

赤外線航空写真とその応用について

丸 安 隆 和*
西 尾 元 充**

1. ま え が き

大空に舞い上がると、野も山も一望に見わたされて、さえぎるものがない。このような景色を写真におさめ、写真に記録されたいろいろな地形や地物を詳細に解析したら、地上をただ歩いただけでは知ることのできないことがら、きつと数多く見出されるに違いない。実際、写真を見る人の基礎的な知識をもつてすると、地表にあらわれている地物や地形を知るばかりでなく、何百年も昔の歴史をこれからたずねさぐることもできるし、地下にかくれている地質の構造すら解説できるのである。

わが国においては、最近航空写真測量が非常に急速な発展をしたのであるが、それはもっぱら航空写真を使って地図をつくるということであつた。そして、いろいろな目的で航空写真測量を実施するのであるが、地図をつくるのに使つた航空写真は、モザイク写真にして応接間に飾るか、戸棚の中に大切に保管されたままになっているにすぎないことが多いようである。

しかし、航空写真は、レンズとフィルムの性能、あるいはまた写真の縮尺によつて、表現されるディテールに制約をうけるとはいへ、なんら人間の意志が加わっていない。あるがままの現地の縮写であり、しかも白から黒までの無限の段階をもつ色調によつて、現地の状況がそのまま再現されているのである。

すべての科学的調査に対して、なんら人為的な作為の加わっていない、生地のままの記録がどんなに大切であり、また有効であるかは、今さら説明するまでもないことである。

この意味から、せつかく写した航空写真は、単に地図をつくるというだけではなく、いろいろな調査や研究に十分活用することを考えなければならないのである。

最近、航空写真を使って地質構造の解析をしようとする学問が新しく提唱され Photogeology と名づけられ、文献も相当数多く見られるようになってきた。実際、山野を跋渉し、数多くボーリングを行つて地質を調べることは、労力からいつてもまた経費の点からも、大変な仕事である。もし、航空写真を使って地質構造の概要をつ

かむことができ、またボーリングを行うのに適正な位置が選定でき、いく本かボーリングの本数を減らすことができたなら、また実際に踏査が航空写真であらかじめ調査、解析した結果をもとにして行うことができたなら、それだけ航空写真を撮影するための費用など、容易にカバーするだけの価値があるであろう。

地質学者が顕微鏡をつかつて、その微細な結晶の研究をすることと、航空写真を用いて、地形のなり立ちその他を大観し、地質構造の概要を知ると、科学的手段としては同じであるに違いない。

この論文は Photogeology (写真地質学) の研究の一環として行つたものの報告であるが、Photogeology そのものについての研究についてはあとにゆずり、ここでは従来用いられてきたパナクロ写真にくらべて、赤外線写真が地質や土壌、または地下水の調査に、どんなに有効な手段となりうるか、ということをも、実例によつて説明することにした。

ここで、われわれが普通地質学といつているのは、土木工事に関連して問題となる地質一すなわち土木地質学を意味するのであつて、純粹の地質学者が論ずる地質学ではない。

赤外線写真は、従来特殊な目的に広く使用されてきた。このような利用面から考えてみると、高空から赤外線写真をとると、どのように写るだろうか、ということはきわめて興味のある問題である。しかし、現在までのところ赤外線航空写真はどんな条件で撮影すれば、最も理想的な写真が得られるかという基本的な問題も十分に解決されていない。われわれの研究は、したがつて、このような基本問題から出発しなければならなかつた。

このように新しい分野の研究を始めるに当つては、数多くの困難をとまらるのであるが、幸い国鉄技術研究所、関西電力KK、アジア航空測量KKから多大の援助を受け、軌道に乗せることができたのである。ここに厚く謝意を表する次第である。

