

大型クレーンの衝撃加速度とレスポンススペクトラムについて

中川 恭次 寺村 彰
渡辺 清治 金子 正孝
西村 司 金沢 稔
(本店建築本部設計部) (本店建築本部設計部)
島口 正三郎

Impact Acceleration of Large-Scale Crane and its Response Spectrum

Kyoji Nakagawa Akira Teramura
Seiji Watanabe Masataka Kaneko
Tsukasa Nishimura Minoru Kanazawa
Shosaburo Shimaguchi

Abstract

As a result of investigations of three components of impact acceleration caused on the runway girder of an actual large-scale overhead travelling crane (255 tons), the crane's characteristic mechanisms of impact, maximum acceleration and frequency for the components are found. Response spectra for horizontal (longitudinal and transverse) and vertical components of impact accelerations were calculated for damping factors of about 0.03. As a result, the differences in peak values of maximum response spectra and the ranges of the frequencies of the three components have become clearly known and a step forward has been made in dynamic analysis of factory structures.

概 要

実在の大型天井クレーン(定格255トン)の衝撃加速度を実測して最大加速度、卓越周期および発生原因について調査した結果、同クレーンの衝撃作用に関する特徴が明らかになった。

次に、代表的な衝撃加速度波形を数値化してその応答スペクトラム・平均応答スペクトラムを計算し、スパン成分、ケタ行成分と上下成分に関するスペクトルの特徴と相違を知り、さらに、衝撃加速度を設計入力とするための1つのアプローチを試みた。

以上の結果、工場建築の動的解析を行うための1つの進展を得た。

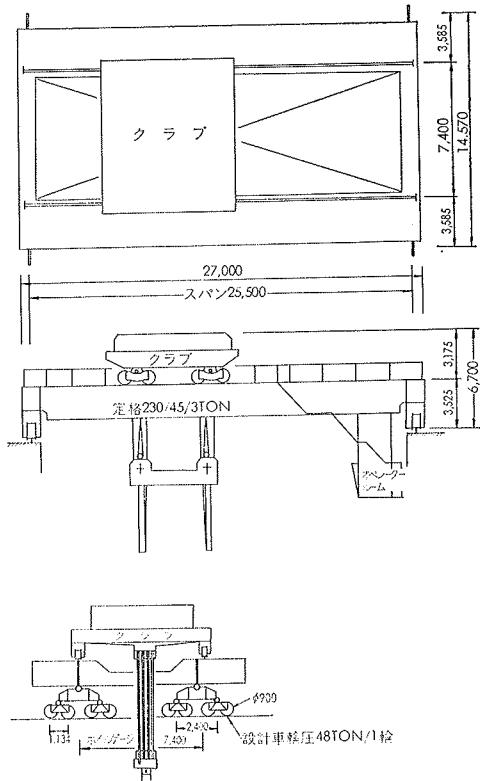
1. まえがき

工場建築の設計に際し従来の静的衝撃係数に動的分野の検討が有用であることは、近年、古い工場建築に見られるように過大変形の繰り返しによって部材にキレツが生じる現象がしばしば見られることから明らかである。このような工場建築の設計において、安全性と合理性を期するために動的応答に関する検討と衝撃時の加力点付近の部材が受ける集中応力の検討、またクレーンの走行に伴う繰り返し応力による材料疲労の検討等が必要であろう。しかし設計条件として入力

に関する衝撃力の問題は未知に近く、この衝撃力の問題を把握することが基本的に重要な課題になっている。

大型クレーン稼動が建物に及ぼす影響について今日まで系統立てられた調査研究はほとんど行われておらず、先に述べた現象は明らかでも、解決のための追求方法が多難である。

我々はレールの敷設精度の基本的調査から始めて、クレーン上の加速度測定、建物の動的挙動の測定、クレーンガーダ、バックガーダ及びその周辺材の歪測定まで実施した総合的資料から問題点を少しでもうきばりにし、解明の糸口を把握する目的で調査を実施した。



図一 天井走行クレーン（定格255トン）概要図

本報告は実在の255トン天井走行クレーンのクレーンに生ずる衝撃加速度に注目して述べるものである。

ここに報告するものは測定した加速度波形を用いて衝撃力の発生因子、最大加速度、卓越振動数について調べた。そして、加速度応答スペクトラムとその平均応答スペクトラムを計算してスパン成分、ケタ行成分、上下成分に関する特徴と相異をもとめ、さらに衝撃加速度を設計入力とする建物の動的解析に関する1つの方法について報告する。

