

路床の性状と鋪裝 (二)

土木試験所
内務技師 高田 昭

三 路床の支持力

路床に於て必要とする支持力は一般に考へらるる建築物の基礎として必要なる支持力に比し多少異なるものあり。

路床が常に支持する荷重は僅かに其の上に載る鋪裝より受くるものに過ぎざるも、其の上を通過する車より受くるものは動荷重にして其の Intensity は極めて大なるものなり。而して此の如き荷重は主として晝間に作用するに止まり、夜間に於ては晝間に比すれば殆ど無載荷の状態に近きを以て路床土壤をして比較的自由に其の性状を變化せしむる機會を與ふるものなり。従て路床の支持力を考慮するに當り

ては動荷重の種類及動荷重が如何なる状態にて路床に達するか、或は路床土壤の性状又は外界より受くる氣象的影響等に分ちて取扱ふ要あり。

荷重と支持力との關係は鋪裝の設計に必要な事項にして本節に於て述べんとするは土壤の性状との關係に在り。前節に於て略述せし如く土壤の性状は種々なる態に於て異なる現象を示し、之れに對し諸方面より研究されつゝあるも容易に實用的効果を擧げ得るに到らざるなり。

在來路面を基礎として其の上に鋪裝するが如き場合には殆ど支持力に對する考慮を必要とせざるも、盛土、切土其他新設の場合に最も必要なるものとす。

第一表 路床の安全支持力

土 壤 の 種 類	切土又は高 1 呎以下の 盛土	高1—3呎の 盛土	高 3呎以下 の盛土
Fine sand	4—8	8—15	15
Heavy clay	4—8	10—17	17
Ordinary clay	8—13	13—19	19
Clay loam	13—17	17—20	20
Loam	17—21	19—21	21
Sandy loam	21—25	23—25	25
Coarse sand	25—30	27—30	30
Fine gravel	25—30	27—30	30

※100番篩を通過するもの3%以上を含む

盛土又は切土の場合に於ける路床の安全支持力として、
W. G. Hager 氏の示す處に依れば第一表の如し。但支持
力の單位を平方呎に付き封度とす。第一表に示す土壤の種
類は八種あるも其の分類標準は單に組成分に依るものの如
き觀あるも、彼は十五年間に亘る經驗に基づき實驗室に於

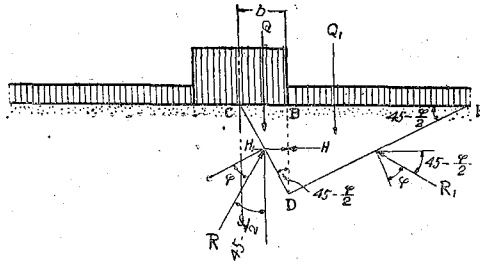
て餘りに高價な且複雑な試験を行ふを避けて直ちに現場に
應用し得る分類を爲せりと述ぶるに止まり、之等の分類を
なす標準に就きては何等の説明なきを以て之れに對する批
評を避くるも、土壤の分類方法の點に於て多少の疑問の存
するものあり。又此の分類は冬期に於ける霜凍の害を受く
る地方に適用さるるものなりといふも、盛土の場合に於て
如何なる程度に輾壓又は搗き固めたるものを基準となせし
か全く不明なるのみならず、之れに水が種々なる態を執り
て出入する場合には夫れ相應に複雑なる影響を及ぼすもの
なり。

以上は單に路床の支持力は從來一般に考へられる程單純
なるものに非ざる一例として擧げたるに過ぎずして、現今
に於ても未だ充分之を解決し得ざる状態にあり。然らば土
壤の支持力は其の性状と如何なる關係に在るか。之れに就
き次に簡單に説明せんとす。

