

廁所的探索

東京大學大學院 鎌田元康教授
2000 年台灣衛浴文化協會大會專題演講

廁所的探索

1. 省水問題的探索

- 馬桶的省水及搬出性能、搬送性能
- 水龍頭的省水及使用便利性

2. 廁所空間的探索

- 問題極多的學校廁所
- 高齡者・身體障礙者專用廁所的探索
- 正確的給排氣方式

3. 其他

- 加壓空間（空氣膜構造等）及存水彎的封水
- 光觸媒等的新污染防止技術
- SI (skeleton infield) 住宅及排水接頭

前言

本人之博士論文題目為「建築物近旁的污染物擴散之相關實驗研究」，由題目可知個人原本之研究專題為空氣環境。然而於東京大學成立自己的研究室後，最早承接的委託研究案為適合於省水馬桶的排水管開發，如下文中所述之卵形管的開發，且最初於東大建築系所擔任建築設備之授課科目為給排水衛生設備，所以實際上個人所從事的研究以水及熱水之相關研究居多。在這次的演講中，將以我個人的經驗為基礎，針對廁所的省水方式、學校及高齡者・身障者專用廁所的探索等問題向各位來賓報告，時間許可的話，再進一步說明空氣膜構造等加壓空間之存水彎封水保護、新的污染防止技術、以及 SI 住宅的給排水設備等。

1. 省水問題的探索

1.1 省水的必要性

有許多人認為若是水資源豐沛就沒有省水的必要。在日本也是一樣，認真考慮到省水問題的地方只限於漸漸面臨水荒問題的東京、神奈川等包含首都圈的南關東地區、沒有大河流過包含福岡的北九州地區以及人口眾多的島嶼沖繩縣等地區。

然而供應 1 M3 的水，自來水事業及水道用水事業約使用電力 0.4kWh，下水道事業約使用電力 0.5kWh，兩者合計可達到日本總電量的 1.52%；眾所周知地日本家庭中能源使用量（換算二次能源）的 35~40% 消耗於熱水供應，所以如何省水一事應該從地球環境的角度來進行檢討。由此可知，有關省水的討論，不應單單著重於如何減少水的使用量這一方面的討論，也不要忘了從節省能源・地球環境的角度來進行檢討。

1.2 馬桶的省水及排出性能・搬送性能

美國根據 Energy Policy Act（能源政策法案）制訂了嚴格的省水基準，此基準中有關住宅的規定自 1994 年 1 月 1 日起實施，而有關住宅以外之其他建築物的規定自 1997 年 1 月 1 日起實施。根據此規定馬桶的洗淨水量為 1.6gpf(1.6 加侖/次、約 6 公升/次)，其結果引起許多使用者抱怨一次的洗淨水無法將固體

排泄物及衛生紙等污物自馬桶排出，變成了一個大問題。

馬桶的省水化狀況如 OHP No. 01(以下簡單以 No. 01 之形式表示)所示，由此投影片除了可以看到美國外，還可瞭解各國對於馬桶省水化問題所做之努力。

考慮到馬桶的省水問題時，首先需注意以下性能，例如附著於馬桶內髒污之洗淨性能、將大便・衛生紙等污物自馬桶排出之性能、排出之污物不會堵塞於配管內能順暢搬送之性能等，必須確認不因省水而損及以上各性能。在日本工業規格（JIS）中針對衛生器具之洗淨性能、排出性能的試驗方法及規定皆無，各研究單位自行實驗之搬送性能試驗方法如 No. 02 所示，關於這些試驗法仍存在之議論點如下所示。

