

[討議・回答]

辻 勇
津垣昭夫 共著
岸 正広
科野健三

“明かり発破施工による超低周波空気振動の検討”への討議・回答

(土木学会論文集, No. 528 / VI-29, 1995年12月掲載)

▶討議者 (Discussion) —————

塩田正純 (飛島建設技術研究所)

Masazumi SHIODA

1. 討 議

国家的な事業である「関西国際空港建設」に関連して、周辺環境に細心な気配りをしながら工事を実施してこられた方々に改めて敬意を表したいと思う。これらの工事に関連して、多くの新しい技術開発や今までそれ程関心が無かった環境保全の技術開発を実務的な面において積極的に採用してきた点を高く評価したい。

本論文は、空港島を建設する際の埋立用土砂として丘陵部における土砂採取を「明かり発破」によって行い、その際に発生する「超低周波空気振動」について、現場測定等から施工管理式の提案を行なっているものと理解する。

(1) タイトルについて

本論文の内容からして、本タイトルは、正確でないよう思う。内容を表すタイトルとしては、「明かり発破工法に対する低周波空気振動管理式の検討」程度ではないか。

(2) 定義について

本論文は、文中での用語として、環境庁が称している「100 Hz 程度まで含めたもの：低周波空気振動」を適用し、かつ「20 Hz 未満：超低周波空気振動」を定義している。これらの用語は、表-1に示すような歴史的な経緯があるが、できれば、学会論文では、学術的な用語を使用すべきであると考える。現在、「分かる一分からない、聞こえる一聞こえない」が、この用語の基本となっている。

(3) 調査計画の立案および方法

文献・資料あるいは現地の状況を勘案して、綿密な調査計画等を立案されたことが良く伝わってくるが、目的としていた「施工管理式」への提案には、調査地点数が少なすぎるようである。できれば、測定対象建物 ST. 1, 2, 3 線上に、少なくとも 200~250 m 毎に測定点を設定しておけば、距離減衰、丘陵部での回折等を解明可能で

表-1 歴史的経緯

名 称	周波数範囲	根 拠	英 文
超低周波音	0.1 ~ 20	パリの国際会議 : 1973 年	Infrasound
低周波音	~100	デンマークの 国際会議 : 1980 年	Low Frequency Noise
超低周波音	~20	日本騒音制御工 学会低周波音分科 会「低周波音測定 方法の提案につい て」: 1992 年	
低周波音	1 ~ 80		

・その他には、「低周波騒音、超低周波騒音、超低周波空気振動」等がある。が、根拠が明確でない?

あったと考えられる。また、測定対象建物 ST. 1, 2, 3 は、それぞれ建築構造学的に異なっているので、「窓枠、戸あるいは建具」等の物理的な形状の把握が必要であったのではないか。

測定項目に関しては、本論文のとおりであり、空気音による影響か地盤振動による影響かを明確にするために重要なことである。ただ、空気音による影響についても、できれば、住宅内で測定することも必要であったと考える。住宅内外での測定することは、窓ガラス類の透過損失（いわゆる住宅内外の音圧レベル差）を推定することが可能だからである。これは、「窓枠、戸あるいは建具等のガタツキ」の基本的なデータとなり得るからである。

測定・解析方法において、「いわゆる超低周波空気振動」の測定結果では、「1~50 Hz の相対レスポンスがフラットな周波数レスポンス」をもつ低周波音マイクロホンと振動レベル計の組合せで測定している（図-2）ので、音圧レベルで表示することの方が、妥当性があると思われる。学術的には、「超低周波空気振動圧レベル」の用語は一般的でないと言える。また、高速度レベルレコーダーのペンの動特性として「発破音の測定に準じ、FAST とした。」という記述の根拠（文献）が示されていないのは残念である。（表-1）にあるように発破の段数は

表-2 低周波音に係わる苦情内容

種類	一般的な苦情内容
心理的苦情	<ul style="list-style-type: none"> ガタツキ等の物理的現象、低周波音が直接知覚されることによって発生する。 気分がイライラする、覚醒感の低下、疲労感の増長など
生理的苦情	<ul style="list-style-type: none"> 耳鳴り、頭痛、吐き気、「耳、胸、腹」の圧迫感 自立神經系、内分泌系の影響 気分がイライラする、覚醒感の低下、疲労感の増長などの心理的被害から派生すると考えられる生理的反応
物理的苦情	<ul style="list-style-type: none"> 戸、ふすま、障子類の建具のガタツキ 木製窓枠とガラスとのガタツキ 人形ケース等の揺れ

