

ゲートの技術基準の変遷に関する研究*

Study on History of Design Standard for Gate

竹林 征三^{*}、高須 修二^{**}、桜井 好文^{***}、貴堂 厳^{****}

By Seizo TAKEBAYASHI, Syuji TAKASU, Yoshifumi SAKURAI, Iwao KIDO

Civil engineers have to obtain the consensus of social opinions in order to produce the structures. As the result, the design of structures is reflected by the age and the social conditions.

The level of a functional design, which has a social consensus, is defined as a design standard. The design standard indicates the top levels of technology in every age. A lot of matters are hidden behind the background of the standard. The history of the standard also shows the global tide of technology for an each structure. From a point of view, the history should be put on the trunk of civil engineering history in this sense. However there is no paper that analyze the history of design standards as a problem of the civil engineering history.

In this paper, as the civil engineering history generalize the authors the history of gate-valve design standards, for example, "Flood-Gate and Iron Pipe Standard" and "Dam and Weir Technical Standard".

Keyword: Technical Standard, Dam & Weir, Gate & Valve, Engineering History.

1. 結論

(1) はじめに

現在、ダム・堰に設置するゲート・バルブに関する設計・製作・施工は(社)ダム・堰施設技術協会にて策定されたダム堰施設技術基準(以下、本文ではダム・堰基準と略す。)に準拠して行われている。本基準は平成2年に第1次案が策定され¹⁾、その後平成6年に正案が策定された²⁾。

同基準の策定する以前に於いては関係各省の関連基準³⁾や指針⁴⁾、設計要領の他^{5), 6), 7)}、水門鉄管技術基準⁸⁾(以下、本文では水鉄基準と略す。)によって設計が行われてきた。

更に昭和35年の水鉄基準が策定される以前については各水門メーカー各社が独自に各ゲート毎に関連する技術資料を参考とする等、関連技術を結集し

て設計してきた。

本文は、1章に技術基準変遷ステージを分類し概括するとともに水鉄基準以前の設計の基本的な考え方を記す。2章に水鉄基準に基づく水門扉の設計基準の変遷を述べる、3章にてダム堰基準への展開してきた技術項目を述べる。5章にて技術基準の変遷を通して流れている設計思想について考察しとりまとめとする。

特に、昭和30年代後半以降に計画実施されたゲート設備の大型化、高水圧化に伴い各種のゲート機構の開発・改良が行われ、その機能が大幅に向上し、現在の世界最高レベルの技術体系に至っている。これらの技術基準は全て、水鉄基準及びダム堰基準に処するものであるので、2章・3章が本文の中心として詳述する。

* Keywords、技術基準、ダム・堰、ゲート・バルブ、技術史

** フェロー会員、建設省土木研究所地質官 (〒305 つくば市旭1番地)

*** 正会員、(財)ダム水源地環境整備センター (〒102 東京都千代田区麹町2-14-2 麹町NKKビル)

**** 正会員、(元)三菱重工業(株)鉄構装置部 (〒244 横浜市戸塚区品濃町48)

***** 正会員、佐藤鉄工(株)技術本部 (〒101 東京都千代田区岩本町1丁目1番5号)

図一 1 (その1) 技術基準変遷—覧表

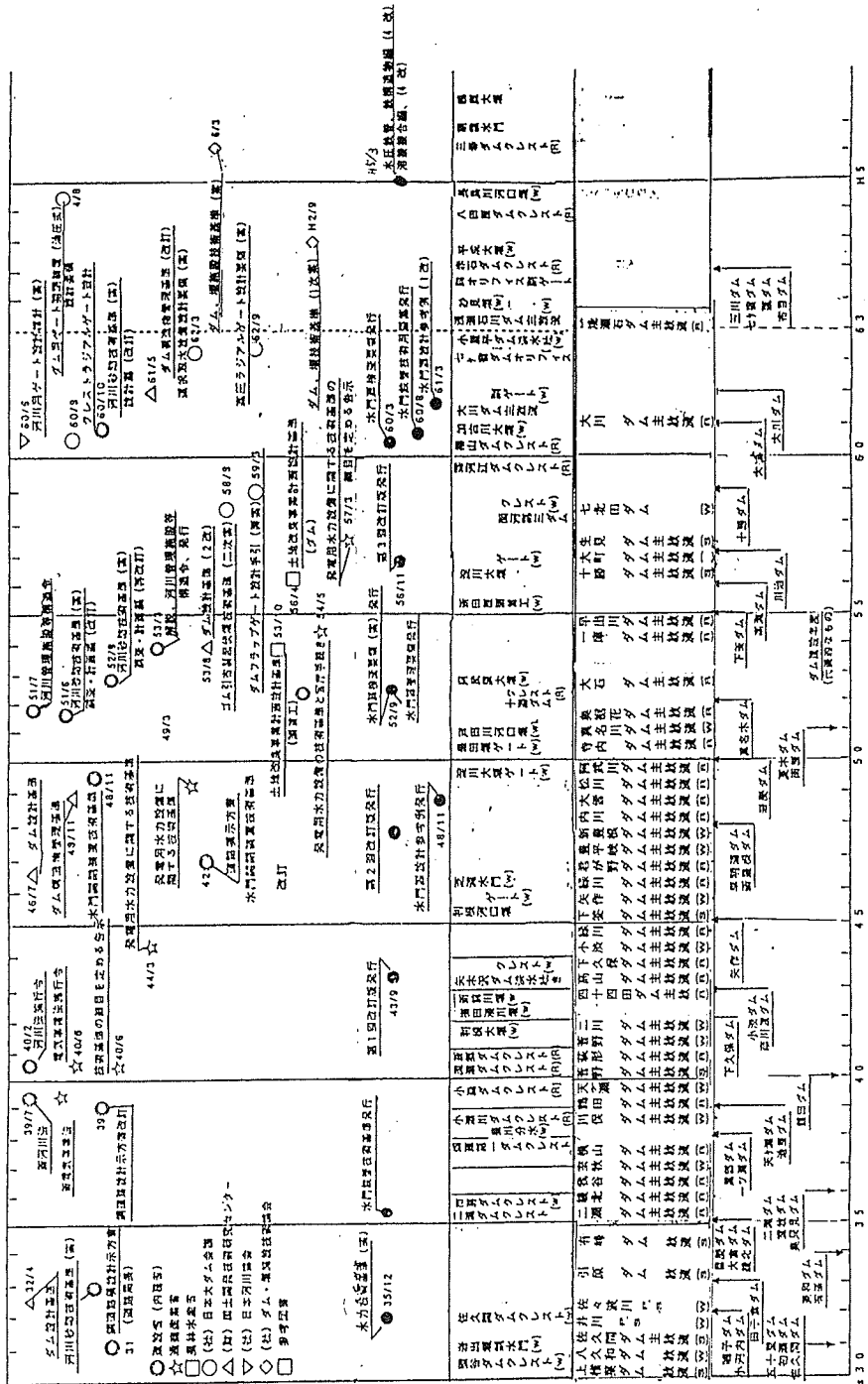


図-1(その1)(その2)は各種技術基準の設定の時系列的配置とあわせ同時に関係省庁等の法規・基準等についてもとりまとめたものである。

(2) 技術基準変遷ステージ

技術基準の変遷は大略次の4つのステージを経て展開される

第1ステージ；設計者が、関連する技術資料等を収集し、既往事例等を参考にしながら試行錯誤的に設計する段階

第2ステージ；設計者の集団（発注者側または受注者側）が自分たちが実施してきた個別的技術の事例も増え、技術の集約がなされ内部的に技術的資料（お家芸的基準といえる）にまとめられる段階

