

イン ド 紀 行

坪 井 善 勝

I. は し が き

昨年 12 月 23 日から本年 2 月 9 日までインド滞在中の見聞を毎日日記につけていたので、これをかいつまんで建築を主題とした記事として本誌に掲載する。この旅行には二つの目的があって、一つはインドの南端近くの Bangalore で開かれた第三回理論および応用力学国際会議へ日本代表として出席することであり(A)、一つは印度側の費用で旅行した関係で Bombay の北方 Ahmedabad における紡績工場新築のための構造設計の指導を行うため(B)であった。もともとインドについてあまり基礎知識がないので旅行中、尾崎彦朔：新しいインド(三一書房)、堀田善衛：インドで考えたこと(岩波新書)等を読んでインドおよびインド人を理解するよう努めたが、滞在期間がちょうど堀田氏のそれと同じなので氏の著書にはわたくしと同じ体験が文学的によく盛られているように思った。インドは 12 月~2 月は一年中で最も

涼しい季節であり雨はぜんぜん降らず、ただ 1 日それも約 2 時間ほど未明の降雨を Agra で経験しただけである。これがやがて来る雨期のための旱天かと思うと、Corbusier の設計にみるものすごい排水管のような種の必要も納得できるような気がする。たしかに印度は広い。Bangalore は緯度はかなり南だが高地のため涼しいというのが当たっているし、Ahmedabad は朝は涼しくても日中はワイシャツ一つでもやりきれない感じであり、Delhi, Chandigarh では合の上衣は日中も着ていたし、Simla では下衣に毛のシャツとスプリングを着てまだ寒いといった具合で、日本の夏と冬が同時に体験された。面積日本の 9 倍というから普通見る印度の地図はよほど拡大して想像しないと実感から遠ざかる。

1948 年の独立、Neruh の社会主義型社会政策第 2 次産業 5 ケ年計画(今年が 3 年目)等々近代社会の建設は着々行われているという。わたくしが会議のときに案内された Mysore の Krishnarasagar Dam や、Chandigarh

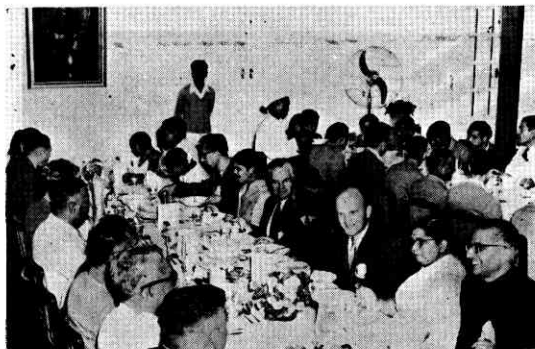


写真 1 Bangalore, Inst. of Science
(右下が Seth 教授)



写真 4 Madrus, 民家



写真 2 Mysore, Krishnarasagar Dam 下の公園



写真 5 Madrus

から連れて行ってもらった建設中の Bhakra Dam や、車中に見、飛行機から眺める半砂漠地帯に建設され、または建設中の Dam だとか、各大学、研究所の研究施設特に流体力学関係の施設の充実していることや、Bombay や New Delhi, Calcutta 市内で建設され、また目下建設中の共同住宅、官衙、事務所などの各種建物を見ると、全く近代的国家が古いインドから抜け出て現われたように感じるであろう。

しかし Bombay 飛行場から市内へ入る車から一枚の毛布にくるまって歩道に寝そべっている宿無しの数々と美しい Bomhay 湾に沿う Marine Road の清潔さとの対比、統制経済とポンド不足を裏づけるような物価高、面倒くさいような官僚主義の臭い、一目で分るような国民生活の一般水準を思い起す。たしかに広大な半砂漠地帯を抱えこんでしかも人口密度は日本の半分程度とあればまた顔ずけることではあるが、人口 Calcutta 700 万、Bombay 300 万、Delhi 200 万というのに、これが旧府内のみ密集しているように見え郊外にはすばらしく、うらやましいような建ぺい率をもって住宅群が建設されている。そしてわたくしが始終会っていた中産階級以上の人々の生活は全国民のそのほんの一部に過ぎないはずだということも思い起す。

