   | 0.3 | 0.1 | 0.2 | 2.5 | 6.7  | 13.0 | 17.7 | 17.9 | 14.9 | 10.0 | 5.3  | 1.6 | 7.6°C |
| Geneva  | 6.1 | 5.0 | 5.5 | 8.1 | 11.0 | 15.2 | 19.6 | 18.9 | 20.2 | 14.0 | 10.9 | 8.0 | 11.9  |
| Wörther | 1.0 | 0.6 | 3.3 | 8.2 | 15.1 | 20.2 | 23.6 | 21.4 | 21.0 | 15.5 | 8.6  | 5.0 | 11.9  |

第 3 表 河水の各月平均温度 °C (気温, 日照時間等に依て異なる)

| 河川     | 場所        | 1月  | 2月   | 3月  | 4月   | 5月   | 6月   | 7月   | 8月   | 9月   | 10月  | 11月  | 12月 | 年平均  |
|--------|-----------|-----|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|
| Ticino | Pavia     | 5.5 | 6.25 | 8.4 | 12.3 | 14.4 | 16.7 | 21.8 | 22.3 | 20.2 | 15.6 | 10.2 | 7.8 | 13.5 |
| Isar   | München   | 2.5 | 2.5  | 4.4 | 7.6  | 11.4 | 14.2 | 16.5 | 15.8 | 14.0 | 10.9 | 6.4  | 3.0 | 9.1  |
| Oder   | Breslau   | 0.3 | 0.55 | 2.7 | 9.0  | 14.1 | 18.1 | 19.7 | 18.3 | 15.3 | 9.25 | 3.9  | 0.9 | 9.3  |
| Rhone  | St. Moriz | 1.6 | 2.3  | 5.0 | 9.3  | 10.5 | 10.5 | 9.7  | 9.7  | 9.3  | 8.4  | 4.8  | 2.1 | 6.9  |
| ,,     | Geneva    | 4.8 | 4.2  | 5.5 | 8.5  | 10.2 | 13.1 | 17.7 | 17.9 | 19.8 | 13.8 | 10.4 | 6.7 | 11.1 |

深き掘抜井の水は気温, 深さ, 土質等に依て異なるも年平均温度 8~12°C にして、一の井に於ける變化は 2°C 以内である。

第 4 表 海面の平均水温及び平均鹽分 (太平洋, Krümmel)

| 緯 度     | 北60°~50 | 50~40 | 40~30 | 30~20 | 20~10 | 10~0  | 0~10  | 10~20 | 20~30 | 30~40 | 40~50°南 |
|---------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
| 平均温度 °C | 5.74    | 9.99  | 18.62 | 23.38 | 26.42 | 27.20 | 26.01 | 25.11 | 21.53 | 16.98 | 11.16   |
| 平均鹽分 ‰  | 32.06   | 33.42 | 34.70 | 35.36 | 34.67 | 34.81 | 35.66 | 36.11 | 36.04 | 35.78 | 34.46   |

第 5 表 海水の深さと水温

(鹽分は深さに殆んど無關係、大西洋, 西經 27° 北緯 27° の地點)

| 水 深 m  | 0    | 50   | 100  | 200  | 400  | 1000 | 2000 | 3000 | 4600 |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 水 温 °C | 22.9 | 20.6 | 19.9 | 17.6 | 14.5 | 8.3  | 4.2  | 2.8  | 2.5  |
| 鹽 分 ‰  | 37.2 | 37.1 | 37.1 | 36.6 | 36.0 | 35.4 | 35.2 | 35.0 | 34.9 |

水理學に於ては特に示す場合の外 15~18°C を以て常温とする。

(3) 海水の鹽分 海水の鹽分は場所及び水温に依て異り、比重は鹽分 1‰ に付き 0.0008 の割合を以て増大する。

第 6 表 海洋の平均鹽分 (%)

| 海 洋        | 太平洋  | 日本海  | 支那海  | オホー<br>ツク海 | ベーリ<br>ング海 | 印度洋  | 大西洋  | 死海(湖) |
|------------|------|------|------|------------|------------|------|------|-------|
| 表面の平均水温 °C | 3.73 | 0.90 | 9.29 | 1.50       | 2.0        | —    | —    | —     |
| 鹽 分 ‰      | 34.9 | 34.1 | 32.1 | 30.9       | 30.3       | 34.8 | 35.4 | 250   |

第 7 表 海水の鹽分と比重 (海水温度 17.5°C, Knudsen)

|              |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 鹽 分 ‰        | 0      | 1.84   | 5.08   | 10.14  | 15.19  | 20.25  | 24.94  | 29.99  | 35.05  |
| 比 重 $\gamma$ | 0.9987 | 1.0002 | 1.0026 | 1.0065 | 1.0103 | 1.0141 | 1.0177 | 1.0216 | 1.0254 |

第 8 表 鹽分と氷點

|       |        |        |        |        |        |        |       |       |       |       |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|
| 鹽分 ‰  | 0.105  | 0.205  | 0.560  | 1.208  | 4.887  | 14.79  | 27.22 | 89.2  | 107.7 | 230   |
| 氷點 °C | -0.006 | -0.013 | -0.035 | -0.074 | -0.290 | -0.882 | -1.58 | -5.17 | -6.32 | -14.8 |