第3ステージ；メーカー側各技術集団（各社）が、個別に集約している技術を同業各社と情報交換することにより利点を追求する段階で、同業各社間で同一のコンセンサスが得られる技術を設計基準等としてまとめる段階

第4ステージ；ユーザー側において、設備の維持管理を通じ多くの技術的ノウハウが蓄積されてき、メーカー側とユーザー側との技術情報交換をすることにより更に高度な技術を追求する段階で、メーカー側・ユーザー側双方が共通の技術基準を作成し、共有する最終段階

図-1を総括し、ゲートの技術基準の4つのステージを考察する。

我国最初の近代ダムである本河内高部や布引五本松ダム等明治30年代から大正末期までは、先進外国からの輸入品をそのまま設置するか簡単なものから順次外国の既往事例を参考にしながら設計してきた第1次ステージと位置付けられる。また昭和初期から昭和32年の水力技術基準（案）ないし昭和35年の水鉄基準の策定される頃までは第2ステージと位置付けられる。すなわち萩原俊一の「発電水力学」¹⁰⁾や日笠育夫の「可動堰」¹⁰⁾等の技術書や「水理公式集」、「Valves, Gates and Steel Conduits」(US BR)¹¹⁾等を参考にしながら日本標準規格（JES）、同

戦時規格（臨SES）等を準用しながら設計集団が社内的に個別の技術論を着実に蓄積しながら設計してきた段階である。

更に、水鉄基準が初めて制定された昭和30年代中期からダム堰基準（第1次案）が策定されるまでの間が第3ステージと位置付けられる。

たとえば、鋼材の降伏点が初めて規定されたのは昭和27年のJIS改定時であり、それにあわせ許容応力が引張り強さ／安全率から降伏点／安全率に水鉄基準が規定された。また、水門の設計に当たっては許容応力度を大正14年の道路構造に関する細則（内務省例）の80%とするという考え方は昭和35年の水鉄基準、昭和43年の水鉄基準の第1次改訂にも引き継がれた。また、水鉄基準においてはラジアルゲートの脚柱の面内・面外の座屈のチェックやプレートゲーターウェブの座屈の照査等は鋼道路橋示方書、道路橋示方書等が準用される等、周辺類似基準の進展に合わせ、それらの考え方が導入されてきた。

平成2年のダム堰基準以降が第4ステージとして位置付けられる。なお水鉄基準は、昭和35年12月の初版以降3回の追補・改訂が行われている。昭和56年11月の第3回改訂時では特に昭和51年の建設省により制定された河川管理施設等構造令、同施行規則の関係条項との整合が図られ、あわせて同省の水門開閉装置技術基準¹²⁾の準用が行われている。従って昭和56年から平成2年までの間は第4ステージへの準備期、萌芽期、あるいは第3ステージと第4ステージとの中間期と位置付けられると見なすこともできる。

2. 水門鉄管技術基準水門扉の変遷

以下にゲートを中心とする設計基準の変遷についてその主なる事項を述べることとする。（なお、以下の文中第1～3回改訂版はそれぞれ1改、2改、3改と略称す）

(1) 設計

水鉄基準には、設計に関する内容として一般事項・使用材料・許容応力からゲートの各構造部となる扉体・戸当り・固定部・開閉装置について規定されてきた。また、2改以降は設計各論を加えて、個々のゲート形式ごとに、特徴を捉え、より具体的に設計上必要な技術事項が条文化された。

a) ゲートの種類、形状の選定

ゲートの種類、形状の選定については、初版および1改では設計一般に含まれているが、2改以後は第1節総則の範囲に編入されている。ここに設置個所と使用目的別にゲートを展開すると表-1のような内容となり、主なるものは以下の通りである。

- ①ダム洪水吐き用は、1改以後クレストゲートと改称されており、内容は転石用（流下砂礫用）としてのローリングゲートが3改にて削除され、また流芥用ではフラップ付きゲート（含長径間ゲート）が追加されている。
- ②ダム放流用は、1改および2改で「オリフィスゲートおよび弁」、3改では「放流管ゲート」（オリフィスゲート）およびバルブとなっている。

1改でストーニゲートに代わる新しい形式のキャタピラゲートが追加され、また放流機能の優れたホロージェットバルブ、ハウエルバンパーバルブの実施増加に伴いニードルバルブ・チューブバルブが削除、テンターがラジアルゲートに、またハウエルバンパーバルブがコーンバルブと改称されている。

3改で高圧ローラゲートおよびスリーブバルブが追加されて、現行13種となっている。追加されたゲート・バルブ形式は、いずれも国内外の実績および技術資料を参考として採用されたきたものである。

③取水口、沈砂池、水槽ゲート

一般用としてのローラゲート・スルースゲートは変わらないが、大水深用としては1改でシリンダゲートが追加され、3改で高圧ローラゲートおよび同ラジアルゲートが追加され、シリンダゲートが(7)項の選択取水ゲートに移項された。

④取水堰（頭首工）・河口堰用ゲート

取水堰・河口堰用ゲートは、初版、1改にはなかったもので2改以後新たに設けられた項である。取水堰（頭首工）と河口堰用可動施設として(1)洪水吐き、(2)土砂吐き、(3)調節用、(4)取水口・沈砂池・導水路、(5)魚道、(6)閘門とあり、それぞれに適用ゲート形式を記入してある。

