

オランダにおける土質工学

こうの 野 伊 一郎*

1. はじめに

昭和46年から47年にかけて、オランダのデルフト工科大学 (Delft University of Technology) において研究する機会を与えられ、その際、オランダおよびその周辺の土質工学の実践を見学し、本誌の昭和48年6月号 (No. 724) に「オランダの最近の土質工学」と題して、土質工学の概要などを報告した。昨年の夏、再びデルフト工科大学およびオランダのワゲニンゲン (Wageningen) というところにある研究所 (Institute for Land Reclamation and Improvement) に出張することになり、周辺の大学や研究所を訪問することができた。この3年間にオランダの土質工学が大きく変化しようはずもなく、むしろ日本における変わりよりの激しさを感じさせられたくらいである。

そこで今回は、大学や研究所で交した会話などから感じたことを中心に、四方山談になることをお許し願いたいと存じます。この小文が、今後、オランダへ渡られる人、オランダ人を迎えられるときの何かの参考になれば幸いである。

2. オランダと日本

日本にとってオランダは長崎のオランダ屋敷を引き出すまでもなく、歴史的にみて特別な関係を有する外国であったことは周知のことである。日本が300年にわたって鎖国をしていたときにもオランダは唯一の交流のある外国であり、また明治に入っても、日本の河川改修の指導にあたったデレック教授、八郎瀉の干拓事業のために日本政府から招請されたヤンセン教授など、日本の土質工学の発展に最も貢献したのはオランダの土質工学技術者であったといっても過言ではあるまい。したがって、オランダはヨーロッパの非常に小さい国 (日本の約10分の1) であるにもかかわらず、われわれは他の外国と違った特別な近親感をもつのである。さて、オランダと日本とは、非常によく類似したところと、逆に全く好対称の部分とがあるように感じられるので、以下、オランダを日本と比較しつつ、その概要を紹介することにしよう。

オランダとは Holland から来ている。これは首都アムステルダム (Amsterdam) を含む一つの州の名前である。

* 工博 岡山大学教授 工学部土木工学科

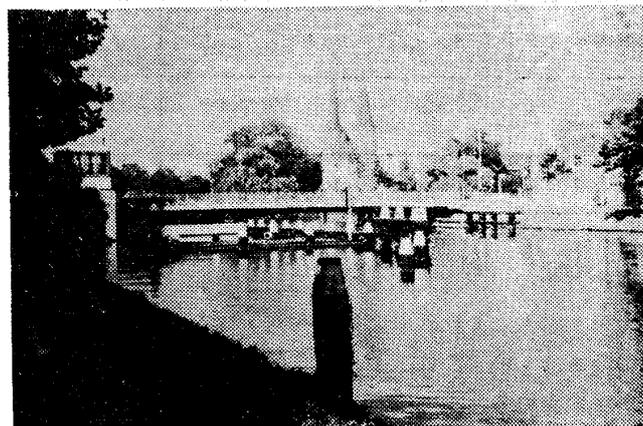


写真-1 デルフトの運河

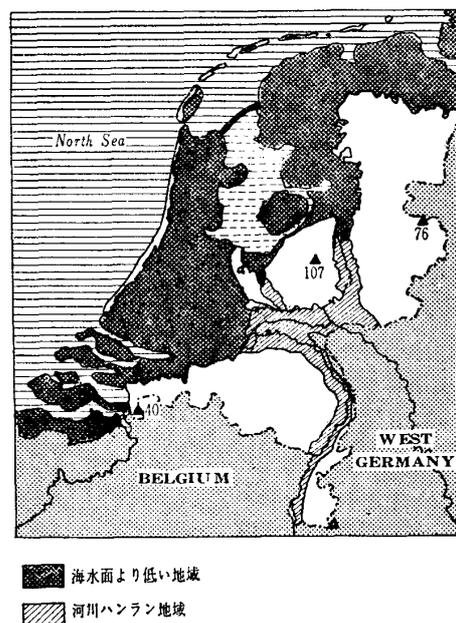


図-1 オランダの洪水危険地域は国土の半分に及ぶ

だから正しくは英語で The Netherlands (複数になっているのは南アメリカのスリナム植民地を含んでいるためである)、オランダ語で Nederland, フランス語では Les Pays Bas, それらはいずれも「低い土地」という意味である。図-1を見ていただくと黒く塗りつぶした部分は堤防がなければ海面下に没する地域であり、それは国土の約半分にも相当する。この低い小さいオランダにライン河 (Rhine), マース河 (Maas), そしてスヘルト河 (Schel-

