

9. 建物内点音源による屋外騒音レベルの予測について

ー某タイヤ工場におけるケーススタディー

Forecast of Outdoor Noise Levels using Point Sound Sources Inside the Building - A Case Study at A Certain Tire Factory -

河合 智寛*¹ 山崎 順二*¹

要 旨

建物内の設置予定の機械設備を騒音源として、屋内騒音源に対する周辺の音場計算を行い、屋外の騒音レベルを予測する検討の機会を得た。基本設計による某工場の遮音性能の把握が主たる目的であり、敷地境界付近で予測した騒音レベル(=A 特性音圧レベル)が規制値を満たすかの評価を行った。

騒音源に対する周辺の音場計算は、音の波動性ではなく音のエネルギー拡散性による計算方法に従い、一般社団法人日本音響学会が建設工事騒音の予測モデルとして 2008 年 4 月に公表した ASJ CN-Model 2007 に準拠する。解析プログラムは「Super NOISE(P)-環境影響予測ソフトウェア」(株)環境総合研究所を使用した。

本報では、屋内騒音源を 14 個の点音源として各機械設備の A 特性音圧レベルから機械の音響パワーレベルへ算術算定したこと、基本設計の建物を簡易なモデル化したこと、全 14 個から成る点音源の騒音源に対する周辺の音場計算の結果と、予測の騒音レベルに対する規制値の環境基準値との評価を述べる。

キーワード：点音源／騒音レベル／予測モデル／等価騒音レベル L_{Aeq}

1. はじめに

弊社の他部署より基本設計した某タイヤ工場の遮音性能を把握する目的として、屋内騒音源に対する周辺の音場計算を行い、屋外の騒音レベルを予測する検討依頼があった。これは、建物内に設置する予定の機械設備に起因して発生する音が騒音源となり、敷地境界付近で規制値の環境基準値を越えることがないかを予測検討するものであった。

建物の基本設計に入る時点で、事前に顧客から提供頂いた他の類似工場で実測した測定データ(以下、測定資料)があったため、その内容について予測検討の際にも吟味を要した。測定資料の実測騒音値は、周波数ごとの音圧レベルではなく、普通騒音計(R 社製)を使用した A 特性の周波数重み付け特性による測定値であり、計量範囲 28dB ~130dB、全バンド帯域(周波数範囲)20Hz~8,000Hz の測定結果であった。

本報では、各機械設備の A 特性音圧レベルから機械の音響パワーレベルへ算術算定し、屋内騒音源を全部で 14 個の点音源として設定したこと、基本設計の建物を解析プログラムにかけのために簡易なモデル化したこと、全 14 個から成る点音源の騒音源に対する周辺の音場計算の結果と、予測で得られた騒音レベルに対する規制値

の環境基準値との評価を述べる。

2. 予測計算の概要

騒音源に対して周辺の音場計算を行う場合には、大別して 2 つの方法がある。1 つ目の方法は音を波動として取り扱うもので、これは音波に対する波動方程式を適切な境界条件のもとに解く方法である。しかし、この方法では、多くの周波数成分が含まれて煩雑になる上に、解くための境界条件も複雑となる。煩雑な既知の境界条件を設定する必要性から、予測検討の段階で理論に合致する完全な既知の情報を収集しなければならない課題点があり、取り組むには時間的な制約もあることから、実務レベルで採用するには困難を要する。第 2 の方法は、音の波動性ではなく、そのエネルギーの拡散に着目して計算する方法であり、騒音レベルの予測検討する場合では、現在広く用いられている。

2.1 ASJ CN-Model 2007

ASJ CN-Model 2007 は、一般社団法人日本音響学会が建設工事騒音の予測モデルとして 2008 年 4 月に公表したものであり、既に標準予測モデルとして数多くの場面で活用されている。この ASJ モデルは音のエネルギー収支のみを扱う簡易な計算手法であり、同学会が 2003 年から 5 年ごとに更新し続けている道路交通騒音予測モデル

*¹ 技術研究所建築材料研究グループ

ASJ-RTN Model 2018 と同様に計算量が少なく、計算手法として扱いやすい特徴がある。

2.2 Super NOISE(P)-環境影響予測ソフトウェア

予測には、解析プログラム「Super NOISE(P)-環境影響予測ソフトウェア」((株)環境総合研究所)(以下、解析ソフト)を使用し、日本音響学会による建設工事騒音予測(ASJ CN-Model 2007)に準拠する方法で実施した。厳密には、ASJ CN-Model 2007 では屋内の音源・屋内の受音点を対象とはしていないが、このソフトウェアは、屋内の音源から屋内の受音点、あるいは屋内の音源から屋外の受音点のうち外壁面までを以下に示す式(「騒音予測評価手法研究」参照)によって計算する。加えて、外壁面から屋外の受音点の伝搬計算に ASJ CN-Model 2007 の標準予測モデル式を適用し、屋内の音源・受音点についても計算できるように採用している特徴がある。なお、室内の音圧レベルの拡散音場の式は「実用 騒音・振動制御ハンドブック」(エヌ・ティー・エス出版 P.911 参照)による。

■非拡散音場と拡散音場の判定

$$\text{非拡散音場} : r_i \leq 0.14 \cdot \sqrt{Q \cdot R}$$

$$\text{拡散音場} : r_i > 0.14 \cdot \sqrt{Q \cdot R}$$

Q : 指向係数, r_i : 音源から壁面までの距離[m]

R : 室定数[m²] = $S \cdot \alpha / (1 - \alpha)$

α : 平均吸音率, S : 室全表面積[m²], ($S\alpha$: 室内吸音力)

