

国内外設計基準に基づく試設計の信頼性設計法による比較検討

関西電力 正会員 ○中田 正剛
関西電力 正会員 大江 一也
ニュージェック 正会員 平井 俊之

1. はじめに

WTO/TBT協定により各国の規格類を国際規格に整合させ、貿易の障害を取り除こうという動きが活発となっており、今後設計の国際化が進み、国内と海外のボーダーが取り払われた場合、国内・海外を問わず適切な設計基準を用いて設計することが必要となる。そこで、設計基準の実用性評価を行うため、現行の各国設計基準による試設計結果を信頼性設計法に基づいて破壊確率・ライフサイクルコストの面から比較検討を行った。

2. 試設計モデルと設計基準

試設計モデルは地盤基礎構造物の最も一般的な構造形式の1つである重力式擁壁を選択した。
試設計モデル(重力式擁壁)を設計する際に適用される国内外設計基準については、一般性・入手の容易さから次の設計基準を用いることとした。

・日本:道路土工 擁壁工指針¹⁾ ・欧州:Eurocode^{2), 3)} ・米国:アメリカ陸軍工兵司令部設計基準(USACE)⁴⁾

3. 試設計の実施

試設計にあたっては、同一外力(作用)条件として、擁壁背後の裏込土高さを 5m とし、擁壁背後の角度は鉛直として試設計を実施した。地震動の設定に関しては、構造物の構築を地震頻発国である日本で行うことを想定し、各基準類で最も大きい設計震度を設定するという考え方で統一した。裏込土の単位体積重量は 20kN/m³、内部摩擦角は 35°、コンクリートの単位体積重量は 23kN/m³とした。簡単のために、支持地盤は堅固な硬岩とし、地下水位は擁壁底面よりも下にあると想定した。

構造物の設計結果を表-1 に示す。道路土工や Eurocode よりも USACE の方が設計断面が大きくなった。これは、設計震度が大きいことと、土圧の算定式が異なっていることが原因と考えられる。

表-1 構造物の設計結果		
設計基準	道路土工, Eurocode	USACE
設計震度	0.16(道路土工), 0.20(Eurocode)	0.2
高さ (m)	5.0	5.0
天端幅 (m)	0.3	0.8
底版幅 (m)	2.5	3.0
断面積 (m ²)	7.0	9.5

4. 破壊確率の検討

3. で設計した断面について破壊確率を求めた。算定に用いた地震ハザード⁵⁾を図-1 に示す。また、主な物性値の変動係数はいずれも正規分布を仮定して、裏込土の単位体積重量と摩擦係数で 0.1、内部摩擦角で 0.2 とし、モンテカルロシミュレーションを用いて破壊確率を算定した。結果を表-2 に示す。

滑動、転倒いずれの場合も破壊確率の順序は USACE、道路土工、Eurocode となっている。これは同一の破壊確率を持つ断面を設計する際には断面の大きさがこの順となることを

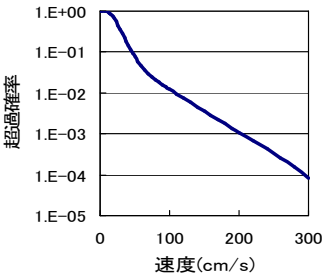


図-1 速度のハザードカーブ

示しており、基準の耐震設計の厳しさの順を示していると考えられる。

		滑動に対する破壊確率(%)			転倒に対する破壊確率(%)		
		道路土工による算定	Eurocodeによる算定	USACEによる算定	道路土工による算定	Eurocodeによる算定	USACEによる算定
設計断面	道路土工	34.0	8.1	39.6	5.4	1.4	47.1
	Eurocode						
	USACE	17.4	4.6	17.6	1.7	0.4	15.3

5. ライフサイクルコストの検討

ライフサイクルコスト(以下 LCC)は、構造物の供用期間中に必要な全てのコストを考慮する必要がある。

キーワード：設計基準、信頼性設計、破壊確率、ライフサイクルコスト

連絡先：〒661-0974 尼崎市若王寺 3-11-20 関西電力 電力技術研究所 構築研究室 Tel 06-6494-9707

対象とする重力式擁壁は、維持管理費は建設費用に比べるとわずかであり、一般的には供用期間が過ぎても撤去されるものではないため、LCC の期待値 は、初期費用(建設費、保守費) C_I および破壊時損失費 C_f より右の式⁶⁾にて算出される。

$$LCC = C_I + \sum_{j=1}^m \frac{E_{fj}}{t} C_f R, \quad E_f = qtP_f, \quad R = \sum_{k=1}^t \frac{1}{(1+i)^{k-1}}$$

