

アスワンハイダムの工事現況

Engineering News-Record/高崎 一郎

塑性設計におけるひずみ硬化の重要性

Proc. of A.S.C.E., ST/西野 文雄

端面拘束をうけない粘土の三軸試験

Proc. of A.S.C.E., SM/松井 家孝

水素気泡を利用した微流速測定法

Jour. of Basic Engineering (Tran. A.S.M.E)

/荻原 国宏

10 種の方法を併用した工場排水の処理

Jour. of W.P.C.F./宇井 純

アスワン ハイダムの工事現況

"Aswan Dam's Crucial Phase : Grouting the Riverbed"

Bowman, W.G.

Engineering News-Record, pp. 48~56, December 9, 1965

エジプトとソ連の共同作業で進められているアスワンハイダムの建設工事も現在その最難所を迎えている。世界最大の規模を誇るロックフィルダム工事の特異点を列挙すれば、1) 上下流の Cofferdam を現存ダムの中に作る、2) 主材料として砂漠の砂を用い、水中で振動機によって締固める、3) 粘土を主材料とするカーテングラウトは路盤下 140 m にも達する、4) 上流側に締固め粘土による水平不透水層を設ける、5) 断面中央の粘

土心壁内に、グラウトおよびその効果試験用の回廊を設ける、6) 工事中の仮排水路の規模がきわめて大きい、等である。現在中央の心壁をのぞいては、河底より約 65 m の高さに達しており、当初の予定より一年余も進んでいる。ここに至るまでの最大の山場は右岸仮排水路および水路トンネルの工事であった。トンネルは直径 15 m、長さ 300 m におよび、平行に 6 本作られ、その土工量は前後の水路をふくめて実に 400 000 m<sup>3</sup> を越えたが、1964 年のナイル河の洪水時を前に完成を見ることができた(図-1)。

1) 水中工事 ダムの工事は、しゅんせつ船によって水中に岩塊を積む Cofferdam の工事より始まり、それが水面上に達するとトラックに引つがれた。その後図-2 に示すごとき材料が盛られて行く。砂漠の砂は左岸近郊より多量に得られ、運搬にはパイプラインを用いた。約 10 倍量の水とともに圧力を加えてダム サイトあるいは河岸の貯蔵所へ送られる。中央心壁の部分をのぞいてすべてベース材料としてこの砂を用い、特殊な振動機によって水中で締固め、15 m ほどに盛られた砂層は約 85% の厚さに落着いた。この台船を用いたパイプラインは、粗粒砂の運搬にも用いられる。

2) 陸上工事 上記の工事とともに下流側の Cofferdam ができると工事は陸上に移る。その最大のものは粘土によるダム心壁と水平水層および粘土によるカーテングラウト工事であろう。これらの材料には当初ナイルシルトが予定されていたが、実験の結果粘土に変更された。心壁内には、図-1 に見るごとく馬蹄形の回廊を

図-1

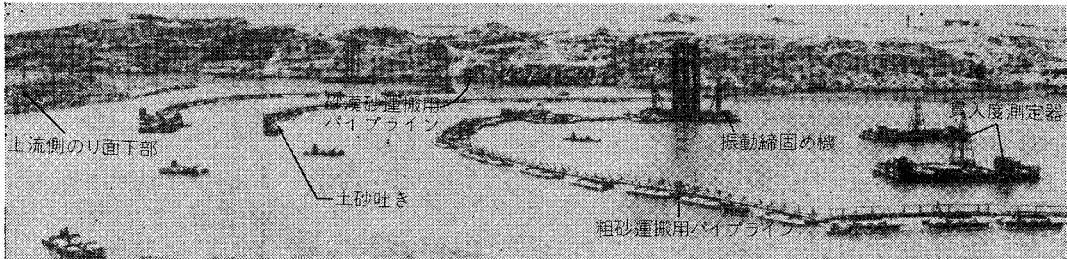
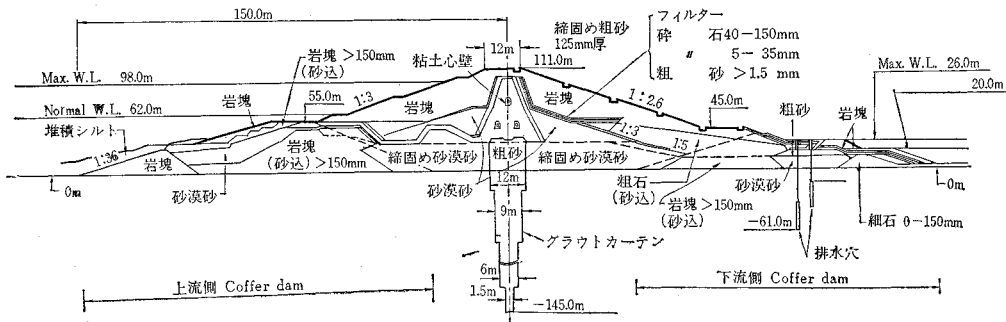