■屋内音源から屋外受音点のうち外壁面までのモデル式

外周(外壁面)への入射パワーレベル L_{wi} [dB]

$$\text{非拡散音場} : L_{wi} = L_w + 10 \cdot \log_{10} (Q / (4\pi \cdot r_i^2) + 1/R)$$

$$\text{拡散音場} : L_{wi} = L_w - 10 \cdot \log_{10} (R)$$

L_w : 音源のパワーレベル[dB]

上記から、外壁面のパワーレベル L_{w0i} [dB]は、

$$L_{w0i} = L_{wi} - TL + 10 \cdot \log_{10} (S_i)$$

TL : 透過損失[dB], S_i : 壁の面積[m²]

3. 建物内の機械設備の騒音源

建物内に設置する予定の機械設備に起因して発生する音については、事前に他の類似工場で測定した実測騒音値データ(測定資料)を参考にした。しかし、いくつかの課題点もあり、A 特性音圧レベルから騒音源を求める算術算定の際に課題整理の上、参照データとして引用した。

3.1 課題整理と参照データの諸元

①振動数、加振力の機械別データ

測定資料では、装置メーカーからの土間コンクリートスラブ上で実測される「振動数」、「加振力」を機械別データとして入手することはできなかった。これはメーカーで計測していないことが理由による。騒音レベルが大き

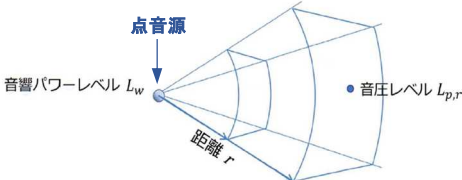
い装置は振動レベルも大きい可能性があるが、今回の予測では考慮することはできない。

②暗騒音の音圧レベル

同様に測定資料では、最大値(Max)・最小値(Min)・平均値(Avg.)のみの記載であり、それ以上の詳細を掴むことはできなかった。騒音計による騒音レベル[dB(A)]の測定ではあるが、1/1 オクターブバンド周波数分析は不可能であり、暗騒音の音圧レベルも不明である。

③機械設備の音響パワーレベル

さらに測定資料によれば、既にどの機械設備も最小値(Min)で 70[dB]以上の音圧レベルであることから、稼働時の騒音レベルに暗騒音の補正は必要なしと仮想し、音場の A 特性音圧レベルが実測騒音値データとして測定されているとみなした(図 1)。このとき、音源からの距離は資料の情報から識別できるその位置の A 特性音圧レベルとし、平均値(Avg.)を用いて、建物内における機械設備の音響パワーレベルの推定値を算術算定することにした。騒音レベルは点音源から離れた距離で測定したものであり、当然、その位置で最大値(Max)や最小値(Min)および平均値(Avg.)が測定される。瞬間の最大値(Max)に着目して、点音源の音響パワーレベルを算術算定してしまうと、定常時とは異なる過大なエネルギー音源として評価し兼ねない。加えて、規制値の環境基準値は等価騒音レベル L_{Aeq} (=等価 A 特性音圧レベル)による評価(図 2)であることから、今回は平均値(Avg.)を用いて、機械設備の音響パワーレベルを算術算定した。



$$I = \frac{W \cdot Q}{4\pi r^2}$$

I : 音源から r 離れた位置の音の強さ
 W : 音源出力
 Q : 指向係数

$$L_{p,r} = L_w + 10 \log_{10} \frac{Q}{4\pi r^2}$$

$$= L_w - 20 \log_{10} r - 11 + 10 \log_{10} Q$$

$$= L_w - 20 \log_{10} r - 11 \rightarrow Q = 1$$

$$= L_w - 20 \log_{10} r - 8 \rightarrow Q = 2$$

図1 音圧レベルと音響パワーレベルの関係

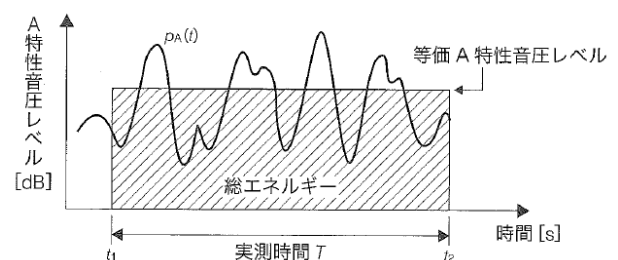


図2 環境基準値による総エネルギー評価

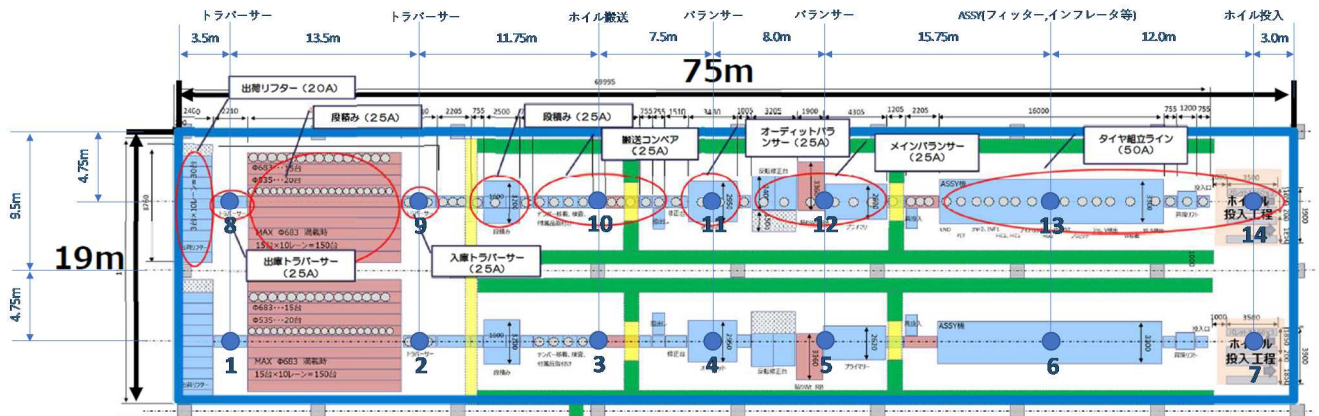


図3 組立工程ラインにおける全14個の点音源(騒音源)

