

鉄道連絡船の衝撃によるケーソン岸壁の移動について

正員 松 本 有*

A REPORT ON THE DISPLACEMENT OF A CAISON CAUSED BY THE FERRY-BOAT

(JSCE Aug. 1951)

Tamotsu Matsumoto, C. E. Member.

Synopsis In this report, the author calculates with some assumptions the vertical speed to the berth of the ferry boat from the displacement of a caisson which was caused by her violent contact occurred in summer 1950, and it is requested that the ferry boat comes to the berth more calmly for the stability of the ferry berth.

1. 緒言

1950年夏高松第4号ケーソン(背後土砂のある所)の上端が船の衝突によつて2cm移動した。当時附近の工事に従事していた区員は身体が大きくゆらぐ程であつたと報じている。勿論防舷材は決定的な破壊を蒙りコンクリート表面も一部破損していた。かゝる現象は筆者がさきに弾性防舷材を提唱する為に行つたような防舷材の弾性変形と外部エネルギーの釣合式によつて解明することは出来ない。又質量無限大の壁に対する衝突現象としても取扱えない。衝突の瞬間岩壁にも或る初速度を与えた現象として解くのが最も事実に近いであろう。即ち運動エネルギーが巨大である時は圧力は異常に高まり遂に併進運動の場合は $\Sigma H=0$ 廻転運動の場合は $\Sigma M=0$ を満足する値に達し岩壁を動かすに到ると考えられる。

2. 衝突による岸壁の廻転運動

潜水夫を入れて岸壁底面の移動を検べて見たが底面の水平移動には見るべきものがなかつたので廻転運動として取扱う。岸壁底面の地耐力を考慮に入れた場合は問題はやゝ複雑になるが高松港に於ては地盤が極めて良好であり割石のセットも充分行われているので岸壁陸側下端の変移を零と考えても近似的には許されると思われるので岸壁陸側下端を廻転モーメントの中心と考えることによつて問題を単純化する。図-1に於て記号は次の意味をもつものとする。

M : 船の重量 W : 岸壁の重量

θ : 衝突によつてなした回転角

h : 海底から船の衝突位置までの高さ

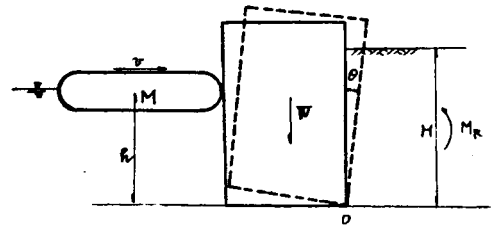
H : 背後土砂の海底面よりの高さ

M_R : 廻転に対する背後土砂及び自重による抵抗モーメント

- v : 船の衝突前に於て保有した垂直分速度
- V : 衝突の瞬間に船の保有した速度
- V' : 衝突の瞬間衝突位置に於て岸壁の得た水平速度
- ϕ : 船の衝突によつて岸壁が得た初角速度
即ち $\phi = \frac{V_1}{h}$
- s : 背後埋立表面に於ける岸壁の変移
- I_0 : O軸の廻りの岸壁の慣性モーメント

図-1の如き現象に於て船の運動エネルギーが消費される過程を次の如く考えることが出来る。単位は重量単位とする。

図-1



(イ) 衝突其のものに消費されるエネルギー(E_c)

$$E_c = \frac{M}{2g} v^2 - \left(\frac{M}{2g} V^2 + \frac{I}{2g} \phi^2 \right)$$

(ロ) 防舷材の破壊に消費されるエネルギー(E_f)

v_f を防舷材を破壊する船速の垂直分速度とすれば船の運動エネルギーで表現することが出来る。

$$\text{即ち } E_f = \frac{M}{2g} v_f^2$$

(ハ) 岸壁が抵抗に打勝つてなす仕事(E_m)

$$E_m = M_R \theta = M_R \frac{s}{H}$$

(ニ) 破壊した防舷材を更に粉碎しコンクリートの一部を破壊したり、その他音や熱に消費されるエネルギー(E_K)

* 国鉄, 四国鉄道管理局高松工事区長

然る時最初に船の保有した運動エネルギーは $\frac{M}{2g}v^2$ であるから次式が成立しなければならない。

$$\begin{aligned} \frac{M}{2g}v^2 &= E_c + E_f + E_m + E_K \\ &= \frac{M}{2g}v^2 - \left(\frac{M}{2g}V^2 + \frac{I_0}{2g}\varphi^2 \right) + \frac{M}{2g}v_f^2 + M_R\theta + E_K \\ \text{即ち } \frac{M}{2g}V^2 + \frac{I_0}{2g}\varphi^2 &= \frac{M}{2g}v_f^2 + M_R\frac{s}{H} + E_K \dots\dots(1) \end{aligned}$$