図-2



3本有し、この回廊よりグラウト工事のいっさいが行なわれる。グラウト穴は径 10 cm で 8本一組を約 5 m 間隔に配し、深さは 140 m に達するものもある。粘土に数パーセントのセメントあるいはケイ配ソーダ等を加えたグラウト材は、実に 600 000 m<sup>3</sup> を必要とし、その配合のために下流側ダム上に 2 基のプラントを設置した。

3) 発電所建設工事 一方ダム工事とは別に、発電所の建設も進められ、合計 12 台 175 000 kW のうち 4 台は 1967 年 7 月に予定されているダム完成後 6 ヶ月以内に動かに入る。

(委員 高崎 一郎)

### 塑性設計におけるひずみ硬化の重要性

“Importance of Strain Hardening in Plastic Design”  
Hernnikoff, A.P.  
Proc. of A.S.C.E. ST Vol. 91, No. 4, pp. 23~34  
August (1965)

塑性設計の基本的な仮定の一つは、塑性ヒンジを生じることにより曲げモーメントの再分配が行なわれることである。

この仮定を満足させるためには、材が降伏した後、十分に變形し得ることが必要である。しかしながら鋼材においては、降伏能力のみでは十分でなく、ひずみ硬化能力も必要と思われる。塑性設計によく使われる構造用炭素鋼においては、十分なひずみ硬化現象が見られるが、他の構造用材たとえばアルミニウム合金においては、ひずみ硬化能力が不十分なため塑性設計に使用するには不適当と思われる。これを実証するためにアルミニウム合金を使用した連続ばりについて実験を行なった。

実験は、2 スパン連続ばり、3 スパン連続ばりの 2 つのシリーズについて行なった。図-1 (a) に後者のシリ

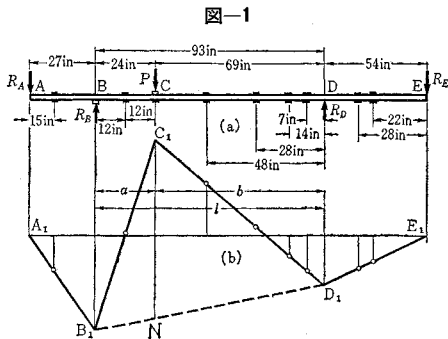


図-1

ーズの実験用はりの支点間隔および荷重点の位置を示す。図-1 (b) には上下両フランジに貼りつけた電気抵抗線ひずみ計より求められた曲げモーメントの値が○印で示してあり、これらの実験点を延長することによって

支点 B, D および荷重点 C での曲げモーメント  $M_B, M_D, M_C$  を求めている。実験を行なうにあたっては、中間支点 B, D および荷重点 C で局所的な不安定現象を生じないように、その防止には特別の注意を払い、その結果局部崩壊を避け、実験の目的を達することができた。

