

クレーンガーターの応力及び振動調査

塚本 猛次 ○ 川村 政美
川嶋 一夫 梅村 魁 金井 清

§ 1 ま え が き

住友金属工業KK和歌山製造所平炉工場のクレーンガーターに一部破損を生じ、その原因を求明する目的で最近応力及び振動調査を行った。その測定及び測定結果の一部を報告する。

この工場は昭和17年に竣工し、茲末15年間使用して来ている。平炉は4基あり各炉共7時間ごとに出鋼している。今回調査の対象となつたのは造塊棟のランウェイガーターである。ランウェイガーターはガントリートラスに

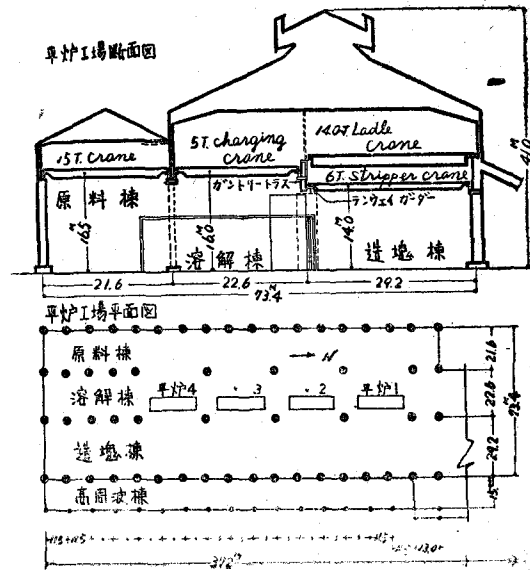


Fig 1 工場概要

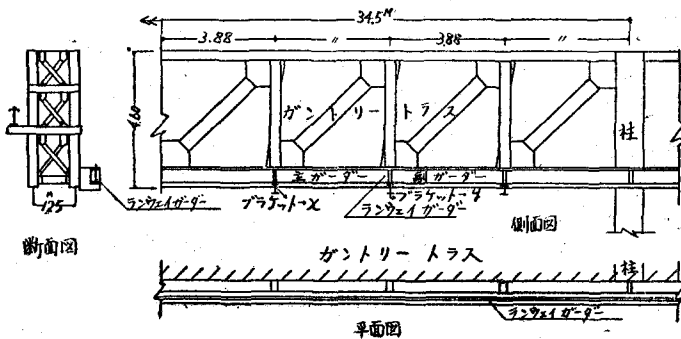


Fig 2
ランウェイガーターの取付

Fig 2 の様に特殊な取付方になつてゐる。ランウエイガーダーには 25T 普通クレーン(25T C) 2 台、10T 普通クレーン 1 台、6T ストリッパークレーン(6T S. C) 1 台が乗り、その他ガントリートラスには Fig 1 のように造塊棟側に 140T レードルクレーン 2 台、又裕解棟側には 5T チャージングクレーン 2 台、15T クレーン 1 台が乗るといつた複雑なものである。

§ 2 測定の要項

総合的な調査はランウエイガーダーとブラケットを対象としガントリートラスは振動のみから Check する事とした。供試ガーダーは 2 本で 1 本は SR-4 ゲージを多く貼布して主ガーダーと呼び他の 1 本は影響を調べる目的で副ガーダーとした。いづれも破損した古いガーダーではなく形の似た新ガーダーを用いた。ブラケットは 3 個で古いままのを使用している。

a) 測定計器

・71 づみ測定計器

静71 づみ用ストレインメーター	10 点式	4 台
動 " "	6 点式	1 台
" "	1 点式	2 台
記録器(振動も併用)電磁オシログラフ		1 台

・振動測定計器(電磁型振動計)

換振器 水平動 逆立振子型 固有周期 0.25 秒	2 台
上下動 ユーイング型 " 0.26 秒	1 台
増巾器 超低周波用抵抗結合 3 段 積分回路時定収	2 秒

b) 71 づみ測定ゲージ

ペーパーゲージを使用し Fig 3 に示すように貼布。総数は 210 点である。

c) クレーン作業

クレーンの作業状態としては "通抜け" "ブレーキ" "インゴット引抜き" "クラブ横行" "吊上、下げ" 等種々考えられるが実際に行つて見た結果荷重を満載にして "通抜け" "ブレーキ" と一部 "Shock" を行う事で類堆出来そうなので 3 種類を採用した。

