

生産施設における大型機械基礎の振動影響評価

前川利雄 * 石橋久義 * 原井保之 ** 渡邊輝康 *** 平川克比古 ****

プレス機などの大型機械を有する生産施設では、機械稼動時の振動が敷地境界に伝播し、近隣への影響が懸念される。このような公害振動については振動規制法により振動レベルの上限が定められており、施設の計画・設計にあたっては十分な事前検討が必要である。本報告では 30,000kN クラスの大型プレス機について、事前の振動影響予測評価・対策、ならびに機械稼動時における振動測定結果について紹介する。

キーワード：振動影響評価、大型機械基礎、生産施設、振動測定

1. はじめに

大型の機械が計画される生産施設においては、施設稼動時の機械振動が地盤を介して周辺に伝播し、公害振動となる可能性がある。生活環境の保全を目的とした振動規制法では、工場や建設現場、道路交通などによって引き起こされる振動について規制を行っている。本報告では、30,000kN クラスの鍛造プレス機を有する生産施設について、機械基礎計画時の振動影響予測評価と施設稼動時の振動測定結果について報告する。

2. 周辺地盤への振動影響予測評価

2.1 機械基礎概要

30,000kN クラス鍛造プレス機の機械基礎の概要を Fig.1 に示す。プレス機の総質量は約 400t であり、プレス機を受けるコンクリート板は平面的に 15m×15m の形状となっている。

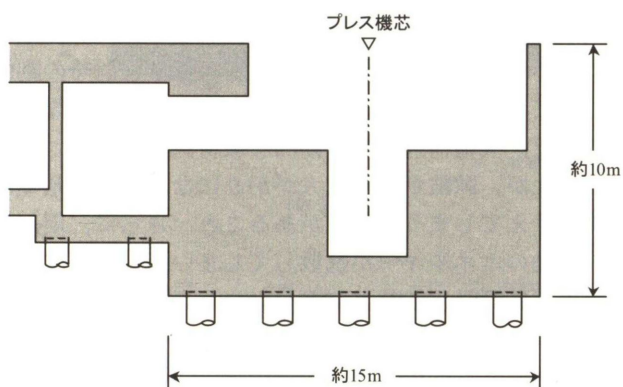


Fig.1 鍛造プレス機械基礎概要

- | | |
|------|----------------------|
| * | 技術研究所 建設技術研究部建築構造研究G |
| ** | 広島支店 土木部広島工事部 |
| *** | 広島支店 土木部技術G |
| **** | 広島支店 建築部設計G |

2.2 振動影響予測評価

振動影響予測評価においては、まず、プレス機械の防振系と基礎の地盤バネを考慮した鉛直方向 2 自由度系振動解析モデルにより機械稼動時の基礎の応答波形を求め、さらに、感覚補正を施した基礎の振動レベルに対して、現地で実測された経験的な距離減衰特性を考慮することにより、敷地境界での振動レベルを予測した。

Fig.2 に基礎の振動解析モデルの諸元を示す。杭の鉛直バネ定数は文献¹⁾に従って評価した。地盤物性の不確定性（ばらつき）により評価が危険側となることを避けるために杭の周面摩擦は無視し、先端支持バネ、群杭効果、ならびに杭自体の剛性を評価した値を用いた。機械からの加振力ならびに防振系特性は機械メーカーから提示された数値を使用した。

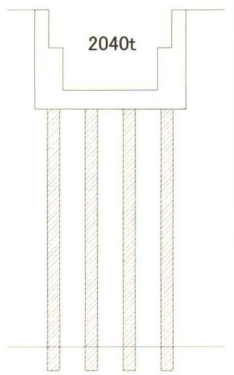
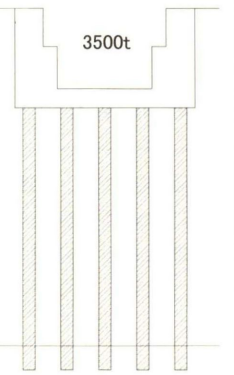
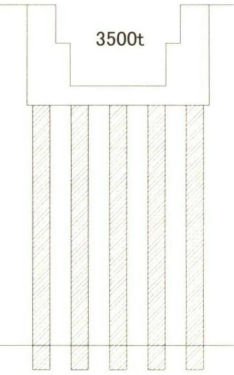
敷地境界までの地盤を伝播する波の減衰特性としては、粘性減衰は無視し、幾何減衰のみを考慮した。このとき距離減衰として -1.2dB/D.D. (D.D.: Double Distance=距離が 2 倍で振動レベルが 1.2dB 減) という値を採用した。この数値は機械メーカーによる現地における振動測定結果から算出された値である。一般に幾何減衰は、実体波で -6dB/D.D. 、表面波で -3dB/D.D. という値が理論的に導かれるが、本生産施設における過去の振動影響評価事例において、上記の減衰特性では説明できない特異な事象があったため、予測評価が安全側となるこの数値を用いることとした。特異な事象の原因は明らかではないが、例えば何らかの地中埋設物などの影響により振動エネルギーが等方的に逸散しない、などといったことが原因ではないかと推測している。

