

東京電力^(株) 正員 矢野 康明, 桑原 洋, 込山 強
 東電設計^(株) 正員 松島 学, 佐藤工業^(株) 横山 正樹

1. はじめに

約1~5万年前に発生した土石流が堆積した山岳渓流地において、基幹変電所の敷地造成工事を実施した。ここでは、土石流堆積物による盛土の品質管理結果を用いて信頼性解析による施工品質の定量的評価法について報告する。

2. 盛土の設計品質と品質管理基準

盛土は、法面勾配 1:1.8、盛土高さ約25mで5m毎に厚さ50cmのフィルター層と小段(幅2.0m)を設けている。

盛土材の代表粒度による中型三軸圧縮試験結果をもとに、直応力 σ 一定の条件で乾燥密度 ρ_d とせん断強度 τ との関係を求めると、図-1に示すような比例関係が得られる。設計せん断強度($\tau = 0.35 + \sigma \tan 35^\circ$)は図中に矢印で示されるとおりであり、設計強度を満足するための品質管理基準として、

$$\rho_d \geq 1.70 \text{ g/cm}^3 \text{ とした。}$$

また、土石流堆積物は安山岩系の砂、礫、岩石塊(コブル)とロームの混合土であり、粒度分布の変動に伴い締固め特性が異なることから、乾燥密度の絶対値による品質管理に加えて締固め度($D = \rho_d / \rho_{dmax}$)による管理を併せて行うこととした。その品質管理基準は最大乾燥密度の90%以上とした。

日常管理試験は、盛土材の粒度が頻繁に変化することから、日施工毎(500~700 m³)に実施した。管理試験は、R I法により含水比、湿潤密度を測定し、乾燥密度と推定最大乾燥密度により締固め度を求めた。

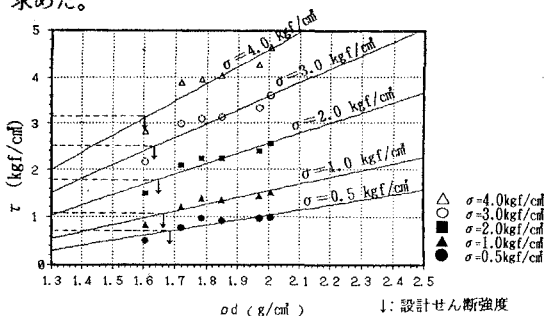


図-1 $\rho_d \sim \tau$ 関係

3. 品質管理データによる施工品質の評価

(1). 品質管理結果

乾燥密度と締固め度の品質管理結果は、図-2(a)~(b)に示すとおりである。

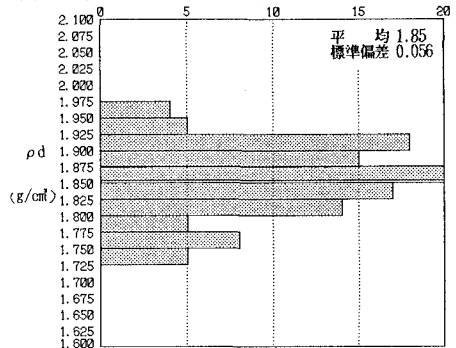


図-2 (a) 乾燥密度分布

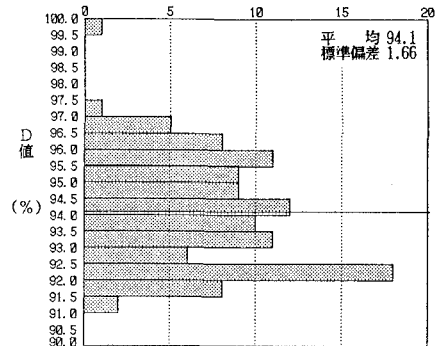


図-2 (b) 締固め度分布

これらの結果から要求品質に対する信頼度を定量的に把握するため、統計量として得られた品質管理結果をもとに盛土のせん断強度の分布を推定し、盛土斜面のすべり安定に対し信頼性解析を行った。

(2). 盛土部のせん断強度分布の推定

せん断強度の推定式は、De Melloによるせん断強度 τ と破壊時の直応力 σ の近似式($\tau = A \sigma^b$)をもとに、盛土材による11試料(44供試体)の中型三軸圧縮試験データから重回帰分析により求めた。

A、bは材料に固有の定数であるが、本検討では品質管理基準の対象とした乾燥密度とD値がせん断強度に関与するものと考え、次式に示す推定式を回帰した。

$$\tau_c = K \cdot \left(\frac{1}{1+e}\right)^m \cdot \left(\frac{D}{100}\right)^n \cdot \sigma^p \quad (1)$$

