

ウィーン市におけるドナウ河洪水防御計画

Anton Grzywiński*



アントン・ズヴィエンスキー博士は、ウィーン工科大学 (Technische Hochschule Wien) の教授、水理研究所長で、ヨーロッパにおける水理学・水工学の権威であり、特に発電水力分野の第一人者として知られている。その研究範囲は、主として発電関係の水理構造物およびゲート、こう門その他多方面におよび、なかでも水理構造物の振動や動的影響についての新分野の開拓に顕著な業績を示し、その成果は世界動力会議、国際水理学会会議、国際ダム会議、国際航路会議等に発表され、また多くの著書として刊行されている。

一方、コンサルティング エンジニアとして、ヨーロッパ各国を始めアメリカ、アフリカ、東南アジアの水力開発、河川計画に参画された。

日本には 1962 年 (昭和 37 年) 初めて来日、東京はじめ各地でのセミナー、講演会を通じて学術の交流に貢献され、水理学、発電水工学、河川工学の分野を通じて、わが国の土木技術を欧米各国に紹介した。また、1963 年から 2 期にわたり国際水理学会理事として第 13 回国際会議の日本開催 (1969 年、京都) の実現に尽力された。

これらの多年にわたる学術交流に貢献された功績により、同教授は昭和 44 年 5 月土木学会各誉会員に推挙された。本文は、これを記念して、同教授のもっとも最近の業績の一つを本会会員に紹介する目的で寄稿を依頼したものである。(記者)

計画立案の背景

ドナウ河がウィーン平野へ流れ込むのど元には、Kahlenberg 山をめぐる狭さく部がある。これより下流、古来ドナウ河の川筋を規制する自然の境界標は一つとしてなく、河は数多くの派川に分かれてウィーン平野を貫流し、はらんをひき起こしては舟運や陸上交通に障害を与えてきた。

二、三のごく部分的な改修工事に引き続いて、1870 年から 1975 年にかけて、ウィーン平野を蛇行する河道を直線状に改修するいわゆるショートカットの工事が実施された。この工事の結果、Langenzersdorf から Lobau 地区に至る間、左岸ぞいに高水敷をそなえた複合断面の河道が完成した。

この改修工事は、当時においては大規模な工事として評価されたが、決して十分に満足すべきものでないことが明らかとなった。川の兩岸を限る堤防を築造し洪水の平野へのはらんを阻止したために、河道内の水位は予期した以上に上昇した。加えて、舟運のためには河川水

位を低く保つ調節も必要となった。このショートカットによって改修した河道の総通水容量は、高水敷いっぱい流したときに $10\,000\text{ m}^3/\text{sec}$ として計画されたが、この設計流量は洪水防御の対象物件の価値が年を追って増大しつつある時点では小さ過ぎるものであることが経験的に明らかとなった。

かくして、ウィーン市の洪水防御対策をいかに改善すべきであるかについて、多くの考えや計画が提起されたが、実際にはごく部分的な改修や堤防のわずかなかさ上げがその後行なわれてきたに過ぎなかったのである。

1967 年から 1968 年にかけて、ウィーン工科大学の土質力学の権威 Borowicka 教授は、現場試験を実施して、堤防の安全限界は約 $10\,000\text{ m}^3/\text{sec}$ の流量までであることを明らかにした。一方、筆者はすでに 1967 年に洪水はらんに関する総合的な研究を行ない、 $10\,000\text{ m}^3/\text{sec}$ を越えるような大洪水の場合には被害は莫大なものとなることを指摘した。たとえ現在の堤防が越流に耐えることができたとしても、人口密度の高い約 40 km^2 の市街地の一部は浸水をまぬがれないであろう。万一堤防が決壊すればはるかに悪い事態となる。すなわち、最初の破堤がどこで起こるかを予測することはきわめて困難である

* 名誉会員 Dr., Dr.h.c. ウィーン工科大学教授

にしても、大まかに推定して $5\,000\text{ m}^3/\text{sec}$ にもおよぶ水が左岸の堤防を越えてはらんし、また約 $2\,000\text{ m}^3/\text{sec}$ が右岸の堤防を越えて流れ、ウィーンの市街地の大部分が浸水することになる。