Fig.3 に基礎の応答の計算結果を示す。この応答加速度波形に対して人体の感覚補正を施し、前述の距離減衰を用いて敷地境界の予測振動レベルを算出した。機械基礎設計検討時の 3 つの基礎構造モデルとそれぞれの敷地境界振動レベルの予測値を Table 1 に示す。

2.3 目標性能と意思決定のプロセス

本計画における目標性能はプレス機械から最も近い敷

Table 1 基礎構造の検討モデル比較

	モデル K1	モデル K2	モデル K3
概要			
構造形式	基礎質量：2,040t 杭：φ1300：10本 φ1400：5本	基礎質量：3,500t 杭：φ1300：20本	基礎質量：3,500t 杭：φ1400：20本
敷地境界振動レベル 予測評価値	47.7dB (NG)	46.6dB	46.0dB
対策費／工費	±0 (基準)	約 +10%	約 +11%
工期増分	±0 (基準)	+0.3ヶ月	+0.4ヶ月

地境界において振動レベル 47dB と設定した。振動規制法上は、第2種区域における夜間の値として 60dB という規制値となるが、①敷地境界近傍の建物内での振動増幅や人の振動の感じ方の個人差を考慮し 5dB、②過去の振動伝播事例から十分な余裕を担保したいという施主側からの要望により 5dB、さらに、③他の振動源との同時性を考慮し 3dB、の以上 13dB を安全側の配慮として見込み目標性を

を設定した。意思決定に際しては、施主と機械メーカー並びに基礎構造の施工者が関連する情報を共有し、十分に意思の疎通をはかった上で慎重に検討した。

Table 1 に示すように、モデル K1 では目標性能を満足しない。一方、モデル K2～K3 では目標性能は満足するものの、振動対策として躯体コスト（材料費＋施工費）が 10%程度上昇する結果となっている。本計画では、前述の3者による検討の結果、コストや工期が若干上昇するものの、十分に目標性能を満足することのできるモデル K3 を設計計画時に選定した。

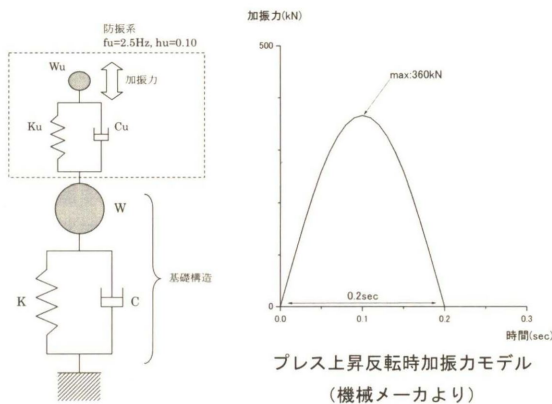


Fig. 2 基礎の応答計算モデルと加振力

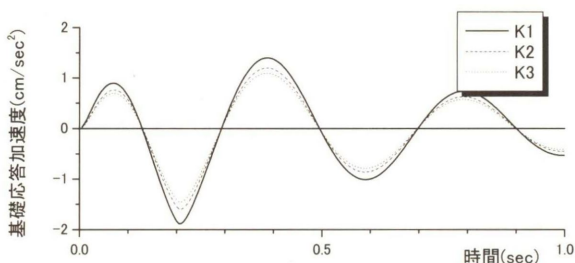


Fig. 3 基礎の応答加速度時刻歴

2.4 杭の急速載荷試験

設計計画時の目標性能の確認は、プレス機械の稼動を待たなくてはならないが、基礎構造が設計検討時の剛性を有していることを確認するために杭の急速載荷試験²⁾を行った。基礎構造全体の動的な載荷試験を行うことも検討したが、試験が極端に大がかりになること、基礎に損傷を与えてしまう可能性があること、さらに、周辺地盤へ振動のエネルギーが逸散してしまい、基礎の応答波形を正確に評価することが難しいこと、などの理由により、2本の試験杭による急速載荷試験を行い杭単体の鉛直剛性を確認するものとした。試験は文献²⁾に準拠して行われた。