また、2改で新たに設けられた防潮ゲートでは、今後の大形化を考慮して長径間ローラゲートが3改で追加され、6種となった。

b) 開閉装置の形式の選定

3改版にてこの条が追加されている。内容はゲートの形式の選定にならない開閉装置についても同様主旨により形式選定の項を新設すべきであるとし、同時に、建設省の水門開閉装置技術基準・同解説に準拠し、ゲートの種類と開閉装置の形式についての適用が表示されたものである。装置は電動式と油圧式に大別され、それぞれを細分して解説を付された。

c) 開閉用動力設備

ゲートには、開閉用動力設備を設けることが規定されている。ただし、簡易な水門の場合は手動設備とすることができるとされている。

従来、電動開閉装置の場合も手動設備を併設しているものが多く見られるが、これは、電動機故障時の二重安全装置の役目のほか、据付時および稼働後の保守整備時におけるゲート開度の微調整にも有効なため設置しているのが一般的である。

d) 開閉速度

開閉速度は、初版にて、普通0.3～0.5m/min、但し自動制御または他の目的で遅くしたい時は0.1m/min、早くしたい時は1.0m/min程度と規定されたが、1改で急速降下の場合4.0～8.0m/min程度を追加された。また、2改では急速降下を非常閉鎖装置として28条に移項し、早い速度として1.0～5.0m/minに変更された。これは3改（29条）も同様である。

急速降下を非常閉鎖としたのは、人為的に急閉鎖する装置であることから、開閉装置の中の制動機の範囲として独立して条文化されたものである。この他に3改では、てん倒ゲートは開閉10～20分間、高圧バルブ類は0.05～0.1m/minとすることが追加された。

e) 揚程

ゲートの最大揚程は、扉体下端と流水面（ナップ上面線）の間隔で決めており、設計洪水位において放流される流水の越流水面から1.5m以上と規定されている。また、ラジアルゲートの支承軸の位置も同様に規定された。2改では上記のほかに、異常洪水流量を放流する場合においては、越流水脈に接してはならないものとする、および河川の堰の引上げゲートについては、巻上後の扉体下端高さは計画高

表-1 水鉄基準「ゲート種類・形状の選定」の変遷一覧

[illegible]

水位に堤防の余裕高さを加算した高さ以上とすることが追加された。その後、3改では上記2改の追加文を削除し、ほかに越流水深が2.5m以下の堰においては扉体下端との間隔は1.0m以上でよいことが追加された。以上は河川管理施設等構造令に準拠して規定されたものである。

f) 使用材料

ゲート設備に使用する材料は、すべてJIS規格材としており、それぞれの使用個所に適応する材料が選んである。初版では、一般構造用圧延鋼材から機械構造用炭素鋼鋼材および炭素鋼鋳鋼品等の鉄鋼材から黄銅、青銅鋳物の非鉄を含み計11種類が挙げられていたが、その後ゲートの多様化に伴う機能向上が図られるに及んで、各用途に適した材料が使用されるようになり、1改では32種類となっている。とくに扉体等の構造用鋼材は、継手方式がリベットから溶接に変わるに従い溶接構造用圧延鋼材（JIS-G3106, SM41A～C, SM50A, B）の使用へと、同じ構造用鋼材でもその使用部位によって多種類の鋼材中から選定出来るようになったものである。

g) 許容応力

ゲートの設計計算に用いる材料の許容応力は、初版から現行の3改まで以下のように変遷している。

使用鋼材は、前項のように多品種が採用されているが、これを主要鋼材のみをみると初版SS41、1改および2改はSS41、SM41～50、3改はSM41、SMA41～50が追加されてきた。これらの鋼材に対する許容応力のとり方は、基本的に鋼材の降伏点強度の1/2以内とすることとされた。また、全体の考え方は、道路橋示方書にならって各許容応力が決められた。

ここで、SS41の場合、許容応力（ σ_a ）は鋼材降伏点、 $2,400\text{kgf/cm}^2 \times 1/2 = 1,200\text{kgf/cm}^2$ となる。これは許容引張応力（曲げ引張縁を含む）であり、道路橋の場合の $1,400\text{kgf/cm}^2$ よりも低い値となっているが、ゲートは河川に設置する施設であり、その重要性その他を勘案して決定されたものである。この値は、地震時等に発生する短期荷重に対する応力の増加として+50% σ_a をとっても、最大許容値として考えられる降伏点強度の90%以内にあり安全であるとされた。

1改で、S.30年代半ばより治水目的を主とするダムが急増したことにより常時使用状態にある高压ゲー

トの項が追加された。高压ゲートは、S.25年以降ダムの高水深部にスライド及びローラゲートが設置されている、その後、水鉄基準発行のS.35年に二瀬ダム及び綾北ダムが完成し、それぞれ常用洪水吐設備として高压ゲートが設置されたほか第1回改訂版発行までの間にも多くのダムに高压放流設備が計画、実施されていることにより、これらの実績をもとに1改では、水頭25m以上の水深下に設置し、稼動する高压ゲートを対象として追加設定したものである。

（図-1参照）

この条件で設計する場合の許容応力は、常時の許容応力（ σ_a ）をベースとして、 $\sigma_a \times 80\%$ 以内とされた。即ち、高水圧下で稼働し振動発生のおそれがあるゲートを対象としたもので、動水圧による応力変動を20%と設定してあった。その後、2、3改では $\sigma_a \times 87.5\%$ と緩和されているが、これは解説にもある通り、1改以後の実績例を参考として高水圧放流下で発生する振動による変動応力がほぼ10%程度であることから修正された値である。

h) 考慮する荷重

ゲートの設計時に考慮する荷重としては、初版では8種目であったが、1改ではこれに波圧、流水による水圧の変化および振動による荷重増加を加え11種目となっている。その後、2改では風荷重および温度変化の影響が追加されて13種目となり、3改で雪荷重が追加され、現行14種目となった。

初版では、各荷重についての算出方法および係数等は明記されてなく水圧だけ算出図表が提示されている。以下1改以降の追加種目を含め説明することとする。

1改では静水圧の計算式が与えられており、これは3改まで変わっていない。次に波圧として、風による波浪高および自身による波浪高さの計算式が明示されている。2改ではこの波圧の考え方が変わり、風による波浪高として、以下のように規定されている。

- (1) ダムの上流面が鉛直に近いコンクリートダムのような場合は、SMB法（風の吹送によって波が発生し発達する機構、スベルドラップ、ムンクが提案し、ブレットシュナイダーが補正した理論で、風波の計算に広く用いられている）によって求めた値とすることとされたもので、3改も同様である。

- (2) 浅海波の場合は、港湾構造物設計基準に準拠している。すなわち、浅海波が風により波高が増大すると同時に海底の摩擦によりエネルギーを失い波高が減少する現象についてブレットシュナイダーの計算及び実測の修正値である。

自身による動水圧は、ウェスターガードの式によって計算するものとし、設計震度は国内をA、B、Cの3地区に区分し、それぞれの地域別係数を定めこれに1～4種の地盤別係数を定め、標準設計震度(0.15)を基準として地域、地盤によって補正する手段をとることとしてあるが、3改では国内を強震、中震、弱震の3地域に区分し、これとダムの種類ごとに設計震度を表示してある。これ等はいずれも河川管理施設等構造令の標準的運用を図るため、河川砂防技術基準(案)によったものである。