(4) 自然淡水の結氷 気温, 水深, 流速等に依て異なる。

1. 湖沼の結氷 浅き程厚く、同一湖にても深き部分は薄い。

第 9 表 湖沼の結氷

| 湖 沼            | 緯 度     | 水面海拔 m | 水面積 km <sup>2</sup> | 平均水深 m | 最大氷厚 cm | 結氷日數 |
|----------------|---------|--------|---------------------|--------|---------|------|
| Haidersee      | 46° 45' | 1449   | 0.89                | 7.0    | 52      | 129  |
| Achensee       | 47° 25' | 929    | 7.34                | 71.0   | —       | 74   |
| Grundlsee      | 47° 37' | 709    | 4.14                | 33.2   | 35      | 86   |
| Mittstättersee | 46° 47' | 580    | 13.25               | 86.45  | 14      | 51   |
| Velesersee     | —       | 476    | 1.45                | 22.0   | 35      | 80   |
| Attersee       | 47° 50' | 465    | 46.72               | 84.2   | 10      | 15   |
| 田 代 池          | 36° 14' | 1534   | 0.35                | 2.5    | 約 25    | —    |
| 木 崎 湖          | 36° 33' | 764    | 1.413               | 17.85  | ,, 20   | 100  |
| 白馬大池           | 36° 46' | 2379   | 0.061               | 6.5    | ,, 35   | —    |

2. 堰上流の結氷 獨逸バイエルンの Notzen 堰に於ては 12 月末厚 15~20 cm, 3 月初 40 cm 位。

3. 河川の結氷 河床粗にして流速大なる時は結氷の下面は不規則にして凹凸多く、河床と匹敵する程度の摩擦抵抗あり。且結氷の下面に極めて空隙多き海綿状の氷の厚層を附着し、流水の断面積を著しく縮小するを以て、全體が浮力に依りて押し上げられ工作物を損傷する事がある。

(5) 水の壓縮性 (Compressibility of water) 完全なる液體はその定義上壓縮し得ざる流體 (Incompressible fluid) なるも、實在の液體に於ては周圍より壓力を加ふれば多少收縮し之を去れば再び元の體積に復する。此性質を液體の壓縮性 (Compressibility of liquid) と稱する。

一般にある一定の溫度及び壓力  $p$  の下に於て一定體積  $V$  の物質が、 $\Delta p$  なる壓力増大に依り體積が  $\Delta V$  だけ減少する時  $C = \frac{1}{V} \cdot \frac{\Delta V}{\Delta p}$  を壓縮率 (Modulus of compressibility) と稱する。一般に  $\frac{\Delta V}{\Delta p}$  は溫度  $T$  に依ても異なるを以て正確には  $C = \frac{1}{V} \left( \frac{\partial V}{\partial p} \right)_T$  と書き表はし、壓縮率の逆数を體積彈性率 (Bulk modulus of elasticity) と稱し、 $E_c = V \cdot \frac{\Delta p}{\Delta V}$  又は  $V \left( \frac{\partial p}{\partial V} \right)_T$  を以て表はされる。

水理學に於ては普通の場合水は非壓縮性と看做して差支へなきも、運動に急激の變化ある場合例へば高壓管に於て急に水流を遮断する時の管壁に及ぼす壓力の計算の如き場合には之を考慮する必要がある。

第 10 表 液體の壓縮率

(1 バール...1 cm<sup>2</sup> につき 10<sup>8</sup> グイン...の壓力に對する値)

| 物 質                | エーテル  |       |       |      | メーテル  |       | 石油   | 海水   | 水銀 |
|--------------------|-------|-------|-------|------|-------|-------|------|------|----|
|                    | エーテル  | アルコール | ベンゾール | ベンゼン | アルコール | アルコール |      |      |    |
| 溫 度 °C             | 0     | 0     | 0     | 17.9 | 14.3  | 16.5  | —    | —    | 15 |
| 壓力の範圍(氣壓)          | 1~2   | 1~500 | 1~2   | —    | 1~2   | —     | —    | —    | —  |
| 10 <sup>8</sup> ・C | 152.3 | 77    | 82.3  | 92.0 | 99.6  | 69.6  | 43.6 | 3.76 |    |

一氣壓に對する C の値は上表の値を 1/80 だけ増せば宜しい。

第 11 表 水の壓縮率 (一氣壓に對する 10<sup>8</sup>・C の値)

| 壓力の範圍<br>(氣壓) | 水頭<br>(m) | 壓縮率   |        |        |        |
|---------------|-----------|-------|--------|--------|--------|
|               |           | (0°C) | (10°C) | (15°C) | (20°C) |
| 1~25          | 10~250    | 52.5  | 50.0   | 49.5   | 49.1   |
| 25~50         | 250~500   | 51.6  | 49.2   | 48.0   | 47.6   |
| 50~75         | 500~750   | 50.9  | 47.3   | 46.5   | 45.6   |
| 75~100        | 750~1000  | 50.2  | 47.0   | 45.7   | 45.3   |

(6) 氷の壓縮彈性率 氷は固體にして鐵、木材等の如く彈性率を有し、壓力に對する彈性率は -2°C に於て  $E_c = 2800 \text{ kg/cm}^2$  である。今 -10°C の氷が 0°C に昇れば體積は 1.00206 倍、即ち約 2% だけ膨脹し、長さに於てはその 1/3 即ち 0.0007 だけ伸びる。この伸びを阻止するに要する壓力の強度  $p$  は

$$p = 2800 \cdot 0.0007 = 1.96 \text{ kg/cm}^2 \approx 2 \text{ kg/cm}^2 = 20 \text{ ton/m}^2$$