一方角運動量は不変であるから

$$Mvh = MVh + I_0\varphi = MV'h + \frac{I_0V'}{h} \dots\dots(2)$$

又反撥係数を e とすれば次式が成立する

$$\frac{V-V'}{v} = e \dots\dots(3)$$

(2) と (3) より

$$V = \frac{M(h^2 + I_0e)}{Mh^2 + I_0}v \dots\dots(4)$$

$$V' = \frac{Mh^2(1-e)}{Mh^2 + I_0}v \dots\dots(5)$$

完全非弾性体として取扱えば $e=0$ 、従つて $V=V'$ $= \frac{Mh^2}{Mh^2 + I_0}v$ となり船と岸壁は衝突の瞬間共通の速度で運動することを意味する。(4) と (5) を (1) 式に代入して v を求めると

$$v = \sqrt{\frac{2g(Mh^2 + I_0)^2 \left(\frac{M}{2g}v_f^2 + M_R\frac{s}{H} + E_K \right)}{M(Mh^2 + I_0e)^2 + \frac{I_0}{h^2} \{ Mh^2(1-e)^2 \}} \dots\dots(6)$$

完全非弾性体として取扱えば $e=0$ であるから

$$v = \sqrt{\frac{2g(Mh^2 + I_0) \left(\frac{M}{2g}v_f^2 + M_R\frac{s}{H} + E_K \right)}{M^2h^2}} \dots\dots(6)'$$

完全弾性体として取扱えば $e=1$ であるから

$$v = \sqrt{\frac{2g \left(\frac{M}{2g}v_f^2 + M_R\frac{s}{H} + E_K \right)}{M}} \dots\dots(6)''$$

尙 v の計算を簡明にする意味で次の仮定を行う。

(イ) $E_K=0$: この仮定は E_K を確定的に表現し難いこと、当時の衝突速度を事実より小さく従つて安全側の計算となる為に行う。

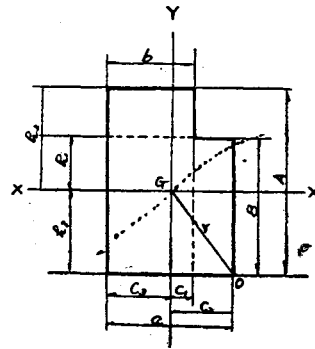
(ロ) $e = \frac{1}{2}$: $e=1$ と $e=0$ の両極端を求めて見ても v の値は高々 10 cm/sec 程度であるから e を両者の中間に考えて置けば誤差は比較的小さいと考えてこの仮定を行う。

(ハ) ケーソン岸壁の慣性性能率の計算を簡単にする為に 図-2 のような矩形集合形にして密度一様なものと仮定する。

3. 高松第4号ケーソンの廻転運動の解明

(イ) ケーソン岸壁の慣性性能率の計算:

図-2



I_0 : O を通り紙面に垂直な軸の廻りの慣性性能率
 I_G : 重心を通り紙面に垂直な軸の廻りの慣性性能率
 I_X : X 軸の廻りの慣性性能率
 I_Y : Y 軸の廻りの慣性性能率
 F' : 断面積, W : 全重量, r : G と O との距離

表-1

進入角度 (度)	20	25	30	35	40	45
進入速度 (cm/sec)	187	151	128	112	100	91

然る時

$$I_0 = r^2W + I_G$$

$$I_X = I_X + I_Y$$

$$I_X = \frac{W}{F'} \left\{ a \frac{h_1^3 + h_3^3}{3} + b \frac{h_2^3 - h_1^3}{3} \right\}$$

$$I_Y = \frac{W}{F'} \left\{ A \frac{c_1^3 + c_3^3}{3} + B \frac{c_2^3 - c_1^3}{3} \right\}$$

数値は次の如くである。

$a=6.4$ m $b=3.2$ m $A=10.95$ m $B=6.5$ m
 $h_1=1.1$ m $h_2=5.55$ m $h_3=5.4$ m $c_1=0.6$ m
 $c_2=3.8$ m $c_3=2.6$ m $F'=55.84$ m² $W=1030$ t
 $r=6.603$ m

これによつて計算すると $I_X=9783$ m²t, $I_Y=3384$ m²t
 $I_0=58075$ m²t

(ロ) 抵抗モーメントの計算: 背後土砂は充分締つているので直ちに受働土圧で抵抗するものとする

$$M_R = R_c \frac{H}{3} + Wc_2$$

$$R_c = lq \frac{H}{2} \text{ (ケーソン1箇当り受働土圧)}$$

l : ケーソン長=15 m, $H=9$ m

q : 底面における受働土圧強度 40 t/m²

(計算省略)