表1 点音源名と音響パワーレベルの算定結果

点音源の番号	音源名	音響PWL
1,2,8,9	トラバース	88
3,10	ホイル搬送	98
4,5,11,12	バランサー	95
6,13	ASSY	100
7,14	ホイル投入	95

④組立工程のライン

組立工程ラインの把握により、必要になる騒音源の個数などを設定する。測定資料から某タイヤ工場の組立工程ラインは、ASSY工程+出荷工程と呼ばれる工程から構成される。設置予定の機械設備の騒音源は全て個々の点音源とみなした。その結果、1ラインはホイル投入、ASSY(ソープ、インフレーター、フィッター)、バランサー、ホイル搬送、トラバース×2で構成される工程で、全部で7個の点音源を要する。基本設計による新ラインは2ライン構成であるため、全部で14個の点音源を機械設備の騒音源とみなすことになる(図3)。なお、ASSY工程はソープ、インフレーター、フィッター等で構成されることから、一連の個々の音響パワーレベル(音響PWL)を合成し、音源名ASSYとしてまとめ、合成PWLで取り扱うことにした。

3.2 建物内の各機械設備の音響パワーレベル

表1は、測定資料のA特性音圧レベルから個々の機械設備の音響パワーレベルを算術算定(図1)した結果である。一例として、点音源の番号4,5,11,12の音源名バランサー(機側+1.0m)における音響パワーレベルの算術算定を示す。測定資料のバランサー(機側+1.0m)の音圧レベルは、最大値(Max)=91.0[dB]、最小値(Min)=82.7[dB]、平均値(Avg)=87.0[dB]であり、 $L_{p,r} = L_{p,r}(SPL) = 87.0[dB(A)]$ となる。指向係数 Q は $Q = 2$ (図4)であり、機側+1.0mは $r = 1.0$ となる。この時、音圧レベルと音響パワーレベル

(1)空中・自由空間

(2)広い平面上

 $Q=1$
 $Q=2$

(3)2面の入隅

(3)3面の入隅

 $Q=4$
 $Q=8$

図4 点音源の指向係数 Q の設定値

の関係から、求めたい音響パワーレベル(音響PWL)は、

$$\begin{aligned}
 \text{音響(PWL)} &= L_w = L_{p,r} - 10 \log_{10} \frac{Q}{4\pi r^2} \\
 &\approx L_{p,r} + 20 \log_{10} r + 11 - \log_{10} Q \\
 &= 87.0 + 20 \log_{10} 1 + 11 - \log_{10} 2 \\
 &\approx 87.0 + 0 + 11 - 3 \\
 &= 95.0 \text{ [dB]}
 \end{aligned}$$

最後に整数値に丸めて、95[dB]となる。

4. 建物の基本設計

4.1 概要

基本設計における建物の概要は、以下の通りである。主な外部仕上げ(表2)と建物配置(図5)を示す。

表2 主な外部仕上げ

名称	仕上
屋根	カラーガルバリウム鋼板t0.8丸馳II型ダブルバック同等 水勾配3/100 全面太陽光パネル30kg/m ² 排煙口 3か所【K製作所：スモークハッチSH-900R(断熱材貼)同等】
外壁	ALC縦張りt100の上吹付タイル 事務所エリア：内側断熱材【グラスウール 24kg/m ³ t50】 腰壁：コンクリート打放し補修の上撥水材塗布(H1700、事務所エリアH1000) 誘発目地@1500程度※内外共 アルミ庇：W2800*D1200、W1600*D1200(下地補強)
樋	軒樋：耐酸被覆鋼板W300*H250 縦樋：高排水VPΦ125 5本
開口部	シャッター(X1-X2通部のみ)：外部 耐荷重型グレーチングボルト止め排水溝W150 シャッター前ガードポール：計12本【Φ140、H1500】
外部階段	鉄骨階段：溶融亜鉛メッキ(職込・踏面：CHRPL-6.0、ササラ桁：PL-16*300)

