報告番号	※乙甲 第3529号

主論文の要旨

題名

信頼性解析に基づく斜面および深礎基礎の設計法に関する研究

氏名 鈴木 壽

主 論 文 の 要 旨

報告番号	※甲 乙 第　　号	氏　名	鈴木　壽

本論文は、飽和粘性土地盤上の盛土、粘土斜面および送電用鉄塔基礎として用いられる深礎基礎の信頼性設計法を新たに開発したものであり、各章ごとに内容をまとめると以下のようである。

第２章では、飽和粘性土地盤上の盛土および斜面、不飽和土斜面および深礎基礎の変形と破壊の実態を調べた。本論文で用いた力学特性はすべてこの章における実験結果を根拠とした。飽和粘性土地盤上の盛土および斜面に関しては、過去に実施された遠心力模型実験結果と現場での掘削斜面の崩壊事例の結果から、短期あるいは長期安定問題にかかわらず、崩壊すべり面は円弧すべり面で近似できることが明らかとなった。また、不飽和土斜面に関しては、模型実験結果と中央道における斜面崩壊事例から、斜面崩壊は降雨時の切土斜面に多く、崩壊の規模は深さよりも面的な広がりに支配されること、また、これらの斜面崩壊は浅いすべりではあるが、その破壊面は円弧で十分近似できることが明らかとなった。さらに、深礎基礎に対しては、現場大型実験と小型模型実験に関する文献調査を 中心に、その変形および破壊形態を調べた。その結果、引揚げ荷重に対する破壊は円筒形のすべり面となること、また、引揚げおよび水平荷重～変位関係は簡単な指数関数で近似できることが明らかとなった。

第３章では、信頼性設計の入力パラメータのばらつき、すなわち地盤諸係数および風荷重の統計的性質について述べた。地盤諸係数の統計的性質については、飽和粘性土の非排水せん断強度 c_uの分布特性を説明し、その表現方法も示した。また、過去のデータから飽和土の単位体積重量は確定値として取り扱えることを示した。 不飽和土の地盤諸係数に関しては、粘性土と砂質土の場合とに分けて調べ、強度係数c，tanφは正規分布となることを確かめた。さらに、軟岩に対する地盤諸係数の統計的性質も調べ、第６章の深礎基礎の信頼性設計のための設計定数をまとめた。深礎基礎の設計における外力は主に風荷重であり、この風荷重が鉄塔上部構造に作用した場合の鉄塔基礎に作用する荷重(基礎荷重)の算定方法も示した。また、この算定法に必要な各パラメータの感度分析を行い、突風率G、構造規模

主論文の要旨

報告番号	※甲 乙 第　　号	氏名	鈴木　壽

の低減係数βおよび上空逓増係数αの係数nを確率変数とした信頼性設計のための簡便な基礎設計荷重算定法を提案し、その有用性も示した。

第4章では、飽和粘性土地盤上の盛土および斜面の信頼性設計について述べた。まず最初に、粘着力のみからなる飽和粘性土斜面の安定解析法である Fellenius, Taylor およびJanbuの方法の特徴を述べた。さらにそれらの解析法が有する欠点を指摘し、より厳密な新しい安定図表を作成した。この図表を用いれば、すべての斜面勾配に対してすべりの破壊形態が一義的に決定できる。そして、この図表がすべり面に沿う非排水せん断強度の位置的なばらつきを評価しなければならない信頼性設計にとって非常に有用であることを示した。また、飽和粘性土地盤上の盛土では、①盛土の斜面勾配を変化させる場合、②押え盛土を併用する場合、③粘土地盤を締固め砂杭で改良する場合および④粘土地盤をサンドドレーン工法によって処理した上で盛土を多段階で築造する場合などを設計代替案として考慮した。そして、安定解析法については飽和粘性土地盤上の単純盛土に対する解析的方法である中瀬の方法を押え盛土の安定性評価にまで適用可能な算定式とし、締固め砂杭による地盤改良の効果は線形回帰モデルによる安全率の推定式で評価できる簡便法を提案した。これらによって、上記の各種工法が信頼性設計に容易に導入できるようになった。そして、第3章で整理した非排水せん断強度c_uの分布特性（Ⅰ型～Ⅲ型)に応じて破壊確率を極座標系で系統的に定式化し、すべり円弧に沿うc_uの位置的なばらつきを正確に評価できるものとした。また、これらを簡単に求める図表も作成し、これらの図表を用いた計算例も示した。さらに、最新の積算資料に基づいた評価関数を用いて、①～④の各工法ごとの最適設計結果は勿論のこと、これらを含めた場合の最適設計結果も示した。そして、この最適設計結果を現行設計法による結果と比較して、飽和粘土地盤上の盛土に関する現行設計規準がかなり妥当であることを実証した。

