

幅広フーチングを有する防波堤ケーソンに作用する波圧に関する考察

住友重機械工業（株） 正会員 ○江崎慶治
 京都大学防災研究所 フェロー 高山知司
 京都大学防災研究所 正会員 金 泰民
 住友重機械工業（株） 正会員 荒居祐基

1. はじめに

従来より、目的や現地条件により様々な新形式防波堤の開発がなされてきた。中でも、現地の地盤が軟弱な場合に多く採用されているハイブリッドケーソンが代表的例と言える。ハイブリッドケーソンは、鋼とコンクリートの複合構造物で、鋼が有する高強度な材料特性を活かして幅広フーチングを構築し、自重を分散できることを特徴としたケーソンである。一方、波圧の作用を考えると、幅広フーチングを有するケーソンは、通常のケーソンと比較して底版幅が広いことから、揚圧力や海側フーチング上面に作用する鉛直下向きの圧力（以下、抑圧力と呼ぶ）の波圧分布が異なると考えられる。そこで、本研究では、幅広フーチングを有するケーソンの揚圧力および抑圧力を明らかにすることを目的として、波圧実験を実施するとともに、幅広フーチングに作用する波圧を考慮した設計法を提案し、現行設計法との比較を行った。

2. 実験概要

実験は、京都大学防災研究所宇治川水理実験所内の実験水路を用いて実施した。図1に模型断面、表1に実験条件を示す。図1中の○印は、波圧計の取付位置を示している。フーチング長 b は、0m、0.2m、および0.4mと変化させた。なお、以降に示す図の原点は、図1中の $(x,y) = (0,0)$ とし、水路の下手を正方向とする。

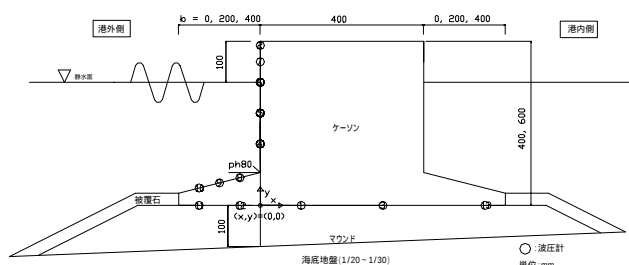


図1 模型断面図

表1 実験条件

ケーソン高さ = 0.40m					
CASE	h (m)	H_0 (m)	T_0 (sec)	L_0 (m)	K_s
C40-1	0.20	0.20	1.50	3.51	1.01
C40-2	0.25	0.20			
C40-3	0.30	0.20			
C40-4	0.20	0.20	2.00	6.24	1.07
C40-5	0.25	0.20			
C40-6	0.20	0.20	2.50	9.75	1.10
C40-7	0.25	0.20			

ケーソン高さ = 0.55m					
CASE	h (m)	H_0 (m)	T_0 (sec)	L_0 (m)	K_s
C55-1	0.30	0.20	1.50	3.51	0.98
C55-2	0.20	0.20			
C55-3	0.25	0.20	2.00	6.24	1.07
C55-4	0.30	0.20			
C55-5	0.20	0.20	2.50	9.75	1.03

3. 揚圧力および抑圧力分布

3.1 揚圧力

図2にC55-2の揚圧力分布を示す。縦軸 p_U は任意の点における揚圧力、横軸 x はフーチングを含む底版の位

置を表している。図中のプロットは実験結果（* ; $b=0$ m, + ; $b=0.2$ m, ○ ; $b=0.4$ m）を示し、実線は合田式によって算出した揚圧力分布である。 $b=0$ mの実験結果は、底面後趾で0、前趾で最大値となる三角形分布となり、合田式と良く一致している。一方、 $b=0.2$ mおよび $b=0.4$ mの場合は、両者ともフーチングを含む底版全体に揚圧力が作用し、後趾で0、前趾で最大値となる三角形分布をしている。また、前趾の最大値が $b=0$ mの最大値よりも小さく、 b が長くなるにしたがって小さくなっている。これより、幅広フーチングを有するケーソンの揚圧力分布は、底版後趾を0、前趾を最大値とする三角形分布となり、合力は前趾の最大値に依存することがわかる。

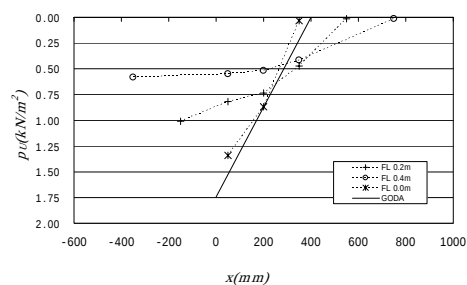


図2 揚圧力分布(C55-2)

図3に b を変化させた場合の底面前趾の揚圧力を示す。縦軸は実験より得られた任意計測点の揚圧力 p_{UE} を合田式より得られる揚圧力 p_{UG} で、また、横軸はフーチング長 b を波長 L でそれぞれ無次元化したものである。 p_{UE}/p_{UG} は、 b/L の増加に伴い減少し0.3に漸近する傾向にあり、 p_{UE}/p_{UG} の減少傾向は、指数関数的な特徴