2改で風荷重が追加されているが、内容は道路橋示方書、建築基準法およびクレーン構造規格等を参照し、道路橋示方書に準拠することとし、形状係数は建築基準法規定の数値をとってあり、3改も同様である。また、温度変化による影響については2改、3改ともに数値表示はなく設計上の考え方のみが記述されている。

1改で流水による水圧の変化と振動による荷重増加の項を追加しているが、内容的には設計上の考慮事項として記述されている。このうち、振動による荷重増加は実績により最高で設計静荷重の15%程度であるとしている。^{3), 4), 5), 6), 7)}

また、2改では、この振動による荷重増加率は、10%程度と緩和された。これは、昭和40年代前半に完成した各ダムのゲート設備の稼働状態および一部ゲートの放流試験等の実施により、具体的なデータが収録、整理された結果、安全性が確認されたことと、1改時に比して2改、3改の中で考慮する荷重が重くなり、また個々の荷重算出の計算値が実状に近くなったことから、正確な数値として取り扱われることとなったので緩和されたものである。

i) 荷重の組み合わせ

荷重の組み合わせは、前項の考慮する荷重を平時と地震時に区分して、それぞれに配分されたものである。

原則的には、地震時はゲートの開閉操作を行わないとの条件は3改まで変更されていない。

初版では1)自重、2)静水圧、3)堆泥圧、4)浮力、5)開閉力または水圧の5種を平時における組み合わせとしているが、その後、荷重に関する研究も進み、実績を重ねるに伴い、次の通りとなった。即ち、1改ではこれに流水による水圧変化と同振動による荷重増および波圧の3項が追加されて8種となり、2改では更に風荷重と温度変化が入り、現行の3改では雪荷重が追加されて11種目について検討の上、荷重としての組み合わせを決定するように解説が付された。

j) 戸当り、固定部の形状

戸当り、固定部の形状に関する項は、初版にはなかったが、昭和40年前半より大水深大形ゲートの実施計画が進んだことと、堰および頭首工の洪水吐きおよび調節用ゲートとして越流形の長径間ゲートが設置されるようになり、これに関連する各種研究、実験報告等^{8), 9)}が提出されるようになったことから、検討を行い追加されたものである。

k) 水密部

ゲートの水密を構成するのは、水密ゴムと戸当り側の水密板(止水板)であるが、それぞれの使用材質およびゴムの形状については初版、1改ともに規定がなかった。とくにゴムの材質は、天然ゴムと合成ゴムの2種があり、その成分・機械的性質については国内規格の適用がなく、米国規格(ASTM, USA)にならって品質を確保していたものであるが、2改の検討に際してこれが明文化され、あわせて水密ゴムの形状についても従来の実績を踏まえ一般に多く使用されている4種(平ゴム、L形ゴム、P形ゴム、ケーソン形ゴム)を選び適用範囲が述べられた。このほかに、水密板との摺動摩擦係数、ゴム押え板の締付ボルトピッチも規定された。3改も同文となっているが、水密ゴムの適用水深についての表現が改められた。

例えば、ケーソン形ゴムの場合、対象水深を30m以上使用するとなっていたが、3改では高圧用と表現された。またメタルシールの場合については面圧、摩擦係数が規定された。

l) 支承部

支承部については、初版および1改では、ゲートの主ローラ軸受部およびラジアルゲートのトラニオンピン軸受部等の回転するものと、スライドゲートのような平面摺動に対する金属スライド面について規定された。この内容は、初版ではローラ軸またはラ

ジアルゲートのトラニオピンの面圧は軸の投影面積に対し 150kgf/cm^2 以下とし、軸および軸受けの材質並びに潤滑等の工夫をしたものは 200kgf/cm^2 以上をとった例もあるとしている。

2改、3改では表題を回転支承部と改め、対象がローラ軸、トラニオン軸、てん倒ゲートの支承部等となった。即ち、ヒンジ形式のゲートであるのでスウィング、マイタ、ドラム、バイザゲート等も対象として含まれるものである。軸受は新しく開発されたものを含め、材質ごとに区分して、それぞれ面圧力が表示されているが、その種類はブレンベアリング（BC、LBC、PBC材）、オイルレスベアリング（3改JIS-H5102、HB-C4 HB210 kgf/cm^2 ）、ローラベアリングおよびスフェリカルローラベアリングの3種に大別して、各面圧力ならびに摩擦係数が規定されている。

なお、スライドゲート関係は、2改以降第16条水密部に移項され「メタルシール」として面圧 70kgf/cm^2 （静止時 200kgf/cm^2 ）、摩擦係数 $0.3\sim 0.6$ が規定された。

㍑) 扉体の剛度、最小板厚および細長比

2改以降、追加規定された条項である。最小板厚については、鋼板と型钢ごとに、小形ゲート、中、大形とゲート規模により区分して、数字表示されている。小型ゲートでは、鋼板の場合最小 6mm であるが型钢は 5mm として、小型山形鋼、例えば $40\times 40\times 5$ 等のJIS規格材が使用対象となることを考慮したものである。

部材の剛度に影響する細長比については、主要部材と2次部材に分けて表示された。

ここでいう小型ゲート～大形ゲートの規模については、2改までは明示されていなかったが、適用にあたり関係機関の意見がまちまちであったため、ゲート規模の明文化が3改（2条参照）でとりあげられたものである。

すなわち、ゲートの大きさは、3方水密のゲートにおいて、

小型ゲート	10 m ² 以下
中型ゲート	50 m ² 以下
大型ゲート	50 m ² を超えるもの

を基準とすると規定された。

(2)開閉装置

a) 開閉装置の安全率

開閉装置の安全率は、2改以降追加規定されたものである。なお、2改では電動開閉装置と、油圧開閉装置をそれぞれ独立して取り扱い、3改では電動・油圧の両形式をまとめて開閉装置としてある。但し、内容は25条～32条までを電動、第33～37条を油圧式に整理されており、条文の整理、編集面では大差はないといえる。

これらの安全率は、電動機の定格トルクから計算した場合のものであって、最大トルク発生時の強度チェックに対しては各材料の降伏点応力の90%以下とされた。

b) 電動開閉装置

ここで、電動機容量を kW 表示するようになったのは、昭和37年のJIS改訂（国際表示に適合させた）以後であり、昭和35年発行の初版はHP（馬力）表示であって、1改から kW 表示されている。

電動機の容量については、初版及び1改までは計算開閉力の120%以上とし、起動トルクは定格トルクの200%以上と規定されていたが、2改では計算開閉力の100%以上とし、起動トルクは定格の200%以上、最大トルクは300%以下と規定されている。