ここで E_{fj} は対象とする荷重による期待被

災回数で、荷重作用はポアソン過程に従うと仮定し、 q は対象とする荷重の年平均発生率、 t は設計供用期間、 P_f は対象とする荷重の作用による破壊確率、 m は対象とする荷重ランクの数、 i は社会的割引率である。

破壊確率は、各基準に従って $k_H=0.1\sim0.3$ に対する断面を求め、4. と同様にして算出した。

LCCについては、長さ100mの擁壁を対象に初期建設費用76千円/m³、日施工量400m³、復旧工事費は初期の2倍、復旧工事施工速度は初期の1/2、復旧期間中の損失は66百万円/日として算出した。

各基準におけるLCC計算結果を表-3に、また道路土工を算定式とした場合の各断面の計算結果を図-2～3に示す。設計断面の基準に関わらずLCCは破

表-3 LCC計算まとめ

			道路土工による照査	Eurocodeによる照査	USACEによる照査
設計断面	道路土工	k_H	0.25	0.14	0.25
		LCC(百万円)	110.4	65.4	107.9
		破壊確率(%)	12.5	9.5	11.8
	Eurocode	k_H	0.27	0.16	0.28
		LCC(百万円)	110.4	65.4	108.0
		破壊確率(%)	13.2	9.5	10.4
	USACE	k_H	0.26	0.10	0.29
		LCC(百万円)	110.4	69.5	108.3
		破壊確率(%)	13.2	6.3	9.7

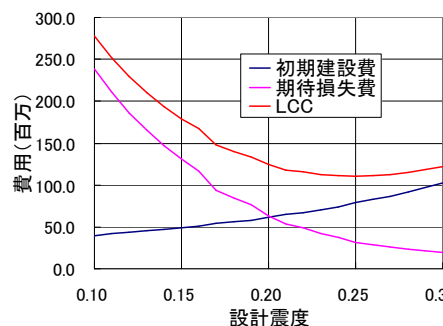


図-2 道路土工断面

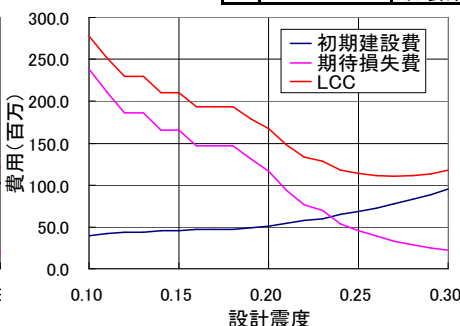


図-3 Eurocode断面

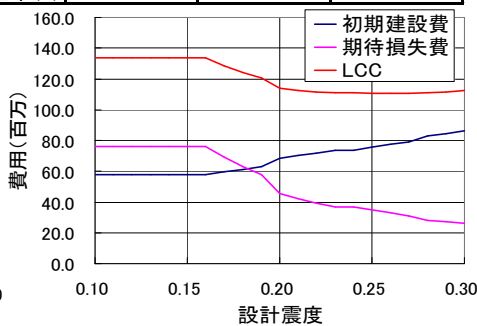


図-4 USACE断面

壊確率を照査した基準に依存することが分かる。すなわちLCC最適化設計を行う際には実験や理論解析により用いる設計基準の照査を行うことが有益であると考えられる。また、道路土工については基準の $k_H=0.16$ に対してLCC最小となるのは $k_H=0.26$ 程度であり、道路土工を用いた重要構造物のLCC最適化には注意が必要であると考えられる。Eurocodeに関しては他の基準類より小さな k_H 、LCCとなっているが、これは地震による作用が他の基準類に比べて緩いことを反映したものであり、こちらも重要構造物に対して注意が必要と考えられる。

6. まとめ

本研究により得られた主な成果は次の通りである。

- (1) 破壊確率の検討により耐震設計の厳しさはUSACE、道路土工、Eurocodeの順であると考えられる。
- (2) LCCの検討によりLCCの算定は破壊確率を算出する設計基準のなかの照査式に大きく依存するものと考えられるため、使用する設計基準の実験や理論解析による照査が有益である。

なお、破壊確率算定に用いた地震ハザードは、地震ハザードステーション(J-SHIS)のWebページにて公開されているデータを使用したものである。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路土工 擁壁工指針、丸善出版、1999.3
- 2) Andrew Bond, Andrew Harris: Decoding Eurocode 7, Taylor & Francis, 2008.8
- 3) Michael Fardis, Eduardo Carvalho, Amr Elnashai, Ezio Faccioli: Designers' guide to Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance, Thomas Telford Services Ltd, 2005.9
- 4) <http://publications.usace.army.mil/publications/eng-manuals/em1110-2-2100/entire.pdf>, 2005.12
- 5) <http://www.j-shis.bosai.go.jp/map/>
- 6) 長尾毅・森屋陽一：港湾構造物の目標安全性水準に関する研究，構造工学論文集，Vol51A, 2004.3