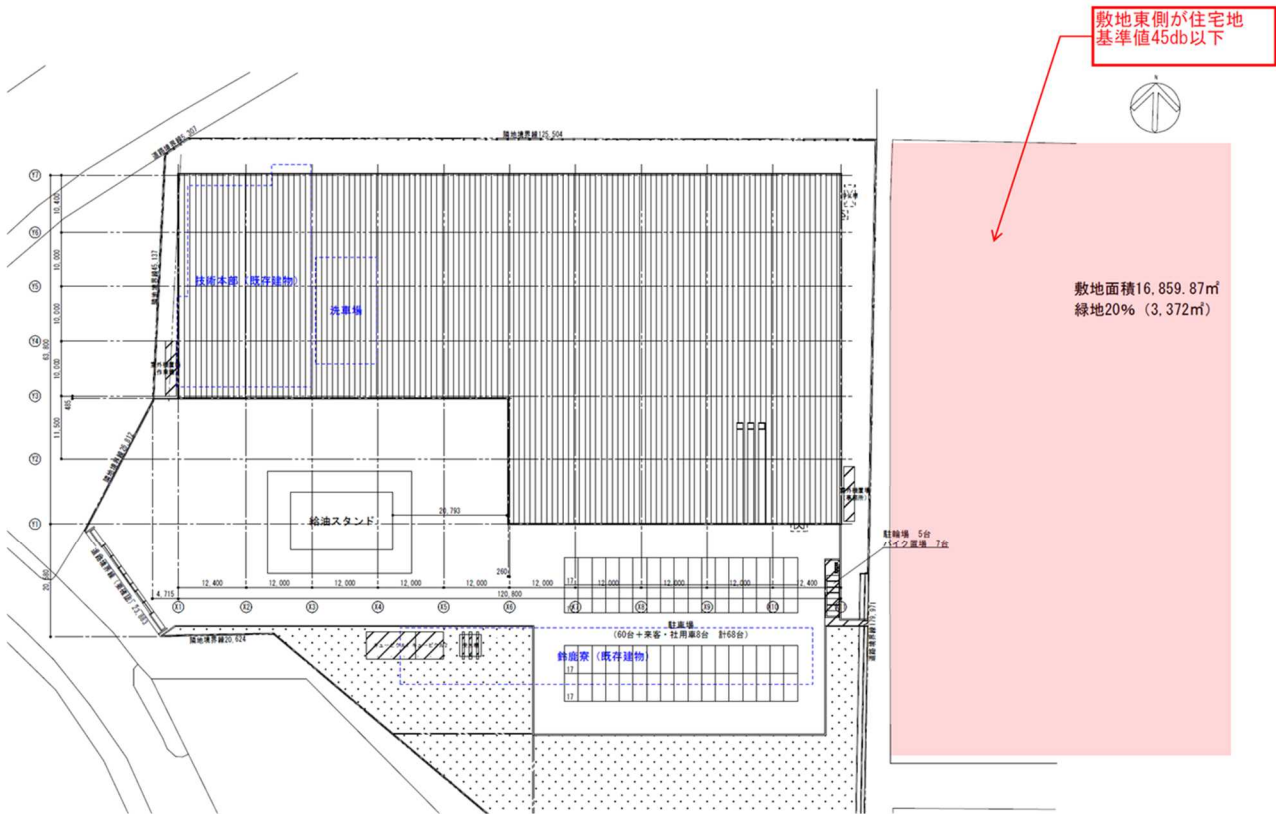


図5 建物配置(屋根伏せ)

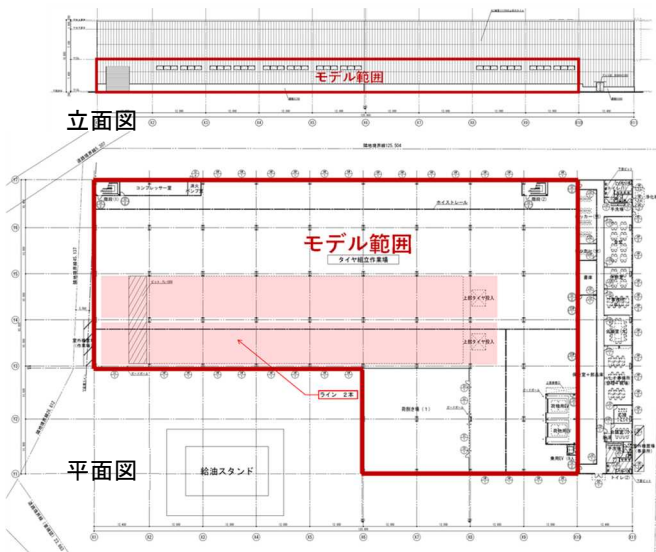


図6 建物のモデル化

建物の敷地境界線の東側は住宅地であり、規制値の環境基準値の45[dB]以下が適用される地域である。

表2より、実務的騒音対策指針(第二版)や建築の音環境設計などの文献(表3)を引用して、外壁ALC100mmなどの建物の外壁および内壁の吸音率と透過損失は、内装仕上げ材の吸音率=0.73、外壁面の吸音率=0.078、天井内装仕上げ材の吸音率=0.73、天井・透過損失=38[dB(A)]の数値を解析ソフトに適用した。

表3 吸音率と透過損失

【吸音率】

部分	材質	周波数別吸音率					
		125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz
外壁	コンクリート	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03
	ALC100mm	0.06	0.05	0.07	0.08	0.09	0.12
内壁	グラスウール(ボード) @50mm,32-48K密度	0.22	0.70	0.95	0.90	0.85	0.90

出典1:「建築の音環境設計<新訂版>」(1983年、(株)彰国社)P75

出典2:「建築の音環境設計<新訂版>」(2021年、(株)彰国社)P75

【透過損失】

部分	材質	周波数別透過損失[dB]					
		125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz
外壁	コンクリート	34	43	50	56	61	67
	ALC100mm	31	32	29	37	46	51
屋根	ガルバリウム 鋼板	7.6	11.8	16.6	21.6	26.9	32.2

出典1:「騒音制御工学ハンドブック」(平成13年、技報堂出版)