§ 3 測定の実施

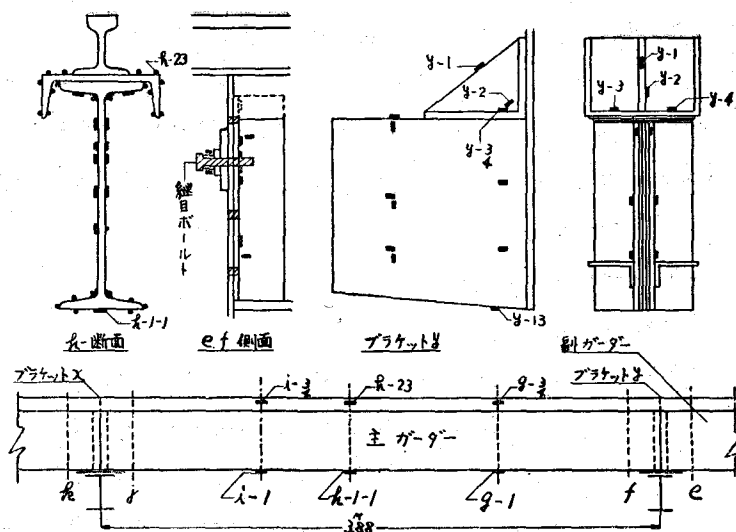


Fig 3 SR-4ゲージ貼布状態及び記号

a) 静的試験

- ・鉛直加力試験 主ガーダーを現場に取付ける前工場にあつた機械台と90 Tオイルジャツキを利用してアムスラー型の試験機を作り加力した。実験はスパン3.68 mの単純梁として中央一点集中荷重を加えた。測定点が百数十点あり、測定計器の能力は40点のため4回に分け一部測定点をラップさせて測定した。荷重段階は大凡5 Tきざみで最高40 Tまで加えた。
- ・水平加力試験 主ガーダーを現場のブラケット上に取り付けてからガーダー中央のレールの横腹にFig 4に示すようにフックボールトを付け滑車を利用し荷重はインゴット5 Tを用いて加力した。

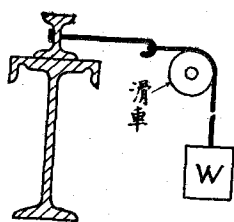


Fig 4

やはり測定点多数のため4回同一作業を繰返した。

- ・鉛直絶対たわみ測定 クレーンを走行させた時の絶対たわみは振動計で測定したが長周期のため多少不確実なのでこれをCheckする目的で直接的にガーダーの鉛直方向たわみを測定した。測定方法はガーダー及びブラケットの下面に足場パイプを溶接して床面近くまで下げそれに折尺を固定、

レベルで測定した。荷重は $6\text{ T S} : \text{C}$ で漸的に加力した。

b) 動的試験

・ $6\text{ T S} : \text{C}$ 走行による実験 $6\text{ T S} : \text{C}$ でインゴット約 7.2 T を吊り出来るだけトロリーを供試ガーダー側に近づけて車輪圧力が大きくなるようにした。作業順序としては先づ供試ガーダーに影響を与えぬ距離で北側にクレーンを待期させ最初北側 → 南側に“通抜け”を行い次に南側 → 北側に“乗入ブレーキ”を行い南側車輪（ギヤが付いているため北側車輪より重い）が主ガーダー中央付近で停止するようにブレーキをかけ一旦完全停止、それから北側に運転させて実験の1サイクル終了として動振計の Calibration を行つた。この作業を繰返し1サイクルで8点づつのデーターを求めた。この間振動計は主ガーダー中央、 $\frac{1}{2}$ 点、ブラケット及びガントリートラス等に固定し夫々横方向（クレーン進行方向に直角）、軸方向（クレーン進行方向）、鉛直方向の振動を測定している。Shock を与えるのは 乗入ブレーキで一旦停止した時南側車輪を主ガーダー中央に合せトロリーを横行させてトロリー止めに当つて行つた。

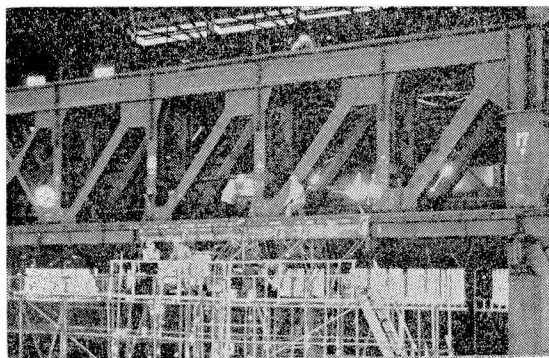


Fig 5 実験中の写真

・ 2.5 T C 走行による実験

荷重としてはインゴット 2.7 T を吊り $6\text{ T S} : \text{C}$ と全く同じシステムで作業を行つた。ただ荷重をワイヤーで吊っているため Shock を与える事は危険で出来なかつた。

