

道路・滑走路および鉄道線路

村山 朔郎*

道路・滑走路には表層を形造る舗装とその基礎である路盤・路床があり、鉄道線路には軌きよう（レールと枕木を組合わせたもの）の下に道床と路盤の基礎があるが、これらの基礎には土質力学上の問題で多くの共通点が見られる。すなわち、これらの基礎は他の基礎に加わる荷重とは多分に性状の異なる交通荷重を受けること、およびこれらの基礎は地表浅くにあるという点である。基礎が浅いことは、排水工をはじめ各種の土質改良の施工が行いやすい長所はあろうが、外界の温度、湿度などの気候変化や降水の影響などをきびしく受けるという大きな短所があって、浅い基礎としての特有の問題が生まれる。

本論に入るに先立ち「路盤」という用語について私見をのべたい。鉄道では軌道（レール・枕木および道床）を支える天然地盤を従来から路盤と称しているが、道路・滑走路関係では舗装直下において天然地盤に荷重を分布させる支承体を路盤といい、鉄道で路盤といっている天然地盤を路床と称している。路床も鉄道で用いる路盤も英語では *subgrade* といっているから邦訳の相違にすぎないが、両者で「床」と「盤」との使用が逆になっているのは不便である。盤は地盤と関連のある語であるから、半無限体の天然地盤を指し、床は建築構造でもそうであるように、人工を加えた地盤の上に作る構造物を意味させる方がよさそうであって、従来鉄道方面で用いられている名称の方が妥当のように思われる。特に本表題の如き分類が土質工学の分類として国際土質力学基礎工学会でも使われているから、「路盤」の名称の統一を速やかにされることを望むものである。

本論としてまず問題になるのは、交通荷重によって舗装や基礎に生ずる応力の問題があろう。自動車や航空機の重量は、道路や滑走路の進歩とは無関係に最近急激に増大し、自動車重量は従来からの荷重規格である第一種荷重（13 t）を超過し、また航空機重量の増加はさらにはげしく、商業航空機の限度と従来考えられていた70 tを今や超えつつある。これら荷重の静的な重さは、舗装のみでなく、路盤、路床の設計・施工に基準となるものであるが、走行に伴って生じる振動や衝撃の影響も過少とはみられない。実際に舗装や基礎にどのような応力が生じているかを測定することは必要であるが、その十分な資料に乏しく、特に振動や衝撃に関する動的な計測についてはさらに資料に乏しい。また舗装の設計の基礎に

用いられている地盤係数（K値）やCBRなどは静的載荷によって求められるものであるが、動態時のK値は静的なK値と全く異なるものであって、動的応力の推定には静的な値では不適當なこともあろうと考えられる。砂利道では表層が弱いので破損はさけられないが、破損形式の特殊なものとして波状磨耗がある。波状磨耗は古くから問題にされているが、波状磨耗の発生機構や性状を統一的に説明できる理論は、丁度レールの波状磨耗に対して統一理論ができにくいと同様に、なお困難な点があるようである。

鉄道は荷重が大きい上に、路盤を補強することは軌道の他の部分のように容易でないから、わが国の狭軌鉄道においては路盤の受ける負担の程度は軌道構造の中で最もきびしい。狭軌においては、軌道狂いに対する保守限度は特に厳格を要するし、また列車が高速化すれば僅かの狂いも車両の動揺を大きくするから、道床作業は軌道保守量の最大の割合を占めてきている。しかし道床の破壊は道床砂利の種類にも影響されるが、主として路盤の強さによって変化する道床振動の様相に非常な関係を有するから、特に狭軌において軌道の強化あるいは列車の高速化をはかるためには、路盤・道床の動力学的研究を行い、道床破壊機構の究明と路盤強化の対策を解明せねばならない。最近軌道に関して動力学的な考察が進められてきたのはよろこばしい。

基礎地盤については、上記のような支持力論的な耐力性の問題と別に、基礎地盤の耐久性の問題がある。これに対しては路面使用後、荷重や外界の気候変化を受けた際基礎の安定性が如何に推移していくかを究める必要がある。すなわち舗装についていえば、その厚さの設計は路盤のK値などを実測して行い、また丁寧な施工をしたとしても、施工前測定したK値が舗装使用中も不変であるかどうかは疑問である。わが国の舗装直下の自然含水比は施工直後よりも一般に増加していることが多く、また土は含水比が増すと通常その強度が低下するから、舗装直下の土が将来どんな含水状態になるかを予測しないと長期にわたる舗装の強度が保証されないことになる。この点多湿なわが国では、地下水位が低く、乾燥しがちな外国に比べて道路施工上層の注意が必要であらう。CBR試験では土試料を4日間水につけてから試験するいわゆる浸水CBR試験があるが、吸水条件などによる土の強度変化はなかなか複雑であるので、浸水CBRが

* 京都大学教授（工学部土木工学教室）

一般報告

現地の土が完全に吸水したときの強度状態を正しく示すかどうかなお研究する必要がある。勿論動態時の K 値の水による影響などは全く手をつけられていない。

舗装下の土が含水比を増加するのは、地下水位の上昇、舗装による地表面よりの蒸発のシャ断効果あるいは寒冷時の熱浸透 (thermal osmosis) などによるものであって、この問題の解明にはなお多くの研究をする必要があるが、後二者の問題を解析的に進めるには熱力学的方法が用いられている。舗装下の土が比較的不透水性の場合、土の含水比が増加する原因は上記のほか振動圧密も影響しているのではないかと考えている。まだ実際の道路について調べたことがないので明確なことはいえないが、粘土の振動圧密の実験を行ってみると、不透水端に水が集中してくるのが観察される。この点はさらに実験を続け、解析的にも明らかにしたい。

