

土木研究所資料第 607 号

在 外 研 究 員 報 告

(昭和41年度～昭和44年度)

昭 和 45 年 5 月

建 設 省 土 木 研 究 所

ま え が き

本報告書は、昭和41年度から44年度までの間に約1年間、海外の大学あるいは研究機関に留学した当所研究員の研究成果をとりまとめたものである。

海外での研究と言っても言語、生活環境の全く異ったところで、1年という短い留学期間内に研究の成果をあげることは困難なことであり、十分まとまった成果を期待できないかも知れない。しかし、海外の新らしい研究環境や体制に身をもって接することにより、それぞれ研究に対する視野を広め、留学を通じて得た海外研究者との交流のきずなは在外研究員各人の今後の研究に対する糧となり、ひいては土木研究所の発展の大いなる力になるものと確信している。

本報告はその意味で海外で研究した成果の内容を十分に紹介することはできないが、一応海外での研究生活や研究機関の概観がわかってもらえれば幸いである。

昭和45年5月

企画部企画課長 桑 垣 悦 夫

目 次

1. 吊橋の耐風性に関する調査.....	構造研究室 成 田 信 之	 1
2. 耐震工学に関する研究.....	建設専門官 栗 林 栄 一	 13
3. 河川の河床変動に関する研究.....	河川研究室 須 賀 堯 三	 27
4. 軟弱地盤に関する研究.....	土質研究室 稲 葉 誠 一	 37
5. トンネル等の地下構造物の設計、施工法に 関する研究.....	トンネル研究室 今 田 徹	 50
6. プレストレストコンクリートのプレファブ 化に関する研究.....	橋梁研究室 光 岡 毅	 63
7. 高速道路舗装の設計、施工に関する研究.....	舗装研究室 南 雲 貞 夫	 75
8. 橋梁における繰返し応力の影響に関する研究.....	橋梁研究室 太 田 実	 88
9. 道路業務の電子計算機利用法の研究および 道路設計施工法等の調査.....	舗装研究室 河 野 宏	 104
10. コンクリート舗装の改善について.....	舗装研究室 飯 島 尚	 113
11. 海岸浸食防止に関する研究.....	海岸研究室 橋 本 宏	 127
12. 地すべり運動の土質力学的研究.....	地すべり研究室 藤 田 寿 雄	 139
13. 軟岩の破壊に関する力学的研究.....	地質研究室 安 江 朝 光	 153

在 外 研 究 員 一 覧

区分	年 度	氏 名	研 究 課 題	渡 航 先	渡 航 期 間
長期 在 外 研 究 員	4 1 年 度	成田信之	吊橋の耐風性に関する調査	(英) 国立物理研究所	41.10.25～42.10.22
		栗林栄一	耐震工学に関する研究	(米) カリフォルニア大学	41.12.19～42.12.18
	4 2 年 度	須賀堯三	河川の河床変動に関する研究	(米) コロラド州立大学	42. 8.29～43. 8.23
		稲葉誠一	軟弱地盤に関する研究	(米) イリノイ大学	42. 9. 1～43. 8.31
		今田 徹	トンネルの地下構造物の設計、施工法に関する研究	(米) コロラド鉱山大学	42. 9. 5～43. 9. 4
		南雲貞夫	高速道路舗装の設計施工に関する研究	(英) イギリス道路研究所	42.11.17～42.11.16
		太田 実	橋梁における繰返し応力の影響に関する研究	(米)リーハイ大学 フリップ工学研究所	42.12.12～43.12.11
	4 3 年 度	藤田寿雄	地すべり運動の土質力学的研究	(スウェーデン) 王立土質研究所	43.10.26～44.10.25
		橋本 宏	海岸侵食防止に関する研究	(英) 国立水利研究所	43.10.11～44.10.10
		安江朝光	軟岩の破壊に関する力学的研究	(米) カリフォルニア大学	43.11. 6～44.11. 5
パ ー テ ィ 研 究 員 ギ ャ ラ ン	4 2 年 度	光岡 毅	プレストレストコンクリートのプレファブ化に関する研究	(仏)セメントコンクリート技術研究所他	42.11. 7～43.10.30
	4 3 年 度	飯島 尙 河野 宏	コンクリート舗装の改善について 道路業務の電子計算機利用法の研究および道路設計施工法等の調査	(西独) 道路研究所他 (仏) 道路技術研修他	43. 8. 6～44.10. 3 43.11.28～44. 8.14

1. 吊橋の耐風性に関する調査

所 属 構造研究室研究員

氏 名 成 田 信 之

在外試験
研究機関 英国国立物理研究所 空気力学部

Aerodynamics Division

National Physical Laboratory

Teddington, Middlesex

United Kingdom

滞在期間 昭和41年10月25日～昭和42年10月22日

種 別 長期在外研究員

1. 概 論

長大吊橋の設計に際して耐風性は非常に重要な要素となる。そのため、設計された断面がどの程度の耐風性を具備しているかを知ることは大切なことである。吊橋の耐風安定性の研究は1940年に発生した旧タコマ橋の落橋以来各国の研究者により実施されているが、現在までのところ、理論的な解決はなされていない。そこで、風洞実験により耐風性を確かめるという手法がとられるのであるが、その方法は研究者の現象の解釈によりそれぞれ異なったものが使われている。例えばフランスのRocardのように吊橋の振動の原因を古典フラッターに帰する研究者もあり、英国のScrutonはそれを1自由度の不安定現象と見做している。米国のTarquharson及びVincentはタコマ橋の落橋事件以来この研究に努められたが、彼らの態度はRocardに近いと考えられる。又、同じ米国のSteinmanはこれらとは別に位相差理論を発表している。以上は何れも吊橋の耐風性は2次元模型による風洞実験で検証し得るという態度である。一方、タコマ橋の落橋以来研究を継続して

いる日本の平井は吊橋の風力による破壊の究極の原因は損れ振動挫屈によるものと判断している。この場合には3次元模型実験が必要となろう。

以上述べた諸研究のうち、現在までも継続されているものはScruton に代表される英国のNPLと平井を研究指導者とする日本であり、その成果は、Severn橋と若戸大橋に見ることが出来る。ところで、耐風性問題の研究に自然風の特徴を加味しようとする試みもすでに始められており、統計理論を駆使したDavenport Harris等の研究は注目される。

一方、構造材料の進歩、電子計算機の利用による数値計算の進歩は構造物をより長く、より高いものに成長させてきた。即ち超高層ビル、超高煙突及び鉄塔の出現である。而して、これらの構造物に対しても新しい耐風設計法の必要が生じて来ている。吊橋以外の構造物の耐風性に関する研究は日本においてはそれ程活発ではないが、英国においてはすでにNPLを中心に幅広く行なわれている。非航空工学分野での空気力学の研究を統合してこれを産業空気力学(Industrial Aerodynamics)と名付け、総合的な研究活動を実施している英国の現状を見聞できたことは幸いなことであった。我が国においてもこの種の研究態勢に近い将来組織されるよう強く望まれる。

2. 本 論

(1) National Physical Laboratory とその活動
National Physical Laboratory (NPL) は1900年1月1日に開設した世界有数の国立研究所である。創立後暫らくは英国学士院に所属していたが、1918年には新設された科学工業研究局(Department of Scientific and Industrial Research)に移っている。更に1965年には技術省(Ministry of Technology)が発足し、科学工業研究局が解散したため、他の研究機関と共に技術省に合併された。そして1965年4月1日には国立化学研究所(National Chemical Laboratory)を吸収し、現在に至っている。

NPL設立の主旨は科学知識を産業・商業分野の実際面に役立つようにし、理論と実際の間の障害を取り除くこと、科学界と産業界の一体化に寄与することにあるとされている。そして同研究所では設立以後現在に至るまで、その規模、研究の性格は幾分変って来てはいても、相変わらず世界第一級の活動が続けられている。研究所の最も基本的な作業は英国度量衡の基準を定め、これを維持することにあるが、現在はそれ以外にも多くの研究部門を有している。そして国内で開発された新しい研究成果を実用化するため、その持つ莫大な施設は開放され、ごく一部を除き、研究成果の外部への公表、研究指導などのサービスを行なっている。又、このサービスの中には、各機関で使用されている度量衡標準器の検定が含まれ、研究所での作業に大きな比重を占めている。更に、大学、民間の研究所との人事交流も活発に行なわれ、お互いに相補なりという形態が保たれている。NPLの抱えている研究で、研究員が不足して単独には処理しにくい場合には、大学との協力態勢をとるという方法も自由に行なわれている。

次に、この膨大な研究組織とその運営について述べる。技術省の設立後、技術大臣 (Ministry of Technology) と学士院の合議により、本研究 (所の運営委員会 (Steering Committee) 及び調査評議会 (Visiting Board) が作られた。そして、運営委員会は年に一度、翌年度の研究計画とどれを遂行するのに必要な予算・人員を技術大臣に提出する義務を有する。又、大臣は計画を選択し、限られた財源でどのように研究テーマを遂行させるかを決定する責任を負っている。委員会は現在委員長を含めて13名の委員より構成されている。委員には外部の学識経験者が当たり、研究所よりは所長が参加している。調査評議会は研究所の成果の評議機関としての活動をしている。

研究所の組織は時代の要求に即応するよう可成り流動的に動いているようで、現在は次のようになっている。

(1) 測定グループ (Measurement Group)

量子度量衡部 (Division of Quantum Metrology)

放射線科学部 (Division of Radiation Science)

光学度量衡部 (Division of Optical Metrology)

NPL度量衡センター (NPL Metrology Centre)

高等計測課 (Advanced Instrumentation Unit)

(2) 材料グループ (Materials Group)

化学標準部 (Division of Chemical Standards)

冶金学部 (Metallurgy Division)

分子科学部 (Division of Molecular Science)

無機化学材料課 (Inorganic Materials Unit)

(3) 第3グループ

空気力学部 (Aerodynamics Division)

自動制御部 (Autonomics Division)

数 学 部 (Mathematics Division)

船 舶 部 (Ship Division)

ホバークラフト課 (Hovercraft Unit—1967年4月1日発足)

以上NPLの概略を述べたが、最後に研究所の活動を補助している下部組織について述べてみる。これらの機関は有機的に運営されており、我々としても大いに研究する必要があると思われる。

(1) 設計室と工作室 (Design Offices and Workshops)

東部グループ (East Group)

設計室 (Design Office)

東部第1工作室 (East Workshop 1)

東部第2工作室 (East Workshop 2)

西部グループ (West Group)

設計室 (Design Office)

① 工作室 (Workshop)

(2) 図書室 (Libraries)

主図書館 (Main Library)

化学図書館 (Chemical Library)

(3) 中央写真部 (Central Photographic Section)

(4) 中央印刷部 (Central Printing Services)

② 産業空気力学グループとその活動

筆者が籍をおいたのは第3グループの空気力学部に所属する産業空気力学グループであった。産業空気力学 (Industrial Aerodynamics Group) という言葉は未だ我が国では使われていないが、これは空気力学が適用される学問のうちで非航空工学の部門に与えられた名称である。従って、その内容は非常に広い範囲に及ぶものであるが、これらのうち土木工学に関連の深いものは次の通りである。

- (1) 工場の煙突からの有害ガスによる建物や、その環境の汚染の問題
- (2) 積雪の問題
- (3) 船舶上部構造、都市内建物群、森林などでの気流の問題
- (4) 超高層建築物、超支間橋梁など柔構造物に対する風荷重の問題

産業空気力学グループは Mr. O. Scruton を部長として、これらの問題と積極的に取り組んでいる。それらの研究成果は NPL REPORT としてすでに246編の多きに達している。

上にも述べたように産業空気力学の分野は広範囲なもので、これをまとめ上げることは容易なことではない。そこで、グループ内では外部より講師を招いての研究会がしばしば開かれて、最新の情報の交換が熱心に行なわれていた。更に、より積極的に国内の研究者を結集して、研究能率を上げようとする動きも見られた。以下ではこれらについて述べてみたいと思う。

この研究グループは Industrial Aerodynamics Research Meeting という名称を有し、1964年に約25名の会員で始められた。

現在は会員も100名近くに増え、NPLのAerodynamics DivisionのSuperintendentが座長になっている。初期には橋梁、建物などに対する風の問題(Civil Engineering Aerodynamics)の勉強グループとして始められたものが漸次その規模を拡大して現在に至ったものである。現在そこで取扱われているテーマは次のようである。(1)

(1) 風の構造 { 大気の観測 (atmospheric sounding) の技術 (1)
風洞内での自然風のシミュレーション (2)

(2) 風の流れ { 大気汚染 (air pollution) の問題 (3)
建物、船など構造物の周囲の風の流れ (4)
積雪、森林の風 (5) 河川内流の風 (6) (quon)

(3) 構造物に対する風荷重 { 一般建築物の風荷重 (7)
特殊建築物の風荷重 (8)

時間平均荷重 { 建築物に対する風荷重 (9)
柔構造物に対する風荷重 (10)
樹木に対する風荷重 (11)

時間と共に変動する荷重 { 一般建築物の風荷重 (12)
特殊建築物の風荷重 (13)

特殊建築物 { 煙突、塔、超高層建物、風荷重 (14)
吊り橋 (15)
外洋航路のギョロラビツク (16)
渦性の風荷重 (17)

(4) 乗物及び角型物体の空気力学 { 自動車、船、列車 (18)
飛行機 (19)

(5) 管内の流れ { 直管 (20)
曲った管 (21)
分岐管 (22)

(6) 非定常な管内の流れと分岐管 (23)
旋回流 (24)

内容は単に知識、研究情報の交換に止まらず、それぞれのテーマの抱えている問題点の摘出、それを解決するための研究テーマの作成と配分といった作業が行なわれていた。また、実験装置、技法についても計器の価格を含む一覧表を作り研究者の便を計るなど、意欲的である。この種の集会は形式的に走りがちであるが、NPLでみられたそれは極めて積極的なもので強く印象に残った。

(3) TURBULENT FLOW の研究の現況

これまで、橋梁などの構造物の風荷重は部材表面の圧力分布をもとに決められて来ている。Scruton と Newberry はこれに突風の効果を取り入れて、Gust Factor を考慮した設計法を提案しているが、その根拠は明確ではない。Davenport は統計理論を駆使して風荷重の問題を解析し、Harris らが、これを展開している。しかし、これらの理論解析の結果も空間相関など自然風の構造及び非流線形物体に作用する気流の特性についての知識が不足している現状では、直接設計に反映させることは出来ない。

Turbulent Flow は構造物の安定性に2種の効果を与えると考えられている。その1つは自然風のもつ Turbulence による不規則な強制振動であり、これは動的応答 (Dynamic Response) の問題として統計的に処理の可能なものである。Davenport と Harris はこの種の問題を取り扱っている。いまひとつの、もっとも厄介な問題は渦の作用による振動の問題である。渦性の流れの中に物体がおかれると、物体のまわりの流れの様子は一様流の場合とは全く異なったものとなる。このことは、Turbulence を含んだ流れのすべては Strouhal 数、相関係数に変化を生じ、ひいては作用空気力、振動の限界風速にも影響があるものと想像される。残念ながら現在のところ、以上の問題についての知識は非常に少ない。

NPLでは1965年に Vtckery が低速風洞内に粗格子を置いて、

turbulent flow を作り、格子背後に置かれた各種形状寸法の物体に作用する抗力を渦のスケールとの関連で調べている。Vickery がオーストラリアに去った現在、この研究は Bearman に引継がれ展開されている。しかし、この難解な問題の解決には時間がかかるものと思われる。ここでは、turbulent flow に対する実験を行なう場合の相似例のみを考えてみる。

まず考えられる物理量は次の 9 ケである。

B	構造物の代表長	α	構造物の密度
δ_s	構造減衰	E	弾性係数
U	風速	ρ	空気密度
μ	空気の動粘性係数	$\sqrt{u^2}$	乱れの強さ
L_x	渦のスケール		

これに π 定理を適用すれば、6 ケの無次元パラメーターが得られる。相似を満足させるには形状の相似は勿論必要である。

$$\frac{\alpha}{\rho}, \delta_s, \frac{E}{\rho U^2}, \frac{\rho V B}{\mu}, \frac{\sqrt{u^2}}{U}, L_x/B$$

そして、 $E/\rho U^2$ 、 α/ρ の何れかは U/NB で置き換え得る。

さて、大気の乱れは 10～15% と考えられ、この程度の $\sqrt{u^2}/U$ は風洞内でも得られる。しかし、 L_x は $0.1\sqrt{A}$ (A : 風洞の測定部断面積) にはほぼ等しく、通常の規模の風洞ではあまり大きな L_x を得ることは不可能となる。もしも L_x/B を所要値に等しくとろうとすると B の値が小さくなり、従って模型の縮尺が小さくなり、力、変形などが極端に小さくなって測定が可能となる。もしも、渦の効果は模型の固有振動数 N に対する動的応答であると仮定すると、パワースペクトルの $F(N)$ の値のみが重要な値となる。そしてその場合の相似パラメーターは α/ρ 、 δ_s 、 U/NB 、 $\rho UB/\mu$ 、 $N \cdot F(N)/U^2$ の 5 ケとして与えられる。与えられた U/NB に対して所要の $N \cdot F(N)/U^2$ を得るとどは容易であらう。

3. 結 論

以上、NPLにおいて実施されている建築物、橋梁に対しての風洞実験の概略を述べた。

その方法論はすでに10年以上も前に確立されており、現在の実験はRoutine-workの観さえあった。しかし、それだからと言って耐風性の問題はすでに解決したと考えるのは早計であろう。実験を通して常に新しい疑問が生じているのである。しかし残念ながら、それらの問題の多くは解決されないままに置かれて現在に至っていると思う。耐風問題の完全な解決には、それら残された問題の解決がなされねばならない。以下に掲げる問題はどれ一つをとってみても難解なものばかりである。

1. 大気構造に関する資料の収集とその解析：これに関して、我々が利用できる資料は微々たるものである。統計理論に基づく解析結果も、現状ではこれを利用できない。
2. 剝離を伴う流れの下での物体への作用力：一般の構造物に使用する気流は剝離流となる。この現象は空力弾性問題としても最大の難題であるが、これに対する理解が不足することは相似則を含めて実験法そのものが確立されないことになる。
3. 構造物の減衰性に関する資料：構造物の耐風性はそれ自身のもつ減衰性に大きく左右される。しかしながら、減衰性についての資料には乏しい。実物実験を通じて信頼に足る資料の収集が望まれる。

4. 感 想

1年間の英国滞在は、そこに住む人が、生まれて初めての経験だという程、おだやかな気候に恵まれたものだった。しかし、未だ多くの現地人が東洋の秘境としか見ていない日本からの訪問者にとってすべてが恵まれたものであったとは決していえないと思う。そこで、この場を借りて、それら問題となった事項について2、3述べてみたいと思う。これから、海外留学をされる研究者にとってよりよい環境を作るためにも必要と考えるからである。

(1) 留学期間について

現在の制度では、留学の期間は長期、短期の2種に分けられ、1年及び3ヶ月と区分されている。しかし、現地について研究を始めてみると、目的とするテーマの研究の中心がすでに別の研究機関に移ってしまっていたなどということが多くある。これは一概に事前調査が不備のためだけとは限らないこともある。そこで、より効率の良いものとするために留学機関と、留学期間をより流動的なものとする必要があると思う。又、研究テーマによっては1ケ年では消化しきれぬものであるから、これについてはそれ以上の期間をも認めて制度化する必要がある。

(2) 家族と同伴することについて

家族を同伴しない留学は、不自然なものである。勿論、予算の関係はあるが、まずは往復の渡航費だけでも支給すべきである。

(3) 住居について

住居は食事と共に留学中に最も大きな問題である。日本を発つ前に、先輩から現地に着いたら何もしなくても良いからまず住いを確保するように努めよと忠告されるが確かに安住の場をもつことが大切である。

住居を求めることの難易は留学先の国により、地方により異なろうが、英国の場合は、決して容易であるとは云えないだろう。留学の目的は専門分野での研鑽を積むことは勿論であるが、それ以外に留学先の人々と交わり、お互いの理解を深めることも重要なことと思われる。

その意味で、その国の家庭に住まうことが、言葉の習熟のためにも良いことである。しかし、英国においては、それは求めてもなかなか得られないことのようである。幸にして筆者の場合には、こうした目的の家に住まうことが出来たが、他の友人の場合の多くは、外国人（例えば、エドヤ人、インド人）の家庭であり、又はホテル式の玄人の下宿であった。

住いが重要だとはいえ、これを探すため長時間を費すことは、あまり感心したことはない。これからの留学生のためにも、何らかの方法で、その労

が少なくすむよう対策を考えておかねばなるまい。そこで、次のような方法を考えては如何なものであろうか。

それは、現地大使館の科学アタッシュのところに、これまでの留学で世話になった下宿の名簿を作ることである。それに下宿の氏名、住所、それに留学中に得た感想などを記入することにより、後からの留学生の参考にするわけである。留学生の滞在する研究機関なり大学は多様ではあっても、それ程の分布があるものでもないと思う。

一般に英国人は東洋人を下宿させることをあまり好まないといわれている。しかし、日本人の場合は一度世話をすると、問題のない国民として引きづき歓迎することが多いのである。如何なものだろうか。

(4) 不用物品のひきつき

これについても(3)と同様、科学アタッシュのところで一括して保管してもらえれば好都合である。日本式の金器類は外地にいてもやはり貴重なものであるから。

(5) 会話の習得

現地についてから、次第に慣れるから大丈夫だろうと考えることは大間違である。

自分の考えていることをゆっくりで良いから正しく相手に伝えるだけの語学力は絶対に必要である。聞く価値のある内容の話ならば、どんなにまずい会話でも耳をかたむけてくれるものであるから。

2. 耐震工学に関する研究

所 属 構造橋梁部 建設専門官

氏 名 栗 林 栄 一

在外試験
研究機関 カリフォルニア大学

滞在期間 昭和41年12月19日～昭和42年12月18日

種 別 長期在外研究員

まえがき

本報告は、帰国直後に科学技術庁に提出した報告^{※1}の中から抜粋し、若干の意見を付したものである。

1. 出張期間および日程

昭和41年12月から昭和42年12月までの1ヶ年間を通して、カリフォルニア大学の土木工学科に客員として在籍し、昭和42年7～8月には工事現場ならびに大学や研究機関やコンサルタンツ社を視察した。

表一に示すように7月にはサンフランシスコ湾岸鉄道公団(BART)が建設しているベイチェュープの沈埋トンネルの設計、製作、施工について見学し、8月には、中東部の大学の土木工学科ならびに土木系の国立、公立の研究機関を見学し、長大吊橋の架橋に経験の深いコンサルタンツ社を訪ねた。

2. 研究に従事した期間の概要

(1) カリフォルニア大学^{※2}

連邦政府の傘下には、軍関係などの特殊な教育訓練機関があるので、

※1 昭和41年度科学技術庁関係長期在外研究報告 8・43年1月26日 栗林栄一

※2 General Catalogue 1967-1968, University of California, Berkeley

表一 訪問先一覧(1967年7~8月)

1. Parsons Brinkerhoff-Tudor-Bechtel General Engineering Consultants to the San Francisco, Bay Area Rapid Transit District 814 Mission Street San Francisco, Calif. Phone : 391 - 1401
July 1967
* Mr. Keith D. Bull (Title : Civil Engineer)
2. Bethlehem Steel Co. (Fabricator of tube segments of BART)
20 th and Illinois Streets San Francisco, Calif. Phone : 621 - 3200
July 1967
* Mr. G.W. Schmidt (Metal Specialist)
3. Fleet Landing Embarcadero Co.
P. O. Box 7902 San Francisco, Calif. 94119 Phone : 893 - 3143
July 1967
* Mr. H. O. Wörnbacker (Ship Building)
4. University of Illinois, Dept. C.E.
August 7, Monday, from 1 to 4 :30 pm
* Prof. Nathan M. Newmark, Head of Dept. C.E.
Prof. W. J. Hall, J. D. Halliwanger, N. N. Nielsen and W. H. Walker
Dr. Shizuo Mukai, Metallurgical Eng., Talbot Lab. Rm 116 , Dept. C.E.
(Home Address : 509 East Clark, Champaign, Illinois - 61820)
5. University of Michigan, Dept. C.E.
August 8, Tuesday, from 2 to 5 pm
Mr. Subhash Chandora Goel, Struc. Mech., Rm 413, Mr. William R. S. Fan
Dr. V. P. Drnevich, Soil Mech., Fluibs Lab. Building
* Prof. Robert D. Hanson (Business trip to inspect Caracas Earthquake)
6. Massachusetts Institute of Technology, Physical Plant
August 14, Monday, from 9 to 12 am
Mr. Peterson, Director, Phy. Plant, E-Building, Rm 260, 50 Ames St.
* Prof. J. M. Biggs (Leave of absence)
7. Lehigh University, Dept. C.E., Fritz Engineering Laboratory
August 18, Friday, from 8 to 11 am
* Prof. George C. Driscoll, Jr.
Mr. Lauren D. Carpenter, Mr. Noriaki Yoshida
8. Ammann & Whitney Consulting Engineers, New York-Milwaukee
111 Eighth Avenue New York, N.Y. 10011
August 21, Monday, from 11 am to 1 pm
* Mr. Edward Cohen, Associate Partner
Mr. Milton Bruner, President of Ammann & Whitney International Ltd.

(表-1のつづき)

9. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration Bureau of Public Roads, The Fairbank Highway Research Station 6300 Georgetown Pike, McLean, Virginia (about six miles from downtown Washington, D.C.)

August 23, Wednesday, from 9 to 12 am

Mr. F. J. Tamanini, Assist. Chief, Dr. D. C. Woo, Prevention against natural disaster, earthquake, wind turbulence and land slide

Mr. Kay, Wind tunnel

* Dr. Charles F. Scheffey, Chief of Structures and Applied Mechanics Division (on business trip)

10. United States department of the Interior, Bureau of Reclamation Denver Federal Center

August 25, Friday, from 1:30 to 4 pm

Mr. Louis Roehm, structural engineer

Mr. Mc---2, dam engineer

Mr. Merle A. Howard, Head of Training and Visitor Section Rm 410 Building 67,

Messrs. J. Julian, Hernandez, E. R. Hilmes, S. H. Poe

* Dr. George C. Rouse, Earthquake Engineering (on Business trip)

* Dr. Clair C. Crawford, Head of Applied Mathematics and Mechanics Section (on Business trip)

Ref. The appointment was made between the person marked by star "*" and me.

一般の大学は日本流に言えば公立と私立の2種に分類できる。

また、教育の水準からいえば、大学院をもたない College と大学院大学である University に分けられる。

カリフォルニア大学は、1868年開基され、州立であり、大学院大学であり、カリフォルニア州内に点在する9つの分校からなる。筆者が所属したパークリー校は、その一つである。

それぞれの分校は、教育、研究の特殊性、教職員、学生などの面では分離独立している。各分校の長には機構の維持とその運用に責任があり、学長は最高の執行責任者で全学を掌握する。

しかしながら、機構や財政や運営の基本方針は、州憲法の条項を具現化するために設置されている理事会が決定する。理事会は、州知事が指名する任期16年の16名の学識経験者と知事、州議会議員、学長などの州の

主要な機関の長 8 名、計 24 名の理事からなっている。

全学の学生の総数は約 10 万、パークリーでは 2 万 7 千余である。

(2) パークリー校

パークリー校の教育研究にかかわる組織は次のとおりである。

U.C. Berkeley	Colleges (5)	Under Graduate
	Schools (6)	
	Research Institutions (5)	
	Laboratories (27)	
	Computer Center (1)	
	Library (1)	

5 つの College は主として理工学系大学院を、10 の School は主として人文社会科学系大学院を意味する。

研究所を設立する理由は、大別して次のとおりである。

a 多数の分野の総合を必要とする場合

b 一分野における未開拓な方面の研究を促進させる必要がある場合

c 州政府が必要とする事項の研究を促進させる場合

筆者は 5 つの College の内の 1 つである College of Engineering (工学部) の Department of Civil Engineering (土木工学科) に所属していた。

(3) 土木工学科

図-1 に示すように、土木工学科は氷理衛生工学、構造工学、交通工学の 3 つの Division に分かれ、それらは、それぞれ電子計算機センターならびに中央図書館と各科に設置されている分館などに有機的につながっている。

各 Division は実験室をもっており、交通工学の Division は交通運輸研究所と密接に関係しており、研究所の研究員の多くは交通工学の教職員を兼務している。

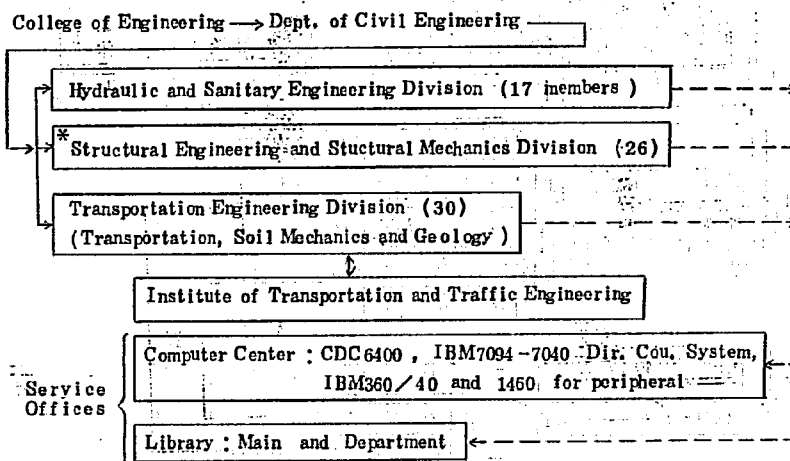


図 1

土質工学は交通工学の Division に含まれている。

筆者は、構造工学の Division に所属していた。

(4) 構造工学に関する研究

構造工学における教育研究にかかわる主要な項目は、次のとおりである。

a. 構造力学および構造解析

b. 構造材料及び構造物の力学特性

c. 構造設計

これらを対象とするもの、あるいは事柄、用いる方法あるいは工学の体系などによって分解し、さらに a、b、c の三者の相互関係を示したものが図 2 である。

図中で二重の枠で示した事項について、スタッフは強い関心を示し、問題解決に当る強い決意とそれを裏付ける優れた成果が示されている。

重点的な研究課題はつぎの 3 つである。

1. クラフ教授らによる有限要素法を用いた二、三次元連続体の構造解

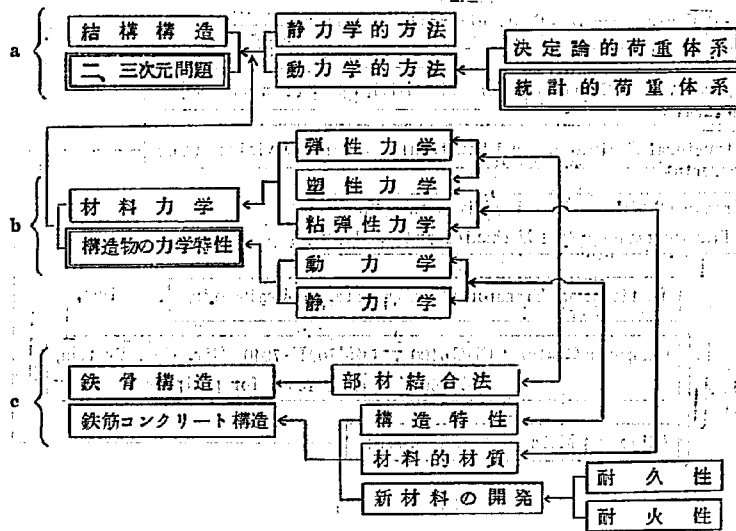


図 - 2

析

ii ペンジーン教授らによる統計的荷重負荷のもとにおける。特に地震時を想定した場合の構造物の動的応答レベルの確率的評価

iii クラフ教授、ペンジーン教授、ブーカンフ教授らによって進められている建設費2,000万ドルの振動台建設のためのパイロット研究が進められており、将来、構造物の動的挙動の室内における実験が可能となるであろう。

筆者は上記のiとiiについて研究した。

なお、交通工学のDivisionでは、交通工学においてまた土質工学、特に動土質力学(Soil Dynamics)において世界の水準を上まわる優れた研究が進められていることも周知の事柄である。

(5) 研究の体制

図-3に示すように、解決を必要とする問題の提供者と研究者の間に契

約が結ばれ、研究者は資金を得て、助手やアルバイト学生を雇い、実験や解析計算をさせ、その結果を総合して依頼者に報告する。

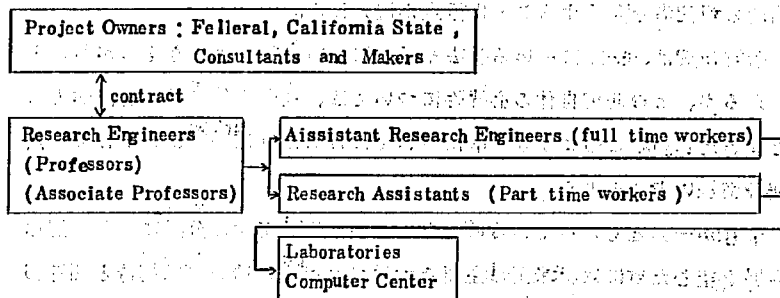


図 - 3

3. 研究の目的

橋梁などの構造物、就中、長大吊橋の耐震に関する研究

4. 研究の内容

合理的な耐震設計法を学ぶと共に、米国の主要な地点を訪ねて、耐震規定または指針を蒐集し、各種の構造物の建設現場を観察する。

5. 研究の成果

(1) 米国における耐震工学に関する研究の概況

表-1にも示したような、耐震研究とも密接に関連する中部の四つの大学の土木工学科、二つの連邦政府の土木系の研究機関さらに一つのコンサルティング社を訪ねて、研究の進め方、すなわち、研究資金の流れ方とも言ふ事柄に非常に興味を覚えた。

研究の体制(別記Ⅱ)でも述べたが、Project Ownerは、目的研究のために大学等に資金を流す。政府系の研究所の主要な任務は、最も効率よ

く研究を大学などの研究機関に発注することであり、自主研究は極くわずかでしかない。したがって、将来の技術の伸展の度合を見定めることと、有能な研究者を発掘することに重点が置かれる。

耐震研究は、一般に用いる手法や手段において瞠目すべきものがあると言えるが、その研究自体の必要性については、社会一般に深い認識があるとは言えない。このような事情については日本より米国においてより一層認識が浅いと言えよう。

それが一因ともなっているのであろうが、耐震工学の分野により一層の発展を望むためには、米国の主要な大学では耐震構造を耐爆構造と関連づけて、軍事目的的研究に支出される連邦の資金に強い関心を示すことになる。

耐震構造に関する研究論文を読む場合にも、このような事情を念頭に置いていれば、自から正当適切な評価をなしうるものと思う。

耐震工学に関する主要な研究テーマは、カナダを含む北米州の大学の主要な研究者とNational Science Foundation (連邦学術会議) の職員からなる「耐震工学に関する大学評議会」が、1967年5月に、次に示すような6課題にとりまとめた。