図-1 (a) に示すはりの支点モーメント  $M_B, M_C$  および荷重点モーメント  $M_C$  の値と荷重  $P$  との関係を図-2 に示す。 $M_B$  と  $M_C$  は大体同じ程度の値で荷重とともに増加し、最終的には塑性ヒンジを生じている。これに対し、支点 D での曲げモーメント  $M_D$  は、 $M_B, M_C$  にくらべて小さく、最高荷重時においてもはりの全塑性モーメントの半分程度の値にしか到達していない。C 点で引張り側フランジが破断することによりはりは崩壊した。この実験では、塑性設計における崩壊形式は C, B 点が全塑性モーメントに達した後、曲げモーメントの再分配が起こり、それによって D 点の曲げモーメントが全塑性モーメントに達し、D 点に塑性ヒンジが形成されることによって生じるメカニズムである。図-2 から荷重が大きくなって B, C 点が全塑性モーメントに近い値に達した後、 $M_D$  は急激に増え、モーメントの再分配が起こっているのが見られる。しかし、最終的な  $M_D$  の値は全塑性モーメントの半分程度であり、モーメントの再分配は不十分であることがわかる。

表-1 に塑性設計による最高荷重およびこの荷重時における各点のモーメント、荷重点のたわみ、およびそれらの実験によって得られた値を示す。理論値等においては、材の降伏応力として、ひずみ硬化開始点の応力および破断荷重に近い応力の両方を使って、それぞれの値を求めている。

最高荷重に関して、理論値と実験値に数値的には、大

表-1

	材の降伏応力 (ksi)	$M_D$ (in, kips)	$M_C$ (in, kips)	$M_B$ (in, kips)	最高荷重 (kips)	たわみ (点 C) (in)
理論値	40	-298	+298	-298	30.7	3.15
	42.5	-317	+317	-317	32.65	3.35
実験値	—	-178	+312	-318	33.25	2.00

きな差は見られないが、その内容はまったく異なったものである。やはり引張りフランジの破断によって崩壊したのに対し、塑性設計理論では3つの塑性ヒンジが生じたわみが異常に大きくなることによる崩壊を予想している。これに関連して崩壊時のC点のわみは塑性設計の理論では3 in 以上であるのに対し、実験ではずっと少なく2 in しか生じなかったことは注目すべきである。

このシリーズの他の実験ばりにおいても、2スパン連続ばりのシリーズについての実験結果も、上に述べたものとはほとんど同じ結果が得られた。

この実験からつぎのような結論を得ることができる。

- 1) 一般的にいってひずみ硬化が顕著でない材料を使用する構造物には塑性設計は適用できない。
- 2) このような材料を使用した場合、構造物の崩壊は引張りフランジの破断により生じ、塑性設計でいう、過大なわみによる崩壊とは本質的に異なる。またこの崩壊は塑性設計理論で予想されるより先に起こる。
- 3) ここではふれなかったが、ひずみ硬化現象の欠如による早期崩壊は、理論的に予想することが可能であり、数値計算の結果はモーメントおよびたわみについてもこの実験値とよく一致している。
- 4) 十分なひずみ硬化により、モーメントの再分配が完全に行なわれた場合においても、早期に塑性ヒンジを生じた断面にはより大きなモーメントが作用している。これは通常塑性設計では考慮されていないが、構造物炭素鋼ばりについての既発表の実験結果と一致する。

(委員 西野 文雄)

### 端面拘束をうけない粘土の三軸試験

“Use of Free Ends in Triaxial Testing of Clays”  
*Barden, L. and McDermott, R.J.W.*  
 Proc. of A.S.C.E., SM Vol. 91, No.6 November(1965)

土の三軸試験において、上下の载荷盤における端面拘束が三軸試験における誤差をひきおこすことは以前から指摘されてきている。このことは粘土の非排水試験において顕著に表われるもので、端面拘束によって生ずる供試体内部の不均一が間げき水圧の分布に大きな差を生じさせている。通常の場合、間げき水圧の測定が破壊領域からはなれた底盤で行なわれていることも、最小元応力を推定する場合の誤差となっている。A.W. Bishop らは、せん断中に間げき水圧が消散するようにできるだけおそい速度でせん断することでこの問題の解決を図ろうとした。本論文は、上下の载荷盤と供試体との間にゴム膜をおき端面拘束をとりのぞくことによって、ひずみ・間げき水圧分布・含水比分布の状態を調べ、変形と強度に端面拘束がどのように影響するかを論じている。なお、抄訳中の図表番号は原論文のものである。

