

港湾技研資料

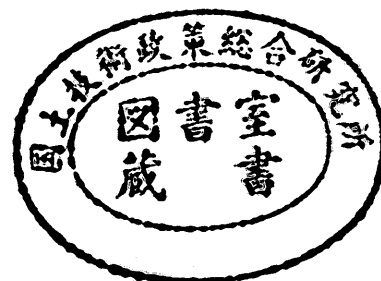
TECHNICAL NOTE OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

No. 813 Sept. 1995

兵庫県南部地震による港湾施設の被害考察

港湾施設被害検討委員会編

運輸省港湾技術研究所



序 文

稲富 隆昌*
稲垣 紘史**
輪湖 建雄***

平成7年1月17日午前5時46分に淡路島北部を震源とするマグニチュード7.2の地震が発生した。「平成7年（1995年）兵庫県南部地震」と命名されたこの地震は、高度に発達した都市を襲った初めての活断層型直下地震である。神戸市、芦屋市などでは震度7の激震を記録した。この強震により、神戸市を中心に5,500名を越す犠牲者を出すとともに、港湾施設、高速道路、新幹線、ライフラインなどの土木施設、また住宅、ビルなどの建築構造物に未曾有の被害を出し、長期間にわたり都市機能を麻痺させた。同時に、神戸港のポートアイランド、六甲アイランドなどの埋立地では、埋立土の「まさ土」が液状化し、その噴泥が地表面を大規模に覆い、液状化現象を全国に再認識させた。

運輸省第三港湾建設局神戸港工事事務所では、水平加速度が502Gal、上下加速度が283Galの地震動を記録した。被害が集中した神戸港の岸壁の多くはケーソン式岸壁で、被害形態は岸壁の移動と傾斜およびその背後地盤の沈下であった。全国のコンテナ貨物量の約3割を取り扱う神戸港のコンテナ埠頭においても、岸壁が数m移動するなど同様な被害が発生したため、クレーンの脚に損傷が生じ、港湾荷役は完全にその機能を喪失した。一方、このような被災状況下において、耐震性を高めた耐震強化岸壁はほとんど損傷することなくその機能を保持した。この耐震性の保証は、神戸港のみならず、全国に展開する港湾施設の耐震性強化にきわめて重要な技術情報を与えた。

地震から7カ月を経過した現在、被災地港湾では地震に強い港湾を目指して復興が始まっている。同時にケーソン式岸壁の被害の原因究明の調査、研究も図-1に沿って鋭意進められている。本報

