

シベリヤ開発計画における水力発電計画について

原 田 千 三*

シベリヤの玄関であるナホトカとの日ソ貿易が今後ますます活発化し、そのわが国産業に与える影響も軽視できない現在、日ソ貿易の母胎をなしているシベリヤ開発計画について、その内容を検討し、ことにその開発の基盤となつている土木技術上の諸問題、原動力たる電力、動脈たる鉄道、道路の建設、運営に、あるいはあらゆる土木構造物の建設技術について検討を加えることは、わが国自体の意義上からも、またさらに土木技術者としては、地理的にも至近なシベリヤにおいて、すべての土木技術が酷寒と斗争しながら達成されつつあるということからも、非常に意味のあることであると思う。

いろいろな諸問題のうち今回は、水力に関する問題だけをとり上げてみよう。

1. シベリヤ開発の目的

まずシベリヤ開発はなぜ必要になつたか、またその目的とするところは何か、という問題から話を進めよう。

ソ連では今までに6回にわたつて5カ年計画が進められ、現在は第6次5カ年計画(1956~60)の途次にある。シベリヤ開発計画が大きくとり上げられたのは、この第6次5カ年計画になつてからである。

今までになぜシベリヤの開発がとり上げられなかつたか、その理由は心臓部に当るモスクワ、胴体たるウクライナなど欧ソ部の建設に忙殺され、余力がなかつたからといえよう。それがこのごろようやく手足にあたるシベリヤにむけられてきたのである。

抽象的な表現をすれば、経済的政治的事業がシベリヤ開発を採択せしめたのであり、生産力の配置を全所的に適正化し、生産の増大とより高度の文化的水準を高める

のを目的としているのである。

具体的にいえば実際の内幕になるが、ソ連の中心部たるモスクワは経済的に飽和点に達し、もうこれ以上工場を建設することは、経済上非常な不利をしのばねばならない状態にまで到達したのである。一例をあげれば、現今モスクワの工場地帯を給養するのに、欧ソ部だけの石炭では不足で、シベリヤから毎年莫大な石炭を輸送している。この直接的な毎年の損失とともに、それだけでなくも輻輳にあえぐシベリヤ鉄道の輸送状況を、このために一層悪化しているのである。この対策として安価かつ豊富な水力や石炭を包蔵するシベリヤに工場を誘致し、生産力の均等化を計り、あわせて非常時に対処すべき生産基地の地方分散を行なうことは、まさに一石二鳥の方法といえよう。このような動機と目的とをもつてシベリヤ開発は始められたのである。

2. シベリヤの水力

まず世界各国の電力(火・水力)の現状と利用可能水力および、その人口と面積に関する状況などを表一に示そう。この表から現在米国の電力生産量は断然世界各国の水準を抜いていること、また利用可能水力の点においては、同一基準において表示されているものとするならば、ソ連が群を抜いていること、また米ソとも現状は火主水従にあり、わが国はその逆にあることなどを知ることができる。

この面から米ソの工業力をこの比率で判定することは必ずしも妥当でないが、フルシチョフ首相が先般ソ連の今後の目標として、ソ連は現在工業生産量において米国に劣つているが、今後15年間に追い越してみせると

表一

国 名	電力生産量 1955年		水力の全電力に対するパーセント %	利用可能水力 10億 kWh	現水力と利用可能水力とのパーセント %	人口 1000人当りの利用可能水力 100万kWh	面積 1000km ² 当りの利用可能水力 100万kWh
	総発電所 10億 kWh	水 力 10億 kWh					
ア メ リ カ	624.9	116.0	18.6	491	24.0	2.9	52.4
ソ 連	190.0	29.0	15.0	1720	1.7	8.6	78.0
欧 州	24.4			255	9.6	—	—
ア ジ ア	4.6			1465	0.3	—	—
日 本	65.1	48.5	74.5	103	47.0	1.1	277.6
カナダ	81.5	77.0	95.0	218	35.0	14.0	21.9
フランス	49.7	25.6	51.5	60	42.6	1.4	110.0
イタリー	38.1	30.8	81.0	55	56.0	1.1	182.5
スエーデン	24.8	21.6	87.0	80	27.0	10.9	178.2
スイス	15.5	15.4	99.5	35	44.0	—	—
オーストリア	10.8	7.9	73.2	40	19.8	5.97	476.2