インドは今明治維新に相当する時期であり、やっと産業革命の時代に入ったばかりだという。そして堀田氏などは農村もところによっては鉄器時代に入ったか入らぬ

ところがあるとまで述べている。わたくしの述べることも示す写真もこれを国民への分布率まで問いつめられると資料ははなはだ不足である。ただ国民の 1, 2 割だけが近代文明の恵みに浴しているのだということを常々インド人以外の人々から聞いていたことを付記しておく。

II. 国際会議とインドの大学・研究所

第3回理論および応用力学会議は 1957 年 12 月 24 日から 27 日まで Bangalore の Institute of Science で行われた。わたくしが到着したのは初日ではあったが Dr. S. R. Gupta の Presidential Address がすんだ直後で Dr. B. R. Seth がその批評をしていた最中であつた。Gupta 氏も Seth 氏もともに Kharagpur の Institute of Technology の教授で、Seth 氏には前会議で吉識教授も、またつい近頃谷一郎教授もお世話になっており、中西先生からもよろしく伝えてくれと言われた世話好きな非常に親切な人で、またなかなかの饒舌家である。インドのおもな教授や外国の学者には Half Time Address が与えられているが、これについて一つ一つ長い判半と感謝の辞を Seth 教授一人が引受けている形であつた。Gupta 教授の Presidential Address は

Some Modern Trends in the Design of Frame Structures, Theory of Design Based or Plastic Failure

と題し、近年流行の Limit Design に関する一般論であ

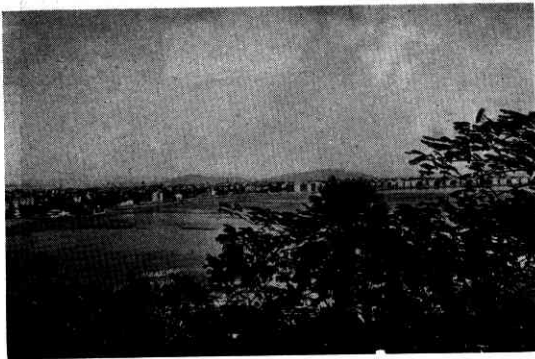


写真5 Bombay, Marine Road の遠望



写真6 Bombay, アパート群

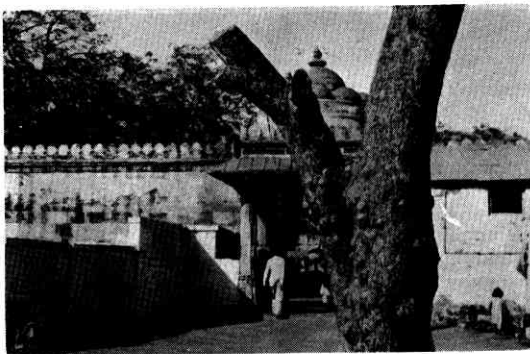


写真7 Ahmedabad, 回教礼拝堂



写真8 Ahmedabad

る。専門以外の分野については研究テーマが、はたして時代に合致しているかどうかは判別できないが、応力関係では面白いテーマがいくつもあり、欧米の論文に比して著しい開きは感じられないし、また非常によく勉強し特に文献をよく見ていることには感心した。会議の内容の詳細は割愛するが、Bangalore の Institute は特に空気力学および流体力学の研究設備が充実しその方面の研究者が多く、したがって土地柄下記Ⅱの項目の論文が多かったのだと思う。そして論文一般について印度側の研究は英国的またはドイツ的なアカデミー臭があり創意を感じさせるピリッとした論文は少なく、この点ソ連の論文とは好対象と見受けた。Abstracts に掲載された論文は

- I Elasticity, Plasticity, Rheology 27 編
- II Fluid Mechanics, Aerodynamics, Hydrodynamics 36 編
- III Ballistics, Vibrations, Frictions, Frictions and Lubrications 5 編
- IV Statistical Mechanics, Thermodynamics, Heat Transfer 9 編
- V Mathematics of Physics, Statistics and Computation 12 編

