

大きな集中荷重を受ける橋橋式けい船岸の 鉄筋コンクリート床版の極限設計に関する研究

運輸省港湾技術研究所 正員 堀井修身

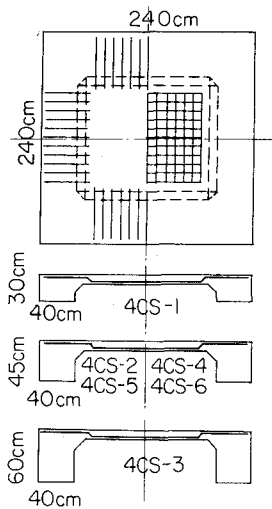
正員 南 博

1. まえがき

近年、港湾取扱貨物量の増大と船型の大形化に対処するために、海上輸送コンテナや大型モビールクレーン等を導入する埠頭荷役の近代化計画が進められつつある。このため従来設計において考慮されなかったような大きな集中荷重を受け得るけい船岸が多くなるものと予想される。この種のけい船岸には比較的橋橋式けい船岸が多く、一部では若干の規制を受けながらもすでに相当大型のモビールクレーンが導入されている。版の強度に関しては、弾性理論、塑性理論に基づいて検討する必要があるが、たとえば階差法による弾性計算式も、降伏線理論による計算式も相当の誤差のあることが確かめられている。現時点では実験的手法による確認がもっとも重要であると考えられる。本研究では、大きな集中荷重を受け得る橋橋式けい船岸の鉄筋コンクリート床版の安全性を実験的に検討し、さらに、極限設計法を確立することにその目的がある。これらの目的の第一段階として、 $1.4\text{m} \times 1.4\text{m}$ 厚さ 10cm の鉄筋コンクリート床版を製作し破壊実験を行った。

実験にあたって御指導頂いた京大岡田教授、小柳助教授、早大神山教授、港湾技術研究所北島博士、赤松博士、に感謝の意を表したい。なお、本研究に吉田研究奨励金を授けられた土木学会に感謝の意を表する。

図-1 床版の形状



床版 140cm 平方 版厚: 約 10cm
鉄筋間隔 (DIO 使用)
4CS-1, 4CS-2, 4CS-3: 10cm
4CS-4 : 5cm
4CS-5 : 7.5cm
4CS-6 引張鉄筋 : 10cm
圧縮鉄筋 : 20cm

2: 供試体の製作、試験方法

表-1 床版の寸法諸元、材料の性質

シリーズ	供試体名	寸法諸元 (cm)		鉄筋比 (%)		コンクリート			鉄筋		終局 モーメント (kgm)
		有効 高さ	周辺補剛 梁の断面	引張 鉄筋	圧縮 鉄筋	σ_{28} (kg/cm ²)	σ_{test} (kg/cm ²)	E_{test} ($\times 10^4$)	降伏点 (kg/cm ²)	引張 強度 (kg/cm ²)	
シリーズ I: 周辺の補剛梁の固定度の影響を明らかにすることを目的とするもので、梁の中	4CS-1	7.4	40×30	0.96	—	310	341	2.3	41.6	58.1	2030
	4CS-2	7.8	40×45	0.91	—	317	364	2.5	41.6	58.1	2160
	4CS-3	7.1	40×60	1.00	—	291	345	2.6	41.6	58.1	1940
シリーズ II	4CS-4	6.2	40×45	2.30	—	239	250	2.1	37.9	57.3	2660
	4CS-5	7.3	40×45	1.30	—	239	247	2.1	37.9	57.3	2310
	4CS-6	6.3	40×45	1.13	0.57	239	243	2.1	38.6	55.6	1550

はいずれも40^{cm}であ
るが、高さを30^{cm}、
45^{cm}、60^{cm}に変えた。
シリーズⅡ：鉄筋量が
終局耐力におよぼす
影響を明らかにする
ためのもので、 $A_s =$
1.13%、1.30%、2.30%に変
え、周辺補剛梁の断
面は巾40^{cm}×高さ45
^{cm}と一定にした。

支承方法は、支間
20^mの4点支持として、
φ19^{mm}の鋼製の載荷盤
を用い床版中央に荷重
を載荷した。測定項目
はたわみ、鉄筋および
コンクリートのひずみ、
ひびわれ巾、ひびわれ
発生荷重、破壊荷重、
ひびわれ線の観察など
である。

3. 試験結果および 考察

3・1 床版の 破壊性状

床版の破壊時におい
て、図-2、3に示す
ように床版裏面中央に
おける載荷盤直下のひ

びわれ線、床版裏面中央より隅角部へ伸びるひびわれ線、床版中央より縁端中央にのびるひびわれ線、
床版表面の周辺補剛梁ハンチ上面に生ずるひびわれ線の4種のひびわれ線が認められた。上面にけ
るひびわれ線は、載荷盤と同心円の形状であった。

4CS-1では十分なひびわれ線が形成され、たわみが増大し、載荷盤下面の鉄筋が降伏し降伏領域
が床版全面に拡大して行く過程で、最終的には載荷盤が急激に床版に陥没する状態でせん断によって