出典2:メーカー資料

4.2 建物のモデル化

騒音レベルの予測には、建物を簡易モデルで解析することにした(図6)。建物のモデル化は厳密に言えば、南北面外壁の開口部は考慮せず、1階の東側事務所エリアと工場の内壁境を外壁ALCでモデル化し、立面的に2層工場は1階天井(2階床)までの1層モデルの形状とした。これにより、実際は解析モデルの外側に開口部付きではあるが外壁があり、上階もあるため解析で得る騒音レベル予測に対して、敷地周辺としてはさらに遮音性能が高くなる(騒音レベルを安全側に評価できる)と考えられる。

5. 騒音レベルの予測の結果

5.1 予測の結果-その1(計画時の新ライン)

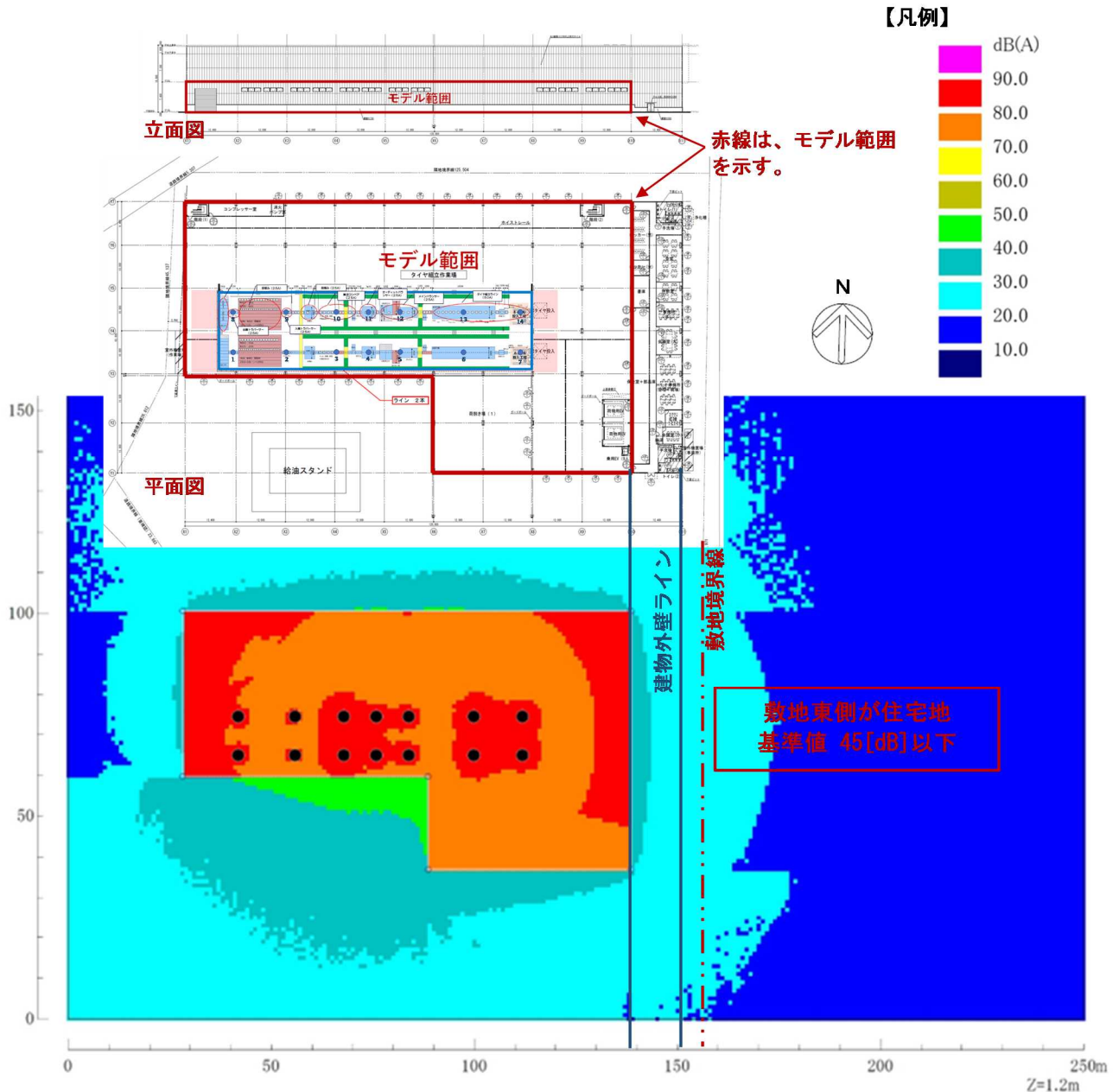


図7 解析結果のコンタ図-その1

騒音レベルの予測の結果を、解析結果のコンタ図として示す(図7)。解析ソフトでは、個々の設置機械設備を点音源の騒音源として扱い、建物内でも距離減衰式を適用しており、複数機械の24時間同時稼働とみなしている。全14個の点音源が同時に長時間稼働する条件が一番厳しい状態下を想定して予測検討している。また、入力値は等価A特性音圧レベル(=等価騒音レベル L_{Aeq})である。

建物の南側で騒音レベルが50[dB]以下となるのは、凡例に示す黄緑色と青色の範囲であるが、多くは40[dB]以下の青色系の寒色で示される範囲である。計画時の新ラ

イン配置が南西側の外壁に近接していることが要因と考えられ、南西側の外壁周辺の近傍に黄緑色で示す騒音レベル40~50[dB]が見られる結果となった。

建物の北・西・東面では、騒音レベルが40[dB]以下の青色系の寒色で示されるコンタ図となった。特に、建物の東面はモデル化の外壁面よりもさらに東側に実際の建物外壁ラインがある。加えて、その建物外壁ラインよりもさらに東側に敷地境界線が存在する。

敷地境界線よりも東側の住宅地では、規制値の環境基準値45[dB]以下となる解析結果が得られた。

5.2 予測の結果-その2 (ライン変更 ver.)