このような考察の結果、大規模な洪水防御計画の立案が必要であり、かつ緊急の実施を要するものであることが明らかとなったのである。

設計洪水量

従来、ドナウ河の利水計画（たとえばドナウ河水力開発など）にあたっては、過去において観測された既往最大洪水量が計画の基本として採用されてきた。しかし、筆者は1963年のÖIAV（オーストラリア工学会）の執理事会において、ウィーン洪水防御に対してはこの独自の計画に適合し、かつ現在の技術水準に見合った超過頻度、すなわち 10^{-4} の頻度を採用すべきであることを提案した。この頻度は、かの有名なオランダのデルタプランに推奨された値である。オーストラリア政府の農務省に所属する中央測水事務所（HZB）の算定によれば、この $1/10\,000$ の超過頻度に対応する洪水量は約 $13\,500\text{ m}^3/\text{sec}$ となる。

しかして、ウィーン市より上流で各種の河川開発（たとえば水力発電所の建設）が行なわれると、このために遊水池が減少し、洪水のピークが高まる結果となるから、ウィーン市の洪水防御計画は今後上流の河川開発が行なわれる長期間にわたって、効果的であるように配慮されねばならない。それで、余裕として $500\text{ m}^3/\text{sec}$ を見込むのが適当であると判断され、結局、設計洪水量は $14\,000\text{ m}^3/\text{sec}$ と定められた。

1898年および1954年に起こった大洪水（約 $10\,000\text{ m}^3/\text{sec}$ ）はHZBの統計によれば、平均40年ないし50年に1回発生するものである。

洪水防御対策のための種々の計画案

ウィーン市の洪水防御のために各種の案が提案検討されたが、主要なものは次の4つであった。

（1）河道断面を拡大する案

低水敷を拡幅するとか、高水敷を掘り下げるなどして、ある限られた区間内で河道断面を拡大する案であるが、これは治水上からも舟運の面からも決して得策ではない。

（2）遊水池を設ける案

ドナウ河の莫大な水の量は、それに見合った大容量の

遊水池を必要とする。しかし、ウィーン平野は農業面で高度に利用されているので、この遊水池を設ける案も除きたい障害がある。

（3）河道断面を変えずに単に堤防の天端をかさ上げする案

この案はもっとも簡単でかつ工費も安い、 $10\,000\text{ m}^3/\text{sec}$ を越えるような洪水期間において河川水位がたえず上昇しつづけるという欠点がある（そして、1954年の出水で経験した既往最高水位をはるかに越える危険がある）。それゆえ、100年も前に築造された延長70kmにもおよぶ河川堤防の場合には、地下水の問題とも相まって、次の（4）案にくらべて、はるかに多くの危険が伴う。加えてこの案では、利用価値のない高水敷を現状のまま残すことになり、都市計画の目的からみても適切でない。

（4）洪水放水路を建設する案

洪水放水路を建設するにしても、現在の河道からはるかに距離をはなして第二の水路を建設することは、ウィーン市へ出入りする数多くの交通路のために多くの障害が派生する。しかし、現在の河道左岸にある高水敷を利用してここに第二の水路を掘削するならば、洪水調節、舟運さらには都市計画の面から最も満足すべき案となるものと考えられる。