但し、巻線型誘導電動機を使用する場合は、最大トルクが200%以上あればよいとなっている。

ここで、電動機容量を kW 表意にするようになったのは、昭和37年発行の初版はHP（馬力）表示であって、1改から kW 表示されている。

初版および1改で、電動機の容量について計算開閉力の120%と20%の余裕を与えてあるのは、ゲートを水中で駆動する場合の流水による影響力のほかに開閉機の機械効率等、不確定要素が考えられたものに対する余裕である。その後多数の実績により、これらの不確定要素も明確になり、各ケースに応じて有効な数値表示が可能となったことと電動機の性能向上も図られたことにより、余裕が削除されたものである。

2改以後は、電動機の時間定格について、そのゲートの全揚程を運転するのに必要な時間以上とし、かつ1回当たりの運転継続時間以上としている。

制動機については、2改で、電動開閉装置には1系列以上の制動機を設けるように規定された。

これの具体例として、

1) ウォーム歯車（セルフロック機構＋電動ディ

スクブレーキ)

- 2) サイクロ減速機等のセルフロック機構を備えないものを使用した場合は、手動切換えの場合を考慮すると、電動機のディスクブレーキがあっても、もう1系列のブレーキが必要であるとしている。

c) 油圧式開閉装置

油圧ポンプおよび原動機容量については、設計圧力は油圧ポンプの定格吐出し圧力の80%以下、設計油量は油圧ポンプの定格吐出し量の90%以下と規定されている。なお、2改では定格吐出し圧力は、140 kgf/cm²位のものが多く使用されるとしてあったが、その後の使用実績から、3改では70～140kgf/cm²のものが多く使用されると低圧が追加された。

油圧シリンダは、JIS-B8354に規格化されているが、ゲート用は必ずしも規定通りでなくてもよいとされた。従って、シリンダチューブの肉厚計算式を与え許容応力が規定された。

d) 開閉装置の安全装置および付属設備

開閉装置の安全装置および付属設備については、2改では予備動力設備から開度指示装置まで6項目が規定された。3改では電動、油圧開閉装置を併せてあり、電動式はワイヤロープウインチ式・スピンドル式・ラック式の3種、油圧式はシリンダ式・シリンダワイヤロープ式・油圧モータワイヤロープ式の3種に分類し、それぞれに必要な付属設備が表示規定されており、10項目の付属設備個々について解説が加えられた。

(3) 設計各論

各形式別ゲートの設計にあたって、その特性を抽出し、前記の第2節設計総論の基準を適用する具体的な手法が設計各論として規定された。

(4) 制作

初版及び1改までは、部材の接合はリベットが主であったが、その後溶接工法および高力ボルト接合等が使用されるようになったことから2改以降は、溶接とリベット及び高力ボルトを分離し、それぞれを第4～第5章にまとめて基準化したものである。

(5) 検査

検査については、2改では第6節検査として、76条に検査、77条に各部寸法の許容差が規定され、また、各部寸法の許容値と各部ひずみ許容値が数式表示さ

れている。その後発刊された「水門扉検査要領」に詳細記述されているので、3改では検査の条文のみを残し、具体的には別冊「検査要領」に準拠することとされた。なお、溶接に関しては水鉄基準第4章に規定された。

(6) 保守

ゲート設備の保守については、初版から2改までは同じ内容であって、漏水の防止から再塗装まで9項目を規定している。その後「水門扉管理要領」が発刊されたので、3改ではこの「管理要領」に準拠することが規定された。

3. ダム・堰施設技術基準への展開

(1) 水門鉄管技術基準からダム・堰施設技術基準へ

河川法第13条に係わる技術基準である河川管理施設等構造令の制定を受けて、河川砂防技術基準(案)や水門鉄管技術基準を始めとするダムやゲートの設計基準の改訂が行われた。これと、時期を同じくして、ゲート関係の指針・要領が相次いで制定されている。

この種の建設省関係の指針・要領としては、河川用ゲート設計指針、クレストラジアルゲート設計要領、高圧ラジアルゲート設計要領、選択取水設備設計要領、水門開閉装置技術基準等があるが、これらの指針・要領は河川管理施設あるいは許可工作物の設置者である発注者側の設計意図を明確にし、ゲート設備の信頼性、安全性を向上させると共に、細部の技術についても標準化、高度化を計ろうとするものであり、先に述べた第4ステージ段階の基準といえるものである。以上の記された各種の関連する技術基準制定作業は、それぞれが独立して進められたため、相互の調整が十分でなく、相入れない規定も含まれていた。このため、全体として整合のとれた技術基準が必要とされ、新たな技術基準の制定へと向かうこととなった。

ダム・堰施設技術基準は、このような背景を踏まえて、河川管理施設等構造令の主旨を反映した実務的な基準として制定されたものであり、従来より使用されていた関連基準を取り入れ、相互に矛盾する部分は整合を計り、基準化されていなかった部分については新たに基準化したものであり、基準に取り入れられた項目は、可能な限り原点まで遡って内容

が吟味され、特に、最近の技術の進歩が反映されているか否かの評価が行われている。

この基準は、総則、水門扉、放流管、電気・制御設備、付属施設、施工、保守管理の7章で構成されている。「総則」は設計の基本的な考え方、設備計画及び設計荷重の計算方法を内容とし、「水門扉」、「放流管」、「電気・制御設備」及び「付属施設」の各章は、それぞれの計画および設計に係わる技術的事項を内容としている。また、「施工」、「保守」の各章は水門扉、放流管、電気・制御設備及び付属施設について相互関係を重視した施工、保守の技術的事項を内容としている。これらの章のうち、水門扉は、水門鉄管技術基準の延長線上にあるものであるが、他の章はユーザーとしての立場から一体として設計しなければならないという考え方のもとに基準化されたものである。

(2) 新しく展開された技術基準の立脚点

ダム・堰施設技術基準は、従来のゲート関係の基準にはまったく触れられていなかった、設計の基本的考え方を示す「設計の基本」及び施設全体の中で、該当ゲートが求められている機能を明らかにしている「設備計画」を取り入れている。これは、構造令の主旨に基づき、ダム・堰・水門・樋門に設置されるゲート設備等を設計、製作、据付、保守する方法を具体化するためのもので、この中で示されている基本的な考え方は以下のようにまとめることが出来る。

a) 流水管理

ダム・堰・水門・樋門の設置目的は流水管理であり、各種ゲート設備はこの流水管理を実現するために設けられ、操作される。一方、ゲート設備は機械設備でもあり、信頼性を確保しつつ稼働させるには限界がある。これらのことから、必要とする流水管理の実現を前提として、機械に過大な負担を負わせないよう両者の整合を計ることが重要であると考えられるようになってきており、本基準でも具体的に示されている。

b) 操作の信頼性の確保

確実に開閉するという「操作の信頼性の確保」は河川管理施設等構造令で規定されている重要事項であり、従来から重要視されてきている。しかし、操作の信頼性は主としてゲートが確実に開閉するとこ