2. 赤外線写真の原理

プリズムを通る太陽光線が、赤から紫まで7色に分離されることはよく知られている。ところが、この赤色部の端に熱エネルギーを持つ眼に見えない光線のあること

* 正員 工博 東京大学教授 生産技術研究所第5部

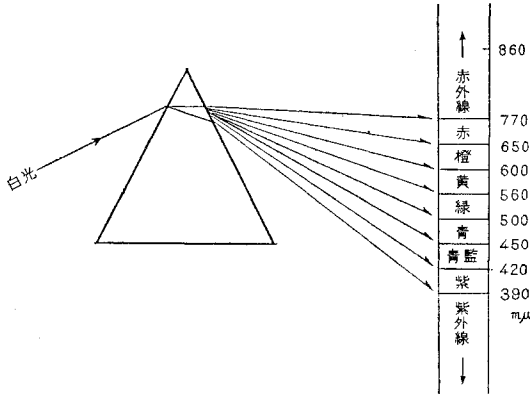
** 正員 アジア航空測量KK調査課

が発見され、これを赤外線 (Infrared) とよぶことになった。

赤外線写真は、この赤外線に感ずる乳剤を塗布した感光材料を使用する写真技術の一種である。従来行われてきた写真撮影は、波長が 450~650 m μ の可視光線を利用したものであるが、赤外線写真は可視光線のごく一部と不可視光線を使つて、肉眼では見えないものを再現する能力を持つことが特長である。

光線の波長と色および可視光線と不可視光線の関係を図-1 に示した。

図-1 光の波長と色



3. 赤外線航空写真の利点

赤外線航空写真は戦時中偽装の発見に利用されたと聞かすが、最近では林業関係における樹種の判別に用いられようとしている。

樹種の判別には、赤外線写真にはクロロフィル効果 (Chlorophyll effect) という現象があつて、樹木の葉の表面から反射する光が、赤外線写真には特に強く感じ、緑が白く光り輝くように見えるので、非常に有効なのである。これに反してパングロの写真では、緑の部分がフィルムに感ずる程度が他の色にくらべて低いので、画面に黒く写り、樹木の判別が困難である場合があつた。これが赤外線写真の一つの特長である。

また、光は一般に波長の短かいほど、すなわち波長の4乗に逆比例して散乱し、散乱光となるので、遠くまで届くことができないが、波長が長くなるにつれて遠くまで届くことができることになる。したがつて、航空写真の撮影を行う場合、いつも重要な障害となる Haze (もや) の影響をうけることが少なく、鮮鋭な像が得られるのである。

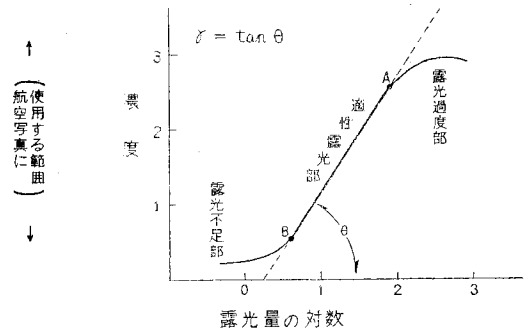
熱線は水に吸収されるために、河、水田、および山地内の水系や沼沢地、水分の多い土壌等は、写真上に黒くうつり、写真上でこれらが発見することは非常に容易になる。

総合的にいつて、写真上での判別の基準となる各種の因子の中で、その画像の形と濃度は重要な要素であるが、その中でも特に濃度のちがひによつて、被写体の判別ができる例が非常に多い。

この濃度の割合を示すコントラスト (Contrast) は、最も光線の強くあつた光輝部 (High light) と蔭影部と (Shadow) の対比で現わされる。このコントラストは写真乳剤の特性曲線から求めることができる (図-2 参照)。

図-2 特性曲線

A~B の直線部分の横軸となす角の \tan , すなわち r がコントラストの程度を示す



航空写真の場合には、コントラストは撮影高度によつて変わる。すなわち航空写真撮影のとき、地上で反射する太陽光線は、部分的に非常に差がある。針葉樹の多い暗い森林では1% ぐらしか反射しないが、明るい砂質の土や岩石などの部分では反射が最も強く約 30% ぐらゐ反射する。

