

路面排水に関する実験的研究

川端 猛*

1. 緒 言

日本列島は大陸と海洋に挟まれた特殊な位置に有るために降水量が比較的多く（年平均降水量 1670mm 位）、多大な水資源に恵まれている。しかし、その被害も多く道路管理の立場でみると、台風時、梅雨時あるいは降雪時等には路面の排水機能が麻痺し、各地の国道や地方道では不通になることが起こる。不通にならなくても一歩手前の状態で交通機能は極度に低下する場が多い。

元来、路面排水は路面上の滞水をなくし、交通の支障を来たさないようにすると同時に道路各部の破壊を防いで常に安全な状態を保つことを目的とする訳であるから、上記のような事態が生ずるのは遺憾とする所である。

路面排水の方法は路面上の滞水を舗装面に沿って側溝に流し込み、側溝内に設けた排水柵に集水し、排水路を経て河川や下水道施設に排除するのが一般的である。

我が国では排水柵には機能的に有利であるとの判断から側溝柵が多く使用されている。側溝柵の機能は道路の縦断勾配や横断勾配の他に柵蓋の穴の配列型式や面積の如何により左右されると考えられる。

柵蓋の構造は JIS-A5507 で一部規格されているものの、現在各都市で使用されているものは独自の規格で多種多様である。柵蓋の穴の配列型式は大別して 4 種類有り、それぞれの特色を活かして道路状況に応じて使用されている。柵蓋にはその主目的である排水機能が何よりも要求されるが、道路面に設置されるので自動車荷重等の外力に対しても十分な配慮が必要になり、両者のバランスが難しく一概に落下穴面積を大きくする訳にはいかない。

路面排水の設計の段階での概略の手順は道路排水工指針によると、

- ① 計画区域の雨水流出量を合理式により計算して単位長さ当りの路面流量 (q) に換算する。
 - ② 側溝の構造形式が決定されると許容側溝流量 (Q) を Manning 式により計算する。
 - ③ これらの流量を基にして、前もって実験により作製してある柵蓋の配列型式、落下穴面積、横断勾配等の関係より落下率を求めて側溝柵の配置間隔 (L) を決定する。
- のようになっている。

当研究に於てはこのよな現況にある路面排水の「入口」に当る側溝用柵蓋の落下穴の配列型式について、現存のものを実験的に比較検討して、さらに配列型式に工夫をすることにより排水効果を向上させることが可能であるかどうかを水理学的に模索しようとするものである。

2. 側溝内の流れ

一定断面形の水路に横から流入のある場合については本間*、岩垣*などが一般的な解析を行なっているので、ここでは運動量方程式を基礎とした不等速定流に対する前記岩垣の方法を示すことにする。

*理工学部土木工学科教授 水理学

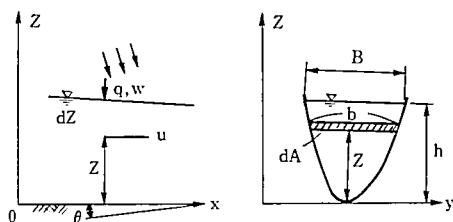


図-1 流れの解説

図-1 のように x 軸方向を水路底面にとって、横からの流入量を q (流入速度 w , x 軸となす角度 δ)、側溝流量を Q とすると、

運動方程式は

$$\frac{\tau_0}{\rho g R} = \sin \theta - \frac{dh}{dx} \cos \theta - \frac{q}{gA} (\alpha v - w \cos \delta) - \frac{d}{dx} \left(\alpha \frac{v^2}{2g} \right) \dots\dots\dots (1)$$

となる。

ここに $\alpha = \int_A u^2 dA / v^2 A$: 流速分布の補正係数

v : 断面の平均流速

τ_0 : 水路面上のマサツ応力

θ : 水路底の傾斜角 ; 一定

A : 流積 R : 径深

いま水路幅が x 方向に変化しない場合で、 $\alpha = \text{Const.}$ とすると (1) 式は

$$\frac{dh}{dx} = \frac{\sin \theta - (\tau_0 / \rho g R) - 2\alpha (Qq / gA^2) + (wq / gA) \cos \delta}{\cos \theta - (\alpha Q^2 / gA^3) dA / dh} \dots\dots\dots (2)$$

