

参考資料

土木學會誌 第七卷第五號 大正十年十月

べんちゅりめーたーニ於ケル矛盾

(Engineering, May 27, 1921)

差壓水量計 (Venturi meter) ヲ用ヒ經驗セル所非常ニ奇ナル遠式ニ到達セリコレニヨリ流體ノ靜水頭 (Static head) 測定方法ノ信憑ニ疑惑ヲ生ゼシガ如シ事實此方法ハ系統的誤差ニヨリ影響ヲ蒙ル證據アルモ幸ニ實際上ニハ多クノ場合相殺消スルナリ一般ニ測定サル、モノハ水位ノ差ニシテ若シ測定ノ二箇所狀況同一ナレバ兩方ハ同シ系統的誤差ヲ有シ此レハ互ノ讀ミヲ差引ク時ハ除去サルベシ

差壓水量計ノ場合ニハげいぢノ付クル箇所ノ狀態同一ナラズ一般ニ知ルガ如ク水量計ハ專ラ收斂發散嘴 (Convergent-divergent nozzle) ナリ摩擦ナキ時ハベルヌーイ定理ニヨリ靜水頭及流速頭 (Velocity head) ノ和ガ常數ナルヲ以テ咽喉 (Throat) ヲ通ル流體ノ速度ヲ正確ニ算定スルコトヲ得斯クシテ若シ水量計ノ入口 (Inlet) ニ於ケル靜水頭流速頭ヲ各々 V_0, H_0 トシ咽喉ニ於ケルモノヲ各々 V_1, H_1 トスレバ水量計ノ軸ヲ水平ト假定シテ次ノ式ヲ得ベシ

$$\frac{V_0^2}{2g} + H_0 = \frac{V_1^2}{2g} + H_1$$

或ハ

$$\frac{V_1^2 - V_0^2}{2g} = H_0 - H_1 \dots \dots \dots (1)$$

入口及咽喉ノ比較直徑ヲ應シテ V_0 ト V_1 ハ定比ヲナス普通ノ如ク咽喉ノ直徑ヲ入口ノ直徑ノ三分ノ一トスレバ V_0 ハ V_1 ノ九倍トナリ (1) 式ニ代入スレバ次ノ如シ

参考資料 べんちゅりめーたーニ於ケル矛盾

$$\frac{V_1^2}{2g} \left(1 - \frac{1}{81} \right) = H_0 - H_1$$

此レニ依リ摩擦ナキハスレバ次ノ如クナル

$$V_1^2 = \frac{81}{80} 2g(H_0 - H_1)$$

或ハ $V_1 = 1.006 \sqrt{2g(H_0 - H_1)}$

然シ實際ハ摩擦損失 (Frictional Losses) アリテ常數 1.006 ノ代リニ實驗ニヨル係數ヲ入ル、必要アリ夫故實際ハ次ノ式トナル

$$V_1 = C \sqrt{2g(H_0 - H_1)}$$

今頭 (Head) ガ正確ニ決定シタリト假定スレバ C ハ 1.006 ヨリ小ナルコト明ナリ然ラザレバをねるぎ一不滅ノ原則ニ違背スベシサレドモ周到ナル實驗ノ結果緩キ速度ニテハ C ノ値ハ此レ迄記録サレタルモノヨリハ遙カニ大ナルコトヲ發見セリ茲ニ於テ此違式ヲ如何ニ説明スルヤノ問題起ルナリ

Dundee 大學ノ Dr. W. J. Walib 氏ヨリ筆者ニ寄セラレタル材料ノ中特殊ナル場合ヲ次ニ擧ケントス

此實驗ニテ水量計ノ入口ニ於ケル頭ハ 27.5 吋(水)ニテ咽喉ニテハ 23.0 吋(水銀)ナリ又三分間ノ水量ハ 6.67 封度ナリ水路ノ直徑ハ入口ニテ 3 吋ノ咽喉ニテ 1 吋ナリ

コレ等ノ形狀ニテ理論上ノ最大限 1.006 ノ代リニ 1.023 ノ係數ナルコトヲ發見セリ之レ明カニ間違ノ存スルコトヲ示ス結極水位差ノ測定ニテ殆ンド 3% ノ誤差アリ

コレハ實驗推差 (Probable experimental error) ニシテハ大ニ過グ然レドモ此ノ種類ノ違式ガ差壓水量計ニハ必ず伴フモノニ非ザルコトヲ摘出セザルベカラズ而ル後水路ヲ適當ニ設計スレバ全ク除去サルベシ