したがつて撮影高度の低いときは、地上における反射光線の比 1:30 が、そのまま航空カメラに入るので、写真画像のコントラストは 1:30 の濃度差になつて現われる。しかし、撮影高度が高くなると、大気中の散乱光がカメラに入るので、反射光線の比は小さくなり、高度 3000 m で 1:8, 6000 m で 1:5 に低下する。このように、撮影高度が高い場合には、写真画像は全体にわたつて同じ調子の濃度になつて、判読する場合に画像の特長が失われる。このために、高々度からの撮影する場合には、コントラストの強くなるように現像処理を考えなければならぬ。

従来用いられているパングロの航空フィルムと、赤外線用フィルムとで、各高度で同時に撮影し、パングロフィルムでちょうど適当なコントラストであると思われる方法で、各高度のものを組にして現像し、そのときの r

表-1

撮影高度	パングロフィルム	赤外線フィルム
1000 m まで	0.9	1.3
1000~3000 m	1.3	1.8
3000 m	1.6	2.3

を比較すると表-1のようになる。

このように、航空写真の判読については、赤外線フィルムで撮影した画像が、地上での微細な変化を表現するのに、パンクロ写真よりはるかに有利であるといえるわけである。

4. 赤外線航空写真を撮影するために必要な条件

(1) 感光乳剤の性質

現在航空写真に用いられている代表的な感光乳剤と赤外線フィルムのそれとの感色性を比較したのが図-3である。

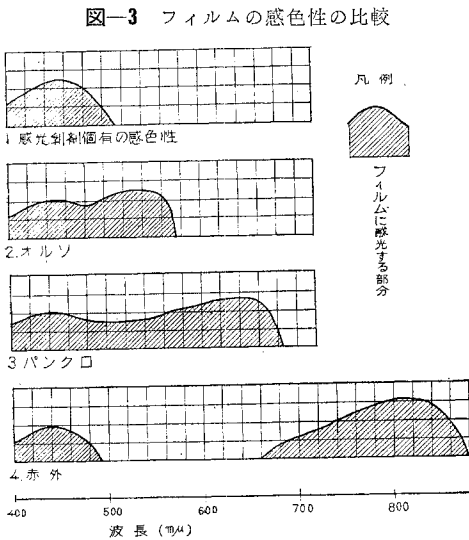
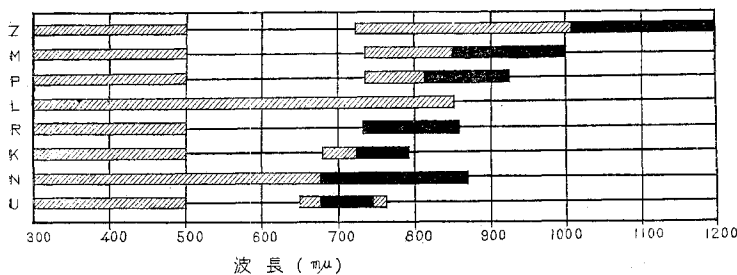


図-3の1.は、感光乳剤の材料であるハロゲン化銀の固有の感色性を示したもので、2.は整色性(Orthochromatic)の乳剤である。緑までの色に感ずることができる。3.は現在最も広く使われている汎色性(Panchromatic)の乳剤で、波長が450nmから670nmまでに感ずる性質があるが、緑の部分の感色度がいくらか低下していることがわかる。4.は赤外線(Infrared)の乳剤で、青紫色の一部分と、700nm以上の赤色部から、さらに赤外線の860nmまでに感光する性質がある。

赤外線乳剤にも感光する波長のちがいによつて、いろ

図-4 赤外線写真用乳剤の種類



いろなものがある(図-4)。

航空写真の撮影にさいしては、飛行機の速度がはやいので航空カメラのシャッター速度に制限があつて、緩速度シャッターを使用することができないので、長い露光を必要とする乳剤は使用できない。したがつて、現在航空写真用の赤外線写真用フィルムには860nm付近までのものが使われている。