となる。

一方、連続方程式は

$$dQ/dx = q$$

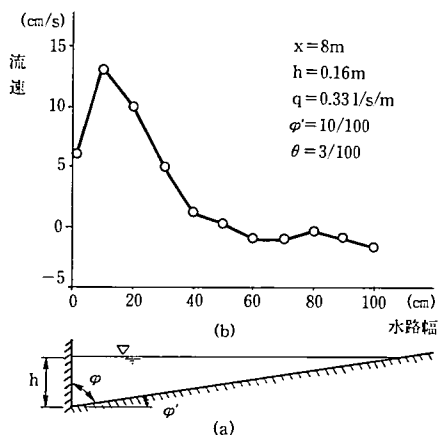


図-2 三角形水路の流速分布

図-2 (a) のような三角形水路の場合に $x=0$ で $Q=0$, $q=\text{Cost.}$ とすると
(2) 式は

$$\frac{dh}{dx} = \frac{F_1(h, x)}{F_2(h, x)} \text{ のように置くと}$$

$$F_1(h, x) = \sin\theta - \frac{2\alpha q^2 x}{gh^4 \beta^2} - \frac{q^2 x}{C^2 h^5 \beta \gamma}$$

$$F_2(h, x) = \cos\theta - \frac{2\alpha q^2 x^2}{gh^5 \beta^2}$$

ここに $\beta = \frac{1}{2} \tan\varphi$, $\gamma = \sin\frac{\varphi}{2}(1 + \cos\varphi)$

マニング式の粗度係数 n を用いて $C = h^{\frac{1}{6}} \gamma^{\frac{1}{6}} / n$

である。

柵蓋の落下穴の配列を考える上では上記水面形の他に三角形水路内の流速分布を知る必要がある。

図-2 (b) は JIS-A5306 で規格している L 型側溝を想定して、計測の都合上 3 倍に拡大した予備的な水路（木製）で実測した結果の一例である。流心の位置は左岸の縁石側に近いところにあり、右岸側では x 軸方向の流れよりも y 軸方向の流れが大きく、渦が生じていることが観察できる。