図-2 三軸試験装置

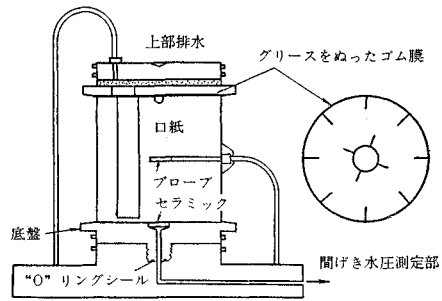
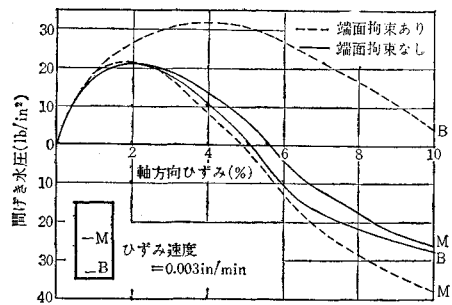


表-2

突固めた試料	Description	L.L.	P.L.	粘土含有率	活性度
	粘土(転石の間の)	30	15	31	0.48
乱した試料	風化泥灰岩	57	21	57	0.63

図-5 直径4 in, 高さ8 in 突固めた供試体の間げき水圧



本来、粘土の三軸試験は、供試体内部の間げき水圧分布が均等化された状態で行なわれるべきである。そのため図-2に示すような試験装置を用いた。载荷盤は端面拘束をとりのぞくためによくみがかれ、供試体との接触部には粘性の高いグリースをはさんで用いた。間げき水圧の測定はセラミック製の円盤とプローブを用いた。

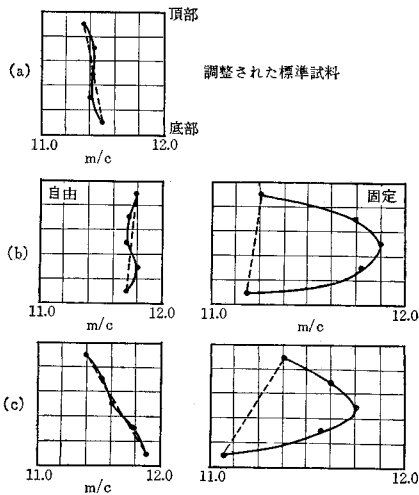
供試体は、1) 最適含水比で突固めたもの、2) 正規圧密のもの、3) 過圧密のもの3種で直径4 in である。試料のコンシステンシーは表-2に示されている。

間げき水圧の部位による差は図-5に示されているが、端面拘束のないものに比して、端面拘束のあるものは部位による差が非常に大きくなっている。これは载荷速度が極端におそい場合をのぞいて高さの異なるものについても同様な傾向がみられる。

図-12に示すものは、せん断試験後の各部位での含水比分布である。端面拘束のあるものはないものに比して中央部で高い含水比を示し、大きなひずみを与えたときの変形状態は中央部がふくらむ原因となっている。

以上の結果から、粘土の三軸試験では、端面拘束の影響が供試体内部の不均一をひきおこすために、間げき水

図-12 部位による含水比の分布



圧の分布が一様とならず、端面拘束をとりぬるぞかなければせん断強度の正しい推定はできないとしている。

(委員 松井 家孝)

### 水素気泡を利用した微流速測定法

“Use of Hydrogen Bubbles for Quantitative Determination of time-dependent Velocity Fields in Low-speed Water Flows”

Schranb F.A., Kline, S.J., Henry, J., Lunstadler, P.W. and Littell, A.