9から14段ではほぼBS発破を利用している。したがって解析の際に注意しなければならないのは、1段のみの解析か全段の解析かを明確にして行なわれなければいけないと考える。前者か後者によって、周波数成分に変化をきたす恐れが予想されるからである。本論文では、これら当りの記述が明確でないのは残念である。

気象条件に関しては、「苦情が、特に、気象条件に左右されるわけではなかった。」と記述しながら、式(2)の中に含めていることは、矛盾しているのではないか。また、低周波音の伝搬には、気象条件が、大きく影響を及ぼすはずなので、注意深くデータを見直し再検討してほしいと思う。

許容値の推定方法では、心理的影響に関して単純すぎるのでないかということも懸念される。低周波音に係わる苦情内容は、一般的に、表-2のように示される。

(4) 調査結果等について

(注：括弧内图表番号は、本論文のものです。)

(表-2)の説明および整理の仕方が分かりにくく残念である。卓越周波数の項目を別にする方が理解しやすいように思う。発破は、全部で15回実施されているが、(表-2)では、⑥から⑫だけが表示されている。その他のデータはどうなっているのか。(図-13)では、12、13点プロットされている。

また、表に示すように低周波空気振動圧 P_a の値は、いわゆる物理的な値であるので、内容通り「片振幅の最大値」で表示されているが、その低周波空気振動圧レベルは、レベル記録でのピークレベル値を表示していると記述されている。しかし、レベル記録では、時定数がかかっていると推定されるので、片振幅最大値と差が生じると考えられる。この結果では、ほとんど一致しているので、計算によってレベル値に変換されたのではないかと推量したが如何か。また、「超低周波空気振動が観

測された理由」の中で、②と③は、説得力が不十分である。クラックが多い場合、ガスは、起爆と同時に危険部分から逃げるので、より衝撃的なパルス状のピークを有することになる。②と③を正当化するのであれば、ベンチ近傍での音圧波形が必要である。(図-6)では、周波数の若干高い地盤面からの音が発生し、続いて発破による音が発生していることが読み取れる。窓は地盤振動により揺れてから音圧の大きい低周波音により振動していることがわかる。この時ある一定レベルの値を超えると窓ガラス等の「ガタツキ」に結びつくことがある程度わかっている。(表-2)の結果から、ほとんどの住宅で「ガタツキ」が生じていただろうとの推測は、図-1より判断できる。また、苦情発生の原因として、構造物振動だけを議論しているが、地盤振動による床の振動と超低周波空気振動による感じ方を、それらのレベルでそれぞれ議論する必要があるのではないか。両方の感じ方を同一視してはならないと思う。

許容値の設定では、心理的影響において測定地点以外での調査がなされていないので、明確に判断しにくい。(表-2)からみれば、ほとんどの場合、心理的反応を示したことが推察される。したがって、心理的影響による苦情は少ないと判断された理由は何だったのか。

物理的影響では、文章中で、1~3 Hzが卓越しているとのことであるが、図-1と比較すると80 dB以上あれば、「ガタツキ」が生じる結果となっている。したがって、100 dBを許容値に設定することは、高すぎるようと思われる。特に、本論文では、「心理的には、大半の人が感じるが、物理的な影響を半減できる程度」として100 dBを許容値に設定しているが、根拠が不明確ではないか。(図-7、8)からは、85 dB±5 dBに設定するのが、妥当ではないか。

施工管理式の提案は、非常に重要なことでかつ有益なことである。測定による式であるので、多くの条件を加味して注意深く検討していることに敬意を表す。が、式(2)中の $P_0(L, t, p)$ を一つにまとめるのは、大難把すぎないか。ピーク音圧を求める式を変形し、式(3)を得るのはおかしいのではないか。式(2)から式(3)への誘導は、式(2)のピーク音圧をまず実効値音圧へ換算し、次に基準音圧で除算した後、両辺に対数をとって20倍しなければならない。したがって、式(3)は、音圧レベルを表現する式にはなっていないのではないか。実効値、時定数などについて、再検討されることをお勧めする。

「おわりに」の中で、「超低周波空気振動軽減策等について検討を加えた……」という記述があるが、本論文中には、その内容に言及されていない。再度検討してほしいと思う。

環境庁の調査では、1990年代に入って毎年、平均30~

40件の苦情となっている。ただし、建設関係の発破での苦情は、公的にはほとんど挙がっていない。しかし、実務レベルでは、非常に苦慮している現状がある。従日本騒音制御工学会低周波音分科会では、1996年に「発破による音と振動」を発行した。特に、衝撃的な音や振動について、人体への心理的・生理的影響、測定方法、評価方法、実例、防止対策等を体系的にまとめてられてきている。現在、上記の背景を踏まえて、測定方法の統一化