即ち -10°C に於て氷結せる氷が 0°C に昇れば m<sup>2</sup> につき 20 ton の強壓力が作用する。一方氷の抗壓強度はその生長の方向...水面の結氷に於ては鉛直方向...に於て約 700 ton/m<sup>2</sup>、之に直角の方向に於て約 25 ton/m<sup>2</sup> である。従て岩石の割目中の水が結氷する場合は兩側の摩擦犬にして上部に膨脹する事能はざるのみならず、殆ど直壓力のみが作用するを以て、岩石に及ぼす力は 10~20 ton/m<sup>2</sup> 程度にして、楔作用に依て容易に岩石を破裂せしむるが、湖沼、貯水池等廣き水面上に浮遊する結氷は上面に體積を増し得るのみならず、面積極めて大なるを以て、彎折の傾向を生じ直立岸又は堰堤に及ぼし得る壓力は 20 ton/m<sup>2</sup> 以下になる。

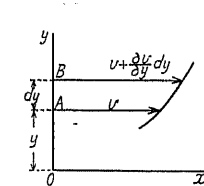
(7) 積雪 積雪はその状態に依り比重のみならず強度も著しく異なる。黒田氏 (理化學研究所) が一月に於て夜中降りたる粉雪を翌日種々の時刻に採取して實驗せる結果は

| 時 刻      | 状 態  | 氣溫   | 雪の溫度 | 耐壓力 gr/cm <sup>2</sup> | 抗剪力 gr/cm <sup>2</sup> |
|----------|------|------|------|------------------------|------------------------|
| 午前 10 時  | —    | -5°C | -9°C | 63                     | 3                      |
| 日射 3 時間後 | 濕 軟  | —    | 0°C  | 33                     | 2.5                    |
| 日没後      | 表面硬化 | —    | —    | 93                     | 20                     |

一般に積雪は日中日射によりて表面融解し雪粒間の空隙に稍多量の水分を含み、夜中低温に依り表面再び固化し、氣温低き程固化の厚さ大となる。従て早朝に於て最大の強度を有し多少の沈下に依り 200~300 gr/cm<sup>2</sup> 位の荷重を支ふる。

### [3] 水及びその他の液體の粘性

(1) 液體の粘性及び粘性係數 實在の液體の内部に一の面を想定し、その兩側の液體が相對的に運動する時に之に抵抗する剪力が作用する。この性質を粘性 (Viscosity) 又は内部摩擦 (Internal friction) と言ふ。今第 1 圖に於て運動の方向に  $x$  軸、之と直角に  $y$  軸を取り



第 1 圖

| 點    | A      | B   |
|------|--------|---|
| 點の位置 | $x, y$ | $x, y+dy$                                     |
| 速 度  | $v$    | $v+dv = v + \frac{\partial v}{\partial y} dy$ |

單位縦距に對する速度増加が  $\frac{\partial v}{\partial y}$  なる時 A 面に於ける速度増加率  $\frac{\partial v}{\partial y}$  に對してその面に作用する内部摩擦の強さ  $\tau$  を

$$\tau = -\eta \frac{\partial v}{\partial y} \dots \dots \dots (1)$$

を以て表はし得るものとし、 $\eta$  を粘性係數 (Coefficient of viscosity) と稱し、速度小なる細管中の流れに依て種々の液體に就て實驗せる結果に依れば、一の液體の  $\eta$  は同一溫度に對して一定値を有し、(1) 式の關係の成立することを示してゐる。

水の粘性係數  $\eta$  の値は溫度に依て異なるも、一氣壓、溫度 0°C に於て

$$\eta = 0.0178 \quad \text{絶對單位 (C.G.S. 單位)}$$

$$= 0.00001814 = 0.0178 \times \frac{1}{g} \quad \text{重力單位}$$

$g$  は歐大陸に於ては  $981 \text{ cm/sec}^2$  以上なるも我國にては少しく小に、實用には  $980 \text{ cm/sec}^2$  である。 $\eta$  の逆數  $1/\eta$  を以て液體の流動性 (Fluidity) を表はす。

(2) 水の粘性と温度との關係 水の  $\eta$  と温度... $T^\circ\text{C}$ ...との關係は  $0^\circ\text{C} \sim 50^\circ\text{C}$  の範圍に於ては次式を以て表はし得る。

$$\eta = \frac{0.0178}{1 + 0.0337 T + 0.00021 T^2} \quad \text{C.G.S. 單位}$$

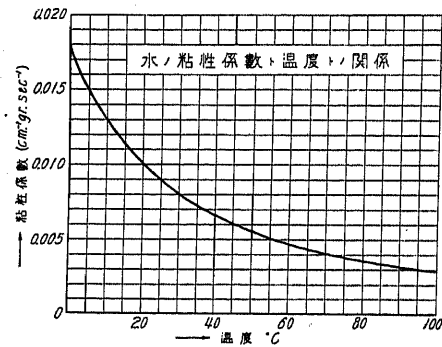
$$= \frac{0.00001814}{1 + 0.0337 T + 0.00021 T^2} \quad \text{重力單位} \quad \dots \dots \dots (2)$$