杭の急速載荷重試験方法の概要を Fig. 4 に示す。錘の落下高さやクッション材（発泡ウレタン素材）の厚さは、現地において予備試験を行い、十分な変形が安定的に得られ、かつ所定の加振力と同オーダーの加振力となるよう選定した。本試験では、落下高さ 10cm、クッション材：

$\phi 400 \times h:169\text{mm}$ とした。

急速载荷試験により得られた杭単体の軸方向のばね定数は、試験杭 No. 1 で $37,700\text{kN/cm}$ 、試験杭 No. 2 で $35,600\text{kN/cm}$ であった。設計時に想定していた杭の軸方向剛性は、 $11,740\text{kN/cm}$ であり、実測値はその 3 倍以上の値であった。これは、計画時には杭の周面摩擦を無視した事や

地盤物性の不確実性などに起因するものと考えられる。杭基礎構造の振動解析では杭剛性を大きく見積ると基礎の応答は小さくなり評価が危険側となる。現時点の予測手法は下限値の杭剛性により評価が安全側となるよう配慮しているものであるが、今後、より精度良く杭剛性をはじめとする地盤物性値を評価していく必要があると

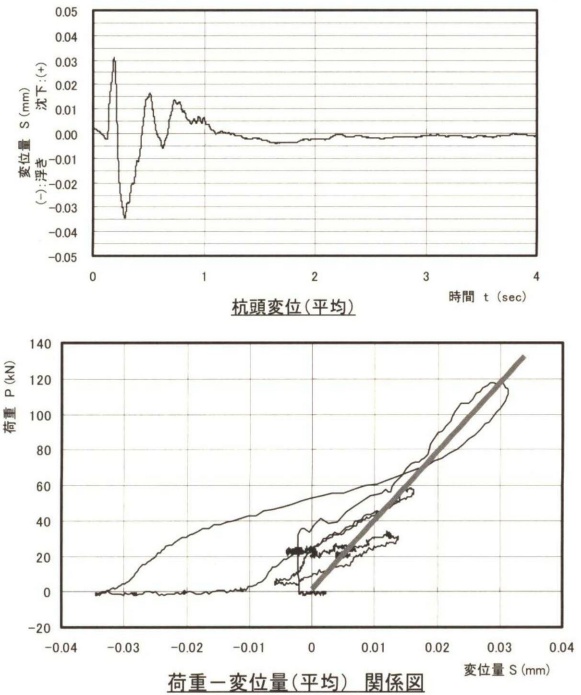
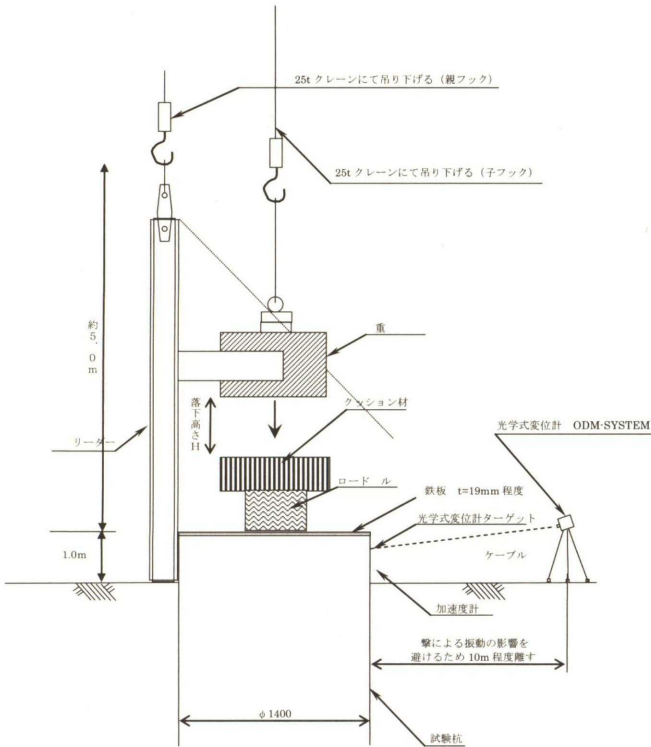
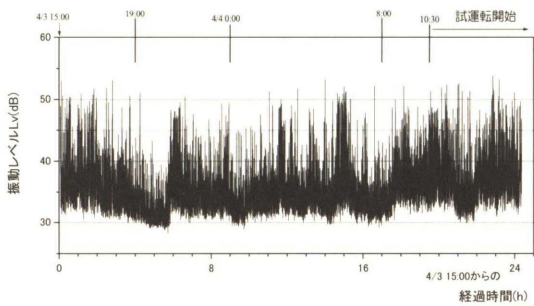
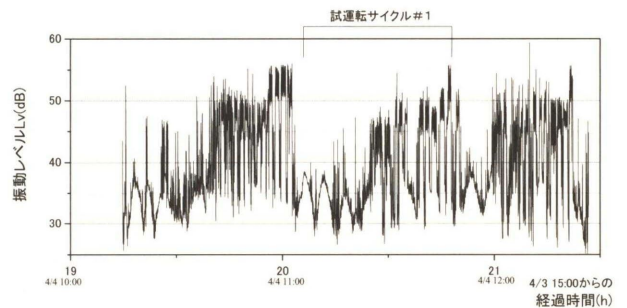