これらの案を比較検討した結果、（4）案に基づく多目的洪水防御計画が採用されることになった。

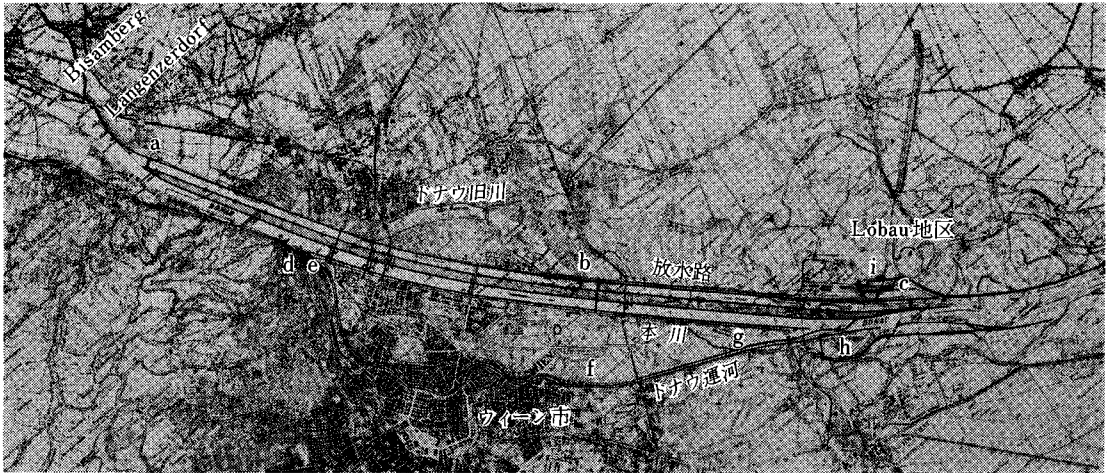
多目的洪水防御計画の概要

この案の概略を 図-1（平面図）、図-2（水路横断面図）および 図-3（水路縦断面図）に示す。

この案は、ドナウ河がウィーン市を貫流する河口起点1918kmから1938kmまでの区間、ドナウ河の本川と平行して現在の河道左岸の高水敷に新たに洪水放水路を掘削するものである。本川と放水路との間には、この掘削土を利用して幅200m、長さ20kmの“川中島”を造成し、また放水路にはその入口、中間および出口の3断面にスルースゲートつきの可動せきを設けて、常時放水路内に湛水池を形成させ、島および湛水池をめぐる魅力的な風景と調和したレクリエーションおよびスポーツ施設地区として利用面を拡大する。さらにこの計画は、洪水調節に加えて現在の船舶航行上の必要条件を保持し、ドナウ河に依存するヨーロッパの舟運を確保するとともに、将来の可能性として検討されているドナウオーデル-エルベ運河の計画に対しても効用を発揮するように配慮するものである。

図一 ウィーン市洪水防衛計画平面図

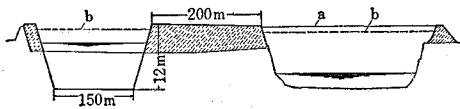
a. 放水路流入部せき, b. 放水路中間部せき, c. 放水路終端部せき, d. ドナウ運河入口 Nussderf せき, e. ドナウ運河入口開門, f. ドナウ運河, g. Freudenau 港, h. Albern 港, i. Lobau 港



図二 水路横断面図

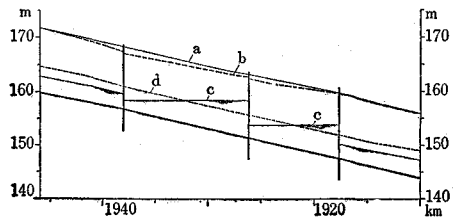
右側がドナウ河本川河道, 左側が洪水放水路, 中央部が埋立造成した島。細線は現在の水路断面, 太線は本計画による施工断面を示す。

a. 設計洪水量 14 000 m³/sec に対する現在の河道での河川水位,
b. 設計洪水量に対する本計画完成後の河川水位。



図三 河川縦断面図

3本の鉛直線は、放水路の入口、中間および出口に設ける可動せき
a. 設計洪水量 14 000 m³/sec に対する現在の河道での河川水位,
b. 設計洪水量に対する本計画完成後の河川水位, c. 放水路内に常時形成される湛水池の水面, d. ドナウ河本川内の平均河川水位。



このように、ドナウ河の洪水防衛計画は、洪水調節、舟運、水力開発にあわせて、風致保存、レクリエーションおよびスポーツ地区のための土地造成、陸上交通路、内水排除施設の整備等、都市計画上の対策をも包含した多目的計画として立案された。

この計画による洪水調節の方法は、次の通りである。現在のドナウ河の河道断面では、4 800 m³/sec 以上の流量は高水敷にはらんするが、この計画が完成すれば、流量が 4 800 m³/sec 以上になると、洪水放水路の可動せきのゲートを徐々に開いて洪水の一部を放水路へと分流

する。この放流によって、河川流量が 11 400 m³/sec まではドナウ河本川の水位は現状を維持するように調節され、舟運に支障をおよぼさない。11 400 m³/sec (500 年に1回生起する流量) を越えた流量に対しては、その超過分はすべて放水路へ導き、ドナウ河本川の水位は一定に保たれ、それ以上水位が上昇しないように調節が行なわれる。設計洪水流量 14 000 m³/sec に対しては、洪水放水路のすべての可動せきゲートを全開して、本川のほうへ 8 800 m³/sec、放水路へ 5 200 m³/sec を配分する。