Jour. of Basic Engineering (Transactions of the A.S.M.E.,) Vol. 87, No. 2 pp. 429~444, June (1965)

流速の測定方法には各種の方法があるが、ここに扱っているのは水素の微小な気泡を染料の代りに使用し、写真観測を行なうものである。この方法によると電極に簡単な加工を加えることによって流線、流跡線、流速等を測定できる。微小な水素の気泡を生成する方法は、水の電気分解を利用するものであって、その概略の装置が図-1に示されている。水素気泡の発生する(-)電極には白金線、ステンレス線、銅線が使われるが、もっともよいのは、0.0125~0.05 mm 程度の白金線である。(+)側の電極は流れを妨げない水路中の任意点に設けておき、両電極間に 10~250 V の直流電圧を加えてやる。しか

図-1 実験装置

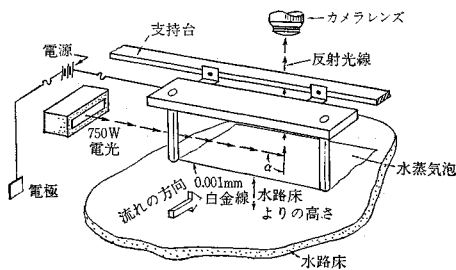


図-2 収縮部の流線

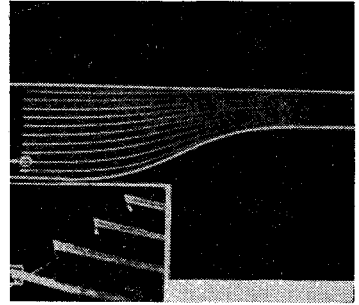


図-3 収縮部の長方形気泡流

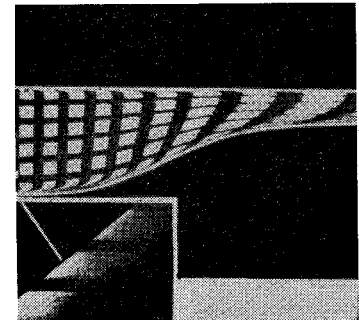


図-4 平板上の乱流境界層における渦の構造



図-5



し、危険な状態をさけるために 100 V 以下で操作することが望ましい。気泡の大きさは電極の直径程度 (0.006~0.05 mm) である。なお一般的な気泡を生じさせるために、水に 0.15 g/l 程度の  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  を加えるとよい。上記のような気泡の大きさでは、気泡の上昇速度は流れの速度に比して無視できる。なお、この方法によって測定できる流速は 3~30 cm/sec の範囲である。さて以下に実例を上げておこう。図-2 は (-) 電極の一部をコーティングして、部分的に気泡が発生できるようにして定常な流れを観測したもので流線がわかる。図-3 は、さらに、パルス状の電源を加えたときに発生する気泡の状況であり、流速の分布が判明する。以上は層流の場合であるが、乱流の場合には気泡の状態も図-4 のように乱れている。しかし、この場合にも気泡を部分的に発生させ、パルス状の電源を加えることによって図-5 のような縞目状の気泡となり、渦の形成状況が判明する。また既知の時間間隔をおいて撮った写真上の気泡の移動の大きさより、各方向の流速を求めることもできる。また図-6 のような振動している板の周囲の流線も求めることができる。この場合流線と流跡線とは異なってい

るはずである。そこで点状に発生させた水素気泡の流れをストロボ等を利用して、短時間へだてた2つの瞬間を同一写真に撮り(図-6)、その間の水素気泡の動きより速度ベクトルを求める(図-7)。

さらに、それらに接する曲線を求めることによって流線が求まるわけである(図-8)。以上この論文で紹介されている实例を示したが、さらに各種の工夫を加えることによって、種々な利用方法があると考えられる。なお、本論文においては、この方法におよぼす各種の影響について理論的な検討を加えている。