2. クレーン概要

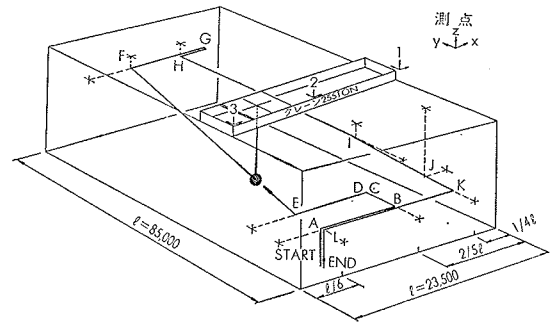
調査対象クレーンは図一に示される特殊クレーンである。スパンは25.5M、ホイルゲージは7.4M、片側8車輪、車輪圧は48.0TON、走行速度は61.5M/分である。

3. 建物概要

建物形状はスパン方向が27.0M、桁行方向が85.0M軒高35.0Mであり、付随した建物の比較的少ないラーメン架構である。

4. クレーンの稼動経路

大型クレーンと称されるものの動き方として、当ク



図二 クレーン作業経路図

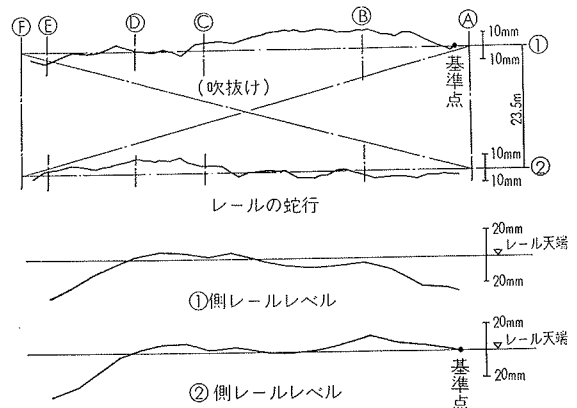
レーンは一般的なものである。

クレーン稼動に伴う吊り荷の作業経路は図二に示されるようにSTART地点で容器が吊上げ始められ、A点からB点へ横行し、B点からC点へ走行する。E点に達するまで、クレーンの移動距離が少なく、単発の衝撃が発生する部分である。E点からF点は吊り荷を巻き上げながら約60M間連続走行する。G点で吊り荷の中味をおろして空の容器だけH点から帰る。H点からI点まで約60M間空容器を吊って連続走行する。J点では容器の清掃のため容器が反転する。この時クレーンは上下の衝撃が発生する。最後に容器はEND地点に返却される。尚、以上の各点は決められた位置であるために、各点付近ではクレーンの位置調整による衝撃が発生する。

5. 調査概要

5.1. レールの敷設精度

レールは当初スパンの1/3000の精度で敷設された。しかし敷設後数年経つので本報の基礎資料としてレールの蛇行と高低変動とをトランシット、レベルを用いてI.M間隔で実測した。この結果、図一三に示される



図一三 レール敷設後の経年変化

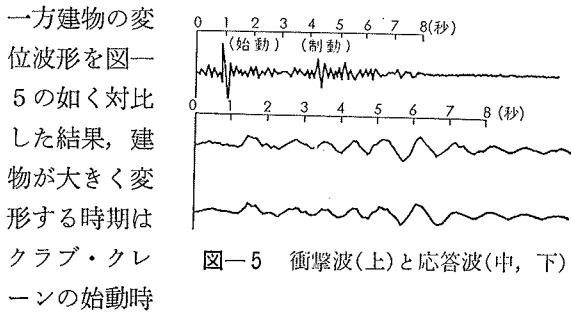
如く⑥通りのスパンが若干広がり、⑦通りのそれが狭くなり、両端部のレールが下がっている傾向にあった。