表一 オランダと日本との対比

	オランダ	日本	備考(オランダ/日本)
国土面積	34,000 km ²	370,000 km ²	(1/11)
人口 (人口密度)	1300万人 (380人/km ²)	11000万人 (280人/km ²)	(1/9)
首都	アムステルダム (100万人)	東京 (1100万人)	(1/11)
商業都市	ロッテルダム (70万人)	大阪-神戸 (700万人)	(1/10)
工業ベルト地帯	北海ベルト地帯 (60km)	大平洋ベルト地帯 (600km)	(1/10)
最高標高	360m (東南丘陵)	3776m (富士山)	(1/10)
土地造成面積	7,300 km ²	1,200 km ²	(7)

dt) の3大河川が流れ込んでいる。まさに、水に浮かんだ(オランダ人によれば水に浮かべた)国といえるのである。水の脅威は1年365日、1日24時間続くのである。日本は確かに水害の多い国ではあるが、オランダのように1年365日緊張が続くというのではなく、台風時と集中豪雨時に限られるのはまだ幸いだと彼らが言うのも理解できる。

表一のオランダと日本の諸数値の対比をみていただきたい。

オランダの人口密度は平方キロあたり380人で、つい最近まで世界第一位であった(現在では、バングラディッシュが第一位である)。しかし、オランダの国内を自動車で走り、地平線に沈む夕日をながめると、とてもそのようには思えない。なるほど、オランダは国土の80%が平地で、20%が河湖である。一方、わが国は80%が山岳で、20%が利用可能面積と全く逆になっている。実質、世界第一の人口密度は日本であるといえよう。

オランダは北緯51°~54°に位置しているので、緯度でいえば樺太あたりに相当するが北上する暖流の影響で、気候は北海道と考えれば大差はない。ただ山が全くないので冬期の積雪量はせいぜい10~20cm程度である。したがってスキーにあらず、スケートが盛んで、札幌冬期オリンピックでのアムステルダム大学生シェンクのような超人的なスケート選手が出ることになる。国土面積は約34,000 km²であるから日本の四国を少し大きくした程度であり、日本の約10分の1である。いまこの日本の10分の1のスケールでオランダを測ってみると妙な対応があることに気がつく。首都アムステルダム(ハーグ(Den Haag)に国会があるので、首都はハーグだと主張する人もいる)は東京の約10分の1の100万人都市である。アムステルダムに対して、商業都市であり、世界第一の規模を有する港湾都市であるロッテルダム(Rotterdam)は首都アムステルダムの西南60kmにある70万人都市である。これは東京の西

南600kmに存在する700万都市の大阪-神戸に相当する。人口が集中し、商工業が盛んな地帯はこの日本の東京-大阪600kmの太平洋ベルト地帯に対して、アムステルダム-ロッテルダム間60kmの北海ベルト地帯がある。さらに名古屋に対応させてハーグ、京都に対応させてデルフトを考えるとちょうど説明がつくことになる。日本で一番高いところが富士山頂の3776mであるのに対し、オランダでは東南のドイツ国境の360m丘陵であるのは偶然であろう。

余談になるが、デルフト大学のある教授は第二次世界大戦中に日本軍の捕虜となり、東北地方の釜石で働かされたということで、今は日本語はほとんど忘れたが、「キョツケ(気をつけ)」だけは覚えているという。彼が言うに「オランダが海外進出を図っていたときに、日本は鎖国をしていたのはおもしろい比較だが、オランダはドイツ軍が攻めてきたときに、勝てない戦いにはまっさきに両手を上げた。日本はどうして、あれほど痛めつけられるまで抵抗したのか？」と真剣な顔付きで質問をしたが、私がうまく答えられなかったのは、あながち英語が下手なためだけではなかった。

3. オランダの土質工学の特徴

幼いころ、オランダの一少年が水害から村を護ったという寓話を聞かれた方が多いと思う。「Hans というハーレム(Haarlem)に住む少年がある日、堤防の内側(堤内地)の小さな孔から水が湧出しているのを発見し、一晩中これを手でおさえてがん張り続け、村人の助けを待って堤防を欠壊から救った」というお話である。これが実話かどうかは定かではないが、ハーレムの近くのスパーンダム(Spaarn-dam)というところにその少年の記念像が建てられている。ワーゲニンゲンの研究所でこの話をもち出したら、「私は大学の土質の講義にいつもこの話をしている」という。この堤防の小湧水は、進行性パイピング現象によって堤外部へと水路が発達し、その結果、堤防の全体的な破壊に至るのである。さらに「この小湧水が澄んだ水であれば危険性は少ないが、濁り水であればパイピングが進行中であるので特に注意を要する」とつけ加えた。