このようにして水を含んで弱化した基礎は、不等沈下などを起して舗装破壊の原因を作るが、このような破壊原因とは別に噴泥による破壊原因がある。噴泥は土の種類によっては発生しない場合もあるが、水に対して不安定な土は多量の水を含むと泥水状になり、交通荷重をうけて舗装の隙間や道床を通して噴き出し、基礎に空洞を作り、基礎の支持性を失うものである。またこのほか、基礎の気温から受ける障害の大きいものに凍上や融雪期の泥ねい化の問題があり、寒地の道路あるいは線路では重要な問題となっていて種々の研究がなされている。

前述したように、路床や路盤は浅くにあるから手が届きやすく、不良地盤の場合には排水工、締め固め、他質土の混入、安定処理あるいは良質土との交換なども可能である。しかし不良な土質が一帯に広く存在する地方では、これらの一般的な処理が困難なこともあり、その例には北海道の泥炭、関東ローム、九州のヨナ、シラスなどがあげられるが、これら特殊土質については特殊な処理法が望まれ、各方面で研究されつつある。

土の締め固めは基礎の強化法として広く用いられ、これに関する発表は少なくないが、締め固め機械には最近振動によるものが国産あるいは輸入されてきた。振動締め固めは外国ではさほど新しい方法ではないが、締め固め性能が土質、含水比、撒厚、振動特性、機械諸元など多くの要素に支配される上に方式化された目安や理論がないので製作や使用に迷う点が少ないようである。これらの諸特性について研究したことは別の機会に発表するつもりであるが、ここではその一端をのべよう。

第一に、現在一概に振動締め固め機と称しているものは2つの型に大別される。振動力を F とし、振動する機械の自重を W とすれば、 $W \geq F$ 、あるいは $\alpha \equiv (W-F)/W$ と記したとき $\alpha \geq 0$ の如何によって締め固め機構は全く相異なる。 $\alpha > 0$ の機械は地面から離れず振動し、地中に送り込まれる振動によって土の内部マサツを減少し、土

を流動化して締め固め効果を発揮する。この場合、動態時の内部マサツは振動加速度の対数に比例して減少し、到達する乾燥密度は加速度の対数に比例して増加する。故に高振動数のものほど締め固め効果が挙げられる。一方 $\alpha < 0$ の機械は地上よりとび上るので、締め固め効果は機械の落下時に土の受ける衝撃エネルギーに関係する。このときの跳躍高さは共振時が最大であるから、締め固め効果には振動数特性があらわれるが、到達乾燥密度は衝撃エネルギーの対数に比例して増加する。よって $\alpha > 0$ の機械は土の内部抵抗を弱めて締め固める方式といえ、しかも高周波数を要するから高周波振動締め固め機と称し、一方 $\alpha < 0$ の機械は土の抵抗に打勝って締め固めを行うもので、共振振動数(かなり低い)附近で高特性をだすから低周波式振動締め固め機と称したい。第二には、上記の特性は土に流動のない時のことである。一般に土に多量のエネルギーを局部的に注加すれば、土は締め固まると同時に破壊をおこして滑動を生じ、滑動に伴ってできたスベリ面や亀裂が長く土中に残って、たとえ乾燥密度は一応増大しても強度が低下することがある。締め固め初期にはこの亀裂はどうしても生じるが、それが速く消滅する機械であることが望ましく、締め固め機械の性能の批判を単に到達乾燥密度からのみすることは注意せねばならない。このほか、振動締め固め機は締め固め効果の土中への侵徹性や走行性能にも特性があるので、それに合った運用を行って締め固め作業の工率をあげねばならない。前述した如く、振動締め固めの機構は、静的なロードローラとは趣きを異にするもので、土質の種類によっても両者の効果には差異があるから、振動締め固め機の性能を一概に「何トンロードローラに匹敵」などという比較法は便利かも知れないが意味のない場合もありうることを附記したい。要するに、振動締め固め機は、静的なロードローラに比して性能・作業・運搬などに多くの有利な点があるが、土性の微妙な特性に合わせて作られたいわば高級品であるから、取扱の合理性が欠けると充分本来の効果をみない場合があり今後この研究と発展が望まれる。

なお特殊な土の施工機械として、土の混合に用いるソイルミキサがある。これにはいろいろ種類があるが、わが国では先年大阪府が輸入したシーマン社のパルビ・ミキサがあり、その混合、粉碎などの性能を試験し、それらを参考にして昨年国産の改良型ができています。

舗装下にできた空隙を、舗装をはがさず充填補修するには、舗装板に穿孔し、その孔より土またはセメント混入土を注入する Mud-jack と称する機械がある。また道床下の路盤中の空隙を充たすには、空隙をオーガあるいはパイプで探り当て、そこへ軟いモルタルをグラウトミキサで注入する方法がペンシルバニア鉄道で用いられ、国鉄でも試用された。