赤外線用乳剤の欠点としては、感光度が低いことと、保存できる期間が非常に短いことである。今度の実験に使用するために輸入した赤外線フィルムの有効期間は、工場出荷後6カ月であつた。

感光度については、Geverlt社のAviphoto Infra-R FilmはASA 50、Eastman KodakのAerographic Infrared FilmはASA 100であるから、実用上は不便でないが、国内で全然製作されていないので、全部輸入によらなければならないのは残念である。

(2) レンズの焦点距離の変更

普通の航空写真の場合には、常に高空から撮影するので、Hazeの影響を除くために黄色のフィルターが使用される。したがつて、実際に感光する波長は約450~700nmの範囲であり、このときに鮮鋭な像がフィルム面に結ばれるようにできている。しかし赤外線航空写真では、これより長い波長の光線だけを使用するのであるから、このままでは鮮鋭な像を結ばせることができない。焦点面をいくらか延長させることが必要となる。

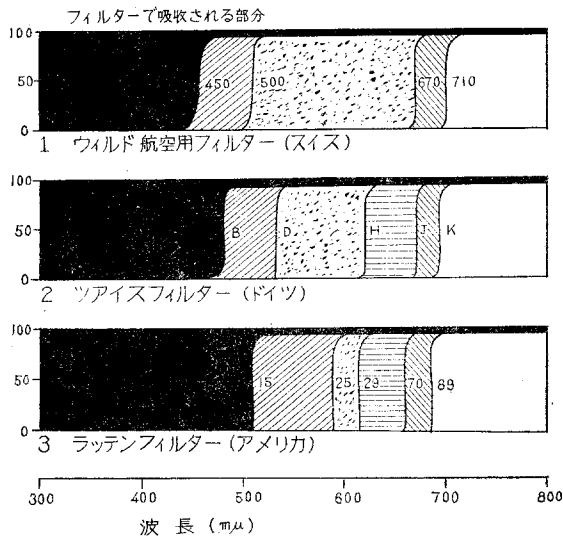
この焦点面の延長量は、レンズの形式、レンズの焦点距離、赤外線に対する屈折率のちがいなどによつて一定ではないが、使用するフィルムの波長の範囲が広く、実際的にはフィルムの感色性と使用するフィルターによつて決められる。一般に、焦点距離の1/200~1/400の範囲で延長すればよい。

普通の小型のカメラには、赤外線写真撮影のために、レンズのくり出し量がマークされているから、これに合わせて容易に焦点を合わせることができる。しかし、航空用カメラでは、焦点距離は非常に正確にきめられていなければならないので、焦点距離すなわちレンズとフィルム面の間隔を自由にかえることができないようになってい

る。撮影のたびに焦点距離をのぼすことができないのである。ところが、最近Dr. Bertareが赤外線専用のレンズを設計し“Infracon”という名称でウィルド社の精密自動航空カメラRC-5aやRC-8にとりつけることができるようになった。

従来は赤外線写真は、ただ判読用として用いられていたにすぎな

図-5 フィルターの性能の比較



かつたが、Infragon ができて、精密図化用としても用いることができるようになった。

(3) フィルターの選択

航空写真用として準備されているフィルターには、各メーカーによつて多少差があるが、いずれのメーカーも数種類あるようである。現在わが国で使用されているものの種類と性能を 図-5 に示した。

図-5 の 1. は Wild のもので、それぞれ吸収する波長数をそのままフィルターの番号としている。2. は Zeiss Aerotopograph のもので、A.D.H.J.K. はそれぞれフィルターの符号である。3. は Eastman Kodak のもので、航空写真用だけでなく、あらゆる部門の写真撮影に使用されている。

これらのフィルターのうち、赤外線写真用として使用するのは 670 mμ 以下を吸収する赤色フィルターである。これでほとんど大部分の可視光線が吸収されて、赤未部、赤外部の光線だけがフィルムに感ずるようになる。

