

委託調査報告

欧州における材料変形および強度研究事情

横 堀 武 夫*

Some Itinerary Reports on Perspective of Current Research in
the Field of Plastic Deformation and Strength of Materials in Europe.

Takeo YOKOBORI

(本篇は、八幡製鉄渡辺記念資金による海外鉄鋼事情の調査委託にもとづき、横堀教授が昭和36年9月より3カ月にわたる海外出張に際し調査を行なった「欧州における材料変形および強度研究事情」の報告書である。

I. は し が き

筆者は昭和36年9月13日から同12月15日まで約3カ月間、文部省の命によつて英国、フランス、スイス、ドイツ、オランダ、デンマーク、スウェーデン、アメリカ合衆国の名国に出張し、大学、国立研究所、会社研究所など計約40カ所を訪問調査し、また材料の変形および強度に関する2つの国際会議に出席してそれぞれ講演および討論を行なった。また Oxford 大学、Michigan 大学、および U.S. Naval Research Laboratory において、seminar を依頼されて講演、その他数カ所において、小生の研究に関する討論のために開いてくれた informal colloquium に出席討論した。彼地で入手した資料を積み重ねると約2mにも達する量におよび、これらについて到底一々報告を行なうことは困難である。そこで、本報告では、欧米における材料変形および強度の研究事情の詳しい調査事項よりもむしろ欧米に比してわが国のこの方面における盲点が何であるかを究明し、一方わが国ではいかなる面においてすぐれているかということをも明らかにすることがむしろ先決と考えてみた。調査といえ、こまかい数字を書き連ねることがもつともらしいとも思えるが、いたずらに背景に思想と内容のともなわない議論に数字という着物をきせて形態をととのえてみても、この方面の発展に大きな寄与をすることも思われな、まして耳の学問や受け売り宣伝では人を納得させることはできまい。自分の研究結果や研究中の問題などに関連させて、欧州にて経験した事情をもあえて記載させて頂いたのも、実はこのような観点からであつて他意はない。大方の御寛容を乞う次第である。詳細なデータの必要な御方にはお貸し申し上げることにして

数字的なことは最小限に記載することにした。

なお筆者の調査事項は材料の変形および強度に関する広範囲にわたつており、鉄鋼協会関係の問題のみに限らないのであるが、本報告は紙数と本協会の関心の点からして、専ら本協会に関連の深いと思われる事項に限定したことも予め御了承賜りたい。

しかも、本稿では、欧州のうちでも、英国、フランス、ドイツの大学および鉄鋼関係研究機関に限つて報告し、その他および米国に関する調査報告は他の機会にゆずりたい。

II. 英国の国立研究所

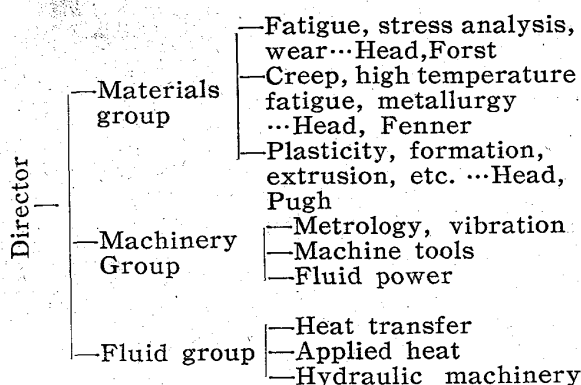
1) National Engineering Laboratory

この研究所は NEL と略称され National Physical Laboratory (NPL) に対応して工学的な研究所として最近に Glasgow の East Kilbride に創立されたものである。そのうち摩耗と潤滑の部門は、East Kilbride から 8km はなれた Thorntonhall に存在する。NEL は創立当初は National Mechanical Engineering Laboratory という名称であつたと記憶している。この研究所の現在の組織は Table 1 のようになっている。

Materials Group といえ、ば日本的考え方からすると冶金が主体と考える人が多いかと思うので次のようなことを附記しておきたい。最近では mechanical behavior を主対象としたまたは主研究とした分野を単に material とよぶことがしばしばある。(この他にも米国 M.I.T. の機械工学科の Material Division—Head-Prof. OROWAN)。丁寧には mechanics and materials

* 東北大学工学部教授、理博

Table 1



とよぶこともあり、N.E.L. のこの部門も 1, 2 年前にはこのような名称になっていた。材料工学などといった新しい名称をつけることも結構であるが、内容およびその範囲を考えずに術語を用いることは学問の発展上の障害を生ずることを忘れてはならない。このような問題についての意見は別の機会に述べたい。

