The Japanese Geotechnical Society

No. 1404

W.J.M. Rankine（ランキン）

大原資生*

1. まえがき

土圧論にクーロン土圧とランキン土圧があり，前者は後者より古く，擁壁によって支えられる土の部分全体についての力の平衡を考えたものであるのに対し，後者は土の中の任意の要素についての応力の平衡状態を考えて導かれたものであることは衆知のとおりである。

両者にはそれぞれ特長があるが，ランキン土圧の方が理論の組立て方がすっきりしている点に魅力を感じる。

そのことは，クーロン土圧が1773年に発表されたのに対し，ランキン土圧は1857年に発表されたという年代の差もあろうが，やはりRankineの弾性論への造けいの深さを表していると考えられる。

W.J.M. Rankine（ランキン）はイギリスのスコットランドの主都Edinburgh（エジンバラ）で1820年7月3日に生まれた。

父はDavid Rankine（ダビット・ランキン）といい，陸軍の軍人（大佐）であったが，陸軍を去ってからは土木技術者として，鉄道会社で働いた。

Rankineは初期の数学，基礎力学，物理学はこの父から習った。

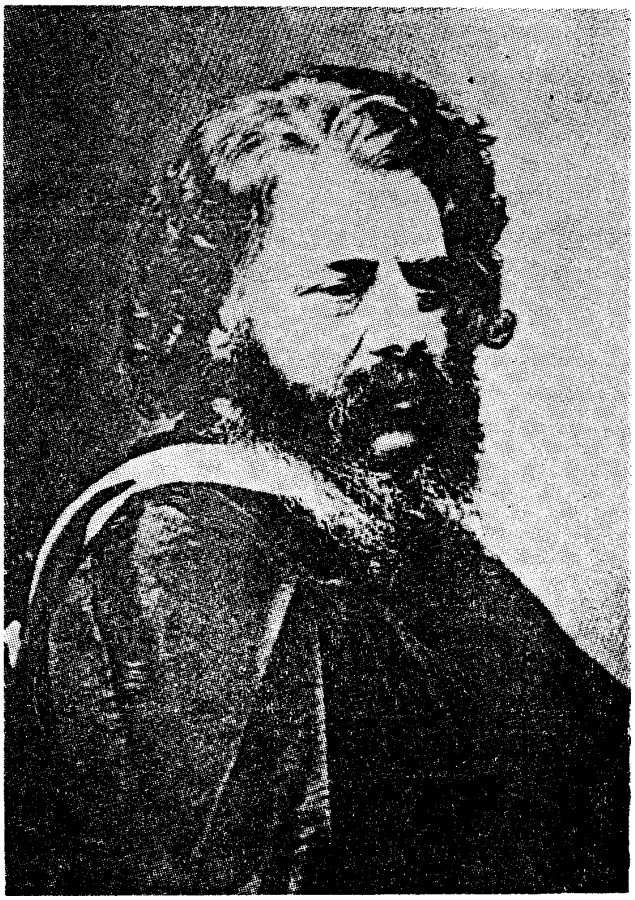
彼は1828年から1829年まで Ayr Academy（エーア・アカデミー）に学び，1830年にGlasgow（グラスゴー）の高校に入学した。この年に家族は Edinburgh に移ったが，彼は健康を害したため，高校には戻らず，彼の6年間の初等教育は父の指導の下で自宅での自習という形で続けられた。

記録では，彼が14才のときに叔父がラテン語で書かれたニュートンの「Newton's Principia(プリンシピア)」を与えた。彼は，これを熱心に読み，数学，力学，物理学の高度な基礎知識を修得したといわれている。

16才のとき， University of Edinburgh（エジンバラ大学）に入学した。

これは比較的若年の入学と考えられるが，このことは特例ではない。Kelvin（ケルビン）は10才で，また，その兄は13才で University of Glasgow（グラスゴー大学）に入学している。

Rankineの在学は2年間で，その期間は短いが，彼にとって輝かしいものであった。すなわち初年度には，「光の波動理論」という論文で金メダルを受け，次年度には「物理学的研究の方法」という論文で特別賞をもらっている。最初の年に彼は化学，自然史，植物学，それに物理学をForbes（フォーブス）から学んだ。Forbes は熱科学の偉大な研究者の一人であった。後年，彼は熱力学の研究をはじめるが，熱力学の創始者であるClausius（クラウジュウス），またKelvinとの結びつきは，このForbesとの出合いが縁となったのであろう。



彼はまた，この期間に音楽の理論と実技の研究も行って，彼の多才さを示した。

その後，家族の要請もあって，彼は父の助手としてEdinburgh and Dalkeith Rail Way（エジンバラ・ダルキース鉄道会社）で一年間働いた後，当時の土木工学をリードしたJ. Macneill（マクニール）の弟子となった。