* 正員 工博 東北大学教授、工学部土木工学科教室

覚悟のほどを示したが、この 15 年はシベリヤ開発のぼろ大な資源開発の成果が、工業生産をまかなうようになるのに必要な年数である、という見解を披瀝したと筆者はとつたのである。しかし果してそうなるであろうか、シベリヤ開発の進展はこの意味においてもシベリヤを技術的、経済的に掘り下げてみる必要を必然的に感ずるのである。

表一1 にソ連の利用可能水力として 17 200 億 kWh と示されているが、この出所は、ソ連で 1 477 の河川を対象とし、その調査結果にもとづき、それら河川を持つ全包蔵水力を 3 億 4 000 万 kW (河川)、年間発生量を 29 780 億 kWh と推定している。このうち技術的に可能な値として、半数に近い 19 650 万 kW と 17 200 億 kWh とを算定したのである。

ではこれら包蔵水力はソ連内で地域的にいかなる分布を示しているだろうか。表一2 に示すように、シベリヤ全体の持つ包蔵水力はソ連全体の 90 % 以上におよんでいるのである。しかしその電力は多くは安価にして質がよく、しかも現在はほとんど開発されていないのである。この事実から推断しても、シベリヤ開発が今後ソ連の産業界に与える影響の大きいかを想定されよう。

ここにいうシベリヤとは、欧ソ部をのぞいたウラル東部全地域をさしている。すなわち西部シベリヤ、東部シベリヤ、極東地方、中央アジア、カザフスタンの一部などを含む全地域である。

表一2

経済的 地区	ポテンシャル 水力資源		利用可能水力資源	
	1 000 kW	10 億 kWh	1 000 kW	10 億 kWh
西部シベリヤ	24 132	211.4	14 840	130
東部シベリヤ	140 815	1 233.5	91 320	800
極東地方	47 586	416.8	28 540	250
中央アジア	51 908	454.8	25 680	225
カザフスタン	15 063	131.9	6 850	60
欧ソ中央部	3 720	32.6	1 710	15
北西部	3 589	31.4	2 400	21
北部	6 614	57.9	2 850	25
ヴォルガ沿岸地方	6 456	56.5	4 910	43
ウラル	5 009	43.9	2 170	19
西部	1 782	15.7	1 140	10
南部	5 412	147.4	2 170	19
ザカフカサス	16 623	145.6	7 310	64
合計	340 000	2 979.4	196 460	1 720

シベリヤの水力は安価であると述べたが、安価な程度はもちろん地域的に相当の差異がある。いま世界一安価な水力と誇称しているアンガラ・エニセイスク地区を基準にとり、ソ連各地の水力価格に関する資料を表一3 に示そう。

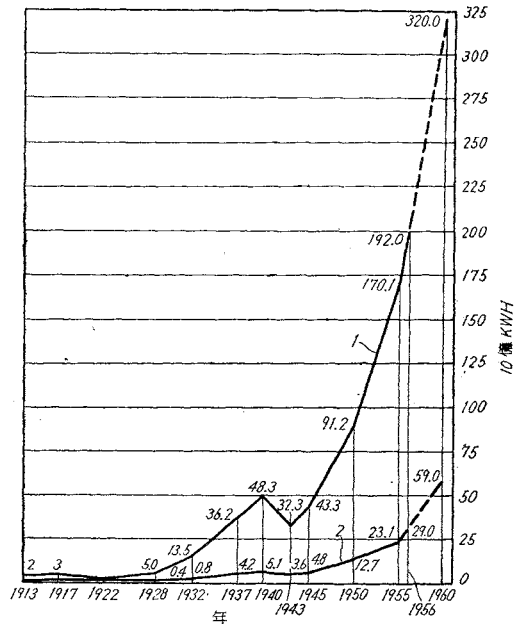
この表からアンガラ河から得られる水力はモスクワやレニングラード地区で得られる水力の 1/4 あるいはそれ以下の安価さであることがわかる。この原因は次の 3. および文献 4) からある程度理解できるであろう。