が待たれているので、本研究も継続的に行なわれることを期待する。

参考文献・資料

- (社)日本騒音制御工学会技術部会低周波音分科会 :「発破による音と振動」、山海堂、1996年。

(1996.5.27受付)

▶回答者 (Closure)

辻 勇 (和歌山県)・岸 正広 (鹿島建設)・
科野健三 (応用地質)

Isamu TUJI, Masahiro KISI and Kenzoh SINANO

1. 調査計画の立案および方法

超低周波空気振動の定義については、討議者のご指摘のとおり、環境庁の定義(20 Hz未満)に準拠したものである。

明かり発破施工時の超低周波空気振動(超低周波音と同義)の研究が今まであまり進んでこなかった原因の一つとして、建設事業に携わる実務者と研究者の対象が乖離し、両者が超低周波空気振動に関する苦情を真摯に受けとめ、一体となって実現可能な調査計画を立案できてこなかったことにあるのではないかと反省している。

本論文は、明かり発破施工等の建設事業箇所に近接した住民からの苦情が発端であったことから、埋立用土砂を安定的に供給するため、苦情の軽減策を第一に考え、調査計画を立案したものである。

測定地点については当初もっと数多く面的に配置し、地形による影響(例えば出尾根の回折等)等についての検討も行なった。しかし、ここではST.1, 2, 3の3箇所が住民の十分な理解を得て実施可能となった数少ない地点であった。

ST.1, 2, 3における窓枠、戸あるいは建具の物理的な形状は下記のとおり一般的なものであった。

ST.1: 窓枠; 1.5 m(W) * 1.2 m(H)

ST.2: 窓枠; 2.5 m(W) * 1.2 m(H)

ST.3: 戸; 1.0 m(W) * 2.0 m(H)

また、屋内の超低周波音の音圧レベルについては、紙数の関係上本文から除外したが、アンケート員が屋内にマイクロホンを設置し、レベルレコーダーに直結することによってレベル波形記録を得ている。屋外音圧レベルと屋内音圧レベルを併せて表-1に示しておく。なお、本文中(図-7)と(図-8)はこの屋内音圧レベルを用いている。

解析に際し、高速度レベルレコーダーのペンの動特性として“FAST”を用いた理由としては、本地域の発破による超低周波音の性状が不明であったため、衝撃的な短時間の挙動にも極力追跡可能となるようにしたことに

表-1 屋内・屋外音圧レベル一覧表

発破 名称	屋外音圧レベル SLo(dB)			屋内音圧レベル SLi(dB)		
	1	2	3	1	2	3
①	91	-	-	91	-	-
②	97	-	-	99	-	-
③	-	93	112	-	93	110
④	-	96	113	-	97	109
⑤	-	98	-	-	98	96
⑥	99	97	111	100	97	111
⑦	102	101	109	102	101	110
⑧	101	98	110	101	98	111
⑨	101	97	113	102	97	113
⑩	101	95	109	101	96	109
⑪	96	89	111	97	89	110
⑫	100	93	114	101	95	112
⑬	100	99	111	100	-	-
⑭	100	95	110	101	-	-
⑮	102	95	113	102	-	112

よる。

また、ここで解析の対象とした波形は(図-6)をみてわかるとおり、各段毎の波形の分離がなされていない全段消費後のそれであることはいうまでもない。

低周波空気振動は当然気象条件の影響を受けると考えているが、今回の試験発破による調査期間が短かったため、気象条件もほぼ同一条件下で行なわれるをえず、ここでは気象条件の差異について検討し得るだけの十分なデータを得ることができなかつた。

表-2' 振動・低周波空気振動測定結果例一覧表

発破 名称	地盤速度振幅 V_0 (cm/s)			床速度振幅 V_1 (cm/s)			窓速度振幅 v_1 (cm/s)			低周波空気振動圧 P_x (Pa)			低周波空気振動圧 レベルSL(dB)			切羽 表面積 $A(m^2)$	斜距離 R (m)		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
①	0.5	-	-	-	-	-	4.3	-	-	7.3	-	-	91	-	-	180	1500	-	-
②	2.0	-	-	1.0	-	-	2.8	-	-	1.45	-	-	97	-	-	1080	710	-	-
③	-	0.4	1.0	-	1.1	1.3	-	6.5	-	-	9.4	7.6	-	93	112	570	-	1950	610
④	-	0.6	0.8	-	1.9	0.9	-	1.7	1.3	-	1.3	8.4	-	96	113	420	-	1120	890
⑤	-	0.6	0.2	-	1.4	1.1	-	2.9	-	-	1.5	1.2	-	98	-	160	-	1240	770
⑥	0.5	1.3	2.6	0.6	1.3	2.7	3.2	5.4	3.9	1.9	1.8	7.35	100	99	111	400	1460	1980	600
⑦	1.3	4.1	2.3	1.6	4.3	1.1	8.6	3.2	3.9	2.0	1.1	5.6	100	95	110	980	910	1250	1030
⑧	1.3	4.4	1.2	2.3	4.6	0.9	2.5	8.3	6.5	2.4	1.1	8.4	102	95	113	880	700	1020	1100