当時のイギリスでは技術者となるためには徒弟的な修業が必要であった。

*山口大学教授　工学部土木工学科

NII-Electronic Library Service

The Japanese Geotechnical Society

Rankineは4年間の修業期間に測量，河川改修，水道工事，アイルランドの港湾工事，鉄道建設などに従事した。

4年間の修業生活を終えたRankineは1842年にEdinburghに帰り，鉄道会社とコンサルタントに1848年まで働いた。この間にRankineは実務的な土木技術者から理論的な物理学者に急速に変わったという人があるように，彼は多くの時間を理論的な研究に費やし，車軸の疲労破壊に関する論文をはじめ，数々の論文を土木学会に送り，いくつかの賞を得るといった立派な業績をあげた。

1848年以後の彼の仕事も偉大で，5年間Royal Society（ロイヤルソサイヤティー）の研究員となり，同時にGlasgowの水道工事を立案するといった土木工学の実務にも関係した。

このように，当時の科学者が多かれ少なかれ技術者として働いたと同じように，Rankineも一方では弾性学，熱力学の研究者であると同時に，技術者としても活躍した。

2. 教育者としてのRankine

1855年12月にRankineはL. Gordon（ゴードン）の後任として，Glasgow大学の土木工学講座の教授に就任した。

この講座の教授は女王が委任状によって任命するもので，前任者のGordonは1840年の講座創設以来，土木工学と力学の講座担当の教授であった。

Gordonはロンドンにある事務所の営業に忙しく，1854年ころからRankineが自分の後任となることを願っており，それが実現するまで自分の辞任を遅らせたといわれている。

Rankineは1872年に亡くなるまで17年間この地位にあり，その間に111編の論文を発表したといわれている。

彼の教授就任講義は「工学における理論と実際との調和」と題するもので，大学における工学教育に対する彼の考えを明らかにしたものであった。彼はこの中で次のように述べている。

「純粋な科学的知識，純粋な実務上の知識，それと理論と実務の調和の理解から生じる知識があり，この3番目の中間的な知識が技術者にとって最も必要である。そのため，学生には前2者の両方を身につけさせるべきである」

このような考えから，Rankineは工学教育には科学的な原理に基礎をおいた教科書が必要なことを痛感し，1858年にA Manual of Applied Mechanics（応用力学便覧）を，1859年にA Manual of the Steam Engine and Other Prime Movers(蒸気機関便覧）を発刊した。そして1862年には応用力学の原理を土木技術に応用したA Manual of Civil Engineering（土木工学便覧）を発刊した。

これらの便覧の発刊のほかにも機構学や水車に関する論文，造船の理論と実地に関する論文などを書いており，一方ではInstitution of Engineers in Scotland（スコットランドの技術者協会）の会長をつとめたり，Committee on Designs for Ships of War（船の設計委員会）の指導をするなど幅広い活躍が目立つ。

しかしながら，なんといっても前述の便覧の発刊がRankineの業績の最大のもので，イギリスにおける技術者の参考書としてばかりではなく，フランス語，ドイツ語，イタリー語に翻訳され，広く用いられた。

Timoshenko（ティモセンコ）も1953年に「これらの便覧は発刊後およそ100年たった今日でも使用に耐えうるものである」との賛辞をおくっている。

当時のイギリスでは工学の分野での参考書は全くなく，Rankineはこのような本を発刊することによって，大学における工学教育を体系化する基礎を作りあげたといってよい。

ただ，これらの便覧は，前述のように，技術者には純粋な科学的知識が必要であるというRankineの考えに基づいて書かれており，実務的な技術のみの便覧とはなっていないので，その点では現場の技術者にとってはやや難解なものとなっていたようだ。

しかし，このような本を発刊したことおよびそれを用いての教育を行ったということは当時としては画期的なことであり，Rankineが優れた教育者でもあったことを示している。

3. Rankineの土圧論

Rankineの土圧論は1858年に発刊された応用力学の便覧に載っている。これは，1857年にPhilosophical Transactions（ロイヤルソサイヤティ紀要）に「On the Stability of Loose Earth（緩い土の安定について）」と題する論文として掲載されたのを再録したものである。

この論文の内容は，彼が大学に勤めるようになり，一連の講義の準備中に，土木工事や石工工事の安定について，数学的な理論を再検討しているときに考え出したと述べている。おそらく，彼は鉄道建設に携わったときに擁壁に作用する土圧にかかわり合いを持ち，Coulombの土圧について既に知っていたのであろう。

Rankineは，特にクーロン土圧を批判はしていないが，論文とその後に発刊した本の中で，土圧についての初期の研究は間違ってはいないが，その結果の適用は限定され，また科学的な観点からも満足できるものではないと言っている。