- i 構造物の動的・数理的解析
(主査 G.V.Berg, R.W.Clough 外)
- ii 構造物の動的・実験的解析
(主査 W.O.Keightley, J.G.Bouwkamp 外)
- iii 統計的手法による構造物の動的解析
(主査 J.Penzien, A.Ang 外)
- iv 動力学的考慮に基づく土質構造物の相互作用
(主査 H.B.Seed, R.F.Scott 外)
- v 破壊的地震における地震動
(主査 D.E.Hudson, B.Bolt 外)

IV 地震時の海岸の保全

(主査 V.A. Vanoni, R.O. Reid 外)

各テーマの主査からもわかるように、評議会を構成する主要なメンバーは、カリフォルニア大学、カリフォルニア工科大学、イリイノ大学の研究者からなっている。

ここに挙げられている研究テーマは、米国の事情、特に研究者の分布や人脈にも支配されて出来上ったとみることができるので、必ずしも普遍性のある主要なテーマであると受けとる必要はない。

1) (2) 構造解析法

耐震工学における地震応答の解析法は、究極においては多元連立方程式を最小の費用と最短の時間で解くことに帰着する。したがって構造解析において数式で表現された理想系と実体との隔たりが問題になると共に、解式の誘導や解式の表現ならびに演算の容易さなどが問題とされる。

まず、構造物の力学的機能を実体のとおりに数式で表わすことは、事実上不可能である。そこで単純化を試みて連続体と見做す場合には、所謂、理論解と称する厳密解法による解が得られるとしている。しかしながら、連続体とした場合には、振動問題においては、高次の振動次数は、数値としては事実上省略されざるを得ないから、厳密な解とは言えない。

このように理論解から得られた数値は、その一部分には厳密な解が含まれているが、全体として見たときには事実上近似解になる。

筆者が興味をもったマトリックスによる構造解析法は、構造物全体を一体として理想化するのではなく、それを実用上必要とする部分に区切った後で、個々の部分を一樣に理想化するのである。

個々の部分においては、外力と内力、応力と歪、変形と変位の3つの関係係、つまり、釣り合条件、フックの法則、適合条件が厳密に成り立っていないなければならない。この厳密に成り立つ処が差分法などによる近似解法と異なる点であると言える。

差分法などでは、当初仮定した理想系と解式とが異なるような事情が生じて、それは実用上の見地から適当に丸めて処理される。

マトリックスによる解法は、当初の仮定はその通り解式上に表わしうるものであるから、これを理論解に近いものとして評価するのが妥当であると考えに至った。

差分法などによって得られた結果を、マトリックスで表記しても、それはマトリックス解法と呼ぶべきものではない。

マトリックスによる解法には、上記の事柄の外に、解式の誘導が単純であり、個々のマトリックスを入力として与えるだけで、電子計算機を利用する場合には十分であり、したがって誤りを冒す機会が少なくないなどの利点を有するものであると言える。

電子計算機内部においては、目的に応じて、粗く早く、または長時間を要しても精密にか、種々の算法があるが、これから先は最早や構造物の力学的機能とは余り密接に関係するわけではないから、これを必ずしも構造解析の問題とするには及ばないと考えに至った。

紙数の都合上、解析法そのものの紹介は他にゆずるが、※ 巻間にあるマトリックスによる解法に対する誤解の類を列举すると次のとおりである。

Ⅰ マトリックスによる解式の誘導を構造解析の原理であると誤解している。(マトリックス解法は仮想仕事の原理あるいはそれから派生した原理の上に組み立てられたものである)。

Ⅱ マトリックスで表現された解式は、すべてマトリックス解法によるものであると誤解している。(マトリックス解法では解式を構成する最小規模のマトリックスの配置や順序が決定されれば解は得られたとしてよい)。

Ⅲ マトリックスによる解式の誘導を差分法による誘導と同一視している。(結果が同じであったとしても、誘導の過程で前者の方が、はるかに容

※ 昭和41年度科学技術庁関係長期在外研究報告書 S-43 年1月26日 栗林栄一

易である。)

IV マトリックス(行列)を行列式と混同している。

V 電子計算機を利用する一次多元連立方程式の解法と混同している。

(故に電子計算技術の不手際をマトリックス解法の責任に帰する。)

(3) BART Tube トンネルの耐震設計と工法
サンフランシスコを横断して、半島側と内陸側を結ぶ鉄道トンネルとしての5.6kmに及ぶ長さの沈埋工法によるチューブ式トンネルは、地震帯上の地域の軟泥土上に敷設される長大構造物として興味深いものである。

これについても、紙数の都合上省略するが、下記の文献※にすでに報告されているので参照されたい。

(4) 長大吊橋による架橋
Amman and Whitney Consulting Engineers 社の社長であるM.Brumer氏の幾多の長大吊橋の架橋事業に40年間にわたってたづさわってきた経験からの提言は興味深いものであった。つまり、

架橋計画の段階では最小の資金で当面における最大の効果を発揮しようと企てるのが常であるが、長大吊橋の架橋のように巨額の資金を投入する場合には、相当長期にわたる展望のもとに、将来交通量が増加した場合に車線の増加が低いコストで出来るように計画するのが最も合理的である。

この提言を、架橋技術の面からみて言い直すと、つまり英国のSevern橋のような閉断面の補剛桁を採用すれば、事実上、車線の段階的増加は不可能になる。したがって、George Washington橋、San Francisco-Oakland Bay 橋、Golden Gate 橋などのように段階的に車線の増加が可能な形式と寸法の補剛桁の採用を奨めると言うことになる。

※ BART 工事の概要 梁林栄一 土木技術資料 Vol. 10, 第1号 (S. 43年1月)

6. 今後当所にとって役立つと思う事項

(1) 研究員が具備すべき知識や技能の領域

測量や製図や解析演算などの従来の土木技術者が備えていた技能に代って電子計算機の利用技術が、今後の土木技術者、特に研究所の職員にとって不可欠の条件となるであろう。

研究員にとっては、単に電子計算プログラムを作ることが出来ると言う能力では不十分であり、担当する課題の解決を図るために、文献の調査、問題解決のための手法の選択、解析計算、実験、それらの整理統合、結論の作成、それと従来の成果との比較検討、改良の程度の測定、成果の明確な表現など、研究の全過程を通じて、最も合理的な電子計算機の利用計画を樹てうる能力が要求されることになるであろう。

問題解決のために電子計算機と言う強力な用具が与えられた今日では、反面、それを使いこなすために、より一層深い基礎的な知識、すなわち、物理学、化学、数学、統計学、専門に係わる各種の工学、関連する工学などの知識が必要であることは言うまでもない。

基礎的な知識と電算処理と言う技能の中間部にある社会科学的な知識や技術に関する情報と言うものについては、各種の情報を振り分けて能率よく検索することが必要となるであろう。

このような中間部にある知識や情報の検索の能率が、研究員の能力と密接に関係することは、従来もそうであったが、情報化社会と言われ出した今日では、より一層その関係が密接化すると言えよう。

日本人の多くが指向する社会は、より高度化された社会、いわば、米国型の社会であることは否定できない。まだ目標が前方にあり、しかも急速に変化する社会の中にある土木研究所がとるべき方針の中で、採用する研究員の資質と採用後の訓練については、早急な検討と対策の立案が望まれる。

上述の中間的情報の入手に熱意がない研究員や与えられた多数の情報

取捨選択を能率よく行ない得ない単能な研究員には、それに適当な業務を所内で分離独立させて、所全体として能率を上げることも一案として考えられる。

(2) 情報の処理

情報の処理ということは、えてして情報を集中管理して検索の便に供するといふサービスの面だけで捉えられがちである。

情報の処理という事柄にそのような一面があることは否定できないが、研究員が100名余程度の土木研究所では、情報の積み上げ方式を併用することが他面において必要であると考えられる。

積み上げ方式の併用とは、次のようなことである。個々の研究員は自分の専門の領域で通読した文献または読む必要を感じる文献について索引カードを作るに必要とする程度の事項を盛ったリストを作成して集中管理部門に提出し、また研究員は集中管理されている索引カードから検索した文献について概要を作成して意見を付して管理部に提出する。概要は、毎月、定期的に刊行して研究管理部門が検討し、研究所の研究方針の策定に用いると共に、個々の研究員が自分の専門分野の重要な情報を見落とすことのないようにあらゆる機会を通じて吟味していく。

要するに、情報化社会というような言葉の雰囲気の中で立ち止ってしまふ研究管理部や研究員に常に刺激を与えうる情報の処理という事柄に、当面の焦点を合わせ、数年あるいは10年という歳月の後に完備した管理方式を確立することを目標とすべきであろう。

(3) その他の事項

研究管理、労務管理などについて一項を設けて筆者の意見を述べたいが、紙数が尽きたので要点だけを記すことにする。

研究管理については、大学などの専門機関に対して、研究業務の一部を外注する制度を確立していく必要がある。

労務管理については、ホワイトカラーとブルーカラーつまりデスクと労

務を明確に区分して管理する必要がある。現状としては日本の公務員の場合、ホワイトカラーであるか否かは個々人の意識の方がそれを決定する重要な要素であるから、意識調査によって適当な線を引くと共に、自からブルーカラーであることを主張して止まないものは、それに相当する行政上の地位を与え、格付けをする。

また研究補助員に相当する人材は今後より一層不足することになると考えられる。したがって補助員の枠を研究員の枠にもっていく努力が必要であり、反面、女子職員の就労年限を延長させて研究補助員の不足を補うためにパートタイムの正規の職員を採用できるよう法改正などの面でも働きかける必要がある。

7. あとがき

厳し過ぎる提言をしたが、資本や貿易の自由化を目前に控えている今日、米国の巨大な資本、高い技術水準、機敏な実行力などが日本国内を捲席しないと言い切れるものではない。日本の技術の国際社会への進出の拡大は明らか、国内の技術水準の維持すら、余程の努力を積まない限りむずかしくなる。

このような事情のもとにおいては、土木研究所は、組織、体制、運営を合理化し、広く国内の知識と技術を結集する方法を編み出し、より一層の拡張と発展を続けねばならないと考える。

諺にもあるように、攻撃は最大の防禦なりという。自からの体質や機能の改良を図ると共に、広く海外にも進出して、日本の技術の水準の高いものは高いとして評価させることに躊躇する必要はないと思う。

3. 河川の河床に関する研究

所 属 河川研究室 研究員

氏 名 須 賀 堯 三

在外試験
研究機関 アメリカ合衆国コロラド州立大学

滞在機関 昭和42年8月29日～昭和43年8月28日

種 別 長期在外研究員

1. 試験研究等に従事することにより得たる成果

1.1 概 論

河川の河床変動に関する問題は、現在河川工学の当面する最も大きな問題点の一つであり、建設省技術研究会においても要望課題として取り上げられている。現在なお頻発する洪水災害も氷と共に流れる土砂移動の問題が重大な役割を演じている場合が多いが、このような場合には、河川の平面形状、横断形状および縦断形状、そしてまたその変化の様子を知ることも必要である。またダム築造、河川改修および砂利採取などの結果、急激に生ずる河床変化を知り、将来の安定した河川の姿を推定することは河道計画上非常に重要なことである。このように、この課題の研究に対する実際面からの要請は極めて大きいものがある。

河床変動の問題は、大きくわけて局所的な洗掘、堆積の問題と、河川の全体的な変動とに分けられる。またそれぞれの平衡形状についても検討が加えられ、参考資料として活用されることが望まれている。さらに、河床変動の機構を支配するものとして、土砂の流れ方に関するもの、流水に与える抵抗に関するもの、および複雑な三次元流に関するものなどがある。河床変動の問題は、それを研究していく立場からみても非常に多くの困難な問題点を包含し、学問的な興味も大きい。

1.2 本 論

河川の河床変動は水の流れに伴って流下する土砂の移動状況によって生じる。ここでは人工的な原因によって直接生じる河床変動は考慮外とする。この場合、現象を支配する基礎方程式としては、a 流水の運動の方程式、b 流水の連続条件、c 土砂の運動方程式および d 土砂の連続の方程式が必要である。これらの方程式を連立して解くことは、簡単の場合には解析的に行なうことも可能であり、一般には特性曲線法や普通の数値積分によって解が得られる。しかし、解析をより実際の現象に近づけて考えるとき、基礎式の中になお非常に多くの困難な問題が残されている。簡単な二次元的な場合でも、その主なものを列挙すれば次のようである。

- a 流れの運動方程式の摩擦項、特に河床に発生するサンドウエイブの特性。
- b 掃流砂量および浮遊砂量の関数形、特に粒径別流砂量の取り扱い。
- c 河床のアーマリング効果、すなわち細かい河床材料が流されて粗いものが残される現象とその効果。

以上の諸問題は通常用いられる基礎方程式の中の問題として、さらにとりあげられなければならない問題であるが、実際の現象は非常に複雑であって、条件の与え方とか三次元的取り扱いの問題もあり、この他にも種々の要素が取扱われなければならない。その主なものを列挙すれば次のようである。

- d 上流からの補給土砂量とその粒度構成。
- e 横断の断面形状、たとえば長方形断面、パラボラ、複断面など。
- f 平面特性、たとえば蛇行問題など。
- g 局所的な河床変動、流れの局所的な三次元性の問題。
- h 流量などの水文量。

河床変動に関しては、現象の物理的な内容としてこのように多種多岐

にわたって未解決な問題が山積しているが、この他に解決法についても
なお多くの議論が望まれるところである。河床変動計算は、実際河川の
経過的な変動状況の性質を知るために行なわれるが、最近電子計算機の
使用が容易になったため、各種の河道計画に利用される機会が多くなっ
た。通常、流量ハイドログラフなどにより与えられた幾種類かの流量を
用いて、それぞれの場合の不等流の計算を行ない、まず得られた水理量
を用いて縦断的な流砂量の分布を求める。一般に水理量の変化に対して
河床の変化は遅いので、このようにして得られた流砂量が Δt 時間不変
であるものと仮定して、流砂の連続条件を差分することにより Δt 時間
後の河床高を計算しているのである。流砂の連続条件から河床高の変化
を求める計算では特性曲線を利用することも可能である。4つの基礎方
程式を連立させて特性曲線法により一度に解を得る試みは、流れの運動
方程式の不定項が他の項に比し十分匹敵する程度であればよいが、一般
にオーダー的に小さいので計算の収れん上問題があるようである。

1年間のコロラド州立大学における研究は、以上のような河床変動に
関する諸問題について総合的、多角的に行なわれた。

まず、アメリカにおける河床変動に関する研究の現況を知る必要が感
じられた。幸いなことに、コロラド州立大学にはこの分野で非常に多く
の研究者がおり、たくさんの実験が行なわれていた。実験についての討
議は随時行なわれ、或る程度まとまった段階では部内のセミナーにおい
て中間発表が行なわれていた。セミナーは週1回開かれ、教授と大学院
学生およびジェオロジカル・サーベアの研究者らが参加して熱心を討議
がなされるのが常であった。図書館には日本ではあまり見られないよう
な河川の資料、報告書、および論文などが豊富に並べられていた。借出
し期間が原則として2週間であるのでめずらしいものが少し待てば借り
られるので大変好都合であった。さらに、大学院の講義には自由に無料
で聴講することが許されたが、これは最新の情報や考え方を知る上で大

変ありがたいことであった。ただし、実際に大学の施設を使って実験を行なうためにはプロジェクトを持たなければならず、また短期間でまとめあげることも容易ではなく、他の知識を吸収することを多少なりとも犠牲にしなければならないので、これを辞退し、実験施設などを使用しての研究は大学院学生の相談相手をつとめるにとどめた。

河川の河床変動の基礎的な問題である土砂水理学は、古くから研究が行なわれていたにも拘らず、現象が複雑なゆえもあって、前述のように今なお未解決のものが多い。研究の方法としては物理的な考察をすすめていく方法、推計的な方法によるもの、および次元解析的なものなどがある。歴史的にみると次元解析的なものが多い。最近では、物理的な考察を行なうものに加えて、推計的に処理する方法がはやっているが、現在なお、米国における土砂水理学の現状は、理論解析的な研究よりも、やはり実用に使うための研究に主眼をおいて大規模な実験や、河川における実測を広範囲に系統的に実施して、次元解析で資料をまとめていくものが依然として多いようである。したがって、現象の本質的解決は十分でないのが現状である。河床変動の問題に関連して、コロラド州立大学においてたずさわった問題を列挙すると次のようである。

a ダム下流の河床低下

環流水路による実験および小溪流における実測に基づいて、ダム下流の河床低下の定性的性質、距離的および時間的变化を調べ、次元解析的手法をまじえて安定形状について検討を加えていた。また、アーミングの効果によって河床低下の速度がにぶるが、その終局の状態について河床付近の乱れの作用の仕方に着眼した考察が加えられた。

b 推計的手法に基づく掃流砂量の考察

掃流砂の移動について推計モデルを設け、実験および河川の実測値との比較が行なわれた。

c 浮遊流の拡散係数の変化

流水中に浮遊物質が混入すると、乱れの細部構造が変化し、流速の分布がその影響を受ける。乱れの混合の変合を表わす拡散係数について、大型水路による実験結果に基づいて検討が加えられた。

d. パイプ内の土砂輸送（実験的研究）

e. 河岸の安定問題

自然河川の岸は流水による浸食をうけて河巾の拡大、砂州の形成および蛇行の生長が進行する傾向にあるが、この現象をシーページと関連させて実験的に考慮するものである。

f. 橋脚周辺の流れと洗掘

流れを渦度の変形過程として追求し、実験値との比較がなされた。また洗掘深さについて次元解析的考察が加えられ、橋脚周辺の洗掘防止対策についても検討がなされた。

g. 水温の影響

河床形態（サンドウェイブ）や粗度におよぼす温度の影響が意外に大きく、これを無視することができない。そこで、自然河川の流れ方の変化を観察し、一方工兵隊水理実験所の室内実験を指導している。

h. 土砂の沈降速度

土砂の輸送やさねんの発生などの問題を扱う場合、砂粒の特性をあらわすものとして粒径やその比重を用いるかわりに、砂粒の沈降速度を採用する傾向が米国では強いようである。この沈降速度や沈降の仕方について、いろいろの形状の砂粒を用いて実験が行なわれた。

1.3 結 論

コロラド州立大学は、水理学、水文学および流体力学の研究機関としてはアメリカの規模を誇り、大勢の充実した研究員と大学院学生を擁し、非常な成果をあげている。研究施設もコンパクトなものから大規模なものに至るまで非常に豊富でパラメーターに富んでおり、計量、測定器の自動化と電子計算機の利用もさかんである。図書館も完備しており、

参考資料の入手も比較的容易である。このような研究環境のもとにもぐりこんで、これまでの仕事の継続的な研究を全く自由に行なってきたことは非常に好都合であり、大変有意義であった。

ただし、研究費を持たない単なる客員研究員は、仕事をすすめていくうえで助手の協力を得られず、水路や計算機の使用もあまり容易ではないので、一年間では研究の区切りをつけることができず、全て途中でひとまず打ち切らざるを得なかった。しかし、多くの資料を集め得たこと、およびそれによって研究の見通しをある程度たてられたことは、今後の研究を進めていくうえで非常に参考となる点が多いと思われる。それらの主なものを列挙すれば次のようである。

- a 河床変動の基礎方程式を連立させて特性曲線法によって解く方法について考察した。その結果、解の安定を支配する一つの要素と考えられる流れの運動方程式中の不定項の果す役割についてある程度の性質が明らかになった。
- b 複断面水路の河床変動について、基礎方程式に基づいて二、三の考察をすすめた。
- c 河床変動の問題を考察していくうちに非常に重要な一つの基礎方程式である流砂量関数について考察した。特に、浮遊流砂量の基底濃度について、米国における資料を用いて検討する方法について考慮した。
- d 河床砂の混合粒径の取扱いについて考察した。特に、これまでは河床砂の代表粒径として平均粒径を用いての議論がなされてきたが、不動砂、掃流砂および浮遊流砂のそれぞれに対応する粒径を考慮する方法について検討した。

2. 試験研究遂行に役立った試験研究機関の設備環境等

コロラド州立大学は、西部の中心都市デンバーから自動車で1時間ばかりのところにある。ここは、大学を中心として最近著しく発展した町で、人口

3万5千、うち1万4千人が学生であり、教職員およびその家族を含めるとほとんどの住人が大学となんらかのつながりを有するという典型的な学園都市である。ここでは、大都会からわずかに離れるだけで、黒人問題や少年犯罪あるいは駐車難や住宅難の問題はない。町や大学は広大な土地をふんだんに使い、ゆつたりと豪奢につくられていて、学問するための環境づくりに大変な力が注がれている。

大学の水理流体力学研究所は町の中心の大学から8キロばかり離れた町はずれに最近新しく建設され、最新の研究設備とその規模の大きさを誇っている。研究所の教授総数30名、このうち約1/3は世界各国から招かれた教授であり、世界中の最新の情報を集めて、個人研究や共同研究においてその研究効率を高めている。この研究所の研究予算は5～6億円以上にものぼり、半日のアシスタンスシップをもらって研究業務を行なっている大学院学生は約60名である。このほかに、ジェオロジカル・サーベイの研究員約10名が加わって、一つの分野の研究を行なう機関としては、非常に規模の大きい強力な研究所となっている。

研究所の運営はかなり民主的な方法がとられ、権限や雑務があまり片寄らないように配慮されている様子である。簡単な日常的な雑務は有能な秘書の仕事として片づけられ、彼女等の縁の下での力持ちとしての貢献を見逃すことはできない。各研究者は大学院の非常に分化された専門的な講義は自由に聴講できるし、毎週数回定期的に行なわれる各分野のセミナーや随時の討議により広範囲の知識を吸収し、自己の能力を高める一方、巾広い研究を行なうよりはむしろ深い研究を行なう努力をしているようである。このようにして、全体としての巾広さと層の厚さを誇っているのである。

研究施設は、水路、風洞、測定等および資料処理機であるが、コンパクトなものから大規模なものまで非常に豊富で、かつバラエティに富んでいる。流砂や粗度あるいは水理構造物周辺の洗掘の実験を行なうには、流砂をとまなり流れの実験水路が必要であるが、アメリカでは1955年ぐらいから回

流水路、すなわち下流から流れ去った砂はふたたび水と共に上流から流入してくるような水路が普及し始めており、現在ではほとんどの水路がこのような回流水路として設計されている。計測器の自動化、電子計算機との直結化は至極当然のこととしていろいろな工夫がこらされている。計測の原理はなんら変わるところはないが、流速を測定するピトー管に至るまでビジュグラフやペンオシロに記録されているところは興味深いことであった。アナログ量のデジタル化により電子計算機の利用度を高めている一方、小型の卓上電子計算機も非常に重宝なものとして関心が集められている。最後に直接研究とは関係ないが、非常に精巧なデモンストレーション用の水路や各種の模型および写真などの展示に工夫をこらして、学部の学生や大勢の見学者も引きつける努力をしているところなども大いに参考としなければならないのではなからうか。

3. 今後留学する者に参考となる事項

アメリカだけでも非常に広い国であり、いろいろの人種が入りまじっていて、一般的な話をするとは困難であろう。また短期間の生活経験からでは狭い地域の範囲に限っても自信をもって参考に供せられる事項は何もない。しかしある程度、一般の紹介書等にものせられ、また渡米者からの話にも出て来ており、しかも私自身も賛同できることの一部を列举すれば次のようである。

a. 会話力

目的にもよるが、例えばどこか遠い所へ行って時間さえ与えられれば満足する人は会話力はさほど必要とされないであろう。しかし、短期間のうちに効率よく研究業務を遂行しようと思えば、出発前にできるだけ会話の勉強をしておくことが得策である。相当出発前に勉強していったつもりでも、帰るまぎわになってやっと馴れてくるといったことになりかねない。特に初対面のときにある程度話ができて打ち解けられるということが、あ

との研究業務遂行上にも役に立つように思われる。アメリカ人は日本人だからといってそれほど手かげんをしてくれるわけでもないので初めのうちは特に聞く力を重視してもよいのではないかと思われる。話す方は何んとか努力して切りぬけられることが多いようである。会話力がまた生活を楽しめるかどうかの一つの鍵にもなる。アメリカは家族単位の際が盛んであるので有名であるが、家族を同伴される場合には、夫人も会話がある程度できることが必要であり、会話が全くできないようでは非常に不利益である。

○
b 相手に認めさせるには（学生でいく場合を除く）

短期間に効率よく仕事をするためには、相手に早く自分の能力を十分認めさせることが必要である。しかるべき紹介状の必要なことはいうまでもないが、英文の論文をあらかじめ用意しておくことは有効である。また、アメリカあたりでは博士号に対する受けとり方に多少日本と異なるところもあり、能力の一つの基準のようにもなっているのでこれも是非とっておきたいものである。

c 一年は意外に短かい

研究者を送り出す機関では一年間はかなり長い期間であろうが、留学生の側にたてば一年は長い期間ではない。到着後生活が落ちつくまでの期間、帰国の準備、帰国前の見学、視察旅行の準備等に予想外の日数を必要とする。これは同伴すると余計かかるようである。また生活環境や研究環境に馴れるのにも結構時間がかかるものである。外国では全てを自分1人でしなければならぬ。出発前の計画としてはこのような事情も十分考慮しておくことが望ましいと思われる。

○
d 自動車の運転免許

大都市の公の交通機関の発達したところでは自動車をもつ必要はないという人もいるが、田舎では自動車を持つことは必要である。アメリカの運転の試験は容易であるとの通説になっているようであるが、アメリカでは

[illegible]

1950年，在党的领导下，全国人民掀起了一个轰轰烈烈的运动，这就是“三反”运动。这个运动的主要内容是：反对贪污、反对浪费、反对官僚主义。这个运动在全国范围内展开，取得了巨大的胜利。

[illegible]

- 3 6 -

4. 軟弱地盤に関する研究

所 属 土質研究室 研究員

氏 名 稲 葉 誠 一

在外試験
研究機関 アメリカ合衆国イリノイ大学

滞在期間 昭和42年9月1日～昭和43年8月31日

種 別 長期在外研究員

1. 試験研究等に従事することにより得たる成果

1.1 概 論

軟弱地盤とは、地質学上第4紀にあたる現世代の沖積層を工学上の分類として一般的に名付けるものである。具体的に軟弱土を構成する要素として、高含水比であることと粘土を含むこと。植物性物質が腐植滞積してできた泥炭あるいは有機質土と呼ばれる層であることがあげられる。工学的性質で表わすと、標準貫入試験のN値で3～5以下、一軸圧縮強さで0.3～0.5 kg/cm²以下、ペーセン断強さ0.2 kg/cm²以下のものを軟弱土とすることができる。これらの軟弱土に対し道路や堤防盛土を建設することを考えると瞬間的に施工する場合高さ5.0 m以上の盛土を施工することができない。甚だしい場合には、高さ2 mの盛土でも盛土全体が急激に沈下する。あるいは地盤全体がせん断破壊を生ずることになる。このような軟弱土に道路その他の土木構造物を施工する場合が、現在ますます多くなってきている。従来、単なる低湿地として放置されているとか、水田など水耕農作が行なわれている土地が、市街地化される土地から残され、高速道路など公共土木構造物の用地として利用されるようになってきている。高速道路も一般道路も最近では、許される施工期間が短くなり急速施工を要求され、軟弱地盤に関する問題を大きくしている。又、

土地利用の高度化から市街地が、軟弱地盤地帯に発展しつつあることも事実である。このような現況から道路盛土に対する軟弱地盤ごとに有機質土の処理工法の適否について研究を行った。

現在、軟弱地盤に対する地盤処理工法として次のものがあげられる。

- a) 緩速盛土施工法 b) サンドドレーン工法
- c) コンパクションパイル工法 d) プレロード又はサーチャージ工法
- e) 軟弱土置換工法
- 1) 盛土荷重による押出工法
- 2) 水ジェットによる攪乱押出工法
- 3) 爆破による置換工法
- 4) 掘削機械による掘削置換工法

これらの諸工法に対し、我国で従来広く行なわれているのは a)、b)、

c) の3種である。これらは原理的には軟弱土の圧密を利用して地盤のせん断抵抗を増加させ盛土荷重を支持させるものである。緩速施工法は盛土荷重により地盤を圧密させ、その盛土荷重と、その地盤の圧密過程におけるせん断強さとをある安全率を考慮した上で、等しくさせるという条件で、盛土を施工する方法である。サンドドレーン工法は軟弱地盤中に透水層となる砂柱を作ることにより圧密の進行を促進させ、緩速施工よりも早い施工速度をとることができる。コンパクションパイル工法は、砂柱が透水層である他に、締固められていて荷重の分担支持力を期待しようとするものである。この3つの工法の欠点をあげると、第1に、土の圧密現象が原理であるから盛土完成にいたる工期が長期化すること。第2に圧密現象がこれまでに知られる理論計算の方法と必ずしも一致しないこと。第3に、圧密理論では扱えない。二次圧密現象に対して無力であることがあげられる。

d) のサーチャージ工法も原理的に前記の3種と全く同じで、欠点として工期が長期にわたることが強調される。

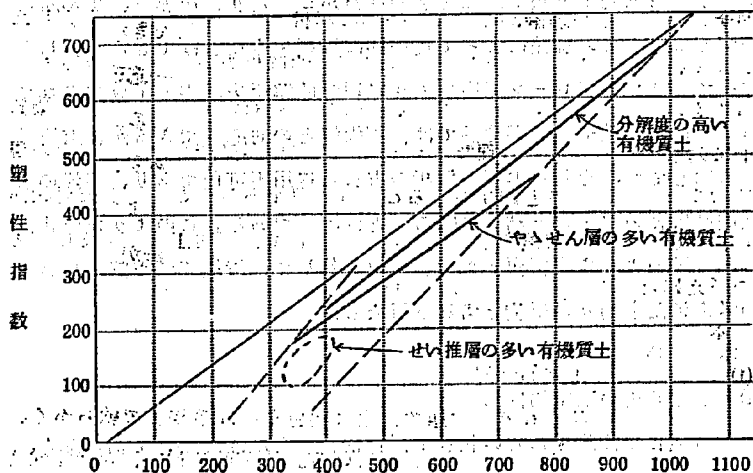
e) の軟弱土置換工法を広範囲に我国で採用した事例は少ないが、その理由として次のことがあげられる。第1に、盛土の前方、側方に軟弱土を押出したり、掘削するのに広い用地を要すること。第2に、掘削した軟弱土の処理が困難である。第3に、軟弱地盤といえども市街地又は水田のようにある程度開発された地域が多く爆破、押出し、掘削の周辺地盤への影響が不確定であること。第4に、工費が用地費も含めると必ずしも安くはないことである。これに対し長所といえる点をあげると第1に、軟弱土を盛土荷重の直接影響範囲外に除去するのであるから、残留沈下、二次圧密のような欠点を最小限にできる。第2に、盛土の締固め後の支持力を増大させ、交通荷重に対する路盤、舗装の設計を確実にできる。第3に、舗装の波打ち、構造物と盛土区間の間における不連続な段差等、構造物完成後に生ずる欠点を最小限にする。第4に、盛土の施工と、舗装から交通開放にいたる工期を短くすることができる。さらに、泥炭、ビート、マスケット、ボク等と呼ばれる有機質土は細粒粘土よりある軟弱土と根本的に工学的性質がことなり、圧密や、せん断に関するこれまでの理論によって統一的に解析することはできない。したがって、サンドドレーン工法のように理論的解析方法が一応確立されているものは、粘土の軟弱地盤では、観測値との対応もできるが、有機質土に対しては、それらの理論解析の方法は適用不可能であり、実際の現地観測による沈下量と結びつけることは困難である。このような現状から、泥炭のような有機質土の軟弱地盤に対して、置換工法が望ましいとの考えにたち種々の研究と考察を行なった。

1.2 本 論

(1) 有機質土の工学的性質

有機質土は乱されない状態で、色は褐色または暗褐色で軟らかく、その上、ゴムのような弾性を呈している。地表面に近い、表面乾燥された部分の他は、含水比が非常に高く、乱さない状態では、せん断を

肉眼で見ることができるが、ねり返した時には、せん維が分解する場合がある。乱さない状態では、間げき比は大きく、透水係数も大きい。一度荷重がのると、間げき比と、透水係数は急激に減少するのが普通である。地下水面より上の表層部の有機質土は、比較的大きなせん断強さを持ち、含水比も小さく、又、鋭敏比も小さい。含水比は有機質土の生因、層の厚さによって異なり、たとえば表層では100%前後、下部では、数100%から数1,000%の広範囲のものがある。有機質土の塑性は、完全にせん維の分解したものでは低いながら塑性がある。キャサグランデの塑性図上で、殆んどものがA線より下側にある。分解度が高くなると図-1で左下側にあつまってくるようである。すなわち、有機質土においても、塑性限界のような試験法が、工学的性質に関する重要な情報を与えてくれることがわかる。有機質土のせん断強さの試験結果をまとめると図-2のようになる。非常に広くデータはバラついているが、含水比が減少すると共に、せん断強



液性限界
図 - 1 塑性図

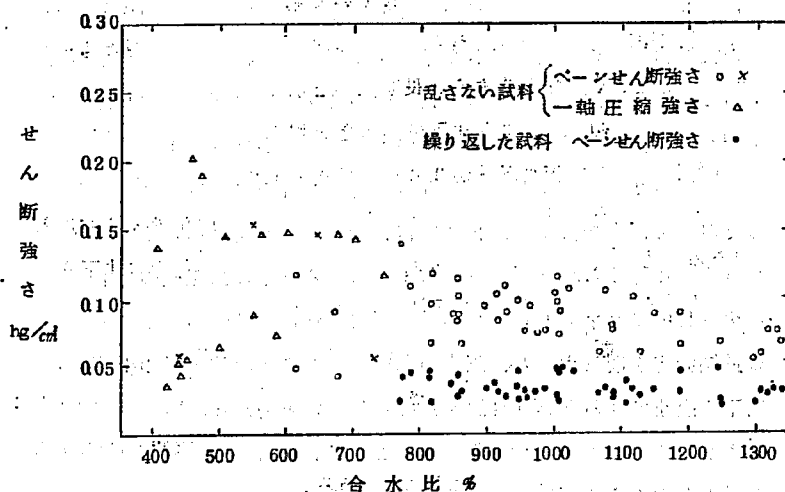


図-2 有機質土のせん断強さ

さは増加していることがわかる。しかし、ねり返した試料のせん断強さは、含水比とほとんど関係がなく、一定で、低い含水比の部分では、鋭敏比が大きく、乱さない試料のせん断強さの約3分の1にすぎなく、高い含水比のものでは、ねり返後のせん断強さは約2分の1である。有機質土の間げき比と透水係数はこれも広い範囲にばらついている。間げき比は表面乾燥の影響のある部分では2~5、深い部分で5~15のものが多く最大28のものもある。透水係数は乱さない試料で圧密の初期には $10^{-2} \sim 10^{-4}$ cm/secのものが多く、荷重が加えられると、急激に減少し、0.6割の荷重増加で、48時間後に 10^{-5} cm/sec、200日後に 10^{-8} cm/secになった例がある。透水係数が、乱さない状態では、大きいところから初期圧密は急速に終結することがわかる。道路盛土に対して施工と同時に、有機質土の初期圧密は終了するものと考えてよい場合が多い。有機質土の初期圧密終了後の2次圧密は、時間の対数と1次関係で進行すると普通いわれているが、