支持力と凝聚力及内部摩擦力との關係

土壓を算定する場合には必ず土砂の有する凝聚力と内部

摩擦力とを共に條件として考慮すると同様に路床の支持力に於ても是等の條件は當然考慮さるべきものなり。土砂の凝集力及内部摩擦力は常に應剪力と關係あるものにして其の程度は土壤の組成分、組織、其他の状態に依りて常に一定せざるものなり、即凝集力及内部摩擦力は同一物質に在りても其の環境に應じて變化するものにして、僅かに與へられたる條件を示すに過ぎざるなり。然れども茲には之等の條件と路床の支持力との關係に就き其の概要を説明すれば左の如し。



第八圖

第八圖に示す如く巾に比し長さ大にして單位重量 q なる荷重が土壤の上に直接に載り、其の周圍の土壤の上には單位重量 q なる荷重（但 q より小とす）があり、何れの荷重

も直接に土壤に及ぶものとす。

土壤の凝集力を單位面積に付 c 、息角を ϕ とす。BDに働く土壓及抵抗土壓の水平分力を夫々 H_1 及 H とせば

$$H = q \tan \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) - 2bc$$

$$H_1 = \frac{Q_1}{\tan \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right)} + \frac{2bc}{\tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right)}$$

但 Q 、 Q_1 は共に荷重及土壤重量の和とす。

然るに土壤の單位重量を s とせば

$$Q = qb + \frac{b^2 s}{2 \tan \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right)}$$

$$Q_1 = \frac{qb}{\tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right)} + \frac{b^2 s}{2 \tan \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right)}$$

次に q が最大支持力なる場合には H 及 H_1 は互に釣合はるべからざるを以て

$$H = H_1$$

Q 及 Q_1 を整理して q を求めれば

$$q = \frac{q_1}{\tan^2\left(45^\circ - \frac{\phi}{2}\right)} + \frac{bs}{2 \tan\left(45^\circ - \frac{\phi}{2}\right)}$$

$$\times \left[\frac{1}{\tan^2\left(45^\circ - \frac{\phi}{2}\right)} - 1 \right] + \frac{2c}{\tan\left(45^\circ - \frac{\phi}{2}\right) \sin\left(45^\circ - \frac{\phi}{2}\right)}$$

土壤の息角は大體二度乃至三十四度位の範圍内に在るものにして、極めて軟かき糊狀粘土又は淤泥に在りては約二度、相當固き粘土又は淤泥に在りては約十度、適當の粒度を有し且固結せる砂礫に在りては約三十四度にして、此の如き場合に於ける q を前式に依りて求むれば

$$\phi = \quad q =$$

$$2^\circ \quad 1.15q + 0.08bs + 4.29c$$

$$10^\circ \quad 2.02q + 0.61bs + 5.77c$$

$$34^\circ \quad 12.50q + 10.81bs + 17.07c$$

又前式に於て s は土壤の單位重量にして乾燥乃至多少濕浸せる状態に在る時と全部水に浸されたる時とは著しく相違し q_1 は如何なる路床にも存するに非らず、又、即凝集力の如きは物質によりて著しき相違を有し例へば粘土と稱せ

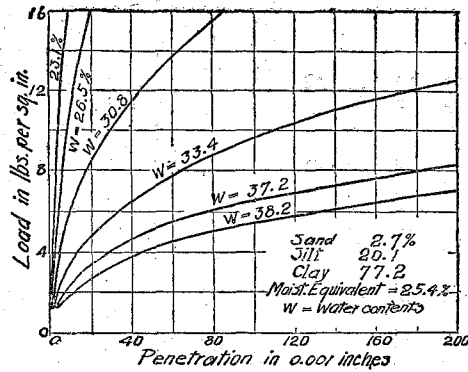
らるるものに在りても二〇〇〇封度に及ぶものあるに反し僅かに二〇〇封度に過ぎざるものあり、又粘土に類似せる外觀を有する淤泥に在りては殆ど凝集力を缺くものあるが如し。又載荷面の大きさと支持力との關係も土壤の性状に依りて常に比例せざるを知るなり。