このオランダ少年の話で代表されるように、オランダの歴史はおそいかかる水との闘いの歴史であり、土質力学が体系だてられる以前から、オランダ人は生活の知恵として、堤防の安定と排水という土質工学を実践で感じとっていたのであろう。もちろん、現在もなお、オランダの土質工学はポルダー(Polder)と呼ばれる干拓事業で代表される。「地球は神が造ったが、オランダはオランダ人が造った“God made the sea but the Dutch made the coast”」の一言が、広大な干拓を成功せしめたオランダ人の誇りをあらわしているように思われる。オランダの土質工学の技術者がPolderの歴史、現在の干拓事業を語るとき、独特

表-2 オランダ干拓の歴史

年 代	干 拓 面 積
13, 14, 15世紀	105,850 ha
16, 17 世紀	187,940 ha
18, 19 世紀	193,400 ha
20 世紀	241,000 ha
計	728,190 ha

の高い口調になるのに気付くのは私だけではあるまい。

前にも述べたようにオランダ国土は、皿を水面に浮かべたように、国土の周囲が高く、中央部が低く、海に浮かんでいるような国である。その Polder と呼ばれる干拓の歴史は12世紀に始まるといわれている。もちろん当時のものは集落ごとに輪中堤のようなものを造って自分達の農地を守るという小規模なものであったに違いない。アムステルダム、ロッテルダムのようにダムを語尾にする地名がオランダのいたるところに存在するのはその名残りである。15世紀の初頭に風車 (Windmill) が発明されて、排水が人力から風力の利用へと移って、干拓の規模も飛躍的に大きくなる。さらに、“風まかせ”の風車に代わって19世紀に蒸気エンジンが発明されるに至って、より確実なものとなった。19世紀初頭のオランダは約9000個の風車があり、排水はもちろんのこと脱穀、製材用にも用いられていたが、現在では観光用など約900個が残されているのみである。残存の風車には、保存会のようなものが作られているそうである。オランダでは11月～3月の冬期は厚い雲が空をおおいほとんど太陽がみられなくなる。風速10～15mの季節風が雨、雪混じりに北海から吹きつける。北海に向かって立ちほだかっているようにもみえる運河沿いの風車(高さ10～30m)が、強い寒風を受けて“ブルブルン”と回るのをながめると、厚い毛皮コートに身をくるんでいても身震いがする。

表-2に示すように、これまでオランダでは約7,300km²の干拓による土地造成を行なってきた。

一方、わが国は埋立てによって、約1,200km²の土地を造成したが、日本に造られているゴルフ場の総面積が、たまたまこの埋立てによって造成した土地の面積にほぼ近いといわれている。日本は一生懸命埋立て事業をおこしてゴルフ場を造っていたのかと悪口をいう人もいるかも知れない。ヨーロッパ大陸ではゴルフは決して盛んではなく、オランダにも北海に面した砂州に2つのゴルフ場があるだけである。ゴルフ発祥の地はオランダで、「ヘット・ゴルヘン」という競技から「ゴルフ」となったという説もある。ヨーロッパ大陸を列車で旅すると、ゆるやかな傾斜、青々とした芝草に見える草原、このままでゴルフ場に使える、と考えるのはやはり日本人か。