それよりも大きな沈下量が観測されている場合がある。このため短期間の実験室内での圧密試験から予測する沈下量は、過少に見たものであることが多く注意を要する。長期間の2次圧密沈下を測定したものを調べると、初期圧密より沈下量が大きい場合がある。1つの例では44年間の2次圧密沈下量が3.0 mを越えるものが報告されている。したがって、有機質土では2次圧密を初期圧密現象の単なる時間遅れであると片付けられない。有機質土に対する盛土の施工後の沈下を防止する目的でサンドドレーン工法を利用した例が多いが、その実施例の長期測定を観察すると、圧密の進行を促進させ、施工後の継続する沈下を阻止できるといった目的を達せられないと考えられる。むしろこのようなサンドドレーンを設置することにより有機質土層の構造を乱し、より大きな沈下量を生ずる場合がある。

(2) 有機質土の置換工法

アメリカをはじめ、諸外国では、道路盛土のため、軟弱有機質土層の爆破による置換工法が用いられている。その方法として、a) 盛土前面部の置換、b) 盛土直下部の置換、c) 溝による置換、d) 盛土側方部の置換の4つがあげられる。さらにこれらの基本的方法を組合わせることにより、種々の置換工法が考慮され、有機質土層に対する道路盛土の築造を安全かつ、経済的に行なえるよう実地研究がなされている。

表層部の乾燥有機質土層の取扱いは、2つの考え方がある。除去すべきというのは、a) 表層部に固い層があると盛土により急激にクラックを生じたり、地盤破壊を生ずることがある。b) 沈下量を均一にできない。c) 変成しやすい有機物が盛土下にあるのは良くないという3つの理由である。また一方、盛土下の表層有機質土層を全敷幅について除去することには、次のような欠点がある。a) 盛土材料が多量に下部有機質土層にくだむ。b) 表層有機質土を大規模に除去す

ると、盛土の側方および下方に広範囲の有機質土層を乱すことになる。

この2つの理由を考慮して、盛土の中心線に沿い、幅1.5～3.0 mの表層土を除去し、最初に狭い幅の盛土をその上に行なって、軟弱層中心部にコアを作る。その後全幅の盛土を実施し、コアを中心にして盛土材料が軟弱な下部有機質土層を押しだす方法が、地盤の急激なせん断破壊とそれに伴う側方隆起を防止することができ、良好な結果が得られている盛土前面部の有機質土層を爆破により乱し、盛土荷重により前方へ押し出し置換する方法は、盛土前方7.5～15 mの地点を一列に装薬し、一時に爆破させる方法がとられている。しかし、この盛土前面部の爆破による置換工法は完全な置換ができるとは限らないし、施工速度も早くはない。このため、この方法を改良して、まず盛土前面部に厚さ30～60 cmのサンドマットを行ない、その上から2～5 mおきに水ジェットによるボーリングで孔をあけ、有機質土層の底部に、火薬を設置した後、その部分に盛土を行ない、静荷重で、できるだけ有機質土層を前面に押出した後に、爆破を行なうという方法がすすめられている。

表層有機質土層を除去し、盛土を施工後、盛土直下の軟弱層中に火薬を装置し、延長30～60 mの盛土区間を1時に爆破置換する方法もある。これにより最大深さ15 mの有機質土層を置換させた例もある。

その他に深さ約5 mまでの有機質土を最初に中心線にそって幅1.5 mだけ除去し、盛土をその溝に行ない、側方に有機質土を押し出す方法や盛土の両側方を列状に爆破して中心の軟弱層を盛土荷重により側方に押し出し置換する方法等もあるが、最近あまり用いられない。

その他爆破の時間方式、装薬の位置、方法、装置等種々の考案がなされている。

盛土材料としては、できるだけ粗粒土、さらにはレキや岩礫による

ものが良い。レキに近い粗粒土の盛土は砂の盛土より軟弱層中で分散してしまふことが少なく一体となって沈下すること。盛土の下に有機質土が残った場合、アーチ作用により盛土荷重を支持する。この2つがその理由である。軟弱な有機質土層の中に置換された盛土より上の盛土は、一般の路床、路盤と同じく適当な粒度の材料を各層ごとに転圧することによって築造されることはもちろんである。

(3) 有機質土の置換における断面

従来有機質土を置換する盛土断面の設計の考え方として有機質土の内部においても、軟弱層のせん断強さが小さいことから、地表部分と同じ勾配をとる方法がとられてきた。しかし、これによれば、置換した盛土の底部幅は極端に広くなり、盛土材料を多量に要することはもちろん実施例を検討してみると、側方の軟弱層を乱す範囲が大きくなり不適当であることが明らかになった。有機質土も置換処理と盛土施工中にせん断強さが増加し、盛土斜面の勾配は、地上での勾配と等しくする必要はなく、盛土法層より勾配5割をいじ7割5分まで下した線が、軟弱層の下面にあたる点までを盛土材料で置換すればよい。これは全く経験的な条件から解析して得られたものである。完全な解析をせしようにするには、乱したもの、乱さないもの両方の有機質土層の圧密とせん断の特性、軟弱層の厚さ、盛土の断面、材料の性質、置換工法等を考慮に入れなくてはならない。軟弱層中の盛土断面の安定の解析は、簡単には盛土材料の主働土圧を有機質土層の受働土圧の値より小さくすることで定められる。しかしこの考え方で設計された実際の盛土の施工例では、地盤の破壊に対する盛土の安定は確保されても、軟弱層の水平方向の変形と圧密により、盛土の路肩や盛土側方の軟弱の表面にクラックを生ずることがある。この水平方向の変形を防ぐには、路肩にサーチャージを置き、約1～2ヶ月の間、軟弱有機質土層を水平方向に予め圧密にさせるのが有効である。さらに、盛土側方にサー

チャージの土を押え盛土として流用すれば、有機質土の受働土圧を増加させることができる。この断面設計の考え方を図示したのが図-3である。

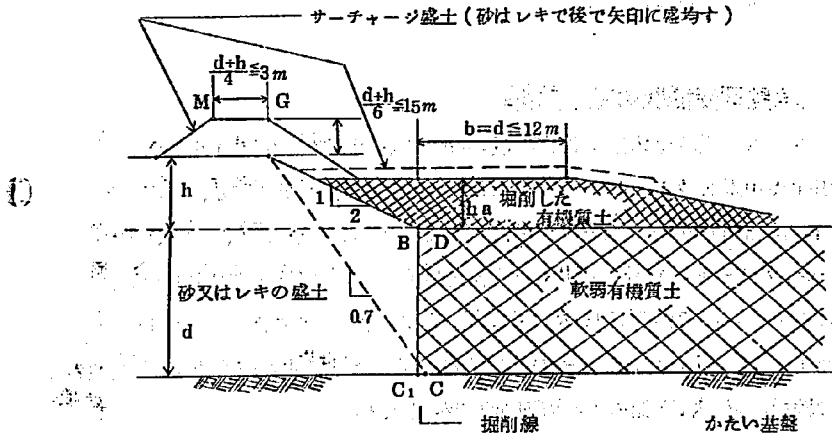


図-3 置換断面 ($h/d=0.5$, $h_a=0.67h$)

1.3 結 論

有機質土を主体とする軟弱地盤の工学的性質について、種々の検討をした。軟弱地盤の沈下は主として二次圧密より支配され、これまでのところ、短期間の室内試験で予測することは困難である。またサンドドレーン工法のような圧密促進の方法は、有機質土を主とする軟弱層に対しては有効であるといえない。したがって軟弱地盤の盛土に対する根本的処理工法として、置換工法にまさるものはない。置換工法として、外国の施工例では、爆破による方法が最も経済的であり、種々の方式が考えられる。また掘削機械による軟弱地盤の掘削と盛土材料による置換も、経済的考慮を入れた上で、十分採用する可能性がある。置換工法による

盛土の軟弱層中の断面は盛土の主働主圧と軟弱層の受働土圧をその境界面で平衡させる考え方で解析することができる。路肩部分のクラックの発生を防止するには、その部分のサーチャージにより、水平方向に軟弱層を予圧密させること。および押え盛土を行えばよく、設計断面の例を提案した。

2. 試験研究機関の設備環境

イリノイ大学土木工学科は教授約80名、大学院学生400人、学部学生600人を数え、我国の工学系単科大学に匹敵する学科で、卒業者は毎年、修士100人、博士40人に達する。本学科は、構造、交通、道路、コンクリート、水理、河川、衛生、土質および基礎等土木工学の全分野を含んでいる。直接関係した土質基礎工学では、ベック、ゾーンバーン、ディーア、リュウ、ニューマーク等実に8名の世界的に著名な学者を教授、助教授に置き、下記のような研究を実施している。

a) 土質試験法とくに土の分類と力学試験の基準化

b) 現場実施例からの土質工学の理論的研究

c) レス（風積シルト層）の支持力と沈下特性

d) 不飽和土の研究

e) 高塑性粘土と粘板岩の工学的性質

f) 土質調査法の改良と土質地図の作成

g) 地形と土質—航空写真の土質調査への利用

h) 路床安定処理土

i) 有機質土の工学的性質

j) 粘性地盤上のサイロ状構造物の力学的挙動

k) レキを含む粒状土の応力とひずみ

l) 埋設構造物の動的挙動とアーチ現象

m) 原子力爆破による土の動的挙動

イリイノ大学土木工学科における地位は大学院学生で、1年間の留学期間を正規学生として9単位を取得、昭和43年8月に土木工学修士を授与された。「軟弱地盤に関する研究」は正規の教科の中で「特別研究」として、ゾーンバーン教授の指導のもとに実施した。

アメリカの大学では教育及び研究の面で大学間の競争が激しく、各学科ごとに、その教授間で大学ごとの教授陣の質、教育課程の適切度について相互に評価し、順位づけたものが教育審議会から発表されている。それによれば、イリイノ大学土木工学科は、全米の土木工学関係の大学中、最も優れている4大学に入りそのうち2位に評価されている。

イリイノ大学土木工学科では、新しいビルディングの建築の第一期工事が昭和42年秋に竣工し、さらに、河川の水理実験室、衛生工学実験室の増築工事中で、完成すると延べ20,000 m²の面積になる。

留学中、見学した重要な研究所としてミシシッピ州ビックスバーグの陸軍工兵団水理研究所と、コロラド州デンバーの開拓局中央研究所があげられる。いずれもアメリカ連邦政府の研究機関で、土質基礎工学の分野では、世界で最もすぐれた施設を見学することができた。

3. その他の参考事項

長期在外研究員として一年間、外国の大学に留学する場合、1つの大きな問題は、留学先大学での地位を客員研究員とするか、大学院学生としていくかである。私の場合、イリイノ大学との連絡、個人的な考え、留学経験者からの助言で、大学院学生として留学した。

大学院学生であれば、相手大学の教育、研究の正規課程に直接入り込むことができる。学位を取得することができる。大学院の正規コースの中で特別研究あるいは論文研究として、主目的である研究テーマの実施に、大学の教授の直接指導をうけることができる等の利点がある。

これに対し、批判的な考え方も多く、大学院の講義の程度が高くない。関

係のない学科目の単位の取得を強制される。1年間で、修士の取得は不可能である。修士の学位を得ても何ら役に立たない。講義、試験、レポート等で時間を束縛され、学会に参加したり他の研究機関を見学する時間が十分になり。客員研究員の方が在外研究員の地位としてふさわしい。等がよくいわれている。

しかし大学における研究に関する限り学位がなければ客員研究員の地位をもらうことは難しい。又、客員研究員になっても、研究室をくれる他に、実際に相手大学の研究や実験を一諸に行なったり、実験の助手を提供してもらうことは、まず不可能で、講義を聴講し、図書館で文献を読んで研究する。研究機関を見学旅行する等で貴重な1年間で文字通り客員として過ごさざるを得ないのが実情である。また無理に相手大学の研究や実験の一構成員に入ってもらいと、こんどは技能員なみの労力の無料奉仕を強いられる場合がある。学士以上の学位がなく、またその大学で学位を目的に勉強しないのであれば、単なる技術者としてしか取扱わざるを得ないのは相手大学の立場にたって考えてみれば明らかである。大学院の1年間で修士を取得するのは不可能ではなく、アメリカ人学生はもちろん、中南米系の留学生の多くは1年の勉学で修士を得ている。私の場合、昭和42年9月より秋、春、夏の3学期で特別研究を入れて9単位を得て修士を得ることができた。文献の交換、国際会議等研究に関する情報交換が国内にいても自由にできる現在、1年間の外国留学で、日本にいて出来ないことを具体的に実行するとすれば、修士を取得することである。大学院の講義の一部の程度が高くないのは事実であるが、博士課程の学生も参加して、ゼミ形式で行なう課目になると、外国人がついて行くのは決して容易ではない。国際的視野で研究を行ない成果を発表し、意見を交換するには英語による他はなく、そのためには、英語を母国語とする学生と全く同等の立場で競争し、正規の教育研究の訓練をうけることが必要である。そしてそれは学位の取得を目的に、大学院の正規学生として勉強する以外に機会はないのである。

アメリカといえども大学や研究機関における研究者ことに外国人の評価に関する限り、学歴尊重になるのは実情である。このためアメリカの大学の修士を持つことは決して無益にはならない。

このような理由で、在外研究員で研究経歴3～5年未満の学部卒業のみの研究者は、必らず修士の取得を目的に留学することを強く提案したい。留学期間は1年では科目選択上と、目的とする研究を実施する点で短かいので、1年半に延長することが望ましい。すでに修士、博士であるもの、研究経歴が5年以上で業績のあるものについては、客員研究員として1年間留学する考え方で良い。

以上要約すれば、我国の大学の学部卒業で、外国の大学院に学生として留学し在外研究を行なう場合は、修士を取得すべきであるとの考え方であるが、大いに批判する余地のあることはもちろんである。私のも、在外研究の一つの考え方として、今後の留学を希望するものに参考になればと敢えて感じた点を書いた次第である。

5. トンネル等の地下構造物の設計、施工法に関する研究

所 属 トンネル研究室 研究員
氏 名 今 田 徹
在外試験
研究機関 アメリカ合衆国コロラド鉱山大学
滞在期間 昭和42年9月5日～昭和43年9月4日
種 別 長期在外研究員

1. 日 程

昭和42年9月5日 羽田発
9月7日 コロラド州、ゴールデン着
9月15日 秋学期開始
昭和43年1月27日 秋学期終了
1月30日 春学期開始
5月15日～17日

Tunnel and Shaft Conference に出席
(Minnesota 大学)

5月20日 Chicago Sanitary District

Jarva のトンネル掘削機見学

5月21日 Calweld のトンネル掘削機見学

5月22日 Lawernce のトンネル掘削機見学

6月2日 春学期終了

6月10日～7月9日 Federal Center で研修

下記の機関を訪ねた。

Bureau of Reclamation

Canal and tunne Section

Engineering Geology Section

Rock Mechanics Section

Underground Pumping Station

Section

Bureau of Public Road

Bureau of Mines

Research Center

6月22日 Straight Creek tunnel 見学

7月10日～7月19日 西部の鉱山見学

石灰石鉱山 (Western Sugar Co., Wyoming)

金鉱山 (Home Stake Gold Mine, S. Dakota)

炭鉱 (Wyodak Coal Field, Wyoming)

ウラン鉱山 (Little Rock, Wyoming)

Trona 鉱山 (Rock Spring, Wyoming)

銅鉱山 (Kennecott Copper Mine, Utah)

Potash 鉱山 (Moab, Utah)

鉛鉱山 (Ouray, Colorado)

炭鉱 (U.S. Steel, Colorado)

7月25日～8月15日 トンネル見学

Liberty Tunnel

Fart Pitt Tunnel

Squirrel Hill Tunnel

Wheeling Tunnel

Hampton Road Tunnel

Elizabeth River Tunnel (1st & 2nd)

Thimble Shoal Tunnel

Baltimore Channel Tunnel

Holland Tunnel

Lincoln Tunnel

Queens Midtown Tunnel

Brooklyn Battery Tunnel

Broadway Tunnel

8月29日 San Francisco Bay Area Rapid

Transit System 工事見学

8月30日 Castaic Tunnel (Los Angeles)

Big John 見学

9月4日 羽田着

2. 研究した機関の概要

コロラド鉱山大学 (Colorado School of Mines) は1874年鉱山技術者の養成を目的として設立された大学で、コロラド州の州都デンバーの西20 Kmの所にあるゴールデンという町にある。ゴールデンはロッキー山脈地区における鉱山地域の中央に位置し、近くには金、銀鉱山のキャンプとして歴史的に有名なセントラルシティ、ブラックホーク、アイダホスプリング、シルバースプリング、ジョージタウンなどの町がある。大学はこの地区の古くからの活発な鉱業活動に支えられて発展し、現在、化学および石油精製工学、化学、地質工学、地球物理、数学、金属工学、鉱山工学、石油工学、物理の各学部から構成され、それぞれ修士課程および博士課程を有している。

鉱山工学科は最も歴史の古い学科で、採鉱、探鉱に関する分野を分担している。主な授業内容は、岩盤力学、穿孔爆破に関するもの、鉱山およびトンネルの設計・施工に関するもの、鉱山計画に関するものなどであるが、岩盤力学はアメリカの大学において最も早く教科としてとり入れられている。

岩盤力学はこの学科で最も力を入れているもので、アメリカの岩盤力学シンポジウム (Symposium on Rock Mechanics) の第1回 (1956)、第

2回(1957)、第3回(1959)を主催し、岩盤力学の発展の上で指導的役割を演じ、高い水準にある。

この学科ではキャンパスから25 Km程離れたアイダホスプリングに実験鉱山を有しており、岩盤力学の研究が落ち着いた条件のもとに行なわれている。

主任教授はDr. John J. Reed である。

3. 研究目的

トンネル等の地下構造物の設計・施工は、その構造物を作る材料の選択が許されないばかりでなく、その性質を適確に把握することが、トンネルの掘削前においては勿論のこと、掘削後においても困難であるため、他の土木構造物と違って、現在でも多くの重要な技術的事項を“経験”あるいは“かん”によって決定せざるを得ないという特殊な性格を有している。

人口の都市への集中や交通需要の増大にともなう道路延長の増大や構造規格の向上に伴ってトンネルに対する需要は増大している。トンネルの建設には多くの時間と費用を必要とするため、トンネル工事を短かい工期で安く完成させることは、工事全体の経済性に大きな影響を与え、トンネルの合理的な設計・施工は今後増々重要になってくるものと考えられる。

トンネルの合理的設計・施工を行なうためには、現在のトンネル技術に存在する曖昧さを取り除き、他の土木構造物と同様定量的な判断のもとに合理化を行なわなければならない。最近の地質調査法の発達や岩盤力学の進歩などによって、徐々にではあるが旧来の定性的な方法から定量的な方法がトンネル工事に取り入れられるようになってきており、地山の特性に関する測定や支保工・覆工などに作用する荷重の測定などが試みられている。特に、ここ2～3年におけるトンネルボーリングマシンのある程度の実用化は、定量化を押し進める大きな原動力となっており、トンネル技術は新しい段階をむかえようとしている。しかし、トンネルの問題はあまりにも複雑であり、一方現在論じられているものの多くは実際問題に応用するにはあまりにも単純

化されていて、特殊な場合に適用できたとしても、一般の問題に適用することは困難であって、現在でもなお経験が支配し、殆んどすべての問題が未解決であると言える。

従って、地山の性質、支保工、覆工などの構造物に作用する荷重、地山応力などの測定方法の研究や地山の安定解析、構造物の設計方法の研究を進めなければならない。

4. 研究の内容

トンネル等の地下構造物の設計・施工において最も困難な点は、構造物に作用する荷重を知ることが非常に困難であるということである。ここで構造物とは地山自身を含めているものとする。地山中にトンネルを掘削するとトンネルが掘削された部分の応力が解放される結果、トンネル周辺の地山に応力の再配分が起り応力集中が生ずる。この集中応力が地山の強度以下であれば、掘削された空間はそのまま保持され、トンネルは安定である。しかし、集中応力が岩石の強度を超えるとトンネル周辺部に破壊が発生して、さらに応力の再配分が行なわれて、応力解放帯が形成されるなどの現象が起る。この際破壊された地山や応力解放帯の一部の地山が支保工や覆工などの支保工構造物に荷重を作用させる。従って、トンネルの荷重の問題を調べるためには、

1. 地山の初期応力状態を知ること。
 2. トンネルを掘削した場合に生ずるトンネル周辺地山の応力分布を知ること。
 3. トンネル周辺地山の強度特性を知り、地山の破壊機構を知ること。
 4. 破壊の発生によって生ずる応力の再配分の様子を知り、破壊の伝播状況を知ること。
 5. 支保工構造物の拘束が破壊の伝播や応力分布に与える影響を知ること。
- などが必要である。

これらの項目は、地山という均質でなく多くの力学的な不連続面を有する材料の場合では、非常に困難なものばかりで、短時日のうちに解決されるものではない。各々の項目に関して広範な研究が行なわれて、少しずつ問題が明らかにされてはいるが、現在ではその結果を一般的問題に應用することは出来ないのが現状である。

それでは、現状においてトンネルの設計・施工をどの様にして定量化し合理的なものにすれば良いかということが問題となる。この問題を最も現実的に取扱うためには、まず、トンネル掘削によって生ずる地山の応力・変形状態や構造物に使用する荷重を測定し、その測定値を設計や施工に生かす方法を考えることであると考えられる。

たとえば、支保工に作用する荷重およびその増加の傾向を測定して、覆工の設計を行なう際の資料とするというような方法である。このためには地山の変位や応力、支保工に作用する荷重などの測定方法を確立する必要がある。支保工に作用する荷重の測定方法には、支保工の歪を測定する方法、荷重計により測定する方法など種々のものが考えられ、試験されている。わが国においては支保工の歪を測定する方法を用いることが多いが、アメリカでは支保工底板下に荷重計を設置する方法が用いられている様である。デンバーの西約15.0 Kmのラブランド峠にインターステートハイウェイ I-70 の長さ2.7 Kmのストレートクリークトンネルを掘削中である。このトンネルは2車線トンネル2本で構成されるが、南トンネル部に調査用の導坑を掘削し、岩盤力学的調査が大がかりに行なわれた。この調査にはコロラド鉱山大学も関係し、その細部を知ることが出来たが、この調査では支保荷重の測定に荷重計を全面的に使用し、支保工の歪測定は行なわれていない。これは支保工に作用する荷重の絶対値を知ることがまず先で、荷重の分布を知ることができなくても仕方がないという考えによるものであると考えられる。この測定では平均して60 m間隔に測点が設けられ、計44点で測定が行なわれた。その結果、支保工荷重はブロッキングポイントの数に大きく影響されること、

荷重に影響を与える地質的条件は水の状況、測定地点から最も近い位置にある断層破砕帯の厚さ、平均節理間隔、断層およびめ方の程度、変成の程度、岩質、節理の平均傾斜角の順に影響を与えること、1地点における荷重の変動は長距離にわたって伝達され、支保工は全体として一体な構造物の様に反応すること、支保工荷重は切端の進行と共に激しく変化し、ピーク荷重があらわれることなどが明らかとなった。この結果は支保工の荷重を横断面内において2次元的に考えて来たこれまでの考え方では不十分で、断層までの距離などトンネルの長さ方向についての地質要素についても考慮しなければならぬことを示したもので注目される。測定は観測員によって行なわれたが、支保工建込み直後の荷重の変動は激しく、ピーク荷重を測定しそこなり恐れがあるので、測定は機械による自動記録にすべきであるという観測者の意見であった。

トンネル掘削に伴う地山の変位に関する観測はわが国ではあまり行なわれていない。しかし、トンネルの荷重は、地山が掘削によってゆるみその結果として作用するものであるから、地山の変位を観測することはトンネルの荷重を理解する上に重要である。ストレートクリークトンネルの測定では、支保工荷重の測定と同じ程度の規模で測定が行なわれた。それによると、半径方向の岩盤の変位は弾性論で予想される値よりも1.6～1.7倍切端後方でも観測されるが、変位が生ずる範囲は弾性解で得られ範囲に側壁部では限定され、アーチ部では弾性解の値より小さいなどのことが観測されている。ストレートクリークトンネルの観測は大がかりで組織的なものであるが、トンネルの観測では、わが国で通常行なわれるような思いつきのものでは実際の設計・施工に役立てることは困難のように思われる。観測を組織的に行なうためには、安価で確実な測定方法を開発することが必要である。現在の段階では荷重計による支保工荷重の測定が適当と考えられるが、安価に行なうためには荷重計を埋こるのではなく再使用を考える必要がある。

以上は最も直接的な項目に関する測定であるが、地山の安定を問題とする

場合は、地山のトンネル掘削前の初期応力状態を知ることが必要である。地山の初期応力に関する研究はわが国では少ないが、これはわが国において掘削されるトンネルは比較的土被りが少なく、又、地山が悪いので、本来の意味の地圧が作用することが少ないことや、現在の段階で地山の安定解析の基礎となっている弾性論が成立しないことが多いためと考えられる。

アメリカでは土被りの深いトンネルやマッシュプで一樣な地山にトンネルが掘削されることが多いなどのことから、地山の初期応力の測定が数多く試みられている。現在最も普通に使用されている方法は、ボーリング孔に計器を挿入して、ボーリング孔の外側をさらにボーリングして計器を挿入したボーリング孔の応力を解放し、その時のボーリング孔の直径の変化から初期応力状態を求めるいわゆるオーバーコアリング法である。この方法ではトンネル掘削前において初期応力を知ることとはできないので、トンネル掘削前に地山深部の応力状態を測定する方法の開発が進められている。

以上の様に定量化しにくいトンネルに伴う諸問題が、測定方法の開発によって定量化の方向に向って努力されているが、実際の問題に直接応用することはむづかしいのが現状である。アメリカにおいて実際のトンネルがどのような考え方で設計されているかを知るため開拓局、道路局で研修を受けた。

アメリカにおいてトンネルを設計する場合の基本的考え方として、地山の持つ強度を出来るだけ利用すべきであると考え、技術者が多い。このため、ロックボルトを積極的に利用したり、地山をいためないスモースウォールプラスチックを用いることを考えたりする例が多いようである。トンネルの設計方法に関してはアメリカにおいても特別な設計計算を行なうことは少なく、支保工の間隔や覆工厚を決める場合は経験によって決定しているとのことである。しかし、最近の電子計算機の発達によって、いままでは解くことが困難であった力学的問題を、地山の性質を比較的簡単な力学モデルにおきかえられるような場合には、容易に解くことができるようになり、多くの実際的问题に応用が試みられている。たとえば、開拓局の工事であるネバダの地

地下ポンプ場の設計にあたっては、地山が片麻岩系統の様な岩石であったため、地山を完全な弾性体と仮定して、有限要素法を用いて地山内の応力分布を計算し、支保工、覆工なしでも十分ポンプ場が安全であることを確めている。この計算にあたっては、Hast.によって測定された地山の初期応力値の実測例を参考にして初期応力値が決定され、2方向から2次元的に応力を求め試行錯誤的に3次元の問題を処理している。この場合、応力的には安全であることが確認された訳であるが、計算には節理などの影響は無視されているため、肌落ちや不測の事態を考慮してロックボルトを使用する設計がなされている。

支保工、覆工の設計においても新しい計算方法が試みられている。すなわち、覆工を力学的性質の異なった地山の一部と見なして、トンネル周辺の地山応力を求めるのと同様の方法で覆工応力を計算する方法、あるいは、覆工をバネによって地山にささえられた構造物と見なして計算する方法などである。

この様にトンネル周辺の応力分布や支保工、覆工などの挙動に関しては、まだ実用にならないとはいっても、ある程度の力学的解析が可能となりつつあるが、これ等の解析の基本である地山の性質やそのトンネルの置かれた応力場に対する知識については極めて不十分であってこのことがトンネル設計法の発展を遅らせている大きな原因となっている。

トンネルの設計に対する理論が遅々としているのに対し、トンネルの施工法は急速な勢で発展しており、特にここ2～3年の間に軟岩の領域では、トンネルボーリングマシンがほぼ実用の段階に入り、トンネル掘削技術は新しい段階をむかえようとしている。開拓局ではトンネルを計画する場合、トンネルボーリングマシンを念頭においてルートを選定や断面の設計を行なっているとのことであつた。

アメリカでは都市への人口の集中と環境の保全という問題に関連してトンネルの需要が高まり、トンネルの経済的かつ迅速な施工という面からトン

ネルの施工法に関心が払われ盛んな活動が行なわれている。9つの政府機関が共同でNational Research Councilに急速掘削に関する委員会を設けて、掘削技術の一般的現状、地下掘削に対する需要、掘削技術の改良の可能性などを調査したり、住宅、都市開発局で行なった都市高速鉄道に適用するためのトンネル技術の現状に関する調査等はこれ等の活動を示すものである。

1967年には予算270万ドルのトンネル掘削研究5ヶ年計画(Badger Project)が議会に提出されている。しかし、この計画は採択されなかった。これ等の動きの中で最も注目されているのはトンネルボーリングマシンであって、硬岩用および地質の変化に適應性のあるトンネルボーリングマシンの集約的開発努力が望まれている。

トンネルを掘削する際に遭遇する地質は硬岩から自立不可能な破碎岩に至るまでその範囲は非常に広く、これを分類して取扱うことがぜひ必要である。

分類の目的としては支保工に作用する荷重、掘削の難易、Drillability等色々あるが、支保工に作用する荷重、従って掘削の難易についての地山分類がどの様に取扱われているか調べた。アメリカにおいても一般に認められた分類法はなく、各事業体域は各トンネル毎に便宜的な方法によって分類が行なわれている。

アメリカにおいては地質構造が単純な場合が少なくなく、単一の工事では系統的な分類を必要としないことが多い様で、開拓局の南コロラドの工事では地質名称を記した地質図が作られているだけで物理的性質による分類は行なわれていなかった。しかし、各地質の性質に関しては、数多くのボーリングを行ない、その地質の物理的性質については詳細な調査がなされている。特にトンネルボーリングマシンの使用を考えているトンネルについては非常に詳細な調査がなされていた。

一方、道路局の工事であるストレートクリークトンネルの場合は、テルザギーの地質分類を基礎とした非常に細かい記述的地質分類が用いられていた。

地質調査を行なう場合、わが国では弾性波による地質調査を行なうのは常識的なものとなっているが、アメリカに於ては結果が悪いので弾性波探査は

殆んど使用しないとのことであった。

留学中 Tunnel and Shaft Conference に出席した。この会議はミネソタ大学の土木工学科と鉱山学科の主催、アメリカ土木学会、鉱山学会の共催で開かれたもので昭和43年5月15日から17日までの3日間ミネソタ大学のメイヨーホールで開催された。トンネルだけについて開催されたシンポジウムはアメリカではこれが始めてであるとのことであった。会議の内容は地質調査から環境の問題まで広い範囲にわたるものであったが、中心議題はトンネルボーリングマシンに関するものであり、トンネルボーリングマシンがトンネル建設の分野に大きな影響を与え、この機械の利用によってトンネルの掘削技術は新しい段階をむかえようとしていることがわかる。この会議で指摘されたトンネルボーリングマシンの問題点の主なものは硬岩用および地質の変化に対応できるボーリングマシンの開発、ズリ処理速度と掘削速度との均衡などのシステムのバランスの問題などであった。

5. 今後当所にとって役立つと思う事項

トンネルの設計・施工の問題、特に設計の問題はすべて非常に困難なものばかりである。トンネルの研究を行なう場合現場の状況を無視しては研究が成り立たない。しかし、実際のトンネルの施工現場において測定、観測等を行なうことは、限られた空間内で大型の施工機械が稼動する中であっては非常に困難を伴う。現在の段階では、トンネルの研究において一番大切なことは、地山の挙動や作用する荷重を確実に測定する方法を開発し、それを用いてトンネル工事に伴う諸現象を注意深く観察することである。このためには、実際の工事現場をさけ、このための特別のフィールドを作る必要がある。コロラド鉱山大学には実験鉱山があり、落ち着いた環境の中で基礎的な研究が行なわれていた。

トンネルの需要は今後ますます増大することは明らかなことであり、トンネルの建設を安価に速く行なうということは非常に大きな意義を有する様に

なる。このためには十分な基礎的研究が行なわれなければならない。実験ト
ンネル的施設は基礎的研究を行なう場合、最も望ましいものであり、当所
においても設けるべきものであると考える。

6. プレストレストコンクリートのプレファブ化に 関する研究

所 属 橋梁研究室研究員

氏 名 光 岡 毅

在外試験
研究機関 フランス

ASTEF (フランス技術研究所)

CERILH (セメントコンクリート技術研究所)

S.T.U.P社 (プレストレストコンクリートフレンヌ工法振興会社)

E.P.M (コンクリートの電熱養生専門会社)

滞在期間 昭和42年11月7日～昭和43年10月30日

種 別 パートギャランティ研究員

1. 日 程

○ 昭和42年11月7日

東京発

○ 昭和42年11月8日

パリ着

○ 昭和42年11月8日～

仏国滞在の為の手続き等

13日

○ 昭和42年11月14日

Vichy市に於いて日常フランス語の研究

～43年3月2日

修

○ 昭和43年3月3日～3

Paris市に於いてP.C技術語の研究

月31日

○ 昭和43年4月1日～7

Paris市C.E.R.A.T.H

月13日

(セメントコンクリート技術研究所)

に於いて、プレストレストコンクリー

トの仏国に於ける設計、研究の現状及

び構造物への適用についての研修を受

講

この期間内に Paris 市内の次の現場を見学した。

1. Neuille のターミナルの建設現場

2. Bagnolet の

3. Orly の流通市場の建設現場

4. 構造物実験所

5. Kajalle 島の建築基礎工事現場

6. 道路研究所

また 6 月 23 日～6 月 29 日間南仏の次の各現場を見学した。

1. ニース—イタリア間高速道路 A 53 (ROQUEBRUNE—MENTON 間)

