

(株) 鴻池組 正員 矢木 茂 昭
正員 森 田 道 弘
正員 小 野 紘 一

まえがき

広島県の倉橋島と鹿島を結ぶ全長約40mの橋梁の基礎としてケーソンが現場の種々の施工条件により、架橋地より約50km離れた地浜で製作され000tクレーン船によって吊上げられた状態で現場に曳航され設置されたが、本報告書はこの重量約2000tのケーソンが吊上げられた状態における本体および吊上鉄筋の安全性を検討しさらに不測の事態に対処するためケーソンおよび吊鉄筋の応力変位等を測定した結果についてまとめたものである。

図-1 ケーソンの吊上げ状態

1. 構造物および工事の概要

ケーソンヤードで製作されたケーソンは $17 \times 12 \times 5$ mの大きさでこれに約7mのピアの一部が付加されたものである。図-1に示すようにケーソンは直径90mm埋込深さ約2.5mの鉄筋24本により6本づつばねた4個のフックによって吊上げられた。

2. ケーソン本体の解析

2-1 解析方法

吊上状態にあるケーソンをもっとも危険と推定される断面について2次元有限要素法によってコンクリートに発生する応力を求めた。解析においては吊上鉄筋埋込部は固定とし材料の挙動は線形およびコンクリートと吊上鉄筋の付着は作用荷重内で完全であると仮定した。また作用荷重としては、ケーソンおよびピアの自重および曳行時の横振れによる慣性力を考慮した。なお横振れの角度は鉛直方向に対して $\theta=0^\circ$ とした。

表-1 各種最大応力

断 面		コンクリート (kg/cm^2)		
		引 張	せん断	圧 縮
CASE 1	$\theta=0^\circ$	9.676	5.366	3.252
	$\theta=30^\circ$	10.08	5.706	2.974
CASE 2	$\theta=0^\circ$	10.03	5.541	3.394
	$\theta=30^\circ$	10.56	5.952	2.982

2-2 解析結果および考察

表-1は計算されたコンクリートの各種応力の最大値であり、図-2は引張応力分布図の一例である。これらの結果よりつぎのようなことが判明した。

- (1) コンクリート内に発生する圧縮応力はきわめて小さく、せん断応力も高々 $6 \text{ kg}/\text{cm}^2$ 程度で許容応力内にある。
- (2) $\theta=0^\circ$ 程度の横振れではコンクリート内部に発生する応力にあまり変化が生じない。
- (3) ケーソン天端の吊上鉄筋埋込部において応力集中が生じ、この部分でコンクリートの引張およびせん断応力が最大となる。これは解析上の仮定でこの位置を固定点としたために、とくに応力が集中したと考えられるが、実際には、この部分の変形により応力集中が若干緩和されると推定される。

- (4) コンクリートの引張応力は $10 \text{ kg}/\text{cm}^2$ とやや大きいため、安全のために吊上鉄筋の周囲に補強筋が必要であると考えられる。

3. 吊上鉄筋の検討

3-1 解析方法

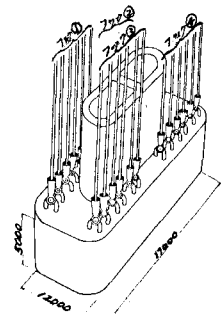
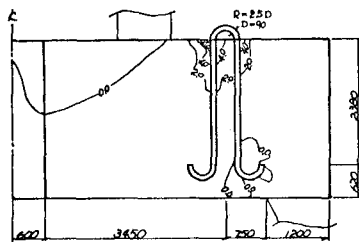


図-2. コンクリートの内部応力分布



吊上鉄筋のケーソン本体よりの露出部を図-3のようにモデル化し、断面力を曲げモーメント、軸力およびせん断力によるヒズミエネルギーを考慮して求めた。なお、吊上鉄筋に関する諸量は表-2に示すとおりである。