水理模型実験

ウィーン市洪水防衛計画には、設計・施工上のいくつかの解明すべき問題点が包含されている。すなわち

① 本計画に基づく改修区間と、これに接続する上下流側の未改修区間との間の遷移部において生ずる問題。通水量や流送土砂量の変化に伴う水位、河床変動の推移。

② 洪水放水路の堤防の改修や放水路と本川との間を仕切る人工島の築造。

③ ドナウ河旧川 (Alte Donau) の水位の調節を含む左岸堤内地の地下水の調節や内水排除の方法。

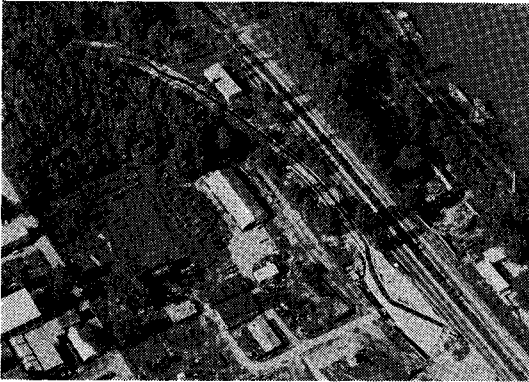
④ 道路、鉄道など各種の橋梁の橋脚による背水および、それらが放水路や本川河道の通水容量におよぼす影響。

⑤ 流送土砂の放水路への流入防止方法。

⑥ 工事の全期間を通じて、現在程度の洪水の流下に支障を与えないで、できるだけ迅速に計画通りの堤防天端高に達するための建設方法。

⑦ 計画通りの洪水制御方法を確立するための新しい

写真-1 Freudenau 港近くの屋外に設けられた
水理実験用の模型の全景



水理系システムの運用面の検討。

⑧ 洪水防御に関する現状との比較に基づく新計画の効用。

これら洪水防御計画に関連する諸問題を水理学的な観点から解明するために、筆者はウィーン市当局の協力を得て水理模型実験を実施した。模型は 1963 年、ドナウ河にのぞむ Freudenau 港近くの野外に建設され、その後 1969 年に一部拡張された。模型縮尺は 1/100 で、移動河床をもった、ひずみのない幾何学的縮尺模型である。模型に取り入れた範囲は河口起点 1910 km から 1946 km におよび、模型の全長は付帯部分を含めて約 400 m に達する。写真-1 に、この水理模型の航空写真を示す

写真-2 ウィーン市洪水防御計画工事の現状



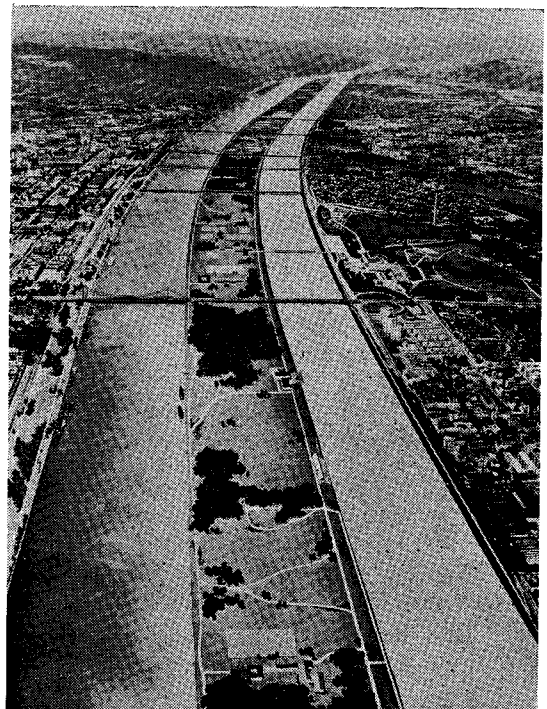
(この写真中の模型水路は、図-1 の平面図とは左右が逆となっており、写真の右下が上流側、左上が下流側である)。

この模型実験においては、水理学的な問題のみならず、河川形態学的な問題をも解明することを目ざした。特に、ウィーン市内を貫流するドナウ河本川河道内の水位を低下せしめるために生ずる流送土砂の沈殿堆砂の影響を、定性的ならびに定量的に明らかにすることは、重要な解明事項であった。ここで、ドナウ河における土砂の流速は Meyer-Peter の流砂量公式にしたがうものと仮定して、Liechtenhahn および Einstein の相似律の基本方程式を適用したが、模型上における現象の再現性はきわめて適切であることが確認された。底面および側面の粗度を一様としたことに基づく模型における粗度のひずみの影響を検討した結果、そのための誤差は 13~15% 程度であることがわかり、これを実験的に補正することによって、定量的に妥当な解を導くことにつとめた。

この模型実験の結果、本計画の実行の可能性が明らかとなった。通水能力に関しては、洪水放水路のすべての可動せきゲートを全開することによって、放水路内の所定の水位のもとに本川のほうに $8800 \text{ m}^3/\text{sec}$ 、放水路のほうに $5200 \text{ m}^3/\text{sec}$ の流量を計画通り分割流下せしめうる事が確かめられた。これによって、本川および放水路がウィーン市の人口密集地域を貫流する区間において河