2. カンニエの P C 工場

3. ARLES バイパスのローヌ河に架設する P C 現場打手のベ式工法の橋梁架設現場

4. MARSEILLE の都市内高速道路とその高架橋

5. 大口径 P C パイプ製造工場

6. P C プレキャストブロック工法を用いた BONPAS 橋の工事現場

○ 昭和 43 年 7 月 14 日～ paris 市 S. S. T. U. P. 社に於いて
9 月 13 日 P C 橋のプレファブ化の設計に於ける

研究を行った。

この期間に下記の現場を見学した。

1. Paris 環状高速道路の P C プレキャストブロック工法を用いた AMONT 橋の工事現場

2. P C プレテン桁製造工場

3. Paris 高速地下鉄建設現場

4. BAGNOLET のターミナル建設現場

5. スイスの P C プレキャストブロック工法を用いた HILLON 橋工事現

場

- 昭和43年9月14日～ Paris市E.P.M.社でコンクリート
9月27日 熱養生について研究

この期間に次の現場を見学した。

1. RINS (ランス)の建築現場見学

- 昭和43年10月30日 東京着

2. 研究した機関の概要

ASTEF (フランス技術研修所)

(L'Association pour l'Organisation des Stages en
France)

住所 64, rue Pierre-Charron-Paris 8^e

(TEL 359-9741)

ASTEFは1958年に創立されたもので、その目的はすべての分野の外国人専門技術者に対し、研修を行いまたそのための援助を与える機関である。

この機関の関係する研修には二つの形式があり、1つは直接研修計画を立案し、実施する研修コースと、他に各個別の研修生が、夫々の研修機関などに於いて、研究を行うための準備手続きなどを行うものである。

前者の研修コースは各分野にわたり非常に多数のコースがある。道路関係に限つても、「道路技術コース」、「プレストレスコンクリート技術コース」などが行われている。

受講したコースは、「プレストレスコンクリート技術コース」である。またその後のS.T.U.P.、E.P.M.などに於ける研究についてもこのASTEFが給費のみならず、各種の援助を与えてくれた。

CERILH (セメントコンクリート技術研究所)

(Centre d'Etudes et de Recherches de l'Industrie des
Lients Hydrauliques)

住所 23、Rue de Cronstadt Paris 15^e

(TEL 532-5840)

この研究所は、ASTEFの「プレストレスコンクリート技術コース」の会場を提供したもので受けた研修とは直接的な関係はないが、この研究所は、1943年に創始され

- セメント関係の内外の資料を蒐集する。
- 新しい技術による業界などの指導、管理
- セメント、コンクリートの研究及び技術開発
- 基準の作成

などにあたっている。

STUP (プレストレスコンクリートフレンネ工法振興会社)

(La Société Technique pour l'Utilisation de la Précontrainte)

住所 66、Route de la Reine 92 - Boulogne-Billan-

court (TEL 408-3220)

この会社は、フレンネ工法の特許管理、定着器具の製造、販売、専用ジャッキ貸与、及びフレンネ工法を用いたプレストレスコンクリートの構造物の設計を行っている。

この会社の設計部門は、故フレンネ、及びギョンを擁し、ヨーロッパやアフリカ、中南米の橋梁などのプレストレストコンクリート構造物の設計を手

広くてかけ、特にプレキャストブロック工法では、仏国内で最初から

CHOISY-LE-ROI 橋から OLÉRON 橋まで設計の経験を持っている。

EPM (コンクリートの電熱養生専門会社)

住所 61、Rue du Président Wilson 92 Levallois-

Perret (TEL 270-2085)

この会社は、コンクリートの電熱養生に関する特許権を持ち養生用電線、養生マット、養生型枠などを製造、販売、指導を行っている。

3. 研究目的

プレストレストコンクリートに関しては、最近の労働力の不足、質の低下などの社会労働情勢からプレファブ化が進められてきたが、特に長支間の橋梁のプレファブ化は、橋梁の横断方向に切断し、これをつないで架設するブロック工法を取らなければならないために、種々の問題点を生じ、現在我が国に於いて設計に苦慮している状況である。

仏国に於いては、このブロック工法は、1964年に架設され、Chôisy-le-Roi 橋に始まり、世界的な Oleron 橋に至り、自信をきわめた現状であるので、その設計の考え方及び、設計施工方法等について調査研究を行うことは、非常に有意なことであろうと思われる。

4. 研究内容

4-1、CERILH に於ける研修

ここでは、フランスの設計及び施工一般について及び研究の現況についての研修が行われた。

これらの内容は以下にのべるが、本来の留学目的であるプレストレストコンクリートのプレファブ化の研究、基本となる構造物の設計施工のとりあつかい方、考え方をはあくする意味で有効であった。その内容としては、

設計一般に関するもの

PC 構造物の設計

講師

FAUCHART

300 ページのテキスト “Notes sur le Béton Précontrainte” (プレストレストコンクリートに関するノート) (PC 橋を中心とした PC 構造物の設計に関するもの) を用いて講義が行われた。

このテキストは PC 部材の設計に関して非常にうまくまとめられたもので、この講義により設計に対するフランスの考え方が明確になった。

薄肉構造について

講師

PONS

シェル構造の設計計算方法についての説明

A. S. P. 示方書について 講師 XERCAVINS

この示方書は、フランスのP C研究グループ“ Association Scientifique de Précontrainte ”の作成した示方書で、1968年三次改訂版についてである。これは1960年に第一版が出た後、1966年にFIP-CEBの示方書にならい一部改訂したものである。

国内では、この示方書では設計されてなく、1965年政府発行の示方書によっている。

大きな違いは、政府発行のものは、パーシャルプレストレストを認めていない点である。

P C構造物と地震 講師 DESPEYROUX

トルコ大地震の震害を中心として地震振動の理論等について述べた。

クリープ及び乾燥収縮の計算理論

講師 VENNAT

ケーブルのマサツによるプレストレスの損失の計算について。

講師 DREUX

P C鋼材について

講師 DAUPHIN

コンクリートの強度と配合等について

講師 DREUX

工事費の見積り

講師 POUSSE

工法について

各種工法について

フレンネ工法

講師 XERCAVINS

B. B. R. B. 工法

〃

WATIEZ

B. E. E. E. I 工法

〃

COURBON

K. A. 工法

〃

VILLETTE

プレテンション

講師 FARGEAU

K・A工法を除いてすべて我が国で使用されている工法である。K・A工法は、我が国では使用されていない工法であるが、円断面を持った異形鋼線を用いる工法で、1ケーブル当り10 tから200 t程度までのプレストレスを与えることが出来るアンカー構造がある。

プレファブ構造

講師 PONS、LACOMBE

主に建築物のプレファブ材の継目構造についてのべたもので、柱とはりの継目など各種例をあげて説明した。

手のべ式ブロック工法

講師 MULLER

1811年のアメリカのトーマスボー橋に始まる手のべ式の歴史及びその工法の特徴について概要をのべた。

PC舗装について

講師 PELTIER

この工法は、フランスでもフォンテンブローの近くでわずか使用例を見ている。継手部分などに色々と試みて実験中の様である。

PC構造を用いた原子炉

講師 MEROT

リヨンに建設されたPC構造を用いた原子炉について説明

セラミックプレストレス

講師 BERBESSON

我が国ではほとんど例を見ないものであるが、素焼材料にプレストレスを導入し、仮設材及び建築物の床などに多く用いている。この設計例、使用例について説明した。

大口径パイプ構造

講師 FRANQUIN

径 5.0 m $\sim$ 27.0 m の軸方向プレテンション遠心力管に鋼線を巻きつけたもので大口径圧力管として使用されているものについての説明

現場施工について

講師 LACOMBE

施工例について

Tancarvilleの高架橋について

講師 DREUX

フランス第一の吊橋Tancarville橋の取付高架橋にポストテンション桁が架設されている。これは支間50mの8連で400mの橋梁である。これの施工上の問題点について説明した。

Oléron 講師 MULLER
映画により Oléron 橋の説明

4-2 STUP に於いての研究

担当技師 PLISKIN

主としてプレキャストブロック工法を用いた道路橋の設計方法としてこの工法の現場調査を行った。フランスで架設されもしくは架設中のこの工法の橋梁の断面諸元及び施工概要についての調査概要は土木技術資料1:1-3に報告済みである。

4-3 BFM に於いての研究

担当技師 PETTERSEN

コンクリートの熱養生に関する研究を行った。熱養生は電気のコンクリート中の通電による方法、電線をうめこむことによる電熱方法、温熱ベルト、温熱型枠による方法、熱蒸気、熱風、温水による方法、などがあり、これによって養生時間が短縮されストックヤードの占換時間の短縮、型枠の回転の提進が可能となるが、一方ではコンクリートの終局圧縮強度の低下が起りまた、乾燥収縮量の増加が認められる。早期強度は、Nurse と Saul の経験式によると $f = (804 - 10) \times t^{(0.5)}$ の値に比例する。

Ross と England の実験によると乾燥収縮量は80℃で養生したものは20℃で養生したものの2倍以上の値を測定している。加熱は3~4時間かけて行い温度上昇速度は25℃~30℃/hを超えないのがよい。また温度も60~70℃を超えないのがよい。加熱前に1~4時間の非加熱養生しなければならない。この時間が短いと終局圧縮強度が低下する。電気を用いた養生の場合にはコンクリート中の水が水蒸気となって排出するので注意を要する。又分散剤、フライアッシュを用いたコンクリートの場合良い結果を得ることがある。

5. 研究結果

プレストレストコンクリート橋のプレファブ化については、設計上の問題として継手の詳細構造、そして施工上では施工精度、部材強度の確実さ、及び急速施工である。

これらの諸問題に対し仏国留学によって得られたものは次の諸点である。

継手の設計について

コンクリートのブロック同志が面と面とで完全に接した構造で一体となった曲げ部材では、プレストを導入することによって、これらの継手断面に設計荷重までのいずれの荷重状態でも曲げ引振りが作用しないようにしておけば十分であるというのがフランスの考え方であった。したがって、フランスではたしかその断面にいくらかのプレストレスを残しておくことは考えていない様であった。

わが国では $1.1 D + 1.2 L$ という設計荷重より大きい荷重に対してフルプレストレスにしておくのである。しかし、これらの間には本来には差異がないのであってフランス政府に於いては設計活荷重以上の荷重はまれにしか起きさせないということであろうと思ひ、我が国では現状でさえ、特に輸荷重に限られるが、設計活荷重より大きなものが事実通っている。床版に対する考え方はフランスは多小甘いところがある。セミフルといった考え方で示方は作られている、ギョンなどは実験によって実験式を提唱しているがこれによるとさらに弱い構造となる。我が国でもこれに準じた設計を行って他の悪条件も重なり床版事故を生じた例があると聞いている。

床版に作用する設計曲げモーメントも我が国よりもわずかに大きいのがほとんど変りない。この床版の設計方法もそのまま継手継手に適用されている。

床版に関しては普通の床版のみならず、ブロック継目を持つ床版について特に重車両の交通量の多い我が国に於いて床版事故が頻発している特殊性からむしろ世界に先がけて我が国独自に研究されているし、又研究しなければならぬ問題点であろう。

コンクリート部材の信頼と施工精度

フランス人のコンクリートとプレストレッシングに対する信頼は相当なものである。かつてはかなり多くの比率で鋼橋が架設されていたが昨今では圧倒的にコンクリートを用いた橋梁が多い。鋼材の値段が高いことにもよるが、昔からの石橋のイメージが橋梁本来の姿であると信じている様である。

石造りの巨大な教会建築などにより長年月つちかわれた構造物作り職人は今やプレストレストコンクリート構造物作り職人となったかの様で土木などの土木工事の様な荒々しさが無い。したがって、コンクリートの施工の出来ばえは、我が国のそれと位々優れている。しかも必要な部分の施工は非常に入念で念である。同じ様な橋梁工事であるプレキャストブロック工法を用いた橋梁の現場を比較して見たとき夫々現在施工中の東京都の多摩橋とパリーのAumont 橋との違いは、接着面のコンクリート面の仕上げに完全に優劣を感じとられた。

この様にコンクリート施工の入念さが故に設計者のコンクリートへの信頼を持ちうるのであろう。そしてプレストレストコンクリートの利用が、橋げた及び建築物のみならず基礎土留ウォールのアンカー、吊橋のアンカー及び原子炉にまで進んで来ている。

急速施工

コンクリートブロックの製作には型枠の転用の急速化及び天候、気温に左右されなく一貫した工程で製作するための高温養生をとるが一般的である。工場での製作に於いては勿論現場の工場及び、現場打コンクリートに於いてさえもこれを行っている。そのためには鋼製型枠を用い、型枠のとり外し設備及びコンクリート製品の運搬設備などに十分に省力化と設備化が図られている。北高運道路のRoberval高架橋は、この見本というべきもので支間3.4mの桁1本につき鉄筋等の組立て、コンクリート打ち9時間養生時間1.5時間と合計24時間で一回転したものである。

コンクリートと積極的にとりくむという意味で、この高温養生は研究され

るべき問題であろう。勿論コンクリートの終局圧縮強度の低下及び、クリープ、乾燥収縮の増加などの問題点が残されているが。

6. 今後当所において役立つと思われる事項

新技術と低開発国

フランスに於けるPCプレキャストブロック工法は、世界的に注目をあびた工法である。このPRによって各国からその技術を得ようとSTUP社に日参している。私のSTUP社に於いて研究中にも日本人、ブラジル人、シリア人、ノルウェイ人などの技術者が教えを受けまた見学にやって来た。外国から見た技術の評価はこの様なものを云うのであろう。我が国の様に他国の二番せんじながらそれ以上の技術内容を持っていても外国人特に低開発国の本當の技術のわかっていない人々からの評価は得られないと思う。将来東南アジア、南米、アフリカなどに技術的に進出してゆくためには夫々の国から高い技術評価を受けなければ、その望みは達し得ないものである。したがって、我が国の独自で技術開発を積極的に行い、国内でその実積を作りそれをうまくPRすることが必要である。

新技術の開発

新技術の開発に於いてフランスでは、非常に敏感であり、また非常に積極的である。一例として最近ドイツに於いて、プレキャスト部材を用いてミュンヘン市で巨大なドームを作った、そのプレキャスト部材の形について大変残念がり、もっとよい形構造のものはないかと研究していた話がある。又積極例として、1958年～1962年にかけて、土木構造物の電子計算機プログラミングを作成したことである。これは国をあげての開発らしく、かなりほう大な数のプログラムが完成し現在使用されている。我が国の様にかなり以前から敢発的に至る所で類似の不完全なものが出来ているとはわけが違う様に思われる。

秘密主義

7. 高速道路舗装の設計施工に関する研究

所 属 舗装研究室 研究員

氏 名 南 雲 貞 夫

在外試験
研究機関 英国道路研究所

Road Research Laboratory

滞在期間 昭和42年11月17日～昭和43年11月16日

種 別 長期在外研究員

1. 日 程

1967年

11月17日

離日

20日

イギリス道路研究所(以下R.R.L.)着

1968年

1月12～16日

舗装設計に関する研修コースに出席

19～23日

舗装材料に関する研修コースに出席

26～29日

第2回PIARCをわみ性舗装技術委員会に日本代理として出席、フランス道路橋梁中央研究所訪問

3月 4～ 5日

Colnbrook By-pass 試験舗装調査に従事

4月18日

Greater London Council訪問し都市内道路舗装についてMr. Patersonと対談

5月6.7.10日

High Wycomb 試験舗装調査に従事

21日

IlmerでBucks C. C. のSurface dressing 工事見学

6月7日

モータウェーM.40工事現場訪問

Mr. Conway と討議

6月12日 City of London 訪問 都市内道路舗装について Mr. Applebey と対談

26日 Ministry of Transport 訪問 M. O. T. Specification その他について Mr. N. S. Glanville らと対談

27～28日 Leads 市外 Stanningley By-pass における SITP form paver コンクリート舗装工事現場訪問 Mr. Dinnis らと対談

30～6日 北部イングランドにおけるモータウエー工事現場訪問

M. 62 Moss Moor-Pole Moor Section Mr. G. Hunter らと対談

M. 6 Low Gill Mr. G. N. Greyling

M. 6 Penrith By-pass, Mr. J. Dene

AI(N) Duham Motorway, Contract No. 2. Mr. H. G. Harris

7月29～31日 A 50 Thornby 試験舗装調査に従事

8月13日 モータウエー M. 40 舗装工事現場訪問, Mr. Conway と討議

14日 A. 1 Tuxford における連続鉄筋コンクリート舗装に関する試験舗装調査ならびに A. 46 Winthorpe におけるアバットメント方式による P. S. コンクリート舗装試験舗装現場訪問

RRL 舗装設計研究室 Mr. E. E. Lock と

討議

- 9月5～6日 A・48 Cowbridge 試験舗装調査に従事
- 9～10日 M・40 High Wycomb 試験舗装調査に従事
- 13日 M・40 High Wycomb 試験舗装第一部修繕工事見学
- 14日 M・5 Avonmouth 工事現場訪問、コントラクター Freeman Fox Partners の Mr. Holland と討議
- 17日 Linmer & Trinidad 会社研究所ならびに G. L. C. Tibbells 舗装工事現場見学
- 23日 City of London マスチックアスファルト舗装工事現場訪問、Mr. Wright さんと討議
- 24日 R. R. L. 舗装設計研究室 Mr. Lister さんと対談
- 25日 同上 Mr. Gregory さんと討議
- 30日 R. R. L. 土質研究室 Mr. Lewis さんと対談
- 10月2日 気象と環境研究室訪問
- 3日 同上 Mr. Russam さんと対談
- 7日 構造特性研究室訪問
- 8日 車両研究室訪問
- 11日 施工研究室訪問
- 14～15日 スコットランド支所 (Glasgow) 訪問
- 17日 離英
- 18日 スエーデン国立道路研究所訪問
- 21日 フィンランド国立道路研究所訪問
- 23日 デンマーク国立道路研究所訪問
- 28日 シェル石油アムステルダム研究所訪問
- 30日 ベルギー道路研究センター訪問

11月4日	ドイツ連邦道路研究所訪問
8日	チューリッヒ工科大学道路研究所訪問
13日	イタリア ANAS 道路試験所訪問
16日	棉国

2. 滞在した機関名とその概要

英国道路研究所 (Road Research Laboratory))

英国の運輸省 (Ministry of Transport) に所属し、道路交通から舗装設計まで道路に関するあらゆる問題を取扱う総合的な研究所として世界に名高い。ロンドン中心部より西方へ約 50 km、Berkshire 州の Crowthorne 村に位置する。年間予算額 20 億円以上、所員は 800 人、このうち研究員は 350 人で、17 の研究室に分散している。組織は管理部門を除いて設計 (Design) 施工 (Construction) 安全 (Safety) 交通 (Traffic) の 4 研究部 (Division) からなり、おののに 4~5 研究室 (Section) が含まれる。

3. 研究目的

- (1) 高速走行時の車両のすべりに対する安定性を向上させる表層用材料の選定と混合物の配合設計における方法の基準化。
- (2) 高速道路舗装の耐久性を経済的に高める手段としての安定処理工法における材料の選定と構造設計に関する情報の収集。

4. 研究内容

道路研究所における滞在研究員の受入れ条件には、滞在期間 6 ヶ月以上とし、特定の研究グループの一員として日々の研究業務に従事する傍ら自らの技術を習得し、研究を推進させることと明記されていた。1 年間の主要な行動は日程に示した通りであるが、それらのほかは研究所に在って、主として

路面のすべりに関する試験舗装の調査により得られたデータ類の整理と解析とに従事した。

(1) 路面のすべりに関する試験舗装の調査

イギリスにおける交通事故統計によれば、雨中に発生する事故のうち路面のすべりが関係するものの割合はほぼ35%に達しており、この値は路面の乾燥時の約2倍に当る。路面のすべりに関する研究はRRLが設立された1930年代の初期にすでに着手され、これまでに豊富な資料が蓄積されているが、現在もなお雨中の交通事故率の低減のためにためめ研究が続けられている。

高速走行時の湿潤路面において高いすべり抵抗性をうるためには、路面は微視的な鋭い突起を十分に備え、しかも荒々しい粗面でなければならぬと考えられている。微視的な鋭い突起は路面の水膜を排除するに十分な接地圧を与え、荒々しい粗面は路面水の排除を容易にするばかりでなく、タイヤゴムの変形をもだし、高速走行時においても高いすべり抵抗性を確保することに寄与している。微視的な突起はタイヤとの接触によっても磨滅しにくい骨材によって与えられ、骨材をとりまくアスファルトモルタルが適当な老化性を有することによって路面の荒々じさが維持されると説明している。路面のすべりに関する試験舗装の目的は主として磨滅しにくい人工骨材の開発と適当な老化性をもった歴巻材料の選択基準を見出すとにあるといえることができる。

現在継続的にすべりに関する調査を実施している試験舗装は約20箇所にあるが、報告者が関係したものはそれらの一部であった。調査は材料研究室と車両研究室とによって行なわれる。材料研究室はサンドパッチング法による路面の荒さの測定をはじめ、採取コアより回収したアスファルトの化学分析などを担当し、車両研究室は測定車によるS.F.O (Sideway force coefficient) およびB.F.C (Breaking force coefficient) の測定あるいはステレオ写真撮影による路面の荒さの評価などを担

当している。調査は1年に2～4回行なわれる。

(i) 歴青舗装路面のキメ深さ (texture-depth) に関する試験舗装 (M 40 High Wycomb 試験舗装)

サンドパッテング法により測定される路面のキメ深さ、すなわち路面の荒々しさは高速走行時のすべり抵抗性を維持する上で重要視されている。もっとも荒々しい路面はサーフェースドレッシング (Surface dressing) により、次いでコーテッドマカダム (Coated macadam) およびブレコートチップを表面に圧入したロールドアスファルト (Rolled asphalt) により得られる。しかしこれらの表層工程のすべてが十分に耐久であるわけではなく、表面の荒々しさも交通作用によって次第に失なわれて行く傾向にある。

高速走行時の高いすべり抵抗性を維持し続けるに十分耐久的な表層工種を見出すことが本試験舗装の目的であるが、骨材の耐マウ性の影響も考慮しながら、粗骨材料、細骨材種類、アスファルトの種類と針入度などを変えた3.0種類の工種を延長14,700フィートにわたり舗装した。

施工は1967年5月で、6月に交通開始されたが、現在までのところ、サーフェースドレッシングの一部にすでに破換した区間があるほかは大きな変化はない。

各区間におけるキメ深さには非常に大きな相違があり、これはそのまま高速時のすべり抵抗性の差と、なって現われる。30マイル/時から80マイル/時にいたるすべり抵抗係数変化量はキメ深さとはほぼ直線的な関係にあり、わが国で一般的なアスファルトコンクリート路面のキメ深さは試験区間中もっとも小さくすべり抵抗係数変化量はもっとも高いことを示している。このような事実は速度制限のきびしいわが国の一般道路に対する適用は簡単ではあろうが、高速道路においては必要に応じ願慮して行くべきであろうと考える。

(ii) コークオープンピッチを含んだ歴青材料によるロードアスファルトのすべり抵抗性に関する試験舗装 (A 4 8 Cowbridge 試験舗装)

わが国で歴青舗装表層工種に広く採用しているアスファルトコンクリートに用いる歴青材料は、表層の主としてヒビワレ破壊を防止するためにも耐久性にまさることが望ましいとされている。一方イギリスにおけるロードアスファルトは歴青材料を比較的多く含みやすいために歴青材料の耐久性に対する考え方はわが国とは大分相違している。前にも述べたように、高速時の路面のすべり抵抗性に関係する路面のキメ深さを維持するためには、表層混合物中の粗骨材 (ロードアスファルトの場合は表面に圧入されたチップ) の周囲のモルタル分は交通作用によって次第に磨滅して行き、骨材をたえず表面に突出させておくことが必要である。従ってモルタル分に含まれる歴青材料は適当な老化性を有することが路面のすべり抵抗性に関係してむしろ望ましいと考えられている。

トリンダードレーキアスファルト (以下 T.L.A.) が適当な老化性をそなえすべり抵抗性にまさることは以前から認められており、フラフラクズした T.L.A.あるいは通常の石油アスファルトとの 50 : 50 の混合物が M.O.T. (Ministry of Transport) 規格に定められていた。

T.L.A. は高価であるためにそれに代るものとしてタールピッチの 20 ~ 25 % 含んだ石油アスファルトを使用することが新たに規定された。ピッチには石油アスファルトとの混合性や混合後の安定性にまさるため従来ヴァーティカル・レトリット・タール・ピッチが用いられてきたが、同様に目的のためにユーク・オープン・タール・ピッチの利用がはかられ、その効果を従来のものと比較する必要にせまられた。

2 種類のピッチ・ピチューメン、T.L.A. を 50 : 50 と 25 : 75 に含んだ石油アスファルト、何も含まない石油アスファルトの 5 種類の歴青材料で配合率 2 水準とした。1965 年 9 月に舗設以来、1967 年と 1968 年に S. P. G ならびにキメ深さの測定が行われ、それら

から得た報告者個人の結論は以下のとおりである。

(a) 混合物の修正結合材料とチップ散布のない表面のキメ深さとの関係グラフより結合材料の少ないモルタルの磨滅傾向の大きいことがわかる。

(b) 富配合混合物上のチップは交通作用により混合物中に圧入されやすく、ビッチピチューメンではこの傾向は大きいようだ。しかし1967年と1968年におけるキメ深さ変化量に対するチップの散布量と混合物の見カケの粘性との影響は明らかではない。

(c) 1968年のキメ深さとチップ散布のない面のキメ深さとの関係グラフにおいて、T.L.A混合物の老化性をもっとも高いと仮定することにより、チップのキメ深さに及ぼす効果を推定することができる。更にキメ深さ $10 (10^{-3} \text{ in})$ の変化はS.F.Cの 0.035 の変化に相当すると仮定することによりチップ散布量の違いの影響を除いて、S.F.C を比較することができる。

(d) これらの結果、S.F.C の最大値はT.L.A混合物において、最小値は通常の石油アスファルトにおいてそれぞれ示される。ビッチピチューメンの効果はT.L.Aに及ばず、V.RビッチとC.Oビッチとの相違は明白ではない。

(e) すべり抵抗係数S.F.Cは混合物の結合材料、キメ深さ、チップ散布のない面、すなわちモルタル面のキメ深さ、その他によってきまる。チップ散布量の過大は必ずしもS.F.Cを高めるとは限らないが今後の課題としてチップ散布量とS.F.C、チップ圧入量とキメ深さ変化などの間の相関を確認する必要がある。

(ii) 歴青材料の老化性を考慮したロールドアスファルトのすべり抵抗性に関する試験舗装)

(A4 Colnbrook Bypass 試験舗装)

この試験舗装はT.L.Aに代るものとして、適当な老化性をもった歴青

材料を開発する目的において、1958年と1960年の2回にわたって舗設された。

1958年にはT・L・Aとともに原油の異なる石油アスファルト、ピッチピチューメンを含むロールドアスファルトで22区間設けられた。1960年には石油会社との共同研究により、石油アスファルトの標準市販品ならびに試作されたセミフローン、高P・I、高蒸発減量、高酸化性アスファルトあるいは人工T・L・Aをねらった粘土アスファルトなどが用いられた。

1968年における調査結果より各区間ごとにS・F・Cを比較すれば、高P・Iと高酸化性アスファルトにおいてもっとも高く、ピッチピチューメンにおいてもっとも低いことがわかった。しかし前項で述べたように、S・F・Cには路面におけるチップの散布量などが影響するので更に詳細な解析を要するだろう。

いずれにしろ最近に至ってM・O・T規格にとり入れたらピッチピチューメンの効果はT・L・Aにはるかに及ばず、むしろ加工アスファルトの可塑性を示している。

(2) 高速道路の施工状況

高速道路舗装の設計はすべて設計指針(Road Note No. 29)により、路床土のCBRに応じて下層路盤厚を変化させるやり方で、上層路盤以上の厚さと材料は交通条件によって変るのである。上層路盤材料と厚さの組合わせの選択は現地の経済性を考慮してコントラクターにより決定され承認を受ける形式になっている。

土質条件はわが国のような高含水量の火山灰質土の分布は当然ながら見当らないが、チョークやBoulders clayなどの粘性土の分布は広い。報告者の訪問の時期は降雨が激しく実際の作業状況を見る機会に乏しかったが、鉛直断面掘削法など土工の進め方に降雨による障害を極力少なくしようとする考慮が排われていた。従来拾土されていた高含水量の粘性土の利

用は研究されまた実施されてもいるが、粗粒材料とのサンドイッチ的積重ね工法はわが国にも実例はある。軟弱地盤上盛土ではプレローディング法により、盛土の長期間の圧密沈下状況が観測されている。降雪地帯の盛土では路面の吹きだまり防止のため、流体力学的に盛土断面を決定しているが、わが国においても東北、北陸地方では考慮されなければならない問題である。路床あるいは下層路盤の含水量変化を防ぐ目的で施すシーラコートなどによる防水膜、あるいは施工機械によるそれら施工基面の攪乱を防ぐ目的の両方をかねた余盛りによる保護層などの採用は降雨の影響を考えた上での設置であるが、わが国ではあまり一般化されていない。

排水施設に関しての検討も十分行なわれており、中央分離帯、両路肩の外側に設けられた路面排水、路盤排水のためのフレンチドレーン、あるいは側溝などにきめ細かな設計が採用されている。

路盤材料における現地材料の利用は北部イングランドに見られるオイルシェール、burnt colliery shale があつた。p.f.a (pulverized fuel ash) は比重の小さいことから軟弱地盤上の盛土において殊に利用例があつた。

路体あるいは路盤の締固め管理には平板載荷試験を採用している現場もあつたが、大勢は事前の転圧試験によって材料のまき出し厚と締固め機械の通過回数などを規定する方向にある。

上層路盤および表層材料はすべてM.O.T仕様事あるいはB.S規格に規定のもので、個々の現場において変るところがない。施工も特に目新しいものはなく品質管理や検査などの方法にも見るべきものはない。唯一の特異な機械としてはロールドアスファルトの表面に散布するチップのスプレッダーであろうが、将来わが国でロールドアスファルトに類似の表層工を採用する場合には参考となるところが多い。

(3) 道路研究所の設計部ならびに施工部における研究状況

舗装設計研究室では1948年以来フルスケールの試験舗装を重ねてき

たが、現在でも20～30個所におよび試験舗装を観測中である。それらの結果はオリジナルのCBR設計曲線の拡張に利用され、最近では上層路盤材料の相対強度的な評価に役立てられ、舗装設計指針（Road Note No. 29）の改訂のための資料を提供している。舗装構造の理論的解析はすでに一応の段階で達しており、今後は舗装材料の強度的な種々の常数の評価がこれからの課題であって、小規模実物試験ともいえるロードマシンや、振動板タイプあるいは衝撃式の試験器による材料試験が行なわれている。路面のたわみ量は舗装の供用状況に関連して重要な因子であるが、1955年以来継続的な調査が実際の舗装あるいは試験舗装について行なわれており、この結果は理論の裏づけとともに限界沈下量の決定や在来舗装の修繕基準作成に利用される。

構造特性研究室は舗装設計研究室との密接な協力のもとに試験舗装における応力、ヒズミの測定、弾性常数の測定などを実施しているが、アスファルトコンクリートを主体とする舗装材料の疲労特性に関する大規模な研究に着手している。

気象と環境研究室では路面の傾斜やキレに関連する路面排水および舗装設計の基礎となる路床土含水量の予測の問題あるいは排水施設の効果などに関する研究を行なう一方、路面加熱や氷結予告機構の開発を手がけている。氷結予告の問題についてはわが国よりむしろ立ちまぐれの感がある。

土質研究室では軟弱地盤上盛土の沈下、法面安定土質安定論理など広い問題を扱っているが、路床土含水量の予測、路盤排水の効果、熱帯における乾燥湿潤の影響予測などに関連して、土のサクション測定を広く実施している。

施工研究室はスリッパブームペーパーをはじめとする各種ブランチの問題点の解決をはかりながら、品質管理上の問題点として試料採取の方法などの基礎的なきめ細かい研究を行なっている。

路面のすべり測定は安全部の車両研究室が担当している。同研究室は舗

材料研究室で実施する試験舗装のすべり測定を担当しながら自らは試験走路々面における継続的測定よりすべり抵抗値に対する季節変化の影響などを調査している。路面の荒さの評価は材料研究室のサンドパッチング法に対し、ステレオ写真によるprofile ratio によっている。最近に至って路面凹凸のタイヤとの接触部分のみを考えたfiltered p. r. がより良く路面の性状を表現することを明らかにした。

5. 研究成果

英国道路研究所における施工部材料研究室の歴青材料研究グループに所属し、主としてアスファルト舗装路面の高速走行時における湿潤すべり抵抗係数の改善に関する調査研究に従事し、高速走行時に要求される路面性状に関する在来の研究成果と現在の研究の方向を知ることができた。

高速道路工事現場を歴訪しながら施工上の問題点を探り、道路研究所の設計部ならびに施工部における研究状況を調査することにより、研究遂行上有益な資料をえた。

ヨーロッパ各国における道路研究所を訪問し、設計施工に関する研究状況を調査し、概略の大勢をつかむことができた。

6. 今後当所にとって役立つと思う事項

道路舗装の構造設計あるいは材料の耐久性などに関する試験研究を遂行するに当り、実際の道路上における荷重条件などの要因を室内に再現しようとする試みは極めて困難なばかりでなく、その性質上交通作用、気象作用に対する材料の耐久性の評価はほとんど不可能である。イギリスの道路研究所における舗装構造、舗装材料に関する試験研究では材料の広義の耐久性の評価を重視しており、フルスケールの試験舗装の利用を必要にして欠くことのできない手段のひとつに考えている。

(i) フルスケールの試験舗装

アスファルト舗装並びにコンクリート舗装の構造設計、歴巻材料および骨材の耐久性などに関する試験舗装は過去約30年間に400箇所近く実施されていき、現在も例年10箇所前後が実施されている。同一構造あるいは同一材料による一区間の延長はいずれも500m以上、全延長1Km以上、時には4Km以上にも及ぶ。

(ii) 試験走路

8字形をした延長約5.5Kmの走路で、約9000mの直線区間には各種の舗装路面を設け、自動散水装置を利用しながらすべり抵抗係数測定値に対する季節変化の影響を調査することができる。

(iii) ロードマシン

直径110フィート、巾10フィートの輪状走路上を重量15,000ポンドまで調節可能な載荷輪が20マイル/時までの速度で走行する。この装置はすでに1930年代の初期に造られたが材料の老化に対する気象作用などの影響が無視されるとして現在は路盤材料の相対的な強度を評価するための一連の試験に利用されている。

これら主要な施設のほか、各研究室に見られる高性能の各種試験機器、特に舗装材料の疲労特性を試験するための繰返し載荷装置、テンプ穿孔装置をもつ各種自動記録器などの利用面では一歩先んじている感がある。

電算機の利用は特に進んでいるようには見られないが、近い将来文献の検索におけるカードシステムを電算機利用に切りかえようとしている。

管理面ではサービス部門における工場などの諸施設は試験研究を能率的に遂行する上で効果的ではあるが、予算、組織に恵まれず国民性も相違するわが国ではその効率性が疑問視される。

8. 橋梁における繰返し応力の影響に関する研究

所 属 橋梁研究室・研究員

氏 名 太 田 実

在外試験 研究機関 アメリカ合衆国リーハイ大学フリッツ工学研究所

滞在期間 昭和42年12月12日～昭和43年12月11日

種 別 長期在外研究員

1. 日 程

年 月 日	業 務	備 考
○ 42-12-12	離 日	日本日付
○ 42-12-13	アメリカ合衆国ペンシルバニア州ベスレム市着	米国日付
○ 42-12-14～	リーハイ大学・フリッツ工学研究所で研究	〃
43-11-24	業務に従事	〃
○ 43-12-10	米国出国	〃
○ 43-12-11	帰 国	日本日付
滞在中における訪問先		
○ 43-4-10～	ニューボート橋工事現場見学 (ロードアイランド州・ニューボート)	米国日付
43-4-12	同上	〃
○ 43-9-7	“鋼床版舗装に関するシンポジウム”(国際橋梁構造工学協会主催、於コロムビア大学)に出席	〃
○ 43-9-9～	“第8回国際橋梁構造工学会議 (IABSE)”	〃
43-9-13	(於ニューヨーク市)に出席	〃
○ 43-9-14	ニューボート橋工事現場見学	〃

年 一 月 一 日 業 務 備 考

- 43-9-16 国立標準局 (NBS) 見学 (ワシントン市郊 米国日付
外)
- 43-9-17 連邦道路局研究所 見学 (ワシントン市郊外) "
- 43-9-18 商務省道路局訪問 (ワシントン市) 米 "
国における設計荷重の調査
- 43-11-18 ~ " 舗装グルーピングの研究に関する会議 " "
43-11-19 (NASA 主催、於バージニア州・ハンブ
ルトン) に出席
- 43-11-26 カリフォルニア州道路局訪問 (カリフォ
ルニア州・サクラメント市) 道路橋
の耐力力に関する調査

2. 滞在した研究機関の名称とその概要

1) 研究機関名：リーハイ大学フリッツ工学研究所

FRITZ ENGINEERING LABORATORY, LEHIGH
UNIVERSITY BETHLEHEM, PENNSYLVANIA
1805, U.S.A.