図-2 床版の破壊時におけるひびわれ線 (1)

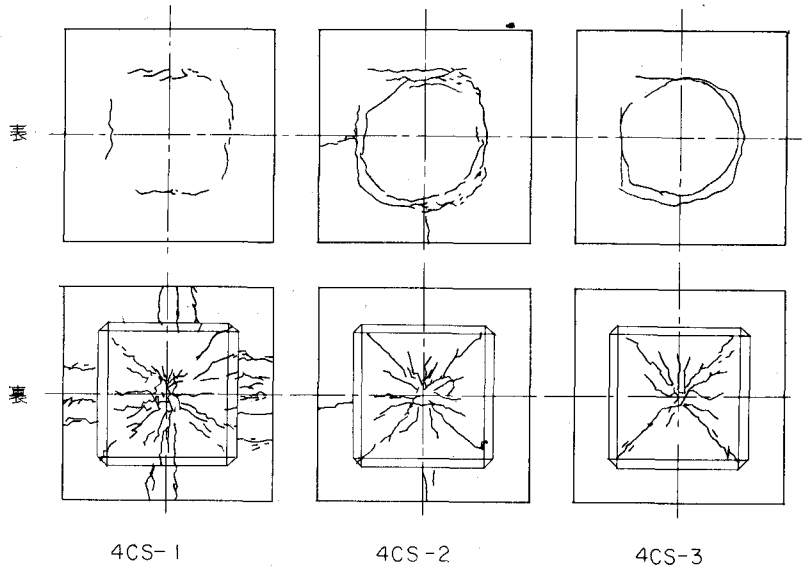
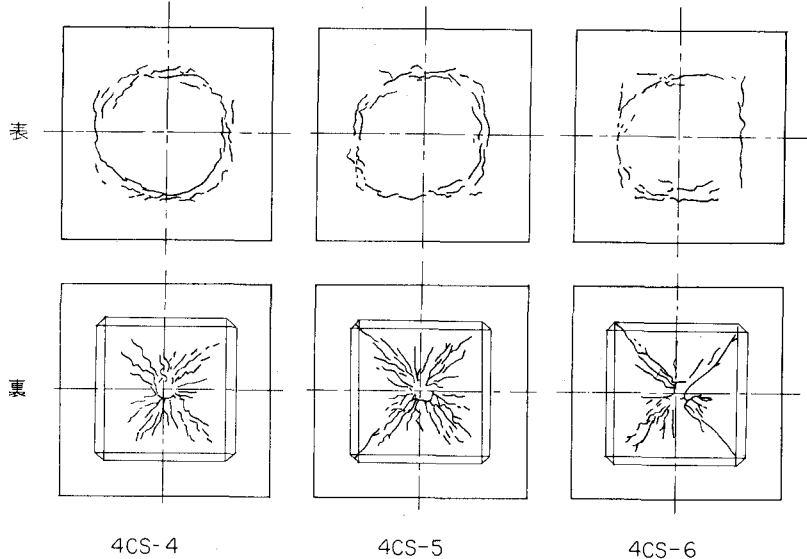


図-3 床版の破壊時におけるひびわれ線 (2)



破壊した。4CS-2～4CS-6では、ひびわれ線の形成が不十分な状態で急激なせん断により破壊した。これら供試体の破壊荷重は表-2に示した通りである。

せん断破壊の断面形状の一例を図-4に示したが、床版上面は載荷盤と同一直径の中19cmの円形であり、これよりほぼ45°の傾斜角を有し、下方に向い、鉄筋付近より角度が緩慢となり、床版下面での開口部の長さはほぼ70cmであった。