図-6

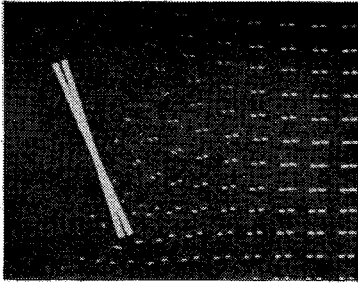


図-7

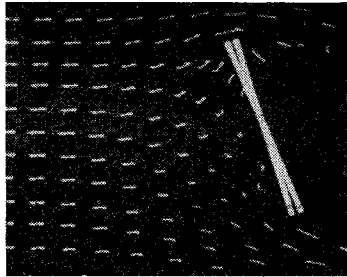


図-8 流線

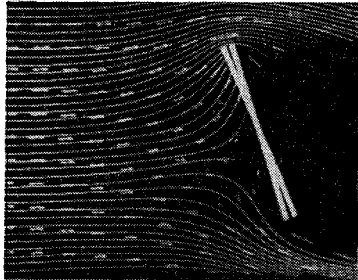
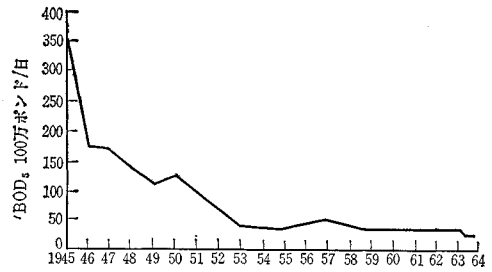


図-1 河川工場から放流される BOD の平均日間負荷量



は約 3 000 m<sup>3</sup>/sec をこえることもあるが、湯水量は 22 m<sup>3</sup>/sec にすぎない。州の排水放流規制は、河川のどの点でも最低 3 ppm の溶存酸素を要求している。この目標を達成するために、工場側が種々の方法を段階的に実施した効果を、放流 BOD 負荷量であらわすと図-1 のようになる。まず最初に、もっとも経費のかからぬ方法として取り上げられたものは、生産設備の維持管理、整備の合理化であり、機器のめれや事故をできるだけ少なくするために、作業員の教育の強化と排水関係の計測データの管理を行なった。この効果は意外に大きく、当初の BOD 負荷 159 t/d のうち、18.2 t/d が減少した。この管理計測値としては、COD と窒素量が有用であった。

ついで、排棄物を少なくし、水汚染を防止するためにさまざまな工程変更を行なった。特に効果があるものは工場内輸送の合理化による損失減少と、蒸発濃縮関係の真空ジェットの改善で、水に入る有機物の減少は、その他の方法もあわせて、BOD 負荷に換算し 35.6 t/d に達した。これは 22.5% の汚染軽減に相当する。

水中に 0.5% から 1% 程度有機物を含む排水は、蒸留塔などからガス状の希薄な有機物とともに、銅クロム触媒による気相酸化で分解される。現在はこの触媒に通常の白金黒被覆をしたレンガの酸化触媒を用いている。この方法は、触媒に毒作用をもつ化合物は除外されるが、11.7 t/d の BOD 負荷を処分し、全負荷の 13.6% を軽減している。

ある工程から大量に生ずる 3~5% の有機酸廃液を処理するために、古い水性ガス発生炉の蓄熱器を改造した熱分解装置にかけ、補助ガスバーナーで 800°C に保った蓄熱格子の表面で熱分解させる。この方法は完全に揮発性の廃液に限定される。処理量は BOD 換算 12.1 t/d で、全負荷の 14.2% に相当する。

州の汚染防止規制の圧力で、高濃度の有機物廃液は固形分 50% まで濃縮され、液体焼却炉にかけられることになった。この濃度では大部分の廃液は自然するが、ポンプ加圧による噴射燃焼は故障が多いので、自然流下によってバーナーに加圧している。この方法は高濃度の廃液に対しては一番経費が安く、できるだけ燃焼により処

(委員 荻原 国宏)

## 10 種の方法を併用した工場排水の処理

“Chemical Plant Waste Treatment by Ten Meteods”  
Hyde, A.C. (Du Pont)  
Jour. of W.P.C.F., Vol 37, No. 11, pp. 1486~1494  
November (1965)

アメリカウエストバージニア州 チャールストンの上流にあるデュボンのバル工場は、デュボンとしては中規模の化学工場であるが、30 をこえる化学製品の製造を行なう日本では小規模のコンビナートに相当する。この工場が 1945 年以来 20 年かけていろいろな方法で河川に放出する BOD 負荷の減少に努力し、ついに当初の 94% を除去するに至った経過とその方法は、化学工場の汚染負荷を軽減するにあたって重要な参考例になると思われるので、ここに紹介することとした。