ろにあり、開閉装置と電気制御設備の安全性のみに立脚することは適当でない。関係する事項であり、両者の相互関係を明確にしなければ実現できない項目である。従来の基準では、電気制御設備に関する規定は全くなかったため、実質的に設計に反映できないものとなっていた。この基準では、その考え方を明確に規定すると共に基準の各所で具体化されている。

c) 機能保全

必要な耐久性を確保するという「機能保全」も河川管理施設等構造令で規定されている重要事項である。寿命を想定しないと配慮できないものであるため、従来の基準では、その考え方が示されたものはなかったが、ここで新たに示している。具体的には部分的な交換の必要性、十分な保守の必要性、どうしても保守が不可能になるところがあるということ、適材適所の材料の選定が重要であることが示されているが、あくまで定性的なものであり、今後の研究が期待される分野である。

d) 周辺環境との調和

近年、社会資本の整備に対する社会的要請が多様性しており、自然環境や社会的環境に考慮した設備の設計が求められるようになってきている。本基準でも周辺環境と相互に調和が保たれるよう水環境や景観に配慮することが明文化されている。

e) 土木構造

ダム堤体等の土木構造物と放流設備等との構造上の関係、設計の一体化及び施工の合理化等、土木構造と鋼構造の関係はゲート設備の設計にとって重要な項目である。第3ステージの基準では土木とゲートが別々の分野として扱われ、その結果、計画・施工に支障となることがあったが、この面からの規定が新たに示された。

f) 先端技術

基準が策定されたことにより、技術の進歩が妨げられることは避けなければならない。本基準でも、新技術・新材料等の先端技術を積極的に取り入れることとしている。

g) 設備計画

個々のゲート設備は、ダム等の施設全体が必要とする機能を分担して設置されることになるが、この分担された機能は有機的に結びついており、例えば

「信頼性の確保」にも影響を与えることになる。これは主としてユーザーの意図を明確にすることにつながるものである。従来のゲート設備関係の基準では、このような事項を明文化されずにきたが、本基準では、適切な流水管理に基づいて、ダム等の機能を発揮させるための放流設備の形式・規模の選定、基本寸法や構成等を定める方法が示されている。

(3)統合整理された技術項目

従来の基準で、その体系が示されているのは、水門扉および放流管の設計に関する技術項目である。

水門扉の設計に関する技術項目は、第2章で述べた「水門鉄管技術基準（水門扉）」と対応するものであり、「河川砂防技術基準（案）設計編」、「河川用ゲート設計指針」、「水門開閉装置技術基準」及び各種の「ゲート設計要領」と整合を計っている。

また、放流管の設計に関する技術項目は、基本的には「水門鉄管技術基準（水圧鉄管）」と対応するものとされてきたが、部分的に「水門鉄管技術基準（水門扉）」が用いられていた。両方に規定されている場合の取扱については明確なものがなく、設計者により異なっていた。この基準では、以下に示すように、「水門鉄管技術基準（水門扉）」を基本として、一つの基準としての整合性が計られている。これに該当する項目としては「溶接継手効率のとり方」や「放射線検査をすべき範囲」等があげられる。

一方、ゲート設備の大規模化や形式の多様化に伴い、鋼構造としての設計も高度化してきている。本基準では鋼道路橋示方書や建築基準法施行令等を参考として、新たな規定が設けられている。これに該当する項目としては「スキンプレートと桁フランジの協働」、「フランジプレートの有効幅」、「プレートガーダ、圧縮部材、引張部材の関係と適用」、「軸方向力と曲げモーメントを受ける部材とゲートへの終局設計法の適用の考え方」等があげられる。

従来の基準と異なる代表的な例を以下に示す。

a) ゲートの種類

近年のゲート設備の多様化の実績を踏まえて、従来のゲート型式に加えて高圧スライドゲート、小容量放流設備用ゲート、ダムフラップゲート、2段式ローラーゲート、魚道ゲート、ヒンジ式ゲート、閘門設備について新たに詳細な規定が設計各論として設けられている。

b) 使用材料

維持管理費の軽減を考慮し、塗り替え塗装の必要ないステンレス鋼材の使用を推奨している。これを踏まえて、ステンレス鋼材の許容応力、溶接方法、留意事項について新たな規定が設けられている。

c) 許容応力

従来の基準では、放流管の鋼材の許容応力度は、降伏点に対して、安全率1.8としていたが、本基準では、水門扉に合わせ、降伏点に対して、安全率2と構造物間の整合がはかられた。この許容応力度の低減およびステンレスクラッド鋼の強度に関する最近の研究成果を踏まえて、ステンレスクラッド鋼のステンレス部分は埋設管では強度計算に見込んでも良いものとされている。また、高圧ゲートの許容応力の補正は87.5%であったものを90%と数値をまとめている。

d) 最小板厚

水門扉と放流管との設計思想の整合と、鋼材の市場規格を考慮して、ゲートの主要部材では、鋼板9mm、形鋼8mm（戸当り・固定部は6mm）としている。ただし、小形ゲートおよび選択取水設備に対しては、鋼板6mm、形鋼5mm。また、放流管では $t=(D+800)/400$ で余裕厚を含み9mm以上とし、1000mm未満の小口径の場合は6mm以上としている。

e) 継手工法

水門鉄管技術基準（水門扉）では、水密部のみ高力ボルトの採用を禁止しているが、本基準では、河川砂防技術基準等に合わせて、主要部材への高力ボルトの採用を原則禁止し、リベット、溶接による接合を基本としている。

f) 油圧式開閉装置の設計

油圧式開閉装置は最近の研究により、その信頼性が高くなってきており、今後、広範にゲート設備に用いられると考えられる。

油圧シリンダピストンロッド等の座屈計算は、オイラーまたはジョンソンの式によるものとされているが、従来の基準では示されていなかった。材端条件、有効座屈長、安全率および細長比の規定が示されていなかったのも、新たに規定されている。また、フェールセーフを考慮し、ゲート1門に対し、100%容量の正・副2組の油圧発生装置を備え、低温時々にシリンダ作動圧力が不足するケースもあった

ことから、損壊圧力等を計算し設計圧力を求めることとし、設計圧力は定格吐出の90%以下とされた。

g) 放流質の設計

従来、設計者に任されていた、ジベルによる補剛の設計法、コンクリートのせん断長の取り方、止水板の寸法及び取付位置等が新たに規定された。

放流管周辺コンクリートの施工を容易にするための配慮は、従来より大きな問題となっているが、本基準で初めてコンクリート打設のための必要最小空間、グラウト用配管の標準口径等が規定された。