で Foreign Delegates として参加予定はソ連、米、中国、エジプト、ビルマ、ハンガリー、チェコスロバキヤ、南オーストラリヤ、日、ポーランド(名簿順)から計 20 名であり、全体として 100 数十人の会合であった。特に



写真 9 Ahmedabad, 図書館 1957 年, Corbusier

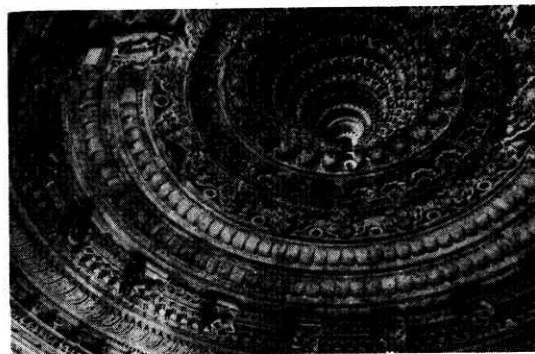


写真 11 Abroad, Dilwara Temple (11 thC)

印象的だったのはソ連 Moscow および Leningrad から Iliushin ほかに 2 名の教授が通訳同伴でソ連アカデミーからのかなりの数の図書の寄贈と、Bangalore および Kharagpur の Institute にメダルの贈呈をやり、極めて派手な外交的ジェスチャーを示したことである。

2 日目の Visit to Departments of the Institute には Civil Engineering の研究室を見せて貰った。主としてアーチダムと Prestressed Concrete の実験をやっており、平面応力の問題について前々から研究が多らしく、解析的には Prestressed Concrete における端部の応力解析を丹念に行っていた。教授 1, 助教授 3, 講師 3, 助手 2, で年間 20,000 rs (1,500,000 円) の研究費を使っているとのこと。隣りの流体力学の研究室に比較すると小規模であるが、帰りに寄った Kharagpur の Institute の該当研究室等と共にアムスラー等はすでに automatic のものをのみ使用しており、実験装置の整備されているのには感心した。

会議中見学が 2 ヶ所あり一つは Indian Telephone Industry 他は Hindustan Aircraft L. T. D. で共に政府経営の工場で、後者は古寺院見物のため参加しなかったが、前者の見学について思い起すことは、オランダの

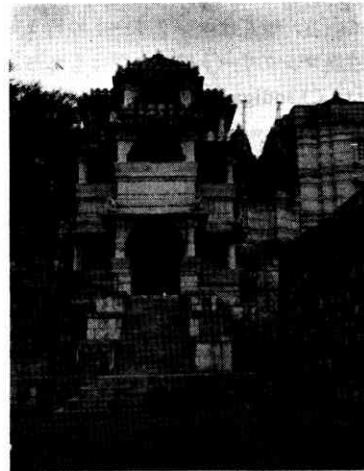


写真 10 Dilwara Temple (11 thC)

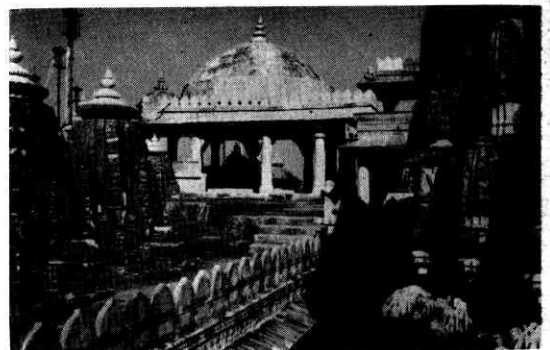


写真 12 Ranagpur (12 thC) Jain Temple

マークの入った機械が多かったことと、天井から垂れ下った大きな扇風機による冷房とである。そして工場とかダムとか政府の支配する施設は絶体に写真をとらせないのもこの国の特色であろう。また技術者も欧米の人達の指導を受けているようには見受けられないし、古いインドはこのような空気の中では全く感じられなかった。