5.2. 建物の卓越振動数

図一4は図一3に示される③②通りのレール付近の柱で固有周期2秒の動コイル型変位計で記録した波形を0.02秒間隔で約6分間（クレーンはA点からG点まで移動する）フーリエ周波数解析した代表例である。同図において建物の卓越する振動数は3成分共5Hz以下であることが判るが、さらに詳細な周波数解析の結果、クレーンの位置、衝撃の強弱により若干異なり、スパン成分が1.17~1.27Hz, 2.49~2.78Hz, 桁行成分が1.56~1.86Hz, 2.05~2.30Hz, 3.25~3.30Hz, 上下成分が1.17~1.27Hz, 2.93~3.13Hzおよび4Hz付近である。

5.3. 衝撃作用の特徴

ワイヤーストレインゲージ型5G加速度計を図一2の測点1~測点3に固定して約10往復記録した。



図一5 衝撃波(上)と応答波(中, 下)

一方建物の変位波形を図一5の如く対比した結果、建物が大きく変形する時期はクラブ・クレーンの始動時と制動時および若干走行時の蛇行が目された。しかし、この原因は従来の考え方の一つであるところの一定速度に到達するまでの増速加速度と逆方向の減速加速度、等に起因するというよりも、始動・制動直後の衝撃に基づいて発生する表一に示されるクレーン桁の固有振動であり、またクレーンとクレーンガーダとに関する振動系の固有振動であると考えられる。これらは測点1~測点3から求められるモードで検討した。

5.4. 加速度波形の数値化

衝撃加速度波形と建物の変位波形との周期成分は、

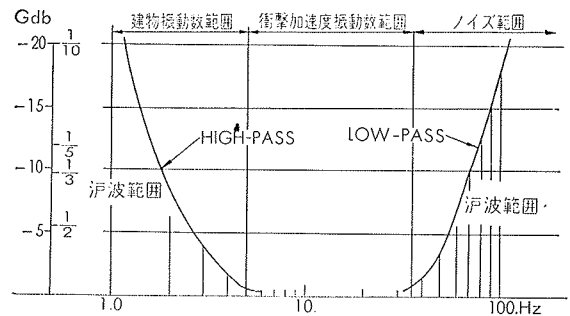
図一5に示された如くまた5.5で述べる如く大きな相違がある。しかし加速度波形に建物の周期成分が含まれていることが予想されるので5Hz以下、および高周波のノイズが含まれているので35Hz以上の振動数範囲を、図一6にその1例を示すBAND PASS FILTERによって除去する波形処理を行った。波形の数値化は、図一2のクレーンの経路図に合わせて各地点間の代表的波形について行った。この1例を図一7に示す。

5.5. 衝撃加速度の周期特性

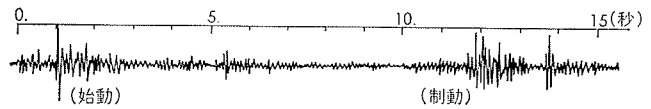
加速度波形の周期特性は、フーリエ・パワースペクトラム解析から求め、また衝撃時のクレーン桁のモードを検討した結果、表一のものが注目される。

種類	周期 (振動数)
横行時の始動・制動に生ずる	約0.18~0.20秒
クレーン桁の振動 (1次)	約0.09秒 (11.1Hz)
クレーン桁の振動 (2次)	約0.06秒 (16.7Hz)
クレーン桁の上下振動	約0.036秒 (27.8Hz)
吊りワイヤーの自由振動	3.0~9.0秒