兵庫県南部地震に対する ケーソン式岸壁の被害考察 —— 地震動・液状化を中心に ——

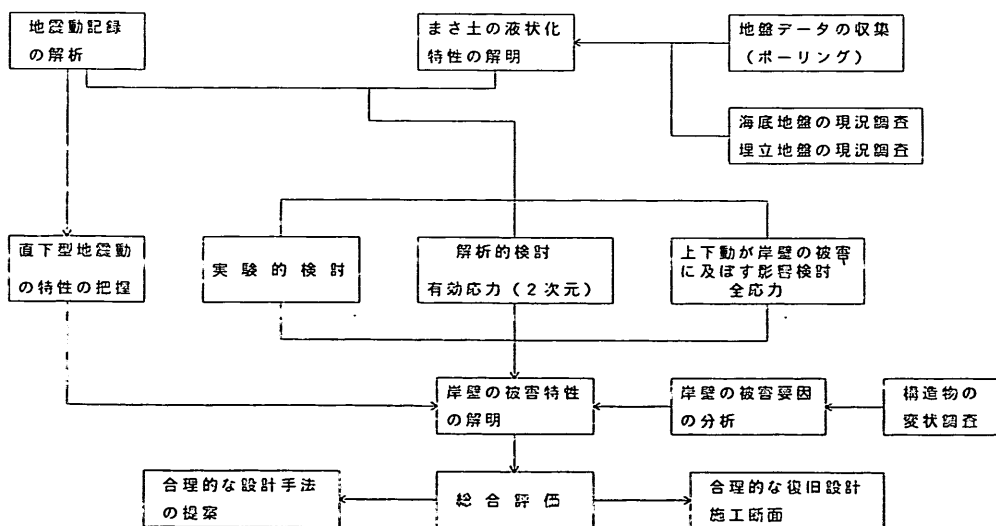


図-1 調査研究フロー

- * 構造部長
- ** 前 運輸省第三港湾建設局長
- *** 運輸省第三港湾建設局 震災復興建設部長

告は現在までに明らかになった研究成果等を速報的に紹介するものである。したがって、復興事業に伴って明らかになる現地情報の内容によっては成果の一部変更もあり、また、解析、実験的研究も継続して実施しているため、最終的な成果は後日に待つ必要がある。

報告では、港湾施設の被害状況および地震動の特性紹介から始まり、液状化を含む埋立地盤の特性、ケーソン式岸壁の変状の要因を明らかにし、また、実験的、解析的検討からケーソン式岸壁の変状を考察した。また、コンテナクレーンについても現地データを用いて被災の実態を明らかにした。

なお、本報告を取りまとめるに際して、運輸省港湾局、同第三港湾建設局、神戸市港湾局、同開発局、兵庫県土木部港湾課、神戸港埠頭公社等から多大なる支援をいただいた。ここに関係の方々に謝意を表す。

平成7年9月

兵庫県南部地震による港湾施設の被害考察

目 次

序 文

- (その1) 強震記録宮田正史・佐藤幸博・井合 進..... 5
- (その2) 被災状況
- 岸壁、防波堤、海岸保全施設—外山進一・松永康男 51
 - 港湾荷役施設—藤本健幸 77
 - 臨港交通施設—横田 弘 95
- (その3) 神戸港のケーソン式大型岸壁の被災分析
.....上部達生・高野剛光・松永康男..... 127
- (その4) 埋立地盤の特性善 功企・山崎浩之・南 兼一郎・中島由貴..... 147
- (その5) 液状化の判定に関する検討山崎浩之・善 功企・佐渡篤史・館下 徹..... 167
- (その6) ケーソン式岸壁の被災に関する模型振動実験 ...菅野高弘・三藤正明・及川 研..... 207
- (その7) ケーソン式岸壁の有効応力解析井合 進・一井康二・森田年一..... 253
- (その8) ケーソン式岸壁の地震時滑動に関する数値解析
.....野津 厚・上部達生・高野剛光..... 281
- (その9) 神戸港ケーソン式岸壁の安定性に関する一考察
.....長尾 毅・小泉哲也・木阪恒彦・寺内 潔・細川浩二・門脇陽治・宇野健司..... 301
- (その10) コンテナクレーンの地震時挙動吉田由治..... 337

兵庫県南部地震による港湾施設の被害考察 (その10) コンテナクレーンの地震時挙動

吉田 由治*

要 旨

兵庫県南部地震時における神戸港のコンテナクレーンの挙動を被害状況から推論した。そのひとつとしては、車輪の軌跡等からロッキングが岸壁法線直角方向に生じたと考えられる。また、脚スパンは全般的にはレール間隔の拡大により強制変形を受けて拡大しているが、一部のものにはスパンが狭まるものがあり、その原因を推定した。さらに、係留金物が脱輪に及ぼす影響についても検討した。

キーワード：地震, コンテナクレーン

* 前機械技術部長

Mechanism of Damage to Port Facilities during 1995 Hyogo-ken Nanbu Earthquake

(Part 10) Dynamic Behavior of Container Crane

Yoshiharu YOSHIDA*

Synopsis

I inferred the behavior of the cranes of Kobe Port at the Hyougo-Ken-Nannbu Earthquake from their damages. I guess the cranes have acted rocking motion along the cross direction of the rails from the foot-print etc. And the most of cranes' span were widened by widening of rails' span, but some of cranes' span became narrow. I estimated its cause. And also I examined the influence of the crane anchor to the damages.