New Delhi で政府の建設関係の chief である Dewan 氏が案内してくれた Road Institute は主として路面舗装の研究に重点をおいているが、建物の沈下と基礎の問題も重要なテーマとして取り組んでいる研究所であり、この種の研究所は財団法人組織になっていて Building Research Institute 外 10 数箇所あり、いずれも政府の委託研究を行っている。これらから Neruh 氏の社会主義政策のあらわれの一部を強く感じることができた。

III. インドの建築（主として鉄筋コンクリート）

今行っているインドの建築は日本で行われているものとひどく隔りがあるとは考えられない。セメントはどの現場できいてもインド産であり、P.S. コンクリートも各所で使われているし、Delhi にはすばらしい政府経営の工場がある。小住宅はほとんど煉瓦造であるが煉瓦寸法は $9" \times 4" \frac{1}{2} \times 3"$ 、目地 $\frac{1}{4}"$ で日本の規格より幾分大きめになっている。煉瓦はコンクリートの約 $\frac{1}{6}$ の単価であるから鉄筋コンクリート造でも壁はもちろん煉瓦積である。ただし Chandigarh の Corbusier の作品である

州庁舎と法務庁とは外壁もコンクリートであった。コンクリートはすべて硬練りで小規模の建築ではザルにつめたコンクリートを女人夫が頭に乗せて運搬したり男人夫が梯子をかけてリレー式に持ち上げている。Ahmedabad で調べた各種材料費および賃銀の一部を示すと

コンクリート	2 rs/ft ³	[27,800円/立坪]
鉄筋	2.37 rs/lb	[62,000円/t]
大工	5.5 rs/day	[410円/日]
大工 (coolies)	3.5 "	[260 "]
煉瓦工	5.5 "	[410 "]
煉瓦工 (coolies)	2.0 "	[150 "]
鉄筋工	5.0 "	[375 "]

換算は 1 ルピー (rs) = 75 円とした。鉄筋の高いのは輸入品であるためだと思う。型枠は $\frac{1}{2}" \sim 2"$ 通常 $1" \sim 1\frac{1}{2}"$ を使うそうだが示された数字に疑問があるので単価は省略する。労賃が非常に低いのが目立つが 1 日 1 ルピーで十分暮せる生活水準を考えねばならない。

通常の鉄筋コンクリート造事務所建築が建築だけで 25 rs/ft² [66,000円/坪]、官庁工事だと 20 rs/ft² [53,000円/坪]、Corbusier のデザインだと約 1.6 倍になるそうで、なるほどと苦笑した。労賃が安い割に工費が目立って安くない理由は特に鉄が高いのと仮枠の木材 (1" 以上) が高いか、メタルホーム使用のためだけとは考えられない。

インドでも建物を特に耐震構造にする法規があって、

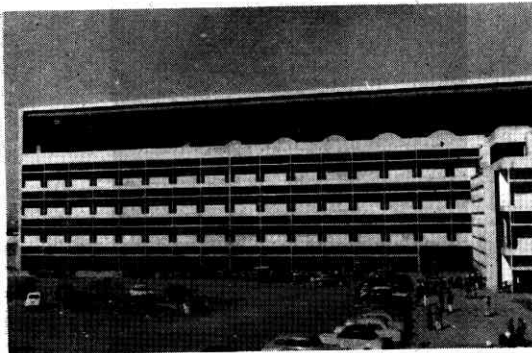


写真 13 Chandigarh, High Court, Corbusier



写真 14 Agra, Fort (16 thC)

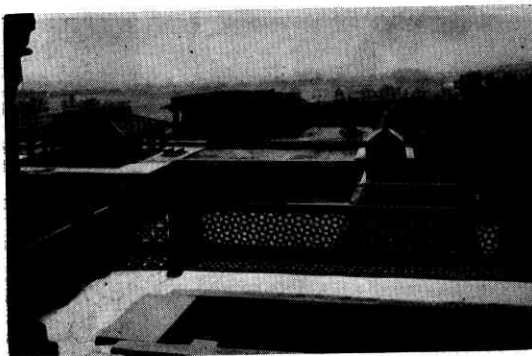


写真 15 Agra, Akbar Palace (16 thC)