- 2) 概 要：リーハイ大学 (1865 年創立の私立総合大学。4 学部
合計の学生数は 1968 年で学部約 3,000、大学院約
1,500 名) のフリッツ工学研究所は 1909 年に創設され
た土木工学研究機関で、組織上は一つの独立研究機関である
が機能的には工学部土木工学科の大学院としての性格を有し
ている。水理・衛生、土質、コンクリート構造、鋼構造の 4
研究部と構造模型製作担当、機械操作担当、事務担当の 3 グ
ループとからなるが、構成スタッフ、所有施設の大半は鋼構
造研究部に関与するもので、この研究所が鋼構造研究に占め

る比重はきわめて大きい。

1967～1968年の1年間における研究関与人員は113人、研究課題数50、予算額約3億円、1年間にまとめた報告書数102で、研究委託団体は連邦政府や州の道路局、軍関係機関およびアメリカ鋼構造協会(AISC)、アメリカ鉄鋼協会(AISI)をはじめとするさまざまな民間組織など総計18となっている。

実験棟の床面積は約1400m²、主要施設に2250t縦型万能試験機1台、36.0～30tの各種容量の万能試験機5台、動的50t・静的100t疲労試験機3台、5tパイプフォア1台などの試験機と組立式載荷フレームがある。

フリッツ工学研究所における鋼構造、コンクリート構造関係のここ数年来の研究課題のおもなものをあげるとつぎのようである。

- ・多層スリムの塑性設計法
- ・多層スリムの梁～柱連結部の設計法
- ・高張力鋼の塑性設計法
- ・フレームの安定問題
- ・フレームの繰返し荷重に対する挙動
- ・柱の安定問題
- ・溶接厚板、溶接柱の残留応力の影響
- ・非対称ブレードガーダーの設計法
- ・溶接ブレードガーダーの設計法
- ・溶接がブレードガーダーの疲労強度におよぼす影響
- ・低サイクル疲労
- ・高力ボルト継手の設計法
- ・コンクリート橋における荷重の横分配

3. 研究目的

道路橋の設計においては、従来、変動荷重による構造物の疲労の影響についてはほとんど考慮されていなかったが、近年、交通荷重の重量や頻度が著しく増大をきたしている一方、高強度材料の開発、製作、架設法ならびに造計算法の進歩にともなう橋梁の軽量化がすすんできたために、構造物のうける活荷重応力の割合が大きくなり、繰返し応力の影響を無視しえなくなってきた。

米国の道路橋設計示方書（AWS 示方書および AASHTO 示方書）にはすでに疲労を考慮した設計法が採用されているが、これらの示方書の疲労設計に関する規定をさらに合理的なものとするために米国道路協会（Highway Research Board）が中心となって各所でその研究がすすめられている。

シリハイ大学フリッツ工学研究所ではその一環として「溶接が鋼げたの疲労強度におよぼす影響に関する研究」が1966年10月より1969年9月までの3カ年計画、総予算20万ドルをもって実施された。この研究の目的は橋梁構造の基本となる溶接プレートガーダーについて各種設計細目の疲労特性を明らかにし、現行示方書の規定を改訂するための資料を得ることにある。

筆者は同研究滞在中主としてこの研究に従事し、構造物疲労試験の立案、試験、データ処理、試験結果の実際への適用の方法など、かかる大規模な実験的研究の手法全般について学ぶとともに、独自に溶接部材の応力解析法についても研究した。

4. 研究内容および研究成果

(1) 実験的研究

本実験はカバープレートつき圧延および溶接けたならびにフランジ突合せ溶接けたの疲労挙動を明らかにすることを目的とする。変動因子として、圧延けた・溶接けたの別（2種）、カバープレートの有無とカバーブ

レートの諸元（カバープレートの厚さ2種、巾2種、単一カバープレート
 と二重カバープレートの2種）、カバープレート溶接細目（側面すみ肉の
 みの場合と、側面および前面すみ肉溶接の場合の2種）、フランジ突合せ
 けたのフランジ設計細目（フランジ拡巾部の幾何決状：直線、曲線の2種）、
 鋼種（A36、A441、A514の3種）、繰返し応力の最小応力度
 （3種）および応力振巾（3～5種）を考え、最小数の供試体をもって最
 大の成果が得られるように試因子を組合せて表-1のような全体計画がた
 てられた。供試体形式は総計14種、供試体総数は374体である。試験
 けたの支間は1.0 ftでその概形は図-1のとおり、また、用いた試験機

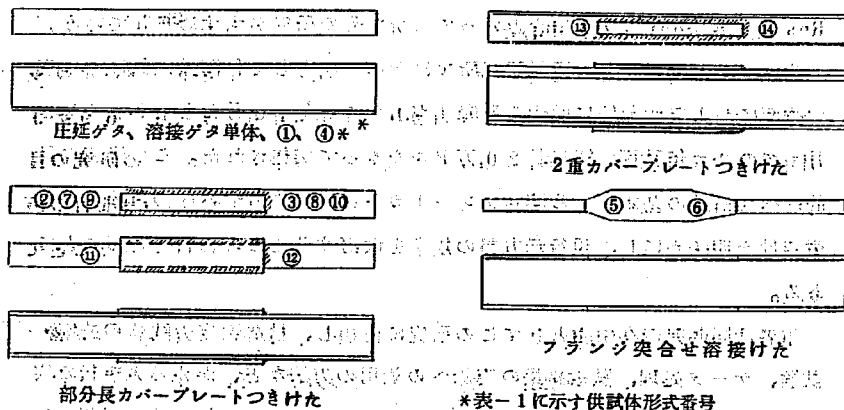


図-1 供試体の種類

は動的50 t・静的100 tの油圧式繰返し載荷装置である。

1968年末までに得られた結果として、圧延けた単体および溶接けた
 単体の応力振巾～繰返し数曲線（S-N図）を図-2および図-3に、カ
 バープレートつきけたのS-N図を図-4～図-6に、また、フランジ突
 合せ溶接けたのS-N図を図-7に示す。

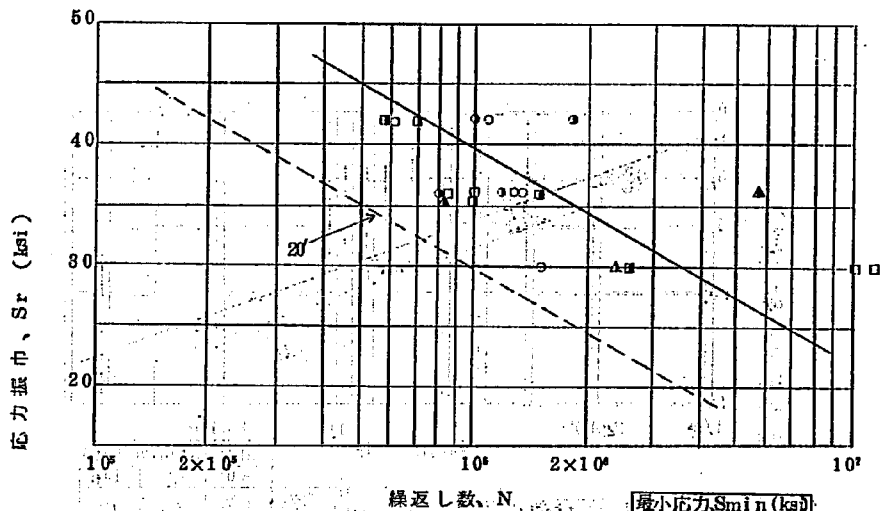


図-2 圧延ゲタ (単体) の疲労強度

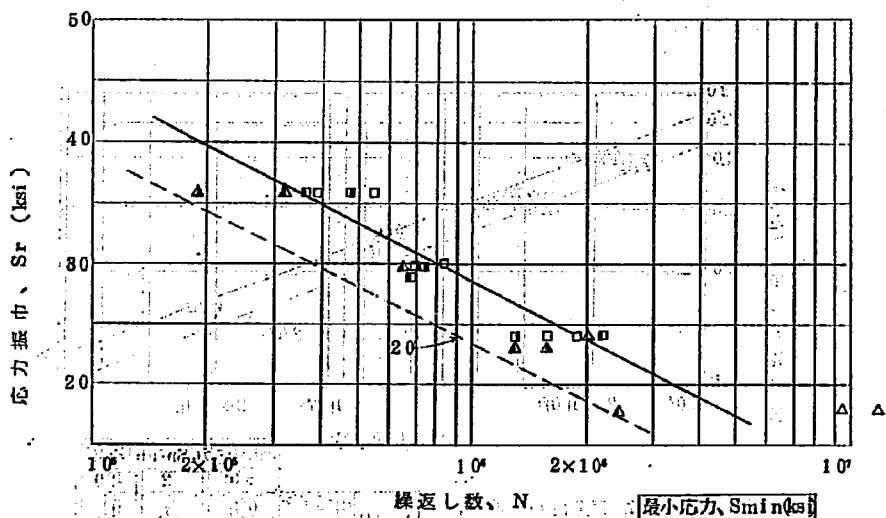


図-3 溶接ゲタ (単体) の疲労強度

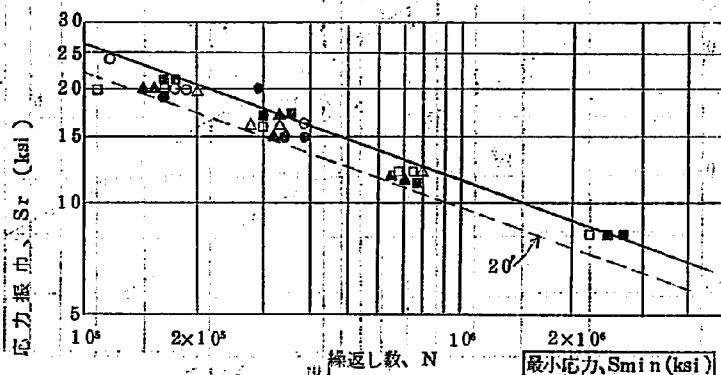


図-4 部分長カーブプレート
つぎケタの疲労強度

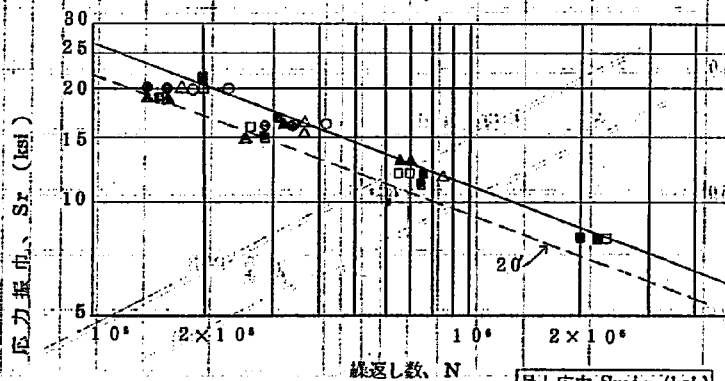


図-5 部分長カーブプレート
つぎケタの疲労強度

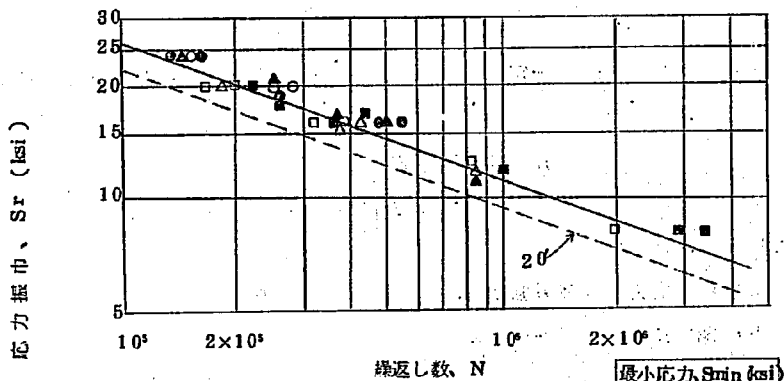


図-6 部分長ガブプレートつき
ケタの疲労強度

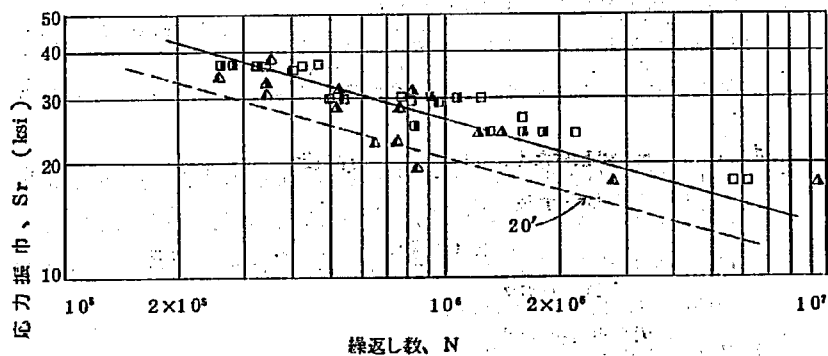


図-7 フランジ突合せ溶接けた
の疲労強度

これらより得られる疲労強度の傾向および実験中に観察された疲労破壊状況の傾向をまとめると、つぎのようである。

1) 圧延げた単体

- a) 応力振巾 S_r が一定ならば最小応力度の大小にかかわらず疲労強度はほぼ一定となる。
- b) 鋼種による疲労強度の差は明確でない。
- c) 溶接げたの場合にくらべて疲労強度のばらつきが大きい。

2) 溶接げた単体

- a) 最小応力度は疲労強度とほとんど無関係である。
- b) 鋼種による疲労強度の差はない。
- c) 疲労破壊は最大曲げ応力部のフランジ～ウェブ溶接の仮付溶接部、溶接手直し箇所または溶接ビードの凹凸点に発生し、繰返し数の増加とともにフランジ外縁およびウェブ中心部に向って伝播。

3) カバープレートつきけた

- a) 最小応力度は疲労強度とほとんど無関係である。
- b) 鋼種による疲労強度の差はない。
- c) カバープレート止端に前面溶接がある場合とない場合の疲労強度の差はほとんどない。疲労クラックの生成は両者ともほとんど同時である。
- d) 圧延げたも溶接げたも、カバープレートを溶接でとりつけた場合には前面溶接の有無にかかわらず疲労クラックはすべてカバープレート止端断面のけたフランジに生じ、母体（圧延げた、溶接げた）のちがいによる疲労強度の差は認められない。

4) フランジ突合せ溶接げた

- a) 最小応力度は疲労強度とほとんど無関係である。
- b) 鋼種による疲労強度の差はない。
- c) フランジ巾拡巾部の形状別では、初期クラックは直線拡巾の場合の

方が少ない繰返し数で生ずることが多い。

d) 疲労クラック生成の位置は、溶接げた単体の場合と同様である。

e) フランジ突合せ溶接げたの疲労強度は、2) の溶接げた単体のそれとほぼ同一である。

(2) 解析的研究

すみ肉溶接により補強板をとりつけた部材の補強板内における応力分布と、すみ肉溶接に作用するせん断力の分布を求めるための解析方法について研究した。

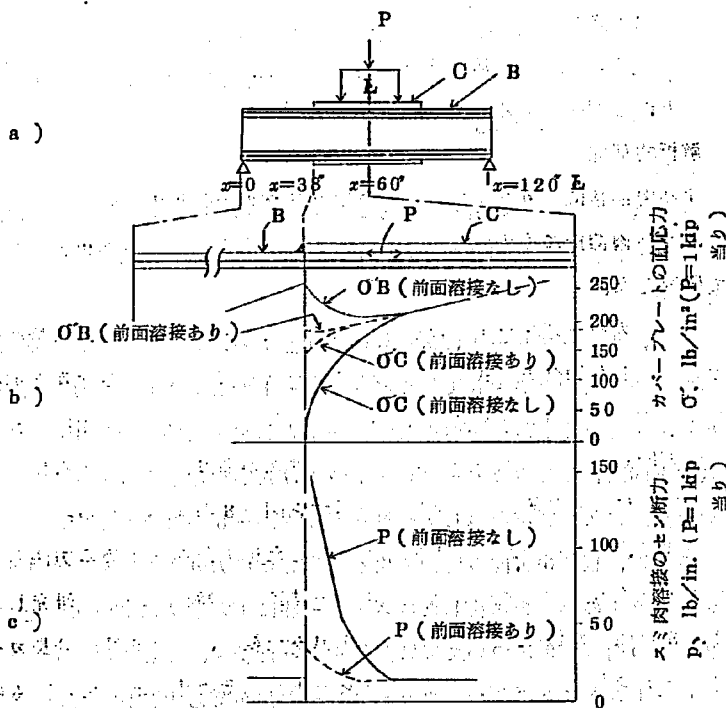
まず、カバープレートに伝達される断面力を求めるために、溶接部の変形を考慮した釣合方程式よりカバープレートの直応力およびすみ肉溶接のせん断力を求める算式を誘導した。一例として実験的研究に用いられた供試体と同断面の二重カバープレートつきけたが曲げをうける場合について、その算式により数値計算した結果を示すと図-8 のようである。

つぎに、板の巾方向の応力変化を考慮した応力分布を求める方法として、シア・ラグの影響を考慮したエネルギー法による解法について研究した。

2、3 の簡単な例について数値計算を試みた結果、たとえば部分長カバープレートつきけたの場合、カバープレート長がその巾に比して短いものほどカバープレートおよびフランジの巾方向の応力変化が大きくなり、すみ肉溶接部における応力集中は無視し得ない大きさとなることがわかった。

(3) 結 論

実験研究の最終報告書は1969年10月現在まだ完成しておらず、1968年来までの成果しか手元がないので、本研究の全体的な結論をのべることはできないが、少なくとも4に示した実験結果より圧延および溶接げた、同カバープレートつきけた、およびフランジ突合せ溶接げたの疲労挙動と、最小応力度、応力振巾、鋼種、溶接細目等の相関係について、かなり明確な傾向が得られた。本研究完結ののちにはその成果はただちに示方書の改訂のうえに反映されるものと考えられる。



わが国においては米国よりも鋼種ははるかに豊富であり、したがって橋梁設計における鋼種の選定、設計細目の選び方など米国におけるそれとはやゝ異なるところがあるので、これらの成果のわが国における橋梁設計への適用性、有用性もやゝ異なるところとなるが、本研究で扱われた14種のフレードガーダー形式はいずれも橋梁構造として用いられる基本的なものであるので、これらの疲労挙動に関する基本的事項はわが国の橋梁設

計にも十分活用しうるものであると考えられる。

溶接部材の応力状態を理論的に解明することはきわめて困難な問題ではあるが、この種の研究に關する文献調査や2、3の解法による試算を通じて、この問題の応力解析についてある程度の可能性をみることができたのは一つの成果であった。

6. 今後当所にとって役立つと思う事項

(1) 実験室の設計と試験機の機動性

フリッツ工學研究所・実験室の設計上の特徴は、床全体をそれぞれ耐力を異にするいくつかの区画にわけて床の効率的な活用をはかっていることと、それぞれの区画においては目的に応じて任意の形状の載荷フレームが組立てられる方式とされており、供試体の設計にあたってその形状や寸法あるいは載荷状態を任意に定めうるように考慮されていることにある。けたの簡単な曲げ試験などには単一の平面フレームを、また立体構造物の試験、多点同時載荷の場合、けたの座屈試験等強固な水平支持装置を必要とする載荷試験等には立体フレームを用いるなど、フレームの組替えによってほとんどいかなる供試体の試験と、また複雑な載荷状態の試験も行なうことができる。フレーム組替え時に手数がかかるのが難点ではあるが、このように床と載荷フレームに自在性をもたせて限られたスペースを効率的に活用する方式は、将来実験室の新設や改造を行なう際に一考するに値するものと思われる。

一方では、試験機は大型のものは床に定置して用いているが、動的50t、静的100tの構造物様返し載荷装置など比較的小型のものは、供試体の位置や載荷の都合に合わせて任意の場所に移動させながら用いている。

この様返し載荷装置の場合、たとえば回転数については無段変速の機構をもたず回転数は250、500 r.p.m.の2段階にのみ変えうるといったように、性能的には必要最低限の機構をもつのみであるが、それだけ構造

は簡単で故障率が低くかつきわめてコンパクトで軽量なものとなり、ポータブル形式としてその機動性を発揮している。将来試験機を新設する際にその仕様を検討するにあたっては、1台に高度の性能を要求してその使用範囲を高める考え方とともに、逆に極力機構を単純化して故障頻度の低減と使用上の機動化をはかる方式をも検討してみる必要があると思われる。

(2) 試験計画 供試体の効率的利用

「溶接が鋼げたの疲労強度におよぼす影響に関する研究」に用いられた供試体は図-1に示すように供試体の左右が異なった設計細目とされており、繰返し载荷によってさきに疲労破壊した側を切除したのち、のこりの側についてさらに繰返し载荷を継続してその疲労強度を求める方法、すなわち1本の試験げたから2本分の成果が得られるように設計されているが、疲労試験が終ると試験中あまり応力をうけていないウェブ中央部から静的引張試験片を切出して試験し、また、げたによっては被害をうけなかった部分の断面を切断して残留応力に関するデータをとるなど、1本の試験げたをも最大限に利用することを意図している。また、試験の全体計画は表-1のようで、供試体数は400本ちかい数となっているが、この計画はあらかじめこの種の既往の実験資料を網羅し、それよりこの実験の結果を細密に予測したうえで決定されたもので、1本として予備のげたはふくまれていない。すなわち、この研究の規模、予算額とは対照的にあくまでも最少の材料による最大限の成果を追究した試験計画が行なわれている。試験計画にあたってはこのような態度は大いに参考としなければならないところであろう。

(3) 資料整理

この研究所では、報告書の類はもとより図表のネガ1枚、スライド1枚にいたるまで番号が登録され、定められたルールのもとに保管されていて、所員の誰もが必要ときに必要とする資料の所在をただちにつきとめうるようにされている。そのためには資料整理には十分な時間が費やされてお

り、資料整理も業務の主要な一部であるとの感を抱かせられる。日々蓄積される資料を能率的・効果的に分類・整理することは日々の研究業務の能率的遂行のうえに不可欠の条件であり、今後、資料整理の方法について十分検討するとともに、そのための時間を惜しまぬ習慣を身につけることの必要性が痛感されたところである。

表 1 試験計画

ケタの種類	カバプレートの有無	設計細目	溶設細目	供試体形式番号	最小応力 S_{min} (ksi)	応力振巾、 S_r (ksi)									供試体数 4)
						8	12	16	20	24	30	36 _G	42	48	
圧延ゲータ	無	ケタ単体	1	1	-10						○	○△	△	△	24
					2						○	△			
					14										
	有	部分長ト	2) F	2	-6			○△×	○△×	○△×					45
					2		○△×	○△×	○△×						
					10	○△×	○△×	○△×	○△×						
		トカフ	2) F	3	-6			○△×	○△×	○△×					
					2		○△×	○△×	○△×						
					10	○△×	○△×	○△×	○△×						
溶接ゲータ	無	ケタ単体	4	4	-10						○△×	○△×	○△×		62
					2					○△×	○△×	○△×			
					14			3)	○△×	○△×	△×	△×			
		フランジ突合せ	1) A	5	-10					○	○△×	○△×			84
					2			3)	○	○△×	○△×	○△×			
					14			3)	○△×	○△×	△×	△×			
		突合せ溶接	1) B	6	-10					○	○△×	○△×			84
					2			3)	○	○△×	○△×	○△×			
					14			3)	○△×	○△×	△×	△×			

ケ タ の 種 類	カ バ リ プ レ ー ト の 有 無	設 計 細 目	溶 接 細 目	供 試 体 形 式 番 号	最 小 応 力 S min (ksi)	応 力 振 巾 、 S _r (ksi)									供 試 体 数 4)
						8	12	16	20	24	30	36	42	48	
溶 接 有 ゲ タ	有	部分長カバ	F	7	-6			OAX	OAX	OAX					63
					2		OAX	OAX	OAX						
					10	OAX	OAX	OAX	OAX						
		部分長カバ	F	8	-6	AX	AX	OAX	OAX	O					63
					2		OAX	OAX	OAX						
					10	OAX	OAX	OAX	OAX						
		部分長厚板	F + E	9	-6			O	O	O					82
					2		O	O	O						
					10	O	O	O	O						
	有	部分長広巾	F + E	10	-6			O	O	O					82
					2		O	O	O						
					10	O	O	O	O						
		部分長広巾	F	11	-6			O	O	O					82
					2		O	O	O	O					
					10	O	O	O	O	O					
		部分長広巾	F + E	12	-6			O	O	O					82
					2		O	O	O	O					
					10	O	O	O	O	O					
タ	有	部分重カバ	F	13	-6			O	O	O					82
					2		O	O	O						
					10	O	O	O	O						
		部分重カバ	F + E	14	-6			O	O	O					82
					2		O	O	O						
					10	O	O	O	O						

○ A 3 6 Steel (日本の SS 4.1 相当)
 △ A 4 4 1 (" SM 5 0 ")
 × A 5 1 4 (" 8 0 キ ロ 鋼 ")

374

B: 曲线状 曲线状

F+E: カバープレートを側面および前面すみ肉溶接により
取付けたもの

D

4) O、△、×の1点あたり2~4体。溶接細目FとF+Eとは別個の供試体とせず、1本の供試体のカブプレート両端を異なった細目とすることにより、供試体数を減少させている。

9. 道路業務の電子計算機利用法の研究 および道路設計施工法等の調査

所 属 舗装研究室 研究員

氏 名 河 野 宏

在外試験
研究機関 フランス(1.参照)

滞 在 昭和43年11月28日～昭和44年8月14日

種 別 パートギャランティ研究員

1. 日程および研究した機関の概要

1) 昭和43年12月1日～昭和44年3月24日

VICHY 市、CAVLAMにて、仏語研修を受ける。

2) 昭和44年3月25日～6月13日

Session LEtudes Techniques Routieres (道路技術研修)に参加し、各部門の専門家の講演を聞いたり、研究所や現場の見学をした。

主な講演や研究所、現場は次の通りである。

a) 講 演

- L'Organisation du Ministère de L'Equipe¹ment et du Logement (建設関係の行政組織)

Par M. ARBEFEUILLE

- Des caractéristiques routières (道路の設計)

Par M. ARQUIE

- Chaussées souples couches de surface enduit Superficielle enrobés (たわみ性舗装—表層—表面処理層—アスファルトコンクリート)

Par M. ARQUIE

- Stabilisation des couches de chaussées—Traitement des graves au ciment et au laitier granulé

(安定処理層—セメント安定処理—スラグ安定処理)

Par M. PRANDI

- Calcul de l'épaisseur des chaussées—Méthodes de dimensionnement et de renforcement des chaussées

(舗装の設計法—新設舗装および補修)

Par M. LEGER

- Le renforcement des chaussées en enrobés (アスファルト混合物による道路の補修)

Par M. SAUTERBY

- Les dopes de l'adhésivité (ハクリ防止材)

Par M. MOUTON

- Les terrassements—consolidation der—drainage

(土工—法面の安定—排水)

Par M. GAUD

- Autoroutes—conception—Tracé (高速道路の設計)

Par M. LUGHEZ

- Autoroutes—Aménagement paysager (高速道路の見晴しの改良)

Par M. SPAKE

- Echangeurs autoroutiers—Caractéristiques géométriques problèmes d'exploitation (高速道路のインターチェンジの設計施工の問題点)

Par M. MILLS

- Le Béton précontraint—principe de calcul—le règlement français (プレストレストコンクリート—計算方法)

とフランスの基準)

Par M. FAUCHART

- Le béton précontraint—application aux ouvrages routiers et particulièrement aux constructions par encorbellement—Méthodes diverses de précontrainte (プレストレストコンクリート—道路構造物特に張出し工法における応用—種々のプレストレス導入方法)

Par M. FAUCHART

- Disposition des ponts—routes (道路橋の設計施工規定)

Par M. BELTREMIEUX

- Chaussées rigides—théorie—construction (剛性舗装の設計施工)

Par M. REVEDRY

- Organisation de l'entretien d'un réseau routier (道路網の維持修繕の組織)

Par ROLLANO

- Les Laboratoires routiers des Ponts et chaussées—leur articulation, leur rôle (道路関係の研究所—その役割と連絡)

Par PRANDI

- Exploitation des autoroutes (高速道路(有料道路)の運営)

Par M. CAMBLAIN

- Organisation de la Circulation dans les villes (都市内交通対策)

Par M. POULIT

- Principes d'aménagement des carrefours (交叉点の改

良)

Par M. BOIRON

- Enquêtes de circulation routiers—Méthodes—
Resultats (アンケートによる交通情勢調査—その方法と調査結果)

- Etudes de la rentabilité des travaux routiers
(道路事業の収益性)

Par M. QUINET

- Financement des Investissement routiers (道路投資
の財政)

Par M. THEDIE

- Problèmes particuliers aux routes a faible trafic
—aspects économiques (軽交通道路の経済上の問題点)

Par M. JONEAUX

- Problèmes particuliers aux routes a faible trafic
aspects techniques (軽交通道路の技術上の問題点)

Par M. REMILLOM

- Différents modes d'exécution des travaux publics
en France (フランスの公共事業の種々の施工法)

Par M. ESMIOL

- Organisation schématique d'une grande entreprise
de travaux routiers—Mode d'intervention des entre-
prises dans l'exécution des travaux routiers
(道路関係の大企業の組織—施工時の発注者との関係)

Par M. BERTIN

- Calcul des Ouvrages — Utilisation des calcula-
trices électroniques (電子計算機を利用した設計法)

Par M. LERAY

- 。 Calcul électronique des tracés (電子計算機を利用した道路の設計)

Par M. ANTENIOTTI et FONLUPT

b) 研究所、大学

- 。 Ecole Nationale des Ponts et chaussées (国立道路工科大学校)

。 フランスにおける道路技術関係の最高学府

- 。 Laboratoire central des Ponts et Chaussées (道路中央研究所)

道路関係の中央研究所、日本の土木研究所にあたる。

- 。 Service Etudes Techniques des Routes et Autoroutes (道路および高速道路のための特殊研究所)

道路の計画、設計部門の技術的な問題の研究を行なっている。

- 。 Institut Géographique National (国土地理院)

主として航空写真測量について見学した。

- 。 Centre de calcul électronique (電子計算センター)

電子計算機を利用して、道路の線型計算、土量計算、平面図縦断面図横断面図透視図をどの自動図化を行なっている。

c) 現場、工場

- 。 Etablissements "ALBARET" (アルバレイ)

世界的に有名な道路製作会社

- 。 Etablissement Public pour l'Aménagement de la zone de la Défense

半官半民の公社によるパリ、デフense地区の都市再開発の工事

現場

- 。 Chantiers et réalisations de la Ville Paris (パリ

市庁による公共事業現場（大駐車場、立体交叉、地下鉄ステーションなど）

○ Le complexe et de l'antenne de Bagnolet Bagnelet
地区の高速鉄道および高速道路の工事現場

○ Ets AUBY（オーベイ）
乳剤中の分散剤やハクリ防止剤を製造している化学製品会社

○ Autoroute du Sud de Paris à NEMOURS
南高速道路のバリ附近の管理事務所

○ La Régie Autonome des Transports Parisiens
バリの地下鉄の運営状況見学

○ Autoroute de NORMANDIE
ノルマンディ高速道路の管理事務所および工事現場見学

○ Organisme Technique Régional de ROUEN ROUENの地方
技術センター、その地方の道路技術に関する研究および研修を行な
っている。

○ Service Spécial Temporaire de l'Autoroute A-6 à
DIJON DIJONの高速道路A-6の工事事務所。高速道路の設計に
ついての説明、およびコンクリート舗装工事現場（スリップフォー
ムベーパー使用）を見学

○ Département de Côte d'or
Côte d'or 県庁、スラグ混合物を使用した国道の補修工事現場
を見学

3) 昭和44年6月17日～8月9日

個人研修として、興味をもったフランス各地の現場や研究所を個人的に
訪問した。

訪問した機関の概要は次の通りである。

○ LABORATOIRE CENTRAL des PONTS et CHAUSSEES

道路中央研究所。デフレクトグラフ "LACROIX" による路面のたわみ量の測定、および測定結果の解析について説明をきく。また弾性波を利用した舗装の調査方法について説明をきく。

○ Bureau Central Etudes pour les Equipements L'Outre-Mer

海外の技術協力のための中央本部。高速道路の設計、特に電子計算機を利用した高速道路の設計法について学ぶ。

○ SERVICE SPECIAL Temporaire de l'AUTOROUTE A6

高速道路 A-6 の工事事務所。

高速道路の施工方法の見学

i) SUBDIVISION de SAINT MARTIN Saint Martin, Saint Martin

出張所。土木工事見学

ii) SUBDIVISION de MACON Nord

北Macon 出張所。路盤工、舗装工の見学

iii) SUBDIVISION de VILLEFRANCHE en BEAULAIS

ベージュのVILLEFRANCE 出張所

舗装工、構造物の施工の見学

○ LABORATOIRE REGIONAL de AUTUN

オートンの地方研究所。法面の安定および構造物の基礎調査法について説明をきく。

○ DIRECTION DEPARTEMENTALE de METZ

メッツ県庁土木部、メッツ市の都市再開発事業および高速道路の施工法見学

○ DIRECTION DEPARTEMENTALE de NANCY

ナンシー県庁土木部。国道 4 号線の補修工事見学。

○ LA SOCIETE AUBY

アスファルト乳剤、カットバックアスファルトの研究および製造の見学。それらを使用した維持修繕工事の見学

2. 研究目的

道路業務の電子計算機利用法の研究及び道路設計施工法等の調査

3. 研究内容および成果

道路業務の電子計算機の利用法については、BOECM (Bureau Central
le LEtudes pour les Equipements LOutre-Mer)にて、電子計算機を利用した高速道路の設計法、特にプログラムTE、GIの使用方法について学んだ。このプログラムは、設計基準現地測量の結果、各工事の単価等を与えてやれば、線型計算、平面図、縦断面、横断面透視図の製作、および工事費の積算まで行なうものである。また、SERVICE SPECIAL Temporaire de l'AUTOROUTE A-6にて、業者に対する毎月の工事費の支払いの計算における電子計算機の利用について説明をきいた。フランスでは、出張所から送られてくる工事の進行状況の報告は、すぐ電子計算機に入られるような型式になっており、毎月の作業に対する支払い金額は電子計算機によって計算される。電子計算機を利用することにより、中間検査をなしていることは、業務の簡素化として注目すべきことと思われる。

道路の設計施工法の調査については、高速道路、都市再開発事業、国道、地方道の補修などの工事現場を見学し、また研究所や研修会において、設計施工上の問題点について学んだ。

高速道路については、先にも書いたように、A-6の工事事務所および出張所をまわり、現場の施工を中心として学んだ。またその他の高速道路A-13、A-7、A-31、A-52などの現場も見学した。設計面では、調査研究が経済、社会、技術的な見地より詳細に行なわれていること、施工の面では、工事規模が大きく、使用機械も大型のものが多いため、品質管理

は、小さな試験所を現場近くに常設し、地方研究所ともよく連絡をとって、熱心に行なわれている。

都市再開発は古い建物の多いフランスでは重要な問題であり、パリなどの大都市では半官半民の公団を組織して集中的に行なわれている。特に都市内道路、大駐車場などは盛んなようであり、在来の重要構造物を保存しつつ行なう。施工方法（例えばソレタンシェ工法）などは我国でも参考になるかと思う。また人口2、3万程度の地方都市においても、速度の差こそあれ、都市再開発事業が行なわれていることは、計画性のあることと感心した。

国道の補修については、ナンシーやドール附近で現場を見学した。補修工区の決定や補修厚の決定を行なう際、デフレクトグラフ（自動ペンケルマン）の測定データを使用すること、補修断面中の路盤にはスラグ混合物を利用することなどは、日本でも参考にしていよいのではないかと思う。

4. 今後当所にとって役立つと思う事項

日本はフランスよりは若干後進国ではあるが、特に遅れている国ではない。道路を建設するためにはフランスの技術をそのまま模倣したり、建設機械を買ったりすることは無意味なことと思う。また日本の技術もフランスの技術もアメリカの技術の影響をまぬがれることはできない。フランスの技術を学ぶよりも、アメリカの技術を直接学んだ方がよりよい場合も数多くあると思う。しかし20世紀の我々の文明はヨーロッパに誕生したものであり、その点では大いに学ぶべき所があるであろう。例えば、各人の業務と責任とが明らかにになっている合理的な組織、貪欲なまでの情報蒐集、馬鹿正直と思われる程の研究重点主義などである。

研究部門は、フランスでは進んだ部門であり、日本では遅れた部門であるので、参考にすべき所も多いかと思う。舗装関係だけに限っても、現場で多量のデータをより迅速により正確に測定するための機械（デフレクトグラフ、グッドマン、動的載荷試験器（Vibreux lourd Hydraulique）など）、歴青材料に関する化学的研究などは学ぶ点もあろうかと考える。

10 コンクリート舗装の改善について

所 属 舗装研究室 研究員

氏 名 飯 島 尚

在外試験
研究機関 西ドイツ連邦道路研究所
遠方高速道路オイルスキルヘン建設局

滞在期間 昭和43年8月6日～昭和44年10月3日

種 別 パートギャランテイ研究員

1. 日 程

4.3.8.7～4.4.8.8 英国国立道路研究所訪問

4.3.8.10～4.4.10.6 西ドイツザロニン市のゲーティンステイ
アデユートに於いて語学研修出席

4.3.10.7～4.3.12.1 西ドイツ連邦道路研究所 (Bundesanstalt
für Straßenwesen) に於いて西ドイツのコンクリート舗装の設
計施工法の研究

4.3.12.3～4.3.12.7 フウトバーンE4ダルムシュタットーハイ
デルベルク間のコンクリート試験舗装の観察、連邦道路研究所のDipl.