凝集力は外力には無關係なる土壤特有の剪力に對する抵抗力にして、内部摩擦力と共に力學的に示さるるものなれども、之等の條件は周圍の事情殊に水の影響によりて著しき變化を有するのみならず、荷重の下に在りても漸次變化する場合あるを以て、之を物性的方向より研究せし結果を次に摘載せんとす。

含水量と支持力との關係

支持力は前述の如く同一土壤に在りても其の中に含有せらるる水量の多少及含有せらるる状態によりて變化するものにして、之を力學的に求むる方法あらんも容易に目的を達し難きを以て簡單に含水量と荷重による沈下量との關係を測定せし結果は第九圖に示すが如し。

此の測定に使用せし試料は砂二・七%、淤泥二〇・一%、粘土七七・二%より成り相當粘土に富み砂に乏しきを以て一見粘土のみより成る觀を呈す。其の含水當量 (Moisture equivalent) は二五・四%、毛細管水は三三・三なり。此の



第九圖

なす。即此の試験の結果に依れば含水當量は支持力の或る限度を意味するが如く考へらるるなり。

以上の關係が如何なる種類の土壤に於ても大體成立する

如き土壤上に荷重を加へ之れを逐次増大せし場合の沈下量は、含水量が含水量以下なる場合には直線的に變化するも、之れを超過せば次第に曲線的變化を

ものとせば、與へられたる土壤の含水當量と支持力とに關する實驗を數回行へば之れを基礎として該試料と同等の土壤より成る路床の支持力は單に含水量を測定せば判斷し得らるべし。即 A.C. Rose によれば兩者の比を支持力の安定比 (Stability ratio) と呼ぶ。

$$\text{安定比} = \frac{\text{含水量}\%}{\text{含水當量}\%}$$

而して安定比が一以下なるときには支持力に於て不安定なるも一以上になれば不安定となるものなり。

可塑性限度と支持力との關係

液性限度 (Liquid limit) に相當する水量を含む土壤を四周を水密にせる器に入れ之れを上より壓し水を搾取すと假定す。土壤中に含まるる水分は壓力の増加すると共に次第に減少し、二一八氣壓位に達すれば含水量は可塑性限度以下となり土壤は半固態に變ずべし。若し試験中に荷重を除き且土壤が夫れ迄に吐き出したる水を再び吸収し得ざる状態に在る場合には、其の土壤は相當に支持力を有するものにして、其の程度は土壤の性質と壓縮されたる状態とに依

りて定まるものなり。

斯様にして始め含水量 w_0 を含有せしものに加壓して w に減少せし状態より、組織を破壊せざる様注意して直径一寸、高一吋の圓筒形供試體を切取り、之れに一二封度の荷重を載加せし場合の壓縮量 s (吋に付吋)は次の如し。

$$s = 0.0394 \frac{c_w}{e - p_0} \left(\frac{q}{e - p_0} + 1.95 \left(\frac{c_w}{e - p_0} \right)^3 \right)$$

但 q ……荷重、此の場合には一二封度

w ……含水量、土壤の單位容積に對する此

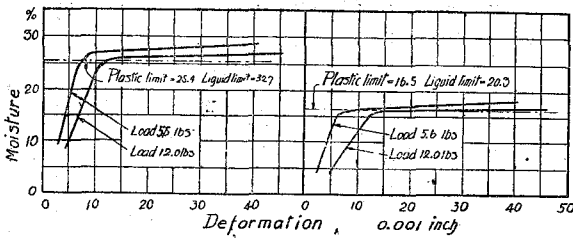
e ……自然對數の基數

a, c, p_0 ……何れも土壤に特有の恒數

之等の關係に就て Terzaghi 氏の行ひたる實驗の結果は第十圖に示すが如し。壓縮變形量と含水量との關係を見るには含水量が可塑性限度以上なる場合には大なる變形をなすも、可塑性限度に接近すれば逐次に減少し、更に之を越ゆれば急に減少し w と s とは略直線的關係となる、即可塑性限度に於ける w は支持力の略々限界を意味するものにし