さて、この研究所の Superintendent (Materials Group の Head) の Dr. PHILLIPS が Glasgow から約 30km 離れた国際飛行場に思いもかけずに迎えに来てくれたので、大変感激した。同氏は Fatigue の



Photo. 1
Dr. C. E. PHILLIPS

方面では停留き裂の研究で世界的に有名である。協力者である Fatigue 等の部門の head の Frost は専ら停留き裂の研究を、HOLDEN は疲労クラック先端の組織変化 (subgrain structure の形成) の X 線的研究と転位論的解釈を行なっている。その他、疲労に関する多くの研究が行なわれていた。高温強度研究

室はクリープなど部門の head の Fenner の案内で見学した。クリープ試験機は現在 30 台、近く別の個所にある 30 台を新しい一室に集めることになっていると聞いていた。後でのべる NPL でもこれ程の台数は備えていない。大学は勿論私のみたところでは 20 台をこえるところはほとんどなかった。台数のみ集めても大学や国立研究所の研究の実績は上がらないということであろうか。しかし、わが国では、大学に関するかぎり試験機の台数が諸外国よりも少なすぎることは情けない状況である。この辺の問題をもう少し検討してみる必要がないだろうか。営利を目標とした会社の研究所のクリープ試験機台数は外国でもきわめて多いのは当然のことである。

塑性部門の head の Pugh に案内されて塑性方面の研究室を見学した。この部門では二次元応力問題の実験装置、高圧下での破壊の実験装置は興味深い。高圧下での破壊の実験は、現在までのところ非鉄金属についてのみ行なわれている。加工方面では種々の条件を与えて押し出しの実験を行なっていた。充実した研究室であるという感じをうけた。塑性変形抵抗の歪速度、温度依存性についての研究が進められており、実験室の壁に貼りつけた紙に筆者の計算式による軟鋼の降伏点に対する活性化エネルギーの曲線が Yokobori's curve として描いてあったのに気がついた。しかし、別にそれ程喜ばしくも思えなかった。というのは、現在では、自分としては、yield についてもつと別な機構を考えている最中であるからである。

見学の後 Dr. FROST, Dr. HOLDEN と Dr. FENNER と、また別に Dr. PUGH とそれぞれ、疲労、クリープおよび塑性と破壊についての彼我の研究の討論が行なわれたが、小生の日程の詰まっていたために十分な時間がとれず遺憾であった。Glasgow 訪問の間はたえず PHILLIPS 部長の心からの御世話を受けた。衷心から感謝の意を表する次第である。

2) National Physical Laboratory

ここでは金属部長の Dr. N. P. ALLEN が諸準備をととのえて待つてくれた。鉄単結晶に C や N や P を入れたときの強度に対する影響をしらべていた。多結晶体の強度に対する微量不純物元素の影響をしらべるための基礎研究であると思う。Dr. ALLEN は、鋼の降伏の多くの挙動は COTTRELL の locking の機構のみでは一般的に説明つかず、その他に析出物をのりこえるときの抵抗も考えるべきであると彼等の諸実験をもとにして説明してくれた。(降伏の温度依存性は your theory の方にむしろよく合うと言っていた。)冷間加工を与えた鋼材の低温脆性破壊では異方性が大きいことの実験結果とその説明もこの線にしたがつて与えられると言っていた。私のところで焼鈍鋼材についての研究では異方性がきわめて小さいという研究結果を述べたところ、焼鈍されたものでは、異方性が小さいということは彼の考え方と矛盾しないし、むしろ説明されると言っていた。Dr. ALLEN 部長自ら疲労および高温強度関係の研究室 (Dr. FORREST の所) に案内してくれた。ここでもクリープ試験機は約 40 台ぐらいであったと思う。低サイクル、熱疲労試験も行なわれていた。そこで FORREST と歪時効と疲労限の関係、停留きれつ伝播に対する結晶粒度の影響の問題につき、筆者が行なっている研究および行な

いつつある研究をもとにして議論が行なわれ、彼も納得したようであった。その後で、析出硬化と dislocation 関係を主として研究している (電子顕微鏡による透視観察を併用して) Dr. McLEAN の所へ案内された。Dr. ALLEN とその協力者による鉄単結晶の引張り強度特性の研究は系統的という意味でもこの方面でのトップレベルと言つてよいと思う。因みに彼はきわめて重厚な英国紳士型学者であるという印象をうけた。