アメリカでは赤外線フィルムに黄色フィルターを併用して写真撮影を行つているが、これは特殊な目的のため、Modified Infrared Method とよんでいる。この方法についても、その応用の実際を研究するために、あわせて研究をしなければならない。

5. 試験撮影とその結果

(1) 試験撮影

赤外線フィルムの製作は、わが国ではその利用度が少ないためか、ごくかぎられており、自由に所定のものを選んで購入することはできない。たまたま K社から“さくら赤外 750”フィルムが発売された。これは厳密にいうと、赤外写真というより赤未写真といつた方が適当なものであるが、これを用いてパンクロ写真との比較を行

うことができた。

撮影は飛行機から航空カメラをはずし、その撮影孔から 2 人の撮影者がそれぞれカメラを手を持ち、パンクロと赤外を同時に撮影した。そのときの撮影の諸元は 表-2 のとおりである。

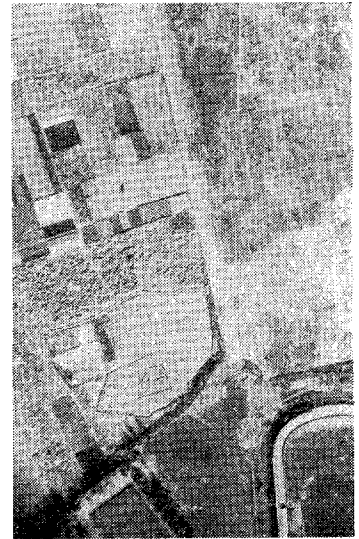
表-2

撮影データ	パンクロ写真	赤外写真	備考
カメラ	キャノン 4 Sb	ニコン S 2	
レンズ	キャノン f=135 mm	ニッコール f=135 mm	
フィルム	フジネオパン SS	さくら赤外 750	
フィルター	Y-2	R-2	
しぼり	F:8	F:4	
露光	1/200 sec	1/125, 1/250 sec	1/250 sec は露光不足
飛行高度	1 000 m	1 000 m	
その他	現像は D-76 を使用し 10 分間		

(2) 赤外写真の実例

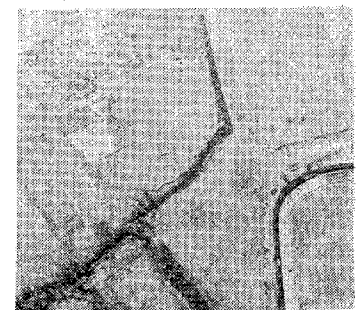
a) 写真-1 は、試験撮影によつて得られたパンクロ写真と赤外写真を比較したものである。この写真は転圧された運動場とその周辺の一部である。パンクロ写真では、運動場であるということ以外に、この写真から判読できる内容は認められない。

写真-1 (a) 赤外線写真



しかし、赤外写真では図に示すように A と B の部分では明らかに色調の差が認められる。その周囲の状況から判断すると A の部分は切取り部であり、B の部分は盛土したところであることがわかる。盛土する以前は、地形からみて恐らく水田であったものと思われる。したがって、切取り、盛土と異なつた工事のために、土壤中にふくまれる水分に相当の変化が生じているのであろう。

写真-1 (b) パンクロ写真



赤外線写真では、水分の多いところは一般に黒くうつるのが特長である。

写真-2 (a) 赤外線写真



写真-2 (b) パンクロ写真



b) 写真-2 は、a) と同じ地区の畑と樹木の差を示した例である。

この写真によると、パンクロ写真ではほとんど同じ色調で表現されている農耕地が、赤外線写真では極端に変化した色調で示されている。

道路も赤外線写真で見の方がわかりやすく、おそらく舗装道路と砂利道とでは色調の差が、きわめて明瞭にできるものと思われる。砂利のあるところは一そう黒くでるので、鉄道(道床)の確認も容易である。