Key Words : Earthquake, Container Crane

* Ex-Director of Machinery Division

目 次

要 旨	299
1. 概 要	303
2. 車輪の軌跡	303
3. 脚スパンの拡大量と走行用レール間隔の拡大量	303
4. 係留金物	303

1. 概要

コンテナクレーンは脚の座屈等大きな被害を受けたが、今後の耐震対策を検討する上でコンテナクレーンの地震時の挙動を考察することは重要なことである。これには、岸壁や地盤との連成を考慮に入れ、シミュレーションなどによるいわば論理的なつめとともに現実の被害を整理して考察する必要がある。論理的なつめについては、別途、検討が進められており、ここでは被害状況から地震時の挙動を推論し、今後の検討の一助としたい。

2. 車輪の軌跡

クレーンが地震によって一般的にどのような挙動を示すかについては、解明されていないが、その手がかりとして1993年の釧路沖地震等で、車輪がレールをたたいた痕跡が確認されている。これは、ロッキングと呼ばれ、地震によりクレーンが踊るような状況を呈したのではないかと推測されている。

今回の地震では、摩耶埠頭の南向きの岸壁やポートアイランドPC-8等に、脱輪した海側脚の車輪が岸壁上を数回たたいた顕著な痕跡が見られた。これは、陸側脚の車輪を支点として、海側脚が跳ねたものと考えられ、このように海側から見て前後方向に振れる挙動は、他のコンテナクレーンについても、脱輪等の状態から推し量ると同様なことが起こったのではないかと考えられる。これに対し、左右方向に振れる挙動については、これを裏付ける確かな痕跡等は見られず、また、脚を構成する4面の鋼板のうち走行用レールと直角な鋼板には、ほとんど被害が見られなかったことから、耐震対策の検討という観点からはあまり考慮する必要がないと考えられる。

3. 脚スパンの拡大量と走行用レール間隔の拡大量

地震により岸壁が海側に滑動したことにより、海側と陸側の走行レールの間隔が拡大することとなったが、この拡大量に対し脚スパンがどの程度拡大したかを示したのが図-3.1, 2である(表-3.1)。レールの間隔が拡大したにもかかわらず、逆に脚スパンが狭まっているものが見られる。このことからレール間隔が拡大しないような岸壁構造では、強い地震によって脚スパンが狭まると推測される。なお、脚スパン16mクレーンのうち東西方向に敷設(水平震度0.5G相当)されたレール上のは、特に顕著である。

こうした現象が起きた理由として、次のように考えることもできる。図-3.3は地震の周期 T (sec)とクレーンの固有周期 T_0 (sec)との関係における、一自由度系のクレーンの応答振幅倍率の例を示したものである。 $T_0/T=0$ は地震の周期が極めて長く、地震の振幅とクレーンの

振幅が同じであることを示している。地震の周期が短くなるに従い、クレーンは地震の振幅以上に振れはじめ、 $T_0/T=1$ 、即ち共振点で最大となり、その後、地震の振幅よりもクレーンの振幅の方が少ないゾーンへと移っていく。 T_0/T がどの点にあったとしても脚には足を内側にすくうような力、即ち脚スパンを狭める力が作用することになる。この足をすくうような力については、 $T_0/T=1$ より出来るだけ右よりになる、即ちクレーンの周期が長くなると小さな力となる。

今回の地震の場合、周期は約1秒、脚スパン30mのコンテナクレーンの周期が約2秒とすれば、 $T_0/T=2$ 付近で振動したことになる。なお、クレーンの固有周期が $T_0/T=1$ より短い場合であっても、クレーンが振動しはじめロッキング現象を起こして片脚で立つようになると、両脚で立った時と比較して剛性が落ち、結果として固有周期が長くなって $T_0/T=1$ より右側に移って振動することになると考えられる。