- 1) 馬桶的存水面愈大愈不易產生髒污，不易省水的馬桶應該採用存水面容易擴大的虹吸式（siphon type）馬桶。
- 2) 腹瀉時所排浮於水面的稀便，若使用洗落式（wash down type）馬桶很難將其排出，但是虹吸式馬桶則可輕易將之排出。較重的排泄物及衛生紙一起沖水時，若是洗落式馬桶有可能只將衛生紙排出，而虹吸式馬桶對於衛生紙及較重排泄物之排出效果極佳。故而依著洗淨方式不同，試驗排出性能時對於投入之試驗物是否也應加以變化呢？
- 3) 類似海綿的污物因著相互摩擦而產生糾結時極難排出，但依實驗結果來看此狀況並不常見。而實際固體排泄物的情況，因不產生其類似狀態，所以應該採用其他材質物品來模擬污物進行實驗。
- 4) 實際的使用狀態中，由配管內的大便・衛生紙停滯狀態的觀察結果得知，衛生紙經常較大便難以流動。又在 No. 02 的搬送試驗中，得知一般來說衛生紙的搬送距離較短。因此，搬送試驗中，衛生紙變為重要條件。
- 5) 污物・衛生紙的搬送距離受水深的影響較水的流速為大。因此使用管徑 100mm 的配管較 75mm 管之搬送距離為長。如 No. 03 所示之卵形管，設計與同樣配管斜率之圓形管以相同流量搬送時，因流量相同故卵形管之水深較圓形管為深，所以其搬送距離較長。如 No. 04 所示，生理用衛生棉、紙尿布等異物投入時，也是得到卵形管較圓形管搬送距離為長之結果。
- 6) 根據日本的法規，污水配管之斜率在滿流時，流速不得小於 0.6m/s，這個數值是依據是否能搬動石頭之類比重較大物體之掃流（請參照註釋來決定的，與比重小的大便・衛生紙的搬送距離無直接關係。另外，在美國也有滿流流速不得小於 2fps(2feet/s)與日本大約同值的配管斜率限制。若使用曼寧的計算式，則滿流及半滿流的流速相等²⁾。
- 7) No. 05 表示由便器排出之水於配管中流動時，有關流量與水深之數值計算結果及實驗值的對照比較。而 No. 06 表示以數值計算方式求得虹吸式馬桶排水之水流狀態，像這樣隨著數值計算的進步，可以預測馬桶的排出性能、配管的搬送性能等。

，對於機器的開發有著莫大的助益。

- 8) 想要在進行省水時得到與非進行省水時同等的便器排出性能、配管搬送性能是不可能的。製造廠商應該將便器的使用條件加以明確化，以促進省水馬桶的普及使用。

〔註〕界限掃流力 (critical tractive force)

水在流動時，水路或河川等的底面因流水而產生剪斷應力 τ_o ，當底面由砂礫等構成時，在此作用之剪力須達一定值，所謂界限掃流力 τ_{oc} 以上時砂礫才會開始移動。 τ_{oc} 之計算式如下所示。

$$\tau_{oc} = \rho U_{*c}^2 = \rho g h l_c \quad (2 \text{ 次限流})$$

$$= \rho g R l_c \quad (\text{管路及開水路水流})$$

τ_{oc} : 界限掃流力 [N/m²] ρ : 水的密度 [kg/m³]

g : 重力加速度 [m/s²] h : 水深 [m]

l : 水面斜率 (等流時底面的斜率為一致) [-]

R : 徑深 (= A/P , A : 流水斷面積, P : 潤邊長) [m]

$U_{*c} = (\tau_{oc}/\rho)^{1/2}$: 界限摩擦速度 [m/s]

此式展開可求得砂礫產生移動的流速・界限流速 V_c ，此為引用 Shields 的觀點及運用曼寧的流速公式。

Shields 的實驗：界限雷諾係數 U_{*cd}/ν (d : 砂礫的直徑 [m]、 ν : 水的動黏性係數 [m²/s]) 其值若變大時， $U_{*cd}^2 / \{ (1/(\sigma/\rho) - 1)gd \}$ 大約會變成一定值 β ，其值約為 $\beta=0.05$ (σ : 砂礫的密度、而 σ/ρ : 比重)。

曼寧的計算式: $V_c = (1/n) R^{2/3} l_c^{1/2}$

$$\therefore V_c = (1/n) R^{1/6} \{ \beta \{ (1/(\sigma/\rho) - 1)gd \} \}^{1/2}$$

這個公式中， $n=0.012$ (一般鑄鐵管採用之值)， $R = 0.2/4 = 0.05$ [m]

(內徑 200mm 的管滿流時)， $\beta = 0.05$ ， $\sigma/\rho = 2.65$

(石英程度比重的砂礫)， $d = 0.002$ [m] (直徑 2mm 的砂礫) 的值代入的話，將使 $V_c = 0.65$ [m/s]，同樣條件下管徑變為只有 100mm 時 $V_c = 0.58$ [m/s]。