3. 実験装置と実験方法

実験には道路の中央部より片側部分を実験範囲として、長さ 9m、幅 1.26m（路面部

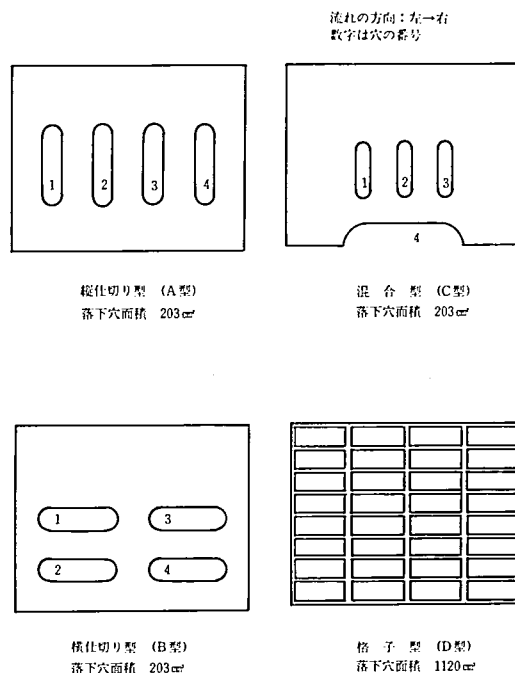


図-3 側溝用雨水樹蓋の型式（従来型）

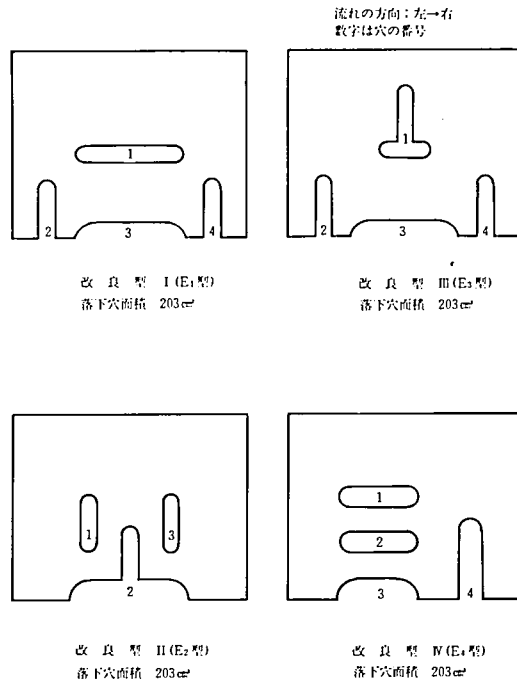


図-4 側溝用雨水樹蓋の型式（改良型）

0.9m、側溝部 0.36m）の木製平面水路を用いた。

路面への散水は中央部に設けた底部に散水穴のある樋より流出させた。路面の横断勾配は一定（2.0%）とし、縦断勾配はジャッキで可変できるようにして1%と3%の2種類とした。

側溝部分の横断勾配は前記 JIS 規格 L 型側溝に準じて 10%とした。側溝柵の間隔は 6m としてあり、その上部の柵蓋は JIS 規格中型に準じた大きさに設定し、縦仕切り型（A 型）、横仕切り型（B 型）、混合型（C 型）、格子型（D 型）の 4 種類を使用してそれぞれの特色を検討した。その後それらの結果より改良型（E）を 4 種類製作することにした。落下穴面積は格子型（D 型）の 1120cm²を除いて全て 203cm²に統一してある。

路面流量は雨量年表より多摩地区の過去 100 年の資料を参考にして求め、側溝流量を 0.5ℓ/s より 0.5 ステップで 3.0ℓ/s までの 6 段階に設定した。