写真-3 ウィーン市洪水防御計画完成予想図

(写真上方が上流側、左が本川河道、右が放水路、その中間が人工島、写真右方にドナウ河旧川の一部が見える)



川水位を現在の河道で予測されるよりも約 82 cm 低下させることができる。したがって、最大計画洪水流量 14 000 m³/sec のときでさえ、河川水位は 1954 年の大出水 (10 000 m³/sec) のときよりもわずかに 18 cm だけ高まるに過ぎないという結果になる。

土砂の流送に関しては、放水路の分合流する遷移区間におよぼす影響は小範囲にとどまり、14 000 m³/sec のピーク流量の洪水波が通過することによる河床洗掘および堆積の最大値は 2 m 程度であることがわかった。洪水放水路内への土砂の流入に関しては、取入口にクレスト長 500 m の十分な高さのシルをつくり、その上流面を適切な形状に仕上げることによって、完全に防止できることを明らかにした。

建設計画と工事实施のスケジュール

ウィーン市洪水防御計画の実施にあたって、建設工事の主要な項目を列挙すれば次の通りである。

- ① 5 200 m³/sec の通水能力をもつ洪水放水路の建設。
- ② 洪水放水路の流入部、中間部および流出部に設ける可動せきの建設。
- ③ 幅約 200 m、長さ 2 km で、堤防の天端と等しい高さまで盛土造成する島の建設。
- ④ 左岸側既設堤防の肉盛り補強と直線化。
- ⑤ 右岸側堤防のかさ上げ。
- ⑥ ドナウ運河入口の Nussderf こう門の改造。
- ⑦ 左岸側堤内地の内水排除施設の工事。
- ⑧ Lobau 港、Freudenau 港および Albern 港の各港域を洪水に対して防御するための囲繞堤、導流堤のかさ上げ。
- ⑨ 洪水放水路へ洪水流を取り入れるための上流部導流堤の建設。
- ⑩ 現在の高水敷内の既設橋梁の橋脚基礎の根入れ改修工事。
- ⑪ ドナウ運河における背水の影響に対処する関連工事。

この計画を実施に移し、全体計画が完成するまでには約 8 カ年の工期が見積もられている。

1969 年度における工事实施のスケジュールとしては、できるだけ早急に洪水防御の実が上がるよう、まず左岸堤内地の内水排除施設の完了をまってただちに左岸堤防の肉盛り補強を行ない、次いで高水敷を掘削して洪水放水路の建設に着手する。あわせて、この掘削土は中央の島の盛土造成に利用する。これと同時に、上流 Bisamberg 周辺から洪水を取り入れるための導流堤の工事を開始する。一方、ドナウ河の右岸においては、ドナウ運河入口に設けるせきの工事および閘門の改造にただちに着手することができる。次いで、本川の右岸側堤防のかさ上げ工事および Freudenau 港と Albern 港の囲繞堤の改修工事を実施する。

写真—2, 3 はウィーン市洪水防御計画の工事の現状と完成予想図を対比して示したものである。写真上方が上流側で、それぞれの写真の中の左側がドナウ河本川である。

建設工事費

ここに述べたウィーン市洪水防御計画に必要な総建設費は約 150×10⁹ 米ドル (540 億円) と見積もられている。この費用はウィーン市当局およびオーストラリア連邦政府によって分担支出される予定である。14 000 m³/sec までの洪水防御のための堤防かさ上げに必要な工事費は、政府予算によって負担される。一方、この多目的計画に含まれる洪水防御以外の主要な部分を占める都市計画およびレクリエーション区域の建設関連費は、市の財源によってまかなわれる。引き続いて行なわれる予定の水力開発については、現時点では特に財政上の負担を必要としない。さらに、将来の舟運のための港湾施設の拡張工事は、この洪水防御計画に基づいて施工される諸施設に特に大規模な変更を要求しないであろう。

(訳者 千秋信一・正会員 工博 電力中央研究所)

(1969.12.10・受付)

第 16 回 海岸工学講演会講演集頒布

第 16 回海岸工学講演会は 44 年 12 月 11~12 日の両日大阪市において行なわれました。今回の講演発表数は 56 編を数え、これらを収録した講演集は 380 ページを越えるものとなりました。本講演集ご希望の方は土木学会へお申込み下さい。

体 裁 : B 5 判 8 ボ 2 段活版印刷 384 ページ

定 価 : 3 000 円

送 料 : 150 円