III. 英国の大学

1) King's College, University of Durham

ここでは Department of Metallurgy を訪ねた。Prof. PETCH には 10 月上旬に訪問することに通知しており、その後日程を変更して 9 月 18 日に訪問したのである。うっかりして、その変更通知をしていたものと思つて行つてみたところ、びっくりしていた。こちらにも変更通知を出していなかったことに気がついて誠に失礼なことをしたと思つた。Senior Reader の Parkins と Prof. PETCH と愈々専門の discussion になると開口一番、"Your statistical theory of fracture" は Weibull's theory と tie up するかというのにはいささか面喰らつた。Prof. PETCH のところではこのような方面は興味がないのかと思つていたからである。そこでわれわれの theory はもつと一般的なものであり特別の場合として Weibull's theory をも含むものであることを説明したところ、よく理解してくれた。PARKINS の言うところによれば彼自身は fatigue における scatter の問題の研究をしたいというのである。Prof. PETCH にもつとも興味ある問題と思われる鉄鋼の低温脆性破壊強度のフェライト粒度依存性についての小生たちの実験結果、とくに中空棒振り試験片のそれを述べた。すなわち、中空棒振り試験片の場合、低温脆性破壊強度の粒度依存性がほとんどみとめられないのである。彼の理論そのままでは矛盾する結果である。彼はさかんに困つた、説明しにくいとにこにこしている。ついでに、疲労限についての同様な実験結果 (小生たちの) (曲げと振り疲労限の粒度依存性) を述べたところ、疲労限の粒度依存性が大変関心をもち、これからこの方面も研究したいと言つていた。年輩は私と同程度と意われる。まことにいんぎん温厚な学者であり、私はその人柄に魅せられた。(Photo. 2) 彼の態度は、まさに丁重そのものであつたけれども、このような矛盾する実験の結果をも、まもなく説明しうる新しい理論を展開しうるアイデアと自信があるためであろうと私は推察した。正に能ある鷹は爪をかくすという言葉は彼の場合に適當したものであろう。(このよう

なケースは Prof. COTTRELL と Cambridge にて逢つたときも同様であつた。) Prof. PETCH は目下鋼の脆性破壊、降伏におよぼす deoxidizing element の影響、放射線照射と脆性破壊 Al, Mg における crack propagation における表面張力の影響などの研究を行なつている。帰りには、Prof. PETCH, Dr. PARKINS との二人で駅まで送つて来て、汽車が発発してもホームに立つて窓の外から手を振つていてくれたのには感激した。

2) University of Leeds

この大学では Department of Metallurgy and Ceramics の Dr. P. FELTHAM を訪ねた。クリープや疲労の機構についての転位論的研究を行なつている。き

わめて頭脳明析な感じの新進学者である。(Photo. 3) 彼のクリープの理論は注目すべきものと思つた。ただクリープ破壊の問題について、彼は microscopic local strain (shear) = constant が破壊条件であるという点で discussion になつた。また彼はレオロジーの方面に造詣が深いのでなぜそのような方面も勉強されたかと尋ねたところ、考え方として金属の変形や破壊の問題に役立つことがあるからだといつていた。これも彼の巾広い真面目な研究態度の一面を語つていたと思われた。筆者が以前に英国のどこかの大学で lecture に来たことがあるのではないかと聞かれた。おそらく約 2 週間後に Oxford 大学で seminar を依頼されていたのでその間違ではないかといつたら不思議そうな顔をしていた。Co のクリープの研究も行なつていた。帰りにはホテルまで歩きながら discussion の続きをし、最後に筆者のような方面をやっている人は少ないのだから、大いに extend してくれるようにと元気づけられた。



Photo. 2

Prof. N. J. PETCH と筆者 King's College, University of Durham の Department of Metallurgy 入口にて

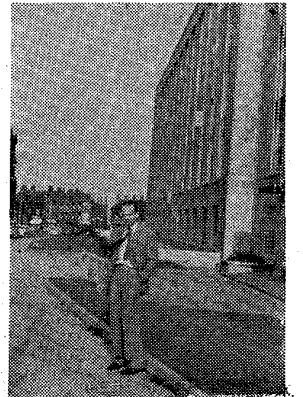


Photo. 3

Dr. P. FELTHAM University Leeds の Department of Metallurgy and Ceramics 玄関にて

この Department の教授は Prof. NUTTING であり、応力ふしよくの研究などを行っている由、丁度不在であった。

3) University of Cambridge

ここでは Department of Metallurgy を訪ねた。Prof. COTTRELL の案内で彼の研究室を見せて頂いた。Mr. R. W. FISHER が担当している純鉄の降伏点における $\sigma_y = \sigma_i + Kyd^{-1/2}$ 式の中の K_y 項の温度変化の実験結果を説明してくれた。炉冷、急冷、140°C にて 1h, 2h, 12h 時効された各材についてしらべたものである。それについての定性的説明も与えていた。鋼の脆性破壊については、切欠きつき試片の曲げ破壊の場合のクラック先端の塑性変形領域をしらべていた。疲労の研究では Dr. SMITH や LAID が疲労クラックの propagation についての理論的研究を行なっていた。Prof. COTTRELL とはⅡの1)で述べたような小生の実験結果を討論したが、自分の理論では説明しにくいと困っていた。そして真剣に考え込んでいた点には敬服せざるを得なかつた。

