

# 米 国 水 力 発 電 所 調 査 報 告

正 員 市 浦 繁\*

## REPORT ABOUT THE INSPECTION TOUR OF THE HYDRO-ELECTRIC POWER STATION IN U.S.A.

(JSCE Aug. 1950)

Shigeru Ichiura, C.E. Member

**Synopsis** This is the summary report of the tour for inspecting the hydro-electric power station in U.S.A., from the beginning of April this year. The auther took part in that tour as one of the members of the electric enterprise inspection corps.

**要旨** 本文は去る本年1月上旬から4月上旬まで3ヶ月間米国電気事業調査団の一員として、アメリカ各地の水力発電所を視察した報告の概要である。

1. 米国電気事業調査団は総司令部経済科学局の援助により8つの部門即ち 1. 電気機械, 2. 水力発電所の建設と設計, 3. 送電配電, 4. 水力発電所の運転, 5. 火力発電所の運転, 6. 電気事業の経営, 7. メーター及び電気料金, 8. 公共事業委員会, に分れ本年1月5日羽田を出発し4月6日帰着するまで90日間米国各地の電気事業に関する施設, 制度を調査した。私は日本発送電会社土木部の野瀬技師と共に水力発電所の設計と建設と云う題目を分担して, 水力発電所のダム, 隧道, 門扉, 発電所建屋の下部構造等の調査を行つた。

2. 旅行の経路は先づシヤトルを起点としてコロンビア河水系のボンネビル, マックネリイ(工事中)を経てグランドクーリーを見, 次にハングリーホース(工事中)に行く予定であつたが雪のため交通が閉されたので, 止むを得ず予定を変更してデンバーに行つた。こゝで開拓庁の研究所を見学した上一旦サンフランシスコに戻りセントラルバレイ及びパシフィックガス電気会社の新しいクレスト, ロッククリーク発電所等を見学, 再びデンバーに戻り近くのコロラドビッグトムソン計画其他を見て次にTVAに向つた。こゝでチカマウガ, ヘルズバー, ノリス, フォートラウドウレ, ダグラス及び工事中のアースアンドロックフィルダムのサウスホルストンを見てワシントンD.C.に飛びニューヨーク, バッフアロを経てクリーブランドでユークリード道路機械会社の工場を見学, 更にシカゴに行き昨年来朝して只見川を調査したエリック・フロア氏の事務所を訪問した, 氏は相憎風邪引のため1日しか会えなかつたが, 大いに我々を歓迎いろいろ便宜をはかつてくれた。こゝから近いミルオーキ-

では電気機械, 土木機械メーカーのアリスターマー, 土木機械, オーバーヘッドクレーンのメーカーのヘーニッシュフェーガー会社を見学した。こゝから南下しマッカーサー元師の生れたアーカンソー州のリトルロック市の北にあるブルショールズダムをフロア氏の紹介で見学した。この附近は気候が暖いので冬でも工事を盛にやつて居り非常に参考になつた。更に飛行機で西に飛びデンバーを経て最後の見学地コロラド河に向い, フーバー(3年前にポールドーから再びフーバーに改名された), デビス(工事中)及びパーカーダムを見てロサンゼルスに行き, サンフランシスコ, ハワイを経由して帰国した。

3. 米国の発電所設備は1949年の統計によれば61,166,000KWありその内水力は16,391,000KWで総出力の27%である。我国と逆で火主水従の国である。水力のうち5,800,000KWは政府機関の所有している設備である。又1949年1年間に増加した設備は6,590,000KWでその内水力は1,201,000KW増加しているが, 政府機関で開発したものが762,000KWで63%に達している。これは河川総合開発に伴う大規模な水力の開発を政府機関が実施しているためである。

表-1 米 国 水 力 設 備 一 覧 表

全 設 備 出 力	16 391 000 KW	
政府 機 関 所 有 設 備	5 800 000 "	
内 訳	開 拓 庁	3 000 000 KW
	陸 軍 技 術 部	800 000 "
	T V A	2 000 000 "
1949 年 度 増 加 水 力	1 201 000 KW	
この内政府機関により	761 850 "	
開発されたもの		
其 の 他	439 150 "	