表一3

地 区	1 kWh 当り 資本投資率	エネルギー 一原価
アンガラ・エニセイスキイ	100	100
ルウトヌイ・アルタイ (ベルフネ・イ ルティシスキイ)	140	150
ヴォルガ沿岸地区	220	260
ゼヤ・セレミドジンスキイ	200	225
フェルガンスキイ	160	210
アルミヤンスキイ	200	290
グルジンスキイ	240	330
クズバスキイ	200	220
テルスコ・クバンスキイ	250	380
プリバルチスキイ	260	300
ブリドネプロフスコ・ドンバスキイ	370	370
中央工業地区	450	430
ウラリスキイ (カムスキイ)	250	300
レニングラードスキイ	400	450
中央黒土地区	710	830
沿海地区	500	600

ソ連の火力、水力のたどってきた進歩の模様および近い将来の第 6 次 5 カ年計画の終了年度たる 1960 年における目標を示すと 図一1 のごとくである (1956 年現在)。

図一1 ソ連の電力発展過程 (単位: 10 億 kWh)



註: 1 全発生電力; 2 水 力

3. クラスノヤルスカヤ水力発電所

この水力発電所の最大出力 400 万 kW、年間発電量は 191 億 4 000 kWh という、わが国の最大級たる佐久間、田子倉の 10 倍あまりの巨大な発電所で、現在工事中のものではソ連最大である。このほか、すでに工程のなかばに達したブラツカヤ水発は 360 万 kW (アンガラ水系) で、まだ準備中で確実ではないが、アンガラ河とエニセイ本流との合流点に建設予定のエニセイスカヤ水発は 500 万 kW と称されているようである。一地点からこの

ように大水力が得られることは、自然条件によるのであろうが、うらやましい次第である。ソ連では 40~50 万 kW の水発は中等の水発と呼んでいる。

ここではシベリヤ開発の一翼になつて建設中の、巨大なクラスノヤルスカヤ水発について紹介しよう。

本水発の建設地点はシベリヤ本線の要衝クラスノヤルスク市の上流 32 km のところにある。この地点が定められたのは、地質上また技術、経済上の見地からと、たん水した場合重要な石炭産地であるアバカン市およびチェルノゴルスク市を水没させないとの考慮から定められている。参考までに両市は建設地点から 380 km 離れており、貯水池の末端となる予定である。この場合貯水池の容量は 770 億 m³、有効容量 320 億 m³、面積 2 130 km² で水没農地は 113 000 ha、住民 520 000 人の移住が要求されている。

建設地点の気候は、一言にしていえばはなはだ大陸的である。平均年気温 -0.4°C、最低 -54°C に達する。最低月たる 1 月の平均 -20.2°C、最も暖かい月である 7 月は 18.8°C。河の結氷厚は建設地点で 1~1.65 m、特殊の地点では、春季に氷堆積がみられ、このため結氷河面は 5.4 m も上昇する。

建設地点の地質は高いダムを建造するに適し、基礎にカコウ岩（その平均圧縮強さ 1 300 kg/cm²）を有している。建設地点は兩岸せばまり谷幅 750 m となつている。建設地点エニセイ河の平均流量は約 2 800 m³/sec で

ある。冬期は 300 m³/sec まで低下する。いままでに観測された最大洪水量は 23 900 m³/sec である。

満水面をとつた場合の落差は 101 m、発電アグレゲートの計算に用いる落差は 86 m。この条件で計算したこの発電所の要目は次のごとくである。

最大出力：400 万 kW 常時出力：155 万 kW
 ただしブラツカヤ水発（本水発と 600 km の距離にある大水発）と共働時：200.5 万 kW
 年間発電量：191.4 億 kWh
 常時 " : 136.0 "
 " ブラツカヤ水発と共働時：176.0 億 kWh
 最大出力利用時間数：4 850
 アグレゲート数：14 貯水池満水時間：2~3 年

