

徳島大学 工学部 正会員 鈴木 壽
運輸省第三港湾建設局 正会員○西本朋広

1. はじめに 土構造物に関する信頼性設計の手法はすでに確立¹⁾され、種々の検討がなされている²⁾。しかしながら、実務設計に導入する段階には至っていない。これには、色々な理由が考えられるが、その1つとして実務設計を念頭に置いた数値計算例がまだ十分に行われていないことが考えられる。そこで、本研究では小松島港の岸壁建設事例を取上げて信頼性設計を具体的に実施し、実務設計への導入の一助とする。

2. 信頼性設計の手順 図-1に港湾構造物（岸壁）

を対象とした信頼性設計の手順を示した。まず上位計画から岸壁構造物の形状が与えられる。地盤は建設される地点特有の性状を示すので、これも与えられた条件として取り扱う。また、フローチャートには安全率（破壊確率）を設計条件としているが、信頼性設計では最適化の中で自動的にこれらの値が得られるので特に設定する必要はない。次に、代替案として地盤改良規模の設定を行う。工法としてはサンドドレーン（SD）工法とサンドコンパクション（SCP）工法を取上げ、後者については砂置換率を設計パラメータとした。以上で、条件が揃ったので、SD および SCP の力学的特性を考慮できる円弧すべり計算を実施し、安全率を求める。そして、破壊確率の計算をする訳であるが、ここでは Rosenblueth による方法³⁾を用いた。この理論的背景⁴⁾については紙幅の都合上述べられないが、具体的な計算方法だけを説明すると以下のようである。

図-2は小松島港のある地点の一軸圧縮強度 q_u の深さ方向の分布を示したものである。強度は深さ方向に線形的に増えているが、この方法では地盤改良する深さまでの層厚を3等分し、各層に対する平均値と標準偏差を求める。ただし、この場合各層の平均値は一定とし、次式から、図-2のばらつきを評価した安全率の分布を算定する。

$$E[F_s] \cong \frac{1}{8} [F_{s+++} + F_{s++-} + \dots + F_{s---}] \quad (1)$$

$$Var[F_s] \cong \frac{1}{8} [F_{s+++}^2 + F_{s++-}^2 + \dots + F_{s---}^2] - E[F_s]^2 \quad (2)$$

ここに F_{s+++} とは安全率を算定するための3層系地盤で全ての層に対して平均値+標準偏差の強度を用いて安全率を計算することを意味し、 F_{s---} とはその逆である。さらに、その中間の F_{s++-} とは3層系地盤の最も下層だけを平均値-標準偏差とするように計算させる。そして、想定し得る代替案に対してこれらの計算を繰り返し、期待総費用（ C_T ）最小化規準によって最適設計案を選出する。実務設計では、力学的および経済的な側面に加えて施工性も加味すべきであるが、今回の計算には考慮されていない。

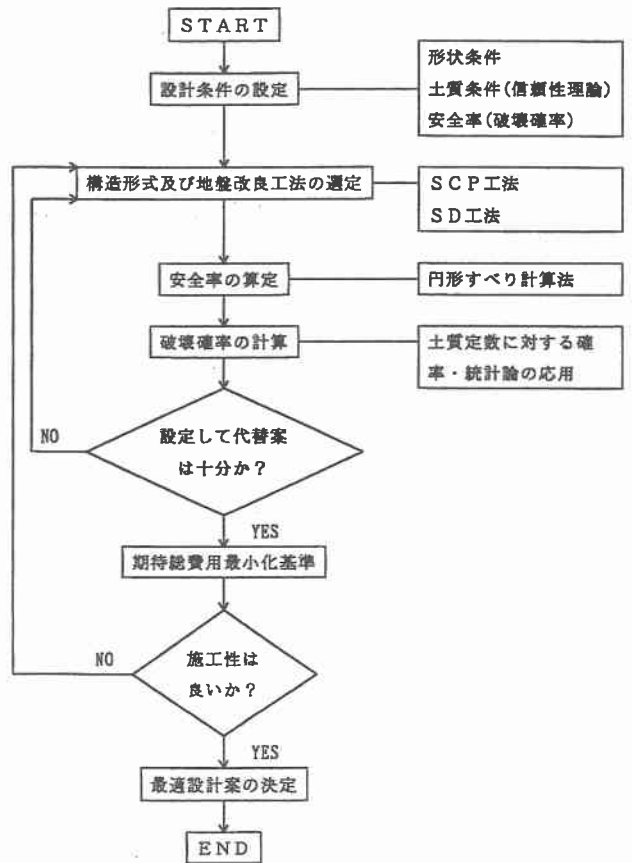


図-1 信頼性設計のためのフローチャート

なお、期待総費用は次式で計算した。

$$C_T = C_C + P_F C_F \quad (3)$$

ここに、 C_C 、 C_F 、 P_F はそれぞれ初期建設費、破壊損失費および破壊確率である。

3. 最適設計例 図-3は最適設計を実施した岸壁の断面図を示している。この断面は近年の大型化傾向にある外航商船に対して、2 次輸送に非効率的な輸送体制を強いられる大型埠頭整備計画の岸壁の標準断面である。前面水深を-13m に確保することにより、40,000D/W 級の貨物船舶等の離着岸ができ、貨客の積降ができるようになっている。