第5章では、不飽和土斜面に対する信頼性設計法と主に降雨時を対象とした既存斜面の安定性の評価方法について述べた。新設斜面の信頼性設計

主 論 文 の 要 旨

報告番号	※甲 乙 第　　号	氏　名	鈴木　壽

では、第４章と同様にして、まずこの解析に導入すべき斜面安定解析法を新たに定式化し、この安定解析法に基づいてｃ，φの２つの確率変数を考慮した破壊確率の算定法を定式化した。さらに、最新の積算資料に基づいた費用関数を用いて、中央道のり面の善光寺付近における切取り斜面の事例解析を実施した。その結果によれば、過去の斜面崩壊の発生を説明できる計算結果を示すだけでなく、崩壊時に採択すべき最適設計案を適確に指摘した。また、崩壊後の対策工法である押え盛土の検討も行った。さらに、数多くの信頼性設計による最適設計案と道路公団の設計規準とを比較した。その結果、盛土の場合の現行設計規準はここで計算した信頼性設計結果をすべて包含するかなり安全側の規準であることが判明した。しかし、切取り斜面の現行設計規準に対しては、より詳細な設計規準の必要性を指摘した。一方、既存斜面の安定性評価法では、まず、降雨浸透による不飽和土のサクションの変化を考慮した降雨時の斜面安定解析法を有限要素法による飽和ー不飽和浸透解析と円弧すべり面法とに基づいて定式化した。そして、この解析法の降雨時斜面崩壊予知法に対する適用性を検討するために、中央道における斜面崩壊に対する事例解析を実施した。それには、崩壊現場から採取した不飽和土の浸透および強度特性を知る必要があり、それらに関する詳細な室内実験を実施した。特に、不飽和土の強度特性については、三軸圧縮試験における排気および排水条件によって得られる強度がかなり異なるので、これらの試験条件を①排気・排水、②排気・非排水および③非排気・非排水とした詳細な実験を実施した。これらの試験では排気排水条件にかかわらず、せん断抵抗角φよりも粘着力ｃの方が飽和度の上昇に伴って顕著に強度が減少する傾向が見られた。また、①および③から得られる強度にはあまり差がないことも判明した。そして、上記で得られた不飽和土の強度係数とpF試験から得られた水分保持曲線および Van-Genuchten法 から推定した不飽和透水係数を用いて中央道のり面の崩壊現場に対する事例解析を行った。その結果、降雨時の斜面安定解析法に用いるべき強度試験法としては、排気・排水条件とすべきこと、ひずみレベルに

主 論 文 の 要 旨

報告番号	※甲 乙 第　　号	氏　名	鈴木　壽

よる不飽和土の強度差は解析結果にあまり影響しないことなども明らかとした。また、この解析法は詳細な入力パラメータを必要とするので、崩壊の危険性の高い斜面あるいは重点的に管理すべき重要斜面に対して用いるべきことも指摘した。さらに、この降雨時の斜面安定解析法では、のり面保護、風化、湧水などの影響を考慮することができないので、崩壊事例に基づいてそれらの要因の影響を評価できる豪雨時の斜面崩壊予知法をベイズ線形回帰モデルに基づいて開発した。そして、この方法による数値計算例と事例解析を示し、その有用性を明らかにした。

第６章では、深礎基礎の信頼性設計法を提示した。まず、深礎基礎の設計用支持力式を提案した。具体的には、第２章の議論から、完全に基礎が破壊する極限支持力とその極限状態に至るまでの荷重～変位関係を定式化した。なお、送電用鉄塔には、引揚げ、圧縮および水平荷重が作用するので、これらをすべて考慮できる支持力式とした。次に、深礎基礎の信頼性設計の方法を示した。送電用鉄塔では基礎の許容変位量を超えることによる鉄塔上部構造物の大規模な損傷がしばしば発生するので、破壊確率としては鉄塔が完全に倒壊する確率(破壊確率)だけでなく、許容変位量を超える確率(損傷確率)も考えた。さらに、送電線に関する最新の積算資料に基づいた費用関数を用いて、深礎基礎の最適設計を実施した。その結果、現行設計法による設計案と比較すると少し小さい基礎が最適設計案となった。