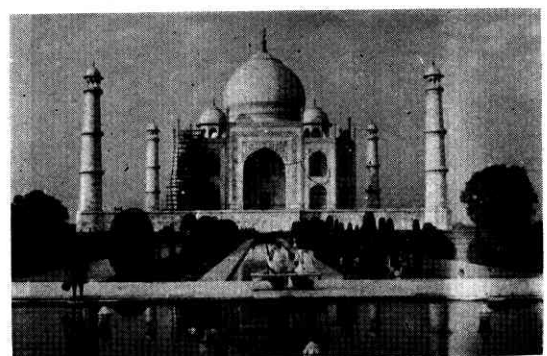


写真 16 Agra, Taj Mahal (17 thC) 修理中

震度 0.05 をとることになっている。そして Indian Standard 1953 年の Loading の項には風、温度、収縮、地震の考慮を要する場合には管轄官庁の認可を経なければならぬというのが書いてある。またそのときの材料の許容応力度は $33\frac{1}{3}\%$ 高められることも規定されている。わたくしの見た地震記録は近くは 1934 年 Bengal, Bihar 両州 (印度東部) における大地震と 13 世紀に Delhi の Qutb Minar (石造の塔 234') の最上階 2 階が崩壊した記録だけであった。印度では地震よりもむしろ Expansion Joint を問題としており (後述)、これを無視した建物の亀裂が日本におけるそれよりもひどいということも聞いている。要するに建物の熱膨張や収縮については、雨期に対する雨仕舞の問題と同程度の考慮が必要なのである。

iv. Ahmedabad の紡績工場

Ahmedabad 市は北緯約 23° 東経約 72°, Bombay 洲にあり、Bombay 市から北方へ約 500 km のところにある人口約 100 万の都市で、回教の旧都ではあるが、現在インドにおける紡績工業の中心地である。ここには約 40 数個の紡績工場があって、その生産方式の特徴は原綿から染色された織物まで一貫作業を行っていることであり、また工場経営者は一つの工場の拡張を行うことよりは、別の工場を建設して、何個かの別個の工場の経営者となっていることである。したがってわたくしの関係した工場の経営者も 4 個の紡績工場を持っているという。

Ahmedabad 市の工場建築は日本と同様鉄骨構造や鉄筋コンクリート構造および煉瓦造であるが、設計上の重点を挙げるならば

- A. 暑気 (3 月 90~100°F, 5 月 105~110°F) に対処するため換気冷房を行うが、その換気量を最小にするために建築の容積を最小に計画する。
- B. 雨期の雨量は非常に多く (年平均 25~35 inch 1946 年には 1 日 24 inch の雨量) その他に雨樋の計画には日本以上に神経を使わなければならない。
- C. 新しい機械を輸入する場合これを収容するために建物の一部 (特に屋根) の改造が可能であること。
- D. 温度差 (1, 2 月と 5 月および昼夜による温度差は 20°~30°C 程度とみられる。Delhi 官庁工事では 120'~150' に一つ温度差 45°C をみておき 1¹/₂ をとっている) によって鉄筋コンクリート構造物では伸縮が生じる。この伸縮の量は温度差の大きいほど大きく、これに対して伸縮目地をとることが建築上の常識であるが、印度ではこれを日本以上に忠実に実行している。
- E. 地震 [前章参照]
- F. 本構造は鉄筋コンクリート構造とし、外壁に煉瓦を使用する。

G. 工場建設は何期かに分れて建設される予定で、しかも別棟の増築ではなく、連続した建物で計画されねばならない。

H. わたくしが渡印する前、Bombay の Engineer から案数が提出され、それぞれ構造物の工費が概算されていた。そしてわたくしの案もこれらの工費を上回らないことを条件とする。またなるべく屋根には鉄筋コンクリート曲面板を使って貰いたいと。