4. 米国の水力開発機構は大別して民間電力会社の実施するものと政府又は公共団体が行うものとに分け

\* 通商産業省, 資源庁電力局電力課

られる。現在政府所有の発電所出力は全体の約35%に過ぎないが、最近政府が大規模水力の開発を盛にやつているのでこの割合は増加しつつある傾向にある。

政府機関のうち主なものが三つある。(表-1 参照) 第一番目は内務省の開拓庁 (U.S. Bureau of Reclamation) でこゝは土地開拓用の灌漑用水を得るためのダム、水路を建設するのが目的で発電をも兼ね行つている。米国のみならず世界で最も大規模のダムであるグランドクーリー、フーパー、ジャスタ、及び工事中のハングリーホース等はすべて開拓庁が建設したものである。この役所の建設工事を行う地域は南、北ダコタ、ネブラスカ、カンサス、オクラホマ、テキサスの諸州の線以西に限られているが、ダム、発電所の設計、建設に就ては最も多くの経験、最大の設計研究機関並びに最高の権威を持つたものと云うことが出来る。コロラド州デンバー市郊外にある設計建設局は約 1600 人のスタッフと広大な敷地を持ち又完備した実験施設の施設を持つている。

表-2 開拓廳設計建設局の機構

1. ダム部	5. 機械部
2. 水路部	6. 建設部
3. 電気部	7. 調査及地質部
4. 建築部	8. 技術総務部

設計建設局の主要な機構は表-2 の如く 8 つの部から成つているが、之等の各部は 6~8 の課に分れて居り更に課の下にはグループがあり非常に専門的に分化された組織を持つている。詳細は紙面の都合で省略するが例えば余水路の設計でもコンクリートダムとアースダムでは係りが違うので別の部屋に行かねばならないと云つた工合である。

第二番目は陸軍技術部(U.S. Corps of Engineers)でこれは陸軍省に属する機関で別名 Army Engineer とも云われている。洪水調節と舟航(Navigation)のためのダムを建設している。発電所を伴うものは従来は比較的少かつたが、現在マックネリイ、ブルジョールズ等大規模な発電所の附属しているダムを建設しているからこゝの所有する発電所設備は急速に増大する傾向にある。

第三番目は有名な TVA でテネシー河流域の洪水調節、舟航及び発電のためのダムを建設する大統領直属の機関である事は会員諸兄も御承知の事と思われる。こゝに建設された 27 のダム(一部建設中)を以てしても河水の完全利用は不十分で尚 6 つの火力発電所を持つている。

以上が政府機関の極く大略の説明であるが注意すべき事は之等政府機関のダムを建設する目的は所謂河川総合開発であるが洪水調節、又は灌漑と云う目的が優先的に考えられて居り発電は之等目的の爲屢々犠牲になつている。貯水池の有効容量も洪水調節用、灌漑用及び発電用と明瞭に區別されて居り洪水期には貯水位を低下し完全に洪水調節が出来るやうに操作する。このため落差が低下し殊に低落差地点の発電所は犠牲が大きい。

5. 最近 10 年間に於ける米国のコンクリート技術の進歩は目覚ましいものがあると云えよう。材料の点では空気連行剤とボゾランの使用が普通になつている。空気連行剤に就ては本誌 35 卷 2 号で藤井博士が詳しく述べられているのでこゝでは省略することとし、ボゾランに就て簡単に述べる事とする。

ボゾラン(Pozzolan)はナチュラルセメント(Natural Cement)とも云われ、火山灰、焼いた頁岩又はフライアッシュ(Fly ash)が用いられるが之等自身では水に会つても固らないがアルカリと結合して固る性質を持つている。コンクリートが氷和作用で凝固する際に結合しないアルカリが 17% から 20% 位生ずるが、このアルカリとボゾランが結合して固るのである。従つてセメントの一部としてボゾランを使用すれば(1)ポルトランドセメントの使用量が少くなるのでコンクリートの発熱量が減る、(2)ボゾランの単価はセメントより安いからコンクリートが経済的になる、(3)アルカリ骨材反応(Alkali-Aggregate reaction)を防止する、(4)風化に対する抵抗力が強くなる、と云うような利点があるのでマスコンクリートには必ずボゾランが使われている現状である。我々が見学した工事中のマックネリイ、ブルジョールズ等では 20% 程度のボゾランを使用していた。近着の資料に依れば開拓庁がコロンビヤ河上流で工事中のハングリーホースダムではボゾランとしてフライアッシュ(シカゴの火力発電所の灰を粉碎したもの)を 50% 近くも使用している由である。勿論ボゾランにも欠点が無いわけではなく例えば 4 週強度が 2 割方減る事があるが 90 日強度では回復する。又混合物が増加するので材料の貯蔵や混合の際に手間がかかる。しかし之等の欠点は前述の利点から見れば問題とするに足りない。

マスコンクリートの冷却方法は従来冷却管を使用していたが、最近ではボゾランの使用により発熱量を抑えると同時に混合水に氷を入れ(デビス、マックネリイ)又骨材を予め冷却(ブルジョールズでは 35°F の冷水で 20 分間冷す)し 50°F から 60°F の冷いコンクリートを打設し冷却管の使用を減らしている。