なお、超低周波音の許容値を推定する方法については、高速道路橋、新幹線トンネル、工場施設等から発生する超低周波音と暴露時間が基本的に異なることから、発破のように継続時間が短いものにまで生理的苦情を検討する必要はないものと考えている。なお当該地の発破回数は、1日5回(朝、夕各2~3回)程度であったが、発破回数が増加する場合には、生理的苦情を含めた詳細な苦情内容についても別途検討していく必要があり、今後の課題といえる。

2. 調査結果等について

(表-2)は、本文中に述べているとおり全調査結果の一例を示したものである。その他のデータについては周波数分析を行っていないが、表-2'に示すとおりであり、(図-13)ではこのデータも用いている。

(表-2)と表-2'に示した低周波空気振動圧レベル P_x (Pa)は、(図-3)にも示したとおりレベル波形再生記録のピーク値の読み取り結果である。当該地で得られた計算値と実測値との関係は図-1に示すとおり良好な関係にあるといえよう。

超低周波音が観測された理由の中で、②と③は今回の測定でも衝撃的なパルス状のピークを有する波形が観測された箇所もあったことから挙げた事項である。

また、苦情発生の原因については、床の振動による感

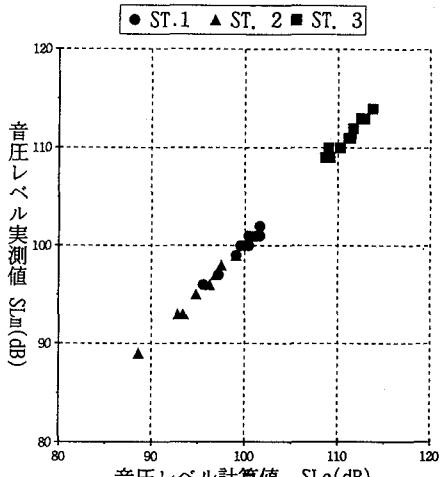


図-1 超低周波音計算値-実測値対比図

じ方と超低周波音による感じ方を瞬時の間に分離して議論することは難しいと考える。

発破による超低周波音の許容値については不明な点が多いので、当該地に最適な許容値を設定するためのアンケート調査を実施したものである。

討議の図-1は、「木製引戸のガタツキ」についての許容値の御提案であり、一般値として理解できるが当該地にそのまま適用するわけにはいかないものと思われる。

超低周波音の許容値は、その性状の複雑さに加え、バッケグラウンド状況の違いによる地域住民の心理的側面にお

ける閾値の違い、地域毎に対象となる建物の種類も異なることによる物的側面における閾値の違いにより変わってしまうべきと考える。超低周波音については、一個の対象物の一地域の許容値を一律に他の地域にも適用できない難しさがある。

実効値の議論は施工管理式にはなじまず、実際の波形は非周期的な波形であるが、やや大胆ではあるものの簡単のため正弦波に置き換え式（2）から（3）に誘導したものである。

従来、明かり発破施工時における超低周波音の予測式に切羽表面積を導入したものはなかった。今回の調査で同一薬量でも切羽の表面積を小さくすることによって音圧レベルを軽減できることが明らかとなったものである。

最後に本論文の調査・検討は様々な規制の中での自主研究であったため、データ不足は十分に認識している。

しかし、本論文は数少ないデータの中から不明な点の多かった超低周波音の性状や苦情発生の原因および施工管理式について検討したものであり、施工管理式についてのみ検討したものではないことから、タイトルについてはほぼ適切ではないかと考えている。

建設関係の発破工事は住民の反発の中で行われることが多く、特に工事区域外での計測調査は困難を極める場合が多い。土木技術者としては日々のデータを互いに共有することにより、土木工事の環境保全に努める必要があるものと考えている。

数多くの貴重なご意見を頂きありがとうございました。

今後の参考にしていきたいと思います。

(1997.7.30 受付)