て、路床が地下水又は毛細管水に依りて可塑性限度以上の含水量を含有するに至るときは所謂 Consistency を増加し、

換言せば Internal Flow を起し易くなり支持力に於て不安定状態となるべし。又盛土を爲す場合に在りても施工の許す限り含水量少なきものを用ひ之れを充分輾壓するを適當と考へらるるなり。



圖

B. H. Levenson 氏に依れ

ば第十圖に於て曲線が急に偏位する點を支持力限界點 (Critical bearing point) と呼

び、可塑性に富むものにて在りては此の限界點は可塑性限度に比し稍大なるも、粗鬆なる土壤に在りては略等しきもの如し。即可塑性係數の小

なるものに在りては支持力限界點は可塑性限度及液性限度に極めて接近するを以て諸般の關係が簡單なるが如き觀を呈し、可塑性係數大なるもの即粘土及淤泥を多量に含有するものに在りては單に含水量位の簡單な條件を以て支持力を判斷し得ざるも略々其の概要を窺ひ得るもの如し。

含水量、可塑性限度及支持力

前述の如く含水量及可塑性限度は何れも支持力の限界に近き水量を意味するものなれば含水量と可塑性限度とは略々同じ性質を意味するものなるやの疑ひを生ず。

含水量の測定方法は既述せし如く遠心分離機に依るを以て其の結果は試料の組織殊に空隙の有効徑（水が搾取する際の滲透率に影響す）、水の表面張力及遠心力に關係するものなり。然るに試験に當りては其の遠心力を一定となすを以て土壤の諸怪質によりて次の如き相異なる結果を生ずべし。即遠心力は重力の一、〇〇〇倍に相當するものなれば之れを靜荷重にせば每平方糎に付き約二五に當り、之れが一時間試料に作用するものなり。然るに粘土を多量に

含有する土壤に在りては之れを壓縮して含水量を減少せしめて可塑性限度となすには每平方糎に付き二・五五以上の荷重を必要となすを以て此の如き場合には含水量は可塑性限度に比し多少大となるなり。又此の如き土壤に在りては可塑性係數大なるを以て即可塑性限度と液性限度との差大なれば含水量は常に兩者の間に存するものなり。

之れに反し粗鬆なる土壤即粘土の量少なくして砂に富むものに在りては空隙は比較的大なれば、其の中に在る毛細管水の表面張力は遠心力に比し小なるを以て水は次第に抽出されて量を減じ終に土壤中に在る毛細管水は其の連絡を斷たれて諸所に散在するに至るべし。而して此の際殘存する水は都合よき大さの間隙内に在るものに限らるるなり。従つて此の如き場合には含水量は可塑性限度に等しきか或は之れより小なり。即此の如き意味に於て含水量は只土壤の排水性を示すに過ぎざるものと云はざるを得ざるなり。第十一圖は各種の土壤の液性限度と可塑性限度及收縮限度との關係を示したるものにして、土壤は其の液性限度

にて六種に分類せり。之等の試験方法は極めて簡單に行はるるものなれば觀察上に多少の誤りなきを期し難けれども土壤の性状の一端を窮ふに足るものなり。

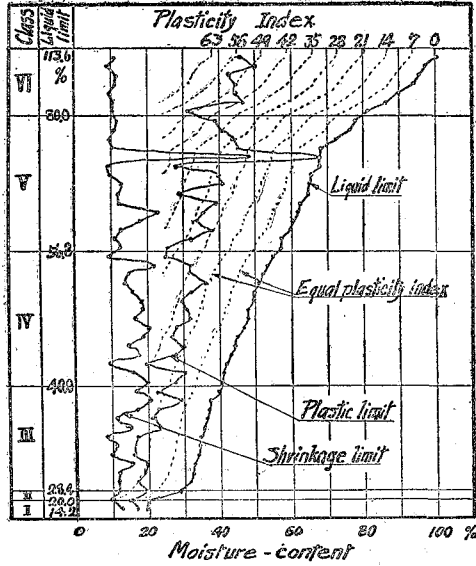


圖 一 十 第

野外含水當量 (Fieldmoisture equivalent) は野外含水試験に依りて得たる含水當量にして遠心分離機に依りて水分を抽出せし場合のものとは何等の關係を有せざるなり。後者の場合には毎平方糎に付き約二疋の力にて水を押し出すに