樹木のちがいが単に形だけからではなく、色調の差となつて、でてくることも興味ある点である。

(3) 赤外線写真の応用

a) 写真-3 は天竜川に沿う 一帯の 航空写真をとつたとき一枚である。このうち (a) がパンクロ写真、(b) が赤外線写真である。撮影時間はほぼ同じである。

この写真から見られるように、天竜川に面した傾斜面には小規模な水田があり、撮影したときは収穫後そのまま放置されている状態である。

写真 (b) の画面中に記入したAの部分の水田には、前からきれつがあつて地くずれの危険がある、ということが踏査で知られていた。写真を見ると、このきれつで崩れ出そうとしている部分の色調が、他の部分にくらべて大分異なつていることがわかる。

写真-3 (a) パンクロ写真



写真-3 (b) 赤外線写真



同じような色調の変わったところがBの部分にも見られる。その後この地点を再び踏査した結果、ここにも大きいきれつができていたことが確かめられた。

パンクロ写真からは、これらの異状を発見することは困難である。

b) これまでの実験は、小型カメラによる国産赤外フィルムについて行つたのであるが、さらにこれを発展させるため、航空カメラに Aviotar (焦点距離 21 cm) レンズを取りつけ、フィルムは Aviphoto Infra-R を輸入して使用して見た。

撮影地域は本流に沿う山地と、その下流部で扇状地として知られている平野の一部である。

写真-4 はその一例で、扇状地の同時に撮影したパンクロ写真と赤外線写真である。この地形は扇状地東端に

写真-4 (a) 赤外線写真



写真-4 (b) パンクロ写真



写真-5

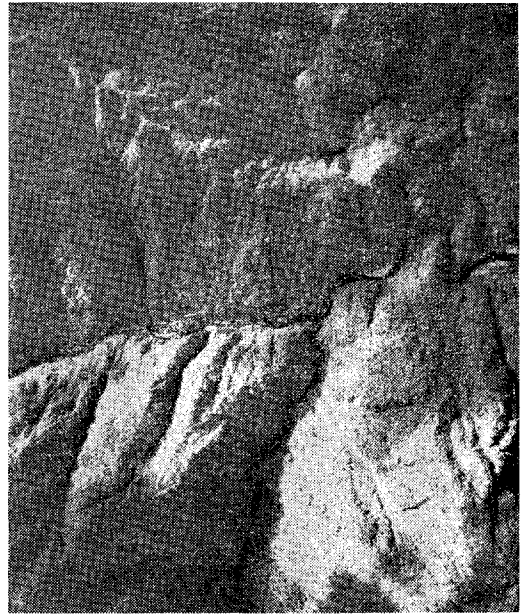
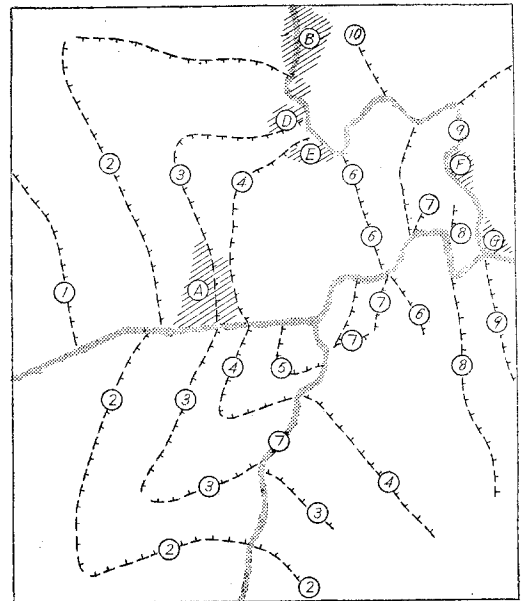


図-6



ある台地で、現在の沖積地より約 40 m の比高があり、傾斜は現在の沖積面より急である。パンクロ写真と赤外線写真を比較すると、後者の方がはるかに地表の微細な変化を読みとることができるように気がつくであろう。