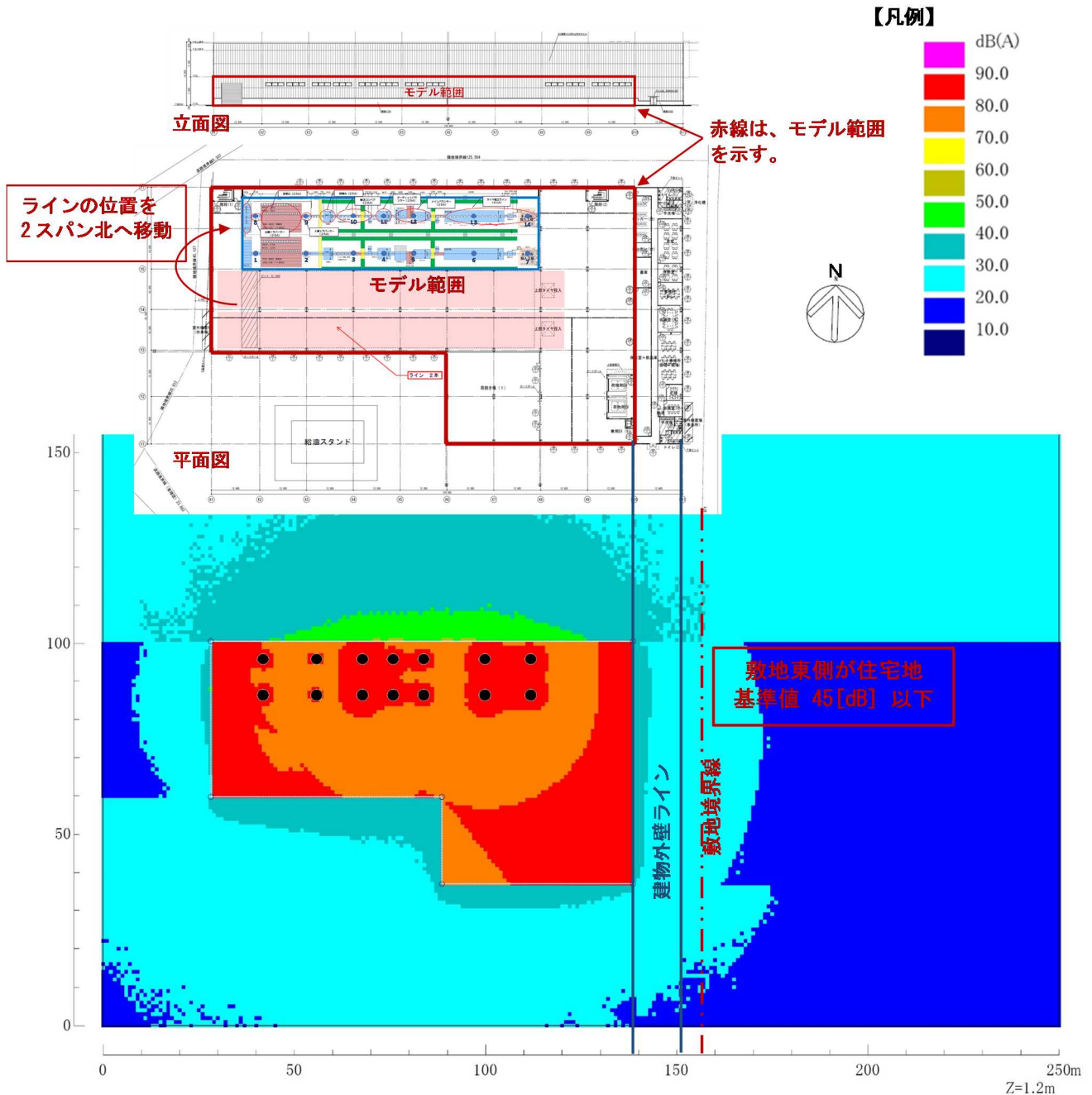


図8 解析結果のコンタ図-その2

外壁の仕上げ変更をせずに、ラインの位置を2スパン北側に移動した(以下、ライン変更 ver.)騒音レベルの予測の結果を、解析結果のコンタ図として示す(図8)。

前述の通り、騒音レベルが50[dB]以下となるのは凡例に示す黄緑色と青色の範囲であるが、ライン変更 ver.でも多くは40[dB]以下の青色系の寒色で示される範囲である。