ブラツカヤ水発と連結することにより、本水発の技術経済的要件はいちじるしく改良される。送電線 400 kV（220 kV もある）、容量 6 000~7 000 kW が予定されている。本水発の主要構造物は次のごとくである。左岸に配置されたコンクリート造越流ダム・右岸付近の発電建物を付随した発電部ダム・左岸ダムに隣接する舟運設備・左岸の 2 配給変圧所・右岸の高架鉄道線および従業員用建物・魚道設備は本河の魚類の状況上考慮しない（図 1-2.3 参照）。

ダムのタイプを選定するに当つては、その地方に産出する材料（石、土など）その他地方的条件、締切、排水、水、根掘りなど種々の点を考慮して 17 種について比較研究し、表 4 に示すような 4 タイプにしぼっている。

表—4

各タイプ主要構造（ダム部）の名称	コンクリート (1 000 m ³)	切 取 (1 000 m ³)		盛 土 (1 000 m ³)		各タイプ 建設費比較 (%)
		石の多い土	軟 土	石の多い土	軟 土	
右・アースダム、ただしダム下方に管を持つ	3 390	29 300	4 800	17 200	13 400	134.7
マッシブ・パトレス越流ダムと発電部ダム	4 480	4 400	4 050	560	400	98.0
マッシブ・重力式ダムおよび右岸に発電建物	5 600	4 300	4 300	500	400	100.0
マッシブ・重力式越流ダムおよび発電建物をダム内に入れるもの	5 610	4 300	4 700	560	60	102.8

これらタイプに対する優劣の比較研究の詳細については省略するが、結局 図—2 に示すようなマッシブ・重力式ダムが採用された。

このダムの特徴は、図からはよくわからないが⁵⁾、幅の広い継目と排水用ガレイを用いたことにある。幅の広い継目（2~3 m もある）はコンクリート量を減ずるのもとより、コンクリートの水和熱に対し、また施工に対し有効な働らきをするし、排水ガレイは揚圧を普通の重力式コンクリートダムに比して 30% も減ずることができる。また施工時の流水にダムの下底には直径 20 m くらいの孔を数本設けている。これは適当なときコンクリートで詰めてしまう。このほかソ連のダムは、たいてい舟運河川である関係上、それに対する設備が付帯される。またこのダムには図からもわかるように、ダムの上方に柱列を設けて道路橋の役目をもかねさせている。

本水発の建設上最も困難を感ずる時期はまだ寒冷であ

るのに河川の増水をきたすときである。なにぶん年平均気温が -0.4°C であり、寒冷でない月といえは 6, 7, 8, 9 の 4 カ月にすぎないから工事は大部分が寒中工事であるといえよう。

本工事の主要構造物であるダムおよびそれに付帯工事を含む総工事量は次のごとくである。

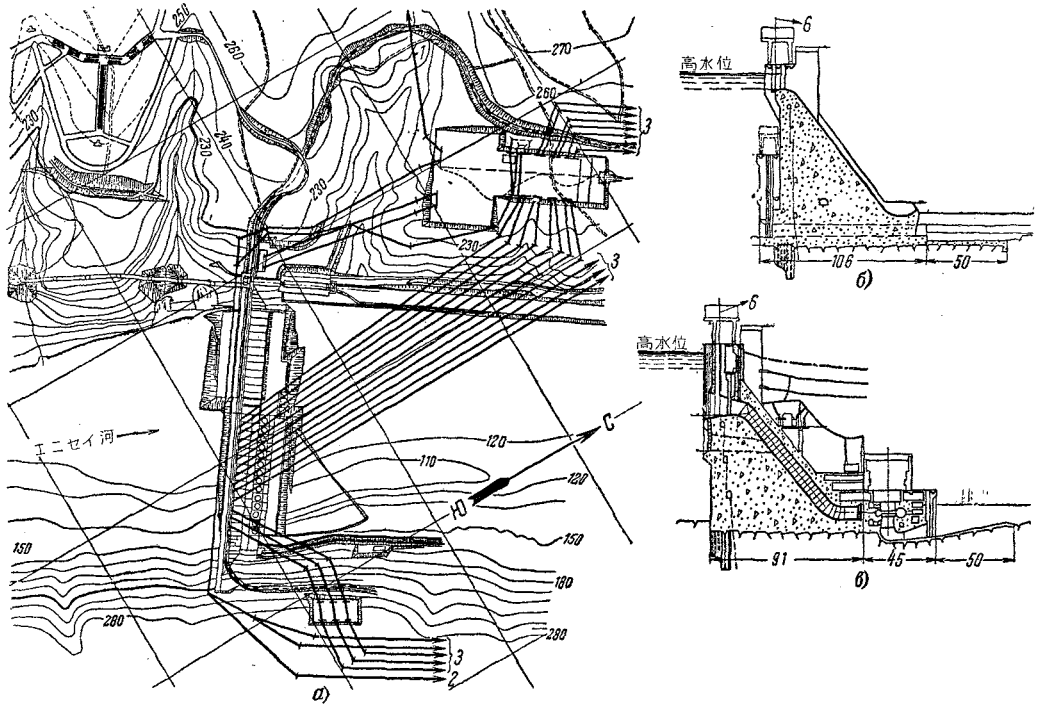
軟土の切取：120 000 000 m³
 岩土の切取：70 000 000 m³
 軟土の盛土：100 000 000 m³
 石の多い土の盛土：20 000 000 m³
 コンクリートおよび鉄筋コンクリート：6 000 000 m³
 組 立：a) メタル構造物：89 000 t
 b) 諸上昇機構：17 000 t
 c) 水力タービン設備：21 000 t
 d) 電気技術上の設備：54 000 t