すなわち、赤外線写真上で耕地がいろいろな色調で表現されているが、大別すると、暗い色調と明かるい色調の部分に分けられる。写真の北方と南側にその変化が見られる。このような色調の変化は、現地を歩きながらの観察では判別することはできない。これらのちがいを調査した結果、暗い色調の部分は表土の下が半泥炭状で、

明かるい部分は砂質粘土質の土壌であることがわかった。

このことから、北側に一部分見える棚山台地の南側を流れる支流の影響によつて、この付近一帯は湿地帯であつたことが想像できる。また、部分的に極端に黒く、耕地が点々として認められるが、これは中耕を施した直後の場合で、白いところは裏作の野菜類か、全面にワラを敷いた耕地であつて、土質の特徴を直接あらわしたものでない。

写真-5 は山地の写真の一例である。この付近の山は地質構造的には非常に複雑なところであるが、写真上で黒く認められる割目の線が、非常にはつきりと規則的な配列を示しており、川筋と、これらの割目に沿つて、山が大きくブロックに分割されていることが想像できる。図-6 はこれらの割目の状況をスケマテックに示したものである。

これらの割目には、断層破砕物を示しているものもあり、また割目にある流水の状況から、流水が容易に浸透

できるような割目であるかどうかとも判断できる。

これを詳細に解析することによつて、土木工事の計画に大きい示唆を与えることができると考えられるのである。

6. 結 び

赤外線航空写真についての技術は、まだわが国ではその経験がなく、研究もその最も初歩の段階から進めなければならなかつた。さいわい、各方面からの御指導と御援助をうけ、ようやく本格的な撮影ができるようになった。

赤外線航空写真は、その一端をここに説明したように、いろいろな利用の道がひらけることと確信している。もちろんパナクロ写真、天然色写真と併用することによつて一層の効用を発揮することはいうまでもない。

これらを有効に利用して、新しい研究分野として発展しつつある Photogeology を大いに開拓し行きたいと考えている。

土木学会誌“合本用ファイル”頒布

体 裁：B5 判 学会誌 12 冊とじ込み用、薄グリーン・クロス装、金文字入り
頒 価：1 部 140 円 (〒 30 円) 申込方法：入金次第発送します

学会備付図書(国内)一覽(36)

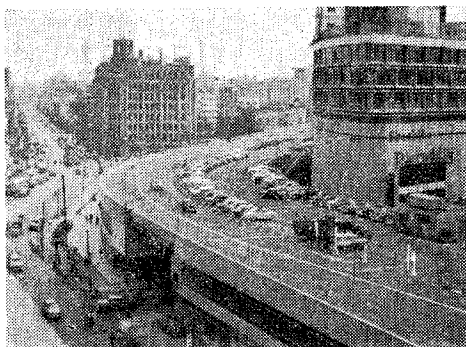
I 昭.34.6~7. 間に寄贈を分けた分

○東京都建築材料検査所報告 VI—昭和 32 年度検査成績について—(東京都建築材料検査所) ○昭和 32 年度におけるセメントの試験成績について(東京都土木技術研究所) ○基礎科学白書 第 1 集(日本学術会議) ○日本製鉄株式会社社史(日本製鉄 K K 史編集委員会) ○内務省直轄土木工事略史・沖野博士伝：真田秀吉著(旧交会) ○実用土木施工：河村 協著(工学出版社) ○Proc. of the Second Japan Congress on Testing Materials(日本材料試験協会) ○ケンコー式水中コンクリート工法：藤井二郎著(藤井建設技術研究所) ○プレストレスト コンクリート施工法：猪股俊司著(山海堂) ○On the Stability of Soft Peaty Ground under an Earth Embankment：宮川 勇著(北海道開発局土木試験所) ○Top Level of Industrial Machines Manufactured in Japan(日本産業機械工業会) ○ワイヤーロープ研究会講演集第 4~7 回(日本鋳業会) ○Dam Construction Activities in Japan(国際大ダム会議日本国内委員会) ○複合曲線の中間緩和曲線について：八十島義之助著 ○土木技術研究所報告 第 30 号(東京都土