4) University of Oxford

この大学では、Department of Engineering Science, Engineering Laboratory, Clarendon Laboratory, および Department of Metallurgy を訪ねた。

Engineering Laboratory の Dr. J. D. CAMPBELL はかねてより、筆者の論文を発展させて dynamic yielding に関する CAMPBELL の理論として有名な人である。彼は現在、鋼の降伏おくれにおよぼす結晶粒度の影響についての研究を行なっている。衝撃荷重を負荷する装置は彼の考案によるものできわめてコンパクトであり、巧妙である。さらに、これを用いて高歪速度における降伏や破壊の研究も行なうつもりであるといっていた。実際実験して見せてくれた。Clarendon Laboratory は Dr. ROSENBERG が案内してくれた。低温疲労試験装置や、彼の実験を説明してくれた他 10⁻⁶°K の実験を目標とする本研究室にも案内された。Department of Metallurgy の教授は有名な Prof. W. HUMEROTHY である。ここでは Dr. J. W. CHRISTIAN が体心、六方稠密、stacking fault energy の小さい f.c.c. 合金の低温における熱活性化塑性流動の実験と etch pit による転位の直接観察や電子顕微鏡的研究を結びつけようとしている。Dr. J. W. MARTIN は二相合金の機械的性質と顕微鏡組織の関係をとくに高温における性質と電子顕微鏡的観察との関係についてしらべている。Department of Metallurgy lecture room においてかねてから依頼をうけていた seminar を行なつた。演題は「鉄鋼の低温脆性破壊について」であつた。Dr.

CHRISTIAN たちからの質問もあり、終了後同氏や CAMPBELL 博士と大分討論を行なつた。

IV. 欧州における民間研究所

1) British Iron and Steel Association

この Association という言葉は日本では組合と訳されているので、ここでもそのように訳しておく。British Iron and Steel Research Association は一般に略して BISRA とよばれている程有名である。この BISRA は英国科学産業研究省の支持によるこの種 46 の産業研究組合組織の一つである。これら研究組合の方針は何か特殊研究の領域における共通の重要性をもつ研究に対して協力することである。それ故、英国政府の諸研究機関や大学と多数の契約研究を行なうのみならず、次のような研究組合との協力体制をも有している。英国溶接研究組合、英国鑄鉄研究組合、英国造船研究組合、英国鑄鋼研究組合、英国非鉄金属研究組合、英国電気関係工業研究組合、英国石炭利用研究組合、英国ガラス工業組合、英国窯業研究組合、英国コークス研究組合などである。会員はいずれも会社単位であり、1960年度は 452 社、その約 1/3 が準会員である。経費収入は 1959 年度を例にとれば ￡945,599 であり、その内訳は次のようになっている。英国鉄鋼連盟が会員の代りに支払う ￡710,000 英国政府補助金 ￡120,000、準会員の寄附金 ￡47,995、残額は委託研究、特許権使用料、投資による利潤などでまかなつている。海外との交流では Russian Central Research Institute for Ferrous Metallurgy との訪問交換が行なわれていると強調していたことも注目すべきことであろう。

BISRA の各研究部門分類については本誌に作井教授によつてすでに記載されているのでここでは省略することとする。筆者は関連の深い Sheffield の研究所を訪問した。BISRA では Metallurgy (General) Division の head の Dr. W. E. DUCKWORTH とこの Division の Sheffield Laboratories の Head の Dr. E. INESON と逢うことになつていた。午前中は Mechanical Working Division を見せて頂いた。この Division はインゴットが wrought metal にまで成形されるまでの過程の研究を行なっている。圧延、鍛造、押出、引き抜きやその他の加工法の研究はこの Sheffield の研究所で行なわれている。そのうち自動鍛造法、圧延と潤滑、丸棒と角棒の圧延における問題（たとえばロールの摩耗の問題）などが注意をひいた。

午後は、まず Metallurgy Division の Head Dr. DUCKWORTH と Laboratories の head の Dr. INESON と私との三人で種々の問題を討議するための meeting

