

棧橋床版に働く揚圧力特性に関する水理模型実験

Model tests on uplift pressure on horizontal plate of open-type wharves

室蘭工業大学 大学院 ○ 学生員 渡部 裕 (Yutaka Watanabe)
 室蘭工業大学 建設システム工学科 正員 木村 克俊 (Katsutoshi Kimura)

1. まえがき

棧橋は軟弱地盤にも適用しやすい係留施設であり、耐震性も高いことから、近年特に大水深条件への適用事例が増加している。一方、水理特性の面からは耐波安定性の確保が重要な課題である。これまでの研究により、棧橋床版に働く揚圧力の基本的な特性は明らかにされているけれども、これらの知見が棧橋の耐波設計に十分取り入れられていないのが現状である。本研究では、標準的な棧橋を対象として断面および平面実験を実施し、床版に働く揚圧力に及ぼす波浪および構造条件の影響を明らかにするものである。

2. 既往の研究

合田ら¹⁾は図-1のような水平版に対する水面衝突現象を考え、波による運動量から衝撃力を計算し、揚圧力の合力 F を以下のように定式化している。

$$F = \zeta \frac{w_0}{4} HL \tanh kh \left(\frac{H}{s'} - \frac{s'}{H} \right) \quad (1)$$

$$s' = s - \pi \frac{H^2}{L} \coth \frac{2\pi h}{L} \quad (2)$$

ここで ζ は補正率、 w_0 は海水の単位体積重量、 L は波長、 H は波高、 s' は波高中文面(波の峰と谷との高さを2等分する面)から床版下面までのクリアランス、 s は静水面から床版下面までのクリアランス、 $k=2\pi/L$ である。これに対し伊藤・竹田²⁾は波圧分布を同様と仮定し、実験結果に基づいた安全側の値として、

$$p = 4w_0H \quad (3)$$

と定式化している。さらに渡版の耐波性に対して

$$p = \left(8.0 - 4.5 \frac{s}{H} \right) w_0H \quad (4)$$

と定式化している。これらの算定式が、現在設計に用いられていることが多い。本研究では式(1)~(4)から、揚圧力の算定式に s/H をパラメータとして取り入れ、以下の

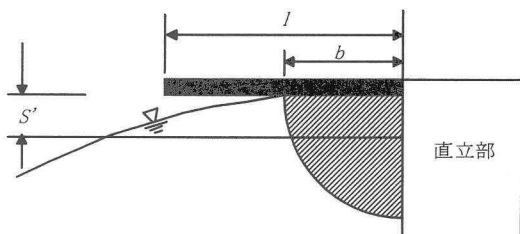


図-1 水面衝突現象のモデル化

ような式形とした。

$$f = \lambda \left(\alpha - \frac{s}{H} \right) w_0H \quad (5)$$

後述する実験結果に基づいて式(5)中の α および λ の変化特性について検討する。

3. 断面実験

3.1 実験方法

断面実験は2次元造波水路(長さ24m、幅0.6m、高さ1.0m)に海底勾配1/30の水路床を設置して行った。現地-12m岸壁を想定すると模型縮尺は1/40となる。実験波は規則波を用い、波高 H を2.5~12.5cm、周期 T を1.11~2.53sの範囲で変化させた。水深 h は31.5cmで一定とし、静水面から床版までのクリアランス s を3.45および7.25cmの2種類とした。

実験模型は図-1に示すように直杭を省略し、床版のみを再現した。棧橋床版に波圧計を10cm間隔で5個設置し、波圧の計測データをサンプリングタイム5msで取得し、パソコンで解析した。

