

道路または滑走路における輪荷重による応力の繰返し作用は、路床、路盤の強さ、変形などの性質に大きな影響を与え、その主な破壊の原因となる。土は繰返し荷重を受けることによって、土粒子間隔が次第に縮まり、その結果土粒子が互に接触するので、土粒子はこれ以上接近せず、ある一定の大きさの応力または繰返し回数以上では一部の粒子間にすべり、すなわち亀裂が生じる。さらにこれらの亀裂が応力の繰返しにより漸次成長して破壊に導くのである。従って繰返し荷重の作用によって路床、路盤の強化が可能になるのである。

本研究においては、繰返し荷重を受ける土の疲労に対して、微視的および巨視的考察を行ない、このような疲労の要素に基づいた、路床、路盤の強化のための、繰返し荷重を受ける土の最適予備効果について述べた。

1. レオロジー考察 繰返し荷重を受ける土の変形機構は実験結果より、図-1の模型が示すような完全弾性体と塑性体の組合わせから成るものと仮定できる。すなわち、土供試体は繰返し荷重を受けると、最初に完全弾性体と塑性体とが同時に作用して全ヒズミを生じ、除荷すると完全弾性体の作用による瞬間的回復ヒズミが生じる。この際初期降伏応力および粘弾性的遅延弾性は非常に小さいので無視することができる。さらに繰返し載荷回数の増加に従って、塑性的ヒズミの増加は減少し、ある一定の荷重下においては、土粒子は遠に接触し、弾性的ヒズミのみとなる。いま繰返し荷重強さを σ 、それによって生じるヒズミを ε 、各要素に生じる応力をそれぞれ σ_1 、 σ_2 、 E_2 は非常に小さいので省略すると、模型より次の関係式が得られる。 $\sigma_1 = E_1 \varepsilon \dots (1)$ 、 $\sigma_2 = E_2 \varepsilon + \eta \frac{d\varepsilon}{dt} \dots (2)$

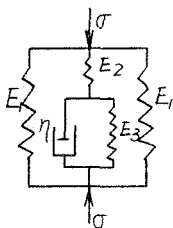


図-1

$\sigma_1 = E_1 \varepsilon \dots (1)$ 、 $\sigma_2 = E_2 \varepsilon + \eta \frac{d\varepsilon}{dt} \dots (2)$ 、 $\sigma = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 \dots (3)$ 、(1)、(2)および(3)より、 $\varepsilon = \frac{\sigma}{2E_1 + E_2} + (\varepsilon_0 - \frac{\sigma}{2E_1 + E_2}) e^{-\frac{2E_1 + E_2}{\eta} t} \dots (4)$ 、 $\varepsilon_0 = 0$ とすると、 $\varepsilon = \frac{\sigma}{2E_1 + E_2} (1 - e^{-\frac{2E_1 + E_2}{\eta} t}) \dots (5)$ 、除荷の際 $\sigma = 0$ であるので、 $\varepsilon' = \frac{\sigma}{2E_1 + E_2} (1 - e^{-\frac{2E_1 + E_2}{\eta} t}) e^{-\frac{2E_1 + E_2}{\eta} t} \dots (6)$ 、(5)、(6)式において η は非常に大きいので、 $\varepsilon = \frac{\sigma}{2E_1 + E_2} \dots (5')$ 、 $\varepsilon' = \frac{\sigma}{2E_1 + E_2} e^{-\frac{2E_1 + E_2}{\eta} t} \ll 1 \dots (6')$ となる。このことは土は安全繰返し荷重以下の荷重による有限回の繰返しではほとんど弾性的挙動を示すことを意味する。

2. 巨視的考察 すでに周知のように、土供試体はある荷重強さ以下では、最初ほど変形の増加量は大きく、繰返し回数の増加に従って $\varepsilon \cdot \log N$ 曲線はほぼ直線になるので、いま1回の載荷によって生じたヒズミを $\varepsilon_1 = \int_0^p r dt \dots (7)$ とすると、 N 回の載荷による最終ヒズミ量は、 $\varepsilon_N = N \int_0^p r dt \dots (8)$ ここに p は1周期における載荷時間、 r はヒズミ発生の速度を示す。

3. 微視的考察 土は多くの微粒子から成り、初期状態にある微粒子ないし微粒子集団と活性体とが常に平行を保持しているという仮定に基くことによって、統計力学的考察が可能になる。なお土は多くの微粒子からなるマトリックスの集合体であるとし、土供試体の変形はこれらの微粒子の微視過程の巨視的效果としての現れであると仮定する。いま土は均一且つ等方性体であると仮定するとその微粒子の配列は図-2に示すようになる。 A, C なる位置において微粒子は安定状態にあり、 B なる位置において微粒子は不安定状態にある。土供試体の変形は移動方向に直角なある断面に有る微粒子