I. これは条件とは言えないかも知れないが、イタリアの Nervi 教授 (近代建築において構造設計者として世界的に著名) から本工場担当の建築家に協力の申出が来ている。この建築家曰く Nervi 教授には氏独特の癖があって自分はこれを好まない。東洋人である坪井に期待するところが大きいと。

というわけで滞在正味 25 日足らずで、大きげに言えば発明に近いものを残して来ることを要求されたわけである。

v. 新形式の鉄筋コンクリート工場

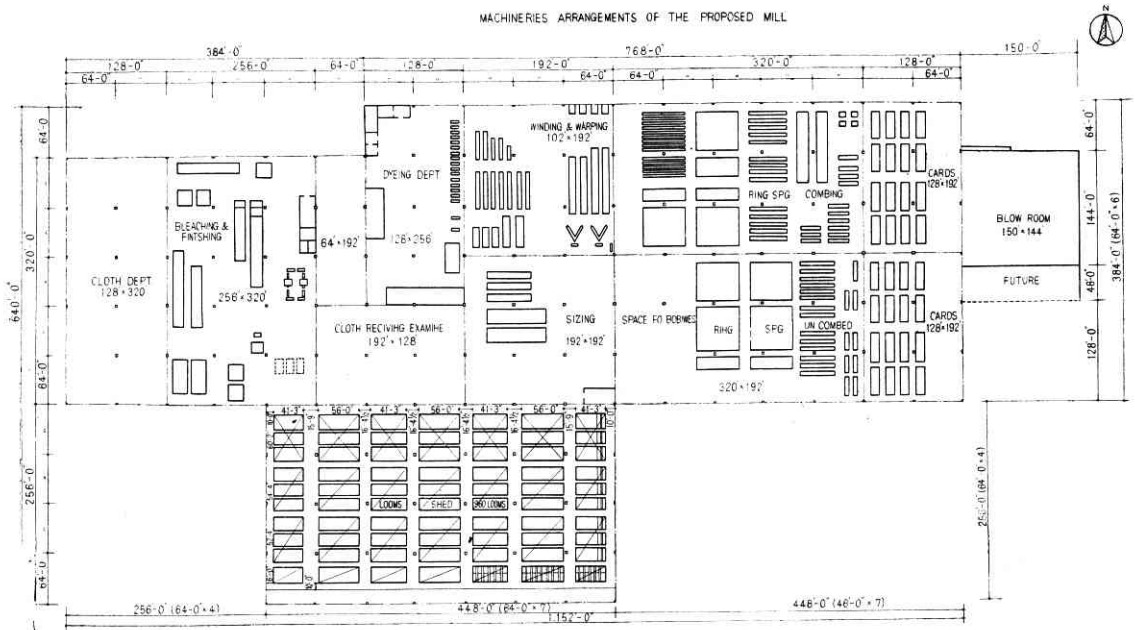
1926 年 Zeiss Dywidag 屋根としてドイツで行われた円筒殻 (シリンダーシャーレ) は、最近日本の紡績工場でもしばしば用いられている薄肉鉄筋コンクリート板屋根の紀元である。その他の工場、競技場、格納庫などに用いられている球形殻、または矩形平面の覆いとなるために球形殻を鉛直平面で切った切断球形殻等は日本でも実施されるようになって来たり、また施工上有利なハイパボリックパラボロイド (矩形平面板を三隅で押え、一隅を持ち上げて出来る曲面) 屋根も日本でも二、三試みられた。しかし前に述べた各種条件はこれら既存の形式では満足されないものである。

ハイパボリックパラボロイド屋根にはこの際うまい使い方がありそうに思え、数日じくってみたが屋根勾配が 3/10 以下になると強度上有利でないし、これ以上の勾配では条件 A が満足されない。また構造全体として造型的にもよい案が出来なかった。

紡績工場の敷地は決定されており、流れ作業に適当な機械配置は先方の Engineer にまかされていたし (17 図)、また柱割も 3 種類位の比較検討で済む状態であったので、わたくしの仕事は建築計画全体から見れば一部であったかも知れないが、建物の一つのユニットをいかに建築するかということに集中されたのである。