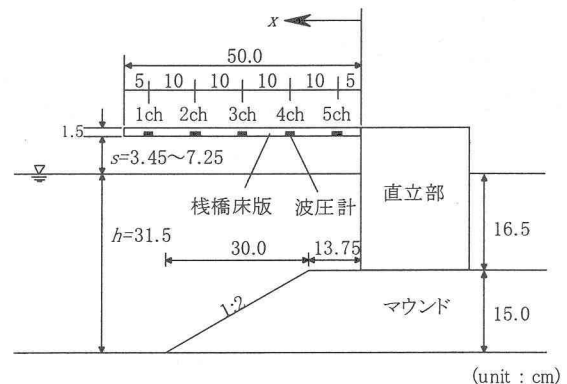


図-2 実験模型の断面形状

3.2 周期およびクリアランスの影響

図-3は $s=3.45$ cm、 $H=7.5$ cmの条件に対して、棧橋への波の作用状況を示したものである。 $T=1.11$ sの場合、棧橋の長さ比べて波長が短いため、床版の沖側部分には波面が接触しない。この部分から床版と波面の間に存在する空気が排出されることにより、揚圧力は減少する。これに対し $T=2.53$ sの場合は、重複波の節が棧橋よりも沖側に位置するため、重複波が棧橋全体に作用することになり、逃げ場を失った空気が圧縮されることにより大きな揚圧力が発生する。

図-4は無次元波圧 p/w_0H の空間分布を周期ごとに示したものである。ここで x は棧橋岸端から沖側への距離で

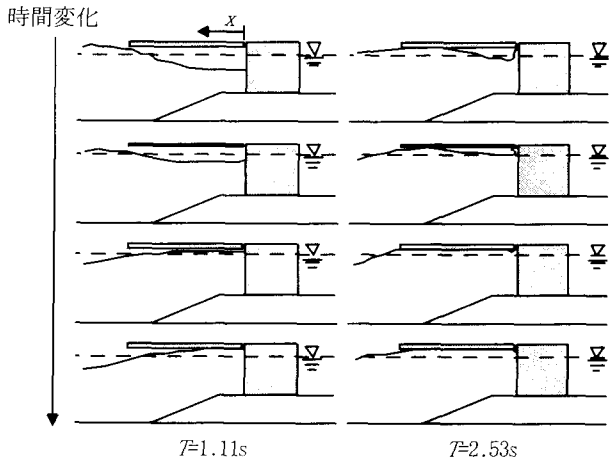


図-3 波の作用状況

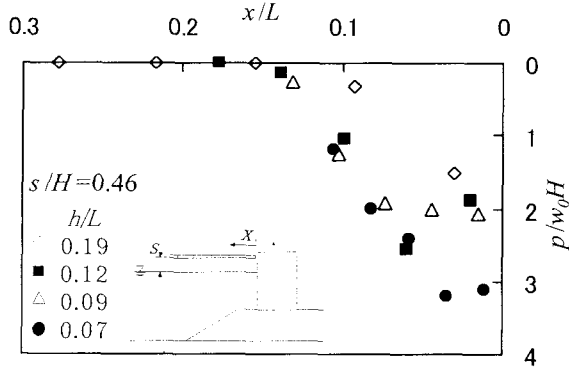


図-4 波圧分布

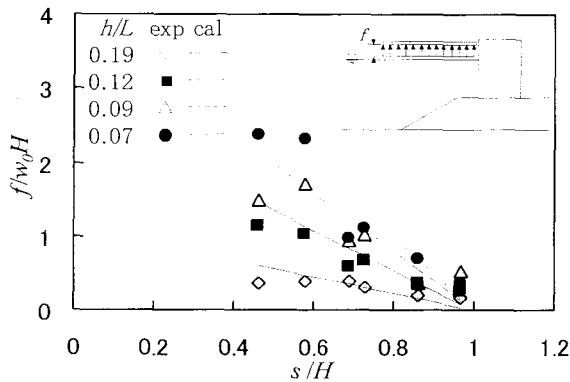


図-5 クリアランスの影響

ある。周期の長い条件では栈橋全体に波圧が働き、その値も大きいことが確認できる。

床版全体に働く波圧合力から、波圧分布を一様と仮定してその強度 f を求めた。図-5 は f/w_0H と波高で無次元クリアランス s/H の関係を示したものである。 s を十分大きくすることで、 f/w_0H は4以下に抑えることができ、周期の影響も顕著であることが分かった。以上の実験結果から式(5)中の α および λ を、

$$\begin{aligned} \alpha &= 1.0 \\ \lambda &= 11.9 \exp\left[-12\left(\frac{h}{L}\right)\right] \end{aligned} \quad (6)$$

と表した。

4. 揚圧力に及ぼす波向きの影響

4.1 揚圧力のモデル化

栈橋床版に働く波圧のピーク値を p_m 、その継続時間を t_0 とした。波圧の時間変化は図-6 に示すように、時間 $0.1t_0$ 後にピーク値 p_m に達し、その後波圧は減少し、腰掛け部波圧 $0.2p_m$ が $0.2t_0$ から $0.8t_0$ まで継続すると仮定した。