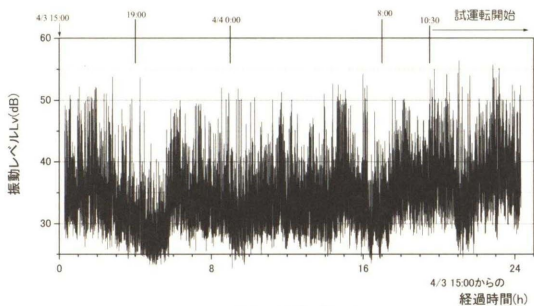
Fig. 4 杭の急速载荷試験



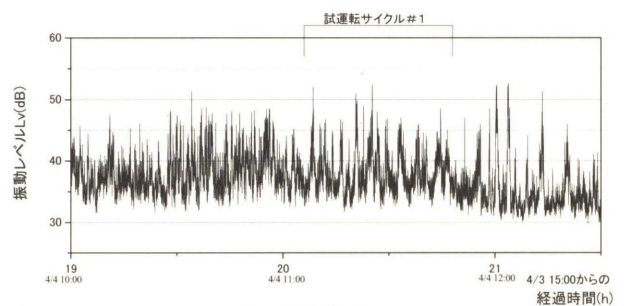
(a) 測定点 A



(a) 基礎上



(b) 測定点 B



(b) 測定点 A

Fig. 5 振動レベルの24時間測定結果

Fig. 6 プレス機稼動時の振動レベル

考えている。

3. 振動測定結果

3.1 振動レベル計測結果

基礎工事完了後のプレス機械の試運転時において振動測定を行った結果を示す。Fig. 5は敷地境界A, B (ともにプレス機械芯位置から約140m地点)の振動レベル瞬時値の24時間測定結果である。測定は試運転日の前日15:00に開始した。試運転は10:30~15:00まで行われた。24時間計測のまとめをTable 2に示すが、敷地境界の振動レベル L_{10} は、昼間において41dB、夜間において38dB程度であった。

Fig. 6には、試運転時の(a)基礎上、(b)敷地境界の振動

レベルを示す。基礎上の振動レベルは事前の予測評価解析では、53dBとなっていたが、一部には60dB程度の瞬時値が記録されている。これは、鍛造プレスという一連の生産工程においてまれに起こる衝撃振動であるが、敷地境界での振動測定結果から、その周辺地盤への伝達は小さいことがわかる。試運転サイクル時の振動レベル測定結果をまとめたものがTable 3である。試運転サイクルにおける基礎の振動レベルは L_{10} =49dB、敷地境界の振動レベルは L_{10} =44dB程度であった。

3.2 基礎の応答加速度

基礎の応答加速度時刻歴波形の一例をFig. 7に、またその周波数分析結果(1/3オクターブバンドスペクトル)をFig. 8に示す。基礎躯体には施設に存在する関連機器