が準備されていた。そしてその後でこの Division の見学ということになっていた。まずこの Division での研究内容のうち筆者に関連の深いものをのべることにしよう。

Metallurgy (General) Division では鉄鋼の物理、機械的、化学的性質と製造過程における諸因子のこれら性質におよぼす影響を研究している。

構造用鋼について高純度軟鋼 (0.17% C, 0.8% Mn) の切欠き延性におよぼす Al, 珪素など deoxidizing element および窒素の影響をしらべてすでに発表していた。目下 Nb の影響を研究している。BISRA の研究として King's College では Sn と As の影響をしらべているが 0.1% 程度までの研究ではいちぢるしい害はなく、この結果は他の研究者の結論とちがっている。

合金鋼の研究については BISRA の研究として合金元素の影響をしらべている。N.P.L (National Physical Laboratory) にて 78°K でのフェライトの性質におよぼす窒素や燐や炭素などの影響をしらべている。単結晶の引張り性におよぼす C や N の影響、歪時効および中性子照射の影響の研究をすでに完了している。

非金属介在物の高張力鋼の疲労性におよぼす影響を研究するため、同じ成分の多数の溶解 (melts) を実験室的に製作し、これらにアルミナ粒を 73 μ から 10 μ の大きさの程度で添加した。この溶解からの圧延棒を 120 t/□" 以上の抗張力にまで熱処理した。この鋼材の回転曲げ試験を疲労限以上の応力で行なつた。粒子大きさ、表面からの粒子の距離と疲労寿命との関係をもとめた。目下寿命におよぼす金属組織の影響を研究する計画をもっているという。皮肉なことには、わが国の学術振興会金属材料の強度と疲労第 129 委員会においては、すでに非金属介在物と疲労の研究を行なうには、組織本体と疲労の関係を明らかにすることが先決または並行せねばならないという観点のもとに「金属組織および欠陥と強度」分科会を設けて活動を開始しており、非金属介在物のみの影響をしらべようという方法では不十分であるとの筆者の見解に、先方一同賛同したことは当然の結果であろう。外国のやり方なら何でも飛びつきがちな指導者に反省を促したいという気がせざるを得なかつた。こちらで行つた非金属介在物 MnS の炭素鋼の疲労性におよぼす研究結果、軸受鋼の疲労強度の異方性の研究結果やその他現在計画中の問題などを述べたところ、これにつき Discussion があり大変興味をもち、今後 129 委員会と BISRA の Fatigue and Inclusion Committee と情報を是非交換してくれるようにとの申し入れがあった。

(事実この委員には FORREST, C. E. PHILLIPS, POPE などという疲労専門家や HONEYCOMBE のような物理学者などが入っておりいわゆる冶金学者のグループではない。そしてこの委員会には鋼の疲労性におよぼす成分、組織、変形、熱処理、製造上の諸因子の影響の研究という Terms of Reference がついている)。英国で介在物判定法として標準として採用されている Fox count 法の詳細が不明なため、貴国のデータが有効に利用し得ず、学問発展のためにも、また研究遂行の経済性からも好ましくないのではないかということからはじめて、介在物判定法の国際的標準法確立の必要性を提案した。(米国では ASTM 法などあり、各国ばらばらである。) 両人は、原則的にはその必要性を十分よく理解し、認識したのであるが、結論的には実現には消極的であった。industry との関連において急速に変更はできないという理由のようであったがはっきり言わなかったように思われた。そして、2 部しか手持ちがないという Fox count の chart を一部後から謹呈してくれる約束をしてくれた。後で N.P.L. の金属部長 Dr. N. P. ALLEN とこの問題につき論じたところ、どうもその反対理由は計数単位の各国で異なる事に存在したのではないかという印象をうけた。そこで、更にその後で Battlle Memorial Institute の Mechanics Division の Staff の Dr. H. GROVER (ASTM の疲労委員会の委員長—physicist である) と discussion したときは、non-dimentional (無次元) の形で非金属介在物判定法を表式化すればよいのではないかと提案したところ、さすがに GROVER は大変興味があり、検討してみたいといっていた。

さらに話は、BISRA 組織と学振 129 委員会の組織の比較の問題にうつつた。(彼等は、われわれの組織構成と運営方法に一方ならず関心をもっていた)。Committee meeting による運営について、129 委員会では meeting ごとに各委員が全部集まるかどうかをしきりに聞かれた。英国の BISRA 組織では、この集まりが多少よくないらしいという印象をうけた。日本は狭いしおもに会合は東京という全国的にみて便利なところで行なうことができ、その点都合である点、委員会のため固定した研究所や専属研究者を有しないで、各組織単位に行なうことの利点を述べたところ、深く考え込んでいた。外国の真似ばかりせず、日本の国情を考えて日本独特の行き方を考える人が、もう少し多くなることを祈りながら二人の顔をのぞき込んでいた。その後で全く同様の感じを諸所で抱かざるを得なかつた。たとえば、米国 Westinghouse Res. Lab. の Metallurgy Department の Manager の Dr. BECHTOLD と Dr. WESSEL