(4) 一体として整備された技術項目

従来の基準では取り上げられていないもので、今回、「統合整理された技術項目」と一体として整備された技術項目として、電気・制御設備、付属施設、施工、検査、保守に属するものがあげられる。また、災害防止対策についても関連法規等を踏まえ、労働災害防止の関係者の責務、安全管理体制・計画、安全衛生教育、災害防止対策、作業環境の整備について、その考え方が新たに示されている。

a) 電気・制御設備

電気・制御設備は、ゲート設備の操作の信頼性の確保にとって重要な設備であり、その計画、設計上の重要な点は「確実に機能すること」「一部の機器に障害が発生しても基本的な機能が確保されること」、「異常な動作を引き起こさないこと」である。なお、機器の二重化は信頼性を向上させる上で効果的であるが、一方でシステム構成の複雑化を招き、維持管理を複雑にする面もあるので注意する必要がある。本基準では電源系や操作制御系の中で二重化の必要とされる範囲を明らかにし、総合的な信頼度を向上させることが示されている。

b) 付属施設

付属施設は、従来設計の考え方が統一されておらず、設計者が複数の基準から必要項目を選択して設計していた。しかし、構造物の設計基準では、荷重の計算方法、材料等の許容応力度、構造設計計算法及び荷重の組み合わせを一体のものとして取り扱う必要がある。従来の方法はその点について問題がある。本基準ではその主旨を踏まえて、極力統一しているが、なお、風荷重や地震荷重等同じ荷重についても算出方法が異なる部分がある。今後の課題であろう。

具体的には以下のように示されている。

①スクリーン・取水塔・開閉装置架台・流木止設備・係船設備・ガントリークレーンは「水門扉」「放流管」の考え方と同じとする。

②操作橋は車道橋の場合、道路橋示方書及び人道橋および手摺・階段・防護柵は立体横断施設技術基準の考え方による。

③開閉装置室は建築基準法の考え方による。

④ダム管理用昇降設備は労働安全衛生規則によるが、具体的な設計は建築基準法施工令による。

c) 施工

機能保全の観点からは防食が極めて重要である。本基準では塗装について種々の規定が新たに示されている。

さらに、本基準ではステンレス鋼やステンレスクラッド鋼の採用を推奨していることから、異種金属接触腐蝕等、材料による防食を行なう場合に注意すべき項目を新たに規定している。従来の諸基準では、ステンレス鋼材およびステンレスクラッド鋼材の溶接についてはほとんど触れられていなかった。このため、オーステナイト系ステンレス鋼の溶接時の鋭敏化対策を含め、最近の研究成果を踏まえた基準化がなされている。なお、炭素鋼、ステンレス鋼を問わず水門扉、放流管の溶接部の応力除去焼きなましの効果については靱性や疲労強度の向上（許容応力・継手効率の向上）、変形による精度、水密性能低下を防ぐこと等が考えられる。焼きなましの実施の有無による変形度合いの相違については、今後の課題とされている。

d) 検査

検査については、水門扉検査要領があり適用されていたが、実質的にはチェックシートであり、検査の基本的な考え方を明らかにする必要があった。

このため、検査を材料検査、原寸検査、溶接検査、塗装検査、機器検査、仮組立検査、据付検査、総合検査にわけ、その基本的な考え方および具体的内容が新たに明示されている。例えば、原寸検査については、最低限必要な箇所を限定し、高圧ゲートや長径間ゲートと樋門との項目・基準値の違い、精度の要求される箇所としない箇所が明確にされている。さらに、負荷試験の必要なものが明示されている。

e) 保守管理

点検・整備については、水門扉管理要領があり適用されていたが、実質的にはチェックシートであり、保守管理の基本的な考え方を明らかにする必要があった。このため、それぞれの点検・整備作業で実際に行うべき確認項目やその目的、さらに具体的な記録および整理の方法が曖昧なものとなっており、故障時の適切な判断を難しくすることがあった。また、同じ定期点検でも、ダムの置かれている自然条件や、社会的条件により点検・整備を行うのに適切な時期（例えば年点検の実施時期）およびそれぞれの時期における必要な点検項目（例えば月点検の項目が月によって異なること等）も異なることが一般的であり、さらに対象設備や項目によって点検者に必要とされる技術水準（一般職員、機械系職員、点検専門会社、製造会社等）も当然異なってくる。このような現状を踏まえて、分類された保守管理のそれぞれについて、具体的な作業計画の立案が可能となるように、その基本的な考え方が整理され、「保守管理計画」、「点検・整備の方法」、「機能及び安全の確保」と「保守管理記録」として具体的に示されている。

4. 結論

(1) 技術基準変遷の要約

技術基準変遷のポイントとしては以下の点が挙げられる。

a) ゲート形式

河川構造物としてダムまたは堰に設置するゲートは、水管理の多様化に伴って、その機能性の向上がもとめられ、既形式の改良および新形式の開発等により実用に供された。また施設の大規模化および高圧化が進み、設置されるゲートの大形化、高圧化が実現した。これに適応するためにゲート構造部材質の多品種化および各支承、回転部ならびに水密機構の開発が進められているほか、開閉装置関係についても、自動化、微調節用とその機能向上に応じて個々の設備が高品質のものへ変遷している。

ゲートバルブの使用個所が増加していることもあがるが、同一形式の中でそれぞれ多様化してきた。とくにバルブについては多機種へ変遷してきた。

b) 継手工法

昭和30年代から40年代前半まで、ゲートの主要部

材について現地継手はすべてリベット接合を原則として使用していた。その後、溶接技術の発達に伴い、溶接接合に対する信頼性が高まり、主要部材の現地継手にも溶接工法が採用されるようになり現在に至っている。従って、現在使用されている現地継手工法は溶接、リベット、高力ボルト締めめの3種がある。また一時使用された摩擦接合ボルトは現在使われなくなった。

c) 開閉装置

開閉装置は、電動形式と油圧形式の2種があり、各形式ともに改良・開発されてその性能が向上してきている。電動形式の場合、減速機構はウォーム・スパー・サイクロ減速機であり、当初のウォーム減速に比べサイクロ減速機の使用によって機械効率が大幅に向上した。ただし、この場合には逆転防止のためにブレーキを設置する必要がある。またフラップ付き親子ゲート用としての同調機構を開発するなど、数々のアイデアが盛り込まれてきた。油圧形式も同様に各バルブ及び計器類の改良による性能向上と、中・高圧に対する信頼性も上がり、その性能が向上してきている。

利水補給用に供されるゲートの運転制御について、電気計装機器は年々新しくなり、非洪水時においては流域を含めた広域地区を対象とする自動制御が図られ、これを受けてゲートの微少開度運転が行われるようになってきた。