第 12 表 水の粘性  $\eta$ .....C.G.S. 單位

| 實驗者                 | White & Twining |        |        |        | Bringham & White |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
|---------------------|-----------------|--------|--------|--------|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--|
| 溫度 $^\circ\text{C}$ | -9.30           | -7.23  | -4.70  | -2.10  | 0                | 5      | 10     | 15     | 20     | 25     | 30     | 50     | 90     |  |
| $\eta$              | .02549          | .02341 | .02121 | .01930 | .01797           | .01525 | .01301 | .01138 | .01006 | .00895 | .00800 | .00550 | .00314 |  |

(3) 液體の粘性と壓力との關係  $\eta$  と壓力との關係は次式を以て表はさるる。

$$\eta = \eta_0(1 + a\rho) \quad \dots \dots \dots (3)$$



第 2 圖

茲に  $\eta_0$ ...一氣壓即  $1.0333 \text{ kg/cm}^2$  に於ける粘性係數  
 $\rho$ ...壓力  $\text{kg/cm}^2$   
 $a$ ...液體に依て異なる係數  
 但し一氣壓即ち  $\rho_0 = 760 \text{ mm}$  (水銀柱の高さ)の壓力は  $4^\circ\text{C}$  の水  $10.333 \text{ m}$  の水頭因る壓力強度に等しく、工學上は  
 一氣壓の壓力  $= 1 \text{ kg/cm}^2 = 10 \text{ m}$  の水頭の壓力  $= 10 \text{ ton/m}^2$   
 と看做して差支へない。

第 13 表 (3) 式中の  $a$  の値

| 液 體                  | 水    | エーテル | ベンゼン |
|----------------------|------|------|------|
| 溫 度 $^\circ\text{C}$ | 20   | 20   | 20   |
| $10^3 \cdot a$       | -170 | 730  | 930  |

即ち水に於ては壓力増大に伴ひ粘性は減少するも、エーテル及びベンゼンにありては反對に増大する。

(4) 溶液の粘性 (Viscosity of solutions) 海水の如く他の物質を溶解せる溶液の粘性は溶媒のそれと異なる。今淡水の  $0^\circ\text{C}$  に於ける粘性係數を  $\eta_0$  とし鹽分を溶解せる時の係數を  $\eta$  とすれば

第 14 表 海水の鹽分と  $\eta/\eta_0$  (O. Krümmel & E. Ruppin)

| 溫度 $^\circ\text{C}$ / 鹽分 % | 0     | 10    | 20    | 30    | 35    |
|----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0                          | 1.00  | 1.017 | 1.032 | 1.045 | 1.052 |
| 5                          | 0.73  | 0.745 | 0.758 | 0.772 | 0.778 |
| 10                         | 0.636 | 0.649 | 0.662 | 0.675 | 0.682 |
| 20                         | 0.562 | 0.574 | 0.586 | 0.599 | 0.605 |
| 25                         | 0.499 | 0.510 | 0.521 | 0.533 | 0.539 |
| 30                         | 0.449 | 0.460 | 0.470 | 0.481 | 0.486 |

鹽分 35% の海水の粘性係數 ( $\eta$  C.G.S. 單位)

| 溫度 $^\circ\text{C}$ | 0      | 5      | 10     | 15     | 20     | 25     | 30     |
|---------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| $\eta$              | 0.0189 | 0.0162 | 0.0140 | 0.0123 | 0.0109 | 0.0097 | 0.0088 |

(5) 着色液の粘性 (Viscosity of coloured liquids) 顔料 (Pigment) の如く非常に微細なる固形物を浮游する液體の粘性  $\eta$  と液體自身の粘性  $\eta_0$  との關係は Einstein の理論的に求めたる所に據れば

$$\eta = \eta_0(1 + 2.5r_p) \quad \dots \dots \dots (3')$$

茲に  $r_p$  は液體の單位體積中に於て色素微粒實體の占むる體積、即ち粉末の見掛の體積より空隙體積を差引きたるものである。

(6) 水及びその他の液體の動粘性係數 (Coef. of kinematic viscosity) 液體の密度を  $\rho$   $\text{kg/m}^3$  又は  $\rho' \text{ gr/cm}^3$  にて表はす時  $\eta/\rho$  又は  $\eta/\rho' = \nu$  をその液體の動粘性係數 (Coef. of kinematic viscosity) と稱し、水に於ては

$$\nu = \frac{1}{\rho} \frac{0.01779}{1 + 0.033 T + 0.000221 T^2} \text{ m}^2/\text{sec} \quad \dots \dots \dots (4)$$

$$= \frac{1}{\rho'} \frac{0.01779}{1 + 0.033 T + 0.000221 T^2} \text{ cm}^2/\text{sec} \quad \dots \dots \dots (4')$$

茲に  $T$  は液體の溫度... $^\circ\text{C}$ ...を表はし、普通は  $\text{cm}^2/\text{sec}$  の單位を用ふ。自然水の  $\nu$  の値は Lyle 及び Hosking の實驗 (1902) に據れば

第 15 表 自然水の動粘性係數 ( $\nu$ ... $\text{cm}^2/\text{sec}$ )

| 溫 度 $^\circ\text{C}$                         | 0      | 10     | 15     | 18     | 20     |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| 河 口 の 水                                      | .01794 | .01309 | .01144 | .01063 | .01011 |
| 海水 ( $\gamma = 1.026$ at $0^\circ\text{C}$ ) | .01780 | .01318 | .01158 | .01078 | .01025 |