4. 係留金物

クレーン係留金物は走行装置に取り付けられ、台風時にクレーンが浮上したり、逸走することを防止する機能を持つ。機能別には、浮き上がり防止装置、逸走防止装置及び浮き上がりと逸走防止の両方の機能を併せ持つ浮き上がり・逸走防止装置に分けることができる。今回の地震時においては、浮き上がり防止装置(写真-4.1)が十分に掛けられていたと思われるクレーンは少なく、多くは逸走防止装置のみであり、数は少ないが浮き上がり・逸走防止装置が掛けられていたものもあった。

逸走防止装置は、一般に短冊状のストッパを走行装置の一部を貫通して、レール側ピットに20cmほど落とし込んでいるもの(写真-4.2)である。従ってロッキングによってピットから抜けやすく、脱輪はしやすい。今回の地震においては、多くが逸走防止のみが掛けられていたと思われ、その結果として、図-3.1, 2に示す関係が得られた。一方、浮き上がり・逸走防止装置の例としては、長めの短冊状ストッパの下部に穴があり、そこにピンを通してレール基礎と固着するようにしたもの(写真-4.3)が多い。今回の場合、浮き上がり・逸走装置の破損が軽微のため脱輪を起こさなかったものとして、摩耶埠頭コンテナターミナルのKバース及びポートアイランドのPC-12バースのクレーンがある。こうしたクレーンは基礎地盤の変形の影響を、そのままうけることになった。

コンテナクレーンの挙動は、地震の強さは無論であるが、どのような係留金物が掛けられていたかによっても大きく異なり、このことは被害の内容、程度にも深くかわることになった。

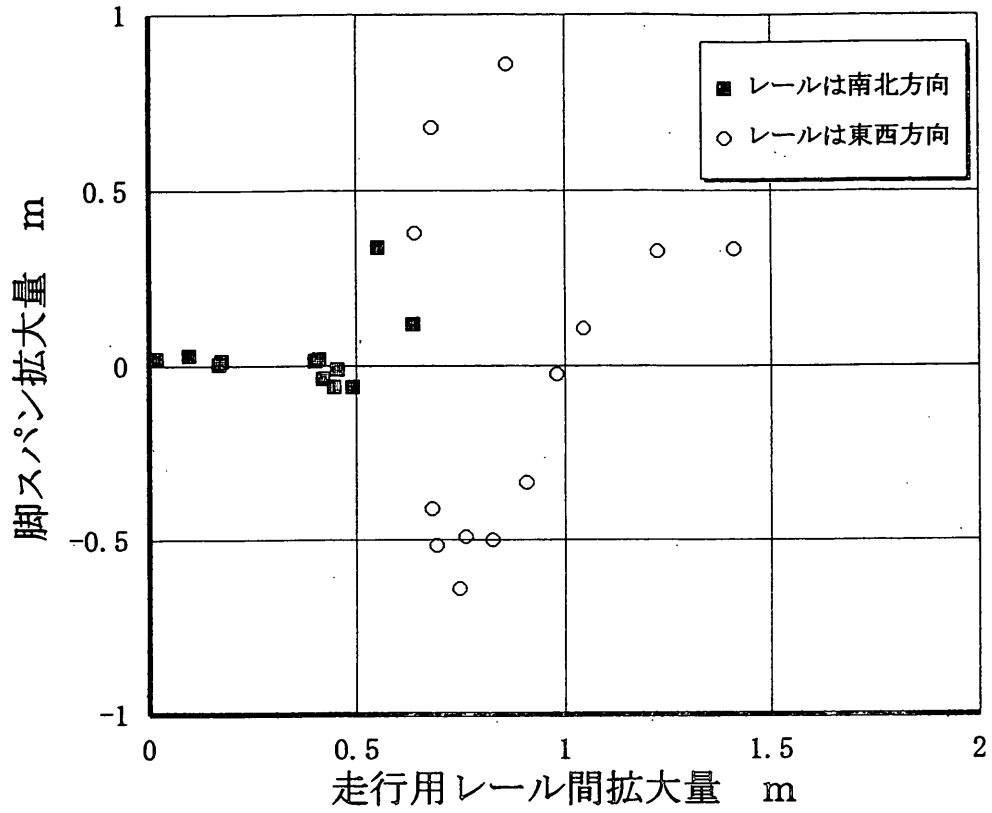


図-3.1 脚スパンの拡大と走行用レール間の拡大
(脚スパン16mコンテナクレーン)