設計代替案としてはSD 工法、SCP 工法の2つを想定した。SCP 工法に対しては砂置換率を25%,50%,70%と変化させた。表-1は本研究で行った最適設計例である。評価関数としては、(3)を用いた。表から分かるように、SD の改良効果が不十分で破壊確率は93.0%と大きくなっている。また、SCP では25%で5.48、50%で0.271、70%で 9.20×10^{-6} とオーダ的に異なっている。本研究では、想定することが非常に難しい破壊損失費を1倍～5倍、10倍と設定した。この破壊損失費が大きいということは重要構造物であることを意味しており、最適設計案は破壊損失費が初期建設費の3倍まで砂置換率が25%の代替案が選択された。さらに大きな破壊損失費を与えると、最適設計案は50%の砂置換率へと移り、10倍という極端な例では最も安全な砂置換率70%が最適設計案となった。またこれらの安全率は1.13～1.26となっており現行設計から見ても妥当な結果となっている。

4 おわりに 本研究では、小松島港のある地点における一軸圧縮試験の実データを用いて岸壁の最適設計を実施した。その結果、構造物の重要度に対応した結果が得られる非常に合理的な設計法であることが判明した。

参考文献 1)松尾 稔：地盤工学－信頼性設計の理念と実際－、技報堂出版
2)M.Matsuo and H.Suzuki(1983): Use of Charts for Reliability-based Design of Embankments on Saturated Clay Layer, Soils and Foundations, Vol.23, No.3, pp.112-122. 3) E. Rosenblueth (1975) : Point Estimates For Probability Moments, Proc. Nat. Acad. Sci. USA, Vol.72, No.10, pp.3812-3814. Mathematics. 4) 土質工学会編：土質工学ライブラリー、土質基礎の信頼性設計

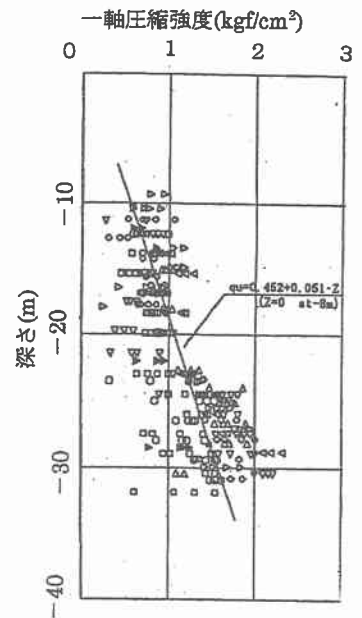


図-2 強度のばらつき

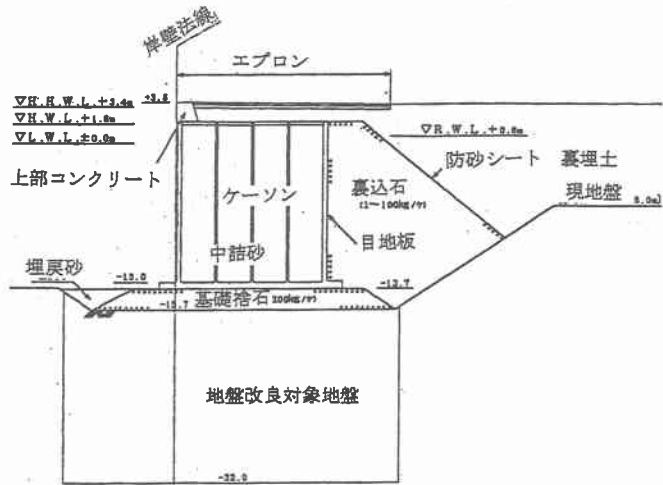


図-3 設計の対象とした岸壁

表-1 信頼性設計結果

(単位：千円)

地盤改良条件	安全率	破壊確率(%)		初期建設費		
	F_s	P_F		C_c		
SD	0.861	93.0		11,036		
SCP (As=25%)	1.139	5.48		12,508		
SCP (As=50%)	1.222	0.271		14,569		
SCP (As=70%)	1.269	9.20×10^{-6}		14,884		

地盤改良条件	期待総費用					
	$1 C_T$	$2 C_T$	$3 C_T$	$4 C_T$	$5 C_T$	$10 C_T$
SD	21,299	31,562	41,826	52,089	62,353	113,670
SCP (As=25%)	13,193	13,878	14,564	15,249	15,935	19,362
SCP (As=50%)	14,608	14,647	14,687	14,726	14,766	14,963
SCP (As=70%)	14,885	14,886	14,888	14,889	14,890	14,891