

III-38 交通荷重を受ける砂質土地盤の変形予測

西日本工業大学 安原一哉

山口大学工学部 兵動正幸

建設省北九州国道工事事務所 甲斐栄二 早原久和

日本地研(株) 伊東尚美 小林孝洋 ○小野圭介

1. まえがき

飽和したゆるい砂質土地盤に道路用低盛土を行った場合、静的な盛土荷重による圧縮沈下の終了後、道路の供用に伴って交通荷重が盛土柱を介して地盤中に伝播され、繰返し荷重による変形が予想される。

本報告では、施工中の飽和砂質土地盤における道路盛土及び現地盤中に土圧計と間隙水圧計を埋設し、トラック走行試験を実施しこのような繰返し荷重により地盤中の応力を測定するとともに、応力解析のために現地盤中より採取した乱さない試料に対し繰返し三軸圧縮試験を行った。これらの試験結果を現地にシミュレートするために交通荷重をパルス荷重とみなし、有限要素法を用いて動的応答解析を行い実測値との検証を行うとともに、全車線供用した場合の地盤応力状態を推定した。また、動的応答解析による増加鉛直応力より、繰返し三軸圧縮試験の最終ひずみの関係から道路盛土の変形量を予測した。

2. 調査・試験

2-1. 調査

現地盤は、図-1に示すように河川堆積による砂質土が主体であり、地下水位が高く地表面まで飽和状態にある。不攪乱試料は、盛土柱、砂層、シルト質砂層より採取して土質試験を行った。物性値は表-1にまとめた。

2-2. トラック走行試験

計測機を図-2に示すごとく道路盛土及び現地盤中に埋設し、10 ton ダンプトラックを積載状態で静止時、走行時 $v=10 \text{ Km/hr}$ 、 20 Km/hr 、 30 Km/hr 、 35 Km/hr の各ケースにおいて土中応力を測定した。測定結果は図-3に示すように、走行時の方が静止状態の時よりも3~4倍程度大きな土中応力が発生している。また、深さ方向に応力は減少するが、走行時の方が減少傾向は著しい。

表-1. 地盤の物性値

盛土	$\rho_t = 1.932 \sim 1.951 \text{ g/cm}^3$ $W_n = 13.8 \sim 17.4\%$ $G_s = 2.640 \sim 2.657$ (SM) $C' = 0.20 \text{ Kg/cm}^2$ $\phi' = 33.5^\circ$
砂	$\rho_t = 1.906 \sim 2.021 \text{ g/cm}^3$ $W_n = 19.8 \sim 27.7\%$ $\phi' = 30.0^\circ$ $G_s = 2.674 \sim 2.682$ (S-M)
シルト質砂	$\rho_t = 1.730 \sim 1.831 \text{ g/cm}^3$ $W_n = 34.1 \sim 45.3\%$ $G_s = 2.651 \sim 2.686$ (SM) $C' = 0.30 \text{ Kg/cm}^2$ $\phi' = 28^\circ$

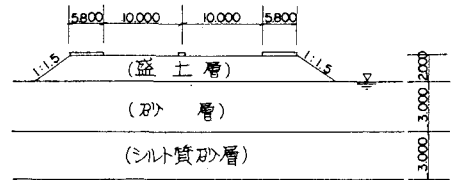


図-1. 地層断面

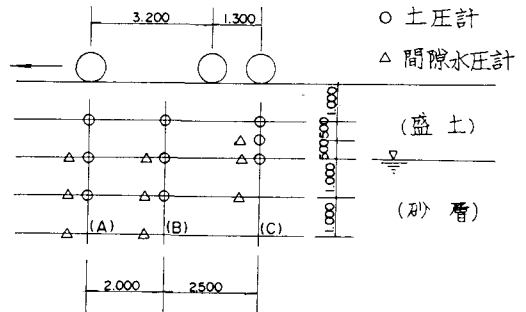


図-2. 計測機配置

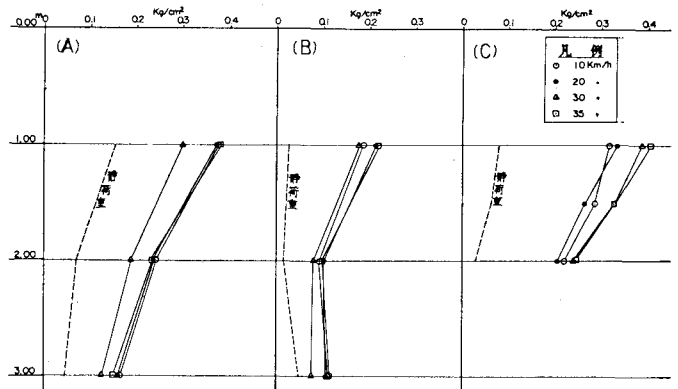


図-3. 走行試験による応力測定結果

3. 解析

3-1. 走行荷重による応力解析

解析は、動的応答解析により盛土及び基礎地盤における地中応力を計算する。また、トラック走行試験で測定された地中応力と解析結果とを比較して解析の精度を検証し、次いで全車線走行時の地中応力を求めた。