条件 B から三つの辺は平面上にないと雨じまいが悪いのでこれを解決するには矩形平面板の 3 辺の長さを変えずに一辺だけを撓ませて出来るコノイダル・殻が実施可能である。しかし新しくは Plants Bulletin (英) という紡績の雑誌に Easton et Robertson による Bretagne の工場で鋼構造で出来た美しい工場があり、この系統のものをやっては他所のまねごとになってしまう。

MACHINERIES ARRANGEMENTS OF THE PROPOSED MILL



第 17 図

照明を人工照明だけにするという徹底した条件がないのでトップライトは必要である。これを考慮しつつ考えたのは曲面の形として、まず

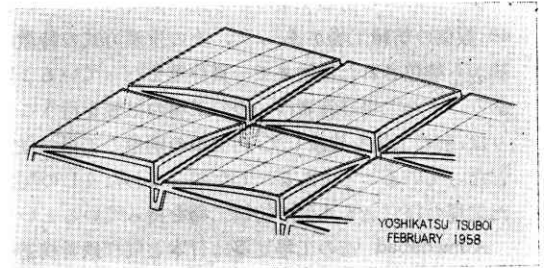
$$F = A(x^2 - a^2)(y^2 - b^2)$$

をとって見た、これは $x = \pm a, y = \pm b$ で平面上にあり x, y 方向の断面はパラボラで $x=0, y=0$ すなわち中心ではライズが Aa^2b^2 になるような曲面である。この曲面は各所で球形殻その他各種の曲面の特性をもっている。この力学的解析は次の非線型式を解くことに帰する。

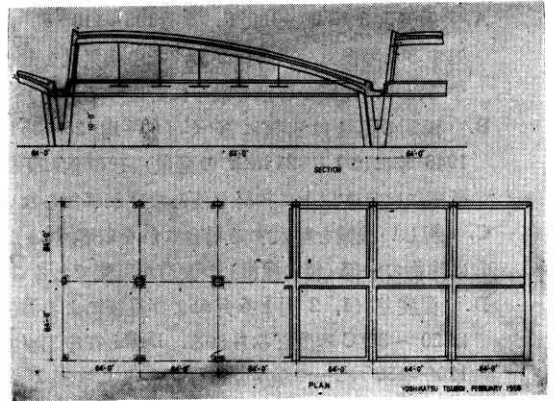
$$\frac{1}{Eh} \nabla^2 r^2 \phi - \frac{2A}{a^2} \left[\left(1 - \left(\frac{x}{a} \right)^2 \right) \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + 4 \frac{xy}{ab} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} + \left(1 - \left(\frac{y}{b} \right)^2 \right) \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right] = 0$$

$$D \nabla^2 r^2 w + \frac{2A}{a^2} \left[\left(1 - \left(\frac{x}{y} \right)^2 \right) \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + 4 \frac{xy}{ab} \frac{\partial^2 \phi}{\partial x \partial y} + \left(1 - \left(\frac{y}{b} \right)^2 \right) \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} \right] = p(x, y)$$

ここに ϕ は応力函数、 w は Z 方向の変位、 h は殻厚、 E はヤング係数、 D は板剛度、 p は荷重、 $r^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}$ である。この実用的近似解は大した労力を要せず解くことができる。この曲面を x, y に平行な鉛直平面で切断すると 2 方向の光線のみとり入れる図のような屋根が構成され、極めて偏平な曲面でも力学的には同じライズをもつ単純な曲面（ハイパーボリックパラボロイドを標準として）よりもはるかに有利であり、採光面積も単に北方光線のみをとる窓面積に比べれば $\sqrt{2}$ 倍になるという利点がある(18, 19 図)。



第 18 図



第 19 図

B (雨しまい) と D (伸縮目地) については図(19)のように解決し、4本の柱は屋根面の伸縮に対し松葉のように開閉させる算段から行ったものである。

本5章を研究報告に代えて本稿を終る。

(1958. 6. 9)