との会談や G. E. の Department of Metallurgy and Ceramics の MANAGER Dr. HIBBARD と Dr. Low との会談のときには、129 委員会の system は大変よいと大鼓をもたれたからである。

Meeting のうち Dr. INESON の研究協力者の 1 人 TAYLOR が実験室を案内してくれた。この研究所での疲労強度研究は上に述べたような特定の目的のためであり、片持疲労試験機が約 10 台、6-t Losenhausen 式引張圧縮試験機 1 台、6-t Haigh 式引張圧縮試験機 1 台というきわめて小規模のものである。しかも TAYLOR は統計学の専門家であるという。疲労強度がばらつくことの本性的なためにもこのようなスタッフを抱えているわけである。機械が仕事をするのではなく、まして機械の台数が業績をあげるのではなく、もつとも大切なのは真の研究者を得るにあるという小生の考えはどうやら間違いないらしい。そこで、TAYLOR につきのような質問を試してみた。この種の研究を行なうならばもつとその他の設備を増すべきではないか、またスタッフももつと増した方がよいのではないかと。彼は、にやりと笑っていわく、金とスタッフが集まらないのだと。そういえば、英国では、大学のようなアカデミックな所があらゆる意味で恵まれ、科学のみならず技術上の実質上の指導的立場にあるという印象をうけていた。わが国はどうかだろうか。そして金は、設備は、スタッフの方は、一体どのように配分されているのだろうか。

迅速疲労試験に対する関心は強く、漸増応力負荷装置を工夫している。

1 $\frac{1}{2}$ %Ni-Cr-Mo 鋼につき異なった顕微鏡組織のものにつき静的機械性質は同じでも疲労試験結果はいちじらしく違っていることをしめしている。

BISRA の財政援助によつてさきに述べた電気関係工業研究組合のクリープ研究所が完成しつつある。この研究所は、高温蒸気動力設備用鋼材のクリープ破壊性の決定に使用されることになっている。この研究のための試験片は鋼材メーカーから試験用に提供され、その最初のプログラムの若干として完成までに 3 年を要する研究が計画されている。このプログラム以外には、鋼材メーカーによる BISRA クリープ委員会の仕事は主に炭素鋼と低合金鋼のクリープ破壊性質に関するものであり、すでに若干の予備試験が行なわれている。Cambridge 大学においては BISRA の研究として、3% Nb のあるものとなないものについて 0.45% C-Ni-Cr-Co 鋼からの析出相におよぼす Mo と W の個々および組合せの影響についての研究が行なわれている。

A. E. I. エレクトロンプローベマイクロアナライザ

一が設備され、これによつて、鋼の不均一、組織、例えば介在物、縞状組織、異相間の合金元素の分布状況などの研究に対する経験が得られ、その上で熱処理中における過程の研究、クリープや疲労やふしよくの研究用に使用される鋼の均一度の決定に使用することになっている。

物理部門 (Physics Department) というのが別にあってその金属物理課というところでは疲労の機構や、クリープと疲労の組合せ下の挙動の研究が行なわれている。

2) IRSID (Institute de Recherche de la Sidérurgie)

この研究所はわが国ではよく知られていて、国立研究所であるように伝えられているむきもあるが実はそうではなく、フランス鉄鋼連盟 (Chambre Syndicale de la Sidérurgie Française) に支持された組織体制のものであり、自由市場の復活以来鉄鋼材販売にもとづく全く任意寄附的金額によつて資金がまかなわれているという点をとくに注意したい。すなわち、この研究所の金属物理部門ではかなりアカデミックな研究が行なわれているが、このような研究が大学でもなく、国立でもない鉄鋼産業組合の研究所において行なわれているという事実に対してわれわれは深く反省を促されざるを得ない。この研究所の組織や運営は詳しく述べると次のようになっている。IRSID の管理は各鉄鋼会社のマネジャーたちの中から鉄鋼産業組合の任命した 12 名からなる理事会によつて行なわれる規定になつており、理事会は IRSID の一般方針と財政をつかさどる。業界および研究界の専門家よりなる科学および技術委員会が理事会の方針によつて研究プログラムを決定する。そして大学教授や各鉄鋼研究室の専門家よりなる科学委員会がその研究を指導する。各鉄鋼会社の私人的研究室の役目をするのではなく、一つの会社だけでは経費がかかりすぎるような問題、ないしその問題に対しては手持ちの研究スタッフではまかないきれないというような問題、またはあまりにも大きな運転経費の負担になるというような問題で、しかも共通の利益になる研究を計画する。したがつていくつかの基礎的な研究が行なわれているけれども、その主要な努力は産業に直結し、しかも即座に役立つような研究に向けられるべきであると唱つてある。研究の大部分はフランス鉄鋼産業の基礎となつているトーマス鉄の製造と利用に関連したものである。創立は新らしく 1946 年であり、Saint-Germain-en-Laye に大きな研究部門 (研究室) が作られ、1952 年から開始された工業部門として大きなパイロットプラントを東部フランスの Metz