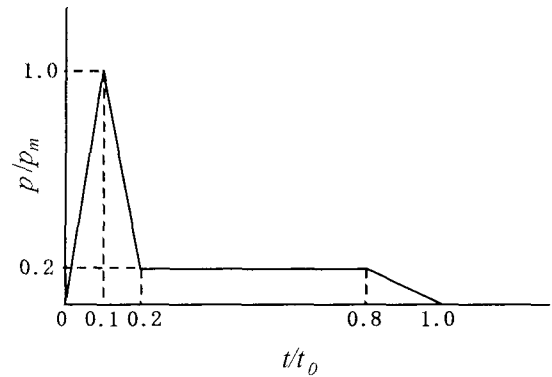


図-6 モデル波形

次に上久保ら³⁾の方法を用いて斜め入射における波の位相差に着目し波圧の時間変化を求める。ここで床版法線方向に距離 L_p 離れた2点を波面が通過するのに要する時間 T_p は以下のように表される。

$$T_p = L_p \sin \beta / C \quad (7)$$

ここに、 C は波速である。

栈橋の法線方向の1スパンを30mと仮定して、 $T=16s$ 、 $h=12.6m$ の条件に対して波の位相の効果を検討する。図-7 は床版法線方向に6m間隔で設置した測点(p1-p5)における波圧の時間変化を示している。p5における波圧がピークとなるタイミングで床版全体に働く波圧合力が最大となる。このタイミングにおける法線方向の波圧分布は時刻歴同様の波形となることが明らかとなった。