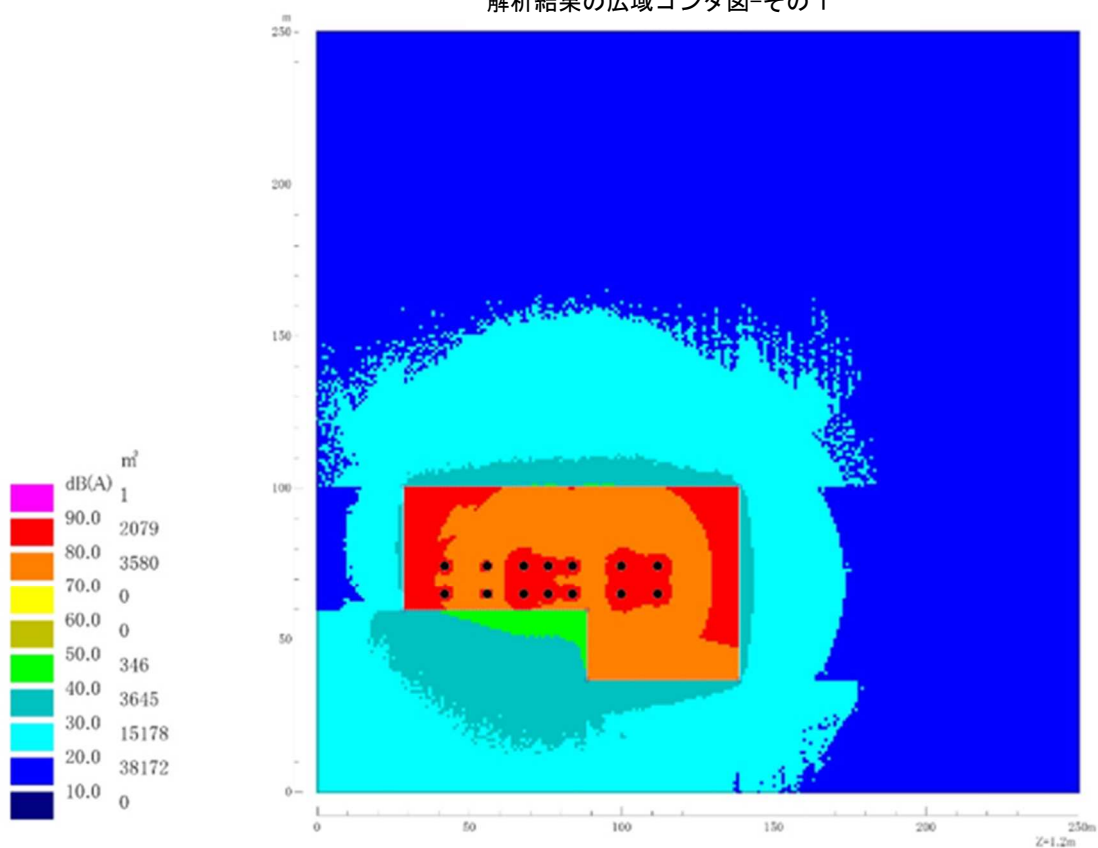
建物の北側で、今度はライン配置が北側の外壁に近接していることが要因と考えられ、北側の外壁周辺の近傍に黄緑色で示す騒音レベル40~50[dB]が見られる結果となった。また、計画時の新ラインの解析と比べると、建

物の北側だけでなく北東の角付近にかけて広範囲で騒音レベルが高くなる結果となった。

建物の西・南・東面では、騒音レベルが40[dB]以下の青色系の寒色で示されるコンタ図となった。特に、建物の東面はモデル化の外壁面よりもさらに東側に実際の建物外壁ラインがある。加えて、その建物外壁ラインよりもさらに東側に敷地境界線が存在する。