研 究

反し、野外含水當量の測定の場合には壓力を全く加へざるなり。土壤が少量の水を含有して可塑性状態に在るときは其の水は毛細管水として張力即負靜水壓を有し、且表面に於ては零なり。従つて之れに一滴の水を加ふれば負靜水壓を有する部分へ流入す、即吸收さるるなり。而して水量の増加するに従ひ毛細管水の張力は次第に減少し吸水性を消失するに至るものにして Rose 氏の野外含水當量は此の如き状態に達したる場合の水量を意味するものなり。

然れども野外含水當量と同様に支持力を判斷する意味に於ては重要ならざるもの如し。即 Terzaghi 氏の説明に従へば次の如し。

野外含水當量は土壤の吸水性を意味するものにして其の性質は試験時に於ける土壤の含水量、空隙比 (土壤物質の容積に對する空隙容積の比) に依りて相異なるものなり。第十二圖は可塑性小なる或る土壤の空隙比と壓力との關係を示すものにして、最初の含水量を液性限度に等しからしむ (A)。之れに加へたる壓力を漸次に増加して三疋に達す

れば含有する水は次第に抽出されると共に空隙比を減じてCにて示さる値、即〇・八五より減じて〇・五九となる。次に壓力を除きたるとき、若し土壤が先きに抽出せし水を自由により再吸収し得る状態に在る場合には多少水を吸収してCの如き變化をなし空隙比を増加して〇・六三となる。然る

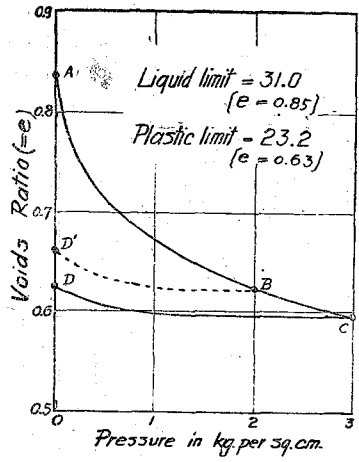


圖 二 十 第

に含水當量試験の場合には遠心力を加ふるを以て空隙比がB迄

減小さし場合の含水量に相當するものにしてB及Dに於ける空隙比が極めて接近する場合には含水當量と野外含水量とは略等しきも、後者は其の測定前に於ける土壤の状態に依りて常に同一なる結果を示すものには非ず、例へば前

圖に於てCに相當する状態に在る場合及Bに相當する場合に吸水せば夫々D及D'となるべし。Wong氏が嘗て野外含水量にて路床を分類し、

- 良き路床 野外含水量二〇%以下
- 餘り良からざる路床 " 二〇—三〇%
- 悪き路床 " 三〇%以上

とせり。此の分類は只支持力のみを考慮せし結果に基ずくものには非ざるも、或る状態に於ける吸水量を示すに過ぎざるものとせば、標準の含水量とは何等關係を有せざるのみならず、支持力との間にも如何なる關係あるや疑問なり。

以上記述せし如く含有する水量を基準として支持力を判斷し得るものは唯可塑性限度のみの觀あり。而して可塑性限度は所謂 Plastic Flowの或る點を意味するものの如く、從て路床を與へられたる状態に於て比較研究する場合の資料とはなるも、直ちに之れを以て實用的効果を擧げ得るや否やは今後の研究に待つべきものなり。