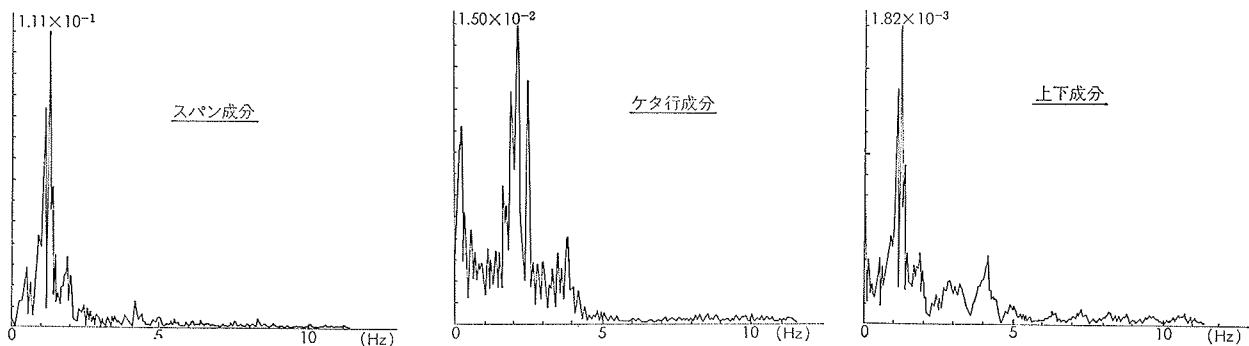
表一



図一6 BAND PASS FILTER の設定図



図一7 B点→C点の走行時加速度波形 (測点1-Y) 最大加速度: 120. cm/sec²



図一4 建物の変位波形のフーリエ周波数解析 (左図: スパン成分, 中図: ケタ行成分, 右図: 上下成分)

5.6. 衝撃加速度の最大値

クレーンの運転手が各経路を順次でいねいに運転する場合、加速度の波形は毎回類似していた。そこで先に述べたように典型的な加速度波形を代表させることが容易であった。しかしその量は一般にバラツキがあったので車輪直上の測点1と測点3の生の全波形から大きそうな加速度を読み取り、周期別に図-8の如くプロットした。同図から周波数別の最大加速度が表-2のように整理されるであろう。表中(イ)は1回の経路(A点からL点まで)約1度の割で生ずる加速度を示し、(ロ)は10回の経路で数度生ずる加速度である。このような大きな加速度は空荷でクレーンがすみやかに所定の位置へ移動するときにも生じていたので、吊り荷の影響と運転の仕方とが要因となっている。

さらにクレーンは一般に走行と横行とがほぼ同時に操作されたり、位置の調整のために始動と制動とが断続的に行われたりする。このような場合は異なる周波数の加速度が合成されて表-2の(ロ)に相当する加速

加速度成分	(イ)	(ロ)
スパン成分(クラブ横行時)	約110 cm/sec ²	約200 cm/sec ²
桁行成分(走行時)	# 150 cm/sec ²	# 250 cm/sec ²
上下成分(吊り上げ吊り下げ他)	# 140 cm/sec ²	# 170 cm/sec ²

表-2 周波数別に読み取った大きい加速度

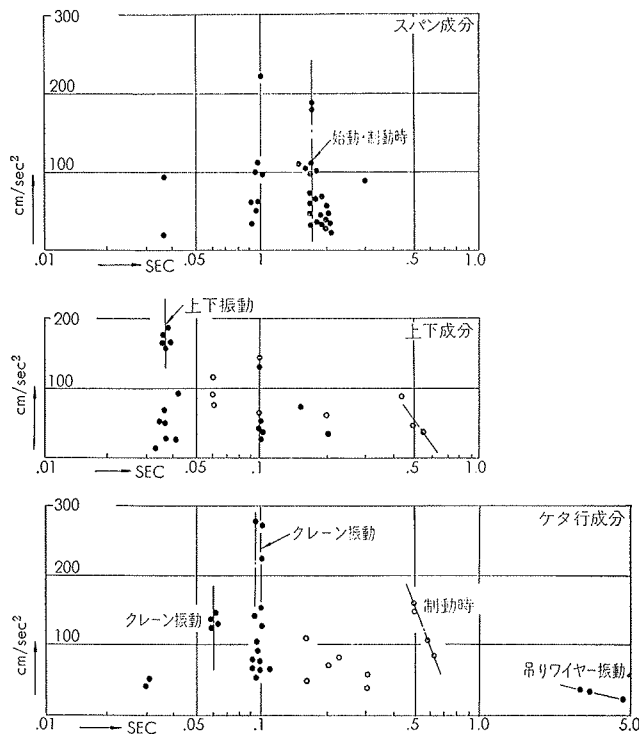


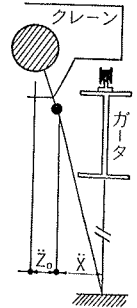
図-8 周波数別の衝撃加速度量
(上図：スパン成分 中図：上下成分)
(下図：ケタ行成分)