木技術研究所) ○同第 31 号赤坂中ノ町の地盤沈下報告—第 1 報— ○同 東京都江東区地盤沈下地帯における地下水系の基礎的研究—その四— ○同 第 32 号 ○盛工年次報告別冊 鉄道路盤の性状について：北村市太郎著(国鉄盛岡工務局) ○同 盛工年次報告—昭和 33 年度— ○コンクリートパンフレット 第 60 号プレストコンクリートの建築構造：坂 静雄著(日本セメント技術協会) ○材料工学：田中一彦著(共立出版) ○日本管工事工業協会会員名簿 ○機械工学年鑑—昭和 34 年—(日本機械学会) ○Highway Bridges in Japan(道路橋専門視察団) ○流量年表第 10 回昭和 32 年(建設省河川局) ○雨量年表 第 6 回 昭和 30 年(建設省河川局) ○東京都立大学工学部研究一覽—昭和 33 年 1~12 月—(東京都立大学工学部) ○つけ発破による爆力効果に関する研究 第二次実験報告「水中用爆薬種判定に関する実験」：大浦政芳著 ○水中における大発破施工法の一考察について：大浦政芳著 ○日本測地学会会員名簿—昭和 34 年 4 月—

II 昭.34.6~7. 間に購入した分なし

付記 前回(35)は 44-7-p.26 および 44-8-p.33 に掲載



東京高速道路 有楽町附近

建設の コンサルタント 調査 計画 設計 測量

ご挨拶

久保田敬一

社団法人復興建設技術協会は、昭和21年創立いたしましてから逐年業績をあげてまいりましたことは、官民各界からの絶大なる支援の賜であり、深謝いたしておるところであります。

しかしながら、受託事業が増大してまいりますことは、社団法人の組織ではその事務処理にいろいろ不便の点が生じますので、昨年来種々検討をいたしました結果「協会の事業の健全な発展を期するためには、協会の分身として各支部地区ごとに株式会社を創立し、受託事業のうち、収益事業は協会の業務から切り離してこれを新会社に移行せしめる」との決定をみました。

第一段階として、関東支部、近畿支部、九州支部の3地区に、それぞれ独立の株式会社を創立、事業中の収益事業はこれらの株式会社に移行させました。新会社名はそれぞれ、関東復建事務所、近畿復建事務所、九州復建事務所と名づけ、協会の分身であること、各会社間に密接なる関連のあることを名称でも表示したものであります。

前記3地区におきましても、各支部は残しておりまして公益事業を引つづき行うことにいたしております。

つぎに残りの中部、中国、東北の3支部は従来通りの形態で業務を続行いたしておりますが近々同様の方針のもとに、収益事業を移行することにいたしております。

以上、新会社の創立ならびに今後の移行につきましてご了承をえたく、あわせてそれら新会社ならびに各支部に対しご支援を賜りますようお願いいたしたく、ご挨拶申し上げる次第であります。(昭和34年7月)

社団法人 復興建設技術協会

東北支部 支部長 鶴見一之
中部支部 支部長 花井又太郎
中国支部 支部長 松村恭二

仙台市二本杉通4 電 仙台(4)4012
名古屋市千種区今池町1の12 電 名古屋(73)8841
広島市基町県庁構内自治会館内 電 広島(2)2752,(4)0304
株式会社

関東支部 支部長 秋山和夫

関東復建事務所 代表取締役 秋山和夫
東京都千代田区大手町2の4 電(20)3919,3428,4577

近畿支部 支部長 高橋末治郎

近畿復建事務所 代表取締役 高橋末治郎
大阪市北区茶屋町国鉄高架下 電(37)0490,5170

九州支部 支部長 轟謙次郎

九州復建事務所 代表取締役 轟謙次郎
福岡市鉄砲町1 電 福岡(4)7256

社団法人 復興建設技術協会

会長 久保田敬一 副会長 大村巳代治・滝尾達也・立花次郎 理事長 比企元

東京都千代田区大手町2の4

電(20)3919,3428,4577