工事施工上の諸建物：2 700 000 m³
 住居および文化的厚生的諸建物：2 300 000 m³

図-2 重力式コンクリートダム(ダム高118m断面)

a: 平面図, b: 越流部, c: 一般部

平面図中 1,2,3 は送電線(ブラツカヤ水発やクズバスへの 400(1,2), 220 kV(3))



建設資材の運搬は、クラスノヤルスク本駅から、側線 32.4 km を敷設し、これが輸送物資の大半を担当する。担当割合は鉄道 72%、道路 15%、水運 13%である。

ダムのコンクリート量は 5 595 000 m³ であり、この打設に最も苦心が払われ、打上げに 5 年が見込まれている。打設最盛の年度は 2 200 000 m³、月当り 232 000 m³、日当り、12 000~13 000 m³ の予定になつている。

スラッグポルトランドセメントを広く使用し、ダム内部に対しては、クリンカの 50~60%までスラッグを混和したセメントを、水中構造物に対しては 25~30%のスラッグセメントを用いる。ダムコンクリート 1 m³ 当りのセメント(混和材を含めて)平均使用量は 244 kg、そのうちセメントは 204 kg である。鉄筋の平均使用量はコンクリート 1 m³ 当り 12 kg であるが、越流ダムは 4 kg である。

コンクリートに使用する骨材は 67 種とし、砂 2 種、碎石 5 種で 200 mm まで用いる。

コンクリート打設にはエスタカードと容量 6 m³ の桶、種々のクレーンが用いられる。新式の 2 カンチレバー式ガントリークレーンは注目に値するようである。また特殊ブロックや建設初期にはコンクリートポンプ、無軌道式ジブクレーンやトラックの使用が予定されている。

最後に建設費関係事項について述べよう。本水発の経済上の要目は次のごとくである。

出力 1 kW 当りの資本投資額: 1 400 ルーブル
年間発電量 1 kWh 当り " : 0.29 ルーブル
エネルギー 1 kWh の原価: 0.74 コペイカ

(1 ルーブルは実勢レートで=50 円くらい、100 コペイカで 1 ルーブル)

クラスノヤルスク市は古くから火力発電所を有しており、本水発建設用の動力はここから給電されている。この火力発電所は新式であるが、それでも本水発の方がエネルギー原価において 3~4 倍低廉となる。また運営上の従業員の数は、石炭の採掘、運搬に要する人員を除外して、10 倍も少なくてもよいとされている。

クラスノヤルスク水発の出力 1 kW 当りの、また年間発電量 1 000 000 kWh 当りのコンクリート量をソ連および世界の類似水発と比較し表-5 のような結果を得ているが、この表から本水発の建設に要するコンクリートは少なく済む、すなわち安く水発を建設しうることが知られるが、これについてはさらに原因を深く追究する必要がある。写真-1 は本水発の竣工模型である。