ここで、 $K=1.75, m=0.77, n=0.94, p=0.88$ である。
 また、回帰式の推定誤差 ε ($\Delta\tau = \tau_u - \tau_c$ の分布) は $\varepsilon \sim N(0.14, 0.31 \text{ kgf/cm}^2)$ であり、図-3に示すように直応力 σ に対して明瞭な比例関係は認められない。よって、せん断強度分布の推定に際しては、回帰式による誤差は直応力 σ に対して一様として取り扱った。乾燥密度の品質管理データから求められる $\frac{1}{1+e}$ ($=\rho_d / G_s$) の分布と、D値の分布から上式によりせん断強度 (τ_c) の分布を求めた結果は図-4に示すとおりである。

すべり破壊の対象となる応力レベル ($\sigma < 0.5 \text{ kgf/cm}^2$) では設計せん断強度を十分に上回っている。

(3). 信頼性解析による斜面安定解析

品質管理結果をもとに施工品質を定量的に評価するため、震度法による斜面安定の信頼性解析を実施した。解析手法および条件は以下に示すとおりである。

- ①震度法斜面安定解析は、円弧すべり面法(修正フェレニウス法)による。
- ②外力は0.2gの水平震度を確定量とした

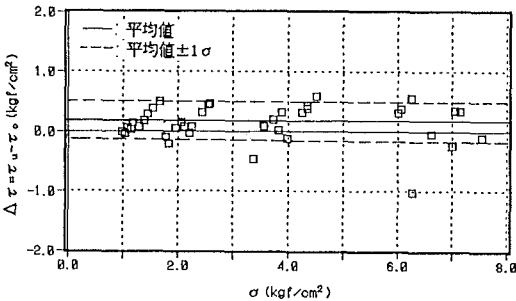


図-3 推定せん断強度式のばらつき

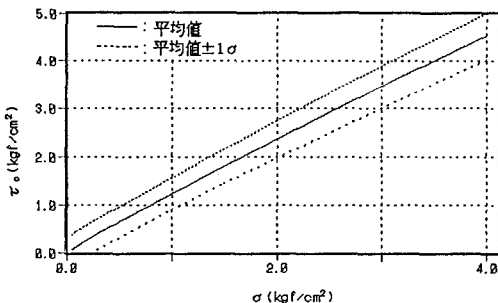


図-4 推定せん断強度分布

③せん断強度は、品質管理結果による確率変量 e およびD値により求めた。

④単位体積重量は、 τ のばらつきに対して変動係数が小さいことから、確定値とした。

⑤せん断強度は盛土小段内は一様とした。

⑥計算手法はモンテカルロシミュレーションにより、1000組の乱数を各小段毎に割り当てることとした。

図-5にせん断強度の平均値による最小安全率を与えるすべり線を示す。このすべり線に対して上記のシミュレーションにより求められる安全率の分布は図-6に示すとおりである。許容安全率 ($F_s = 1.2$) を下回る確率は、対数正規分布で近似すると、 1.9×10^{-8} となり高い確率で要求品質を満足していることが明らかとなった。

4. おわりに

今回の検討では、信頼性解析手法を適用することにより、品質管理結果を品質保証の定量的な評価に結びつけることを試みた。

今後は、①設計品質と施工の目標品質の考え方、②管理試験値のばらつきを考慮した確率論的な立場に立った品質管理基準の設定についてさらに検討を進めたい。

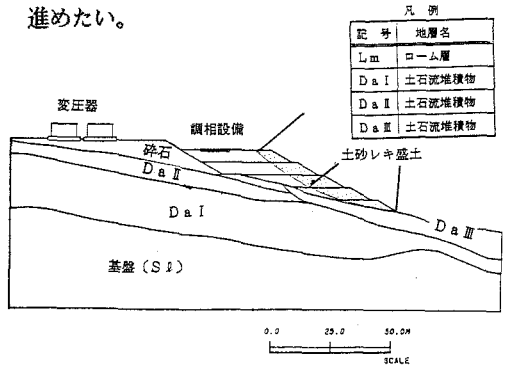


図-5 平均強度によるすべり面

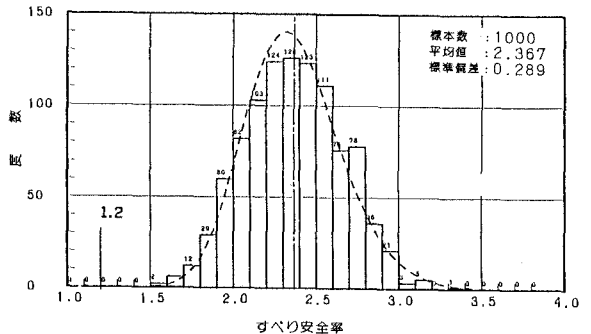


図-6 安全率分布