§ 4 測定結果

a) クレーン走行に依る動的試験

・ オシログラフ記録 Fig 6、7 に記録の Typical なものをあげる。

オシログラフには12本の線が描かれているが、上の8本は $\text{SR}-4$ で測定した

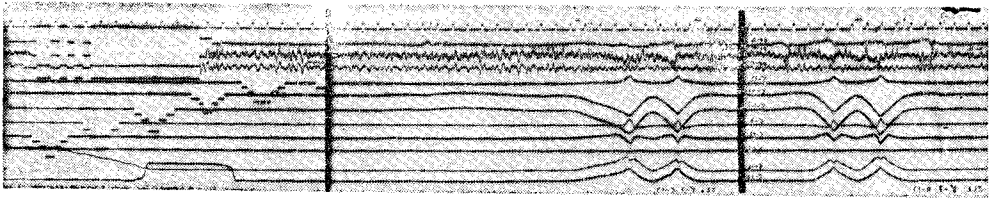


Fig 6 6 T S . C . によるブラケット部分の記録

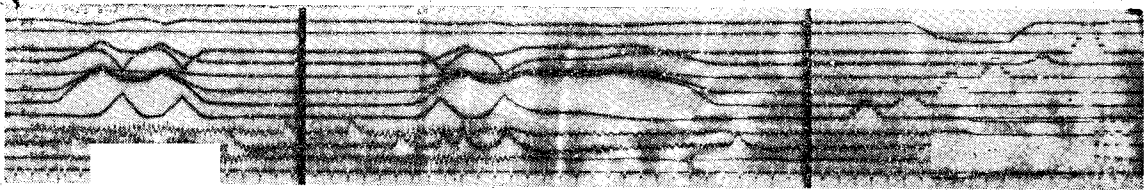


Fig 7 2.5 T C . による主ガーダー中央部の記録

を示している。次の3本は振動計の記録である。最後の線はクイムマークで1秒を示す。又この記録は夫々3つの部分に区切られているが左側は 通抜け プレーキ 右側が Calibration でひづみ度 10^{-4} 、 2×10^{-4} 、 4×10^{-4} の3段階を示している。

こあらわれた振動の種類は次の3種に大別出来る。

型： 見掛上の周期が2～5秒（振巾1mm以上）の非常にゆるい変化で大部正又は負の方向のみに振巾を有する。

型： 周期0.2～0.5秒（振巾0.1～0.5mm）

型： 周期約0.03秒（振巾0.05mm以下）

周期振動で主にa型、b型振動に重畳して現われる。

長動は詳しく波形を見ると数秒の長周期の振れの中にある約1秒の周期の振動長巾を生じている場合が多い。又使用した振動計の性質にくらべて周期が大きき振巾の算出は多少不確実となる。このために Order estimate の意味でa型周期1秒の時の振動計倍率を使用して振巾を概算した。

走行に伴うガーダーの応力及び振動の変移 6 T S . C . の “通抜け” の

Typical なものをあげて説明する。

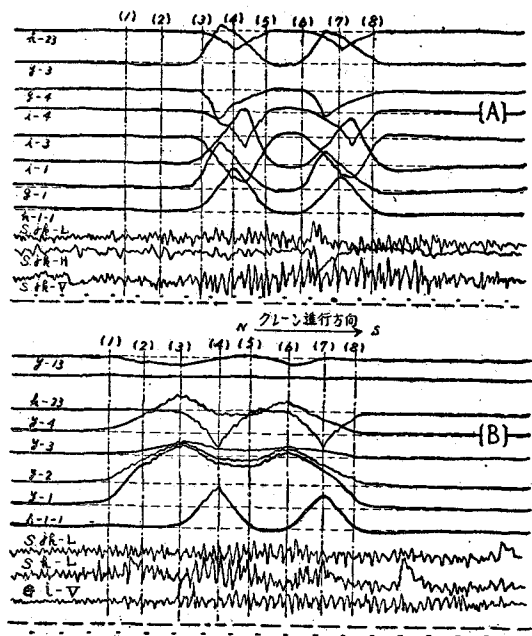


Fig 8 $6^T S.C.$ の 通抜け
オツシロ記録

を示しその間の距離はクレーンの南側と北側車輪の距離 (5 m 8 0) を示している。この事から距離の比で車輪の位置を推定し変移を見る事が出来る。即ち Fig 8 で鎖線にて (1) (2) (8) と示してある各段階の車輪位置と応力関係を図示したのが Fig 9 である。