第 16 表 流體の粘性係數  $\eta$  及び  $\nu$

| 流 體      | 温度 °C | $\eta$ (C.G.S. 單位) | $\nu$ (cm <sup>2</sup> /sec) |
|----------|-------|--------------------|------------------------------|
| 空 氣      | 0     | 0.000 170          | 0.172                        |
| ”        | 15    | 0.000 180          | 0.125                        |
| 液體空氣     | —     | 0.003 3            | 0.003 3                      |
| エチルアルコール | 0     | 0.018 42           | 0.022 83                     |
| ”        | 19    | 0.012 12           | 0.015 49                     |
| ベンゼン     | 20    | 0.006 42           | 0.007 31                     |
| グリセリン    | 3     | 42.20              | 33.40                        |
| ”        | 18    | 10.69              | 8.48                         |
| ”        | 21    | 7.78               | 6.18                         |
| 水 銀      | 20    | 0.015 89           | 0.001 17                     |

第 17 表 土木材料の比粘度 (Specific viscosity) 但し 0°C の水の粘性係数を 1 とせる數値

| 材 料            | 温度 120°C     | 140°C | 160°C    | 180°C | 200  |
|----------------|--------------|-------|----------|-------|------|
| アスファルト 針度 25   | —            | 112   | 39.2     | 18.5  | —    |
| ” ” 110        | 109.5        | 35.5  | 15.2     | 7.9   | —    |
| ブロンアスファルト ” 25 | —            | 307   | 120.6    | 45.1  | 20.5 |
| コールターピッチ       | 138          | 50.6  | 25.7     | 16.9  | —    |
| ...            | ...          | ...   | ...      | ...   | ...  |
| 鋪裝用タール No. 1   | 25.9 at 80°C | 16.7  | at 100°C | —     | —    |
| ” ” 2          | 37           | 21.7  | ”        | —     | —    |
| アスファルト乳劑       | 18.9         | 4°C   | 10.3     | 25°C  | —    |

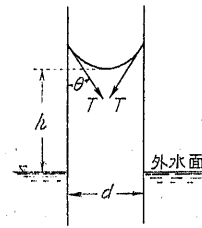
[4] 液體の凝集力, 附着力, 表面張力及び毛管引力

(1) 凝集力 (Cohesion) 及び附着力 (Adhesion) 凝集力はある物質内の相隣れる分子を引き離さんとする時に起る抵抗力にして、附着力は流體が固體の表面に附着し之を離さんとする時に起る抵抗力である。葉末に懸る露滴は重力に抵抗し凝集力に依てその形を保ち、附着力に依てその位置を保つてゐる。之等の性質は規模比較的大なる工學上の水理學に於ては普通之を無視して差支へない。

(2) 表面張力 (Surface tension) 及び毛管高 (Capillary height) 液體の自由表面は、ある張力に依て引き張られたる完全弾性的なる薄膜と同一の性質を有し、この張力を表面張力と言ひ、表面を形成する分子間の凝集力に基くものである。今表面張力強度  $\sigma$  に打ち勝て流體の表面積を  $4S$  だけ増す爲に要する仕事を  $4W_k$  とすれば、 $\sigma$  の値は

$$\sigma = \frac{4W_k}{4S} \dots \dots \text{Gauss} \dots \dots \dots (5)$$

静止せる液體中に 硝子細管を立つれば 液體は管中に外水面以上  $h$  迄の高さに上る。之を毛管現象と稱し高さ  $h$  なる管内の液體の重量は 液體と管壁との間の附着



第 3 圖

力及び表面張力と平衡する。今  $\sigma$  を液體の表面張力強度、 $\rho$  をその密度とすれば、力の平衡條件より次式を得る。

$$h = \frac{4\sigma \cos\theta}{\rho d} \dots \dots \dots (6)$$

即ち毛管高  $h$  は管徑  $d$  に逆比例する (Jurin の法則)。

茲に  $\theta$  は液表面の接觸角にして液の種類及び壁の材料、状態に依て異り、次記の値を有する。

第 18 表 ガラス面と液體表面との  $\theta$

| 液 體      | エチルアルコール | ベンゼン | 水     | エーテル | 水 銀         |
|----------|----------|------|-------|------|-------------|
| $\theta$ | 0°       | 0°   | 0°~9° | 16°  | 180°~52°40' |

但しよく磨きたるガラス面と水との場合は  $\theta=0$

第 19 表 水と金屬面との  $\theta$

| 金 屬      | 白金     | 金     | 銅     | 鉛     | 鐵     |
|----------|--------|-------|-------|-------|-------|
| $\theta$ | 10°43' | 4°16' | 6°41' | 2°36' | 5°10' |