理論上ノ最大限ヨリ過剩ノ諸量ヲ實驗室ノ如キ設備ニテ嚴密ナル觀測ニヨリ繰返シ記録シタレドモ結果ハ満足ナル程度

ニハ至ラザリシナリ此等過剰流量ノ數例ハ「小差壓水量計ニ依ル水量ノ測定ニ就キテ」ナル論文ニ記載シアリタリ (The Canadian Society of Civil Engineers in 1902 by Prof. E. G. Coker, F. R. S., and Mr. E. P. Strickland) 一部ノ説明ハ流ハ入口ニテ粘リ (Viscous) 咽喉ニテ激擾 (Turbulent) スルトセバ成シ得ベシ然レバ前ノ場合ニハ断面ノ速度分布ヲ表ハス曲線ガ拋物線トナリ後ノ場合ニハ平頭形 (Flat topped) トナル夫故平均速度ハ一ツハ最大ノ二分ノ一トナリ他ハ最大ノ90%或ハソレ以上トナル之レガ爲メ同一平均速度ニテハ流體ノ全運動えねるぎハ激擾流ノ時ヨリハ粘リノ時ノ方大ナリ以上ニテ差異ノ一部分丈ハ説明シ得ラル、又論議中特別ノ場合ニ示スガ如ク咽喉ノミナラズ入口ノ流モ猶激擾セルモノアリ

與ヘラレタル材料ヨリ速度 61.56 cm/sec 直徑 1.904 cm . 又水ノ運動粘力 (Kinetic viscosity) ハ約 0.0114 C. G. S. 單位ナリ故ニ $\frac{vd}{\nu} = 10,000$ (約) 之レハ平滑ナル管ニテ流ガ激擾ヲ止ムル限度ヨリ可成大ナリ此レガ爲メ違式ノ説明ハ益々逆路ニ入レリ且ツ此ノ説明ハ差壓水量計ノ製作者ガ水路ヲ適當ニ設計シテ誤ヲ除去シ得ルコト、一致セザルベカラズ斯カル場合ニハソノ機構 (Mechanism) ノ性質ヲ考案スルコトニヨリ屢々光明ヲ見出スコトアリ

流體ノ激擾流ニテ激擾ハ核心ニ限ラレ核心ト管ノ壁トノ間ハ粘性流 (Viscous flows) ノ極薄キ層アリ然シ粘性層ハ次ノ如ク全く無視シテ運動ヲ全部激擾ト見テ可ナルベシ以上ノ場合ハ水ノ分子ハ軸速度 (Axial velocity) ノミナラズ放射速度 (Radial velocity) ヲ有ス

若シピット管 (Pitot tube) ガ斯カル分子ノ路ニ沿フテ確實ニ向ケラルレバ分子ハソノ運動量ヲ破壊シ正確ニ刻々得ラル、特殊流線ノ全えねるぎヲ正確ニ記録シ得ベシ尤モ實際上げーぢニ接続セル口ハ管ノ壁内ニ貫キ居レリ分子ハ管ヲ横斷シテ壁ニ休止スコ、ニ於テ分子ノ運動量破壊ハ放射速度ニテ表ハサル、運動えねるぎニ相當スル壓力ヲ生ジ又若シ物質ガ此ノ點ニテ止マレバげーぢハ流體ノ全えねるぎト軸速度ニヨリ生ズルえねるぎトノ差ヲ正確ニ記録スルコト、ナルベシ然ルニ實際上ハ分子ハ管ノ壁ト接觸シタルマ、ナラズ猶新シキ以前ト同一ニシテ方向反對ナル放射速度

ヲ得ルナリ斯クシテ生ジタル新放射運動量ハ管ノ壁ニ於ケル壓力ニヨリテ平衡ヲ保タザルベカラズ又此ノ處ノ壓力ハ流體ノ全頭ト其軸速度ニ相當スル頭トノ差ヲ知レバ從ツテ眞ノ靜水頭ヨリ大ナリ

若シ此觀察ヲ正シトスレバ普通管ノ場合ニテハ頭ノ差ヲ決定シテ間違ナカルベキモ管ノ断面ニ變化アル場合ニテ水ノ分子ノ放射速度ノ轉倒ニ對スル頭ガ凡テノ断面ニ就キ同一ナリト假定スルハ理由ナキガ如シ