Table 2 振動レベル24h計測結果

測定位置	2008.4.3 15:00~19:00 4.4 8:00~15:00				2008.4.3 19:00~4.4 8:00			
	昼間(8:00~19:00)				夜間(19:00~8:00)			
	Leq	Lmax	Lmin	L10	Leq	Lmax	Lmin	L10
敷地境界A	37.4	53.8	29.8	41.3	35.1	53.2	28.2	38.3
敷地境界B	37.0	56.4	24.2	41.5	34.0	54.2	22.7	38.1
C(参考)	37.6	56.1	27.3	42.1	34.2	52.8	27.1	38.1

計測点Cについては、4/4 3:15~9:47までの間測定器の電池切れにより計測できていなかったため参考データとする。

Table 3 試運転サイクルの振動レベル

測定位置	2008.4.4 11:10~11:48				2008.4.4 14:08~4.5 14:45			
	試運転サイクル#1				試運転サイクル#2			
	Leq	Lmax	Lmin	L10	Leq	Lmax	Lmin	L10
基礎上	40.4	55.8	26.6	47.6	42.5	56.7	25.9	48.9
敷地境界A	38.7	52.4	31.7	42.7	39.2	53.2	31.7	43.0
敷地境界B	38.6	54.2	28.5	42.8	39.9	55.2	29.8	44.2
敷地境界C	39.0	54.6	29.9	43.6	39.7	52.9	30.8	44.2

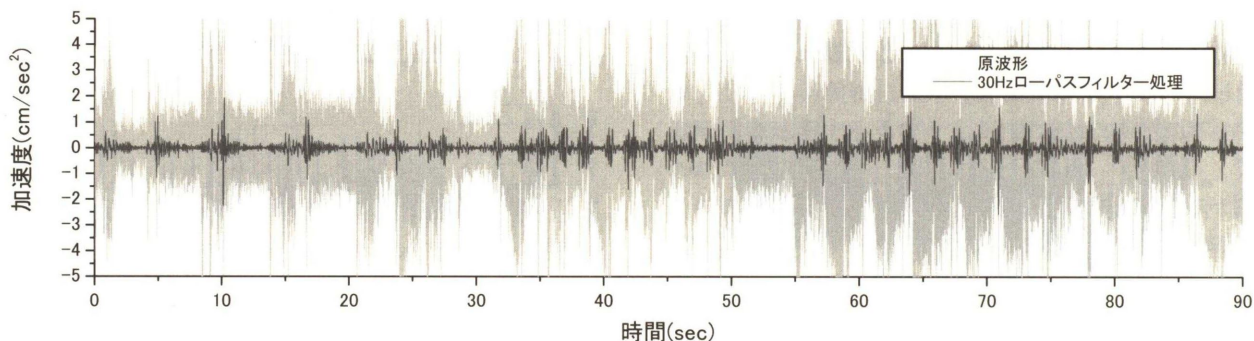


Fig. 7 時刻歴波形

による高い周波数帯域の外乱が作用しており、プレス機械の加振力による応答の成分を分離することは難しい。

Fig. 7では、測定された原波形に対して30Hzのローパスフィルターを施した結果を示している。

事前の予測評価時には、基礎の応答は 1.46cm/sec^2 であったが、これに対して、基礎の応答加速度波形に30Hzのローパスフィルターを施した結果の最大値は全ての測定において、概ね 2cm/sec^2 程度の値であった。このことは、前述の衝撃振動に対応するものと考えられる。

3.3 予測評価と振動測定結果の比較

設計計画時の予測評価値と振動測定結果を比較したものを Table 4 に示す。基礎の振動レベルについては、予測値に対して測定された L_{max} が大きな値となっているのに対して、敷地境界では予測値よりも小さい振動レベルとなっている。これは距離減衰を過小に評価したこと起因するものと考えられる。しかしながら地盤物性には大きなばらつきがあることやプレス機加振力にはまれに大きな衝撃力があることなどを考えると、予測評価は安全側の値を与える十分実用的な結果であったと言える。