(3) 毛管常數 (Capillary constant) ガラス管内の水銀の如く  $\theta > 90^\circ$  の場合  $h$  は - にして管内液面は外液面より下る事を示す。今  $a^2 = 2\sigma/\rho = \frac{1}{2}hd$  と置けば、 $a^2$  のデイメンション...[22] (2)参照...は  $[a^2] = L^2$  である。一般に  $a^2$  を mm<sup>2</sup> を單位として表はせる値を毛管常數と稱し、その値は温度に依て異なるのみならず、細管内に於て液體が他の流體と接觸する場合はその流體に依ても  $a^2$  の値は異なる。次に Volkmann が濡れる空氣と水との接觸する場合の毛管高より求めたる常數を示す。但しこの場合  $\rho'$  を濕空氣の密度とし、(6) 式の  $\rho$  の代りに  $\rho - \rho'$  を用ひ、従て  $\sigma = \frac{a^2(\rho - \rho')}{2}$  である。

第 20 表 濡れる空氣と接觸する水の毛管常數

| 温度 °C                 | 0      | 5      | 10     | 15     | 20     | 25     | 30     | 40     | 60    | 80    |
|-----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|
| $a^2$ mm <sup>2</sup> | 15.406 | 15.251 | 15.105 | 14.959 | 14.821 | 14.686 | 14.556 | 14.295 | 13.70 | 13.08 |
| $\sigma$ mg/mm        | 7.692  | 7.617  | 7.541  | 7.465  | 7.389  | 7.313  | 7.237  | 7.086  | 6.73  | 6.35  |
| ,, dyne/cm            | 75.49  | 74.75  | 74.01  | 73.26  | 72.53  | 71.78  | 71.03  | 69.54  | 66.0  | 62.3  |

第 21 表 空氣と他の液體と接觸する場合

| 液 體            | 水 銀   |       | エーテル |             | アルコール       |       | ベンゼン  | 石油 |
|----------------|-------|-------|------|-------------|-------------|-------|-------|----|
|                | —     | —     | 17.5 | 0 10        | 0 10        | 15    |       |    |
| 温度 °C          | —     | —     | 17.5 | 0 10        | 0 10        | 15    | 18    | —  |
| $\sigma$ mg/mm | 44.07 | 45.97 | 55.8 | 1.971 1.854 | 2.585 2.497 | 2.760 | 2.444 | —  |

毛管現象は水銀又は水を用ふる壓力測定器 (Manometer, Pitot tube 等) に於て誤差の一因をな

す。今、等径の管内の水銀面の下降と水面の上昇との高さを  $h_m, h_w$  とし、且その他の量に対しても同様の尾字を附して區別すれば

$$T=17.5^{\circ}\text{C}, \quad \frac{h_m}{h_w} = \frac{\rho_w}{\rho_m} \frac{\sigma_m}{\sigma_w} \left| \frac{\cos \theta_m}{\cos \theta_w} \right| = \frac{0.999}{13.55} \cdot \frac{55.8}{7.43} \cdot \frac{0.607}{1} = 0.336$$

従て水銀壓力計の誤差は水を用ふる場合の  $0.336 \times 13.55 = 4.56$  倍である。然し等径の脚を有する U 字管を用ふればこの誤差を小ならしむる事を得る。一般に  $\theta$  は管壁汚染の状況に依ても著しく異なるを以て、上記の關係も精確を期し難い。

(4) 種々の断面の細管の毛管高 圓形以外の断面の毛管高を求むるには、 $P$  を管内周の長さ、 $S$  を斷面積とすれば、一般に

$$h = \frac{\sigma \cos \theta}{\rho} \frac{P}{S} \quad \dots \dots \dots (7)$$

故に矩形...邊の長さ  $a$  及び  $b$  ...に對して

$$h = \frac{\sigma \cos \theta}{\gamma} \frac{2(a+b)}{ab}$$

橢圓形...長徑  $2a$ , 短徑  $2b$  ...に對して

$$h = \frac{\sigma \cos \theta}{\gamma} \frac{4E(k)}{\pi b} \quad \dots \dots \dots \text{茲に } k = \sqrt{1 - b^2/a^2}, \quad E(k) \dots \text{第二種楕圓積分}$$

橢圓形管に於ては  $d = 2\sqrt{ab}$  として圓形管の式 (7) を用ふれば近似的の値を得る。

土砂中の毛管高に關しては [104] (3) に述ぶる。

### [5] 液體の其他の性質

(1) 水の膨脹係數 (Coef. of expansion) 一定質量の水の體積が  $T^{\circ}\text{C}$  に於て  $V_0$  にして  $(T+d)^{\circ}\text{C}$  に於て  $V_1$  なりとし、兩者の關係を

$$V_1 = V_0(1+at) \quad \dots \dots \dots (8)$$

と置けば、 $a$  はある  $T$  に對しては常數なるを以て、之れを水の膨脹係數と稱する。

第 22 表  $T^{\circ}\text{C}$  と  $a$  との關係

|                     |   |    |    |    |    |    |     |     |     |
|---------------------|---|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|
| $T^{\circ}\text{C}$ | 4 | 10 | 20 | 40 | 60 | 80 | 100 | 200 | 300 |
| $a \times 10^6$     | 1 | 9  | 20 | 38 | 53 | 66 | 71  | 170 | 400 |

$a$  は壓力に依ても多少異なる。即ち

|        |                       |         |         |         |         |         |
|--------|-----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 壓力     | 溫度 $^{\circ}\text{C}$ | 10°~20° | 20°~30° | 30°~40° | 40°~50° | 70°~80° |
| 1 氣壓   |                       | 14.9    | 25.7    | 33.4    | 42.2    | ---     |
| 100 ,, |                       | 16.5    | 26.5    | 34.5    | 42.2    | ---     |
| 200 ,, |                       | 18.3    | 27.6    | 35.0    | 42.6    | 60.0    |