粗骨材は6吋、3吋、 $1\frac{1}{2}$ 吋、及び $\frac{3}{4}$ 吋の4種に分けるのが標準で、混合工場では之に砂、水、セメント、ボゾラン、空気運行者又夏期には水を使用せねばならず混合の操作はますます複雑になつて来ている。

型枠にはベニヤ板 (Ply Wood) が使用され又所によつては之の内面にハイドロソ (Hydron) を使用し、表面仕上げと養生に効果を上げている。

鉄筋コンクリートに使用する鉄筋は殆んど全部表面にしわのあるディフォームドバー (Deformed Bar) を使用している。断面の大きいものは正方形の断面のものが多い。

コンクリートの工法で興味のあるのはブリパケットコンクリート (Pre-packed Concrete) である。之は型枠の中に予め粗骨材を詰めて置き、後からモルタルを注入する方法である。この方法は普通のコンクリート施工の難しい所即ちダム表面の修理、隧道の捲立、橋脚及び余水路の修理と云つた場所に都合が好く、米国ではこのやうな個所に用いられている。フーバーダムの余水路の工事にも用いられた由で又我々の見学したボールダー発電所 (デンバーの北約 20 哩にある) の貯水池ダムの上流面修理にも用いられ好成績であつた由である。

6. ロックフィルダム、又はアースダムは新しいものでは比較的少く、中央の心壁に粘土を用い、上下流に石礫を用いるアースアンドロックフィルの形式が多く採用されているようである。グリーンマウンテン、グランビイ、サウスホルストン、デビス、サンゲブリエル第1等は皆この型式であつた。構造が比較的簡単なために機械力を駆使すれば短期間で完成させる事が出来る為であろうと思われる。最近の研究に依れば心壁の不透過層として築造される部分は粘土を 15 ~ 20 % まぜた砂と碎石の混合物を適宜に輾圧すれば心壁として十分なものが出来る。粘土は丁度コンクリートの中のセメントのような作用をする。この工法は道路工学では以前から使われていた方法で別に目新しいものでもないが、ダムの心壁の材料として使用する所に新しさがあるものと思われる。デビスダムの容量は 380 万立方碼あつたが僅か 10 ヶ月で完成している。

7. 発電所の床構造は殆んど例外なく箱型とも云うべきもので四角型又は六角型の箱型の壁で発電機水車の荷重を支えている。我が国の設計は大部分が桁又は拱式、或はバレル型になつているが荷重の支え方は箱型の方がコンクリートの抗圧力を利用する (バレル型の場合は之と同じになる) 点で合理的であり又振動を防止すると云う点からも効果的であると思われる。バレル型の場合は普通発電機の床を省略し又水車のラン

ナーを取換える場合は発電機ローターを取はずした後でない出来ないが、箱型の場合は発電機床を持ち又開口を設けて水車のランナーを下から取出せるように出来る。

8. ダムに関する測定装置もいろいろ変つたものを使用している。コンクリートのストレイン (又はストレス) を測定する方法はカールソンの歪計 (Carlson Strain Meter) を使用している。このメーターの原理は針金に歪を与えると之の抵抗が変化し、この抵抗の変化を測定して逆に歪をはかる、歪と応力の関係から応力も測定出来る。このメーターはコンクリートのみならず鋼材、コンクリートパイプ、氷、隧道内部の岩盤の中にある歪をも測定出来る。水圧の最大値を測定するにはインデンターゲージ (Indenter Gage) を用いる。之は2枚の円板を重ねたもので内側の片面には鋼球を、他の面には軟い金属をはり水圧により生じたへこみで圧力を測定する方法である。フーバーダムでは水圧によるダムの傾斜を測定するのに二つの方法を用いていた。一つはプラムライン (Plumb Line) による方法で、エレベーターのシャフトを利用し頂上からピアノ線に 100 ポンドの錘をつけて下げ、ピアノ線とシャフトの位置のずれを測定して傾斜をはかる。他の方法は傾斜計 (Tilt Meter) を用いる方法で、之はダム内部の監査廊内に設けたベンチマークの上に水銀を入れた皿をのせ、水銀の水平面とベンチマークとの微細なずれによる角度を測定してダムの傾斜をはかる装置である。その他デビスダムではアースアンドロックフィルダムの沈下を測定するために、2吋パイプの中に1吋半のパイプを挿入しその下部に更に別の2吋パイプをかぶせると云う工合に交互に連続させ、各パイプをチャンネルによりダム内部に固定し各管の相互位置変化をはかつてダムの沈下量を知る方法を採用している。