落下率は（落下流量 / 側溝流量）として計算し、落下流量の測定は格子型（D 型）を除いては柵蓋の各穴毎に測定できるようにした。

4. 従来型の特色

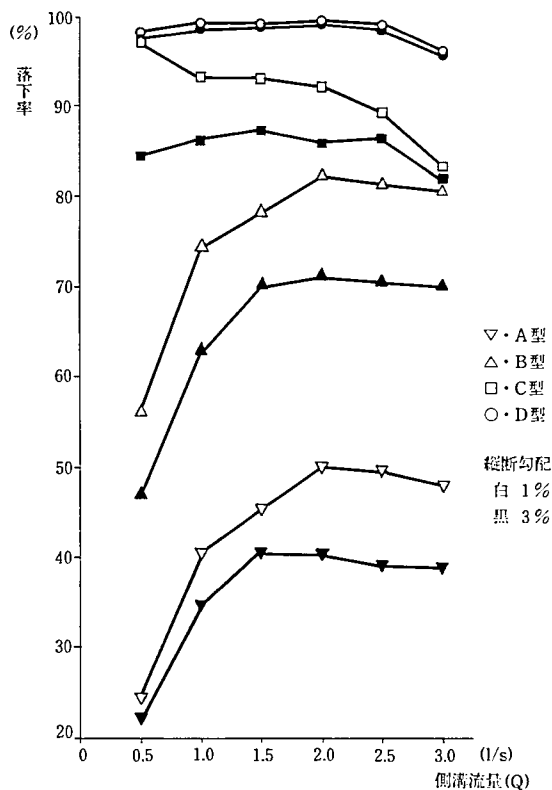


図-5 従来型の落下率

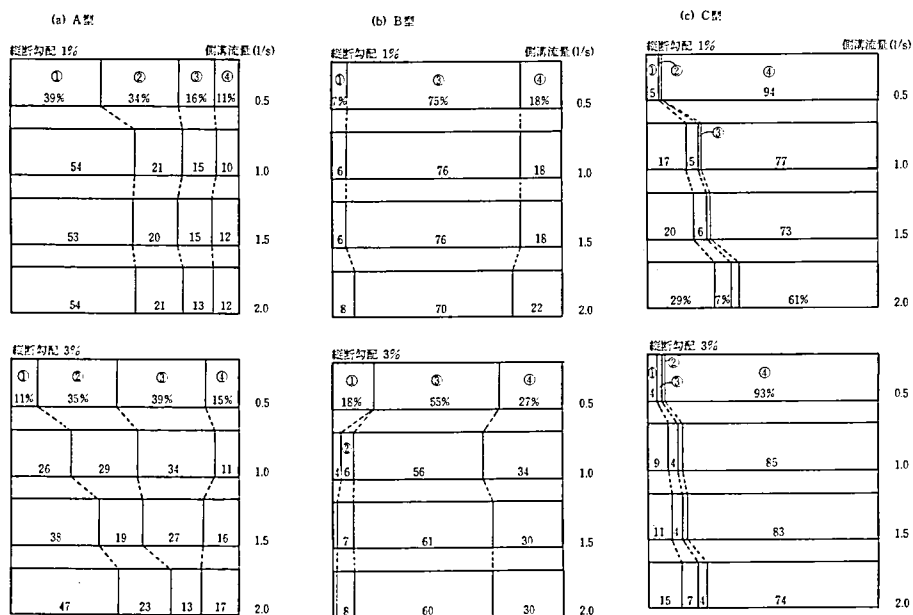


図-6 落下穴別稼動状況 (従来型)

実験の結果より A 型～D 型の 4 種類の特色を検討してみる。

(1) 縦仕切り型 (A 型)

長円の落下穴 4 個 (同形) を 1 行並列に配置し直線面を側溝内の流れに垂直に対面するタイプである。

落下率は路面の縦断勾配 (1%と 3%) によって相当の差異 (約 10%) が生じている。又、側溝流量が少ない場合には落下率が小さく縁石に沿って下流に通過してしまう水量が多いことを示している。側溝流量の多い場合の方が落下率が大きいと全体的にみても最大落下率が 50%と低調であった。

落下穴別稼働状況では 1, 2 の落下穴の働きが大きく、全体の落下率を維持していると思える。下流になる程、落下穴の働きが少ないが側溝流量によって各落下穴の受持率には変化がない。

このようなタイプは三角形水路の場合よりも床面が放物線である水路の場合に効率が高いだろうと思われる。

(2) 横仕切り型 (B 型)

長円の落下穴 4 個 (同形) を二行並列に配置し半円部を側溝内の流れに垂直に対面させるタイプで、柵蓋中心より縁石側に落下穴が置かれている。

落下率は A 型同様に縦断勾配によって相当の差異 (約 13%) が生じている。落下穴の位置が全体に縁石側に寄っているために A 型よりも落下率は大きくなっている。図-2 (b) で示すように側溝内の流心が縁石側にあることを考えれば当然と云える。(平均落下率約 70%)

落下穴別稼働状況では 3 の落下穴の働きが極めて大きく縁石側の落下穴の有効性を示している。

路面交通の面で見ると、落下穴の配列が自転車のように幅の狭いタイヤの走行に支障を与える懸念がある。

(3) 混合型 (C 型)

長円の落下穴 3 個 (同形) を 1 行並列に柵蓋の中央部に側溝内の流れに垂直に対面させて、さらに縁石面に沿って半長円の落下穴 1 個を配置した A 型と B 型を混合したタイプである。

落下率は A 型、B 型よりも高く (平均落下率約 87%)、最低でも 2 者の上にあり効果が大きいことを示している。又、縦断勾配による差異 (約 7%) も少ない。

落下穴別稼働状況では縁石に沿った落下穴 4 が極めてよく働いていて他の落下穴は補助的な存在のようである。特に 3 の落下穴は型を整えているだけの存在とも云えるが流れの方向が逆になれば 1 の落下穴の働きをすることになる。

落下率のよいことから普遍的に利用されているタイプである。

(4) 格子型 (D 型)

柵蓋全面を格子で仕切って 32 個の長方形の落下穴がついている。A 型～C 型の約 5 倍の落下穴面積を持っていて別格である。一般に構造は A 型～C 型は鉄筋コンクリート製であるのに対して D 型は铸铁製である。

落下率は側溝流量や路面縦断勾配にあまり左右されなく 95%以上で極めて効果が高いことを示している。

落下穴別稼働状況は測定していないが配列的にはどこからの流れにも対応できると思

われる。

近頃ではこのタイプの利用が多くなっているが、A型～C型よりもコスト高であること、落下穴面積が大きいのでゴミや石による目詰まりなどの欠点があることも注意を要する。

以上従来より使用されている4種類についてまとめたが共通している特色は

- ① 縁石側にある落下穴は極めて効果的である。側溝内流速分布図やC型の場合などがよく示している。
- ② 側溝流量が大きくなり許容側溝流量（この水路では約2ℓ/s）を越えると当然のように落下率は低下する傾向にある。
- ③ 路面の縦断勾配が大きくなると側溝内の流速は速くなり、最初の落下穴の落水効果が小さくなる。その分、他の落下穴に分担してもらう傾向がある。縦断勾配が大きくなると落下率は低下する傾向にある。
- ④ 同一配列なら落下穴面積の大きい方が落下率がよい。ここに提示していないがC型で落下穴面積を約2倍にしたものを作製して調べたら、落下率が約7%上昇した。などが挙げられる。