振動については振巾及び周期の消長が複雑で図示するのは困難であるが Fig 8 (A) では (2) 以前の振動は b 型で各成分共小さくこの程度のもはクレーン停止時にも現われる。(5) 及び (8) の位置で b 型振動は最大になっており、北側車輪が主ガーターから 4 m 位はなれると Noisc まで急激に減少する。次に a 型振動が Sjk-V では (2) (3) (5) の附近で下向きの振巾 1 mm 程度現われるが Sjk-H, Sjk-L, では (6) より少し進んだ位置に大きな振巾が現われその値は Sjk-L では東側に 3 mm, Sjk-H では北側に 4 mm である。c 型振動はいづれの成分にも現われていない。[B] でも (1) 以前

Fig 8 の [A] はひづみはガーダー部分、振動計はブラケット X の下面に取付け鉛直方向動、横方向動、軸方向動の 3 成分を測定し夫々 Sjk-V, Sjk-L, Sjk-H の記号で示している。[B] はひづみはブラケット Y 部分、振動はブラケット X の横方向動 (Sjk-L)、主ガーダー中央の横方向動 (Sh-L)、ガントリートラスの鉛直方向動 (Gi-V)、を示す。

” 通抜け ” 作業は大体クレーン速度が一定と考えられる。又オツシロの h-1-1 測点のひづみ曲線中にある 2 度のピークは車輪が h-1-1 上に来ると時

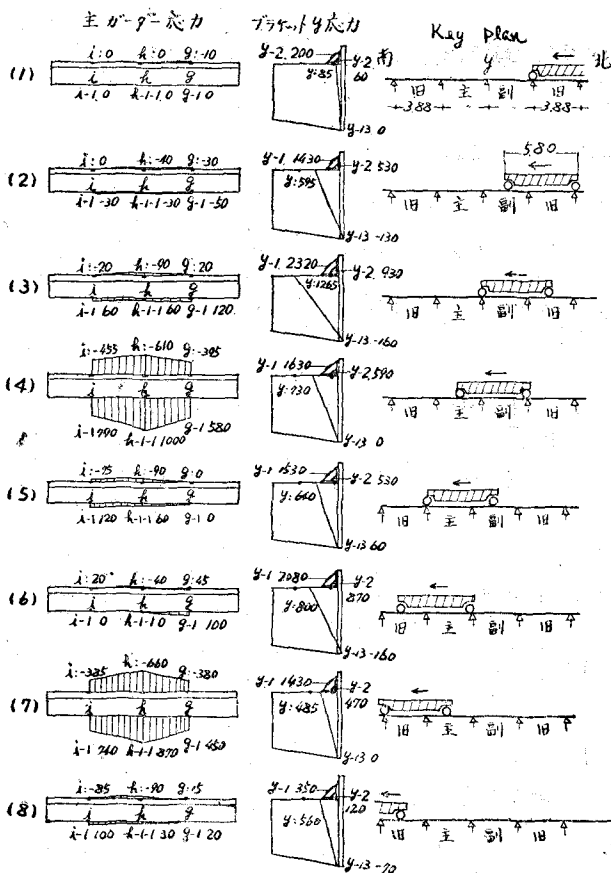


Fig 9

は Noise であり、a 型振動は Sh - L のみに優勢で、(2) (4) (7) で大きくなっている。b 型振動は各測定位置とも (4) ~ (7) で大きくなるがその振巾の変化は少ない。c 型振動は Sh - L のみに卓越しており、a 型又は b 型の振巾が急激に変化する加速度の大きい部分に強く発生している。この型はクレーンの走行によつて起る Shock でランウエイガーターの固有振動が誘発されていると推測される。

b) 実験結果の要約

- ・ランウエイガーター自体の応力を静的試験、実際のクレーン走行に依る実験と比較検討

した結果大体弾性理論に近い応力変形を示している。クレーン走行による測定では $h-1-1$ と $h-23$ を常にラップさせて測定したが $h-1-1$ が大きくなつても $h-23$ が比例して大きくなつたり小さくなつたりするような簡単な比例関係は成立せず非常に複雑である。