さて、オランダの土質構成を大局的にみても、細砂、

粘土、PEATで、岩やレキは皆無である(必要な岩やレキはドイツなどから輸入している)。砂は、北海に面した砂州と東部、南部のドイツ境界に多く分布している。国土の中央部は海面より低い部分が多く、深くなると砂層であるが、粘土層があり、表層にPEATが分布している地帯がある。しかし、全般的にいて砂層が多いために、日本の軟弱地盤を思わせるようなものは少ないようである。特に日本の埋立て地のように、造成後、数年はおろか数十年間も人が入れないといったことは皆無で、多くの干拓地は排水の翌日からブルドーザーが走るというような好条件に恵まれている。したがってサンドドレーンやペーパードレーン工法というのは、日本のように普及していないようである。干拓地には、排水後も土中に塩分が残留するが、その除去がなかなかやっ介である。これには降雨による洗浄の他に、葦を人工植生し、これに塩分を吸収させて除塩を促進しているということである。日本の干拓地のように、ここに米作を計画する場合には塩分濃度の制約がきびしいがオランダの場合には牧草でもよく、条件は必ずしも等しくない。さらに地層構成は日本の場合に比べて教科書的ともいえようか、すなわち、水平、等厚、等方、均質といった言葉が使いやすく、そうした点では恵まれているといえよう。スカンジナビアのquick clayなど特殊なものもあるが、全般的に日本の土質工学は世界で最もむずかしいという印象を今回も強くした。

道路網のこと、地下鉄の建設について少し述べておきたいと思う。

オランダの道路網は、単位面積あたりにして世界一の密度で完備されているということである。新しい堤防の上には必ず高速道路が走り、古い堤防を利用して道路が建設されている。交通量が少ないところでは2車線の道路であるが、その両側には草の生えた土地が带状に残されている。将来、交通量が増したときに、いつでも4車線に拡張できるようにとの配慮だという。人家の近くや街中では、自転車専用路線が備えつけられており、役所も会社も、もちろん学校にも自転車置場が準備されている。オランダは自転車最も普及している国であり、政府もこれを奨励している。しかし、自動車も決して少なくはなく、スピードも、運転マナーも日本より立派だとは必ずしもいえない。したがって、交通事故も結構多いようである。

地下鉄については、世界一短いと自慢(?)のものがロッテルダムで営業されている。またアムステルダムには、現在、地下鉄を建設中である。やはり地下水位が高いお国柄のこと、地下水位低下工法が成否のポイントだということである。しかし、透水係数が10⁻³cm/secのオーダであるところが多く、その点では好条件を備えている。

4. オランダ干拓の3大プロジェクト

オランダにおける現在の建設工事を語るときこのプロジ

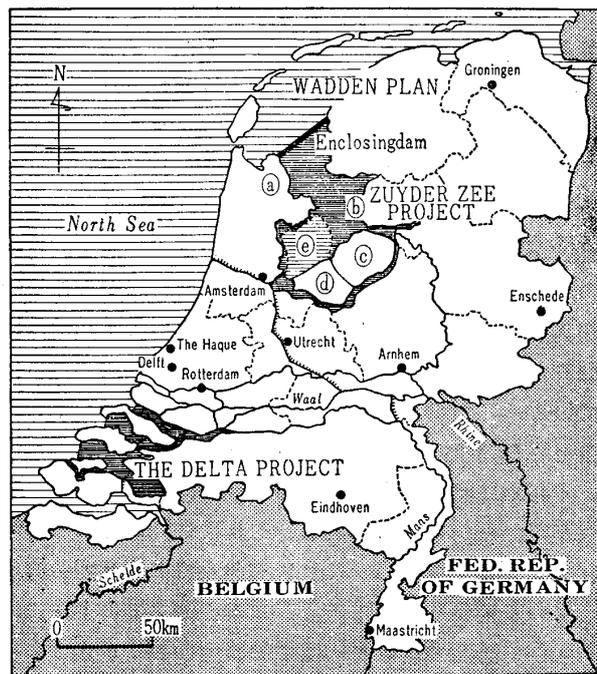


図-2 オランダの最近の干拓プロジェクト
(a~e は Zuiderzee Project による Polders)

プロジェクトを除くことはできない。

図-2 に示されるように、今世紀に入ってつぎつぎと三つの干拓の大プロジェクト (the Zuiderzee Project, the Delta Project, the Wadden Plan) が発表され、そのうちの the Zuiderzee Project と the Delta Project のみが実行に移され、完成間近である。

4.1 The Zuiderzee Project (ゾイデル海干拓計画)

冬季の北西の強い季節風と北海の高波はオランダの北西海岸沿いに延々と砂州 (dune) を造り、その高さは 20~50 m になっている。この砂州はワーデン (Wadden) 群島の付近と、ライン河、マース河の河口付近でと切れて不連続に形成されている。このと切れた砂州の部分人工的に堤防 (dyke) で締め切れば国を囲む大堤防が完成するわけである。その第一の計画は、図-2 のゾイデル海 (Zuiderzee) を堤防で締め切り、干拓地と淡水湖 (Ijssel Lake) を造るというもので、The Zuiderzee Project と呼ばれている。これは今世紀の初頭に C. Lely 博士によって発案、計画され、1927年に Enclosing dam と呼ばれている延長