度がしばしば生じていた。以上の結果、建物の入力加速度として、表-2の(ロ)程度を考える必要があるだろう。

6. 応答スペクトラム

以上の考察をまとめて再記すれば次の通りである。

- イ) クレーンガード上の変位はXとする。
- ロ) クレーン上の加速度はクレーンガードの \ddot{x} に更にクレーンの衝撃荷重の原因となる \ddot{z}_0 が加わっているものとし、 $(\ddot{x} + \ddot{z}_0)$ とする。ここでクレーン部重量はクレーンガード部重量に比べ非常に大きいので連成作用を省略する。
- ハ) $(\ddot{x} + \ddot{z}_0)$ の測定値は \ddot{x} 、 \ddot{z}_0 の周波数の相違に注目して分離できるものとする。即ち $(\ddot{x} + \ddot{z}_0)$ にフィルター操作を行って \ddot{z}_0 を抽出した。



- ニ) クレーンの衝撃荷重(P(t))をクレーン部質量で除したものを

$$\frac{P(t)}{M} = \ddot{z}_0 \quad (1)$$

として入力加速度とする考え方である。

- ホ) \ddot{z}_0 の特性はその応答加速度スペクトルで代表されるものとする。

- ヘ) 建物における衝撃の作用点はE点からF点の如く長距離の走行移動の場合を除いて、移動距離が少ない。入力加速度はクレーンの振動であるので(2)式を仮定。

$$M\ddot{X} + C\dot{X} + KX = -\frac{P(t)}{M} \cdot \beta \quad (2)$$

- ト) β は衝撃作用点に関する建物各部の刺激係数である。以上の如く本報は衝撃加速度の応答に関する傾向を調べるものである。尚 $\ddot{z}_{0max} = 1$ ガル、 $\beta = 1$ 。減衰定数スパン成分3.4%、ケタ行成分2.7%として、図-9~図-10に3成分の計算結果を示す。

次に各成分のスペクトルの特徴をより明確に知るために、平均応答スペクトラムを計算した結果、図-12に示されるように3成分の特徴が明らかになった。すなわち応答スペクトラムの包絡線を細線で示す如く、スパン方向は0.15秒~0.21秒の最も長周期側にピーク値を有し、ケタ行成分は0.08秒~0.16秒にピーク値をまた上下成分は0.04秒~0.14秒の最も短周期側でかつピーク値の中が拡い傾向である。

平均応答スペクトラムの意味は、おおよそ吊り荷がクレーンの中央にある場合の応答を示すものである。したがって吊り荷が端部へ移動している場合に両端のスペクトラムが互に異ってくる。これらを図-13~図-15に0.1秒~1.0秒の周期範囲で最大・平均・最小応答スペクトラムとして示した。この結果、図-13のスパン成分はクラブの移動によるものでスペクトルの差が少ない。しかし図-14のケタ行成分は吊り荷の位

置によりクレーン走行によるクレーン端部に生ずる加速度波形が両側で異なりスペクトルも異なる現象が現われている。図-15の上下成分も吊り荷の位置の影響を強く受けている。尚平均応答スペクトラムにはE点からF点までの長距離走行のものは、含まれていない。 $A_{max}=1$ ガルで実測減衰定数を用いた平均スペクトラムの近似式および最大値は図-12~図-15から次のようになる。

スパン成分 $A/A_{max}=0.076/T^{2.0} \leq 4.0$

ケタ行成分 $A/A_{max}=0.074/T^{2.0} \leq 3.4$

上下成分 $A/A_{max}=0.030/T^{2.4} \leq 2.8$

7. まとめ

1) 255トンクラスの大型クレーンの衝撃作用としてクレーン桁の振動およびガーダまで含んだ振動系に起因する作用が強い。2) 最大衝撃加速度と周期は170. ガル~

250. ガル, 0.35秒~0.18秒でこれらは成分により異なる, 3) 衝撃加速度の応答スペクトラムの最大値附近の周期に関する幅はかなり広いが, これは1つの成分の衝撃作用が他の成分にも影響をおよぼす傾向を示している。4) 平均応答スペクトラムはクラブがクレーンの中央にある場合に相当する。したがってクラブがクレーンの端部にある場合は最大応答スペクトラムに見られる如く平均値と比べてかなり大きくなっている。

4) 建物の入力問題としては, (2)式の β を求めてから図-13~図-14を用いて動的な衝撃係数が推定される。

しかし, E点からF点の如く連続走行の場合は衝撃作用点の移動を考慮した別の解析が必要である。

参考文献

“Impact of Transverse Cranes and Suggested Impact Loads for Crane Runway Girder Design” by Morio Takeuch