群が、同時にポテンシャルエネルギーの障壁を越えて一つの安定位置から次の安定位置に移動することによって生じるものとする(以下においては、この断面を移動面と呼ぶ)。土供試体は外力を受けると、応力は最初はその接圧部、すなわち端部に発生し、引き続き連続的にある速さをもって中心部へ進んで行くので移動面の移動も同じく最初に端部に発生し、引き続きある一定の速さをもって中心部へ進んで行くと考えなければならない。そこですでに移動した部分とまだ移動していない部分との境界が存在し、このような現象を金属の場合と同様にして転位と定義することができる。土の変形はこのような転位が生じて起るものと解釈できる。繰返し荷重を受ける土の変形はその累積である。

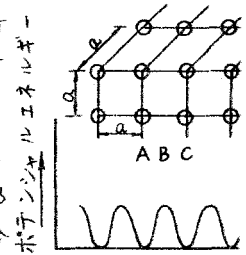


図-2

いま仮りに転位の発生速度を Eyring の速度論にならって $v = \left(\frac{K}{h} \right) \exp \left(-\frac{\Delta F - \alpha \sigma}{K T} \right)$ として、(8)式に代入し、その両辺を対数にとると次のようになる。 $\log_e \dot{\epsilon}_N = \log_e N + \log_e \frac{K}{h} + \log_e \int_0^P \exp \left(-\frac{\Delta F - \alpha \sigma}{K T} \right) dt \dots (9)$ ここに K = ボルツマン 常数, h = プランク 定数, T = 絶対温度, ΔF = 活性化自由エネルギー。(9)式より $2.3 \log \dot{\epsilon}_N = 2.3 \log N + 2.3 \log \frac{K}{h} - \frac{\Delta F}{K T} + \frac{\alpha}{K T} \sigma + 2.3 \log P$, $\sigma = \frac{2.3 K T}{\alpha} \log \frac{\dot{\epsilon}_N P}{K T P} + \frac{\Delta F}{\alpha} - \frac{2.3 K T}{\alpha} \log N$, $\therefore \sigma = a - b \log N \dots (10)$, ここに $a = \frac{2.3 K T}{\alpha} \log \frac{\dot{\epsilon}_N P}{K T P} + \frac{\Delta F}{\alpha}$, $b = \frac{2.3 K T}{\alpha}$, (10)式は荷重強さと許容ヒズミに連する迄の繰返し 載荷回数 N (対数) との関係は直線関係になることを示す。これは別に求めねばならない。

4. 最適予備効果 土は繰返し荷重を受けて疲労すると種々の物理的あるいは機械的性質に変化をきたす。たとえば降伏応力の変化などである。しかしすでに述べたように、土は脆性破壊を起すので、繰返し荷重を受けるような支持用土構造物の安定を論ずる場合、降伏応力の増加を以て、このような土の寿命を表わすことは危険且不適切である。土の疲労は土が安全繰返し 荷重以上の荷重により、ある一定のヒズミに達する迄の寿命が問題であり、従ってこの寿命の低下率または増加率を以て表わすべきである。いま荷重を最も簡単な二段階荷重、すなわち二種の荷重が一本の土供試体に対して順次連続的に作用する場合について考えてみる。二種の荷重をそれぞれ、 $\sigma_1 < \sigma_2$, それぞれに対する許容繰返し回数を、 $N_1 > N_2$, 適用回数をそれぞれ、 n_1, n_2 とする。いまもしも土の変形が繰返し回数と共に直線的に進行すると仮定すれば、次の関係式が得られる。 $\sum \frac{n_i}{N_i} = \frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} = 1 \dots (11)$, しかし(11)の関係は一般には成立せず、一次荷重の大きさ、その適用回数、二次荷重の大きさ、その繰返しによって土がある一定の変形に達する迄の適用回数の4個の因子によって異なった値を示す。

いま実際問題として、路床、路盤の強化を図る場合、ある一定の土の変形に対する抵抗を増大せしめるような大きさの荷重を以て一定回数繰返すと、このことによって、将来繰返される、より大きい交通荷重に対する抵抗を増大することができる。この交通荷重は土の変形に対する抵抗、すなわち路床、路盤の寿命を低下させ得る大きさのものである。そしてこのことはすでに述べたように、前に受けた荷重の大きさ、その繰返し回数、後に受ける荷重の大きさ、同じくその繰返し回数の4個の因子によって左右される。すなわち(11)式において $\frac{n_2}{N_2}$ が最大になることであり、 $\frac{n_1}{N_1}$ が最大になるような σ_1 および n_1 が存在する筈である(図-3)。これが繰返し 荷重を受ける土の最適予備効果である。

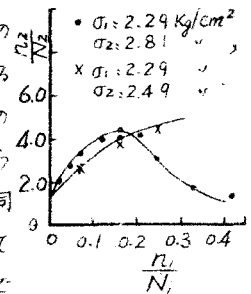


図-3