ライン変更 ver.についても、敷地境界線よりも東側の住宅地では、規制値の環境基準値45[dB]以下となる解析結果が得られた。

解析結果の広域コンタ図-その 1



解析結果の広域コンタ図-その 2

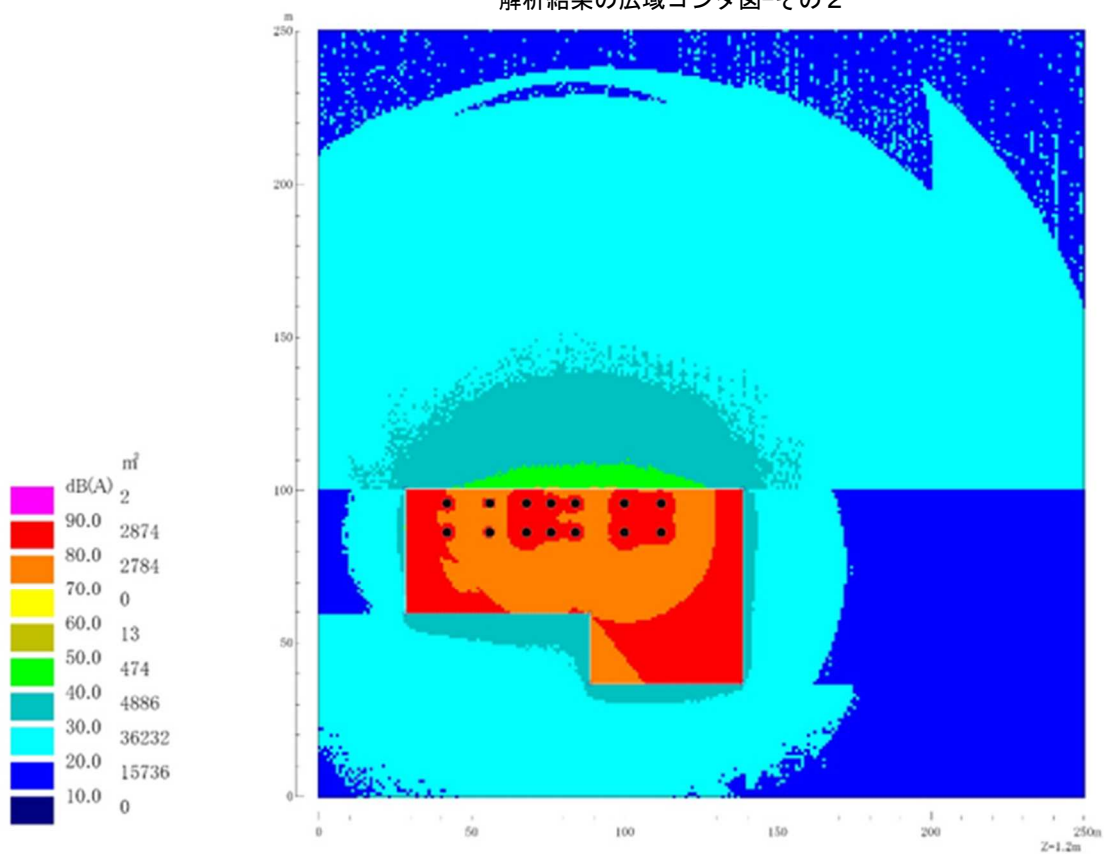


図 9 解析結果の広域コンタ図（上図は解析結果その 1，下図は解析結果その 2）

製造ラインを北側に寄せた解析結果を広域コンタ図(図 9)と合わせて、詳細に建物の周辺への影響を考察すると、計画時の新ラインに比べてライン変更 ver.では、建物の北側および北東範囲で 20dB 以下から 30dB 以下と悪化し、建物の北側の外側は大きな騒音域に変化している。特に、図 9 の広範囲で表示した図によれば、30dB 以下の範囲がかなり大きくなっていることが分かる。いずれも敷地外(東側)は 30dB 以下と規制値の規定内ではあるが、悪くなる騒音域が広くなり、北側をはじめ、周辺の建物や住宅に何らかの影響を与える可能性が高くなる。

騒音を低減できるかどうかの補足検討であった製造ラインを北側に寄せるライン変更 ver.であったが、結果として建物の南側の地域には有利になるが、総合的には現状の建物形状・遮音壁のままであれば、現況ラインの位置の方が外部への騒音の影響は小さいと考えられる解析結果が得られた。

6. まとめ

基本設計の段階における建物について、建物内の設置予定の機械設備を騒音源として、屋内騒音源に対する周辺の音場計算を行い、周辺外部への屋外の騒音レベルを予測し、それが規制値を越えないかどうかの検討を某タイヤ工場でケーススタディとして行った。

本報では、解析プログラムとして、(株)環境総合研究所の「Super NOISE(P)-環境影響予測ソフトウェア」を用いて、以下の手順に従って検討した。

(1)対象とする機械設備リストの作成

音源名、音響パワーレベル、音源の位置、指向係数(今回は広い平面上として、 $Q = 2$)などの情報整理。

(2)建物、工場レイアウトの作成

建物は簡単なモデル化を実施し、建物の音響特性(壁・天井の使用材料の吸音率、透過損失のデータ)、寸法、位置などの情報整理。

(3)解析ソフトによる等騒音レベルのコンタ図、および個々の騒音源の影響度の作成

ASJ CN-Model 2007 に準拠した解析(屋内音源から屋外受音点の場合)で予測の結果を吐き出す。

(4)結果に対する検討

規制値の環境基準値に対して、結果の検討をまとめる。

この一連の予測計算は、音のエネルギー収支のみを扱う簡易な計算手法であるが、不確定要素は仮説の想定で実施するため完全とは言えない。しかし、事前に顧客等から計測値データを入手、あるいは実際に類似工場で機械設備の音源を実測するなどができれば、そこから屋内の

騒音源として、機械設備の点音源の音響パワーレベルを算術算定できるので、音のエネルギー収支による概ねの実計算は成立する。解析によって得られる予測結果は工場建設前に事前対策を行う手掛かりにもなり得るし、場合によっては稼働中の工場に対しても要対策音源を抽出して必要低減量を求めることも可能である。

特に基本設計の時点であれば、解析の予測結果に基づいて具体的な対策を立てる手掛かりにも繋がるため、騒音レベルの予測の有用性は高いと考えられる。

【参考文献】

- 1) 日本建設業協会(旧:大阪建設業協会)編, 事例に学ぶ音の基礎知識, 大阪建設業協会, 2007.12
- 2) NPO 法人建築音響共同研究機構編, 集合住宅の騒音防止設計入門, 学芸出版社, 2017.9
- 3) 日本建築学会編, 建築物の遮音性能基準と設計指針[第二版], 技報堂出版, 1997.12
- 4) 日本建築学会編, 実務的騒音対策指針(第二版), 技報堂出版, 1994.4
- 5) 日本建築学会編, 実務的騒音対策指針・応用編, 技報堂出版, 1987.5
- 6) 日本建築学会編, 建物の床衝撃音防止設計, 技報堂出版, 2009.11
- 7) 日本騒音制御工学会編, 騒音規制の手引き[第3版], 技報堂出版, 2019.5
- 8) 木村翔著, 建築音響と騒音防止計画[第四版], 新建築技術叢書-9, 彰国社刊, 2012.3
- 9) 日本建築学会編, 設計計画パンフレット4 建築の音環境設計<新訂版>, 彰国社, 1983.4
- 10) 前川純一・森本政之・阪上公博著, 建築・環境音響学[第3版], 共立出版, 2011.9
- 11) 日本建築学会編, 音響材料の特性と選定, 丸善, 1997.10
- 12) 日本音響学会 建設工事騒音予測調査研究委員会, 橋秀樹他, 建設工事騒音の予測モデル"ASJ CN-Model 2007", 日本音響学会 誌, Vol.64, pp.229-260, 2008.4
- 13) 日本建築学会編, 建築の音響設計<新訂版>, 日本建築学会 設計計画パンフレット4, 1983.4
- 14) 日本騒音制御工学会編, 騒音制御工学ハンドブック, 技報堂出版, 2001.4