5. 改良型の特色

従来型の実験資料を検討した結果、格子型（D型）は落下穴面積や落下効果の点で対象外として、流れの上流端側及び縁石側の落下穴の有効性に注目し落下効果の良かった混合型（C型）を中心に改良することとした。

そこで、① 同一面積で落下率90%以上とする。

② 落下穴の配置は極力左右対称形とする。

③ 落下が一つの落下穴に集中することなく他の落下穴にも分散して稼働さ

表-1 改良型の落下率

縦断勾配 1%

| 改良型 側溝流量 | E ₁ | E ₂ | E ₃ | E ₄ |
|-------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0.5 ℓ/S | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 1.0 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 1.5 | 99.5 | 99.2 | 100 | 100 |
| 2.0 | 99.5 | 95.7 | 98.4 | 99.7 |
| 2.5 | 96.4 | 94.4 | 97.6 | 98.5 |
| 3.0 | 93.7 | 92.0 | 96.8 | 97.8 |

縦断勾配 3%

| 改良型 側溝流量 | E ₁ | E ₂ | E ₃ | E ₄ |
|-------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0.5 ℓ/S | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 1.0 | 99.2 | 99.0 | 100 | 100 |
| 1.5 | 98.0 | 94.9 | 99.2 | 100 |
| 2.0 | 90.3 | 92.3 | 95.0 | 98.0 |
| 2.5 | 88.5 | 89.9 | 91.7 | 97.2 |
| 3.0 | 86.4 | 88.0 | 90.8 | 94.3 |

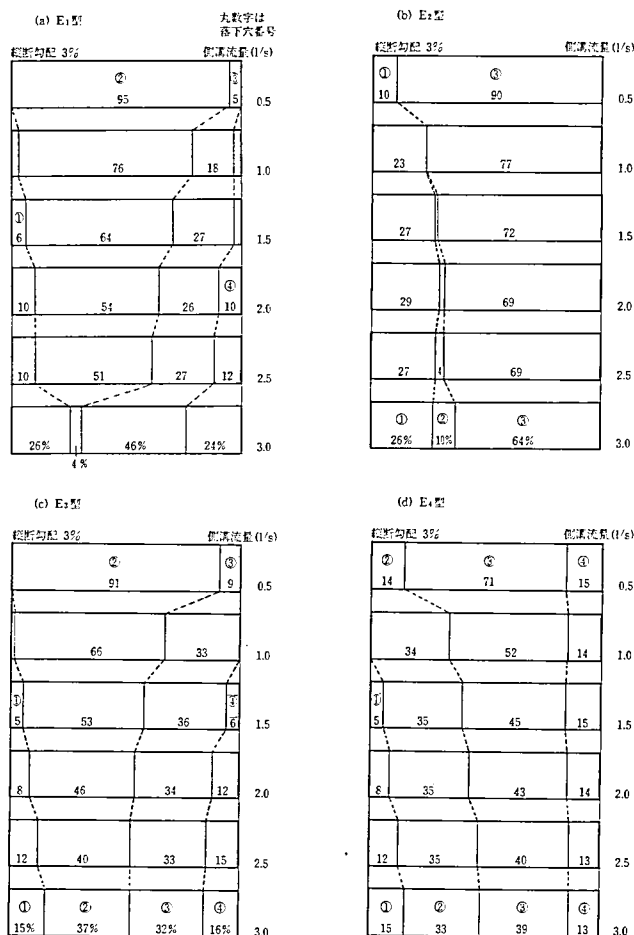


図-7 落下穴別稼動状況 (改良型)

せる。

の3点を目標にすることとした。

(1) 改良型Ⅰ (E₁型)