表-3 The Zuiderzee Project による干拓地

Polder 名	面積	工期
(a) Wieringermeer Polder	20,000 ha	1927-30
(b) Noordoost Polder	48,000 ha	1937-42
(c) Oostelijk Flevoland	54,000 ha	1950-57
(d) Zuiderlijk Flevoland	43,000 ha	1959-68
(e) Mankerwaard	60,000 ha	1963-80
計	225,000 ha	1927-80

32 km, 天頂幅 90 m の大堤防の建設にとりかかり、5年後の1932年に完成した。締め切り部の平均水深が 5 m, 細砂地盤という好条件であったにせよ、当時世界的な大土木工事として注目を集めたものである。このプロジェクトは、この大締め切りで完了するのではなく、さらにその内側に、第2の堤防でとり囲み、その2重締め切りの内側の水を排除して干拓地が造成される。すなわち、2重に締め切られた大輪中堤に囲まれた干拓ができ上がるわけである。

そして残った水部はアイセル湖、アイ湖 (Ij Lake), そして運河 (Kanaal) として利用されている。アイセル湖にはライン河の支流のアイセル川が流れ込み、次第に淡水化され、利水のための大貯水池となっている。このプロジェクトの第一の目的はいうまでもなく干拓地の造成であるが、その他に、淡水湖が形成され、海岸線が短くなり (300 km が 30 km の $\frac{1}{10}$ に短縮された)、道路が堤防の上を走ることにより交通網が改善され、さらに淡水湖の水面が一定に保たれるので、Polder の堤防の維持管理が安全容易になるなど、多くの利益がもたらされたのである。

このプロジェクトの中でアムステルダム付近にアイ湖が残された一つの理由としては、国鉄アムステルダム駅などには多くの木グイが用いられており、地下水位が低下すればその木グイが腐食するので、地下水位を従来どおり保つための措置だともいわれている。

なお、アムステルダムの駅は、以前の東京駅に酷似していることに気づく。明治の日本の国鉄技術者が、東京駅を造るときにアムステルダムの駅を参考にしたといわれている。ヨーロッパの大都市の駅はすべて終着式とでもいえるもの (列車が駅に入るときと出て行くときとは逆方向となる) であるのに対し、アムステルダムやロッテルダムの駅は通過式であり、日本の国鉄は当初オランダの通過式を採用したわけである。

4.2 The Delta Project (デルタ計画)

The Zuiderzee Project が干拓造成を主目的としているのに対し、この The Delta Project は防災を第一の目的としているところが異っている。1953年の2月1日に発生し

表-4 The Delta Project の締め切り工事

名 称	種 類	工事期間
① Haringvliet	ダム, 水門	1954-71
② Brouwershavensche Gat	ダム	1963-72
③ Eastern Scheldt	ダム	1966-78
④ Veersche Gat	ダム	1955-61
⑤ Zandkreek Dam	ダム	1955-61
⑥ Grevelingen Dam	ダム	1957-70
⑦ Volkerak Dam	ダム	1956-70
⑧ Kapele, a. d. Ijssel	水門	1953-58
The Delta Project		1953-78