Ing Hörnerと共に主として収縮目地間隔、コンクリート舗装版の
温度変化を現場にて観測

4.3.12.8～4.4.2.30 ダルムシュタットーハイデルベルク間の試
験舗装の観測結果のデータ整理

4.4.3.1～4.4.3.30 ミュンヘン市に於いて開催された第7回西
ドイツ建設機械展示会に出席、その後ミュンヘン市建設局 Dipl.-Ing.
Kohlerを訪門しバイエルン州における冬期間の除雪作業の問題点を聞
いた後、インツェル市冬期作業試験所 (現在ケルン市の連邦道路研究所

に見学、薬剤散布による路上融雪実験および除雪実験車を見学する。

4 4. 3.10 ~ 4 4. 3.30 連邦道路研究所において西ドイツにおける道路研究の実態調査、ケルン市 Forschungsgesellschaft für Straßenwesen に Dipl. -Ing. Kuhn を訪門。

4 4. 4. 1 ~ 4 4. 4.26 ドュッセルドルフ市セメント技術協会研究所に出張し、セメントコンクリートの試験法の研究

4 4. 4.26 ~ 4 4. 5. 4 ハノーヴァー市に於いて開催された機械展に参加した後、ニーダーザクセン州建設局 Dipl. -Ing. Rheinhard と共に、アウトバーンのオーバーレイ工事、アウトバーンハノーヴァー北インターチェンジ工事、ハノーヴァー市都市高速道路工事を見学

4 4. 5. 7 ~ 4 4. 5.30 遠方高速道路オイスケルヘン建設局 Dipl. -Ing. Wrobel を訪ねアウトバーンライン線の新設工事の土工、タール安定処理、コンクリート舗装工事の見学およびコンクリートの品質管理試験の実習

4 4. 6. 1 ~ 4 4. 6.28 遠方道路建設局ヘロゲンに Dipl. -Ing. Möller を訪ね、新設道路 B 60 の土工、タール安定処理、コンクリート側帯の工事を見学および実習

4 4. 6.30 ~ 4 4. 7. 6 フランスセメント協会に於いて開催された第 1 回ヨーロッパセメントコンクリート舗装シンポジウムに出席するためパリに出張（会議内容は別途報告済）。

4 4. 7. 7 ~ 4 4. 7.20 西ドイツ連邦道路研究所において文献収集および報告書作成（主としてパリ会議について）。

4 4. 7.23 ~ 4 4. 8. 2 ラインラントフアルツ州建設局に Dipl. -Ing. Gass を訪門し、アウトバーンコブレンツートリヤー線の新設工事を見学、主として土工、路盤工、コンクリート舗装工事を見学する

4 4. 8. 3 ~ 4 4. 8. 8 外国人留学生旅行団と共にベルリンを訪門

ベルリン市建設局を訪門し地下鉄工事、都市内高速道路工事、グロピウスモデル住宅団地の建設を見学

4.4. 8.10～4.4. 9.30 西ドイツ連邦道路研究所において、アウトバーンの維持補修工事の施工法の研究

4.4.10. 1帰国、2日羽田着

2 西ドイツ連邦道路研究所の概要

a. 研究所の目的

西ドイツ連邦道路研究所 (Bundesanstalt für Straßenwesen, 以下 BAST と略す) は次の研究事項を行う。

a-1. 交通大臣の下に西ドイツのアウトバーン (Autobahnen とは一般的名称で、アウトバーンを含めた自動車専用道路を Bundesfernstraßen と言っている) の経済的な工法、交通安全、円滑な交通流の確保、維持修繕の研究を行う。

a-2. 試験法、および試験機械の改善、開発

a-3. 各種の施工法、材料を現場試験を通して比較検討する。

a-4. 得られた成果を政府に勧告する。

a-5. 各地で行われた試験や施工法を収集選択し、より有効な実用化を図ること。

a-6. 他の研究機関と調整を図り、研究について協議する。

b. 組織

研究所は3部に分かれ、その外に管理部がある。

3 部はそれぞれ道路建設部（部長 Siedek）、交通部（Krell）、一般試験研究および情報部（部長 Kübler）、であり、部の下に14の研究室がある。研究室にはそれぞれ細分化された研究課題担当班が所属し、室長を含めてDiplom（日本の修士に相当する国家試験合格者）を持つ技術者が担当する。それらの細分化された担当班は全部で41あり、45年春から電子計算機が導入され、電算室が独立する予定である。

3 西ドイツセメント技術研究所の概要

セメント技術研究所は西ドイツの97のセメント工場がすべて参加しているセメント協会の研究所であり、さらに賛助会員としてヨーロッパ近隣諸国の26のセメント工場が参加している。セメント協会（VDZ）の基礎は1877年に設立されたドイツポルトランドセメント協会である。WALZ 所長の下にコンクリート製造研究部（部長、Wischers）、コンクリート技術研究部（部長、Bönzel）、化学鉱物研究部（部長、Locher）、製造技術研究部（部長、Bellwinkel）の4部に別かれている。職員は114人であり、28人の研究員、56人の専門職、30人の補助員となつている。それぞれの部に於いて行われている研究内容の主なものの概略を示すと次のようである。

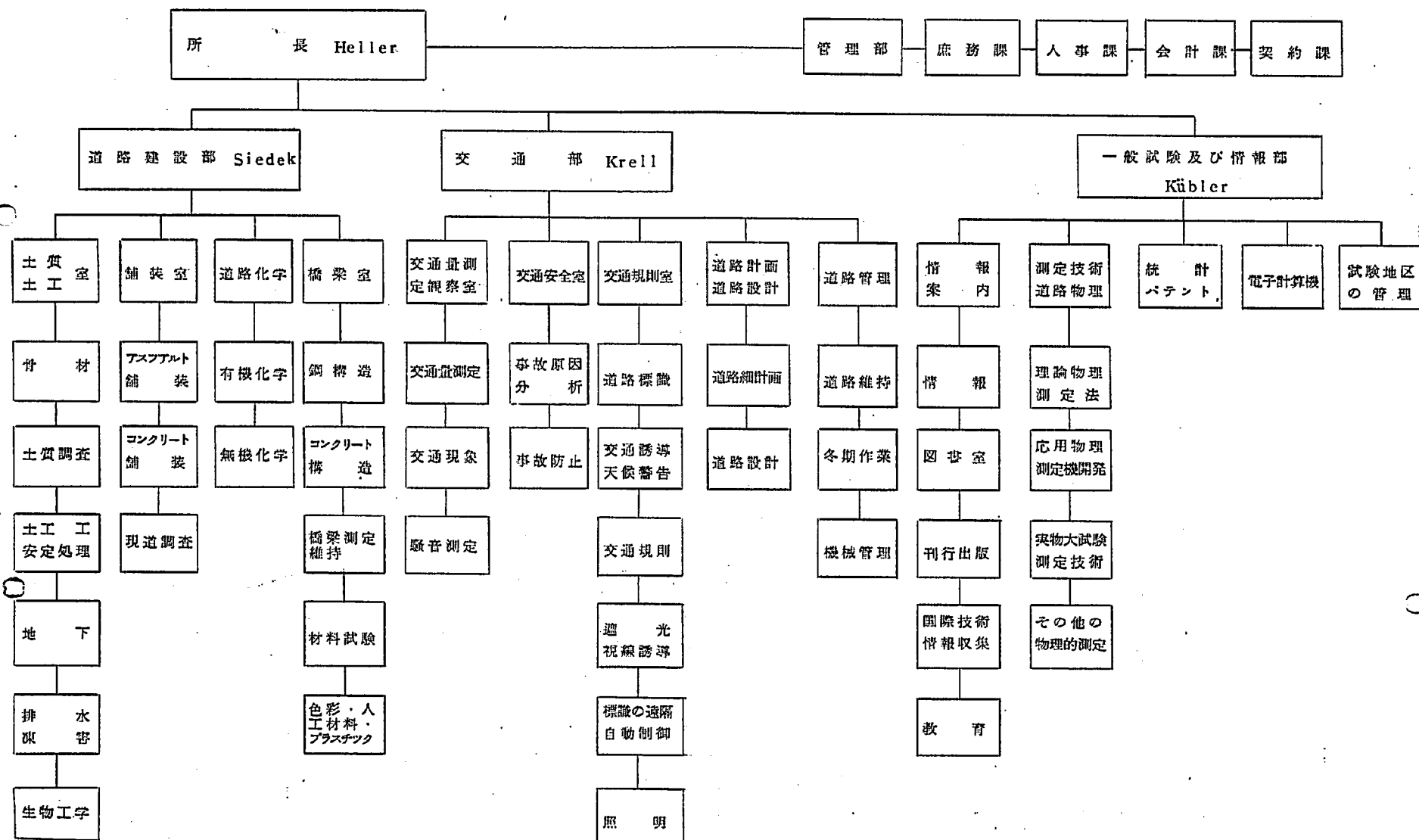
コンクリート技術研究部；

- a. コンクリートの強度試験法の検討；供試体作成；荷重—変形における各種特性値の測定、熱的性質、
- b. セメント安定処理による路盤の設計法、主として材料、配合、品質管理等の試験研究、
- c. セメントコンクリートの凍結融解試験、
- d. コンクリート組織；

化学鉱物研究部

- a'. 原料、クリンカー、セメント、コンクリートなどの化学組成分析
- b. カルシウム、マグネシウムなど化学鉱物学的分析

表 1 西ドイツ連邦道路研究所の組織



- c. セメントの熱化学的性質の分析
- d. 電子顕微鏡による材料、セメントの分析
- e. レントゲンによる材料、セメントの分析

製造技術研究部：

- a. セメント製造上の諸問題
- b. 騒音、チリなどの公害問題
- c. 材料の性質

以上の各研究部の外に、技術者養成の教育機関、工場、規格試験に基づくセメントの比較試験室、図書室などが附属している。特に図書室は充実している。また、定期的な刊公物を8点出版している。

4 西ドイツ連邦道路研究協会 (Forschungsgesellschaft für Straßenwesen, FG と略す) の概要

ケルン市にあるこの道路研究協会は西ドイツの道路建設の技術的な問題を、すべて調整、実行、取まとめ、各種の示方書、規格、要綱などを発行している權威のある協会である。我国の道路協会に相当し、西ドイツの道路技術研究はFGの活動に代表される。2年毎に道路研究白書ともいうべき、"Straßenbau- und Straßenverkehrsforschung" を発行している。

西ドイツの道路研究はすべてFGに報告され、また重要な問題はFGの委員会において検討されて、試験あるいは調査しなければならないものについては下部委員会のもとに実施される。その際、実際に研究を進める機関、予算等の調整も行っているため、有機的に運営されている。

現在はBöhringer会長の下に9つの作業グループがある (Arbeitsgruppe)。それらは

- a. Straßenverwaltung (道路管理)
- b. Planung und Verkehr (計画および交通、都市以外)
- c. Planung und Verkehr (計画および交通、都市内)

- d. Fahrzeug und Fahrbahn (車輛および道路)
- e. Untergrund (路床)
- f. Unterbau (路盤)
- g. Asphalt-und Teerstraßen (アスファルトおよびタール道路)
- h. Betonstraßen (コンクリート道路)
- i. Steinstraßen (石塊道路)

この外に7つの委員会がある (Ausschuß)。それらは、

- a. Hochofen-und Metallhüttenschlacke im Straßenbau
(高炉スラグおよび鉍さいの道路への利用)
- b. Elektronisches Rechnen im Straßenbau
(道路における電子計算)
- c. Begriffsbestimmungen (用語)
- d. Erfahrungssammlung (施工例収集)
- e. AASHO-Road Test (AASHO 試験)
- f. Theorie der Straßenbefestigung (道路舗装の理論)
- g. Straßenbau im Entwicklungsländern (低開発国における道路)

これらの作業グループ、あるいは委員会の下にAAと称する下部委員会があり、またAAの下にUAと称する小委員会が設けられている場合もある。それらのAA、UAの数は151である。1967年の2年間にそれらの委員会は全部で335回開かれ、述べ437日であつた。これらの委員会の活動、研究成果の概要、などについてはすべて前述の道路研究白書に収められている。

5 西ドイツのコンクリート舗装の概要

40年の歴史を誇るドイツのマウトバーンはその大部分がコンクリート舗装であり、他の先進諸国とは多少異つた行き方を示している。1925年に作られた最初のコンクリート舗装手引書が基礎となり現在までに約1.3回程改訂されている。現在のものは1963年に前述したFGが中心となつて改訂し

たもので、規格の主な数値を挙げると、

版 厚； 22~24 cm
鉄 網； 3 kg / m²
縦 目 地； 版幅が 4 m 以上は設ける
膨脹目地間隔； 100 m
収縮目地間隔； 7.5 m
スリップバーおよびタイバー； 常に使用
セメント量； 350 kg / m³

圧縮強度（立方体）； 400 kg / cm²

曲げ強度； 55 kg / cm²

骨材のフィル 0.2 mm 通過 粒度曲線の下線、中央、上限の％、1-1-5%

骨材のフルイ 7 mm 通過 粒度曲線の下線、中央、上限の％、

37 - 45 - 55 %

以上のとおりである。表-2、図-1 はコンクリート舗装設計の規格である。ドイツの規格で注目すべきことは、収縮目地間隔を 7.5 m におさえていることである。最近では収縮目地はこのままで、膨脹目地を長くするか、あるいは省いてしまうことも可能であると考えられていることである。目地の施工、例えばスリップバー、注入剤の注入などは甚だ注意深く施工している。コンクリートは強度もさることながら、骨材の粒度を非常に厳重に管理し、特に細粒部分 0.2 mm、7 mm の規定を設けていることである。尚最大骨材粒径は 30 mm である。

施工は 2 層仕上げであり、ドイツのアウトバーンの特長といつてよい側帯を施工した後、その上にレールを設置し、ボックススプレッダー、フィニッシャー、スリップバーおよびタイバー自動挿入、2 層目打設用ボックススプレッダー、フィニッシャー、仕上げ機、ホウキ仕上げ、三角屋根および麻袋散水による養生によるのが一般的な施工方法である。図-2 はアウトバーンライン線のコンクリート舗装の一例である。

表-2 コンクリート舗装版

交通量による区分	版厚	コンクリート強度 σ_{bc}		空気量 (日平均)	セメント量	粒度曲線	最少粒度分類
		圧縮強度 (立方体)	曲げ強度 (1点載荷)				
I	22-24	400	55	3.5	350	表を見よ	0/3 3/7 7/15 >15
II	20-22	400	55	3.5	350		0/3 3/7 7/15 >15
III	18	350	45	3.5	350		0/3 3/7 >15
IV	16	300	40	3.5	350		0/7 >7

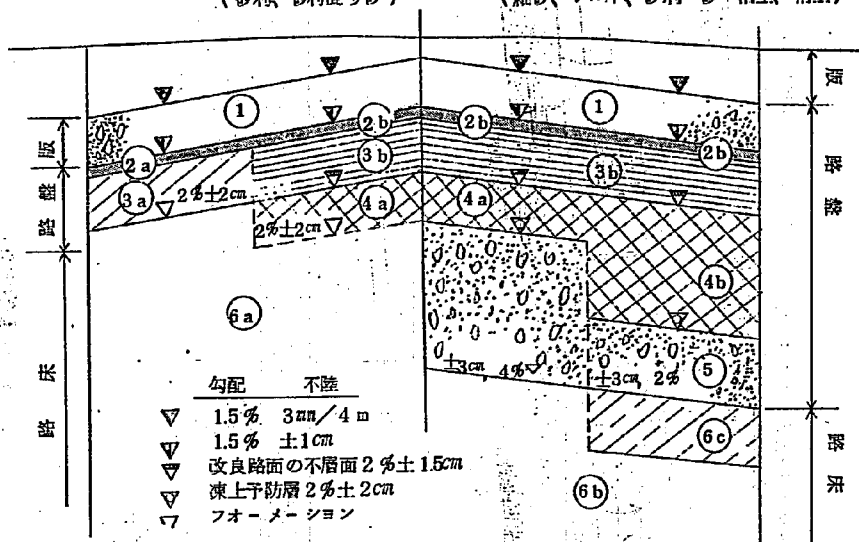
表-2-1 交通区分

交通量による区分	交通量	車輛 / 24 時間 (年平均)		摘 要
		積載量 5 t 以上	合 計	
	極 重	>1000	>10000	アウトバーン、国道、都市道の一部、 軍道、飛行場など
	重	500 - 1000	5000 - 10000	国道、地方道、都市道のほとんど
	普 通	100 - 500	2000 - 5000	地方道、都市道、駐車場
	軽	< 100	< 2000	農道、駐車場

図-1 コンクリート舗装断面

良質な地盤
(砂利、砂利混り砂)

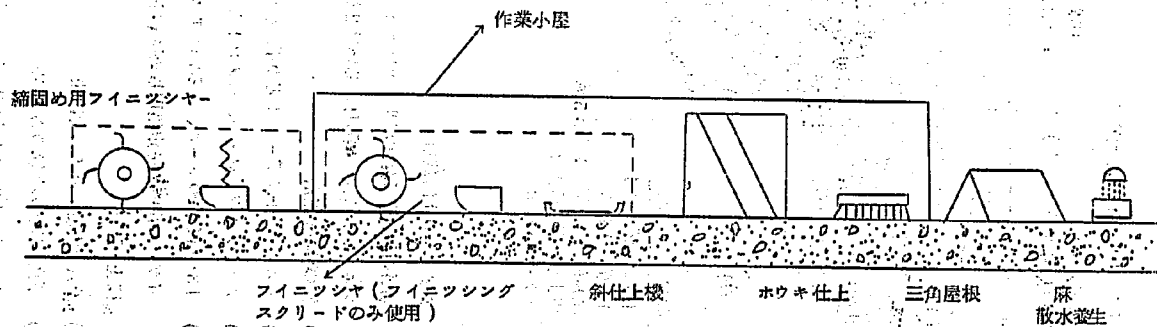
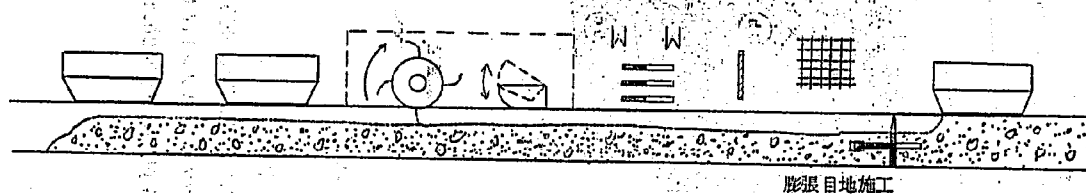
良質でない地盤
(細砂、シルト、砂利-砂-粘土、粘土)



- ① コンクリート舗装版
 - ②a 1層の紙、あるいはポリエチレンなど
 - ②b フェルト状の合成樹脂材あるいは2板の紙
 - ③a 砂の不陸整正層
 - ③b アスファルト、タールなどの不陸整正層
 - ④a アスファルト、タール、セメントなどによる安定処理、普通5cm
 - ④b 13~15cmのタール、あるいはアスファルト(セメントはまれ)スタビライザーを用いて安定処理した層(凍上予防層の上) 幅20cm外周
 - ⑤ 凍上予防層
 - ⑥a 良質な安定した不凍性路床
 - ⑥b 不良で凍上の危険のある路床
 - ⑥c 改良路床 ① 不足している粒度補正 ② アスファルトによる改良
- ⑦ 20cm置換

図-2 アウトバーン線におけるコンクリート舗装の施工例

ボックススプレッダー-2台 フィニッシャー スリップバー挿入 タイバー挿入 メリツシュ 多層目コンクリート用
自-動 手動 スプレッダー



施工量 7.50 m幅、750 m²~1200 m²/日
収縮目地間隔 10 m カッター切断
膨張目地間隔 30 m 杉板
サイドダンプ使用

6 アウトバーンの特長

ドイツのアウトバーンは全く走りやすい。特殊な場所を除いて速度制限がないために、思いのままである。車の性能のよい、ボルシュ、ベンツなどは170～180 km/hr の速度を出す。アウトバーンの特長、および今後わが国が研究を進めていかなければならないと思われる点を列挙すると次のとおりとなる。

- a. アウトバーンは中央分離帯緑石を含めて同一平面の構造となる。中央分離帯のガードレールは複式のものが用いられている。
- b. 特別に交通量の多い区間以外には照明は用いない。
- c. 中央分離帯、法面、跨道橋の左右の取付部分など極めて積極的に植樹している。植樹の仕方ほとんど自然の状態に近く、対向車の光に幻惑されることは少ない、またこれは、高速道路の延長が3000 km以上になった現在、人手の問題、維持の問題、安全性などから当然のことである。一方騒音、排気ガス等の公害防止の面からも極めて有効である。
- d. 標識類の完備、高速で走つていても見やすいように大きな、しかし極めて適切な角度で設置されている。
- e. 維持補修の場合の安全確保、ドイツの場合、維持補修の場合にも路肩、対向車線を利用して必ず片側2車線を確保しており、標識類、マーキング等の徹底さは心づくばかりである。

7 土木研究所に役立つと思う事項

構造物関係、建設機械、交通安全管理などの面ではドイツはまだまだ先進国であり学ぶことが多いように思う。比較的国情も似ている日本としては米国ばかりでなくドイツ、イギリスなどのヨーロッパにも目を向ける必要がありそうで、どんどん出かけたらい。

11 海岸浸食防止に関する研究

所 属 海岸研究室 研究員

氏 名 橋 本 宏

在外試験
研究機関 英国水理研究所

滞在期間 昭和 43 年 10 月 11 日～昭和 44 年 10 月 10 日

種 別 長期在外研究員

1 日 程

43. 10～44. 7 英国水理研究所

44. 7. 15～17 イギリス西海岸見学

8. 13～16 イギリス南海岸見学

9. 22～23 デンマーク工科大学・王立水理研究所見学

9. 25～26 オランダデルフト水理研究所見学

10. 1 フランス国立水理研究所見学

10. 3 ソグレア見学

10. 7 ビサ大学水理研究所見学

2 研究した機関の概要

水理研究所 (Hydraulics Research Station) は技術省 (Ministry of Technology) に所属している政府の研究機関であつて、土木の分野での水理関係の特定の問題の解決を行なうとともに、これらの解決の際に必要な基礎的研究を行なっている。組織は所長を構成員とする学識経験者からなる運営委員会があり、これが研究の方針やテーマを決定している。

わゆる部、室に分けられているが研究内容は明確に分けられておらず、かなり流動的である。問題を解決する際には部長または室長が中心となつて、研究員がそれぞれ分担して行つた結果をまとめるという事をしている。研究補助員も一つのテーマの実験や解析が終了すれば他の研究室に移るということも簡単に行われている。職員は約240名でこのうち研究員は50名程度である。

研究所の行なっている主な仕事は水理構造物、例えばせきや減勢工に関するもの、河川の洪水防御や土砂の輸送、河口における航路維持や高潮対策、海岸および港湾構造物、海岸侵食、原子力発電のための冷却水の取水、放水の問題などである。年間約250のテーマについて研究を行つており、このうち50テーマが基礎研究である。依頼研究のうち半分は海外からのものであり、英国のコンサルタントがうけてきたものの一部について検討を行なっている。

応用研究がその大部分をしめているために模型実験が中心となつている。またこれらに関連する研究のためのサービス部門が非常によく整備されている。すなわち図書、製図、木工、金工、写真、模型製作、機械設計、測定機、保守の各部門があり、専門家をかかえている。

研究所の施設については、ほとんどの模型は屋内にあり、メインホールという建物は約13,000 m^2 の面積をもち、中には8本の柱しかなく、また暖房設備、写真撮影のための暗幕、運搬や測定のためのクレーンなどよく整っている。

実験装置で特長のあるものは潮汐発生装置、不規則波発生装置、移動流発生装置、気圧式造波装置などである。

3. 研究目的

海岸侵食は古くからあつた問題であるが近年になつて種々の構造物を造つたり、海岸の利用価値がふえるにしたがつて問題となつてきた。すなわち貯

水または砂防用のダムの構築、河川の改修などにもなつて海岸に補給される土砂の量が減少してきたこと、また港の防波堤や河口を維持するために設けられた突堤などによつて、それまで保たれていた平衡が破ぶられることなどによつて海岸が侵食され始めた例が多い。また利用価値のない土地であれば侵食が生じて問題はないのであるが、日本においては平野が少なく、沿岸の土地利用も高度化しており侵食を防止することが必要となつてきた。

4 研究の内容および成果

○ 海岸侵食を防止するためには砂の移動量を調節して平衡状態を保てばよいのであるが、ここでは防砂突堤(Groyne)と離岸堤による海岸侵食防止効果について模型実験によつて検討を行なつた。また海岸侵食の問題は模型実験によつて調べられることが多く、移動床模型実験についての相似率についても調査を行なつた。

4.1 防砂突堤

○ 防砂突堤は海浜の造成、維持を目的として海岸に直角に設けられる構造物である。突堤は海岸に沿う砂の移動を阻止する働きを持っている。海岸の侵食、堆積は沿岸方向の漂砂量の変動によつて生じる場合がある。すなわち砂の移動する方向に漂砂量が増加すればその海岸では侵食を生じ、減少すれば堆積を生じる。沿岸漂砂量を突堤によつて調節し、一定値に保つことができれば海浜を平衡状態にすることが可能である。ここでは特に突堤によつて沿岸漂砂量がどの程度減少するかという問題について、図-1に示すような水槽を使用して移動床模型実験による検討を行なつた。実験条件は表-1に示すとおりである。実験方法としては約1/1.7の勾配をもつ海浜に波を作用させて平衡海浜をつくり、これに図-1に示すように5本の突堤を設け、海浜の変形を調べた。なお上手側では石炭粉を補給し、下手側ではTrapによつて集めた。補給量は一定で0.211 ft³/minである。

表-1 実験条件

潮汐 : 振幅 $2\frac{1}{4}$ in、 周期 7.5 分
 波 : 波高約 $2\frac{1}{2}$ in、 周期 1.15 sec、 波向 5°
 底質 : 比重 1.85、 平均粒径 0.8mm

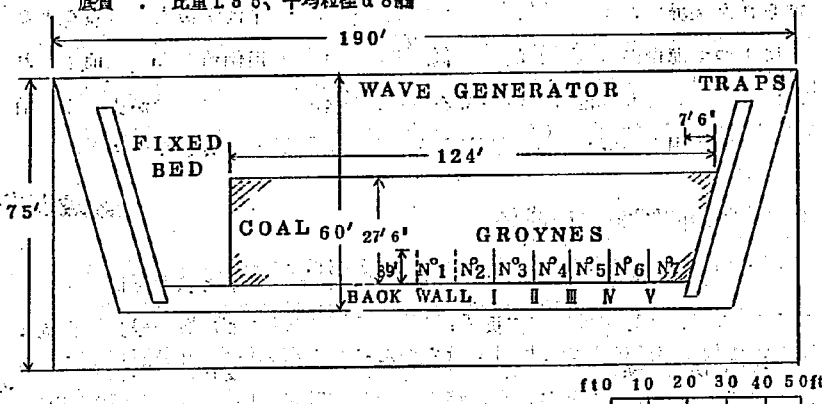


図-1 実験水槽平面図

沿岸漂砂量の減少する割合を支配するものとしては突堤の長さ、高さ、透過率、形状、突堤間隔であり、長さによる影響が大きい、ある海岸に突堤を設けると沿岸漂砂が突堤断面において阻止され、突堤の上手側においては漂砂量が減少するために堆積を生じ、下手側では漂砂量が増加するために欠損を生ずる。上手側の堆積によつて海浜は次第に前進し、これにともない突堤の有効な長さ、例えば平均汀線から突堤先端までの距離も減少する。このために突堤の阻止効果も減少する。図-1には各突堤間の石炭粉のある基準面からの総体積の時間的变化を示したものであるが、まず突堤群(I~V)が置かれると突堤のある海浜部とない部分の間には沿岸漂砂量に差があるために最も差の大きいところ、すなわち突堤Iの上手側に大きな堆積を生ずる。堆積するにともなつて突堤の効果は減少するために一定の値に近づいている。一方突堤III、Nにおいては沿岸漂砂量の差が突堤Iにおけるより大きくない。

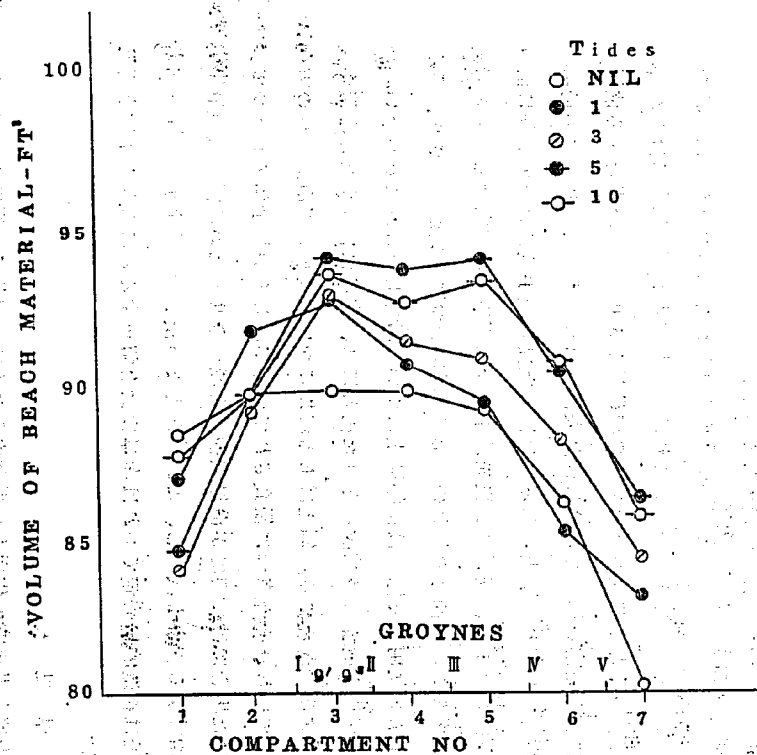


図-2 突堤間総体積の変化

ために堆積の速度もゆるやかである。この場合には10回の干満(750分)ではほぼ平衡状態に近ずいている。また図-2において各区間の堆積量が異なり、下手側になるほど減少していることは海浜の方向が変化し、相対的に波の入射角が増加していることを示している。一定量の石炭粉を上手側で補給しているために突堤部においては突堤の有効長が減少するとともに海岸の方向が漂砂量の増加する方向に変化している。