(2) ゲートの形式・名称の変遷

ゲート・バルブの形式・名称については、水鉄基準にゲート・バルブの形式別にその名称が記述されている。基本的に初版当時の内容と同様であるが、現行の3改およびダム・堰基準に各形式とも、新しいゲート・バルブが追加されている。

即ち、

- a) ローラ形式では高圧ローラゲート、長径間ローラゲート、多段式ローラゲートが追加されているが、ストーンゲートは新形式のキャタピラゲートの追加により1改以後削除された。

また、ダム堰基準では、長径間ローラゲートはシェル構造ローラゲートと表示され、多段式ローラゲートには2段式ローラゲート（スライド式、積重ね式、起伏ゲート付き、ワック式）および選択取水ゲート（半円形多

段式、直線多段式）が含まれるという分類へと変化した。

- b) ヒンジ形式では、フラップゲートの中に起伏ゲートとてん倒ゲートが追加され、高圧ラジアルゲート、バイザゲート及びマイタゲートが追加された。なお、2改以後てん倒ゲート（起伏、フラップ）と表示の入れ替えが行われ、ダム堰基準では起伏ゲートおよびダムフラップゲートに分けられた。
- c) スライド形式では、ハイプレッシャースライドゲートは高圧スライドゲートと改称され、また分類上ローラ形式にあったジェットフローゲートがスライド形式に移項されている。
- d) その他で、シリンダゲートは、取水塔内に単体のシリンダを設置する形式を指していたが、3改で多段式シリンダダム堰基準で円形多段式ゲートに変わり、この中に上記シリンダゲートを含めて表示されている。なお、マイタゲートはヒンジ形式に移項された。この他、ゲート形式ではないが、ダム堰基準では魚道ゲート、修理用ゲート開門設備が取り上げられている。
- e) バルブ（高圧弁）では、ハウエルバンガーバルブがフィクストコーンバルブと改称され、スリーブバルブが追加されている。全体的に初版当時、英文カナ表示であったものを和文漢字表示に改め、分類内容が若干変更されたものであるが、これは河川管理施設等構造令等各基準での表示にならったものである。

(3) むすび

土木構造物の中でゲート設備のきわだった特徴として次の2点が挙げられる。

- ① ゲートは多くの種類の土木構造物の中で確実に可動することが求められているものの典型的な工種である。従って、機能設計が重視される土木構造物の中でゲート類は最も機能設計が重視されてきた。
- ② 土木工学は各種工学の母体であり、各種工学は土木より発展分派してきた歴史であるが、土木工学はいろいろの工学の総合応用の面を保持している。多くの土木技術の中でゲートの設計は最も多方面の各種技術の集約が求められているものと位置付けられる。すなわち、水理設計、構造物設計としての土

木設計、可動メカニズムとしての機械設計、制御技術としての電気設計、溶接等の金属技術、その他塗装・油圧等化学技術等々である。また、以上のような各種技術のウェイトがバランスよく要求されている総合技術である。

以上のような特徴を持つゲートの設計基準の条文を見ると水鉄基準の初版の条文数は54項であったが、技術の進歩開発に伴い第3回改訂では95項目におよび溶接リベットの条文を加えるとほぼ2倍の条文数となっているが、現在のダム堰基準（案）では更に充足され第1章の総則から第7章の保守管理まで391項目である。

以上の技術基準の変遷の背景となる設計思想は次の2項目として要約される。

- ① 土木構造物の中で鋼材を主体とする鋼橋等と比較する時明確になるように安全率等設計思想として常に安全側で変遷してきた。これはゲートが可動構造物であることから考えられる。
- ② ゲートに関連する多くの部門のバラバラな設計思想や技術基準の1つ1つの実績を踏まえていかにバランスよく集約するかの歴史であると見なせる。すなわち、先進の個別技術の設計思想を順次整理統合してきた歴史であるといえることができる。また現在もその途時である。

おわりに

ダムおよび堰の管理施設としてのゲート設備は、将来に向かってますます多様化が予測される機械設備である。従って関係する土木、水理および鉄鋼、機械、油圧、電気等の多方面にわたる技術を結集して行く必要があり、今後とも必要な時期に見直し改訂をすべきものと考えらるものである。

5. 参考文献

- 1) ダム・堰施設設計技術基準委員会編：「ダム・堰施設技術基準（一次案）」、（社）ダム堰施設技術協会、1990.2.
- 2) ダム・堰施設設計技術基準委員会編：「ダム・堰施設技術基準（案）」、（社）ダム堰施設技術協会、1994.3.
- 3) （社）日本河川協会編：「河川砂防技術基準（案）」、（社）日本河川協会、1958. 第1回改訂、1976.

- 第2回改訂、1977.
第3回改訂、1985.10.
- 4) (財)国土開発技術研究センター編：「河川用ゲート設計指針(案)」、(社)日本河川協会、1985.6.
 - 5) ダムゲート等設計調査委員会：「クレストラジアルゲート設計要領(案)同解説」、(財)国土開発技術研究センター、1985.8.
 - 6) ダムゲート等設計調査委員会：「高圧ラジアルゲート設計要領(案)同解説」、(財)国土開発技術研究センター、1987.9.
 - 7) ダムゲート等設計調査委員会：「選択取水設備設計要領(案)同解説」、(財)国土開発技術研究センター1987.9.
 - 8) (社)水門鉄管協会編：「水門鉄管技術基準付解説」、(社)水門鉄管協会、1960.12.
第1回改訂、1968.9.
第2回改訂、1973.3.
第3回改訂、1981.11.
第4回改訂、1993.5.
 - 9) 萩原俊一：「発電水力学」、常盤書房、1932.6.
 - 10) 日笠育夫：「可動堰」、工業雑誌社、1941.4.
 - 11) Bureau of Reclamation : Valves, Gates and Steel Conduits, Reclamation Manual August 14, 1950.
 - 12) 建設省大臣官房建設機械課編：「水門開閉装置技術基準・同解説(案)」、(社)日本建設機械化協会、1983.5.
 - 13) 土木学会：「土木技術者のための振動便覧」、pp.240～246、1966.8.
 - 14) 巻幡敏秋 et al : 鶴田ダム主放水ゲートの振動および空気量の測定、水門鉄管、No.48, 水門鉄管協会、pp.14～24、1966.
 - 15) 中村啓二 et al : 横山ダム主放水設備放流試験発電水力、No.76、pp.36～42、1965.
 - 16) F.B.Cambell : Vibration Problems in Hydraulic Structures, Proc. ASCE. Vol.87, HY2, Mar. 1961.
 - 17) E.Naudascher : Vibration of Gate during Overflow and Underflow, Proc. ASCE. Vol.87, HY5, Sept. 1961.
 - 18) J.w.Bell : Hydraulic characteristics of Gate Slotes, ASCE, HY10, Oct. 1959.
 - 19) 前掲 17)