

II-393

台形ケーソン上部斜面堤の最適形状に関する研究

東北電力 正員 ○奥野敏彦

東北電力 村野清一郎

東北電力 正員 阿部修司

1. まえがき

当社の原町火力発電所（出力 100万kw×2基）の専用港湾は、福島県原町市と鹿島町に跨る海岸沿いに鋭意建設が進められている。専用港湾の防波堤は、水深-10m以浅を捨石式傾斜堤、それ以深をケーソン式混成堤とし、ケーソン式混成堤は、延長約 2.3km、ケーソン函数99函とする計画である。

従来のケーソン堤は、矩形ケーソン堤や消波ブロック被覆ケーソン堤の他に、斜面を有する台形ケーソン堤や上部斜面ケーソン堤、消波機能を有する多孔式やスリット式のケーソン堤等が開発されている。

原町地点では、防波堤工事費の低減を目的として、従来型の矩形ケーソン堤に代わる新しい防波堤形式として、港外側に2つの異なる斜面を有する「台形ケーソン上部斜面堤」を開発・導入した。

本稿では、台形ケーソン上部斜面堤の施工性・経済性を考慮した最適形状の検討について報告する。

2. 新型防波堤の基本形状および設計手法

原町地点のケーソン堤の構造については、設計波高が $H_{1/3} = 5.6 \sim 7.9\text{m}$ （最大波高約13m）と高く、設計周期で $T_{1/3} = 16\text{sec}$ と長いこと、海底面が水深-10m~-17mと比較的浅く、その地盤が泥岩で十分な支持力を有すること、消波型ケーソン堤は施工性、経済性の点で不利となることなどを勘案し、鉛直成分の波力を堤体の安定性に利用する、斜面を有する形状を基本形状とした。そこで、図-1に示すような2つの傾斜角を有するようなタイプを選定し、堤体重量の軽減化を図ることとした。

図-1に示す断面に作用する設計波力としては、合田式より求まる波力 P_{01} 、 P_{02} を基に、上部斜面部の波力は、「港湾の施設の技術上の基準・同解説」の「上部斜面ケーソン堤」に準拠し、水平成分波力は $P_{h1} = P_{01} \sin^2 \theta_3$ 、鉛直成分波力は $P_{v1} = 1/2 \cdot P_{01} \sin 2\theta_3$ より求まる。

また、下部傾斜部の波力は、谷本他の研究¹⁾に従い、波力 P_{02} が斜面に直角に作用するものとして、水平成分波力は $P_{h2} = P_{02}$ 、鉛直成分波力は $P_{v2} = P_{02} \tan \theta_1$ より求まる。これより、各斜面部とも波力 P_{01} 、 P_{02} および傾斜角 θ_1 、 θ_3 が大きい程、鉛直成分の波力が増大する。すなわち、設計波高が高く、傾斜角を大きくする程、堤体重量の軽減に寄与することが分かる。

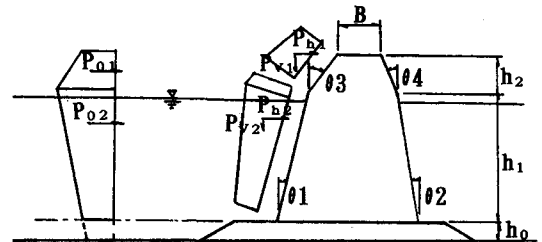


図-1 検討対象となるケーソン堤の形状および作用波力

表-1 検討条件

堤体寸法	天端幅	$B \geq 6.0\text{m}$
	天端高	$HWL + 1.0 H_{1/3}$
	堤体上部角度	$0^\circ \leq \theta_3, \theta_4 \leq 45^\circ$
	堤体下部角度	$0^\circ \leq \theta_1, \theta_2 \leq 20^\circ$
安定性	滑動安全率	$F_s \geq 1.2$
	転倒安全率	$F_r \geq 1.2$
	端趾圧	6.0 tf/m^2 以下
	マウンド部の直線すべり安全率	$F \geq 1.0$

※ $H_{1/3}$: 設計有義波高 (m)

3. 断面形状の最適化

(1) 検討条件

最適形状の検討では、堤体の安定性、施工性、規定、保守点検上の制約などにより表-1のような条件を設定した。

（2）断面の算定

ケーソン堤本体の検討に先立ち、捨石マウンドの最適厚 h_0 の検討を行い、全体工事費が最小となる厚さとして $h_0 = 1.5 \sim 3.5\text{m}$ と設定した。断面の比較検討に当たっては、数量計算、波力の算定、堤体の安定計算、マウンド直線すべりの計算、ケーソン浮遊時の安定計算および工事費の計算を行うことのできるプログラムを作成し、各防波堤寸法（ $\theta_1 \sim \theta_4$ 、 $h_1 \sim h_2$ 、 B ）を表-1の条件の範囲で変化させ、繰返し計算により最小コストとなる断面を求めた。