3・2 鉄筋およびコンクリートのひずみ

破壊時における鉄筋のひずみは4CS-1については床版中央より大体20cm以内の区域では $+2000 \times 10^{-6} \%$

(引張り)以上となっているが、4CS-2～4CS-6に

ついては床版中央付近ですら $+1000 \sim +1500 \times 10^{-6} \%$

程度にとどまっている。また、コンクリートのひずみを

調べてみると、4CS-1～4CS-3については床版中央

より20cm以内の区域で $-1500 \times 10^{-6} \%$ (圧縮) 場所によ

っては $-1500 \times 10^{-6} \%$ を越えているところもある。4CS

-4～4CS-6については床版中央より20cm以内の区域

で $-1200 \times 10^{-6} \%$ を越えており、場所によっては -1500

$\times 10^{-6} \%$ ～ $-2000 \times 10^{-6} \%$ に達してい

るところもある。以上のことから鉄筋

は4CS-1に対しては床版中央より20

cm以内の区域にほぼ降伏が起っている

が4CS-2～4CS-6に対しては床版

全面で降伏が生じていないといえる。

3・3 床版のたわみ

破壊時における床版中央のたわみ量は4CS-1, 4CS-2, 4

CS-3でそれぞれ18mm, 5.4mm, 5.0mm, 4CS-4～4CS-6につい

ては5.0mm程度となっている。荷重があまり大きくない範囲では、

荷重を停止したままでもたわみは増大するが、その増大の仕方は

断続的である。しかし荷重が大きくなると、荷重を停止したまま

でも連続的に増大する現象が見られた。弾性域内でのたわみと4

辺固定、4辺単純版のたわみを床版中央について理論値と比較し

てみると4CS-1は4辺単純版、4CS-3は4辺固定版の理論値

とよく一致する。4CS-2, 4CS-4, 4CS-5, 4CS-6は

4辺固定版と4辺単純版の中間的なたわみを示している。この傾

向は床版中央英のみならず他の英についてもほぼ同様である。

3・4 終局耐力について

破壊荷重の理論値と実験値と比較してみよう。曲げ破壊荷重の理論値と降伏線理論より求める。図

表-2 終局破壊荷重の実験値および理論値

供試体名	実験値 ^(t) P_{meas}	理論値 ^(t)		P_{meas}/P_{shear} (%)
		P_{flex} ^①	P_{shear} ^②	
4CS-1	17.0	29.5	19.8	86
4CS-2	28.0	31.4	21.7	129
4CS-3	28.0	28.2	19.0	147
4CS-4	15.0	38.7	15.8	95
4CS-5	21.0	33.6	18.0	117
4CS-6	15.6	22.5	14.1	111

① 降伏線理論により計算した曲げ破壊荷重

② Moeの提案式により計算したせん断破壊荷重

図-4 セン断破壊の断面の形状

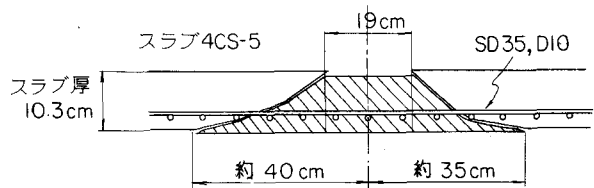
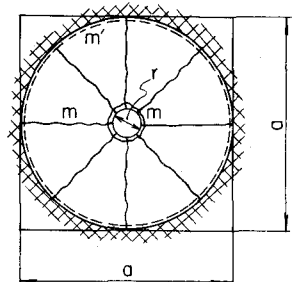


図-5 曲げ破壊荷重の計算に
用いた降伏線のパターン



—5に示す降伏線パターンを考へて理論値を計算した。計算式は下記の通りである。

$$P_{flex} = \frac{2(m+ml)\pi a}{a-r}$$

ただし、 P_{flex} : 曲げ破壊荷重 a : 床版の辺長

r : 載荷盤の直径 m, ml : 正および負の終局モーメント

せん断破壊荷重の理論値を、Moe*の提案するような下記の式を用いて求める。

$$P_{shear} = \frac{15(1-0.075\frac{r'}{d})bd\sqrt{f'_c}}{1+5.25\frac{bd\sqrt{f'_c}}{P_{flex}}}$$

ただし、 P_{shear} : せん断破壊荷重(lb)

r' : 載荷盤の辺長(in), $r' = \pi/4$ とする。

d : 床版の有効高さ(in)

b : 載荷盤の周長(in)

f'_c : コンクリートの圧縮強度(Psi) P_{flex} : 降伏線理論より求めた曲げ破壊荷重(lb)

これら計算結果は表-2に示す通りである。4CS-1~4CS-6のいずれの供試体も終局状態においてせん断破壊を生じたので、表-2にはせん断破壊の実験値と理論値の比を示した。これによると4CS-4, 4CS-6においてほぼ10%, 4CS-1, 4CS-2, 4CS-5において20%程度の差が認められる。4CS-3では実験値は理論値のほぼ1.5倍となっている。これはMoeの提案式が単純変形多くの床版などに対する実験から求めたものであつて、4CS-3のように、周辺補剛梁の剛性が大きい床版では、誤差は大きくなるようである。

4CS-4および4CS-6は、鉄筋比以外の諸元はほぼ同一である。破壊荷重の実験値はほとんど一致しているがこれは鉄筋比はせん断破壊荷重に対して大きな影響を及ぼさないことを示すものであると思われる。

4. 結論

本実験は、橋脚けい船岸の鉄筋コンクリート床版に大きな集中荷重を載荷した場合の安全性の検討、極限設計法の確立のための一段階として実験したものであつて、今回は1.4m² 平方の周辺補剛梁および床版の鉄筋比の相違する6個の床版をとりあげた。数少ない実験より直ちに結論は導き出せないがおよそ次のことがいえよう。

- (1) 集中荷重を受ける床版では、曲げ破壊よりせん断破壊が卓越する例が多く、周辺補剛梁の剛性が高まるにつれこの傾向は著しい。
- (2) 鉄筋比は終局せん断破壊に対してあまり大きな影響を及ぼさない。

* Moe, Johannes, "Shearing strength of reinforced concrete slabs and footings under concentrated loads", Development Department Bulletin D47, Portland Cement Association, 130pp., Apr. 1961.