事實管ノ寸法ノ絶對量又ハ流體ノ粘力ニ多ク依ルベキモ流速速度ノ二乗ニモ殆ンド比例スルニ似タリ

若シ頭ノ増加大ナルニ從ツテ軸速度大トナレバ或ル差壓水量計ニテ測ラレタル違式ハ全部説明シ得ラルベシ

流ノ全體粘性ナルカ或ハ水量計ノ寸法ガ前述ノ如キ時頭ノ總差 $1\frac{1}{8}$ 吋又ハコレ以下ノ試驗ニ於テハ違式無クナルベシ多分此ノ流ノ低率ニ達セザルマデハ激擾ヨリ粘性流ニ至ル變化ハ幾分不定ノ現象ナレバ觀測ヲ繰返スルモ互ニ一致セザルベシ又一致ハ只過渡期ヲ全ク過ギテ再ビ現ハル此レモ試驗スル方可ナリ何故ナレバ以上進メタル理論ノ含意ハ幾分廣クシテ嘴ノ壓力分布ヲ見タル多クノ觀測モ系統的の誤差ニテ損ゼラレ居ルノ意モ含ム爲メナリ

然シ此レマデ觀測サレタル變則ニハ只特種ノ狀態ニ於テノミニシテソレニ依レバ此ノ事實ハ放射運動量ノ轉倒ニヨリ生ズル誤差ガ一般ニ小ナリト云フ證據ヲ構成スルヲ忘ルベカラズ差壓水量計ノ使用ニ於テ係數ハ實際ノ目盛ヲ見ルコトニヨリ決定スル故問題ハ勿論單ニ理論的の價值ナリ猶既ニ述ベタル如ク製作者ハ違式ヲ除キ得テ全ク完全ナ差壓水量計ヲ造ルコトヲ發明ス量計器ハ違式ヲ除去スルノミナラズ凡テノ流量率 (Rate of discharge) ニ對シテ實際係數ヲ有スルガ如キモノヲ得以上ノ現象ノ理論ハ決シテ此ノ結果ト矛盾セズ若シ水路ノ表面ガ流軸ニ對シ凸狀 (Convex) ナレバ遠心力生ジテ壁ノ壓力ヲ減ゼントス

此ノ「負」壓力ノ値ハ流速速度ノ二乗ニ比例シ凸狀曲率 (Curvature) ノ半徑ニ反比ス

夫故激擾流ニ於ケル流體ノ放射運動量ノ轉倒ニヨリ生ズル過剩ハ多分速度ノ二乗ニ殆ンド比例シ壁ヲ凸狀ニ適宜ニ撰ベバソノ結果前者ノモノト相殺消ヌ又一度ノ補習ニヨリ少クトモ近似的ニ凡テノ流量ニ對シテ保持サル

前述ニ於テ簡單ノ爲メニ流ガ擾ノ時ノ平均放射速度ハ軸速度ニ直接比例スルト假定シタリ此レハ多分正確ニハアラズ
ぢめんしょん (Dimension) ノ理ヨリ平均放射速度 V_r ト平均軸速度 V_a トノ關係ハ次ノ式ニ表ハシ得ベシ

$$V_r \propto V_a \left(\frac{v_a}{A} \right)$$

茲ニ d ハ管ノ直徑ヲ示シ μ ハ運動粘力ヲ示ス

函數 ϕ ハ高速度ニテハ殆ンド常數ニシテ低速度ニテハ $\left(\frac{v_a}{A} \right)^n$ ハ n ハ小負分數ナリノ近似値ナルヲ信ズルニ幾分理由アルガ如シ

(完)

べんちゅりー管ニ依ル流量

(Engineering 17, 1921)

えんぢにやりんぐ記載ノ興味アル「新水理異説」(前記)ニテ小べんちゅりー管ヲ用ヒ或ル觀測者
ハ單位ヨリ大ナル流量係數ヲ得タルコトヲ述ベラレタリ George Kent 氏ノ研究所ニ於ケル我等
ノ實驗ニテ二三千ノべんちゅりー管ヲ作り測定シタル後カ、ル過剰ノ係數ノ尤モ普通ノ原因ヲ
得タリ

- (1) 上流ト咽喉ノ壓孔 (Pressure hole) 間ノ管ノ外圍不平均ナルコト
- (2) 壓孔自身ガ不完全ナルコト
- (3) 不完全ナル上流ノ状態ガ流體ヲ次ノ如クス
 - (a) 紡グ如クナル
 - (b) 高速度核心ヲ以テ進ム