一方、床版の法線直角方向に働く波圧分布については、断面実験結果に基づいて三角形分布と仮定した。

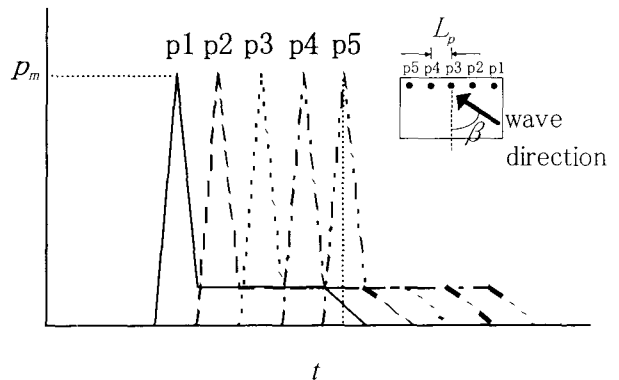


図-7 無次元波圧の時間変化

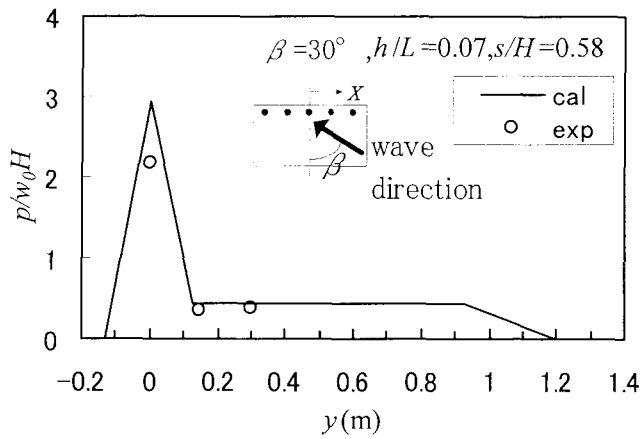


図-11 法線方向の波圧分布

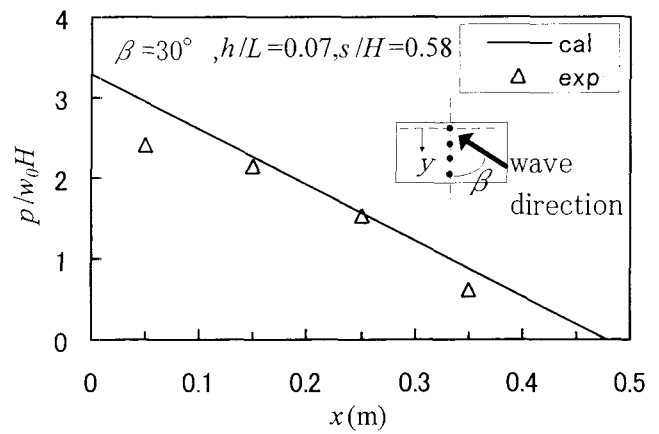
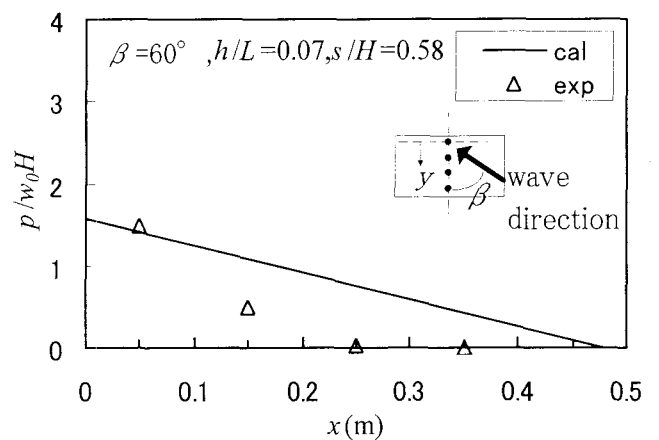
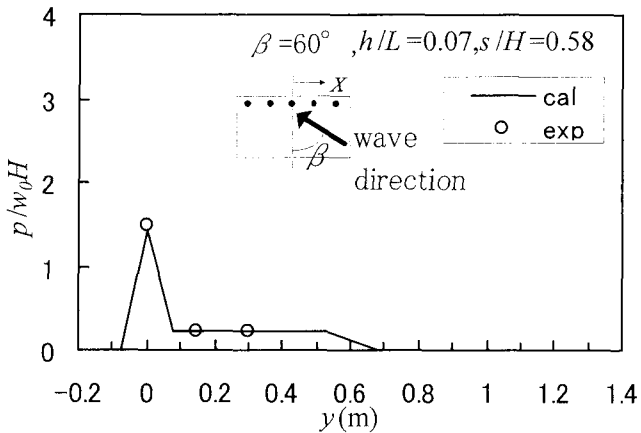


図-12 法線直角方向の波圧分布



4. 3 揚圧力の平面分布

図-10は、 $s/H=0.58$ の条件下における3chでの無次元波圧のピーク値 p/w_0H の平均値と入射角 β との関係を示している。 $h/L=0.07$ の条件に着目すると、直角入射の場合に p/w_0H が3.3であるのに対し、 $\beta=60^\circ$ の場合にその値が1.4まで減少している。斜め入射の場合には波面が堤体に沿って移動するため、床版と波面間の空気が法線方向に逃げやすいことが理由と考えられる。

図-11は $h/L=0.07$ 、 $s/H=0.58$ の条件において床版法線方向の波圧分布について実験値と計算値を比較している。 $\beta=30^\circ$ および 60° について両者はおおむね一致している。

図-12は床版法線直角方向の波圧分布について示しているが、実験値と計算値はほぼ一致している。

以上の結果から斜め入射の場合には、波圧の位相差と空気の排出効果により、直角入射に比べて波力の大幅な減少が見込まれる。また周期の短い条件の方が波圧の作用範囲が狭いため、栈橋全体にかかる合力が小さくなると考えられる。

5. まとめ

本研究で得られた主要な結論を以下に示す。

- ① 栈橋に対する波の作用状況と、波力の発生機構を明らかにした。
- ② 栈橋に働く揚圧力に対する波浪条件およびクリアランスの影響を示し、揚圧力の算定式を提案した。
- ③ 波圧の位相差に着目して波圧分布をモデル化し、その妥当性を示した。

参考文献

- 1) 合田良實：構造物に働く波力、水工学に関する夏季研修会講義集 海岸・港湾コース、pB.10.1-B.10.34、1967。
- 2) 伊藤喜行、竹田英章：栈橋に作用する波の揚圧力、港湾技術研究所報告、第6巻4号、p37-68、1967。
- 3) 上久保勝美、木村克俊、平澤充成、平野誠治、遠藤強：急勾配斜面上の混成堤直立部に作用する衝撃波力算定法、海岸工学論文集、第47巻、p941-945、2000。