(a). 解析方法； 有限要素法動的応答解析により荷重の波形は三角形パルスとし、その作用時間 Δt は走行速度を変化させて得られた測定値を用いる。また、荷重強さ P_{max} は、測定されたトラックの最大輪荷重より5250 Kgとした。運動方程式は次の通りである。

$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = \{R(t)\}$ ----- (1) ここに、 $[M]$ 、 $[C]$ 、 $[K]$ はそれぞれ質量、減衰、剛性マトリックス、 $\{u\}$ 、 $\{\dot{u}\}$ 、 $\{\ddot{u}\}$ はそれぞれ節点加速度、速度、変位ベクトル、 $\{R(t)\}$ は外力のベクトルであり、式(1)を直接積分によって解く。ここで用いる数値積分法はNewmark- β 法($\beta = 1/6$)である。解析は等価線形解析を行い、せん断剛性率や減衰定数のひずみ依存性を考慮し、これらの定数が応答せん断ひずみレベルに見合う値になるまで計算を繰り返す。

(b). 解析結果； 車両1台通過分の鉛直応力増分を求め、現地走行試験結果との比較を図-4に示したが、実測値とほぼ一致する。次に同じ条件で全車線通過時の解析を行った結果が図-5であり、これを次の変形解析に用いた。

3-2. 変形解析

動的応答解析で求めた各要素の増加鉛直応力($\Delta\sigma_r$)及び動的三軸圧縮試験結果から推定された最終ひずみ(ϵ^p)より、繰返し荷重による全沈下量(S)を求めた。土供試体が繰返し荷重を受ける時、全ひずみは回復性ひずみ ϵ^e と非回復性ひずみ(残留ひずみ) ϵ^p とから成ることが一般的に認められている。

$$\epsilon = \epsilon^e + \epsilon^p \longrightarrow \epsilon^e/\epsilon + \epsilon^p/\epsilon = 1 \text{ ----- (2)}$$

また、繰返し荷重を受ける時の回復性ひずみは載荷回数が増加に伴って、減少するか一定値に収束する傾向がある。すなわち、

$$\lim_{N \rightarrow \infty} (\epsilon^e/\epsilon)_N = 0 \longrightarrow \lim_{N \rightarrow \infty} (\epsilon^p/\epsilon)_N = 1 \text{ ----- (3)}$$

以上のことから動的三軸圧縮試験で求めた $\epsilon^p/\epsilon \sim \log N$ 関係を外挿して $(\epsilon^p/\epsilon) \rightarrow 1.0$ となる載荷回数とこれに相当する最終ひずみが求まる。本試験による応力比と最終ひずみの関係は次のように得られた。

$$[\text{砂}] \quad (\epsilon^p)_f = 2.159 (\Delta\sigma/\sigma_c) \text{ ----- (4)}$$

$$[\text{シルト質砂}] \quad (\epsilon^p)_f = 1.393 (\Delta\sigma/\sigma_c) \text{ ----- (5)}$$

上式より、ある要素の最終ひずみが求まれば、

$$S = \sum \Delta s_i = \sum (\epsilon^p)_f \cdot \Delta h_i \text{ ----- (6)}$$

が求まり、図-6のような結果を得た。

4. あとがき

今回の試験はトラック1台による繰返し走行試験であったため、過剰間隙水圧の蓄積状態に至るまでには至らなかったと考えられる。今後、道路供用に伴い再度現地測定を実施し、解析結果の検証を行いたい。

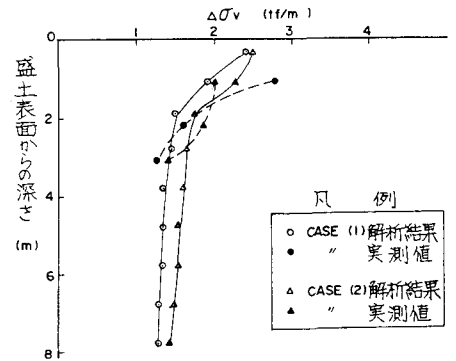


図-4. 鉛直応力の理論値と実測値の比較

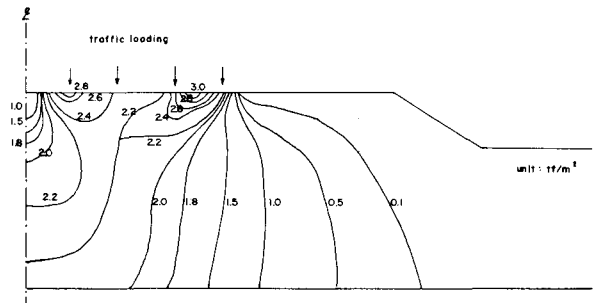


図-5. $\Delta\sigma_r$ 分布図 (全車線通過時)

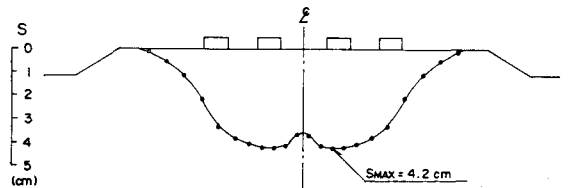


図-6. 変形計算結果