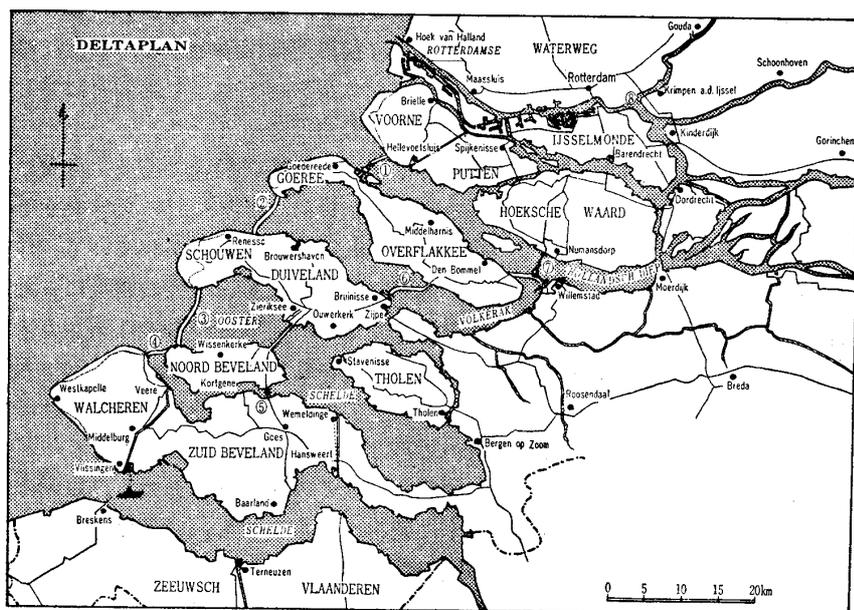


図-3 The Delta Project

た大水害はロッテルダムの西南部の低地を 15,000 ha にわたって水没させ、約 2,000 人の死者を出した。オランダが経験する水害は日本の場合とは全く状況を異にする。日本の場合には、降雨がやみ、時間が経過すると河川の水位が下がり、はらんだ水の大半は自然排水され、欠壊した堤防の補修はドライワークが可能である。一方、オランダでは、それらは望むべくもなく、国土は海底に没し、排水はポンプアップによらねばならず、その損害額はばく大となる。一たん海面下に没すると塩分の除去に相当な年月がかかり、また堤防の欠壊個所の復旧は流水中の難工事となる。したがってオランダにおける堤防建設においては、日本のそれとは段違いに大きな安全率をとることになるのは当然といえよう。さて、この 1953 年の大水害を契機として、その後 1 个月を待たずして、このプロジェクトを打ち出したということである。大綱は、当時の堤防の外側にさらに大きな締め切りをして外海の脅威を 2 重で防ごうというもので、8 個所のダムや水門の建設が主たる工事である。

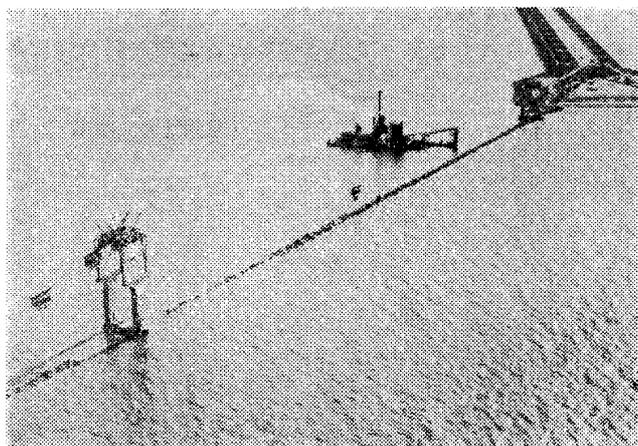


写真-2 デルタワークの締め切り工事 (Haringvliet)

このプロジェクトにより、15,000 ha の干拓、52,000 ha の淡水湖ができる。この工事の説明と写真集が The Public Works から “The tide goes out” として出版されている。

4.3 Wadden Plan (ワーデン計画)

オランダ北部の北海に浮かぶ五つのワーデン群島を堤防で締め切り、大干拓地の造成を行ない、ワーデン海を淡水湖にしようという計画である。この島群は砂州の一部であるが、無数の野鳥の生棲地であり、国民の保養地として親しまれており、また、ワーデン海は漁場として欠かせないものである。これを締め切り、汚れたライン河の水をこれに貯留すれば魚も住めなくなり、野鳥もよりつかなくなるだろう。した

がって、この計画は中止とみてよいようである。

ライン河の水は、ドイツのルール地方で徹底的に汚される。今や魚一匹生棲できないといわれている。それがドイツからオランダへ流下してくるのに、どうしてオランダはドイツに黙っているのかと不思議にさえ思えた。ドイツの産業の発展はオランダ経済の成長につながるもので、そのあたりがむずかしいところだという話であった。パリのセーヌ河、ロンドンのテムズ河と比べて日本の河川は決して特に汚れているとはいえない。いづこも同じ悩みをもっているということである。