に最近 1955 年に設立されることになった。

Laboratories の Director である Dr. C. CRUSSARD とは、すでに英国クランフールドの College of Aeronautics における crack propagation に関する国際的シンポジウムで逢っていた。その節、彼はパリにおける hotel の予約を arrange してくれ、また、hotel まで車をむけてくれると申出てくれたので好意に全く恐縮した。10月9日はどうしても彼は不在なので日時変更できないかと言われたが、私の時間表は到底組替えのきかない程度に窮屈に組まれていたので残念であった。しかし彼は疲労の統計的研究など十分に関心のある問題があるだろう。また自分がいなくても分るようにしておくと言ってくれた。規定の時刻通りに IRSID から迎えの車がきた。Saint-Germain-en-Laye の IRSID までパリから約 25km であるが途中の景色は大変美しく、私にはむしろパリ市内の見物よりも快適であった。Dr. C. CRUSSARD が不在なので Physics Department の Dr. J. PLATEU が Physics 部門の案内をしてくれた。彼の電子顕微鏡による脆性破壊の研究はかねがね知っていたが、ステレオ式に観察できて大変面白かった。つぎに電子プローベマイクロアナライザーの設備とこれによる実験結果の 2, 3 について Dr. M. J. PHILIBERT から説明をうけた。非金属介在物はいろいろなものが混っているけれども、二相くらいのもので多いということだった。もしそうだとすると力学的な追求の面では割合都合がよいかもしい。Internal friction の研究をリボン状試片の振り振動で行なっていた。Mechanical Testing Laboratory の方は Dr. G. POMEY が案内してくれた。彼はこちらの head のようである。ここでは、(1) tensile properties, notch test, deep drawing test, (2) fatigue, (3) creep, (4) kinetic transformation すなわち T.T.T. 曲線の研究が行なわれていると説明してくれた。POMEY が全体をみている形になつていようであるが彼の目下の主関心は塑性加工で、福井教授の試験法とか加工組織 (冶金学的) の問題とかに関する論文を目下草稿中で、見せてくれたりした。(2) の fatigue の研究の方は、いろいろと計画項目を並べていたが結局現在行なっているのは彼と、統計学部門の Dr. F. BASTENAIRE との共同による統計的研究だけである。疲労試験は約 20 台程度しか持っていないようである。(3) のクリープの研究は i) good approach test の研究, ii) polygonising の研究, iii) 析出の影響の研究, iv) 商業試験の 4 項目を計画しているが現在はその最初の 1 項目だけしか始められていないと正直に言っていた。クリープ試験機の台数も N.P.L. 程度を超