写真-1 クラスノヤルスカヤ水発竣工景観図

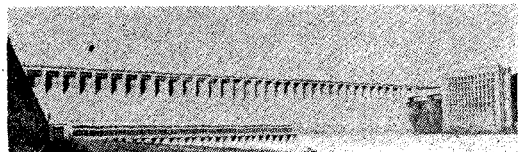


表-5

水力発電所名	国名	基底地質	ダム高 m	出力 1000kW	コンクリート容量 m ³	
					1kW当り	1000000 kWh当り
クラスノヤスカヤ	ソ連	カコウ岩	118	4000	1.38	0.29
ブラツカヤ	ソ連	輝緑岩	126	3600	2.02	0.34
グレンド・クリ	アメリカ	カコウ岩	168	2314	3.35	0.62
ボウルデル	ソ連	玄武岩・凝灰岩・角礫岩	228	1385	1.78	0.42
サニミニシヤ	中国	閃緑岩・斑岩	96	1100	2.67	0.49
グランド・デクサンス	スイス	カコウ岩・片麻岩	281	738	7.83	2.93
スブ	北朝鮮	同上	107	700	5.57	1.02

参考文献

- 1) ア・エヌ・ボズネセンスキイ教授およびア・ア・ベステンセンスキイ技師：ソ連の水力資源とその利用の国民経済に与える意義，ソ連水工誌，1957年11月号
- 2) エヌ・ア・フィリモノフ：クラスノヤルスカヤ水力発電所，ソ連水工誌，1957年11月号
- 3) 浜田 正：ソ連の水力資源，北海道電力資料，昭和32年発行
- 4) 原田千三：ブラツカヤ水力発電所建設工事，発電水力誌，昭和33年5月号
- 5) 同：ソ連の国土開発総論，国土開発誌，昭和30年11月号
- 6) 同：ソ連の国土開発工事，" " " 12月号
- 7) 同：シベリヤ開発と鉄道建設，" " " 32年5月号
- 8) 同：ソ連の発電と鉄道電化，" " " 2月号
- 9) 同：ソ連河川の水力資源について，河川誌，昭和31年11、12月号

元 西部支部長 故 大島末彦君 略歴

故大島末彦君は明治27年4月3日熊本市に生れ、第五高等学校を経て大正10年3月東京帝国大学工学部土木工学科を卒業、ただちに鉄道省に奉職せられた。主として保線業務に従事せられ、山形保線事務所長、創業当時の新潟鉄道局工務部長、鉄道監察官、本省工務局保線課長として令名があつた。

その間技術の進歩に意を用いられ、そのすぐれた著述によつて職員を指導せられ、あるいは保線業務の振興を計るために、保線講話会の基礎を築かれた。

昭和6年選ばれて鉄道省在外研究員を命ぜられ、米国およびドイツにおいて、各国鉄道の業務組織を調査し、また線路の保守および強化の研究に精励せられ、あるいは諸外国の国有および民有鉄道の特性を研究し、その結果多数の報告書を提出せられた。ことにドイツ国有鉄道の軌道検測車については、自ら実習してその研究に傾倒する等努力せられ、豊富な新知識を得て帰朝せられた。真に斯界の権威であつた。

昭和17年10月西日本鉄道KK創立に当つて、主任技術者工務部長として招かれ、22年取締役を経て常務取締役に進まれた。戦争以来の荒廃した鉄道施設の復旧から進んで増強、改善に全力を傾倒し、今日の西鉄の基礎を確立するに貢献せられた。また労務部長として労働問題困難な際にその対策に寄与せられ、また昭和



和28年西日本大水害のさいの筑後川橋梁の短期間の復旧にあたつて献身的な努力をせられた。

昭和26年2月北九州黒崎と福岡とを結ぶ鉄道建設を目的とする筑豊電気鉄道KKの創立にあたつて、その手腕と豊富な経験を高く評価せられて取締役に選任、28年11月専務取締役に進み、創業以来新線建設の計画とその実現に絶大な努力を傾注せられた。昭和31年3月および33年4月の2回の部分開業をもつて、黒崎・直方間のうち、黒崎・木屋瀬間が開通し、沿線の大きな期待に応えられた。また繁忙の際にもかかわらず、北九州私鉄技術委員会委員長の公職にあり、昭和25年度土木学会西部支部長として学会の発展に寄与せられた。また温情に厚く平素社員後輩の指導に意を用いられた。