5. 教育・研究

オランダには Amsterdam, Delft, Eindhoven, Enschede, Leiden, Groningen, Den Haag, Nijmegen, Rotterdam, Utrecht, Tilburg, Wageningen に大学などがあり、ここではまた NUFFIC (Netherlands Universities Foundation for International Co-operation) という名前で International Course が開かれており、世界各国から研修に技術者、学生が集まっている。そのうち土質関係の教育、研究をしているものは Delft University of Technology と Agriculture Wageningen University とである。前者には付属研究機関として、Dr. Stevin を記念して建てられた Stevin Laboratory というものがあり、後者には、Institute for Land and Water Management がある。Delft は土木系であり、Wageningen は農業土木系であるが、わが国におけるほど、土木とか農業土木の区別は明りようでなく、国が小さいがためにか、ひん繁に交流をしているようである。研究テーマに関しては、特別目新しいものといっはななかったが、地下水・浸透問題では、特に地下水資源確保、地下水の塩水化、堤体の浸透と安定などがとりあげられて



写真-3 デルフト工科大学の土木学科の建物

いた。また、パイルのネガティブフリクションの問題、粒状体の力学、F. E. M. の土質力学、工学への応用など、わが国でとりあげられている研究テーマと非常に共通点が多いように思われた。ただ、岩盤力学はなく、また特殊土に関する研究はピート以外はないようである。

若い研究者などの研究発表の場としては、日本のような恒例の研究発表会や年次学術講演会はなく、もっぱら研究所内のレポートにまとめ、さらに高度なものについては雑誌などに投稿するという事になっている。ときどき特別講演会や研究委員会が開かれるが、若い研究者が長老級の教授に向かって激しく意見をたたかわす情景などはあまり日本ではお目にかかれない。

デルフト工科大学土木工学科は新しいキャンパスに移転を完了した。3年前訪れたときには建設中であったが今回の訪問時には、まことにすばらしい校舎が完成していた。300×300 m の敷地に長さ 270 m、幅 30 m、地上 7 階建ての本館と実験棟である。ビルディング建設費が 65 億円 (6500 万ギルダー)、内部の装置に 35 億円 (3500 万ギルダー) が注ぎ込まれたのである。ここでは約 2000 人の学生が勉強している。彼らは 5～8 年で大学を卒業するが、卒業すると Ir (エンジニア) の称号が送られ社会的にも高く評価されている。ちなみにデルフト工科大学の 3 分の 1 の教授は Ir である。“結婚するならデルフトの Ir…” という歌があるそうである。

コンサルタントは、大きなものが二つあって、デルフト工科大学のキャンパスの中に、Laboratory of Soil Mechanics があり、大学とは一応関係なく独立採算制でやっている。もう一つは、石油で有名な Shell Laboratory が、

アムステルダム駅の裏の運河の対岸にある。日本のコンサルタントとは異なり、技術的な指導を中心にした仕事をしている。いずれのコンサルタント内でも訪問者に対して撮影禁止にしてなかなか厳格にやっている。

一般的に言ってオランダは基礎教育、研究に非常に力を入れているといえよう。特に、ほとんどの大学なりその関連機関で International Course が開かれていて、外国人の教育、研修にも熱心である。ある教授の言葉によれば、「オランダは資源も少なく、(唯一のものは天然ガスで、イタリアなどへ輸出している)、小さい国に多くの人間が住んでいる。したがって世界の人と仲良くしなければ将来やっていけないだろう。将来、その国の技術をリードするであろう人に便宜を図っているのだ」という。日本の場合にも、大きな木に肥料をやるよりも、種子に水を与えるような考え方の国際援助がもっと必要ではないのかと考えさせられる。なお、オランダで開かれている International Course の詳しいニュースは、東京のオランダ大使館に準備されている “Higher Education and Research in the Netherlands” を参照することができる。

6. あとがき

「いいものを、はやく、やすく」というセオリー(?) が私の頭の中にあって、International Course での私の講義の中でも話したことがある。しかしヨーロッパ大陸における多くの建設工事をみていると、少なくとも後の 2 項の “はやく、やすく” については日本の比ではないと感じた。その一例はデルフト工科大学の土木工学科の校舎の建築に実に 10 年を費やしている。ある現場でやや皮肉混じりにその意味のことを言うと、“土木構造物は、いわば芸術品であり、子孫に残すものであるから、むしろ「ゆっくり、お金をかけて」造るのだ” と彼は答えた。昨今、わが国での建設工事は住民パワーにおしまわれているが、彼が言うように、工期におしまわれるのではなく、おちついて、お金をかけて、よいものをつくる、ように基本姿勢を変えることも必要だと思われる。ヨーロッパでは、百数十年もかかって大寺院や宮殿を造ったのも決してめずらしくなく、その歴史は今日でも生きているのかとさえ思われるのである。

(原稿受理 1976. 2. 9)

※

※

※