(2) 液體の氣體吸收 氣體と液體とが接觸して存在する時は氣體の一部は液體中に吸收されその量は氣體の壓力と液體の溫度とに依て異なる。而て兩者が化學的に結合する場合と然らざる場合とあり。水とアムモニヤ瓦斯との場合は前者、水と酸素、窒素等との場合は後者にして、又水と炭酸ガスとの場合は一部は化合し、一部は化合せずに吸收されて居る。

ある溫度に於ける單位體積の液體中に一氣壓の壓力の下に吸收されたる氣體の體積を、 $0^{\circ}\text{C}$ 、一氣壓に於ける體積に換算せる數を吸收率 (Coef. of absorption) と言ひ、 $a$  を以て表はす。又溶媒たる液體 100 瓦の中に吸收さるゝ氣體の重量を瓦にて表はせる數を溶解度 (Solubility) と稱し、gr 單位を以て示す。但し全壓力...氣體の壓力とその溫度に於ける液體の蒸氣壓との和...は一氣壓即ち  $1 \text{ kg/cm}^2$  とする。

第 23 表 水の氣體吸收率  $a$

|      |    |                 |                 |                     |        |        |                 |       |        |       |
|------|----|-----------------|-----------------|---------------------|--------|--------|-----------------|-------|--------|-------|
| 水の溫度 | 氣體 | 酸素 $\text{O}_2$ | 水素 $\text{H}_2$ | 空氣中の窒素 $\text{N}_2$ | 空氣     | CO     | CO <sub>2</sub> | アセチリン | メタン    | アムモニヤ |
| 0°   |    | 0.0489          | 0.0215          | 0.0235              | 0.0288 | 0.0354 | 1.713           | 1.73  | 0.0556 | 1176  |
| 5    |    | .0429           | .0204           | .0209               | .0255  | .0315  | 1.424           | —     | —      | —     |
| 10   |    | .0380           | .0196           | .0186               | .0227  | .0282  | 1.194           | —     | —      | —     |
| 15   |    | .0342           | .0188           | .0169               | .0205  | .0254  | 1.094           | 1.15  | 0.0369 | —     |
| 20   |    | .0310           | .0182           | .0155               | .0187  | .0232  | 0.878           | —     | —      | 702   |
| 30   |    | .0261           | .0170           | .0134               | .0161  | .0200  | 0.665           | 0.84  | 0.0276 | —     |
| 50   |    | .0209           | .0161           | .0109               | .0130  | .0162  | 0.436           | —     | —      | —     |
| 100  |    | .0190           | .0160           | .0095               | .0111  | .0142  | —               | —     | —      | —     |

上表に依れば炭酸ガス  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$  は稍多量に吸收され一部は化合して炭酸 (Carbonic acid) となり、高壓の下にセメント中の石灰分及びマグネシアと化合し炭酸石灰 ( $\text{CaCO}_3$ ) の溶液となり、混凝土の表面に出づれば減壓の爲め遊離して沈澱を生ず。之の爲め混凝土は漸次空隙を増し透水を容易ならしめ更に溶解を促進して構造物の壽命を大に短縮する。之を緩和するには出來得るだけ緻密なる混凝土を用ひ、なるべく厚を大にして最初より透水を最小ならしむるの外、他に方法は無い。

今  $T^{\circ}\text{C}$  なる溫度に於て空氣中の酸素及び窒素に對する吸收率を夫々  $a_o, a_N$  とすれば、一般に二種以上の混合ガスの吸收は夫々の部分壓 (Partial pressure) に比例するを以て、 $p$  なる氣壓の空氣中の酸素と窒素との體積比を 21:79 とすれば

$$\begin{aligned} \text{酸素の部分壓} & p_o = 0.21 p \\ \text{窒素の} & p_N = 0.79 p \end{aligned}$$

從て水が空氣を吸收する場合の吸收率  $a_a$  は

$$a_a = 0.21 a_n + 0.79 a_N$$

故に 0°C に於て吸收さるゝ空氣の成分は

$$\text{酸素} \quad \frac{0.0489 \times 0.21}{0.0288} = 0.356 \quad \text{即ち} \quad 35.6\%$$

$$\text{窒素} \quad \frac{0.0235 \times 0.79}{0.0288} = 0.644 \quad \text{即ち} \quad 64.4\%$$

即ち酸素の割合は著しく増大する。從て管水路の凸曲部に於て水の壓力が大氣壓以下に下れば吸收せる空氣の一部を放出し、この爲にサイフオンの頂部又は水車放水管内に氣隙を生じ、その空氣は比較的に酸素に富み又管壁が常に濕潤するを以て、材料の腐蝕を促進する。

(3) 水及びその他の物質中の壓力及び音響の傳播速度 彈性を有する物質は壓力波を傳達し得る。音波は壓力波なるを以て壓力と同じ速度を以て物質中を傳播する。

第 24 表 壓力及び音響の傳播速度  $\omega$  (m/sec.)