従つて $R_c=2700$ t, $M_R=12014$ tm

(ハ) v_f の値: 学会誌 36 巻 3 号に報告した値を使

用する。即ち 23 cm/sec である。

以上により計算数値を一括すると次の如くである。

$$\begin{aligned} M &= 2000 \text{ t} & s &= 0.02 \text{ m} \\ M_R &= 12014 \text{ tm} & I_0 &= 58075 \text{ m}^2\text{t} \\ h &= 8 \text{ m} & H &= 9 \text{ m} \\ g &= 9.8 \text{ m/sec}^2 & v_f &= 23 \text{ cm/sec} \end{aligned}$$

一方 v の計算式は前節 (イ) (ロ) の仮定により (6) 式より

$$v = \sqrt{\frac{2g(Mh^2 + I_0)^2 \left(\frac{M}{2g} v_f^2 + M_R \frac{s}{H} \right)}{M \left(Mh^2 + \frac{I_0}{2} \right)^2 + \frac{I_0 M^2 h^2}{4}} \dots\dots\dots (7)}$$

計算の結果は $v=64 \text{ cm/sec}$ である。

これによつて当時の入船状況を推定すれば表-1の如くである。目撃者は進入角度を 40° 前後と報じている。

4. 船の垂直分速度の危険値と設計上の対策

航送船は短時間の航海の後に着船し而も一日数回の航海をしなければならないので着船時において時間を短縮することの意義の大きさは之を認めなくてはならない。然し強震に対してもその安定を保証すべき永久構造物が背後土圧に打勝つて運動する如き強烈な外力をしばしば受けると云うことに対して無関心であることは出来ない。此の2つの見解に基いて船舶運営の合理化をはかることの必要性を強調するものである。防舷材が時に破壊されることはやむを得ないとしても

$s \rightarrow 0$ は我々としては絶対的に要求したい。

(7) 式において $s \rightarrow 0$ とすれば船の垂直分速度の危険値が得られる、即ち

$$v_c \rightarrow v_f \sqrt{\frac{M(Mh^2 + I_0)^2}{M \left(Mh^2 + \frac{I_0}{2} \right)^2 + \frac{I_0 M^2 h^2}{4}} \dots\dots\dots (8)}$$

第2岸壁の場合について計算すると $v_c=26 \text{ cm/sec}$ である。土木技術の立場からは経済性の許す範囲内で出来るだけ v_c を大きくする為に v_f の大きくなるような防舷材の構造を考案しなければならないが模船技術の立場からは成るべく穏かな接岸をするよう努めるべきである。

5. 結 語

以上色々の仮定を設けて高松第4号ケーソンの衝突を解明してみた結果垂直分速度は 64 cm/sec と推定される。

これは目撃者の言を信用すれば進入角度 40° 前後船速 100 cm/sec 程度の衝突に相当しその時に惹起した圧力はケーソンを背後土圧に打勝つて動かす程の巨大なものである。かゝる現象が何等の定量的解釈を受けずに放置されることは忍び難い。筆者は高松工事区在勤中の義務としてこの報告書を提出する。本論は勿論所謂厳密解ではないが船舶の運営を論ずる場合何等かの参考になれば幸である。

(昭.26.4.24)

アメリカ通信

(樋口芳朗君第1報)

漸く7月24日桑港着 Golden Gate Bridge や San Francisco Oakland Bridge の偉容に圧倒されながら、たそがれの市街を Army Bus でつゝ走り Oakland の Mill College に到着きました。

Mills College というのは米国でも屈指の富豪令嬢学校だそうですが、成程寄宿舎も素晴しく豪華なものです。学生数は全部で500人だそうで質沢なものには驚きました。船の中の生活は決して快適とは云えませんでした。この寄宿舎で皆疲れをほぐしました。

27日早期 Oakland 発 Southern Pacific Line の列車に乗り込んで、Sacramento, Salt Lake City, Cheyenne, Omaka を経て Chicago に着き南下して Indiana Univ. に着きました。

こゝが小生の Orientation Course(6週の前定)を受ける処です。9月からは Place of Study に到着くわけですが、土木グループの一覧表次の通りです。

伊吹山四郎(特調)

ori.

stand.

Claremont Graduate School Univ. of Calif.

都 淳一(国鉄)

Univ. of Wisconsin Michigan State Collage

樋口芳朗(国鉄)

Indiana Univ. Univ. of Illinois

杉本順一郎(厚生省)

John Hopkins Univ. Queens College

モトイ 巖 哲治(近鉄)

Rensseler Polytechnic Institute Duke Univ.

行先が皆ばらばらになつてしまいました。随分遙々来たものだと感慨を覚えます。

圧倒的な米国の物量には文句なしに頭を下げますが汽車の動揺の激しいこと等は一寸予想外でした。小生の Univ. Orientation center は TVA に近いのでその中見学に行くそうです。

以上取あえず留学生一同を代表して御報告します。

(1951.7.30 記)