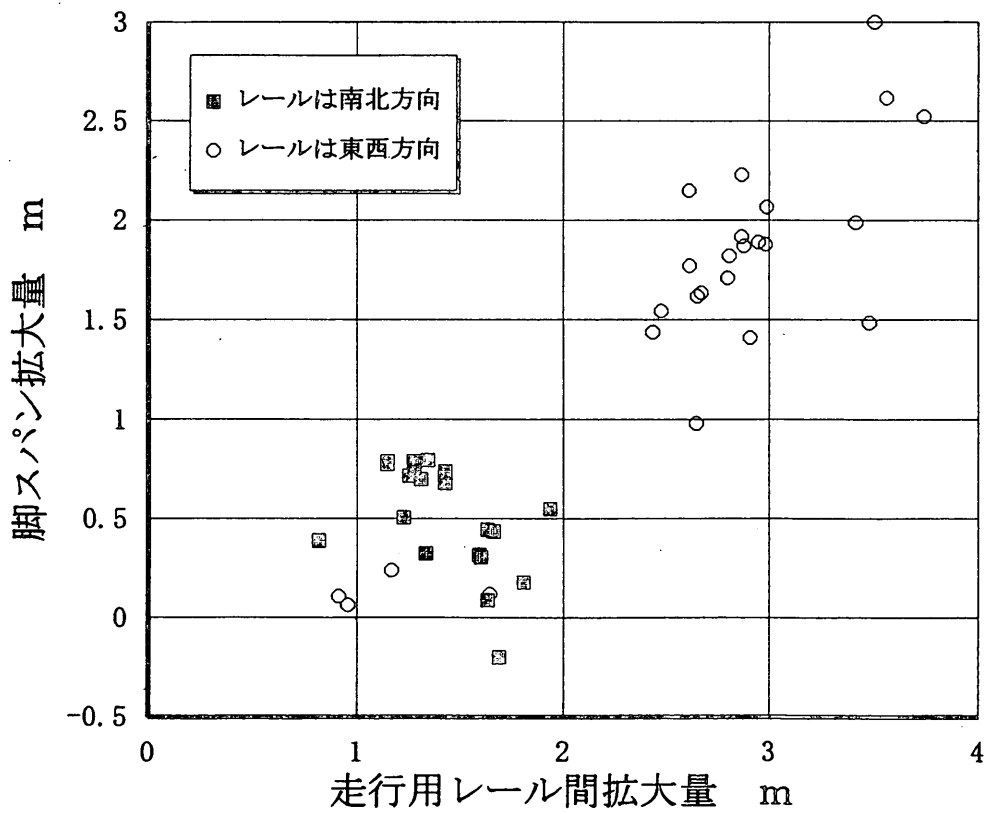


図-3.2 脚スパンの拡大と走行用レール間の拡大
(脚スパン30mコンテナクレーン)