壓縮係數及滲透率と支持力

土壤が荷重を受けて空隙比を減小し又支持力を變ずる状態に就て Terzaghi 氏は諸方面より力學的に説明を與へたり。土壤が壓縮さるる程度は其の空隙比の多少に依りて常に一定せざるのみならず、其の壓縮さるる速さは其の内部に含まるる水の滲透率に依りて左右さるるものなれば壓縮量は時間の函數となり、従つて荷重の及ぼす壓力の分布状態も時間と共に變化するものなり。彼は壓力の増加に對する空隙比の減少率を壓縮係數 (Verdichtungsziffer) と呼び、土壤が時間と共に壓縮凝固する量を滲透率と壓縮係數との比にて表したり。

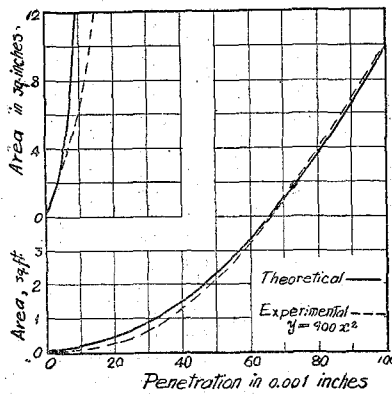
従つて與へられたる土壤の壓縮係數と滲透率とを測定せば所要の荷重に對する支持力を算定し得るなり。(Terzaghi Erdbaumchanik, S. 140~161 参照)

載荷面積と支持力

路床の支持力に關し數年前 Goldbeck 氏が研究せし結果に依れば路床の沈下量は載荷面積の開方に比例すと云ふ。

即路床土壤の上にブロックを置き之れに荷重を加へたる爲めに生ずる沈下量はブロックの大きさに依りて相違し、次の如き實驗式を得たり。

$$y = ax^2$$



圖三十第

但 y …… 載荷面積 (平方呎)

x …… 沈下量 (吋)

a …… 沈下量が載荷面積に依りて變ずる係數にして、九平方呎のブロックが $0 \cdot 1$ 吋沈下する場合には 90

○となる、即第十三圖に示すが如く、

$$p = 500a^2$$

從て沈下量（但此の場合は彈性的壓縮量を意味す）は載荷面の開方に比例して變ずるものなり。故に少量の試料を適當に採取して之れに荷重を加へて前記の係數を求むれば支持力を判定し得る譯なり。彈性的壓縮の範圍に於ては係數は略一定の關係を有するも荷重が大となりて変動を生じ、永久的變形を爲せば兩者間の遷移點を求め得べく、從て支持力の限度を窺ひ得るものなり。

Goldbeck氏は以上述べたるが如き根據に基づき支持力比較試験（Comparative bearing power test）を提唱せり。其の方法は土壤の試料を圓錐形容器に詰め之れを毎平方吋に付一〇封度に相當する壓力にて壓縮せし後、其の表面に斷面積一平方吋の圓形鐵板を載せ其の中央に荷重を加へ〇・一吋沈下するに要する荷重を測定す。

實驗室に於て試験を行ふ場合には土壤の組織其他の狀態を現場に於けると全く同様になし難き缺點あり。而して其

の結果は盛土を爲す場合には試料の採取方法の如何に關せず相當に好き參考資料とならんも、自然に賦存するものを其儘利用する場合には全く至難なるを以て、路床の支持力測定にも現場試験を諸所に於て企てられたることあり。例へば厚き鐵製圓板を路床上に載せ其の中心に導桿を立て中央に圓孔を穿らたる鐵槌を一定の高さより導桿に沿ひて落下せしめ、落下數と沈下量との關係に依り支持力を判斷せんとせし者あり。又小なる載荷面上にスプリングを置き之れを電動機にて斷續的に壓して繰返し反撥力を加へて沈下量を測定せんとせし者あり然れども之等の結果に就ては一般の注意を喚起せざりしもの如し。（未完）