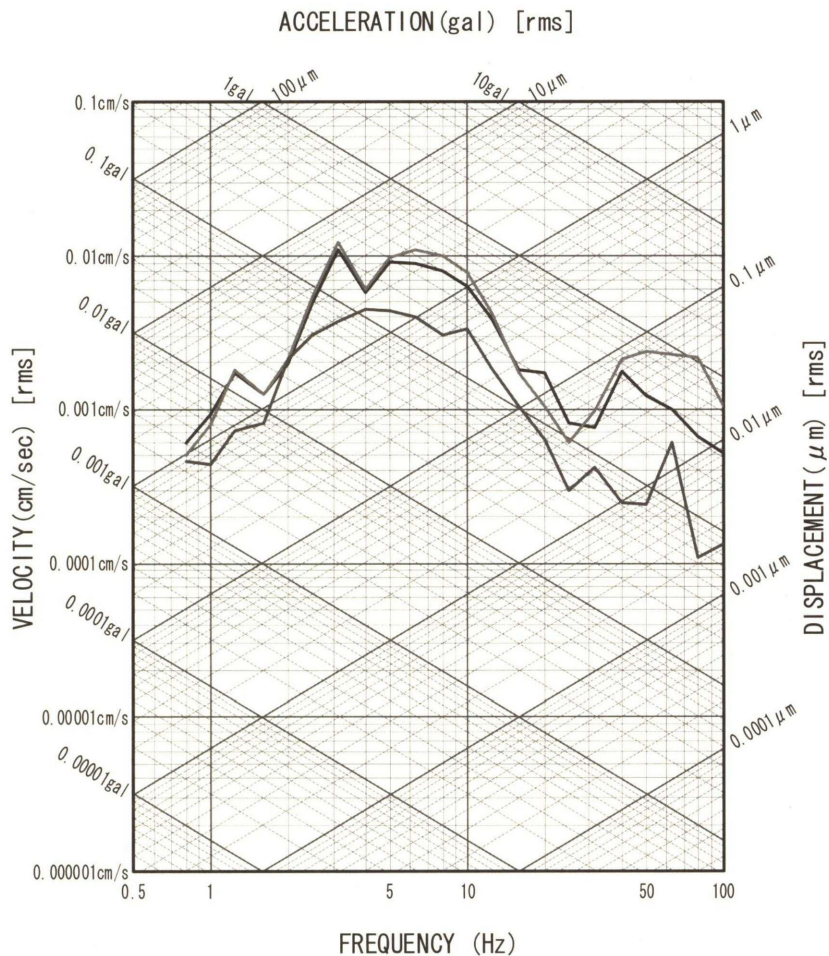


Fig. 8 基礎の応答スペクトル

Table 4 振動影響予測評価値と実測値

	予測値	実測値
プレス機稼動時 基礎最大加速度	1.46cm/s^2	(30Hzローパス処理にて概ね 2cm/s^2 程度)
基礎振動レベル	53.2dB	$L_{\text{max}}=56.7\text{dB}$ $L_{10}=48.9\text{dB}$
敷地境界振動レベル	46.0dB (暗振動 $L_{10}=40.3\text{dB}$ 加算)	$L_{10}=42.7\text{dB} \sim 44.2\text{dB}$

4. まとめ

大型プレス機の機械基礎の計画に際し、予測評価が安全側となるように留意し、敷地境界の振動影響評価を行い、基礎構造を選定した。さらに機械稼動時の振動測定を行い、予測評価の妥当性を検証した。

振動影響を抑制するためのコストは決して小さいものではないが、施設周辺の住民からクレームが発生した場合の対策コスト、例えば防振溝の設置などを考えると決して無駄な出費とはいえない。今後の同様の大型機械基礎計画時にも、発注者側とのリスクコミュニケーションを入念に行い、適切な計画となるよう留意して検討をおこなっていききたい。

謝辞

プレス機基礎の設計、振動測定においては現場作業所の皆様に大変お世話になりました。深く感謝致します。

参考文献

- 1) 環境保全のための防振設計, 山原 浩著, 彰国社
- 2) 杭の鉛直載荷試験方法・同解説, 地盤工学会

Vibration Influence Evaluation of Large-scale Machine Basement in Manufacturing Facility

Toshio MAEGAWA, Hisayoshi ISHIBASHI, Yasuyuki HARAI, Teruyasu WATANABE, and Katuhiko Hirakawa

Abstract

In the manufacturing facility that has a heavy machinery such as a press machine, the vibration when the machine operates spreads to the site boundary, and the complaint from the neighborhood might be made. As for such a vibration pollution, the upper limit of the vibration level provided by Vibration Regulation Law, the prior examination is necessary, before planning and designing the facility. In this report, the prior evaluation and measures of vibration, and measurement result about the large-scale press machine of 30,000kN class is presented.

Keywords: Vibration influence evaluation, Large-scale machine basement, Production facility, Vibration measurement