模型海浜終端での捕砂量と海浜断面の変化量から求めた各突堤断面における沿岸漂砂量との関係を求めた。これによると突堤が短い場合にほとんど効果がなく、少くとも突堤がない場合の漂砂量の50%以上を阻止する位置より沖側に突堤先端を延長しなければ効果は表われなかつた。これは突堤によつて沿岸方向の流れが阻止されるために、突堤の上手側において突堤に沿う沖向きの流れを生じ、底質は突堤先端を通過し下手側に移動するためと考えられる。またこの沖向きの流れのために突堤に沿つて海底が洗掘され、実際に突堤工法を使用する際には洗掘防止について考慮しなければならない。防砂突堤が海岸に沿つて多数設けられた場合には、突堤は侵食または堆積の速度を遅らせる働きをする。例えばある海岸において漂砂量が沿岸漂砂の方向に増加していればその海岸は侵食されていくが、この海岸全体にわたつて突堤を設けた場合には、突堤が沿岸漂砂量を減少させるために漂砂量の沿岸方向への増加する割合も減少し、これにともない侵食量も減少する。すなわち防砂突堤は構造的に安定であれば海岸侵食を防止するのに有効な手段と考えられる。

4.2 離 岸 堤

離岸堤は海岸を波の作用から保護するために、海岸に平行にある距離において設けられるもので波をさえぎり砕波させて波高を減少させる働きをする。一般に海岸に波形勾配の大きな波が来襲すると底質は沖向きに移動し波形勾配が小さい場合には岸向きに移動するといわれている。離岸堤によつて波高が減衰すれば波形勾配も減少し、海浜での堆積を期待することができる。ま

た波がある方向を持つて来襲する場合には沿岸漂砂量においても波高の減少にとりなつて減少する。突堤と同様に離岸堤でも沿岸漂砂量を調節することが可能である。離岸堤による沿岸漂砂量の変化および海浜変形の状況を調べるために防砂突堤の実験の際に使用した水槽において実験を行なつた。

海岸にある長さを持つた離岸堤を設置し、これにある方向を持つた波を作用させると波は反射・屈折・碎波を起こす。実験は高さの低いものについてのみ検討を行なつているので回折波は生じていない。離岸堤によつて、波は砂け波高は減少し、また2次波を生ずる。また碎波にとりなつて岸向きの質量輸送が起り、離岸堤岸側のしゃへい域では向岸流が生じる。一方しゃへい域の上手側からの沿岸流は一部しゃへい域の境界付近で離岸流となり沖へ向う。流れの概要を図-3に示す。これらの流れは波高・波速を変化させる。すなわち離岸流の存在する領域では波高は増加し、波速は減少する。向岸流の領域では逆になる。しゃへい域と開放域（離岸堤によつて保護されていない領域）では沿岸漂砂量に差があるために、しゃへい域の上手側では堆積を、下手側では侵食を生ずる。堆積及び侵食量は沿岸漂砂量の変化の大きい場所が多くなるために両海域の境界で海岸が最も前進（上手側）または後退することが期待されたが離岸流、向岸流によつて流れの状態が変化し、堆積の生ずる地点は上手側に移動し模型海浜終端付近の海岸が前進した。またしゃへい域においては向岸流のため底質が岸向きに移動し、離岸堤の岸側が洗掘されるとともに前浜勾配は急になつた。離岸堤設置前と波を作用させた後の海浜の等高線を写真1,2に示す。このような状況における海浜変形を解析するためには流れと波の共存下における底質の移動現象を調べる必要があると考えられる。

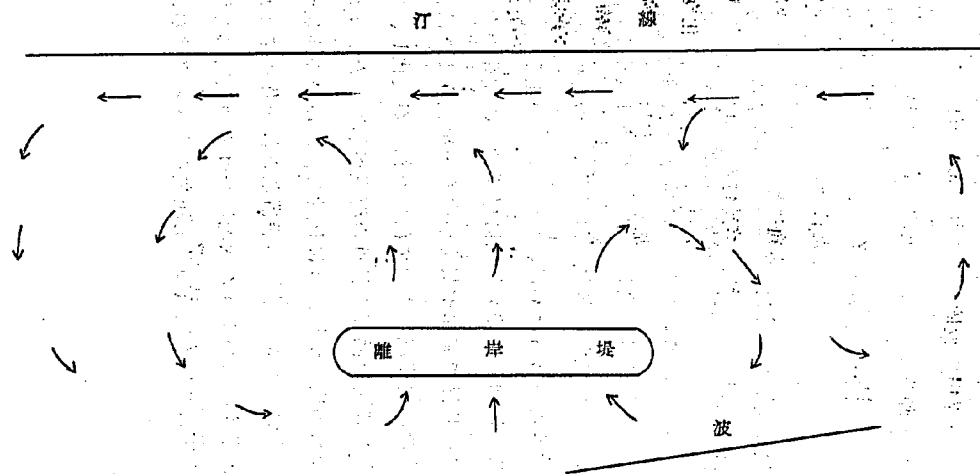
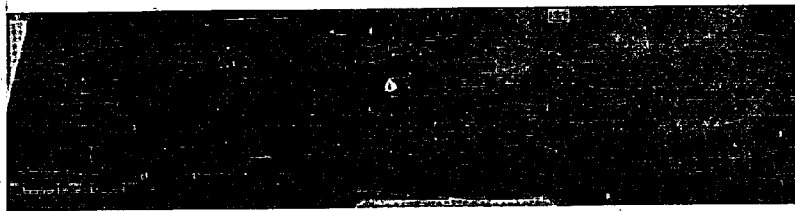
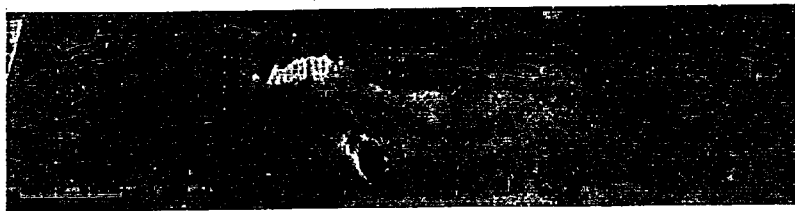


図 - 3 離岸堤によつて生ずる流れの概要



4.3 相 似 率

波と流れの作用による砂の移動についての模型実験において相似性を保つことは非常に困難である。すべての現象にわたって相似率を満足させることは一般に困難である。このために現象のうちでもつとも支配的なものを相似にして他の影響は後で補正を行なうという事が一般的である。

波運動による水平流速 v は次のように表わされる。

$$v = \frac{\pi H}{T} \frac{\cosh ky}{\sinh kd} \cos \left(\frac{2\pi}{T} t - kx \right) \quad (1)$$

ここで H : 波高、 T : 周期、 $k = 2\pi/L$: 波数、 L : 波長、 y : 底面から上向きに測った距離、 t : 時間、 x : 距離、 d : 水深である。ここで縮尺を N で表わし、添字で関係する物理量を表わすとする (1) 式についての縮尺の関係は次のようになる。

$$Nu = \frac{NH}{NT} \frac{N \cosh ky}{N \sinh kd} \quad (2)$$

模型全域で Nu が一定であるためには $Nd = Nk = \frac{1}{Nk}$ でなければならない。

このとき (2) 式は

$$N_u = \frac{N_H}{N_T} \quad (3)$$

となる。

また波速 C は

$$C = \{ (g/k) \tanh kd \} \quad (4)$$

であり

$$N_c = \frac{1}{N_k} = N_L = N_d$$

となる。

$L = C \cdot T$ の関係から

$$N_T = N_L \frac{1}{N_c} = N_d \quad (4)$$

であり(3)式を用いると

$$N_v = N_H \cdot \frac{1}{N_d} \quad (5)$$

となる。

屈折現象を相似にするには波速を相似にすればよいのであるから波形勾配があまり大きくならない限り(5)式のように波高と水課の縮尺を独立に選ぶことができる。また模型の長さの縮尺も任意に選べるために歪模型も使用することができる。

波形勾配を相似にする必要があるときには $N_H = N_L = N_d$ となつて模型の長さの縮尺のみ任意に選ぶことができる。しかし波長の関係する現象、例えば波の反射や回折については波長と模型の長さの縮尺を同じにしなければならないために歪めた模型を使用することはできない。移動床模型実験においては砂の移動量も相似にしなければならないのであるが、これに関してはまだ確立した公式がない現在、いろいろと検討されているところである。

オランダのデルフト水理研究所においては次のような考えのもとに移動床模型実験が行なわれている。まず歪度は模型と実物の海浜平衡勾配の間の比から決められ、縮尺の値は精度と模型の大きさを考慮して決める。周期の縮尺は水深の縮尺の平方根とし、波高の縮尺は水課の縮尺を同じにするか、碎

波点の位置があまり変化しない範囲で水深の縮尺より大きくとる、流れの縮尺も水深の縮尺の平方根より少し大きくとる。また粗度も合わせるために人工粗度の利用も考慮している。

フランス国立水理研究所においては底質の動きだす移動限界を相似にすることが試みられていた。この場合には流れによる移動限界と波によるものを独立に考え両者を相似させるという事であるが実際にはむずかしく、重要な影響を与える量を相似にしている。

○ この分野における問題は波と流れが共存する場合の移動量公式の確立が必要であると考えられる。

5 今後当所にとって役立つと思う事項

現在日本の海岸工学の分野においては波による砂の移動現象に関する研究はあまりさかんではない。これは問題がむずかしいためと考えられるがヨーロッパにおいては数年前からこの分野での研究が行なわれている。むずかしくてもいろいろの試みを行なつて何とか解決しようとしている。このような態度は非常に参考になつた。

12 地すべり運動の土質力学的研究

所 属 地すべり研究室 研究員
氏 名 藤 田 寿 雄
在外試験 スウェーデン国立土質工学研究室
研究期間
滞在期間 昭和43年10月26日～昭和44年10月25日
種 別 長期在外研究員

1 日 程

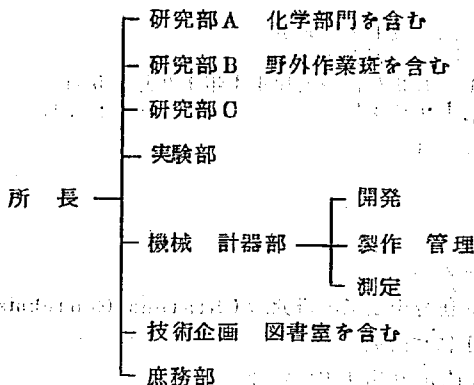
- 43.10.25 東京発
26 ストックホルム発
28 スウェーデン国立土質工学研究所 (Statens Geotekniska Institut) にて研究
43.11.29 Kristianstad 圧密沈下試験地
44.4.15~21 Trässnäs地すべり (Varmlands län)
44.5.19~21 Göta, Surte, LillaEdet 地すべり等視察
23 Danish Geotechnical Institute (Copenhagen) 見学
29 Vatten by ggnadslaboriet (Alvkarleby, Uppsala län) 見学
44.6.17 Norwegian Geotechnical Institute (Oslo) 見学
44.10.5 Zuiderzee 大締切堤 (Holland) 見学
6 Autobahn (Frankfurt) 視察
7 Rhein 河視察
13 Technical University of Vienna 見学
15 Technical University of Zurich 見学
16 Institut für Schnee- und Lawinenforschung (Weißfujoch, Davos) 見学
20 Viont Dam 地すべり (Italy) 視察
24 ローマ発
25 東京着

2 研究した機関の概要

所在地 Banergatan 16, Stockholm No

所 長 Dr. Bengt Broms

大略の機構は下記の如くであり、所員は約 80 名である。



研究部 A、B、C の担当には判然とした区分があるわけではないが、A では主として斜面安定、B では道路の土質に関する部門、C では橋梁基礎杭、航空写真の応用などを取り扱い、およそ 30 名の研究員が配属されている。

業務内容は研究所予算で行なう基礎研究が 3 割にすぎず、7 割を他研究機関、行政機関よりの委託研究で占めているのが特色で、研究員は自分の研究内容に沿った委託業務を外に求めている。

実験室では一般の土質試験を、10 名程度の助手が研究員から要望されたもの（ほとんどは委託業務からでた試料試験）を定常的に行なっており土質試験の改良などは実験部主任と研究員一名がこれにあたっている。

計器類の開発は研究員からの要請により又は独自に、4～5 人の機械技術者が設計し、工場において技術職員約 5 人が、この製作にあたっている。

その他の人員構成は野外作業（ボーリング、サウンディング、試料採取など）、計器管理など 10 数名、会計物品など総務関係が 10 名である。

前述のように研究業務の大半が委託研究、又は調査であるが、官庁間の

委託であつても予算的に特別な優利がある訳でなく、必ず直接、間接入件費は計上する必要がある、又委託は官庁研究機関—民間コンサルタントのいずれもよいことになつてゐるので、研究所は必然的に民間コンサルタントと競合することになつて、研究員は自分の技術の特殊性を売り込んで研究成果の有用性を委託官庁に認識させることも必要で、研究課題及び研究費の確保に努めてゐる。

民間との内容に差が少なく、かつ収入は国家公務員のために若干低いといふことは、同時に研究員の非定着化ともなつて現われ、国立の研究機関に在籍することは、その研究所での特色をもとにした経歴を加えることになり自分の研究範囲、業績を上げ、これを基盤にして、よりよい研究条件収入を求めて民間あるいは他の機関へ移ることが多い。すなわち、現所員の半数以上は既に民間企業又はコンサルタントでの経験を持ち、現在の職も一時的なものとする人が多かつた。

一例として、土木研究所にも卓近な例であるが、研究所の20~50 km内での北部への移転が所内で論議された時、勤務を続けて希望する人は、研究助手の人達も含めて5.0%にも満たなかつたことがあつて、日本と同様、住居の問題などからストックホルムを離れたくないということであつた。

研究課題としては、氷河期後の海成堆積粘土が土木工事あるいは斜面安定に影響するところが大きいので、この土質特性に関するものが多いが、特にクイッククレイについては、その生成が孔隙水の化学組成の変化に伴つてゐることが明らかにされつつあり、化学的手法の面からも土質強度が検討されている。

土質強度試験では、原位置テストが重要視され、この目的に沿つた計器を開発するとともにベンチテストを使用している。一方、試料採取、運搬によつて強度が変化するとみられるクイッククレイやこれに近い粘土では三軸圧縮試験のような手続の複雑な試験は行なわれず、簡便なフオールコ

ーンによる強度試験が大部分を占めている。

圧密沈下は又この種の粘土層地域での特色の一つであるが、これに伴なつて発生する基礎杭周辺のネガティブスキャン・フリクションの研究も実物大試験を基に、計測器の改良がなされている。これと共に杭端の座屈を防止するための杭沓の材料、形態の検討も行なわれている。

土圧に関連した研究では、擁壁工の埋戻しの際の大型機械の作動による擁壁裏の異常土圧の発生を実物大試験しており、擁壁の転倒条件の再検討がなされている。

この外、航空写真の利用による地質、土質の判定、各種計測器の改良、斜面の安定解析、道路盛土及アースダムの材料試験などが主たる内容である。

3 研究目的

現在安定である斜面も、これを長期にわたつてみれば侵透水の影響、風化の進捗、人爲的な工作の結果などから不安定な状態に移行するが、Skemptonは土質力学的に斜面の長期間内における安定性を検討している。

すなわち、斜面の不安定化は斜面を形成する土層、あるいは岩盤内での局部的な弱点、クラックなどに長期間にわたる有効圧の応力集中が起る結果、剪断強度を減しつつ、これが拡大して潜在的なすべり面となる層を形成する。そしてこの地点での剪断強度は剪断残留強度 (residual shear strength) にまで低下するが、想定される全すべり面の60%までが残留強度に低下した時に、はじめて斜面の移動が起るとしている。

断強度の低下に対する説明としては、有効圧によつて、応力集中を受けた部分では土粒子の再配列が長年月の間に行なわれ、土粒子は圧力方向に対して抵抗の少なくなるような方向に置き換えられる結果、この面での土粒子の結合力の弱まりとともに、圧力方向と直角な面での、すべり摩擦係数が減少することに因るということが挙げられ、斜面は徐々にその安定性を失なつてくる。

土粒子の再配列が行なわれて、ある面での粒子配列が一定方向になる結果水平、垂直断面における粒子面積や粒子の凹凸状態に差異が生じ、土層の剪断強度は等方性 (isotropy) ではあり得なくなり、土層の深度、斜面における位置、過圧密状態の有無などによつて、水平、垂直方向の剪断強度の差異は、さまざまに変化してくるものと考えられる。

- 特に地すべりのように剪断面の形が直線ではなく、円弧状の破壊面を想定して安定解析を行なうような場合には、明らかに剪断面が垂直に近い部分、あるいは水平に近い部分、およびその中間と、すべり面の位置によつて、この
- 非等方性 (anisotropy) が強く影響し、一律に一軸圧縮、3 軸圧縮試験や直接剪断試験によつて得た剪断強度をこれにあてはめても実際にそぐわないことは、充分に考えられる。

従つて原地盤の水平、垂直方向それぞれの剪断強度の測定が要望される訳であるが、特に試料を乱すことの少ない原位置試験を最良とする。この試みはノルウェー土質工学研究所などにおける大口径の原位置試験のようなものに見受けられるが、いまだ開発段階にあつて、実用化には至っていない。

ノルウェーの同上研究所の Aas は従来から原位置剪断強度測定に用いられてきた、ベンボーリングテストを応用して、水平、垂直方向剪断強度の分離を試みている。

- すなわち、直径および長さの異なるさまざまなベンを用いて、剪断に要する力を測定し、水平、垂直剪断面の差し引きから、水平又は垂直剪断面の影響を消去することによつて、垂直又は水平剪断強度のみを算定し、土層の剪断強度の非等方性を求めようとしたもので、比較的良好の結果を得たとしている。
-

しかしながら使用されたデータは深度別にわけられていないこと、又ベンの形状には大きい差異があること (ベン長/ベン径の比は $260\text{mm}/65\text{mm}$ ~ $80\text{mm}/160\text{mm}$) から実測値にはベンの歪などによる誤差が入り易い、ベン径の変化は水平断面の剪断位置の変位量が異なりはしないかななどの問題

がある。

そこで、ベーン直径を標準ベーンの65mmに固定し、長さのみを変えて、水平断面変化の影響を少なくし、地層深度別の実験を行なつて、スウェーデンの海成堆積粘土層における剪断強度の非等方性について検討を試みたものである。

4 研究内容

1) 概要

ベーンテストによる剪断強度測定の際には、次のような仮定が満足されるものとする。

ベーンテストにおいて粘土層の破壊形状は、径および長さを：使用したベーンと同長の円筒表面に沿つて破壊するものとする。

更に、剪断抵抗は垂直、水平方向については必ずしも同じではないが、それぞれの面上では完全に、又同様に破壊されるものと仮定される。すなわち、直径が大きくなればそれだけ破壊に要するトルクは水平破壊面によつて影響されるし、長さの大きいベーンでは垂直面の破壊によつて占める割合が大きくなる。

測定される剪断破壊のトルクは次式によつて表わされる。

$$M : \pi DH \cdot \frac{D}{2} \tau_v + 2 \cdot \frac{\pi}{4} D^2 \cdot \frac{D}{3} \tau_H \dots\dots\dots (1)$$

ここで D : ベーン直径

H : ベーン長

τ_v : 土層の垂直方向剪断強度

τ_H : 土層の水平方向剪断強度

水平方向剪断強度は、垂直方向剪断強度の1/2と仮定する。

(1)式は、

$$\left[\frac{2}{\pi D^2 H} \right] M = \tau_v + \tau_H \left[\frac{1}{3} \frac{D}{H} \right] \dots\dots\dots (2)$$

と変形できるから、 τ_v をy載片、 τ_H を勾配とする一次式とみる事ができる。

D は一定であるとしているから、ベーン長 H を変化させた時のトルク M を

測定することによつて、 τ_v 、 τ_H の最確値を得ることができる。

II) 試験地

試験地はストックホルム西方約20 kmのSka Edebyで、当研究所の実物大圧密試験地として使用されてきたところである。

表層より3.5 mまでは有機物質を含んだ粘土層、以下12.0 mまで海成堆積の粘土層、シルト質粘土層であつて8.5 m付近には重炭酸塩の沈積とみられる、やゝ固い層を挟んでいる。粘土層は鋭敏比約80のクイッククレイとなつており、乱した試料の強度は非常に弱い。

12.0 m以下は氷河堆積によるモレーンで、過圧密のため、固結度は高いので、ベーンテストは不可能である。

テストはこの試験地の中の約10 m四方の一隅で実施され、各ボーリングの深度別強度の差は少ないと考えられる。又、通常のボーリング6本を実施し、ピストンサンプラーによる試料の一軸圧縮試験によつて、比較値とした。

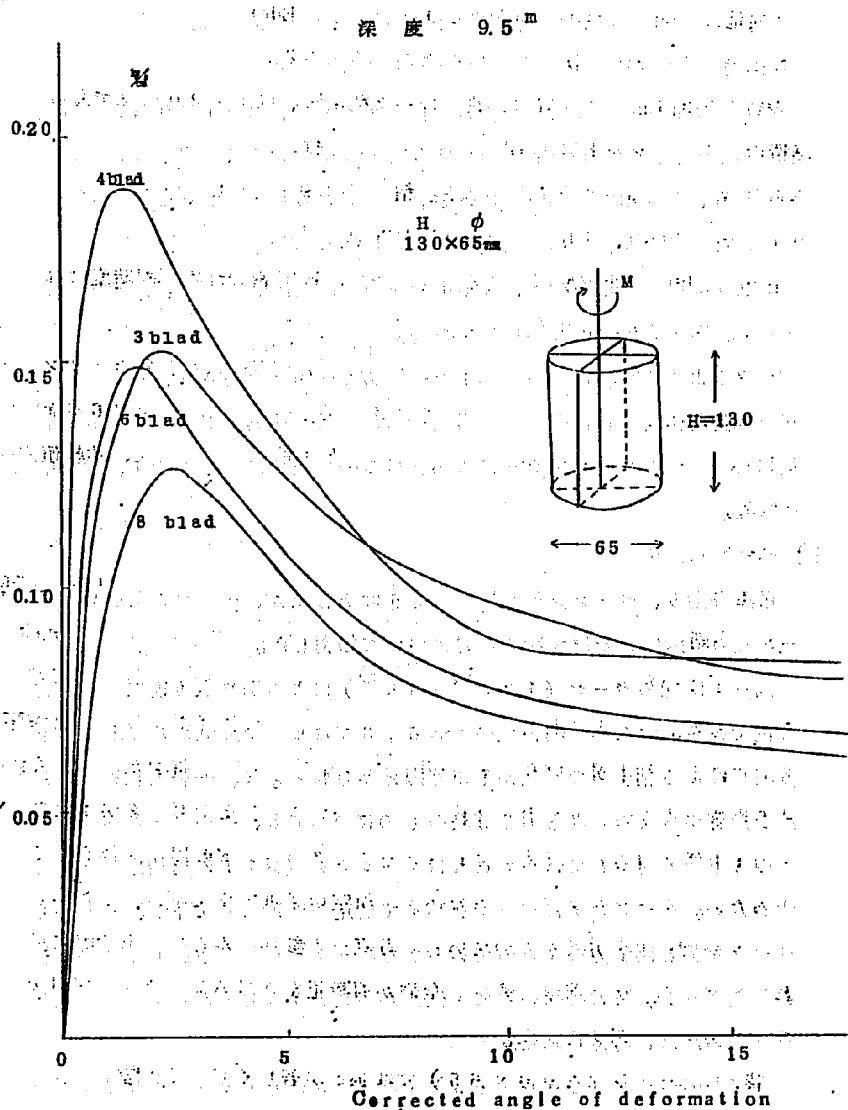
III) ベーンの選定

前述の通り、ベーン直径は標準の6.5 mmとしたが、ベーンの羽根数、ベーン長の測定値に及ぼす影響などについて検討した。

図-1は標準ベーン(13.0 mm × 6.5 mm)による羽根数と応力-歪曲線の例である。明らかに羽根数の多い6, 8ではピークの低下を来しており多羽根による粘土層の覚乱がその原因とみられる。又、一番羽根による覚乱の影響が少ないとみられる3枚のものについても、そのピークが4枚のものより低く得られている。これはケーシング(ロッドの周辺摩擦をなくするため、ケーシングにベーンを納めて所定の深度にまで下し、ここからベーンを押し出す方式をとっている。写真-1参照)から押し出す際に振れを生ずるか、又は剪断の際に、全周が剪断歪をうける前にクリープ現象を生ずるためと考えられた。

特に長いベーン(20.0 × 6.5)では振れが著しくピークが極めて低い

図-1 ペーンの羽根数と応力歪曲線



結果を得て、このデータは参考にとどまつた。

科学技術庁在外研究員報告書 写真

地すべり 藤田



写真-1 ケーシングからロッドを押し出す。

先端に写真-2のようなベーンがつく

ケーシングの形は羽根数に応じて変る。

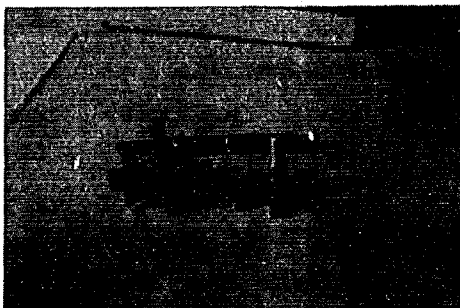


写真-2 多羽根ベーン(8枚)

左 $16.25^{\text{mm}} \times 65^{\text{mm}}$

右 $8.125^{\text{mm}} \times 65^{\text{mm}}$

この結果、最大応力を得てしかも剪断変位が最も小さく得られた。すなわち、クリープ現象の少ないと考えられる4枚羽根ペーンを採用することになったが、Hの小さいペーン（写真-2参照）では、羽根自体がかなり弱いものになつて、剪断の際に変曲してしまうため小数羽根では良い結果が得られなかつたので8枚羽根を使用せざるを得なかつたので、剪断強度はやゝ低目に得られたものと思われる。

ペーンの羽根の厚さを強くして検討が加えられつつある。

使用したペーンは次の各種である。

ペーン長	ペーン径	羽根数
200 ^{mm}	65 ^{mm}	4
130	65	4
65	65	4
325	65	4
1625	65	8
8125	65	8

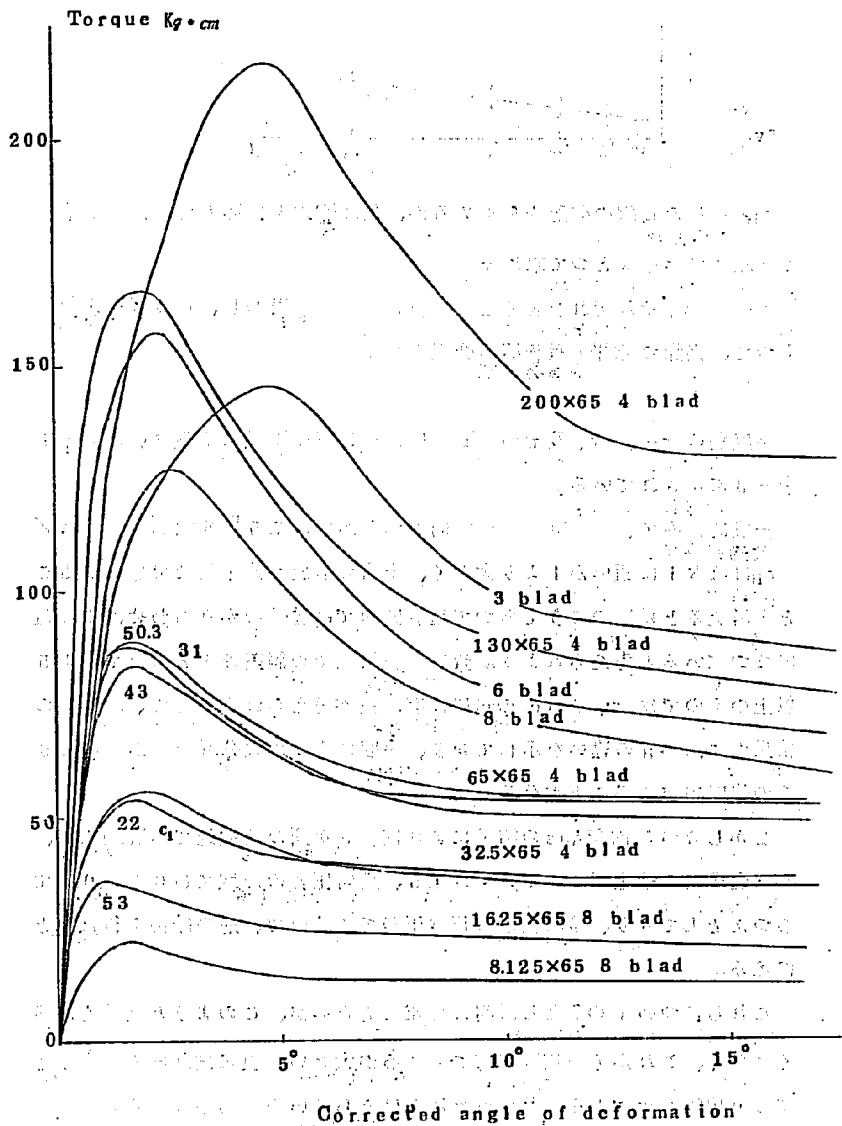
5. 研究成果

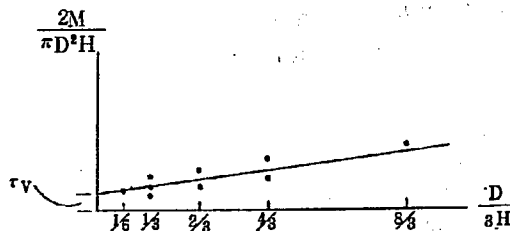
各種ペーンによる測定結果の一例が図-2に示してある。剪断に要したトルクと変位量の関係が表わされているので、トルクはペーンの大小によつて異なつてゐる。各変位に応じたトルク間の差はペーン高の違いによつて生じた垂直断面差 $\times \tau_v$ を表わす。

ここで、ある変位のときのトルクを各ペーンについて読取り、(2)式に各値を代入し、縦軸に $\frac{2M}{\pi D^2 H}$ 、横軸に $\frac{D}{3H}$ をとつた時、これらの値は直線に並び、かつy截片は τ_v を示す。

図-2 各種ペーンと応力-歪曲線

深度 10.5 m





τ_H はこの直線の勾配から求めるか、又は(2)式を変形して、同様の手法で γ 載片に τ_H をとつて求める。

τ_H 、 τ_v それぞれを変位との関係をグラフに表わし、このピーク値をもつて、実際の水平・垂直剪断強度とする。

深度別の τ_H 、 τ_v 及その 断変位、一軸圧縮試験による τ_s が表-1 図-3 に示されている。

一般的にみて、 $\tau_v > \tau_H$ の傾向が明らかで、7.5 m を除いて、 τ_v / τ_H はほぼ 1 に近いが 1 より大きく、土層の形成が水平面できちあがることを考えると妥当のようであつて垂直断面では粒子のかみあわせはより粗になつていゝと考えられよう。資料整理段階での誤差などと考へて 1.15 以上のものでは、 τ_v と τ_H の間には有意差が考えられるとして、約半数の結果が τ_v 、 τ_H の違いを示しており、深度によつて大分異なるが、約 2.0 倍の強度差があることが分る。

しかしながら前記 Aas の結果によれば、6ヶ所の試験地での資料から、やゝ過圧密の粘土層で τ_v / τ_H は 1.5、正常圧密の地域では 0.5 ~ 0.7 であつたとしており、当試験地は正常圧密であるので、逆の結果を得たことになる。

これらについての確たる説明はまだできないが、このような試験も数多くはなく、これからの実験に待つところが大きい。更に試験器の改良などでより確実なテストを繰返されなければならないのは当然である。

尙本研究所はスウェーデン建築研究所からの委託研究として、土質工学
研究所のC-E Wiesel氏によつて実施されているものの一部であつて、
筆者に与えられた便宜について感謝の意を表する。