$6T S, C$ で $7.2T$ 吊つた時の最大車輪圧は静的試験と比較して約 $30T$ 、 $25T C$ で $27T$ 吊つた時の約 $26T$ であつた。トロリーの横行による Shock はほとんどガーターの上部フランジ部分のみで受取り且つ振動はかなり大きい。ガーター自体として応力の一番大きいものは $h-1-1$ である。次に測点 $h-1-1$ の極大応力表をのせる。

表1 表 $h-1-1$ 極大応力表 単位 kg/cm^2

作業種類	$6T S, C$	$25T C$	$25T/6T$
最大	1400	1120	0.85
最小	1000	870	
平均	1080	920	
最大/最小	1.4	1.3	
最大	1300	1050	0.78
最小	940	810	
平均	1110	870	
最大/最小	1.4	1.3	

継目ボルトによる梁端部抵抗モーメントは非常に小さくガーターはほとんど単純梁に近いものであつた。

- ・ブラケット部分の応力状態はトップアングルに著しい特長が現われた。即ち測点 $y-3$ ($x-3$) と $y-4$ ($x-4$) (Fig 3 参照) とに著しい差を生じクレーンが $N \rightarrow S$ 方向に走行しても又 $S \rightarrow N$ 方向に走行しても常に大きな応力を示す方は決っている。例えば $6T S, C$ では $y-3$ は常に $2300 kg/cm^2$ 、 $y-4$ は常に $300 kg/cm^2$ の応力を示し応力の不均一が見られ一部に応力集中を来している。
- ・振動計の測定結果ではガーターの軸方向変位は北側えのみの片振れを示し又横方向変位は東側(クレーン側)のみである。記録中の卓越振動は前述の a 型、b 型、c 型の 3

種であり、a型及びc型はランウェイガーダーに主に発生するものでa型はクレーンが測定位置に来た時、又 ブレーキ で停止して再走行を始めた直後、に生じやすいがクレーンがかなりはなれていても生ずる事がある。c型は衝撃的な力によつて起されるガーダーの自由振動と考えられる。b型振動はガントリートラス全体の振動でその振動源は供試クレーンのみでなく他のクレーンや建物振動に関連しているものと考えられる。表2に $6T_S$ 、 C_s による極大变位の平均値(最大値)一覧表を示す。

表2 表 $6T_S$ 、 C_s による変位一覧

		ブラケット(X)		主ガーダー中央	
		通抜け	ブレーキ	通抜け	ブレーキ
振動計による	横 方向	3 (4)	6 (12)	6 (7)	8 (13)
	軸 方向	5 (6)	1 3 (16)	4 (6)	8 (14)
	鉛直方向	1 (1)	2 (3)	2 (3)	2 (4)
折尺レベル	鉛直方向	7.7		8.0	

() 内は最大変位を示す

単位 mm

振動計による測定と折尺レベルによるものとは相当差が出ているが振動計によるものは前述の様に周期1秒として算出したものである。

§ 5 むすび

以上述べて来た事は非常に多くのデータの概略にすぎない。又性状が非常に複雑であるため結果の解析を未だ完了する段階に致つていないが現在感じている重要な点を次に述べる。

- 工作の問題 —— 一般の建築物は地震力とか風圧によつて部材が決定され、これらの原因は数年～数十年に一度のものであるため工作が少々ラフであつても部材に余裕があるために現実に障害を来す事は少い。併しクレーンガーダーの様に常時ひんばんに設計荷重が作用し且つ振動を伴っている様な場合、例え長期許容応力より低くても工作が不十分であると“ガタ”を生じ局部的な応力集中を起すのではないか。
- 形状の問題 —— 応力的に部材断面がおさまつていても変形振動が大きいと Built up 型のガーダーなどでは長年月の間に応力集中を生ずるのではないか。
- 温度の問題 —— 平炉の上のガーダー表面温度の最高 800°C 近くまで昇つていて又昇降が

はげしい。本工場の様に機械的繰返し応力、振動、と合せて考える時温度応力も相当考慮する必要があるのではないか。

謝 辞 この実験は多数の方々御協力によつて出来たものである。次に実験分担氏名をあげここに厚く感謝の意を表する。

指導 東京大学 工博 梅村魁 工博 金井清

振動測定及び解析 東京大学地震研究所

田中貞二 長田甲斐男 他

計画及び解析 日建設計工務株式会社

塚本猛次 益原安生 多田英之 川村政美 他

計画及び応力測定 住友金属工業株式会社和歌山製造所

川崎一夫 川口正雄 中村誠夫 小寺辯 他

応力測定 住友金属工業株式会社製鋼所

小田尚輝 西岡邦夫 他