（3）検討結果

検討の結果、ケーソン部を下部傾斜角 $\theta_1 = \theta_2$ とする台形形状、上部傾斜部を上部コンクリート部とする断面が経済性、施工性の点より有利であることが分かった。

各傾斜角については、図-2より $\theta_1 = \theta_2 = 11^\circ$ 、 $\theta_3 = 45^\circ$ 、 $\theta_4 = 0^\circ$ とした場合が工事費が最小となることがわかる。なお、矩形ケーソン堤は $\theta_1 \sim \theta_4 = 0^\circ$ の場合である。ケーソンの製作、曳航、据付などの施工性や浮遊時の安定性についても検討したが、技術上の問題がないことから、図-3のような形状を最適形状とした。

また、北防波堤に対する水深の変化と工事費の比較を図-4に示す。これより、水深-10m以浅では傾斜堤、水深-10~-14m地点では矩形ケーソン堤、水深-14m以深では台形ケーソン上部斜面堤がそれぞれ経済的であることがわかる。水深-10~14m地点では、防波堤法線が主波向とのなす角が小さく設計波高が低いと、台形ケーソン上部斜面堤の場合鉛直成分波力が小さくなり堤体重量の軽減が期待できないことと、台形ケーソンの斜面部の製作費が割高となることから、矩形ケーソン堤の方が経済的となる。

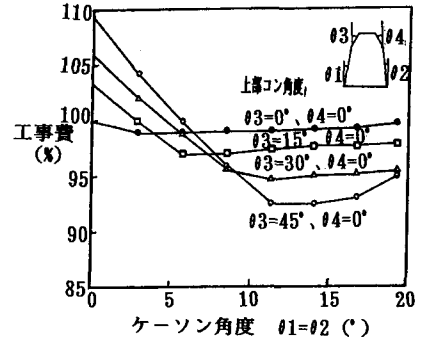


図-2 工事費と傾斜角の関係

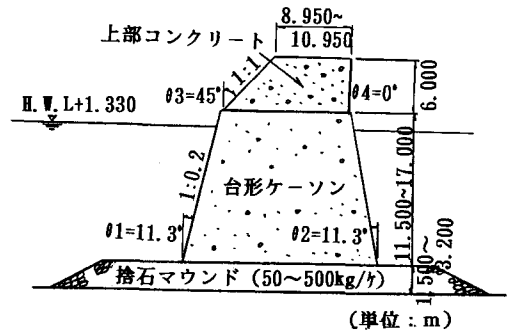


図-3 台形ケーソン上部斜面堤の最適形状

4. あとがき

図-3の断面については、縮尺1/50の水理模型実験と縮尺1/10の実証試験を行い、水理的機能や堤体の安定性が従来の矩形ケーソン堤と同等であることを確認し採用に至った。

ケーソンの製作は平成5年7月、据付は12月より開始し、据付工程は、年間30~40函（延長800~1,000m）を予定している。

最後に、本ケーソン堤の開発に当たり、ご指導・ご助言を頂いた運輸省港湾技術研究所、電力中央研究所の関係各位の皆様に深く感謝致します。

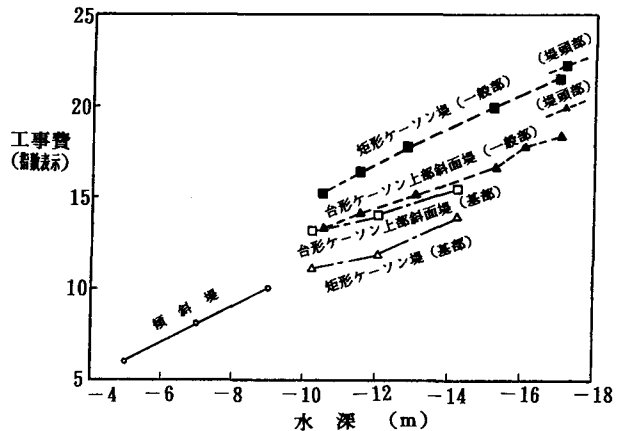


図-4 北防波堤に対するの水深変化と工事費の比較

<参考文献>

- 1) 谷本勝利・木村克俊：台形ケーソンの水理特性に関する実験的研究、港湾技術資料、No. 528, 1985.