| 物 質             | 水         |      |      |      | 海 水<br>( $\gamma=1.0245$ ) | アルコ<br>ール | エー<br>テル | 空氣(乾燥) |       |       |
|-----------------|-----------|------|------|------|----------------------------|-----------|----------|--------|-------|-------|
|                 | 3.9       | 8.1  | 13.7 | 25.2 |                            |           |          | 15     | 8.4   | 0     |
| $\omega$ m/sec. | 1399      | 1435 | 1437 | 1457 | 1503                       | 1260      | 1140     | 181.5  | 331.9 | 386.5 |
| 物 質             | 鋼         |      | 鑄鐵   | 銅    | 眞鍮                         | マホガニー材    |          |        |       |       |
| $\omega$ m/sec. | 4700~5200 |      | 4300 | 3970 | 3650                       | 41~46     |          |        |       |       |

(4) 自然水の化學性分及び腐蝕作用

第 25 表 河水及び湖水の含有物質の平均成分 ( $H_2O$  以外の全物質の量を 100% とす)

|       | CO   | SO <sub>4</sub> | Cl   | NO <sub>3</sub> | Ca   | Mg  | Na   | K   | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | SiO <sub>2</sub> |
|-------|------|-----------------|------|-----------------|------|-----|------|-----|--------------------------------|--------------------------------|------------------|
| 北米大陸  | 33.4 | 15.3            | 7.4  | 1.2             | 19.4 | 4.9 | 7.5  | 1.8 | 0.6                            | 8.6                            |                  |
| ヨーロッパ | 40.0 | 12.0            | 3.4  | 0.9             | 23.2 | 2.4 | 4.3  | 2.8 | 2.4                            | 8.7                            |                  |
| アジア   | 36.6 | 13.0            | 5.3  | 1.0             | 21.2 | 3.4 | 6.0  | 2.0 | 2.0                            | 9.5                            |                  |
| 全世界平均 | 35.2 | 12.1            | 5.7  | 0.9             | 20.4 | 3.4 | 5.8  | 2.1 | 2.8                            | 11.7                           |                  |
| 海 水   | 0.2  | 7.7             | 55.2 | 0.0             | 1.2  | 3.7 | 30.6 | 1.1 | 0.0                            | 0.0                            |                  |

本邦に於て温泉地帯の河川湖沼には著しく多量の酸性鹽を含有し、多く酢川と稱して混凝土工事の耐久性極めて短くその使用不可能なるものもある。今一例として山形縣最上川支川、須川及酢川の 1, 2, 3 地點に於ける河水分析の結果を示せば次表の如く、各成分の量は原水一立に對する mg 即ち百萬分の一單位である。4, 5 は 3 以下に於て合流する水量とその推定鹽量とより推算せる鹽類量である。

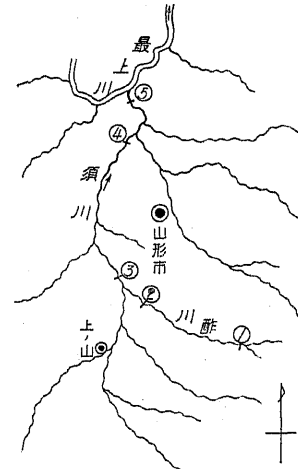
第 26 表 山形縣最上川支川須川及び同小支酢川河水成分表

(低水時採取、分量は一立中の mg)

| No. | 地 點    | 河 川 | 味  | 反 應   | 全浮游物 | 全溶解物 |
|-----|--------|-----|----|-------|------|------|
| 1   | 三度川合流點 | 酢川  | 酸味 | 酸性強   | 68   | 3346 |
| 2   | 須川橋上流  | ,,  | ,, | ,, 稍強 | 8.1  | 2068 |
| 3   | 常盤橋    | 須川  | ,, | ,, 弱  | 3.9  | 980  |
| 4   | 向新田    | ,,  | —  | —     | —    | 684  |
| 5   | 津 寺    | ,,  | —  | —     | —    | 610  |

| 主なる成分 |      |                 |     |                                |                                |     |
|-------|------|-----------------|-----|--------------------------------|--------------------------------|-----|
| No.   | 全酸性度 | SO <sub>3</sub> | Cl  | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MgO |
| 1     | 1392 | 1552            | 700 | 489                            | 154                            | 123 |
| 2     | 352  | 634             | 403 | 276                            | 181                            | 100 |
| 3     | 224  | 600             | 194 | 128                            | 81                             | 42  |
| 4     | 156  | —               | —   | —                              | —                              | —   |
| 5     | 140  | —               | —   | —                              | —                              | —   |



第 4 圖

混凝土工を侵す主なるものは SO<sub>3</sub>, CaO, MgO 等なるが、SO<sub>3</sub> が 500 即ち 0.05% 以上の河水は混合水に使用するに不適當にして、且同程度以上の河水に混凝土工を接觸せしむれば耐久性を害する惧がある。

第 27 表 海水の化學成分 (Dittmar)

| 成 分              | NaCl  | MgCl <sub>2</sub> | MgSO <sub>4</sub> | CaSO <sub>4</sub> | K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | CaCO <sub>3</sub> | MgBr <sub>2</sub> | 計     |
|------------------|-------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------------------|-------------------|-------------------|-------|
| 1 kg 海水中の重量 (gr) | 27.21 | 3.81              | 1.66              | 1.26              | 0.86                           | 0.12              | 0.08              | 35.00 |
| 全鹽類に對する比 %       | 77.74 | 10.89             | 4.74              | 3.60              | 2.46                           | 0.34              | 0.23              | 100   |