キーワード 幅広フーチング、揚圧力、抑圧力、提案設計法

連絡先 〒141-8686 東京都品川区北品川 5-9-11 住友重機械工業（株）鉄構機器事業本部 TEL03-5488-0735

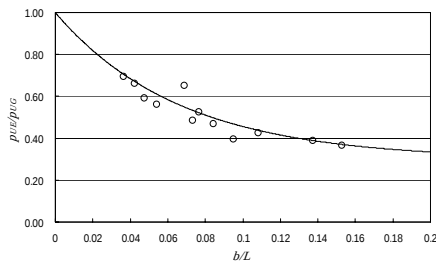


図3 底面前趾の揚圧力

を有している．そこで，幅広フーチングを有するケーソンに作用する底版前趾の揚圧力の近似式として，(1)式を提案する．なお，(1)式は図3に示す実線である．

$$\frac{p_{UE}}{p_{UG}} = 0.7 \exp\left(-15 \frac{b}{L}\right) + 0.3 \quad (1)$$

これより，幅広フーチングを有するケーソンの揚圧力は，フーチングを含む底版全体幅の後趾を0，前趾を(1)式で得られる値の三角形分布として算出することができる．

3.2 抑圧力

海側フーチング上面に作用する抑圧力分布を図4に示す．図中の縦軸は，抑圧力 p_c を水平波圧 ph_{80} で無次元化したものである．なお， ph_{80} は，原点より鉛直 y 方向に 80mm 上がった点で，フーチング基部の上面とケーソン本体との接続部である．一方，横軸は，フーチング上面に取付けた任意の計測点 x を波長 L で無次元化したものである．

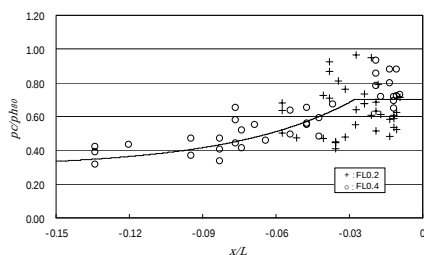


図4 抑圧力分布

抑圧力は，全体的にフーチング基部から先端に向かって低減する傾向を示している．基部付近に着目すると，理論上 $x/L=0$ における p_c/ph_{80} は 1 となるが，本結果では，理論と同様の傾向を示してはいるものの，基部付近ではバラツキが大きいので，その領域を一様の分布と仮定した．これより，抑圧力を(2)式で推定できるとした．

$$\frac{p_c}{ph_{80}} = \min\left\{0.7, 0.7 \exp\left(20 \frac{x}{L}\right) + 0.3\right\} \quad (2)$$

4. 現行設計法と提案設計法の比較

現行の設計法と(1)式，(2)式を採用した提案設計法を

比較するため，両設計法で安定計算を実施し，経済性の比較を行った．

図5に現行設計法と提案設計法との経済性比較結果を示す．縦軸は提案設計法により算出されるコスト $C(Pro)$ を現行設計法により算出されるコスト $C(Pre)$ で，横軸は最大波高 H_D を水深 h でそれぞれ無次元化した．

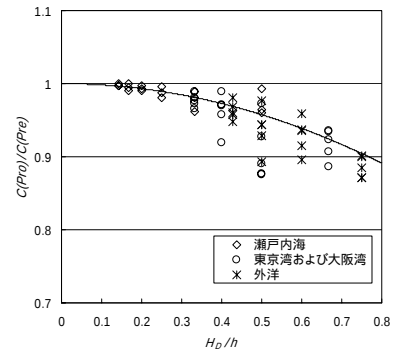


図5 経済性比較

図5より，殆どのプロットは，今回検討した横軸の範囲において $0.9 < C(Pro)/C(Pre) < 1$ の範囲にあり， H_D/h が大きくなるにしたがって $C(Pro)/C(Pre)$ の値が小さくなる傾向を示している．つまり，提案設計法は，波高が大きく，水深が浅い海域において合理性を発揮すると言える．一方， H_D/h が 0.3 以下になると $C(Pro)/C(Pre)$ は次第に 1 に漸近する．これは，波高が小さく水深が深い海域において，提案設計法の抑圧力と揚圧力の差分が現行設計法の揚圧力とほぼ等しくなることを示している．なお，図中の曲線は，コストダウンの程度を示したもので，(3)式で与えられる．

$$\frac{C(Pro)}{C(Pre)} = 1 - 0.17 \left(\frac{H_D}{h} \right) \quad (3)$$

5. おわりに

本研究の主要な知見を以下に列挙する．

- 1) 幅広フーチングを有するケーソンに作用する揚圧力分布は，フーチングを含む底版全幅に作用し，後趾を0，前趾を最大値とする三角形分布となる．
- 2) 底版前趾の揚圧力は，(1)式の近似式で与えられる．
- 3) 抑圧力は，海側フーチング上面に鉛直下向きに作用し，作用する抑圧力の大きさは(2)式で与えられる．
- 4) 現行設計法と提案設計法を比較すると，波高が大きく水深が小さい海域において，(1)式，(2)式を採用した提案設計法は合理性を発揮する．

参考文献 Goda, Y. (1974) New wave pressure formulae for composite breakwaters, Proc. 14th Int. Conf. Coastal Eng., Copenhagen, ASCE, pp. 1702-1720.