(A) 弾性的挙動

A点で固定されているため、ヒズミエネルギーをU、A点の曲げモーメントMA、せん断力HAとすると、

$$\frac{\partial U}{\partial M_A} = 0, \frac{\partial U}{\partial H_A} = 0 \text{ の条件より}$$

$$H_A = \frac{\left(\frac{2}{\pi} - \frac{1}{2}\right) - \frac{I}{2AR^2} \{1 - 2(1+\nu)K\}}{\left(\frac{\pi}{4} - \frac{2}{\pi}\right) + \frac{I}{4AR^2} \{\pi + (1+\nu)K\}} Q$$

$$M_A = \frac{2R}{\pi} H_A + \left(\frac{2}{\pi} - 1\right) R Q$$

最大引張応力はC点において生じ

$$\sigma = \frac{N_c}{A} + \frac{M_c}{Z}$$

ここに $N_c = H_A$

$$M_c = M_A - H_A R + Q R, \quad \nu = 1/3, \quad K = 10/9$$

であり、設計荷重 $2Q = 100 \times 0.9$ に対して $\sigma = 59.22 \text{ kg/cm}^2$

となり、この値は鉄筋の降伏応力を越え、吊上鉄筋はC点で降伏する。同様の検討の結果、埋込部A点およびB点においても吊上鉄筋は降伏する。

(B) ヒンジアーチ

CおよびA、B点で鉄筋が降伏するが、今この点にヒンジが形成されると仮定すれば、吊上鉄筋はヒンジアーチの状態にあると考えられる。

引張応力の検討

最大引張応力は $\theta = 45^\circ$ の位置で生じ

$$\sigma_\theta = \frac{N_\theta}{A} + \frac{M_\theta}{Z}$$

ここに $N_\theta = (\cos \theta + \nu \sin \theta) Q$

$$M_\theta = (1 - \cos \theta - \nu \sin \theta) R Q$$

であり、設計荷重 $2Q = 100 \text{ Ton}$ に対して、 $\sigma = 145.8 \text{ kg/cm}^2$ となり、鉄筋の応力は許容範囲内にある。

せん断応力の検討

最大せん断応力はC点において生じ

$$\tau_{\max} = \frac{Q}{A}$$

であり、設計荷重 $2Q = 100 \text{ Ton}$ に対して、 $\tau_{\max} = 7.86 \text{ kg/cm}^2$ となり

90mmの直径を有していれば、鉄筋のせん断応力は許容範囲内にある。

伸びひずみの検討

C点の鉛直方向の変位量 δ_c は

$$\delta_c = \frac{\partial U}{\partial Q} = \frac{R}{E} \left[\left(\pi - \frac{\pi}{2}\right) \frac{R^2}{I} + \left(\frac{\pi}{2} + 1\right) \frac{1}{A} + \left(\frac{\pi}{2} - 1\right) \frac{2K(H_2 U)}{A} \right] Q$$

$2Q = 100 \text{ Ton}$ に対して $\delta_c = 1.55 \text{ mm}$ であり、これによって生じる鉄筋の平均的伸びひずみは0.34%程度であり、ひずみ量も十分許容範囲内にあると考えられる。

4. 現場計測による安全管理

4-1. 測定項目および測定ゲージ

施工中には、逐次計測によって工事の安全性を確認した。吊上鉄筋およびケーソン表面のコンクリートのひずみはワイヤーストレインゲージ、コン

クリートの内部ひずみはモールドゲージ、吊上鉄筋の変位量はダイヤルゲージによって測定した。これらのゲ

図-3 吊鉄筋露出部

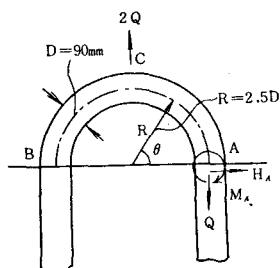
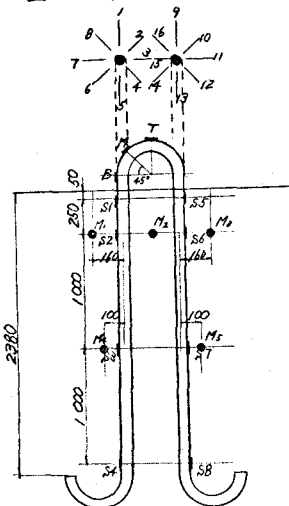


表-2 吊上鉄筋諸量

A=断面	積=63.6cm ²
I=断面二次モーメント	=322.1cm ⁴
Z=断面係数	=71.5cm ³
R=折り曲げ半径	=22.5cm
D=吊上鉄筋径	=9.0cm
E _s =鉄筋のヤング係数	=2.1×10 ⁴ kg/cm ²
σ _y =降伏応力	=2400kg/cm ²
M _s =塑性抵抗モーメント	=340.9t·cm