えていなかつたようである。昼近くになつて、一応の説明が終つたあとで、ところで私の名前は誰だか覚えてるかというから POMEY であろうと言つたところにこと笑つていた。大変好人物である。昼食は Dr. PLATEU と Dr. POMEY とに連れられて近所のレストランに行つたが、私は酒でなくエビアン (水) を注文したら、POMEY が without inclusions であるといつて笑つていた。PLATEU はきわめて学究肌の温厚な学者であると感じた。午後は Dr. F. BASTENAIRE と私との間に疲労の統計的研究についての大讨论が行なわれた。Dr. POMEY は傍におられたが終始一言もしゃべらなかつた。勿論、IRSID ではすべて英語で通し、相手も全部英語を使つて下さつたので、この点少しも困らなかつた、というよりもフランス人の英語は却つて私にはよくわかつて助かつた。結論的に述べると、彼等は S-N 曲線を仮定している。したがつて、ばらつきは一定寿命における応力振巾でしらべるべきだと強調する。しかし、われわれは、はじめから S-N 曲線を仮定することは現象の本質究明の点からはなはだ疑問の点を含むだけに好ましくないというのである。一定応力寿命のところでの寿命のばらつきをしらべているわけである。これを間違いであると主張するので、それでは、傾斜部については S-N 曲線にて S と N が一対一に対応しているのであるから、同じことではないかと述べたところ応酬がなかつた。また、S-N 曲線に折点が現われないう S-N 関係式を仮定している根拠として、耐久限付近の一定繰返し数にて多数 (約 100 本) の試験片の破壊の累積分布曲線が連続した曲線となることをあげているので、そのような多数の試験片を用いた場合に、母集団が同じものとみてよいため注意はなされているかという質問をしたところ、多少刺戟した結果となつたようである。なるほど、そういえば、私自身、疲労の統計的性質の実験的研究を始めた当時は、わが国の多くのお偉方からこれよりもひどいことを頭ごなしに言われた記憶が反射的に頭脳によみがえつて来た。たしかに、その意味では Dr. F. BASTENAIRE はわれわれの同志というべき人である。discourage してはならない。遂に結論的には、疲労寿命のばらつきが本質的なものであること、(材料の性質によるもの)、そして、この統計的性質は最弱理論 (Weibull) のみでは説明できないという重大なポイントにおいてわれわれの間に一致が見出されたことは幸いであつた。彼らは、われわれの関連論文を是非送つてくれ、しかも数部 (同じものを) ずつ送つてくれといつていた。討論が終つて窓の方をながめたとき、あたりがすでに薄暗いので少々おどろいた。これからパリまでどうして帰ろうかと

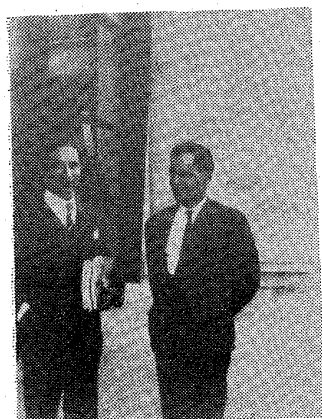


Photo. 4

左: Dr. G. POMEY
右: Dr. J. PLATEAU
IRSID玄関まで見送りに
出て来られたところ

ドイツ製鉄連盟によつて 1917 年に創立されたものである。その目的は鉄鋼の製造と加工についての冶金学的、化学的、物理学および機械工学的学術研究を行なうにある。この研究所は第二次世界大戦終末以後は Kaiser-Wilhelm 学術振興協会の後身である Max-Planck 学術振興協会に属している。現在の所長は 1959 年以来 WILLY OELSEN である。この研究所は基礎研究から実用研究まで行なつておる。きん密な協同研究が鉄鋼連盟の各製鉄所や各専門委員会との間で行なわれている。また共同研究結果の交換によつて諸外国学協会との連繫が保たれている。

考えていたところ、やはり車でパリのホテルまで送つてくれることになつたのでほつとした。玄関まで、Dr. PLATEAU と Dr. POMEY とが送りに出てくれた(Photo. 4)。研究以外に邪心のないことは誠にすがすがしいものであるという感じながら、言葉の通じないパリへと車を走らせた。

3) Max-Planck Institute für Eisenforschung

筆者の専門に関連した分野としての鋼の機械的およびその加工に関する研究としては次のような問題がとり上げられている由であつた。

(i) 鋼線の引抜きに対する潤滑油の適性の研究。鋼棒の引抜き、押出しの研究。引抜き鋼棒の矯正。冷間圧延の研究。Al および Al 合金の変形抵抗。ふしよくの研究。引抜きおよび冷間圧延鋼の表面粗さ。運転条件における鋼の冷間および熱間圧延の研究。

(ii) 低温での二軸応力下の鋼の挙動。三軸応力下の引張り試験。

(iii) 疲労強度におよぼす高温の影響。繰返し応力下での組織の変化およびすべり帯およびクラック形成の研究。

Dr. HEMPEL と疲労の問題につき長時間にわたつて討論を行なつた。この研究所における現在の疲労の研究は基礎的というより、实际的というべきであろう。基礎的と思えるのは、Dr. EMIL HILLNHEGEN の協力担当していると思われる鉄単結晶の疲労試験のよう見えた。高温疲労時間強度における切欠き係数 β_K を時間について表示した議論を行なつていたので、むしろこの場合の β_K は負荷応力について表示して考えるべき(横堀著「材料強度学」(1955) p. 197, その後 J. A. POPE 著, Metal Fatigue, CHAPMAN & HALL (1959)) ことを述べ、大議論になつたがどうやら小生の所論を理解したようであつた。

以上の他、ここに記載しきれなかつた部分についてはまた別の機会にゆずりたい。(昭和37年11月寄稿)