1.3 水龍頭等的省水及使用便利性

在考慮省水時，個人主張需將馬桶、小便斗等對使用者的密切性及使用感沒關係的器具，與蓮蓬頭、水龍頭等關係到使用者之使用感、密切性的器具加以分開考量。談到水龍頭的省水問題，我們都知道只有在手伸出去時才流出水的自動水龍頭其省水效果極大，但是對於水龍頭的出水流量及使用感、將手上的污染物洗除等問題便沒有多加討論。在今年日本的空氣調和・衛生工學會的論文發表大會上，便有這樣的論文發表，將單純的水流 4.5 l/min 的水龍頭與水流 1.5 l/min 混合空氣 3.0 l/min 總流量 4.5 l/min 的水龍頭加以比較，其結果顯示使用感、污染物的洗除性能幾乎相同³⁾；像這樣踏實的研究是有必要的。此外，自動水龍頭、自動洗淨免治馬桶裝設時，需注意防止清掃時水浪費地流掉，解決這些問題的機器已經開發完成了。

2. 廁所空間的探索

日本跟台灣一樣，學校的廁所、公共廁所的問題極多。以下就學校廁所及公共廁所中所設置高齡者・

身障者專用廁所空間的注意事項，及解決廁所惡臭問題的給排氣方式作一報告。

2.1 學校的廁所

日本把「臭」、「髒」、「暗」、「可怕」四個字的第一個羅馬拼音合起來稱作「4K」，而學校的廁所便經常被抱怨完全符合這四個字。在新蓋的學校中，對於這些問題已持續地進行改善，而雖然已經有許多的學校進行廁所改修，還是仍留有許多問題尚未解決。

No. 07 是對於東京都的小學生⁴⁾、No. 08 是對於神戶市小學的教職員，而 No. 09 則是同樣神戶市中學的教職員⁵⁾，有關學校廁所的問卷調查結果，主要的調查結果如下所示。

- 1) 在 No. 07 中「最討厭廁所什麼地方呢？」的問題，及 No. 08、09「對於目前使用的廁所有什麼期望」的問題，答案中以「臭味」居第一。然而 No. 08、09 中將建築物依完工年度加以分類，發現即使是 1989 年以後完工的新校舍也有 36.7% 的小學與 25% 的中學指出「臭味」的問題。
- 2) No. 07 中討厭廁所「臭」、「髒」、「暗」、「可怕」的回答達 606 人次，因為是複選題或許不能說是完全正確，但是以受訪者 321 人來看的話，幾乎全部的受訪者都討厭這 4K 的問題。
- 3) 有關喜歡洋式便器或和式便器的問題，由 No. 07 知道越是高年級的學生越是喜歡和式便器，而且女生比男生喜歡和式便器。另外針對山梨縣的中學生所作之間卷調查，其調查結果中上述傾向更為顯著。

學校的廁所除了上述的一堆問題之外，還產生了許多新問題，有的小學生若不是使用洋式便器便無法排便、有的幼稚園小朋友因為習慣了溫水自動洗淨馬桶座。因此，有在學校只有衛生紙而沒辦法自己擦屁股，或因為讓小孩子掃廁所的教職員，遭到學童父母的申訴抱怨等等事件的發生。

No.10 是期望的小學廁所風貌⁶⁾，而 No.11~18 是中學廁所的改修實例，提供各位參考。

2.2 高齡者・身障者專用廁所

隨著社會的高齡化，及 1994 年 9 月施行的「高齡者・身體障礙者使用無障礙特定建築物的建造促進相關法律 (通稱: Heart 建物法)」之影響所及，對於高齡者・身障者專用廁所的關心度也隨著提高，因此出版了許多相關書籍。個人也曾擔任高齡者・身障者公共廁所有關書籍⁷⁾的監修工作，個人從中學到的，而且也比較容易被忽略的重要事項整理如下。

- 1) No.19 為高齡男性的排尿特性，而 No.20 表示男性排尿的行為。僅僅是排尿這樣一個簡單的行為，年輕人跟高齡者便大異其趣，所以在規劃廁所時實在有必要充分了解高齡者・身障者的排泄行為及身體障礙的特性。
- 2) 在身障者專用廁所中經常設置的傾斜鏡，是專為輪椅使用者考量的器具，但是往往讓其他的人很難使用。為了使用方便或許我們可以在洗面台前以外的場所設置可以照到全身的鏡子。
- 3) 身障者依障礙的程度不同所需求的廁所亦不同。