9. 米国の高堰堤には必ず貯水引出しのための高圧水門が設備されてある。之は洪水時の排水能力を増すため、例えばグランドクーリーでは 8.5 呎のリングシールゲートを 60 門設けて居り、TVA のノリス (Norris) ダムではスライドゲート (10呎×5呎8吋) 8門を設けている。開拓庁の設計建設局では各種の高圧水門の模型実験を行つている。我が国でも洪水調節に貯水池を使用する場合は高圧水門を設けて予め水位を低下させて置くのが効果的であると思われる。又クレストゲートは大型のものが多く開拓庁等西部地方で用いられているスルースゲートは 15 m×15 m の寸法のもの標準になつて居るらしく度々見かけた。捲上装置は各門に固定のものを設けずダムの上を移動する

クレーンによるものがかなり見受けられた。

10. 隧道掘鑿の現場を直接見学する機会を持たなかつたのは頗る残念であつたが聞く所によれば直径3m程度のもので掘進速度は大きく、コロラドビッグトムソン計画では13哩に及ぶ長隧道を約3ケ年で完成し両口で月平均600m掘進している。又ロサンゼルス

市が工事中のオーエンス河計画では1ヶ月間に670mと云う記録を出している。之はジャンボによる全断面掘鑿とマッキングマシンによるズリ出しの能率化、更に組立式の鋼型枠、通風機の逆転による爆破ガスの急速排出及びコンクリート打設の機械化に負う所が多いものと思われる。

## モーメント分配法の二方向板の 解法への応用について

正 員 成 岡 昌 夫\*

### ON THE APPLICATION OF MOMENT DISTRIBUTION METHOD TO THE SOLUTION OF TWO-WAY SLAB.

(JSCE Aug. 1950)

Masao Naruoka, C.E. Member

**Synopsis** A rectangular elastic plate supported on all four sides and continuous in one direction can be easily solved by means of slope deflection method, as I have ever described in "The Treatises Collection of The Japan Society of Civil Engineers," No. 4, 1950. In the present paper author proposes a new method for the calculation of two-way building slabs over rigid beam. This is similar to H. Cross method. As his method is based on usual slope deflection method, author's method is also founded on slope deflection method of plate which author has devised. The main different point is that, because bending moment, deflection, and etc. of a rectangular plate are expressed by a trigonometric series  $\sum_{n=1}^{\infty} M_n \sin(n\pi x/a)$  or  $\sum_{n=1}^{\infty} \delta_n \sin(n\pi y/b)$ , calculation must be made for various values of  $n$  and is complicated with that of continuous beams and rigid frames.

Two examples are calculated and compared with the values obtained by H. Marcus ("Die Theorie der elastische Gewebe" 1924, S. 227)

My method is based on the maximum fixed-edge moment, but C.P. Siess and N.M. Newmark adopt the average fixed-edge moment in their analysis of two-way slabs. This make my method complicated in calculation compared with their method. On the contrary, the obtained results is more correct than their's.

**要旨** モーメント分配法がラーメンや連続梁の解法において、極めて便利な方法であることは周知の通りであるが、板の解法においてもまた有効な解法であることを、2方向板の解法を例に採つて説明したものである。

1. 緒言 モーメント分配法は1932年に H. Cross の提案になるラーメンの新解法であつて、その物理的説明の巧妙な点やラーメン図上において計算を進める考案などは、当時ラーメン解法上革命的発明と云われたものである。この方法は高層多スパンラーメンの曲げモーメント分布を反復計算によつて漸近的に求めんとするもので、反復度数を多くすれば次第に正確値に近き値を得るもので、工学的には略算法と云うより

は正解法と言つた方が宜しいくらいである。

著者はさきに板の解法に適用すべき撓角法を誘導し、その応用として一方向板(One-way slab continuous in one direction)の理論的解法を求めたことがある<sup>(1)</sup>。これでは普通の連続梁の解法と大差なく容易であるが、二方向板(Two-way slab)についてはそのまま利用し得ない。従来二方向板の理論的解法については H. Marcus の解<sup>(2)</sup>があるのみで他の解法は提案せられていないようであるから、こゝにモーメント分配法による二方向板の解法を提案したいと思う。たゞしこゝでは二方向板を支持する格子をなす各梁の曲げ剛性が大でその撓ミがなく、また梁の振り剛性を無視する特別の場合を取扱うものとする。

すなわち、高層多スパンラーメンを解くとき普通の

\* 京都大学助教授 工学部土木工学教室勤務