そして，彼は「緩い粒状体の中の与えられた平面に沿うすべりに伴う変形抵抗は，その平面の両側から作用する垂直圧と，ある定数（安息角の正接）の積に等しい」という原理を用いて粒状体の摩擦安定についての数学的理論を展開することを提案したのである。すなわち，Rankineは，共役応力の概念に基づく固体内部の応力平衡状態の考え方を粒状体にまで拡張しようと考え，上述の原理を用いてRankineの土圧式を構成した。

NII-Electronic Library Service

The Japanese Geotechnical Society

彼はまた，粘性の影響も一応考えたが，それは常に変化するもので信頼できないものとし，その取扱いについては結論を得ていない。

このようにして提案された Rankine の土圧論も，彼が書いた本の中に再録されなかったならば事実上知られないままであっただろうと H.B. Sutherland（スザーランド）が言っている。前述のように Rankine の土圧論は最初に彼の応用力学便覧に理解しやすい形で再録された。それは現在も用いられている記号を使い，また最近発行された教科書にも書かれているような方法で擁壁の設計に対する理論が掲載されている。

その後，Rankine の土圧論は粘性や壁面摩擦を無視しているなどの点での批判はあったが，Cook（クック）により，Rankine によって仮定された条件での材料，すなわち壁面摩擦の影響が除去された材料についての実験では Rankine の式の正しさが確かめられたことや，Terzaghi（テルツァーギ）により，ランキン土圧の適用の範囲が確かめられたことによってランキン土圧論は一応の評価を得たということができる。

事実，Rankine の土圧論はクーロン土圧とともに，現在も土質力学の分野で多くの技術者によって用いられ続けている。

4. まとめ

Rankine は1872年12月に52才で亡くなった。

Rankine の科学的研究の業績は非常に多い。しかし，現在土木工学の分野での論文として取り扱われている発表論文は少ない。また，土木学会との縁もうすかった。彼の仕事の主なものは熱力学，弾性学，流体力学などの分野のものである。1881年に W.J. Millar（ミラー）が，Rankine の種々雑多な科学論文を１冊の本（Rankine's Scientific Papers）に編集した。

その中には37編の論文が含まれているが，その中の一つのみが土木工学の論文カタログに入っているにすぎない。そして驚くべきことであるが，それは前述の「緩い土の安定について」という Rankine の土圧論を概説したものではなく，石工ダムの建設と設計についての報告であった。これはダム設計に科学的な原理を適用した最初の論文で，1872年の The Engineer（エンジニヤー）に掲載されたものである。1956年のエンジニヤーの100周年記念号に Sutton Pippard（ピッパード）は，Rankine のこの仕事を高く評価し，Rankine は偉大な工学科学者の１人であると述べ，応用科学の多くの分野に対する彼の影響は数えきれないほどであるといっている。また，同じ記念号に Arthur Pugsley（プグスリー）が Rankine の発刊した便覧の顕著な有用性を述べ，アーチの設計についての Rankine の貢献を強調している。

Rankine は応力とひずみを定義した最初の人であり，Timoshenko もこの点を認め，彼の弾性学の分野での数学的な理論の発表に賛辞をおくっている。

Clerk Maxwell（マクスウェル）は1878年の Nature（ネイチャー）の論文に，Rankine を Kelvin, Clausius と一緒にして，熱力学の創始者の一人として挙げており，３人の中でも Rankine の科学的分野での創造力が最もすぐれていると述べ，52才初期での Rankine の早い死は科学の進歩，科学の普及にとって大きい損失であると結論している。

先に書いたように，Rankine は音楽について終生興味をもっていた。彼はピアノがある程度上手であり，彼自身が作曲した歌を歌う大学での集まりなどには彼自身がピアノを弾いたという。そして科学的な研究業績と同様に，この方での名声も Glasgow に広まっていたとのことである。

彼の死後，「ランキンの歌と伝説」(Rankine's Song and Fables) という本が発行された。

Millar が編集した Rankine の科学論文集の緒言に，P.G. Tait（テイト）は Rankine の人物を次のように紹介している。「お世辞ではなく彼の外観は印象的で，しかも極度に好意をいだかせる。古い学校の紳士を思わせるような礼儀正しい人であった。彼の会話は興味があり，分かりやすかった。

一方，彼は聞き上手でもあり，相手が片言で話す子供であれ，科学的な話をする大人であれ，彼は話す人を元気づける効果をもっていた。彼はやさしさとユーモアを兼ね備えたすばらしい人物であった」と。

研究者，技術者，教育者，そして著者としての活躍で彼は十分に有益な生涯をもった人物であったといえる。

（追記） 本稿を書くに当たって次の文献を参考にさせていただいたこと，また，(1)の文献のコピーは九大の山内豊聡教授からいただいたことを付記し，謝意を表する。

参考文献

1) H.B. Sutherland: RANKINE HIS LIFE and TIMES, The Institution of Civil Enginees, 1972.
2) 坂本 功：クーロンとランキン，土と基礎，Vol. 22, No. 9, 1974.

（原稿受理 1983. 5. 20）

NII-Electronic Library Service