放流先の河川は、流量の変動がいちじるしく、洪水量

分する方針で、37.7 t/d の BOD 負荷が処理され、全負荷の 23.6% を占める。

0.2% から 5% の濃度の廃液のうち、あるものは他の方法では処理が困難なため、約 1 万 m<sup>3</sup> の貯槽に貯えられ、洪水期に河川へ放流する。この処分にあたっては、下流の水質の厳重な監視を行ない、現在まで 10 年間、問題を生じたことはない。この方法で 16.6 t/d の BOD 負荷が年間平均処分され、10.2% に相当する。

以前灰捨場として、谷を締切っていた埋立地を、有機性排水と生物酸化処理の汚泥腐敗池として利用し、10 年前から 2.8 ヘクタールの表面積、4.5 m の深さで運転している。ここへ処分する排水は、いったん約 2000 m<sup>3</sup> の貯槽へ入れ、pH を調整した上でアンモニアとリン酸を栄養分として添加し、平均した注入を行なう。池自身の pH は 5~6 で、安定した有機酸醱酵が生じているとみられる。この方法で 5 t/d の BOD が処理され、負荷の 3.1% が処分されている。

活性汚泥法による有機物の好気性処理は、当初から検討されていたが、全負荷の人口当量は 200 万人近いばく大な値になるので、もっとも経費がかかり、後まわしにされた。1958 年に至って、前記の諸方法だけでは汚染負荷の軽減は限度があり、生物化学的処理方法を併用して放流水の水質を目標に近づけることを余儀なくされたので、再び活性汚泥法による処理が検討された。広い敷地内の各単位工場から排出される大量の希薄な排水を集めて処理するために、各種の処理法のうちでは建設費はもっとも高くなった。そこで、段階的処理計画をたて、パイロットプラントのかわりに、950 m<sup>3</sup> のばく気槽を

中心とした一系列をまず建設し、この運転成績をもとにして順次系列をふやして処理量を増加させる方法をとった。この方法は成功し、現在 4 系列で 10.8 t/d の BOD を処理している。これには生活污水もふくまれている。生物化学的処理法では、pH の調節が重要で、この自動化はまだ成功せず手動で酸またはアルカリを加えている。もう一つの問題は水温が高すぎることで、このために冷却塔を用いて水温を 33~35°C まで下げてからばく気槽に入れている。余剰汚泥は、現在は遠心分離後腐敗池へ入れているが、将来はる過後焼却することになる。排水管の延長により、この設備で 18.2 t/d までの BOD を処理することができる。

こうして、1965 年末で常時河川に放流する BOD 負荷を 13.6 t/d まで減少させたが、これは当初の 86% を軽減したことになる。1966 年には州の規制値が 9.6 t/d になるが、これは活性汚泥法への負荷増加により十分可能であり、実現すれば全負荷の 94% を除去したことになる。

この工場の場合の特色は、合理化、工程変更、焼却をあわせて 64% の負荷を処分している。生物処理と洪水放流を合計しても 25% にすぎない。全排水を合流して従来下水道処理法にかかる濃度まですすめる方法は、大規模な工場群では非常なコストになるので、できるだけ排出源でおさえ種類別に方法を組合せる必要があることを示している。この考え方は、コンビナートや工場都市などで慎重に検討する価値があるものと思われる。

(委員 宇井 純)

## 全 学 生 必 読 の 書

土木材料実験指導書	B 5 判 90 ページ	データシート付	定価 380 円 (〒70 円)
土質実験指導書	B 5 判 90 ページ	データシート付	定価 320 円 (〒60 円)

## EARTHQUAKE RESISTANT DESIGN FOR CIVIL ENGINEERING STRUCTURES, EARTH STRUCTURES AND FOUNDATIONS IN JAPAN, 1964

第 3 回世界地震工学会議が 1965 年 1 月ニュージーランドで開かれたのを機会に、わが国の最新の耐震工学の研究を紹介するために標記の図書を刊行しました。ぜひご一読のうえ広く海外へご紹介下さい。

体 裁：B 5 判 122 ページ グラビア写真 4 ページ 付図 1 葉  
定 価：1 000 円 (〒100 円) 国外：US\$3.5 ドル