表-3.1 走行用レール間及び脚スパンの拡大量

単位；mm

地区	岸壁名	番号	レール幅 (m)	走行用レール間拡大量		脚スパン拡大量	
				左車輪側	右車輪側	左車輪側	右車輪側
ポート アイランド	PC-1	1-1	16.0	177	98	15	30
		1-2	16.0	552	635	340	120
	PC-2	2-1	30.5	1,255	1,275	715	790
		2-2	30.5	1,150	1,150	777	775
	PC-3	3-1	16.0	400	170	15	5
		3-2	16.0	410	20	18	20
	PC-4	4-1	16.0	455	420	-10	-36
		4-2	16.0	446	490	-60	-60
	PC-5	5-1	30.5	1,430	1,280	737	735
		5-2	30.5	1,430	1,310	680	698
		5-3	30.5	820	1,225	389	507
	PC-7	7-1	30.5	1,644	1,169	120	240
		7-2	30.5	958	914	63	106
	PC-8	8-2	16.0	680	690	-410	-515
	PC-9	9-1	16.0	745	825	-640	-500
		9-2	16.0	760	907	-490	-335
PC-11	11-1	16.0	1,412	1,255	355	328	
	11-2	16.0	1,045	980	107	-23	
PC-12	12-1	16.0	680	640	680	380	
	12-2	16.0	860	860	60	860	
六甲 アイランド	RC-1	1-1	30.5	1,593	1,602	320	307
		1-2	30.5	1,665	1,635	436	445
	RC-2	2-1	30.5	1,691	1,634	-200	88
		2-2	30.5	1,335	1,345	325	798
	RC-3	3-1	30.5	1,940	1,810	550	180
		3-2	30.5	3,420	3,370	1,990	計測不能
		3-3	30.5	3,480	3,505	1,485	3,000
	RC-4	4-1	30.5	2,615	2,870	2,150	2,230
		4-2	30.5	2,650	2,655	980	1,620
		4-3	30.5	2,910	2,675	1,410	1,635
	RC-5	5-1	30.5	2,985	2,990	1,880	2,065
	RC-6	6-1	30.5	2,620	2,800	1,770	1,710
		6-2	30.5	3,740	3,560	2,520	2,615
		6-3	30.5	2,950	2,870	1,890	1,915
	RC-7	7-1	30.5	2,810	2,880	1,820	1,870
		7-2	30.5	2,440	2,480	1,440	1,545