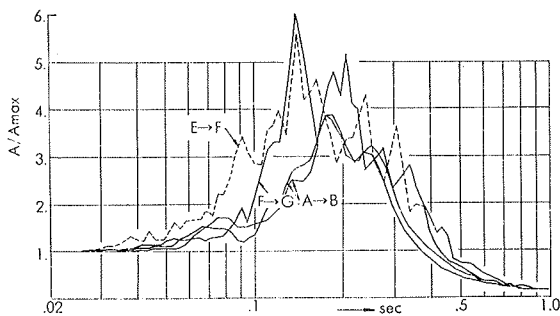


図-9 スパン成分応答スペクトラム

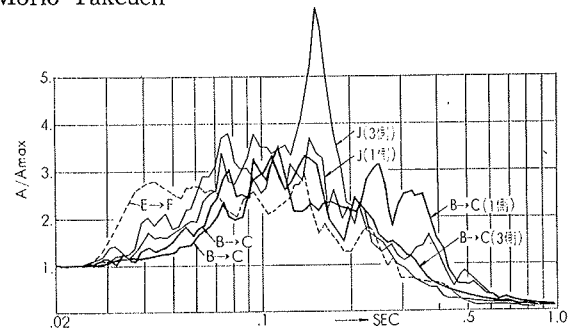


図-10 ケタ行成分応答スペクトラム

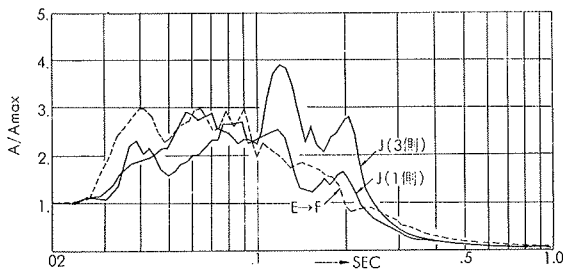


図-11 上下成分応答スペクトラム

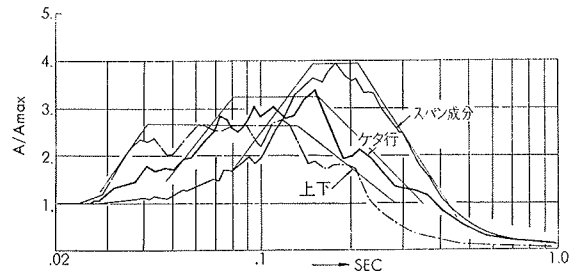


図-12 各成分平均応答スペクトラム

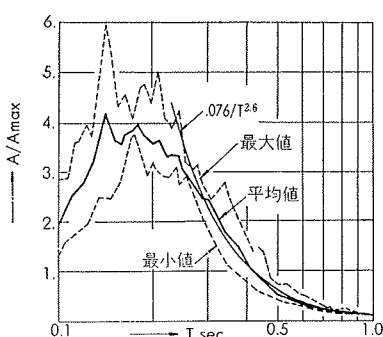


図-13 0.1秒以上のスパン成分スペクトラム ($A_{max}=1.0 \text{ cm/sec}^2$)

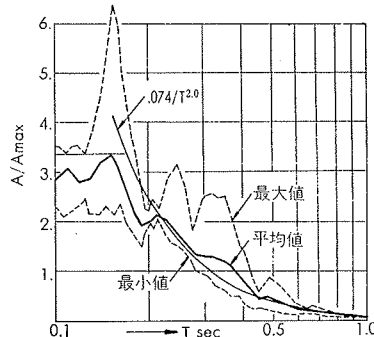


図-14 0.1秒以上のケタ行成分スペクトラム ($A_{max}=1.0 \text{ cm/sec}^2$)

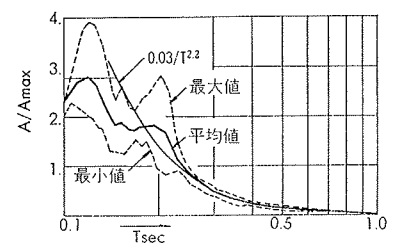


図-15 0.1秒以上の上下成分スペクトラム ($A_{max}=1.0 \text{ cm/sec}^2$)