図-4 ゲージの取付位置



ージの取付位置は図-4に示すとおりである。

4-2 測定結果および考察

(1) 荷重履歴

ケーソン吊上準備から現場沈没に至るまでの測定された荷重履歴は表-3に示すとおりである。この結果によると、クレーンワイヤーの張力および鉄筋ゲージのひずみから得られた全荷重はほぼ一致している。

図-5は、4個のフックに分担された荷重の割合を示す。この結果によるとケーソンが未だ完全に吊上られていない状態に比較すれば、完全吊上状態においては、調整の結果、各々のフックにはほぼ均等に荷重が作用するようになったが、フック④にはやや過大な荷重が作用しており、この種の工事においては、偏心を避けることは困難であると考えられる。

(2) 吊鉄筋埋込部の挙動

図-6は吊鉄筋の埋込部における深さ方向の応力分布状況の一例である。この結果によると、鉄筋の応力は深さとともに急激に減少し、荷重がコンクリート部分に急激に分配される状況を示している。また、ケーソン天端より約5cmの深さにおける鉄筋の応力は、 1200 kg/cm^2 程度であり、このうち軸力のみによって発生する応力は 720 kg/cm^2 程度である。

(3) 吊上鉄筋のたわみ量

完全吊上状態における吊鉄筋の測定されたたわみ量は 1.07 mm であり、ヒンジアーチとして計算されたたわみ量は 1.32 mm である。理論値が実験値と比較的によく一致していることを考慮すれば、完全吊上状態にあるときの吊鉄筋がヒンジアーチ状態にあると仮定したことは妥当であると推察される。

(4) コンクリートの応力

吊鉄筋埋込部吊鉄筋の周囲のコンクリート表面には不均等な引張応力が発生しており、吊鉄筋には若干のねじれが作用していたと推定される。引張応力の大きさは 10 kg/cm^2 程度であり、目視による観察では、ケーソンにクラックは発生しなかった。また、コンクリートの内部応力はきわめて複雑な結果であったが、測定された最大の引張応力は 10 kg/cm^2 以下であり、ケーソン本体にも吊上げによるクラックの発生はなかったと推定される。

おとぎ

今回の工事のように、他所で製作されたケーソンを建設現場に輸送して設置する工事においては、ケーソンは吊上けられた状態でも、とても危険な状態にあると考えられる。測定結果によると、各吊鉄筋には必ずしも均等に荷重が作用しておらず、かつ若干のねじりが作用していた。今回の吊上工事においては、各吊鉄筋の応力を逐次測定し、この結果によりクレーンワイヤーを調整することによって偏心荷重を可能な限り回避し、無事ケーソンの設置を完了することができた。本工法による海中での橋梁下部工建設工事は、「海水汚濁が少ない」「コンクリートの品質が保証される」「現場の生コン供給条件の影響を受けない」等の利点があり、今後同種工事が増大すると考えられるが、ケーソンの吊上施工時には、本工事において行なった方法で安全管理を行なうことが必要であると考えられる。

表-3 荷重履歴

測定項目	測定値	測定値	測定値	測定値
吊上準備	400	400	400	400
吊上準備	0	0	0	0
吊上準備	430	430	430	430
吊上準備	680	720	230	230
吊上準備	1000	1282	413	413
吊上準備	2030	2086	666	666
吊上準備	1490	1779	583	583
吊上準備	1690	1778	582	582
吊上準備	1690	1778	579	579
吊上準備	1690	1779	583	583
吊上準備	1690	1767	579	579
吊上準備	2190	2081	875	875
吊上準備	2130	2030	665	665
吊上準備	2090	2042	669	669
吊上準備	1510	1430	475	475

図-5 フック1本当りの荷重割合(%)

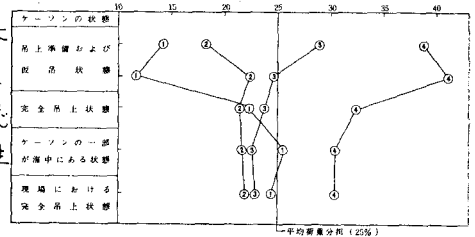


図-6 埋込部の鉄筋の応力分布