注、・データは、(財)神戸港埠頭公社提供

・拡大量に示す左車輪側とは、海側から見て左側を示す。

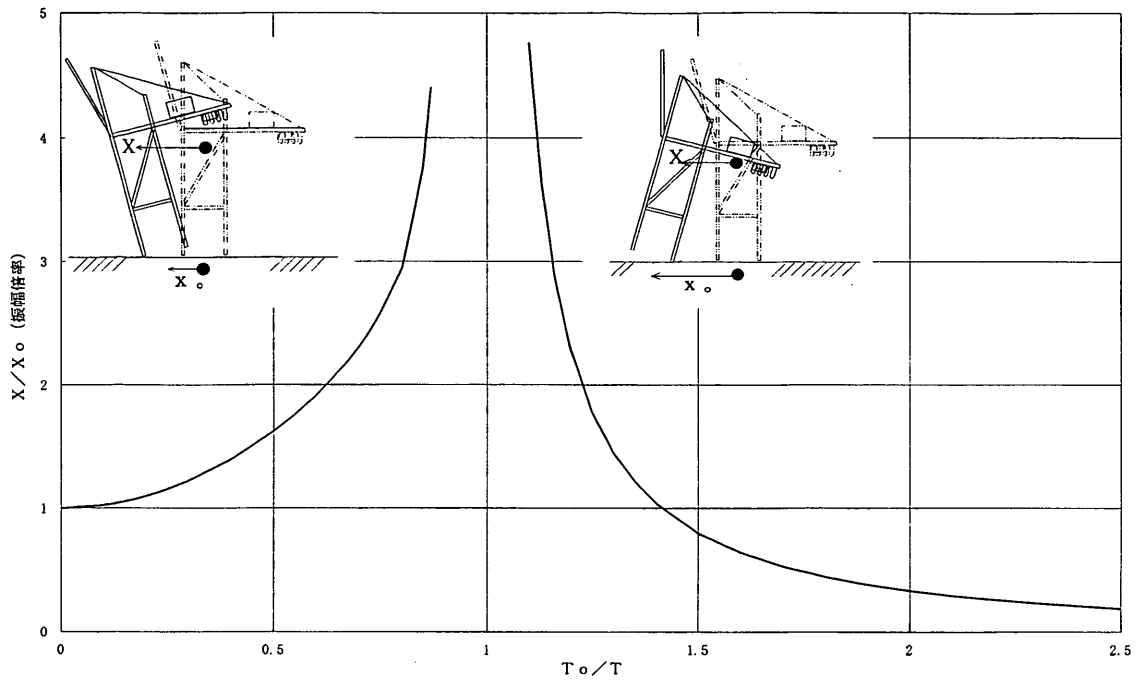


図-3.3 クレーンの振動応答

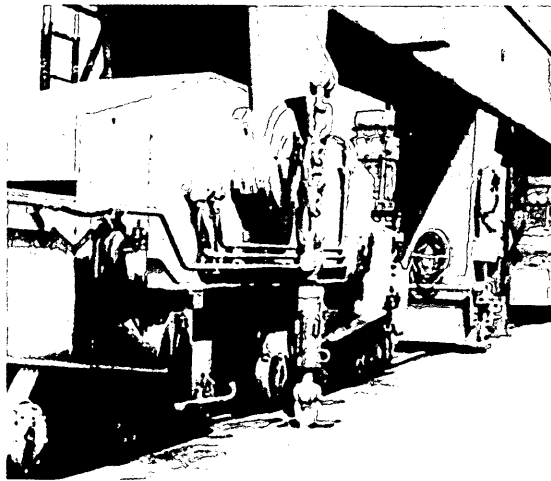


写真-4.1 浮き上がり防止装置

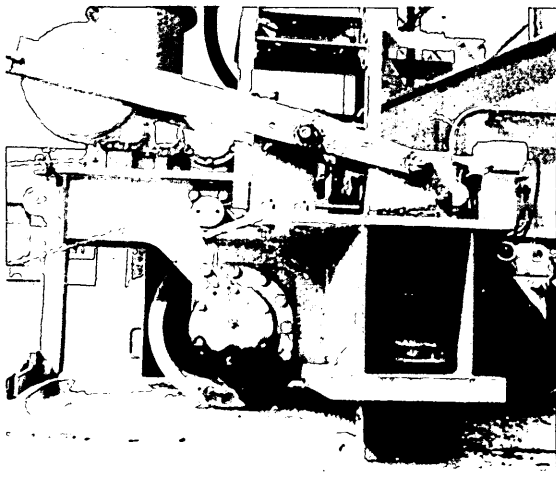


写真-4.2 逸走防止装置

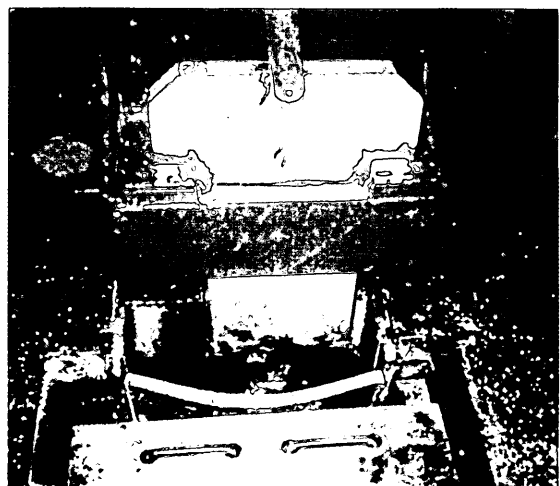


写真-4.3 浮き上がり・逸走防止装置

港湾技研資料 No.813

1995・9

編集兼発行人 運輸省港湾技術研究所

発行所 運輸省港湾技術研究所
横須賀市長瀬3丁目1番1号

印刷所 (有)つばさ印刷技研

Published by the Port and Harbour Research Institute. Nagasaki, Yokosuka, Japan.

Copyright © (1995) by P.H.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted into a machine language without the written permission of the Director General of P.H.R.I.

この資料は、港湾技術研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本資料の全部又は一部の転載、複製は、港湾技術研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。