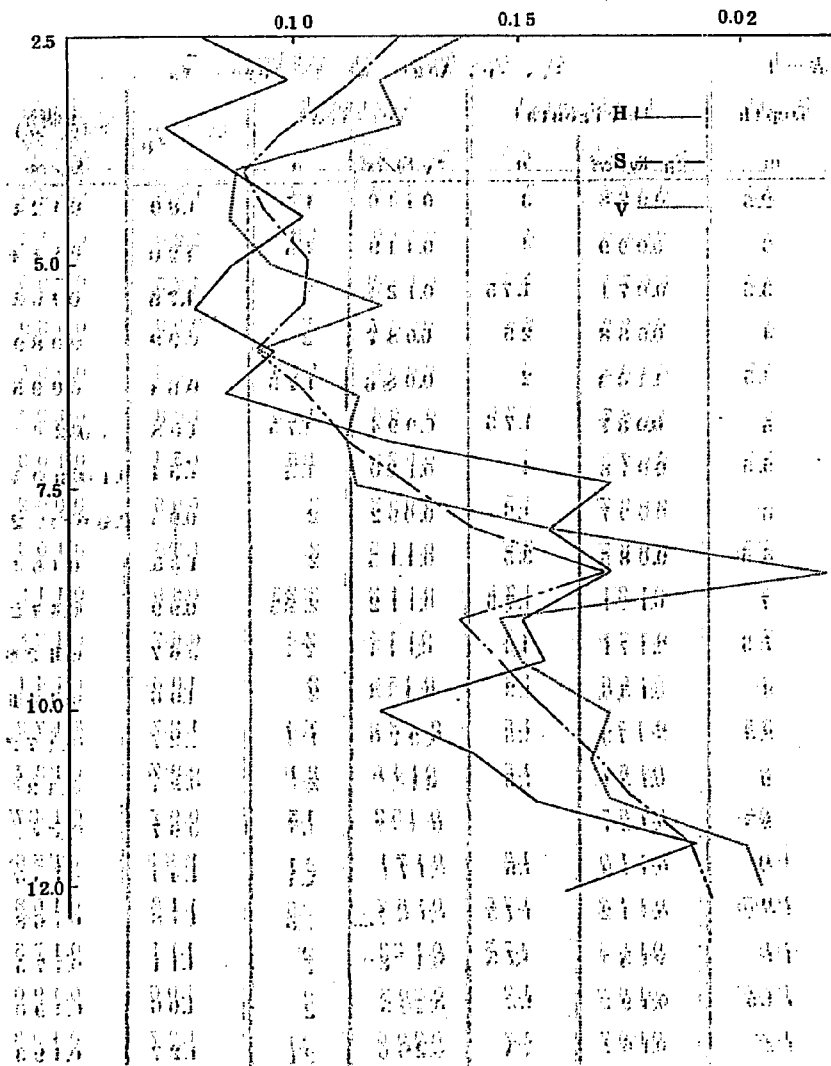
表-1

τ_v , τ_H , Angle at failure, τ_s

Depth m	Horizontal		Vertical		τ_v / τ_H	τ_s (6箇所平均) Kg/cm ²
	τ_H Kg/cm ²	α°	τ_v Kg/cm ²	α		
2.5	0.078	3	0.140	4.5	1.80	0.124
3	0.099	4	0.119	4.5	1.20	0.114
3.5	0.071	1.75	0.124	4	1.75	0.100
4	0.088	2.5	0.087	2	0.99	0.089
4.5	0.103	2	0.086	1.75	0.84	0.095
5	0.087	1.75	0.094	1.75	1.08	0.104
5.5	0.078	4	0.120	1.5	1.54	0.103
6	0.097	1.5	0.092	2	0.95	0.092
6.5	0.085	3.5	0.115	2	1.35	0.104
7	0.121	1.75	0.112	2.25	0.99	0.112
7.5	0.171	1.3	0.114	2.4	0.67	0.128
8	0.156	1.3	0.158	2	1.06	0.141
8.5	0.173	1.5	0.220	1.4	1.27	0.172
9	0.151	1.5	0.146	2.1	0.97	0.137
9.5	0.157		0.152	1.5	0.97	0.147
10	0.119	1.5	0.171	2.1	1.44	0.156
10.5	0.142	1.75	0.167	2.5	1.18	0.168
11	0.155	1.75	0.172	2	1.11	0.175
11.5	0.192	1.2	0.203	2	1.06	0.190
12	0.162	1.3	0.206	2.1	1.27	0.193

图-3 某工程地质剖面图 (单位: 米)

Depth M



13 軟岩の破壊に関する力学的研究

所 属 地質研究室研究員

氏 名 安 江 朝 光

在外試験

アメリカ合衆国カリフォルニア大学

研究機関

滞在期間 昭和43年11月6日～昭和44年11月5日

種 別

長期在外研究員

○ 1 日 程

43.11.6 東 京

43.11.7 アメリカ合衆国・軟岩の破壊に関する力学的研究
カリフォルニア大学・軟岩の破壊に関する力学的研究

44.11.4 パークレ

44.11.5 東 京

この間

44. 3 米国内務省開拓局 建設中のダム及び岩盤試験見学
アーバン・ダム

44. 9 サンフランシスコ 建設中のトンネル、沈埋トンネル、地下鉄見学
湾周辺高速鉄道

2 研究した機関の概要

カリフォルニア大学パークレーは州立の総合大学で、このうち、指導を受

- けた Dr. R. E. Goodman は工学部、土木工学科、地質工学研究室に所属している。この研究室は教授 1 人 (Dr. P. A. Witherspoon)、準教授 1 人 (Dr. R. E. Goodman)、講師 1 人 (Dr. T. Lang) および客員研究員 (Dr. K. Drozd) よりなり岩盤力学、地下水工学の研究をしている。大学院学生は 23 名、このうち日本人 2 名、アメリカ人 7 名、他はヨーロッパ、アジア、中南米からの学生である。岩盤力学については、有限要素法、模型実験および大型室内岩盤試験を相互に関連づけて総合的な成果をあげる方向で研究を進めている。

3 研究目的

山岳地域の開発が進むにつれて、軟岩（固結度の低い岩）にも土木構造物が建設される場合が多くなつたが、その力学的取扱いに際しては、変位、異方性、間隙水圧等を考慮した軟岩の破壊機構がまず明らかにされなければならない。最近、橋梁、ダム、トンネル、のり面が巨大かつ複雑化し、安定性に関して綿密な検討を要求されるので、この課題に対する実際面からの要請は極めて大きい。岩に関する力学は、土質力学、地質学、材料学などをもとにして最近研究が盛んになつた分野である。これまで、岩の力学に関連した研究に従事してきたが、これを発展させ一層実際の工事に役立たせるため、この分野で最も組織的な研究が行なわれ、この方面の研究の世界的な中心となつてゐる機関の一つであるカリフォルニア大学バークレーで研究を行なつた。

4 研究内容

4.1 軟岩の力学的性質におよぼす間隙水圧の効果

岩石コアの強度と間隙水圧の関係は土との比較において非常に大切である事は言われていたが、我が国においては現在迄明確に間隙水圧を測定した三軸圧縮の結果は発表されていない。これは岩石が土に比べて、単位体積当たり含有される間隙水が少ない事および間隙そのものの変形が小さいことから間隙中の変化がきわめて少ない事の2つの理由によつてである。米国においては実用上十分な精度で間隙水圧の測定がなされてい

たので、(その資料を集収するとともに、大学院の講義(Theoretical Rock Mechanics, Applied Rock Mechanics, および Engineering Geology) 内容を参考に) 軟岩の破壊に及ぼす間隙水圧の挙動についてまとめた。

4.2 節理のある岩盤の力学的性質に関する実験

岩盤の力学的性質を決めるものとして Dr. Goodman は次の4つの要素をあげている。

- ① 節理の開きの程度
- ② 節理の粗度
- ③ 節理填充の程度
- ④ 填充材と岩質の相対的な性質

これらの関係を明らかにするため、せつこうで節理の模型をつくり、その間に粉末雲母を厚さを変えて充填して実験した。

4.3 層状地山中のトンネル模型実験

カナダ・ブリティッシュコロンビア州で地下発電所建設のため地下掘削中、地山の崩壊があり、これに関する調査研究がカリフォルニア大学の Dr. Goodman に依頼された。このため、有限要素法による理論的検討とこれとあわせた模型実験を行なうことになった。このうち、模型実験を Dr. K. Drozd (チェコからの客員研究員) と共に行なった。

5 研究成果

5.1 軟岩の力学的性質におよぼす間隙水圧の効果

一般に土に対しては間隙水圧の強度におよぼす効果は周知の次式によつて表わされるとされている。

$$\tau = c + (\sigma - p) \tan \phi \quad (1)$$

しかし岩石に対してはこの式が成立するかどうか、まだ解かっている。湿潤状態で岩石の非排水圧縮試験を行なうと乾燥状態で同様の試験を行なったものより、低い値になる。これは土と同様に間隙水圧を考え有効応力が減少したと考えると納得されるが、しかし水によつて構成鉱物が化学的、物理的变化を受けて弱くなつたとも考えられる。従来の実験から外力が増加した際に間隙水圧がそれにつれて増加するためには次の条件が満たされなければならないとされている。この事は理論的にも正しいと考えられている。

- ① 岩石が水を通し得ること。したがって多孔質であること。

② 岩石中の間隙は液体または気体で満され、これらの圧縮性はまわりの構成鉱物結晶粒子より小さいこと。

最近、間隙水圧がかなり正確に測定された岩石三軸試験の資料が発表された。この一連の実験では適当に多孔質な砂岩、石灰岩は飽和状態で試験すると予想通りの間隙水圧が発生するが、これに対して非常に透水性の低い黒曜石の様な密な岩石では同じ条件において、間隙水圧は発生しないか、またはもし発生しても無視される程度のものであつた。砂岩 (Berea Sandstone) の非排水三軸圧縮試験で間隙水圧が非常に良く測定されている (図-1)。

我が国においてはまだこの種のデータは発表されていない。図-1に示される結果は岩石の破壊に対する Bieniawski の設⁽¹⁾ (図-2) と良い一致を示している。

(1) Bieniawski, Z.T., 'Mechanism of Brittle Fracture of Rock, 'International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences', Vol.4, No.4, Oct. 1967

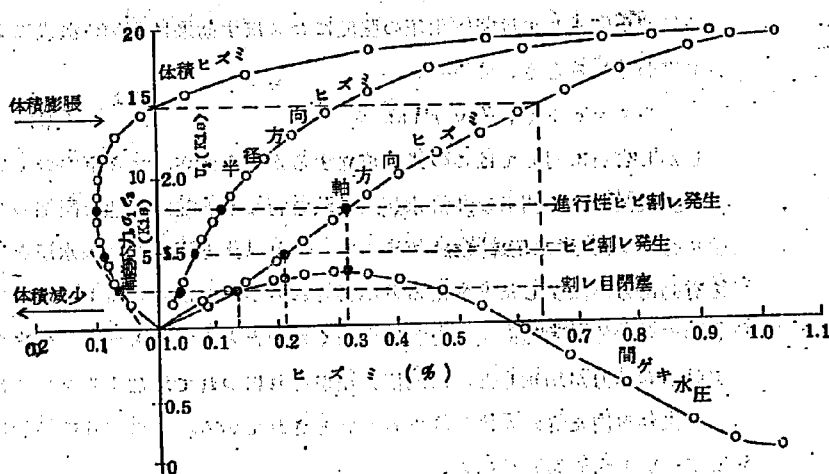


図-1 BEREASANDSTONEの非排水三軸圧縮試験
($\sigma_1 = 2.0 \text{ Ksi}$, $u_0 = 1.0 \text{ Ksi}$, $\sigma_3 = 1.0 \text{ Ksi}$, 直径 $2 \frac{1}{8}$ インチの試料)

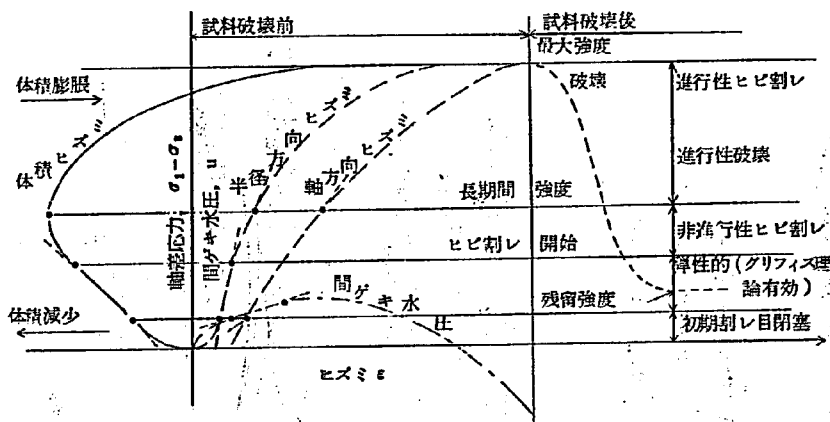


図-2 岩石破壊に対する Bieniawski の概念図

5.2 節理のある岩盤の力学的性質に関する実験

節理を含んでいる岩盤の変形量を求めることが最近この方面にも導入された有限要素法によつて可能になった。しかしながらこの方法を実際の土木構造物の設計に適用するためには岩盤の挙動に関するデータをせん断剛性 (shear stiffness) と垂直剛性 (normal stiffness) の2つの観点から整理する必要がある。断層、節理の変形性の数値化に関しては、現場実験、現場より切り出した岩盤による大規模な室内試験および模型実験による検討が行なわれている。カリフォルニア大学の Dr. Goodman はせん断剛性 (せん断変位量の変化 Δds / せん断応力の変化 ΔSs) と垂直剛性 (垂直変位量の変化 ΔDn / せん断応力の変化 ΔSn) の2つの観点から世界各地で行なわれた現位置試験結果を整理し図-3 及び表-1 に示す如く分類している。これは4研究内容に述べた4つの要素を基準としているが、これをさらに発展させるために模型実験を行なつた。模型の大きさは直径2.5インチ、高さ10インチでこれに高さ0.16インチ、山と山との間隔0.56インチ、傾斜角 $(\alpha) 30^\circ$ の

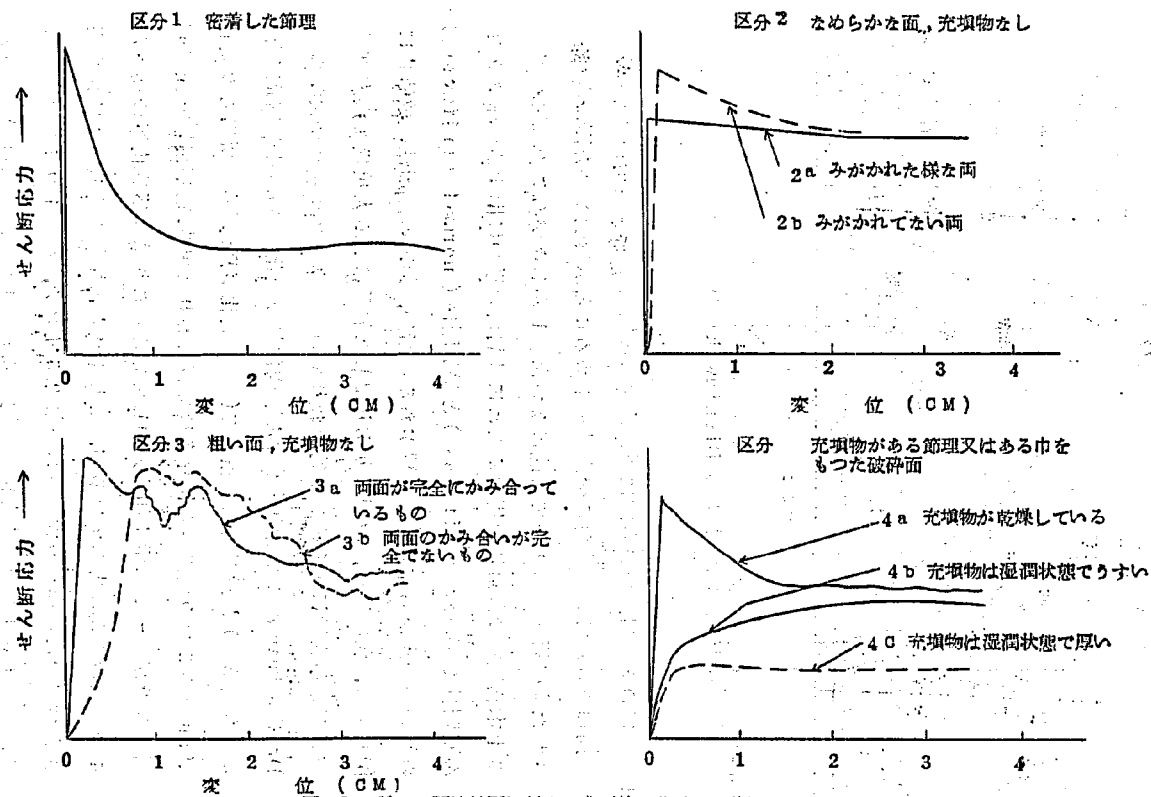


図-3 種々の不連続面に対する典型的な荷重～変位関係

区 分	不連続面の性質	最大強度時の 変 位 量 (cm)	せん断 剛 性 [10 ² (Kg/cm ²)]	最大強度 ÷ 残留強度
1	密着した節理	0.03	6.0	3.0
2	なめらかな面, 充填物なし			
	2 a みがかれた様な面	<0.01	6.0	1.1
	2 b みがかれていない面	0.02	1.3	1.2
3	粗い面, 充填物なし			
	3 a 両面が完全にかみ合っているもの	0.20	1.3	1.75
	3 b 両面のかみ合いが完全でないもの	0.80	1.0	1.75
4	充填物がある節理又はある巾をもつた破砕面			
	4 a 充填物が乾燥している	0.12	2.2	1.5
	4 b 充填物は湿潤状態で薄い	0.26	1.5	0.6
	4 c 充填物は湿潤状態で厚い	0.30	0.8	1.9

表-1 種々の不連続面に対する典型的な荷重～変位関係

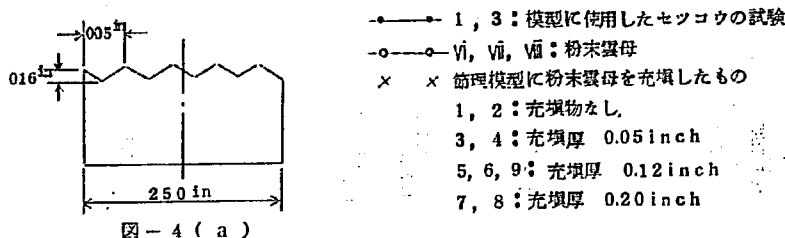


図-4(a)

図-4 粉末雲母を充填した節理模型のせん断試験結果

山形の凹凸をつけたものである。(図-4(a)参照)。これを上下組合せて節理模型とした。一連の試験は

- ① 使用したセツコウの力学的性質を調べるせん断試験
- ② 使用した粉末雲母の力学的性質を調べるせん断試験
- ③ 模型の上下盤の間に粉末雲母を充填しないもの。
- ④ 模型の上下盤の間に粉末雲母を充填したもの。

—— この場合は充填する厚さを0.06, 0.12, 0.20インチの3種に変える。

図-4(b)は一連の試験における荷重～変形の結果を示す。表-2は強度～変位～剛性の関係をまとめたものである。図-4(c)は試験における垂直変位のデータを示す。試験結果を図-5にまとめる。この図からも分る様に剛性(stiffness)と強度は節理充填の度合に従って少しずつ減少する。節理充填度は充填の厚さ/節理模型の山の高さで表わされる。12.5%充填では節理の剛性は充填材(粉末雲母)の2倍である。一方、節理の強度は充填材の50%増しになる。これは、せん断中に局部的に山の部分で垂直応力集中が生ずることによる。この実験結果からせん断が生じた粉末雲母充填節理は節理充填材と明らかに異なつた性質を有することが分つた。

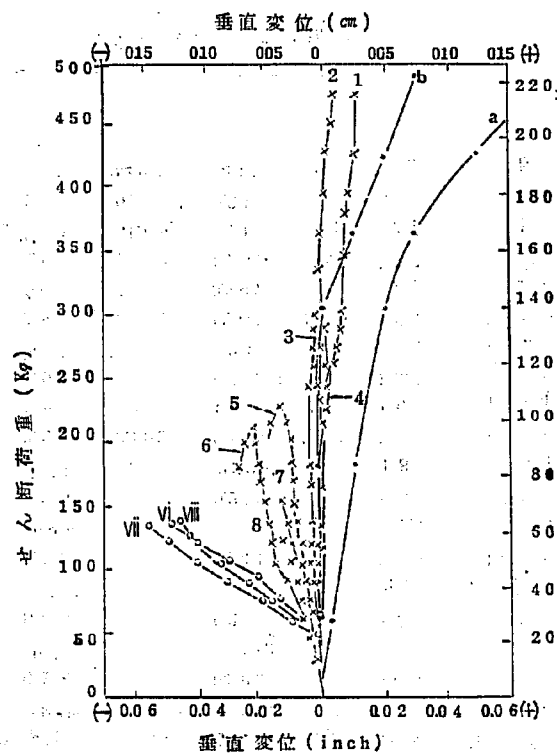
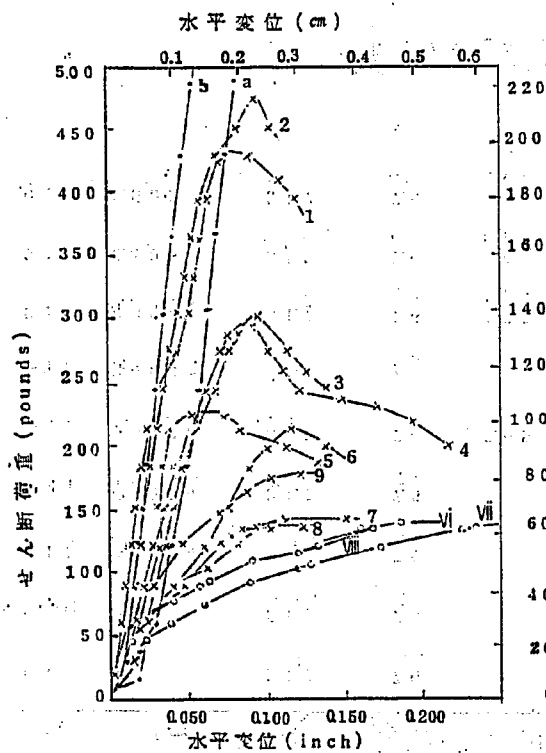


图 - 4 (b)

試験 順	模型節理 の山の高さ (cm)	充填した粉末 雲母の厚さ (cm)	断面積 (cm ²)	試験開始時 の垂直応力 (Kg/cm ²)	せん断応力 (Kg/cm ²)		水平方向変位 (cm)		せん断剛性 (Kg/cm ²)		荷重～変位 曲線の区分
					降伏時	最大時	降伏時	最大時	降伏時	最大時	
1	0.41	0	31.7	7.6		6.18		0.203		30.4	4 a
2	0.41	0	31.7	7.6		6.80		0.244		27.9	4 a
3	0.41	0.1524	31.7	7.6		4.33		0.241		18.0	4 a-4 b
4	0.41	0.1524	31.7	7.6		4.26		0.226		18.8	4 a-4 b
5	0.41	0.3048	31.7	7.6	3.05	3.28	0.102	0.165	29.9	19.8	4 b-4 a
6	0.41	0.3048	31.7	7.6		3.06		0.305		10.1	4 b-4 a
9	0.41	0.3048	31.7	7.6	1.75	2.58	0.114	0.297	15.4	8.7	4 b-4 a
7	0.41	0.508	31.7	7.6	1.43	2.05	0.140	0.291	10.2	7.1	4 b
8	0.41	0.508	31.7	7.6	1.83	1.98	0.203	0.241	9.2	8.2	4 b

表 - 2 粉末雲母を充填した節理模型のせん断試験結果

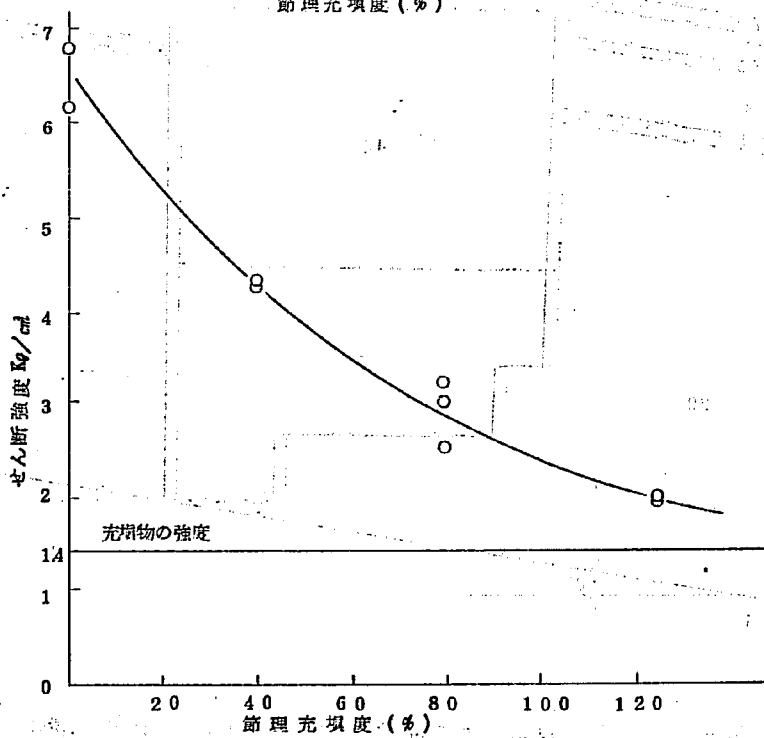
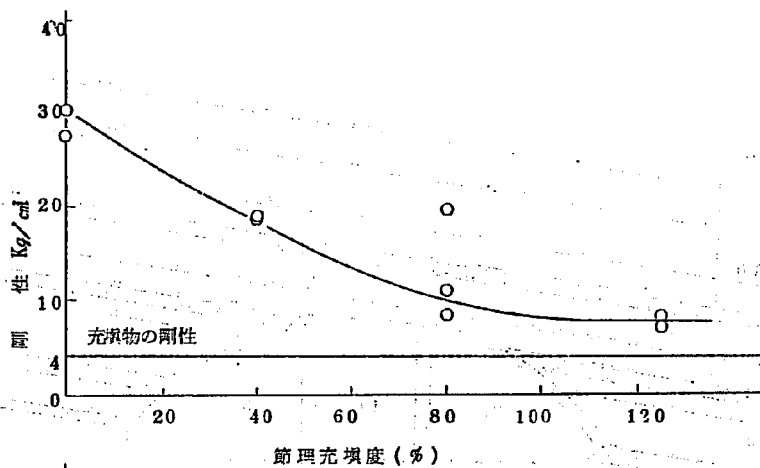


図-5 節理充填度と節理の剛性及び強度の関係

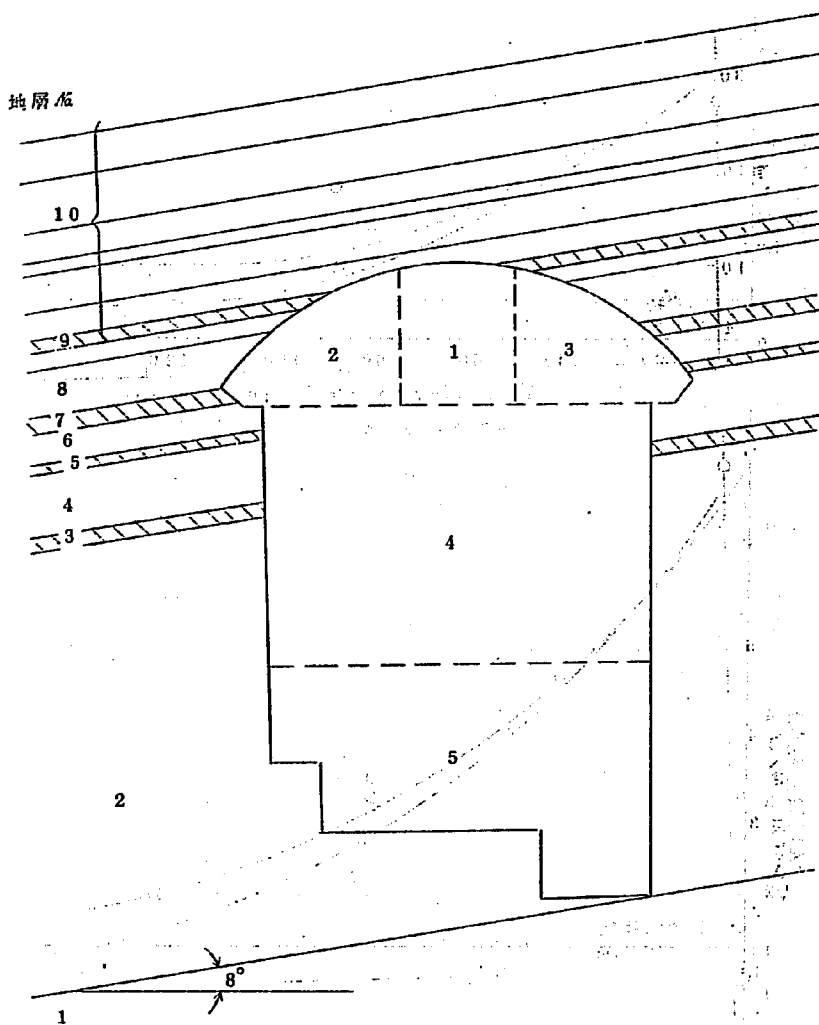


図 - 6 地層断面図 (カナダ、ブリティッシュコロンビア州の地下発電所)

地層No	記 載	地層材料分 区
1	固結した頁岩層理構造あり	B
2	固結した砂岩塊状	A
3	石 灰 層	C
4	固結した頁岩層理構造あり	B
5	石 炭 層	C
6	頁 岩	B
7	石 炭 層	C
8	層 状 砂 岩	A
9	石 炭 層	C
10	層 状 頁 岩	B
11	塊 状 砂 岩	A

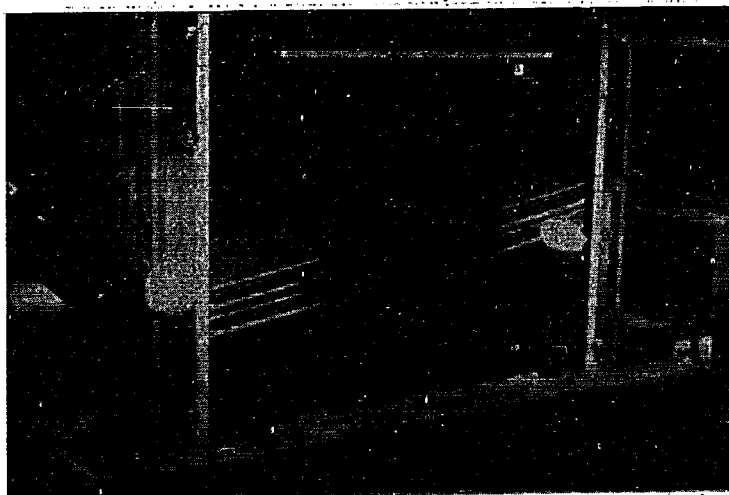
表 - 3 地層区分 (図 - 6 , 7 と対応)

5.3 層状地山中のトンネル模型実験

これはカナダ, ブリティッシュコロンビア州で建設中の地下発電所の模型実験で, 現場の条件は図-6 及び表-3 に示される。初期応力は, 土かぶりの重量から来る垂直応力 (σ_v) が $350 (16/in^2)$, 水平応力の $1/2$ と考える。現場の技術者は支保工を行なわない場合, 地山がどの様に崩落, 変形するかを知りたがっており, これを模型実験で検討した。

① 実験装置及び模型材料 (写真-1 参照)

$30 \times 25 \times 4 \text{ in}$ 及び $80 \times 50 \times 6 \text{ in}$ の実験槽 (I 及び II) を制



作した。実験槽Ⅰは垂直方向のみ加圧可能であり、これで予備実験を行ない、次に垂直、水平両方向より加圧可能な実験槽Ⅱを用いて本実験を行なう予定であつたが、筆者は予備実験と実験槽Ⅱの設計を終えた時点で帰国した。この種の模型実験では原型との相似関係から模型材料の選定が問題にさる。長さの縮尺を $1/150$ にすると次元解析から模型材料は次の関係を満足しなければならない。

$$\text{長さの縮尺}(\lambda) = \frac{L_p}{L_m} = 1/150$$

$$\text{単位体積重量の縮尺}(\varphi) = \frac{\gamma_p}{\gamma_m} = \frac{1.5/0}{1.0/0} = 1.5 \text{ とすると、}$$

$$\text{応力及び強度の縮尺}(\xi) = \frac{J_p}{J_m} = \lambda \varphi$$

$$= 1.5/0 \times 1.5 = 2.25$$

この場合、強度に関する要素は C 、 ϕ の2つであるが、 ϕ は無次元な

ので結局、要求される模型材料の性質は表-3に示す如くなる。これ

にもとづき、Aに対して中砂とパラフィンの混合、Bに対しては細砂と

パラフィンの混合、Cに対しては粉末雲母を使用した(A、B、Cは地

層の性質を示す(図-6参照)。この選定は直接せん断試験による。

模型の自重だけでは現地での初期応力に対応しないので鉄の細粒を用い

た。原型では、 $4.5 \times 10^{-4} \text{ lb/ft}^2$ であるから、模型では

$$P_m = \frac{4.5 \times 10^{-4} \text{ lb/ft}^2}{2.25 \times 10^2} = 1.39 \times 10^{-6} \text{ lb/in}^2 \text{ となる。}$$

② 予備実験の結果

予備実験は実験槽Ⅰを用いて地山の崩壊、変形の傾向を確かめるために行なつた。実験結果は、図-7においてまずアーチの右上部の斜線の部分が崩壊し、次にアーチの右下部の斜線の部分が崩壊する。この状態で無支保のまま放置すると、アーチ右上部で弱層にはさまれた部分が時

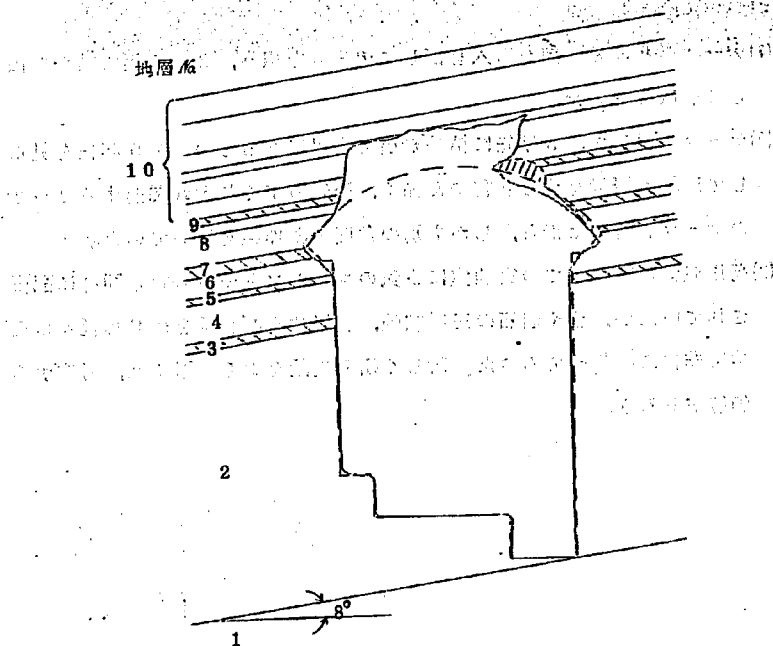


図-7 模型実験によるトンネル崩壊の状態

間の経過とともに前方へブリ出して来る。実験の最終段階でのトンネルの状態は図-7の実線で示される。有限要素法による理論計算との比較は、計算結果が出ない段階で帰国したので行なっていない。期日が限られていたので、この研究は途中迄しかやれなかつたが、岩を対象にした模型実験に対する次元解析の考え方及び模型製作上の技術を学んだことは貴重であつたと思う。

6 今後当所にとって役立つと思う事項

研究の進め方について参考になると思つたことがあつたが、在席した所が大学であつたので土木研究所にそのまま適用しにくい面があると思われ、気がついた点としては

- (1) テーマごとに各部門から人を出してチームを組み、3～5年で結果を出して解散していた。
- (2) テーマに対して、5年先に結論が出て実用になるもの、10年先を見こして理論的研究をすと言つた如く、研究者がそれぞれ関連する2～3のテーマを持ちながら、しかも別の角度より作業を進めていた。
- (3) 高圧空気の管が全ての実験室に電気のコソセントやガス管と同様に配置されていたが、土や岩石の三軸試験、直接せん断試験をはじめ種々の実験に非常に好都合であつた。新しく研究施設をつくる際には、考慮する価値がある。