縁石側に落下穴を集中して小流量の排水に有効であるよう考慮した。落下穴2, 3, 4は縁石に接して主流量を受持ち、落下穴1は斜に入る流れを受持つように配置してある。

落下率は最悪状態 (縦断勾配3%, 側溝流量3.0l/s) で86.4%であるが全体的には目標落下率に近く、小流量には十分対応している。

落下穴別稼動状況では落下穴2, 3が有効に働いている。許容側溝流量附近では4個の落下穴とも良く稼動している。

(2) 改良型Ⅱ (E₂型)

この型は従来のC型に最も良く似ている。C型の落下穴2を4に接続して、この間を通過する水を排除するよう配慮してある。

落下率は縦断勾配1%の場合の最低値92%, 3%の場合の最低値88%であり、実験前の予想に反してE₁型と大差がない結果となった。

落下穴別稼働状況では落下穴 2 の貢献度が少なく 1, 3 で落下率を維持している傾向にある。

(3) 改良型Ⅲ (E₃ 型)

この型は E₁ 型と同様に縁石側に重点を置き, 3 個の落下穴を配し, さらに斜方向からの流入に備えて中心部に凸型の落下穴 1 個を設けてある。

左右対称形 (E₁~E₃ 型) の中では最大の落下率 (縦断勾配 1% で最低値 96.8%, 3% で 90.8%) を示した。

落下穴別稼働状況をみても比較的各落下穴が稼働としている。

(4) 改良型Ⅳ (E₄ 型)

この型は E₁~E₃ 型のように左右対称ではなくて, 落下率を上げることに重点を置き片側 (左→右) からの流入に対応するよう考えたものである。落下穴 4 は最終的流出を吸収するために設けてある。

落下率は E₁~E₃ 型よりも大きく (縦断勾配 1% で最低値 97.8%, 3% で 94.3%) 目標落下率を十分満している。

落下穴別稼働状況でも各落下穴が稼働している。落下穴 4 が配置してあることも成功したと思える。

現在使用されているものは左右対称形が主流である。どちらからの流れにも対応できるので適応性が高く, 経済的であるからであろう。適応性や経済性を度外視して効果を第一義に考えなければいけない場合にはこのような型も有効であると思う。

6. 結 論

今回の実験では ① 落下穴の位置により機能が異なり, 特に縁石側, 上流側にあるものの働きが重要であること。② 落下穴配列を変えることにより, より排水効果の高い柵蓋を製作することが可能である。などを確認した。

4 種類の改良型を試作してみたが, これらが最良と云う訳ではなくて可能性を検討したのである。

柵蓋にとって何よりも障害となるのは路面上に散乱した落葉やゴミ等が集まって落下穴の目詰まりを起こすことである。水路内に設置したスクリーンや橋脚等の前面のゴミにより流れの機能が低下するのと同じで極めて困った問題である。道路管理の立場で路面清掃に多額の予算を投入するのもこのためである。

目詰まりの起き易い落下穴は稼働率の高い穴でもある。一度目詰まりが起きると落下率は極度に低下し, 障害物によって流れが柵蓋上を通らず回折してしまう場合などには落下率 0% と云うこともある。

ここでは最初に記述した自動車荷重等に対する強度の問題には触れていない。強度試験を無視しては実用品とは云えない。

現在も実験を継続しており, 目詰まり対策や強度の問題にも言及して報告できるように検討中である。

最後に卒業研究生としてこの実験に参加した古関 健君と鈴木勝彦君のご助力に敬意を表します。

参 考 文 献

- 本間 仁：横からの流入のある水路の計算について
建設工学第2巻1号 1949年
- 岩垣 雄一：雨水流による地面浸食機構に関する基礎的研究
京都大学学位論文 1955年
- 岩垣 雄一，末石富太郎：横から一様な流入のある開水路の不定流について
土木学会誌第39巻11号 1954年
- 稲場紀久雄，横尾将位：雨水ますの落下率，密度および配置
下水道協会誌 Vol16-56 1969年
- 石原藤次郎，本間仁：応用水理学Ⅱ 丸善 1973年
- 日本道路協会編：道路排水工指針 日本道路協会 1979年
- 日本道路協会編：道路構造令の解説と運用 日本道路協会 1971年
- 日本規格協会編：JIS ハンドブック土木 日本規格協会 1989年