君は近来健康にすぐれなかつたが、鉄道建設計画の実現に没頭せられ、5月26日平素となら変わりなく出社し事務をとつたが、夜半突如脳出血に倒れ、翌27日未明急逝し、その生涯を終えられた。享年64才、生前の功績をたたえて木盃を下賜せられたことは、その光輝ある生涯の最後を飾るものである。

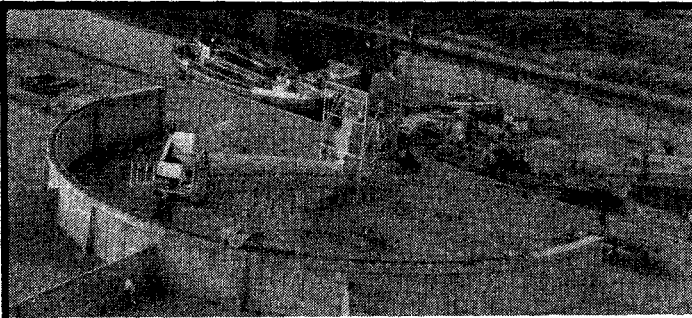
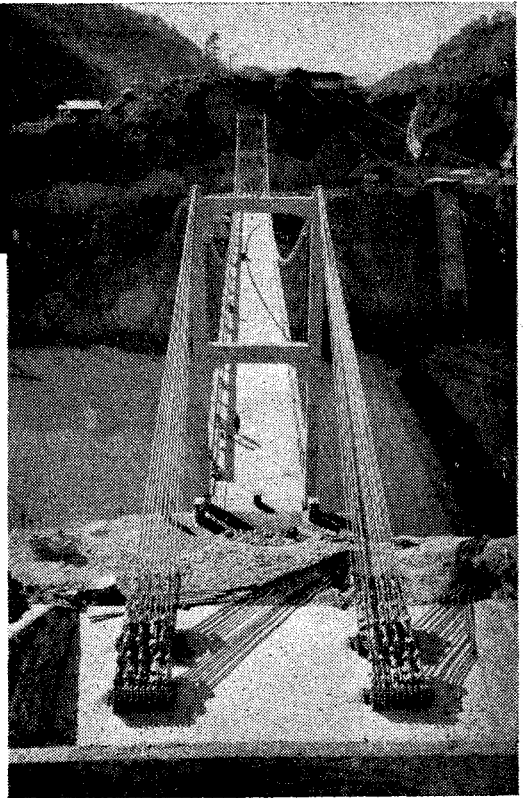
本学会は君の葬儀にあたり、霊前に香華を供え弔辞を呈したが、ここに重ねて哀悼の意を表する次第である。

鉄骨 橋梁 水門 鉄管



三菱造船株式会社

本社 東京都千代田区丸の内2の4 (三菱本館)
 電話 東京 (28) 3111・5111・0331
 工場 長崎・下関・広島



生産性向上のキーポイント

利益はここだ

- あなたの工場や作業場で材料や製品の流れがきまれば、その流れができるだけ直線になってしかも運搬の間隔が小さくなったときがいちばん能率がよくなるわけです。したがってコストもさがります。
- コンベヤーシステムはいちばん効果的な方法です。
- クボタコンベヤーはどんな場所にも材料や製品の種類によつて材料の流れをつくりコストをさげます。
- クボタコンベヤーをおさなえくたされれば、あなたは大きく利益を生みます。

クボタ

コンベヤー



久保田鉄工株式会社

大阪市浪速区船出町2丁目
 東京・福岡・札幌・名古屋・室蘭

呈ハておさ
 進をっへ下
 グ換は部り
 口引は伝送
 カのガキ宜
 左のガキ宜
 クボタコンベヤー
 土学7用